보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )

국토교통연구기획 사업 최종 보고서

R&D /
17RDPP-C135247-01

상용급 가스·액화 플랜트 기술개발 기획 최종 보고서

2019. 08.

주관연구기관 / 고등기술연구원

국 토 교 통 부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

Technology Development Planning for Commercial-scale Gas·Liquefaction Plants R&D Report

17RDPP-C135247-01

상용급 가스·액화 플랜트 기술개발 기획 최종 보고서

2019

국토교통과학기술진흥원

국 토 교 통 부

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "상용급 가스·액화 플랜트 기술개발사업 기획" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019년 8월 일

주관연구기관명: 고등기술연구원
주관연구책임자: 윤용승
연구원: 이진욱, 박영수, 변용수,
이재용
공동연구기관명: 네모파트너즈(주)
공동연구책임자: 윤석호

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>R&D/17RDPP-C135247-01</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2017.09.01. ~2019.05.31</td><td>단계구분</td><td>총 1 단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">상용급 가스·액화 플랜트 기술개발사업 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">윤 용 승</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 8명
내부: 5명
외부: 3명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td>정부:190,000천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계:190,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 8명
내부: 5명
외부: 3명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:190,000천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계:190,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">고등기술연구원/플랜트엔지니어링본부</td><td colspan="2">참여기업명: 네모파트너스</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명: 해당사항 없음</td><td colspan="2">상대국 연구기관명: 해당사항 없음</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: 해당사항 없음</td><td colspan="2">연구책임자: 해당사항 없음</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td colspan="2">보고서 면수: 623 (부록 350)</td></tr>
</table>

- 각 세부기술별 연구개발 과제 도출 및 세부사업별 예산안을 산출하였으며, 세부과제를 6개로 구분하여 기술개발을 진행하는 경우에 대하여 예산을 산정 제시하였으며, 경제성 분석을 수행하여 B/C ratio와 NPV를 산출
- 합성가스 기반 수소생산 플랜트 건설기술 개발을 위한 구체적인 기획을 수행하였고 각 세부과제별 플랜트 용량 등 기술개발 방안을 제시
- 사업단 구성에 대한 RFP, 6개의 세부과제에서 총 18개의 RFP 등 총 19개의 RFP를 작성하였으며, 과제 평가를 위한 성과목표, 지표, 최종성과물 등 평가에 필요한 방법과 기준을 설정하여 제시
- 정책적, 기술적, 경제적 타당성 분석을 수행하였으며, 산학연 기관에 대한 수요조사를 실시하여 기획에 반영
- 가스화 또는 개질을 통한 합성가스 제조, 변환 및 수소 생산을 위한 시스템 구성, 설계, 최적화 및 연계 공정 등에 대한 기술개발 방안을 제시
- 설비 IT화, 반응기 컴팩트 모듈화 등을 공통핵심기술개발 내용으로 구성하여 한국 고유 모델로서 제시
- 국내 중견/중소기업이 참여하여 국내 기자재 활용 고유기술 개발 및 기술이전을 통해 사업성과물의 중소/중견기업 공유가 가능한 분야를 포함한 기획을 수행
- 합성가스 제조, 정제, 변환, 수소 분리를 통한 고순도화, ICT적용 부분들을 연계 및 모듈화하여 실증 테스트베드를 구현할 수 있도록 각 세부과제의 기술개발 세부 내용을 제시
- 예비타당성조사평가의 기술성 평가 6개 항목을 고려하여 상세기획을 수행
- 합성가스와 수소의 폭발성과 유독성을 고려한 안전한 플랜트를 건설할 수 있는 기술개발 방안 및 수소 생산 플랜트의 안전성 확보를 위한 방안을 세부과제의 하나로 포함하여 기획

요약문

I. 제 목: 상용급 가스·액화 플랜트 기술개발 사업 기획

II. 기술의 정의 및 필요성

□ 기술의 정의

○ 합성가스 기반 수소 생산 기술은 합성가스, 천연가스(메탄)/바이오가스(메탄이 주성분), 매립지가스(LFG) 등의 가스 자원 및 잉여전기로부터 수소를 생산하는 기술로서 CO_2 중립, 활용 또는 발생 최소화를 포함하는 기술

- 폐기물, 펫코크 등의 저급자원으로부터 합성가스를 생산하고 이를 정제, 전환 및 분리하여 수소를 생산하는 기술
- 음식물폐기물, 하수슬러지 등 유기성 바이오매스로부터 바이오가스를 생산하고 이를 개질하여 합성가스와 수소를 생산하는 기술
- 탄소 중립(carbon-neutral)로 구분되는 국내외 바이오매스 자원을 활용한 합성가스 생산과 수소로의 전환, 분리 기술
- 잉여전기를 활용하여 수소를 생산하고 수소와 함께 발생하는 산소를 활용하는 Power-to-Gas 기술
- 합성가스 내 일산화탄소를 수소로 전환할 때 발생하는 순도 99% 이상인 이산화탄소를 개질 등의 공정에 활용하고 광물탄산화 등으로 고정시키는 기술
- 해외에서 기체 수소를 생산하여 수송이 용이한 액상물질(암모니아 등)로 변환하여 국내에 가져오는 경우, 수소를 포함한 액상물질을 개질하여 순도가 높은 수소를 추출하는 기술
- 기존의 CO_2 포집 기술(광물화, 습식 및 건식 포집 기술 등)과 쉽게 연계하여 효율적으로 CO_2를 포집할 수 있으며, 고순도로 CO_2를 포집하여 화학물질 전환 등으로 활용 가능한 친환경 기술

○ 분산형 전원은 신재생에너지, 열병합발전, 독립 액화천연가스 발전소처럼 전력 수요지 인근에 위치해 배전선로에 연결된 소규모 발전 자원을 의미하며, 본 기획에서는 중소형 규모 분산형 플랜트를 대상으로 하므로 전기용량 40 MW 이하를 분산형으로 정의

- CO_2-free 수소 생산 기술을 활용할 경우, 수소연료전지 형태로 전기를 공급하기에 적절한 규모

□ 추진 배경

○ 한국 플랜트 경쟁력 약화와 해외시장 위축 심화

- 특히, 첨단 플랜트 기술수준은 최근 급격 하락 중

○ 플랜트 산업은 고부가가치 지식집약적 대표적 산업으로서, 합성가스 및 수소 생산 플랜트는 실증 test-bed를 통한 기술개발에 적임 분야

○ 21세기 주요 에너지원은 천연가스, 전기, 초청정연료유와 더불어 수소가 대세이며, 재생가능에너지원 전기와 CO_2의 고부가가치 가스화/연료화가 부각
- 기존 구비된 사회 에너지 인프라는 천연가스, 전기와 액체연료를 기반으로 지속 발전이 예상
- 세계에너지기구 예측에 따르면 2040년까지 세계 최종에너지 수비 증가량의 40%가 전기이며, BP 에너지 전망에서도 2035년 전기가 1차 에너지원의 47% 차지 예상
- 청정하면서 사용이 용이한 가스/액체연료유 사용 확대가 대세이며, 특히 수소 에너지원을 저렴하게 확보하여야 할 필요성이 크지만 아직 경제성 미확보로 기술개발과 실증이 요구

○ 재생에너지 생산 비활용 전기를 가스(수소, 메탄), 청정연료유로 변환 장기저장 활용하는 기술기반이 세계적으로 시작 단계

○ Technology-based 수소자원 확보 가능 시대 도래로 에너지자원 빈국인 한국에 도전할 만한 기회

○ 국내 발생 저급자원에서 국가 수소사회 구현에 필요한 수소량의 수십%를 해외의존 없이 공급 가능한 방안
- 재생가능에너지 생산 전기에 기반한 Green 수소가 실용적 보급되기 전까지는 합성가스에 기반한 Gray 수소가 가교역할을 하는데 한국 기술력으로 도전이 충분히 가능
- 국내 발생되는 펫코크(120만톤/년) 전량을 합성가스로 변환 및 수소 추출시 수소 500톤/일급 생산 가능

* 2022년/2030년 국내 수소 소요예상량 47만톤/194만톤의 약 37%/9% 담당 가능

○ CO_2-neutral인 바이오매스 활용을 통한 화석연료 사용 대체를 원하나 아직 기술신뢰도 높고 경제성 확보된 기술이 부재

○ 분산전원 선호 추세로 관련 Emerging 시장 시작단계

○ 2020~2030년대 해외 가스 에너지원 인프라의 수소중심 전환이 구체화
- 일본은 도쿄올림픽 통한 수소연료전지차 수소사회 기술우위 홍보전략
- 일본 사례로 볼 때 한국도 2025년경 초기 수소사회 진입 예상
- 수소사회에 대응한 체계적 가스자원 국토인프라 관리 및 플랜트 기술 확보가 중요

○ 수소사회에 필요한 수소생산 source 다양화 필요성 증대 및 해외선진사들이 독과점한 대량공급 방식보다는 분산형으로 기술종속 탈피한 자체기술력의 플랜트 구현 가능

○ 수소생산 플랜트의 핵심은 가스개질기술, 합성가스화 기술, P2G기술과 탈탄소사회를 위한 CO_2 대응기술로서 2030년 이후 대비한 이들 플랜트 분야의 핵심 기술확보가 필요

○ 아직 충분히 활용되지 못하고 있는 저급자원을 분산형 수소생산에 활용하는 해외플랜트 수출시장이 시작 단계로서 국내 기술능력 결집시 경쟁력 확보 가능

○ 천연가스/합성가스 플랜트 분야에서 국내에서 TRL 5단계 수준까지 수행된 각 부처 지원 파일롯급 개발 결과들의 연계 활용이 미진

○ 가스 생산/사용 과정에서 미세먼지, 온실가스 저감 등 환경적 수요 대응기술 요구

○ 수소사회 대응 수소생산 플랜트 분야에 EPC 업체와 중소/중견기업의 해외 동반진출을 위해서는 대상 플랜트기술의 track record 확보가 필요

□ 기술개발 필요성

○ 플랜트기술은 반도체 산업에 버금가는 경제성장의 핵심동력으로서, 고부가가치 산업에 기반한 선진국으로 진입을 위해서는 필요한 국가 미래산업의 핵심 분야

○ 저급자원에서 합성가스 생산과 수소 추출 과정에서 발생하는 CO_2와 미세먼지 등 NIMBY의 주원인인 환경오염물질 배출 near-zero화를 위한 기술개발 적용이 없이는 실제 산업화가 어려운 추세

- 본 기획의 오염물질 저감기술과 CO_2 활용기술 개발 연계를 통한 극복 추진이 필요
- 합성가스에서 수소 추출시 99.5%대 순도 CO_2 생산과 탄산화 등 CO_2 대응방안이 필요

○ 과감한 실증과 상용화를 통한 국내 기술자립이 필요

- 수소 및 합성가스 플랜트는 주요 국가/기업의 독과점이 심한 분야로 진입장벽이 높아 기술적용의 실적이 매우 중요한 분야
- 장기간 시장이 확보된 고부가가치 플랜트 분야에는 핵심 원천기술 또는 강점기술의 보유와 더불어 높은 가동율(availability)이 필수
- 국내 기업들의 다양한 고부가가치 플랜트 해외시장 진출에는 실증 R&D를 통한 실적 확보와 유지보수 등 기술대응이 필수

○ 수소 및 합성가스 플랜트는 핵심 고부가가치 플랜트기술로서 미래 청정환경 사회의 근간이나 한국은 대응이 아직 미진

○ 에너지 96% 수입국 차원에서 가스자원의 국내 자체 확보를 위한 지속적 노력이 필요

- 2017년 한국의 에너지 수입량은 3.4억TOE
- 2017년 에너지 수입액은 1095억 달러로서 총 수입액 4575억 달러의 23.9%를 차지하므로 장기적으로 국내 미활용 자원을 활용한 수입대체를 위한 노력이 필요
- 다양한 자원에서 생산이 가능한 가스자원으로 합성가스와 수소가 핵심이며, 에너지 안보 차원에서도 집중 육성할 분야

○ 합성가스-수소-전기 연계된 플랜트 기술로 연관 산업간 시너지 효과가 가능

○ 국내 R&D 결과물 활용을 통해 실제 시장이 요구하는 플랜트기술로 집합시켜 중국 등 신흥 기술경쟁국들 진입 이전에 시장 선점이 2020년 초에는 필요

- 상용규모 플랜트에 접목할 체계적인 기술 조합과 틈새시장용 기술개발 병행이 필요
- 중국의 관련 플랜트 EPC, 엔지니어링서비스 등 분야 시장경쟁력 급부상 중으로 산학연 역량이 결집된 체계적 대응이 필요

III. 국내외 동향 및 환경 분석

□ 메가트렌드 분석

○ 지속가능(sustainable)하고 환경친화적(environment friendly)인 에너지가 강조되는 시대로 변화

- 석탄, 원유 대신 재생가능에너지(태양광, 풍력, 바이오매스 등)와 천연가스를 주로 하는 환경친화적 에너지원 사회로 변화 추세

- 화석연료 대신 CO_2 및 매립지 메탄가스 등 지구온난화 가스를 저감할 수 있는 에너지 자원 활용 본격화
- 수소사회에 대비한 수소 생산도 화석연료 대신 탄소중립적(carbon-neutral)인 자원(예: 바이오매스)으로부터 생산 선호도 증가

○ 화석연료 사용 축소와 천연가스 및 재생가능에너지 확대
- 석탄, 원유 등 유한한 화석연료 사용을 줄이는 방향으로 OECD 수준의 국가들은 에너지 정책을 지향하는 추세
- 세계 주요 에너지전망 예측기관 모두 2035년까지 에너지 수요증가를 담당할 에너지원으로는 천연가스와 수력/재생가능에너지로 공통적으로 적시

○ 아시아 지역의 전기 수요가 급증하는 추세

○ 바이오매스 자원에 대한 관심도 증가
- 전 세계 필요에너지의 14%까지 바이오매스로 충당이 이론적으로 가능
- 동남아 지역 에너지생산 원료로서 바이오매스(폐기물 포함)의 중요도 증가 추세

□ 대내외 환경분석(STEEP 분석)

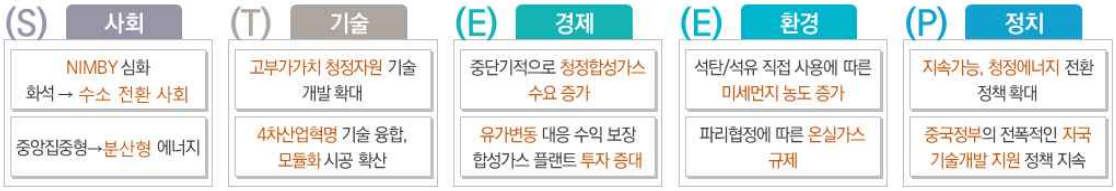
○ Social
- NIMBY 심화로 인한 청정에너지 필요성 증대와 CO_2 저감 및 미세먼지 대응 등 사유로 화석연료 기반 사회에서 수소경제 사회로 장기적으로 전환이 진행 중
- 중앙집중형 에너지 확보 사회에서 분산형 에너지 기반 사회로 변화

○ Technological
- 고부가가치 청정에너지 자원 확보를 위한 기술개발 확대
- 4차 산업혁명 시대 진입에 따른 기술의 융합, ICT/IoT/빅데이터 활용 및 분산형에 유리한 모듈화 형태의 플랜트 적용이 확산 중

○ Economical
- 단기적/중기적으로도 청정합성가스의 수요는 중국을 중심으로 증가 중이며, 중장기적으로는 수소사회 진행에 따라 수소 수요의 대폭 증가가 예상
- 유가에 민감한 국내 플랜트 산업의 구조를 고려하면 유가변동에 대응하여 수익을 보장할 수 있는 플랜트 기술 확보와 관련투자 증대가 예상되나 국내기업의 능력은 취약

○ Ecological
- 석탄/석유 직접 사용에 따른 미세먼지/CO_2 발생량 증가와 이에 따른 사회적 비용 증가를 수소를 통한 저감 가능성에 대해서 사회적 이해도 증가
- 파리 협정 이후 전 세계적으로 온실가스 규제 강화가 지속되며, 지구온난화 대응에 사회적 공감대 형성

○ Political
- 전 세계적으로 지속가능 청정에너지 정책 확대, 특히 국내의 경우 수소경제 시대를 대비한 기술개발 로드맵 수립 중
- 중국, 일본의 경우 정부의 전폭적인 자국 기술개발 지원 정책 지속



<합성가스 기반 수소 생산 플랜트 STEEP 분석 결과>

□ 사회적 환경 분석

○ **모든 플랜트에 대한 NIMBY 현상 심화**

- 개도국도 폐기물 소각장은 다이옥신 등 문제를 제기하며 반대 중
- 최근 한국의 SRF 열병합발전소, 태양광, 풍력발전 등에 대한 주민/지자체 반대 사례의 확대 심화가 진행 중

○ **미세먼지 등 환경오염물질에 대한 국민 관심도 급증과 해결기술에 대한 요구 증대**

- 미세먼지 직접 제거 및 생성 원인물질 초정정 제거가 필수 요구
- 환경부는 2019년 1월부터 대기오염물질 배출허용기준을 현재보다 2배 가량 강화된 기준 적용 시작

○ **자국 내 기술/설비/부품 기반 부족시 공급 해외 supply chain의 불안정성 증대**

- 합성가스는 저급자원을 청정한 가스자원으로 변환시키는데 핵심기술이며, 수소사회 진입에 저렴한 청정수소 공급원으로서 중요하여 핵심기술과 산업기반의 국내 확보의 필요성 증대
- 2018년부터 미국의 중국에 대한 핵심부품/설비 고입 중단 및 2019년 일본의 한국에 대한 핵심부품소재 공급 중단 등 사례의 확대에 대한 대응방안이 필요

○ 중앙집중형 대신 지역적 수요 대응에 적합한 분산형 형태 선호도 증가 추세

○ 미활용 폐기물을 환경친화적 에너지원으로 사용할 기회가 아시아 지역에 크게 존재

□ 기술적 환경 분석

○ 미래 청정에너지원으로서 수소 생산기술 확보에 다각적 노력이 집중

- 유럽에서는 우리 삶을 변화시킬 10대 기술의 하나로 전기를 수소로 저장하는 기술을 제시(Ten technologies which could change our lives, European Parliamentary Research Service, 2015. 11)
- 일본은 호주에서 석탄을 개질하여 수소를 생산하고 기체수소를 액체수소/액상수소로 변환하여 배로 이동할 계획에 따라 기술개발 시범사업을 호주정부와 진행 중
- 국내의 경우 천연가스 개질, 장기적으로 재생에너지 시대를 대비한 잉여전기를 활용한 수소 생산 기술개발 계획하고 있으나 대용량 생산, 저장 및 운송 기술이 미흡

○ 에너지자급률 낮은 국가들의 다양한 에너지원 확보를 위한 기술 확보 노력이 진행

- 일본은 유사시에도 다양한 에너지 공급이 가능하도록 에너지원별 다각적 공급구조 실현을 5차 에너지기본계획에 명시

○ 합성가스 생산 기술 분야

- 폐기물/바이오매스의 경우 수집, 분류 및 재활용하는 기존 인프라 활용이 가능하여 수소생산 공급원료로 사용이 가능
- 일본은 폐기물과 바이오매스를 이용한 수소 생산기술의 실용화 단계 진입
- 유럽과 북미를 중심으로 한 고효율 발전 및 고부가가치 합성가스 활용 기술의 상용화 단계
- 국내의 경우, 2000년 이후부터 본격적인 연구가 시작되어 현재 Pilot 규모의 연구가 주로 진행되고 있으며 상용 플랜트의 보급 실적은 아직 전무한 상태

○ 바이오가스 생산 분야
- 국내 실정에 맞는 혐기성 소화기술 개발이 필요
- 국내의 경우, 혐기성소화를 활용한 바이오수소 연구는 1995년 이후 부터 본격적인 연구가 시작되었지만, 현재까지도 실험실 규모 연구에 국한된 상황
- 바이오수소 생산성 향상을 위해 2010년 이후 미생물 분석 및 운전조건/공정 분야 연구에 대한 중요도 증가

○ 잉여전기 활용 분야
- 세계 각국은 온실가스 저감 및 새로운 에너지 환경으로 전환을 위해 재생에너지 보급 활성화에 힘을 쏟고 있고, 재생에너지 보급 확산은 미래에 우리가 필연적으로 받아들이게 될 환경임은 분명한 현실
- 이러한 재생에너지 보급 확산 노력에 따라 전력망 안정과 재생에너지의 효율적 활용을 위한 대비가 필요할 것이고 Power-to-Gas 기술은 그 대비의 한 방법으로 부상
- Power-to-Gas 플랜트 기술은 유럽으로부터 발달되어 전 세계적으로 확대 전망
- Power-to-Gas 기술에서 수소생산 후 부수적으로 생산되는 산소의 활용에 대한 기술은 현재까지 부각되고 있지 않는데 합성가스 플랜트에 효율적 연계가 가능

○ 개질 및 변환 기술 분야
- 대규모 수소생산을 위한 천연가스의 개질기술 활용은 가장 경제적이고 현실적인 방안으로 인식되나, 해외(일본 등) 업계 제품 대비 국내제품의 기술능력은 크게 부족
- 대규모의 개질기술은 거점형 수소생산기지에 적용할 수 있으나 국내에서는 아직 기술 미확보
- 중소형 수소생산을 위한 천연가스 또는 바이오가스의 개질기술 활용이 필요
- 국내의 경우 수소스테이션용으로 30 Nm^3/h 규모의 개질기를 개발한 경험을 가지고 있어 수년 내에 중소형급의 개질기 기술을 확보할 수 있을 것으로 예상
- 해외에서 생산된 수소는 압축 또는 액화를 통해 이송한 후 사용하거나 이송이 유리한 암모니아로 전환한 후 이송하여 사용처에서 개질하는 방법을 적용 가능

○ 정제 및 분리 기술 분야
- 국외의 경우 수소생산을 위한 합성가스 및 천연가스의 초정밀 정제 기술은 상용화 보급중이며, 효율적이면서 저비용인 기술 확보를 위한 개발 추진 중
- 국외 고순도 수소분리 기술은 상용화 보급중이며, 효율적이면서 저비용인 기술 확보를 위한 개발 추진 중

- 국내의 경우, Pilot 규모의 합성가스 및 바이오가스의 초정밀 정제 기술에 대한 기술개발이 주로 진행되고 있으며 상용화 보급 실적은 아직 미미한 실정
- 국내 수소 PSA(pressure swing adsorption)의 경우 상용화 진입단계에 있으며, 수소분리막의 경우 대부분 소규모 기술개발을 추진 중

○ 모듈화 분야
- 시공블록 모듈 기반의 플랜트 모듈화 설계를 적용한 플랜트 개발 프로젝트의 발주가 증가 추세
- 해상 플랜트는 그 특성상 이미 활발히 진행되고 있고, 육상플랜트는 현재 1~2%수준이나 2020년까지 10% 수준으로 증가 전망
- 중소형 규모 플랜트를 공급하는 회사들과 극한지역이나 민간접근 제한지역에 대형 플랜트를 건설하는 경우 많은 사례가 있는데, 국내업체도 외국 프로젝트에 참여하여 설비를 제작하여 공급한 경험 보유

○ ICT/IoT/빅데이터 분야
- IT 기반의 감시/진단 기술은 최근 항공, 자동차, 전자부품, 전력 소자, 발전기기 등에 적용을 시작으로 에너지 플랜트 분야에도 급격히 확대 예상
- 국외 선진사들은 정비와 자원 관리 DB와의 연계를 통한 통합 진단 시스템 개발에 연구 자원을 집중
- IT 기반의 예측 진단 및 지능형 진단 기술은 최근 효율화된 정비 및 자원 관리, 적기 서비스 정보 제공 등에 활용될 수 있어 최근 크게 발전 중이며, 선진사들에서는 제품의 경쟁력 확보를 위해 지속적으로 기술 개발 수행 중
- 빅데이터의 이슈 및 해결을 위한 방안으로 기존의 솔루션의 한계를 넘어 실시간 통합분석을 통해 산업별 업무 현장에서 실시간 예측 및 대응이 가능한 지능형 솔루션이 새로운 해결책으로 등장

□ 국내외 시장 환경 분석

○ 한국의 해외 플랜트시장 중심축이 동남아로 이전 시작
- 중동 발 플랜트 수출은 약 10년간의 호황이 마무리되는 시점
- 2018년 1~4월 기간에 중동 35억 달러 대비 동남아시아 지역 65억불 수주

○ 그린 에너지와 에너지 안보가 각 국가들의 핵심사항으로 강조되는 시기
- 환경과 기후온난화 해결을 위한 그린에너지의 중요도 부각
- 에너지 부존자원 부족 국가들의 에너지 패러다임 변혁 시작
- 기존 화석연료는 부족하나 바이오매스 등 자원 풍부한 적도 인근 개발도상국들의 자국 미활용 에너지원 활용 극대화를 위한 플랜트 기술에 큰 관심

○ 개도국들의 환경보호와 편의성 측면에서 효과가 큰 가스 에너지의 보급 선호

○ 일본은 세계 처음 수소사회로의 이행을 2017년 12월 발표하고, 수소관련 부품, 설비, 제품, 플랜트 등 관련시장 선점을 추진

○ 분산전원 측면의 국내외 Emerging 시장 확대 중

- 세계 전기 사용량은 개도국 중심으로 크게 지속적 증가 전망으로, 전기사용량 급팽창하는 국가/지역 존재
- 개도국에서 전기는 대부분 열악한 국토 인프라로 분산전원 형태가 유리
- 저렴한 자국 에너지원료 사용을 선호
- 분산전원 플랜트의 국가지역별 가격 편차가 심하며, 가격 경쟁력 확보를 위한 적용기술 측면의 방안이 필요

○ 국내 폐비닐/폐플라스틱 재활용 거부 사태 발생으로 재활용이 힘든 고발열량 폐기물의 열적처리 대안으로서 청정합성가스 방식이 부각
- 재활용이 가장 사회적으로 우선되어야 하나, 이물질 함유된 폐비닐/폐플라스틱은 현실적으로 재활용이 곤란
- 폐플라스틱 고형연료(RPF)를 산업단지 스팀공급원으로 이용한 국내 성공사례 다수 존재

○ 청정연료가스 및 고순도 수소 가스 국내외 시장 확대 중
- 다양한 연료가스 종류 중에서 현재의 시장 요구사항을 만족하는 유망한 분야는 청정연료가스와 수소

IV. 연구개발과제 구성 및 추진전략

□ 대상 선정 기준 설정

○ 국내/국외 기술을 조합한 플랜트건설 산업의 국내외 해외진출 경쟁력 확보가 우선
- 국내 TRL 5 이상 기반 확보된 기술 연계활용을 우선
- 반드시 국내기술만일 필요는 없으나 해외진출에 제한이 없도록 전략 수립 필수

○ Sustainable* Demo Plant(Test-bed)를 통한 기술개발과 실증, 사업화 추진, Test-bed 실증 실적 기반 해외시장 진출 (* 과제 종료 후 자체운영비 확보 가능 수준)

○ 사업화 측면
- 국내 사업화 업체 존재 및 의지 확인 분야에 우선 집중 (Test-bed 부지 제공 등)
- 5년 내 사업화 가능 분야 우선
- 해외 시장요구가 이미 존재하는 분야 우선

○ 국내 중소/중견기업 참여 가능 분야
- 중소형급 규모의 국내외 건설 프로젝트에 적합한 기업 참여
- 핵심 기자재를 국내 제작/공급/유지보수 가능한 기업 참여
- 모듈화 설계, 엔지니어링 전문기업 참여

○ 핵심 설비/부품은 국내기업 공급 가능하도록 기술개발 및 국산화
- 해외시장 진출 시 가격 경쟁력과 유지보수 편이성 등 확보에 필수적인 핵심 설비/부품을 대상

○ 기획된 과제의 목표로는 국내 및 국외 상용화 플랜트로서, 국내외 시장조사를 토대로 한 타겟 시장 선정

- 선정된 타겟 시장에서 수급 가능한 원료 조사
- 현재 사용하고 있는 원료와 대체 가능한 원료 등을 따져서 시장에 따른 보유 자원, 상용화 가능 플랜트의 규모, 현재 사용 원료 대비 대체 가능한 자원 및 핵심기술을 정리하고 이를 기반으로 과제의 목표 설정

□ 연구개발 추진을 위한 기본 방향 설정

○ 국내 기술수입이 필연적인 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야에 대한 국내기술 최대 적용이 가능하도록 추진
- 상용 실적이 없어 부득이 해외기술 도입이 예상되는 분야에 대한 사전 국내기술 실증을 통한 기술제공 능력 확보

○ 기존 기술 대비 차별화된 기술우위 가능분야 개발 실증과 해외수출까지 연계
- 바이오매스 경우 합성가스 생산 시 가장 현안은 분쇄 에너지 저감과 부산물인 tar 정제/제거이므로 이를 극복할 기술을 기존 국내보유 기술에 접목 구현
- 분쇄에너지 저감을 위한 전처리 기술(반탄화, 수열탄화)을 연계(반탄화, 수열탄화 개별 기술들은 국내 기술개발 실적이 파일롯급으로 존재)

○ 합성가스로부터 수소를 추출하는 수첨(water-gas-shift)반응 과정에서 생산되는 99% 이상 순도의 CO_2를 활용하여 CO_2-free에 근접한 기술개발을 추진

○ 바이오매스, 폐기물을 원료로 사용하는 합성가스 생산 활용에서 근본 제약요소들을 원천 극복하는 접근을 추진
- 분쇄에너지 저감을 위한 전처리 기술 개발 적용 (반탄화 전처리기술 적용시 약 1/4 분쇄에너지 저감 가능)

□ 기술수요조사 결과 반영

○ 초기 기획과정에서 상용급 가스•액화 플랜트에 대한 기술수요조사를 4차례, 총 총 7,900명 대상 기술수요 조사를 실시하여 총 66건의 기술수요조사서 접수

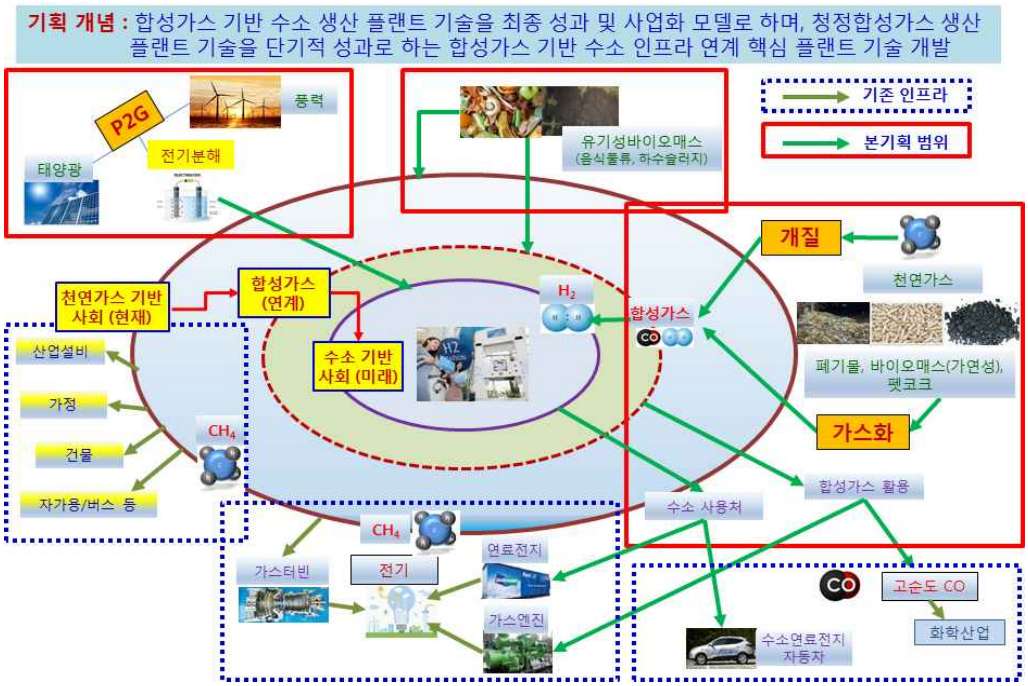
○ 수소생산 플랜트로 기획방향 변경에 따라 추가로 산·학·연 전문가들의 의견수렴을 위한 기술수요조사서를 총731명에게 의뢰하였고 회신된 응답은 총 13건으로 집계
- 기술별 분석 결과 정제 및 분리 기술 5건, 개질 및 변환 기술 3건, P2G 2건, 바이오가스 생산 기술 2건, 기타 1건으로 정제 및 분리 기술 분야에 가장 많은 수요를 보임
- 기술개발 유형은 단위공정이 11건으로 가장 많은 수요를 보였으며, 기술제안 기관 유형은 학계 9건, 산업계 2건, 연구소 2건으로 학계에서 가장 많은 수요 조사서 제출
- 제안기술의 개발 예상 소요기간은 최소 4.5년, 최대 8년으로 평균 5.5년이며, 개발 예상연구비는 최소 8억 원, 최대 530억 원으로 평균 69.5억 원
- 총 13건의 제안 기술에 대해 기획 반영, 일부 반영 및 미반영으로 구분하였으며, 반영 여부 현황은 기획 반영 8건, 일부 반영 3건, 미반영 2건
- 제안 기술 중 합성가스의 화학원료로의 직접 이용과 수소 저장/수송 관련 기술은 미반영

□ 사업의 Target

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술을 최종 성과 및 사업화 모델로 설정

○ 기존 천연가스 인프라 사회에서 수소 사회로 넘어가는 단계에서 합성가스 기반 수소 인프라 연계 핵심 플랜트 기술 개발

- 발생 CO_2의 고순도화를 통한 활용률 제고 및 미세먼지, SO_x, NO_x 등 공해물질 발생량을 천연가스 수준으로 저감



<기획 개념 및 사업의 Target 개념도>

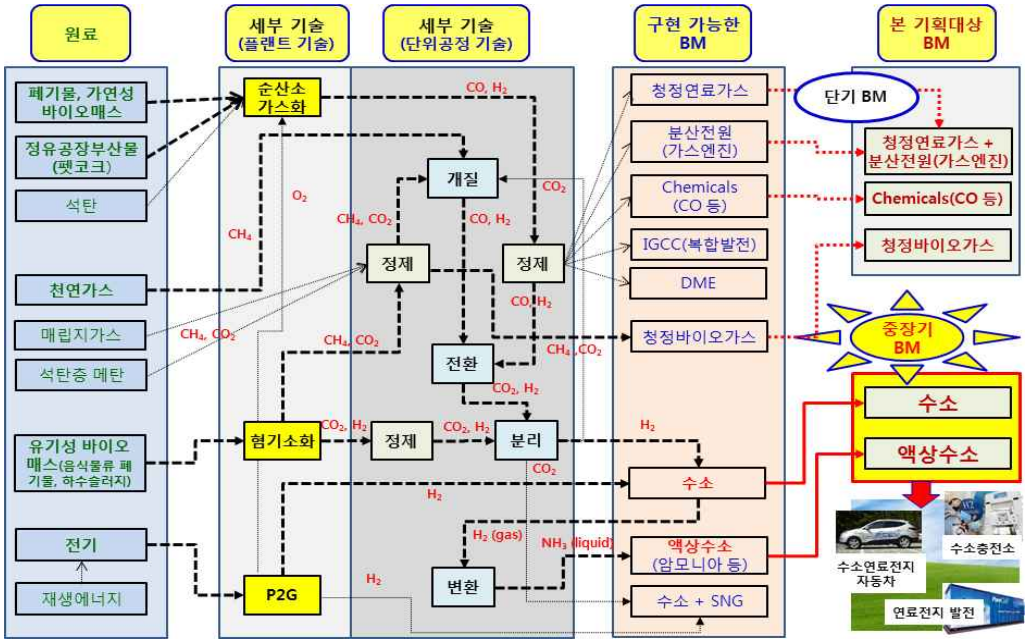
○ 국내 기술수준과 시장 요구 현황으로 판단하여 사업의 Target 설정을 하였으며, 투자비의 조기 회수를 위하여 단기적으로도 사업화 가능한 단기 비즈니스 모델과 중장기적으로 사업화가 가능한 비즈니스 모델로 구성

○ 리스크 관리 및 투자비 회수 최소화를 위한 비즈니스 모델 (단기 비즈니스 모델)

- 청정연료가스
- 분산전원용 연료가스
- 화학물질 (CO 등)
- 청정바이오가스 (유기성 바이오매스 유래 청정 바이오메탄)

○ 본 기획의 핵심 비즈니스 모델 (중장기 비즈니스 모델)

- 수소 및 액상 수소 (수소연료전지자동차 및 연료전지 발전)

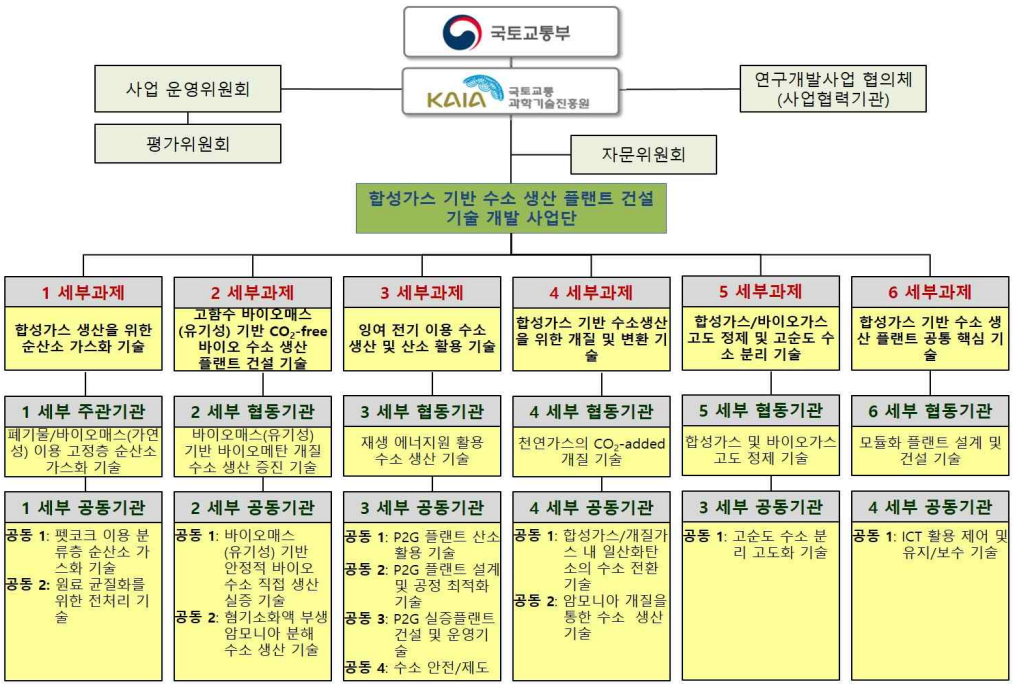


<단기 및 중장기 비즈니스 모델 개념도>

□ 사업단 형태

○ 5개의 중점 기술과 하나의 공통핵심기술을 포함하는 총 6개의 세부과제로 기술개발을 추진하는 구조로 사업단 구성

○ 각 세부과제별로 주관기관(또는 협동기관) 과제에 함께 1~4개의 공동기관 과제로 산학연 전문기관이 참여할 수 있도록 구성



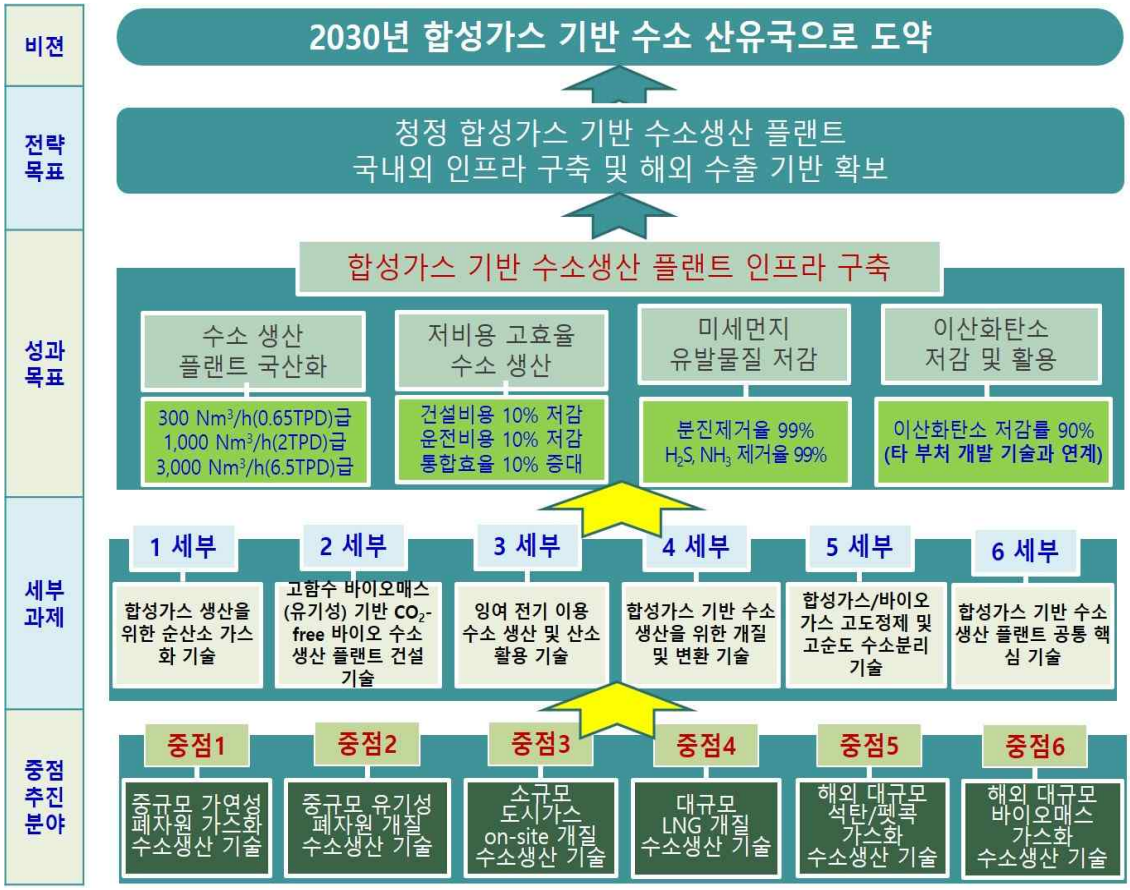
<6개의 세부과제로 구성된 사업단 구조>

□ 비전 및 목표 설정

○ 2030년 합성가스 기반 수소 산유국으로 도약을 비전으로 설정하고 이를 달성할 수 있는 전략목표를 수립

○ 비전과 전략목표를 달성할 수 있도록 중점추진분야 6개를 설정하고, 기술의 유사성 및 규모 등을 고려하여 6개의 세부과제로 구성

○ 본 세부과제를 통하여 달성할 3개의 성과목표와 타 부처 개발 기술 또는 추가로 개발할 기술 등과 연계하여 달성할 하나의 성과목표 등 총 4개의 성과목표를 설정



<본 기획 사업의 비전을 달성하기 위한 중점 추진분야 및 세부과제 개념도>

V. 자원투입 계획 및 경제성 평가

□ 자원투입 계획

○ 본 사업은 2020년~2026년 7년간 총 사업비 2,390억원을 조달하여 운영

○ 총 사업비 중 1,780억원을 국토교통부가 정부출연금 형태로 지원하고 나머지 610억원은 민간의 부담금으로 충당

○ 총괄사업단 연구추진 및 운영비용은 전액 정부출연금으로 충당하며, 각 개별 연구과제는 정부출연금과 민간부담금으로 구성하였으며 정부출연금 : 민간부담금 비율 = 74% : 26%로 구성

- 총괄사업단은 전액 정부출연금으로 운영되는 것으로 고려
- 본 사업은 중소·중견기업이 중심적으로 참여하는 것으로 기획되었으며, 참여기업 중 중소기업의 비율이 2/3 이상인 것을 전제로 기획 예산 도출

○ 민간부담금의 경우 대기업군에 속하는 엔지니어링 기업의 참여 가능성, 각 세부 연구과제별 컨소시움 구성 및 핵심과제의 사업화 모델 등에 따라서 획일적 적용보다는 탄력적으로 적용하는 것으로 예상하고 소요 예산을 산출

○ 기획된 과제별·연차별 소요 예산은 아래와 같이 표로 정리

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
사업단	정부		500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	3,500.0
세부 1) 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	정부		15,000.0	33,800.0	23,000.0	15,260.0	7,560.0	0.0	0.0	94,620.0
	민간	현금	750.0	1,690.0	1,150.0	763.0	378.0	0.0	0.0	4,731.0
		현물	4,500.0	10,140.0	6,900.0	4,578.0	2,268.0	0.0	0.0	28,386.0
		소계	5,250.0	11,830.0	8,050.0	5,341.0	2,646.0	0.0	0.0	33,117.0
	합계		20,250.0	45,630.0	31,050.0	20,601.0	10,206.0	0.0	0.0	127,737.0
세부 2) 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 바이오수소 생산 플랜트 건설 기술	정부		0.0	1,800.0	10,500.0	6,700.0	2,900.0	1,200.0	800.0	23,900.0
	민간	현금	0.0	90.0	525.0	335.0	145.0	60.0	40.0	1,195.0
		현물	0.0	540.0	3,150.0	2,010.0	870.0	360.0	240.0	7,170.0
		소계	0.0	630.0	3,675.0	2,345.0	1,015.0	420.0	280.0	8,365.0
	합계		0.0	2,430.0	14,175.0	9,045.0	3,915.0	1,620.0	1,080.0	32,265.0
세부 3) 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	정부		0.0	0.0	1,080.0	2,110.0	3,210.0	2,810.0	1,590.0	10,800.0
	민간	현금	0.0	0.0	54.0	105.5	160.5	140.5	79.5	540.0
		현물	0.0	0.0	324.0	633.0	963.0	843.0	477.0	3,240.0
		소계	0.0	0.0	378.0	738.5	1,123.5	983.5	556.5	3,780.0
	합계		0.0	0.0	1,458.0	2,848.5	4,333.5	3,793.5	2,146.5	14,580.0
세부 4) 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	정부		1,520.0	3,960.0	6,400.0	4,000.0	1,700.0	0.0	0.0	17,580.0
	민간	현금	76.0	198.0	320.0	200.0	85.0	0.0	0.0	879.0
		현물	456.0	1,188.0	1,920.0	1,200.0	510.0	0.0	0.0	5,274.0
		소계	532.0	1,386.0	2,240.0	1,400.0	595.0	0.0	0.0	6,153.0
	합계		2,052.0	5,346.0	8,640.0	5,400.0	2,295.0	0.0	0.0	23,733.0
세부 5) 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술	정부		2,300.0	3,500.0	3,900.0	3,700.0	2,900.0	0.0	0.0	16,300.0
	민간	현금	115.0	175.0	195.0	185.0	145.0	0.0	0.0	815.0
		현물	690.0	1,050.0	1,170.0	1,110.0	870.0	0.0	0.0	4,890.0
		소계	805.0	1,225.0	1,365.0	1,295.0	1,015.0	0.0	0.0	5,705.0
	합계		3,105.0	4,725.0	5,265.0	4,995.0	3,915.0	0.0	0.0	22,005.0
세부 6) 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술	정부		920.0	2,440.0	2,820.0	2,620.0	2,460.0	0.0	0.0	11,260.0
	민간	현금	71.0	147.0	161.0	151.0	143.0	0.0	0.0	673.0
		현물	251.0	707.0	826.0	766.0	718.0	0.0	0.0	3,268.0
		소계	322.0	854.0	987.0	917.0	861.0	0.0	0.0	3,941.0
	합계		1,242.0	3,294.0	3,807.0	3,537.0	3,321.0	0.0	0.0	15,201.0
총계	정부		20,240.0	46,000.0	48,200.0	34,890.0	21,230.0	4,510.0	2,890.0	177,960.0
	민간	현금	1,012.0	2,300.0	2,405.0	1,739.5	1,056.5	200.5	119.5	8,833.0
		현물	5,897.0	13,625.0	14,290.0	10,297.0	6,199.0	1,203.0	717.0	52,228.0
		소계	6,909.0	15,925.0	16,695.0	12,036.5	7,255.5	1,403.5	836.5	61,061.0
	총계		27,149.0	61,925.0	64,895.0	46,926.5	28,485.5	5,913.5	3,726.5	239,021.0

○ 전체 사업에 투입되는 인력은 총 565명으로 추산되었으며, 과제별 또는 세부기술별로 투입되는 인력은 아래와 같이 표로 정리

구분	협동 및 공동 과제	개발 인력
사업단	총괄사업단	5
(세부 1) 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발	(세부 1 주관) 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술	60
	(세부 1의 공동 1) 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	60
	(세부 1의 공동 2) 원료 균질화를 위한 전처리 기술	30
	세부 1 소계	150
(세부 2) 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술	(세부 2 협동) 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	30
	(세부 2의 공동 1) 바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술	30
	(세부 2의 공동 2) 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술	30
	세부 2 소계	90
(세부 3) 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발	(세부 3 협동) 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	30
	(세부 3의 공동 1) P2G 플랜트 산소 활용 기술	30
	(세부 3의 공동 2) P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	30
	(세부 3의 공동 3) P2G 실증플랜트 건설 및 운영 기술	10
	(세부 3의 공동 4) 수소 안전/제도	10
	세부 3 소계	110
(세부 4) 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	(세부 4 협동) 천연가스의 CO_2-added 개질 기술	30
	(세부 4의 공동 1) 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	20
	(세부 4의 공동 2) 암모니아의 개질을 통한 수소 생산기술 개발	20
	세부 4 소계	70
(세부 5) 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술	(세부 5 협동) 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	35
	(세부 5의 공동 2) 고순도 수소 분리 고도화 기술	35
	세부 5 소계	70
(세부 6) 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술	(세부 6 협동) 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	45
	(세부 6의 공동 1) ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	25
	세부 6 소계	70
합계	합계	565

□ 경제성 평가

○ 전체 사업을 추진함에 있어서 국내외 시장 분석 및 기술개발 완료 후 현실성이 있는 시장 점유율에 기초한 해외수출액을 기반으로 경제성분석 실시

- 중립 시나리오 : 예상 점유율에 따른 시나리오
- 보수적 시나리오 : 중립 시나리오의 90% 해외 수출액 적용

- 낙관적 시나리오 : 중립 시나리오의 110% 해외 수출액 적용

(단위:백만원)

구분	중립	낙관	보수
사업예산 (현재가치)	209,042	209,042	209,042
총편익 (현재가치)	281,849	310,034	253,664
B/C ratio	1.348	1.483	1.213

VI. 과제공모 방안

□ 본 사업의 구성

- ○ 본 사업은 총 예산 금액이 예비타당성평가를 받아 추진하는 사업단 규모
- ○ 총괄사업단 과제와 5개의 중분류 기술에 대한 과제와 한 개의 공통핵심기술 개발과제 등 6개의 세부과제를 공모하도록 구성
- ○ 총괄사업단 공모용 RFP에는 사업단 전체의 연구개발 목표인 전략목표와 성과목표, 최종 성과물, 추진 필요성, 연차별 전략 및 목표, 사업단 추진체계, 핵심과제 구성내용 등을 제시
- ○ 각 세부, 협동 및 공동 과제 공모용 RFP는 총 18개로서 연구개발 목표, 연구개발 필요성 및 기술동향, 연구개발 내용, 연구개발 추진방법, 최종 성과물, 연구기간 및 지원예산 등으로 구성

□ 제 1 세부과제 : 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발

- ○ [세부 1-1: 제 1 세부 주관과제] 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술 개발: 폐기물/바이오매스(가연성)로부터 일산화탄소와 수소가 주성분인 합성가스 생산, 수성가스전환 및 분리를 통해 고순도 수소 생산기술의 상용 보급 가능한 test-bed 건설 및 운전기술을 확보하여 해외 수출 가능한 플랜트 기술 개발
- ○ [세부 1-2: 제 1 세부 제 1 공동과제] 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술 개발: 국내 또는 해외에서 생산되는 펫코크를 활용하여 청정연료가스를 생산할 수 있는 합성가스 플랜트 기술 및 합성가스 고도정제를 통하여 수소를 생산할 수 있는 기술 개발
- ○ [세부 1-3: 제 1 세부 제 2 공동과제] 원료 균질화를 위한 전처리 기술 개발: 폐기물/바이오매스(가연성)로부터 일산화탄소와 수소가 주성분인 합성가스의 안정적인 생산을 위한 가스화 전단계의 원료 균질화를 위한 전처리 기술 개발

□ 제 2 세부과제 : 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 바이오수소 생산 플랜트 건설 기술 개발

- ○ [세부 2-1: 제 2 세부 주관과제] 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생

산 증진 기술 개발: 고함수 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 생산 기술 및 바이오메탄/바이오수소 동시 생산기술 개발과 부산물로서 부가가치 자원 개발

- ○ [세부 2-2: 제 2 세부 제 1 공동과제] 바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술 개발: 고함수 바이오매스(유기성) 기반 생물발효에 의한 바이오 수소 직접 생산 기술 개발
- ○ [세부 2-3: 제 2 세부 제 2 공동과제] 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술 개발: 바이오매스(유기성) 에너지화 공정에서의 혐기성소화액으로 발생되는 고농도 암모니아를 촉매 분해에 의한 수소 생산 기술 개발

□ 제 3 세부과제 : 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발

- ○ [세부 3-1: 제 3 세부 주관과제] 재생 에너지원 활용 수소 생산기술 개발: 잉여전기를 이용한 수소생산을 위한 단일 모듈 1MW급 수전해 시스템 개발, 수전해 설비의 설비 요소기술을 개발하고 최적 설계를 통해 수전해 효율을 높이는 설계 및 제작 기술 확보 및 재생에너지로부터 생산된 잉여전기를 계통 연계하는 기술을 개발하고 안정적인 공급을 위한 시스템 구축 기술 확보
- ○ [세부 3-2: 제 3 세부 제 1 공동과제] P2G 플랜트 산소 활용 기술 개발: 1MW급 수전해 설비로부터 발생된 산소를 순산소 가스화 설비에 활용할 수 있도록 생산된 산소의 저장 및 연계 기술 개발 및 수전해 설비에서 산소 활용을 위해 필요한 유틸리티 설비들을 구축하고 순산소 가스화 시스템에 연계 및 실증 기술 확보
- ○ [세부 3-3: 제 3 세부 제 2 공동과제] P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술 개발: 잉여전기를 이용한 수전해 장치로부터 수소 및 산소를 생산하는 P2G 플랜트의 설계 기술 확보 및 설계된 P2G 플랜트는 수소 생산과 순산소 가스화 플랜트와 연계된 산소 공급 장치로서 해당 공정에서의 최적 공정 기술 확보
- ○ [세부 3-4: 제 3 세부 제 3 공동과제] P2G 실증 플랜트 건설 및 운영기술 개발: 잉여전기를 이용한 수전해 장치로부터 수소 및 산소를 생산하는 P2G 플랜트의 건설 및 운영기술 확보 및 잉여전기의 가변전원 연계와 순산소 가스화 플랜트 연계운전을 포함한 P2G 플랜트의 지속적인 운전으로 기술 건전성 확보
- ○ [세부 3-5: 제 3 세부 제 4 공동과제] 수소 안전 및 제도: 수소 생산 플랜트 설계, 건설 및 저장 단계에서의 안전성 평가 기술 확보

□ 제 4 세부과제 : 합성가스 기반 수소 생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발

- ○ [세부 4-1: 제 4 세부 주관과제] 천연가스의 CO_2-added 개질 기술 개발: 수소 생산량 1,400 Nm^3/h급(3톤/일급) 천연가스 개질 공정 개발
- ○ [세부 4-2: 제 4 세부 제 1 공동과제] 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술 개발: 수소 생산량 1,400 Nm^3/h급(3톤/일급) 수성가스전환 공정 개발
- ○ [세부 4-3: 제 4 세부 제 2 공동과제] 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술 개발: 수소 생산량 300 Nm^3/h급 NH_3 분해 수소생산 공정의 설계/구축/운전 기술 개발

□ **제 5 세부과제 : 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발**

○ [세부 5-1: 제 5 세부 주관과제] 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술 개발: 기존 국내 축적된 기술개발 결과물을 바탕으로 합성가스 및 바이오가스로부터 산성가스, 분진, HCl 등의 오염물질을 최종 수소 활용처인 수소자동차 또는 수소연료전지 등에 활용 가능한 수준으로 고도 정제하는 저비용 고효율 정제 기술 개발

○ [세부 5-2: 제 5 세부 제 1 공동과제] 고순도 수소 분리 고도화 기술 개발: 수소 및 이산화탄소 혼합가스로부터 수소자동차 또는 수소연료전지 등에 활용 가능한 수준으로 수소를 고순도로 분리하는 저비용·고효율 수소 분리 기술 개발

□ **제 6 세부과제 : 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심기술 개발**

○ [세부 6-1: 제 6 세부 주관과제] 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술 개발: 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발 과제(1세부과제), 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 바이오수소 생산 실증 기술 개발 과제(2세부과제) 및 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(3세부과제)에서 개발할 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 국내 사업화 및 해외 수출 상품화를 달성할 수 있도록 플랜트 모듈화 설계 기술 국산화 개발

○ [세부 6-2: 제 6 세부 제 1 공동과제] ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술 개발: ICT/IoT/빅데이터 플랫폼 및 시스템 구축을 통한 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 기술을 확보하여 플랜트 신뢰도 향상 및 시장경쟁력 강화

□ **원료 수급 및 test-bed 부지 확보 계획**

○ 본 사업은 test-bed를 구성하여 상업용급 실증 플랜트의 운전 및 이를 통한 track-record 확보가 매우 중요한 사항임을 RFP에 적시

- 현실성이 있는 원료수급 계획 제시 필수
- 세부과제별로 단독 또는 타 세부과제와 연계하여 test-bed 부지 확보 (Test-bed 부지를 제공할 수요기업 또는 지자체 참여 필수)
- 지자체에서 바이오수소 생산 플랜트를 설치할 수 있다는 참여의향서 제출

목 차

제 1 장 사업 개요 ····· 1

제1절 배경 및 필요성 ····· 1

1. 사업 추진배경 ····· 1
2. 정부지원의 필요성 ····· 15
3. 사업추진의 시급성 ····· 21
4. 세부기술별 기술개발의 필요성 ····· 25

제2절 사업 추진현황 및 근거 ····· 44

1. 사업 추진현황 ····· 44
2. 사업 추진근거 ····· 46

제3절 기획 추진 체계 및 경과 ····· 51

1. 사업기획 추진체계 ····· 51
2. 사업기획 추진경과 ····· 54
3. 사업기획 추진절차 ····· 58

제 2 장 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 개념 및 사업환경 분석 ··· 60

제1절 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 정의 및 범위 ····· 60

1. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 관련 용어의 정의 ····· 60
2. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 사업의 정의 및 범위 정립 ····· 61

제2절 대내외 환경 분석 ····· 92

1. 메가트렌드 분석 ····· 92
2. 사회적 환경 분석 ····· 96
3. 기술적 환경 분석 ····· 100
4. 국내외 시장 환경 분석 ····· 119
5. 생태적 환경 분석 ····· 172
6. 정책적 환경 분석 ····· 182

7. 주요 시사점 ····· 201

제3절 국내 R&D 역량분석 ····· 203

1. R&D 투자 현황 ····· 203
2. 논문/특허 동향 분석 ····· 208
3. 기술수준 분석 ····· 232
4. R&D 인프라 현황 ····· 234
5. 주요 시사점 ····· 238

제 3 장 기존 사업 성과 분석 ····· 239

제1절 기존 사업현황 및 추진경과 ····· 239

1. 기존 사업 현황 ····· 239
2. 기존 사업 추진경과 ····· 241

제2절 기존 사업 성과분석 ····· 244

1. 종합적 성과분석 ····· 244
2. 대표적 성과분석 ····· 245
3. 성과분석 결과 ····· 250

제3절 종합분석 ····· 252

1. 기존 사업의 우수점 ····· 252
2. 기존 사업의 시사점 ····· 253
3. 기존 성과 활용방안 ····· 254

제 4 장 사업설계를 위한 조사분석 ····· 257

제1절 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 사업 관련 사전조사 ····· 257

1. 기술수준 조사 ····· 257
2. 기술수요 조사 ····· 262
3. 공청회 ····· 270

제2절 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 관련 사업 추진현황 ····· 278
1. 유사사업 현황 및 중복성 검토 ····· 278
2. 국토교통부 고유 사업과의 중복성 검토 ····· 279
3. 과제단위 중복성 검토 ····· 280
4. 민간기술 연계방안 ····· 297

제3절 주요 시사점 ····· 301

제 5 장 사업 추진계획 ····· 302

제1절 사업추진방향 및 과제 도출 ····· 302
1. 사업 추진방향 도출 방법 ····· 302
2. 종합분석 ····· 303
3. 종합분석을 통한 사업 전략방향 도출 ····· 307
4. 사업의 중점 추진분야 도출 ····· 310
5. 중점과제 및 핵심기술의 도출 ····· 315
6. 종합 분석 ····· 319

제2절 사업 비전 및 목표 ····· 328
1. 비전 체계도 ····· 328
2. 기본 방향 ····· 328
3. 사업 비전 ····· 333
4. 사업 목표 ····· 334
5. 논리모형 ····· 335
6. 추진전략 ····· 337
7. 연계체계 ····· 360

제 6 장 중점 기술개발 내용 ····· 368

제1절 중점기술별 상세내용 ····· 368
1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 ····· 368
2. 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술 ····· 371

3. 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 ····· 374
4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 ····· 377
5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 ····· 380
6. 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술 ····· 383
7. 세부분야별 적정 설비규모 산정 ····· 386

제2절. 중점기술별 핵심 R&D 필요기술 추진계획 ····· 389
1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 ····· 389
2. 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술 ····· 411
3. 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 ····· 436
4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 ····· 450
5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 ····· 468
6. 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술 ····· 486

제3절 핵심기술 확보를 위한 세부과제별 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 504
1. 우선순위 및 기술개발 일정 ····· 504
2. 기술개발 로드맵 및 성과목표 ····· 505
3. 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵 ····· 510
4. 성과목표의 선정근거 ····· 513

제4절 성과 활용 및 사업화 전략 ····· 519

제5절 파급효과 ····· 524
1. 과학기술적 파급효과 ····· 524
2. 경제사회적 파급효과 ····· 527

제 7 장 사업운영계획 및 소요예산 ····· 534

제1절 사업추진체계 및 관리방안 ····· 534
1. 사업추진체계 ····· 534
2. 사업관리방안 ····· 534
제2절 소요예산 및 재원조달방안 ····· 538

1. 사업비 ····· 538
2. 재원조달방안 ····· 557
3. 소요인력 ····· 558

제 8 장 사전타당성 분석 ····· 559

제1절 사전타당성 분석 방법론 ····· 559
1. 개요 ····· 559
2. 영역별 타당성 분석 수행 체계 ····· 561

제2절 정책적 타당성 분석 ····· 573
1. 정부 지원의 필요성 ····· 573
2. 정책적 일관성 및 사업 추진의지 ····· 581
3. 사업추진 상의 위험요인 및 대응방안 ····· 586

제3절 기술적 타당성 분석 ····· 589
1. 사업 기획의 적절성 ····· 589
2. 기존 사업과의 중복성 검토 ····· 596
3. 기술개발 성공 가능성 ····· 596
4. 기대효과 및 파급효과 ····· 598

제4절 경제적 타당성 분석 ····· 605
1. 사업의 비용구조 ····· 605
2. 사업의 편익구조 ····· 606
3. 사업의 경제성 분석 ····· 621

부록 (Appendix) ····· 623
A1. 기술수요조사 ····· 623
A2. 세부 기술별 기술 분류 체계 ····· 623
A3. 세부기술별 국내외 기술동향 및 분석 ····· 623
A4. 특허 논문 분석 ····· 623
A5. 범부처 수소기술개발 로드맵 수립 수소생산 분과 내용 중 펫코크, 폐기물, 바이오매스 해당 부분 ····· 623
A6. 기획위원회 및 자문위원회 추진 내용 ····· 623
A7. 프로젝트 제안 요청서 (RFP) ····· 623
A8. 기획위원 명단 ····· 623

표 차례

<표 1-1-1> 본 기획의 추진배경 및 핵심이슈 요약표 ····· 14
<표 1-1-2> 전후방 산업연관효과 ····· 15
<표 1-1-3> 인도 Jamnagar 합성가스 프로젝트 건설 참여사 ····· 15
<표 1-1-4 > 한국의 바이오매스 에너지원별 가용 에너지량 ····· 17
<표 1-1-5> 합성가스/수소 플랜트 분야 주요 이슈 및 본 사업의 미추진시 예상 문제점 ····· 24
<표 1-1-6> 가스화의 장점 및 효과 ····· 27
<표 1-1-7> 바이오매스(유기성) 발생량 및 활용 현황 ····· 29
<표 1-1-8> 바이오가스시설 유형별 바이오가스 생산.이용현황 ····· 30
<표 1-1-9> 국내 유통되는 수소의 생산공정별 비율 ····· 31
<표 1-1-10> 국내 유통되는 수소의 생산공정별 비율 ····· 38
<표 1-2-1> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 관련 기존 사업 및 과제 현황 ····· 44
<표 1-2-2> 법적 추진근거와 관련된 관계 법령 ····· 46
<표 1-2-3> 국토해양R&D 발전전략의 "Green-up 30" 미래핵심기술 (2010. 10) ····· 48
<표 1-2-4> 폐기물 에너지 기술개발 전략 로드맵 ····· 49
<표 1-3-1> 사업기획 진행 경과 ····· 54
<표 1-3-2> 타겟 시장과 코어기술 연계성 ····· 57
<표 2-1-1> 분산형 전원 세부 적용기준 ····· 60
<표 2-1-2> 본 기획에서 대상으로 하는 원료 물질 및 기획분야 연계방안 ····· 63
<표 2-1-3> 대상분야 선정을 위한 항목별 가중치 비중 ····· 64
<표 2-1-4> 가스 플랜트 대상 분야별 점수 ····· 65
<표 2-1-5> 가스 플랜트 대상 분야별 가중치 고려 종합 점수 및 등수 ····· 65
<표 2-1-6> 가스 플랜트 대상 분야 1차 선정 결과(상용급 가스/액화 플랜트) ····· 65
<표 2-1-7> 가스 플랜트 대상 분야 최종 선정 결과 (합성가스 기반 수소 생산 플랜트) ····· 66
<표 2-1-8> 합성가스에 포함된 가스의 폭발 범위 ····· 67
<표 2-1-9> 오일샌드 플랜트에 적용된 모듈의 대표적 예와 크기 ····· 87
<표 2-1-10> 빅데이터 요소기술 분류 ····· 89
<표 2-2-1> 2014년 세계 1차에너지원별 최종 사용 용도별 양 ····· 94
<표 2-2-2> 한국의 천연가스 발전소, 소각시설, SRF 발전소의 환경배출 ····· 98
<표 2-2-3> 대륙별 주요 바이오매스 자원을 사용한 1차에너지 양 (2014년) ····· 100
<표 2-2-4> 국내 음식물폐기물 바이오가스 에너지화 운영시설 ····· 106
<표 2-2-5> 바이오가스화 공정 비교 ····· 107
<표 2-2-6> 기존 유기성폐기물 바이오가스화 전처리 설비 ····· 108
<표 2-2-7> 중앙집중식과 분산전원식 신규 전기설비 공급방식의 구분 ····· 123
<표 2-2-8> 2017년 세계 주요기술별 재생가능에너지 사용 전기생산 플랜트 가격 비교 ···· 124
<표 2-2-9> GNI로 구분한 국가 도시지역의 2012년 실제 폐기물발생량과 2025년 예측 발생량 ····· 129

<표 2-2-10> 석유기반 합성가스 생산량 전망 ····· 133
<표 2-2-11> 글로벌 분산전원 시장 규모 현황 및 전망 ····· 134
<표 2-2-12> 지역별 수소 소비 시장 규모 ····· 137
<표 2-2-13> 지역별 수소 시장 수익 규모 ····· 138
<표 2-2-14> 제조타입 별 수소 소비 시장 규모 ····· 138
<표 2-2-15> 응용분야별 수소 소비 시장 규모 ····· 139
<표 2-2-16> 응용분야별 수소 시장 수익 규모 ····· 139
<표 2-2-17> 세계 생활폐기물 처리 발생현황 ····· 141
<표 2-2-18> 폐기물/폐바이오매스 합성가스 분산전원 활용 세계 잠재시장 ····· 141
<표 2-2-19> 국외 합성가스 CO 및 분산전원 시장동향 ····· 141
<표 2-2-20> 국내 폐기물 합성가스 고순도 일산화탄소 원료생산 잠재시장 추정 ····· 147
<표 2-2-21> 국내 폐기물/바이오매스 가스화 합성가스 분산전원형 열병합발전 시장동향 ·· 148
<표 2-2-22> 국내 합성가스 CO 및 분산전원 시장동향 ····· 148
<표 2-2-23> 유럽 연합 각국의 바이오가스로 생산한 전력량 ····· 149
<표 2-2-24> 독일 바이오가스 플랜트 종류에 따른 플랜트 수 및 에너지 생산량 ····· 151
<표 2-2-25> 독일 바이오가스 플랜트 종류에 따른 플랜트 수 및 에너지 생산량 ····· 153
<표 2-2-26> 바이오가스 분야 국외시장 현황 및 전망 ····· 153
<표 2-2-27> 유럽 바이오가스 발생량 산정 ····· 154
<표 2-2-28> 바이오가스 기술 및 제품 PEST 분석 ····· 155
<표 2-2-29> 유기성폐자원 처리시설별 문제점 ····· 156
<표 2-2-30> 하수슬러지 소화가스 활용현황, '15년 ····· 156
<표 2-2-31> 바이오가스 통합처리 개요 ····· 157
<표 2-2-32> 바이오매스(유기성)의 영양 조건 및 영양 특성 ····· 157
<표 2-2-33> 바이오가스 통합처리 우수 사례 ····· 158
<표 2-2-34> 식품산업클러스터 추진 현황 ····· 159
<표 2-2-35> 주요 바이오매스(유기성) 자원별 에너지화 단계별 목표 ····· 160
<표 2-2-36> 바이오가스 분야 국내시장 현황 및 전망 ····· 160
<표 2-2-37> 바이오가스 생산을 통한 시장효과 산출 근거 ····· 161
<표 2-2-38> 국내 산업용 수소 총 공급가능량 ····· 170
<표 2-2-39> 국내 유통되는 수소의 생산공정별 비율 ····· 171
<표 2-2-40> 합성가스 생산 기술 국내 Supply chain ····· 176
<표 2-2-41> 바이오가스 생산기술 국내 Supply chain ····· 177
<표 2-2-42> 잉여전기 활용 수소 생산 및 산소 생산 기술 (P2G) 국내 Supply chain ····· 178
<표 2-2-43> 개질 및 변환 기술 국내 Supply chain ····· 178
<표 2-2-44> 정제 및 분리 기술 국내 Supply chain ····· 179
<표 2-2-45> 합성가스 생산 기술 해외 주요 업체 현황 ····· 180
<표 2-2-46> 바이오가스 생산기술(혐기소화 기술) 해외 주요 업체 현황 ····· 180
<표 2-2-47> 잉여전기 활용 수소 생산 및 활용 기술(P2G) 해외 주요 업체 현황 ····· 181
<표 2-2-48> 개질 및 변환 기술 해외 주요 업체 현황 ····· 181

<표 2-2-49> 정제 및 분리 기술 해외 주요 업체 현황 ····· 181
<표 2-2-50> 플랜트 산업 분야별 주요 정부 지원 사업추진 내용 ····· 183
<표 2-2-51> 주요 분산전원 기술간 비교(2000년 자료) ····· 189
<표 2-2-52> 미국 EPACT2005 주요 내용 요약 ····· 192
<표 2-2-53> 중국 5개년 계획 목표(11회 & 12회) ····· 193
<표 2-2-54> 국외 국가별 바이오가스 정책 동향 ····· 195
<표 2-2-55> 바이오가스 분야 비전 및 목표 ····· 197
<표 2-2-56> 부문별 수소 생산량 예상 ····· 199
<표 2-2-57> 시장 동향 및 해외 메이저사들의 기술개발 전략 분석에 의한 주요 시사점 ··· 201
<표 2-2-58> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 대내외 환경 분석을 통한 시사점 ····· 202
<표 2-3-1> 5개 분야별 지난 2018년도 R&D 투자현황 ····· 204
<표 2-3-2> 3개 분야별 NTIS 검색어 및 관련 조회건수 ····· 204
<표 2-3-3> 2018년도 정부연구개발예산의 3대 분야 9대 중점투자방향 ····· 205
<표 2-3-4> 정부 부처별 연구개발예산 증감 현황(2017～2018) ····· 206
<표 2-3-5> 특허 검색을 위한 검색 DB 및 검색 범위 ····· 208
<표 2-3-6> 분석대상 기술 분류 ····· 209
<표 2-3-7> 특허 검색식 ····· 210
<표 2-3-8> 유효특허 선별 결과 ····· 212
<표 2-3-9> 주요 출원인(TOP20)의 역점분야 및 공백기술 현황 ····· 219
<표 2-3-10> 세부 요소기술의 국가별 HHI 값 기반 시장 특성 구분 ····· 221
<표 2-3-11> 특허분석을 통한 기술위치 및 연구개발 방향 ····· 222
<표 2-3-12> 논문분석 검색식 ····· 224
<표 2-3-13> 기술별 논문 수 ····· 226
<표 2-3-14> 연도별 논문 수 추이 ····· 227
<표 2-3-15> 논문 게재 상위 10개국 ····· 228
<표 2-3-16> 기술 분야별 피인용수 ····· 228
<표 2-3-17> 국가별 피인용수 상위 10개국 ····· 229
<표 2-3-18> 기술별 논문 수 ····· 230
<표 2-3-19> 우리나라의 피인용 현황 ····· 231
<표 2-3-20> 합성가스 생산 기술 국내외 대표기관 비교 분석 ····· 232
<표 2-3-21> 바이오가스 생산 (혐기 소화) 기술 국내외 대표기관 비교 분석 ····· 232
<표 2-3-22> 잉여전기 이용 수소 생산 기술 국내외 대표기관 비교 분석 ····· 233
<표 2-3-23> 개질 및 변환 기술 국내외 대표기관 비교 분석 ····· 233
<표 2-3-24> 정제 및 분리 기술 국내외 대표기관 비교 분석 ····· 233
<표 2-3-25> 합성가스 생산 기술 국내 연구개발 인프라 현황 ····· 234
<표 2-3-26> 바이오가스 생산(혐기소화) 기술 국내 연구개발 인프라 현황 ····· 235
<표 2-3-27> 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 국내 연구개발 인프라 현황 ····· 236
<표 2-3-28> 개질 및 변환 기술 국내 연구개발 인프라 현황 ····· 236
<표 2-3-29> 정제 및 분리 기술 국내 연구개발 인프라 현황 ····· 237

<표 2-3-30> 중분류 기술별 기존 국내기술의 한계점 및 해결 방안 분석을 통한 개발전략 238
<표 3-1-1> 합성가스 생산 분야의 기존 사업 및 과제 현황 ····· 239
<표 3-1-2> 바이오가스 생산 분야의 기존 사업 및 과제 현황 ····· 239
<표 3-1-3> 개질 및 변환기술 분야의 기존 사업 및 과제 현황 ····· 240
<표 3-1-4> 정제 및 분리 분야의 기존 사업 및 과제 현황 ····· 241
<표 3-2-1> 합성가스 생산 분야의 기존 대표 사업 성과분석 ····· 245
<표 3-2-2> 바이오가스 생산 분야의 기존 대표 사업 성과분석 ····· 246
<표 3-2-3> 개질 및 변환 분야의 기존 대표 사업 성과분석 ····· 247
<표 3-2-4> 개질 및 변환 분야의 기존 대표 사업 성과분석 ····· 248
<표 3-2-5> 정제 및 분리 분야의 기존 대표 사업 성과분석 ····· 249
<표 3-3-1> 기존 사업의 성과 활용 방안 (합성가스 생산 기술) ····· 254
<표 3-3-2> 기존 사업의 성과 활용 방안 (바이오가스 생산 기술) ····· 255
<표 3-3-3> 기존 사업의 성과 활용 방안 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술) · 255
<표 3-3-4> 기존 사업의 성과 활용 방안 (개질 및 변환 기술) ····· 256
<표 3-3-5> 기존 사업의 성과 활용 방안 (정제 및 분리 기술) ····· 256
<표 4-1-1> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 해당기술의 국가전략기술과 연관성 ····· 258
<표 4-1-2> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야 국가전략기술의 국내 기술수준 ····· 259
<표 4-1-3> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야 국가전략기술의 연구주체별 기술수준 · 260
<표 4-1-4> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야 국가전략기술의 외국과의 기술수준 격차 ····· 261
<표 4-1-5> 기술수요조사서 기술개발 과제명 및 연구내용 정리 (합성가스 기반 CO_2 free 수소 추출 플랜트 건설기술) ····· 264
<표 4-1-6> 기술수요조사 제안 기술명 및 반영 여부 (합성가스 기반 수소 생산 플랜트 ·· 269
<표 4-1-7> 공청회 질의 응답 내용 ····· 274
<표 4-2-1> 동 사업과 연관된 대형 정부지원 프로젝트 ····· 278
<표 4-2-2> 국토교통부 고유 사업 리스트 ····· 279
<표 4-2-3> 5개 중분류 기술분야별 과제수준의 중복 가능성 검토 내용 ····· 281
<표 4-2-4> 합성가스 생산 기술 관련 정부 R&D과제 진행 현황 ····· 285
<표 4-2-5> 합성가스 생산 플랜트 관련 유사과제 리스트 ····· 285
<표 4-2-6> 바이오가스를 이용한 수소 생산 기술 관련 유사과제 리스트 ····· 288
<표 4-2-7> P2G 기술: 산업부 한국에너지기술평가원(KETEP) 2018년 추진 공고된 브랜드(대형) 과제 RFP 내용 ····· 290
<표 4-2-8> 개질 및 변환 기술을 이용한 수소 생산 기술 관련 유사과제 리스트 ····· 292
<표 4-2-9> 합성가스/바이오가스 정제 및 수소 분리 관련 유사과제 리스트 ····· 294
<표 4-2-10> 연계 및 활용 가능 국내 기술 (합성가스 생산 기술) ····· 297
<표 4-2-11> 연계 및 활용 가능 국내 기술 (바이오가스 생산 기술) ····· 298
<표 4-2-12> 연계 및 활용 가능 국내 기술 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술) 299
<표 4-2-13> 연계 및 활용 가능 국내 기술 (개질 및 변환 기술) ····· 299
<표 4-2-14> 연계 및 활용 가능 국내 기술 (정제 및 분리 기술) ····· 300

<표 5-1-1> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 SWOT 분석 ····· 304
<표 5-1-2> 합성가스 생산 기술 SWOT 분석 ····· 305
<표 5-1-3> 바이오가스 생산 기술 SWOT 분석 ····· 305
<표 5-1-4> 잉여진기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 SWOT 분석 ····· 306
<표 5-1-5> 개질 및 변환 기술 SWOT 분석 ····· 306
<표 5-1-6> 정제 및 분리 기술 SWOT 분석 ····· 307
<표 5-1-7> 가스 플랜트 대상분야 순위 결정 (가스·액화 플랜트 기획 결과) ····· 311
<표 5-1-8> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 대상 분야 선정 결과 (기획 최종) ····· 312
<표 5-1-9> 분산형 가스플랜트 세부과제 및 세부기술 분류 ····· 315
<표 5-1-10> 수소 생산 플랜트의 세부기술별 핵심 실증적용 기술 ····· 315
<표 5-1-11> 수소 생산 플랜트의 세부기술별 핵심 R&D 필요 기술 ····· 318
<표 5-2-1> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 사업에 대한 논리모형 ····· 336
<표 5-2-2> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 전략 수립 결과 ····· 339
<표 5-2-3> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술의 핵심기술 확보 방안 ····· 340
<표 5-2-4> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술의 핵심특허 극복 방안 ····· 340
<표 5-2-5> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술의 해외 경쟁기술과의 차별화 방안 340
<표 5-2-6> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술 전략 수립 결과 ····· 342
<표 5-2-7> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술의 핵심기술 확보 방안 ····· 342
<표 5-2-8> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술의 핵심특허 극복 방안 ····· 343
<표 5-2-9> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술의 해외 경쟁 기술과의 차별화 방안 ····· 343
<표 5-2-10> 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 전략 수립 결과 ····· 345
<표 5-2-11> 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술의 핵심기술 확보 방안 ····· 345
<표 5-2-12> 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술의 핵심특허 극복 방안 ····· 346
<표 5-2-13> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술의 해외 경쟁 기술과의 차별화 방안 ····· 346
<표 5-2-14> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 전략 수립 결과 ····· 348
<표 5-2-15> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술의 핵심기술 확보 방안 · 348
<표 5-2-16> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술의 핵심특허 극복 방안 ··· 349
<표 5-2-17> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술의 해외 경쟁 기술과의 차별화 방안 ····· 349
<표 5-2-18> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 수소 분리 기술 전략 수립 결과 ····· 350
<표 5-2-19> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 수소 분리 기술의 핵심기술 확보 방안 ··· 351
<표 5-2-20> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 수소 분리 기술의 핵심특허 극복 방안 ··· 351
<표 5-2-21> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 수소 분리 기술의 해외 경쟁 기술과의 차별화 방안 ····· 351

<표 5-2-22> 세부기술별 국내 주요 성과 및 연계 방안 (합성가스 생산 기술) ····· 360
<표 5-2-23> 세부기술별 국내 주요 성과 및 연계 방안 (바이오가스 생산 기술) ····· 360
<표 5-2-24> 세부기술별 국내 주요 성과 및 연계 방안 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술) ····· 361
<표 5-2-25> 세부기술별 국내 주요 성과 및 연계 방안 (개질 및 변환 기술) ····· 361
<표 5-2-26> 세부기술별 국내 주요 성과 및 연계 방안 (정제 및 분리 기술) ····· 362
<표 6-1-1> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발의 최종 성과물 ····· 368
<표 6-1-2> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발의 목표 성능물 ····· 368
<표 6-1-3> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발의 산출물 ····· 369
<표 6-1-4> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발 연구설계도 총괄표 ····· 370
<표 6-1-5> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발의 최종 성과물 ····· 371
<표 6-1-6> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발의 목표 성능 ····· 371
<표 6-1-7> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발의 산출물 ····· 372
<표 6-1-8> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발 연구설계도 총괄표 ····· 373
<표 6-1-9> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술 개발의 최종 성과물 ····· 374
<표 6-1-10> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술 개발의 목표 성능 ····· 374
<표 6-1-11> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술 개발의 산출물 ····· 375
<표 6-1-12> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술 개발 연구설계도 총괄표 ····· 376
<표 6-1-13> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발의 최종 성과물 ····· 377
<표 6-1-14> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발의 목표 성능 ····· 377
<표 6-1-15> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발의 산출물 ····· 378
<표 6-1-16> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발 연구설계도총괄표 · 379
<표 6-1-17> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발의 최종 성과물 ····· 380
<표 6-1-18> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발의목표 성능 380
<표 6-1-19> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발의산출물 ··· 381
<표 6-1-20> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발 연구설계도 총괄표 ····· 382
<표 6-1-21> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술 개발의 최종 성과물 ····· 383
<표 6-1-22> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술 개발의 목표 성능 ····· 383
<표 6-1-23> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술 개발의 산출물 ····· 384
<표 6-1-24> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술 개발 연구설계도 총괄표 ····· 385
<표 6-2-1> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 개발 목표 ····· 390
<표 6-2-2> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 391
<표 6-2-3> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 392

<표 6-2-4> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 유사과제 분석 ····· 393
<표 6-2-5> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 393
<표 6-2-6> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안 ····· 394
<표 6-2-7> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 확보전략 ····· 394
<표 6-2-8> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 구성기술 추진 계획 ····· 396
<표 6-2-9> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 개발 목표 ····· 398
<표 6-2-10> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 399
<표 6-2-11> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 399
<표 6-2-12> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 유사과제 분석 ····· 400
<표 6-2-13> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 401
<표 6-2-14> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안 ····· 402
<표 6-2-15> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 확보전략 ····· 402
<표 6-2-16> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 구성기술1 추진 계획 ····· 403
<표 6-2-17> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 구성기술2 추진 계획 ····· 404
<표 6-2-18> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 개발 목표 ····· 405
<표 6-2-19> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 406
<표 6-2-20> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 407
<표 6-2-21> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 유사과제 분석 ····· 408
<표 6-2-22> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 408
<표 6-2-23> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 한계점 및 기술개발방안 ····· 409
<표 6-2-24> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 확보전략 ····· 409
<표 6-2-25> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 구성기술 추진 계획 ····· 410
<표 6-2-26> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 개발 목표 ····· 412
<표 6-2-27> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 414
<표 6-2-28> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 414
<표 6-2-29> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 유사과제 분석 ····· 415
<표 6-2-30> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 416
<표 6-2-31> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안 ····· 417
<표 6-2-32> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 확보전략 ····· 418
<표 6-2-33> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 구성기술1 추진 계획 ····· 419
<표 6-2-34> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 구성기술2 추진 계획 ····· 419
<표 6-2-35> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 개발 목표 ····· 421
<표 6-2-36> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 422
<표 6-2-37> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 423
<표 6-2-38> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 유사과제 분석 ····· 424
<표 6-2-39> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 425
<표 6-2-40> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안 ····· 426
<표 6-2-41> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 확보전략 ····· 426
<표 6-2-42> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 구성기술1 추진 계획 ····· 427

<표 6-2-43> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 구성기술2 추진 계획 ····· 428
<표 6-2-44> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3의 개발 목표 ····· 429
<표 6-2-45> 핵심기술 2-CRT-3의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 431
<표 6-2-46> 핵심기술 2-CRT-의 최고기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 431
<표 6-2-47> 핵심기술 2-CRT-3의 유사과제 분석 ····· 432
<표 6-2-48> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 433
<표 6-2-49> 핵심기술 R&D 필요기술 2-CRT-3의 한계점 및 기술개발방안 ····· 434
<표 6-2-50> 핵심기술 R&D 필요기술 2-CRT-3의 확보전략 ····· 434
<표 6-2-51> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3의 구성기술1 추진 계획 ····· 435
<표 6-2-52> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3의 구성기술2 추진 계획 ····· 436
<표 6-2-53> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 개발 목표 ····· 438
<표 6-2-54> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 439
<표 6-2-55> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 439
<표 6-2-56> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 유사과제 분석 ····· 440
<표 6-2-57> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 441
<표 6-2-58> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안 ····· 441
<표 6-2-59> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 확보전략 ····· 442
<표 6-2-60> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 구성기술1 추진 계획 ····· 443
<표 6-2-61> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 구성기술2 추진 계획 ····· 443
<표 6-2-62> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 개발 목표 ····· 445
<표 6-2-63> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 446
<표 6-2-64> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 446
<표 6-2-65> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 유사과제 분석 ····· 447
<표 6-2-66> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 447
<표 6-2-67> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안 ····· 448
<표 6-2-68> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 확보전략 ····· 448
<표 6-2-69> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 구성기술1 추진 계획 ····· 449
<표 6-2-70> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 개발 목표 ····· 451
<표 6-2-71> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 452
<표 6-2-72> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 452
<표 6-2-73> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 유사과제 분석 ····· 453
<표 6-2-74> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 454
<표 6-2-75> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안 ····· 455
<표 6-2-76> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 확보전략 ····· 455
<표 6-2-77> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 구성기술1 추진 계획 ····· 456
<표 6-2-78> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 개발 목표 ····· 457
<표 6-2-79> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 458
<표 6-2-80> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 458
<표 6-2-81> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 유사과제 분석 ····· 459

<표 6-2-82> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 460
<표 6-2-83> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안 ····· 460
<표 6-2-84> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 확보전략 ····· 461
<표 6-2-85> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 구성기술1 추진 계획 ····· 462
<표 6-2-86> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 개발 목표 ····· 463
<표 6-2-87> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 464
<표 6-2-88> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 464
<표 6-2-89> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 유사과제 분석 ····· 465
<표 6-2-90> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 465
<표 6-2-91> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 한계점 및 기술개발방안 ····· 466
<표 6-2-92> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 확보전략 ····· 466
<표 6-2-93> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 구성기술1 추진 계획 ····· 467
<표 6-2-94> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 개발 목표 ····· 469
<표 6-2-95> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 470
<표 6-2-96> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ····· 471
<표 6-2-97> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 유사과제 분석 ····· 472
<표 6-2-98> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 473
<표 6-2-99> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안 ····· 474
<표 6-2-100> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 확보전략 ····· 474
<표 6-2-101> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 구성기술1 및 구성기술2 추진 계획 ····· 475
<표 6-2-102> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 구성기술3 및 구성기술4 추진 계획 ····· 476
<표 6-2-103> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 개발 목표 ····· 478
<표 6-2-104> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 479
<표 6-2-105> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ···· 480
<표 6-2-106> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 유사과제 분석 ····· 481
<표 6-2-107> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 482
<표 6-2-108> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안 ····· 483
<표 6-2-109> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 확보전략 ····· 483
<표 6-2-110> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 구성기술1 및 구성기술2 추진 계획 ····· 485
<표 6-2-111> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 구성기술3 및 구성기술4 추진 계획 ····· 485
<표 6-2-112> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 개발 목표 ····· 487
<표 6-2-113> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 488
<표 6-2-114> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ···· 488
<표 6-2-115> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 유사과제 분석 ····· 489
<표 6-2-116> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 490
<표 6-2-117> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안 ····· 491
<표 6-2-118> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 확보전략 ····· 491
<표 6-2-119> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 구성기술1 추진 계획 ····· 492
<표 6-2-120> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 구성기술2 추진 계획 ····· 493

<표 6-2-121> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 개발 목표 ····· 495
<표 6-2-122> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약 ····· 496
<표 6-2-123> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교 ···· 497
<표 6-2-124> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 유사과제 분석 ····· 498
<표 6-2-125> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안 ····· 499
<표 6-2-126> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안 ····· 500
<표 6-2-127> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 확보전략 ····· 500
<표 6-2-128> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 구성기술1 추진 계획 ····· 502
<표 6-2-129> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 구성기술2 추진 계획 ····· 503
<표 6-3-1> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 상용화 기술개발 로드맵 및 성과 목표 ····· 505
<표 6-3-2> 성과목표의 선정 근거 (합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술) ····· 513
<표 6-3-3> 성과목표의 선정 근거 (고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술) ····· 514
<표 6-3-4> 성과목표의 선정 근거 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술) ····· 515
<표 6-3-5> 성과목표의 선정 근거 (합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술) · 516
<표 6-3-6> 성과목표의 선정 근거 (합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술) ····· 517
<표 6-3-7> 성과목표의 선정 근거 (합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심 기술) ····· 518
<표 6-3-8> 성과활용 및 사업화 전략 (합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술) ····· 519
<표 6-3-9> 성과활용 및 사업화 전략 (고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술) ····· 520
<표 6-3-10> 성과활용 및 사업화 전략 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술) ····· 521
<표 6-3-11> 성과활용 및 사업화 전략 (합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술) ····· 522
<표 6-3-12> 성과활용 및 사업화 전략 (합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술) ····· 523
<표 6-5-1> 본 사업으로 인한 고용 창출 효과 ····· 533
<표 7-1-1> 사업 관리방안 ····· 535
<표 7-1-2> 성과 평가 방안 예시 ····· 537
<표 7-1-3> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 기술개발 사업 전체 사업비 ····· 538
<표 7-1-4> 세부과제별 사업비 (세부 1과제 총괄) ····· 539
<표 7-1-5> 세부과제별 사업비 (세부 과제 1-1) ····· 540
<표 7-1-6> 세부과제별 사업비 (세부 과제 1-2) ····· 540
<표 7-1-7> 세부과제별 사업비 (세부 과제 1-3) ····· 541
<표 7-1-8> 세부과제별 사업비 (세부 2과제 총괄) ····· 542
<표 7-1-9> 세부과제별 사업비 (세부 과제 2-1) ····· 543
<표 7-1-10> 세부과제별 사업비 (세부 과제 2-2) ····· 544
<표 7-1-11> 세부과제별 사업비 (세부 과제 2-3) ····· 544
<표 7-1-12> 세부과제별 사업비 (세부 3과제 총괄) ····· 545

<표 7-1-13> 세부과제별 사업비 (세부 과제 3-1) ····· 546
<표 7-1-14> 세부과제별 사업비 (세부 과제 3-2) ····· 547
<표 7-1-15> 세부과제별 사업비 (세부 과제 3-3) ····· 547
<표 7-1-16> 세부과제별 사업비 (세부 과제 3-4) ····· 548
<표 7-1-17> 세부과제별 사업비 (세부 과제 3-5) ····· 548
<표 7-1-18> 세부과제별 사업비 (세부 4과제 총괄) ····· 549
<표 7-1-19> 세부과제별 사업비 (세부 과제 4-1) ····· 550
<표 7-1-20> 세부과제별 사업비 (세부 과제 4-2) ····· 551
<표 7-1-21> 세부과제별 사업비 (세부 과제 4-3) ····· 551
<표 7-1-22> 세부과제별 사업비 (세부 5과제 총괄) ····· 552
<표 7-1-23> 세부과제별 사업비 (세부 과제 5-1) ····· 553
<표 7-1-24> 세부과제별 사업비 (세부 과제 5-2) ····· 554
<표 7-1-25> 세부과제별 사업비 (세부 6과제 총괄) ····· 555
<표 7-1-26> 세부과제별 사업비 (세부 과제 6-1) ····· 555
<표 7-1-27> 세부과제별 사업비 (세부 과제 6-2) ····· 556
<표 7-1-28> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 기술개발 사업 소요 인력 ····· 558
<표 8-1-1> 예비타당성조사 운용지침(시행 2018.4.17.) 중 분석방법 관련 조항 ····· 559
<표 8-1-2> 사전타당성 조사 분석항목별 세부사항 ····· 561
<표 8-1-3 > 정책적 타당성 분석의 세부분야와 항목 ····· 562
<표 8-1-4> 기술적 타당성 분석의 세부분야와 항목 ····· 562
<표 8-1-5> R&D사업 관련 14대 주요 분석방법론 ····· 563
<표 8-1-6> 경제적 타당성 분석기준의 장·단점 비교 ····· 566
<표 8-1-7> 편익산출을 위한 항목별 설정 근거 ····· 567
<표 8-1-8> 연구개발 부문 예비타당성 조사 편익항목 ····· 569
<표 8-1-9> 경제적 타당성 분석기법의 장·단점 비교 ····· 571
<표 8-2-1> 범부처 사업으로 추진 중인 수소기술개발에서의 기술분류 체계 ····· 582
<표 8-2-2> 폐기물 에너지 기술개발 전략 로드맵 ····· 583
<표 8-2-3> 2013~2022 환경기술로드맵 관련 중점 기술 ····· 584
<표 8-2-4> 폐자원 에너지화를 위한 제도 개선 사항 ····· 585
<표 8-4-1> 합성가스 기반 수소생산 기술개발사업 소요예산 ····· 605
<표 8-4-2> 폐기물/바이오매스(가연성) 기반 합성가스 생산 플랜트 잠재시장 분석 ····· 607
<표 8-4-3> 펫코크 기반 합성가스 생산 플랜트 잠재시장 분석 ····· 608
<표 8-4-4> 합성가스 플랜트의 편익발생연도 ····· 608
<표 8-4-5> 연도별 폐기물/바이오매스(가연성) 기반 합성가스 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율 ····· 609
<표 8-4-6> 연도별 펫코크 기반 합성가스 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율 ····· 610
<표 8-4-7> 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 관련 시장전망을 위한 주요 가정 ····· 612
<표 8-4-8> 바이오매스 CO_2-free 수소 생산 플랜트의 편익발생연도 ····· 612

<표 8-4-9> 연도별 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율 ····· 613
<표 8-4-10> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트 관련 시장전망을 위한주요 가정 ····· 615
<표 8-4-11> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트의 편익발생연도 ····· 615
<표 8-4-12> 연도별 잉여전기 이용 수소생산 및 산소 활용 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율 ····· 616
<표 8-4-13> 개질 및 변환 플랜트 관련 시장전망을 위한 주요 가정 ····· 617
<표 8-4-14>개질 및 변환기술 플랜트의 편익발생연도 ····· 618
<표 8-4-15> 연도별 개질 및 변환 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율 ····· 618
<표 8-4-16> 정제 및 분리 플랜트 관련 시장전망을 위한 주요 가정 ····· 620
<표 8-4-17> 정제 및 분리 플랜트의 편익발생연도 ····· 620
<표 8-4-18> 연도별 정제 및 분리 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율 ····· 621
<표 8-4-19> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 기술개발사업 시나리오별 총 편익 ····· 622
<표 8-4-20> 시나리오별 총 경제성 분석 결과 ····· 622

그림 차례

[그림 1-1-1] 공종별 해외건설 수주액 현황 ····· 1
[그림 1-1-2] 해외건설 수주 현황 및 전망 ····· 1
[그림 1-1-3] 한·중·일 해외건설 매출액 비중 ····· 2
[그림 1-1-4] 최고기술국 대비 건설교통분야 국가전략기술별 기술수준 및 ····· 2
[그림 1-1-5] 에너지 carrier 형태별 세계 에너지 수요 ····· 3
[그림 1-1-6] 주요 국가/지역별 2016년 전기생산량과 2040년까지 전기 증가 예상량 ····· 4
[그림 1-1-7] 세계 1차 에너지원 중 전기 비중의 증기 추이 ····· 4
[그림 1-1-8] CE사의 공기 중 CO_2 포집 + 전기분해 수소를 합성하여 청정연료유를 생산하는 개념도 ····· 5
[그림 1-1-9] P2G 기반 수소이용 사회 인프라 구성도 및 시장 규모 ····· 5
[그림 1-1-10] 일본의 2030년 전기생산 원료 비중과 재생가능에너지 전기생산원 분포 목표 · 6
[그림 1-1-11] 세계 주요지역 HRS(Hydrogen Refueling Station, 수소충전소) 인프라 추진 숫자 ····· 7
[그림 1-1-12] EU의 수소생산 공급기술 방향 ····· 8
[그림 1-1-13] 미국의 수소생산 로드맵 ····· 8
[그림 1-1-14] 한국의 수소경제 활성화 로드맵에서 수소생산 방안 ····· 8
[그림 1-1-15] 일본의 화석연료 기반 해외 수소생산 도입방안 ····· 9
[그림 1-1-16] 일본의 수소사회 국내/해외 수소생산부터 활용까지 전략 요약도 ····· 10
[그림 1-1-17] 일본의 해외 수소도입과 발생 CO_2의 연계 합성천연가스화 전략 ····· 11
[그림 1-1-18] 나무 등 바이오매스 연소시 미세먼지 발생 메카니즘 ····· 12
[그림 1-1-19] RAPID 연구소 운영 중인 Test-bed 설비 예 ····· 18
[그림 1-1-20] 동남아 주요 국가들의 전기보급율 예상 추이 ····· 22
[그림 1-1-21] 합성가스 생산 기술 개발 필요성 ····· 28
[그림 1-1-22] 바이오가스 생산 기술 개략도 ····· 29
[그림 1-1-23] 프랑스의 1200 MW 전력공급 중단 및 전력저장장치 운용 예시 ····· 33
[그림 1-1-24] 분야별 에너지 저장기술 비교 ····· 33
[그림 1-1-25] 수소 사용 및 보조전기를 고려한 총 효율 ····· 35
[그림 1-1-26] 2013년 제품 가격 대비 생산단가 ····· 35
[그림 1-1-27] P2G 플랜트 기술개발 필요성 ····· 36
[그림 1-1-28] 2015년 수소 활용과 연료전지를 위한 수소 원료의 변화 ····· 37
[그림 1-1-29] 일본의 수소 전략 로드맵 ····· 37
[그림 1-1-30] 한국과 일본의 미래 수소 공급 방안 ····· 38
[그림 1-1-31] 암모니아 합성을 위한 하버-보슈법 ····· 40
[그림 1-1-32] 국제 유가와 주요 에너지원/암모니아의 가격 변동 ····· 41
[그림 1-3-1] 사업기획 추진체계 (초반) ····· 51
[그림 1-3-2] 사업기획 추진체계 (중반) ····· 52

[그림 1-3-3] 사업기획 추진체계 (후반) ····· 52
[그림 1-3-4] 사업기획 추진체계 (최종) ····· 52
[그림 1-3-5] 기획위원의 전공별 분포 ····· 53
[그림 1-3-6] 기획위원의 소속기관별 분포 ····· 53
[그림 1-3-7] 본 사업의 범위 선정 과정 ····· 57
[그림 1-3-8] 사업기획 추진 체계 ····· 58
[그림 1-3-9] 사업기획 수립 추진 절차 ····· 59
[그림 2-1-1] 바이오에너지로부터 전기를 생산하는 기술별 전기변환 효율 ····· 61
[그림 2-1-2] 합성가스 생산 기술 흐름도 ····· 66
[그림 2-1-3] 한국의 현재 수소의 생산방식과 시장 분석 ····· 68
[그림 2-1-4] 한국의 현재 일산화탄소(CO)의 생산방식과 시장 분석 ····· 68
[그림 2-1-5] 합성가스로부터 생산 가능한 연료 및 원료 물질 ····· 70
[그림 2-1-6] 저급자원 유래 합성가스의 이용 기술 흐름도 ····· 70
[그림 2-1-7] 바이오매스(유기성)로부터 메탄과 수소 생산 개념도 ····· 71
[그림 2-1-8] 혐기성소화 개념도 (Speece, 2008) ····· 72
[그림 2-1-9] 혐기성소화 시 clostridium 미생물에 의한 수소발효 기작 ····· 73
[그림 2-1-10] 고농도(75%) 메탄발효 개념도 ····· 74
[그림 2-1-11] 바이오매스(유기성)를 이용한 외부에너지 free 수소생산 공정도 ····· 75
[그림 2-1-12] P2G의 개념도 ····· 76
[그림 2-1-13] 전기에너지 저장 방식별 저장기간에 따른 경제성 비교 ····· 76
[그림 2-1-14] Power-to-Gas 플랜트 구성 가능 모델 ····· 77
[그림 2-1-15] 물전기분해 기술의 구분 ····· 78
[그림 2-1-16] 가스화를 통해 생산된 합성가스내 산성가스 제거용 탈황설비 개요도 ····· 80
[그림 2-1-17] 건식 탈황공정 개요도 ····· 81
[그림 2-1-18] 대표적인 탈황공정 ····· 82
[그림 2-1-19] 팔라듐 소재를 사용한 수소 분리막의 원리 ····· 84
[그림 2-1-20] UOP사의 중공사 형태의 수소 분리막 ····· 84
[그림 2-1-21] ICT/IoT/빅데이터와 플랜트의 융합기술 개념도 ····· 88
[그림 2-1-22] 빅데이터 정의 및 특성 ····· 88
[그림 2-1-23] ICT/IoT/빅데이터 기반의 합성가스 플랜트 운영관리시스템 개념도 ····· 90
[그림 2-1-24] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 연계 구성을 위한 기술 및 물질 흐름 개념도 ····· 91
[그림 2-2-1] 세계 1차에너지 주요원별 2035년까지의 비중 변화 예상 추기 ····· 92
[그림 2-2-2] 세계 유수 에너지전망 예측기관들의 2015-2035년 세계 에너지수요 증가분에 대한 주요 에너지원별 비중 예측 ····· 93
[그림 2-2-3] 세계 지역별 1975-2015년 기간의 전기 생산량 추세 ····· 93
[그림 2-2-4] 바이오에너지 이용 형태별 2008-2015년 기간 증가율 실적 ····· 94
[그림 2-2-5] 세계 지역별 재생가능에너지에서 생산된 1차에너지원 규모 ····· 95
[그림 2-2-6] 동남아 지역 에너지생산량의 원료별 추이 ····· 96

[그림 2-2-7] 홍콩의 폐기물 소각장 건설반대 시위 사례 ····· 96
[그림 2-2-8] 국내 폐기물 SRF 사용 자원회수시설 건설에 대한 반대 시위 사례 ····· 97
[그림 2-2-9] 세계 국가별 폐기물 시설에 대한 반대 정도 구분 ····· 97
[그림 2-2-10] 세계 50 MW급 이하 분산에너지 시장 규모 예측 ····· 99
[그림 2-2-11] 산업통상자원부의 수소기술 로드맵(안) ····· 101
[그림 2-2-12] Hydrogen Production from Solid Waste ····· 102
[그림 2-2-13] Production of Hydrogen Per Ton of Waste ····· 102
[그림 2-2-14] 타카하시 제작소 수소가스 발전 설비 ····· 103
[그림 2-2-15] 바이오수소 연구 개발 이력 ····· 109
[그림 2-2-16] 바이오수소 생산 단계에 따른 연구 개발 단계 현황 ····· 110
[그림 2-2-17] 바이오매스(유기성) 및 부생 암모니아 수소생산 공정 개요 ····· 110
[그림 2-2-18] 수소 생산기지 개념도 ····· 113
[그림 2-2-19] 수소생산 방법의 종류 및 목표 ····· 114
[그림 2-2-20] Siemens사의 초정밀 탈황기술 개요도 ····· 115
[그림 2-2-21] 상용 적용중인 Xebec사의 고순도 수소 분리용 콤팩트한 PSA 설비 ····· 116
[그림 2-2-22] 대용량 적용중인 UOP사의 수소 분리막 설비 ····· 116
[그림 2-2-23] 국내 개발 중인 황 직접 전환에 의한 습식 H_2S 제거설비 모습 ····· 117
[그림 2-2-24] 국내 덕양에너젠사에 구축된 젠스엔지니어링 사의 수소 PSA 설비 ····· 117
[그림 2-2-25] 인도에 구축된 젠스엔지니어링 사의 수소 PSA 설비 ····· 118
[그림 2-2-26] 국내 개발 중인 평판형 수소 분리막 및 모듈 ····· 118
[그림 2-2-27] 일본 수소기본전략상 수소 공급 시나리오 ····· 120
[그림 2-2-28] 세계 에너지자원 보유국과 전기공급 불균형 국가 현황 ····· 121
[그림 2-2-29] 세계 1인당 전기사용량/전기사용량 팽창 국가/지역에 대한 시장 target ····· 121
[그림 2-2-30] Mini-grid와 재생가능에너지 전기의 역할 영역 ····· 122
[그림 2-2-31] 전기수요 규모와 발전시설과 거리에 따른 최적 전기 공급방식 ····· 123
[그림 2-2-32] 원료별 생산 가능한 연료가스 종류와 시장요구사항을 반영하여 선택한 연료가스 ····· 125
[그림 2-2-33] 청정연료가스의 국내 시장수요와 시장 target ····· 126
[그림 2-2-34] 초산 생산 방식 ····· 126
[그림 2-2-35] 수소 생산방식의 변화 추이 ····· 126
[그림 2-2-36] 전 세계 폐기물에너지 시장 전망 ····· 127
[그림 2-2-37] 전 세계 폐기물관리 시장의 투자전망 ····· 128
[그림 2-2-38] 세계 국가 GDP로 구분한 도시지역의 2010년 대비 2025년 폐기물 발생량 예측 ····· 128
[그림 2-2-39] 신재생에너지원별 기여도 예측 ····· 129
[그림 2-2-40] 합성가스 이용 방법에 따른 바이오매스 가스화 플랜트 현황 ····· 130
[그림 2-2-41] 합성가스 활용 시장 현황 및 전망 ····· 130
[그림 2-2-42] 연도별 합성가스 이용 방법에 따른 바이오매스 가스화 플랜트 현황 ····· 131
[그림 2-2-43] 지역별 바이오매스 가스화 플랜트 현황 ····· 131

[그림 2-2-44] 설비 규모별 바이오매스 가스화 플랜트 현황 ····· 132
[그림 2-2-45] Feedstock distribution ····· 133
[그림 2-2-46] 세계 초산 생산량 전망 ····· 134
[그림 2-2-47] 세계 분산전원 보급전망 ····· 135
[그림 2-2-48] 세계 수소시장 전망(단위: EJ) ····· 135
[그림 2-2-49] 맥킨지의 2050 수소사회 구상 ····· 136
[그림 2-2-50] 일본 수소시장 전망(단위: MTOE) ····· 136
[그림 2-2-51] 폐기물/바이오매스 가스화 합성가스 이용 CO, H_2 생산 플랜트 Target 세계시장 규모 산정 ····· 140
[그림 2-2-52] 국내 폐기물 발생량(좌) 및 처리방법(우) 변화추이 ····· 142
[그림 2-2-53] 바이오 에너지 시장 추이 및 전망 ····· 144
[그림 2-2-54] 국내 수소 생산 및 유통 현황 ····· 145
[그림 2-2-55] 수소경제 활성화 로드맵 - 주요 목표 ····· 146
[그림 2-2-56] 바이오매스·폐기물 활용 수소 생산 ····· 146
[그림 2-2-57] 유럽연합의 바이오가스 생산을 통한 전력생산량 증가 추세 및 NREAP 로드맵에 따른 전력 생산량 목표 ····· 150
[그림 2-2-58] 독일 바이오가스 플랜트 수 및 발전용량 전망 ····· 150
[그림 2-2-59] 바이오가스 고질화 플랜트 수 및 배관망 주입량의 변화 ····· 151
[그림 2-2-60] 시장 프리미엄의 가격 구성도 ····· 152
[그림 2-2-61] 바이오가스 국내시장현황 및 전망 (단위:백만달러) ····· 155
[그림 2-2-62] 바이오매스(유기성) 통합처리 개념 ····· 158
[그림 2-2-63] 주요 바이오매스(유기성) 자원별 에너지화율 (%) ····· 159
[그림 2-2-64] 4차 신.재생 에너지 기본계획 목표 ····· 160
[그림 2-2-65] 독일의 지구온난화 대응과 이에 요구되는 재생가능 전기/에너지효율 향상을 통한 정량적 목표 ····· 162
[그림 2-2-66] 배터리 가격 변화추이 ····· 163
[그림 2-2-67] 에너지 저장기술 분류별 가격 및 효율 ····· 163
[그림 2-2-68] 분야별 에너지 저장기술 비교 ····· 164
[그림 2-2-69] 전 세계 신규 발전용량 중 신재생 발전 비중 ····· 164
[그림 2-2-70] 2015～19년에 공급될 신재생에너지의 발전단가 ····· 164
[그림 2-2-71] 독일의 주요 P2G 실증사업(E.ON사와 Audi사 시스템) ····· 165
[그림 2-2-72] 독일 아우디사의 자동차용 합성천연가스 생산 개념도 ····· 165
[그림 2-2-73] 캐나다 CE사의 공기 중 포집 1톤/일 CO_2와 전기분해 수소를 통해 ····· 166
[그림 2-2-74] 미국 천연가스 가격 추이 ····· 167
[그림 2-2-75] 세계 수소 생산 및 소비량 ····· 168
[그림 2-2-76] 2016년 및 2017년 전세계 합성가스에서 생산된 수소량 ····· 169
[그림 2-2-77] 합성가스 활용 산업의 가치 사슬 ····· 172
[그림 2-2-78] 바이오가스 활용 산업의 가치 사슬 ····· 173
[그림 2-2-79] 플랜트 산업의 가치사슬 ····· 174

[그림 2-2-80] 국내 수소사회 구축방향과 가스산업 연관 분야 ····· 175
[그림 2-2-81] 1946~2016년 기간의 원유가격 변동 추이 ····· 185
[그림 2-2-82] 스페인의 1차 에너지원에서 재생가능에너지 원별 퍼센트의 1973-2014년 변화 추이 ····· 186
[그림 2-2-83] 주요 국가별 전기생산량 중 재생가능에너지에서 생산 비율 ····· 187
[그림 2-2-84] 주요 국가들의 1차 에너지 원료별 비중 (2014년 자료) ····· 188
[그림 2-2-85] 분산전원과 중앙집중식 전기 생산 방식별 가용도(availability) 지수 ····· 189
[그림 2-2-86] 주요 국가들의 전기 생산 원료별 비중(2014년 자료) ····· 190
[그림 2-2-87] 2030년 부문별 온실가스 목표 감축량 ····· 196
[그림 2-2-88] 국가온실가스 감축 목표 ····· 198
[그림 2-3-1] 기술트리 5개 분야별 R&D 투자현황 ····· 203
[그림 2-3-2] 5개 분야 연도별 NTIS 조회 건수 ····· 204
[그림 2-3-3] 정부 R&D 부처별 예산규모 및 R&D예산 ····· 205
[그림 2-3-4] 정부전체 R&D 예산과 국토교통부 R&D 예산 비교 ····· 207
[그림 2-3-5] 국토교통부 R&D 특성 ····· 207
[그림 2-3-6] 2018년 사업별 자원 배분 현황과 증가율 비교 ····· 207
[그림 2-3-7] 국가별(左)·기술 분야(중분류)별(右) 유효특허 비중 ····· 213
[그림 2-3-8] 기술 분야(소분류)별 유효특허 비중 ····· 214
[그림 2-3-9] 국가(특허청)별 연도별 특허 동향 ····· 215
[그림 2-3-10] 기술분류(중분류)별 국가(특허청)별 연도별 특허 동향 ····· 216
[그림 2-3-11] 기술시장 성장단계(기술분류별) ····· 217
[그림 2-3-12] 우리나라 연도별 논문 수 추이 ····· 229
[그림 4-1-1] 기술수요조사 결과 분류 ····· 262
[그림 4-1-2] 기획과제 공청회 전경 ····· 270
[그림 4-1-3] 합성가스 수소생산 필요 배경 ····· 271
[그림 4-1-4] 일본의 수소생산 기술 방향 ····· 271
[그림 4-1-5] 국내 합성가스 현황 ····· 272
[그림 4-1-6] 합성가스 기반 수소 생산사업 추진의 필요성 ····· 272
[그림 4-1-7] 일본의 2040년 수소·연료전지 전략 로드맵 ····· 273
[그림 4-1-8] 패널 토론 및 질의응답 ····· 273
[그림 4-2-1] 과제 중복성 검토 프로세스 ····· 280
[그림 4-2-2] 기술트리 중분류 5개 분야에 대한 부처별 유사과제 현황 ····· 282
[그림 4-2-3] 중분류 기술별 국내 각 부처 지원 연관 기술개발 과제 목록 ····· 283
[그림 4-2-4] 중분류별 중복성 대상과제 연도별 연관도 ····· 284
[그림 4-2-5] 합성가스 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제 ····· 287
[그림 4-2-6] 바이오가스 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제 ····· 288
[그림 4-2-7] P2G 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제 ····· 289
[그림 4-2-8] 개질 및 변환 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제 ····· 293
[그림 4-2-9] 정제 및 분리 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제 ····· 293

[그림 4-2-10] 정제 및 분리 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제 ····· 296
[그림 5-1-1] 구현 가능한 사업모델에 따른 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 test-bed에서 원료 및 생산품 물질의 흐름 개념도 ····· 302
[그림 5-1-2] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 STEEP 분석 결과 ····· 303
[그림 5-1-3] 합성가스 생산, 저장 및 이용 기술 밸류체인 ····· 312
[그림 5-1-4] 중점 추진분야 선정 및 분야별 선정 원료 ····· 314
[그림 5-1-5] 본 기획과 연계하여 추진 가능한 기술 분야 ····· 314
[그림 5-1-6] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 비즈니스 모델 ····· 327
[그림 5-2-1] 비전 체계도 ····· 328
[그림 5-2-2] 나무입자의 전처리 방식에 따른 분쇄입자 크기별 분쇄소요 에너지양 ····· 329
[그림 5-2-3] 현 정부의 대선공약집과 국정운영 5개년 계획상 주요 과학기술 정책 내용 ··· 331
[그림 5-2-4] 국내 청정연료가스 시장 개념도 ····· 332
[그림 5-2-5] 본 기획의 분산전원 Target 시장 ····· 332
[그림 5-2-6] 현재의 전기,수소 국토인프라와 "재생가능에너지 전기연계 수소인프라" ····· 332
[그림 5-2-7] 본 연구개발사업의 test-bed 후보 ····· 333
[그림 5-2-8] 본 연구개발 사업의 비전과 전략목표 ····· 334
[그림 5-2-9] 본 연구개발 사업의 성과목표 ····· 335
[그림 5-2-10] 공통으로 사용할 수 있는 핵심 설비 모듈의 규모 산정 예 ····· 354
[그림 5-2-11] 플랜트 안전성 평가를 통한 신뢰도 향상 기술 개발 개념도 ····· 357
[그림 5-2-12] 수소/합성가스 플랜트 위험도 평가 및 저감 기술 개발 개념도 ····· 357
[그림 5-2-13] 수소/합성가스 플랜트 전주기 공정에 적용 가능한 기술개발 개념도 ····· 358
[그림 5-2-14] ICT/IoT 기반의 플랜트 운영관리시스템 개념도 ····· 359
[그림 5-2-15] 기존 천연가스 인프라에 연계되는 본 기획의 천연가스/합성가스/수소 인프라 핵심분야 연계도 ····· 362
[그림 5-2-16] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설기술 개발 세부과제간 기술별 연계 및 물질 흐름 개념도 ····· 363
[그림 5-2-17] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (폐자원 가스화 분야) ····· 364
[그림 5-2-18] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (바이오가스 분야) ····· 364
[그림 5-2-19] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (소규모 개질 분야) ····· 365
[그림 5-2-20] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (대규모 개질 분야) ····· 365
[그림 5-2-21] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (석탄/펫코크 분야) ····· 366
[그림 5-2-22] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (바이오매스 분야) ····· 366
[그림 5-2-23] 중분류 기술 간의 연계에 의한 시너지 효과의 예 ····· 367
[그림 5-2-24] 중분류 기술과 타부처 개발 기술과의 연계에 의한 시너지 효과의 예 ····· 367
[그림 6-1-1] 국내외 폐기물/바이오매스 가스화 플랜트 설비 규모 현황 ····· 386
[그림 6-1-2] 국내외 바이오가스 플랜트 설비 규모 현황 ····· 387
[그림 6-1-3] 국내외 중소형 P2G 플랜트 설비 규모 현황 ····· 387
[그림 6-2-1] 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화에 의한 수소추출 개념도 ····· 390
[그림 6-2-2] 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1 기술개발 로드맵 ····· 395

[그림 6-2-3] 50톤/일급 펫코크 순산소 가스화 시스템 구성도의 예 ····· 397
[그림 6-2-4] 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2 기술개발 로드맵 ····· 403
[그림 6-2-5] 바이오매스(가연성) 반탄화 시스템 구성도의 예 ····· 405
[그림 6-2-6] 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3 기술개발 로드맵 ····· 410
[그림 6-2-7] 50톤/일급 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 시스템 구성도의 예 ····· 412
[그림 6-2-8] 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1 기술개발 로드맵 ····· 418
[그림 6-2-9] 50톤/일급 통합 바이오수소 플랜트 구성 예 ····· 420
[그림 6-2-10] 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2 기술개발 로드맵 ····· 427
[그림 6–2-11] 유기성폐기물 에너지화 및 부생 암모니아 수소생산 공정 개요도 ····· 429
[그림 6-2-12] 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3 기술개발 로드맵 ····· 435
[그림 6-2-13] 1 MW 수전해 시스템 구성도의 예 ····· 437
[그림 6-2-14] 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1 기술개발 로드맵 ····· 442
[그림 6-2-15] 1 MW P2G 플랜트 산소활용 구성도의 예 ····· 444
[그림 6-2-16] 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2 기술개발 로드맵 ····· 449
[그림 6-2-17] 천연가스 개질 시스템 구성도의 예 ····· 450
[그림 6-2-18] 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1 기술개발 로드맵 ····· 456
[그림 6-2-19] 천연가스 개질 시스템 구성도의 예 ····· 457
[그림 6-2-20] 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2 기술개발 로드맵 ····· 461
[그림 6-2-21] 암모니아 개질 시스템 구성도의 예 ····· 463
[그림 6-2-22] 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3 기술개발 로드맵 ····· 467
[그림 6-2-23] 합성가스/바이오가스 고도 정제 시스템 구성도의 예 ····· 468
[그림 6-2-24] 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1 기술개발 로드맵 ····· 475
[그림 6-2-25] 고순도 수소 분리 시스템 구성도의 예 ····· 477
[그림 6-2-26] 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2 기술개발 로드맵 ····· 484
[그림 6-2-27] 모듈화 플랜트의 개념도 (오일샌드 플랜트의 예) ····· 486
[그림 6-2-28] 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1 기술개발 로드맵 ····· 492
[그림 6-2-29] ICT 적용 합성가스 기반 수소 생산플랜트 운영관리 시스템 개념도 ····· 494
[그림 6-2-30] 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2 기술개발 로드맵 ····· 501
[그림 6-3-1] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술개발 우선 순위 및 기술개발 일정 ····· 504
[그림 6-3-2] 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술개발 로드맵 ····· 507
[그림 6-3-3] 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설기술 개발 로드맵 ····· 507
[그림 6-3-4] 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발 로드맵 ····· 508
[그림 6-3-5] 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발 로드맵 ····· 508
[그림 6-6] 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발 로드맵 ····· 509
[그림 6-3-7] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술 개발 로드맵 ····· 509
[그림 6-3-8] 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵 (합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술) ····· 510
[그림 6-3-9] 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵 (고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free

수소 생산 플랜트 건설 기술) ····· 510
[그림 6-3-10] 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술) ····· 511
[그림 6-3-11] 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵 (합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술) ····· 511
[그림 6-3-12] 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵 (합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술) ····· 512
[그림 6-5-1] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트와 전・후방 산업 연관 관계 ····· 528
[그림 7-1-1] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 사업 추진체계 ····· 534
[그림 8-1-1] 사업목표와 이슈/문제와의 연계성 분석틀 ····· 564
[그림 8-1-2] 편익비(BCR)와 내부수익률의 산출 과정 ····· 565
[그림 8-1-3] 정(+)의 가치 증가와 부(-)의 가치 감소에 따른 직접적 편익 적용 과정의 예 568
[그림 8-1-4] 간접적 편익 정의 및 산정방법 ····· 572
[그림 8-2-1] 일본 정부의 호주/브루나이 정부와 석탄가스화, 천연가스 개발을 통한 해외수소 생산 협업사례 ····· 573
[그림 8-2-2] 기후변화 협약에 따른 신기후체제로의 돌입 이력 ····· 575
[그림 8-2-3] 수소 경제의 전·후방 산업적 파급효과 ····· 575
[그림 8-2-4] 수소 경제에 의한 경제적 및 사회적 파급효과 ····· 576
[그림 8-2-5] 국내 음식물류 폐기물 처리장 현황 ····· 578
[그림 8-3-1] 호주의 수소생산을 위해 제시한 기술적 방안 ····· 589

수식 차례

[수식 8-4-1] 합성가스 플랜트 기대 매출액의 구성 ····· 606
[수식 8-4-2] 합성가스 플랜트 매출 편익 산출식 ····· 606
[수식 8-4-3] 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 기대 매출액의 구성 ····· 611
[수식 8-4-4] 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 매출 편익 산출식 ····· 611
[수식 8-4-5] 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트 기대 매출액의 구성 ····· 614
[수식 8-4-6] 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트 매출 편익 산출식 ····· 614
[수식 8-4-7] 개질 및 변환기술 플랜트 기대 매출액의 구성 ····· 616
[수식 8-4-8] 개질 및 변환기술 플랜트 매출 편익 산출식 ····· 617
[수식 8-4-9] 정제 및 분리 플랜트 기대 매출액의 구성 ····· 619
[수식 8-4-10] 정제 및 분리기술 플랜트 매출 편익 산출식 ····· 619

제 1 장 사업 개요

제1절 배경 및 필요성

1. 사업 추진배경

□ **한국 플랜트 경쟁력 약화와 해외시장 위축 심화. 특히, 첨단 플랜트 기술수준은 최근 급격 하락 중**

○ 플랜트가 포함된 해외건설 수주액이 최근 2011~2013년의 반토막 수준

- 한국은 해외건설 수주에서 플랜트가 60% 이상 차지
- 2016년 플랜트 분야 해외수출 수주 감소율은 전년 대비 50% 수준

< 공종별 해외건설 수주액 현황 >

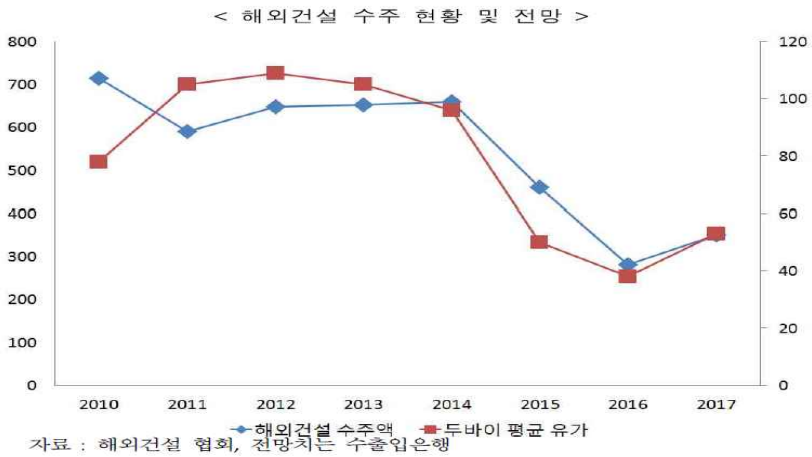
(단위 : 억달러)

공 종	2014		2015		2016		증감율 (%)
	건수	금액	건수	금액	건수	금액	
계	708	660	697	461	606	282	△38.8
토 목	63	56.6	70	85	53	64.4	△24.2
건 축	244	49.3	245	71.1	201	53.3	△25.0
플 랜 트	75	517.2	50	264.9	56	132.4	△50.0
전 기	45	14	34	8.5	52	14.8	74.1
통 신	5	1.9	15	1.8	5	0.03	△98.3
용 역	276	21	283	30	239	16.9	△43.7

자료 : 해외건설협회

[그림 1-1-1] 공종별 해외건설 수주액 현황

(출처: 2017년 건설사업 위기와 기회요인 점검, 한국수출입은행, 2017)



[그림 1-1-2] 해외건설 수주 현황 및 전망

(출처: 2017년 건설사업 위기와 기회요인 점검, 한국수출입은행, 2017)

○ 한국 건설사의 성장해법은 해외시장 개척뿐 (출처: 수출입은행 2017 이슈페이퍼, 2017.04)

- 한국은 내수시장 규모가 작아 해외시장 중요도가 높은 비중 차지

  * 주요 경쟁국 내수 건설시장 비중: 중국 86%, 일본 80%

표 10 한·중·일 해외건설 매출액 및 비중

단위 : 억 달러, %

연도	한국		중국		일본	
	해외 매출액	비중	해외 매출액	비중	해외 매출액	비중
2009	163.4	31.4	505.9	17.1	175.7	18.6
2010	183.1	34.6	571.6	15.0	155.7	17.1
2011	257.7	41.9	627.8	14.2	188.4	17.8
2012	414.1	50.3	671.7	13.4	210.2	20.6
2013	424.2	49.0	791.4	13.9	222.4	23.1
2014	370.6	46.3	900.2	14.0	218.1	24.0

자료 : 해외건설협회

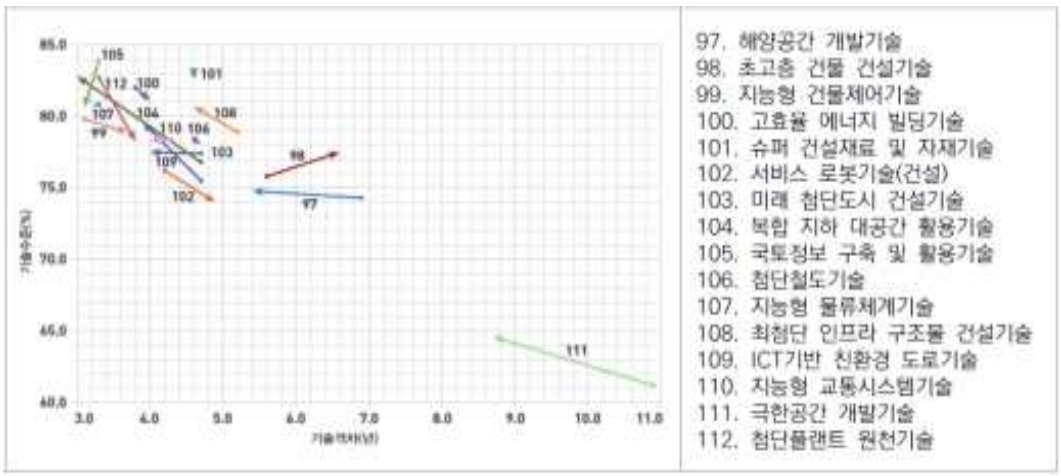
[그림 1-1-3] 한·중·일 해외건설 매출액 비중
(출처: 2017년 건설업 위기와 기회요인 점검, 한국수출입은행, 2017)

- 국내 플랜트 시장 규모가 작아 플랜트 분야는 필연적으로 해외시장 수출을 염두에 두고 접근이 필연적

○ 하지만 한국의 첨단플랜트 기술수준은 최근 급격히 하락 중

- 2014년 대비 첨단플랜트 원천기술 수준은 82.7%에서 78.3%로 크게 하락 (전체 건설교통 분야 기술수준 조사 항목 중 가장 크게 감소)

  * 첨단플랜트: 중장기 미래플랜트 건설시장 진출을 위한 선진국 수준의 탈추격형 신공정 라이센스화 원천기술



[그림 1-1-4] 최고기술국 대비 건설교통분야 국가전략기술별 기술수준 및 기술격차 변동 (2014-2016) (출처: 2016년 기술수준 평가, KISTEP, 2017/7)

□ **플랜트 산업은 고부가가치 지식집약적 대표적 산업으로서, 합성가스 및 수소 생산 플랜트는 실증 test-bed를 통한 기술개발에 적임 분야**

○ 합성가스/수소 플랜트는 국내 자체 건설 수요도 많아 준상업용 규모의 국내기술 실증용 test-bed 추진에 유리

- (국내 수요처) 바이오매스/폐기물을 사용한 청정 연료가스, 고순도 일산화탄소/수소가스

○ 산재된 국내 pilot 규모 관련기술 개발 결과들을 결합 및 추가 개발하여 실증규모로 추진할 적정 대상

- 플랜트 산업 특성상 실제 건설과 운영 실적의 입증이 시장 진출에 긴요

○ 최근 수소사회 화두가 부각되면서 수소생산 플랜트가 부각되는 추세

- 일본은 “에너지 안보”와 “제조업 활력”이라는 두 개 키워드와 잘 맞는 수소사회를 위한 플랜트기술 우위 확보에 전력 중

  * 2011년 동일본 대지진으로 원자력발전에 중대한 타격을 받은 후 세계에서 가장 치열하게 수소경제 인프라 확대에 주력

- 중국도 자국 제조업 활력과 글로벌 에너지 시장 참여정책의 일환으로 수소관련 기술경쟁에 적극 참여 시작

  * FC-Expo(동경)에 2019년 10개 업체 참여에서 2020년 60여개 회사 사전예약

  * 2030년에 세계 최대 수준인 100만대의 수소차 생산능력과 1,000기 이상 충전소 보급 구상

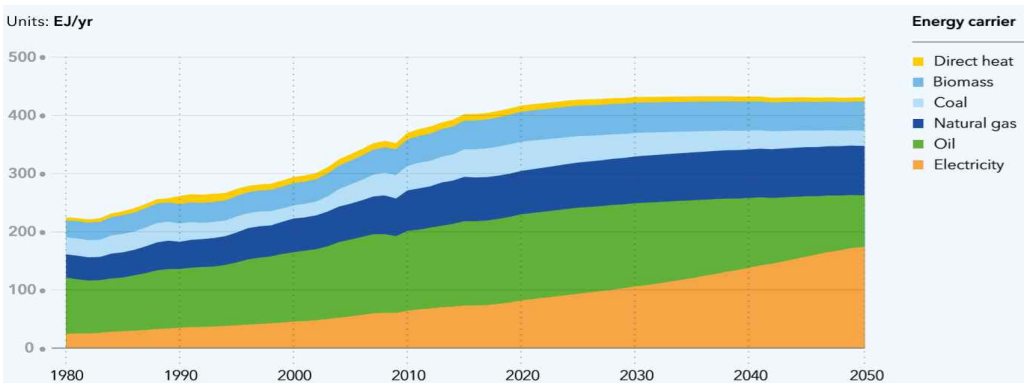
□ **21세기 주요 에너지원은 천연가스, 전기, 초청정연료유와 더불어 수소가 대세이며, 재생가능에너지원 전기와 CO_2의 고부가가치 가스화/연료화가 부각**

○ 기존 구비된 사회 에너지 인프라는 천연가스, 전기와 액체연료를 기반으로 지속 발전이 예상

- 2030년 이후 전기의 비중이 가장 크게 증가로 예측

  * 전기는 청정하고 이용 편리성으로 선호도 지속 증가 예상

- 액체연료는 점차 축소되며 환경오염 감소를 위한 초청정 연료유로 대체 예상



[그림 1-1-5] 에너지 carrier 형태별 세계 에너지 수요

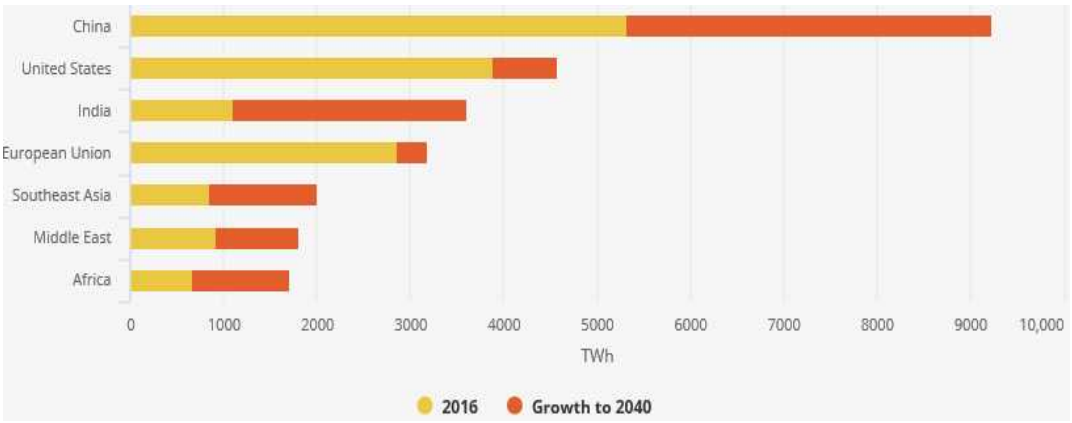
(출처: Energy Transition Outlook 2017, DNV)

○ 세계에너지기구 예측에 따르면 2040년까지 세계 최종에너지 수비 증가량의 40%가 전기이며, BP 에너지 전망에서도 2035년 전기가 1차 에너지원의 47% 차지 예상

- 지난 25년간 원유가 담당했던 역할과 동일한 전기 증가량
- 중국, 인도, 동남아, 중동, 아프리카의 개발도상국 중심으로 크게 증가 예상
- “미래는 전기화“라는 세계에너지기구 보고서 내용의 핵심은 전기차 보급

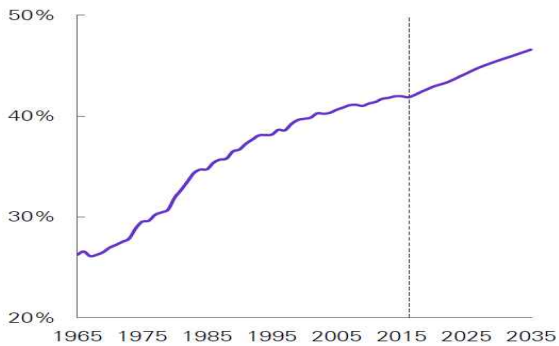
  * 세계 전기차 보급: 2017년 기준 200만대에서 2040년 2.8억대로 예상
- BP 에너지보고서는 2015년 세계 1차에너지원 중 전기 비중이 42%였으며, 2035년경 47%까지 증가를 예상

  * 세계 에너지사용량 증가되는 추세에서도 전기 비중 지속 증가 예상



[그림 1-1-6] 주요 국가/지역별 2016년 전기생산량과 2040년까지 전기 증가 예상량

(출처: World Energy Outlook 2017, IEA)



[그림 1-1-7] 세계 1차 에너지원 중 전기 비중의 증기 추이

(출처: BP Energy Outlook, 2017)

○ 청정하면서 사용이 용이한 가스/액체연료유 사용 확대가 대세이며, 특히 수소 에너지원을 저렴하게 확보하여야 할 필요성이 매우 강하나 아직 경제성 미확보로 기술개발과 실증이 요구

○ 재생가능에너지 전기 생산량의 급격한 확대로 발생된 기존 전기 인프라 수용에 한계문제를 CO_2와 결합시키는 기술개발 방식으로 해결 노력이 시작

- 지구온난화 문제 해결과 잉여 재생가능에너지로부터 생산되는 전기 활용을 결합시킨

수소, 합성천연가스 생산이 기술적으로 가능하나 경제성 확보까지는 미도달

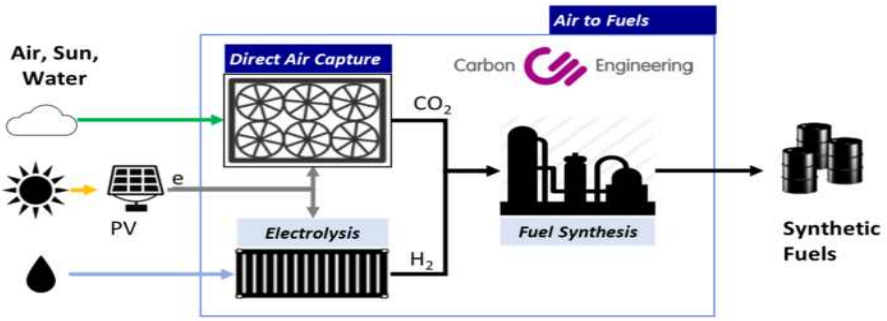
□ **재생에너지 생산 비활용 전기를 가스(수소, 메탄), 청정연료유로 변환 장기저장 활용하는 기술기반 시작 단계**

○ 유럽연합은 재생가능에너지(풍력, 태양광)에서 생산되는 비활용 전기로부터 수소, 천연가스를 생산하는 P2G(Power-To-Gas) 실증 단계

- 한국은 P2G 개념연구 시작단계로 산업부, 미래부 등 각 부처에서 경쟁적으로 기술개발 기획 중

○ 기후변환 대응 차원의 CO_2 포집과 전기분해 수소를 결합시킨 합성천연가스, 청정연료유 생산이 상업적으로 가능해지는 시기 곧 도래 예상

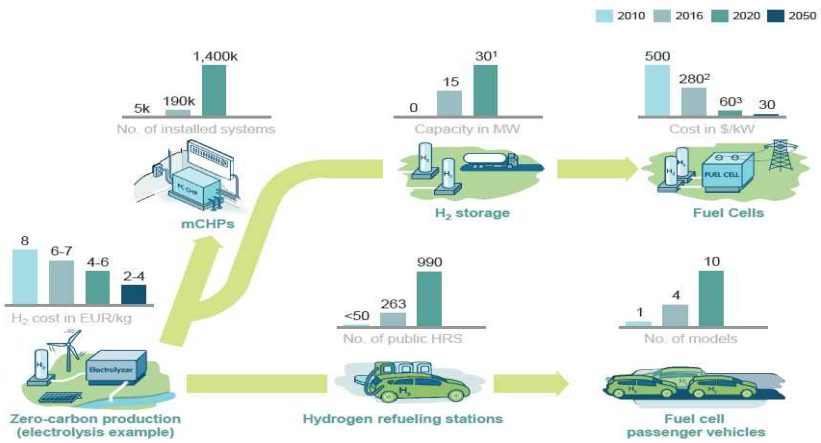
- 캐나다 Carbon Engineering사의 Air-to-Fuel 사업이 대표적 사례



[그림 1-1-8] CE사의 공기 중 CO_2 포집 + 전기분해 수소를 합성하여 청정연료유를 생산하는 개념도

○ 한국의 '재생에너지3020' 계획에 따른 2030년까지 재생에너지 20% 사회 구현 시 비활용(잉여) 전기의 효율적 사용은 필수

- ESS 등 산업부 선호 단기저장 방식 대비 P2G는 가스(수소, 천연가스) 형태로 변환하여 기존 가스인프라 사용의 장기저장 활용 개념



[그림 1-1-9] P2G 기반 수소이용 사회 인프라 구성도 및 시장 규모

(출처: 수소 Council, 2017/01)

☐ Technology-based 수소자원 확보 가능 시대 도래

○ 에너지는 더 이상 자원이 아니라 기술로 정의되는 시대에 진입

- 아직 확실한 중소형 플랜트 기술은 시작 단계로 한국에 기회 존재

○ 지하자원에서 자원을 채굴하는 방식이 아닌 기존 저급 또는 잉여 자원으로부터 수소를 변환/합성하여 사용하는 시대 도래

- 잉여전기에서 수소 생산(P2G), 천연가스/바이오가스 및 쓰레기/바이오매스 등에서 합성가스를 생산한 후 수소를 생산하는 방식이 대표적

○ 이들 잉여 또는 저급자원으로부터 수소로 변환/합성하는 기술을 보유하면 미래의 청정자원인 수소 확보와 신산업 창출의 이중 효과

○ 한국, 일본, 중국이 수소분야 주도권을 위한 기술 및 경제성 경쟁 최근 본격화

- 미국, EU도 기술선점 위한 정부/EU 차원의 다양한 지원 지속 중

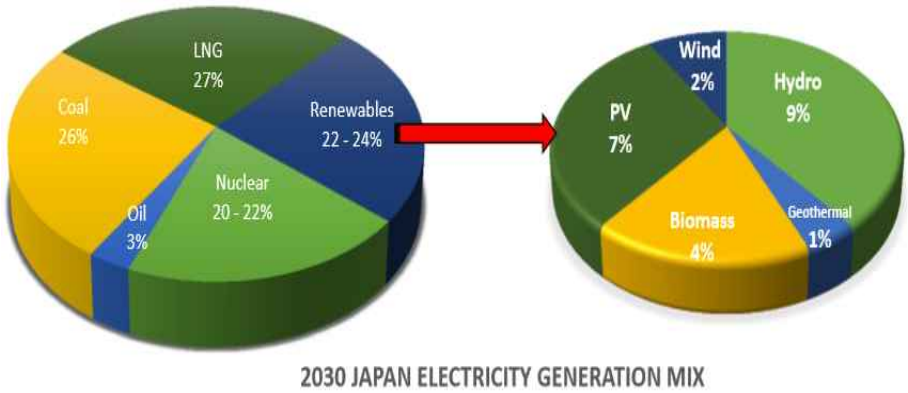
☐ CO_2-neutral인 바이오매스 활용을 통한 화석연료 탈피 추세

○ 태양광, 풍력 등 간헐성이 있는 재생가능에너지원 대비 24시간 연속 전기생산이 가능한 재생가능에너지원으로서 중요도 부각

○ 스웨덴은 자동차 연료를 2030년까지 화석연료기반 탈피, 바이오매스 등 활용한 대체 추진

○ 일본은 2030년까지 전기생산 원료를 석탄, 원자력, LNG, 재생가능에너지로 다변화시키고 재생가능에너지원 중 바이오매스로 20% 충당 목표

- 일본은 500만 m^3 삼림 보유, 2018년 이 양의 1/1,000인 10만톤/년(수입량 포함) 바이오매스를 발전에 사용 중



[그림 1-1-10] 일본의 2030년 전기생산 원료 비중과 재생가능에너지 전기생산원 분포 목표 (출처: Japan's Biomass Market Overview, by Louis du Plessis, 2015)

☐ 분산전원 선호 추세로 관련 Emerging 시장 시작단계

○ 개발도상국 등에서 자국 내 미활용 저급자원* 사용한 가스자원 확보 이용 추세이나, 신뢰도 있는 기술은 아직 미흡

- *저급자원: 바이오매스, 폐기물, 저급석탄이 주요 대상

○ 중소형(500 kW~20 MW급) 가스플랜트에 대한 동남아 국가를 중심으로 한 시장 수요

팽창 중이며, 수소자원 확보 가능 시 수소연료전지 기술을 활용하여 시장 진입 가능할 것으로 예상

○ 잉여전기 및 저급자원으로부터 수소자원을 확보함에 있어서 경제성과 기술신뢰도 있는 기술을 상용 규모로 입증하지 못하고 있는 상황

- 국내의 수소도시 등에 사용하고 해외 진출을 위해서는 상용규모 test-bed 실증을 통한 기술개발이 필수

□ 2020~2030년대 해외의 가스 인프라의 수소중심 전환 구체화

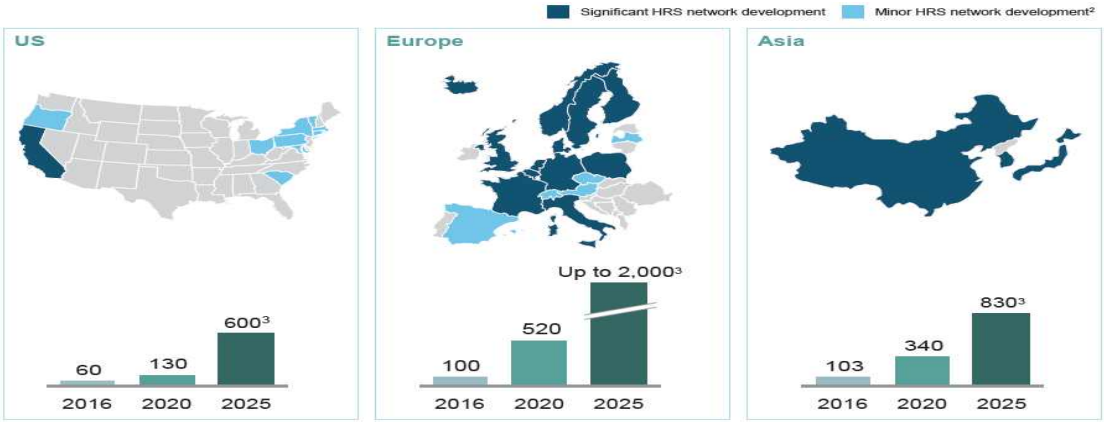
○ 일본은 도쿄올림픽 통한 수소연료전지차 수소사회 기술우위 홍보전략

○ 일본 사례로 볼 때 한국도 2025년경 초기 수소사회 진입 예상

○ 수소사회에 대응한 체계적 가스자원 국토인프라 관리 및 플랜트 기술 확보가 중요

- 인구 밀집지역 미세먼지 근본적 대책으로 수소사회 개념은 계속 유효

* 수소자원 확보와 경제성, 주민수용성 제고 등 문제



[그림 1-1-11] 세계 주요지역 HRS(Hydrogen Refueling Station, 수소충전소) 인프라 추진 숫자 (출처: 수소 Council, 2017/01)

□ 수소사회에 필요한 수소생산 source 다양화 필요성 증대 및 해외와 동일한 대량공급 방식에 의한 기술종속 방지수단 필요

○ 해외와 수소사회에 필요한 수소자원 다변화에 대한 중장기적 대응이 요구

- 수소사회에 적극적인 일본, EU, 미국 모두 수소생산은 석탄가스화, 천연가스/부생가스 개질, P2G에 집중

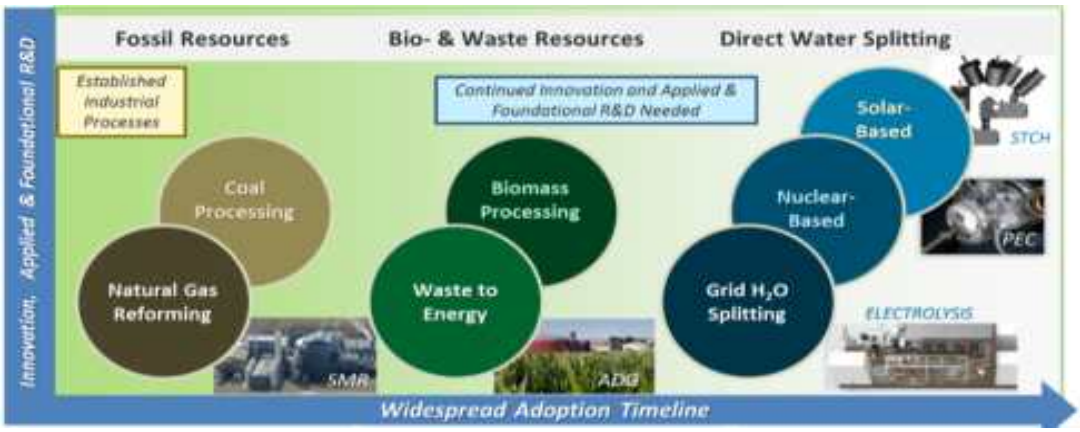
* 일본과 미국은 석탄가스화 수소생산, 천연가스 개질, P2G에 집중

* EU는 천연가스 개질(CO_2 포집저장 연계)과 P2G에 집중

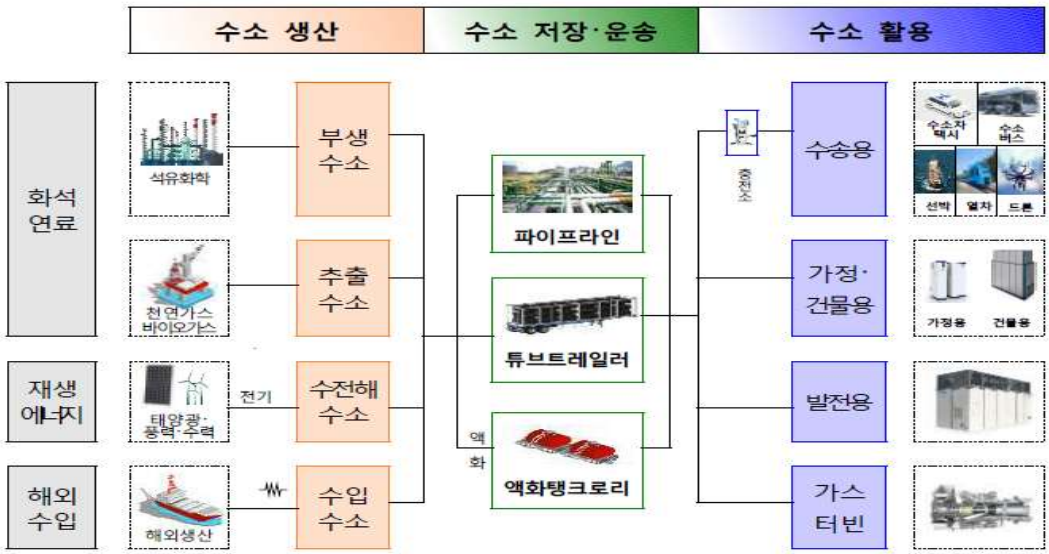
* 한국은 국내에서 수소생산은 일본과 EU 사례에 집중 + 해외도입수소는 일본 전략을 채택하나 다양한 분산형 수소생산 추진을 통한 에너지안보 전략 필요



[그림 1-1-12] EU의 수소생산 공급기술 방향 (출처: Hydrogen Roadmap Europe, 2019/02)



[그림 1-1-13] 미국의 수소생산 로드맵
(출처: Hydrogen Production Tech Team Roadmap, USDRIVE, 2017)



[그림 1-1-14] 한국의 수소경제 활성화 로드맵에서 수소생산 방안
(출처: 산업통상자원부 보도자료, 2019/01/17)

○ 에너지수입국인 일본은 수소를 해외에서 생산, 환경친화적 물질로 전환 도입 전략
- 화석연료기반은 석탄가스화, 천연가스/부생가스 개질 방식
- 재생가능에너지 기반은 미국, 일본, 한국과 같은 P2G 방식

- 일본의 HySTRA: 이와타니산업, 가와사키중공업, Shell Japan, J-Power, 마루베니사가 합작 설립한 협회

  * 2030년까지 호주 생산 CO_2 free 수소를 9,000 km 떨어진 일본 고베항으로 수송하고 최종 수소 30만톤/년 규모의 실증프로젝트 진행 중



[그림 1-1-15] 일본의 화석연료 기반 해외 수소생산 도입방안

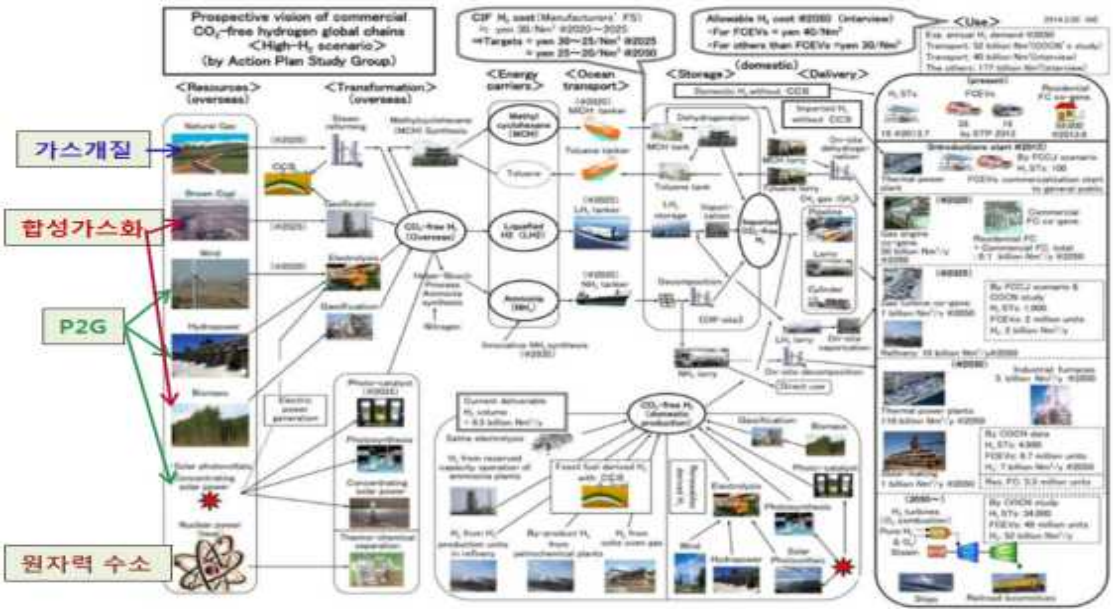
(출처: Japan's Challenge for Realizing Hydrogen-based Society, Deutsch-Japanisches Umwelt-und Energiedialogforum, 2018/04)

□ 수소생산 플랜트의 핵심은 가스개질기술, 합성가스화 기술, P2G 기술과 탈탄소사회를 위한 CO_2 대응기술로서 2030년 이후 대비 핵심 플랜트 기술 확보 전략이 필요

○ 에너지수입국으로 한국과 유사한 상황인 일본 사례를 보면, 가스개질, 합성가스화, P2G가 수소생산의 핵심 기반기술이며 해외에서 수소생산 전략이 핵심

- 단기간 수소공급은 천연가스/부생가스 개질이 천연가스 배관망이 구비된 지역/국가에서는 가장 현실적/경제적
- 가스배관망 부족한 지역/국가는 합성가스, DME 등 다양한 수소저장매개체를 이용한 분산형에 관심

  * 특히 지역에 산재한 미활용 바이오매스/폐기물 적용한 분산형 에너지플랜트가 유리



[그림 1-1-16] 일본의 수소사회 국내/해외 수소생산부터 활용까지 전략 요약도

(출처: 2016년 FISITA Partners Forum, Ken Oakazaki, 도쿄공업대학)

○ 재생가능에너지 유래 수소생산을 제외하고는 필연적 발생하는 CO_2 저감/활용 기술개발과 활용이 장기적 핵심 사항

- 수소생산 방향은 Grey 수소 → Blue 수소(CO_2 free) → Green 수소(재생가능/sustainable)이나, 2020년대에는 Grey 수소가 대량공급 측면에서 필연적이며 이 때 발생하는 CO_2의 저감/활용기술 확보가 관건

  * Grey 수소는 기존 인프라/기술을 적용하여 대량 수소생산이 가능한 장점이 있어 가격 저렴화 위한 플랜트 핵심기술 확보가 관건

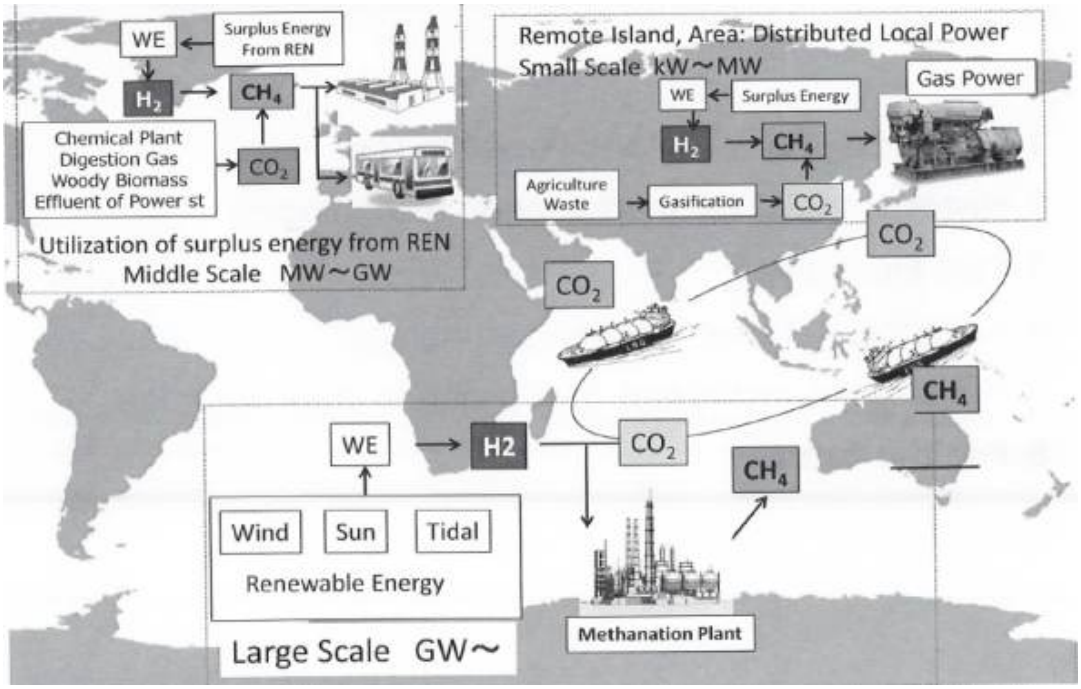
- CO_2를 수소와 합성시켜 합성천연가스로 에너지화하는 전략이 세계적 기술 대세

  * 하지만, 자연계에서 안정적인 CO_2를 변환시키는 기술은 기초단계로서 상용화는 2030년대 이후 예상

- 일본은 해외수소 생산 국가와 협업을 통해 해외 산지에서 CO_2를 처리/자원화하는 정책방향 추진

  * 대량 CO_2 발생하는 석탄가스화 수소에서는 CCS로 지하 저장 또는 EOR에 활용

  * 중소형 규모는 풍력/태양광/조력 잉여전기를 사용하여 CO_2를 천연합성가스(SNG) 생산 원료로 사용



[그림 1-1-17] 일본의 해외 수소도입과 발생 CO_2의 연계 합성천연가스화 전략

(출처: 히다치조센사, Production of Fuel Converted from CO_2 with Renewable H_2, FC-Expo 2019)

□ **아직 충분히 활용되지 못하고 있는 지역별 저급자원을 분산형 수소생산에 활용하는 해외플랜트 수출시장이 시작 단계**

○ 저급자원: 바이오매스, 폐기물, 펫코크, 저등급석탄 등

○ 한국이 수소생산 분야에서 독자적인 원천기술을 보유에 유리한 기술 분야

- 1~20톤/일급 기반기술이 국내에 존재하며 국내시장도 다수 존재하여 대형 test-bed 사업으로 추진에 적합

○ 50~200톤/일 규모 분산형 플랜트로서 해외산지 저활용 자원을 사용하여 분산전기, 분산열병합, 분산형 수소 생산

- 기술보유 선진국 대형회사들은 중소형 규모 시장에 관심도 낮은 틈새시장
- 동남아에 중국업계 적극 진출 추진하였으나 기술부족과 원거리 유지보수 어려움 경험

＊ 한국의 원거리 IT 운전/유지보수/진단기술의 플랜트기술화를 통한 경쟁력 확보 가능

○ 바이오매스의 경우, CO_2 free 수소생산을 통한 CO_2 해외 감축 사업의 일환으로 역할 기대

- 탄소중립 성격인 바이오매스를 사용한 수소 자원화 플랜트 공급을 통해 CO_2 저감의 부수적 기능이 가능

＊ 동남아 지역 선호하는 가스변환 원료는 바이오매스로서, 국가 해외 온실가스 저감목표 달성 수단의 하나로 모델 제시 가능

○ 폐기물의 경우, NIMBY 극복 방안으로 청정합성가스 또는 수소를 생산함이 폐자원 에너지화에 유리

- 소각은 환경오염 물질 배출에 대한 우려로 항상 NIMBY 대상

* 홍콩 Skeu 소각장 경우 주민들은 기존 소각로 대신 고가이나 환경적으로 우수한 플라즈마 가스화 설비로 대체 요구
* 국내 폐기물 고형연료인 SRF 열병합발전소 신규 설치는 주민반대로 모두 중단 (폐플라스틱 활용처 상실 등 후속 여파 발생)

- 개발도상국들도 폐기물 시설에 대한 NIMBY로 기술 대안 필요
* 하지만, 기존 가스화 설비는 건설비/운전비 고가로 도입이 불가능한 상태

□ 천연가스/합성가스 플랜트 분야 국내 TRL 5단계 수준 타부처 지원 파일롯급 개발결과 연계 활용 미진

○ 천연가스와 합성가스 생산과 활용에 대한 지난 10년 이상의 국가지원 R&D 투자를 통하여 파일롯급 기술은 국내 경험 풍부하나, 대형 상용급 플랜트기술로 진행은 예산 등 이유로 한계

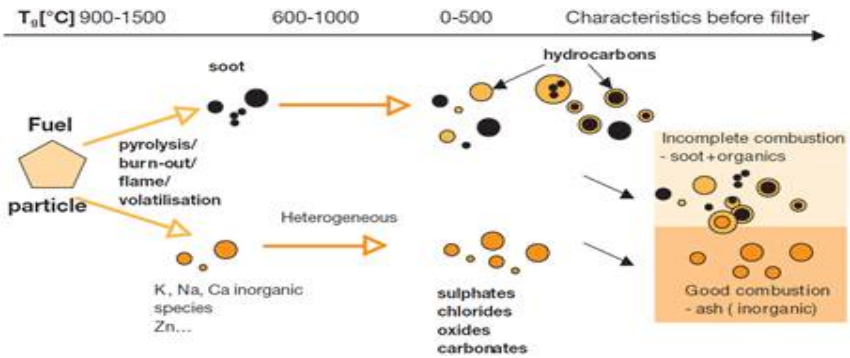
- 국내시장도 관련 핵심기술의 해외기술 의존도 심화, 국내 업계의 해외 대형 사업에서 배제되는 상황
- 지금까지 국내에서 기술개발한 대부분은 최대 파일롯급 연구 설비들로서, 해외 수출 수준이 되기 위해서는 가격, 기술 신뢰도, 유지보수 편이성 등이 감안된 상당한 추가 기술개발과 튜닝 필요
- 기 확보된 국내 TRL 5 수준 기술들은 범용성, 환경 적용성 등의 검증이 되지 않았으며, 상용급 실제 또는 유사 환경에서 적용 시험이 거의 전무

□ 가스 생산/사용 과정에서 미세먼지, 온실가스 저감 등 환경적 수요 대응기술 요구

○ 고체 물질에서 가스 생산 시 미세먼지가 필연적 발생하는데 이를 방지하는 근원적 기술이 요구되는 추세

- 산화제가 불충분하고 혼합이 충분치 않으면 미세먼지가 발생하는데, Compact하게 집적화된 가스플랜트로 대응 필요

○ 중국, 인도 등 미세먼지 민감 지역 수출용플랜트 핵심기술로서 역할 가능



[그림 1-1-18] 나무 등 바이오매스 연소시 미세먼지 발생 메카니즘

(출처: Combating Particulate Emissions in Energy Generation and Industry, VTT Technical Research Centre of Finland, 2006.)

○ 천연가스 생산 시 수반되는 동반가스 소각에 따른 온실가스 배출 저감과 연료 내 황 함유량 기준 강화를 통한 지구온난화·환경오염 대응이 필요한 상황

- 세계은행은 '2030 통상 가스 소각량 제로 이니셔티브(Zero Routine Flaring by 2030 Initiative)'를 통해 각국 정부·석유회사·개발기구 등이 '30년까지 소각되는 동반가스를 없애도록 추진
- 매년 140 BCM 규모의 천연가스가 소각되어 4억톤의 CO_2(자동차 약 7,700만대의 연소량)가 발생하는 실정

□ 수소사회 대응 수소생산 플랜트 분야에 EPC 업체와 중소/중견기업 동반진출을 위하여 track record 확보 필요

○ 플랜트 EPC 공사에서 가장 비중이 큰 부분이 기자재 구매(procurement) 비용으로서 60% 이상이며, 국내 기자재 비중 확대가 필요

○ EPC 업체와 기자재 제조업체(대기업 중공업사, 중소/중견기업 등)가 동반 진출하기 위해서는 함께 관련 기술과 실적(track record)을 보유할 필요성이 매우 강하게 대두

- 기본설계 능력을 보유한 기술사(라이선스사)가 주요 기자재의 제조업체를 지정하므로 기본설계 능력을 갖추면 국산 기자재 선택 가능
- 우선적으로 공정 또는 주요 기자재의 기본설계 능력 필요
- 국내 EPC 업체에서 국산 기자재를 구매하여 사용하기 위해서는 국내의 기자재 제조업체에서 track record 확보 필요

○ 기본설계 기술에서부터 1차 기자재 제품 선정, 이에 따라 2차 및 3차 기자재 업체로 연쇄적으로 이어짐.

○ 국내에서 기본설계 능력을 보유하고 공동으로 track record를 확보하여 supply chain을 구성함으로써 국내 품목 비중 확대에 더하여 원가 경쟁력 확보 가능

- 기자재 제작, 시공, 시운전, 하자보수 등의 전 과정에서 원활한 협조체계 구축으로 납기 단축 가능
- 설계 변경에 대한 유연한 대처 가능
- Supply chain 구축으로 표준화가 가능하므로 기자재 단가 대폭 감소 가능

□ 2020년대 중반 이후 가스플랜트 기술방향 핵심 이슈의 요약

○ **2030년대 수소 사회 진입:** 일본은 2020년 도쿄올림픽을 수소사회 기술 시연장으로 준비 중이며, 수소사회 관련 기술 우위 선점에 가장 노력하고 있으며, 수소의 안정적 생산과 사회 인프라가 요구되는 상황

○ **개도국 중심 분산전원 수요 급증**: 개발도상국 대부분 국가에서 자국에서 가용한 저급 원료(폐기물, 바이오매스, 저급석탄 등)를 활용하여 분산전원 형식의 전기공급을 선호하고 저렴하면서 신뢰도 있는 기술을 요구

○ **재생가능에너지 생산 잉여전기를 사용한 가스자원 생산**: 2020년대 후 한국도 풍력, 태양광에서 불규칙한 전기가 대량 가용한데 이를 수소로 변환시켜 ESS 형태의 전기저

장 방식을 보완하는 Power-to-Gas (P2G) 혁신기술 개발 보급이 예상

○ **Technology-based 수소자원 확보가능 시대 도래**: 지하자원에서 자원을 채굴하는 방식이 아닌 미활용자원/저급자원으로부터 수소를 합성하여 사용하는 시대가 열릴 것으로 전망되며, 잉여전기에서 수소 생산(P2G), 폐기물/바이오매스/석탄/펫코크 등에서 합성가스 생산 후 수소로 변환하여 사용하는 기술 등이 대표적인 기술

○ 상기와 같은 추진배경을 통해 뽑은 핵심이슈를 아래 표에 정리

<표 1-1-1> 본 기획의 추진배경 및 핵심이슈 요약표

추진 배경	핵심 이슈 도출
□ 한국 플랜트 경쟁력 약화와 해외시장 위축 심화, 특히 한국의 첨단플랜트 기술수준은 최근 급격히 하락 중 □ 21세기 주요 에너지원은 천연가스, 전기, 초청정연료유가 대세이며, 재생가능에너지원 전기와 CO_2의 고부가가치 가스/연료화가 부각 □ 재생에너지 생산 비활용 전기를 가스(수소, 메탄), 청정연료유로 변환 장기저장 활용하는 기술기반 시작 단계 □ Technology-based 수소 자원 확보 가능 시대 도래 □ 동남아 지역 등 기존 가스자원 수출국도 수입국 전환 예상으로 분산형 가스자원 플랜트 수요 발생 □ 분산전원 선호 추세로 관련 Emerging 시장 시작단계 □ 폐기물의 경우, NIMBY 극복 방안으로 합성가스 방식이 폐자원에너지화에 유리 □ 2020-2030년대 해외의 가스 인프라를 수소 중심사회로 전환 구체화 □ 한국의 CO_2 해외 감축 사업의 일환으로 역할 기대 □ 가스플랜트 분야 국내 TRL 5 단계 타부처 지원 파일롯급 개발결과 연계 활용 미진 □ 수소 및 합성가스 생산/사용 과정에서 미세먼지, 온실가스 저감 등 환경적 수요 대응 기술 요구	□ 미래 플랜트기술로 미래 고부가가치가 가능한 가스플랜트 분야의 수출 경쟁력 제고 - 부각되고 있는 청정한 수소 시장과 중소형 합성가스 플랜트 시장을 플랜트분야의 신성장동력화 □ 수소사회 및 재생에너지 전기 변환 가스 생산시대 도래에 대응한 Technology-based 청정 합성가스 및 수소 생산/변환 기술 기반 구축 □ NIMBY 극복 청정에너지화 수요대응 기술 확보

2. 정부지원의 필요성

□ 플랜트기술은 반도체 산업에 버금가는 경제성장의 핵심동력으로 국가 미래산업에서 핵심 분야

○ 세계 플랜트시장은 지속 증가 중이며, 신흥시장(중동, 아시아, 아프리카, 남미 등)은 연 10% 이상 확대 전망 (출처: KISTEP 보고서, 2014)

- 세계 플랜트시장 규모: 9,090억 달러('08년) ⇨ 8,240 달러('10년) ⇨ 11,100억 달러('15년) ⇨ 15,810억 달러('20년)

○ 파급효과 측면에서 플랜트는 엔지니어링, 기계설비 구매, 건설 등이 복합된 산업으로 산업연관효과가 높고 산업구조의 고도화에 기여가 높은 것이 특징

<표 1-1-2> 전후방 산업연관효과 (산업연구원)

	농림수산품	전기·전자	건축	금융·보험	플랜트
전방연관효과	1.03	1.08	0.56	1.32	1.25
후방연관효과	0.77	1.25	0.97	0.65	1.18

(출처 : 산업연구원, 해외 플랜트 수주동향 및 지원시책, 2007)

□ 과감한 실증과 상용화를 통한 국내 기술자립 필요

○ 수소 및 합성가스 플랜트는 주요 국가/기업의 독과점이 심한 분야로 진입장벽이 높아 기술적용의 실적이 매우 중요한 분야

- 플랜트분야에서 대외 경쟁력 보유를 위해서는 과감한 실증 R&D와 이들 결과를 활용한 사용화 추진이 중요
- 국내 기업들은 가스플랜트 핵심기술 분야 수주에서 소외되고 있는 실정

* 현 시점에서 가장 대규모 합성가스 플랜트 사업인 인도 Jamnager 프로젝트에 한국업체 참여 전무
* 합성가스 분야 원천기술 보유사와 주요 공정사 대부분이 참여했고 한국업체는 전무

<표 1-1-3> 인도 Jamnagar 합성가스 프로젝트 건설 참여사

Contractor:		**Licensor:**	
PMC	Fluor	Gasification	CB&I Lummus (Phillips 66)
EPCM	Fluor	Open art	Fluor
O&U	Bechtel		
Construction	L&T	**Equipment suppliers:**	
		Reactor + vessels	L&T
Package suppliers:		HTHR boilers	Alstom
ASU	Linde	Rod mills	Cemtec
AGR	Linde	Slurry pumps	Geho/Flow serve
PSA	Linde	Char filters	Porvair
SRU/TGT	Worley Parsons	Syngas rec. comp.	Siemens
SFU	Enersul	Superheater	Linde/Selas
GTG/GTG Mods	GE	Cooling tower	SPIG
		Stacker/reclaimer	Thyssen Krupp

(출처: P. Maitra, "The Jamnager Gasification Project," Gasification Technologies Conference 2013)

○ 장기간 시장이 확보된 고부가가치 플랜트 분야에는 핵심 원천기술 또는 강점기술의 보유와 더불어 높은 가동율(availability)이 필수

- 실증플랜트 설계, 건설, 운영, 유지보수, 부품개발의 전 과정의 경험과 know-how가 해외 플랜트 수출시 시행오차 줄이는데 필수

○ 국내 기업들의 다양한 고부가가치 플랜트 해외시장 진출에는 실증 R&D를 통한 실적 확보와 유지보수 등 기술대응이 필수

- 원료와 지역 등 환경에 따라 같은 플랜트 기술이라도 세부운영 분야기술에서 큰 차이가 존재하므로 이에 대한 대응이 가능할 실증설비의 back-up이 매우 중요

  * 물 동결기간 유무, 지역 지하수/냉각수/용수 성상 등에 따라 운전 시행오차 사례 다수

□ 수소 및 합성가스 플랜트는 핵심 고부가가치 플랜트기술로서 미래 청정환경 사회의 근간이나 한국은 대응이 미진

○ 중진국 이상 사회에서 선호되는 에너지 형태는 가스(수소 또는 청정합성가스)와 전기이며, 수소 플랜트 또는 수소 플랜트의 기반인 합성가스 플랜트로 대응 가능

- 편이성, 청정성의 요인으로 가스를 매개로 한 사회 에너지 인프라가 대세
- 분산형인 경우, 가스엔진을 사용한 전기 생산이 대표적 루트이나, 저렴하게 수소를 생산할 수 있는 플랜트 기술 확보 시 수소연료전지(발전 및 자동차) 기술로 적용 가능

○ 장기적으로는 수소 플랜트, 단기적으로는 청정합성가스 플랜트가 해외수출 플랜트 시장에서 핵심 분야로 가능

- 해외 강소국들은 기술투자 대비 효율적 분야에 집중

  * 덴마크: 가스분야 촉매, 풍력발전 등 시장 세계 1등

  * 스위스: 원천기술 개발 후 해외건설 통한 기술 업그레이드 전략

  * 네덜란드: 차세대 기술 조기 개발을 통한 선점 전략

- 한국은 자체 합성가스 시장도 크고 장기적으로는 수소도시, 수소연료전지자동차 등 수소시장이 급속 성장할 것으로 예상되고 있으며, 해외 수소 분산전원 시장 형성이 초기이므로 한국에 기회 존재

  * 실증→사업화→해외수출→국부창출의 국토부 플랜트 기술투자 정책에 적합한 분야

○ 한국 내에서도 수소 생산 플랜트 및 합성가스 플랜트 시장의 지속 성장이 예상되어 신뢰도 있는 국내기술 요구 상존

- 에너지 안보차원의 수소자원 및 합성가스 자원 확보 필요

  * 폐벌목, 폐기물, 축산분뇨 등 사용한 분산형 수소/합성가스 자원 확보 가능

- 납사/중유/천연가스 대체 저렴하고 청정한 기술기반 수소/합성가스 국내 수요 증가

  * 국내기술 부재 시 해외기술 도입하여 건설 예상

○ 중국의 플랜트분야 기술력 급속 부상으로 한국의 플랜트 수출경쟁력과 기회 급속 소진중

- 몽골 SNG 프로젝트에 중국기술 사용한 한국기업 주도 추진 중 (2018년)

  * 한국은 상업적 보증을 위한 해당규모 실증/실적 부족

○ 플랜트 산업은 높은 경제적 파급효과와 더불어 가치사슬에서 중소기업과 대기업의 동반성장이 가능한 분야

□ 에너지 96% 수입국 차원에서 가스자원의 자체 확보를 위한 지속적 노력이 필요

○ 2017년 한국의 에너지 수입량은 3.4억TOE. 2017년 에너지 수입액은 1095억 달러로 총 수입액 4575억 달러의 23.9% 차지

○ 다양한 자원에서 생산이 가능한 가스자원으로 합성가스와 수소가 핵심이며, 에너지 안보 차원에서도 집중 육성할 분야

- 일본은 2017년 12월 수소기본전략 발표를 통하여 해외에너지 수입을 줄이는 에너지안보 전략을 시작

  * 일본 아베총리 발언 (2018/01): “Hydrogen energy holds the trump card for energy security and measures to address global warming.”

- 화석연료는 합성가스 방식을 통하여 청정가스, 수소로 변환 이용

○ 국내 바이오매스 자원 적정 활용시 한국의 1차에너지 약 3~4% 조달 가능 (2005년 CO_2 총배출량 5~7% 저감 가능)

- 국내 목질계 바이오매스(임산, 농산부산물 포함) 연간 발생 추정량은 7,700만톤/년

  * 종이류까지 포함시 약 1억톤/년 추정

○ 국내 목질계 바이오매스 자원 활용 가능량은 2,700만톤 (발생 추정량의 35%)

<표 1-1-4> 한국의 바이오매스 에너지원별 가용 에너지량

에너지원	종류	에너지량 (Gcal/년)
바이오매스	임산부산물	95,768,219
	농산부산물	5,713,521
	축산폐기물	16,017,862
	도시폐기물	23,567,895

□ 해외 주요국 플랜트 고부가가치화 기반 구축위한 정부지원 사업에 대응하여 한국은 실증플랜트 분야에 국토부 역할이 중요

○ 미국: RAPID(Rapid Advancement in Proccess Intensification Development, 2016/12), Clean Energy Smart Manufacturing (2017/06) 산학연 연구소 설립

- Manufacturing USA 프로그램(정부 10억불/민간 20억불 출연)의 10번째, 12번째 연구소



[그림 1-1-19] RAPID 연구소 운영 중인 Test-bed 설비 예
(텍사스 오스틴 대학과 Easy Energy 시스템사 Test 설비)

○ 독일: '인더스트리 4.0' 출범 (2011/01)
- 전통적 제조 산업에 정보통신기술(ICT)을 결합 스마트 공장 구현을 목표

○ 중국: '중국제조 2025' 출범 (2015/05)
- 2025년까지 제조 강국 대열에 진입, 2035년 세계 제조 강국 중간 수준 진입, 신중국 성립 100주년인 2049년 제조업 대국 지위 확보

○ 일본: 정부지원 platform 플랜트기술 개발 → 여러 기업에 기술이전 → 자국 내 사업경쟁 → 기업별 해외진출 모델로 완성 → 국부창출의 과정을 정부주도로 수행
- 사례: 석탄가스화 플랜트, 폐기물 열분해용융 플랜트

○ 한국
- (산업통상자원부) 플랜트 software적 설계와 파일롯급 설비에 국한된 R&D 지원 중으로 실증급 가스플랜트 지원은 전무
- (국토부) 해수담수화사업단, LNG 사업단 통한 실증/사업화 규모 지원 실적

□ 합성가스-수소-전기 연계된 플랜트 기술로 시너지 효과 가능

○ 합성가스-수소 플랜트의 핵심기술인 반응기 기술과 가스 전환/정제 기술은 다양한 에너지/환경 산업에 활용도가 높은 기반기술로 플랜트 산업의 경쟁력 강화에 크게 기여
- 가스화 기술: 다양한 저급 자원을 활용하여 가스자원화 분야에 대양하게 활용
- 수소가스변환 액상수소(암모니아 등)화 기술: 화학공정의 고급기술인 삼상반응기, 촉매반응기, 열매체 운용 최적화 기술 등은 화학산업에 다양하게 활용
- 고불순물 포함 환경적 청정 제거기술: 타르, VOC, 미립자 등 매우 다양한 불순물을 제거하는 기술은 최근 높아지는 환경요구에 부합하는 매우 활용도가 높은 분야

○ 재생가능에너지원 생산 전기의 양의 급격한 확대 대비한 잉여전기 저장 활용기술 대응이 필수
- 한국도 2030년 신재생 전기가 20%에 달하므로 일정부분을 가스연료(1차로 수소) 형태로 변환하여 사용함이 적절

* 제8차 전력수급기본계획('17.12)상 발전량 비중 추이('17년→'30년): 원전(30.3%→23.9%), 석탄(45.4%→36.1%), LNG(16.9%→18.8%), 신재생(6.2%→20.0%)

□ **국내 R&D 결과물 활용을 통해 실제 시장이 요구하는 플랜트기술로 집합시켜 중국 등 신흥 기술경쟁국들 진입 이전에 시장 선점이 2020년 이전에 필요**

○ 합성가스 생산과 활용, 천연가스/바이오가스 개질 등 가스플랜트 기술에 대한 지난 10년 이상의 국가지원 R&D 투자를 통하여 파일롯급 기술은 국내 경험 풍부하나, 대형 상용급 플랜트기술로 진행은 예산 등 이유로 한계 ⇨ 국내시장도 관련 핵심기술의 해외기술 의존도 심화, 국내 업계의 해외 대형 사업에서 배제되는 상황에 대한 대응 필요

○ 지금까지 국내에서 기술개발한 대부분은 연구설비들로서, 해외 수출 수준이 되기 위해서는 가격, 기술 신뢰도, 유지보수 편이성 등이 감안된 상당한 추가 기술개발과 튜닝 필요

○ 정부 R&D 지원을 받아 기 확보된 국내 TRL 5 이상의 기술들은 범용성, 환경 적용성 등의 검증이 되지 않았으며, 또한 플랜트의 경우 규모의 scale-up을 통한 실제 상용화를 위해서는 실제 또는 유사 환경에서 적용 시험이 필요

- 국내에서 타 부처에서 개발된 TRL 5 수준의 합성가스 플랜트 기술은 단기 운전에서는 비교적 높은 성과를 거두고 있으나 상용화에 필요한 장기 연속운전 실험은 이루어지지 못하였으며, test-bed에서 실증 필요
- 국내 기 보유 가스화 기술, 합성가스 정제 기술의 경우 상용화를 위해서는 scale-up이 필요하므로, test-bed 실증사업을 통하여 규모의 scale-up 시 발생할 수 있는 trouble-shooting 등의 적용 시험 필요

○ 상용규모 플랜트에 접목할 체계적인 기술 조합과 틈새시장용 기술개발 병행이 필요

- 국내에서 수소/합성가스 분야 기술개발은 장기간 추진되어 왔지만 상용규모와는 100배 이상 작은 파일롯 설비를 대상으로 진행 ⇨ 수백~수천톤/일 규모 상용 플랜트 참여는 불가능 ⇨ 해외기술 의존도 심화 ⇨ 해외 고부가가치 플랜트 시장 참여 원천 차단 상황

○ 중국의 관련 플랜트 EPC, 엔지니어링서비스 등 분야 시장경쟁력 급부상 중으로 산학연 역량이 결집된 체계적 대응이 필요

- 국내 시장도 존재하면서 해외시장 규모가 크며, 국내업계 해외사업 진출에 관심이 높은 고부가가치 합성가스 생산 및 활용 플랜트에 집중된 국내 test-bed 사업 필요
- 합성가스로부터 수소를 저렴, 안전 및 안정적으로 생산할 수 있는 국내 test-bed 사업 필요

○ 재생가능에너지가 대량 보급되기 전까지는 폐기물/바이오매스/바이오가스 등 저급자원을 상당기간 사용할 수밖에 없는 국내 현실에서 국내기술 기반으로 저급자원을 활용한 수소/합성가스 플랜트 기술이 필요

- 중국, 인도, 몽골, 동남아, 남미 등 가스 플랜트 수요는 2000년대 이후 폭발적 증가 추세(중국시장이 가장 크고, 중국은 자국 내 건설/운영 경험을 활용하여 자체기술화와 EPC 능력을 크게 제고)
- 나프타, LNG 기반의 합성가스 사용 대비, 정유공장 부산물인 펫코크를 사용할 때 최소 10% 이상 원가절감이 가능

□ **정부지원 타당성**

○ 정부 R&D의 가장 기본적인 역할은 기술개발 위험분담을 통한 과학기술 분야의 시장 실패 방지가 중요한 부분

- 단순 상업시설에 대한 민간 지원이 아닌 기존기술로는 상업성이 부족한 기술들을 연계 실증하여 생산품이나 공정의 기술적인 향상을 도모하는 업무로 OECD 규정에도 부합

* OECD 산하 국제에너지기구(IEA)에서는 연구개발과 연계된 실증의 중요성을 고려하여 연구개발 및 실증(RD&D)으로 표현 (KISTEP, 2009 기획평가보고서)

○ 플랜트산업의 특성상 수출을 위해서는 실적이 필수적인데, 이에 필요한 대규모 실증플랜트를 건설하기는 어려운 요소 핵심기자재 업체들을 위한 지원이라는 측면에서 정부지원의 당위성 존재 (KISTEP, 2009 기획평가보고서)

○ 수소/합성가스 플랜트는 해외플랜트 수주 증가를 위한 기술기반 반전 계기 가능한 파급효과 큰 분야

- 국내 플랜트산업은 2014년 이후 지속 감소하다가 2017년 일부 반등하였지만, 2006~2007년 이후 첫 2년 연속 분기당 수주금액이 100억달러 미만
- 정부지원을 통해 국내 확보된 TRL 5 이상 기술을 접목시킨 가스분야 해외수출형 플랜트 조기실현 가능

* 폐기물 합성가스 플랜트 등 조기 상용화 가능 기술이 국내 미활용 상태

- 가격경쟁력 있는 가스자원 청정화/저렴화 대체 수요의 증가 추세에 적기 대응이 필요

* (예) 폐기물/바이오매스 기반 수소 생산용 청정 합성가스 플랜트

○ 한국이 처한 열악한 플랜트기술 상황을 타개하기 위해서는 상용규모 플랜트에 접목할 체계적인 기술 조합과 틈새시장용 기술개발 병행이 필요

- (예) 국내에서 합성가스 생산에 대한 기술개발은 석탄, 폐기물, 바이오매스에 대해 장기간 추진되어 왔지만 상용규모에 비하여 1/10~1/100 보다 작은 파일롯 설비만을 대상으로 진행되면서 수백~수천톤/일 규모 상용 플랜트 참여는 불가능했고 해외기술 의존도가 심화되면서 해외 고부가가치 플랜트 시장에는 참여가 원천 차단되는 상황이 진행 중

○ Emerging 해외플랜트 시장 대응 Technology(기술) 중심의 합성가스·수소 플랜트 상용화 능력 확보가 시급

- **(아시아/아프라카 지역 선점용 플랜트기술 필요)** 한국의 해외플랜트 대상 시장 확대가 중동, 미주에서 아시아, 아프리카로 전환 중이며, 이들 Emerging 시장 선점을 위한 핵심기술 기반 플랜트 수출 능력이 필요

* 합성가스 기반 지역밀착 분산형(Locally Distributed) 전원 등 Emerging 시장에 대응

- **(개도국 중심 분산전원 플랜트 수요 급증)** 개발도상국 대부분 자국에서 가용한 저급원료(폐기물, 바이오매스 등)를 활용하여 분산전원 형식의 전기 공급을 선호하고 저렴하면서 신뢰도 있는 플랜트 기술을 요구

* (예) 동남아 지역 폐바이오매스 기반 5~20 MW 규모 분산전원 수요

○ 2020년 이후 도래 예상되는 새로운 가스 산업 대응 플랜트기술 필요

- **(수소사회 대응)** 수소의 안정적 생산과 사회 인프라가 요구됨.

  * (일본) 2020년 도쿄올림픽을 수소사회 기술 시연장으로 준비 중이며, 수소사회 관련 기술/시장 선점 추진 중

- **(한국의 해외 CO_2 감축목표 달성에 역할)** 바이오매스, 폐기물 등 CO_2-neutral 자원 활용한 가스플랜트 산업이 가능하며 한국의 해외 CO_2 감축목표 달성에 큰 역할 가능

- **(재생가능 에너지 잉여전기 저장 기능의 수소 산업)** 생산 불규칙한 풍력, 태양광 전기를 수소, 천연가스 형태로 변환시켜 ESS 형태의 전기저장 방식을 보완하는 Power-to-Gas (P2G) 혁신기술 개발 보급이 예상

  * (한국) 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 20%로 높이기 위해 48.7 GW 규모의 설비를 확충한다는 '재생에너지 3020 이행계획' 발표 (2017/12/20)

  * (EU) 신재생에너지 발전량을 2020년 35%, 2050년 80% 달성과 이산화탄소 배출수준을 1990년 대비 2050년까지 80% 감축 목표 ⇨ 잉여전기 저장/활용 방안으로 P2G 부상

- **(Technology-based 수소/청정합성가스 자원 확보시대 도래)** 지하자원에서 자원을 채굴하는 방식이 아닌 가스를 합성하여 사용하는 기술기반 가스시대가 도래

  * (예) 태양광/풍력 미활용 전기로 천연가스 생산(P2G), 쓰레기/바이오매스에서 합성가스 생산 후 활용 또는 추가로 수소로 전환하여 사용

○ 고부가가치 플랜트 영역인 상류 가스부문 진출에 경쟁이 가능할 기반 기술개발은 기업 독자적 대응이 한계

- 국토교통 R&D 중장기 전략(2014)에 중점 프로젝트로 가스·비전통 자원화 플랜트가 포함

- 핵심 독자기술 경쟁력 확보를 위한 가스플랜트 고도화와 지속적으로 성장 중인 비전통 자원개발 플랜트 건설 실증기술 확보 추진이 필요

3. 사업추진의 시급성

□ 추진 시급성

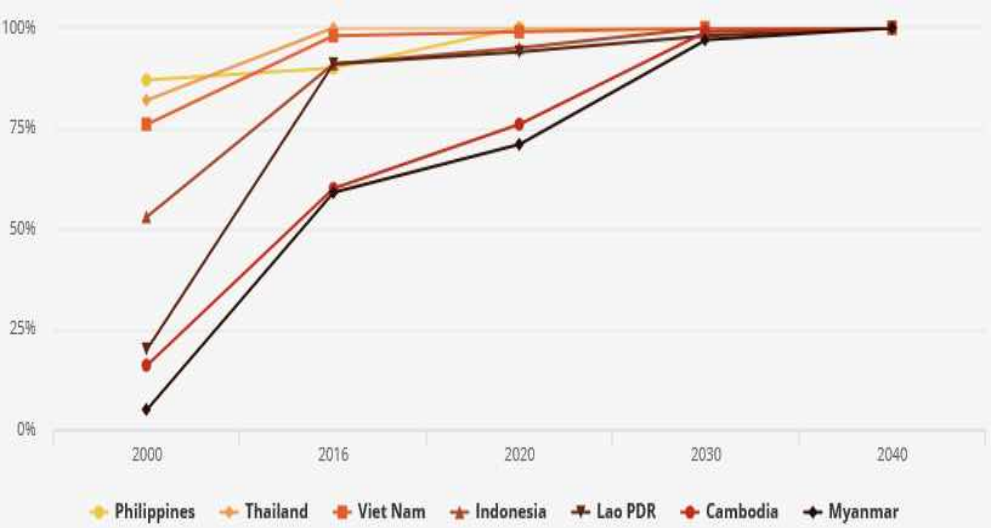
○ 2020년대가 분산형 수소 플랜트 또는 청정합성가스 생산 플랜트의 주요 해외수출 대상지인 동남아시아 지역 진출의 적기

- 2030년경 동남아 국가들의 전기보급률 98% 이상 도달 예상

  * 2020년대초에는 분산전원 대응 플랜트기술로 완결이 필요

- 현재는 석탄, 중유, 단순 바이오매스 사용 등 형태의 전기 보급인데, 점차 재생가능에너지 생산 전기로 변환 예상

  * 현지에 풍부한 바이오매스(폐기물 포함) 활용 수요 증가



[그림 1-1-20] 동남아 주요 국가들의 전기보급율 예상 추이
(출처: World Energy Outlook 2017, IEA)

○ 2020년대초까지가 중국보다 수소·합성가스 플랜트 동남아 등 시장 선점할 마지막 기회
- 중국 등 신흥 기술경쟁국들 진입 이전에 시장 선점이 2020년대 초 이전에 필요
- 중국은 관련 플랜트 EPC, 엔지니어링 서비스 등 분야 시장경쟁력 급부상 중으로 국내 산학연 역량이 결집된 체계적 대응이 시급

＊ 중국은 해외기술 기반 가스플랜트 건설/운영 경험을 활용하여 자체기술화와 EPC 능력을 크게 제고 중

○ 분산형, 모듈형 중소형 규모의 수소/합성가스 플랜트 시장이 시작단계
- 국내 기술개발 투자된 pilot급 기술성과를 결집하면 중간단계에서 시작 가능
- 기존 국내 기술개발 대부분은 연구설비들로서, 상용플랜트 기술이 되려면 가격, 기술신뢰도, 유지보수 편의성, 환경성 등 상당한 추가 기술개발과 튜닝 필요
- 합성가스 생산과 활용, 천연가스/바이오가스 개질 및 변환 기술 등에 대한 지난 10년 이상의 국가지원 R&D 투자를 통하여 파일롯급 기술은 국내 경험 풍부하나, 대형 상용급 플랜트기술로 진행은 예산 등 이유로 한계로 인해 국내시장의 해외기술 의존도 심화에 대응 필요
- 지금까지 국내에서 기술개발한 대부분은 연구설비들로서, 해외 수출 수준이 되기 위해서는 가격, 기술 신뢰도, 유지보수 편이성 등이 감안된 상당한 추가 기술개발과 튜닝 필요

＊ 정부 R&D 지원을 받아 기 확보된 국내 TRL 5 이상의 기술들은 범용성, 환경 적용성 등의 검증이 되지 않았으며, 또한 플랜트의 경우 규모의 scale-up을 통한 실제 상용화를 위해서는 실제 또는 유사 환경에서 적용 시험이 필요

＊ 국내 기 보유 가스화 기술, 합성가스 정제 기술의 경우 상용화를 위해서는 scale-up 실증이 절실하며 test-bed 실증사업을 통하여 trouble-shooting 등의 적용 시험 필요

○ 국내외 저렴하게 가용한 미활용 에너지원 사용을 통한 에너지원 다변화에 조기 대응

- 바이오매스. 폐기물 등 그 동안 미활용 에너지자원을 국내기술 기반의 합성가스 및 수소 플랜트 기술 조기 확보로 시장 선점이 시급
- 중국, 인도, 몽골, 동남아, 남미 등 합성가스 및 수소 플랜트 수요는 2000년대 이후 증가 추세

□ **과학·기술적 타당성**

○ 수소 생산, 전기 생산, 화학원료 및 합성연료 원료로 지금까지 활용이 미진한 자원을 사용하여 환경적합적인 플랜트 기술 개발 가능
- 개별 기술은 존재하지만 중소형 규모로 환경성, 효율성, 경제성을 모두 만족하는 플랜트 기술로는 구현이 안된 상태

○ 상용규모 플랜트에 접목할 체계적인 기술 조합과 틈새시장용 기술개발을 병행하면 국내 및 해외 고부가가치 플랜트 시장 확보가 가능
- 국내에서 합성가스/수소 플랜트에 대한 기술개발은 장기간 추진되어 왔지만 상용규모와는 100배 이상 작은 파일롯 설비를 대상으로 진행 ⇨ 수백~수천톤/일 규모 상용 플랜트 참여는 불가능 ⇨ 해외기술 의존도 심화 ⇨ 해외 고부가가치 플랜트 시장 참여 원천 차단 상황

○ 타 부처의 기술개발 성과로 기 개발된 파일롯급 기술을 현실적으로 위험부담이 적은 중소형급 플랜트로 scale-up하여 단기간 내에 국내외 시장 진입이 가능한 기술의 개발이 가능
- (예) 합성가스 수톤일급 ⇨ 50~100톤/일급 scale-up

○ 국내 개발된 파일롯 설비 scale-up시 scale-up factor들의 보완 및 검증을 위한 test-bed 구현이 절실
- 대용량의 원료처리에 따른 체류시간, 체적, 열전달, 열손실, 유동분포, 유속, 형상, 재질 등 여러 가지 factor들에 미치는 영향 고려가 필요
- Scale-up 기술개발에 수백억원의 개발비가 소요되지만 국내 관련시장과 부품/설비에 대한 value-chain/supply-chain이 아직 형성되지 않아 국내 기업의 적극적인 참여를 유도하기 어렵고 정부의 전략적인 지원 또한 미비하여 국내 본격적으로 진행되지 않은 상황 ⇨ 미세먼지 등 환경오염물질 및 온실가스의 저감과 대체자원의 활용 등으로 국내외 수소/합성가스 플랜트 시장이 점차 커지고 있어 조속한 시일 내에 시장진출을 위한 기술 확보가 필요
- Scale-up 기술의 경우 합성가스 플랜트에 대한 자체 기술력을 확보하기 위해서는 반드시 필요한 기술로, scale-up 설비 구축 후 이에 대한 기술 검증 필요 ⇨ Scale-up 기술 개발 시 일반적으로 10배~30배 규모 이내에서 추진
- 일본의 경우 상용 합성가스 플랜트 기술을 확보하기 위해 2톤/일 규모의 pilot급 기술개발 ⇨ 이후 100배 scale-up하여 200톤/일 규모 기술개발 추진 (200톤/일 규모 설비 검증에 많은 시행착오) ⇨ Scale-up factor를 수정/보완한 후 24톤/일급 규모로 scale-down된 설비를 구축하여 scale-up factor에 대한 검증 진행 ⇨ 이후 1,700톤/일

규모로 scale-up 하여 상용 규모 합성가스 플랜트 기술을 확보하였을 정도로 scale-up factor에 대한 기술개발 및 검증 필요

□ 법적·제도적·환경적 제약

○ 본 기술개발 사업은 합성가스 생산, 천연가스/합성가스/바이오가스 개질, P2G 등 기존 산업부, 국토부 등에서 진행하여 온 분야와 기술적인 측면에서 유사성이 있어 산업부와 의견 조율이 큰 관건

○ 동 사업에서는 기존 TRL 5 단계의 기술을 기반으로 기술향상과 경제성 확보를 위해 test-bed를 구축하여 상용급으로 실증사업을 수행함으로써 해당 기술을 해외에 수출하는 것이 목표

○ 동 사업을 통하여 상용급 기술을 개발하고 국내 실증 및 track record 확보를 통하여 국내 시장 진입과 동시에 해외시장 진출이 목표라는 점을 산업부측을 설득할 필요

- 플랜트분야 업무 구분: 산업부는 파일롯급까지 기술개발, 해외수출 가능한 상용급 플랜트 실증은 국토부 영역

□ 본 사업이 추진되지 않을 경우 문제점

○ 본 사업이 추진되지 않을 경우, 중국의 합성가스 플랜트 및 이에 기반한 수소 생산 플랜트 기술 분야 급부상으로 시장 진출 기회의 차단 및 국내 사업장에 해외 기술 도입 심화 예상

<표 1-1-5> 합성가스/수소 플랜트 분야 주요 이슈 및 본 사업의 미추진시 예상 문제점

이슈	미추진시 예상 문제점
□ 국내 TRL 5 단계 기존투자 결과 활용	□ 1994년부터 국내 기술개발 투자되었지만 상용규모로 진입 기회 없었던 기반기술 사장 우려
□ 중국의 가스화 플랜트기술 분야 급부상	□ 중국은 2000년대 이후 미국/유럽 해외기술 도입하여 대형 가스화플랜트 설계/제작/건설/운영 경험을 기반으로 자체 가스화 원천기술을 개발 다방면 활용 시도 시작단계(석탄사용 가스화플랜트에 집중)로 현재 추세로는 2030년까지 폐기물/바이오매스 플랜트기술도 고도화 예상
□ 국내사업장 해외 가스화기술 도입	□ 국내 산업계의 저렴/청정한 수소와 청정합성가스 대기수요가 크지만 중국기술에는 의구심 존재. 국내 플랜트기술이 있으면 사용을 희망하나, 상용규모 국내기술 실증 전무로 해외기술 도입가능성 농후
□ Emerging 플랜트 시장 선점기회	□ 화석연료 대신 바이오매스, 폐기물에서 합성가스/수소 에너지원을 만들려는 방향은 세계적 추세임. 특히, 동남아, 남미, 인도, 아프리카 등 개도국은 자국자원 활용에 큰 관심, 중소형 가스화 및 수소 플랜트 주도기술 정립은 2020년대 초반 예상
□ 저급자원 활용의 가장 근간이 되는 원천기술 성격인 가스화플랜트	□ 모든 유기물질을 청정한 합성가스, 수소 등 가스자원으로 변화 활용하는 가스화 기술은 가스플랜트 분야의 근간기술로 국가 전략적 보유가 필요. 미확보 시 고부가가치 장기간 활용할 플랜트 분야 기회 상실

4. 세부기술별 기술개발의 필요성

4.1 합성가스 생산 기술

□ 수소자동차 및 수소스테이션 보급 촉진

○ 폐기물/바이오매스를 이용한 합성가스는 수소자동차 보급 초기 수소공급원으로 기여 가능

○ 특히, 폐기물의 경우 수소 수요자인 도심에서 발생하는 도시형 활용 가능 에너지이며, 폐기물처리장은 도심에 있는 공공용지로 수소스테이션 이용 가능

□ 국내업계의 관심도는 높지만 국내 고유 기술 부재로 해외 기술에 대한 의존도가 높음

○ 국내 프로젝트 경험을 활용한 해외진출용 플랜트 기술 확보 가능성 및 국내업계 관심도 증가

○ 국내역량 집결시킨 플랜트 기술로 발전 필요하며, 지난 5년 여간 국내에 축적된 경험 활용의 적기

- 국내 석탄사용 합성가스 제조 후 천연합성가스(SNG) 생산은 POSCO가 미국/독일/덴마크 기술로 건설완료, 2017/08 생산단계 (민간자체 프로젝트로 약 1.5조원 투자)
- 국내 산업폐기물 사용 합성가스 제조 후 고순도 CO를 생산하여 벙커C유로부터 생산하는 CO 대체 플랜트 건설 추진 중 (유럽기술 기반 1,600억원 투자)

□ 타 부처 R&D 결과물 활용을 통해 실제 시장이 요구하는 플랜트 기술로 집합시켜 중국 등 신흥 기술경쟁국들 진입 이전에 시장 선점이 2020년 이전에 필요

○ 합성가스 생산과 활용에 대한 국가지원 R&D 투자가 지난 20여 년간 있어서 파일롯급 기술은 국내 경험이 풍부하나, 대형 상용급 플랜트기술로의 진행은 예산 등 이유로 한계

- 국내시장도 관련 시장 해외기술 의존 심화, 해외 대형 사업에서 배제

□ 상용규모 플랜트에 접목할 체계적인 기술 조합과 틈새시장용 기술개발 병행 필요

○ 국내에서 합성가스 생산에 대한 기술개발은 석탄, 폐기물, 바이오매스에 대해 장기간 추진되어 왔지만 상용규모와는 100배 이상 작은 파일롯급 설비를 대상으로 진행

- 수백 ~ 수천톤/일 규모 상용 플랜트 참여는 불가능 ⇨ 해외기술 의존도 심화 ⇨ 해외 고부가가치 플랜트 시장 참여 원천 차단 상황

○ 한국도 해외기술 적용한 상용 석탄가스화복합발전(IGCC), 합성천연가스(SNG) 생산 프로젝트를 통해 상용설비가 2015-2016년부터 운전 ⇨ 이 경험 활용 적기

○ 다양한 환원제를 활용할 수 있는 혁신적이며 경제적인 이산화탄소 활용 기술을 개발하여 이산화탄소 저감을 통한 배출권 확보 및 이산화탄소 활용 기술의 범용성, 경제성 확보

- 버려지는 폐기물을 이용하여 개질 반응의 환원제를 얻음으로써 기존 개질 반응의 단

점으로 지적되어온 환원제 가격과 열에너지 투입에 의한 경제성 문제를 극복할 수 있을 것으로 예상

- CO_2를 원료로 하여 고부가 화학제품 원료를 합성하는 기술은 석유화학 기반 화학제품 제조 산업의 새로운 패러다임을 제시할 수 있으며, 아울러 무용의 이산화탄소로부터 고부가가치 화합물을 합성한다는 의미에서 경제적 가치 또한 매우 클 것으로 판단

□ 폐기물 혹은 하수슬러지와 같은 유기성 폐기물의 안정적 처리 방법의 필요성

○ 석탄/정유공장부산물/폐기물/바이오매스 등 유기물질을 합성가스로 변환시켜 기존 원유로부터 얻었던 화학물질을 대체 생산하는 플랜트 시장은 2020년대 더욱 커질 전망

- 석탄/정유공장부산물 해당 플랜트는 1기당 1조원 이상 고부가가치 시장으로 해외 선진업계 독과점 영역
- 폐기물/바이오매스 해당 플랜트는 1기당 수백~수천억원 투자 규모로 미국, EU업계가 주도하나, 상용급 실적이 없어서이지 국내 기술수준은 이미 해외선진업계에 도달
- CO_2 개질을 통한 합성가스 생산 기술 및 이를 활용한 초산, 메탄올과 같은 범용 고부가 플랫폼 화합물 제조 공정을 플랜트 설비화 할 수 있는 기회

□ 중국의 관련 플랜트 EPC, 엔지니어링서비스 분야 등 시장경쟁력 급부상 중으로 산학연 역량이 결집된 체계적 대응 조기 필요

○ 국내 시장도 존재하면서 해외시장 규모가 크며 국내업계 해외사업 진출에 관심이 높은 고부가가치 합성가스 활용 플랜트에 집중된 국내 test-bed 사업 필요

○ 해외플랜트 고부가가치 시장 진출 국내 기반 확보가 절실

- 최근 수조원 규모의 사우디, 인도 발주한 대형 정유부산물 활용 프로젝트에 국내업계 탈락 및 진입 능력 부족
- 사우디 Jazan 정유부산물 가스화발전 프로젝트에 중국 Sepco가 17억불 제시해, 국내 H중공업 24억불을 이기고 수주 (2014/06 최종 계약 20억불 정도로 추정)
- 인도 Jamnagar Pet-coke 합성가스 사용 세계 최대 poly-generation(전기/수소/SNG/화학원료 생산) 프로젝트에 해외선진사만 참여, 국내사 전무(2013/04 건설 시작)

□ 재생가능에너지가 대량 보급되기 전까지는 폐기물, 바이오매스, 석탄, 펫코크 등 저급자원이 앞으로 상당기간 사용되어야 함이 현실

○ 중국, 인도, 몽골, 동남아, 남미 등 합성가스 플랜트 수요는 2000년대 이후 폭발적 증가 추세

- 중국시장이 대부분 차지하였고, 중국 자체기술화와 중국의 EPC 능력 크게 제고

○ 나프타, LNG 기반의 합성가스 사용 대비, 석탄 사용 시 최소 10% 이상 원가절감 가능하며 정유공장 부산물(펫코크 등) 사용 시 더 원가절감 가능

○ 폐기물 사용 시에는 처리 비용에 따라 원가 절감 및 경제성 확보 가능, 바이오매스 사용 시 추가적으로 CO_2 감축 효과 확보

□ **환경친화적인 가스화 기술 적용 미세먼지 등 주민 NIMBY 현상 극복 필요**

○ 국내의 경우 미세먼지 문제가 심각한 사회문제로 대두되고 있는데, 환경친화적인 가스화 기술을 적용함으로써 주민들의 NIMBY 현상을 극복하면서 저급자원으로부터 청정한 에너지원을 확보할 필요성이 강하게 대두

<표 1-1-6> 가스화의 장점 및 효과

항목	장점	효과
생성가스 성상	발열량 함유가스로 청정연료가스, 합성천연가스로 활용이용이	• 가스터빈 사용이 가능하여 고효율 복합발전이 가능
가스상 공해물질	공해가스인 SOx, NOx 대신 H_2S, NH_3 가스로 생성되어 재활용 가능	• H_2S는 황, 황산 원료로 사용 • NH_3는 비료 원료로 사용
미세먼지	Near zero 배출 가능	• 세라믹필터 등 적용으로 분진제거 고효율 가능
회재(ash)	무해한 slag으로 배출	• 빗물 등에 의한 중금속 용출 최소화 가능하며, Slag은 도로 기반제, 아스팔트 filler, 벽돌 등으로 활용
다이옥신	반응자체에서 원천 저감	• 다이옥신은 산소가 충분한 조건에서 발생. 가스화는 산소불충분 조건 화학반응으로 원천적 저감 가능 • 고온인 가스화 조건은 만일 다이옥신이 미량 발생하더라도 유기물질인 다이옥신이 열적분해 무해화
주민생활환경 (NIMBY)	다이옥신, 미세먼지 우려 해소 가능	• 폐기물 소각 대비 가장 현실적인 대안
CO_2 대응	CO_2 포집에 유리	• 가스화시 CO_2 농도가 높아 포집에 유리
수요 대응	가스화 합성가스는 poly-generation(병합생산)이 가능	• 수요에 따라 수소, 청정합성가스, DME, 합성천연가스, 전기 생산 등에 분산사용 가능 (가스화 방식이 아닌 연소/소각인 경우는 발생 스팀 수요가 없을 경우 대기 중 폐기)



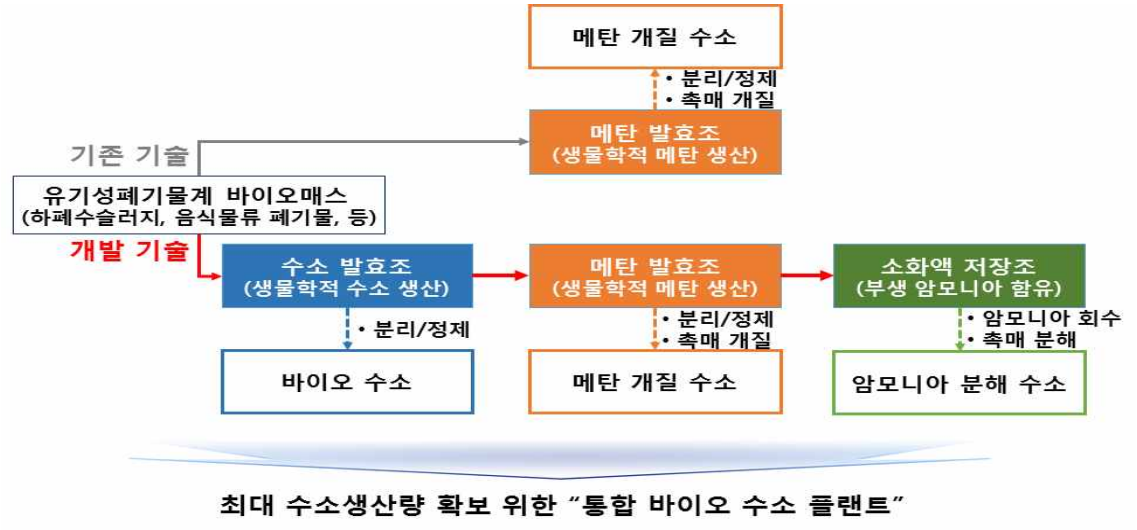
[그림 1-1-21] 합성가스 생산 기술 개발 필요성

4.2 바이오가스 생산 기술

□ 바이오매스(유기성) 기반 바이오가스플랜트로부터 수소 발생 기작의 다양성

- ○ 바이오매스(유기성)[1] 기반 수소 발생은 바이오가스 개질을 통한 수소 생산, 생물학적 전환에 의한 수소 생산, 바이오가스플랜트 운전을 통한 고농도 암모니아로 부터의 수소 생산으로 크게 3가지로 분류 가능
- ○ 바이오매스(유기성) 기반 수소 발생 기작은 다양하지만, 바이오가스 개질 수소 생산을 제외한 생물학적 바이오수소, 고농도 암모니아로 부터의 수소생산 기술은 원천 기술 개발 수준에 있어 실증 규모 기술 개발을 위한 연구가 필요
- ○ 바이오가스플랜트의 경제성 저하 주요 원인은 부산물에 대한 처리비용(구체적으로 소화액 폐수처리 비용)이 전체 운전비용의 75%이상으로 폐수처리 비용 절감이 경제성 향상에 있어 매우 중요한 요소
- ○ 혐기소화액은 암모니아가 다량 함유되어 있으며 폐수처리 과정에서 고농도 암모니아를 처리하기 위한 운전비용이 50% 차지하고 있어 암모니아를 경제적으로 회수하고 이로부터 새로운 수소원을 확보함으로서 수소생산량을 증가시키고 처리비용을 저감하여 경제성을 높일 수 있는 기술 개발 필요

1) 자원 및 에너지로 활용이 가능한 폐자원 중 생물 유래의 유기성 자원으로 발생원에 따라 음식물류 폐기물(음폐수), 하수슬러지, 가축분뇨로 분류



[그림 1-1-22] 바이오가스 생산 기술 개략도

□ **국내 발생되는 바이오매스(유기성) 중 바이오가스 에너지화로 낮은 활용**

○ 국내 바이오매스(유기성)의 하루 발생량은 약 151,882톤이고, 이 중 바이오가스화 시설에서 에너지화되는 물량은 5.3%인 8,075톤에 불과('15년)

- 음식물류폐기물은 주로 사료·퇴비화, 에너지화, 가축분뇨는 퇴·액비화, 에너지화, 하수슬러지는 건설자재, 에너지화 등으로 활용 중

<표 1-1-7> 바이오매스(유기성) 발생량 및 활용 현황

구 분	발 생 량		활용방법
	(톤/일)	(%)	
계	151,882	100	-
음식물류폐기물	15,340	10	사료·퇴비화(79.5%), 에너지화(6.7%), 소각·매립(6.8%) 등
하수슬러지	10,527	7	건설자재(25.3%), 소각(18.7%), 연료화(20.6%) 등
가축분뇨	126,015	83	퇴비·액비화(89.7%), 정화방류(8.3%), 에너지화(2.0%) 등

※ 출처: 환경통계연감('15년), 하수도통계('15년), 가축분뇨통계('15년)

- 총 88개소의 시설에서 생산되는 바이오가스 생산량은 284,382천m^3 (108천TOE)*이고 이 중 76.7%만 열원, 발전 등으로 이용

* 국가 신재생에너지 전체 보급량(13,293천TOE)의 0.82%에 해당('15.)

<표 1-1-8> 바이오가스시설 유형별 바이오가스 생산·이용현황

구 분	계	음식물류 폐기물*1)	하수슬러지	가축분뇨	통합
바이오가스시설(개소)	88	20	32	6	30
처리량(톤/일)	49,445	2,840	23,960	314	21,090
바이오가스 생산·이용(m^3/일)	779,130	205,139	263,272	4,606	306,043
바이오가스 생산량(천m^3/일)	779	203	265	5	306
바이오가스 이용률(%)	76.7	60.1	84.6	90.6	80.9

*1)퇴·액비화 시설에서 발생하는 액상 잔재물인 음폐수 포함

- 기술적, 경제적 여건을 고려 시, 바이오가스화로 에너지화가 가능한 바이오매스(유기성)의 물량은 약 40,854톤/일 (2015년 기준)
- 이를 전량 에너지화시 연간 약 660천 TOE의 에너지 생산이 가능하며, 이는 신재생에너지 전체 보급량2)의 2.3%에 해당

□ 국내 바이오가스 시설은 국외 기술에 의존하고 있어 국내 실정에 적합한 기술 부족 및 해외 기술 의존도가 높음

○ 바이오가스 시설의 기술적 경험부족 및 시행착오에 따른 설치·운영상 효율성 저하

- 국내 실정과 맞지 않는 외국의 공법 및 시스템을 그대로 적용하여 정상운영이 안되는 경우가 다수
- 소규모 시설의 경우 후처리 시설의 설치비 및 운영비의 과다지출시 경제성 부족하다는 단점이 존재

* 탈황시설의 운영에 따라 발전기 등의 수명이 좌우되며, 소화액 처리시설을 직접 운영시 현저히 낮은 경제성

- 시설운영에 전문인력을 배치할 제도적인 장치가 없고, 열악한 근무여건과 적은 보수로 경력직의 높은 이직율

* 선진 공법을 이용하여 시설 설치가 잘 이루어지더라도 전문성 및 경험 부족으로 문제 발생에 대응하지 못해 소화조 가동이 멈추는 경우도 존재

□ 바이오매스(유기성)기반 바이오가스플랜트로부터 생산되는 바이오가스의 판매 제도적 지원체계 미비

○ 국내 바이오가스 시설 운영에서 원료 공급과 바이오가스 판매에 대한 제도적 지원체계가 미비하여 안정적 시장 구축에 한계

- 음식물류폐기물 및 음식물폐수는 민원으로 인해 외부에서의 반입이 거의 불가하여 원료공급에 차질시 시설운영이 곤란
- 인근 발전소 용량 부족 시 전기 판매 불가, 도시가스 공급 시 직접 판매가능 상한량3)

2) [재생에너지 2030 추진계획] 상 '30년도의 전체 보급 목표량 (28,699천 TOE)

과 열량 기준 제한 등이 있어 가스 이용 확대에 한계 존재

- 바이오가스 생산 후 발생하는 소화액의 처리는 하수처리장으로의 연계처리 또는 액비살포가 가장 경제적이나, 비료법상 액비 품질기준을 충족하더라도 축산분뇨 70% 이상이 아닌 경우 액비로 사용 불가(음식물 혼합비율 최대 30%)

* 소화액 처리비용 부담: 자체처리 >>> 액비살포 > 폐수처리장 연계처리
* 지점오염 우려지역을 제외한 곳에서의 액비사용기준 완화 필요

□ 수소사회로의 전환에 따른 수소 사용량 급증에 의한 바이오수소 생산 기술 필요성 증대

○ 수소시장 규모 (2016년 기준)는 산업용 유통량만으로도 세계시장 $208억(자체소비량 230억 포함 총 $438억), 국내는 적어도 6,000억원 수준(시중 유통량 21만톤, kg당 3,000~4,000원 수준 기준)

- 산업용으로의 수소는 석유화학산업, 전자, 재료, 반도체 제조공업, 제철공업 및 우주항공 산업 등에서 꾸준히 수요 증가
- 향후 선진국들의 온실가스 감축의무이행에 따른 수소 연료전지 자동차 및 연료전지의 보급 등이 이루어진다면, 이에 따른 에너지용도로서의 수소 사용량이 급증

○ 수소가 친화경 미래에너지로 주목 받으면서 수요는 지속적으로 증가

- 세계적으로 매년 5천만톤의 산업용 수소를 사용하고 있지만 천연가스, 나프타 등의 화석연료로부터 생산되는 것이 대부분(95%)
- 이러한 방식으로는 기존의 화석연료가 가지고 있는 문제점을 그대로 내재하고 있어, 재생에너지 기반의 수소생산 기술의 필요성이 강조되고 있는 상황

<표 1-1-9> 국내 유통되는 수소의 생산공정별 비율

공정	생산능력 (m^3/h)	비율 (%)
소금물전기분해	67,500	22.6
나프타분해	161,900	54.1
프로판 탈수소화	14,000	4.7
천연가스개질	51,600	17.2
메탄올 개질	4,000	1.3
COG	300	0.1
합 계	299,300	100

○ 현재 수소생산 기술의 분류는 기술적 측면, 실용화 정도, 에너지・환경 문제의 해결 측면을 고려하여, 제조 원료로서 화석연료 사용여부에 따라 구별 가능

- 화석연료를 이용한 공정은 상용화되었으며 수증기 개질, 이산화탄소 개질, 부분 산화법,

3) 도시가스 사업법상 직접 판매 상한량이 10,000 m^3/월에 불과(청주시 바이오가스 에너지화시설 생산량 13,000 m^3/일로서 월 상한량을 하루만에 초과)

자열 개질, 직접분해법 등 존재

- 상용화를 위해서 연구가 활발한 비 화석연료 이용한 수소 생산 기술에는 물과 바이오매스를 이용한 전기분해, 열화학, 광화학적, 생물학적 제조 방법이 있으며, 물전기분해 기술을 제외하고는 대부분 연구단계 수준

○ 따라서, 화석연료가 아닌 바이오매스(유기성)를 이용하여 수소를 생산하는 기술로 비화석연료를 이용하여 수소를 생산하므로 진정한 신재생에너지로서의 수소 생산 상용화 기술 개발이 필요

4.3 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

□ 전 세계적 재생에너지 발전 비율 증가

○ 온실가스 및 미세먼지 저감을 위해 석탄 화력발전 감소 추세

- 파리기후변화협약은 온실가스 배출을 2030년에 최고치에 도달하도록 하며, 2050년까지 '탄소 중립'이 되도록 한다는 목표를 제시
- 중국에서도 강력한 미세먼지 저감 대책에 따라 현재 석유(20%)나 천연가스(4.6%)보다 훨씬 높은 현재의 석탄 비중(71.9%)을 5년 간 10% 감축할 것을 목표로 수립
- 국내에서는 미세먼지 및 온실가스의 저감을 위해 석탄화력 발전소의 추가 건설이 중단되었으며, 이로 인해 사용비중이 높아진 원자력 발전도 사고 우려와 폐기물처리에 대한 위험 때문에 확대가 어려워지고 있는 실정

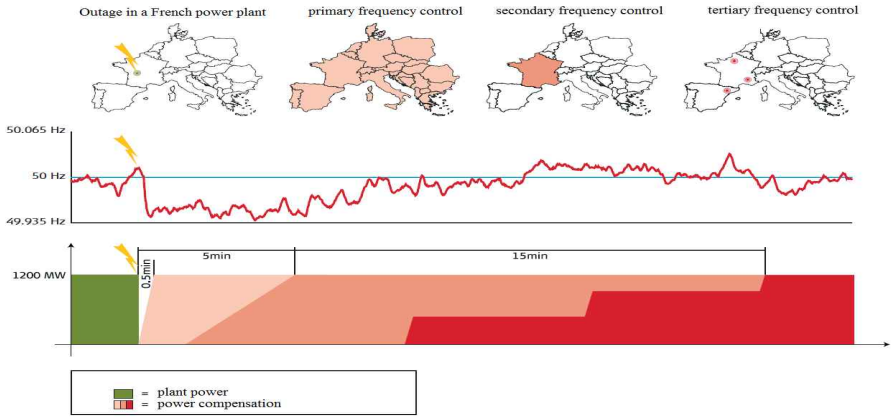
○ 현 정부의 정책으로 시장 확대가 예상되는 신재생에너지의 간헐성(출력 변동성)을 보완할 수 있는 가장 적절한 대안

- 기존 배터리 기반 에너지 저장 방식에 비해 장기적인 에너지 저장 가능
- 가장 청정한 에너지인 수소로 저장 가능
- 모듈형 분산전원 시스템 개발 시 잠재적 파급효과가 매우 높을 것으로 예상

○ 세계 각국은 온실가스 저감 및 새로운 에너지 환경으로의 전환을 위해 재생에너지 보급 활성화에 힘을 쏟고 있고, 향후 재생에너지 보급 확산은 미래에 우리가 필연적으로 받아들이게 될 에너지 관련 분야 동향

- 일본은 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 22~24%로 높이는 것을 목표로 하고 있으며, 중국도 지역별로 비수력 재생에너지 비중을 2020년까지 10~13%로 높이는 것이 목표
- 대표적으로 미국에서 재생에너지 보급을 가장 활발하게 추진하고 있는 캘리포니아주는 2030년까지 전력의 50%를 재생에너지로 공급하고, 수송용 연료의 30%를 재생에너지로부터 생산한 메탄(RNG, Renewable Natural Gas)로 대체하겠다는 목표 설정
- 독일, 스위스 등 유럽에서는 초단위로 전력수급 균형을 맞추는 1차적 전력 조절 수단(PCR; Primary Control Reserve)으로 배터리 저장장치(BESS; Battery Energy Storage System)를 활용하고, 수초~30초 후에 시작하여 15분 이내에 작동하는 2차적 조절 수단(Secondary control or LFC; Load Frequency Control)으로 발전소의 발

전용량을 조절하며, 추가적으로 3차적 조절 수단으로 1, 2차적 조절수단을 보조

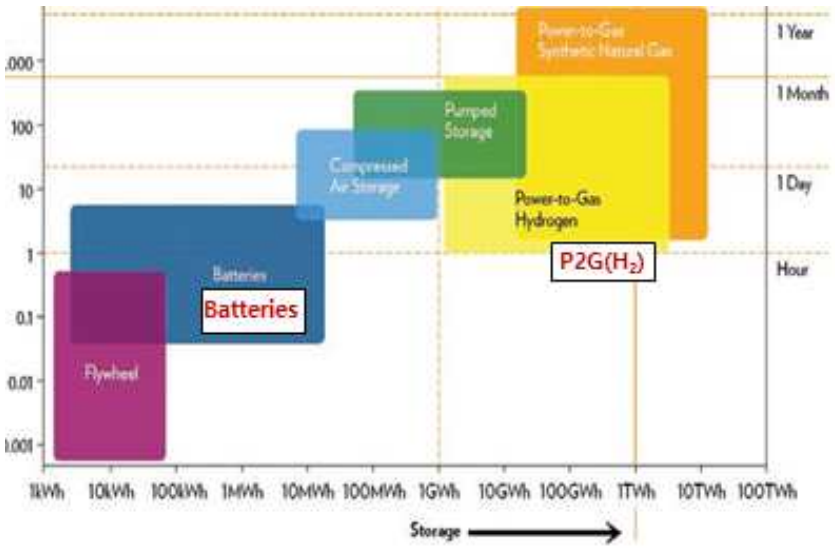


[그림 1-1-23] 프랑스의 1200 MW 전력공급 중단 및 전력저장장치 운용 예시
(출처: www.swissgrid.sh)

□ 에너지 저장 장치로서의 P2G 플랜트 가치 상승

○ 신재생에너지 시대에 대비한 전기에너지 저장기술 개발 확대

- 유럽은 2020년 신재생에너지 비율 20%를 달성하기 위하여 태양광과 풍력 발전을 중심으로 신재생에너지 발전의 비중을 높이고자 노력하고 있으며, 이에 따라 신재생에너지 확대를 위해 필수적인 에너지저장 기술의 개발에 대한 관심 증가
- 기상변화에 따라 발전량이 매우 크게 변하는 신재생 전력의 특성을 반영한 에너지 저장기술 개발에 대해 배터리를 이용한 전기 저장, 전기분해를 이용한 수소 저장, 연료전지를 이용한 메탄 저장, 연료화 공정을 이용한 연료 저장 등 다양한 방식으로 접근하여 신재생에너지 시스템의 수익성 및 안정성을 높이고자 노력하는 추세



[그림 1-1-24] 분야별 에너지 저장기술 비교 (출처: ITM Power plc)

○ 신재생 전기에너지의 저장을 위하여 Power-to-Gas 기술이 배터리 저장에 비해 유리한 이유를 아래와 같이 정리

- 용량, 효율 면에서 전기보다 수소 또는 가스가 저장에 유리
- 전체 에너지 사용의 상당부분(30% 이상)은 열수요가 차지하고 있으므로 열에너지 저장이나 연료저장이 유리
- 화석연료를 완전히 대체하기 위하여 유럽에서 추구하는 100% 신재생에너지 시스템을 구현하였을 경우 계절 간 에너지 저장이 반드시 필요한데, 배터리에는 장기 저장이 불가
- 원료 한계뿐만 아니라, 전기 자동차는 출력에 제한이 있어 화물차, 기차 등에는 적용이 쉽지 않으므로 전기차 100%의 달성은 불가하며 이는 수소 연료전지 등 연료시스템으로 적용하여 공급하여야 할 것으로 판단
- 현재 전력의 99%가 양수발전으로 저장되고, 배터리로 저장하는 양은 1% 미만으로 배터리 사용의 종합적 한계를 단적으로 보여주는 수치

○ 이러한 재생에너지 보급 확산 노력에 따라 전력망 안정과 재생에너지의 효율적 활용을 위한 대비가 필요할 것이고 Power-to-Gas 기술은 그 대비의 한 방법

□ P2G 플랜트의 낮은 경제성에 따른 부산물인 산소(O_2) 활용 필요성

○ P2G 기술의 필요성은 재생에너지 발전의 잉여 전기의 대량 저장을 위해 필요한 기술로 전기에서 수소로, 수소에서 전기로 변환을 이유로 낮은 자체 경제성

○ 수전해를 이용한 수소 생산에서 부산물인 산소는 산업현장에서 유용하게 사용될 수 있는 가스로 특히 펫코크 및 폐기물 가스화에서 산화제로서 사용 가능

○ 이론적으로 수소 생산량의 절반 가량의 산소를 얻을 수 있으며 순도 또한 높은 편이어서 산소 가스화 또는 산소 부하 가스화에 적용이 가능

○ Enel Green Power는 칠레 북부 고원지대인 안토파가스타에 125kW의 태양광을 설치해 전기를 생산하고 450kW의 수소저장 설비, 132kW의 배터리 저장시스템을 설치해 100% 재생에너지를 이용, 전기를 공급하는데 여기서 생산된 산소를 수요처에 판매 중

□ 성장단계의 기술로서 높은 시장 진입 가능성

○ 긴 개발기간, 높은 난이도로 인하여 개발 시 높은 시장 점유율 확보 가능

○ CO_2의 고부가가치화 활용 가능 기술 (메탄화: $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$)

○ 가장 청정한 재생에너지의 장점과 전력 저장의 한계성을 극복할 수 있는 현실적으로 가장 확실한 대안이나 기술진입 장벽이 높아서 미개척 분야

○ 재생에너지 보급 확산이 활발하게 진행되고 있는 유럽에 비해 우리나라를 비롯하여 미국, 중국, 일본 등의 재생에너지 보급은 걸음마 수준

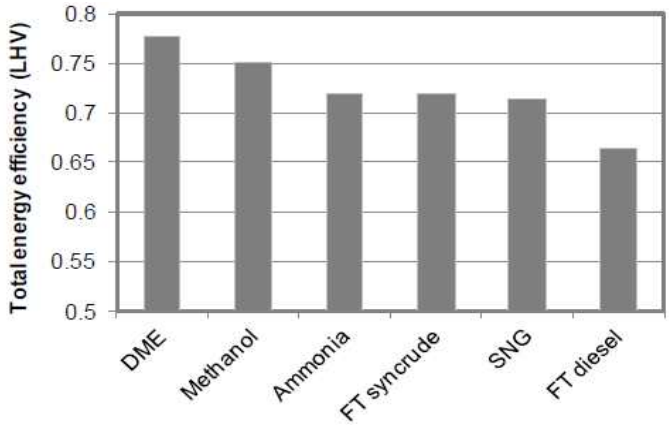
○ 우리나라도 향후 10년, 20년 후를 대비하여 물전기분해, CO_2 메탄화 기술 등의 단위기술에 대한 국산화 개발을 비롯하여 전체 시스템의 성능평가 기술, 국내에 적용 가능한 다양한 Power-to-Gas 시나리오에 대한 기술적, 경제적, 환경적 분석 등 다양한 분야에

대한 기술 개발이 필요할 것으로 판단

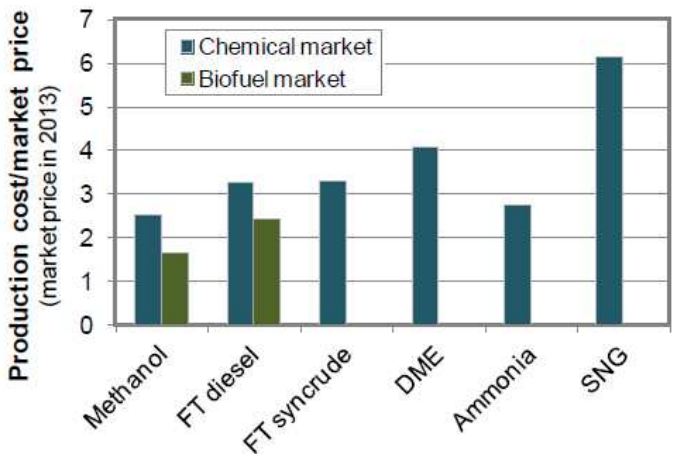
- 독일은 Power-to-Gas 기술의 상용화에 10~15년이 소요될 것을 예상하여 2000년대 초반부터 현재까지 다양한 용량, 다양한 기술에 대한 실증을 수행 중
- 현재 국내의 Power-to-Gas 기술 수준은 턱없이 부족

○ 현재 기술수준으로는 설치가격이 높고 에너지 변환 효율이 낮지만, 시장 확대와 함께 지속적인 기술 개발을 통해 훨씬 높은 경제성이 가능

- 전기로부터 수소를 생산하는 기술은 20년간 개발이 진행되어 왔지만, 인프라 보급 문제가 있어서, 이를 보완하는 방법으로 기존 천연가스 인프라를 활용할 수 있는 메탄화 공정에 대한 연구가 꾸준히 진행 중
- 단기간에 화석연료로부터 생산된 제품 대비 가격 경쟁력이 높을 것으로 예상되지 않으나, 대용량화와 기술 발전으로 비용이 절감될 것으로 기대되며, 친환경 연료에 대한 정부 지원이나 소비자의 구매의지로 경제성을 높일 수 있을 것으로 기대

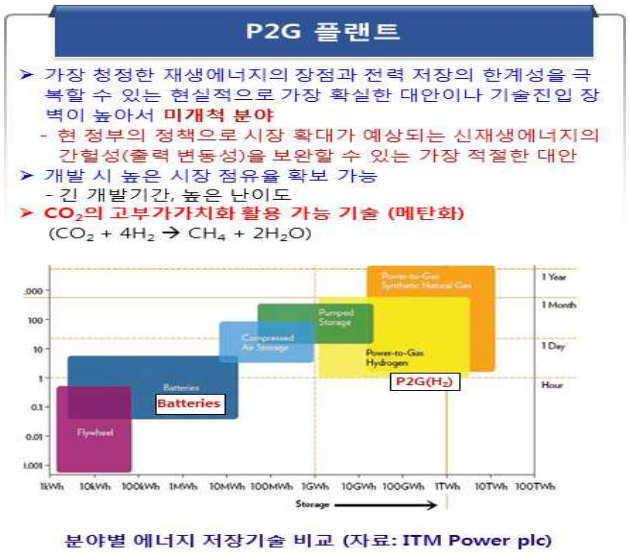


[그림 1-1-25] 수소 사용 및 보조전기를 고려한 총 효율
(출처: World Hydrogen Energy Conference, Gwangju, Korea, 2014)



[그림 1-1-26] 2013년 제품 가격 대비 생산단가
(출처: World Hydrogen Energy Conference, Gwangju, Korea, 2014)

○ 상기의 내용을 요약하여 아래 그림에 도시



[그림 1-1-27] P2G 플랜트 기술개발 필요성

□ 국내 수소 인프라 안전관리 및 제도 미흡

○ 현행 충전시설 기준은 CNG 충전시설기준을 Conversion하여 작성한 것으로 수소 특성을 고려한 항목 부족

- 고압수소 취급시설의 제트화염 사고대응기준 부족
- Bulk와 Nonbulk, 실내와 실외, 일반충전과 자가충전 구분 부재

○ 수소 액화에 대한 인증 및 검사기준 필요

- 현재 액화 기술과 저장 기술은 미국, 일본, 프랑스 등 일부 선진국만 보유
- 벤치마킹, 실증실험 등을 거쳐 액화 수소 관련 기준 제정 필요

○ 다양한 수소 생산 및 저장 방식에 따른 안전 관리 기준 필요

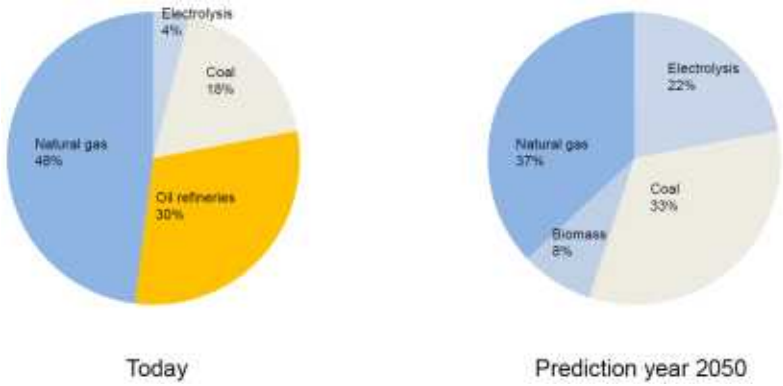
- 늘어나는 수소연료의 수요에 따라서 다양한 수소생산 및 저장방식에 따른 안전관리 및 실태조사 필요
- 기존의 CNG, LNG와 다른 수소의 특성을 고려한 관련 법규 개정 필요

4.4 개질 및 변환 기술

□ 수소제조를 위한 원료의 다변화

○ 수소 활용과 연료전지를 위한 세계적인 수소생산 원료

- 최근 2015까지 수소생산을 위한 원료는 화석연료(석탄 18%, 천연가스 48%, 원유정제 30%)가 대부분을 차지하고 있는 실정임. 이외의 기술로는 수전해가 4%를 차지
- 2050년 수소생산을 위한 원료는 화석연료(석탄 33%, 천연가스 37%)의 비중이 상대적으로 낮으며, 수전해 22%와 바이오매스 8%의 비중이 증가할 것으로 예측



[그림 1-1-28] 2015년 수소 활용과 연료전지를 위한 수소 원료의 변화

(출처: International Conference on Electrolysis, Copenhagen, 2017)

○ 일본의 수소 활용을 위한 원료 다변화

- 일본의 수소전략 로드맵에서는 2030년까지 부생수소나 천연가스 개질과 같은 화석연료유래 수소를 사용하는 것과 동시에 수소 공급망을 구축하며, 이후 CCS와 연계된 갈탄의 가스화와 신재생에너지를 활용한 암모니아를 수입하여 사용하는 것을 기반으로 구성
- 이에 따른 수소가격도 20엔/Nm^3까지 낮아질 것으로 예측하고 있지만, 현재에는 대량의 수소를 생산하기 위해 화석연료를 기반으로 계획 중



[그림 1-1-29] 일본의 수소 전략 로드맵

(출처: 일본수소기본전략, 관계각료회의, 2017)

○ 국내의 수소 생산 분야 로드맵 분석

- 2019년 정부에서 발표한 “수소경제 활성화 로드맵”에서는 현재의 경우 부생수소와 추출수소(천연가스나 바이오가스 개질)를 기반으로 공급이 가능하지만, 장기적으로는 수소의 수요량이 증가하기 때문에 수전해의 비중을 늘리고 50% 이상은 해외에서 수

입하는 것으로 계획 수립

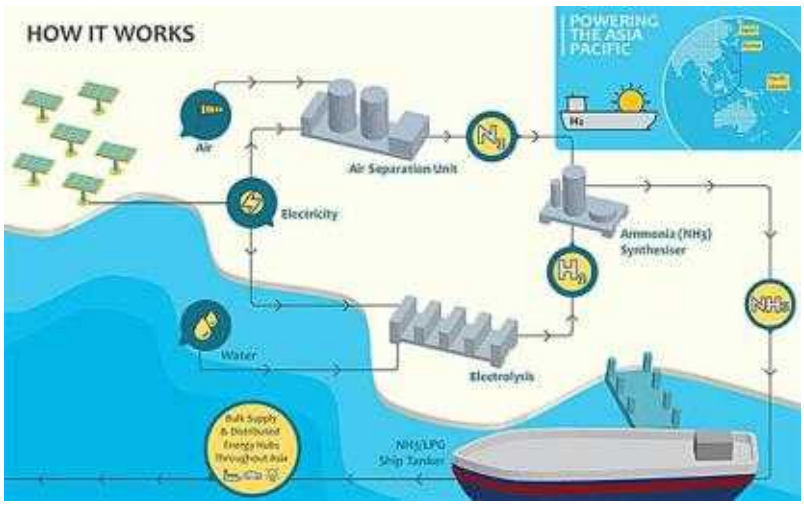
- 해외 생산 수소는 CO_2 free인 재생에너지를 활용하여 생산된 수소

<표 1-1-10> 국내 유통되는 수소의 생산공정별 비율

구분	현재	2022년	2030년	2040년
구성	①부생수소 ②추출수소	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소, ②추출수소 ③수전해, ④해외생산 ※ ①+③+④ : 50%, ② : 50%	①부생수소, ②추출수소 ③수전해, ④해외생산 ※ ①+③+④ : 70%, ② : 30%
	-	수도권 인근 대규모 생산	해외 수소 활용	CO_2 free 수소 대량 도입
공급	13만톤/年	47만톤/年	194만톤/年	526만톤/年

○ 한국과 일본의 수소 미래 공급 방안

- 풍부한 천연자원(태양광, 풍력)을 보유하고 있는 호주에서 생산된 수소를 NH_3로 전환한 후 해상으로 이송하는 방안이 제안되고 있는 중
- 암모니아 합성을 위한 수소는 수전해로부터 확보, 질소는 공기에서 분리하여 사용



[그림 1-1-30] 한국과 일본의 미래 수소 공급 방안

(출처: http://www.hanhodaily.com/news/articleView.html?idxno=52259, 2017)

□ 수소생산을 위한 개질기술의 적용

○ 수소생산을 위한 천연가스와 바이오가스의 개질기술

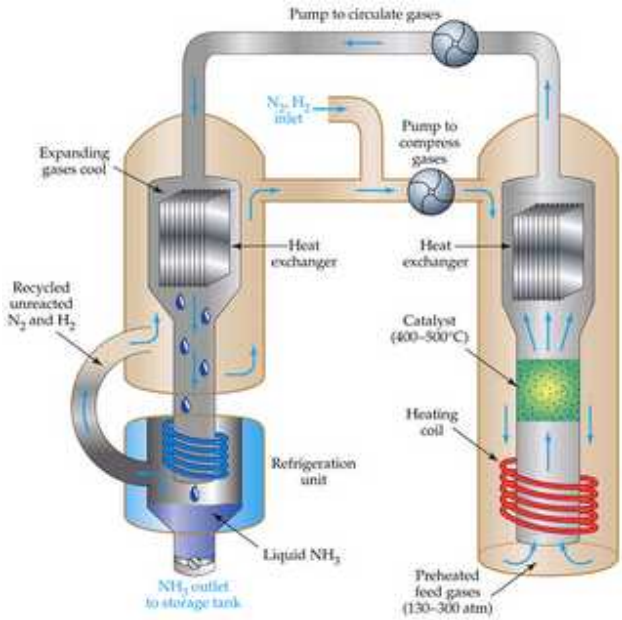
- 국내의 수소 공급 로드맵에서는 2030년까지 개질기술을 통한 수소생산을 50%로, 2040년에는 30%이지만 이의 기술을 통한 수소생산량은 증가할 것으로 보고
- 천연가스는 기존 공급망을 활용하여 300~1,000 Nm^3/h 이상 급의 수소 개질기를 구축하여 대량의 수소 생산이 가능
- 도시 내의 LPG, CNG 충전소 또는 CNG 버스 차고지 등에 300 Nm^3/h급 개질기를 구

축하여 분산형 소규모 수소생산기지로 활용이 가능

- 특히, 바이오가스의 경우 “탄소중립(carbon neutral)”이라는 장점을 가지고 있어 CO_2를 제거한 후 천연가스 배관망에 공급하여 사용하거나 바이오가스 생산지에서 직접 개질하여 수소 생산 가능
- 이와 같이 천연가스와 바이오가스의 개질을 통한 수소생산은 수성가스전환(WGS, water gas shift)과 수소 분리기술(PSA, Membrane separator 등)이 수반

○ 암모니아의 개질을 통한 수소생산 기술

- 수소는 친환경적인 2차 에너지로 주목받고 있으나 상온에서 기체 상태로 극저온·고압 조건에서 압축해 운반해야 하기 때문에 대량 저장·수송하는데 높은 기술력이 요구되고 있어, 일본의 경우 수소를 저장·수송하기 쉬운 화학에너지(에너지캐리어)로 변환해 이용하는 에너지 시스템 도입에 박차를 가하고 있는 중
- 암모니아(Ammonia, NH_3)는 액체의 밀도가 액체 수소보다 높고 실온에서 액화할 수 있으며 수소 발생에 필요한 에너지가 연소에너지의 약 10%에 불과할 뿐만 아니라 탄소를 함유하지 않아 뛰어난 에너지 캐리어로서 가능성 보유 및 관심 집중
- 암모니아는 수소와 마찬가지로 온실가스 배출하지 않는 친환경적인 특징을 가짐과 동시에 상온의 8~10 bar의 저압에서 액화가 가능하여 저장과 운반이 수소에 비해 쉬운 장점 보유
- 연료로서도 메탄올과 대등한 정도의 높은 에너지 밀도를 갖고 많은 양의 수소를 포함하고 있으며, 암모니아의 이러한 장점 때문에 미국, 일본 등의 에너지기술 선진국 국가에서는 수소 캐리어로서 암모니아에 대한 연구가 활발히 진행 중
- 암모니아의 단점은 고무나 구리계열의 금속 등을 부식시키기 때문에 저장용기 및 장치 재질 선정에 있어서 제한이 있는 점과 특유의 악취
- 하지만, 암모니아 합성은 온도(400~600℃)와 압력(200~400bar)과 같이 고온・고압에서 운전되기 때문에 이에 따른 재질선정, 저온의 경우 NH_3의 생산성 저하와 고압의 경우 비용 증가가 수반
- 이와 같이 NH_3의 개질을 통한 수소생산은 질소와 수소의 분리기술(PSA, Membrane separator 등)을 통해 고순도의 수소 확보 가능



[그림 1-1-31] 암모니아 합성을 위한 하버-보슈법

□ 국내 적용을 위한 개질 기술의 필요성

○ 천연가스와 바이오가스의 개질기술

- 수소경제의 활성화를 위해 천연가스 또는 바이오가스의 개질을 통한 수소 공급은 수소 생산 분야에서 매우 중요한 역할을 하고 있는 상황
- 현재 세계적으로 상업용 개질기술은 대규모로 개발이 완료된 상태이지만, 중·소규모의 개질기술은 일본에서만 관심을 가지고 있는 실정이므로 수소생산을 위한 천연가스와 바이오가스의 개질기술에 대한 국산화가 필요

○ 암모니아의 개질기술

- 장기적인 관점에서 NH_3는 호주에서 수입하여 개질한 후 수소를 얻을 수 있는데, 일본과 국내에서 소규모로 연구가 진행 중
- 2030년 이후 대규모의 NH_3를 수입하면 개질을 위한 촉매나 이를 위한 반응기 및 공정 개발이 요구되며, 특히 NH_3는 부식성이 강하기 때문에 재질선정이 매우 중요
- 현재 NH_3의 가격은 현재 국제 유가가 $60/bbl의 가격대를 형성하지만 여러 기관에서 오름 추세임을 인지하고 $80/bbl까지 상승할 것으로 전망
- 글로벌 암모니아 시장은 2017년 중순까지 공급과잉으로 암모니아 가격 또한 $250~300/ton의 박스권을 형성하지만, 2017년 하반기부터 국제 유가의 상승과 마찬가지로 상승 시나리오로 진행되어 $300/ton을 넘어설 것으로 전망
- 호주에서와 같이 재생에너지로부터 NH_3를 생산한 후 개발하여 수소를 얻게 되면, 발생량이 없고, 천연가스 배관망이 없는 지역에 수소개질기용 암모니아 공급이 용이



[그림 1-1-32] 국제 유가와 주요 에너지원/암모니아의 가격 변동

4.5 정제 및 분리 기술

□ 국내 고유 상용기술 부재로 국외 기술에 대한 의존도 높음

- ○ 국내 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술과 압력변동흡착(PSA, Pressure Swing Adsorption) 방식의 수소 분리 기술의 경우, 파일럿 규모에서는 선진기술과 비교하여 동등 또는 우위에 있는 기술
- ○ 분리막을 이용한 수소 분리 기술의 경우 대부분 랩규모 및 파일럿 규모 기술이 개발되고 있는 중
- ○ 그러나 상용기술의 부재로 합성가스/바이오가스 정제 및 수소 분리 기술의 경우 국외 기술에 대한 의존도가 높은 실정

□ 국내 고유 기술 확보를 위한 실증기술 개발 추진 필요

- ○ 국내 기술의 상용 적용을 위해서는 기술 및 신뢰성 검증을 위한 실증기술 개발 추진이 필요
- ○ 파일럿규모 설비 및 랩규모 설비 기술개발을 통해 국내 축적된 기술개발 경험과 연구자원을 기반으로, 실증기술 개발을 통한 기술 검증 및 장기 운전을 통한 신뢰성 검증이 필요
  - 과기부, 교육부, 환경부, 산업부 등 여러 부처의 기술개발을 통해 확보된 원천 및 핵심 기술을 기반으로 실제 시장에서 요구하는 플랜트 공정설비 및 시스템 개발 추진 필요
  - 실증기술 개발을 통해 원천 및 핵심 기술에 대한 검증과 장기 운전을 통한 시스템 신뢰성 확보 필요

□ 기술 및 시장 경쟁력 향상위한 기술개발 추진 필요

- ○ 국내 고유 기술 기반으로 시장 진입 및 확대를 위해서는 기존 국외 상용기술과 비교하여 기술 및 시장 경쟁력을 갖춘 기술의 확보 필요
  - 또한 기존 상용화된 국외 기술뿐만 아니라 국외에서 개발 중인 기술과 동등 또는 우

위에 있는 기술을 확보하여야 실질적인 경쟁력 확보 가능

○ 기존 상용 기술 및 국외 개발 중인 기술과 비교하여 경쟁력을 갖추기 위해서는 설비의 고효율화, 콤팩트화, 저가화, 모듈화 등에 대한 기술개발 추진이 필요

□ 수소 경제사회 진입에 따른 시장 진입을 위한 핵심 기술 및 기반 확보 필요

○ 일본, 미국, 유럽 등을 중심으로 수소사회 진입 중으로, 고순도 수소 제조에 필수적으로 필요한 정제 및 분리 설비의 조기 시장 진입을 위해서는 관련 기술의 확보가 시급

○ 기술 우선 확보를 통해 조기 시장 진입하여 선점 또는 동등한 조건에서 국외 기술과 경쟁하는 기반을 확보하고 기술경쟁력 강화를 통해 시장 확대 및 강화 필요

4.6 공통 핵심 기술

□ 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술

○ 국내 건설/조선업체 등에서 확보하고 있는 모듈화 기술을 적용함으로써 해외에서 복제가 어렵도록 주요 부분은 블랙박스화가 가능하고, 또한 해외 수출 시 국내 발생 부가가치를 최대화하기 위하여 모듈화 기술 필요

○ 안전이 매우 중요한 원자력 분야에서 정밀한 안전도 검수를 제작단계에서 할 수 있는 모듈화 개념의 도입이 활발한 것처럼, 수소생산 분야도 합성가스 또는 수소에 의한 폭발과 유독성 문제로 제작과 설치 여건이 열악한 경우에는 운전 단계에서 인사사고 발생확률이 높게 됨. 사고 발생 확률을 줄이기 위하여 모듈화 개념의 적용이 필요

○ 대형 플랜트가 아닌 중소형 플랜트인 경우에는 전문 운전인력 배치, 고가의 안전시설 설치가 비용적 측면에서 어려운 경우가 다수

- 특히 현장이 인도네시아 섬지역 등 인프라가 열악하고 운전인원의 질이 낮을 때에는 이를 극복할 방안으로서 표준화된 모듈화가 바람직

○ 모듈화의 핵심은 건설공기 단축, 건설비용 감소, 품질 확보가 가능토록 하는 데 있으며, 일반 모듈에 더해 이를 표준화하면 제작 시 발생 가능한 오차가 최소화되며 제작라인의 자동화가 가능

○ 적절히 운용될 때의 장점을 아래에 열거

- 건설 및 시운전 기간 단축
- 설계 표준화/자동화 가능
- 시공 품질 향상
- 모듈 재활용성 향상과 유지보수 편리
- 핵심기술 지속 업그레이드에 필요한 핵심 자료 확보 용이(문제 발생 모듈 보수 및 재사용 단계에서)
- 동일한 모듈 사용에 따른 데이터의 호환성 향상으로 문제점 파악 및 해결이 용이

○ 모듈화 개념이 잘못 적용되면 비용만 증가하게 되므로 제작 현장과 가깝고 유지보수가 용이한 지역은 모듈화 개념의 의미가 없고, 제작 및 유지보수를 위한 인프라가 열악한

지역(예: 극한지, 도로 등 인프라 취약지역)을 타겟으로 표준화된 제작이 이루어져야 대량생산 체계의 경제적 이득이 가능

□ ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술

○ 합성가스의 주성분인 CO, H_2 등의 독성가스 및 폭발성 가스 관리를 위한 주요 현안 문제 해결에 필요한 데이터 분석 경험과 분석 방법론에 대한 노하우 확보가 필요

○ 국내 강점기술인 IT 기술을 전략적으로 합성가스 기반 수소생산 플랜트에 접목하여 플랜트 신뢰도 향상과 경쟁력 강화가 필요

- 국내 강점 기술인 IT 기술을 플랜트 분야에 접목시킨 ICT/IoT/빅데이터 기반의 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 시스템 개발과 실증 필요

○ 합성가스 기반 수소생산 플랜트의 운영관리의 최적화를 위하여 빅데이터 활용, ICT/IoT 기술의 접목 및 융합이 필수적

- 운전 자료의 취합 및 정리뿐만 아니라, 플랜트 운영관리에 영향을 주는 주요 핵심 기기에 대한 분류 및 선별, 빅데이터의 분석 및 진단, 빅데이터 진단결과를 기반으로 한 의사결정, 결정된 사안에 대한 공유 및 대응 등 여러 가지 단계가 필요

- 이러한 빅데이터의 취합/분석/진단/공유/대응 등을 적절하고 빠르게 대처하기 위해서는 ICT/IoT 기술의 접목 및 융합이 필수적

○ 운영관리 전문인력 및 인프라가 부족한 해외국가로 시장진출 시 지속적인 유지보수를 진행하기 위해서는 자체적으로 운영관리가 용이하여야 하며 또한 플랜트 주요 운전 데이터를 국내에 전송할 수 있는 기능을 갖추어 품질관리 지원 필요

제2절 사업 추진현황 및 근거

1. 사업 추진현황

○ 환경부, 산업통상자원부 및 국토교통부 등에서 추진한 주요 사업과 과제 현황을 아래 표에 정리

<표 1-2-1> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 관련 기존 사업 및 과제 현황

분야	사업명	주관부처	과제명	연구기간
합성가스 생산	신재생에너지 융합원천기술개발	산업통상자원부	상용규모 사업장폐기물 이용 고품질 합성가스 생산시스템 개발	'12~'15
			고열량 폐기물 합성가스로부터 메탄올 회수 기술 개발	'11~'14
	폐자원에너지화·Non-CO_2 온실가스사업	환경부	보급형 중·소규모 생활폐기물 가스화 발전 시스템 개발	'10~'14
	폐자원에너지화 기술개발사업	산업통상자원부	비성형 고형연료의 혼합산화제 가스화를 통한 고품질 합성가스 제조 기술 개발	'13~'18
	신재생에너지 핵심기술개발	산업통상자원부	IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	'16~'19
바이오가스 생산	폐자원에너지화 기술개발사업	환경부	한국형 유기성 폐자원 바이오가스 에너지화 시스템 및 운영기술 개발	'13~'19
	글로벌탑환경 기술개발사업	환경부	유기성폐기물 병합처리 및 바이오가스 발전시스템 개발	'08~'14
	글로벌탑환경 기술개발사업	환경부	하수처리장 에너지 자립을 위한 한국형 바이오가스 생산·회수 및 활용 통합 실증화 기술개발	'11~'16
	-	한국학술진흥재단	유기성 폐기물을 이용한 연속 바이오수소 생산 기술 개발	'06~'09
	중소중견기업 기술지원 및 서비스사업	국가과학기술연구회	음식물류 폐자원 유래 바이오수소 생산 및 균주 개량기술 개발	'17~'18

잉여전기 활용 수소 생산 및 산소 활용	일반사업	지식 경제부	석탄 SNG 제조 공정 국산화를 위한 실증 기술 개발	'11～'14
	일반사업	산업통상 자원부	풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500 kW급 하이브리드 수소변환 및 발전시스템 기술개발	'17～'20
	일반사업	교육과학 기술부	고효율 수전해 수소제조 기술개발	'06～'09
개질 및 변환	에너지자원융합 원천기술개발사업	산업통상 자원부	합성가스 제조용 모듈형 마이크로 채널 리포머 개발	'10～'15
	일반사업	해양 수산부	고효율 수소 생산을 위한 고압 수성가스 전환 생물반응기 개발	'15～'20
	일반사업	산업통상 자원부	수소분리 복합구조체를 이용한 5 Nm^3/h급 고효율 천연가스 개질기 개발	'17～'20
	일반사업	산업통상 자원부	암모니아(NH_3) 분해 수소 생산/정제 시스템 개발	'18～'21
	일반사업	교육과학 기술부	생물학적 변환기술에 의한 수소생산	'03～'06
	BK21플러스사업	교육과학 기술부	흡착부과 글리세롤 수증기 개질반응으로부터의 고순도 수소생산을 위한 고온 이산화탄소 흡착제의 개발	'16～'21
정제 및 분리	기후변화대응 기술개발	과기부	유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 요소기술 개발	'17～'21
	농업정책지원 기술개발사업	농림부	가축분뇨 유래 바이오가스 고질화(순도개선) 기술 개발	'17～'19
	신재생에너지핵심 기술개발	산업부	IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	'16～'19
	에너지수요관리핵심 기술개발	산업부	이산화탄소포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발	'18～'21
	중소기업기술혁신 개발	중기부	바이오가스 중 황화수소, 암모니아, 실록산 동시제거 흡착제 제조기술	'18～'20
	글로벌탑환경 기술개발사업	환경부	LFG 중질화 및 활용기술 개발	'16～'19
	글로벌탑환경 기술개발사업	환경부	혐기소화 발생 바이오가스내 메탄가스 분리정제를 위한 기초응용 기술의 개발	'11～'16

2. 사업 추진근거

○ 법적 추진근거로는 국토교통과학기술 육성법과 건설산업 기본법, 건설기술 진흥법 그리고 해외건설 촉진법에 명시되어 있으며 아래 표와 같이 법조문에서는 플랜트라는 단어의 직접적인 사용보다는 건설산업 관련 기술, 산업설비, 건설공사, 건설기술 등의 관련문구로 표기

<표 1-2-2> 법적 추진근거와 관련된 관계 법령

관계 법령	
국토교통과학기술 육성법	
제2조	(정의) "국토교통과학기술"이란 미래 성장동력 창출 및 국민의 삶의 질 향상을 위하여 필요한 국토교통분야 산업의 발전에 관한 과학기술로서 다음 각 호의 기술을 말한다. 1. 「건설기술 진흥법」 제2조, 「건설산업기본법」 제2조, 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 제2조, 「해외건설 촉진법」 제2조 등에 따른 건설산업 관련 기술
건설산업 기본법	
제2조	(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 4. "건설공사"란 토목공사, 건축공사, 산업설비공사, 조경공사, 환경시설공사, 그 밖에 명칭에 관계없이 시설물을 설치·유지·보수하는공사(시설물을 설치하기 위한 부지조성공사를 포함한다) 및 기계설비나 그 밖의 구조물의 설치 및 해체공사 등을 말한다.
건설기술 진흥법	
제2조	(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 1. "건설공사"란 「건설산업기본법」 제2조제4호에 따른 건설공사를 말한다. 2. "건설기술"이란 다음 각 목의 사항에 관한 기술을 말한다. 다만, 「산업안전보건법」에서 근로자의 안전에 관하여 따로 정하고 있는 사항은 제외한다. 가. 건설공사에 관한 계획·조사(지반조사를 포함한다. 이하 같다)·설계·시공·감리·시험·평가·측량(수로조사를 포함한다. 이하 같다)·자문·지도·품질관리·안전점검 및 안전성 검토 나. 시설물의 운영·검사·안전점검·정밀안전진단·유지·관리·보수·보강 및 철거 다. 건설공사에 필요한 물자의 구매와 조달 라. 건설장비의 시운전(試運轉) 마. 건설사업 관리 바. 그 밖에 건설공사에 관한 사항으로서 대통령령으로 정하는 사항
해외건설 촉진법	
제1조	(목적) 해외건설업의 신고와 해외공사에 대한 지원 등 해외건설을 촉진하는 데에 필요한 사항을 정함으로써 해외건설업의 진흥과 국제수지의 향상에 이

제2조	바지함을 목적으로 한다. (정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 1. "해외공사"란 해외건설공사, 해외건설 엔지니어링 활동 및 해외인프라·도시개발사업을 말한다. 2. "해외건설공사"란 해외에서 시행되는 토목공사·건축공사·산업설비공사·조경공사와 전기공사·정보통신공사 또는 그 밖에 이와 유사한 것으로서 대통령령으로 정하는 공사를 말한다. 3. "해외건설 엔지니어링활동"이란 해외건설공사에 관한 기획·타당성조사·설계·분석·구매·조달(調達)·시험·감리·시운전(試運轉)·평가·자문·지도 또는 그 밖에 이와 유사한 것으로서 대통령령으로 정하는 활동을 말한다.
제15조의4	(해외건설 정책 및 연구개발 등 지원) 국토교통부장관은 해외건설의 진흥을 위하여 다음 각 호의 사항을 지원할 수 있다. 5. 해외건설 시장개척을 위한 연구 · 조사사업

○ 정책추진 근거로는 우리나라의 플랜트 산업정책을 살펴보면, 플랜트 산업을 건설 산업의 고부가가치화의 선두에 있는 산업군으로 인식, 해외 진출을 지원하기 위한 다양한 정책을 제시하고 있으며, 또한 플랜트 산업의 해외진출을 위한 경쟁력 확보를 위해 R&D 투자 지원을 확대하는 중

- (해외건설 지원 종합대책('08. 07)) 기획재정부 등 관계부처 공동으로 해외 건설산업의 고부가가치화를 위한 R&D 투자지원을 확대하기로 계획
- (플랜트 수출 확대 및 경쟁력 제고 방안('09.07)) 제23차 비상경제대책회의에서 기획재정부, 국토교통부 등 관계부처 합동으로 '플랜트 수출 확대 및 경쟁력 제고 방안'을 수립

○ 2016년 정부 R&D 사업 부처 합동설명회에서 발표한 국토교통부의 R&D 투자방향으로부터 본 기획과 관련된 사업의 추진 의지와 방향성 파악 가능

○ 국토교통부의 기본적 사업 추진 방향은 연구개발 사업을 통해 산업경쟁력을 강화하고 첨단기술 융복합 촉진을 통해 창조경제를 실현하고 국민안전 및 국민체감형 R&D를 지원하여 국민행복에 기여하는 것으로 그 대상으로 건설기술부문, 교통기술부문, 기반구축부문으로 분류

○ 특히 건설기술부문의 플랜트 연구사업의 추진계획 목적을 보면 플랜트 건설사업에 요구되는 핵심공정 개발, 기본설계 및 실증 기술개발을 통해 국내 적용뿐만 아니라 해외 플랜트 수주에서 경쟁력을 증대시키는 것이라는 점에서 본 기획과 같은 맥락

○ 중점적으로 추진되는 분야를 보면 자원 이송 및 순환 기술, 플랜트 건설 지원 인프라 기술, 담수화 기술, 가스·비전통 자원화 기술 등

○ 국토해양R&D 발전전략('10.10): "Green-up 30" 미래핵심기술: 미래 국토해양 분야의 녹색성장 견인, 신성장동력 창출을 위해 미래핵심기술 "Green-up 30" 도출

<표 1-2-3> 국토해양R&D 발전전략의 “Green-up 30” 미래핵심기술 (2010. 10)

분야	에너지 고효율 · CO_2 저감	공공 및 성장동력 창출
건설 (12)	· 탄소저감형 건설재료	· 네트워크 기반 SOC시설물 관리기술
	· 첨단 무탄소도시(Smart Green City) 조성기술	· 지능형 친환경 교량(Intelligent Green Bridge)
	· 순환형 도시자원 복합 플랜트	· 첨단 수자원 관리 기술
	· 능동형 녹색빌딩(Active Green Building) 기술	· 해저터널 기술
	· 하이브리드 담수화플랜트 기술	· 해상부유식 LNG플랜트(LNG-FPSO)기술
	· 하천관리 선진화 기술	· 차세대 국토해양 공간정보 기술
교통 (9)	· 차세대 녹색도로교통운영기술	· 미래형 개인용항공기(PAV) 종합운용체계 기술
	· 그린카(Green Car) 인프라 기술	· 친환경 화물운송수단
	· 철도운영 효율화를 위한 차량개발 및 친환경 인프라구축 기술	· 대심도 교통 · 물류 네트워크 구축 기술
	· 탄소중립형도로(Carbon Neutral Road)	· 차세대 항공시스템 친환경 선도기술
	· 에너지 절감형 물류시설/장비 및 운영기술	
해양 (9)	· 친환경 해양장비 및 기반기술	· 해양재난재해 대응기술
	· 그린쉽(Green Ship) 기술	· 자원순환형 항만 기술
	· 해양바이오(Ocean Bio) 기술	· 항만물류 시설/장비 고도화
	· 해양 녹색 금속자원(Ocean Green Metal) 추출 기술	· 극한지 탐사로봇 및 장비개발(탐사로봇)
	· 해상에너지 복합단지(Ocean Energy Farm) 조성기술	

○ 정부는 국무회의에서 2030년 국가 온실가스 감축목표를 ‘배출전망치(BAU) 대비 37% 감축’하는 것으로 최종 결정하여 BAU 8억 5,060만톤에서 5억 3,590만톤으로 감축하되 국내에서 25.7%, 해외에서 11.3% 감축 계획

○ 수소 및 합성가스 생산 플랜트와 관련하여 저급자원 가스화 기술로서 에너지화 효율이 높은 기술임과 동시에 이산화탄소 포집 기술 채택에 있어서 가장 경제적인 기술인 점을 고려하였을 때 국가적 온실가스 감축목표에 크게 기여 가능

○ 2008년 신재생에너지 RD&D 2030 전략, 2012년 에너지기술개발로드맵(폐기물에너지 분야 및 바이오매스에너지 분야), 2014년~2015년 폐기물에너지 전략기획보고서 등에 지속적으로 포함되어 기술개발의 필요성이 제기되는 상황

○ 정부 제시 폐기물 에너지 기술개발 로드맵에 따를 경우, 단기적으로 폐기물 에너지화 사업의 추진을 기획 중이지만 향후 바이오매스의 적용성 확대를 통해 신재생에너지 보급 달성을 계획

○ 발생되는 폐기물 및 바이오매스의 활용성을 기대해 볼 때 , 단순 소각을 이용한 폐열회수 기술의 적용보다는 가스화 합성가스를 적용한 수소연료전지자동차(충전소 등) 및 수소연료전지 발전 시설의 연계를 통해 에너지 매체로 역할을 할 것으로 기대

<표 1-2-4> 폐기물 에너지 기술개발 전략 로드맵

분류	기술분야	5대 전략품목	17대 핵심기술
단기 품목	고형연료	복합폐기물 (생활계/사업장계) 처리용 고형연료 제조 및 이용 핵심단위설비	공기순환 싸이클론식 풍력선별기
			고형연료연소 열풍공급식 건조기
			고생산성 링다이스식 성형기
			Fluff RDF 전용 연소보일러
			BT연계형 RDF제조 플랜트 개발
	가스화	사업장 고형폐기물 고품질 합성가스 생산 및 이용 시스템	사업장 폐기물 가스화 생산시스템
			고품질화 정제 기술
			신뢰성 운전 및 모니터링 기술
			합성가스 이용 연계시스템
			엔지니어링 국산화
	소각열 회수 이용	고효율 폐기물 소각일체형 보일러 시스템	50톤/일급 소각일체형 보일러시스템
			고품질 스팀생산 및 활용기술
			차세대 열병합 발전 기술
			300톤/일급 이상 소각열이용 실증시스템
	공동 핵심 설비	폐기물 에너지화 공통 핵심설비	복합폐기물 에너지화 선별/공급/배출 설비
			폐기물에너지화 공정별 파쇄/분쇄 설비
			복합폐기물 에너지화 적정 건조 설비
장기 품목	열분해 유화	폐기물 열분해 복합 에너지화 플랜트 고유 모델	열분해 유화 상용화 실증 공정
			저급 열분해 생성유의 고급화 정제기술
			고비점 고상성분의 활용 공정기술
			열분해 복합 플랜트의 자동화 및 안전 시스템

(출처: 지식경제부(한국에너지기술평가원), 폐기물에너지 기술개발 전략로드맵 수립연구, 2012)

○ 합성가스 활용 플랜트와 관련하여 기 개발된 국내 수십톤/일급 가스화 기술을 가지고 현실적·기술적으로 가능한 규모로 변환하여 틈새시장에 진출할 수 있는 합성가스 생산 후 수소 생산, 고부가가치화 연료 및 원료로 활용할 수 있는 원천기술을 개발한다는 점에서 국토부의 플랜트 건설 부문 사업 방향 및 계획과의 적합성 확인 가능

○ '국토교통 R&D 중장기 전략'과의 부합성에서는, 10대 중점 프로젝트 중 '글로벌 TOP 플랜트 건설기술'의 중점분야로 '가스·비전통 자원화 플랜트'를 제시하고 있으며, 과제로 이 사업과 직접적으로 관련된 '가스플랜트 공정 고도화'를 언급하고 있어 이 사업과의 부합성은 높은 것으로 분석

○ '제3차 에너지기술개발계획'의 '에너지 공급기술'분야의 세부기술 중 차세대 청정연료에서 GTL 플랜트의 개념을 직접적으로 언급하고 있으며, GTL 플랜트의 핵심기술인 천연가스/바이오가스 개질 기술이 본 사업과의 부합성이 높은 것으로 판단

○ '제5차 해외자원개발 기본계획'의 5대 주요 추진 과제 中, '해외자원개발 기술역량 제고' 및 '장기적인 에너지 안보역량 강화'과제가 동 사업에서 추진하는 마이크로 GTL 플랜

트 기술개발 방향성과는 부합

- 마이크로 GTL 플랜트 기술은 동 사업의 주관부처인 국토교통부의 국토교통 R&D사업개편(안)에 반영되어 있어, 국토교통부는 본 사업에서 개발 예정인 천연가스/바이오가스 개질 및 변환 기술에 대한 추진의지를 갖고 있는 것으로 판단

○ 2019년 이후 기존 국토교통 플랜트 R&D사업 중 약 40.6억원 규모의 R&D 사업이 종료됨에 따라 이에 상당하는 규모의 예산 투자가 가능할 것으로 판단

○ 도시 인근 매립지에서 발생하는 매립지가스와 유기성 폐기물로부터 확보 가능한 바이오가스를 처리할 수 있는 기술에 대한 수요가 지자체에서도 발생할 것으로 예상되며, 지자체로부터 쓰레기처리에 대한 사업예산 지원이 가능할 것으로 판단

○ 동 기술개발 사업은 국고 지원을 바탕으로 해외에서의 실증 테스트베드 운영을 목표로 하고 있으므로, 국고 지원이 WTO의 보조금 협정에서 금지보조금·분쟁대상 보조금으로 분류되지 않도록 사업 추진 시 주의할 필요성 존재

○ 2013~2017 건설교통 R&D 중장기계획('13.03): 9대 R&D사업 중 '플랜트연구' 분야 포함

- 글로벌 마켓 선도를 위한 독자기술 확보 및 장기적으로 미래원천 라이센서 확보를 목표로 추진

○ P2G(Power-to-Gas) 플랜트와 관련하여 법령으로는 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법 제4조(시책과 장려) 정부는 신재생에너지의 기술개발 및 이용·보급의 촉진에 관한 시책을 강구하라고 명시

○ 제4차 과학기술기본계획(2018~2022)에서 중점 추진과제 쾌적하고 편안한 생활환경 조성의 추진과제에 다음의 항목 명시

- 온실가스 감축 관리 및 탄소저감·자원화기술 개발 및 상용화

  * 효율적 국가 온실가스 감축 관리체계를 구축하고 이산화탄소 포집, 저장 및 탄소자원화 기술 실증을 통한 조기상용화 지원

  * 메탄, 이산화질소, 불화가스 저감 등 비이산화탄소계 온실가스 저감 기술 개발

  * 탄소저감 관련 차세대 상용화기술 중심의 기후산업육성모델을 발굴 육성하여 관련 시장 선점

제3절 기획 추진 체계 및 경과

1. 사업기획 추진체계

□ 기획 추진체계

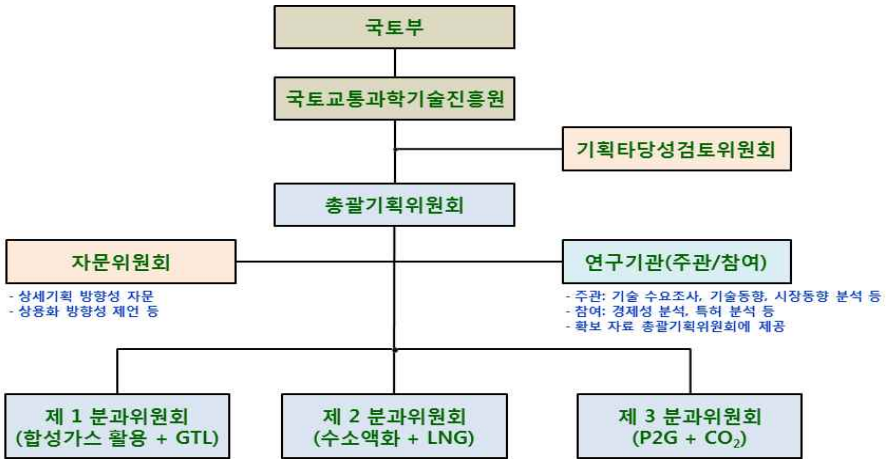
○ 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원 관리 하에 총괄 기획위원회를 구성하고, 합성가스 활용 및 GTL 분과 기획위원회, 수소 액화 및 천연가스 액화 분과 기획위원회, P2G 및 CO_2 활용 분과 기획위원회로 구성된 기획위원회가 '상용급 가스·액화 플랜트 기술개발 기획' 과제를 기획

○ 기획 과정을 거치면서 제2 분과에서는 수소액화를 제외하고 천연가스 액화 부분을 집중적으로 기획

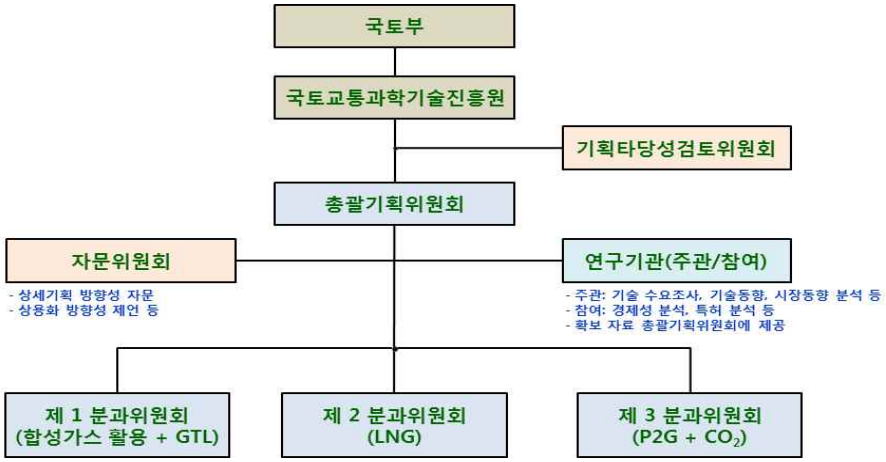
○ 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원과 기획 주관기관 사이의 지속적인 업무협의 및 기획타당성검토위원회 등을 거치면서 기술개발 방향을 설정 및 수정하면서 기획추진체계를 유연하게 수정하면서 기획을 진행

○ 천연가스 액화 부분 제외로 인하여 2분과를 없애고 1분과와 3분과 활동

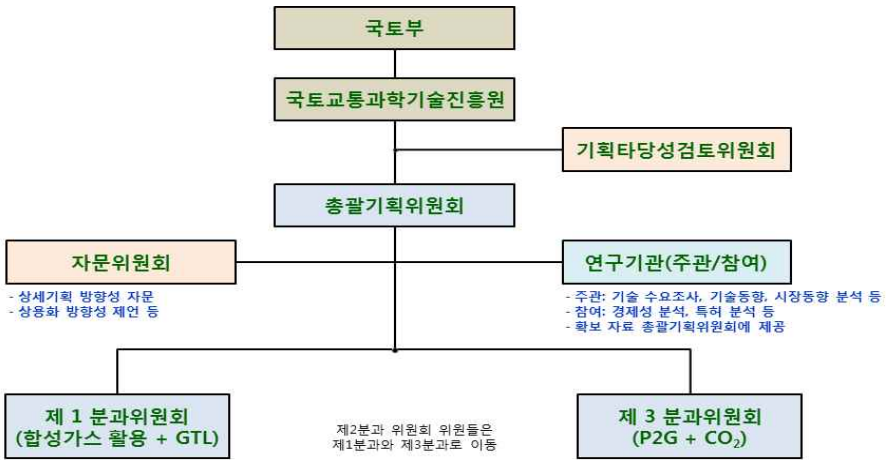
○ 최종적으로는 합성가스 기반 수소생산 플랜트 분야로 기획 역량 집중



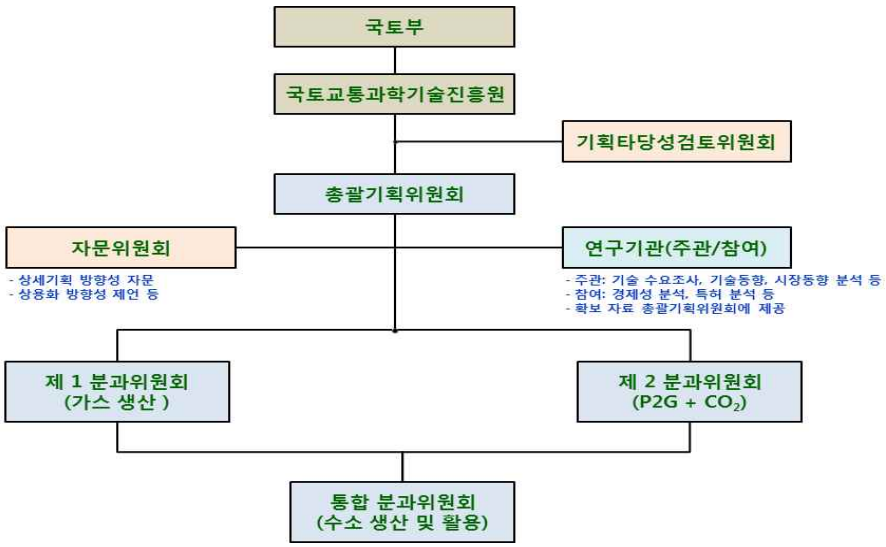
[그림 1-3-1] 사업기획 추진체계 (초반)



[그림 1-3-2] 사업기획 추진체계 (중반)



[그림 1-3-3] 사업기획 추진체계 (후반)

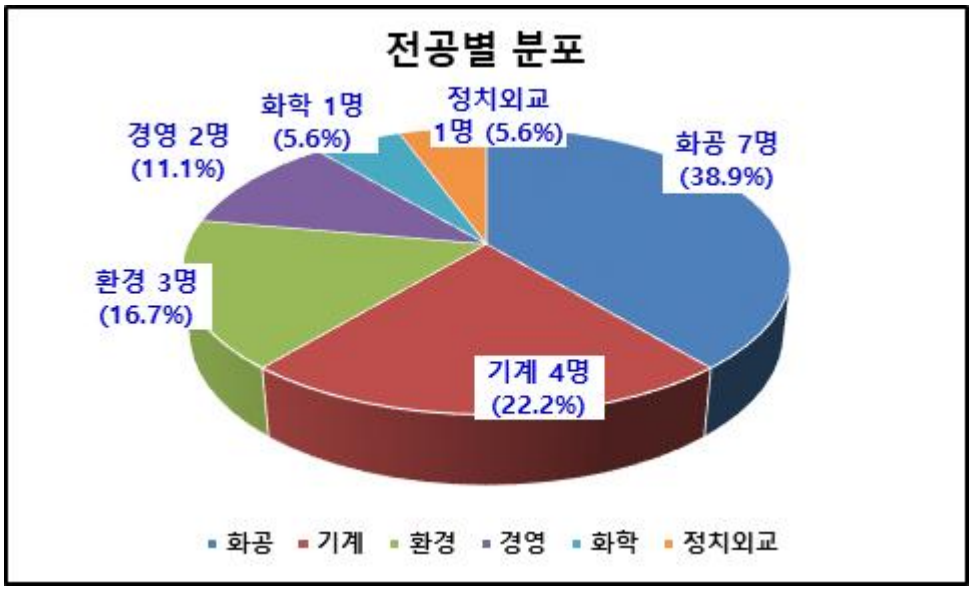


[그림 1-3-4] 사업기획 추진체계 (최종)

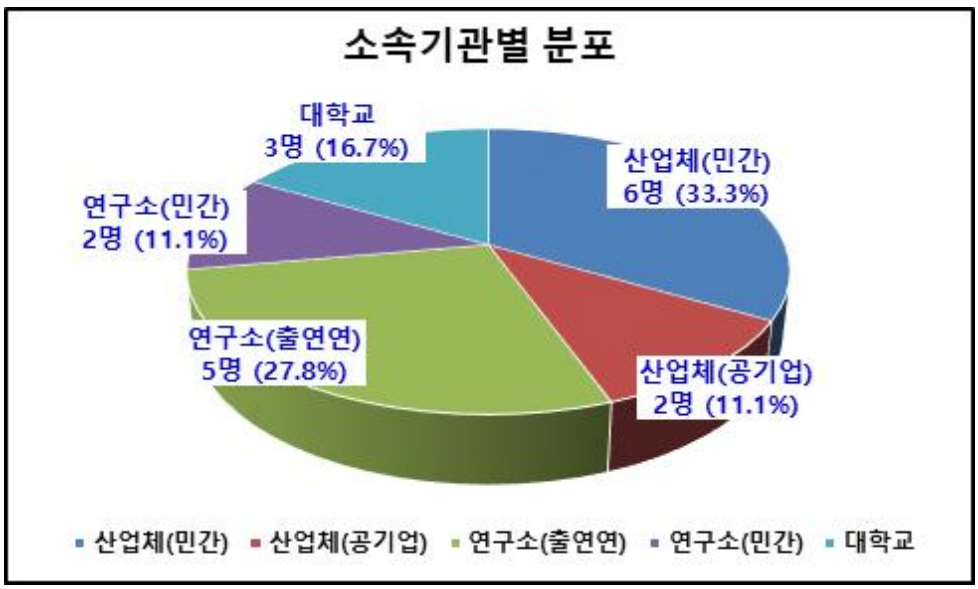
□ 기획위원 분포

○ 본 사업기획에서는 다양한 전공 및 다양한 소속기관에 포함된 기획위원들이 기획에 참여함으로써 사업기획의 객관성을 높이고자 시도

○ 본 기획과제에 참여한 기획위원들의 전공별 분포 및 소속기관별 분포를 아래 그림에 도시



[그림 1-3-5] 기획위원의 전공별 분포



[그림 1-3-6] 기획위원의 소속기관별 분포

○ 본 사업기획에서는, 아래와 같은 국토진흥원에서 기 진행된 국토교통연구기획사업의 결과를 일부 활용

- 저급자원 변환 합성가스 상용화 플랜트 건설기술 개발 기획 (‘15. 12 ~ ’16. 10): 기획위원 18명 참여 및 자문위원 4명 참여
- 고효율 중소형 GTL 플랜트 상용화 기술개발 기획 (‘16. 09. ~ ’17. 12.): 기획위원 23명(산업계 12명, 연구계 9명, 학계 2명) 참여

○ 상기와 같이 본 기획 및 사전기획에서 소속기관별 및 전공별 분포를 고르게 하고 국내외 많은 전문가들의 참여를 통하여 기획의 객관성을 높이고자 시도

2. 사업기획 추진경과

2.1 기획 진행 경과

○ 본 상세기획 기간 동안 진행된 기획의 주요 진행 경과를 아래 표로 정리

<표 1-3-1> 사업기획 진행 경과

′17.09	전문가 참여위원회 구성	3개 분과 산/학/연 전문가 18명
	1차 기획위원회 (09/19)	사업의 정의, 국내외 기술동향 및 시장동향 분석, 사전기획 검토
′17.10	2차 기획위원회 (10/24)	각 기술별 시장현황 및 기술내용(기술트리) 분석, 기술트리 작성 방안 및 설문조사 작성 방안 토의
′17.11	기획과제 1차 점검 및 착수회의 (11/01, 국토진흥원 & 고등기술연구원)	과제관리 및 예타준비, 기획연구 내용, 기획 추진 방법 및 추진 일정, 전문가 그룹 구성 방안 등 토의
	1차 기술수요조사 진행 (11/13~30)	플랜트 수요처/제작사/운영사, 설비/부품 제작사, 연구개발 기관 관계자 등 623명 발송
	3차 기획위원회 (11/21)	세부대상 플랜트간 연계도 검토, 기획 진행현황 및 추진방향, 기존 진행된 기획보고서 활용방안, 전문가 초청 세미나(빅데이터 분야)
′17.12	1단계 기획타당성 평가위원회 (12/14)	기획 진행경과 검토 (기술의 정의 및 필요성, 국내외 동향 및 환경 분석, 비전 및 목표 등)
	4차 기획위원회 (12/19)	3개 분과별 토의 (이슈/문제 논의, 이슈에

		대한 해결 방안, 수혜자(공급자/수요자) 정의)
′18.01	5차 기획위원회 (01/30)	세부사업별 연계방안 토의, 분과별 토의 (논리모형 및 연구 설계도 검토/보완)
′18.02	R&D 예타 사업 기획과제 설명회(02/22, 국토부, 국토진흥원)	예타 심사 기준에서 기획 진행경과 검토 및 보완 필요사항 협의
	6차 기획위원회 (02/27)	R&D 예타 사업 기획과제 설명회의에서 도출된 보완 내용 공지 및 보완 방향 논의, 기획 과제의 사업명 수정
	2차 기술수요조사 진행 (2/19~3/18)	플랜트 수요처/제작사/운영사, 설비/부품 제작사, 연구개발 기관 관계자 등 633명 발송
′18.03	2단계 기획타당성 평가위원회 (03/07)	기획 진행경과 검토 (핵심요소기술, 연구개발 과제 구성, 세부과제 내용 및 추진전략 등)
′18.04	7차 기획위원회 (04/25)	차별화 전략, 민간역량 vs. 산업수명주기, 특허 키워드 검토 등
′18.05	8차 기획위원회 (05/23)	가스 플랜트 분야 기술선정 분석, Test-bed 추진방향, 설비 설정 규모의 적정성, 기술로드맵 및 성과 목표, 산업생태계 분석, 국내 R&D 역량 분석, 산업수명주기 분석 등 검토
	3차 기술수요조사 진행 (5/23~6/22)	학회/협회 관련자 7,287명 발송
′18.06	3단계 1차 기획타당성검토 위원회 (06/21)	기획 진행경과 검토
′18.06	1차 자문위원회 (06/26)	기획 진행경과 결과 보고 및 전체 기획 흐름에 대한 자문의견 청취
′18.09	3단계 2차 기획타당성검토 위원회 (09/10)	기획 진행경과 결과 보고 및 전체 기획 흐름에 대한 자문의견 청취
‘18.11.	국토부 현안 보고	R&D 기획연구 결과 자체 중간점검, 현안

		보고 자료로 작성 및 제출
‘ 18.12.	소요예산 작성 및 경제성 분석 방법론 정립	가스플랜트 분야별 소요 예산 작성, 경제성분석 방법론 정립
‘ 19.01.	외부 전문가 자문	진행 연구결과를 최종보고서 형태로 작성하여 외부전문가(2인)에게 검토 요청 및 검토의견 반영
‘ 19. 02.	국토진흥원과 과제 현안 점검 (02/01)	합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발로 방향 수정 협의
‘ 19. 04.	공청회 (04/26)	기획 진행 결과 발표, 의견 수렴

2.2 기획 진행 주요사항

□ 대상 선정 기준 설정

○ 국내/국외 기술을 조합한 플랜트건설 산업의 국내외 해외진출 경쟁력 확보가 우선
- 국내 TRL 5 이상 기반 확보된 기술 연계활용을 우선
- 반드시 국내기술만일 필요는 없으나 해외진출에 제한이 없도록 추진

○ Sustainable* Demo Plant(Test-bed)를 통한 기술개발과 실증, 사업화 추진, Test-bed 실증 실적 기반 해외시장 진출 (* 과제 종료 후 자체운영비 확보 가능 수준)

○ 사업화 측면
- 국내 사업화 업체 존재 및 의지 확인 분야에 우선 집중 (test-bed 부지 제공 등)
- 5년 내 사업화 가능 분야 우선
- 해외 시장요구가 이미 존재하는 분야 우선

○ 국내 중소/중견기업 참여 가능분야
- 중소형급 규모의 국내외 건설 프로젝트에 적합한 기업 참여
- 핵심 기자재를 국내 제작/공급/유지보수 가능한 기업 참여
- 모듈화 설계, 엔지니어링 전문기업 참여

○ 핵심 설비/부품은 국내기업 공급 가능하도록 기술개발 및 국산화
- 해외시장 진출 시 가격 경쟁력과 유지보수 편이성 등 확보에 필수적인 핵심 설비/부품을 대상

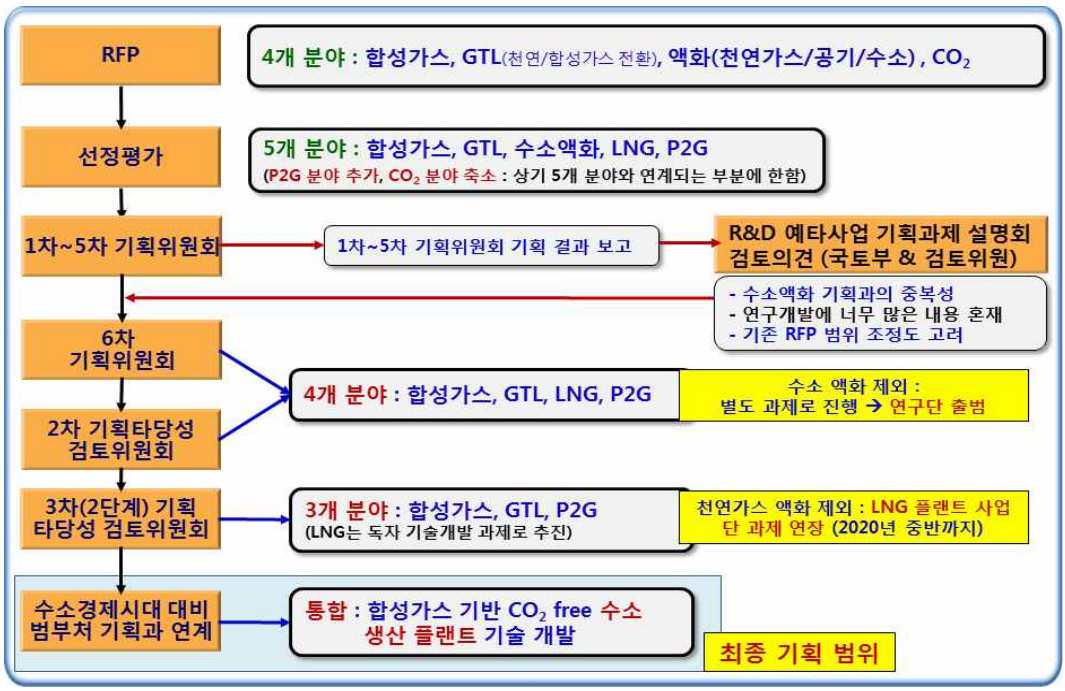
○ 기획된 과제의 목표로는 국내 및 국외 상용화 플랜트로서, 국내외 시장조사를 토대로 한 타겟 시장을 선정
- 선정된 타겟 시장에서 수급 가능한 원료 조사
- 현재 사용하고 있는 원료와 대체 가능한 원료 등을 따져서 아래 표와 같이 시장에 따른 보유 자원, 상용화 가능 플랜트의 규모, 현재 사용 원료 대비 대체 가능한 자원 및 코어 기술을 정리하고 이를 기반으로 과제의 목표를 설정

<표 1-3-2> 타겟 시장과 코어기술 연계성

Target 시장	대상국 보유 저급자원	합성가스 시장					배경	Core 기술
		현재사용 원료	대체가능 원료	생산합성가스 활용	적용처	단일 플랜트 규모		
국내	폐기물	오일, LNG	Pet-coke	청정연료가스	소성로, 유리용해로, HGG설비/ 보일러 연료전환	15-50톤/일급	중국 pet-coke 사용 저렴화 시작, 가격경쟁력 확보 필요	-합성가스 정제기술 (ppm level + 저렴 + 고신뢰도) -연료대체 고온로 설계/제작/운영 기술
		납사, 중유	폐기물	고순도 CO, 수소	조산	100-300톤/일급 x 3기	사용가스 가격 20% 이상 절감 효과	-합성가스 고도정제기술 (ppb level) -고순도 가스분리기술 -단위 모듈설비 설계/제작/연계 운영기술
		납사, 중유	석탄슬러리	청정 합성가스	석유화학, 열병합	100-1,000톤/일급	고가 원료 대체 이송유리/비산먼지 적은 슬러리 형태 선호	-가스화기 대형화 기술 -합성가스 정제기술
인도네시아, 몽골, 인도, 파키스탄, 이란, 남아공, 터키	저급석탄	디젤유	자국 석탄	가스엔진 발전	전기 부족지역 분산전원	1-10 MW	국토인프라 부족, 분산전원 선호	-가스화 저가화 기술 -가스엔진 고효율화, 저렴화 -인력소요 최소화, 편리한 유지보수 기술 -열악한 도로, IT 인프라 대응기술
	폐기물	-	폐기물	열병합, 가스엔진 발전	분산형 에너지	5-20 MW	지역 가용에너지원 활용	-인프라열악지역 유지보수 대응 기술 -가스엔진 고효율화, 저렴화
EU (동유럽)	저급석탄	-	자국 석탄	가스엔진 발전	분산전원	1-20 MW	탄광폐쇄 곤란, 자국 에너지원 활용	-EU 환경/설비 기준 대응기술
	폐기물	납사, 중유	폐기물	고순도 CO, 수소	조산	100-300톤/일급 x 3기	생산단가 경쟁력	-합성가스 고도정제기술 (ppb level) -고순도 가스분리기술
중국	폐기물	납사, 중유	폐기물	고순도 CO, 수소	조산	100-300톤/일급 x 3기	생산단가 경쟁력	-합성가스 고도정제기술 (ppb level) -고순도 가스분리기술
남미	폐기물	디젤유	폐기물	청정연료가스	분산전원	1-10 MW	국토인프라 부족, 분산전원 선호	-인력소요 최소화, 편리한 유지보수 기술 -열악한 도로, IT 인프라 대응기술
호주	저급석탄	천연가스	자국 석탄	SNG,DME	청정연료	500톤/일급 이상	해외수출 NG 대체 국내용	-합성가스 변환기술

□ 기획 대상 분야 선정

○ 초기 RFP에서 제시된 기술을 기반으로 기획을 진행하였으며, 기획 진행 과정에서 기존의 진행 완료 또는 진행 중인 기획 과제와의 연계성, 중복성 및 시너지 효과 등을 검토하여 기획대상 분야(세부과제)를 선정

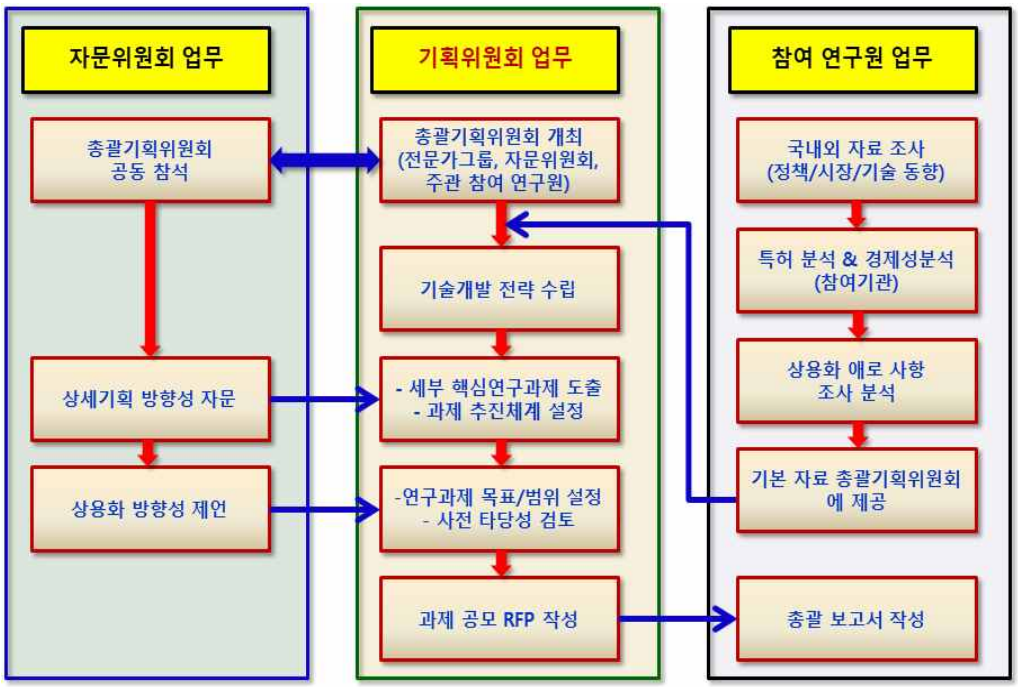


[그림 1-3-7] 본 사업의 범위 선정 과정

3. 사업기획 추진절차

○ 주관 연구기관과 참여 연구기관은 기획위원회의 업무를 지원하고 기본 자료를 총괄기획위원회에 제공 및 자료 정리 등의 업무를 담당하고, 참여 연구기관은 특허분석과 경제성 분석을 수행하여 총괄기획위원회에 제공 및 feed-back을 받아서 보완

○ 자문위원들은 총괄기획위원회에 참석하여 상세기획 방향성 및 사업화 방향성 등에 대한 자문을 수행하고 총괄기획위원회에서 이를 반영



[그림 1-3-8] 사업기획 추진 체계

○ 기획위원회 이외에도 외부 전문가 초청 기술 세미나, 기업 수요조사, 연구팀 작성 보고서에 대한 외부 전문가 검토 및 기술설명회(2019년 화학공학회 춘계학술발표회에서 공청회 형식으로 진행) 개최 등을 통하여 사업 기획의 완성도를 제고

○ 하향식 방식과 상향식 방식을 혼합하여 중점투자 분야인 세부기술을 선정

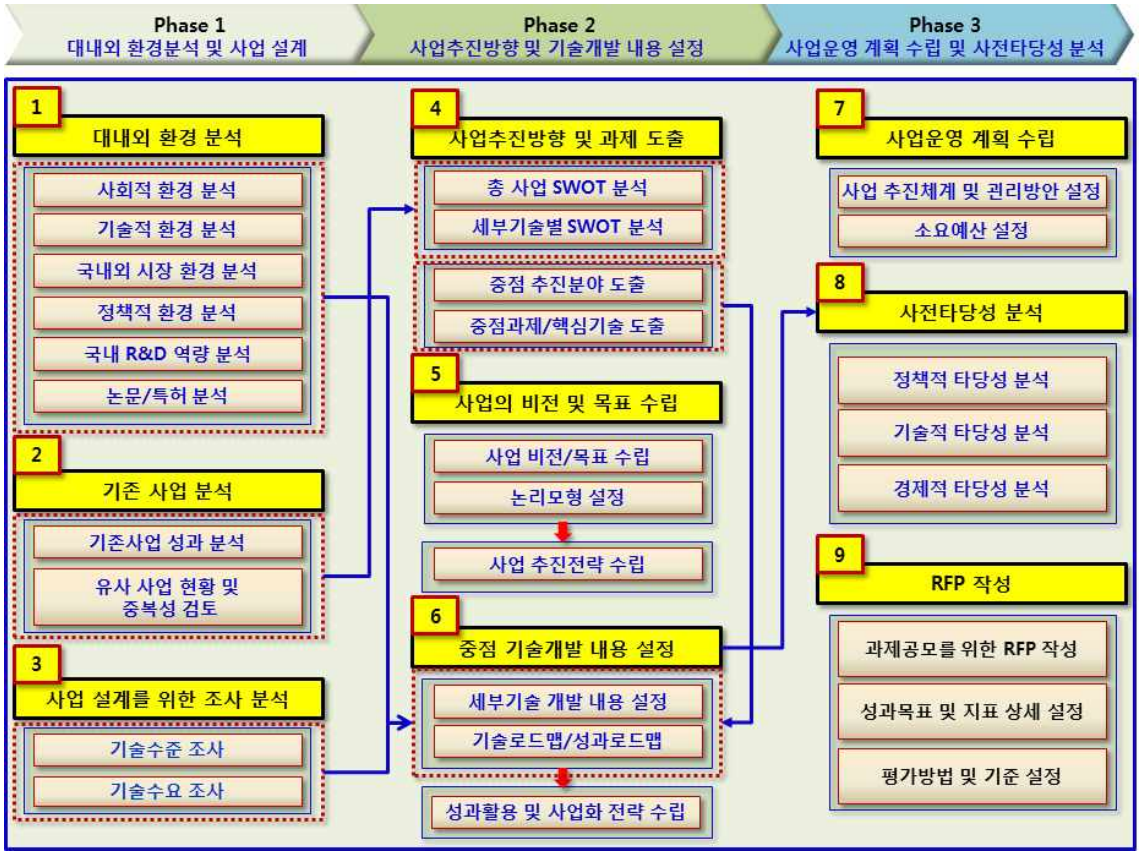
- 우선 하향식 방식으로 수소 생산 플랜트의 중분류 기술로 기술분류를 작성
- 기술수요조사를 통한 상향식 방식으로 선정된 기술을 추가
- 논문/특허 분석을 통하여 도출된 기술을 소분류 기술 및 세부기술개발 내용에 반영

○ 선정된 세부기술별 연계방안을 도출하고 기술적 및 정책적 타당성을 분석

○ 전체 사업의 비전 및 목표를 수립하고 세부사업별 추진전략 및 소요자원 산출 등 추진계획을 수립

○ 경제성 분석을 통하여 경제적 타당성을 검토하고 최종적으로 사업의 기대효과를 분석

○ 상기와 같은 사업기획 추진절차를 요약하여 아래 그림과 같이 도시



[그림 1-3-9] 사업기획 수립 추진 절차

제 2 장 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 개념 및 사업환경 분석

제1절 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 정의 및 범위

1. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 관련 용어의 정의

○ 합성가스 기반 수소 생산 기술: 합성가스, 천연가스(메탄)/바이오가스(메탄이 주성분), 매립지가스(LFG) 등의 가스 자원 및 잉여전기로부터 수소를 생산하는 기술로서 CO_2 중립, 활용 또는 발생 최소화를 포함하는 기술
- 폐기물, 바이오매스(가연성), 석탄, 펫코크 등의 저급자원으로부터 합성가스를 생산하는 기술
- 음식물폐기물, 하수슬러지 등 유기성 바이오매스로부터 바이오메탄을 생산하는 기술
- 천연가스/바이오가스 등을 개질하여 합성가스를 생산하는 기술
- 잉여전기를 활용하여 수소를 생산하고 수소와 함께 발생하는 산소를 활용하는 기술
- 합성가스를 정제, 전환 및 분리하여 수소를 생산하는 기술
- 합성가스 내 일산화탄소를 수소로 전환할 때 발생하는 이산화탄소를 개질 등의 공정에 활용하는 기술
- 해외에서 기체수소를 생산하여 수송이 용이한 액상물질(암모니아 등)로 변환하여 국내에 가져오는 경우, 수소를 포함한 액상물질을 개질하여 수소를 생산하는 기술

○ 분산형 전원: 신재생에너지, 열병합발전, 독립 액화천연가스 발전소처럼 전력 수요지 인근에 위치해 배전선로에 연결된 소규모 발전 자원을 의미
- 8차 전력수급기본계획(2017/12/29) 내용 중 정의: 송전선로 건설을 최소화 할 수 있는 ① 소규모 발전설비와 ② 적정 규모의 수요지 발전설비를 분산형으로 정의
- CO_2 free 수소 생산 기술을 활용할 경우, 수소연료전지 형태로 전기를 공급하기에 적절한 규모

○ 분산형 형태의 전원 규모는 아래와 같이 구분
- 본 기획에서는 중소형 규모 분산형 플랜트를 대상으로 하므로 전기용량 40 MW 이하를 분산형으로 정의

<표 2-1-1> 분산형 전원 세부 적용기준

구분	기준설정 사유	송전 건설영향
40 MW 이하의 소규모 발전설비	40 MW는 22.9 kV 배전선로(2회선 기준)에 연결할 수 있는 최대 전력용량	추가적인 송전선로 건설 불필요
500 MW 이하의 수요지 인근 발전설비*	500 MW는 154 kV 송전선로(2회선 기준)에 연결할 수 있는 최대 전력용량	

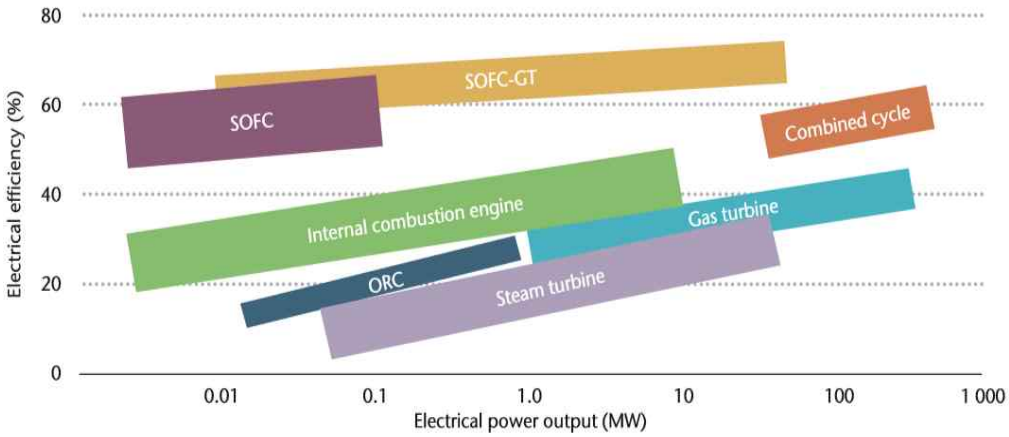
(출처: 8차 전력수급기본계획, 2017/12/29)

2. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 사업의 정의 및 범위 정립

2.1 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 사업의 정의

○ 수소 생산의 규모는 전기생산 기준으로 최대 40 MW로 하며, 최소 규모는 250 kW로 산정
- 최대 규모 기준: 22.9kV 배전선로(2회선 기준)에 연결할 수 있는 최대 전력용량
- 최소 규모 기준: 국내 가스엔진 제조 현재 대표적 용량

○ 수소 생산 기술의 적용처는 수소자동차 및 수소연료전지 등을 주 대상으로 선정
- 가스터빈 적용은 제외: 수소 가스터빈이 미개발 상태인 점을 고려하여 제외



[그림 2-1-1] 바이오에너지로부터 전기를 생산하는 기술별 전기변환 효율
(출처: Technology Roadmap - Delivering Sustainable Bioenergy, IEA, 2017)

○ 본 기획의 수소생산 플랜트 기술은 기존의 CO_2 포집 기술(광물화, 습식 및 건식 포집 기술 등)과 쉽게 연계하여 효율적으로 CO_2를 포집할 수 있으며, 고순도로 CO_2를 포집하여 화학물질 전환 등으로 활용하여 CO_2 발생이 near-zero인 친환경 기술로 확장 가능

2.2 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 사업의 범위 정립

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트에 대한 세부분야별 건설기술 개발 방안과 세부 기술 개발 로드맵을 작성하고, 국내 적용 및 해외시장 진출의 최종 목표가 가능하도록 각 분야 플랜트에 대한 정책적/기술적/경제적 상세분석이 본 기획의 해당 범위

○ 본 기획의 핵심내용은 아래와 같이 정리 가능

○ **(합성가스 생산 기술)** 폐기물/바이오매스/석탄/펫코크 등의 저급자원으로부터 합성가스로 변환시키는 기술 개발 방안 수립
- 고비용 기존 에너지원을 대체하여 저급자원으로부터 고순도 수소 생산을 위한 모듈화

합성가스 플랜트 기술개발 방안

- 해외수출형 분산전원 활용이 가능한 모듈화 합성가스 플랜트 기술개발 방안
- Spin-off 기술로 합성가스 이용 분산전원, 화학원료(고순도 CO 등), 고효율/친환경적으로 정제된 청정연료가스 등으로 활용 가능

○ **(바이오가스 생산 기술)** 바이오매스 (유기성) 기반 유기성 폐기물로부터 혐기소화 기술을 이용하여 수소를 생산하는 기술개발 방안 수립

- 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 최대 생산 후 바이오메탄 개질을 통한 개질 수소 생산 기술개발 방안 마련
- 바이오매스(유기성) 기반 혐기성소화 공정을 통한 직접 바이오수소 생산을 위한 바이오수소 생산균 개발 및 농축 기술 개발 방안 수립
- 바이오가스플랜트로부터 발생되는 고농도 암모니아 혐기소화액으로부터 수소를 생산할 수 있는 실증 기술 개발 방안 마련

○ **(잉여전기 활용 수소 생산 및 활용 기술, Power-to-Gas)** 신재생에너지 연계 가스 생산 플랜트 기술개발 방안 수립

- 신재생에너지(특히 풍력)의 잉여전력 발생 시 수소와 산소를 생산할 수 있도록 국내외 현황에 맞추어 기술개발 추진
- P2G의 기술적 범위는 아래 그림과 같은데, 본 사업에서는 신재생에너지원 생산된 전기를 사용한 전기분해부터 수소를 생산하고, 이때 함께 생산되는 산소를 합성가스 생산 플랜트에서 산화제로 활용하는 기술까지를 포함

* 신재생에너지원으로부터 전기를 생산하는 플랜트(태양광, 풍력)는 본 기획의 범위에서 제외하고 수소와 산소 생산 및 산소를 다른 기술과 연계하여 활용하는 플랜트만을 범위에 포함

○ **(개질 및 변환 기술)** 천연가스/바이오가스를 개질하여 합성가스를 생산하는 기술, 합성가스 내의 일산화탄소를 수소로 전환하는 기술, 외국에서 기체수소를 이용하여 수송이 용이한 액체 상태로 변환되어 국내로 공급되는 액상수소(암모니아 등)를 개질하여 수소를 생산하는 기술 분야의 독자기술 경쟁력 확보 방안 수립

- 중장기적으로 CO_2 free 수소 생산 플랜트를 완성하기 위한 기술의 하나로서 천연가스/바이오가스 개질을 위한 기술에 CO_2를 원료의 일부로 사용하는 기술이 반드시 포함되도록 기획을 진행

○ **(정제 및 분리 기술)** 합성가스 및 바이오가스로부터 이산화탄소, 황산화물, 타르(원료가 폐기물/바이오매스인 경우) 등 오염물질을 최종 수소 활용처인 수소자동차 또는 수소연료전지 등에 활용 가능한 수준으로 정제하고, 수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소를 분리하는 기술 분야 개발 방안 및 수소 활용 플랜트와 연계 방안 수립

○ **(공통 핵심 기술)** 합성가스 기반 수소 생산 관련 플랜트의 설계/운영 및 효율성 증대를 가능케 할 수 있는 공통 핵심 기술

- ICT 활용 제어 및 유지보수 관련 기술, 원격 제어 및 모니터링 기술
- 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술

○ 본 사업에서는 국내에 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 상용화를 위하여 test-bed를 건설하여 실증하여야 하며 이를 기반으로 track record를 확보하고 해외시장 진출을 위한 기반을 확보하는 것을 전제

○ 이와 같은 상황을 고려하여 본 기획에서는 아래 표와 같이 4가지 주요 분야와 공통으로 연계되는 기술 분야의 기술체계에 대한 현황을 파악

○ 본 기획의 초기 RFP에서 최종적으로 기술개발 방향의 변경에 따라 제시된 기술 분야의 우선순위와 범위를 아래와 같이 좁혀 추진키로 하였으며, 이들에 대한 세부 기술 분류를 수행

<표 2-1-2> 본 기획에서 대상으로 하는 원료 물질 및 기획 분야 연계방안

기술분야	대상 원료/물질	기획대상 원료/물질	우선순위	기획분야 연계방안
합성가스 분야	저급석탄 Pet-coke 바이오매스 폐기물	(제외)(1) Pet-coke 바이오매스 폐기물	- 3 2 1	합성가스 생산
천연가스/바이오가스 분야	천연가스 바이오가스	천연가스 바이오가스	1 2	
	음식물류 폐기물 하수슬러지	음식물류 폐기물 하수슬러지	1 2	바이오가스 생산
잉여전기 분야 (Power-to-Gas)	재생에너지 전기 원자력/화력	재생에너지 생산 전기 (제외)(2)	1 -	수소 생산 및 산소 활용
CO_2 분야	CO_2	CO_2	1	천연가스/바이오가스 개질에 활용
공통 연계 분야	-	-	1	공통 연계기술

- 제외사유: (1) 국내 test-bed 추진 어려움, (2) 국내의 탈원전/탈석탄 정책 고려

○ 한국에서 내수용과 플랜트를 수출하는 관점에서 향후 10년, 20년 후 수소 및 합성가스 산업의 미래를 조망해보면 기술에 기반한 수소의 의 생산, 활용 및 인프라 산업, 국내에서 활성화가 확실시되는 재생에너지(풍력, 태양광)에서 생산되어 소비되는 과정에서 잉여전기를 사용한 P2G 플랜트가 확실한 방향

- 풍력과 태양광 같은 재생가능에너지에서 생산하는 전기는 불균일하고 사용량과 불일치하는 경우에는 잉여전기로 물 전기분해를 통해 수소를 만들려는 노력이 유럽에서 활발히 진행 중
- P2G 기술을 통한 차세대 가스 산업으로서, 자연 채굴 가스 산업이 아닌 기술에 기반한 신개념의 수소 생산 및 산소 활용 산업

2.3 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 대상기술 선정 분석

○ 본 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기획에서 추진할 대상 분야를 선정하기 위한 분석을 아래와 같이 수행
- 기획 초기에는 상용급 가스/액화 플랜트에 대하여 추진 대상 분야 선정 분석
- 기획 후반에 합성가스 기반 수소 생산 플랜트로 방향을 설정한 이후, 초기 대상 분야를 기준으로 수소 생산 플랜트에 맞도록 추진 대상 분야 보완

○ 항목별로 가중치를 설정하고, 대상 분야별로 점수를 부여하여 분야별 등수 및 전체 등수를 계산
- 이를 통하여 아래 10개의 대상 분야가 1차로 선정되었으며, 이중 석탄이용 합성가스는 정부의 탈석탄 정책을 반영하여 제외하는 등 1차로 가스/액화 플랜트를 대상으로 선정
- 국내의 미래 수소에너지 활용 계획을 고려하여 최종적으로 기술개발 기획 방향을 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 대상 분야로 결정하고 최종 대상분야를 선정

○ 상기와 같은 절차로 대상 분야를 선정하는 과정을 아래에 일련의 표로 정리

<표 2-1-3> 대상분야 선정을 위한 항목별 가중치 비중

항 목	기준	세부기준	비중
환경적/사회적 적합도	미래 에너지/연료/원료 자원으로 적합성		13.46
	사용 청정성		
	국가현안 문제 해소 해당 여부		
국내기술 역량	실증연구 가능할 국내기술 역량	기존 국내기술개발 수행 정도	12.69
		실증 이전단계 기술개발 실적	
기술 경쟁력	플랜트 해외 수출시 기술 경쟁력		25.00
	선진사 기술 대비 차별성/경쟁력		
	신흥기술 개발국 대비 차별성/경쟁력	중국, 인도 등 대비 경쟁력	
	대상기술의 범용성, 확장성	지나친 특수 분야 기술 여부	
경제성/사업성	2020년, 2030년까지 국내/해외 시장규모		29.62
	해외 플랜트시장 수출 가능성		
	민간기업 기술/사업 수요		
	2030년까지 국내/국외 시장 성장성		
	참여기업 확보 가능성		
	국내 실증 시급성		
	Sustainable Demo Plant 구현 가능성	과제 종료 후 실증설비의 자체 운영 가능성	
중소/중견기업 참여도	국내 중소/중견기업 활용도		7.62
	국내대상 기업수		
소요 기간	5년 내 가시적 성과 도출 가능성		6.31
	5년 내 국내 건설계획 유무/구체성		
부처 적합성	타 부처와 중복성		5.31
	부처 고유업무 적합도		

<표 2-1-4> 가스 플랜트 대상 분야별 점수

		환경적/사회적	국내기술역량	기술경쟁력	경제성/사업성	중소/중견기업 참여도	소요기간	부처적합도
천연가스	LNG - 천연가스(전통)	4.00	3.77	3.62	4.15	2.46	3.77	4.08
	LNG - 천연가스(비전통)	3.85	3.23	3.23	3.62	3.00	3.31	4.00
	DME - 천연가스 이용	3.46	3.77	3.85	3.00	2.85	3.62	3.46
	P2G 수소 이용	4.38	2.62	2.62	2.77	3.08	2.62	3.77
	GTL - 천연가스 이용	3.77	3.69	3.46	3.46	3.08	3.38	3.46
수소	수소	4.46	3.38	3.00	3.23	3.23	3.08	3.69
	P2G	4.23	2.69	3.00	2.92	3.54	3.08	3.69
합성가스	합성가스 - 석탄 이용	3.77	3.92	3.85	3.77	3.23	3.92	3.77
	합성가스-바이오매스 이용	4.31	3.77	3.77	3.77	3.92	3.92	4.15
	합성가스- 폐기물 이용	4.62	3.77	3.69	3.62	3.77	3.69	4.31
	DME - 합성가스 이용	3.54	3.38	3.31	3.08	3.23	3.77	3.31
	GTL - 합성가스 이용	3.62	3.23	3.08	3.38	3.31	3.62	3.69
바이오가스	바이오가스	4.23	3.54	3.69	3.54	3.69	3.69	3.23
부생가스	부생가스	3.69	3.62	3.54	3.46	3.15	3.46	3.00
매립가스	LFG	3.92	3.77	3.54	3.23	3.38	3.31	3.62
LPG	LPG	2.77	3.77	3.46	2.92	3.08	3.15	2.54
화학산업 가스	고순도 CO 등	3.62	3.69	3.46	3.46	3.00	3.15	2.85

<표 2-1-5> 가스 플랜트 대상 분야별 가중치 고려 종합 점수 및 등수

	항목	환경적/사회적	국내기술역량	기술경쟁력	경제성/사업성	중소/중견기업 참여도	소요기간	부처적합도	전체 합계	전체 등수
	가중치	0.1346	0.1269	0.2500	0.2962	0.0762	0.0631	0.0531	1.0000	
천연가스	LNG - 천연가스(전통)	0.54	0.48	0.90	1.23	0.19	0.24	0.22	3.79	3
	LNG - 천연가스(비전통)	0.52	0.41	0.81	1.07	0.23	0.21	0.21	3.46	9
	DME - 천연가스 이용	0.47	0.48	0.96	0.84	0.24	0.23	0.18	3.40	11
	P2G 수소 이용	0.59	0.33	0.65	0.82	0.23	0.16	0.20	3.00	17
	GTL - 천연가스 이용	0.51	0.47	0.87	1.03	0.23	0.21	0.18	3.50	7
수소	수소	0.60	0.43	0.75	0.96	0.25	0.19	0.20	3.37	12
	P2G	0.57	0.34	0.75	0.87	0.27	0.19	0.20	3.19	15
합성가스	합성가스 - 석탄 이용	0.51	0.50	0.96	1.12	0.25	0.25	0.20	3.78	4
	합성가스-바이오매스 이용	0.58	0.48	0.94	1.12	0.30	0.25	0.22	3.88	1
	합성가스- 폐기물 이용	0.62	0.48	0.92	1.07	0.29	0.23	0.23	3.84	2
	DME - 합성가스 이용	0.48	0.43	0.83	0.91	0.25	0.24	0.18	3.30	14
	GTL - 합성가스 이용	0.49	0.41	0.77	1.00	0.25	0.23	0.20	3.34	13
바이오가스	바이오가스	0.57	0.45	0.92	1.05	0.28	0.23	0.17	3.68	5
부생가스	부생가스	0.50	0.46	0.88	1.03	0.24	0.22	0.16	3.48	8
매립가스	LFG	0.53	0.48	0.88	0.96	0.26	0.21	0.19	3.51	6
LPG	LPG	0.37	0.48	0.87	0.87	0.23	0.20	0.13	3.15	16
화학산업 가스	고순도 CO 등	0.49	0.47	0.87	1.03	0.23	0.20	0.15	3.42	10

<표 2-1-6> 가스 플랜트 대상 분야 1차 선정 결과 (상용급 가스/액화 플랜트)

		전체 등수	반영 여부	비고 (특기사항)
천연가스	LNG - 천연가스(전통)	3	선정	선정기준 만족, LNG플랜트사업단 성과학산으로 상용화 가능
	LNG - 천연가스(비전통)	9	제외	선정기준은 만족하지만 실증플랜트 건설 불가능
	DME - 천연가스 이용	11	제외	선정기준 불만족, DME 가격의 변동성에 따라 현재 경제성 부족
	P2G 수소 이용	17	선정	선정기준에는 불만족이지만 미래 재생에너지 시대 대비하여 선정
	GTL - 천연가스 이용	7	선정	선정기준 만족, 마이크로 GTL 기술개발로 상용화 가능
수소	수소	12	제외	선정기준 불만족, 액체수소의 경우 별도 기획으로 예타 준비 중
	P2G	15	선정	선정기준에는 불만족이지만 미래 재생에너지 시대 대비하여 선정
합성가스	합성가스 - 석탄 이용	4	제외	선정기준은 만족하지만 현 정부의 탈석탄 정책 고려하여 제외
	합성가스-바이오매스 이용	1	선정	선정기준 만족, 산업부 TRL 5~6급 기술의 scale-up으로 상용화 가능
	합성가스- 폐기물 이용	2	선정	선정기준 만족, 산업부 TRL 5~6급 기술의 scale-up으로 상용화 가능
	DME - 합성가스 이용	14	제외	선정기준 불만족, DME 가격의 변동성에 따라 현재 경제성 부족
	GTL - 합성가스 이용	13	제외	선정기준 불만족, 원료로서 천연가스 이용 기술 채택
바이오가스	바이오가스	5	반영	GTL/LNG 기술의 원료로 활용 방안 모색
부생가스	부생가스	8	반영	GTL/LNG 기술의 원료로 활용 방안 모색
매립가스	LFG	6	반영	GTL/LNG 기술의 원료로 활용 방안 모색
LPG	LPG	16	제외	선정기준 불만족, 일반 화공산업에서 진행함이 바람직하다고 판단
화학산업 가스	고순도 CO 등	10	선정	선정기준 만족, 조산 원료 활용 등 국내외 시장 존재하여 상용화 가능

주) 천연가스액화(LNG)의 경우 선정기준에는 만족하였으나, 기획진행 과정에서 LNG플랜트사업단의 추진과제가 종료되지 않고 18개월 연장(2020. 06. 완료 예정)됨에 따라 기획에서 제외

<표 2-1-7> 가스 플랜트 대상 분야 최종 선정 결과 (합성가스 기반 수소 생산 플랜트)

		전체 등수	반영 여부	비고 (특기사항)
천연가스	LNG - 천연가스(전통)	3	제외	선정기준 만족, LNG플랜트사업단 과제 지연(연장)으로 제외
	LNG - 천연가스(비전통)	9	제외	선정기준은 만족하지만 실증플랜트 건설 불가능
	DME – 천연가스 이용	11	제외	선정기준 불만족, DME 가격의 변동성에 따라 현재 경제성 부족
	P2G 수소 이용	17	제외	선정기준 불만족, 잉여전기로 수소/산소 생산 및 활용까지만 범위로 함
	GTL – 천연가스 이용	7	일부 선정	선정기준 만족, 개질 기술 선정 및 수소 생산으로 확장
수소	가스 수소	12	제외	선정기준 불만족, 액체수소의 경우 별도 기획으로 예타 준비 중
	P2G 수소	15	선정	선정기준에는 불만족이지만 미래 재생에너지 시대 대비하여 선정
합성가스	합성가스 – 팻코크 이용	4	선정	석탄으로 선정기준 만족, 탈석탄 정책 고려하여 팻코크로 변경하여 선택
	합성가스-바이오매스 이용	1	선정	선정기준 상위, 산업부 TRL 5~6급 기술의 scale-up으로 상용화 가능
	합성가스– 폐기물 이용	2	선정	선정기준 상위, 산업부 TRL 5~6급 기술의 scale-up으로 상용화 가능
	DME – 합성가스 이용	14	제외	선정기준 불만족, DME 가격의 변동성에 따라 현재 경제성 부족
	GTL – 합성가스 이용	13	제외	선정기준 불만족, 원료로서 천연가스 이용 기술 채택
바이오가스	바이오가스-유기성바이오매스	5	선정	음식물류 폐기물 및 하수슬러지를 수소 생산 원료로 활용
부생가스	부생가스	8	반영	수소 생산 원료로 활용 가능
매립가스	LFG	6	반영	수소 생산 원료로 활용 가능
LPG	LPG	16	제외	선정기준 불만족, 일반 화공산업에서 진행함이 바람직하다고 판단
화학산업 가스	고순도 CO 등	10	선정 (BM 반영)	중장기적으로는 수소가 BM(Business Model), CO는 단기적 BM으로 상용화 활용 가능

2.4 대상 가스의 플랜트 측면 특성 분석

2.4.1 합성가스

○ 합성가스는 모든 유기물질로부터 생산이 원리적으로 가능
- 지역수급 가능한 저급자원(저급석탄, 폐기물, 바이오매스 등) 활용에 적합
- CO와 수소는 화학 산업의 기초물질
- 천연가스 부족한 지역에 대체 청정가스로 활용 가능
- 천연가스, 셰일가스와 더불어 미래 대규모 가스 공급의 기반



[그림 2-1-2] 합성가스 생산 기술 흐름도

○ 합성가스에 대한 전문기술 없이는 시장 진출이 어려운 고급기술 분야
- CO, 황화수소, HCN, COS의 유독성
- 합성가스 주성분인 CO, 수소의 폭발성

* 합성가스에 포함된 가스들은 폭발범위가 아래 표에 나타난 바와 같이 넓어 높은 폭발 가능성

<표 2-1-8> 합성가스에 포함된 가스의 폭발 범위

Item	Threshold Limit Value (ppm)	TLV (8-hour TWA) (ppm)	OSHA Permissible Exposure Level*	Lethal Dose (low)	Explosive Limits (%)
CO	50	-	35	4000 ppm (human, 30 min) 5000 ppm (human, 5 min)	12.5-74.2
H_2	-	-	-	-	18.3-59
H_2S	10	1	10	600 ppm (human, 30 min) 800 ppm (human, 5 min)	4.3-46
HCN	10 (skin)		10 (skin)	107 ppm (human, 10 min) 357 ppm (human, 2 min)	5.6-40
COS		5			12-29

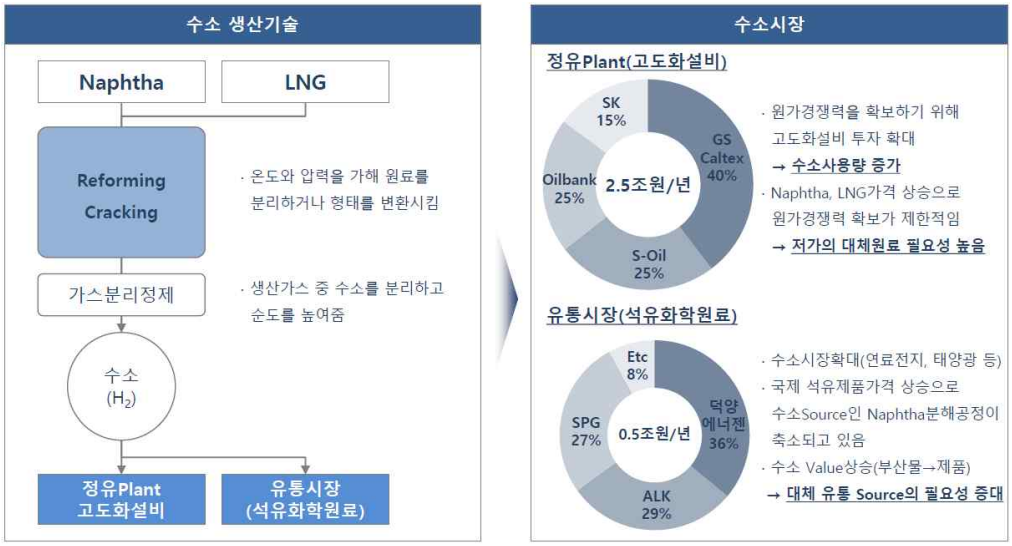
○ 합성가스는 전기 생산이 가능한 발열량을 지닌 가스
- 연소 후 스팀터빈을 사용하는 방식보다 합성가스로 전환하여 가스엔진을 사용하는 방식이 중소형에 유리
- 합성가스를 고도정제한 후 수소를 추출하여 연료전지의 연료로 사용 가능
- 합성가스 방식은 원료 내 탄소성분을 모두 연료가스로 전환(vs. 열분해 방식: 연료가스 + 잔재물)

2.4.2 수소

○ 다양한 자원에서 추출이 가능
- 해외의 미 이용 에너지와 풍부한 재생에너지 등 저렴한 자원에서 수소 생산 가능성으로 중요한 미래 에너지원

○ 수소를 연료로 사용 시 CO_2 발생이 없는 에너지원
- 화석연료에서 수소를 제조하는 경우에는 CO_2가 배출되지만, 지하저장(CCS) 기술 상용화시 CO_2 감축 대안으로 가능
- 바이오매스를 원료로 하여 수소를 생산하면 CO_2 free로 계상
- 수소를 생산하는 과정에서는 CO_2가 발생되나, 이를 사용하는 단계에서는 CO_2 배출이 거의 없으며, 따라서 대도시 등 인구밀집지역의 청정환경 확보에 유리

○ 수소 공급시장 현황 및 기회
- 정유 플랜트의 고도화 설비나 석유화학 원료로 사용되는 수소의 시장규모는 국내 3조원/년이며, 원료로 사용하는 납사와 천연가스의 가격 상승 시 수급의 어려움 발생
- 국내 수소 수요는 확대되고 있지만 대체 수급자원이 필요한 상황
- 원가 경쟁력이 있는 대안을 확보한다면 시장진입이 용이한 현황



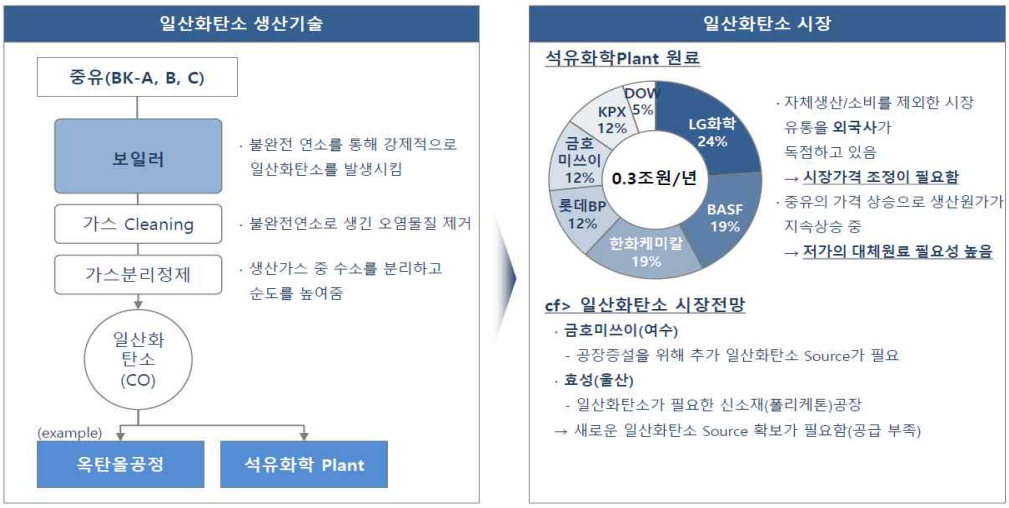
[그림 2-1-3] 한국의 현재 수소의 생산방식과 시장 분석

2.4.3 일산화탄소(CO)

○ 합성가스로부터 생산 가능한 고부가가치 화학원료로서, 수소 생산 플랜트 기술 개발 시 일산화탄소 생산 플랜트 기술은 spin-off 기술로서 시장 진입 모색 가능

○ CO 공급시장 현황 및 기회

- 옥탄올 등 석유화학제품의 원료로 사용되는 CO 시장은 중유 등 원료가격 상승으로 생산 및 수급 환경이 악화
- 국내는 LG화학 나주공장에서 중유가스화를 통해 생산중이며 3,000억원/년 시장 규모
- 일산화탄소 시장 규모는 증가하는 편으로 원가경쟁력을 갖춘 중유 외 대안이 확보된다면 핵심플랜트 사업으로 높은 발전 가능성



[그림 2-1-4] 한국의 현재 일산화탄소(CO)의 생산방식과 시장 분석

2.5 세부 기술별 기술의 정의 및 기술 내용

2.5.1 합성가스 생산 기술

□ 기존의 가스화 기술을 기반으로 기체 연료 생산이 가능한 기술

- ○ 합성가스 플랜트는 유기성물질(C, H, O, N, S 성분)을 산소가 충분치 않은 상태에서 화학반응 시켜 C, H, O 성분은 일산화탄소와 수소가 주성분인 가스(합성가스)로 변환시키고 N, S 공해물질 유발성분은 제거와 재활용이 용이한 형태로 발생되어 청정이용이 가능토록 하는 설비
  - 폐기물, 바이오매스를 원료로 활용할 경우에는 고정층 가스화 기술이 많이 활용되고 있으며, 펫코크/석탄을 원료로 활용할 경우에는 분류층 가스화 기술을 많이 적용
  - 산화제로서 산소, 공기, 산소부화 공기 등이 사용될 수 있는데, 고순도 수소를 생산해야 하는 수소 생산 플랜트에서는 산소를 산화제로 사용하는 것이 바람직
- ○ 합성가스는 청정가스 연료, 고순도 일산화탄소나 수소, 전기생산에 효율적으로 활용이 가능
- ○ 도심에서 폐기물/바이오매스를 이용한 수소생산 시 현지공급 방식의 on-site 수소충전이 가능하여 수소 운송에 소요되는 비용 저감 가능
- ○ LNG와 원유를 저렴한 청정 가스에너지원인 합성가스로 대체가 단기적으로 가능하며 미래 수소사회 기반기술
- ○ 국내에서 기존에 개발된 파일럿 규모의 가스화 기술을 바탕으로 현실적 및 기술적으로 가능한 규모로 scale-up
- ○ 기존 기술보유업체들이 관심을 가지고 있지 않은 틈새시장에 진출할 수 있는 규모의 합성가스를 생산한 후 분산전원 연료, 화학원료(고순도 수소 및 CO) 및 청정가스연료로 활용할 수 있는 원천 기술 개발
  - 선진국(미국, EU, 일본, 캐나다 등)에서는 석탄/정유공장부산물/폐기물/바이오매스 가스화를 통한 합성가스를 이용하여 고부가가치 연료 및 원료인 수소, 합성천연가스(SNG), 에탄올, 메탄올, 바이오디젤, 암모니아, 수송용 연료 등을 생산하는 기술을 개발하여 상용화를 통해 상업운전 중
  - 중국에서도 1990년대 이후 기술개발을 시작하여 현재는 수천톤/일급 석탄가스화 독자기술 개발을 완료하여 자국에서 다양한 상업화 활동을 진행하여 기술실적을 쌓아 해외로 진출하려고 시도 중
  - 국내에서도 납사 및 중유 가스화를 통해 합성가스를 생산하여 일산화탄소 및 수소 등의 고부가가치 물질을 생산 중에 있으며, 일산화탄소를 이용하여 2차 생산물인 초산을 생산
  - 인도네시아 등 동남아시장에서는 50톤/일급 가스화기 수대를 활용하여 가스엔진을 활용한 전기 생산 기술을 적용하고 있는 등으로 저급자원 가스화를 통한 합성가스를 활용하여 고부가가치 연료/원료 생산기술의 확보가 절실히 필요한 시점

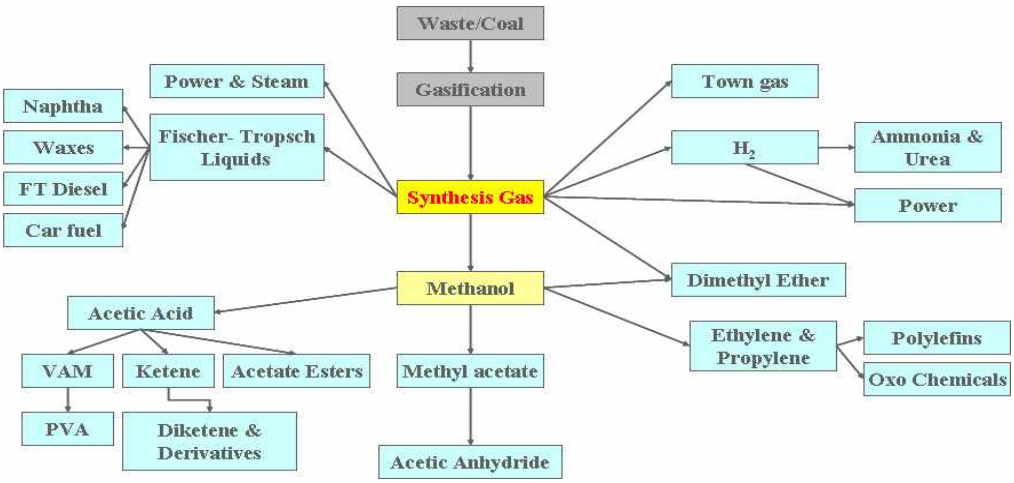
□ 고부가가치 가스화 합성가스로부터의 연료 및 원료회수 활용기술

○ 다양한 시료의 가스화를 통해 얻어진 합성가스는 CO, H_2가 주성분으로서 적절한 공정을 거쳐 합성되면 다양한 원료물질의 제조가 가능

○ 아래 그림은 현재 폐기물, 석탄 등의 다양한 원료를 이용한 가스화 반응에 의해 발생된 합성가스로부터 생산 가능하거나 상업화 가능성이 있는 원료물질의 예를 나타낸 것임.

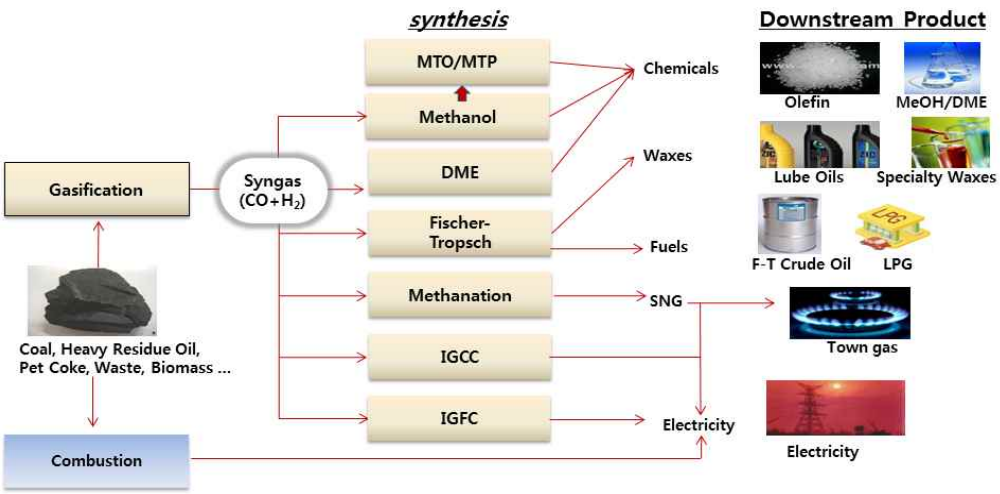
○ 생산 가능한 주요 물질로는 F-T(Fischer-Tropsch) 합성을 통한 인조합성석유, Non F-T 합성을 통한 메탄올, DME(Dimethyl Ether) 등

○ 합성가스는 발열량이 천연가스의 1/3~1/4 수준이므로 합성가스를 직접 천연가스용 연소기기에 공급하여 사용할 수는 없지만, 합성가스의 메탄화 반응을 통해 대체천연가스(SNG: Substitute Natural Gas)로 제조하여 활용하는 방안도 가능



[그림 2-1-5] 합성가스로부터 생산 가능한 연료 및 원료 물질

○ 저급자원을 가스화 및 합성가스 정제 과정을 거친 후 합성가스를 다양한 분야에 이용하는 기술의 흐름도를 다음의 그림과 같이 요약하여 도시



[그림 2-1-6] 저급자원 유래 합성가스의 이용 기술 흐름도

2.5.2 바이오가스 생산 기술

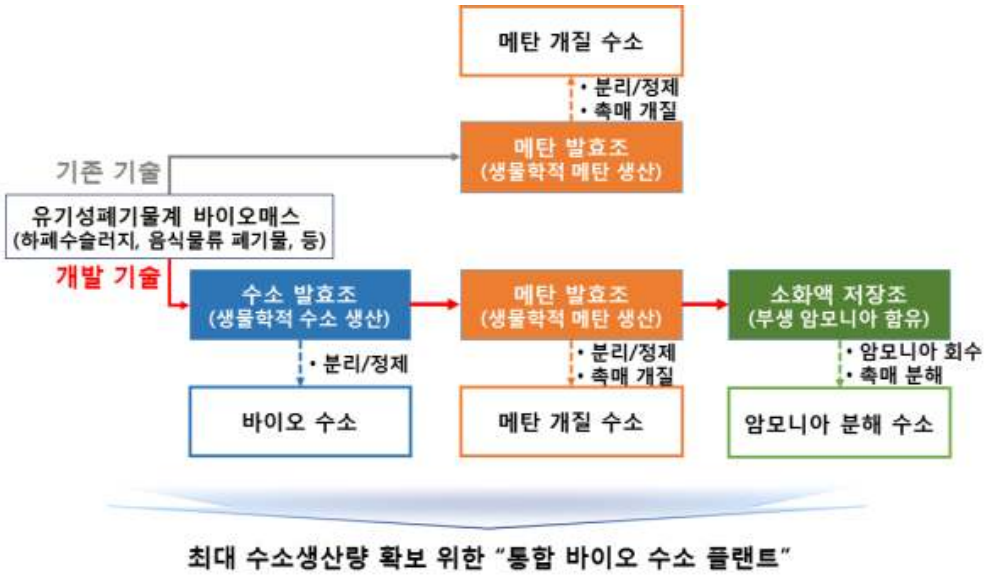
□ **바이오매스(유기성) 기반 바이오가스 플랜트로부터 수소 발생 기작의 다양성**

○ 바이오매스(유기성)[4] 기반 수소 발생은 바이오가스 개질을 통한 수소 생산, 생물학적 전환에 의한 수소 생산, 바이오가스플랜트 운전을 통한 고농도 암모니아로 부터의 수소 생산으로 크게 3가지로 분류 가능

○ 바이오매스(유기성) 기반 수소 발생 기작은 다양하지만, 바이오가스 개질 수소 생산을 제외한 생물학적 바이오수소, 고농도 암모니아로 부터의 수소생산 기술은 원천 기술 개발 수준에 있어 실증 규모 기술 개발을 위한 연구가 필요

○ 바이오가스플랜트의 경제성 저하 주요 원인은 부산물에 대한 처리비용(구체적으로 소화액 폐수처리 비용)이 전체 운전비용의 75%이상으로 폐수처리 비용 절감이 경제성 향상에 있어 매우 중요한 요소

○ 혐기소화액은 암모니아가 다량 함유되어 있으며 폐수처리 과정에서 고농도 암모니아를 처리하기 위한 운전비용이 50% 차지하고 있어 암모니아를 경제적으로 회수하고 이로부터 새로운 수소원을 확보함으로서 수소생산량을 증가시키고 처리비용을 저감하여 경제성을 높일 수 있는 기술 개발 필요



[그림 2-1-7] 바이오매스(유기성)로부터 메탄과 수소 생산 개념도

□ **바이오매스(유기성)의 바이오가스 생산기술 정의**

○ 음식류 폐기물 및 하수슬러지 등 고농도 유기물을 함유한 바이오매스(유기성)를 용존산소가 존재하지 않는 환경에서 유기물이 미생물에 의해 분해되는 과정으로 슬러지 중의 유기물은 혐기성균의 활동에 의해 분해

○ 혐기성처리공정의 장·단점을 아래와 같이 정리

4) 자원 및 에너지로 활용이 가능한 폐자원 중 생물 유래의 유기성 자원으로 발생원에 따라 음식물류 폐기물(음폐수), 하수슬러지, 가축분뇨로 분류

○ **장점**

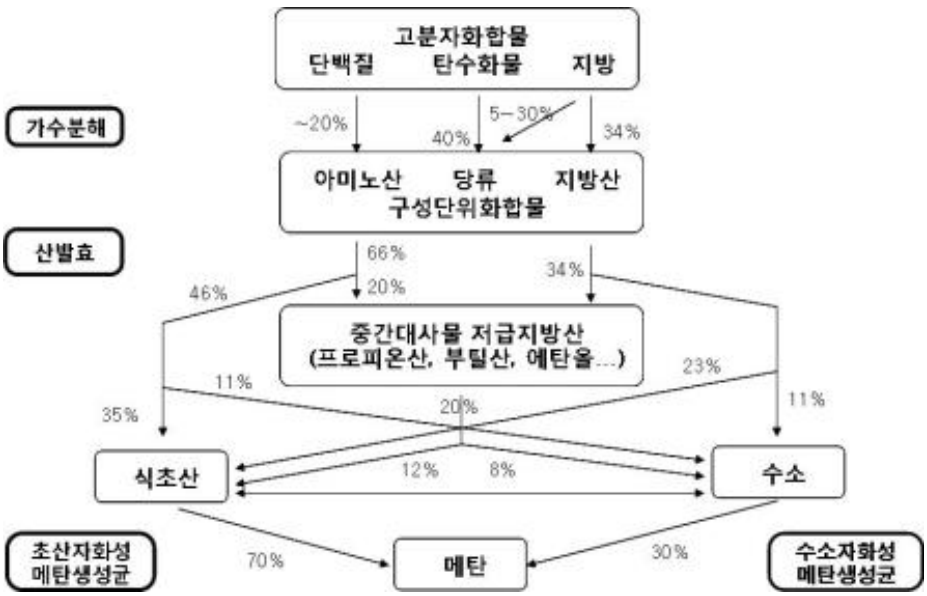
① 유기물 부하가 높은 폐수를 처리 가능
② 호기성 처리법에 비해 적은 슬러지 발생량
③ 발생한 슬러지의 탈수성이 양호
④ 질소나 인 등의 영양염류의 적은 요구량
⑤ 호기성처리법에 비해서 중금속 및 독성물질에 대해서 덜 민감
⑥ 최종산물로서 유용한 메탄가스를 확보 가능

○ **단점**

① 처리수의 수질이 나쁘기 때문에 후처리로서 호기성처리를 필요
② 호기성에 비해서 냄새가 많이 나며 긴 처리기간
③ 호기성에 비해서 비교적 어려운 운전
④ 건설비가 비싸고 넓은 부지면적을 요구

○ 혐기성 미생물은 많은 박테리아 종과 여러 가지 과정들을 포함한 복잡한 과정으로 혐기성소화가 진행

- 복잡한 유기물을 간단한 구조의 유기물로 가수분해하고 산생성균에 의해 유기산으로 전환
- 발효된 유기산 중 두 개의 탄소 결합보다 긴 결합의 유기산은 초산생성 균에 의해 아세테이트와 수소로 전환
- 마지막으로 아세테이와 수소는 메탄생성균에 의해 메탄으로 전환



[그림 2-1-8] 혐기성소화 개념도 (Speece, 2008)

□ 바이오매스(유기성) 기반 혐기성 소화를 이용한 직접 수소 생산 기술

○ 생물학적 바이오수소 생산 공정은 크게 암발효와 광발효로 구분

- 암발효는 복합적인 유기물로부터 안정적으로 바이오수소를 생산할 수 있으나 낮은 수

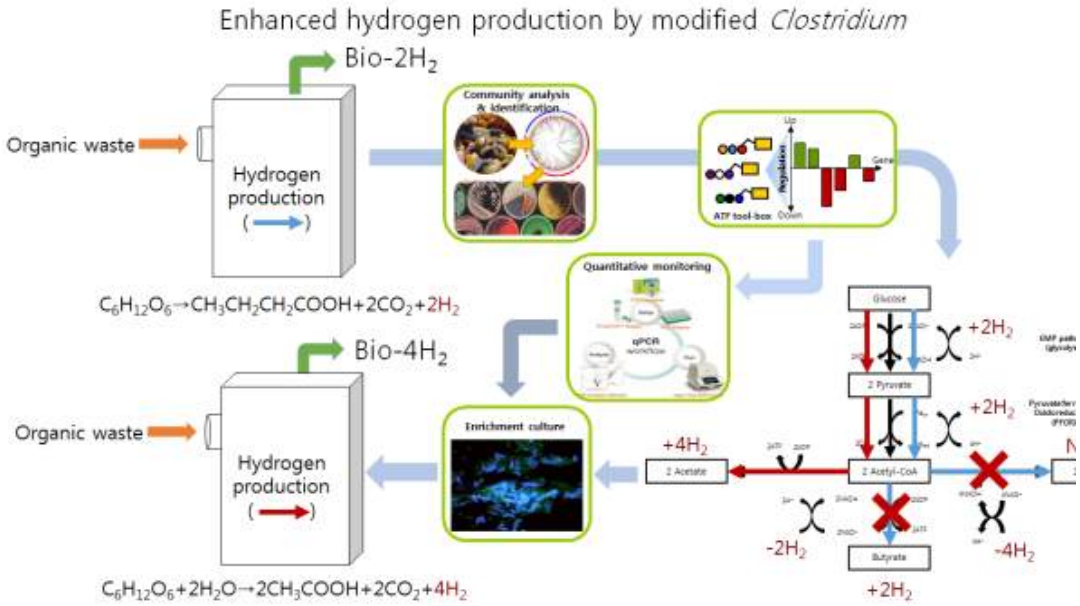
율이 낮은 단점

- 광발효는 바이오수소 생산 수율은 높으나 초산, 낙산 등과 같은 유기산을 이용해야 하는 단점으로 인해 유기성 폐기물을 원료로서 유기성 폐기물을 직접적으로 이용하는 데 한계 존재

○ 혐기성 수소발효는 다양한 유기성 폐자원을 기질로 이용하여 수소를 얻을 수 있으며, 다른 생물학적 수소 생성 방법에 비해 빠른 반응 속도를 갖는 장점에도 불구하고 상용화되지 못하는 이유는 자연에 존재하는 많은 미생물이 생성된 수소를 생화학적으로 이용하고 수소미생물을 저해하기 때문

- 따라서 최초 수소미생물 식종 후 연속운전 과정에서 기질에 의해서 유입된 미생물에 의해서 수소 생성 효율이 낮아지는 문제 수반

○ 수소생성 미생물은 내생포자를 형성하여 분리한 환경(고온/화학물질 등)에 견딜 수 있어서 전처리 공정(열화학적 가수분해, UV, 마이크로웨이브 등)을 통해서 수소를 생산하지 않는 미생물을 배제하여 상용화를 통한 장시간 안정적인 수소 생산이 가능



[그림 2-1-9] 혐기성소화 시 *clostridium* 미생물에 의한 수소발효 기작 (Speece, 2008)

□ 바이오수소 발효 결합 고농도 메탄발효 기술

○ 수소발효(암반응)의 경우 주로 내생포자를 생성하는 Clostridium속의 미생물을 이용하여 혐기소화 반응 메커니즘 중 산생성단계에서의 H_2 생산을 강화하고 메탄생성단계로의 반응 억제를 통해 수소생산효율을 극대화 하는 기술(※내생포자: 고온 고압에서도 사멸되지 않는 미생물의 포자)

○ 수소발효에서 생산되는 H_2와 CO_2는 메탄생산의 기질로 이용되는 특성이 있어 전단계에서 수소발효를 진행하는 경우 후단의 혐기소화에서 메탄생산량이 감소

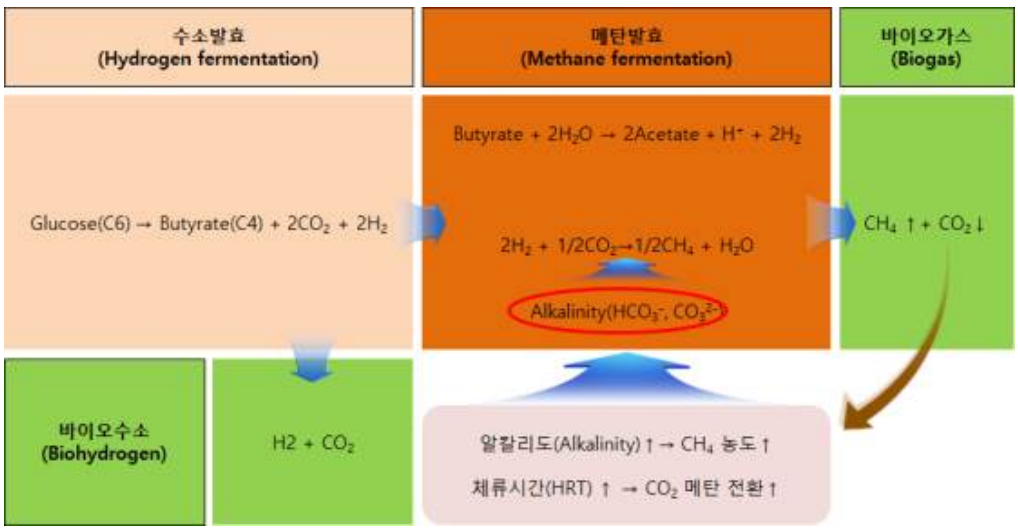
○ 수소발효와 메탄발효를 결합시켜 수소발효 후 메탄생산을 극대화하면서 메탄의 농도를 향상시키는 방안으로 메탄발효조에서의 알칼리도 제어 및 체류시간의 최적화를 통

한 메탄발효 기술 등 존재

○ 수소발효에서 주로 이용되는 Clostridium butyricum은 포도당으로부터 뷰틸산을 생성, 메탄발효조로 유입되는 수소발효 산물 중에는 다량의 뷰틸산이 존재하며, 뷰틸산은 메탄발효조에서 초산생성-메탄생성 단계를 거쳐 최종적으로 메탄과 이산화탄소를 생성

- 이때 뷰틸산의 초산생성반응의 주요한 산물은 아세트산과 수소로 메탄발효조의 알칼리도를 향상시키는 경우 양호한 수소이용메탄생선반응 여건의 조성이 예측

○ 메탄발효조의 알칼리도를 높게 유지시켜 메탄생산과 함께 CO_2를 소비시키고, 체류시간의 연장을 통해 CO_2 소비량과 메탄생산량을 증가시켜 메탄의 생산효율을 증대시키면서 메탄농도를 75%이상의 바이오가스 생산을 위한 메탄발효기술 존재 (※알칼리도: 혐기소화액의 pH 변동을 완충하는 물질로 CO_2가 용해된 탄산(CO_3^{2-}) 또는 중탄산(HCO^{3-}) 이온이 알칼리도의 주요한 구성 물질)



[그림 2-1-10] 고농도(75%) 메탄발효 개념도

□ 바이오매스(유기성)의 혐기성 소화를 통한 고농도 암모니아로부터의 수소 발생

○ 암모니아 분해를 통한 수소 생산은 Carbon 부산물이 생성되지 않는 반응으로, 생산된 수소는 저장 및 연료전지 등에 활용

○ 석탄가스화 및 바이오매스를 활용한 수소생산 방법은 단가가 낮은 장점이 있으나, Carbon이 공기 중에 배출되는 공정을 가지고 있어, 탄소계 배출을 억제하기 위한 추가 단위공정이 요구

○ 암모니아는 분자 구조상에 Carbon을 포함하고 있지 않기 때문에, 반응 후에도 carbon 발생 무

○ 암모니아 바인딩 에너지는 319 kJ/mol로 메탄 413 kJ/mol에 비해 낮은 에너지

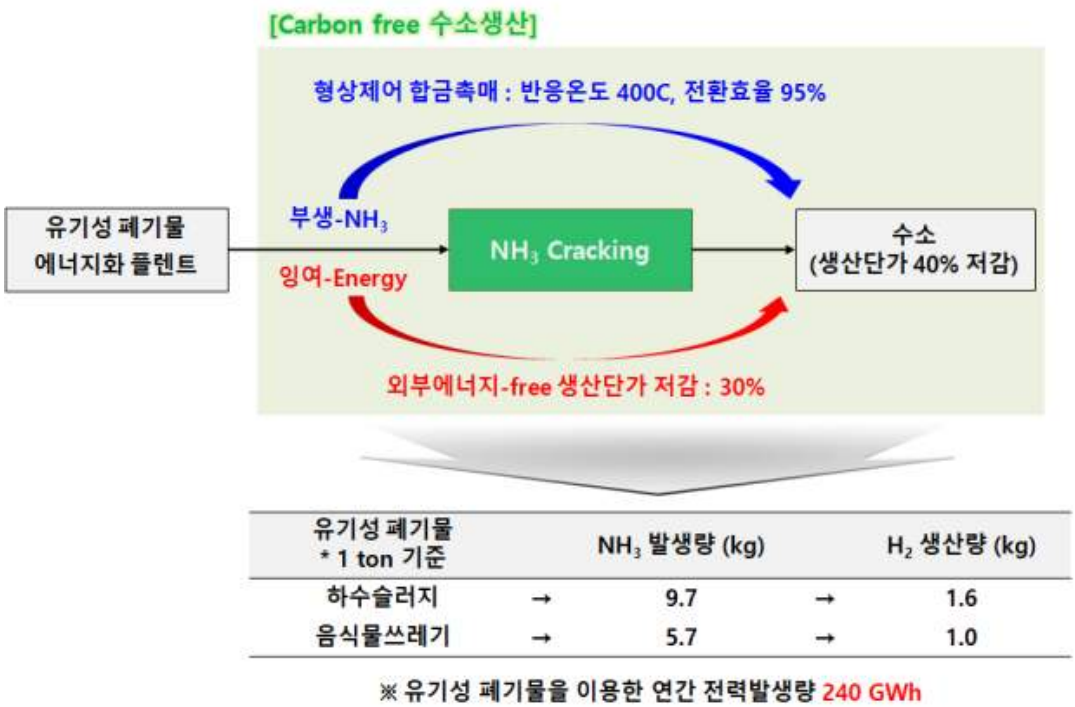
- 메탄 개질에 비해 낮은 에너지로 수소 생산이 가능함을 의미

○ 수소 생산 단가의 경우, 메탄 개질에 비해 암모니아 크래킹을 이용한 방법이 낮음을 알 수 있으며, 이는 위에서 언급한 에너지 차이에 기인한 것으로 해석 가능

○ 암모니아로부터 수소 생산이 가능한 반응은 전기분해와 촉매 크래킹이 대표적이나, 현

재 수준에서는 전기 분해방법이 가장 경제적

○ 하지만, 표면구조제어 촉매를 이용해 암모니아를 크래킹하게 되면, 낮은 반응온도(투입 에너지 저감)에서 수소의 생산이 가능해, 수소의 생산 단가를 낮출 수 있을 것으로 판단되는 바 추가 연구를 통한 실증 개발이 필요



[그림 2-1-11] 바이오매스(유기성)를 이용한 외부에너지 free 수소생산 공정도

2.5.3 잉여전기 활용 수소 생산 및 산소 활용 기술

□ 잉여전기 활용 수소 생산 및 산소 활용 기술의 정의

○ 전기 그리드에 의한 전기에너지 활용의 적절한 배분에 따라 잉여전기가 발생할 경우, 특히 미래에 신재생에너지에 의한 전기 생산량이 대폭 증가할 경우, 간헐성이 높은 신재생에너지(풍력, 태양광)로부터 생산된 에너지는 전기 그리드의 활용에 따라 잉여전기가 되는 시점이 발생

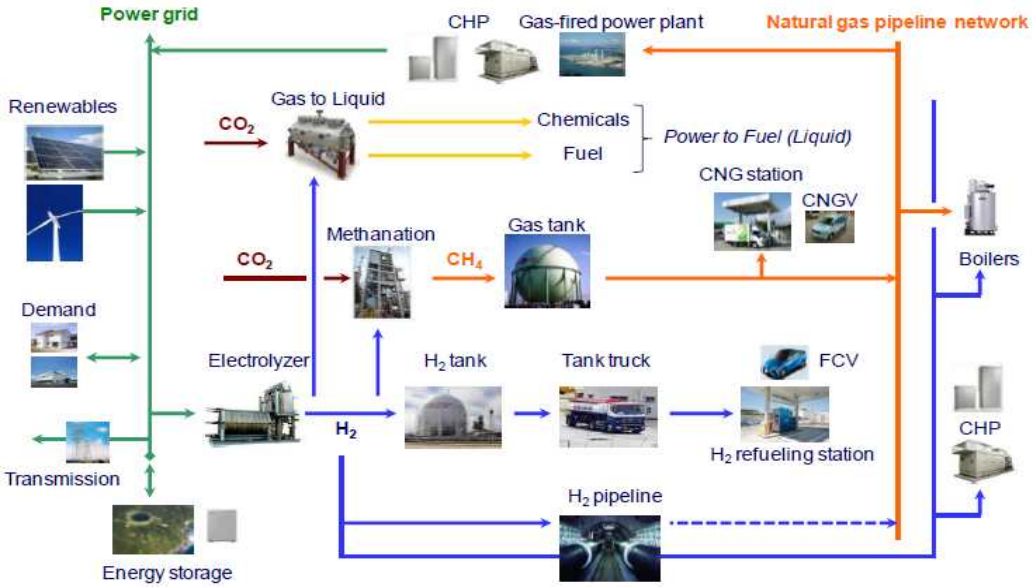
- 생산된 잉여전기를 저장할 매체가 필요하며, 이때 배터리 등에 비하여 에너지 밀도가 높은 수소를 생산하는 기술은 매우 좋은 대안

○ 특히 미래에 신재생에너지에 의한 전기 생산량이 대폭 증가할 경우, 간헐성이 높은 신재생에너지(풍력, 태양광)로부터 생산된 에너지는 전기 그리드의 활용에 따라 잉여전기로 발생하는 경우가 자주 발생할 수 있으므로, 잉여전기의 대상으로는 신재생에너지 전기로 선정

○ 이와 같이 잉여전기로부터 기체 상태의 연료를 생산하는 기술은 P2G(Power-to-Gas) 기술이라고 하며, 본 기획에서는 전기에너지를 수소와 산소로 전환하여 수소는 연료전

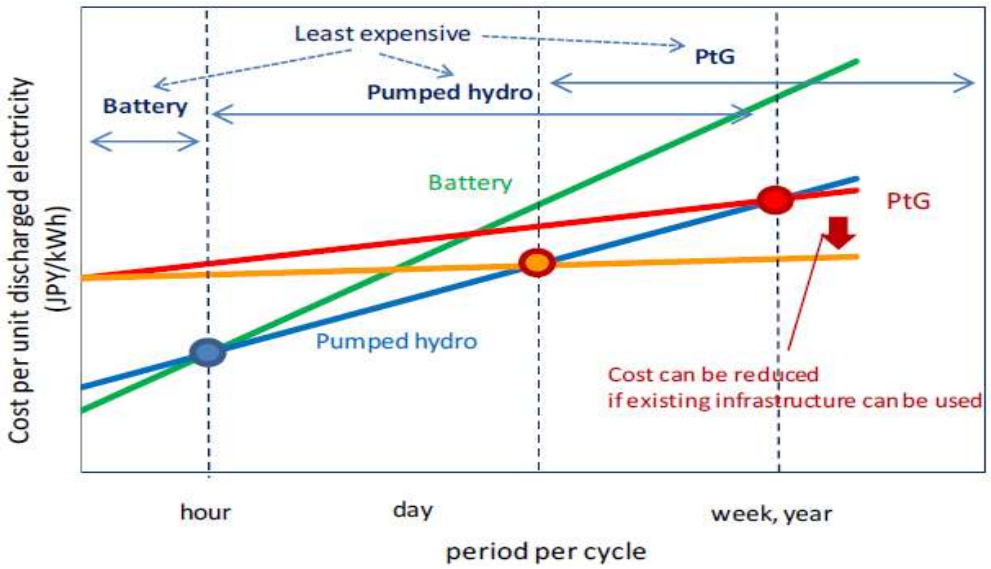
지 발전을 산소는 폐기물 가스화에서의 산화제로서 사용

○ 본 기획에서 전기는 기존의 화석연료(석탄, 석유, 가스)나 원자력에 의한 것이 아니라 태양광, 풍력과 같은 재생에너지원을 통해 생산되는 것을 기준으로 설정



[그림 2-1-12] P2G의 개념도

(출처: Y. Shibata, Is Power to Gas Feasible in Japan, IEEJ, 2016.01)



[그림 2-1-13] 전기에너지 저장 방식별 저장기간에 따른 경제성 비교

(출처: Y. Shibata, Is Power to Gas Feasible in Japan, IEEJ, 2016.01)

□ 전기에너지를 장기간(수일~수년) 보존 이용하는 개념으로서의 P2G 기술

○ 태양광, 풍력과 같은 재생에너지는 온실가스 저감과 더불어 탈원전, 탈석탄 이슈로 인해 전 세계적으로 보급 확대가 이루어지고 있으며, 최근 우리나라도 2030년까지 신재

생에너지 발전 비중을 20%로 높이는 “신재생에너지 3020” 이행 계획을 발표

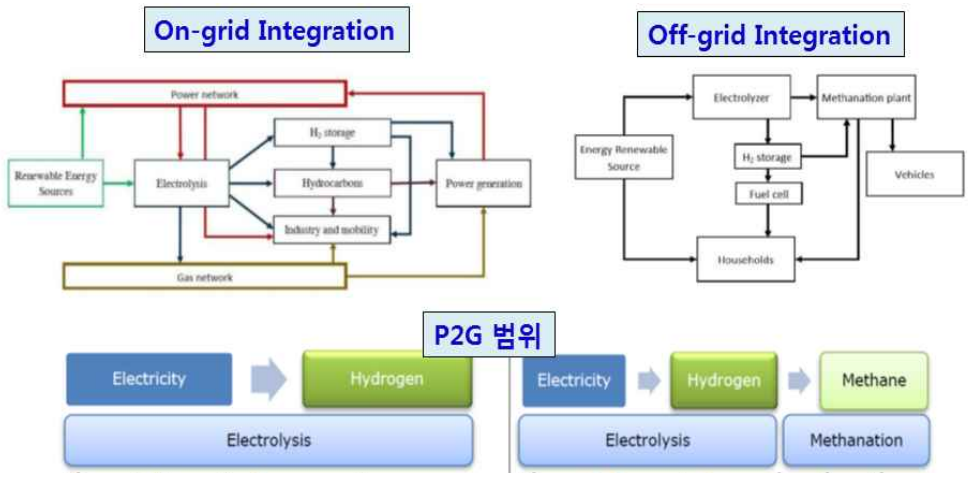
○ 전기는 다른 에너지원과 달리 저장이 어려워 전력이 생산됨과 동시에 소비가 이루어져야 하지만 재생에너지가 가지고 있는 출력 변동성으로 인해 생산된 전기를 안정적으로 이용하기 위해서는 변동성에 의한 수요-공급의 균형을 확보하기 위한 수단이 필요

○ 재생에너지 보급 확대에 따른 수요-공급의 균형 확보 수단으로서 (1) 전력 공급의 유연성 확보, (2) 전력망 확장, (3) 수요관리, (4) 에너지 저장의 방법 등 고려 가능

○ Power-to-Gas 기술은 에너지 저장 방법의 하나로서 기존의 에너지저장장치(플라이휠전지, 배터리, 압축공기 저장장치, 양수발전 등)에 비해 대용량의 전기를 장기간 저장할 수 있다는 특징이 있어 출력 변동성이 높은 태양광, 풍력과 같은 재생에너지 보급 확대와 더불어 강조되고 있는 기술 중 하나

○ 본 기획에서의 잉여전기 활용 기술의 핵심은 크게 두 가지로 첫째는 잉여전기를 사용하여 물을 분해하는 수전해 기술, 두 번째는 수전해를 통해 생산된 수소와 산소를 이용하는 기술

○ Power-to-Gas는 아래 그림과 같이 전력망, 천연가스망과 연계하거나 또는 Power-to-Gas 단독으로 구성된 에너지 모델 구현이 가능



[그림 2-1-14] Power-to-Gas 플랜트 구성 가능 모델

□ 물전기분해 기술의 종류

○ Power-to-Gas의 핵심기술 중 하나인 물전기분해 기술은 사용되는 전해질의 종류 및 전기분해 방식에 따라 크게 3가지로 구분

○ 알칼라인(Alkaline) 전기분해 기술

- 알칼리용액(KOH, NaOH)을 전해질로 사용
- 기술의 성숙도 및 경제성 측면에서 가장 안정적인 기술로 평가

○ 고분자전해질 전기분해 기술

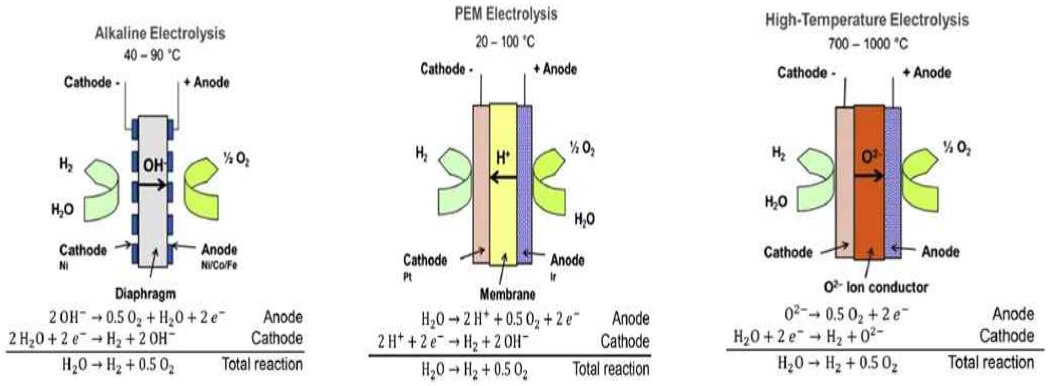
- PEM(Polymer Electrolyte Membrane 또는 Proton Exchange Membrane)
- 고분자전해질 전기분해 기술 또는 양성자교환막 전기분해 기술로 표현
- 알칼라인 전기분해 기술에 비해 셀 수명이 낮고, 건설비가 비싸다는 단점이 있으나,

효율이 높고, 부하변동에 대한 상대적으로 좋은 유연성

- 기술개발에 따른 비용 감소로 미래에는 알칼라인 전기분해 기술과 동등한 수준의 건설비를 확보할 수 있을 것으로 평가

○ 고체산화물(Solid Oxide) 전기분해 기술

- 실험실 규모의 연구개발 단계로 고온 운전조건으로 인해 적은 전기에너지로 고효율의 물분해가 가능
- 추가의 고온열원을 필요로 하며 고온에서 내구성을 가지는 전해질이 필요하다는 단점 포함



알칼라인 전기분해　　고분자전해질 전기분해　　고체산화물 전기분해

[그림 2-1-15] 물전기분해 기술의 구분

2.5.4 개질 및 변환 기술

□ 천연가스의 CO_2-added 개질 기술

○ 천연가스 개질 기술은 메탄이 주성분인 가스로부터 산화제 또는 환원제로 산소, 수증기, 이산화탄소 등을 활용하여 주성분이 CO와 수소인 합성가스로 변환시키는 기술이며, 산화제와 환원제의 종류, 반응기의 종류 등에 따라 다양한 기술이 존재

○ 천연가스에서 수소를 생산하는 재래방식의 기술

- 증기개질, 비촉매 부분산화, 자연개질, CO_2 개질, 직접분해가 있으며 첨단방식으로는 촉매부분산화, 플라즈마 촉매개질, 흡착부과 반응 등
- 증기개질의 경우 800~900℃ 온도에서 운전되며 수율은 75% 정도인 복잡한 공정이지만 세계적으로 400기 정도가 상용공정으로 운영 중

○ 부분산화의 경우 1,100~1,200℃에서 운전되며 공기를 사용할 경우 NOx와 soot이 발생되어 공해를 유발하지만 에너지 효율이 높은 기술

○ 플라즈마개질의 경우 2,000℃ 온도에서 운전되며 수율은 95% 정도로, H_2/CO 만이 생성되고 소형화, 이동형 액체연료 사용이 가능한 신기술인 것이 특징

○ 수증기 개질공정은 메탄 1몰당 생산되는 수소의 수율이 가장 높은 경제적인 공정

- 그러나 평형반응으로 반응속도가 느리기 때문에 공정규모가 커야하며 부하변동에 대

한 정상상태로의 응답 특성이 느린 단점을 보유

○ CO_2-added 개질 기술은 천연가스를 합성가스로 전환함에 있어서 원료물질로 반드시 CO_2를 활용(일부 또는 전부)하는 기술임을 의미

□ 암모니아 개질 기술

○ 암모니아는 일반적으로 질소와 수소의 촉매 반응에 의해 제조되며, 질소는 대기에 가장 많이 함유된 기체지만 수소의 경우 천연가스의 수증기 개질이나 부생가스의 크래킹으로 생산하여 사용하였으며, 최근에는 재생에너지와 연계하여 수전해를 통해 생산된 수소를 활용하는 방안이 제시되는 추세

○ 암모니아의 개질로부터 수소생산 공정은 개질과 PSA로 구성되며, 연료전지에 적용할 경우 PSA 공정이 필요 없어 매우 간략한 공정으로 구성 가능

○ 비압축성 액체인 암모니아는 이송의 편리함으로 인해 천연가스 배관망이 없는 곳의 개질기에 원료 공급이 가능하며, 이산화탄소 배출이 없어 친환경적인 장점 보유

□ 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술

○ 합성가스의 주성분은 CO와 H_2이며, 수소를 주 생산품으로 활용할 경우에는 다음과 같은 반응이 원활하게 진행되는 반응기 기술을 확보 필요

- WGS(Water Gas Shift) Reaction: $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$

○ 저온 WGS는 Cu/ZnO/Al2O3계 촉매를 사용하여 200~400℃ 범위에서 운전되며, 고온 WGS는 Fe계 촉매를 사용하여 400~500℃ 범위에서 운전

□ 기체 수소 활용 액상 수소 생산 기술

○ 수소를 생산하는 플랜트와 수소 사용처의 거리가 먼 경우, 특히 해외에서 수소를 생산하는 경우, 기체수소로는 운송이 매우 어려우므로, 기체수소를 운송이 편리한 액상으로 변환하는 기술

- 액체수소 생산 기술은 국토부에서 별도의 기술로 개발을 추진 중이므로 본 기획에서는 제외

○ 수소를 전달하는 매개체로서 액체를 이용하는 기술과 수소가 풍부한 다른 물질로 변환하는 기술을 들 수 있으며, 대표적으로는 수소가 풍부한 액상 물질(액체 암모니아 등)로 변환하는 기술

- 대표적인 암모니아 합성기술은 공기 중의 질소와 수소를 합성하여 제조하는 하버-보슈법이 있으며, 상용화된 기술
- 현재, 하버-보슈법에 비해 낮은 온도와 압력에서 암모니아를 합성하는 기술에 대한 연구는 실험실 규모에서의 연구결과만 보고
- 액상 수소 생산 기술은 범부처 수소기술개발 로드맵에서 수소 운송의 한 분야로 분류하여 개발 계획을 수립하고 있으므로, 수소 생산 기술 중심인 본 기획에서는 제외

2.5.5 정제 및 분리 기술

□ 합성가스 및 바이오가스로부터 유해물질 제거 기술

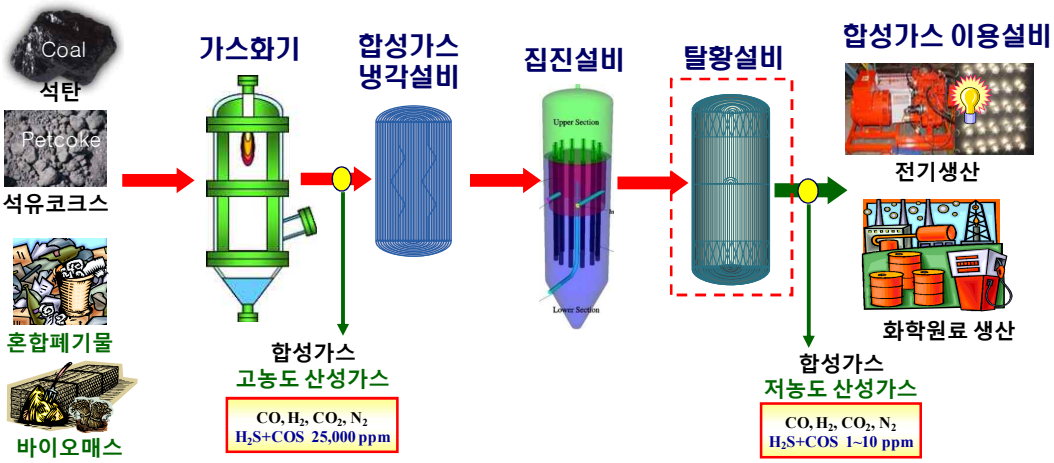
○ 저급자원인 폐기물, 바이오매스, 석탄 및 펫코크 등으로부터 합성가스를 생산할 경우, 합성가스 내에는 분진, 유황화합물(H_2S, COS), 타르(원료가 폐기물 또는 바이오매스인 경우) 등의 유해 성분이 포함되어 있으므로, 이를 정제하는 기술의 포함이 필요

○ 음식물류 폐기물 또는 하수슬러지로부터 바이오가스를 생산할 경우, 바이오가스 내에는 이산화탄소, 유황화합물 및 일부 분진 등이 포함되어 있으므로, 바이오가스로부터 유황화합물과 분진 등을 제거하는 기술의 포함이 필요

□ 탈황 기술

○ 폐기물, 바이오매스, 석탄 및 폐기물 등과 같은 연료를 가스화하게 되면 가연분은 CO와 H_2가 주성분인 합성가스로 전환되며, 가스화반응으로 인해 연료에 함유된 황(S) 성분은 SO_x가 아니라 H_2S와 COS로 배출

○ 합성가스 탈황기술은 가스화 반응으로 생산된 합성가스를 전기를 생산하거나 화학원료 또는 청정연료 생산을 위해 합성가스에 함유된 산성가스(H_2S와 COS, 주로 H_2S)를 제거하는 기술



[그림 2-1-16] 가스화를 통해 생산된 합성가스내 산성가스 제거용 탈황설비 개요도

(출처: 고등기술연구원 자료 취합 및 정리)

○ 합성가스 탈황기술은 크게 습식 탈황기술과 건식 탈황기술로 분류됨

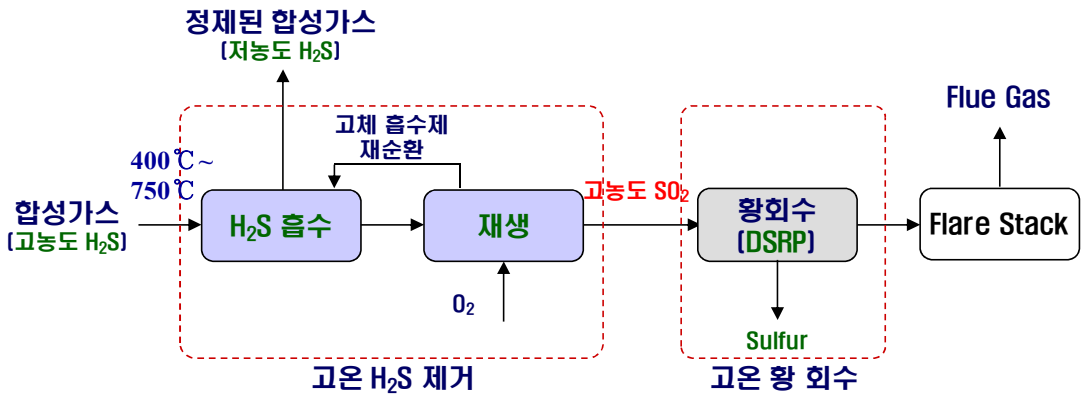
- 습식 탈황기술의 경우 COS를 H_2S를 가수분해한 후 저온(혹은 상온)에서 H_2S를 제거하는 기술로 현재 정유/화학공장 가스 정제, 천연가스 전처리, 코크오븐가스 정제 등 여러 분야의 상용 공정에 널리 활용되고 있으며, 대부분의 상용 가스화 플랜트에도 적용되어 활용되고 있는 기술

- 건식 탈황기술은 합성가스 플랜트의 효율을 극대화하기 위해 고온(400℃~750℃)에서 산성가스를 제거하는 기술로 현재 상대적으로 처리 용량이 작은 바이오가스 정제,

LFG 가스 정제 등에 상용 적용되고 있으며 합성가스 플랜트와 같이 처리 용량이 큰 규모에 대해서는 세계적으로 상용화 적용을 위한 실증 연구가 진행 중

○ 건식 탈황공정

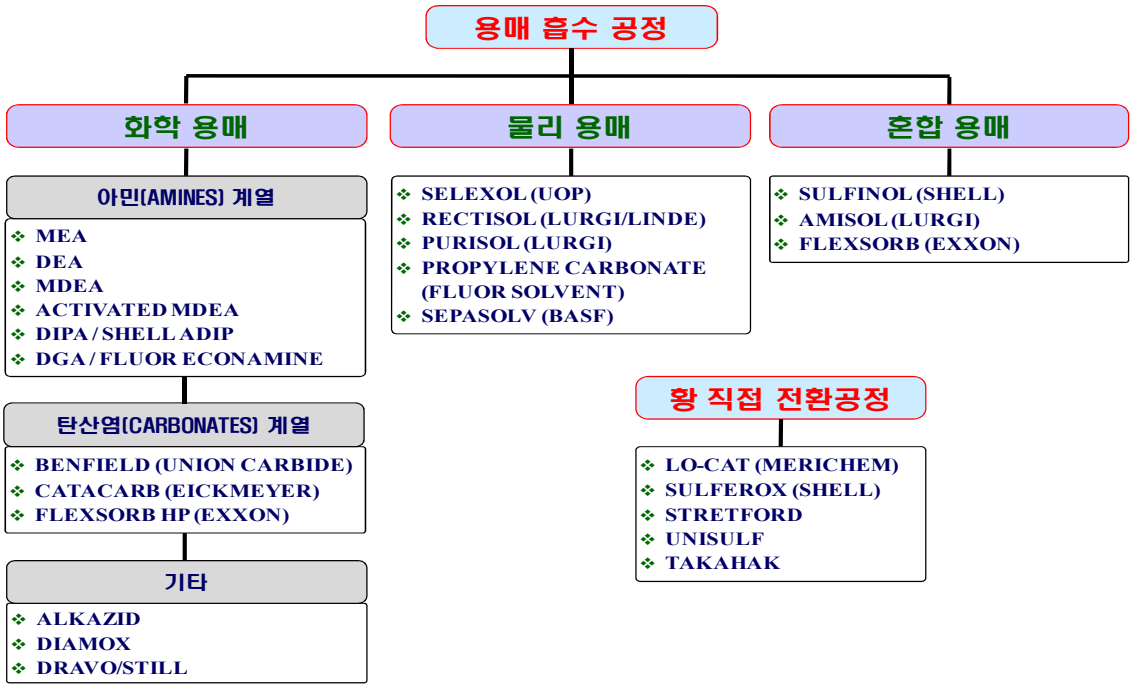
- 고온(400℃~750℃)에서 산성가스를 제거하는 건식 탈황공정은 크게 가스화기 내부(in-situ 혹은 in-bed) 탈황공정과 외부(external) 탈황공정으로 분류
- 내부 탈황공정은 가스화기 내에 황제거 흡수촉매를 연료와 함께 첨가시켜 황을 제거하는 공정이고, 외부 탈황공정은 가스화기 하류의 흡수촉매와 합성가스를 접촉시켜 산성가스를 제거하는 공정
- 내부 탈황공정은 설비투자비를 낮출 수 있고 설계가 간단한 반면, 외부 탈황공정은 황 제거율이 매우 높고 이 공정에서 나오는 황 또는 황화합물을 상품화 할 수 있는 가능성 내포
- 외부 탈황공정은 가스화기에서 방출된 산성가스를 제거하는 공정으로 국내외에서 집중적으로 개발되고 있는 기술
- 외부 탈황공정에서 주로 사용되는 금속산화물의 경우 촉매와 유사한 역할을 하여 재가용율이 높고 황 제거율도 90%~99.9%로 매우 우수



[그림 2-1-17] 건식 탈황공정 개요도 (출처: 고등기술연구원 정리)

○ 습식 탈황공정

- 습식 탈황공정은 가스화기에서 생산된 고온의 합성가스를 열교환기에서 열전달을 통하여 저온으로 냉각 후 산성가스를 제거하는 공정으로 정유화학, 가스산업 등에 널리 적용되고 있으며, 대부분의 가스화 플랜트에 적용되는 기술
- 공정에 따라 차이는 있으나 대략 30℃~50℃ 근처에서 운전되고 있으며, 현재 상용 적용 중인 공정의 종류는 30여종 이상인 것으로 보고
- 습식 탈황공정의 경우 일반적으로 크게 '용매흡수공정'과 '황 직접 전환공정'으로 분류되며, 용매흡수공정을 다시 용매 종류별로 구분하면 화학용매공정, 물리용매공정 및 혼합용매공정으로 구분 가능



[그림 2-1-18] 대표적인 탈황공정

(출처: 산업통상자원부, 석탄/코크스 합성가스내 고농도 H_2S 제거용 직접 황회수 정제기술 개발, 최종보고서, 2015)

□ 수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술

○ 합성가스 또는 개질가스의 주성분은 CO와 H_2이며, 위에서 언급한 일산화탄소의 수소 전환 기술을 적용하면 CO_2와 미량의 CO가 혼합된 약 50~70% 수준의 저순도 수소(H_2) 확보 가능

○ 따라서 저순도 수소(H_2)를 고순도 수소(H_2)로 전환하기 위해서는 수소를 분리하는 기술이 본 사업에 필수적인 기술로 반영 필요

○ 대표적인 수소 분리 기술로는 압력변동흡착공정(PSA, Pressure Swing Adsorption)

- 분리막을 이용하여 여러 가지 혼합가스로부터 선택적으로 수소를 분리할 수 있는 막분리 공정과 흡착제를 사용 특정물질을 선택적으로 흡착하여 수소를 분리한 후 압력차이를 이용하여 흡착된 가스를 배출하는 기술

○ PSA 공정의 경우, 현재 1~100,000 Nm^3/h급이 상용화되어 대부분의 수소생산 공정에서 사용되고 있으며, 수소의 순도는 최고 99.999%

- PSA 공정에는 활성탄(Activated Carbon) 또는 분자체(Molecular-Sieve)가 사용되는 흡착제로 주로 사용

- PSA 방식에 따른 수소분리에 대해 간략하게 살펴보면 흡착제가 충전된 용기내부로 가압상태(보통 5기압에서 20기압)에서 수소가 포함된 혼합가스를 통과시켰을 때 수소만 선택적으로 흡착제의 기공 사이를 통과하여 고순도 수소가 생산되고, 다른 불순물들은 흡착제의 기공을 통과하지 못하고 잔류

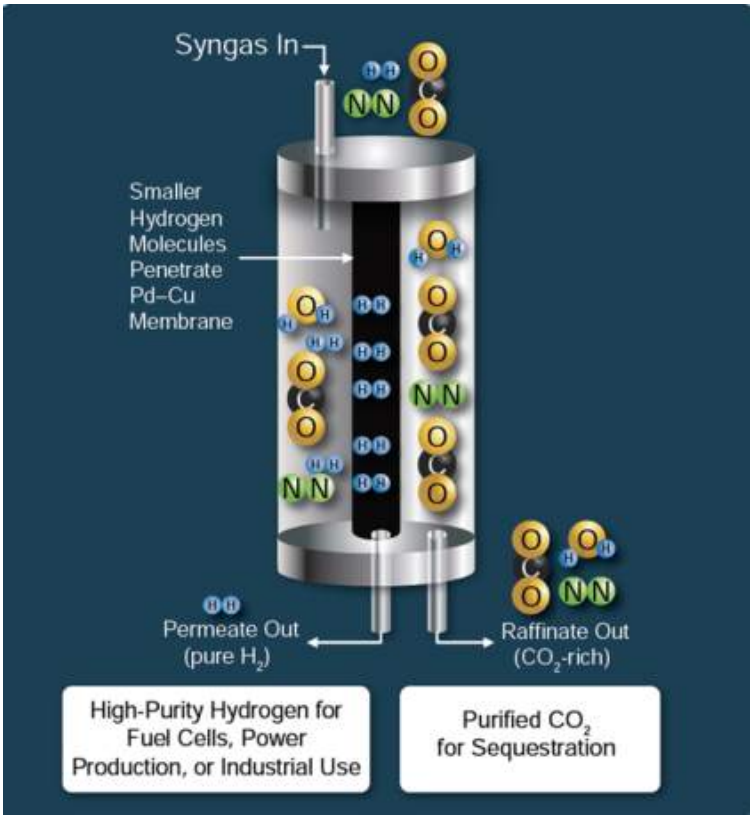
- 일정시간 운전 후 잔류중인 불순물들을 제거하기 위하여 용기의 압력을 상압(또는 저

압)으로 낮추어 주면 불순물들이 흡착제의 기공 사이에서 탈착 및 배출되어 흡착제를 다시 사용할 수 있는 상태로 전환

- 상기와 같은 운전을 연속적으로 수행하기 위하여 다수의 용기 및 밸브시스템이 필요하고, 수소에 혼합된 분리 대상 가스에 따른 흡착제의 종류, 운전 압력, 운전 주기, 최종 결과물로 얻어지는 수소 순도 등에 따라, 2개에서 16개까지의 용기를 시리즈로 연결하여 사용
- 많은 수의 용기를 사용할 경우, 건설비와 운영비가 높고 설치 부지가 많이 소요되기 때문에, 이를 저감하기 위해, 설비의 콤팩트화 및 제어/운전 기술의 개발과 흡착제 개발이 필요
- 또한 CO_2의 활용 및 전환을 위해서는 수소뿐만 아니라 CO_2 또한 분리할 필요가 있으며, 건설비 및 운영비를 저감하기 위한 CO_2와 수소를 동시에 분리하기 위한 PSA 공정 및 기술 개발이 필요

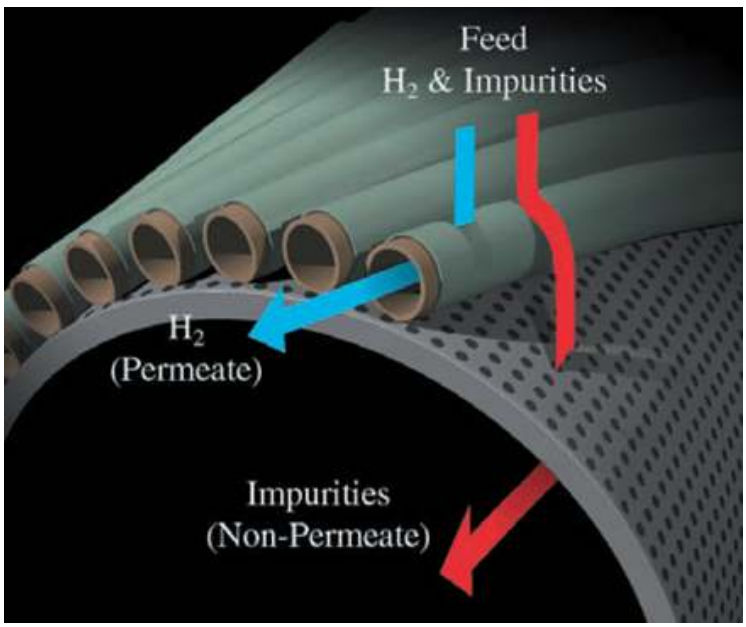
○ 막분리 공정의 경우, 주로 수소 분리용으로 폴리이미드, 폴리슬폰, 폴리페닐렌옥사이드 등의 소재를 사용한 고분자 분리막이나 세라믹 또는 팔라듐계 분리막을 개발 중

- 현재 고분자 소재로 제조된 중공사 형태의 분리막이 수소 분리막으로 주로 사용되고 있으며, 주로 정유공장이나 제철소에서 발생되는 수소를 분리 및 회수하는 목적으로 사용
- 향후 수소 연료전지차의 보급 확대 및 수소 사회로 본격 진입할 경우, 고순도의 수소를 생산할 수 있는 세라믹이나 팔라듐계의 소재를 사용한 분리막의 개발이 필요
- 국내 수소 분리막의 경우, 소용량 실험실 규모에서는 선진 제조사와 동등한 성능의 분리막을 개발하였으나, 상용화 적용은 부족하여 실질적인 시장 확대가 더딘 상황으로, 실증기술 개발을 통해 상용화 적용기술의 확보가 요구되는 실정
- 또한 CO_2와 수소를 동시에 고순도로 분리하기 위한 복합 소재를 사용한 복합 분리막의 개발도 필요



[그림 2-1-19] 팔라듐 소재를 사용한 수소 분리막의 원리

(출처: EERC, Hydrogen Separation Membranes, Technical Brief, 2010)



[그림 2-1-20] UOP사의 중공사 형태의 수소 분리막

(출처: UOP, UOP Polysep Membrane Systems for Hydrogen Recovery and Purification, 2016)

2.5.6 공통 핵심 기술

(1) 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술

□ 모듈화의 정의

○ 모듈화는 유사한 계열에 있는 여러 상이한 제품(플랜트)에 사용될 수 있는 기본적인 부품(혹은 모듈)

○ 공장에서 미리 제작하여 사용하고자 하는 현지에서 조립하는 개념이 적용되어 건설기간을 단축시키고 표준화 개념도 반영이 가능

○ 각 플랜트에 사용될 유사기능의 설비를 하나씩 별도로 설계/제작하는 번거로움을 줄일 수 있고, 생산단계에서는 제한된 수의 기본 모듈만을 생산함으로써 생산 공정과 장비를 단순화 시킬 수 있고 효율적인 대량생산이 가능

○ 다양한 제품에 대한 고객의 요구를 낮은 생산비로 실현하는 하나의 방안

○ 특히, 해외수출을 장기적으로 고려한다면, 유지보수 편의성과 문제발생 원인 파악과 개선방안 도출을 위해서도 세부 부품이 아닌 모듈형태로 계속 진화 발전시켜야 국내 전문인력이 상주하기 힘든 지역의 현장 경험도 축적되어 기술진보가 가능

○ 플랜트의 모듈화는 설계 관점과 시공 관점에 따른 정의 (출처: 서효원 외, PLM(Plant Life-cycle Management) 기반 모듈화 설계 기술 기획, 국토교통과학기술진흥원, 2012)

- 시공 관점의 모듈화: 플랜트 건설 기간 및 비용 단축을 위하여 전체 플랜트를 제작/운송/시공이 용이하도록 시공블록 모듈로 나누는 것을 의미
- 설계 관점의 모듈화는 설계 표준화/자동화 및 플랜트 시공 품질을 높이기 위하여 플랜트 전체를 공정(프로세스) 중심으로 분할하고 이를 표준화한 공용 설계모듈로 나누는 것을 의미

□ 모듈화 기술의 특징

○ 설비의 모듈화는 사전에 모듈이 제작되어 현장에서는 설치 위주로 진행되기 때문에 제작단계에서 최종 설계 완료 필요

○ 현장에서 모듈을 새로 제작할 수는 없기 때문에 설비기술에 대한 충분한 시험과 검증이 필수

○ 상용 판매 이전에 test-bed 운영을 통해서 충분한 시행오차가 겪어지고 이를 개선한 모듈기술의 확립 필요

○ 또한, 다른 현지 현황에 따라 발생하는 추가 시행오차는 모듈의 유지보수 교체와 개선 시 반영되는 선순환 구조도 필수

○ 모듈화의 핵심은 건설공기 단축, 건설비용 감소, 품질 확보 등

○ 일반 모듈에 더해 이를 표준화하면 제작 시 발생 가능한 오차가 최소화되며 제작라인의 자동화가 가능하지만 최적설계가 아닐 수 있어서 이를 반영하는데 문제 발생 가능성 존재

○ 모듈화 기술이 적절히 운용될 때의 장점
- 건설 및 시운전 기간 단축
- 설계 표준화/자동화 가능
- 시공 품질 향상
- 모듈 재활용성 향상과 유지보수 편리
- 핵심기술 지속 업그레이드에 필요한 핵심 자료 확보 용이 (문제 발생 모듈 보수 후 재사용 단계에서)
- 동일한 모듈 사용에 따른 데이터의 호환성 향상으로 문제점 파악/해결 용이

○ 모듈화가 잘 적용되는 경우의 효과
- Pre-manufacturing 단계에서 정밀한 안전도 검수 가능(합성가스의 유동성, 폭발성 특성 감안시 필수 요소)
- 표준화 설계 가능 (플랜트 산업 특성상 현장 맞춤 설계와 시공이 많아 비용 상승의 주원인인데, 이를 감소할 방안)
- 모듈 블록 교체를 통한 유지보수 기간 감축과 설비/부품 신뢰성 향상 (보수 필요시 spare 모듈 블록으로 대체, 보수 필요한 블록은 수리 후 재사용)
- 설치비용 저감 (특히, 도로와 산업 인프라 낙후 지역 경우)

○ 최근의 타산업의 기술동향을 살펴보면, 표준모듈의 효율적인 구성으로 최적설계에 부합하는 설비 구축이 가능하다는 것을 확인할 수 있으며(출처: 국토부 모듈러교량 기술개발 및 실용화, 한국건설교통기술평가원, 2011), 최근 기술동향은 Stick-build → 조립식 공법 → 모듈러 공법으로 발전되고 있는 추세

○ 최근 원자력 분야에서는 대형 원자로 대신에 소형원자로를 모듈형태로 미리 제작해서 현장에서는 설치만 하는 개념이 일반화되어 반영되고 있는 상황
- 미국 Babcock & Wilcox, NuScale Power, Hyperion Power Generation사, 웨스팅하우스사가 사업화를 하고 있고 러시아에는 Akme Engineering사 등
- 건설비용을 낮추면서 안전도 향상과 분산전원 역할을 가능하도록 하는 것이 기본 목적

□ 모듈화의 제한점

○ 모듈화 개념이 잘못 적용되면 비용만 증가하게 되므로, 제작 현장과 가깝고 유지보수가 용이한 지역은 당연히 모듈화 개념의 의미가 없고 제작 및 유지보수를 위한 인프라가 열악한 지역(예: 극한지, 도로 등 인프라 취약지역)을 타겟으로 표준화된 제작이 이루어져야 대량생산 체계의 경제적 이득이 가능

○ 현실적으로 모듈로 제작을 하여 도로로 이동을 하여야하므로 제한조건은 도로이동 허용 크기
- 오일샌드 플랜트에 적용된 모듈의 대표적 예와 크기는 아래 표 참조

<표 2-1-9> 오일샌드 플랜트에 적용된 모듈의 대표적 예와 크기

Module Description	Module Shipping Size (m)		
	Width	Length	Height
Piperack Module	2.5	18.0/24.5/26.0/30.0/35.0	6.0
	4.6	35.5	6.0
	4.6	24.0/30.0/36.0	7.2
	6.3	34.0	1.8
	6.6	33.0/36.0	6.8
Electrical Cable Tray Module	3.0	36.0	4.0
Tank Farm Sleeper Rack	4.6	18.0/24.0/26.0	1.2/2.4
Process Piping Module	2.5	36.0	2.5
	6.0	20.0/26.0	3.5
	6.6	36.0	6.8
Process Equipment Module	3.0	18.0	3.0
	3.7	18.0	6.5
	3.8	16.0	5.5
	5.0	12.5	6.0
	5.0	14.0	7.2
	6.0	16.0/22.0	6.0
	6.0	14.0	6.5
	6.3	18.0/18.3/25.0	6.5
	6.3	25.0	6.0/5.2
	6.5	11.5/30.0	6.5
	7.0	15.0	6.5
Electrical Equipment Module	6.0	20.3	4.5/4.8/6.5

(출처: 오일샌드플랜트 모듈화기술 기획 최종보고서, 국토해양부, 2013/02, p. 74)

○ 플랜트 모듈을 적용하기 위해서는 모듈을 운송하기 위한 모듈의 중량/부피/무게 중심 최적화 설계기술, 모듈을 적층할 때 무게를 지탱하는 모듈 제작기술, 해상 및 육상 운송 설비 조건들을 고려한 모듈 설계 기술 등이 필요

□ 본 사업에서의 모듈화 방향

○ 본 사업에서는 시공 관점의 모듈화를 기본으로, 인프라가 열악한 해외지역에서도 운송이 용이한 표준 규격의 모듈화를 추진

○ 현장 시공이 용이한 '시공블록모듈'과 독립적인 기능을 수행하면서 일정한 크기로 운송이 용이하고 재사용이 가능한 '공용기능모듈'의 성격을 모두 갖는 모듈을 개발 적용

- 해양플랜트에서는 대형 시공블록모듈을 주로 사용하고, 자동차 업계는 공용기능모듈이 주로 적용

○ 플랜트 모든 설비를 모듈화 할 필요는 없고, 핵심기술 부분을 주로 모듈화

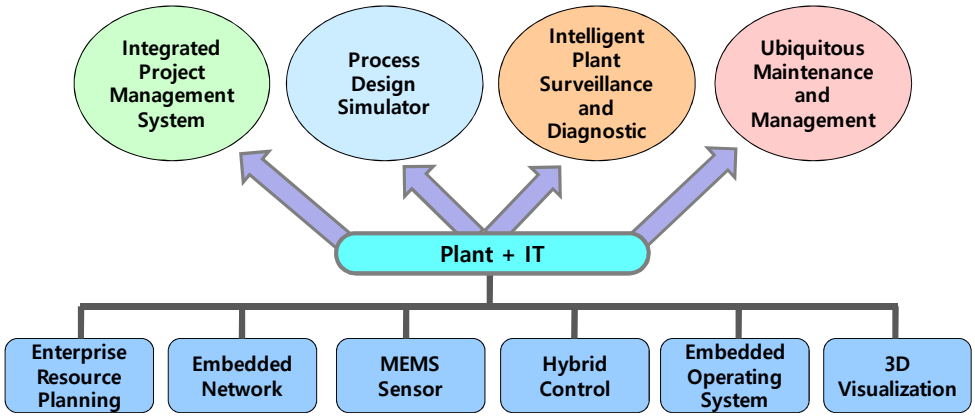
○ 모듈화 설비에 ICT 기능 추가

- 합성가스 플랜트 또는 합성가스 기반 수소생산 플랜트가 운영되는 해외 타겟은 해외 자원 산지 인근이고 대부분 산업과 정보통신 인프라가 열악한 곳
- 플랜트 판매 이후 이들 지역에 전문인력을 상주시키기 어려운 경우가 대부분이므로, 모듈화 설비에 ICT 기능을 가장 간단하면서 필수정보를 전송할 수 있는 기능을 추가할 필요성 존재

(2) ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술 개발

○ ICT/IoT/빅데이터 기반의 합성가스 플랜트에는 IT(Information Technology) 저전력/고속 유·무선 데이터통신 핵심기술, Sensor Actuator 기술, 임베디드 시스템 기술 등이 필요

○ 이러한 IT기술과의 융합을 통해 합성가스 플랜트의 운영관리를 위해 지능형 감시 및 진단 시스템, 유비쿼터스 유지보수 및 관리시스템 등으로 구성

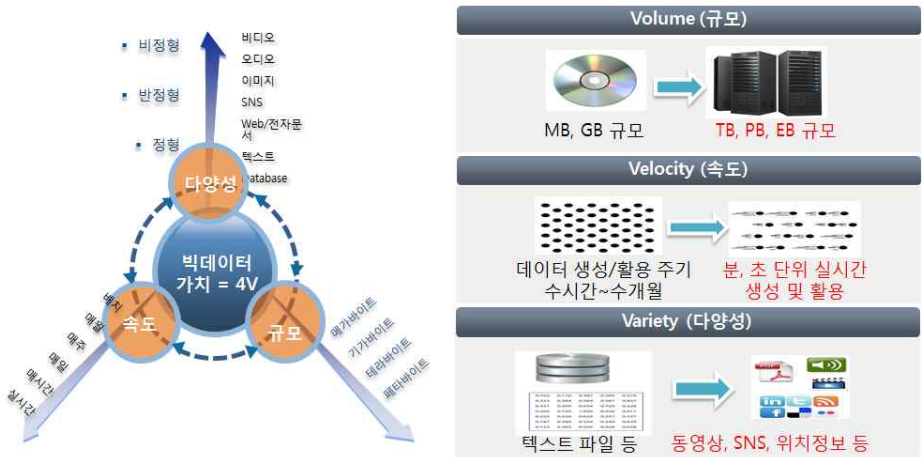


[그림 2-1-21] ICT/IoT/빅데이터와 플랜트의 융합기술 개념도

(출처: 최병일 외, IT 융합기술과 산업응용: 플랜트 IT 융합기술 현황 및 전망, 기계저널, 52(11), 2012)

○ 빅데이터의 경우 기존 데이터베이스 관리도구로 데이터를 수집, 저장, 관리, 분석할 수 있는 역량을 넘어서는 대량의 정형 또는 비정형 데이터 집합 및 이러한 데이터로부터 가치를 추출하고 결과를 분석하는 기술을 의미

○ 빅데이터의 특성은 데이터 저장매체의 발달 및 통신기술, 데이터의 분산 관리 및 처리·분석 기술의 급격한 발달로 인한 데이터의 규모(Volume), 데이터 생성 속도(Velocity), 형태의 다양성(Variety)의 3V로 요약 가능



[그림 2-1-22] 빅데이터 정의 및 특성

(출처: ECMiner, 빅데이터 분석을 위한 ECMinerTM 소개, 2015)

○ 빅데이터 활용을 위한 요소기술은 아래 표와 같이 빅데이터 수집 기술, 빅데이터 공유 기술, 빅데이터 저장·관리 기술, 빅데이터 처리 기술, 빅데이터 분석 기술, 지식 시각화 기술을 포함해 총 6종으로 분류 가능

<표 2-1-10> 빅데이터 요소기술 분류

요소기술	설명	해당 기술
빅데이터 수집	조직내부와 외부의 분산된 여러 데이터 소스로부터 필요로 하는 데이터를 검색하여 수동 또는 자동으로 수집하는 과정과 관련된 기술로 단순 데이터 확보가 아닌 검색/수집/변환을 통해 정제된 데이터를 확보하는 기술	- ETL - 크롤링 엔진 - 로그 수집기 - 센싱 - RSS, Open API 등
빅데이터 공유	서로 다른 시스템간의 데이터 공유	- 멀티 테넌트 데이터 공유 - 협업 필터링 등
빅데이터 저장	작은 데이터라도 모두 저장하여 실시간으로 저렴하게 데이터를 처리하고, 처리된 데이터를 더 빠르고 쉽게 분석하도록 하여, 이를 비즈니스 의사 결정에 바로 이용하는 기술	- 병렬 DBMS - 하둡(Hadoop) - NoSQL등
빅데이터 처리	엄청난 양의 데이터의 저장·수집·관리·유통·분석을 처리하는 일련의 기술	- 실시간 처리 - 분산 병렬 처리 - 인-메모리 처리 - 인-데이터베이스 처리
빅데이터 분석	데이터를 효율적으로 정확하게 분석하여 비즈니스 등의 영역에 적용하기 위한 기술로 이미 여러 영역에서 활용해온 기술	- 통계 분석 - 데이터 마이닝 - 텍스트 마이닝 - 예측 분석 - 최적화 - 소셜 네트워크 분석 등
빅데이터 시각화	자료를 시각적으로 묘사하는 학문으로 빅데이터는 기존의 단순 선형적 구조의 형식으로 표현하기 힘들기 때문에 빅데이터 시각화 기술이 필수적	- 편집 기술 - 정보 시각화 기술 - 시각화 도구

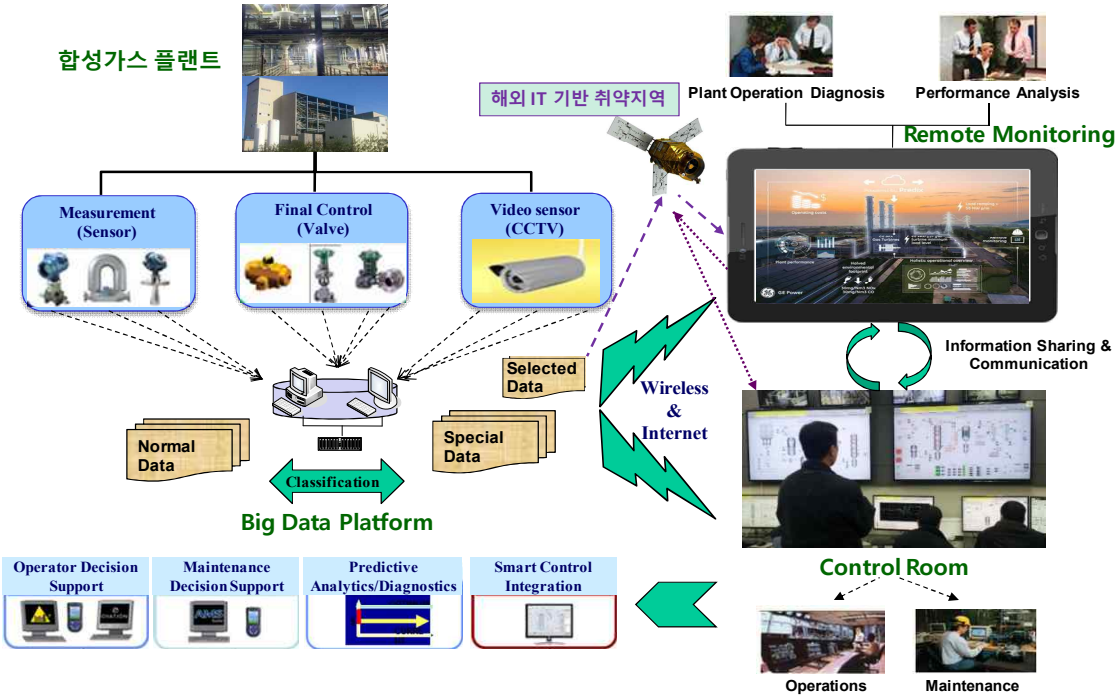
(출처: 한국정보화진흥원, 빅데이터 기술분류 및 현황, 빅데이터 전략센터, 2013)

○ ICT/IoT/빅데이터 기반의 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 기술의 경우, 플랜트의 운영에 IT 기술을 융합하여, 플랜트의 유지·보수 및 운영 업무 등의 신속화, 정밀화, 자동화, 지능화와 가용성 증대를 확보하는 기술

○ 합성가스 기반 수소생산 플랜트의 설계 및 구축시, ICT/IoT/빅데이터 기반의 시스템을 구축하여 전용통신망 및 유·무선 인터넷망을 통해 설비 운전 빅데이터(Big Data)를 실시간으로 수신 및 축적하고, 축적된 빅데이터의 분석 및 진단을 통해 최적화된 대응방안을 제공하여, 플랜트의 이용률과 가동률을 향상시키고 유지보수 및 관리 업무를 신

속화, 정밀화, 자동화 및 지능화하여 운영관리를 최적화하는 기술

○ 유·무선 인터넷을 통해 원격으로 핵심 설비의 운전 상태를 파악하고 이를 분석 및 진단하여, 운전자에게 합성가스 기반 수소생산 플랜트의 주요 운전 상태와 정보를 제공하여 플랜트 신뢰도를 향상시키는 기술을 포함



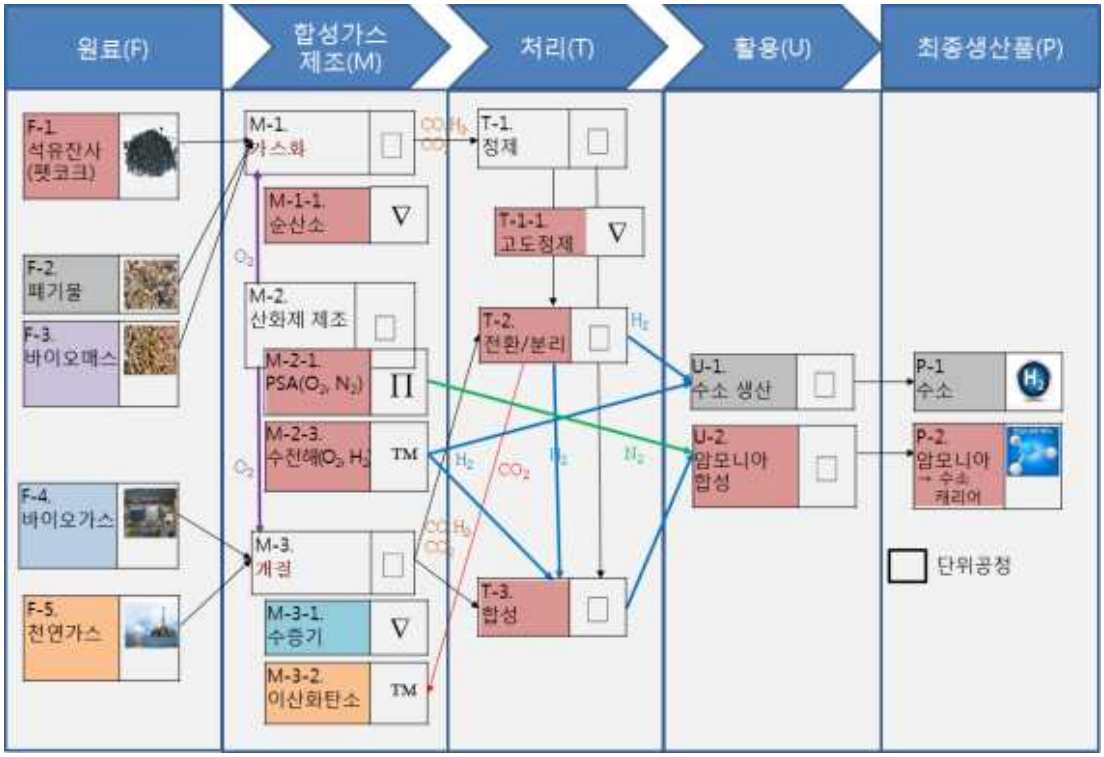
[그림 2-1-23] ICT/IoT/빅데이터 기반의 합성가스 플랜트 운영관리시스템 개념도

(출처: 고등기술연구원 자료 취합 및 정리)

2.6 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 연계 구성

○ 상기 기술들의 연계에 의한 합성가스 기반 수소 생산 플랜트를 구성함에 있어서 유사 공정의 특성을 고려하고 공통 핵심기술을 고려한 대상 플랜트간 연계에 대한 개념을 아래 그림에 도시

- 미래 가스기반 에너지사회 인프라 구축을 위한 핵심 플랜트 역량 확보를 목표로 설정
- 배경으로는 수소 사회, 중소규모 분산전원 사회 대응, 신재생에너지 전기와 수소 인프라 연결 필요성 증대 및 국가 CO_2 저감 측면 청정가스 자원 확보 등



[그림 2-1-24] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 연계 구성을 위한 기술 및 물질 흐름 개념도

제2절 대내외 환경 분석

1. 메가트렌드 분석

□ 지속가능(sustainable)하고 환경친화적(environment friendly)인 에너지가 강조되는 시대

○ 화석연료 대신 CO_2, 매립지 메탄가스 등 지구온난화 가스를 저감할 수 있는 에너지자원 활용 본격화

- 탄소중립적인 바이오매스 자원 활용 확대에 관심도 증대
- 생활폐기물, 음식물류 폐기물, 하수슬러지 등 가연성/유기성 폐기물의 환경적합하면서 고효율 에너지 회수, 고부가가치 자원으로 활용할 수 있는 기술에 관심

* 2020년대는 아시아 지역 여러 국가들이 폐기물 처리/활용 플랜트를 사회적으로 필요로 하는 단계에 진입하기 시작하는 시점으로 시장적 측면에서 매우 중요한 시기

○ 수소사회에 대비한 수소 생산도 화석연료 대신 탄소중립적(carbon neutral)인 자원으로부터 생산 필요

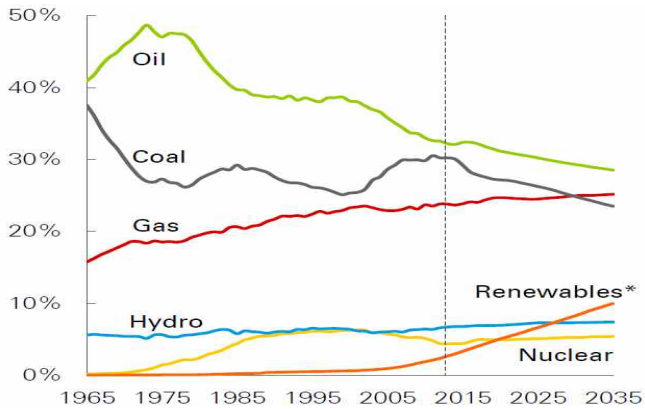
- 순수 재생가능에너지원인 태양광, 풍력에서 생산된 전기는 미활용 되는 분량을 양수발전, ESS 등으로 저장하는 시스템이 사회적으로 요구되는데 잉여전기를 물 전기분해에 사용하여 수소와 산소를 생산하는 방식의 Power-to-Gas(P2G)가 유럽 국가들을 중심으로 실증 추진

* 수소를 연료전지, 수소 터빈, 화학원료로 직접 활용 또는 CO_2와 반응시켜 메탄가스로 변환 생산하는 기술 개발 시작 단계

□ 화석연료 사용 축소와 천연가스 및 재생가능에너지 확대

○ 석탄, 원유 등 유한한 화석연료 사용을 줄이는 방향으로 에너지 정책들이 지향 추세

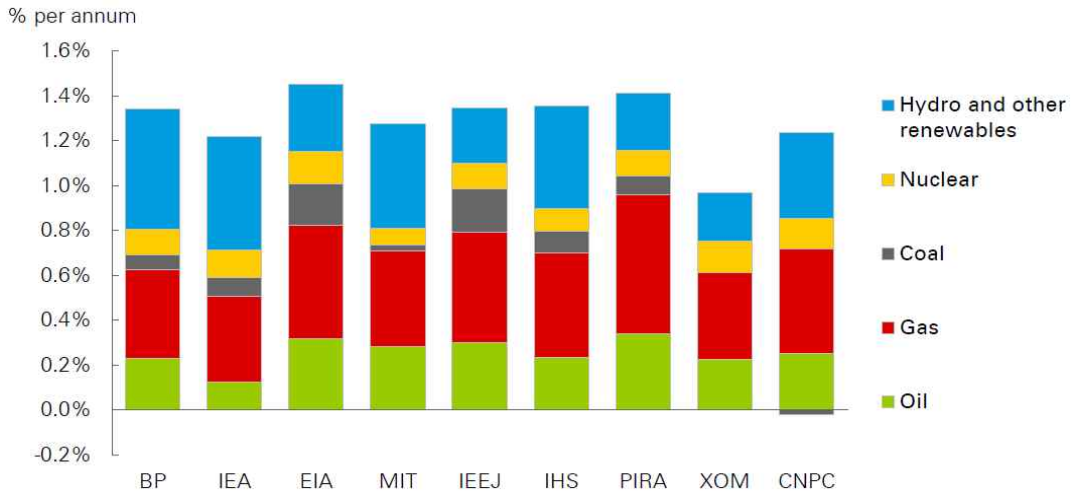
- 2005년 이후 재생가능에너지 비중이 크게 증가 중이며, 이 추세 지속이 예상



[그림 2-2-1] 세계 1차에너지 주요원별 2035년까지의 비중 변화 예상 추기

(출처: BP Energy Outlook 2017)

○ 세계 주요 에너지전망 예측기관 모두 2035년까지 에너지 수요증가를 담당할 에너지원으로는 천연가스와 수력/재생가능에너지로 공통적으로 적시

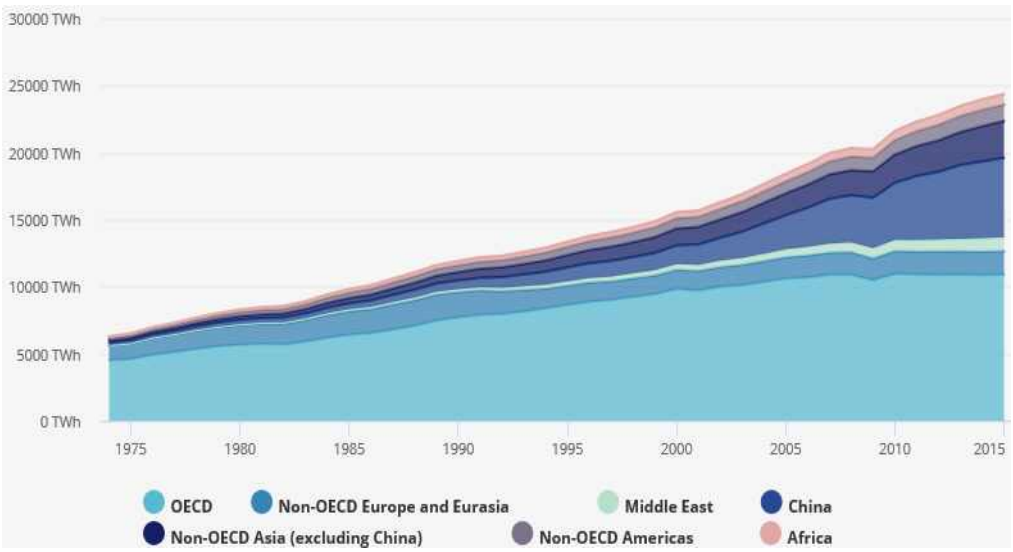


[그림 2-2-2] 세계 유수 에너지전망 예측기관들의 2015-2035년 세계 에너지수요 증가분에 대한 주요 에너지원별 비중 예측 (출처: BP Energy Outlook 2017)

□ 아시아 지역의 전기 수요 급증하는 추세

○ OECD 국가들은 전기생산량이 정체이나, 아시아와 중국을 중심으로 전기 생산량 급증 추세

- 현재의 저렴한 자국 내 석탄 중심 전기 생산에서 재생가능에너지와 더불어 바이오매스/폐기물 사용한 전기 생산에 큰 관심



[그림 2-2-3] 세계 지역별 1975-2015년 기간의 전기 생산량 추세
(출처: https://www.iea.org/topics/electricity/)

□ 바이오매스 자원에 대한 관심도 증가

○ 전 세계 필요에너지의 14%까지 바이오매스로 충당이 가능

- 이미 전 세계 1차 에너지 소비량의 10% 이상 담당
- 바이오에너지는 주로 직접난방에 사용(89%, 2014년)되며, 전기생산량은 2.9%(2014년)에 불과

* 바이오매스를 사용한 전기생산 가능성은 경제적인 기술만 있다면 풍부

<표 2-2-1> 2014년 세계 1차에너지원별 최종 사용 용도별 양 (단위: EJ)

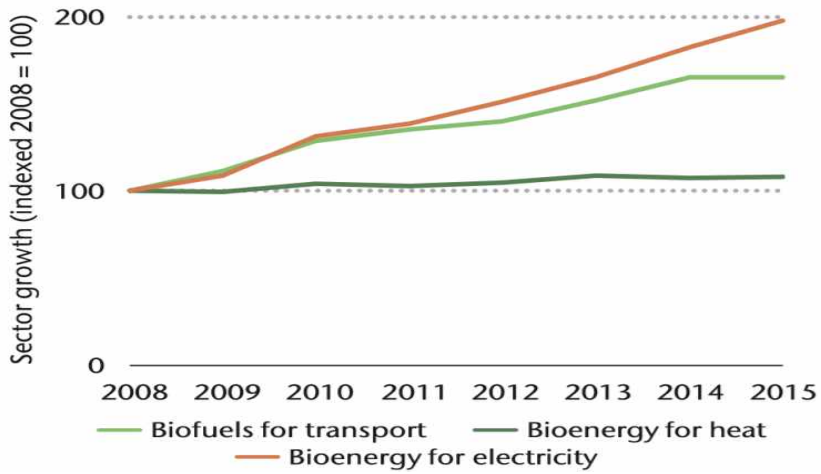
Fuels	Primary energy	Final energy				
		Total	Electricity	Derived heat	Direct heat	Transport
Coal	164	76.3	29.0	4.74	42.4	0.12
Oil	179	136	3.05	0.54	30.4	102
Gas	121	73.2	15.4	5.07	48.6	4.10
Nuclear	27.7	7.59	7.57	0.02	0.00	0.00
Bioenergy	59.2	50.5	1.47	0.77	45.1	3.09
Hydro	14.0	11.9	11.9	0.00	0.00	0.00
Wind	2.14	2.14	2.14	0.00	0.00	0.00
Solar PV	0.57	0.57	0.57	0.00	0.00	0.00
Solar Thermal	1.31	1.22	0.03	0.001	1.20	0.00
Geothermal	2.99	0.59	0.23	0.03	0.33	0.00
Tidal, Wave etc.	0.003	0.003	0.003	0.00	0.00	0.00
Total	573	360	71.3	11.2	168	109

All values in EJ. Source: IEA Key World Energy Statistics

(출처: WBA Global Bioenergy Statistics 2017, p. 17)

○ 바이오에너지 중 전기로 활용 증가율이 수송용, 열적이용 대비 높은 추세

- 세계 바이오에너지 200802015년 이용형태를 보면, 열로 사용하는 바이오에너지는 정체였지만 운송용 바이오연료와 전기형태의 바이오에너지 형태로 이용 증가율은 1.5~2배



[그림 2-2-4] 바이오에너지 이용 형태별 2008-2015년 기간 증가율 실적

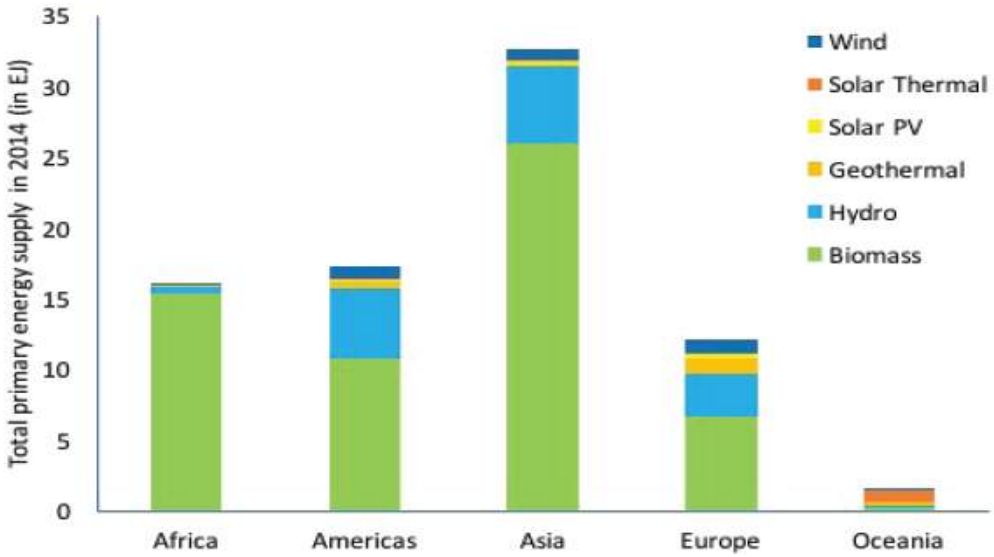
(출처: Technology Roadmap-Delivering Sustainable Bioenergy, IEA, 2017)

○ 바이오매스는 전 세계에 지역적 편차가 적게 분포되어 있고 개도국 등 에너지부족 국가들에 보유 미활용 자원량이 풍부

- 2014년 세계에서 사용된 바이오매스 원료의 87%는 산림산업에서 공급되었으며, 농작물/동물부산물에서 10%, 도시생활폐기물/매립가스가 3%를 담당

○ 재생가능에너지 자원으로서 아시아지역에서 특히 바이오매스가 중요

- 아시아 지역의 재생가능에너지 생산양의 80%는 바이오매스에서 유래



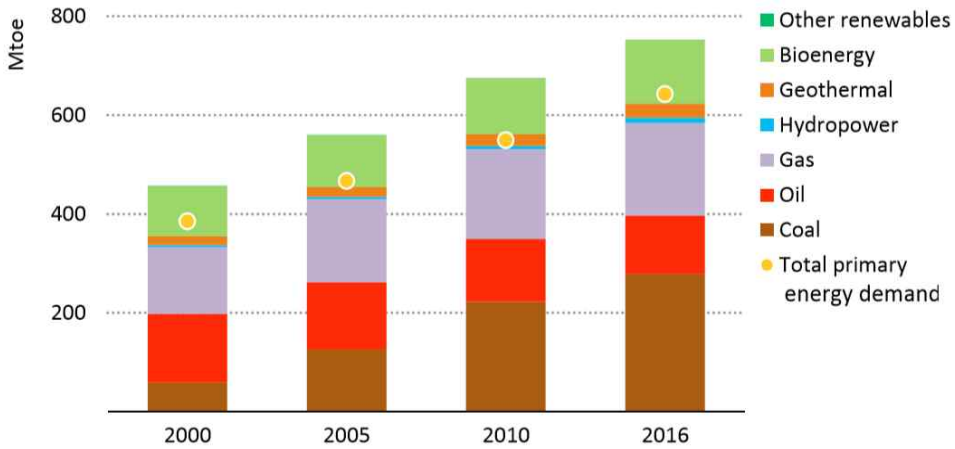
[그림 2-2-5] 세계 지역별 재생가능에너지에서 생산된 1차에너지원 규모 (2014년, 단위: EJ) (출처: WBA Global Bioenergy Statistics 2017)

○ 동남아 지역 에너지생산 원료로서 바이오매스(폐기물 포함)의 중요도 증가 추세

- 동남아 지역 2000~2016년 기간의 주요원별 에너지생산량을 보면, 저렴한 석탄 사용량이 가장 크게 증가하고 유류가 감소 대비 바이오에너지 생산량은 지속 증가 추세

  * 석탄에너지 플랜트는 기존 석탄화력과 최근의 초초임계석탄화력발전 기술을 적용하고 있어 플랜트 수출시장으로서는 한계가 존재

  * 바이오에너지 플랜트 부분은 동남아 지역에서 현재는 단순 연소를 통한 스팀 등 에너지 이용이 주인데 가스화 등 환경에 보다 적합한 기술을 활용한 플랜트 시장 초기 단계



[그림 2-2-6] 동남아 지역 에너지생산량의 원료별 추이

(출처: World Energy Outlook, 2017, IEA)

2. 사회적 환경 분석

□ 모든 플랜트에 대한 NIMBY 현상 심화

○ 개도국도 폐기물 소각장은 다이옥신 등 문제를 제기하며 반대 중

- 홍콩의 대형 소각장 건설 반대 사례: 2019년 홍콩의 매립장이 포화 예상되어 2008년 처음 계획 발표되었지만 시민 반대로 지연 후 2018년 공사 시작 예정 (총 9,200톤/일 규모, 해양매립 공사 포함 301억 홍콩달러 공사)



[그림 2-2-7] 홍콩의 폐기물 소각장 건설반대 시위 사례

○ 최근 한국의 SRF 열병합발전소, 태양광, 풍력발전 등에 대한 주민/지자체 반대 사례의 확대 심화가 진행 중

- 환경오염물질의 초청정 제거와 타지역 폐기물까지 사용하는 대형 폐기물 플랜트는 NIMBY 극복 어려움 예상

* 지역 발생 폐기물 규모에 부합하는 분산형 환경친화적인 폐기물 플랜트로 대응 필요

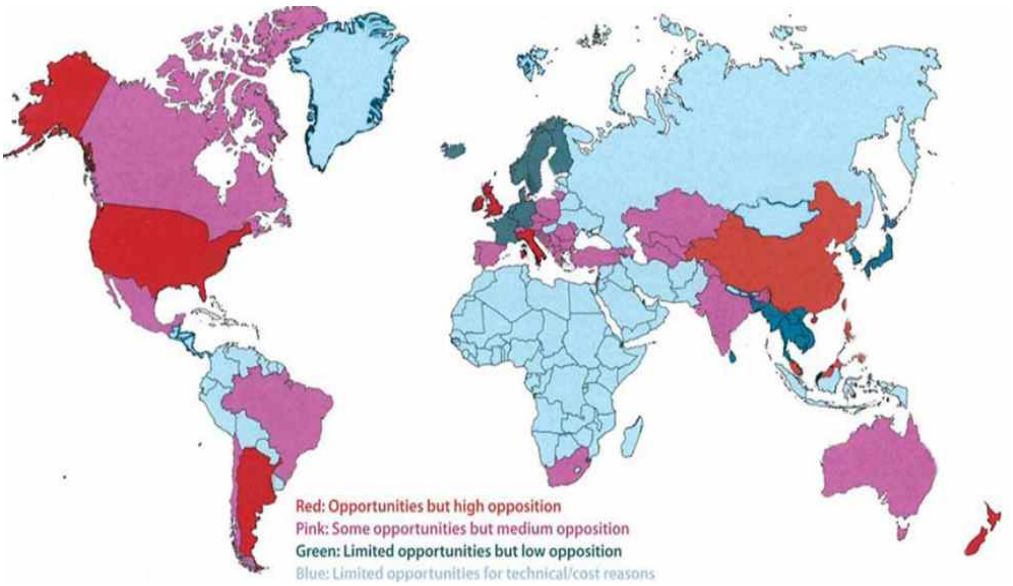


[그림 2-2-8] 국내 폐기물 SRF 사용 자원회수시설 건설에 대한 반대 시위 사례

○ 폐기물 시설에 대한 반대는 세계적으로 확대 추세이며 개도국인 경우 다이옥신 발생 가능성 등 이유로 반대 심화

- 한국은 2010년 이전에는 폐기물 광역화 정착 등 성공적인 NIMBY 극복 국가였지만 최근 SRF 발전소, 송전선, 연화장, 교도소 반대가 대세이고 환경편이시설 이외는 반대하는 추세

* 아래 그림에 한국은 제한된 반대로 구분되었으나 최근에는 극심한 반대로 구분함이 타당



[그림 2-2-9] 세계 국가별 폐기물 시설에 대한 반대 정도 구분

(출처: Paul Davison, “Variations in public acceptance and support for Energy from Waste plants and the need to share best practice - A global perspective, PEC Hong Kong, 2016/05)

□ 미세먼지 등 환경오염물질에 대한 국민 관심도 급증과 해결기술에 대한 요구

○ 미세먼지 직접 제거 및 생성 원인물질 초정정 제거가 필수 요구

- 미세먼지 2차 생성 원인물질에는 NOx, SOx 등이 있으며, 저감규제가 강화되고 있음

* 국내 현재 문제를 기술로 극복하는 단계를 거쳐 해외수출형 플랜트기술로 완성 기회 존재

- 2017년 국내 N도시 SRF발전소 건설 추진 민간회사가 제시한 자체 강화한 환경기준에도 주민 설득에 실패 사례

* 폐기물 플랜트에는 혁신적인 환경오염물질 저감기술 적용과 실증이 긴요한 시점

<표 2-2-2> 한국의 천연가스 발전소, 소각시설, SRF발전소의 환경배출 기준과 최근 민간기업의 자체 강화 제시한 환경기준

구 분	법정 환경배출 기준				N도시 특별허용기준 (SRF+LNG 열병합)
	LNG발전소 (2015년 이전 가동 중)	LNG발전소 (2015년 이후 신규 허가)	대규모 소각시설 (자원회수시설)	SRF 발전소	
SOx (ppm)	35	20	30	30	8
NOx (ppm)	50	20	70	70	20
먼지 (mg/Nm^3)	15	10	20	20	3
CO (ppm)	50	50	50	50	30
다이옥신 ($ng\text{-}TEQ/Sm^3$)	-	-	0.1	0.1	0.01

(출처: N신도시 집단에너지시설(SRF)관련 공청회 발표 자료집, 2017. 5. 11)

○ 환경부는 2019년 1월부터 대기오염물질 배출허용기준을 현재보다 2배가량 강화된 기준 적용 예정

- 석탄화력발전소 등 미세먼지를 다량으로 배출하는 4개 업종 31개 사업장을 대상

* 석탄화력발전소 배출허용 기준 항목별로 1.4~2배 강화: 먼지 현행 20~25 mg/m^3에서 10~12 mg/m^3, 황산화물 80~100 ppm에서 50~60 ppm, 질소산화물 70~140 ppm에서 50~70 ppm으로 강화

* 석유정제업 가열시설: 먼지 30 mg/m^3에서 15 mg/m^3, 황산화물 180 ppm에서 120 ppm, 질소산화물 70~180 ppm에서 50~130 ppm으로 강화

□ 자국 내 기술/설비/부품 기반 부족시 공급 해외 supply chain의 불안정성 증대

○ 국내 산업에 전후방 효과가 크고 중장기적 효용성이 큰 기술과 설비/부품에 대한 확보 전략의 필요성 증대

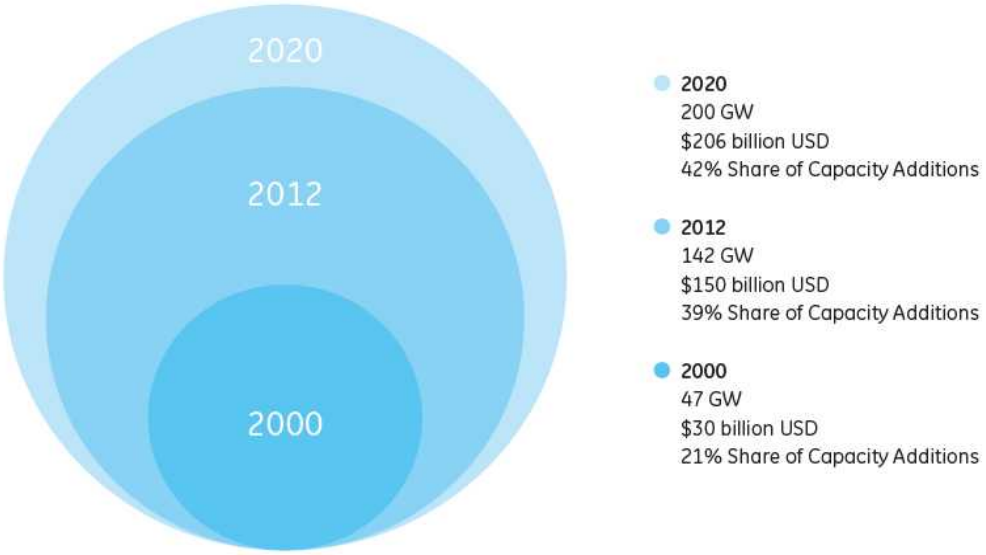
- 합성가스는 저급자원을 청정한 가스자원으로 변환시키는데 핵심기술이며, 수소사회 진입에 저렴한 청정수소 공급원으로서 중요하여 핵심기술과 산업기반의 국내 확보의 필요성 증대

- 2018년부터 미국의 중국에 대한 핵심부품/설비 고입 중단 및 2019년 일본의 한국에 대한 핵심부품소재 공급 중단 등 사례의 확대에 대한 대응방안이 필요

□ **중앙집중형 대신 지역적 수요 대응에 적합한 분산형 형태 선호도 증가 추세**

○ 50 MW 이하 분산에너지 시장은 지속 팽창이 예상되며 현재는 가스터빈이 큰 비중 차지

- 천연가스를 대체하여 합성가스, 매립지가스, 바이오가스 등을 사용하는 분산형 에너지 플랜트가 가능하며, 미래에는 수소연료전지가 큰 축의 하나를 담당할 것으로 예상



[그림 2-2-10] 세계 50 MW급 이하 분산에너지 시장 규모 예측
(출처: The Rise of Distributed Power, GE사, 2014)

○ 바이오매스, 폐기물 등 이동에 따른 사회적, 환경적 편익 감소 경우는 발생원 인근에서 변환, 활용이 가장 바람직

- 바이오매스: 에너지밀도가 낮아 유류, 가스 등 대비 상대적으로 높은 이송비용
- 폐기물: 타 지역 폐기물 사용에 대한 거부감, 이동시 악취 등 문제발생 소지

○ 대용량 전기생산 발전소 경우 송전탑 설치에 따른 비용과 반대, 송전 손실

- 대용량 플랜트는 중소용량 대비 규모의 경제 원리로 경제성 확보 가능성 높으나, 원료의 대규모 수급이 원활치 않은 경우는 분산형이 적합

  * 도로 등 사회 인프라가 부족한 지역이나 섬 지역 등 대규모 원료 이송도 어려운 지역은 중소규모 분산형이 더 타당

○ 동남아 지역 등 지역적 에너지수요가 수십 MW 이하이고 석탄/천연가스 등 대형 에너지설비에 적합한 원료 수급이 어려운 지역은 분산형이 적합

- 개도국 산업단지, 중소도시 등이 주요 대상

  * 대부분 중유를 사용하지만 저렴한 전기/청정연료가스가 가용하다면 대체 가능

□ **미활용 폐기물을 환경친화적 에너지원으로 사용할 기회 아시아 지역에 크게 존재**

○ 세계 전체 바이오매스의 대부분은 산림목재 등 고형바이오매스(2014년, 89%)이며, 생

활/산업폐기물은 3.6%에 불과

- 유럽은 폐기물 1.17 EJ 에너지로 활용 대비 인구가 더 많은 아시아 지역은 0.57 EJ로 낮아, 아시아 지역에서 생활/산업폐기물을 사용한 매우 높은 에너지화 potential 보유

* 단, 아시아 지역사회가 감당할 플랜트기술의 경제성 확보가 관건

<표 2-2-3> 대륙별 주요 바이오매스 자원을 사용한 1차에너지 양 (2014년, 단위: EJ)

	Total	Municipal Waste	Industrial Waste	Solid biomass	Biogas	Liquid Biofuels
Africa	15.4	0.00	0.00	15.4	0.00	0.00
Americas	10.7	0.30	0.06	7.86	0.21	2.30
Asia	26.0	0.19	0.38	24.8	0.40	0.26
Europe	6.71	0.82	0.35	4.26	0.63	0.65
Oceania	0.26	0.00	0.00	0.23	0.02	0.01
World	59.2	1.32	0.80	52.6	1.27	3.21

(출처: WBA Global Bioenergy Statistics 2017)

3. 기술적 환경 분석

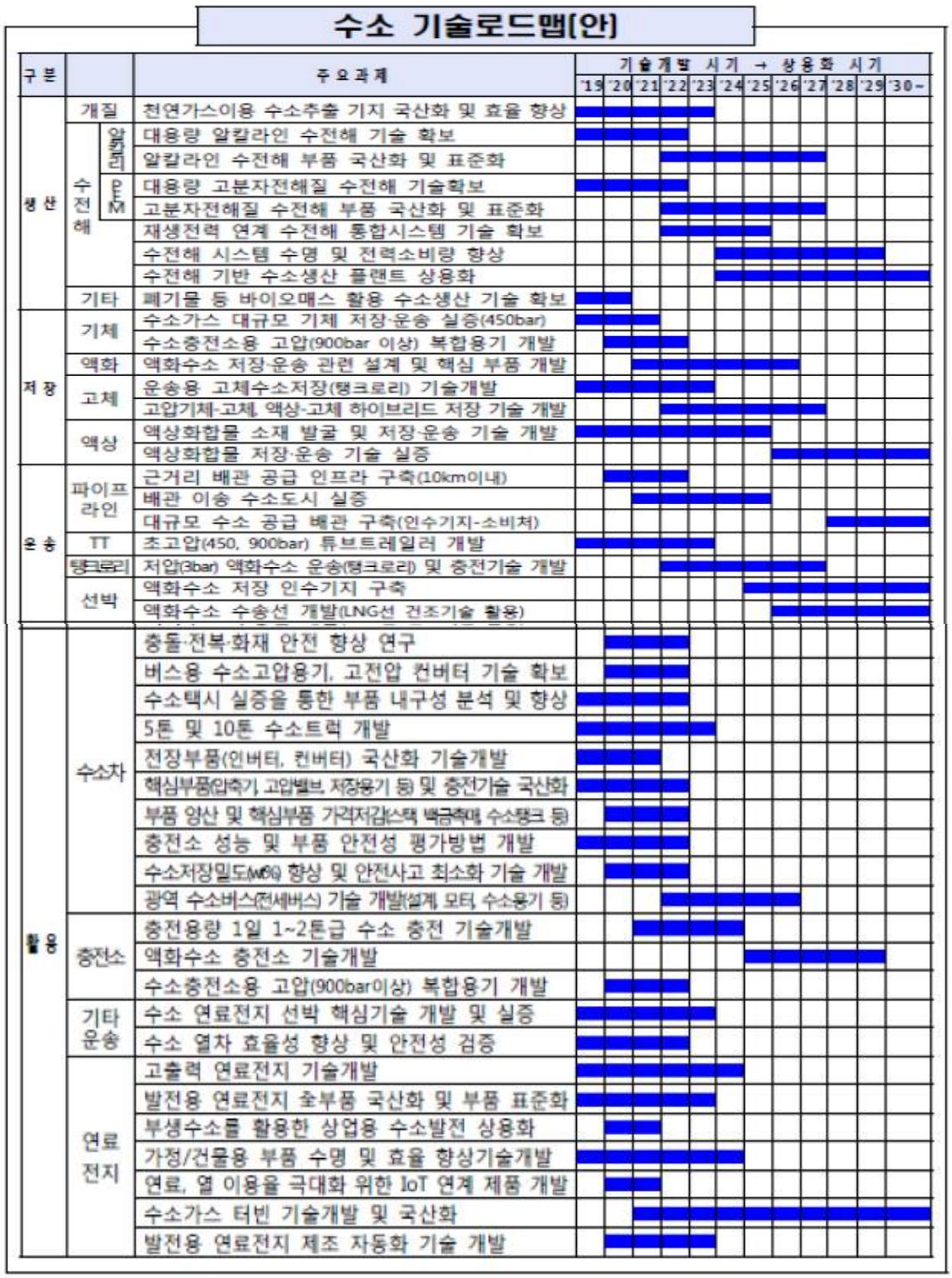
□ 미래 청정에너지원으로서 수소 생산 기술 확보에 다각적 노력 집중

○ 유럽에서는 우리 삶을 변화시킬 10대 기술의 하나로 전기를 수소로 저장하는 기술을 제시(Ten technologies which could change our lives, European Parliamentary Research Service, 2015. 11).

○ 일본은 호주에서 석탄을 개질하여 수소를 생산하고 기체수소를 액체수소/액상수소로 변환하여 배로 이동할 계획에 따라 기술개발을 진행 중

○ 국내의 경우 천연가스 개질, 장기적으로 재생에너지 시대를 대비한 잉여전기를 활용한 수소 생산 기술개발 계획하고 있으나 대용량 생산, 저장 및 운송 기술이 미흡

- 산업통상자원부에서는 수소경제활성화 계획을 수립하고 수소기술 로드맵(안)을 제시 (산업통상자원부 2019. 01. 07)



[그림 2-2-11] 산업통상자원부의 수소기술 로드맵(안)

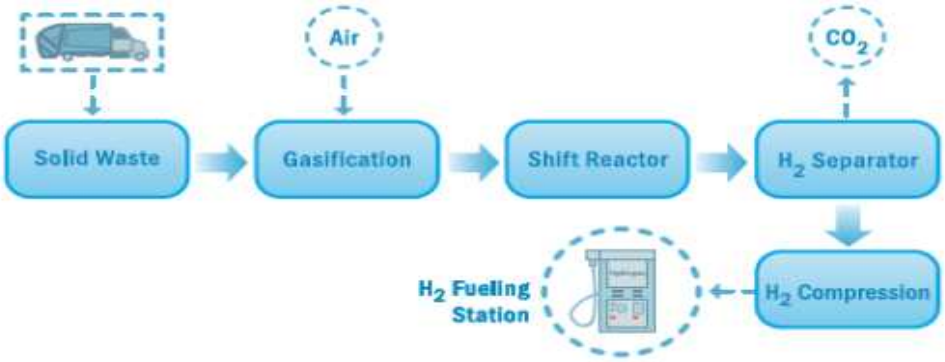
□ **에너지자급률 낮은 국가들의 다양한 에너지원 확보를 위한 기술 확보 노력**

○ 일본은 유사시에도 다양한 에너지 공급이 가능하도록 에너지원별 다각적 공급구조 실현을 5차 에너지기본계획에 명시

3.1 합성가스 생산 기술

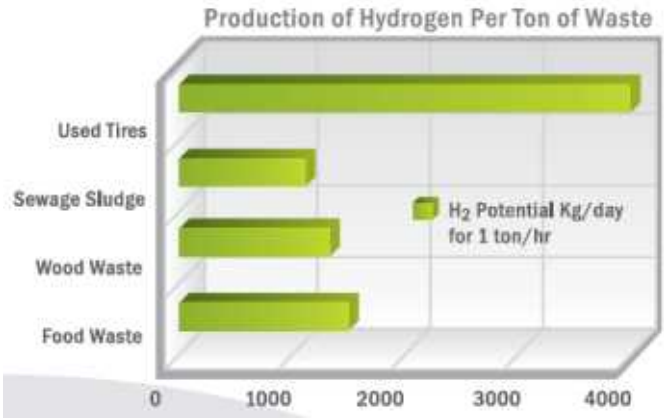
□ **폐기물/바이오매스의 경우 수집, 분류 및 재활용하는 기존 인프라 활용이 가능하여 수소생산 공급원료로 사용 가능**

○ 인구가 밀집되어 있는 도심 근처에서 수소생산에 바로 사용된다면 훨씬 경제적인 수소 공급 가능



[그림 2-2-12] Hydrogen Production from Solid Waste
(출처: Harmessing Hydrogen from Wastes, v7.0, Oct. 2013)

○ 폐기물 1톤/h(24톤/일) 처리 시 수소생산량은 약 2,000 kg/d 정도이며, 이는 400대의 차량에 서비스 가능한 수소량



[그림 2-2-13] Production of Hydrogen Per Ton of Waste
(출처: Harmessing Hydrogen from Wastes, v7.0, Oct. 2013)

□ **일본은 폐기물과 바이오매스를 이용한 수소 생산기술의 실용화 단계 진입**

○ 소각로 제조업체인 타카하시 제작소는 간벌재를 우선 1,000℃에서 탄화시킨 후 별도의 반응기에서 수증기와 WGS 반응시켜 수소를 생산하는 기술 개발



[그림 2-2-14] 타카하시 제작소 수소가스 발전 설비
(우측 로: 탄화공정, 좌측 로: WGS 공정)

□ **유럽과 북미를 중심으로 한 고효율 발전 및 고부가가치 합성가스 활용 기술의 상용화 단계**

○ 폐기물 및 바이오매스 가스화 기술의 경우 다른 에너지화 기술과 비교하여 고효율의 발전과 고부가가치의 합성가스를 생산, 이용할 수 있다는 측면에서 국내외적으로 많은 관심의 대상이 되고 있으며 기술개발 또한 활발히 진행 중

○ 폐기물 및 바이오매스 가스화 기술은 유럽이 가장 선진기술을 가지고 있으며, 특히 독일, 오스트리아, 네덜란드, 스웨덴, 미국의 기술력이 가장 높은 위치에 존재

○ 해외 폐기물 가스화 기술의 대표적인 기술개발 사례

- 독일은 도시폐기물과 biomass, 석탄 등을 가스화 연구개발을 추진하고 있으며, 330톤/일급 고정층 폐기물 가스화기를 상용화하여 100,000 Nm^3/h의 합성가스를 공급할 수 있는 능력 확보

  * Choren, Lurgi, Uhde사는 분류층 가스화 방식을 이용한 BTL 기술을 보유하고 있으며, 이들 중 Choren의 경우는 우드칩, 제재소 부산물, 재활용 목재 등을 사용하여 FT 디젤 합성을 위한 190톤/일 규모의 상용플랜트 실적 보유

- 오스트리아의 URBAS사는 수분함량이 10% 이하인 고품질의 우드칩 등을 대상으로 하여 150~300 kWe 정도의 전기와 250~840 kWth 정도의 열을 생산하는 소형의 컨테이너식 가스화 열병합 기술을 개발하여 2001년부터 보급을 시작하여 현재까지 총 17개의 시설이 운전 중

- 네덜란드는 1940년대 후반부터 가스화에 대한 연구를 시작하여 1999년 이탈리아에 500 MW급 플랜트를 건설하는 등 세계적으로 100여개의 상용화 플랜트를 건설

  * 특히 ECN의 경우 BTL을 위한 분류층 가스화기 개발을 진행하고 있으며, 바이오매스 분류층 가스화기 적용을 위한 전처리 기술로서 바이오매스 반탄화 기술을

Andritz와 함께 개발

- 스웨덴의 MEVA ENERGY는 바이오매스 분류층 가스화를 통해 1.2 MWe, 2.4 MWth 규모의 lean burn CHP 또는 산업용 가스 생산기술 보유
- 핀란드는 Lahti에 산업폐기물 가스화 플랜트 50 MW급을 1998년부터 운전 중이며, 국가연구소인 VTT에서는 기존 바이오매스 가스화공정 효율을 높일 수 있는 새로운 방식의 가스화 반응기 개발
- 일본의 경우 소형 가스화 플랜트가 일본에서 개발되었으며, 미쓰비시중공업에서 메탄올 합성을 위한 분류층 가스화 시스템 개발을 2톤/일 파일럿 규모에서 진행하여 50~200톤/일 규모의 상용플랜트 설계 완료

○ 석탄가스화 기술은 발전, 화학원료 생산, 합성천연가스 생산 등의 응용 분야가 넓은 관계로 수천톤/일급의 다양한 기술의 개발 완료 및 현재에도 진행 중이며, 대표적인 기술을 아래에 요약

- 미국의 GE Energy사와 CB&I사는 슬러리 공급에 기반한 습식 가스화 기술을 개발하여 수천톤/일급의 상용화 기술을 보급하고 있으며, 특히 GE사는 가장 높은 시장 점유률 확보
- 유럽의 Shell사, Siemens사, Uhde사 등은 건조한 미분탄을 공급하는 건식 가스화 기술을 개발하여 수천톤/일급 기술을 보급하고 있는데, 특히 Shell사는 가장 진보된 기술을 보유
- 중국의 경우 ECUST에서 습식 가스화 기술을 확보하고 있으며, 세계 최대 규모인 3천톤/일급의 가스화기 건설 실적을 보유

  * 이외에도 Tsinghua, CAST, SEDIN 등 여러 연구기관 또는 기업에서 다양한 석탄가스화 기술을 보유

- 일본은 MHI사와 Hitachi사가 각각 공기공급형(산소부화형) 및 산소공급 분류층 가스화 기술을 보유하고 있는데, 현재에는 MHPS사로 통합하여 상업용 기술, 특히 IGCC 기술보급을 주도
- 유동층 가스화 기술로는 KBR사가 그리고 고정층 가스화 기술로는 Lurgi사가 대용량 가스화 기술을 보유

○ 펫코크 가스화 기술은 석탄가스화 기술과 동일한 기술을 적용하여 수천톤/일급 상용화 기술개발이 진행

- 펫코크를 원료로 사용할 경우에는 습식 슬러리 공급기술을 적용한 가스화 기술이 유리한 특성으로 인하여 미국의 GE에너지사와 CB&I(전 ConocoPhilips)사가 자사의 실증 플랜트에 펫코크 가스화 기술을 적용하여 발전 등 실증운전을 수행

○ 보다 상세한 석탄 및 펫코크 가스화 기술개발 내용에 대해서는 부록에 별도로 포함

□ 국내의 경우 주로 Pilot 규모의 연구 진행

○ 국내의 경우, 2000년 이후부터 본격적인 연구가 시작되어 현재 Pilot 규모의 연구가 주로 진행되고 있으며, 상용 플랜트의 보급 실적은 현재 전무

○ 폐기물/바이오매스 가스화는 주로 Pilot Plant급 위주로 연구가 진행되었고, 상용화 설비 국내 설치 사례는 소형설비로 소수에 불과한 실정
○ 분류층 기술로는 대부분 석탄가스화를 위한 파일롯 플랜트급 연구가 진행
○ 펫코크 가스화 기술은 석탄가스화 기술과 병행하여 개발되었으며, 습식가스화 기술에 기반한 수톤/일급~십톤/일급 파일롯 규모로 연구개발이 진행
  - 한국에너지기술연구원에서는 펫코크 슬러리 제조, 1톤/일급 및 10톤/일급 가스화기를 이용하여 가스화 기술개발 연구를 수행
  - 고등기술연구원에서는 한국지역난방공사와 함께 비용융 가스화 기술을 적용하고, 자체 개발한 가스화 버너를 사용하여 2톤/일급(슬러리 기준) 펫코크 가스화 기술개발을 수행
○ 폐기물 가스화 합성가스를 이용한 발전기술은 스팀발전, 가스엔진 발전 등이 이루어지고 있으나, 합성가스를 이용하여 고부가가치 연료회수 기술은 현재까지 미미한 수준으로 개발되고 있는 실정
○ 합성가스 정제 및 분리기술 연구는 30 kg/h 용량의 폐기물 플라즈마 열분해 가스화에 의한 수성가스전환과 PSA를 통해 CO_2를 분리하여 수소 제조 기술 연구가 최근에 진행되었으며, 고등기술연구원에서 2009년까지 35 Nm^3/h급의 폐기물 가스화 합성가스의 H_2/CO 생산비 제어시스템 개발을 진행
○ 보다 세부적인 국내외 기술동향에 대해서는 부록에 별도로 포함

3.2 바이오가스 생산 기술

□ 국내 실정에 맞는 혐기성 소화 기술 개발 필요

○ 국내 음식물 쓰레기는 염분, 이물질, 섬유질 함량이 높고 계절적 성상변화가 심해 혐기성 소화에 어려움이 있는 것으로 알려짐. 음폐수와 하수슬러지를 대상으로 하는 혐기성 소화기술은 상용화 되었으나, 음식물 쓰레기, 축산분뇨 등 고농도 유기성 폐기물을 이용한 기술은 일부 상용화
○ 2016년 기준 유기성 폐자원에서 바이오가스를 생산 · 이용하는 시설은 총 90개소, 총 처리 용량은 59,204 톤/일, 평균 가동률은 84.4%임. 2016년 바이오가스 생산량은 총 304,2938 천 m^3/년으로 집계되었으며 이중 79.1% 가량만 활용이 되고 있으며, 20.1%는 연소등을 이용한 미활용
○ 에너지 효율이 높고 고부가가치 이용방식인 연료화(배관망 주입, 차량 연료화 등)비중은 10.9% 15,364 천 m^3으로 2010년 9,701 천m^3 대비 약 10.3% 증가
○ '저탄소 녹색성장'국가 비전 아래 환경부 주도로 신 · 재생에너지 보급 확대 정책의 일환으로 총 사업비 7,225억 원 규모의 유기성 폐자원 바이오가스화 시설 확충 사업을 추진(전국 22개소)

<표 2-2-4> 국내 음식물폐기물 바이오가스 에너지화 운영시설

구분	대상폐기물	처리용량 (톤/일)	처리방법	바이오가스 발생량(m^3/일)
부산 생곡	음식물폐기물	200	음식물 단독	11,572
서울 동대문	음식물폐기물	98	음식물 단독	10,516
강원 속초	음식물폐기물	40	음식물 단독	2,152
울산 용연	농축 슬러지 +음식물폐기물	600 + 180	하수병합	28,160
부산 수영	농축 슬러지 +음식물폐기물	1,499 + 107	하수병합	17,859
파주	음식물폐기물 +축산분뇨	16 + 50	축산분뇨병합	5,000
광주 송대	음폐수	150	음폐수 단독	4,000
대구 달서	음식물폐기물	300	음식물 단독	8,700
고양	음식물폐기물 +축산분뇨	260 + 10	축산분뇨병합	
광주 송정	음폐수	260	음폐수 단독	13,000
화성 동탄	음식물폐기물	150	음식물 단독	공사중

출처: 유기성폐기물을 이용한 바이오가스 개발 타당성 보고서
음식물류폐기물 및 발생폐수의 에너지화를 위한 방법별 최적모델 및 설치운영 지침 개발연구

○ 기존 음식물 쓰레기 자원화 공법은 사료화 등으로 재활용하는 것에 초점이 맞추어져 있으며, 혐기소화 적용 시 하수 및 슬러지와 함께 병합소화(co-digestion)하는 것이 가장 보편적

<표 2-2-5> 바이오가스화 공정 비교

구분	HAnDs (현대건설)	DBS (대우건설)	하이에나 (정봉)	DRANCO(서희건설)	Entec (Environment Technology)
공정 구성	전처리설비 → 산발효조 → 메탄발효조 → 버퍼탱크 → UF 	전처리설비 → 산발효조 → 메탄발효조 	전처리설비 → 산발효조 → 메탄발효조 	전처리설비 → 메탄발효조 	전처리설비 → (산발효조) → 메탄발효조 
교반 방식	수직/수평 교반	가스교반	펌프 믹싱	교반 없음	기계식교반/가스교반
소화 온도	55℃	35℃	35℃	35℃/55℃	38~40℃
TS 농도	5~20%	습식 1%, 건식 28%	4~5%	35~40%	5~15%
가스 생산량	100~145 m^3/톤	60~80 m^3/톤	28~40 m^3/톤	110~120 m^3/톤	86~122 m^3/톤
HRT	20일	37일	22일	30일	30일
특장점	• UF 적용으로 배출수 수질양호 • 슬러지(60%) 및 악취(20%) 발생 낮음 • 유기물 재순환을 통한 바이오가스 발생량 높음 (최대 20%)	• 고액분리로 안정적 운영 • 계절적 부하 대응 가능 • 폐수발생량 적음 • 공정이 복잡하여 공사비 높고 O&M이 어려움	• 시설 간단하여 O&M 쉬움 • 고온소화로 유분분해를 통한 스컴 발생량 낮음 • 염분조절 필요 • 소화조 하부 슬러지 퇴적 가능성	• 설비 및 구조가 간단 • 폐수발생량이 적음 • 염분, pH조절 필요 • 미교반에 따른 미발효성분에 의해 악취 발생	• 이물질 분리 전처리 우수 • 유분, 염분 영향 최소화 • 복합교반방식으로 교반효율 우수 • 전처리에 가수 필요

○ 건식 소화의 경우 원료 이송, 반응기 내부 혼합율 저하 등 운영상의 문제와 고농도 암모니아에 의한 미생물 활동성 저하 등의 이유로 극히 적은 국내 적용사례

○ 음식물 쓰레기를 건식 혐기성 소화하는 사례는 부산 생곡(200톤/일) 및 서울 동대문구(98톤/일)에 벨기에 Dranco Process(건식 소화)를 도입하였으며, 대구 달서(300톤/일), 광주 송정(300톤/일)등이 습식 혐기성 소화가 가동 중이며, 최근에는 화성 동탄(150톤/일)에서 공사 중

○ 유기성폐자원 바이오가스화는 폐기물의 성상에 따른 전처리 시설 설계가 필요하며, 적절한 전처리시설이 구비되지 않으면 혐기성소화 및 전체 시설 운영에 상당히 어려움을 직면하고 있는 것이 현실

○ 기존 유기성폐기물 바이오가스화 시설의 전처리 설비에 적용되고 있는 기술을 아래 표에 정리

<표 2-2-6> 기존 유기성폐기물 바이오가스화 전처리 설비

기술 분류		기술설명	장점	단점
투입호퍼 이송기술	스크류 배출	저장호퍼에 설치된 스크류 컨베이어의 회전 운동으로 폐기물 배출/파봉	• 투입/파봉/저장 동시진행 • 배출량 일정	• 스크류 마모
	푸쉬로드	저장호퍼에 설치된 푸쉬로드의 왕복운동으로 폐기물 배출	• 대용량 처리 가능 • 구동부 최소화/운전용이	• 음식물 이송시 부하과다 • 정량배출 불가
파쇄 · 선별 기술	햄머밀 + 원심식	원심투과방식으로 다양한 이물질 선별 효율 우수	• 분쇄/선별 동시진행 가능 • 햄머밀 기계부하 최소화 • 단순한 구조로 유지관리 용이	• 설치비 다소 고가
	임펠라+ knife	음식물 절단 및 감압 송풍으로 분리 배출	• 비닐 분리효율 우수 • 일체형 파쇄/선별로 공정 단순	• 조대 입자 배출 • 칼날 파손 우려
전처리 기술	필퍼	파쇄된 음식물의 회전 운동으로 이물질 선별 효율 우수	• 대용량 처리 가능 • 음식물 처리에 최적화 • 내구성, 선별효율 우수	• 동력비 및 설치비 고가
	혼합비중 선별기	저속교반에 의한 침전 방식으로 모래, 금속 등의 비중물 제거	• 동력비 및 시설비 저렴	• 대용량 부적합 • 선별효율 저하
	초음파	초음파의 공동화 현상을 이용하여 분해 어려운 성분 가용화	• 설치 및 운전이 간편	• 동력비 과다
	열적처리	150℃이상의 고온/고압으로 분해 어려운 성분 가용화	• 바이오가스 증산, 점도감소, 탈수성 증가 효율 우수	• 필요 열량 과다 • 암모니아 부하 증가
	화학적 처리	산/알칼리, 오존, 고도산화 등 화학약품	• 최다 연구/적용 실적 보유	• 약품비용 고가 • 악취 및 부산물 발생 가능성 높음
	응집/침전	음식물 폐수의 TS 부하 저감을 위한 응집제 투입 및 침전	• 설치 및 운전이 간편	• 바이오가스 발생량 감소

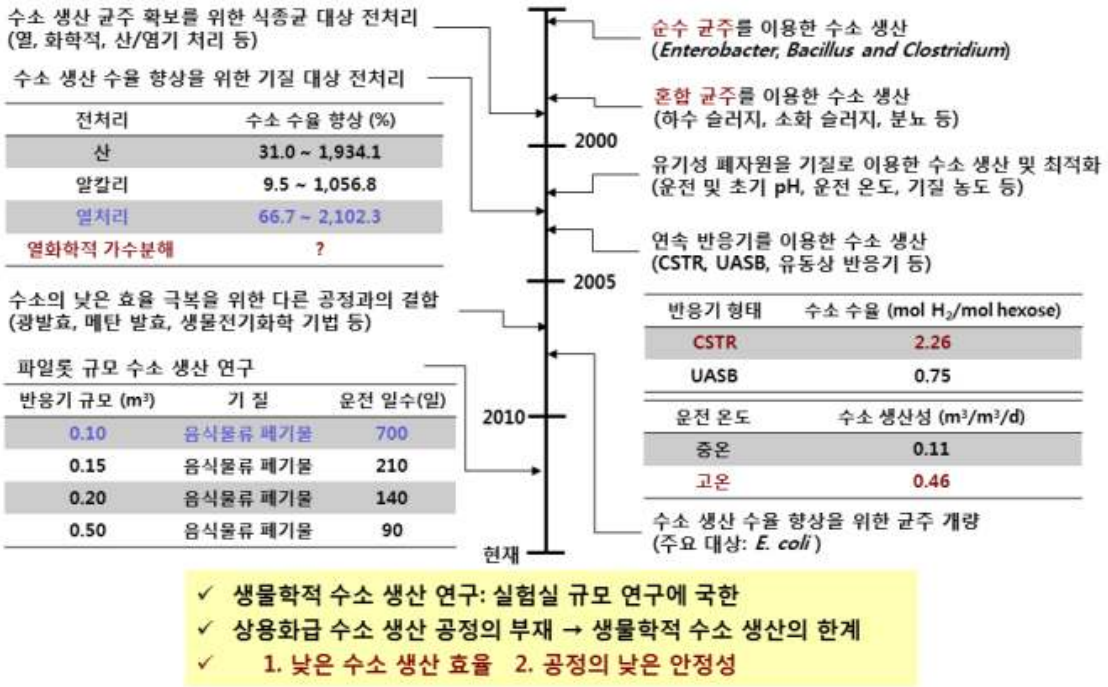
□ 국내의 혐기성소화를 활용한 바이오수소 연구

○ 바이오매스(유기성)를 이용한 바이오수소 연구는 1995년 이후 연구가 시작되었지만, 낮은 수소 생산효율 및 공정의 낮은 안정성 문제에 부딪혀 현재까지도 실험실 규모 연구에 국한

○ 현재 음식물류 폐기물을 활용한 파일롯 규모 바이오수소 생산 연구를 통해 최대 700일 이상 운전을 지속하였으나, 반응기 규모가 0.1 m^3에 불과하여 실용화 및 실증화를 위한 연구 개발이 필요

○ 국외 바이오수소 발생 최고 수준은 20 m^3-H_2/m^3-바이오매스(유기성)/day으로서 국내의 15 m^3-H_2/m^3-바이오매스(유기성)/day에 비해 약 25% 가량 높은 수준

○ 바이오수소의 생산성 향상을 위해서는 바이오수소 수율 향상을 위한 규주 개량이 필요하며, 다양한 혐기성소화 반응기를 이용한 바이오수소 생산량 증가를 위한 기술 확보가 필요



[그림 2-2-15] 바이오수소 연구 개발 이력

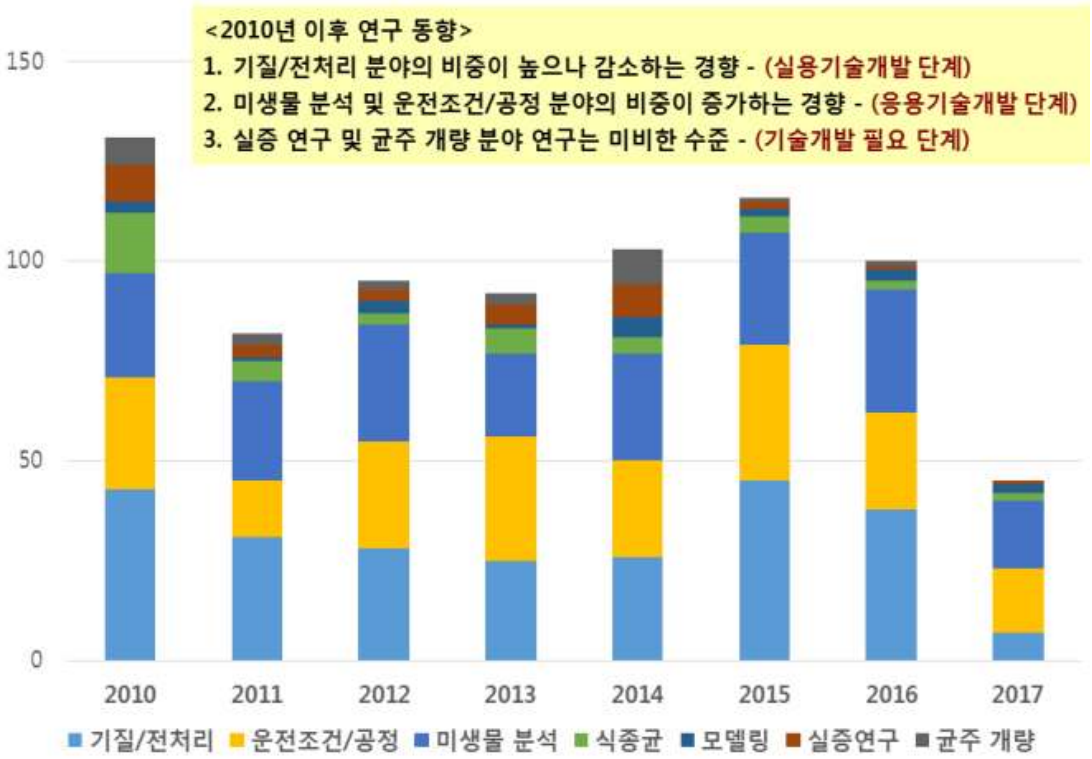
□ 바이오수소 생산성 향상을 위해 2010년 이후 미생물 분석 및 운전조건/공정 분야 비중 증가

○ 바이오수소 생산을 위한 연구개발 단계로 기질/전처리, 운전조건/공정, 미생물 분석, 식종균, 모델링, 실증연구, 균주개량 등으로 구분 가능

○ 2010년 까지 기질/전처리 분양의 비중이 높아졌으나, 2010년 이후 감소하는 경향에 있으며, 실용기술개발 단계임. 미생물 분석 및 운전조건/공정 분야의 비중이 증가하는 경향에 있으며 응용기술개발 단계

○ 하지만, 바이오수소 생산성 향상을 위한 가장 중요한 연구인 실증 연구 및 균주 개량

분야 연구가 극히 미비한 수준으로 기술 개발을 위한 연구가 시급



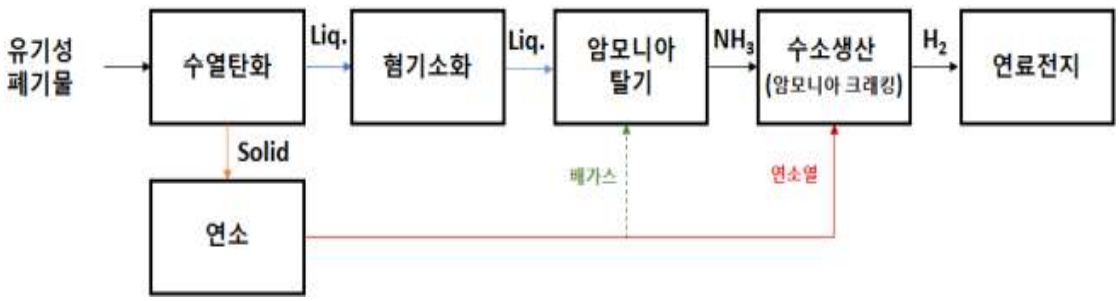
[그림 2-2-16] 바이오수소 생산 단계에 따른 연구 개발 단계 현황

□ **기존 바이오가스 플랜트를 이용한 고농도 암모니아로부터 수소 생산 가능**

○ 바이오매스(유기성) 기반 바이오가스 생산 공정의 경우 암모니아가 농축되는 현상 발생

○ 기존 공정의 경우 농축된 암모니아 제거를 위해서 고비용의 수처리 플랜트가 적용되었으며, 이로 인한 경제성이 떨어지는 문제점이 발생

○ 하지만, 암모니아 cracking을 이용한다면 저비용으로 고농도 암모니아를 처리 할 수 있으며, 부가적으로 수소를 발생시켜 경제성을 극대화할 수 있는 장점 존재



[그림 2-2-17] 바이오매스(유기성) 및 부생 암모니아 수소생산 공정 개요

3.3 잉여전기 활용 수소 생산 및 산소 활용 기술 (Power-to-Gas)

○ 세계 각국은 온실가스 저감 및 새로운 에너지 환경으로의 전환을 위해 재생에너지 보급 활성화에 힘을 쏟고 있고, 속도의 차이는 있을지 모르지만 재생에너지 보급 확산은 미래에 우리가 필연적으로 받아들이게 될 에너지 환경임에는 분명

- 대표적으로 미국에서 재생에너지 보급을 가장 활발하게 추진하고 있는 캘리포니아 주는 2030년까지 전력의 50%를 재생에너지로 공급하고, 수송용 연료의 30%를 재생에너지로부터 생산한 메탄(RNG, Renewable Natural Gas)로 대체하는 것이 목표
- 일본은 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 22~24%로 높이는 것을 목표로 하고 있으며, 중국도 지역별로 비수력 재생에너지 비중을 2020년까지 10~13%로 높이는 것이 목표
- 독일, 스위스 등 유럽에서는 초단위로 전력수급 균형을 맞추는 1차적 전력 조절 수단(Primary Control Reserve)으로 배터리 저장장치(Battery Energy Storage System)를 활용하고, 수초~30초 후에 시작하여 15분 이내에 작동하는 2차적 조절 수단(Secondary control or LFC(Load Frequency Control)으로 발전소의 발전용량을 조절하며, 추가적으로 3차적 조절 수단으로 1, 2차적 조절수단을 보조하는 방법을 이용

○ 이러한 재생에너지 보급 확산 노력에 따라 전력망 안정과 재생에너지의 효율적 활용을 위한 대비가 필요할 것이고 Power-to-Gas 기술이 그 대비의 한 방법으로 부상 중

○ 간헐성이 강한 재생에너지의 특성을 고려할 때에 잉여의 전기에너지가 발생하는 시간대에 수전해 기술을 통하여 수소를 생산하여 활용하거나, 생산된 수소는 추가적으로 일산화탄소 등과 반응시켜 탄화수소 형태의 연료로 전환 가능

○ P2G 플랜트 기술은 유럽으로부터 발달되어 전 세계적으로 확대 전망

- 독일의 P2G 실험 설비: Solar Fuel-Alpha-Anlage project, 25kW
- 독일 최초의 P2G 하이브리드 발전소: ENERTRAG-hybrid kraftwerk, 500kW

○ 독일의 모델 중 메탄가스 공급 및 수소저장 프로젝트 기술 수준을 목표로 사업 진행

- 독일의 수전해 기술은 60%~70%의 효율을 나타내며 고효율화를 위한 전극개발에 중점
- P2G와 가스그리드 또는 전력망의 연계 기술이 핵심기술
- 국내의 수전해 기술은 수전해 효율이 60%이하로 많은 기술개발이 필요하나 전력망 및 가스 연계기술 및 시스템 통합기술은 뒤처지지 않아 경쟁력 확보 가능

○ 국내에서는 다부처 과제 '신재생 하이브리드 이용 미래에너지저장 기술개발'이 기획되어 신재생 전기로부터 수소를 생산하는 기술 개발 시작 (미래창조과학부, 산업통상자원부, 환경부, 2016)

- 수소로 전력을 저장하는 Power-to-gas 시스템

○ 최근 수소로 전력을 저장하는 Power-to-gas 시스템에 대한 다부처 과제 '신재생 하이브리드 이용 미래에너지저장 기술개발'이 기획되어 신재생 전기로부터 수소를 생산하는 기술 개발을 시작 (미래창조과학부・산업통상자원부・환경부, 2016)

○ Power-to-Gas 기술에서 산소의 활용에 대한 기술은 현재까지 부각되지 않고 있으며,

일부 플랜트에서 산소 수요처로 운반하여 파는 형식(Enel Green Power 등)

○ 보다 세부적인 국내외 기술동향에 대해서는 부록에 별도로 포함

3.4 개질 및 변환 기술

□ 천연가스 개질

○ 개질 기술의 분류

- 천연가스의 주성분인 메탄은 수소 함유량이 높고, 수소의 대량 생산에 유리하여 수증기 개질, 부분산화, 자열개질(Auto-thermal Reforming), 직접분해 등의 다양한 방법으로 수소 제조 가능
- 수증기 개질은 부분산화와 자열개질 공정에 비해 수소 생산 수율이 높은 장점이 있지만, 반응속도가 느려 공정 규모가 커지고 부하변동에 대한 응답특성이 느린 단점 존재
- 복합개질은 바이오가스에 스팀을 추가하여 수소를 생산하는 기술로서, 일반적인 수증기개질에 비해 높은 온도에서 운전
- 부분산화와 수증기 개질을 조합한 자열개질은 초기 기동 및 부하변동의 응답성이 빠르지만 온도 제어의 어려움과 장치 구조가 복잡한 단점 보유
- 열분해 기술은 이산화탄소의 발생 없이 수소를 제조하고 부산물로 Carbon black을 고순도로 얻을 수 있어서 공정의 경제성을 높일 수 있으나, 반응 온도가 높고 반응기 제어가 복잡한 단점이 있으며, 암모니아 개질은 이 분야에 해당
- 플라즈마 기술은 해외에서 파일럿규모까지 개발 실적 보유

○ 대규모 수소생산을 위한 천연가스의 개질기술 활용

- 천연가스의 개질 기술은 GTL(Gas To liquids) 개발을 통해 대규모로 개발

  * Sasol사의 34,000 bpd 규모(오일생산 기준) ATR 방식, Exxon사의 100 bpd 규모(오일생산 기준) ATR 방식, Shell사의 부분산화법(200BPD, 오일생산 기준), 일본 JOGMEC사의 복합개질 등

  * Compact GTL사와 Velocys사에서는 수증기 개질방식으로 micro-channel 반응기를 적용하여 실증규모까지 개발

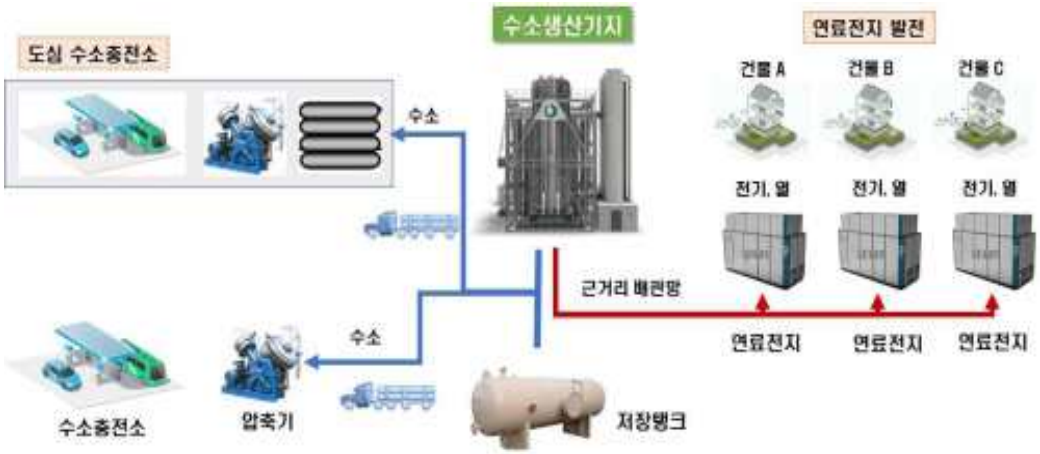
- 대표적인 기술 보유사는 Linde, Haldor Topsøe, ZTEK Corporation 등이며, 천연가스뿐 아니라 LPG, Naptha, Refinery gas, gasoline, methanol 등과 같은 탄화수소계들의 개질에 대한 기술을 보유

○ 상기와 같은 대규모의 개질기술은 거점형 수소생산기지에 적용할 수 있으나 국내에서는 아직 기술 미확보

- GTL과 메탄올합성을 위한 복합개질 기술개발이 파일럿과 실증규모로 수행
- 연간 수소 생산 100,000톤 규모의 대형 수증기 개질기로 약 100만 대의 연료전지 자동차에 공급이 가능

○ 중소형 수소생산을 위한 천연가스 또는 바이오가스의 개질기술 활용

- 분산형 수소생산기지는 수요처 인근 도심지내의 천연가스 배관망을 이용하거나 LPG 또는 바이오가스를 활용할 수 있으며, 300 Nm^3/h급 수소를 생산하여 권역별로 충전소에 공급하는 Mother station으로 운영 (1일 수소 생산량 500kg: 수소버스 20대, 수소차 90~100대 분량)



[그림 2-2-18] 수소 생산기지 개념도 (출처: 수소경제 활성화 로드맵, 2019)

- 이러한 규모로 개발된 개질기는 일본의 오사카가스의 HYSERVE 모델인데, 30, 100, 300 Nm^3/h 규모의 수소를 생산할 수 있는 기술을 보유
- 국내의 경우에도 수소스테이션용으로 30 Nm^3/h 규모의 개질기를 개발한 경험을 가지고 있어 수년 내에 중소형급의 개질기 기술을 확보할 수 있을 것으로 예상
- 한편, 발전용으로 개발된 에스퓨얼셀의 PAFC(인산형 연료전지 시스템)는 천연가스, 수소, 바이오가스 등과 같은 다양한 연료를 사용하고 있으며, 100kW의 전력을 생산할 수 있는 규모까지 개발
- 바이오가스를 활용한 수증기 개질이나 복합개질에 관한 많은 연구는 수행되지 않았으나 천연가스 또는 액상탄화수소와 같은 개질의 경험을 바탕으로 빠른 시일내에 기술 확보가 가능

○ 소형 수소생산을 위한 천연가스 또는 바이오가스의 개질기술 활용
- 10 Nm^3/h 미만의 수소생산용 소형 개질기는 주로 가정용 및 산업용 연료전지를 위한 기술
- 제한된 공간에 설치되어야 하므로 일체형 통합 엔지니어링 설계 기술이 적용되며, 탈황, 개질, 수성가스전환, 선택적 산화 등의 단위공정으로 구성
- 일본의 경우 1,000개 이상의 가정용 연료전지 발전시스템에 대해 실증테스트를 수행
  * 소형의 경우 일일 시동/정지 운전으로 인한 연료전지와 개질기의 성능저하가 발생할 수 있어 내구성 검증이 요구됨.
- 소형 개질기의 대부분은 천연가스 개질에 집중되어 국내와 일본에서 최적화된 상태이나 바이오가스의 적용은 없는 것으로 보고

□ 암모니아의 개질

○ 2019년 정부의 수소경제 활성화 로드맵에서는 2030년부터 해외 수소 활용을 반영

- 일본은 호주 갈탄을 활용하여 생산된 수소와 수전해를 통해 생산된 수소를 암모니아로 합성하여 이송시키는 방안을 계획

○ 해외 수소는 압축 또는 액화를 통해 이송한 후 사용하거나 이송이 유리한 암모니아로 전환한 후 이송하여 사용처에서 개질하는 방법을 적용

○ 국내에서도 암모니아 개질에 관한 정부과제가 진행되고 있으며, 중장기적인 관점에서 해외 수소의 활용을 위해 암모니아 개질기술의 확보가 필요

구분	현재	2022년	2030년	2040년
구성	①부생수소 ②추출수소	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소, ②추출수소 ③수전해, ④해외생산 ※ ①+③+④ : 50%, ② : 50%	①부생수소, ②추출수소 ③수전해, ④해외생산 ※ ①+③+④ : 70%, ② : 30%
	-	수도권 인근 대규모 생산	해외 수소 활용	CO_2 free 수소 대량 도입
공급	13만톤/年	47만톤/年	194만톤/年	526만톤/年

[그림 2-2-19] 수소생산 방법의 종류 및 목표 (출처: 수소경제 활성화 로드맵, 2019)

□ 개질기술의 환경 분석

○ 정책적 환경 분석

- 수소에너지는 신에너지 및 재생에너지 개발, 이용, 보급 촉진 정책의 핵심요소 기술이며, 수소/전기차는 친환경차 보급의 주요 기반으로서 보급을 위한 인프라 구축을 위해서는 대용량 수소제조장치 개발의 병행이 절실

- 해외 대비 국내 실증 규모는 약 1/10 수준으로 기술적 격차가 있어 빠른 시일내에 핵심 기술에 대한 확보가 절실히 필요

- 선진국 중심으로 수소경제시대로 이행을 준비 중에 있으며, 일본은 “4차 에너지 기본계획” 발표, 미국은 “Hydrogen Posture Plan” 발표, 유럽은 “H2Mobility” 등 시행

○ 사회/경제적 환경 분석

- 산업로드맵에 따르면 2010년대 초반부터 충전소용 고순도 수소제조 장치기술에 대한 중·장기적인 기술개발에 대해 집중

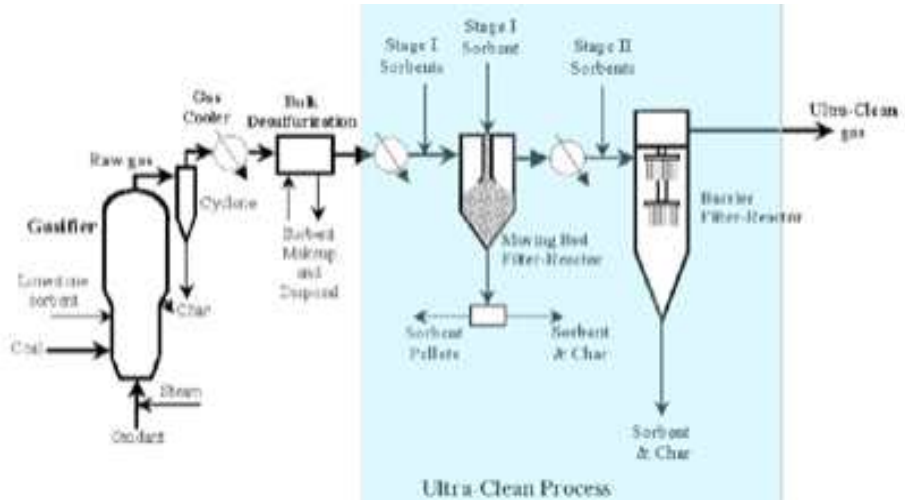
- 2015년 12월 제21차 파리 기후변화협약 당사국총회(COP21)에서 파리협정 채택되었으며, 지속가능한 발전(Sustainable Development)으로 패러다임의 전환을 제시 → 에너지패러다임 변화의 대비는 필수적

3.5 정제 및 분리 기술

□ **국외의 경우 수소 생산을 위한 합성가스 및 천연가스의 초정밀 정제 기술은 상용화 보급중이며, 효율적이면서 저비용인 기술 확보를 위한 개발 추진 중**

○ 유럽 Simens사의 초정밀 탈황기술은 연료가스 중의 H_2S 농도를 60 ppb 이하로 정제하는 기술을 개발하였으며, 미국 DOE에서는 전력생산과 동시에 수소를 생산하는 목적으로 수은, 분진, 질소산화물, 이산화탄소와 더불어 초정밀탈황에 대한 기술개발 진행 중

○ 일본의 경우 암모니아와 할로겐화합물을 제거하기 위하여 세정탑, COS 가수분해반응기, MDEA 흡수탑 등 습식탈황 방식과 건식방식을 이용한 정밀 탈황설비에 대한 기술개발을 추진 중



[그림 2-2-20] Siemens사의 초정밀 탈황기술 개요도

(출처: NETL, The Ultra-Clean Gas Cleanup Process for IGCC, 2001)

□ **국외 고순도 수소 분리 기술은 상용화 보급중이며, 효율적이면서 저비용인 기술 확보를 위한 개발 추진 중**

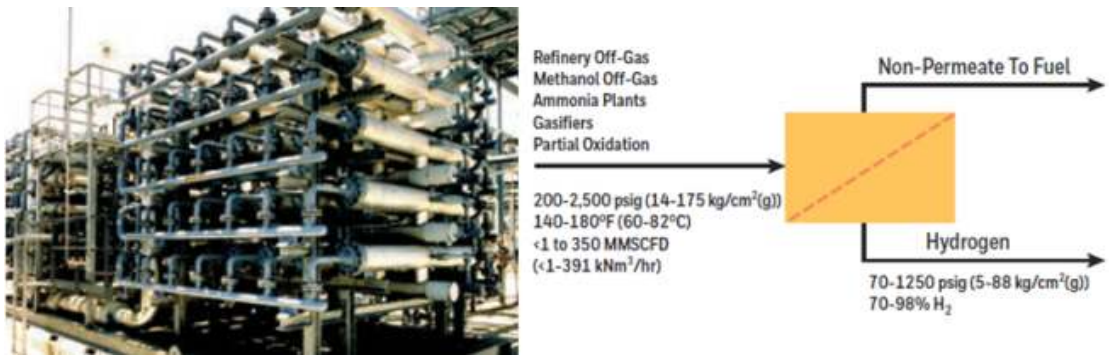
○ PSA 기술은 현재 수소분리 분야에 있어 1~100,000 Nm^3/h급에 이르기까지 대부분의 수소생산공정에 적용되고 있으며, 활성탄이나 분자체(Molecula Sieve)가 흡착제로 주로 사용

○ PSA의 경우 에너지 소비, 운영비, 건설비 등의 저감을 위한 흡착제 및 공정/설비 콤팩트화에 대한 기술개발 및 상용화 진행 중이며, 중국 Xebec사의 경우 콤팩트한 로터리 형태의 PSA 기술을 개발하여 상용화 진입 중



[그림 2-2-21] 상용 적용중인 Xebec사의 고순도 수소 분리용 콤팩트한 PSA 설비
(출처: Xebec homepage, https://www.xebecinc.com/hydrogen-purification-h3200.php, 2019)

○ 수소 분리막의 경우 PSA에 비해 아직 상용화 보급이 많이 되지는 않았지만, 지속적인 기술개발을 통하여 점차적으로 시장에 진입 중
○ 미국 UOP사의 경우 391,000 Nm^3/h 규모의 상용 수소 분리막 시스템을 skid 형태로 개발하여 상용화 적용 중



[그림 2-2-22] 대용량 적용중인 UOP사의 수소 분리막 설비
(출처: UOP, UOP Polysep Membrane Systems for Hydrogen Recovery and Purification, 2016)

□ 국내의 기술 개발

○ Pilot 규모의 합성가스 및 바이오가스의 초정밀 정제 기술에 대한 기술개발이 주로 진행되고 있으며, 상용화 보급 실적은 아직 미미한 수준
○ 흡수제(또는 흡착제)를 이용하는 방법, 생물학적 처리방법, 막분리 방법 등 여러 가지 H_2S를 제거하는 기술개발이 진행 중
○ 한국에너지기술연구원에서는 MDEA와 HMDA를 혼합하여 합성가스내의 H_2S를 제거하는 습식 탈황공정에 대한 pilot 규모 공정기술을 확보, 고등기술연구원에서는 철킬레이트 용매를 사용 pilot 규모 황 직접 전환공정 기술을 확보
○ 고등기술연구원의 경우 석탄 합성가스를 화학원료로 전환하기 위해 철킬레이트 용매를 이용하여 1,000 ppm의 H_2S를 0.5 ppm 이하로 제거하는데 적용하였으며, 석탄과 석

유코크스를 혼합한 혼합원료 가스화시 발생되는 200 Nm^3/h의 합성가스에 함유된 5,000 ppm 이상의 H_2S를 10 ppm 이하로 제거하는 기술을 개발

○ 현재 바이오가스를 연료전지 연료로 활용하기 위한 초정밀 정제시스템에 대한 기술개발과 합성가스를 연료전지용 연료로 활용하기 위해 초정밀 정제 후 고순도 수소를 생산하기 위한 기술개발이 진행 중



[그림 2-2-23] 국내 개발 중인 황 직접 전환에 의한 습식 H_2S 제거설비 모습
(출처: 고등기술연구원 정리)

□ 국내의 수소 PSA 기술

○ PSA 기술의 경우 사용화 진입단계에 있으며, 수소 분리막의 경우 대부분 소규모 기술개발이 추진 중

○ 젠스엔지니어링에서는 한국에너지기술연구원에서 개발한 고순도 수소 분리용 PSA 기술을 이전 받아 국내외 상용화 적용 중이며, 설비 건설비 저감과 효율 향상을 위한 흡착제 및 콤팩트화 기술 등에 대한 개발 필요



[그림 2-2-24] 국내 덕양에너젠사에 구축된 젠스엔지니어링사의 수소 PSA 설비
(출처: 한국에너지신문, http://www.koenergy.co.kr/news/articleView.html?idxno=55517, 2011)



[그림 2-2-25] 인도에 구축된 젠스엔지니어링 사의 수소 PSA 설비
(출처: 인더스트리뉴스, http://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=21550, 2018)

○ 수소 분리막의 경우 소재 및 단위 모듈화 등 소규모 기술개발이 활발히 추진되고 있으며, 상용화 보급을 위한 대용량화, 고효율화, 콤팩트화, 저가화, 내구성 향상 등에 대한 기술개발과 실증화 기술개발이 필요



[그림 2-2-26] 국내 개발 중인 평판형 수소 분리막 및 모듈
(출처: Energy Innovator, 고성능 수소분리막 및 이의 모듈화 기술, 한국에너지기술연구원)

3.6 공통 핵심 기술

3.6.1 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술

○ 시공블록 모듈 기반의 플랜트 모듈화 설계를 적용한 플랜트 개발 프로젝트의 발주가 증가 추세

○ 해상 플랜트는 그 특성상 이미 활발히 진행되고 있고, 육상플랜트는 현재 1~2%수준이나 2020년까지 10% 수준으로 증가 전망(출처: 서효원 외, PLM(Plant Life-cycle Management) 기반 모듈화 설계 기술 기획, 국토교통과학기술진흥원, 2012)

○ 육상플랜트도 1개의 모듈이 최대 길이가 40여 미터, 수백~수천톤 무게가 되는 경우가 있지만, 본 사업에서는 중소형 합성가스 생산설비를 기반으로 한 플랜트 구성을 전제

로 하므로 컨테이너 개념의 모듈화를 지향

○ 오일샌드플랜트 건설 부분을 예로 보면, Stick-build → Alberta Size 대형 모듈(7.2 m × 7.2 m) → 육상/철도 운송용 모듈(4×4 m 이하)로 발전되고 있는 추세이며, 모듈의 설계 또한 현장별 맞춤설계에서 일일생산량별 표준모듈 설계를 적용하고 있는 추세(출처: 신홍식 외, 오일샌드플랜트 모듈화기술 기획 최종보고서, 국토해양부, 2013)

○ 모듈화 플랜트는 중소형 규모 플랜트를 공급하는 회사들과 극한지역(카나다 알버르타 지역, 남극 등)이나 민간접근 제한지역에 대형 플랜트를 건설하는 많은 사례 존재

- 국내업체도 캐나다 Kearl 오일샌드 프로젝트에 참여하여 일부 설비 제작 및 공급

○ 보다 상세한 기술개발 현황 등 기술적 환경을 별첨 자료에 별도로 추가

3.6.2 ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술

○ IT 기반의 감시/진단 기술은 최근 항공, 자동차, 전자부품, 전력 소자, 발전기기 등에 급격히 적용이 확대되고 있으며, 국외 선진사들은 정비와 자원 관리 DB와의 연계를 통한 통합 진단 시스템 개발에 연구 자원을 집중

○ IT 기반의 예측 진단 및 지능형 진단 기술은 최근 효율화된 정비 및 자원 관리, 적기 서비스 정보 제공 등에 활용될 수 있어 최근 크게 발전되고 있으며, 선진사들에서는 제품의 경쟁력 확보를 위해 지속적으로 기술을 개발 중

○ 빅데이터의 이슈 및 해결을 위한 방안으로 기존의 솔루션의 한계를 넘어 실시간 통합 분석을 통해 산업별 업무 현장에서 실시간 예측 및 대응이 가능한 지능형 솔루션이 새로운 해결책으로 등장

○ 또한 빅데이터의 Volume이 커질수록 빅데이터 분석의 업무 활용에 대한 Needs가 높아지며 특히 실시간 분석의 중요성이 강조되고 있으며, 기존의 문제점을 극복하고 다양한 데이터 수집, 실시간 고속 처리, 센서 등 IoT 데이터 처리를 위한 신 개념의 빅데이터 솔루션을 개발 중

○ 보다 상세한 기술개발 현황 등 기술적 환경을 별첨 자료에 별도로 추가

4. 국내외 시장 환경 분석

4.1 분산형 합성가스 및 수소 플랜트 시장 분석

□ 한국의 해외 플랜트시장 중심축이 동남아로 이전 시작

○ 중동 발 플랜트 수출은 약 10년간의 호황이 마무리되는 시점

- 중동 국가들이 석유/천연가스를 직접 활용하는 석유화학 플랜트 적극 투자가 마무리되는 중

○ 2018년 1~4월 기간에 중동 35억 달러 대비 동남아시아 지역 65억불 수주

- 베트남 16.5억불, 싱가포르 10.6억불, 태국 6.5억불, 말레이시아 4.7억불, 인도네시아 1.6억불 등 (출처: 해외건설종합정보서비스)

  * 베트남의 경우로 보면, 석탄 화력발전소/LNG터미널/정유공장 고도화 플랜트 등이 주요 대상

○ 한국 내 플랜트 설계/건설/운영 경험이 많은 석유화학과 복합화력 플랜트가 주도

- 한국 자체 플랜트 시장에서의 적정 규모 시장과 경험이 기반으로 작용

□ 그린 에너지와 에너지 안보가 각 국가들의 핵심사항으로 강조되는 시기

○ 환경과 기후온난화 해결을 위한 그린에너지의 중요도 부각

○ 에너지 부존자원 부족 국가들의 에너지 패러다임 변혁 시작

○ 기존 화석연료는 부족하나 바이오매스 등 자원 풍부한 적도 인근 개발도상국들의 자국 미활용 에너지원 활용 극대화 전략

- 아직 저렴하고 신뢰할 기술은 부족

□ 개도국들의 환경보호 측면 효과 큰 가스 에너지의 보급 확대 추진

○ 미얀마는 2020년까지 100만 가구에 lPG 공급 계획 발표

- 2017년 현재 15만 가구에 LPG 공급 수준을 대거 확대 (출처: 월간 플랜트기술, 2018.5)

□ 일본은 세계 처음 수소사회로의 이행을 2017년 12월 발표

○ 2020년 도쿄올림픽을 일본이 강점을 가진 연료전지 연계 수소사회로 홍보 전략 수립

- 일본은 1964년 도쿄올림픽에서는 신칸센 고속열차를 성공적으로 홍보

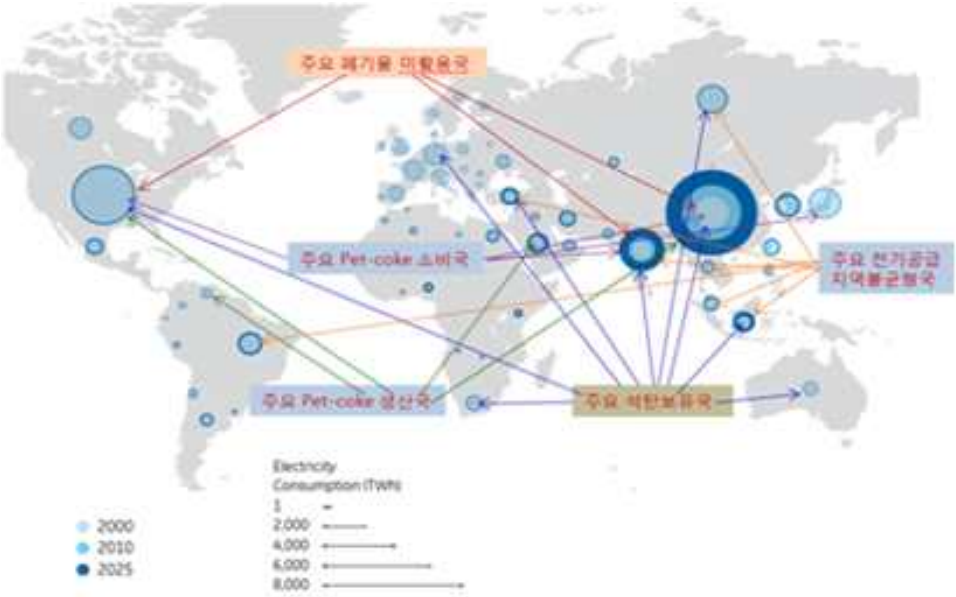


[그림 2-2-27] 일본 수소기본전략상 수소 공급 시나리오 (출처: Challenges for Japan's Energy Transition - Basic Hydrogen Strategy, EHEC 2018, MITI, 2018)

□ 분산전원 측면의 국내외 Emerging 시장 확대 중

○ 세계 전기 사용량은 개도국 중심으로 크게 지속적 증가 전망으로, 전기사용량 급팽창 하는 국가/지역 존재

- 주요 석탄 보유국: 미국, 중국, 러시아, 인도, 호주, 인도네시아, 터키, 남아공, 폴란드
- 주요 펫코크 생산국: 중국, 사우디아라비아, 미국, 베네수엘라
- 주요 펫코크 소비국: 중국, 미국, 일본, 인도
- 주요 폐기물 미활용국: 미국, 인도, 중국
- 주요 전기공급 지역 불균형국: 러시아, 터키, 인도, 인도네시아, 말레이시아, 브라질



[그림 2-2-28] 세계 에너지자원 보유국과 전기공급 불균형 국가 현황

(바탕그림 출처: The Rise of Distributed Power, GE, 2014, p. 28)



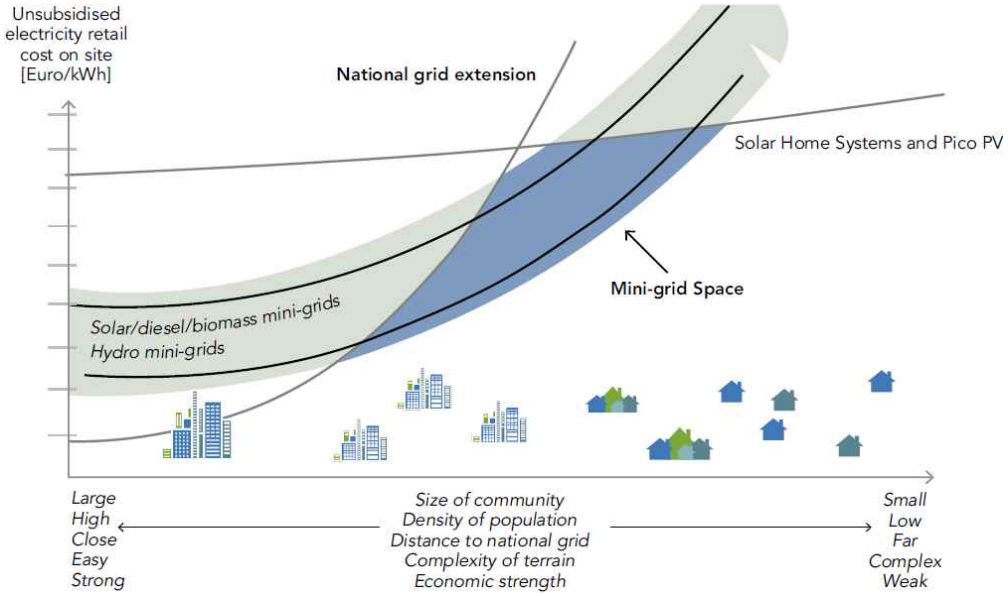
[그림 2-2-29] 세계 1인당 전기사용량/전기사용량 팽창 국가/지역에 대한 시장 target

(바탕그림 출처: Energy Supply, In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC, 2007)

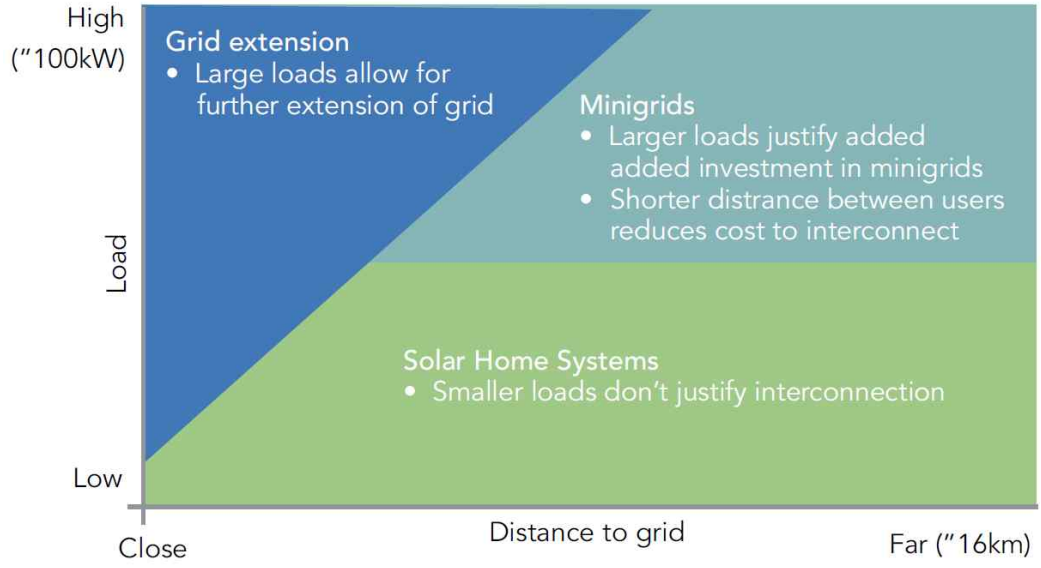
○ 개도국에서 전기는 대부분 열악한 국토 인프라로 분산전원 형태가 유리
- 고가인 ESS, 스마트 그리드 등 적용이 어렵고, 시간대별 변동이 없는 방식을 선호
- 풍력, 태양광: 시간대별로 큰 전기 생산량 변동
- 폐기물, 바이오매스, 석탄, 펫코크: 연속 전기 생산 플랜트 형태가 일반적

○ 저렴한 자국 에너지원료 사용을 선호
- 원료 이동이 필요없이 인근 에너지원을 사용하여 전기, 청정연료 등으로 활용을 선호
- 고급에너지 원료는 대부분 수출을 하고, 수출에 경쟁력이 낮은 지역의 저급원료 사용을 선호
- 호주, 인도네시아: 고급 유연탄은 수출을 하고, 자국 갈탄 등 수출이 어렵고 운송시 경쟁력이 낮은 원료를 산지 인근에서 활용 희망

○ Mini-grid 형태의 분산전원과 태양광 전기를 사용하는 시장 확대 중
- 중소형 건물 등 규모와 적정한 전기 생산단가 구간에서 태양광/바이오매스 발전이 사회적, 경제적 측면에서 타당성 확보 시작 단계



[그림 2-2-30] Mini-grid와 재생가능에너지 전기의 역할 영역
(바탕그림 출처: State of Electricity Access Report, World Bank, 2017)



Source: RMI 2017.

[그림 2-2-31] 전기수요 규모와 발전시설과 거리에 따른 최적 전기 공급방식

(바탕그림 출처: State of Electricity Access Report, World Bank, 2017)

○ 분산전원이 가장 타당한 조건은 20 kW~10 MW 전기생산 규모, 수십~수백 수요처, 지역범위는 1~49 km^2이고 수십~수백만불 투자금액 플랜트 범위

<표 2-2-7> 중앙집중식과 분산전원식 신규 전기설비 공급방식의 구분

CHARACTERISTICS	GRID ELECTRIFICATION	OFF-GRID ELECTRIFICATION	
Systems	Centralized	Micro-grids and Mini-grids	Stand-alone systems
Scale	National, regional, and even international	Community	Household
Geographic radius	More than 50 square kilometers	1 to 49 square kilometers	< 1 square kilometer
Number of customers	Thousands to millions	Dozen to hundreds	Usually a dozen or less
Installed capacity	More than 10 MW	20 kW to 10 MW	< 20kW
Technologies involved	Large-scale and centralized	Medium-scale and small-scale	Very small-scale
Investment required	Billions of dollars	Millions of dollars to hundreds of thousands	Thousands of dollars

본 기획의 분산전원 Target 시장

(출처: State of Electricity Access Report, World Bank, 2017, p. 30)

□ 분산전원 플랜트의 국가지역별 가격 편차가 심하며, 가격 경쟁력 확보 방안 필요

○ 600~900 MW급의 대형 석탄발전소 규모인 경우 대비 15 MW급 이하 플랜트 건설비용은 매우 높은 상태

- 개도국 진출을 위해서는 건설비/운영비 저감이 관건
- 0.2~15 MW 규모의 바이오매스와 폐기물 사용하는 분산전원 규모의 경우, 3,400~8,500 US$/kWe로 매우 고가

<표 2-2-8> 2017년 세계 주요기술별 재생가능에너지 사용 전기생산 플랜트 가격 비교

국가	기술	Net capacity (MW_e)	Capacity factor (%)	Overnight cost (USD/kWe)	Investment cost (USD/kWe)		
					3%	7%	10%
이태리	Biogas-engine	0.3	80	8,667	8,934	9,294	9,567
	Solid Biomass - 터빈	0.2	86	6,945			
	Solid waste 소각	10	84	5,800			
네델란드	우드펠렛 혼소	640	80	587			
	Solid waste 소각	20	85	3,427			
스페인	Biogas-engine	1	48	1,852			
	Biogas-engine	1.5	48	3,733			
	Biomass-터빈	10	75	4,060			
	Solid waste 소각-터빈	15	56	8,540			
영국	바이오매스	900	65	719			
미국	바이오매스	100	85	4,587			

(출처: Projected Costs of Generating Electricity, IEA, 2015)

□ **국내 폐비닐/폐플라스틱 재활용 거부 사태 발생으로 재활용이 힘든 고발열량 폐기물의 열적처리 대안 부각**

○ 재활용이 가장 사회적으로 우선되어야 하나, 이물질 함유된 폐비닐/폐플라스틱은 현실적으로 재활용이 곤란

- 충분한 황경정제설비가 구비된 일정 규모 이상의 열적처리 플랜트에서 처리가 필수

○ 폐플라스틱 고형연료(RPF)를 산업단지 스팀공급원으로 이용한 국내 성공사례 다수 존재

- 예: 국내 T사의 울산 스팀공급설비

○ 일본 동경도는 10년 전부터 폐플라스틱은 소각처리 중

○ 국내는 폐기물 플랜트 추진 시 세계에서 가장 낮은 환경오염물질 배출기준을 맞추어야 하는 상황

- 국내 N시 SRF 발전소 사례: 천연가스 수준의 배출기준 제시에도 주민들 반대

□ **메이저 기업들 동향**

○ 메이저기업들은 FEED 및 PMC 역량을 바탕으로 단순 EPC는 한국 등 후발국에 넘겨주고 플랜트 가치사슬 중 고부가가치 영역에 집중

○ 기존 원천기술 라이센스 판매와 EPC 업무에서 자동화 솔루션, 운전교육용 동적 시뮬레이션, 가상 설계(virtual design), 예측적 유지보수 등 새로운 고부가가치 사업화로 이전 추진 중

- (사례) 에머슨사: 심해원유 채굴 북해 BP 프로젝트에 운영지원서비스, 원격 모니터링, 자동진단기능(Smart Meter Verification), 예측적 유지보수 기술을 제공 (출처: 월간 플랜트기술, 2018/5)

□ 기술 후발국 동향

○ 중국 등 경우는 정부 주도와 지원을 통해 기술개발을 수행하며 test-bed를 통한 실증과 track record 확보를 위하여 높은 간접적 지원 비중

○ 개도국은 플랜트 건설에 소요되는 자금조달이 가장 난관으로, 해외 사업자가 프로젝트 financing까지 책임져주기를 대부분 희망

○ 동구 유럽의 경우, 유럽연합의 51% 자금지원을 받아 폐기물처리 플랜트를 건설하고자 하나 신뢰도 높고 독일/스위스 등 기술 대비 저렴한 기술에 대하여 높은 수요

- 한국의 100~500톤/일급 폐기물 가스화 플랜트 등의 기술이 확보될 경우 2020년대 초까지가 시장진입의 최적 시기

□ 합성가스 시장

○ 미세먼지, 폐기물 처리 곤란 등 환경변화로 인해 폐기물 가스화 처리 활용방식에 대한 관심도 증가

○ 가스자원이 없거나 부족한 개도국 중심으로 자국 내 풍부한 바이오매스 자원과 폐기물, 저급석탄 등을 사용하여 자국 내에서 가스자원 확보에 높은 관심도

- 폐기물의 경우 에너지 자원 확보와 환경적 처리를 동시에 추구하여 소각 대비 경제성만 확보된다면 도입에 적극적

□ 청정연료가스 및 고순도가스 국내외 시장 확대 중

○ 다양한 연료가스 종류 중에서 현재의 시장 요구사항을 만족하는 유망한 분야는 청정연료가스

- 시장 요구사항은 저렴하면서 환경적으로 청정해야 하고 원료수급이 용이하여 생산에 차질이 없어야 하면서 다양한 활용이 가능하여 플랜트 건설시 다양하게 시장에 대처가 가능하여야 한다는 점 등

- 기존에는 합성가스가 초청정까지는 필요가 없는 가스엔진 발전 등에 주로 활용이 논의되었다면, 천연가스에서 생산되는 연료가스 수준으로 깨끗한 청정연료가스가 값싸게 생산될 수 있다면 대체할 시장은 대단히 많은 것으로 판단



[그림 2-2-32] 원료별 생산 가능한 연료가스 종류와 시장요구사항을 반영하여 선택한 연료가스



[그림 2-2-33] 청정연료가스의 국내 시장수요와 시장 target

○ 현재 국내에 큰 잠재적 시장이 존재하는 합성가스 활용가능 분야는 초산 생산에 필요한 고순도 일산화탄소 시장

- 현재 초산생산용 고순도 합성가스는 벙커C유 등으로부터 생산되고 있는데, 폐기물로부터 저렴하게 공급이 가능하면 국내수요의 20~30% 1차 대체가 가능

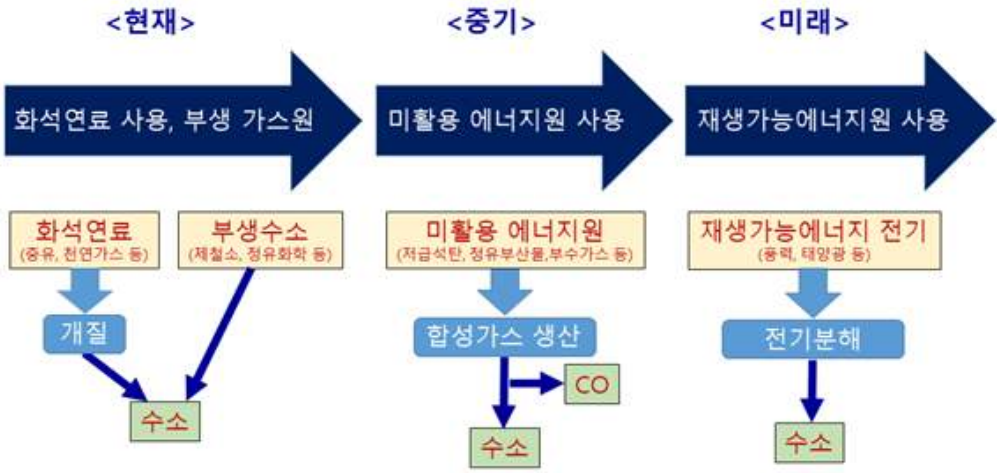


[그림 2-2-34] 초산 생산 방식

□ 수소 시장

○ 일본 수소시장은 정부의 적극추진 정책에 따라 2030년 90억불(¥1 trillion), 2050년에 720억불(¥8 trillion)로 예상

(출처: https://www.metering.com/industry-sectors/smart-energy/hydrogen-japan/, 2018/5/4 기사)



[그림2-2-35] 수소 생산방식의 변화 추이

□ 시사점

○ 해외 플랜트 시장 다변화와 동남아 등 진출을 위한 플랜트 핵심분야 기술 확보가 필요

○ 동남아, 인도 등 지역에서 장기간 우위가 가능할 플랜트 분야 정립 및 해외진출 추진이 필요

○ 폐기물 경우, 주민들 요구 환경배출수준을 만족하는 플랜트 기술 성공 시 높은 해외시장 진출 가능성 보유

- 저렴한 건설비/운영비 가능한 기술로 완성 및 원격 운전유지보수 등 신기술 적용이 관건

○ 국내의 미래 수소도시 및 수소연료전지 자동차 확대 등 수소에너지 사회에 대한 준비가 필요

- 단기적으로는 저급자원(폐기물, 바이오매스, 석탄, 펫코크 등) 가스화 및 천연가스/바이오가스 개질에 의한 수소 확보가 필요

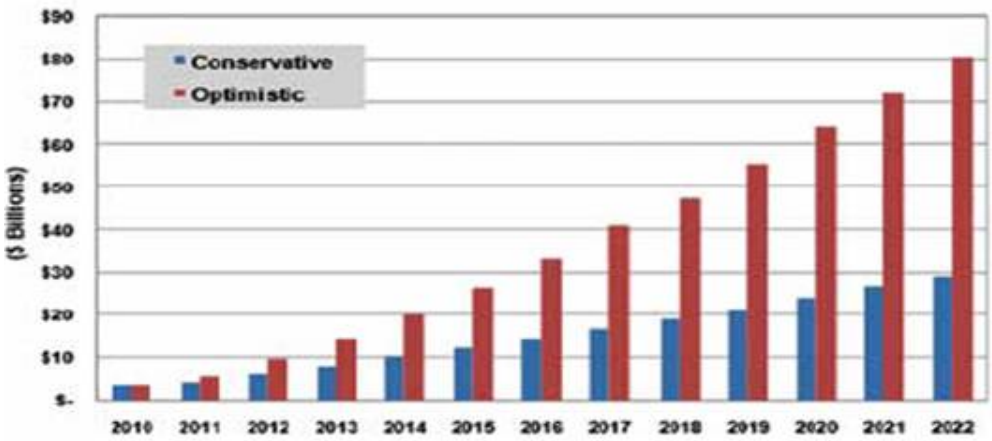
- 장기적으로는 잉여전기 활용 수소 생산 기술(P2G 등)에 의한 수소 확보가 필요하며 이때 발생하는 산소를 활용할 수 있는 기술이 필요

4.2 합성가스 생산 기술

4.2.1 국외 시장 현황

□ 폐기물 에너지화 시장 증가 추세

○ 전 세계 폐기물 에너지화는 꾸준히 증가하고 있으며, 2020년 기준으로 폐기물 관리시장의 여건에 따라 약 260억불에서 650억불의 관련 시장이 형성되는 것으로 예측

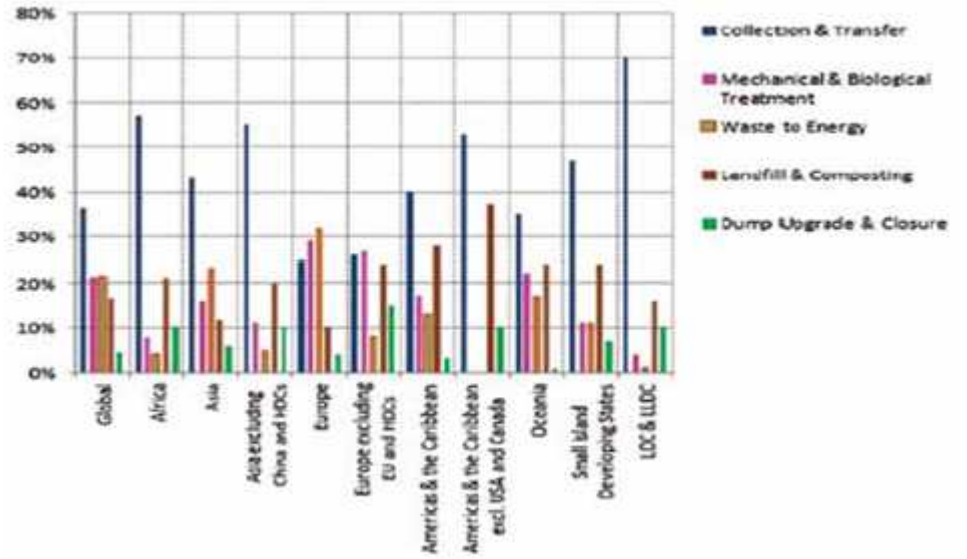


[그림 2-2-36] 전 세계 폐기물에너지 시장 전망

(출처: Waste to Energy Technology Markets, PikeResearch, 2012)

○ 또한 2011년부터 2020년에 걸쳐 전 세계 폐기물 관리시장의 투자규모를 보면 공통 기술에 해당하는 수집 및 운반이 약 37%로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 다음으로

폐기물 에너지화 시장의 투자규모가 22%의 높은 수준으로 보고



[그림 2-2-37] 전 세계 폐기물관리 시장의 투자전망 (출처: UNRCD, "Investing in Resources and Waste Management: Policy Context and Challenges", 2011)

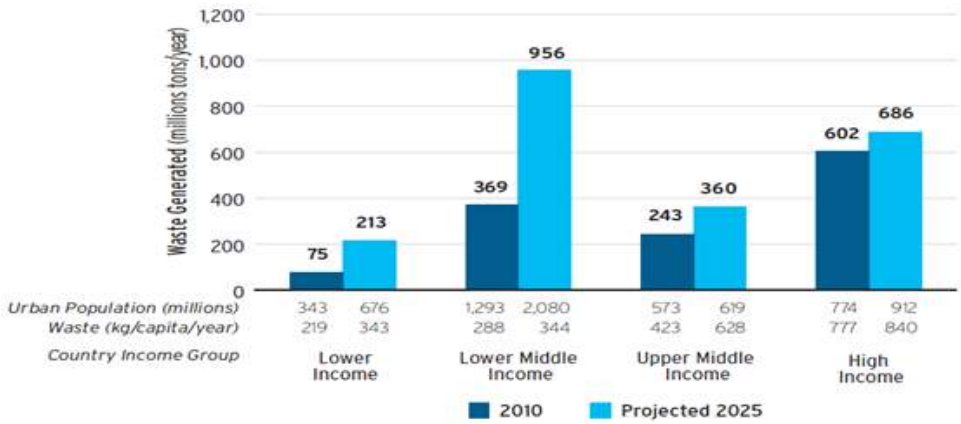
○ 인구증가와 개발도상국들에서 폐기물 발생량 증가에 따라 세계 도시지역 폐기물의 총 발생량은 2012년 시점 353만톤/일에서 2025년에는 607만톤/일로 1.7배 상승, 개발도상국은 2.6배 이상 크게 증가가 예상되어 적정한 처리와 에너지회수 시장 자체는 커지고 있는 추세

- 태국은 2017년말 기준 15개의 waste-to-energy 플랜트에서 42.82MW 전기 생산 중

* 폐기물 소각과 바이오가스에 의존한 전기 생산

* 민간 주도의 소형설비로 인해 해외 폐플라스틱 수입 사용 문제 발생 중

○ 현재는 소각과 바이오가스 생산이 주 에너지회수 방법이며, 가스화 합성가스를 통한 중소형 가스엔진 발전이 시도되고 있는 상황



[그림 2-2-38] 세계 국가 GDP로 구분한 도시지역의 2010년 대비 2025년 폐기물 발생량 예측 (출처: 세계은행, 2012)

<표 2-2-9> GNI로 구분한 국가 도시지역의 2012년 실제 폐기물발생량과 2025년 예측 발생량

Region	Current Available Data			Projections for 2025 (from Annex J)			
	Total Urban Population (millions)	Urban Waste Generation		Projected Population		Projected Urban Waste	
		Per Capita (kg/capita/day)	Total (tons/day)	Total Population (millions)	Urban Population (millions)	Per Capita (kg/capita/day)	Total (tons/day)
Lower Income	343	0.60	204,802	1,637	676	0.86	584,272
Lower Middle Income	1,293	0.78	1,012,321	4,010	2,080	1.3	2,618,804
Upper Middle Income	572	1.16	665,586	888	619	1.6	987,039
High Income	774	2.13	1,649,547	1,112	912	2.1	1,879,590
Total	2,982	1.19	3,532,256	7,647	4,287	1.4	6,069,705

(출처: 세계은행, 2012/03)

□ 재생에너지 중 바이오에너지가 가장 핵심 적인 역할

○ 바이오에너지는 현재 전 세계 재생에너지의 72%를 차지하고 있으며, 2035년까지 공급량의 약 52%를 차지하여 재생에너지 중 가장 핵심적인 역할을 할 것으로 전망



[그림 2-2-39] 신재생에너지원별 기여도 예측

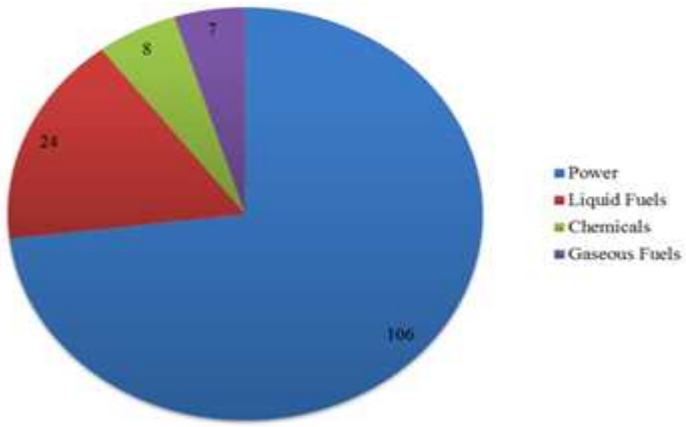
(출처: IEA, World Energy Outlook, 2012)

□ 전 세계적으로 총 114개의 바이오매스 가스화 플랜트 가동 중

○ IEA(International Energy Agency)의 Bioenergy Task 33E-Thermal Gasification of Biomass database에 따르면 전 세계적으로 총 114개의 바이오매스 가스화 플랜트가 가동 중이며, 유휴/보류 상태가 14개 시설 그리고 건설/계획 단계가 13개 시설

- 유휴/보류/건설/계획 단계의 시설을 포함한 총 141개 시설 중 106개 시설이 합성가스로부터 전력을 생산하며, 상기 시설을 통해 바이오매스 합성가스로부터 생산되는 총 전력량은 356 MW 정도
- 합성가스로부터 메탄올, 에탄올, DME, FTS, diesel, gasoline 등의 액체 연료를 생산하는 시설은 24개 시설이며, 바이오매스 합성가스로부터 생산되는 총 액체 연료량은 750,000 t/year 수준
- SNG, H_2 등의 가스 연료를 생산하는 시설은 8개 시설이며, 바이오매스 합성가스로부터 생산되는 총 기체 연료량은 3.2×10^8 Nm^3/year 정도

- 여러 종류의 화학원료를 생산하는 시설은 7개 시설이며, 바이오매스 합성가스로부터 생산되는 총 화학 원료량은 9,000 t/year 정도

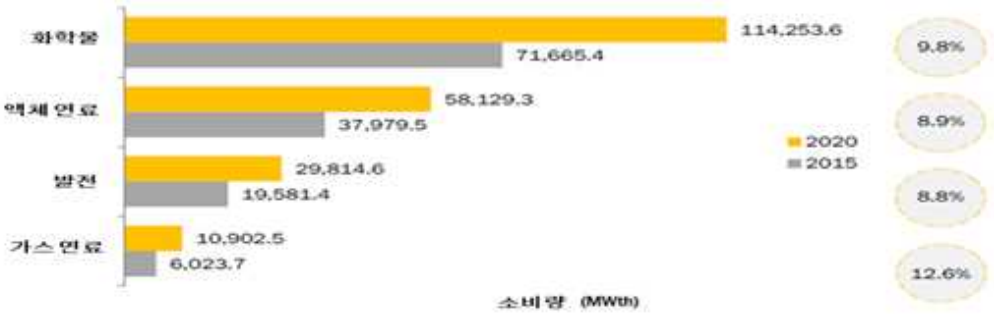


[그림 2-2-40] 합성가스 이용 방법에 따른 바이오매스 가스화 플랜트 현황

(출처: Biofuels Production by Biomass Gasificcation: A Review, energies, 2018)

□ 합성가스 활용분야 시장의 지속적인 성장

○ 폐기물, 바이오매스뿐만 아니라 석탄, Pet-coke으로부터 생산된 합성가스 전체 활용분야 별 시장현황과 성장률 전망은 아래 그림과 같으며, 화학물질, 액체연료, 발전, 가스연료에 대한 시장성장률은 각각 9.8%, 8.9%, 8.8%, 12.6%로 예측



[그림 2-2-41] 합성가스 활용 시장 현황 및 전망

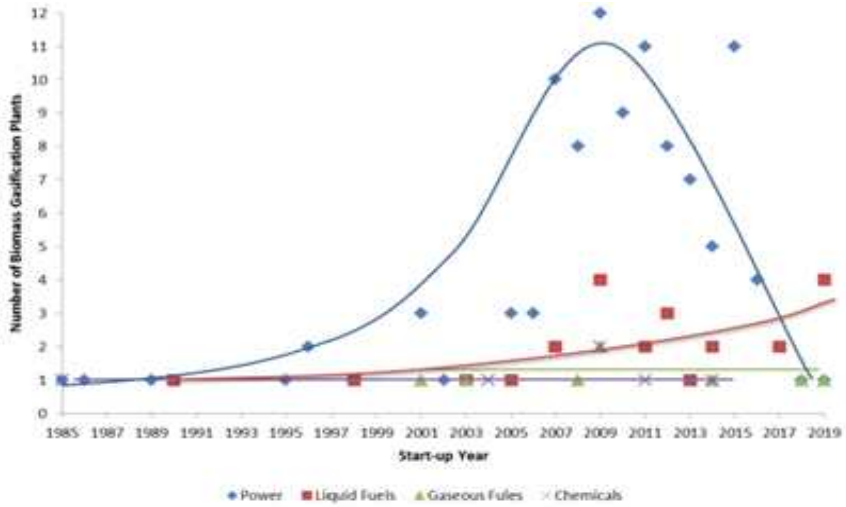
(출처: Global Industry Analysts, Inc.)

□ 바이오매스 합성가스 이용 액체연료 생산 플랜트 건설 증가

○ 바이오매스 합성가스를 이용한 발전 플랜트 수는 2009년까지는 증가하여 2009년 최대 12개의 신규 가스화 발전 플랜트가 건설되었지만 이후에는 감소하여 2016년에는 단지 4개의 플랜트만 건설

○ 한편 합성가스를 이용한 액체연료 생산 플랜트는 2007년부터 조금씩 증가하여 2019년 새로운 4개의 플랜트가 건설 예정

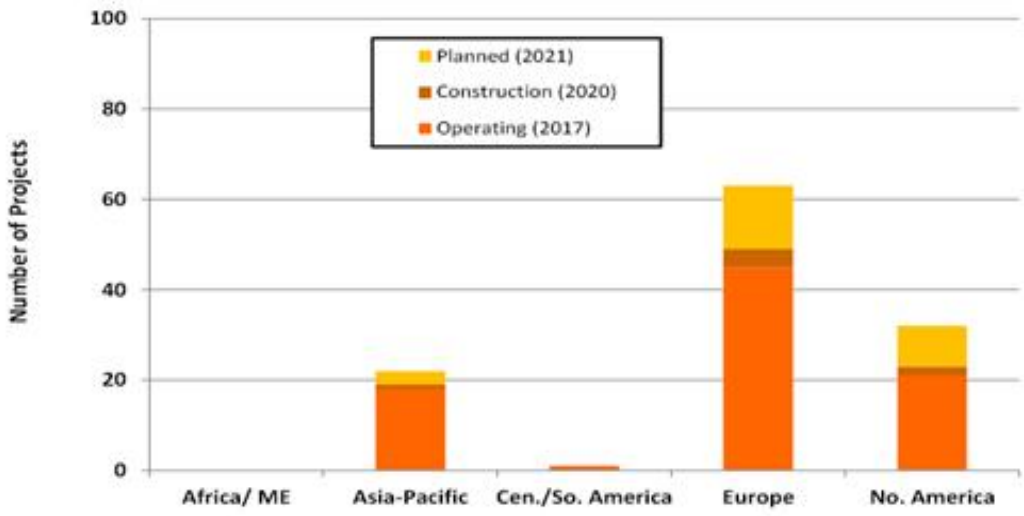
○ 합성가스 이용 가스연료와 화학원료 생산 플랜트 건설 현황은 거의 일정한 수준을 유지하고 있으며, 그 중 바이오매스 합성가스 이용 가스연료 생산 플랜트의 경우 2018년과 2019년 각각 1건의 새로운 플랜트 건설이 계획



[그림 2-2-42] 연도별 합성가스 이용 방법에 따른 바이오매스 가스화 플랜트 현황
(출처: Biofuels Production by Biomass Gasificcation: A Review, energies, 2018)

□ **바이오매스 가스화 플랜트는 유럽에 50% 이상 집중되어 있으며, 아시아의 경우 19%에 불가**

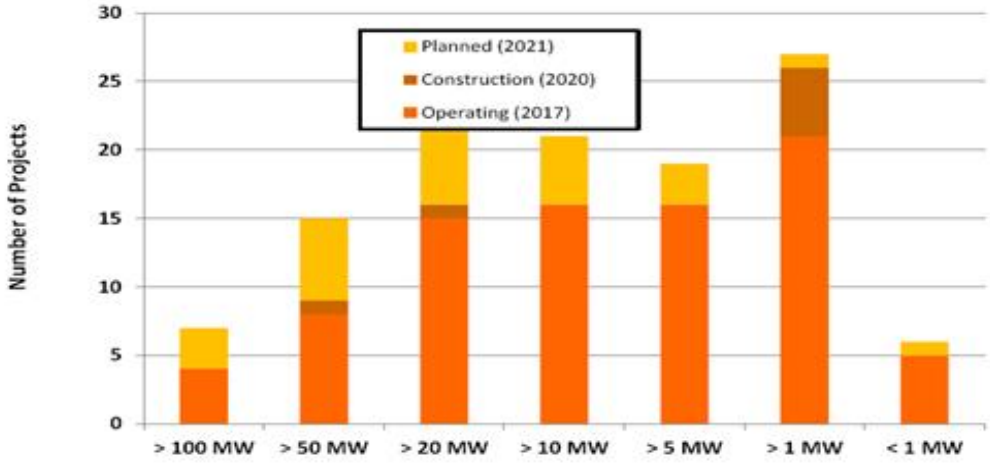
○ 운영, 건설, 계획 중인 바이오매스 가스화 플랜트의 지역별 현황을 살펴보면, 전체 플랜트의 53%가 유럽에 위치하며, 북아메리카와 아시아에 각각 27%와 19% 정도 위치



[그림 2-2-43] 지역별 바이오매스 가스화 플랜트 현황
(출처: Higman, GSTC Syngas Database, 2017)

□ **바이오매스 가스화 플랜트 중 1~5 MWth 규모가 전체의 23%로 가장 높은 비율**

○ 운영, 건설, 계획 중인 바이오매스 가스화 플랜트의 열 생산량 기준 설비 규모별 현황을 살펴보면, 1 MWth~5 MWth 설비가 전체 플랜트의 약 23%로 가장 높은 비율을 차지하며, 1 MWth 이하의 설비도 5기가 현재 운영되고 있고 신규로 1기가 설치 예정



[그림 2-2-44] 설비 규모별 바이오매스 가스화 플랜트 현황
(출처: Higman, GSTC Syngas Database, 2017)

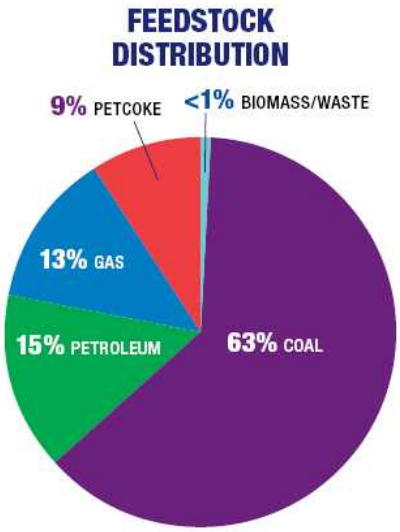
□ **폐기물 및 바이오매스 대상 가스화 플랜트 계획 지속적으로 증가 추세**

○ 유럽을 비롯하여 전 세계 가스화 플랜트의 주요 대상 Feedstock은 석탄이고, 아직까지 폐기물이나 바이오매스에 대한 가스화 플랜트 계획은 석탄에 비해 적으나 지속적으로 증가 추세

- 현재는 상용 가스화 플랜트의 다수가 석탄을 대상으로 하고 있지만, 전 세계적으로 폐기물의 자원화에 대한 공감대가 형성되고 있고, 매립을 대체할 기술에 대한 관심과 소각기술에 대한 부정적인 인식으로 폐기물 및 바이오매스를 이용한 가스화 발전 기술에 대한 시장은 규모가 점차적으로 증가할 것으로 전망

○ 세계 가스화 시장은 유가 상승의 영향으로 지속적으로 성장하던 중 2014년말부터 유가 급락으로 시장이 주춤하였으나 신기후체제 이후 다시 시장이 변화 중

- 유럽 내 GDP가 높은 스웨덴, 독일, 핀란드 등에서 가스화 설비에 대한 오랜 연구노하우를 바탕으로 기술 시장이 성장하기 시작 하였으며, 최근 아시아 시장으로 활발히 진출 중
- 유럽은 정책적으로 바이오매스 및 폐기물을 활용한 에너지 개발에 적극 투자하고 있는 추세이며, 현재 가스화 용융 기술은 상용급으로 발전되어 실증플랜트나 상용플랜트로 건설 및 운전 중
- 일본에서는 폐기물 및 폐바이오매스 가스화를 통한 고부가가치 화학원료 및 분산전원 발전 시장이 도입 및 성장
- 중국에서는 폐기물 및 바이오매스를 활용한 분산전원형 가스엔진 발전 플랜트가 급속히 보급되고 있으며, 고부가가치 화학원료 대체 재생원료화 시장은 해외 선진기술 도입을 통해 추진 중
- 동남아, 인도, 러시아, 남미 등에서는 전력생산 플랜트 시장이 중소규모 용량에서도 효율이 높은 가스화 합성가스를 가스엔진 발전플랜트로 보급하는 시장이 성장 중



[그림 2-2-45] Feedstock distribution
(출처: An investment in our energy future, GSTC 2017)

□ 석유기반 합성가스 시장의 증가에 따른 펫코크 활용 가스화 시장 성장 예상

○ 원유 정제과정에서 최종 잔류물인 펫코크는 발열량은 높지만 유함 함량이 높아서 활용에 제한적이었지만 가스화를 통하여 저렴한 에너지원으로 부각

○ 펫코크를 합성가스 생산을 위한 원료로 활용하기 위한 플랜트 건설은 인도 등지에서 진행되고 있고 앞으로 더 성장할 것으로 예상

- 지역적 측면에서 보았을 때 아시아-태평양 지역이 석유 기반 합성가스 생산 시장의 44.7%에 해당하는 가장 큰 점유율을 보이고 있으며 그 뒤를 유럽이 추격 중 (36.7%, 2014년 기준).
- 사우디아라비아, 중국, 인도, 인도네시아와 같은 아시아 국가에서 매장된 석유를 활용할 수 있는 가용성 때문에 펫코크를 활용한 합성가스 생산의 성장 요인으로 가능

<표 2-2-10> 석유기반 합성가스 생산량 전망 (단위: MW_{th})

구분	2013	2014	2015	2020	CAGR (2015~2020)
아시아-태평양	12,390.4	14,026.0	15,469.4	23,688.6	8.9%
유럽	11,157.3	11,513.7	12,747.3	13,553.2	1.2%
북미	4,095.7	4,999.8	5,476.9	6,646.2	3.9%
남미	753.8	816.2	946.8	1,022.9	1.6%
합계	28,397.2	31,355.7	34,640.3	44,910.8	5.3%

(출처: Syngas and Derivatives Market, Markets and Markets)

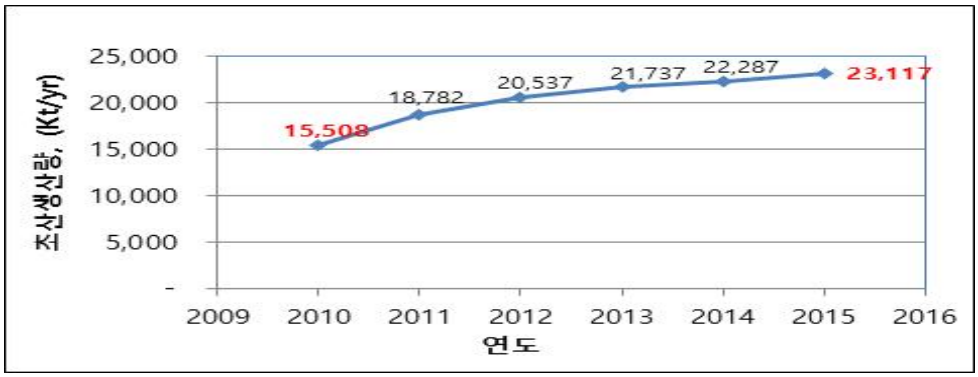
□ 일산화탄소와 메탄올 전환에 의한 초산 제조량 증가 기대

○ 합성가스 내 함유된 일산화탄소의 생물학적 그리고 화학적 전환을 통해 다양한 탄소화

합물을 생산할 수 있기 때문에 해외를 중심으로 활발한 상업화가 진행되고 있으며, 메탄올과 일산화탄소의 화학적 전환에 의한 초산제조 공정을 고려 가능

○ 2010년 글로벌 초산 생산 현황을 보면 아시아 지역이 67%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 이 중 중국이 45%, 동남아 10%, 한국은 3%를 차지하며, 기타 유럽 10%, 중동/아프리카 5%, 미주 18%의 생산 비중을 기록

○ 이때의 생산량을 기준으로 초산 생산량을 예측한 결과, 아래 그림과 같이 1.5~2배 생산량이 증가할 것으로 보이며, 국내 초산 생산량의 증가도 기대



[그림 2-2-46] 세계 초산 생산량 전망 (출처: 고등기술연구원 데이터 취합)

□ 분산전원 시장의 급속한 확대 전망

○ 2003년에 전 세계에 보급된 분산전원은 235 GW 규모로 전체 전원의 7% 수준이었으며, 2025년까지 1,442 GW까지 확대될 것으로 예상

○ 시장규모를 기준으로 했을 때 2005년 875,969억 원에서 연평균 76%이상 성장하여 2030년에는 8,468,364억 원으로 급속히 시장이 확대될 전망

○ 유럽의 경우, 전체 발전량의 11%를 열병합 발전을 통해 감당하고 있으며, 향후 122 GW의 추가적인 발전용량을 열병합 발전에서 생산 예정인 것으로 보고

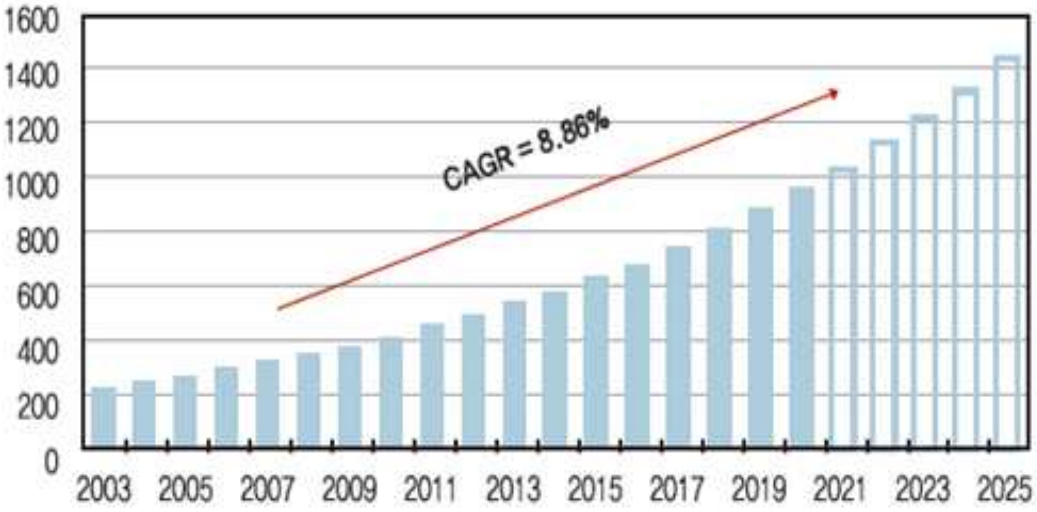
<표 2-2-11> 글로벌 분산전원 시장 규모 현황 및 전망 (단위: 억원)

구분	2005	2010	2015	2020	2030
해외 시장 규모	875,969	1,394,853	2,251,035	3,615,614	8,468,364

(출처: 온실가스감축기술전략로드맵 2011, 한국에너지기술평가원)

○ 세계 분산에너지 연맹인 WADE(World Alliance for Decentralized Energy)에 의하면 세계 분산전원 보급은 향후 8.86%의 연간성장률을 보일 것으로 예측됨.

- 분산전원의 보급은 아시아를 비롯한 개발도상국을 중심으로 2030년까지 계속 증가될 것으로 전망(International Energy Agency)
- 전 세계 분산전원이 2025년에는 결국 총 1,443 GW(전체 전원의 32%)까지 보급될 것으로 전망

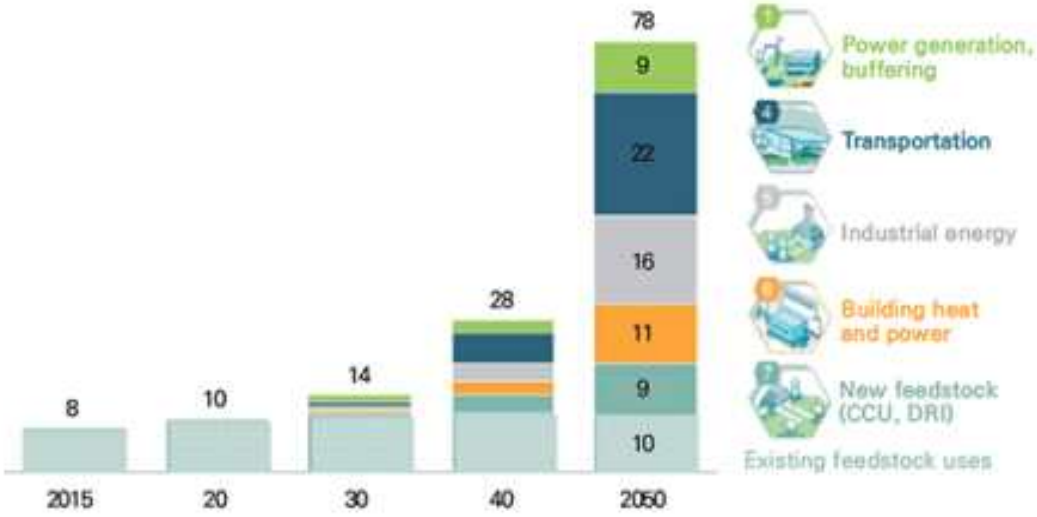


[그림 2-2-47] 세계 분산전원 보급전망
(출처: World Alliance for Decentralized Energy, 2011)

□ 글로벌 수소시장 확대 전망

○ 수소에너지가 2050년에 전 세계 에너지 수요량의 대략 20%를 담당하며 2050년까지 수소와 관련된 산업 분야에서 연간 2조5,000억달러의 시장가치 유발효과 및 3,000만개 이상의 일자리 창출이 가능할 것으로 예측

○ 2050년까지 수송부문은 전체 수소 수요에서 가장 큰 비중을 차지할 것으로 전망되며, 향후 수송용 연료전지가 연료전지 시장 성장을 주도할 것으로 전망



[그림 2-2-48] 세계 수소시장 전망(단위: EJ)
(출처: Hydrogen Council, Hydrogen scaling up, 2017)

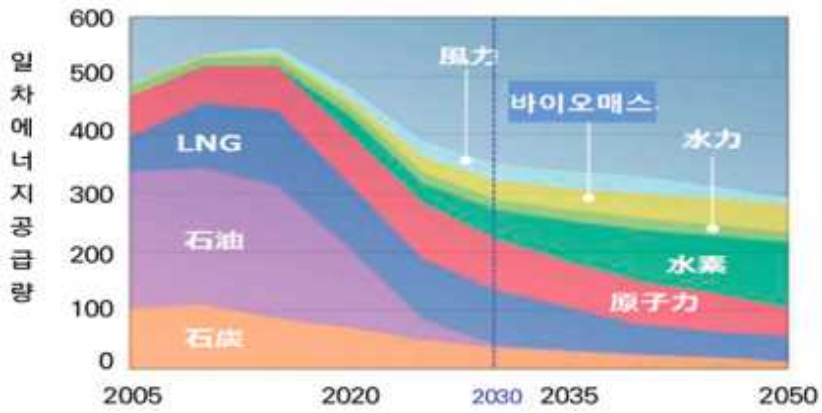
○ 맥킨지는 2050년 수소사회 구상을 통해서 수소의 시장규모를 2조5,000억달러, 일자리 3,000만개, 에너지의 18%, 전력의 10%를 담당할 것으로 예측



	2030 milestones	2050 target picture
Transportation	전세계 수소차 1천5백만대, 트럭 50만대 수소열차, 수소여객선 운행	전세계 수소차 4억대(25%), 트럭 5백만대(30%), 버스 1천5백만대(25%), 석유대체 2천만배럴/일, CO_2 연간 32억톤 감축
Industry energy	수소 4백만톤 사용(0.6 EJ)	전세계 산업에너지 수요 12% 수소 사용(16 EJ), CO_2 연간 10억톤 감축
Building heat and power	650만 가구에 수소 350만톤 사용	전세계 건물에너지 사용의 8%를 수소에너지(열, 전력) 활용, CO_2 연간 7억톤 감축
Industry feedstock	철강, 정유, 화학 공장에서 수소 260만톤 사용	철강, 정유, 화학 공장에서 수소 2억톤 사용(철강, 메탄올 생산용), CO_2 연간 9억9천만톤 감축
Energy system	신재생에너지 300 TWh 수소 변환, 200 TWh의 수소 발전 연간 10 만톤의 수소 해외 유통, 200 TWh 수소 저장(소금동굴)	신재생에너지 500 TWh 수소 변환, 1,500 TWh의 수소 발전 5,500만톤 수소 해외 유통, 3,000 TWh 수소 저장(수소 수요의 55일 분량)

[그림 2-2-49] 맥킨지의 2050 수소사회 구상

○ 일본의 수소시장 규모는 2030년에 약 10조원, 2050년에 80조원으로 예측



[그림 2-2-50] 일본 수소시장 전망(단위: MTOE)

(출처: 가와사키중공업, 해외운송 수소인프라 구축 실현을 향한 노력, 2016)

○ 현재의 수소시장 규모는 산업용 유통량만으로도 세계시장 $208억(자체소비량 230억 포함 총 $438억), 국내는 적어도 6,000억원 수준

○ 산업용으로의 수소는 석유화학산업, 전자, 재료, 반도체 제조공업, 제철공업 및 우주항공 산업 등에서 꾸준한 수요증가

○ 향후 선진국들의 온실가스 감축의무이행에 따른 수소 연료전지 자동차 및 연료전지의 보급 등이 이루어진다면, 이에 따른 에너지용도로서의 수소 사용량이 급증할 것으로 전망

○ 시장조사업체인 리서치앤마켓에서는 2014년 9월 보고서에서, 수소생산시장이 청정에너지를 요구하는 수요에 따라 연평균 성장률이 5.9%라는 가정 하에, 2019년에는 1,382억 달러에 이를 것이라고 추산

○ 현재는 다양한 시료의 가스화를 통한 수소 제조 방법에 대한 연구가 진행되고 있으며, 석탄 및 폐기물 가스화를 통해 얻어진 합성가스로부터의 수소 제조 공정의 개발 및 상업화가 계속해서 추진 중

○ 2014년 세계의 수소 소비는 66,044.6 킬로톤(이하 kT)을 기록하였으며 2020년까지 92,147.9 kT에 도달할 것으로 기대(연평균 성장률 5.7%, 2015-2020)

○ 중동 및 아프리카 지역은 정제 및 암모니아 생산에 대한 증설로 인해서 수소에 대한 소비 시장이 가장 크게 성장할 것으로 기대

<표 2-2-12> 지역별 수소 소비 시장 규모 (단위: 킬로톤, kT)

응용 분야	2013	2014	2015	2020	CAGR (2015~2020)
아시아-태평양	25,376.7	26,873.9	28,459.5	39,996.1	7.0%
유럽	14,796.0	15,669.0	16,593.5	19,053.9	2.8%
북아메리카	11,240.7	11,903.9	12,606.2	14,821.4	3.3%
중동&아프리카	7,672.2	8,124.9	8,604.2	13,093.7	8.8%
남아메리카	3,279.4	3,472.9	3,677.8	5,182.8	7.1%
총	62,365.0	66,044.6	69,941.2	92,147.9	5.7%

(출처: Syngas & Derivatives Market, Markets and Markets)

○ 수소 부문은 2014년에 10,445,350만 달러 상당의 가치가 있는 것으로 평가되었으며 2020년에는 14,956,630만 달러에 도달할 것으로 기대

○ 아시아-태평양이 수소 부문의 가장 큰 시장이며 2014년 기준으로 4,250,100만 달러의 수익을 달성

○ 메탄올, 합성가스 및 가스화 잔여물과 같은 제품의 회수 정제소로부터 요구가 증가하는 등 아시아-태평양 지역에서 수소에 대한 수요가 점차 늘고 있으며, 수소가 화석연료, 석탄, 천연가스의 대안 역할을 하기 때문에 앞으로 수소에 대한 수요가 크게 증가할 것으로 예상

<표 2-2-13> 지역별 수소 시장 수익 규모 (단위: 백만 US$)

응용 분야	2013	2014	2015	2020	CAGR (2015~2020)
아시아-태평양	40,133.1	42,501.0	45,008.6	64,932.9	7.6%
유럽	23,363.9	24,742.4	26,202.2	30,887.3	3.3%
북아메리카	17,749.8	18,797.1	19,906.1	24,024.1	3.8%
중동&아프리카	12,200.0	12,919.8	13,682.1	21,308.1	9.3%
남아메리카	5,187.2	5,493.2	5,817.3	8,413.8	7.7%
총	98,634.1	104,453.5	110,616.2	149,566.3	6.2%

(출처: Syngas & Derivatives Market, Markets and Markets)

○ 현재, 수소의 88%가 직접적 사용자들에 의해 현장에서 생산되며, 직접생산(captive production)의 시장 동향은 전체 수요 생산 및 동향과 같은 방향
○ 이탈리아에서는 5개의 가스화 플랜트가 운전 중인데 이 중 3곳이 발전과 수소를 생산하여 직접 자가 사용하는 것으로 알려져 있으며, 네덜란드 역시 정유공장 내의 직접 사용을 위한 수소를 생산 중
○ 향후 5년 동안 아프리카와 아시아는 정유 생산 증가로 인하여 직접생산에 대한 의미있는 성장을 보일 것으로 예상

<표 2-2-14> 제조타입 별 수소 소비 시장 규모 (단위: 킬로톤, kT)

Type	2013	2014	2015	2020	CAGR (2015~2020)
직접생산(Captive)	53,549.9	56,709.4	60,055.2	76,166.1	4.9%
외주가공(Merchant)	8,815.1	9,335.2	9,886.0	15,981.8	10.1%
총	62,365.0	66,044.6	69,941.2	92,757.5	5.8%

(출처: Syngas & Derivatives Market, Markets and Markets)

○ 정제 부문은 2014년 기준으로 전체 소비의 28.5%를 차지하는 수소의 가장 큰 응용분야이며, 이 부문은 2015년에서 2020년 사이에 5.5 %의 CAGR로 성장할 것으로 예상되며, 모든 응용 분야 중 가장 높이 성장하는 응용 분야가 될 것으로 예상

<표 2-2-15> 응용분야별 수소 소비 시장 규모 (단위: 킬로톤, kT)

응용 분야	2013	2014	2015	2020	CAGR (2015~2020)
정제	17,760.6	18,808.5	19,918.2	26,047.6	5.5%
암모니아	15,834.7	16,769.0	17,758.4	20,809.8	3.2%
메탄올	1,330.5	1,409.0	1,492.1	1,768.4	3.5%
기타	2,033.9	2,153.9	2,280.9	2,828.7	4.4%
총	62,365.0	66,044.6	69,941.2	92,147.9	5.7%

(출처: Syngas & Derivatives Market, Markets and Markets)

○ 정제 부문이 수소 시장에서 가장 높은 수익을 발생시키는 분야인 가운데 그 뒤를 암모니아가 잇고 있으며, 수소가 제조 분야에 널리 쓰이기 때문에 정유의 증가는 수소 시장 촉발을 의미

<표 2-2-16> 응용분야별 수소 시장 수익 규모 (단위: 백만 US$)

응용 분야	2013	2014	2015	2020	CAGR (2015-2020)
정제	41,454.7	43,900.5	46,490.6	64,405.3	6.7%
암모니아	36,959.7	39,140.4	41,449.6	51,454.5	4.4%
메탄올	3,105.6	3,288.8	3,482.8	4,372.9	4.7%
기타	4,748.2	5,028.4	5,325.1	6,994.6	5.6%
총	86,268.2	91,358.0	96,748.1	127,227.3	5.6%

(출처: Syngas & Derivatives Market, Markets and Markets)

4.2.2 국외 시장 분석

□ 초산생산 시장

○ 폐기물/바이오매스 가스화 합성가스를 이용한 고순도 CO 생산플랜트의 세계 시장 잠재시장 규모는 세계 초산생산 시장 조사를 통하여 초산생산에 필요한 CO를 대체하는 시장을 분석

○ 초산 원료 대체 시장 외에도 메탄올, 에탄올, SNG, H_2, 수송용연료 등을 생산하는 폐기물/바이오매스 가스화 합성가스 세계시장도 많으나 본 해외시장분석에서는 초산 원료로의 CO를 대체하는 시장만 분석

- 세계 초산 생산 시장(2015년 기준) 12,850,000 ton/yr 기준으로 잠재시장 적용 (출처: Zion Research Analysis 2016)
- 폐기물 합성가스 고순도 CO 생산을 위한 폐기물 가스화 대체 용량: 8,914톤/일
- 2025년도 세계 생활폐기물 총발생량(4,327,286톤/일)의 0.206%

- 폐기물 합성가스 고순도 CO 생산 대체 가능 시장

  * 50톤/일 폐기물 가스화 플랜트 179기

  * 건설비 220억원/기 × 179기 = 3.9조원

• **해외 고순도가스/CO 시장규모**

= 세계 초산생산에 필요한 CO량(톤-CO/일) X 폐기물 필요량(톤-waste/톤-CO) X 폐기물 대체율(%) / 설비 가동율(%) / 설비용량(톤/일·개소) X 설비 건설비(억원/개소)

- 세계 초산생산에 필요한 CO량 = 16,657톤/일[주1]
- 폐기물 필요량 = 1.49톤/톤-CO
- 폐기물 대체율 = 30%
- 설비 가동율 = 82.19%(%, 연간 300일 기준)
- 설비용량 = 50톤/일·개소
- 설비 건설비 = 220억원/개소

주1 자료 출처 : Zion Research Analysis 2016



[그림 2-2-51] 폐기물/바이오매스 가스화 합성가스 이용 CO, H_2 생산 플랜트 Target 세계시장 규모 산정

□ 분산전원 시장

○ 폐기물/바이오매스 가스화 합성가스를 이용한 분산전원형 열병합발전 플랜트 세계 잠재시장은 2012년 Word Bank에서 제시한 세계 생활폐기물 발생현황 및 2025년 기준 발생량 예측데이터를 이용하여 가스화 합성가스에 의해 공급하는 잠재시장을 분석

- 폐기물 합성가스 에너지활용(분산전원) 폐기물 가스화 예상 용량: 70,967톤/일
- 2025년도 세계 생활폐기물 총발생량(OECD 제외)(4,327,286톤/일)의 1.64%
- 폐기물 합성가스 에너지활용(분산전원) 대체 가능 시장(OECD 제외)

  * 50톤/일 폐기물 가스화 플랜트 1,730기

  * 건설비 200억원/기 × 1,730기 = 34.6조원

• 해외 분산전원시장규모

= 세계 생활폐기물 발생량(톤-waste/일) X 생활폐기물 중 가스화 비율(%) / 설비 가동율(%) / 설비용량(톤/일·개소) X 설비 건설비(억원/개소)

- 세계 생활폐기물 발생량 = 4,327,286톤/일주2 - 생활폐기물 중 가스화 비율 = 1.64%주3 - 설비 가동율 = 82.19%(%, 연간 300일 기준)

- 설비용량 = 50톤/일·개소 - 설비 건설비 = 200억원/개소

주2 자료 출처 : World Bank 2012(OECD 국가 제외)

주3 2025년 국내 생활폐기물 중 가스화 비율(6.16%)의 25% 적용

<표 2-2-17> 세계 생활폐기물 처리 발생현황

Region	Projections for 2025	
	Per Capita (kg/capita/day)	Total (tons/day)
Africa	0.85	441,840
East Asia &Pacific	1.50	1,865,379
Eastern &Central Asia	1.50	354,810
Latin America &Caribbean	1.60	728,392
Middle East &North Africa	1.43	369,320
South Asia	0.77	567,545
Total		4,327,286

(출처: World Bank, 2012년)

<표 2-2-18> 폐기물/폐바이오매스 합성가스 분산전원 활용 세계 잠재시장

Region	Projections for 2025		폐기물 가스화 보급량(톤/일)
	Per Capita (kg/capita/day)	Total (tons/day)	
Africa	0.85	441,840	7,246
East Asia &Pacific	1.50	1,865,379	30,592
Eastern &Central Asia	1.50	354,810	5,819
Latin America &Caribbean	1.60	728,392	11,946
Middle East &North Africa	1.43	369,320	6,507
South Asia	0.77	567,545	9,308
Total		4,327,286	70,967

<표 2-2-19> 국외 합성가스 CO 및 분산전원 시장동향

구분	고순도가스/CO	분산전원	합계
폐기물 가스화 필요량 (톤/일)	8,914	70,967	79,881
'25년 세계 생활폐기물 발생량에 대한 비중 (%)	0.206	1.64	1.85
50톤/일 규모 가스화기 필요량 (기)	179	1,730	1,909
잠재시장 (조원)	4.83	36.33	41.16

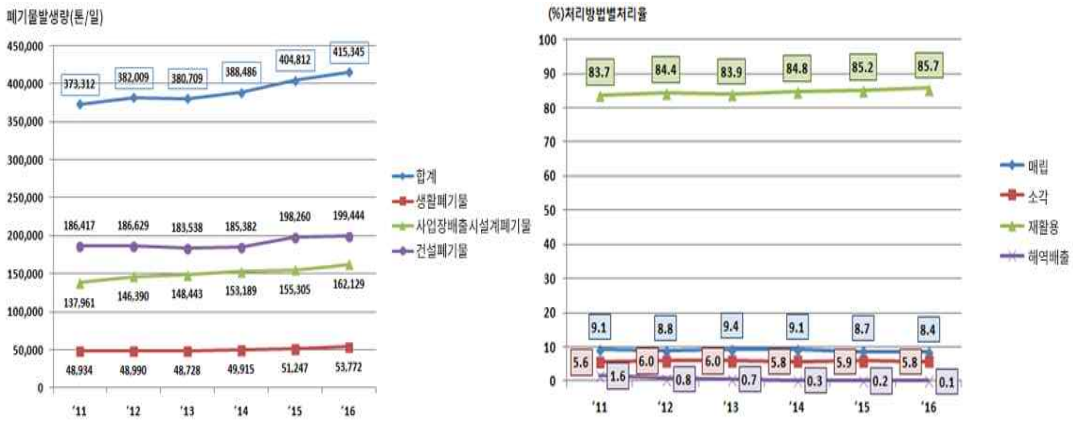
4.2.3 국내 시장 현황

□ **폐기물 발생량 증가 추세**

○ ‘16년도 국내 총 폐기물 발생량(지정폐기물 제외)은 1일 415,345톤으로 전년대비 약 2.6% 증가

- 폐기물 구성비: 건선폐기물 48.0%, 사업장배출시설계폐기물 39.0%, 생활폐기물 13.0%

○ 2016년 기준으로 국내 전체 폐기물 발생량 대비 약 85.7%가 재활용되고 있으며, 매립 8.4%, 소각 6.4%를 차지



[그림 2-2-52] 국내 폐기물 발생량(좌) 및 처리방법(우) 변화추이

(출처: 2016년 전국 폐기물 발생 및 처리 현황, 환경부, 2017)

□ **가연성 폐기물의 에너지 잠재량은 2030년에 1,470만 TOE/년으로 예측되었고, 폐기물분야의 신재생에너지 보급기여도는 2030년에 770만 TOE/년 정도로 전망**

○ 국내의 가연성 폐기물이 보유한 에너지 잠재량은 2005년도 기준으로 821만 TOE로 생활폐기물 314만 TOE(38%), 사업장폐기물 288만 TOE(35%), 건설 폐기물 91만(11%), 지정폐기물 128만 TOE(16%)가 발생

○ 국내의 경우 생활폐기물의 에너지 자원화를 위해 환경부에서도 폐기물의 50 %를 에너지로 활용하는 것으로 정책적으로 결정하여 추진하고 있으며 산자부를 비롯하여 건설교통부, 농림부에서도 폐기물 에너지 자원화 기술개발을 통한 보급 및 수출을 증대하려고 노력 경주 중

- 정부의 폐자원 에너지화를 위한 노력에 부합하여 산업계에서도 폐기물 에너지화를 위한 기술 확보와 자금력을 투입하여 기술보급을 위한 다양한 방법을 모색 중

□ **폐기물 소각시장은 고효율 에너지 회수 기술인 가스화 시장으로 전환 중**

○ 일본의 경우 발주되는 소각시설이 가스화 시장으로의 전환이 이루어지고 있는 실정

○ 국내의 경우에도 이러한 일본과 유사한 배경을 가지고 있고 유가 상승 등의 세계적으로 재생에너지의 중요성이 높아짐에 따라 가스화 기술의 보급 시장은 확대될 것으로 추정

□ **최근 산업폐기물과 바이오매스를 대상으로 하는 가스화 기술에 대한 관심 고조**

○ 국내 폐기물/바이오매스 가스화 기술의 본격적인 시장은 아직 형성되지 않은 상태이나 최근 가연성 산업폐기물과 바이오매스를 대상으로 하는 가스화 기술에 대하여 많은 업계에서 관심이 고조되고 있어 상용화 플랜트의 시장 도입이 가능할 것으로 예측(2016 신·재생에너지 백서, 폐기물 분야)

- 화석연료를 이용하여 생산한 합성가스로부터 고순도 CO, H_2를 생산하여 화학제품을 생산하는 공장에서 폐기물 및 바이오매스 합성가스로부터 화학원료를 대체하여 생산원가 절감 및 온실가스 감축하려는 시장이 도입단계
- 롯데비피화학은 초산 생산원료인 CO를 중유 가스화에 의해 생산되는 것을 폐기물 가스화로 대체 계획 중이며, 그 외 CO를 원료로 사용하는 화학제품 생산업체에서도 폐기물 가스화를 통한 CO 원료 대체 사업을 검토 중

□ **생활폐기물의 지속적인 발열량 증가로 가스화 가능**

○ 산업폐기물뿐만 아니라 생활폐기물의 경우에도 발열량이 증가되고 있어서 폐기물 가스화 시장은 발열량이 높은 산업폐기물에 국한되지 않고 생활폐기물로의 접목이 증가할 것으로 예상

□ **고부가가치 화학원료 및 액체연료 시장 확대 전망**

○ 국내 시장은 RPS 대응 및 온실가스감축을 위한 신재생에너지로서 보다 고효율의 에너지 생산이 가능한 가스화 가스엔진 발전을 통한 고효율 전력생산 기술 보급 시장을 넘어서 고부가가치의 화학원료 생산기술 시장으로 확대될 것으로 예상

○ 바이오매스의 경우 2007년 이후 수송용 바이오연료와 고형 바이오연료를 중심으로 시장이 지속적으로 성장할 것으로 예상

- 고형 바이오연료 시장은 2011년부터 RPS 제도가 시행됨에 따라 발전 부문에서 고형 바이오연료 수요가 가파르게 증가하고 있으며 향후에도 성장세는 유지될 것으로 전망('12 산업기술로드맵 신·재생에너지(열))
- 제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획에 따르면 바이오에너지 수요량은 2030년 기준 10,357천TOE이며, 연평균 성장률 CAGR은 12.5%



[그림 2-2-53] 바이오 에너지 시장 추이 및 전망

(출처: 산업통상자원부, 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획)

□ 국내 발생 펫코크의 고부가가치화 원료로서 활용 가능성 존재

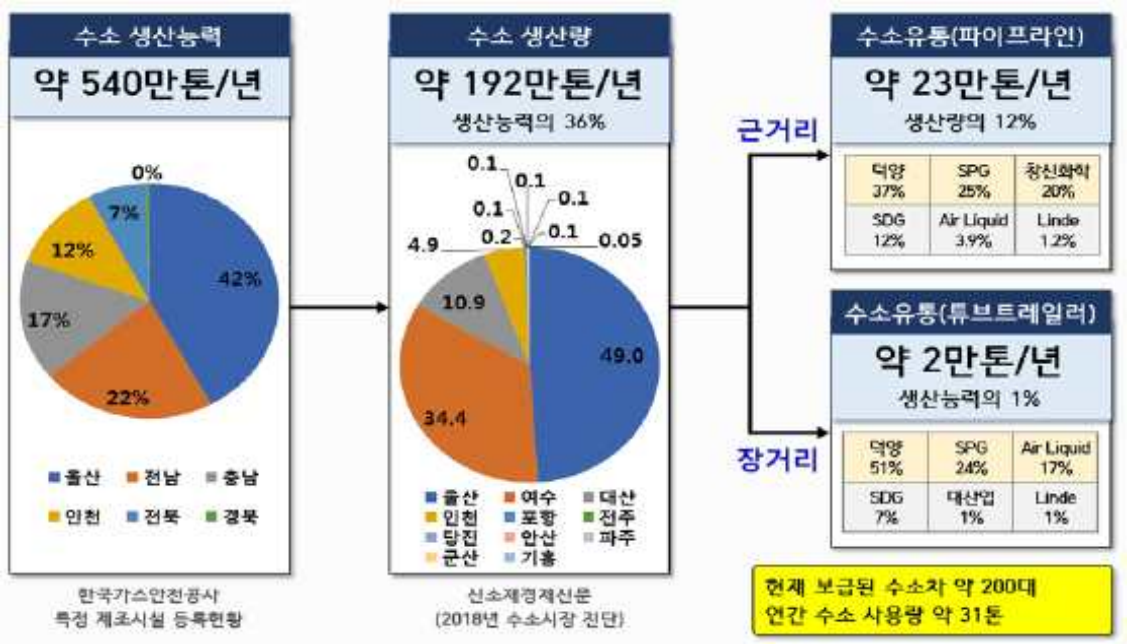
○ 우리나라에서 펫코크는 현대오일뱅크(주)에서만 생산(연간 25만~30만톤)이 발생되고 있으며, 현재는 주로 순환유동층연소보일러 연료로 사용되어 인근 공단에 스팀공급원으로 사용

○ 본 기획에서 대상으로 하는 펫코크 합성가스 test-bed 플랜트 규모는 50톤/일(연간 조업일수 300일 적용시 1.5만톤/년)이며 사업적용 규모는 최대 300톤/일(연간 조업일 300일 적용시 9만톤)로서 국내 연간 발생량을 최소 25만톤으로 보면 현대오일뱅크(주) 대산단지 한 곳에 2기의 상용 플랜트가 가능

□ 수소경제 시장

○ 국내 수소는 주로 정유공정의 납사 분해 과정에서 생산되고 대부분 자체 소비

- 연간 190~200만톤 수소가 정유 산업 납사 분해 공정에서 생산(울산지역에서 50% 이상 생산)
- 87%는 정유공정 내부에서 자체 소비(13%가 외부에 유통)
- 그 밖에는 대부분 산업용 화학 연료로 사용 중



[그림 2-2-54] 국내 수소 생산 및 유통 현황

(출처: 수소에너지 제조기술 현황과 이슈, KIER)

○ 최근 정부는 수소에너지 시장 확대를 위한 여러 정책들을 발표하면서 수소경제의 강력한 의지를 표명

○ 수소에너지는 미래 에너지믹스에 큰 비중을 차지할 것으로 전망되며, 앞으로 수소 규모가 커지고 관련 기술개발의 향상 등으로 수소 경제성은 향상될 것으로 전망

○ 정부는 수소경제 활성화 로드맵을 통해서 수소공급량을 2018년 13만톤/년, 2022년 47만톤/년 2040년 526만톤/년으로 순차적으로 확대

○ 수소가격은 2022년 기준 6,000원/kg, 2040년 기준 3,000원/kg으로 공급 목표

○ 수소 공급 가격의 결정 요인

- 생산 방법(개질, 가스화, Bio, 수전해)
- 원료(천연가스, 석탄, 전기, 잉영 재생에너지, 바이오매스, 폐기물)
- CCS 여부(CO_2 배출권 확보)
- 설비 규모
- CSD(Compression, Storage, Distribution)
- 수소충전소(현지 설치형, Trailer 운송형, 이동식, 융복합식)

목표			2018년	2022년	2040년
	수 소 차 (수출) (내수)		1.8천대 (0.9천대) (0.9천대)	8.1만대 (1.4만대) (6.7만대)	620만대 (330만대) (290만대)
	연 료 전 지	발전용 (내수)	307MW (전체)	1.5GW (1GW)	15GW (8GW)
		가정 · 건물용	7MW	50MW	2.1GW
	수 소 공 급		13만톤/年	47만톤/年	526만톤/年 이상
	수 소 가 격		-	6,000원/kg	3,000원/kg

[그림 2-2-55] 수소경제 활성화 로드맵 - 주요 목표

○ 수소경제를 위한 초기단계에서의 추출수소 생산 방식의 다양화가 필요하며, 바이오매스·폐기물을 활용한 수소 생산 시장도 확대 예상



[그림 2-2-56] 바이오매스·폐기물 활용 수소 생산
(출처: 수소에너지 제조기술 현황과 이슈, KIER)

○ 국내의 경우, 세계 10위 수준의 에너지소비국인 동시에 해외 에너지원에 대한 의존율이 97%에 이르고 있어, 에너지 자립에 기여할 지속가능한 수소에너지 개발은 지속적으로 이루어져야 할 필요성 부각

4.2.4 국내 시장 분석

□ CO 생산 대체 가능 시장

○ 국내의 경우 화학제품 생산을 위해 소요되는 CO의 생산을 석유관련 제품에서 생산하고 있으므로 생산원가 절감 및 온실가스 감축을 위해 폐기물을 활용하여 화학원료인 CO를 생산하는 기술을 적용하려고 많은 검토와 사업 타당성평가가 진행 중

○ 국내에서 화학제품을 생산하기 위해 CO를 사용하는 산업체는 롯데비피화학, 롯데정밀화학, LG화학, 삼양화학, 한국석유화학 등

○ CO를 이용한 생산 제품은 Acetic acid, Formic Acid, Phosgene, Acrylic Acid, n-Butanol, Phosgene, 옥탄올, n-Butanol, Acrylic Acid 등

○ 이러한 화학공장에서는 CO 수요량이 연간 720,000톤이 필요하며, 이를 폐기물 가스화를 통해 CO를 생산하기 위한 폐기물 처리량은 연간 1,070,282톤이 필요

<표 2-2-20> 국내 폐기물 합성가스 고순도 일산화탄소 원료생산 잠재시장 추정

지역	CO 사용회사	관련제품	CO 수요량		폐기물 가스화 필요량 (톤/년)
			(톤/시간)	(톤/년)	
울산	롯데비피화학	Acetic acid	27	216,000	321,085
울산	삼성정밀화학	Formic Acid	6	48,000	71,352
여수	한국화인케미컬, LG 화학, 한화석유화학	Phosgene, Acrylic Acid, n-Butanol	19	152,000	225,948
전주	삼양화성	Phosgene	2	16,000	23,784
나주	LG 화학	옥탄올, n-Butanol, Acrylic Acid	12	96,000	142,704
군산	동양제철화학	Phosgene	4	32,000	47,568
울산	효성	Engineering Plastic	5	40,000	59,460
울산	효성(계획)	Engineering Plastic	15	120,000	178,380
합계			90	720,000	1,070,282 (3,568톤/일)

(출처: 고등기술연구원에서 데이터 취합)

○ 국내 CO 수요의 폐기물/바이오매스 합성가스 대체 잠재 시장 산정 결과
- 폐기물 합성가스 고순도 CO 생산을 위한 폐기물 가스화 필요 용량: 3,568톤/일
- 2014년 국내 가연성 폐기물 발생량(91,000 톤/일)의 3.92%
- 폐기물 합성가스 고순도 CO 생산 대체 가능 시장
  * 50톤/일 기준 폐기물 가스화 플랜트 필요수량 72기
  * 건설비 220억원/기 × 72기 = 1.58 조원



□ 분산전원 시장

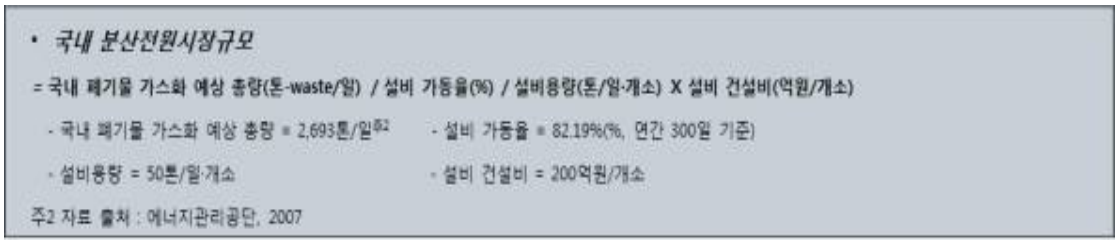
○ 최근 분산전원형 열병합발전을 적용하려는 시장의 변화가 커지고 있으며, 2025년 기준 국내 폐기물/바이오매스 가스화 합성가스 분산전원형 열병합발전을 위한 예상 용량은 315,619 TOE/yr로 일일 처리량은 3,276톤 규모

○ 국내 폐기물/바이오매스 합성가스 분산저원 잠재시장 산정 결과

- 2025년 폐기물 합성가스 분산전원 폐기물/바이오매스 가스화 예상 용량: 3,276톤/일
- 2014년 국내 가연성 폐기물 발생량(91,000톤/일)의 3.60%
- 폐기물 합성가스 에너지활용(분산전원) 대체 가능 시장

＊ 50톤/일 폐기물 가스화 플랜트 66기

＊ 건설비 200억원/기 × 66기 = 1.32 조원



<표 2-2-21> 국내 폐기물/바이오매스 가스화 합성가스 분산전원형 열병합발전 시장동향

구분	단위	2017년	2020년	2025년
폐기물 가스화 보급량	TOE/년	206,244	238,632	315,619
	톤/년	642,291	743,153	982,906
	톤/일	2,141t/d	2,477t/d	3,276t/d

(출처: 에너지관리공단, 2007년)

<표 2-2-22> 국내 합성가스 CO 및 분산전원 시장동향

구분	고순도가스/CO	분산전원	합계
폐기물 가스화 필요량 (톤/일)	3,568	3,276	6,844
'14년 국내 가연성 폐기물 발생량에 대한 비중 (%)	3.92	3.60	7.52
50톤/일 규모 가스화기 필요량 (기)	72	66	138
잠재시장 (조원)	1.58	1.32	2.9

4.3 바이오가스 생산 기술

4.3.1 국외 시장 현황

□ 해외 바이오매스(유기성) 기반 바이오가스 생산량의 지속적인 증가

○ 2016년 유럽 전체 바이오가스 생산량은 2015년에 비해 1.6 MTOE (15.7%) 증가

○ 일반적인 바이오가스 플랜트에서의 바이오가스 생량은 전체 바이오가스 생산량의 2/3를 차지 하면서 2015년에 비해 24.9% 증가한 반면, 매립가스, 하수슬러지 가스는 3.1% 증가

○ 바이오가스 활용 전력량은 2015년에 비해 22.2% 증가한 46.3 TWh 였으며, 이중 64.9%(30 TWh)는 열병합발전 설비를 통해 생산

<표 2-2-23> 유럽 연합 각국의 바이오가스로 생산한 전력량

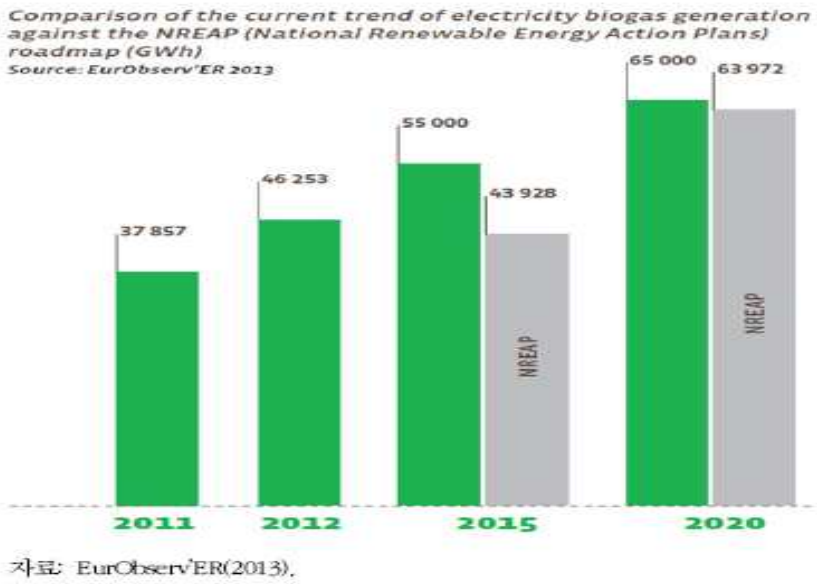
(단위: GWh/년)

구분	2015				2016			
	발전 (GWh/년)	열병합발전 (GWh/년)	총계 (GWh/년)	가스발생량* (Nm^3/년)	발전 (GWh/년)	열병합발전 (GWh/년)	총계 (GWh/년)	가스발생량* (Nm^3/년)
독일	4,752.0	16,436.0	21,188.0	6,018,721.72	5,917.0	21,322.0	27,239.0	7,737,585.47
영국	5,232.3	624.6	5,857.0	1,663,755.57	5,243.1	631.0	5,874.4	1,668,698.27
이탈리아	1,868.5	1,536.2	3,404.7	967,148.47	2,160.6	2,459.3	4,619.9	1,312,341.54
체코	59.0	569.0	928.0	263,610.24	55.0	1,412.0	1,467.0	416,720.07
프랑스	775.7	353.5	1,129.2	320,763.67	754.9	530.0	1,284.9	364,992.24
네덜란드	72.0	964.0	1,036.0	294,289.02	68.0	940.0	1,008.0	286,335.26
스페인	709.0	166.0	875.0	248,554.91	710.0	223.0	933.0	265,030.55
오스트리아	555.0	70.0	625.0	177,539.22	588.0	48.0	636.0	180,663.91
폴란드	0.0	451.1	451.0	128,112.30	0.0	565.4	565.4	160,609.08
벨기에	115.3	411.6	526.9	149,672.67	90.4	573.1	663.5	188,475.64
헝가리	91.0	122.0	213.0	60,505.37	153.4	81.3	234.7	66,669.53
덴마크	1.8	346.5	348.3	98,939.06	2.5	375.7	378.2	107,432.54
포르투갈	149.0	11.0	160.0	45,450.04	199.0	10.0	209.0	59,369.12
그리스	37.6	169.4	207.0	58,800.99	38.3	164.3	202.6	57,551.11
아일랜드	180.9	22.4	203.3	57,749.96	174.6	21.4	196.0	55,676.30
슬로베니아	5.7	121.0	126.7	35,990.75	4.9	148.2	153.1	43,490.01
핀란드	84.8	48.9	133.7	37,979.19	57.2	82.3	139.4	39,598.35
슬로바키아	39.0	74.0	113.0	32,099.09	34.0	72.0	106.0	30,110.65
라트비아	0.0	105.3	105.3	29,911.81	0.0	105.3	105.3	29,911.81
룩셈부르크	0.0	55.3	55.3	15,708.67	0.0	57.8	57.8	16,418.83
키프로스	0.0	52.0	52.0	14,771.26	0.0	52.0	52.0	14,771.26
리투아니아	0.0	37.0	37.0	10,510.32	0.0	42.0	42.0	11,930.64
불가리아	0.0	19.0	19.0	5,397.19	0.0	28.3	28.3	8,038.98
EU 전체	14,728.7	23,128.1	37,856.8	10,753,707.02	16,250.9	30,002.1	46,253.0	13,138,754.75

* 계산근거: 발전효율 (35% 가정)
가스발생량 = 발전총계 / 0.35 * 860 kcal/kwh / 8,650 kcal/Nm^3

○ 최근 바이오가스 생산량의 급격한 증가로 유럽연합 국가들은 바이오가스를 통한 전력 생산 목표 초과달성

○ 2015년 유럽연합 NREAP(National Renewable Energy Action Plans) 로드맵의 목표인 43.9 TWh 초과 달성



자료: EurObserv'ER(2013).

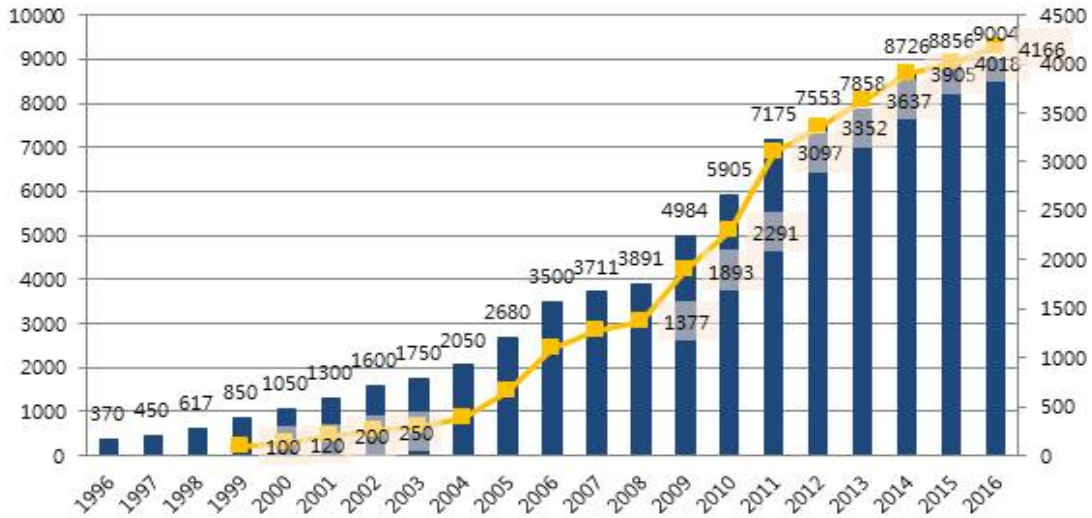
[그림 2-2-57] 유럽연합의 바이오가스 생산을 통한 전력생산량 증가 추세 및 NREAP 로드맵에 따른 전력 생산량 목표

□ 독일

○ 세계에서 가장 성공적인 바이오가스 플랜트를 보급하고 있는 국가

○ 2014년 기준 9,900개 이상 바이오가스 플랜트가 운영되고 있으며, 연간 40 TWh 이상의 에너지를 생산함으로써 독일 전체 전기공급량의 4.5%, 전체 열공급량의 0.9%, 전체 자동차연료의 0.1%를 바이오가스로 충당

○ 독일 정부는 202년까지 1,000~1,400개의 바이오가스 플랜트를 건설하여 60억 m^3/년, 2030년까지 100억m^3/년의 바이오메탄 공급 목표 수립



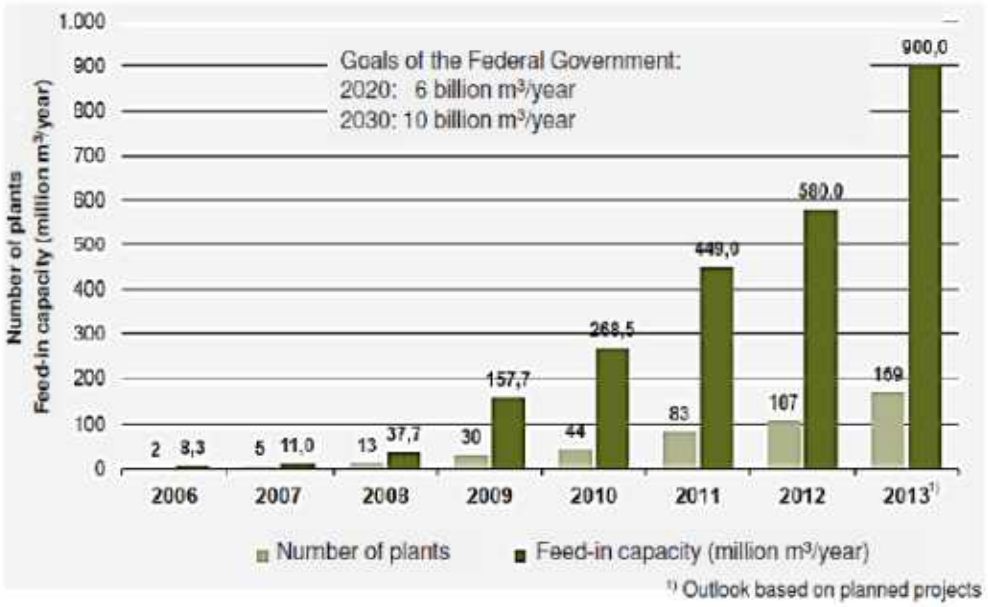
[그림 2-2-58] 독일 바이오가스 플랜트 수 및 발전용량 전망

<표 2-2-24> 독일 바이오가스 플랜트 종류에 따른 플랜트 수 및 에너지 생산량

바이오가스 플랜트 구분	플랜트 수	에너지 생산량 (GWh/년)
하수처리장 슬러지 소화시설	1,400	3,100
유기성 폐기물	95	4,500
농가형 (농업폐기물)	7,800	29,400
산업 폐수슬러지 소화시설	250	3,420
매립가스	400	550
총 계	9,945	40,970

○ 2013년 기준, 고질화 플랜트에서 생산된 바이오메탄은 천연가스 배관망에 주입되어 전기를 생산하기 위해 70%, 자동차연료용 천연가스 충전소에 20%가 공급되어 나머지 10%는 열에너지 생산을 위해 사용

○ 고질화 프랜트 전체 용량은 18만 Nm^3/h 이상으로 유럽 전체 고질화 용량의 70% 이상



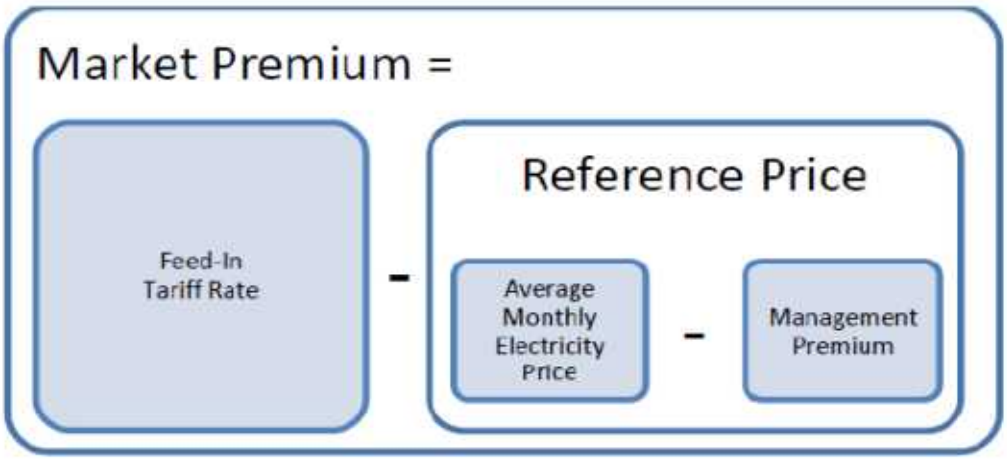
자료: IEA Bioenergy(2014.04).

[그림 2-2-59] 바이오가스 고질화 플랜트 수 및 배관망 주입량의 변화

○ Market premium은 보조금 (Basic Tariff)과 Reference Price의 차이에 해당

○ Reference Price는 전력거래 시장에서 직전 달 평균 전력 가격에서 전력 판매에 소요되는 관리비용을 차감한 가격

○ 즉, Management Premium은 전력 판매를 위한 관리비용을 지불하지 않도록 하는 조치로서 2013년에 0.275€ct/kWh, 2014년에 0.25€ct/kWh, 2015년에 0.225€ct/kWh로 매년 0.025€ct/kWh 씩 감소



자료: Josef Auer(2012).

[그림 2-2-60] 시장 프리미엄의 가격 구성도

□ 스웨덴

○ 2012년 기준, 242개 바이오가스 플랜트가 운영되고 있으며, 연간 약 1.6 TWh의 에너지 생산

○ 9개 신규 바이오가스 플랜트를 건설하고 있으며, 이를 통해 연간 약 120 GWh 에너지를 추가 생산할 것으로 예상

○ 2012년 생산된 바이오가스는 천연가스 자동차연료로 55%, 열에너지 생산을 위해 33%, 전기 생산을 위해 3% 사용

○ 일반적으로 바이오가스를 이용하여 전기를 가장 많이 생산하지만, 스웨덴은 수송연료로 가장 많이 사용되고 있으며, 그 비율은 지속적으로 증가

○ 2013년 바이오가스 고질화 플랜트는 55개가 운영 중이며 이들 중 46개소에서 생산된 바이오메탄 자동차 연료로 사용

○ 스웨덴은 약 44,000대 천연가스 자동차와 약 200개 충전소 존재

○ 55개의 고질화 플랜트 처리용량은 약 28,000 Nm^3/h 이상이며, 고질화 플랜트 중 대부분이 생산된 바이오메탄을 자동차연료로 사용하고 있으며, 11개 플랜트만이 천연가스 배관망에 주입

○ 스웨덴에는 발전차액지원제도가 없으며, 바이오가스에는 이산화탄소세와 에너지세금이 부과되지 않는데, 석유 및 경유와 비교하여 각각 68Euro/MWh, 52Euro/MWh 지원 해당

○ 또한 신새생 에너지 사업자는 전력 구매자로부터 MWh당 17~22Euro의 Certificate를 보상

<표 2-2-25> 독일 바이오가스 플랜트 종류에 따른 플랜트 수 및 에너지 생산량

바이오가스 플랜트 구분	플랜트 수	에너지 생산량 (GWh/년)
하수처리장 슬러지 소화시설	135	600
유기성 폐기물	21	507
농가형 (농업폐기물)	26	47
산업 폐수슬러지 소화시설	5	121
매립가스	55	254
총 계	242	1,589

4.3.2 국외 시장 분석

□ 바이오가스 세계 시장 지속적인 성장

○ 세계 바이오가스 시장은 2015년 5,150 백만달러, 2018년 6,594 백만달러로 평균 8.88%의 성장률로 전망

<표 2-2-26> 바이오가스 분야 국외시장 현황 및 전망

(단위: 백만달러)

분야	2013	2014	2015	2016	2017	2018	성장률(%)
바이오가스	4,325	4,705	5,150	5,570	6,060	6,594	8.88

(출처: Markets and Markets, 'Global Waste-To-Energy Market By Geography, Technology, Applications Market Trends And Forecasts', Jan. 2011

○ 바이오가스화는 2030년까지 세계적으로 바이오가스 플랜트가 건설되고 선도국가인 독일, 일본, 중국, 인도가 전 세계 시장의 60%를 차지할 것으로 전망

○ 독일은 전 세계적으로 바이오가스화 보급이 가장 앞선 국가로 2005년에 2,600개의 바이오가스 플랜트가 설치, 운영되었으나, 급속히 성장하여 2009년 현재 4,600개 이상의 소규모 및 대규모 혐기성 소화시설이 설치하였으며, 계속적으로 증가 추세

- 2010년 기준 바이오가스에 의한 총 전기생산량 기여율은 1.6%로 연간 10.3 TWh 전력을 생산 중

○ 일본은 2002년 이후 300여개소의 바이오매스 에너지타운 설치를 추진하면서 폐기물계 바이오매스의 80% 이상 활용을 목표로 설정하고 추진 중

- 일본 신에츠 엔지니어링은 슬러지 연료화 기수을 개발하여 야하다 발전소의 연료로 사용(전체 연료사용량의 2% 이내)하며, 슬러지탄의 발열량은 3,500~4,000 kcal/kg으로서 2,000엔/톤 판매 중

- 일본은 '자원의 유효이용 촉진에 관한 법률'에 따라 하수슬러지가 연료로 활용될 수 있는 제도적 기반을 갖추고 있으며, 나코노 발전소는 일일 약 8.5톤의 슬러지 탄화연료를 혼소 중

○ 최근 EU 중심으로 바이오가 고순도 정제하여 도시가스 대체연료 또는 CNG 차량용 연료로 활용

- 스웨덴은 1999년에 자동차 연료로 공급 사용하는 바이오가스 품질기준을 만들었으며, 천연가스 배관망에 연계할 수 있는 연료의 품질기준을 규정하여 시행 중
- 스웨덴 린셰핑에서는 바이오가스를 시내버스 연료로 사용(64대), 함마비에서는 바이오가스를 취사용 연료로 가정에 공급(1,000세대) 중
- 독일은 '폐기물의 소각과 혼소에 관한 법령'에 하수슬러지 연료 혼소규정을 두고 있으며, 하이브론시 소재 EnBW 화력발전소에서 보조연료로 활용

○ 2020년 기준 바이오가스 해외시장은 78억달러로 전망되며, 2020년까지 해외시장은 8.8%로 성장할 것으로 전망

○ 2020년 기준 유럽 바이오가스 발생량은 22,687,945 Nm^3/년으로 추정되며, 년간 발생량이 20% 이상 증가할 것으로 예측

○ 발생된 바이오가스를 통해 생산되는 전력량은 2020년 약 79,837 GW로 추정

<표 2-2-27> 유럽 바이오가스 발생량 산정

분야	2015	2016	2017	2018	2019	2020	증가율 (%)
바이오가스 발생량 (Nm^3/년)	10,753,707	13,138,754	15,523,802	17,908,850	20,293,897	22,678,945	22

4.3.3 국내 시장 현황

□ 국내 바이오매스(유기성) 기반 바이오가스플랜트 시장 지속적 증가

○ 국내 바이오가스 플랜트 시공의 경우 정부계획만을 고려하였을 때 '20년까지 총 2조 500억원의 시장 수요가 발생되어 '20년까지 연간 2.000억 원 규모의 바이오가스화 플랜트시장이 생성될 것으로 전망

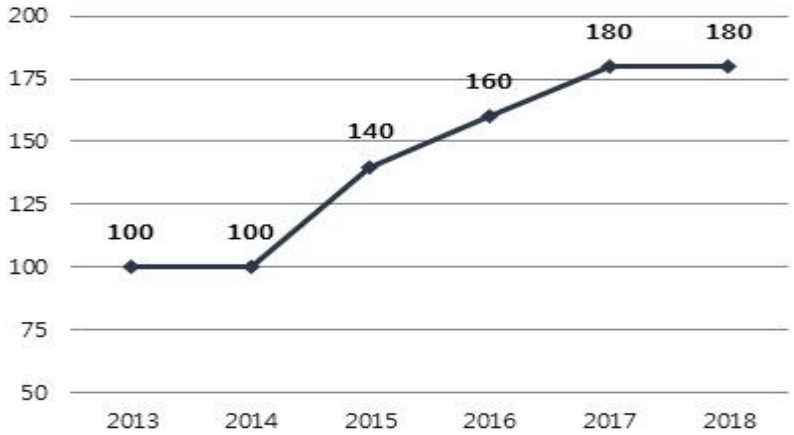
○ '12년 가축분뇨와 하수슬러지 및 '13년 음폐수의 해양배출이 금지되어 '20년까지 유기성폐자원을 전량 에너지화 할 계획으로 향후 바이오가스 관련 시장은 지속적으로 확대될 것으로 예상

○ 관련 기술 중 상당수는 해외 기술 도입에 의존하는 실정이므로 기존 상용화 문제를 해결하여 국내 기술력 확보를 통해 해외시장에 진출할 수 있는 폐자원 에너지화 연구개발 추진 필요

<표 2-2-28> 바이오가스 기술 및 제품 PEST 분석

구분	촉진요인	저해요인
정책 (P)	• 국내외 환경 규제 강화 • 신재생에너지 보급 의무화 정책 시행 (RPS, RFS 등) • 바이오가스화시설28개소 확충계획 수립	• 기초원천기술에 대한 국내 R&D 투자비율이 낮음 • 폐기물 및 환경 관련 법·제도 개선이 기술개발과 병행되지 않을 경우 기술 사업화 진행 어려움
경제 (E)	• 국내 탄소배출권거래제 시행 • 폐자원 에너지 시장의 지속적 성장 • 농촌경제 활성화	• 바이오에너지 지원 인센티브 제도 부재 • 선진국 대비 늦은 투자 시점 및 작은 투자 규모 • 내수시장의 규모가 크지 않고 불확실성이 커 투자 기피
사회 (S)	• 자원 순환형 사회 필요성 대두 • 새로운 폐기물 처리 방식 도입에 대한 요구 증가	• 바이오에너지 보급 확대에 따른 곡물 가격 폭등 우려 상존 • 바이오매스 자원 수집 인프라 미구축 • NIMBY 현상의 대상이 되어 민원 발생할 가능성
기술 (T)	• 대양한 에너지 형태의 수요 존재 • 국내의 실용화 기술의 개발 진행 • 해외 기술이 국내 시장에 그대로 적용되기 어려움	• 선진국의 기술개발 가속화에 따른 기술격차 확대 • 실증 실적의 절대적 부족 • 기초원천기술의 해외 의존, 산업계의 기술력 부족

○ 국내 바이오가스 시장의 경우 2013년에 비해 2018년 80% 증가한 1.8억달러로 분석



[그림 2-2-61] 바이오가스 국내시장현황 및 전망 (단위:백만달러)

(출처: 중소중견기업 기술 로드맵 전략보고서, 에너지자원활용, 바이오가스, 2016)

□ 바이오매스(유기성) 통합청리 활성화

○ 바이오매스(유기성) 개별시설 설치에 따른 재정투자 및 운영의 비효율 발생

<표 2-2-29> 유기성폐자원 처리시설별 문제점

구 분	시설 현황	문 제 점
하수슬러지	▪ 하수슬러지처리시설 97개소 (소화조 65개중 56개소 운영)	▪ 음폐수 병합은 16개소에 불과 ▪ 바이오가스 생산 효율이 낮음
음식물	▪ 음식물처리시설 97개소 (바이오가스화 시설10개소)	▪ 바이오가스화 시설 10개소에 불과 → 확대 필요(8개소는 설치중) * 음식물폐기물(12,700 m^3/일) 발생 → 음폐수(약 8,500 m^3/일) 하수연계 처리 * 바이오가스 미활용 소각처분

○ 환경부 소관 3개소(90천톤/년), 농식품부 소관 4개소(150천톤/년) 운영 중

○ (하수슬러지) 하수처리장 에너지 자립화 사업추진에도 불구하고 하수처리장 혐기소화 시설의 바이오가스 생산 효율 미흡

- '16년말 총 62개소 혐기소화 시설 중 10개소를 대상으로 에너지 자립화 사업 추진, 소화효율이 비교적 낮아(35%내외) 투입 대비 효율이 적으며, 생산된 가스는 소화조 가온 등의 보조연료로 사용 중

<표 2-2-30> 하수슬러지 소화가스 활용현황, '15년

계(m^3/일)	판매	발전	자체활용 (소화조 가온 등)	보조연료 (CNG 등)	미활용 (연소처리)
530,587	65,759	71,371	248,235	52,890	92,332
100%	12.4%	13.5%	46.8%	10.0%	17.4%

○ (음식물류 폐기물) 주로, 퇴비·사료화로 처리중이나 품질이 좋지 않아, 별도 음폐수 처리 방안 마련 필요

- 민간처리 시설에서 고액분리하여 고형분은 퇴비·사료화로 처리하고, 액상은 많은 경우 하수처리장으로 보내 처리
- 유기성 폐자원의 활용도 못하고 하수처리장의 처리 부담은 가중되고 있는 실정

□ 바이오가스 시설 개량·신설

○ 현재 단독처리 중심으로 운영되는 바이오가스화 시설의 개량·신설시 통합처리로 전환을 유도하여 에너지 생산량 증대 추진

<표 2-2-31> 바이오가스 통합처리 개요

< 통합처리 개요 >

○ 바이오매스(유기성)를 서로 섞어 소화의 효율을 향상(단독소화 35~45% → 통합처리 55% 이상)시켜 바이오가스 생산
○ 각각의 시설을 설치하는 것보다 통합처리시 설치·운영비 절감 가능
○ 유럽·일본 등에서는 통합처리가 보편화되는 추세
* (일본 고베) 하수처리장의 통합처리를 통해 바이오가스(12,000 m^3/일) 생산, 정제 후 자동차 연료 및 도시가스로 판매
* (독일 스트라우빙) 축산분뇨, 하수슬러지의 통합처리로 바이오가스 생산량 증대(2,500 m^3/일 → 7,000 m^3/일)

○ 바이오매스(유기성) 통합처리를 통해 최적 운전 조건으로 시설 운영이 가능하여 효율성 제고 및 규모의 경제성 확보
- 2종 이상의 바이오매스(유기성)를 통합처리 시 소화효율에 영향을 미치는 폐자원의 영양상태(pH, 알칼리도, 독성물질(응집제, 항생제) 등) 등의 상호 보완, 균질화되어 소화효율 향상에 기여

<표 2-2-32> 바이오매스(유기성)의 영양 조건 및 영양 특성

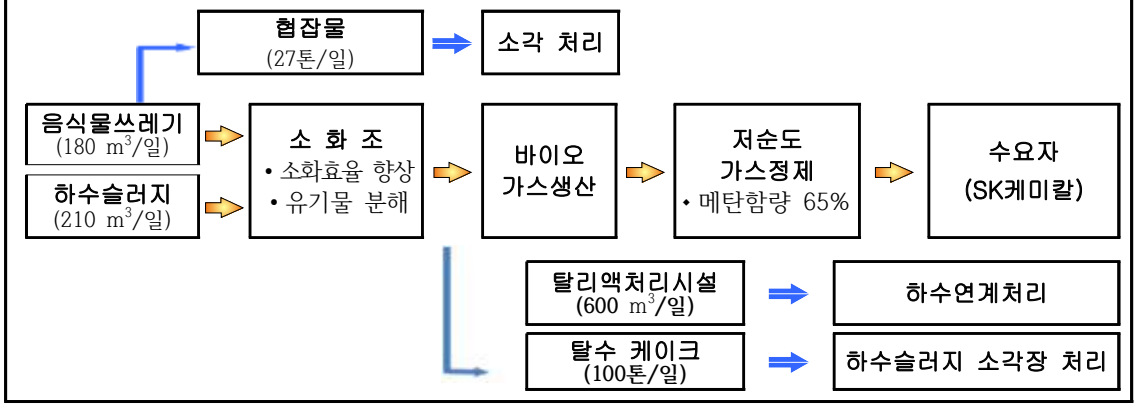
소화가 잘되는 영양 조건	각 바이오매스(유기성)의 영양 특성		
	하수 찌꺼기	음식물	가축분뇨
· 적정 PH (6.5~7.5)	· 적정 pH (<7)	· 낮은 pH (<4)	· 높은 pH (>8)
· 유기물부하 (2~3kgVS/m^3·일)	· 낮은 유기물부하 (1 kgVS/m^3·일 미만)	· 높은 유기물부하 (4~6 kgVS/m^3·일)	· 낮은 유기물부하 (1~1.5 kgVS/m^3·일)
· 알칼리도*(2,500~5,000 ㎎/L as $CaCO_3$)	· 적정 알칼리도 (3,000 mg/L내외)	· 낮은 알칼리도 (0 mg/L 내외)	· 높은 알칼리도 (10,000 mg/L내외)
· 독성물질(응집제, 항생제 등) 無	· 다량 응집제 포함	-	· 다량 항생제 포함
· 적정 C/N비 (12.0~13.0)	· 낮음(7.0~9.0)	· 높음(14.8~42.1)	· 낮음(5.2~8.2)

- 처리시설의 용량 축소를 통해 부산물의 발생 및 활용 측면에서 유리하여 설치비와 운영비 절감 가능
* 시범사업으로 추진 중인 서산시설(하수찌꺼기+음식물+가축분뇨+분뇨, '16~'19)의 경우 설치비 20%, 운영비 25% 절감 예상

<표 2-2-33> 바이오가스 통합처리 우수 사례

< 통합처리 우수 사례 (울산광역시)>

► (사업기간/투자금) '07~'11 / 201억원(민간자금 유치)
► (통합처리) 혼합처리음식물(180 m^3/일) + 하수슬러지(210 m^3/일) 혼합소화
► (사업효과) 바이오가스 26,000 m^3/일 생산·판매(30억원/년)





[그림 2-2-62] 바이오매스(유기성) 통합처리 개념

○ 전국에 조성중인 식품산업클러스터 등 바이오매스(유기성)이 다량 발생하지만 활용되지 못하는 민간부문 산업단지에 국고지원을 통한 통합처리 시범사업 추진

* 농림축산식품부·전라북도·익산시가 글로벌 식품산업 선도를 비전으로 식품산업 단지(클러스터)와 문화도시(푸드폴리스) 조성 추진 중

- 국가식품산업클러스터 배후 하수처리장(신규) 설치 예정으로 바이오매스(유기성)를 통합처리하는 에너지화 시설 설치 추진 중

* 산업단지·배후도시에서 발생되는 총 오·폐수량은 총 21,172 m^3/일 예측(공업폐수량 11,259 m^3/일, 생활오수량는 9,913 m^3/일)

<표 2-2-34> 식품산업클러스터 추진 현황

► 기능성·바이오·발효 식품, 쌀 등 가공 식품기업 150개 유치(부지면적: 1,571천 m^2) ► 신재생에너지 공급비율 '20년 이후 20% 달성 추진 	o 폐수 및 폐기물 발생 및 처리계획 ► 고농도 유기성폐수 1.0만톤/일 추정 ► 가연성 폐기물(유기성 폐자원 등) 130톤/일 추정 < 폐기물 처리 계획(안) > 

4.3.4 국내 시장 분석

○ '30년까지 유기성폐자원 발생량 중 26.9%(14,912천톤)을 에너지화하여 660천TOE/년의 에너지(바이오가스) 생산 및 온실가스 1,159천톤-CO_2/년 감축

	'15		'21		'30
가축분뇨	0.8	⇒	1.0	⇒	16.0
하수슬러지	33.5	⇒	45.0	⇒	80.0
음식물류폐기물	32.3	⇒	50.0	⇒	80.0
계	6.3(9.1)*	⇒	10.7(14.8)	⇒	26.9(32.7)

(※ 에너지화율은 물량기준이며, ( )는 에너지 전환량 기준임)

[그림 2-2-63] 주요 바이오매스(유기성) 자원별 에너지화율 (%)

<표 2-2-35> 주요 바이오매스(유기성) 자원별 에너지화 단계별 목표

구 분		'15	'18	'21	'30
에너지화물량 (천톤/년)		3,377	3,682	5,908	14,912
바이오가스 생산량 (천TOE/년)		148	196	304	671
전체 신재생에너지 대비 비중* (%)	국내 기준	1.9	2.0	2.3	2.4
	IEA 기준	5.2	3.9	3.9	2.9
LNG 대체 (만 m^3/년)		14.8	19.6	30.5	67.1
온실가스감축(천톤-CO_2/년)		255	339	526	1,159

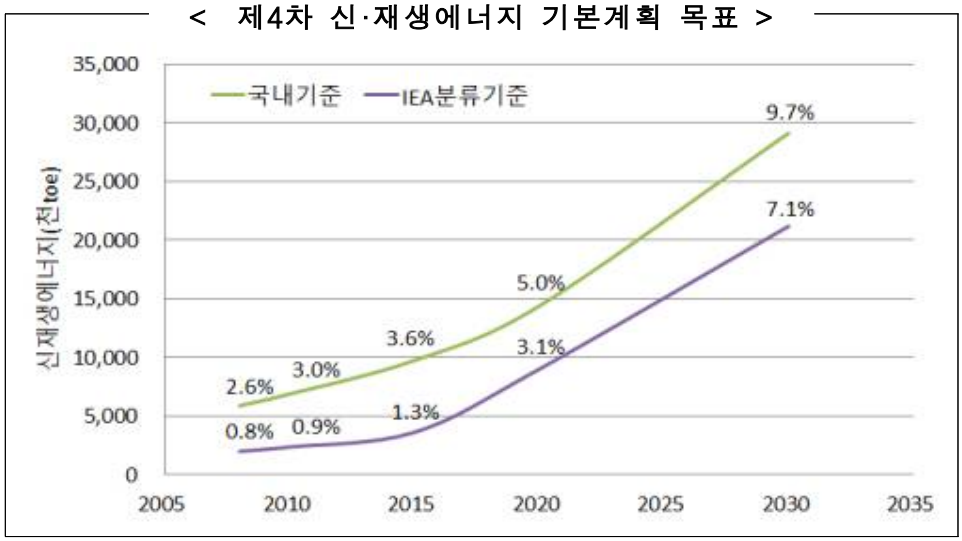
* EU, IEA 등에서는 비재생폐기물에너지는 신재생에너지에서 제외

○ 국내 바이오가스 플랜트 시공의 경우 정부계획만을 고려하였을 때 2020년까지 총 2조 500원의 시장 수요가 발생되어 2020년까지 연간 2,000억원 규모의 바이오가스화 플랜트시장이 생성될 것으로 전망

<표 2-2-36> 바이오가스 분야 국내시장 현황 및 전망

(단위: 백만달러)

분야	2013	2014	2015	2016	2017	2018	성장률(%)
바이오가스	100	100	140	160	180	180	10.0



[그림 2-2-64] 4차 신・재생 에너지 기본계획 목표

○ 통합소화를 위한 소화조 신설, 개량 등으로 총 3,482,938 m^3/일(메탄60% 기준) 생산, 활용
- 발생된 바이오가스 전량 가스발전시 연간 2,532 GWh/년의 전기 생산이 가능하나, 바

이오가스 활용 여건을 고려 385 GWh/년의 전기 생산(15.2%) 및 3.7억 m^3/년(61.5%) 천연가스 대체 가능

* 1 kW 당 76.61원('16년 전력거래소 SMP 평균) 기준 매전수익 299억원

* 연간 9.3만 가구가 사용가능한 전력량(4인 가구 기준, 350 kWh/월)

- 발생된 바이오가스 전량 보일러 이용시 경유 기준 7.5억 L/년, 천연가스(LNG) 기준 6억 m^3/년 대체 가능

○ 유기성 폐자원 에너지화를 통해 1,159천톤-CO_2/년 온실가스 감축 효과*

- '30년 폐기물 부문 온실가스 감축목표량(3.6백만톤/년)의 약 32.2% 해당됨.

* 전력부문 온실가스배출계수 0.450톤-CO_2-eq/MWh 기준

○ 개별 설치대비 통합설치로 3,804억원 국고 절감

<표 2-2-37> 바이오가스 생산을 통한 시장효과 산출 근거

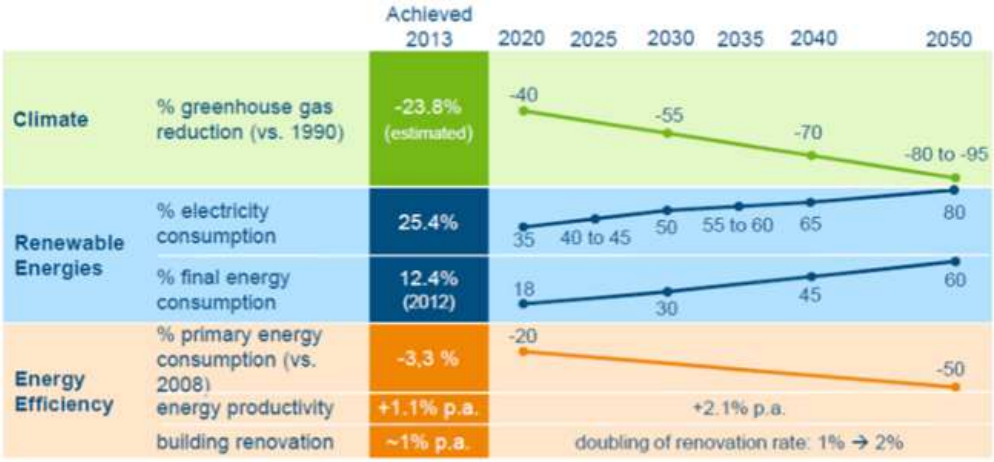
구 분		산출근거
바이오가스 생산	2,089,763 m^3/일 생산	- 기준: 유기성폐자원 바이오가스화 보급목표 약 660천 TOE/년(659,790 TOE/년) - 산출방법: 659,790 (TOE/년) × 10,000,000 (kcal/TOE) ÷ 8,650 (kcal/Nm^3-바이오가스) ÷ 365 (일/년) = 2,089,763 (Nm^3/일)
	전량 가스발전시 2,532 GWh/년	- 기준: 유기성폐자원 바이오가스화 보급목표 약 660천 TOE/년(659,790 TOE/년) - 산출방법: 659,790 (TOE/년) × 10,000,000 (kcal/TOE) × 0.33 (발전효율 33%) ÷ 860 (kcal/kW) ÷ 1,000,000 (kW/GW, 단위환산계수) = 2,532 (GWh/년)
	매전수익 1,939 억원/년	- 기준: 전량 가스발전시 2,531 GWh/년(2,531,754,239 kWh/년), 1kW 당 76.61원 - 산출방법: 2,531,754,239 kcal/년 × 76.61 (원/kW) = 193,597,692,231원(약 1,939억원)
	연간 60만가구 사용가능 전력	- 기준: 가구당 전력소비량 350 kWh/가구 - 산출방법: 2,531,754,239 (kWh/년) ÷ 350 (kWh/가구) ÷ 12 (개월/년) = 602,799 (가구/년)
온실가스 감축효과	1,139 천톤-CO_2/년 온실가스 감축 효과	- 기준: 0.45톤-CO_2eq/MWh(발전기준) - 산출방법: 2,531,754 MWh × 0.45 톤-CO_2eq/MWh ÷ 1,000(천톤/톤, 단위환산계수) = 1,139.3 천톤-CO_2/년
사업비 절감	3,804 억원 국고 절감 효과	- 「유기성폐자원 통합처리 추진계획(안)」(환경부, '16.8월)에서 발췌 - 개별처리 대비 통합처리로 약 30% 국고 절감효과

4.4 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

□ 유럽을 중심으로 P2G 플랜트의 수요 증가

○ P2G 플랜트 기술에 가장 적극적인 국가는 독일로서, 2050년까지 사용 전기의 80%를 재생가능에너지로 충당하는 것이 장기 목표

- 재생가능에너지원에서 생산한 전기를 장기간 효율적으로 저장 활용을 위한 현실적 방법으로 P2G를 제시



[그림 2-2-65] 독일의 지구온난화 대응과 이에 요구되는 재생가능 전기/에너지효율 향상을 통한 정량적 목표

(출처: Y. Shibata, Is Power to Gas Feasible in Japan?, IEEJ, 2016.01)

○ 신재생에너지 시대에 대비한 전기에너지 저장기술 개발 확대

- 유럽은 2020년 신재생에너지 비율 20%를 달성하기 위하여 태양광과 풍력 발전을 중심으로 신재생에너지 발전의 비중을 높이고자 노력하고 있으며, 이에 따라 신재생에너지 확대를 위해 필수적인 에너지저장 기술의 개발에 대한 관심이 증가
- 기상변화에 따라 발전량이 매우 크게 변하는 신재생 전력의 특성을 반영한 에너지 저장기술 개발에 대해 배터리를 이용한 전기 저장, 전기분해를 이용한 수소 저장, 연료전지를 이용한 메탄 저장, 연료화 공정을 이용한 연료 저장 등 다양한 방식으로 접근하여 신재생에너지 시스템의 수익성 및 안정성을 높이고자 노력 진행 중

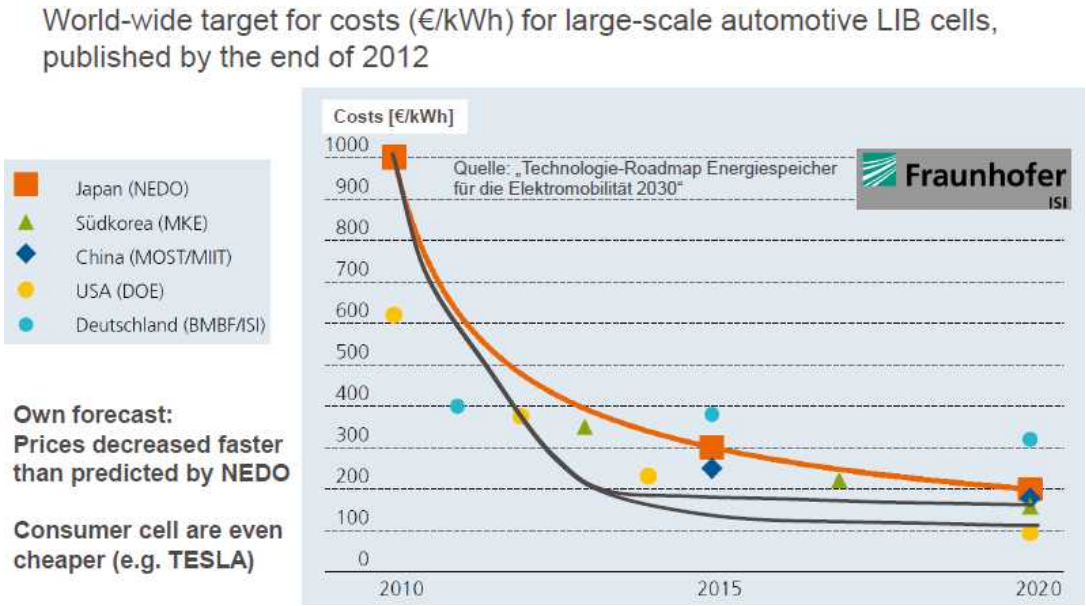
□ 에너지저장장치로서의 P2G 가치 상승

○ 배터리 형식의 ESS(에너지저장장치)가 신재생에너지의 가변성을 모두 감당할 수 없을 것이라는 전망에 따라 Power-to-Gas(수소나 메탄 형태로 신재생에너지 저장), Power-to-Liquids(액체연료 형태로 신재생에너지 저장) 등 기타 기술에 대한 관심이 집중

○ 풍력과 태양광을 위주로 한 신재생에너지 이용을 가장 활발히 추진하고 있는 독일에서 2015년 태양광 피크시간대에 계통의 30%에 달하는 전기가 일시적으로 계통으로 넘어

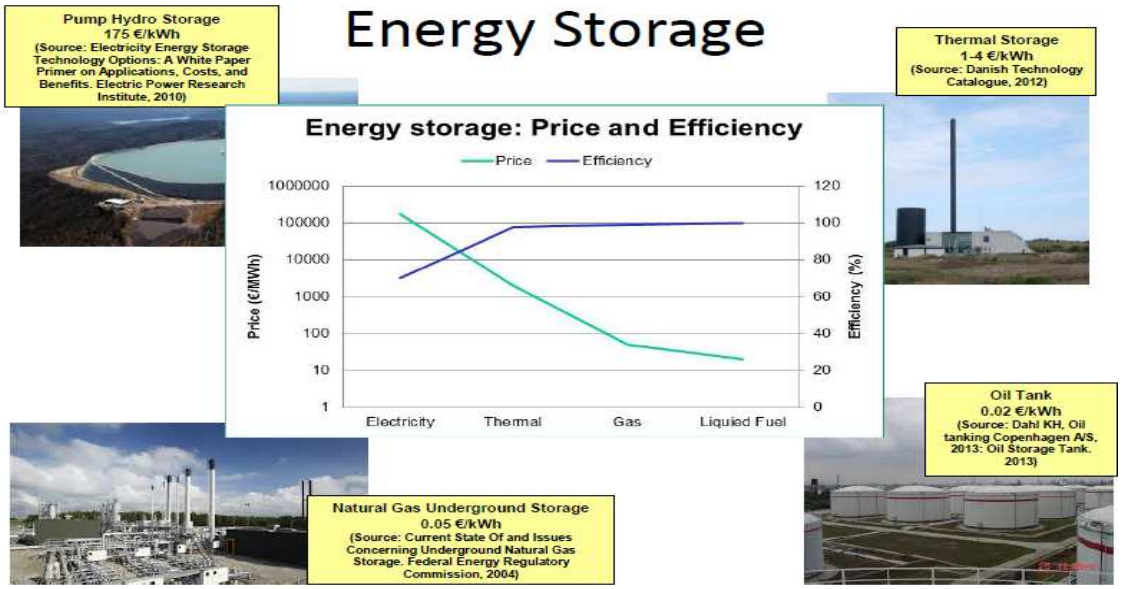
와 전기료가 (-)가 되는 상황이 발생한 후에 에너지 저장에 대한 매우 높은 관심

○ 배터리 가격은 지난 10년 간 30% 이하로 떨어졌으며, 기술이 성숙하여 가격이 크게 낮아지기는 어려울 것으로 전망되는 반면, 대체기술들의 가격은 향후 하락여지가 있을 것으로 기대



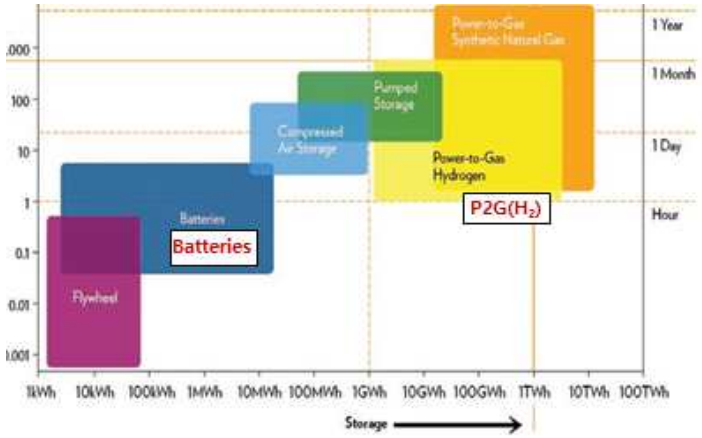
[그림 2-2-66] 배터리 가격 변화추이

(출처: 10th International Renewable Energy Storage Conference, 2016)

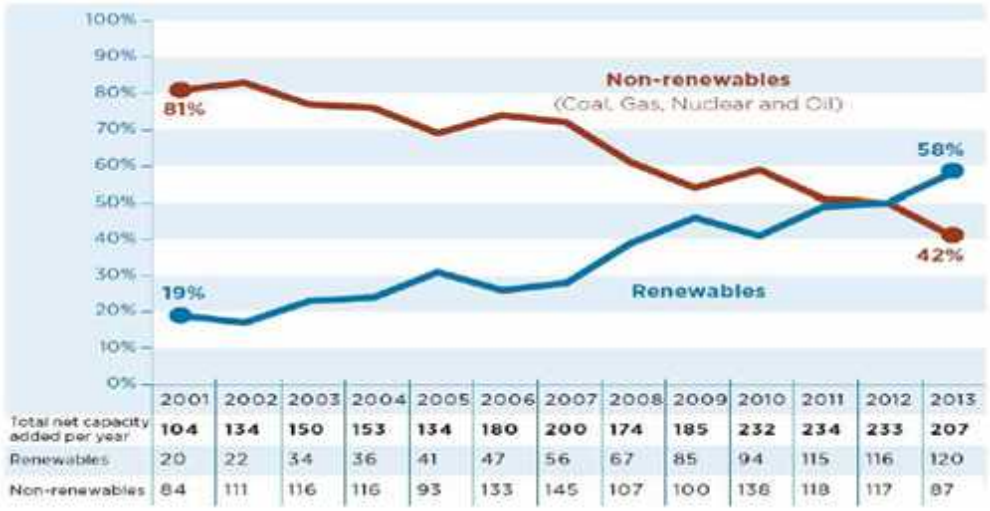


[그림 2-2-67] 에너지 저장기술 분류별 가격 및 효율

(출처: 10th International Renewable Energy Storage Conference, 2016)

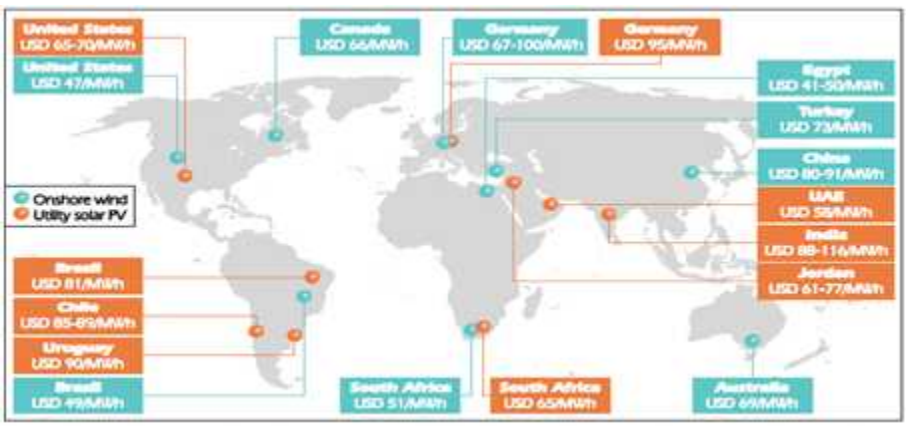


[그림 2-2-68] 분야별 에너지 저장기술 비교 (출처: ITM Power plc)



	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Total net capacity added per year	104	134	150	153	134	180	200	174	185	232	234	233	207
Renewables	20	22	34	36	41	47	56	67	85	94	115	116	120
Non-renewables	84	111	116	116	93	133	145	107	100	138	118	117	87

[그림 2-2-69] 전 세계 신규 발전용량 중 신재생 발전 비중(%, GW)
(출처: International Renewable Energy Agency, 2014)



[그림 2-2-70] 2015~19년에 공급될 신재생에너지의 발전단가
(출처: International Renewable Energy Agency, 2015)

○ 미국 캘리포니아주는 2030년까지 전력의 50%를 재생에너지로 공급하고, 수송용 연료의 30%를 재생에너지로부터 생산한 메탄(Renewable Natural Gas)으로 대체 계획

○ 일본은 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 22~24%로 높이는 것을 목표로 하고 있으며, 중국도 지역별로 비수력 재생에너지 비중을 2020년까지 10~13%로 높이는 것을 목표로 추진 중

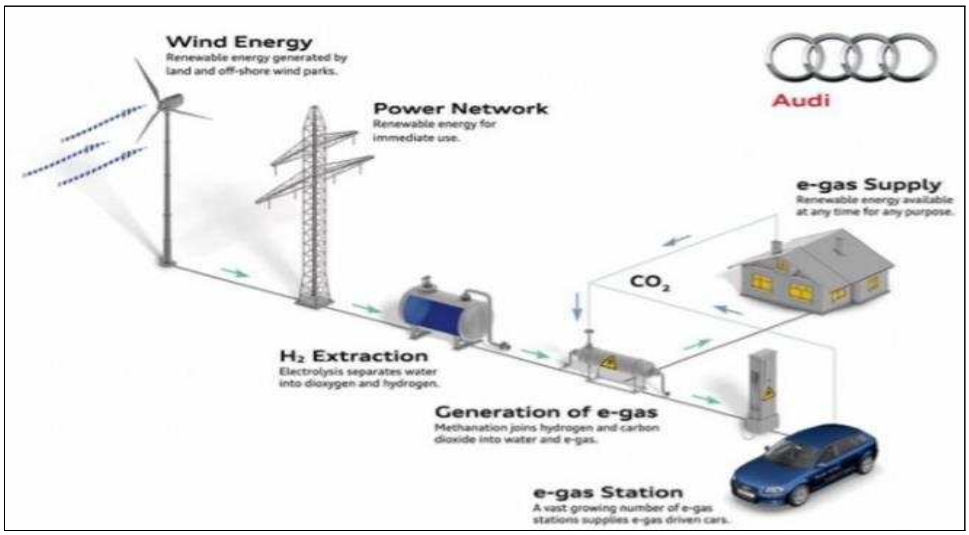
○ 현재 유럽에서는 30여개의 플랜트가 운영 중이며 14개 플랜트를 추진계획 중으로 운영 및 계획되는 플랜트의 70%는 수소를 생산하는 플랜트

○ 현재 상업 운전 중인 독일의 P2G 대표 플랜트

- E.ON사: 풍력발전 이용 수소 생산, 2 MW급 (2013. 6)
- Audi사: 풍력/태양광 이용 메탄 생산, 6 MW급 (2013. 7)



[그림 2-2-71] 독일의 주요 P2G 실증사업(E.ON사와 Audi사 시스템)



[그림 2-2-72] 독일 아우디사의 자동차용 합성천연가스 생산 개념도

(출처: Y. Shibata, Is Power to Gas Feasible in Japan?, IEEJ, 2016.01)

○ 캐나다 Carbon Engineering사는 공기 중 CO_2를 포집하고 전기분해 생산 수소와 결합시켜 초청정 액체연료 생산을 상업화하기 위해 노력 중

- CE사: 2009년 설립, 2017년 1배럴/일급 실증 시작



[그림 2-2-73] 캐나다 CE사의 공기 중 포집 1톤/일 CO_2와 전기분해 수소를 통해 1 배럴/일급 합성유 생산 설비 플랫폼 모습

□ 국내 재생에너지 발전 비중 증가 예상

○ 국내도 제주를 중심으로 풍력발전단지 건설을 계획하고 있어 유럽의 경우를 보면 한국도 에너지 저장 수단으로서 발전 전망 가능

- 제주지역에 2030년까지 풍력발전단지 건설 예정 (2 GW)
- 서남해 해상 풍력단지 건설 예정 (3 GW)

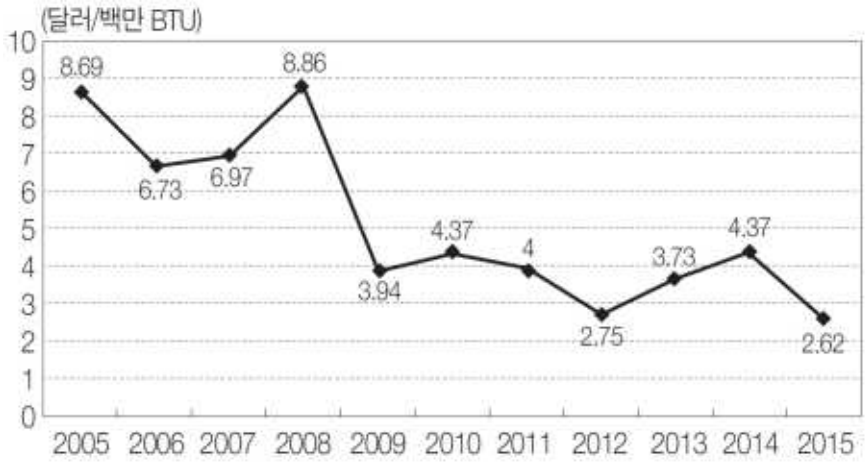
○ 세계 재생에너지 발전설비 용량은 2017년 말에는 2,200 GW(기가와트) 이상에 달할 것으로 예상됨. 2017년 한 해 설비용량 증가는 120~130GW로 예상되는데, 증가를 견인하는 것은 중국, 인도를 중심으로 한 아시아다. 아시아의 경우 2017년 70~80 GW가 추가 증설될 것으로 예상되는데, 이 중 중국이 50 GW로 60%를 차지하고, 이어 인도 10 GW(13%), 그리고 일본도 8 GW(10%)에 달할 것으로 예상

○ 재생에너지의 안정적 공급을 위해서 에너지 저장 시스템이 있어야 하며 이는 용량이 늘어날수록 배터리 방식 보다는 P2G 방식이 유리. P2G 설치 투자비는 250만원/kw로 알려져 있으며 2017년도 아시아 시장만 놓고 봤을 때 연간 100억 이상의 잠재된 시장이 존재하며 재생에너지 발전 추세를 보았을 때 더 확대될 것으로 예상

○ P2G에서 생산된 산소를 수요처로 운반하여 판매하거나 산소 가스화 설비(또는 산소부하 가스화)와의 복합 단지를 꾸밀 경우 가스화 설비의 산화제로 사용할 수 있어 플랜트의 부가가치가 증대되어 하나의 새로운 시장 모델 구성이 가능

4.5 개질 및 변환 기술

○ 셰일혁명으로 인한 미국의 천연가스 가격 하락
- 수소생산 원료인 천연가스의 가격이 미국의 셰일가스 생산 확대로 인해 북미지역에서는 큰 폭으로 하락하여 수소의 경제성이 크게 개선, 반면 아시아 지역에서는 크지 않은 영향
- 2000년대 중반 천연가스 개질 수소가격은 약 8달러/MMBTU이었지만 셰일혁명의 영향으로 2015년에는 2.62달러/MMBTU까지 하락



[그림 2-2-74] 미국 천연가스 가격 추이

(출처: 미에너지정보청(EIA)의 각 연도 자료)

○ 미국과 유럽의 수전해 활용 증가
- 신재생에너지의 비중이 확대되고 있는 유럽 및 미국의 경우, 신재생에너지의 잉여전력을 이용해 수소를 생산하고 이를 전력의 저장수단으로 활용하는 P2G 프로젝트가 확대 중
- 미국 에너지부(2015)는 미국의 총 발전량에서 풍력이 차지하는 비중을 2013년 4.5%에서 2020년 10%, 2030년 20%, 2050년에는 35%까지 확대할 계획을 발표
- 독일의 2013년 신재생에너지 발전량 비율은 전체 발전량 중 25.4%까지 확대되었으며 풍력이 차지하는 비율은 약 13.3%

○ 일본은 수소의 수요증가로 인해 다양하게 수소를 공급할 예정
- 부생수소 활용과 함께 수소를 수입하는 부분을 로드맵으로 계획
- 향후에는 암모니아를 호주에서 수입하여 개질 후 사용하는 방안을 계획

○ 국내의 수소산업 활성화에 따른 공급원은 다양하지 않은 실정
- 부존자원이 부족한 한국은 수입부분에 있어 일본의 수소공급 로드맵을 수용하고 있는 실정
- 국내의 수소 공급방안은 부생수소와 천연가스 개질에 초점을 두고 있지만, 현재 부생수소의 경우 대부분이 활용되고 있으며 화석연료로부터 확보 (CO_2 free 수소에 해당

되지 않는 분류)
- 이에 따라 태양광이나 풍력과 같은 신재생에너지와 연계한 수소 생산과 천연가스의 개질로부터 생산하기 위한 기술개발에 큰 관심
- 이와 함께 바이오가스의 개질로부터 수소를 얻는 방안도 추진 중
- 향후 수소의 수입은 일본의 로드맵과 동일하게 액체수소나 암모니아를 활용하는 것으로 기획
- 아무튼, 현 시점에서의 수소 대량생산 방안은 천연가스 또는 바이오가스의 개질을 통한 방법으로 평가되고 있어 이에 대한 기술 개발 지원과 함께 제도 마련을 진행 중

4.6 정제 및 분리 기술

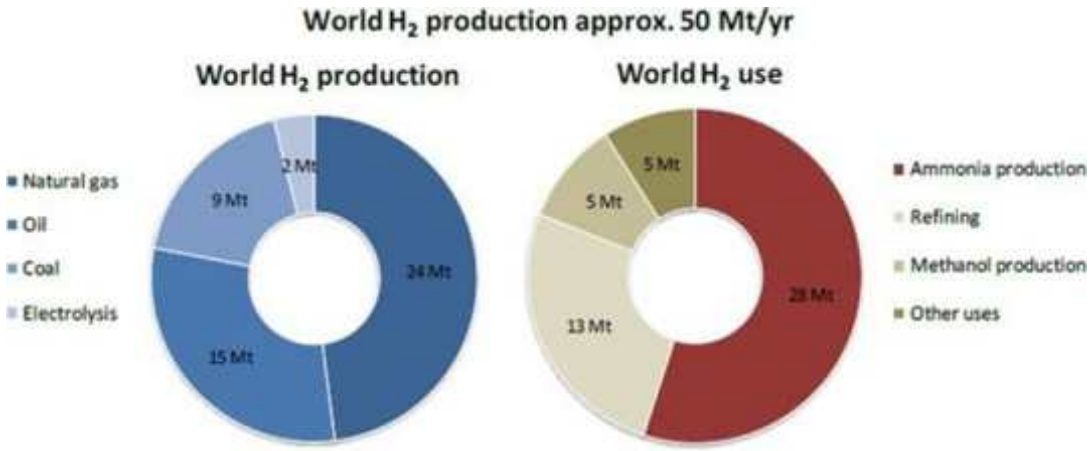
4.6.1 국외 시장 현황

□ 수소시장 확대에 따라 합성가스나 개질가스의 정제 및 고순도 수소 분리시장도 증가할 것으로 전망

○ 현재 세계 수소시장규모는 208억$(자체소비량 230억 포함 총 438억$)로 이중 천연가스, 납사 등 화석연료부터 생산되는 세계 수소량은 95% 이상

○ 쉐일가스의 영향으로 개질가스를 이용한 수소 생산은 지속적으로 증가 예상되며, 이에 따른 개질가스의 정제시장 규모도 증가할 것으로 예상

○ 개질가스뿐만 아니라 바이오가스나 폐기물, 바이오매스, 코크스 등으로부터 수소 생산 규모가 점차 증가할 것으로 전망되며, 이에 따른 합성가스와 바이오가스의 정제시장과 고순도 수소 분리시장도 증가 예상

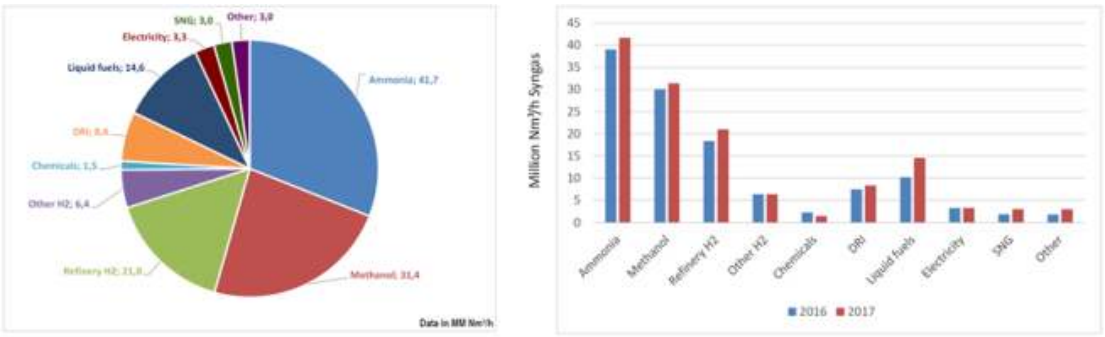


[그림 2-2-75] 세계 수소 생산 및 소비량

(출처: www.innovationtoronto.com, A green, safe, efficient and inexpensive hydrogen production system that operates at room temperature in air, 2016.)

□ 합성가스에서 추출되는 수소량은 점차 증가 추세

○ 2017년 기준 전세계 합성가스 생산 규모는 약 132백만 Nm^3/h이며, 합성가스로부터 수소생산량은 약 27백만 Nm^3/h 정도



[그림 2-2-76] 2016년 및 2017년 전세계 합성가스에서 생산된 수소량 (출처: Chris Higman, GSTC Syngas Database: 2017 Update, Gasification & Syngas Technologies Conference, 2017

4.6.2 국외 시장 분석

□ 합성가스로부터 수소 대량 생산 시장은 이미 상용화 되어 보급 중

○ 천연가스 개질, 바이오매스 가스화를 통해 대량의 합성가스를 생산한 후 수소를 생산하여 이용하는 기술은 이미 상용화되어 보급 중으로 대부분 정유공장에서 소요

○ 기존 대용량 합성가스 정제 및 수소 분리 기술은 대부분 미국, EU의 기술에 의존

□ 저가화, 고효율화에 초점을 맞춘 정제 및 분리설비에 대한 요구 지속적으로 증가

○ 경제성 있고 효율이 높은 정제 및 분리 설비의 보급을 시장에서 지속적으로 요구할 것으로 예상되며, 저가화·고효율화에 초점을 맞춘 기술개발이 진행 및 시장 진입 중

○ 중국 Xebec사의 경우 로터리 형태의 PSA 기술을 개발하여 상용화 진입 중

○ 미국 UOP사의 경우 모듈화된 수소 분리막을 개발하여 상용화 적용 중

4.6.3 국내 시장 현황

□ 국내 시장 현황

○ 2016년 국내 수소 생산량은 약 164만톤으로 대부분 자체 소비되고 약 14%인 23만톤 정도가 외부 유통 및 관계 업체에 판매

○ 국내 생산되는 수소의 주요 용도는 화학공업의 원료물질, 탈황, 포화탄화수소 제조 등 매우 다양하며, 덕양, SPG케미칼, 에어리퀴드, 린데, 대성산업가스 등이 대표적인 제조 및 판매 업체

○ 국내 수소 공급단가는 배관, 튜브트레일러 등 공급방식과 공급량에 따라 달라지며, 대략 kg당 4,000원 내외

<표 2-2-38> 국내 산업용 수소 총 공급가능량 (출처: 에너지공단, 신재생에너지백서, 2016)

업체명	원료공급처	지역	제조방식	생산능력(m^3/h)		
				2014	2013	2012
덕양	한화석유화학	여수	소금물분해	35,000	35,000	20,000
	SK	울산	나프타분해	10,000	10,000	10,000
	삼성정밀화학	울산	소금물분해	15,000	15,000	9,000
	삼성토탈	서산	나프타분해	9,000	9,000	9,000
	태광화학	울산	프로판탈수소	14,000	14,000	7,000
	LG화학	여수	소금물분해	11,000	11,000	-
	백광화학	군산	소금물분해	5,000	5,000	5,000
		여수	소금물분해	1,500	1,500	1,500
	롯데케미칼	서산	나프타분해	3,000	3,000	3,000
		여수	나프타분해	3,000	3,000	-
	삼성BP화학	울산	나프타분해	2,500	2,500	2,500
	덕양*1	울산	NG분해	50,000	-	-
	소계			159,000	109,000	67,000
SPG케미칼	SPG케미칼	안산	메탄올개질	2,000	-	-
	롯데케미칼, LG화학	여수	나프타분해	45,000	40,000	40,000
		대산	나프타분해	10,000	4,000	4,000
	삼성토탈	대산	나프타분해	-	2,000	2,000
	삼성BP화학	울산	나프타분해	3,000	2,000	2,000
	이수화학	울산	프로판탈수소	-	1,000	1,000
	효성	울산	나프타분해	-	1,000	1,000
	소계			60,000	50,000	50,000
에어리퀴드	에어리퀴드1	여수	나프타분해	15,000	7,000	7,000
	에어리퀴드2	여수	나프타분해	38,000	38,000	38,000
	소계			53,000	45,000	45,000
린데	LG화학	대산	나프타분해	9,000	9,000	9,000
	삼성	기흥	CNG개질	1,600	1,600	1,600
	린데	포항	나프타분해	1,200	1,200	1,200
	포스코	포항	코크스	300	300	300
	소계			12,100	12,100	12,100
SDG	대한유화	울산	나프타분해	5,000	6,000	6,000
	태광산업	울산	나프타분해	3,000	-	-
	효성	울산	나프타분해	2,000	-	-
	소계			10,000	6,000	6,000
대성산업가스	대성산업가스	파주	메탄올	2,000	2,000	2,000
창신화학	롯데케미칼, LG화학	서산	나프타분해	3,200	2,800	-
총계				299,300*2	226,900	182,100

*1.2014.7.1.일 완공된 덕양의 수소제조공장에서는 천연가스 개질로 부생되는 이산화탄소를 하루 300톤 공급 가능, 현재는 LPG의 가격이 낮아짐에 따라 공정을 보완하여 LPG 개질 수소제조공정으로 운용중임. 동일 용량의 공정을 1기 증설 중

*2.총 유통가능량: 299,300 m^3/h은 24시간, 년 330일 가동을 기준으로 본다면 211,647톤H_2/년에 해당됨. (출처: 신소재경제신문, 2014.7.1.)

□ 국내의 수소 생산

○ 국내의 경우 주로 나프타분해나 소금물전기분해 또는 천연가스개질 등으로 수소를 생산

○ 이중 나프타전기분해가 54.1 가장 비율이 높고 소금물전기분해에 의한 방식이 22.6%,

천연가스개질에 의한 방식이 17.2%임

<표 2-2-39> 국내 유통되는 수소의 생산공정별 비율

공정	생산능력 (m^3/h)	비율(%)
나프타분해	161,900	54.1
소금물전기분해	67,500	22.6
천연가스개질	51,600	17.2
프로판 탈수소화	14,000	4.7
메탄올개질	4,000	1.3
COG	300	0.1
합계	299,300	100

(출처: 에너지공단, 신재생에너지백서, 2016)

4.6.4 국내 시장 분석

□ 국내의 경우 대부분 국외기술을 도입하여 수소 생산

- ○ 국내 적용되고 있는 수소 분리 설비의 경우, 덕양에서 국내 개발된 기술을 일부 시설에 적용한 것 이외에는 대부분 국외기술을 도입
- ○ 천연가스나 COG 가스로부터 수소 생산을 위해서는 정제 설비가 필요하며, 국외기술을 적용하여 수소를 생산 중

□ 수소 경제시대 진입에 따른 수소 생산시설 국산화 필요성 증대

- ○ 수소 경제시대 진입에 따라, 유통 수소의 생산량을 2040년 526만톤으로 확대하고, 대량 안정적 공급으로 수소 가격을 3,000원/kg 이하로 공급 계획
- ○ 저가의 수소를 대량 공급하기 위해 수소 공급원 다양화, 생산시설 저가화 및 국산화 등이 필요하며, 합성가스로부터 수소를 저가로 생산하기 위해서는 정제 및 분리 설비의 저가화 및 국산화 개발이 필요

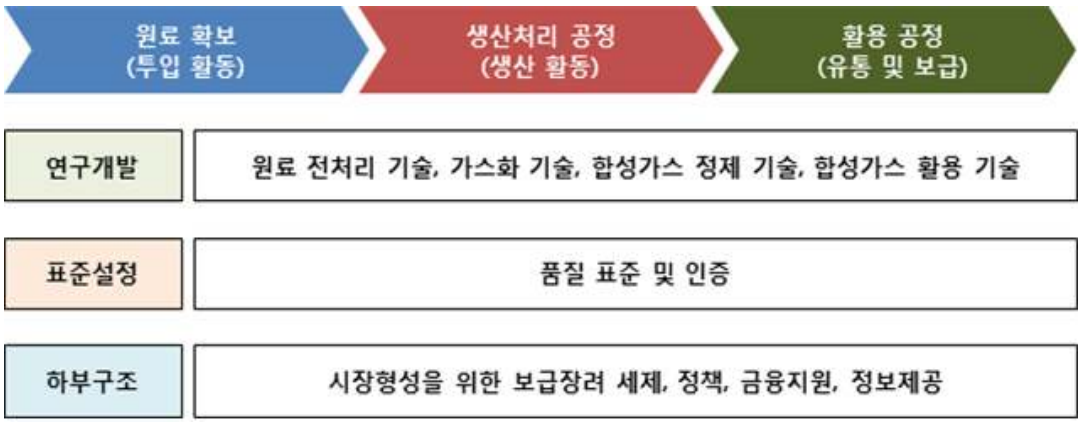
5. 생태적 환경 분석

5.1 세부기술별 Value Chain 분석

5.1.1 합성가스 생산 기술

□ 폐기물/바이오매스/석탄/펫코크 합성가스 활용 플랜트 산업의 가치사슬 구조

- ‘원료 확보(투입 활동)’ → ‘생산처리 공정(생산 활동)’ → ‘활용 공정(유통 및 보급)’으로 구분
- 원료 확보 단계에서는 발생원에서 원료를 수집하여 처리시설까지 운반한 후 저장하는 일련의 과정으로 수행되며, 바이오매스의 경우는 장기적으로 볼 때 바이오매스의 생산 과정을 포함
- 생산 공정 단계에서는 선별, 파쇄, 건조 등의 전처리 과정과 가스화를 통한 합성가스 생산 과정 그리고 최종 활용처의 품질 요구사항에 맞게 오염물질을 처리하는 합성가스 정제과정으로 수행
- 활용 공정 단계에서는 가스엔진, 가스터빈, 증기터빈 등을 통한 전기 생산과 에탄올, 메탄올, FT 합성을 통한 화학물질 생산 그리고 전기 및 화학물질의 병산으로 구분되며, 정제/전환/변환 등의 과정을 거쳐서 수소를 생산 가능
- 원료 확보의 경우 지자체, 폐기물 중간처리업체, 산림조합, 공기업 등이 수행할 수 있으며, 생산 처리 공정 및 활용 공정은 가스화 플랜트 엔지니어링사, 건설사, 화학기업 등이 수행할 수 있으며, 이러한 가치사슬 일련의 활동이 유기적으로 연결 필요
- 또한 합성가스 생산, 정제, 활용 등 일련의 가치사슬 활동에 대한 연구개발과 가치사슬 전 과정에 걸친 품질 표준 및 인증 활동의 표준 설정 그리고 안정적 시장형성을 위한 보급 장려, 세제, 정책, 금융지원, 정보제공 등의 기타 하부 활동이 포함



[그림 2-2-77] 합성가스 활용 산업의 가치 사슬(Value chain)

5.1.2 바이오가스 생산 기술

□ 바이오매스(유기성)로부터 수소 가스 생산 산업의 가치사슬

○ 바이오매스(유기성)로부터 수소 가스 생산 산업의 가치사슬구조는 '원료 확보'→'바이오메탄/수소 생산(생산 활동)→'바이오메탄 개질/고질화' → 활용 및 보급'으로 구분

○ 바이오매스(유기성)로부터 수소 가스 생산 산업의 경우 고농도 유기물을 함유한 바이오매스(유기성)가 대상 원료로 사용되며, 이를 위한 원료확보 필수

○ 바이오매스(유기성) 원료 확보 후 바이오메탄/수소 생산 공정을 통해 바이오메탄/수소 발생

○ 바이오가스에는 메탄, 수소, 이산화탄소, 암모니아, 황화수소, 수분이 주로 존재하는데, 생산된 바이오가스의 가스발전 및 연료전지 적용을 위해서는 이산화탄소, 암모니아, 황화수소, 수분 제거가 필수적이며, 이를 위한 바이오가스 고질화 단계가 필요하며, 또한, 생산된 바이오메탄의 수소로의 전환을 위해서는 개질 단계가 필요

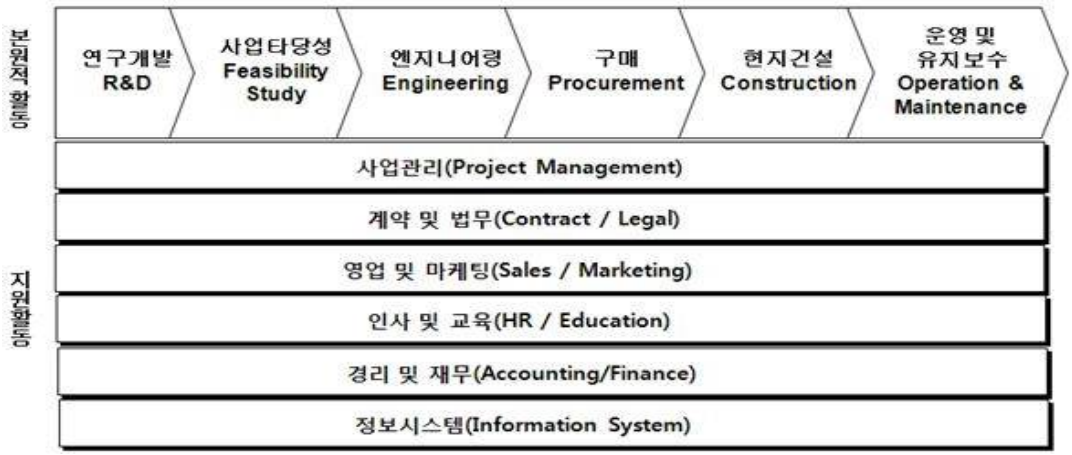
○ 바이오매스(유기성)으로부터 생산된 수소는 가스 발전을 통해 전기 및 열을 생산하고, 이는 소내 전력 및 인근 주민들에게 공급되어 사용



[그림 2-2-78] 바이오가스 활용 산업의 가치 사슬(Value chain)

5.1.3 잉여전기 활용 수소 생산 및 산소 활용 기술 (P2G)

○ 일반적인 플랜트 산업에서의 가치사슬은 그림과 같으며, 기본적으로 P2G 플랜트도 가치사슬에서의 본원적 활동과 지원활동으로 구분



[그림 2-2-79] 플랜트 산업의 가치사슬

(출처: 해외플랜트 산업 EPC와 중소기업 기자재 상생, 국토메일, 2012.10)

○ P2G 플랜트 가치사슬의 본원적 활동에서 약점으로 꼽히는 것은 사업타당성 및 엔지니어링 경험이 부족하며 이를 연구개발을 통한 테스트베드 건설과 운영으로 보완 가능

○ 현지 건설은 그 동안의 많은 경험 축적으로 강점으로 꼽을 수 있으며 운영 및 유지보수 부분에서는 IoT/빅데이터 활용과 같은 첨단 운영시스템을 도입할 수 있는 장점 보유

○ 전체적인 지원 활동에서 국내 EPC 사의 기반은 갖추어져 있으며, 결국 연구개발과 엔지니어링 경험만 확보 된다면 시장 진입의 가능성이 높다고 판단

5.1.4 개질 및 변환 기술

○ 수소를 대량 생산하기 위해 천연가스의 기존 인프라를 활용하여 저비용으로 수소연관 사업 참여가 가능

- 천연가스를 배관으로 운송하듯이 수소도 기존의 천연가스 배관을 이용하여 운송 가능하고, 신규 배관망을 구축하여 운송 가능
- 생산된 수소는 천연가스 배관망에 저장하고, 이용시 말단에서 수소를 분리·추출하여 난방용, 온수용, 차량용, 발전용 등으로 사용이 가능
- 한편, 수소를 분리하지 않고 천연가스와 수소를 혼합하여 혼합연료로 HCNG 버스 등에 사용하는 것도 가능
- 또한, 천연가스 개질에 의해 생산된 수소는 이용부문에서 천연가스 개질에 의한 수소를 이용하는 연료전지와 수소-천연가스 혼소 발전소 등이 있어 천연가스 산업은 수소산업과 상당히 큰 연관성 존재

○ 가스업계의 수소사업 및 기술개발사업은 국가적 차원의 수소산업 발전 계획과 방향을 같이하는 구체적인 실행전략이 요구되는 실정

○ 국내 수소사회 구축 방향에 따른 천연가스산업 연관 분야를 아래 그림과 같이 도시 (수소융합얼라이언스추진단, 2017년)



[그림 2-2-80] 국내 수소사회 구축방향과 가스산업 연관 분야

(출처: 수소융합얼라이언스추진단, 수송용 수소연료의 가격 설정 및 수급체계 구축방향, 2017)

5.1.5 정제 및 분리 기술

□ 합성가스/개질가스 정제 플랜트 산업의 가치사슬 구조

○ 합성가스/개질가스 정제 플랜트 산업의 가치사슬 구조는 '흡수/흡착 물질 제조'→'제거 공정'→'후처리 공정'으로 구분

○ 흡수/흡착 물질 제조 단계에서는 합성가스/개질가스에 함유된 산성가스, 분진, 미량성분 등을 효과적이고 에너지소비가 적으면서 수소 생산에 문제가 없도록 제거하는 흡수/흡착 물질을 개발 및 제조하는 것이 관건

○ 제거 공정 단계에서는 개발된 흡수/흡착 물질을 이용하여 산성가스, 분진, 미량성분 등을 제거하기 위한 최적 공정과 운전제어 기술을 개발하고, 흡수/흡착 물질의 재생 또는 재순환 활용을 위한 제반적인 과정을 포함

○ 후처리 공정 단계에서는 재생/재산환 단계에서 발생되는 환경오염물질의 안정적인 처리를 위한 전반적인 과정을 포함

○ 흡수/흡착 물질의 제조/개발의 경우 대학, 연구소, 종소중견기업 등이 수행하며, 제거공정은 엔지니어링사, 중공업사, 건설사 등이 수행하고, 후처리 공정은 엔지니어링사, 중공업사, 중소중견기업에서 수행하도록 하면서, 이러한 가치사슬 일련의 활동이 유기적으로 연결이 필요

○ 또한 일련의 가치사슬 활동에 대한 연구개발과 가치사슬 전 과정에 걸친 품질 표준 및 인증 활동의 표준 설정 그리고 안정적 시장형성을 위한 보급 장려, 세제, 정책, 금융지원, 정보제공 등의 지원 활동 포함이 필요

□ 수소 분리 플랜트의 가치사슬 구조

○ 수소 분리 플랜트의 가치사슬 구조는 '소재 제조'→'분리 공정'으로 구분

○ 소재 제조 단계에서는 에너지 소비가 적고 고효율로 수소를 분리하는 소재와 내구성이

우수한 모듈을 제조 및 개발하는 것

- ○ 분리 공정 단계에서는 소재 및 모듈을 이용하여 고순도 수소를 분리하기 위한 최적 공정과 운전제어 기술을 개발하는 과정을 포함
- ○ 소재/모듈 제조의 경우 대학, 연구소, 종소중견기업 등이 수행하며, 분리 공정은 엔지니어링사, 중공업사, 건설사 등이 수행하면서, 이러한 가치사슬 일련의 활동을 유기적으로 연결함이 필요
- ○ 또한 일련의 가치사슬 활동에 대한 연구개발과 가치사슬 전 과정에 걸친 품질 표준 및 인증 활동의 표준 설정 그리고 안정적 시장형성을 위한 보급 장려, 세제, 정책, 금융지원, 정보제공 등의 지원 활동 포함이 필요

5.2 세부기술별 국내 Supply Chain 분석

<표 2-2-40> 합성가스 생산 기술 국내 Supply chain

분야	업종	기업	중소/중견기업 공유 가능 여부
합성가스 플랜트	EPC	한라산업개발	
		대우건설	
		현대건설	
		대림산업	
		포스코건설	
	설계/건설	한솔이엠이	
	합성가스활용	롯데비피화학	초산생산에 활용 가능
	연구개발	고기원	
		에기연	
연료 전처리/공급	전처리 설비, 공급 설비	영진기계	상용급 합성가스 플랜트에 국내 기자재 활용으로 사업성과물 중소/중견기업 공유 가능 분야
		서흥인테크	
		슈레텍	
		성안기계	
		한라산업	
	산소, 질소	대성산업개발	
	연구개발	고등기술연구원	
		에너지기술연구원	
가스화	EPC	포스코건설	
		코오롱글로벌	
		대우건설	
	엔지니어링, 가스화기 제작	한라산업개발	
		한솔이엠이	
		ATS	순산소 가스화기 제작 가능
	분류층(건식/습식), 고정층 가스화 연구개발	고등기술연구원	
		에너지기술연구원	
		생산기술연구원	
합성가스 정제	EPC	대우건설	
		현대건설	
		포스코건설	
	저온탈황	롯데비피화학	상용급 합성가스 플랜트에 국내 기자재 활용으로 사업성과물 중소/중견기업 공유 가능 분야
	필터	필텍	
		두리FS	
	전기집진	KC코트렐	
	엔지니어링, 반응기 제작	CES	
		CGT	
	연구개발 (저온탈황/고온탈황 등)	전력연구원	
		고등기술연구원	
		에너지기술연구원	
합성가스 활용	가스엔진 발전	대우파워	
		테너지	

		하나티이씨	
	SNG	가스공사	
		포스코	
	초산	롯데비피화학	
운영/제어/모니터링	각종 제어/계측 시스템	LG산전	
		삼우인스텍	
		동우엔	
		모아정보기술	
		사우엔	
		보성기전	
		동화이앤아이	
		신한 ENG	
	시스템 설치 및 운영	롯데비피화학	
		한라산업개발	
소재/부품	내화재	조선내화	상용급 합성가스 플랜트에 국내 기자재 활용으로 사업성과물 중소/중견기업 공유 가능 분야
		원진	
	촉매	코캣	
	버너	컴버스텍	
	필터	필텍	
		두리FS	

<표 2-2-41> 바이오가스 생산기술 국내 Supply chain

분야	업종	기업	중소/중견기업 공유 가능 여부
원료 전처리/공급	전처리 설계/제작	현대건설	
		BK	
	연구개발	고등기술연구원	
	원료공급	동우바이오	
		진로발효	
		OB 맥주	
		지자체 환경사업소	
		각종 식당	
바이오메탄/수소 생산	메탄/수소 생산설비 설계/제작	포스코건설(주)	바이오메탄/수소 생산 설비 국내 기자재 활용으로 중소중견기업 공유 가능
		대우건설(주)	
		코오롱건설(주)	
		삼성물산(주)	
		GS건설(주)	
		동부건설(주)	
		한라산업개발(주)	
		효성에바라환경(주)	
		두산중공업(주)	
		삼성비피화학(주)	
		서희건설(주)	
		한솔EME(주)	
	EPC+O&M	㈜에드프라텍	
		㈜정우이앤씨	
		에코데이	
		에코솔루션	
		리텍솔루션	
		유니슨하이테크	
		부광플랜트	
		이지바이오시스템	
		CES	
		울트라텍	
		KNEP	
		이엔텍	
바이오가스 정제	EPC	대우건설	
		현대건설	
		포스코건설	
	연구개발 (저온탈황/고온탈황 등)	전력연구원	
		고등기술연구원	
		에너지기술연구원	

		한국산업기술시험원	
바이오메탄/수소 활용	가스엔진 발전	대우파워	
		테너지	
		하나티이씨	
	연료전지	두산중공업(주)	
		포스코에너지	
		LG	
		STX 중공업	
		미코	

<표 2-2-42> 잉여전기 활용 수소 생산 및 산소 생산 기술 (P2G) 국내 Supply chain

분야	업종	기업	비고
CO_2 포집	화력발전	남부발전, 남동발전	-
	CO_2 포집/이용	에너지기술연구원	
		전력연구원	산업자원통상부 국책과제 수행
		가스안전공사	인증, 법령
		한전기술	
		KC코트렐	
		토다이수	
수전해	PEM 수전해 시스템	엘켐텍	P2G 실증 플랜트에 수전해시스템 공급 및 사업성과물 공유 가능
	알칼라인 수전해 시스템	EM 솔루션	P2G 실증 플랜트에 국내 기자재 활용 및 설계적용으로 사업성과물 중소/중견기업 공유 가능 분야
		NEL-덕양	
	수소정제 시스템	원익메티리얼즈	
		젠스	
플랜트 및 반응기 제작	플랜트 설계	에코프로	P2G 실증 플랜트에 국내 기자재 활용 및 설계 적용으로 사업성과물 중소/중견기업 공유 가능 분야
		에스피이	
		에스씨엔지니어링	
	밸브, 피팅	에스엔에스밸브	
	전처리시설	유성	
	저장탱크, 파이핑	태광메카텍	

<표 2-2-43> 개질 및 변환 기술 국내 Supply chain

분야	업종	기업	중소/중견기업 공유 가능 여부
원료가스 공급, 전처리 및 유틸리티 확보 기술	천연가스 공급	한국가스기술공사	
	바이오가스 공급	수도권매립지관리공사	BF international
	가스 정제	BF international	
	가스 정제	(주)세트이엔지	
	가스 정제	(주)에코에너지	
	가스 정제	한국종합기술	
	CO2 분리	(주)아스페	
	CO2 분리	삼이코포레이션	
	EPC	현대건설	
		대림산업	
		포스코건설	
		CES	
	유틸리티	원익머트리얼즈	
	연구개발	고등기술연구원	
		한국에너지기술연구원	
개질 촉매 개발 및 대량 생산	촉매 연구	한국에너지기술연구원	
		한국화학연구원	
		전남대	

기술		영남대	
	대량생산	RIST	
		희성촉매	
개질기 제작 및 공정 설계	개질기 제작	이노윌	
		(주)신넥앤테크	
		BF international	
	개질공정 설계	(주)제이오	
		CES	
	연구개발	한국에너지기술연구원	
		고등기술연구원	
		아주대	
		한국화학연구원	
수성가스전환공정	연구개발	한국에너지기술연구원	
		고등기술연구원	
		RIST	

<표 2-2-44> 정제 및 분리 기술 국내 Supply chain

분야	업종	기업	중소/중견기업 공유 가능 여부
합성가스 및 바이오가스 고도 정제	EPC	대우건설	
		두산중공업	
		포스코건설	
	탈황	KC코트렐	
		가스기술공사	
		PTK	
	집진	태린	
		금호환경	
		에너지기술연구원	국내 기자재 활용 고유기술 개발 및 기술이전을 통해 사업성과물의 중소/중견기업 공유 가능 분야
		과학기술연구원	
		고등기술연구원	
	연구개발(집진/탈황)	에너지기술연구원	
		과학기술연구원	
		고등기술연구원	
		전력연구원	
수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리	EPC	대우건설	
		두산중공업	
		포스코건설	
	PSA	젠스엔지니어링	
	분리막	에어레인	
	연구개발 (PSA/분리막)	가스공사	국내 기자재 활용 고유기술 개발 및 기술이전을 통해 사업성과물의 중소/중견기업 공유 가능 분야
		에너지기술연구원	
		고등기술연구원	
		과학기술연구원	
		화학연구원	

5.3 주요국 세부기술 분야별 업체 현황

<표 2-2-45> 합성가스 생산 기술 해외 주요 업체 현황

세부과제명	세부기술명	주요 업체	비고 (특기사항, 참고사항 등)
합성가스 생산 기술	원료 균질화를 위한 전처리 기술	• 스위스 : AVA (hydrothermal carbonization) • 네덜란드 : BTG, Topell Energy, Andritz/ECN, Biolake (torrefaction) • 영국 : CDS, Rotawave (torrefaction) • 미국 : Earth Care Products Inc., Buhler, Agri-tech Producers, New Biomass Energy, Wyssmont (torrefaction) • 스웨덴 : BioEndev/ETPC (torrefaction) • 벨기에 : 4Energy Invest, CMI-NESA (torrefaction)	
	폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술	• 독일 : Lurgi BGL, CHOREN, Shell • 영국 : Foster Wheeler, Proactive Energy Management, Energos • 오스트리아 : Gussing, Austrian Energy & Environment, Pyroforce, Repotec • 덴마크 : Babock & Wilcox • 핀란드 : Novel, ANDRITZ Carbona • 이탈리아 : CCT • 스웨덴 : Bioneer, TPS • 미국 : Chemrec, PRME, Beltran, PHG energy, MTCI ThermoChem, FERCO, MaxWest Environmental Systems Inc. Neterra, Rentech • 캐나다 : RLC, Enerkem • 일본 : Ebara, JFE • 중국 : JAE, Nine Environmental Protection Science Technology	
	펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	• 미국 : GE Energy, CB&I • 유럽 : Shell, Uhde, Siemens • 일본 : MHPS • 중국 : ECUST, TPRI	• 석탄가스화 기술을 펫코크 가스화에 적용 가능 • 펫코크의 경우 습식(슬러리) 공급 방식이 보다 타당하지만 건식 공급 방식도 적용 가능

<표 2-2-46> 바이오가스 생산기술(혐기소화 기술) 해외 주요 업체 현황

세부과제명	세부기술명	주요 업체	비고 (특기사항, 참고사항 등)
바이오가스 생산 기술	전처리 기술	• 독일 : Malchin, Munchen (펄퍼 기술을 이용한 음식물류 폐기물 전처리) • 영국 : Walpole (펄퍼 기술을 이용한 음식물류 폐기물 전처리) • 스위스 : AVA (hydrothermal carbonization) • 프랑스 : Veolia (hydrothermal preatreatment)	
	바이오메탄/수소 발생 공정 기술 개발	• 미국 : Biogas Energy Inc. POWER-X, Microgy Inc. • 일본 : ㈜에바라, ㈜ 카와사키중공업, ㈜Hitz 히타치조선, ㈜오사카가즈, ㈜ 타쿠마 • 유럽 : Strabag Umweltanlagen, GmbH, Valorga International, Schmack Biogas Ag, Kompogas AG, Biotechnische, Abfallverwertung, OWS, Arrowbio, BTA, Entec, Linde, Novatech	• 생산된 바이오메탄은 개질을 통한 수소 생산 공정 활용 • 바이오가스 생산 공정을 통한 생물학적 수소 생산
	바이오가스플랜트 부생 암모니아 수소 생산 기술	• 일본 : 오히타 대학, 니폰 쇼쿠바이 • 미국 : 뉴욕 주립대	• 바이오가스 플랜트로부터의 고농도 암모니아로부터의 수소 발생 기술은 원천 기술 개발 수준으로 실용화를 위한 운전 인자 확보에 활용 가능

<표 2-2-47> 잉여전기 활용 수소 생산 및 활용 기술(P2G) 해외 주요 업체 현황

세부과제명	세부기술명	주요 업체	비고 (특기사항, 참고사항 등)
잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	재생 에너지원 활용 수소 생산 기술 개발	AccaGen(CH), Acta(IT), Avalence(US), ELT(DE), H2Logic(DK), **Hydrogenics(CA)**, PERIC(CN), PIEL(IT), Sagim(FR), Statoil Hydrogen Technologies(NO)* **SIEMENS(DE),** H-Tec Systems AccaGen(CH),CETH(FR), Giner(US),h-tec(DE), Helion(FR), Hydrogenics(CA), **ITM Power(GB), Proton Energy Systems(US)****	• 알칼라인 수전해 기술 ** PEM 수전해 기술 고딕체는 메이져사
	P2G 플랜트 산소 활용 기술	AccaGen(CH), Acta(IT), Avalence(US), ELT(DE), H2Logic(DK), **Hydrogenics(CA)**, PERIC(CN), PIEL(IT), Sagim(FR), Statoil Hydrogen Technologies(NO)* **SIEMENS(DE),** H-Tec Systems AccaGen(CH),CETH(FR), Giner(US),h-tec(DE), Helion(FR), Hydrogenics(CA), **ITM Power(GB), Proton Energy Systems(US)******	• 산소 활용 기술의 기반기술은 수전해 기술로 주요 업체 정보는 수전해 업체
	P2G 플랜트 설계 및 공적 최적화 기술 개발	EXYTRON GmbH, Electrochaea GmbH, Hydronenics, Enertrag AG, ETOGAS, microbEnergy	
	P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술 개발	EXYTRON GmbH, Electrochaea GmbH, Hydronenics, Enertrag AG, ETOGAS, microbEnergy	
	수소 안전/제도	KGS	가스안전공사

<표 2-2-48> 개질 및 변환 기술 해외 주요 업체 현황

세부과제명	세부기술명	주요 업체	비고 (특기사항, 참고사항 등)
개질 및 변환 기술	개질 촉매 및 개질기 설계기술	• 독일: Caloric Anlagenbau, Linde, Mahler • 덴마크: Haldor Topsoe • 미국: Harvest Energy Technology (Air Products), H2Gen (Air Liquide), Pan American Hydrogen, ZTEK Corporation, KBR • 네덜란드: HyGear • 일본: MKK, Osaka Gas • 이탈리아: Nuvera • 영국: Technip, Davy Process Technologies	H2Gen (Air Liquide), Osaka Gas 등을 제외하고, 대부분 대규모 개질기술을 보유하고 있음
	수성가스전환 촉매 및 반응기 기술	• 미국: Alfa Aesar • 독일: Haldor Topsoe	상용촉매 제조기술 보유사

<표 2-2-49> 정제 및 분리 기술 해외 주요 업체 현황

세부과제명	세부기술명	주요 업체	비고 (특기사항, 참고사항 등)
정제 및 분리 기술	합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	• 독일 : Siemens, Lurgi • 네덜란드 : Shell, KEMA • 영국 : Forster Wheeler • 미국 : UOP, Merichem, Eastman Chemical • 일본 : MHPS, Ube	
	수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술	• 프랑스 : Air Liquide • 독일 : Linde, Messer • 스페인 : TECNALIA Research & Innovation • 네덜란드 : HyGear B.V. • 노르웨이 : Norsk • 영국 : BOC, Praxair, Velocys • 미국 : UOP, Air Products and Chemicals, RTI, GTI, Katalistiks International Inc. • 일본 : Showa Denko, MHPS • 중국 : Xebec	

6. 정책적 환경 분석

6.1 국정과제 분석

□ 국내에서 최근 관계부처 합동으로 수소경제 활성화 로드맵 발표

(출처: 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처 합동, 2019. 01)

○ 수소를 중요한 에너지원으로 사용하고, 수소가 국가경제, 사회전반, 국민생활 등에 근본적 변화를 초래하여, 경제성장과 친환경 에너지의 원천이 되는 경제 체제로 전환을 계획

- 새로운 성장동력으로 미래경제의 핵심 + 친환경 에너지 혁명

○ 수소경제 활성화 국가 비전으로서 '세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약'으로 제시

- 수소차·연료전지 세계시장 점유율 1위 달성
- 화석연료 자원 빈국에서 그린 수소 산유국으로 진입

□ 최근 수소경제 활성화 계획 발표(2019년 1월 17일)

○ 혁신성장 관계 장관회의(2018년 8월 13일)에서 전략투자 방향으로 3대 전략 투자분야 선정

- 1) 데이터, 블록체인, 공유 경제, 2) AI (인공지능), 3) 수소경제

○ 산업부, 기재부, 과기부 등 관계부처가 참여하는 수소경제 추진위원회 구성

- 수소경제 활성화 계획 총괄 전문위 (산학연 전문가 30여명 참여)
- 생산, 저장/운송, 활용-1(수송), 활용-2(발전/산업)에 이르는 총괄적인 수소경제와 관련된 계획 수립 중

□ 정부차원에서 추진된 플랜트 산업 관련 지원정책과 중장기 계획

○ 2007년 이후 다양한 계획이 발표 추진됨.

- '박근혜 정부 10대 국정과제' (2013. 02)
- '엔지니어링 산업진흥 기본계획 (2012-2016)' (2012)
- '해양플랜트산업 발전방향' (2012)
- '엔지니어링 산업 발전방향' (2010)
- '플랜트 수주 확대 및 경쟁력 제고방안' (2009)
- '해외플랜트 수주동향 및 지원시책' (2007)

○ 플랜트 수수확대 및 경쟁력 제고방안(2009)의 세부내용에서 추진/미추진된 내용을 아래 표로 정리

<표 2-2-50> 플랜트 산업 분야별 주요 정부 지원 사업추진 내용

분야	세계시장 전망	우리 기술수준	중점 개발기술	이후 사업추진 내용
① Oil and Gas	·세계 Oil&Gas 수요 증가 ·플랜트 발주 지속 증가전망('10년 세계시장규모 846억불 전망)	·주요 플랜트 원천기술 미보유	·가스액화 및 합성공정(GTL) 기술	·국토부 기획만 수행 ·소규모 산업부 사업(-'17) 종료
			·FLNG 등 플랜트 기본설계기술	·국토부 LNG플랜트사업단 사업(-'20) 종료 예정
② 담수	·물부족 현상심화 및 유가 상승으로 수요 급증 ·'10년 69억불 전망	·증발식: 세계 1위 ·역삼투식:분리막 등 일부기술만 확보 ·핵심기자재 국산화율 저조	·중발식이 아닌 역삼투식 원천기술 개발	·국토부 해수담수화사업단 사업(-'18) 종료
③ 원전	·현재 전세계 440기 정도 ·'30년까지 약 310기 신규건설 전망('08, IEA)	·해외기술 도입 국산화 후 자체기술화	·한국형원전 설계, 제작, 건설, 운영기술	·한국형 원전기술 해외수출
④ 화력발전	·발전플랜트는 세계플랜트시장의 50% 차지 ·신흥국의 전력 수요 증대로 지속성장 예상	·현존 세계 최고수준의 火電 기반기술 획득 ·상용화 미실현	·초초임계형(USC) 고효율 석탄발전기술	·USC기술 국산화 사업 결과물을 1 GW급 건설
⑤ 석탄 가스화 복합발전		·설비 제작기술 경쟁력 有 ·상용화 설계능력 부족	·300MW급 IGCC 발전플랜트 기술 ·국내고유 가스화기술	·IGCC사업단('06-'17) 통한 태안 300 MW급 IGCC발전소 건설 운영 중
⑥ 해양	·원유가격 하락, 셰일가스 부상으로 시장 축소 ·극한지역 특수시장은 확대 예상	·해양플랜트 고부가가치 플랜트분야는 국내 중공업 3사가 경쟁력 확보 ·자체 고유기술 미흡으로 고부가가치화 실패	·심해 원유채굴선, 천연가스 선박에서 변환 플랜트 등	·해양플랜트 부품기술개발 지원

○ 2009년 계획된 플랜트 중점분야에서 가스액화와 GTL을 제외한 분야는 집중 지원이 되어 결과를 도출

- 가스액화: 국토부의 타 기획에서 수소액화 별도 추진으로 본 기획에서는 제외
- GTL(Gas-to-Liquid): 산업부의 소규모 파일롯급 결과를 보고 다음 단계를 추진할 예정이었으나 미추진

6.2 국내외 트렌드 분석

□ 에너지플랜트는 원유, 천연가스, 석탄 가격 변화에 민감한 분야로 상호 보완적 관계

○ 미국 셰일가스 대량생산과 2014년부터 유지되고 있는 저유가는 에너지플랜트 건설시장의 투자 감소를 유발하여 대규모 사업은 당분간 예전 수준을 회복하기가 쉽지 않을 전망

○ 에너지수요가 급증하고 있는 개발도상국들에서는 자국 내 가용한 값싼 자원을 활용하여 늘어나는 전기 등 에너지수요에 대응하려는 수요는 매우 커지고 있는 상황

○ 하지만, 이를 수용할 저렴하고 신뢰도 있는 기술은 아직 체계적으로 취합 사용화 되지는 못하고 있는 실정

□ 기후변화 대응 신기후 체제 급속 진입 시작

○ CO_2 저감 의무화/강제화 추세

* 미국 및 EU는 이미 신규 석탄화력 발전소 건설은 반드시 CO_2 포집 저감에 대한 대안을 제시해야만 하는 쪽으로 진행되고 있으며, 신규 석탄 화력에 대해 CO_2 발생 기존 대비 50%이상 저감 의무화 추세가 시작

* 기존 환경오염물질로서 규제 대상이었던 SO_x, NO_x, 미세먼지 등에 대한 강화된 기준 적용 추세가 시작되었는데, 중국은 자국 내 심각한 대기오염 문제로 저감과 청정화가 강화되고 있으며 한국도 PM2.5 미세먼지 저감에 강화된 기준이 2018년부터 적용 시작이 예상

○ 풍력, 태양광 등 재생가능에너지원 확대

* 국제에너지기구가 발표한 2015년 전 세계의 전기 생산량을 보면, 석탄발전 39%, 신재생 에너지가 23%이고, 2021년에는 신재생에너지의 점유율이 28%에 달할 것으로 예상, 특히, 2021년이 되면 신재생에너지를 통한 전기 생산량이 7,600 TWh로 증가가 예측되는데 이 규모는 미국과 유럽연합(EU)에서 생산된 전력을 합친 수준의 양

○ 석탄 등 화석연료 사용 시 지속가능성 강조되는 추세

* 지구환경에 부정적 영향을 적게 주는 지속가능한(sustainable) 물건과 서비스가 강조되는 사회에 점차 진입하고 있으며, 인도와 아프리카 등 개발도상국에서도 이에 대한 인식이 고조되고 있으므로 에너지플랜트 건설시 매우 중요한 고려사항

○ CO_2 포집 자원화 (Carbon Capture & Utilization) 부각

- 지구온난화를 저감하기 위해서 CO_2를 적게 배출하는 고효율 에너지플랜트를 넘어서 발생하는 CO_2를 포집하여 유용한 물질로 변환 활용하는 기술개발과 실용화에 대한 관심이 급격히 높아지고 있는 추세

- 아직 CO_2 포집 자원화 단계에서 에너지와 비용이 너무 많이 소요되어 기존 방식대비 경제성이 없으므로 이를 극복하려는 노력이 이루어지고 있는 상황

○ 심지어 미국 캘리포니아 주에서는 포도주 생산 발효과정에서 발생되는 CO_2를 포집하여 calcium carbonate (분필 원료)를 생산하는 실제 공정이 시험되는 등 이전에 생각했던 시기보다 실제 작은 규모로도 실용화 적용되는 사례가 앞으로 5~10년 사이에 크게 증가할 것으로 확실히 전망

□ 저유가 시대 지속에 따른 에너지 분야 변혁 예고

○ 미래 저유가 지속 여부에 따라 미래 에너지플랜트 건설시장의 방향 변혁 가능

- 미래 원유가 예측은 아래 상충되는 대표적 논리에 따라 이루어지지만, 원유 생산국가가 석탄, 폐기물 등 자원 대비 제한된 관계로 이들 국가의 정치군사적 등 예측 못할 상황 발생 시 매우 불규칙
- '석유수요 증가세 급속 둔화에 따른 저유가 지속 가능성' vs. '원유 개발투자 감소로 공급능력 부족으로 중단기적 원유가격 상승 가능성'이 작용



[그림 2-2-81] 1946~2016년 기간의 원유가격 변동 추이
(출처: http://www.tradingeconomics.com/commodity/crude-oil)

○ 국제 정치적 요인 등에 대비한 최악의 시나리오 대응 능력 보완이 요구되는 추세

- 한국과 같이 1차 에너지원을 96% 수입하는 경우에는 최악의 시나리오를 가정하여 에너지설비를 준비함이 필요하고 이러한 방향이 기술개발과 에너지원 확보 측면에서 고려 필요
- 자국 내 보유한 저급 에너지자원 활용 타당성 조사가 인도, 터키, 폴란드, 남아공 등 OECD 국가 외 여러 나라에서 심도 있게 진행 중

○ 석유수요 둔화와 전기수요 증가 가능성에 대한 대응 필요

- 세계적으로 석유수요 증가세가 예상보다도 빠른 속도로 둔화되고 있다고 보고되고 있는데, 자동차 연비의 향상과 전기차 등 석유 대체 에너지의 확대가 주요 요인으로 분석

- 전기수요는 선진국과 개발도상국을 망라하여 지속 증가가 확실시되며, 수요자 인근에서 공급하는 분산형태가 확산 예상

□ 재생가능에너지의 실제 적용과정에서 시행오차 발생 및 조정 단계

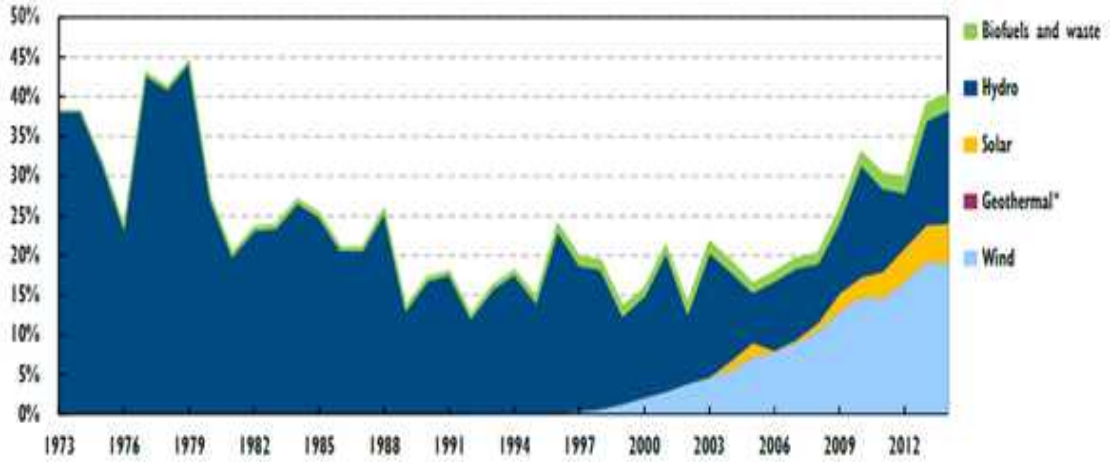
○ 보조금에 의한 재생가능에너지 확대의 한계

- 스페인의 경우를 보면, 풍력과 태양광에서 전기를 생산하는 회사들은 2013년까지 재생가능에너지 생산 전기에 대한 높은 보조금으로 두 자리 수의 투자회수율(Return on Investment)을 거두었지만 이는 국가재정에 큰 부담이 되어, 2013년 7월 투자회수율을 기존과 신규 재생가능에너지 전기생산업에 각 7.4%와 7.5%의 상한 설정하여 시행
- 스페인의 풍력/태양광 전기에 대한 FIT(Feed in Tariffs) 금액은 총 2,000억 유로로 2014년부터 20년간 1,430억 유로 소요 예상

(출처:https://stopthesethings.com/2014/06/02/spains-renewable-energy-disaster- draws-to-a-close/)

○ 스페인의 풍력발전 설비 용량은 22,988 MW이며, 2015년 이후 신규설치 사례는 없는 것으로 조사

- 스페인 정부는 태양광 파크에 투자시 14%/년 투자회수율을 약속하고 미국 등 투자 유치
- 스페인의 태양광 발전량은 2007년 53 GWh에서 2010년 313 GWh로 크게 증가하였으며, 2016년 1분기 전기생산 123,692 GWh는 풍력 23.6%, 수력 20.4%, 태양광 3.1%, 태양집광 1.9%, 원자력 22.7%에서 생산



[그림 2-2-82] 스페인의 1차 에너지원에서 재생가능에너지 원별 퍼센트의 1973-2014년 변화 추이 (출처: Energy Policies of IEA Countries - Spain 2015 Review, IEA, 2015, p.125)

○ 신재생에너지원 + ESS 시스템 상용화까지 상당한 비용과 기간 소요가 예상

- 한국에서 중점 개발되고 있는 신재생에너지원 + ESS는 경제성 있도록 개발되면 매우 바람직한 방향이지만, OECD 국가 등 선진국 외 개발도상국에 적용되려면 상당한 시행오차와 저렴화 단계가 필요
- 개도국 등 투자재원이 부족한 지역에는 적정한 기술개발 이후에도 실제 적용까지는

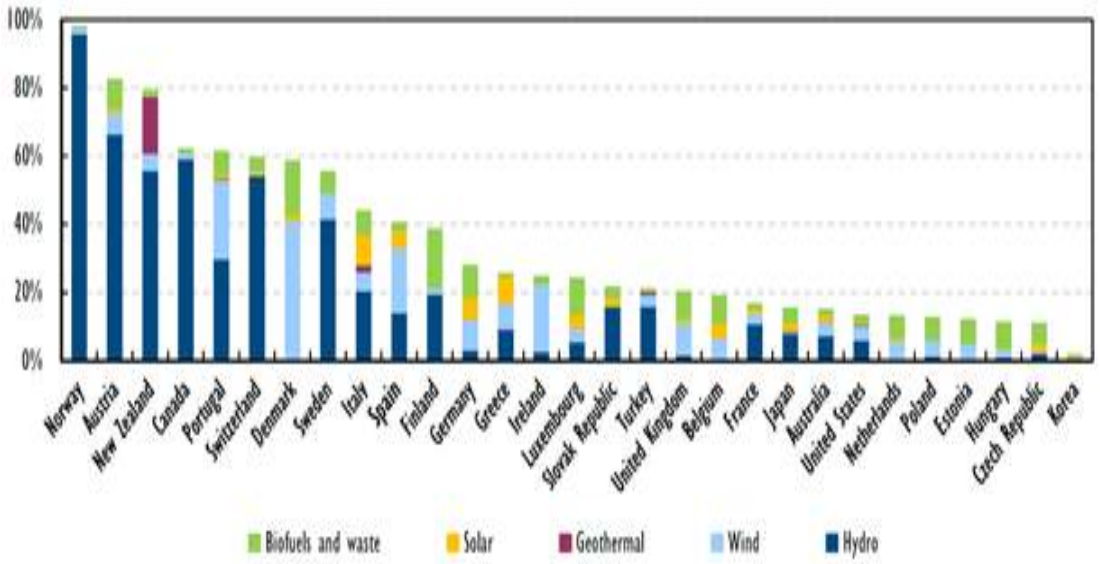
상당한 기간 소요가 예상

○ 개도국들의 신재생에너지 건설비용 상당기간 부담 어려움 지속

- 개도국들은 소규모 저렴한 태양광, 폐기물 등 신재생에너지원 개발 이외 선진국의 재생가능에너지를 본격 활용하기에는 아직 고가인 관계로 폐기물, 폐바이오매스 등 자국 내 가용한 에너지원을 저렴하게 에너지화하는 신재생 플랜트 설비에 많은 관심

○ 한국은 재생가능에너지가 세계 평균치에 도달하려면 상당한 보조금과 에너지원 확보가 관건

- 한국은 OECD 국가 중 재생가능에너지를 통한 전기생산 비율은 거의 꼴찌 수준이면서 이 전기도 거의 대부분이 폐기물에서 생산되는 양



[그림 2-2-83] 주요 국가별 전기생산량 중 재생가능에너지에서 생산 비율 (2014년 자료) (출처: Energy Policies of IEA Countries - Spain 2015 Review, IEA, 2015, p. 126)

□ 자국 에너지자원 활용 에너지 자급률 확보 신보호주의 확대

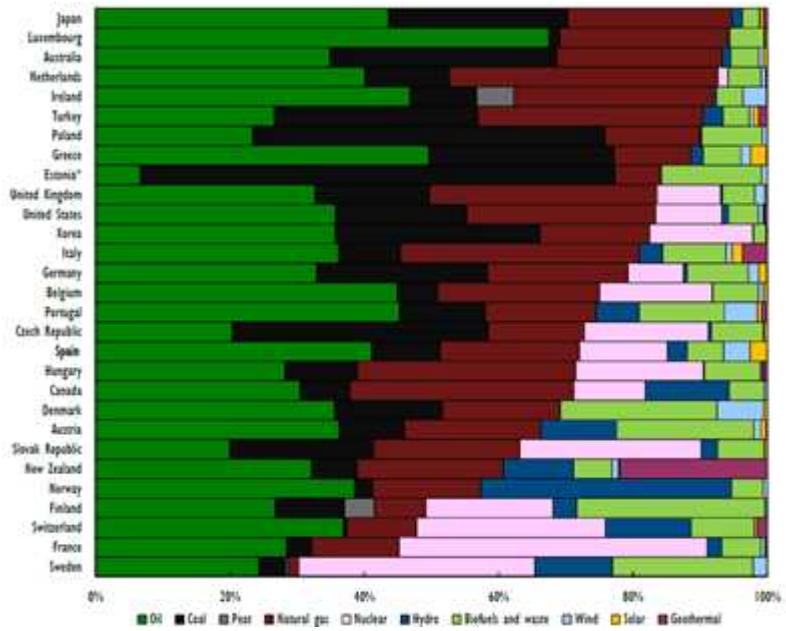
○ 자국 내 저렴한 에너지원 활용도 제고를 통한 에너지 해외의존도 저감과 자국 산업육성 추세

- 셰일가스를 통해 에너지원 가격이 낮게 유지되고 있어 다양한 에너지원을 스폿시장에서 구입함으로써 경제성을 높일 수 있지만 외부에 과다 의존의 불안감은 상존

- 터키, 우크라이나 등의 러시아 천연가스 의존에 따른 수급 불안과 같은 상황을 피하려는 노력이 각국별로 지속

○ 대부분 석탄을 사용하여 합성천연가스화에 관심이 많으나, 투자비용이 많아 실제 구현 사례는 제한적

- 해외 수입에 의존하는 1차 에너지원을 자국 에너지자원으로 대체하려는 욕구는 상존하나, 기술적으로 안정되면서 저렴한 에너지플랜트 기술은 매우 부족한 상태



[그림 2-2-84] 주요 국가들의 1차 에너지 원료별 비중 (2014년 자료)

(출처: Energy Policies of IEA Countries - Spain 2015 Review, IEA, 2015, p. 17)

○ 자국 탄광 폐쇄 어려워 고가라도 사용 원하는 사례(폴란드, 남아공 등)가 다수

- 한국도 경험한 바와 같이 석탄산업 폐쇄 시 발생할 실업과 지방지역 경제약화 등 요인으로 석탄수요 축소 시 상당량의 석탄재고가 발생함을 참고 가능
- 폴란드, 남아공은 매년 남는 자국 석탄을 사용 합성천연가스 등을 생산하여 수입되는 원유나 천연가스를 대체 희망

○ 각국이 보유한 에너지자원은 지금까지 경제적 활용이 어려웠던 저급자원인 폐기물과 바이오매스가 핵심 대상이며, 일부 국가의 경우 펫코크가 대상이 될 수 있고, 장기적으로는 해외에서 석탄이 대상으로 가능

- 자국 에너지원 활용 원하는 대상: (인도, 터키) 회분함량이 40-50%에 달하는 저급석탄, (호주) 호주 북부에 위치한 갈탄과 폐바이오매스, (인도네시아) 채굴이 어려운 지역의 석탄
- 채굴로는 경제성이 아주 부족하거나 전혀 없는 석탄층에 대해서는 미래에는 지중석탄가스화 기술을 적용할 수 있으므로 장기적으로 활용 가능성 모색

□ 지역밀착 분산형(Localized Distributed) 전원시장 본격 시작

○ 지역에 있는 자체 에너지원 사용한 분산형 전원시장에 대한 관심도는 급증

- 주로 천연가스 사용 가스엔진 발전, 태양광/풍력 등 재생가능에너지 발전, 연료전지 발전 등을 통한 중소형 전기 생산을 전기사용자 인근에서 공급하여 전기운반에 따른 투자비 저감 등 효과를 기대하는 방향이 현재의 일반적 추세
- 대용량 기저부하를 대체하는 수요자 인근에서 생산 공급하는 분산전원은 확실한 미래 추세

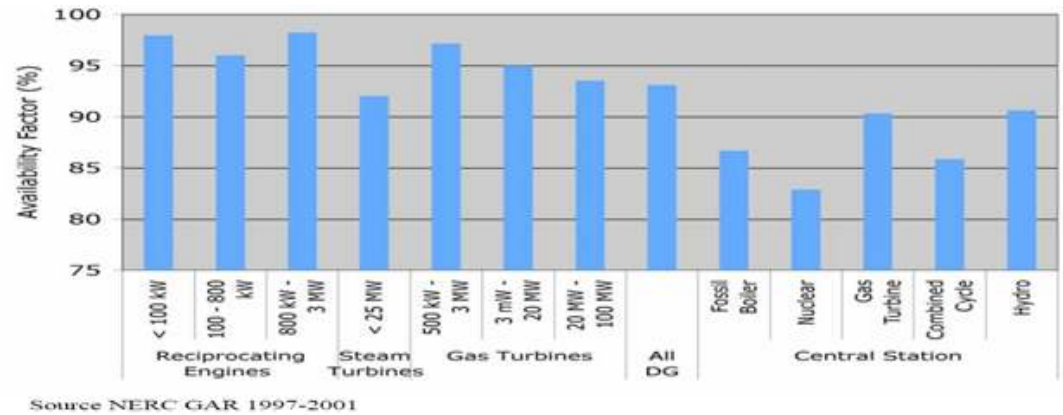
- 지역별 전력생산량과 소비량 불일치에 따른 분산전원 확대 추세
- 국토인프라가 열악한 지역에는 가장 현실적인 방안
- 자국 저급자원인 폐기물, 바이오매스, 펫코크 등 활용이 가능하며, 장기적으로는 석탄도 활용이 가능
- 보다 장기적으로 보면 현재에는 경제성이 완전히 없다고 판단하는 석탄층을 대상으로 하여 지중석탄가스화 기술 적용을 검토 가능

○ 중앙집중식이 아닌 지역밀착 분산형 전기 생산 기술로 풍력, 태양광, 연료전지 외에 가장 현실적 기술은 가스엔진과 가스터빈
- 태양광, 풍력, 연료전지를 통한 전기 생산 투자비는 1,000~6,600$/kW인데 대비하여 가스엔진/가스터빈 방식 투자비는 200~870$/kW로 아직은 저렴
- 가스터빈 방식은 소형이 아직 상용화 보급단계는 아니므로, 가스엔진이 현재 세계적으로 보급 사용 중
- 실제 적용하였을 때 가스엔진 방식의 가용도는 95% 이상으로 중앙집중식의 여러 방식보다 더 안전적 운영이 가능
- 미래에는 수소를 이용한 수소연료전지 방식이 분산전원의 대안으로 부상할 것이 확실

<표 2-2-51> 주요 분산전원 기술간 비교(2000년 자료)

	Engine Generator	*Turbine Generator*	*Photovoltaics*	*Wind Turbine*	*Fuel Cells*
Dispatchability	Yes	Yes	-	-	Yes
Capacity Range	500 kW – 5 MW	500 kW – 25 MW	1kW - 1MW	10 kW - 1MW	200 kW - 2MW
Efficiency	35%	29 - 42%	6 - 19%	25%	40 - 57%
Energy Density (kW/m2)	50	59	0.02	0.01	1.0 - 3.0
Capital Cost ($/kW)	200 - 350	450 - 870	6,600	1,000	3,750
O&M Cost (&/kW)	0.01	0.005- 0.0065	0.001- 0.004	0.01	0.0017
NOx (lb/Btu)					
Natural Gas	0.3	0.1	n/a	n/a	0.003 - 0.02
Oil	3.7	0.17	n/a	n/a	-

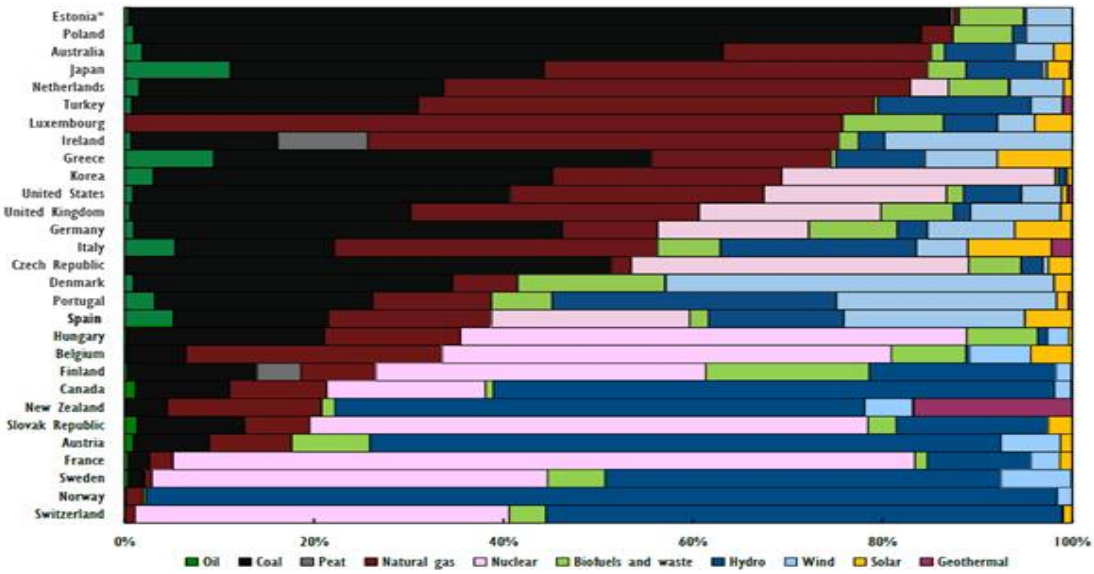
(출처: DPCA (2000) Distributed Power Coalition of America, http://www.dpc.org/)



[그림 2-2-85] 분산전원과 중앙집중식 전기 생산 방식별 가용도(availability) 지수
(출처: NERC GAR 1997~2001)

○ 가스엔진과 가스터빈을 구동하기 위한 에너지로는 연소가 가능한 연료가스 형태 필요
- 연료가스 형태로는 열분해가스, 합성가스, 바이오가스 등이 있는데, 원료 내 탄소성분을 모두 연료가스로 전환하는 방식은 합성가스 방식뿐

○ 각국별 전기 생산 원료는 다양하지만 보유 자원이 없는 경우는 석탄, 천연가스, 원자력이 큰 비중을 차지
- 한국과 유사한 에너지 빈국 상황인 일본의 예와 대비해보면 바이오연료와 폐기물을 활용한 전기 생산 비중의 확대가 필요



[그림 2-2-86] 주요 국가들의 전기 생산 원료별 비중(2014년 자료)
(출처: Energy Policies of IEA Countries - Spain 2015 Review, IEA, 2015, p. 94)

□ 가격경쟁력 위한 에너지원 청정화/저렴화 대체 수요 증가

○ 중국산업계 납사/중유 대체 펫코크 사용에 대응한 국내 산업수요도 증가 추세
- 중국과 제품 경쟁관계에 있는 소성로 등 국내산업계는 중국이 이미 도입하여 저렴한 에너지공급원으로 사용하는 펫코크 사용 청정연료가스 활용을 시도 중

○ 납사/오일을 사용하는 에너지설비를 저급자원(폐기물)으로 대체 수요 증가하나, 기술적으로 책임질 기업 부재
- 유럽 등 해외선진사들 기술을 도입 사용이 가능하나, 전체 플랜트를 책임지고 보증할 기업은 부재

○ 국내 기업 대응 부족 시 관련 산업적용 경험이 있는 중국기업의 한국 진출 및 국내기업의 해외진출 어려움 예상
- 해외기술을 도입하여 사행오차를 겪으면서 경험한 산업 실증 경험이 있는 중국기업들은 한국시장을 통해 국제시장 진출의 실적으로 활용함에 따라 국내기업의 관련 플랜트 분야 해외진출 점차 어려워지는 상황

□ 에너지플랜트 산업의 IT화

○ 원격 서비스, 예지 보전(Predictive maintenance)을 통한 경쟁력 제고 노력이 시작

- 국내 기술의 해외진출 시 유지보수, 수리를 위한 인력파견을 최소화하고 원격으로 한국 등 원하는 지역에서 정보를 획득 처리하고 대응함으로써 인력과 장비의 효율적 운용이 가능
- 건설장비 업계에 활용되고 있는 개별 장비의 상태를 원격으로 파악하는 기법을 에너지플랜트에 원용하여 수출산업의 경쟁력 강화가 가능

○ 한국의 IT 기술 인력과 능력을 접목한 실증사례 조기도출에 대한 필요성 증대

- 국내 흩어져있는 세부기술을 점복하여 실제 상황에서 세밀한 부분들에 대한 점검이 이루어지고 1~3년 기간의 실측경험을 요구

○ 실시간 플랜트 운전 현황을 장소에 상관없이 접속함으로써 공정 오류 및 운전중단 상황 등을 조기 파악하고 조치가 가능

- 센서 및 통신 인프라가 중요하지만 열악한 지역에서도 최소한의 핵심정보를 파악 분석이 되도록 저렴한 방식의 구현이 중요
- 장기적으로는 플랜트에 내장된 센서가 장비의 고장을 파악 또는 예측할 수 있는 자료를 전송하고 이를 통해 최소한의 인원과 비용으로 예방조치를 가능토록 구현

○ IT 기능에 장기간 운전결과를 통계 처리한 Big Data를 접목시켜 플랜트의 운전 이상유무를 조기에 진단하는 기능을 부여하는 체계가 석유화학공장에는 이미 상당수 응용되고 있는 중

- 대형 플랜트에는 비용 투자가 가능하지만 소형 플랜트에 적합한 Big Data 연계방식은 개발 및 실증 필요

□ 중국의 에너지플랜트 분야 기술력 부상

○ 중국 내 건설된 에너지플랜트 시장 경험을 바탕으로 국가 주도 자체기술화를 성공적으로 마치고 해외 건설플랜트 시장 진출 시작단계에 돌입

- 최근 10년간 합성가스 플랜트 건설은 95% 이상이 중국내 시장이었고 이 경험을 바탕으로 단순 건설이 아닌 설계와 운영, 유지보수 등 EPC 전반을 중국기업들이 수주하려 노력하고 있으며 한국에도 진출 초기단계

○ 에너지플랜트 분야는 초기 성공적인 실적이 중요한데 중국이 한국 및 동남아 지역을 선점하는 단계로 한국의 노력이 수년 내에 없으면 중국기업의 독과점 진출이 우려

- 한국 내 산업기반 구축의 동력이 상실되어 에너지플랜트 산업계 전체의 낙후화 우려

6.3 합성가스 생산 기술

6.3.1 국외 정책동향

□ 미국

- 에너지부(DOE) 주관으로 'Wind2H2 project' 진행
- 캘리포니아주는 '배기가스 제로'정책으로 2025년까지 무공해차 판매 비율을 전체 15% 목표 2020년까지 수소차 10만대 보급 및 충전소 최소 100개 구축을 목표로 하여 보조금 지급 계획을 발표
- 미국은 EPACT2005에 전력 생산뿐만 아니라 산업용 측면 모두 포괄하여 가스화 기술의 확산을 가속화시킬 수 있는 조항을 포함
- IGCC 그리고 산업용 가스화 프로젝트에 대해 20% 투자세액을 공제하며 가스화 포함 고급 석탄 기반 전력생산을 장려하기 위해 대출, 비용 분담, 협정 계약 등을 제공하기 위한 Clean Air Coal Program을 포함
- 융자 보증과 세액 공제 등은 산업용 천연가스와 치열하게 경쟁하는 합성가스의 생산을 가능하게 할 것으로 기대
- 가스화 기술의 확산은 미국이 석탄, 바이오매스와 같이 자국의 풍부한 자원을 활용가능하게 하고 에너지 보안을 강화하며 이산화탄소 배출을 줄일 수 있는 기술적 경로를 확립할 것으로 기대

<표 2-2-52> 미국 EPACT2005 주요 내용 요약

구분	절 (Section)	인센티브 (Incentive)	승인 내용 (Authorization)
Energy Policy Tax Incentives	Section 1307	20% 투자 세액 공제 (Investment Tax Credits)	IGCC: 8억 달러 산업용 가스화: 3.5억 달러
Incentives for Innovative Technologies	Section 1701-1704	80% 융자 보증 (Loan guarantees)	필요에 따라 수권펀드 (authorized funds)
Coal	Subsection A (Clean Coal Power Initiative)	최대 50% 비용 분담 (Cost-share Grants)	가스화: 12.6억 달러
	Subsection B (Clean Power Projects)	프로젝트 별 인센티브 (Project-specific Incentives)	필요에 따라 수권펀드 (authorized funds)
	Subsection C (Coal & Related Programs)	최대 50% 비용 분담 (Cost-share Grants)	가스화 및 연소기술에 25억 달러
R&D	Sections 962, 932	R&D, 데모&상업화 에 대한 보조금	석탄: 11.37억 달러 바이오에너지: 3.75억 달러

(출처: Media Clipping & Eastman Gasification Services Company)

□ 유럽연합

- 독일은 국가 프로젝트 'CEP(Clean Energy Partnership)' 시행
- 바이오 폐자원으로부터 친환경 에너지를 생산하는 바이오가스화는 독일, 영국, 오스트리아, 스웨덴 등 유럽국가 다수에서도 주목
- 유럽연합은 "매립지침(Landfill Directive,'99)"을 통해 에너지화가 되는 폐자원에 대한 직매립을 금지하였고, 특히 생분해성 폐기물에 대한 연차별 감축목표를 제시하고 있으

며, 아울러 생분해성 폐기물 매립장에는 매립가스 에너지화 설비를 설치하도록 규정하였고, 가스이용의 경제성을 확보할 수 없는 매립장에도 포집설비와 간이소각시설을 설치하도록 유도

- 영국과 프랑스는 발전차액지원제도(Feed - In-Tariff), 독일은 열병합발전에 대한 발전차액지원제도, 스웨덴과 스위스는 주로 시장주도 발전에 대하여 정책적 지원
- 영국은 하수처리장의 슬러지에서 혐기성 소화를 통해 가스를 생산하지만 독일은 바이오가스 공급원으로 작물을 활용하고 있으며, 스웨덴은 전체 도시의 그리드 기반시설을 갖추기 보다는 바이오메탄을 직접 활용하는 것이 특징
- 독일은 열병합 발전, 네덜란드와 영국은 열에너지 시장이 발전
- 이러한 국가별 차이를 감안하여 유럽집행위원회는 인텔리전트 에너지 프로그램 등 회원국 간 시장개발연구를 수행 중

□ 중국

○ 과학기술부, 공업정보화부 등 정부부처 지원 하에 국가에너지투자그룹 주도로 17개 기업, 기관이 참여한 '중국 수소에너지 및 연료전지산업혁신전략연맹' 출범

○ 중국 국가발전개혁위원회(National Development and Reform Commission)의 공격적인 국가 에너지 절약 및 온실가스 감축 목표 정책으로 가스화 기술 개발과 적용에서 상당히 진보

○ 중국의 제12회 5개년 계획(2011 - 2015)(이하 FYP)에서 중국 정부는 주, 도시 각각 경제 상태에 맞는 목표를 설정하였으며 세금 우대, 에너지 보조금, 다양한 전기요금과 같은 정책의 구현으로 목표를 달성하는데 일조

○ 중국의 특이한 에너지 소비 패턴으로 인해, 대부분의 에너지 저감 프로젝트들이 산업분야에 초점

- 석탄 가스화 산업은 중국 에너지 시스템에서 큰 비중을 차지하는 역할을 수행하기 때문에 가스화 기술 현대화 프로젝트가 프로젝트들 중에서 주요 부분을 차지

<표 2-2-53> 중국 5개년 계획 목표(11회 & 12회)

구분	제 11회 FYP	제 12회 FYP
GDP당 에너지소비 감소	-20%	-16%
GDP당 CO_2 배출 저감	N/A	-17%
주요 오염물질원	-10%	-8%

(출처: National Development and Reform Commission)

□ 일본

○ 경제산업성(METI)과 신에너지산업기술종합개발원(NEDO) 주도 수소사회 진입을 추진 중에 있고, 2020년 도쿄올림픽까지 수소전기차 4만대 보급 목표

○ 2013년 에너지기본계획에 수소사회 명시, 2014년 '수소-연료전지 전략 로드맵' 수립하여 단계별 세부 계획을 실천 중

6.3.2 국내 정책동향

□ 수소차 보급 및 시장 활성화 계획, 미세먼지 관리 종합대책 발표

○ 수소경제 활성화 로드맵을 통해 2040년까지 수소차 620만대 이상, 수소충전소 1,200개소 이상, 연료전지 발전 15GW 이상, 수소공급량 526만톤/년 이상 목표로 설정

□ 폐기물 및 바이오매스의 고효율 환경 친화적 활용의 필요성 증대

○ 우리나라는 1차 에너지의 97% 이상을 해외 수입에 의존하고 있으며 최근 유가가 낮은 가격을 유지하고 있으나 언제 다시 상승할지 모르는 점과 에너지 안보의 측면을 고려하면 폐기물과 바이오매스를 고효율과 환경 친화적으로 활용할 필요성이 점차 증대되고 있으며, 동시에 CO_2 저감을 위한 대안도 요구되는 시점

○ 따라서 폐기물, 바이오매스의 고부가가치 연료화/원료화 및 온실가스감축 효과 증대를 위하여 가스화 기술의 보급 정책이 추진되어야 할 매우 강한 필요성 존재

□ 상용 플랜트의 국내 자체 개발 보급실적은 전무

○ 1990년대 이후부터 본격적인 연구가 시작된 가스화 분야의 경우, 석탄 및 폐기물 가스화 기술, 합성가스 정제 및 이용 기술 등에 대한 Pilot 규모의 연구가 주로 진행되었으며 아직 본격적인 상용 플랜트의 국내 자체 개발 보급실적 전무

□ 정부 정책 연관성

○ 정부는 2030년까지 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 37% 감축 목표

- 폐기물 및 바이오매스 가스화 기술의 경우 에너지화 효율이 높은 기술임과 동시에 이산화탄소 포집 기술 채택에 있어서 가장 경제적인 기술인 점을 고려하면 국가적 온실가스 감축목표에 크게 기여할 수 있다고 판단 가능

○ 2011년 그린에너지 로드맵(청정연료 분야), 2012년 에너지기술개발로드맵(폐기물에너지 분야 및 바이오매스에너지 분야), 2013년 에너지기술비전로드맵(IGCC 분야), 2014년 에너기술이노베이션로드맵(고효율 청정 화력발전 분야) 등에 지속적으로 포함되어 기술개발의 필요성이 제기되어 오고 있는 중

○ 또한 기후변화 대응을 위한 정부 차원의 대응기술 중 하나로 '바이오에너지'기술이 6대 기후변화대응기술로 선정되었으며 관련 기술개발을 위한 국가연구 개발사업과 관련 산업체의 시장 확대에 필요한 지원 활성화를 위한 근거가 마련

○ 국토교통 R&D 중장기 전략(2014)에서 중점 프로젝트로 가스·비전통 자원화 플랜트가 포함

- 또한 고부가가치 영역인 상류부문 진출을 위해 추진방향으로서 핵심 독자기술 경쟁력 확보를 위한 가스플랜트 고도화와 지속적으로 성장 중인 비전통 자원개발 플랜트 건설 실증기술 확보 추진이 필요함이 기술

○ 가스·비전통 자원화 플랜트 내용 중 본 기획용에 해당되는 관련 내용은 아래와 같이 정리 가능

- 가스화에 의해 발생된 생성가스 중에 포함된 황화합물(H_2S, COS), 분진, 질소화합물(NH_3), 할로겐화합물(HCl) 및 수은 등의 불순물을 제거하는 기술로 시스템의 에너지 효율을 향상시키기 위하여 고체 탈황제를 이용한 건식법의 개발이 진행 중
- 미국은 Fuel-Flexible 발전소의 개발에 주요한 초점을 맞추고 석탄을 사용한 경우 2015년까지 60%의 효율 달성이 가능한 시스템 개발을 추진

6.4 바이오가스 생산 기술

6.4.1 국외 정책동향

○ 재생에너지 확보를 Post-2020 新기후체제 대응 및 화석에너지 의존 탈피의 핵심 수단으로 설정

○ 대부분의 국가에서 발전차액지원제도(FIT), 재생에너지 의무할당제(RPS), 바이오연료 생산보조금, 바이오연료 혼합의무규정, 세금 인센티브 등 양질의 유기성 폐자원에너지 생산·보급 유인정책 추진

<표 2-2-54> 국외 국가별 바이오가스 정책 동향

국가	정책
 (EU)	○ 독일, 영국, 프랑스, 네덜란드, 이탈리아, 스웨덴 등이 주도 * 정부 지원 정책으로 바이오가스 생산 및 사용 증가 유도 ○ 현재, 바이오가스 활용을 통해 EU 전체 에너지 생산량의 1%, 전력의 약 2% 생산('30년까지 전체 전력 생산의 최대 4%를 목표)
 (독일)	○ 기초과학의 투자로 세계최고 수준의 과학기술 수준 유지 ○ 「재생에너지법」 제정('00) 이후, 정책적 지원 프로그램을 통해 바이오가스플랜트 산업 본격 추진 * 급격한 시장확대로 많은 전문기업 및 기자재 공급망 형성 * '12년 이후 기존 플랜트의 유지보수, 유지관리 업무 주력
 (영국)	○ 독일에 비해 늦으나 '11년 환경식품농업부와 에너지기후부가 공동으로 '혐기성소화 전략 및 실행계획'을 수립을 계기로 성장 가속 * 주로 가축분뇨와 에너지작물을 이용하여 바이오가스 생산하고 있으며, 상당수의 소화조가 하수처리장에 위치
 (미국)	○ 하수슬러지, 축산분뇨를 활용한 바이오가스화와 매립가스 활용 * 소화조의 대부분은 폐수처리장 내에 설치 ○ 혐기소화조 설치시 방지시설 설치가 법적 의무이고, 바이오가스 발전 전력 판매 규제가 심해 아직은 비활성화 상태 ○ 현재 바이오가스 가격이 타연료에 비해 비싸 사용이 제한적이나, 향후 미국 내 에너지시장의 큰 점유율 차지 예상

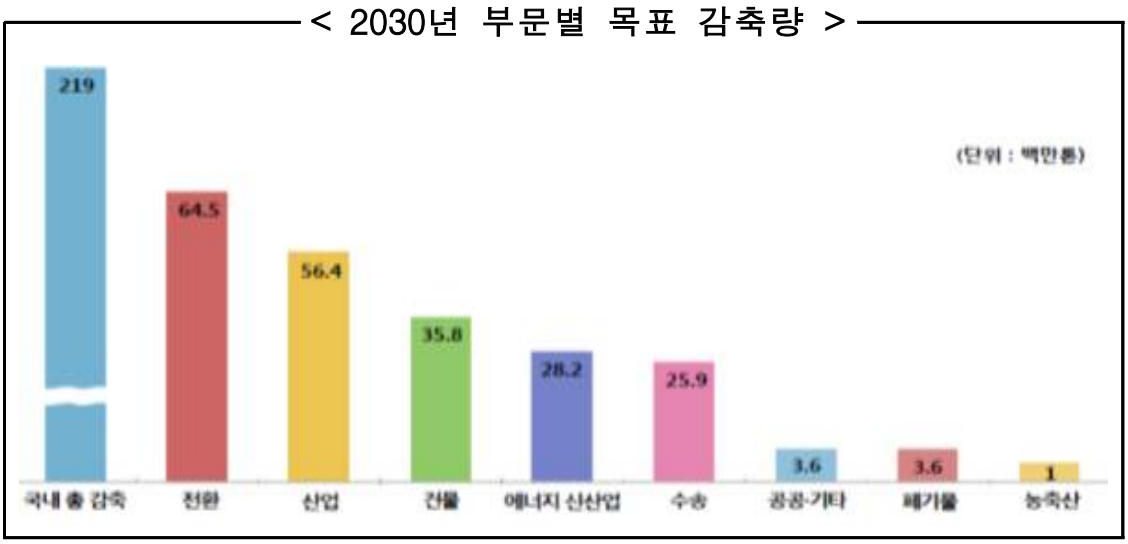
 (일본)	○ 「바이오매스 기본법」을 중심으로 바이오매스 활용 활성화 추진 ○ 원전사고 이후 친환경에너지 사용에 대한 국민인식 변화 및 인센티브 강화 등으로 지역분산형 에너지 자립 추진 * 바이오매스 활성화를 위해 다시 FIT제도 도입

6.4.2 국내 정책동향

○ 「제1차 기후변화대응 기본계획」 수립('16.12), 신기후체제(Post 2020)에 대응하기 위한 중장기 기후변화 대응 전략 및 액션플랜 수립

- 「2030 국가온실가스감축 기본로드맵」 수립('16.12), '30년 국가온실가스 감축목표 37%(BAU대비) 달성 이행방안 확정
- 폐기물 부문은 폐기물 감량화·재활용·에너지화 등으로 '30년 3.6백만톤을 감축(감축률 23%) 목표 설정

○ '20년 만료 예정인 교토체제를 대체하여 적용되는 신기후체제(파리협정, 16.11월 발효)는 기존 37개 선진국에만 온실가스 감축의무가 발생하던 교토체제와 달리 197개 모든 당사국에 감축의무 발생(우리나라는 '30년 37% 감축목표 제시)



[그림 2-2-87] 2030년 부문별 온실가스 목표 감축량

○ 「국정운영 5개년 계획」 수립('17.7), "신기후체제에 대한 견실한 이행체계 구축"

- 온실가스 감축 강화를 위해 폐자원에너지 활성화 등 부문별 감축 강화, 원전 신규 건설계획(추가 6기) 백지화, 노후 원전 수명 연장 금지 등 단계적 원전 감축계획, 분산형 전원(신재생, 집단에너지, 자가발전) 보급·활성화에 대한 체계적인 지원 강화

<표 2-2-55> 바이오가스 분야 비전 및 목표

비전	재생에너지 중심의 지속가능한 자원순환 사회구축		
목표	◇ '30년까지 가용 유기성폐자원의 에너지화 33% 달성 * 국가 신재생에너지 대비 유기성폐자원 에너지화 2.3% 달성		
핵심 가치	< 수요·공급 > 지속가능 경제·사회	< 운영·관리 > 과학기술기반 거버넌스 강화	< 추진·절차 > 국민소통 민간참여 확대
바이오가스 생산량 확대	1 유기성폐자원 통합처리 활성화 2 정화처리시설을 에너지화 시설로 전환 유도 3 시설의 통합관리를 위한 제도기반 구축		
발생에너지의 수요 창출・확대	1 시설 유형별 맞춤형 이용률 개선 2 에너지화시설 폐열회수 의무화 추진 3 경제적 인센티브 강화		
에너지화 시설 운영관리 고도화	1 운영관리 노하우 공유 체계화 2 인력양성 및 컨설팅 전문기관 설립 3 과학기술 기반 운영 관리 고도화 추진		
주민・기업 등 이해관계자 역할 증진	1 친환경에너지타운 조성 확대 2 지역여건에 맞는 민간참여 활성화 3 시설 평가·포상 및 홍보 강화		

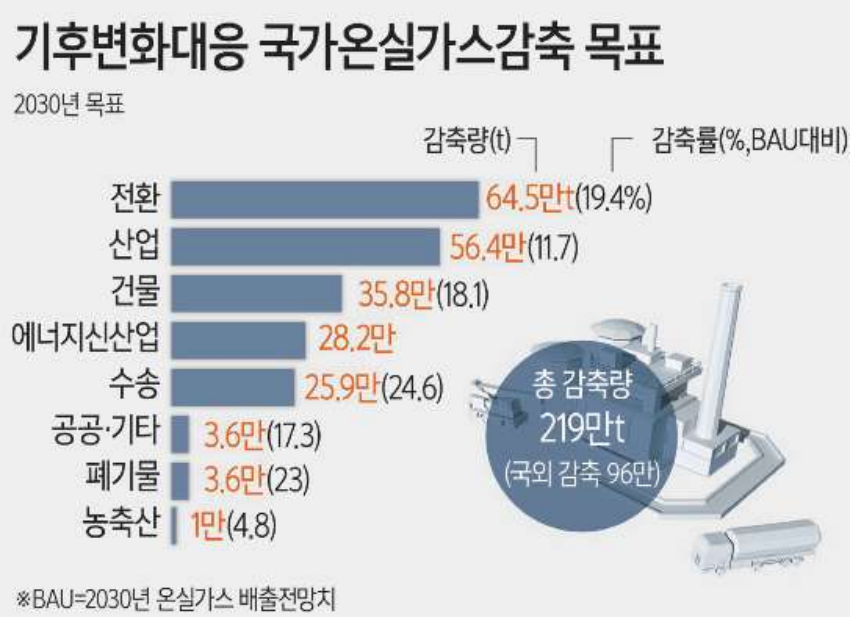
6.5. 잉여전기 활용 수소 생산 및 산소 활용 기술(P2G 기술)

○ 정부는 '2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵'에서 2030년까지 온실가스 배출 전망치 대비 37% 감축 목표를 제시

○ '기후변화 대응 신산업 육성 / 신기술 연구투자 확대' 및 '탄소 흡수·순환 기능 증진' 등을 주요 과제로 제시

○ 국내 신재생에너지 공급 의무비율은 2018년 5%, 2019년 6%, 2020년 7%로 점진적으로 확대

○ 발전소, 산업체 등에서 발생되는 CO_2를 저감하기 위하여 CO_2를 직접 포집·저장 및 자원화하는 기술(CCUS)개발·상용화 추진



[그림 2-2-88] 국가온실가스 감축 목표 (출처: 대한민국 정부, 2016.12.8.)

○ 주요 선진국들은 수소사회로 진입하기 위해 계획 단계부터 실행 단계까지 적극적으로 민간 참여를 유도해 독자적인 패러다임을 구축 중

○ 미국은 셰일혁명으로 가격경쟁력을 확보한 천연가스의 개질을 통해 수소 생산을 확대하고 있으며, 신재생에너지와 천연가스를 이용한 수소 공급 가치사슬을 구축 중

○ 미국 정부는 2015년에 발표한 청정전력계획(Clean Power Plan)에서 2030년까지의 풍력 및 태양광을 중심으로 신재생에너지 비중을 22%에서 28%로 상향 조정

○ 유럽은 풍부한 신재생에너지로부터 생산된 잉여전력을 활용한 수소 생산과 기존의 가스 그리드를 이용한 수소 운송 인프라를 구축 중

○ 일본은 미국, 유럽과는 달리 석유화학 및 제철소 등에서 발생하는 부생수소의 활용 및 해외로부터의 수소 수입에 대비한 대규모 수소네트워크를 구축 중

○ 특히 일본은 2000년대 초반부터 민관협력을 통한 다양한 실증 사업을 진행해 오고 있으며, 2013년에는 에너지기본계획 법안에 '수소사회 실현'을 명문화하는 등 수소산업 육성을 위한 국가차원의 적극적 정책 의지 표명

6.6 개질 및 변환 기술

○ 수소 인프라 확대를 위한 법개정 진행 ('19년~)

- 도심에도 수소차 충전소 도입 가능, '국토 계획 및 이용에 관한 법률' 개정안 논의 중
- 현행법 상 고압가스 시설로 분류되는 수소차 충전소는 공동주택, 의료시설, 학교 인근 설치 불가
- 개정안 통과 시 준주거지역 및 교육시설 인근에도 설치 가능

- 정부는 수소차 보급에 노력, '22년까지 전국 수소차 충전소 310곳 설립, 차량 3,000대 보급 목표

○ 노후차량 운행 금지 예정 ('19년 2월)

- 자동차 배출가스 등급 5등급 차량 대상, 승용차 99만대, 승합차 17만대 등 220만대 추정
- 기존 '05년 이전 등록된 노후 트럭에서 대상 확대, 과태료 부과 예정(수도권에서 전국으로 확대)

○ 정부 & 탈원전 정책

- '17년 탈원전 및 신규 원전 건설 전면 백지화로 원전정책 전면 재검토
- 가장 저렴한 발전단가를 지닌 원자력 에너지보다 친환경에너지 정책에 초점
- 친환경 에너지(태양광, 풍력, 지열발전 등)의 높은 발전단가는 한계

○ 수소 경제(Hydrogen Economy)를 위한 정부정책

- '19.1월 수소경제 로드맵 발표 등 수소 경제(Hydrogen Economy)를 위한 발판 마련
- '22년까지 수소버스 1,000대 포함 수소차 누적 1.6만대 보급 목표, 규모의 경제까지 보조금 유지
- 수소충전소 설치비 15억 (50%) 지원, 저렴한 이동식 수소충전소 설치 허용
- 수소 튜브트레일러 용기용량 360L, 압력기준도 45MPa로 상향 (현재 150L, 35MPa)

○ 2019년 정부의 수소경제 활성화 로드맵

- (부생수소) 석유화학 공정 등의 부산물인 부생수소 활용
- '17년 석유화학 등 공정내 사용량(산업용 Feedstock) 164만톤, 여유 생산능력은 약 5만톤(수소차 25만대 분량)
- (추출수소) 수소 수요처 인근을 중심으로 수소생산기지 구축
- 전국 LNG 공급망을 활용하여 거점형 수소생산기지 구축
- 도심지 LPG, CNG 충전소 또는 CNG 버스 차고지 등을 활용하여 수요처 인근에 소규모 추출형 수소생산·충전소 구축
- (수전해) 재생에너지 잉여전력을 활용한 친환경 수소 생산 확대
- (해외생산) 해외 재생에너지, 갈탄 등 활용 수소생산 및 운송('30~)

<표 2-2-56> 부문별 수소 생산량 예상

구분	현재	2022년	2030년	2040년
구성	①부생수소 ②추출수소	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소, ②추출수소 ③수전해, ④해외생산 ※ ①+③+④ : 50%, ② : 50%	①부생수소, ②추출수소 ③수전해, ④해외생산 ※ ①+③+④ : 70%, ② : 30%
	-	수도권 인근 대규모 생산	해외 수소 활용	CO_2 free 수소 대량 도입
공급	13만톤/年	47만톤/年	194만톤/年	526만톤/年

6.7 정제 및 분리 기술

○ 2019년 1월 정부에서 발표한 수소경제 활성화 로드맵에서 초기 수소경제 이행의 핵심 공급원으로 바이오매스 활용 등 추출수소 생산방식 다양화 등을 추진 계획

- 또한 수소추출기 국산화 및 효율향상 기술개발을 추진 예정으로 합성가스로부터 수소 생산의 핵심기술들인 정제 및 분리 기술의 확보를 위한 다양한 기술의 개발이 추진될 예정
- 수소 생산 단가를 낮추기 위해 정제 및 분리 설비의 저비용화, 고효율화, 국산화, 모듈화 등을 위한 기술개발 추진 필요성 대두

○ 또한 수소경제 활성화 로드맵에서 계획한 해외생산 수소 활용 등을 통해 그린수소 산유국으로 도약하는 계획을 천명

- 해외생산 거점 구축 및 수소 생산·수입을 통해 안정적인 수소 수급과 가격 안정을 위해서는 국외기술과 비교하여 경쟁력 있는 국내 고유기술의 개발 및 확보 중요성 대두

7. 주요 시사점

○ 상기와 같은 대내외 환경 분석, 특히 시장 동향 및 해외 메이저사들의 기술개발 전략 분석을 통한 주요 시사점을 아래 표에 정리

○ 또한 test-bed 규모에 상응하는 주요 대상기업의 분석을 통하여 도출한 핵심 내용 및 주요 시사점을 아래 표에 정리

<표 2-2-57> 시장 동향 및 해외 메이저사들의 기술개발 전략 분석에 의한 주요 시사점

기술명	시장 동향	해외 Major 업체들의 기술개발 전략	주요 시사점
합성가스 생산	- 세계 합성가스 시장 급팽창 중, 고유가 시대 도래 시 더욱 팽창할 것으로 예상 - 중국, 동남아, 인도 등에서 폐기물/바이오매스 활용 분산전원형 가스엔진 발전 플랜트 시장 급속 성장 - 수소 자원 확보로 수소연료전지 분산전원 시장 팽창 예상 - 수십 ~ 수백톤/일급 규모가 주력 시장규모	- CHOREN) 독일 Schwedt에 ∑ 플랜트(160 MW X 4기) 건설 계획 - Lurgi & KIT) Bioliq® 프로젝트로 반경 200km 이내의 바이오매스 자원을 이용한 DME 또는 메탄올 생산 - Enerkem) Mississippi 플랜트 프로젝트 추진(폐기물 10만톤/년) - CB&I) 인도 Jamnagar (펫코크 2만톤/일 처리) 프로젝트 추진 중	- 바이오매스는 수송거리를 고려하여 발생지 근처에서 이용 - 열, 전기를 병행하여 생산하는 것이 효율 극대화 - 안정적인 원료 확보 및 운영 노하우 확보가 중요 - 펫코크의 고유황 특성 상 탈황 기술 확보가 필수
바이오가스	- 바이오매스(유기성) 바이오메탄/수소생산은 에너지 생산관점보다 환경보전 관점에서 다른 바이오에너지 기술에 앞서 시작 적용되고 있음 - 바이오가스화는 2030년까지 세계적으로 바이오가스 플랜트가 건설되고, 선도국가인 독일, 일본, 중국, 인도가 전 세계 시장의 60%를 차지할 것으로 전망 - 유럽연합은 폐기물 매립과 폐자원 에너지화에 관한 정책 Landfill Directive (99/31/EC)와 재생에너지 전력생산에 관한 정책적 지원(Electricity from Renewable Energy Source, RES-E) [6]등을 통해 일찍부터 유무기성 폐기물 매립 최소화 위한 기준 제시	- 독일 Strabac Umweltanlagen GmbH는 2020년까지 유럽, 중국, 캐나다 등지에 9개의 추가 플랜트를 시공 건설하여 810,000 톤을 추가할 전망 - 스웨덴 Schmack Biogas AG는 생산된 바이오메탄의 30%를 자동차 연료용으로 사용하려는 계획에 있음	- 바이오매스(유기성) 바이오메탄/수소 생산을 위해 중앙집중형 및 분산형 플랜트 중심으로 확대되고 있으며, 소규모 분산형 시설 건설이 중요함 - 대량생산체제 속에서도 기술집약적 제품제조 필요 (바이오수소 등 차별화된 원천기술 확립 필수 요소)
잉여전기 이용	- 재생에너지 발전 비중이 큰 유럽을 중심으로 시장 형성 - 탈원전 및 재생에너지 발전 비중이 늘어나는 지역이 잠재 시장(국내 포함) - 지역에 따라서 100kW이하부터 1MW이상 다양한 플랜트 규모의 시장이 존재	- 알칼라인 수전해 방식에서 2010년 이후부터 PEM 수전해 방식의 P2G 플랜트 증가 - 지자체와 협력 에너지 자립 지역 선정하여 재생에너지와 연계한 실증 전략	- 대용량화가 가능한 수전해 기술의 선정이 중요함. - 재생에너지 발전 플랜트 건설 시점부터 P2G 플랜트와의 연계할 수 있는 전략이 필요함.
개질 및 변환	**<개질 촉매 및 개질기 설계 기술>** - 수소의 활용범위 증가에 따라 전 세계적으로 수소 생산원에 대한 관심이 커지고 있음 - 특히, 일본에서는 자국내에서 수소를 생산하거나 호주에서 수입하는 방안으로 로드맵을 작성하였음 - 국내의 천연가스 개질을 통한 수소공급은 계속 증가할 것으로 예상하고 있어 관련 기술에 대한 국산화가 필요함 - 천연가스의 개질기술은 대형규모로 상업화되어 있어 중소규모의 시장은 일본을 제외하고는 아직 활성화 되지 않은 상태임	- 최근에는 전계계적으로 중소형개질기에 대한 실증프로젝트를 수행하고 있음 - HYOS-R (Air Liquide)와 일본의 HYSERVE (Osaka Gas), HyGeia (MKK) 등이 소형 개질기를 확보하고 있어 국내외 시장에 큰 관심을 가지고 있음	- 대부분 천연가스의 개질기술에 중점을 두고 있어 바이오가스를 적용한 기술 확보는 미흡한 실정임 - 집중적인 지원을 통해 국내의 고유 기술 확보가 필요함
	<수성가스전환 촉매 및 반응기 기술> - 촉매설계가 주된 기술이며, 수많은 상용공정에 적용되고 있음	- 촉매와 반응기를 패키지 또는 촉매만을 대량으로 판매하고 있음	- 촉매와 반응기를 패키지 형태로 납품하고 있어 국내 기술로는 시장진입에 어려움이 있음
정제 및 분리	- 세계 합성가스/개질가스 활용 시장 팽창에 따른 정제 시장 동반 성장 예상 - 미국, 일본을 중심으로 수소경제 시대 점진적 진입에 따른 수소 분리 시장 성장 전망 - 중국, 동남아, 인도 등에서 폐기물/바이오매스 활용 합성가스 정제 및 분리 시장 진입 및 수요 확대	- 미국 UOP사의 경우 고순도 수소 분리를 위해 고효율 콤팩트한 PSA 및 분리막 모듈을 개발하여 상용화 적용 중 - 중국 Xebec사의 경우 기존 설비에 비해 획기적으로 설비 규모를 줄이면서도 고순도의 수소를 생산할 수 있는 로터리 방식의 PSA 설비를 개발하여 상용화 적용 중	- 에너지 효율 향상 및 경제성 있는 기술 및 공정 개발이 필요 - 수소스테이션 확대에 따른 소규모 콤팩트화/모듈화된 정제 및 분리 설비의 개발 및 보급이 중요 - 장기 안정적으로 운영 가능한 소재/모듈 개발이 필요

<표 2-2-58> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 대내외 환경 분석을 통한 시사점

세부 과제	Test-bed 규모 상응 대상 기업	대내외 환경 분석 핵심 내용	시사점
합성가스 생산	Enerkem/캐나다	• 폐기물 대상 40톤/일 순산소 유동층 가스화 + 수증기 개질 • 합성가스 이용 에탄올, 메탄올 생산 • 전처리 시스템 필요(성형 SRF)	• 순산소 가스화를 통해 폐기물로부터 고부가가치의 화학물질 생산 실증플랜트 운영 사례 • 비성형 SRF 대상 고정층 가스화기 개발로 전처리 비용 절감 필요
	Gussing/오스트리아	• 바이오매스 대상 유동층 방식의 50톤/일 규모로 2MWe, 4.5 MWth 생산하는 열병합 발전설비 • Ni계 촉매에 의한 타르 분해	• 중소형 규모의 바이오매스 가스화 열병합 발전 실증플랜트 운영 사례 • 타르 발생이 미미한 분류층의 무촉매 가스화 기술 개발을 통해 운영비 절감 필요
	CB&I/미국	• 인도에 20,000톤/일 펫코크를 사용하여 열병합과 수소 생산에 적용할 계획으로 플랜트 건설 중	• 펫코크가 발생하는 국가 또는 저렴하게 수입 가능한 조건에서는 가스화의 원료로서 잠재력이 풍부
바이오가스 생산	PENTAIR/독일	• 바이오가스 회수 및 CO2 정제 분야의 최고 수준 기술 • 바이오가스 공정에서 발생된 CO2는 99.9997% 이상의 순도로 정제하여 농업, 공업 현장에 연계 판매	• 바이오가스 정제 기술 최고 수준으로 메탄/수소 정제 기술 bench marking 필요
	Ganser/독일	• 운영기간 15년 이상으로 안정적이고 신빙성있는 시설 • 음식물류 폐기물을 대상을 연간 5M kWh 전기 생산 • 생산된 전기는 공정에 이용하고 공공기관 판매	• 장기간 바이오가스 운영 기술을 확보한 업체로서 운영사례 분석을 통한 안정적이고 효율적인 바이오가스 운영기술 확보 필요
	MONSAL/영국	• 20년간의 설계 및 운영 노하우 축적 • 음식물류 폐기물 처리 시설로 2~3MWh 전기 생산 • 생산된 전력은 인근 지역 4,000가구에 공급	• 생산된 바이오메탄/수소 발생에 국한되지 않고 활용처까지 고려할 가치가 있음
잉여전기 이용	ETOGAS/스위스	• 컨테이너 타입의 수전해 및 메탄화 설비 모듈과 컨테이너 타입의 공기에서 CO2 포집 모듈화 기술 보유 • P2G를 통해 생산한 메탄으로 e-gas station을 통한 수송연료로 이용	• P2G 플랜트에서 메탄화 공정 필수 • 모듈화 기술로 설치 및 이동에 용이 • 최종 사용자에게 필요한 가스 공급 기술까지 확보
	Hydrogenics/캐나다	• 1MW PEM 전기분해 장치 공급 • 석탄화력 발전소의 CO2를 이용하여 메탄올 생산 가능	• P2G 플랜트에서 생산된 가스를 이용하여 메탄 생산까지 고려할 가치가 있음.
	Microbenergy/독일	• 바이오가스 발전플랜트의 잉여전력을 이용한 Power to Gas 플랜트 건설 • 바이오가스 플랜트에서 포집한 CO2를 이용하여 메탄화하여 자동차 연료용 CNG 공급	• 풍력 및 태양광 재생에너지에 국한되지 않은 폭넓은 재생에너지원을 활용한 P2G 플랜트 개발 고려 필요
개질 및 변환	Osaka Gas/일본	• 30, 100, 300 Nm^3/h 수소생산이 가능한 천연가스 개질기를 개발 하였음 • 수성가스전환과 PSA를 통해 수소의 농도를 99.999%까지 생산하고 있음	• 국내 천연가스 개질을 통한 수소생산 공정의 중요한 사례임 • 중소형 규모에 적합한 제품으로써 이와 비교하여 경제성, 효율성 등 다양한 항목에 대해 우수성이 확보되어야 국내는 물론 해외시장에서 경쟁할 수 있을 것으로 판단됨
	MKK/일본	• 'Hygeia'라는 상표명으로 50, 100, 200 Nm^3/h 수소생산이 가능한 천연가스 개질기를 상용화하였음	• Osaka Gas의 기술과는 비교되는 기술로써 중소형 규모의 제품 사례임
	Air Products/미국	• 2006년에 천연가스 개질을 이용하여 1일 수소생산 100 kg의 HCNG 수소충전소를 펜실베니아 주립대학교 내에 설치하여 버스 1대 및 밴 2대를 시범운행	• 천연가스와 혼합하여 사용하기 위한 수소를 생산하기 때문에 고순도의 수소를 얻을 필요는 없음 • 하지만 중소형 규모의 수소충전소와 연계한 기술이므로 사업화 모델로는 참고할 가치가 있는 기술임
정제 및 분리	Siemens/독일	• 60 ppb이하로 정제하는 초정밀 탈황기술 보유	- 수소, 화학원료, 전기 등 최종 생산품에 따라 적정하게 산성가스를 제거하는 초정밀 탈황기술 개발 사례
	UOP/미국	• 콤팩트한 수소 분리막 모듈 개발하여 상용 적용 중 (391,000 Nm^3/h 규모)	- 분리막 모듈화, 소형화를 통한 대용량 적용 사례

제3절 국내 R&D 역량분석

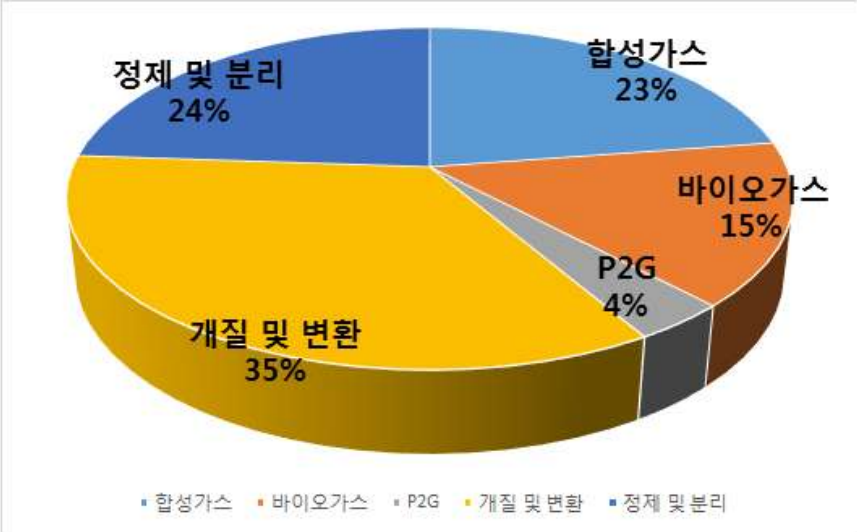
1. R&D 투자 현황

1.1 세부기술(중분류)별 R&D 투자 동향

○ 세부적으로 기술트리의 5개 분야인 합성가스, 바이오가스, 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용(Power-to-Gas), 개질 및 변환, 정제 및 분리에 대한 국내 R&D 투자 동향을 살펴볼 때 국가과학기술정보서비스 (NTIS) 사이트를 이용하여 각 분야별 지난 10년간(2008년~2018년) R&D 투자현황을 조사

○ 5개 분야의 R&D 기술개발 건수에서 수소 개질 및 변환 분야가 가장 많은 35%의 비율을 보였고 다음으로는 수소 정제 및 분리 24% 그리고 합성가스를 이용한 수소 생산이 23%로 뒤를 따르고 있으며 바이오가스가 15%의 비율

○ P2G의 경우에는 과거 진행사항보다는 향후 수행될 분야로 자료조사 결과가 적게 도출



[그림 2-3-1] 기술트리 5개 분야별 R&D 투자현황

○ 5개 분야의 R&D 투자 동향을 알아보기 위해서 가장 최근인 2018년도 국가 R&D 투자 금액을 국가과학기술정보서비스(nits.go.kr)를 통하여 분석

○ 과제 수에 비해서 합성가스 수소생산 분야가 상대적으로 많은 투자를 한 것으로 분석되었으며 P2G 분야는 주로 교육부에서 수행하는 기초연구

<표 2-3-1> 5개 분야별 지난 2018년도 R&D 투자현황

(단위: 백만원)

구분	합성가스	바이오가스	P2G	개질 및 변환	정제 및 분리
R&D 투자비용	30,440	18,646	6,934	42,904	22,412

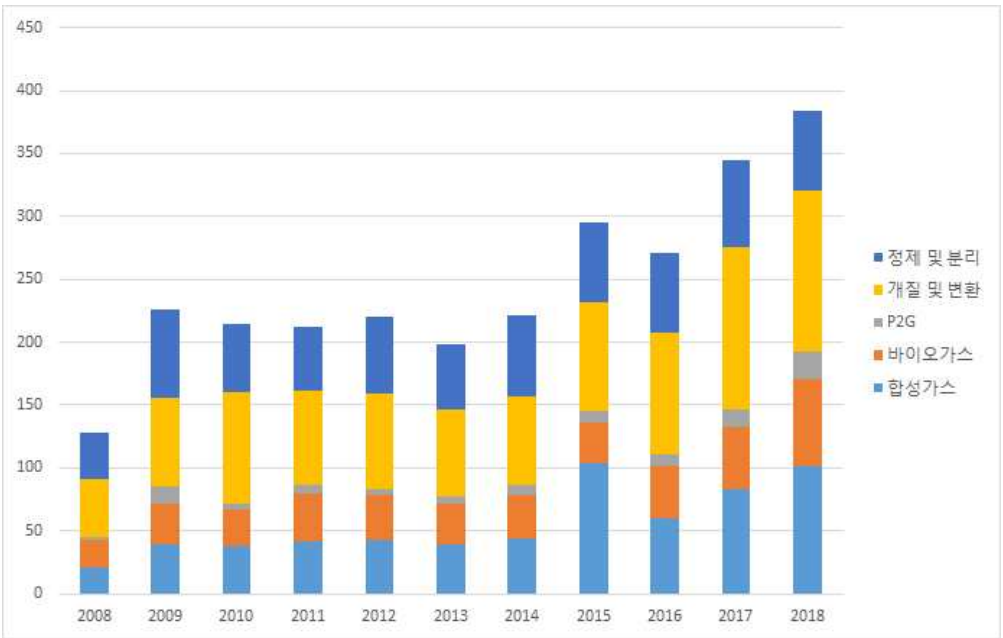
○ 기술트리 대분류 5개 분야별 검색어와 조회건수는 <표 2-3-2>와 같이 파악되었으며, 합성가스, 바이오가스 분야는 수소생산 키워드를 추가하여 수소 생산을 위한 합성가스와 바이오가스분야로 검색하였으며, 개질 및 변환과 정제 및 분리 역시 수소 생산 키워드를 추가하였으며, 서로 중복되는 것을 고려하여 수소 개질, 수소 정제 분야로 검색

○ P2G 분야는 500 kW~1 MW급은 검색되지 않았으나 수전해, 물전기분해 등의 분야에서는 약간 도출되었고 향후 추진되는 분야인 만큼 계속적으로 늘어날 것으로 전망

<표 2-3-2> 3개 분야별 NTIS 검색어 및 관련 조회건수

*국가과학기술정보서비스 (https://www.ntis.go.kr/) 검색어 및 관련 조회건수					
검색어	합성가스	바이오가스	P2G	개질 및 변환	정제 및 분리
건수	614	417	98	937	649

○ 5개 분야를 연도별로 나열하였을 때 합성가스 분야는 현재까지 조회건수가 다소 줄어들었으나 꾸준히 발생하였고 바이오가스 분야는 2010년대부터 꾸준히 수행되었으며, P2G 분야도 2014년도부터 건수가 조금 늘어나고 있는 추세

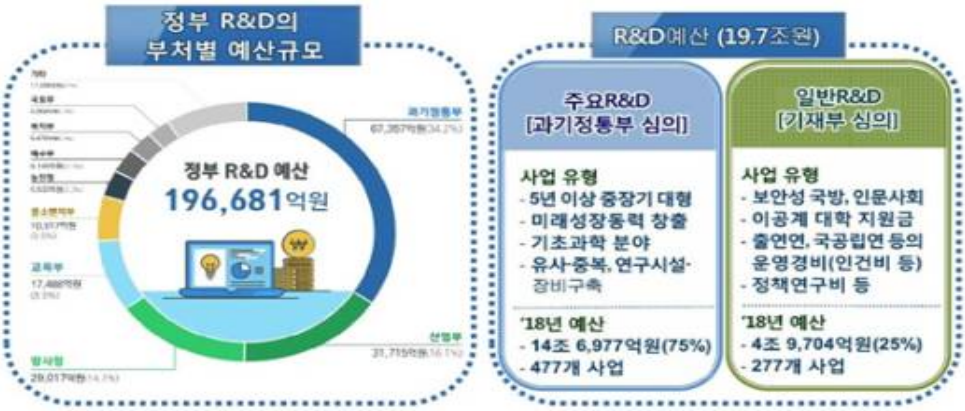


[그림 2-3-2] 5개 분야 연도별 NTIS 조회 건수

1.2 정부 R&D 투자 동향

○ 우리나라 정부와 민간 2015년 GDP 대비 R&D 투자 비중은 4.23%로 세계 2위, 연구개발비 규모는 세계 5위(약 793.5억달러, 2016년 기준) 이며, 정부 R&D 증가율은 둔화추세(2014년 5.1% → 2018년 1.1%)이나, 기초연구, 중소기업 성장, 4차 산업혁명 대응 등 중점투자 분야는 규모 확대 기조 견지

○ 2018년도 정부 R&D 예산은 [그림 2-3-3]과 같이 전년대비 1.1% (2,066억원) 증가한 19조 6,681억원



[그림 2-3-3] 정부 R&D 부처별 예산규모 및 R&D예산

(출처: 2018년도 정부R&D 합동설명회)

○ 정부연구개발예산 투자방향으로는 미래 대비 과학기술 혁신 역량을 강화하는 가운데, 경제 활력과 국민행복을 창출하고 R&D 투자 효율성 개선에도 박차

○ '제1차 정부 R&D 중장기 투자전략(2016~2018)'에 입각하여 9대 분야 세부 기술별 투자방향을 설정

○ 이에 4차 산업혁명 대응, 창의·도전연구 지원 강화, 과학기술의 경제·사회적 책무 등을 수행하기 위한 '3대 분야 9대 투자방향'을 제시

<표 2-3-3> 2018년도 정부연구개발예산의 3대 분야 9대 중점투자방향

중점추진분야	내용
미래선도 과학기술 역량강화	• 자율적인 창의·도전연구 강화 • 개방·공유·협력의 연구개발 생태계 구축 • 4차 산업혁명 선도를 위한 기술·시장 선점형 R&D 투자
경제 역동성 확보	• 新성장엔진 가동을 위한 신시장·신사업 R&D 확대 • 국민경제 조기 회복을 위한 산업 R&D 투자 • 과학기술 기반의 새롭고 유망한 일자리 창출
국민 삶의 질 향상	• 공공서비스의 스마트화·고도화 추진 • 협업 중심의 재난·재해 대응체계 혁신 • 중장기 경제·사회 위험요인에 선제 대응

○ 우리나라 R&D 역할 창의 도전적 연구를 토대로 성장 동력 확보에 주력할 필요
○ 주로 속도, 범위, 영향력 등에서 차별화되는 4차 산업혁명에 대한 적응력과 추진동력 확보를 위해 R&D 투자방향 재정립 그리고 신산업 육성, 창업 지원 등을 통해 과학기술 기반의 질 좋은 일자리를 창출하고, 복지와 사회문제 해결을 위한 신 솔루션을 제공
○ 또한 R&D 재정의 대폭 확충이 어려운 상황에서 기초연구 확대, 국정과제 등을 뒷받침하기 위한 지출구조조정 지속 추진이 필요

1.3 국토교통부 R&D 투자 동향

○ 국토교통부의 정부연구개발예산은 2017년 대비 6.8%(320억원)가 증가한 5,058억원이며, 국토교통부의 2018년 정부 연구 개발 사업은 국토기술(2,113억원), 교통기술(1,970억원), 기반구축(975억원) 등 세 개 유형으로 추진 중

<표 2-3-4> 정부 부처별 연구개발예산 증감 현황(2017~2018)

(단위: 억원, %)

구 분	2017년(A)		2018년(B)		증감(B-A)	
	금액[1]	비중(%)	금액	비중(%)		(%)
합 계	**194,615 (195,018)**	**100.0**	**196,681**	**100.0**	**2,066**	**1.1**
과학기술정보통신부	67,484 (67,700)	34.7	67,357	34.2	△128	△0.2
산업통상자원부	32,057 (32,173)	16.5	31,623	16.1	△434	△1.4
방위사업청	27,838	14.3	29,017	14.8	1,179	4.2
교육부	17,481 (17,491)	9.0	17,488	8.9	7	0.0
중소벤처기업부	11,172 (11,223)	5.7	10,917	5.6	△256	△2.3
농촌진흥청	6,356 (6,367)	3.3	6,533	3.3	176	2.8
해양수산부	5,935	3.0	6,145	3.1	209	3.5
보건복지부	5,243	2.7	5,479	2.8	237	4.5
국토교통부	4,738	2.4	5,058	2.6	320	6.8
국무조정실 국무총리비서실	4,546	2.3	4,784	2.4	238	5.2
환경부	3,026	1.6	3,010	1.5	△15	△0.5
농림축산식품부	2,095	1.1	2,198	1.1	104	4.9
기상청	1,286	0.7	1,328	0.7	42	3.3
산림청	1,038	0.5	1,093	0.6	55	5.3
식품의약품안전처	844	0.4	857	0.4	12	1.5
문화체육관광부	753	0.4	761	0.4	9	1.1
원자력안전위원회	645	0.3	692	0.4	47	7.3
행정안전부	430	0.2	576	0.3	146	34.0
국방부	383	0.2	456	0.2	73	19.1
문화재청	403	0.2	451	0.2	48	12.0
특허청	372	0.2	368	0.2	△4	△1.0
기타[2]	491	0.3	491	0.2	△0	△0.0

(출처: 2018년도 정부연구개발예산 현황분석)

○ 국토교통부 2018년 정부 R&D사업 부처 합동설명회 자료에 따르면 정부전체 R&D 예산과 국토교통부 R&D 예산은 아래와 같은 추세로 증가



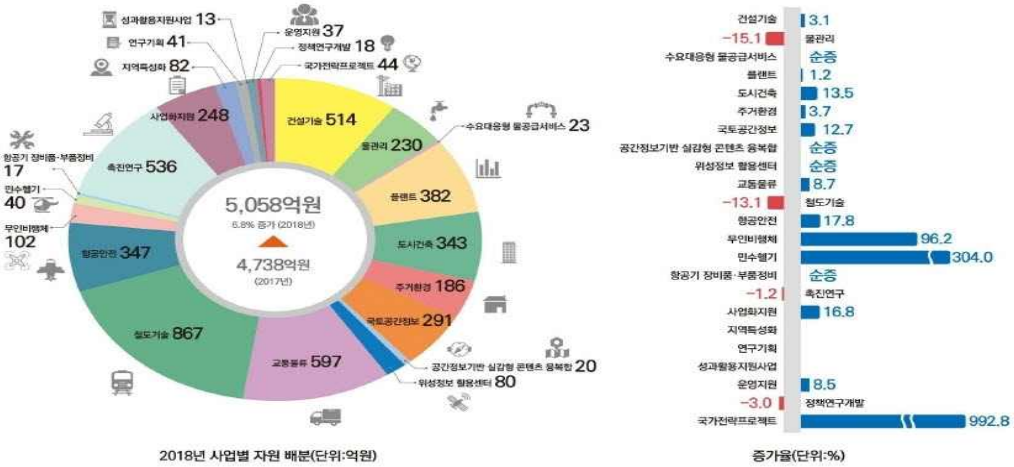
[그림 2-3-4] 정부전체 R&D 예산과 국토교통부 R&D 예산 비교

○ 국토교통부는 추진목적, 수요자 및 수행주체 등 측면에서 공공 기술적 성경이 강하여 국민 생활기반 인프라 및 시설물에 적용 등 국가의 공공적 목적에 활용

구분	국토교통부	산업통상자원부	과학기술정보통신부
목적	인프라 안전 · 편의 증진 건설 · 운영비용 저감	산업경쟁력 확보 기업 지원	연구역량 제고 원천기술 확보
수요자	정부·공공기관·국민	기업체	대학·연구소
성격	시스템 R&D	제품개발 R&D	지식창출 R&D
수행주체	공공기관 위주	기업 위주	대학 · 연구소 위주

[그림 2-3-5] 국토교통부 R&D 특성 (출처: 2018년도 정부R&D 합동설명회)

○ 국토교통부 대상 사업에 대한 2018년도 자원배분 현황에서 플랜트 사업분야가 약 1.2% 증가



[그림 2-3-6] 2018년 사업별 자원 배분 현황과 증가율 비교
(출처: 2018년도 정부R&D 합동설명회)

2. 논문/특허 동향 분석

2.1 분석 개요

2.1.1 목적

○ 기술별 특허출원 대상국, 출원인, 피인용 분석 등을 통해 기술순환주기, 기술수준, 공백기술, 시장진입 경쟁수준 등을 분석

2.1.2 범위

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발의 필요성을 고려하여 2019년 03월까지 출원공개 또는 출원등록 된 한국, 미국, 일본 및 유럽 특허사 분석 대상
○ 한국, 미국, 일본 및 유럽특허에 대해 출원일 기준으로 분석
- 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 이후 출원 관련정보를 대중에게 공개
- 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2017~2018년 자료는 유효하지 않으므로 정량분석에서 2017년 및 2018년을 미공개 구간으로 정의

<표 2-3-5> 특허 검색을 위한 검색 DB 및 검색 범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국 (KIPO)	WIPS ON	~ 현재(검색일)	특허공개 및 등록 전체문서
	미국 (USPTO)	WIPS ON		특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	일본 (JPO)	WIPS ON		특허공개 및 등록 전체문서
	유럽 (EPO)	WIPS ON		EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

2.1.3 유효특허의 도출

□ 분석대상 기술

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 기술의 범위를 아래와 같이 분류

<표 2-3-6> 분석대상 기술 분류

중분류	소분류	세부 추진 기술
합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A)	원료 균질화를 위한 전처리 기술(A-1)	- 폐기물 또는 바이오매스를 가스화의 원료로 활용하기 좋도록 처리하는 기술 - 물리적인 불순물 제거 및 혼합 기술 - 열화학적인 수열탄화 및 반탄화 기술
	폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술(A-2)	- 폐기물 또는 바이오매스를 원료로 하고 산소를 산화제로 하여 주성분이 CO, H_2 및 CH_4 등인 합성가스를 생산하는 기술 - 주로 고정층(fixed bed) 형태의 반응기를 사용하며, 경우에 따라서는 유동층 또는 분류층 반응기를 채택 가능
	펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술(A-3)	- 정유공장 부산물인 펫코크(Pet-coke, petroleum coke)를 원료로 하고, 산화제로는 산소, 산소/수증기 등을 공급하여 주성분이 CO와 수소인 합성가스로 변환시키는 기술 - 공급 방식(건식 또는 습식) 및 반응기의 종류 등에 따라 실시(적용) 가능한 기술
바이오가스 생산 기술(B)	음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술(B-1)	-혐기성소화는 산생성균과 메탄생성균으로 분류되는 혐기성미생물에 의해 유기물이 복잡한 반응경로를 통해 최종으로 메탄과 이산화탄소로 분해되는 기술
개질 및 변환 기술(C)	천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술(C-1)	- 메탄이 주성분인 가스로부터 산화제 또는 환원제로 산소, 수증기, 이산화탄소 등을 주성분이 CO와 수소인 합성가스로 변환시키는 기술 - 산화제와 환원제의 종류, 반응기의 종류 등에 따라 실시(적용) 가능한 기술
	합성가스/개질가스 내 일산환탄소의 수소 전환 기술(C-2)	- 합성가스내 CO를 수성가스전환($CO+H_2 \rightarrow CO_2+H_2$)을 통해 수소로 전환하는 기술
	기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술(C-3)	- 기체 수소를 운송이 편리한 액상으로 변환하는 기술
정제 및 분리 기술(D)	합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술(D-1)	- 합성가스, 개질가스 및 바이오가스에 함유된 분진, 유황화합물(H_2S, COS 등), 타르 등의 유해성분을 수소 생산에 영향이 없도록 제거하는 고도 정제기술
	수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술(D-2)	- CO_2와 미량의 CO가 혼합된 약 50~70% 수준의 저순도 수소를 고순도로 분리하는 기술
잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E)	잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E-1)	- 잉여 전기로부터 기체 상태의 연료를 생산하는 기술로, P2G(Power-to-Gas) 기술(전기에너지를 수소로 전환하는 기술)
공통 핵심 기술(F)	ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술(F-1)	- 플랜트의 운전 데이터를 ICT/IoT 기술을 이용해 취합/축적하고, 이의 분석/진단을 통해 플랜트 운전 및 유지보수에 활용할 수 있는 정보를 제공하여, 플랜트 운영관리를 최적화하는 기술
	모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술(F-2)	- 유사한 계열에 있는 여러 상이한 제품(플랜트)에 사용될 수 있는 기본적인 기술

□ 특허 검색식

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 기술분류 및 핵심키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하였으며, 추가적으로 기술미팅을 거쳐 2차 키워드를 도출

<표 2-3-7> 특허 검색식

소분류	검색식
원료 균질화를 위한 전처리 기술(A-1)	(산소* 순산소* 옥시* oxygen* (pure* adj2 oxygen*) oxy*) and (가스화* 가스화로* 개스화* 개스화로* gasify* gasification* syngas* gasifier*) and (전처리* (불순물* adj2 제거*) 수열탄화* 반탄화* (pre* adj2 treat*) (impurity* adj2 (remov* separat*)) (hydrothermal* adj2 carbon*) torrefaction*)
폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술(A-2)	(산소* 순산소* 옥시* oxygen* (pure* adj2 oxygen*) oxy*) and (가스화* 가스화로* 개스화* 개스화로* gasify* gasification* syngas* gasifier*) and (폐기물* 폐자원* 폐슬러지* 폐목재* 폐수지* 웨이스트* 바이오매스* 바이오메스* (바이오* adj2 (매스* 메스*)) waste* (bio* adj2 mass*))
펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술(A-3)	(산소* 순산소* 옥시* oxygen* (pure* adj2 oxygen*) oxy*) and (가스화* 가스화로* 개스화* 개스화로* gasify* gasification* syngas* gasifier*) and (펫코크* ((석유* 페트로*) adj2 (코크* 코크스*)) 석탄* pet-coke* (pet* adj2 coke*) coal*) not (발전* generat*)
음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술(B-1)	(유기성폐기물* 음식물폐기물* 하수슬러지* ((유기* 음식* 하수*) adj2 (폐기물* 슬러지*)) waste* sludge*) and (혐기성소화* 혐기성발효* ((혐기* 수소* 메탄*) adj2 (소화* 발효*)) 산생성* 메탄생성* 유기산* ((anaerobic* hydrogen* methane*) adj2 ferment*) acidogenesis* methanogenesis* (organic* adj2 acid*)) and (바이오가스* 바이오개스* (바이오* adj2 (가스* 개스*)) biogas* (bio* adj2 gas*))
천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술(C-1)	(천연가스* 천연개스* 바이오가스* 바이오개스* ((천연* 바이오*) adj2 (가스* 개스*)) ((natural* bio*) adj2 gas*)) and (탈황* 개질* desulfuriz* reform*) and (합성가스* 합성개스* 개질가스* 개질개스* ((합성* 개질*) adj2 (가스* 개스*)) ((syn* reform*) adj2 gas*))
합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술(C-2)	(합성가스* 합성개스* 개질가스* 개질개스* ((합성* 개질*) adj2 (가스* 개스*)) ((syn* reform*) adj2 gas*)) and (수성가스전환* 수성개스전환* ((가스* 개스* 일산화탄소*) adj2 전환*) (수소* adj2 생산*) (이산화탄소* adj2 분리) (gas* adj2 shift*) (hydrogen* adj2 produc*) ((carbon adj2 dioxide*) adj2 separat*)) and (천연가스* 천연개스* 바이오가스* 바이오개스* ((천연* 바이오*) adj2 (가스* 개스*)) ((natural* bio*) adj2 gas*))
기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술(C-3)	(수소* hydrogen*) and (수송* 운송* 이송* 저장* tansport* stor*) and ((암모니아* ammonia*) adj2 (합성* 저장* 개질* 분리* synthe* stor* reform* separat*))
합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술(D-1)	(합성가스* 합성개스* 개질가스* 개질개스* ((합성* 개질*) adj2 (가스* 개스*)) ((syn* reform*) adj2 gas*)) and (정제* 분리* 제거* purif* separat* remov*) and (탈진* 탈염* 탈황* 제진* dedust* dechlorinat* desulfuriz* de-dust* de-chlorinat* de-sulfuriz*)
수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술(D-2)	(합성가스* 합성개스* 개질가스* 개질개스* ((합성* 개질*) adj2 (가스* 개스*)) ((syn* reform*) adj2 gas*)) and (수소* 일산화탄소* 이산화탄소* hydrogen* (carbon* adj2 monoxide*) (carbon* adj2 dioxide*)) and ((고순도* adj2 분리*) 분리막* 압력변동흡착* ((pure* purity*) adj2 (separat* remov*)) membrane* PSA (pressure* adj2 swing* adj2 adsorption*))
잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E-1)	((잉여* adj2 전기*) (전력* adj2 (가스* 개스*)) (surplus* adj2 electric*) P2G (power* adj2 gas*)) and (전기* 수소* 산소* electric* hydrogen* oxygen*) and (수전해* (고분자* adj2 전해질*) (연료* adj2 전지*) electrolysis* polyelectrolyte* (fuel* adj2 cell*))

소분류	검색식
ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술(F-1)	((수소* hydrogen*) adj2 (생산* 발전* 활용* 인프라* 시설* 플랜트* produc* generat* applicat* infra* utility* plant*)) and (제어* 유지* 보수* 모니터링* 운전* 운영* 관리* control* maintenance* maintain* monitor* operat* manage*) and (데이터* (정보* adj2 통신*) 사물인터넷* data* ICT IoT (information* adj2 communication*) (internet* adj2 thing*))
모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술(F-2)	((수소* hydrogen*) adj2 (생산* 발전* 활용* 인프라* 시설* 플랜트* produc* generat* applicat* infra* utility* plant*)) and (설계* 디자인* 건설* 구축* 운영* 관리* design* construct* build* operat* manage*) and (모듈* 부품* modul*)

□ 유효특허 수

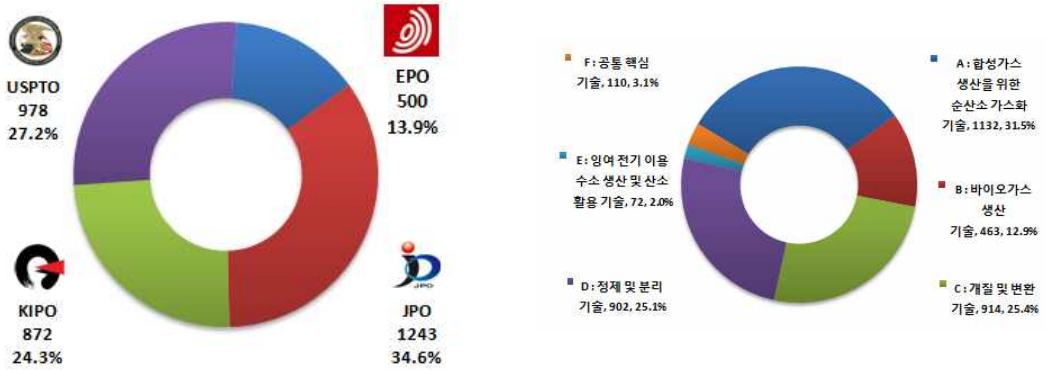
○ **(총 유효특허 수)** 노이즈 제거 후 총 유효특허 수는 3,593건

- **(국가별 유효특허 수)** 한국 872건, 미국 978건, 일본 1,243건, 유럽 500건
- **(기술분야별 유효특허 수: 중분류)** 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A) 1,132건, 바이오가스 생산 기술(B) 463건, 개질 및 변환 기술(C) 914건, 정제 및 분리 기술(D) 902건, 잉여전기이용 수소생산 및 산소활용기술(E) 72건, 공통핵심 기술(F) 110건

<표 2-3-8> 유효특허 선별 결과

중분류	소분류	유효데이터 건수				
		KIPO	US PTO	JPO	EPO	합계
합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A)	원료 균질화를 위한 전처리 기술(A-1)	9	6	26	8	49
	폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술(A-2)	115	209	372	120	816
	펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술(A-3)	45	81	100	41	267
	소계	**169**	**296**	**498**	**169**	**1,132**
바이오가스 생산 기술(B)	음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술(B-1)	255	35	143	30	463
	소계	**255**	**35**	**143**	**30**	**463**
개질 및 변환 기술(C)	천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술(C-1)	154	199	174	100	627
	합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술(C-2)	90	56	30	24	200
	기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술(C-3)	25	14	39	9	87
	소계	**269**	**269**	**243**	**133**	**914**
정제 및 분리 기술(D)	합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술(D-1)	65	52	174	26	317
	수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술(D-2)	72	241	158	114	585
	소계	**137**	**293**	**332**	**140**	**902**
잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E)	잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E-1)	25	25	13	9	72
	소계	**25**	**25**	**13**	**9**	**72**
공통 핵심 기술(F)	ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술(F-1)	8	23	12	6	49
	모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술(F-2)	9	37	2	13	61
	소계	**33**	**48**	**25**	**15**	**121**
합계		**872**	**978**	**1,243**	**500**	**3,593**

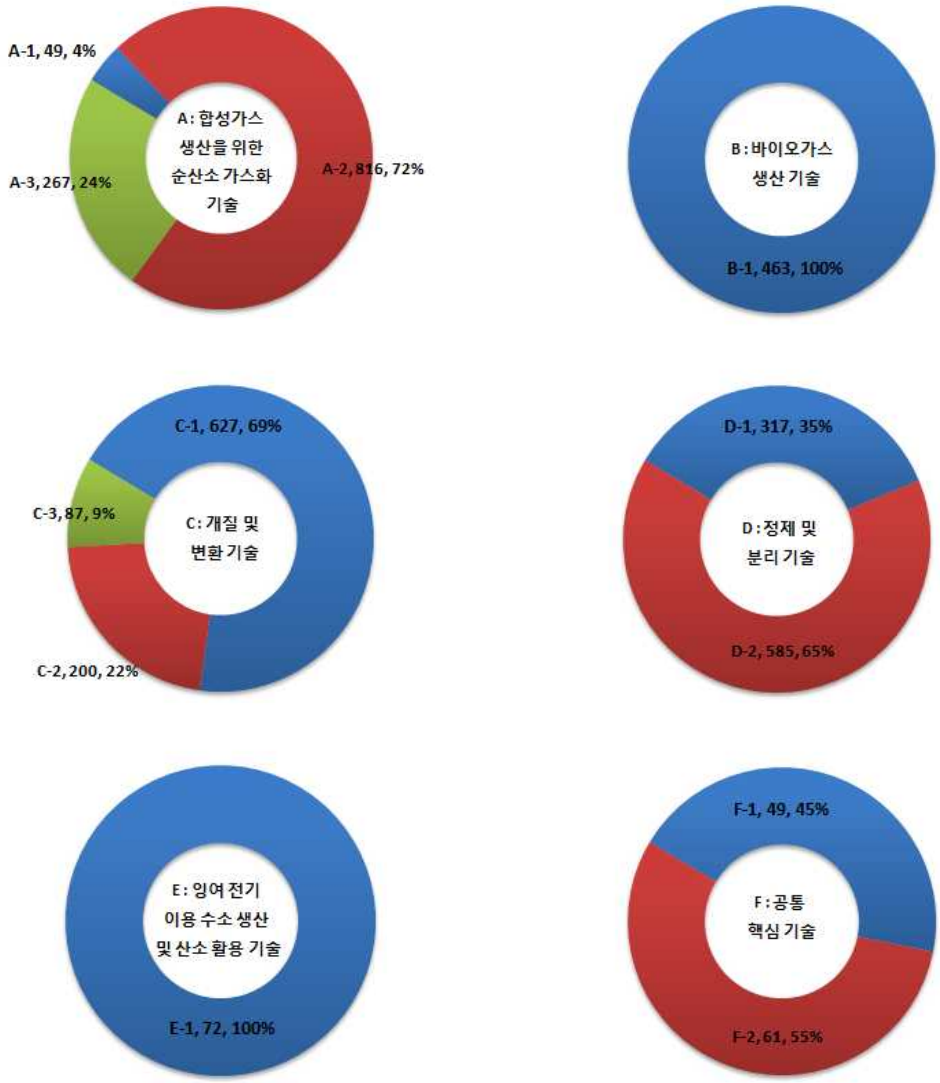
○ **(개괄적 유효특허 비중)** 국가별로는 일본 34.6%, 미국 27.2%, 한국 24.3%, 유럽 13.9% 순이며, 기술분류(중분류)별로는 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A) 31.5%, 개질 및 변환 기술(C) 25.4%, 정제 및 분리 기술(D) 25.1%, 바이오가스 생산 기술(B) 12.9%, 공통 핵심 기술(F) 3.1%, 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E) 2.0% 順



[그림 2-3-7] 국가별(左)·기술 분야(중분류)별(右) 유효특허 비중

○ 기술분류(소분류)별로는

- **(합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A))** 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술(A-2)이 816건, 72%로 점유율 1위, 펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술(A-3)이 267건, 24%로 점유율 2위, 원료 균질화를 위한 전처리 기술(A-1)이 49건, 4%로 점유율 3위 차지
- **(바이오가스 생산 기술(B))** 음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술(B-1)이 463건으로 점유율 100%
- **(개질 및 변환 기술(C))** 천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술(C-1)이 627건, 69%로 점유율 1위, 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술(C-2)이 200건, 22%로 점유율 2위, 기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술(C-3)이 87건, 9%로 점유율 3위 차지
- **(정제 및 분리 기술(D))** 수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술(D-2)이 585건, 65%로 점유율 1위, 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술(D-1)이 317건, 35%로 점유율 2위 차지
- **(잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E))** 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E-1)이 72건으로 점유율 100%
- **(공통 핵심 기술(F))** 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술(F-2)이 61건, 55%로 점유율 1위, 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술(F-1)이 49건, 점유율 45%로 점유율 2위 차지



[그림 2-3-8] 기술 분야(소분류)별 유효특허 비중

2.1.4 특허 출원 동향

(1) 연도별 특허 동향

□ **전체분야 국가(특허청)별 동향**

○ **(전체 특허동향)** 1997년부터 최근까지 일부 증감은 있으나, 대체적으로 완만한 증가세를 보이는데, **2000년도를 전후로 일시적 증가 후 감소세는 일본의 출원 증가 및 감소에 따른 결과로 확인**

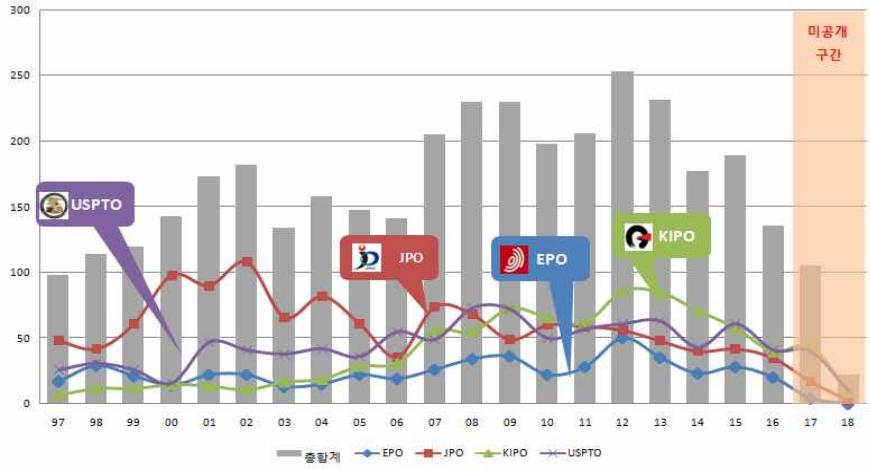
○ **(한국 특허청)** 2000년대 중반까지는 연간 출원량이 미미하였으나, 이후 서서히 특허활동이 증가하는 것으로 분석되었으며, 2010년 이후에는 미국과 비슷한 수준의 출원

을 보이는 점에서, 향후 미국과 함께 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 기술의 기술 혁신을 주도할 수 있는 국가로 판단

○ **(미국 특허청)** 2001년을 기준으로 출원이 소폭 증가하였으며, 최근 연도까지 일본 및 유럽 대비 많은 특허를 출원하고 있는 것을 확인

○ **(일본 특허청)** 2000년대 중반까지 한국, 미국 및 유럽에 비해 월등히 많은 특허활동이 이루어진 것으로 나타났으나, 이후 지속적으로 감소하여 한국과 미국보다 낮은 특허활동

○ **(유럽 특허청)** 타 국가들에 비하면 적은 건수이나, 2010년을 전후로 하여 소폭의 증가세



[그림 2-3-9] 국가(특허청)별 연도별 특허 동향

□ **기술분류(중분류)별 국가(특허청)별 동향**

○ **(합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A))** 일본은 2005년까지 타국 대비 월등히 많은 출원 건수를 나타내었으나, 지속적인 감소세

- 일본의 감소세와 동시에 미국, 한국, 유럽의 증가세

○ **(바이오가스 생산 기술(B))** 2006년 이후 한국의 활발한 특허활동으로 한국뿐만 아니라, 전체 특허가 증가하는 양상

- 일본은 감소세를 나타내었으며, 미국과 유럽은 특별한 증감없이 보합

○ **(개질 및 변환 기술(C))** 일본은 2002년에 일시적인 증가를 보였으며, 이후 특별한 증감없이 보합

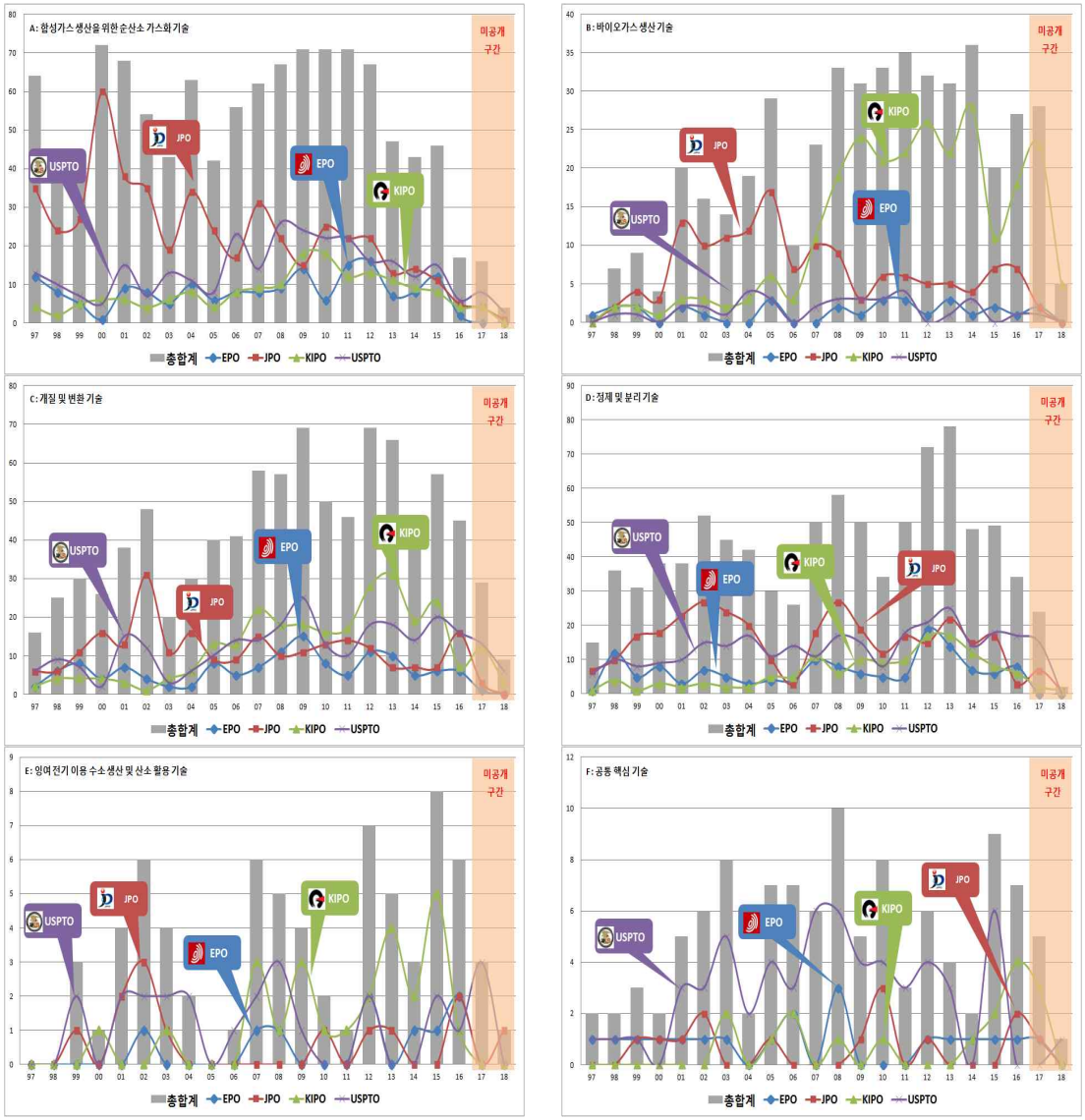
- 한국, 미국 및 유럽은 2005년을 전후로 하여 출원의 소폭 상승세

○ **(정제 및 분리 기술(D))** 일본은 1997년부터 2006년까지 구간에서 상승세 및 감소세를 보였으나, 이후 일정 수준의 지속적인 특허활동 유지

- 미국은 특별한 증감이 나타나지 않았으며, 한국과 유럽은 소폭의 상승세

○ **(잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E))** 적은 건수로 인해 모든 국가에서 급격한 상승 및 감소세를 지속적으로 반복

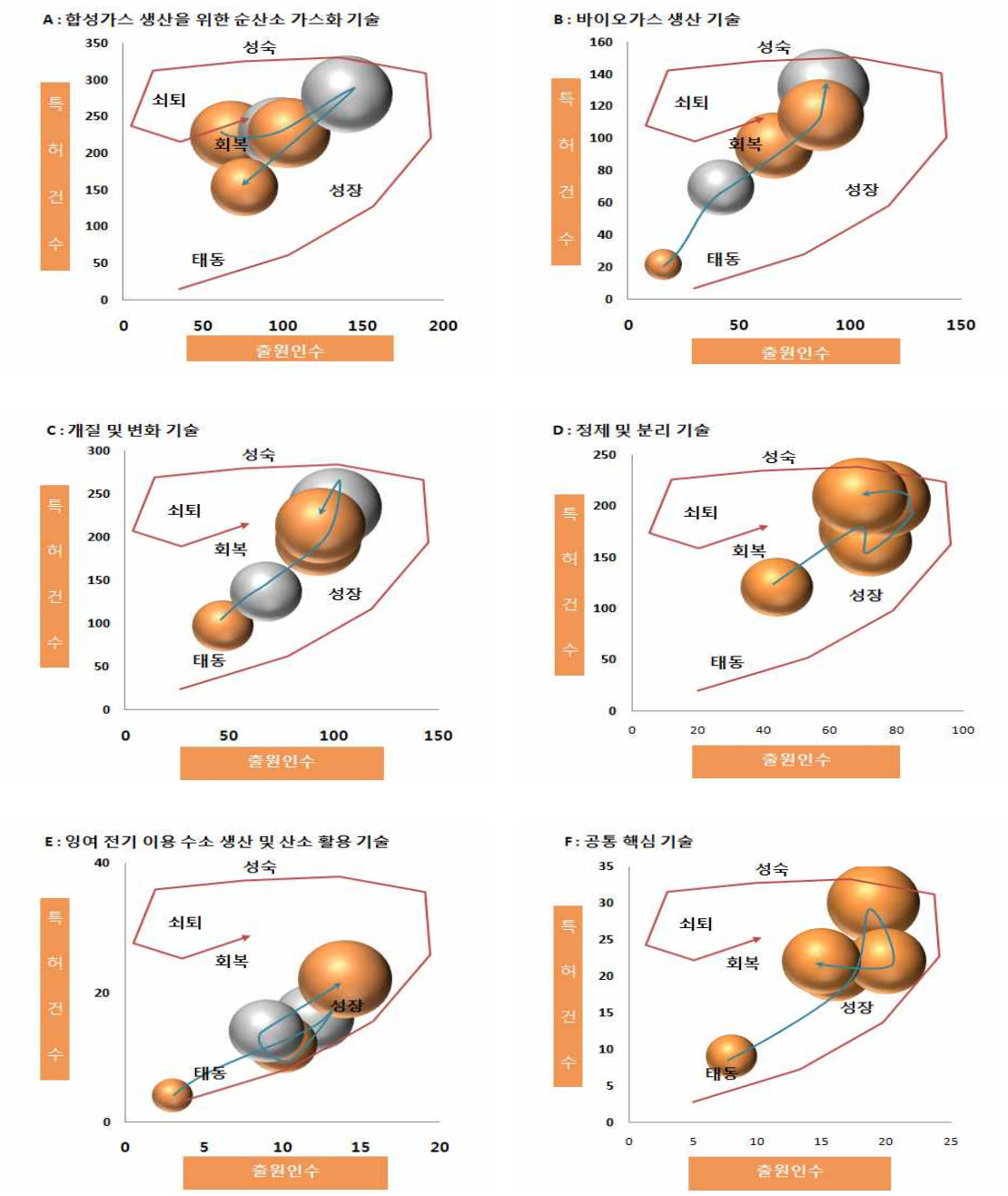
○ **(공통 핵심 기술(F))** 이 역시, 적은 건수로 인해 모든 국가에서 급격한 상승 및 감소세를 지속적으로 반복



[그림 2-3-10] 기술분류(중분류)별 국가(특허청)별 연도별 특허 동향

(2) 기술 성장단계

□ 기술분류(중분류)별 성장 단계



[그림 2-3-11] 기술시장 성장단계(기술분류별)

○ **(A: 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술)** 1구간부터 3구간까지는 출원건수와 출원인수가 모두 증가하는 성장기의 양상을 나타냈으나, 이후 구간에서는 출원건수와 출원인수가 모두 급격하게 감소하는 완연한 쇠퇴기의 흐름

○ **(B: 바이오가스 생산 기술)** 1구간부터 5구간까지 출원건수와 출원인수가 모두 증가하는 양상을 나타내는 점에서 성장기로 판단됨. 다만, 4구간에서 5구간으로 넘어가면서 출원인수의 증가가 매우 적게 나타나는 점에서, 성장기에서 성숙기로 넘어가는 단계일 수 있다고 판단

○ **(C: 개질 및 변환 기술)** 1구간부터 4구간까지 출원건수와 출원인수가 모두 증가하였으나, 5구간으로 접어들면서 출원건수, 출원인수가 소폭 감소한 것으로 나타남. 단, 출원건수와 출원인수의 감소세가 적은 바, 성장기에서 성숙기로 넘어가는 단계로 판단하는 것이 바람직

○ **(D: 정제 및 분리 기술)** 1구간부터 4구간까지 불규칙적이나 추세적으로 성장기의 양상으로 나타남. 다만, 5구간에서 출원인수는 감소하고, 출원건수는 유지되는 성숙기에 접어드는 단계로 판단

○ **(E: 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술)** 불규칙적으로 출원건수와 출원인수의 변화가 나타났으나, 성장기에서 성숙기, 쇠퇴기를 거친 회복기의 양상으로 나타나며, 출원 건수가 매우 적은 점에서 성장기로 해석도 가능

○ **(F: 공통 핵심 기술)** 1구간부터 3구간까지는 출원건수와 출원인수가 모두 증가하였으나, 4구간에서는 출원건수가 감소, 5구간에서는 출원인수가 감소한 것으로 나타남. 이는 성장기에서 성숙기로 접어드는 초입으로 판단 가능

□ 주요 출원인의 역점분야 및 공백기술 분석

<표 2-3-9> 주요 출원인(TOP20)의 역점분야 및 공백기술 현황

순위	분류코드 / 출원인(국적)	A 분류				B 분류		C 분류				D 분류			E 분류		D 분류			총합계
		A-1	A-2	A-3	합계	B-1	합계	C-1	C-2	C-3	합계	D-1	D-2	합계	E-1	합계	F-1	F-2	합계	
1	MITSUBISHI HEAVY IND LTD(일본)	2	41	12	55	2	2	45	0	1	46	20	2	22	0	0	1	0	1	126
2	한국에너지기술연구원(한국)	0	11	10	21	3	3	27	17	0	44	4	22	26	0	0	0	2	2	96
3	JFE Holdings(일본)	1	69	3	73	0	0	2	0	1	3	1	1	2	0	0	0	0	0	78
4	PRAXAI TECHNOLOGY INC(미국)	0	0	4	4	0	0	13	3	0	16	0	50	50	1	1	2	1	3	74
5	AIR LIQUIDE(프랑스)	5	5	0	10	0	0	15	3	4	22	3	38	41	0	0	0	1	1	74
6	PANASONIC CORP(일본)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	45	0	45	6	6	0	1	1	53
7	EXXON RESEARCH ENGINEERING CO(미국)	0	2	0	2	0	0	13	14	0	27	7	15	22	0	0	0	1	1	52
8	SAUDI ARABIAN OIL CO(사우디)	2	9	1	12	0	0	1	0	1	2	9	17	26	6	6	0	0	0	46
9	NIPPON STEEL & SUMIKIN ENGINEERING CO LTD(일본)	4	25	14	43	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	44
10	FUJI ELECTRIC CO LTD(일본)	0	1	0	1	20	20	7	0	0	7	5	6	11	0	0	0	0	0	39
11	한국과학기술연구원(한국)	0	0	0	0	5	5	13	6	0	19	6	8	14	0	0	0	0	0	38
12	NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL(일본)	1	23	10	34	0	0	3	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	38
13	Wuhan Kaidi Engineering Technology Research Institute Co., Ltd.(중국)	4	17	0	21	0	0	5	3	0	8	4	3	7	1	1	0	0	0	37
14	OSAKA GAS CO LTD(일본)	0	4	1	5	2	2	8	0	0	8	15	7	22	0	0	0	0	0	37
15	KINSEI SANGYO:KK(일본)	0	36	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
16	NISSAN MOTOR(일본)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	33	34	1	1	0	0	0	35
17	JAPAN OIL GAS & METALS NATIONAL CORP(일본)	0	0	0	0	0	0	20	6	0	26	7	2	9	0	0	0	0	0	35
18	EBARA CORP(일본)	1	23	2	26	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
19	HONDA MOTOR CO LTD(일본)	0	0	0	0	1	1	1	0	2	3	0	25	25	0	0	1	3	4	33
20	TOPSOE HALDOR AS(덴마크)	0	1	1	2	0	0	9	8	2	19	2	7	9	0	0	0	1	1	31

○ 다출원 TOP20 출원인을 국적별로 보면 일본 국적의 출원인이 10개社로 전체 상위 출원인의 50%를 차지하는 가운데, 미국과 한국이 각 2개社로 2~3 순위를 랭크하고 있는 것으로 분석

○ TOP20 중 대부분의 다출원인은 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A), 개질 및 변환 기술(C) 및 정제 및 분리 기술(D)에 주요 특허를 랭크

○ TOP20 중 대부분의 다출원인을 세부적으로 살펴보면, 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A)에서는 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술(A-2), 개질 및 변환 기술(C)에서는 천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술(C-1), 정제 및 분리 기술(D)에서는 수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술(D-2)에 주요 특허를 랭크하고 있는 것으로 분석

○ 한국에너지기술연구원은 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A), 개질 및 변환 기술(C) 및 정제 및 분리 기술(D) 모두 다수의 특허를 출원

○ PRAXAIR TECHNOLOGY INC, AIR LIQUID, EXXON RESEARCH ENGINEERING CO는 모두 개질 및 변환 기술(C) 및 정제 및 분리 기술(D)에 특허가 집중된 상위 출원인

○ NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL와 NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL은 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A)에 특허 출원이 집중된 것으로 나타나며, 해당 분야에서도 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술(A-2)와 펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술(A-3)에 특허활동이 집중

○ NISSAN MOTOR과 HONDA MOTOR CO LTD는 수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술(D-2) 분야에 출원이 대부분 집중된 것으로 나타나며, 이는 친환경 차량에 적용하기 위한 기술 개발에 따른 출원인 것으로 판단

□ 시장진입 경쟁수준 분석

<표 2-3-10> 세부 요소기술의 국가별 HHI 값 기반 시장 특성 구분

중분류	소분류	시장 특성				
		한국	미국	일본	유럽	전체
합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A)	원료 균질화를 위한 전처리 기술(A-1)	경쟁적 시장	과점적 시장	비(非) 집중 시장	경쟁적 시장	비(非) 집중 시장
	폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술(A-2)	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장
	펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술(A-3)	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장
바이오가스 생산 기술(B)	음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술(B-1)	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	완전 자유 경쟁 시장
개질 및 변환 기술(C)	천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술(C-1)	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장
	합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술(C-2)	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	경쟁적 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장
	기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술(C-3)	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	경쟁적 시장	비(非) 집중 시장
정제 및 분리 기술(D)	합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술(D-1)	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장
	수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술(D-2)	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장
잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E)	잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E-1)	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	경쟁적 시장	과점적 시장	비(非) 집중 시장
공통 핵심 기술(F)	ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술(F-1)	경쟁적 시장	비(非) 집중 시장	비(非) 집중 시장	경쟁적 시장	비(非) 집중 시장
	모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술(F-2)	경쟁적 시장	비(非) 집중 시장	독점적 시장	경쟁적 시장	비(非) 집중 시장

□ 특허분석의 시사점 및 연구개발 방향

○ 소분류별 출원인국적별 동향 기반 최종적인 한국의 기술위치 및 연구개발 방향 도출

<표 2-3-11> 특허분석을 통한 기술위치 및 연구개발 방향

중분류	소분류	한국의 기술위치(선도국가)	연구개발 방향
합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술(A)	원료 균질화를 위한 전처리 기술(A-1)	미개척 분야 (일본, 프랑스)	적극 R&D 및 원천특허 확보
	폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술(A-2)	추격(일본)	적극 R&D 및 원천특허 확보, 기존 구축기술 개량 활용, 보유 지재권 다각적 이용
	펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술(A-3)	추격(일본)	적극 R&D 및 원천특허 확보, 기존 구축기술 개량 활용, 보유 지재권 다각적 이용
바이오가스 생산 기술(B)	음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술(B-1)	선도(한국)	기존 구축기술 개량 활용, 보유 지재권 다각적 이용
개질 및 변환 기술(C)	천연가스 및 바이오가스 CO2-added 개질 기술(C-1)	경쟁(일본, 한국, 미국)	기존 구축기술 개량 활용, 보유 지재권 다각적 이용, 일부 개량기술, 회피기술
	합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술(C-2)	선도(한국)	기존 구축기술 개량 활용, 보유 지재권 다각적 이용
	기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술(C-3)	추격(일본)	적극 R&D 및 원천특허 확보, 일부 개량기술 개발
정제 및 분리 기술(D)	합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술(D-1)	추격(일본)	적극 R&D 및 원천특허 확보, 기존 구축기술 개량 활용, 보유 지재권 다각적 이용
	수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술(D-2)	추격(일본)	적극 R&D 및 원천특허 확보, 기존 구축기술 개량 활용, 보유 지재권 다각적 이용
잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E)	잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(E-1)	미개척 분야 (한국, 미국, 일본)	적극 R&D 및 원천특허 확보
공통 핵심 기술(F)	ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술(F-1)	미개척 분야(미국, 일본)	적극 R&D 및 원천특허 확보
	모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술(F-2)	미개척 분야(미국)	적극 R&D 및 원천특허 확보

○ 상기 연구개발 방향의 경우 기술분류별로 국가-연도별 출원 추이를 기반으로 판단하였으며, 세부적으로는 아래와 같은 요소를 기준으로 연구개발 방향을 설정

- 개량기술 또는 회피기술 개발: 연도별 출원 추세가 꾸준히 이루어지고 있는 경우로 특허장벽이 높으며, 관련 원천기술은 대부분 권리화가 이루어져 있을 것으로 예상되는 바, 이러한 기술분야의 경우 개량기술 또는 회피기술 개발이 타당한 것으로 판단
- 적극 R&D 및 원천특허 확보: 전체적으로 특허출원이 활발히 이루어지지 않은 분야로 원천특허 확보가 가능할 것으로 판단되며, 최근 관련 특허출원이 증가세를 나타내어 유망성이 어느 정도 있다고 판단될 경우 및 한국의 관련 특허출원이 저조할 경우 적극적 R&D 및 원천특허 확보 관점의 연구개발 방향 설정을 추천
- 기존 구축기술 개량 활용: 한국의 기술위치가 '선도'적 위치에 있는 경우 기존 구축기술 개량 활용 관점의 연구개발 방향을 추천
- 보유 지재권 다각적 활용: 한국의 해당 기술분야 지재권 보유량이 많을 경우 보유 지재권을 다각적으로 활용하는 연구개발을 추천

○ 이와 함께 상기 한국의 기술위치 및 연구개발 방향과 앞선 주요출원인(TOP20) 간 연관관계를 보면, 해당 기술분야에서 한국의 기술위치가 '선도'적 위치일 경우 다출원 TOP20 중 한국출원인에서 역점을 두고 있는 경우가 많았으며, '추격'적 위치일 경우 한국출원인보다 해당 선도국 국적의 출원인이 역점을 두고 있는 경우로 판단

○ 연구개발 방향의 경우 전체적인 출원건수의 규모적인 측면보다는 연도별 추세를 기반으로 판단한 사항으로 주요출원인(TOP20) 간 높지 않은 연관관계

- 다만 연구개발 방향에서 대부분을 차지한 '적극적 R&D 및 원천특허 확보'로의 연구개발 방향이 제시된 기술분야의 경우 전체적인 출원규모가 크지 않아 해당 분야의 경우 주요출원인의 역점분야로 지정된 경우가 적거나, 역점분야이더라도 해당 주요출원인의 상대적 차원의 역점분야일 뿐, 해당 특허건수가 대량 보유하고 있는 경우는 드문 것으로 분석

2.2 논문분석의 개요

2.2.1 목적

○ 국가별/기술 분야별 논문 수, 연관기술 분야, 국가별/기술분야별 피인용 등의 분석을 통해 합성가스 기반 수소 생산 플랜트건설 기술과 관련된 국내외 논문 동향을 파악

2.2.2 범위

○ (검색 DB) Scopus
○ (대상 기간) 2004~2018(15개년)

2.2.3 유효논문의 도출

□ 분석대상 기술 및 검색식

<표 2-3-12> 논문분석 검색식

중분류	소분류	검색식
[A] 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	[A-1] 원료 균질화를 위한 전처리 기술	TITLE-ABS-KEY ((oxygen* OR (pure* PRE/2 oxygen*) OR oxy*) AND (gasify* OR gasification* OR syngas* OR gasifier*) OR (pre* PRE/2 treat*) (impurity* OR (remov* OR separat*)) OR ((hydrothermal* PRE/2 carbon*) torrefaction*)) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
	[A-2] 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술	TITLE-ABS-KEY ((oxygen* OR (pure* PRE/2 oxygen*) OR oxy*) AND (gasify* AND asification* AND syngas* AND gasifier*) OR (waste* OR (bio* PRE/2 mass*))) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
	[A-3] 펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술	TITLE-ABS-KEY ((oxygen* OR (pure* PRE/2 oxygen*) OR oxy*) AND (gasify* OR gasification* OR syngas* OR gasifier*) OR (pet-coke* OR (pet* PRE/2 coke*))) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
[B] 바이오 가스 생산 기술	[B-1] 음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술	TITLE-ABS-KEY ((waste* OR sludge*) AND ((anaerobic* OR hydrogen* OR methane*) PRE/2 ferment*) OR acidogenesis* AND methanogenesis* OR (organic* PRE/2 acid*) OR (biogas* OR (bio* PRE/2 gas*))) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
[C] 개질 및 변환 기술	[C-1] 천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술	TITLE-ABS-KEY (((natural* OR bio*) PRE/2 gas*) AND (desulfuriz* OR reform*) OR ((syn* OR reform*) PRE/2 gas*)) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
	[C-2] 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	TITLE-ABS-KEY (((syn* OR reform*) PRE/2 gas*) OR (gas* PRE/2 shift*) OR (hydrogen* PRE/2 produc*) ((carbon PRE/2 dioxide*) PRE/2 separat*) OR ((natural* OR bio*) PRE/2 gas*)) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
	[C-3] 기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술	TITLE-ABS-KEY ((hydrogen*) AND (tansport* AND stor*) OR ((ammonia*) PRE/2 (synthe* OR stor* OR reform* OR separat*))) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))

[D] 정제 및 분리 기술	[D-1] 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	TITLE-ABS-KEY (((syn* OR reform*) PRE/2 gas*) OR (purif* AND separat* AND remov*) OR (dedust* AND dechlorinat* AND desulfuriz* AND de-dust* AND de-chlorinat* AND de-sulfuriz*)) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
	[D-2] 수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술	TITLE-ABS-KEY (((syn* OR reform*) PRE/2 gas*) OR (hydrogen* OR (carbon* PRE/2 monoxide*) OR (carbon* PRE/2 dioxide*)) OR (pure* OR purity*) PRE/2 (separat* OR remov*) OR membrane* OR psa OR (pressure* PRE/2 swing* PRE/2 adsorption*)) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
[E] 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	[E-1] 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	TITLE-ABS-KEY (((surplus* PRE/2 electric*) OR p2g OR (power* PRE/2 gas*)) AND (electric* OR hydrogen* OR oxygen*) OR (electrolysis* OR polyelectrolyte* OR (fuel* PRE/2 cell*))) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
	[E-2] 수소 안전 제도기술	TITLE-ABS-KEY ((hydrogen* PRE/2 (produc* OR generat* OR applicat* OR infra* OR utility* OR plant*)) AND (secur* OR risk* OR accident*) AND (predict* OR prevent* OR assess*)) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
[F] 공통 핵심 기술	[F-1] ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	TITLE-ABS-KEY (((hydrogen*) PRE/2 (produc* OR generat* OR applicat* OR infra* OR utility* OR plant*)) OR (control* AND maintenance* AND maintain* AND monitor* AND operat* AND manage*) AND (data* OR ict OR iot OR (information* PRE/2 communication*) OR (internet* PRE/2 thing*))) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))
	[F-2] 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	TITLE-ABS-KEY (((hydrogen*) PRE/2 (produc* OR generat* OR applicat* OR infra* OR utility* OR plant*)) AND (design* OR construct* OR build* OR operat* OR manage*) AND modul*) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 2003 AND PUBYEAR < 2019 AND (EXCLUDE (AFFILCOUNTRY , "China"))

□ 기술분야·연도 별 논문 수

○ 최근 15년간 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술과 관련된 논문 수는 63,568건 발간되었고 그 중 [A] 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술이 32,757건(51.5%), [D] 정제 및 분리기술이 18,717건(29.4%)로 중분류 기술별 논문의 대부분의 비중을 차지

<표 2-3-13> 기술별 논문 수

중분류	소분류	논문수(건)	비중(%)
합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	원료 균질화를 위한 전처리 기술	2,106	3.3%
	폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술	28,166	44.3%
	펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술	2,485	3.9%
바이오 가스 생산 기술	음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술	598	0.9%
개질 및 변환 기술	천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술	3,341	5.3%
	합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	2,980	4.7%
	기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술	289	0.5%
정제 및 분리 기술	합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	14,019	22.1%
	수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술	4,698	7.4%
잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	1,597	2.5%
	수소 안전 제도기술	268	0.4%
공통 핵심 기술	ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	2,736	4.3%
	모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	285	0.4%
합계		63,568	100%

(단위: 건, %)

○ 총 논문 수는 '04년 2,059건에서 '19년 5,552건으로 연평균 7.3% 증가하였음

○ 기술별로는 15년간 [E] 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발의 논문의 연평균 증가율이 13.0%로 높게 나타나, 연구가 활발히 진행되는 것으로 판단

○ 최근 5년으로 범위를 한정지어도, [E] 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 논문 수가 연평균 16.5% 증가하여 최근 들어 관심이 증가하고 있는 것으로 판단

<표 2-3-14> 연도별 논문 수 추이

구분	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	계
A-1	58	80	87	83	102	152	164	170	160	166	159	170	167	203	165	2,106
A-2	1,019	1,207	1,268	1,348	1,815	2,308	1,917	1,808	1,763	1,966	2,065	2,240	2,480	2,513	2,449	28,166
A-3	61	64	99	121	115	142	162	163	185	176	189	264	215	302	227	2,485
A	1,138	1,351	1,454	1,552	2,032	2,602	2,243	2,141	2,108	2,308	2,413	2,674	2,862	3,038	2,841	32,757
B-1	23	17	22	29	21	39	42	34	36	48	49	64	62	57	55	598
B	**23**	**17**	**22**	**29**	**21**	**39**	**42**	**34**	**36**	**48**	**49**	**64**	**62**	**57**	**55**	**598**
C-1	80	109	150	181	170	205	202	226	247	287	258	290	312	351	273	3,341
C-2	57	76	113	151	150	189	192	203	226	241	233	270	290	319	270	2,980
C-3	13	15	8	17	12	12	10	16	9	13	17	20	30	55	42	289
C	150	200	271	349	332	406	404	445	482	541	508	580	632	725	585	6,610
D-1	453	500	568	615	657	817	973	1,032	1,040	1,141	1,123	1,290	1,314	1,336	1,160	14,019
D-2	178	182	217	243	310	317	312	310	295	324	365	382	433	443	387	4,698
D	631	682	785	858	967	1,134	1,285	1,342	1,335	1,465	1,488	1,672	1,747	1,779	1,547	18,717
E-1	39	41	54	78	68	74	98	80	89	85	115	139	171	229	237	1,597
E-2	8	3	10	15	22	19	14	24	15	11	26	21	19	38	23	268
E	47	44	64	93	90	93	112	104	104	96	141	160	190	267	260	1,865
F-1	65	84	95	113	161	170	179	249	271	209	235	212	220	230	243	2,736
F-2	5	7	9	11	20	14	23	18	25	19	14	27	25	47	21	285
F	70	91	104	124	181	184	202	267	296	228	249	239	245	277	264	3,021
합계	**2,059**	**2,385**	**2,700**	**3,005**	**3,623**	**4,458**	**4,288**	**4,333**	**4,361**	**4,686**	**4,848**	**5,389**	**5,738**	**6,143**	**5,552**	**63,568**

* (A-1): 원료 균질화를 위한 전처리 기술, (A-2): 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술, (A-3): 펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술 / (B-1): 음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술 / (C-1): 천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술, (C-2) 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술, (C-3): 기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등)
생산 기술 / (D-1): 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술, (D-2): 수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술 / (E-1): 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술, (E-2):수소 안전 제도 / (F-1): ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술, (F-2): 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술
* CAGR: 연평균 증가율

○ 국가별 논문 분석결과 미국, 인도, 스페인 순으로 연구가 진행되었고, 이들 국가는 그간 연구의 중심이었던 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술과 정제 및 분리 기술 위주로 연구를 추진하였던 것으로 추정

<표 2-3-15> 논문 게재 상위 10개국

순위	국가	논문 수(건)
1	미국	10,685
2	인도	4,656
3	스페인	3,664
4	일본	3,399
5	이탈리아	3,178
6	한국	3,165
7	독일	2,522
8	캐나다	2,191
9	프랑스	1,710
10	영국	1,402

○ 피인용 수가 높은 기술 분야는 [A-2] 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술, [D-1] 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술, [D-2] 수소/이산화탄소 혼합 가스로부터 수소 분리 기술 순으로 분석

<표 2-3-16> 기술 분야별 피인용수

중분류	소분류	피인용수(회)
합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	원료 균질화를 위한 전처리 기술	28,408
	폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술	109,620
	펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술	24,178
바이오 가스 생산 기술	음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술	6,482
개질 및 변환 기술	천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술	30,970
	합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	31,012
	기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술	3,073
정제 및 분리 기술	합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	94,678
	수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술	48,510
잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	17,213
	수소 안전 제도	3,781
공통 핵심 기술	ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	38,869
	모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	4,412
합계		441,206

○ 검색된 논문의 총 피인용수 441,206회이며, 그 중 미국이 가장 높은 91,912회를 기록,

총 피인용 수와 피인용도가 높은 국가로는 독일, 영국, 인도 등의 순으로 나타났으며, 한국은 피인용도 기준 7위 수준

<표 2-3-17> 국가별 피인용수 상위 10개국

순위	국가	총 피인용수(회)
1	미국	91,912
2	인도	32,658
3	독일	30,208
4	스페인	28,718
5	영국	26,073
6	이탈리아	25,737
7	한국	21,654
8	캐나다	19,021
9	프랑스	18,562
10	일본	15,904

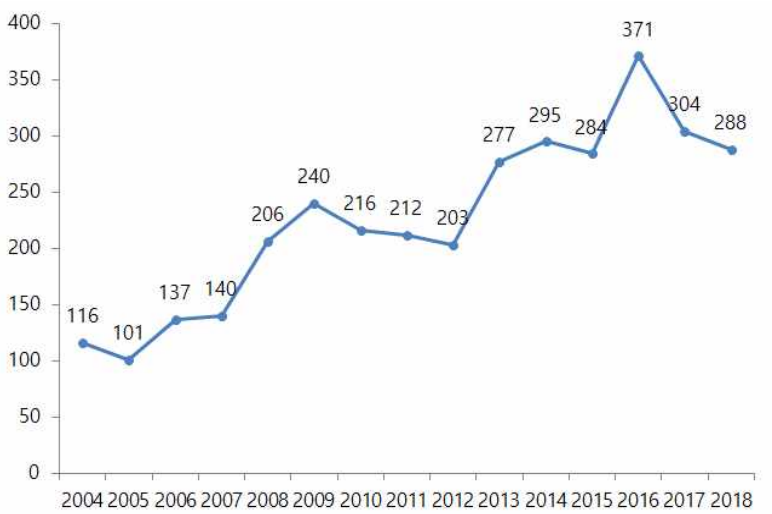
*기술별 피인용수 상위 2,000개를 대상으로 하였음

2.2.4 우리나라 논문분석

□ 논문 수

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술개발 분야에서 우리나라 연구자가 발표한 논문은 총 3,390건이고, 전 세계 논문 발표건수 대비 5.3%를 차지

○ 최근 3년간 논문실적은 조금 하락했지만 전체적으로 증가 추세



[그림 2-3-12] 우리나라 연도별 논문 수 추이

□ 기술 분야별 논문 수

○ 전 세계 논문 중 비중이 높은 국내 기술 분야는 [E-2] 수소안전제도, [D-2] 수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술 등

<표 2-3-18> 기술별 논문 수

중분류	소분류	논문		총논문 대비 비중(%)
		논문 수 (건)	비중 (%)	
[A] 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	[A-1] 원료 균질화를 위한 전처리 기술	107	3.2%	5.1%
	[A-2] 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술	1,339	39.5%	4.8%
	[A-3] 펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술	104	3.1%	4.2%
[B] 바이오가스 생산 기술	[B-1] 음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술	40	1.2%	6.7%
[C] 개질 및 변환 기술	[C-1] 천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술	174	5.1%	5.2%
	[C-2] 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	154	4.5%	5.2%
	[C-3] 기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술	13	0.4%	4.5%
[D] 정제 및 분리 기술	[D-1] 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	915	27.0%	6.5%
	[D-2] 수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술	326	9.6%	6.9%
[E] 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	[E-1] 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	74	2.2%	4.6%
	[E-2] 수소 안전 제도	23	0.7%	8.6%
[F] 공통 핵심 기술	[F-1] ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	105	3.1%	3.8%
	[F-2] 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	16	0.5%	5.6%
합계		3,390	100.0%	5.3%

○ 피인용 논문 수 분석결과 우리나라는 합성가스 기반 수소 생산 플랜트건설 기술은 7위에 포함될 정도로 연구가 진행되어 있었고 특히, 총논문 대비 피인용수 비중이 높은 기술로 [B-1] 음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술(14.9%), [A-2] 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술(14.5%), [D-1] 합성가스 및 바이오

가스 고도 정제 기술(10.7%) 등 순서

<표 2-3-19> 우리나라의 피인용 현황

중분류	소분류	피인용수 (회)	총 논문 대비 비중(%)
[A] 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	[A-1] 원료 균질화를 위한 전처리 기술	1,091	3.8%
	[A-2] 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술	15,853	14.5%
	[A-3] 펫코크 이용 분류층 순산화 가스화 기술	858	3.5%
[B] 바이오가스 생산 기술	[B-1] 음식물류 폐기물 및 하수슬러지 혐기소화 기술	967	14.9%
[C] 개질 및 변환 기술	[C-1] 천연가스 및 바이오가스 CO_2-added 개질 기술	1,734	5.6%
	[C-2] 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	1,561	5.0%
	[C-3] 기체수소 활용 액상 수소(암모니아 등) 생산 기술	270	8.8%
[D] 정제 및 분리 기술	[D-1] 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	10,087	10.7%
	[D-2] 수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술	3,980	8.2%
[E] 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	[E-1] 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	573	3.3%
	[E-2] 수소 안전 제도	208	5.5%
[F] 공통 핵심 기술	[F-1] ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	1,363	3.5%
	[F-2] 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	163	3.7%
합계		38,708	9.7%

3. 기술수준 분석

○ 각 세부과제에 대한 국내의 대표기관들을 조사하고 이들 기관들의 기술수준을 국외의 대표기관과 비교 및 분석한 결과를 아래 표에 정리

<표 2-3-20> 합성가스 생산 기술 국내외 대표기관 비교 분석

세부과제명	세부기술명	대표기관		비교 분석
		국내	국외	
합성가스 생산 기술	원료 균질화를 위한 전처리 기술	CES, 경동, 삼양에코너지, 고등기술연구원, 한국에너지기술연구원, 한국생산기술연구원	ECN, BTG, Topell Energy, Andritz/ECN, Biolake , Buhler, Agri-tech Producers	• 국내의 경우 유럽연합이나 북미지역 국가들에 비해 상용화 진입 단계에 뒤처져 있는 실정으로 2010년부터 고품질의 탄화펠릿 연료 생산 공정기술 개발을 시작 • 유럽연합과 북미 지역을 중심으로 기술개발이 이루어져 왔으며, 네덜란드의 ECN은 반탄화 기초, 파일럿, 상용화 기술개발 완료
	폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술	포스코건설, 코오롱글로벌, 대우건설, 한라산업개발, 한솔이엠이, ATS, 삼호환경기술, 삼양에코너지, 고등기술연구원, 한국에너지기술연구원, 한국생산기술연구원	Lurgi, Shell, Gussing, Novel, PRME, Enerkem	• 국내의 경우 2000년 이후부터 본격적인 연구가 시작되어 주로 파일럿 플랜트급 위주로 연구가 진행되었고, 상용화 설비는 국내 설치 사례는 소형설비로 소수에 불과한 실정 • 해외의 경우 폐기물 가스화 기술은 독일, 오스트리아, 스웨덴과 같은 유럽국가들의 기술력이 선도적 위치에 있으며, 독일은 330톤/일급 가스화기를 상용화하여 100,000Nm³/h의 합성가스 공급할 수 있는 능력 확보
	펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술		CB&I, GE Energy, ECUST	• 국내의 경우 1990년 이후부터 본격적인 연구가 시작되었으나 주로 파일럿 플랜트급 위주로 연구가 진행되었으며, 또한 석탄 위주로 연구가 진행되어 펫코크 가스화에 대한 연구 실적은 짧은 기간 동안만 이루어진 실정 • 해외의 경우 상용급 석탄 가스화 기술 보유 업체 위주로 펫코크에 대한 기술개발 실적을 확보하였으며, 특히 CB&I의 경우 인도에 세계 최대 규모(2000톤/일급 12기, 2만톤/일 처리) 펫코크 활용 가스화 프로젝트 추진 중

<표 2-3-21> 바이오가스 생산(혐기 소화) 기술 국내외 대표기관 비교 분석

세부과제명	세부기술명	대표기관		비교 분석
		국내	국외	
바이오가스 생산 기술	전처리 기술	고등기술연구원, 현대건설, BK	• Malchin, Munchen Walpole, Veolia	• 국내의 경우 2000년 이후부터 본격적인 연구가 시작되어 주로 파일럿 플랜트급 위주로 연구가 진행되었고, 상용화 설비는 고등기술연구원이 수도권매립지관리공사 내 설치한 50톤/일급 사례가 유일함 • 국외 전처리 기술의 경우 음식물류 폐기물 및 하수슬러지의 가용화에 초점이 맞춰져 있음
	바이오메탄/수소 발생 공정 기술	포스코건설(주), 대우건설(주), 코오롱건설(주), 삼성물산(주), GS건설(주), 동부건설(주), 한라산업개발(주), 효성에바라환경(주), 두산중공업(주), 삼성비피화학(주), 서희건설(주), 한솔EME(주)	• Strabag Umweltanlagen, GmbH, Valorga International, Schmack Biogas Ag	• 해외의 경우 바이오가스화 기술은 독일, 스웨덴, 덴마크와 같은 유럽국가들의 기술력이 선도적 위치에 있으며, 독일은 2016년 기준 9,000개 이상의 바이오가스 플랜트가 설치되었으며, 생산 전력량은 4,100MW로 독일의 약 8백만 가구에 공급할 수 있는 능력 확보 • 유럽의 경우 소규모 분산형 바이오가스 시설 건설이 증가하고 있음
	바이오가스플랜트 부생 암모니아 수소 생산 기술	광주과학기술원, 한국과학기술연구원	• 오히타 대학, 니폰쇼쿠바이, 뉴욕 주립대	• 국내/외 고농도 암모니아로 부터의 수소 생산 기술은 원전기술을 통한 실증 개발 단계에 있으나, 바이오가스 플랜트로부터 생산되는 고농도 암모니아로부터의 수소 생산 기술은 원천 기술 단계에 있음

<표 2-3-22> 잉여전기 이용 수소 생산 기술 국내외 대표기관 비교 분석

세부과제명	세부기술명	대표기관		비교 분석
		국내	국외	
잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	엘켐텍, 이엠코리아, 한국에너지기술연구원	Hydrogenics(CA), SIEMENS(DE),), ITM Power(GB), Proton Energy Systems(US)	• 국내 500kW급 수전해 모듈 개발하였으나 PEM의 핵심기술인 고체전해질막은 해외기술에 의존, P2G 실증기술은 없음. 국외 대표기업은 실증기술 및 상용화 기술 보유
	P2G 플랜트 산소 활용 기술	엘켐텍, 이엠코리아, 한국에너지기술연구원	Hydrogenics(CA), SIEMENS(DE),), ITM Power(GB), Proton Energy Systems(US)	• 산소 활용 기술의 원천 기술이 수전해 기술이라 볼 수 있으며 기본적인 수전해 설비 기술을 확충하고 산소 활용 기술을 확보 하여야 함
	P2G 플랜트 설계 및 공적 최적화 기술	현대엔지니어링, 삼성엔지니어링, GS건설, POSCO	EXYTRON GmbH, Electrochaea GmbH, Hydronenics, Enertrag AG, ETOGAS, microbEnergy	• 국내 정유/화학 플랜트 설계 및 최적화 기술은 보유하고 있지만 EPC 경험이 상대적으로 적으며 P2G 설계 기술은 없음 • 독일을 중심으로 P2G 설계 및 실증 기술을 보유하고 있으며 상용 플랜트 설계기술 확보
	P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술	현대건설, GS건설, POSCO, 대우건설	EXYTRON GmbH, Electrochaea GmbH, Hydronenics, Enertrag AG, ETOGAS, microbEnergy	• 국내 정유/화학 플랜트 건설 및 운영기술은 보유하고 있으나 P2G 플랜트 건설 운영기술은 없음 • 국외 선진사와 같은 경우 다수의 실증 플랜트가 운전중이며 상용 플랜트 역시 가시적 성과를 보임
	수소 안전/제도	KGS	TUV	• 국내 수소 관련 안전제도는 있으나 P2G 플랜트 관련 설계/건설에 대한 안전성에 대한 지침은 없음

<표 2-3-23> 개질 및 변환 기술 국내외 대표기관 비교 분석

세부과제명	세부기술명	대표기관		비교 분석
		국내	국외	
개질 및 변환 기술	개질 촉매 및 개질기 설계 기술	한국에너지기술연구원, 한국화학연구원, 전남대, 영남대, 희성촉매, 이노월, ㈜신넥앤테크, ㈜제이오, CES	HYOS-R (Air Liquide), HYSERVE (Osaka Gas), HyGeia (MKK)	• 국외의 경우 실증연구가 완료되었지만, 국내의 경우 기술 확보를 위해 집중적인 지원과 시간요 필요함
	수성가스전환 촉매 및 반응기 기술	한국에너지기술연구원, 고등기술연구원, RIST	Alfa Aesar, Client, Haldor Topsoe	• 현재 상용촉매가 시장을 잠식한 상황이기 때문에 반응기나 공정개발 분야로 연구가 수행되고 있음

<표 2-3-24> 정제 및 분리 기술 국내외 대표기관 비교 분석

세부과제명	세부기술명	대표기관		비교 분석
		국내	국외	
정제 및 분리 기술	합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	대우건설, 두산중공업, 포스코건설, KC코트렐, 가스기술공사, 금호환경, 태린, PTK, 에너지기술연구원, 과학기술연구원, 고등기술연구원, 전력연구원	UOP, Merichem, Eastman Chemical, Lurgi, Shell, MHPS, Siemens, Ube	• 집진 기술 분야는 국외 기술과 국내 기술이 거의 동등한 수준 • 합성가스 내 산성가스 제거관련 대규모 상업화 기술은 미국(UOP, Merichem), 독일(Siemens), 네덜란드(Shell) 등이 보유 • 국내 Pilot 규모 합성가스 내 산성가스 제거기술은 국외 기술과 동등한 수준으로 대규모 설비에 대한 실증기술 개발 필요
	수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리 기술	대우건설, 두산중공업, 포스코건설, 가스공사, 젠스엔지니어링, 에어레인, 에너지기술연구원, 과학기술연구원, 화학연구원, 고등기술연구원	UOP, Air Products and Chemicals, Air Liquide, Linde, Messer, TECNALIA Research & Innovation, HyGear B.V., Norsk, BOC, Praxair, Velocys, RTI, GTI, Katalistiks International Inc, Showa Denko, MHPS, Xebec	• 국외 PSA 기술의 경우 미국(Air Products and Chemicals), 프랑스(Air Liquide), 독일(Linde) 등이 대규모 상업화 기술을 보유하고 있으며, 고효율화 위한 기술개발 추진 중 • 국내의 경우 수소 분리를 위한 PSA 기술이 개발되어 상용화 적용 중에 있으며, 건설비 저감 및 고효율화를 위한 기술개발 추진이 필요 • 국외 수소 분리막 기술의 경우 미국(UOP)에서 대용량 처리를 위한 기술을 개발하여 상용화 적용 중이며, 지속적인 기술개발을 통해 점차적으로 시장에 진입 중 • 국내 수소 분리막 기술의 경우, 소재 및 단위 모듈 개발 등 소규모 기술개발이 추진되고 있으며, 상용화를 위한 대용량화, 고효율화, 저가화, 내구성 향상 등에 대해서는 지속적인 기술개발과 실증 기술 개발이 필요

4. R&D 인프라 현황

○ 각 세부과제에 대한 국내의 연구개발 인프라 현황을 조사한 결과를 아래 표에 정리

<표 2-3-25> 합성가스 생산 기술 국내 연구개발 인프라 현황

원료	관련 연구기관	연구시설 규모	주요 연구내용	관련 연구인력	잠재 연구 인력 여부	역량분석
폐기물	고등기술연구원/대우건설	5톤/일	고정층 순산소 가스화를 이용한 합성가스 생산 및 합성가스 정제/이용	35명	O	• 합성가스 생산, 정제, 이용 관련 기술력 확보 • 100톤/일급 가스화 설비 설계기술확보 • Pilot 규모에서의 2주 이상의 연속운전 경험 보유 • Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 상업화를 위한 운전/설계 등의 관련 기술 확보
	한국에너지기술연구원	5톤/일	합성가스 제조 및 원료물질 회수	10명	O	• 합성가스 생산, 정제, 이용 관련 기술력 확보 • Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 연속적이지 못한 예산지원
	롯데비피화학	5톤/일 (고등기술연구원 보유 설비)	고정층 순산소 가스화를 이용한 고순도 CO/H_2 생산	5명	일부 가능	• 화학원료 전환을 위한 100톤/일급 가스화 설비 설계기술확보 • 상업용 연계 부족 • 연속적이지 못한 예산지원 • 상업화를 위한 자체 설계 기술력 확보
	삼호환경기술	8톤/일	고정층 공기가스화를 이용한 합성가스 생산 및 가스엔진 발전	5명	일부 가능	• Pilot 규모에서의 2주 이상의 연속운전 경험 보유 • Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 80톤/일급 scale-up 예정 • 연구인력 부족
	코오롱건설	10톤/일	로타리킬른 가스화 및 합성가스 연소 열회수	5명	사업화 참여	• 연구인력 부족 • Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 과제종료로 설비 철거
	효성에바라 엔지니어링	10톤/일	하수슬러지 유동층 가스화 및 합성가스 연소 열회수	5명	일부 가능	• Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 과제종료후 설비 철거 • 연구인력 부족
	GS플라텍	10톤/일	공기이용 플라즈마 가스화 용융	10명	일부 가능	• 상업용 규모의 scale-up 기술 부족
	대학(연세대/공주대/군산대/전주대/서울과기대 등)	랩규모	가스화특성/공정모사/합성가스 정제특성	20명	O	• Lab 규모의 실험을 통한 가스화, 정제, 이용 관련 요소기술 개발 • 연속적이지 못한 예산지원
바이오매스	대원 GSI	20톤/일	왕겨의 공기가스화 가스엔진 발전	5명	일부 가능	• 상업용 규모의 scale-up 기술 부족 • 연구인력 부족
	한국에너지기술연구원	2톤/일	목질계 바이오매스 가스화를 통한 가스엔진 발전	10명	O	• Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 연속적이지 못한 예산지원
	한국생산기술연구원	1톤/일	바이오매스 이종 유동층 가스화에 의한 고부가가치 합성가스 연료 생산	10명	O	• Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 연속적이지 못한 예산지원
	대학(군산대/전북대/한경대/공주대/성균관대/서울시립대 등)	랩규모	가스화특성/공정모사/합성가스 정제특성	25명	O	• Lab 규모의 실험을 통한 가스화, 정제, 이용 관련 요소기술 개발 • 연속적이지 못한 예산지원
펫코크	고등기술연구원	2톤/일	자체 펫코크 슬러리 가스화 버너 기술 및 파일롯급 펫코크 가스화기 설계 기술	20명	O	• 자체 펫코크 슬러리 가스화 버너 기술 보유 • 소규모로 짧은 기간 연구 경험에 국한됨
	한국에너지기술연원	10톤/일	합성석유 생산을 위한 연구	5명	O	• 주로 석탄슬러리 가스화 연구 • 간헐적으로 펫코크에 대한 연구 수행 경험 보유

<표 2-3-26> 바이오가스 생산(혐기소화) 기술 국내 연구개발 인프라 현황

업종	관련 연구기관	연구시설 규모	주요 연구내용	관련 연구인력	잠재 연구 인력 여부	역량분석
바이오 메탄/수소 발생 설비	비케이환경종합건설㈜	3톤/일	전처리 공정 및 혐기성 소화 공정 확립	16명	대부분 가능	• 시운전을 통한 공정 최적화 및 운전인자 도출 • 병합혐기성소화를 통한 3종 이상 원료 처리 • 기존 시설과 연계성 우수 • 전처리 공정 설계 및 제작 • 바이오가스 분리막 공정 설계 및 제작 • 상업용 연계 부족 • 연속적이지 못한 예산지원
	㈜ 에코데이	5톤/일	음식물류 폐기물, 가축분뇨 통합 혐기성소화 기술개발	5명	일부 가능	• 축산 및 음식물류 폐기물 혼합 폐수 바이오가스 발생량 60m3/m3 달성 • 연속적이지 못한 예산 • 연구인력 부족
	대우건설	100톤/일	100톤/일급 실증 바이오가스 연속 운전 및 시스템 확립	17명	일부 가능	• 바이오가스 실증 플랜트 운영 및 시스템 확립 수행 • 환경신기술 검증을 통한 국내외 사업화 추진 • 상업화를 위한 자체 설계 기술력 확보
	한국과학기술원	H2S 농도 100ppm 이하 유지	축매 황피독 저감을 위한 바이오가스내 H2S 농도 저감기술 개발	5명	O	• 바이오가스 생산 생물반응조 내 유기황의 거동 및 H2S 발생 메커니즘 규명 • 바이오가스 내 H2S 농도 100ppm 이하 유지 • 바이오가스 열량 150Mj/m3 및 CO2 분압 20% 이하 유지 기술 개발 • 150일 이상 운전을 통한 공정 적용성 및 안정성 검증
	현대건설 ㈜	80톤/일	80톤/일급 한국형 음식물류 폐기물 바이오가스화 플랜트 상용운전 평가 및 운영시스템 구축	32명	대부분 가능	• 상용급 유기성 폐자원 에너지화 통합 플랜트 시공 및 시운전 • 80톤/일급 한국형 바이오가스 플랜트 장기 운전 및 평가 • 장기 운전을 통한 EPCM 도출 • 악취 및 공정부산물 배출량 저감을 통한 기술 공간 집약도 개선
	아와이에너지주식회사	139톤/일	음식물류 폐기물 전처리 시설 및 바이오가스화 시설 공정 기술 개발	5명	일부 가능	• 음식물류 폐기물 전처리 기술 개발 • 당사 혐기성소화 시설 운전을 통한 바이오가스 생산량 극대화 • 연구인력 부족
	서진에너지	10톤/일	EMS 교대교차주입형 막결합시스템 이용 고효율 혐기성 소화 기술 개발	4명	일부 가능	• 10톤/일급 분리형 UF 멤브레인 시스템 설계 • 저에너지형 양방향 교대교차여과 멤브레인 모듈 설계 표준화 • 연구인력 부족
	에스케이케미칼㈜	30톤/일	수슬러지 감량 및 에너지화를 위한 혐기성소화 공정 실증화	13명	일부 가능	• 고온, 고율 혐기성소화공정 30톤/일급 운전 매뉴얼 및 경제성 평가 • 한국형 바이오가스 생산 활용 통합시스템 구축을 위한 신기술 검증/인증 추진 • 친환경 녹색 사업화/상용화 모델 창출 및 수출화 방안 모색
전처리 설비	현대건설 ㈜	10톤/일	유기성 슬러지로 부터 고형분 분리하여 고체연료 생산과 동시에 액체 생산물은 혐기소화를 하여 메탄가스 생성	23명	대부분 가능	• 유기성 슬러지 감량화 80% • 10톤/일 처리용량 플랜트 운전을 통한 환경신기술 검증 • 100톤/일급 상용플랜트 설계 위한 scale-up 인자 확보
	대명테크	30톤/일	하수슬러지 열가수분해 공정을 통한 바이오가스 생산효율 최대화 및 슬러지 감량 기술 개발	7명	일부 가능	• 혐기성소화 휴율 향상 및 에너지 절감을 위한 하수슬러지 고농축 기술 개발 • 고온, 고압 슬러지 열적 전처리 기술개발 • Test-bes 운전을 통한 상용화 인자 도출
	고등기술연구원	50톤/일	수열탄화 공정을 이용한 하수슬러지 감량화 및 에너지 생산 플랜트 개발	20명	O	• 50톤/일급 하수슬러지 감량 및 에너지 생산 플랜트 개발 • 50톤/일급 전처리 기술 설계 및 시공 기술 확보 • 후단 혐기소화 기술과의 연계성 검토 필요
	㈜디스텍	3톤/일	고함수율 유기성폐기물을 비중발형 열가수분해 반응에 의해 물을 분리, 에너지 절감형 감량화 및 고체연료 생산 공정 개발	7명	일부 가능	• 유기성폐기물별 열가수분해 반응분해 최적화 • 유기성폐기물별 반응기 설계인자 도출 • 유기성폐기물별 실증화 평가 도출
	엔텍스㈜	30톤/일	하수슬러지 열적가용화 시설의 30톤/일급 설계/시공/운영 기술 확보	14명	일부 가능	• 저속회전드럼형 고농도 농축기와 결합된 열적가용화공정 설계 • 30톤/일급 규모 Test-bed 운전을 통하 문제점 파악 및 개선 • 하수슬러지 습식 열적가용화 전처리 기술 확립

<표 2-3-27> 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 국내 연구개발 인프라 현황

업종	관련 연구기관	연구시설 규모	주요 연구내용	관련 연구인력	잠재 연구 인력 여부	역량분석
수전해	수소에너젠	-	수소발생기 제작	6명	O	• 수전해 기술로의 수소생산 관련 기술력 확보 • 수산가스발생기의 안전시스템 및 전원공급장치 기술보유 • 전해조 및 수분제거장치 등 기타 특허보유
	한국에너지기술연구원	1 Nm3/h	제로갭 알칼라인 수전해 전극 대형화 기술	9명	O	• 직경 400mm 규모 알칼라인 전극 기술 개발 • 제로겝 스택 디자인 및 BOP 설계 기술 • 5 Nm3/h이상급 대면적 알칼라인 수전해 연구과제 진행 중
	주진테크	-	생산장비 부품제작 및 수전해장비 제작	41명	일부 가능	• 1,2차 배관기술력 확보 • 최대 200m3/h수전해 장치기술확보 • 물전기분해방식수소제조설비
	이엠솔루션	10 Nm3/h	알칼라인 수전해 시스템 개발	40명	일부 가능	• 60 Nm3/h급 수전해 기반 수소충전소 건설 • 600 Nm3/h급 수전해 기반 해군 수소 공급 설비
	엘켐텍		PEM 수전해 시스템 개발	21명	O	• PEM 수전해 전극 및 시스템 기술 개발 • 선박용 전해설비 공급
건물용 연료전지	에스퓨얼셀	-	연료전지제조개발 일자전지 제조	13명	O	• 한국가스안전공사 제품인증(설계단계검사)획득 • 국내최초 한국에너지관리공단 설비인증(건물용 연료전지)획득 • 국내 연료전지 최초 KS인증
	두산퓨얼셀	-	신재생 에너지 발전기술 개발 및 관련제품	200명	일부 가능	• 국내최초 1kW 연료전지 공급 • 주택용 연료전지 사업선도기업인 퓨얼셀과워와합병 • 발전용,주택용 연료전지 개발
저장용기 및 수송용 용기	대흥정공	200/월	수소전용 복합재 용기 개발	3명	일부 가능	• 로봇와인딩기를 통한 특수형상 제품 제작 가능 • 고압용 플라스틱 라이너 제작에 풍부한 경험
	일진복합소재	1000/월	수소전용 복합재 용기 개발	15명	일부 가능	• 약 20년간 복합재 용기 개발 • 현대자동차 수소용기 독점 납품 • 다양한 사이즈 및 압력별 용기 제품 • 국내 및 국외인증제품 다수 보유
	태광후지킨	830개/월	수소전용 복합재 용기 개발	8명	일부 가능	• 대형 복합재 용기 제작 및 시험 시설 보유 • 국내 및 국외 인증 제품 보유

<표 2-3-28> 개질 및 변환 기술 국내 연구개발 인프라 현황

업종	관련 연구기관	연구시설 규모	주요 연구내용	관련 연구인력	잠재 연구 인력 여부	역량분석
개질 촉매 및 개질기 설계 기술	한국에너지기술연구원	30 Nm^3/h	스팀개질기 제작, 운전기술	10명	O	• 스팀개질기 운전기술 확보 • 수소생산 시스템 패키지화 기술 보유
	한국화학연구원	800 Nm^3/h	복합개질기 제작, 운전기술	10명	O	• GTL 공정 개발에 적용 • 촉매설계 기술 확보
	영남대	-	액상연료 개질 촉매 및 개질기	5명	O	• 디젤개질용 촉매설계 및 대량제조 기술 보유
	희성촉매	-	촉매 대량생산	10명	O	• 개발촉매에 대한 대량제조 가능
	이노월	-	개질기 제작	5명	일부 가능	• 개질기 제작 기술 확보 • Diffusion 접합방식의 개질기 제작기술 확보
	㈜신넥앤테크	20 Nm^3/h	촉매 및 개질기 개발 (SMR, ATR)	-	일부 가능	• ATR 기술 보유 • 모노리스형 촉매 개발
	㈜제이오	-	공정 설계	50명	일부 가능	• EPC 수행 • 개질기를 포함한 증류탑, 열교환기 등 설계기술 확보
	CES	-	공정 설계	20명	일부 가능	• EPC 수행 • 개질기를 포함한 증류탑, 열교환기 등 설계기술 확보
수성가스 전환 촉매 및 반응기 기술	한국에너지기술연구원	-	SMR과 연계	5명	O	• 상용촉매 적용 • 반응기 설계 기술 확보
	고등기술연구원	-	가스화기와 연계	5명	O	
	RIST	-	제철부생가스와 연계	5명	O	• 촉매 및 반응기 설계 기술 확보

<표 2-3-29> 정제 및 분리 기술 국내 연구개발 인프라 현황

업종	관련 연구기관	연구시설 규모	주요 연구내용	관련 연구인력	잠재 연구 인력 여부	역량분석
합성가스 및 바이오 가스 고도 정제	고등기술연구원	250 Nm^3/hr	• H_2S 0.1 ppm 이하 제거 • 미량가스 고순도 제거 • 분진제거용 금속필터 개발 • 고온 탈황 통합공정 운전기술 개발	20명	O	• 파일럿규모 합성가스내 습식 H_2S 0.1 ppm 이하 저비용 고효율 제거 기술 확보 • 파일럿규모 합성가스 정제 설비 통합 운전기술 확보
	한국에너지기술연구원	800 Nm^3/hr	• H_2S 및 COS 1 ppm 이하 동시 제거 • 분진제거용 세라믹필터 개발	10명	O	• 파일럿규모 고온 산성가스 정제 기술 확보 • 파일럿규모 합성가스 정제 설비 운전 기술 확보
	한국과학기술연구원	파일럿규모	• 분진제거용 세라믹필터 개발	5명	O	• 파일럿규모 고온 집진 기술 확보
	대학(영남대, 경북대, 건국대 등)	랩규모	• 산성가스/미량가스 제거용 소재 개발	20명	O	• 산성가스/미량가스 제거용 소재 제조 기술 확보 • 합성가스 정제 설비 해석기술 확보
수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리	젠스엔지니어링	상용규모 (소용량)	• 고순도 수소 분리용 PSA 기술	10명	일부 가능	• 고순도 수소 분리용 PSA 설비 상용화 (소규모 설비) • 수소 분리용 흡착 소재 기술 확보
	가스기술공사	100 Nm^3/hr	• 수소 분리막 소재 및 모듈 개발	10명	일부 가능	• 수소 분리막 소재/모듈 개발 및 상용화 적용 중
	한국에너지기술연구원	100 Nm^3/hr	• 고순도 수소 분리용 PSA 기술 개발 • 수소 분리막 소재 및 소규모 모듈 개발	15명	O	• 수소 분리용 PSA 소재/설비 개발 및 기술 이전 • 수소 분리막 소재 및 공정기술 확보
	전력연구원	250 Nm^3/hr	• 합성가스 이용 수소 전환 소재 개발 • 수소 분리 기술 개발	10명	O	• 파일럿규모 합성가스 이용 수소전환 및 분리 기술 확보
	화학연구원	100 Nm^3/hr	• 수소 분리막 개발	5명	O	• 파일럿규모 수소 분리막 소재 및 모듈화 기술 확보

5. 주요 시사점

○ 중분류 기술별 기존 국내기술의 한계점 및 해결 방안을 분석하여 아래와 같이 개발전략을 도출

<표 2-3-30> 중분류 기술별 기존 국내기술의 한계점 및 해결 방안 분석을 통한 개발전략

기술명	한계점	해결방안	시사점 및 개발전략
합성가스 생산	- 핵심적인 원천기술 및 축적된 노하의 부족 - 폐기물/바이오매스 가스화는 장치비용이 기존 소각방식에 비하여 1.5배 정도로 높음 - 원격 O&M 서비스 경험 부족 - 합성가스 터빈이나 엔진사용경험 부족 - 연료전지 활용 수준의 고순도 수소 생산 경험 부재	- 모듈화/표준화/ICT적용 - 핵심 고유기술 확보 - 해외 지역별 특화 전략 - 초기단계 시장에 신속 대응 - 고도 정제 기술 자체 개발	- 기존 국가 R&D TRL 6 이상 기술 연계 및 활용 극대화 필요 - 국내고유 핵심 고리 기술 확보 - 상용급 test-bed 건설/운영을 통한 수출용 기술 검증 - ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 기술 확보
바이오가스 생산	- 국내 바이오가스 기술 해외 의존도 높음 - 국외 바이오가스 기술의 무분별한 도입으로 인한 운영기술 부족 - 바이오가스 시설 님비현상 - 바이오가스 시설 운영지표 측정 및 대응요령 미숙에 다른 가동 중지 - 바이오수소 생산 경험 부족	- 국내 실정에 적합한 바이오가스 기술 확보 - 운영지표 측정, 관리 등 운영관리지침 마련 - 신뢰성을 보장할 수 있는 시운전 의무 기간 설정 - R&D 투자 증가를 통한 바이오수소 기술 개발	- 기존 국가 R&D TRL 6 이상 기술 연계 및 활용 극대화 필요 - 국내 실정 적합한 바이오가스 단위 공정 기술 개발 - ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 기술 확보
잉여전기 이용	- 국내 수전해 장치의 기술력 부족 - 국내 재생에너지 발전 비중이 적어 잉여전력을 이용한 P2G 플랜트 실증이 어려움	- P2G에 적합한 PEM 수전해 효율 향상 기술 개발 - 3020 정책으로 국내 늘어나게 될 재생에너지 발전을 대비한 실증 기술 개발	- 재생에너지 연계를 위한 가변 전력 공급 장치를 이용한 P2G 실증 - 국내 수전해 개발 기술을 고도화 하여 실증 플랜트 운전
개질 및 변환	- 300 Nm^3/h급의 중소형 개질기에 대한 실증개발에 투자가 미비함 - 스팀개질의 경우 촉매는 많이 개발되었지만, 실제 가스와의 연계운전 실적이 부족함 - 촉매설계 보다는 주된 공정과 연계하여 안정적으로 운전하는데 에만 초점을 두고 있음 - 반응기도 단순히 설계가 가능하여 설계 기술 확보에 어려움이 있음	- 실증을 위한 집중적인 연구 지원이 필요함 - 반응기뿐 아니라 고유의 촉매설계 기술 확보와 더불어 국내기술을 활용할 수 있는 저변확대가 요구됨 - 특히, 바이오가스를 활용한 수소생산에 관심을 둘 필요가 있음 - 반응기뿐 아니라 고유의 촉매설계 기술 확보와 더불어 국내기술을 활용할 수 있는 저변확대가 요구됨	- 개발 기술들의 안정적인 운영을 위한 개발 전략 필요함 - 해외 시장보다는 국내 시장을 목표로 집중적인 지원이 필요함 - 활용분야는 많지만 국내시장 진입에 어려움이 있음 - 수소 활용을 위해서는 순도를 높여야 하기 때문에 이의 적용을 위한 신규 촉매의 개발이 필요함 (기존에는 HT+LT 적용)
정제 및 분리	- 장기 내구성 있는 소재 및 부품 기술 부족 - 축적된 운전 자료 및 노하우 기술 부족 - 실증 규모 설비 설계/시공/운전 기술 부족 - 적용 분야별 전문화된 기술 표준 부족 - Supply Chain, 전문가 및 인력 부족	- 내구성 향상 기술 확보 - 기 확보된 핵심 요소기술을 기반 실증화 기술 - 설비 표준화/모듈화 기술 개발 - 국내 시장의 기반 형성을 위한 세제지원, 정책지원 등 - 전문가 양성/기술 훈련 추진	- 기 확보된 국내 핵심 요소기술을 기반으로 한 실용화 기술 확보 및 설비 국산화 - 실증 규모 기술개발 추진을 통한 내구성 검증 및 실증화 기술 확보 - 설비 표준화/모듈화 기술 확보 - 국내 시장 보급을 위한 세제/정책 지원 및 전문인력 양성

제 3 장 기존 사업 성과 분석

제1절 기존 사업현황 및 추진경과

1. 기존 사업 현황

□ 합성가스 생산 기술

○ 환경부와 산업통상자원부를 중심으로 관련 과제가 주로 진행되었으며, 아래 표에 중요 사업과 과제현황을 정리

<표 3-1-1> 합성가스 생산 분야의 기존 사업 및 과제 현황

사업명	주관부처	과제명	연구기간
신재생에너지 융합원천기술개발	산업통상 자원부	상용규모 사업장폐기물 이용 고품질 합성가스 생산시스템 개발	'12~'15
		고열량 폐기물 합성가스로부터 메탄올 회수 기술 개발	'11~'14
폐자원에너지화·Non-CO_2 온실가스사업	환경부	보급형 중·소규모 생활폐기물 가스화 발전 시스템 개발	'10~'14
폐자원에너지화 기술개발사업	환경부	비성형 고형연료의 혼합산화제 가스화를 통한 고품질 합성가스 제조 기술 개발	'13~'18
신재생에너지 핵심기술개발	산업통상 자원부	IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	'16~'19

□ 바이오가스 생산 기술

○ 환경부와 산업통상자원부를 중심으로 관련 과제가 주로 진행되었으며, 아래 표에 중요 사업과 과제현황을 정리

<표 3-1-2> 바이오가스 생산 분야의 기존 사업 및 과제 현황

사업명	주관부처	과제명	연구기간
폐자원에너지화 기술개발사업	환경부	한국형 유기성 폐자원 바이오가스 에너지화 시스템 및 운영기술 개발	'13~'19
글로벌탑환경기술 개발사업	환경부	유기성폐기물 병합처리 및 바이오가스 발전시스템 개발	'08~'14
글로벌탑환경기술 개발사업	환경부	하수처리장 에너지 자립을 위한 한국형 바이오가스 생산·회수 및 활용 통합 실증화 기술개발	'11~'16
신재생에너지에너지 국제공동개발사업	산업통상 자원부	다단혐기소화시설과 멤브레인을 이용한 에너지절감형 바이오가스 분리정제기술 개발 및 말레이시아 발전시장 진출	'14~'17
-	한국학술 진흥재단	유기성 폐기물을 이용한 연속 바이오수소 생산 기술 개발	'06~'09
중소중견기업기술 지원 및 서비스사업	국가과학기술 연구회	음식물류 폐자원 유래 바이오수소 생산 및 균주 개량기술 개발	'17~'18
신재생에너지 핵심기술개발사업	산업통상 자원부	암모니아 분해 수소 생산/정제 시스템 개발	'18~'21

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용(Power-to-Gas, P2G) 플랜트 기술은 2000년대 초반부터 유럽을 중심으로 적용

○ Power-to-Gas의 핵심 공정인 수전해 공정에 대한 연구는 2003년도 한국에너지기술연구원에서 “고효율 수전해 수소제조 기술” 연구를 수행

○ 수전해 설비의 핵심 기반기술인 전극 기술에 대한 연구로 2003년 ㈜엘켐텍에서 “저온형 수전해용 전극제조기술 개발”을 수행

○ 2017년도 기후변화대응기술개발사업으로 “차세대 알칼라인 수전해 원천기술개발”을 한국에너지기술연구원에서 수행 중

○ P2G 플랜트 관련 사업으로 산업통상자원부에서 수행하는 신재생에너지핵심기술개발사업으로 “풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500kW급 하이브리드 수소변환 및 발전 시스템 기술개발” 수행 중

○ P2G에서 생산된 수소를 이용한 메탄 생산 기술에 대한 사업화 내용은 없으나 폐바이오매스로부터 생산된 합성가스를 이용한 메탄 생산기술개발, 석탄가스화에서 생산된 합성가스를 이용한 메탄 생산기술 개발 등 수소와 이산화탄소를 이용한 메탄화 기술은 현재까지도 꾸준히 진행되고 있는 중

□ 개질 및 변환 기술

○ 과기부와 산업부를 중심으로 개질 촉매와 공정 기술개발을 위한 과제가 주로 진행되었으며, 아래 표에 중요 사업과 과제현황을 정리

○ 최근에는 암모니아 개질과 관련된 연구도 산업부에서 지원 중

<표 3-1-3> 개질 및 변환기술 분야의 기존 사업 및 과제 현황

사업명	주관부처	과제명	연구기간
21C 프론티어연구개발사업	교육과학기술부	수소충전소용 천연가스 수증기개질 수소 제조공급 시스템 개발	‘06～’09
온실가스저감 기술개발사업	과학기술부	이산화탄소를 이용한 DME 생산 Pilot Plant 공정개발	‘03～’06
에너지기술개발사업	산업통상자원부	천연가스로부터 고효율 메탄올 생산 기술 실증	‘13～’16
에너지기술개발사업	산업통상자원부	합성가스로부터 FT합성유의 제조기술 개발	‘09～’12
신재생에너지융합 원천기술개발사업	산업통상자원부	소형 선박용 보조전력 공급을 위한 3 kW급 열교환형 디젤 연료 개질기 개발	‘13～’16
에너지기술개발사업	산업통상자원부	미세먼지 대응 휘발성 유기화합물 에너지화 친환경 공정기술 개발	‘18 ～ ’20

□ 정제 및 분리 기술

○ 과기부, 산업부, 환경부 등 여러 부처에서 소재 및 원천기술 개발과 파일럿규모 기술개발을 중심으로 관련 과제가 주로 진행되었으며, 아래 표에 중요 사업과 과제현황을 정리

<표 3-1-4> 정제 및 분리 분야의 기존 사업 및 과제 현황

사업명	주관부처	과제명	연구기간
기후변화대응 기술개발	과기부	유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 요소기술 개발	'17～'21
농업정책지원 기술개발사업	농림부	가축분뇨 유래 바이오가스 고질화(순도개선) 기술 개발	'17～'19
신재생에너지핵심 기술개발	산업부	IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	'16～'19
에너지수요관리 핵심기술개발	산업부	이산화탄소포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발	'18～'21
중소기업기술 혁신개발	중기부	바이오가스 중 황화수소, 암모니아, 실록산 동시제거 흡착제 제조기술	'18～'20
글로벌탑환경 기술개발사업	환경부	LFG 중질화 및 활용기술 개발	'16～'19
글로벌탑환경 기술개발사업	환경부	혐기소화 발생바이오가스내 메탄가스 분리정제를 위한 기초응용 기술의 개발	'11～'16

2. 기존 사업 추진경과

□ 합성가스 생산 기술

○ 산업통상자원부의 신재생에너지 융합원천기술개발사업과 환경부의 폐자원에너지화·Non-CO_2 온실가스사업을 중심으로 연구개발이 진행

○ 폐기물를 이용한 합성가스 생산 분야에서는 주로 고정층 타입의 가스화 방식을 이용한 파일럿 규모의 가스엔진 발전, 고순도 CO 생산, 합성가스로부터 메탄올 합성 기술 개발이 진행

○ 환경부의 폐자원에너지화기술개발사업 과제인 '비성형 고형연료의 혼합산화제 가스화를 통한 고품질 합성가스 제조 기술 개발'의 경우 5일 연속운전을 완료하여 그 결과에 대한 최종평가 단계, 산업통상자원부의 신재생에너지 핵심기술개발사업 과제인 'IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발'의 경우 2019년까지 연구진행 예정

○ 한국에너지기술연구원에서 기관고유사업으로 합성석유 생산을 최종 목표로 석탄과 펫코크를 이용한 합성가스 생산 기술 분야의 연구개발을 진행하였으며(10톤/일급), 고등

기술연구원이 한국지역난방공사의 지원을 받아서 2톤/일급(슬러리 기준) 펫코크 가스화 기술 개발 연구를 수행하여 고유 버너 기술을 확보

□ 바이오가스 생산 기술

○ 환경부의 폐자원에너지화기술개발사업, 글로벌탑환경기술개발사업 및 산업통상자원부의 신재생에너지 에너지국제공동개발사업 을 중심으로 연구개발 진행

○ 바이오매스(유기성) 중 음식물쓰레기와 하수슬러지를 대상으로 한 혐기성소화 개발 연구가 주로 진행

○ 환경부의 폐자원에너지화기술개발사업 과제인 '한국형 유기성 폐자원 바이오가스 에너지화 시스템 및 운영기술 개발'과제의 경우 국산 바이오가스 기술이 95% 이상 적용된 기술로서 현재 63,000백만원 사업화를 달성 중

○ 하지만, 바이오매스(유기성)활용 바이오수소 개발 연구는 환경부와 산업통상자원부에서 진행된 연구는 극히 드물었으며, 학술진흥재단 및 국가과학기술연구회등 원천기술 개발을 목적으로 하는 과제로 진행

○ 중소중견기업기술지원 및 서비스사업으로 진행된 '음식물류 폐자원 유래 바이오수소 생산 및 균주 개량기술 개발'에서 바이오수소 생산성 20 m^3 $H_2/m^3/day$를 달성하였으며, 수소생산균주 개발을 통해 수소생산성이 30 mol H_2/mol Hexose 달성

○ 산업통상자원부의 신재생에너지핵심기술개발사업 과제인 '암모니아 분해 수소 생산/정제 시스템 개발' 과제는 1 Nm^3/h 암모니아 분해 반응기 개발 과제로서 기초 연구가 진행중이며, 최종 적으로 암모니아 분해 수소 생산플랜트 공정 설계를 목표로 진행 중

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 2003년도부터 수전해를 이용한 수소 생산의 고효율을 위한 공정 및 전극 개발을 국책과제로 수행하였으며 주로 전극 및 촉매개발 등 원천기술을 위주로 사업을 수행

○ 2017년도에 들어 전 세계적인 신재생에너지 전환 정책과 문재인 정부의 3020정책 등으로 늘어나는 재생에너지의 수요를 대비하여 재생에너지로부터 생산된 전기를 수전해 시스템을 이용해서 수소 생산을 하는 과제가 진행 중

○ 이산화탄소를 이용한 메탄화 기술은 2000년대부터 꾸준히 사업을 진행하여 왔으며 원료 및 반응기 등 핵심 기술 부분에 많은 성과를 이루었으며 현재에도 관련 사업들이 진행 중

□ 개질 및 변환 기술

○ "수소충전소용 천연가스 수증기개질 수소 제조공급 시스템 개발"의 후속으로 한국에너지기술연구원에서는 중소형 수증기개질기의 운영기술 개발을 수행 중

○ "이산화탄소를 이용한 DME 생산 Pilot Plant 공정개발" 과제 종료 이후에는 진행되고 있는 연구과제나 사업이 없는 것으로 확인

○ "천연가스로부터 고효율 메탄올 생산 기술 실증"와 "합성가스로부터 FT합성유의 제조

기술 개발”의 경우는 천연가스에 CO_2를 추가하는 복합개질로써 실증규모까지 개발된 상태

○ “소형 선박용 보조전력 공급을 위한 3 kW급 열교환형 디젤 연료 개질기 개발”은 디젤 개질을 위한 촉매와 개질기를 개발하였으며, 후속과제는 진행되지 않은 것으로 확인

○ “미세먼지 대응 휘발성 유기화합물 에너지화 친환경 공정기술 개발”은 현재 수행되고 있는 과제이며, VOCs를 개질하여 합성가스를 생산하여 가스엔진과 연계하는 과제

□ 정제 및 분리 기술

○ 과기부, 산업부, 환경부를 중심으로 연구개발이 진행되고 있으며, 과지부의 경우 주로 소재 및 원천기술 개발 위주로 진행되고, 산업부 및 환경부의 경우 소재 및 파일럿규모 공정기술 개발 위주로 연구개발이 진행

○ 과기부는 기후변화대응기술개발, 산업부는 신재생에너지핵심기술개발사업과 에너지수요관리핵심기술개발사업, 환경부는 글로벌탑환경기술개발사업을 중심으로 연구개발이 진행 중

○ 합성가스 정제 기술의 경우 주로 산성가스(특히 H_2S) 제거를 중심으로 연구개발이 진행되고 있으며, 수소 분리의 경우 분리막 소재 및 모듈 개발을 중심으로 연구개발이 진행 중

○ 파일럿규모 기술개발 결과를 활용하여 실증규모 scale-up 기술개발과 고효율화, 고질화 기술개발이 추진 중

제2절 기존 사업 성과분석

1. 종합적 성과분석

□ 합성가스 생산 기술

○ 대부분 파일럿 플랜트 단계의 운전실적을 보유하고 있으며, 일부 과제의 경우 연구계획 단계에서는 상용규모의 플랜트 건설 및 운영까지 연구개발 내용에 포함시켰지만 유가의 하락 등 외부요인에 의해 업체에서 사업을 중단한 상태

□ 바이오가스 생산 기술

○ 바이오매스(유기성) 활용 바이오메탄 생산 연구는 50톤/일급 이상 실증 연구가 상당수 개발되었으며, 그 대상으로 음식물류 폐기물, 하수슬러지, 축산분뇨등 다양한 원료에 적용

○ 반면, 바이오매스(유기성) 활용 바이오수소 생산 연구는 아직 실험실 규모 연구가 진행되고 있으며, 바이오수소 균주 개발 및 바이오수소 생산성 향상을 위한 연구 개발이 진행 중

○ 바이오가스 플랜트로부터 유래된 고농도 암모니아 이용 수소 발생 연구의 경우 원천기술에 대한 연구가 대부분이며, 국내/외 실공정 적용 및 상용화된 사례는 전무

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 2000년대 초반부터 진행되어 온 수전해 설비의 고효율화를 통하여 고효율의 전극 개발하고 저온(<120℃) 영역에서 구동하는 수전해 설비를 개발

○ 수전해 효율을 높이는 전극을 개발하였으나 선진국의 효율에는 못 미치는 성과를 내었으나 기반 기술로 가치 보유

○ PEM 수전해 방식의 성과는 선진기술에 미치지 못하지만 알칼라인 수전해 방식은 거의 근접

○ P2G와 연계한 메탄 생산 기술에 대한 성과는 없지만 다양한 원료로부터 메탄을 생산할 수 있는 기반 기술들을 개발하였고 관련 촉매, 반응기 등 핵심 기술에 대한 성과를 도출

□ 개질 및 변환 기술

○ 복합개질과 액상연료의 개질의 경우 실증규모까지 촉매와 개질기에 대한 기술 확보가 이루어졌지만, 천연가스의 수증기개질분야는 상용촉매(모노리스 형태만 개발)를 적용하고 있는 상태

○ 액상연료의 개질분야는 국내에서 고유의 기술을 확보

○ 바이오가스를 적용한 수소생산 분야는 아직 개발되지 않은 상태

□ 정제 및 분리 기술

○ 정제기술의 경우 대부분 pilot 플랜트 단계의 운전실적을 보유하고 있으며, 바이오가스 플랜트 등 일부 소용량 상용화 가능한 플랜트에 대해 상용 적용되고 있지만, 설비 고효율화, 경제성 향상, 콤팩트화, 장기 안정성 검증 등에 대한 기술개발 및 검증 필요

○ PSA를 적용한 수소 분리기술의 경우, 소규모 상용 플랜트에 대해 시장진입 단계에 있으며, 수소 분리막의 경우 대부분 lab-scale 또는 pilot 플랜트 단계 혹은 소규모 실증 단계의 운전실적을 보유

2. 대표적 성과분석

□ 합성가스 생산 기술

<표 3-2-1> 합성가스 생산 분야의 기존 대표 사업 성과분석

사업명	과제명	연구내용	활용가능 분야
폐자원에너지화 기술개발사업	비성형 고형연료의 혼합산화제 가스화를 통한 고품질 합성가스 제조 기술 개발	- 비성형 고형연료 이용 8톤/일급 고정층 Down-draft 공기(산소부화 포함)가스화기 기술 개발 - 합성가스 습식정제 기술 개발 - 합성가스 이용 가스엔진 발전 기술 개발 - 타르 분석기법 개발 및 가스화 반응 공정모사 기술 개발 - 실시간 공정모니터링, 데이터 수집 및 분석기술 개발	- 8톤/일급 공기(산소부하 포함)가스화 기술 이용 50톤/일급 산소부화 가스화기 개발 연계 활용 - 600 Nm^3/h급 합성가스 습식정제 기술 이용 3,500 Nm^3/h급 scale up 기반 기술 연계 활용 - 300 kWe급 단수의 가스엔진 발전 기술 이용 500 kWe급 복수(2기) 가스엔진 발전 제어기술 연계 활용 - 가스화 반응 공정모사 기술 이용 설계 및 운전조건 설정 연계 활용 - 실시간 모니터링, 데이터 수집 및 분석기술 이용 test-bed O&M 연계 활용 - 기 확보된 파일럿 규모의 기술을 활용함으로써 비용 절감(연구개발비 139억원 절감 효과)
신재생에너지 융합원천기술 개발	상용규모 사업장폐기물 이용 고품질 합성가스 생산시스템 개발	- 사업장 폐기물 이용 3톤/일급 고정층 순산소 가스화기 기술 개발 - 합성가스 습식/건식정제 기술 개발 - 합성가스 열회수 보일러 기술 개발	- 3톤/일급 순산소 가스화 기술 이용 50톤/일급 산소부화기 개발 연계 활용 - 합성가스 정제폐수 처리기술 활용 - 기 확보된 파일럿 규모의 기술을 활용함으로써 비용

		- 240톤/일급 가스화 시스템 개념설계	절감(연구개발비 117억원 절감 효과)
신재생에너지 융합원천기술 개발	고열량 폐기물 합성가스로부터 메탄올 회수 기술 개발	- 폐기물 가스화로의 합성가스 생산비 제어 운전기술 개발 - CO/H_2비 제어 기술 개발 - 합성가스 압축 기술 확보 - 합성가스 기체 분리막 기술 확보 - 합성가스의 메탄올 전환 기술 개발	- 250 Nm^3/h급 합성가스 품질 균질화 및 CO/H_2비 제어 기술 이용 3,500 Nm^3/h급 scale up 기반 기술 연계 활용

□ 바이오가스 생산 기술

<표 3-2-2> 바이오가스 생산 분야의 기존 대표 사업 성과분석

사업명	과제명	연구내용	활용가능 분야
- 폐자원에너지화 기술개발사업	- 한국형 유기성 폐자원 바이오가스 에너지화 시스템 및 운영기술 개발	- 실증시설(80톤/일) 바이오가스 에너지화 플랜트 개발 - 음식물류 폐기물 전처리 기술개발 - 음식물류 폐기물 발생 악취 저감 기술 개발 - 혐기소화액 처리를 위한 폐수처리 공정 최적화	- 80톤/일급 바이오가스 기술 이용 200톤/일급 바이오가스 개발 연계 활용 - 음식물류 폐기물 전처리 기술개발을 통한 기타 바이오매스(유기성) 전처리 기술 개발 연계 활용 - 음식물류 폐기물 악취 저감 기술 개발을 통해 가축분뇨 및 하수슬러지 악취 저감 기술개발 연계 활용 - 기 확보된 실증 규모의 기술을 활용함으로써 비용절감(연구개발비 250억원 절감 효과)
- 글로벌탑환경기술개발사업	- 유기성폐기물의 고효율혐기성 공정적용을 통한 바이오가스 활용 시스템 개발	- 100톤/일급 바이오가스 실증 플랜트 운영 및 시스템 확립 수행 - 환경신기술 검증을 통한 국내외 사업화 추진 - 상업화를 위한 자체 설계 기술력 확보	- 100톤/일급 바이오가스 플랜트 이용 - 200톤/일급 바이오가스 플랜트 설계 연계 활용 - 바이오매스(유기성) 바이오메탄/수소 기술 개발 연계 활용
- 신재생에너지핵심기술개발사업	- 열병합 발전용 저에너지 소비형 슬러지 고형연료 생산 및 적용 기술개발	- 50톤/일급 하수슬러지 감량 및 에너지 생산 플랜트 개발 - 50톤/일급 전처리 기술 설계 및 시공 기술 확보 - 바이오매스(유기성) 혐기성소화 효율 향상을 위한 전처리 기술 개발	- 다양한 바이오매스(유기성) 기반 에너지 생산 플랜트 설계 및 제작 기술력 - 100톤/일급 실증/상용화 플랜트 설계 연계 활용
- 신재생에너지핵심기술	- 암모니아 분해 수소 생산	- 1단계 연구가 진행 중	- 1단계 연구가 진행중으로 추후 바이오가스플랜트로

개발사업	/정제 시스템 개발		부터 생산되는 고농도 암모니아의 수소 발생 설비 설계 및 운영에 활용 가능함

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

<표 3-2-3> 개질 및 변환 분야의 기존 대표 사업 성과분석

사업명	과제명	연구내용	활용가능 분야
21C 프론티어연구 개발사업	고효율 수전해 수소제조 기술개발	- 고온 수전해 및 저온 수전해 요소 기술 개발 - 1 Ωcm^2 이하의 저항을 갖는 고체고분자전해질 제작 - 0.5 Nm^3/h의 수소를 생산하는 5 kW급 수전해 스택(stack)을 제작 - 고체산화물 전극을 개발하여 30 Ncm^3/cm^2h 규모로 수소를 제조하는 전해셀을 제작 - 12.5 kW급의 저온 수전해 시스템을 개발 - 500 W급 고온 수전해 기반 기술 확보	- 고체고분자 전해질 요소기술 활용 - 수소 생산을 위한 수전해 스택 제작 기술 활용
21C 프론티어연구 개발사업	저온형 수전해용 전극 제조 기술 개발	- 수전해 시스템의 막전극 접합체 개발 - 화학적 촉매활성이 우수한 전극촉매 개발 - 100℃이하 온도 조건에서 0.5 Nm^3/h, 99.99% 수소 제조	- 수전해 시스템에서의 전극 촉매 활용 - 저온 수전해 요소 기술 활용
일반사업	차세대 알칼라인 수전해 원천기술개발	- HER/OER single-step 합성 전극 개발 - 음이온전도도가 높고 고온 염기성환경에서 안정한 다공성 복합 분리막 개발 - 전산모사 기반 성능해석을 통한 최적의 수전해 스택 설계 - 2 Nm^3/h급 고효율 수전해 스택의 제작 및 1,000h 운전을 통안 0.3% 이하의 열화율 달성 - 100 cycles동안 열화율 5%이하의 부하변동 대응 기술개발	- 알칼라인 수전해 방식의 P2G 플랜트 적용 검토 및 활용 - 고효율 수전해 스택 제작 기술 활용

일반사업	풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500kW급 하이브리드 수소변환 및 발전시스템 기술개발	- 5 Nm^3급 수전해장치 구동을 위한 전력변환장치 제작 및 시험 - 5 Nm^3, 40 Nm^3급 알칼리 수전해 장치 설계 - 52 Nm^3 10 bar 이하 저압 수소저장 시스템 설계 - 5 Nm^3급 스택용 알칼라인 수전해 HER/OER 전극 설계 - 수전해 단위스택 안전성능 평가 시작품 설계 - 운전기간 12개월 이상의 풍력발전 운전 데이터 수집 - HESS 연계 상명 풍력발전단지 컴퓨터 해석 모델 1건 개발	- 수전해 장치 구동을 위한 전력변환장치 제작 기술 활용 - 수소 저장 시스템 설계 및 제작 기술 활용 - 수전해 단위스택 안전성능 평가 및 설계기술 활용

□ 개질 및 변환 기술

<표 3-2-4> 개질 및 변환 분야의 기존 대표 사업 성과분석

사업명	과제명	연구내용	활용가능 분야
21C 프론티어연구개발사업	수소충전소용 천연가스 수증기개질 수소 제조공급 시스템 개발	- 20 Nm^3/h급 수소생산용 개질시스템 개발 - 수소의 순도는 99.99%를 목표로 설정하였음 - PSA에 의한 수소제조 효율은 60% 이상 - “천연가스의 수증기개질+수성가스전환+수소분리” 등의 공정을 연계하여 운전	- 300 Nm^3/h급 수증기 개질 공정의 scale up 기반 기술 연계 활용 - 단위공정들의 연계운전에 대한 기술개발 결과 활용
온실가스저감 기술개발사업	이산화탄소를 이용한 DME 생산 Pilot Plant 공정개발	- 자열개질을 이용한 삼중개질로 합성가스를 생산하여 50 kg/d 규모의 DME를 제조하였음 - 개질촉매는 국내에서 개발한 촉매를 사용하였으며, 기존 상용촉매 대비 우수한 내구성을 보였음	- 열교환망을 포함한 개질공정의 설계기술 활용 - 유틸리티 공급설계 기술 활용
에너지기술개발사업	천연가스로부터 고효율 메탄올 생산 기술 실증	- GTL기술의 일환으로 메탄 tri-reforming 기술을 개발하여 methanol를 합성하는 실증 기술 개발 - CO/H_2비 제어 기술 개발 - 합성가스의 메탄올 전환 기술 개발	- 메탄 tri-reforming 기술 활용 - 개질기의 scale up 기반 기술 연계 활용

에너지기술개발사업	천연가스로부터 FT합성유의 제조기술 개발	- 100 b/d급의 합성유를 생산하기 위한 천연가스로부터 복합개질을 통한 합성가스 생산 - 촉매 및 개질공정 개발	- 천연가스의 복합개질 기술 활용 - 개질기의 운전기술 활용 - 촉매설계 및 대량 생산 기술 활용
신재생에너지 융합원천기술 개발사업	소형 선박용 보조전력 공급을 위한 3 kW급 열교환형 디젤 연료 개질기 개발	- 3 kW급 디젤 자열개질용 열교환형 연료개질기의 설계 및 제작 - 노즐 분사식 연료공급기의 설계 및 제작 - 열교환형 연료개질기에 적합한 마이크로 채널 플레이트를 지지체로 사용한 매크로-메조 기공을 가지는 다공성 촉매개발	- 액상연료 적용 개질 촉매의 활용 - 콤팩트한 개질기 설계 기술 활용 - 열공급을 위한 연소촉매의 운전결과 활용
에너지기술개발사업	미세먼지 대응 휘발성 유기화합물 에너지화 친환경 공정기술 개발	- VOCs의 개질을 통해 가스엔진 적용 합성가스를 생산하기 위한 촉매 및 개질기 개발 - 30 kw급 개질공정 개발	- 액상연료 적용 개질 촉매의 활용 - 콤팩트한 개질기 설계 기술 활용

□ 정제 및 분리 기술

<표 3-2-5> 정제 및 분리 분야의 기존 대표 사업 성과분석

사업명	과제명	연구내용	활용가능 분야
신재생에너지 핵심기술개발 (산업부)	IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	- 100 Nm^3/h급 석탄 합성가스 이용 고순도 정제 및 수소 전환공정 개발 - 연료전지 연계를 위한 고순도 H_2 분리공정 개발 - 합성가스 정제·전환 공정 및 연료전지 연계 통합공정 운전 및 검증 - 석탄 IGCC 실증플랜트 slip-stream 연계 1 MW급 IGFC 시스템 격상 설계	- 합성가스/바이오가스의 정제 기술과 수소 전환/분리 기술 개발과 연계 활용 - 현재 연구개발 중인 파일럿 규모 과제 (과제기간: 2016.12-2019.9)로 개발되는 기술을 응용/활용하여 실증화 기술개발과 연계할 경우 원천기술 개발에 필요한 비용 절감
기후변화대응 기술개발 (과기부)	유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 요소기술 개발	- 유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 세계 최고 수준의 신기술 개발 - 신규 분리소재를 이용한 파일럿 규모 전처리 기술 검증 및 최적화 - 유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 미니-파이	- 바이오가스 정제기술개발과 연계 활용 - 현재 연구개발 중인 파일럿 규모 과제 (과제기간: 2017.9-2021.12)로 개발되는 기술을 응용/활용하여 바이오가스 정제기술개발과 연계할 경우 원천기술

		럿규모 공정 기술개발 - 흡수법과 흡착법을 이용한 황화수소 제거	개발에 필요한 비용 절감
에너지수요관리핵심기술개발(산업부)	이산화탄소포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발	- 2 Nm^3/h급 수소분리막/이산화탄소 흡수제 하이브리드 시스템 설계 및 제작 - 수소분리막 수소투과도: 70 ml/min/cm^2 (압력차 1 bar, 온도 500℃ 기준) - 2 Nm^3/h급 반응기 모듈 설계 및 제작 - 상업용 공정설계 프로그램을 이용한 5 Nm^3/h급 이산화탄소포집과 수소생산 동시공정 모델 개발 - 하이브리드 리포머 공정 조건에 적합한 고온 이산화탄소 흡수제 선정 및 기초성능 평가	- 수소/이산화탄소에서 고순도 수소 분리기술 개발과 연계 활용 - 현재 연구개발 중인 파일럿 규모 과제 (과제기간: 2018.12-2021.4)로 개발되는 기술을 응용/활용하여 모듈화/콤팩트화 기술개발과 연계할 경우 원천기술 개발에 필요한 비용 절감
글로벌탑환경기술개발사업(환경부)	혐기소화 발생 바이오가스내 메탄가스 분리정제를 위한 기초응용 기술의 개발	- 유속, 온도, pH, 소재의 평형 및 안정화상수, 화학반응식 그리고 흡수탑의 제원 등의 화공양론실험을 통한 유해가스 제거용 흡수 및 흡착소재의 성능(흡수탑, 흡착탑 성능동시 실시) 테스트 - 유해가스 처리효율 90% 이상 달성을 위한 흡수소재 기초실험	- 바이오가스 정제기술개발과 연계 활용을 통해 원천기술 개발에 필요한 비용 절감

3. 성과분석 결과

□ 합성가스 생산 기술

○ 기존 사업의 성과분석 결과 파일럿 규모에서의 원료 전처리, 합성가스 생산, 정제 및 활용 관련 여러 성과가 있는 것이 파악되었으며, 연구계획 당시에는 파일럿 연구결과를 활용하고 연계하여 상용 플랜트를 건설 및 운영하는 계획이 있었지만 사업 중간에 중단된 사례가 존재

○ 기존 사업을 통해서 개발된 파일럿 규모의 고정층 방식의 가스화 기술, 습식방식의 합성가스 정제기술, 가스엔진 발전의 합성가스 활용 기술 등은 본 기획에서 목표로 하는 50톤/일 규모의 분산형 폐기물/바이오매스 가스화 발전을 위한 실증 플랜트 설계, 제작, 운전에 활용 가능

□ 바이오가스 생산 기술

○ 기존 사업의 성과분석 결과 바이오매스(유기성) 활용 바이오메탄 생산 연구 개발은 이미 국산 상용화 (50톤/일급 이상) 기술 개발이 이루어져 바이오가스 통합 패키지 시스템으로 상용 운전 중

○ 하지만, 바이오매스(유기성) 활용 바이오수소 생산 연구는 실험실 규모 연구가 진행되고 있으며, 연구 개발을 통한 실증화로 scale up 된다면 바이오수소 생산에 기존 바이오가스 플랜트 활용 가능

○ 바이오매스(유기성) 전처리 설비의 경우 50톤/일급 실증 플랜트 개발이 이루어져 있으며, 100톤/일급 사용급 전처리 기술의 설계, 제작, 운전에 활용 가능

○ 바이오가스 플랜트로부터 유래된 고농도 암모니아 이용 수소 발생 연구는 원천 기술 연구가 대부분 진행 중

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 재생에너지로부터 수소를 생산할 수 있는 수전해 관련 성과는 수전해 효율면에서 아직 성과가 미흡. 수소로부터 이산화탄소를 이용한 메탄 생산 기술은 본 궤도에 올라있으나 P2G와 연계한 성과 실적이 없는 것으로 확인

○ 지금까지 추진한 사업을 바탕으로 P2G 플랜트 핵심기술 개발을 진행할 능력은 보유하고 있으나 실증 실적이 없어 실증 관련 성과가 시급

□ 개질 및 변환 기술

○ 수증기 개질과 복합개질에 대한 여러 성과가 있는 것이 파악되었으며, 합성가스를 생산한 후 메탄올, DME, 합성유, 연료전지 및 가스엔진 등과 연계하여 수행

○ 한국에너지기술연구원에서만 천연가스로부터 고순도 수소를 생산하는 연구를 수행하였으며, 수성가스전환과 수소분리 부분은 상용기술로 연계

○ 기존 사업을 통해서 개발된 촉매와 개질기 및 운전기술은 수소생산을 위한 개질과 분리기술 개발에 활용 가능

□ 정제 및 분리 기술

○ 기존 사업의 성과분석 결과 lab-scale 규모나 파일럿 규모에서의 합성가스/바이오가스의 정제, PSA 및 분리막을 활용한 수소 분리관련 다양한 성과가 있는 것이 파악되었으며, 일부 PSA 기술은 상용화 적용 사례 존재

○ 기존 사업을 통해서 개발된 파일럿 규모의 합성가스/바이오가스 정제기술과 수소 분리기술을 응용 및 활용하여 실증 플랜트 설계, 제작, 운전에 활용 가능

제3절 종합분석

1. 기존 사업의 우수점

□ 합성가스 생산 기술

- ○ 폐기물 활용 합성가스 엔진발전뿐만 아니라 메탄올과 같은 화학원료 생산 관련 핵심 기술의 개발로 실증연구를 위한 합성가스 생산, 정제 및 전환 분야의 TRL 5 단계의 기술 확보
- ○ 폐목, 왕겨 등과 같은 바이오매스를 이용한 합성가스 생산 및 정제 기술력 확보
- ○ 석탄 및 펫코크 가스화기 및 버너 설계기술 확보 등 파일롯급 석탄/펫코크 이용 합성가스 생산 기술 확보
- ○ 가장 핵심기술 요소인 가스화 기술과 합성가스 정제 기술 관련 다양한 원료에 대한 파일럿 규모의 기술 검증을 완료하였으며, 관련 분석방법, 장비, 시험 시설, 시뮬레이션 하드웨어 등 상용화 연구에 필요한 주요 기자재들을 기존 사업을 통해서 확보

□ 바이오가스 생산 기술

- ○ 기존 바이오매스(유기성) 활용 바이오가스 기술은 통합 패키지 시스템으로 발전하여 바이오가스 플랜트 뿐만 아니라, 전처리, 악취제어, 메탄 활용, 수처리까지 통합 플랜트화 기술 확보
- ○ 바이오메탄 기술의 핵심인 바이오메탄 생산과 바이오메탄 활용 기술 관련하여 다양한 바이오매스(유기성)에 적용하여 실증 및 실용화를 통해 검증을 완료하였으며, 관련 분석방법, 장비, 시험 시설, 시뮬레이션 하드웨어 등 상용화 연구에 필요한 주요 기자재들을 기존 사업을 통해서 확보
- ○ 바이오수소 기술 및 바이오가스 플랜트로부터 발생되는 고농도 암모니아 수소 발생 연구는 원천기술 개발 수준

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

- ○ P2G 플랜트의 기반 기술이라 할 수 있는 수전해 설비의 핵심 요소인 고효율의 전극 개발과 메탄화 요소기술 개발로 더 높은 기술성숙도를 가진 기술개발의 기초를 다짐.
- ○ 재생에너지의 발전율이 상대적으로 낮은 국내 실정을 고려하여 P2G를 이용한 에너지 저장 뿐 아니라 ESS를 활용한 하이브리드 형태의 실적용이 가능한 재생에너지 활용 수소생산 플랜트 개발
- ○ 다양한 원료를 이용한 메탄화 기술개발 확립을 통해 메탄화 기술의 기반 확보

□ 개질 및 변환 기술

- ○ 복합개질의 경우 바이오가스의 조성과 유사한 조건으로 운전하였기 때문에 바이오가스의 개질기술 개발의 기초 자료로 활용 가능

○ 유틸리티와 개질기를 실증급까지 기술 개발한 결과를 사용하여 수소생산용 scale-up 기반 기술 연계 활용이 가능

□ 정제 및 분리 기술

○ 합성가스, 바이오가스 등 유해가스 제거를 위한 가스 정제기술은 핵심 원천기술과 소규모 설비에 대한 운전기술 등 TRL 5 단계 수준의 기술개발을 통해 실증연구를 위한 기반 확보

○ 파일럿 규모 합성가스 초고순도 정제 및 고순도 수소 생산기술 개발을 통해 합성가스로부터 고순도 수소 생산을 위한 핵심 요소기술 확보 및 소규모 설비에 대한 기술 검증

○ 시장 경쟁력 강화, 신규시장 창출을 위한 고효율, 저비용의 원천기술을 확보하고, 관련 기자재 국산화를 위한 기반 확보

2. 기존 사업의 시사점

□ 합성가스 생산 기술

○ 폐기물 및 바이오매스를 이용한 합성가스 생산에 있어서 타르가 가장 주요한 핵심 해결 과제로 이를 해결할 수 있는 가스화 방식 적용 필요

○ 국내기술로 모듈형태 분산형 합성가스 플랜트 건설기술 개발과 미세먼지, CO_2 발생을 저감시킬 수 있는 저가형의 청정기술 개발 필요

□ 바이오가스 생산 기술

○ 고농도 유기물을 함유한 바이오매스(유기성) 처리 방법으로 바이오메탄/수소를 생산할 수 있는 혐기성소화가 주요 기술로 분류

○ 바이오매스(유기성) 활용 바이오메탄 생산 및 전처리 설비의 경우 국내 연구는 이미 상용화 및 실증 연구가 완료된 상태이지만, 바이오수소 및 바이오가스 플랜트로부터 발생되는 고농도 암모니아 수소 연구는 국내/외 연구가 미비하여 이에 대한 연구개발이 필요

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 수전해 기술 개발에서는 2003년도부터 고효율 수전해 기술개발을 진행하였지만 아직 선진기술에 미치지 못하는 형편이며 이에 따른 지속적인 연구개발이 필요

○ 재생에너지와 연계한 수소생산 플랜트에서 강점이 있는 PEM 수전해 기술이 알칼라인 수전해 기술에 비해 상대적으로 떨어져 연구 및 투자가 필요

○ P2G 플랜트의 실용화를 위해서 메탄화 기술과 연계한 하나의 통합된 실증 연구 시설이 있어 track record를 확보하여 해외 시장 진출을 위한 노력이 필요

□ 개질 및 변환 기술

○ 천연가스나 바이오가스를 활용하여 중소형급 수소생산을 위한 최적화된 국산화 기술은 미확보

○ 촉매와 개질기에 대한 평가도 장기 운전을 통해 운전기술 확보가 필요

○ 수정가스전환 촉매와 수소분리용 흡착제의 기술개발을 통해 개질기와 연계된 통합공정의 패키지 설계기술 확보가 필요

□ 정제 및 분리 기술

○ 합성가스와 바이오가스의 정제에 있어 산성가스인 H_2S가 가장 주요한 해결 과제로 이를 경제적이고 효과적으로 제거하는 습식 H_2S 직접 분해 기술의 적용 필요

- H_2S 뿐만 아니라 실록산, HCl, NH_3 등 여러 가지 유해가스를 효과적으로 제거할 수 있는 흡착 기술 적용 필요

○ 고효율, 저비용의 수소를 대용량으로 분리할 수 있는 PSA 기술의 개발 및 적용 필요하며, 이와 병행하여 고순도 수소 분리할 수 있는 수소 분리막의 개발 및 적용 필요

○ 국내기술로 모듈형태의 분산형 합성가스/바이오가스 정제기술 개발과 수소 분리기술에 대한 개발 필요

3. 기존 성과 활용방안

□ 합성가스 생산 기술

<표 3-3-1> 기존 사업의 성과 활용 방안 (합성가스 생산 기술)

유사/중복 과제			주요 성과	본 기획 연계가능 세부기술 명	연계/활용 방안
과제명	부처	기간			
비성형 고형연료의 혼합산화제 가스화를 통한 고품질 합성가스 제조 기술 개발	환경부	'13.07 ~ '18.06	• 비성형 고형연료 이용 8톤/일급 공기 및 산소부화 조건의 고정층 Down-draft 가스화기 기술 개발 • 합성가스 습식정제 및 가스엔진 발전 기술 개발 • 타르 분석기법 개발 • 가스화 반응 공정모사 툴 확보 • 실시간 공정모니터링, 데이터 수집 및 분석 기술 확보	• 합성가스 정제기술 • 합성가스 활용 분산전원/열병합 기술 • ICT와 빅데이터를 활용 공정 모니터링 및 유지보수 기술	• 600Nm³/hr급 합성가스 정제 기술 이용 Scale up 기반 기술 연계 활용 • 300 kWe급 단수의 가스엔진 발전 기술 이용 복수의 가스엔진 발전 제어 기술 연계 활용 • 파일럿급 가스화 반응 공정모사 툴 이용 설계, 운전조건 설정 연계 활용 • 파일럿급 실시간 모니터링, 데이터 수집 및 분석기술 Scale up 기반 기술 연계 활용 • 기 확보된 파일럿 규모의 기술을 활용함으로써 비용 절감(연구개발비 139억원 절감 효과)
상용규모 사업장 폐기물 이용 고품질 합성가스 생산 시스템 개발	산업부	'12.10 ~ '15.09	• 사업장 폐기물 이용 3톤/일급 고정층 순산소 가스화기 기술 개발 • 합성가스 습식/건식정제 기술 개발 • 합성가스 열회수 보일러 기술 개발 • 240톤/일급 가스화 시스템 개념설계 완료	• 순산소 가스화 합성가스 생산기술 • 합성가스 정제기술	• 250Nm³/hr 고순도 CO 생산용 순산소 가스화 기술 이용 Scale up 기반 기술 연계 활용 • 10톤/시간 합성가스 정제폐수 처리 기술 이용 Scale up 기반 기술 연계 활용 • 기 확보된 파일럿 규모의 기술을 활용함으로써 비용 절감(연구개발비 117억원 절감 효과)
고열량 폐기물 합성가스로부터 메탄올 회수 기술 개발	산업부	'11.07 ~ '14.06	• 폐기물 가스화로의 합성가스 생산비 제어 운전기술 개발 • CO/H_2 제어 기술 개발 • 합성가스 압축 기술 확보 • 합성가스 기체 분리막 기술 확보 • 합성가스의 메탄올 전환 기술 개발	• 순산소 가스화 합성가스 생산기술 • 합성가스 정제기술 • 고순도 CO 생산용 합성가스 분리 기술	• 250Nm³/hr 합성가스 품질 균질화 및 CO/H_2 제어 기술 이용 Scale up 기반 기술 연계 활용

□ 바이오가스 생산 기술

<표 3-3-2> 기존 사업의 성과 활용 방안 (바이오가스 생산 기술)

유사/중복 과제			주요 성과	본 기획 연계가능 세부기술 명	연계/활용 방안
과제명	부처	기간			
한국형 유기성 폐자원 바이오가스 에너지화 시스템 및 운영기술 개발	환경부	'13.01~ '19.02	• 실증시설(80톤/일) 바이오가스 에너지화 플랜트 개발합성가스 습식정제 및 가스엔진 발전 기술 개발 • 음식물류 폐기물 전처리 기술개발 • 음식물류 폐기물 발생 악취 저감 기술 개발 • 혐기소화액 처리를 위한 폐수처리 공정 최적화	• 전처리 기술 • 메탄/수소 생산성 향상을 위한 공정 개발 • 메탄/수소 정제 기술	• 80톤/일급 바이오가스 기술 이용 200톤/일급 바이오가스 개발 연계 활용 • 음식물류 폐기물 전처리 기술개발을 통한 기타 바이오매스(유기성) 전처리 기술 개발 연계 활용 • 음식물류 폐기물 악취 저감 기술 개발을 통해 가축분뇨 및 하수슬러지 악취 저감 기술개발 연계 활용 • 기 확보된 실증 규모의 기술을 활용함으로써 비용 절감(연구개발비 250억원 절감 효과)
유기성폐기물의 고효율혐기성 공정적용을 통한 바이오가스 활용 시스템 개발	환경부	'07.12~'14.05	• 100톤/일급 바이오가스 실증 플랜트 운영 및 시스템 확립 수행 • 환경신기술 검증을 통한 국내외 사업화 추진 • 상업화를 위한 자체 설계 기술력 확보	• 메탄/수소 생산성 향상을 위한 공정 개발 • 메탄/수소 정제 기술	• 100톤/일급 바이오가스 플랜트 이용 • 200톤/일급 바이오가스 플랜트 설계 연계 활용 • 바이오매스(유기성) 바이오메탄/수소 기술 개발 연계 활용
열병합 발전용 저에너지 소비형 슬러지 고형연료 생산 및 적용 기술 개발	산업부	'15.12~'18.09	• 50톤/일급 하수슬러지 감량 및 에너지 생산 플랜트 개발 • 50톤/일급 전처리 기술 설계 및 시공 기술 확보 • 바이오매스(유기성) 혐기성소화 효율 향상을 위한 전처리 기술 개발	• 열가수분해 전처리 기술	• 다양한 바이오매스(유기성) 기반 에너지 생산 플랜트 설계 및 제작 기술력 • 100톤/일급 실증/상용화 플랜트 설계 연계 활용
암모니아 분해 수소 생산/정제 시스템 개발	산업부	'18.06~'21.05	• 1단계 연구가 진행중임	• 암모니아 수소 발생 플랜트 생산 기술	• 1단계 연구가 진행중으로 추후 바이오가스플랜트로 부터 생산되는 고농도 암모니아의 수소 발생 설비 설계 및 운영에 활용 가능함

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

<표 3-3-3> 기존 사업의 성과 활용 방안 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술)

유사/중복 과제			주요 성과	본 기획 연계가능 세부기술 명	연계/활용 방안
과제명	부처	기간			
고효율 수전해 수소제조 기술개발	교육과학기술부	'06.04. ~ '09.03.	• PEM 전해법 성능 실증 • HTES법 스택운전 및 성능 실증	• 잉여전기 이용 수소 생산 기술 개발 • P2G 플랜트 산소 활용 기술 개발	• 5 Nm3/h의 실증기술을 200 Nm3/h 수소생산 100Nm3/h 산소활용 플랜트 스케일업 기술로 활용
저온형 수전해용 전극제조기술 개발	교육과학기술부	'06.04. ~ '09.03.	• 기존 스택 효율 개선(67%->72%) • 고분자 전해질 제조 기술 개발	• 잉여전기 이용 수소 생산 기술 개발	• 스택 효율개선 및 고분자 전해질 제조 기술을 이용하여 200 Nm3/h 스케일업 기술의 전극 기술 활용
차세대 알칼라인 수전해 원천기술 개발	미래 창조과학부	'15.12. ~ '21.07.	• 고활성 비귀금속계 알칼라인 수전해용 HER/OER 전극 촉매 개발	• 잉여전기 이용 수소 생산 기술 개발 • P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	• 알칼라인 수전해용 전극 촉매를 이용하여 P2G 플랜트의 알칼라인 수전해 적용 기술 연구와 PEM 수전해 기술과의 비교를 통해 공정 최적 기술에 활용
풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500kW급 하이브리드 수소변환 및 발전시스템 기술개발	산업통상자원부	'17.12. ~ '20.11.	• 40 Nm3 알칼라인수전해 장치 설계 • 1 Nm3급 음이온교환막 수전해스택 설계 • ESS 연계 상명 풍력발전단지 컴퓨터 해석 모델 개발	• 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술 • P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술 • P2G 플랜트 건설 및 운영기술	• 전력 계통 연계 해석 모델을 활용한 1MW급 P2G 플랜트 설계 및 건설 기술 개발

□ 개질 및 변환 기술

<표 3-3-4> 기존 사업의 성과 활용 방안 (개질 및 변환 기술)

유사/중복 과제			주요 성과	본 기획 연계가능 세부기술 명	연계/활용 방안
과제명	부처	기간			
수소충전소용 천연가스 수증기개질 수소 제조공급 시스템 개발	교육과학기술부	'06 ~ '09	• 20 Nm^3/h급 수소생산용 개질기 개발 • 수소제조 효율 60% 이상 • "천연가스의 수증기개질+수성가스전환 +수소분리" 등의 연계운전	• 천연가스 개질을 통한 수소생산 기술	• 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용 • "개질기+수성가스전환+수소분리" 등의 통합공정 운전기술 활용
이산화탄소를 이용한 DME 생산 Pilot Plant 공정개발	과학기술부	'03 ~ '06	• 자열개질을 이용한 삼중개질로 합성가스를 생산 • 개질촉매 국산화	• 천연가스 개질을 통한 수소생산 기술	• 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용
천연가스로부터 고효율 메탄올 생산 기술 실증	산업통상자원부	'13 ~ '16	• 실증급 메탄 tri-reforming 기술 개발 • CO/H_2비 제어 기술 개발	• 바이오가스 개질을 통한 수소생산 기술	• 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용 유틸리티 설계 기술 활용
천연가스로부터 FT합성유의 제조기술 개발	산업통상자원부	'09 ~ '12	• 천연가스로부터 복합개질을 통한 합성가스 생산 • 촉매 및 개질공정 개발	• 바이오가스 개질을 통한 수소생산 기술	• 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용 유틸리티 설계 기술 활용
소형 선박용 보조전력 공급을 위한 3kW급 열교환형 디젤 연료 개질기 개발	산업통상자원부	'13 ~ '16	• 3 kW급 디젤개질기 설계.운전 • 매크로-메조 기공을 가지는 다공성 촉매 개발	• 수소생산을 위한 컴팩트형 개질기 및 촉매 기술	• 개질기 설계 기술 활용
미세먼지 대응 휘발성 유기화합물 에너지화 친환경 공정기술 개발	산업통상자원부	'16 ~ '19	• VOCs의 개질을 위한 촉매 및 개질기 개발 • 30kw급 개질공정 개발	• 수소생산을 위한 컴팩트형 개질기 및 촉매 기술	• 개질기 설계 기술 활용

□ 정제 및 분리 기술

<표 3-3-5> 기존 사업의 성과 활용 방안 (정제 및 분리 기술)

유사/중복 과제			주요 성과	본 기획 연계가능 세부기술 명	연계/활용 방안
과제명	부처	기간			
IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	산업부	'16.12 ~ '19.09	• 100 Nm^3/h급 석탄 합성가스 이용 고순도 정제 및 수소 전환공정 개발 • 연료전지 연계 위한 고순도 H_2 분리 공정 개발 • 합성가스 정제·전환 공정 및 연료전지 연계 통합 공정 운전 및 검증 • 석탄 IGCC 실증플랜트 slip-stream 연계 1 MW급 IGFC 시스템 격상 설계	• 합성가스/바이오가스 고순도 정제기술 • H_2 분리 기술	• 100 Nm^3/h급 합성가스 고순도 정제기술 이용 scale-up 연계 활용 • 고순도 H_2 분리 기술 scale-up 연계 활용
유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 요소기술 개발	과기부	'17.09 ~ '21.12	• 유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 세계 최고 수준의 신기술 개발 • 신규 분리소재를 이용한 파일럿 규모 전처리 기술검증 및 최적화 • 유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 미니-파이럿규모 공정 기술개발 • 흡수법과 흡착법을 이용한 황화수소 제거	• 바이오가스 고순도 정제기술	• 파일럿급 바이오가스 정제기술 이용 scale-up 연계 활용
이산화탄소포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발	산업부	'18.12 ~ '21.04	• 2 Nm^3/h급 수소분리막/이산화탄소 흡수제 하이브리드 시스템 설계 및 제작 • 수소분리막 수소투과도: 70 $ml/min/cm^2$ (압력차 1 bar, 온도 500℃ 기준) • 2 Nm^3/h급 반응기 모듈 설계 및 제작 • 상업용 공정설계 프로그램을 이용한 5 Nm^3/h급 이산화탄소포집과 수소 생산 동시공정 모델 개발 • 하이브리드 리포머 공정 조건에 적합한 고온 이산화탄소 흡수제 선정 및 기초성능 평가	• 수소/이산화탄소 분리기술 • 설비 모듈화/콤팩트화 기술	• 2 Nm^3/h급 분리막 모듈 이용 고순도 수소 분리 scale-up 기술 개발과 연계 활용 • 모듈화/콤팩트화 기술개발과 scale-up 연계 활용
혐기소화 발생바이오가스내 메탄가스 분리정제를 위한 기초응용 기술의 개발	환경부	'11.08~'16.04	• 유속, 온도, pH, 소재의 평형 및 안정화상수, 화학반응식 그리고 흡수탑의 제원 등의 화공양론실험을 통한 유해가스 제거용 흡수 및 흡착소재의 성능(흡수탑, 흡착탑 성능동시실시) 테스트 • 유해가스 처리효율 90%이상 달성을 위한 흡수소재 기초실험	• 바이오가스 정제기술	• 흡수/흡착 정제 기술 이용 바이오가스 정제기술 scale-up 연계 활용

제 4 장 사업설계를 위한 조사분석

제1절 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설 사업 관련 사전조사

1. 기술수준 조사

1.1 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 연관기술 분야

□ 분산형 가스플랜트와 연관된 주요 기술분야를 국가 10대 기술분야와 120개 국가전략기술의 틀에서 선정하고 분석

○ (전자·정보·통신 분야) 18개 세부 국가전략기술 중 3개 기술이 연관성 존재
- 지식기반 빅테이터 활용기술: 플랜트 I/O 포인트별 데이터의 장기간 수집 분석을 통한 빅데이터 기반 ICT 기술로서 개발 적용이 필요
- 지식정보보안기술: 해외 및 장거리 원격 플랜트 유지보수 자료의 통신단계에서 보안기술의 적용이 요구
- 융합서비스 플랫폼기술: 해외플랜트 수요처 대응을 위한 플랫폼 모델 개발과 적용이 필요

○ (기계·제조·공정 분야) 7개 세부 국가전략기술 중 1개가 연관
- 생산시스템 생산성 향상기술: 플랜트의 효율화와 유지보수 최적화 등 생산성 향상 측면의 특화된 기술개발 적용이 필요

○ (에너지·자원·극한기술 분야) 21개 국가전략기술 중 3개가 직접 해당
- 폐자원 에너지화 기술: 본 기획의 핵심영역으로서 직접적 연관
- 바이오 에너지기술: 본 기획의 핵심영역으로서 직접적 연관
- 수소에너지기술: 화석연료가 아닌 저급자원과 재생가능에너지 잉여전기로부터 수소를 생산하고 활용하는 플랜트기술이 연관

○ (환경·지구·해양 분야) 11개 국가전략기술 중에서 3개가 연관
- 오염물질 제어 및 처리기술 (수질, 대기 등): NIMBY 극복을 위한 가스플랜트의 핵심영역으로 개발 적용이 필수적 요소
- 폐기물 감량 및 처리기술: 폐기물 감량/처리를 하면서 동시에 에너지 및 화학원료로 사용할 가스를 생산하는 플랜트로서 연관
- 이산화탄소 포집·저장·이용기술: 지구온난화 가스인 CO_2를 가스생산 원료로 생산하는 기술개발이 범위에 포함

○ (나노·소재 분야) 5개 국가전략기술 중 1개가 관련
- 멀티스케일 금속소재기술: 부식성 황화수소가 포함된 합성가스, 바이오가스 등에 적용이 가능한 금속소재 대응기술이 필요

○ (건설·교통 분야) 6개 국가전략기술 중 1개가 직접 해당

- 첨단플랜트 원천기술: 가스플랜트에 대한 국내 축적된 기술을 바탕으로 해외수출이 가능할 원천기술로 집합 실증이 필요

○ 총 120개의 국가전략기술 중에서 6개 분야 12개 기술이 가스플랜트와 연관된 기술로 분석

- 연관된 12개 국가전략기술에서 아래 5개는 본 기획의 핵심에 해당

* 폐자원 에너지화 기술, 바이오 에너지기술, 수소에너지기술, 첨단플랜트 원천기술

- 합성가스 기반 수소 생산 플랜트는 국가 10대 기술분야 중에서 에너지·자원·극한기술과 건설·교통 분야와 연관성이 매우 높고 기계·제조 공정과 환경·지구·해양분야와도 높은 연관성이 존재

* 특히, 국가전략기술로 제시된 내역 중 폐자원에너지화기술, 바이오 에너지기술, 수소에너지기술, 첨단플랜트 원천기술은 가스플랜트 사업을 통해 큰 기여가 가능

<표 4-1-1> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 해당기술의 국가전략기술과 연관성

국가 10대 기술분야 중 해당분야	연관성	연관 국가전략기술
전자·정보·통신	보통	2. 지식기반 빅테이터 활용기술 9. 지식정보보안기술 15. 융합서비스 플랫폼기술
기계·제조·공정	높음	53. 생산시스템 생산성 향상기술
에너지·자원·극한기술	매우 높음	59. 폐자원 에너지화 기술 61. 바이오 에너지기술 65. 수소에너지기술
환경·지구·해양	높음	82. 오염물질 제어 및 처리기술(수질, 대기 등) 85. 폐기물 감량 및 처리기술 89. 이산화탄소 포집·저장·이용기술
나노·소재	보통	92. 멀티스케일 금속소재기술
건설·교통	매우 높음	112. 첨단플랜트 원천기술

(분야/기술 출처: 2016년 기술수준평가 총괄본, KISTEP, 2017.7)

1.2 한국의 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술분야 기술수준

□ 국가전략기술 120개 중 가스플랜트 관련 전략기술 12개 국내 기술/연구 수준 분석

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트에 관련된 국가전략기술의 국내 기술수준은 최고 기술보유국 대비 평균 79.1%이며 아직 상당한 기술격차가 존재

- 2016년 기준 10대 기술분야 전체에서는 모두 최고기술 보유 국가는 미국이며, 중국은 항공·우주분야를 제외하고는 한국이 기술수준 우세로 분석

* 가스플랜트 관련된 세부 전략기술별로는 일본이 우세인 분야(생산시스템 생산성 향상기술, 폐기물 감량/처리기술), EU가 우세인 분야(폐자원에너지화기술)이 존재

* 최근 몇 년에 플랜트 분야는 중국이 자국 내 다양한 건설 운영 경험을 기반으로 여러 세부 플랜트 품목별로는 한국을 상회한 것으로 예상

○ 최고 기술수준을 보유한 국가 대비 한국의 기초연구 수준은 기초연구가 평균 78.3%, 응용·개발연구가 평균 79.8%로 분석

- 기초연구 수준이 더 낮으나 모두 80% 이하 수준으로 격차 존재

* 선진국은 대형 상용급 가스플랜트 기술에서 경험과 원천기술 우위 확보

- 한국은 응용·개발연구수준이 대부분 기초연구수준보다 높으나, 기초연구수준이 더 높은 분야가 존재

* 기초연구수준이 응용·개발연구보다 수준이 높게 분석된 분야는 바이오에너지기술, 오염물질 제어/처리기술, CO_2포집저장이용기술로서, 기초연구 활용 방안이 필요

- 기술수준 차이를 극복할 전략과 방향 설정이 중요

* 중소형 규모, ICT적용 특화 등 틈새시장 전략 설정과 국내기술이 강점을 보일 분야 파악이 필요

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 연관 국가전략기술 차원의 기초기술 수준은 지식정보보안기술(ICT분야)와 CO_2포집저장이용기술 분야가 80%대로 상대적으로 높고 최근 4차산업 핵심인 빅데이터 활용기술 분야가 가장 낮은(75%) 것으로 파악

- 국내 강점인 ICT기술 연계 활용을 통한 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술 경쟁력 제고와 빅데이터 등 열세인 기술에 대한 집중 연계투자가 필요

<표 4-1-2> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야 국가전략기술의 국내 기술수준 (2016년 기준)

기술분야	연관 국가전략기술	기술수준	기초연구 수준	응용·개발연구
전자·정보·통신	2. 지식기반 빅데이터 활용기술	77.3	75.0	79.6
	9. 지식정보보안기술	81.5	80.0	83.0
	15. 융합서비스 플랫폼기술	80.7	79.5	81.8
기계·제조·공정	53. 생산시스템 생산성 향상기술	82.0	81.3	82.7
에너지·자원·극한기술	59. 폐자원 에너지화 기술	78.9	77.3	80.4
	61. 바이오 에너지기술	74.4	74.5	74.2
	65. 수소에너지기술	77.7	77.0	78.4
환경·지구·해양	82. 오염물질 제어 및 처리기술 (수질,대기 등)	77.6	77.8	77.3
	85. 폐기물 감량 및 처리기술	83.5	82.9	84.1
	89. 이산화탄소 포집·저장·이용기술	80.1	80.5	79.6
나노·소재	92. 멀티스케일 금속소재기술	77.2	76.3	78.1
건설·교통	112. 첨단플랜트 원천기술	78.3	78.0	78.6
평균		79.1	78.3	79.8

(출처: 2016년 기술수준평가 총괄본, KISTEP, 2017.7)

□ **합성가스 기반 수소생산 플랜트 관련 국가전략기술의 연구주체별 국내 기술수준 분석**

○ 연구계가 평균 79.2%로 가장 높고 중소기업이 72.7%로 가장 낮은 것으로 분석

○ 국내 대기업은 '첨단플랜트 원천기술'(84.6%)과 '폐기물 감량 및 처리기술'(83.9%)에서 상대적으로 국내 최고기술수준을 보유

- 이들 기술들은 플랜트 전 분야 중 상세설계, 건설, 운영 측면의 국내외 수주 건설공사 경험에 의한 것으로 해외 선진기술사들과 직접 경쟁할 기술수준은 아닌 것으로 추정

* 플랜트를 자체 브랜드로 국내외 시공 건설 운영한 사례가 거의 전무

○ 중소기업 기술수준은 대기업, 연구계, 학계 대비 모두 가장 낮아 중소기업 중심의 플랜트 추진은 일반적 접근으로는 어려움 예상

○ 실용화를 위한 기반으로 활용이 가능할 연구계가 다른 기술주체들보다 높은 수준을 보이는 분야로는 '지식정보보안기술', '융합서비스 플랫폼기술', '폐자원에너지화기술', '수소에너지기술', '오염물질 제어/처리기술', 'CO_2 포집저장이용기술', '멀티스케일 금속소재기술'이 존재

- 이들 연구계 보유기술의 해외수출형 플랜트 기술로 연계 활용이 중요

<표 4-1-3> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야 국가전략기술의 연구주체별 기술수준 (2016년 기준)

기술분야	연관 국가전략기술	대기업	중소기업	연구계	학계
전자·정보·통신	2. 지식기반 빅테이터 활용기술	78.4	75.4	77.8	77.6
	9. 지식정보보안기술	80.6	79.8	82.0	78.0
	15. 융합서비스 플랫폼기술	80.0	74.7	80.7	77.0
기계·제조·공정	53. 생산시스템 생산성 향상기술	84.1	77.3	79.7	79.4
에너지·자원·극한 기술	59. 폐자원 에너지화 기술	78.7	76.0	81.0	78.4
	61. 바이오 에너지기술	68.7	62.3	75.7	77.7
	65. 수소에너지기술	75.2	71.0	79.8	79.0
환경·지구·해양	82. 오염물질 제어 및 처리기술 (수질, 대기 등)	70.4	70.4	77.4	75.2
	85. 폐기물 감량 및 처리기술	83.9	79.4	80.9	79.9
	89. 이산화탄소 포집·저장·이용기술	72.7	63.9	81.0	79.1
나노·소재	92. 멀티스케일 금속소재기술	76.8	67.7	77.7	77.4
건설·교통	112. 첨단플랜트 원천기술	84.6	74.8	76.2	73.6
평균		77.8	72.7	79.2	77.7

(출처: 2016년 기술수준평가 총괄본, KISTEP, 2017.7)

□ **합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야 최고기술 보유국가 대비 한국의 기술격차 분석 (2014/2016년 기준)**

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야와 연관성이 높은 국가전략기술별 기술 최고국은 미국과 EU로 분석

- 미국 최고기술 분야: 바이오에너지기술, 수소에너지기술, 첨단플랜트 원천기술
- EU 최고기술 분야: 폐자원에너지화기술

○ 2016년 기준 기술최고 수준 국가 대비 격차가 가장 적은 기술은 '융합서비스 플랫폼기술'(2.3년)이며, '바이오에너지기술'(4.9년)이 가장 큰 차이

○ '바이오에너지기술'(4.7년→4.9년)과 'CO_2포집저장이용기술'(3.8년→4.3년), '첨단플랜트 원천기술'(3.3년→3.8년)은 오히려 기술격차가 확대

- 특히 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 핵심기술로 분류되는 바이오에너지화 기술과 첨단플랜트 원천기술의 기술격차 확대는 우려되는 부분

<표 4-1-4> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야 국가전략기술의 외국과의 기술수준 격차 (2016년 기준)

기술분야	연관 국가전략기술	기술 최고국	기술격차 (년, 2014기준)	기술격차 (년, 2016기준)
전자·정보·통신	2. 지식기반 빅테이터 활용기술	미국	3.4	3.3
	9. 지식정보보안기술	미국	2.8	2.7
	15. 융합서비스 플랫폼기술	미국	2.7	2.3
기계·제조·공정	53. 생산시스템 생산성 향상기술	일본	3.0	3.0
에너지·자원·극한 기술	**59. 폐자원 에너지화 기술**	EU	4.8	3.7
	61. 바이오 에너지기술	미국	4.7	4.9
	65. 수소에너지기술	미국	5.6	3.9
환경·지구·해양	82. 오염물질 제어 및 처리기술 (수질,대기 등)	미국	5.4	4.8
	85. 폐기물 감량 및 처리기술	일본	4.1	2.9
	89. 이산화탄소 포집·저장·이용기술	미국	3.8	4.3
나노·소재	92. 멀티스케일 금속소재기술	미국	4.7	4.5
건설·교통	**112. 첨단플랜트 원천기술**	미국	3.3	3.8
평균				

(출처: 2016년 기술수준평가 총괄본, KISTEP, 2017.7)

2. 기술수요 조사

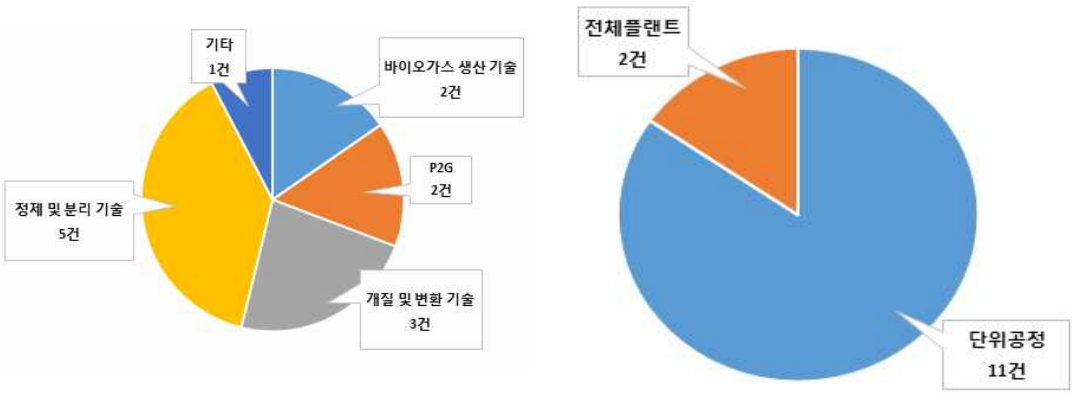
○ 산·학·연 전문가들의 의견수렴을 위한 기술수요조사를 총 5차에 걸쳐 진행
- 1 ~ 4차는 '상용급 가스 플랜트/액화 플랜트 기술'과 관련된 연구개발 과제 도출을 목적으로 기술수요 조사 실시
- 5차의 경우 '합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설기술'과 관련된 연구개발 과제 도출을 위해 실시
- 5차 조사결과에 대해서는 아래와 같이 기획보고서 본문에 정리하였으며, 1 ~ 4차 조사결과는 부록에 별도 정리

○ 수요조사 방법으로는 이메일을 이용한 문서 송부 방식과 웹사이트 설문프로그램을 이용한 방식으로 진행하였으며 기술수요조사서는 제안 기술의 분류와 기술개발 유형 그리고 연구목표 및 내용으로 구성하여 수요조사에 대한 세부사항을 기입하게 하였으며 향후 시장형성 및 민간기술 연계를 위해 국내외 관심기관과 회사를 작성

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설기술과 관련된 5차 기술수요 조사를 2019년 3월에 진행하였으며, 총731명에게 수요조사를 의뢰하였고 회신된 응답건은 총 13건으로 집계

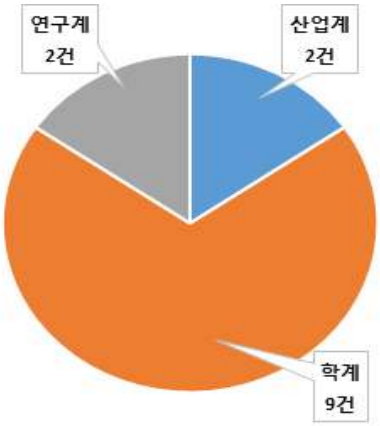
○ 기술별 분석 결과 정제 및 분리 기술 5건, 개질 및 변환 기술 3건, P2G 2건, 바이오가스 생산 기술 2건, 기타 1건으로 정제 및 분리 기술 분야에 가장 많은 수요

○ 기술개발 유형은 단위공정이 11건으로 가장 많은 수요를 보였으며, 기술제안 기관 유형은 학계 9건, 산업계 2건, 연구소 2건으로 학계에서 가장 많은 수요



<기술별 분류> <기술개발 유형별 분류>

[그림 4-1-1] 기술수요조사 결과 분류



<기관 유형별 분류>
[그림 4-1-1] 기술수요조사 결과 분류 (계속)

○ 기술수요조사 응답 내용 중 기술개발 과제명과 연구목표, 연구내용, 목표사양 그리고 설비규모를 아래 표와 같이 정리

- 제안기술의 개발 예상 소요기간은 최소 4.5년, 최대 8년, 평균 5.5년이며, 제안기술의 개발 예상연구비는 최소 8억원, 최대 530억원, 평균 69.5억원
- 제안기술의 사업화 예상 시점은 2024년이 가장 빠르고 2027년이 가장 늦으며 2025년이 가장 높은 비중을 차지

<표 4-1-5> 기술수요조사서 기술개발 과제명 및 연구내용 정리(합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설기술)

기술개발 과제명	연구목표	연구내용	목표사양	실증설비 규모	소요 기간 (년)	연구비 (백만원)	사업화 예상 시점
고순도수소 생산 및 이산화탄소 포집을 위한 대용량 분리막 정제기 개발	- 50 Nm^3/h급 고순도 수소정제기 개발 - 고순도 수소정제를 위한 대면적 수소분리막 제조기술 개발 (단위면적 450 cm^2) - 고효율 수소정제기 개발 (수소 순도 및 회수율: 99.99% 이상 및 80% 이상(수소농도 75% 합성가스 기준))	- 기공율이 우수하고 평균기공 크기가 균일한 튜브형 금속지지체 개발 - 금속지지체 대면적화 및 양산기술 개발 - 고순도 수소분리가 가능한 고선택/고투과성 분리막 제조기술 개발 - 고효율 수소정제 단위공정 시스템 구축 및 운전	- 단위분리막 단면적: 450 cm^2 - 합성가스 처리 용량: 50 Nm^3/h - 수소 순도 99.99% 이상 및 회수율 80% 이상 (수소농도 75% 합성가스 기준)	- 50 Nm^3/h급 고순도 수소정제 플랜트 및 시스템	8	9,000	2027
소규모 분산형 바이오가스 및 수소 생산 플랜트 기술 개발	- 음식물쓰레기, 축산 분뇨 등 소규모, 분산형으로 배출되는 유기성폐자원을 활용한 바이오가스 생산 및 CO_2 포함 바이오가스로부터 수소 생산 플랜트 기술 개발 - 소규모 분산형 바이오가스 생산 시설 기반 고품질 수소 생산 상용급 플랜트 기술 개발 및 비즈니스 모델 구축	- 유기성 폐자원 이용 산 및 메탄발효 균주 및 대형발효조 개발 - 50 Nm^3/h급 메탄/이산화탄소/수증기 tri-reforming 반응기 개발 - 고순도 수소 PSA 기술 개발 (수소 순도 99.99% 이상) - 수소 생산량 100 Nm^3/h급 실증플랜트 설계 건설 및 운전	- 실증 플랜트 수소 생산량: > 100 Nm^3/h - 실증 플랜트 수소 회수율: > 90% - 실증 플랜트 수소 순도: > 99.99%	- 수소 생산량 100 Nm^3/h급 실증플랜트	8	53,000	2027
합성가스 기반 CO_2 Free 수소 병산 기술 개발	- IGCC 공정 활용 CO_2 Free 수소 생산 및 분리정제 공정 기술 개발 및 연료전지 연계 시스템 개발	- IGCC 플랜트 및 수소생산 Test Bed 공정 연계 기술 개발 - CO_2 Free 수소 생산 및 분리/정제 공정기술 개발 - CO_2 Capture 및 수소 생산 설비 효율 향상 - ICT 기반 수소생산/활용 연료전지 연계 시스템 O&M 기술 개발	- 1,000 Nm^3/h 급 CO_2 Free 수소 생산 및 연료전지 발전 연계 시스템 - ICT 기반 CO_2 Free 수소 병산 공정 기술 (90% 효율)	- 1,000 Nm^3/h 급 CO_2- free 수소 생산 연료전지 발전 Capacity > 1.5 MW	5	10,000	2024
메탄의 건식 개질에 의한 합성가스로부터의 DME 직접 합성기술 개발	- 기존의 가솔린과 디젤연료에 비해 질소산화물과 미탄화수소의 배출이 낮아 청정에너지원으로 거론되던 디메틸에	- 합성가스로부터 DME 생산을 위한 촉매 개발 - DME 합성반응에서 생성되는 이산화탄소를 최소화하며, 생성된 이를	- DME 생산 촉매 성능: > 80% - 탄소전환율: > 70%		5	800	2025

기술개발 과제명	연구목표	연구내용	목표사양	실증설비 규모	소요 기간 (년)	연구비 (백만원)	사업화 예상 시점
	테르를 천연가스 건식 개질을 통해 생성된 합성 가스로부터 합성하여 수송이 용이한 대체에너지로의 전환 기술 개발	다시 건식 개질을 통해 DME 합성 반응의 원료로 사용하는 기술 개발					
합성가스 내 일산화탄소 제거를 동반한 수소 생산량 증대. 이를 위한 고효율, 고안정성의 수성가스전환 촉매 개발	- 바이오매스 가스화를 통하여 생성되는 합성가스 중 일산화탄소를 이용하여 수소를 생산하는 고안정성, 고효율 수성가스전환 촉매기술 개발 - 나노기술을 적용하여 기존에 개발된 촉매보다 합성 비용이 저렴하고, 활성은 향상된 촉매 개발	- 오랜 기간 안정적으로 수성가스전환 반응을 운용 가능한 니켈계열의 나노촉매 개발 - 타르제거 촉매 및 고온, 저온 수성가스전환에 적합한 최고수율의 촉매 연구 - 최적의 촉매 효율을 가지는 형태의 반응기 모델 구상	- 수성가스전환 반응기 규모 > 5 Nm^3/일 - 촉매 안정성: 1주일 이상 초기의 촉매 활성 유지 - 일산화탄소 전환율: 파일롯 플랜트 > 85%, 실증급 플랜트 > 90%	- 5 Nm^3/일급 수소 생산이 가능한 규모	5	1,000	2024
합성가스 또는 바이오가스 내의 분진, 타르 및 수분 정제기술	- 합성가스 또는 혐기성 소화조에서 바이오가스의 생산시 가스에 포함된 불순물인 타르, 분진 및 수분의 제거로 후단 공정(고질화 설비)의 이물에 의한 문제 발생을 예방하는 정제기술 개발 - 여러 단계의 정제기술을 단일화 공정으로 처리하는 기술 개발	- 합성가스 내 이물질인 고농도 타르의 제거를 위한 습식 스크러버 기능이 포함된 제습 기술 개발 - 분진과 타르 여과용 코어레서 필터의 수명 연장 기술개발 - 가스 사용목적에 따른 노점(포화수분) 제어 설비 기술개발 - 화학식 및 기계식 제습설비기술 융복합 설비 개발 - 가스발생량에 따른 정제 시스템 구축 및 운전	- 노점 7도 이하의 수분제어 - 합성가스화 설비용 정제설비 용량: >80톤/일급 - 코어레서 필터 제거능: >99% - 코어레서 필터 수명: 파일럿 >60일, 실증급 >180일	- 바이오매스 80톤/일급 실증 플랜트 및 바이오가스 2,000/일 급 실증 플랜트	6	1,800	2024
바이오가스 복합정제 및 수소 생산 공정 기술	- 고순도 메탄 생산을 위한 바이오가스 복합 정제 공정(흡착식 전처리 및 분리막 기반 메탄 고질화)과 모델 기반 제어 알고리즘의 개발 - 수소 생산 공정(수증기 개질 및 수성 가스 전환)을 통해 생산된 합성가스에 대한 기체 분리막 기반 고순도 수소	- 고순도 메탄 생산을 위한 바이오가스 복합 정제 공정(흡착식 전처리 및 분리막 기반 메탄 고질화)과 모델 기반 제어 알고리즘의 개발 - 수소 생산 공정(수증기 개질 및 수성 가스 전환)을 통해 생산된 합성가스에 대한 기체 분리막 기반 고순도 수소 분리 공정 개발 - 바이오가스 복합 정제 공정과 기체	- 바이오가스 복합 정제 공정 가. 메탄 농도: > 95 vol% 나. 황화합물(H_2S, COS, CS_2 등) 농도: < 0.2 ppm 다. 실록산(D4, D5 등) 농도: < 0.1 ppm 라. 할로겐 화합물(HCl, HF	- 바이오가스 처리 용량: 5 Nm^3/h	5	2,500	

기술개발 과제명	연구목표	연구내용	목표사양	실증설비 규모	소요 기간 (년)	연구비 (백만원)	사업화 예상 시점
	분리 공정 개발 - 바이오가스 복합 정제 공정과 기체 분리막 기반 수소 분리 공정의 모듈화 플랜트 설계기술 개발 - 바이오가스 복합 정제 공정과 수소 분리 공정의 수치적 해석모델 개발	분리막 기반 수소 분리 공정의 모듈화 플랜트 설계기술 개발 - 바이오가스 복합 정제 공정과 수소 분리 공정의 수치적 해석모델 개발	등) 농도: < 0.1 ppm 마. PM_{10} 농도: < 0.1 mg/m^3 - 수소/이산화탄소 분리 공정 바. 수소 농도: > 99.97 vol%				
액체 유기 수소 수송체를 활용한 수소 저장 및 수송에 관한 연구	- 액체 유기 수소 수송체의 후보군 및 조합에 대한 이론적 및 실험적 연구 - 액체 유기 수소 수송체의 수소화 및 탈수소화의 에너지, 촉매 및 반응속도 관련 검증 - 규모의 경제와 환경적 측면을 고려한 최적의 기반시설 및 수송에 관한 연구 - 다른 적합한 공정과의 통합으로 경제적 경쟁력 강화 및 환경적 부담 감소에 대한 연구	- 수소 저장, 에너지 소요 및 손실, 촉매의 수소화 및 탈수소화 반응 측면의 실험적이고 경제적인 새로운 액체 유기 수소 수송체 후보군 조사 - 공정 설계, 최적화 가장 우수한 액체 유기 수소 수송체 후모군를 활용한 공정 설계 및 최적화 진행 후 전과정 평가 진행 - 현재 및 미래의 기반시설을 활용한 수소 수송 네트워크의 구조적 최적화 - 액체 유기 수소 수송체의 탈수소화 반응 후 생성되는 수소를 이용한 고체산화물 연료전지 연계 연구	- 유용성, 화학적 안정성, 수소 저장 및 환경적 부담적인 측면의 한국에 가장 알맞은 액체 유기 수소 수송체 조사 - 적합한 촉매 물질 및 가장 유망한 액체 유기 수소 수송체의 실험적 검증 - 액체 유기 수소 수송체의 탈수소화 반응 후 고체 산화물 연료전지를 연계한 시스템의 최적의 운전 조건 도출 및 실험적 검증 - 액체 유기 수소 수송체의 탈수소화 반응 및 고체 산화물 연료전지를 연계한 복합 전력 발전 시스템의 수소 수송 및 활용 시스템 설계 및 최적화 진행	- 랩 스케일의 액체 유기 수소 수송체의 수소화 및 탈수소화 실험 장치 및 고체 산화물 연료전지 모듈	4.5	2,250	2025
바이오가스 및 산소 가스화의 하이브리드 공정	- 3세대 바이오매스, 유기 폐기물 등 한국 시장에서의 바이오매스 연료의 타당성 조사 - 중온 소화를 통해 수소가 풍부한 바이오 가스 생산을 위한 실험, 공정 설계 및 최적	- 바이오매스 유효성의 광범위한 조사 및 가장 유망한 공급 원료의 기초적인 분석 진행 - 특정 바이오매스의 중온 혐기성 소화를 통한 수소 생산을 최대화하기 위한 정확한 물질 및 에너지 수지	- 이상적인 바이오매스 공급원료 후보군의 특성 파악 및 검토 - 중온 혐기성 소화의 실험적 최적화 및 실제와 유사한 공정 설계 모델 개	- 벤치 규모의 혐기성 소화 및 기초 측정 장치, GC-MS - 벤치 규모	4.5	1,350	2025

기술개발 과제명	연구목표	연구내용	목표사양	실증설비 규모	소요 기간 (년)	연구비 (백만원)	사업화 예상 시점
	화 진행 - 고체 소화물의 산소 가스화 혐기성 소화를 통한 수소가 풍부한 합성가스 생산 실험, 공정 설계 및 최적화 진행 - 혐기성 소화 및 산소 가스화 연계 하이브리드 공정의 통합 및 개선 연구	식 수립 및 스케일 업 인자 파악 - 공기/증기, 산소/증기 혐기성 소화의 가스화의 수소 생산 최대화 및 스케일 업 인자 파악을 위한 최적화 - 혐기성 소화 및 산소 가스화 통합 단일 정상 상태 공정 설계, 기술 경제성 평가 및 전과정 평가를 통해 하이브리드 공정과 각각의 단일 공정 비교	발 - 산소 가스화의 혐기성 소화의 실험적 최적화 및 실제와 유사한 공정 설계 모델 개발 - 산업 규모 하이브리드 공정의 공정 설계, 기술 경제성 평가 및 전과정 평가를 통해, 경제적 실현 가능성 및 환경적 영향 파악	의 가스 발생기 및 기초 측정 장치, 기체 열량계			
수소-선택적 막을 이용한 바이오가스와 합성가스의 다양한 조성에 최적화된 수성가스 전환 (water-gas-shift, WGS) 반응기	- 수소 분리막을 이용한 수성가스 전환 반응기의 동향 조사 및 반응에 적합한 바이오/합성가스 선정 - 다양한 원료가스 조성에 따른 수소 정제와 원료 조성의 최적화 실험 연구 - 전산유체역학을 이용한 반응기 구조에 따른 수소 생산량 연구 - 기술·경제성 평가 기반 공정 design 및 scale-up	- 바이오매스 종류에 따른 바이오/합성가스 조성 및 수소 정제에 미치는 영향에 대한 통계학적 결정 - 최적 원료가스 조성/최적 반응 조건/최대 수소 정제를 위한 수소 분리막 선정 - 시스템 scale-up 및 기술·경제성/전과정평가 수행	- 5 ~ 100 L/h급 수소 생산량	- Lab scale	4.5	1,800	2025
폐가스 연소로 정상화 된 재생 가능 전력 전기 분해를 통한 P2G	- 불규칙한 전기 하중을 이용한 물 분리를 위해 최적의 전기분해장치 및 관련 장치에 대한 이론적, 실험적인 연구조사 - 계절적 변동성의 맥락에서 다양한 재생 에너지원에 대한 프로세스 설계 및 스케일 업 - 수소 정화 공정에서 가연성 유체 혼합물을 사용한 정지 가스 터빈 시스템의 강도 높	- 실험실 규모에서 내구성 및 경제성 실현가능성 측면의 관점으로 최적의 전기분해 시스템으로 연구 및 실험 - 대규모 수소 생산 시스템의 스케일 업 연구 및 기술 경제성 분석 - 상업용 정지 가스 터빈 시스템의 가변 연료 혼합물에서의 작동 및 에너지 효율 결정 시뮬레이션 - 일정한 수소 생산을 위해 에너지 저장과 함께 재생 가능한 전기로부터 P2G 최적 시스템 설계	- 환경에 미치는 영향이 최소화되는 일정한 수소 출력을 위한 최적의 조합 기술 (재생 가능한 자원, 전해조, 백업 전력 시스템)의 식별	- 정확한 전력 측정 계측을 통한 벤치 스케일 전기 분해 장치 및 관련 장치	4.5	1,350	2025

기술개발 과제명	연구목표	연구내용	목표사양	실증설비 규모	소요 기간 (년)	연구비 (백만원)	사업화 예상 시점
	은 모델링 및 시뮬레이션 - 잉여 재생에너지로부터 수소 생산 프로세스의 설계와 최적화는 추가적인 에너지 저장으로부터 전력 부하 지원을 결부시킴						
막 반응기를 응용한 합성가스 개질, 분리 및 잔류 CO2 활용기술 개발	- 합성가스 내의 H_2/CO_2에 대한 선택성이 높은 막 반응기를 적용하여 정제된 고순도 수소 생산 플랜트 설계 및 최적화 - 막반응기에서 발생 된 일산화탄소를 이용한 수성가스 전환을 통해 수소 전환 플랜트 설계 및 최적화 - 수소 생산 과정에서 발생된 CO_2의 포집, 응용 기술 개발	- H_2/CO_2 에 대한 다양한 선택성을 가지는 소재를 적용해 최적의 소재와 가공방법 개발 - 잔여 CO_2 포집을 위한 기술 개발: 흡착 또는 Biofixation - 0.5 ~ 5톤/일급 수소 생산기술 설계 및 최적화	- 수소 생산 설계 기준 0.5 톤/일 이상 - CO_2 포집 및 전환율 90% 이상 - 생산, 정제된 H_2 순도 99% 이상		5.5	1,800	2025
자원 순환형 수소/바이오가스 생산 시스템 개발	- 국내 음식물류 폐기물, 하수슬러지를 포함한 유기성 폐기물을 활용하여 바이오가스 또는 수소를 생산하는 기술 개발 - 수소 생산균 (Rhodobacter sphaeroides) 또는 메탄 생성균 (Methanogenesis)을 포함하는 수소/바이오가스 생산기술 개발 - 생산과정에서 발생하는 소화액과 잔류물 처리를 포함하는 자원화 기술 개발	- 메탄생성을 용이하게 하는 다양한 가수분해, 산 생성 전처리 기술을 포함하는 기술 개발 - 가스생산과 유기성 폐기물 처리를 최대화하기 위한 최적의 공법 선정 (부착막 반응조, 입상슬러지 공법 등) - 10톤/일급 가스화 반응기 개발 (또는 국내 보유 유사 공정에 응용할 수 있는 기술 개발) - 10톤/일급 가스화/정제 시스템 구축 및 운전	- 바이오가스 메탄 순도 95% 이상 - 단위 가스당 에너지 소모 0.25 kWh/Nm^3 이상		6	2,400	2026

<표 4-1-6> 기술수요조사 제안 기술명 및 반영 여부(합성가스 기반 수소 생산 플랜트

No	기술 분류	제안 기술명	반영 여부	반영된 부분 또는 미반영 사유
1	수소 분리	고순도 수소 생산 및 이산화탄소 포집을 위한 대용량 분리막 정제기 개발	반영	100 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 고도화 기술 및 모듈 개발에 반영
2	바이오 가스	소규모 분산형 바이오가스 및 수소 생산 플랜트 기술 개발	반영	실증 플랜트 개발로 반영
3	수소 병산	합성가스 기반 CO_2 Free 수소 병산 기술 개발	일부 반영	ICT 기반 CO_2 Free 수소 생산 공정 기술은 반영하였으나, 연료전지 연계의 경우는 생산된 수소의 활용 부분이므로 제외
4	기타	메탄의 건식 개질에 의한 합성가스로부터의 DME 직접 합성기술 개발	미반영	합성가스의 직접적 활용 또는 합성가스로부터 수소 생산에 국한하여 기획
5	변환	합성가스 내 일산화탄소 제거를 동반한 수소 생산량 증대. 이를 위한 고효율, 고안정성의 수성가스전환 촉매 개발	반영	개질 및 변환 기술의 일부로 수성가스전환 촉매 개발 반영
6	정제	합성가스 또는 바이오가스 내의 분진, 타르 및 수분 정제기술	반영	합성가스 정제 기술에 반영
7	정제 및 수소 생산	바이오가스 복합정제 및 수소 생산 공정 기술	반영	바이오가스 생산을 통한 수소 생산 플랜트 기술개발 내용 충분히 반영
8	수소 저장	액체 유기 수소 수송체를 활용한 수소 저장 및 수송에 관한 연구	미반영	제안 기술은 수소 저장 및 수송에 관한 기술로서 본 기획에서는 수소 생산에 국한
9	바이오 가스/ 합성가스	바이오가스 및 산소 가스화의 하이브리드 공정	일부 반영	바이오가스 생산 공정은 반영하였으나 산소가스화 하이브리드 공정은 중장기 별도과제로 추진하는 것이 바람직하다고 판단
10	변환	수소-선택적 막을 이용한 바이오가스와 합성가스의 다양한 조성에 최적화된 수성가스 전환 (water-gas-shift, WGS) 반응기	반영	개질 및 변환 기술에 수성가스전환 반응기 기술 개발 포함
11	잉여 전기	폐가스 연소로 정상화 된 재생 가능 전력 전기 분해를 통한 P2G	일부 반영	P2G 기술의 세부적인 기술의 개발은 타 부처(산업부) 영역으로 판단하고, 본 기획에서는 국내에서 현재 적용 가능한 기술을 시스템 차원에서 활용하는 방향(산소 활용 등)으로 기획
12	개질	막 반응기를 응용한 합성가스	반영	분리막을 이용한 수소분리 기술개발

No	기술 분류	제안 기술명	반영 여부	반영된 부분 또는 미반영 사유
	및 분리	개질, 분리 및 잔류 CO_2 활용기술 개발		과제를 포함
13	바이오 가스	자원 순환형 수소/바이오가스 생산 시스템 개발	반영	음식물류 폐기물 및 하수 슬러지를 이용하여 바이오가스 또는 수소를 생산하는 기술 개발 과제를 포함

3. 공청회

3.1 공청회 개최 개요

○ 상용급 가스·액화 플랜트 기술개발 기획 과제는 2017년 9월 1일부터 시작하여 2019년 5월 31일까지 진행된 과제로서 2019년 4월 26일 제주 ICC에서 관련 산업의 업체, 학계 관계자를 모시고 그 간 기획의 결과를 설명하고 기획의 타당성 및 진행 방향에 대한 의견을 듣는 자리를 마련

3.2 공청회 진행 내용

○ 본 기획과제의 공청회는 국토교통과학기술진흥원 부원장 및 국토부 기술정책과 사무관의 인사말로 시작하여 기획위원장인 고등기술연구원의 윤용승 부원장이 합성가스 기반 수소생산의 국내외 기술현황과 전망에 대해 발표하였으며, 성호진 국토교통과학기술진흥원 PD가 합성가스기반 수소생산 플랜트 건설기술 개발사업(안)을 발표



[그림 4-1-2] 기획과제 공청회 전경

○ 첫 번째 세션에서 합성가스 기반 수소생산의 국내외 기술현황과 전망에 대해 기획위원장인 윤용승 고등기술연구원 부원장이 발표

○ 수소 사회에 필요한 수소 생산 원료의 다양화에 대한 필요성 증대 및 Technology-based 수소자원 확보 가능 시대 도래로 인한 배경 설명

■ Technology-based 수소자원 확보 가능 시대 도래

- 에너지는 더 이상 자원이 아니라 기술로 정의되는 시대에 진입
- 지하자원에서 자원을 채굴하는 방식이 아닌 기존 저급 또는 잉여 자원으로부터 수소를 변환/합성하여 사용하는 시대 도래
  *잉여전기에서 수소 생산(P2G), 천연가스/바이오가스 및 쓰레기/바이오매스 등에서 합성가스를 생산한 후 수소를 생산하는 방식이 대표적
- 한국, 일본, 중국이 수소분야 주도권을 위한 기술 및 경제성 경쟁 최근 본격화

■ 수소사회에 필요한 수소생산 source 다양화 필요성 증대

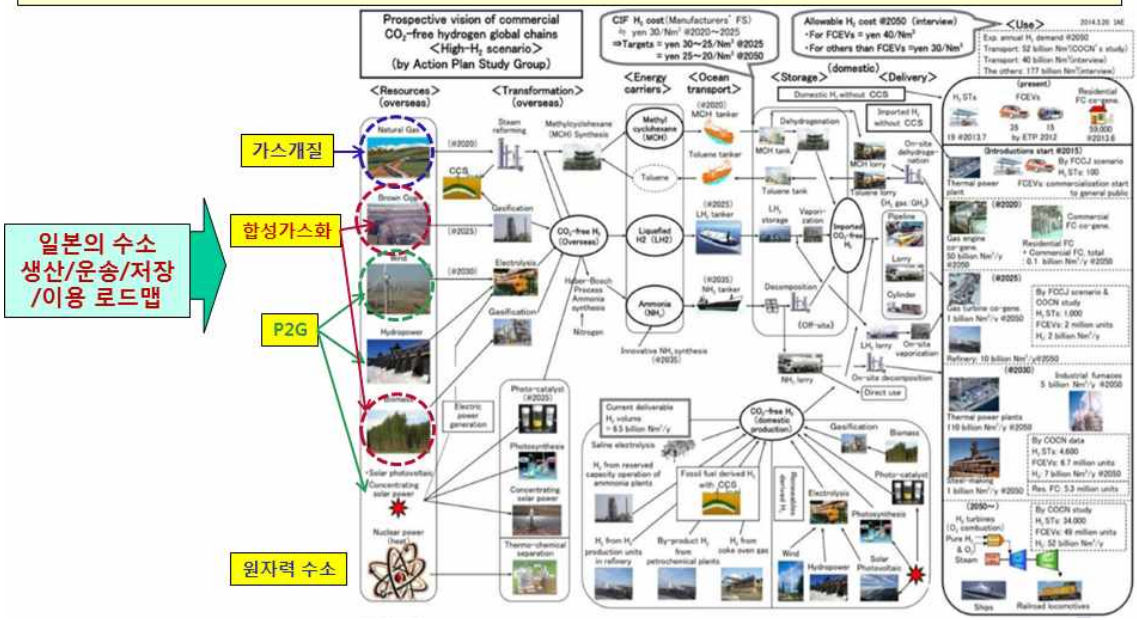
- 해외와 수소사회에 필요한 수소자원 다변화에 대한 중장기적 대응이 요구
- 수소사회에 적극적인 일본, EU, 미국 모두 수소생산은 석탄가스화, 천연가스/부생가스 개질, P2G에 집중
  * 일본, 미국 : 석탄가스화 수소생산, 천연가스 개질, P2G에 집중
  * EU : 천연가스 개질(CCS 연계)과 P2G에 집중
  * 한국 : 국내 수소생산은 일본/EU 전략 + 해외도입수소는 일본 전략

[그림 4-1-3] 합성가스 수소생산 필요 배경

○ 국내 상황과 유사한 일본의 수소 생산 기술방향을 설명하고 국내에서 수소 생산을 위한 방향에 대한 제시

■ 수소생산 플랜트 핵심 : 가스개질기술, 합성가스화 기술, P2G기술, 탈탄소사회를 위한 CO2 대응기술 → 2030년 이후 대비 핵심플랜트 기술확보 전략이 필요

- 에너지수입국으로 한국과 유사한 상황인 일본의 전략방향 : 가스개질, 합성가스화, P2G가 수소생산의 핵심 기반기술 + 해외에서 수소생산 전략이 핵심



[그림 4-1-4] 일본의 수소생산 기술 방향

(바탕그림 출처: 2016년 FISITA Partners Forum, Ken Oakazaki, 도쿄공업대학)

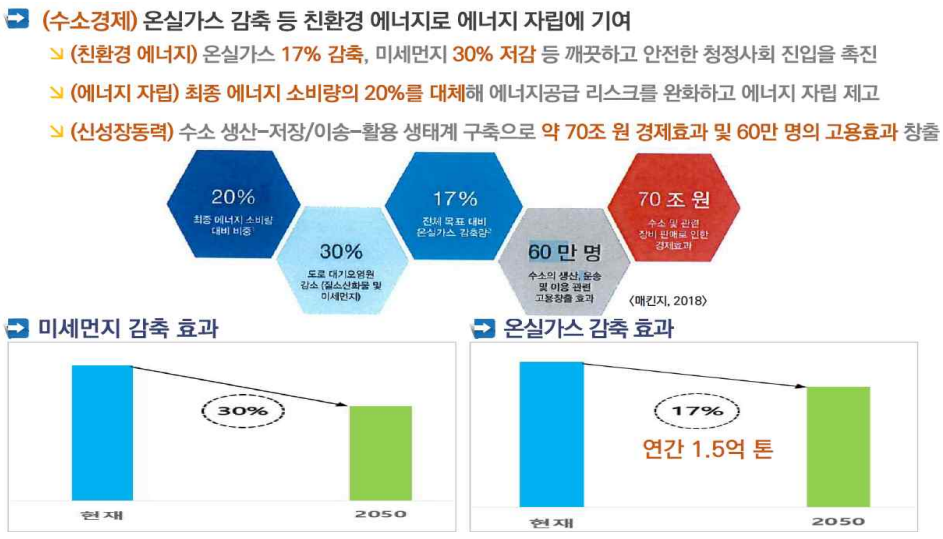
○ 국내의 최근 합성가스 생산 및 활용에 대한 현황을 발표하고 합성가스를 이용한 수소 생산에 대한 인프라 및 가능성을 제시



[그림 4-1-5] 국내 합성가스 현황

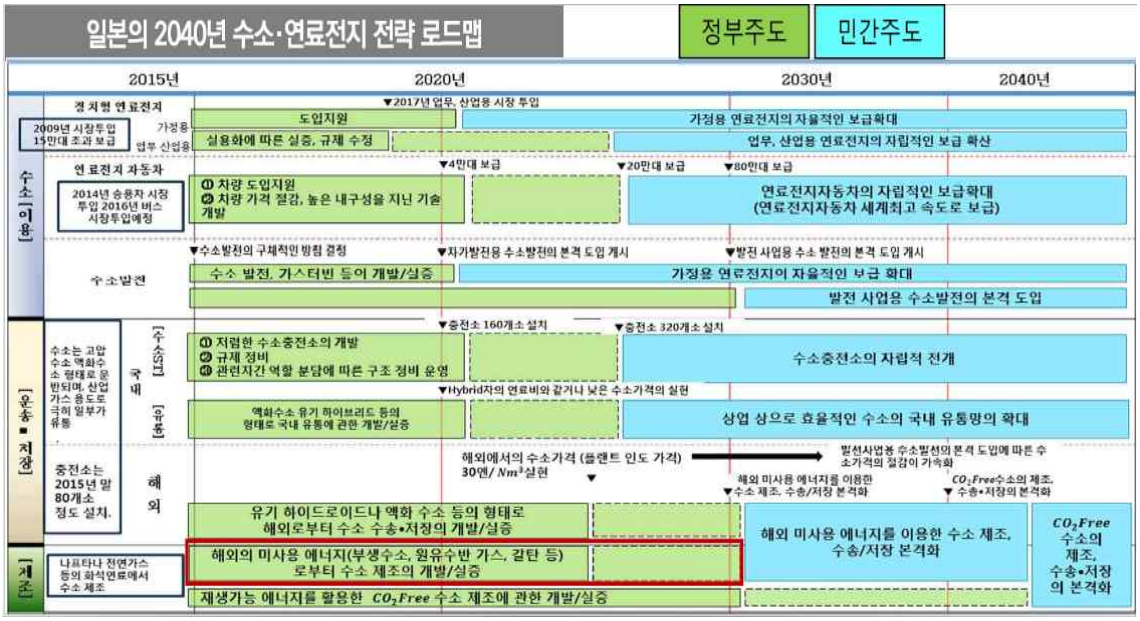
○ 두 번째 세션에서 합성가스 기반 수소생산 플랜트 건설 기술개발 사업(안)에 대해 국토교통과학기술진흥원 성호진 PD가 발표

○ 합성가스 기반 수소생산 플랜트 건설 기술개발 사업의 필요성으로 미세먼지 악화 대책으로서의 수소 사용, 온실가스 저감, 국내 건설 경기 저하 및 경제적 산업적 파급효과가 큰 미래 성장 동력으로서 수소 경제를 제시



[그림 4-1-6] 합성가스 기반 수소 생산사업 추진의 필요성

○ 국내외 수소 생산 관련 추진 현황으로 국내 사정과 유사한 일본의 수소 관련 정책 설명하고 이후 미국, 호주, 독일, 중국 등 해외 관련 사업 추진 현황에 대한 발표



[그림 4-1-7] 일본의 2040년 수소·연료전지 전략 로드맵

○ 수소 생산을 위해서 수소 추출 방법에 대한 현황, 추출 원료의 잠재량, 비용 및 기술수준에 대한 분석

○ 합성가스 기반 수소생산 플랜트 건설 기술개발 사업 추진에서 중점 분야 도출 내용과 사업 비전 및 목표 그리고 중점분야 내용 및 예산을 제시

3.3 질의 응답

모든 발표가 끝나고 [그림 4-1-7]과 같이 발표를 진행했던 기획위원장 및 패널들이 단상에서 토론 및 객석의 질의에 대한 응답을 진행



[그림 4-1-8] 패널 토론 및 질의응답

<표 4-1-7> 공청회 질의 응답 내용

질의 내용	답변 내용
▪ 합성가스를 만드는 전통적으로 중요한 이유 중 하나는 만들어진 합성가스에서 CO를 생산하기 위한 것인데 이 부분이 빠져있는 것으로 보인다. 합성가스에서 CO를 분리해서 원료를 활용하는 것이 가치가 더 높다. CO를 대량으로 만들 수 있는 방법을 찾는다면 수소 생산과 CO 생산 두 가지를 다 충족할 수 있을 것 같다.	▪ 초기 기획단계에서 화학공장에 필요한 고순도 CO를 폐기물 합성가스에서 생산을 고려하는 회사가 있어 CO 공급을 위한 사업 프로젝트가 포함되어 있는데 국토교통과학진흥원에서 수소 생산에 대한 기획 내용으로 집중화를 요청하여 기획 범위가 바뀐 것이지 CO는 합성가스의 핵심 영역에 포함된다. CO는 초산 생산에 중요한 원료이다. 즉, 본 합성가스 기획에는 해당 내용이 포함되어 있다.
▪ 먼저 R&D를 추진하고 있었던 것이 그레이(Grey) 수소인데, 포항에서 CCS 사업을 하고 있었는데 중간에 중단되는 사례가 있었고 폐기물은 NIMBY로 중단된 사례가 있다. 이러한 과제를 위해서는 주민 수용성(Public Acceptance)에 대한 연구도 필요하다. 다음 기회에는 주민 수용성에 대한 논의가 있었으면 한다.	▪ 수소도시 관련 공급 이송 저장 활용이 다 포함되는데 각 지자체에서 시범사업에 참여할 때 주민에 대한 동의를 얻는 전제 조건으로 사업을 기획하고 있다. 현재 본 기획은 생산 단계만 고려하고 있고 수소 도시 기획에는 주민 수용성에 대한 내용이 포함된다. ▪ 현재 소각에서는 당연히 NIMBY가 존재하고, 이 때문에 폐기물 처리의 경우 소각 대신에 2배 비싼 열분해 용융을 적용하는 경우가 이미 국내에 여러 건 있다. 주민의 동의를 위하여 합성가스 기술에서 미세먼지를 확실히 줄여야 하는 것이고, 열분해용융과 마찬가지로 합성가스 생산방식은 환경오염 문제에서 소각에 비해 기술 자체로는 앞서가는 이점이 있는 기술이다. ▪ 현재 미세먼지가 화두인데, 제일 좋은 것은 수소를 해외에서 싸게 구입하는 것인데 이 방식만으로는 합리적이지 않다. 기술개발 내용에서 요소별 기술 자체는 대부분 알려진 것들이고 새로운 것은 없다. 단지 테스트베드로 구현되지 않았고 데이터 공유 등이 이루어지지 않았기 때문에 국내 경쟁력이 없는 것이다. 이를 보완할 노력이 필요하다. 수소 경제로 가기위해서 국민의 동의는 필수이고 안전 등 측면에서도 정부의 노력이 필요하다.
▪ 일본에서는 여러 가지 방면에서 고려하고 있는데, 그 중 하나가 Public Acceptance(주민 수용성)이다. 이 부분을 국토부에서도 중점적으로 추진해야 할 것으로 판단된다. NGO에서 나선다면 과제 전체가 중단될 수도 있다. ▪ 비슷하게 걱정되는 점이 제도 문제이다. 그래야 기술개발 성	▪ 본 기획을 국토부 단독으로 하려 하였으나 지금은 범 부처 기획의 일환으로 가기 때문에 제도/법령 등이 다양하게 포함되는 것으로 알고 있다. SNG와 같이 부처의 협조가 부족한 경우가 발생할 확률은 낮을 것으로 본다. ▪ 수소 R&D 파이 모델을 보여드렸는데 범부처가 다 포함되어 있다. 수소의 수용성 및 환경 등에 대한 것을 달성하기 위해 제도 등이 포함되어 있고, 이를 단계적으로 진행할 예정이고, 수소도시를 구현하기 위해 장애요인 등을 도출하고 있다.

과들이 따라갈 수 있다. SNG (합성천연가스)만 하더라도 제도적으로 개선하기 위해서 수년간 여러 노력을 하였지만 힘들었다. 기획팀 의견을 듣고 싶다.	
▪ 전주는 폐기물 시설 등 3개가 있는데 소각장은 2026년이면 내구 연한이 끝난다. 최근에 친화경적인 방법으로 현재 플라즈마 가스화 사업을 검토하는 단계에 있다. 플라즈마 가스화는 경제성 문제가 있다. 전기를 2차 생산으로 경제성 극복 가능한지, 플라즈마와 수소를 연계하면 그 효율성 등 타당성이 있는지 플라즈마 시범사업과 연계가 가능한지, 음식물 폐기물 발생가스를 고려하고 있는지, 이사업과 함께 연계하여 할 수 있는지 등이 궁금하다.	▪ 플라즈마 가스화를 적용하여 일반 발전을 하면 효율이 떨어지고, 순산소를 사용하면 높아진다. 그대로 쓰면 탄소/수소 비로 사이즈 등에 제한을 받게 된다. 발전단 기계 선정도 조심해야 한다. 수소 생산을 1, 2년 정도 해본 다음에 검토해볼 필요가 있다. ▪ 음식물 폐기물에서 바이오가스를 하는 것은 경제성이 있다. 플라즈마 가스화는 자체 운영효율, 운영일수 등을 감안하면 많은 문제가 있을 수 있다. 범부처 기획에서 미래기술로는 들어가 있으나 지금 현재는 운전일수 등의 문제로 인해 포함되지 않았다. 이런 점 등을 고려해 볼 필요가 있다. 현재의 경제성은 좋지 않게 될 가능성이 높다.
▪ 이 기획이 시작되면 전주시에서 참여할 수 있는지 궁금하다.	▪ 당연하다. 국토교통과학기술진흥원에서 본 기획 참여의사를 묻는 건으로 지자체에 참여 공문을 보낸 것으로 알고 있다.
▪ 5대 중점과제에서 석탄을 이용한 합성가스 생산이 있는데, 제가 IGCC를 하고 있었다. 석탄을 이용하는데 있어 탈석탄을 정부에서 주장하고 있는데 이것에 대한 극복 전략은 무엇인가? ▪ LNG 개질이 3,000 Nm^3/h로 되어 있는데 그 이상 규모에 대한 계획이 있는지? 대기업에서는 그 이상 규모가 필요하다.	▪ 석탄 부분은 해외에서 하는 것이며, 호주 모델을 따른 것이다. 국내에서 하는 것은 이미 설치된 플랜트를 활용한 수소 생산을 말하는 것이다. 해외에서 생산하여 국내로 수입하는 모델이다. 수소 생산량 3,000 Nm^3/h가 작지 않나 하는 질문에 대한 답변으로는, 모듈화 형태로 국외기술과 차별화된 것으로 다수의 모듈로 확대가 가능하다. 그 모듈은 천연가스에서만 쓰이는 것이 아니라 다른 분야에서도 사용될 수 있게 하는 개념이다. ▪ 보령시와 협의 중인 것이 수소 3,000 Nm^3/h를 얘기하고 있고 15톤이 되어야 한다고 얘기하는데 주민수용성도 필요하여 무작정 늘릴 수도 없다. 기술개발을 위한 사이징도 필요하다. 3,000 Nm^3/h는 모듈로 적정하다고 생각된다. 우리 회사에서 기획하는 것은 15톤/일급인데 시간이 좀 필요할 것으로 사료된다. ▪ 수소 용량 관련해서 말씀드리면, 정유공장에서 소비하는 것이 70%이다. 그렇게 대용량으로 만들어도 kg당 2불이다. 국내에서는 활성화가 필요하다. 현재는 수소를 만들어봐야 쓸 곳이 없다. 닭이 먼저냐 달걀이 먼저냐의 문제이다. 현대자동차는 충전소 확충이 필요하다고 말하고 생산하는 곳에서는 수요가 있어야 한다고 얘기한다. 이런 논쟁이기 때문에 정부의 도움이 필요하다. 3,000 Nm^3/h도 규모가 작아서 경제성을

	확보하기는 어렵다. On-site 개질 방식 등으로 경제성 확보도 가능할 것이다. 이송에 대한 경제성 등을 검토하면 좀 더 가까이 갈 수 있지 않나 생각된다.
▪ 중점 6개 분야인데, 원료 다변화를 통한 수소생산이 핵심인 것으로 보인다. 원료와 생산 관점에서만 집중되어 있고 이송 저장 관련해서는 소외된 것이 아닌가 하는 생각이 든다. 현대오일뱅크에서 만들어진 부생 수소가 kg당 2불인데 이를 이송하면 200 kg을 옮기는데 kg당 4~5불 정도의 운송비가 발생한다. 어떻게 안전하고 쉽게 저장하고 운송할 수 있는가 하는 관점이 필요하다고 생각한다.	▪ 이 기획에서는 생산에 초점을 맞추었고, 이송 저장 활용은 범부처 기획에서 진행 중이며, 인프라는 국토부에서 고려하고 있다. ▪ 제가 저장분야의 기획을 하고 있는데 정말 큰 문제로, 현재 정부 생각은 현재는 200 bar 압축 튜브트레일러로 이송하는데, 2040년에는 500만톤을 수송하는데 압력 450 bar로 높이는 방식, 향후 1,000 bar 정도를 고려하고 있다. 압력을 너무 높이면 반발이 있기 때문에 액체 수송방식을 국토부에서 고려하고 있다. 해외 미활용에너지를 이용한 LOHC(Liquid Organic Hydrogen Carrier)를 이용한 이송 등을 이용하면 현재의 정유 인프라를 이용할 수도 있다.
▪ 도시생활폐기물에 대한 열분해 가스화 국내기술이 국내 어느 정도 수준이며, 용량 등이 궁금하다. 이 사업을 진행한다면 국내 지자체가 착수할 수 있는 시기는 언제인지, 지자체에서 참여하여 사업이 잘못되었을 때 리스크 해결 방안이 있는지 궁금하다.	▪ 폐기물 가스화는 환경부에서 8톤/일 규모로 실증하고 있고 스케일업은 정부지원을 못 받은 것으로 알고 있다. 일본에서 100톤/일 폐기물가스화 설비가 운전되고 있는데 이것은 합성가스를 통한 발전이지 수소생산 목적이 아니다. 지자체는 언제 참여할 수 있냐는 것은 국내기술 정립에 4년 정도 예상되어 그 이후가 될 것이다. 리스크를 없애는 것은 정부사업에서 실증 비용을 안을 것이고, 지자체는 참여자로서 지자체가 주도적으로 하는 것에 비하면 리스크가 상당히 적다. 오히려 주민 반발 등이 더 큰 문제가 될 수 있다.
▪ 범 부처로 예타를 진행하는데, 많은 시간이 걸릴 것으로 예상된다. 전체 기술에서 요소 기술의 시급성이 있는 것이 무엇인지, 그리고 해외 국제협력이 필요한 것이 있는지 듣고 싶다.	▪ 인도네시아 및 말레이시아와 국제협력을 통해 가스화로부터 수소 및 케미칼을 생산하고 있다. 그러나 국내 레퍼런스가 부족한 상태이다. 가스화기도 레퍼런스로 보여줄 수 있는 것이 없어 고기원에 방문하여 가스화기를 보여준 사례가 있다. 국외에 보여줄 수 있는 레퍼런스 기술이 시급하다. 실증 등을 통해서 국내외로 미활용 바이오매스를 활용할 수 있는 기술도 반영되었으면 하는 것이 바람이다. ▪ 플랜트 사업은 초기 투자비가 많이 들어서 회수기간이 길어지는 경향이 있어 비즈니스 입장에서 망설여지게 된다. 투자 경제성을 어떻게 확보하느냐, 그리고 플랜트 성능 신뢰성을 확보할 수 있어야 기술들이 시장에 나갈 수 있다. 투자경제성 확보와 기술의 신뢰성을 개런티 할 수 있는 품질보증 데이터, 이 두 가지가 가장 중요하다고 생각한다. 플랜트 모듈화에 대한 고유 원천기술도 필요하다. ▪ 해외 수소 수입을 말하면 액체 수소를 어떻게 만들지 그리고 어떻게 수송할지도 중요하다고

	생각한다. 수소저장 플랜트는 생산처에 있어야 하고 국내는 수소추출 설비가 있어야 해서 LOHC(Liquid Organic Hydrogen Carrier)와 같은 기술들이 고려되어야 할 것이다.
▪ CO_2 관련 미세조류는 온도에 민감하고 CO_2에도 민감하다. Lab scale에서는 합당한지 모르겠지만 상용화에서는 타당한지 고려해 봐야 한다. CO_2 자체 활용도에 대한 고민이 필요할 것으로 보인다.	▪ LNG 개질을 중점과제로 하였는데 타 화석연료로도 수소 생산이 가능한데 이를 고려해서 이 기획에 포함되었으면 한다. 플랜트이기 때문에 해외수출용이 바람직한데 국내 실증용 테스트베드가 이 사업에 있어야 하지 않나 생각한다. ▪ 수소경제 활성화 로드맵은 단순한 방향을 설정한 것으로 우리나라 현실을 반영한 기술개발 로드맵이 세워져야 하고 우선순위가 세워져야 한다. 선택과 집중이 필요하다고 생각한다. 기술개발로 들어 갈 때는 기술개발에 대한 집중이 필요하다. 실천계획이 수립되어야 하고 기업이 원하는 원천기술 개발 등도 필요해 이를 고려한 action plan 수립이 필요하다.

3.4 종합 의견

○ 우선순위에 대한 문의가 있었고 선택과 집중을 얘기했는데, 바이오가스 메탄을 이용한 수소생산은 지금 당장 가능할 것이라 판단되며, 펫콕 가스화에서는 주민 수용성 문제만 해결이 된다면 상용화에 상당히 현실적

○ 폐기물로 수소를 생산하는 방안은 동남아를 고려하면 수출이 가능한 장기적 모델이 될 것이며 석탄은 제일 순위가 밀려 있을 것이며 이러한 요소들이 우선순위 설정에 기준이 될 것

○ 패널 의견은 기획에서 반영하도록 하며. CO_2 활용에 대해서는 생산 단계에서 CO_2 발생이 문제가 되는데 우리나라 여건에 맞게끔 기획하는데 노력해야 할 것

○ 전체 기획 및 수소도시에서는 활용 부분에 열 활용이 포함되어 있으며 지자체에는 참여의향서를 보냈는데 도시 폐기물, 바이오 가스 활용 부분은 지자체 참여가 필수

○ 바이오가스는 기존 운영되고 있는 시설들이 있으므로 추가 설비로 수소 생산이 가능한 유망한 분야

제2절 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 관련 사업 추진현황

1. 유사사업 현황 및 중복성 검토

○ 유사·중복성 분석은 국가연구개발사업의 예비타당성조사에 대한 기존 사업과의 중복 가능성을 판단하며, 더 나아가 국가 재정운용과 건전재정을 확보할 수 있도록, 정부 연구개발투자의 투자균형 여부를 분석하기 위한 항목

○ 국가재정의 중복투자는 비능률적이고 무용한 부정적인 개념으로 간주되기 때문에, 정부는 유사·중복사업에 대한 선택과 집중을 통한 투자 효율성의 극대화가 요구되므로 유사·중복성 분석은 재정운용상의 낭비 요인을 최소화하기 위해 중요한 부분

○ 국가연구개발사업의 중복성 검토는 조사 대상사업과 비교검토 사업과의 일대일 비교를 원칙으로 하며, 각각 사업목표, 지원 대상, 지원 분야의 전부 또는 부분이 일치되는 상태를 파악

○ 그러나 유사 · 중복성 분석은 대상사업이 중복사업이라는 최종적인 결론을 도출하기 위함이 아니라, 정부로부터 연구개발비가 전달되는 체계가 기존 사업과 실질적으로 유사·동일하여 신규투자가 우려되는 수준인지에 대한 정보

□ 사업수준의 중복성

○ 기존 사업과 동 사업을 사업목표, 지원분야, 지원대상 등을 중심으로 유사·중복성 검토를 실시하였으며, 검토 대상 사업의 선정에는 국가과학기술지식정보 사이트(www.ntis.go.kr)에서 도출된 정보를 활용하여 중복가능성 대상사업을 참고

○ 유사·중복성 검토 결과로는 동 사업과 유사연구를 수행할 가능성이 존재하는 대상사업으로 산업통상자원부의 청정연료 Test-bed 구축 및 활용사업 및 한국형 300 MW급 IGCC 실증플랜트 운영기술 개발과 국토교통부의 LNG 플랜트 설계기술 개발이 중복 가능성이 있을 것으로 판단

○ 상용급 가스·액화 플랜트 기술개발사업 기획을 위해 국가과학기술지식정보 사이트(www.ntis.go.kr)에서 주요 기술 분야 관련 정부 R&D 과제 진행 현황에 대해 조사를 실시하고 중복성 검토를 실시

<표 4-2-1> 동 사업과 연관된 대형 정부지원 프로젝트

사업명	한국형 300 MW급 IGCC 실증플랜트 운영기술 개발
사업비	180억원
기간	'11~15
사업목표	- 가스화기 운전감시 핵심기술 확보 - 석탄가스 연소 기반기술 개발
추진체계	산업통상자원부/현대중공업
연구내용	- 태안 IGCC 가스화공정 기본설계 자료 분석

	- 태안 IGCC 가스화공정 모델링 - 석탄가스용 가스터빈 데이터를 이용한 복합발전 성능 모델링 수행

○ 상기 사업과 동일한 부처에서 수행하였던 한국형 300 MW급 IGCC 실증플랜트 운영기술 개발은 동 사업이 추진하려는 합성가스 생산 분야와 중복되는 부분이 있으나 기 사업을 토대로 해당 분야의 기술수준을 향상시키는 목적으로 사업내용을 차별화

○ 또한, 동 사업에서는 단독으로 합성가스 Test-bed를 운영하는 것이 아니라 다른 분야와 연계하여 Test-bed를 구축할 계획

○ 주 생산품이 수소라는 측면에서는 기술개발의 중심과 사업의 목표 등 내용이 상이

2. 국토교통부 고유 사업과의 중복성 검토

○ 국토교통부 소관 총 23개 고유 사업이 있으며 국토기술분야 10개 사업, 교통기술분야 6개 사업, 기반구축분야 7개 사업으로 구성

<표 4-2-2> 국토교통부 고유 사업 리스트

사업명	사업세부분야	개수
국토기술분야	건설기술연구	10개
	물관리연구	
	수요대응형 물공급 서비스	
	플랜트 연구	
	도시건축연구사업	
	주거환경연구사업	
	국토공간정보연구사업	
	공간정보기반 실감형 콘텐츠 융복합 및 혼합현실 제공기술 개발	
	위성정보 활용센터 설립 운영	
	국가전략프로젝트	
교통기술분야	교통물류연구	6개
	철도기술연구사업	
	항공안전기술개발	
	무인비행체안전지원기술개발	
	인수헬기인증기술개발	
	항공기 장비품 부품 등 제작정비 인증기술 개발	
기반구축분야	국토교통기술촉진연구	7개
	국토교통기술사업화지원	
	국토교통기술지역특성화	
	국토교통연구기획	
	국토교통연구성과활용지원	
	국토교통연구개발운영지원	
	정책연구개발사업	

○ 국토기술분야 중 플랜트연구 사업에서 수행하였던 사업으로서 대상 물질로 가스를 취급하는 사업으로는 LNG 플랜트설계 기술개발 사업이 있으나, 적용 기술 및 최종 생산품 등에서 중복성이 전혀 없는 것으로 판단

3. 과제단위 중복성 검토

○ 과제수준의 중복성을 검토한 결과, NTIS사이트에서 제공하는 유사과제 검색시스템을 통해 동 사업의 과제명과 연구목표, 연구내용, 기대효과, 한글/영문키워드로 웹검색을 하여 검색한 결과 기본설정 유사도 60% (NTIS 표준기준)에서는 유사과제 미검색

○ 기술트리 대분류 중 각 5개 분야에 대해서도 개별적으로 중복 가능성 검토를 실시

- 합성가스/바이오가스/잉여 전기 이용 수소생산 및 산소활용/개질 및 변환/정제 및 분리의 각 분야가 예전부터 수행하고 있었고 현재 동 사업에서 기술향상과 경제성 확보를 위해 Test-bed를 구축하여 상용급으로 실증사업을 수행함으로써 해당 기술을 해외 수출하는 것이 목표

○ 그러므로 유사 사업과의 중복성이 아닌 동 사업을 통한 상용급 기술도출 단계로 보면 됨. 아래 결과는 플랜트 설비 및 건설기준의 최근 기술 적용을 위해 지난 10년간 수행한 과제를 대상으로 조사하여 표와 같은 결과를 도출

○ 검토 대상 과제의 선정에는 NTIS 사이트의 유사과제시스템 적용이 안 되기 때문에 각 분야별 검색을 통해 도출된 정보를 이용하였으며 동 사업의 각 대분류별 한글 키워드를 입력하여 기 수행된 세부과제와의 중복성 검토를 실시



[그림 4-2-1] 과제 중복성 검토 프로세스

○ 중복성 판단은 0~10단계로 표현하여 각 4개 분야별 대상 과제와 어느 정도 중복성이 있는지 전문가를 활용하여 판단하였으며 기술트리 대분류 기준으로 중복성 검토를 실시하였으며, 각 부처별로 중복 가능성에 대한 유사과제가 산업 통상자원부에서 주로 수행하였다는 것을 판단 가능

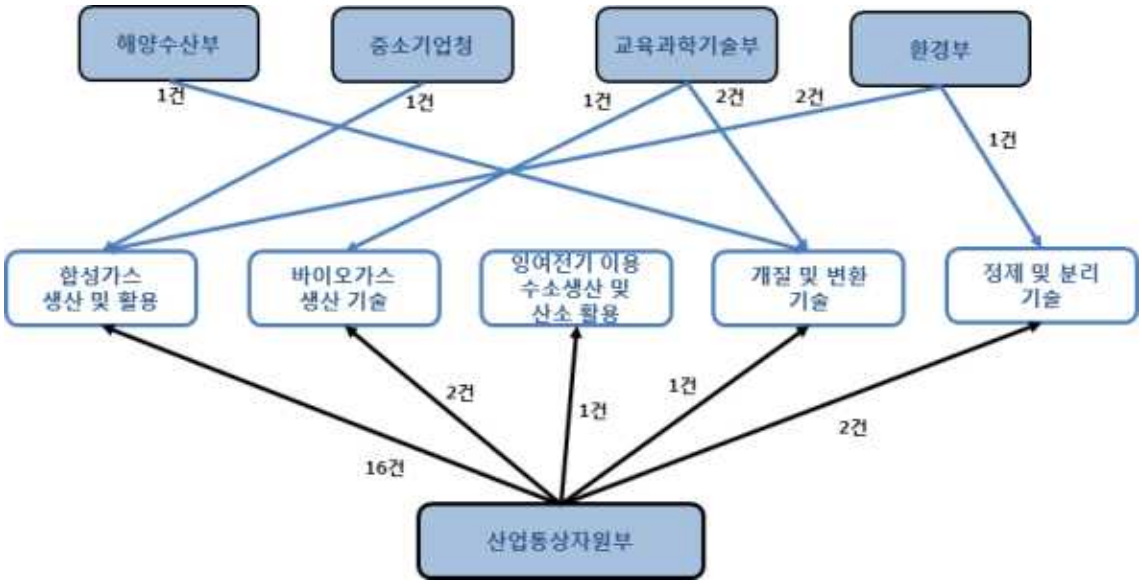
<표 4-2-3> 5개 중분류 기술분야별 과제수준의 중복 가능성 검토 내용

분야	부처	과제명	중복성 판단*1)
합성가스 생산	산업통상자원부	IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	7
		가스화기 연계 CO_2 포집 통합공정 구축 운전 및 10 MW급 통합공정 설계기술 개발	6
		연소전 CO_2 포집용 핵심소재 개발 (습식)	2
		상용급 합성가스 제조 공정 적용을 위한 내부식성 금속필터 국산화 기술 개발	2
		Dry base 20톤/일급 저타르 합성가스 생산용 복합바이오매스 가스화 및 에너지 활용시스템 개발	6
		미분탄 화력발전 효율개선 및 이산화탄소 감축을 위한 바이오매스/저급탄 하이브리드 연료 제조공정 개발	2
		저급탄 고효율 가스화 기술 개발	5
		석탄 SNG 제조 공정 국산화를 위한 실증 기술 개발	3
		고열량 폐기물 합성가스로부터 메탄올 회수 기술 개발	5
		실증 가스화 플랜트 종합설계 및 자립 기술 개발	4
		순산소 연소를 통한 온실가스 처리 시스템 개발	2
		석탄가스화 Test-bed 구축 및 고유 가스화기 모델 개발	6
		1,000 MW 초초임계압(USC) 주 기기시스템 상용화 기술개발	2
		폐목재를 이용한 가스화 열병합 발전 실증 기술 개발(100 kWe)	5
		이동식 초소형 액체산소 및 액체질소 제조장치 개발	2
		석탄이용 합성석유 제조기술개발	5
	환경부	보급형 중소규모 생활폐기물 가스화 발전시스템 개발	6
		비성형 고형연료의 혼합 산화제 가스화를 통한 고품질 합성가스 제조 기술 개발	7
	중소기업청	고온 /고압 분체 수송시스템 적용을 위한 수냉식 팽창시트 밸브 시스템 개발	2
바이오가스 생산 기술	산업통상자원부	바이오매스로부터 수소생산 및 이용기술 개발	6
		고농도 유기성물질을 이용한 건식혐기소화기술 및 바이오가스 정제를 통한 대체 천연가스 제조·활용 시스템 개발	6
	교육과학기술부	혐기발효에 의한 수소생산 대형화 시설 개발 및 생체모방 수소발생시스템 연구	4
P2G	산업통상자원부	*2)Power-to-Gas 저장 및 활용기술	7
개질 및 변환 기술	교육과학기술부	수소충전소용 천연가스 수증기개질 수소 제조공급 시스템 개발	6
	과학기술부	이산화탄소를 이용한 DME 생산 Pilot Plant 공정개발	3
	산업통상자원부	천연가스로부터 고효율 메탄올 생산 기술 실증	3
		천연가스로부터 FT합성유의 제조기술 개발	3
		소형 선박용 보조전력 공급을 위한 3kW급 열교환형 디젤연료 개질기 개발	2
		미세먼지 대응 휘발성 유기화합물 에너지화 친환경 공정기술 개발	2

정제 및 분리 기술	산업부	IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	7
		이산화탄소포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발	6
	과기부	유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 요소기술 개발	5
	환경부	혐기소화 발생바이오가스내 메탄가스 분리정제를 위한 기초응용 기술의 개발	5

※ 1) 중복성판단: 0점 중복 전혀 없음~10점 매우 중복

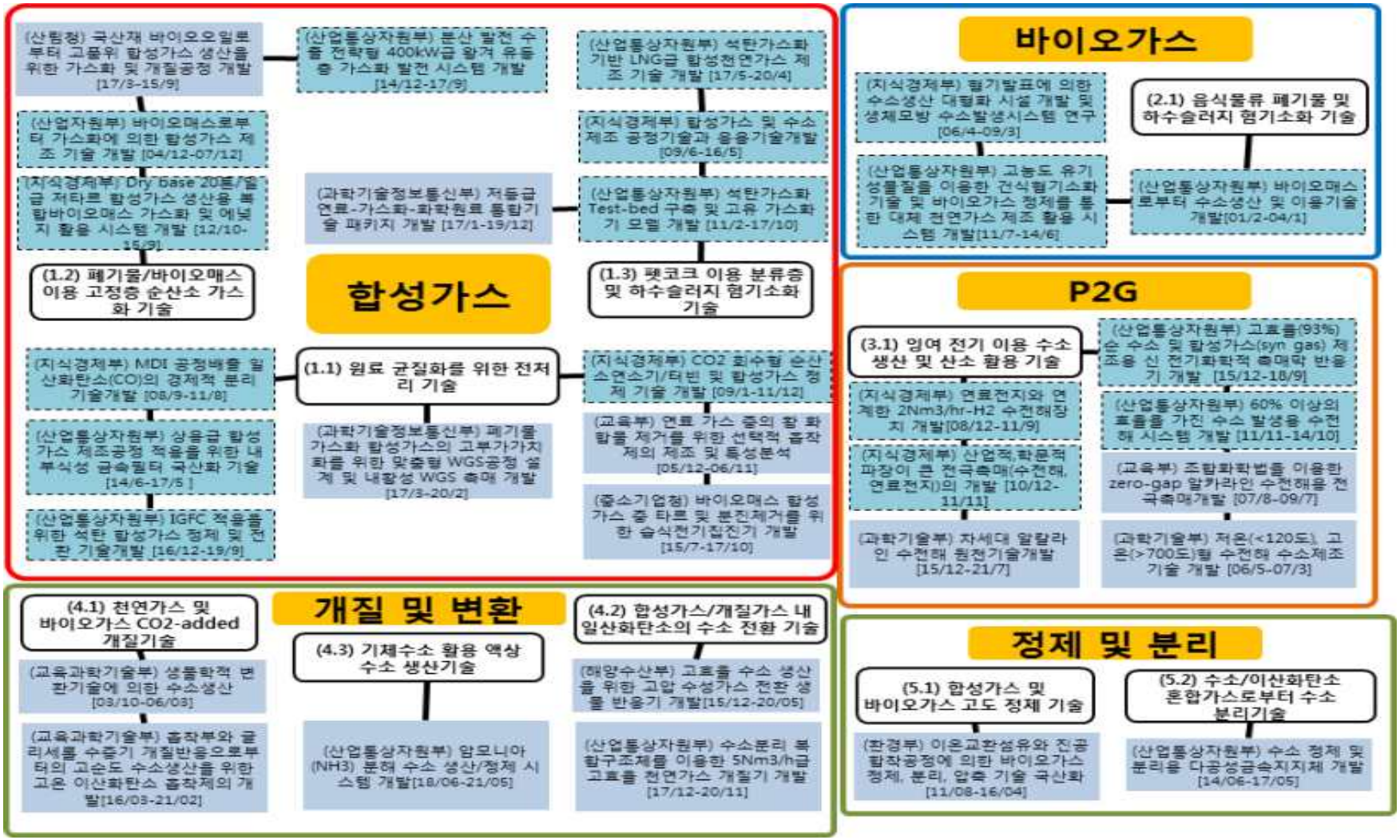
※ 2) 향후 수행예정인 과제로 에너지기술평가원에서 2018년도 RFP로 공고되었음



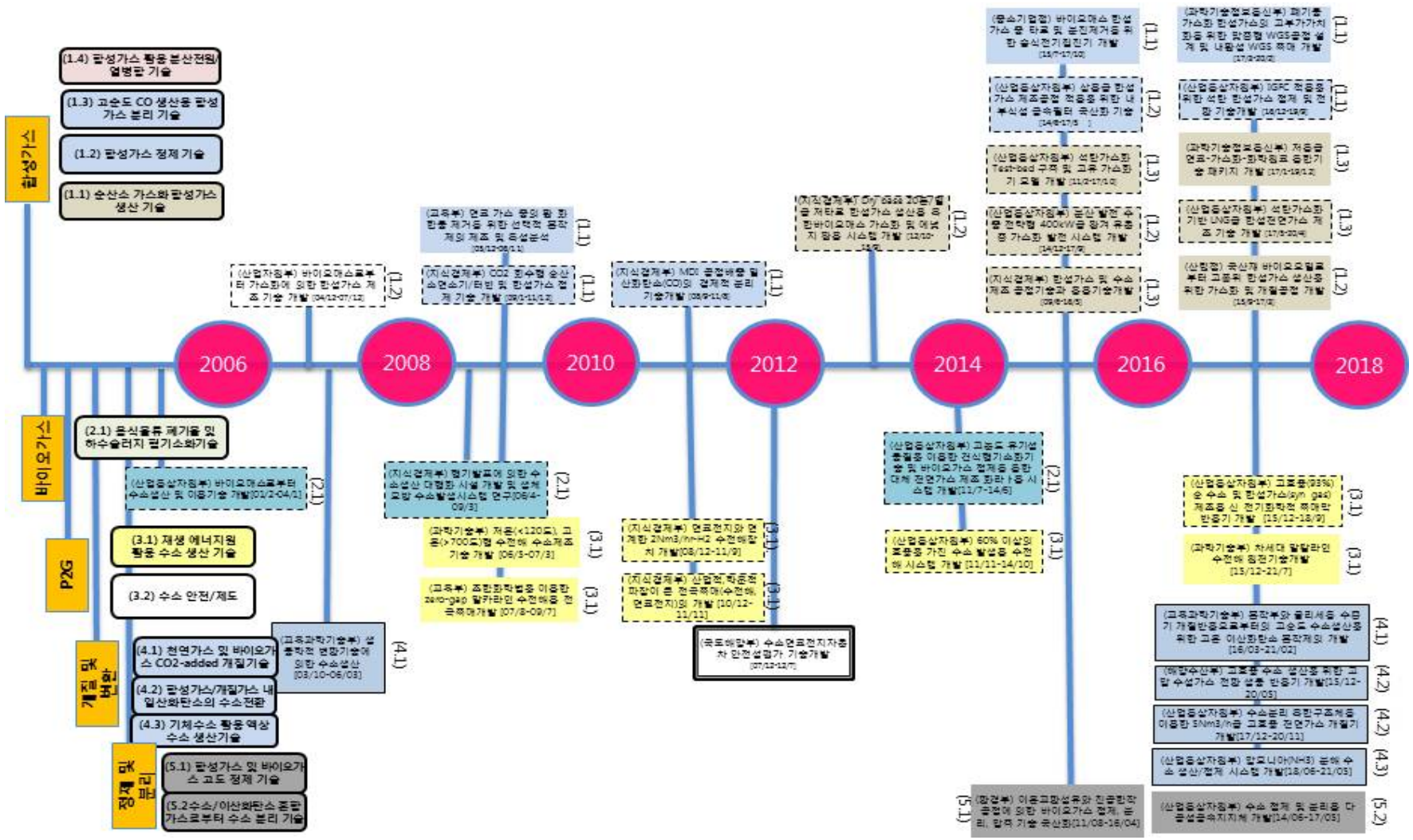
[그림 4-2-2] 기술트리 중분류 5개 분야에 대한 부처별 유사과제 현황

○ 본 기획의 중분류 과제별로 각 부처에서 수행된 기술개발 사업들과 연계를 분석한 결과는 아래와 같이 요약되는데, 기술주제는 유사하나 설비의 규모에서 큰 차이

- 이들 국내 정부지원 사업으로 기반이 있는 결과들을 연계 활용되도록 기획에 반영하였으며 이를 아래 그림에 표시



[그림 4-2-3] 중분류 기술별 국내 각 부처 지원 연관 기술개발 과제 목록



[그림 4-2-4] 중분류별 중복성 대상과제 연도별 연관도

3.1 합성가스 생산 기술

○ 합성가스 생산 기술 관련 정부 R&D과제 진행 현황 조사결과 2006년부터 2015년 까지 약 160여건으로 파악

○ 각 부처별 정부출연금 지원현황을 살펴보면 산업통상자원부가 약 80%로서 높은 비율

<표 4-2-4> 합성가스 생산 기술 관련 정부 R&D과제 진행 현황

단위: 백만원

구 분	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	정부연구비	
											계	비율(%)
교육부							219	209	101	50	579	0.6
국토교통과학부										210	210	0.2
미래창조과학부	23	1,000	435	417	194	212	59	548	740	805	4,433	4.9
산업통상자원부	5,939	2,589	4,715	8,151	16,558	9,404	6,966	8,995	6,835	1,750	71,902	79.5
중소기업청					180	360	240	507		79	1,366	1.5
해양수산부									524		524	0.6
환경부		150	245	249	800	710	1,350	1,220	3,790	2,950	11,464	12.7
부처별 합계	5,962	3,739	5,395	8,817	17,732	10,686	8,834	11,479	11,990	5,844	90,478	100.0

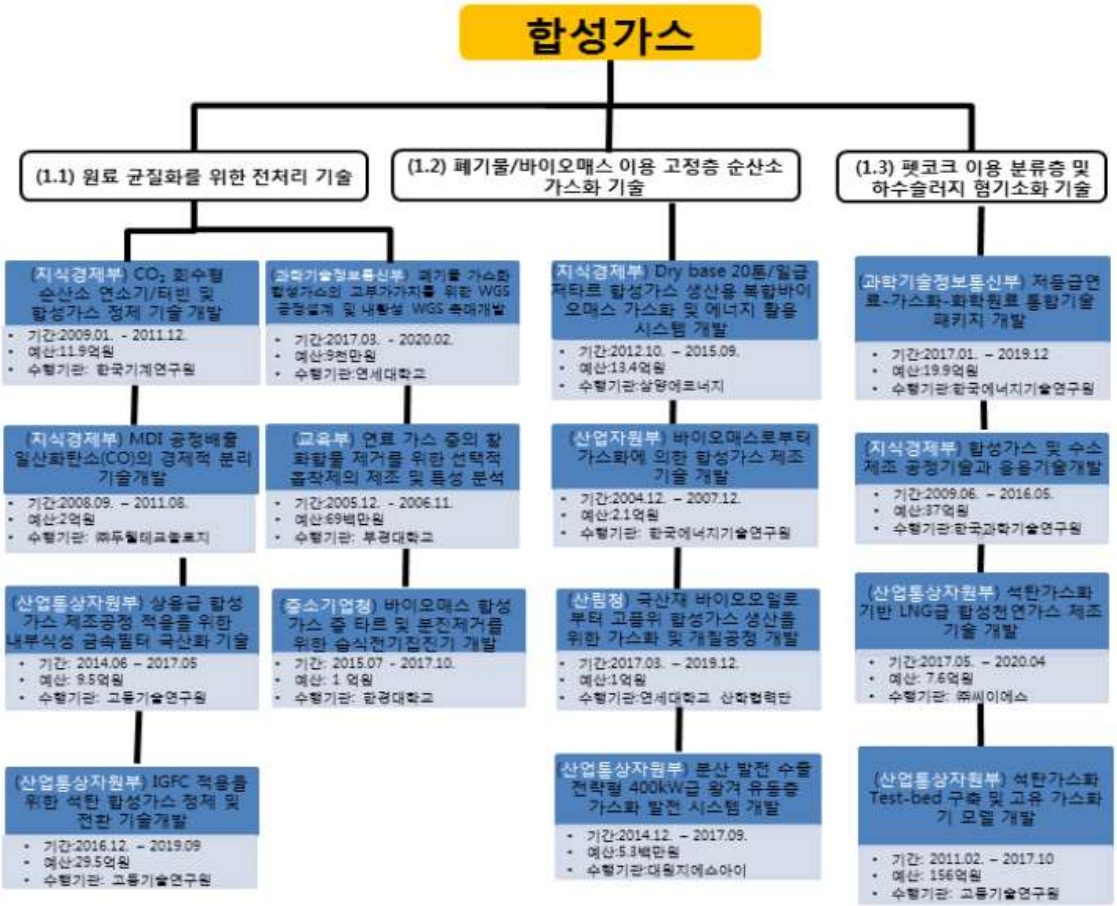
○ 검토된 합성가스 생산 기술 관련 160개 사업(연구비 약 905억원) 중 대표적 과제와 중복성 검토 결과를 아래 <표 4-2-5>와 같이 정리

<표 4-2-5> 합성가스 생산 플랜트 관련 유사과제 리스트

부처	시작 연도	과제명	연구비 (백만원)	비고
산업 통상 자원부	2016	IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	5,812	합성가스 정제/전환 공정 개념/기본 설계 및 부분 구축 및 단위공정 운전
	2014	가스화기 연계 CO_2 포집 통합공정 구축 운전 및 10 MW급 통합공정 설계기술 개발	4,188	20 톤/일급, 본 과제(PJT 1& 2)에서는 50톤/일급으로 scale-up 및 모듈화, 타부처 사업결과 활용추진
	2014	연소전 CO_2 포집용 핵심소재 개발 (습식)	1,680	소재개발
	2014	상용급 합성가스 제조 공정 적용을 위한 내부식성 금속필터 국산화 기술 개발	970	요소기술 (필터) 개발
	2013	Dry base 20톤/일급 저타르 합성가스 생산용 복합바이오매스 가스화 및 에너지 활용시스템 개발	3,334	20톤/일급, 본 과제(PJT 4)에서는 100톤/일 급으로 scale-up 및 모듈화

	2012	미분탄 화력발전 효율개선 및 이산화탄소 감축을 위한 바이오매스/저급탄 하이브리드 연료 제조 공정 개발	2,650	새로운 연료 개발
	2011	저급탄 고효율 가스화 기술 개발	18,700	3톤/일급 소규모, 유동층 가스화 공정 개발
	2011	석탄 SNG 제조 공정 국산화를 위한 실증 기술 개발	5,150	합성가스 활용 기술, 외국 도입기술 활용 SNG 제조 공정 개발
	2011	고열량 폐기물 합성가스로부터 메탄올 회수 기술 개발	1,343	5 톤 /일급 소규모, 본 과제(PJT3)에서는 scale-up 및 모듈화
	2011	실증 가스화 플랜트 종합설계 및 자립 기술 개발	3,007	외국 도입 기술의 상세 설계 기술
	2011	순산소 연소를 통한 온실가스 처리 시스템 개발	120	기존 연소 기술에서 순산소를 이용하는 기술
	2011	석탄가스화 Test-bed 구축 및 고유 가스화기 모델 개발	16,850	최대 20톤/일로서 본 과제(PJT1&2)에서는 50톤/일급으로 scale-up 및 모듈화 , 타부처 사업결과 활용 추진
	2010	1,000 MW 초초임계압(USC) 주기기시스템 상용화 기술개발	7,964	기존 연소 기술 이용
	2008	폐목재를 이용한 가스화 열병합 발전 실증 기술 개발 (100 kWe)	385	바이오매스만 연료로 사용 , 본 과제 (PJT4)에서는 500 kWe 급으로 scale-up 및 모듈화
	2007	이동식 초소형 액체산소 및 액체질소 제조장치 개발	280	유틸리티 공급 시스템 개발
	2007	석탄이용 합성석유 제조기술개발	10,000	10톤/일급 , 합성석유 목표 , 본 과제 (PJT1&2)에서는 50톤/일급으로 scale-up 및 모듈화
환경부	2012	보급형 중소규모 생활폐기물 가스화 발전시스템 개발	4,446	30 톤 /일급 , 본 과제(PJT4)에서는 100 톤 /일급으로 scale-up 및 모듈화, 본과제의 순산소 (PJT3)의 경우는 차별화
	2013	비성형 고형연료의 혼합 산화제 가스화를 통한 고품질 합성가스 제조 기술 개발	8,850	8톤/일 운전 후 80톤/일급 개발 , 본 과제 (PJT4)에서는 해외수출용 모듈화, 본과제의 순산소 (PJT3)의 경우는 차별화
중소기업청	2010	고온/고압 분체 수송시스템 적용을 위한 수냉식 팽창시트 밸브 시스템 개발	460	요소기술 (밸브) 개발

○ 합성가스 분야 소분류 기술에서 각 부처 지원의 대표적 기술개발 과제는 다음과 같이 그림으로 정리



[그림 4-2-5] 합성가스 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제

3.2 바이오가스 생산 기술

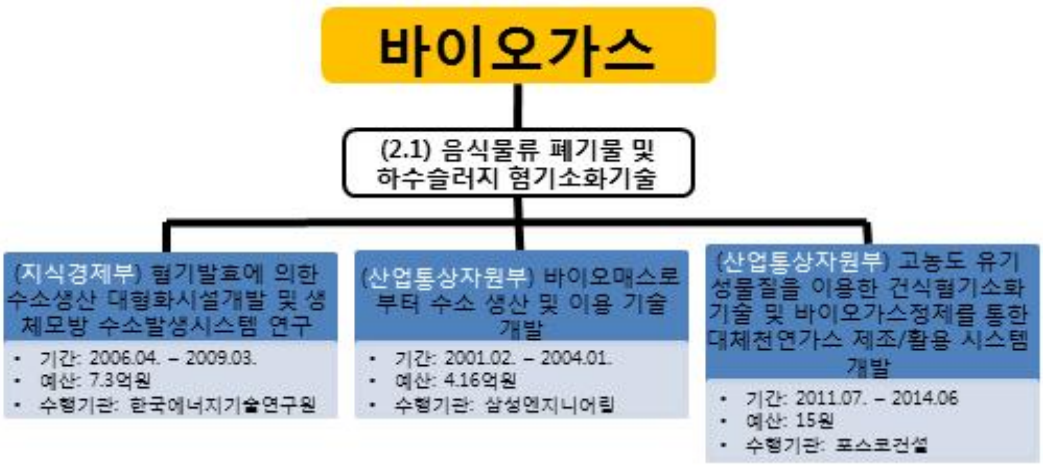
○ 바이오 가스를 이용한 수소 생산기술에 대한 연구는 산업통상자원부에서 주도적으로 연구개발 과제를 착수하여 수행

○ 바이오가스 생산 기술은 2002년도부터 현재까지 원천기술, 연계기술, 시스템화 기술 등 100여건이 넘는 기술 개발을 수행하였으나, 바이오 가스를 이용한 수소 생산 기술에 대한 유사과제는 아래 3건으로 실증기술 개발에 대한 연구는 없는 것으로 확인

<표 4-2-6> 바이오가스를 이용한 수소 생산 기술 관련 유사과제 리스트

부처	시작 연도	과제명	연구비 (백만원)	비고
산업통상자원부	2001	바이오매스로부터 수소생산 및 이용기술 개발	416	생산 및 발전시스템을 개발
	2011	고농도 유기성물질을 이용한 건식혐기소화기술 및 바이오가스 정제를 통한 대체 천연가스 제조 활용 시스템 개발	1,815.74	바이오가스 생산플랜트와 도시가스 배관망 혹은 단독 배관 연결을 위한 설계 및 시공
교육과학기술부	2006	혐기발효에 의한 수소생산 대형화 시설 개발 및 생체모방 수소발생 시스템 연구	730	복합 유기성 폐기물 이용 혐기발효 수소생산시스템 운전최적화 및 장기 운전

○ 바이오가스를 이용한 수소 생산 분야 소분류 기술에서 각 부처 지원의 대표적 기술개발 과제는 다음과 같이 그림으로 정리

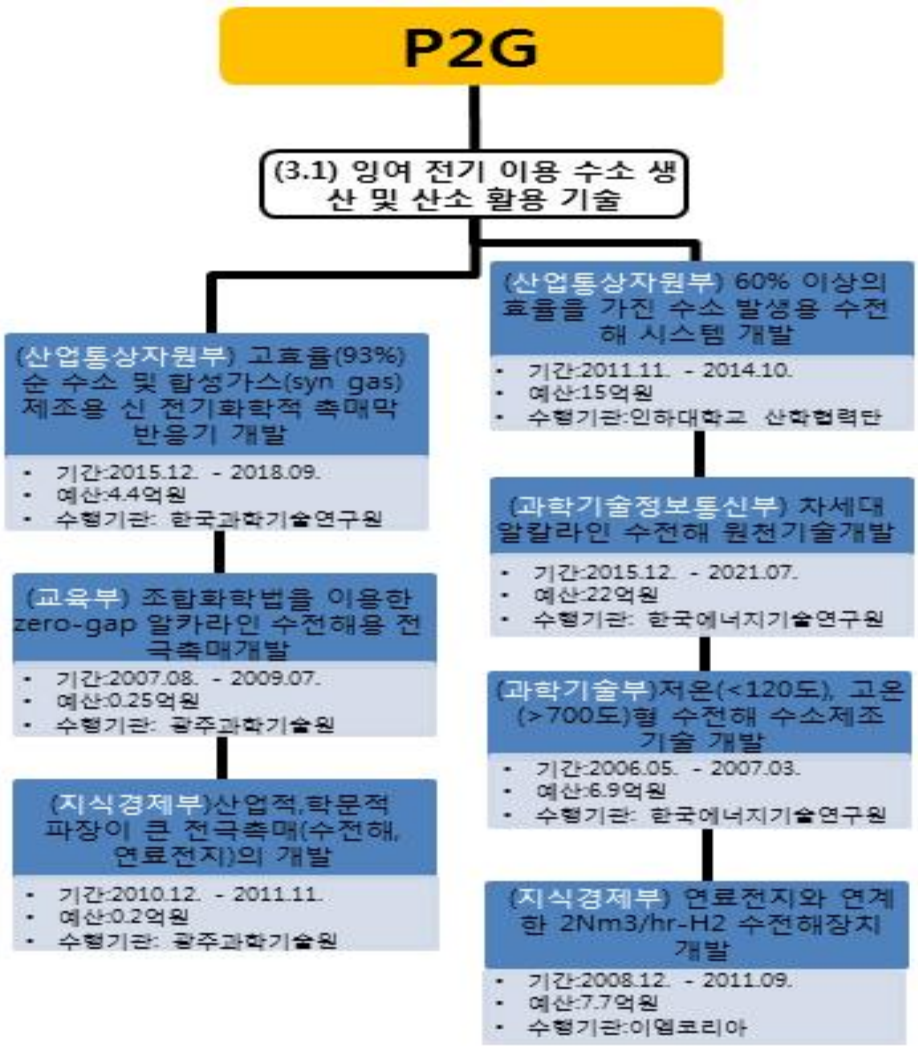


[그림 4-2-6] 바이오가스 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제

3.3 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ P2G 분야는 한국에서 최근에야 관심을 갖고 기술개발이 막 시작되려는 시점
- 산업자원부 산하 한국에너지기술평가원에서 2018년도 추진 브랜드(대형)과제 RFP로 아래와 같이 2017년 12월에 공고
- 이 과제가 2018년도 선정되어 수행된다면 이 내용과 차별성에 대한 분석 필요

○ P2G 분야 소분류 기술에서 각 부처 지원의 대표적 기술개발 과제를 다음과 같이 그림으로 정리



[그림 4-2-7] P2G 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제

<표 4-2-7> P2G 기술: 산업부 한국에너지기술평가원(KETEP) 2018년 추진 공고된 브랜드 (대형) 과제 RFP 내용

'18년도 에너지기술개발사업 신규과제 기술개요서 (브랜드(대형)과제)

관리번호	2018-수요관리-브랜드-3
연계/해당여부	표준화연계( ) 경쟁형R&D ( ) 실증R&D (○) 공기업협력 ( ) 도전적R&D ( ) 초고난도R&D ( ) 복수지원대상( )
프로젝트명	Power to Gas 저장 및 활용기술

1. 필요성

○ (정책·기술) 탈원전 및 석탄화력 신규 증설 제한으로 인한 신재생 발전 확대가 예상됨에 따라 신재생 전력의 안정성 확보 및 잉여전력의 저장과 활용 기술 개발 필요성 증대

- EU를 중심으로 PtG 실용화를 위해서는 에너지효율 향상과 비용 절감이 필수이며, 가스망 연결 및 친환경차 인프라 확대 시 비용문제 해결을 위한 연구 수행중임
- 전력연구원을 중심으로 에너지 저소비형 PtG 기술개발이 진행되고 있으며 PtG의 기반기술인 수전해 수소 생산은 연료전지 용 수소생산을 위한 수전해 기술부분에서 상당한 수준의 기술이 기 개발되어 있으며 이산화탄소의 메탄화 촉매개발도 선진국 기술에 도달해 있음

○ (시장현황) 산업생태계 및 시장관점에서의 전략적 필요성, 국가·사회적 현안 여부

- 신재생 발전의 불안정성을 해결을 위한 장기 저장방식으로써 P2G 방식 대두, 신재생에너지 기반 친환경차 충전인프라 관심 증대
- 전기-가스의 인프라 연계를 통해 전력 저장 및 전력망 구축 문제를 극복함으로써 안정적이고 경제적인 전력공급 보장

○ (사업화)

- '분산 발전원 + 수소 저장'은 저장기간의 유연성으로 효율적인 에너지그리드 구축이 가능하고 수소차 수요에 따라 관련 시장 급증에 대응 가능
- 정부 정책에 따라 급속히 확대되어야 하는 신재생 전력을 활용한 신시장 창출 및 대형 신재생에너지 발전단지와 연계한 대규모 에너지 저장장치 시장 창출 가능

2. 프로젝트 개념

○ (기술개념)

- 신재생발전 전력의 공급 안정성 확보 및 순간 잉여전력의 활용을 위해 전기를 저장 가능한 연료(수소, 메탄)로 전환하고 이를 이용한 분산형 발전 시스템 구축
  - * 전기 → 물 전기분해를 통한 수소생산 → CO_2 + H_2 이용 메탄 가스 생산
    → 연료전지 발전, CNG/LNG 발전, CNG 수송연료, 도시가스 활용
- 수소, 메탄으로 신재생/잉여 전력을 저장하여 전력망을 보완하고 가스망과 연계하여 에너지저장 한계 극복 및 필요시 열병합발전, 수송에 직접 사용

○ (기술개발방향)

- 신재생전력 연계 전기 분해조 시스템을 기반으로 한 고용량 에너지 저소비형 H_2와 CO 생산기술
- 신재생에너지 유래 전자 공여체를 이용한 CO_2, CO의 생물학적 • 화학적 메탄/합성연료화 기술
- 신재생발전 전력의 공급 안정성 확보 및 순간 잉여전력의 활용을 위한 다양한 전기 공급원의 연계를 통한 ICT 스마트그리드 활용, PtG 기반 분산형 발전 및 수송연료 보급 확산 시스템 개발

<표 4-2-7> P2G 기술: 산업부 한국에너지기술평가원(KETEP) 2018년 추진 공고된 브랜드(대형) 과제 RFP 내용 (계속)

3. 개발목표 및 내용

○ (최종목표)
- 신재생 전력의 안정성 확보 및 잉여전력의 활용을 위해 수소/메탄 에너지 생산 및 이를 이용한 분산형 에너지 공급 시스템과 비즈니스 모델 개발

○ (세부과제 연구내용)

세부과제명	기술개발 목표 및 내용	비고
① 신재생전력 연계 고효율 H_2/CO 생산기술 (TRL : 4 ~ 7단계)	○ 최종목표 : - 신재생에너지원을 활용한 수소/CO 생산 및 활용 기술개발 ○ 기술개발 내용 - 저가, 고효율, 고내구성 분리막 형성 및 소재 기술 개발 - 고가의 Pt 계열 전극을 대체할 수 있는 탄소 또는 탄소 복합체 - 수소저장 등 수소스테이션, 연료전지 발전, 수소자동차 연계기술	공고시기 2018년 공고* 과제유형 제품 주관기관 제한없음 기술료 징수 지원기간 48개월
② 에너지 저소비형 메탄/합성연료 생산기술 (TRL : 4 ~ 7단계)	○ 최종목표 : - 이산화탄소와 수소를 이용한 고효율 메탄화 기술 및 합성연료 생산 기술 ○ 기술개발 내용 - 고활성 이산화탄소 직접 전환 촉매 기술 및 CO_2 메탄화 통합 시스템 구축 - 신개념 저온 열촉매를 이용한 저온/저에너지 CO_2 메탄화 기술 개발 - 에너지 소비형 전기화학적 암모니아 생산 기술	공고시기 2018년 공고* 과제유형 제품 주관기관 제한없음 기술료 징수 지원기간 48개월
③ 에너지믹스 그리드 연계 PtG 분산형 발전 시스템 (TRL : 5 ~ 8단계)	○ 최종목표 : - P2G 플랜트의 FEED 설계 및 엔지니어링 기술을 통한 공정 최적화 ○ 기술개발 내용 - 전력,가스,열,연료, P2G시스템 연계 제어기술, 실증플랜트 구축·운영 기술 확보 - P2G 시스템을 통한 에너지 저장 및 분산형 에너지 공급 BM 도출	공고시기 2020년 예정* 과제유형 공고시 확정 주관기관 공고시 확정 기술료 공고시 확정 지원기간 공고시 확정

* 금번 공고 시 제외된 과제는 정부정책, 예산 현황, 기술개발 트랜드 등에 따라 공고 시기 및 내용이 변동될 수 있음

4. 기타 지원 요건

○ 실증사이트 제공 필수
○ 실증사이트 기술수요-공급에 따라 세부기술 변동가능

3.4 개질 및 변환 기술

○ 수소 생산을 위한 개질 및 변환 기술에 대한 연구는 산업통상자원부, 교육과학기술부, 해양수산부 등에서 과제를 통한 기술개발을 시행

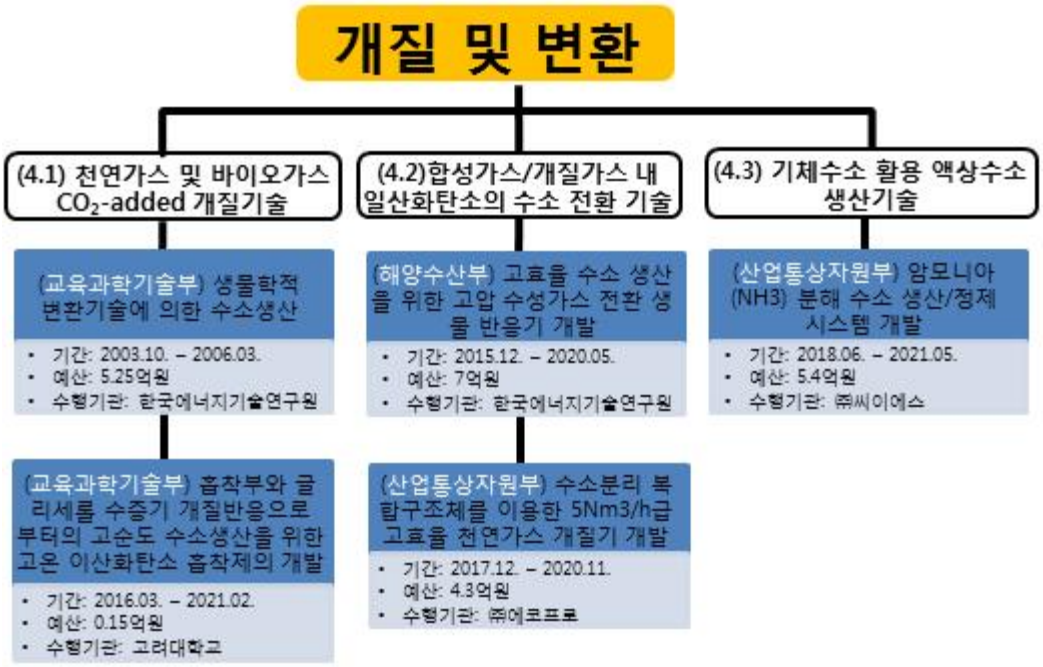
○ 수증기를 이용한 천연가스 개질은 전통적으로 많이 수행한 연구 내용이 있으나 CO_2를 활용한 개질에 대한 연구 내용은 2건의 유사과제

○ 액상 암모니아를 분해하여 수소를 생산하는 기술개발을 2018년도부터 착수하여 진행 중

<표 4-2-8> 개질 및 변환 기술을 이용한 수소 생산 기술 관련 유사과제 리스트

부처	시작 연도	과제명	연구비 (백만원)	비고
산업통상 자원부	2017	수소분리 복합구조체를 이용한 5Nm^3/h급 고효율 천연가스 개질기 개발	527	고효율 개질을 위한 촉매기술 개발
	2018	암모니아(NH_3) 분해 수소 생산/정제 시스템 개발	706	1 Nm^3/h 암모니아 분해 반응기 개발
교육과학 기술부	2005	생물학적 변환기술에 의한 수소 생산	525	혐기성/광합성 미생물 및 관련효소를 이용한 물 및 유기성 폐기물로부터 수소 생산
	2016	흡착부과 글리세롤 수증기 개질 반응으로부터의 고순도 수소생산을 위한 고온 이산화탄소 흡착제의 개발	15	글리세롤 수증기 개질반응 공정을 통해 >99.9% 수소 생산
해양 수산부	2015	고효율 수소 생산을 위한 고압 수성가스 전환 생물반응기 개발	700	산업부생가스 등 신재생자원 활용 바이오수소 실용화 기술 개발

○ 개질 및 변환 기술을 이용한 수소 생산 분야 소분류 기술에서 각 부처 지원의 대표적 기술개발 과제를 다음과 같이 그림으로 정리

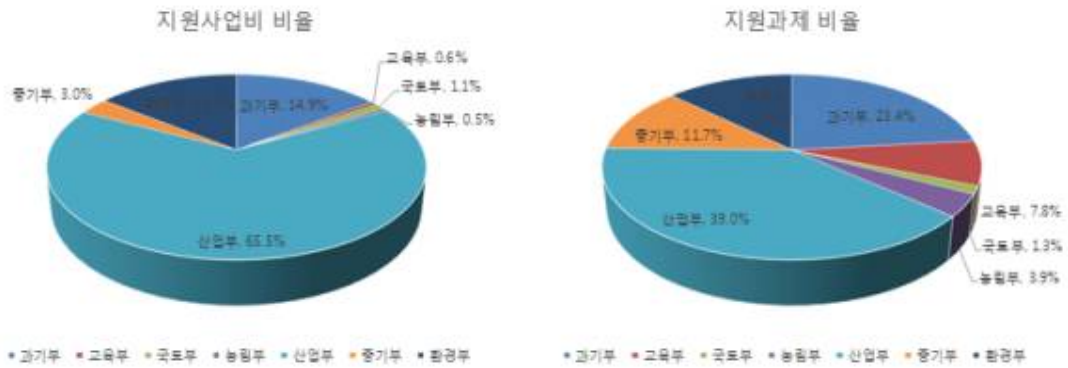


[그림 4-2-8] 개질 및 변환 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제

3.5 정제 및 분리 기술

○ 합성가스/바이오가스 정제 및 수소 분리 기술 관련 정부 R&D과제 진행 현황 조사결과 2003년부터 2019년 상반기까지 약 77여건으로 파악

○ 각 부처별 정부출연금 지원현황은 산업통상자원부가 약 65.5%이고 지원과제수도 약 39%로서 가장 높은 비중



[그림 4-2-9] 정제 및 분리 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제

○ 검토된 합성가스/바이오가스 정제 및 수소 분리 기술 관련 77개 사업(연구비 약 441억

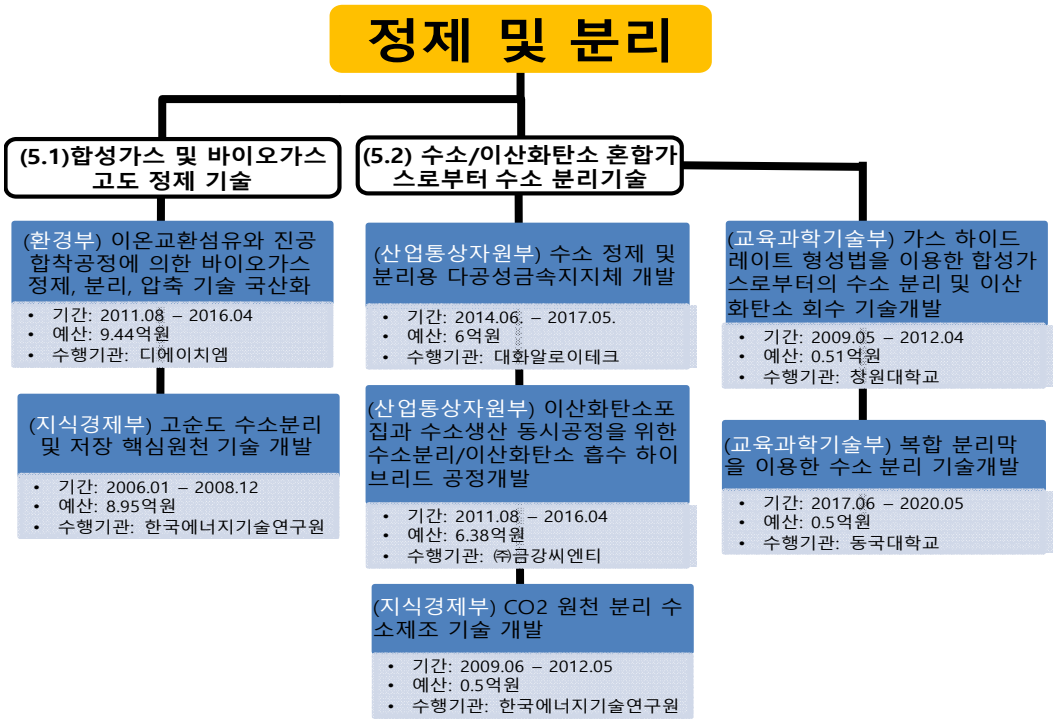
원) 중 대표적 과제와 중복성 검토 결과를 아래 <표 4-2-9>와 같이 정리

<표 4-2-9> 합성가스/바이오가스 정제 및 수소 분리 관련 유사과제 리스트

부처	시작 연도	과제명	연구비 (백만원)	비고
과기부	2019	합성가스(SynGas)의 전처리 및 성분별 분리/농축을 위한유기 크러스레이트 화합물 매체 및 재가스화 기술 연구	100	합성가스 중 CO_2를 선택적으로 제거한 후 합성가스의 성분별 분리/농축에 적용할 수 있는 기술을 개발
	2018	부생가스내 화학원료가스 막분리/정제기술	195	부생가스 정제용 분리막 투과 특성 평가 및 분석기반 구축 (수소, 이산화탄소, 메탄, 일산화탄소 등)
	2017	유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 요소기술 개발	125	흡수법과 흡착법을 이용한 황화수소 제거
	2016	바이오가스내 황화수소 제거기술 (1/1)	115	바이오가스내 저비용 탈황기술 개발
	2011	지속가능 에너지/환경을 위한 다공성 나노구조체 개발	210	상용 가능한 수소 또는 이산화탄소 분리 기술 개발
	2009	2단 발효공정(혐기+광합성)에 의한 생물학적 수소생산 실증연구	770	2 단(혐기발효+광합성발효) 수소생산 통합공정 개발
	2007	고순도 수소분리 및 저장 핵심원천 기술개발	962	고심도 탈황용 흡착제 및 고온 이산화탄소 흡수제를 이용 반응개질 공정 개발
	2007	수소충전소용 천연가스 수증기개질 수소제조 공급 시스템 개발	630	현장 생산형 수소 제조 장치 설계 기술 개발
	2006	중질탄소원으로부터 수소생산 기술 개발	1,642	5 kW급 Zero-Emission 청정 수소 생산 시스템 개발
	2003	차세대 신발전 기술에 요구되는 초정밀 정제를 위한 고온건식 탈황제 개발	260	고온건식 탈황제의 고효율화 기술 개발
국토부	2015	천연가스 해상 전처리기술 개발	468	2.5 MTPA급 LNG-FPSO 전처리 공정 (CO_2 및 H_2S 제거 및 처리공정) 기술개발
농림부	2018	가축분뇨 유래 바이오가스 고질화 (순도개선) 기술 개발	105	가축분뇨 유래 바이오가스 정제 기술 확립
	2015	축산분뇨 에너지화를 위한 가스 분리 및 활용 기술 연구	85	축산분뇨 가스의 CH_4, CO_2 순도향상 최적 정제 및 분리 기술 분석 및 확립
산업부	2018	IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	1,975	연료전지 연계를 위한 100 Nm^3/h급 합성가스 정제 및 고순도 H_2 제조기술 개발
	2018	이산화탄소포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발	639	2 Nm^3/h급 수소분리막/이산화탄소 흡수제 하이브리드 시스템 개발
	2016	500 nm급 튜브형 금속-세라믹 복합 수소 분리구조체를 이용한 천연가스 기반 고효율 수소 제조기술 개발	534	고투과 Ni, Fe계 분리구조체 코팅기술 적용 수소/질소 분리막 개발
	2016	수소 정제 및 분리용 다공성금속지지체 개발	420	수소 정제/분리용 니켈 다공성 지지체 개발 및 평가
	2014	가스화기 연계 CO_2 포집 통합공정 구축 운전 및 10MW급 통합공정 설계기술 개발	4,188	Pilot급 및 1MW급 석탄가스화, 오염가스 정제 및 CO_2 포집 연계 통합공정 개발

	2014	석탄/코크스 합성가스내 고농도 H_2S 제거용 직접 황회수 정제기술 개발	860	합성가스내 고농도 H_2S 제거를 위한 직접 황회수 정제설비 개발
	2014	폐기물 유래 합성가스를 활용한 알코올계 수송연료 생산기술 개발	1,907	합성가스 정제 및 H_2/CO 몰비 제어 System 개발
	2010	고온고압 합성가스 중 오염가스 정제 핵심기술 개발	1,262	고온고압 합성가스 정제용 탈황제/탈할로겐제/황회수촉매 개발 및 개선
	2010	폐기물의 플라즈마 가스화용융-수소회수-연료전지 발전 실증시설 구축	1,059	CO_2 PSA 및 수소 PSA에 의한 수소 정제 시스템 개발
	2009	연소전 CO_2포집을 위한 내열성 고분자 분리막 기술개발	239	고투과성, 고선택성 (H_2/CO_2) 내열성 고분자 분리막 소재 및 모듈의 개발
	2007	초청정 고온가스 정제용 세라믹 캔들필터 개발	380	합성가스 정제용 고온 고압 캔들 세라믹 필터 국산화 기술 개발
	2006	석탄가스화 합성가스 제조공정 및 발전시스템 기술개발	1,320	고온, 고압 석탄가스화/고온집진/고온탈황 시스템을 연계한 합성가스 제조설비의 신뢰성 향상 운전기술 개발
중기부	2019	바이오가스 중 황화수소, 암모니아, 실록산 동시제거 흡착제 제조기술	204	황화수소, 암모니아, 실록산을 동시에 흡착제거할 수 있 흡착제 개발
	2016	바이오가스 정제 및 대기용 고효율 황화수소 무기흡착제 개발 및 사업화	128	대기용 고효율 황화수소 흡착제 개발
	2016	바이오매스 합성가스 중 타르 및 분진제거를 위한 습식전기집진기 개발	167	합성가스 내 타르 및 분진 제거를 위한 습식전기집진기의 상용모델 개발
	2014	전기화학적 수소생산장치의 유무기 복합소재 분리막 개발	105	수소가스의 순도를 높이는 복합소재 고체분리막 개발
	2011	바이오가스의 고순도 정제를 위한 분리막 및 공정 개발	218	바이오가스의 정제를 위한 중공사형 분리막 및 모듈 개발
	2010	바이오가스 활용을 위한 최적 전처리 설비 기술 개발	231	혐기성 소화조 및 매립지가스 중의 H_2S, 실록산 등을 제거하기 위한 전처리 설비 개발
환경부	2018	바이오가스 고품질화 및 CO_2 회수·이용 기술 개발	558	바이오가스 고품질화 및 CO_2 회수·이용 기술 개발
	2017	LFG 중질화 및 활용기술 개발	1,067	LFG 60Nm^3/h 규모 중질가스 정제 파일롯 플랜트 건설 및 실증
	2013	혐기소화 발생바이오가스내 메탄가스 분리정제를 위한 기초응용 기술의 개발	120	바이오가스내 유해가스 제거위한 흡기초/응용기술 개발

(출처: NTIS 홈페이지, www.ntis.go.kr)



[그림 4-2-10] 정제 및 분리 분야 각 부처 지원 대표적 기술개발 과제

4. 민간기술 연계방안

○ 국내에서 TRL 5 이상 수준으로 보유하고 있는 기술을 다음과 같이 연계 또는 활용 가능

<표 4-2-10> 연계 및 활용 가능 국내 기술 (합성가스 생산 기술)

원료	관련 연구기관	연구시설 규모	주요 연구내용	역량분석	연계 및 활용 가능 기술
폐기물	고등기술연구원/대우건설	5톤/일	고정층 순산소 가스화를 이용한 합성가스 생산 및 합성가스 정제/이용	• 합성가스 생산, 정제, 이용 관련 기술력 확보 • 100톤/일급 가스화 설비 설계기술확보 • Pilot 규모에서의 2주 이상의 연속운전 경험 보유 • Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 상업화를 위한 운전/설계 등의 관련 기술 확보	• 합성가스 생산, 정제, 이용 관련 기술력 • 100톤/일급 가스화 설비 설계 기술 • Pilot 규모 연속운전 경험
	한국에너지기술연구원	5톤/일	합성가스 제조 및 원료물질 회수	• 합성가스 생산, 정제, 이용 관련 기술력 확보 • Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 연속적이지 못한 예산지원	• 합성가스 생산, 정제, 이용 관련 기술력
	롯데비피화학	5톤/일 (고등기술연구원 보유 설비)	고정층 순산소 가스화를 이용한 고순도 CO/H2 생산	• 화학원료 전환을 위한 100톤/일급 가스화 설비 설계기술확보 • 상업용 연계 부족 • 연속적이지 못한 예산지원 • 상업화를 위한 자체 설계 기술력 확보	• 100톤/일급 가스화 설비 설계기술
	삼호환경기술	8톤/일	고정층 공기가스화를 이용한 합성가스 생산 및 가스엔진 발전	• Pilot 규모에서의 2주 이상의 연속운전 경험 보유 • Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 80톤/일급 scale-up 예정 • 연구인력 부족	• Pilot 규모 연속운전 경험
	코오롱건설	10톤/일	로타리킬른 가스화 및 합성가스 연소 열회수	• 연구인력 부족 • Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 과제종료로 설비 철거	• Pilot 규모 플랜트 건설 및 운전 경험
	효성에바라 엔지니어링	10톤/일	하수슬러지 유동층 가스화 및 합성가스 연소 열회수	• Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 과제종료후 설비 철거 • 연구인력 부족	• Pilot 규모 플랜트 건설 및 운전 경험
	GS플라텍	10톤/일	공기이용 플라즈마 가스화 용융	• 상업용 규모의 scale-up 기술 부족	• Pilot 규모 플랜트 건설 및 운전 경험
	대학(연세대/공주대/군산대/전주대/서울과기대 등)	랩규모	가스화특성/공정모사/합성가스 정제특성	• Lab 규모의 실험을 통한 가스화, 정제, 이용 관련 요소기술 개발 • 연속적이지 못한 예산지원	• 요소기술 및 전산해석 기술
바이오매스	대원 GSI	20톤/일	왕겨의 공기가스화 가스엔진 발전	• 상업용 규모의 scale-up 기술 부족 • 연구인력 부족	• Pilot 규모 플랜트 건설 및 운전 경험 • 가스엔진 발전 경험
	한국에너지기술연구원	2톤/일	목질계 바이오매스 가스화를 통한 가스엔진 발전	• Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 연속적이지 못한 예산지원	• Pilot 규모 플랜트 건설 및 운전 경험 • 가스엔진 발전 경험
	한국생산기술연구원	1톤/일	바이오매스 이중 유동층 가스화에 의한 고부가가치 합성가스 연료 생산	• Pilot 규모로 간헐적인 운전수행 • 상업용 연계 부족 • 연속적이지 못한 예산지원	• Pilot 규모 플랜트 건설 및 운전 경험 • 합성가스 연료화 기술
	대학(군산대/전북대/한경대/공주대/성균관대/서울시립대 등)	랩규모	가스화특성/공정모사/합성가스 정제특성	• Lab 규모의 실험을 통한 가스화, 정제, 이용 관련 요소기술 개발 • 연속적이지 못한 예산지원	• 요소기술 및 전산해석 기술
펫코크	고등기술연구원	2톤/일	자체 펫코크 슬러리 가스화 버너 기술	• 자체 펫코크 슬러리 가스화 버너 기술 보유 • 소규모로 짧은 기간 연구 경험에 국한됨	• 우수한 펫코크 슬러리화 기술
	한국에너지기술연구원	10톤/일	합성석유 생산을 위한 연구	• 주로 석탄슬러리 가스화 연구 • 간헐적으로 펫코크에 대한 연구 수행 경험 보유	• 펫코크 슬러리 가스화 버너 기술

<표 4-2-11> 연계 및 활용 가능 국내 기술 (바이오가스 생산 기술)

업종	관련 연구기관	연구시설 규모	주요 연구내용	역량분석	연계 및 활용 가능 기술
바이오 메탄/수소 발생 설비	비케이환경종합건설㈜	3톤/일	전처리 공정 및 혐기성 소화 공정 확립	• 시운전을 통한 공정 최적화 및 운전인자 도출 • 병합혐기성소화를 통한 3종 이상 원료 처리 • 기존 시설과 연계성 우수 • 전처리 공정 설계 및 제작 • 바이오가스 분리막 공정 설계 및 제작 • 상업용 연계 부족 • 연속적이지 못한 예산지원	• 다양한 바이오매스(유기성) 적용 기술력 • 바이오가스 분리 기술
	㈜ 에코데이	5톤/일	음식물류 폐기물, 가축분뇨 통합 혐기성소화 기술개발	• 축산 및 음식물류 폐기물 혼합 폐수 바이오가스 발생량 60m3/m3 달성 • 연속적이지 못한 예산 • 연구인력 부족	• 병합 혐기성 소화 기술력
	대우건설	100톤/일	100톤/일급 실증 바이오가스 연속 운전 및 시스템 확립	• 바이오가스 실증 플랜트 운영 및 시스템 확립 수행 • 환경신기술 검증을 통한 국내외 사업화 추진 • 상업화를 위한 자체 설계 기술력 확보	• 100톤/일급 바이오가스 플랜트 설계 기술 • 사업화 및 상용화 기술
	한국과학기술원	H2S 농도 100ppm 이하 유지	측매 황피독 저감을 위한 바이오가스내 H2S 농도 저감기술 개발	• 바이오가스 생산 생물반응조 내 유기황의 거동 및 H2S 발생 메커니즘 규명 • 바이오가스 내 H2S 농도 100ppm 이하 유지 • 바이오가스 열량 150Mj/m3 및 CO2 분압 20% 이하 유지 기술 개발 • 150일 이상 운전을 통한 공정 적용성 및 안정성 검증	• 바이오가스 내 황화수소 제거 기술력 • 안정적인 연속 운전 기술력
	현대건설 ㈜	80톤/일	80톤/일급 한국형 음식물류 폐기물 바이오가스화 플랜트 상용 운전 평가 및 운영시스템 구축	• 상용급 유기성 폐자원 에너지화 통합 플랜트 시공 및 시운전 • 80톤/일급 한국형 바이오가스 플랜트 장기 운전 및 평가 • 장기 운전을 통한 EPCM 도출 • 악취 및 공정부산물 배출량 저감을 통한 기술 공간 집약도 개선	• 100톤/일급 한국형 바이오가스 플랜트 설계 기술력 • EPCM 기술력
	아와이에너지주식회사	139톤/일	음식물류 폐기물 전처리 시설 및 바이오가스화 시설 공정 기술 개발	• 음식물류 폐기물 전처리 기술 개발 • 당사 혐기성소화 시설 운전을 통한 바이오가스 생산량 극대화 • 연구인력 부족	• 100톤/일급 바이오가스 플랜트 설계 기술
	서진에너지	10톤/일	EMS 교대교차주입형 막결합시스템 이용 고효율 혐기성 소화 기술 개발	• 10톤/일급 분리형 UF 멤브레인 시스템 설계 • 저에너지형 양방향 교대교차여과 멤브레인 모듈 설계 표준화 • 연구인력 부족	• AMBR 기술을 활용한 바이오메탄/수소 생산 플랜트 적용
	에스케이케미칼㈜	30톤/일	하수슬러지 감량 및 에너지화를 위한 혐기성소화 공정 실증화	• 고온, 고율 혐기성소화공정 30톤/일급 운전 매뉴얼 및 경제성 평가 • 한국형 바이오가스 생산 활용 통합시스템 구축을 위한 신기술 검증/인증 추진 • 친환경 녹색 사업화/상용화 모델 창출 및 수출화 방안 모색	• 100톤/일급 바이오가스 플랜트 설계 기술
전처리 설비	현대건설 ㈜	10톤/일	유기성 슬러지로 부터 고형분 분리하여 고체연료 생산과 동시에 액체 생산물은 혐기소화를 하여 메탄가스 생성	• 유기성 슬러지 감량화 80% • 10톤/일 처리용량 플랜트 운전을 통한 환경신기술 검증 • 100톤/일급 상용플랜트 설계 위한 scale-up 인자 확보	• 하수슬러지 감량화 및 에너지 생산 플랜트 설계 및 제작 기술력
	대명테크	30톤/일	하수슬러지 열가수분해 공정을 통한 바이오가스 생산효율 최대화 및 슬러지 감량 기술 개발	• 혐기성소화 휴율 향상 및 에너지 절감을 위한 하수슬러지 고농축 기술 개발 • 고온, 고압 슬러지 열적 전처리 기술개발 • Test-bes 운전을 통한 상용화 인자 도출	• 하수슬러지 바이오가스 생산력 향상을 위한 상용급 열가수분해 전처리 기술력
	고등기술연구원	50톤/일	수열탄화 공정을 이용한 하수슬러지 감량화 및 에너지 생산 플랜트 개발	• 50톤/일급 하수슬러지 감량 및 에너지 생산 플랜트 개발 • 50톤/일급 전처리 기술 설계 및 시공 기술 확보 • 후단 혐기소화 기술과의 연계성 검토 필요	• 다양한 바이오매스(유기성) 기반 에너지 생산 플랜트 설계 및 제작 기술력 • 국내 최대 규모 전처리 기술 확보
	㈜디스텍	3톤/일	고함수율 유기성폐기물을 비증발형 열가수분해 반응에 의해 물을 분리, 에너지 절감형 감량화 및 고체연료 생산 공정 개발	• 유기성폐기물별 열가수분해 반응분해 최적화 • 유기성폐기물별 반응기 설계인자 도출 • 유기성폐기물별 실증화 평가 도출	• Pilot 규모 설계 및 제작 기술력
	엔텍스㈜	30톤/일	하수슬러지 열적가용화 시설의 30톤/일급 설계/시공/운영 기술 확보	• 저혹회전드럼형 고농도 농축기와 결합된 열적가용화공정 설계 • 30톤/일급 규모 Test-bed 운전을 통하 문제점 파악 및 개선 • 하수슬러지 습식 열적가용화 전처리 기술 확립	• 하수슬러지 감량화 및 에너지 생산 플랜트 설계 및 제작 기술력

<표 4-2-12> 연계 및 활용 가능 국내 기술 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술)

업종	관련 연구기관 관련 업체 관련 대학 등	연구시설 규모	주요 연구내용	역량분석	연계 및 활용 가능 기술
수전해	수소에너젠	-	수소발생기 제작	• 수전해 기술로 수소생산 관련기술력 확보 • 수산가스 발생기의안전시스템 및 전원공급장치 기술보유 • 전해조 및 수분제거장치 등 기타 특허보유	• 수전해 기술 • 수산가스 발생기의안전시스템 및 전원공급장치 기술
	한국에너지기술연구원	1 Nm3/h	제로갭 알칼라인 수전해 전극 대형화 기술	• 직경 400mm 규모 알칼라인 전극 기술 개발 • 제로갭 스택 디자인 및 BOP 설계 기술 • 5 Nm3/h이상급 대면적 알칼라인 수전해 연구과제 진행 중	• 직경 400mm 규모 알칼라인 전극 기술 • 제로갭 스택 디자인 및 BOP 설계 기술
	주진테크	-	생산장비 부품제작 및 수전해장비제작	• 1,2차 배관기술력 확보 • 최대 200m3/h 수전해장치 기술확보 • 물전기분해 방식 수소제조설비	• 1,2차 배관기술 • 최대 200m3/h 수전해장치 기술 • 물전기분해 방식 수소제조설비
	이엠솔루션	10 Nm3/h	알칼라인 수전해 시스템 개발	• 60 Nm3/h급 수전해 기반 수소충전소 건설 • 600 Nm3/h급 수전해 기반 해군 수소 공급 설비	• 수소 충전소 기술 및 수소 공급 설비 기술
	엘켐텍		PEM 수전해 시스템 개발	• PEM 수전해 전극 및 시스템 기술 개발 (500kW급) • 선박용 전해설비 공급	• 500 kW급 PEM 수전해 전극 및 시스템 기술
건물용 연료전지	에스퓨얼셀	-	연료전지제조개발 일차전지 제조	• 한국가스안전공사 제품인증(설계단계감사획득 • 국내최초 한국에너지관리공단 설비인증(건물용 연료전지획득 • 국내 연료전지 최초 KS인증	• 장기적으로 수소 활용 방안으로 검토
	두산퓨얼셀	-	신재생 에너지 발전기술 개발 및 관련제품	• 국내최초 1kW 연료전지 공급 • 주택용 연료전지 사업선도기업인퓨얼셀파워와합병 • 발전용,주택용 연료전지개발	• 장기적으로 수소 활용 방안으로 검토
저장용기 및 수송용 용기	대흥정공	200/월	수소전용 복합재 용기 개발	• 로봇와인딩기를 통한 특수형상 제품 제작 가능 • 고압용 플라스틱 라이너 제작에 풍부한 경험	• 고압용 플라스틱 라이너 제작 기술
	일진복합소재	1000/월	수소전용 복합재 용기 개발	• 약 20년간 복합재 용기 개발 • 현대자동차 수소용기 독점 납품 • 다양한 사이즈 및 압력별 용기 제품 • 국내 및 국외인증제품 다수 보유	• 복합재 용기 제작 기술
	태광후지킨	830개/월	수소전용 복합재 용기 개발	• 대형 복합재 용기 제작 및 시험 시설 보유 • 국내 및 국외 인증 제품 보유	• 복합재 용기 제작 기술

<표 4-2-13> 연계 및 활용 가능 국내 기술 (개질 및 변환 기술)

분야 또는 업종	관련 연구기관	연구시설 규모	주요 연구내용	역량분석	연계 및 활용 가능 기술
개질 촉매 및 개질기 설계 기술	한국에너지기술연구원	30 Nm^3/h	스팀개질기 제작, 운전기술	• 스팀개질기 운전기술 확보 • 수소생산 시스템 패키지화 기술 보유	• 스팀 개질기술 • 개질시스템 운전 기술
	한국화학연구원	800 Nm^3/h	복합개질기 제작, 운전기술	• GTL 공정 개발에 적용 • 촉매설계 기술 확보	• 스팀 개질기술 • 개질시스템 운전 기술
	영남대	-	액상연료 개질 촉매 및 개질기	• 디젤개질용 촉매설계 및 대량제조 기술 보유	• 개질 촉매 설계 기술
	희성촉매	-	촉매 대량생산	• 개발촉매에 대한 대량제조 가능	• 개질 촉매 대량 생산 기술
	이노윌	-	개질기 제작	• 개질기 제작 기술 확보 • Diffusion 접합방식의 개질기 제작기술 확보	• 개질기 제작 기술
	㈜신닉앤테크	20 Nm^3/h	촉매 및 개질기 개발 (SMR, ATR)	• ATR 기술 보유 • 모노리스형 촉매 개발	• 개질기 제작 기술
	㈜제이오	-	공정 설계 및 제작	• EPC 수행 • 개질기를 포함한 증류탑, 열교환기 등 설계기술 확보	• 개질 시스템 설계 및 제작 기술
	CES	-	공정 설계 및 제작	• EPC 수행 • 개질기를 포함한 증류탑, 열교환기 등 설계기술 확보	• 개질 시스템 설계 및 제작 기술
수성가스전환 촉매 및 반응기 기술	한국에너지기술연구원	-	SMR과 연계	• 상용촉매 적용 • 반응기 설계 기술 확보	• 반응기 설계 기술
	고등기술연구원	-	가스화기와 연계		
	RIST	-	제철부생가스와 연계	• 촉매 및 반응기 설계 기술 확보	• 촉매 및 반응기 설계 기술
암모니아 개질	KIST	-	촉매 개발	• 개질 촉매	• 개질 촉매 설계 기술
	원익머트리얼즈	1 Nm^3/h	공정 개발	• 반응기 설계 기술 확보	• 반응기 설계 기술

<표 4-2-14> 연계 및 활용 가능 국내 기술 (정제 및 분리 기술)

분야	관련 연구기관	연구시설 규모	주요 연구내용	역량분석	연계 및 활용가능 기술
합성가스 및 바이오가스 고도 정제	고등기술연구원	250 Nm^3/hr	• H_2S 0.1 ppm 이하 제거 • 미량가스 고순도 제거 • 분진제거용 금속필터 개발 • 고온 탈황 통합공정 운전기술 개발	• 파일럿규모 합성가스내 습식 H_2S 0.1 ppm 이하 저비용 고효율 제거 기술 확보 • 파일럿규모 합성가스 정제 설비 통합 운전기술 확보	• 저비용 고효율 H_2S 제거기술 • 개발된 필터 적용 분진 제거기술 • 시스템 운전제어 기술
	한국에너지기술연구원	800 Nm^3/hr	• H_2S 및 COS 1 ppm 이하 동시 제거 • 분진제거용 세라믹필터 개발	• 파일럿규모 고온 산성가스 정제 기술 확보 • 파일럿규모 합성가스 정제 설비 운전 기술 확보	• 고온 합성가스 정제기술 • 고온 분진제거기술
	한국과학기술연구원	파일럿규모	• 분진제거용 세라믹필터 개발	• 파일럿규모 고온 집진 기술 확보	• 고온 분진 제거기술
	대학(영남대, 경북대, 건국대 등)	랩규모	• 산성가스/미량가스 제거용 소재 개발	• 산성가스/미량가스 제거용 소재 제조 기술 확보 • 합성가스 정제 설비 해석기술 확보	• 산성가스 및 미량가스 고도 정제기술
수소/이산화탄소 혼합가스로부터 수소 분리	젠스엔지니어링	상용규모 (소용량)	• 고순도 수소 분리용 PSA 기술	• 고순도 수소 분리용 PSA 설비 상용화 (소규모 설비) • 수소 분리용 흡착 소재 기술 확보	• 대용량 수소 분리 기술
	가스기술공사	100 Nm^3/hr	• 수소 분리막 소재 및 모듈 개발	• 수소 분리막 소재/모듈 개발 및 상용화 적용 중	• 수소 분리 고도화 기술
	한국에너지기술연구원	100 Nm^3/hr	• 고순도 수소 분리용 PSA 기술 개발 • 수소 분리막 소재 및 소규모 모듈 개발	• 수소 분리용 PSA 소재/설비 개발 및 기술 이전 • 수소 분리막 소재 및 공정기술 확보	• 대용량 수소 분리 흡착 소재 • 수소 분리 고도화용 소재 및 공정 기술
	전력연구원	250 Nm^3/hr	• 합성가스 이용 수소 전환 소재 개발 • 수소 분리 기술 개발	• 파일럿규모 합성가스 이용 수소전환 및 분리 기술 확보	• 수소 전환 및 분리 기술
	화학연구원	100 Nm^3/hr	• 수소 분리막 개발	• 파일럿규모 수소 분리막 소재 및 모듈화 기술 확보	• 수소 분리 고도화용 소재 및 공정 기술

제3절 주요 시사점

○ 개발하고자 하는 소분류기술(연구활동)들의 민간역량 대비 산업 수명주기 분석을 통하여 개발이 필요한 기술과 기존 기술을 활용할 수 있는 기술들을 구분할 수 있었으며, 전체적으로는 정부는 민간과 협력하여 개발필요기술에 대한 상용화를 지원하는 것이 적절하다고 판단 가능

- 특히 합성가스 생산 기술의 경우 고유가 시대에 시장이 급속도로 팽창할 수 있는 기술이며, 천연가스/바이오가스 개질 기술의 경우 저유가 시대에 시장 경쟁력을 가질수 있는 기술이므로, 산업수명주기와 민간역량이 중하급으로서 정부와 민간이 협력하여 상용화를 추진하는 것이 바람직하다고 판단

○ 동 사업과 연관된 대형 정부지원 프로젝트들과의 중복성을 검토하여 본 결과 중복 가능성은 상당히 낮은 것으로 판단되며, 반면에 연관된 사업의 경험 중 일부는 직접 활용 또는 연계가 가능할 것으로 판단

- '한국형 300 MW급 IGCC 실증플랜트 운영기술 개발' 사업에서 확보한 가스화 공정 모델링 기술 등

○ 산업통산자원부와 과학기술부 등에서 다양한 요소기술들이 수행되는 과정에서 국내 여러 연구소 및 대학교에 기반기술이 축적되어 있으므로 이를 결집하면 성공 가능성을 더욱 높일 수 있을 것으로 예상

○ 본 사업을 성공적으로 수행하기 위해서는 각 세부기술별 기술개발에서 scale-up 기술 및 연속운전 기술 확보가 매우 중요함을 확인

- 국내 주요 기업 및 관련 연구기관에서 관련기술 분야 또는 유사기술 분야에서 파일롯급 경험은 충분하지만 지속적인 연구비 지원의 부재 등의 사유로 상용화를 위한 scale-up 경험은 매우 부족
- 파일롯 규모의 특성 및 연구비의 부족 등으로 대부분 간헐적인 운전이 수행되었으며 최대 연속운전 기간 1~2주 수준으로서 track record로는 부족한 상황
- 본 사업기획 보고서의 일부로 제출하는 RFP에 상기 내용을 반영할 필요성 확인

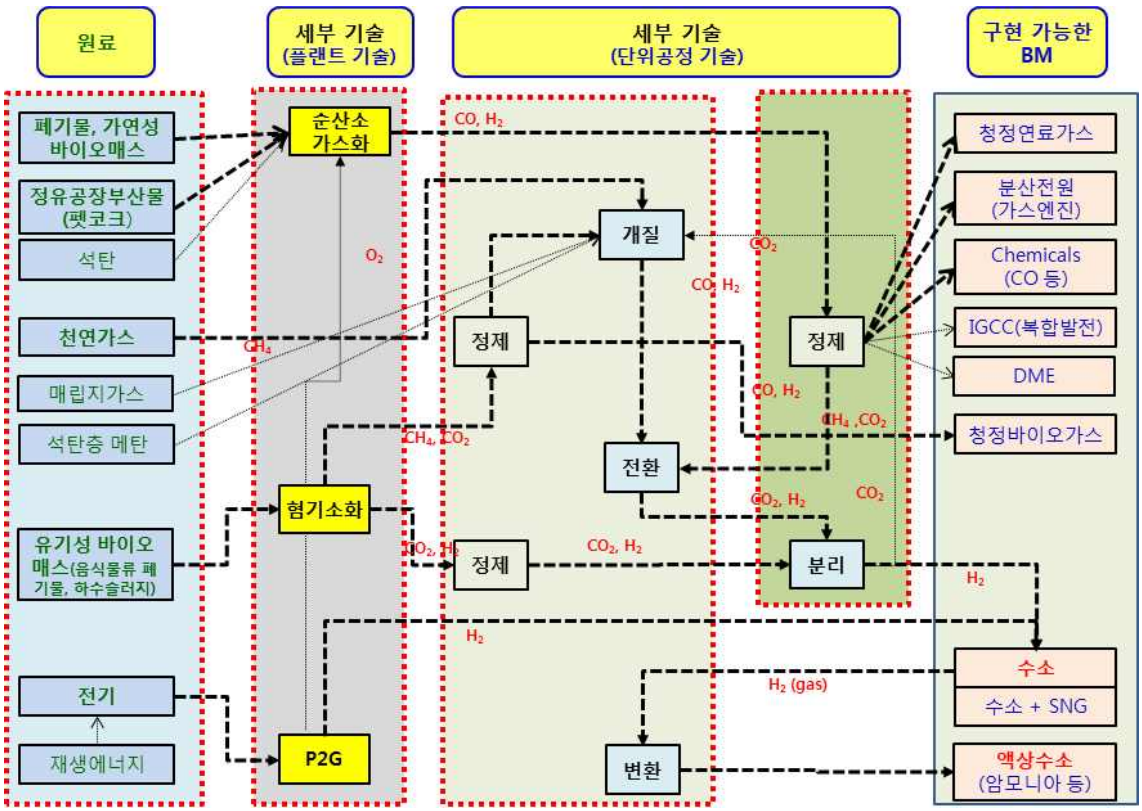
제 5 장 사업 추진계획

제1절 사업추진방향 및 과제 도출

1. 사업 추진방향 도출 방법

□ Test-bed 건설 방안 분석

- ○ 본 사업에서는 5개의 중분류 기술과 1개의 공통핵심기술이 포함되어 있으므로 원료 또는 기술적 특성에 따라 최대의 기술적 시너지 효과를 확보함과 동시에 test-bed를 효율적으로 활용하기 위한 방안으로 사업을 추진하기 위하여 동일한 위치에서 하나의 test-bed를 건설하는 방안을 도출
- ○ 각 중분류 또는 소분류 기술별 시급도를 고려하여 기술개발 시작 시점을 달리하여 추진하는 방안을 검토
- ○ 아래 그림에 원료로부터 출발하여 합성가스를 제조하기 위한 기술, 합성가스 처리 기술 및 활용기술에 이르는 흐름도와 최종 생산품의 연관 관계를 도시



[그림 5-1-1] 구현 가능한 사업모델에 따른 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 test-bed에서 원료 및 생산품 물질의 흐름 개념도

2. 종합분석

2.1 대내외 환경분석 (STEEP 분석)

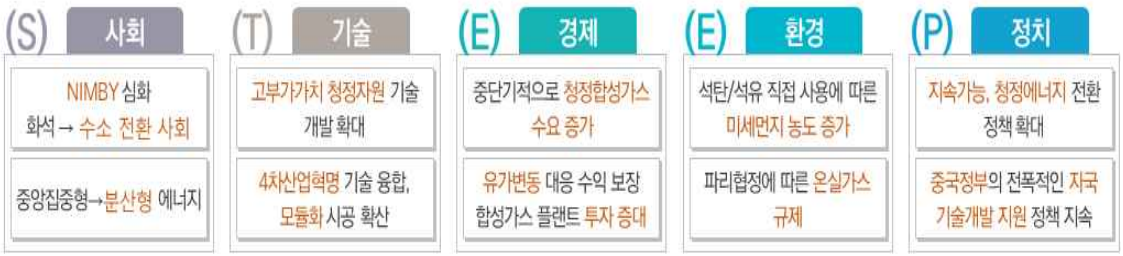
○ Social
- NIMBY 심화로 인한 청정에너지 필요성 증대, 이로 인한 화석연료 기반 사회에서 수소경제 사회로 전환 진행
- 중앙집중형 에너지 확보 사회에서 분산형 에너지 기반 사회로 변화

○ Technological
- 고부가가치 청정자원 확보를 위한 기술개발 확대
- 4차산업혁명 시대 진입에 따른 기술의 융합, ICT/IoT/빅데이터 활용 및 모듈화 시공 확산

○ Economical
- 단기적/중기적으로도 청정합성가스의 수요는 중국을 중심으로 증가 중이며, 중장기적으로는 수소 수요의 대폭적 증가 예상
- 유가에 민감한 우리나라 플랜트 산업의 구조를 고려하면 유가변동에 대응하여 수익을 보장할 수 있는 플랜트 투자 증대 필요

○ Ecological
- 석탄/석유 직접 사용에 따른 미세먼지 농도 증가 및 이에 따른 사회적 비용 증가
- 파리 협정에 따른 전 세계적으로 온실가스 규제 강화

○ Political
- 전 세계적으로 지속가능 청정에너지 정책 확대, 특히 국내의 경우 수소경제 시대를 대비한 기술개발 로드맵 수립 중
- 중국의 경우 정부의 전폭적인 자국 기술개발 지원 정책 지속



[그림 5-1-2] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 STEEP 분석 결과

○ 대내외 환경분석을 통한 시사점
- 청정 고부가가치 합성가스 수요 및 투자 증가와 동시에 중국의 기술진보로 해외 합성가스 시장을 선점하고 있으며 국내 합성가스 시장 위협에 대한 대응 필요
- 저급자원 기반 중소규모(분산형) 수소생산 플랜트 기술 확보 필요

2.2 SWOT 분석

2.2.1 합성가스 기반 수소 생산 플랜트에 대한 SWOT 분석

<표 5-1-1> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 SWOT 분석

외부환경＼내부환경	Strength	Weakness
	-범정부 차원의 수소사회 추진의지 높음 -미세먼지, 지구온난화에 대한 국민 관심도 높아 Green 에너지 공급단위성 증대 -국내 중대형 플랜트 제작이 가능한 상세설계, 제작, 건설, 운영 등 중공업 인프라 우수 -산학연 고급인력 풀 존재 -중소형플랜트 모듈화 분야 국내 hardware 인프라 우수 -세계 최고수준의 ICT 기술경쟁력 보유 -천연가스/합성가스 플랜트분야에 대한 우수한 pilot급 기술개발 실적 확보	-주요 관련분야에 대한 국내 핵심원천기술과 기본설계기술 부족 -합성가스/천연가스/수소분야 핵심 부품/설비 해외의존도 높음 -플랜트 분야의 국내 supply chain 구축 미흡 -대규모 실증 프로젝트 경험 부족 -국내 부존자원 부족으로 해외자원 활용에 따른 불확실성 -에너지사업 전체에 대한 NIMBY 현상 고조 -Carbon tax 가격이 낮아 CO_2 free에 대한 경제성 부족
Opportunity	**SO 전략**	**WO 전략**
-일본,중국,EU가 수소를 통한 Green 에너지사회로 변혁 추세로 한국도 동참이 불가피 -국내 미활용자원의 Green에너지화로 화석연료 수입량 대체가 가능하여 국가 에너지자립도 향상과 에너지수입액 저감의 기회 -친환경 및 저탄소 기술을 적용한 신규시장은 전 세계 모두 시작 단계 -ICT 등 신규기술 적용한 플랜트시장 분야 선진국과 격차 적음 -동남아, 중국, 인도 등 합성가스 신규시장 급팽창 중	-국내 미활용자원의 Green에너지화 활용을 통해 국제 경쟁력 있는 핵심기술 확보 -우수한 국내 중공업 인프라를 활용할 핵심분야 설정, 상용급 핵심기술 확보전략 추진 -국내 우수한 ICT 기술과 인프라가 활용될 국내 기반 조성과 기술경쟁력 확보 -해외 신규시장 조기 선점을 위한 전략적 분야 설정과 test-bed 운영을 통한 조기 실적 확보 -신규시장에 적합할 중소 분산형 등 플랜트분야 조기 발굴과 체계적 기술/산업 생태계 조성	-국내 여건에서 경쟁력 확보 가능할 플랜트분야 기본설계 기술 축적위한 전략 구현 -해외수입이 많은 플랜트 소재부품 분야의 우수한 중소/중견기업 발굴과 지원 -핵심 플랜트 분야에 대한 국내 supply chain 구축 -Test-bed 대규모 실증을 통한 핵심 플랜트분야 실적 확보와 이를 통한 해외사업 추진 -필요시 해외기술 접목을 통한 중간 진입전략 추진 -작은 국내 플랜트시장이라도 국내 건설이 필수적인 플랜트분야 설정, 집중 지원 -NIMBY 최소화 가능한 사업모델 개발 및 실증
Threat	**ST 전략**	**WT 전략**
-일본의 관련기술 수준과 일본/중국의 정부차원 산업육성 규모 대비 한국의 열세 상황 -국내보유 에너지 자원이 없어 국내 관련 산업 확대발전의 어려움 -기술선진국들 기술 독과점 공고화 추세 -핵심특허 피해갈 전략과 실력 부족 -중국의 플랜트 분야 경쟁력 급부상 중 -대규모 투자 위험성 감수할 국내여건 갈수록 악화	-국내 관련기업 간 공동 추진이 가능할 실증플랜트 프로젝트 기회 제공 (Test-bed 등 형태) -국내 기존 pilot급 플랜트기술을 상용급 확대 위한 핵심특허 확보 전략 추진 -중국과 차별화(ICT기술, 모듈화 적용 등)된 플랜트 세부기술 경쟁력 제고 방안 분석과 추진 -핵심플랜트 분야 국제특허 확보 구체화 및 지원체계 구축 -일본정부 추진하는 방식과 같은 정부 주도의 플랜트 Platform 기술개발과 민간 이전 상용화 지원 전략 등 구체화 추진	-국내 경험한 핵심 플랜트별 기본설계 DB 구축과 실제 활용 전략 구체화 실행 -핵심 플랜트 원천기술 확보가 가능할 장기 투자전략과 지원체계 구축 -플랜트 분야 소재, 부품, 설비, 설계, 건설, 운영의 체계적 supply chain 구현 -국내 공기업에 건설될 대형 플랜트에 참여 기회 제공으로 기술축적 기회 제공 -대규모 투자 소요되는 플랜트에 대한 민간투자 위험성 분산 모델 제시 -해외 자원 산지에 실증 플랜트 건설 기회 발굴과 지원체계 추축

2.2.2 세부기술별 SWOT 분석

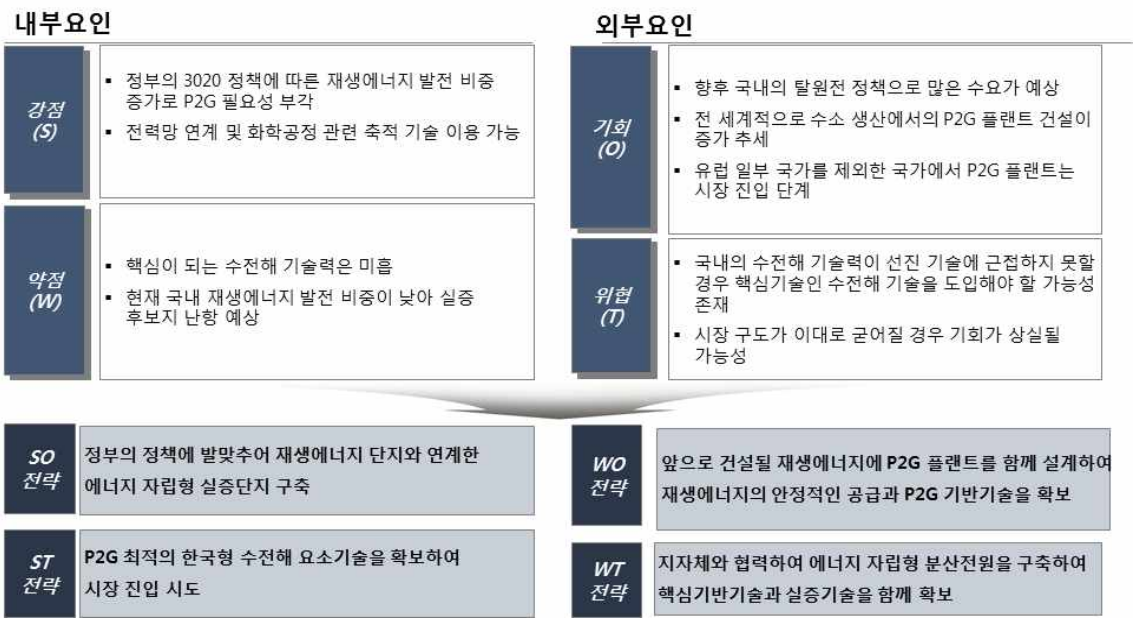
<표 5-1-2> 합성가스 생산 기술 SWOT 분석

내부요인		외부요인	
강점 (S)	▪ 화석에너지 대체에 따른 온실가스 저감효과 ▪ 가스화 기초연구 다수 보유 및 상용급 가스화 융융시스템 도입 운영 경험 ▪ 폐기물/바이오매스/펫코크 가스화는 2차오염을 획기적으로 줄이면서 합성가스를 다양한 형태의 고부가가치 원료로 사용 가능	기회 (O)	▪ 정부의 적극적인 신재생에너지 보급 및 확대 정책 ▪ 신기후체제로 온실가스 감축 필요 ▪ 중국, 동남아, 중등 등의 새로운 환경시장 현성 ▪ 폐기물/바이오매스의 가스화 합성가스 고부가가치 및 고효율 활용 대두
약점 (W)	▪ 핵심적인 원천기술 및 축적된 노하우의 부족 ▪ 합성가스 생산 기술(가스화 기술)은 장치비용이 기존 연소 방식에 비하여 1.5배 정도 높음 ▪ 합성가스 터빈이나 엔진 사용 경험 부족 ▪ 합성가스 기반 수소 이용 연료전지 사용 경험 전무	위협 (T)	▪ 폐기물/바이오매스 에너지화 과정의 오염물질 발생 ▪ 폐기물의 재활용 증가에 의한 에너지 잠재량 감소 ▪ 국제 환경시장의 경쟁 심화 ▪ 선진국의 기술 우위 선점과 지속적인 기술개발 ▪ 가스화 기술의 상용화에 장기간 소용 ▪ 상용화 단계까지의 개발비 비용 조달
SO 전략	▪ **TRL 6-7단계의 국내 개발 인프라 활용을 통한 test-bed 개발** ▪ **기존 기초, 실용화 연구를 이용한 고효율, 고반응성 가스화 시스템 개발 활용**	WO 전략	▪ **타분야 기술과의 연계 및 융합을 통한 고효율 신개념의 고반응성 가스화 기술 개발** ▪ **폐기물/바이오매스/펫코크 에너지의 고품위 연료화기술의 가능성 및 신재생에너지로서의 비중 확대의 필요성 등 중요도 인지 홍보**
ST 전략	▪ **상용화 기간 및 비용 소요에 대하여 기초연구결과 및 상용화 가능성 인지를 통한 중요성 확대** ▪ **고효율/고반응성의 가스화 및 이용기술의 선점을 위한 적극적 투자** ▪ **공해방지 신기술의 개발 접목의 기회로 이용 가능**	WT 전략	▪ **폐기물/바이오매스/펫코크를 고부가가치 화학원료 생산 또는 열병합 발전 기술 개발 및 상용화** ▪ **폐기물/바이오매스는 저급에너지라는 인식전환을 위한 고품위 에너지화 기술 개발**

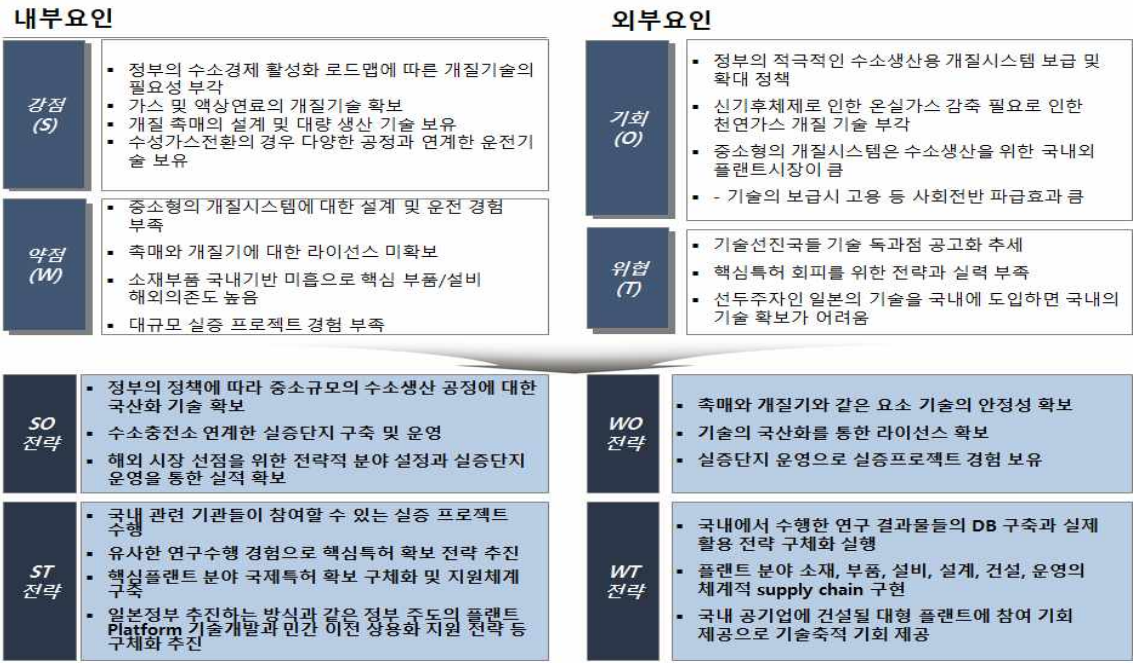
<표 5-1-3> 바이오가스 생산 기술 SWOT 분석

내부요인		외부요인	
강점 (S)	▪ 화석에너지 대체에 따른 온실가스 저감효과 ▪ 바이오매스(유기성) 바이오가스의 높은 안정성 및 신뢰성 ▪ RPS(신재생에너지 의공공급) 및 RFS(신재생연료 의무할당) 제도 도입에 따른 바이오에너지량 확보를 위한 조속한 상요화 기술 요구	기회 (O)	▪ 정부의 적극적인 신재생에너지 보급 및 확대 정책 ▪ 2013년 이후 유기성폐기물 해양 투기 금지 정부의 유기성 폐자원 에너지화 우선 ▪ 정부 주도의 저탄소 녹색성장 사업 육성 ▪ 바이오매스(유기성)고부가가치 및 고효율 활용 대두
약점 (W)	▪ 바이오매스(유기성) 바이오메탄/수소 공법에 대한 불신 ▪ 바이오매스(유기성) 바이오가스 공법 전문적인 운영기술 필요 ▪ 바이오수소 생산 원천기술 및 축적된 노하우의 부족	위협 (T)	▪ 바이오매스(유기성) 바이오가스화 공법 불신 ▪ 바이오가스화 국산화 기술 미흡 ▪ 신기술 (바이오수소)에 대한 시장의 낮은 신뢰도 ▪ 경제 불안 여파로 인한 신규 투자규모 축소
SO 전략	▪ **법규 강화에 따른 사업기회 확대** ▪ **기존 바이오가스화 플랜트를 활용한 고효율, 저비용 바이오메탄/수소 가스화 기술 개발**	WO 전략	▪ **타분야 기술과의 연계 및 융합을 통한 고효율 신개념의 바이오메탄/수소 기술 개발** ▪ **원천기술(바이오수소) 미확보로 경쟁력 미흐**
ST 전략	▪ **기술확보(바이오수소) 및 그에 따른 사용성 검증, 인허가 등 난제 해결안 필요** ▪ **시장 신뢰도 확보 위한 제도 개선**	WT 전략	▪ **국내 개발 기술의 검증 및 시범사업 지원을 통한 상용화 추진** ▪ **미래 유망 바이오매스 기술에 대한 체계적인 정책 지원**

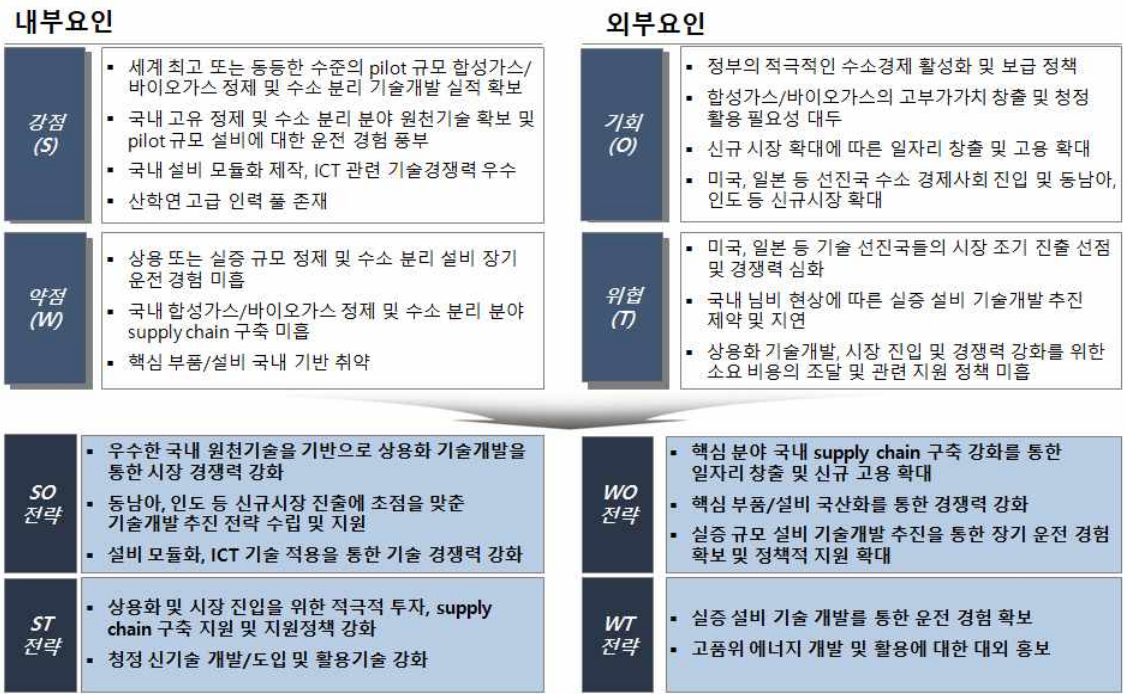
<표 5-1-4> 잉여진기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 SWOT 분석



<표 5-1-5> 개질 및 변환 기술 SWOT 분석



<표 5-1-6> 정제 및 분리 기술 SWOT 분석



3. 종합분석을 통한 사업 전략방향 도출

3.1 종합분석의 시사점

□ 적어도 2035년까지는 세계시장에서 에너지 이용형태는 청정하고 편리한 전기와 가스(청정합성가스, 수소) 위주로 진행

○ 국내외 플랜트 시장 측면에서 한국의 기술개발과 대응 방향 설정이 시급

- 국내시장도 자체 기술개발 노력 등한시 해외기술의 일방적 진입이 예상

* 합성가스, 수소, DME 등 가스 플랜트는 중국 EPC업체, 부품업체들의 한국 진입 예상

○ 미래 가스에너지는 수소와 재생가능에너지 잉여전기 활용한 가스가 중요한 역할을 담당할 것이 확실시 되는 상황

- 전기자동차, 수소연료전지자동차를 통한 도시지역 미세먼지 등 환경저감 추진

* 일본은 2020~2030년대에 수소경제 사회 진입과 세계시장 선도 추진

□ 플랜트 분야에 다양하게 존재하는 국내 강점 활용의 극대화 방안이 필요

○ 아직 국제 경쟁력 있는 중공업 플랜트건설 기반이 국내에 존재

- 효율적 활용방안 도출 방향설정과 추진이 필요

- 선박 및 해상플랜트 건설에 성공적 반영된 모듈화 기술의 국내 경쟁력 존재

○ 아직은 해외 대비 기술 강점인 ICT 기술 존재
- 플랜트 분야에 적용하여 실제로 성공한 사례 도출이 필요
○ 가스플랜트 분야의 핵심요소 기술 분야에 다양한 pilot급 기술개발 실적 보유
- 실증, 상용급으로 확대에는 실패
- 요소기술이 조각조각 있는 형태로 상용급 플랜트로는 기술과 실적이 아직 전무

□ 고부가가치 플랜트 분야에서 해외 선진그룹 대비 현저한 약점 존재
○ 플랜트 핵심기술에 대한 국내 기본설계기술 매우 취약
- 기본설계는 대부분 해외에서 도입하고 상세설계와 건설시공에 기반한 플랜트 산업으로 발전
* 기본설계 영역이 플랜트 고부가가치화를 위한 핵심이나, 이의 부재로 국내 플랜트산업 발전의 약점
○ 고부가가치 플랜트의 경우 핵심 부품과 설비의 높은 해외의존도
- 가스플랜트 경우, 가스엔진, 가스터빈, 스팀터빈 등 에너지화 설비의 대부분이 외산인 것이 현실
○ 바이오매스, 폐기물, 석탄, 펫코크 등을 사용하는 가스화 및 수소 생산 플랜트는 수백톤/일 규모 이하로서 중견기업 사업 규모이나 국내 관련기업의 기술적 능력은 매우 부족

□ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트는 국내업계에서도 활용이 필수적이고 이를 기반으로 해외 플랜트수출로 확대가 가능
○ 에너지원 97%를 해외에 의존하고 수입액이 수출금액의 1/3에 달하는 분야의 수입대체 노력은 항시 필요
○ 폐기물 소각 등 NIMBY 현상이 심하여 처리 자체가 어려운 경우의 대체 가능한 환경성 높은 플랜트의 틈새시장 부각
- 미세먼지에 대한 사회적 관심도가 높아 근원적 해결기술의 필요성 증대
* 환경적 문제해결이 확실하다면 경제성 부족은 일부 수용 가능
- 동남아 등 개도국은 2020~2030년대에 NIMBY 극복 방안으로서 환경적합하고 sustainable한 플랜트 기술의 사회적 요구 시작 단계

□ 중소/중견기업 해외 플랜트 시장 진출의 가능성 높은 분야로서 가스플랜트가 유망
○ 바이오매스/폐기물 유래 합성가스, 매립지가스 및 바이오가스 등은 특성상 중소규모 양의 시장이며, 분산형 플랜트 시장으로 적합
- 플랜트 설비 규모는 대부분 30~300톤/일이며 프로젝트 총 건설액은 1,000억원대로 국내 중소/중견기업 성격에 적합

□ 화석연료 대체 재생가능에너지 확대는 세계적 추세로 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야에서는 기술을 통한 합성가스 및 수소 자원 생산 가능성 확대

○ 자국 및 지역 내 가용한 에너지원을 사용하여 합성가스와 수소로 변환 활용하는 플랜트기술에 대한 수요 증가
- 바이오매스와 폐기물이 가장 우선 대상
- 원유가격이 낮은 시기에는 천연가스와 바이오가스의 개질을 통한 합성가스를 생산하고 합성가스를 수소로 전환하는 기술이 시장 경쟁력을 지님.
- 해외 사업장에서는 석탄 또는 펫코크를 활용하여 합성가스 생산, 이어서 수소를 생산하여 액상 수소(액체수소 또는 암모니아 등)로 운송하는 방안이 바람직

3.2 사업 전략방향 도출

□ 국내 강점분야 기술 및 기반의 효율적 연계 실증을 통한 상용급 플랜트로 구현

○ 국내 관련기업간 공동추진이 가능할 Test-bed 형태의 준상용급 프로젝트 기회 제공
- 국내 산업 수요에 대체하면서 이 경험을 기반으로 해외 플랜트시장에 진출 추진

○ Sustainable한 Test-bed를 통해 충분한 국내 운전경험 확보가 가능하도록 프로젝트 설계가 중요

○ 국내시장과 해외시장에서 중견기업 규모에서 사업이 가능한 플랜트 규모로 접근
- 국내 TRL 5 단계에 머문 pilot급 기술들을 연계하고 scale-up하여 중단기 기간별 가스플랜트 target 시장 설정

□ 핵심 플랜트 분야에 국내 EPC업계, 부품/설비 업계의 동반 능력 배양이 필요

○ Test-bed가 EPC 기자재(부품기업, package 품목) 기업의 기술개발 기반을 제공

○ 가스플랜트에서 핵심부품/설비인 고압 압축기, 극저온/극고온 열교환기, 모듈형 반응기, 가스전환 리포머 등 기술개발과 상용급 적용을 통한 부품산업 생태계 지원
- 이들 핵심부품/설비는 유관 플랜트산업 경쟁력 제고에 기여

□ 해외 선진기술 그룹 및 최근 중국의 플랜트 분야 기술과 차별화된 경쟁력 확보 전략이 필요

○ 고효율 신개념의 고반응성 가스플랜트 기술개발 추진
- 천연가스/바이오가스 개질 기술의 경우 CO_2를 원료의 전부 또는 일부로 사용할 수 있도록 기술개발 추진
- 바이오매스의 경우, 기존 불가능하다고 배제되었던 분류층 반응기를 적정한 전처리(반탄화, 수열탄화 등) 기술을 통해 mm 단위의 입자로 변환하여 분류층 가스화기에 이용 등 기존기술 접목 연계기술 추진도 고려

□ 핵심기술 효과가 극대화될 수 있는 Target 시장 설정 및 기술개발 대응

○ 수십톤/일 규모로 한국 플랜트 인프라가 대응이 용이한 시장을 발굴 우선적 사업화
- 국내 test-bed에서 sustainable한 장기간 운영과 실증을 우선 추진 후 해외플랜트 시

장 진출 추진

- 바이오매스와 폐기물을 사용한 가스화 기술, 천연가스/바이오가스를 사용하고 CO_2를 원료로 활용하는 개질 기술 등이 주요 대상

4. 사업의 중점 추진분야 도출

□ 가스산업 기술선정 분석

○ 본 사업기획에서 분산형 가스 플랜트의 중점 추진분야를 도출하기 위하여 아래와 같은 기술 선정 분석을 수행

- 기술분석 수행 회의 및 일시: 제 8차 기획위원회 (2018년 5월 23일)
- 중점 추진분야 도출 분석 참여자: 기획위원 13명(주관연구진 2명 포함)

○ 아래와 같은 분석을 통하여 10등 이내의 기술을 1차로 선정

○ 10등 이내의 기술 중 일부 기술 제외

- 석탄이용 합성가스는 우선순위(등수)가 높으나 정부의 탈석탄 정책을 반영하여 제외
- 부생가스와 LFG는 우선순위가 높으나 지역별 발생량의 제약이 있는 특성으로 주된 원료로 활용하기에는 한계가 있으므로 GTL 기술의 원료로 활용방안을 모색하기로 결정
- 비전통 천연가스를 이용하여 액화하는 기술의 경우 우선순위는 비교적 높은(9위) 것으로 분석되었으나 국내에서 생산되지 않는 특성으로 인하여 이를 직접 활용하는 test-bed 건설이 어려우므로 제외

○ 10등 이외 기술 중 일부 기술 포함

- P2G 발생 수소 및 P2G 발생 수소 이용 기술의 경우 기획위원들의 우선순위에는 떨어지는 것으로 나왔으나 정부의 3020 정책 등 미래의 재생에너지 시대를 대비하여 선정

○ 상기와 같은 과정을 거친 가스 플랜트 대상분야 선정 결과를 아래 표에 정리

<표 5-1-7> 가스 플랜트 대상분야 순위 결정 (가스·액화 플랜트 기획 결과)

		전체 등수	반영 여부	비고 (특기사항)
천연가스	LNG - 천연가스(전통)	3	선정	선정기준 만족, LNG플랜트사업단 성과확산으로 상용화 가능
	LNG - 천연가스(비전통)	9	제외	선정기준은 만족하지만 실증플랜트 건설 불가능
	DME – 천연가스 이용	11	제외	선정기준 불만족, DME 가격의 변동성에 따라 현재 경제성 부족
	P2G 수소 이용	17	선정	선정기준에는 불만족이지만 미래 재생에너지 시대 대비하여 선정
	GTL – 천연가스 이용	7	선정	선정기준 만족, 마이크로 GTL 기술개발로 상용화 가능
수소	수소	12	제외	선정기준 불만족, 액체수소의 경우 별도 기획으로 예타 준비 중
	P2G	15	선정	선정기준에는 불만족이지만 미래 재생에너지 시대 대비하여 선정
합성가스	합성가스 – 석탄 이용	4	제외	선정기준은 만족하지만 현 정부의 탈석탄 정책 고려하여 제외
	합성가스-바이오매스 이용	1	선정	선정기준 만족, 산업부 TRL 5~6급 기술의 scale-up으로 상용화 가능
	합성가스– 폐기물 이용	2	선정	선정기준 만족, 산업부 TRL 5~6급 기술의 scale-up으로 상용화 가능
	DME – 합성가스 이용	14	제외	선정기준 불만족, DME 가격의 변동성에 따라 현재 경제성 부족
	GTL – 합성가스 이용	13	제외	선정기준 불만족, 원료로서 천연가스 이용 기술 채택
바이오가스	바이오가스	5	반영	GTL/LNG 기술의 원료로 활용 방안 모색
부생가스	부생가스	8	반영	GTL/LNG 기술의 원료로 활용 방안 모색
매립가스	LFG	6	반영	GTL/LNG 기술의 원료로 활용 방안 모색
LPG	LPG	16	제외	선정기준 불만족, 일반 화공산업에서 진행함이 바람직하다고 판단
화학산업 가스	고순도 CO 등	10	선정	선정기준 만족, 초산 원료 활용 등 국내외 시장 존재하여 상용화 가능

주) LNG의 경우 기술선정 분석에서는 포함되었으나, 2018년말 종료 예정이었던 LNG플랜트사업단 과제가 2020년 6월까지 연장됨에 따라 최종적으로는 제외

□ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술선정 분석

○ 분산형 가스 플랜트 대상 분야 순위 결정 후, 국내의 수소에너지 필요성을 고려한 국토부와 국토교통과학실진흥원 간의 협의 및 총괄검토위원회 등을 거쳐 최종적으로 기술개발 기획 방향을 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 대상 분야로 결정하고 최종 대상분야를 선정

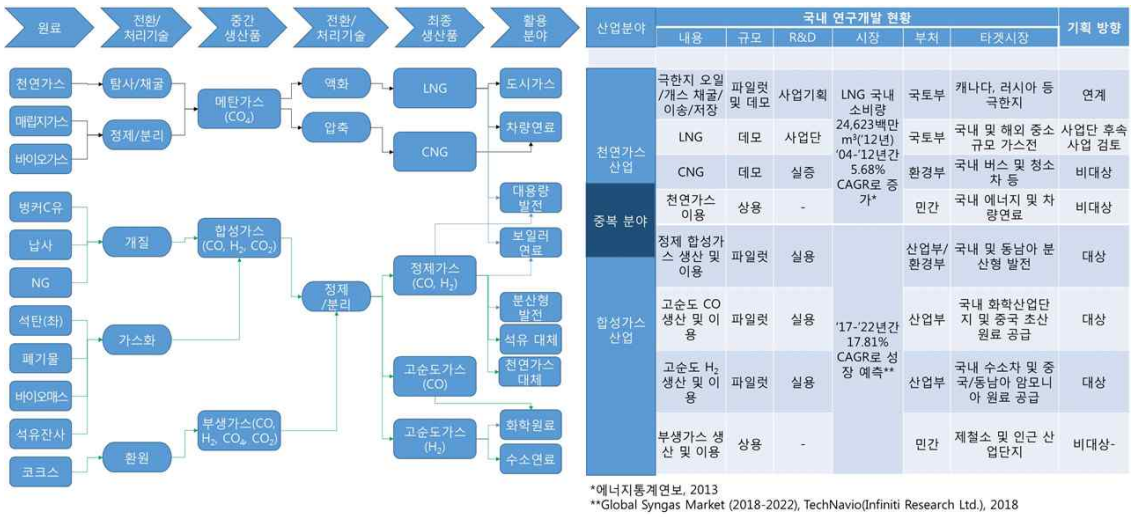
○ 상기와 같은 과정을 거친 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 대상 분야 선정 결과를 아래 표에 정리

<표 5-1-8> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 대상 분야 선정 결과 (기획 최종)

		전체 등수	반영 여부	비고 (특기사항)
천연가스	LNG - 천연가스(전통)	3	제외	선정기준 만족, LNG플랜트사업단 과제 지연(연장)으로 제외
	LNG - 천연가스(비전통)	9	제외	선정기준은 만족하지만 실증플랜트 건설 불가능
	DME – 천연가스 이용	11	제외	선정기준 불만족, DME 가격의 변동성에 따라 현재 경제성 부족
	P2G 수소 이용	17	제외	선정기준 불만족, 잉여전기로 수소/산소 생산 및 활용까지만 범위로 함
	GTL – 천연가스 이용	7	제외	선정기준 만족, 개질 기술만 적용
수소	가스 수소	12	제외	선정기준 불만족, 액체수소의 경우 별도 기획으로 예타 준비 중
	P2G 수소	15	선정	선정기준에는 불만족이지만 미래 재생에너지 시대 대비하여 선정
합성가스	합성가스 – 펫코크 이용	4	선정	석탄으로 선정기준 만족, 탈석탄 정책 고려하여 펫코크로 변경하여 선택
	합성가스-바이오매스 이용	1	선정	선정기준 상위, 산업부 TRL 5~6급 기술의 scale-up으로 상용화 가능
	합성가스– 폐기물 이용	2	선정	선정기준 상위, 산업부 TRL 5~6급 기술의 scale-up으로 상용화 가능
	DME – 합성가스 이용	14	제외	선정기준 불만족, DME 가격의 변동성에 따라 현재 경제성 부족
	GTL – 합성가스 이용	13	제외	선정기준 불만족, 원료로서 천연가스 이용 기술 채택
바이오가스	바이오가스-유기성바이오매스	5	선정	음식물류 폐기물 및 하수슬러지를 수소 생산 원료로 활용
부생가스	부생가스	8	반영	수소 생산 원료로 활용 가능
매립가스	LFG	6	반영	수소 생산 원료로 활용 가능
LPG	LPG	16	제외	선정기준 불만족, 일반 화공산업에서 진행함이 바람직하다고 판단
화학산업 가스	고순도 CO 등	10	선정	중장기적으로는 수소가 BM, CO는 단기적 BM으로 상용화 활용

□ 합성가스 기반 산업 밸류 체인 분석

○ 고체계/액체계로부터 생산 가능한 합성가스와 기체계로부터 생산 가능한 합성가스에 대한 전환/처리 기술, 중간 생산품으로부터 최종생산품에 이르는 일련의 과정에 따른 밸류체인 분석을 수행하여 아래 그림에 도시



[그림 5-1-3] 합성가스 생산, 저장 및 이용 기술 밸류체인

○ 상기 기획대상 검토 과정에서 일부 기술은 검토대상에서 제외

- IGCC: 해외기술 도입하여 상용 운전 중 및 산업부에서 대형 사업 진행 완료
- IGFC: 발전사에서 IGCC 후속으로 검토 중
- SNG: 해외기술 도입하여 상용 운전 중
- LNG: LNG플랜트사업단 과제로 계속 연구(2020년 6월까지)

○ 아래 기술은 시장성 또는 경제성 확보는 가능하다고 판단되지만, 수소 생산 플랜트 기술에 초점을 맞춤에 따라 기술개발은 제외 (향후 spin-off 기술로 검토)
- 합성가스 보일러: 국내외 고온 용융로 열원 수요 존재
- 분산 발전 (가스 엔진): 국내외 분산형 발전 추진 가능
- 초산합성: 국내외 초산 원료로 수요 존재
- 암모니아 합성: 말레이시아에 암모니아 원료 공급 추진 가능
- DME 합성: 동남아 도서지역에 발전연료로 수요 존재
- 석유 대체: 해외 가스전 합성유 제조 추진 가능

□ 중점 추진분야 도출

○ 기술선정 분석으로부터 선정된 기술을 다음과 같이 6개의 기술 분야로 정리 가능
- 합성가스 생산 기술: 바이오매스, 폐기물 및 펫코크 이용
  * 석탄의 경우 해외 산지에서 합성가스 생산 고려 가능(본 기획에서는 제외)
  * 장기적으로는 지중석탄가스화 기술에 의한 합성가스 생산 고려 가능(본 기획에서는 제외)
- 바이오가스 생산 기술: 음식물류 폐기물, 하수슬러지 이용 혐기소화 기술
- 잉여전기 이용 기술: P2G 수소 생산 및 산소 활용 기술
- 개질 및 변환 기술
  * 천연가스 개질 기술: 컴팩트/모듈화 및 CO_2-added 기술 적용 고효율 개질 기술
  * 암모니아 개질 기술: 해외에서 액상 수소(액체 암모니아 등) 도입 대비
  * 상기 기술들의 공정과 연계하여 수소를 생산할 수 있는 수성가스전환 기술
  * 본 기획 이외에 추진되고 있는 수소 저장 및 이송 기술들과의 연계를 위하여 수소액상화 기술(액상 암모니아로 변환 기술) 고려 가능(본 기획에서는 제외)
- 정제 및 분리 기술
  * 상기 기술개발들과 연계하여 합성가스 및 천연가스의 고도 정제 기술: 탈황 기술, 집진 기술 등
  * 상기 기술들을 활용하여 생산된 수소를 함유한 혼합가스로부터 수소를 고순도로 분리하는 기술: PSA 기술 및 분리막 기술
- 상기 기술개발에 필요한 공통 핵심 기술: 모듈화 기술 및 ICT/IoT/빅데이터 기술

○ 상기와 같이 정리한 중점 추진분야에 대한 주요 이슈, 기술 니즈, 이에 따른 도출한 중점추진분야 및 추진분야별 원료를 정리하여 아래 그림과 같이 도시



[그림 5-1-4] 중점 추진분야 선정 및 분야별 선정 원료

○ CO_2 free 달성 및 저비용/고효율화를 위하여 본 기획에서 도출한 상기 기술들과 연계, scale-up 또는 신규 개발 등 고려 가능(본 기획에서는 제외)

- CO_2 광물화, 건설소재 활용, 미세조류 배양 및 탄산화 기술 등
- 바이오촉매 이용 수정가스전환 기술 등



[그림 5-1-5] 본 기획과 연계하여 추진 가능한 기술 분야

5. 중점과제 및 핵심기술의 도출

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 세부과제별 세부기술을 아래 표에 정리

<표 5-1-9> 분산형 가스플랜트 세부과제 및 세부기술 분류

세부과제명	세부기술	CTE 여부
(합성가스 생산) 1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	1.1 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	○
	1.2 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	○
	1.3 원료 균질화를 위한 전처리 기술	
(바이오가스 생산) 2. 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 바이오수소 생산 플랜트 건설 기술	2.1 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	○
	2.2 바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술	
	2.3 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술	
(잉여전기 이용) 3. 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	3.1 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	O
	3.2 P2G 플랜트 산소 활용 기술	
	3.3 P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	
	3.4 P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술	
	3.5 수소 안전 및 제도	
(개질 및 변환) 4. 합성가스 기반 수소생산을 위한개질 및 변환 기술	4.1 천연가스의 CO_2-added 개질 기술	O
	4.2 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	O
	4.3 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	O
(정제 및 분리) 5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술	5.1 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	O
	5.2 고순도 수소 분리 고도화 기술	O
(공통 핵심) 6. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통핵심 기술	6.1 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	
	6.2 ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 세부기술별 핵심 실증적용 기술을 아래 표에 정리

<표 5-1-10> 수소 생산 플랜트의 세부기술별 핵심 실증적용 기술

중분류 (중점 과제)	세부기술 (세부 과제)	핵심 실증적용 기술 (세세부 과제)
1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화	1.1 폐기물/바이오매스 (가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	1.1.1 합성가스 생산시스템 설계 및 구축
		1.1.2 시스템 성능평가 및 운전 최적화

기술	1.2 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	1.2.1 펫코크 가스화 실증 기술
		1.2.2 습식 분쇄 및 슬러리 제조/공급 공정 실증 기술
	1.3 원료 균질화를 위한 전처리 기술	1.3.1 원료 균질화 전처리 시스템 설계 및 구축
		1.3.2 시스템 성능평가 및 운전 최적화
2. 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 바이오수소 생산 플랜트 건설 기술	2.1 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	2.1.1 혐기 미생물 분해 효율 향상 위한 전처리 기술
		2.1.2 바이오 CO_2 활용 바이오메탄 생산량 증가 기술
		2.1.3 바이오 CO_2 분리를 통한 통합 바이오가스 플랜트의 개질 수소 생산 증진 기술
	2.2 바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술	2.2.1 안정적인 수소 생산균 유지관리 기술
		2.2.2 바이오센싱 기반 바이오수소 생산 기술
	2.3 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술	2.3.1 배가스 활용 혐기소화액 암모니아 경제적 회수 기술
		2.3.2 혐기소화액 유래 혼합 암모니아가스로부터 수소 생산 기술
3. 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	3.1 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	3.1.1 1MW급 수전해 시스템 기술
		3.1.2 1MW급 단일모듈 수전해 최적화 기술
		3.1.3 잉여전기 계통 연계기술
	3.2 P2G 플랜트 산소 활용 기술	3.2.1 수전해 설비 산소 발생 및 저장 시스템
		3.2.2 가스화 플랜트 연계 기술
	3.3 P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	3.3.1 P2G 공정 설계 기술
		3.3.2 P2G 공정 최적화 기술
	3.4 P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술	3.4.1 P2G 실증 플랜트 건설 기술
		3.4.2 P2G 플랜트 운영 기술
	3.5 수소 안전 및 제도	3.5.1 수소 생산 설비 설계 안전성 평가 기술
		3.5.2 수소 생산 설비 건설 안전성 평가 기술
		3.5.3 수소 충전시설 안전성 평가 기술
4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	4.1 천연가스의 CO_2-added 개질 기술	4.1.1 천연가스의 개질용 촉매 기술
		4.1.2 주요 공정의 모듈화/컴팩트화 설계 및 실증 기술

		4.1.3 수증기/CO_2 활용 개질반응기 및 수성가스전환 반응기 설계 기술
	4.2 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	4.2.1 고온 및 저온 수성가스 전환 촉매 설계 기술
		4.2.2 수성가스전환 반응기 설계기술
	4.3 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	4.3.1 수소 생산량 300 Nm^3/h급 NH_3 분해 수소생산 공정 기술
		4.3.2 미반응 NH_3 제거 공정설비 및 고순도 수소 정제 공정 기술
5. 합성가스/ 바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술	5.1 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	5.1.1 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 합성가스 정제 설비 설계, 구축 및 최적 운전제어 기술
		5.1.2 합성가스 고도 정제를 위한 모듈형 컴팩트 정제 설비 FEED 패키지
		5.1.3 300 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 바이오가스 정제 설비 설계, 구축 및 최적 운전제어 기술
		5.1.4 바이오가스 고도 정제를 위한 모듈형 컴팩트 정제 설비 FEED 패키지
	5.2 고순도 수소 분리 고도화 기술	5.2.1 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 설비 설계, 구축 및 최적 운전제어 기술
		5.2.2 고순도 수소 분리용 소재 개발 및 소규모 시험
		5.2.3 100 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 고도화 설비 설계, 구축 및 운전제어 기술
		5.2.4 고순도 수소 분리 고도화 설비 소재 개발 및 랩규모 모듈화 제작 시험
6. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술	6.1 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	6.1.1 합성가스 플랜트 핵심설비별 표준모듈 설계 기술
		6.1.2 핵심설비 모듈 연결 플랜트 최적화 설계 기술
		6.1.3 모듈 통합 플랜트 운영 기반 지원기술
	6.2 ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	6.2.1 ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 시스템
		6.2.2 합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 체계

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 세부기술별 핵심적으로 R&D 수행을 필요로 하는 기술을 다음과 같이 표로 정리

<표 5-1-11> 수소 생산 플랜트의 세부기술별 핵심 R&D 필요 기술

중분류 (중점 과제)	세부기술 (세부 과제)	핵심 R&D 필요 기술 (세세부 과제)
1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	1.1 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	1-CRT-1 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 방식의 상용급 합성가스 생산 기술
	1.2 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	1-CRT-2 펫코크 순산소 가스화 시스템 scale-up 설계 및 실증 기술
	1.3 원료 균질화를 위한 전처리 기술	1-CRT-3 가스화 원료 균질화를 위한 반탄화 방식의 상용급 전처리 기술
2. 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 바이오수소 생산 플랜트 건설 기술	2.1 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	2-CRT-1 고함수 바이오매스 균질화를 위한 수열탄화 방식의 상용급 전처리 기술
	2.2 바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술	2-CRT-2 다양한 고함수 바이오매스(유기성)로부터 통합 바이오 수소 플랜트(50톤/일급) 실증
	2.3 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술	2-CRT-3 혐기소화액 기반 암모니아 수소 생산 플랜트(50톤/일급) 실증
3. 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	3.1 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	3-CRT-1 수전해 시스템 scale-up 및 효율 향상 기술 3-CRT-2 1 MW급 P2G 플랜트 산소추출 및 합성가스 플랜트 연계기술
	3.2 P2G 플랜트 산소 활용 기술	
	3.3 P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	
	3.4 P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술	
	3.5 수소 안전 및 제도	
4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	4.1 천연가스의 CO_2-added 개질 기술	4-CRT-1 중소형 천연가스 개질촉매 및 공정 기술
	4.2 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	4-CRT-2 합성가스로부터 수소생산을 위한 수성가스전환 촉매 및 공정 기술
	4.3 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	4-CRT-3 암모니아 개질을 통한 고순도 수소생산 기술
5. 합성가스/ 바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술	5.1 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	5-CRT-1 폐기물/바이오매스 유래 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술
	5.2 고순도 수소 분리 고도화 기술	5-CRT-2 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 고도화 기술
6. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술	6.1 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	6-CRT-1 합성가스 기반 수소 대량생산용 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술
	6.2 ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	6-CRT-2 플랜트 원격 운영관리 및 유지보수 기술

6. 종합 분석

6.1 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야의 현재 문제점 분석

○ 중소규모 분산형 에너지플랜트의 고비용 소요
- 분산형 에너지플랜트의 원천적 고비용 문제 해결을 위한 기술적 방안이 필요
  * 분산형은 규모의 경제가 가능한 대규모 중앙집중식 에너지(수소, 전기 등) 생산 플랜트 대비 단위 에너지 생산당 비용이 원천적으로 높으며, 대형 에너지 생산 플랜트 인근에서는 경쟁력 확보는 불가능
  * 모듈화 및 IT 기술 연계 등 전체 비용과 유지보수 비용 절감이 없으면 경쟁력 확보 어려움 존재
- 합성가스 기반 수소 생산 설비의 소수 기업 세계적 독과점에 의한 고가정책으로 플랜트 건설비용 증가
  * 분산형 전기 생산에서 가장 많이 사용되는 가스엔진은 GE엔바사가 세계시장 점유율 1등으로 유지보수까지 지역 특정업체를 지정하여 고가정책을 유지
  * 국내 시장이 작아 현대중공업과 두산중공업은 기술개발 능력은 되나 실제 노력은 미흡
- 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술개발 시 수소연료전지자동차용 수소충전 및 수소연료전지 발전시스템 등에서 미래 시장 경쟁 우위 확보 가능
- 중국의 저가시장 진출에 대비한 비용절감 방안이 필요
  * 이미 중국은 동남아 시장에 해외업체 대비 1/2 이하 수준으로 진출하였으나, 아직은 기술신뢰도와 유지보수 미흡으로 시장 확대로 이어지지는 않고 있는 실정

○ 저급자원 대상 에너지플랜트의 신뢰도 높은 기술의 부족
- 해외 선진사들은 저급자원 사용 중소규모 에너지플랜트는 리스크가 커서 사업 참여를 꺼리는 실정
  * 대용량 기존 고급자원 사용 시장에는 고가의 비용으로 대응하나, 저급자원으로 중소규모 에너지플랜트에는 리스크가 커서 사업 참여를 꺼리는 실정
  * 신뢰도 있는 기술자체는 존재하지만, 저급자원에 맞으면서 중소규모로 신뢰도 있는 세계시장 주도기술은 미확보
  * 일반적으로 고체 원료를 사용하는 플랜트 경우는 설비규모가 커질수록 문제 발생률이 낮아지는 경향 보유

○ 바이오매스로부터 합성가스 생산시 가장 현안은 tar 제거
- 합성가스 생산에는 tar가 포함되어 발생하는 합성가스를 생산한 후 정제하는 방식과 tar 발생이 거의 없는 가스변환 방식
  * Tar 발생이 거의 없는 가스변환 기술은 아직 실험실 단계로 개발 우위 선점기회 존재

○ 검증된 기술 선호로 인한 first mover 기피

- 특히 한국의 경우는 확실히 검증된 기술을 선호하고 국내기술에는 높은 의구심
  * 기술 사용자 입장에 국한되어 있고, 기술자체를 추가 보완 개발하여 사업하는 사업 모델에는 낮은 관심
- 국내기술에 대한 기업들의 낮은 신뢰도
  * 국내기술이 장기간 검증기간을 거치면서 세세한 문제에 대한 대응 보완을 마치고 사업 보급이 이루어져야 하지만, 기반기술로 사업에 적용하면서 많은 시행오차 발생한 이력으로 자체기술에 대한 낮은 신뢰도

○ 실제 적용실적 미흡
- 작은 국내시장만을 대상으로 접근하여 장기간 기술 검증을 위한 투자 타당성 부족
  * 해외시장 진출을 위해서는 장기간에 걸친 다양한 적용실적이 입증되어야 하나, 국내 현실은 정부지원 사업 등 특별한 경우나 해당기업의 결단이 없으면 불가능한 상태
- 에너지플랜트와 같이 오래전부터 있어온 설비들이 있는 분야에 대한 신규 기술 산업화에 대한 정부 등 관심이 부족
  * 새로운 기술 분야에 대한 투자와 관심이 높지만 저급자원 등 지저분한 원료를 취급하는 산업은 대상기술로 선택 자체가 어려운 현실

○ 신규 에너지플랜트 건설에 대한 NIMBY 극복을 위한 방안 부족
- 저급자원은 특성상 적정한 설비투자가 동반되지 않을 경우 환경오염 발생소지가 큼
  * 저급자원에 고가의 환경 설비 투자는 경제적 타당성이 없는 경우가 대부분
  * 고비용임에도 불구하고 사회 환경적으로 타당한 경우가 있으므로 이를 대상으로 하는 환경적합성 등이 특화된 기술개발이 요구
- 미세먼지, 냄새 등 환경오염물질 발생을 최소화하는 플랜트의 청정성 확보 필요
  * 사용자가 자체 필요에 의해 에너지플랜트에서 생산된 에너지를 이용하면서 경제적 이득과 함께 현재 가용한 최고수준의 환경성을 담보할 수 있는 방안이 최적

6.2 시사점 및 사업추진 방향

○ 저급자원의 유용한 활용은 세계적으로 아직 미진
- 저급자원의 현재 주요방식은 연소방식에 근간한 열에너지 위주
  * 대규모 설비에 적합한 연소보일러나 소각 방식을 주로 사용하여 열에너지를 주로 생산하는데 주위에 열을 활용한 곳이 없는 경우 버려지는 경우도 다수
  * 열에너지 보다는 열/전기 동시 생산이나 전기에너지 형태가 근래의 사회발전 형태에 부합
  * 특히 국내의 미래 청정에너지 도입 방향을 고려하면 청정합성가스로 변환하여 사용 또는 수소로 전환하여 활용함이 가장 바람직
- 합성가스 활용 방식은 가스자체의 폭발성, 유독성에 대한 대응 어려움으로 중소규모 활용은 극히 미진
  * 대용량 플랜트의 경우는 안전설비에 충분한 투자가 가능하지만 중소형 규모는 건설

단가 상승을 유발하여 상용화 미진

* 저렴하면서 안전에 대응할 기술이 필요: IT화, ICT화 등 활용한 기존 고가의 설비 대체기술 강구 필요

○ 저급자원 활용한 분산전원에는 단기적으로는 합성가스의 직접적 이용이 유리하며 중장기적 미래에는 합성가스로부터 수소를 분리하여 사용하는 방식이 유리

- 전기를 생산하기 위해서는 스팀이나 연소가 가능한 가스가 필요

* 스팀은 대용량 스팀터빈 방식으로 주요 전기를 생산

* 합성가스/바이오가스는 대용량 경우는 가스터빈, 소용량은 가스엔진을 사용

- 10 MW 이하의 분산전원에는 가스엔진을 사용한 합성가스 방식이 적합

* 최근 가스엔진의 가스에서 전기로의 변환 효율이 35%에 달하는 기술 발전

* 미래에는 수소를 이용한 연료전지 발전 및 수소연료전지자동차가 대세

○ 국내기술로 모듈형태 분산형 합성가스 생산 및 수소 생산 플랜트 건설기술 개발 추진

- 지금까지 국내 기술개발 규모로 볼 때 단기간 내 하루 수천톤의 대형 합성가스 플랜트 기술로 해외선진사와 경쟁이 불가능하므로 5~20 MW 규모의 분산형 수소 생산 플랜트로 사업추진 방향을 설정

* 사업 시작 5년 내에 국내 test-bed는 1~5 MW급을 1차 목표로 하여 실증 완료와 기본 모듈형 플랜트 기술을 정립

○ 저렴한 공해방지 청정기술이 핵심으로 필수

- 저급자원 함유 공해유발물질의 저렴한 청정제거 기술이 필수

* 저급자원은 그 자체에 공해유발 원인물질 함유가 높고 수분/회분을 많이 함유하여 에너지밀도도 낮음에 따라 일반적 접근으로는 동일한 에너지생산량 당 오히려 높은 공해물질 발생량

* 개발도상국들도 환경에 대한 인식이 제고되어 예전의 오염된 플랜트 운영방식은 매우 한계가 있으며 장기간 운영에 따른 책임을 최소화하기 위한 청정기술로 개발 상품화가 필수

* 인도의 경우는 지역 주민들의 환경오염에 대한 NIMBY 현상이 매우 심하여 확실한 환경처리 능력 검증이 필요

- 합성가스 정제와 공해물질 배출 최소화에 대한 오랜 경험과 원천기술은 유럽업체들이 보유하고 있지만 건설비/운영비가 매우 고가이며 한국 등 국가 현실에 맞지 않는 경우가 많아 이에 대한 적정기술화가 요구

* 유럽은 공해물질 발생을 최소화하는 개념에 더해 최대한 회수를 목표로 기술이 발전하여 온 관계로 필요 이상의 과잉 설비 투자가 요구되는 다수의 경우 존재

* 폐기물 합성가스 플랜트의 경우 유럽에서 원래 기술이 개발되었지만 유럽은 현재 포기가 되고 일본이 추가 개발하여 한국 등에 기술 수출한 실적 보유

* 한국에서 폐기물 합성가스 정제기술을 기존 소각로에 적용된 공해방지설비와 기존 에너지회수 설비를 적용한 사례에서 가격도 낮추면서 적정한 청정화도 이룬 사례 존재

○ Emerging 시장 조기선점 필요

- 지역 저급자원을 사용하는 분산전원과 기존 고가인 원료 대체시장이 시작되나, 시장 주도할 기술과 플랜트는 미완성 상태
- 선진국 기술사와 차별화된 시장 구체화와 집중화된 합성가스 사업모델 개발이 필요
  * 유럽/미국/일본의 선진기술사들은 대형 설비에 관심이 있고 중소규모 플랜트에는 기술만 제공하고 건설/운영에는 빠지는 추세
  * 선진국 엔지니어링사들의 전략은 직접 현지 사업에 참여하여 발생할 위험부담에서는 빠지면서 기술자체를 제공하고 설비 운영 자료를 확보 개선하여 차기 프로젝트에 반영
- 한국 내, 동남아, 인도, 파카스탄 등 이미 합성가스 플랜트 기술에 관심을 표명한 시장 모델에 1차로 집중하고 실증까지 조기 실행을 추진
  * 한국은 미래 청정에너지로 수소에너지 사회로의 전환을 추구하고 있으며, 천연가스 대체 청정연료가스 시장이 2015년 이후 급부상
  * 인도네시아, 말레이시아 지역은 섬이 많고 전기가 부족하나 지역에 존재하는 여러 저급자원(저급탄, 바이오매스)을 활용하여 안전적인 전력 공급 희망
  * 적정한 건설 운전비용이 가능한 기술 확보와 안정적인 기술보증이 관건

○ 선진국 시장 진출 추진 방향

- 동남아, 인도, 파키스탄 등 개도국이 1차 타켓 시장인데 1차 타겟시장 진출 사업화 실적을 확보 후 선진국 시장 진출 추진
  * 모듈화, ICT화, Compact화 등 기존 대비 차별화된 추가 버전을 개발하여 투입
- 선진국 시장은 폐기물, 폐바이오매스를 원료로 하는 플랜트에서 고부가가치 청정원료가스(고순도 CO, 고순도 수소) 생산을 통한 기존 천연가스나 중유 원료에서 CO, 수소를 생산하는 공정을 대체하는 화학공업 플랜트를 주 타겟 시장으로 추진
  * (예) 화학공장 나프타 사용하여 생산되고 있는 고순도 CO를 폐기물 합성가스에서 대체 생산하는 고순도 가스 시장

○ 합성가스 플랜트 주요 부품/설비 저가화가 긴요

- 합성가스 플랜트는 원천적으로 안전에 관련된 많은 설비와 운영 노하우가 필요한데, 이를 저가화하면서도 안전이 희생되지 않는 부품/설비 기술과 운영기술이 요구
  * 고가인 기존의 합성가스 가스성분 분석기기와 운전원 안전 보호용 가스검침기를 그대로 사용할 때는 대형 설비 대비 건설비 소요가 너무 커지므로 이를 저렴한 IT기기와 Big Data를 이용한 모델 등으로 예측 대체가 필요
- 합성가스를 사용하는 가스엔진과 가스터빈 등 전기변환 설비에 기술을 보유한 국내업계와 협력하여 국산화 및 저가화 실현이 매우 중요
  * 고가 가스엔진은 미국, 저급 가스엔진은 중국이 시장을 주도하고 있지만 국내기업도 기회가 주어지면 충분히 개발할 능력을 보유
  * 핵심설비에 대한 가격과 기술개선, 유지보수를 외부에 전적으로 의존할 때는 모듈화, IT화 등 다양한 시도를 통한 저가화 구현 시도 자체가 불가능

* 특히, 해외 전문업체의 경우 한국 업체에서 자체기술개발 시도 자체를 원하지 않는 현실

○ 고신뢰도 기술 조기 확보가 필요

- 국내에 조각조각 산재해 있는 합성가스 플랜트 관련기술을 집적하여 단기간 내 고신뢰도 기술로 개발 제시가 필요

* 저급자원 전처리, 원료공급, 합성가스 생산, 합성가스 정제, 폭발성/유동성 가스 취급 공정 설계, on-line 연계 운전 등 다양한 핵심 요소기술을 국내에 보유되어 있지만 합성가스 플랜트에 특화된 고신뢰도 기술로서는 미흡

- 현 시점에서 국내에 존재하는 합성가스 사용 시장을 대상으로 실증 test-bed 구현과 장기간 운전자료 확보를 기반으로 개선할 때 고신뢰도 기술 확보가 충분히 가능

○ 해외시장 조기 성공사례 확보 필요

- 국내에 상용급에 준하는 test-bed 실증을 단기간에 성공시키고 이를 기반으로 해외 조기 성공사례 확보가 관건

* 중국의 최근 적극적인 해외 진출 추진상황에 비추어 볼 때 2020년 전후로 국내 능력이 확보되지 않는다면 중국기술의 국내 진입이 거의 확실

* 2017년에 중국 석탄가스화 기술로 800톤/일 규모 2기를 여수산업단지에 건설하고 합성가스를 사용하기 위한 프로젝트가 진행 중

* 합성가스와 관련된 미래 플랜트 건설규모를 예상할 때 세계시장의 10%는 한국이 확보한다는 전략으로 해외시장용으로 특화된 규모와 적용처를 target으로 시장 진출을 목표

* 저급자원별 특화된 시장을 규정하고 이에 상응하는 1차 국내 시장을 test-bed로 실증하고 이를 기반으로 다양한 지역의 해외시장용 버전으로 대응

6.3 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야 시장 대응 기술개발 방향

○ 중소형 모듈화 가스 플랜트 형태로 가격 경쟁력 확보

- 중소형 모듈화 플랜트의 건설비용과 운전비용 가격 경쟁력이 합성가스 플랜트 건설시장 진출 성공의 가장 중요한 요소

- 일 수천톤 규모의 합성가스 플랜트 시장은 해외 선진사들과 최근 중국 업체들의 진출로 현재 한국의 기술 실증 경험으로는 1:1 경쟁이 어려운 현실이므로 한국의 기술적 강점부분을 접목시킨 틈새시장 전략과 이를 통한 가격/기술 경쟁력 확보가 중요

○ 자체기술 경쟁력 확보

- 플랜트 건설시장에서 단발성 사업에 의존한 이전의 사업모델들이 지속성 없음이 확인된 만큼 핵심부분에 대한 자체기술력을 통해 가격 조절능력, 부품 조달, 유지보수 신속성을 확보해야만 사업의 연속성과 이를 기반으로 기술 투자가 지속 가능

- 자체기술력이 소규모 설비에서 확보되었다고 하지만 실제 상용 조건에서 장기간 시행오차를 극복하고 검증된 플랜트 기술로는 국내 기술이 매우 부족하므로, 이를 극복하

기 위한 실증규모 검증단계가 필수

○ 해외 지역별 시장에 특화된 전략 필요

- 동남아, 인도, 터키 등 분산형 전원수요가 많은 지역 시장은 현재 독과점 상태인 가스엔진의 저렴하고 유지보수 비용이 적정한 수급이 관건이므로 이를 국내업체가 능력보유가 가장 바람직
- 미국, 유럽, 일본 등 선진국 시장은 세계시장을 선도하는 자국 내 기술보유 기업들이 많은 상태이므로 중소형 규모의 틈새시장과 이 부분에서 가격경쟁력 확보가 관건
- 특히, 폐기물 사용 생산한 합성가스에서 화학원료를 추출하는 기술은 각 세부기술은 여러 기업들이 보유하고 있지만 이를 연계 검증하고 기술보증을 하는 경우는 아직 없으므로 국내외 기술과 모듈화, IT화의 강점기술을 연계 완성시켜 시장 진출하는 전략이 필요

○ 초기단계 시장에 신속 대응 Timing

- 2016년 시점에서 인도네시아 등지에서 5~20 MW 전기 생산 규모의 합성가스 플랜트를 제공해 달라는 요청이 있는 상황에서 기존 기술을 신속히 연계 실증함으로써 1차 시장선점이 요구

* 중국의 고정층 가스화기 형태가 인도네시아에 도입 건설되었으나 현재 운영이 안 되는 상황
* 유지보수가 안되고 설비자체의 수명 내구성에 문제가 발견

- 취급이 어렵고 위험한 합성가스를 중소형 규모 플랜트로 안전적 운영을 하는 믿을만한 기술 제공처가 아직 없는 상황에 시의적절한 대응이 필요

* 미국의 플라즈마 적용 폐기물 가스화설비를 세계 여러 곳에 설치 운영을 시도하였지만 대부분 실패하여 아직 기술도전의 기회시간이 존재
* 중국의 고정층 석탄가스화를 통한 합성가스로 가스엔진 전기생산은 저렴하게 인도네시아 등에 공급되었지만 유지보수 어려움 등으로 대부분 실패 사례 존재

- 폐기물 사용 합성가스로부터 고순도 일산화탄소나 수소를 대량 공급하는 개념은 오랫동안 있어왔지만 이를 기술 보증을 하면서 완성시킨 사례는 없는 아직은 틈새시장이므로 이를 실증 구현하고 지적재산권 확보가 매우 긴요

* 합성가스를 가장 고급으로 적용할 대상이 화학원료 시장이므로 이를 모듈화 패키지 기술로 완성시키면 선진국 시장도 진입이 가능

○ 수소 생산 플랜트 시장에 적합할 에너지원 설정의 방향

- 지역 내 가용한 에너지 원료를 활용

* 천연가스나 고급석탄 등 운송비용이 소요되더라도 경제성이 있는 원료들은 대부분 수출을 하여 현지에서 저렴하게 구하기 어려운 실정
* 폐기물과 바이오매스는 개발도상국의 경우 점차 발생량이 늘어갈 수밖에 없으므로 이를 환경적합하게 처리하는 기능과 더불어 효과적인 에너지자원으로 회수하는 플랜트 기술을 정립하여 보급시장이 막 열리는 단계

- 세계적으로 저렴하면서 활용이 적극적이지 못했던 원료를 활용

* 정유공장 부산물인 펫코크가 가장 대표적으로 높은 황함유량으로 인해 활용방안이 제한적이나, 국내 소성로 업체 등에서 펫코크 사용 합성가스로 청정연료 생산을 안정적으로 제공할 기술 공여처를 찾고 있는 현황
* 가스화 반응에서 황은 공해물질인 SO_x 대신에 황화수소로 변환되어 황산/황으로 회수한 후 판매가 가능하여 합성가스 방식이 매우 유리
* 중국은 자국에서 생산되는 많은 펫코크로부터 합성가스를 생산하여 소성로 등에 값싸게 적용하고 있어서 한국 등 동일함 제품으로 경쟁하는 경우에 에너지가격 경쟁력에서 매우 유리한 위치를 점해가고 있는 상황
* 인도네시아, 호주, 장기적으로는 북한 등의 저급석탄을 활용할 수 있으며, 보다 먼 미래에는 지중석탄가스화 기술을 이용하여 경제성을 전혀 확보할 수 없는 석탄층을 이용 가능

- 분산형 플랜트에 적합한 에너지 원료를 선택 사용
* 재생가능에너지원 방식의 분산전원 대비 경제성과 효율성에서 유리한 에너지원이면서 합성가스, 수소 및 전기 등의 생산과 사용이 동시에 필요한 지역에서 장기간 가용한 에너지원을 대상
* 분산전원은 특성상 규모가 대부분 20 MW를 넘지 않고 24시간 항시 공급이 가능한 방식이 투자비 측면에서 유리하므로 지역 발생 폐기물과 바이오매스가 가장 유리

○ 합성가스 생산 반응기 형태 대응 방향

- 합성가스 생산의 가장 핵심기술인 가스화기 기술에서 고정층 또는 분류층 가스화기술은 반드시 확보라는 전제 필요
* 합성가스 생산의 가장 핵심기술이 가스화기술로서 이 부분에 대한 자체기술의 확보 없이는 가격 경쟁력 확보자체에 어려움 존재
* 가스화기술을 해외업체에 의존 시 수출 진출이 매우 제한됨이 이전 폐기물 소각시장 등에서 확인

- 원료 형상이 불균일한 합성가스 생산은 고정층 반응기 기술이 유리하고, 분말이나 액상슬러리 형태로 원료 공급이 가능하면 분류층 방식이 유리
* 폐기물/바이오매스의 경우는 원료 전처리를 하더라도 입자 크기와 밀도 등에서 불균일하므로 고정층 방식이 필요
* 석탄/펫코크의 경우는 일정한 분말 형태로 공급이 가능하므로 분류층 방식이 매우 유리
* 분류층 방식은 반응 소요시간이 3~10초이므로 많은 원료를 처리하더라도 상대적으로 반응기 크기가 작아 건설시 유리
* 폐기물/바이오매스를 원료로 사용하면서도 수열탄화/반탄화 등의 기술로 전처리를 한 후 분류층 기술로 활용하는 신기술 개발도 고려 가능

○ 합성가스 플랜트 건설 분야 틈새시장 발굴과 한국형 기술우위 확보

- 합성가스 플랜트 건설 틈새시장의 범위
* 원료 공급 규모측면에서 20~500톤/일 규모가 대형(800~3,000톤/일급) 대비 시장 주

도권을 가진 업체가 없는 틈새시장

* 이중 50~200톤/일급 플랜트가 동남아 등 소규모 지역용으로 가장 시장수요가 많은 틈새시장
* 가스를 적정한 효율(30~40% 에너지변환 효율)로 환경적으로 청정하게 생산하여 공급하는 플랜트가 틈새시장
* 합성가스는 대형 가스터빈 연계 활용 시 에너지변환(합성가스-->전기 변환) 효율은 50%대(복합발전 경우)이나 중소형 규모 가스엔진 연계 활용 시 30%대 효율
* 가스엔진은 현재 GE엔바 등 소수업체가 독과점으로 고가이지만, 훨씬 더 고가이면서 독과점 체제인 가스터빈에 대비하면 저렴한 상태
* 기존 원유나 천연가스를 사용하여 생산하는 연료가스나 화학원료를 값싼 저급원료로 대체하여 동일한 성능을 공급 가능한 가스플랜트 시장이 틈새시장
* 폐기물을 사용하여 초청정 일산화탄소나 수소를 생산하는 플랜트는 기존 에너지원 대비 당연히 높은 가격경쟁력(기술이 안정적이고 신뢰 가능하다는 전제 하)

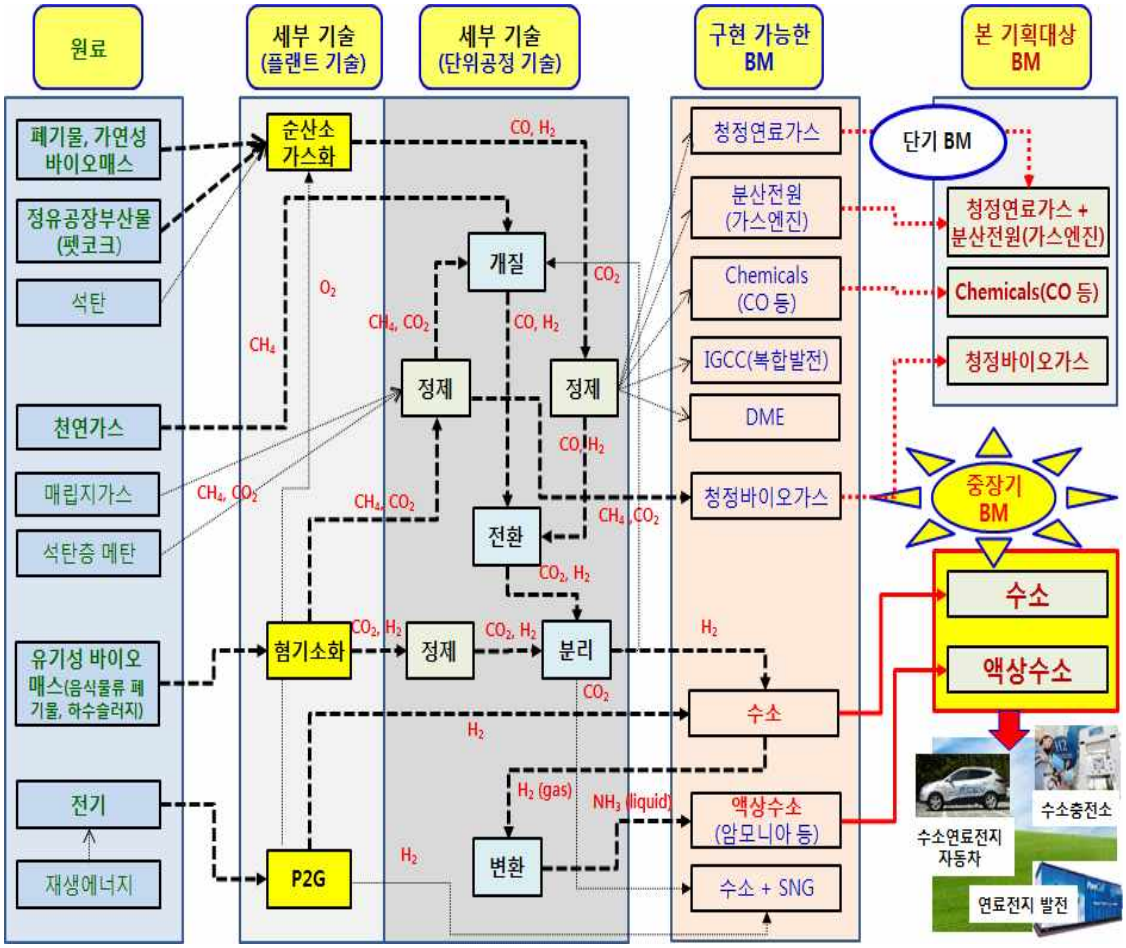
- 모듈화, IT화, Data화 등을 통한 한국형 기술우위 기술의 확보

* 원천기술과 실제 건설 운영 실적이 많은 선진국 기관들과 저렴하면서 자체 설비 공급이 가능한 중국 기관들 사이에서 경쟁력을 가질 요소로는 모듈화, IT화, ICT 접목을 통한 유지보수의 편리성과 저렴화 달성이 관건
* 운송 편이성만을 강조한 모듈화 대신 자동차 등에서 적용되는 부품 모듈화로 해외지역 유지보수 편이성과 운전상태 조기진단 능력의 획기적 향상된 복합기능의 모듈화 기술 개발이 중요

6.4 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 시장 대응 비즈니스 모델

○ 세부과제별로 구현 가능한 다양한 비즈니스 모델을 조사하였으며, 이중 선택한 비즈니스 모델을 요약하여 아래 그림에 도시

- 중장기적으로 주 비즈니스 모델은 수소 또는 액상수소(암모니나 등, 장거리 수송이 필요한 경우) 생산으로 수소경제 시대를 대비(수소충전소를 통한 수소연료전지 자동차, 수소연료전지/수소터빈 발전 등)
- 단기적으로는 spin-off 비즈니스 모델로서 청정연료가스, 분산전원(가스엔진 발전), Chemicals(고순도 CO 등) 및 청정바이오가스 등으로 단기성과를 도출하여 국내 수요에 대응하고 해외 수출모델로 활용 가능



[그림 5-1-6] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 비즈니스 모델

6.5 기대효과

○ 화석연료 대체할 가스 신산업 창출
- 미활용 자원을 활용하여 화석연료 대체할 가스 신산업 한국형 플랜트 구현
- 안전하고 깨끗한 수소/합성가스 에너지 자원을 기술 기반 신산업 개발로 다양화 확보
- 미래사회 사용 확대가 분명한 청정합성가스와 수소연료전지 발전 및 수소연료전지자동차용 수소 산업에서 한국의 미래 성장동력 창출

○ 해외플랜트 시장 진출 확대
- 해외 분산전원과 청정가스 플랜트 건설 틈새시장 30년 이상 경쟁력 확보
- 동남아, 인도, 동구, 남아메리카, 아프리카 지역 진출 중소형 플랜트시장 진출 기반 확보

○ 정부지원 미활용 사업결과 연계 상업적 활용
- 국내 강점기술 융합한 가스·액화플랜트 국내사업 연계실증 및 플랜트 수출

* 환경부, 산업부에서 그 동안 지원한 TRL 5 이상의 성과 활용을 통한 조기 사업화

제2절 사업 비전 및 목표

1. 비전 체계도



[그림 5-2-1] 비전 체계도

2. 기본 방향

□ 국내 기술수입이 필연적인 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 분야에 대한 국내기술 최대 적용가능토록 추진

○ 상용실적이 없어 부득이 해외기술 도입이 예상되는 분야에 대한 사전 국내기술 실증을 통한 기술재공 능력 확보

□ 기존 기술 대비 차별화된 기술우위 가능분야 개발 실증과 해외수출까지 연계

○ 바이오매스 경우 합성가스 생산 시 가장 현안은 분쇄 에너지 저감과 tar 정제/제거이므로 이를 극복할 기술을 기존 국내보유 기술에 접목 구현

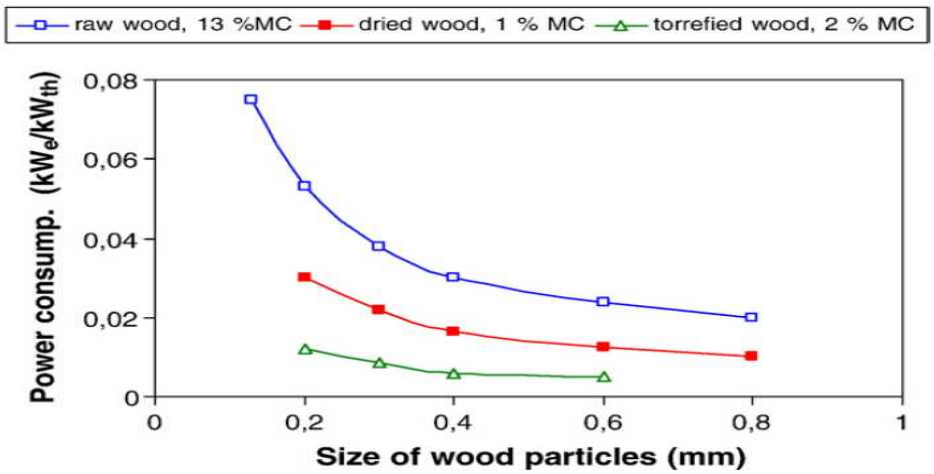
○ 분쇄에너지 저감을 위한 전처리 기술(반탄화, 수열탄화)을 연계

- 반탄화, 수열탄화 개별 기술들은 국내 기술개발 실적이 파일롯급으로 존재

□ 바이오매스로부터 합성가스 생산 활용에 근본 제약요소들을 원천 극복하는 접근을 추진

○ 분쇄에너지 저감을 위한 전처리 기술 개발 적용

- 반탄화 전처리기술 적용시 약 1/4 분쇄에너지 저감 가능



[그림 5-2-2] 나무입자의 전처리 방식에 따른 분쇄입자 크기별 분쇄소요 에너지양

(출처: Fuel Processing Technology, 60, 630, 2009)

○ 원료입자가 기존 분류층 가스화 방식 대비 10배 이상 커도 가능한 방식 개발 추진

- 기존 석탄 등 분류층가스화기에 투입되는 입자평균크기 약 120 μm 대비 1/8 크기로 반응이 진행되는 기술 개발 적용

○ Tar 근본 생성억제 반응기 기술 개발 추진

- Tar 정제/제거 방식에는 일반 가스화 후 가스정제 방식과 tar 생산이 거의 없는 반응기 채택 방식이 존재

- 고온 분류층 가스화 방식은 tar 형성이 안 되는 장점이 있으나, 원료입자 크기가 균일/미립화 필요

○ 제1장 연구개발의 배경에서 설명된 바와 같이 미래 에너지 keyword는 안정공급, 저렴, 편리성, 청정성(미세먼지, 초미세먼지 포함), CO_2 저감, 재생가능에너지 확대, 수소경제로 정리 가능

○ 이 keyword들을 아우르는 에너지 형태는 청정합성가스, 수소 및 전기로 집약됨.

○ 한국도 자체 가스와 전기 인프라에 소요되는 에너지자원을 안정적으로 확보하는 방안

을 지속적으로 강구하는 과정으로 핵심기술을 확보하고 이를 기반으로 에너지 요구도 충족하면서 플랜트 수출이라는 산업적 효과도 확보

○ 또한, 최근 국민생활에 밀접한 다양한 정책과 사회 이슈가 부각

○ 환경(미세먼지, 초미세먼지, 극미세먼지), 국민생활 안전(수소에 대한 사회적 우려 등), 재생가능에너지 확대(폐기물, 바이오매스 활용 방안 강구 등), 젊은 일자리 창출, 지구온난화(CO_2 저감), 지속가능 자원순환 사회 등에 대응이 필요

○ 현 정부에서 중점을 두는 과학기술정책 요약 내용에서 언급한 수소 생산 플랜트 분야와 연관되는 사항

- 성장 동력이 넘치는 대한민국 ⇨ 제조업 부흥과 산업경쟁력 강화
- 과학기술발전이 선도하는 4차 산업혁명 ⇨ (34) 미래형 신산업 발굴 육성, (37) 친환경 미래에너지 발굴 육성
- 국민 안전과 생명을 지키는 안심사회 ⇨ (60) 안전하고 깨끗한 에너지로 전환

○ 본 연구개발 과제를 성공시키기 위한 목표

- 안전하고 깨끗한 청정합성가스 및 수소 에너지 자원을 기술 기반 신산업 개발로 다양화 확보
- 미래사회 사용 확대가 분명한 청정합성가스 산업, 수소 연계 연료전지 발전 및 연료전지자동차 산업에서 한국의 미래 성장 동력 창출
- 미활용 자원을 활용하여 화석연료 대체할 가스 신산업 한국형 플랜트 구현
- 국내 강점기술 융합한 수소 생산 플랜트 국내사업 연계 실증 및 플랜트 수출
- 해외 분산전원과 청정가스 플랜트 건설 틈새시장 30년 이상 경쟁력 확보
- 연료전지, 수소, 재생가능에너지 변환 청정가스 등 미래사회 가스 인프라 대응 핵심기술 확보와 실증

○ 이를 사항을 반영하여 세부 목표

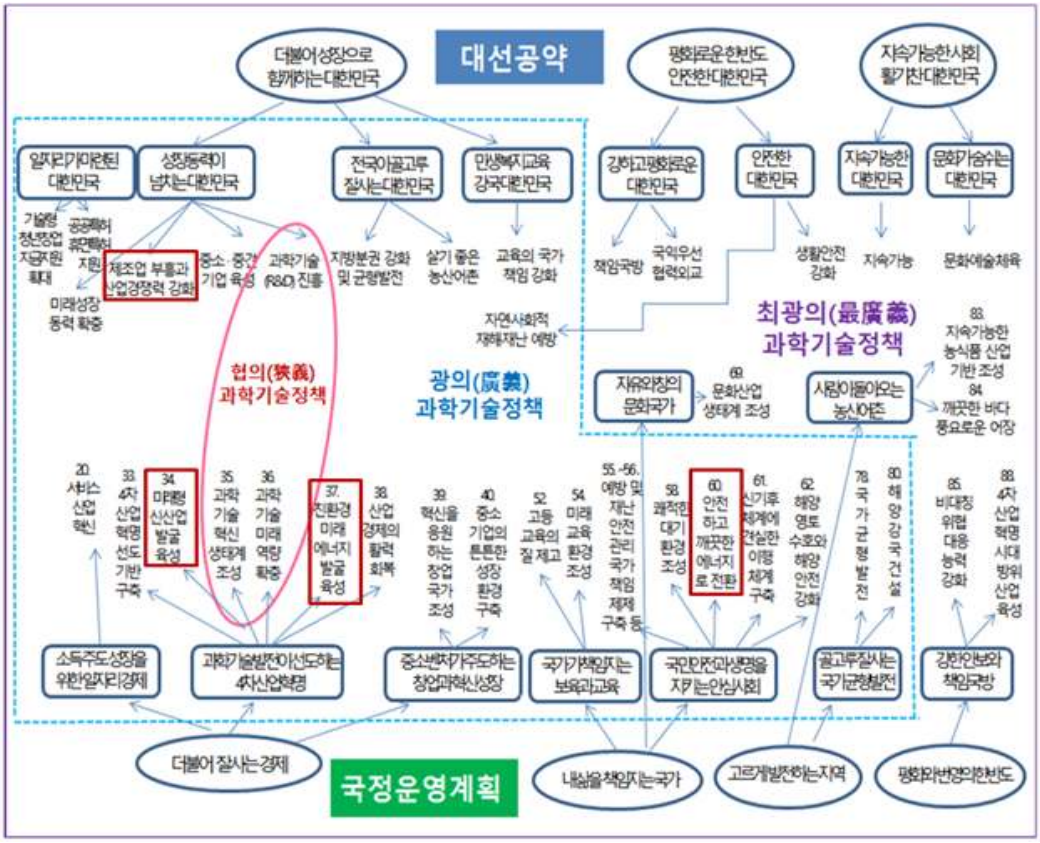
- 10년 내 구현될 신재생에너지 전기 기반 사회와 수소 사회에 사용될 기술 기반의 합성가스 플랜트에 대한 기술개발과 실용화를 추진하고, 이를 해외 틈새시장에 수출 신산업으로 확대

  * 지하 가스자원(천연가스등) 위주로 수입에 의존했던 기존 개념에서 잉여전기에서 가스자원 생산, 미사용 자원(폐기물)과 CO_2 발생이 neutral한 바이오매스 사용한 합성가스, 수소 가스 등 기술기반의 가스 신산업 분야에 진출

- 실증급 수소 생산 복합 Test-bed 구축과 해외진출 기술 검증
- 과제 시작 3년 후 세부분야 결과 및 spin-off 기술 상용화 실적 매년 1건 이상 도출
- 공통 연계 핵심 설비/부품 및 요소기술 분야 기술개발 (ICT/IOT/빅데이터 기술, 가스고도정제 기술, 개질/변환/분리 등)

  * Spin-off 상용화 분야: 핵심 설비/부품의 관련 산업 사용가능토록 spec 설정
  * 모듈화/표준화/ICT화 분야: 해외수출 유지보수 용이한 신뢰도 구축

○ 이들 내용을 아래 그림에 요약하여 도시



[그림 5-2-3] 현 정부의 대선공약집과 국정운영 5개년 계획상 주요 과학기술 정책 내용 (그림 출처: 문재인 정부의 과학기술정책 핵심철학과 과제, KISTEP Paper, 2017.06)

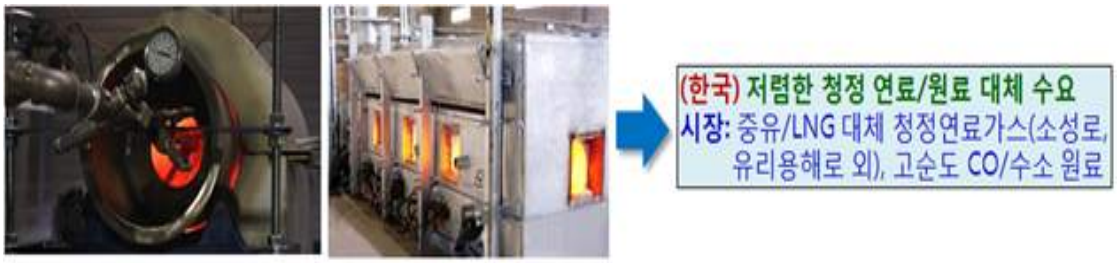
○ 본 과제에서 가장 중요한 부분이 복합 test-bed 구축을 통한 기술개발인데, 국내에서 수소 생산 플랜트를 준상용 규모로 실증할 위치는 매우 제한적

○ 현재 파악된 후보지 조건

- 일단 수소 생산 플랜트에서 사용되는 원료물질을 안정적으로 공급할 수 있어야 하며, 인근에 생산된 최종 물질/에너지원을 원활히 활용할 산업체 존재 필요하며, 그래야 실증 test-bed로서 기술개발 위주로 구축되지만, 자체 운전 및 유지보수 비용이 sustainable하게 회수될 수 있는 설비로서 구축이 가능한 조건 필요
- 본 연구개발 사업의 최종결과물 중 중요한 비중을 차지하는 test-bed는 연구개발 기간이 종료된 이후에 자체 생산품을 통한 sustainable한 운영이 중요한 지표

○ 본 기획에서 Target으로 고려하는 핵심 성과물

- 과제 시작 3년 후 세부분야 결과 및 spin-off 기술 상용화 실적 매년 1건 이상 도출
- (3년내) 중유/납사/LNG 대체 청정연료가스 시장



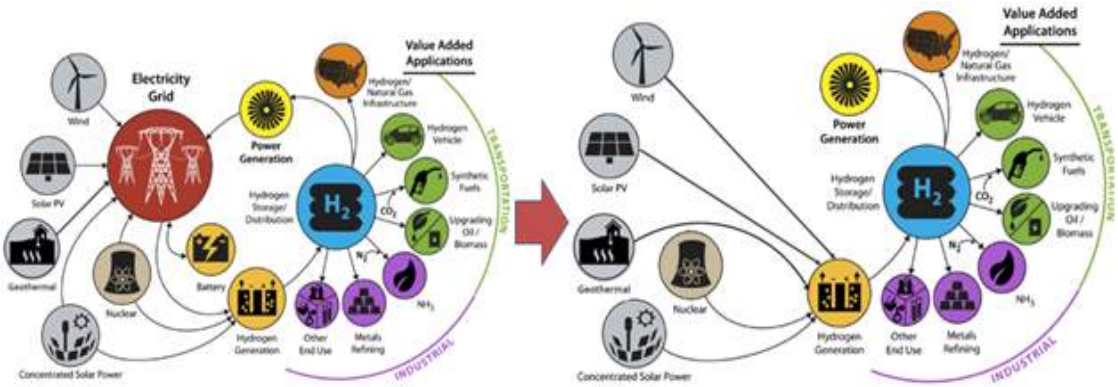
[그림 5-2-4] 국내 청정연료가스 시장 개념도

- (5년내) 합성가스 기반 분산전원 시장, 청정바이오가스 시장
- (7년내) 합성가스 기반 수소생산 시장 (수소연료전지 발전 및 수소연료전지 자동차 대응)
- (2단계 종료시점) P2G 연계된 수소사회 대응 플랜트 기반 확보

CHARACTERISTICS	GRID ELECTRIFICATION	OFF-GRID ELECTRIFICATION	
Systems	Centralized	Micro-grids and Mini-grids	Stand-alone systems
Scale	National, regional, and even international	Community	Household
Geographic radius	More than 50 square kilometers	1 to 49 square kilometers	< 1 square kilometer
Number of customers	Thousands to millions	Dozen to hundreds	Usually a dozen or less
Installed capacity	More than 10 MW	20 kW to 10 MW	< 20kW
Technologies involved	Large-scale and centralized	Medium-scale and small-scale	Very small-scale
Investment required	Billions of dollars	Millions of dollars to hundreds of thousands	Thousands of dollars

본 기획의 분산전원 Target 시장

[그림 5-2-5] 본 기획의 분산전원 Target 시장



[그림 5-2-6] 현재의 전기,수소 국토인프라와 “재생가능에너지 전기연계 수소인프라”

○ 현재 본 기획에 의해 추진될 Test-bed가 구축될 가능성이 있는 후보 장소는 아래 그림과 같이 도시 가능



[그림 5-2-7] 본 연구개발사업의 test-bed 후보

3. 사업 비전

○ 본 연구개발 과제의 비전

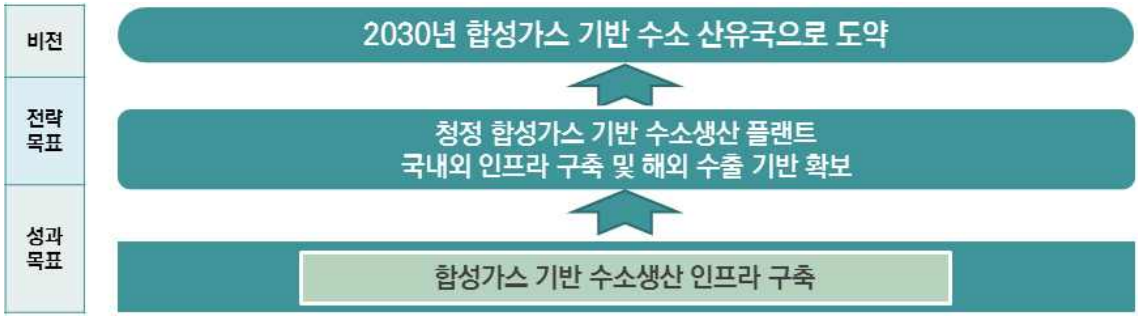
- **“고부가가치 청정 합성가스 플랜트 건설기술 해외 진출”**을 바탕으로 하여 “10년 내 구현될 기술 기반 합성가스 플랜트 및 수소 생산 플랜트 국내 실용화 및 해외 Emerging 시장 진출”
- 구체적으로는 ‘합성가스 플랜트와 수소 생산 플랜트 글로벌 시장에서 경쟁력 있는 중소형급 최고기술 개발과 실증을 통한 플랜트 수출 역량 강화’를 핵심으로 하며, 지하 가스자원(천연가스) 위주로 수입에 의존했던 기존 개념에서 잉여전기에서 가스자원 생산, 미활용 자원(폐기물, 바이오매스, 석탄, 펫코크, 유기성폐기물 등)과 CO_2 발생이 neutral한 바이오매스 사용한 합성가스, 수소 가스 등 기술기반의 가스 신산업 분야에 진출을 추진

○ 본 연구개발 과제 비전의 구체적 내용

- ‘합성가스 및 수소 생산 플랜트 글로벌 시장에서 경쟁력 있는 중소형급 최고기술 개발과 실증을 통한 플랜트 수출 역량 강화’가 핵심
- 지하 가스자원(천연가스) 위주로 수입에 의존했던 기존 개념에서 잉여전기에서 가스자원 생산, 미사용 자원(폐기물)과 CO_2 발생 중립인 바이오매스를 사용한 합성가스, 수소 가스 등 기술기반의 가스 신산업 분야에 진출을 추진

○ 본 연구개발 과제의 전략목표

- “합성가스 기반 수소생산 인프라 구축”을 성과목표로 하여 “고부가치 합성가스 플랜트 해외 수주 기반 마련을 위한 대중소 규모 수소 생산 인프라 구축 기술 개발”을 전략목표로 하는 것으로 요약



[그림 5-2-8] 본 연구개발 사업의 비전과 전략목표

4. 사업 목표

○ 본 연구개발 과제를 성공시키기 위한 목표
- 안전하고 깨끗한 수소 및 청정합성가스 형태의 에너지 자원을 기술 기반 신산업으로 다양화 확보
- 미래사회 사용 확대가 분명한 수소 및 청정합성가스 산업, 수소 활용 연료전지발전/연료전지자동차 산업에서 한국의 미래 성장동력 창출
- 미활용 저급자원을 활용하여 화석연료를 대체할 가스 신산업 한국형 플랜트 구현
- 국내 강점기술을 융합한 분산형 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 국내사업 연계 실증 및 플랜트 수출
- 해외 분산전원과 청정가스 플랜트 건설 틈새시장에서 30년 이상 경쟁력 확보
- 연료전지, 수소, 재생가능에너지 변환 청정가스 등 미래사회 가스 인프라 대응 핵심기술 확보와 실증

○ 상기 사항을 반영하여 세부 목표
- 10년 내 구현될 신재생에너지 전기 기반 사회와 수소 사회에 사용될 기술 기반의 가스플랜트에 대한 기술개발과 실용화 추진 및 해외 틈새시장에 수출 신산업으로 확대
- 실증급 분산형 가스 플랜트 복합 Test-bed 구축과 해외진출 기술 검증
- 과제 시작 3년 후 세부분야 결과 및 spin-off 기술 상용화 실적 매년 1건 이상 도출
- 공통 연계 핵심 설비/부품 및 요소기술 분야 기술개발 (ICT/IOT/빅데이터 기술, 가스 고도정제 기술, 개질/변환/분리 등)

* Spin-off 상용화 분야: 핵심 설비/부품의 관련 산업 사용가능토록 spec 설정

* 모듈화/표준화/ICT화 분야: 해외수출 유지보수 용이한 신뢰도 구축

○ 상기 세부목표를 달성하기 위한 성과목표
- 합성가스 기반 수소생산 인프라 구축
- 세부적으로는 대중소 규모 수소 생산, 저비용/고효율 수소 생산, 미세먼지 유발물질 저감 및 공정내 이산화탄소 활용률 90% 등으로 설정
- 이를 요약하여 아래 그림과 같이 정리하여 도시



[그림 5-2-9] 본 연구개발 사업의 성과목표

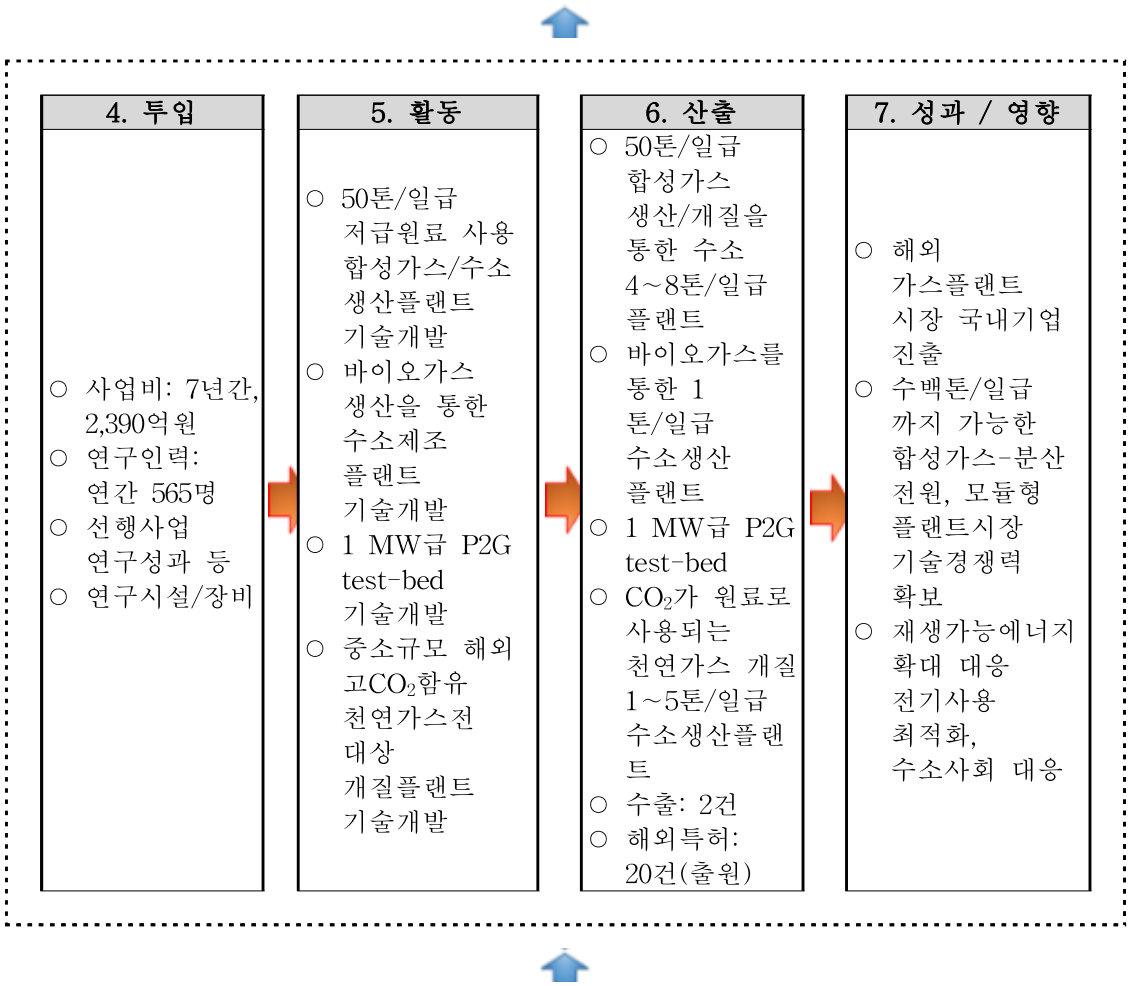
5. 논리모형

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 사업 논리모형

<표 5-2-1> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 사업에 대한 논리모형

1. 이슈 / 문제
○ 급속한 수소사회로의 변혁에 대응할 국내 플랜트기술, 부품/설비 기술이 일본, 중국, EU 등 대비 열세로 이를 극복할 방안이 시급 ○ 한국 플랜트 해외시장의 최근 급격한 위축 심화에 대응한 플랜트 해외수출 신시장/신산업 성장엔진 발굴이 절실 ○ 중소형 규모 가스플랜트 수요는 지속 증가 예상되지만, 핵심기술과 실증 이력이 없으면 국내기업의 고부가가치 분야 진출 어려움 ○ 자국 내 비활용 바이오매스/폐기물을 사용하여 가스, 전기 생산하는 개도국 중심 Emerging 플랜트시장에 조기 대응이 필요 ○ 재생가능에너지 비활용 전기로부터 수소, 천연가스로 변환 저장하고, 기존 가스 인프라에서 이용하는 P2G 추세에 대응 ○ 공기질 개선, 미세먼지 대응할 가스플랜트 기술개발의 중요성 부각 ○ 국내 TRL 5 수준의 다양한 pilot급 가스플랜트 기술결과물을 조합 연계하는 상용화 시급

2. 목표	3. 수혜자
○ 50톤/일급 합성가스플랜트 국내기술 확보, 장치 국산화율 >90%, 합성가스 플랜트 해외수출 1건 ○ 저급 미활용자원, 바이오가스, 고CO_2함유 천연가스를 사용한 1~8톤/일급 수소생산플랜트 기술 확보, 국내 보급 및 해외시장 진출 ○ 상용급 모듈기술 확보, 장치 국산화율 >95%, 플랜트 해외수출 1건 달성 ○ 1 MW급 P2G 플랜트 설계/건설기술 개발, 수소 전환률 >70%	○ 플랜트 중소 부품업체, 중공업사, 엔지니어링사, 건설사 ○ 공기질 개선 효과, 수소차/수소에너지 이용 일반 국민 ○ 저렴한 고순도 CO 사용 화학산업체 ○ 저렴한 청정합성가스 사용 열이용업체 ○ 수소산업 및 분산발전 사업자



8. 가정
○ 정부의 재생에너지 확대정책 지속으로 비활용 전기 저장에 대한 지속된 정책적 지원 ○ 한국도 일본, EU와 같이 수소사회와 전기-수소-천연가스 국토 인프라 사회로 점진적 진입 ○ 폐기물/바이오매스 안정적 원료공급 가능 ○ 저 NOx/SOx 또는 미세먼지 저감을 위한 고품질 고청정 기체 연료 요구 증대

6. 추진전략

6.1 전체사업 추진 방향

○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 사업의 추진 방향은 다음과 같이 요약 가능
- 실증단계까지 포함하는 국토부 성격 사업으로 맞도록 test-bed 자체가 준상용급으로 활용될 수준으로 추진
- 국내 사업화 기술수요가 있고 test-bed 부지 확보가 가능한 분야에 우선 집중
- 해외 플랜트 수출까지 포함한 설계기술 확보

○ 타 부처의 기술개발 업무영역과 구분
- (산업통산자원부/환경부) 기획대상 기술들의 파일롯 규모까지 기술개발 실적은 대부분 산업부와 환경부 실적으로서 기술자체만 보면 부처 중복으로 비쳐질 소지에 대한 대응이 필요
  * (타 부처) 파일롯 규모까지 기술지원, 현재 규모 키운 플랜트 지원 미존재
  * (국토부) 실증 Test-bed 규모로 해외수출 가능한 플랜트기술로 완성
- P2G 기술은 원천기술도 상당히 개발이 필요한 분야로 산업부와 과기부도 기획 중
  * (산업부) 재생에너지(풍력, 태양광) 생산 전기의 전기분해 장치 연계에 중점, P2G와 같은 장기저장 방식보다는 ESS 등 단기 전기저장 활용에 집중하는 자금 지원 중
  * (과기부) P2G 원천기술 개발에 지원
  * (국토부) 원천기술은 개발치 않으며, 국내 개발된 기술 존재하면 우선 적용을 추진: 국토부 사업은 플랜트 시스템으로 구현과 해외 진출시 유지보수 편의성, 안전성 등 플랜트 hardware와 운영/유지보수/최적화에 중점. Test-bed 규모에 연계하여 실증 가능한 규모로 추진

6.2 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

6.2.1 세부기술 주요내용

○ **(폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술)** 기존 국내 축적 R&D 실적에서 확보한 기술을 결집하여 상용화 규모 산소가스화 합성가스 생산플랜트 개발
- 처리용량 현행 8톤/일 → 50톤/일 수준으로 향상

○ **(펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술)** 기존 국내에서 석탄 및 펫코크를 이용하여 장기간 축적된 파일롯급 R&D 실적에서 확보한 기술을 결집하고 연계하여 국내에서 원료 수급이 가능한 펫코크를 대상으로 상용화 규모 합성가스 생산 플랜트 기술개발
- 처리용량 현 국내 기술 2~20톤/일 → 50톤/일 수준으로 향상

○ **(원료 균질화를 위한 전처리 기술)** 중장기적으로 바이오매스를 분류층 가스화 기술에 적용하기 위해서 전처리를 위한 반탄화 기술
- 국내 파일롯급 기술 → 50톤/일 수준으로 향상

6.2.2 추진전략

□ 시장 동향 및 해외 메이저사들의 기술개발 전략 분석을 통한 추진전략 수립
○ 바이오매스(가연성)는 수송거리를 고려하여 발생지 근처에서 이용
○ 열, 전기를 병행하여 생산하는 것이 효율 극대화
○ 안정적인 원료확보 및 운영 노하우 확보가 중요

□ 해외시장 진출을 위한 test-bed 설비규모 선정
○ 국내에서 기존에 개발된 수톤/일급 가스화 기술을 바탕으로 실증단계까지 포함하는 test-bed 자체가 준상용급으로 활용될 수준인 50톤/일급 설비를 구축
○ 국내 가용한 원료를 사용하여 전체 공정을 실증하는 전략으로서 해외 수출을 위한 검증용으로 개발 추진하여 해외 플랜트 수출까지 포함한 설계기술 확보
- 폐기물/바이오매스 분야 사업 기간/예산: 5년/551억 원(정부 408억원, 민간 143억원)
- 펫코크 분야 사업기간/예산: 5년/578억원(정부 428억원, 민간 150억원)
- 전처리 분야 사업 기간/예산: 5년/149억원(정부 110억원, 민간 39억원)
○ 합성가스와 관련된 미래 플랜트 건설규모를 예상할 때 세계시장의 10%는 한국이 확보한다는 전략으로 해외시장용으로 특화된 규모와 적용처를 target으로 시장 진출 목표
- 저급자원별 특화된 시장을 규정하고 이에 상응하는 1차 국내 시장을 test-bed로 실증하고 이를 기반으로 다양한 지역의 해외시장용 버전으로 대응
○ 지금까지 국내 기술개발 규모로 볼 때 단기간 내 하루 수천 톤의 대형 합성가스 플랜트 기술로 해외선진사와 경쟁이 불가능하므로 5~20 MW 규모의 분산전원으로 사업추진 방향을 설정

□ 모듈화 및 IT 기술 연계를 통한 경쟁력 확보
○ 중국의 저가시장 진출에 대비한 방안으로 전체 비용과 유지보수 비용을 저감시킬 수 있는 중·소규모 설비 모듈화 및 ICT와 빅데이터 기반 공정 모니터링 및 유지보수 기술 연계
○ 합성가스를 사용하는 가스엔진과 가스터빈 등 전기변환 설비에 기술을 보유한 국내업계와 협력하여 국산화 및 저가화 실현

□ 저급자원 대상 고효율/친환경 가스화 기술 신뢰성 확보
○ 저급자원에 맞으면서 중소규모로 신뢰도 있는 기술 확보
○ 합성가스 생산 시 가장 현안은 tar 제거로 tar 발생을 최소화 할 수 있는 기술 개발을

통한 기술의 연속운전 신뢰성 확보

○ 국내에 존재하는 합성가스 사용 시장을 대상으로 실증 test-bed 구현과 장기간 운전자료 확보를 기반으로 고신뢰도 기술 확보

□ Emerging 시장 조기선점 필요

- 선진국 기술사와 차별화된 시장 구체화와 집중화된 합성가스 사업모델 개발이 필요
- 한국 내, 동남아, 인도, 파카스탄 등 이미 합성가스 플랜트 기술에 관심을 표명한 시장 모델에 1차로 집중하고 실증까지 조기 실행을 추진

□ 선진국 시장 진출 추진

○ 선진국 시장은 폐기물, 바이오매스를 원료로 하는 플랜트에서 고부가가치 청정원료가스(고순도 CO, 고순도 수소) 생산을 통한 기존 천연가스나 중유 원료에서 CO, 수소를 생산하는 공정을 대체하는 화학공업 플랜트를 주 타겟 시장으로 추진

- (예) 화학공장 나프타 사용하여 생산되고 있는 고순도 CO를 폐기물 합성가스에서 대체 생산하는 고순도 가스 시장

○ 상기와 같은 추진전략과 개발목표 등을 고려하여 설정한 기술 전략 및 핵심기술 확보 방안 등을 아래 표에 요약

<표 5-2-2> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 전략 수립 결과

주요 기술	현재 보유기술	미보유 기술	우선획득 필요기술	극복 방안
폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	• 파일럿 규모(5 ~ 20톤/일) 가스화로 설계 및 운전제어 기술	• 상용 규모(50톤/일) 모듈형 가스화로 설계 기술 • 상용 규모(50톤/일) 가스화 최적 운전제어 기술 • 가스화 잔재물 고부가가치 재활용 기술	• 1순위 : 상용 규모(50톤/일) 모듈형 가스화로 설계 기술 • 2순위 : 상용 규모(50톤/일) 모듈형 가스화로 최적 운전제어 기술 • 3순위 : 가스화 잔재물 고부가가치 재활용 기술	• 기존 파일럿 규모 결과를 활용한 50톤/일급 Test-bed 설계·구축·운전을 통한 상용 규모 가스화로 Scale-up 기술 확보
펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	• 파일럿 규모(2 ~10톤/일) 가스화기 설계 및 운전제어 기술 • 펫코크 가스화 버너 설계 기술	• 상용 규모 (50톤/일급) 가스화기 설계 기술 • 상용 규모(50톤/일) 가스화 최적 운전제어 기술	• 1순위 : 상용 규모 (50톤/일급) 가스화기 scale-up 설계 기술 • 2순위 : 상용 규모(50톤/일) 가스화 최적 운전제어 기술	• 자체 개발 가능으로 판단 (기존 국내 외국기술 도입 운영 경험 등 활용)
원료 균질화를 위한 전처리 기술	• 파일럿 규모(5 ~ 20톤/일) 반탄화로 설계 및 운전제어 기술	• 상용 규모(100톤/일) 반탄화로 설계 기술 • 상용 규모(100톤/일) 반탄화 최적 운전제어 기술	• 1순위 : 상용 규모(100톤/일) 반탄화로 설계 기술 • 2순위 : 상용 규모(100톤/일) 반탄화로 최적 운전제어 기술	• 기존 파일럿 규모 결과를 활용한 100톤/일급 Test-bed 설계·구축·운전을 통한 상용 규모 반탄화로 Scale-up 기술 확보

<표 5-2-3> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술의 핵심기술 확보 방안

주요 기술	개발목표	투입자원		개발기간	기술 확보 방안
		인원(명)	비용(백만원)		
폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	· 50톤/일급 폐기물/바이오매스(가연성) 사용 순산소 합성가스 생산을 위한 가스화로 모듈화 설계 및 최적 운전제어 기술의 확보	60	55,080	2020~2024	내부 개발
펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	· 50톤/일급 펫코크 사용 순산소 분류층 가스화기 및 가스화 버너 설계 기술 확보 및 최적 운전제어 기술의 확보	60	57,807	2020~2024	내부 개발
원료 균질화를 위한 전처리 기술	· 50톤/일급 폐기물/바이오매스(가연성) 순산소 가스화 기술에 적용할 수 있는 원료 전처리 기술(반탄화, 수열탄화, 기계적 처리 등)	30	14,850	2020~2024	내부 개발

<표 5-2-4> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술의 핵심특허 극복 방안

주요 기술	핵심 연구 활동	핵심특허 국내 보유 여부	핵심특허 (또는 핵심기술) 보유국가/기관	핵심특허 내용 (또는 주요 발표 내용)	극복 방안
폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 가스 기술	50톤/일급 중·소규모 모듈형 가스화로 설계 및 구축	O	스위스 /Thermoselect	• 압축, 열분해, 가스화 용융 및 가스 정제 4단계로 구성되며, 100톤/일급 이상의 대형 설비 적용	• 폐기물과 바이오매스를 혼합 처리할 수 있는 50톤/일급 중소규모 모듈형 가스화기 특허 확보
	안정적인 합성가스 생산을 위한 최적 운전제어 기술 개발	O			
	가스화 잔재물 고부가가치 재활용 기술 개발	△	일본/Nippon steel	• 용융 슬래그에서 금속 및 화학제품의 원료 등을 회수하고 있으며, 회수한 물질을 건축용 벽돌, 포장재, 복토재로 재활용	• 용융 슬래그에 기능성(색상, 전자파 차단) 부여한 기술 특허 확보
펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 가스 기술	50톤/일급 펫코크 슬러리 가스화 시스템 설계/구축 및 슬러리 버너 설계 기술 개발	O	미국/GE Energy	• 매우 고압으로 작은 크기의 분사 영역을 통하여 슬러리를 미립화하여 산화제와 슬러리의 혼합을 최적화하는 기술을 수천톤/일급에 적용	• 국내의 파일롯급 석탄 슬러리 및 펫코크 기술개발 과정에서 확보한 기술의 scale-up 설계 및 운전을 통한 최적화 방안 도출
	대용량 펫코크 슬러리 제조를 위한 시스템 기술 개발	△			
원료 균질화를 위한 전처리 기술	100톤/일급 반탄화로 설계 및 구축	O	네덜란드/ECN	• 반탄화와 펠릿 공정을 결합하여 생산한 반탄화 펠릿(TOP pellets)	• 반탄화 열원공급방식을 국산화하여 100톤/일 상용화 기술 확보
	안정적인 연료생산을 위한 최적 운전제어 기술 개발	O			

<표 5-2-5> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술의 해외 경쟁기술과의 차별화 방안

주요 기술	대표기관		비교 분석	기술장벽 극복 및 차별화 방안
	국내	국외		
폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 가스 기술	포스코건설, 코오롱글로벌, 대우건설, 한라산업개발, 한솔이엠이, ATS, 삼호환경기술, 삼양에코너지, 고등기술연구원, 한국에너지기술연구원, 한국생산기술연구원	Lurgi, Shell, Gussing, Novel, PRME, Enerkem	• 국내의 경우 2000년 이후부터 본격적인 연구가 시작되어 주로 파일럿 플랜트급 위주로 연구가 진행되었고, 상용화 설비는 국내 설치 사례는 소형 설비로 소수에 불과한 실정 • 해외의 경우 폐기물 가스화 기술은 독일, 오스트리아, 스웨덴과 같은 유럽국가들의 기술력이 선도적 위치 • 특히 독일은 330톤/일급 가스화기를 상용화하여 100,000Nm³/h의 합성가스 공급할 수 있는 능력 확보 • 핀란드는 50 MW급 산업폐기물 가스화 플랜트를 1998년부터 운전 중	• 폐기물/바이오매스 혼합 처리 가능한 중소규모 모듈형 가스화 기술 확보 • 합성가스 품질 균질화를 위한 자동 산화제 공급 및 제어기술 확보 • 가스화 잔재물 기능성 부여 친환경 재활용 기술 확보 • 순산소 고온 가스화 기술로 tar-free 기술 개발로 차별화 확보
펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 가스 기술		GE Energy, CB&I, ECUST, Shell, Uhde, Siemens	• 국내의 경우 1990년대 초반부터 주로 석탄을 이용하여 습식(슬러리) 및 건식 가스화 기술개발을 주도하여 왔으나 펫코크 적용 경험은 상대적으로 적으며, 그나마 최대 10톤/일급(습식) ~ 20톤/일급(건식)의 파일롯급 연구에 머무르고 있음. • 펫코크의 경우 습식 기술이 적절하며, 인도의 세계 최대규모 펫코크 활용 프로젝트인 Jamnagar 프로젝트에 습식 기술 적용 • 산업부생가스로부터 CO를 분리하는 기술은 이미 여러나라에서 상용화되어 있으나 폐기물 가스화를 통한 합성가스에 대한 상용화 기술 사례는 거의 없는 실정	• 펫코크의 경우 습식 기술이 적절한 것으로 알려져 있으며, 적어도 파일롯급에서는 상당히 우수한 실적을 보유 • 본 사업의 실증 플랜트의 경우 국내 기술의 scale-up 정도가 3~5배 정도에 불과하여, 실증플랜트 건설을 통하여 최적 운전조건 및 최적 운영기술 확보가 가능 • 국내 고유 슬러리 제조기술 및 슬러리 분무 버너 기술을 포함하여 반응기의 컴팩트화/모듈화로 가격 경쟁력 확보
원료 균질화를 위한 전처리 기술	CES, 경동, 삼양에코너지, 고등기술연구원, 한국에너지기술연구원, 한국생산기술연구원	ECN, BTG, Topell Energy, Andritz/ECN, Biolake , Buhler, Agri-tech Producers	• 국내의 경우 유럽연합이나 북미지역 국가들에 비해 상용화 진입 단계에 뒤쳐져 있는 실정으로 2010년부터 고품질의 탄화펠릿 연료 생산 공정 기술 개발을 시작 • 유럽연합과 북미 지역을 중심으로 기술개발이 이루어져 왔으며, 네덜란드의 ECN은 반탄화 기초, 파일럿, 상용화 기술개발 완료	• 열전달효율이 높은 로터리킬른 가열방식 기술 확보 • 모듈화 및 지능형 제어기술 확보를 통한 경제성 향상 • 반탄화 열원공급방식을 국산화하여 100톤/일 상용화 기술 확보

6.3 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술

6.3.1 세부기술 주요내용

○ **(바이오매스(유기성)기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술)** 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 향상성을 위한 50톤/일급 이상 중소규모 설계 및 운전인자 개발

- 처리용량 현행 50톤/일을 유지 하되 100톤/일급 처리를 위한 설계 인자 도출 필요

○ **(바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오수소 직접 생산 실증기술)** 국내·외 축적 R&D 실적에서 확보한 바이오수소 생산균 개발 및 농축 기술 결집을 통한 안정적 상용화 규모 바이오수소 생산플랜트 개발

- 처리용량 현행 50톤/일 유지 (파일롯 플랜트 규모 설계 및 운전 인자 확보)

○ **(혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술)** 기존 국내 축적 R&D 실적에서 확보한 기술을 결집하여 상용화 규모 바이오메탄/수소 동시 생산플랜트 개발

- 처리용량 현행 50톤/일 유지

6.3.2 추진전략

○ 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄/수소 개발 연구 추진 기본 방향은 기술 자립화, 에너지화, 안정성&경제성, 사업화임

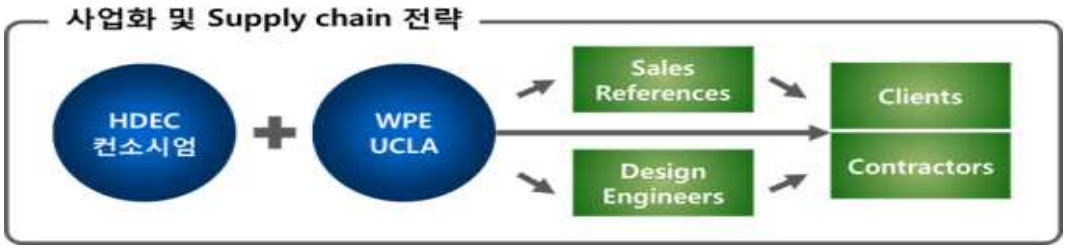


○ 사전테스트 및 공정모사(Process Simulation)을 통한 상용 플랜트 설계 최적화

○ 선행기술개발경과를 바탕으로 핵심기술의 국산화를 추진하고, 각 공정 별 기술의 고효율화, 최적화, 팩키지화를 통한 기술의 완성도 및 안정성을 확보한 EPCM 구축

○ 바이오매스(유기성)으로부터 생산된 바이오메탄/수소의 수요처이자 신재생에너지 의무혼합제도 도입 시 의무 기관의 공동 기술개발을 진행하여 기술의 상용화 및 사업화를 적극 추진

○ 바이오매스(유기성) 바이오가스 에너지화 시설 수요처인 지자체와 협약을 통해 실증시설을 구축, 운영 후 추후 연계 사업화



○ 상기와 같은 추진전략과 개발목표를 고려하여 설정한 기술 전략 및 핵심기술 확보방안을 아래 표에 요약

<표 5-2-6> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술 전략 수립 결과

중분류 기술명	현재 보유기술	미보유 기술	우선획득 필요기술	극복 방안
바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	• 바이오메탄의 경우 상용/실용화 규모(50~300톤/일) 바이오가스화 설계 및 운전제어 기술	• 바이오메탄 개질 수소 기술 상용화 운전제어 및 노하우 확보	• 1순위 : 상용 규모 바이오메탄 운전 제어 노하우 확보 및 검증 • 2순위 : 상용 규모 바이오메탄 개질 수소 생산 설비 설계 및 운전제어 기술	• 국외 기술도입을 통한 운전 및 설계 경험 활용
바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술	• 바이오수소는 원천 기술 개발 중	• 파일롯 규모(1~5톤/일) 바이오수소 설계 및 운전제어 기술	• 1순위 : 바이오수소 원천 기술확보 • 2순위 : 파일롯 규모(1~5톤/일) 바이오수소 설계 및 운전제어 기술	• 국외 원천 기술 도입을 통한 국내 원천 기술 확보 후 파일롯 규모 운전 실증 확보
바이오가스플랜트 부생 암모니아 수소 생산 기술	• 바이오가스플랜트 부생 암모니아 수소 발생 기술은 원천 기술 개발 중	• 파일롯 규모(1~5톤/일) 암모니아 수소 발생 설비 설계 및 운전제어 기술	• 1순위 : 바이오가스 플랜트로 부터 발생되는 암모니아로부터 수소 생산 원천 기술 확보 • 2순위 : 파일롯 규모(1~5톤/일) 아모니아 수소 발생 설비 설계 및 운전제어 기술	• 국외 원천 기술 도입을 통한 국내 원천 기술 확보 후 파일롯 규모 운전 실증 확보

<표 5-2-7> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술의 핵심 기술 확보 방안

기술명	개발목표	투입자원		개발기간	기술 확보 방안
		인원(명)	비용(백만원)		
바이오매스(유기성)기반 바이오메탄 개질수소생산 증진 기술	· 50톤/일급 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소생산을 위한 설계 및 최적 운전제어 기술 확보	15	12,015	2021~2026	내부 개발
바이오매스(유기성)기반 안정적 바이오수소 직접 생산실증 기술	· 50톤/일급 바이오매스(유기성) 기반 바이오수소 생산을 위한 설계 및 최적 운전제어 기술 확보	15	10,125	2021~2026	내부 개발
바이오가스플랜트 부생 암모니아 수소 생산 기술	· 50톤/일급 바이오매스(유기성) 기반 암모니아 수소 발생 기술 확보	15	10,125	2021~2026	내부 개발

<표 5-2-8> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술의 핵심 특허 극복 방안

세부 기술	핵심 연구 활동	핵심특허 국내 보유 여부	핵심특허 (또는 핵심기술) 보유국가/기관	핵심특허 내용 (또는 주요 발표 내용)	극복 방안
바이오매스(유기성)기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술 개발	상용화 규모(50톤/일 이상) 전처리 설비 설계 기술	O	노르웨이/Cambi	• 바이오매스(유기성) 바이오메탄 생산 효율 증가를 위한 열화학적 전처리 기술 보유 • 100톤/일급 이상 전처리 설비 다수 보유	• 바이오매스(유기성)의 바이오가스 증대를 위한 50톤/일급 이상 중소규모 전처리 기술 특허 확보
	상용화 규모(50톤/일 이상) 전처리설비 운전 제어 기술	O			
	전처리 후 잔재물 고부가가치 재활용 기술	O	일본/Nippon steel	• 바이오매스(유기성) 전처리 후 잔류 고형물로 부터 금속 및 화학제품의 원료 등을 회수하고 있으며, 회수한 물질을 건축용 벽돌, 포장재, 복토재로 재활용	• 용융 슬래그에 기능성(색상, 전자파 차단) 부여한 기술 특허 확보
	상용 규모 바이오메탄 운전제어 노하우 확보 및 검증	O	독일/Strabag	• 바이오가스 고질화에 대한 세계 최고 수준이며, 100톤/일급 이상 대규모 바이오가스 플랜트 15년 이상의 운전 노하우를 확보하고 있음	• 국내의 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄/수소 생산 파일롯 및 실증 규모 플랜트로 부터 상용화 급 (50톤/일급 이상)의 운전제어 특허 기술 확보
바이오매스(유기성)기반 안정적 바이오수소 직접 생산 실증 기술	안정적인 수소 생산균 유지관리 기술	△	중국/Harbin Institute of technology	• 바이오수소 생산 균주 농후 배양 및 특정 균주 개발 기술 보유	• 바이오수소 생산 균주 농후 배양 및 균주 기술 특허 확보를 통한 기술 개발
	상용규모 바이오수소 설계 및 운전제어 기술	△	독일/PENTAIR	• 사용규모 바이오메탄 및 수소 생산 기술 설계 및 운전제어 기술 보유	• 상용규모 바이오메탄 및 수소 생산 설계 및 운전제어 기술 확보를 통한 기술 개발
바이오가스플랜트 부생 암모니아 수소 생산 기술	파일롯 규모(1~5톤/일) 암모니아 수소 발생 설비 설계 및 운전제어 기술	△	일본/오히타 대학	• 기타 이물질이 포함되지 않은 암모니아 가스로 부터의 수소 발생 연구는 원천기술을 확보하였지만, 바이오가스 플랜트로 부터의 암모니아 수소 발생 기술은 원천기술 개발 수준임	• 국내/외 암모니아 수소 발생 연구 특허 및 원천 기술 확보

<표 5-2-9> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술의 해외 경쟁 기술과의 차별화 방안

세부기술명	대표기관		비교 분석	기술장벽 극복 및 차별화 방안
	국내	국외		
1.1. 바이오매스(유기성)기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술 개발	포스코건설(주), 대우건설(주), 코오롱건설(주), 삼성물산(주), GS건설(주), 동부건설(주), 한라산업개발(주), 효성에바라환경(주), 두산중공업(주), 삼성비피화학(주), 서희건설(주), 한솔EME(주), 고등기술연구원, 현대건설, BK	• Strabag Umweltanlagen, GmbH, Valorga International, Schmack Biogas Ag, Malchin, Munchen Walpole, Veolia	• 전처리 설비의 경우 국내는 2000년 이후부터 본격적인 연구가 시작되어 주로 파일럿 플랜트급 위주로 연구가 진행되었고, 상용화 설비는 고등기술연구원이 수도권매립지관리공사 내 설치한 50톤/일급 사례가 유일 • 국외 전처리 기술의 경우 음식물류 폐기물 및 하수슬러지의 가용화에 조점 • 해외의 경우 바이오가스화 기술은 독일, 스웨덴, 덴마크와 같은 유럽국가들의 기술력이 선도적 위치에 있으며, 독일은 2016년 기준 9,000개 이상의 바이오가스 플랜트가 설치되었으며, 생산 전력량은 4,100MW로 독일의 약 8백만 가구에 공급할 수 있는 능력 확보 • 유럽의 경우 소규모 분산형 바이오가스 시설 건설이 증가하는 중 • 매립 부지 확보에 어려움을 겪고 있는 EU와 일본 등에서는 도시 배출 유기성 폐기물과 각종 슬러지 등을 메탄 생산 반응기에서 소화하여 메탄을 생산하여 열 에너지원 또는 발전 연료로 사용하는 기술을 개발하여 보급	• 바이오매스(유기성)의 바이오가스 증대를 위한 50톤/일급 이상 중소규모 전처리 기술 특허 확보 • 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄/수소 원료 균질화를 위한 자동 제어기술 확보 • 가스화 잔재물 기능성 부여 친환경 재활용 기술 확보 • 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄/수소 동시 생산 기술 확보 • 국내 지역 특성 고려한 분산형 바이오가스 시설 증설 필요 • 국내 강점 기술이자 공통핵심기술로 개발되는 ICT/IoT 분야 결합으로 운전 편의성 극대화
1.2. 바이오매스(유기성)기반 안정적 바이오수소 직접 생산 실증 기술	한국생산기술연구원, 대구대학교, 고등기술연구원, 현대건설, BK	• Harbin Institute of technology, PENTAIR	• 국외 바이오수소 기술 개발은 pilot scale (1~5톤/일) 규모로 연구가 진행되었으며, 사용급 규모 플랜트 건설을 위한 연구가 진행 중	• 국내/외 바이오수소 균주 및 농후 배양 기술 특허 및 원천 기술 확보 • 파일롯 플랜트 규모 연속운전을 통한 상용화 플랜트 scale up 설계 인자 및 운전인자 도출 • 직접 수소 생산량 증대로 개질기의 반응부하 감소로 기술 특화
1.3 바이오가스플랜트 부생 암모니아 수소 생산 기술	광주과학기술원, 한국과학기술연구원	• 오히타 대학, 니폰쇼쿠바이, 뉴욕 주립대	• 국내/외 고농도 암모니아로 부터의 수소 생산 기술은 원천기술을 통한 실증 개발 단계에 있으나, 바이오가스 플랜트로부터 생산되는 고농도 암모니아로부터의 수소 생산 기술은 원천 기술 단계에 위치	• 국내/외 암모니아 수소 발생 연구 특허 및 원천 기술 확보 • 바이오가스플랜트로부터 발생되는 고농도 암모니아 수소 가스 발생

6.4 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

6.4.1 세부기술 주요내용

○ **(잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발)** 풍력, 태양광 등 재생에너지와 연계한 P2G 플랜트 개발로 수소 생산기술 개발
- 에너지 자립이 필요한 지역 대상 P2G 플랜트 실증 타당성 조사
  * 도시가스 미공급 지역 대상 재생에너지 발전 및 P2G 실증 후보군 도출
  * 지역 사회 재생에너지 가능 용량 산정 및 지역 전력/가스 수요 조사
  * 현재의 발전 단가를 토대로 P2G 이용에 따른 효과 경제성 분석
- 재생에너지 기반 분산전원 지역 모델 도출
  * 지역 사회 수요에 따른 재생에너지 연계 P2G 플랜트 용량 선정 및 개념 설계
  * 재생에너지를 이용한 전력, 수소 및 메탄가스 분배 및 수요처 확립
- 산소 활용을 위한 P2G 플랜트 모델 도출
  * 산소 수요처와 연계한 P2G 플랜트 모델 도출
  * 순산소 폐기물 가스화 플랜트 복합 모델 도출
- 수전해 효율 향상 기술 개발
  * 효율향상을 위한 전극 및 스택 기술개발
  * 알칼라인/PEM 수전해 요소 부품기술 개발
  * 알칼라인/PEM 수전해 스케일업 기술 개발

○ **(P2G 플랜트 설계 및 건설·운영 기술 개발)** 1 MW급 P2G 플랜트 설계 기술과 건설 기술을 개발하고 산소 활용을 위한 주변 인프라 연계를 포함한 최적 운영기술 개발로 실증플랜트를 운영
- 잉여전기를 이용한 P2G 플랜트 건설
  * 잉여 전기 계통 연계 기술 개발
  * 산소 활용 플랜트 연계 P2G 플랜트 건설 기술 개발
- P2G 플랜트 운영 기술 개발
  * 부하 변동에 따른 최적 운전 기술 개발
  * 잉여 전기 용량의 예측을 통한 스마트 IoT 운영 시스템 개발
  * 가스망 안전성 평가 기술 개발

6.4.2 추진전략

○ 도서산간 지역과 같은 독립된 생활 지역을 대상으로 재생에너지와 P2G를 이용한 에너지 자급이 가능한 분산형 독립전원 시스템 실증으로 P2G 성공모델 기반으로 해외시장 진출

○ 상기와 같은 추진전략과 개발목표를 고려하여 설정한 기술 전략 및 핵심기술 확보방안

을 아래 표에 요약

<표 5-2-10> 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 전략 수립 결과

중분류 기술명	현재 보유기술	미보유 기술	우선획득 필요기술	극복 방안
재생 에너지원 활용 수소 생산 기술 개발	• PEM 수전해 설비 패키지 기술 • 고압 스택 제작 기술	• 고분자 전해질막 제작 기술 • 가변 전원에 따른 내구성 보존 기술 • 80% 이상의 에너지 효율 향상 기술	• 1순위 : 고분자 전해질막 제작 기술 • 2순위 : 가변 전원에 따른 내구성 보존 기술 • 3순위 : 80% 이상의 에너지 효율 향상 기술	• 고분자 전해질막 요소기술을 개발하여 가변 전원에 따른 내구성 실증을 통해 기술력 확보
P2G 플랜트 산소 활용 기술	• P2G 플랜트에서의 산소 발생 기술	• 순산소 가스화기 연계 기술 • 순산소 가스화기 산화제 이용 가능 기술	• 1순위 : 순산소 가스화기 산화제 이용 가능 기술 • 2순위 : 순산소 가스화기 연계 기술	• 순산소 가스화기의 산화제로서 활용을 실증을 통해 검증 • 본과제 펫코크/폐기물 가스화기의 산화제로 사용 가능
P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	• 화학/정유 플랜트 공정 설계 기술	• P2G 플랜트 공정 설계 기술 • P2G 플랜트 공정 최적화 기술	• 1순위 : P2G 플랜트 공정 설계 기술 • 2순위 : P2G 플랜트 공정 최적화 기술	• 국내 화학/정유 플랜트 공정 설계 기술력을 바탕으로 P2G 플랜트 공정 설계 • 독일의 성공사례 벤치마킹하여 공정 최적화 기술 확보
P2G 플랜트 건설 및 운영 기술 개발	• 화학/정유 플랜트 건설 및 운영기술	• P2G 플랜트 건설 및 운영 기술 • IoT/빅데이터 기반 스마트 운영기술	• 1순위 : P2G 플랜트 건설 및 운영기술 • 2순위 : IoT/빅데이터 기반 스마트 운영기술	• 국내 기 개발한 IoT/빅데이터 분석 기술을 P2G에 접목하여 P2G 플랜트의 스마트 운영기술 확보
수소 안전/제도	• 수소 제조 및 저장 안전 제도	• P2G 플랜트 설계 및 건설 단계 안전성 평가 기술	• 1순위 : P2G 플랜트 설계 단계 안전성 평가 • 2순위 : P2G 플랜트 건설 단계 안전성 평가 • 3순위 : P2G를 이용한 수소 생산의 저장 단계 안전성 평가	• 가스안전공사의 기존 수소 관련 법규를 참조하여 P2G 설계/건설/수소저장에 대한 안전성 평가

<표 5-2-11> 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술의 핵심기술 확보 방안

기술명	개발목표	투입자원		개발기간	기술 확보 방안
		인원(명)	비용(백만원)		
재생 에너지원 활용 수소 생산 기술 개발	· 재생에너지 활용 가능한 500kW급 모듈형 수전해 기술 확보 · 고효율 PEM 수전에 요소 기술 획보	30	3,000	2022~2026	내부 개발
P2G 플랜트 산소 활용 기술	· P2G 플랜트의 부산물인 산소를 활용할 수 있는 기술 확보	20	2,000	2022~2026	내부 개발
P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	· 고효율 P2G 플랜트 설계 기술 확보	30	5,000	2022~2026	내부 개발
P2G 플랜트 건설 및 운영기술 개발	· P2G 플랜트 건설 기술 및 IoT/빅데이터를 이용한 스마트 운영기술 확보	30	3,000	2022~2026	내부 개발
수소 안전/제도	· 수소 설계/시공/저장 단계 안정성 확보	10	1,000	2022~2026	내부 개발

<표 5-2-12> 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술의 핵심특허 극복 방안

세부 기술	핵심 연구 활동	핵심특허 국내 보유 여부	핵심특허 (또는 핵심기술) 보유국가/기관	핵심특허 내용 (또는 주요 발표 내용)	극복 방안
재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	1MW급 수전해 시스템 기술	X	미국/New SKY Energy, INC.	• 알칼리 전해질을 이용하여 수소를 생산하는 방법으로 재생에너지원과 물과의 반응을 이용. 즉, 수소 생산 과정에서 CO2를 발생시키지 않는 수소 생산 기술	• 수전해 설비를 이용한 수소생산 방법은 같으나 1MW급 설비에서 수소생산 및 메탄 생산 기술에 최적화된 시스템을 개발하여 특허 회피
	1MW급 단일모듈 수전해 최적화 기술	X	사우디/SABIC	• 풍력에너지를 이용한 수소 생산 모듈, 스토리지 모듈, 화학원료 생산 모듈로 구성. 재생에너지로부터 수소와 화학원료를 생산하는 시스템	• 수전해 설비, 메탄화 설비 등의 다양한 모듈화로 특허 회피 가능
	잉여전기 계통 연계 기술	X	일본/ HITACHI ENG CO LTD	• 태양전지와 수소 제조 장치 사이에 축전지를 이용해 수소 제조 장치의 수요에 따라 전력을 공급할 수 있게 하는 장치 제안	• 재생에너지와 직접연계 방식이 아닌 전력 변환 시스템을 통한 계통연계 방식으로 실증
P2G 플랜트 산소 활용 기술	수전해 설비 산소 발생 및 저장 시스템	X	-	• 수전해를 하는 주된 목적은 수소 생산으로 산소 발생 및 저장에 대한 특별한 기술은 없음	• 순산소 가스화 연계를 위한 산소 발생 및 저장에 특화된 시스템 구축
	가스화 플랜트 연계 기술	X	-	• 해외에서 수전해 설비를 통해서 생성된 산소에 대한 활용은 근처 수요처에 판매하는 몇몇 프로젝트만 보고	• 본 과제에서 1세부 핵심기술인 순산소 가스화와 연계하여 순산소 공급을 통한 부가가치 창출 가능하며 이를 통한 하나의 BM 도출
P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	P2G 공정 설계 기술	O	사우디/SABIC	• 재생에너지로부터 발생된 에너지를 수전해를 통해 수소를 생산하고 포집된 CO2를 이용해 메탄을 생산하여 CO2를 저감하는 시스템	• P2G의 기본적인 설계 공정으로 합성가스 생산 시스템과 연계 공적으로 극복 가능
	P2G 공정 최적화 기술	X	-	-	• 일반 화학 공정 최적화 방안으로 극복
P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술	P2G 실증 플랜트 건설 기술	△	-	-	• 국내 건설 기술 충분
	P2G 플랜트 운영 기술	△	이탈리아/GIACOMINI	• 수전해를 통한 수소발생장치 및 열회수 시스템의 제어 시스템 기술	• 가변 전력에서의 최적 운영을 통한 P2G 플랜트 운영기술과 IoT/빅데이터를 이용한 고도화된 운영 시스템으로 극복 가능
수소 안전/제도	안전성 평가	-	-	-	• 해당사항 없음

<표 5-2-13> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술의 해외 경쟁 기술과의 차별화 방안

세부기술명	대표기관		비교 분석	기술장벽 극복 및 차별화 방안
	국내	국외		
재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	엘켐텍, 이엠코리아, 한국에너지기술연구원	Hydrogenics(CA), SIEMENS(DE),), ITM Power(GB), Proton Energy Systems(US)	• 국내 500kW급 수전해 모듈 개발하였으나 PEM의 핵심기술인 고체전해질막은 해외기술에 의존하고 있으며 P2G 실증 기술은 미보유 • 국외 대표기업은 실증기술 및 상용화 기술 보유 * P2G 기술은 독일이 주도(17개의 파일롯 및 실증 프로젝트 수행) * 덴마크와 네덜란드가 후발주자로 활발히 진행 • 덴마크에서는 생물학적 메탄화 기술 보유 (1MW급 실증 플랜트 운전 중)	• 고분자 전해질막 요소기술을 개발하여 가변 전원에 따른 내구성 실증을 통해 기술력 확보
P2G 플랜트 산소 활용 기술	엘켐텍, 이엠코리아, 한국에너지기술연구원	Hydrogenics(CA), SIEMENS(DE),), ITM Power(GB), Proton Energy Systems(US)	• 기본 적인 수전해 시스템 기술은 국외 대표기업이 보유하고 있으나 이를 통한 산소 활용 기술에 대한 내용은 전무	• 발생된 산소에 대해 단순 산소 판매보다 부가가치가 높은 순산소 가스화기의 산화제로 이용하여 기술적 가치를 상승 • 가스화 플랜트와 연계 시 안전성 확보를 위한 제어시스템 강화 및 해외 경쟁사들보다 앞서 산소를 활용하는 공정 개발로 시장 선점
P2G 플랜트 설계 및 공적 최적화 기술	현대엔지니어링, 삼성엔지니어링, GS건설, POSCO	EXYTRON GmbH, Electrochaea GmbH, Hydronenics, Enertrag AG, ETOGAS, microbEnergy	• 국내 정유/화학 플랜트 설계 및 최적화 기술은 보유하고 있지만 EPC 경험이 상대적으로 적으며 P2G 설계 기술은 미보유 • 독일을 중심으로 P2G 설계 및 실증 기술을 보유하고 있으며 상용 플랜트 설계기술 확보	• 국내 화학/정유 플랜트 공정 설계 기술력을 바탕으로 P2G 플랜트 공정 설계 • 독일의 성공사례 벤치마킹하여 공정 최적화 기술 확보 • 산소활용 공정 최적화로 고유 공정 확보
P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술	현대건설, GS건설, POSCO, 대우건설	EXYTRON GmbH, Electrochaea GmbH, Hydronenics, Enertrag AG, ETOGAS, microbEnergy	• 국내 정유/화학 플랜트 건설 및 운영기술은 보유하고 있으나 P2G 플랜트 건설 운영기술 미보유 • 국외 선진사와 같은 경우 다수의 실증 플랜트가 운전 중이며 상용 플랜트 역시 가시적 성과 확보	• 국내 기 개발한 IoT/빅데이터 분석 기술을 P2G에 접목하여 P2G 플랜트의 스마트 운영기술 확보 • 원격 운전 현황 파악 기술 탑재로 시스템의 안정성 및 안전성 확보
수소 안전/제도	KGS	TUV	• 국내 수소 관련 안전제도는 있으나 P2G 플랜트 관련 설계/건설에 대한 안전성에 대한 지침 은 미존재	• 가스안전공사의 기존 수소 관련 법규를 참조하여 P2G 설계/건설/수소저장에 대한 안전성 평가

6.5 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

6.5.1 세부기술 주요내용

○ **(천연가스의 CO_2-added 개질 기술)** 천연가스와 수증기의 반응에 CO_2를 추가로 공급하는 개질 기술을 통한 수소생산 기술 개발 (1,400 Nm^3/h 규모 수소 생산, 메탄 600 Nm^3/h급)

- 천연가스 개질용 촉매 개발
  * 촉매의 내구성 및 비활성화방안 연구
- 고효율의 개질기 설계기술 개발
  * 개질기의 열/구조해석
  * 개질기 및 열교환기의 재질 선정
- 수증기 개질반응기, 수성가스전환반응기, 수소분리장치 등 설계
  * 개질기 공정의 열교환망 최적화
  * 시동/운전/부하변동/정지 운전 최적화
  * 개질기 운전의 안정성 및 내구성 확보

○ **(합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술)** 일산화탄소의 수성가스전환을 통한 수소 생산 기술 개발

- 고온 및 저온 수성가스전환촉매 설계 기술 개발
  * 촉매 설계 및 대량 생산 기술 개발
  * 촉매의 내구성 및 비활성화 방안 연구
- 반응기 설계기술 개발
  * 열교환망 최적화를 통한 효율 증대
- 수소농도 99.99%이상 분리기술 개발
  * 수소분리를 위한 흡착제 개발
  * 흡착탑 설계 및 재질선정
  * PSA 운전 제어로직 최적화

○ **(암모니아 개질 기술)** 암모니아의 개질을 통한 수소 생산기술 개발

- 수소 생산량 300 Nm^3/h급 NH_3 분해 수소생산 공정 개발
  * 수소 순도 99.97% 청정 가스 생산
  * NH_3 분해 개질 효율 75%(LHV) 이상
  * NH_3 분해 고활성 귀금속 최소 사용 저가형 촉매 및 열전달 특성 향상 지지체 촉매 개발(촉매 내구성 100 시간 이상)
  * 암모니아-메탄 혼합연료 연소기 및 NH_3 분해 일체형 개질기 개발
- 미반응 NH_3 제거 공정설비 및 고순도 수소 정제 공정 개발
  * 잔류 NH_3 농도 0.1 ppm 이하 NH_3 제거 설비
  * 잔류 질소 농도 100 ppm 이하 300 Nm^3/h급 분리/정제 PSA 설비 (5세부와 협조)

6.5.2 추진전략

○ 현재 국내에서 보유하고 있는 30 Nm^3/h 규모 수소생산 기술을 기반으로 중소형 개질기 설계/운영 기술 및 개질 촉매 대량 생산 기술 개발

○ 현재 국내에서 기술개발 중인 20 Nm^3/h 규모의 암모니아 개질 수소 제조 시스템 기술 경험 및 천연가스 개질 기술에서 확보한 촉매 기술 등을 활용하여 scale-up 설계 적용

○ 현재 보유하고 있는 상용촉매를 적용한 공정 설계 및 운영기술을 기반으로 촉매설계의 국내화와 개발 촉매를 적용한 공정 설계 기술 개발

○ 현재 보유하고 있는 1 Nm^3/h 규모 촉매 생산 및 반응기 설계 기술을 기반으로 암모니아 개질 촉매의 최적 설계 기술과 중소형 개질기 설계 및 운영 기술 개발

○ 상기와 같은 추진전략과 개발목표를 고려하여 설정한 기술 전략 및 핵심기술 확보방안 등을 아래 표에 요약

<표 5-2-14> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 전략 수립 결과

주요 기술	현재 보유기술	미보유 기술	우선확득 필요기술	극복 방안
천연가스의 CO_2-added 개질 기술	• 30 Nm^3/h 규모 수소생산 기술	• 중소형 개질기 설계 및 운영 기술 • 개질 촉매 대량 생산 기술	• 1순위: 개질 촉매의 최적화 및 대량 제조 기술 • 2순위: 1,400 Nm^3/h 규모 수소생산 개질기 설계기술	• 대형 개질공정 개발을 위한 실증규모 경험 적용 • 해외기술 도입을 통한 운영 기술 확보
합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	• 상용촉매를 적용한 공정 설계 및 운영기술	• 촉매설계의 국내화 • 개발 촉매를 적용한 공정 설계 기술	• 1순위: 수성가수전환 촉매의 국산화 기술 • 2순위: 개발 촉매를 적용한 공정 설계 기술	• 해외기술 도입을 통한 운영 기술 확보 • 국내 기술개발 결과 적용
암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	• 1 Nm^3/h 규모 촉매 생산 및 반응기 설계 기술	• 암모니아 개질 촉매의 최적 설계 기술 • 중소형 개질기 설계 및 운영 기술	• 암모니아 개질 촉매의 최적화 설계 기술 • 암모니아 개질 공정의 설계 기술	• 천연가스 개질의 경험 적용

<표 5-2-15> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술의 핵심기술 확보 방안

주요 기술	개발목표	투입자원		개발기간	기술 확보 방안
		인원(명)	비용(백만원)		
천연가스의 CO_2-added 개질 기술	• 천연가스 또는 바이오가스의 개질을 통한 수소 생산기술 개발 (1,400 Nm^3/h 규모 수소생산)	30	12,123	5	내부 개발
합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	• 일산화탄소의 수성가스전환을 통한 수소 생산 기술 개발	20	2,970	3	내부 개발
암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	• 암모니아의 개질을 통한 수소 생산기술 개발 (300 Nm^3/h 규모 수소생산 플랜트 기술 확보)	20	8,640	5	내부 개발

<표 5-2-16> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술의 핵심특허 극복 방안

주요 기술	핵심 연구 활동	핵심특허 국내 보유 여부	핵심특허 (또는 핵심기술) 보유국가/기관	핵심특허 내용 (또는 주요 발표 내용)	극복 방안
천연가스의 CO_2-added 개질 기술	개질 촉매 대량 생산 및 중소형 규모 개질기 설계 기술 개발	X	일본/Osaka Gas	• 촉매, 개질기, 수성가스전환 및 PSA를 포함한 패키지 기술	• 중소형 규모에 적용하기 위한 고유의 기술 확보
합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	촉매 최적화 및 공정 설계기술 개발	X	덴마크/Haldor Topsøe	• 대규모 공정에 적용한 설계 및 운영 기술	• 중소형 규모에 적용하기 위한 고유의 기술 확보
암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	촉매, 반응기의 원천기술 개발과 scale-up 설계 기술 개발	X	일본/Hiroshima Univ.	• 개질 촉매와 반응기 (1 Nm^3/h 규모)	• 원천 기술 확보

<표 5-2-17> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술의 해외 경쟁 기술과의 차별화 방안

주요 기술	대표기관		비교 분석	기술장벽 극복 및 차별화 방안
	국내	국외		
천연가스의 CO_2-added 개질 기술	한국에너지기술연구원, 한국화학연구원, 영남대, 이노윌, ㈜신넥앤테크	Caloric Anlagenbau, Haldor Topsoe, Harvest Energy Technology (Air Products), H2Gen (Air Liquide), HyGear, Linde, Mahler, MKK, Nuvera, Osaka Gas, Pan American Hydrogen, ZTEK Corporation, Technip, Amec Foster Wheeler, Davy Process Technologies, KBR	• 국외의 경우 대규모 공정으로 개발되어 상용 운전 중 • 미국의 Air Products사, 영국의 Praxair 사 등에서 상용화 기술 보유 • 일본의 경우 수소충전소용으로 중소형 개질기가 개발되어 시판 중(30, 100, 300 Nm^3/h 급) • 국내의 경우 상용화 기술을 미보유하여 현재 기술개발 단계	• 중소형 규모에 적용하기 위한 고유의 촉매설계, 개질기 및 공정 기술 확보 • CO_2-added 개질 기술 확보로 친환경성 강화 및 해외 경쟁 기술과 차별화 시도 • 마이크로채널 방식 도입을 검토하여 중소형급에서 가격 경쟁력 확보 방안 도출
합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	한국에너지기술연구원, 고등기술연구원, RIST	Alfa Aesar, Client, Haldor Topsoe	• 국외의 경우 대규모 공정과 연계되어 운전 중 • 국내에는 상용촉매를 적용하고 있어 이에 대한 기술확보가 필요	• 중소형 규모에 적용하기 위한 고유의 기술 확보
암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	KIST, 원익머트리얼즈	Hiroshima Univ.	• 일본의 경우 원천기술 개발로 보고 • 국내의 경우 20 Nm^3/h급 기술 개발 중	• 국내 고유 촉매 및 개질기 기술 확보 • 해외 기술과 동등 이상 수준의 기술력 확보로 시장 진입

6.6 합성가스/ 바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

6.6.1 세부기술 주요내용

○ **(합성가스/바이오가스 고도 정제 기술)** 기존 국내 축적된 기술개발 결과물을 바탕으로 상용화 규모(합성가스 2,500 Nm^3/h급 및 바이오가스 300 Nm^3/h급) 합성가스 고도 정제 설비 개발

- 합성가스 처리용량 현행 250 Nm^3/h → 2,500 Nm^3/h 수준으로 향상 및 수소 생산을 위한 고도 정제

○ **(고순도 H_2 분리 기술)** 고순도 H_2 생산을 위한 상용화 규모 PSA 기술 개발 및 파일럿급 수소 분리 고도화용 분리막 개발

- 대용량 고순도 수소 분리용 2,500 Nm^3/h급 PSA 설비 개발
  (합성가스 2,500 Nm^3/h급 적용 및 바이오 개질가스 750Nm^3/h급 scale-down 적용)

- 파일럿급 고순도 수소 분리 고도화용 100 Nm^3/h급 분리막 소재 및 모듈 개발

6.6.2 추진전략

□ 정제 및 분리 분야 국외 선진사들의 기술개발 추진 현황 파악 및 분석을 통한 기술개발 추진전략 수립

- ○ 시장 진입을 위한 대용량 정제 및 분리 상용화 기술 조기 확보를 위한 기술개발 추진
- ○ 시장 경쟁력 향상 위한 고도화 기술 확보 위한 중장기 기술개발 추진
- ○ 시스템 최적화, 설비 모듈화, 저가화, 컴팩트화, IT화 등을 통한 기술 및 시장 경쟁력 향상 및 test-bed 운영을 통한 기술 실증

□ 저비용, 고효율의 설비 신뢰성 확보

- ○ 국외 중소규모 시장 진출을 위한 저비용, 고효율의 정제 및 분리 설비의 신뢰도 있는 기술 확보
- ○ 합성가스 정제시 분진/tar, 산성가스 등이 주요 제거 대상물질로 이를 고순도로 안정적으로 제거할 수 있는 기술 개발을 통한 운전 신뢰성 축적
- ○ 국내 실증용 test-bed 구축 및 운영을 통한 기술 검증 및 국내 시장 진입 및 보급을 통한 설비 신뢰성 및 장기간 운전자료 확보를 기반으로 국외시장 진출

- ○ 상기와 같은 추진전략과 개발목표를 고려하여 설정한 기술 전략 및 핵심기술 확보방안 등을 아래 표에 요약

<표 5-2-18> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 수소 분리 기술 전략 수립 결과

주요 기술	현재 보유기술	미보유 기술	우선확득 필요기술	극복 방안
합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	• 파일럿 규모(50~250 Nm^3/hr) 정제설비 설계 및 운전 제어 기술 • 정제 폐수 처리 및 재순환 기술	• 상용 규모(2,500 Nm^3/hr) 모듈형 합성가스 정제 설비 설계 기술 • 상용 규모(2,500 Nm^3/hr) 모듈형 합성가스 정제 설비 최적 운전제어 기술 • 정제 폐수 내 미연분 회수 및 재활용 기술	• 1순위: 상용 규모(2,500 Nm^3/hr) 모듈형 정제 설비 설계기술 • 2순위: 상용 규모(2,500 Nm^3/hr) 모듈형 정제 설비 최적 운전제어 기술 • 3순위: 정제 폐수 내 미연분 회수 및 재활용 기술	• 기존 파일럿 규모 결과를 활용한 2,500 Nm^3/hr 규모 Test-bed 설계/구축/운전을 통한 상용 규모 고도정제설비 scale-up 기술 확보
고순도 수소 분리 고도화 기술	• 파일럿 규모(50~250 Nm^3/hr) 수소 분리설비 모듈화 설계 및 운전 제어 기술 • 랩규모 수소 분리 고도화 기술	• 상용 규모(2,500 Nm^3/hr) 모듈형 수소 분리 고도화 설비 설계 및 최적 운전제어 기술 • 파일럿 규모(50 Nm^3/hr) 모듈형 수소 분리 고도화 설비 설계 및 운전 제어 기술	• 1순위: 상용 규모(2,500 Nm^3/hr) 모듈형 수소 분리 고도화 설비 설계 및 최적 운전제어 기술 • 2순위: 파일럿 규모(50 Nm^3/hr) 모듈형 수소 분리 고도화 설비 설계 및 운전 제어 기술	• 기존 파일럿 규모 결과를 활용한 2,500 Nm^3/hr 규모 Test-bed 설계/구축/운전을 통한 상용 규모 고도정제설비 scale-up 기술 확보 • 시장 경쟁력 강화 위한 모듈형 수소 분리 고도화 설비 scale-up 기술 확보

<표 5-2-19> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 수소 분리 기술의 핵심기술 확보 방안

주요 기술	개발목표	투입자원		개발기간	기술 확보 방안
		인원(명)	비용(백만원)		
합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	• 수소 생산용 합성가스 고도 정제 설비 모듈화 설계 및 최적 운전 제어 기술 확보	20	7,695	2020~2024	내부 개발
	• 수소 생산용 바이오가스 고도 정제 설비 모듈화 설계 및 최적 운전 제어 기술 확보	15	3,645	2020~2023	내부 개발
고순도 수소 분리 고도화 기술	• 고순도 수소 생산용 수소 분리 설비 모듈화 설계 및 최적 운전 제어 기술 확보	20	6,615	2020~2024	내부 개발
	• 모듈형 수소 분리 고도화 설비 scale-up 핵심기술 확보	15	4,050	2021~2024	내부 개발

<표 5-2-20> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 수소 분리 기술의 핵심특허 극복 방안

주요 기술	핵심 연구 활동	핵심특허 국내 보유 여부	핵심특허 (또는 핵심기술) 보유국가/기관	핵심특허 내용 (또는 주요 발표 내용)	극복 방안
합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	2,500 Nm^3/h급 모듈형 합성가스 고도 정제 설비 설계, 구축 및 최적 운전 제어 기술 개발	○	독일/Siemens	• 산성가스 및 미량가스의 용매 흡수 공정, 건식 흡착제 개발, 후처리 공정 등 정제 관련 통합기술	• 저비용/고효율의 컴팩트한 정제 설비 개발 추진 • 고효율의 정제 소재 개발
	100 Nm^3/h급 모듈형 바이오가스 고도 정제 설비 구축 및 최적 운전 제어 기술 개발	○	미국/UOP		
고순도 수소 분리 고도화 기술	2,500 Nm^3/h급 모듈형 고순도 수소 분리 설비 설계, 구축 및 최적 운전 제어 기술 개발	○	프랑스/Air Liquide	• 고순도 수소 분리 위한 대용량 PSA 기술 • 모듈형 수소 분리막 기술	• 고효율 수소 분리 소재 개발 • 분리 설비 모듈화/컴팩트화를 통한 경쟁력 향상
	100 Nm^3/h급 모듈형 고순도 수소 분리 고도화 설비 설계, 구축 및 운전 제어 기술 개발	○	미국/UOP		

<표 5-2-21> 정제 및 분리 기술의 해외 경쟁 기술과의 차별화 방안

주요 기술	대표기관		비교 분석	기술장벽 극복 및 차별화 방안
	국내	국외		
합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	대우건설, 두산중공업, 포스코건설, KC코트렐, 가스기술공사, PTK, 태린, 금호환경, 에너지기술연구원, 과학기술연구원, 고등기술연구원, 에너지기술연구원, 과학기술연구원, 고등기술연구원, 전력연구원	Siemens, Lurgi, Shell, KEMA, Forster Wheeler, UOP, Merichem, Eastman Chemical, MHPS, Ube	• 국내의 경우 1990년대 중반부터 본격적인 연구가 진행되어 핵심 원천기술 및 파일럿 규모 설비에 대해서는 국외 기술과 동등한 수준의 기술력 확보 • 국외의 경우 미국, 유럽, 일본 등을 중심으로 기술이 개발되어 상용화 적용 중이며, 설비 고도화를 위한 기술개발 추진 중 • 미국(UOP)과 독일(Shell)에서 합성가스 내 산성가스 제거관련 대규모 상업화 기술 보유	• 기 확보된 국내 고유 기술을 기반으로 소용량 설비에 대한 실증을 통해 신뢰성을 확보 • 국내 중소규모 플랜트 시장 진입 및 보급 확대를 통해 상용화 실적을 축적 후, 동남아 등 국외 중소규모 플랜트 시장 진출 • 원격 운전제어가 가능한 ICT/IoT 기술을 탑재한 국내 고유 모델로 해외기술과 차별성 강화
고순도 수소 분리 고도화 기술	대우건설, 두산중공업, 포스코건설, 젠스엔지니어링, 에어레인, 가스공사, 에너지기술연구원, 고등기술연구원, 과학기술연구원, 화학연구원	Air Liquide, Linde, Messer, TECNALIA Research & Innovation, HyGear B.V., Norsk, BOC, Praxair, Velocys, UOP, Air Products and Chemicals, RTI, GTI, Katalistiks International Inc, Showa Denko, MHPS, Xebec	• 국내의 경우 원천기술 및 파일럿 규모 설비에 대한 기술개발이 주로 진행되어, 소재 및 공정에 대한 기술 확보(소용량 PSA 설비의 경우 상용화 진입 중) • 국외의 경우 미국, 유럽을 중심으로 대용량 PSA 설비에 대해 상용화 적용 중이고 분리막은 상용화 진입 중이며, 설비 모듈화 및 고효율화를 위한 기술개발 추진 중 • 중국 Xebec사의 경우 콤팩트한 로터리 형태의 PSA 기술을 개발하여 상용화 진입 중	• 고효율화를 위한 기술개발 추진 및 소용량 설비에 대한 실증을 통해 신뢰성 확보 • 모듈화 설계 강화 및 ICT/IoT 기술에 특화된 국내 고유 모델 개발 • 국내 중소규모 플랜트 적용을 통한 상용화 실적을 축적 후, 국외 시장 진출

6.7 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술

6.7.1 모듈화 플랜트 기술개발 내용 및 추진전략

□ **모듈화 플랜트 기술개발 내용**

○ **기술개발 목표**

- 합성가스 플랜트에 공통으로 반드시 필요한 핵심설비를 모듈화 후보 5개 이내 설계
  * 핵심설비: 탈황설비, 집진설비, 고도정제설비, 가스엔진블록 설비, 순산소공급설비, 슬랙/회재 배출설비 등
- 중소형 규모 합성가스 모듈화 설계/제작/시공 기술의 완전 국산화와 해외진출 모델 확보
- 핵심모듈에 ICT 기능 탑재 설계(최소기능 버전, 고기능 버전)
- 국내 건설 test-bed에서 1년 이상 모듈별 실증 운전 및 보완
- 유지보수 편의성 고려 설계 및 제작 실증

○ **(합성가스플랜트 핵심설비별 표준모듈 설계 기술)** 컨테이너에 탑재 가능한 모듈화 설계 기술, 표준모델 상세 기술 등 개발

- 표준모듈 기본설계 기술개발
  - 허가(permit)없이 운송 가능한 컨테이너 크기의 모듈화 기술
  - 3D CAD 모델링 및 해석 기술
  - 시공 고려 모듈설계 기술
  - 프레임 및 지지대 구조 해석 기술
  - 모듈 하중 분산 해석기술
  - 배관 모듈화 기술
  - 산업인증 대응 설계기술
  - 표준모듈 상세설계 기술개발
  - 국내외 현재 가용한 설비/부품의 기술자료 DB 구축
  - 국산 설비/부품/자재 사용률별 모듈 설계 비교분석 기술개발
    * 기자재 소형화 기술
    * 고성능 소재 대체 적용 기술
- 핵심설비 모듈별 유지보수 편이성 반영 세부설계 기술개발
- 핵심설비 모듈별 ICT 기능 탑재 설계 기술개발

○ **(핵심설비 모듈 연결 플랜트 최적화 설계/제작 기술개발)** 모듈화 플랜트 공정설계 기술 및 설계 최적화 기술 등 개발

- 모듈 연결 플랜트 공정설계 기술 개발
- 모듈화 플랜트 수출 전용 모듈 패키지화 기술 개발
  - 리모트 ICT, copy 방지, 이송 편이, 저가화 설계/제작 기술
- GIS/GPS 등 IT기술 활용 모듈간 인터페이스 사양 설계 및 교합부 관리, 인터페이

스 충돌 체크 기술개발
- 공차 해석 설계 최적화 기술개발
- 모듈화 플랜트 정적/동적 simulation 기술

○ **(모듈 통합 플랜트 운영 기반 지원기술 개발)** 모듈 연계 운영 및 문제점 조기대응을 위한 각종 기술 개발
- 모듈 연계 플랜트 운영시 필요한 기반기술 개발
  * IT 적용 원격 설비/부품/운전상태 관리기술
- Test-bed 사업별 모듈 연계 운영시 문제점 조기대응 기술개발
- 해외 진출시 예상되는 통합 플랜트 유지보수, 운영 기반 지원기술 개발

□ 모듈화 플랜트 기술개발 추진전략

○ 추진 전략 방향
- 국내 test-bed와 해외 현장에 실제 적용이 용이하고 유지보수가 용이한 형태로 모듈 개발
- 국내 중견업체가 제작할 수 있는 규모와 기술수준 반영
- 해외에서 복제가 어렵도록 가능한 부분은 블랙박스화
- 설계 초기부터 지적재산권 확보

○ 본 사업에서는 시공 관점의 모듈화를 기본으로, 인프라가 열악한 해외지역에서도 운송이 용이한 표준 규격의 모듈화를 추진

○ 현장 시공이 용이한 '시공블록모듈'과 독립적인 기능을 수행하면서 일정한 크기로 운송이 용이하고 재사용이 가능한 '공용기능모듈'의 성격을 모두 갖는 모듈을 개발 적용
- 해양플랜트에서는 대형 시공블록모듈을 주로 사용하고, 자동차 업계는 공용기능모듈이 주로 적용

○ 플랜트 모든 설비를 모듈화 할 필요는 없고, 핵심기술 부분을 주로 모듈화 하는데, 예로서 합성가스 플랜트 경우는 가스화기 블록, 가스 탈황 블록, 가스 집진 블록, 가스엔진 블록은 반드시 필요한 요소들로서 이들 필수 기능별로 모듈화를 진행

○ 본 사업에서는 현장설치 편의를 우선한 모듈보다는 반복 수리 후 사용이 가능한 공용기능모듈에 초점을 맞추어 개발
- 미국 캐터필러사의 모듈화 플랜트 참고 가능

○ 기본 컨테이너 형태 모듈에 필요한 부품을 연결하여 하나의 완성된 모듈로 운영하는 방식도 고려
- 상용 컨테이너의 크기에 맞추어 현장에서 조립이 용이하도록 모듈을 미리 제작하여 운송 조립하는 개념을 적용

□ Test-bed 활용 추진 전략

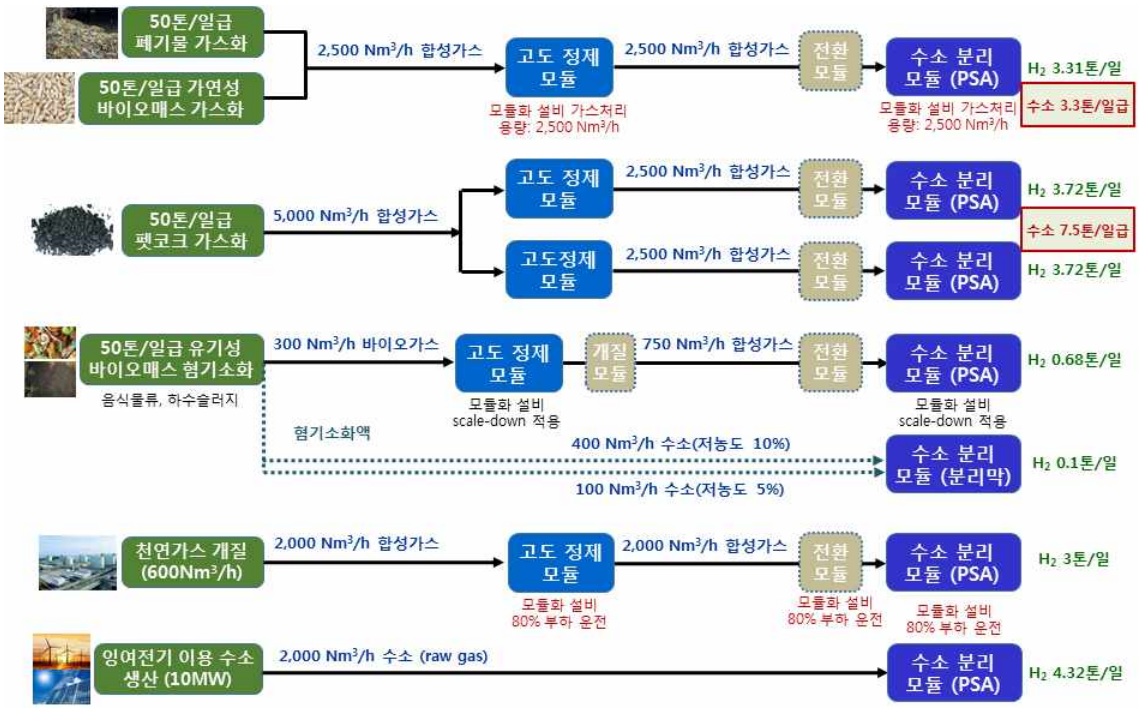
○ 국내 Test-bed와 해외 현장에 실제 적용이 용이하고 유지보수가 용이한 형태로 모듈 개발

○ 국내 중견업체가 제작할 수 있는 규모와 기술수준 반영
○ 해외에서 복제가 어렵도록 가능한 부분은 블랙박스화
○ 설계 초기부터 핵심기술에 대한 지적재산권 확보

□ 각 세부기술에서 공통으로 사용할 수 있는 핵심 설비 모듈화 설계 추진

○ 각 세부과제에서 공통으로 활용할 수 있는 용량으로 모듈화 설계 추진
- 고도정제 모듈, 수성가스전환 모듈, 수소분리 모듈 등 핵심설비의 가스 처리량을 고려한 모듈화 설계 추진
- 고도정제 모듈과 수소분리 모듈(PSA)의 경우 약 2,500 Nm^3/h의 합성가스를 처리할 수 있는 모듈화 설비 설계
  * 폐기물/바이오매스(가연성)의 경우 2,500 Nm^3/h의 합성가스를 처리할 수 있는 모듈들을 직렬로 연결함으로써 test-bed 추진 가능
  * 펫코크 가스화의 경우 약 5,000 Nm^3/h의 합성가스가 발생할 것으로 예상되므로 2개의 모듈을 병렬로 연결할 수 있도록 모듈화 설비 및 통합 플랜트 설계 추진
  * 천연가스 개질 및 잉여전기 이용 수소 생산의 경우 약 2,000 Nm^3/h의 가스를 처리하여야 하므로, 80%로 부분적 scale-down 또는 80%의 부하에서도 잘 작동할 수 있도록 모듈화 설계 추진
- 바이오가스 고도정제 모듈 및 수소분리 모듈의 경우 scale-down 적용

○ 상기와 같은 모듈화 설계를 기반으로 한 test-bed 추진 방향 및 각 모듈의 용량을 아래 그림에 표시



[그림 5-2-10] 공통으로 사용할 수 있는 핵심 설비 모듈의 규모 산정 예

6.7.2 ICT/IoT 연계 플랜트 기술개발 내용 및 추진전략

□ ICT/IoT 연계 플랜트 기술개발 내용

○ 기술개발 목표

- ICT/IoT/빅데이터 플랫폼 및 시스템 구축을 통한 합성가스 플랜트 운영관리 최적화 기술을 확보하여 플랜트 신뢰도를 향상시키고 시장경쟁력 강화

○ **(ICT/IoT 기반 합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 체계 개발)** 빅데이터 플랫폼 구축 및 진단 체계 등 기술 개발

- ICT/IoT 기반 합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 구축

* 수소/합성가스 플랜트 운전상태 실시간 파악을 위한 주요 설비/기기 항목 도출
* 수소/합성가스 플랜트 주요 설비/기기 운전자료 취득 위한 USN (Ubiquitous Sensor Network) 체계 구축
* 수소/합성가스 플랜트 운전 데이터에 대한 수집, 저장, 처리, 분석 및 시각화를 통합적으로 지원하는 빅데이터 플랫폼 설계
* 빅데이터 활용의 확장성 및 연속성을 고려한 안정적 빅데이터 플랫폼 구축

- 수소/합성가스 플랜트 빅데이터 분석 및 진단 체계 개발

* 수소/합성가스 플랜트의 운전 안정화 및 이용률 향상을 위한 빅데이터 분석 모델 개발
* 수소/합성가스 플랜트 부품, 기기의 고장 기록 및 고장률 data 축적
* 설비 이상상태 예측을 위한 고장 패턴, 고장 상황 모델링 및 고장 예측 시스템 개발
* 빅데이터 분석 모델 이용 수소/합성가스 플랜트 이상상황 조기진단 및 시각화 개발
* 수소/합성가스 플랜트 적용 실시간 수집된 대용량 데이터의 분석 및 진단을 통한 빅데이터 분석·진단 모델 검증

○ **(ICT/IoT/빅데이터 기반 수소/합성가스 플랜트 운영관리 최적화 시스템 개발)** 유·무선 공유시스템 및 의사결정/조치사항 체계 구축, 유비쿼터스 유지보수 관리 체계 구축 및 최적화, 운영관리시스템 검증 및 최적화 등 기술 개발

- ICT/IoT 기반 빅데이터 진단결과 유·무선 공유시스템 및 의사결정/조치사항 체계 구축

* 빅데이터 진단결과 실시간 공유를 위한 대상 항목 선정 및 IoT 네트워크 설계/구축
* 빅데이터 진단결과 이용 합성가스 플랜트 운영 의사결정 및 조치사항에 대한 지원체계 설계 및 구축

- 수소/합성가스 플랜트 유비쿼터스 유지보수 관리 체계 구축 및 최적화

* 설비 유지보수 관리를 위한 계통 체계 구축
* 부품별 무선ID Tag, Mobile 관리단말기를 통한 실시간 원격 모니터링 시스템 개발

* 신뢰성 있는 설비 유지보수 정보 수집을 위한 스마트 정비 이력 입력 장치 개발
* 수소/합성가스 플랜트 유지보수 주기 최적화 시스템 개발

- 수소/합성가스 플랜트 운영관리시스템 검증 및 최적화

* Test-bed 실증 data 실시간 모니터링을 통한 수소/합성가스 플랜트 운영관리시스템 검증
* ICT/IoT/빅데이터 기반 수소/합성가스 플랜트 운영관리 최적화

□ ICT/IoT 연계 플랜트 기술개발 추진전략

○ 기본 추진전략 및 방향

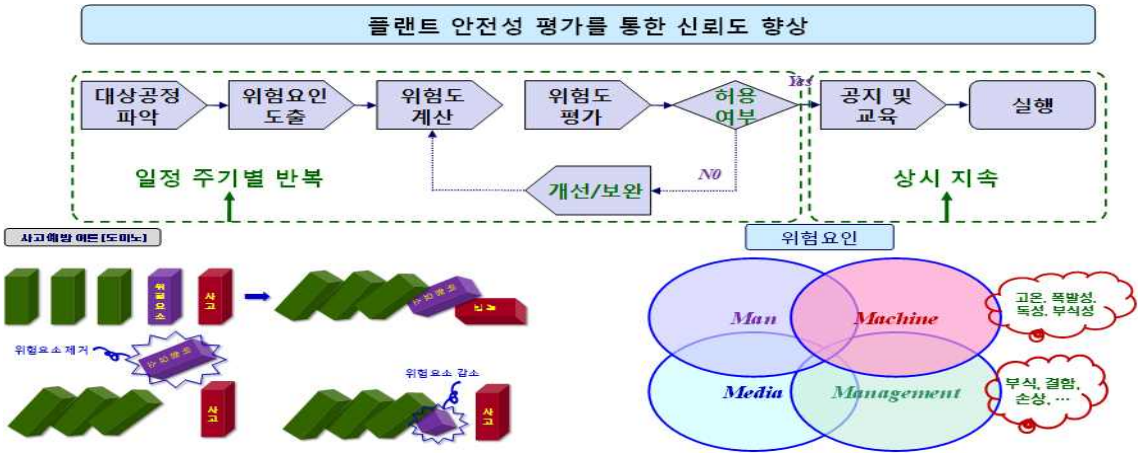
- 화력발전 플랜트, 원자력발전 플랜트 등 유사 플랜트 분야에서 축적된 경험과 노하우를 적용하여 안정적인 USN 시스템과 빅데이터 플랫폼 구축
- 빅데이터 플랫폼 및 분석/진단 체계에 대한 모의시험을 진행하여 수정/보완사항을 도출한 후, Test-bed에 적용하여 ICT/IoT/빅데이터 기반의 시스템 구축
- Test-bed 적용 운전을 통해 USN 시스템, 빅데이터 플랫폼, 분석/진단 시스템, 진단결과의 실시간 공유 등에 대한 체계 확립
- Test-bed 적용 운전을 통해 합성가스 플랜트 운전자료 실시간 원격 관리, 유지보수 주기 및 운영관리 시스템 검증과 최적화 수행
- 프로젝트 공통으로 요구되는 유지보수 및 운영관리 시스템을 우선적으로 개발하여 적용하고, 각 프로젝트별로 특화되게 필요한 부분에 대해서는 별도로 파악하여 개별적으로 적용

○ 플랜트 운전 데이터를 USN 시스템을 통해 취합/축적하고, 이의 분석/진단을 통해 플랜트 운전 및 유지보수에 활용할 수 있는 정보를 제공하여, 플랜트 운영관리를 최적화하는 플랜트 기술과 IT 기술이 복합된 융합기술로 추진

○ 해외 타겟은 해외자원 산지 인근이고 대부분 산업과 정보통신 인프라가 열악한 곳이 많고 플랜트 판매 이후 이들 지역에 전문인력을 상주시키기 어려운 경우가 대부분이므로, 모듈화 설비에 ICT 기능을 가장 간단하면서 필수정보를 전송할 수 있는 기능 추가

○ IT 기반이 취약하거나 합성가스 플랜트를 저렴하게 구축하여야 하는 지역을 별도의 대상으로 구분하여 간략하게 적용 가능한 시스템을 별도로 발췌하여 설계하고, 적용 대상에 따른 합성가스 플랜트 운영관리 시스템 설계

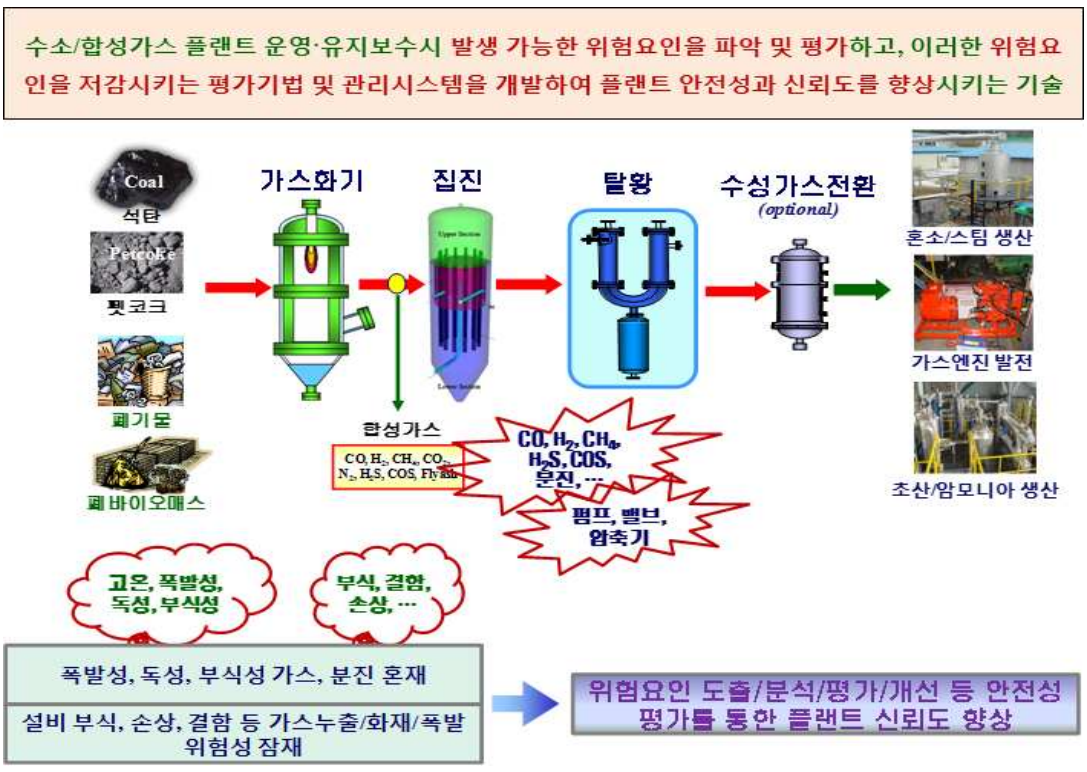
○ 합성가스에 함유된 CO, H_2, CH_4, H_2S 등 여러 가지 폭발성/독성/부식성 가스와 분진에 의해 설비부식/가스누출/화재/폭발 등의 중대 사고로 이어질 위험요인이 잠재되어 있어, 위험요인을 제거/경감하여 안전성과 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 신뢰도 높은 평가기법 도입



[그림 5-2-11] 플랜트 안전성 평가를 통한 신뢰도 향상 기술 개발 개념도

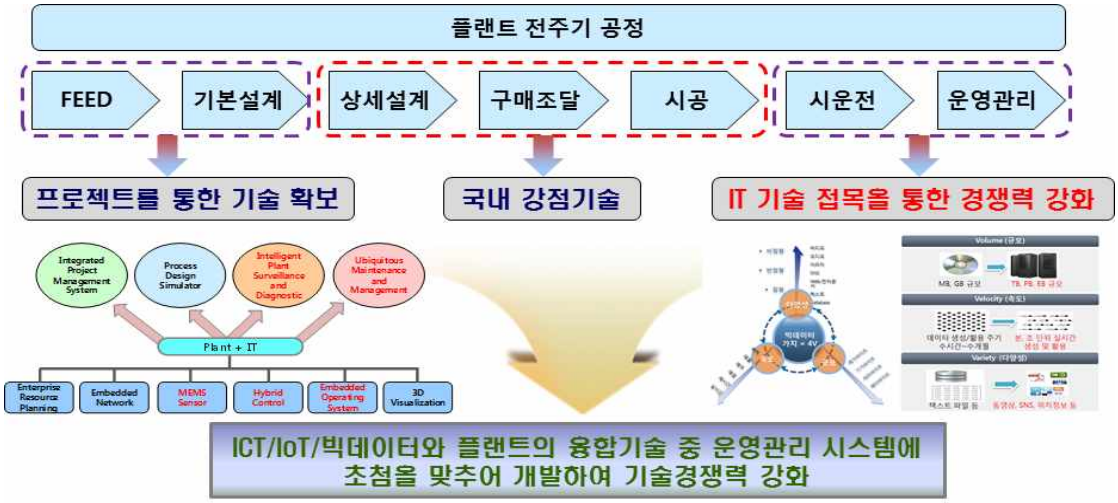
○ Test-bed 적용 운전을 통해 수소/합성가스 플랜트 운전자료 실시간 원격 관리, 유지보수 주기 및 운영관리 시스템에 대한 검증과 최적화를 통하여 플랜트 안전성과 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 기술개발 추진 방향 설정

- 합성가스 플랜트 운영/유지보수 시 발생 가능한 위험요인 파악 및 평가
- 이러한 위험요인을 저감시키는 평가기법 및 관리시스템 개발



[그림 5-2-12] 수소/합성가스 플랜트 위험도 평가 및 저감 기술 개발 개념도

○ 수소/합성가스 플랜트 신뢰도 향상과 기술 경쟁력 확보를 위한 ICT/IoT/빅데이터 기반의 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 시스템의 개발과 실증 추진



[그림 5-2-13] 수소/합성가스 플랜트 전주기 공정에 적용 가능한 기술개발 개념도

○ ICT/IoT 기반 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 체계 개발 연구진 구성

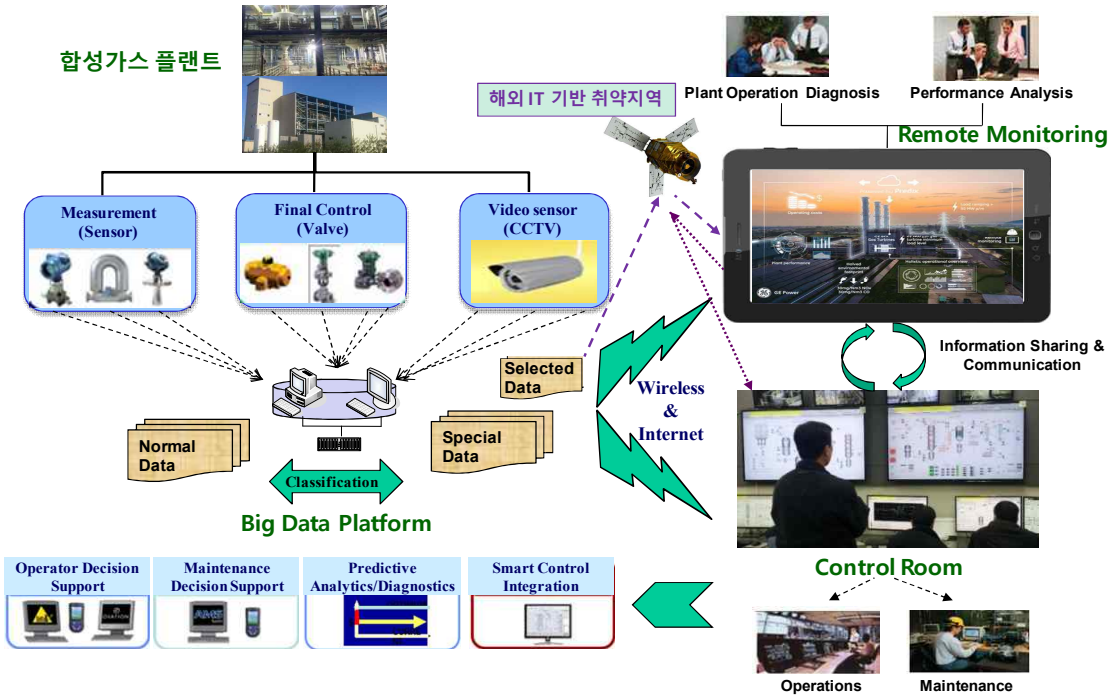
- ICT/IoT 기반 플랜트 빅데이터 플랫폼 구축과 플랜트 빅데이터 분석 및 진단 체계 개발을 위해, 국내 보유 빅데이터 전문적 기술과 경험을 활용할 수 있도록 각 분야별 전문기관이 개발과 검증을 추진하는 업무를 담당하도록 연구진 구성

○ ICT/IoT 기반 합성가스 플랜트 운영관리 최적화 시스템 개발 연구진 구성

- ICT/IoT 기반 빅데이터 진단결과 유·무선 공유시스템 구축을 위해 IT 분야 전문적인 기술과 경험이 있는 기관이 담당하고, 진단 결과 이용 의사결정/조치사항 체계 구축, 유지보수 주기 최적화, 운영관리 최적화를 위해서는 국내 수소 플랜트 또는 합성가스 플랜트 운전 경험이 축적된 전문기관이 담당하도록 연구진 구성

○ 합성가스 플랜트를 예로 살펴본 ICT/IoT 연계 플랜트 운영관리시스템 개념도를 아래 그림에 도시

- 핵심은 고가 센서와 고속 인터넷망 사용이 어려운 해외수출 지역을 대상으로 최소의 센터/데이터 전송으로 한국에서 해외수출된 설비의 기본 상태를 모니터링 대응하는 내용으로 구성



[그림 5-2-14] ICT/IoT 기반의 플랜트 운영관리시스템 개념도

7. 연계체계

7.1 국내 보유 기술 연계 방안

<표 5-2-22> 세부기술별 국내 주요 성과 및 연계 방안 (합성가스 생산 기술)

국내 보유 기술	주요 성과	성과 연계 방안
폐기물 고정층 (Down-draft) 공기/산소부화 가스화 기술	- 8톤/일급 파일럿 플랜트 적용 - 5일 연속운전 달성	가스화기 scale-up 설계와 운전에 활용
폐기물 고정층 순산소 용융 가스화 기술	- 5톤/일급 파일럿 플랜트 적용	가스화기 scale-up 설계와 운전에 활용
바이오매스(가연성) 고정층(Down-draft) 공기 가스화 기술	- 2톤/일급 가스화 파일럿 플랜트 적용	연료공급 시스템 scale-up 설계와 운전에 활용
석탄 이용 분류층 순산소 가스화 기술	- 20톤/일급 건식 파일럿 플랜트 설계, 구축 및 운영	가스화기 및 가스화 버너 scale-up 설계와 운전에 활용
펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	- 2톤/일급 및 10톤/일급 파일럿 플랜트 설계, 구축 및 운영	가스화기 및 가스화 버너 scale-up 설계와 운전에 활용
가스화 설비 설계 기술	- 100톤/일급 고정층 가스화 시스템 설계 적용	Test-bed scale-up 설계에 활용
공정모사 기술	- 파일럿 플랜트 적용	Test-bed scale-up 설계와 운전에 활용

<표 5-2-23> 세부기술별 국내 주요 성과 및 연계 방안 (바이오가스 생산 기술)

국내 보유 기술	주요 성과	성과 연계 방안
음식물류 폐기물 국산 바이오가스화 기술	- 80톤/일급 실증 플랜트 적용 - 장기운전을 통한 EPCM 도출	100톤/일급 바이오가스 플랜트 설계 및 장기 운영에 활용
병합(음식물류 폐기물과 축산분뇨) 바이오가스 기술	- 50톤/일급 실증 플랜트 적용	100톤/일급 바이오가스 플랜트 설계 및 장기 운영에 활용
바이오매스(유기성) 전처리 기술 개발	- 50톤/일급 실증 플랜트 적용 - 100톤/일급 실증 플랜트 설계 및 시공 기술 확보	다양한 바이오매스(유기성) 기반 전처리 기술 설계 및 운영에 활용
하수슬러지 열가수분해 전처리 기술 개발	- 30톤/일급 실증 플랜트 적용	바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄/수소 생산성 향상을 위한 기술에 적용 및 활용

<표 5-2-24> 세부기술별 국내 주요 성과 및 연계 방안 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술)

국내 보유 기술	주요 성과	성과 연계 방안
저온형 수전해용 전극제조기술	PEM 수전해 전극 제조	전극제조기술을 이용하여 모듈형 수전해 시스템 개발
고효율 수전해 수소 제조 기술	수전해를 이용한 수소 생산	가변전원과 연계하여 P2G 플랜트 개발

<표 5-2-25> 세부기술별 국내 주요 성과 및 연계 방안 (개질 및 변환 기술)

국내 보유 기술	주요 성과	성과 연계 방안
수소충전소용 천연가스 수증기개질 수소 제조공급 시스템 개발 기술	- 20 Nm^3/h급 수소생산용 개질기 개발 - 수소제조 효율 60% 이상 - “천연가스의 수증기개질+수성가스전환+수소분리” 등의 연계운전	- 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용 - “개질기+수성가스전환+수소분리” 등의 통합공정 운전기술 활용
이산화탄소를 이용한 DME 생산 Pilot Plant 공정 기술	- 자열개질을 이용한 삼중개질로 합성가스를 생산 - 개질촉매 국산화	- 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용
천연가스로부터 고효율 메탄올 생산 기술 실증	- 실증급 메탄 tri-reforming 기술 개발 - CO/H_2비 제어 기술 개발	- 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용 - 유틸리티 설계 기술 활용
천연가스로부터 FT합성유의 제조기술 개발	- 천연가스로부터 복합개질을 통한 합성가스 생산 - 촉매 및 개질공정 개발	- 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용 - 유틸리티 설계 기술 활용
소형 선박용 보조전력 공급을 위한 3kW급 열교환형 디젤 연료 개질기 개발	- 3 kW급 디젤개질기 설계.운전 - 매크로-메조 기공을 가지는 다공성 촉매개발	- 개질기 설계 기술 활용
미세먼지 대응 휘발성 유기화합물 에너지화 친환경 공정기술 개발	- VOCs의 개질을 위한 촉매 및 개질기 개발 - 30kw급 개질공정 개발	- 개질기 설계 기술 활용

<표 5-2-26> 세부기술별 국내 주요 성과 및 연계 방안 (정제 및 분리 기술)

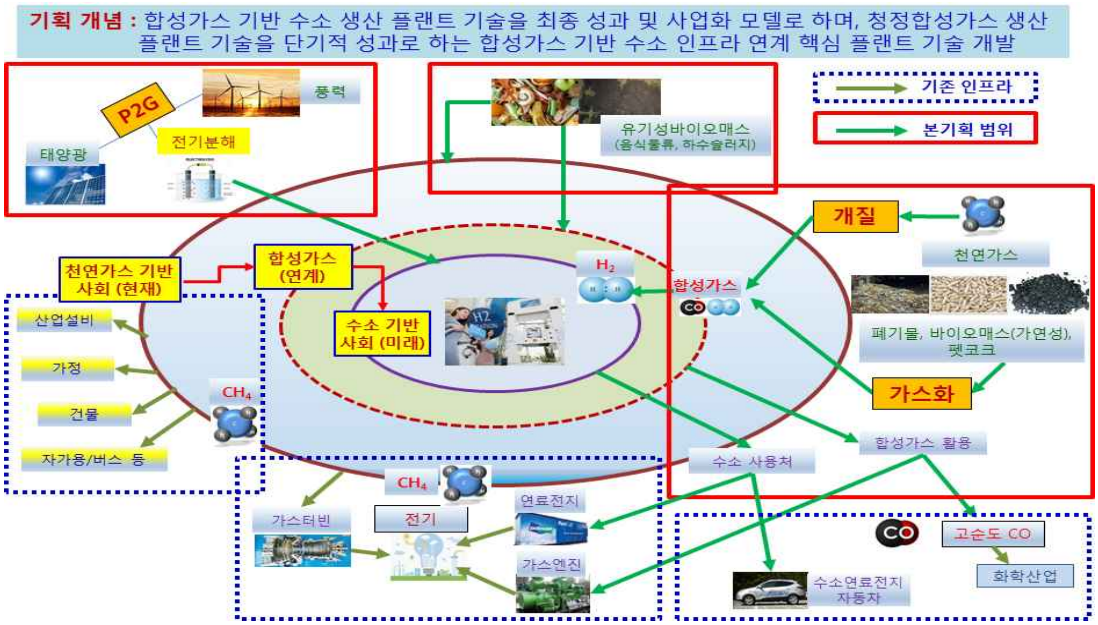
국내 보유 기술	주요 성과	성과 연계 방안
합성가스내 산성가스 제거기술	- 250 Nm^3/h급 합성가스 내 H_2S를 0.1 ppm 이하 제거 - 설비 컴팩트화 및 공정 단순화를 통한 저비용 설비개발	합성가스 및 바이오가스 고도 정제시스템 scale-up 설계와 운전에 활용
분진/타르 제거기술	- 250~600 Nm^3/h급 습식 정제 파일럿 플랜트 적용 개발	합성가스 및 바이오가스 고도 정제시스템 scale-up 설계와 운전에 활용
PSA 방식 적용 수소 분리 기술	- 소용량 상용 플랜트 적용	고순도 수소 분리용 소재 개발 및 설비 운전 제어기술 개발에 활용
수소 분리막 소재 및 모듈	- 랩규모 설비 적용	고순도 수소 분리 고도화 및 모듈화를 위한 scale-up 설계와 운전에 활용

7.2 본 사업의 세부기술별 연계 방안

□ 대상 가스와 개발 기술의 연계성

○ 본 기획 핵심은 기존 천연가스 인프라, 합성가스와 P2G 기술을 통한 수소/메탄 가스 인프라, 미래 수소사회 인프라를 관통하는 해외수출 가능한 분산형 합성가스 플랜트 및 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술실증

- 본 기획의 핵심은 사회에서 사용할 가스자원(천연가스, 합성가스, 수소)간 연계가 가능한 자연채굴자원이 아닌 기술기반(technology-based)으로 청정가스(청정합성가스, 수소) 자원을 생산하는 해외수출 가능 기술로의 완성



[그림 5-2-15] 기존 천연가스 인프라에 연계되는 본 기획의 천연가스/합성가스/수소 인프라 핵심분야 연계도

□ 중분류 기술개발 과제 간의 연계성

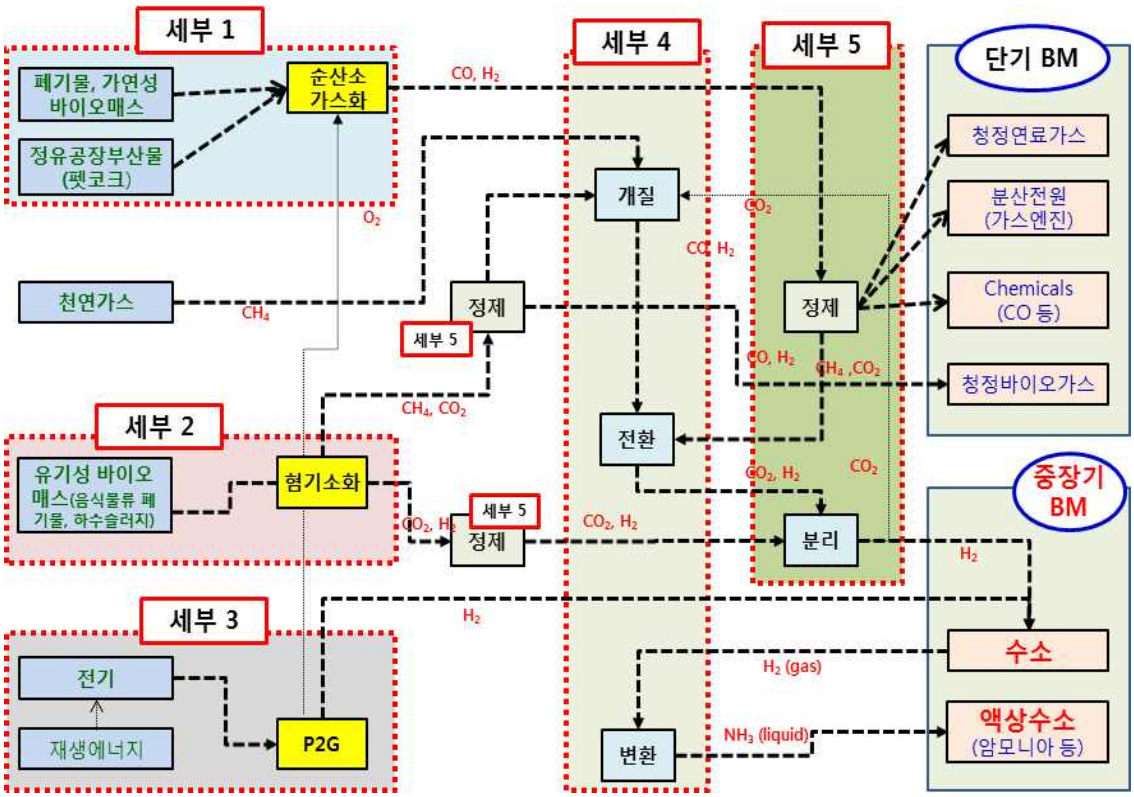
○ 본 기술개발 사업에서는 다음의 6개의 세부과제로 구성

- 세부 1: 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술
- 세부 2: 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술
- 세부 3: 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술
- 세부 4: 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술
- 세부 5: 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술
- 세부 6: 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술 (플랜트 모듈화 설계 기술, ICT/IoT 기술)

○ 세부 4와 세부 5에 속해 있는 주요 기술들은 자체로도 기술개발 의미가 있는 단위 공정 기술임과 동시에 세부 1, 2, 3 기술에서 필요로 하는 공통기술로서 연관성과 test-bed 에서 연계성을 동시에 보유

○ 세부 6에 속해 있는 공통 핵심기술들을 세부 1~ 5 플랜트 및 단위 공정에 적용하여 기술적 완성도 및 이에 따른 상업적 경쟁 우위성 확보 가능

○ 이와 같은 세부과제 간 연계관계와 물질의 흐름에 대한 개념도를 아래 그림에 도시

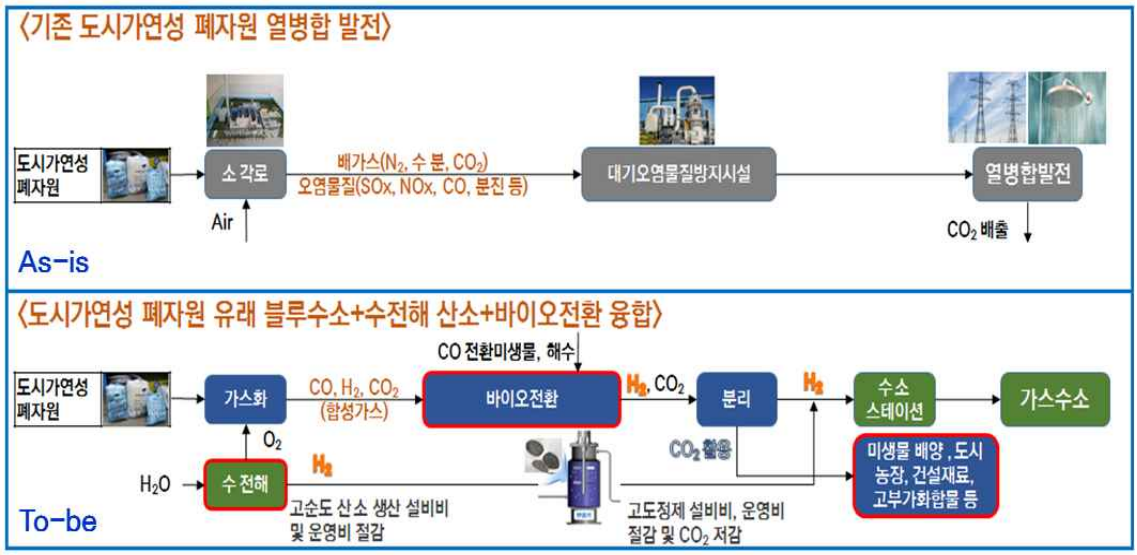


[그림 5-2-16] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 건설기술 개발 세부과제간 기술별 연계 및 물질 흐름 개념도

□ 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예

○ 중분류 기술들의 연계 또는 중분류 기술과 기존 상업용 기술들과의 연계를 통하여 시너지 효과를 확보할 수 있는 다양한 연계의 예를 아래 그림에 도시

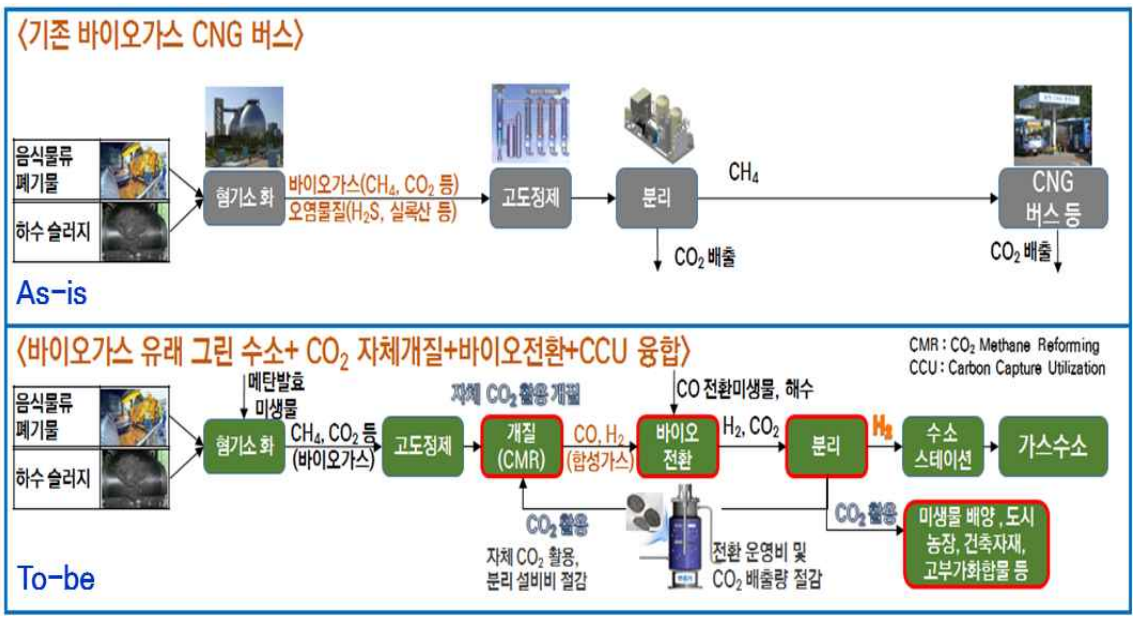
○ 중규모 가연성 폐자원 가스화 수소 생산



※ 그레이 수소: CO_2 배출, 블루 수소: CO_2 저장 또는 활용, 그린 수소: CO_2 중립 또는 CO_2 무배출

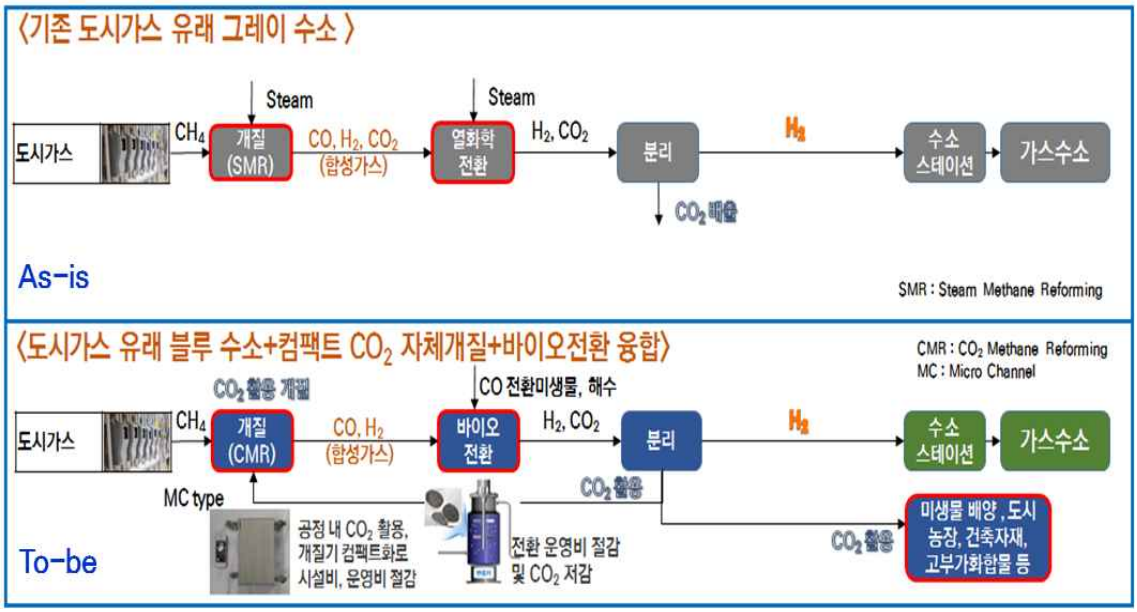
[그림 5-2-17] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (폐자원 가스화 분야)

○ 중규모 유기성 폐자원 개질 수소 생산



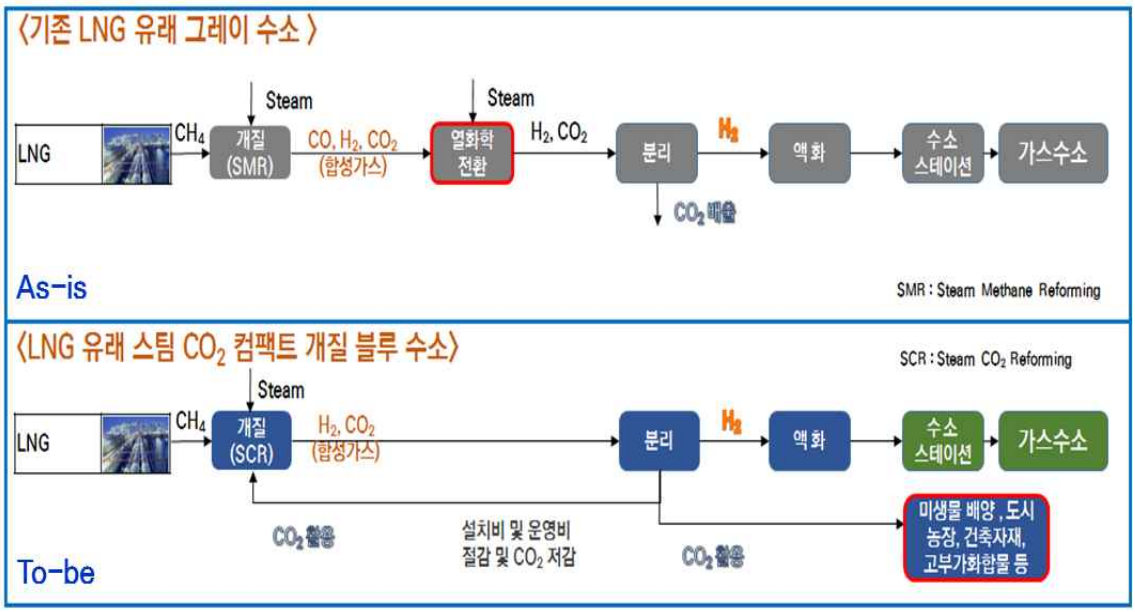
[그림 5-2-18] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (바이오가스 분야)

○ 소규모 on-site 도시가스 개질 수소 생산



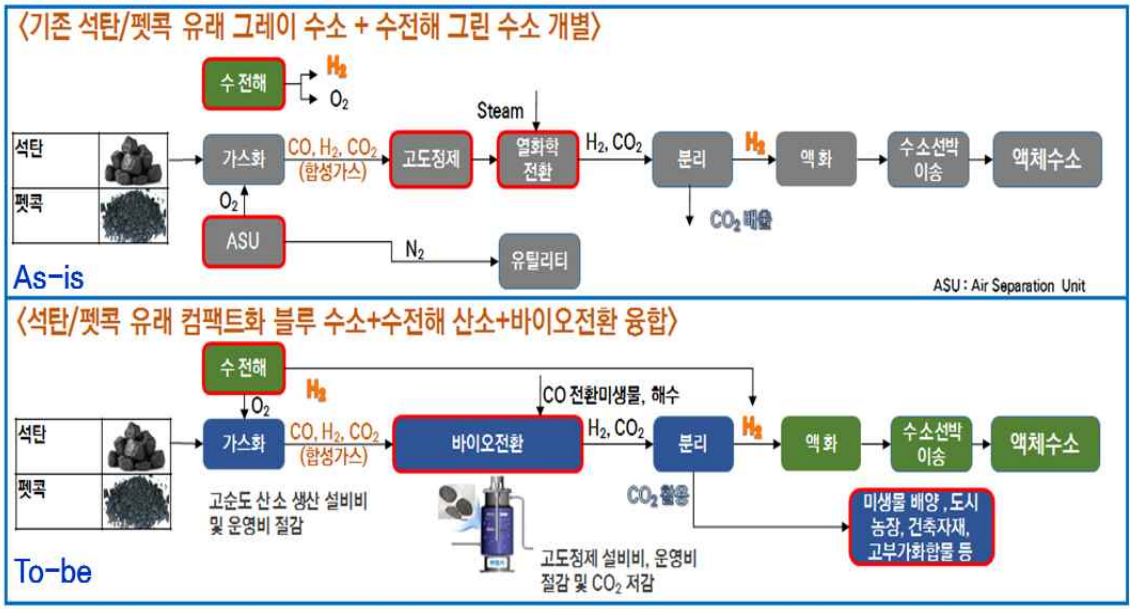
[그림 5-2-19] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (소규모 개질 분야)

○ 대규모 LNG 개질 수소 생산



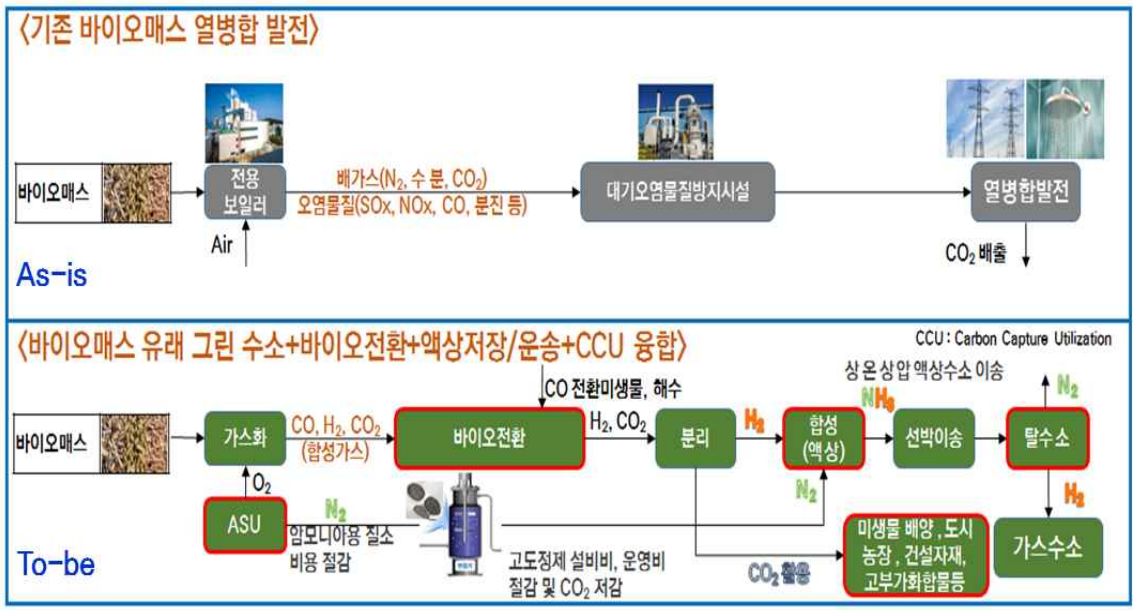
[그림 5-2-20] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (대규모 개질 분야)

○ 대규모 해외 석탄/펫코크 가스화 수소생산 및 이송



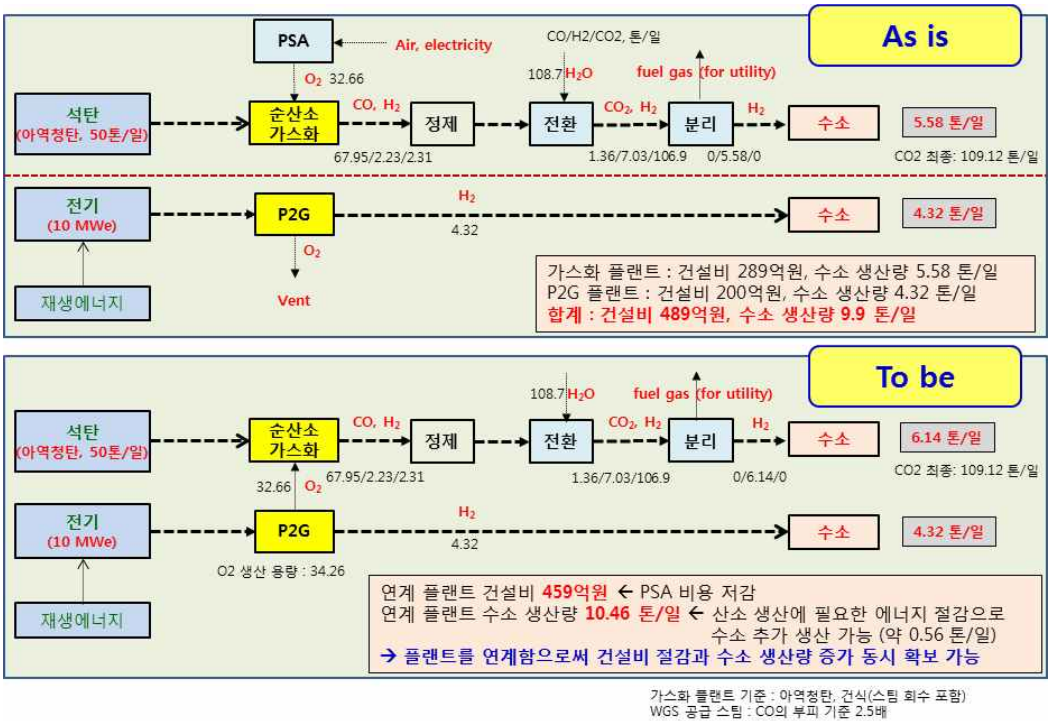
[그림 5-2-21] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (석탄/펫코크 분야)

○ 중규모 해외 바이오매스 가스화 수소생산 및 이송



[그림 5-2-22] 중분류 기술개발 과제 간의 직접 연계의 예 (바이오매스 분야)

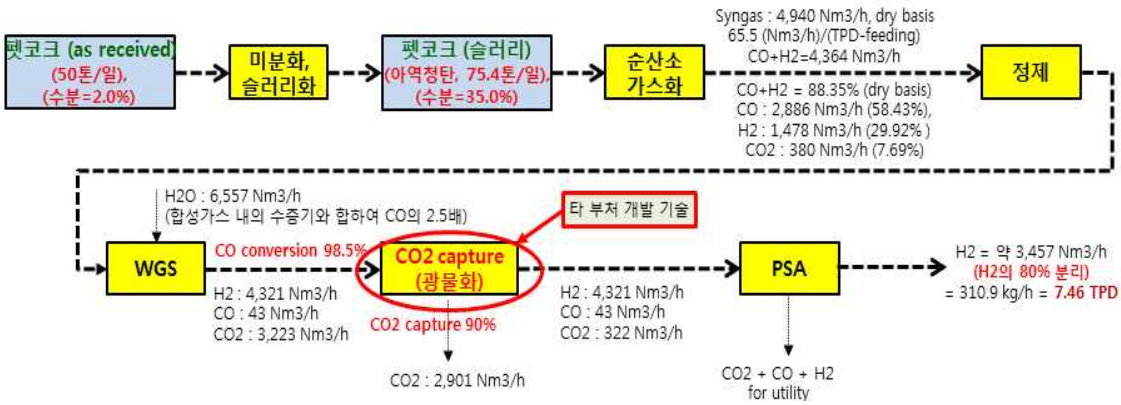
○ 중분류 기술(P2G)과 현재 국내에서 상업용 플랜트 건설 경험 및 Test-bed급 실적을 보유하고 있는 기술(석탄가스화)과의 연계에 의한 시너지 효과의 예로서, 대략적인 건설비 증감과 수소 생산량 증감을 분석한 예를 아래 그림과 같이 정리



[그림 5-2-23] 중분류 기술 간의 연계에 의한 시너지 효과의 예

○ 중분류 기술(펫코크 가스화)과 타부처에서 기술개발 경험을 지니고 있는 기술(CO_2 광물화)과의 연계에 의하여 CO_2 free 수소 생산 플랜트를 구현할 수 있는 개념도를 아래 그림에 요약하여 도시

- 수성가스전환반응(WGS)을 거친 후 CO_2가 고농도인 상태에서 기존 국내에서 개발경험을 보유하고 있는 CO_2 광물화, 습식 및 건식 CO_2 포집 기술과 쉽게 연계하여 효율적으로 CO_2를 포집할 수 있으며, 고순도로 CO_2를 포집하여 화학물질 전환 등으로 활용 가능한 친환경 기술



[그림 5-2-24] 중분류 기술과 타부처 개발 기술과의 연계에 의한 시너지 효과의 예

제 6 장 중점 기술개발 내용

제1절 중점기술별 상세내용

1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

1.1 연구 설계도: Level 1

<표 6-1-1> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발의 최종 성과물

세부 과제명(대분류)	최종성과물	최종성과물 유형
1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	50톤/일급 폐기물/바이오매스 가스화 설비 및 50톤/일급 펫코크 가스화 설비	시스템

1.2 연구 설계도: Level 2

<표 6-1-2> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발의 목표 성능

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명 (중분류)	목표 성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부
1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	1.1. 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	냉가스효율 > 63% $CO+H_2$ 조성 > 55% 연속운전 > 14일 처리 용량 > 50톤/일 장치 국산화율 > 90%	시스템	5	○
	1.2. 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	냉가스효율 > 75% 탄소전환율 > 99% 연속운전 > 14일 처리 용량 > 50톤/일 슬러리농도 > 65%	시스템	5	○
	1.3. 원료 균질화를 위한 전처리 기술	처리용량 > 100톤/일 반탄화물 발열량 > 4,000 kcal/kg 연료 수율(건량기준) > 65% 연속운전 > 14일 장치 국산화율 > 90%	시스템	5	

1.3 연구 활동

<표 6-1-3> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발의 산출물

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명 (중분류)	연구 활동(소분류)	산출물	연구 기간
1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	1.1. 폐기물/ 바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	1.1.1. 합성가스 생산시스템 설계 및 구축	상세설계 자료집 및 설비	2
		1.1.2. 시스템 성능평가 및 운전 최적화	최적운전조건 및 운전매뉴얼	3
	1.2. 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	1.2.1. 펫코크 가스화 실증 기술	상세설계 자료집 및 설비	5
		1.2.2. 습식 분쇄 및 슬러리 제조/공급 기술 개발	상세설계 자료집 및 설비	5
	1.3. 원료 균질화를 위한 전처리 기술	1.3.1 원료 균질화 전처리 시스템 설계 및 구축	상세설계 자료집 및 설비	2
		1.3.2 시스템 성능평가 및 운전 최적화	최적운전조건 및 운전매뉴얼	3

1.4 연구 설계도

<표 6-1-4> 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발 연구설계도 총괄표

Level 1			Level 2					Level 3		
세부 과제명 (대분류)	최종 성과물	최종 성과물 유형	세부 기술 (중분류)	목표 성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구 활동 (소분류)	산출물	연구 기간
1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	50톤/일급 폐기물/바이오매스 가스화 설비 및 50톤/일급 펫코크 가스화 설비	시스템	1.1 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술	냉가스효율 > 63% $CO+H_2$ 조성> 55% 연속운전 > 14일 처리 용량 > 50톤/일 장치 국산화율 > 90%	시스템	5	○	11.1. 50톤/일급 중·소규모 모듈형 가스화로 설계 및 구축	상세설계 자료집 및 설비	2
								1.1.2. 안정적인 합성가스 생산을 위한 최적 운전제어 기술 개발	최적운전조건 및 운전매뉴얼	3
			1.2 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	냉가스효율 > 75% 탄소전환율 > 99% 연속운전 > 14일 처리용량 > 50톤/일 슬러리 농도 > 65%	시스템	5	○	1.2.1. 펫코크 가스화 실증 기술	상세설계 자료집 및 설비	5
								1.2.2. 습식 분쇄 및 슬러리 제조/공급 기술 개발	상세설계 자료집 및 설비	5
			1.3 원료 균질화를 위한 전처리 기술	처리용량 > 100톤/일 반탄화물 발열량 > 4,000 kcal/kg 연료 수율(건량기준) > 65% 연속운전 > 14일 장치 국산화율 > 90%	시스템	5		1.3.1 원료 균질화 전처리 시스템 설계 및 구축	상세설계 자료집 및 설비	2
								1.3.2 시스템 성능평가 및 운전 최적화	최적운전조건 및 운전매뉴얼	3

2. 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술

2.1 연구 설계도: Level 1

<표 6-1-5> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발의 최종 성과물

세부 과제명(대분류)	최종성과물	최종성과물 유형
2. 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술	50톤/일급 메탄/수소 생산 바이오가스 생산 설비	시스템

2.2 연구 설계도: Level 2

<표 6-1-6> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발의 목표 성능

세부 과제명(대분류)	세부 기술명(중분류)	목표 성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부
2. 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술	2.1 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	용존유기물 함량 증대 >30% 연속운전 > 50일 처리 용량 > 50톤/일 바이오메탄 생산량 > 50 (m^3-CH_4)/(m^3/day)	시스템	5	○
	2.2 바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술	바이오수소 생산량 > 20 H_2/m^3/day 체류시간 < 30일 연속운전 > 300일 처리용량 > 50톤/일 수소 발생량 > mol H_2/mol Hexose 수소생산 균주 발굴 > 5종 메탄순도 > 95.0%	시스템	5	
	2.3 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술	수소전환율 > 95% 승온에너지 <400℃	시스템	4	

2.3 연구 활동

<표 6-1-7> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발의 산출물

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명 (중분류)	연구 활동 (소분류)	산출물	연구 기간
2. 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술	2.1 바이오매스 (유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	2.1.1 혐기 미생물 분해 효율 향상 위한 전처리 기술	상세설계 자료집	4
		2.1.2 바이오 CO_2 활용 바이오메탄 생산량 증가 기술	최적운전조건 및 운전매뉴얼	6
		2.1.3 바이오 CO_2 분리를 통한 통합 바이오가스플랜트의 개질 수소 생산 증진 기술	상세설계 자료집 및 시제품	4
	2.2 바이오매스 (유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술	2.2.1 안정적인 수소 생산균 유지관리 기술	상세설계 자료집	4
		2.2.2 바이오센싱 기반 바이오수소 생산 기술	최적운전조건 매뉴얼	6
	2.3 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술	2.3.1 배가스 활용 혐기소화액 암모니아 경제적 회수 기술	상세설계 자료집 및 시제품	4
		2.3.2 혐기소화액 유래 혼합 암모니아가스로부터 수소 생산 기술	상세설계 자료집 및 시제품	6

2.4 연구 설계도: 총괄표

<표 6-1-8> 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발 연구설계도 총괄표

Level 1			Level 2					Level 3		
세부 과제명 (대분류)	최종 성과물	최종 성과물 유형	세부 기술 (중분류)	목표 성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구 활동 (소분류)	산출물	연구 기간
2. 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술	50톤/일급 메탄/수소 생산 바이오가스 생산 설비	시스템	2.1 바이오 매스 (유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	용존유기물 함량 증대 >30% 연속운전 > 50일 처리 용량 > 50톤/일 바이오메탄 생산량 > 50 m^3 $CH_4/m^3/day$ 메탄순도 > 95.0% 체류시간 <30일 연속운전 > 300일 처리용량 > 50톤/일	시스템	5	○	2.1.1 혐기 미생물 분해 효율 향상 위한 전처리 기술	상세설계 자료집	4
								2.1.2 바이오 CO_2 활용 바이오메탄 생산량 증가 기술	최적운전조건 및 운전매뉴얼	6
								2.1.3 바이오 CO_2 분리를 통한 통합 바이오가스플랜트의 개질 수소 생산 증진 기술	상세설계 자료집 및 시제품	4
			2.2 바이오 매스 (유기성) 기반 안정적 바이오수소 직접 생산 실증 기술	바이오수소 생산량 > 20 $H_2/m^3/day$ 수소 발생량 > 2.2 mol H_2/mol Hexose 수소생산 균주 발굴 > 5종 수소순도 > 99.99% 체류시간 <30일 연속운전 > 300일 처리용량 > 50톤/일	시스템	5		2.2.1 안정적인 수소 생산균 유지관리 기술	상세설계 자료집	4
								2.2.2 바이오센싱 기반 바이오수소 생산 기술	최적운전조건 매뉴얼	6
			2.3 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술	수소전환율 >95% 승온에너지 <400℃	시스템	4		2.3.1 배가스 활용 혐기소화액 암모니아 경제적 회수 기술	상세설계 자료집 및 시제품	4
								2.3.2 혐기소화액 유래 혼합 암모니아가스로부터 수소 생산 기술	상세설계 자료집 및 시제품	6

3. 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

3.1 연구 설계도: Level 1

<표 6-1-9> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술 개발의 최종 성과물

세부 과제명(대분류)	최종성과물	최종성과물 유형
3. 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발	1MW급 P2G 실증 설비	시작품/시스템

3.2 연구 설계도: Level 2

<표 6-1-10> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술 개발의 목표 성능

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명 (중분류)	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부
3. 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발	3.1 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	단일모듈 1MW	공법/기법	5	O
	3.2 P2G 플랜트 산소 활용 기술	단일모듈 100 Nm^3/h	공법/기법	5	O
	3.3 P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	수전해 효율 70% 메탄화 효율 70%	공법/기법	5	
	3.4 P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술	10일 연속운전	시스템	5	
	3.5 수소 안전/제도	P2G 안전 제도	공법/기법	5	

3.3 연구 활동

<표 6-1-11> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술 개발의 산출물

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명 (중분류)	연구 활동 (소분류)	산출물	연구 기간
3. 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	3.1 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	3.1.1 1MW급 수전해 시스템 기술	시작품	5
		3.1.2 1MW급 단일모듈 수전해 최적화 기술	시작품	5
		3.1.3 잉여 전기 계통 연계 기술	계통연계도서	5
	3.2 P2G 플랜트 산소 활용 기술	3.2.1 수전해 설비 산소 발생 및 저장 시스템	시작품	5
		3.2.2 순산소 가스화 플랜트 연계기술	시작품	5
	3.3 P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	3.3.1 P2G 공정 설계 기술	기본설계집	5
		3.3.2 P2G 공정 최적화 기술	상세설계집	5
	3.4 P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술	3.4.1 P2G 실증 플랜트 건설 기술	시작품	5
		3.4.2 P2G 플랜트 운영 기술	운전메뉴얼	5
	3.5 수소 안전/제도	3.5.1 수소 생산 설비 설계 안전성 평가	위험성평가/안전기준	5
		3.5.2 수소 생산 설비 건설 안전성 평가	위험성평가/안전기준	5
		3.5.3 수소 충전시설 안전성 평가	위험성평가/안전기준	5

3.4 연구 설계도: 총괄표

<표 6-1-12> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술 개발 연구설계도 총괄표

Level 1			Level 2					Level 3		
세부 과제명 (대분류)	최종성과물	최종성과물 유형	세부 기술 (중분류)	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구 활동 (소분류)	산출물	연구 기간
3. 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발	1MW급 P2G 실증 설비	시스템	3.1 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	단일모듈 1MW	공법/기법	5	O	3.1.1 1MW급 수전해 시스템 기술	시작품	5
								3.1.2 1MW급 단일모듈 수전해 최적화 기술	시작품	5
								3.1.3 잉여 전기 계통 연계 기술	계통 연계도서	5
			3.2 P2G 플랜트 산소 활용 기술	단일모듈 100 Nm^3/h	공법/기법	5	O	3.2.1 수전해 설비 산소 발생 및 저장 시스템	시작품	5
								3.2.2 순산소 가스화 플랜트 연계 기술	시작품	5
			3.3 P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	수전해 효율 70% 메탄화 효율 70%	공법/기법	4		3.3.1 P2G 공정 설계 기술	기본 설계집	5
								3.3.2 P2G 공정 최적화 기술	상세 설계집	5
			3.4 P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술	10일 연속운전	시스템	3		3.4.1 P2G 실증 플랜트 건설 기술	시작품	5
								3.4.2 P2G 플랜트 운영 기술	운전 메뉴얼	5
			3.5 수소 안전/제도	P2G 안전 제도	공법/기법	5		3.5.1 수소 생산 설비 설계 안전성 평가	위험성평가 /안전기준	5
								3.5.2 수소 생산 설비 건설 안전성 평가	위험성평가 /안전기준	5
								3.5.3 수소 충전시설 안전성 평가	위험성평가 /안전기준	5

4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

4.1 연구 설계도: Level 1

<표 6-1-13> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발의 최종 성과물

세부 과제명(대분류)	최종성과물	최종성과물 유형
4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	1,400 Nm^3/h급(3톤/일급) 수소생산 설비	시작품/시스템

4.2 연구 설계도: Level 2

<표 6-1-14> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발의 목표 성능

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명(중분류)	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부
4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	4.1 천연가스의 CO_2-added 개질 기술	1,400 Nm^3/h급 수소생산	공법/기법	7	O
	4.2 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	CO 전환율 99.5% 이상	공법/기법	7	O
	4.3 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	300 Nm^3/h급 수소생산	공법/기법	7	O

4.3 연구 활동

<표 6-1-15> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발의 산출물

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명 (중분류)	연구 활동(소분류)	산출물	연구 기간
4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	4.1 천연가스의 CO_2-added 개질 기술	4.1.1 천연가스 개질용 촉매 기술	시작품	3
		4.1.2 개질 공정 주요 장치의 모듈화/컴팩트화 설계 및 실증 기술	시작품	3
		4.1.3 수증기/CO_2 활용 개질반응기 설계 기술	계통연계 도서	5
	4.2 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	4.2.1 고온 및 저온 수성가스 전환 촉매 설계 기술	시작품	3
		4.2.2 수성가스전환 반응기 설계 기술	시작품	3
	4.3 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	4.3.1 수소 생산량 300 Nm^3/h급 NH_3 분해 수소생산 공정 기술	시작품	5
		4.3.2 미반응 NH_3 제거 공정설비 및 고순도 수소 정제 공정 기술	시작품	5

4.4 연구 설계도: 총괄표

<표 6-1-16> 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발 연구설계도 총괄표

Level 1			Level 2					Level 3		
세부 과제명 (대분류)	최종 성과물	최종성과물 유형	세부 기술 (중분류)	목표성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구 활동 (소분류)	산출물	연구기간
4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발	1,400 Nm^3/h 규모 수소생산	시스템	4.1 천연가스의 CO_2-added 개질 기술	1,400 Nm^3/h 규모 개질공정	공법/기법	7	O	4.1.1 천연가스 개질용 촉매 기술	시작품	3
								4.1.2 개질 공정 주요 장치의 모듈화/컴팩트화 설계 및 실증 기술	시작품	3
								4.1.3 수증기/CO_2 활용 개질반응기 설계 기술	계통연계 도서	5
			4.2 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	CO 전환율 99.5% 이상	공법/기법	7	O	4.2.1 고온 및 저온 수성가스 전환 촉매 설계 기술	시작품	3
								4.2.2 수성가스전환 반응기 설계 기술	시작품	3
			4.3 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	300 Nm^3/h 규모 개질공정 수소농도 99.99%	공법/기법	7	O	4.3.1 수소 생산량 300 Nm^3/h급 NH_3 분해 수소생산 공정 기술	시작품	5
								4.3.2 미반응 NH_3 제거 공정설비 및 고순도 수소 정제 공정 기술	시작품	5

5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

5.1 연구 설계도: Level 1

<표 6-1-17> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발의 최종 성과물

세부 과제명(대분류)	최종성과물	최종성과물 유형
5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발	2,500 Nm^3/h 규모 합성가스/바이오가스 고도 정제 설비 및 고순도 수소 분리 설비	시스템

5.2 연구 설계도: Level 2

<표 6-1-18> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발의 목표 성능

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명 (중분류)	목표 성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부
5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발	5.1 합성가스 및 바이오가스 고도 정제기술	<합성가스> 용량 2,500 Nm^3/h 분진 < 0.1 mg/m^3 H_2S < 0.1 ppm HCl < 0.1 ppm	시스템	5	○
		<바이오가스> 용량 300 Nm^3/h 분진 < 0.1 mg/m^3 H_2S < 0.1 ppm 실록산 < 0.1 ppm	시스템	5	
	5.2 고순도 수소 분리 고도화 기술	<PSA> 용량 2,500 Nm^3/h 수소 순도 > 99.99%	시스템	5	○
		<분리막> 용량 100 Nm^3/h 수소 순도 > 99.999%	시스템	3	

5.3 연구 활동

<표 6-1-19> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발의 산출물

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명 (중분류)	연구 활동 (소분류)	산출물	연구 기간
5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발	5.1 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	5.1.1 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 합성가스 정제 설비 설계 구축 및 최적 운전제어 기술	상세설계 자료집 및 고도 정제효율 분석보고서	5
		5.1.2 합성가스 고도 정제를 위한 모듈형 컴팩트 정제 설비 FEED 패키지	FEED 설계 자료집	5
		5.1.3 300 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 바이오가스 정제 설비 설계, 구축 및 최적 운전제어 기술	상세설계 자료집 및 고도 정제효율 분석보고서	4
		5.1.4 바이오가스 고도 정제를 위한 모듈형 컴팩트 정제 설비 FEED 패키지	FEED 설계 자료집	3
	5.2 고순도 수소 분리 고도화 기술	5.2.1 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 설비 설계, 구축 및 최적 운전제어기술	및 고순도 분리효율 분석보고서	5
		5.2.2 고순도 수소 분리용 소재 개발 및 소규모 시험	고순도 수소 분리 시험보고서	5
		5.2.3 100 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 고도화 설비 설계, 구축 및 운전제어기술 (가스처리량 500 Nm^3/h, 분리막 모듈 5기 연계)	상세설계 자료집 및 고순도 분리효율 분석보고서	3
		5.2.4 고순도 수소 분리 고도화 설비 소재 개발 및 랩규모 모듈화 제작 시험	랩규모 고순도 수소 분리 고도화 시험보고서	4

5.4 연구 설계도: 총괄표

<표 6-1-20> 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발 연구설계도 총괄표

Level 1			Level 2					Level 3		
세부 과제명 (대분류)	최종 성과물	최종 성과물 유형	세부 기술 (중분류)	목표 성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구 활동 (소분류)	산출물	연구 기간
5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발	2,500 Nm^3/h 규모 합성가스/바이오가스 고도 정제 설비 및 고순도 수소 분리 설비	시스템	5.1 합성가스 및 바이오 고도 정제기술	<합성가스> 용량 2,500 Nm^3/h 분진 < 0.1 mg/m^3 H_2S < 0.1 ppm HCl < 0.1 ppm	시스템	5	○	5.1.1 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 합성가스 정제 설비 설계 구축 및 최적 운전제어 기술	상세설계 자료집 및 고도 정제효율 분석보고서	5
								5.1.2 합성가스 고도 정제를 위한 모듈형 컴팩트 정제 설비 FEED 패키지	FEED 설계 자료집	5
				<바이오가스> 용량 300 Nm^3/h 분진 < 0.1 mg/m^3 H_2S < 0.1 ppm 실록산 < 0.1 ppm	시스템	5		5.1.3 300 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 바이오가스 정제 설비 설계, 구축 및 최적 운전제어 기술	상세설계 자료집 및 고도 정제효율 분석보고서	4
								5.1.4 바이오가스 고도 정제를 위한 모듈형 컴팩트 정제 설비 FEED 패키지	FEED 설계 자료집	3
			5.2 고순도 수소 분리 고도화 기술	<PSA> 용량 2,500 Nm^3/h 수소 순도 > 99.99%	시스템	5	○	5.2.1 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 설비 설계, 구축 및 최적 운전제어기술	상세설계 자료집 및 고순도 분리효율 분석보고서	5
								5.2.2 고순도 수소 분리용 소재 개발 및 소규모 시험	고순도 수소 분리 시험보고서	5
				<분리막> 용량 100 Nm^3/h 수소 순도 > 99.999%	시스템	3		5.2.3 100 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 고도화 설비 설계, 구축 및 운전제어기술 (가스처리량 500Nm^3/h, 분리막 모듈 5기 연계)	상세설계 자료집 및 고순도 분리효율 분석보고서	3
								5.2.4 고순도 수소 분리 고도화 설비 소재 개발 및 랩규모 모듈화 제작 시험	랩규모 고순도 수소 분리 고도화 시험보고서	4

6. 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술

6.1 연구 설계도: Level 1

<표 6-1-21> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술 개발의 최종 성과물

세부 과제명(대분류)	최종성과물	최종성과물 유형
6. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술 개발	핵심설비별 표준모델 설계 기술 (모듈화 후보 5개 이내) 및 ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 시스템	설계도/시스템

6.2 연구 설계도: Level 2

<표 6-1-22> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술 개발의 목표 성능

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명 (중분류)	목표 성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부
6. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술 개발	6.1 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	모듈화 설계 기술 자립도 100% EPC-O&M 연계 데이터 활용 자동화율 > 50% 센서 기반 가상플랜트 정확도> 85%	설계도	5	
	6.2 ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	대용량 data 실시간 진단 및 예측 100% 신뢰성기반 안전성 평가 프로그램 가용도 > 50% 누출시나리오별 피해영향 평가예측 데이터 베이스 구축률 > 70%	시스템	5	

6.3 연구 활동

<표 6-1-23> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술 개발의 산출물

세부 과제명 (대분류)	세부 기술명 (중분류)	연구 활동 (소분류)	산출물	연구 기간
6. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술 개발	6.1 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	6.1.1 수소생산 플랜트 핵심설비별 표준모듈 설계 기술	상세설계 자료집	5
		6.1.2 핵심설비 모듈 연결 플랜트 최적화 설계 기술	상세설계 자료집	4
		6.1.3 모듈 통합 플랜트 운영 기반 지원기술	상세설계 자료집	3
	6.2 ICT활용 제어 및 유지/보수 기술	6.2.1 ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 시스템	상세설계 자료집	4
		6.2.2 합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 체계	상세설계 자료집	5

6.4 연구 설계도: 총괄표

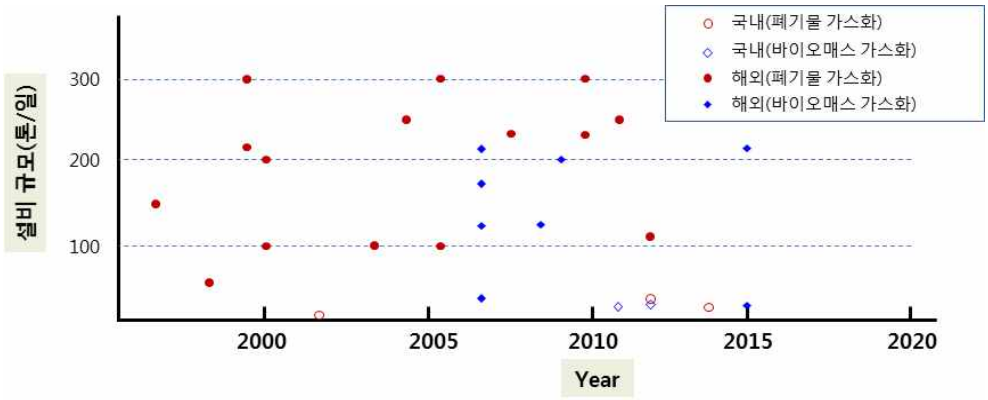
<표 6-1-24> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술 개발 연구설계도 총괄표

Level 1			Level 2					Level 3		
세부 과제명 (대분류)	최종 성과물	최종 성과물 유형	세부 기술 (중분류)	목표 성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부	연구 활동 (소분류)	산출물	연구 기간
6. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술 개발	핵심설비별 표준모델 설계기술 (모듈화 후보 5개 이내), ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 시스템	설계도/시스템	6.1. 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	모듈화 설계 기술 자립도 100% EPC-O&M 연계 데이터 활용 자동화율 > 50% 센서 기반 가상플랜트 정확도> 85%	시스템	5		6.1.1. 합성가스 플랜트 핵심설비별 표준모듈 설계 기술	상세설계 자료집	5
								6.1.2. 핵심설비 모듈 연결 플랜트 최적화 설계 기술	상세설계 자료집	4
								6.1.3. 모듈 통합 플랜트 운영 기반 지원기술	상세설계 자료집	3
			6.2. ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	대용량 data 실시간 진단 및 예측 100% 신뢰성기반 안전성평가 프로그램 가용도 > 50% 누출시나리오별 피해영향 평가예측 데이터베이스 구축률 > 70%	시스템	5		6.2.1. ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 시스템	상세설계 자료집	4
								6.2.2. 합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 체계	상세설계 자료집	5

7. 세부분야별 적정 설비규모 산정

□ 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

○ 기존 폐기물 가스화 플랜트의 최대 설비 규모는 300톤/일이며, 바이오매스 가스화 플랜트는 폐기물 가스화 플랜트 보다 조금 적은 220톤/일 규모



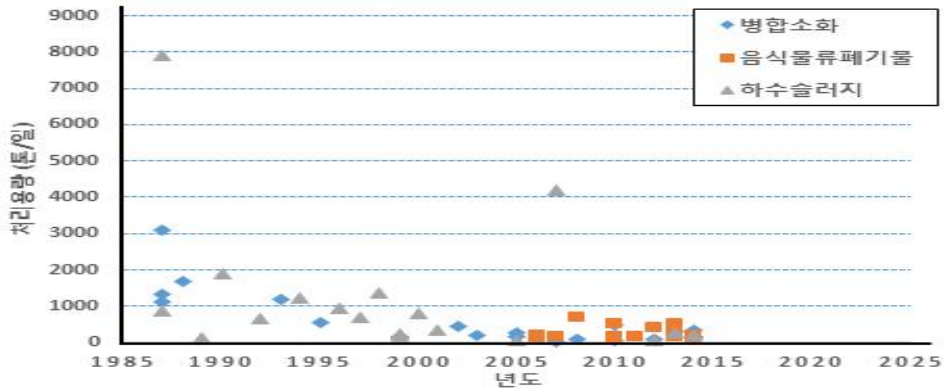
[그림 6-1-1] 국내외 폐기물/바이오매스 가스화 플랜트 설비 규모 현황

○ 본 기획에서는 폐기물 가스화 플랜트 설비규모를 원료 수급 가능 규모로부터 아래와 같이 50톤/일로 산정
- 대상 도시/지역 인구수: 100,000명(중소도시 규모)
- 대상 도시/지역의 폐기물 발생량 원단위: 0.93 kg/인·일(동남아 국가: 0.8 kg/인·일)
- 폐기물 전처리(파쇄, 선별, 건조) 후 생산 수율: 50~60%
- 필요 설비규모: 46.5 ~ 55.8톤/일(본 기획에서는 설비규모를 50톤/일로 산정)

○ 본 기획에서는 펫코크 가스화 플랜트 설비규모를 국내 기술 수준, 개발 완료 후 단시일 이내에 적용 및 대형 플랜트로 scale-up 하기 위한 전략 등을 고려하여 50톤/일로 산정
- 국내에서 진행된 석탄가스화 기술개발에서 확보한 2~20톤/일급의 기술을 기반으로 scale-up 설계가 가능하여 사업의 성공 가능성을 극대화
- 하루 5~10톤/일 수소 생산 또는 3~5 MWe 의 분산발전이 가능하여 개발 완료 후 즉시 상업용 플랜트로 활용 가능
- 플랜트의 scale-up이 10배 수준으로 가능하다는 점을 고려하면 중장기적으로는 500톤/일급, 이어서 2,000톤/일급 대형 플랜트 기술개발을 수행할 수 있는 기반 확보

□ 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술

○ 기존 바이오메탄 생산 공정의 최대 설비 규모는 7,900톤/일 이며, 이때 원료는 하수슬러지
- 음식물류 폐기물 대상 최대 설비 규모는 700톤/일로 하수슬러지에 비해 10배가량 적은 규모였으며, 음식물류 폐기물과 하수슬러지 병합 혐기소화의 경우 9,000톤/일 규모



[그림 6-1-2] 국내외 바이오가스 플랜트 설비 규모 현황

○ 본 기획에서는 바이오가스 플랜트 설비규모를 원료 수급 가능 규모 및 지자체의 참여를 유도할 수 있는 규모를 고려하여 아래와 같이 50톤/일로 산정

- 대상 도시/지역 인구수: 100,000명(중소도시 규모)
- 대상 도시/지역의 음식물류폐기물 및 하수슬러지 발생량 원단위: 0.24~0.28 kg/인·일 (음식물류 폐기물), 0.19~0.23 kg/인·일(하수슬러지)

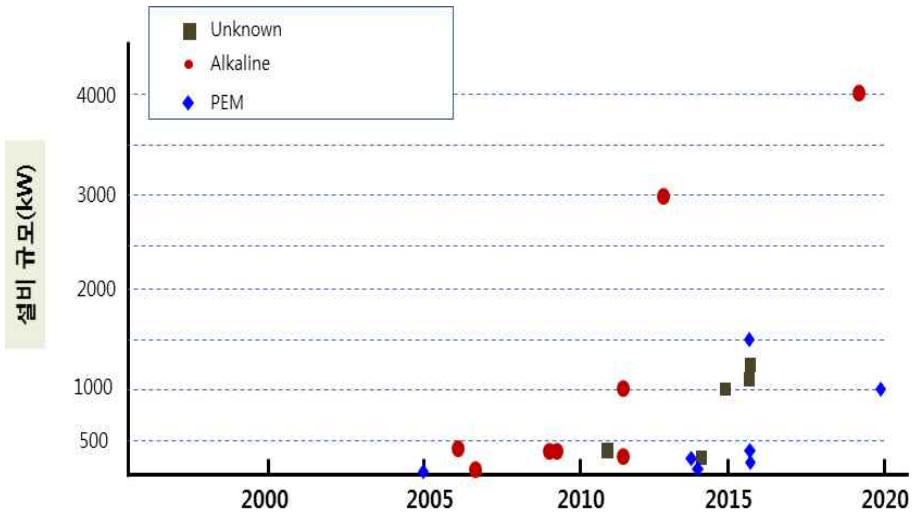
* 필요 설비규모: 43.0~51.0톤/일 (본 기획에서는 설비규모를 50톤/일로 산정)

- 참여의향서를 제출한 지자체에서 부지를 제공하기에 적절한 규모

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 2014년도 이후부터 100 kW 이상의 PEM 수전해 기술을 이용한 P2G 플랜트 증가 추세

○ 국내 재생에너지 인프라 및 세계적인 설비 규모를 고려하여 1 MW급 PEM 수전해기술을 이용한 P2G 플랜트를 선정



[그림 6-1-3] 국내외 중소형 P2G 플랜트 설비 규모 현황

□ 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

○ 수소생산량은 천연가스 공급망과 연결하여 1,400 Nm^3/h의 수소를 생산할 수 있는 양을 기준으로 산정

○ 이 규모는 거점형 중·대규모 수소생산기지로 사용할 수 있으며, 하루 약 3톤(1,400 Nm^3/h)의 수소를 생산하여 500대의 수소자동차(1대당 6 kg의 수소를 충전)에 충전 가능한 규모

□ 합성가스/ 바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

○ 50톤/일급 폐기물 또는 바이오매스 가스화 플랜트에서 생산되는 합성가스의 용량은 대략적으로 2,300~3,000 Nm^3/h이고, 50톤/일급 유기성 폐기물의 혐기소화시 대략적으로 290~310 Nm^3/h의 바이오가스와 혐기소화액에서 500 Nm^3/h의 수소 혼합가스가 생산

○ 합성가스 플랜트의 경우 정제 및 수소 분리 설비 규모를 2,500 Nm^3/h로 산정

○ 바이오가스 플랜트의 정제 설비 규모를 300 Nm^3/h로 산정하였으며, 개질 후의 수소/이산화탄소 혼합가스의 분리 규모를 750 Nm^3/h로 산정하고, 혐기소화액에 발생된 수소/이산화탄소/질소 혼합가스의 분리규모를 500 Nm^3/h로 산정

- 개질 후의 바이오수소 750 Nm^3/h를 분리하기 위해 개발하는 2,500 Nm^3/h PSA 기술을 scale-down하여 적용

- 500 Nm^3/h 혐기소화 수소의 분리를 위해 100 Nm^3/h의 분리막 모듈을 개발하여 5기를 병렬 연계 적용

제2절. 중점기술별 핵심 R&D 필요기술 추진계획

1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

1.1 (핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1) 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 방식의 상용급 합성가스 생산 기술

□ **(기술의 정의)** 국내 보유 파일럿급(수톤/일급 또는 수십톤/일급) 폐기물 또는 바이오매스(가연성) 가스화 기술을 기반으로 하여 본 과제의 목적에 알맞은 설비규모인 폐기물/바이오매스 기준 50톤/일급 고정층 순산소 가스화기 및 가스화 시스템의 설계, 주요 장치들을 포함한 공정 구성과 제작, 그리고 최종적으로는 연속운전을 통하여 실증하는 전 과정의 기술

○ 저급자원인 폐기물 또는 바이오매스(가연성)로부터 CO/H_2가 주성분인 합성가스를 생산하는 가스화기술로서 현재 국내 보유 기술인 수톤/일급 가스화 기술을 기반으로 폐기물/바이오매스 기준 50톤/일급 순산소 가스화기 설계, 제작 및 운전

- 국내 파일럿 기반기술과 설계기술을 활용하여 50톤/일급 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화기 기술 개발(scale-up 설계, 모듈화 설계 및 최적 운전기술)
- 안정적인 합성가스 생산을 위한 지능형 모니터링 및 제어기술 개발(ICT, 설계데이터 연계 제어기술)

○ 폐기물/바이오매스 원료의 균일성을 높이기 위한 전처리기술 연계

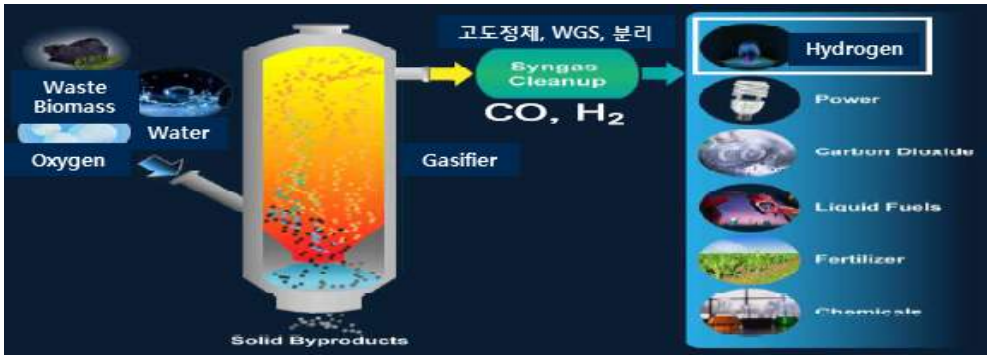
- 기존 기계적 선별 외 저온 탄화(열분해) 등 연계하여 반응기 내 균일성 확보

○ 타르 발생량을 초기에 제어하는 고효율 타르 발생 제어기술 개발

○ 합성가스 급속냉각장치, 미세타르/분집 집진장치의 설계, 제작 및 가스화기와 연계하여 운전

○ 연료전지에 사용할 수 있는 수준의 합성가스 탈황장치, 수성가스전환 반응기 및 수소분리 장치(PSA) 등과 연계하여 운전, 즉 폐기물/바이오매스(가연성)로부터 수소를 생산하는 전 공정을 연계하여 운전

- 5세부(합성가스 고도정제 장치), 4세부(수성가스전환 반응기 및 수소분리 장치) 등 세부과제 수행기관들과 협조하여 전체 공정 구성



[그림 6-2-1] 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화에 의한 수소추출 개념도

□ (개발 최종 목표)

○ (정성적 목표)

- 폐기물/바이오매스(가연성)로부터 일산화탄소와 수소가 주성분인 합성가스 생산, 수성가스전환 및 분리를 통해 고순도 수소 생산기술의 상용화
- 타 세부과제에서 개발하는 합성가스 고도정제 장치, 수성가스전환 장치, 수소분리 장치 등 연계하여 고순도 수소를 생산할 수 있는 실증플랜트 운영기술 개발

○ (정량적 목표)

<표 6-2-1> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1: 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 방식의 상용급 합성가스 생산 기술	냉가스효율 (%)	60	63
	합성가스의 $CO+H_2$ 조성 (%)	50	55
	연속운전 (일)	2	14
	처리용량 (톤/일)	5	50
	장치 국산화율 (%)	75	90

□ (목표 설정 근거)

○ 폐기물/바이오가스(가연성) 순산소 가스화 기술의 상업화를 위해 필요한 에너지 효율을 고려하여 세계최고수준 달성을 위한 지표로 구성

- 냉가스효율, 합성가스 내 $CO+H_2$ 조성: 기술개발 완료 후 플랜트의 상업화를 목표로 하여 폐기물 가스화 기술의 세계 최고수준을 보유하고 있는 캐나다 Enerkem사와 스위스 Termoselect사의 가스화 성능 달성

○ 상업용 중소형 플랜트에 해당하는 test-bed를 이용하여 track record를 쌓기 위해서는 모든 장치가 연계된 전체 공정의 연속운전이 매우 중요하며, 기술개발 단계에서 확보해야 할 수준으로 연속운전 일수를 설정

○ 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화 기술력 확보 및 가스화 설비 국산화를 위한 장치 국산화율 설정

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 세계적으로 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화를 위한 고정층 방식은 초기 상용화 단계이며, 유동층 방식은 데모플랜트와 초기 상용화 사이 단계

○ 유럽, 일본, 캐나다 중심으로 수백톤/일 처리용량의 합성가스 생산 기술과 화학원료/연료전환/엔진발전 기술을 개발하여 시장에 진출중이며, 중국의 경우 바이오매스 가스화 기술 사업화를 진행하고 있지만 기술수준이 낮아 해외에서 신뢰성 부족

- 캐나다 Enerkem사에서 폐바이오매스/폐기물 이용 300톤/일급 가스화 및 합성가스 이용 에탄올/메탄올 생산 시설 상업 운전 중
- 일본도 폐기물 유래 고형연료 이용 100~200톤/일급 가스화 및 합성가스를 이용하여 암모니아 생산 공장의 화학원료로 활용 중

○ 국내의 경우, 파일럿급 고정층 가스화기 개발을 중심으로 관련 기술인 합성가스 습식 정제기술(탈황, 탈염, 탈진 기술) 개발 수행

- 가스화, 탈황 등 일부 요소기술에서 세계적인 수준을 보유하고 있으나 설비규모면에서는 선진국에 비해 크게 뒤지고 있는 실정
- 상용규모 가스화 설계기술은 Pilot 연구를 바탕으로 30~100톤/일급 기본설계 기술은 개발되어 있으나 상용화 실적은 없음
- 유사 기술인 폐기물 열분해/가스화 합성가스 연소용융에 대한 외국기술이 도입되어 상업운전 되고 있으며 유사 플랜트에 대한 국내 기업의 EPC 경험이 있어서 개발기술의 EPC 기술개발 인프라 확보

<표 6-2-2> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 방식의 상용급 합성가스 생산 기술	• 스위스, 독일, 일본, 캐나다, 미국을 중심으로 발전하여 상용화 단계에 진입 • 관련 기술의 상용화 및 수출 배경은 해당국가의 적극적인 장려 정책에 따른 것으로 파악됨. • 중국은 바이오매스 가스화 발전 기술 사업화를 진행하고 있지만 기술수준이 낮아 해외에서 신뢰성 부족	• 2000~2007년에는 민간 및 국가주도 1~5톤/일급 가스화로 기술개발 진행 • 2007~2010년에는 Pilot급 합성가스 정제 및 합성가스 품질향상 기술개발 • 2011~2017년에는 합성가스 가스엔진 발전, 고부가가치 화학원료, 메탄올전환 기술개발

<표 6-2-3> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (스위스)	75
TRL	9	5
기술 성숙도	대형 상업용 플랜트 기술 보유	파일럿 플랜트 기술 보유, 틈새시장인 중소형 (50~100톤/일급) 플랜트 기술 개발 모색 중
주요성능	냉가스효율 > 60% 합성가스의 CO + H_2 조성 > 55%	최고 기술보유국에 근접한 성능을 확보하고 있으나 소수, 짧은 시간인 실험 결과

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 폐기물/바이오매스(가연성)의 경우 수집, 분류 및 재활용하는 기존 인프라 활용이 가능하여 수소생산 공급원료로 사용 가능

- 인구가 밀집되어 있는 도심 근처에서 수소생산에 바로 사용된다면 훨씬 경제적인 수소 공급 가능

○ 국내에 규모는 작으나 가스화 기술 및 합성가스 정제기술 등 핵심 원천기술을 보유하고 있는 점을 고려하면 scale-up 설계를 통한 실증 플랜트 건설, 운전 조건 최적화 및 연속운전을 통하여 track record를 확보할 경우 중소형급 플랜트로 상업화 가능

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- 폐기물을 이용한 순산소 고정층 방식의 가스화 기술, 습식방식의 합성가스 정제기술 개발을 수행하였다는 유사성
- 바이오매스(가연성)를 이용한 합성가스 생산기술 개발을 수행하였다는 유사성

○ (차별성)

- 국내에서 수행된 모든 기술개발 과제가 소규모 파일럿 플랜트를 이용하여 기술개발을 수행한 것으로서 상용급 기술을 개발하려는 본 사업과 규모의 측면에서 차이

<표 6-2-4> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
비성형 고형연료의 혼합산화제 가스화를 통한 고품질 합성가스 제조 기술 개발	삼호환경, 고등기술연구원 등	2013. 07. ~ 2018. 06.	폐기물을 공기 가스화하여 가스엔진 발전을 수행. 산화제와 합성가스 이용 방식에서 차별적
상용규모 사업장 폐기물 이용 고품질 합성가스 생산 시스템 개발	삼성BP, 고등기술연구원 등	2012. 10. ~ 2015. 09.	3톤/일급 폐기물 순산소 가스화 기술 수행. CO 생산 주목적으로 규모와 합성가스 이용 방식에서 차별적
고열량 폐기물 합성가스로부터 메탄올 회수 기술 개발	고등기술연구원, 대우건설 등	2011. 07. ~ 2014. 06.	3톤/일급 폐기물 순산소 가스화 기술 수행. 합성가스를 이용하여 메탄올 합성이 주목적으로 규모와 합성가스 이용 방식에서 차별적

○ (연계 활용방안)

- 본 사업에서는 상기에서 언급한 파일럿급 소규모 기술개발 과제에서 확보한 원천기술들을 기반으로 하여 scale-up 설계, 제작, 운전을 통하여 실증을 목표

<표 6-2-5> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>● 파일럿급 폐기물 순산소 고정층 가스화 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 방식의 상용급 합성가스 생산 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>● 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화 실증 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>● 폐기물/바이오매스(가연성) 순산소 가스화 기술</td><td>대상 성과물</td><td>● 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화 시스템</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>● scale-up 시 base model로 활용</td><td>활용 방안</td><td>● 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 상류의 핵심 단위공정으로 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지 기술개발사업 및 민간 기술연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 상용규모 사업장 폐기물 이용 고품질 합성가스 생산 시스템 개발
기간: 2012. 10.~2015. 09.
내용: 사업장 폐기물 이용 3톤/일급 고정층 순산소 가스화기 기술 개발</td><td colspan="2">● 순산소 가스화 합성가스 생산기술
● 합성가스 정제기술</td><td colspan="2">● (차별성) 상업용급 규모, 원료 및 합성가스 이용 방식
● (활용방안) 파일럿 플랜트에서 확보한 순산소 가스화 기술, 합성가스 정제기술 및 연계공정 제어시스템 운전 경험 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 고열량 폐기물 합성가스로부터 메탄올 회수 기술 개발
기간: 2011. 07.~2014. 06.
내용: 합성가스 정제, 압축, 분리 및 메탄올 전환 기술 개발</td><td colspan="2">● 순산소 가스화 합성가스 생산기술
● 합성가스 정제기술
● 고순도 CO 생산용 합성가스 분리기술</td><td colspan="2">● (차별성) 상업용급 규모, 원료 및 합성가스 이용 방식
● (활용방안) 합성가스 품질 균질화 및 CO/H_2 제어 기술 이용 Scale up 기반 기술 연계 활용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 국내 기 투자된 관련 파일럿급 설비(1~20톤/일) 기술을 활용한 50톤/일급 중소형 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화 플랜트 scale-up 설계

○ 바이오매스는 수송거리를 고려하여 발생지 근처에서 이용하며, 열과 전기를 병행 생산을 통하여 효율 극대화

○ 합성가스를 기반으로 수소를 생산하는 일련의 공정을 개발하는 타 세부과제(4세부와 5세부) 수행 기관들과의 정보공유 및 협조체계 구축으로 원활한 연속운전을 위한 최적화된 제어시스템 개발

<표 6-2-6> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	- 국내의 경우 2000년 이후부터 연구가 시작되어 주로 파일럿 플랜트급 위주로 연구가 진행 - 중국의 저가시장 진출로 인한 경쟁력 악화 - 해외시장 진출을 위한 Test-bed 설비 규모 부재 - 선진국 기술사와 차별화된 시장 필요	- 기존 국내 축적 R&D 실적에서 확보한 기술을 결집하여 상용화 규모 산소가스화 합성가스 생산플랜트 개발 - 모듈화 및 IT 기술 연계를 통한 경쟁력 확보 - 국내 가용한 원료를 사용하여 전체 공정을 실증하는 전략으로서 준상용급으로 활용될 수준인 50톤/일급 설비 구축
가스화 공정과 정제/전환/분리 등 수소 생산 공정과 연계 기술	- 전체 공정의 대부분의 단위 장치에 대한 경험은 보유하고 있으나 수소 생산에 이르는 연계 공정에 대한 기술개발 경험 미보유	- 기술개발 초기 단계부터 사업화 의지가 있는 중소/중견기업이 참여하고 원천기술을 보유한 연구기관과 협력체계를 구축하여 부족한 실증 경험을 보완

<표 6-2-7> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 방식의 상용급 합성가스 생산 기술	폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	응용개발	●	●			
	가스화 공정과 정제/전환/분리 등 수소 생산 공정과 연계 기술	응용개발	○	○			

●: 주, ○: 부

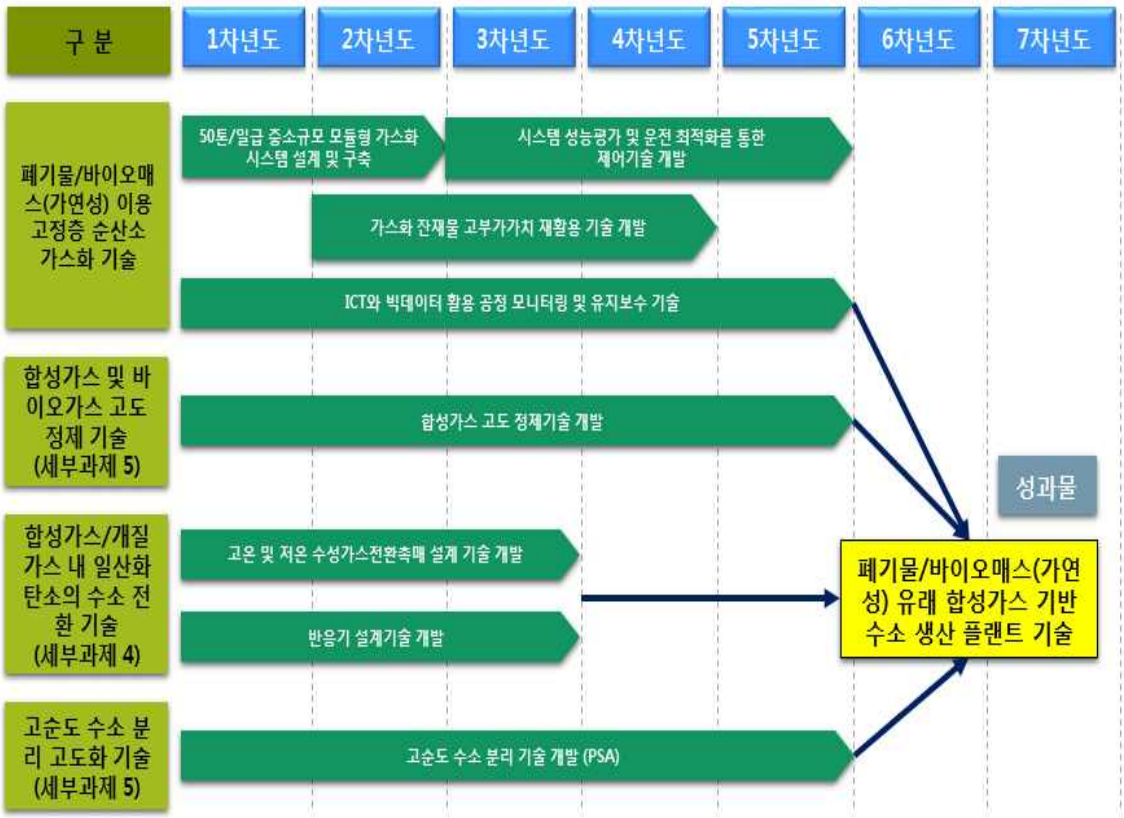
□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 세부과제 1-1 수행기관에서 국내 고유 기술을 기반으로 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화 시스템 기술개발

○ 세부과제 1-1 수행기관에서 주도적으로 폐기물/바이오매스(가연성) 유래 합성가스 기반 수소생산을 위한 test-bed 구축 및 타 세부과제에서 개발하는 장치들과의 연계 개념 설정 및 연계하여 실증

- 5세부과제에서 개발하는 합성가스 정제 장치 및 고순도 수소분리 장치와 연계
- 4세부과제에서 개발하는 수성가스전환 장치와 연계

○ 6세부과제 수행기관과 협조하여 모듈화 개념 적용 및 총괄사업단과 협조 사업화



[그림 6-2-2] 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1 기술개발 로드맵

□ (개발내용 - 연도별 추진계획)

○ 개발내용: 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술

<표 6-2-8> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1의 구성기술 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○50톤/일급 중소규모 모듈화 가스화 시스템 설계 ○ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 시스템 설계 ○폐기물/바이오매스(가연성) 반탄화물 이용 Lab(or pilot)-scale 가스화 기초 실험
2차년도 (2021)	○50톤/일급 폐기물/바이오매스 (가연성) 사용 합성가스 생산 test-bed 제작 및 설치 ○폐기물/바이오매스(가연성) 반탄화물 이용 Lab(or pilot)-scale 가스화 기초 실험 ○가스화 잔재물 고부가가치 재활용 기초 실험 ○ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 시스템 제작 및 설치
3차년도 (2022)	○50톤/일급 폐기물/바이오매스 (가연성) 사용 합성가스 생산 test-bed 시운전, 성능평가 및 설비 보완 ○가스화 잔재물 고부가가치 재활용 성능평가 ○ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 시스템 시운전, 성능평가 및 보완
4차년도 (2023)	○50톤/일급 폐기물/바이오매스 (가연성) 사용 합성가스 생산 test-bed 성능평가 및 설비 보완 ○가스화 잔재물 고부가가치 재활용 기술 최적화 ○ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 시스템 성능평가 및 보완
5차년도 (2024)	○50톤/일급 폐기물/바이오매스 (가연성) 사용 합성가스 생산 test-bed 최적화 및 연속운전 ○ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 시스템 최적화 ○중형급(폐기물/바이오매스(가연성) 50톤/일급) 합성가스 생산 모듈화 플랜트 최적화/표준화 설계 (공통 핵심기술의 모듈화 플랜트 설계 분야에 상세 설계 자료 제공) ○100톤/일급 합성가스 생산 모듈화 플랜트 PDP(Process Design Package) 완성 (50톤/일 2기 병렬 또는 100톤/일 1기)

1.2 (핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2) 펫코크 순산소 가스화시스템 scale-up 설계 및 실증 기술

□ **(기술의 정의)** 국내 보유 파일롯급(수톤/일급 또는 수십톤/일급) 펫코크 가스화 또는 석탄 가스화 기술을 기반으로 본 과제의 목적에 알맞은 규모인 펫코크 기준 50톤/일급 또는 이상의 분류층 순산소 가스화기 및 가스화 시스템의 설계, 주요 장치들을 포함한 공정 구성 및 제작, 최종적으로는 연속운전을 통하여 실증하는 전 과정의 기술

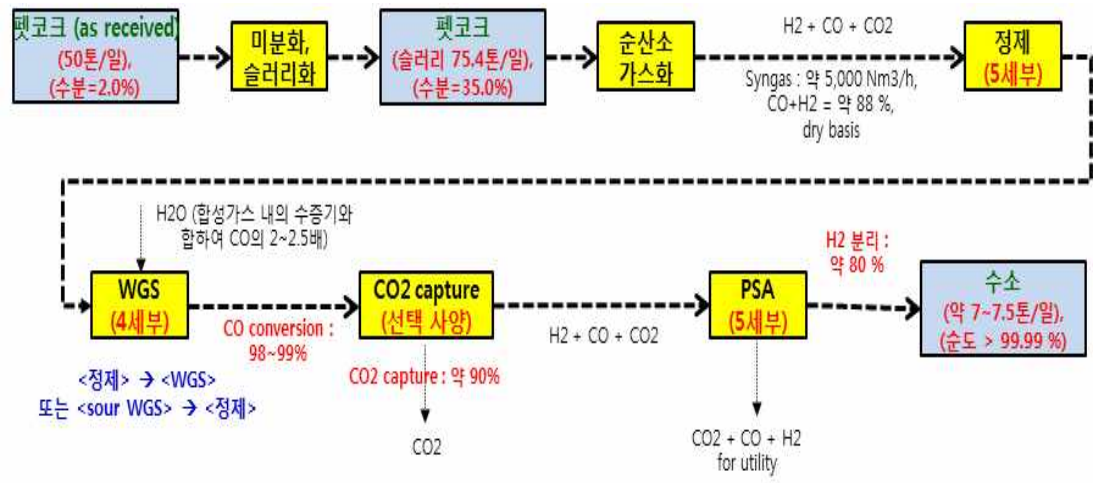
○ 저급자원인 펫코크 또는 석탄으로부터 CO와 H_2가 주 성분인 합성가스를 생산하는 가스화 기술로서 현재 국내 보유 기술인 수톤/일급 가스화 기술을 기반으로 펫코크 기준 50톤/일급 순산소 가스화기 설계, 제작 및 운전

- 파일롯급(보유 플랜트 또는 신규 플랜트, 수톤/일급 이상) 가스화기 운전, 최적 제어 시스템 구성 및 운전을 통한 최적 운전조건 도출
- 최적의 미립화(atomization) 조건을 달성할 수 있는 펫코크 슬러리 주입 버너 설계
- 파일롯급 가스화기 운전 경험을 바탕으로 펫코크 미립화 버너 scale-up 설계, 가스화기 체적 및 형상 scale-up 설계

○ 합성가스 열교환기(또는 급랭장치) 및 금속(또는 세라믹) 집진기 설계, 제작 및 가스화기와 연계하여 운전

○ 매우 높은 유황 함유 합성가스로부터 연료전지에 사용할 수 있는 수준의 합성가스 탈황장치, 수성가스전환 반응기 및 수소분리 장치(PSA) 등과 연계하여 운전, 즉 펫코크로부터 수소를 생산하는 전 공정을 연계하여 운전

- 5세부(합성가스 고도정제 장치), 4세부(수성가스전환 반응기 및 수소분리 장치) 등 세부과제 수행기관들과 협조하여 전체 공정 구성



[그림 6-2-3] 50톤/일급 펫코크 순산소 가스화 시스템 구성도의 예

□ (개발 최종 목표)

○ (정성적 목표)

- 국내 또는 해외에서 생산되는 펫코크를 활용하여 청정연료가스를 생산할 수 있는 합성가스 플랜트 기술 개발
- 타 세부과제에서 개발하는 합성가스 고도정제 장치, 수성가스전환 장치, 수소분리 장치 등과 연계하여 고순도 수소를 생산할 수 있는 실증 플랜트 운영 기술 개발

○ (정량적 목표)

<표 6-2-9> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2: 펫코크 순산소 가스화 시스템 scale-up 설계 및 실증 기술	탄소전환율 (%)	95%	> 99%
	냉가스효율 (%)	70%	> 75%
	펫코크 슬러리 내 고체 농도 (%)	60%	> 65%
	연속운전 (연계 공정)	7 days	> 14 days

□ (목표 설정 근거)

○ 펫코크 순산소 가스화 기술의 상업화를 위해서는 높은 에너지 효율이 필요하며, 해외의 수백~수천 톤/일급 플랜트의 성능 수준 달성을 위한 지표로 구성

- 탄소전환율, 냉가스효율, 펫코크 슬러리 내 고체 농도: 기술개발 완료 후 플랜트의 상업화를 목표로 하여 슬러리 가스화 기술의 세계 최고수준을 보유하고 있는 미국 GE사의 가스화 성능 달성

○ 연속운전: 상업용 중소형 플랜트에 해당하는 test-bed를 이용하여 track record를 쌓기 위해서는 모든 장치가 연계된 전체 공정의 연속운전이 매우 중요하며, 기술개발 단계에서 확보해야 할 수준으로 설정

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 해외의 경우, 펫코크 가스화 기술은 석탄가스화 기술과 동일한 기술을 적용하여 수천 톤/일급 상용화기술개발이 진행

- 펫코크를 원료로 사용할 경우에는 습식 슬러리 공급기술을 적용한 가스화 기술이 유리한 특성으로 인하여 미국의 GE에너지사와 CB&I(전 ConocoPhilips)사가 자사의 실증 플랜트에 펫코크 가스화 기술을 적용하여 발전 등 실증운전 수행

○ 국내의 경우, 습식가스화 기술에 기반한 수톤/일급~십톤/일급 파일롯 규모로 연구개발이 진행

○ 한국에너지기술연구원

- 펫코크 슬러리 제조, 1톤/일급 및 10톤/일급 가스화기를 이용하여, 최종 목표로서 합성가스 기반 합성유 제조기술 개발을 위하여 가스화 기술개발 연구 수행

- 슬러리 내 고체 농도가 60% 이상 수준의 상업용급에 근접하는 파일롯급 규모 슬러리 제조 기술 보유

○ 고등기술연구원

- 한국지역난방공사와 함께 비용융 가스화 기술을 적용하여 1톤~2톤/일급 파일롯급 가스화 기술개발 연구 수행
- 자체 개발한 가스화 버너를 사용하여 2톤/일급(슬러리 기준) 펫코크 가스화 실험에서 핵심 성능지표인 탄소전환율과 냉가스효율에서 상업용급에 근접하는 성능을 확보하였으나 적은 실험 수행 횟수

<표 6-2-10> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
펫코크 슬러리 순산소 가스화 기술	• GE에너지와 CB&I에서 상용급 석탄가스화/펫코크가스화 기술 보유 • CB&I: 경우 인도에 2만톤/일 펫코크 활용 가스화(2,000톤/일급 12기) 플랜트 건설 완료 및 일부 상업 운전)	• 주로 파일럿 플랜트급 위주로 연구 진행 • 석탄 위주로 연구가 진행되어 펫코크 가스화에 대한 연구 실적은 비교적 적지만 상업용에 근접하는 성능 달성
펫코크 슬러리 제조 기술	• GE에너지(미), CB&I(미), ECUST(중) 등에서 상업용(수천톤/일급) 슬러리 제조 기술 보유	• 한국에너지기술연구/고등기술연구원원에서 파일롯급 석탄슬러리/펫코크슬러리 생산 기술 보유

<표 6-2-11> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (미국)	75
TRL	9	5
기술 성숙도	대형 상업용 플랜트 기술 보유	파일롯 플랜트 기술 보유, 틈새시장인 중소형 (50~100톤/일급) 플랜트 기술 개발 모색 중
주요성능	냉가스효율 > 75% 탄소전환율 > 99%	최고 기술보유국에 근접한 성능을 확보하고 있으나 소수, 짧은 시간 동안의 실험 결과

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 펫코크는 에너지 보유량(발열량) 대비 기격이 가장 저렴한 원료인 특성으로 인하여

저렴하게 수소를 생산할 수 있을 것으로 예상

○ 국내에 규모는 작으나 가스화 기술 및 슬러리 제조 기술 등 핵심 원천기술을 보유하고 있는 점을 고려하면 scale-up 설계를 통한 실증 플랜트 건설, 운전 조건 최적화 및 연속운전을 통하여 track record를 확보할 경우 중소형급 플랜트로 상업화 가능

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- 펫코크 슬러리 가스화 기술 및 슬러리 제조 기술 개발을 수행하였다는 유사성 존재
- 고농도 H_2S 함유 합성가스로부터 고도정제 기술개발 수행 유사성 존재

○ (차별성)

- 국내에서 수행된 모든 기술개발 과제가 소규모 파일롯 플랜트를 이용하여 기술개발을 수행한 것으로서 상용급 기술을 개발하려는 본 사업과 규모의 측면에서 차이 존재
- 각 기술개발 과제들이 단위공정에 대한 기술에만 집중하여 전체 공정의 연계를 통한 최종적인 응용(유용한 화학원료 또는 전기 생산 등)을 시도하지 못하였으나, 본 사업에서는 전 공정의 연계 및 연속운전을 통한 사업화가 목표

<표 6-2-12> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
석탄가스화 Test-bed 구축 및 고유 가스화기 모델 개발	고등기술연구원, 아주대학교 등 컨소시움	2011. 03. ~ 2017. 11.	석탄을 원료로 건식 공급 기술 적용하여 20톤/일급 test-bed 구축 및 운영. 원료와 공급 방식에서 차별적
석탄이용 합성석유 제조기술개발	한국에너지기술연구원	기관고유 사업으로 지속 수행	1톤/일급 및 10톤/일급 석탄슬러리 이용 가스화 기술 수행. 펫코크슬러리 이용 단기간 실험 수행. 기술적 유사, 규모에서 차별성
석탄슬러리를 이용한 습식가스화 기술개발 및 적용기술 연구	고등기술연구원/ 한국지역난방공사	2014. 07 ~ 2017. 07	1톤/일급 파일롯급 규모로 석탄 및 펫코크 슬러리 가스화 기술개발. 기술적으로는 유사, 규모에서 차별성
석탄/코크스 합성가스내 고농도 H_2S 제거용 직접 황회수 정제기술 개발	고등기술연구원/ 현대오일뱅크	2012. 11 ~ 2015. 10	-석탄과 펫코크 혼합원료를 사용하여 1톤/일급 파일롯 규모로 5,000 ppm급 H_2S 포함 합성가스를 1 ppm급 합성가스로 정제하는 기술개발 수행. 원료 공급 방식에서 차별적 -정제기술의 scale-up을 통하여 본 사업에 적용할 필요성 존재

○ (연계 활용방안)

- 본 사업에서는 상기에서 언급한 파일롯급 소규모 기술개발 과제에서 확보한 원천기술들을 기반으로 하여 scale-up 설계, 제작, 운전을 통하여 실증을 목표

<표 6-2-13> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>● 파일롯급 석탄 및 펫코크 슬러리 가스화 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">펫코크 순산소 가스화 시스템 scale-up 설계 및 실증 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>● 펫코크 가스화 실증 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>● 펫코크 순산소 가스화 기술</td><td>대상 성과물</td><td>● 펫코크 가스화 시스템</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>● scale-up 시 base model로 활용</td><td>활용 방안</td><td>● 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 상류의 핵심 단위공정으로 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지 기술개발사업 및 민간 기술 연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 석탄가스화 Test-bed 구축 및 고유 가스화기 모델 개발
기간: 2011. 03.~2017. 11.
내용: 20톤/일급 석탄가스화 test-bed 구축 및 운영</td><td colspan="2">● 합성가스 생산, 정제 및 활용 전 공정 연계 운전 경험 및 제어시스템</td><td colspan="2">● (차별성) 상업용급 규모, 원료 및 원료공급 방식
● (활용방안) 소규모 플랜트에서 확보한 연계공정 제어시스템 및 운전 경험 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 석탄/코크스 합성가스내 고농도 H_2S 제거용 직접 황회수 정제기술 개발
기간: 2012. 11.~2015. 10.
내용: 5,000 ppm급 고농도 H_2S 고도정제 기술 개발</td><td colspan="2">● 고농도 H_2S포함 합성가스 고도정제 기술</td><td colspan="2">● (차별성) 상업용급 규모, 원료 및 원료 공급 방식
● (활용방안) 연계 공정의 연속운전 시 정제 시스템의 안정적 운전을 위한 기초 자료로 활용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 국내 기 투자된 관련 파일롯급 설비(1~20톤/일) 기술을 활용한 50톤/일급 중소형 펫코크 가스화 플랜트 scale-up 설계

○ 국내 중소·중견기업의 건식 분쇄기 개조 개발 또는 해외 중소형급 습식분쇄/슬러리제조 장치를 활용하여 슬러리 제조 및 공급 시스템 개발

○ 합성가스를 기반으로 수소를 생산하는 일련의 공정을 개발하는 타 세부과제(4세부와 5세부) 수행 기관들과의 정보공유 및 협조체계 구축으로 원활한 연속운전을 위한 최적화된 제어시스템 개발

<표 6-2-14> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
펫코크 슬러리 순산소 가스화 기술	- 국내 연구기관에서 소규모 파일롯급 플랜트만 운영하여 중대형급에 대한 경험이 전무 - 제한된 연구비/연구인력으로 인하여 장시간 연속운전 경험 미보유	- 보유하고 있는 기반 기술을 활용하고, 외국기술을 도입하여 상용 플랜트 제작 경험이 있는 기업들의 경험을 활용하여 자체 개발
펫코크 슬러리 제조 기술		- 분쇄 기술 등 기술종속이 되지 않는 단위 장치는 기존 외국제품을 사용하더라도 고유 공정을 가질 수 있도록 자체 개발
가스화 공정과 정제/전환/분리 등 수소 생산 공정과 연계 기술	- 전체 공정의 대부분의 단위 장치에 대한 경험은 보유하고 있으나 수소 생산에 이르는 연계 공정에 대한 기술개발 경험 미보유	- 기술개발 초기 단계부터 사업화 의지가 있는 중소/중견기업이 참여하고 원천기술을 보유한 연구기관과 협력체계를 구축하여 부족한 실증 경험을 보완

<표 6-2-15> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
펫코크 순산소 가스화 시스템 scale-up 설계 및 실증 기술	펫코크 슬러리 순산소 가스화 기술	응용개발	○	●			
	펫코크 슬러리 제조 기술	응용개발	○	●			
	가스화 공정과 정제/전환/분리 등 수소 생산 공정과 연계 기술	응용개발		●			

●: 주, ○: 부

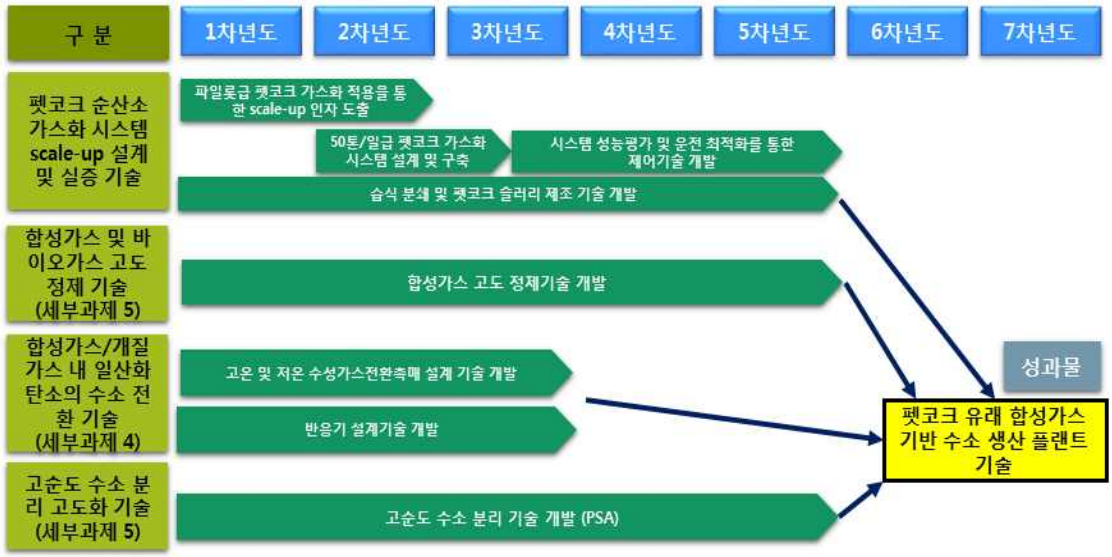
□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 세부과제 1-2 수행기관에서 국내 고유 기술을 기반으로 펫코크 슬러리 제조 및 가스화 시스템 기술개발

○ 세부과제 1-2 수행기관에서 주도적으로 펫코크 유래 합성가스 기반 수소생산을 위한 test-bed 구축 및 타 세부과제에서 개발하는 장치들과의 연계 개념 설정 및 연계하여 실증

- 5세부과제에서 개발하는 합성가스 정제 장치 및 고순도 수소분리 장치와 연계
- 4세부과제에서 개발하는 수성가스전환 장치와 연계

○ 6세부과제 수행기관과 협조하여 모듈화 개념 도입 및 총괄사업단과 협조하여 사업화



[그림 6-2-4] 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술 1): 펫코크 슬러리 순산소 가스화 시스템 scale-up 실증기술

<표 6-2-16> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 구성기술1 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○국내 고유 파일롯급 가스화 기술 활용 중소형급인 펫코크 50톤/일급 사용 합성가스 생산 가스화 시스템 scale-up 설계 (모듈화 플랜트 개념 기반 합성가스 생산 플랜트 기초 설계) ○합성가스 플랜트 테스트베드 EPC 설계 ○Lab(or pilot)-scale 가스화 기초 실험
2차년도 (2021)	○Pilot-scale 가스화 실험 및 테스트베드에서의 초기 운전 조건 확립(기보유 또는 신규제작 pilot-scale 가스화 실험) ○모듈화 플랜트 기초설계 기반 50톤/일급 펫코크 사용 합성가스 생산 test-bed 제작 및 설치(공정률 약 20%)
3차년도 (2022)	○합성가스 생산 test-bed 설치(공정률 약 80%) 및 단위 공정별 시운전 ○펫코크 가스화 설비 제작, 설치 및 시운전
4차년도 (2023)	○합성가스 생산 test-bed 설치 완료 ○펫코크 가스화 성능 시험 ○집진 시스템 최적화 운전 및 설계 기술 확보
5차년도 (2024)	○합성가스 생산 test-bed 성능 최적화 시험 ○중형급(펫코크 50톤/일급) 합성가스 생산 모듈화 플랜트 최적화/표준화 설계 (공통 핵심기술의 모듈화 플랜트 설계 분야에 상세 설계 자료 제공) ○100톤/일급 합성가스 생산 모듈화 플랜트 PDP(Process Design Package) 완성 (50톤/일 2기 병렬 또는 100톤/일 1기)

○ 개발내용(구성기술 2): 습식 분쇄 및 슬러리 제조/공급 공정 실증 기술

<표 6-2-17> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-2의 구성기술2 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○ Lab-scale 슬러리 점도 특성 실험 및 DB 확보 ○ 습식 분쇄 및 슬러리 제조/공급장치 설계 및 공정 설계
2차년도 (2021)	○ Lab-scale 슬러리 점도 특성 실험 및 DB 확보 완료 ○ 50톤/일급 습식 분쇄 및 슬러리 제조/공급장치 제작 (공정률 약 30%)
3차년도 (2022)	○ 50톤/일급 습식 분쇄 및 슬러리 제조/공급장치 제작 완료 및 시운전
4차년도 (2023)	○ 50톤/일급 습식 분쇄 및 슬러리 제조/공급장치 최적 운전조건 도출
5차년도 (2024)	○ 합성가스 생산 test-bed 시스템과 연계하여 성능 최적화 시험 및 표준화 모델 정립

1.3 (핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3) 가스화 원료 균질화를 위한 반탄화 방식의 상용급 전처리 기술

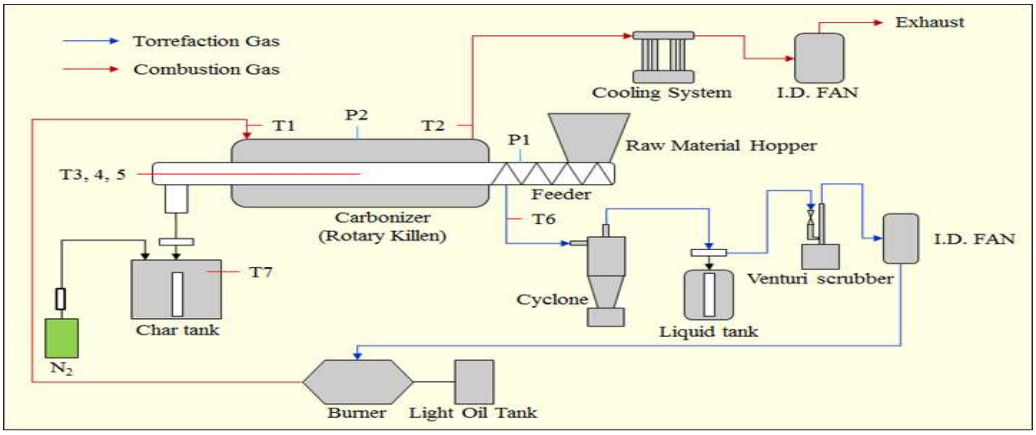
□ **(기술의 정의)** 반탄화는 반응온도 200~300℃ 범위의 무산소 조건에서 일어나는 열화학적 공정으로 가스화기로 공급되는 원료의 품질향상을 통해 수소와 일산화탄소가 주성분인 합성가스를 안정적으로 생산하기 위한 원료 전처리 기술

- 부분적인 탈휘반응 및 열적 분해반응을 통해 처리 전 바이오매스가 지닌 질량의 70% 정도가 초기 에너지량의 90%를 보유하여 반탄화 제품은 처리 전 바이오매스와 비교하여 에너지밀도가 1.3배 정도 증가
- 친수성의 바이오매스는 반탄화를 거치면서 소수성으로 전환되어 생물학적 분해성이 낮아져 저장성이 향상되고 기질을 구성하는 해미셀룰로오스의 분해로 분쇄성이 향상

○ 현재 국내 보유 기술인 수톤/일급 반탄화 기술을 기반으로 폐기물/바이오매스 기준 100톤/일급 반탄화 기술개발

- 국내 파일럿 기반기술과 설계기술 활용하여 100톤/일급 폐기물/바이오매스(가연성) 반탄화 기술 개발(scale-up 설계, 모듈화 설계 및 최적 운전기술)
- 안정적인 제품 생산을 위한 지능형 모니터링 및 제어기술 개발(ICT, 설계데이터 연계 제어기술)

○ 반탄화 가스 및 공정 폐열을 활용한 에너지 저소비형 반탄화 시스템 및 제어기술 개발



[그림 6-2-5] 바이오매스(가연성) 반탄화 시스템 구성도의 예

□ (개발 최종 목표)

○ (정성적 목표)

- 폐기물/바이오매스(가연성)로부터 일산화탄소와 수소가 주성분인 합성가스의 안정적인 생산을 위한 가스화 전단계의 원료 균질화를 위한 전처리기술 상용화
- 폐기물 또는 바이오매스를 가스화 원료로 활용하기 좋도록 처리하는 기술로 열화학적인 반탄화 기술개발

○ (정량적 목표)

<표 6-2-18> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3: 가스화 원료 균질화를 위한 반탄화 방식의 상용급 전처리 기술	처리용량 (톤/일)	20	100
	반탄화물 발열량 (kcal/kg)	3,800	4,000
	연료수율 (%,건량기준)	63	65
	연속운전 (일)	2	14
	장치 국산화율 (%)	75	90

□ (목표 설정 근거)

○ 반탄화 기술의 상업화를 고려하여 세계최고수준 달성을 위한 지표로 구성

- 반탄화물 발열량, 연료수율(건량 기준): 기술개발 완료 후 플랜트의 상업화를 목표로 하여 반탄화 기술의 세계 최고수준을 보유하고 있는 네덜란드 ECN사의 반탄화 성능 달성

○ 상업용 중소형 플랜트에 해당하는 test-bed를 이용하여 track record를 쌓기 위해서는 모든 장치가 연계된 전체 공정의 연속운전이 매우 중요하며, 기술개발 단계에서 확보해야 할 수준으로 연속운전 일수를 설정

○ 반탄화 기술력 확보 및 반탄화 설비 국산화를 위한 장치 국산화율 설정

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 세계적으로 바이오매스 반탄화 기술은 바이오매스 생산량이 많은 유럽과 북미를 중심으로 다양한 반탄화 기술을 보유하고 있으며, 특히 Torr-Coal, Topell, Andriz 등과 같은 네덜란드의 다수 기업들이 상용급의 선진기술 보유

○ BTL 또는 수소 생산을 위한 가스화 원료 전처리 기술로 반탄화 사용 추진 확대

- 네덜란드 에너지기술연구소인 ECN(Energy Research Center of the Netherlands)의 경우 BTL을 위한 분류층 가스화기 개발을 진행하고 있으며, 바이오매스 분류층 가스화기 적용을 위한 전처리 기술로서 바이오매스 반탄화 기술을 Andritz와 공동개발 수행
- Torr-Coal Technology는 목재 및 농산폐기물 등을 반탄화 하여 Bio-Coal을 생산하는 공정을 개발하여 상용화 한 사례이며, 공정에서 발생하는 가스는 공정의 연료로 사용
- 일본 소각로 제조업체인 타카하시 제작소는 간벌재를 우선 1,000℃에서 탄화시킨 후 별도의 반응기에서 수증기와 WGS 반응시켜 수소를 생산하는 기술개발

○ 국내의 경우 로터리킬른 반탄화로 기술을 중심으로 바이오매스, 농업부산물, 슬러지, EFB, PKS 등을 이용한 파일럿급 단계의 기술개발 수행

- 반탄화로, 정제 등 일부 요소기술에서 세계적인 수준을 보유하고 있으나, 설비규모면에서 선진국에 비해 크게 뒤지고 있는 실정
- 상용규모 반탄화 설계기술은 파일럿 연구를 바탕으로 30~50톤/일급 기본설계 기술은 개발되어 있으나 상용화 실적은 미보유
- 경제적으로 양질의 반탄화 제품을 대량으로 생산하여 수요처에 안정적으로 공급하기 위한 투입 원료에 대한 대응성, 생성가스 중의 타르 및 수분 제거, 설비의 scale-up, 공정의 최적화에 대한 해결이 요구

<표 6-2-19> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
가스화 원료 균질화를 위한 반탄화 방식의 상용급 전처리 기술	● 바이오매스 생산량이 많은 유럽과 북미를 중심으로 상용화 기술 보유 ● ECN은 Andritz와 공동으로 분류층 가스화기 적용을 위한 전처리 기술로 반탄화 기술 개발 ● 타카하시 제작소는 간벌재를 우선 1,000℃에서 탄화시킨 후 별도의 반응기에서 수증기와 WGS 반응시켜 수소를 생산하는 기술 개발	● 로터리킬른 반탄화로 기술을 중심으로 파일럿급 기술 개발 수행 ● 반탄화로, 정제기술 등 일부 요소기술에서 세계적인 기술 보유 ● 설비규모면에서 선진국에 비해 크게 뒤지고 있는 실정 ● 원료에 대한 대응성, 타르 및 수분제거, scale-up, 공정 최적화에 대한 해결 요구

<표 6-2-20> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (네덜란드)	75
TRL	9	5
기술 성숙도	대형 상업용 플랜트 기술 보유	파일럿 플랜트 기술 보유, 틈새시장인 중소형 (50~100톤/일급) 플랜트 기술 개발 모색 중
주요성능	반탄화물 발열량 > 4,000 kcal/kg 연료 수율(건량 기준) > 68%	최고 기술보유국에 근접한 성능을 확보하고 있으나 소수, 짧은 시간 동안의 실험 결과

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 바이오매스의 경우 합성가스 생산 시 가장 현안은 분쇄 에너지 저감과 타르 정제/제거 이므로 이를 극복할 전처리 기술로 반탄화 기술 적용

- 해외에서도 바이오매스 분류층 가스화기 적용을 위한 전처리 기술로서 바이오매스 반탄화 기술 개발

○ 국내에 규모는 작으나 반탄화기술 및 정제기술 등 핵심 원천기술을 보유하고 있는 점을 고려하면 scale-up 설계를 통한 실증 플랜트 건설, 운전 조건 최적화 및 연속운전을 통하여 track record를 확보할 경우 중소형급 플랜트로 상업화 가능

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- 바이오매스를 이용한 로터리킬른 방식의 반탄화 기술, 습식방식의 정제기술 개발을 수행하였다는 유사성이 존재

○ (차별성)

- 국내에서 수행된 모든 기술개발 과제가 소규모 파일럿 플랜트를 이용하여 기술개발을 수행한 것으로서 상용급 기술을 개발하려는 본 사업과 규모의 측면에서 차이 존재
- 기 수행된 과제의 생산 제품의 사용목적은 대부분 화력발전소 혼소용으로 가스화 전처리 기술로 적용 개발하려는 본 사업과 차이가 존재

<표 6-2-21> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
고효율 반탄화 바이오펠릿연료 제조기술 개발	전남대학교 산학협력단	2010. 06. ~2012. 05.	반탄화물을 바이오펠릿으로 제조하는 기술로서 사용처, 규모 및 반탄화물 형상에서 차별적.
고열량 고밀도의 바이오펠릿 개발	㈜한국우두펠릿, 한국에너지기술연구원 등	2011. 05~ 2013. 03	폐목재, 톱밥을 원료로 한 바이오펠릿 생산 기술로서 사용처, 규모 및 생산방식에서 차별적
폐바이오매스를 이용한 발전용 고발열량 연료생산 기술 개발	㈜씨이에스, 고등기술연구원	2014. 12.~ 2017. 01.	10톤/일급 하수슬러지+폐목재를 이용한 로터리킬른형 반탄화 시스템 개발 수행으로서 사용처, 대상시료 및 규모면에서 차별적

○ (연계 활용방안)

- 본 사업에서는 상기에서 언급한 파일럿급 소규모 기술개발 과제에서 확보한 원천기술들을 기반으로 하여 scale-up 설계, 제작, 운전을 통하여 실증을 목표

<표 6-2-22> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>● 파일럿급 바이오매스 로터리킬른형 반탄화 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">가스화 원료 균질화를 위한 반탄화 방식의 상용급 전처리 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>● 폐기물/바이오매스(가연성) 반탄화 실증 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>● 폐기물/바이오매스(가연성) 반탄화 기술</td><td>대상 성과물</td><td>● 폐기물/바이오매스(가연성) 반탄화 시스템</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>● scale-up 시 base model로 활용</td><td>활용 방안</td><td>● 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 상류의 핵심 단위공정으로 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지 기술개발사업 및 민간 기술연계</td><td>과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="3">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td>과제명: 폐바이오매스를 이용한 발전용 고발열량 연료생산 기술 개발
기간: 2014. 12.~2017. 01
내용: 하수슬러지+폐목재 이용 10톤/일급 반탄화 시스템 기술 개발</td><td colspan="2">● 간접식 로터리킬른형 반탄화 기술
● 반탄화 가스 이용 기술
● 습식 정제기술</td><td colspan="3">● (차별성) 상업용급 규모, 원료 및 반탄화물 이용 방식
● (활용방안) 파일럿 플랜트에서 확보한 로터리킬른형 반탄화 기술, 반탄화 가스 정제기술 및 연계공정 제어시스템 운전 경험 활용</td></tr>
<tr><td>과제명: 고열량 고밀도의 바이오펠릿 개발
기간: 2011. 05.~2013. 03.
내용: 폐목재, 톱밥을 원료로 한 바이오 펠릿 생산 기술 개발</td><td colspan="2">● 스크류형 반탄화 기술
● 건조와 반탄화 일체형 및 분리형 비교 분석
● 반탄화 가스 이용 기술</td><td colspan="3">● (차별성) 상업용급 규모, 반응기 형식 및 반탄화물 이용 방식
● (활용방안) 파일럿 플랜트에서 확보한 산소차단 기술, 반탄화 가스 정제 및 이용기술 활용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 국내 기 투자된 관련 파일럿급 설비(1~20톤/일) 기술 및 기본설계기술(30 ~ 50톤/일)을 활용한 100톤/일급 중소형 반탄화 플랜트 scale-up 설계

○ 국내 R&D TRL 5이하의 축적된 기술과 도입된 유사기술인 건조, 탄화, 열분해 플랜트 EPC 기술을 활용하여 단기간 내 해외기술 보유사와 차별화된 핵심기술 특허 확보 및 이를 활용한 사업화 추진

○ 해외 선진기술 및 중국의 기술과 차별화된 경쟁력 확보를 위한 모듈화 및 IT 기술 연계 활용

○ 가스화/정제/전환/분리 등 일련의 수소 생산 공정과 연계를 위한 수행 기관들과의 정보 공유 및 협조체계 구축

<표 6-2-23> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
가스화 원료 균질화를 위한 반탄화 방식의 상용급 전처리 기술	- 국내의 경우 유럽연합이나 북미지역 국가들에 비해 상용화 진입 단계에 뒤쳐져 있는 실정으로 2010년부터 고품질의 탄화펠릿 연료 생산 공정 기술 개발을 시작 - 상용규모 모듈형 반탄화 설계 기술 미확보 - 상용규모 반탄화 최적 운전제어 기술 부족	- 기존 결과 활용한 상용규모 scale-up 기술 확보 - 열전달효율이 높은 로터리킬른 가열방식 기술 확보 - 모듈화 및 지능형 제어 기술 확보를 통한 경제성 향상 - 반탄화 열원공급방식을 국산화하여 100톤/일 상용화 기술 확보

<표 6-2-24> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
가스화 원료 균질화를 위한 반탄화 방식의 상용급 전처리 기술	폐기물/바이오매스 (가연성) 이용 로터리킬른형 반탄화 기술	응용개발	●	●			
	반탄화 공정과 가스화/정제/전환/분리 등 수소 생산 공정과 연계 기술	응용개발	○	○			

●: 주, ○: 부

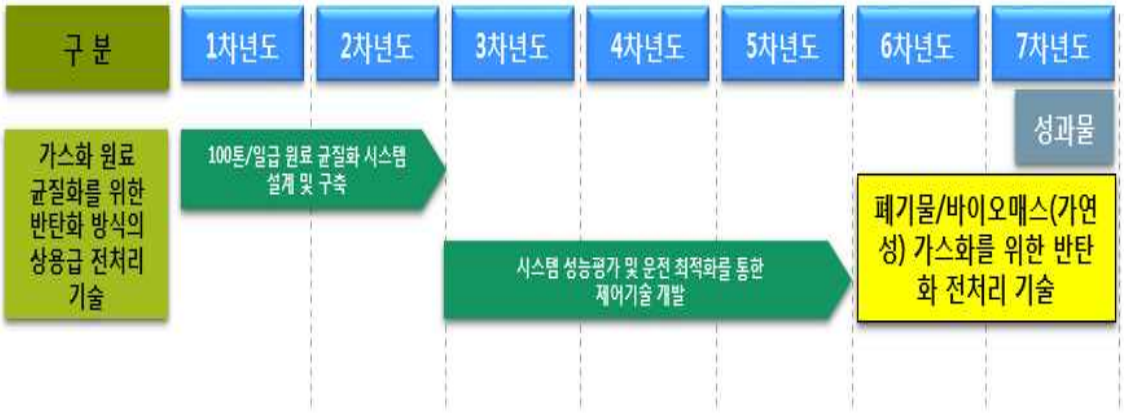
□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 세부과제 1-3 수행기관에서 국내 고유 기술을 기반으로 폐기물/바이오매스(가연성) 반탄화 시스템 기술 개발

○ 폐기물/바이오매스(가연성) 유래 합성가스 기반 수소생산을 위한 반탄화 전처리 시스템 test-bed를 구축하고 세부과제 1-1에서 개발하는 가스화기와의 연계 개념 설정 및

연계하여 실증

○ 6세부과제 수행기관과 협조하여 모듈화 개념 도입 및 총괄사업단과 협조하여 사업화



[그림 6-2-6] 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3 기술개발 로드맵

□ (개발내용 - 연도별 추진계획)

○ 개발내용: 가스화 원료 균질화를 위한 반탄화 방식의 상용급 전처리 기술

<표 6-2-25> 핵심 R&D 필요기술 1-CRT-3의 구성기술 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○100톤/일급 중소규모 모듈화 반탄화 시스템 설계 ○ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 시스템 설계 ○폐기물/바이오매스(가연성) 이용 Lab(or pilot)-scale 반탄화 기초 실험
2차년도 (2021)	○100톤/일급 폐기물/바이오매스 (가연성) 반탄화 test-bed 제작 및 설치 ○ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 시스템 제작 및 설치 ○폐기물/바이오매스(가연성) 이용 Lab(or pilot)-scale 반탄화 기초 실험
3차년도 (2022)	○100톤/일급 폐기물/바이오매스 (가연성) 반탄화 test-bed 시운전, 성능평가 및 설비 보완 ○ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 시스템 시운전, 성능평가 및 보완
4차년도 (2023)	○100톤/일급 폐기물/바이오매스 (가연성) 반탄화 test-bed 성능평가 및 설비 보완 ○ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 시스템 성능평가 및 보완
5차년도 (2024)	○100톤/일급 폐기물/바이오매스 (가연성) 반탄화 test-bed 최적화 및 연속운전 ○ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 시스템 최적화 ○중형급(폐기물/바이오매스(가연성) 100톤/일급) 반탄화 모듈화 플랜트 최적화/표준화 설계 (공통 핵심기술의 모듈화 플랜트 설계 분야에 상세 설계 자료 제공) ○200톤/일급 반탄화 모듈화 플랜트 PDP(Process Design Package) 완성 (100톤/일 2기 병렬 또는 200톤/일 1기)

2. 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술

2.1 (핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1) 고함수 바이오매스 균질화를 위한 수열탄화 방식의 상용급 전처리 기술

□ **(기술의 정의)** 바이오가스 잠재량이 높은 고함수 바이오매스를 혐기성 소화를 통해 바이오가스를 대량 생산할 수 있는 안정적 고부하 운전을 위한 국내 보유 실증플랜트(수톤/일급 또는 수십톤/일급) 수열탄화 기술을 기반으로 본 과제의 목적에 알맞은 규모인 50톤/일급 또는 이상의 바이오매스 균질화를 위한 수열탄화 방식의 상용급 시스템의 설계, 주요 장치들을 포함한 공정 구성 및 제작, 최종적으로는 연속운전을 통하여 실증하는 전 과정의 기술

○ 고함수 바이오매스를 이용하여 바이오가스 생산량 및 생산 효율을 증대하는 기술로서 현재 국내 보유 기술인 수톤/일급 수열탄화 기술을 기반으로 바이오매스(하수슬러지 & 음식물류폐기물) 기준 50톤/일급 수열탄화 시스템 설계, 제작 및 운전

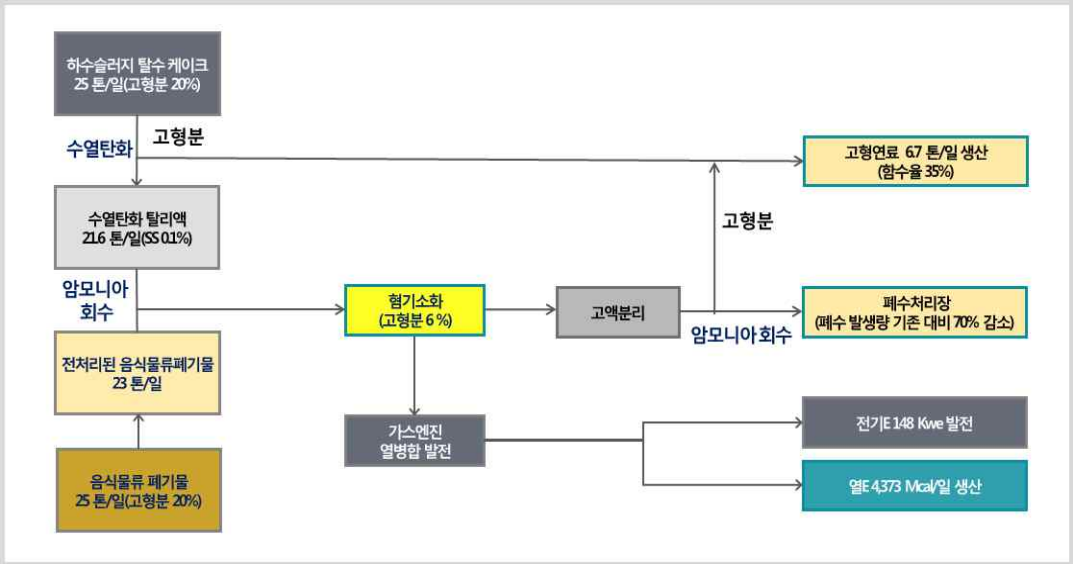
- 보유하고 있는 파일롯 플랜트(보유 플랜트 또는 신규 플랜트, 수톤/일급 이상) 수열탄화 시스템 운전, 최적 제어시스템 구성 및 운전을 통한 최적 운전조건 도출

○ 하수슬러지 탈수케이크(고형분 20%)의 열화학적 전처리를 통해 기존 농축슬러지(고형분 4%) 대비 유기물 농축 2.5배 향상을 통한 바이오가스 생산량 증대 기술 확보

- 탈수케이크 수열탄화를 통한 함수율 35% 수준 고형분과 유기물이 농축된 액상으로 분리하고 분리된 수열탄화액을 음식물류 폐기물과 병합 혐기소화하여 바이오가스 생산량을 2배 이상 증가시키는 혐기소화조 운전 안정성 향상 기술 개발
- 하수슬러지 탈수케이크의 열화학적 전처리 중 발생 수열탄화 액체생성물을 음식물류 폐기물의 파쇄 및 선별 등의 전처리 과정에서 필요한 공정수로 대체하여 폐수 발생량 70% 저감 및 소화 잔재폐기물 공정 내 순환통한 무배출 시스템 개발

○ 혐기소화조 운영에 있어 저해인자로 작용하는 고농도암모니아를 제거함으로서 암모니아 독성에 의한 혐기소화 효율 저하 방지 기술 개발

- 수열탄화 공정에서 발생하는 폐열을 이용하여 혐기소화 후단 발생 고액분리액의 암모니아탈기 기술을 적용하여 낮은 운전소요비용(동력비 + 약품비)으로 혐기소화 저해인자 인 암모니아를 제거하는 기술 개발



[그림 6-2-7] 50톤/일급 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 시스템 구성도의 예

□ (개발 최종 목표)

○ (정성적 목표)

- 현재 국내 보유 기술인 수톤/일급 수열탄화 기술을 기반으로 고함수바이오매스(하수슬러지 & 음식물류폐기물) 기준 50톤/일급 수열탄화 시스템 설계, 제작 및 운전기술 확보
- 하수슬러지 탈수케이크(고형분 20%)의 열화학적 전처리를 통해 기존 농축슬러지(고형분 4%) 대비 유기물 농축 2.5배 향상을 통한 바이오가스 생산량 증대기술 확보
- 혐기소화조 운영에 있어 저해인자로 작용하는 고농도암모니아를 제거함으로서 암모니아 독성에 의한 혐기소화 효율 저하 방지 기술개발

○ (정량적 목표)

<표 6-2-26> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 1-CRT-1 : 폐기물/바이오매스 고함수 바이오매스 균질화를 위한 수열탄화 방식의 상용급 전처리 기술	고함수바이오매스 수열탄화 전처리 플랜트 실증(고형분 20% 기준)	-	전처리 실증플랜트 규모 : 고형유기물 50톤/일 SCOD 가용화율 : 25% 이상 유기물(VS) 농축율 : 2.5 이상
	2차 부산물 zero화를 통한 경제성 향상 기술 개발	-	암모니아 회수율 : 95% 이상 암모니아 회수 농도 : 25% 이상 폐기물 발생량(소화슬러지) : 0 톤/일(공정 내 순환)

□ (목표 설정 근거)

○ 기존 혐기소화조에 사용되는 농축슬러지(고형분 4%)는 액상 형태로 낮은 유기물 함량

과 분해율로 인하여 바이오가스 생산량이 떨어지는 문제가 발생

- 이에 고형분 함량이 20%인 탈수슬러지의 열화학적가수분해를 통해 용해성유기물이 농축된 액상과 음식물류 폐기물을 병합 혐기소화하여 바이오가스 생산량을 2배 이상 증가시키는 기술 개발을 통해 50톤/일 규모의 실증플랜트 구현
- 하수슬러지(고형분 20%) 열화학적 가용화 및 용존성 유기물 농축

(1) SCOD 가용화율 : 25% 이상

※ 정의 : $\{(SCOD_t-SCOD_0)/TCOD_0-SCOD_0)\}$ X 100

① $SCOD_t$:가용화 후 탈리액 SCOD(kg) ②$TCOD_0$, $SCOD_0$:가용화 전 슬러지 TCOD(kg), SCOD(kg)

(2) VS (유기물) 농축율 : 2.5 이상

※ 정의 : 하수슬러지(TS, 20%) 수열탄화 탈리액 VS(%) / 농축하수슬러지(TS, 4%) VS(%)

○ 수열탄화 반응으로부터 분리된 고형분(저위발열량 3,500 kcal/kg)은 연료탄으로 판매하여 추가 수익을 확보하며, 액상은 음식물류폐기물 선별과정에서 공정수로 활용하여 2차 부산물 zero화를 통한 경제성을 향상

- 혐기소화조의 주요 저해 인자 인 암모니아를 수열탄화열을 이용하여 제거함으로서 혐기소화 효율저하를 방지하고 혐기소화공정의 폐수처리 효율을 향상
- 암모니아 회수효율 : 95% 이상, 암모니아수 농도 25% 이상

※ 정의 : $[NH_3]/[NH_4^+]$ fraction 대비(온도 80℃, pH 8.5 기준)

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 국내 바이오가스 에너지화 기술은 오랜 시간동안 유럽에서 활성화가 되어 왔지만, 국내의 경우 대부분이 자체 기술 개발, 외국 기술의 토착화 과정 없이 외국 기술만 그대로 도입되고 있는 실정

○ 일부 국내 기술 및 해외 기술 적용을 통해 유기성폐자원(음식물쓰레기, 축산분뇨, 하수슬러지 등) 바이오가스 에너지화 기술분야는 일부 실용화되어 운영되고 있으나, 혐기성소화 후 부산물을 경제적으로 처리할 수 있는 시스템 개발이 미진

○ 대부분의 시설이 약품을 사용한 과도한 고액분리와 비합리적인 전처리 시설, 혐기소화액 처리 시 많은 악취가 발생함에 따라 열악한 현장 환경을 유발하는 등 유기성 폐기물 에너지화 시설이 혐오시설로 기피 대상이 되고 있어 신규 시설 구축에 어려움이 발생되고 있는 실정

○ 음식물의 경우는 계절에 따른 성상, 부하 변동이 크고 이물질 및 협잡물이 다량함유 되어있어 기존 바이오가스화 시설 운영에 어려움이 발생되는 주요 원인으로 지적되고 있으므로, 장기 운전 시 공정 및 기계적 결함 방지를 위한 전처리 공정 개선 필요

<표 6-2-27>핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
고함수바이오매스 수열탄화 전처리 플랜트 실증(고형분 20% 기준)	• 국외 수열탄화 기술은 10개社가 보유하고 있으며 바이오매스 및 유기성폐기물 활용 실증플랜트가 운영 중	• 고함수 바이오매스 및 유기성폐기물 활용 에너지화를 위해 연구가 활발히 진행되고 있으나 pilot plant 수준에 머무르고 있는 실정
2차 부산물 zero화를 통한 경제성 향상 기술 개발	• 바이오가스플랜트의 고함수바이오매스 전처리 폐열을 활용하여 암모니아를 회수하는(pH 8.5, 80℃) 기술은 미존재	• 혐기소화 폐액 내 질소를 제거하기 위해 발전열을 활용하여 암모니아 탈기 및 열적분해 공정 상용화 진행 중

○ 국내 열가수분해를 통한 혐기성소화 상용플랜트(하수슬러지 240 톤/일 처리) 2017년에 가동 하였으나 암모니아 농축으로 인해 혐기미생물이 사멸하여 운전이 중단되었고 혐기미생물 식종 및 활성화를 통해 2018년에 재가동

○ 노르웨이 Cambi 社는 65개의 플랜트를 건설하였으며 현재 52개 플랜트를 운영중이며, 22개의 국가에 11 ~450 ton DS/d 규모로 운영 중

○ 캐나다 Lystek THP® 공법의 열가용화 기술은 미국(Southgate) 2012년에 150,000 tDS/year 처리용량 규모 설치되었으며 다수의 특허를 보유

○ 저에너지, 저비용을 특징으로 하는 Lysteck 열가용화 시스템은 혐기소화 전 후단에 설치되어 바이오가스 생산효율을 증대시킴. 해당 공정은 미생물의 세포벽과 복잡한 고분자를 간단한 화합물로 분해

<표 6-2-28> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (캐나다)	80
TRL	8	5
기술 성숙도	혐기소화 전단의 가수분해를 통해 기존 biosilids 대비 SCOD 40~50% 향상기술 개발 완료	Pilot plant 기술 확보 수준
주요성능	바이오가스 수율 약 40% 증대 최종 배출물 25% 감소	SCOD 가용화율 : 25% 이상

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 고함수바이오매스 활용 혐기소화 공정 전처리 기술은 일반적으로 고형분 함량과 유기물 분해율이 낮아 바이오가스 생산량이 떨어지는 문제점이 있어 경제성이 저하됨. 이에 상

대적으로 유기물 함량과 고형분 함량이 높은 혐기소화 원료 전처리 기술 개발이 진행 중

- 유기물 함량이 높은 탈수케이크(고형분 20%)를 수열탄화하여 함수율 35% 수준 수열탄화된 고형분과 용해성 유기물이 농축된 액상으로 분리하고 이를 음식물류폐기물과 병합 혐기소화하여 바이오가스 생산량을 2배 이상 증가시킬 수 효과를 기대

○ 혐기소화 공정 중 발생되는 폐수 처리 및 혐기소화 운전 시 주요 저해인자인 암모니아를 제거하기 위한 기술 개발이 진행 중

- 수열탄화 공정에서 발생하는 폐열을 이용하여 암모니아 제거를 위한 탈기공정 소비에너지를 기존 암모니아 탈기 기술 대비 80% 감소시키며 혐기소화액의 암모니아를 발전배가스를 열을 이용하여 제거함으로서 혐기소화 운영 효율을 증대

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

<표 6-2-29> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
음식물 바이오매스를 이용한 다양한 물리 화학성징을 가진 하이드로촤, 바이오오일, 가스 생성 및 활용성에 관한 연구	서울여자대학교	2012.05.01. ~2015.04.30	- HTC반응(열수가압탄화반응)을 이용한 바이오매스로부터 생성되는 바이드로촤, 바이오오일, 가스 생성 매커니즘 규명함으로서 활용처가 상이 - HTC반응을 통해 생성된 바이오오일 성분 분석 및 활용성 검토
탄화공정을 이용한 복합 Biomass로부터 에너지 자원물질 회수 기술	경기대학교	2007.11.01.~ 2010.10.31	- 목질류/유기성 슬러지 등 복합 Biomass 특성파악 - 탄화공정의 에너지 효율성 평가 - 탄화물의 에너지 고부가가치 자원물질 회수로 회수되는 제품이 상이
음식물쓰레기의 최적탄화조건 및 그 응용에 관한 연구	광운대학교	2007.05.01.~ 2008.01.31	- 음식물쓰레기 이용 lab-scale의 탄화실험을 통한 최적 탄화조건 도출로 상용급 구축에 대한 목표 설정이 상이 - 탄화실험장치 구축후 탄화공정에서의 온도, 산소농도 등 탄화물의 형성과 기타 부산물의 특성 분석

○ (차별성)

- 하수 처리장 농축조에서 발생하는 하수슬러지 탈수 케이크를 수열탄화를 적용하여 1차적으로 암모니아를 회수하고 혐기소화 처리용량을 줄여서 혐기소화 부하량을 저감
- 음식물류폐기물 전처리 작업 중 비중선별을 위해 필요한 공정수를 수열탄화 반응 발

생 고액분리액을 이용함으로서 폐수 발생량을 저감하고 바이오가스 생산효율을 증대
- 혐기소화 공정 발생 폐수 내 암모니아를 수열탄화 폐열 활용 제거를 통해 폐수처리 비용을 저감

○ (연계 활용방안)

<표 6-2-30> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D
필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술
(본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행
기술명</td><td>● 유기성폐기물의 수열탄화 기반 전처리 기술</td><td rowspan="3">⇒</td><td rowspan="3">고함수 바이오매스 균질화를 위한 수열탄화 방식의 상용급 전처리 기술</td><td rowspan="3">⇒</td><td>기술명</td><td>● 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 플랜트 실증(고형분 20% 기준)
● 2차 부산물 zero화를 통한 경제성 향상 기술 개발</td></tr>
<tr><td>연계
대상물</td><td>● 고함수 바이오매스 혐기소화 전처리기술</td><td>대상
성과물</td><td>● 고함수바이오매스 적용 수열탄화 기반 바이오가스 통합 플랜트</td></tr>
<tr><td>활용
방안</td><td>● 바이오가스 생산 효율 증대 기술</td><td>활용
방안</td><td>● 국내외 바이오가스플랜트 모델 제공</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇑</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지
기술개
발사업
/기술
연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명 : 열병합 발전용 저에너지 소비형 슬러지 고형연료 생산 및 적용 기술개발
기간: 2015.12.~2018.11.
내용 : 수열탄화 기반 하수슬러지 고형연료 생산기술 실증 및 열병합 발전 적용 기술개발</td><td colspan="2">● 수열탄화 기반 50톤/일 규모 고형연료 생산 실증플랜트 구축 모델 확보</td><td colspan="2">● (차별성)실증 규모 고함수 바이오매스의 열가수분해를 통한 혐기소화 통합 모델 구축
● (활용방안)바이오매스 활용 바이오가스플랜트 바이오가스 생산효율 증대 기술 확보</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명 : 고상혐기소화 연계 고열량 고형연료 생산 기술 개발
기간 : 2014.04.~2018.07
내용 : 공동자원화시설 기반 고상혐기소화 연계 고열량 고형연료 생산 기술 개발</td><td colspan="2">● 공동자원화 시설 기반 고상 가축분뇨 연계 수열탄화 고형연료 생산 모델 구축</td><td colspan="2">● (차별성)실증 규모 고함수 바이오매스 열가수분해를 통한 혐기소화 통합 모델 구축
● (활용방안)바이오매스 활용 바이오가스플랜트 바이오가스 생산효율 증대 기술 확보</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 하수슬러지 열화학적 전처리 : 기 검증된 수열탄화 (탈수케이크 이용) 적용하여 유기물 농축 2.5배 향상통한 폐수 발생량 70% 저감 및 소화 잔재폐기물 공정내 순환통한 무배출

- 일반적으로 혐기소화조에 사용되는 농축슬러지(고형분 4%)는 액상 형태로 낮은 유기물 함량과 분해율로 인하여 바이오가스 생산량이 떨어지는 문제점 발생
- 상대적으로 유기물 함량이 높은 탈수케이크(고형분 20%)는 고상의 형태로 존재하기

때문에 혐기소화 원료로 활용되지 못하는 기술적 한계

- 본 연구에서는 탈수케이크를 수열탄화하여 함수율 35% 수준 수열탄화된 고형분과 용해성 유기물이 농축된 액상으로 분리하고 분리된 수열탄화액을 음식물류 폐기물과 병합 혐기소화하여 바이오가스 생산량을 2배이상 증가시키고 혐기소화조 운전 안정성을 향상시키는 것이 특징 (분리된 수열탄화 고형분(저위발열량 3,500kcal/kg)은 열병합발전소 연료탄으로 판매하여 추가 수익 확보)

○ 음식물류 폐기물 전처리 : 하수슬러지 수열탄화액 이용 비중선별

- 음식물류 폐기물 혐기소화를 위하여 일반적으로 파쇄 및 선별등의 전처리 작업을 수반하게 되며 이 과정에서 음식물류 폐기물 중량기준 대비 50~100% 공정수가 투입되기 때문에 수자원 낭비 및 소화조 부피가 증가되는 문제점 발생
- 본 연구에서는 수열탄화액으로 공정수를 대체하여 상기의 문제점을 해결하고 동시에 바이오가스의 생산량 증가 효과 확보

○ 수열탄화열 이용 암모니아 탈기 : 소화조 저해인자 제거

- 수열탄화열 이용 암모니아 탈기를 이용하여 기질의 암모니아를 제거함으로서 암모니아 독성에 의한 혐기소화 효율저하를 방지하고 소화액 폐수처리의 효율 향상

<표 6-2-31> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
고함수바이오매스 수열탄화 전처리 플랜트 실증 (고형분 20% 기준)	- 낮은 고형분과 용해성유기물이 낮은 전처리 설비로 바이오가스생산 효율 저하 - 다량의 폐수 발생으로 인해 바이오가스플랜트의 경제성 저하	- 고형분 함량(20%) 이상의 전처리 기술 개발 - 발생 수열탄화액 이용 공정수 대체 활용
2차 부산물 zero화를 통한 경제성 향상 기술개발	- 암모니아독성으로 인한 혐기소화조 효율 저하 - 혐기소화조 발생 폐수 내 질소 제거를 위한 높은 소요비용 - 2차 폐기물 발생(소화 잔재 폐기물)	- 공정 내 발생 수열탄화 폐열 및 배가스 활용(외부열 free) 암모니아 회수 기술 개발 - 수열탄화 기반 연료탄 생산 판매 통해 추가 수익 창출

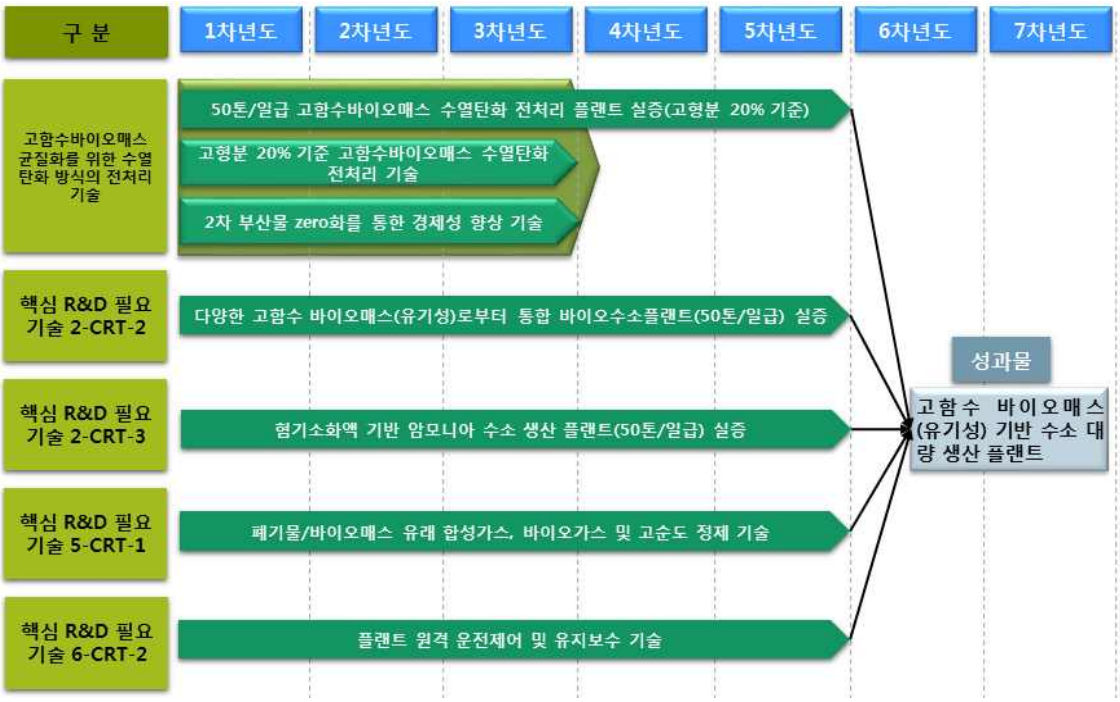
<표 6-2-32> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
고함수 바이오매스 균질화를 위한 수열탄화 방식의 상용급 전처리 기술	고함수바이오매스 수열탄화 전처리플랜트 실증(고형분 20% 기준)	응용개발	●	●			
	2차 부산물 zero화를 통한 경제성 향상 기술 개발	응용개발	●	●			

● : 주, ○ : 부

□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

- ○ 고함수바이오매스(고형분 20% 기준) 수열탄화 전처리 기술 개발을 통해 바이오가스 생산량을 2배 이상 증가시키고 혐기소화조 운전 안정성 향상 시킬 수 있는 통합플랜트 모델 구축
- ○ 고함수바이오매스 활용 2차 부산물 zero화를 통한 경제성 향상 기술을 구축하여 바이오가스플랜트의 경제성을 향상 시킬 수 있는 모델로 제시
- ○ 핵심기술 2-CRT-2 다양한 고함수 바이오매스(유기성)로부터 통합 바이오수소플랜트(50 톤/일급) 실증과 연계하여 바이오수소 생산 효율을 검증하고 결과를 반영



[그림 6-2-8] 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술1) 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 플랜트 실증(고형분 20% 기준)

<표 6-2-33> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 구성기술1 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○하수슬러지(고형분 20%) 수열탄화 탈리액과 음식물류폐기물 통합혐기소화 조 운전을 위한 물리·화학적 특성 평가 ○하수슬러지(고형분 20%) 열화학적 가용화 최적 운전조건 도출
2차년도 (2021)	○고함수바이오매스 중 하수슬러지(고형분 20%) 수열탄화 탈리액과 음식물류폐기물의 혼합 균질화 자동 제어 기술 확보 ○하수슬러지(고형분 20%) 열화학적 가용화 및 용존성유기물 농축 기술 확보
3차년도 (2022)	○50 톤/일 규모 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 기술과 혐기소화 통합공정 연계 모델 도출 ○50 톤/일 규모 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 통합플랜트 제작 및 설치
4차년도 (2023)	○50 톤/일 규모 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 통합플랜트 시운전, 성능평가 및 설비 보완
5차년도 (2024)	○50 톤/일 규모 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 기술과 혐기소화 통합공정 연계 통합플랜트 최적화 및 연속운전 ○100 톤/일 규모 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 기술과 혐기소화 통합공정 연계 통합플랜트 설계 인자 확보

○ 개발내용(구성기술2) 2차 부산물 zero화를 통한 경제성 향상 기술 개발

<표 6-2-34> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-1의 구성기술2 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○하수슬러지(고형분 20%) 수열탄화 탈리액의 수열탄화 폐열 이용(외부 열 free) 암모니아 회수 기술 개발 ○수열탄화 공정 분리된 고형분 활용(연료탄 저위발열량 3,500 kcal/kg) 기술 개발
2차년도 (2021)	○발전배가스 열 활용(외부 열 free) 혐기소화 고액분리액의 암모니아 회수 기술 개발 ○2차 부산물 zero화(소화 잔재폐기물 고형분 활용 및 공정 내 순환, 암모니아 회수)를 통한 통합플랜트 경제성 향상 모델 구축
3차년도 (2022)	○2차 부산물 zero화(소화 잔재폐기물 고형분 활용 및 공정 내 순환, 암모니아 회수)를 통한 통합플랜트 설계 및 제작
4차년도 (2023)	○2차 부산물 zero화(소화 잔재폐기물 고형분 활용 및 공정 내 순환, 암모니아 회수)를 통한 통합플랜트 시운전, 성능평가 및 설비 보완
5차년도 (2024)	○50 톤/일 규모 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 기술과 혐기소화 통합공정 연계 통합플랜트 최적화 및 연속운전 ○100 톤/일 규모 고함수바이오매스 수열탄화 전처리 기술과 혐기소화 통합공정 연계 통합플랜트 설계 인자 확보

2.2 (핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2) 다양한 고함수 바이오매스(유기성)로부터 통합 바이오 수소 플랜트(50톤/일급) 실증

□ **(기술의 정의) 고**농도 유기물을 함유한 다양한 고함수 바이오매스(유기성)를 50톤/일급 규모의 수소 및 메탄발효 기술, 메탄 가스 전환 기술을 통해 고함수 바이오매스 (유기성)로부터 최대 수소를 생산하는 통합 바이오 수소플랜트 실증

○ 수소생산 균주 개발과 개량을 통해 안정적인 바이오수소 생산성 확보 기술 개발

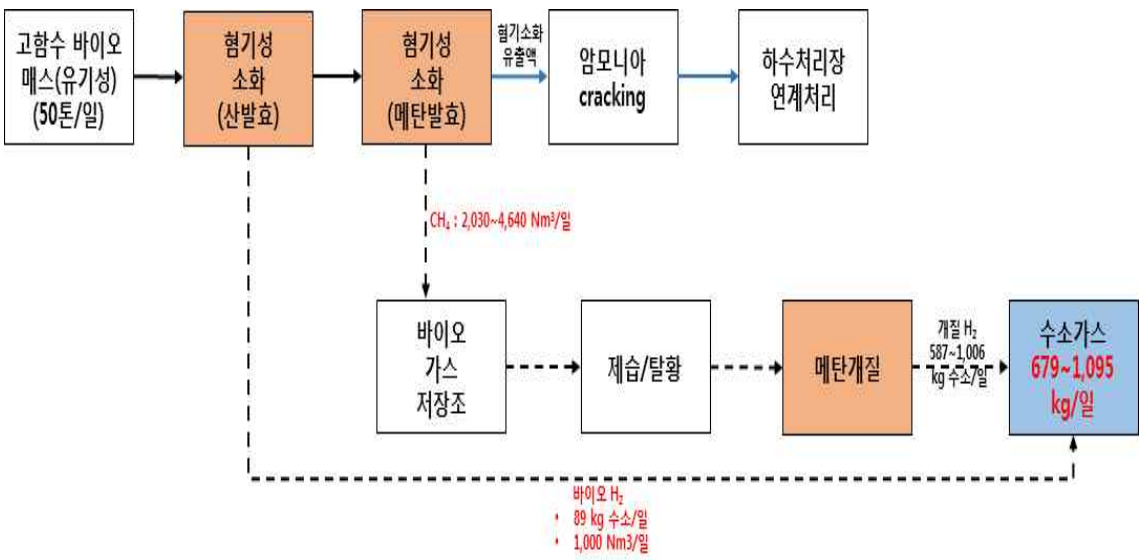
○ 수소 생산 후 혐기성소화를 통해 생산되는 메탄 생산 효율이 감소되기 때문에 수소 생산 후 메탄생산을 극대화하면서 메탄 농도 70% 이상 향상 시키는 메탄발효기술 개발

- 수소발효(암반응)의 경우 주로 내생포자를 생성하는 Clostridium속의 미생물을 이용하여 혐기소화 반응 메커니즘 중 산생성단계에서의 H_2 생산을 강화하고 메탄생성단계로의 반응 억제를 통해 수소생산효율을 극대화 하는 기술(※내생포자 : 고온 고압에서도 사멸되지 않는 미생물의 포자) 따라서 수소발효에서 생산되는 H2와 CO2는 메탄생산의 기질로 이용되는 특성이 있어 전단계에서 수소발효를 진행하는 경우 후단의 혐기소화에서 낮은 메탄생산량

○ 고함수 바이오매스(유기성)로부터 혐기성소화를 통해 생산된 메탄의 고효율, compact화 된 개질 공정을 통한 수소 가스 생산 기술 개발

○ 국내 기술 기반 바이오수소 플랜트 공정 단순화, 컴팩트화, 저가화 등을 통한 통합 바이오수소 플랜트 개발

- 5세부 (합성가스 및 바이오가스 고도 정제기술), 6세부(ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술) 등 세부과제 수행기관들과 협조하여 전체 공정 구성



[그림 6-2-9] 50톤/일급 통합 바이오수소 플랜트 구성 예

□ (개발 최종 목표)

○ (정성적 목표)

- 다양한 고함수 바이오매스(유기성)기반 50톤/일급의 안정적 바이오 수소 직접 생산 및 바이오메탄 개질 수소 생산 실증

○ (정량적 목표)

<표 6-2-35> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2 : 다양한 고함수 바이오매스(유기성)로부터 통합 바이오 수소플랜트 (50톤/일급) 실증	용량 (TPD)	10	50
	연속운전 (일)	200	300
	바이오메탄 생산량 (m^3-CH_4/g VS)	0.30	0.40
	바이오메탄 함량 (%)	60	70
	바이오수소 생산량 (m^3-H_2/m^3-바이오매스/day)	17	20
	수소생산량 (kg-H_2/톤-바이오매스)	15	22

□ (목표 설정 근거)

○ 고함수 바이오매스(유기성) 설비 규모는 인구 100,000명 중·소도 규모 도시를 대상으로 음식물류폐기물과 하수슬러지 발생량 원단위는 0.24~0.28 kg/인·일(음식물류폐기물), 0.19~0.23 kg/인·일 (하수슬러지)로서 50톤/일급으로 설정

○ 현재 바이오가스 플랜트 가동율이 200일/년 수준에 머물고 있어 기술적 보완을 통한 연속운전일수 300일/년으로 설정

○ 국내·외 고함수 바이오매스(유기성)의 바이오메탄 생산량 및 함량은 0.30m^3-CH_4/g VS, 60% 수준으로 30, 15% 향상된 0.40 m^3-CH_4/g VS, 70% 수준으로 설정

○ 바이오수소 생산량은 세계 수준이 중국 Harbin Institute of Technology에서 17 m^3-H_2/m^3-바이오매스/day 로서 15% 향상된 20m^3-H_2/m^3-바이오매스/day으로 설정

○ 고함수 바이오매스(유기성)기반 메탄 개질 및 바이오 수소를 통한 전체 수소 생산량은 현재 15 kg-H_2/톤-바이오매스 수준이나, 본 기술 개발을 통해 30% 향상된 22 kg-H_2/톤-바이오매스로 설정

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 2016년 유럽 전체 바이오가스 생산량이 2015년에 비해 1.6MTOE (15.7%) 증가

- 바이오가스 활용 전력량은 2015년에 비해 22.2% 증가한 46.3TWh
- 최근 유럽은 바이오가스 생산량의 급격한 증가로 바이오가스를 통한 전력생산 목표 초과 달성

○ 세계 바이오가스 시장은 2015년 5,150 백만달러, 2018년 6,594 백만달러로 평균 8.88%의 성장률로 전망

- 독일은 전 세계적으로 바이오가스화 보급이 가장 앞선 국가로 2005년에 2,600개의 바이오가스 플랜트가 설치, 운영되었으나, 급속히 성장하여 2009년 현재 4,600개 이상의 소규모 및 대규모 혐기성 소화시설이 설치하였으며, 계속적으로 증가 추세
- 일본은 2002년 이후 300여개소의 바이오매스 에너지타운 설치를 추진하면서 폐기물계 바이오매스의 80% 이상 활용을 목표로 설정하고 추진 중
- 최근 EU 중심으로 바이오가 고순도 정제하여 도시가스 대체연료 또는 CNG 차량용 연료로 활용
- 스웨덴은 1999년에 자동차 연료로 공급 사용하는 바이오가스 품질기준을 만들었으며, 천연가스 배관망에 연계할 수 있는 연료의 품질기준을 규정하여 시행

○ 국내의 경우 고함수 바이오매스(유기성) 특성에 기인한 혐기성 소화 기술 개발 필요
- 국내 음식물 쓰레기는 염분, 이물질, 섬유질 함량이 높고 계절적 성상변화가 심해 혐기성 소화에 어려움 존재
- 음폐수와 하수슬러지를 대상으로 하는 혐기성 소화기술은 상용화 되었으나, 음식물 쓰레기, 축산분뇨 등 고농도 유기성 폐기물을 이용한 기술은 일부 상용화
- 2016년 기준 유기성 폐자원에서 바이오가스를 생산 · 이용하는 시설은 총 90개소, 총 처리 용량은 59,204 톤/일, 평균 가동률은 84.4%임. 2016년 바이오가스 생산량은 총 304,2938천 m^3/년으로 집계되었으며 이중 79.1% 가량만 활용이 되고 있으며, 20.1%는 연소 등을 이용한 미활용 처리

<표 6-2-36> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
다양한 고함수 바이오매스(유기성)로 부터 통합 바이오 수소플랜트(50톤/일급) 실증	• 장기간 운전 (15년 이상)을 통한 안정적이고 신빙성있는 기술 확보 • 유럽의 경우 소규모 분산형 통합 바이오가스 시설 건설이 증가하고 있음 • 독일, 스웨덴, 덴마크와 같은 유럽국가들의 기술력이 선도적인 위치에 있음 • 국외 바이오수소 기술 개발은 pilot scale (1~5톤/일) 규모로 연구가 진행되었으며, 사용급 규모 플랜트 건설을 위한 연구가 진행중임	• 바이오매스(유기성) 활용 바이오메탄 생산 연구는 50톤/일급 이상 실증 연구가 상당수 개발되었나, 국외 기술에 의존하고 있어 국내 바이오매스(유기성) 특성에 기인한 바이오메탄 생산 시설 필요 • 또한, 바이오매스(유기성) 활용 바이오수소 생산 연구는 아직 실험실 규모 연구가 진행되고 있으며, 바이오수소 균주 개발 및 바이오수소 생산성 향상을 위한 연구 개발이 진행 중

<표 6-2-37> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (독일)	75
TRL	9	7
기술 성숙도	대형 상업용 플랜트 기술 보유	50톤/일급 플랜트 기술 보유, 대형 상업용 플랜트 기술 개발 중
주요성능	바이오수소 생산량 > 15 kg-H_2/톤-바이오매스 가동율 > 80%	최고 기술보유국에 근접한 기술을 확보하고 있으나, 장기간의 안정적인 운영이 미진

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 국내 바이오가스 잠재목표시장 20,000톤/일

- 2017년 12월 기준, 공공하수처리 시설은 총 307개소, 시설 용량은 2,770만 ㎥/일 수준
- 2016년 12월 기준, 음식물류 폐기물 처리시설은 총 346개소, 시설용량은 20,612 ㎥/일 정도

○ 고함수 바이오매스(유기성)기반 수소 발생 기작의 다양성

- 고함수 바이오매스(유기성)기반 수소 발생은 바이오메탄 개질을 통한 수소생산, 생물학적 전환에 의한 수소생산 등 수소 발생 기작이 다양
- 하지만, 바이오메탄 개질 수소 생산을 제외한 생물학적 바이오수소 생산 기술은 원천기술 개발 수준에 있어 실증 규모 개발을 위한 연구가 필요
- 현재 음식물류 폐기물을 활용한 파일롯 규모 바이오수소 생산 연구를 통해 최대 700일 이상 운전을 지속하였으나, 반응기 규모가 0.1㎥에 불과하여 실용화 및 실증화를 위한 연구 개발이 필요
- 국외 바이오수소 발생 최고 수준은 20 ㎥-H_2/㎥-바이오매스(유기성)/day으로서 국내 15 ㎥-H_2/㎥-바이오매스(유기성)/day에 비해 약 25% 가량 높은 성능

○ 수소 사용량 급증에 따른 바이오수소 생산 기술 필요성 증대

- 수소시장 규모 (2016년 기준)는 산업용 유통량만으로도 세계시장 $208억(자체소비량 230억 포함 총 $438억), 국내는 적어도 6,000억원 수준(시중 유통량 21만톤, kg당 3,000~4,000원 수준 기준)
- 세계적으로 매년 5천만톤의 산업용 수소를 사용하고 있지만 천연가스, 나프타 등의 화석연료로부터 생산되는 것이 대부분(95%)인 상황
- 이러한 방식으로는 기존의 화석연료가 가지고 있는 문제점을 그대로 내재하고 있어, 재생에너지 기반의 수소생산 기술의 필요성이 강조

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- 고함수 바이오매스(유기성)기반 바이오메탄 및 바이오수소를 생산하는 기술 개발을 수행하였다는 유사성

○ (차별성)

- 기 수행된 과제의 경우 고함수 바이오매스(유기성)기반 바이오메탄 생산이나, 바이오수소 생산에 초점을 맞춘 기술개발을 수행한 것으로 고함수 바이오매스(유기성)으로부터 최대 수소 생산을 하기 위한 본 사업과는 차이
- 바이오메탄 생산의 경우 50톤/일급 이상의 실증규모 기술이 개발되었으나, 바이오수소의 경우 파일럿 규모를 이용한 기술개발을 수행한 것으로서 상용급 기술을 개발하려는 본 사업과 규모 측면에서 차이
  * 고함수 바이오매스(유기성)기반 바이오메탄 생산 기술은 50톤/일급 이상의 실증 규모 기술 보유
  * 고함수 바이오매스(유기성)기반 바이오수소 생산 기술은 균주 개발 및 균주 농화 기술 개발 보유

<표 6-2-38> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
한국형 유기성 폐자원 바이오가스 에너지화 시스템 및 운영기술 개발	㈜현대건설, 한국가스기술공사, ㈜EG테크	2013.12.~2019.05.	80톤/일급 규모로 고함수 바이오매스(유기성)기반 바이오메탄 생산 기술개발 과제로 유사성이 있으며, 본 과제와는 바이오메탄 개질 및 바이오수소 생산에 차이점 존재
유기성폐기물 병합처리 및 바이오가스 발전시스템 개발	한국환경공단, ㈜대우건설, 금호산업	2007.12.~2014.05.	30톤/일급 규모로 고함수 바이오매스(유기성)기반 바이오메탄 생산 기술개발 과제로 유사성이 있으며, 본 과제와는 바이오메탄 개질 및 바이오수소 생산에 차이점 존재
음식물류 폐자원 유래 바이오수소 생산 및 균주 개량 기술 개발	한국생산기술연구원	2017.06.~2018.12.	고함수 바이오매스(유기성)기반 바이오수소 생산 기술개발 과제로 유사성이 있으며, 바이오메탄 개질을 통한 수소 생산에 차이점 존재
유기성 폐자원 유래 고효율 연속 수소 생산 공정 미생물 모니터링, 농화배양, 유전자 개량 기술 개발	대구대학교	2014.05.~2017.04.	고함수 바이오매스(유기성)기반 바이오수소 생산 기술개발 과제로 유사성이 있으며, 바이오메탄 개질을 통한 수소 생산에 차이점 존재

○ (연계 활용방안)

- 바이오메탄 생산기술의 경우 상기에서 언급한 80톤/일급 실증플랜트 기술개발과제에서 확보한 실증 플랜트 설계, 시공 및 운영기술 확보를 통해 바이오메탄 개질 수소 생

산 및 안정적인 운전을 통한 실증을 목표로 설정

- 바이오수소 생산기술은 상기에서 언급한 원천기술 개발과제를 통해 바이오수소 생산 균주 및 농후 배양 기술을 통해 바이오수소 실증 규모 플랜트 건설 목표

<표 6-2-39> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심
R&D
필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술
(본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행
기술명</td><td>● 바이오매스 (유기성) 바이오메탄 생산 기술
● 바이오매스 (유기성) 바이오수소 생산 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">다양한 고함수 바이오매스(유기성)로부터 통합 바이오수소플랜트 설계 및 실증 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>● 바이오매스(유기성) 기반 바이오수소 통합 실증 기술</td></tr>
<tr><td>연계
대상물</td><td>● 바이오메탄/수소 생산 기술</td><td>대상
성과물</td><td>● 바이오매스(유기성) 기반 바이오수소 시스템</td></tr>
<tr><td>활용
방안</td><td>● 통합 바이오수소 플랜트 기술로 활용</td><td>활용
방안</td><td>● 바이오매스(유기성)로부터 수소생산 핵심 단위공정으로 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지
기술개
발사업
/기술
연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명 : 한국형 유기성 폐자원 바이오가스 에너지화 시스템 및 운영기술 개발
기간 : 2013.12.~2019.05
내용 : 80톤/일급 바이오가스 시스템 개발</td><td colspan="2">● 바이오가스 생산 설계, 시공 및 운영기술 경험</td><td colspan="2">● (차별성)고함수 바이오매스(유기성)기반 생산 바이오메탄의 개질을 통한 수소 생산
● (활용방안)실증규모 플랜트 설계, 시공 및 운영기술 확보</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명 : 음식물류 폐자원 유래 바이오수소 생산 및 균주 개량 기술 개발
기간 : 2017.06.~2018.12
내용 : 바이오수소 생산 균주 개발 및 농후배양 기술 개발</td><td colspan="2">● 바이오수소 생산 균주 확보 및 농후 배양 원천 기술</td><td colspan="2">● (차별성)실증규모 바이오수소 플랜트 개발
● (활용방안)소규모 설비에서 개발된 원천기술의 실증규모 플랜트에 적용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 기존 고함수 바이오매스(유기성) 기반 처리사업장의 개·보수를 통한 안정적 바이오가스 및 바이오수소 생산 플랜트 설비 구축

○ 고함수 바이오매스(유기성)의 처리 효율 극대화를 위해 고함수 바이오매스(유기성) 수송거리 고려, 발생지 근처에서 처리 할 수 있는 분산형 발전 시스템 구축 및 생산된 열과 전기 공급이 가능한 장소 확보

○ 고함수 바이오매스(유기성) 기반 바이오수소 생산성 향상을 위해 바이오수소 수율 향상 균주 개량 및 확보 및 다양한 혐기성소화 반응기 운전 및 평가를 통한 설계 및 운전

인자 확보

○ 합성가스 기반 수소 생산 공정을 개발하는 타 세부과제 (5, 6세부 과제) 수행 기관들과의 정보공유 및 협조체계 구축으로 안정적/경제적 시스템 개발

<표 6-2-40> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
고함수 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 기술	- 국내 바이오가스 기술 해외 의존도 높음 - 국외 바이오가스 기술의 무분별한 도입으로 인한 운영기술 부족 - 바이오가스 시설 운영지표 측정 및 대응요령 미숙에 따른 가동 중지	- 국가 R&D TRL 6이상 기술연계 및 활용 극대화 필요 - 국내 실정 적합한 바이오가스 단위 공정 기술 개발 - ICT와 빅데이터 활용 모니터링 및 유지보수 기술 확보
고함수 바이오매스(유기성) 기반 바이오수소 생산 기술	- 바이오수소 균주 개발 및 농후 배양 연구 단계 - Lab 규모 연구 수행으로 중대형급 경험 전무	- 국외 선진 기술 도입을 통해 국내 실정 적합 기술로의 전환 - 기 개발 된 기술의 장기간 운전 및 운영 경험 축적

<표 6-2-41> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
다양한 고함수 바이오매스(유기성)로 부터 통합 바이오 수소플랜트 개발	고함수 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 기술	응용개발	●	●			
	고함수 바이오매스(유기성) 기반 바이오수소 생산 기술	응용개발	●	●			

● : 주, ○ : 부

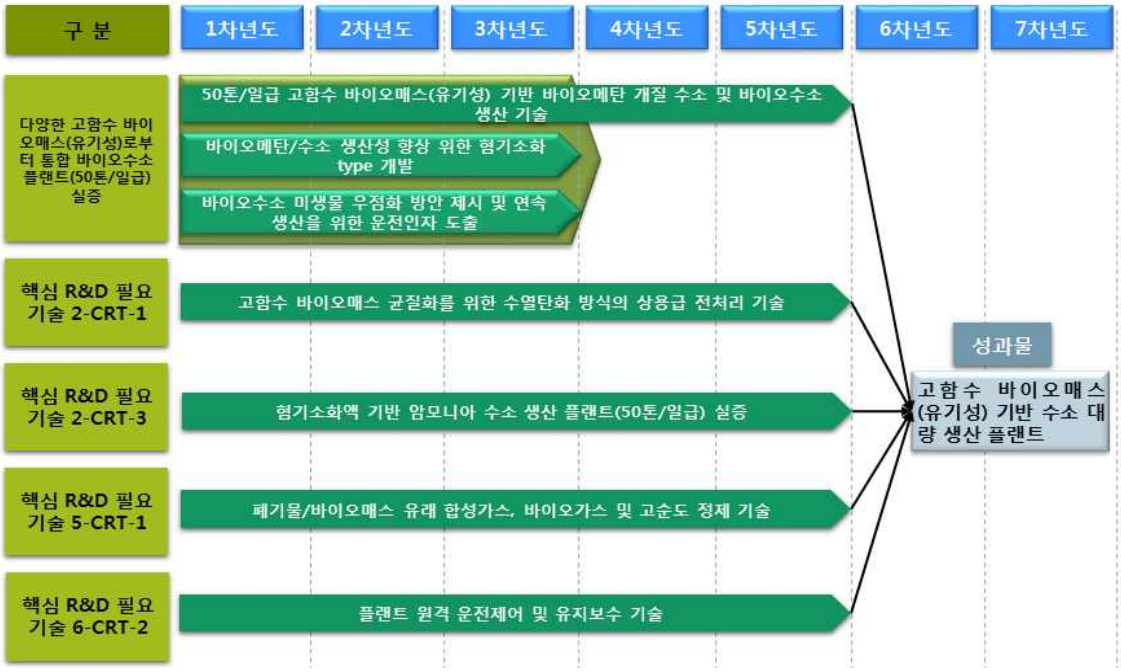
□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 다양한 고함수 바이오매스(유기성)로부터 통합 바이오수소플랜트(50톤/일급) 실증은 고함수 바이오매스로부터 발생되는 바이오메탄 및 바이오수소를 생산하여 수소 가스를 생산하는 것으로 세부과제 설비들과 연계하여 실증

- 2세부과제에서 개발하는 2-CRT-1과 2-CRT-3 기술과 연계
- 5세부과제에서 개발하는 5-CRT-1 기술과 연계

○ 6세부과제 수행기관과 협조하여 ICT 원격 운전제어 및 유지보수 협조 및 총괄사업단과 협조하여 사업화

- 6세부과제에서 개발하는 6-CRT-2 기술과 연계



[그림 6-2-10] 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용 (구성기술 1) : 고함수 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 기술

<표 6-2-42> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 구성기술1 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○고함수 바이오매스(유기성) 원료 특성 분석 및 평가 ○고함수 바이오매스(유기성) 원료의 바이오메탄 잠재량 평가 ○바이오메탄의 개질을 통한 수소 생산 영향인자 평가
2차년도 (2021)	○고함수 바이오매스(유기성) 바이오메탄 생산량 증가를 위한 영향 및 운전인자 평가 (Lab 규모 연속운전 평가) ○바이오메탄 개질 수소 생산량 평가 (Lab 규모 연속운전 평가)
3차년도 (2022)	○1톤/일급 pilot plant 운전을 통한 바이오매스(유기성)으로부터의 바이오메탄 생산량 평가 ○10Nm^3-CH_4/h 급 바이오메탄 개질 공정 평가 ○50톤/일급 실증규모 플랜트 설계인자 도출 ○100Nm^3-CH_4/h 급 바이오메탄 개질 설계인자 도출
4차년도 (2023)	○50톤/일급 실증규모 플랜트 설계, 시공 및 시운전 ○50톤/일급 실증규모 플랜트 시운전을 통한 trouble shooting ○100Nm^3-CH_4/h 급 바이오메탄 개질 설계, 시공 및 시운전
5차년도 (2024)	○50톤/일급 실증규모 플랜트 연속운전 (300일 이상) ○50톤/일급 실증규모 플랜트 운전 최적화 및 최적 공정제어 ○원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기술 개발 ○100Nm^3-CH_4/h 급 바이오메탄 개질 연속운전 및 운영관리 기술 개발

○ 개발내용 (구성기술 1) : 고함수 바이오매스(유기성) 기반 바이오수소 생산 기술

<표 6-2-43> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-2의 구성기술2 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○생물학적 바이오수소 생산공정 운전 인자 도출 ○바이오수소 생산 미생물 군집 우점화 방안
2차년도 (2021)	○고함수 바이오매스(유기성) 유래 수소생산 미생물 군집제채 확보 및 군집특성 규명 ○바이오수소 생산 우수균주 이용 수소생산성 평가 ○바이오수소 생산 우수균주 고농도 농화배양 방안 ○Lab 규모 연속운전 평가를 통한 수소 생산성 평가
3차년도 (2022)	○1톤/일급 pilot plant 운전을 통한 설계, 시공 및 운전 ○50톤/일급 실증규모 플랜트 설계인자 도출 및 문제점 파악
4차년도 (2023)	○50톤/일급 실증규모 플랜트 설계, 시공 및 시운전 ○50톤/일급 실증규모 플랜트 시운전을 통한 trouble shooting ○50톤/일급 실증규모 플랜트 수정보완
5차년도 (2024)	○50톤/일급 실증규모 플랜트 연속운전 (300일 이상) ○50톤/일급 실증규모 플랜트 운전 최적화 및 최적 공정제어 ○원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기술 개발

2.3 (핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3) 혐기소화액 기반 암모니아 수소 생산 플랜트(50톤/일급) 실증

□ **(기술의 정의)** 국내 보유 파일롯급(수톤/일급 또는 수십톤/일급)의 바이오가스플랜트 운전 중 발생하는, 미활용 암모니아로부터 수소를 생산하기 위한 촉매 및 촉매반응기 개발, 외부 에너지 free의 공정 디자인/구성 및 제작, 그리고 연속운전을 통하여 실증하는 전 과정의 기술

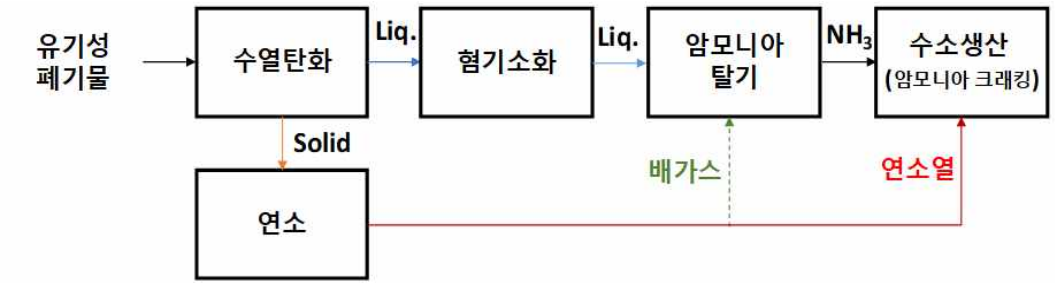
○ 유기성 폐기물 에너지화 공정에서 발생하는, 활용되지 못하고 폐기되는 액상의 암모니아를 이용 수소를 생산하는 기술개발 및 실증
- 폐수로 처리되는 소화액을 활용함으로써, 환경보호 및 폐수처리 비용저감 가능
- 기존의 수소 생산원이 아닌, 폐기물을 이용한 새로운 루트의 수소생산 방법

○ 탈기된 암모니아 가스를 활용한 수소생산 촉매개발 및 최적 운전조건 확보
- 기존의 공기를 이용한 암모니아 탈기가 아닌, 연소 후 발생하는 배가스를 이용한 탈기 방법을 사용함으로써 에너지 저감 및 경제성 확보
- 소화액에 함유되어 있는 암모니아의 효율적인 탈기를 위한 최적 조건 확보
- 탈기 암모니아 가스의 부반응을 억제하고, 선택적으로 수소로 전환 시킬 수 있는 촉매개발
- 암모니아 크래킹(cracking) 효율을 높일 수 있는 저온 반응촉매 및 반응기 개발

○ 외부 에너지 free의 수소생산 공정 구성 및 제작

- 폐기물 에너지화 공정에서 발생하는 잉여 열에너지를 촉매 반응기에 공급함으로써, 외부 에너지 free의 수소생산 공정 개발
- 열 손실 최소화 순환 공정 및 공급 시스템 제작 및 운전

○ 혐기소화, 암모니아 탈기, 촉매반응, 수소생산이 연계된 수소생산 공정 개발 및 연속운전을 통한 실증



[그림 6-2-11] 유기성폐기물 에너지화 및 부생 암모니아 수소생산 공정 개요도

□ (개발 최종 목표)

○ (정성적 목표)
- 연소 배가스를 이용한 소화액의 효율적인 암모니아 탈기공정 개발
- 저에너지·고기능성의 표면구조가 제어된 촉매 개발 및 양산체계 도입
- 촉매반응기 내부의 가스 유동향상 및 효율인적인 열분배 가능한 반응기 개발
- 추가적인 외부 에너지원 없이, 내부 잉여에너지 만을 활용한 외부에너지 free의 수소생산

○ (정량적 목표)
- 고기능성/고효율성 촉매를 활용 400°C 이하에서, 암모니아만 선택적으로 80% 이상 반응시켜 수소로 전환 (주로 순수 암모니아에서 수소로 전환하는 연구는 진행되어 왔으나, 바이오가스에서 미활용되는 암모니아를 활용한 수소생산 기술은 현재까지 전무)

<표 6-2-44> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발목표 스펙	
핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3 : 혐기소화액 기반 암모니아 수소생산 플랜트 (50톤/일급) 실증	반응온도	600°C	400°C	
	선택도(S_{H2})	해당사항 없음 (순수 암모니아 사용)	80%	
	전환율(X_{NH3})	95%	95%	
	수소생산량	해당사항없음 (순수 암모니아 사용)	하수	음·폐
			80 kg (50톤 기준)	50 kg (50톤기준)

□ (목표 설정 근거)

○ 기존의 촉매를 이용한 암모니아 크래킹 반응은, 순수 암모니아를 이용한 반응이기 때문에 부반응을 고려할 불필요

- $2NH_3 \rightleftarrows N_2 + 3H_2$

○ 연소 배가스를 이용한 소화액의 탈기 가스에서는 암모니아 뿐만 아니라 질소, 물, 이산화탄소 등이 발생하고, 촉매 반응에 따른 다양한 부산물이 생성됨

- $CO_2 + 2NH_3 \rightleftarrows NH_2COONH_4$
- $2NH_3 + CO_2 + H_2O \rightleftarrows (NH_4)_2CO_3$

○ 암모니아만 선택적으로 흡착/반응시킬 수 있으며, 반응온도는 기존보다 낮은 고활성 촉매개발 필요

○ 표면구조 및 모양이 제어된 촉매를 개발함으로써, 표면전자구조(surface electronic structure)의 변화를 통해 암모니아만 흡착/반응시키고, 또한 흡착력 제어를 통해 활성화 온도저감 가능

○ 선택도 및 전환율 계산근거

- 수소 선택도(selectivity, S_{H2}):

  S_{H2} = 2/3×(발생수소 농도)×(초기암모니아 농도-배출암모니아 농도) > 95%

- 암모니아 전환율(conversion, X_{NH3}):

  X_{NH3} = (초기암모니아 농도 - 배출암모니아 농도)÷(초기암모니아 농도) > 80%

□ 최근 국내·외 R&D 동향

○ 최근 대기오염규제 강화정책에 따라 Carbon-fee 공정에 대한 연구가 급증하고 있는 추세이며, 특히 암모니아는 온실가스를 배출하지 않는 친환경적인 특징을 가지고 있음

○ 순수 암모니아를 이용하여 수소를 생산하는 원천기술에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 다양한 가스가 혼재된 상태의 암모니아의 수소생산 연구는 전무

○ 본 제안 기술과 관련된 전체적인 연구동향은, 암모니아를 이용한 수소생산 공정개발과 암모니아를 크래킹하기 위한 촉매개발은 두 가지로 분류 가능

<표 6-2-45> 핵심기술 2-CRT-3의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
선택적 암모니아 흡착/반응을 위한 촉매 개발	• 중국 과학원 연구진들은 gamma-Fe2O3 나노물질의 결정도(110, 001)와 형상에 따른 질소산화물 환원력에 대한 연구 수행 • 미국 예시바대학교는 Ru(acac)3 전구체를 이용하여 입자 및 형태변화에 따른 암모니아 전환율을 측정	• 암모니아로부터 수소생산이 가능한 촉매연구는 다양하게 시도되고 있으나, 대부분 원천기술개발에 국한 • 귀금속 및 복합전이금속 등을 사용해 암모니아로부터 수소를 생산하는 연구를 진행 중에 있으나, 각각 가격 및 수소수율에 대한 한계 존재
	• 촉매 표면구조에 따른 암모니아 선택도 연구는 전무함	
미활용 암모니아를 이용한 수소생산 공정	• 인도 MVS사, 일본의 Koyo Thermo System 등 해외 다수의 업체에서, 암모니아 크래킹을 통한 수소생산이 가능한 장치 개발 • 개발된 장치의 대부분은 900°C 이상의 고에너지 필요	• 한국에너지기술평가원에서는 다양한 과제를 통해, 암모니아를 기반한 수소생산 장치들이 개발되었으나, 상용화에는 미도달
	• 국내·외에서 폐기물 에너지화 공정에서 미활용 되는 암모니아를 이용, 수소를 생산한 사례는 전무	

○ 현재 인도와 중국에서는 500~1,000 Nm3/h 규모의 암모니아 크래킹 장비를 판매중에 있음 (인도: SAM Gas Project, Arrio Engineering Co., MVS engineering, 중국: Suzhou since gas system, Suzhou Xinrui Purification Equipment Co.,Ltd). 하지만 복합가스에서의 선택적인 암모니아 반응은 불가함

<표 6-2-46> 핵심기술 2-CRT-의 최고기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	50 (인도, 중국)	10
TRL	8~10	3
기술 성숙도	각각의 구성품들의 모듈화, 케이싱을 통한 일체형, 그리고 자동운전 가능	암모니아 분해 반응기 개발 및 수소 생산플랜트 공정설계 수행
주요성능	배출가스량: 500~1,000 Nm^3/h 배출가스성분: H_2 75%, N_2 25% 촉매반응 온도: 850~900 °C	수소 생산량: 1 Nm^3/h 반응온도: 700°C 이상

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 미활용 암모니아 가스를 이용해 선택적으로 수소만 생산하는 촉매 및 공정기술은 미존재

○ 순수 암모니아를 이용해 수소를 생산하는 “Ammonia cracker” 장비는 국외에서 상용되어 판매 중에 있지만, 현재 미활용 암모니아 조건에 직접 적용하기에는 무리

○ 해외에서 판매되는 제품을 직접 사용하였을 경우, 수소가 아닌 그외 부산물로 인한 성능저하 및 장기성능 운전에 문제 존재 가능

□ 핵심기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안

○ (유사성)

<표 6-2-47> 핵심기술 2-CRT-3의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
암모니아(NH_3) 분해 수소 생산/정제 시스템 개발	(주)씨이에스	2018.06.01 ~ 2021.05.31	순수 암모니아를 이용해 수소를 생산하고 정제하는 시스템 개발로, 본 기술에서 제안하고자 하는 혼합된 암모니아 가스에서의 수소생산 기술과는 차이 존재
1 KW급 암모니아 기반 수소발생기 개발 및 이의 연료전지 실증	원익머트리얼즈	2014.12.01 ~ 2017.09.30	고체 암모니아를 저장하고, 이를 개질해 수소를 생산하는 기술임. 암모니아의 성상 및 구성이 본 과제에서 요구하는 바와 상이
암모니아 전기분해 - 2차원 층상구조 금속 칼코겐 전기화학촉매 개발	성균관대학교(자연과학캠퍼스)	2016.03.01 ~ 2021.02.28	금속 칼코겐 촉매전극을 이용해 암모니아를 전기분해해 수소를 생산하는 방법. 본 기술의 가스 상의 촉매반응과는 그 방법이 상이
피독 현상이 없는 공기 청정용 광촉매 디자인 및 표면 물리화학적 반응 기작 연구	성균관대학교(자연과학캠퍼스)	2018.06.01 ~ 2021.05.31	나노 광촉매를 개발하고, 이를 활용해 암모니아로부터 수소를 생산하는 연구. 광촉매의 경우는 본 제안기술에서 사용하려는 금속촉매와는 그 반응기작에 차이가 존재

- 기상 및 고상 암모니아의 촉매반응을 이용해 수소를 생산하는 과제는 활발히 진행
- 뿐만 아니라, 전기분해를 활용한 암모니아의 수소전환 연구 및 광촉매를 이용한 수소생산 연구 과제도 진행 중

○ (차별성)

- 상기의 유사과제들은, 기본적으로 다른 가스가 포함되어 있지 않은 순수 암모니아 형태로서, 암모니아의 분해 시 수소와 질소만 발행
- 본 과제에서는 연소가스와 암모니아가 혼합되어 있는 형태에서, 암모니아만 선택적으로 반응시켜 수소를 생산

- 암모니아 촉매 반응이 아닌 전기화학법 및 광촉매 반응은, 이는 외부의 전기 및 광에너지가 추가로 필요
- 본 연구의 촉매 반응에도 열에너지가 필수적으로 공급되어야 하나, 공정내의 잉여 에너지를 사용함으로써 그 경제성을 극대화 가능

○ (연계 활용방안)

- 기존 수행과제 “50TPD 하수슬러지 고형연료 생산기술”에서 확보된 암모니아 탈기 기술을 활용, 탈기된 암모니아로 수소를 생산하는 것이 본 과제 목적 중 일부
- 기존 과제 수행의 결과물인 탈기 암모니아의 농도 데이터 등을 활용, 반응기 용량 선정 및 설계 가능
- 폐기물 에너지화 실증플랜트에서 발생되는 미활용 암모니아를 활용한, 새로운 수소생산 시스템 개발 및 실증 목표

<표 6-2-48> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요 기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>• 50 TPD 하수슬러지 고형연료 생산기술</td><td rowspan="4">⇒</td><td rowspan="4">혐기소화액 기반 암모니아 수소 생산 플랜트(50톤/일급) 실증</td><td rowspan="4">⇒</td><td>기술명</td><td>• 폐기물 에너지화 공정에서의 미활용 암모니아부터 저에너지/고순도 수소생산 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>• 고형연료 생산 후, 발생되는 폐수에 함유되어 있는 암모니아 농도 모니터링 데이터
• 폐수에 함유된 암모니아 탈기 기술</td><td>대상 성과물</td><td>• 암모니아 선택적 반응 촉매양산 기술
• 고순도 수소생산 기술</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>• 폐기물 종류에 따른 암모니아 농도 예측 및 활용
• 암모니아 탈기 기술을 활용, 소화액에서의 암모니아 탈기</td><td>활용 방안</td><td>• 전국 폐기물 에너지화 공정에서의 수소생산 및 이를 활용안 분산형 에너지원으로 활용가능</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇑</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지 기술개발사업/ 기술연계</td><td colspan="2">과제개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명 : 암모니아(NH_3) 분해 수소 생산/정제 시스템 개발
기간 : 2018.06~2021.05
내용 : 암모니아 가스의 촉매반응을 이용한 수소생산 및 정제</td><td colspan="2">• 암모니아의 촉매반응 공정 기술
• 수소정제 기술</td><td colspan="2">• (차별성) 순수 암모니아 활용 촉매반응
• (활용방안) 촉매 반응기 및 공정기술은 본 과제에서 유사하게 활용가능</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명 : 1 KW급 암모니아 기반 수소발생기 개발 및 이의 연료전지 실증
기간 : 2014.12~2017.09
내용 : 고체 암모니아를 활용한 수소생산 및 연료전지 적용</td><td colspan="2">• 효율적인 촉매반응을 위한 공정기술</td><td colspan="2">• (차별성) 고체 형태의 암모니아를 활용 수소생산
• (활용방안) 다양한 촉매에 따른 암모니아 크래킹 특성 및 최적결과 활용 가능</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 기존 유기성 폐기물 에너지화 공정에서 발생하는, 미활용 암모니아를 활용한 수소생산 기술 및 이를 활용한 공정개발

○ 순도가 낮은 미활용 암모니아에서, 선택적으로 암모니아만 반응시켜 수소를 생산하는 촉매개발 및 대량생산 기술확보

○ 촉매 반응에 필요한 열에너지를, 공정내의 잉여 에너지로 대체함으로써 추가 외부에너지가 필요 없는 수소생산 공정개발

<표 6-2-49> 핵심기술 R&D 필요기술 2-CRT-3의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
선택적 암모니아 흡착/반응을 위한 촉매 개발	- 순수 암모니아를 크래킹하기 위한 촉매는 상당히 높은 수준으로 개발되어 있음 - 다양한 가스가 혼재된 상태의 암모니아의 수소생산 연구는 전무함	- 암모니아 반응성 및 선택도가 증가된 신(新)촉매 개발 - 신촉매를 활용한 실증개발을 위해, 촉매 대량생산 공정기술개발 필요 - 균일도 및 안정성이 높은 촉매 대량생산기술 확보
미활용 암모니아를 이용한 수소생산 공정	- 혐기소화 공정 이후의 암모니아수(水)는 폐액 처리 - 미활용 암모니아를 활용하기 위해서는, 정제공정이 추가로 필요 - 미활용 암모니아를 사용하는 것은, 추가공정으로 인해 경제성 부족	- 추가공정 없이, 촉매 반응기만으로 수소생산 가능 - 촉매반응기에 필요한 열에너지는 공정내의 잉여 에너지 사용으로 경제성 극대화 - 세부과제들(2-CRT-1과 2)의 구성요소들과 효율적인 연계를 통한 소비에너지 최소화 가능

<표 6-2-50> 핵심기술 R&D 필요기술 2-CRT-3의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
혐기소화액 기반 암모니아 수소 생산 플랜트 개발	선택적 암모니아 흡착/반응을 위한 촉매 개발	응용개발	●	●			
	미활용 암모니아를 이용한 수소생산 공정	응용개발	●	●			

● : 주, ○ : 부

□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

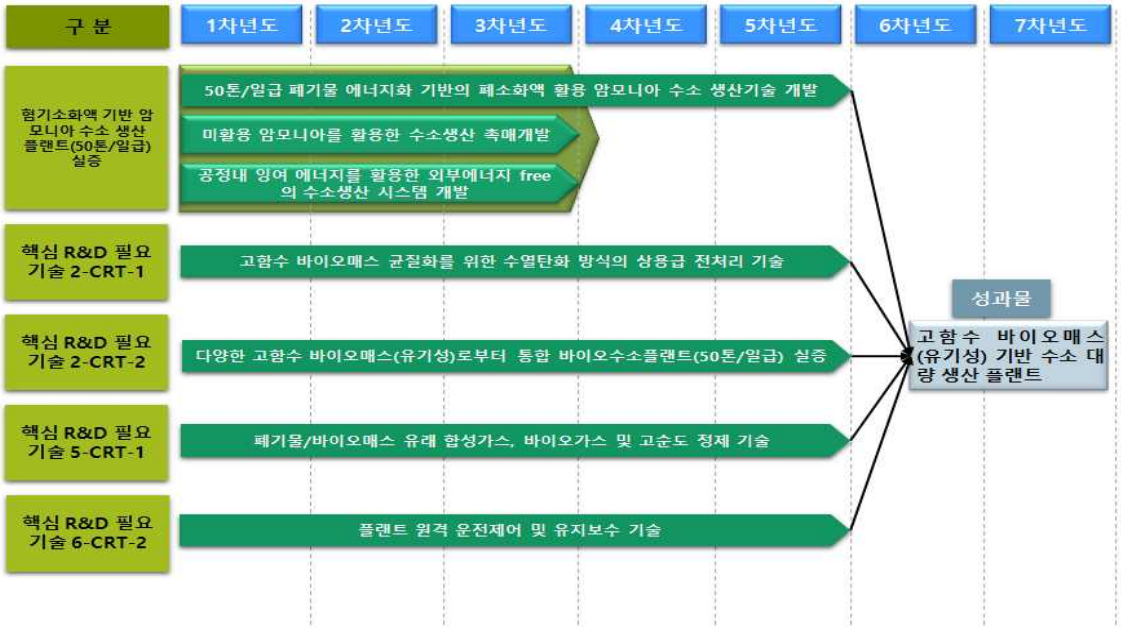
○ 혐기소화액 기반 암모니아 수소 생산 플랜트(50톤/일급) 실증은, 혐기소화 이후 폐수로

처리되는 소화액에 함유되어 있는 암모니아에서부터 수소를 생산하는 것으로 세부과제 설비들과 연계하여 실증

- 2세부과제에서 개발하는 2-CRT-1과 2-CRT-2 기술과 연계
- 5세부과제에서 개발하는 5-CRT-1 기술과 연계

○ 6세부과제 수행기관과 협조하여 ICT 원격 운전제어 및 유지보수 협조 및 총괄사업단과 협조하여 사업화

- 6세부과제에서 개발하는 6-CRT-2 기술과 연계



[그림 6-2-12] 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용 (구성기술 1) : 선택적 암모니아 흡착/반응을 위한 촉매 개발

<표 6-2-51> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3의 구성기술1 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○ 소화액에서의 탈기된 암모니아 농도 모니터링 ○ 암모니아 크래킹 촉매 자료조사 및 촉매제조
2차년도 (2021)	○ 다양한 구성 및 성분에 따른 촉매제조 (screening test) ○ 촉매 형상 분석 및 특성평가 ○ 촉매 합성조건 최적화 ○ Lab 규모의 촉매반응기 제작 및 모사가스를 이용한 암모니아 크래킹 테스트
3차년도 (2022)	○ 촉매 양산설비 설비설계 및 제작 ○ 양산설비에서 제작된 촉매의 형상분석 및 특성평가 ○ 촉매 양산설비 최적화 ○ 1톤/일급에서 적용 가능한 pilot 스케일의 암모니아 크래킹

	반응기 제작 및 적용 ○ Pilot 스케일의 암모니아 크래킹 반응기의 실제 조건에서의 테스트
4차년도 (2023)	○ 50톤/일급 실증규모 플랜트 적용을 위한 촉매양산 ○ 실증규모 적용을 위한 반응기 설계 및 제작 ○ 양산된 촉매를 사용한 촉매반응기 제작
5차년도 (2024)	○ 50톤/일급 실증규모 플랜트의 암모니아 크래킹 반응기 설치 및 운전 ○ 실증규모 플랜트에서의 암모니아 크래킹 연속운전 (300일 이상) 및 최적화 ○ 원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기술개발

○ 개발내용 (구성기술 2) : 미활용 암모니아를 이용한 수소생산 공정

<표 6-2-52> 핵심 R&D 필요기술 2-CRT-3의 구성기술2 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○ 탈기 효율증가를 위한 탈기공정에서의 인자 도출 ○ 실증플랜트 공정에서의 잉여 열에너지 계산 및 측정
2차년도 (2021)	○ 잉여 열에너지의 촉매반응기 공급을 위한 열에너지 수지 및 열유동 공정해석 ○ 열에너지 온도 산출 후 열교환기 타입 선정 및 설계 ○ 선정된 열교환기의 공정적용 시 효율성 검토
3차년도 (2022)	○ 열에너지 이송을 위한 고온배기가스 배관망 설계 및 설치 ○ 송풍기 용량 선정 ○ 배관망이 연동된 열교환기 설치 및 시운전
4차년도 (2023)	○ 제작된 촉매 반응기와 열에너지 공급시스템 연동 및 시운전 ○ 50톤/일급 실증규모 플랜트 운전을 통한 trouble shooting ○ 열공급 시스템 운전 및 수정보완
5차년도 (2024)	○ 50톤/일급 실증규모 플랜트의 암모니아 크래킹 반응기 설치 및 운전 ○ 실증규모 플랜트에서의 암모니아 크래킹 연속운전 (300일 이상) 및 최적화 ○ 원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기술 개발

3. 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

3.1 (핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1) 수전해 시스템 scale-up 및 효율 향상 기술

□ **(기술의 정의)** 국내 기술 개발 용량(500 kW 이하)의 수전해 기술을 기반으로 본 과제 목적에 맞는 1 MW 수전해 시스템의 설계 및 제작하고 이를 연속운전을 통해 실증기술을 확보하고 나아가 공정 효율을 향상 시키는 전 과정의 기술

○ 전기 그리드에 의한 전기에너지 활용의 적절한 배분에 따라 잉여전기가 발생할 경우, 특히 미래에 재생에너지를 이용한 발전이 대폭 증가할 경우 이를 수전해 시스템을 통해 전기를 수소로 변환하여 에너지를 저장하는 기술로 재생에너지 발전의 확대와 더불어 필수 확보 기술

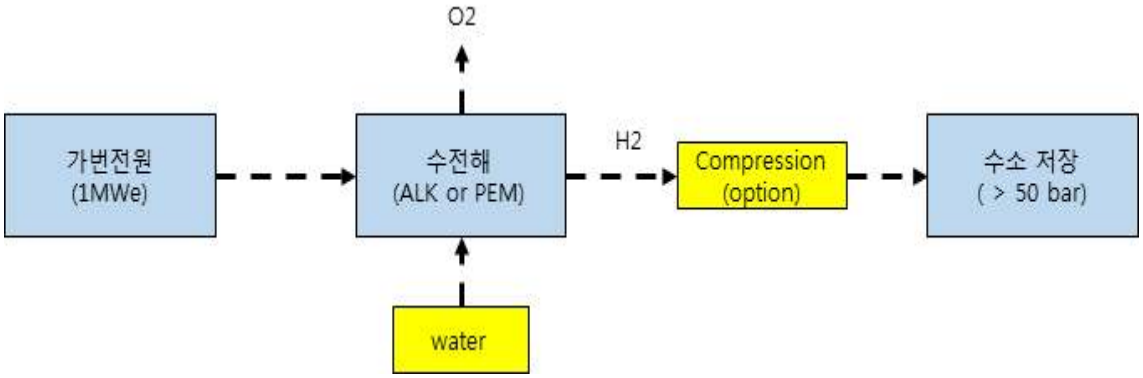
- 국내 수전해 보유 기술(500 kW 이하)을 활용하여 scale-up factor 도출
- 1 MW급 수전해 시스템 요소기술(전극 제작 기술, 스택 제작 기술 등)의 자체 개발 및 기술 도입 등을 통해 수전해 시스템 integration 능력 확보

○ 수전해를 통한 수소 생산은 낮은 효율(ALK-65%, PEM-60%미만)로 인해 경제성이 낮은 문제로 기술의 활용 및 보급이 어려워 효율 향상 기술이 필요

- 국내 수전해 보유기술 활용하여 수전해 전극 및 스택 기술 고도화를 통한 효율 향상 기술 확보
- 수소 저장을 위한 고압 수소 생산 기술을 통해 경제성 확보

○ P2G 플랜트의 주목적은 재생에너지에서 발생하는 잉여전기를 수소 에너지로 전환하는 것으로 유효성을 검증하기 위한 잉여전기 계통 연계 기술 필요

- 잉여전기의 간헐성, 가변성의 특징을 재현하기 위해 가변전원 장치를 구현하여 이를 통해서 잉여전기 계통 연계 기술을 확보하고 연계 한 시스템의 유효성을 검증



[그림 6-2-13] 1 MW 수전해 시스템 구성도의 예

□ (개발 최종 목표)

○ (정성적 목표)

- 가변전원 발생 장치를 통해 잉여전기를 이용한 수소 생산 기술을 개발하는 것으로 수전해 시스템의 설계 및 운전을 통해 1 MW급 수전해 시스템 기술 확보
- 단일모듈 1 MW급 수전해 시스템에서 국외 선진기술의 효율 달성을 위해 전극 및 스택 요소기술을 개발하고 경제성 확보를 위한 토출 압력과 가동률 향상 기술 개발

○ (정량적 목표)

<표 6-2-53> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1: 수전해 시스템 scale-up 및 효율 향상 기술	수전해 단일모듈 용량	< 500 kW	1 MW
	수전해효율(LHV)	< 65% (ALK) < 58% (PEM)	> 67% (ALK) > 63% (PEM)
	토출 압력	< 1 bar (ALK) < 30 bar (PEM)	> 10 bar (ALK) > 50 bar (PEM)

** ALK(알칼라인), PEM(고분자전해질) 수전해 방식 중 택 1*

□ (목표 설정 근거)

○ P2G 플랜트 선진기술 보유국인 독일과 P2G를 도입하고 있는 국가들이 상용 스케일로 1MW 이상을 운전하고 있으며 지속 가능한 운전을 위한 효율 향상 기술은 선진 기술에 비해 뒤쳐져 이를 극복하기 위한 기술이 필요

- 수전해 시스템 단일 모듈 1 MW: 1 MW 단일 수전해 모듈 개발을 통해서 1 MW 이상의 시스템을 필요로 하는 곳에 다수의 수전해 모듈을 설치 할 수 있는 역량 필요
- 수전해 타입(알칼라인 수전해, PEM 수전해)에 따른 각각의 장단점을 분석하여 선택하고 해당 수전해 타입에 따른 수전해 효율향상 기법(전극, 스택 개발 및 공정 개발 등) 개발 필요
- 수전해 효율 향상 목표는 5년내 선진 기술의 90%이상에 해당하는 수치

□ 최근 국내·외 R&D 동향

○ 다부처 과제 '신재생 하이브리드 이용 미래에너지저장 기술개발'이 기획되어 신재생 전기로부터 수소를 생산하는 기술개발 시작(미래창조과학부, 산업통상자원부, 2016)

○ 국내에서 삼성SDS와 LG화학이 주력하고 배터리 저장 기술을 중심으로 신재생에너지 정책이 수립되었으며, 최근에는 현대자동차의 수소 연료전지 자동차 수요와 맞추어 수소스테이션 및 수소저장에 대한 연구 진행

○ 전 세계에서 가장 활발하게 P2G 기술 개발이 이루어지고 있는 곳은 유럽으로 1990년대 풍력, 태양광 기술의 성숙도가 증가하면서 보급이 활발해지고 이에 따라 대용량의 전기 저장 수단으로 관심이 높아지는 계기

○ P2G 기술 개발 및 실증 프로젝트 추진이 가장 활발히 진행되고 있는 국가는 독일

- 독일은 유럽에서 러시아를 제외하고 가장 많은 에너지를 소비하는 국가로 에너지 이용의 경제정, 에너지 공급의 안정성, 에너지의 환경 친화적 이용을 기반으로 한 독일의 에너지 정책 및 방향은 유럽의 다른 나라에도 많은 영향을 끼친 것으로 확인
- 독일은 2011년 후쿠시마 원전사고를 계기로 당초 2033년까지를 목표로 하고 있는 탈원전 계획을 2022년으로 앞당김에 따라 재생에너지 보급 확대 속도가 증가하였고,

2016년 기준 재생에너지 발전 비중은 33.4%를 달성

- 독일은 향후 2030년까지 재생에너지 발전 비중 50%, 2050년까지 재생에너지 발전 비중 80%를 목표로 하고 있으며, 국가간 전력망이 연계되어 최대 25%까지 변동성 수용이 가능함에도 불구하고 향후의 재생에너지 증가에 대비하여 다양한 기술 및 생산 모델을 적용한 20개 이상의 P2G 실증 플랜트를 설치, 운영 계획

<표 6-2-54> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
수전해 시스템 scale-up 기술	• 유럽에서는 30여개의 P2G 플랜트가 운영 중 • 플랜트 규모는 1 MW이상 36%를 차지	• 국내에서 2000년대 초 수전해 lab-scale 설비를 통해 요소기술 개발 • 최근 500 kW급 알칼라인 수전해 방식을 이용한 수소 생산 진행
수전해 시스템 효율 향상 기술	• P2G 선진기술 보유국인 독일의 수전해 기술은 60~70%의 효율을 나타내며 고효율화를 위한 전극개발에 중점	• 국내 수전해 기술의 효율은 60% 미만이며 알칼라인 수전해를 이용한 P2G 플랜트 기술개발이 주류

<표 6-2-55> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (독일)	70
TRL	7	4
기술 성숙도	상업용 플랜트 기술 보유	파일롯 플랜트 기술 보유, 수전해 시스템 핵심 기술 미비
주요성능	수전해 규모 > 1 MW 수전해 효율 > 60%	수전해 규모 < 1 MW 수전해 효율 < 60%

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 수전해 시스템은 늘어나는 재생에너지 발전의 잉여전기를 저장하기 위한 미래기술로서 기존 연구 개발 성과물의 scale-up 기술을 통하여 실증 기술의 확보가 필요

○ P2G 플랜트의 확산을 위하여 수전해 효율을 향상시킬 필요가 있으며 선진 기술의 90% 이상 도달하여 기술 격차 해소

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- 수전해 기술은 청정 수소 생산 기술로서 국내에서도 2000년대 초반부터 연구개발을 시작하였으며 요소기술 및 pilot 플랜트를 이용한 실험을 진행
- 수전해 효율의 향상을 위해서 전극개발 수행 이력이 있으며, 스택 개발 및 전체 공정

개발 등 수행 경험 보유

○ (차별성)

- 2000년대 초반부터 지금까지 모든 국내 수전해 관련 기술개발은 500kW 이하의 pilot 플랜트급 기술개발을 진행하였으며 실증 플랜트를 대상으로 한 기술개발은 없어 규모 차이
- 수전해 효율 향상을 위한 기술 개발로 각각에 대한 요소기술에 대한 기술개발 이력은 있지만 수전해 시스템 전체에 대한 노력은 없었으며, 개발 목표치도 선진 기술에 근접하지 않은 실정

<표 6-2-56> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
고효율 수전해 수소제조 기술개발	한국에너지기술연구원	2006-04-01 ~ 2009-03-31	2.5kW급 Lab-scale 장비로 원천기술 개발 성격으로 실증 과제와 차이
저온형 수전해용 전극 제조 기술 개발	㈜엘켐텍	2003-10-01 ~ 2004-03-01	막전극접합체 개발 과제로서 요소기술에 해당되며 수전해 시스템 개발과는 차이
차세대 알칼라인 수전해 원천기술개발	한국에너지기술연구원	2015-12-31 ~ 2021-07-30	알칼라인 방식의 수전해 효율향상을 위한 원천기술개발 과제로 수전해 시스템 개발과는 차이
풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500kW급 하이브리드 수소변환 및 발전시스템 기술개발	㈜지필로스	2017-12-01 ~ 2020-11-30	500kW급 시스템 구축으로 용량에서 차이가 나며 잉여전기를 이용한 100% 수소 저장이 아닌 ESS와의 하이브리드 방식의 잉여전기 저장이라는 차별성

○ (연계 활용방안)

- 본 사업에서는 기존의 파일롯급 소규모 기술개발 및 요소기술 개발 과제 성과를 활용하여 scale-up 설계 및 제작, 운전을 통한 1MW급 수전해 기술 확보 및 효율 향상 기술 개발을 목표로 설정

<표 6-2-57> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>• 수전해 수소제조 기술 및 저온형 수전해 전극 제조 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">수전해 시스템 scale-up 및 효율 향상 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>• 1 MW급 수전해를 이용한 P2G 플랜트 구축 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>• 저온형 수전해 전극 및 수전해 설비</td><td>대상 성과물</td><td>• P2G 플랜트</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>• scale-up 시 base model로 활용</td><td>활용 방안</td><td>• P2G 플랜트에서 고효율 수전해 공정 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지 기술개발사업 및 민간 기술 연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 고효율 수전해 수소제조 기술개발
기간: 2006. 04.~2019. 03.
내용: 2.5kW급 lab-scale 장비를 활용한 효율 향상 기술</td><td colspan="2">• 수전해 시스템 및 효율 향상 기법</td><td colspan="2">• (차별성) 상업용급 규모, scale-up
• (활용방안) lab-scale 공정 활용 효율 향상 기법 및 운전 경험 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 저온형 수전해용 전극 제조 기술 개발
기간: 2003. 10.~2004. 03.
내용: 저온형 수전해(PEM) 전극 제조 기술</td><td colspan="2">• PEM 수전해 전극 제조 기술</td><td colspan="2">• (차별성) 상업용급 규모
• (활용방안) 개발된 수전해 전극 기술 활용하여 PEM 수전해 적용 방법에 활용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 국내 수전해 관련 선행기술 중 pilot급 설비 설계 및 제작 운전 기술 등을 활용하여 1MW급 수전해 시스템 설계 및 제작

○ 수전해 시스템 핵심 기술 중 전극 제조 기술은 기 연구 결과 활용 또는 국외 선진 기술 도입을 통해서 수전해 효율 향상 기술 확보

○ 국내 수전해 관련 중소·중견기업을 참여를 독려하여 각 요소 기술들을 활용하고 이를 집적하여 scale-up 기술 확보

<표 6-2-58> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안

<table>
<tr><th>개발내용</th><th>현안 문제점 및 기술한계</th><th>기술개발방안</th></tr>
<tr><td>수전해 시스템 scale-up 기술</td><td rowspan="2">- 국내 연구기관에서 소규모 플랜트를 이용한 요소기술 개발 경험은 있지만 관련 scale-up 기술 미비
- 전극 제조, 스택 제작, 연계 운전 등 상용급 수전해 설비 핵심 기술 부재</td><td>- 보유하고 있는 기반 기술을 활용하고, 수전해 관련 중소·중견기업 참여를 독려하여 국내 기술을 적용한 1MW급 수전해 기술 개발</td></tr>
<tr><td>수전해 시스템 효율 향상 기술</td><td>- 핵심 요소 기술의 적용 가능성을 판단하여 자체 개발 또는 국외 기술 도입을 통해 고효율 수전해 시스템을 개발</td></tr>
</table>

<표 6-2-59> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
수전해 시스템 scale-up 및 효율 향상 기술	수전해 시스템 scale-up 기술	응용개발	●	●			
	수전해 시스템 효율 향상 기술	응용개발	●	●	○		○

●: 주, ○: 부

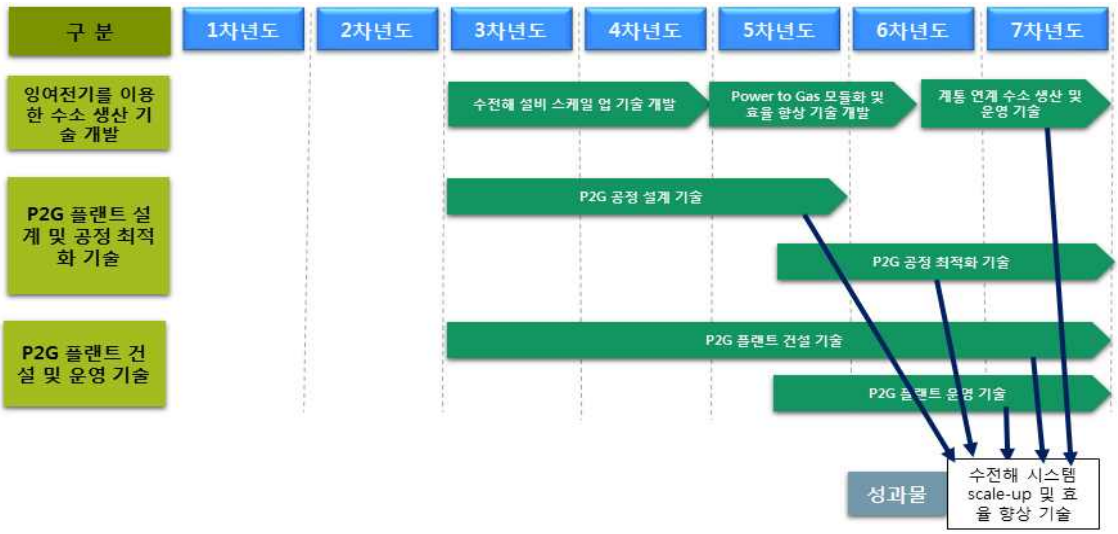
□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 세부과제 3-1 수행기관에서 국내 고유 기술을 기반으로 1 MW급 수전해 시스템 scale-up 기술개발

- lab-scale을 이용한 수전해 공정 실험 결과 및 운전데이터 등을 활용
- 전극 및 스택 기술 자체 개발 또는 국외 기술 도입

○ 세부과제 3-3 수행 기관에서 1 MW 수전해 시스템의 공정 설계 및 최적화 기술 개발

○ 세부과제 3-4에서 1 MW급 수전해 시스템의 건설 및 운영 기술 개발과 연속 운전을 통해서 기술 검증



[그림 6-2-14] 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술 1): 수전해 시스템 scale-up 기술

<표 6-2-60> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 구성기술1 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○국내 기술 활용 수전해 시스템 scale-up 설계 ○잉여전기 공급을 위한 가변 전원 설계 ○Lab(or pilot)-scale 수전해 기초 실험
2차년도 (2021)	○수전해 시스템 scale-up 상세 설계 ○수전해 모듈 설계 및 공정 모사 ○수전해 전극 및 스택 기술(또는 국외 기술 도입) 확보
3차년도 (2022)	○1MW급 수전해 시스템 제작 ○가변전원 설치 및 단동 테스트
4차년도 (2023)	○1MW급 수전해 시스템 설치 ○수전해 설비 시운전 및 trouble-shooting ○수전해 시스템 운전 매뉴얼 제작
5차년도 (2024)	○잉여전기를 이용한 1MW급 수전해 시스템 연속운전 ○가변전원 연계한 운전 안정성 확보

○ 개발내용(구성기술 2): 수전해 시스템 효율 향상 기술

<표 6-2-61> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-1의 구성기술2 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○국외 선진 수전해 효율 향상 기술 조사 ○1MW급 최적 수전해 구성 방법 조사
2차년도 (2021)	○수전해 전극 및 스택에 따른 효율 분류 및 최적 설계 도출 ○수전해 시스템에서의 토출 수소 압력(50bar) 확보 설계
3차년도 (2022)	○가변전원에서의 안정적인 운전 방법 도출 ○공정모사 기반 1MW 최대 효율 기술 확보
4차년도 (2023)	○ 1MW 수전해 시스템 적용 테스트
5차년도 (2024)	○ 1MW 수전해 시스템 목표 효율 도출

3.2 (핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2) 1 MW급 P2G 플랜트 산소추출 및 합성가스 플랜트 연계기술

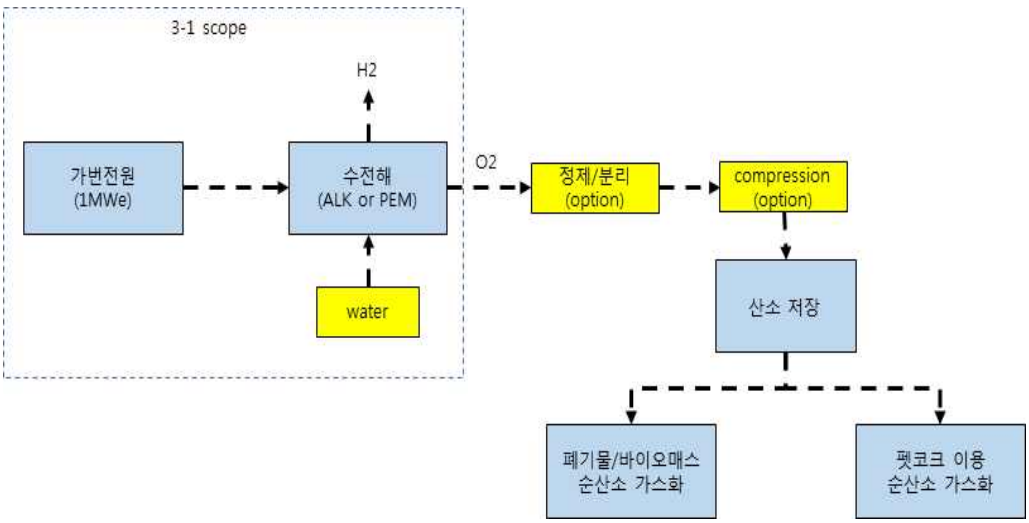
□ **(기술의 정의)** 본 과제 1 MW 수전해 시스템을 이용한 P2G 플랜트의 부산물인 산소를 활용하기 위한 기술로서 수전해를 통한 산소 생산 및 저장 기술과 생산된 산소를 순산소 가스화기의 산화제로서 활용하는 전 과정의 기술

○ P2G 플랜트의 수전해 설비에서 수소 생산 시 부산물인 산소를 추출하고 이를 저장하여 활용하기 위한 기술

- 1 MW급 수전해 시스템 기술 개발과 연계하여 발생 산소를 분리 및 정제 그리고 저장하는 기술
- 연속된 공정과의 연계를 위해 안정적인 산소 활용을 위한 설계 기술

○ 본 과제 1세부의 순산소 가스화 플랜트와 연계하여 순산소 가스화기의 연속적인 산화제 공급 모델로서 수전해 부생 산소를 활용하는 기술

- 1MW급 수전해 시스템 부생 산소 가스화기 연계 기술
- 수전해 시스템 발생 산소의 순산소 가스화기 산화제 공급 제어 기술



[그림 6-2-15] 1 MW P2G 플랜트 산소활용 구성도의 예

□ **(개발 최종 목표)**

○ (정성적 목표)

- P2G 플랜트의 부생 산소의 활용을 위한 가스 처리 기술 및 산소 저장 기술 개발
- 순산소 가스화기의 산화제로서 수전해 설비에서 생성된 산소를 이용하기 위한 연계 기술 및 제어기술 개발
- P2G 공정과 산소 이용을 위한 가스화 공정과 연계 시 산소이용 방법에 대한 안정적 연계방안 확보

○ (정량적 목표)

<표 6-2-62> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2: 1 MW급 P2G 플랜트 산소 추출 및 합성가스 플랜트 연계기술	산소 생산	< 50 Nm^3/h	100 Nm^3/h
	산소 순도	95%	> 96%

□ (목표 설정 근거)

○ P2G 플랜트 선진기술 보유국인 독일과 P2G를 도입하고 있는 국가들이 주로 전기에너지를 수소로 변환하여 에너지 저장의 목적으로 수전해 설비를 사용하는데 산소 활용에 대한 상업적 활용은 없으며, 일부 논문 및 해석을 통해서 수전해 설비의 산소를 순산소 보일러 등에 적용하였을 때 효과에 대한 내용만 존재

- 수전해 설비의 부산물에 해당하는 산소를 활용 가능한 상태의 가스 처리를 할 수 있는 기술이 필요
- 발생되는 산소의 순산소 가스화기의 산화제로 사용하기 위한 연계 기술과 실비를 구성하여 실 운전을 통한 실증기술이 필요

□ 최근 국내·외 R&D 동향

○ 세계 각국에서는 온실가스 저감 및 신에너지 환경 전환을 위해서 재생에너지 발전 비중을 높이고 있으며 이에 따른 잉여전기 저장을 위해 P2G 기술 개발을 활발히 진행 중

- 미국에서 재생에너지 보급을 가장 활발히 추진하는 곳은 켈리포니아주로 2030년까지 전력의 50%를 재생에너지로 공급하고, 수송용 연료의 30%를 재생에너지로부터 생산한 메탄으로 대체하겠다는 목표를 설정
- 일본은 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 22~24%로 높이는 것을 목표로 하고 있으며 중국도 지역별로 비수력 재생에너지 비중을 2020년까지 10~13%로 높이는 것을 목표로 설정
- 독일, 스위스등 유럽에서는 초단위로 전력수급 균형을 맞추는 1차적 전력 조절 수단으로 배터리 저장장치를 활용하고 2차 조절 수단으로 발전소의 발전용량을 조절하며, 추가적으로 2차적 조절 수단으로 1,2차적 조절 수단을 보조하는 방법을 이용
- 국내에서도 3020정책에 따라서 재생에너지 발전 비중이 급격히 늘 것으로 예상되며 이에 따른 전력 조절 수단을 위한 기술개발이 이루어지고 있는 중

○ P2G 플랜트의 주된 목적은 재생에너지로부터 생산된 전기 중 잉여전기를 수소로 전환하여 저장하는데 목적이 있는데, 이와 함께 발생하는 산소의 활용을 위한 연구가 해석 단계에서 이루어지고 있는 중

- 수전해 설비로부터 발생된 산소를 순산소 보일러에 연계한 하이브리드 시스템에 대한

기술성 및 경제성에 대한 연구 진행
- 바이오매스 연소에서 순산소 연소의 산화제로서 수전해 발생 산소를 이용한 응용에 대한 연구 진행

<표 6-2-63> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
P2G 플랜트 산소 추출 및 활용 기술	● 수전해 발생 산소는 근처 수요처에 공급	● 국내 P2G 관련 연구는 수소의 생산에 초점이 맞추어져 있으며 산소 활용 관련 연구는 기초 단계
합성가스 플랜트 연계 기술	● 수전해 발생 산소를 순산소 보일러에 연계하는 연구 진행 ● 바이오매스 연소에서 수전해 발생 산소를 이용하는 기술 및 경제성 분석 진행	● 국내 실증 및 상업 합성가스 플랜트는 있으나 수전해 설비와 연계한 연구는 검토 단계

<표 6-2-64> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (독일)	30
TRL	4	2
기술 성숙도	기초 연구 단계	개념 정립 단계
주요성능	-	-

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ P2G 플랜트의 낮은 효율 및 경제성을 향상시키기 위해 수전해 공정에서 발생하는 산소를 추출 저장 및 활용하는 기술 개발이 필요

○ 발생 산소를 순산소 가스화기에 직접 연계하여 활용하는 기술을 개발하여 P2G-가스화 통합 모델을 도출

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)
- P2G 플랜트의 핵심 장치인 수전해 설비에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔으나 실증 단계 및 상업적 이용으로 추진

○ (차별성)
- P2G 공정 개발 관련한 연구 및 pilot 설비 테스트에서 주된 관심사는 수소 생산과 그에 따른 효율 향상 기술이며 함께 발생되는 산소의 활용에 대한 구체적인 연구를 포함

<표 6-2-65> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
고효율 수전해 수소제조 기술개발	한국에너지기술연구원	2006-04-01 ~ 2009-03-31	2.5 kW급 Lab-scale 장비로 원천기술 개발 성격으로 수소 생산에 초점
차세대 알칼라인 수전해 원천기술개발	한국에너지기술연구원	2015-12-31 ~ 2021-07-30	알칼라인 방식의 수전해 효율향상을 위한 원천기술개발 과제로 산소 활용에 대한 연구와는 상이
풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500kW급 하이브리드 수소변환 및 발전시스템 기술개발	㈜지필로스	2017-12-01 ~ 2020-11-30	잉여전기를 이용한 100% 수소 저장이 아닌 ESS와의 하이브리드 방식의 잉여전기 저장이라는 차별성

○ (연계 활용방안)

- 본 사업에서는 기존의 파일롯급 소규모 수전해 기술개발 기술들을 활용하여 수전해를 통해 발생되는 산소의 활용 기술을 개발하고 나아가 순산소 가스화기 직접 연계 방식으로 실증

<표 6-2-66> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>• 수전해 수소제조 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">1MW급 P2G 플랜트 산소추출 및 합성가스 플랜트 연계기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>• 1 MW급 수전해를 이용한 합성가스 플랜트 연계 실증 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>• 수전해 시스템 제작 기술</td><td>대상 성과물</td><td>• P2G-합성가스 플랜트 통합 시스템</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>• 수전해 설비에서 발생 산소 활용</td><td>활용 방안</td><td>• P2G 플랜트에서 산소 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">에너지 기술개발사업 및 민간 기술 연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 고효율 수전해 수소제조 기술개발
기간: 2006. 04.~2019. 03.
내용: 2.5kW급 lab-scale 장비를 활용한 효율 향상 기술</td><td colspan="2">• 수전해 시스템</td><td colspan="2">• (차별성) 산소 활용
• (활용방안) 수전해 시스템 기반 기술을 활용한 순산소 가스화기의 산소 공급</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 국내 수전해 관련 선행기술 중 pilot급 설비 설계 및 제작 운전 기술 등을 활용하여 수전해 발생 산소 추출 기술 확보

○ 1세부 과제의 순산소 가스화기의 필요 산소 조건을 확보하여 5세부의 정제 분리 기술을 활용하여 안정적인 산소 공급 기술 확보

<표 6-2-67> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
1 MW급 P2G 플랜트 산소 추출 및 합성가스 플랜트 연계기술	- 국내 연구기관에서 소규모 플랜트를 이용한 수전해 기술은 있지만 산소 활용 관련 연구는 미비 - 국외에서도 수전해 발생산소를 활용하기 위한 기초단계의 연구 수행으로 관련 자료 부족	- 본 과제 1세부의 합성가스 플랜트 기술과 5세부 정제 및 분리기술을 활용하여 안전적인 산소 활용 기술 확보 - 합성가스 플랜트 연계 기술에서의 정제 및 분리기술 그리고 제어기술은 기반이 확보되어 있어 기술개발 성공가능성이 높음

<표 6-2-68> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
1 MW급 P2G 플랜트 산소 추출 및 합성가스 플랜트 연계기술	P2G 플랜트 발생 산소 합성가스 플랜트 연계 기술	응용개발	●	●			

●: 주, ○: 부

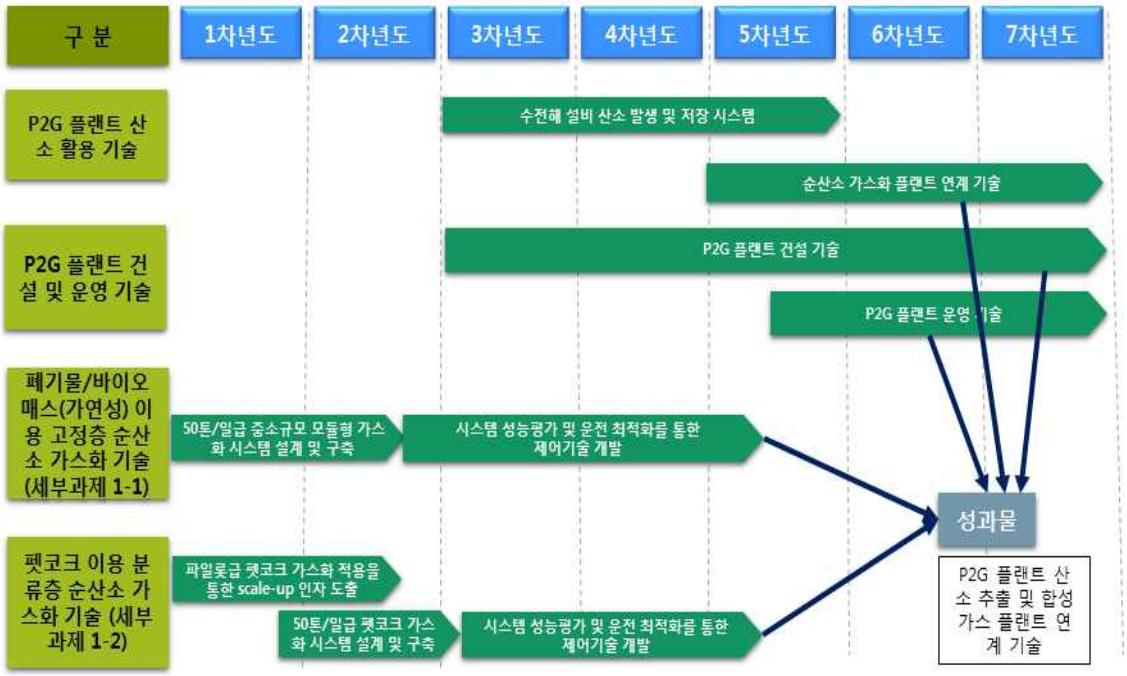
□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 세부과제 3-2 수행기관에서 1 MW급 수전해 시스템을 기반으로 산소 활용을 위한 추출, 저장 및 연계기술을 주도적으로 개발

○ 세부과제 3-1 수행 기관에서 1 MW 수전해 시스템의 공정 설계 및 최적화 기술 개발

○ 세부과제 3-4에서 1 MW급 수전해 시스템의 건설 및 운영 기술을 개발하고 연속 운전을 통해서 기술 검증

○ 1-1 수행기관의 폐기물/바이오매스 순산소 가스화와 1-2 수행기관의 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화와 연계한 발생산소 공급 기술 개발 및 실증



[그림 6-2-16] 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술 1): P2G 플랜트 발생 산소 합성가스 플랜트 연계 기술

<표 6-2-69> 핵심 R&D 필요기술 3-CRT-2의 구성기술1 추진 계획

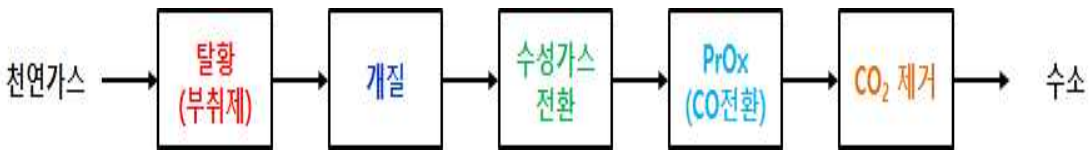
연도	추진 계획
1차년도 (2022)	○수전해 시스템 산소 추출 장치 설계 ○Lab(or pilot)-scale 수전해 장치를 이용한 산소 추출 실험
2차년도 (2023)	○산소 저장 장치 및 정제/분리 equipment 설계 ○가스화기 연계 전체 공정 모사 ○순산소 가스화기 산화제 조건 도출
3차년도 (2024)	○산소 추출 장치 및 정제/분리 장치 제작 ○산소 저장 장치 제작
4차년도 (2025)	○1MW급 수전해 시스템을 이용한 산소 추출 실험 ○산소 발생 실험을 통한 운전 인자 도출 ○순산소 가스화기 연계 공정 제작
5차년도 (2026)	○산소 추출을 위한 1MW급 수전해 시스템 연속운전 ○순산소 가스화기 연계 운전 및 운전 조건 확립

4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

4.1 (핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1) 천연가스 CO_2-added 개질 기술

□ **(기술의 정의)** 천연가스 개질 기술을 기반으로 1,400Nm3/h 규모의 수소를 생산할 수 있는 촉매, 개질기, 주요장치들을 설계 및 구축하여 설계기술뿐 아니라 연속운전을 통한 운영기술을 확보하는 전 과정의 기술

- ○ 수소경제의 활성화를 위해 천연가스의 개질을 통한 수소 공급은 수소 생산 분야에서 매우 중요한 역할 담당
- ○ 현재 세계적으로 상업용 개질기술은 대규모로 개발이 완료된 상태이지만, 중·소규모의 개질기술은 일본에서만 관심을 가지고 있는 실정이므로 수소생산을 위한 천연가스의 개질기술에 대한 국산화가 필요
- ○ 국내의 수소 공급 로드맵에서는 2030년까지 개질기술을 통한 수소생산을 50%로, 2040년에는 30%이지만 이의 기술을 통한 수소생산량은 증가할 것으로 보고
- ○ 천연가스는 기존 공급망을 활용하여 300~1,000 Nm3/h 이상급의 수소 개질기를 구축하여 수소를 대량 생산 가능
- ○ 도시 내의 LPG, CNG 충전소 또는 CNG 버스 차고지 등에 300 Nm3/h급 개질기를 구축하여 분산형 소규모 수소생산기지로 활용이 가능
- ○ 이와 같이 천연가스의 개질을 통한 수소생산은 수성가스전환(WGS, water gas shift)과 수소 분리기술(PSA, Membrane separator 등, 5세부과제에서 기술개발 수행)이 수반되며, 이를 통합한 공정의 실증 기술개발이 필요



[그림 6-2-17] 천연가스 개질 시스템 구성도의 예

□ **(개발 최종 목표)**

- ○ (정성적 목표)
  - 천연가스의 개질을 통한 1,400 Nm3/h 규모 수소 생산 기술 개발
  - 개질을 위한 촉매와 고효율의 개질기 개발

○ (정량적 목표)

<표 6-2-70> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1 : 천연가스 CO_2-added 개질 기술	CH_4 전환율	99%	99%
	수소생산량	10 Nm3/h	1,400 Nm^3/h
	CO 농도	-	< 1 ppm
	운전시간	-	100 h
	개질효율	-	80%

□ (목표 설정 근거)

○ 수소생산량은 천연가스 공급망과 연결하여 1,400 Nm^3/h의 수소를 생산할 수 있는 양을 기준으로 산정

○ 이의 규모는 거점형 중·대규모 수소생산기지로 사용할 수 있으며, 하루 3톤(1,400 Nm^3/h)의 수소를 생산하여 500대의 수소자동차(1대당 6kg의 수소를 충전)에 충전 가능

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 제이엔케이히터(주)에서는 한국과학기술연구원에 국가 R&D과제의 지원으로 300 Nm^3/h의 수소생산기 가능한 개질기를 제작완료하여 실증운전을 수행

○ 한국에너지기술연구원에서는 2016년에 천연가스 개질방식의 5 kW급(4.5 Nm^3/h) 연료 개질기 및 50 kW급(45 Nm^3/h) 개질기를 이용하여 LHV기준 개질효율 80.9 %, 수소생산량 당 크기 8.15 L/kW의 개질기를 개발하였으며, 초기 기동에서 정상상태 도달까지의 소요시간인 시동시간은 cold-start 기준 107분을 기록

○ SK energy에서는 서울 상암동 노을공원 주변에서 발생하는 매립지가스를 정제한 바이오매탄을 개질하는 30 Nm^3/h 수소생산이 가능한 바이오매탄 개질기를 2011년 서울 상암 수소충전소에 설치

○ 한국화학연구원에서는 이산화탄소와 메탄으로부터 메탄올 생산을 위한 통합공정 개발을 위한 10 ton/day의 실증규모를 개발하였으며, 이를 위해 복합개질공정의 개발을 위한 촉매와 반응기를 개발

○ 한국화학연구원과 한국에너지기술연구원에서는 GTL(Gad To Liquid) 공정개발을 위한 일환으로 H2/CO비 제어를 위해 천연가스에 이산화탄소를 첨가한 후 스팀개질을 수행하였으며, 합성유 생산 규모 1 B/D까지 연구개발이 완료

○ 한국가스공사에서는 천연가스로부터 DME를 생산하기 위해 이산화탄소가 다량 함유된 천연가스에 수증기를 공급하여 복합 개질(Tri-reforming) 반응을 통한 합성가스 생산을 위한 공정을 개발

○ 오사카 가스에서는 'Hyserve'라는 상표명으로 30, 100, 300 Nm3/h 수소생산이 가능한

천연가스 개질기를 개발해 상용화

○ 미쓰비시 화공기계(MKK)에서도 'Hygeia'라는 상표명으로 50, 100, 200 Nm^3/h 수소생산이 가능한 천연가스 개질기를 상용화

○ Air Products는 2006년에 천연가스 개질을 이용하여 1일 수소생산 100 kg의 HCNG 수소충전소를 펜실베니아 주립대학교내에 설치하여 버스 1대 및 밴 2대를 시범운행함

○ 종래의 고온의 multi tubular 반응기 타입의 SRM 기술의 경우 Haldor-Topsoe, Howe-Baker, Hydrochem, KTI 및 Foster Wheeler등에서 상업화

○ 영국의 Praxair사는 IFC와의 합작회사를 통해 개질기 기반의 소형-독립식 수소생산 시스템을 상용화

<표 6-2-71> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
개질 촉매 및 개질기 설계 기술	• Haldor Topsoe, Harvest Energy Technology (Air Products), H2Gen (Air Liquide), Linde 등 기술 보유 • 대부분 촉매와 개질기를 패키지화하여 사업화 진행 중	• 촉매는 실험실 규모에서 연구개발이 주로 수행되었으며, 실증급의 경우 상용촉매를 사용한 경험 보유 • 개질기는 주로 파일럿 규모 위주로 연구가 진행하였으며, 아직 라이선스는 미확보
개질공정 기술	• 국외의 경우 대규모 공정으로 개발되어 상용 운전 기술 확보 및 운전 중 • 일본의 경우 수소충전소용으로 중소형 개질기가 개발되어 시판되는 수준	• 국내의 경우 연구 개발 단계로서 실험실급 및 파일롯급 연구 진행 중

<표 6-2-72> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (일본)	75
TRL	9	5
기술 성숙도	중소형 상업용 플랜트 기술 보유	벤치규모 기술 보유, 중소형 (300 Nm^3/h급) 플랜트 기술 개발 지원 중
주요성능	CH_4 전환율 : 99% 개질효율 : 81% CO 농도 : < 1 ppm (300 Nm^3/h 기준)	유사한 규모에 대한 결과는 미보유

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 국내의 경우 천연가스는 배관망 구성이 잘 되어 있어 대량의 수소를 생산하거나 분산형의 중소규모로 수소를 생산할 수 있는 최적의 에너지원

○ 국내에서 운전되고 있는 개질기 대부분은 대용량이며, 해외기술을 도입하여 운영되기 때문에 국내보유 라이선스는 없는 것으로 보고

○ 수소의 중요성이 높아지고 있는 현 시점에서 중소규모의 개질공정에 대한 기술 확보는 매우 필요하며, 기술개발 이후 빠른 시일내에 상업화가 가능할 것으로 예상

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- 천연가스를 사용하여 촉매와 개질기와 같은 개질기술을 개발하는 연구 분야의 수행은 유사성
- 특히, 촉매는 니켈계를 대부분 사용하고 있어 지식재산권 확보가 어려울 것으로 예상

○ (차별성)

- 국내 상용으로 운전되고 있는 개질기는 대용량으로 규모면에서 차이
- 또한, 대부분의 연구과제는 소규모 파일롯 플랜트를 이용하여 기술개발을 수행한 것으로서 본 사업에서 제안하는 중소형 규모와는 차이

<표 6-2-73> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
수소충전소용 천연가스 수증기개질 수소 제조공급 시스템 개발	한국에너지기술연구원	'06 ~ '09	20 Nm^3/h급 수소생산용 개질기 개발, 수소제조 효율 60% 이상 "천연가스의 수증기개질+수성가스전환+수소분리" 등의 연계운전에 중점
이산화탄소를 이용한 DME 생산 Pilot Plant 공정개발	한국가스공사	'03 ~ '06	자열개질을 이용한 삼중개질로 합성가스를 생산 개질 촉매 국산화
천연가스로부터 고효율 메탄올 생산 기술 실증	한국화학연구원/한국에너지기술연구원	'13 ~ '16	실증급 메탄 tri-reforming 기술 개발 및 CO/H_2 비 제어 기술 개발
천연가스로부터 FT합성유의 제조기술 개발	한국화학연구원	'09 ~ '12	천연가스로부터 복합개질을 통한 합성가스 생산 촉매 및 개질공정 개발
소형 선박용 보조전력 공급을 위한 3kW급 열교환형 디젤 연료 개질기 개발	영남대학교 컨소시움	'13 ~ '16	3 kW급 디젤개질기 설계. 운전, 매크로-메조 기공을 가지는 다공성 촉매개발
미세먼지 대응 휘발성 유기화합물 에너지화 친환경 공정기술 개발	고등기술연구원 컨소시움	'16 ~ '19	VOCs의 개질을 위한 촉매 및 개질기 개발 및 30kW급 개질공정 개발

○ (연계 활용방안)

- 본 사업에서는 상기의 기술들을 연계하여 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용하고, "개질기+수성가스전환+수소분리" 등의 통합공정 운전기술에 활용 가능
- 이와 함께 개질기 설계 기술에 활용

<표 6-2-74> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>• 파일롯급 개질기 설계 및 운영 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">천연가스 CO_2-added 개질 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>• 천연가스 기반 수소 생산 플랜트 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>• 개질 촉매 및 공정설계 기술</td><td>대상 성과물</td><td>• 개질공정의 설계서</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>• 개질공정 설계 및 운영기술로 활용</td><td>활용 방안</td><td>• 천연가스 기반 수소 생산 플랜트의 상류 핵심 공정으로 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지 기술개발사업 및 민간 기술 연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 수소충전소용 천연가스 수증기개질 수소 제조공급 시스템 개발
기간: 2006.~2009.
내용: 천연가스 개질을 통해 수소생산</td><td colspan="2">• 20 Nm^3/h급 수소생산용 개질기 개발
• 수소제조 효율 60% 이상 "천연가스의 수증기개질+수성가스전환+수소분리" 등의 연계운전</td><td colspan="2">• (차별성) 통합공정에 대해 연계운전 결과 확보
• (활용방안) 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용
"개질기+수성가스전환+수소분리" 등의 통합공정 운전기술 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 천연가스로부터 FT합성유의 제조기술 개발
기간: 2009.~2012.
내용: 천연가스의 개질로부터 합성가스 생산</td><td colspan="2">• 천연가스로부터 복합개질을 통한 합성가스 생산
• 촉매 및 개질공정 개발</td><td colspan="2">• (차별성) 국내 고유의 촉매 개발 및 대량 생산 기술
• (활용방안) 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용, 유틸리티 설계 기술 활용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 현재 보유하고 있는 실증규모 운영기술 경험을 적용

○ 해외기술 도입을 통한 운영기술 확보

○ 중소형 규모에 적용하기 위한 고유의 촉매설계, 개질기 및 공정 기술 확보

○ 안정적인 개질공정의 운영을 위해 운전 데이터를 기반으로 운전상태(정상/이상 등)을 판별할 수 있는 모니터링 및 이상 조기 감지/예측 기술 개발

<표 6-2-75> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
천연가스 개질용 촉매 제조 기술	- 실증을 위한 집중적인 연구 지원이 필요 - 반응기뿐 아니라 고유의 촉매설계 기술 확보와 더불어 국내기술을 활용할 수 있는 저변확대가 필요 - 중소형 규모의 개질공정에 대한 설계 및 운영기술 경험이 부족	- 보유하고 있는 기반 기술을 활용하고, 외국기술을 도입하여 제작 경험이 있는 기업들의 경험을 최대한 활용하여 자체 개발 - 대형 개질공정 개발을 위한 실증규모 경험 적용 - 해외기술 도입을 통한 운영기술 확보
고효율의 개질기 설계기술 개발		
개질공정 및 연계 기술	- 상용기술의 도입으로 현재 운전되고 있는 중 - 국내 기업의 경우 운영 기술은 많은 경험을 가지고 있으나 라이선스는 미보유	- 사업 초기 단계부터 기업 참여를 유도하여 연구 기관과의 협력체계를 통해 라이선스 확보

<표 6-2-76> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
천연가스 CO_2-added 개질 기술	천연가스 개질용 촉매 제조 기술	응용개발	●	●			
	고효율의 개질기 설계기술 개발	응용개발	●	●			
	개질공정 및 연계 기술	응용개발		●			

● : 주, ○ : 부

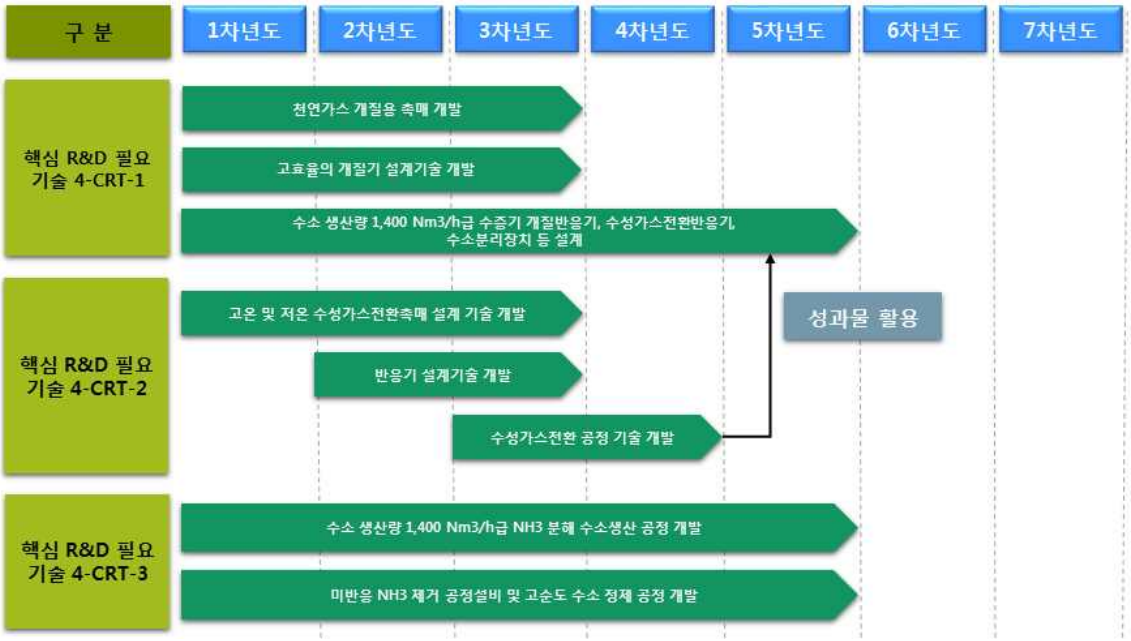
□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 세부과제 4-1 수행기관에서는 국내 고유의 촉매설계와 대량생산 및 개질기 설계기술을 기반으로 개질공정 기술 개발, 이후 세부과제 4-2와 연계하여 통한공정의 운영기술 개발

○ 세부과제 4-2 수행기관에서는 수성가스전환공정 개발을 위한 촉매와 반응기 설계 기술 개발

- 5세부과제에서 개발하는 고순도 수소분리 장치와 연계

○ 세부과제 4-3 수행기관에서는 별도로 암모니아 개질 기술 개발



[그림 6-2-18] 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술 1) : 천연가스 CO_2-added 개질 기술

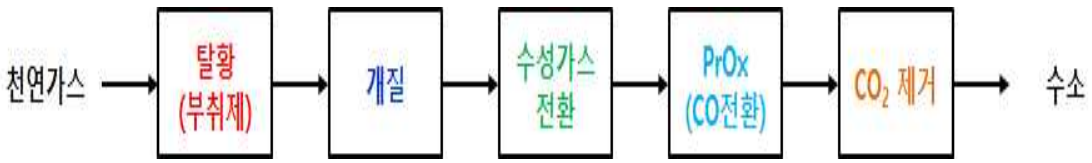
<표 6-2-77> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 구성기술1 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○천연가스 개질용 촉매 개발 ○촉매의 내구성 및 비활성화방안 연구 ○개질기의 형상설계 및 열교환 방식 선정 ○벤치급 개질기 설계/구축/운전
2차년도 (2021)	○천연가스 개질용 촉매의 대량생산 기술 ○개질기의 열/구조해석 ○개질기 및 열교환기의 재질 선정 ○벤치급 개질기 운전최적화
3차년도 (2022)	○1,400 Nm^3/h급 수증기 개질공정 설계 : PDF, H&M balance, P&ID, Reformer design, Equipment data sheet, MSD, Plot plan 등
4차년도 (2023)	○1,400 Nm^3/h급 수증기 개질공정 구축 및 시운전 ○개질공정과 수성가스전환공정의 연계운전
5차년도 (2024)	○1,400 Nm^3/h급 수증기 개질공정 운전최적화 ○최적화된 1,400 Nm^3/h급 수증기 개질공정의 PDP(Process Design Package) 완성

4.2 (핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2) 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술

□ **(기술의 정의)** 1,400 Nm^3/h 규모의 수소를 생산하기 위해 천연가스 개질로부터 얻은 합성가스를 전환하기 위한 수성가스전환공정을 개발하기 위해 촉매, 반응기, 주요장치들을 설계 및 구축하여 설계기술뿐만 아니라 연속운전을 통한 운영기술을 확보하는 전 과정의 기술

- ○ 현재 수성가스전환의 경우 상용촉매가 시장을 잠식한 상황이기 때문에 반응기나 공정 개발 분야로 연구가 진행 중
- ○ 대부분 촉매설계 보다는 주된 공정과 연계하여 안정적으로 운전하는데 에만 초점을 두고 있는 실정
- ○ 반응기도 단순히 설계가 가능하여 고유의 설계 기술 확보에 어려움 존재
- ○ 반응기뿐 아니라 고유의 촉매설계 기술 확보와 더불어 국내기술을 활용할 수 있는 저변확대가 요구되며, 활용분야는 많지만 국내시장 진입에 어려움 존재
- ○ 수소 활용을 위해서는 합성가스내 일산화탄소를 분리하거나 수소로 전환하는 수성가스전환공정이 반드시 필요하며, 이의 적용을 위한 신규 촉매와 반응기 및 공정 개발 분야가 필요 (기존에는 HT+LT 적용)



[그림 6-2-19] 천연가스 개질 시스템 구성도의 예

□ **(개발 최종 목표)**

- ○ (정성적 목표)
  - 합성가스로부터 1,400 Nm3/h 규모 수소 생산을 위한 수성가스전환공정 기술 개발
  - CO 전환을 위한 촉매와 반응기 개발
- ○ (정량적 목표)

<표 6-2-78> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2 : 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	CO 전환율	-	99.5%
	수소생산량	10 Nm^3/h	1,400 Nm^3/h

□ (목표 설정 근거)

○ 수소생산량은 천연가스 공급망과 연결하여 1,400 Nm³/h의 수소를 생산할 수 있는 양을 기준으로 산정

○ 이의 규모는 거점형 중·대규모 수소생산기지로 사용할 수 있으며, 하루 3톤(1,400Nm³/h)의 수소를 생산하여 500대의 수소자동차(1대당 6kg의 수소를 충전)에 충전 가능

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 국내의 경우 한국에너지기술연구원, 고등기술연구원, RIST 등에서 합성가스나 부생가스를 사용하여 상용촉매를 적용한 수성가스전환공정을 운전한 경험을 가지고 있으며, 일부 대학에서 실험실 규모로 촉매 개발 연구 수행

○ 또한, 국내에서는 상용촉매가 시장을 잠식한 상황이기 때문에 반응기나 공정개발 분야로 주공정과의 연계에 대한 연구가 수행 중

○ 국외의 경우 Alfa Aesar, Client, Haldor Topsoe 등에서 촉매와 공정에 대한 라이선스를 확보하여 사업화를 진행

<표 6-2-79> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
수성가스전환 촉매 및 반응기 설계 기술	• 촉매설계가 주된 기술이며, 수많은 상용공정에 적용되고 있는 수준 • 촉매와 반응기를 패키지 또는 촉매만을 대량으로 판매하고 있는 상황	• 실험실 규모에서의 연구결과를 보고하는 수준 • 대부분 상용촉매를 사용하여 상용설비로 운전

<표 6-2-80> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (일본)	75
TRL	9	4
기술 성숙도	대규모 상업용 플랜트 기술 보유	상용촉매에 대한 운전결과 확보, 상용공정의 운전 기술 보유
주요성능	CO 전환율 : 99.5% 수소생산량 : 300 Nm^3/h	유사한 규모에 대한 결과는 보유하고 있지 않음

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 수성가스전환공정에 대한 기술 확보는 천연가스 개질 후단뿐 아니라 가스화로부터 생산된 합성가스의 전환에도 활용 가능

○ 국내의 경우 천연가스는 배관망 구성이 잘 되어 있어 대량의 수소를 생산하거나 분산형의 중소규모로 수소를 생산할 수 있는 최적의 에너지원
○ 국내에서 운전되고 있는 개질기 대부분은 대용량이며, 해외기술을 도입하여 운영되기 때문에 국내에서는 라이선스 미보유
○ 수소의 중요성이 높아지고 있는 현 시점에서 중소규모의 개질공정에 대한 기술 확보는 매우 필요하며, 기술개발 이후 빠른 시일내에 상업화가 가능할 것으로 예상

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)
- 상용촉매를 사용할 경우에는 중복성 존재

○ (차별성)
- 국내 상용으로 운전되고 있는 수성가스전환공정은 대용량으로 규모면에서 차이
- 또한, 대부분의 연구과제는 소규모 파일롯 플랜트를 이용하여 기술개발을 수행한 것으로서 본 사업에서 제안하는 중소형 규모와는 차이
- 기존 "HT+LT"의 조합으로 촉매를 적용하지 않고, MT(중온반응)용 촉매를 적용하면 차별성과 지식재산권 확보가 어렵지 않을 것으로 예상

<표 6-2-81> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
석탄가스의 대용량 CO의 수성가스전환 반응용 신규 촉매 반응시스템 개발	전북대학교	'10 ~ '12	유동층반응기에서의 수성가스전환 촉매개발
석탄가스화기로부터 발생된 합성가스를 사용한 화학원료 전환기술 개발	고등기술연구원	'05 ~ '07	상업용 고온 수성가스전환 촉매를 사용하여 운전 결과 확보
건식 재생 CO_2 흡수제 및 유동층 WGS 촉매 개발	한국전력공사	'10 ~ '11	상업용 고온 수성가스전환 촉매를 사용하여 유동층반응기에서의 특성 평가

○ (연계 활용방안)
- 상용촉매의 운전결과를 분석하여 개발 촉매의 운전 조건 확립에 적용
- 본 사업에서는 상기의 기술들을 경험을 바탕으로 1,400 Nm^3/h급 수소를 생산하는 수성가스전환 공정 개발에 활용 가능

<표 6-2-82> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>• 수성가스전환 공정설계 및 운영 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>• 수성가스전환용 촉매 및 공정 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>• 수성가스전환 촉매 및 공정설계 기술</td><td>대상 성과물</td><td>• 수성가스전환 공정의 설계서</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>• 수성가스전환 공정설계 및 운영기술로 활용</td><td>활용 방안</td><td>• 천연가스 기반 수소 생산 플랜트의 핵심 공정으로 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지 기술개발사업 및 민간 기술 연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 석탄가스의 대용량 CO의 수성가스전환 반응용 신규 촉매 반응시스템 개발
기간: 2010.~2012.
내용: 합성가스내 CO를 전환하기 위한 신규 촉매 개발</td><td colspan="2">• 실험실 규모에서의 유동층반응기에 적용 가능한 신규촉매 개발</td><td colspan="2">• (차별성) 국내 고유의 촉매 개발 및 대량 생산 기술
• (활용방안) 신규 촉매의 설계에 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 석탄가스화기로부터 발생된 합성가스를 사용한 화학원료 전환기술 개발
기간: 2005.~2007.
내용: 석탄가스화기 후단에서 상용촉매를 활용한 수성가스전환공정 연계 실험 수행</td><td colspan="2">• 파일럿 규모의 수성가스전환공정 결과 도출</td><td colspan="2">• (차별성) 통합공정에 대해 연계운전 결과 확보
• (활용방안) 1,400 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용, 유틸리티 설계 기술 활용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 현재 보유하고 있는 실증 및 상용규모 운영기술 경험을 적용

○ 해외기술 도입을 통한 운영기술 확보

○ 중소형 규모에 적용하기 위한 고유의 수성가스전환용 촉매설계 및 공정 기술 확보

<표 6-2-83> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
수성가스전환용 촉매 제조 기술	- 촉매설계 보다는 주된 공정과 연계하여 안정적으로 운전하는데에만 초점을 두고 있는 수준 - 반응기도 단순히 설계가 가능하여 설계 기술 확보에 어려움 존재	- 반응기뿐 아니라 고유의 촉매설계 기술 확보와 더불어 국내기술을 활용할 수 있는 저변확대가 필요 - 수소 활용을 위해서는 순도를 높여야 하기 때문에 이의 적용을 위한 신규 촉매의 개발이 필요 (기존에는 HT+LT 적용)
수성가스전환 반응기 설계기술 개발		

<표 6-2-84> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	수성가스전환용 촉매 제조 기술	응용개발	●	●			
	수성가스전환 반응기 설계기술 개발	응용개발	●	●			

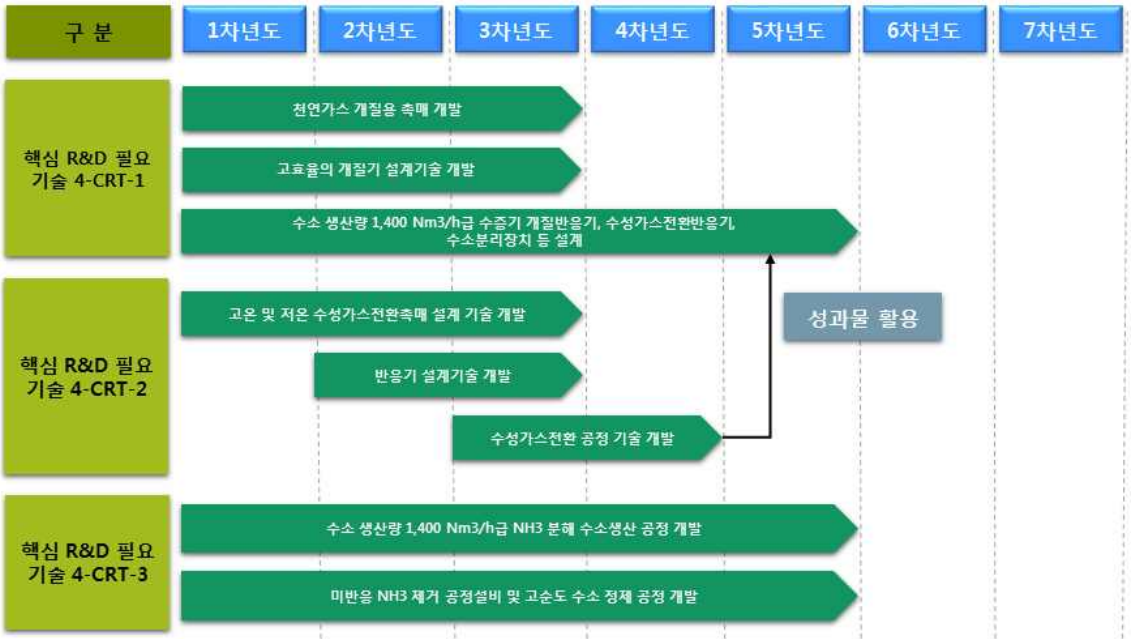
● : 주, ○ : 부

□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 세부과제 4-1 수행기관에서는 국내 고유의 촉매설계와 대량생산 및 개질기 설계기술을 기반으로 개질공정 기술 개발, 이후 세부과제 4-2와 연계하여 통한공정의 운영기술 개발

○ 세부과제 4-2 수행기관에서는 수성가스전환공정 개발을 위한 촉매와 반응기 설계 기술 개발

- 5세부과제에서 개발하는 고순도 수소분리 장치와 연계



[그림 6-2-20] 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술 1) : 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술

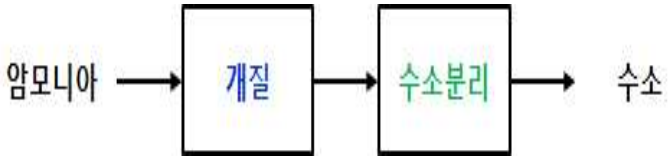
<표 6-2-85> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-2의 구성기술1 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○수성가스전환용 촉매 개발 ○촉매의 내구성 및 비활성화방안 연구 ○반응기의 형상설계 (열회수 방식 선정) ○벤치급 수성가스전환 반응기 설계/구축/운전
2차년도 (2021)	○수성가스전환용 촉매의 대량생산 기술 ○반응기의 열/구조해석 및 재질 선정 ○벤치급 수성가스전환 반응기 운전최적화
3차년도 (2022)	○1,400Nm^3/h급 수소생산을 위한 수성가스전환 공정 설계 :Reactor design, Equipment data sheet, MSD 등
4차년도 (2023)	○1,400Nm^3/h급 수소생산을 위한 수성가스전환 공정 구축/시운전 ○개질공정과 수성가스전환공정의 연계운전

4.3 (핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3) 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술

□ **(기술의 정의)** 암모니아 개질 기술을 기반으로 300 Nm^3/h 규모의 수소를 생산할 수 있는 촉매, 개질기, 주요장치들을 설계 및 구축하여 설계기술뿐 아니라 연속운전을 통한 운영기술을 확보하는 전 과정의 기술

- 수소는 친환경적인 2차 에너지로 주목받고 있으나 상온에서 기체 상태로 극저온·고압 조건에서 압축해 운반해야 하기 때문에 대량 저장·수송하는데 높은 기술력이 요구되고 있어, 일본의 경우 수소를 저장·수송하기 쉬운 화학에너지(에너지캐리어)로 변환해 이용하는 에너지 시스템 도입에 박차를 가하고 있는 상황
- 암모니아(Ammonia, NH_3)는 액체의 밀도가 액체 수소보다 높고 실온에서 액화할 수 있으며 수소 발생에 필요한 에너지가 연소에너지의 약 10%에 불과할 뿐만 아니라 탄소를 함유하지 않아 뛰어난 에너지 캐리어로 주목받고 있는 중
- 암모니아는 수소와 마찬가지로 온실가스 배출하지 않는 친환경적인 특징을 가짐과 동시에 상온의 8~10 bar의 저압에서 액화가 가능하여 저장과 운반이 수소에 비해 쉬운 장점을 보유
- 연료로서도 메탄올과 대등한 정도의 높은 에너지 밀도를 갖고 많은 양의 수소를 포함하고 있으며, 암모니아의 이러한 장점 때문에 미국, 일본 등의 에너지기술 선진국 국가에서는 수소 캐리어로서 암모니아에 대한 연구가 활발히 진행 중
- 이와 같이 NH_3의 개질을 통한 수소생산은 질소와 수소의 분리기술(PSA, Membrane separator 등)을 통해 고순도의 수소 확보 가능



[그림 6-2-21] 암모니아 개질 시스템 구성도의 예

□ (개발 최종 목표)

○ (정성적 목표)

- 암모니아의 개질을 통한 300 Nm^3/h 규모 수소 생산 기술 개발
- 개질을 위한 촉매와 고효율의 개질기 개발
- 미반응 암모니아 제거 공정설비 및 고순도 수소 정제 공정 개발

○ (정량적 목표)

<표 6-2-86> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3 : 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	NH_3 전환율	-	99%
	수소생산량	1 Nm^3/h (진행중)	300 Nm^3/h
	운전시간	-	100 h
	개질효율	-	80%
	수소농도	-	99.99%

□ (목표 설정 근거)

○ 수소생산량은 300 Nm^3/h의 수소를 생산할 수 있는 양을 기준으로 산정

○ 이의 규모는 중소 규모 수소생산기지로 사용할 수 있으며, 하루 300Nm^3/h의 수소를 생산하여 107대의 수소자동차(1대당 6kg의 수소를 충전)에 충전 가능

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 산업통산자원부의 지원으로 “암모니아(NH_3) 분해 수소 생산/정제 시스템 개발” 과제가 2018년부터 수행 중

○ 연료로서도 메탄올과 대등한 정도의 높은 에너지 밀도를 갖고 많은 양의 수소를 포함

- 암모니아의 이러한 장점 때문에 미국, 일본 등의 에너지기술 선진국 국가에서는 수소 캐리어로서 암모니아에 대한 연구가 활발히 진행 중

○ 암모니아 개질 공정은 약한 흡열 반응으로 Ru 촉매를 사용하여 400~700℃ 1기압의 분위기에서 진행됨. 촉매반응으로 암모니아 99.7% 이상이 수소와 질소로 전환되며 잔류 암모니아는 $MgCl_2$ 등을 사용하여 흡착이 가능

<표 6-2-87> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
암모니아 개질 기술	● 일본은 호주 갈탄을 활용하여 생산된 수소와 수전해를 통해 생산된 수소를 암모니아로 합성하여 이송시키는 방안으로 계획 보유 ● 해외 수소는 압축 또는 액화를 통해 이송한 후 사용하거나 이송이 유리한 암모니아로 전환한 후 이송하여 사용처에서 개질하는 방법을 적용 중	● 국내에서도 암모니아 개질에 관한 정부과제가 진행되고 있으며, 중장기적인 관점에서 해외 수소의 활용을 위해 암모니아 개질기술을 확보하기 위한 지원 중

<표 6-2-88> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (일본)	50
TRL	6	3
기술 성숙도	10 Nm^3/h급 소형 플랜트 보유	벤치규모 기술 보유, 1 Nm^3/h급 연구 개발 중
주요성능	수소생산량 : 10Nm^3/h 수소순도 : 99.97% 잔류 NH_3 농도 : 0.1 ppm 잔류 질소 농도 : 100 ppm	유사한 규모에 대한 결과는 미보유

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 천연가스의 개질을 통해 수소를 공급하는 방안과 동시에 CO_2-free 수소인 암모니아를 수입하여 개질한 후 수소를 공급하는 부분을 정부에서는 장기적인 로드맵에 포함

○ 최고 기술 보유국인 일본의 경우 아직 상업화가 되지 않아 집중적인 지원을 통해 라이선스를 확보할 수 있을 것으로 예상

○ 수소의 중요성이 높아지고 있는 현 시점에서 중소규모의 개질공정에 대한 기술 확보는 매우 필요하며, 기술개발 이후 빠른 시일내에 상업화가 가능할 것으로 예상

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- 암모니아 개질공정은 공정이 단순하기 때문에 개질촉매와 수소분리용 흡착제의 연구개발을 통해 차별화 도모 필요

○ (차별성)

- 국내에서 연구되고 있는 암모니아 개질분야와 규모면에서 차이
- 제안 규모는 중소형 수소 생산 플랜트로써 연구개발 이후 상용화 가능

<표 6-2-89> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
암모니아(NH_3) 분해 수소 생산/정제 시스템 개발	씨이에스 컨소시움	'18 ~ '21	1 Nm^3/h급 수소생산용 암모니아 개질 공정 개발

○ (연계 활용방안)
- 본 사업에서는 상기의 기술들을 연계하여 300 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용하고, "개질기+수소분리" 등의 통합공정 운전기술에 활용 가능
- 이와 함께 개질기 설계 기술에 활용

<표 6-2-90> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안

사전 확보기술			본 핵심 R&D 필요기술명		후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)	
선행 기술명	• 벤치급 암모니아 개질기 설계 및 운영 기술	⇨	암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	⇨	기술명	• 암모니아 기반 수소 생산 플랜트 기술
연계 대상물	• 개질 촉매 및 공정설계 기술				대상 성과물	• 개질공정의 설계서
활용 방안	• 개질공정 설계 및 운영기술로 활용				활용 방안	• 암모니아 기반 수소 생산 플랜트의 상류 핵심 공정으로 활용
			⇧			
에너지 기술개발사업 및 민간 기술 연계	과제 개요		연계대상 성과물		차별성/활용방안	
	과제명: 암모니아(NH_3) 분해 수소 생산/정제 시스템 개발 기간: 2018.~2021. 내용: 암모니아 개질을 통해 수소생산		• 1 Nm^3/h급 수소생산용 암모니아 개질 공정 개발		• (차별성) 규모면에서 차이가 있음 • (활용방안) 300 Nm^3/h급 scale-up 기술로 활용 • "개질기+수소분리" 등의 통합공정 운전기술 활용	

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)
○ 현재 보유하고 있는 1 Nm^3/h 규모 촉매 생산 및 반응기 설계 기술을 기반으로 암모니아 개질 촉매의 최적 설계 기술과 중소형 개질기 설계 및 운영 기술을 개발
○ 우선적으로 암모니아 개질 촉매의 최적화 설계 기술개발이 필요하며, 이와 함께 암모니아 개질 공정의 설계 기술을 개발
- 1차로 3년간 각 단위공정개발과 촉매, 흡수제 등의 개발에 중점을 두며, 300 Nm^3/h급 수소생산을 위한 암모니아 분해 공정에 대한 개념설계를 수행
- 2차로 2년간은 1차 3년간의 연구결과물인 개념설계를 상세설계화한 후 공정을 구축하여 운전, 공정최적화 및 운영기술을 개발

○ 기존 천연가스 개질의 경험 적용하여 본 기술개발의 어려운 점을 극복

<표 6-2-91> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 한계점 및 기술개발 방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
암모니아 개질용 촉매 제조 기술	- 연구지원이 미비한 상태임 - 반응기뿐 아니라 고유의 촉매설계 기술 확보와 더불어 국내기술을 활용할 수 있는 저변확대가 요구되는 실정	- 천연가스 개질공정 분야의 보유하고 있는 기반 기술을 활용하여 자체 개발 - 대형 개질공정 개발을 위한 실증규모 경험 적용 및 운영기술 활용
고효율의 개질기 설계기술 개발		
개질공정 및 연계 기술	- 운전 경험 및 라이선스 미보유	

<표 6-2-92> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	암모니아 개질용 촉매 제조 기술	응용개발	●	●			
	고효율의 개질기 설계기술 개발	응용개발	●	●			
	개질공정 및 연계 기술	응용개발		●			

● : 주, ○ : 부

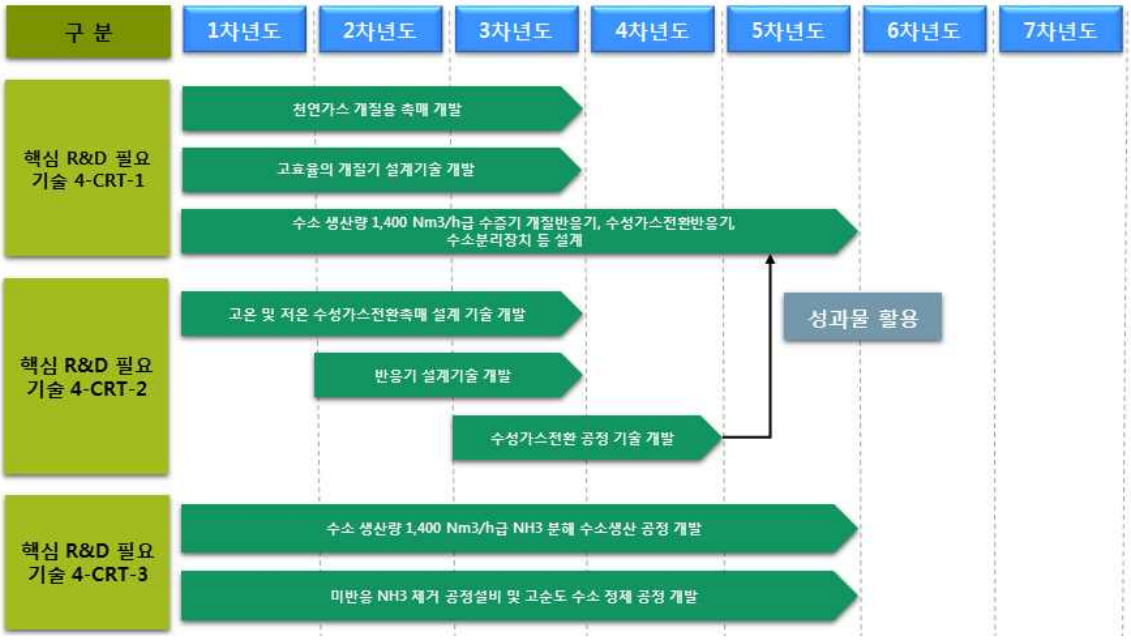
□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 세부과제 4-1 수행기관에서는 국내 고유의 촉매설계와 대량생산 및 개질기 설계기술을 기반으로 개질공정 기술 개발, 이후 세부과제 4-2와 연계하여 통한공정의 운영기술 개발

○ 세부과제 4-2 수행기관에서는 수성가스전환공정 개발을 위한 촉매와 반응기 설계 기술 개발

- 5세부과제에서 개발하는 고순도 수소분리 장치와 연계

○ 세부과제 4-3 수행기관에서는 별도로 암모니아 개질 기술 개발



[그림 6-2-22] 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술 1) : 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술

<표 6-2-93> 핵심 R&D 필요기술 4-CRT-3의 구성기술1 추진 계획

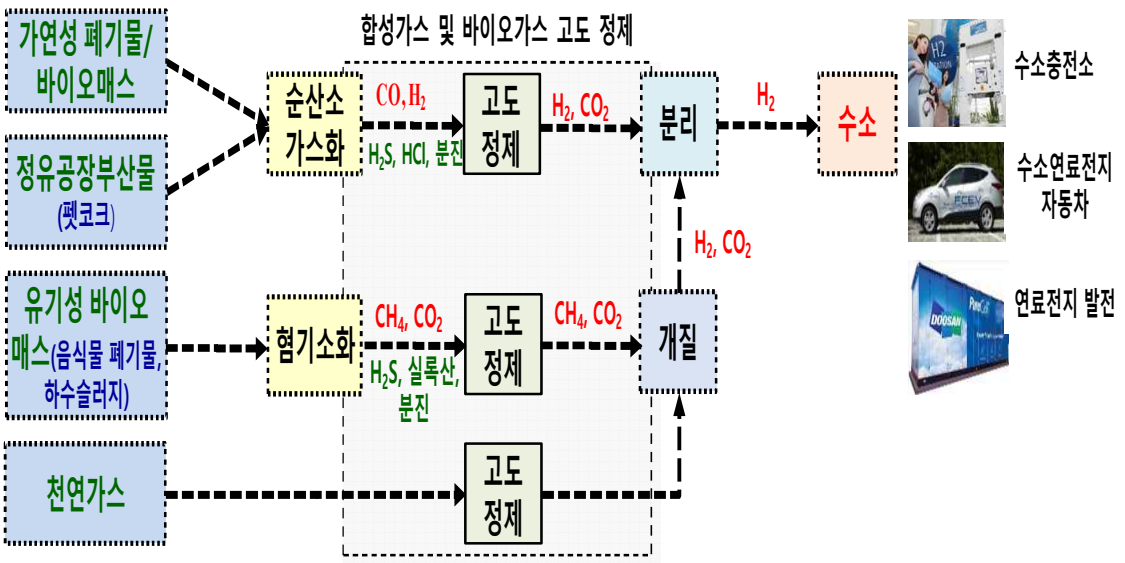
연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○암모니아 개질용 촉매 개발 ○촉매의 내구성 및 비활성화방안 연구 ○개질기의 형상설계 및 열교환 방식 선정 ○벤치급 개질기 설계/구축/운전
2차년도 (2021)	○암모니아 개질용 촉매의 대량생산 기술 ○개질기의 열/구조해석 ○개질기 및 열교환기의 재질 선정 ○벤치급 개질기 운전최적화
3차년도 (2022)	○300Nm^3/h급 수증기 개질공정 설계(수소분리공정 포함) :PDF, H&M balance, P&ID, Reformer design, Equipment data sheet, MSD, Plot plan 등
4차년도 (2023)	○300Nm^3/h급 암모니아 개질공정 구축 및 시운전 ○개질공정과 수소분리공정의 연계운전
5차년도 (2024)	○300Nm^3/h급 수증기 개질공정 운전최적화 ○최적화된 300Nm^3/h급 수증기암모니아 개질공정의 PDP(Process Design Package) 완성

5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

5.1 (핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1) 폐기물/바이오매스 유래 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술

□ **(기술의 정의)** 가연성 폐기물/바이오매스 및 천연가스 유래 합성가스와 유기성 바이오매스 유래 바이오가스에 함유된 산성가스, 분진, HCl, 실록산 등의 오염물질을 최종 수소 활용처인 수소자동차 또는 수소연료전지 등에 활용 가능한 수준으로 고도 정제하는 저비용 고효율 정제 기술

- ○ 가연성 폐기물/바이오매스의 가스화 및 천연가스의 개질을 통해 생산된 합성가스에 함유된 산성가스, 분진, HCl 등의 오염물질을 수소자동차 또는 수소연료전지 등에 활용 가능한 수준으로 고도 정제하는 기술
- ○ 유기성 바이오매스의 혐기소화를 통해 생산된 바이오가스에 함유된 산성가스, 분진, 실록산 등의 오염물질을 고도 정제하는 기술
- ○ 국내 고유기술 기반으로 공정 단순화, 컴팩트화, 저가화, 모듈화 등을 통해 저비용/고효율의 고도 정제 기술을 개발
  - 1세부(가연성 폐기물/바이오매스 및 펫코크 이용 합성가스 생산), 2세부(유기성 바이오매스 이용 바이오가스 생산), 6세부(모듈화 설계 및 IT 적용 운영관리) 등 세부과제 수행기관들과 협조하여 전체 공정 구성



[그림 6-2-23] 합성가스/바이오가스 고도 정제 시스템 구성도의 예

□ (개발 최종 목표)

○ (정성적 목표)

- 소규모 상용 합성가스 플랜트 규모인 2,500 Nm^3/h급 합성가스에 함유된 산성가스(H_2S), 분진, HCl 등을 고도로 제거하는 저비용 고효율의 컴팩트화된 정제 기술 개발
- 상용 바이오가스 플랜트 규모인 300 Nm^3/h급 바이오가스에 함유된 산성가스(H_2S), 분진, 실록산을 고도로 제거하는 저비용 고효율의 컴팩트화된 정제 기술 개발

○ (정량적 목표)

<표 6-2-94> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1: 폐기물/바이오매스 유래 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	합성가스 처리용량	250 Nm^3/h	2,500 Nm^3/h
	바이오가스 처리용량	50 Nm^3/h	300 Nm^3/h
	분진	0.5 mg/m^3	0.1 mg/m^3
	H_2S	0.1 ppm	0.1 ppm
	HCl	0.3 ppm	0.1 ppm
	실록산	0.5 ppm	0.1 ppm

□ (목표 설정 근거)

○ 핵심기술 1-CRT-1의 50톤/일급 폐기물 또는 바이오매스 가스화 플랜트에서 생산되는 합성가스의 용량은 2,300~3,000 Nm^3/h이고, 핵심기술 2-CRT-2의 50톤/일급 유기성 폐기물의 혐기소화시에는 290~310 Nm^3/h의 바이오가스 생산

- 상기와 같이 생산되는 가스의 용량을 고려하여, 합성가스 정제 설비 규모를 2,500 Nm^3/h로 산정하였으며, 바이오가스 정제 설비 규모를 300 Nm^3/h로 산정

○ 합성가스 및 바이오가스로 부터 수소 생산 및 이용을 위해 제거 대상인 분진, H_2S, HCl, 실록산 등의 오염물질을 0.1 ppm(또는 mg/m^3) 이하로 제거하도록 설정

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 국외의 경우, 수소 생산을 위한 합성가스 및 천연가스의 초정밀 정제 기술은 상용화 보급 중이며, 효율적이면서 저비용인 기술 확보를 위한 개발 추진 중

- 유럽 Simens사의 초정밀 탈황기술은 연료가스 중의 H_2S 농도를 60 ppb 이하로 정제하는 기술을 개발하였으며, 미국 DOE에서는 전력생산과 동시에 수소를 생산하는 목적으로 수은, 분진, 질소산화물, 이산화탄소와 더불어 초정밀탈황에 대한 기술개발이 진행 중
- 일본의 경우 암모니아와 할로겐화합물을 제거하기 위하여 세정탑, COS 가수분해반응기, MDEA 흡수탑 등 습식탈황 방식과 건식방식을 이용한 정밀 탈황설비에 대한 기술개발을 추진

○ 국내의 경우, Pilot 규모의 합성가스 및 바이오가스의 초정밀 정제 기술에 대한 기술개발이 주로 진행되고 있으며, 상용화 보급 실적은 아직 미미

- 국내의 경우, 흡수제(또는 흡착제)를 이용하는 방법, 생물학적 처리방법, 막분리 방법 등 여러 가지 H_2S를 제거하는 기술개발이 진행 중
- 한국에너지기술연구원에서는 MDEA와 HMDA를 혼합하여 합성가스내의 H_2S를 제거하는 습식 탈황공정에 대한 pilot 규모 공정기술을 확보하고 있으며, 고등기술연구원에서는 철킬레이트 용매를 사용 pilot 규모 황 직접 전환공정 기술을 확보
- 고등기술연구원의 경우 석탄 합성가스를 화학원료로 전환하기 위해 철킬레이트 용매를 이용하여 1,000 ppm의 H_2S를 0.5 ppm 이하로 제거하는데 적용하였으며, 석탄과 석유코크스를 혼합한 혼합원료 가스화시 발생되는 200 Nm^3/h의 합성가스에 함유된 5,000 ppm 이상의 H_2S를 10 ppm 이하로 제거할 수 있는 기술을 개발
- 현재 바이오가스를 연료전지 연료로 활용하기 위한 초정밀 정제시스템에 대한 기술개발과 합성가스를 연료전지용 연료로 활용하기 위해 초정밀 정제 후 고순도 수소를 생산하기 위한 기술개발이 진행 중

<표 6-2-95> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
2,500 Nm^3/h급 합성가스 고도 정제 기술 개발	• 유럽 Simens사는 연료가스 중의 H_2S 농도를 60 ppb 이하로 정제하는 기술을 개발 • 미국 DOE의 경우 전력생산과 동시에 수소를 생산하는 목적으로 초정밀 정제 기술개발 중 • 일본은 암모니아, 할로겐화합물, 산성가스 제거위한 정밀 정제 설비 개발 중	• MDEA와 HMDA를 혼합 합성가스내의 H_2S를 제거하는 pilot 규모 공정기술 확보 • 철킬레이트 용매 사용 250 Nm^3/h급 합성가스내 H_2S를 0.1 ppm 이하 제거기술 개발 중
300 Nm^3/h급 바이오가스 고도 정제 기술 개발	• 유럽의 경우 바이오가스를 정제하여 도시가스 배관망에 연계하거나 수송용 연료로 활용 중 • 경제성 향상을 위한 바이오가스 정제 기술 개발 중	• 바이오가스를 연료전지 연료로 활용하기 위한 랩규모 초정밀 정제시스템 기술개발 진행 중

<표 6-2-96> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (독일)	70
TRL	9	5
기술 성숙도	대용량 상업용 플랜트 FEED 및 운전기술 보유	Pilot규모 플랜트 FEED 및 운전기술 보유
주요성능	H_2S < 0.1 ppm HCl < 0.1 ppm 실록산 < 0.1 ppm 분진 < 3 mg/m^3 (대용량)	Pilot규모에서는 최고기술에 근접한 기술을 보유하고 있으나, 대용량 장기 운전에 대한 기술 미흡

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 저급자원인 폐기물, 바이오매스 및 펫코크 등으로부터 합성가스나 바이오가스를 생산할 경우, 합성가스에 함유된 유해물질의 고순도 제거를 위한 정제 설비 구축/운전에 많은 건설비와 에너지가 소요되므로, 이를 최소화하는 기술의 개발 및 적용이 필요

- 가연성 폐기물 및 바이오매스나 펫코크의 가스화를 통해 생산된 합성가스 내에는 분진, 유황화합물(H_2S, COS), 타르(원료가 폐기물 또는 바이오매스인 경우) 등의 유해성분이 포함되어 있으므로, 전기나 수소 생산을 위해서는 이러한 유해 성분들을 고도 정제하는 기술이 필요
- 또한 음식물류, 축분 또는 하수슬러지로부터 바이오가스를 생산할 경우, 바이오가스 내에는 이산화탄소, 유황화합물, 실록산 및 일부 분진 등이 포함되어 있으므로, 바이오가스로부터 이러한 유해 물질들을 고도 정제하는 기술이 필요

○ 합성가스나 바이오가스의 고도 정제시 가장 중요한 기술은 산성가스 제거기술

- 폐기물, 바이오매스, 펫코크 등과 같은 저급 원료를 가스화하게 되면 가연분은 CO와 H_2가 주성분인 합성가스로 전환되며, 저급 원료에 함유된 황(S) 성분은 SOx가 아니라 H_2S와 COS로 배출
- H_2S의 경우 타 유해 성분에 비해 부식성이 강하고 농도가 높아(일반적으로 수백 ppm 이상) 다른 유해 성분에 비해 가장 우선적으로 제거 필요
- 고도 정제를 위해 기존 상용화된 기술을 적용할 경우 경제성이 낮고 에너지 소비가 크므로, 국내 기술 기반의 저비용 고효율 고도 정제 기술 개발 및 적용 필요

○ 국내에서는 합성가스의 경우 대부분 Pilot 규모 고도 정제 설비에 대한 운전실적을 보유하고 있으며 바이오가스 플랜트 등 일부 소용량 상용화 가능한 플랜트에 대해 상용 적용되고 있지만, 설비 고효율화, 경제성 향상, 컴팩트화, 장기 안정성 등에 대한 기술 개발 및 검증 필요

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- 기 수행된 과제의 경우 대부분 합성가스나 바이오가스를 연료로 활용하기 위한 정제

기술 위주로 개발되었으며, 일부 랩규모나 pilot 규모의 고도 정제 기술이 개발

* 합성가스로부터 수소생산 및 연료전지 연계를 위한 pilot 규모 고도 정제 기술 보유

* 바이오가스로부터 고순도 메탄을 생산하는 pilot 규모 초청정 정제 기술 개발 중

○ (차별성)

- 기존 과제의 경우 소규모 pilot 플랜트나 랩규모 설비에서 기술개발을 수행한 것으로, 상용화를 위한 실증기술을 개발하려는 본 사업과는 규모면에서 차이
- 기존 과제의 경우 핵심기술 확보를 위한 기술개발이 주로 수행되었으며, 본 사업의 경우 확보된 핵심기술을 이용하여 scale-up 기술개발과 운전 최적화 및 최적 공정 제어를 통한 실증플랜트의 운영기술을 개발하는 것이 목표

<표 6-2-97> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발	전력연구원, 고등기술연구원, 영남대, PTK 서부발전	2016. 12. ~ 2019. 09.	Pilot급 석탄 합성가스의 고순도 정제 및 수소 전환공정 개발과제로 유사성 있으며, 이러한 기술을 기반으로 scale-up 활용
유기성 폐자원 유래 가스 초청정 전처리 요소기술 개발	에너지기술연구원	2017. 09. ~ 2021. 12.	Pilot 규모 바이오가스 초청정 정제 기술 개발과제로 유사성 있으며, 이러한 기술을 기반으로 scale-up 활용

○ (연계 활용방안)

- 요소기술이나 단위 공정기술 위주로 개발되어 국내 보유하고 있는 고도 정제 기술을 기반으로 scale-up하여 실증플랜트 운전 최적화 및 최적 공정 제어 기술 개발에 활용

<표 6-2-98> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술
(본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>• Pilot급 석탄 합성가스 고도 정제 기술
• 바이오가스 초청정 정제 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">합성가스 및 바이오가스 고도 정제시스템 scale-up 설계 및 실증 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>• 폐기물/바이오매스/펫코크 유래 합성가스 및 바이오가스 기반 수소 생산 플랜트 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>• 합성가스/바이오가스 고도 정제 기술</td><td>대상 성과물</td><td>• 고도 정제시스템</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>• Scale-up시 base 기술로 활용</td><td>활용 방안</td><td>• 합성가스 및 바이오가스 기반 수소생산 플랜트의 중류 핵심공정으로 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지 기술개발사업 및 민간 기술 연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: IGFC 적용을 위한 석탄 합성가스 정제 및 전환 기술개발
기간: 2016. 12.~2019. 09.
내용: 석탄 합성가스 고순도 정제 및 수소 전환</td><td colspan="2">• 합성가스 고도 정제 시스템 설계, 시공 및 운전 경험</td><td colspan="2">• (차별성) 실증 규모 폐기물 및 바이오매스/펫코크 유래 합성가스 고도 정제
• (활용방안) 소규모 플랜트에서 확보한 시스템 설계, 시공 및 운전 경험 활용 실증 플랜트 운영기술 확보</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 유기성 폐자원 유래가스 초청정 전처리 요소기술 개발
기간: 2017. 09.~2021. 12.
내용: Pilot 규모 바이오가스 초청정 정제</td><td colspan="2">• 신규 분리소재 (흡수제, 흡착제) 이용 산성가스(H_2S) 고도정제 기술</td><td colspan="2">• (차별성) 실증 규모 바이오가스 고도 정제 (용매 사용)
• (활용방안) 소규모 설비에서 개발된 기술의 scale-up 및 부분 적용을 통한 고도 정제 플랜트 운영 기술 개발에 활용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 기존 국내 축적된 기술개발 결과물을 바탕으로, 상용화 규모(합성가스 2,500 Nm^3/h급 및 바이오가스 300 Nm^3/h) 합성가스 고도 정제 설비 개발 추진

- 합성가스 처리용량 현행 250 Nm^3/h급에서 2,500 Nm^3/h급으로 상향 및 수소 생산을 위한 고도 정제 기술 개발
- 국내외 시장 진입을 위한 대용량 상용화 정제 기술의 조기 확보 위한 기술개발 추진
- 시장 경쟁력 향상 위해 고도화 기술 확보 위한 중장기 기술개발 추진
- 시스템 최적화, 저가화, 컴팩트화, 설비 모듈화/IT화(6세부과제 연계) 등을 통한 기술 및 시장 경쟁력 향상과 실증설비 운영을 통한 기술 검증

○ 저비용, 고효율의 설비 신뢰성 확보

- 국외 중소규모 시장 진출을 위한 저비용/고효율 정제 설비의 신뢰도 있는 기술 확보
- 분진/타르, 산성가스 등이 주요 고도 정제를 위한 제거 대상물질로 이를 안정적으로 고순도 제거할 수 있는 기술 개발을 통한 운전 신뢰성 축적
- 국내 실증용 test-bed 구축 및 운영을 통한 기술 검증과 국내 시장 진입 및 보급을 통한 설비 신뢰성 및 장기간 운전자료 확보

<표 6-2-99> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
고도 정제시스템 scale-up 설계 및 제작 기술	국내 연구기관에서 소규모 pilot급 플랜트만 운영하여 중대형급에 대한 경험 전무	국내 보유하고 있는 기반기술 활용 실증기술을 자체 개발
고도 정제시스템 scale-up 운전/공정 제어 최적화 기술	제한된 연구비/연구인력으로 인하여 장시간 운전 경험 미보유	연구인력 확보 및 실증설비 활용 장시간 운영 통한 경험 축적 및 운전제어 최적화
제거 소재 및 부품 개발 기술	소규모 소재/부품 개발 진행하여 실증화 경험 부재	기술개발 초기부터 관련 기업이 실증기술 개발과제에 참여하여 제거 소재/부품 검증 및 신뢰성 확보
부산물 처리/활용 기술	소규모 부산물 처리 기술개발 진행하여 대용량 처리/활용에 대한 경험이 전무	실증기술 개발을 통해 부산물 대용량 처리/활용 기술 확보
고도 정제 공정과 합성가스/바이오가스 생산 및 수소 생산 공정과의 연계 운영기술	단위 공정에 대한 경험 보유하고 있으나, 전체 공정 연계 운영기술 미흡	사업화 의지가 있는 중소/중견기업이 참여하여 국내 핵심기술을 보유하고 있는 연구기관과의 협력체계를 구축하여 실증 플랜트 운영기술 축적

<표 6-2-100> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과연계	자체개발	기술도입	글로벌 협력	아웃소싱
합성가스 및 바이오가스 고도 정제시스템 scale-up 설계 및 실증 기술	고도 정제시스템 scale-up 설계 및 제작 기술	응용개발	●	●			
	고도 정제시스템 scale-up 운전/공정 제어 최적화 기술	응용개발	○	●			
	제거 소재 및 부품 개발 기술	응용개발	○	●			
	부산물 처리/활용 기술	응용개발	-	●			
	고도 정제 공정과 합성가스/바이오가스 생산 및 수소 생산 공정과의 연계 기술	응용개발	-	●			

●: 주, ○: 부

□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 합성가스 및 바이오가스 생산시 분진, 산성가스, HCl, 실록산 등의 오염물질 제거를 위해 고도 정제 설비를 연계하여 실증

- 1세부과제에서 개발하는 1-CRT-1과 1-CRT-2 기술과 연계
- 2세부과제에서 개발하는 2-CRT-2와 2-CRT-3 기술과 연계
- 4세부과제에서 개발하는 4-CRT-1과 4-CRT-2 기술과 연계

○ 세부과제 5-2에서 개발하는 수소 분리 설비와 연계하여 실증

○ 6세부과제 수행기관과 협조하여 고도 정제 설비 설계 단계부터 6-CRT-1의 설비 모듈화 기술과 6-CRT-2의 원격 모니터링 및 운영관리 기술을 도입하여 실증

○ 효율적이고 성공적인 과제 수행을 위해 총괄사업단과 각 세부과제 참여기관과의 긴밀한 협조 하에 실증기술 개발 추진



[그림 6-2-24] 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술 1 및 2): 가연성 폐기물/바이오매스 유래 합성가스 고도 정제 기술

<표 6-2-101> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 구성기술1 및 구성기술2 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도	○국내기술 기반 정제기술 활용 2,500 Nm^3/h급 합성가스 고도 정제 설비

(2020)	scale-up 기본설계 (모듈화 및 IT화 개념 반영) ○2,500 Nm^3/h급 합성가스 고도 정제 설비 FEED 작성 ○Lab규모 산성가스 제거설비 기초 시험 (구성기술3과 결과 공유) ○Lab규모 미량 오염물질(HCl, 수은, 미량가스 등) 제거 소재/부품 개발
2차년도 (2021)	○모듈화/IT화 기초설계 기반 2,500 Nm^3/h급 합성가스 고도 정제 설비 상세설계, 제작 및 설치(공정률 약 40%) ○Lab규모 산성가스 제거설비 시험 및 초기 운전조건 확립 ○Lab규모 오염물질 제거 소재/부품 기초 실험 및 초기 운전조건 확립
3차년도 (2022)	○2,500 Nm^3/h급 합성가스 고도 정제 설비 설치 및 단위 공정별 시운전 ○합성가스 생산 플랜트 연계 합성가스 고도 정제 설비 시운전 ○Lab 규모 합성가스 고도 정제 설비 기초시험 및 운전조건 확립 ○고도 정제 설비 부산물(황, 폐수 등) 활용(또는 처리) 기반 확립 및 lab규모 설비 구축
4차년도 (2023)	○합성가스 생산 플랜트 연계 합성가스 고도 정제 설비 운전안정화 시험 ○미량 오염물질 제거 소재/부품 적용 운전시험을 통한 성능 확인 ○원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기반 확립 ○고도 정제 설비 부산물 활용(또는 처리)위한 lab규모 설비 시험
5차년도 (2024)	○합성가스 고도 정제 설비 운전 최적화 및 최적 공정 제어 ○미량 오염물질 제거 소재/부품 성능 최적화 ○원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기술 개발 ○고도 정제 설비 부산물 활용(또는 처리) 기술 실증 ○5,000 Nm^3/h급 합성가스 고도 정제 플랜트 PDP 완성

○ 개발내용(구성기술 3 및 4): 유기성 바이오매스 유래 바이오가스 고도 정제 기술

<표 6-2-102> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-1의 구성기술3 및 구성기술4 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○국내기술 기반 정제 기술 활용 300 Nm^3/h급 바이오가스 고도 정제 설비 scale-up 기본설계 (모듈화 및 IT화 개념 반영) ○300 Nm^3/h급 바이오가스 고도 정제 설비 FEED 작성 ○Lab규모 미량 오염물질(실록산, 미량가스 등) 제거 소재/부품 개발
2차년도 (2021)	○모듈화/IT화 기초설계 기반 300 Nm^3/h급 바이오가스 고도 정제 설비 상세설계, 제작 및 설치(공정률 약 70%) ○Lab규모 오염물질 제거 소재/부품 기초 실험 및 운전조건 확립
3차년도 (2022)	○바이오가스 생산 플랜트 연계 300 Nm^3/h급 바이오가스 고도 정제 설비 설치, 운전 및 운전안정화 ○원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기반 확립 ○고도 정제 설비 부산물(황, 폐수 등) 활용(또는 처리) 기반 확립 및 lab규모 설비 시험 ○미량 오염물질 제거 소재/부품 적용 운전시험을 통한 성능 확인
4차년도 (2023)	○바이오가스 생산 플랜트 연계 300 Nm^3/h급 바이오가스 고도 정제 설비 운전 최적화 및 최적 공정 제어 ○미량 오염물질 제거 소재/부품 성능 최적화 ○고도 정제 설비 부산물 활용(또는 처리) 기술 실증 ○원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기술 개발 ○200 Nm^3/h급 바이오가스 고도 정제 플랜트 PDP 완성

5.2 (핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2) 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 고도화 기술

□ **(기술의 정의)** 가연성 폐기물/바이오매스 가스화 및 천연가스/바이오가스 개질을 통해 생산된 합성가스로부터 최종 수소 활용처인 수소자동차 또는 수소연료전지 등에 활용 가능한 수준으로 수소를 고순도로 분리하는 저비용 고효율 수소 분리 기술

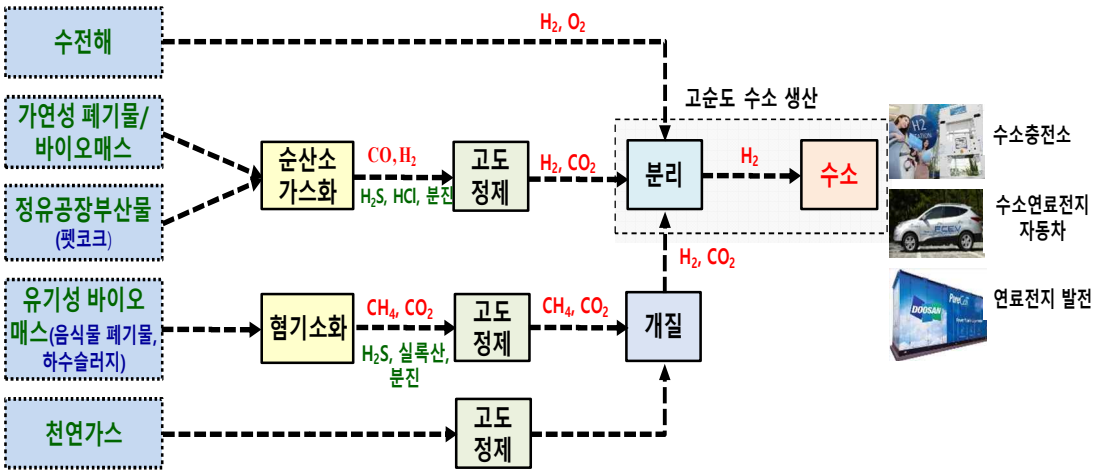
○ 가연성 폐기물/바이오매스의 가스화를 통해 생산된 합성가스에서 수소자동차 또는 수소연료전지 등에 활용 가능한 수준으로 고순도 수소를 분리하는 기술

○ 유기성 바이오매스의 혐기소화를 통해 생산된 바이오가스나 천연가스의 개질을 통해 생산된 합성가스에서 고순도 수소를 분리하는 기술

○ 수전해를 통해 생산된 수소를 고순도로 분리하는 기술

○ 국내 고유기술 기반으로 공정 단순화, 컴팩트화, 저가화, 모듈화 등을 통해 저비용/고효율의 고순도 수소 분리 기술을 개발

- 1세부(가연성 폐기물/바이오매스 및 펫코크 이용 합성가스 생산), 2세부(유기성 바이오매스 이용 바이오가스 생산), 3세부(잉여 전기 이용 수소 생산), 4세부(개질 및 변환 이용 수소 생산), 5세부(고도 정제), 6세부(모듈화 설계 및 IT 적용 운영관리) 등 세부과제 수행기관들과 협조하여 전체 공정 구성



[그림 6-2-25] 고순도 수소 분리 시스템 구성도의 예

□ **(개발 최종 목표)**

○ (정성적 목표)

- 소규모 상용 합성가스 플랜트 규모인 2,500 Nm^3/h급 합성가스에서 생산된 수소/이산화탄소 혼합가스에서 고순도로 수소를 분리하는 저비용 고효율의 컴팩트화된 수소 분리 기술 개발

- 소규모 상용 바이오가스 플랜트의 혐기소화액에서 발생된 500 Nm^3/h급 수소/이산화탄소/질소 혼합가스에서 고순도로 수소를 분리하는 저비용 고효율의 컴팩트화된 수소 분리 기술 개발 (단위모듈 100 Nm^3/h 개발)

○ (정량적 목표)

<표 6-2-103> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2: 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 고도화 기술	수소 순도 (PSA)	99.99%	99.99%
	수소/이산화탄소 혼합가스 처리 모듈 (PSA)	290 Nm^3/h	2,500 Nm^3/h
	수소 순도 (분리막)	99.99%	99.999%
	수소/이산화탄소 혼합가스 처리 모듈 (분리막)	30 Nm^3/h	100 Nm^3/h

□ (목표 설정 근거)

○ 핵심기술 1-CRT-1의 50톤/일급 폐기물 또는 바이오매스 가스화 플랜트에서 생산되는 합성가스의 용량은 2,300~3,000 Nm^3/h이고, 핵심기술 2-CRT-2의 50톤/일급 유기성 폐기물의 혐기소화시에는 290~310 Nm^3/h의 바이오가스가 생산되어 이를 개질할 경우 750 Nm^3/h의 수소/이산화탄소 혼합가스가 생산되고 혐기소화액에서 500 Nm^3/h의 수소/이산화탄소/질소 혼합가스가 생산

- 상기와 같이 생산되는 가스의 용량을 고려하여, 합성가스로부터 고순도 수소 생산을 위한 분리 설비의 개발 규모를 2,500 Nm^3/h로 산정하였으며, 바이오가스의 개질을 통해 생산되는 750 Nm^3/h의 수소/이산화탄소 혼합가스의 분리에도 scale-down하여 적용하는 것으로 산정
- 혐기소화액에서 생산되는 500 Nm^3/h의 수소/이산화탄소/질소 혼합가스의 분리를 위한 고순도 수소 생산 설비의 단위 모듈 개발 규모를 100 Nm^3/h로 산정하여 5기를 병렬로 연계 예정

○ 2,500 Nm^3/h의 합성가스로부터 고순도 수소를 생산하기 위해 대용량 처리가 가능한 PSA(Pressure Swing Adsorption) 기술을 적용하여 개발하고, 100 Nm^3/h의 수소/이산화탄소/질소 혼합가스로부터 고순도 수소를 생산하기 위해서는 분리막 기술을 적용하는 것으로 목표 설정

○ 수소자동차나 연료전지 발전을 위해서는 수소의 순도가 99.99% 이상이 요구되고 있어 이러한 요구 조건에 부합되도록 수소 순도의 목표를 설정

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 국외 고순도 수소 분리 기술은 상용화 보급중이며, 효율적이면서 저비용인 기술 확보를 위한 개발이 추진 중

- PSA 기술은 현재 수소분리 분야에 있어 1~100,000 Nm^3/h급에 이르기까지 대부분의 수소 생산 공정에 적용되고 있으며, 활성탄이나 분자체(Molecular Sieve)가 흡착제로 주로 사용 중
- PSA의 경우 에너지 소비, 운영비, 건설비 등의 저감을 위한 흡착제 및 공정/설비 컴팩트화에 대한 기술개발과 상용화가 진행 중이며, 중국 Xebec사의 경우 컴팩트한 로

터리 형태의 PSA 기술을 개발하여 상용화 진입 중
- 수소 분리막의 경우 PSA에 비해 아직 상용화 보급이 많이 되지는 않았지만, 지속적인 기술개발을 통하여 점차적으로 시장에 진입 중
- 미국 UOP사의 경우 391,000 Nm^3/h 규모의 상용 수소 분리막 시스템을 skid 형태로 개발하여 상용화 적용 중

○ 국내 수소 PSA의 경우 사용화 진입단계에 있으며, 수소 분리막의 경우 대부분 소규모 기술개발이 추진 중
- 젠스엔지니어링에서는 한국에너지기술연구원에서 개발한 고순도 수소 분리용 PSA 기술을 이전 받아 국내외 상용화 적용 중이며, 설비 건설비 저감과 효율 향상을 위한 흡착제 및 컴팩트화 기술 등에 대한 개발 필요
- 수소 분리막의 경우 소재 및 단위 모듈화 등 소규모 기술개발이 활발히 추진되고 있으며, 상용화 보급을 위한 대용량화, 고효율화, 컴팩트화, 저가화, 내구성 향상 등에 대한 기술개발과 실증화 기술개발이 필요

<표 6-2-104> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
2,500 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 기술 개발	• PSA 기술은 대부분의 수소 생산 공정에 적용 중 • 에너지 소비, 운영비, 건설비 등 저감 위한 흡착제 및 공정/설비 컴팩트화에 대한 기술개발과 상용화 진행 중 • 중국 Xebec사의 경우 컴팩트한 로터리 형태의 PSA 기술을 개발하여 상용화 진입 중	• 젠스엔지니어링에서는 국내 개발된 고순도 수소 분리용 PSA 기술을 이전 받아 상용화 적용 중 • 시장 경쟁력 향상을 위해 설비 건설비 저감과 효율 향상을 위한 흡착제 및 컴팩트화 기술 등에 대한 개발 필요
100 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 고도화 기술 개발	• 미국 UOP사의 경우 391,000 Nm^3/h 규모 상용 수소 분리막 시스템을 skid 형태로 개발하여 상용화 적용 중 • PSA에 비해 상용화 보급실적 적지만, 지속적인 기술개발을 통해 점차적으로 시장에 진입 중	• 수소 분리막의 경우 소재 및 단위 모듈화 등 소규모 기술개발이 추진 중 • 상용화 보급을 위한 대용량화, 고효율화, 컴팩트화, 저가화, 내구성 향상 등에 대한 기술개발과 실증화 기술개발이 필요

<표 6-2-105> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (미국)	70
TRL	9	5
기술 성숙도	대용량 상업용 플랜트 FEED 및 운전기술 보유	Pilot규모 플랜트 FEED 및 운전기술 보유
주요성능	H_2 순도 > 99.999% (대용량, 300톤/일 수소 생산)	Pilot규모에서는 최고기술에 근접한 기술을 보유하고 있으나, 대용량 장기 운전에 대한 기술 미흡

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 수소 경제시대 진입에 따라 저가의 수소를 대량 공급하기 위해서는 수소 분리 설비의 저가화 및 국산화 개발이 필요

- 파일럿 및 실험실 규모 기술개발을 통해 국내 축적된 기술개발 경험과 연구 자원을 기반으로, 실증기술 개발을 통한 기술 검증 및 장기운전을 통한 신뢰성 확보 필요
- 국내 PSA(Pressure Swing Adsorption, 압력변동흡착) 방식의 수소 분리 기술의 경우, 파일럿 규모에서는 선진기술과 비교하여 동등 또는 우위에 있는 기술로, 저가화, 고효율화 등을 통해 기술경쟁력 강화 및 시장 진입 필요
- 분리막을 이용한 수소 분리 기술의 경우 대부분 랩규모 및 파일럿 규모 기술이 개발되고 있으며, 소규모 상용 플랜트 적용을 위한 기술개발과 고도화 기술개발 추진 필요

○ 대용량 수소 분리가 가능한 PSA 기술을 적용 수소 경제사회 진입에 따른 시장 진입을 위한 핵심 기술 및 기반 확보 필요

- 일본, 미국, 유럽 등을 중심으로 수소사회 진입 중으로, 고순도 수소 제조에 필수적으로 필요한 정제 및 분리 설비의 조기 시장 진입을 위해서는 관련기술의 확보가 시급
- 기술 우선 확보를 통해 조기 시장 진입하여 선점 또는 동등한 조건에서 국외기술과 경쟁 기반을 확보하고 기술경쟁력 강화를 통해 시장 확대 및 강화 필요

○ 기술 및 시장 경쟁력 향상위한 기술개발 추진 필요

- 국내 고유 기술 기반으로 시장 진입 및 확대를 위해서는 기존 국외 상용기술뿐만 아니라 국외에서 개발 중인 기술과 동등 또는 우위에 있는 기술을 확보하여야 실질적인 경쟁력 확보 가능
- 기존 상용 기술 및 국외 개발 중인 기술과 비교하여 경쟁력을 갖추기 위해서는 설비의 고효율화, 컴팩트화, 저가화, 모듈화 등에 대한 기술개발 추진이 필요
- 또한 국내 기술의 상용 적용을 위해서는 기술 및 신뢰성 검증을 위한 실증기술 개발 추진 필요

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- 기 수행된 과제의 경우 원천기술 및 파일럿 규모 설비에 대한 기술개발이 주로 진행되어 소재 및 공정에 대한 핵심기술 확보

* 소용량 PSA 설비의 경우 상용화 진입 중으로 시장경쟁력 향상위한 기술개발 필요

* 분리막 기술의 경우 pilot 규모에서는 국외 기술과 동등 또는 우위에 있는 기술 보유

○ (차별성)

- 기존 과제의 경우 주로 pilot 규모 기술개발을 수행한 것으로, 상용화를 위한 실증기술을 개발하려는 본 사업과는 규모면에서 차이

* 본 과제에서는 기 개발된 국내 기반기술을 활용하여 고효율화를 위한 기술개발을 추진하고 소용량 설비에 대한 실증을 통해 신뢰성 확보 및 국내 중소규모 플랜트 적용을 통한 상용화 실적을 축적한 후 국외 시장에 진입

* 시장경쟁력 향상을 위해 설비 컴팩트화, 모듈화, 저가화를 위한 소재/부품/공정 개발

<표 6-2-106> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
이산화탄소포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발	㈜금강씨엔티, 에너지기술연구원, 고려대, 카톨릭대, 동국대	2018. 05. ~ 2021. 04.	2 Nm^3/h급 분리막 모듈 이용 고순도 수소 분리 기술개발 과제로 유사성 있으며, 이러한 기술을 기반으로 scale-up 활용
수소충전소용 대용량 수소제조장치 개발	제이엔케이히터(주), 에너지기술연구원, 과기원, 경희대, 인하대, 전남대	2017. 12. ~ 2020. 02.	PSA 기술 활용 500 kg/일급 수소 분리 설비 개발과제로 유사성 있으며, 이러한 기술을 기반으로 scale-up 활용
부생가스내 화학원료가스 막분리/정제기술	화학연구원	2016. 01. ~ 2017. 12.	부생가스에서 수소 분리를 위한 분리막 원천소재 개발과제로 유사성 있으며, 개발된 소재를 기반으로 분리막 모듈 개발 및 scale-up 활용
수소 정제 및 분리용 다공성금속지지체 개발	㈜대화알로이테크, 에너지기술연구원, 화학연구원, 광주과기원, 고려대	2014. 06. ~ 2017. 05.	수소 분리 소재인 다공성 금속지지체 제조 및 양산 기술 확보하기 위한 과제로 유사성 있으며, 이러한 기술을 기반으로 분리막 모듈 개발 및 scale-up 활용

○ (연계 활용방안)

- 요소기술이나 단위 공정기술 위주로 개발되어 국내 보유하고 있는 수소 분리 기술을 기반으로 scale-up하여 실증플랜트 운전 최적화 및 최적 공정 제어 기술 개발에 활용

<표 6-2-107> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술
(본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>• PSA 기술 적용 500kg/일급 수소 분리 기술
• 부생가스 이용 수소 생산용 분리막 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">합성가스 및 바이오가스 유래 고순도 수소 분리시스템 scale-up 설계 및 실증 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>• 폐기물/바이오매스/펫코크 유래 합성가스 및 바이오가스 기반 수소 생산플랜트 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>• 합성가스/바이오가스 유래 고순도 수소 분리 기술</td><td>대상 성과물</td><td>• 고순도 수소 분리시스템</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>• 합성가스/바이오가스 유래 수소 분리 설비 scale-up시 base 기술로 활용</td><td>활용 방안</td><td>• 합성가스 및 바이오가스 기반 수소 생산 플랜트의 하류 핵심 공정으로 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지 기술개발사업 및 민간 기술 연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 수소충전소용 대용량 수소제조장치 개발
기간: 2017. 12.~2020. 02.
내용: PSA 기술 적용 500kg/일급 수소 분리</td><td colspan="2">• PSA 기술 적용 소규모 수소 분리 설비 설계, 시공 및 운전 경험</td><td colspan="2">• (차별성) 실증 규모 폐기물/ 바이오매스/펫코크 합성가스 유래 고순도 수소 분리
• (활용방안) 소규모 플랜트에서 확보한 시스템 설계, 시공 및 운전 경험 활용 실증 플랜트 운영기술 확보</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 부생가스내 화학원료가스 막분리/정제 기술
기간: 2016. 01.~2017. 12.
내용: 부생가스 이용 수소 분리막 원천기술개발</td><td colspan="2">• 분리막 이용 부생가스내 수소 분리 원천기술</td><td colspan="2">• (차별성) 실증 규모 바이오가스 유래 고순도 수소 분리
• (활용방안) 소규모 설비에서 개발된 원천기술의 scale-up을 통한 고순도 수소 분리 고도화 플랜트 기술 개발에 활용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 기존 국내 축적된 기술개발 결과물을 바탕으로, 상용화 규모(합성가스 2,500 Nm^3/h급 및 바이오가스 300 Nm^3/h) 합성가스 유래 고순도 수소 분리 설비 개발 추진

- 합성가스 처리용량 2,500 Nm^3/h급 실증플랜트에서의 고순도 수소 생산을 위한 수소 분리 기술 개발
- 국내외 시장 진입을 위한 대용량 상용화 수소 분리 기술의 조기 확보를 위한 기술개발 추진
- 시장 경쟁력 향상 위해 고도화 기술 확보 위한 중장기 기술개발 추진
- 시스템 최적화, 저가화, 컴팩트화, 설비 모듈화/IT화(6세부과제 연계) 등을 통한 기술 및 시장 경쟁력 향상과 실증설비 운영을 통한 기술 검증

○ 저비용, 고효율의 설비 신뢰성 확보

- 국외 중소규모 시장 진출을 위한 저비용/고효율 수소 분리 설비의 신뢰도 있는 기술 확보
- 국내 기술을 기반으로 국외 개발 중인 선진기술과의 경쟁력 확보를 위한 고순도 수소 분리 고도화 기술 개발 및 소규모 설비 실증을 통한 운전 신뢰성 축적
- 국내 실증용 test-bed 구축 및 운영을 통한 기술 검증과 국내 시장 진입 및 보급을 통

한 설비 신뢰성 및 장기간 운전자료 확보

<표 6-2-108> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
고순도 수소 분리시스템 scale-up 설계 및 제작 기술	- 국내 연구기관에서 소규모 pilot급 플랜트만 운영하여 중대형급에 대한 경험이 전무	- 국내 보유하고 있는 기반기술 활용 실증기술을 자체 개발
고순도 수소 분리시스템 scale-up 운전/공정 제어 최적화 기술	- 제한된 연구비/연구인력으로 인하여 장시간 운전 경험 미보유	- 연구인력 확보 및 실증설비 활용 장시간 운영 통한 경험 축적 및 운전제어 최적화
분리 소재 및 부품 개발 기술	- 소규모 소재/부품 개발 진행하여 실증화 경험 부재	- 기술개발 초기부터 관련 기업이 실증기술 개발과제에 참여하여 제거 소재/부품 검증 및 신뢰성 확보
고순도 수소 분리 공정과 합성가스/바이오가스 생산 및 고도 정제 공정과의 연계 운영기술	- 소규모 단위 공정에 대한 경험 보유하고 있으나, 전체 공정 연계 운영기술 미흡	- 사업화 의지가 있는 중소/중견기업이 참여하여 국내 핵심기술을 보유하고 있는 연구기관과의 협력체계를 구축하여 실증 플랜트 운영기술 축적

<표 6-2-109> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과연계	자체개발	기술도입	글로벌 협력	아웃소싱
합성가스 및 바이오가스 유래 고순도 수소 분리시스템 scale-up 설계 및 실증 기술	고순도 수소 분리시스템 scale-up 설계 및 제작 기술	응용개발	●	●			
	고순도 수소 분리시스템 scale-up 운전/공정 제어 최적화 기술	응용개발	○	●			
	분리 소재 및 부품 개발 기술	응용개발	●	●			
	고순도 수소 분리 공정과 합성가스/바이오가스 생산 및 고도 정제 공정과의 연계 기술	응용개발	-	●			

●: 주, ○: 부

□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

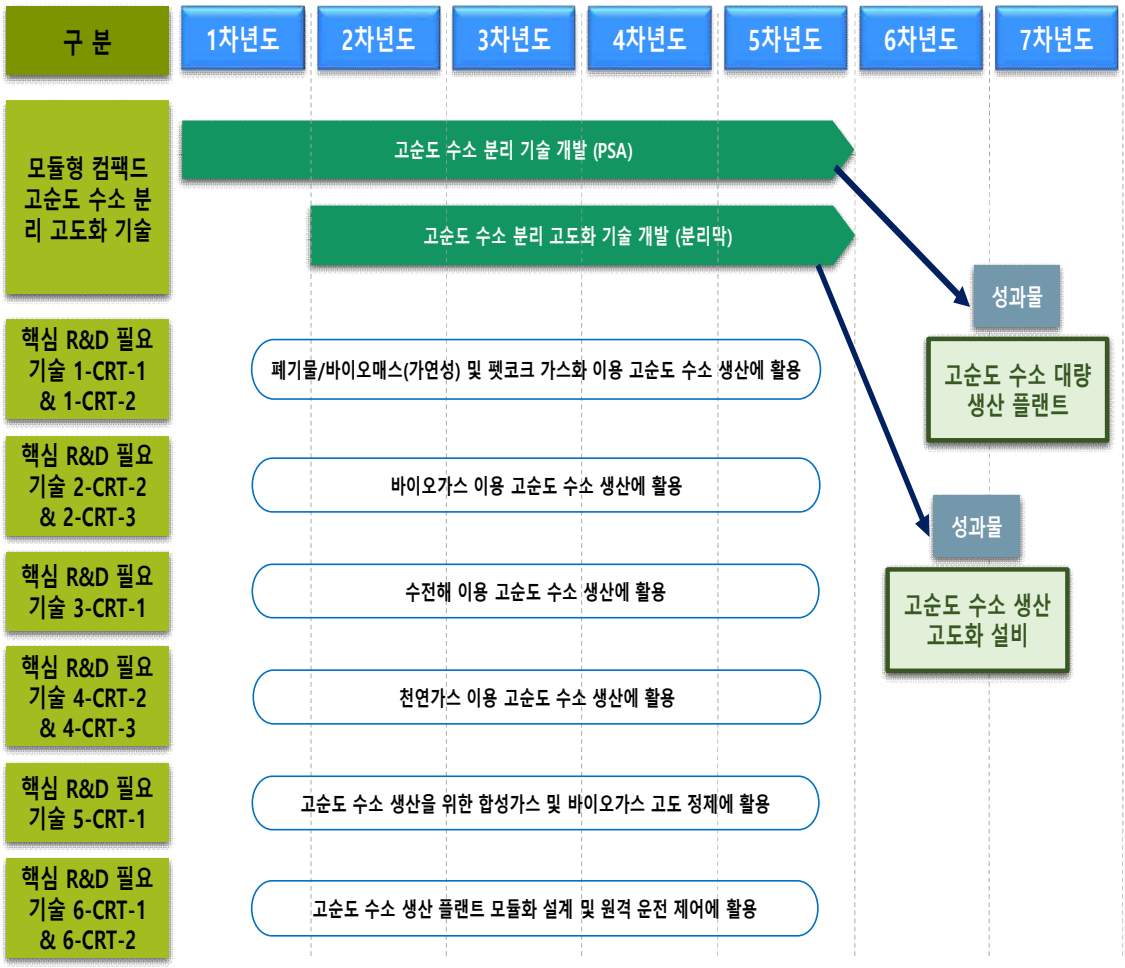
○ 고순도 수소 분리 기술은 합성가스 및 바이오가스 유래 수소 생산을 위한 최종 하류 기술로, 각 세부과제 설비들과 연계하여 실증

- 1세부과제에서 개발하는 1-CRT-1과 1-CRT-2 기술과 연계
- 2세부과제에서 개발하는 2-CRT-2와 2-CRT-3 기술과 연계
- 3세부과제에서 개발하는 3-CRT-1 기술과 연계
- 4세부과제에서 개발하는 4-CRT-2와 4-CRT-3 기술과 연계

○ 세부과제 5-1에서 개발하는 고도 정제 설비와 연계하여 실증

○ 6세부과제 수행기관과 협조하여 고순도 수소 분리 설비 설계 단계부터 6-CRT-1의 설비 모듈화 기술과 6-CRT-2의 원격 모니터링 및 운영관리 기술을 도입하여 실증

○ 효율적이고 성공적인 과제 수행을 위해 총괄사업단과 각 세부과제 참여기관과의 긴밀한 협조하에 실증기술 개발 추진



[그림 6-2-26] 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술 1 및 2): PSA용 소재 기술 및 고순도 수소 분리 공정 기술

<표 6-2-110> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 구성기술1 및 구성기술2 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○국내 기술 기반 수소 PSA 기술 활용 2,500 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 설비 scale-up 기본설계 (모듈화 및 IT화 개념 반영) ○2,500 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 설비 FEED 작성 ○고순도 수소 분리용 소재 개발 및 lab규모 설비 기초 시험
2차년도 (2021)	○모듈화/IT화 기초설계 기반 2,500 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 설비 상세설계, 제작 및 설치(공정률 약 40%) ○고순도 수소 분리용 소재 개선 및 lab규모 설비 이용 성능시험
3차년도 (2022)	○2,500 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 설비 설치 및 단위 공정별 시운전 ○합성가스 생산 플랜트 연계 고순도 수소 분리 설비 시운전 ○Lab 규모 설비 이용 개발된 고순도 수소 분리 소재 적용시험 및 운전조건 확립
4차년도 (2023)	○합성가스 생산 플랜트 연계 고순도 수소 분리 설비 운전안정화 시험 ○개발된 수소 분리 소재/부품 적용 운전시험을 통한 성능 확인 ○원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기반 확립
5차년도 (2024)	○고순도 수소 분리 설비 운전 최적화 및 최적 공정 제어 ○PSA용 수소 분리 소재/부품 성능 최적화 ○원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기술 개발 ○5,000 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 플랜트 PDP 완성

○ 개발내용(구성기술 3 및 4): 분리막 이용 고순도 수소 분리 고도화 기술

<표 6-2-111> 핵심 R&D 필요기술 5-CRT-2의 구성기술3 및 구성기술4 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2021)	○국내기술 기반 수소 분리막 기술 활용 100 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 고도화 설비 scale-up 기본설계 (모듈화 및 IT화 개념 반영) ○100 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 고도화 설비 FEED 작성 ○수소 분리 고도화 위한 분리막 소재 개발 및 lab규모 설비 기초 시험
2차년도 (2022)	○모듈화/IT화 기초설계 기반 100 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 고도화 설비 상세설계, 제작 및 설치(공정률 약 70%) ○분리막 소재 개선 및 lab규모 설비 시험을 통한 운전조건 확립
3차년도 (2023)	○바이오가스 생산 플랜트 연계 100 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 고도화 설비 설치, 운전 및 운전안정화 ○원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기반 확립 ○개발된 분리막 소재 활용 10 Nm^3/h급 분리막 모듈 제작 및 시험
4차년도 (2024)	○바이오가스 생산 플랜트 연계 100 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 고도화 설비 운전 최적화 및 최적 공정 제어 ○원격 모니터링 운영을 통한 운영관리 기술 개발 ○개발된 분리막 소재 활용 10 Nm^3/h급 분리막 모듈 이용 운전 최적화 ○200 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 고도화 설비 PDP 완성

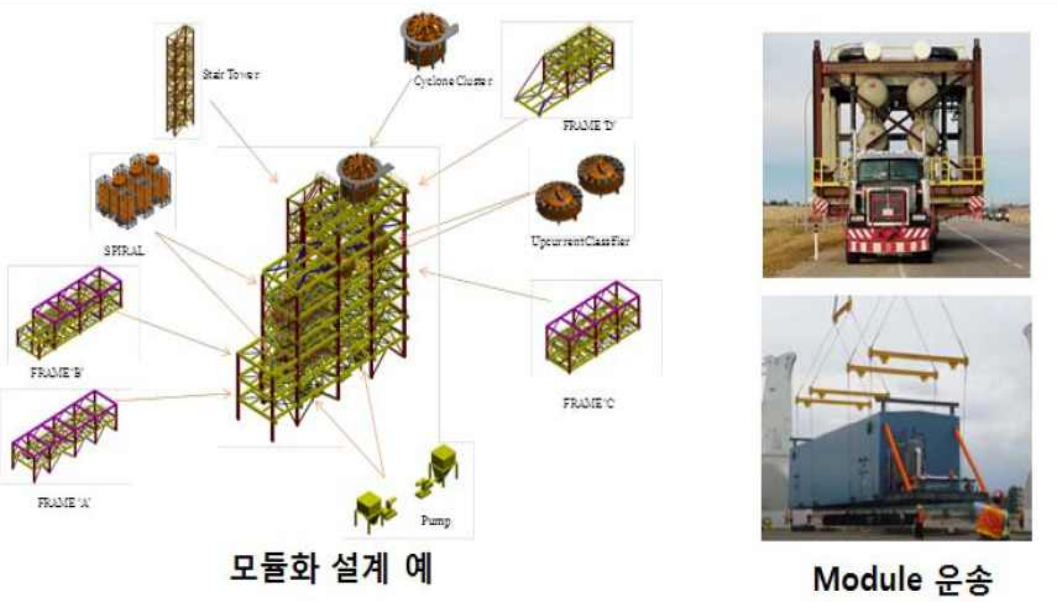
6. 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심기술

6.1 (핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1) 합성가스 기반 수소 대량생산용 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술

□ **(기술의 정의)** 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 주요 장치 또는 주요 단위 공정을 단위 부품화하여 현장 운송 및 설치의 효율성 증대와 공사비 절감을 도모할 수 있는 설계 및 건설 기술

○ 모듈화는 유사한 계열에 있는 여러 상이한 제품(플랜트)에 사용될 수 있는 기본적인 부품(혹은 모듈)을 말하는 것으로서, 공장에서 미리 제작하여 사용하고자 하는 현지에서 조립하는 개념이 적용되어 건설기간을 단축시키고 표준화 개념도 반영이 가능

○ 본 사업에서는 현장 시공이 용이한 '시공블록 모듈'과 독립적인 기능을 수행하면서 일정한 크기로 운송이 용이하고 재사용이 가능한 '공용기능 모듈'의 성격을 모두 갖는 모듈을 개발 적용



[그림 6-2-27] 모듈화 플랜트의 개념도 (오일샌드 플랜트의 예)

(출처: 오일샌드 플랜트 모듈화기술 기획 최종보고서, 한국건설교통기술평가원, 2013)

□ **(개발 최종 목표)**

○ (정성적 목표)

- 각 세부과제(1~5 세부과제)에서 개발하는 합성가스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트의 국내 사업화 및 해외 수출 상품화를 달성할 수 있도록 플랜트 구성 설비 중 핵심 설비의 모듈화 설계 및 건설 기술 국산화 개발

* 핵심설비: 합성가스 또는 바이오가스 고도정제 설비, 집진 설비, 수성가스전환 설비, 천연가스 또는 바이오가스 개질 설비, 수소분리 설비 등

- 중소형 규모 합성가스 플랜트 기반 수소생산 플랜트 핵심설비 모듈화 설계/제작/시공 기술의 국산화와 해외진출 모델 확보
- 핵심모듈에 ICT 기능 탑재 설계(최소기능 버전, 고기능 버전)

* 최소기능 버전: 인터넷 환경이 좋지 않은 곳에 플랜트가 설치될 경우, 인공위성 또는 기타 대안을 통하여 최소한의 데이터 전송이 가능한 ICT 기능 탑재
* 고기능 버전: 인터넷 환경이 좋은 곳에 플랜트가 설치될 경우, 인터넷 환경을 통하여 대부분의 운전 상태 데이터 전송이 가능한 ICT 기능 탑재

○ (정량적 목표)

<표 6-2-112> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1: 합성가스 기반 수소 대량생산용 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	핵심설비 수	-	5개 이상
	모듈화 설계 기술 자립도	70 %	100 %

□ (목표 설정 근거)

○ 국내 건설/조선업체 등에서 확보하고 있는 모듈화 기술을 적용함으로써 해외에서 복제가 어렵도록 주요 부분은 블랙박스화가 가능하고, 또한 해외 수출 시 국내 발생 부가가치를 최대화하기 위하여 모듈화 기술의 적용이 필요하며, 본 사업의 결과물을 상업화하기 위해서 모듈화 설계 기술 자립도를 100%로 설정

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ 시공블록 모듈 기반의 플랜트 모듈화 설계를 적용한 플랜트 개발 프로젝트의 발주가 증가 추세

- 해상 플랜트는 그 특성상 이미 활발히 진행 중
- 육상플랜트는 현재 1~2% 수준이나 2020년까지 10% 수준으로 증가할 것으로 전망

○ 오일샌드 플랜트 건설 부분의 경우, 기존의 Stick-built 공법에서 Alberta(캐나다) size 대형 모듈(7.2m × 7.2 m) 그리고 최근에는 육상/철도 운송용 모듈(4×4 m 이하) 순으로 발전되고 있는 추세

- 모듈의 설계 또한 현장별 맞춤 설계에서 일일 생산량별 표준모듈 설계를 적용하고 있는 추세(소형 1 + 중형 1 등)
- 본 사업에서는 중소형 플랜트 구성을 전제로 하므로 컨테이너 개념의 모듈화를 지향

○ 미국 캐터필러사가 모듈화 플랜트 사업을 적극 추진하고 있으며, 12일만에 4 MW급 전

기와 4 MW급 열에너지를 동시에 사용할 수 있는 열병합 발전설비의 설치를 완료할 수 있다고 주장

○ 스페인의 GBS(Gestamp Biomass Solutions)사는 1~6 MW 규모의 바이오매스 발전 플랜트에 모듈화 기법을 적용

○ 국내의 경우 홍천의 폐자원에너지타운에 바이오가스 탈황설비 모듈화 플랜트를 설치한 사례가 있으며, 오일샌드 플랜트용 모듈 제작 경험을 보유하고 있는 등으로 상세설계 능력을 보유하고 있으나 모듈화 플랜트 생애주기 고려 기본설계 등 핵심기술은 미보유

<표 6-2-113> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
합성가스 기반 수소 대량생산용 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	• Stick-built → 대형 모듈 (7.2 m×7.2 m) → 육상/철도 운송용 모듈(4 m×4 m 이하) 순으로 발전 추세 • 미국 및 유럽에서 수 MW 분산형 전원급 규모 발전 플랜트에 적용 기술 보유 및 사업화 적극 추진 중	• 해외 공사 참여로 상세설계 능력 보유 • 오일샌드 플랜트 모듈화 기술 개발 연구단급 과제로 진행 중 • 모듈화 플랜트 생애주기 고려 기본설계 등 핵심기술은 미보유

<표 6-2-114> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (미국)	70
TRL	9	5
기술 성숙도	대형 플랜트 및 분산형 전원 규모 원천 기술 보유	상세설계능력 보유, 핵심기술 미보유
주요성능	자체 설계기술 100%	자체 설계기술 70%

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 해외에서 복제가 어렵도록 주요 부분은 블랙박스화가 가능하고, 또한 상업용 플랜트의 해외 수출 시 국내 발생 부가가치를 최대화하기 위하여 모듈화 설계 및 건설 기술 완전 자립화를 적용

- 모듈 설계의 지배적 인자는 육상 운송에 대한 지리적, 제도적 제약 사항 범위 안에서 제작되고 운반되어야 한다는 것이므로 표준화된 모듈의 설계가 매우 중요
- 해상이나 해안에 위치한 플랜트는 국내에서 제작 후 해안으로 이동 후 육상이동 거리가 짧은 반면에 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 경우 해안가에서 멀리 떨어진 육지 내에 설치될 가능성이 높으며 기존 도로망을 이용하여 장거리 이동 필요
- 중소형 플랜트에서 모듈화 설계를 도입하면서도 기술적/경제적 경쟁력을 확보하기 위

해서는 국내 고유 표준화/컴팩트화 기술 보유가 필수

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- '오일샌드플랜트 모듈화 기술개발 연구단'에서 수행 중인 기술개발 연구는 화공에너지 플랜트에 대한 모듈화 플랜트 설계기술 개발사례의 하나로서, 플랜트의 컴팩트화/표준화를 포함한 모듈화 설계기술 확보라는 측면에서 유사성

○ (차별성)

- 실질 플랜트 응용의 측면에서 국내 기업은 캐나다 오일샌드 플랜트 사업에서 하청(sub-contracting), 상세설계 및 단순제작 수준의 경험을 보유한 반면에 본 사업에서는 완전 국산화 기술을 개발함으로써 원청 계약으로 해외시장 진출을 목표로 한다는 측면에서 차별성
- 국내에서 전혀 경험이 없는 유독성/폭발성 기체를 포함한 화공 플랜트에 대한 기술개발 및 적용을 목표로 한다는 점에서 차별성

<표 6-2-115> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
오일샌드 육상플랜트 고유모듈기술 개발	성진이앤티	2014. 12. ~ 2019. 12.	• 대상 원료가 액체이며, 본 사업에서는 합성가스/수소 등 유독성/폭발성 기체 대상으로 차별성 • 플랜트를 구성하는 핵심설비가 완전히 다른 측면에서 차별성
플랜트 협업 단위 모듈화 지식 기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발	플랜트에셋(주)	2015. 08. ~ 2019. 12.	

○ (연계 활용방안)

- 본 사업에서는 국내의 선행 기술개발 연구인 오일샌드 플랜트의 모듈화 설계 기술개발 과제를 수행하면서 확보한 원천기술 및 경험들을 기존 국내에서 보유중인 합성가스/수소를 수반하는 파일롯급 플랜트 기술의 안전성 확보 기술과 융합하여 적용

<표 6-2-116> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술
(본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>● 모듈화 플랜트 상세설계 기술(상업용 오일샌드 플랜트 적용 경험)</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">합성가스 기반 수소 대량생산용 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>● 수소생산 플랜트 핵심설비별 표준모듈 설계 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>● 합성가스/수소 생산 플랜트 상세설계</td><td>대상 성과물</td><td>● 표준모델 설계 기술</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>● 화공플랜트 상세설계 경험을 유독성/폭발성 기체를 함유한 본 사업에 기초자료로 활용</td><td>활용 방안</td><td>● 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 모듈화 플랜트 상세설계에 활용</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">국토교통부 플랜트 연구사업 및 민간 기술 연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 오일샌드 육상플랜트 고유모듈기술 개발
기간: 2014. 12.~2019. 12.
내용: 한국형 오일샌드 모듈화 플랜트 패키지 개발</td><td colspan="2">● 플랜트 컴팩트화 및 최적화 모듈 설계 기술</td><td colspan="2">● (차별성) 원료, 원료의 상태(액체 vs. 기체) 및 유독성/폭발성 여부
● (활용방안) 플랜트 컴팩트화 설계 경험 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 플랜트 협업 단위 모듈화 지식 기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발
기간: 2015. 08.~2019. 12.
내용: 플랜트 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 기술 및 운송성/시공성 평가 기반 최적화 설계 기술 개발</td><td colspan="2">● 공간적/기능적 분할 상세설계 기술, 컴팩트/최적화 및 인터페이스 설계 기술</td><td colspan="2">● (차별성) 핵심 설비가 완전히 다르고 원료의 상태(액체 vs. 기체) 및 유독성/폭발성 여부
● (활용방안) 화공에너지 플랜트를 대상으로 수행한 분할 상세설계 경험, 컴팩트화 및 인터페이스 설계 경험 활용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 국토부의 '오일샌드플랜트 모듈화 기술개발 연구단'에서 확보한 기술개발 경험 및 산업부의 합성가스 관련 파일롯급 플랜트 기술개발 과정에서 습득한 폭발성/유독성 기체에 대응하는 설계 능력 활용

○ 국내 중소·중견기업에서 본 기술개발 사업에 컨소시움 형식으로 초기부터 참여하여 연구개발 주체 기관들의 설계 개념을 공유하고 상세설계는 직접 수행함으로써 자연스럽게 기본설계 기술이 전수될 수 있도록 추진체계를 구축하여 연구개발 수행

<표 6-2-117> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
수소생산 플랜트 핵심설비별 표준모듈 설계 기술	- 국내 연구기관 및 기업에서 모듈화 플랜트에 대한 경험 부족 - 유독성/폭발성 플랜트에 대한 모듈화 설계 경험 전무	- '오일샌드플랜트 모듈화 기술개발 연구단'의 경험과 보유기술 활용 - 합성가스 플랜트 기술개발 경험을 활용하여 폭발성/유독성에 대한 안전설계 개념을 추가로 개발
수소생산 플랜트 모듈화율 향상 기술	- 국내의 모듈화 플랜트 설계 경험이 부족하여 기술개발 초기부터 모듈화율을 높일 수 있도록 개념 설정 필요	

<표 6-2-118> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃 소싱
합성가스 기반 수소 대량생산용 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	수소생산 플랜트 핵심설비별 표준모듈 설계 기술	응용개발	○	●			
	수소생산 플랜트 모듈화율 향상 기술	응용개발	○	●			

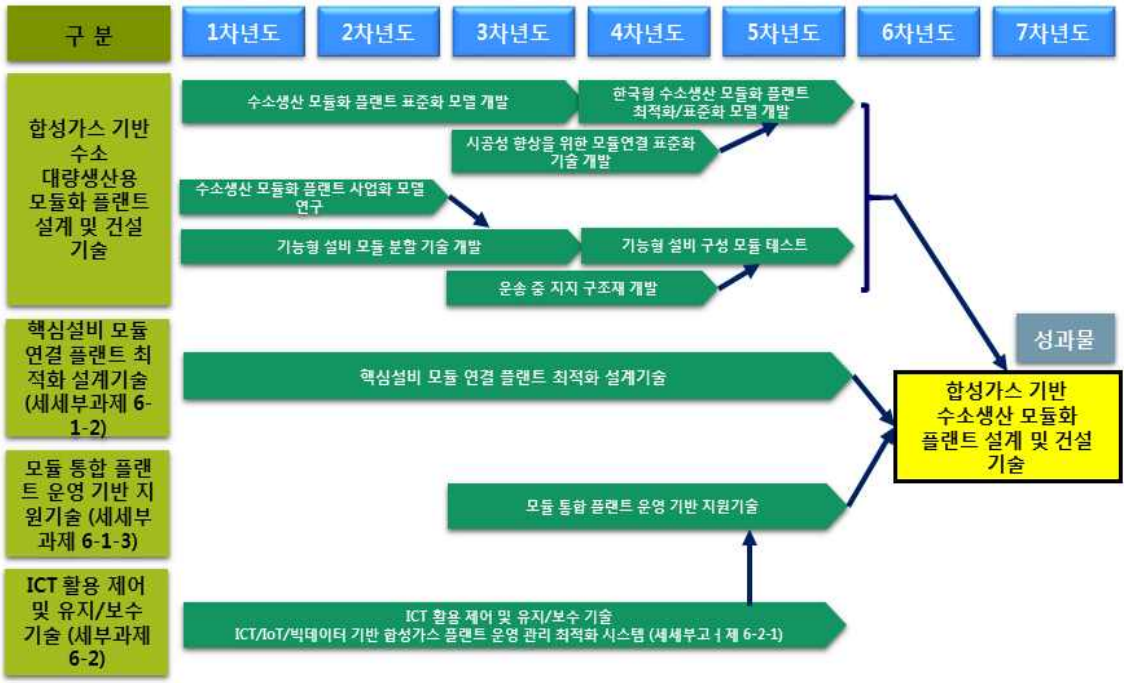
●: 주, ○: 부

□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

○ 세부과제 6-1-1 수행기관에서 국내의 선행 연구개발인 오일샌드 플랜트 모듈화 설계 기술 개발 경험을 기반으로 유독성/폭발성 기체를 생산하는 플랜트에 대한 안전성을 확보할 수 있는 모듈화 플랜트 설계 및 건설기술을 개발

- 핵심설비 모듈 연결 플랜트 최적화 설계기술(세부과제 6-1-2) 결과 반영
- 모듈 통합 플랜트 운영 기반 지원기술(세부과제 6-1-3) 결과 반영

○ ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술(세부과제 6-2) 개발 과제와 긴밀한 협조체계를 구축하여 기술개발을 진행하며, 특히 ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 시스템(세세부과제 6-2-1) 기술개발 결과를 반영



[그림 6-2-28] 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술 1): 수소생산 플랜트 핵심설비별 표준모듈 설계 기술

<표 6-2-119> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 구성기술1 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○수소생산 모듈화 플랜트 표준화 모델 개발 - 모듈화 플랜트 최적화/표준화 개념 설정 - 현장 조립 최소화할 수 있는 연결 기술 개발 - 별도 운반용 자재 최소화 기술 개발
2차년도 (2021)	○수소생산 모듈화 플랜트 표준화 모델 개발 - 모듈 부재 구조해석 및 구조성능시험 - 모듈 프레임 Mock-up 테스트
3차년도 (2022)	○수소생산 모듈화 플랜트 표준화 모델 개발 - 모듈 프레임 Mock-up 테스트 - 국산 자재 100% 적용을 위한 자재 분석 및 적용 기술 개발 ○시공성 향상을 위한 모듈연결 표준화 기술 개발 - 모듈 연결기술에 대한 표준화 개념 설정
4차년도 (2023)	○시공성 향상을 위한 모듈연결 표준화 기술 개발 - 모듈 연결기술에 대한 구조성능시험 및 검증 ○한국형 수소생산 모듈화 플랜트 최적화/표준화 모델 개발 - 한국형 고유 모듈 최적화/표준화 기술 개발 - Pilot test 설비 구축
5차년도 (2024)	○한국형 수소생산 모듈화 플랜트 최적화/표준화 모델 개발 - 한국형 표준화 모듈의 구성 모듈 파일럿 테스트 방안 구축 - Pilot test 및 결과 피드백을 통한 최적화/표준화 모델 보완

○ 개발내용(구성기술 2): 수소생산 플랜트 모듈화율 향상 기술

<표 6-2-120> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-1의 구성기술2 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○수소생산 모듈화 플랜트 사업화 모델 연구 - 운송 관련국 및 운송 경로 지역에 대한 법, 제도, 환경적 분석 ○기능형 설비*) 모듈 분할 기술 개발 - 모듈화가 어려운 기능형 설비 및 Pre-assembly unit에 대한 기술 조사 및 분석 *)기능형 설비: 단일 모듈로 제작이 불가능한 설비
2차년도 (2021)	○수소생산 모듈화 플랜트 사업화 모델 연구 - 운송방법(해상, 육상, 철도 등) 및 경로별 경제성 분석 ○기능형 설비 모듈 분할 기술 개발 - 설비 분할 제작시 요구되는 성능 분석 및 제작성 평가 - 설비 연결 기술 개념 설정
3차년도 (2022)	○기능형 설비 모듈 분할 기술 개발 - 설비 연결기술 성능 평가 시험 및 검증 - 분할 설비에 대한 제작성 평가 및 mock-up 시험 ○운송 중 지지 구조재 개발 - 재사용 가능한 모듈 지지 구조재에 대한 개념 설정 - 주요 모듈에 대한 지지 구조재 적용 구조해석 등 기초 시뮬레이션
4차년도 (2023)	○운송 중 지지 구조재 개발 - 주요 모듈에 대한 지지 구조재 적용 상세 시뮬레이션 및 결과 분석 ○기능형 설비 구성 모듈 테스트 - 구성 모듈에 대한 파일럿 테스트 방안 설정 및 기초 테스트
5차년도 (2024)	○기능형 설비 구성 모듈 테스트 - 구성 모듈에 대한 파일럿 테스트, 결과 분석 및 feed-beck을 통한 기능형 설비 최적화 설계 방안 도출

6.2 (핵심 R&D필요기술 6-CRT-2) 플랜트 원격 운영관리 및 유지보수 기술

□ **(기술의 정의)** 플랜트의 운전 데이터를 ICT/IoT 기술을 이용해 취합/축적하고, 이의 분석/진단을 통해 플랜트 운전 및 유지보수에 활용할 수 있는 정보를 제공하여, 플랜트 운영관리를 최적화하는 기술

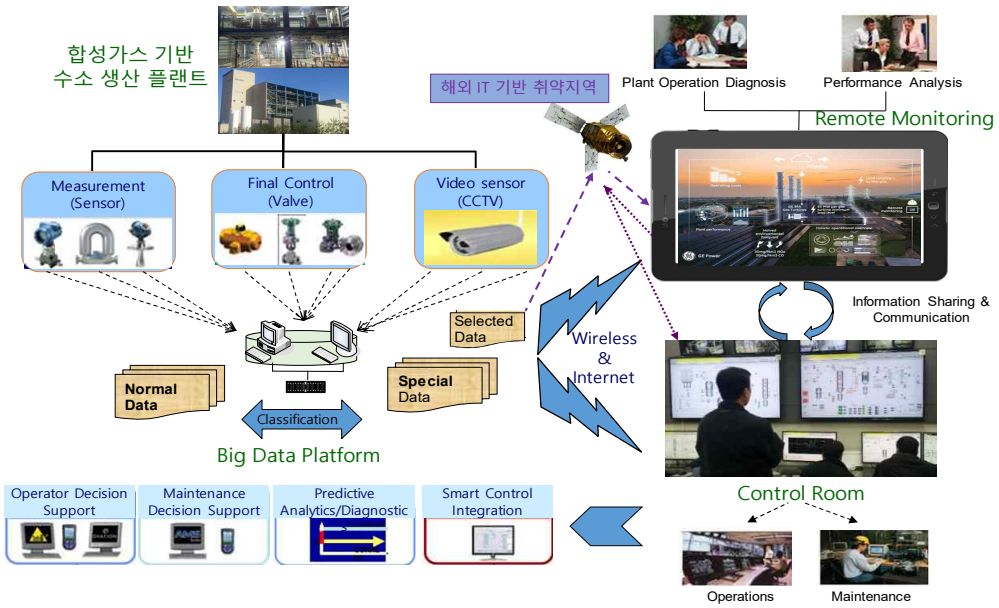
○ 플랜트의 운영에 IT 기술을 융합하여, 플랜트의 유지·보수 및 운영 업무 등의 신속화, 정밀화, 자동화, 지능화와 가용성 증대를 확보

○ 합성가스 기반 수소 생산플랜트의 설계 및 구축 시, ICT/IoT/빅데이터 기반의 시스템을 구축하여 전용통신망 및 유·무선 인터넷망을 통해 설비 운전 빅데이터(Big Data)를 실시간으로 축적하고, 축적된 빅데이터의 분석 및 진단을 통해 최적화된 대응방안을 제공하여, 플랜트의 이용률과 가동률을 향상시키고 유지보수 및 관리 업무를 신속화, 정밀화, 자동화 및 지능화하여 운영관리를 최적화하는 기술

○ 유·무선 인터넷을 통해 원격으로 핵심 설비의 운전 상태를 파악하고 이를 분석 및 진단하여, 운전자에게 합성가스 기반 수소생산 플랜트의 주요 운전 상태와 정보를 제공하여 플랜트 신뢰도를 향상시키는 기술을 포함

○ 국내 강점기술인 IT 기술을 활용하여 합성가스 기반 수소 생산플랜트의 원격 운영관리 및 유지보수 최적화 기술을 개발

- 1세부(가연성 폐기물/바이오매스 및 펫코크 이용 합성가스 생산), 2세부(유기성 바이오매스 이용 바이오가스 생산), 3세부(잉여 전기 이용 수소 생산), 4세부(개질 및 변환 이용 수소 생산), 5세부(고도 정제 및 고순도 수소 분리), 6세부(모듈화 설계 및 IT 적용 운영관리) 등 세부과제 수행기관들과 협조하여 전체 공정 구성



[그림 6-2-29] ICT 적용 합성가스 기반 수소 생산플랜트 운영관리 시스템 개념도

□ (개발 최종 목표)

○ (정성적 목표)

- ICT/IoT/빅데이터 플랫폼 및 시스템 구축을 통한 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 기술을 확보하여 합성가스 기반 수소 생산플랜트의 신뢰도를 향상시키고 시장경쟁력 강화

  * ICT 활용 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 시스템 개발

  * 합성가스 기반 수소생산 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 체계 개발

○ (정량적 목표)

<표 6-2-121> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 개발 목표

구분	성능지표	현재 스펙	개발 목표 스펙
핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2: 플랜트 원격 운전관리 및 유지보수 기술	대용량 data 실시간 진단 및 예측	85%	100%
	신뢰성기반 안전성평가 프로그램 가용도	10%	50%
	누출시나리오별 피해영향 평가예측 데이터베이스 구축률	30%	70%

□ (목표 설정 근거)

○ 합성가스 기반 수소생산 플랜트의 운영관리의 최적화를 위해 빅데이터의 활용을 위해서는 실시간으로 대용량 발생되는 운전데이터의 축적과 실시간 진단/분석을 통한 운전상태를 예측하는 기술이 중요하여 목표로 설정

- 플랜트 운전 자료의 취합 및 정리뿐만 아니라, 플랜트 운영관리에 영향을 주는 주요 핵심 기기에 대한 분류 및 선별, 빅데이터의 분석 및 진단, 빅데이터 진단결과를 기반으로 한 의사결정, 결정된 사안에 대한 공유 및 대응 등 여러 가지 단계가 필요

- 이러한 빅데이터의 취합/분석/진단/공유/대응 등을 적절하고 빠르게 대처하기 위해서는 ICT/IoT 기술의 접목 및 융합이 필수적

○ 합성가스의 주성분인 CO, H_2 등의 독성가스 및 폭발성 가스 관리를 위한 주요 현안 문제 해결에 필요한 데이터 분석 경험과 분석 방법론에 대한 노하우 확보가 필요

- 실증플랜트의 운영을 통해 플랜트 안전관리를 위한 데이터 축적 및 예측기술에 대한 신뢰성 향상 필요하여 안전성 평가 프로그램 가용도와 평가예측 데이터 베이스 구축률을 목표로 설정

□ 최근 국내·외 R&D동향

○ IT 기반의 감시/진단 기술은 최근 항공, 자동차, 전자부품, 전력 소자, 발전기기 등에 급격히 확산 중

- 국외 선진사들은 정비와 자원 관리 DB와의 연계를 통한 통합 진단 시스템 개발에 연구 자원을 집중

- IT 기반의 예측 진단 및 지능형 진단 기술은 최근 효율화된 정비 및 자원 관리, 적기 서비스 정보 제공 등에 활용될 수 있어 최근 크게 발전되고 있으며, 선진사들에서는 제품의 경쟁력 확보를 위해 지속적으로 기술을 개발 중

○ 빅데이터의 이슈 및 해결을 위한 방안으로 기존의 솔루션의 한계를 넘어 실시간 통합 분석을 통해 산업별 업무 현장에서 실시간 예측 및 대응이 가능한 지능형 솔루션이 새로운 해결책으로 등장

- 빅데이터의 Volume이 커질수록 빅데이터 분석의 업무 활용에 대한 Needs가 높아지며 특히 실시간 분석의 중요성이 강조
- 기존의 문제점을 극복하고 다양한 데이터 수집 , 실시간 고속 처리, 센서 등 IoT 데이터 처리를 위한 신개념의 빅데이터 솔루션을 개발 중

○ 국내의 경우 IT 기술의 강점을 기반으로 화력/원자력 플랜트 분야에 적용하여 운전 정보의 원격 감시, 최적의 유지보수 의사결정 지원, 발전 설비 고장정보 DB 구축, 현장 정비 지원 기술정보 제공 등 플랜트 운영관리에 다양하게 활용 중

○ 국외의 경우 정비와 자원 관리 DB와의 연계를 통한 통합 진단 시스템 개발에 집중하여 플랜트의 주요 핵심 기기들에 고장진단, 의사결정, 자료처리 등의 기능을 부여하는 스마트 기기 개발 연구가 활발하게 진행 중

<표 6-2-122> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 국내·외 기술개발동향 요약

구분	국외 동향	국내 동향
ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 시스템	• IT 기반의 예측 진단 및 지능형 진단 기술은 최근 효율화된 정비 및 자원 관리, 적기 서비스 정보 제공 등에 활용될 수 있어 최근 크게 발전되고 있으며, 선진사들에서는 제품의 경쟁력 확보를 위해 지속적으로 기술을 개발 중	• IT 기술의 강점을 기반으로 화력/원자력 플랜트 분야에 적용하여 운전 정보의 원격 감시, 최적의 유지보수 의사결정 지원, 발전 설비 고장정보 DB 구축, 현장 정비 지원 기술정보 제공 등 플랜트 운영관리에 다양하게 활용 중
합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 체계	• 정비와 자원 관리 DB와의 연계를 통한 통합 진단 시스템 개발에 집중하여 플랜트의 주요 핵심 기기들에 고장진단, 의사결정, 자료처리 등의 기능을 부여하는 스마트 기기 개발 연구가 활발하게 진행 중	• 기존의 문제점을 극복하고 다양한 데이터 수집 , 실시간 고속 처리, 센서 등 IoT 데이터 처리를 위한 신개념의 빅데이터 솔루션을 개발 중

<표 6-2-123> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 최고 기술 보유국 대비 국내 수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	100 (미국)	80
TRL	9	6
기술 성숙도	상업용 플랜트 적용 운영관리, 진단/분석 및 유지보수	화력/원자력 플랜트 분야에 적용하여 활용 중
주요성능	대용량 data 실시간 진단 및 예측	화력/원자력 플랜트 분야 활용 중이지만, 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 적용 실적 미흡

□ 핵심 R&D 필요기술 도출 근거

○ 국내 강점인 IT 기술 인력과 능력을 접목한 실증사례 조기도출에 대한 필요성 증대

- 국내 부분적으로 적용 중인 세부기술을 점복하여 실제 상황에서 세밀한 부분들에 대한 점검이 이루어지고 1~3년 기간의 실측경험이 필요

○ 원격 서비스, 예지 보전(Predictive maintenance)을 통한 플랜트 기술 및 시장 경쟁력 향상 필요

- 국내 기술의 해외진출 시 유지보수, 수리를 위한 인력파견을 최소화하고 원격으로 한국 등 원하는 지역에서 정보를 획득 처리하고 대응함으로써 인력과 장비의 효율적 운용이 가능
- 건설장비 업계에 활용되고 있는 개별 장비의 상태를 원격으로 파악하는 기법을 에너지플랜트에 원용하여 수출산업의 경쟁력 강화가 가능

○ 실시간 플랜트 운전 현황을 장소에 상관없이 접속함으로써 공정 오류 및 운전중단 상황 등을 조기 파악하고 조치가 가능

- 센서 및 통신 인프라가 중요하지만 열악한 지역에서도 최소한의 핵심정보를 파악 분석이 되도록 저렴한 방식의 구현이 중요
- 장기적으로는 플랜트에 내장된 센서가 장비의 고장을 파악 또는 예측할 수 있는 자료를 전송하고 이를 통해 최소한의 인원과 비용으로 예방조치 가능

○ IT 기능에 장기간 운전결과를 통계 처리한 Big Data를 접목시켜 플랜트의 운전 이상유무를 조기에 진단하는 기능을 부여하는 체계가 석유화학공장 등에 적용 중

- 대형 플랜트에는 비용 투자가 가능하지만 소형 플랜트에 적합한 Big Data 연계방식은 개발 및 실증이 필요

□ (핵심 R&D 필요기술 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안)

○ (유사성)

- 기 수행된 과제의 경우 파일럿 규모 설비나 타 플랜트 분야 설비에 부분적으로 IT 기술을 적용한 기술개발이 주로 진행되어 핵심기술 확보

* 타 플랜트 분야에 적용한 IT 기술을 수소 생산플랜트에 spin-off 적용 활용
* Pilot 규모에서 적용된 IT 기술을 spin-off 활용하고 플랜트 설계, 운전, 유지보수 등 전주기에 적용 기술개발 필요

○ (차별성)

- 기존 과제의 경우 주로 pilot 규모나 타 플랜트 분야에 부분적으로 IT 기술을 적용하여 기술개발을 수행한 것으로, 실증플랜트에 대한 기술 및 시장경쟁력 강화를 위해 IT 기술을 플랜트 설계, 운전, 유지보수 등 전주기에 적용하여 개발하려는 본 사업과는 규모와 적용분야에서 차이 존재

* 본 과제에서는 기 개발된 국내 기반기술 및 핵심기술을 spin-off 적용하여 활용하고 원격 모니터링을 통한 플랜트 운영관리 및 유지보수 체계를 구축하여 시장경쟁력 강화를 위한 실증기술을 개발 및 운영 경험을 축적한 후 국외 시장에 진입

<표 6-2-124> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 유사과제 분석

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
혐기성소화 안정화 제 생산 기술 및 신경회로망형(Deep Belief Network) 인공지능 기반의 통합 운영/제어 플랫폼 개발	경기대, 경희대, 한양대, 호서대	2017. 02. ~ 2020. 11.	1 ton/d 규모 pilot plant의 실시간 계측자료의 bigdata 구축 및 DBN 기반 인공지능 알고리즘 기술개발 과제로 유사성 있으며, 이러한 기술을 spin-off 활용
시설물 IoT 기반 바이오가스플랜트 공정 및 안전진단 통합 솔루션 개발	㈜파이브텍, 건설기술연구원, 전자부품연구원, 경기대	2017. 05. ~ 2018. 04.	시설물 IoT 기반 바이오가스플랜트 공정 및 안전진단 통합 솔루션 개발과제로 유사성 있으며, 이러한 기술을 spin-off 활용
해양플랜트 통합 운영 및 유지보수를 위한 예지보전(豫知保全) 시스템 개발	㈜부품디비, 해양과학기술원, 경상대, 인하대, 홍익대	2013. 05. ~ 2017. 04.	LNG-FPSO의 주요 대상 장비에 대한 예지보전 솔루션 개발 과제로 유사성 있으며, 이러한 기술을 spin-off 적용

○ (연계 활용방안)

- 타 플랜트 분야나 타 산업분야에 개발되어 적용되고 있는 운영관리 IT 기술을 spin-off 적용하여 합성가스 기반 수소 생산플랜트 운영관리 및 유지보수 기술 개발에 활용

<표 6-2-125> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 전후방 기술과 연계 활용방안

<table>
<tr><th colspan="2">사전 확보기술</th><th></th><th>본 핵심 R&D 필요기술명</th><th></th><th colspan="2">후속/연계 활용기술
(본 사업 핵심/구성기술에서)</th></tr>
<tr><td>선행 기술명</td><td>• 신경회로망형(Deep Belief Network) 인공지능 기반의 통합 운영/제어 플랫폼 기술
• IoT 기반 바이오가스플랜트 공정 및 안전진단 통합 솔루션</td><td rowspan="3">⇨</td><td rowspan="3">합성가스 기반 수소 생산플랜트 설계 및 실증 기술</td><td rowspan="3">⇨</td><td>기술명</td><td>• 폐기물/바이오매스/펫코크 유래 합성가스 및 바이오가스 기반 수소 생산플랜트 기술</td></tr>
<tr><td>연계 대상물</td><td>• ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 기술
합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 기술</td><td>대상 성과물</td><td>• 플랜트 운영관리 및 유지보수 체계</td></tr>
<tr><td>활용 방안</td><td>• 합성가스 기반 수소 생산플랜트 운영관리 및 유지보수 기술 개발시 spin-off 적용하여 base 기술로 활용</td><td>활용 방안</td><td>• 합성가스 및 바이오가스 기반 수소 생산 플랜트의 운영관리 및 유지보수 최적화 기술개발에 활용
• 플랜트 설계단계부터 IT 기술 적용 설계/구축</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>⇧</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지 기술개발사업 및 민간기술 연계</td><td colspan="2">과제 개요</td><td colspan="2">연계대상 성과물</td><td colspan="2">차별성/활용방안</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 혐기성소화 안정화제 생산 기술 및 신경회로망형 인공지능 기반의 통합 운영/제어 플랫폼 개발
기간: 2017. 12.~2020. 11.
내용: 1 톤/일 규모 pilot plant의 실시간 계측자료의 bigdata 구축 및 DBN 기반 인공지능 알고리즘 기술개발</td><td colspan="2">• Pilot급 플랜트 계측자료 빅데이터 플랫폼 구축 및 진단 기술</td><td colspan="2">• (차별성) 실증 규모 합성가스 기반 수소 생산플랜트 운전자료 빅데이터 플랫폼 구축 및 진단
• (활용방안) 소규모 플랜트에서 확보한 경험을 활용 실증 플랜트 적용을 통한 검증 및 경험 축적</td></tr>
<tr><td colspan="2">과제명: 해양플랜트 통합 운영 및 유지보수를 위한 예지보전(豫知保全) 시스템 개발
기간: 2013. 05.~2017. 04.
내용: LNG-FPSO의 주요 대상 장비에 대한 예지보전 솔루션 개발</td><td colspan="2">• LNG-FPSO 주요 설비에 대한 예지보전 기술</td><td colspan="2">• (차별성) 타 플랜트 분야 적용을 위해 개발된 기술로 합성가스 기반 수소 생산플랜트에 적합한 솔로션 개발 필요
• (활용방안) 타 플랜트 분야에서 개발된 핵심기술을 spin-off 적용 수소 생산플랜트 기술 개발에 활용</td></tr>
</table>

□ (핵심 R&D 필요기술 확보전략)

○ 화력발전 플랜트, 원자력발전 플랜트 등 유사 플랜트 분야에서 축적된 경험과 노하우를 적용하여 안정적인 USN 시스템과 빅데이터 플랫폼 구축

○ 빅데이터 플랫폼 및 분석/진단 체계에 대한 모의시험을 진행하여 수정/보완사항을 도출한 후, Test-bed에 적용하여 ICT/IoT/빅데이터 기반의 시스템 구축

○ Test-bed 적용 운전을 통해 USN 시스템, 빅데이터 플랫폼, 분석/진단 시스템, 진단 결

과의 실시간 공유 등에 대한 체계 확립

○ Test-bed 적용 운전을 통해 합성가스 플랜트 운전자료 실시간 원격 관리, 유지보수 주기 및 운영관리 시스템 검증과 최적화 수행

○ 프로젝트 공통으로 요구되는 유지보수 및 운영관리 시스템을 우선적으로 개발하여 적용하고, 각 프로젝트별로 특화되게 필요한 부분에 대해서는 별도로 파악하여 개별적으로 적용

<표 6-2-126> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 한계점 및 기술개발방안

개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 시스템	화력/원자력 플랜트 분야 적용중이며, 바이오가스분야 pilot 규모 부분 적용 개발중으로, 합성가스 기반 수소 생산플랜트에 대한 매우 제한적인 개발 경험	국내 보유하고 있는 기반기술을 spin-off 활용하여 실증기술을 자체 개발
합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 체계	Pilot급 합성가스 기반 수소 생산설비에 대한 개발 경험은 있으나, 실증플랜트에 대한 개발 경험이 없고 장기간 운전데이터 축적경험 미보유	실증설비 활용 장시간 운영을 통한 경험 축적 및 분석·진단 체계 구축

<표 6-2-127> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 확보전략

핵심 R&D 필요기술	구성기술	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력	아웃소싱
ICT 활용 플랜트 원격 운영관리 및 유지보수 기술	ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 기술	응용개발	●	●			
	합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 기술	응용개발	●	●			

●: 주, ○: 부

□ (핵심 R&D 필요기술 로드맵)

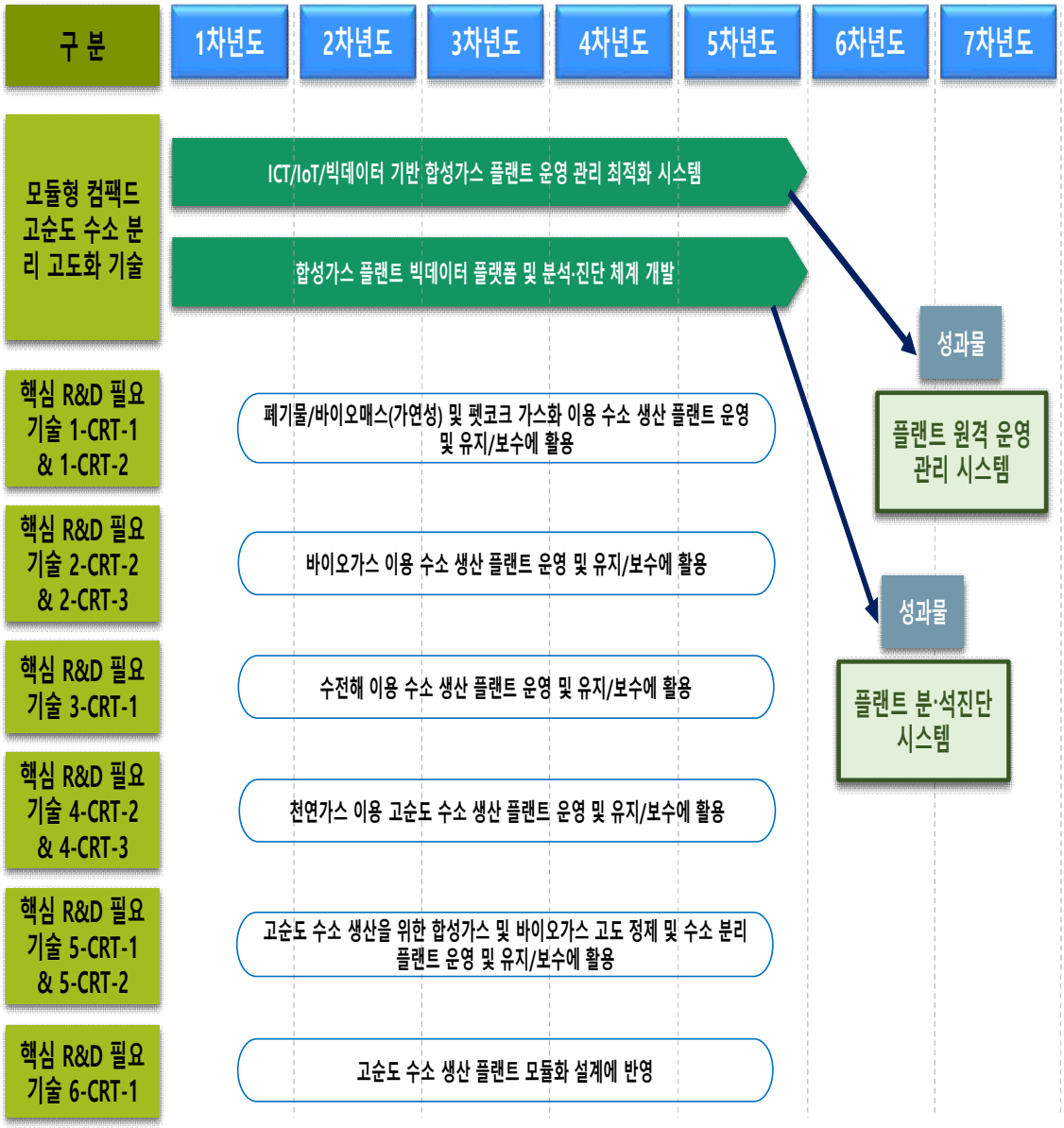
○ ICT 기술을 활용한 플랜트 원격 운영관리 및 유지보수 기술은 합성가스 및 바이오가스 유래 수소 생산플랜트 운영을 위한 기술로, 각 세부과제 설비들과 연계하여 실증

- 1세부과제에서 개발하는 1-CRT-1과 1-CRT-2 기술에 적용
- 2세부과제에서 개발하는 2-CRT-2와 2-CRT-3 기술에 적용
- 3세부과제에서 개발하는 3-CRT-1 기술에 적용
- 4세부과제에서 개발하는 4-CRT-2와 4-CRT-3 기술에 적용

○ 세부과제 6-1에서 개발하는 설비 모듈화 설계 단계부터 ICT 기술을 적용하여 설계에 반영

○ 효율적이고 성공적인 과제 수행을 위해 총괄사업단과 각 세부과제 참여기관과의 긴밀

한 협조하에 실증기술 개발 추진



[그림 6-2-30] 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2 기술개발 로드맵

□ (개발내용-구성기술별 연도별 추진계획)

○ 개발내용(구성기술 1): ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 기술

<표 6-2-128> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 구성기술1 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○ICT/IoT 기반 빅데이터 진단결과 유·무선 공유시스템 및 의사결정/조치사항 체계 설계 - 빅데이터 진단결과 실시간 공유위한 항목 선정 및 네트워크 설계 - 진단결과 이용 설비 운영 의사결정/조치사항 지원체계 수립 ○합성가스 기반 수소생산 플랜트 유비쿼터스 유지보수 관리 체계 수립 - 설비 유지보수 관리를 위한 계통 체계 수립 - 부품별 무선 ID tag, mobile 관리단말기를 통한 실시간 원격 모니터링 시스템 설계 - 신뢰성 있는 설비 유지보수 정보 수집을 위한 스마트 정비 이력 입력 장치 설계 ○기존 구축된 pilot 설비 활용 핵심장비 반영 프로토타입 설계 및 구축
2차년도 (2021)	○기존 구축된 pilot 설비 활용 IoT 시스템 프로토타입 시범 운영 ○Pilot 설비 운영 결과 반영 ICT/IoT 기반 빅데이터 진단결과 유·무선 공유시스템 및 의사결정/조치사항 체계 설계 보완 및 실증플랜트 구현 ○실증플랜트 반영 유비쿼터스 유지보수 관리 체계 구축
3차년도 (2022)	○기존 구축된 pilot 설비 활용 IoT 핵심시스템 프로토타입 운영 및 확립 ○Pilot 설비 운영 결과 반영 ICT/IoT 기반 빅데이터 진단결과 유·무선 공유시스템 및 의사결정/조치사항 체계 보완 ○실증플랜트 유비쿼터스 유지보수 관리 시스템 보완 및 구축
4차년도 (2023)	○유·무선 공유시스템 활용 실증플랜트 운전 결과 취합 및 플랜트 운영 의사결정/조치사항 체계 운영 및 검증 ○합성가스 기반 수소생산 실증플랜트 운전결과 반영 유비쿼터스 유지보수 관리 체계 운영 및 검증 - 설비 유지보수 관리를 위한 계통 체계 및 부품별 무선 ID tag, mobile 관리단말기를 통한 실시간 원격 모니터링 시스템 운영/검증 - 신뢰성 있는 설비 유지보수 정보 수집을 위한 실증플랜트 반영 스마트 정비 이력 입력 시스템 검증
5차년도 (2024)	○합성가스 기반 수소생산 플랜트 유지보수 주기 최적화 시스템 개발 ○합성가스 기반 수소생산 플랜트 유비쿼터스 유지보수 관리 체계 장기 운영 및 최적화 ○합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리시스템 최적화 ○Test-bed 실증 data 실시간 모니터링을 통한 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리시스템 최적화 ○ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 시스템 확립 및 100톤/일급 합성가스 기반 수소 생산플랜트 적용 설계

○ 개발내용(구성기술 2): 합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 기술

<표 6-2-129> 핵심 R&D 필요기술 6-CRT-2의 구성기술2 추진 계획

연도	추진 계획
1차년도 (2020)	○ICT/IoT 기반 합성가스 기반 수소생산 플랜트 빅데이터 플랫폼 설계 - 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운전상태 실시간 파악을 위한 주요 설비/기기 항목 도출 - 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운전데이터에 대한 수집, 저장, 처리, 분석 및 시각화를 통합적으로 지원하는 빅데이터 플랫폼 설계 ○합성가스 기반 수소생산 플랜트 빅데이터 분석 및 진단 체계 설계 - 빅데이터 분석 알고리즘 설계 및 빅데이터 분석 모델 이용 합성가스 기반 수소생산 플랜트 이상상황 조기진단 및 시각화 시스템 설계 ○기 구축된 pilot급 설비 적용 빅데이터 플랫폼 부분반영위한 프로토타입 설계 및 구축
2차년도 (2021)	○기 구축된 pilot급 설비 활용 빅데이터 플랫폼 프로토타입 시범운영 ○프로토타입 운영결과 반영 빅데이터 플랫폼 및 분석/진단 체계 보완 ○실증플랜트 반영 빅데이터 활용의 확장성 및 연속성을 고려한 안정적 빅데이터 플랫폼 구축 (공정률 40%) - 합성가스 기반 수소생산 플랜트 주요 설비/기기 운전데이터 취득을 위한 USN(Ubiquitous Sensor Network) 체계 구축 ○합성가스 기반 수소생산 플랜트 빅데이터 분석, 조기 진단 및 시각화 시스템 구축 (공정률 40%)
3차년도 (2022)	○Pilot 설비 활용 빅데이터 플랫폼 프로토타입 운영 및 확립 ○프로토타입 운영결과 반영 빅데이터 플랫폼 및 분석/진단 체계 확립 ○실증플랜트 반영 빅데이터 활용의 확장성 및 연속성을 고려한 안정적 빅데이터 플랫폼 구축 및 시운전 ○합성가스 기반 수소생산 플랜트 빅데이터 분석, 조기 진단 및 시각화 시스템 구축 및 시운전
4차년도 (2023)	○실증플랜트 연계 운전데이터 축적 및 빅데이터 플랫폼 운영 - 실증플랜트 운전데이터 수집 및 데이터 분석, 조기 진단 및 시각화 시스템 운영 및 플랜트 부품 및 기기의 고장 기록 및 고장률 데이터 축적 ○실증플랜트 연계 빅데이터 플랫폼 운영을 통한 분석/진단 체계 개발 - 운전 안정화 및 이용률 향상을 위한 빅데이터 분석 모델 개발 - 설비 이상상태 예측을 위한 고장 패턴, 고장 상황 모델링 및 고장 예측 시스템 개발 - 빅데이터 분석 모델 이용 합성가스 기반 수소생산 플랜트 이상상황 조기진단 및 시각화 개발
5차년도 (2024)	○실증플랜트 장기운전을 통한 운전데이터 축적 및 빅데이터 플랫폼 체계 확립 ○실증플랜트 장기운전을 통한 합성가스 기반 수소생산 플랜트 빅데이터 분석 및 진단 체계 검증 - 운전 안정화 및 이용률 향상을 위한 실시간 수집된 대용량 데이터의 분석 및 진단을 통한 빅데이터 분석·진단 모델 검증 - 설비 이상상태 예측을 위한 고장 패턴, 고장 상황 모델링 및 고장 예측 시스템 검증 - 빅데이터 분석 모델 이용 합성가스 기반 수소생산 플랜트 이상상황 조기진단 및 시각화 검증

제3절 핵심기술 확보를 위한 세부과제별 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 우선순위 및 기술개발 일정

□ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술개발 우선순위 설정 기준

○ 세부과제별 국내 타부처 기술개발 과제를 통하여 축적된 국내 기술 수준을 고려하여 단기성과를 창출할 수 있고 수소 생산량 등에서 사회적•경제적 파급효과가 큰 플랜트 기술을 우선순위로 선정

- 제 1 순위 : 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술
- 제 2 순위 : 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소생산 플랜트 건설 기술

○ 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 기술의 경우, 타 부처(산업부)의 진행 중인 기술개발 결과물을 활용할 수 있으므로 우선순위 및 기술개발 시작 일정을 3순위로 결정

○ 개질 및 변환 기술과 정제 및 분리 기술은 단위 플랜트 자체로도 시장 진입이 가능하며, 1~3 세부과제(1~3 순위) 기술개발의 일부로 활용되므로 1 순위 기술인 합성가스 생산 기술과 동일한 순위로 판단하여 1차년도부터 같이 시작하는 것으로 기획

□ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 세부과제별 기술개발 일정



[그림 6-3-1] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술개발 우선 순위 및 기술개발 일정

2. 기술개발 로드맵 및 성과목표

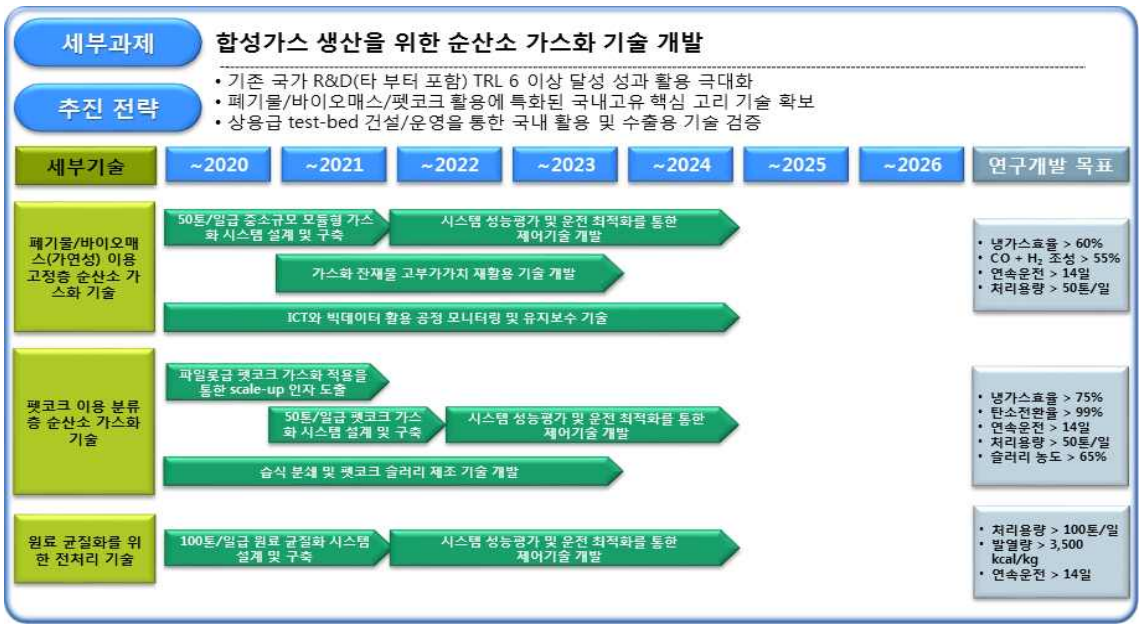
<표 6-3-1> 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 상용화 기술개발 로드맵 및 성과 목표

세부 과제명	세부 기술명	기술개발 일정							성과 목표	
		1	2	3	4	5	6	7	항목	목표
1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	1.1 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술								냉가스효율	> 60%
									$CO+H_2$ 조성	> 55%
									연속운전	> 14일
									처리 용량	> 50톤/일
	1.2 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술								냉가스효율	> 75%
									탄소전환율	> 99%
									슬러리 농도(슬러리 내 고체 비율)	> 65%
									연속 운전	> 14일
									처리 용량	> 50톤/일
	1.3 원료 균질화를 위한 전처리 기술								처리 용량	> 100톤/일
									발열량	> 3,500kcal/kg
									연속운전	> 14일
2. 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 바이오수소 생산 건설 기술	2.1 바이오매스 (유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술								용존유기물 함량 증대	> 30%
									연속운전	> 50일
									처리 용량	> 50 톤/일
									메탄순도	> 95.0%
									바이오메탄 생산량	> 50 m^3 CH_4/(m^3/day)
	2.2 바이오매스 (유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술								바이오수소 생산량	> 20 m^3 H_2/(m^3/day)
									체류시간	<30일
									연속운전	> 300일
									처리용량	> 50톤/일
									수소 발생량	>2.2 mol H_2/mol Hexose
									수소생산 균주 발굴	> 5종
									수소순도	> 99.99%
									연속운전	> 50일
									처리 용량	> 50 톤/일
	2.3 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술								수소전환율	> 95.0%
									승온에너지	< 400℃
3. 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	3.1 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발								잉여전기 연계를 통한 수소생산	가변부하 연계 1MW급 수전해 시스템
	3.2 P2G 플랜트 산소 활용 기술 개발								P2G 플랜트의 산소 활용	산소생산 100Nm^3/h급
	3.3 P2G 플랜트 설계 및 공정 최적								수소의 생산 최적화와 산소 활용의 안정적	수소저장 24,000Nm^3/day이상,

	화 기술 개발								운전	수전해 효율>70%
	3.4 P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술 개발								안정적인 P2G 공정 운전	수전해, 산소활용, 혐기발효 메탄 및 CO_2 생산 단독 운전
	3.5 수소 안전/제도								수소 물질 안전 기준, 수소 제조 시설 안전 기준, 수소 활용 시설 안전기준, 수소 제품 안전 기준	국가 기준안
4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	4.1 천연가스의 CO_2-added 개질 기술								CH_4 전환율	> 99%
									운전시간	> 100h
									개질효율	> 80%
	4.2 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술								일산화탄소 전환율	> 99.5%
									수소생산량	> 1,400 Nm^3/h
	4.3 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술								NH_3 전환율	> 99%
									수소생산량	> 300 Nm^3/h
									운전시간	> 100h
									개질효율	> 80%
									수소농도	> 99.99%
5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술	5.1 합성가스 및 바이오가스 고도 정제기술								<합성가스> 분진	< 0.1 mg/m^3
									H_2S	< 0.1 ppm
									HCl	< 0.1 ppm
									처리 용량	> 2,500 Nm^3/h
									<바이오가스> 분진	< 0.1 mg/m^3
									H_2S	< 0.1 ppm
									실록산	< 0.1 ppm
									처리용량	> 300 Nm^3/h
	5.2 고순도 수소 분리 고도화 기술								<PSA> 수소 순도	> 99.99%
									처리 용량	> 2,500 Nm^3/h
									<분리막> 수소 순도	> 99.999%
									처리 용량	> 100 Nm^3/h
6. 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술	6.1 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술								모듈화 설계 기술 자립도	100%
									EPC-O&M 연계 데이터 활용 자동화율	> 50%
									센서 기반 가상플랜트 정확도	> 85%
	6.2 ICT활용 제어 및 유지/보수 기술 개발								대용량 data 실시간 진단 및 예측	100%
									신뢰성기반 안전성평가 프로그램 가용도	> 50%
									누출시나리오별 피해영향 평가예측 데이터 베이스 구축률	> 70%

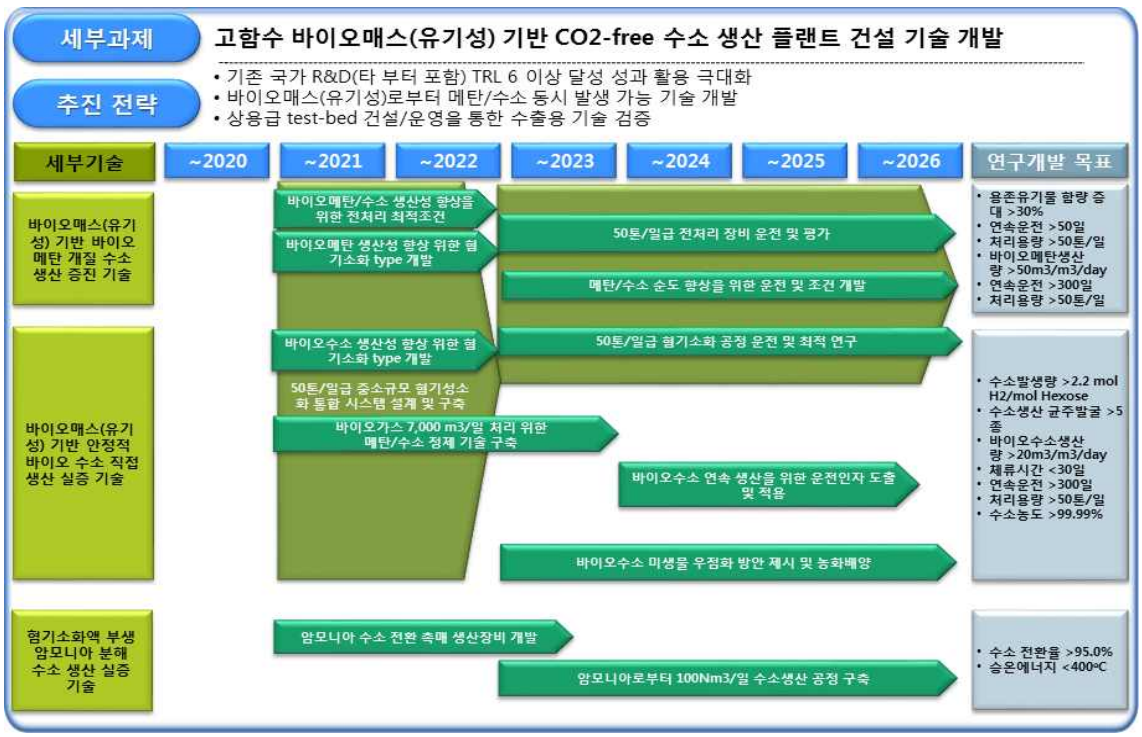
□ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 세부과제별 기술개발 로드맵

○ 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술



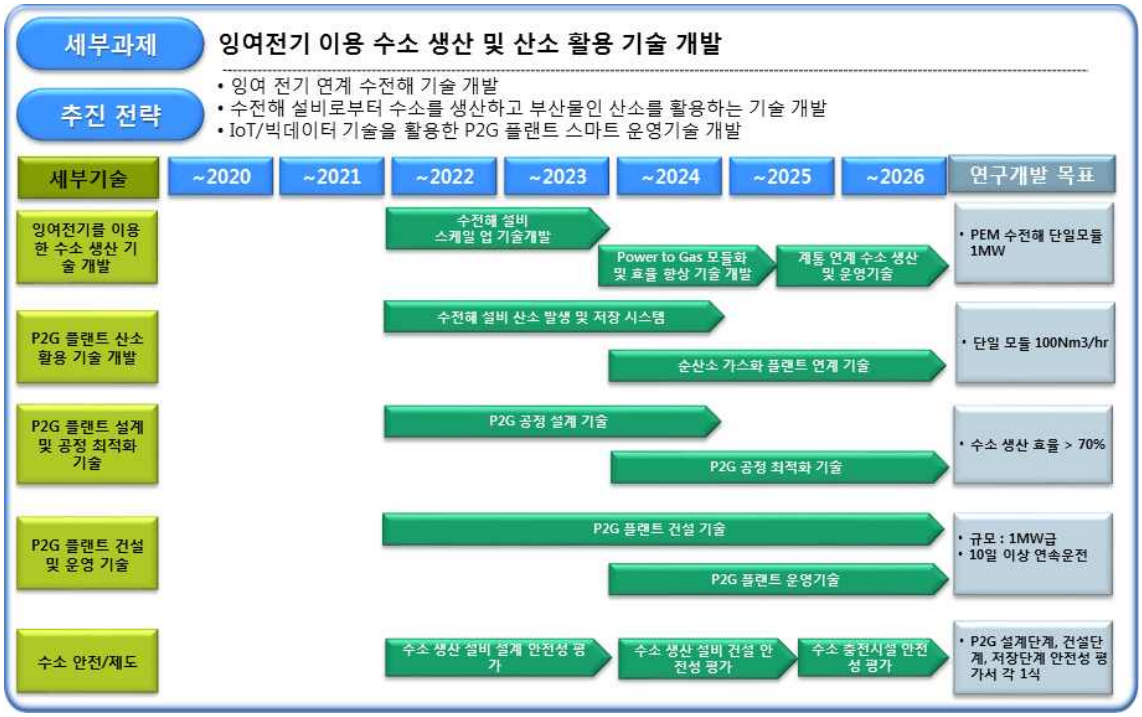
[그림 6-3-2] 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술개발 로드맵

○ 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술 개발



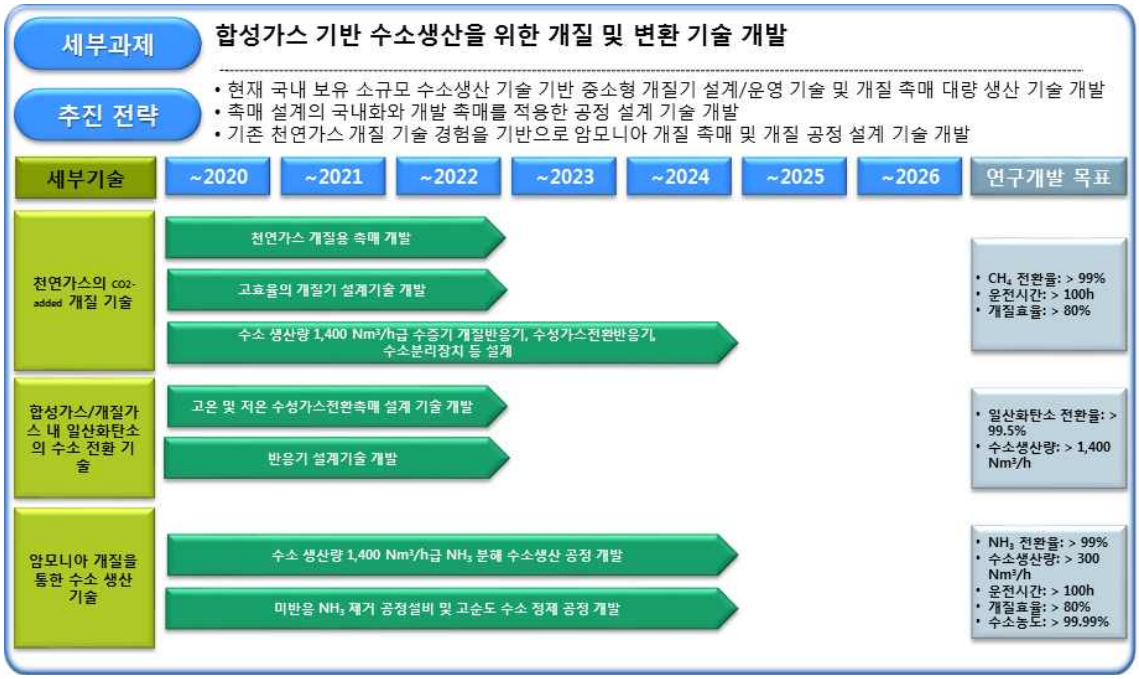
[그림 6-3-3] 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설기술 개발 로드맵

○ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술



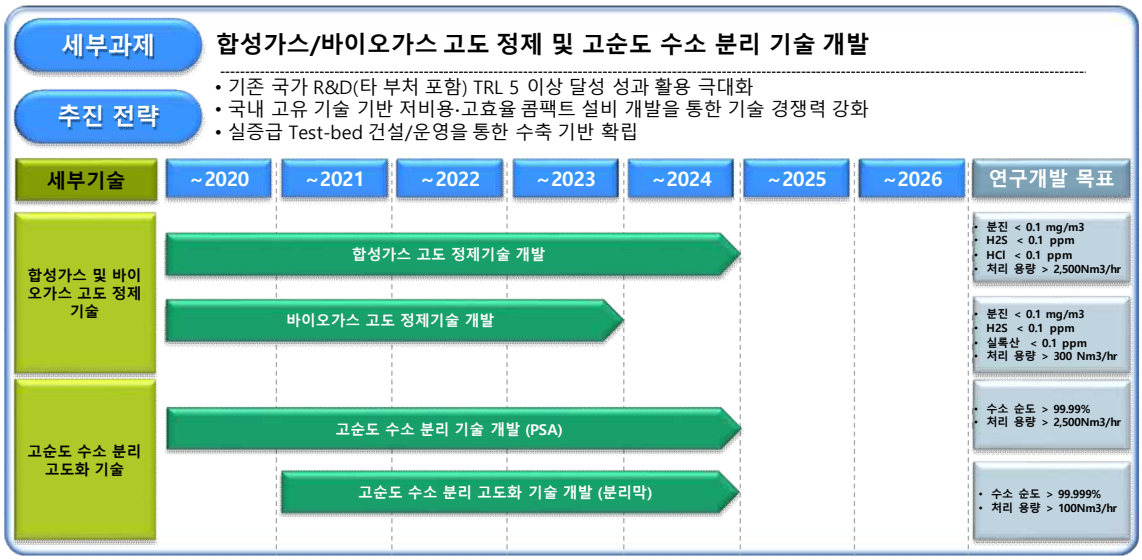
[그림 6-3-4] 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발 로드맵

○ 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술



[그림 6-3-5] 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술 개발 로드맵

○ 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술



[그림 6-3-6] 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술 개발 로드맵

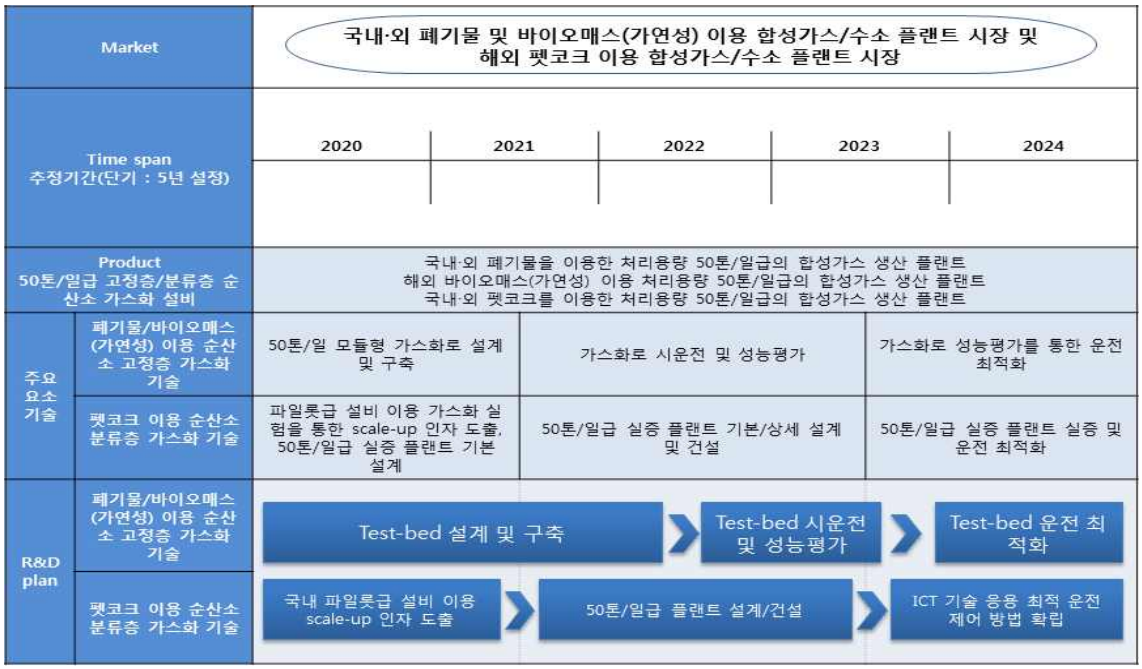
○ 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술



[그림 6-3-7] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술 개발 로드맵

3. 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵

□ 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술



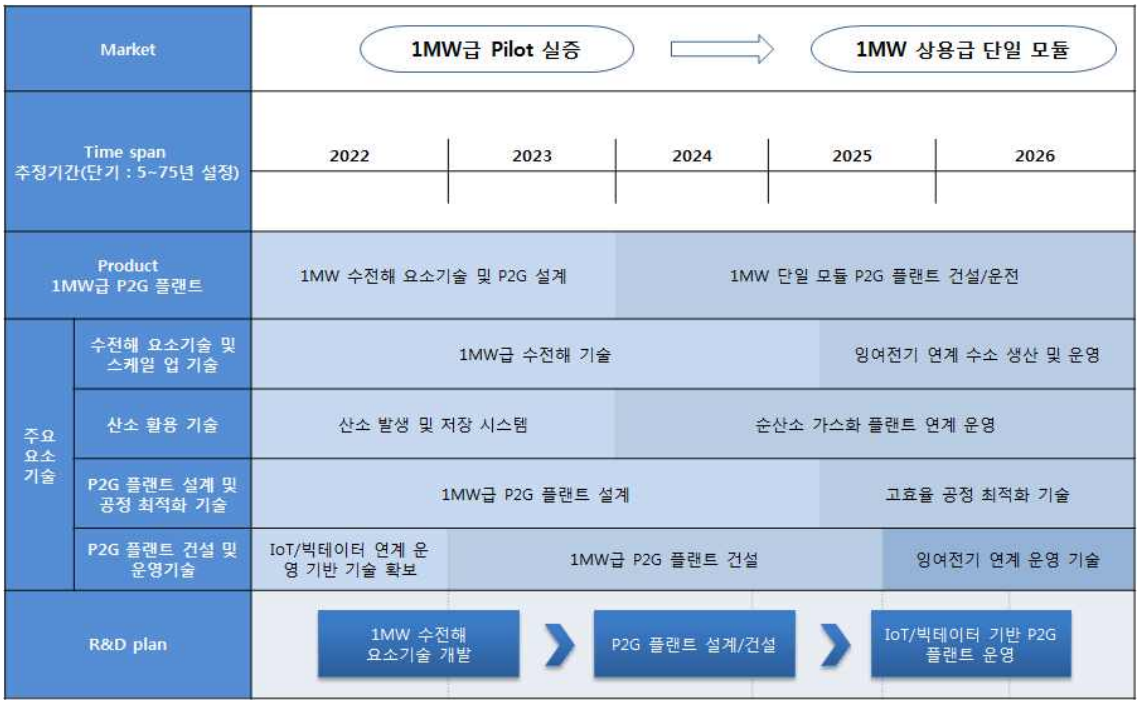
[그림 6-3-8] 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵
(합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술)

□ 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술



[그림 6-3-9] 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵
(고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술)

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술



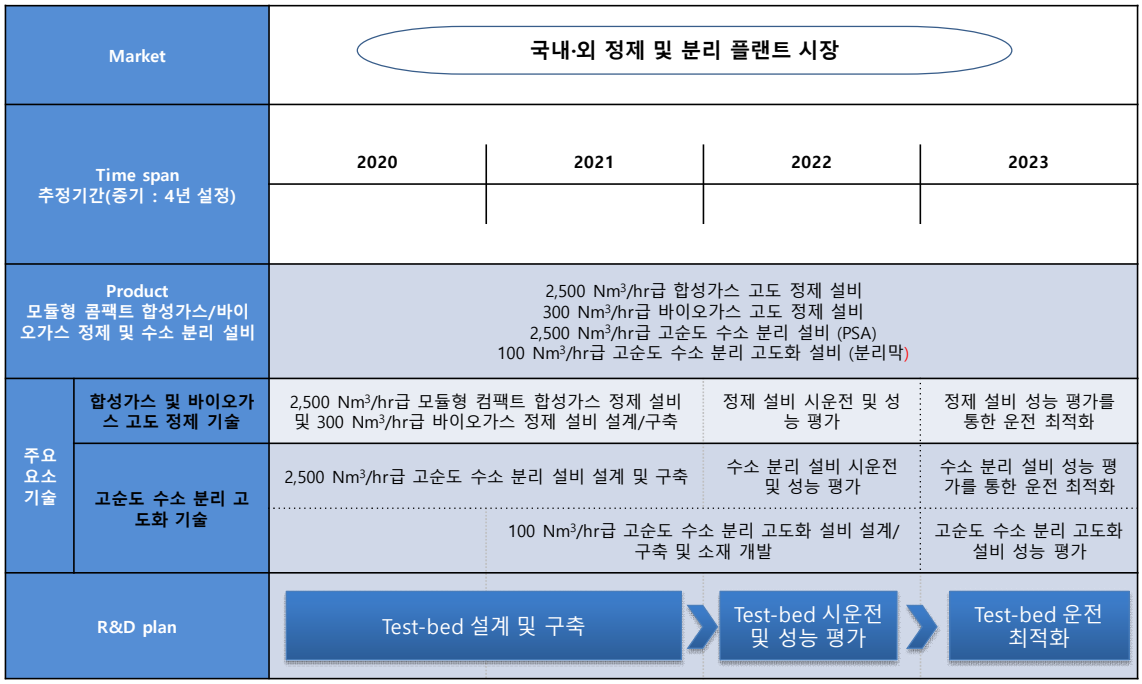
[그림 6-3-10] 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵
(잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술)

□ 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술



[그림 6-3-11] 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵
(합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술)

□ 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술



[그림 6-3-12] 핵심기술 확보를 위한 기술 로드맵
(합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술)

4. 성과목표의 선정근거

□ 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

<표 6-3-2> 성과목표의 선정 근거 (합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술)

	세부기술	성과지표	지표선정근거	목표치	목표치 산출근거	달성도 측정방법
1. 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	1.1 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	냉가스효율	세계최고수준 달성 (수소 생산량 최대 목표)	> 63%	> 60% (캐나다/Enerkerm)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		$CO+H_2$ 조성	세계최고수준 달성 (수소 생산량 최대 기준)	> 55%	> 55% (스위스/Thermoselect)	공인기관평가/자체평가 (운전결과 확인)
		연속운전	상업화 목표	> 14일	설비의 연속운전 신뢰성	자체평가 및 현장 확인
		처리 용량	상업화 목표	> 50톤/일	중소형 상업용 플랜트 규모	자체평가 및 전문가 평가
		장치 국산화율	국산화 목표	> 90%	설비 국산화 달성	자체평가 및 전문가 평가
	1.2 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	냉가스효율	세계최고수준 달성 (수소 생산량 최대 목표)	> 75%	> 75% (미국/GE)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		탄소전환율	세계최고수준 달성 (수소 생산량 최대 기준)	> 99%	> 99% (미국/GE)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		슬러리 농도	세계최고수준 달성 (수소 생산량 최대 목표)	> 65%	> 65% (미국/GE)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		연속운전	상업화 목표	> 14일	설비의 연속운전 신뢰성	자체평가 및 전문가 평가
		처리 용량	상업화 목표	> 50톤/일	중소형 상업용 플랜트 규모	자체평가 및 전문가 평가
	1.1 원료 균질화를 위한 전처리 기술	처리 용량	상업화 목표	> 100톤/일	중소형 상업용 플랜트 규모	자체평가 및 현장 확인
		발열량	상업화 목표	> 4,000	> 4,000 kcal/kg (네덜란드/ECN)	공인성적서
		연료 수율(건량 기준)	상업화 목표	> 65%	68% (네덜란드/ECN)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		연속운전	상업화 목표	> 14일	설비의 연속운전 신뢰성	자체평가 및 현장 확인
		장치 국산화율	국산화 목표	> 90%	설비 국산화 달성	자체평가 및 현장 확인

□ 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술

<표 6-3-3> 성과목표의 선정 근거 (고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술)

	세부기술	성과지표	지표선정근거	목표치	목표치 산출근거	달성도 측정방법
2. 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술	2.1 바이오매스 (유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	용존유기물 함량 증대	세계최고수준 달성	> 30%	28% 미국/Uni.of Conn.)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		연속운전	상업화 목표	> 50일	설비의 연속운전 신뢰성	자체평가 및 현장 확인
		바이오메탄 생산량	세계최고수준 달성	> 50 m3 CH_4/m^3/day	55 m3 CH_4/m^3/day 미국/Uni.of Conn.)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		메탄순도	세계최고수준 달성	> 95.0%	95.0% (덴마크/Renew Energy A/S)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		체류시간	상업화 목표	<30일	설비의 연속운전 신뢰성	자체평가 및 현장 확인
		연속운전	상업화 목표	> 300일	설비의 연속운전 신뢰성	자체평가 및 전문가 평가
		처리 용량	상업화 목표	> 50 톤/일	중소형 상업용 플랜트 규모	자체평가 및 전문가 평가
	2.2 바이오매스 (유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술	수소 발생량	세계최고수준 달성	> 2.2 mol H_2/mol Hexose	2.2 (일본, National Institute for Environmental Studies)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		수소생산 균주 발굴	-	> 5종	-	자체평가 및 전문가 평가
		수소순도	세계최고수준 달성	> 99.99%	99.99% (일본, National Institute for Environmental Studies)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		바이오수소 생산량	세계최고수준 달성	> 20 m^3 H_2/m^3/day	17 H_2/m^3/day (중국/Harbin Institute of Technology)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		체류시간	상업화 목표	<30일	설비의 연속운전 신뢰성	자체평가 및 현장확인
		연속운전	상업화 목표	> 300일	설비의 연속운전 신뢰성	자체평가 및 전문가 평가
		처리용량	상업화 목표	> 50톤/일	중소형 상업용 플랜트 규모	자체평가 및 전문가 평가
	2.3 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술	수소전환율	세계최고수준 달성 (수소 생산량 최대)	> 95.0%	-	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		승온에너지	세계최고수준 달성 (에너지 사용 최소)	< 400℃	-	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

<표 6-3-4> 성과목표의 선정 근거 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술)

	세부기술	성과지표	지표선정근거	목표치	목표치 산출근거	달성도 측정방법
3. 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	3.1. 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발	잉여전기 연계 수소 생산 기술 확보	신재생에너지 직접 연계의 어려움을 가변전력을 이용하여 해결하고 이를 통한 수소 생산 기술을 확보하여 P2G 실증 플랜트 구축이 필요	수전해 시스템 1MW	독일 최조 P2G를 이용한 하이브리드 시범발전소인 ENERTRAG-Hybridkraftwerk 용량 기준	연계 테스트 및 수소생산 용량 측정 (공인기관 입회)
	3.2 P2G 플랜트 산소 활용 기술 개발	P2G 플랜트에서의 산소 활용 기술 확보	P2G 플랜트의 부산물인 산소를 활용하는 방법을 개발하여 P2G 플랜트의 운영 가치를 높이는 기술 확보	100 Nm^3/h 산소 생산 및 활용	1MW급 수전해 설비에서 발생가능한 이론적인 산소량의 100% 활용	연계 테스트 및 산소 활용량 측정 (외부 전문가 입회)
	3.3 **P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술 개발**	P2G 기본설계 및 최적화 기술 확보	P2G는 연계 기술이 중요하기 때문에 최적화 기술이 포함된 기본 설계 기술이 필요	수소저장: 1000 Nm^3/day, 수전해 효율 70%	안정적 P2G 공정운전 및 재생전력의 가변성 보완, 수전해 선진사 수전해 효율(60%~70%)에 준함	수소저장량 측정 수소 생산량 (Nm^3/h)/전력 측정 (외부 전문가 입회)
	3.4. P2G 실증 플랜트 건설 및 운영기술 개발	안정적인 운전 기술 확보	가변적인 전력에 따른 안정적인 플랜트 운전이 중요하며 기술의 우수성을 입증할 수 있는 근거	연속운전 10일 이상	해외 pilot plant 운전 사례	연속운전 안정화 시간 측정 (외부 전문가 입회)
	3.5. 수소 안전/제도	P2G 설계 및 건설 단계에서의 안전성 평가 기준	P2G 플랜트 설계 및 건설과정의 안전성 확보를 위해 시설/제품의 안전기준 필요	국가 기준안	P2G 플랜트 설계 및 건설과정의 안전 확보를 위한 국가 기준 마련	기준안 마련 여부 (외부 전문가 평가)

□ 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

<표 6-3-5> 성과목표의 선정 근거 (합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술)

	세부기술	성과지표	지표선정근거	목표치	목표치 산출근거	달성도 측정방법
4. 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	4.1. 천연가스의 CO_2-added 개질 기술	CH_4 전환율	상업화 목표 (세계 최고 수준)	> 99%	> 99% (일본/오사카가스)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		운전시간	상업화 목표	> 100h	설비의 연속운전 신뢰성	자체 평가 및 현장 확인
		개질효율	상업화 목표	> 80%	81% (일본/오사카가스)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
	4.2. 합성가스/ 개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	일산화탄소 전환율	상업화 목표	> 99.5%	99.999% (일본/오사카가스)	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가
		수소생산량	상업화 목표	> 1,400 Nm^3/h	300 Nm^3/h (일본/오사카가스)	자체 평가 및 현장 확인 (외부 전문가 입회)
	4.3. 암모니아의 개질을 통한 수소 생산기술 개발	NH_3 전환율	상업화 목표 (세계 최고 수준)	> 99%	-	공인성적서를 바탕으로 한 자체평가
		수소생산량	상업화 목표	> 300 Nm^3/h	도시가스 활용 소규모 on-site 수소 보급용(상업용) 규모	자체 평가 및 현장확인 (외부 전문가 입회)
		운전시간	상업화 목표	> 100h	-	자체평가 및 현장확인 (외부 전문가 입회)
		개질효율	상업화 목표	> 80%	-	공인성적서를 바탕으로 한 자체평가
		수소농도	상업화 목표	> 99.99%	-	공인성적서를 바탕으로 한 자체 평가 및 현장 확인

□ 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

<표 6-3-6> 성과목표의 선정 근거 (합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술)

	세부기술	성과지표	지표선정근거	목표치	목표치 산출근거	달성도 측정방법
5. 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술	5.1 합성가스 및 바이오가스 고도 정제기술	**<합성가스>**				
		분진	수소 생산 요구사항 (상용 활용 가능 수준)	< 0.1 mg/m^3	상용 규모 활용기준	공인성적서
		H_2S	수소 생산 요구사항 (상용 활용 가능 수준)	< 0.1 ppm	상용 규모 활용기준	공인성적서
		HCl	수소 생산 요구사항 (상용 활용 가능 수준)	< 0.1 ppm	상용 규모 활용기준	공인성적서
		처리 용량	상업화 목표	> 2,500 Nm^3/h	중소형 상업용 플랜트 규모	자체 평가 및 현장 확인 (외부 전문가 입회)
		<바이오가스>				
		분진	수소 생산 요구사항 (상용 활용 가능 수준)	< 0.1 mg/m^3	상용 규모 활용기준	공인성적서
		H_2S	수소 생산 요구사항 (상용 활용 가능 수준)	< 0.1 ppm	상용 규모 활용기준	공인성적서
		실록산	수소 생산 요구사항 (상용 활용 가능 수준)	< 0.1 ppm	상용 규모 활용기준	공인성적서
		처리용량	상업화 목표	> 300 Nm^3/h	상용 규모 활용기준	자체 평가 및 현장 확인 (외부 전문가 입회)
	5.2 고순도 수소 분리 고도화 기술	**<PSA>**				
		수소 순도	수소 연료전지 요구사항 (상용 활용 가능 수준)	> 99.99%	상용 규모 활용기준	공인성적서
		처리 용량	상업화 목표	> 2,500 Nm^3/h	상용 규모 활용기준	자체 평가 및 현장 확인 (외부 전문가 입회)
		<분리막>				
		수소 순도	수소 활용처 요구사항 (상용 활용 가능 수준)	> 99.999%	상용 규모 활용기준	공인성적서
		처리용량	상업화 목표	> 100 Nm^3/h	상용 규모 활용기준	자체 평가 및 현장 확인 (외부 전문가 입회)

□ 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심 기술

<표 6-3-7> 성과목표의 선정 근거 (합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심 기술)

	세부기술	성과지표	지표선정근거	목표치	목표치 산출근거	달성도 측정방법
6. 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심 기술	6.1 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술 개발	모듈화 설계 기술 자립도	상용 플랜트 활용 목표	100%	상용 규모 활용기준	전문가 평가, 수요기업 평가 (상용 활용 가능 수준)
		EPC-O&M 연계 데이터 활용 자동화율	상용 플랜트 활용 목표	> 50%	상용 규모 활용기준	전문가 평가, 수요기업 평가 (상용 활용 가능 수준)
		센서 기반 가상플랜트 정확도	상용 플랜트 활용 목표	> 85%	상용 규모 활용기준	전문가 평가, 수요기업 평가 (상용 활용 가능 수준)
	6.2 ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술 개발	대용량 data 실시간 진단 및 예측	상용 플랜트 활용 목표	100%	상용 규모 활용기준	전문가 평가, 수요기업 평가 (상용 활용 가능 수준)
		신뢰성기반 안전성평가 프로그램 가용도	상용 플랜트 활용 목표	> 50%	상용 규모 활용기준	전문가 평가, 수요기업 평가 (상용 활용 가능 수준)
		누출시나리오별 피해영향 평가예측 데이터 베이스 구축률	상용 플랜트 활용 목표	> 70%	상용 규모 활용기준	전문가 평가, 수요기업 평가 (상용 활용 가능 수준)

제4절 성과 활용 및 사업화 전략

□ 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

○ 테스트베드 운영 최적화 및 연속운전 실적을 기반으로 안정성에 대한 신뢰성 확보

- 원료 수급이 용이한 test-bed 부지를 선정하여 안정적인 운전 실적 확보

  * 노후 소각로 retrofit으로 원료수급과 test-bed 부지 확보가 가능하며, 포화상태에 다다른 매립지 또한 원료수급과 test-bed 부지 제공에 적절한 가능성 보유

  * 현대오일뱅크는 120만톤/년의 펫코크를 생산 중으로 고부가가치화를 위한 방안을 탐색 중 → 원료 수급 및 펫코크 가스화 test-bed 설치에 대한 높은 가능성 보유

○ 폐기물/바이오매스(가연성) 폐기물/바이오매스(가연성) 활용에 특화된 국내 고유 핵심 고리 기술 확보로 국내 활용 촉진 및 이를 지식재산권화하여 해외 수출경쟁력 강화

○ 국내 생산 펫코크 활용 및 해외 펫코크 생산국과의 기술/문화 교류를 통한 국내외 시장 진출 기반 확보

○ 모듈화/ICT화/원격 모니터링 연계 기술 확보로 해외 현지 유지보수 최소화를 통한 플랜트 엔지니어링 O&M 부가가치 극대화

○ 국내 고유 버너 기술 및 슬러리 제조 기술 등의 특허를 활용하여 개발 기술 보호 및 해외시장 진입

○ 상기와 같은 개발 기술의 활용 촉진 등의 성과 활용 및 사업화 전략을 상세하게 수립하여 아래 표에 정리

<표 6-3-8> 성과활용 및 사업화 전략 (합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술)

기술명	성과 활용 및 국내 특허 적용 방안	사업화 전략
합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	- 테스트베드 운영 최적화 및 연속운전 실적을 기반으로 하여 안정성에 대한 신뢰성 확보 - 폐기물/바이오매스(가연성) 활용에 특화된 국내 고유 핵심 고리 기술 확보로 국내 활용 촉진 및 이를 지식재산권화하여 해외 수출경쟁력 강화 - 국내 생산 펫코크 활용 및 해외 펫코크 생산국과의 기술/문화 교류를 통한 국내외 시장 진출 기반 확보 - 상용급 테스트베드 건설/운영 분야 기술 검증을 통한 대외 신뢰도 향상 - 국내/해외에서 생산되는 펫코크 특성(황 함유량)을 고려한 탈황 대책 수립 및 테스트베드 기술 검증 - 모듈화/ICT화/원격 모니터링 연계 기술 확보로 해외 현지 유지보수 최소화를 통한 플랜트 엔지니어링 O&M 부가가치 극대화 - 국가별 폐기물/바이오매스/펫코크 잠재량 및 전력 수급 현황 등을 파악하여 국가별 비즈니스 모델을 개발 및 실제 상업화 프로젝트에 적용 추진 - 핵심기술인 가스화 반응기를 제작하는 중소기업과 컨소시움을 구성하여, 중소기업의 주도적인 참여와 자체 개발을 통한 국산 장비 개발 역량을 축적 - 국내 고유 버너 기술 및 슬러리 제조 기술 등의 특허를 활용하여 개발 기술 보호 및 해외시장 진입	- **시장진입 단계** : 개발 기술 최적화 및 중소형 가스화플랜트 적용 • 테스트베드 지속 운영을 통한 폐기물/바이오매스 합성가스 생산 및 활용 관련하여 개발된 기술 검증, 최적화 및 신뢰성 확보 • 50톤/일급 모듈 기반으로 국내 및 해외 폐기물/바이오매스(가연성) 시장 1단계 진입 (중소형 Track record 확보) • 국내 펫코크 생산업체와 협의하여 실증 플랜트 적용을 통한 track-record 확보 및 해외(중동 등) 시장 1단계 진입 • 기술 선진사가 선점하고 있는 대형 플랜트 보다 수요 발생이 많고 진입이 용이한 중소형 플랜트에 우선 진출 - **시장확장 단계** : 대형 가스화플랜트 적용 • 50톤/일급 중소형 플랜트를 통해 실증된 비즈니스 모델과 EPC 기술을 바탕으로 100 ~ 300톤/일급 대형 플랜트로 scale-up하여 2단계 시장 진입 추진(대형 Track record 확보) - **시장성장 단계** : 세계 Major사들과 경쟁 - **시장선도전략** : 표준화, 모듈화, ICT화 • 표준화에 의한 CAPEX 감소로 가격 경쟁력 확보 • 모듈화로 유지, 보수 및 교체 관점에서 기술 경쟁력 확보 • 원격 진단 및 관리 가능한 ICT 기능으로 고객 신뢰도 확보

□ 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술

○ 테스트베드 운영 최적화 및 연속운전 실적을 기반으로 하여 안정성에 대한 신뢰성 확보 및 이를 통한 국내 시장 적용 촉진

- 원료수급 계획 및 test-bed 부지 선정 : 전주시에서 수소생산 플랜트 기술개발을 위하여 음식물자원화 시설(300톤/일)의 이용 및 test-bed 부지제공이 가능하다는 참여의향서를 이미 제출

○ 각종 바이오매스(유기성) 특성에 대한 데이터베이스 구축 및 이에 특화된 균주를 해외 바이오매스(유기성)에도 적용할 수 있는 개량기술 개발 및 특허 등록을 통하여 해외시장 진입 기반 확보

○ 모듈화/ICT화/원격 모니터링 연계 기술 확보로 해외 현지 유지보수 최소화를 통한 플랜트 엔지니어링 O&M 부가가치 극대화

○ 상기와 같은 개발 기술의 활용 촉진 등의 성과 활용 및 사업화 전략을 상세하게 수립하여 아래 표에 정리

<표 6-3-9> 성과활용 및 사업화 전략 (고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술)

기술명	성과 활용 및 국내 특허 적용 방안	사업화 전략
고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술	- 테스트베드 운영 최적화 및 연속운전 실적을 기반으로 하여 안정성에 대한 신뢰성 확보 - 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄/수소 생산 바이오가스 시스템 상품화를 통한 시장 확대 - 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄/수소 생산 바이오가스 시스템 단위 공정별 모듈화를 통해 신설되는 바이오매스(유기성) 처리 공정 뿐만 아니라 국내 기존 바이오매스(유기성) 처리 공정에도 선택적으로 적용 가능한 제어전략을 개발, 상품화 - 각종 바이오매스(유기성) 특성에 대한 데이터베이스 구축 및 이에 특화된 균주를 해외 바이오매스(유기성)에도 적용할 수 있는 개량기술 개발 및 특허 등록을 통하여 해외시장 진입 기반 확보 - 상용급 테스트베드 건설/운영 분야 기술 검증을 통한 대외 신뢰도 향상 - 모듈화/ICT화/원격 모니터링 연계 기술 확보로 해외 현지 유지보수 최소화를 통한 플랜트 엔지니어링 O&M 부가가치 극대화 - 바이오매스(유기성) 바이오메탄/수소 생산 바이오가스 시스템은 바이오매스(유기성) 처리 분야 벤처, 연구소, 중소기업을 통해 기술 이전 후 바이오매스(유기성) 처리 공정의 시공에서 관리까지 통합관리 및 운영	- **시장진입 단계** : 개발 기술 최적화 및 중소형 가스화플랜트 적용 • 테스트베드 지속 운영을 통한 바이오매스(유기성) 활용 바이오메탄/수소 생산 및 활용 관련하여 개발된 기술 검증, 최적화 및 신뢰성 확보 • 50톤/일급 바이오가스 플랜트 기반으로 국내 및 해외 바이오매스(유기성) 시장 1단계 진입 (중소형 Track record 확보) • 국내/외 바이오수소 선진 연구팀과의 협의를 통한 실증 플랜트로의 scale-up을 통한 track-record 확보 및 해외(중동 등) 시장 1단계 진입 • 기술 선진사가 선점하고 있는 대형 플랜트 보다 수요 발생이 많고 진입이 용이한 중소형 플랜트에 우선 진출 - **시장확장 단계** : 대형 바이오메탄/수소 바이오가스 플랜트 • 50톤/일급 중소형 플랜트를 통해 실증된 비즈니스 모델과 EPC 기술을 바탕으로 100 ~ 300톤/일급 대형 플랜트로 scale-up하여 2단계 시장 진입 추진(대형 Track record 확보) - **시장성장 단계** : 세계 Major사들과 경쟁 - **시장선도전략** : 표준화, 모듈화, ICT화 • 표준화에 의한 CAPEX 감소로 가격 경쟁력 확보 • 모듈화로 유지, 보수 및 교체 관점에서 기술 경쟁력 확보 • 원격 진단 및 관리 가능한 ICT 기능으로 고객 신뢰도 확보

□ 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 고체전해질막 핵심기술 확보 및 이에 대한 특허기술을 국내 수전해 모듈 개발업체에 이전

○ 가스화 시스템과 산소 활용 장치의 안전/안정 연계에 대한 기술 개발 및 지적재산권 확보로 해외에서 수전해 기술만을 보유한 업체들에 비하여 통합 공정의 에너지 사용 효율화에 의한 기술 우위성 확보로 시장 경쟁력 강화

○ 국내 재생에너지 발전 지역 수소 인프라를 활용하여 잉여전기의 간할성을 이용한 국내 시장 진입 촉진

○ 가스화 플랜트와 연계하여 test-bed 운전 및 이를 통한 산소 활용 기술의 안정성 확보

- Test-bed 부지 대상 가능 지역 : 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화 분야와 펫코크 가스화 분야의 test-bed에 연계하여 운전

○ 상기와 같은 개발 기술의 활용 촉진 등의 성과 활용 및 사업화 전략을 상세하게 수립하여 아래 표에 정리

<표 6-3-10> 성과활용 및 사업화 전략 (잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술)

기술명	성과 활용 및 국내 특허 적용 방안	사업화 전략
잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	- 가변전원(임의의 변동성을 전원 공급장치에 주게 하는 DC 입력 장치)을 이용한 P2G 실증 플랜트를 통해 국내 PEM 수전해 모듈 신뢰성 확보 및 사업화 - 고체전해질막 핵심기술 확보 및 이에 대한 특허기술을 국내 수전해 모듈 개발업체에 이전 - 국내 재생에너지 발전 지역 수소 인프라를 활용하여 잉여전기의 간할성을 이용한 국내시장 진입 촉진 - 가스화 시스템과 산소 활용 장치의 안전/안정 연계에 대한 기술 개발 및 지적재산권 확보로 해외에서 수전해 기술만을 보유한 업체들에 비하여 통합 공정의 에너지 사용 효율화에 의한 기술 우위성 확보로 시장 경쟁력 강화	- **시장진입 단계** : 테스트베드 운전을 통한 기술 신뢰성 확보 • 테스트베드 운영을 통한 국내 기술력 검증 • 국내 풍력 단지 소형 P2G 플랜트 건설 및 운영으로 track record 확보 - **시장확장 단계** : 해외 플랜트 시장 진입 • 국내에서 확보된 track recor를 기반으로 재생에너지 수요 증가 국가 중 중소형 대상 지역 시장 진입 • IoT/빅데이터 기술을 이용한 스마트 운영기술로 가격 경쟁력 확보 - **시장성장 단계** : 대형 P2G 플랜트 시장 진입 • P2G 수요 증가 추세에 맞춰 대형 플랜트 시장 진입 • Smart 운영기술과 높은 가격 경쟁력을 바탕으로 주요 Major 사와의 경쟁력 확보

□ 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

○ 중소형 개질시스템 설비의 운영 최적화 및 안정적인 운전 결과를 바탕으로 신뢰성 확보, 이를 기반으로 개질시스템 독자적으로 국내/해외 시장 진출

○ 가스화 플랜트와 연계한 test-bed 운전을 통하여 가스화 플랜트의 일부로 시장 진출 모색

- Test-bed 부지 대상 가능 지역 : 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화 분야, 펫코크 가스화 분야의 test-bed에 연계하여 운전

○ 각 요소기술에 대한 특허 확보를 통해 라이선스 보유로 개발된 기술 보호 및 해외시장 진출에서 경쟁력 확보

○ 국내외 중소형의 수소 생산 프로젝트에 참여 하여 국내에 수소 보급 및 해외시장 진출을 위한 track record로 활용

○ 특히 모듈화 설계를 적용한 기술에 대한 특허 확보 및 설계에 적용을 통하여 해외시장에서 국내 고유 모델의 우수성 확보와 시장 경쟁력 강화

○ 상기와 같은 개발 기술의 활용 촉진 등의 성과 활용 및 사업화 전략을 상세하게 수립하여 아래 표에 정리

<표 6-3-11> 성과활용 및 사업화 전략 (합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술)

기술명	성과 활용 및 국내 특허 적용 방안	사업화 전략
합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	- 중소형 개질시스템 설비의 운영 최적화 및 안정적인 운전 결과를 바탕으로 신뢰성 확보 - 각 요소기술에 대한 특허 확보를 통해 라이선스 보유로 개발된 기술 보호 및 해외시장 진출에서 경쟁력 확보 - 국내외 중소형의 수소 생산 프로젝트에 참여 하여 국내에 수소 보급 및 해외시장 진출을 위한 track record로 활용 - 특히 모듈화 설계를 적용한 기술에 대한 특허 확보 및 설계에 적용을 통하여 해외시장에서 국내 고유 모델의 우수성 확보와 시장 경쟁력 강화	- 시장진입 단계: 개질시스템의 장기 운전을 통한 신뢰성 확보 * 1,400 Nm^3/h 수소 생산설비의 운영을 통한 기술력 검증 * 수소충전소와 연계한 기술력 확보 - 시장진입 단계: 국내 플랜트 시장 진입 * 국내 중소형 수소충전소 시장에 진입 - 시장 성장 단계: 세계 major사들과 경쟁 - 시장 선도 전략: 표준화, 모듈화 등 * 표준화에 의한 가격경쟁력 확보 * 모듈화로 유지, 보수 및 교체 관점에서 기술 경쟁력 확보

□ 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

○ Test-bed 운전 최적화 및 운전 실적을 기반으로 국내 고유 기반의 정제 및 분리 설비에 대한 기술 검증 및 신뢰성 확보

○ 정제 및 분리 시스템 독자적으로 시장 진출 모색 및 가스화 플랜트 및 바이오가스 플랜트와 연계한 test-bed 운전을 통하여 통합 플랜트의 일부로 시장 진출 모색

- Test-bed 부지 대상 가능 지역 : 폐기물/바이오매스(가연성) 가스화 분야, 펫코크 가스화 분야 및 바이오가스 분야의 test-bed에 연계하여 운전

○ 모듈화 및 컴팩트화 기술 확보 및 이를 지적재산권화하여 해외 시장 진입 위한 경쟁력 향상

○ ICT/IoT 기술 탑재로 국내에서 안전에 대한 우려를 불식시켜 국내에 개발 기술의 활용을 촉진하고 이를 track record로 활용하여 1차로 해외시장 진출 기반을 확보하고 이후 해외시장에서도 안전성에서 최고로 인정받는 기술로서 시장경쟁력 강화

○ 상기와 같은 개발 기술의 활용 촉진 등의 성과 활용 및 사업화 전략을 상세하게 수립하여 아래 표에 정리

<표 6-3-12> 성과활용 및 사업화 전략 (합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술)

기술명	성과 활용 및 국내 특허 적용 방안	사업화 전략
합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술	- Test-bed 운전 최적화 및 운전 실적을 기반으로 국내 고유 기반의 정제 및 분리 설비에 대한 기술 검증 및 신뢰성 확보 - 모듈화 및 컴팩트화 기술 확보 및 이를 지적재산권화하여 해외 시장 진입 위한 경쟁력 향상 - ICT/IoT 기술 탑재로 국내에서 안전에 대한 우려를 불식시켜 국내에 개발 기술의 활용을 촉진하고 이를 track record로 활용하여 1차로 해외시장 진출 기반을 확보하고 이후 해외시장에서도 안전성에서 최고로 인정받는 기술로서 시장경쟁력 강화 - 기술 선진사 대비 동등 또는 우월 수준의 고유 기술 확보를 통한 경쟁력 강화 - 중소규모 합성가스 정제 및 고순도 수소 분리 시장에 특화된 기술 확보를 통한 시장 진출 - 기술개발 단계에서 국내 중소 엔지니어링사 및 제작사의 참여 및 국산화 기반 개발을 통한 역량 축적	- **시장진입 단계** : 개발 기술 최적화 및 국내 중소형 플랜트에 적용 • 개발 기술을 국내 중소규모 바이오가스 플랜트, 가스화 플랜트에 적용하여 국내 중소규모 시장 진입 및 실적 축적 - **시장확장 단계** : 국외 중소형 플랜트에 적용 및 시장 진출 • 국내 축적된 실적을 기반으로 인도, 베트남 등 국외 중소규모 시장 시장 진출 및 사업 확대 - **시장성장 단계** : 국내외 실적 기반 대형 플랜트 시장 진입 • 국내외 중소규모 플랜트 적용 기술을 기반으로 대형 플랜트에 scale-up 적용 및 시장 진입 - **시장선도 전략** : 모듈화, 컴팩트화, 고효율화, 저가화

제5절 파급효과

1. 과학기술적 파급효과

1.1 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

□ 합성가스 모듈화 플랜트 국산화 기술을 통한 연관 산업기술로 적용 확대

- ○ 기존 국내 타 부처(산업부, 환경부 등)에서 지원한 R&D 결과물을 결집하여 상업용 플랜트 기술 개발 및 단기적 국내 활용
- ○ 폐기물 소각시설을 대체할 수 있는 국내외 합성가스 플랜트 시장에 국내업계의 단기간 진출을 위한 기술 제공

□ 급팽창하는 고부가가치 합성가스 플랜트 해외시장에 국내업계 진출을 위한 교두보 제공

- ○ 고품질 합성가스 생산시스템의 핵심 단위 설비 설계/제작 기술 확보로 국내 전문 업체 기술 경쟁력 향상
- ○ 국외 선진사의 원천설계기술 국산화를 통한 핵심 단위 설비/공정 국산화로 가스화 플랜트 핵심 기자재 자체 제작 가능
- ○ 상용 규모 연계운전 기술 확보, 연속 운전기술 확보 및 이를 통한 시스템의 신뢰성 확보, 운전제어기술 및 모니터링 기술 확보

□ 저급자원인, 폐기물/바이오매스(가연성)/석탄/펫코크 활용의 다변화 및 고부가가치화

- ○ 기존 소각대비 고효율 발전이 가능하여 에너지 회수율을 높이고 온실가스를 감축할 수 있는 해외수출용 분산전원형 열병합 발전 플랜트에 활용
- ○ 합성가스에서 고순도 CO, H_2를 분리 정제 생산하여 기존 화석연료에서 생산되는 화학원료를 대체하여 폐기물/바이오매스의 고부가가치로 재활용
- ○ 합성가스의 산업용 대체 연료로 활용하고, 합성가스를 중장기적으로 석유화학 유래 제품 생산 기술로 확대
- ○ 폐기물/바이오매스 유래 합성가스 이용기술에 부합되는 정제기술 확보
- ○ 저부가가치 기술(단순 연소)로 활용되고 있는 펫코크의 고부가가치 활용이 가능한 기술 제공 및 고탄소/고유황 특성 펫코크의 환경친화적 처리 기술 확보하여 미래 CCUS 시장 진입 대비
- ○ 해외 석탄 보유국들과의 협조체계를 구축하여 현지에서 석탄가스화 기술 또는 장기적으로는 지중석탄가스화 기술에 의하여 고부가가치 수소 생산 및 액상수소로 변환하여 수송하여 국내에 청정에너지인 수소 공급 가능

□ CCS(Carbon Capture & Storage) 관련 기반 기술 확보

○ 화석연료 활용 기술 중에서 CO_2를 가장 경제적으로 포집할 수 있는 기술이므로 장기적으로는 CO_2 분리 및 회수 공정 기술을 추가하여 기후변화협약, RPS 추진, 유가 상승 등에 대비 가능

1.2 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술

□ 중소형 고농도 바이오매스(유기성) 바이오가스화를 통한 메탄/수소 생산 시스템 개발

○ 중소기업에 기술이전을 통하여 중소형 하수슬러지, 음식물 및 음폐수 바이오가스 플랜트 EPC 및 운영기술의 know-how 교육으로 중소기업 상생경영체제 구축

○ 국내에서 생산 및 이용 가능한 저 비용의 바이오매스 유래 바이오수소 생산을 위한 시스템 확립을 통해 또 다른 형태의 유용 가능한 바이오매스의 적용 능력 확보

○ 바이오에너지 생산의 유력한 방안을 제시하는 시스템 확보를 통해 관련 BT/ET 융합기술의 개발 및 산업화 기여

○ 기존 고농도 바이오매스(유기성) 처리사업장의 개·보수를 통해 메탄/수소 생산 혐기성 소화 플랜트 설비 구축 가능

□ 화석연료를 대체하고 온실가스 발생을 줄여 기후변화에 대응하는 유력한 수단

○ '15.6 UN에 제출한 기여방안(INDC)에 따라 '30년까지 배출전망치(BAU) 대비 37% 감축목표를 국제사회에 공표

□ 분뇨처리장 등 기피시설을 에너지생산시설로 전환하여 환경문제 해결 및 주민소득 창출에 기여

○ 홍천 시범사업('15.12월 완공): 가축분뇨에서 바이오가스를 생산하여 도시가스로 판매, 하수처리장 소수력발전, 태양광 발전 등으로 연간 순수익 2.3억원

○ 2단계 5개소(청주·아산·영천·경주·양산): '16.6월 착공, '17.12월 완공예정, 3단계 3개소(인제·음성·제주): '17.6월 착공, '18년 완공예정

1.3 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 국내에서 뒤쳐진 수전해 기술을 향상시키고 P2G 플랜트에 적용시켜 실증 설비 운전 기술 축적으로 유럽 선진기술과 대등한 기술 확보

○ 현재까지 수소 생산은 천연가스 개질을 통한 수소 생산이 가장 많은 비중을 차지하고 있으나 이산화탄소 발생을 유발하는 공정으로 향후 수소경제에서 수소는 결국 이산화탄소를 배출하지 않는 재생에너지 기반의 수소 생산이 될 가능성이 높아 관련 기술을 확보 가능

○ P2G 공정에서의 수전해 전극개발 및 촉매 개발 및 실증을 통해 연료전지 및 관련 기술 향상 기대

1.4 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

○ 국내 중소형 수소충전소에 설치하여 수소 인프라 확충에 기여
○ 바이오가스나 암모니아를 적용할 경우 CO_2 free 수소를 얻을 수 있어 친환경적인 수소 공급이 가능
○ 연구 개발을 통해 라이선스 확보 및 국내외 시장진입 가능

1.5 합성가스/ 바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

○ 폐기물, 바이오매스 등 저급연료를 청정연료로 활용하기 위한 경제적이면서 효율이 높고모듈화된 국내 고유 정제기술 및 수소 분리기술 확보
○ 공정 단순화 및 설비 콤팩트화 기술 구현을 통한 정제 및 분리 설비의 핵심 요소기술 확보
○ 국내 고유기술로 저비용 고효율 정제기술 개발을 통해 다양한 저급연료의 고부가화 및 청정연료로 용이하게 활용할 수 있는 기술기반 확보

1.6 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술

□ 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술의 파급효과

○ 중소형 합성가스 기반 수소생산 플랜트 핵심설비의 모듈화 기술 국산화로 전체 플랜트 신뢰도 세계 최고 수준 달성
○ 해외 수출 시 국내 발생 부가가치 최대화 가능 및 주요 부분은 블랙박스화로 해외 경쟁업체에서 복제 가능성 원천 배제

□ ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술의 파급효과

○ ICT/IoT/빅데이터 기반의 국내 고유 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 기술 축적 및 기반 확보
○ IT 기술의 합성가스 기반 수소생산 플랜트 적용에 따른 기술신뢰도 향상 및 기술경쟁력 강화
○ IT 기반의 플랜트 운영관리를 통한 플랜트 운전 data 원격 모니터링 및 진단 기술 확보
- 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공정의 실시간 모니터링 및 설비 이상 진단
- 플랜트 운영 상황 실시간 모니터링을 통해 이상 상황 발생 시 심각한 문제로 커지기 전에 이상 징후를 조기에 탐지하여 잠재적인 문제 상황을 사전에 예측/예방

○ 다변량 통계적 관리를 통한 합성가스 플랜트 공정 제어
- 실시간 모니터링 및 설비/기기 고장 조기 감지
- 합성가스 및 수소 생산 운전조건 편차 감소 및 품질 유지
- 합성가스 및 수소 생산에 영향을 미치는 주요인자 발굴 및 품질 관리를 위한 공정 제어
○ 빅데이터 플랫폼 구축에 따른 통합 DB 구축
- 분석 대상 데이터의 통합 관리
- 데이터 수집/저장소 통합에 따른 고급 분석 기반 확보
○ 해상, 극한지, 오지 등 다양한 지역 플랜트 운영/유지보수에 개발 기술 적용 및 운영

2. 경제사회적 파급효과

2.1 합성가스 기반 수소생산 플랜트 총괄 사업의 파급 효과

□ 친환경에너지 플랜트 기술개발과 실용화로 유해가스/미세먼지 저감과 상대적인 사회 수용성 제고 효과

○ 폐기물 소각 대비 수소 및 청정합성가스 형태로 변환 이용을 통해 환경성 제고와 이에 따른 지역의 수용성 제고
- 폐기물 유래 에너지원에 대한 낮은 사회수용성을 기술측면에서 해결할 방안 제시

□ 국내 에너지 다변화 정책에 실현가능한 대안 제시

○ 국내 가용한 바이오매스 자원의 효율적 이용을 위한 기술대안 제시
- 국외 저렴하게 수입이 가능한 바이오매스 자원 활용도 가능
○ 탈원전, 재생가능에너지 확대가 정착되기까지 요구되는 지역의 수소/청정에너지 수요를 흡수할 분산형 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 기술 제시
- 향후 추세인 분산형 중소형 가스플랜트에 대한 국내 기술력 확보로 저렴화, 고효율화, 고이용율 추구가 가능

□ 중소/중견기업이 경쟁력 확보 가능한 전후방 파급효과가 큰 플랜트 산업으로서 효과

○ 기존 가스플랜트 산업은 대기업 위주로 독과점 체계였으나, 분산형 합성가스 기반 수소 생산 플랜트는 중소/중견기업의 핵심분야로 가능
- 1기당 500~1,000억원 건설비 규모 플랜트로서 국내외 시장에 진출이 타겟
○ 전방/후방 연관 산업군이 많은 spin-off 적용 대상시장이 높은 분야에 진출 효과



[그림 6-5-1] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트와 전·후방 산업 연관 관계

□ 개발 기술의 수요처 및 수혜자

○ 합성가스 기반 수소생산 플랜트 기술의 수요처 및 수혜자
- 플랜트 중소 부품업체, 중공업사, 엔지니어링사, 건설사
- 공기질 개선 효과 및 수소차/수소에너지 이용 일반 국민
- 저렴한 고순도 CO 사용 화학산업체
- 저렴한 청정합성가스 사용 열이용 업체
- 수소산업 및 분산발전 사업자

○ 순산소 가스화 플랜트 기술의 수요처 및 수혜자
- 청정연료가스 사용의 결과인 공기질 개선효과로 인한 일반국민
- 합성가스 관련 제작 업체
- 모듈형 반응기 제조 중소기업
- 엔지니어링 & 중공업체

○ 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소생산 플랜트 기술의 수요처 및 수혜자
- 바이오매스(유기성) 유래 수소를 이용하는 일반 국민
- 바이오매스(유기성) 처리 시설 활용이 필요한 지방자치단체
- 관련 플랜트 분야 중소 엔지니어링 및 중공업 업체

○ 잉여전기 활용 수소생산 및 산소활용 플랜트 기술의 수요처 및 수혜자
- 청정연료를 이용하는 일반국민
- 친환경 지자체 시범사업을 운영하는 지자체
- 재생에너지와 P2G를 이용한 안정적인 전력 사용이 가능한 개도국 및 후진국
- 국내 엔지니어링사 및 건설사

○ 개질 및 변환 기술, 정제 및 분리 기술의 수요처 및 수혜자
- 중소규모 플랜트 사업 수주 및 기본설계/시공/ 설치를 수행하는 EPC
- 각 장치별로 사용되는 기자재 기업
- 모듈형 반응기 제조 중소기업

2.2 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

□ 환경친화적 처리를 통한 미세먼지 및 CO_2 발생 저감 효과

○ 미세먼지 2차 합성 원인물질인 NOx, SOx 발생을 최소화하여 기존 연소기술 대비 미세먼지 저감효과 확보

○ CO_2 포집이 가장 용이한 플랜트로서 미래 CO_2 포집이 의무화될 시점에 상당한 탄소 감축 효과 기대

- 국제 사회 CO_2 규제 강화 현실화
- 2015년부터 국내에서 CO_2 배출권 거래제 시작

○ 화학제품에 원료로 공급되는 CO, H_2의 대체 재생원료로서 폐기물/바이오매스 합성가스 공급을 통하여 기존 폐기물 처리기술 대비 환경친화적 기술로서 Near Zero Emission화로 환경부하 저감

□ 상용규모 50톤/일급 용량의 폐기물/바이오매스(가연성)/석탄/펫코크 합성가스 생산 시스템의 국산화 기술개발을 통하여 국내 및 해외시장 조기 진입 가능

○ 자체기술 능력 제고로 50~400톤/일급 단위 패키지 모듈화로 국내외 플랜트 시장 진출(합성가스의 화학원료 플랜트 및 세계 분산전원시장 1% 수준 점유 플랜트 해외 수출 달성 가능)

○ 자체기술 능력 제고로 50톤/일급 단위 패키지 모듈화로 국내외 플랜트 시장 진출(해외 선진기술 업체와의 기술경쟁력 및 가격경쟁력 확보로 선제적 진출)

○ 에너지 다변화에 대응하는 폐기물/바이오매스 유래 합성가스 생산 및 고부가가치화 이용 시스템의 국내 고유 모델 확보로 국내 시장 참여

○ Test-bed와 국내 진입 실적으로 track record 확보 후 해외 시장 진출

○ 국내 시장 점유율 10% 이상 플랜트 매출을 달성함과 동시에 에너지원 다원화 및 에너지안보와 수입대체 효과 확보

□ 국내 화학원료 및 연료시장 다변화 및 가격 안정성 확보

○ 화석연료에서 생산하는 합성가스 전환 화학원료의 대체 및 분산전원형 열병합기술 대체, 합성가스의 산업용연료 대체 가능

○ 세계적 유가 변동에 영향을 받지 않고 안정적으로 저가의 대체 에너지 확보로 국내 산업단지의 가격 경쟁력 확보 및 지속적 유가 상승에 선제적 대응

○ 수소경제 시대를 대비하여 수소연료전지 발전 및 수소연료전지 자동차에 공급할 수 있는 저급자원 기반 수소 자원을 안정적으로 확보

□ 폐기물의 자원화 및 고효율 에너지화 달성

○ 폐기물 처리의 기본방향이 재활용이며, 합성가스 생산을 통한 화학원료로의 재활용할 수 있고 고효율 발전 및 열회수가 가능하여 폐기물의 자원화 및 고효율 에너지화 달성

○ 폐기물 처리시설에 대한 부정적 인식에서 긍정적 인식으로의 전환

2.3 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술

□ 탄소중립적 바이오가스 에너지화를 통한 온실가스 감축 효과

○ 혐기성 소화를 통한 바이오가스 생산 공정은 탄소 중립적 과정으로서 온실가스 미배출

○ 바이오매스(유기성)의 바이오가스 에너지화를 통한 신재생에너지 보급 · 이용 촉진으로 고갈되어가는 화석연료 사용을 줄여 기후변화에 대응

○ 바이오가스를 천연가스 대체 에너지원으로 사용할 경우, 온실가스 배출을 저감시켜 탄소배출권을 확보할 수 있어 국가 경제 발전에 이바지 가능

○ 바이오가스로 병합발전하거나 바이오가스를 바이오메탄/수소로 정제한 후 수송연료 등으로 활용할 경우 NOx, CO 등 대기오염물질 소량 배출로 친환경성 확보

○ 수입대체 효과

- 바이오가스를 매일 950,000 Nm^3 생산하고, 이 중 바이오메탄의 비율은 60%라고 했을 때, 매일 570,000 Nm^3의 바이오메탄을 생산하며 연간 2억8백만 Nm^3의 천연가스를 대체하는 효과
- 천연가스 수입가를 Nm^3당 400원이라고 가정하면, 이는 연간 832억 원에 상당하는 수입 대체 효과

○ 이산화탄소 감축효과

	2015 년	2030 년
감축잠재량 (천톤CO_2)	3,672	10,917

<근거자료>

- 2015년 바이오가스 발생량: 약 408백만 m^3/년
- 2030년 바이오가스 발생량: 약 1,213백만 m^3/년
- 이산화탄소 감소량 산정: 408백만 m^3/년 × 0.6(바이오가스의 메탄순도) × 21 (환산계수, CO_2/CH_4) × 16 kg/kmol ÷ 1,000 톤/kg ÷ 22.4 m^3/kmol = 약 3,672천톤 CO_2 ("저탄소에너지 생산보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지화 실행계획(안)", 2009. 07. 06., 교육과학기술부, 행정안전부, 농림수산식품부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 산림청)

○ 에너지 절감 효과

	2015 년	2030 년
절감효과 (TOE)	191,993	570,802

<근거자료>

- 에너지 절감효과 산정: 원유대체량으로 산정
- 원유대체량 : 408백만 m^3/년 × 0.6(바이오가스 메탄순도) × 8,500 kcal/m^3 ÷ 158.9 L/배럴 ÷ 9,276kcal/L × 0.136 TOE/배럴 = 191,993 TOE/년 ("저탄소에너지 생산보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지화 실행계획(안)", 2009. 07. 06., 교육과학기술부, 행정안전부, 농림수산식품부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 산림청)

□ **바이오매스(유기성)의 에너지화를 통한 신재생에너지 확대 보급**

○ 혐기성소화를 통한 바이오메탄/수소 생산 기술은 음식물 쓰레기를 포함하여 하수슬러지, 축산폐수 등 다양한 형태의 바이오매스(유기성)에 적용될 수 있는 기술적/경제적 효용성이 높으므로, 대상기술의 개발은 국내 신재생 에너지 보급률 크게 향상

□ **바이오매스(유기성)의 처리 기술 관련 시장 경쟁력 강화**

○ 고농도 유기성 폐기물의 혐기성 처리부터 수처리 까지 전 과정을 수용하여 기존 기술 대비 시장 경쟁력 향상

○ 경제적이고 친환경적인 기술의 국내외 시장 보급

□ **바이오메탄/수소 생산을 통한 전기 에너지 대체**

○ 발생된 바이오가스 전량 가스발전시 2,531GWh/년 전기* 생산 가능

- 1kW 당 76.61원('16년 전력거래소 SMP 평균) 기준 매전수익 1,939억원
- 연간 60만 가구가 사용가능한 전력량(4인 가구 기준, 350kWh/월)

2.4 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 국내 에너지변환 정책의 핵심인 3020 정책의 기반 기술로서 재생에너지 기반의 국가사회 실현에 기여

- 3020 정책이 실현될 경우, 재생에너지의 간헐성으로 인하여 잉여전기의 발생은 필연적이며, 이때 이러한 잉여전기를 효율적으로 활용할 수 있는 국내 기반 확보

○ 아직 유럽 일부 지역에서 보급된 P2G 플랜트가 향후 전 세계적으로 확산 될 경우 국내 엔지니어링 업체 및 건설업체의 시장 진입 가능

○ 수전해 설비 및 전극, 촉매 생산 등 요소 기술의 신뢰성 확보를 통해 국내 중소기업의 수출 활성화

2.5 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

○ 현실적으로 가장 쉽게 국내에 보급할 수 있는 기술로서 단기간 내에 국내 연료전지 시장 및 수소연료전지자동차 시장에 에 수소 공급

○ 국내 고유의 천연가스 개질 기술을 이용한 소규모, 중규모 및 대규모 수소 생산을 통하여 청정에너지인 수소 공급

- 특히 유일하게 소규모로 on-site 공급이 가능한 기술로서 수소에너지 보급 확산 정책에 부응

○ 모듈화, 표준화 및 ICT 기술 적용을 통한 해외 시장경쟁력 강화 및 해외 수출 사업화 기반 확보

2.6 합성가스/ 바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

- ○ 국내 고유 정제 및 분리 기술 확보를 통한 시장경쟁력 강화 및 해외 수출 사업화 기반 확보
- ○ 모듈화 설계, 제작을 통한 국내 플랜트 산업의 고부가가치화 및 해외 시장 진출
- ○ 국내 고유 설계 및 제작기술 확보를 통한 관련 플랜트 산업 활성화 및 고용 증대 효과
- ○ 정유/화학공장 등의 해외기술에 의존하는 정제 및 분리 설비의 대체를 통한 수입대체 효과, 건설비 및 운전비 저감효과

2.7 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술

□ 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술의 파급효과

- ○ 표준화된 모듈화 설계를 적용함으로써 전문 운전인력 배치 및 고가의 안전시설 설치가 어려운 중소형 플랜트의 안전성 향상 및 이를 통한 플랜트의 상품 경쟁력 확보
- ○ 건설공기 단축, 건설비용 감소, 품질 확보 가능, 유지보수 편의성 등으로 플랜트의 대외 경쟁력 강화
- ○ 합성가스 또는 수소에 의한 폭발과 유독성 문제로 인하여 운전 단계에서 발생 확률이 높은 인사사고에 대비한 설계를 적용함으로써 대 고객 수용성 및 대 주민 수용성 향상

□ ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술의 파급효과

- ○ 합성가스 플랜트 운영관리 기술 확보 및 신뢰도 향상을 위한 산·학·연 연계가 가능한 기반 구축
- ○ 선진국에 의존하는 감시·진단 운영 시스템 기술 개발로 세계 플랜트 시장에서의 국내 업체 수주 향상에 기여
- ○ 합성가스 기반 수소생산 플랜트 핵심 설비/기기 국산화 및 사업화 소요시간 단축
- ○ 국내 플랜트 기자재에 개발되는 IT 기반 운영관리 기술 적용이 가능하며, 이에 따른 관련 기자재 산업의 활성화
- ○ 빅데이터 운전 자료의 잠재적 가치와 신규 부가가치 발굴 및 플랜트 이용률 향상
- ○ 데이터 분석을 기반으로 한 합성가스 기반 수소생산 플랜트 유지보수 선제적 대응 강화 및 비용 절감
- ○ 핵심 설비 상태 감시를 위한 통합 시스템 개발로 플랜트 진단 및 운영시장 진출 활용
- ○ 연구 개발 결과 활용에 따른 국가적인 차원에서 관련 기술의 조기 고도화 및 관련 플랜트 산업 활성화에 기여

2.8 고용창출 효과

- ○ 본 사업의 진행에 의하여 기술개발을 완료하고 각 세부기술별 개발 목표 및 이에 따른 매출 목표를 달성할 경우 2026년부터 2042년까지 17년간 총 242,275명의 고용창출 효

과가 발생할 것으로 예상

- 매출 총액 : 361,902.6 억원
- 매출 총액의 현가 (2020년 기준) : 174,298.3 억원
- 고용 창출 : 242,275명 (174,298.3 / 10 x 13.9)

<표 6-5-1> 본 사업으로 인한 고용 창출 효과

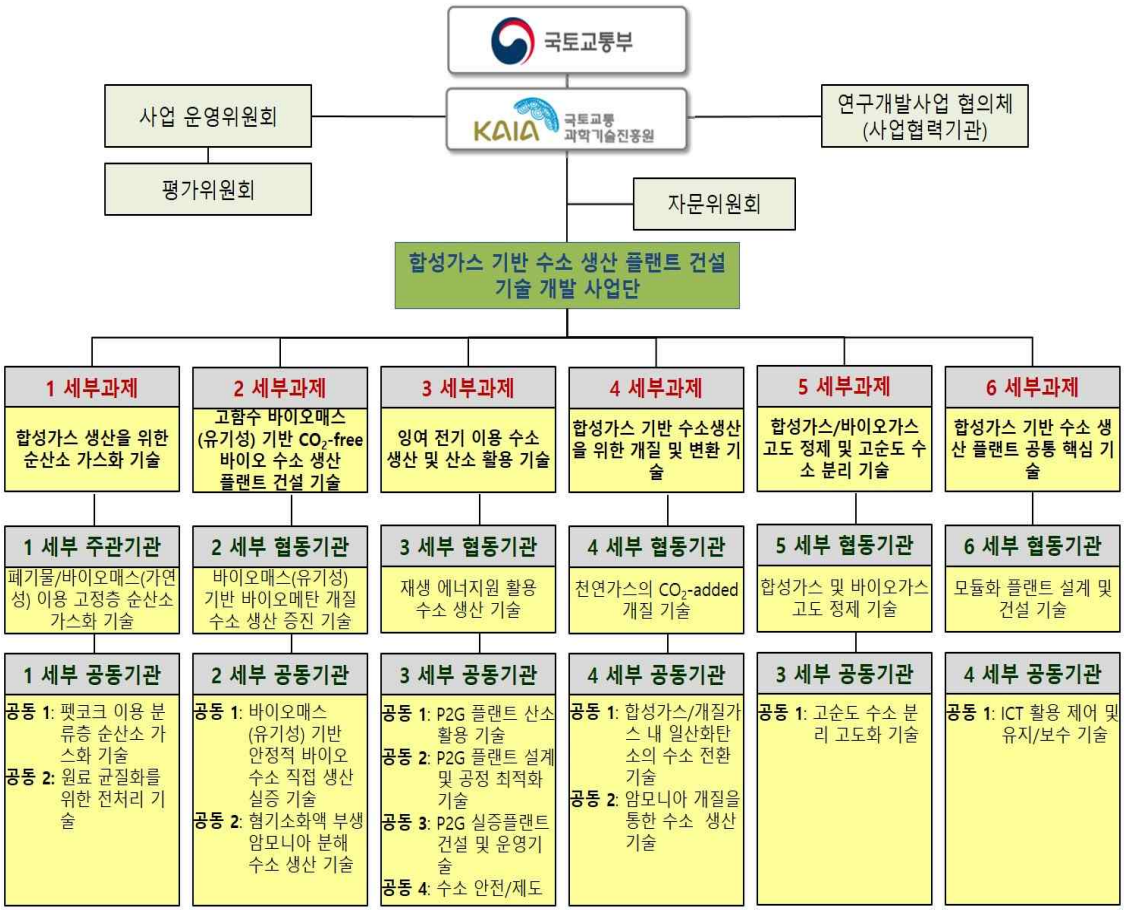
기술 분야	합성가스	바이오가스	잉여전기	개질 및 변환	정제 및 분리	합계
매출 목표 (총액, 억원))	225,467.0	50,440.0	21,409.2	32,189.2	32,397.2	361,902.6
매출 목표 (현가, 억원)	109,435.3	24,082.8	9,358.7	15,804.0	15,617.5	174,298.3
고용창출 (명)	152,115	33,475	13,009	21,968	21,708	242,275

근거) 1) 건설업 취업유발계수 13.9명/년 적용 (출처 : 한국은행, 2014년 산업연관표, 2016년 발행)
2) 2020년 사업 시작, 각 기술별로 기술개발 완료 후 1년의 회임기간 이후 해외수출을 시작하여 15년간 매출 달성
3) 각 기술 분야별로 연도별 매출 목표는 제7장 제4절의 경제성분석 부분 참조

제 7 장 사업운영계획 및 소요예산

제1절 사업추진체계 및 관리방안

1. 사업추진체계



[그림 7-1-1] 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 사업 추진체계

2. 사업관리방안

○ 본 플랜트 기술개발 사업은 세부과제 수행 기관 선정에서부터 추적 평가에 이르기 까지 전주기를 모니터링하고 관리하여야 함.

○ 본 사업기획의 주요 내용은 공청회 등을 거쳐 평가가 이루어진 후 기술성평가 등 예비타당성조사 대상 과제로 선정되어야 함.

○ 예비타당성 조사 후 본 사업의 수행이 결정되면 과제선정 평가에서부터 과제 종료 후 종료 평가 및 추적 평가가 이루어져야 함.

<표 7-1-1> 사업 관리방안

구분		내용	담당
기술개발 전주기 관리		▪ 사업 기획 결과 평가 및 관리 ▪ 세부과제 RFP 공고 ▪ 과제선정을 위한 평가 실시 ▪ 단장의 책임과 권한 하에 기술개발 진도관리 및 연차평가/단계평가 실시 ▪ 사업의 종료평가 및 추적평가 추진 ▪ 연구결과의 홍보 및 사업화	▪ 기획연구 책임자 ▪ 사업단장 ▪ 국토교통부 ▪ 전문평가위원회
사업 기획 단계		▪ 중점 추진 분야 도출 등 기술개발 사업의 주요 내용 도출 ▪ 공청회 등을 거쳐 사업기획 결과 발표 및 의견 반영 ▪ 예비타당성 조사 실시	▪ 기획연구 책임자 ▪ 전문평가위원회 ▪ 운영위원회
과제선정 평가		▪ 기획된 과제별로 최적의 연구팀을 구성할 수 있도록 과제 선정 평가	▪ 사업단장 ▪ 전문평가위원회
연차평가		▪ 연차실적 평가 시 목표 달성 여부 및 마일스톤 점검 ▪ 실적에 따른 연구비 차등 지급	▪ 사업단장 ▪ 전문평가위원회
단계평가 (자체평가 포함)		▪ 단장은 평가위원회를 구성하여 성과에 대한 자체평가 및 단계평가 실시 ▪ 단계목표 미달 시 Catch-up 방안 도출 및 해당 연구팀 페널티 부여(과제 탈락 여부 결정)	▪ 사업단장 ▪ 컨설팅회사 ▪ 전문평가위원회
평가	종료평가	▪ 종료되는 과제에 대해 종료평가 실시 ▪ 후속 프로젝트 추진여부 결정 ▪ 연구결과 홍보 및 사업화 추진	▪ 국토교통부
	추적평가	▪ 과제종료 후 3년간 간이추적조사 ▪ 추적평가가 필요한 프로젝트에 대해 상세평가 실시	

□ 과제 선정 평가

○ 사업 전담 사업단 혹은 연구단은 R&D 기획에 대한 평가를 실시하고 최적의 팀을 구성하여 프로젝트를 수행하여야 함.

○ 공개평가 제도를 도입하여 공정한 평가가 이루어질 수 있도록 하여야 함.

○ 세부기술별 및 중점 추진분야별 과제 책임자를 선정하여 사무국과의 명확한 역할분담을 통해서 사무국과 연계하여 프로젝트를 추진할 수 있는 체계를 마련하여야 함.

□ 연차 평가

○ 사업단장은 전문평가위원회를 구성하여 연차평가를 실시하여야 함.

○ 각 세부과제별 연차평가를 실시하여 연차별 목표달성 여부 및 마일스톤을 점검하여야 함.

○ 실적에 따른 연구비 삭감 또는 증액 지급을 통한 페널티와 인센티브를 부여하여 기술

개발 목표 달성이 가능할 수 있도록 하여야 함.

○ 전문평가위원회를 구성하여 평가의 객관성과 전문성을 확보하여야 하며, 산학연 연관 전문가들을 대상으로 평가위원으로 위촉으로 고려 가능함.

□ 단계 평가

○ 사업단장은 전문평가위원회를 구성하여 단계평가를 실시하고, 평가결과에 대한 주요 의사결정이 필요할 시에는 국토교통부 등과 협의하여 조정하여야 함.

○ 단계평가는 정성적, 정량적 실적 평가를 위주로 진행하며, 목표대비 실적이 부진한 과제에 대해서는 단장이 전문평가위원회의 객관적 평가결과에 근거하여 연구비 삭감 또는 과제 중단을 결정할 수 있도록 가이드라인을 설정하여야 함.

- 연구 단계별 특성을 반영하여 단계별 평가를 수행하여야 함.
- 전문평가위원회를 구성하여 연차평가와 더불어 단계가 종료되는 시점에 연구과제들이 유기적으로 잘 이루어지고 있으며 계획대비 실적이 우수한가를 평가하여야 함.
- 연차평가에 대한 결과를 반영하여 단계평가에서는 수정/보완된 연구 성과가 도출될 수 있도록 함.

□ 과제 종료 평가

○ 과제 종료 시에 과제평가위원회를 구성하여 추진실적과 성과에 대한 세부 과제별 종합평가를 실시함.

○ 종료평가 결과 기술사업화를 위한 제안이 이루어질 수 있도록 사업화 프로젝트로 연계할 수 있도록 지원함.

○ 참여기업들의 적극적인 과제 참여를 유도하여 과제 종료 후 타 프로젝트와의 연계방안을 구상함.

○ 객관적 성과지표를 설정하여 연구 성과를 관리함.

□ 과제 추적 평가

○ 과제 종료 후 3년 후에 본 사업을 통하여 창출된 실적 등에 대해 추적조사를 실시하여 본 사업에 대한 종합평가를 실시하여야 함.

○ 과제의 성공사례를 조사하여 기술개발전략 수립에 반영하는 피드백 시스템을 운영할 수 있도록 하여야 함.

○ 과학기술적·사회경제적 파급효과 및 산업화 실적 등을 고려할 수 있도록 추적평가의 기준을 설정하여야 함.

○ 평가결과가 국가 R&D 사업 기획 추진에서 정합성 자료로 활용될 수 있도록 하여야 함.

○ 추적 평가는 연차평가/단계평가/종료평가를 바탕으로 하고, 사업화 여부를 확인하여야 하며, 사업화가 부진한 경우에는 사유를 분석하여 향후 상용화 사업을 위한 기획에서 참고할 수 있도록 하여야 함.

○ 성과확산을 위해 요소기술들의 정립을 통해 연관 가스 플랜트 산업의 성과창출을 도모할 수 있도록 추적평가 기준을 설정하여야 함.
○ 개발되는 분산형 가스 플랜트 기술들이 본 사업에만 국한되는 것이 아니라 타 산업으로도 응용되고 확산될 수 있도록 도모하여야 함.
○ 연관 기업의 활발한 연구 참여를 통한 연구 성과의 사업화를 촉진하여야 함.
○ 실증연구를 통한 상업화를 본 기획의 목적으로 추구하고 있으므로 상업화를 실현하기 위한 기업들의 적극적인 참여를 유도하여야 함.
○ 참여 기업은 연구 참여 과정에서 요소기술의 개발 및 실증 과정에 직접 참여하며 과제 종료 후에는 상업화가 본격화 될 수 있도록 추진하며, 중장기적으로는 연구 성과의 지적재산권화를 통해 개발된 기술의 적극적 보호와 기술이전 사업화 촉진을 고려하여야 함.

<표 7-1-2> 성과 평가 방안 예시

평가지표	배점	가중치 (A)	평가등급(B)					점수 (A x B)
			A (5)	B (4)	C (3)	D (2)	E (1)	
1. 계획수립의 적절성 및 목표수준의 타당성	10	2						
2. 목표대비 달성도	30	5						
3. 성과의 우수성	35	6						
4. 결과의 활용가능성 및 파급효과	25	7						
합계	100	-	-	-	-	-	-	

□ 성과의 실용화를 위한 지원

○ 사업단과 국토교통부는 연관 기업들이 활발한 참여 유도를 통해 연구 성과의 실제 실용화가 이루어질 수 있도록 하여야 함.
○ 시장(Market), 기술(Technology), 사업(Business) 측면에 대한 조사 및 분석 기능을 강화함으로써 최신 동향 정보를 적시에 제공하여 개발 기술의 우수성을 알리고 사업화 촉진을 유도하여야 함.
○ 필요에 따라 체계적인 조사 분석을 위해 전문정보조사서비스 기관을 통한 기술 사업화를 추진하여야 함.
○ 세부과제 유형별로 기술경제성 분석 서비스를 제공함으로써 연구개발 결과의 상업화 리스크를 줄일 수 있도록 하고, 수행기관 중 학계 및 연구기관에서 과제 종료 이후 발생되는 유형적 무형적 기술들이 사업화 수행 주체 참여기관으로 원활하게 이전될 수 있도록 지원할 수 있는 체계를 구축하여야 함.

제2절 소요예산 및 재원조달방안

1. 사업비

1.1 전체 사업비

<표 7-1-3> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 기술개발 사업 전체 사업비

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
사업단	정부		500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	3,500.0
세부 1) 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	정부		15,000.0	33,800.0	23,000.0	15,260.0	7,560.0	0.0	0.0	94,620.0
	민간	현금	750.0	1,690.0	1,150.0	763.0	378.0	0.0	0.0	4,731.0
		현물	4,500.0	10,140.0	6,900.0	4,578.0	2,268.0	0.0	0.0	28,386.0
		소계	5,250.0	11,830.0	8,050.0	5,341.0	2,646.0	0.0	0.0	33,117.0
	합계		20,250.0	45,630.0	31,050.0	20,601.0	10,206.0	0.0	0.0	127,737.0
세부 2) 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 바이오수소 생산 실증 기술	정부		0.0	1,800.0	10,500.0	6,700.0	2,900.0	1,200.0	800.0	23,900.0
	민간	현금	0.0	90.0	525.0	335.0	145.0	60.0	40.0	1,195.0
		현물	0.0	540.0	3,150.0	2,010.0	870.0	360.0	240.0	7,170.0
		소계	0.0	630.0	3,675.0	2,345.0	1,015.0	420.0	280.0	8,365.0
	합계		0.0	2,430.0	14,175.0	9,045.0	3,915.0	1,620.0	1,080.0	32,265.0
세부 3) 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술	정부		0.0	0.0	1,080.0	2,110.0	3,210.0	2,810.0	1,590.0	10,800.0
	민간	현금	0.0	0.0	54.0	105.5	160.5	140.5	79.5	540.0
		현물	0.0	0.0	324.0	633.0	963.0	843.0	477.0	3,240.0
		소계	0.0	0.0	378.0	738.5	1,123.5	983.5	556.5	3,780.0
	합계		0.0	0.0	1,458.0	2,848.5	4,333.5	3,793.5	2,146.5	14,580.0
세부 4) 개질 및 변환 기술	정부		1,520.0	3,960.0	6,400.0	4,000.0	1,700.0	0.0	0.0	17,580.0
	민간	현금	76.0	198.0	320.0	200.0	85.0	0.0	0.0	879.0
		현물	456.0	1,188.0	1,920.0	1,200.0	510.0	0.0	0.0	5,274.0
		소계	532.0	1,386.0	2,240.0	1,400.0	595.0	0.0	0.0	6,153.0
	합계		2,052.0	5,346.0	8,640.0	5,400.0	2,295.0	0.0	0.0	23,733.0
세부 5) 정제 및 분리 기술	정부		2,300.0	3,500.0	3,900.0	3,700.0	2,900.0	0.0	0.0	16,300.0
	민간	현금	115.0	175.0	195.0	185.0	145.0	0.0	0.0	815.0
		현물	690.0	1,050.0	1,170.0	1,110.0	870.0	0.0	0.0	4,890.0
		소계	805.0	1,225.0	1,365.0	1,295.0	1,015.0	0.0	0.0	5,705.0
	합계		3,105.0	4,725.0	5,265.0	4,995.0	3,915.0	0.0	0.0	22,005.0
세부 6) 공통 핵심 기술	정부		920.0	2,440.0	2,820.0	2,620.0	2,460.0	0.0	0.0	11,260.0
	민간	현금	71.0	147.0	161.0	151.0	143.0	0.0	0.0	673.0
		현물	251.0	707.0	826.0	766.0	718.0	0.0	0.0	3,268.0
		소계	322.0	854.0	987.0	917.0	861.0	0.0	0.0	3,941.0
	합계		1,242.0	3,294.0	3,807.0	3,537.0	3,321.0	0.0	0.0	15,201.0
합계	정부		20,240.0	46,000.0	48,200.0	34,890.0	21,230.0	4,510.0	2,890.0	177,960.0
	민간	현금	1,012.0	2,300.0	2,405.0	1,739.5	1,056.5	200.5	119.5	8,833.0
		현물	5,897.0	13,625.0	14,290.0	10,297.0	6,199.0	1,203.0	717.0	52,228.0
		소계	6,909.0	15,925.0	16,695.0	12,036.5	7,255.5	1,403.5	836.5	61,061.0
	합계		27,149.0	61,925.0	64,895.0	46,926.5	28,485.5	5,913.5	3,726.5	239,021.0

1.2 세부과제별 사업비

□ 세부과제 1: 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

○ 세부과제 1 총괄

<표 7-1-4> 세부과제별 사업비 (세부 1과제 총괄)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세부과제 1-1) 폐기물/바이오매스(가연성) 이용 고정층 순산소 가스화 기술	정부		10,600.0	17,800.0	4,400.0	4,400.0	3,600.0	0.0	0.0	40,800.0
	민간	현금	530.0	890.0	220.0	220.0	180.0	0.0	0.0	2,040.0
		현물	3,180.0	5,340.0	1,320.0	1,320.0	1,080.0	0.0	0.0	12,240.0
		소계	3,710.0	6,230.0	1,540.0	1,540.0	1,260.0	0.0	0.0	14,280.0
	합계		14,310.0	24,030.0	5,940.0	5,940.0	4,860.0	0.0	0.0	55,080.0
(세부과제 1-2) 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	정부		1,900.0	12,000.0	17,100.0	9,360.0	2,460.0	0.0	0.0	42,820.0
	민간	현금	95.0	600.0	855.0	468.0	123.0	0.0	0.0	2,141.0
		현물	570.0	3,600.0	5,130.0	2,808.0	738.0	0.0	0.0	12,846.0
		소계	665.0	4,200.0	5,985.0	3,276.0	861.0	0.0	0.0	14,987.0
	합계		2,565.0	16,200.0	23,085.0	12,636.0	3,321.0	0.0	0.0	57,807.0
(세부과제 1-3) 원료 균질화를 위한 전처리 기술	정부		2,500.0	4,000.0	1,500.0	1,500.0	1,500.0	0.0	0.0	11,000.0
	민간	현금	125.0	200.0	75.0	75.0	75.0	0.0	0.0	550.0
		현물	750.0	1,200.0	450.0	450.0	450.0	0.0	0.0	3,300.0
		소계	875.0	1,400.0	525.0	525.0	525.0	0.0	0.0	3,850.0
	합계		3,375.0	5,400.0	2,025.0	2,025.0	2,025.0	0.0	0.0	14,850.0
합계	정부		15,000.0	33,800.0	23,000.0	15,260.0	7,560.0	0.0	0.0	94,620.0
	민간	현금	750.0	1,690.0	1,150.0	763.0	378.0	0.0	0.0	4,731.0
		현물	4,500.0	10,140.0	6,900.0	4,578.0	2,268.0	0.0	0.0	28,386.0
		소계	5,250.0	11,830.0	8,050.0	5,341.0	2,646.0	0.0	0.0	33,117.0
	합계		20,250.0	45,630.0	31,050.0	20,601.0	10,206.0	0.0	0.0	127,737.0

○ (세부과제 1-1) 합성가스 생산시스템 설계 및 구축

<표 7-1-5> 세부과제별 사업비 (세부 과제 1-1)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 1-1-1) 합성가스 생산시스템 설계 및 구축	정부		10,600.0	17,800.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28,400.0
	민간	현금	530.0	890.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,420.0
		현물	3,180.0	5,340.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8,520.0
		소계	3,710.0	6,230.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9,940.0
	합계		14,310.0	24,030.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38,340.0
(세세부과제 1-1-2) 시스템 성능평가 및 운전 최적화	정부		0.0	0.0	4,400.0	4,400.0	3,600.0	0.0	0.0	12,400.0
	민간	현금	0.0	0.0	220.0	220.0	180.0	0.0	0.0	620.0
		현물	0.0	0.0	1,320.0	1,320.0	1,080.0	0.0	0.0	3,720.0
		소계	0.0	0.0	1,540.0	1,540.0	1,260.0	0.0	0.0	4,340.0
	합계		0.0	0.0	5,940.0	5,940.0	4,860.0	0.0	0.0	16,740.0
합계	정부		10,600.0	17,800.0	4,400.0	4,400.0	3,600.0	0.0	0.0	40,800.0
	민간	현금	530.0	890.0	220.0	220.0	180.0	0.0	0.0	2,040.0
		현물	3,180.0	5,340.0	1,320.0	1,320.0	1,080.0	0.0	0.0	12,240.0
		소계	3,710.0	6,230.0	1,540.0	1,540.0	1,260.0	0.0	0.0	14,280.0
	합계		14,310.0	24,030.0	5,940.0	5,940.0	4,860.0	0.0	0.0	55,080.0

○ (세부과제 1-2) 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술

<표 7-1-6> 세부과제별 사업비 (세부 과제 1-2)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 1-2-1) 펫코크 가스화 실증 기술	정부		1,400.0	9,000.0	14,500.0	8,500.0	2,000.0	0.0	0.0	35,400.0
	민간	현금	70.0	450.0	725.0	425.0	100.0	0.0	0.0	1,770.0
		현물	420.0	2,700.0	4,350.0	2,550.0	600.0	0.0	0.0	10,620.0
		소계	490.0	3,150.0	5,075.0	2,975.0	700.0	0.0	0.0	12,390.0
	합계		1,890.0	12,150.0	19,575.0	11,475.0	2,700.0	0.0	0.0	47,790.0
(세세부과제 1-2-2) 습식 분쇄 및 슬러리 제조/공급 공정 실증 기술	정부		500.0	3,000.0	2,600.0	860.0	460.0	0.0	0.0	7,420.0
	민간	현금	25.0	150.0	130.0	43.0	23.0	0.0	0.0	371.0
		현물	150.0	900.0	780.0	258.0	138.0	0.0	0.0	2,226.0
		소계	175.0	1,050.0	910.0	301.0	161.0	0.0	0.0	2,597.0
	합계		675.0	4,050.0	3,510.0	1,161.0	621.0	0.0	0.0	10,017.0
합계	정부		1,900.0	12,000.0	17,100.0	9,360.0	2,460.0	0.0	0.0	42,820.0
	민간	현금	95.0	600.0	855.0	468.0	123.0	0.0	0.0	2,141.0
		현물	570.0	3,600.0	5,130.0	2,808.0	738.0	0.0	0.0	12,846.0
		소계	665.0	4,200.0	5,985.0	3,276.0	861.0	0.0	0.0	14,987.0
	합계		2,565.0	16,200.0	23,085.0	12,636.0	3,321.0	0.0	0.0	57,807.0

○ (세부과제 1-3) 원료 균질화를 위한 전처리 기술

<표 7-1-7> 세부과제별 사업비 (세부 과제 1-3)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 1-3-1) 원료 균질화 전처리 시스템 설계 및 구축	정부		2,500.0	4,000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6,500.0
	민간	현금	125.0	200.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	325.0
		현물	750.0	1,200.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,950.0
		소계	875.0	1,400.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,275.0
	합계		3,375.0	5,400.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8,775.0
(세세부과제 1-3-2) 시스템 성능평가 및 운전 최적화	정부		0.0	0.0	1,500.0	1,500.0	1,500.0	0.0	0.0	4,500.0
	민간	현금	0.0	0.0	75.0	75.0	75.0	0.0	0.0	225.0
		현물	0.0	0.0	450.0	450.0	450.0	0.0	0.0	1,350.0
		소계	0.0	0.0	525.0	525.0	525.0	0.0	0.0	1,575.0
	합계		0.0	0.0	2,025.0	2,025.0	2,025.0	0.0	0.0	6,075.0
합계	정부		2,500.0	4,000.0	1,500.0	1,500.0	1,500.0	0.0	0.0	11,000.0
	민간	현금	125.0	200.0	75.0	75.0	75.0	0.0	0.0	550.0
		현물	750.0	1,200.0	450.0	450.0	450.0	0.0	0.0	3,300.0
		소계	875.0	1,400.0	525.0	525.0	525.0	0.0	0.0	3,850.0
	합계		3,375.0	5,400.0	2,025.0	2,025.0	2,025.0	0.0	0.0	14,850.0

□ 세부과제 2: 고함수 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술

○ 세부과제 2 총괄

<표 7-1-8> 세부과제별 사업비 (세부 2과제 총괄)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세부과제 2-1) 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	정부		0.00	600.00	3,500.00	2,500.00	1,300.00	600.00	400.00	8,900.00
	민간	현금	0.00	30.00	175.00	125.00	65.00	30.00	20.00	445.00
		현물	0.00	180.00	1,050.00	750.00	390.00	180.00	120.00	2,670.00
		소계	0.00	210.00	1,225.00	875.00	455.00	210.00	140.00	3,115.00
	합계		0.00	810.00	4,725.00	3,375.00	1,755.00	810.00	540.00	12,015.00
(세부과제 2-2) 바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술	정부		0.00	600.00	3,500.00	2,100.00	800.00	300.00	200.00	7,500.00
	민간	현금	0.00	30.00	175.00	105.00	40.00	15.00	10.00	375.00
		현물	0.00	180.00	1,050.00	630.00	240.00	90.00	60.00	2,250.00
		소계	0.00	210.00	1,225.00	735.00	280.00	105.00	70.00	2,625.00
	합계		0.00	810.00	4,725.00	2,835.00	1,080.00	405.00	270.00	10,125.00
(세부과제 2-3) 혐기소화액 부생 암모니아의 촉매 분해에 의한 수소 생산기술	정부		0.00	600.00	3,500.00	2,100.00	800.00	300.00	200.00	7,500.00
	민간	현금	0.00	30.00	175.00	105.00	40.00	15.00	10.00	375.00
		현물	0.00	180.00	1,050.00	630.00	240.00	90.00	60.00	2,250.00
		소계	0.00	210.00	1,225.00	735.00	280.00	105.00	70.00	2,625.00
	합계		0.00	810.00	4,725.00	2,835.00	1,080.00	405.00	270.00	10,125.00
합계	정부		0.0	1,800.0	10,500.0	6,700.0	2,900.0	1,200.0	800.0	23,900.0
	민간	현금	0.0	90.0	525.0	335.0	145.0	60.0	40.0	1,195.0
		현물	0.0	540.0	3,150.0	2,010.0	870.0	360.0	240.0	7,170.0
		소계	0.0	630.0	3,675.0	2,345.0	1,015.0	420.0	280.0	8,365.0
	합계		0.0	2,430.0	14,175.0	9,045.0	3,915.0	1,620.0	1,080.0	32,265.0

○ (세부과제 2-1) 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술

<표 7-1-9> 세부과제별 사업비 (세부 과제 2-1)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 2-1-1) 혐기 미생물 분해 효율 향상 위한 전처리 기술	정부		0.00	300.00	1,300.00	1,000.00	300.00	0.00	0.00	2,900.00
	민간	현금	0.00	15.00	65.00	50.00	15.00	0.00	0.00	145.00
		현물	0.00	90.00	390.00	300.00	90.00	0.00	0.00	870.00
		소계	0.00	105.00	455.00	350.00	105.00	0.00	0.00	1,015.00
	합계		0.00	405.00	1,755.00	1,350.00	405.00	0.00	0.00	3,915.00
(세세부과제 2-1-2) 바이오 CO_2 활용 바이오메탄 생산량 증가 기술	정부		0.00	300.00	2,200.00	1,000.00	500.00	300.00	200.00	4,500.00
	민간	현금	0.00	15.00	110.00	50.00	25.00	15.00	10.00	225.00
		현물	0.00	90.00	660.00	300.00	150.00	90.00	60.00	1,350.00
		소계	0.00	105.00	770.00	350.00	175.00	105.00	70.00	1,575.00
	합계		0.00	405.00	2,970.00	1,350.00	675.00	405.00	270.00	6,075.00
(세세부과제 2-1-3) 바이오 CO_2 분리를 통한 통합 바이오가스플랜트의 개질 수소 생산 증진 기술	정부		0.00	0.00	0.00	500.00	500.00	300.00	200.00	1,500.00
	민간	현금	0.00	0.00	0.00	25.00	25.00	15.00	10.00	75.00
		현물	0.00	0.00	0.00	150.00	150.00	90.00	60.00	450.00
		소계	0.00	0.00	0.00	175.00	175.00	105.00	70.00	525.00
	합계		0.00	0.00	0.00	675.00	675.00	405.00	270.00	2,025.00
합계	정부		0.0	600.0	3,500.0	2,500.0	1,300.0	600.0	400.0	8,900.0
	민간	현금	0.0	30.0	175.0	125.0	65.0	30.0	20.0	445.0
		현물	0.0	180.0	1,050.0	750.0	390.0	180.0	120.0	2,670.0
		소계	0.0	210.0	1,225.0	875.0	455.0	210.0	140.0	3,115.0
	합계		0.0	810.0	4,725.0	3,375.0	1,755.0	810.0	540.0	12,015.0

○ (세부과제 2-2) 바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술

<표 7-1-10> 세부과제별 사업비 (세부 과제 2-2)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 2-2-1) 안정적인 수소 생산균 유지관리 기술	정부		0.00	300.00	1,300.00	1,100.00	300.00	0.00	0.00	3,000.00
	민간	현금	0.00	15.00	65.00	55.00	15.00	0.00	0.00	150.00
		현물	0.00	90.00	390.00	330.00	90.00	0.00	0.00	900.00
		소계	0.00	105.00	455.00	385.00	105.00	0.00	0.00	1,050.00
	합계		0.00	405.00	1,755.00	1,485.00	405.00	0.00	0.00	4,050.00
(세세부과제 2-2-2) 바이오센싱 기반 바이오수소 생산 기술	정부		0.00	300.00	2,200.00	1,000.00	500.00	300.00	200.00	4,500.00
	민간	현금	0.00	15.00	110.00	50.00	25.00	15.00	10.00	225.00
		현물	0.00	90.00	660.00	300.00	150.00	90.00	60.00	1,350.00
		소계	0.00	105.00	770.00	350.00	175.00	105.00	70.00	1,575.00
	합계		0.00	405.00	2,970.00	1,350.00	675.00	405.00	270.00	6,075.00
합계	정부		0.0	600.0	3,500.0	2,100.0	800.0	300.0	200.0	7,500.0
	민간	현금	0.0	30.0	175.0	105.0	40.0	15.0	10.0	375.0
		현물	0.0	180.0	1,050.0	630.0	240.0	90.0	60.0	2,250.0
		소계	0.0	210.0	1,225.0	735.0	280.0	105.0	70.0	2,625.0
	합계		0.0	810.0	4,725.0	2,835.0	1,080.0	405.0	270.0	10,125.0

○ (세부과제 2-3) 혐기소화액 부생 암모니아 촉매 분해에 의한 수소 생산 기술

<표 7-1-11> 세부과제별 사업비 (세부 과제 2-3)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 2-3-1) 배가스 활용 혐기소화액 암모니아 경제적 회수 기술	정부		0.00	300.00	1,300.00	1,100.00	300.00	0.00	0.00	3,000.00
	민간	현금	0.00	15.00	65.00	55.00	15.00	0.00	0.00	150.00
		현물	0.00	90.00	390.00	330.00	90.00	0.00	0.00	900.00
		소계	0.00	105.00	455.00	385.00	105.00	0.00	0.00	1,050.00
	합계		0.00	405.00	1,755.00	1,485.00	405.00	0.00	0.00	4,050.00
(세세부과제 2-3-2) 혐기소화액유래 혼합 암모니아가스로부터 수소 생산 기술	정부		0.00	300.00	2,200.00	1,000.00	500.00	300.00	200.00	4,500.00
	민간	현금	0.00	15.00	110.00	50.00	25.00	15.00	10.00	225.00
		현물	0.00	90.00	660.00	300.00	150.00	90.00	60.00	1,350.00
		소계	0.00	105.00	770.00	350.00	175.00	105.00	70.00	1,575.00
	합계		0.00	405.00	2,970.00	1,350.00	675.00	405.00	270.00	6,075.00
합계	정부		0.0	600.0	3,500.0	2,100.0	800.0	300.0	200.0	7,500.0
	민간	현금	0.0	30.0	175.0	105.0	40.0	15.0	10.0	375.0
		현물	0.0	180.0	1,050.0	630.0	240.0	90.0	60.0	2,250.0
		소계	0.0	210.0	1,225.0	735.0	280.0	105.0	70.0	2,625.0
	합계		0.0	810.0	4,725.0	2,835.0	1,080.0	405.0	270.0	10,125.0

□ 세부과제 3: 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 세부과제 3 총괄

<표 7-1-12> 세부과제별 사업비 (세부 3과제 총괄)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세부과제 3-1) 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술 개발	정부		0.0	0.0	400.0	800.0	800.0	600.0	400.0	3,000.0
	민간	현금	0.0	0.0	20.0	40.0	40.0	30.0	20.0	150.0
		현물	0.0	0.0	120.0	240.0	240.0	180.0	120.0	900.0
		소계	0.0	0.0	140.0	280.0	280.0	210.0	140.0	1,050.0
	합계		0.0	0.0	540.0	1,080.0	1,080.0	810.0	540.0	4,050.0
(세부과제 3-2) P2G 플랜트 산소 활용 기술 개발	정부		0.0	0.0	200.0	500.0	700.0	400.0	200.0	2,000.0
	민간	현금	0.0	0.0	10.0	25.0	35.0	20.0	10.0	100.0
		현물	0.0	0.0	60.0	150.0	210.0	120.0	60.0	600.0
		소계	0.0	0.0	70.0	175.0	245.0	140.0	70.0	700.0
	합계		0.0	0.0	270.0	675.0	945.0	540.0	270.0	2,700.0
(세부과제 3-3) P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술 개발	정부		0.0	0.0	150.0	250.0	400.0	250.0	150.0	1,200.0
	민간	현금	0.0	0.0	7.5	12.5	20.0	12.5	7.5	60.0
		현물	0.0	0.0	45.0	75.0	120.0	75.0	45.0	360.0
		소계	0.0	0.0	52.5	87.5	140.0	87.5	52.5	420.0
	합계		0.0	0.0	202.5	337.5	540.0	337.5	202.5	1,620.0
(세부과제 3-4) P2G 실증플랜트 건설 및 운영기술 개발	정부		0.0	0.0	250.0	300.0	1,050.0	1,300.0	700.0	3,600.0
	민간	현금	0.0	0.0	12.5	15.0	52.5	65.0	35.0	180.0
		현물	0.0	0.0	75.0	90.0	315.0	390.0	210.0	1,080.0
		소계	0.0	0.0	87.5	105.0	367.5	455.0	245.0	1,260.0
	합계		0.0	0.0	337.5	405.0	1,417.5	1,755.0	945.0	4,860.0
(세부과제 3-5) 수소 안전 및 제도	정부		0.0	0.0	80.0	260.0	260.0	260.0	140.0	1,000.0
	민간	현금	0.0	0.0	4.0	13.0	13.0	13.0	7.0	50.0
		현물	0.0	0.0	24.0	78.0	78.0	78.0	42.0	300.0
		소계	0.0	0.0	28.0	91.0	91.0	91.0	49.0	350.0
	합계		0.0	0.0	108.0	351.0	351.0	351.0	189.0	1,350.0
합계	정부		0.0	0.0	1,080.0	2,110.0	3,210.0	2,810.0	1,590.0	10,800.0
	민간	현금	0.0	0.0	54.0	105.5	160.5	140.5	79.5	540.0
		현물	0.0	0.0	324.0	633.0	963.0	843.0	477.0	3,240.0
		소계	0.0	0.0	378.0	738.5	1,123.5	983.5	556.5	3,780.0
	합계		0.0	0.0	1,458.0	2,848.5	4,333.5	3,793.5	2,146.5	14,580.0

○ (세부과제 3-1) 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술

<표 7-1-13> 세부과제별 사업비 (세부 과제 3-1)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 3-1-1) 1MW급 수전해 시스템 기술개발	정부		0.0	0.0	200.0	500.0	400.0	300.0	200.0	1,600.0
	민간	현금	0.0	0.0	10.0	25.0	20.0	15.0	10.0	80.0
		현물	0.0	0.0	60.0	150.0	120.0	90.0	60.0	480.0
		소계	0.0	0.0	70.0	175.0	140.0	105.0	70.0	560.0
	합계		0.0	0.0	270.0	675.0	540.0	405.0	270.0	2,160.0
(세세부과제 3-1-2) 1MW급 단일모듈 수전해 최적화 기술 개발	정부		0.0	0.0	100.0	200.0	200.0	100.0	100.0	700.0
	민간	현금	0.0	0.0	5.0	10.0	10.0	5.0	5.0	35.0
		현물	0.0	0.0	30.0	60.0	60.0	30.0	30.0	210.0
		소계	0.0	0.0	35.0	70.0	70.0	35.0	35.0	245.0
	합계		0.0	0.0	135.0	270.0	270.0	135.0	135.0	945.0
(세세부과제 3-1-3) 잉여전기 계통연계기술 개발	정부		0.0	0.0	100.0	100.0	200.0	200.0	100.0	700.0
	민간	현금	0.0	0.0	5.0	5.0	10.0	10.0	5.0	35.0
		현물	0.0	0.0	30.0	30.0	60.0	60.0	30.0	210.0
		소계	0.0	0.0	35.0	35.0	70.0	70.0	35.0	245.0
	합계		0.0	0.0	135.0	135.0	270.0	270.0	135.0	945.0
합계	정부		0.0	0.0	400.0	800.0	800.0	600.0	400.0	3,000.0
	민간	현금	0.0	0.0	20.0	40.0	40.0	30.0	20.0	150.0
		현물	0.0	0.0	120.0	240.0	240.0	180.0	120.0	900.0
		소계	0.0	0.0	140.0	280.0	280.0	210.0	140.0	1,050.0
	합계		0.0	0.0	540.0	1,080.0	1,080.0	810.0	540.0	4,050.0

○ (세부과제 3-2) P2G 플랜트 산소 활용 기술

<표 7-1-14> 세부과제별 사업비 (세부 과제 3-2)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 3-2-1) 수전해 설비 산소 발생 및 저장 시스템	정부		0.0	0.0	100.0	200.0	400.0	200.0	100.0	1,000.0
	민간	현금	0.0	0.0	5.0	10.0	20.0	10.0	5.0	50.0
		현물	0.0	0.0	30.0	60.0	120.0	60.0	30.0	300.0
		소계	0.0	0.0	35.0	70.0	140.0	70.0	35.0	350.0
	합계		0.0	0.0	135.0	270.0	540.0	270.0	135.0	1,350.0
(세세부과제 3-2-2) 순산소 가스화 플랜트 연계 기술 개발	정부		0.0	0.0	100.0	300.0	300.0	200.0	100.0	1,000.0
	민간	현금	0.0	0.0	5.0	15.0	15.0	10.0	5.0	50.0
		현물	0.0	0.0	30.0	90.0	90.0	60.0	30.0	300.0
		소계	0.0	0.0	35.0	105.0	105.0	70.0	35.0	350.0
	합계		0.0	0.0	135.0	405.0	405.0	270.0	135.0	1,350.0
합계	정부		0.0	0.0	200.0	500.0	700.0	400.0	200.0	2,000.0
	민간	현금	0.0	0.0	10.0	25.0	35.0	20.0	10.0	100.0
		현물	0.0	0.0	60.0	150.0	210.0	120.0	60.0	600.0
		소계	0.0	0.0	70.0	175.0	245.0	140.0	70.0	700.0
	합계		0.0	0.0	270.0	675.0	945.0	540.0	270.0	2,700.0

○ (세부과제 3-3) P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술

<표 7-1-15> 세부과제별 사업비 (세부 과제 3-3)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 3-3-1) P2G 공정 설계 기술	정부		0.0	0.0	100.0	200.0	300.0	150.0	50.0	800.0
	민간	현금	0.0	0.0	5.0	10.0	15.0	7.5	2.5	40.0
		현물	0.0	0.0	30.0	60.0	90.0	45.0	15.0	240.0
		소계	0.0	0.0	35.0	70.0	105.0	52.5	17.5	280.0
	합계		0.0	0.0	135.0	270.0	405.0	202.5	67.5	1,080.0
(세세부과제 3-3-2) P2G 공정 최적화 기술	정부		0.0	0.0	50.0	50.0	100.0	100.0	100.0	400.0
	민간	현금	0.0	0.0	2.5	2.5	5.0	5.0	5.0	20.0
		현물	0.0	0.0	15.0	15.0	30.0	30.0	30.0	120.0
		소계	0.0	0.0	17.5	17.5	35.0	35.0	35.0	140.0
	합계		0.0	0.0	67.5	67.5	135.0	135.0	135.0	540.0
합계	정부		0.0	0.0	150.0	250.0	400.0	250.0	150.0	1,200.0
	민간	현금	0.0	0.0	7.5	12.5	20.0	12.5	7.5	60.0
		현물	0.0	0.0	45.0	75.0	120.0	75.0	45.0	360.0
		소계	0.0	0.0	52.5	87.5	140.0	87.5	52.5	420.0
	합계		0.0	0.0	202.5	337.5	540.0	337.5	202.5	1,620.0

○ (세부과제 3-4) P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술

<표 7-1-16> 세부과제별 사업비 (세부 과제 3-4)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 3-4-1) P2G 실증 플랜트 건설 기술	정부		0.0	0.0	200.0	200.0	900.0	1,000.0	300.0	2,600.0
	민간	현금	0.0	0.0	10.0	10.0	45.0	50.0	15.0	130.0
		현물	0.0	0.0	60.0	60.0	270.0	300.0	90.0	780.0
		소계	0.0	0.0	70.0	70.0	315.0	350.0	105.0	910.0
	합계		0.0	0.0	270.0	270.0	1,215.0	1,350.0	405.0	3,510.0
(세세부과제 3-4-2) P2G 플랜트 운영 기술	정부		0.0	0.0	50.0	100.0	150.0	300.0	400.0	1,000.0
	민간	현금	0.0	0.0	2.5	5.0	7.5	15.0	20.0	50.0
		현물	0.0	0.0	15.0	30.0	45.0	90.0	120.0	300.0
		소계	0.0	0.0	17.5	35.0	52.5	105.0	140.0	350.0
	합계		0.0	0.0	67.5	135.0	202.5	405.0	540.0	1,350.0
합계	정부		0.0	0.0	250.0	300.0	1,050.0	1,300.0	700.0	3,600.0
	민간	현금	0.0	0.0	12.5	15.0	52.5	65.0	35.0	180.0
		현물	0.0	0.0	75.0	90.0	315.0	390.0	210.0	1,080.0
		소계	0.0	0.0	87.5	105.0	367.5	455.0	245.0	1,260.0
	합계		0.0	0.0	337.5	405.0	1,417.5	1,755.0	945.0	4,860.0

○ (세부과제 3-5) 수소 안전 및 제도

<표 7-1-17> 세부과제별 사업비 (세부 과제 3-5)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 3-5-1) 수소 생산 설비 설계 안전성 평가	정부		0.0	0.0	40.0	100.0	100.0	100.0	60.0	400.0
	민간	현금	0.0	0.0	2.0	5.0	5.0	5.0	3.0	20.0
		현물	0.0	0.0	12.0	30.0	30.0	30.0	18.0	120.0
		소계	0.0	0.0	14.0	35.0	35.0	35.0	21.0	140.0
	합계		0.0	0.0	54.0	135.0	135.0	135.0	81.0	540.0
(세세부과제 3-5-2) 수소 생산 설비 건설 안전성 평가	정부		0.0	0.0	20.0	80.0	80.0	80.0	40.0	300.0
	민간	현금	0.0	0.0	1.0	4.0	4.0	4.0	2.0	15.0
		현물	0.0	0.0	6.0	24.0	24.0	24.0	12.0	90.0
		소계	0.0	0.0	7.0	28.0	28.0	28.0	14.0	105.0
	합계		0.0	0.0	27.0	108.0	108.0	108.0	54.0	405.0
(세세부과제 3-5-3) 수소 충전시설 안전성 평가	정부		0.0	0.0	20.0	80.0	80.0	80.0	40.0	300.0
	민간	현금	0.0	0.0	1.0	4.0	4.0	4.0	2.0	15.0
		현물	0.0	0.0	6.0	24.0	24.0	24.0	12.0	90.0
		소계	0.0	0.0	7.0	28.0	28.0	28.0	14.0	105.0
	합계		0.0	0.0	27.0	108.0	108.0	108.0	54.0	405.0
합계	정부		0.0	0.0	80.0	260.0	260.0	260.0	140.0	1,000.0
	민간	현금	0.0	0.0	4.0	13.0	13.0	13.0	7.0	50.0
		현물	0.0	0.0	24.0	78.0	78.0	78.0	42.0	300.0
		소계	0.0	0.0	28.0	91.0	91.0	91.0	49.0	350.0
	합계		0.0	0.0	108.0	351.0	351.0	351.0	189.0	1,350.0

□ 세부과제 4: 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

○ 세부과제 4 총괄

<표 7-1-18> 세부과제별 사업비 (세부 4과제 총괄)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세부과제 4-1) 천연가스의 CO_2-added 개질 기술	정부		720.0	1,960.0	4,600.0	1,000.0	700.0	0.0	0.0	8,980.0
	민간	현금	36.0	98.0	230.0	50.0	35.0	0.0	0.0	449.0
		현물	216.0	588.0	1,380.0	300.0	210.0	0.0	0.0	2,694.0
		소계	252.0	686.0	1,610.0	350.0	245.0	0.0	0.0	3,143.0
	합계		972.0	2,646.0	6,210.0	1,350.0	945.0	0.0	0.0	12,123.0
(세부과제 4-2) 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	정부		400.0	1,000.0	800.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,200.0
	민간	현금	20.0	50.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110.0
		현물	120.0	300.0	240.0	0.0	0.0	0.0	0.0	660.0
		소계	140.0	350.0	280.0	0.0	0.0	0.0	0.0	770.0
	합계		540.0	1,350.0	1,080.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,970.0
(세부과제 4-3) 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술	정부		400.0	1,000.0	1,000.0	3,000.0	1,000.0	0.0	0.0	6,400.0
	민간	현금	20.0	50.0	50.0	150.0	50.0	0.0	0.0	320.0
		현물	120.0	300.0	300.0	900.0	300.0	0.0	0.0	1,920.0
		소계	140.0	350.0	350.0	1,050.0	350.0	0.0	0.0	2,240.0
	합계		540.0	1,350.0	1,350.0	4,050.0	1,350.0	0.0	0.0	8,640.0
합계	정부		1,520.0	3,960.0	6,400.0	4,000.0	1,700.0	0.0	0.0	17,580.0
	민간	현금	76.0	198.0	320.0	200.0	85.0	0.0	0.0	879.0
		현물	456.0	1,188.0	1,920.0	1,200.0	510.0	0.0	0.0	5,274.0
		소계	532.0	1,386.0	2,240.0	1,400.0	595.0	0.0	0.0	6,153.0
	합계		2,052.0	5,346.0	8,640.0	5,400.0	2,295.0	0.0	0.0	23,733.0

○ (세부과제 4-1) 천연가스의 CO_2-added 개질 기술

<표 7-1-19> 세부과제별 사업비 (세부 과제 4-1)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 4-1-1) 천연가스 개질용 촉매 기술	정부		120.0	360.0	300.0	0.0	0.0	0.0	0.0	780.0
	민간	현금	6.0	18.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.0
		현물	36.0	108.0	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	234.0
		소계	42.0	126.0	105.0	0.0	0.0	0.0	0.0	273.0
	합계		162.0	486.0	405.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,053.0
(세세부과제 4-1-2) 개질 공정 주요 장치의 모듈화/컴팩트화 설계 및 실증 기술	정부		400.0	1,200.0	2,200.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3,800.0
	민간	현금	20.0	60.0	110.0	0.0	0.0	0.0	0.0	190.0
		현물	120.0	360.0	660.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,140.0
		소계	140.0	420.0	770.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,330.0
	합계		540.0	1,620.0	2,970.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5,130.0
(세세부과제 4-1-3) 수증기/CO_2 활용 개질반응기 설계 기술	정부		200.0	400.0	2,100.0	1,000.0	700.0	0.0	0.0	4,400.0
	민간	현금	10.0	20.0	105.0	50.0	35.0	0.0	0.0	220.0
		현물	60.0	120.0	630.0	300.0	210.0	0.0	0.0	1,320.0
		소계	70.0	140.0	735.0	350.0	245.0	0.0	0.0	1,540.0
	합계		270.0	540.0	2,835.0	1,350.0	945.0	0.0	0.0	5,940.0
합계	정부		720.0	1,960.0	4,600.0	1,000.0	700.0	0.0	0.0	8,980.0
	민간	현금	36.0	98.0	230.0	50.0	35.0	0.0	0.0	449.0
		현물	216.0	588.0	1,380.0	300.0	210.0	0.0	0.0	2,694.0
		소계	252.0	686.0	1,610.0	350.0	245.0	0.0	0.0	3,143.0
	합계		972.0	2,646.0	6,210.0	1,350.0	945.0	0.0	0.0	12,123.0

○ (세부과제 4-2) 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술

<표 7-1-20> 세부과제별 사업비 (세부 과제 4-2)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 4-2-1) 고온 및 저온 수성가스 전환 촉매 설계 기술	정부		200.0	500.0	400.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,100.0
	민간	현금	10.0	25.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0
		현물	60.0	150.0	120.0	0.0	0.0	0.0	0.0	330.0
		소계	70.0	175.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	385.0
	합계		270.0	675.0	540.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,485.0
(세세부과제 4-2-2) 수성가스전환 반응기 설계 기술	정부		200.0	500.0	400.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,100.0
	민간	현금	10.0	25.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0
		현물	60.0	150.0	120.0	0.0	0.0	0.0	0.0	330.0
		소계	70.0	175.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	385.0
	합계		270.0	675.0	540.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,485.0
합계	정부		400.0	1,000.0	800.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,200.0
	민간	현금	20.0	50.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110.0
		현물	120.0	300.0	240.0	0.0	0.0	0.0	0.0	660.0
		소계	140.0	350.0	280.0	0.0	0.0	0.0	0.0	770.0
	합계		540.0	1,350.0	1,080.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,970.0

○ (세부과제 4-3) 암모니아 개질을 통한 수소 생산 기술

<표 7-1-21> 세부과제별 사업비 (세부 과제 4-3)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 4-3-1) 수소 생산량 300 Nm^3/h급 NH_3 분해 수소생산 공정 기술	정부		200.0	500.0	500.0	1,500.0	500.0	0.0	0.0	3,200.0
	민간	현금	10.0	25.0	25.0	75.0	25.0	0.0	0.0	160.0
		현물	60.0	150.0	150.0	450.0	150.0	0.0	0.0	960.0
		소계	70.0	175.0	175.0	525.0	175.0	0.0	0.0	1,120.0
	합계		270.0	675.0	675.0	2,025.0	675.0	0.0	0.0	4,320.0
(세세부과제 4-3-2) 미반응 NH_3 제거 공정설비 및 고순도 수소 정제 공정 기술	정부		200.0	500.0	500.0	1,500.0	500.0	0.0	0.0	3,200.0
	민간	현금	10.0	25.0	25.0	75.0	25.0	0.0	0.0	160.0
		현물	60.0	150.0	150.0	450.0	150.0	0.0	0.0	960.0
		소계	70.0	175.0	175.0	525.0	175.0	0.0	0.0	1,120.0
	합계		270.0	675.0	675.0	2,025.0	675.0	0.0	0.0	4,320.0
합계	정부		400.0	1,000.0	1,000.0	3,000.0	1,000.0	0.0	0.0	6,400.0
	민간	현금	20.0	50.0	50.0	150.0	50.0	0.0	0.0	320.0
		현물	120.0	300.0	300.0	900.0	300.0	0.0	0.0	1,920.0
		소계	140.0	350.0	350.0	1,050.0	350.0	0.0	0.0	2,240.0
	합계		540.0	1,350.0	1,350.0	4,050.0	1,350.0	0.0	0.0	8,640.0

□ 세부과제 5: 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

○ 세부과제 5 총괄

<표 7-1-22> 세부과제별 사업비 (세부 5과제 총괄)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세부과제 5-1) 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술 개발	정부		1,400.0	2,100.0	2,000.0	1,800.0	1,100.0	0.0	0.0	8,400.0
	민간	현금	70.0	105.0	100.0	90.0	55.0	0.0	0.0	420.0
		현물	420.0	630.0	600.0	540.0	330.0	0.0	0.0	2,520.0
		소계	490.0	735.0	700.0	630.0	385.0	0.0	0.0	2,940.0
	합계		1,890.0	2,835.0	2,700.0	2,430.0	1,485.0	0.0	0.0	11,340.0
(세부과제 5-2) 고순도 수소 분리 고도화 기술	정부		900.0	1,400.0	1,900.0	1,900.0	1,800.0	0.0	0.0	7,900.0
	민간	현금	45.0	70.0	95.0	95.0	90.0	0.0	0.0	395.0
		현물	270.0	420.0	570.0	570.0	540.0	0.0	0.0	2,370.0
		소계	315.0	490.0	665.0	665.0	630.0	0.0	0.0	2,765.0
	합계		1,215.0	1,890.0	2,565.0	2,565.0	2,430.0	0.0	0.0	10,665.0
합계	정부		2,300.0	3,500.0	3,900.0	3,700.0	2,900.0	0.0	0.0	16,300.0
	민간	현금	115.0	175.0	195.0	185.0	145.0	0.0	0.0	815.0
		현물	690.0	1,050.0	1,170.0	1,110.0	870.0	0.0	0.0	4,890.0
		소계	805.0	1,225.0	1,365.0	1,295.0	1,015.0	0.0	0.0	5,705.0
	합계		0.0	0.0	108.0	351.0	351.0	351.0	189.0	1,350.0

○ (세부과제 5-1) 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술

<표 7-1-23> 세부과제별 사업비 (세부 과제 5-1)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 5-1-1) 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 합성가스 정제 설비 설계, 구축 및 최적 운전제어 기술 개발	정부		700.0	1,000.0	1,000.0	800.0	800.0	0.0	0.0	4,300.0
	민간	현금	35.0	50.0	50.0	40.0	40.0	0.0	0.0	215.0
		현물	210.0	300.0	300.0	240.0	240.0	0.0	0.0	1,290.0
		소계	245.0	350.0	350.0	280.0	280.0	0.0	0.0	1,505.0
	합계		945.0	1,350.0	1,350.0	1,080.0	1,080.0	0.0	0.0	5,805.0
(세세부과제 5-1-2) 합성가스 고도 정제를 위한 모듈형 컴팩트 정제 설비 FEED 패키지 개발	정부		300.0	300.0	200.0	300.0	300.0	0.0	0.0	1,400.0
	민간	현금	15.0	15.0	10.0	15.0	15.0	0.0	0.0	70.0
		현물	90.0	90.0	60.0	90.0	90.0	0.0	0.0	420.0
		소계	105.0	105.0	70.0	105.0	105.0	0.0	0.0	490.0
	합계		405.0	405.0	270.0	405.0	405.0	0.0	0.0	1,890.0
(세세부과제 5-1-3) 100 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 바이오가스 정제 설비 설계, 구축 및 최적 운전제어 기술 개발	정부		400.0	500.0	500.0	400.0	0.0	0.0	0.0	1,800.0
	민간	현금	20.0	25.0	25.0	20.0	0.0	0.0	0.0	90.0
		현물	120.0	150.0	150.0	120.0	0.0	0.0	0.0	540.0
		소계	140.0	175.0	175.0	140.0	0.0	0.0	0.0	630.0
	합계		540.0	675.0	675.0	540.0	0.0	0.0	0.0	2,430.0
(세세부과제 5-1-4) 바이오가스 고도 정제를 위한 모듈형 컴팩트 정제 설비 FEED 패키지 개발	정부		0.0	300.0	300.0	300.0	0.0	0.0	0.0	900.0
	민간	현금	0.0	15.0	15.0	15.0	0.0	0.0	0.0	45.0
		현물	0.0	90.0	90.0	90.0	0.0	0.0	0.0	270.0
		소계	0.0	105.0	105.0	105.0	0.0	0.0	0.0	315.0
	합계		0.0	405.0	405.0	405.0	0.0	0.0	0.0	1,215.0
합계	정부		1,400.0	2,100.0	2,000.0	1,800.0	1,100.0	0.0	0.0	8,400.0
	민간	현금	70.0	105.0	100.0	90.0	55.0	0.0	0.0	420.0
		현물	420.0	630.0	600.0	540.0	330.0	0.0	0.0	2,520.0
		소계	490.0	735.0	700.0	630.0	385.0	0.0	0.0	2,940.0
	합계		1,890.0	2,835.0	2,700.0	2,430.0	1,485.0	0.0	0.0	11,340.0

○ (세부과제 5-2) 고순도 수소 분리 고도화 기술

<표 7-1-24> 세부과제별 사업비 (세부 과제 5-2)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 5-2-1) 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 설비 설계, 구축 및 최적 운전제어기술 개발	정부		700.0	800.0	800.0	700.0	700.0	0.0	0.0	3,700.0
	민간	현금	35.0	40.0	40.0	35.0	35.0	0.0	0.0	185.0
		현물	210.0	240.0	240.0	210.0	210.0	0.0	0.0	1,110.0
		소계	245.0	280.0	280.0	245.0	245.0	0.0	0.0	1,295.0
	합계		945.0	1,080.0	1,080.0	945.0	945.0	0.0	0.0	4,995.0
(세세부과제 5-2-2) 고순도 수소 분리용 소재 개발 및 소규모 시험	정부		200.0	300.0	300.0	200.0	200.0	0.0	0.0	1,200.0
	민간	현금	10.0	15.0	15.0	10.0	10.0	0.0	0.0	60.0
		현물	60.0	90.0	90.0	60.0	60.0	0.0	0.0	360.0
		소계	70.0	105.0	105.0	70.0	70.0	0.0	0.0	420.0
	합계		270.0	405.0	405.0	270.0	270.0	0.0	0.0	1,620.0
(세세부과제 5-2-3) 100 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 고순도 수소 분리 고도화 설비 설계, 구축 및 운전제어기술 개발	정부		0.0	0.0	500.0	700.0	600.0	0.0	0.0	1,800.0
	민간	현금	0.0	0.0	25.0	35.0	30.0	0.0	0.0	90.0
		현물	0.0	0.0	150.0	210.0	180.0	0.0	0.0	540.0
		소계	0.0	0.0	175.0	245.0	210.0	0.0	0.0	630.0
	합계		0.0	0.0	675.0	945.0	810.0	0.0	0.0	2,430.0
(세세부과제 5-2-4) 고순도 수소 분리 고도화 설비 소재 개발 및 랩규모 모듈화 제작 시험	정부		0.0	300.0	300.0	300.0	300.0	0.0	0.0	1,200.0
	민간	현금	0.0	15.0	15.0	15.0	15.0	0.0	0.0	60.0
		현물	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	0.0	0.0	360.0
		소계	0.0	105.0	105.0	105.0	105.0	0.0	0.0	420.0
	합계		0.0	405.0	405.0	405.0	405.0	0.0	0.0	1,620.0
합계	정부		900.0	1,400.0	1,900.0	1,900.0	1,800.0	0.0	0.0	7,900.0
	민간	현금	45.0	70.0	95.0	95.0	90.0	0.0	0.0	395.0
		현물	270.0	420.0	570.0	570.0	540.0	0.0	0.0	2,370.0
		소계	315.0	490.0	665.0	665.0	630.0	0.0	0.0	2,765.0
	합계		1,215.0	1,890.0	2,565.0	2,565.0	2,430.0	0.0	0.0	10,665.0

□ 세부과제 6: 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술

○ 세부과제 6 총괄

<표 7-1-25> 세부과제별 사업비 (세부 6과제 총괄)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세부과제 6-1) 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	정부		420.0	940.0	1,420.0	1,420.0	1,360.0	0.0	0.0	5,560.0
	민간	현금	21.0	47.0	71.0	71.0	68.0	0.0	0.0	278.0
		현물	126.0	282.0	426.0	426.0	408.0	0.0	0.0	1,668.0
		소계	147.0	329.0	497.0	497.0	476.0	0.0	0.0	1,946.0
	합계		567.0	1,269.0	1,917.0	1,917.0	1,836.0	0.0	0.0	7,506.0
(세부과제 6-2) ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	정부		500.0	1,500.0	1,400.0	1,200.0	1,100.0	0.0	0.0	5,700.0
	민간	현금	50.0	100.0	90.0	80.0	75.0	0.0	0.0	395.0
		현물	125.0	425.0	400.0	340.0	310.0	0.0	0.0	1,600.0
		소계	175.0	525.0	490.0	420.0	385.0	0.0	0.0	1,995.0
	합계		675.0	2,025.0	1,890.0	1,620.0	1,485.0	0.0	0.0	7,695.0
합계	정부		920.0	2,440.0	2,820.0	2,620.0	2,460.0	0.0	0.0	11,260.0
	민간	현금	71.0	147.0	161.0	151.0	143.0	0.0	0.0	673.0
		현물	251.0	707.0	826.0	766.0	718.0	0.0	0.0	3,268.0
		소계	322.0	854.0	987.0	917.0	861.0	0.0	0.0	3,941.0
	합계		1,242.0	3,294.0	3,807.0	3,537.0	3,321.0	0.0	0.0	15,201.0

○ (세부과제 6-1) 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술

<표 7-1-26> 세부과제별 사업비 (세부 과제 6-1)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 6-1-1) 합성가스플랜트 핵심설비별 표준모듈 설계 기술	정부		420.0	520.0	520.0	500.0	480.0	0.0	0.0	2,440.0
	민간	현금	21.0	26.0	26.0	25.0	24.0	0.0	0.0	122.0
		현물	126.0	156.0	156.0	150.0	144.0	0.0	0.0	732.0
		소계	147.0	182.0	182.0	175.0	168.0	0.0	0.0	854.0
	합계		567.0	702.0	702.0	675.0	648.0	0.0	0.0	3,294.0
(세세부과제 6-1-2) 핵심설비 모듈 연결 플랜트 최적화 설계기술	정부		0.0	420.0	420.0	420.0	420.0	0.0	0.0	1,680.0
	민간	현금	0.0	21.0	21.0	21.0	21.0	0.0	0.0	84.0
		현물	0.0	126.0	126.0	126.0	126.0	0.0	0.0	504.0
		소계	0.0	147.0	147.0	147.0	147.0	0.0	0.0	588.0
	합계		0.0	567.0	567.0	567.0	567.0	0.0	0.0	2,268.0
(세세부과제 6-1-3) 모듈 통합 플랜트 운영 기반 지원기술	정부		0.0	0.0	480.0	500.0	460.0	0.0	0.0	1,440.0
	민간	현금	0.0	0.0	24.0	25.0	23.0	0.0	0.0	72.0
		현물	0.0	0.0	144.0	150.0	138.0	0.0	0.0	432.0
		소계	0.0	0.0	168.0	175.0	161.0	0.0	0.0	504.0
	합계		0.0	0.0	648.0	675.0	621.0	0.0	0.0	1,944.0
합계	정부		420.0	940.0	1,420.0	1,420.0	1,360.0	0.0	0.0	5,560.0
	민간	현금	21.0	47.0	71.0	71.0	68.0	0.0	0.0	278.0
		현물	126.0	282.0	426.0	426.0	408.0	0.0	0.0	1,668.0
		소계	147.0	329.0	497.0	497.0	476.0	0.0	0.0	1,946.0
	합계		567.0	1,269.0	1,917.0	1,917.0	1,836.0	0.0	0.0	7,506.0

○ (세부과제 6-2) ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술

<표 7-1-27> 세부과제별 사업비 (세부 과제 6-2)

단위: 백만원

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	합계
(세세부과제 6-2-1) ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 플랜트 운영 관리 최적화 시스템	정부		0	1,000	1,000	800	700	0	0	3,500
	민간	현금	0	50	50	40	35	0	0	175
		현물	0	300	300	240	210	0	0	1,050
		소계	0	350	350	280	245	0	0	1,225
	합계		0	1,350	1,350	1,080	945	0	0	4,725
(세세부과제 6-2-2) 합성가스 플랜트 빅데이터 플랫폼 및 분석·진단 체계	정부		500	500	400	400	400	0	0	2,200
	민간	현금	50	50	40	40	40	0	0	220
		현물	125	125	100	100	100	0	0	550
		소계	175	175	140	140	140	0	0	770
	합계		675	675	540	540	540	0	0	2,970
합계	정부		500	1,500	1,400	1,200	1,100	0	0	5,700
	민간	현금	50	100	90	80	75	0	0	395
		현물	125	425	400	340	310	0	0	1,600
		소계	175	525	490	420	385	0	0	1,995
	합계		675	2,025	1,890	1,620	1,485	0	0	7,695

2. 재원조달방안

○ 본 사업은 2020년~2026년 7년간 총 사업비 2,390억원을 조달하여 운영
- 본 사업비에는 test-bed 구축 및 연구개발 장비 구입 비용 등을 포함
- 부지 구입비는 포함되지 않았으므로 세부과제별 주관기관은 test-bed 부지를 제공할 수 있는 지자체 또는 수요기업을 포함한 컨소시움 구성 필요

○ 총 사업비 중 1,780억원을 국토교통부가 정부출연금 형태로 지원하고 나머지 610억원은 민간의 부담금으로 충당

○ 총괄사업단 연구추진 및 운영비용은 전액 정부출연금으로 충당하며, 각 개별 연구과제는 정부출연금과 민간부담금으로 구성하였으며 정부출연금: 민간부담금 비율 = 74%: 26%로 구성
- 총괄사업단은 전액 정부출연금으로 운영되는 것으로 고려
- 본 사업은 중소·중견기업이 중심적으로 참여하는 것으로 기획되었으며 참여기업 중 중소기업의 비율이 2/3 이상인 것으로 전제
- 국토교통과학기술진흥원의 '중앙행정기관의 연구개발비 출연 기준'에 의하면 참여기업 중 중소기업 비율이 2/3 이상인 경우 '중앙행정기관의 연구개발비 출연기준은 총 연구개발비의 75% 이내'임을 고려하여 정부출연금과 민간부담금 비율을 결정

○ 기술개발 의지가 높은 기업이 참여하여 사업 성공 가능성을 높이기 위하여 민간부담금 중 현금: 현물 비율 = 14.3%: 85.7%로 구성
- 국토교통과학기술진흥원의 '참여기업이 부담하는 연구개발비 중 현금부담 기준'에 의하면 '참여기업이 대기업, 중견기업, 중소기업 각각의 경우에 대하여 15% 이상, 13% 이상, 10% 이상 현금 부담'
- 국내 일부 기업에서는 정부 지원 시에는 민간부담금인 현물과 현금을 부담할 수 있다는 재원조달 가능성과 참여의사를 표명
- 국내 지방자치단체에서 부지를 제공할 수 있다는 참여의사를 표명

○ 민간부담금의 경우 대기업군에 속하는 엔지니어링 기업의 참여 가능성, 각 세부 연구과제별 컨소시움 구성 및 핵심과제의 사업화 모델 등에 따라서 획일적 적용보다는 탄력적으로 적용하되, '국토교통부의 정부출연금 지원 비율' 및 '대기업·중견기업·중소기업 각 기업군에 따라 연구개발비 중 현금부담 기준'을 모두 만족하도록 관리 및 운영

3. 소요인력

<표 7-1-28> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 기술개발 사업 소요 인력

구분	협동 및 공동 과제	개발 인력 (명)
사업단	총괄사업단	5
(세부 1) 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발	(세부 1 주관) 폐기물/바이오매스 이용 고정층 순산소 가스화 기술	60
	(세부 1의 공동 1) 펫코크 이용 분류층 순산소 가스화 기술	60
	(세부 1의 공동 2) 원료 균질화를 위한 전처리 기술	30
	세부 1 소계	150
(세부 2) 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술	(세부 2 협동) 바이오매스(유기성) 기반 바이오메탄 개질 수소 생산 증진 기술	30
	(세부 2의 공동 1) 바이오매스(유기성) 기반 안정적 바이오 수소 직접 생산 실증 기술	30
	(세부 2의 공동 2) 혐기소화액 부생 암모니아 분해 수소 생산 실증 기술	30
	세부 2 소계	90
(세부 3) 잉여 전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 개발	(세부 3 협동) 재생 에너지원 활용 수소 생산 기술	30
	(세부 3의 공동 1) P2G 플랜트 산소 활용 기술	30
	(세부 3의 공동 2) P2G 플랜트 설계 및 공정 최적화 기술	30
	(세부 3의 공동 3) P2G 실증플랜트 건설 및 운영 기술	10
	(세부 3의 공동 4) 수소 안전/제도	10
	세부 3 소계	110
(세부 4) 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술	(세부 4 협동) 천연가스의 CO_2-added 개질 기술	30
	(세부 4의 공동 1) 합성가스/개질가스 내 일산화탄소의 수소 전환 기술	20
	(세부 4의 공동 2) 암모니아의 개질을 통한 수소 생산기술 개발	20
	세부 4 소계	70
(세부 5) 합성가스/ 바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술	(세부 5 협동) 합성가스 및 바이오가스 고도 정제 기술	35
	(세부 5의 공동 2) 고순도 수소 분리 고도화 기술	35
	세부 5 소계	70
(세부 6) 합성가스 기반 수소 생산 플랜트 공통 핵심 기술	(세부 6 협동) 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술	45
	(세부 6의 공동 1) ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술	25
	세부 6 소계	70
합계	합계	565

제 8 장 사전타당성 분석

제1절 사전타당성 분석 방법론

1. 개요

□ 2018년도 예비타당성조사 운용지침(시행 2018.4.17.)에 제시된 타당성 분석 수행

○ 경제성 분석, 정책적 분석, 기술성 분석의 3개 큰 틀의 분석이 요구

- 가스플랜트 분야는 특정지역이 정해져 있지 않으므로 지역균형발전 분석은 생략

○ 경제성분석은 비용-편익분석(Cost-Benefit Analysis)을 기본적 방법론으로 채택하여 분석

<표 8-1-1> 예비타당성조사 운용지침(시행 2018.4.17.) 중 분석방법 관련 조항

제32조(예비타당성조사 분석 방법)
① 예비타당성조사 결과는 경제성 분석, 정책성 분석, 지역균형발전 분석에 대한 평가 결과를 종합적으로 고려하여 제시한다.
② 정보화 사업은 제1항의 규정에 의한 평가항목 외에 기술성 분석을 포함한다. 다만, 사업의 주요내용이 건설사업인 경우에는 기술성 분석을 수행하지 아니할 수 있다.
③ 해당 사업이 특정지역으로 정해져 있지 않거나 사업효과가 특정지역에 국한되지 않는 사업은 제1항의 규정에도 불구하고 지역균형발전 분석을 생략할 수 있다.
(주) 사업 유형별 평가 항목
· 건설사업: 경제성 분석, 정책성 분석, 지역균형발전 분석
· 정보화사업: 경제성 분석, 정책성 분석, 기술성 분석(또는 지역균형발전 분석)
· 기타 재정사업: 경제성 분석, 정책성 분석

제33조(경제성 분석)
① 제33조에 의한 경제성 분석은 예비타당성조사 대상사업의 국민 경제적 파급효과와 투자적합성을 분석하는 핵심적 조사과정으로서 비용-편익분석(Cost-Benefit Analysis)을 기본적인 방법론으로 채택하여 분석한다.
② 비용-편익분석을 위해서 사업 시행에 따른 수요를 추정하여 편익을 산정하고, 총사업비와 해당 사업의 운영에 필요한 모든 경비를 합하여 비용을 산정한다.
(주) 일반적으로 B/C비율이 1보다 클 경우 경제적 타당성이 있음을 의미함

제34조(정책성 분석)
① 정책성 분석은 해당 사업과 관련된 정책의 일관성 및 사업준비 정도, 사업 추진상의 위험요인, 고용효과, 사업별 특수평가 항목 등의 평가항목들을 정량적 또는 정성적으로 분석한다.
② 정책성 분석을 수행함에 있어 환경적 가치의 고려가 필요하거나 저탄소·녹색성장에 기여하는 바가 큰 사업에 대하여는 제1항의 규정에 의한 사업 특수평가 항목에 반영하여야 한다.
(예시: 환경적 가치 고려 사업) 국가·시도 지정문화재가 다수 분포하는 문화유적지나 갯벌·습지 등 생태적 중요성이 높은 지역의 보전 또는 친환경적 활용이나 관광을 촉진하는 사업 등

(예시: 저탄소·녹색성장 기여 사업) 환경오염 저감, 저탄소·에너지 효율개선 등 기후변화 대응 사업, 녹색위 지정 10대 기술분야 사업 및 녹색기술인정 사업 등

③ 예비타당성조사 수행기관은 정책성 분석 과정에서 사업추진상 위험요인 분석 및 민간투자 추진 가능성 검토 등을 위해 재무성 분석을 실시하고 그 결과를 제시할 수 있다.

④ 예비타당성조사 수행기관은 정책성 분석 과정에서 해당 사업의 구체적 사업 목적, 목적 달성 여부를 측정하는 수단인 성과지표(성과지표명, 측정산식, 측정방법 등)의 적절성을 검증하고 그 결과를 제시할 수 있다.

제36조(기술성 분석) 기술성 분석은 업무요구 부합성, 적용기술 적합성, 구현·운영계획 적정성 등을 분석한다.

제37조(종합평가)

① 사업 타당성에 대한 종합평가는 평가항목별 분석결과를 토대로 다기준분석의 일종인 계층화분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 활용하여 계량화된 수치로 도출한다.

(주) 일반적으로 AHP가 0.5 이상이면 사업 시행이 바람직함을 의미

② 제1항의 규정에 의한 AHP 수행시 각 평가항목별 가중치는 특별한 사유가 없는 한 사업유형별로 다음 각 호의 가중치 범위 내에서 적용한다.

1. 건설사업: 경제성 35~50%, 정책성 25~40%, 지역균형발전 25~35%
2. 정보화 사업
   · B/C 분석시: 경제성 40~50%, 기술성 30~40%, 정책성 20~30%
   · E/C 분석시: 경제성 30~40%, 기술성 40~50%, 정책성 20~30%
3. 기타 재정사업
   · B/C 분석시: 경제성 25~50%, 정책성 50~75%
   · E/C 분석시: 경제성 20~40%, 정책성 60~80%

□ 사전타당성조사 분석 내역

○ 사전타당성 조사분석은 기술적 타당성, 정책적 타당성, 경제적 타당성의 3개 분야로 나누어 분석

- 기술적 타당성 분석은 기술개발계획의 적절성, 기술개발 성공가능성, 기존기술/사업과의 중복성 측면에서 분석
- 정책적 타당성 분석은 예타사업으로 추진코자 하는 사업에 관련한 정책의 일관성과 추진의지, 국민 세금인 국고지원의 적합성, 사업추진상 위험요인을 분석
- 경제적 타당성 분석은 비용편익 비율을 기본으로 하여 순현재가치(Net Present Value: NPV)와 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR) 분석을 포함

<표 8-1-2> 사전타당성 조사 분석항목별 세부사항

평가항목		
1계층	2계층	3계층
기술적 타당성 분석	기술개발 계획의 적절성	사업 기획 과정의 적절성
		사업목표의 적절성
		사업구성 및 내용의 적절성
	기술개발 성공가능성	기술확보 성공가능성
	기존 기술 및 사업과의 중복성	사업수준의 중복성
		과제수준의 중복성
정책적 타당성 분석	정책의 일관성 및 추진의지	상위계획과의 부합성
		사업추진체계 및 추진의지
	국고지원의 적합성	사업추진의 시급성
		국고지원의 필요성
	사업추진상의 위험요인	재원조달 가능성
		법·제도적 위협요인
경제적 타당성 분석	경제성	• 비용 및 편익분석 • 편익산출을 위한 변수 도출 • 비용편익비 도출

2. 영역별 타당성 분석 수행 체계

□ 정책적 타당성 분석

○ 정책적 타당성 분석의 목적은 기술성 분석과 경제성 분석에서는 포함시키기 어려운 기술개발 및 시장에 영향을 미치는 정책과 부처의 사업 추진의지 등을 파악하여 사업의 정책적 정당성을 부여

- 계량화하여 B/C 분석에 포함시킬 수는 없으나, 사업의 시행 여부를 판단하는데 고려해야할 평가요소들을 분석

○ 정책적 일관성 및 추진체계는 국가과학기술 등 상위계획을 검토하여 본 사업에서 개발하고자 하는 기술이 정부 정책과 연관성이 있으며, 정부 정책을 효과적으로 달성할 수 있는 수단임을 명시

- 국가 상위계획 등을 분석하여 국토교통부가 본 사업에 대한 강한 추진의지를 가지고 있음을 제시

<표 8-1-3 > 정책적 타당성 분석의 세부분야와 항목

분석주안점	분석분야	분석항목
정책의 일관성 및 추진체제	상위계획과의 부합성	상위계획별 부합성
	사업 추진체제 및 추진의지	사업 추진체제의 적절성
		사업 추진의지 및 선호도
국고지원의 적합성	사업추진의 시급성	환경적 측면
		정책적 측면
		기술적 측면
		경제적 측면
	국고지원의 필요성	법적 추진 근거
		국정과제와의 연계성
사업 추진 상의 위협요인	재원조달 가능성	국고지원 조달 가능성
	법·제도적 위협요인	법·제도적 위협요인 및 대응방안

□ 기술적 타당성 분석

○ 과학기술적 측면에서 사업의 타당성 여부를 판단

- 기술적 측면에서 사업의 목표와 연구개발 활동이 명확하게 정의되었는지 분석

* 목표달성을 위한 대안 존재여부 분석

<표 8-1-4> 기술적 타당성 분석의 세부분야와 항목

분석주안점	분석분야	분석항목
기술개발 계획의 적절성	사업 기획과정의 적절성	기획 참여 전문가 집단 구성의 적절성
		기술수요조사의 적절성
		우선순위 설정과정의 적절성
		유관부처·기관 협의의 적절성
	사업 목표의 적절성	이슈/문제의 적절성
		목표 설정의 적절성
		사업목표와 이슈/문제와의 연계성
		수혜자 표적화의 적절성
	사업 구성 및 내용의 적절성	세부활동의 적절성
		세부활동과 사업목표 간 연계성
		성과지표의 적절성
		세부활동 간의 선후관계의 적절성
기술개발 성공가능성	기술확보 성공가능성	연구인력 확보 가능성
		연구장비 확보 가능성
		기술수준 달성 가능성
기존 사업과의 중복성	사업수준의 중복성 검토	기존 사업과의 중복성 검토의 적절성
		기존 사업과의 중복성 검토 결과
	과제수준의 중복성 검토	기존 과제와의 중복성 검토의 적절성
		기존 과제와의 중복성 검토 결과

○ 기술개발 계획의 적절성

- 사업이 기획된 배경과 경위부터 전반적인 사업계획이 합리적인 과정(절차와 방법)을 거쳐서 이루어졌는지를 분석

* 기획단계의 오류로 인한 R&D사업의 부실화를 사전에 방지

- R&D사업의 예비타당성조사에서 가장 중요하게 심층적으로 분석되는 항목

* 사업계획의 추상성은 계획과 예산 간의 괴리를 유발하여 사업실패의 원인으로 작용

* 사업목표는 사업추진 당위성의 핵심이며 사업범위 설정과 비용/편익 산출의 근거가 되도록 설정

- 분석절차: 주요 쟁점사항 도출 및 세분화(논리모형 활용) → 개별 평가질문에 대한 적부 분석 (14대 분석방법론 중 선별 활용) → 종합결과 도출

<표 8-1-5> R&D사업 관련 14대 주요 분석방법론

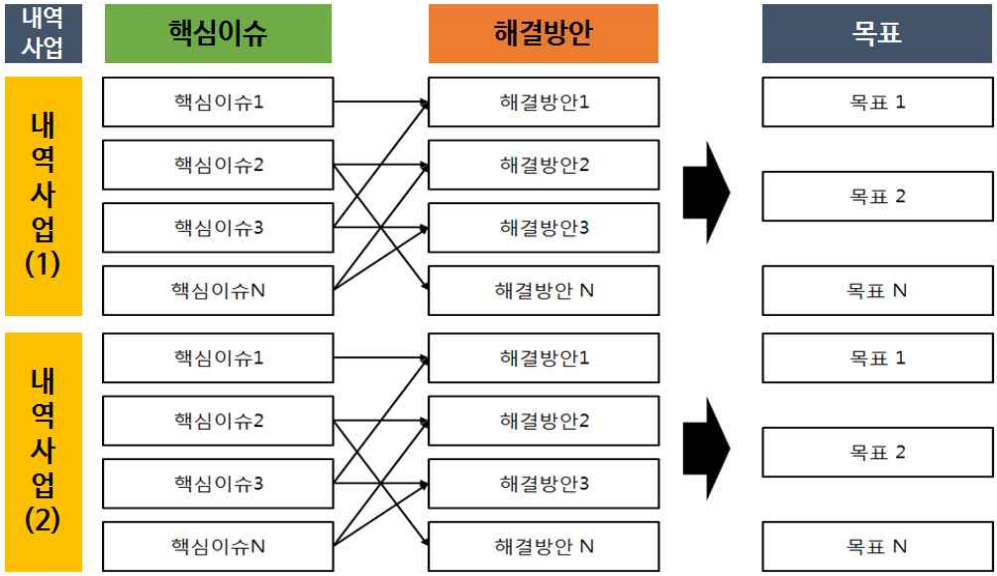
No.	분석방법론
1	전문가 평가 (Peer review/expert judgement)
2	지표분석 (Monitoring data compilation, and use of indicators)
3	문헌분석 - 인용분석 (Bibliometrics - counts and citation analysis)
4	문헌분석 - 데이터 마이닝 (Bibliometrics - data mining)
5	문헌분석 - 핵심특허분석 (Bibliometrics - hotspot patent analysis)
6	네트워크 분석 (Network analysis)
7	사례연구법 (Case study method)
8	설문조사법 (Survey method)
9	벤치마킹법 (Benchmarking method)
10	기술상용화 추적법 (Technology commercialization tracking method)
11	계량분석법 (Econometric method)
12	역사적 추적법 (Historical tracking)
13	비용편익 분석 (B/C analysis)
14	파급효과 분석

(출처: 2017년도 국가연구개발사업 예비타당성 조사 교육, KISTEP)

○ 사업목표의 적절성

- 사업추진 필요성에 대한 문제 정의가 잘 되었는지, 사업목표가 구체적으로 적절하게 제시되었는지, 문제의 해결과 사업목표가 잘 부합하는지를 분석

- 사업목표와 이슈/문제와의 연계성 분석



[그림 8-1-1] 사업목표와 이슈/문제와의 연계성 분석틀

○ 사업 구성 및 내용의 적절성

- 사업목표 달성을 위하여 연구개발 과제와 그 하위의 세부활동들이 구체적으로 제시되고 서로 효과적, 효율적으로 연계되었는지 여부를 분석

○ 기술개발 성공 가능성

- 기술속성의 관점에서 쟁점사항을 검토하여 해당분야에 대한 대규모 투자시점의 적절성과 계획 대비 일정지연이나 비용증가의 가능성에 대한 결과를 제시

  * 국내외 논문/특허 분포 및 규모, 성공/실패 사례, 기술수준평가 등을 분석

  * 국가간 연구소간, 조직간 특허 및 논문 발간수, 인용정도, 독과점, 진입장벽 정도를 지수화하여 비교

- 기술추세 분석: 기획사업 관련 기술개발 단계가 대형 연구개발사업으로 추진되기에 적합한 시점인지 분석

  * 분석방법: 논문/특허 등 데이터마이닝, 전문가 평가, 기술준비도(TRL) 분석 등

○ 기존 사업과의 중복성

- 정부 연구자금의 실질적인 전달체계가 유사/동일한지, 그로 인해 기획사업과 비교대상 사업의 투자 포트폴리오가 유사/동일한지 여부를 분석

- 분석방법

  * 실질적 전달체계의 유사/동일 존재 여부를 사업/과제 단위로 구분하여 수행

    · 사업단위 중복요수 판단: 사업목표, 지원대상, 지원분야 등

    · 과제단위 중복판단 요소: 연구목표, 연구방법, 연구내용, 기대효과 등

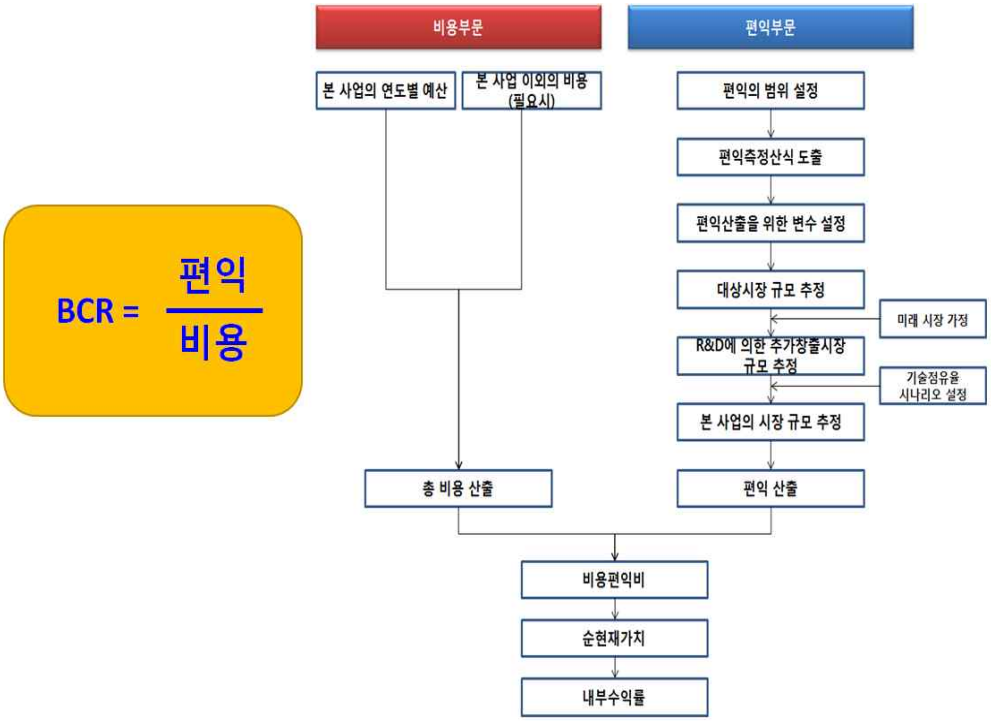
    · 연수시설 중복판단 요소: 시설의 용도, 기능, 입지 등

  * 중복성 분석은 사업에서 제시하는 지향점, 대상기간, 사업산출물의 수혜집단의 동일/유사성에 대한 비교검토가 가능할 정도로 구체화

□ 경제적 타당성 분석

○ 경제성 타당성 분석의 핵심은 사업의 비용과 편익을 산출하여 총 비용보다 총 편익이 커서 사업이 경제적 관점에서 타당성이 있음을 증명하는 수단으로 제시

- 정부 투자의 효율성에 대한 분석이 목표
- 비용편익 분석을 기본으로 수행
- 편익과 비용의 비인 B/C ratio는 아래와 같은 항목과 절차를 통하여 산출



[그림 8-1-2] 편익비(BCR)와 내부수익률의 산출 과정

○ 경제적 타당성 분석 시 일반적으로 사용되는 지표는 비용편익비율(Benefit Cost Ratio: BC Ratio), 순현재가치(Net Present Value: NPV), 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR)의 3가지

- 3가지 지표 모두 미래 발생할 편익 혹은 비용을 현재가치화 하여 평가하는 방법으로, 비용편익 분석 시 공통적으로 할인율(Discount Rate) 고려 필요

* 할인율은 급격한 사회적 할인율의 조정을 피하고, 금리 상향 변동가능성을 감안하여 조정된 4.5%의 사회적 할인율을 사용

○ 상기 3가지 방법은 경제적 타당성 분석을 위한 비용편익 분석 시 가장 보편적으로 사용되는 방법이나, 각각의 의미가 다소 상이하므로 최종 의사결정을 위해서는 투자사업의 성격이나 목적에 맞는 방법을 사용

- 각 방법의 장·단점을 비교하면 다음과 같으며, 상기의 3가지 비용편익 분석 방법을 적용하여 두 사업모델의 경제성 평가를 수행

<표 8-1-6> 경제적 타당성 분석기준의 장·단점 비교

분석기법	판단	장점	단점
편익비용 비율 (BC Ratio)	BC Ratio≥1	• 이해용이, 사업규모 고려 가능 • 투자규모 대비 편익의 비율을 직접적으로 표시	• 상호배타적 대안선택의 오류 발생 가능 • 투자액이 적은 사업의 수익성이 과장될 가능성 존재 • 비용과 편익의 구분이 명확하지 않은 경우 BC비율이 적절한 수치가 되지 못할 수 있음
순현재가치 (NPV)	NPV≥0	• 투자의 순가치를 직접적으로 표시 • 대안 선택 시 명확한 기준 제시 • 장래발생편익의 현재가치 제시 • 한계 순현재가치 고려 • 타 분석에 이용가능	• 이해의 어려움 • 대안 우선순위 결정 시 오류 발생 가능성 • 투자사업 규모가 클수록 크게 나타나지만 자본투자의 효율성이 드러나지 않음
내부수익률 (IRR)	IRR≥r	• 사업의 수익성 측정 가능 • 타 대안과 비교가 용이 • 평가과정과 결과 이해 용이 • NPV나 BC Ratio적용 시 할인율이 분명할 경우 이용가능	• 사업의 절대적 규모를 고려하지 않아 투자액이 작은 사업의 수익성이 과장되기 쉬움 • 복수의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내재

○ 비용과 편익 산출법

- 비용 산출법: R&D사업비 + 실증플랜트 건설비/부품제작비
- 편익 산출법

＊ 이론적 근거: 시장수요접근법에 근거한 생산지 중심의 부가가치 창출 편익

・ 기업이 사업을 통해 개발한 기술을 활용하여 플랜트(부품 또는 완성품)를 제작/판매함으로써 얻을 수 있는 매출액 중 순수 부가가치만을 측정

＊ 편익의 범위: 사업의 목적과 직접적으로 관련된 편익 (연료/가스 판매, 전력 판매 등 사업의 간접목적은 배제)

＊ 시장 수요: 현재 세계시장 규모에 근거한 미래시장(대상시장) 추정

・ 사업을 통해 창출되는 추가 시장(추가창출시장) 규모 추정

・ 예산 시장점유율을 적용하여 사업의 성과물로 현실적으로 시장에 판매할 수 있는 규모 추정

＊ 생산자: 사업의 성과물을 생산할 수 있는 부품제작업체, 설치업체, 운영업체 등을 예시함으로써 생산이 가능함을 증명

＊ 부가가치: 가스/액화 등 관련 플랜트 제작/설치/운영 산업의 평균부가가치율 적용

＊ 편익산출식: 기업의 매출(내수+수출) x 사업기여율 x R&D 기여율 x R&D사업화 성공률 x OEM 국내지분 x 부가가치율

○ 편익산출을 위한 항목별 수치 결정

<표 8-1-7> 편익산출을 위한 항목별 설정 근거

항목	수치	설정근거
부가가치율	00%	• 본 사업의 목표와 연계하여, 한국은행의 투입산출표(해당산업의 부가가치율)로부터 도출
사업기여율	00.0%	• 본 사업과 직접적으로 연관된 기존 사업의 투자금액(NTIS를 통해 산출) 및 본 사업 예산의 합에서 본 사업이 차지하는 비중
R&D 기여율	00.0%	• R&D성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을때, 부가가치 중 R&D에 의한 기여분 • 보통 신태영('04)의 연구결과(28.1%) 적용
R&D 사업화 성공율	00.0%	• 기존 유사사업의 사업화 성공률 적용 • 산업부 기계/소재분야 사업화성공율 39.7%
OEM 국내 지분	00.0%	• 시장판매 규모를 국내에서 모두 생산하기 어려운 경우 적용
사회적 할인율	5.5%	• '한국과학기술기획평가원(2014), 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2-1판)'에서제시한할인율적용
편익발생기간	00년	• 특허분석 결과 TCT(기술순환주기) 적용
현재가치 환산 기준연도	2018년	• 경제성 분석 시점
회임기간	3년	• '한국과학기술기획평가원(2014), 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2-1판)'에서제시한회임기간적용

(출처: 김상준, 예비타당성 조사대상 국가 R&D사업 기획연구 추진방안, 2018/1/25)

○ 비용편익 분석의 세부 방안

- 플랜트 기술개발사업의 편익은「예비타당성 조사 수행을 위한 일반 지침(제5판), 한국개발원, 2008」에 제시하고 있는 편익 구분 기준인 1) 직접적 편익과 편익분석에 포함되지 않는 2) 간접적 편익으로 구분
- 화폐가치 환산이 가능한 간접적 편익의 경우 현재 일반적으로 적용할 수 있는 항목 및 기준이 없으므로 비용편익분석에는 미반영
- 이중 계산 등의 과잉 추정에 유의

* 플랜트 개발을 통해 정(+)의 가치에 증가에 따른 부(-)의 가치 감소가 발생되는 경우 비용편익분석 수행 시 이중 계산을 통한 과잉 추정될 수 있어 두 가지 유형 중 이중 계산에 유의하여 추정
* 또한, 간접적 편익 추정 시 직접적 편익과 연계된 편익인지의 여부를 파악하고, 이중 계산이 발생하지 않도록 통제

○ 편익의 정의 및 추정 방법

- 시장수요접근법을 활용하여 직접적 편익을 정(+)의 가치증가 및 부(-)의 가치감소 등 유형별로 추정
- 정(+)의 가치증가에 따른 직접적 편익의 경우 시장수요접근법을 통해 본 합성가스 상용화 플랜트의 수익을 추정하여 시장수요 시나리오에 따라 편익을 도출
- 간접적 편익인 경제적 파급효과는 IO모델을 활용하여 합성가스 플랜트 건설에 따른

기기제조부문별 계수를 적용하여 1) 생산유발효과, 2) 부가가치 유발효과, 3) 고용창출 유발효과 등을 도출

	프로젝트 1	프로젝트 2
정의	• 폐기물/바이오매스를 공급원료로 하는 합성가스 플랜트의 운영에 대한 수익	• 석탄/펫코크를 공급원료로 하는 합성가스 플랜트의 운영에 대한 수익
편익 발생기간	• 플랜트 운영기간 동안(23년)	• 플랜트 운영기간 동안(23년)
편익 범위 (정의 가치 증가)	• 일산화탄소, 수소 생산 편익 • 폐기물 처리 편익 • 해외 진출 편익	• 가스 공급 편익 • 해외 진출 편익
편익 범위 (부의 가치 감소)	• CO2 저감 편익	• SOx 저감 편익 • 미세먼지 저감 편익
편익 대상	• 상용화플랜트 운영 주체	• 상용화플랜트 운영 주체
경제성 분석 적용	• 국내외 시장 수요 시나리오에 따라 보수적, 중립적, 낙관적 분석 수행	• 국내외 시장 수요 시나리오에 따른 보수적, 중립적, 낙관적 분석 수행

[그림 8-1-3] 정(+)의 가치 증가와 부(-)의 가치 감소에 따른
직접적 편익 적용 과정의 예

○ 편익항목의 정의와 추정방법

- 기획과제 프로젝트를 통해 기대되는 편익은 크게 시장의 활성화로 인한 (1) 가치 창출·증대와 (2) 이산화탄소 혹은 환경오염물질 등의 환경비용 저감에 따른 편익으로 주로 구성

<표 8-1-8> 연구개발 부문 예비타당성 조사 편익항목

구분	예타 비용편익 분석시 편익 반영 요소	예타 비용편익 분석시 편익 미반영 요소	
정(+)의 가치 증가	가치창출 증대 - 신기술 적용을 통한 생산량 증가 - 신기술 개발로 인한 가치창출 기술거래 - 기술이전에 의한 로열티 수입	- 과학기술지식(논문, 특허 등) - 과학기술자의 교육훈련 - 지역개발 효과 - 지역산업구조개편 - 생산 유발효과	- 부가가치 유발효과 - 고용유발효과 - 수입유발효과 - 수출유발효과 - 소득 분배효과 - 취업 유발효과
부(-)의 가치 감소	생산비용저감 - 생산투입 자원 및 시간의 저감 - 연구기간, 출장회수 등의 연구수행 비용저감 - 물류비용 저감 피해비용저감 - 재난·재해·사고로 인한 피해 감소 질병비용 저감 환경비용 저감		

○ 경제성분석 지표에 대한 설명

- **비용편익비율 (BC Ratio)**: 비용편익 비율이란, 사업의 진행으로 인한 총 편익과 총 비용을 현재가치로 환산하여 총 편익의 현재가치를 총 비용의 현재가치로 나눈 것을 의미

$$\frac{C}{B} = \frac{\sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^n}}{\sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^n}}$$

B_t : t시점의 편익　　C_t : t시점의 비용
r : 할인율　　n : 분석기간

- 수식에서 보는 바와 같이 비용편익비율은 비용의 현재가치 대비 편익의 현재가치 비율이 높은 사업일수록 경제적 타당성이 높은 것으로 평가하는 기준

* 일반적으로 비용편익비율 값이 1보다 크면 해당 사업은 경제적으로 타당성이 있으며, 그 값이 클수록 투자 사업의 효과가 큰 것으로 판단

* 비용편익비율은 사업비용의 단위당 편익을 나타내는 값이므로 사업규모 보다는 단위당 편익의 비율이 높은 소규모 사업이 높은 비율을 받기 용이

- **순현재가치(NPV)**: 순현재가치란 현재가치기준(present value criterion)을 사용, 각 연도에 발생하는 편익에서 비용을 뺀 순편익을 구한 뒤, 이러한 순편익의 현재가치의 합을 극대화하는 공공사업이나 정책을 선택하도록 하는 방법

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

B_t : t 시점의 편익　　C_t : t 시점의 비용
r : 할인율　　n : 분석기간

* 순현재가치는 투자사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 순편익의 합계를 현재가치로 환산한 값을 의미
* 일반적으로 순현재가치 값이 양수로 나타나면 분석 대상 사업이 경제적으로 타당성이 있는 것으로 평가되며, 순현재가치가 음수일 경우 경제성이 없는 것으로 평가
* 순현재가치 기준은 비용편익분석에서 사용되는 보편적 기준이나, 대규모 사업이 소규모 사업에 비해 순현재가치가 큰 값을 가지므로 다른 조건이 동일하다면 규모가 큰 사업이 채택될 가능성이 높으며, 사업 단위당 경제성을 평가하기에는 부적합

- **내부수익률 (IRR):** 내부수익률이란 어떠한 사업이나 정책의 순편익의 현재가치 합을 영(“0”)으로 만들어주는 수익률을 의미
* 내부수익률은 투자사업이 사업으로부터 기대되는 예산수익률과 비용으로서의 이자율이 서로 일치하는 상황까지 계속 확대시키는 것이 합리적이라는 투자의 한계효율 개념에 토대를 둔 개념

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+R)^t}$$

B_t : t 시점의 편익　　C_t : t 시점의 비용
R : 내부수익률　　n : 분석기간

* 공공투자분석에서 통상적으로 사용되는 사회적 할인율보다 내부수익률이 클 경우, 사회적 할인율로 할인한 순현재가치가 양수라는 의미와 같으므로 사업이 타당성 있는 것으로 평가

○ 3가지 분석 방법의 장·단점 비교
- 각 방법의 장·단점을 비교하면 다음과 같으며, 상기의 3가지 비용편익 분석 방법을 적용하여 두 사업모델의 경제성 평가를 수행

<표 8-1-9> 경제적 타당성 분석기법의 장·단점 비교

분석기법	판단	장점	단점
편익비용비율 (BC Ratio)	BC Ratio≥1	• 이해용이, 사업규모 고려 가능 • 투자규모 대비 편익의 비율을 직접적으로 표시	• 상호배타적 대안선택의 오류발생 가능 • 투자액이 적은 사업의 수익성이 과장될 가능성 존재 • 비용과 편익의 구분이 명확하지 않은 경우 BC비율이 적절한 수치가 되지 못할 수 있음
순현재가치 (NPV)	NPV≥0	• 투자의 순가치를 직접적으로 표시 • 대안 선택 시 명확한 기준 제시 • 장래발생편익의 현재가치 제시 • 한계 순현재가치 고려 • 타 분석에 이용가능	• 이해의 어려움 • 대안 우선순위 결정 시 오류발생 가능성 • 투자사업 규모가 클수록 크게 나타나지만 자본투자의 효율성이 드러나지 않음
내부수익률 (IRR)	IRR≥r	• 사업의 수익성 측정 가능 • 타 대안과 비교가 용이 • 평가과정과 결과 이해 용이 • NPV나 BC Ratio적용 시 할인율이 분명할 경우 이용가능	• 사업의 절대적 규모를 고려하지 않아 투자액이 작은 사업의 수익성이 과장되기 쉬움 • 복수의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내재

○ 간접편익 도출 방법

- 간접적 편익인 경제적 파급효과는 IO모델을 활용하여 합성가스 플랜트 건설에 따른 기기제조부문별 계수를 적용 1) 생산유발효과, 2) 부가가치 유발효과, 3) 고용창출 유발효과 등을 도출
- 생산유발효과는 상용화 플랜트 건설과 관련 설비 등의 제조로 인해 유발되는 생산액을 추정

* 기본 산식 :

$$\text{생산유발효과} = \sum_{n=0}^{10}(c_n \times e_c) + \sum_{n=0}^{10}(p_n \times e_p)$$

c_n : n차 연도의 건설부문 금액
e_c : 건설부문 생산유발효과 원단위 계수
p_n : n차 연도의 기기제조부문 금액
e_p : 기기제조부문 생산유발효과 원단위 계수

- 부가가치유발효과는 플랜트 건설과 관련 설비 등의 제조로 인해 연관된 타 산업에서 발생될 것으로 예상되는 부가가치를 금액으로 추정

* 기본 산식 :

$$부가가치유발효과 = \sum_{n=0}^{10}(c_n \times a_c) + \sum_{n=0}^{10}(p_n \times a_p)$$

c_n : n차 연도의 건설 부문 금액
a_c : 건설 부문 부가가치유발효과 원단위계수
p_n : n차 연도의 기기제조부문 금액
a_p : 기기제조 부문 부가가치유발효과 원단위계수

- 고용창출 소득효과는 플랜트 건설과 관련 설비 등의 제조로 인해 발생하는 고용창출 인원에 대한 소득을 추정

* 기본 산식 :

$$고용창출소득효과 = \sum_{n=0}^{10}(c_n \times h_c) + \sum_{n=0}^{10}(p_n \times h_p)$$

c_n : n차 연도의 건설 부문 금액
h_c : 건설 부문 고용창출소득효과 원단위계수
p_n : n차 연도의 기기제조부문 금액
h_p : 기기제조 부문 고용창출소득효과 원단위계수

정의		▪ 간접편익은 합성가스 플랜트 개발에 의해 발생하는 생산량, 부가가치, 고용 등의 증가를 계량화한 수치임 ▪ 산업연관분석 등을 통해 1) 지역총생산유발효과, 2) 부가가치 유발효과, 3) 고용 유발효과, 4) 임금 유발효과 등을 도출함
산정방법	분석 대상	▪ 동 분석에서는 1) 폐기물/바이오매스활용플랜트와 2) 석탄/펫코크 활용 플랜트를 각각 분석하여 도출
	도출 항목	▪ 동 합성가스 상용화 프랜트 개발 사업에 대한 간접편익은 **1) 생산유발효과, 2) 부가가치유발효과, 고용창출소득 효과**로 산정
	분석 계수(*)	▪ 간접편익 분석을 위한 유발 계수는 1) 생산유발효과 계수, 2) 부가 가치 유발효과 계수, 3) 고용 및 취업 유발계수 활용
	분석 모델	▪ IO 모델(산업연관분석표 활용)

[그림 8-1-4] 간접적 편익 정의 및 산정방법

제2절 정책적 타당성 분석

1. 정부 지원의 필요성

□ 수소경제에 대한 주요국 정부의 정책적 방향 설정과 리딩 역할 활성화 시점

○ 일본, EU, 중국 등 전 세계 대부분 국가들에서 수소를 매개체로 한 탈탄소화(Decarbonization) 에너지사회로 변환을 추진 중

- 2030년 전 세계 수소 8백만톤/년 수요 예상
- 일본, 중국, EU, 미국 등 정부차원의 정책적 방향설정과 이를 지원하는 기술정략 수립 지원 중
- 일본은 2050년까지 현재 수소가격의 10% 이하로 천연가스 보다 저렴한 공급 목표 제시 (아베 총리, 2019)

* 수소 가격 목표: 2030년 30엔/Nm^3, 2040년 12엔/Nm^3

□ 수소사회를 위한 수소 생산/공급/활용 등 산업/사회 인프라 구축에 국가간 협업이 구체적으로 추진 중으로 정부의 역할이 필수적 요소

○ 석탄가스화와 천연가스 개질을 통한 해외 수소 생산/공급 사례: 일본-호주 정부간 석탄가스화 해외수소 공급 시범 프로젝트, 일본-브루나이 정부간 천연가스 개질수소 생산 운송 시범사업을 시작



[그림 8-2-1] 일본 정부의 호주/브루나이 정부와 석탄가스화, 천연가스 개발을 통한 해외수소 생산 협업사례 (출처: Challenges for Japan's Energy Transition-Basic Hydrogen Strategy, 일본 통산성, 2018/10)

□ **국내 발생 저급자원에서 국가 수소사회 구현에 필요한 수소량의 수십%를 해외의존 없이 공급 가능한 방안**

○ 국내에서 발생되나 인허가와 환경오염 우려로 충분히 활용이 못되고 있는 펫코크와 폐기물에서 합성가스와 수소의 국내수요 수십% 담당 가능성 적극 활용이 필요

- 재생가능에너지 생산 전기에 기반한 Green 수소가 실용적 보급되기 전까지는 합성가스에 기반한 Gray 수소가 가교역할을 하는데 한국 기술력으로 도전이 충분히 가능

○ 국내 H사에서 발생되는 펫코크(120만톤/년) 전량을 합성가스로 변환 및 수소 추출시 수소 500톤/일급 생산 가능

* 2022년/2030년 국내 수소 소요예상량 47만톤/194만톤의 약 37%/9% 담당 가능

- 현재는 환경오염물질 배출 우려와 인허가 어려움으로 합성가스 플랜트 추진이 안 되고 있으나, 본 기획의 오염물질 저감기술과 CO2 활용기술 개발 연계를 통한 극복 추진이 필요

* 현재 펫코크 발생량 3/4은 스팀생산, 1/4은 시멘트원료로 사용 중

□ **지구 온난화에 따른 신기후 체제 대응 전략 필요**

○ UN 기후변화협약 체결(1992) 및 교토의정서 발표(2005)를 거쳐 2020년 이후 신기후체제에 돌입하게 되는 시점에 도달

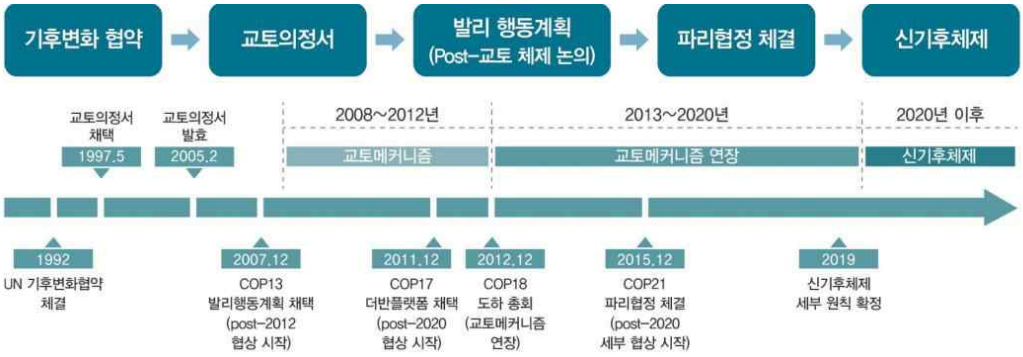
○ (Hydrogen vision for 2050) 다보스 포럼에서 탄소경제사회를 수소경제사회로 이행하기 위한 수소위원회(Hydrogen Council) 신설(2017년)

- 미국, EU, 일본 등 수소사회 대비 정부주도 및 민관 합동으로 지원을 추진
- 2050년 글로벌 수소경제 규모는 2조5,000억 달러(약 2,670조원)로 전망(다보스포럼, '17. 01.)

○ 산업, 발전, 건물 및 수송 등 화석연료 기반 경제에서 수소 기반 경제로 전환 필요

○ 저탄소 연료(LNG) 사용, 에너지효율 증대, 재생에너지 비중 확대 등 필요하며, 궁극적으로는 무탄소 연료인 수소 사용의 증가는 거스를 수 없는 추세

- 우리나라 온실가스 감축 로드맵에 의하면 2030년까지 BAU 대비 37%인 총 315백만톤(국내 276.3백만톤, 국외 38.3백만톤) 감축 계획 (BAU: Business As Usual)
- 국내 미세먼지 관리를 위한 기존 대책으로는 한계에 봉착할 수밖에 없으며, 근본적인 대책으로 수소에너지로의 패러다임 전환 필요



[그림 8-2-2]기후변화 협약에 따른 신기후체제로의 돌입 이력

(출처: 안국영(한국기계연구원), 수소에너지세미나, 2019. 02.)

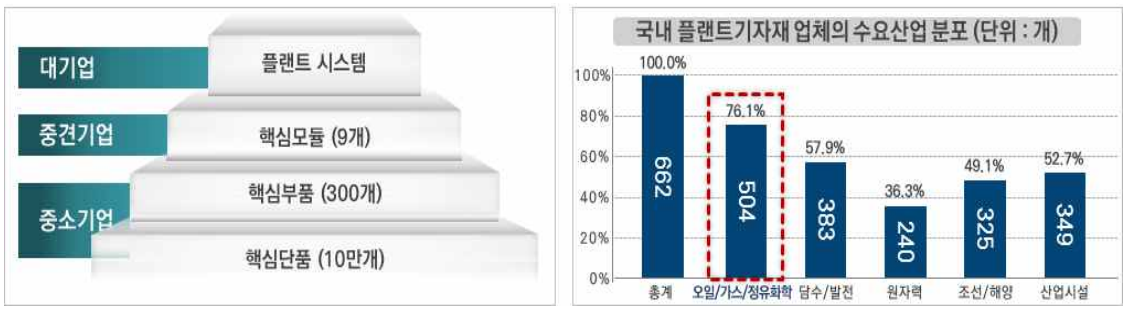
□ 수소경제로 전·후방, 경제적·산업적 파급효과가 큰 미래 성장동력 창출 가능

○ (전방산업) 차량을 중심으로 한 수송 분야와 전기, 열 등 에너지 분야까지 다양한 새로운 미래산업 창출 가능

- (수송 분야) 수소승용차에서 상용차, 열차, 선박, 드론, 건설기계 등 수소 활용 신산업 생태계 창출
- (에너지 분야) 친환경 고효율 연료전지가 분산전원의 최적 대안으로 부상

○ (후방산업) 협력 부품업체가 많고, 수소 생산-저장·운송-활용 등의 밸류체인 전반에 걸쳐 다양한 산업과 연계

- 바이오매스, 폐기물에 관계된 업체가 대부분 중소·중견기업으로, 협력기업의 성장과 고용창출로 연계 가능
- 수소 생산, 운송·저장, 충전소 등 인프라 구축은 금속·화학·기계설비 등 시장 및 고용 확대 유발



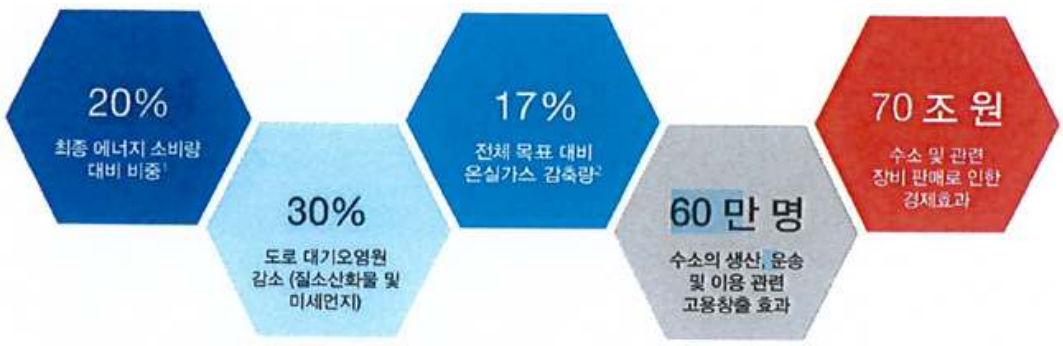
[그림 8-2-3] 수소 경제의 전·후방 산업적 파급효과 (출처: 좌) 미쓰비시 중공업 정유화학 플랜트 사례(2014), 우) 플랜트기자재 인증기반 구축연구 최종보고서(국가기술표준원, 2014))

□ 수소 활용의 확대로 온실가스 감축 등 친환경 에너지로 에너지 자립에 기여

○ (친환경 에너지) 온실가스 17% 감축, 미세먼지 30% 저감 등 깨끗하고 안전한 청정사회 진입을 촉진

○ (에너지 자립) 최종 에너지 소비량의 20%를 대체해 에너지공급 리스크를 완화하고 에너지 자립 제고

○ (신성장동력) 수소 생산-저장/이송-활용 생태계 구축으로 약 70조원 경제효과 및 60만 명의 고용효과 창출



[그림 8-2-4] 수소 경제에 의한 경제적 및 사회적 파급효과 (출처: 매킨지, 2018)

1.1 합성가스 생산 기술

□ 에너지 안보 측면 및 국가적 대응기술

○ 한국의 1차 에너지 97% 이상을 해외 수입에 의존하고 있는 에너지 안보 측면을 고려하면, 국내 가용하지만 활용이 미진했던 자원을 사용하여 청정에너지원인 합성가스 생산이 실용적 방안

- 폐기물, 바이오매스 등의 자원을 고효율과 환경 친화적으로 활용할 필요성이 점차 증대되고 있으며, 동시에 CO_2 저감을 위한 대안도 요구되는 시점

○ 동 사업은 신성장동력화가 유망한 산업분야이나, R&D 초기투자 비용이 커서 초기단계에 정부 주도 기술개발을 통한 불확실성의 제거가 필요하며, 이를 기반으로 민간이 국내외 플랜트 사업화가 가능

○ 신재생에너지 기술개발 및 보급은 발전차액제도, 신재생에너지공급의무화제도 등의 국가 정책적 장려와 연계한 기술개발이 요구되므로 정부의 견인이 불가피

○ 신재생에너지원의 개발은 기업이익 추구의 대상일 뿐만 아니라, 탄소배출 저감 의무를 달성하기 위한 국가적 대응기술이므로 국가적 재정투자를 통한 책무 수행이 필요

○ 화학공학, 엔지니어링 공학 등 다양한 학제간의 협력 연구가 필요한 기술로서, 단독 소규모 추진은 효과가 낮을 것으로 예상

- 관련 산업계가 유기적으로 연계되어야 하는 프로젝트로서, 정부의 초기단계 지원 없이는 해외 대비 경쟁력 있는 플랜트 시스템 구현의 어려움 존재

□ 선진기술 극복을 위한 적극적인 국가재정의 초기투자 요구

○ 에너지와 관련된 플랜트들은 대부분 1기가 10~40억불에 달하는 대형플랜트 사업

- 먼저 상용화 실적이 있는 기존 유럽/미국/일본 업체 위주로 독과점 시장을 형성
- 국내업계 자체 노력만으로는 국제경쟁력 확보가 이미 불가능한 상황

○ 기술 실증을 위한 해외 정부차원의 지원 대비 국내 여건도 매우 미흡한 실정
- 이미 일부 선진 국가들은 본 사업과 관련한 기술분야에 연구를 활발하게 수행하고 있는 상태
- 따라서 우리나라가 선진국가와의 기술적 차이를 극복하고 경쟁하여 시장을 선점하기 위해서는 적극적인 국가재정의 초기투자가 절실히 요구
  * 외국의 경우 상용 실적을 확보하기 위한 실증설비 건설운영에 미국은 DOE(에너지성)가, 일본은 MITI(Ministry of International Trade & Industry, 한국의 산업통상자원부에 해당)가, 중국은 정부가 지원 중
  * 특히 중국 정부는 중국 내 대형 플랜트 건설시 자국 업체에서 설계 및 제작을 하는 것을 의무화하여 자국기술 확보 후 자체기술화에 성공하고 있으며, 중국 업체들의 부상으로 인하여 플랜트 분야에서 국내 업체들은 점차 기술경쟁력 약화가 현실화되고 있는 실정
  * 일본은 플랜트기술 개발에 소요되는 총비용의 33~90%를 MITI를 통해 지원 중이고, 대만도 선택된 플랜트 분야에 플랜트 Park 건설을 추진 중
  * 미국 에너지성은 산업계 기술의 상용규모 실증에 총비용의 10~50% 규모 예산을 지원 중

1.2 바이오가스 생산 기술

□ 국내 바이오가스 잠재목표 시장은 20,000톤/일로 대규모

○ 2017년 12월 기준, 공공하수처리 시설은 총 307개소, 시설 용량은 2,770만 m^3/일에 도달
- 이중 3차에 걸친 필터링*을 통해 총 92개소의 공공하수처리장(병합처리)을 잠재 목표시장으로 선정
  * 시설용량 10,000 m^3/일 이하 제외, 소화조 기 설치된 곳 제외, 최근 8년 이내 신규설비 가동된 곳 제외
- 잠재목표시장은 총 92개소이며, 시설용량은 773만 m^3/일 수준

○ 2016년 12월 기준, 음식물류 폐기물 처리시설은 총 346개소, 시설용량은 20,612에 달함
- 이중 3차에 걸친 필터링*을 통해 총 63개소의 음식물류 폐기물 처리시설을 잠재목표시장으로 선정
  * 시설용량 500 m^3/일 이하 제외, 소화조 기 설치된 곳 제외, 최근 8년 이내 준공된 곳 제외
- 잠재목표시장은 총 63개소이며, 시설 용량은 12,048톤/일 수준

시설 용량(톤/일)	개소	
	공공	민간
250톤 이상	2	5
200톤 이상 ~ 250톤 미만	5	7
150톤 이상 ~ 200톤 미만	6	11
100톤 이상 ~ 150톤 미만	6	7
50톤 이상 ~ 100톤 미만	13	30
합계	32	60
	92	



[그림 8-2-5] 국내 음식물류 폐기물 처리장 현황

(출처: 환경부, 음식물류 폐기물 처리시설 설치운영 현황, 2016)

□ 신기술 개발을 위한 적극적인 국가재정의 초기투자 필요

○ 생물학적 바이오수소 개발은 저가의 제조비를 요구하는 방법이나 단점 극복에 대한 체계적 기술개발이 필요

- 생산속도가 광분해에 의한 방법에 비해 빠르며 바이오매스(유기성)의 감량화가 가능하다는 장점이 있지만, 바이오매스(유기성)내에 함유된 에너지 잠재량의 5~10% 가량만 수소가스로 전환할 수 있다는 한계
- 부유식 미생물군을 이용한 일반적인 반응기에서는 실용화 수준의 수소생산속도가 확보되지 않는다는 단점

○ 바이오매스(유기성)로부터 바이오수소 전환의 기술 개발을 위해 국가 재정의 초기 투자가 필요

- 바이오수소는 열량 및 에너지밀도가 기존 바이오메탄보다 활용성이 월등하게 높으며 수송 및 저장에도 용이
- 바이오매스(유기성)으로부터 바이오수소로의 전환은 아직까지 상업적으로 이루어지지 않아 기술개발의 여지가 충분

1.3 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 (Power to Gas)

□ 국내 재생가능에너지 생산 전기의 적정 활용에 대한 세계적 추세인 P2G에 선제 대응이 필요

○ 간헐성이 특징인 재생가능에너지원 생산 전기에너지를 저장하는 방안으로서 기존 가스인프라 사용이 용이하면서 청정한 활용이 가능한 수소를 물분해하여 생산 활용이 대세

- 재생가능에너지 생산량 급증이 예상되는 2030년 이후 잉여전기 상황에 대응기술로서 필요

* 국내 신재생에너지 공급 의무비율은 2018년 5%, 2019년 6%, 2020년 7%로 확대 계획

○ 기술에 의한 가격 parity가 0이 되는 시점까지는 정부지원이 필수

- EU, 일본, 중국 등도 정부지원에 힘입어 기술개발과 실증 진행 중

□ 미래의 수소경제 핵심기술 분야에서 경쟁국에 뒤처지지 않기 위해서는 정부 지원이 절실

○ OECD 국가를 우선으로 수소사회 인프라가 자리를 잡을 때를 대비하여 한국의 고유 기술/상품/시장 모델 제시를 위한 실증 시범 플랜트에 대한 선점 노력이 필요

○ 국내의 수소 생산 분야 로드맵 분석

- 2019년 정부에서 발표한 “수소경제 활성화 로드맵”에서는 현재의 경우 부생수소와 추출수소(천연가스나 바이오가스 개질)를 기반으로 공급이 가능하지만, 장기적으로는 수소의 수요량이 증가하기 때문에 P2G 수전해의 비중을 늘리고 50% 이상은 해외에서 수입하는 것으로 계획

- 해외 생산 수소는 장기적으로 CO_2-free인 재생에너지를 활용하여 생산된 수소가 방향

1.4 개질 및 변환 기술

□ 원료의 다변화 때 수소추출에 핵심적인 기술

○ 합성가스의 주성분은 일산화탄소와 수소로 이중 일산화탄소를 수증기와 반응시켜 수소/CO_2로 개질 변환하는 수첨(water-gas-shift) 반응기의 compact화 및 모듈화를 위한 기술개발 실증이 필요

* 수첨반응 : $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$

○ 한국과 일본의 수소 미래 공급 방안에서 변환기술이 중요

- 풍부한 천연자원(태양광, 풍력)을 보유하고 있는 호주에서 생산된 수소를 NH_3로 전환한 후 해상으로 이송하는 방안을 고려 중

- 암모니아 합성을 위한 수소는 수전해로부터 확보, 질소는 공기 중에서 분리하여 사용

□ 수소생산을 위한 개질기술의 적용

○ 수소생산을 위한 천연가스와 바이오가스의 개질기술

- 국내의 수소 공급 로드맵에서는 2030년까지 개질기술을 통한 수소생산을 50%로, 2040년에는 30%이지만 이의 기술을 통한 수소생산량은 증가할 것으로 예상

- 바이오가스의 경우 “탄소중립(Carbon Neutral)”이라는 장점을 가지고 있어 CO_2를 제거한 후 천연가스 배관망에 공급하여 사용하거나 바이오가스 생산지에서 직접 개질하여 수소를 생산 가능

- 천연가스와 바이오가스의 개질을 통한 수소생산은 수성가스전환(WGS, water gas

shift)과 수소 분리기술(PSA, Membrane separator 등)이 수반

○ 암모니아의 개질을 통한 수소생산 기술

- 암모니아(Ammonia, NH_3)는 액체의 밀도가 액체 수소보다 높고 실온에서 액화할 수 있으며 수소 발생에 필요한 에너지가 연소에너지의 약 10%에 불과할 뿐만 아니라 탄소를 함유하지 않아 뛰어난 에너지 캐리어로 주목
- NH_3의 개질을 통한 수소생산은 질소와 수소의 분리기술(PSA, Membrane separator 등)을 통해 고순도 수소 확보 가능

□ 국내 적용을 위한 개질 기술의 필요성

○ 천연가스와 바이오가스의 개질기술

- 세계적으로 상업용 개질기술은 대규모로 개발이 완료된 상태이지만, 중·소규모의 개질기술은 일본에서만 관심을 가지고 있는 실정이므로 수소생산을 위한 천연가스와 바이오가스의 개질기술에 대한 국산화가 필요

○ 암모니아의 개질기술

- 장기적인 관점에서 NH_3는 호주에서 수입하여 개질한 후 수소를 얻을 수 있는데, 일본과 국내에서 소규모로 연구가 진행 중
- 호주에서와 같이 재생에너지로부터 NH_3를 생산한 후 개발하여 수소를 얻게 되면, 발생량이 없고, 천연가스 배관망이 없는 지역에 수소개질기용 암모니아 공급이 용이

1.5 정제 및 분리 기술

□ 선진기술 의존 탈피를 위한 국내 고유 핵심 요소기술의 확보가 필요

○ 폐기물 및 바이오매스 추출 수소 생산시 요구되는 핵심 요소기술의 국산화 개발 및 시장 진입

- 상용화 실적이 있는 기존 미국/일본/유럽 업체 위주로 시장을 형성 중
- 국내 고유 핵심 요소기술 확보를 통한 기술 및 시장 경쟁력 확보가 필요한 상황

○ 선진기술 의존 탈피를 통한 국내 경쟁력 강화 및 관련 산업의 고부가가치화 필요

○ 국내 기술 실증 및 해외 진출을 위한 정부차원의 지원 제도/정책 필요

□ 국내 기반의 추출 수소 생산방식 다양화 요구 증대

○ 수소 경제사회 진입에 따른 다양한 수소 제조생산 방식 및 경제성 확보 요구 증대

- 국내 발생 폐기물, 바이오매스 등을 활용한 수소 생산방식 다양화 필요
- 경제성 있고 콤팩트한 정제 및 분리 설비 필요성 증대

○ 저렴하면서도 소규모 수소 생산 및 공급 위한 설비 기반 확보 필요

2. 정책적 일관성 및 사업 추진의지

□ 정부에서는 수소경제시대를 대비하여 범부처가 참여하는 수소기술개발 로드맵 수립 및 예비타당성조사 신청을 추진 중

○ 민·관 합동 T/F를 구성하여 수소기술개발 로드맵 수립 중

○ 2019년 9월 이후 사업 예비타당성조사 신청 예정이며, 2020년 상반기에 기술성평가 및 예비타당성 조사 추진 중

□ 국토부는 미래 수소사회를 대비하여 수소도시(H_2-City)를 구상 중

(출처: 정시교(국토교통과학기술진흥원), 수소에너지세미나, 2019. 02.)

○ 정부의 친환경 수송수단 확대 정책 및 수소경제 수요기반 확충을 위하여 도시 기반의 수소활용 방안 필요

○ 울산에서는 세계 최대 규모의 수소연료전지 주거타운 운영(2014. 0.) 중이며, 향후 수소자동차 시대를 대비하여 수소충전 인프라 등 구축 필요

○ 국토부는 수소도시 추진 방안(안)을 수립 중이며, 장기적으로는 수소 시범도시 구상 중

○ 국토부의 수소도시 추진 방안(안)

- 수소 생태계를 기존 '공급자 중심'에서 향후에는 '도시기반의 수요-공급 밸류체인 중심'으로 개선하여 도시내 수소에너지 생태계 구축
- 수소 저장·공급 및 전기/난방열로 전환하여 공급하는 기능을 갖춘 분산발전형 도시거점 수소메가스테이션 구축
- 대규모 수소 생산/액화 플랜트, 수소이송 파이프 등 수소 그리드, 수소 메가스테이션 및 수소 공급, 거래 등 운영 플랫폼 등 수소에너지 플랫폼 구현을 위한 인프라 구축

○ 국토부의 수소시범도시 구상(안)

- 수소도시법 제정, 수소생산 지역과의 거리, 생산방식 및 기술 확보 단계에 따라 단기, 중기, 장기의 단계별 수소시범도시를 조성하고 수소의 안전성 및 수용성 확보
- 단기-중기-장기적 수소도시 조성 및 전국토 수소그리드망 구축
- 장기적으로는 수소를 해외로부터 수입하는 모델 수립(호주 갈탄 및 UAE 태양광 등으로 수소 생산 및 수입)

<표 8-2-1> 범부처 사업으로 추진 중인 수소기술개발에서의 기술분류 체계 (2019년 3월 기준 초안)

대분류	중분류	소분류 예시
수소생산	Grey 수소 생산	화석연료 개질 기술
	Green 수소 생산	수전해 기술 (PEM수전해/AEM수전해/염수전해/알칼라인 수전해/SOEC 등
	미래 Green 수소 생산	광화학 수소 생산
		바이오 수소생산
		레독스 수소생산
		열화학 수소생산
		원자력 수소생산
수소저장/운송	기체 저장	고압수소 저장 기술
	액체저장	수소액화 기술
		액상저장 기술 (유기수소화물/무기수소화물)
	고체 저장	금속 합금 저장
		흡수저장
	Power to Gas 기술	P to H
		P to X (암모니아, Hydrocarbons)
	수소 운송	대용량 트레일러
		수소 운송 선박
활용 1 (수송)	경량자동차 (Light dutu Vehicles)	우편배달차
		전동휠체어
		실내용 카트
		전동자전거
		기타 경량 자동차
	승용차	연료전지 승용차
	중량자동차 (Heavy Duty Vehicles)	버스
		트럭
	기타 수송	선박
		철도
		드론
		건설기계
		기타 운송 수단
활용 2 (발전)	발전용	MCFC
		PAFC
		SOFC
		PEMFC
		수소터빈
	가정건물용	PEMFC
		SOFC
	실증 및 적용	수소 시티 실증
		테스트 베드 구축
		기타 실증
인프라, 안전	안전기술	소재 안전
		부품 안전
		공정 안전
		제품안전
		시설 및 설치 안전
		안전 모니터링 기술
		수소 품질 및 관리 기술
		사고예방 기술
	환경 및 경제성	환경성 평가
		경제성 평가
	수소 충전소	수소 충전 기술
	수소 그리드	수소배관 소재 기술
		수소 배관망 기술

2.1 합성가스 생산 기술

□ 신기후체제 대응

○ 신기후체제로 정부는 2030년까지 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 37% 감축 목표

- 폐기물/바이오매스 가스화 기술의 경우 에너지화 효율이 높은 기술임과 동시에 이산화탄소 포집 기술 채택에 있어서 가장 경제적인 기술인 점을 고려하면 국가적 온실가스 감축목표에 크게 기여 가능

□ 관련 국가 상위계획과 밀접하게 부합

○ 2008년 신재생에너지 RD&D 2030 전략, 2012년 에너지기술개발로드맵(폐기물에너지 분야 및 바이오매스에너지 분야), 2014년~2015년 폐기물에너지 전략기획보고서 등에 지속적으로 포함되어 기술개발의 필요성이 제기

- 정부 제시 폐기물 에너지 기술개발 로드맵에 따를 경우, 단기적으로 폐기물 에너지화 사업의 추진을 기획 중이지만 향후 바이오매스의 적용성 확대를 통해 신재생에너지 보급 달성을 계획

- 발생되는 폐기물 및 바이오매스의 활용성을 기대해 볼 때, 단순 소각을 이용한 폐열 회수 기술의 적용보다는 가스화 합성가스를 적용한 발전 시설의 연계를 통해 에너지 매체로 역할을 할 것으로 기대

<표 8-2-2> 폐기물 에너지 기술개발 전략 로드맵

분류	기술분야	5대 전략품목	17대 핵심기술
단기 품목	고형연료	복합폐기물(생활계/사업장계) 처리용 고형연료 제조 및 이용 핵심단위설비	공기순환 싸이클론식 풍력선별기
			고형연료연소 열풍공급식 건조기
			고생산성 링다이스식 성형기
			Fluff RDF 전용 연소보일러
			BT연계형 RDF제조 플랜트 개발
	가스화	사업장 고형폐기물 고품질 합성가스 생산 및 이용 시스템	사업장 폐기물 가스화 생산시스템
			고품질화 정제 기술
			신뢰성 운전 및 모니터링 기술
			합성가스 이용 연계시스템
			엔지니어링 국산화
	소각열 회수 이용	고효율 폐기물 소각일체형 보일러 시스템	50톤/일급 소각일체형 보일러시스템
			고품질 스팀생산 및 활용기술
			차세대 열병합 발전 기술
			300톤/일급 이상 소각열이용 실증시스템

	공동 핵심 설비	폐기물 에너지화 공통 핵심 설비	복합폐기물 에너지화 선별/공급/배출 설비
			폐기물에너지화 공정별 파쇄/분쇄 설비
			복합폐기물 에너지화 적정 건조 설비
장기 품목	열분해 유화	폐기물 열분해 복합 에너지화 플랜트 고유 모델	열분해 유화 상용화 실증 공정
			저급 열분해 생성유의 고급화 정제기술
			고비점 고상성분의 활용 공정기술
			열분해 복합 플랜트의 자동화 및 안전 시스템

(출처: 지식경제부, 폐기물에너지 기술개발 전략로드맵 수립연구, 2012, p.119)

2.2 바이오가스 생산 기술

□ 2012년 런던협약 발효에 따른 해양배출 금지에 대한 대안 마련

- ○ 하수슬러지, 가축분뇨, 음폐수 등 고농도 유기성 폐자원의 해양 배출 금지로 친환경적이고 지속 가능한 육상 처리를 위한 적정 대안 마련이 필요
- ○ 혐기성 소화 공정은 유기성 폐자원 감량과 에너지(메탄가스) 생산을 동시에 수행하는 유일한 기술로 유기성 폐자원의 육상처리에 가장 효과적인 대안

□ 기후변화 대응체계 마련 및 자원순환 사회 구축 기반 마련

- ○ 7개 부처 합동 폐자원 및 바이오매스 실행계획(2009)에 따르면, 국비 3.2천억원, 지방비 6.4천억원을 투자하여 2020년까지 바이오가스 플랜트 시설 28개소(5,638 톤/일) 확충 계획
- ○ 환경부 유기성 폐자원 에너지화 정책(2011)에 따라 2014년까지 바이오가스 플랜트 21개소 신설 계획으로 이렇게 생산되는 바이오가스량은 총 1.3억 m^3/년 정도(도시가스 기준 11만 가구 공급량)
- ○ 이를 토대로 환경정책 목표 달성 및 국제적 환경 이슈에 대응할 수 있는 기술개발을 지원하여 상용화 촉진

<표 8-2-3> 2013~2022 환경기술로드맵 관련 중점 기술 (출처: 환경기술로드맵(2012), 환경부)

관련 40대 중점기술	기술 정의	기술 개발 효과
[기술14] 하수처리장 에너지 자립화 및 하수재이용 기술	소화가스, 소수력 등을 하수처리장의 에너지로 활용할 수 있는 기술과 방류되는 하수처리수를 재이용하는 기술	에너지 자립률 30% 달성 약 33만 톤/년 CO_2 감축 (2020년까지)
[기술27] 유기성 폐기물 연료화 및 효율 향상 기술	유기성 폐기물을 연료화를 통해 에너지를 생산하는 고부가가치 기술	유기성 폐기물 활용율 증대 (2007 2%, 2020년 53%) 에너지 생산량 증대 (2020년 대비 1.8배)

□ **폐기물 에너지화를 위한 정부의 강력한 의지**

- ○ 정부는 폐자원 에너지화를 위해 다양한 분야에서의 관련 제도를 지속적으로 개선
- ○ 에너지 제품(고형연료 및 바이오가스 등)의 고부가가치화, 폐자원 에너지 수요처 확대, 에너지 제품 활용 다양화 및 에너지량 확대
- ○ RPS(신재생에너지 의무공급) 및 RFS(신재생연료 의무할당)제도의 도입에 따라 바이오에너지량 확보를 위한 조속한 상용화 기술 요구
- ○ 바이오에너지 분야 비중 확대를 위한 기술적 방안 마련에 부심

<표 8-2-4> 폐자원 에너지화를 위한 제도 개선 사항

구분	내용
고부가가치화	• 유기성 바이오가스를 도시가스로 공급할 수 있도록 허용(`09.03) • 비성형 고형연료제품 품질관리기술 마련(`09.07)
수요처 확대	• 고체연료 사용금지 지역에서 고형연료제품 사용토록 법령 개정(`09.04) • 청정연료 사용지역 내에서 고형연료제품 사용 가능토록 개정(`08.12) • 석탄화력발전소에서 하수슬러지 연료 사용이 가능하도록 개정(`09.08)
제품 다양화 및 에너지량 확대방안	• 고효율 소화조 등 바이오가스 생산설비 기술개발 촉진을 위한 식물류 폐기물 가스자원화시설 검사방법 개선(`08.12) • 동물성 잔재물/동물 사체를 신재생 에너지에 이용할 수 있도록 개정(`10.01) • 음식물/가축분뇨 병합시설 소화액의 액비 사용 허용(`10.03) • 음식물 바이오가스화 시설의 부산물을 연료화 공정의 원료로 재활용하거나 적정처리 할 수 있도록 개선(`10.05)
RPS대응	• 신재생에너지 의무공급제도(RPS) 도입에 따른 바이오가스 발전 공급 인증서 가중치 협의(`10.09)
RFS대응	• `15년 7월 31일부터 신재생에너지 연료혼합 의무제(RFS) 시행

출처: 2012년 자원순환정책 추진방향(2012), 환경관리연구소

2.3 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술 (Power to Gas)

- ○ 국내 뿐 아니라 미국 및 유럽 등 선진국에서는 이미 오래전부터 화석연료에서부터 신재생에너지로 전환 정책을 내놓고 한국도 점진적으로 재생에너지 발전 비중을 늘리는 등 관련 수요는 확실
- ○ 재생에너지를 이용한 발전 비중이 늘어날수록 잉여전력에 대한 대안은 필수이며 가장 현실적인 대책이 P2G임을 감안하면 향후 플랜트 산업에서 P2G 플랜트 기술의 영향이 클 것으로 예상

2.4 개질 및 변환 기술

- ○ 수소경제 활성화 로드맵에서와 같이 원료원이 부족한 국내에서는 중장기적으로 천연가스나 바이오가스로부터 생산된 수소를 공급하는 것으로 계획

○ 장기적인 관점에서 암모니아는 해외에서 수입하여 수소를 공급할 수 있는 원료이기 때문에 국내 시장에 적합
○ 국내의 여건상 중소형규모의 수소충전소를 활용할 계획이기 때문에 본 사업에서 제안하고 있는 300Nm^3/h 규모의 수소생산 시스템은 개발 완료 후 즉시 수소충전소와 연계하여 사업화 가능

2.5 정제 및 분리 기술

□ 수소경제 활성화 로드맵의 추진계획과 밀접하게 부합

○ 수소경제 활성화 로드맵에서 추진하는 “수소추출기 국산화 및 효율향상 기술개발을 추진하고, 바이오매스 활용 등 추출수소 생산방식 다양화”의 계획과 부합
○ 그린 수소 산유국 도약을 위해서는 정제 및 분리 기술이 필수 요소 기술

3. 사업추진 상의 위험요인 및 대응방안

○ 정부 내 타부처(예:산업통상자원부)와 업무 중복성 이슈에 대한 논점 발생이 예상되며, 이에 대한 대응이 필요
- 플랜트 분야 기술개발은 산업통상자원부에서 수행하는 기술 범위가 넓고 예전 사례로 볼 때 국회나 기재부에서 중복성을 해결 후 기획결과 제시를 요구받을 가능성 존재
- 산업부, 환경부에서는 대형 상용급 설비 개발투자는 현실적으로 어렵고 플랜트 해외수출은 국토부 주관업무이므로 이 부분을 중점 추진하는 기획으로 대응이 필요

○ 다양한 원료를 처리하는 기술들이 포함됨에 따른 기술 연계 및 비전 제시의 구체성 부족
- 이전 예비타당성조사 대상사업의 대부분은 좁은 기술범위에서 명확한 결과물을 대상으로 기획이 이루어진데 반하여 본 기획은 최종 생산품은 수소이지만, 유사성은 있으나 기술 특성이 조금씩 다른 다양한 기술을 포함하므로 이를 극복할 방안 제시 필요
- 핵심기술/핵심기자재 공통 이용기술 개발을 플랫폼 형태로 개발하고 민간에서 이를 조합 다양한 플랜트 사업에 유연 대처가 가능하도록 대응

○ 수소 생산 플랜트는 기술 난이도가 높아 민간 주도의 기술개발 추진이 어렵고 정부도 민간에서 충분히 자체 소화가능한 분야로 인식되는 경향이 있는 중간 gray 지역에 위치
- 해외 중형규모 플랜트 시장 진출을 목표로 정부지원의 타당성을 강화 제시

○ 분산형 수소 추출 플랜트 기술/시장에 대한 위험요인
- 대형규모는 해외 기술선진사(미국, 네덜란드, 독일, 일본)의 독과점 체제 시장
- 중국의 가스화 독자기술 실용화단계 진입

○ 분산형 수소 추출 플랜트 기술/시장의 위험요인에 대한 대응 방안

- 국내 test-bed 실증플랜트 건설 운영을 통해 사업수행 실적을 확보함으로써 본격적 시장에 대응
- 선진기술사 독과점체제 시장에 진입 시 대규모 해외사업 참여기회 가능
- 시장의 위협을 회피하고 약점을 최소화할 수 있는 국내기반 기술 기반의 모듈화기술 개발 추진
- 중국 개발사례와 기술 응용 시 저렴한 가스화설비 국내기술화 가능

○ 저급연료(폐기물/바이오매스)의 안정적인 원료확보 위험요인에 대한 대응방안
- 원료 수급 가능 규모로부터 적정 설비규모 산정 : 50톤/일
  * 대상 도시/지역의 인구수 : 100,000명(중소도시 규모)
  * 대상 도시/지역의 폐기물 발생량 원단위 : 0.93 kg/인·일(동남아 국가 : 0.8 kg/인·일 수준)
  * 폐기물 전처리(파쇄, 선별, 건조) 후 생산 수율 : 50 ~ 60%
  * 필요 설비규모 : 46.5 ~ 55.8톤/일(본 기획에서는 설비규모를 50톤/일로 산정)
  * 50톤/일급 기본 모듈을 연계하여 100톤/일 이상 사업에 적용

○ 국내 플랜트 산업분야에 대한 위협요인
- 기술선진국들 기술 독과점 공고화 추세
- 핵심특허 피해갈 전략과 실력 부족
- 중국의 플랜트 분야 경쟁력 급부상 중
- 대규모 투자 위험성 감수 국내여건 갈수록 악화

○ 국내 플랜트 산업분야의 위협요인에 대한 대응 방안
- 국내 관련 기업간 공동 추진 가능한 실증플랜트 프로젝트 기회 제공(test-bed 형태)
- 국내 기존 pilot급 플랜트기술을 상용급으로 확대하기 위한 핵심특허 확보 전략 추진
- 중국과 차별화(ICT 기술, 모듈화 적용 등)된 플랜트 세부기술 경쟁력 제고 방안 분석과 추진
- 핵심플랜트 분야 국제특허 확보 구체화 및 지원체계 구축
- 일본정부 추진하는 방식과 같은 정부 주도의 플랜트 Platform 기술개발과 민간 이전 상용화 지원 전략 등 구체화 추진
- 국내 경험한 핵심 플랜트별 기본설계 DB구축과 실제 활용전략 구체화 실행
- 핵심 플랜트 원천기술 확보가 가능할 장기 투자전략과 지원체계 구축
- 플랜트 분야 소재, 부품, 설비, 설계, 건설, 운영의 체계적 supply chain 구현
- 국내 공기업에 건설될 대형 플랜트에 참여기회 제공으로 기술축적 기회 제공
- 대규모 투자 소요되는 플랜트에 대한 민간투자 위험성 분산 모델 제시
- 해외 자원 산지에 실증 플랜트 건설기회 발굴과 지원체계 구축

○ 천연가스/바이오가스 개질에 필요한 원료가스 및 전처리된 원료 확보 어려움
- 국내에서 천연가스를 공급할 장소는 가스공사와 몇 민간가스사로 매우 제한적이어서 참여하는 업체 범위가 좁고 대부분 대기업이거나 공기업
- 천연가스를 대체할 수 있는 바이오가스, LFG 등 메탄이 50% 이상 포함된 가스 공급

처를 발굴하고 중소/중견기업에서 참여가 용이한 구조로 기획

○ 전체 플랜트 통합 과정에서 기술 수준 차이에 대한 리스크와 대응 방안

- 합성가스 기술은 국내 기술성숙도가 TRL 5 수준에 분포하고 있으나 P2G와 같은 경우에는 TRL 3~5에 있기 때문에 체계적인 시스템 통합이 필요
- 사업을 단계별로 나누어 1단계에 P2G의 기술수준을 끌어올려 2단계에서 통합을 추진하는 등 1단계 전략과 2단계 전략을 구분하여 체계적인 추진 전략 수립

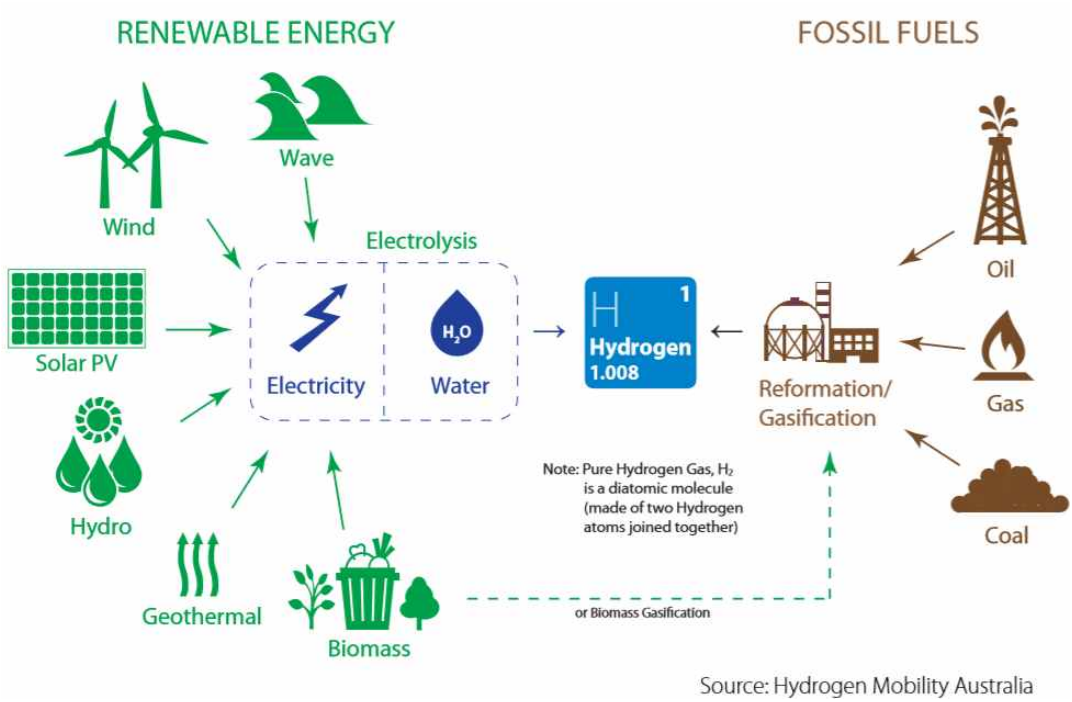
제3절 기술적 타당성 분석

1. 사업 기획의 적절성

□ 사업목표의 적절성

○ 문제 및 이슈 정의의 적절성

- 동 사업을 추진함으로서 해결하고자 하는 이슈로는 미래 수소경제 사회를 대비하기 위하여 폐기물, 바이오매스(가연성, 유기성), 펫코크 등 현재 활용도가 낮은 저급자원을 활용하여 청정에너지인 수소를 생산함을 최종 목표로 설정
- 장기적으로는 재생에너지 기반 수소 등 완전히 청정한 수소를 생산할 수 있는 시점 도달 이전에, 현재 국내 보유 기술의 확장으로 단기적으로 국내에 필요한 수소를 공급할 수 있는 기술개발이 목표
- 수소생산에 대한 기술방향은 화석연료 개질/가스화와 재생가능에너지 잉여전기를 사용한 수전해 방식, 재생가능한 바이오매스자원의 가스화가 대세



[그림 8-3-1] 호주의 수소생산을 위해 제시한 기술적 방안

(출처: A Hydrogen Roadmap for South Australia, 2017.09)

○ 목표 설정의 적절성

- 국내의 기존 개발 기술들의 결집 및 Scale-up을 통하여 국내 기술로 개발이 가능한 규모의 플랜트 기술을 개발을 추진하도록 목표를 설정
- 단기적으로는 국내 고유기술로 국내에 필요한 수소 수요를 충족하고, 중장기적으로는

해외 수출사업화를 도모

○ 결과물의 수혜자 표적화의 적절성

- 본 사업의 수혜자는 일반국민이며, 중소/중견기업들이 기술개발 과제에 직접 참여하고 향후 개발 결과물을 공유함으로써 기술개발 성과물의 직접적인 수혜자가 될 수 있도록 플랜트 규모 및 사업화 모델을 설정

□ 구성 및 내용의 적절성

○ 국내에서 미활용 또는 활용도가 낮은 저급자원을 적절하게 활용할 수 있는 세부기술개발 과제들로 구성

○ 재생에너지 기반 수소 생산 시대를 대비하여 재생에너지에서 발생하는 잉여전기를 이용함과 동시에 부산물로 발생하는 산소를 합성가스 생산에 활용하여 플랜트 건설비 감소 및 수소생산량 증가를 동시에 구현할 수 있도록 세부과제들 간의 연계 구성을 고려

○ 플랜트 기술과 단위공정 기술들을 세부과제로 적절히 분배하여, 합성가스 플랜트 또는 바이오가스 플랜트 등 플랜트 기술 자체로도 사업화가 가능하도록 하였고, 개질/변환 및 정제/분리 등 단위공정 기술은 전체 플랜트 기술과 함께 사업화가 가능함과 동시에 독자적으로도 사업화가 가능하도록 세부과제들을 구성

○ 국내에서 수소 생산 기술개발(폐기물, 바이오매스(가연성, 유기성)) 및 해외에서 수소를 생산하여 국내로 수입하는 모델을 위한 기술개발(펫코크) 등으로 구성하여 단기 및 중장기적으로 현실적으로 원료 수급이 가능하도록 기술개발 방향을 설정

1.1 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

□ 사업목표의 적절성

○ 문제 및 이슈 정의의 적절성

- 동 사업을 추진함으로서 해결하고자 하는 이슈는 논리모형에서 제시한 바와 같이 '미활용 분산형 폐기물/바이오매스/펫코크 활용 고부가가치의 수소/청정합성가스 생산 기술 실증을 통한 해외 시장 진출'
- 폐기물/바이오매스/펫코크 이용 합성가스 플랜트 국내외 시장은 2010년 이후 지속적으로 성장하고 있어 신뢰성이 검증된 상용규모 자체기술개발이 시급히 필요

○ 목표 설정의 적절성

- 기존 폐기물 가스화 플랜트의 최대 설비 규모는 300톤/일이며, 바이오매스 가스화 플랜트는 폐기물 가스화 플랜트 보다 조금 적은 220톤/일 규모
- 본 기획에서는 도시/지역 인구가 100,000명 정도인 중·소도시에서 발생하는 폐기물 발생량을 기준으로 50톤/일로 산정

○ 사업목표와 문제와의 연관성

- 폐기물/바이오매스/펫코크 합성가스 생산 및 활용기술을 확보하고 해외시장 진출을 위해서는 합성가스 생산, 정제, 활용 관련 핵심요소 기술이 확보되어야 하며, 이에 대

한 운영실적도 요구되는 상황

○ 결과물의 수혜자 표적화의 적절성

- 본 사업의 수혜자는 일반국민, 합성가스 관련 제작업체, 모듈형 반응기 제작 중소기업, 엔지니어링 & 중공업체로 해외사업을 진출하는 데에 필요한 핵심 요소기술, 플랜트 설계기술, 제작 및 운영기술 등을 모두 개발하므로, 기술개발 성과물의 수혜자가 적절하게 설정된 것으로 판단

□ 구성 및 내용의 적절성

○ 세부 활동의 구체성

- 각 세부과제별 활동은 산학연 관련 전문가와 협의하여 구체적 계획을 수립하고, 이에 요구되는 인력, 건설비 등을 구체적으로 산정
- 테스트베드 구축에 연구비의 상당부분이 투입되며, 테스트베드 구축에 소요되는 비용은 엔지니어링 업체의 시산에 따라 도출

○ 사업목표와 세부 활동의 논리적 연계성

- 사업목표 달성을 위해 필요한 기술들을 나열하고, 기존 연구 성과 등을 고려하여 확보가 되어야하는 기술들을 선별하여 세부 연구과제로 제시함에 따라, 사업목표 달성 관점에서 세부 활동과 연계
- 각 세부 연구 활동별 산출물을 구체적으로 연구 활동에 대한 수행여부를 확인할 수 있도록 제시

○ 세부 활동의 성과지표의 적절성

- 각 세부 활동별 성과지표는 세부 사업의 달성여부를 확인할 수 있는 주요 부품의 성능목표치로 제시
- 합성가스 생산기술에서는 50톤/일급 모듈형 가스화로 설계, 최적 운전제어 기술, 가스화 잔재물 고부가가치 재활용 기술개발을 목표로 성과지표 및 목표치를 설정
- 합성가스 정제기술에서는 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 합성가스 정제 설비 설계, 최적 운전제어 기술, 정제폐수 처리/재활용 기술개발을 목표로 성과지표 및 목표치를 설정
- 고순도 수소 생산용 합성가스 분리 기술에서는 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 합성가스 고도정제 및 수소 분리를 위한 최적 운전제어 기술개발을 목표로 성과지표 및 목표치를 설정
- ICT와 빅데이터 활용 공정 모니터링 및 유지보수 기술에서는 공정 데이터 수집, 데이터베이스 구축, 실시간 모바일 원격 모니터링, 유지보수를 위한 빅데이터 분석 기술개발을 목표로 성과지료 및 목표치를 설정

1.2 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술

□ 세부과제 목표의 구체성

○ 기술개발 과제에서 추구하고자 하는 연구개발의 구체적인 세부과제의 목표와 목적을 제시

- **(세부과제 목표)** 바이오매스(유기성)를 활용한 50톤/일급 바이오메탄/수소 혐기성소화 생산 통합 공정 기술 개발
- **(세부과제 목적)** 고농도 유기물을 함유한 바이오매스(유기성)으로부터 바이오메탄/수소 생산을 통해 바이오매스(유기성) 처리 뿐만 아니라 활용가능한 통합 에너지 생산 기술 개발

○ 성과지표 및 목표치 산출 근거를 통해 세부기술 선정에 대한 당위성에 대해 설명을 하였으며, 국내·외 기술현황 및 분석을 통해 핵심 개발 과제 목표를 선정

□ 사업추진전략의 구체성

○ 사업 추진 전략에 해당 사업의 보유기술과 미보유기술 그리고 우선획득 필요기술을 구분하고 미보유기술 중에서 우선획득 필요기술 위주로 연구개발을 추진

○ 기존 바이오매스(유기성) 처리 혐기성소화 공정을 통해 기 확립된 기술을 결집, 분석하여 상용화 규모 바이오메탄/수소 동시 바이오가스 플랜트 개발 추진

□ 세부과제 추진체계의 적절성

○ 세부과제 추진체계를 세부 연구과제 구성과 단계별 추진전략 형태로 구체적으로 제시

- 세부 연구과제의 차별화는 해외 경쟁 기술과의 비교분석을 통해 제시
- 국내 바이오매스(유기성) 바이오메탄 기술은 이미 실증화/상용화 단계로서 바이오메탄/수소 동시 생산 기술확보가 필요
- 국내 지역 특성을 고려한 분산형 바이오가스 시설 증설이 필요

1.3 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

□ 세부과제 목표의 구체성

○ 기술개발 과제에서 추구하고자 하는 연구개발의 구체적인 세부과제의 목표와 목적을 제시

- **(세부과제 목표)** 1MW급 P2G 플랜트 설계 기술과 건설기술을 개발하고 재생에너지 계통 연계를 포함한 최적 운영기술 개발로 실증플랜트 운영
- **(세부과제 목적)** 1풍력, 태양광 등 재생에너지와 연계한 P2G 플랜트 개발로 수소 생산과 생산된 수소와 CO_2를 이용한 메탄화 공정으로 메탄 생산

○ 세부 기술에서 P2G 개발에 필요한 세부기술과 그에 맞는 성과 목표를 제시하였으며 실제 구축될 테스트베드의 선정 방법까지 제시

□ 사업추진전략의 구체성

○ 사업 추진 전략에 해당 사업의 보유기술과 미보유기술 그리고 우선획득 필요기술을 구분하고 미보유기술 중에서 우선획득 필요기술 위주로 연구개발을 추진

○ 도서산간 지역과 같은 독립된 생활 지역을 대상으로 재생에너지와 P2G를 이용한 에너지 자급이 가능한 분산형 독립전원 시스템 실증으로 P2G 성공모델 기반으로 해외시장 진출이라는 구체적인 목표로 사업 접근

□ 세부과제 추진체계의 적절성

○ 세부과제 추진체계를 세부 연구과제 구성과 단계별 추진전략 형태로 구체적으로 제시

- 본 연구개발 사업에서 개발하고자 하는 기술은 재생에지와 연계한 P2G 기술로서 독립된 생활 지역을 대상으로 테스트베드를 구성하고 테스트베드를 이용한 track record 확보를 통한 해외시장 진출의 목표를 설정
- 세부 연구과제는 요소기술 개발과 요소기술과 연계한 전체 플랜트에 대한 공정 설계 및 구축/운영 기술로 세분화

○ 세부과제 목표 달성을 위한 세부 연구과제의 성과물의 활용계획과 각 세부 연구과제간 연계방안을 구체적으로 제시

1.4 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

□ 사업목표의 적절성

○ 온실가스 감축과 대량의 수소를 생산하는 관점에서 천연가스와 바이오가스의 개질기술 등 중장기적으로 개발 기술이 활용될 수 있도록 목표를 설정

○ 전국 LNG 공급망에 추출기를 설치하여 추가적인 인프라 투자 없이도, 쉽게 안정적이고 경제적인 수소 생산·공급 가능

- 전국 4개 인수기지(인천, 평택, 삼척, 통영)에서 공급받은 천연가스를 적정 압력으로 조정하는 정압관리소(143개소) 등을 중간 생산·공급기지로 활용
- 도심지 LPG, CNG 충전소 또는 CNG 버스 차고지 등을 활용하여 수요처 인근에 소규모 수소생산·충전소 구축

□ 구성 및 내용의 적절성

○ 고효율·대규모 개질 기술을 확보하고, 수소개질기 국산화를 통해 수소생산기지 구축비용을 절감할 수 있도록 세부과제들을 구성

- 현재 오사카가스(소형 개질기), 린데(중대형 개질기) 등이 선도
- 충전소용 수증기 개질시스템 기술(25kg/h 이상) 확보(~'22), 대규모 개질기술(1,000kg/h 이상) 확보 및 효율 75% 이상 달성(~'30)

1.5 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

□ 사업목표의 적절성

○ 문제 및 이슈 정의의 적절성

- 동 사업을 추진함으로서 해결하고자 하는 이슈로는 경제성있고 효율 높은 컴팩트한 정제 및 분리 설비 개발
- 국내외 수소 시장은 지속적으로 성장 예상되므로, 신뢰성이 검증된 상용규모의 국내 교유기술 확보를 위한 기술개발이 시급히 필요

○ 목표 설정의 적절성

- 합성가스 및 바이오가스 플랜트 개발 규모를 고려하여 각각 2,500 Nm^3/h급 및 300 Nm^3/h급으로 설정

○ 사업목표와 문제와의 연관성

- 고순도 수소 생산 기술을 확보하고 해외시장 진출을 위해서는 합성가스 및 바이오가스 정제와 수소 분리 관련 핵심요소 기술이 확보되어야 하며, 이에 대한 운영실적도 요구되고 있는 상황

○ 결과물의 수혜자 표적화의 적절성

- 본 사업의 수혜자는 합성가스 및 바이오가스 정제 설비관련 제작업체, 수소 분리관련 제작업체, 모듈화 설계 엔지니어링 업체 및 중공업체로 해외사업을 진출하는 데에 필요한 핵심 요소기술, 설비 모듈화 설계기술, 제작 및 운영기술 등을 모두 개발하므로, 기술개발 성과물의 수혜자를 적절하게 설정

□ 구성 및 내용의 적절성

○ 세부 활동의 구체성

- 각 세부과제별 활동은 산학연 관련 전문가와 협의하여 구체적 계획을 수립하고, 이에 요구되는 인력, 건설비 등을 구체적으로 산정
- 테스트베드 구축에 연구비의 많은 부분이 투입되며, 테스트베드 운영 및 운전 제어기술 개발과 설계에도 상당부분 투입

○ 사업목표와 세부 활동의 논리적 연계성

- 사업목표 달성을 위해 필요한 기술들을 나열하고, 기존 연구 성과 등을 고려하여 확보가 되어야하는 기술들을 선별하여 세부 연구과제로 제시함에 따라, 사업목표 달성 관점에서 세부 활동과 연계
- 각 세부 연구 활동별 산출물을 구체적으로 연구 활동에 대한 수행여부를 확인할 수 있도록 제시

○ 세부 활동의 성과지표의 적절성

- 각 세부 활동별 성과지표는 세부 사업의 달성여부를 확인할 수 있는 주요 지표의 성능목표치로 제시
- 합성가스 정제기술에서는 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 설비 설계, 최적 운전제어 기

술개발을 목표로 성과지표 및 목표치를 설정
- 바이오가스 정제기술에서는 300 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 설비 설계, 최적 운전제어 기술개발을 목표로 성과지표 및 목표치를 설정
- 고순도 수소 분리 기술에서는 2,500 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 설비 설계 및 최적 운전제어 기술개발을 목표로 성과지표 및 목표치를 설정
- 고순도 수소 분리 고도화 기술에서는 100 Nm^3/h급 모듈형 컴팩트 설비 설계 및 최적 운전제어 기술개발을 목표로 성과지표 및 목표치를 설정

1.6 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심 기술

□ 사업목표의 적절성

○ 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술 개발 과제(1세부과제), 바이오매스(유기성) 기반 CO_2 free 바이오수소 생산 실증 기술 개발 과제(2세부과제) 및 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술(3세부과제) 등의 각 세부과제에서 개발할 합성가스 기반 수소 생산 플랜트의 국내 사업화 및 해외 수출 상품화를 달성할 수 있도록 플랜트 모듈화 설계 기술 국산화 개발을 목표로 설정

○ 플랜트 신뢰도를 향상시키고 시장경쟁력을 강화하기 위하여 ICT/IoT/빅데이터 플랫폼 및 시스템 구축을 통한 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 기술을 확보할 수 있도록 목표를 설정

□ 구성 및 내용의 적절성

○ 국내 건설/조선업체 등에서 확보하고 있는 모듈화 기술을 적용함으로써 해외에서 복제가 어렵도록 주요 부분은 블랙박스화가 가능하고, 또한 해외 수출 시 국내 발생 부가가치를 최대화할 수 있도록 세부 활동을 구체화

○ 대형 플랜트가 아닌 중소형 플랜트인 경우에는 전문 운전인력 배치, 고가의 안전시설 설치가 비용적 측면에서 어려운 경우가 많으며, 특히 현장이 인도네시아 섬지역 등 인프라가 열악하고 운전인원의 질이 낮을 경우에도 이를 극복할 수 있도록 표준화된 모듈화 플랜트를 설계하고, ICT/IoT 기술이 융합될 수 있도록 세부 기술개발 내용을 구성

○ 국내 강점기술인 IT 기술을 전략적으로 합성가스 기반 수소생산 플랜트에 접목하여 플랜트 신뢰도를 향상시키고 경쟁력을 강화시킬 수 있도록 성과지표 및 목표치를 설정

○ 독성가스(CO)와 폭발성 가스(H_2) 관리를 위한 주요 현안 문제 해결에 필요한 데이터 분석 경험과 분석 방법론에 대한 노하우를 확보할 수 있도록 기술개발 내용을 구성하고 이에 적절한 성과지표 및 목표치를 설정

2. 기존 사업과의 중복성 검토

○ 각 정부 부처의 기존 사업과의 중복성 검토를 위해 유사사업 현황과 과제단위 검색리스트로 중복될 가능성 있는 연구 개발사업을 선정하여 중복성 여부를 판단한 후 향후 추진되는 동 사업과의 세부내용을 비교 및 조사
- 국토교통부, 산업 통상자원부, 중소기업청 등 기존 사업에서 수행하였거나 수행하고 있는 유사 사업과의 사업목적, 지원방법, 지원 분야 등에 대한 중복성을 검토

3. 기술개발 성공 가능성

3.1 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

○ 국내에 핵심 pilot 설비들이 이미 구축된 부분이 있으며, 국내 중공업 기반 능력으로 볼 때 단기간 내 국내에서 실증 test-bed로 연계가 가능
○ 현재 기술 대비하여 Hybrid형, CO_2 저감형, 효율적 고도정제, 모듈화, 기술개발 단계인 정제기술 등 integrated plant로 구현한다면 기술적 경쟁력 확보가 가능
○ 국내외 플랜트 수요처가 구체적으로 존재
- (한국 수요처) 지역난방공사(열병합), 삼성BP(고순도 CO)
- (해외 수요처) 가격 경쟁력 확보 시 동남아, 인도, 파키스탄, 중남미 등 거대시장 존재
- (Test-bed 후보지) 수도권매립지, 지역난방공사 부지, 삼성BP 부지 외
○ 폐기물/바이오매스/펫코크를 대상 원료로 하는 합성가스 플랜트를 국내외 시장에서 성공시키기 위해서는 다음과 같은 요소들이 개발 집약되어야 할 필요성이 존재하며, 이러한 비교 우위를 확보하기 위한 차별화 전략을 기획에 반영
- 통합(integrated)된 플랜트로 구체화
- 플랜트 가격 저가화
- 유지보수 편이성 보강
- ICT화
- 국내 부품 supply chain 확보
- 플랜트 EPC 능력 확보와 장시간 운전실적 확보

3.2 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 건설 기술

○ '12년 가축분뇨와 하수슬러지 및 '13년 음폐수의 해양배출이 금지되어 '20년까지 유기성폐자원을 전량 에너지화 할 계획으로 향후 바이오가스 관련 시장은 지속적으로 확대될 것으로 예상
○ 국내 50톤/일급 이상의 바이오가스 플랜트가 다수 존재하고 있으며, 정부계획을 고려

하였을 때 '20년까지 총 2조 500억원의 시장 수요가 발생되어 '20년까지 연간2.000억 원 규모의 바이오가스화 플랜트시장이 생성될 것으로 전망

- ○ 바이오수소 개발의 경우 국외에서도 현재까지 상용화된 사례가 없어, 바이오수소 생산 균주 개발 및 생산성 향상을 위한 인자 도출등의 연구 개발에 성공한다면 세계 바이오수소 시장을 선도할 것이라 판단
- ○ 새 정부(문재인 정부)의 환경·에너지정책 방향은 원전과 석탄화력을 줄이고 재생에너지 중심으로한 정책을 제안하고 있으며, 수소연료는 이러한 에너지원을 대체할 수 있는 청정연료로서 새 정부의 에너지 정책과 밀접하게 부합하고 있어, 바이오수소 기술 개발의 중요도가 증가

3.3 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

- ○ P2G 플랜트의 핵심 요소 기술인 수전해 기술과 CO_2를 활용한 메탄화 기술 그리고 전력망 연계기술의 현재 기술 수준을 제시하였고 사업 목표를 구체화
- ○ P2G 플랜트의 테스트베드를 독립된 생활권에서 적용하여 이를 바탕으로한 track record 확보로 시장 진입 가능
- ○ SWOT 분석으로 취약한 부분으로 꼽히는 수전해 핵심기술은 선진기술 도입과 자체 기술 개발을 병행하여 본 사업이 완료 시기에 맞춰 자체 기술력 확보 가능
- ○ P2G 시장은 현재 성장기 초반으로 본 사업이 완료시기에 시장 진출이 충분히 가능하며 Value Chain에서 언급한 바와 같이 국내 건설 및 엔지니어링 기술력으로 P2G 플랜트의 EPC 기술을 확보 가능

3.4 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

- ○ 국내 수소경제 활성화를 위해 정부지원으로 지자체별 수소충전소가 구축될 예정임
- ○ 실험실규모의 개질 특성에 대한 연구결과는 많이 보고되었지만, scale-up과 운영기술에 대한 연구는 미비하여 이를 반영한 기술개발이 완료될 경우성공 가능성이 매우 높은 것으로 판단
- ○ 수성가스전환과 수소분리공정의 경우 타 상용공정에서 대형으로 운전된 사례들이 있어 이를 응용하여 수소생산에 연계가 가능
- ○ 암모니아의 개질은 탄화수소 개질에 비해 평형에 도달하는 온도가 낮으며, 탄소성분이 없어 탄소침적이 발생하지 않아 기술개발이 어렵지 않은 분야임. 또한, 현재 시장이 형성되지 않아 기술 확보를 통해 시장 선점이 가능

3.5 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

- ○ 국내에 핵심 pilot 설비들이 이미 구축된 부분이 있으며, 국내 중공업 기반 능력으로 볼

때 단기간 내 국내에서 실증 test-bed로 연계가 가능함

○ 현재 기술 대비하여 기술개발을 통해 효율적 고도 정제 및 고순도 분리, 모듈화 등을 종합적으로 구현한다면 기술경쟁력 확보가 가능함

○ 국내외 플랜트 수요처가 구체적으로 존재함

- (국내 수요처) 바이오가스 플랜트, 폐기물 플랜트 등
- (국외 수요처) 가격 경쟁력 확보 시 동남아, 인도, 파키스탄, 중남미 등 거대시장 존재
- (Test-bed 후보지) 수도권매립지, 지자체 바이오가스 플랜트 부지 등

○ 정제 및 분리 설비를 국내외 시장에서 성공시키기 위해서는 다음과 같은 요소들이 개발 집약되어야 하며, 이러한 비교 우위를 확보하기 위한 차별화 전략이 기획에 반영됨

- 시스템 고효율화
- 설비 가격 저가화
- 유지보수 편이성 보강
- 국내 부품 supply chain 확보
- 플랜트 EPC 능력 확보와 장시간 운전실적 확보

4. 기대효과 및 파급효과

4.1 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

□ 합성가스 모듈화 플랜트 국산화 기술을 통한 연관 산업기술로 적용 확대

○ 기존 국내 타 부처(산업부, 환경부 등)에서 지원한 R&D 결과물을 결집하여 상업용 플랜트 기술 개발 및 단기적 국내 활용

○ 폐기물 소각시설을 대체 할 수 있는 국내외 합성가스 플랜트 시장에 국내업계의 단기간 진출을 위한 기술 제공

□ 급팽창하는 고부가가치 합성가스 플랜트 해외시장에 국내업계 진출을 위한 교두보 제공

○ 고품질 합성가스 생산시스템의 핵심 단위 설비 설계/제작 기술 확보로 국내 전문 업체 기술 경쟁력 향상

○ 국외 선진사의 원천설계기술 국산화를 통한 핵심 단위 설비/공정 국산화로 가스화 플랜트 핵심 기자재 자체 제작 가능

○ 상용 규모 연계운전 기술 확보, 연속 운전기술 확보 및 이를 통한 시스템의 신뢰성 확보, 운전제어기술 및 모니터링 기술 확보

□ 폐기물/바이오매스 활용의 다변화 및 고부가가치화

○ 기존 소각대비 고효율 발전이 가능하여 에너지 회수율을 높이고 온실가스를 감축할 수

있는 해외수출용 분산전원형 열병합 발전 플랜트에 활용

○ 합성가스에서 고순도 CO, H_2를 분리 정제 생산하여 기존 화석연료에서 생산되는 화학원료를 대체하여 폐기물/바이오매스의 고부가가치로 재활용

○ 합성가스의 산업용 대체 연료로 활용하고, 합성가스를 중장기적으로 석유화학 유래 제품 생산 기술로 확대

○ 폐기물/바이오매스 유래 합성가스 이용기술에 부합되는 정제기술 확보

□ CCS(Carbon Capture & Storage) 관련 기반 기술 확보

○ 화석연료 활용 기술 중에서 CO_2를 가장 경제적으로 포집할 수 있는 기술이므로 장기적으로는 CO_2 분리 및 회수 공정 기술을 추가하여 기후변화협약, RPS 추진, 유가 상승 등에 대비 가능

□ 환경친화적 처리를 통한 미세먼지 및 CO_2 발생 저감 효과

○ 미세먼지 2차 합성 원인물질인 NOx, SO_2 발생을 최소화하여 기존 연소기술 대비 미세먼지 저감효과 확보

○ CO_2 포집이 가장 용이한 플랜트로서 미래 CO_2 포집이 의무화될 시점에 상당한 탄소감축 효과 기대

- 국제 사회 CO_2 규제 강화 현실화
- 2015년부터 국내에서 CO_2 배출권 거래제 시작

○ 화학제품에 원료로 공급되는 CO, H_2의 대체 재생원료로서 폐기물/바이오매스 합성가스 공급을 통하여 기존 폐기물 처리기술 대비 환경친화적 기술로서 Near Zero Emission화로 환경부하 저감

□ 상용규모 50톤/일급 용량의 폐기물/바이오매스 합성가스 생산시스템의 국산화 기술 개발을 통하여 국내 및 해외시장 조기 진입 가능

○ 자체기술 능력 제고로 50~400톤/일급 단위 패키지 모듈화로 국내외 플랜트 시장 진출(합성가스의 화학원료 플랜트 및 세계 분산전원시장 1% 수준 점유 플랜트 해외 수출 달성 가능)

○ 자체기술 능력 제고로 50톤/일급 단위 패키지 모듈화로 국내외 플랜트 시장 진출(해외 선진기술 업체와의 기술경쟁력 및 가격경쟁력 확보로 선제적 진출)

○ 에너지 다변화에 대응하는 폐기물/바이오매스 유래 합성가스 생산 및 고부가가치화 이용 시스템의 국내 고유 모델 확보로 국내 시장 참여

○ Test-bed와 국내 진입 실적으로 track record 확보 후 해외 시장 진출

○ 국내 시장 점유율 10% 이상 플랜트 매출을 달성함과 동시에 에너지원 다원화 및 에너지안보와 수입대체 효과 확보

□ 국내 화학원료 및 연료시장 다변화 및 가격 안정성 확보

○ 화석연료에서 생산하는 합성가스 전환 화학원료의 대체 및 분산전원형 열병합기술 대체, 합성가스의 산업용연료 대체 가능

○ 세계적 유가 변동에 영향을 받지 않고 안정적으로 저가의 대체 에너지 확보로 국내 산업단지의 가격 경쟁력 확보 및 지속적 유가 상승에 선제적 대응

□ 폐기물의 자원화 및 고효율 에너지화 달성

○ 폐기물 처리의 기본방향이 재활용이며, 합성가스 생산을 통한 화학원료로의 재활용할 수 있고 고효율 발전 및 열회수가 가능하여 폐기물의 자원화 및 고효율 에너지화 달성

○ 폐기물 처리시설에 대한 부정적 인식에서 긍정적 인식으로의 전환

4.2 고함수 바이오매스 (유기성) 기반 CO_2 free 수소 생산 플랜트 건설 기술

□ 탄소중립적 바이오에너지 생산을 통한 온실가스 감축효과

○ 환경문제의 심화와 석유자원의 고갈위기, 교토의정서 발효에 의한 온실가스 감축의무가 본격화

○ 혐기성 소화를 통한 바이오가스 생산 공정은 탄소 중립적 과정으로서 온실가스 무배출

○ 유기성 폐자원의 바이오가스 에너지화를 통한 신재생에너지 보급 · 이용 촉진으로 고갈되어가는 화석연료 사용을 줄여 기후변화에 대응

○ 환경부에 따르면 국내에서 바이오가스화 기술을 통하여 2020년도까지 5,040 톤 CO2의 온실가스 감축효과와 5,900억 원의 원유대체효과를 기대

○ 만약 바이오가스를 천연가스 대체 에너지원으로 사용할 경우, 온실가스 배출을 저감시켜 탄소배출권을 확보할 수 있어 국가 경제 발전에 이바지를 할 수 있으며, 2015년 온실가스 배출 저감량은 3,698천 톤 CO_2이고 2030년에는 10,920천 톤 CO_2를 저감할 수 있을 것으로 전망

○ 바이오가스로 병합발전하거나 바이오가스를 바이오메탄으로 정제한 후 수송연료 등으로 활용할 경우 NOx, CO 등 대기오염물질의 배출이 적어 친환경적

□ 바이오매스(유기성) 에너지화를 통한 신재생에너지 확대보급

○ 우리나라 제3차 신재생에너지 기본 계획(2008.12)에 따르면 1차 에너지 중 신재생에너지의 비중이 2015년 4.3%, 2020년 6.1%, 2030년 11%로 설정되어 있으며, 정부는 신재생에너지를 확대 보급할 계획

○ 13년 신재생 에너지 목표 보급률(3.78%) 중 대부분(87%)을 폐자원 및 바이오매스 에너지화로 달성할 계획이며, 30년까지 신재생 에너지의 65%를 폐자원 및 바이오매스 에너지화로 공급할 전망

○ `07년 기준 에너지화 가용 유기성 폐자원량은 약 785만 톤/년에 달하나 그 중 2%(16만 톤/년)만이 에너지원으로 활용

○ 신재생에너지 사용 의무화(RPS)제도에 대비한 대체연료 공급 가능하며, 자동차 연료화 할 경우 배출 가스의 70%를 저감할 수 있는 친환경 연료
○ 바이오메탄/수소 생산 바이오가스 플랜트는 음식물 쓰레기를 포함하여 하수슬러지, 축산폐수 등 다양한 형태의 바이오매스에 적용될 수 있는 기술적/경제적 효용성이 높으므로, 대상기술의 개발은 국내 신재생 에너지 보급률을 크게 향상 가능

□ 바이오메탄/수소 이용한 바이오연료 수급효과

○ 국가 온실가스 중기 감축 목표는 2020년 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 30%로 설정하여 이에 대한 각 부분별 감축전략을 설정 중에 있으며, 특히 수송부문의 온실가스 감축 수단으로 바이오연료 사용을 확대하고 있는 것이 전 세계적인 추세
○ 국내 바이오연료 중 현재 보급 중인 바이오디젤은 지속적인 국내 원료 활용량 증대에도 불구하고 전체적인 원료 수입 의존도는 크게 개선되지 않아 문제점으로 지적되고 있는 반면, 바이오가스는 폐자원을 에너지화하여 수송용 연료로 사용 가능하여 원료수급에 매우 안정적인 바이오연료 평가
○ 또한 바이오가스는 메탄이 주성분으로서 연료로 사용 시, 지구온난화지수가 이산화탄소에 비해 21배인 메탄 배출 억제효과가 있어 바이오디젤과 바이오에탄올 보다 온실가스 저감 효과가 큰 것으로 보고
○ 바이오가스를 수송연료로 생산하여 자동차 연료로 사용하면 경유 대비 온실가스 배출량을 약 20% 저감하고 배기가스의 오염물질인 NOX는 80% 이상, PM은 100% 저감 가능

4.3 잉여전기 이용 수소 생산 및 산소 활용 기술

○ 국내에서 뒤쳐진 수전해 기술을 향상시키고 P2G 플랜트에 적용시켜 실증 설비 운전 기술 축적으로 유럽 선진기술과 대등한 기술 확보
○ 현재까지 수소 생산은 천연가스 개질을 통한 수소 생산이 가장 많은 비중을 차지하고 있으나 이산화탄소 발생을 유발하는 공정으로 향후 수소경제에서 수소는 결국 이산화탄소를 배출하지 않는 재생에너지 기반의 수소 생산이 될 가능성이 높아 관련 기술을 확보 가능
○ P2G 공정에서의 수전해 전극개발 및 촉매 개발 및 실증을 통해 연료전지 및 관련 기술 향상 기대
○ 아직 유럽 일부 지역에서 보급된 P2G 플랜트가 향후 전 세계적으로 확산 될 경우 국내 엔지니어링 업체 및 건설업체의 시장 진입 가능
○ 수전해 설비 및 전극, 촉매 생산 등 요소 기술의 신뢰성 확보를 통해 국내 중소기업의 수출 활성화
○ 국내 에너지변환 정책의 핵심인 3020 정책의 기반 기술로서 재생에너지 기반의 국가사회 실현에 기여

4.4 합성가스 기반 수소생산을 위한 개질 및 변환 기술

□ CO_2 저감 효과

- ○ 바이오가스 개질, CO_2 직접 개질 등을 이용해 제조된 수소를 70% 공급할 경우, 대략 870만 톤의 이산화탄소 저감 효과가 있으며, 100%를 공급할 경우, 대략 1,000만 톤 이상의 저감 효과
- ○ CO_2 free 생산이 아닌, 현재 상업적으로 가장 경제적인 수소 생산 방식인 CNG 개질을 이용할 경우에 온실가스 저감 효과는 50%로 감소하지만, CNG 개질로 제조된 수소를 100% 이용할 경우에도 500만 톤 이상의 CO_2 저감 효과
- ○ 수송용 차량과 발전용 연료전지 도입으로 제안된 충청남도의 CO_2 저감 목표인 4,720만 톤 대비, 18.2%의 저감 효과 확보 가능 (70% CO_2 free 수소 제조 기준)

□ CO_2 저감에 따른 사회경제적 효과 (2030년 기준)

- ○ 2030년 수소에너지 도입에 따른 872만톤의 CO_2 저감에 따른 사회적 비용 저감 효과는 1조 700억에 이르며, 기타 저감을 통해 4조 7천억의 효과 확보 가능
- ○ 2030년 수소전기차 10만대 보급에 따른 대기오염물질 감축 효과는 270여 톤으로, 이로 인한 사회적 비용 저감 효과는 18.5억원으로 나타남. 이 지표는 현재를 기준으로 2030년을 평가한 효과로, 단계적 보급에 따른 연도별 누적 효과는 3~4배에 이를 것으로 전망
- ○ 수소연료전지 도입으로 인한 오염물질 저감을 사회적 비용 측면에서 산정하여 계산하였으며, 연료전지발전 대체 시 대기오염물질을 배출하지 않는다고 가정하면, 먼지 84억, SOx 425억, NOx 783억으로 총 1290억원의 사회적 비용 저감 효과

4.5 합성가스/ 바이오가스 고도 정제 및 고순도 수소 분리 기술

□ 수소 생산 방식의 다양화 및 저가화

- ○ 폐기물, 바이오매스 등 수소 생산 방식의 다양화를 위한 기반 기술인 정제 및 분리 기술의 국내 기반 핵심 요소기술 확보 및 고부가가치화
- ○ 경제적이면서 효율이 높고 모듈화된 정제기술 및 수소 분리기술 확보

□ 국내 고유 기술 적용 수소 생산 산유국 도약 위한 기반 확보

- ○ 국내 고유기술로 저비용 고효율 정제기술 개발을 통해 다양한 저급연료의 고부가화 및 청정연료로 용이하게 활용할 수 있는 기술기반 확보
- ○ 국내 고유 정제 및 분리 기술 확보를 통한 경쟁력 강화 및 사업화 기반 확보
- ○ 폐기물/바이오매스 유래 추출수소 생산에 부합되는 정제 및 분리 핵심기술 확보

4.6. 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공통 핵심 기술

4.6.1 모듈화 플랜트 설계 및 건설 기술

- ○ 중소형 합성가스 기반 수소생산 플랜트 핵심설비의 모듈화 기술 국산화로 전체 플랜트 신뢰도 세계 최고 수준 달성
- ○ 건설공기 단축, 건설비용 감소, 품질 확보 가능, 유지보수 편의성 등으로 플랜트의 대외 경쟁력 강화
- ○ 합성가스 또는 수소에 의한 폭발과 유독성 문제로 인하여 운전 단계에서 발생 확률이 높은 인사사고에 대비한 설계를 적용함으로써 대 고객 수용성 및 대 주민 수용성 향상
- ○ 표준화된 모듈화 설계를 적용함으로써 전문 운전인력 배치 및 고가의 안전시설 설치가 어려운 중소형 플랜트의 안전성 향상 및 이를 통한 플랜트의 상품 경쟁력 확보

○ 해외 수출 시 국내 발생 부가가치 최대화 가능 및 주요 부분은 블랙박스화로 해외 경쟁업체에서 복제 가능성 원천 배제

4.6.2 ICT 활용 제어 및 유지/보수 기술

□ 기술적 측면

- ○ ICT/IoT/빅데이터 기반의 국내 고유 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 기술 축적 및 기반 확보
- ○ IT 기술의 합성가스 기반 수소생산 플랜트 적용에 따른 기술신뢰도 향상 및 기술경쟁력 강화
- ○ IT 기반의 플랜트 운영관리를 통한 플랜트 운전 data 원격 모니터링 및 진단 기술 확보
  - 합성가스 기반 수소생산 플랜트 공정의 실시간 모니터링 및 설비 이상 진단
  - 플랜트 운영 상황 실시간 모니터링을 통해 이상 상황 발생 시 심각한 문제로 커지기 전에 이상 징후를 조기에 탐지하여 잠재적인 문제 상황을 사전에 예측/예방
- ○ 다변량 통계적 관리를 통한 합성가스 플랜트 공정 제어
  - 실시간 모니터링 및 설비/기기 고장 조기 감지
  - 합성가스 및 수소 생산 운전조건 편차 감소 및 품질 유지
  - 합성가스 및 수소 생산에 영향을 미치는 주요인자 발굴 및 품질 관리를 위한 공정 제어
- ○ 빅데이터 플랫폼 구축에 따른 통합 DB 구축
  - 분석 대상 데이터의 통합 관리
  - 데이터 수집/저장소 통합에 따른 고급 분석 기반 확보
- ○ 해상, 극한지, 오지 등 다양한 지역 플랜트 운영/유지보수에 개발 기술 적용 및 운영

□ **사회·경제적 측면**

- ○ 합성가스 플랜트 운영관리 기술 확보 및 신뢰도 향상을 위한 산·학·연 연계가 가능한 기반 구축
- ○ 선진국에 의존하는 감시·진단 운영 시스템 기술 개발로 세계 플랜트 시장에서의 국내 업체 수주 향상에 기여
- ○ 합성가스 기반 수소생산 플랜트 핵심 설비/기기 국산화 및 사업화 소요시간 단축
- ○ 국내 플랜트 기자재에 개발되는 IT 기반 운영관리 기술 적용이 가능하며, 이에 따른 관련 기자재 산업의 활성화
- ○ 빅데이터 운전 자료의 잠재적 가치와 신규 부가가치 발굴 및 플랜트 이용률 향상
- ○ 데이터 분석을 기반으로 한 합성가스 기반 수소생산 플랜트 유지보수 선제적 대응 강화 및 비용 절감
- ○ 핵심 설비 상태 감시를 위한 통합 시스템 개발로 플랜트 진단 및 운영시장 진출 활용

□ **정책적 측면**

○ 연구 개발 결과 활용에 따른 국가적인 차원에서 관련 기술의 조기 고도화 및 관련 플랜트 산업 활성화에 기여

제4절 경제적 타당성 분석

1. 사업의 비용구조

○ 합성가스 기반 수소생산 기술개발사업의 비용구조는 6개 세부사업의 연구비와 총괄사업단 예산으로 구성

- 합성가스 기반 수소생산 기술개발사업은 7년('20~'26)간 정부 출연금 1,780 억원과 민간 610 억원, 총 2,390 억원의 예산을 투입하여 추진할 예정
- 연도별 비용을 공공투자사업 및 연구개발사업의 예비타당성조사에서 사용되는 4.5%의 할인율로 현재가치화(2019년 기준) 할 경우 총 2,090 억원으로 산정

<표 8-4-1> 합성가스 기반 수소생산 기술개발사업 소요예산

(단위: 백만원)

세부사업	구분	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	합 계
사업단	정부	500	500	500	500	500	500	500	3,500
(1세부) 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술	정부	15,000	33,800	23,000	15,260	7,560	-	-	94,620
	민간	5,250	11,830	8,050	5,341	2,646	-	-	33,117
	소계	20,250	45,630	31,050	20,601	10,206	-	-	127,737
(2세부) 바이오매스(유기성) 기반 CO2-free	정부	-	1,800	10,500	6,700	2,900	1,200	800	23,900
	민간	-	630	3,675	2,345	1,015	420	280	8,365
	소계	-	2,430	14,175	9,045	3,915	1,620	1,080	32,265
(3세부) 잉여 전기 이용 수소생산 및 산소활용	정부	-	-	1,080	2,110	3,210	2,810	1,590	10,800
	민간	-	-	378	739	1,124	984	557	3,780
	소계	-	-	1,458	2,849	4,334	3,794	2,147	14,580
(4세부) 개질 및 변환기술	정부	1,520	3,960	6,400	4,000	1,700	-	-	17,580
	민간	532	1,386	2,240	1,400	595	-	-	6,153
	소계	2,052	5,346	8,640	5,400	2,295	-	-	23,733
(5세부) 정제 및 분리기술	정부	2,300	3,500	3,900	3,700	2,900	-	-	16,300
	민간	805	1,225	1,365	1,295	1,015	-	-	5,705
	소계	3,105	4,725	5,265	4,995	3,915	-	-	22,005
(6세부) 공통 핵심기술	정부	920	2,440	2,820	2,620	2,460	-	-	11,260
	민간	322	854	987	917	861	-	-	3,941
	소계	1,242	3,294	3,807	3,537	3,321	-	-	15,201
합계	**정부**	20,240	46,000	48,200	34,890	21,230	4,510	2,890	177,960
	민간	6,909	15,925	16,695	12,037	7,256	1,404	837	61,061
	합계	27,149	61,925	64,895	46,927	28,486	5,914	3,727	239,021
2019년 현재가치									**209,042**

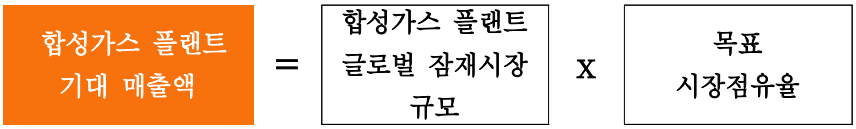
2. 사업의 편익구조

2.1 합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술

□ 편익 추정 방법론

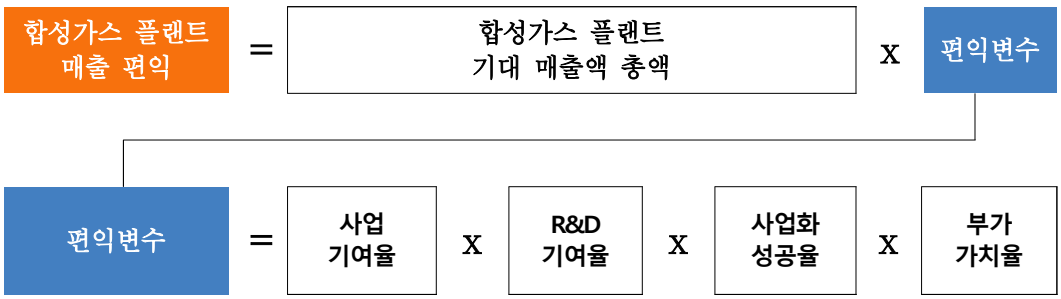
○ ‘합성가스 생산을 위한 순산소 가스화 기술’(이하 합성가스) 플랜트의 기대 해외 매출액으로부터 동 사업의 편익을 산정

○ 기대 해외 매출액은 합성가스 플랜트 글로벌 잠재시장 규모와 목표 시장점유율을 근거로 산정



[수식 8-4-1] 합성가스 플랜트 기대 매출액의 구성

- (편익 변수) 합성가스 플랜트 기대 매출액에 대한 동 사업의 총 편익은 기대되는 총 매출액에 사업기여율, R&D기여율, R&D사업화성공률, 부가가치율 변수를 고려하여 산정



[수식 8-4-2] 합성가스 플랜트 매출 편익 산출식

○ (연도별 차등적 매출규모) 합성가스 플랜트의 기대 매출은 2026년부터 달성될 것으로 기대하고 연도별 매출액 규모를 차등하여 도출하는 것이 원칙

○ (글로벌 잠재시장 규모 추정) 합성가스 플랜트의 글로벌 잠재시장 규모는 CO 생산 플랜트 시장과 분산전원 관련 시장 규모를 산정하여 적용

<표 8-4-2> 폐기물/바이오매스(가연성) 기반 합성가스 생산 플랜트 잠재시장 분석

잠재시장 산출 기준	시장 규모 (억원/년)
1. 플랜트 건설비 : 폐기물/바이오매스 플랜트(50톤/일) 기준	
1) 고순도 가스(CO) 생산 플랜트	220
2) 분산전원 플랜트	200
2. 잠재시장 규모	
1) 국내 고순도 가스(CO) 생산 대체 잠재 시장 - 고순도 가스 잠재시장 : 720,000톤/년 (출처 : 고등기술연구원 2015년) - 고순도 가스 생산을 위한 가스화 필요 용량 : 3,568톤/일 - 2014년 국내 가연성 폐기물 발생량(91,000톤/일)의 3.92% - 폐기물 합성가스 고순도 가스 생산 대체 가능 시장 * 50톤/일 기준 가스화 플랜트 필요수량 : 72기 * 건설비 220억원 × 72기 = 1.58조원	15,800
2) 국내 분산전원 시장 (잠재 시장) - 2025년 폐기물 합성가스 분산전원 가스화 예상 용량 : 3,276톤/일 (출처 : 신재생에너지 RD&D 전략 2030) - 2014년 국내 가연성 폐기물 발생량(91,000톤/일)의 3.60% - 폐기물 합성가스 분산전원 대체 가능 시장 * 50톤/일 폐기물 가스화 플랜트 66기 * 건설비 200억원/기 × 66기 = 1.32조원	13,200
3) 해외 고순도 가스(CO) 생산 대체 잠재 시장 - 해외 초산 생산 시장(2015년 기준) : 12,850,000톤/년 (출처 : Zion Research Analysis 2016) - 고순도 가스 생산을 위한 가스화 대체 용량 : 8,914톤/일 - 2025년도 세계 생활폐기물 총 발생량(4,327,286톤/일)의 0.206% - 폐기물 합성가스 고순도 가스 생산 대체 가능 시장 * 50톤/일 폐기물 가스화 플랜트 179기 * 건설비 220억원/기 × 179기 = 3.9조원	39,000
4) 해외 분산전원 시장 (잠재 시장) - 2025년 세계 생활폐기물 발생량 : 4,327,286톤/일 (출처: Word Bank 2012년) - 2025년 폐기물 합성가스 분산전원 가스화 예상 용량: 70,967톤/일 - 2025년 세계 생활폐기물 총 발생량(OECD 제외)의 1.64% - 폐기물 합성가스 분산전원 대체 가능 시장 * 50톤/일 폐기물 가스화 플랜트 1,730기 * 건설비 200억원/기 × 1,730기 = 34.6조원	346,000
- 합계	414,000

<표 8-4-3> 펫코크 기반 합성가스 생산 플랜트 잠재시장 분석

잠재시장 산출 기준	시장 규모 (억원/년)
1. 플랜트 건설비 : 펫코크 플랜트(50톤/일), 청정합성가스 생산 기준	240
2. 잠재시장 규모	
1) 국내 LNG 대체 잠재 시장 - 국내 천연가스 수입량 약 3천만톤/년 (출처 : 국내 가스(LNG) 수급 동향 및 전망, index.go.kr) - 펫코크 50톤/일 플랜트 5,000개로 천연가스 3천만톤/년 생산 가능 - 플랜트 1기당 240억원 건설비 가정하면 총 120조원 시장 - 플랜트 운전기간 20년 가정하면 120조원/20년= 6 조원/년	60,000
2) 국내 산업용 및 발전용 보일러 대체 시장 (잠재 시장) - 국내 산업용 보일러 설치 대수와 스팀 생산용량 (2012년 기준) 40,771기 및 176,657톤/h (출처 : 에너지관리공단, 2012년) - 펫코크 50톤/일급 플랜트 10,000기로 중소형 보일러 연료 대체 가능 - 펫코크 50톤/일 플랜트 1기당 240억원 건설비 가정하면 총 240조원 시장 - 플랜트 운전 기간 20년 가정하면 240조원/20년= 12 조원/년	120,000
3) 해외 분산전원 시장 (잠재 시장) - 2015년부터 2025년까지 10년간 총 800 GWe 시장으로서 80 GWe/년 시장 형성 예상 (출처 : World Alliance for Decentralized Energy, 2011) - 펫코크 50톤/일급 플랜트 = 약 5 MWe급 전력 생산 - 80 GWe/년 전력 생산 = 50톤/일급 플랜트 16,000기/년 해당 - 240억원/플랜트 x 16,000 플랜트/년 = 약 384 조원/년	3,840,000
4) 해외 합성가스 시장 (잠재 시장) - 2013년부터 2018년까지 청정연료가스 시장: 약 50 GWth-syngas/5년 = 10 GWth-syngas/년 (출처 : Higman, GTC 2014) - 10 GWth-syngas/년 합성가스 생산 = 50톤/일급 플랜트 약 700 플랜트/년 해당 - 240억원/플랜트 x 700 플랜트/년 = 약 16.8 조원/년	168,000
- 합계	4,188,000

○ (편익발생기간) 기대 매출액에 대한 편익발생기간을 15년으로 적용

<표 8-4-4> 합성가스 플랜트의 편익발생연도

편익회임기간	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
해당연도	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
편익회임기간	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5					
해당연도	2036	2037	2038	2039	2040					

□ **합성가스 플랜트 매출 편익**

○ (폐기물/바이오매스(가연성) 기반 합성가스 플랜트 기대 매출액 추정) 기대 글로벌 잠재시장 규모는 415,000 억원으로 예상되며 기대 매출액은 2026년 약 707 억원에서 2040년에는 12,420 억원을 달성할 것으로 예상

○ (펫코크 기반 합성가스 플랜트 기대 매출액 추정) 기대 글로벌 잠재시장 규모는 4,188,000 억원으로 예상되며 기대 매출액은 2026년 약 1,507 억원에서 2040년에는 24,984 억원을 달성할 것으로 예상

<표 8-4-5> 연도별 폐기물/바이오매스(가연성) 기반 합성가스 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율

(단위: 억원)

연도	잠재시장 규모	목표 시장점유	기대 매출액
2026	414,000	CO 플랜트 6기 분산전원 플랜트 4기 (3년간 총 10기)	707
2027	414,000		707
2028	414,000		707
2029	414,000	0.30%	1,242.0
2030	414,000	0.50%	2,070.0
2031	414,000	1.00%	4,140.0
2032	414,000	1.50%	6,210.0
2033	414,000	2.00%	8,280.0
2034	414,000	2.50%	10,350.0
2035	414,000	2.75%	11,385.0
2036	414,000	3.00%	12,420.0
2037	414,000	3.00%	12,420.0
2038	414,000	3.00%	12,420.0
2039	414,000	3.00%	12,420.0
2040	414,000	3.00%	12,420.0

<표 8-4-6> 연도별 펫코크 기반 합성가스 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율

(단위: 억원)

연도	잠재시장 규모	목표 시장점유	기대 매출액
2026	4,188,000	3년간 10기 : LNG 대체 플랜트 6기, 분산전원 플랜트 4기	800.0
2027	4,188,000		800.0
2028	4,188,000		800.0
2029	4,188,000	0.050%	2,094.0
2030	4,188,000	0.100%	4,188.0
2031	4,188,000	0.150%	6,282.0
2032	4,188,000	0.200%	8,376.0
2033	4,188,000	0.225%	9,423.0
2034	4,188,000	0.250%	10,470.0
2035	4,188,000	0.275%	11,517.0
2036	4,188,000	0.300%	12,564.0
2037	4,188,000	0.300%	12,564.0
2038	4,188,000	0.300%	12,564.0
2039	4,188,000	0.300%	12,564.0
2040	4,188,000	0.300%	12,564.0

○ (편익변수) 기대 매출액에 대한 동 사업의 총 편익을 도출하기 위해 사업기여율, R&D 기여율, R&D사업화성공률, 부가가치율을 편익변수를 4개 세부 사업에 적용

- (사업기여율) 합성가스 플랜트 해외 매출액 발생에 본 사업이 기여한 비율을 의미하며 본 보고서에서는 41.9%를 적용

  * 사업화 기여율에 관한 전문가 의견 설문조사에 근거

- (R&D 기여율) 연구개발성과의 상업화를 통해 창출된 부가가치 중 연구개발에 의한 기여율로 본 보고서에서는 35.4%로 산정

  * 제3차 과학기술기본계획, 연구개발부분 사업의 예비타당성조사 표준지침(2016, KISTEP)

- (사업화성공률) 연구개발사업을 통한 기술개발 성과가 경제적 효과 창출로 이어지기 위해서는 상용화 과정이 필요하며 이 과정의 불확실성을 반영하기 위한 변수로 본 보고서에서는 31.6%로 산정

* 국가 R&D 사업 경제적 타당성 평가 방법론 개선방안 (과학기술정책연구원) 평균 사업화 성공률 31.6% 적용

- (부가가치율) 편익은 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치 기준이므로 부가가치율을 고려하여 실제 새롭게 창출된 경제적 효과를 반영하기 위함이며 본 보고서에서는 34.5%로 산정

* 한국은행 산업연관표 2015년 전력가스 및 증기 부가가치율 기준

○ 편익변수를 고려한 합성가스 플랜트 해외 매출액 관련 편익은 총 3,646 억원, 2019년 현재가치로 환산하면 1,770 억원의 편익이 발생할 것으로 추정

2.2 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트

□ 편익 추정 방법론

○ '바이오매스 기반 CO_2-free' 수소 생산 플랜트의 기대 해외 매출액으로부터 동 사업의 편익을 산정

○ 기대 해외 매출액은 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 글로벌 잠재시장 규모와 국내 목표 시장점유율을 근거로 산정

바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 기대 매출액 = 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 글로벌 잠재시장 규모 X 목표 시장점유율

[수식 8-4-3] 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 기대 매출액의 구성

- (편익 변수) 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트의 매출액에 대한 동 사업의 총 편익은 기대되는 총 매출액에 사업기여율, R&D기여율, R&D사업화성공률, 부가가치율 변수를 고려하여 산정

바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 매출 편익 = 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 기대 매출액 총액 X 편익변수

편익변수 = 사업 기여율 X R&D 기여율 X 사업화 성공율 X 부가 가치율

[수식 8-4-4] 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 매출 편익 산출식

○ (연도별 차등적 매출규모) 바이오매스 기반 CO_2-free 플랜트의 기대 매출은 2028년부터 달성될 것으로 기대하고 연도별 매출액 규모를 차등하여 도출하는 것을 원칙으로 기준 설정

○ (글로벌 잠재시장 규모 추정) 바이오매스 기반 CO_2-free 플랜트의 글로벌 잠재시장 규모를 추정하기 위한 주요가정을 다음의 표에 요약

<표 8-4-7> 바이오매스(유기성) 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 관련 시장전망을 위한 주요 가정

잠재시장 산출 기준	시장 규모 (억원)
1. 플랜트 건설비 : 바이오가스플랜트(50톤/일)	125
2. 잠재시장 규모	
1) 음식물류폐기물 바이오가스 시장 - 전 세계 음식물류폐기물 발생량 : 0.2kg/인*7,000,000,000인 = 1,470,000 톤 - 설비용량 50톤/일·개소 - 50톤/일급 바이오가스플랜트 건설비 : 125억 - 50톤/일급 바이오가스플랜트 설비개수 : 29,400개 - 전세계 음식물류폐기물 바이오가스플랜트 건설비 : 29,400개 * 125억/개 = 3,675,000 억원 (누적)	3,675,000 (누적)
2) 하수슬러지 바이오가스 시장 - 전 세계 하수슬러지 발생량 : 0.3kg/인*7,000,000,000인 = 1,750,000 톤 - 설비용량 50톤/일·개소 - 50톤/일급 바이오가스플랜트 건설비 : 125억 - 50톤/일급 바이오가스플랜트 설비개수 : 35,000 개 - 전세계 음식물류폐기물 바이오가스플랜트 건설비 : 35,000개 * 125억/개 = 4,375,000 억원 (누적)	4,375,000 (누적)
- 합계 (누적 시장 규모)	8,050,000

○(편익발생기간) 기대 매출액에 대한 편익발생기간을 15년으로 적용

<표 8-4-8> 바이오매스 CO_2-free 수소 생산 플랜트의 편익발생연도

편익회임기간	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
해당연도	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
편익회임기간	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5					
해당연도	2038	2039	2040	2041	2042					

□ 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 매출 편익

○ (바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 기대 매출액 추정) 기대 글로벌 잠재시장 규모는 세계 음식물류 폐기물 및 하수슬러지 발생량 기준으로 이를 모두 수소생산 플랜트로 대체한다면 누적으로 8,050,000억원 시장으로 전망

○ 기대 매출액은 2028년 약 1,250 억원에서 2042년 4,025 억원을 달성할 것으로 예상

<표 8-4-9> 연도별 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율

(단위: 억원, %)

연도	잠재시장 규모	목표 시장점유율	기대 매출액
2028	8,050,000 (세계 음식물류 폐기물 및 하수 슬러지 발생량 고려 누적 시장 규모)	3년간 20기	1,250.0
2029			1,250.0
2030			1,250.0
2031			2,415.0
2032		0.03%	4,025.0
2033		0.05%	4,025.0
2034		0.05%	4,025.0
2035		0.05%	4,025.0
2036		0.05%	4,025.0
2037		0.05%	4,025.0
2038		0.05%	4,025.0
2039		0.05%	4,025.0
2040		0.05%	4,025.0
2041		0.05%	4,025.0
2042		0.05%	4,025.0

주) 잠재시장 규모는 누적 규모이며, 15년동안 누적 시장에서 약 5조원의 매출을 달성하여 총 누적 잠재시장의 약 0.63%를 점유하는 것으로 시장 점유 목표로 설정

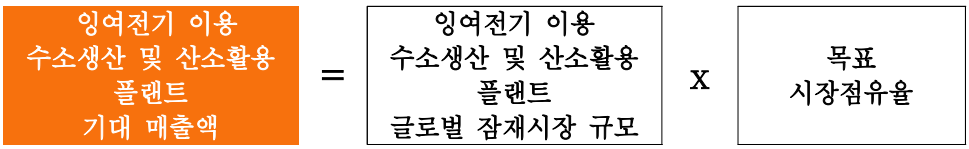
○ 편익변수를 고려한 바이오매스 기반 CO_2-free 수소 생산 플랜트 해외 매출액 관련 편익은 총 816억원, 2019년 현재가치로 환산하면 389 억원의 편익이 발생할 것으로 추정

2.3 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트

□ 편익 추정 방법론

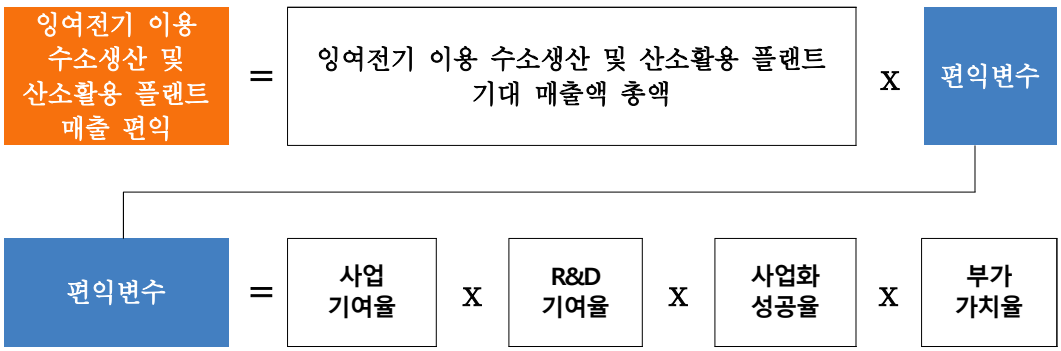
○ '잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용' 플랜트의 기대 해외 매출액으로부터 동 사업의 편익을 산정

○ 기대 해외 매출액은 합성가스 플랜트 글로벌 잠재시장 규모와 국내 목표 시장점유율을 근거로 산정



[수식 8-4-5] 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트 기대 매출액의 구성

- (편익 변수) 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트의 매출액에 대한 동 사업의 총 편익은 기대되는 총 매출액에 사업기여율, R&D기여율, R&D사업화성공률, 부가가치율 변수를 고려하여 산정



[수식 8-4-6] 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트 매출 편익 산출식

○ (연도별 차등적 매출규모) 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트의 기대 매출은 2028년부터 달성될 것으로 기대하고 연도별 매출액 규모를 차등하여 도출하는 것을 원칙으로 기준 설정

○ (글로벌 잠재시장 규모 추정) 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트의 글로벌 잠재시장 규모를 추정하기 위한 주요가정을 다음 표에 정리

<표 8-4-10> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트 관련 시장전망을 위한 주요 가정

잠재시장 산출 기준	시장 규모 (억원/년)
1. 플랜트 건설비 : 잉여전기 이용 수소생산 플랜트(1MW)	25
2. 잠재시장 규모	
1) 국내 잉여전기 이용 수소생산 플랜트 잠재 시장 - 국내 재생에너지 발전 12.4GW(~2022), 36.3GW(~2030) (출처 : 2018 KEA 에너지 편람) - 1MW 수전해 설비를 통해서 200Nm3/h 생산 가능 - 플랜트 1기당(1MW) 25억원 건설비 가정하면 총 9,000억원 시장(2030년 기준, 재생에너지 시장에서 10% 적용 가정)	90,750
2) 세계 잉여전기 이용 수소생산 시장 (잠재 시장) - 2017년 한해 세계 재생에너지 설비용량 증가는 130GW - 세계 재생에너지 발전은 연간 약 8% 증가할 것으로 예상 (출처 : 국제 신재생에너지 정책 변화 및 시장 분석, 에너지경제연구원) - 2040년 세계 재생에너지 발전량은 763.2903GW 증가 예상 - 25억원/플랜트 x 763,290MW x 10% = 1,908,225 억원(2040년 기준, 재생에너지 시장에서 10% 적용 가정)	1,908,225 (국내 포함)
- 합계(2040년 기준, 세계시장에 국내 시장 포함)	1,908,225

○ (편익발생기간) 기대 매출액에 대한 편익발생기간을 15년으로 적용함

<표 8-4-11> 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트의 편익발생연도

편익회임기간	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
해당연도	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
편익회임기간	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5					
해당연도	2038	2039	2040	2041	2042					

□ 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트 매출 편익

○ (잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 플랜트 기대 매출액 추정) 기대 글로벌 잠재시장 규모는 2028년 757,783 억원에서 2040년 1,908,226 억원으로 성장할 것으로 전망

○ 기대 매출액은 2028년 250 억원 (1MW 10기)에서 2042년 3,561 억원을 달성할 것으로 예상

<표 8-4-12> 연도별 잉여전기 이용 수소생산 및 산소 활용 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율

(단위: 억원, %)

연도	잠재시장 규모	목표 시장점유율	기대 매출액
2028	-	1MW 플랜트 10기	250
2029	-		250
2030	-		250
2031	954,587.9	0.05%	477.3
2032	1,030,955.0	0.06%	618.6
2033	1,113,431.4	0.07%	779.4
2034	1,202,505.9	0.08%	962.0
2035	1,298,706.3	0.09%	1,168.8
2036	1,402,602.8	0.10%	1,402.6
2037	1,514,811.1	0.11%	1,666.3
2038	1,635,996.0	0.12%	1,963.2
2039	1,766,875.6	0.13%	2,296.9
2040	1,908,225.7	0.14%	2,671.5
2041	2,060,883.7	0.15%	3,091.3
2042	2,225,754.4	0.16%	3,561.2

○ 편익변수를 고려한 잉여전기 이용 수소생산 및 산소활용 해외 매출액 관련 편익은 총 346 억원, 2019년 현재가치로 환산하면 151 억원의 편익이 발생할 것으로 추정

2.4 개질 및 변환 플랜트

□ 편익 추정 방법론

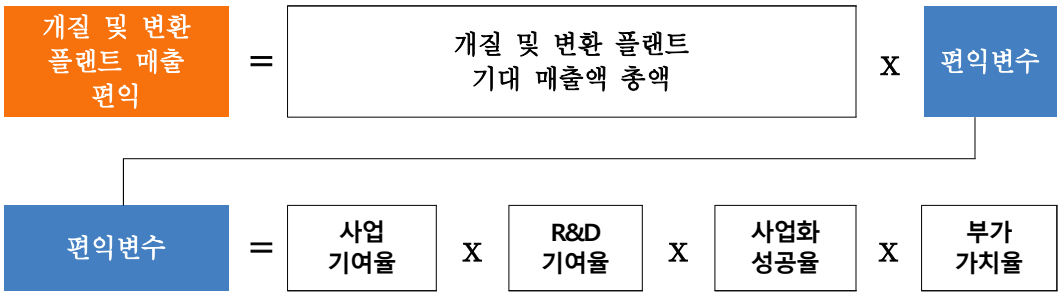
○ '개질 및 변환기술' 플랜트의 기대 해외 매출액으로부터 동 사업의 편익을 산정

○ 기대 해외 매출액은 글로벌 잠재시장 규모와 국내 목표 시장점유율을 근거로 산정

개질 및 변환 플랜트 기대 매출액 = **개질 및 변환 플랜트 글로벌 잠재시장 규모** X **목표 시장점유율**

[수식 8-4-7] 개질 및 변환기술 플랜트 기대 매출액의 구성

- (편익 변수) 개질 및 변환기술 플랜트의 매출액에 대한 동 사업의 총 편익은 기대되는 총 매출액에 사업기여율, R&D기여율, R&D사업화성공률, 부가가치율 변수를 고려하여 산정



[수식 8-4-8] 개질 및 변환기술 플랜트 매출 편익 산출식

○ (연도별 차등적 매출규모) 개질 및 변환기술 플랜트의 기대 매출은 2026년부터 달성될 것으로 기대하고 연도별 매출액 규모를 차등하여 도출하는 것을 원칙으로 기준 설정

○ (글로벌 잠재시장 규모 추정) 개질 및 변환기술 플랜트의 글로벌 잠재시장 규모를 추정하기 위한 주요가정은 다음의 표에 정리

<표 8-4-13> 개질 및 변환 플랜트 관련 시장전망을 위한 주요 가정

잠재시장 산출 기준	시장 규모 (억원/년)
1. 플랜트 건설비 : 수소생산 플랜트(3톤/일), 수소 생산 기준	50
2. 잠재시장 규모	
1) 국내 수소생산 플랜트 잠재 시장 (출처 : 2019년 수소 경제 활성화 로드맵) - 수소 생산플랜트 1기를 3톤/일(1,400Nm^3/h)로 산정 - 천연가스 개질공정으로 2040년까지 3톤/일 플랜트 1,460개를 구축하여 158만톤의 수소를 생산할 것으로 예측 - 2021년부터 연 성장률 5% 가정 (2,210억원/년, 2021년 기준) - 수소 플랜트 시장 2030년 기준 3,428억원/년, 2040년 기준 5,585억원/년 - 2040년 기준 플랜트 1기당 50억원 건설비 가정하면 총 7.3조원 시장 (1,460기 × 50억원 = 7.3조원, 누적)	3,428 (2030) 5,585 (2040)
2) 해외 수소생산 플랜트 잠재 시장 (추정) - 국내 수소 플랜트 규모의 25배 산정 (국내 에너지 사용량 전 세계의 약 2%, 해외시장 규모는 약 50배이나 개발도상국 등 수소 경제로 진행하지 못하는 국가 등을 고려하여 약 25배 가정) - 연 성장률 5% 가정	85,711 (2030) 139,614 (2040)
- 합계 (2030년, 2040년 기준)	89,139 (2030) 145,199 (2040)

○ (편익발생기간) 기대 매출액에 대한 편익발생기간을 15년으로 적용

<표 8-4-14>개질 및 변환기술 플랜트의 편익발생연도

편익회임기간	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
해당연도	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
편익회임기간	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5					
해당연도	2036	2037	2038	2039	2040					

□ 개질 및 변환기술 플랜트 매출 편익

○ (개질 및 변환기술 플랜트 기대 매출액 추정) 기대 글로벌 잠재시장 규모는 2026년 32,092 억원으로 예상되며 기대 매출액은 2026년 750 억원에서 2032년 4,024 억원을 달성할 것으로 예상

<표 8-4-15> 연도별 개질 및 변환 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율

(단위: 억원, %)

연도	잠재시장 규모	목표 시장점유율	기대 매출액
2026	73,335	개질기 연간 15기	750.0
2027	77,002		750.0
2028	80,852		750.0
2029	84,895	1.00%	848.9
2030	89,139	1.20%	1,069.7
2031	93,596	1.40%	1,310.3
2032	98,276	1.60%	1,572.4
2033	103,190	1.80%	1,857.4
2034	108,349	2.00%	2,167.0
2035	113,767	2.20%	2,502.9
2036	119,455	2.40%	2,866.9
2037	125,428	2.60%	3,261.1
2038	131,699	2.80%	3,687.6
2039	138,284	3.00%	4,148.5
2040	145,199	3.20%	4,646.4

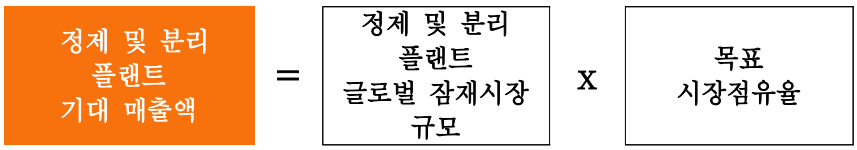
○ 편익변수를 고려한 개질 및 변환기술 해외 매출액 관련 편익은 총 521 억원, 2019년 현재가치로 환산하면 256 억원의 편익이 발생할 것으로 추정

2.5 정제 및 분리 플랜트

□ 편익 추정 방법론

○ '정제 및 분리기술' 플랜트의 기대 해외 매출액으로부터 동 사업의 편익을 산정

○ 기대 해외 매출액은 합성가스 플랜트 글로벌 잠재시장 규모와 목표 시장점유율을 근거로 산정



[수식 8-4-9] 정제 및 분리 플랜트 기대 매출액의 구성

- (편익 변수) 정제 및 분리 플랜트 기대 매출액에 대한 동 사업의 총 편익은 기대되는 총 매출액에 사업기여율, R&D기여율, R&D사업화성공률, 부가가치율 변수를 고려하여 산정



[수식 8-4-10] 정제 및 분리기술 플랜트 매출 편익 산출식

○ (연도별 차등적 매출규모) 정제 및 분리 플랜트의 기대 매출은 2026년부터 달성될 것으로 기대하고 연도별 매출액 규모를 차등하여 도출하는 것을 원칙으로 기준 설정

○ (글로벌 잠재시장 규모 추정) 정제 및 분리기술 플랜트의 글로벌 잠재시장 규모는 관련 시장 규모를 산정하여 연도별로 차등 적용

<표 8-4-16> 정제 및 분리 플랜트 관련 시장전망을 위한 주요 가정

잠재시장 산출 기준	시장 규모 (억원/년)
1. 플랜트 건설비 : 2,500Nm^3/h급 합성가스 정제 및 수소 분리 플랜트 기준	60
2. 잠재시장 규모	
1) 세계 생활폐기물 발생량 = 4,327,286 톤/일 (OECD 국가 제외) - 생활폐기물 중 가스화 비율 = 1.64% * 2025년 국내 생활폐기물 중 가스화 비율(6.16%)의 25% 적용 (출처 : 신재생에너지 RD&D 전략 2030) - 설비 가동율 = 82.19% - 설비 합성가스 처리용량 = 2,500 Nm^3/h 2) 합성가스/바이오가스 고도 정제 및 수소 분리 잠재시장 규모 = 세계 생활폐기물 발생량(톤/일) X 생활폐기물 중 가스화 비율(%) / 설비 가동율(%) /설비용량(톤/일·개소) X 설비 건설비(억원/개소) = 69,994억원	69,994

○ (편익발생기간) 기대 매출액에 대한 편익발생기간을 15년으로 적용

<표 8-4-17> 정제 및 분리 플랜트의 편익발생연도

편익회임기간	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
해당연도	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
편익회임기간	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5					
해당연도	2036	2037	2038	2039	2040					

□ 정제 및 분리 플랜트 매출 편익

○ (정제 및 분리 플랜트 기대 매출액 추정) 기대 글로벌 잠재시장 규모는 2029년 69,994 억원으로 예상

○ 기대 매출액은 2026년 약 300 억원에서 2040년에는 4,550 억원을 달성할 것으로 예상

<표 8-4-18> 연도별 정제 및 분리 플랜트 잠재시장 규모와 목표 시장점유율

(단위: 억원, %)

연도	잠재시장 규모	목표 시장점유율	기대 매출액
2026	-	합성가스/바이오가스 정제 및 수소 분리기 설비 연간 4기	300
2027	-		300
2028	-		300
2029	69,994	1.00%	700
2030	69,994	1.50%	1,050
2031	69,994	2.00%	1,400
2032	69,994	2.50%	1,750
2033	69,994	3.00%	2,100
2034	69,994	3.50%	2,450
2035	69,994	4.00%	2,800
2036	69,994	4.50%	3,150
2037	69,994	5.00%	3,500
2038	69,994	5.50%	3,850
2039	69,994	6.00%	4,200
2040	69,994	6.50%	4,550

○ 편익변수를 고려한 정제 및 분리 플랜트 해외 매출액 관련 편익은 총 524억원, 2019년 현재가치로 환산하면 252 억원의 편익이 발생할 것으로 추정

3. 사업의 경제성 분석

3.1 편익의 총합

○ 매출 달성에 대한 3가지 (중립, 낙관, 보수) 시나리오에 대해 편익을 분석
○ 중립 시나리오 기준 2,818 억원의 편익이 발생할 것으로 추산됨. 낙관(매출달성 110%), 보수(매출달성 90%) 시나리오의 총 편익은 각각 3,100 억원, 2,537 억원으로 추산

<표 8-4-19> 합성가스 기반 수소생산 플랜트 기술개발사업 시나리오별 총 편익

(단위: 억원)

편익 내용	분석 대상	편익*
합 계	시나리오1 (90%)	2,537
	시나리오2 (100%)	2,818
	시나리오3 (110%)	3,100
※ 편익: 편익변수 반영, 2019년 현재가치		

3.2 B/C Ratio

○ 동 사업의 B/C Ratio는 매출액 추정에 따라 총 3개의 시나리오로 구성하였으며 분석결과 모든 시나리오에서 경제성이 있는 것으로 확인

<표 8-4-20> 시나리오별 총 경제성 분석 결과

(단위:백만원)

구분	중립	낙관	보수
사업예산 (현재가치)	209,042	209,042	209,042
총편익 (현재가치)	281,849	310,034	253,664
BC ratio	**1.348**	**1.483**	**1.213**

○ 동 사업의 편익 중에서 국내 온실가스 저감 등 가정을 수립할 만큼의 근거 및 통계자료를 확보하기 어려운 편익은 경제성 분석에서 제외

- 경제성 분석에서 제외하였지만, 해당 편익들은 여전히 유의미하고 직접적인 편익에 포함된다는 점을 강조
- 가정 수립을 통해 도출 가능한 편익의 경우, 과다계상을 회피하기 위해 보수적으로 접근하였음에도 플랜트 분야의 특성상 기술개발 성공에 따른 파급력이 크므로 전체적인 경제성이 확보될 수 있음을 확인

□ 부록 (Appendix)

A1. 기술수요조사

A2. 세부 기술별 기술 분류 체계

A3. 세부 기술별 국내외 기술동향 및 분석

A4. 특허 논문 분석

A5. 범부처 수소기술개발 로드맵 수립 수소생산 분과 내용 중 펫코크, 폐기물, 바이오매스 해당 부분

A6. 기획위원회 및 자문위원회 추진 내용

A7. 프로젝트 제안 요청서 (RFP)

A8. 기획위원 명단

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 안됩니다.