

도시기반 순환형 복합플랜트 기술 기획 최종보고서

제3편 Eco-Energy Park 연구단 기획

2014. 6.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
협동연구기관 / 고등기술연구원
국민대학교 산학협력단
지에스건설(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 `도시기반 순환형 복합플랜트 기술 기획' 과제의 보고서(제3편 Eco-Energy Park 연구단 기획)로 제출합니다.

2014. 6. 25

주관연구기관명	한국건설기술연구원
주관연구책임자	이태원 선임연구위원
연구원	황인주 연구위원 김용기 수석연구원 이성욱 수석연구원 권한솔 석사후연구원 최홍식 인턴연구원
협동연구기관명	고등기술연구원
협동연구책임자	유영돈 센터장
연구원	임동렬 수석연구원 염충섭 수석연구원 김 호 수석연구원 이재용 선임연구원 한성국 선임연구원
협동연구기관명	국민대학교 산학협력단
협동연구책임자	이상호 교수
연구원	정호영 연구원보 정정우 연구원보
협동연구기관명	지에스건설(주)
협동연구책임자	박시삼 책임연구원
연구원	이상필 수석연구원 나상민 책임연구원 김 용 선임연구원 이호석 전임연구원 최형진 연구원

제 3 편

Eco-Energy Park 연구단 기획

목 차

제 3 편 Eco-Energy Park 연구단 기획

제 출 문	1
목 차	5
표 목 차	9
그림목차	13
제 1 장 기획의 필요성 및 내용	17
제 1 절 기획 추진배경 및 필요성	17
1. 기획추진 배경	17
2. 기획의 필요성	19
3. 정부지원의 필요성	23
제 2 절 기획의 목적, 목표 및 내용	25
1. 기획의 목적	25
2. 기획의 목표	27
3. 기획의 내용	28
제 3 절 기획 추진체계 및 방법	29
1. 기획 추진체계	29
2. 기획 추진계획 및 방법	31
제 4 절 기대효과 및 활용방안	36
1. 기대효과	36
2. 활용방안	37
제 2 장 환경분석 및 대응전략	41
제 1 절 도시기반 유틸리티 현황 및 문제점	41
1. 전력수급 현황	41
2. 수요처와 공급처의 이원화	49
3. 국내 에너지 수급계획	52
제 2 절 국내·외 기술동향 분석	57
1. 국내 동향	57
2. 해외 동향	71

제 3 절 국내·외 정책동향 분석	76
1. 해외 동향	76
2. 국내 동향	80
제 4 절 국내·외 제도 분석	82
1. 해외 동향	82
2. 국내 동향	91
제 5 절 연구개발 동향 분석	99
1. 연구개발 동향	99
2. 기존 유사 사업 검토	104
제 6 절 SWOT 분석	106
제 3 장 기획결과 및 사업 개요	17
제 1 절 사업의 비전 및 전략 목표	107
1. 사업의 명칭	107
2. 사업의 비전	107
3. 사업의 전략목표	109
제 2 절 핵심과제 도출	113
1. 기술 수요조사	113
2. 세부과제 구성	118
제 3 절 연구추진 전략 및 체계	120
1. 연구 추진전략	120
2. 연구 추진체계	122
제 4 장 세부과제 구성 및 추진전략	13
제 1 절 제1세부과제	133
1. 개요 및 정의	133
2. 연구목표 및 내용	137
제 2 절 제2세부과제	140
1. 개요 및 정의	140
2. 연구목표 및 내용	142
제 3 절 제3세부과제	145
1. 개요 및 정의	145
2. 연구목표 및 내용	148
제 4 절 제4세부과제	152

1. 개요 및 정의	152
2. 연구목표 및 내용	154
제 5 장 사업추진 체계 및 방법	157
제 1 절 사업추진체계	157
1. 대상 모델 선정	157
2. 복합공정 선정	158
3. 실증 후보지 및 실증 추진방안	159
제 2 절 제안요구서 (RFP)	160
제 3 절 소요 연구비	167
1. 총 연구개발비 소요내역	167
2. 세부과제별 소요내역	168
제 4 절 제안과제 평가전략	172
참 고 문 헌	173
부 록	175
1. 기술수요조사서	175
2. 연계·복합 세부공정 분석표	193

표 목 차

1.1	발리로드맵 주요 내용	18
1.2	기획연구의 필요성	22
1.3	기존 도시기반 플랜트와 순환형 복합플랜트의 비교	28
1.4	기획과제 참여기관별 세부 연구 목표 및 내용	30
2.1	1차 에너지기본계획(2008)의 5대 비전	14
2.2	2013년 하반기 이후 국내 원전 가동 중단 사례	4
2.3	2014년 국내 지역별 인구분포 및 세대분포	5
2.4	국내 에너지원별 에너지생산량 및 점유율	51
2.5	유가 상승 원인 및 가격 회복 경향 비교	54
2.6	국내 연도별 원유수입 현황 (배럴)	5
2.7	전국 생활 폐기물 처리 현황	60
2.8	대형 도시쓰레기 소각장별 에너지 발생량 및 이용실태	62
2.9	연도별 대형 도시쓰레기의 소각열 생산 및 이용 현황	63
2.10	국내 주요 하수처리시설 에너지 효율성 비교 분석	64
2.11	에너지자립화 시범사업(1차) 현황	6
2.12	에너지자립화 시범사업(2차) 계획 및 현황	6
2.13	화력발전소 하수슬러지 연료화 공급계획(안)	6
2.14	Gothenberg시 집단에너지공급시설의 구성 및 운영 사례	72
2.15	일본의 집단에너지원 구성 분포 (2003)	37
2.16	PPS의 주요내용	8
2.17	독일의 통합 에너지·기후 대책	87
2.18	일본 지구 온난화 대책	88
2.19	국토교통성 지구온난화 대응 추진정책	89
2.20	관련 법규 및 제도 현황	91
2.21	에너지 관련 법규 현황	92
2.22	환경 관련 법규 현황	93
2.23	도시계획 관련 법규 현황	95
2.24	건축 관련 법규 현황	96
2.25	국내 에너지 분야 R&D 현황	100
2.26	발전원별 발전단가	103

2.27 에너지원 우선순위	103
2.28 연구 대상지역의 각종 건축물 건축 면적	104
2.29 기존 국내 수행 유사사업과의 비교	105
3.1 도시기반 순환형 복합플랜트 기술 분류 체계	109
3.2 기획사업의 전략목표 및 해당 기술 분야	112
3.3 가연성폐기물 설비에 대한 input stream과 output stream 작성 예시	B
3.4 기타 설비에 대한 input stream과 output stream 작성 예시	Ⅳ
3.5 도출된 가연성·유기성 폐기물 처리 및 복합발전 공정 개요	115
3.6 유기성폐기물 처리 및 에너지화를 위한 초심층 습식산화 복합공정에 대한 설문조사 결과	116
3.7 핵심과제 도출을 위한 도시기반 순환형 복합플랜트 후보 공정 및 기술 일람	117
3.8 전략목표별 세부과제 및 주요 수행내용	119
3.9 검토한 실증 후보지 및 주요 특징	129
4.1 제1세부과제의 연구목표	137
4.2 제1세부과제의 연구내용 및 범위	138
4.3 제1세부과제의 중점 추진과제별 주요 연구 성과물	139
4.4 제2세부과제의 연구목표	142
4.5 제2세부과제의 연구내용 및 범위	143
4.6 제2세부과제의 중점 추진과제별 주요 연구 성과물	144
4.7 제3세부과제의 연구목표	149
4.8 제3세부과제의 연구내용 및 범위	150
4.9 제3세부과제의 중점 추진과제별 주요 연구 성과물	151
4.10 제4세부과제의 연구목표	154
4.11 제4세부과제의 연구내용 및 범위	154
4.12 제4세부과제의 중점 추진과제별 주요 연구 성과물	155
5.1 세부과제별 연구개발비 소요내역	167
5.2 연차별, 비목별 연구개발비 소요내역	167
5.3 제1세부과제 세세부과제별 연구개발비 소요내역	168
5.4 제1세부과제 연차별, 비목별 연구개발비 소요내역	168
5.5 제2세부과제 세세부과제별 연구개발비 소요내역	169
5.6 제2세부과제 연차별, 비목별 연구개발비 소요내역	169

5.7 제3세부과제 세세부과제별 연구개발비 소요내역	170
5.8 제3세부과제 연차별, 비목별 연구개발비 소요내역	170
5.9 제4세부과제 세세부과제별 연구개발비 소요내역	170
5.10 제4세부과제 연차별, 비목별 연구개발비 소요내역	171
5.11 제안과제 평가항목 및 평가전략	172

그림 목 차

1.1 도시기반 순환형 복합플랜트 개념도	27
1.2 기획과제 추진체계	30
1.3 시장, 기술, 특허 및 정책 동향 분석 프로세스	33
1.4 기술 수준 및 수요 조사 프로세스	34
1.5 과제도출 프로세스	35
1.6 기술로드맵 도출 프로세스	35
1.7 실용화 및 사업화 추진방안 수립 프로세스	36
2.1 2011년 도후쿠 대지진에 다른 후쿠시마 원전사고 (연합뉴스 기사)	24
2.2 2013년 8월 이후 우리나라 원전 가동 중단 사례 (연합뉴스 기사)	44
2.3 1차 에너지기본계획 전망치(실선)와 실제 전력소비량(점선) 비교	64
2.4 국내 인구분포도 (2010년 기준)	94
2.5 국내 지역별 에너지 소비량 (2012년)	15
2.6 국내 화력, 원자력 등 발전소 현황 (한국전력공사)	32
2.7 국내 원자력 발전소의 위치와 현황	53
2.8 국내 지역별 에너지생산량 (2012년)	45
2.9 국내 원유수입 국가별 수입량 통계 (통관량 기준)	56
2.10 자족·순환형 미래 Smart urban lifeline infrastructure의 개념도	58
2.11 지하공간을 이용한 복합플랜트 구성체계 및 에너지·물질수지	59
2.12 에너지 자립형 하수처리시설의 개념도 (환경부 자료, 2012)	56
2.13 에너지자립화 추진 목표 및 단계 (환경공단 자료, 2010)	56
2.14 기흥 레스피아 하수처리장과 소수력 발전 도입방안	67
2.15 하수슬러지 처리방식별 현황 (개소)	66
2.16 하수슬러지 처리방식별 현황 (처리용량: 톤/일)	8
2.17 하수열 에너지 시스템 개념도 (서울시, 2010)	96
2.18 Uppsala시의 건물분야 사용 에너지원 변화	71
2.19 Uppsala시 복합플랜트의 에너지원 및 시스템 구성	72
2.20 에너지원별 연간 열생산율 변화 (Gothenburg, 1999)	37
2.21 폐기물 처리 및 자원회수 시스템의 예 (Toyohashi City, Japan)	47
2.22 독일의 하수처리 비용 중 에너지 비용 (환경공단, 2010)	57
2.23 각국의 집단에너지 열원 비교 (Euroheat & Power, 1998)	57

2.24 NREL의 ESIF(Energy Systems Integration Facility) 계획	7
2.25 NERL의 에너지 신기술 관련 시험, 분석, 모델링 및 시각화 기술 연구	8
2.26 Yokohama시의 Smart Energy Network 실증사업	9
2.27 미국의 법체계 개편	82
2.28 미국의 법체계 변천과정	83
2.29 미국의 관련 제도 도입 현황	84
2.30 Battery Park City 관련 제도	8
2.31 영국 기후변화 대응 3법	85
2.32 국내 관련법 검토 시사점	98
2.33 K-MEG 사업 수행체계	10
2.34 K-MEG 사업 수행내용 개념도	10
2.35 도시에너지 통합 운영관리 개념도	102
2.36 건물용도별 에너지소비 원단위	104
3.1 순환형 도시기반 복합플랜트가 적용된 Eco-Energy Garden의 이미지	18
3.2 기존 단순 플랜트로부터 복합플랜트 도출 개념도	114
3.3 도시기반 순환형 복합플랜트 기술 분야 전체의 연구 추진전략	120
3.4 기술 분야 전체 로드맵과 선도과제(일반과제)의 위계	121
3.5 Network Integration Model(NIM)의 개념도	321
3.6 Plant Complex Model(PCM)의 개념도	41
3.7 대상범위 및 연결 형태에 따른 복합플랜트 모델 분류	124
3.8 도시기반형 복합플랜트의 복합공정 계통도	126
3.9 도시기반형 복합플랜트 복합공정 적용 개념도	127
3.10 지하에 설치된 도시기반형 복합플랜트 복합공정 적용시설 투시도	127
3.11 수도권 매립지와 연계하는 도시배후형 복합공정 개념도	128
3.12 신재생에너지 연계형 복합공정 계통도	129
3.13 새만금 간척지 개발계획	130
3.14 모듈러 도시계획에 대응한 도시기반 플랜트	131
4.1 Hammarby 신도시의 Eco-Cycle 개념도	3
4.2 예테보리(Gothenberg)시의 연계운영 에너지 네트워크 현황	15
4.3 일본 NEDO의 순환형 유틸리티 인프라 네트워크 구상	136
4.4 지하공간을 이용한 복합플랜트 구축방안 및 효과 (한국건설기술연구원)	136
4.5 모듈러 도시계획에 대응한 도시기반 플랜트	137

4.6 도시에너지관리시스템(CEMS) 개념	11
4.7 수도권매립지를 대상으로 한 배후지원형 복합화 모델	146
4.8 수도권매립지 수집 폐기물 대상 전력 및 열 생산 플랜트 융복합 개념도	147
4.9 산업단지에서 발생하는 폐수 및 폐열과 폐기물로부터 에너지 회수하는 에너지 환경 플랜트 연계 개념도	148
4.10 도심 근린공원 지하공간을 이용한 도시기반 순환형 복합플랜트의 설치 개념도	153

제 1 장 기획의 필요성 및 내용

제 1 절 기획 추진배경 및 필요성

1. 기획추진 배경

가. 환경 관련 국제규범 강화

(1) 기후변화협약

- 1992년 브라질의 리우데자네이루에서 개최된 세계 환경정상회의에서 기후변화협약 채택
- 온실가스의 농도가 지속적으로 증가함에 따라 인간생활에 직접적으로 영향을 미치는 기후변화로 인해 해수면 상승, 생물종의 변화 등을 유발하므로 범지구적 차원에서 공동 대응 필요
- 기후변화협약은 선진국과 개도국 간의 온실가스 감축의무의 차별화된 부담을 원칙으로 하며 의무부담을 위하여 가입 당사국들을 부속서 I 국가(Annex I)와 비부속서 I 국가(Non-Annex I)로 구분
- 기후변화협약은 세계 각국이 지속가능한 성장을 위해 공동으로 노력한다는 전제를 기본으로 지구 대기 중의 온실가스 농도를 안정화시켜 지구의 환경변화를 최소화하는 것이 궁극적인 목표

(2) 교토의정서

- 기후변화협약은 감축의무 이행을 촉진하기 위해 국제사회는 차별화된 책임 원칙에 따라 선진국으로 하여금 구속력 있는 온실가스 감축의무를 명문화한 교토의정서를 채택
- 온실가스 배출량 감축목표를 설정하고, 1차 공약기간(2008~2012년) 동안 의무 감축 대상국인 35개국의 전체 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축할 것을 규정
- 교토의정서는 부속서 I 국가들이 온실가스를 경제적 방식을 통해 배출감축 목표를 달성할 수 있도록 교토메커니즘(Kyoto Mechanism)을 도입: 공동이행제도(JI), 청정개발

발체제(CDM), 배출권거래제도(ET)

(3) 발리로드맵

- 이에 따라 2007년 제13차 기후변화협약 당사국총회(인도네시아 발리)에서 선진국과 개도국이 모두 참가하는 교토의정서 이후의 온실가스 감축을 위한 새로운 협상을 개시하기로 결정

표 1.1 발리로드맵 주요 내용

쟁 점	주 요 내 용
장기적 수치 목표	2050년까지 세계 전체 배출량을 2000년 대비 50% 삭감
선진국 수치 목표	2020년까지 1990년 대비 25~40% 삭감
개도국 지원 메커니즘	자금 메커니즘, 기술이전 지원 촉진을 위한 프레임워크 형성 촉구
Sectoral Approach (미·일 의견 병기)	미국과 일본이 주장해 온 에너지 다소비 산업을 중심으로 한 자발적 삭감 방식

나. 국내 기후변화 대응 현황

(1) 온실가스 감축

- 국내에서는 기후변화협약에 따른 이행 최초 년도인 2012년에 온실가스 총 배출 허용량을 2011년 10월 10일에 598백만 CO₂톤으로 확정 통보
- 『저탄소 녹색성장 기본법』에 근거한 저탄소 녹색성장 국가전략을 수립 시행
- 온실가스 목표관리제를 통해 온실가스를 다량 배출하는 업체를 관리업체로 지정하고 관리업체별로 감축목표를 설정하여 그 이행을 엄정히 평가, 관리하며 2015년부터 배출권 거래제를 시행할 계획
- 이를 위해 온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술 등과 관련하여 관련정보 제공, 재원을 조성하여 금융지원, 전문 인력 양성, 세금감면 등의 다양한 지원정책을 실시

(2) 신재생에너지 보급

- 종래의 환경과 경제를 통합하는 2Es에서 환경, 경제, 에너지를 통합하는 3Es의 패러다임으로 변화되고 있으며, 향후 화석연료의 고갈 및 지구온난화에 대비하여 대체 에너지의 개발과 보급이 부각
- 에너지 자립 및 복지사회 구현을 위해 에너지 저소비 사회를 구현하고 석유를 포함한 화석에너지 비중을 줄이고, 신재생에너지 비중은 확대함으로써 에너지 공급의 탈화석화를 실현할 계획
- 에너지 원단위: 0.341 → 0.185(2030년)
- 화석에너지 비중: 83% → 61%(2030년)
- 신재생에너지 비중: 2.4% → 11.0%(2030년)
- 폐기물이나 폐자원을 새로운 자원으로 인식하여 이를 에너지화하는 3Es는 유용한 해결수단이며 폐수의 수열을 회수하여 증온수를 승온한 후 공급하는 폐열회수 기술이 유망

2. 기획의 필요성

가. 기술적 측면

- 도시생활 환경을 편안하고 쾌적하게 개선하고, 온실가스 규제 등 지구온난화에 대응하며, 플랜트 해외 건설 수주 확대를 위한 핵심 엔지니어링 및 인프라 기술개발 시급
 - 부처간 편재된 도시기반 개별 플랜트 시설에 대한 통합시스템 구축으로 국토해양부 'Top Brand' 발굴
 - 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 온실가스 배출 저감효과가 큰 복합플랜트 기술 개발
 - 국가 차원에서 원천기술의 확보와 실증플랜트 연구개발을 통해 해외시장에서 도시기반 플랜트 분야의 국가경쟁력 확보
- 지구온난화, 고유가시대에 대비하기 위한 에너지·자원 공급체계의 개선과 에너지 순환이용을 통한 효율적 운영 체계 구축 시급
 - 기존 환경기초 및 에너지 공급 플랜트의 효율을 극대화하기 위한 소규모 분산형, 환경친화적 자원·에너지 공급 및 처리 플랜트 통합기술 개발

- 재생 가능 자원 및 에너지의 이용극대화가 가능한 에너지 및 물질 순환형 플랜트 구축을 위한 핵심 설계 및 공정기술에 대한 국내 원천기술 개발
- 개별 도시기반 플랜트 시설들의 효율적 운영과 개발기술의 실용화를 위한 연계·통합 설계, 시공 및 운영·유지관리 기술, 도시계획과의 연계 기술, 에너지·자원의 순환이용을 위한 핵심 공정기술 개발과 개발 기술의 실증·검증 및 적용을 위한 제도 개선 등 기술개발 기획 추진 필요
 - 현재 전력, 도시가스, 열, 용수 공급 인프라가 개별적으로 관리되고 있어 국가에너지 공급인프라의 효율적 관리 및 이용효율 극대화를 위해서는 통합관리가 시급하며 통합 관리시 1차 에너지 사용량 35% 이상, CO₂ 배출량 45% 이상이 감소할 것으로 예상됨
 - 에너지 빈국인 우리나라 입장에서는 다양한 1차 에너지의 효과적인 믹스가 매우 중요함. 전력 중심의 스마트그리드만으로는 에너지 믹스 기능을 감당할 수 없으므로 여러 에너지망을 통합하여 운전함으로써 이러한 기능을 감당할 수 있는 네트워크를 구축하는데 필요한 기반기술 개발이 필요

나. 사회·문화적 측면

- 도시기반 인프라 환경의 급격한 변화
 - 지속적인 도시 인프라 수요 증가에 안정적 공급의 필요성 증대
 - 도시 인프라 관리 패러다임의 변화 : 에너지, 물 부족 해결을 위한 다차원적 접근
- 1970년대 이후 고도성장에 따른 도시화/산업화 과정에서 도시의 양적 팽창은 급속한 자원과 에너지의 공급을 필요로 하며, 이에 따른 각종 플랜트가 독립적으로 건설 및 운용되고 있음
 - 도시를 지원하는 각 플랜트는 고유의 기능 중심으로 운용되기 때문에 서로간의 에너지 및 자원 연계 효율성 증대에는 소극적 대응
 - 세계적인 자원의 한계성 및 환경문제 등으로 에너지 공급체계, 신재생에너지 보급 확대 등의 에너지 공급 및 이용 패러다임이 에너지 확보차원에서 변하고 있는 상태임
 - 도시계획과 연계한 종합적 에너지 공급 및 관리체계 구축과 에너지/자원 순환형 플랜트 기술 개발 시급
- 에너지 공급 등 도시기반 플랜트의 경우 건설 입지가 매우 중요한 요소임

- 광역기반시설로서의 건설입지 확보와 관련된 갈등 관리를 위한 입지선정이 매우 중요

다. 경제·산업적 측면

- 글로벌 도시기반 인프라 산업과 기술 패러다임의 급격한 변화
 - 도시기반 인프라 산업의 폭발적 성장과 에너지, 물, 폐기물 산업의 패러다임 변화
 - 석유를 비롯한 에너지 가격이 계속 상승하고 있으며 수년 내에 우리나라에도 탄소세가 도입되면 중소기업 에너지 다소비 업체는 에너지 비용 및 CO₂ 배출 부담으로 인하여 기업활동에 큰 어려움을 겪게 될 것임. 이러한 중소기업의 생존과 경쟁력 강화를 위하여 실효적 대응기술인 지능형 복합에너지 네트워크의 조속한 구축이 시급히 필요
 - 융합기술을 통한 도시기반 인프라 관리 기술의 혁신과 플랫폼 기반의 사업모델 출현
- 기존의 에너지 공급 플랜트 또는 환경 기초 플랜트는 각자 도시지역과 배타적 거리를 두고 대규모로 운영되어 왔음. 이에 따른 에너지 손실의 최소화와 연계를 통한 효율성 증대를 위해 순환형 복합플랜트의 필요성이 대두
 - 기존 에너지 생산 플랜트 시설의 독립적 운용은 재생가능 자원 및 에너지의 활용이 불가능한 상황임
 - 도시의 형태와 규모에 적합한 도시기반의 순환형 복합플랜트 개발 기술은 자원 및 에너지 손실을 최소화하면서 사람과 자원과 에너지의 유기적 순환구조를 통해 경제성 향상을 제공할 수 있음
 - 에너지 사용 및 CO₂ 배출을 최소화하기 위하여 에너지 공급망을 개별적으로 독립 운전(Individual Operation) 또는 연계운전(Combined Operation)하는 것보다 IT기술을 도입하여 전력 외 연료, 열, CO₂, 용수관리 등의 여러 에너지망 사이에서 에너지 부하 이동이 용이하도록 복합운전(Integrated Operation)하는 것이 필요
- 플랜트 원천기술 분야(예: FEED Package 등)에서 세계 선진국과 대응하기 위해서는 각 플랜트의 복합화 기술분야와 도시공학 분야와 연계 기술 분야에서 선행기술을 확보하여 기술우위와 지적재산권의 확보가 선행되어야 함
 - 국내에서 보유하고 있는 각 플랜트 복합화 기술 확보를 통한 기술 선점을 통한 해외 시장 선점 시급

- 복합플랜트와 도시공학분야와의 유기적 연계기술 개발을 통한 도시기반 순환형 플랜트 복합 패키지 기술은 해외 도시개발 시장 선점을 위한 핵심 기술임
 - 해외 도시 또는 산업단지 건설 수주시 기업의 경쟁력 제고를 위하여 지능형 복합 에너지 네트워크를 패키지 형태로 제안하는 것이 바람직함
- 국토(토지자원)의 효율적 활용
- 신도시 건설 노하우 역시 단위사업(수출) 아이টে으로 자리 잡고 있는 추세임
 - 과거에는 도로망, 통신망 구축이 주요 도시수출 모델이었지만, 앞으로는 에너지 공급망이 포함될 것임

표 1.2 기획연구의 필요성

도시생활 환경을 편안하고 쾌적하게 개선하고, 온실가스 규제 등 지구온난화에 대응하며, 플랜트 해외 건설 수주 확대를 위한 핵심 엔지니어링 및 인프라 기술 개발 필요	<ul style="list-style-type: none"> ·부처간 편재된 도시기반 개별 플랜트 시설에 대한 통합시스템 구축으로 국토개발 분야 ‘Top Brand’ 발굴 ·국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 온실가스 배출 저감효과가 큰 복합플랜트 기술 개발 ·국가 차원의 실증플랜트 연구개발을 통해 해외시장에서 도시기반 플랜트 분야의 국가경쟁력 확보
지구온난화, 고유가시대에 대비하기 위한 에너지·자원 공급체계의 개선과 에너지 순환이용을 통한 효율적 운영 체계 구축 필요	<ul style="list-style-type: none"> ·기존 환경기초 및 에너지 공급 플랜트의 효율을 극대화하기 위한 소규모 분산형, 환경친화적 자원·에너지 공급 및 처리 플랜트 통합 기술 개발 ·재생가능 자원 및 에너지의 이용극대화가 가능한 순환형 플랜트 구축을 위한 핵심 설계 및 공정기술에 대한 국내 원천기술 개발
개별 도시기반 플랜트 시설들의 효율적 운영과 개발기술의 실용화를 위한 연계/통합 설계, 시공 및 운영·유지관리 기술, 도시계획과의 연계 기술, 에너지·자원의 순환이용을 위한 핵심 공정기술 개발과 개발 기술의 실증·검증 및 적용을 위한 제도 개선 등 기술개발 로드맵 필요	

라. 종합

- 기존 도시기반 에너지 및 환경플랜트의 연계 및 융·복합 기술개발 필요

- 기존 도시기반 에너지 및 환경플랜트의 도시공간 배치 최적화 기술개발 필요
- 도시기반 에너지 시설의 연계 및 융·복합화 및 최적화를 통해 에너지 수급 불균형 및 반복되는 전력난 해소에 기여할 수 있는 핵심기술 개발 필요
- 다양한 도시규모(대도시, 중·소도시, 소도시 등)에 적합한 에너지 및 환경 플랜트의 순환형 시스템 구축을 통해 에너지 효율 극대화 및 폐기물 처리 설비에 대한 근본적인 시각 전환이 필요한 근본적인 해결방안 필요
- 도시기반의 에너지-환경-정보통신-국토의 효율적 이용 등 다양한 분야의 융·복합을 통한 통합제어 연계시스템 필요
- 또한 다양한 에너지 설비 기술 및 운영 기술에 대한 성능 및 신뢰성을 검증하기 위해서는 테스트베드에서의 적용 절차가 필요함
- 복합플랜트 테스트베드 구축을 통해 신재생에너지 설비를 비롯한 다양한 에너지 생산·공급 시설 및 사회기반시설(쓰레기 처리, 수처리 등)의 연계 및 통합 구축에 대한 인증 및 시험과, 실제 인근 주거·산업·상업 단지 등에 전력, 열 등을 공급하는 과정이 필요함
- 테스트베드에서 다양한 설비들을 운영하면서 발생하는 문제점 파악과 해결방안 모색을 위해 테스트베드의 운영이 필요함
- 플랜트의 고부가가치화와 함께 플랜트 산업의 수출 동력을 마련하기 위해서는 테스트베드 구축을 통한 건설 기술 및 운영을 통한 운영기술, Track Record 확보가 필요함

3. 정부지원의 필요성

- 환경과 에너지간의 유기적 이용성 측면에서 제도적인 제약과 불확실한 시장 상황에서 민간 주도의 연구개발이 어려운 상황이며, 국가 차원에서 자원부족을 최소화하기 위한 범부처간 통합 연구개발로서 수행되어야 함
- 에너지 및 물질 순환형 복합플랜트는 기술적 난이도가 높고 기술 개발 성공시 파급 효과가 크며, 고위험·고수익(High Risk, High Return) 특징으로 인해 민간기업 보다는 정부주도로 연구개발 필요
- UN 기구인 GGGI(Global Green Growth Institute)와 이미 유치한 GCF(Green Climate Fund) 사무국을 통해 ‘계획도시’ 수출을 위한 연구가 병행되어야 하며, 복합플랜

트 기술개발과 에너지 공급망을 갖춘 ‘융합계획도시’의 구축은 ‘도시화’를 내세운 중국의 리커창 정부 및 개도국 등에 수출할 수 있는 경쟁력을 갖출 수 있도록 정부 지원이 필요

- 기업들은 단기간 내에 사업으로 발전가능한 분야에 관심이 있고, 2030년 이후의 미래 도시 개발에 투자하지 않음. 따라서 본 과제를 통해 미래의 도시 개념을 도출하여 사업모델을 개발한 후, 기업 주도의 사업추진 유도가 필요함. 결과적으로 신개념의 도시기반 융·복합 플랜트 개념이 가시적으로 도출될 때까지는 정부(특히 국토교통부) 주도의 연구개발이 필요한 것으로 판단됨
- 현재 국내의 경우 전력, 도시가스, 열, 용수 공급 인프라가 개별적으로 관리되고 있어, 국가에너지 공급 인프라의 효율적 관리 및 이용효율 극대화를 위해서는 통합관리가 시급
- 에너지 및 자원 순환형 복합플랜트는 기술적 난이도가 높고 기술 개발 성공 시 파급효과가 크며, 고위험 및 고수익 특징으로 인해 민간기업의 투자만으로는 추진이 어려우며, 정부주도의 연구개발 필요
- 2차 에너지기본계획 상의 수요관리 중심 에너지 정책 추진, 분산형 발전시스템 구축의 6대 중점과제에 부응하는 과제임
- 에너지·환경 산업은 공공성이 강한 국가의 기간산업 분야로 국가경쟁력과 직결되므로 정부가 집중적 지원하는 경우 단기간에 기술개발 및 확산을 추진하여, 다양한 기술·산업 분야가 접목된 복합플랜트와 같은 신산업·신시장 창출을 통해 세계시장 선점이 가능함
- 석유를 비롯한 에너지 가격이 계속 상승하고 있으며 수년 안에 우리나라에도 탄소세가 도입되면 중소기업 에너지 다소비 업체는 에너지 비용 CO₂ 배출 부담으로 인하여 기업 활동에 큰 어려움을 겪게 될 것이며 이러한 중소기업의 생존과 경쟁력 강화를 위하여 실효적 대응기술인 복합플랜트 분야에 대한 조속한 요소 기술 개발 및 테스트베드 구축 기술 개발이 필요함
- 현 정부의 창조경제를 창출할 수 있는 해외 도시 또는 산업단지 건설 수주 시 기업의 경쟁력 제고를 위하여 복합플랜트와 연계된 도시모델을 패키지 형태로 제안하는 것이 필요함
- 또 테스트베드 사업은 도시 규모를 대상으로 이뤄지는 사업이며, 다양한 이해 관계자 및 정부 부처가 연관되어 있는 사업임. 따라서 이에 대한 최적의 사업지 및 적합한 사업자의 선정, 플랜트 추진사업의 간소화 등과 같은 업무를 효율적으로 이행하기 위해서는 정부의 지원이 반드시 필요함

- 또한 현재 독립적으로 운영되고 있는 폐기물 종류별 이동과 처리시설, 에너지 생산 시설, 에너지 공급망, 에너지 활용시설 고효율화를 위해서는 하나의 체계에서 관리할 수 있는 시스템으로 개선이 요구되며, 이는 도시계획업무를 관장하고 있는 국토교통부 중심의 국가연구개발 사업을 통해 통합적으로 추진될 필요가 있음
- 따라서 에너지 생산처를 에너지 소비처 근거리에 위치할 수 있도록 유도해야 하나 님비(NIMBY, Not In My Back Yard)현상(또는 BANANA, Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anybody 현상), 지자체간의 환경기초시설에 대한 갈등 문제 등으로 많은 어려움이 있으며 이를 효과적으로 해결하기 위해서는 지역주민의 편익증진이 라는 관점과 국토의 효율적인 이용이라는 측면에서 국토교통부 중심의 통합적인 기술개발이 수행되어야 함
- ‘에너지 및 자원순환형 친환경 에너지타운 조성사업’을 민간주도형으로 전환하기 위해서는 상용급 규모의 복합플랜트 기술축적에 대한 경제성과 신뢰성이 사전에 평가되어야 함
- 참고 : 대통령 담화문에서 ‘친환경 에너지타운’추진 언급 :
 - ‘기후·환경·에너지 등 범세계적인 문제에도 선제적으로 대비하여 새로운 사업을 창출하고 새로운 일자리를 만들어내는 기회로 삼아야 합니다. 이를 위해 청정화력과 친환경자동차, 탄소 포집·저장(CCS) 등에 기술개발 투자를 확대하여 민간의 혁신활동을 지원하고, 소각장, 매립지 등 기피시설을 ‘친환경 에너지타운’으로 조성하는 시범사업도 금년부터 시작해서 점차 확대시켜 나갈 것입니다.’ 경제혁신 3개년 계획 담화문 (2014.02.25)
 - ‘에너지와 환경문제를 해결하기 위한 노력도 창조경제에서 답을 찾을 것입니다. 이를 위한 시도의 하나로 창의적인 비즈니스 모델인 친환경에너지타운 정책을 개발하여 추진해 나갈 것입니다. 주민들이 기피하는 소각장이나 매립지 부지 선정 방식도 획기적으로 바꿀 것입니다. 이런 시설에서 바이오매스 열병합발전이나 에너지 저장 시스템 등과 같은 청정기술을 적용하여 에너지를 공급할 예정입니다. 이렇게 함으로써 주민들에게 실질적인 혜택을 주는 새로운 해결방안을 시도할 계획입니다.’ 다보스포럼 개막연설 (2014.01.22, 대통령)

제 2 절 기획의 목적, 목표 및 내용

1. 기획의 목적

가. 에너지 위기 및 환경규범에 대한 능동적 대응체계 구축

- 한정된 원유에 반해 중국, 인도, 브라질, 러시아 등의 고성장 국가들의 유류 사용 증가로 인해 국제유가도 지속적으로 상승
- 환경오염을 줄이고 에너지 비용을 절감하기 위한 중요한 수단으로 신재생에너지가 부각되고 있으며, 최근 일본의 원전 사고의 영향으로 인해 원자력의 안정성에 대한 의문이 제시
- 이에 버려지는 폐열의 활용과 신재생에너지를 통한 에너지 획득이 최선의 대안으로 여겨지고 있음

나. 자원 및 에너지 순환이용을 위한 효율적 운영체계 마련

- 재생가능 자원 및 신재생에너지와의 순환이 가능한 도시기반의 순환형 복합플랜트 구축
- 도시기반 플랜트 시설들의 효율적 운영과 개발기술의 실용화를 위한 연계/통합 설계, 시공 및 운영·유지관리 기술, 도시계획과의 연계 기술, 에너지·자원의 순환이용을 위한 핵심 공정기술 개발과 개발 기술의 실증·검증 및 적용을 위한 제도 개선 등 기술개발 기획 추진

다. 도시기반 순환형 복합플랜트 보급모델 개발, 지원방안 도출

- 미래지향적인 관점에서 도심의 지하공간에 인근 지역에서 필요로 하는 자원과 에너지를 공급해주는 도시기반 시설들을 연계 및 융·복합화하여 설치, 운영하는 보급모델을 개발하여 도시 자원과 에너지의 효율적 이용은 물론 도시 공간의 합리적 이용방안 도출
- 도시 내에서 주거지역과 분리되어 온 에너지환경시설을 주민친화시설로 인식 전환을 통해 주거지역 내에서 상호 연계를 통한 시너지 효과를 얻을 수 있는 에너지환경시설 모델 제시
- 도시기반 복합플랜트를 지하공간을 이용하여 건설하기 위해 필요한 핵심기술 도출과 기술 확보를 위한 기술개발 로드맵 및 개발내용 도출
- 순환형 복합플랜트에 관련된 제도·규제·기술 등과 같은 현황 분석을 통해 이를

바탕으로 사회적, 기술적인 이슈 사항 해결방안 확보

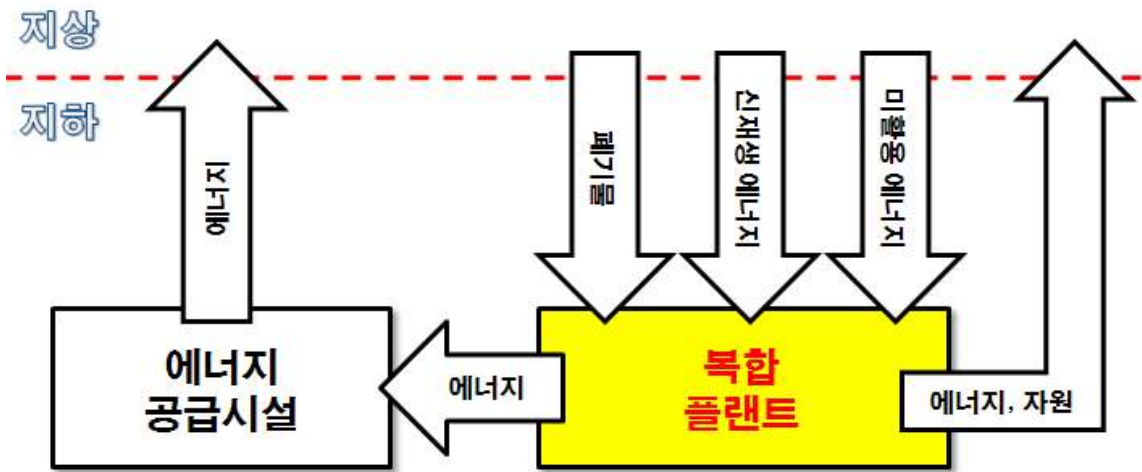


그림 1.1 도시기반 순환형 복합플랜트 개념도

라. 종합

- 에너지 생산·공급 플랜트 및 환경플랜트가 복합적으로 연계된 새로운 플랜트 모델에 대한, 테스트베드의 설계, 건설, 운영, 관리를 성공적으로 수행함으로써, 복합플랜트라는 새로운 플랜트 비즈니스 모델 개발
- 또한, 국가에너지 정책(신재생·폐자원 활용 및 에너지 수급)에 능동적인 대처 및 온실가스 감축을 통한 기후변화 협약 대응 등과 같은 환경 및 에너지 분야에 대한 해결책 확보
- 도시기반 에너지 및 환경 플랜트의 연계 및 융·복합 핵심기술 개발을 통해 국토의 효율적 활용과 주민친화적 도시기반 에너지·환경플랜트 모델 제시
- 미래 도시의 요건인 ‘고효율, 저비용, 저탄소, 주민친화적’을 달성하기 위한 핵심 기술 개발을 통해 에너지의 안정적 확보, 폐기물의 환경친화적 처리 및 발생 제로화, 도시공간의 쾌적화 및 공간의 이용 최적화를 달성할 수 있는 도시모델 개발 필요
- 신도시 건설 및 기존 도시 리모델링시, 기존 도시 모델과 차별화된 도시 인프라의 융·복합을 통한 도시기반 복합플랜트 보급모델 마련 및 보급 활성화 기반 구축

2. 기획의 목표

- 유가상승에 따른 에너지 위기와 온실가스 감축 등 국제 환경규범에 능동적으로 대응하기 위한 자원과 에너지 순환형 도시기반 복합플랜트 기반기술 개발
- 도시기반 순환형 복합플랜트를 기반으로 친환경 에너지타운 핵심기술 개발 및 현장 실증
- 신도시 건설 및 기존 신도시 리모델링을 위한 도시기반 복합플랜트 보급모델 마련 및 보급 활성화 기반 구축
- 도시기반 에너지 공급시설과 자원회수 및 처리시설 등 환경기초시설의 맞춤형 통합으로 에너지·자원의 소비와 운영비를 줄임으로써 국민 삶의 질 향상과 국가경쟁력 강화를 도모하고, 플랜트 건설산업의 선진화 및 해외시장 진출기반 확보를 위한 기술개발 계획 수립
- 도시기반 순환형 복합플랜트 구축을 위한 모델 개발에 필수적인 핵심기술 및 실천 및 검증을 위한 Test-Bed 구축방안 도출
- 도시유형별 적용 가능한 복합플랜트 모델 개발
- 도시유형별 설계가능한 복합플랜트 플랫폼 개발

3. 기획의 내용

- 미래 도시에서 에너지·환경 플랜트에 대한 요구 조건 분석
 - 도시 내에서 발생된 폐기물의 환경 친화적 처리 및 nero zero waste 화
 - 도시 내의 미활용 에너지, 청정에너지(신재생에너지 등)의 최대한 활용
 - 도시 에너지의 안정적인 공급 및 효율적인 수요 관리 체계 구축
 - 도시 공간의 효율적인 활용 및 쾌적한 주거 환경
 - 도시 기반의 에너지·환경 플랜트에 대한 고효율, 저비용, 저탄소 배출
- 도시 기반 순환형 복합 플랜트 개념 도출 : 표 1.3 참조

표 1.3 기존 도시기반 플랜트와 순환형 복합플랜트의 비교

기존 도시기반 플랜트	본 연구를 통해 도출할 도시기반 복합플랜트 개념
○ 개별 또는 단독 운영	- 플랜트(에너지, 환경 플랜트 등)간의 연계, 융복합

	을 통해 고효율, 저비용, 저탄소화 및 Near-zero waste화
<ul style="list-style-type: none"> ○ 육상 시설 ○ 기피 시설 	<ul style="list-style-type: none"> - 도시 공간 활용을 극대화하기 위하여 에너지 및 환경 플랜트의 지하공간 설치 - 기존 혐오시설을 지하 공간화 함으로써, 환경친화적 처리 시설로의 인식 전환 - 지하 공간(에너지 환경 시설)과 지상 공간(열 필요 시설, 주민 편의 시설 등)의 효율적인 연계를 통해 상호 시너지
<ul style="list-style-type: none"> ○ 중앙집중형 에너지 공급 	<ul style="list-style-type: none"> - 분산형 에너지 공급 시설로의 전환을 통해 에너지의 안정적인 공급 및 수요 최적화 - 도시 기반 에너지 환경 시설, 미활용 에너지와 신재생에너지의 hybrid화 및 융복합을 통해 저탄소 도시 에너지 공급 구현

- 과제 연구목표 및 연구내용, 추진전략 수립
 - 추진방안, 연구 성과 달성방안 및 계획수립
 - 단계별/연차별 연구내용 및 목표 제시
 - 연구목표의 구체화 및 정량화
 - 연구비 검토
- 핵심과제별 연구개발사업 제안요구서(RFP) 작성
 - 주요 세부과제 대상 도출
 - 개발목표 설정, 추진전략, 연구수행방법, 주요 연구내용, 연구 성과의 활용방안 및 기대효과 등 제시

제 3 절 기획 추진체계 및 방법

1. 기획 추진체계

- 철저한 일정 관리, 신속한 이슈대응, 효율적인 컨소시엄 운영을 위해 그림 1.2에 보

인 바와 같이 기획위원회와 전문위원회, 자문위원회 등 3개 위원회와 5개의 연구조직(한국건설기술연구원, 고등기술연구원, 국민대학교 산학협력단, 지에스건설(주)으로 구성되는 기획팀과 기술과가치, 웰엘엔케이, (사)도시계획학회, 한국지식재산전략원 등 협력기관들) 구성

- 본 기획과제에 참여하는 각 기관별 세부 연구 목표 및 내용을 정리하면 표 1.4에 보인 바와 같음



그림 1.2 기획과제 추진체계

표 1.4 기획과제 참여기관별 세부 연구 목표 및 내용

참여기관	세부 연구 목표 및 내용
한국건설기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> · 기획연구 총괄 및 결과 종합 · 비전, 목표, 기술개발 전략 및 추진체계 수립 · 기획보고서, RFP, 사전타당성조사 보고서 종합 · 시설의 연계 및 복합화 범위, 방안 검토 · 도시유형별 모델의 타당성 및 효과 분석 <hr/> <ul style="list-style-type: none"> · 국내·외 복합플랜트 우수사례 조사 및 효과 분석 · 국내·외 유틸리티 관련 제도 조사 및 비교, 분석 · 시간대별, 종류별 에너지·자원 수급현황 조사 및 시사점 · 도시자원 전주기 순환시스템 구축을 위한 핵심기술 조사

	·국내외 T/B 후보지(신도시, 재개발, 기존도시 등) 조사
고등기술연구원	·도시기반 플랜트의 국내·외 기술현황 및 특허 조사 ·에너지·물질 생애주기 순환시스템 구축 기반기술 조사 ·도시기반 플랜트 기반기술의 유기적 연계 및 통합을 통한, 저비용, 고효율, 저CO ₂ 복합플랜트 핵심기술 도출
국민대학교 산학협력단	·물·에너지·자원 순환 플랜트 국내외 기술현황 조사 ·상하수도시설과 신재생에너지 및 분산발전 연계 활용방안 제시 ·물·에너지·자원순환 복합플랜트 구축방안 및 핵심기술 도출 ·국내 적용 및 수출형 패키지 기술 개발 방안 제시
지에스건설(주)	·후보지 모델 개념설계 수행 ·Test Bed 적용방안 및 효과 분석 ·도시유형별 복합플랜트 기술 적용방안 검토 및 효과 분석 ·도시기반 복합플랜트의 도시계획 연계방안 도출 ·국내외 T/B 후보지 조사, 입지 확보방안 및 개념설계 수행 ·도시유형별 에너지 공급망 중심의 도시설계방안 검토 및 효과 분석 ·도시 소요 에너지량 조사 및 에너지 비용 계량화 분석 ·도시기반 복합시설 관련 제도·쟁점 분석, 장애요인 및 해소 방안 검토
공통사항	·재이용 및 순환이용 사례 및 현황조사 ·비전, 목표 및 시나리오 도출 참여 ·기술개발 전략 및 추진체계 수립 참여 ·분야별 후보과제 도출 및 RFP 작성 ·분야별기획보고서, 사전타당성보고서 등 작성

2. 기획 추진계획 및 방법

가. 시장, 기술, 특허, 정책 등 동향분석 방안

- 그림 1.3에 보인 ‘건설교통기술연구개발사업 기획메뉴얼’의 동향 분석 프로세스를 참조하여 진행
- 해당 지역/국가별 도시자원 공급 및 처리 관련 법/제도 현황 파악 및 주요 시사점

도출

- 주요 지역/국가별 도시계획시 자원·에너지의 수요, 공급 및 처리 관련 현행 법규 및 제도
 - : 도시 발전시설(주로 복합화력 및 열병합), 가스(LNG)공급시설, 지역냉난방시설, 기타 도시 내 에너지 공급, 회수 이용시설, 소각시설, 하수(중수)처리시설, 상수도시설 등 환경관련시설 등
- 현재 및 향후 도시기반 복합 플랜트 개발 계획
 - : 도시 기반 자원시설의 연계 및 복합화 범위와 추진단계
 - : 시설의 연계 복합 설치 및 운영 단계별 제도적 장애 요인 및 해결 방안 분석
 - : 도시계획 수립 도시기반 복합 플랜트 건설 관련 유관 부서들과의 협의체 운영 방식
- 도시기반 복합플랜트 기술개발 지원 제도 조사, 분석
- 국내 전문 리서치 기관을 본 연구팀에 포함시켜 동향 분석을 체계적으로 추진
- 객관성 및 다양성 확보를 위한 외부전문가의 자문을 병행

분류	주제별 수행절차			투입물	산출물
	KICTEP	주관 연구기관	기획위원회		
2 동향 분석	2A 시장 동향 분석	2A-1 기초자료 수집/분석 ↓ 2A-2 해외동향조사 ↓ 2A-3 국내동향조사 ↓ 2A-4 시사점도출/결과정리		· 국내외 자료 (온라인 DB/ 문헌/ 전문가 인터뷰 및 설문조사)	· 시장동향분석 보고서
	2B 기술 동향 분석	2B-1 기초자료 수집/분석 ↓ 2B-2 논문분석 ↓ 2B-3 국내외 기술 현황조사 ↓ 2B-4 국내외 기술 개발전망		· 기술분류체계 · 국내외 자료 (온라인 DB/ 문헌/ 전문가 인터뷰 및 설문조사)	· 기술동향분석 보고서
	2C 특허 동향 분석	2C-1 조사범위 설정 ↓ 2C-2 조사방법 설정 ↓ 2C-3 시사점 도출/결과정리		· 특허 DB	· 특허동향분석 보고서
	2D 정책 동향 분석	2D-1 국내 정책 동향 조사 ↓ 2D-2 국외 정책 동향 조사		· 국내외 정책 동향 자료	· 정책동향분석 보고서

그림 1.3 시장, 기술, 특허 및 정책 동향 분석 프로세스

나. 기술수요조사 및 과제도출 방안

- 그림 1.4에 보인 ‘건설교통기술연구개발사업 기획메뉴얼’의 기술 수준 및 수요 조사 프로세스를 참조하고, 그림 1.5에 보인 과제도출 프로세스를 기준으로 하여 진행
- 기술수요조사 항목은 본 연구팀에 포함된 산학연 관련 기관에서 도출
- 조사양식은 기획연구팀과 국내 전문 리서치 기관을 본 연구팀에 포함시켜 체계적인 조사양식 결정하고, 수요조사 추진
- 객관성 및 다양성 확보를 위한 과제 도출 과정 및 결과에 대한 외부전문가 자문을 병행

분류	주체별 수행절차			투입물	산출물
	KCTEP	주관 연구기관	기획위원회		
4 기술조사	4A 기술 수준 조사	4A-1 기술분류체계도 작성		· 기술동향결과 · 국가과학기술 표준분류체계, 건설교통기술 분류체계 · 관련분야 산학연협회 명단	· 기술수준평가 모형 · 기술수준조사 보고서
		4A-2 평가모형 개발			
4A-3 기술수준평가					
4A-4 결과정리					
4B 기술 수요 조사	4B 기술 수요 조사	4B-1 목적확인 및 방법론 선정		· 기술동향결과 · 관련분야 산학연협회 명단 · 기술분류체계	· 기술수요조사 보고서 · 중점추진기술
		4B-2 조사 계획 및 앙식 설계			
4B-3 조사 실시 및 정리					
4B-4 국내외 기술 개발전망					

그림 1.4 기술 수준 및 수요 조사 프로세스

다. 우선순위 결정 및 로드맵 작성 방안

- 우선순위 도출은 ‘건설교통기술연구개발사업 기획메뉴얼’의 그림 1.5-6C의 투자우선 수위에 따라 진행
- 연구개발 투자최적화와 올바른 과제 도출을 위해 포트폴리오 분석 및 AHP 분석 등을 실시하고 이를 바탕으로 투자 우선순위를 결정
- 로드맵은 ‘건설교통기술연구개발사업 기획메뉴얼’의 그림 1.6에 제시된 기술 로드맵 작성 프로세스를 참조하여 작성
- 로드맵은 핵심기술 확보를 위해 연구 주체 간 공동의 목표 및 전략을 공유하여 기술수요를 충족시키는 기술개발의 거시적 방향을 설정할 수 있도록 함

분류	주체별 수행절차			투입물	산출물
	KICTEP	주관 연구기관	기획위원회		
6 과제 도출	6A 과제 도출	6A-1 핵심과제 및 기술 도출		· 동향분석, · 기술예측조사 · 기술수준/ 수요조사 · 비전 및 목표	· 요소기술 분류 체계도 과제구성표
		6A-2 요소기술 구성			
		6A-3 요소기술별 중요도 평가			
		6A-4 과제 구성			
6B 중복성 검토		6B-1 건설교통기술연구개발사업 중복성 검토		· 요소기술 분류체계도 · 과제구성표	· 중복성 검토 결과
		6B-2 정부출연연구기관 수행과제 중복성 검토			
		6B-3 타부처 연구개발과제 중복성 검토			
		6B-4 중복성 검토 결과 처리			
6C 투자 우선순위 도출		6C-1 포트폴리오 분석		· 요소기술별 기술수준,역량/ 시장규모 등 기술기반정보	· 요소기술별 투자우선순위
		6C-2 AHP 분석			
		6C-3 투자우선순위 설정			
6D 성과 목표 및 지표 설정		6D-1 성과목표의 설정		· 기술수준조사 결과 · 과제구성체계	· 성과목표 및 핵심성공요인 (CSF) · 성과지표 정의서
		6D-2 CSF 도출 및 인과관계 분석			
		6D-3 성과지표의 설정			

그림 1.5 과제도출 프로세스

분류	주체별 수행절차			투입물	산출물
	KICTEP	주관 연구기관	기획위원회		
7 세부 실행 계획	7A 기술 로드맵	7A-1 기술로드맵 목표 설정		· 국내외 자료 (온라인 DB/ 문헌/전문가 인터뷰 및 설문조사)	· 기술로드맵
		7A-2 기술로드맵 작성			
	7A-3 결과검토	7A-3 가중치 조사 주제별 검토결과반영	7A-3 기술 검토 기동조사결과검토		
7B 예산 배분		7B-1 중장기계획		· 대상기술목록 · 국내외 자료 · 기술예측 추진 체계	· 예산배분 결과
		7B-2 과제기획			

그림 1.6 기술로드맵 도출 프로세스

라. 세부실행계획 및 실용화 방안

- 세부실행계획은 작성된 로드맵을 기준하여 수립하며, 예산수립 계획도 동시에 진행하여 과제별로 예산 분배
- 실용화 방안은 ‘건설교통기술연구개발사업 기획메뉴얼’의 그림 1.7의 실용화 및 사업화 추진 방안 수립 프로세스에 따라 진행하며, 각 기술개발과제의 목표성과물별로 실용화 및 사업화 방안을 기술하고 전후방 연계산업(타산업) 활용방안을 제시

분류	주제별 수행절차			투입물	산출물
	KICTEP	주관 연구기관	기적위원회		
9 실용화 및 사업화 9A 실용화 및 사업화 방안 수립		9A-1 실용화 및 사업화 방안 제시 ↓ 9A-2 연계산업 활용방안 제시		· 과제/기술별 성과목표 및 지표 · 과제/기술 관련 산학연 목록	· 과제별 실용화 및 사업화 방안

그림 1.7 실용화 및 사업화 추진방안 수립 프로세스

제 4 절 기대효과 및 활용방안

1. 기대 효과

- 도시기반 에너지 환경 플랜트의 연계 및 융·복합 설계기술 확보
- 생산된 에너지와 부산물을 활용한 주민편익 증진용 생태공원 조성기술 확보
- 기존 국토라이프라인 연계한 에너지 및 자원의 합리적 순환체계 확보
- 도시기반 자원·에너지 체계 빅데이터 수집 및 분류, 관리기술 확보
- 도심 복합플랜트 기반 자원순환형 친환경 에너지타운 조성을 위한 상용규모 핵심 연계기술 확보
- 도시기반 복합플랜트 보급 확대를 통한 에너지 효율, 환경 개선
- 신도시 건설 및 도심 재개발 등과 관련 사업 진행시 토지이용과 에너지 이용이 함께 고려된 신개념 개발방향 제시
- 차별화된 신도시 개발 모델 확보

- 기후변화 대응 및 저탄소 도심재개발의 기획, 설계, 유지관리를 위한 국내 실정에 맞는 독자적 하드웨어 및 소프트웨어 기술 보유로 해외기술 도입비용 절감
- 복합플랜트 연계 및 순환형 운영 알고리즘으로 전력, 열, 가스, 물의 복합 활용이 가능하여 전체 시스템 효율 개선
- 고성능, 친환경 도시기반 복합플랜트 기술 보급 확산으로 에너지 소비절감 및 온실가스 배출량 저감을 통해 국가적 온실가스 배출 감축목표 달성에 기함으로써 국가 경쟁력 제고
- 지능형 도시 라이프라인 인프라 국내 독자 엔지니어링 기술 및 차별화된 고유 브랜드 보유
- 도시 미활용에너지를 비롯한 신재생에너지의 적극적인 활용을 통한 에너지 자립을 향상으로 국가적 차원의 합리적인 에너지 공급체계 구축에 기여
- 기존 도시기반 플랜트와 비교하여, 고효율, 저비용, 저탄소 배출이 가능한 복합플랜트 기술의 확보로 도시개발 상품으로 연계를 통한 수출 상품화
- 기존 혐오시설을 지하화 함으로써, 환경 친화적, 주민 친화적 시설로 전환이 가능하여 도심지 내 건설을 통해, 도심의 기존 에너지 및 환경시설과 연계 용이
- 에너지 사용절감에 대한 사회적 인식 제고 및 산업계 전반에 걸쳐 개발기술의 적용 및 운영을 위한 전문인력 양성 및 고용창출에 기여
- 전체 전력계통의 전력소비구조 개선으로 침투부하 공급을 위한 화석연료 발전소 증설 완화 및 그에 따른 탄소배출량 저감

2. 활용 방안

- 친환경 트렌드에 의해 급속히 성장하고 있는 국내외 녹색시장에서 선진국 수준의 녹색도시 제반기술 개발 및 실증사례 구축을 통하여 국제적 경쟁우위 획득 및 시장 선점효과 기대
- 한국적 순환형 복합플랜트 모형을 수출 상품화하여 해외 도심 재개발 및 사업관리 차원의 기술 전파 가능
- 도시기술의 혁신을 통한 비용대비 효율성 확보와 도시차원의 탄소저감 실현으로 시민의 안전 및 생활만족도 향상에 기여
- 정부의 정책인 저탄소 녹색성장을 지원하고, 국내외 녹색도시 관심 확대 및 수요 창출을 달성하여 교토체제 이후의 국제적 추세에 동참

- 성공적인 연구 수행을 통해 실현가능한 저탄소 도심재개발 모형의 조성 및 지원체계 구축 예상
- 해외 신도시 개발사업 진출을 위한 모듈형 표준모델 확보를 통해 국내 기업의 해외 진출기회 증가와 성공 가능성 제고
- 도시기반 복합플랜트 관련 정책 및 제도개선을 통한 보급 확대 방안 마련
- 도시계획과 연계한 에너지 부하의 평준화(계절별, 에너지원별)를 통해 동일한 부하 대비 48% 수준의 소비량 감축 (인구 9만명 기준)
- 수도권 매립지에 유입되는 생활폐기물(가연성 1,224톤/일 + 유기성 153톤/일) 적용시 복합플랜트로부터 257,000m³/일 메탄가스(가연성 242,000m³/일 + 유기성 15,000 m³/일) 생산
- 이로부터 주변의 청라국제도시에 발전을 통하여 전기를 공급시 하루 1,000 MWh를 공급할 수 있으며 이는 청라국제도시 계획인구를 9만으로 산출시 1인당 가정용 전력소비량 1,240 kWh/년 기준으로 330%를 담당하며 1인당 총 전력 소비량 8,479 kWh/년 기준으로 42%를 담당
- 복합플랜트 운전에 의하여 기존 단독역할의 플랜트보다 에너지 생산량을 최소 20% 이상 증가시킴 (메탄가스 1,100,000m³/년 증가)
- 복합화를 통해 유기성폐기물 잔재물 75% 감축 (유기성폐기물 153톤/일 기준 연간 11억원 절감 가능)
- 중앙집중형 에너지 수급구조를 분산화하여 원료비에 연동된 합리적인 수급체계를 구축함으로써 에너지의 소비절약, 고효율화 및 순환이용에 따른 비용 절감
- 폐기물 처리 및 에너지공급과 관련된 자원에너지 순환형 도시기반 복합플랜트 분야 및 주민친화적 도시계획 분야 핵심기술의 개발 및 검증을 통해 향후 기존 도시의 리모델링을 위한 기술개발 및 실증기반 구축
- 도시를 대상으로 한 에너지 및 환경시설 인프라의 연계 및 융·복합화를 통해 국내외 신도시, 기존 도시 재개발 시 적용 모델로 활용
- 기존 다양한 도시기반 플랜트의 지하화 기술 개발을 통해 미래 친환경적 생태도시 건설을 위한 기반기술로 활용
- 도시기반 플랜트 산업의 선진화 및 국제경쟁력 확보
- 현재의 국내 에너지 다소비형 제조산업(철강, 자동차, 조선 등)을 효과적으로 대체하고 세계시장 진출을 위한 고부가가치 차세대 지식정보 서비스 산업을 이끌 신성장 동력으로 육성

- 고효율화를 통한 도시경쟁력 강화 및 건설산업 해외진출 지원
- 도시 및 건물분야에서 에너지를 합리적 이용하기 위한 토지이용계획 수립 및 관련 제도개선(안)으로 활용
- 국가 에너지 공급체계 개선을 위한 에너지 유틸리티별 역할분담체계 구축 및 운영 체계 수립

제 2 장 환경분석 및 대응전략

제 1 절 도시기반 유틸리티 현황 및 문제점

1. 전력수급 현황

가. 원전사태와 문제점

도시에서 소비되는 전력량의 피크 시간대 부족 현상 해결을 위한 대안으로 정부가 제시한 것 중 하나가 대규모 원자력 발전소의 추가 건립이었다. 특히 지난 2008년에 수립된 제1차 에너지 기본 계획의 주요 목표였던 저탄소 녹색성장을 위한 친환경 에너지원의 확보 차원에서 원자력 발전은 강력한 추진력을 얻게 되었다. 표 2.1에서 보는 바와 같이 1차 에너지 기본 계획의 5대 비전 중 에너지 자립과 탈석유 사회로 전환의 대표주자로서 원자력 발전을 채택하여 2007년 당시 우리나라 전체 발전 설비의 27% 비중에서 2030년까지 41%의 비중으로 확대하는 것을 계획하였다. 특히 원자력 발전은 CO₂를 발생시키지 않는 에너지원으로 알려지면서 청정에너지원이며 동시에 매우 낮은 에너지 생산 단가를 갖는 경제적인 에너지원으로서 향후 우리나라의 에너지 믹스의 핵심 에너지원으로 2030년 발전량 기준으로 최대 59%까지 확대할 예정이었다.

표 2.1 1차 에너지기본계획(2008)의 5대 비전

비 전	지 표	2007년	2030년
에너지 자립사회 구현	자주 개발률	3.2%	40%
	신재생에너지 보급률	2.2%	11%
	원전설비 비중	27%	41%
탈석유 사회로 전환	석유의존도	43.6%	33%
에너지 저소비사회로 전환	에너지원단위	0.347	0.185
녹색기술과 그린에너지로 신성장 동력과 일자리 창출	에너지기술 수준	60% (선진국 100)	세계최고 수준
더불어 사는 에너지사회 구현	에너지빈곤층 비율	7.8%	0%

그러나 우리나라를 포함한 전 세계의 많은 나라들은 지난 2011년 3월 도호쿠 대지진에서 촉발된 일본의 “후쿠시마 원전 사태”를 통해 원전의 안전성에 대한 의문과 원전에서 비롯될 가능성이 있는 방사능 오염에 대한 불안감, 그리고 원자력 발전에 지나치게 편중된 전력수급 체제의 위험성을 알게 되었다(그림 2.1 참조). 특히 일본의 경우에서처럼 많은 안전 방호벽, 보조 전원장치 등이 있더라도 예측할 수 없는 대규모 자연재해(쓰나미, 태풍 등) 앞에서는 대부분 무용지물이 되었다. 이러한 이유로 많은 나라들은 보유하고 있는 원자력 발전 설비를 대대적으로 점검하고, 단계적인 계획을 세워서 장기적 관점에서 원자력 발전을 대체하기 위한 노력들을 기울이고 있다.



그림 2.1 2011년 도호쿠 대지진에 따른 후쿠시마 원전사고 (연합뉴스 기사)

원전 사태의 당사자인 일본은 원자력 발전 비중에 대한 몇 가지 시나리오 중 국민의견 수렴과 국민 정서를 반영하여 ‘2030년 원전 제로안’을 최종 채택한 바 있다. 그리고 스위스 연방 에너지청은 노후한 원자력 발전소를 새 원전으로 교체하려던 계획을 보류하였고¹⁾, 미국, 독일 중국 등 세계 많은 나라에서 원자력 발전에 대한 회의론이 일어났다. 특히 독일은 아랍에미리트(UAE) 아부다비에서 열린 국제재생에너지기구(IRENA) 총회에 참

1) 스위스 원전 교체 계획 보류 기사

(아시아경제, <http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2011031421065228024>)

석한 유르겐 베케 독일 환경차관을 통해 최대 2020년 이전까지 자국의 17기 원전 모두를 단계적으로 폐쇄할 것이며, 다른 대체 에너지로 전환하는 노력을 기울 것으로 발표한 바 있다.²⁾ 이러한 국제적인 분위기 속에서 일본의 바로 옆에 위치한 우리나라 역시 기존 원자력 발전소에 대한 점검을 강화하였다.

그러나 원자력 발전이 우리나라에서 차지하고 있는 전력공급 비중을 무시할 수 없기 때문에 우리나라는 원자력 발전의 위험성을 인지하면서도 대규모 전력 생산시설 증설로 에너지 문제를 해결하고자 하는 기본적인 국가정책에 따라 지속적인 신규 원자력 발전소를 건설을 추진하고 있다. 이는 최근 2014년 1월에 발표된 제2차 에너지기본계획에서 산업통산자원부의 전력수요 예측(매년 전력수요량이 2.5% 증가할 것으로 예상함)에 따른 대안으로 에너지 수요의 분산과 함께 2035년까지 원전 비중을 29%로 책정한 점에서 알 수 있다.

그리고 일본 역시 원전사태 이후 정권교체와 산업계 등의 반대로 인하여 원전 제로 정책이 다소 주춤한 상태이며, 일본 원자력 규제 위원회의 '신규제기준'확정에 따라 안전이 확인된 원자력 발전소는 재가동할 계획까지 세워진 상태이다. 이처럼 원자력 발전은 방사능 오염이라는 극단의 위험을 갖고 있지만 CO₂ 발생 없이 저가의 전력을 생산할 수 있다는 장점을 가진 발전설비이므로 에너지 수급에 급급하여 대규모 원자력 발전소를 지방에 설치하는 것이 아니라, 검증된 최고의 안전기술과 최선의 에너지정책을 기반으로 원자력 발전전략을 수립하여 활용해야 하는 기술이다.

전력은 일정한 수준의 공급신뢰도를 유지하면서 공급되어야 하는데 이를 위해서는 일정량의 예비전력을 확보하고 있어야 한다. IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)에 따르면 이를 '전력의 공급신뢰도'라 정의하고 있으며, 이러한 공급신뢰도는 장기적으로 필요한 설비용량을 확보해야 한다는 측면과 적정설비용량과 단기적으로는 확보된 설비를 적절히 운영하는 안정도로 크게 구분될 수 있다.

결국 안정적인 전력수급을 위해서는 어떠한 경우라도 '전력수요'와 '전력공급'의 균형을 맞추기 위해 각 단계별로 수요를 예측하고 적정한 예비력을 확보하는 것이라고 할 수 있다. 이를 위해 단기적으로는 기후의 지속적인 모니터링의 반영, 발전기 기동정지 계획의 현실화 및 유동성 확보, 발전소 정기보수 계획의 적정한 수립 등의 노력이 필요하며, 장기적으로는 장기전력 수급 계획의 최적화가 필요하다.

단기적인 전력공급의 안정성을 확보하기 위해서는 예상치 못한 설비의 고장, 기후변화를 대비하여 급작스런 전력수요 급증에 대응하기 위해 순간적으로 출력을 조절할 수 있는 여분의 설비가 운전될 필요가 있으며 운전 중 발전기의 일부를 대기시키는 순동예비력이나 속응성³⁾이 좋은 수력이나 가스터빈 발전기를 확보하고 있어야 한다. 그러나 이렇

2) 독일 원전 폐쇄 발표 관련 기사 (헤럴드 경제, <http://biz.heraldcorp.com/view.php?ud=20110405000357>)

3) 속응성(速應聲, Reponse) 기기가 어느 정상 상태에서 다음의 정상 상태로 옮길 때 그 중간 상태에 있는 시간(과도 시간)의 장단을 나타내는 말로, 시간이 짧을수록 속응성이 크다고 한다.

게 준비된 예비력은 경제성 있는 기존 발전기의 출력을 감소시키거나 운전비용이 상대적으로 비싼 발전기를 가동해야 하므로 비경제적이다.

실제로 2013년 여름 즈음 국내 원자력 발전소와 관련된 비리와 함께 원자력 발전소의 문제 발생 및 일시 점검 시작으로 인해 수기의 원자력발전이 정지되었고(그림 2.2 및 표 2.2 참조), 그로 인한 전력난을 해결하기 위해 한전은 발전자회사 및 한국지역난방공사 등에 도움을 요청하여 원전에 비해 발전단가가 비싼 석탄 및 가스 발전을 풀가동하면서 한전은 전국적인 블랙아웃은 막았지만 재정적으로 막대한 손실을 입었다. 기존 보유 부채에 대한 천문학적 이자에 더해서 또다시 원전 비리 및 원전 가동중단으로 막대한 손실을 입게 된 것이다.

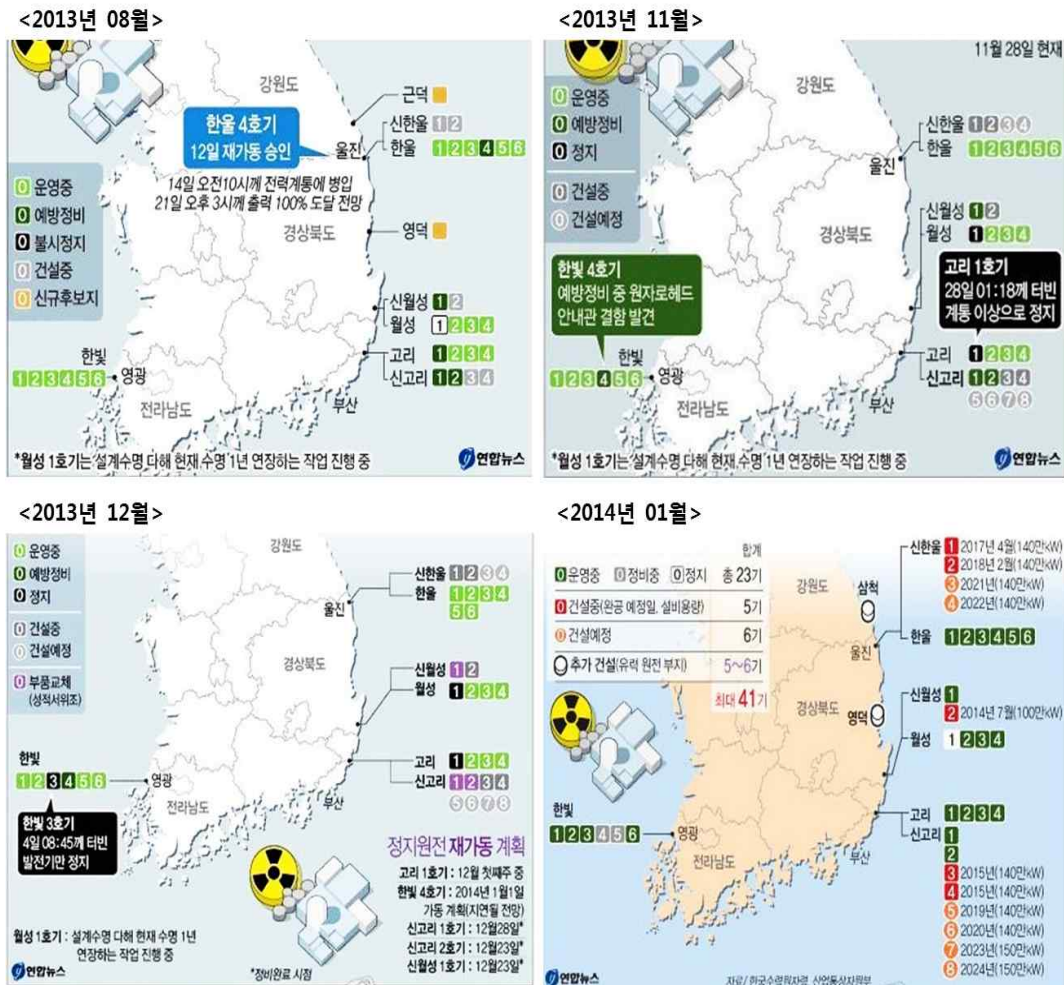


그림 2.2 2013년 8월 이후 우리나라 원전 가동 중단 사례 (연합뉴스 기사)

이미 2011년 9월경에도 늦더위 여파에 따른 전력 과부하와 이를 예측하지 못한 전력관련 당국의 수요예측 실패로 인해 지역별 순환정전을 시행한 바 있다. 한전에서 설정한

하절기 전력수급기간(6월 27일~9월 9일)이 지났기에 동절기 최대 전력수요를 대비해 25기(834만kW)의 발전소 정비를 일제히 시작하였고, 예년에 없던 이상 고온현상으로 전력수요가 급증하여 비상 수급대책이 없었기에 지역별로 30분씩 순환정전을 시행하게 된 것이다. 순환정전은 대규모 광역정전을 막기 위한 최후의 수단으로서 순환정전으로 전국적으로 162만 가구, 지역별로 수도권 46만 가구, 강원·충청지역 22만 가구, 호남지역 34만 가구, 영남지역 60만 가구 정도가 일시적인 정전피해를 입었다. 국내 기온변화 등 전력사용량의 주요 변수를 고려한 전력 수요를 예상하지 못한 채 단편적인 일정에 따른 정비업무 추진으로 발생한 사건이다.

표 2.2 2013년 하반기 이후 국내 원전 가동 중단 사례

중단 일자	원자력 발전시설	위치	발전량	중단 사유
2013.07.05	한울 원자력발전소 5호기 (가압 경수로 방식)	경북 울진	100만kW	현장직원의 기기조작 미숙
2013.11.14	한빛 원자력발전소 4호기 (가압 경수로 방식)	경북 울진	100만kW	계획예방정비 원자로 헤드 안내관 결함
2013.11.28	고리 원자력발전소 1호기	부산 기장	58만kW	터빈계통 이상
2013.12.04	한빛 원자력발전소 3호기	전남 영광	100만kW	원자로 고장
2013.12.12	한빛 원자력발전소 5호기	전남 영광	100만kW	계획 예방정비, 부품 성적서 문제
2014.01.29	한울 원자력발전소 5호기 (가압 경수로 방식)	경북 울진	100만kW	원자로 정지신호 발생

그리고 장기적인 관점에서 일정 양의 설비를 확보해야 하므로 건설기간을 감안하여 최대량에 대한 일정한 예비력을 갖추고 있어야 한다. 일반적으로 원자력 발전은 10년 이상, 석탄화력 발전은 8년 이상의 건설기간이 소요되며 가장 짧게 건설되는 가스터빈 발전기도 2~3년이 소요되므로 장기적 관점에서 발전 설비 확보 계획도 매우 중요하며, 발전기 보수시기, 고장 정지 등의 불확실한 요소들도 함께 감안하여 에너지 수급계획 및 전략을 수립해야 한다.

현재 전력수급기본계획은 전기사업법 제25조에 의해 산업통상자원부에서 수립해야 하며⁴⁾ 실질적인 계획 실무는 전력거래소에서 담당하고, 이를 위해 전력거래소는 발전설비 계획 소위, 계통계획 소위, 수요관리 소위 및 수요예측 소위 등 4개의 핵심 실무 소위원회를 구성하여 운영하고 있다. 그러나 수급계획에서 상위 계획(에너지 기본계획)과의 정

4) 전기사업법 제25조의 2013.3.23., 2013.7.30. 개정안에 따라 산업통상자원부장관에 의해 전력수급기본계획이 수립되어야 함

합성을 확보하는 과정과 급변하는 대외 환경이 에너지 수급계획이 수립되는 2년 주기보다 더 빠르게 변화하기 때문에 이런 계획 절차에 유동성이 부족한 상황이다(그림 2.3 참조).

금년 말 개정될 제7차 전력수급기본 계획에서는 이러한 문제를 최대한 반영하여 반복적으로 발생하는 인제 차원의 전력난은 더 이상 나타나지 않도록 에너지 수요 파악에 대한 적절한 방법과 그에 따른 실질적인 대응책 마련이 필요하다 하겠다.

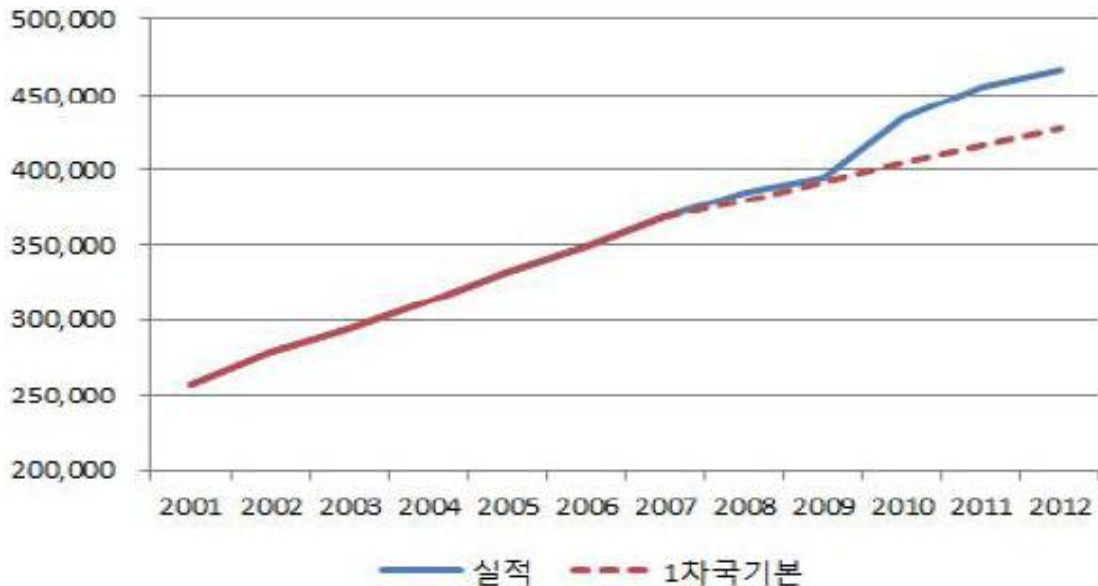


그림 2.3 1차 에너지기본계획 전망치(실선)와 실제 전력소비량(점선) 비교

나. 전력요금 정책

정부에서는 우리나라의 전기 소비 수준도 높고 그 증가폭도 지나치게 높다고 한다. 2009년 기준으로 전 세계 전력 소비량을 보면 미국, 중국, 일본, 러시아 순으로 상위권 랭크가 되어 있고, 한국은 9위에 위치해 있다.⁵⁾ 또한 정부 자료에 따르면, GDP 대비 전기 소비 수준은 1 달러당 497 Wh (2011년 기준) OECD 평균인 1 달러당 267 Wh 보다 70% 이상 높다. 전기 소비 증가율은 2008년 4.5%, 2009년 2.4%, 2010년 10.1%, 2011년 4.8%, 2012년 2.5%에 달해 최근 5년 사이 누적 20%에 가깝게 전기 소비가 급증했다. 그러나 정부는 위에서 언급한 대로 단기적인 이상고온 현상에 대한 대처는 물론 이렇게 지속적으로 증가되는 급격한 전기 소비 증가 패턴을 예측하지 못한 채 최근 몇 년간 블랙 아웃의 공포를 주기적으로 겪게 하고 있다.

우리나라는 지난 2013년 1월에 이어 2013년 11월에 추가적인 전기요금 인상이 있었다.

5) 출처 IAEA (key statistics 2011), BP(Statistical review of world energy 2010), LIS 법령정보관리원

이번 전기요금 인상은 1월의 평균 4% 인상에 이은 5.4%의 추가 인상이다. 과거 2011년 8월 인상된 전기요금까지 소급하여 고려한다면 총 20% 내외의 전기요금이 인상된 셈이다. 이처럼 정부가 전기요금을 인상하는 주된 이유는 전력 요금 인상을 통해 전기에너지 절약 및 전기에너지 효율적 활용을 유도하여, 도시 블랙아웃 등의 전력난이 가져올 경제적, 사회적 문제를 사전에 예방하고자 하는 것이 큰 이유이다. 즉, 전력 수요의 특정 시간 집중 현상 및 전기 사용량의 급상승에 따라 발생될 수 있는 문제에 대해서, 정부가 에너지 수급 대책 중 하나로 제시한 것이 전기요금의 일괄 인상인 것이다.

최근 2013년 11월의 인상률을 살펴보면, 주택 전기요금이 2.7%, 일반전기요금이 5.8%, 산업전기요금이 6.4%, 농업용 전기요금이 3.0%인상되었다. 산업용 전기가 지나치게 싸다는 여론을 의식하여 가정용 전기 대비 산업용 전기의 인상이 다소 높게 이루어 졌지만 전기요금 인상으로 인해 물가인상, 가계 부담 증가 등의 부작용이 예상되기 때문에 여전히 전기요금 인상에 대한 국민들의 반발은 높은 상태이다. 이에 대해 산업통상자원부와 한전은 지난 2013년 1월 전기 요금 인상 시, 전기 요금의 현실화를 위해 전기 제조 원가를 일부 반영했다고 발표했고, 실제로 2013년 1분기에 한전은 1,604억 원의 순이익을 달성했다.

우리나라의 전기 요금이 상대적으로 저렴한 이유는, 2005년에서 2012년 사이 에너지 가격은 수요 증가에 의해서 전 세계적으로 증가하게 되는데 이 기간 동안 등유 가격이 60%, 도시 가스 가격이 75% 증가하는 동안 전기 가격 증가율은 33%에 불과한데 있다. 즉 화석연료를 이용한 가공과정을 거쳐 생산되는 전기가 오히려 원료 가격보다 상대적으로 저렴해진 셈이다. 이러한 이유로 중앙집중식 가스 냉방⁶⁾을 하던 대형 건물들이 전기 에어컨으로 변경하는 경우들이 많았고 전열 난방기구들이 최근 몇 년간 불티나게 팔리는 등 에너지 수급면에서 큰 왜곡이 일어났다는 정부의 견해가 있었다.

이것은 석유나 천연 가스보다 당연히 더 비싸야할 전기가 오히려 더 저렴하게 공급되어 나타난 부작용으로 볼 수 있다. 그리고 불합리한 에너지 세금 체계가 이런 부작용을 만든 요인 중에 하나라고 볼 수 있다. 또한 우리나라의 현행 에너지 관련 조세체계의 근본적인 문제점 중 하나는 환경오염에 대한 일차적인 사회적 비용을 시장가격체계에 적절하게 반영하지 못하여 환경세로서의 의미가 대국민적으로 미약하다는 점에 있다. 따라서 기존 에너지 세금에 향후 탄소세 등의 환경세 명목의 세금이 추가된다면 조세저항은 더욱 커지기만 할 것이다.

보다 실질적인 내용은 다음과 같다. 지금까지 우리나라에서는 세금이 붙지 않는 에너지 지원이 본래 가격과는 상관없이 사용자 입장에서는 가장 저렴해지는 이상한 모순이 있었다. 최근 정부는 에너지 세금 체계를 손보면서 그 동안 세금이 없던 석탄에 세금을 부과하기 시작했다. 실제로 우리나라 전력 생산을 위한 발전에서 가장 큰 축을 담당하는 발

6) LNG 냉방방식으로 열을 회수하는 원리에 따라 흡수식과 가스히트펌프(GHP)식으로 구분됨

전용 유연탄은 LNG, 등유, 프로판 같이 다른 화석연료와는 달리 세금이 붙지 않았다. 그러나 이번 전기 요금 체계 개편을 통해 kg 당 30 원⁷⁾의 개별 소비세 과세 대상에 추가했다. 대신 LNG는 kg당 60원에서 42원으로, 등유는 L 당 104원에서 72원으로, 프로판은 kg 당 20원에서 14원으로 각각 세율이 인하하였다.

그러나 환경적인 측면이 국민들에게 홍보되거나 한 것이 아니라 단순히 에너지 가격이 상승된 것만 부각되다가 보니, 환경을 고려하면 LNG발전을 해야 하나 현행 세금 체계로는 석탄 발전이 여전히 전력 생산단가 측면에서 유리하게 되어 석탄에는 세금을 새로 매기고 나머지는 세금을 줄였다. 한편 이를 두고 산업계는 이번 조치로 석탄가격의 상승분이 전기요금에 반영되어, 연간 1.4 조원의 영업이익이 감소하게 될 것이라고 예측하고 있는데, 특히 철강 산업처럼 전기 사용량이 많은 업체들은 불리하게 작용할 것으로 생각된다. 또한 산업용 전기 요금을 5% 인상할 경우 GDP 는 0.203% 감소하는 반면 소비자 물가는 0.2% 상승하게 될 것이라는 전경련의 주장도 있다.

하지만 정부로써도 현재는 어쩔 도리가 없이 장기 전력 수요 예측의 실패로 인해 발전 용량을 갑자기 늘릴 수 없는 상태라 어떻게든 전력 수요를 억제해야 하고 그러기 위한 방편으로 반복적으로 전기요금 가격 인상 정책을 펼치고 있는 실정이다. 그러나 더 큰 문제는 산업용 전기요금은 여전히 생산 원가 대비, 일반 민간용 전기요금 대비 낮은 수준이라는 점과 합리적이고 장기적인 에너지 수급 계획 없는 단기적인 전기요금 인상 정책은 지속적인 국민의 반발만 사게 된다는 점이다.

또한 과거 우리나라는 2000년 이후, 1, 2차 에너지 세계개편에 따라 수송용 연료에 국한된 연료 간 상대가격 조정을 통한 경우 등 세부담 강화를 제외하고는 여전히 교토의전서 체제와 온실가스 저감차원의 근본적이 에너지 세계 개편 논의가 약했던 것이 사실이다. 1990년대 초반 북구 OECD 선진국 중심으로 온실가스 감축을 위해 국민적 공감대를 이끌어 내어, 탄소세 등 다양한 세제를 도입하는 등의 에너지 관련 세제를 강화하고 개편하는 등의 시장기반의 정책수단을 적극적으로 도입, 활용하고 있는 것과 상반된 정책이라 할 수 있다.

또한 EU 주요 국가들은 일반 세제와의 세수 중립적인 입장에서 에너지관련 세제를 강화하고 이를 통해 법인세, 소득세, 사회보장세 등을 인하하여 전반적인 조세왜곡을 최소화하여 근로자의 부담을 제고하는 등의 활발하고 현실적인 세제개편 시도가 있어왔다. 나아가 에너지 관련 세수입을 에너지절약을 위한 다양한 사업투자, 신재생에너지 개발 및 도입을 위한 보조금 등에 재활용하면서 더욱 새로운 에너지 자원 확보에 노력을 기울이고 있다. 따라서 우리 정부도 단기적인 문제 해결 방안으로의 에너지 비용 인상 혹은 에너지 세금 인상이 아닌 다양한 검토를 통해 합리적인 장기계획을 세우고 그에 따른 에너지 비용 및 세금 정책을 펼치는 것이 필요하다.

7) 시행 초기 과중한 세부담을 줄이기 위해 30% 탄력 세율을 적용 kg 당 21 원으로 과세함

2. 수요처와 공급처의 이원화

현대 사회에서는 전 세계 대부분 나라의 인구의 대다수는 대도시로 집중되고 있다. 그리고 이러한 경향에 따라, 다양한 문화 인프라 및 사회 편의 시설 등이 도시에 집중되고 있을 뿐 아니라 많은 인구에게 부여되는 경제적 기회도 도시로 집중되기 때문에 더욱 더 도시 집중 현상을 가속시키고 있는 것이 현실이다. 이러한 현상은 더 이상 피할 수 없는 현실이기 때문에 이로 인해 발생하는 다양한 피해를 예방할 수 있도록 다양한 대안을 마련할 필요가 있다. 그 피해 중 가장 대표적인 것이 에너지 공급과 수요의 불균형 문제이다.

국내의 시도별 인구분포를 보면 경기도가 1천 2백 2십 여 만 명으로 가장 많고 그 뒤를 서울시가 1천 1십 여 만 명으로 2위를 달리고 있다. 2014년 현재 우리나라 인구가 약 5천 1백 1십 여 만 명이니, 서울, 경기, 인천을 포함하는 수도권 인구가 우리나라 인구의 49.4%를 차지하고 있으므로 거의 절반의 인구에 해당한다. 이처럼 많은 인구가 집중되어 있는 수도권을 포함한 많은 대도시에서의 전기를 포함한 에너지 소비는 매우 높다. 많은 인구에 따른 많은 수요가 있으니 그 만큼의 발전설비가 필요한 상황이다.

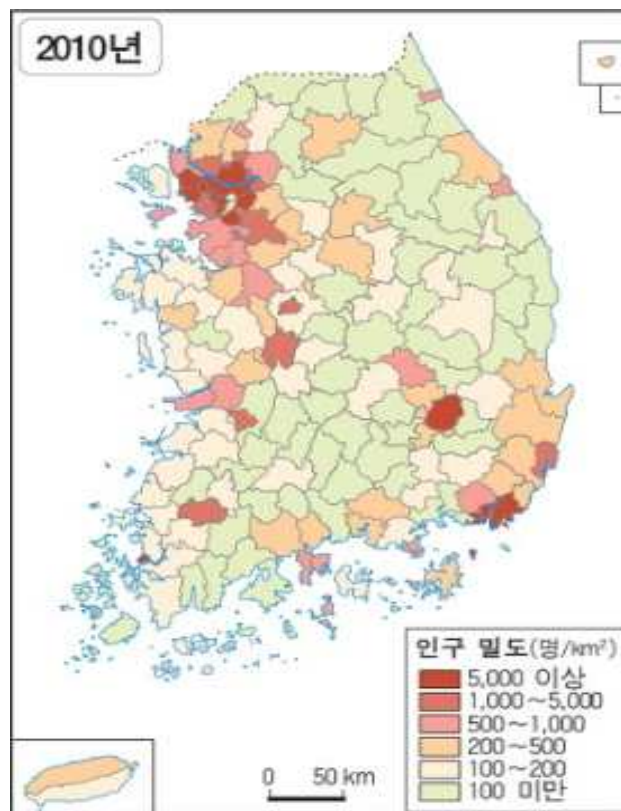


그림 2.4 국내 인구분포도 (2010년 기준)⁸⁾

8) zum 학습백과사전

그러나 발전소를 포함한 대부분의 에너지 생산설비는 모두 수도권이 아닌 지방에 건설되어 있다. 즉 사용처와 생산처가 이원화 되어 있으며 그 간극은 좁처럼 좁혀지지 않고 있다. 여기서 한 가지 감안할 점은 산업용 에너지 소모량을 고려하면 중공업단지, 석유화학공업단지가 많이 건설되어 있는 지방의 에너지 소비량이 매우 높다고 할 수 있으나, 산업부문의 에너지 사용량을 제외한 가정용, 상업용 에너지 사용량을 기준으로 하면 수도권이 월등히 높다고 할 수 있다. 다시 말하면 지방에서는 해당 지방도시에서 필요한 에너지를 해당 지방도시에서 생산해서 사용하고 있으나 수도권은 수도권에서 필요한 에너지를 수도권에서 생산하지 못하고 지방도시의 생산시설로부터 받아쓰고 있는 상황인 것이다.

표 2.3 2014년 국내 지역별 인구분포 및 세대분포⁹⁾

지역	인구 수			세대 수
	총 인구 수	남	여	
서울특별시	10,143,164	5,007,016	5,136,148	4,182,556
부산광역시	3,526,648	1,746,434	1,780,214	1,405,145
대구광역시	2,501,823	1,246,104	1,255,719	960,941
인천광역시	2,882,047	1,449,766	1,432,281	1,119,942
광주광역시	1,473,529	730,486	743,043	563,922
대전광역시	1,533,497	767,665	765,832	585,415
울산광역시	1,157,199	595,781	561,418	432,230
세종자치시	123,802	63,011	60,791	50,676
경기도	12,245,960	6,164,542	6,081,418	4,716,710
강원도	1,540,745	775,636	765,109	664,027
충청북도	1,572,779	792,848	779,931	644,187
충청남도	2,048,438	1,037,965	1,010,473	858,444
전라북도	1,872,297	932,564	939,733	766,686
전라남도	1,906,363	952,350	954,013	815,503
경상북도	2,698,306	1,355,429	1,342,877	1,139,463
경상남도	3,334,948	1,679,136	1,655,812	1,322,143
제주자치도	594,623	297,920	296,703	238,894
계	51,156,168	25,594,653	25,561,515	20,466,884

9) 2014년 안전행정부 발표자료

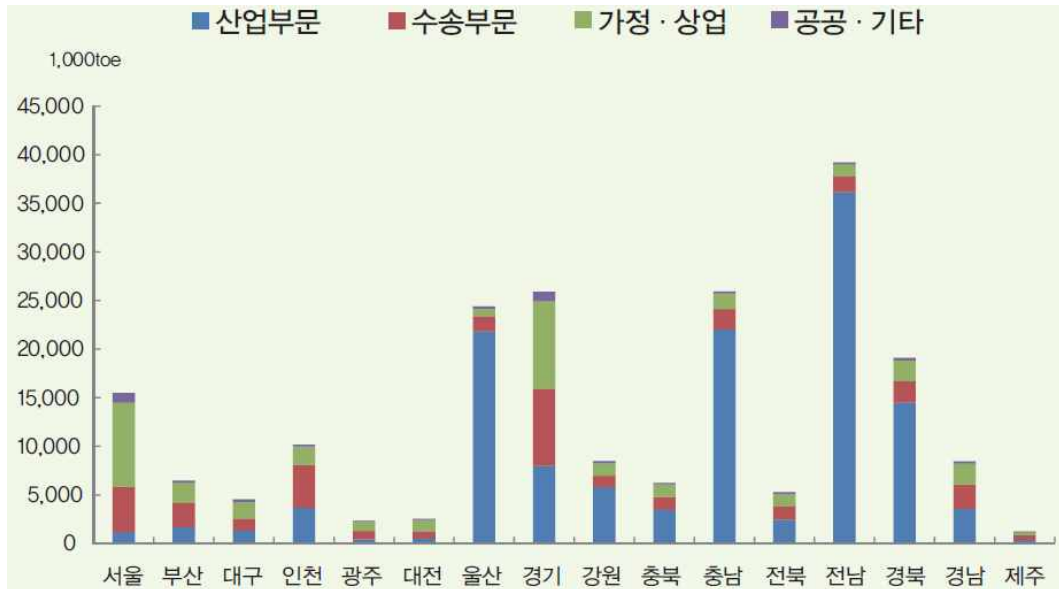


그림 2.5 국내 지역별 에너지 소비량 (2012년)¹⁰⁾

표 2.4 국내 에너지원별 에너지생산량 및 점유율¹¹⁾

(단위 : 백만toe)

구분	2011년	2025년 (예상)	2035년 (예상)
석탄	83.6 (30.3)	100.2 (28.3)	112.4 (29.7)
석유	105.1 (38.1)	111.0 (31.3)	101.5 (26.9)
천연가스	46.3 (16.8)	64.8 (18.3)	73.3 (19.4)
수력	1.7 (0.6)	1.7 (0.5)	2.0 (0.5)
원자력	32.3 (11.7)	59.6 (16.8)	70.0 (18.5)
신재생에너지 외 기타	6.6 (2.4)	16.8 (4.7)	18.8 (5.0)
합 계	275.7 (100)	354.1 (100)	377.9 (100)

() 괄호 안은 각 에너지 원의 전체 점유율 (%)

수도권 내 도시는 점점 커져가는 에너지소비 증가율을 기록하고 있지만 높은 인구밀도와 높은 지가(地價) 등으로 인해 수 만평이 필요한 발전 설비 등의 에너지 생산 설비를 건설하기는 어려운 상황이고, 그에 따라 국가 주도로 상대적으로 인구밀도가 낮고 지가(地價)가 저렴한 지방에 손쉽게 대규모 발전설비를 건설하여 생산된 전력 등을 수도권의 도시들로 공급하고 있는 상황이다.

10) 2012 지역에너지통계 연보, 지식경제부, 에너지경제연구소

11) 제2차 에너지기본계획, 산업통상자원부



그림 2.6 국내 화력, 원자력 등 발전소 현황 (한국전력공사)

물론 수도권에도 열병합발전소 등이 일부 발전설비들이 있지만 2011년도 기준으로 우리나라 전체 발전량의 11.7%를 차지하고 있는 원자력 발전설비를 보면 더욱 확연하게 드러난다. 즉, 서울을 제외한 울진, 월성, 고리, 영광의 지방 4개 도시에 대규모 원자력 발전소를 대규모로 설립하여 많은 전기를 필요로 하는 수도권으로 보내고 있다. 대규모 복수기 등 열교환기 설치, 가동이 필요한 원자력 발전의 특성상 바다에 접해야 한다는 점에서 수도권이 아닌 지방에 분포한다고 볼 수도 있으나 석탄, 석유, 천연가스 등을 원료로 하는 화력발전소의 경우도 수도권 보다는 수도권 외의 지방에 분포하는 비율이 훨씬 높은 상황이다.

3. 국내 에너지 수급계획

국내의 발전 설비는 화석연료 (유연탄, 석유, LNG 등) 중심의 화력발전에 높은 비중을 두고 있다. 그러나 원유를 모두 수입하는 대부분의 나라에서처럼 우리나라 역시 원유를 수입해서 사용하는 나라이므로 중동의 정세에 따라 변동하는 유가에 국가 에너지 생산 정책이 큰 영향을 받고 있다. 국제 유가(두바이유 기준)는 2008년 평균 \$94.3/b을 기록한

후 금융위기가 있던 2009년 잠시 하락하였으나 이내 상승세를 타고 2012년 \$124/b로 사상 최고치를 경신하였다. 또한 '新高유가'로 불리는 최근의 양상은 앞으로도 지속적으로 이어질 전망이다. IEA¹²⁾(WEO2012¹³⁾)에 따르면 2035년 국제 유가는 최고 \$140/b로 예측되고 있으며, EIA¹⁴⁾의 전망은 \$145/b이다. 이처럼 지속적으로 상승하는 국제 유가의 흐름 속에서, 우리나라는 이러한 정세를 전략적, 정책적으로 탈피하기 위해 노력하였다.

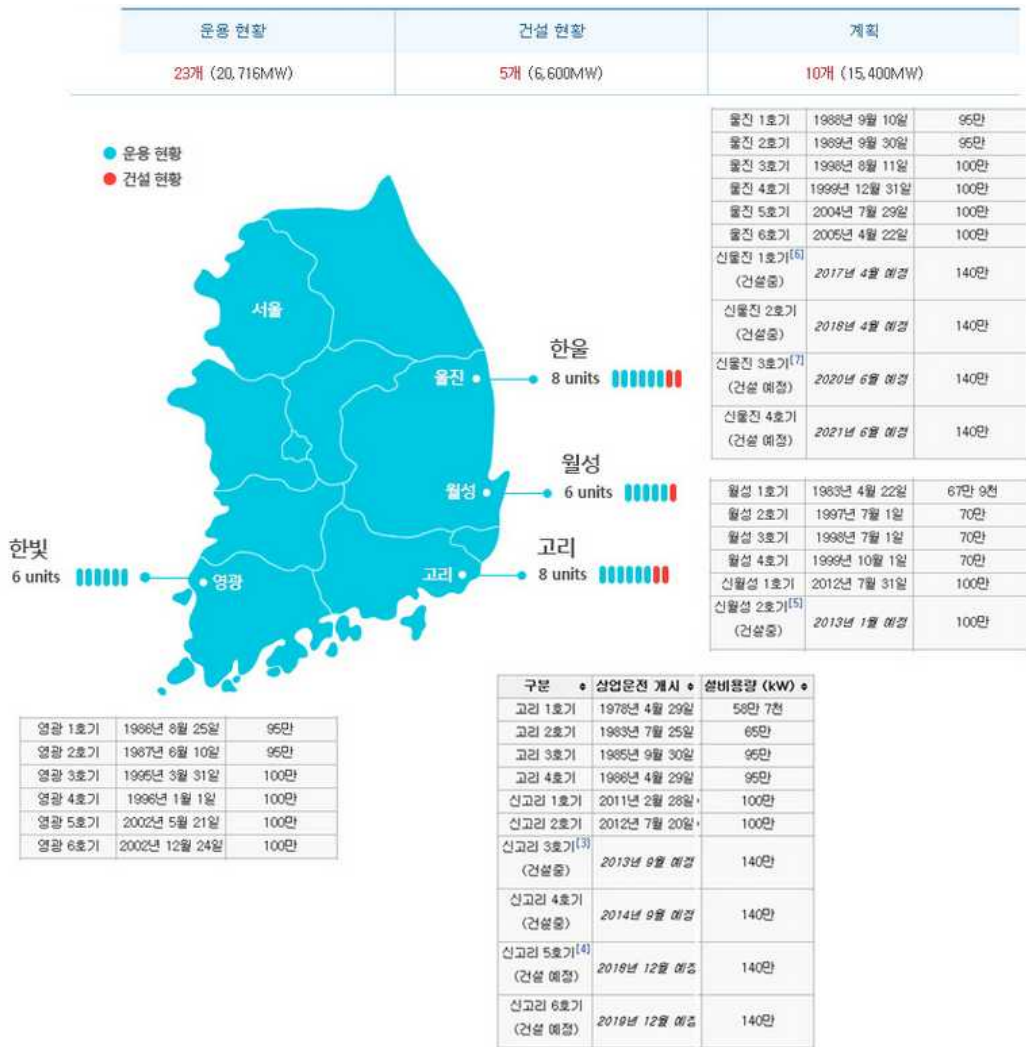


그림 2.7 국내 원자력 발전소의 위치와 현황

12) International Energy Agency, 국제에너지기구. 세계의 주요 석유소비국에 의한 초국가적인 기구임. 산유국의 공급 감축에 대해 참가국 간에 석유의 긴급 유통을 하거나 소비의 억제, 대체에너지의 개발 촉진을 목적으로 함

13) World Energy Outlook (WEO), www.worldenergyoutlook.org

14) US Energy Information Administration, 미국 에너지 정보 관리기관 (www.eia.doe.gov)



그림 2.8 국내 지역별 에너지생산량 (2012년)¹⁵⁾

표 2.5 유가 상승 원인 및 가격 회복 경향 비교¹⁶⁾

	과거(2009년 이전)	新高유가
유가 상승 원인	중동 등 원유 공급의 불안정	신흥 개도국의 원유 수요 증가 한계 생산 비용의 증가
가격 회복	중동 안정화 시 원상복구	지속적인 고유가가 지속됨

우선 전략적으로 중동과 아시아 국가로 편중되었던 원유 수입국의 다변화를 꾀하기 위해 2009년부터 중남미 국가에서 원유 수입을 개시하였고, 2011년에는 노르웨이, 영국 등 유럽 국가에서도 원유 수입을 시작하였다. 그리고 정책적으로 2008년 제1차 에너지 기본 계획 내에 ‘에너지 믹스¹⁷⁾’ 개념을 도입하여 국제적 화두가 되는 탄소배출 저감에 기여할 수 있으면서 동시에 낮은 전력 생산 단가를 갖는 원자력 발전의 비중을 높이는 것을 필두로, 태양광과 풍력 등의 신재생에너지에 많은 비중을 두고자 하였다. 해당 계획에서는 2030년 원자력 발전의 설비 비중을 41%로 하고 발전량 비중을 59%로 설정하였으며, 신재생에너지의 활성화를 위해 공기업 의무할당제(RPS)와 그린홈 100만호 보급사업 등을 통해 2030년 까지 11%의 목표를 설정하였다.

그러나 정책적인 부분은 후쿠시마 원전사태 등의 원자력 발전의 내재된 문제점을 간과한 정책이라는 비판과 2012년 이후 태양광 산업의 침체 속에서 2014년 제2차 에너지 기

15) 2012 지역에너지통계 연보, 지식경제부, 에너지경제연구소

16) 제2차 에너지기본계획, 산업통상자원부

17) Energy Mix; 에너지 시스템에서 어떤 에너지를 수송용, 난방용 혹은 발전용 연료로 사용할 것인가를 선택하는 것으로 에너지원별 에너지 원가, 부과 세금 등을 고려하여 에너지를 선택하게 됨

본 계획에서는 이에 대한 보완 필요성을 인식하게 되었다. 특히 온실가스를 배출하지 않고 생산단가가 낮다는 점 그리고 대규모 발전 설비를 건설해야한다는 정책기조 속에서 지방에 원자력 발전소를 추가적으로 건설하면 된다는 식의 정책은 해당 지역 주민의 반발과 함께 전력 계통 여건에 대한 검토 부족, 안정성에 대한 검토 부족 등의 문제점을 나타냈다. 또한 태양광 발전을 중심으로 한 신재생에너지 활용 역시 세계 경제의 침체와 함께 정부지원에 의존하는 의존적인 시장 상황 속에서 크게 성장하지 못한 채 많은 태양광 관련 기업들이 구조조정의 절차를 밟게 되었다.

표 2.6 국내 연도별 원유수입 현황 (배럴)¹⁸⁾

지역	국가	연도 (년)			
		2008	2009	2010	2011
아시아	중국	5,057	3,628	2,535	2,147
	필리핀	1,217	2,600	6,337	5,913
	태국	3,904	3,187	3,327	1,976
	말레이시아	11,155	6,271	9,032	8,961
	인도네시아	16,308	20,115	29,668	21,008
	브루나이	10,644	9,596	12,668	12,324
	호주	34,499	34,423	31,735	15,101
	베트남	1,603	6,725	6,890	7,981
	미얀마	632	-	-	-
	러시아	23,463	28,037	50,160	32,971
	아제르바이젠	-	1,798	-	20
	소계	108,482	116,380	152,352	108,402
아프리카	알제리	5,023	6,304	3,135	-
	리비아	-	-	-	1,816
	앙골라	-	918	36	-
	카메룬	1,605	-	-	956
	콩고	1,858	917	876	-
	가봉	-	2,789	-	-
	수단	1,446	-	-	-
	적도기니아	-	680	545	-
소계	9,932	11,608	4,592	2,772	
아메리카	브라질	-	967	-	-
	에쿠아도르	-	767	636	-
	아르헨티나	-	-	198	-
	콜롬비아	-	-	988	2,796
	소계	-	1,734	1,822	2,796
중동	이란	73,016	81,437	72,605	87,184
	이라크	41,227	62,494	59,956	89,709
	쿠웨이트	104,593	100,090	103,079	117,370
	카타르	64,402	53,673	64,362	93,146
	아랍에미레이트	158,109	114,592	105,656	87,234

18) 한국석유공사 석유정보센터, 국가통계포털

	사우디아라비아	262,637	254,799	276,787	291,348
	예멘	500	-	-	998
	오만	16,670	17,507	12,152	16,715
	중립지대	25,304	20,771	19,049	24,671
	소계	746,458	705,363	713,646	808,375
유럽	노르웨이	-	-	-	2,102
	영국	-	-	-	3,064
	소계	-	-	-	5,166
합 계		864,872	835,085	872,412	927,511

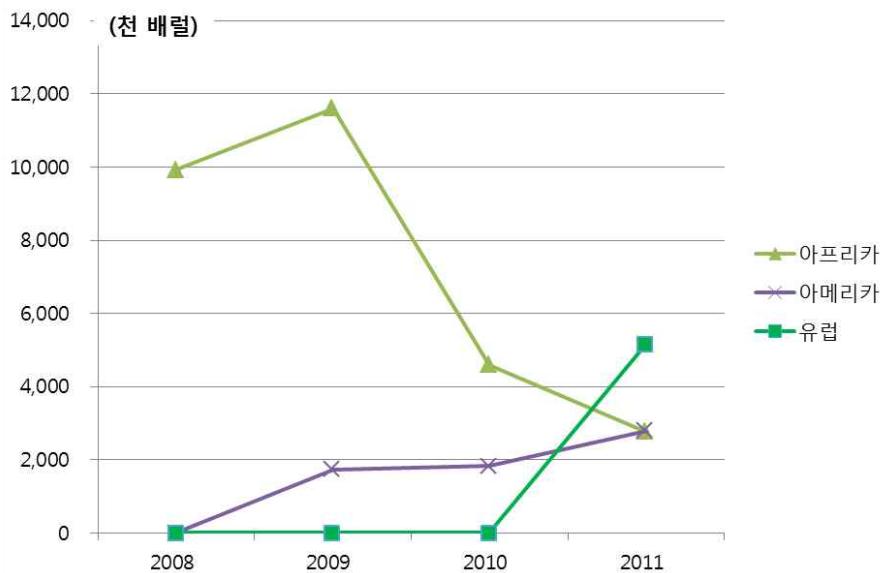
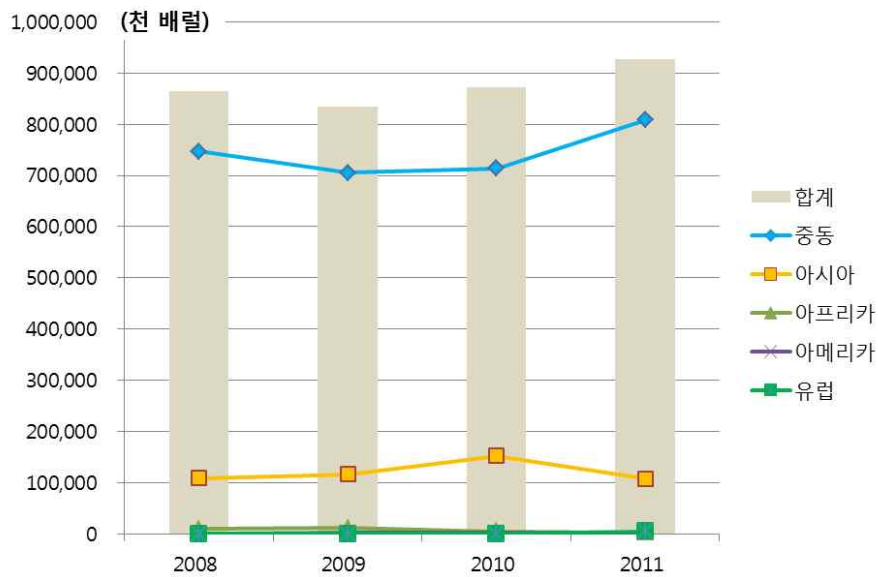


그림 2.9 국내 원유수입 국가별 수입량 통계 (통관량 기준)¹⁹⁾

19) 한국석유공사 석유정보센터, 국가통계포털

그러나 WEO2012에 따르면 2010년 이후 2035년이 되면 전력 생산을 위한 에너지원에서 큰 변화가 있을 것으로 전망하고 있다. 즉 신재생에너지가 대부분의 나라에서 높은 비중을 차지하게 될 것으로 예상하고 있다. 그에 따라 화석 연료를 이용한 전력 생산은 그 비중이 점차 낮아질 것으로 예상하고 있다. 우리도 이러한 세계적인 흐름에 맞추어 전력 생산을 위한 에너지원의 다변화가 필요하다.

추가적으로 '에너지 믹스'를 저해하는 큰 요인으로 정부의 에너지원에 대한 조세정책에 대한 문제 제기가 예전부터 있어왔다. 정부에서 추구하는 복지를 위한 세수확보와 물가 관리를 기준으로 에너지가격 및 세금이 책정되기 때문에 전기값이 상대적으로 원가대비 낮게 공급되는 기현상이 발생하고 있다. 그로 인한 전기요금 정상화에 대한 이슈와 국민, 산업계의 전기요금 인상에 대한 저항이 반복적으로 발생되고 있다. 따라서 에너지 믹스는 국민적 수용이 가능한 선에서 점증적인 '에너지 가격, 세계의 통합개편 방안'에 대한 로드맵 제안이 필요하다.

제 2 절 국내·외 기술동향 분석

1. 국내 동향

가. 도시기반 유틸리티 시설

- 기존의 환경기초 플랜트 및 에너지 공급 플랜트도 비효율적인 대규모 집중형 구조에서 벗어나 에너지 효율을 극대화할 수 있는 소규모 분산형 시설로의 변화가 필요함
- 기존의 환경 및 에너지 관련 시설은 수요처로부터 멀리 떨어진 원격지에 대규모 플랜트로 건설되어, 에너지 손실의 증가와 운용상의 비효율성을 초래하여 왔으며, 지구환경의 위기와 함께 자원 및 에너지의 공급/처리 분야에서도 환경친화적인 도시기반시설 구축 필요성이 대두되고 있으나, 기존의 대규모 플랜트로는 재생가능 자원 및 에너지의 이용이 거의 불가능한 상황임
- 이에 따라 도시에 인접하여 자원 및 에너지의 손실을 최소화하면서 재생에너지의 이용가능성을 높인 소규모 분산형 시설의 필요성이 증대하고 있음
- 근래에 들어 전기, 가스 및 열 등의 에너지 공급시설과 상수 공급시설 및 각종 폐

기물과 하수를 처리하는 환경기초시설 등 도시를 배후에서 지원하는 라이프라인 인프라를 통합하여 운영함으로써 순환형 에너지 및 물질 순환 시스템을 구축하고자 하는 노력이 진행되고 있음

- 그러나 현재로서는 발전배열을 이용하기 위한 발전시설, 소각열을 이용하기 위한 소각시설과 지역난방시설의 연계가 일부 이루어져 있을 뿐, 시설의 유기적인 통합이 아니라 열의 수급과 사업자간 정산을 위해 단순히 필요한 배관을 연결한 수준에 머물러 있는 실정임
- 한국건설기술연구원에서는 신재생에너지를 포함하여 각종 도시배열과 산업폐열 및 폐기물 처리시설과 에너지 공급계통을 연계하여 설치, 운영하는 미래의 자족·순환형 스마트 도시 라이프라인 인프라와 도시지역 지하공간을 이용하는 자족·순환형 복합 플랜트 구성체계를 제안한 바 있음(그림 2.10 및 그림 2.11 참조)²⁰⁾

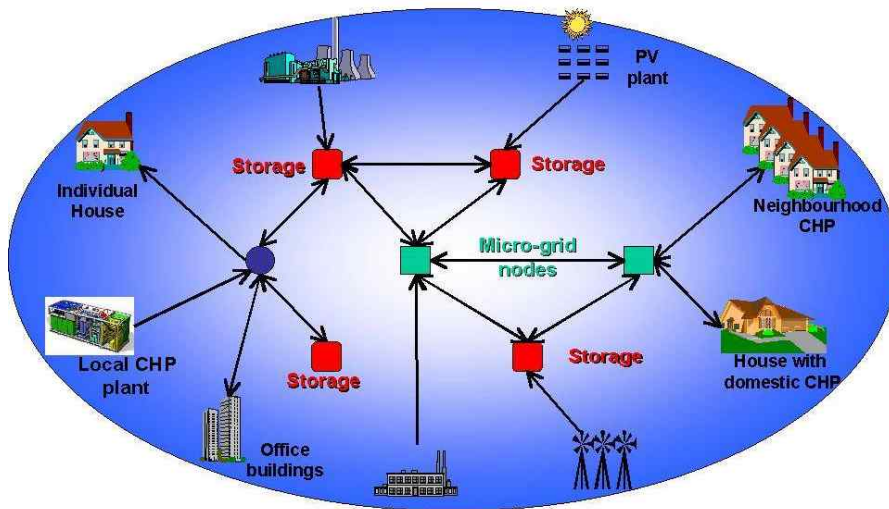


그림 2.10 자족·순환형 미래 Smart urban lifeline infrastructure의 개념도

20) 한국건설기술연구원, 지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화, 2004

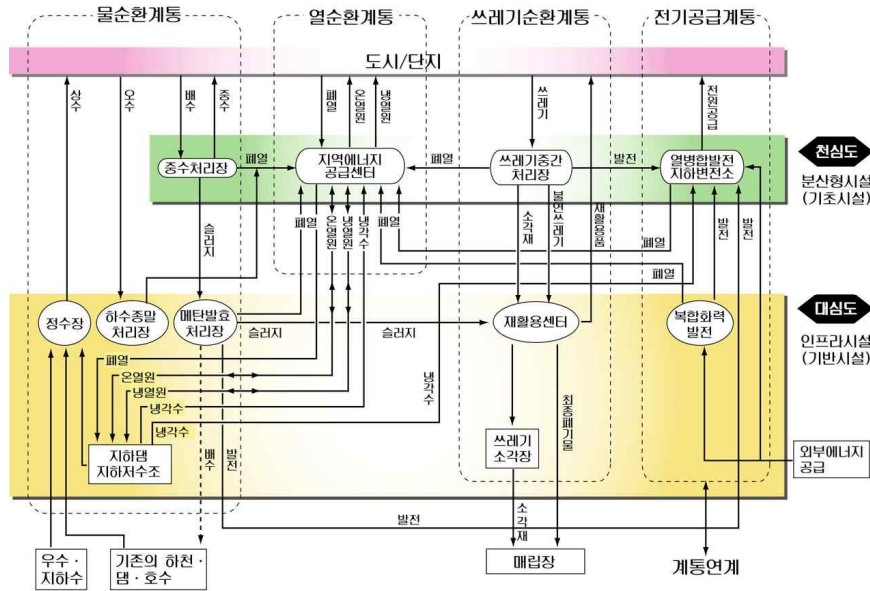


그림 2.11 지하공간을 이용한 복합플랜트 구성체계 및 에너지·물질수지

- 연구결과에 따르면 기존의 도시지역 복합화력 발전시설을 합리적으로 운영만 해도 온실가스 배출이 심한 3~4백만kW급 유연탄 화력발전소 2기(국내 유연탄에 의한 발전량의 30% 이상, 총 발전량의 10% 이상)의 가동을 멈춰도 되는 것으로 추산됨
- 또 기존 지역난방 공급량의 2.8배에 달하는 수요처에 냉난방을 공급하고, 1.5% 정도의 냉난방용 전력수요의 억제가 가능할 것으로 추정되며, 신재생에너지나 도시배열을 추가로 이용하는 경우에는 훨씬 더 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대됨
- 그러나 이 같은 전제를 현실화하기 위해서는 앞에서 기술한 기술적, 제도적 측면에서 풀어야할 숙제도 적지 않으며, 특히 특정 분야에만 관점을 두는 것에서 벗어나 도시 라이프라인 인프라 전체 그리고 국가적 차원의 합리적인 에너지 공급체계의 관점에서 접근이 필수적임

나. 폐기물 처리 및 자원화 플랜트

- 도시지역에서 배출되는 생활폐기물을 소각 처리할 때 발생하는 열을 폐열보일러를 통해 회수하여 증기나 중온수를 생산하고, 증기를 이용하여 전기와 열을 생산할 수 있으며, 이때 생활폐기물의 발열량은 계절 등에 따라 크게 변동하는 것이 일반적이고 발열량이 낮은 경우에는 보조연료를 투입함으로써 조절 가능
- 이러한 소각폐열만으로는 해당 지역의 열수요 전체를 충족하기는 불가능하므로 기저부하를 담당하게 운영하는 것이 일반적이며, 또 소각에 의해서 얻어지는 열의 단

가는 일반 화석연료를 사용하여 생산되는 열의 가격보다 훨씬 저렴

- 과거에는 쓰레기 소각시설에서 연소시 발생하는 850~950℃의 연소가스를 집진장치 등 연소가스처리설비에서 처리할 수 있도록 200℃ 가까이 감온 할 필요가 있어 중 소형 소각시설에서는 물분사 감온장치가 주류를 이루었으며, 일부 폐열이용에 필요한 열량을 얻기 위하여 반 보일러 또는 온수 열교환기와 물분사 장치를 결합하기도 하였음
- 그러나 현재의 대다수 중대형 소각시설에서는 이와 같은 물분사 장치는 대량의 물이 공중으로 비산되고, 또 배출가스량이 증가하여 비경제적이기 때문에 폐열보일러를 설치하여 물의 절약과 폐열을 이용하고 있음. 따라서 소각시설은 초기에는 단순히 소각처리용으로만 건설, 운용되어 왔지만 차츰 소각열에 대한 이용가치가 높아지고 이용기술이 개발되면서 소각폐열의 이용 범위가 점차 넓어지고 있는 실정임
- 전국 생활폐기물의 연도별 소각처리 현황을 살펴보면, 2002년도에 6,619톤/day의 폐기물이 소각되어 15.5%의 소각률을 보였으며 2005년 6,933톤/day(17.1%), 2008년 8,739톤/day(20.7%), 2010년 9,629톤/day(23.5%)로, 연간 약 3% 정도의 증가율을 보이고 있음(표 2.7 참조)

표 2.7 전국 생활 폐기물 처리 현황

구분	2002년		2003년		2004년		2005년		2006년	
	처리량	비율 (%)	처리량	비율 (%)	처리량	비율 (%)	처리량	비율 (%)	처리량	비율 (%)
총계	42,782.9	100	42,918.3	100	41,578.0	100	40,566.5	100	40,658.6	100
매립	17,508.0	41	17,205.8	40	14,954.6	36	11,139.4	27	10,337.0	25
소각	6,619.1	15	6,761.8	16	6,524.4	16	6,933.7	17	7,500.7	18
재활용	18,655.8	44	18,950.7	44	20,099.0	48	22,493.4	55	22,820.9	56
구분	2007년		2008년		2009년		2010년			
	처리량	비율 (%)	처리량	비율 (%)	처리량	비율 (%)	처리량	비율 (%)		
총계	42,580.8	100	42,268.9	100	42,085.8	100	40,920.4	100		
매립	9,352.3	22	8,503.5	20	7,544.1	18	6,989.8	17		
소각	8,514.1	20	8,739.8	21	9,123.0	22	9,629.9	24		
재활용	24,714.4	58	25,025.6	59	25,418.7	60	24,300.7	59		

- 연도별 매립률 및 재활용률을 살펴보면 2002년도에 매립률은 40.9%, 재활용률 43.6%, 2006년도의 매립률은 25.4%, 재활용률 56.1%, 2010년도의 매립률은 17.1%, 재활용률은 59.4%로 재활용률은 꾸준히 증가하였고 매립률은 감소하는 현상을 보이고 있음
- 전국에 설치되어 운영 중인 생활폐기물의 대형소각시설(50톤 이상)은 2011년 현재 45개 시·군에 53개소의 소각장이 있다. 소각방식 중 스토카 방식이 45개소, 열분해 용융방식이 4개소, 유동상식이 3개소, 고정상 방식이 1개소로 설계 운영되고 있음^{21),22)}
- 2010년 기준 전국 소각시설에서 발생되고 있는 소각열은 전체 49,284,096 Gcal로, 회수 후 자체적으로 사용하거나 외부의 열 공급 또는 전력생산에 사용되고 있고, 폐열보일러를 설치하고 있는 소각시설에서는 지역난방공사 등에 증기 또는 온수 형태로 발생 열을 판매하고 있으며 소각시설의 열 판매액은 2010년 기준으로 277,590 백만원으로 폐기물을 이용한 에너지 회수 및 자원순환이 이루어지고 있음
- 표 2.8은 전국 소각시설에서 생산된 열의 이용현황을 보인 것으로²³⁾, 전국 소각시설에서 생산된 열은 대부분이 열공급 및 전력을 생산에 이용되고 있으며, 수영장과 같은 주민 편익/부대시설 공급량은 20,673,919 Gcal로 나타났고, 자체 사용량은 17,716,613 Gcal로 전체 열생산량의 약 36% 정도임
- 연도별 대형도시쓰레기의 소각열 생산 및 이용현황을 정리한 표 2.9를 보면, 2011년도의 소각열 생산량은 2002년도에 비해 약 96%가 증가한 7,748,371 Gcal의 소각열이 생산되었고, 소각열 증가율은 2007년도가 20%로 가장 높으며, 편익시설에 이용된 소각열은 2002년도에 7,014 Gcal에서 179,272 Gcal로 급격하게 증가하였고, 열판매량은 1,325,997 Gcal에서 3,858,755 Gcal로 약 191% 증가하였음
- 전력생산에 사용된 소각열은 2002년도에 840,915 Gcal에서 1,270,690 Gcal로 약 51% 증가한 반면, 전력판매량은 2002년도에 3,101 MWh에서 83,878 MWh로 약 27배 가까이 증가하였고, 소각열 이용 중에서는 열판매가 가장 높고, 다음으로는 자체이용, 전력생산, 편익시설 이용 순이었음
- 열이용과 전력이용에 사용된 소각열을 비교하면, 전력이용에 사용된 소각열은 연도에 따라 큰 변화를 보이지 않은 반면, 열이용에 사용된 소각열은 2004년부터 매년 급격하게 2011년도에는 전력이용량의 6배 정도로 증가하였고, 생산된 전력은 판매보다 자체이용율이 높고, 전력판매량은 급격하게 증가하는 경향을 나타내었음

21) 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회, 2011년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황, 2012

22) 환경부, 전국 생활폐기물 자원회수시설 소각열 이용현황 조사, 한국폐자원에너지기술협의회 조사, 2012

23) 에너지경제연구원, 대형 도시쓰레기 소비실태 조사, 2012

표 2.8 대형 도시쓰레기 소각장별 에너지 발생량 및 이용실태

기 관 별		에너지 이용실태							
		에너지 발생량 (Gcal)	외부 공급 (Gcal)			자체 사용 (Gcal)			
시도	시군구		소계	열공급	전력 공급	소계	열사용	전력 사용	
서울	양천구	277,016	185,226	183,953	1,273	91,790	82,175	9,615	
	노원구	271,737	230,017	230,017		41,720	41,720		
	강남구	550,177	550,177	544,071	6,106				
	마포구	530,612	386,606	385,740	866	144,006	136,419	7,587	
부산	해운대구	180,247	103,997	103,997		76,250	61,070	15,180	
	사하구	96,181	35,186	35,186		60,995	54,719	6,276	
	강서구	256,271	146,229	146,229		110,042	106,788	3,254	
대구	달서구	282,481	168,679	167,144	1,535	113,802	74,513	39,289	
인천	경제청(송도)	336,550	141,739	141,739		194,811	194,811		
	경제청(청라)	294,461	15,258	15,258		136,203	136,203		
광주	서구	160,199	40,978	40,978		119,221	21,993	97,228	
대전	대덕구	241,547	87,203	87,203		77,172	77,172		
울산	남구	228,895	86,520	86,520		142,375	49,502	92,873	
경기	수원시	334,682	242,143	242,143		92,539	92,539		
	성남시	339,938	221,330	221,330		112,906	112,906		
	부천시		193,575	135,760	135,760		57,815	56,797	1,018
			30,839	19,563	19,563		11,276	11,276	
	용인시		126,706	16,484		16,484	110,222	39,573	70,649
			34,379	30,936	30,936		3,443	3,443	
	안산시	150,695	72,731	72,731		29,416	29,416		
	안양시	117,602	99,962	99,962		17,640	17,640		
	광명시	154,524	137,226	137,226		17,298		17,298	
	군포시	91,638	56,816	56,816		34,822	34,822		
이천시	210,902	20,044		20,044	190,858	180,075	10,783		
과천시	43,141	29,263	29,263		8,932	8,932			

	고양시							
	의정부시	107,824	3,115		3,115	104,709	42,770	61,939
	파주시	126,060	48,788	48,417	371	77,272	64,385	12,887
	구리시	95,135				95,135	42,025	53,110
충남	천안시	126,927	104,205	104,205		22,722	22,722	
전북	소계	415,324	113,641	45,487	68,154	157,869	76,115	81,754
	전주시	237,092	62,102	42,737	19,365	43,857	35,257	8,600
	익산시	178,232	51,539	2,750	48,789	114,012	40,858	73,154
경남	창원시	267,364	81,491	66,124	15,367	185,873	112,709	73,164
	김해시	126,749	76,905	70,976	5,929	49,844	47,910	1,934
제주	제주시	102,007	399	399		101,608	42,092	59,516
	서귀포시	31,269				8,588	8,588	

표 2.9 연도별 대형 도시쓰레기의 소각열 생산 및 이용 현황

연도	열생산량 (Gcal)	열이용			전력이용			
		열판매량 (Gcal)	편익/ 부대시설 (Gcal)	자체이용 (Gcal)	열사용량 (Gcal)	전력생산 (MWh)	전력이용 (MWh)	전력판매 (MWh)
2002	3,960,935	1,325,997	7,014	1,787,009	840,915	95,612	92,512	3,101
2003	4,194,365	1,377,803	23,681	1,808,483	984,398	99,314	100,091	2,986
2004	4,374,470	1,498,486	44,562	1,747,552	1,086,798	115,244	108,998	5,774
2005	4,814,521	1,942,039	40,271	1,895,132	937,079	118,555	107,728	8,303
2006	5,101,525	2,127,283	44,015	1,870,609	1,059,618	134,245	124,798	9,446
2007	6,145,335	2,470,169	64,924	2,180,894	1,429,348	195,248	155,754	28,641
2008	6,196,255	3,054,750	51,899	2,052,483	1,037,124	143,108	122,245	20,870
2009	6,858,783	3,402,443	118,638	2,164,655	1,173,046	195,172	144,538	51,235
2010	7,520,623	3,790,579	212,071	2,349,354	1,168,620	224,042	153,475	63,522
2011	7,748,371	3,858,755	179,272	2,439,654	1,270,690	261,971	176,934	83,878

다. 에너지자립형 수처리 플랜트

- 하수처리시설은 하수의 수집·처리과정에서 다량의 에너지를 소비하며, 따라서 저탄소·녹색성장 및 기후변화에 대비한 에너지 자립화 및 온실가스 감축 필요성이 제기되고 있음
- 전국 357개 하수처리장에서 2,382만톤/일의 하수를 처리(2007년 기준)하면서, 연간 395,121TOE의 에너지를 소비하는데, 이 중 전력이 98.6%를 차지함(송풍기 40.1%, 유입펌프 21.3%)
- 이와 같은 하수처리시설은 하수열, 하수슬러지, 시설공간 등 풍부한 에너지 회수 및 재활용 잠재력을 보유하고 있으나, 2008년 기준으로 국내 공공하수처리시설의 에너지 자립률은 0.8%에 불과함
- 환경부 하수도 정책추진계획(2012)에 따르면 국내 공공하수처리시설의 에너지 자립률을 2020년까지 30%로 제고하고, 2030년까지는 50%까지 증가시키는 것을 정책목표로 하고 있음
- 하수처리시설의 에너지 자립률 향상을 위하여 국내에서 활용되는 방법은 주로 혐기성 소화가스나 소수력 활용, 하수열 이용, 그리고 신재생에너지와의 결합 등임

표 2.10 국내 주요 하수처리시설 에너지 효율성 비교 분석

처리시설명	시설용량 (천톤/일)	연간전력소비량 (kWh)	연간전력생산량 (kWh)				에너지 자립율(%)
			태양광발전	소수력발전	소화가스발전	풍력발전	
서울 탄천	1,100	65,255,612	-	-	2,604,735	-	4.0
서울 서남	2,000	131,313,110	-	-	4,400,000	-	3.4
서울 난지	1,000	58,517,076	-	-	2,306,000	-	3.9
부산 수영	550	24,357,360	-	-	2,276,000	-	9.3
대구 신천	680	38,756,556	559,000	347,000	-	-	2.3
경기 부곡	10	2,644,746	51,500	-	-	-	1.9
경기 벽제	30	2,223,802	5,910	-	-	-	0.3
경기 석수	300	19,932,660	-	177,000	-	-	0.9
강원 춘천	150	11,929,752	146,000	-	-	-	1.2
충북 제천	70	3,995,498	144,000	-	788,529	-	23.7
충남 천안	150	17,146,752	-	219,000	-	-	1.2
충남 아산	63	7,479,264	-	54,000	-	-	0.7
경남 진해	60	5,136,264	170,000	12,000	-	2,920	3.5
울산 온산	150	9,245,374	294,000	-	-	-	3.2
제주 제주	130	2,460,761	-	-	690,000	-	28.0
합계(%)			1,370,410 (0.07%)	809,000 (0.04%)	13,065,264 (0.69%)	2,920 (0.00%)	0.8



그림 2.12 에너지 자립형 하수처리시설의 개념도 (환경부 자료, 2012)



그림 2.13 에너지자립화 추진 목표 및 단계 (환경공단 자료, 2010)

○ 국내 에너지자립형 하수처리시설 구축 시범사업은 1단계로 수원 등 3개소에서 총

227억원을 들여 추진하고 있으며, 2단계로는 부천 등 5개소를 대상으로 총 562억원을 들여 추진할 계획임

표 2.11 에너지자립화 시범사업(1차) 현황

처리장명	구분	소화가스	폐열회수	하수열 회수	소수력 발전	에너지 절감	자립율 소계
수원 하수처리장	적용규모	2050 kW	○	○	95 kW	-	10.2%
	사업비	57억원	3억원	10억원	15억원	-	85억원
춘천 하수처리장	적용규모	1120 kW	-	-	20 kW	○	82.8%
	사업비	54억원	-	-	3억원	19억원	76억원
창원 하수처리장	적용규모	560 kW	-	○	100 kW	-	36.5%
	사업비	48억원	-	2억원	16억원	-	66억원

표 2.12 에너지자립화 시범사업(2차) 계획 및 현황

처리장명	구분	소화가스	폐열회수	하수열 회수	소수력 발전
시설용량	900천m ³ /일	534천m ³ /일	63천m ³ /일	200천m ³ /일	30천m ³ /일
사업범위	·소화조 효율 개선(슬러지 가용화) ·소화가스 열병합발전 ·에너지 절감	·소화조 효율 개선(슬러지 가용화) ·소화가스 열병합발전 ·슬러지 농축설비 ·하수열 설비 ·에너지 절감	·소화조 효율 개선(슬러지 가용화) ·소화가스 열병합발전 ·슬러지 농축설비 ·에너지 절감	·소화조 효율 개선(슬러지 가용화) ·슬러지 자원화시설 ·가스연료공급 ·슬러지 농축설비 ·에너지 절감	·소화조 효율 개선(슬러지 가용화) ·소화가스 열병합발전 ·슬러지 농축설비 ·에너지 절감
예상 사업비	146억원	200억원	78억원	51억원	92억원
사업기간	24개월	24개월	24개월	24개월	24개월
기대 에너지 자립 기여율	21%	58.7%	48%	40.2%	33.1%

- 한편 환경부 '글로벌탑 환경기술개발사업' 연구과제로 용인시 기흥 레스피아 하수처리장(일 최대 5만톤 처리)에 하수처리장 에너지 자립화 기술도입을 진행하고 있는데, 여기서는 하이브리드 태양광 발전, 저낙차 소수력발전, 고효율 하수열 회수 기술 등으로 에너지 소비시설에서 에너지 생산이 가능한 '에너지 프로슈머'형 하수처리장으로 변모하는 것을 목표로 하며, 이를 통해 매년 259톤의 온실가스(CO₂)를 감축할 수 있을 것으로 전망하고 있음



그림 2.14 기흥 레스피아 하수처리장과 소수력 발전 도입방안

- 하수처리에서 발생하는 슬러지는 해양배출이 단계적으로 금지되고 있어 이를 감량화하고 순환 재이용하는 것이 중요한 이슈로 부각되고 있으며, 하수슬러지의 효율적인 처리방안 중 하나가 에너지원으로 활용하는 것임

구 분	건조연료화	건조 후 외부위탁	혼합소각	전용소각	고화	부숙화	탄화	미정	소계
운영중	3	6	13	14	9	11	9	0	65
건설중	12	8	8	0	3	4	7	2	44
총 계	15	14	21	14	12	15	16	2	109

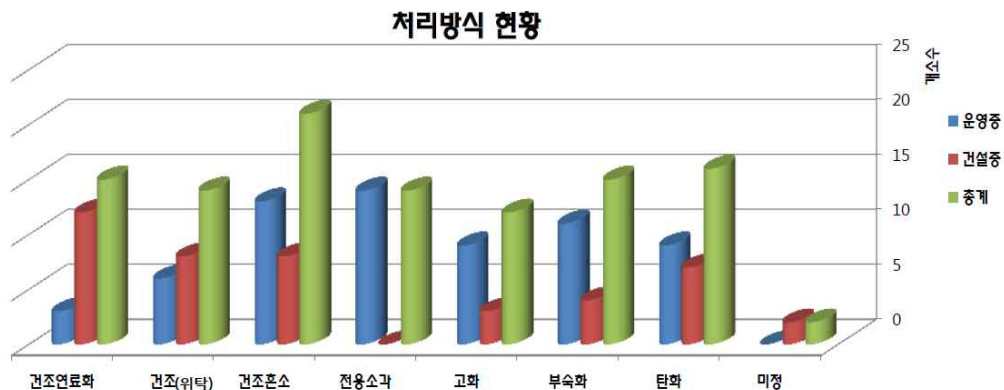


그림 2.15 하수슬러지 처리방식별 현황 (개소)

구분	건조연료화	건조 후 외부위탁	생활폐기물 혼합소각	전용소각	고화	부속화	탄화	미정	소 계
운영중	850	465	214	2140	2,378	231	445	0	6,723
건설중	3,465	725	377	0	60	335	230	5	5,197
총 계	4,315	1,190	591	2,140	2,438	566	675	5	11,920

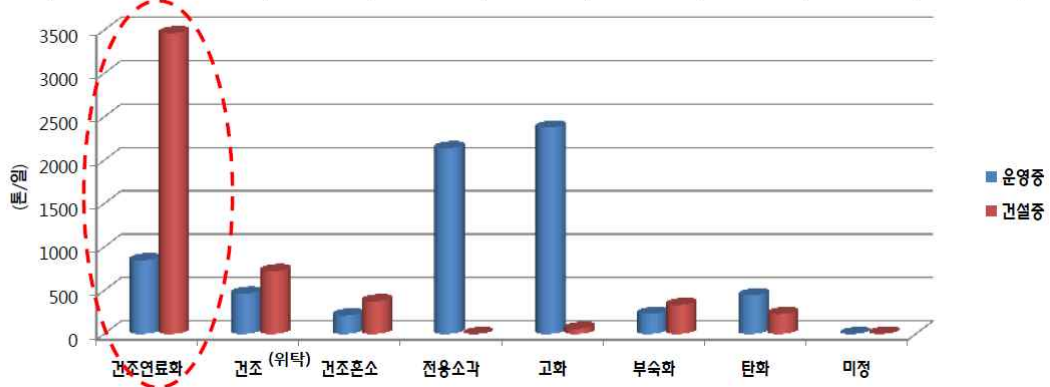


그림 2.16 하수슬러지 처리방식별 현황 (처리용량: 톤/일)

표 2.13 화력발전소 하수슬러지 연료화 공급계획(안)

발전사	발전소	공급 능력	연료공급 대상				
			지자체	용량(톤/일)	공급량(톤/일)	준공시기	발열량(kcal/kg)
남동 발전	삼천포화력 (경남 고성)	169	부산	550	110	2012. 8	3,200
			경주	90	18	2011. 5	3,500
			의상	25	5	2011. 7	3,300
			포항	130	26	2011.12	3,420
			김천	50	10	2011.12	2,700
중부 발전	보령화력 (충남 보령)	211	대전	399	60	2012.12	2,700~3,100
			광주	330	66	2012.12	2,530
			계룡	20	4	2012.12	5,100
			보령	20	4	운영 중	2,300~3,500
			익산	120	24	2012.12	2,300
			남원	30	6	2011. 8	3,400
			군산	150	30	2012.12	2,500
서부 발전	태안화력 (충남 태안)	336	수도권 2단계	1,000	200	2011.12	3,000~3,300
			수원	450	130	운영 중	2,950~3,960
			서산	30	6	2011.12	3,000
동서 발전	당진화력 (충남 당진)	280	수도권 3단계	1,000	200	2013.12	3,000~3,300
			서울 중랑	200	40	운영 중	3,000~3,200
			서울 탄천	200	40	운영 중	3,000~3,200

라. 신재생에너지 이용 시스템

- 하수로부터 얻을 수 있는 하수열 에너지는 가정과 산업에서 소비되는 에너지 수요량의 약 13%에 해당되는 막대한 양이며, 에너지의 공급처와 수요처의 위치가 동일한 것이 큰 장점인 것으로 판단됨
- 하수열 시스템은 스웨덴, 노르웨이 등 북유럽과 일본 등에서는 2000년 전후로 널리 쓰였지만 국내에서는 초기단계이며, 하수열원 활용 집단에너지 국내 사업은 2010년부터 본격화되고 있는 신규시장임
- 하수열은 처리장 내에서 이용하는 방안과 처리장 외부에서 이용하는 방안이 있으며, 처리장 내 이용방안으로는 관리동 냉난방과 소화조 가열 등이 있고, 장외 이용방안으로는 지역난방, 도로 용설, 온실열원 등이 가능함

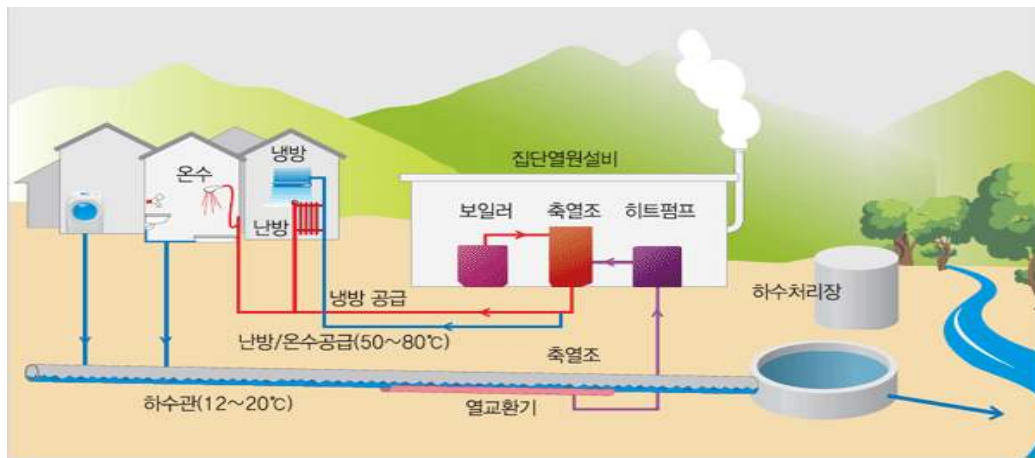


그림 2.17 하수열 에너지 시스템 개념도 (서울시, 2010)

- 일환으로 추진되었으며, 1995년 한전 속초생활연수원에서 배출되는 생활배수를 이용한 급탕, 1996년 서울 탄천하수처리장의 하수처리수를 이용한 관리동 냉난방, 2004년 6월 경주 토비스콘도 생활배수를 이용한 냉난방, 2007년 대구 서부하수처리장 하수처리수열 이용 냉난방 사례 등이 있음
- 최근의 하수열 이용 지역 냉난방 공급 사업은 서울시가 대표적으로 추진 중에 있으며, 4개의 물센터 (탄천, 서남, 난지, 중량) 하수열 활용사업을 2015년까지 계획
- 1단계 사업은 탄천 물재생 센터의 하수열을 이용하여 강남지역 2만 가구에 냉난방을 공급하는 사업으로 2013년 하반기에 하수열 지역난방 공급설비 완공 예정
- 2단계 사업에서는 서남 물재생 센터 하수열을 이용하는 사업을 통하여 2013년에 마

곡지구에 에너지를 공급 예정, 또한 난지 및 중량 물재생 센터 사업은 2015년경 마무리될 예정

- 2009년 12월 56억 원을 들여 준공된 한국지역난방공사 용인지사 하수열에너지 시설은 용인시 하수처리시설에서 배출되는 3만여 톤의 방류수를 재이용해 난방열을 생산하는 시설로 시간당 6.6Gcal, 연간 1천100세대가 사용할 수 있는 지역 난방열 생산이 기대되고 있으며, 또한 연간 9천700톤의 이산화탄소 배출 저감효과를 얻을 것으로 예상됨
- 2009년 9월에 준공된 강동어린이회관은 연간 1800시간 운용 시 54%의 에너지 절감 효과 기대되고, 그 외 서울시에서도 신청사와 동대문 디자인 플라자 등 주요시설에 하수열 에너지 재활용 시스템 설치를 검토하고 있음

2. 해외 동향

가. Uppsala시 (스웨덴)

- 합리적인 도시 라이프라인 인프라의 구축과 운영의 우수사례로 스웨덴 수도 스톡홀름 인근 북서쪽에 위치한 인구 11만명의 Uppsala(웁살라)시를 들 수 있음²⁴⁾
- 1980년 당시 이 도시의 에너지공급을 위한 석유의존도는 92%에 달했으나 1980년대 후반 제2차 석유과동을 겪으면서 변화의 필요성을 절감한 후, 에너지 공급체계에 대한 과감한 변화를 시도
- 즉 석유 일변도의 에너지 사용형태에서 벗어나 목재칩이나 피트 등의 고체연료와 쓰레기 소각, 각종 도시배열을 이용하는 하수열원 열펌프시스템 및 태양열 암반공동 장기축열 등 다양한 시스템(그림 2.18 참조)을 도입하기 시작한 결과 1988년 들어서면서 석유의존도를 5% 이하로 낮추고 건물분야 에너지 수요의 탈석유화에 성공함으로써 에너지 자급율을 크게 높일 수 있었음(그림 2.19 참조)

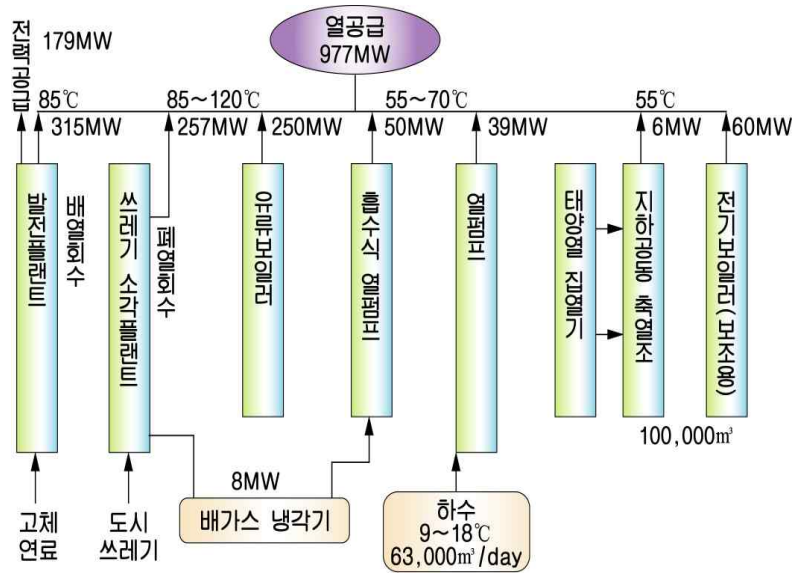


그림 2.18 Uppsala시의 건물분야 사용 에너지원 변화

나. Gothenberg시 (스웨덴)

- 주요 에너지원으로 쓰레기 소각열과 산업폐열, 하수열, 바이오매스 등의 재생가능에

24) 한국건설기술연구원, 지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화, 2004

너지와 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석연료를 사용하며, 공급된 전체 에너지량 중 각종 폐열과 바이오매스에 의해 생산된 에너지가 70% 이상을 차지함(표 2.14 참조)²⁵⁾

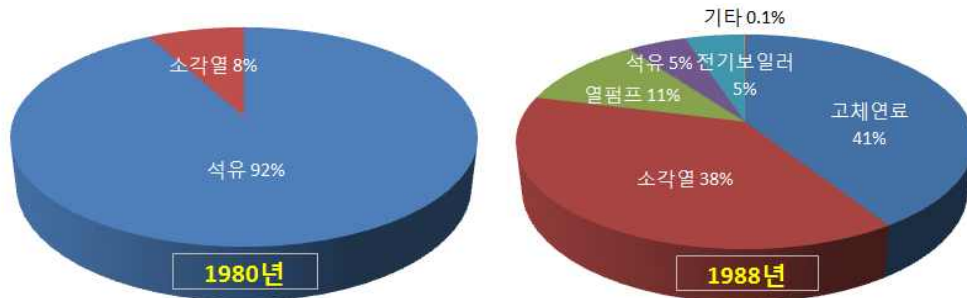


그림 2.19 Uppsala시 복합플랜트의 에너지원 및 시스템 구성

표 2.14 Gothenberg시 집단에너지공급시설의 구성 및 운영 사례

시설 종류	에너지원	공급비율	용량
Renova	소각(40만톤/년) 폐열	24%	120MW
Shell	산업체 폐열	21%	160MW
Preem	산업체 폐열	12%	-
Rya	하수처리시설 (12,000m ³ /h 처리)의 열펌프	10%	150MW
열병합발전 보조 보일러	석탄	8%	약 1000MW
	천연가스	18%	
	바이오매스	4%	
	석유	3%	

- 그림 2.20은 각종 열원시설에 의해 생산되는 열에너지의 연간 변화를 도시한 것으로, 쓰레기 소각열과 산업폐열이 연간에 걸쳐 고르게 열생산량의 기저부하를 담당하고, 하수열원 열펌프도 상당한 비중을 차지하고 있음
- 열수요가 많은 겨울철의 일부 기간에만 화석연료가 사용되고, 열수요가 적은 여름철에는 쓰레기 소각열과 산업폐열만으로 충당
- 이에 따라 스웨덴에서는 바이오연료와 폐기물에너지 등 재생에너지의 사용율이 66%로 높고, 값이 비싼 고급연료인 천연가스의 소비율은 6%에 불과함

25) 한국건설기술연구원, 지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화, 2004

다. 일본

- 우리와 자원 및 에너지 환경이 비슷한 일본의 경우에도 각종 재생에너지원과 도시 배열을 회수하여 집단에너지원으로 활용하는 경우가 많음
- 특히 도심 및 신도시 지역에서 중소규모의 열병합발전을 통해 집단에너지를 공급하는 경우도 적지 않은 비율을 차지하고 있어 대규모 복합화력 발전시설과 개별 건물의 발전기 이외에는 도심에서 발전을 하지 않는 우리의 경우와 차이를 보여주고 있음(표 2.15 참조)
- 또 환경친화적인 순환형 사회조성을 목표로 자원의 리사이클링, 에너지절약 및 신재생에너지 이용확대, 수자원의 효과적 활용을 주된 내용으로 하는 Ecology Tokyo 정책을 추진 중이며, NEDO에서는 에너지환경 기술분야 프로그램 추진

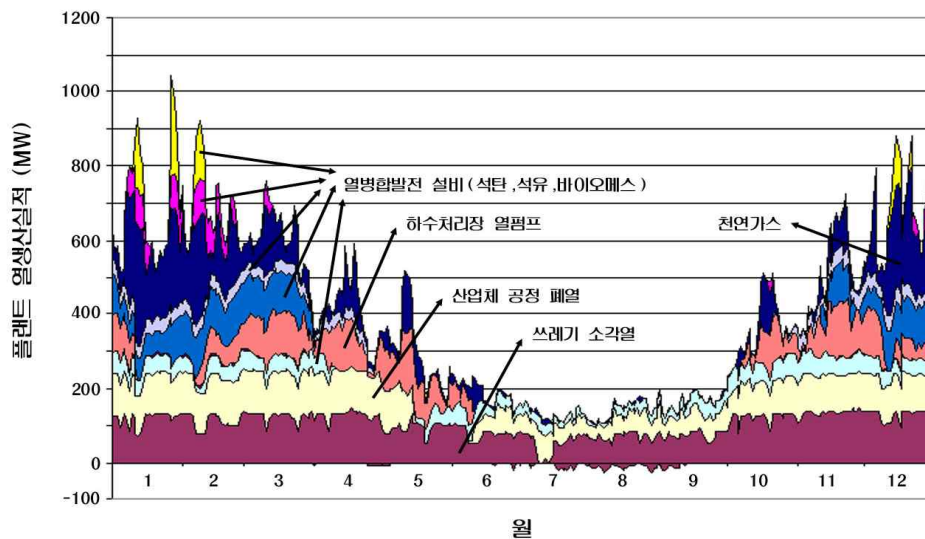


그림 2.20 에너지원별 연간 열생산율 변화 (Gothenburg, 1999)

표 2.15 일본의 집단에너지원 구성 분포 (2003)

종류	재생열원	배열회수	소각열	열병합발전	기타(보일러 등)
건수(건)	16	13	9	42	77

- 일본에서는 발전 및 지역난방은 물론사회복지 정책의 일환으로 온수풀장 및 공공복지시설물 등에 공급하고 있으며, 나아가 동 식물의 온실 및 야채공장의 열원으로도 이용되고 있음. 아래 그림은 폐기물처리 및 자원회수 시스템의 사례(Toyohashi City, Japan)임

라. 바이에른 주 (독일)

- 독일 바이에른 주에서는 하수처리에 사용되는 에너지를 절감하고 회수하기 위한 다양한 기술을 적용하고 있으며, 독일 전체에서 하수처리에 사용되는 에너지는 4,400 GWh/년이고 이 중 바이에른 주는 654 GWh/년이나 이를 절감하기 위하여 다음과 같은 프로그램을 진행 중임

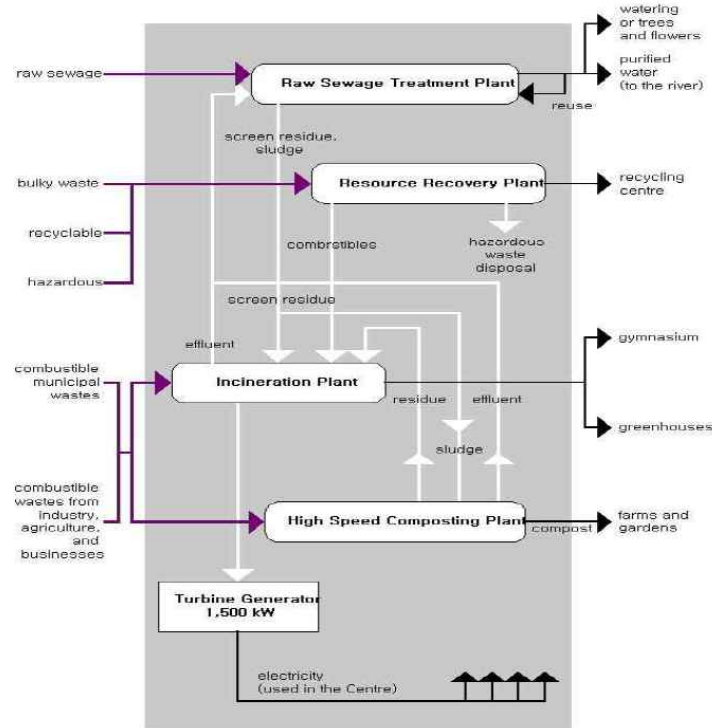


그림 2.21 폐기물 처리 및 자원회수 시스템의 예 (Toyohashi City, Japan)

- 현재의 처리 공정상의 에너지 소비를 감소
- 하수처리의 최적화
- 하수처리에 새로운 기술접목
- 하수처리의 분리과정
- 하수로부터 재생열 회수
- 하수슬러지 처리의 개선
- 슬러지 건조과정의 최적화
- 하수슬러지 소각
- 바이오가스 생산 및 사용의 최적화
- 하수슬러지 발효

- 전기생산을 위한 새로운 기술의 사용
- 하수슬러지의 소화

○ 대표적인 사례로 독일 스트라우빙 하수처리장은 하루 10만톤의 하수를 처리하는 시설로, 여기서는 혐기성소화에서 발생하는 바이오가스(7000 m³/일)를 이용하여 열병합 발전기(620kW×2대)를 가동하고, 소화조 폐열 등을 회수함으로써 에너지 자립률 114%를 달성함

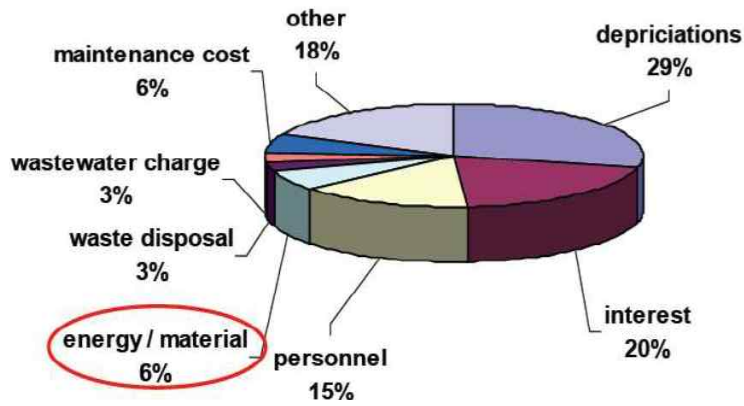


그림 2.22 독일의 하수처리 비용 중 에너지 비용 (환경공단, 2010)

마. 기타

○ 각국에서 사용되는 지역난방용 에너지원을 비교해 보면, 스웨덴이나 핀란드 등 북유럽 국가는 화석연료의 사용을 최대한 억제하고 폐기물에너지와 재생가능에너지를 적극 활용하여 열원을 다변화하고 있음(그림 2.23 참조)

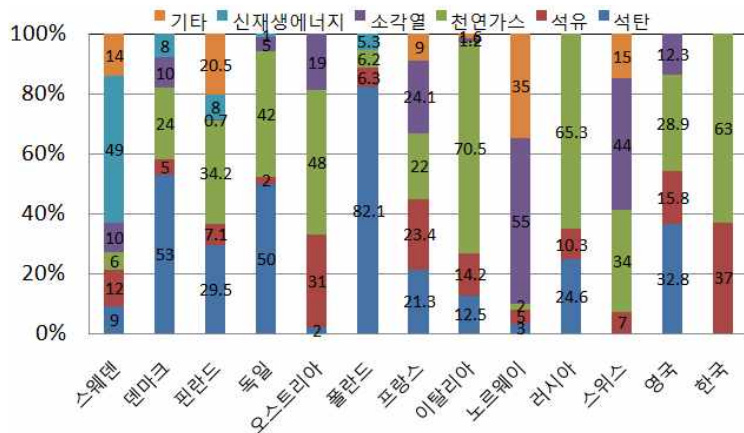


그림 2.23 각국의 집단에너지 열원 비교 (Euroheat & Power, 1998)

- 일본이나 유럽 등 선진국에서는 다수의 사업자에 의한 중소규모 집단에너지 공급이 주로 이루어지고 있고, 또 도시미활용에너지를 이용하는 경우가 많으며, 스웨덴을 비롯한 북유럽에서는 쓰레기 소각열이나 하수처리열, 소화가스 및 바이오매스를 활용하는 경우가 많음
- 독일은 2004년 재생가능에너지법을 재정하여 재생가능 에너지의 확대를 통한 지속 가능한 에너지 수급실현을 목표로 하고 있음
- 덴마크는 매년 재생가능 에너지의 비중을 1%씩 증가시켜 2030년에는 총에너지소비에서 차지하는 비중을 35%로 높이겠다는 목표를 설정
- 영국은 기후변화와 관련하여 2050년까지 현재의 이산화탄소 배출량 중에서 60%를 감소시킨다는 목표를 설정하여, 화석연료 뿐만 아니라 신재생에너지, 소형 분산형 에너지, 연료전지 등 다양한 에너지원과 기술을 투입하여 에너지시스템 안전을 확보하고자 다양한 지원정책을 추진 중임

제 3 절 국내·외 정책동향 분석

1. 해외 동향

가. 미국

(가) ESIF(Energy Systems Integration Facility)

- 새로운 신재생에너지기술 및 에너지효율기술이 대규모로 급속 보급됨에 따라 기존 기술에서는 볼 수 없었던 독특한 운전특성을 수용하기 위해 기반시설과 시스템 운전기술의 보완이 필요하게 되었음. 이에 미국의 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 새로운 신재생에너지기술과 에너지효율기술이 기존 에너지 기술들과의 통합사용 시 예상되는 아래와 같은 문제점을 극복할 수 있는 해결책을 찾기 위하여 구축되는 시설임
 - 발전의 출력변동성 및 긴급성
 - 새로운 기반시설 및 통신의 필요성
 - 기존 시스템과의 상호운전 가능성
 - 다른 스마트 그리드 기술과의 통합

- 예산 \$1억3천만, 건평 3,660평의 건물을 2009년 설계완료, 2011년 착공, 2012년 준공 예정으로 진행된 사업임
- ESIF 관련기술은 다음과 같음
 - 세부기술측면에서는 개발, 엔지니어링, 설계, 시험 분석 실시
 - 태양에너지 : 상호접속, 전력전자, 빌딩통합, 태양열 및 태양광 시스템 최적화
 - 건물에너지 : 센서 및 제어, 태양전지 설계 및 통합, 전산모사, 시스템 통합
 - 수소에너지 : H₂/전기 인터페이스, 전기분해, 저장, 표준화, 연료전지 통합, 수소공급
 - 풍력 : 전산모사, 풍력/그리드 연계, 송전,
 - 자동차 : Plug-in 자동차와 그리드 연계, 배터리 열관리, 전력전자 발전기 및 엔진
 - 에너지 저장 : 전력 및 열

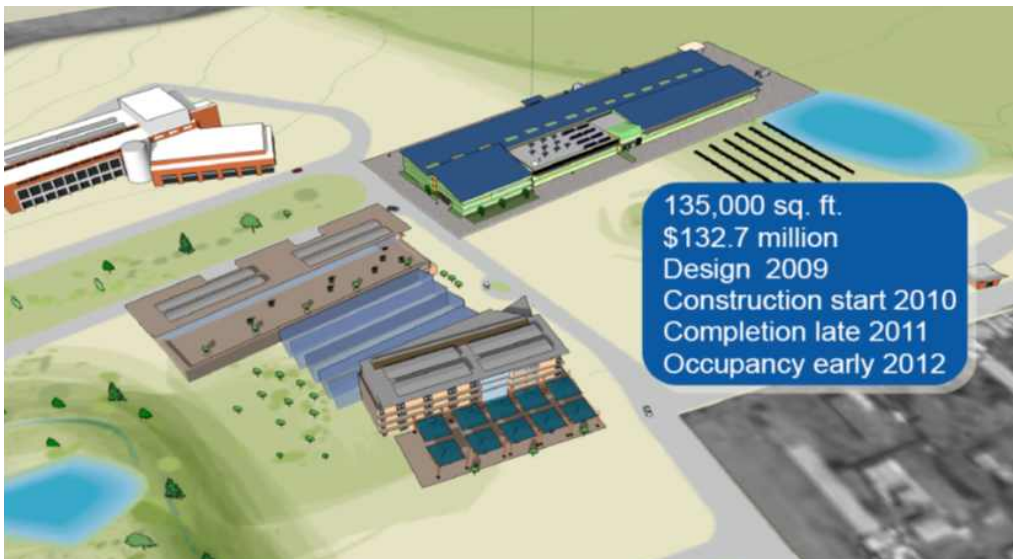


그림 2.24 NREL의 ESIF(Energy Systems Integration Facility) 계획

- 세부기술의 시스템화 및 기존 시스템과의 통합기술 연구도 실시
 - NREL의 데이터베이스를 사용하여 시스템 통합 시 발생할 수 있는 문제 및 해법의 도출
 - 전산모사 결과를 적용한 prototype 개발
 - 전산모사 및 실험을 통한 prototype 개량
 - 실제상황 하에서의 성능평가

(나) American Natural Gas Foundation

- American Natural Gas Foundation, APGA Research Foundation, Canadian Gas Association, INGAA Foundation, Natural Gas Supply Association 등의 조직에서 기존 전력중심의 Smart Grid에 천연가스 공급 인프라를 포함시켜 Smart Energy Infrastructure를 구성하려는 움직임이 시작되고 있음



그림 2.25 NERL의 에너지 신기술 관련 시험, 분석, 모델링 및 시각화 기술 연구

나. 일본

- Kyoto, Kitakyushu, Yokohama, Toyota 등 4개 도시에서 전력-열-천연가스 복합에너지 네트워크인 Smart Energy Network의 실증실험을 수행 중임. Smart Energy Network은 에너지의 공급과 수요를 최적화하기 위하여 분산에너지 시스템에 재생 에너지와 미활용 에너지를 대규모로 도입하고 IT 기술을 도입한 지능형 네트워크임
- 일본의 Tokyo Gas와 Osaka Gas가 공동으로 2010년 5월부터 Yokohama시에서 구축하기 시작한 Smart Energy Network 실증사업의 예를 들면 아래와 같이 추진되고 있음
 - 실증사업은 2개의 시스템(System A와 System B)으로 구성되어 있음
 - System A : Tokyo Gas에서 구축을 담당하며 제한된 지역에서 열병합 발전, 태양열, 태양광 발전을 이용한 전력과 열 네트워크 구축
 - System B : Osaka Gas에서 구축을 담당. 원거리 제어 시스템을 개발하여 넓은

지역에 구축된 여러 개의 System A를 연결하여 전력과 열의 사용을 최적화
 - 30% 이상의 CO₂ 배출 저감이 예상됨

다. 중국

- 전력-열-천연가스-물을 포함하는 Intelligent Energy Network의 구축계획이 국가경제 사회개발 12차 5개년 계획(2011-2015)에 포함되어 TFT를 조직하고 상세 기획안 마련 중이며, ENN그룹에서 Smart Energy Network 구축을 위한 연구를 수행 중임

라. 캐나다

- 2011년 9월부터 캐나다 Waterloo 대학의 Waterloo Institute of Sustainable Energy(WISE)에서는 Union Gas사의 지원으로 천연가스, 재생에너지, 수소 등을 포함하는 Smart Energy Network를 연구하고 있음

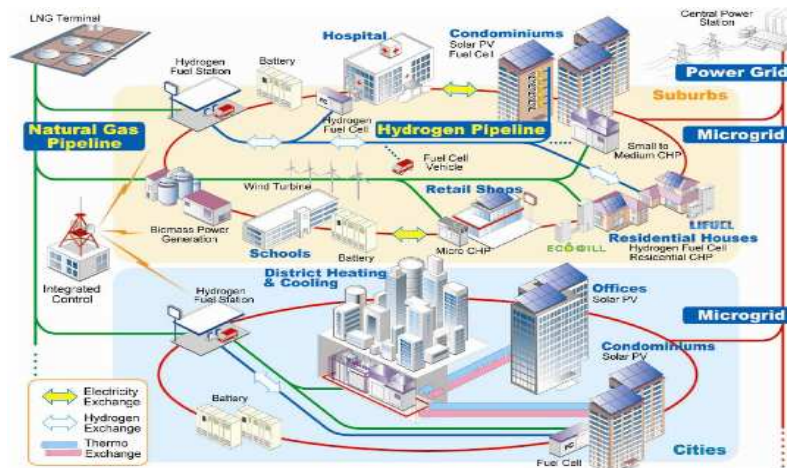
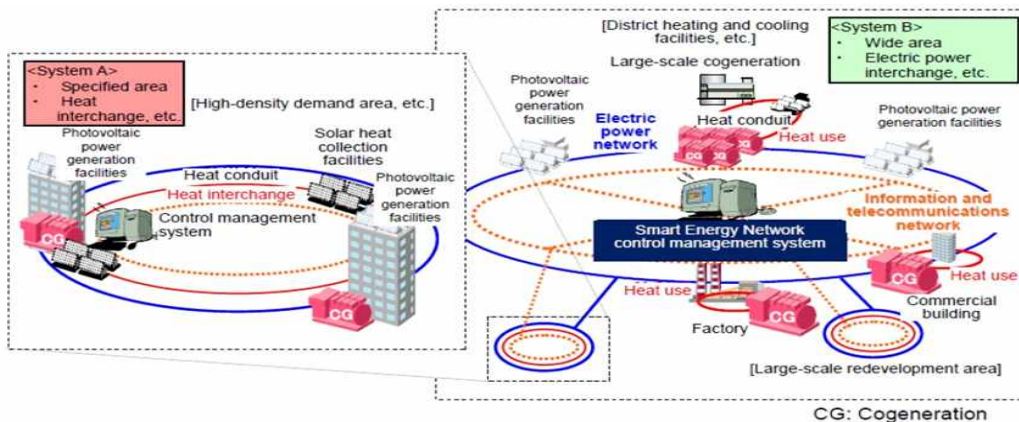


그림 2.26 Yokohama시의 Smart Energy Network 실증사업

마. 독일

- 독일에서는 전력 그리드에 바이오매스, 지열, 풍력, 태양광, 수력 등으로 생산된 에너지를 포함하도록 더욱 서두르고 있으며, 특히 이러한 목적으로 3,600 km의 새로운 파이프라인이 필요할 것으로 예상하고 있는 등, 천연가스 공급라인을 포함하려고 하고 있음
- 독일 SolarFuel사, DVWG사, WINGAS사, TRANSPORT사 등에서는 천연가스를 포함하는 Smart Energy Network을 제안하고 있으며, 특히 SolarFuel사는 재생에너지로부터 생산된 전기로 수전해하여 생산된 수소를 생산하거나 이 수소를 CO₂와 반응시켜 바이오 메탄을 생산하는 기술을 실증하였음. 천연가스 공급 인프라에 수소는 5%까지 바이오메탄은 제한 없이 혼합 가능한 것으로 예상됨

2. 국내 동향

- 스마트 그리드 국가로드맵(지경부, 2010)에 따르면 2013년 제주 스마트 그리드 실증사업 완료 후 이를 확대하여 2030년 세계 최초 국가규모 스마트그리드 구축을 목표로 하고 있음
- 스마트그리드 국가 로드맵에 따라 2020년까지 연평균 1조2천억원의 신규 투자가 지속되고 2030년까지는 1조7천억원의 투자가 되는 것으로 계획되어 있음. 이를 고용 유발 계수 3.9명/10억원을 적용할 경우 2020년까지는 연 5천명, 2030년에는 연 7천명의 지속적인 고용효과를 얻을 수 있을 것으로 예상됨

가. 제1차 국가에너지기본계획 (2008~2030)

- 에너지의 안정적 수급, 에너지 이용의 합리화, 에너지 관련 환경피해 요인의 최소화, 에너지 관련기술의 개발에 관한 국가 에너지 정책목표를 효과적으로 달성하기 위한 근거가 되는 국가에너지 기본계획임
- 기본틀이 에너지기본법」 제6조에 주어져 있으며 본 사업과 관련된 내용은 아래와 같음
 - 에너지의 안정적인 확보, 도입, 공급 및 관리를 위한 대책
 - 신재생에너지 등 환경친화적 에너지의 공급 및 사용을 위한 대책
 - 에너지 사용의 합리화와 이를 통한 온실가스의 배출감소를 위한 대책
 - 에너지 관련 기술의 개발 및 보급을 촉진하기 위한 대책

나. 제2차 에너지기술개발계획(안)

- 2020년 세계 5위 에너지산업 강국 실현을 위한 “제2차 에너지기술개발계획(안, 2011.09.27.)”기준이 준비되고 있으며, 선제적 기술개발을 통한 신성장동력 창출 및 기후변화 대응을 모토로, 세계시장 10% 점유, 에너지효율 12% 향상, 온실가스 BAU 대비 15% 감축을 위하여 2020년까지 4대 분야(12대과제)인 신재생에너지, 전력/원자력, 효율향상/온실가스감축 및 자원개발에 관련한 기술개발의 집중투자를 주요 골자로 두고 있음
- 주요 실천 12대과제 중 본 사업과 관련한 내용은 아래와 같음
 - 에너지기술의 신성장동력화
 - 신재생에너지, 스마트그리드 등 그린에너지분야 핵심기술을 차세대 수출산업화 및 신성장동력 엔진으로 육성
 - IT, NT, BT 또는 에너지생산-전달-활용의 전주기 에너지시스템 상호 활용성이 높은 기술간 연계 융복합 기술개발
 - 공생발전 R&D 생태계 조성
 - 광역경제권 선도사업과 연계한 권역별 에너지기술 테스트베드 구축
 - 에너지기술 산업화 인프라 구축
 - 기술 실증 및 사업화 촉진 : 종합 에너지 실증단지 구축

다. 그린에너지 전략 로드맵 (2011.05)

- 기술혁신을 통한 글로벌 그린에너지 강국 실현이라는 비전과 목표를 가지고 5대 성장 동력화 전략을 기준으로 15대 기술 분야를 선정하였음. 성장 동력화 전략은 아래와 같으며, 기술 분야 간의 연계성 및 미래 혁신·원천기술 개발이 본 사업과 직접적으로 연결됨
 - 핵심부품·소재 기술개발 강화
 - 중소·중견 선도기업 육성
- 기술 분야 간 연계성 강화
 - 연료전지, IGCC, CCS, 스마트그리드, 그린카 등 15대 기술 분야별 주요 품목간의 에너지 생산, 전달, 이용과 관련된 프로세스에서의 다양한 기술간 연계성 확보
- 공공분야 R&D 역할 강화
- 수요 지향적 미래 혁신·원천기술 개발

- 융복합 기술개발 전략을 기반한 시장수요 지향적 원천(융복합)기술 확보(예: [미국] 상용화 잠재력이 있는 원천(융복합)기술에 대한 통합연구사례)
- 15대 주요 기술분야는 생산(태양광, 풍력, 연료전지, 바이오연료, 청정연료, IGCC, CCS, 청정화력발전, 원자력), 전달(스마트그리드, 에너지저장), 활용(그린카, 고효율신광원, 에너지절약형건물, 히트펌프)로 분류되며, 이 중 그린카를 제외한 대부분이 본사업과 부합함

제 4 절 국내·외 제도 분석

1. 해외 동향

가. 미국

- UNFCCC 등 국제사회의 아젠다를 국가법(미국 청정에너지 및 안보법, 2009)에 반영하기 위한 노력지속하고 있으며, 대도시부터 마을까지 다양한 단위에서 복합적으로 대응이 이루어지고 있음. 또한 주, 지자체를 중심으로 기후변화 대응을 적극적으로 추진하고 있음 (예: 뉴욕, 캘리포니아)



그림 2.27 미국의 법체계 개편

(1) 법 체계 변천과정

- 관련법이 체계적으로 추진되고 있으나, 연방정부 차원에서 관련 에너지법의 의회 통과가 지연되고 있으나 지자체를 중심으로 건축·도시계획법, 환경법, 에너지법의 통합 노력은 계속되고 있음. 지역적으로 녹색도시설계(GUD), 녹색건축기준(LEED), 주민참여(BID)를 통한 녹색도시 실현 노력을 위한 다양한 노력이 진행 중

(2) 관련 제도 및 정책

○ 지속가능한 친환경 도시개발/관리

- 환경보호청에서는 주택 및 도시개발부 및 교통부와 함께 지속가능한 공동체를 위한 파트너십 프로그램에 동참하여 기존의 무계획적이고 친환경적이지 못한 도시개발/관리방식이 기후변화로 이어지고 생태계 전반에 영향을 미치는 연쇄 현상을 예방하고자 기후변화에 대응한 지속가능한 친환경 도시개발/관리 정책 방향을 제시

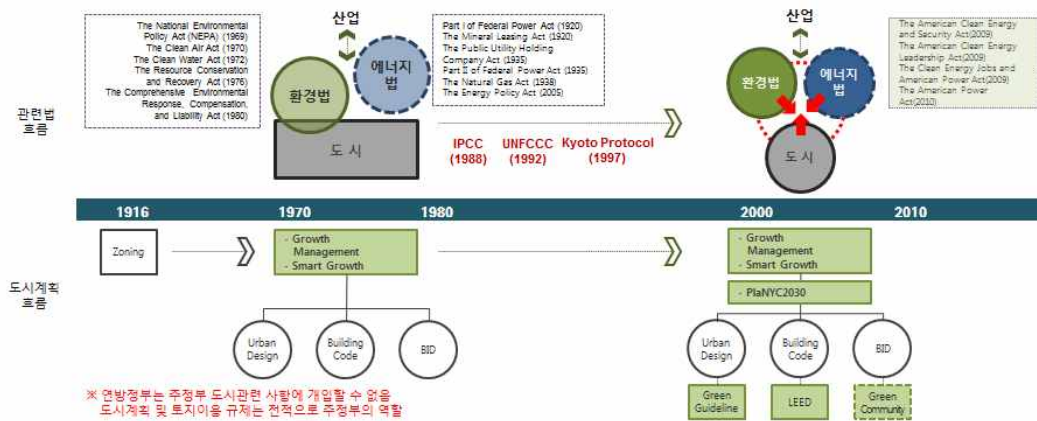


그림 2.28 미국의 법체계 변천과정

○ U.S. Global Change Research Program (USGCRP)

- 글로벌 환경과 사회를 위해 실행계획을 제시하는 정부차원의 연구 프로그램
- 각 주 또는 도시 차원에서 기후변화에 대응할 수 있는 실천계획으로 1) 토지이용, 2) 교통, 3) 에너지, 4) 녹색개발, 5) 천연자원, 6) 경제발전, 7) 위협요소관리, 8) 공공보건 및 9) 공공 인프라스트럭처에 대한 계획을 제시하도록 함

○ State and Local Climate and Energy Program

- 미국 환경보호청(EPA)에서 38개 주에 기술과 재정을 지원하고 있으며, 기후변화의 영향 연구, 국가 온실가스 배출량의 재고, 온실가스 거래제도가능을 위해 프로그램이 진행되고 있음.
- 각 주 또는 도시에서는 온실가스 목록(GHG Inventory)과 기후변화 실행계획(Climate Change Action Plan)을 제시하도록 규정



(★ Climate Change Action Plans, ● GHG Inventories, ■ Lead by Example(LBE) Case Studies)

그림 2.29 미국의 관련 제도 도입 현황

(3) 지역차원의 제도 : Battery Park City

- 도시 조성과정에서 녹색도시 설계가이드라인을 적용
 - 도시설계 지침: Green Guideline, 건축기준 : LEED, 주민제도 및 참여 : BID 내 용 포괄
- 지침의 주요내용: 에너지, 물, 공기, 재료, 재활용, 운영 및 유지관리와 주민교육 포함
- 재정 : 배터리파크시티공사(BPCA) 중심으로 실현

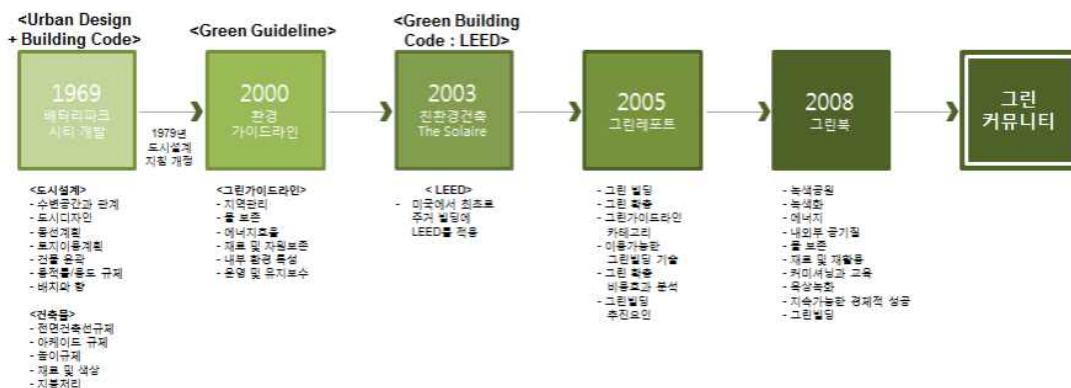


그림 2.30 Battery Park City 관련 제도

나. 영국

(1) 법 체계

- 기후변화법(Climature Change Act), 에너지법(Energy Act), 계획법(Planning Act)의 법안을 수립
- 영국의 3대 법안은 국가기반시설, 환경, 사회, 경제정책을 통합하는 국가 정책방침으로 함
 - 영국의 3대 법안은 국가기반시설, 환경, 사회, 경제정책을 통합하는 국가 정책방침으로서 정부차원의 종합적이며, 통합적인 기후변화 대응 정책방침 수립의 필요성을 강조
 - 이 중, 계획법(Planning Act)에서는 기후변화 관련 의무사항을 법에 명시하고, 새로운 의사결정시스템 도입



그림 2.31 영국 기후변화 대응 3법

(2) 도시계획적정책지침 (Planning Policy Statement)

- 지자체 단위의 실현을 위해 지원을 위한 지침을 국가가 제공
 - 영국의 국토·도시계획은 '지속가능성 확보'를 최고의 정책이념으로 내세우고 있으며, '탄소저감'과 '기후변화에 대한 적응'을 핵심적인 수단으로 간주함
- PPS(Planning Policy Statement)와 PPG(Planning Policy Guideline)
 - 도시 및 공간계획 측면에서, 지역이 기후변화에 대응하도록 유도하기 위한 제도

적 보완장치

- 기후변화에 관한 계획정책서는 신규 개발이 탄소배출을 경감시키고 기후변화에 대한 영향을 최소화할 수 있는 적절한 입지에서 수행되도록 하는 것을 주요 내용으로 담고 있음
- 자연환경에 관한 계획정책서는 공원녹지, 하천, 텃밭, 가로수 등 각 지자체의 녹색인프라를 효과적으로 공급관리하기 위한 내용을 주로 담고 있음.
- 지속가능하기 위해 물, 생태계, 폐기물, 자연재해, 농업과 같은 요소들이 보완

표 2.16 PPS의 주요내용

명칭	내용	명칭	내용	명칭	내용
PPS1	지속가능한 개발의 제공	PPS10	지속가능한 쓰레기 관리	PPG19	옥외광고규제
PPG2	그린벨트	PPS11	지역 공간적 전략	PPG20	해안계획
PPS3	주택	PPS12	지방개발프레임워크 (LDF)	PPG21	관광
PPG4	산업 및 상업개발과 소기업	PPG13	교통	PPS22	재생가능한 에너지
PPG5	간이계획구역(Zone)	PPG14	물리적위험요소의 토지개발	PPS23	계획과 오염 통제
PPS6	중심상업업무지역 계획	PPG15	계획과 역사적 환경	PPG24	계획 및 소음
PPS7	농촌지역의 지속가능한 개발	PPG16	고고학과 도시계획	PPG25	개발과 홍수 위험
PPG8	정보통신	PPG17	스포츠과 레크레이션		
PPS9	자연보존	PPG18	계획통제의 강제이행		

(3) 지자체 관련 제도 및 정책

- 런던은 기후변화 실천계획(Climate Change Action Plan, 2007)을 수립
 - 실천계획은 그린 홈(Green Homes : 가정대상), 그린 기관(Green organizations : 기업 / 영리·비영리 기관 대상), 그린 건축(Green Construction : 건축분야 대상)의 프로그램을 통해 탄소 저감활동에 대한 가이드라인을 제시
- 녹색성장 촉진지구(Green Enterprise District) 지정
 - 런던의 녹색성장 촉진지구는 친환경 녹색산업 기반의 경제를 육성하고, 살고 싶고, 일하고 싶고, 방문하고 싶은 장소를 만드는 것을 목표로 녹색산업 유치, 탈탄소화 지원 및 수요 창출, 저탄소 혁신 주도, 녹지공간 및 수변공간의 잠재력 극대화를 추진전략으로 내세움.
- 특정 지역을 대상으로 에너지 행동구역(Energy Action Area, EAA)을 설정
 - 런던의 에너지 행동구역은 일종의 에너지 혁신 시범사업지구로, 에너지소비저감 및 신재생에너지 생산, 집단에너지 보급을 주요 내용으로 하며, 런던의 에너지 및 탄소목표를 이루기 위한 수단

- 에코타운(Eco-towns) 개발
 - 에코타운개발은 중앙정부에서 기본요건을 마련해서 가이드라인을 제시하면, 이에 기반하여 희망 지자체들이 독자적이고 독창적인 사업제안서를 제출하여 진행
 - 따라서 에코타운 개발은 중앙정부의 가이드라인에 따라 획일적으로 진행되는 사업이 아니며, 각 지역의 특성과 필요를 반영하여 추진되는 사업
- 카본 트러스트 프로그램(Carbon Trust Program)
 - 연방기금으로 탄소배출 삭감을 추진하는 지자체 지원

다. 독일

(1) 법 체계

- 국가 : 유럽 기후변화 프로그램을 고려하여 국가 기후변화 보호프로그램을 수립
- 지자체 : 주 및 지자체는 유럽연합 및 연방정부의 정책, 지자체의 특성을 고려하여 실천프로그램 수립

(2) 통합 에너지·기후 대책

표 2.17 독일의 통합 에너지·기후 대책

정책사례	주요 내용
1차 통합 에너지·기후대책 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • 신·재생에너지 • 난방수요의 14%를 재생에너지로 공급 → 신규건물 재생에너지 사용 의무화, • 기존건물 보조금 증액 • 건물에 대한 에너지 효율화 요건 강화
2차 통합 에너지·기후대책 (2008)	<ul style="list-style-type: none"> • 기반시설구축 • 신축주택 및 기존주택의 에너지효율 30%개선 • 심야 저장 난방기구의 이용 배제 • Smart Metering 도입 • 임대용 자산 난방비 배분 → 공동소비 비율 축소
환경세 (Eco-Tax)	<ul style="list-style-type: none"> • 「친환경 조세개혁도입에 관한 법률」 제정
후원프로그램	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 절약형 건축물 및 도시 건설 • 건축물 개·보수 → 에너지형 현대화 건축물 • 주택 소유주, 이용자 대상 저금리 신용상품 이용여건 마련

- 1차 통합 에너지·기후대책(2007) : 건축물 부분의 에너지 효율과 신재생에너지 사용을 강조
 - 전기와 난방 생산에 재생에너지 사용을 2배 이상 증가시키는 것이 목적

- 구체적으로 바람, 태양, 바이오매스, 지열을 이용한 에너지 공급을 증가시키고 기존자원 이용의 효율성 제고
- 2차 통합 에너지·기후대책(2008) : 근본적인 기반시설 구축
 - 특히 주택부분에서는 에너지 효율을 개선하기 위한 실질적인 규제와 제도를 도입
- 재정계획 : '친환경 조세개혁 도입에 관한 법률' 제정
 - 친환경 조세개혁
 - 후원프로그램 마련

라. 일본

(1) 법 체계

- 일본 지구 온난화 대책 추진에 관한 법률
 - 각 지역에서의 에너지·온난화 대책 관련 정보교환·공유, 에너지 수급구조 실태 파악
 - 지방 공공단체 비롯하여 지역 지구 온난화 대책에 관한 자치적 대처 촉진 목적
- 국내 광역지자체별(16개) 녹색 지방추진계획 : 에너지관련 산업 기술기관 연계 및 협의
- 국내 지자체별 온난화 대책 협의회 역할 연대 방안

표 2.18 일본 지구 온난화 대책

구분	주요 내용
프라이부르크 기후행동	<ul style="list-style-type: none"> • 건물단체나 면적계획의 에너지 대책 가이드라인 수립 • 일정규모 이상의 건물 신축, 증개축시 에너지 대책에 관한 계획안 제출 • 민관 협의로 대책 320축진지역 선정
분야별 실행계획	<ul style="list-style-type: none"> • 대중교통 수단 개선 7% / 재생에너지 보급 14% / 열병합발전설비보급 28%
에너지 행동계획	<ul style="list-style-type: none"> • 지역 자가발전 : 소비전력 80% 자급계획 • 광역열병합발전 확산, 분산형 열병합발전 • 절전형 전구 개발 및 보급 • '에코주택'과 '에코오피스', '솔라하우스' • 공공건물 에너지 절약 : 측정기, 단열재, 열재회수 • 에너지 다양화 : 태양광발전, 기타 재생에너지 보급
교통 행동계획	<ul style="list-style-type: none"> • 'RegioKarte'(지역정기권) / 'Park and Ride' : 환승시스템의 도입 • 노면전차 노선 확충, 시내버스 노선 정비, 자전거 도로망 확충 • 자가용 이용 제한 : 'NO Car Zone'(차량진입금지구역), 'Mobile'(모빌레), 주차요금 인상, 보행자 전용구역 설치, 주택지구 주차우선권제도 / 주택가 제한 속도 '시속30km' 이하
재활용 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 쓰레기 분리수거와 재활용화, 일회용품 사용금지 • 에코은행 : 친환경 기업에만 투자 / 에코머니 : 지역통화제도
환경계획	<ul style="list-style-type: none"> • 흑림 보호운동과 도심 녹화, 도심하천 살리기, 수로시설(베히레) 15km

(2) 지구온난화 대응 추진정책

- 국토교통성에서는 저탄소형 도시구조를 목표로 도시 및 지역의 종합적인 조성을 추진
 - 집약형 도시구조 실현, 도시녹화 추진 및 녹지보전, 하수도 자원·에너지 유효이용, 에너지 면적 이용 촉진 등 총 4가지 부문으로 구분하여 실시
 - 각 부문에서 실시하는 온실가스 배출 삭감 대응효과를 더 높이기 위해, 도시정비사업의 추진, 민간 활동의 규제·유도 등의 수법을 상호 보완

(3) 관련 제도

- 도시의 저탄소화 촉진에 관한 법률(안)
 - 국토교통성 장관, 환경성 장관, 경제산업 대신에 따른 기본방침의 책정, 일련의 저탄소도시 조성계획에 관한 특별조치, 저탄소건축물 신축을 포함한 계획 인증제도 수립 등 3개의 축으로 구성
 - 도시기능의 집약화, 대중교통의 이용 촉진, 녹지 및 에너지 면적관리 및 이용의 촉진, 건축물의 저탄소화를 통해 장기적으로 도시 전체의 탄소발생률 감소와 에너지의 효율적 이용을 목표
- 주택 신/개축 시 에코포인트 적용
 - 지구온난화 대응책과 더불어 경제 활성화를 위해 도입된 에코포인트 제도는 적절한 포인트로 다른 제품을 구입할 수 있는 제도로, 주택을 신축 또는 개량 시 창문과 벽, 천정 등에 에코포인트 대상제품을 사용할 경우 가전제품과 마찬가지로 포인트를 적립

표 2.19 국토교통성 지구온난화 대응 추진정책

구분	내용	방법
집약형 도시구조 실현	• 대규모 집객 시설 등의 도시 기능시설 적정배치(도시계획 수법활용)	• 대규모 집객시설 등의 교외 입지를 억제하고 입지시에는 도시계획 절차를 통해 지역의 판단을 반영하여 적절한 입지 확보
	• 중심시가지에 도시기능의 집적	• 중심시가지에 의료복지시설 등 공익시설 정비, 빈 빌딩 재생, 변화한 공간 등으로 정비 추진
	• 도시지역 종합교통 전략의 추진	• LPR정비, 교통 결절점 개선, 도보, 자전거에 의한 이동환경 정비 등의 대응책을 하나로 추진
도시 녹화추진 녹지보존	• 도시공원 등 새로운 녹색거점 창조 • 사유지의 효과적인 녹색창출 • 도시의 귀중한 자연환경 보전	• 공공에 의한 공원 녹지 정비 • 민간자체에 의한 녹화 유도 • 토지이용규제수법의 활용
하수도 자원 에너지 유효 이용	• 탄화한 오니를 석탄 대체 연료로서 화력발전소에서 발전 • 정제된 바이오 가스를 천연가스 자동차의 연료로 공급	
에너지 면적 이용의 추진	• 도시개발과 더불어 미활용에너지 등을 활용한 지역 냉난방 시설의 정비 및 네트워크화 추진	

마. 시사점

- 각 나라마다 법제도의 차이가 존재하나 탄소저감 도시를 조성하기 위해 에너지와 환경, 건축·도시 계획분야를 통합하려고 하고 있음
 - 미국 : 탄소저감관련 연방법이 통과되지 않고 있으나, 지자체를 중심으로 탄소저감이 이뤄지고 있음
 - 영국 : 기후변화대응 3대 법을 지정하여 통합적인 운영을 하고 있음
 - 독일 : 1차, 2차 통합 에너지·기후대책 등 에너지 정책을 중심으로 지자체의 탄소저감을 이끌고 있음
 - 일본 : 도시의 저탄소화 촉진에 관한 법률(안) 등을 통해 도시에서 탄소저감과 에너지 효율을 높이려고 노력함
- 탄소저감도시 조성을 위한 실현의 주체로서 지자체는 도시기본계획을 재정립하거나 기후변화 대응 실행계획(Climate Change Action Plan)을 마련하고 있음
 - 뉴욕시 도시기본계획(PlaNYC), 런던시 도시기본계획(London Plan) 등은 도시의 효율적인 탄소저감을 위해 에너지, 환경, 건축·도시 관련 계획들을 도시기본계획에 담는 통합화 방안이 추진되고 있음
 - 도시 및 공간계획 측면에서 지역이 기후변화에 대응하도록 유도하기 위한 가이드라인 및 지침 제시
 - 물, 생태계, 에너지, 폐기물, 교통, 자연재해, 농업과 같은 요소들을 보완
- 중앙정부와 지방자치단체, 민간, 시민의 역할을 명시하여 주체별 역할과 협력원칙을 명확히 제시
 - 지자체 : 실현주체로서 특화된 정책과 사업 필요
 - 국가 : 일괄적, 포괄적 제도 지원방안 마련
 - 지역의 특성과 시민의 생활양식을 반영, 시민 주도의 새로운 협치(Governance)체계 수립
- 지역·지구 차원에서 적용 가능한 통합적 제도 체계 기반 구축
 - 미국 : 친환경 도시설계지침(Green Guideline), 친환경 건축기준(LEED), 탄소저감 주민참여 제도의 통합적 도입
- 다양한 재정확보를 통해 정책과 사업을 실현화
 - 중앙 및 지자체에서 다양한 기구 및 제도를 통해 재정마련
- 시민의 자발적인 참여 유도를 위한 제도 도입

- 에코은행과 에코머니 도입(독일)

2. 국내 동향

가. 관련 법규 및 제도의 분류

- 탄소저감도시를 조성하고자 에너지법(2006), 지속가능발전법(2007), 저탄소녹색성장 기본법(2010), 온실가스배출권의 할당 및 거래에 관한 법률(2012) 등 지속적으로 관련법 및 제도 수립하는 추세임
- 관련법은 크게 에너지, 환경, 도시 및 건축으로 구분하여 검토

표 2.20 관련 법규 및 제도 현황

	에너지	환경	도시	건축
	저탄소녹색성장기본법(2010)			
	에너지법(2006) 舊)에너지기본법	환경정책기본법 (1990)	국토기본법 (2002)	건축기본법 (2007)
		온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률(2012)		
	지속가능발전법(2007)			
2000~			국토의계획및이용 에관한법률 (2002) 도시및주거환경정 비법(2002) 도시개발법(2000)	
			지역균형개발 및 지방중소기업 육성에 관한 법률(1994)	
1990~ 1999	집단에너지사업법 (1991)	대기환경보전법 (1990)	산업집적활성화 및 공장설립에 관한	

			법률(1990)	
	신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법(1987) 舊)대체에너지개발촉 진법			
			택지개발촉진법 (1980)	
1960~ 1990	에너지이용합리화법 (1979)	도시공원및녹지등에관한법률(1980) 舊)도시공원법		주택법(1972) 舊)주택건설촉진법 건축법(1962)

나. 에너지 관련 법규

- 주요내용 : 에너지정책, 에너지 공급과 활용방안, 신재생에너지 개발 촉진

표 2.21 에너지 관련 법규 현황

법령	목적	관련 조항	특징
에너지법 (2006)	에너지 수급(需給) 구조를 실현하기 위한 에너지 정책 및 에너지 관련 계획의 수립·시행에 관한 기본적인 사항을 정함	제7조(지역에너지계획의 수립) 제11조(에너지기술 개발계획) 제12조(에너지기술 개발)	·안정적인 에너지수급(需給) 구조를 실현하기 위한 에너지정책 및 에너지 관련 계획 제시 ·에너지기술 개발 계획 수립
집단에너지사업법 (1991)	집단에너지사업을 합리적으로 운영하며, 집단에너지 시설의 설치·운영 및 안전에 관한 사항을 정함으로써 「기후변화에 관한 국제연합 기본협약」에 능동적으로 대응하고 에너지 절약에 이바지	제3조(집단에너지공급 기본계획) 제4조(집단에너지 공급에 관한 협의) 제18조(건설비용의 부담금)	·집단에너지 공급 및 설치 운영에 관한 법률

	합		
신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 (1987)	에너지를 다양화하고, 에너지의 안정적인 공급, 에너지 구조의 환경친화적 전환 및 온실가스 배출의 감소를 추진함으로써 환경의 보전, 국가경제의 지속적인 발전 및 국민복지의 증진에 이바지함	제12조의2(신재생에너지이용건축물에 대한 인증 등) 제12조의3(건축물인증의 표시 등) 제12조의4(건축물인증의 취소) 제28조(신재생에너지 기술의 사업화)	·신에너지 및 재생에너지의 기술개발 및 이용·보급 촉진에 대한 법적 토대 마련 ·신·재생에너지 이용에 관한 건축물 인증은 지식경제부와 국토해양부의 공동부령으로 정함
에너지이용합리화법 (1979)	에너지의 수급(需給)을 안정시키고 에너지의 효율적인 이용을 증진하며 에너지 소비로 인한 환경피해를 줄임으로써 지구온난화의 최소화에 이바지함	제10조(에너지사용계획의 협의) 제11조(에너지사용계획의 검토 등) 제12조(에너지사용계획의 사후관리)	·합리적인 에너지 이용 및 관리 목적 ·도시개발사업 등 일정규모 이상의 에너지를 사용하는 사업일 경우 에너지 수급과 이로 인한 온실가스 배출 등 에너지 사용 관련 보고서 제출 근거 마련

다. 환경 관련 법규

- 주요내용 : 환경관리 및 보전 정책, 온실가스 배출권 거래, 저탄소 녹색성장 국가정책 및 방향, 대기오염배출 억제
- 2010년 「저탄소녹색성장기본법」을 제정하여 녹색기술·녹색산업 및 단지 등 저탄소 사회구현을 목적으로 하나, 정책적 방향 및 기본원칙의 제시나 권고내용으로 구체적으로 반영하기에는 실현수단으로 미흡한 상황임

표 2.22 환경 관련 법규 현황

법령	목적	관련 조항	특징
환경정책기본법 (1990)	환경 보전에 관한 국민의 권리·의무와 국가의 책무를 명확히 하고 환	제12조(환경기준의 설정) 제13조(환경기준의 유지) 제18조(시도의 환경보전계	·관리 및 보전 위주의 환경정책 기본적인 선언적 사항

	경정책의 기본 사항을 정하여 환경을 적정하고 지속가능하게 관리·보전함으로써 모든 국민이 건강하고 쾌적한 삶을 누릴 수 있도록 함	획의 수립 등) 제19조(시군구의 환경보전 계획의 수립 등) 제21조(개발 계획사업의 환경적 고려 등) 제23조(환경친화적 계획기법 등의 작성보급)	
온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한법 (2012)	「저탄소 녹색성장 기본법」 제46조에 따라 온실가스 배출권을 거래하는 제도를 도입함으로써 시장기능을 활용하여 효과적으로 국가의 온실가스 감축목표 달성	제4조(배출권거래제 기본 계획의 수립 등)	· 「저탄소 녹색성장 기본법」 제46조에 따라 온실가스 배출권을 거래하는 제도 도입 목적
저탄소녹색성장기본법 (2010)	경제와 환경의 조화로운 발전을 위하여 저탄소(低炭素) 녹색성장에 필요한 기반을 조성하고 저탄소 사회구현을 통하여 국민의 삶의 질을 높이며 국제사회에서 책임을 다하는 성숙한 선진 일류국가로 도약	제9조(저탄소 녹색성장 국가전략) 제34조(녹색기술·녹색산업집적지 및 단지 조성 등) 제50조(지속가능발전 기본 계획의 수립시행) 제51조(녹색국토의 관리) 제52조(녹색건축물의 확대)	·저탄소 녹색성장을 위한 국가정책 및 기본원칙에 대한 방향제시 ·녹색 기술·녹색 산업 집적지 및 단지, 건축을 조성하게 할 수 있는 법적 근거 마련
지속가능발전법 (2007)	지속가능발전을 이룩하고, 지속가능발전을 위한 국제사회의 노력에 동참하여 현재 세대와 미래 세대가 보다 나은 삶의 질을 누릴 수 있도록 함	제13조(지속가능발전지표 및 지속가능성 평가)	· 지속 가능 발전 지표 및 지속가능성평가 법적 토대 마련
대기환경보전법 (1990)	대기오염으로 인한 국민 건강이나 환경에 관한 위해(危害)를 예방하여 모든 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 함	제9조(기후생태계 변화유발물질 배출억제) 제21조(대기환경규제지역 지정의 해제)	·대기오염물질 배출 억제를 위한 법률

라. 도시계획 관련 법규

○ 주요 내용 : 국토에 관한 계획 및 정책, 도시기본계획 수립 관련 개발 계획

표 2.23 도시계획 관련 법규 현황

법령	목적	관련 조항	특징
국토기본법 (2002)	국토에 대한 계획 및 정책의 수립·시행에 관한 기본적인 사항을 정함으로써 국토의 건전한 발전과 국민의 복리향상에 이바지	제5조(환경친화적 국토관리) 제5조의2(지속가능한 국토관리의 평가지표 및 기준) 제17조(부문별계획의 수립)	·국토에 관한 계획 및 정책의 수립
국토의 계획 및 이용에 관한 법률 (2002)	국토의 이용·개발과 보전을 위한 계획의 수립 및 집행 등에 필요한 사항을 정해 국민의 삶의 질을 향상시키고자 함	제3조의2(도시의 지속가능성 평가) 제12조(광역도시계획) 제19조(도시군 기본계획의 내용)	·국토의 이용·개발과 보전을 위한 계획 ·지속가능성 평가결과를 도시·군계획의 수립 및 집행에 반영 근거 마련
도시 및 주거환경 정비법 (2002)	도시기능회복이 필요하거나 주거환경이 불량한 지역을 정비하고 이에 필요한 사항을 규정함으로써 도시환경을 개선하고 주거생활의 질을 높이고자 함	제2조의3(도시및주거환경정비 기본방침 수립) 제3조(도시주거환경정비 기본계획의 수립)	·기본계획수립사항에 ‘녹지·조경·에너지공급·폐기물처리 등에 관한 환경계획’ 항목 포함
도시개발법 (2000)	도시개발에 필요한 사항을 규정하여 쾌적한 도시환경의 조성과 공공복리의 증진에 이바지함	제4조(개발계획의 수립 및 변경) 제5조(개발계획의 내용)	·시행령 제8조(개발계획에 포함될 사항)에 ‘저탄소 녹색도시 조성을 위한 계획’ 포함
산업집적 활성화 및 공장설립에 관한 법률	도시산업의 집적을 활성화하고 산업입지 및 산업단지를 체계적으로 관리함으로써 지속적인 산업발전을 통하여 국민경	제3조(산업집적활성화 기본계획) 제3조의2(지역산업진흥 계획의 수립 등) 제14조(공장의 건축허가)	·환경친화적 산업단지의 구축 ·저탄소 녹색성장을 촉진하기 위한 「환경친화적 산업구조로의 전

(1990)	제의 건전한 발전에 이바지함	제33조(산업단지관리기본계획의 수립) 45조의13(사업)	환축진에 관한 법률」에 따른 생태산업단지 구축에 관한 사업
도시공원 및 녹지에 관한 법률 (1980)	도시에서의 공원녹지의 확충·관리·이용 및 도시녹화 등에 필요한 사항을 규정하여 쾌적한 도시환경을 조성	제11조(도시녹화계획) 제52조의2 (온실가스 배출 감축사업의 인정)	·도시공원 및 녹지조성 사업'을 온실가스 배출 감축사업으로 인정
택지개발 촉진법 (1980)	주택건설에 필요한 택지(宅地)의 취득·개발·공급 및 관리 등에 관하여 특례를 규정함으로써 국민 주거생활의 안정에 이바지함	제3조(택지개발지구의 지정 등) 제8조(택지개발계획의 수립 등)	·'지속가능한 신도시 계획기준'은 국토해양부 별도 지침으로 규정

마. 건축 관련 법규

- 주요내용: 건축정책관련 수립 및 시행, 건축계획, 친환경 건축물 인증 및 에너지절약 설계

표 2.24 건축 관련 법규 현황

법령	목적	관련 조항	특징
건축기본법 (2007)	건축에 관한 국가 및 지방자치단체와 국민의 책무를 정하고 건축정책의 수립·시행 등을 규정하여 국민의 건전한 삶의 영위와 복리향상에 이바지함	제10조(건축정책기본계획의 수립) 제11조(건축정책기본계획의 내용) 제12조(지역건축기본계획의 수립 등)	·건축정책관련 수립 및 시행 등을 규정
친환경건축물의 인증에 관한 규칙 (2008)	「건축법」 제65조제5항에서 위임된 친환경건축물 인증과 인증기관 지정 등에 관한 사항을 규정함	제2조~제12조(인증관련) 제6,7,9조(인증의 신청, 심사, 취소)	·관련부서 국토해양부(건축기획과)/ 환경부(녹색협력과)임 ·친환경건축물 인증과 인증기관 지정 등에 관한 사항 규정을 목적

건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 (1992)	건축설비의 설치에 관한 기술적 기준과 건축물의 열손실방지 및 에너지의 합리적인 이용 등에 필요한 사항을 규정함	제21조(건축물의 열손실방지) 제22조(에너지절약계획서의 제출) 제23조(건축물의 냉방설비 등)	·열손실방지 및 에너지의 합리적인 이용 등에 필요한 세부사항 규정
주택건설기준 등에 관한 규정 (1991)	주택의 건설기준, 부대시설·복리시설의 범위·설치기준, 대지조성기준, 공업화 주택의 인정절차 등에 관하여 위임된 사항과 그 시행에 관하여 필요한 사항 규정	제58조(주택성능등급의 표시대상) 제59조(주택성능등급의 심사 및 평가) 제64조(에너지절약형 친환경 주택의 건설기준 등)	·친환경 주택의 건설기준 및 성능에 관하여 필요한 세부적인 사항은 지침(건축물의 에너지절약설계기준)으로 규정
주택법 (1972)	주택의 건설·공급·관리와 이를 위한 자금의 조달·운용 등에 관한 사항을 정함으로써 국민의 주거안정 및 수준 향상에 이바지함	제7조(주택종합계획의 수립 등)	·에너지절약형 친환경주택의 건설기준 근거 마련
건축법 (1962)	건축물의 대지·구조·설비 기준 및 용도 등을 정하여 건축물의 안전·기능·환경 및 미관을 향상시킴으로써 공공복리의 증진에 이바지함	제65조(친환경건축물의 인증) 제66조(건축물에 관한 효율적인 에너지이용과 친환경 건축물 건축의 활성화) 제66조의 2(건축물의 에너지효율등급인증)	·‘친환경 건축물 인증 제도’ 법적 근거 마련 ·친환경건축물인증 세부사항은 「친환경건축물의 인증에 관한 규칙」에서 규정 ·에너지효율등급 관련하여 ‘지식경제부’와의 협의

바. 시사점

- 국내의 각종 관련법을 크게 에너지 분야, 환경 분야, 도시 및 건축 분야로 구분하여 살펴보면, 각 분야별로 탄소저감관련 내용을 제시하고 있으나, 관련법 상호간 연계 체계가 미흡하며, 보다 강력한 실행수단 마련을 위해서는 도시기반 순환형 복합플랜트 관련법제의 통합화가 필요한 것으로 판단됨

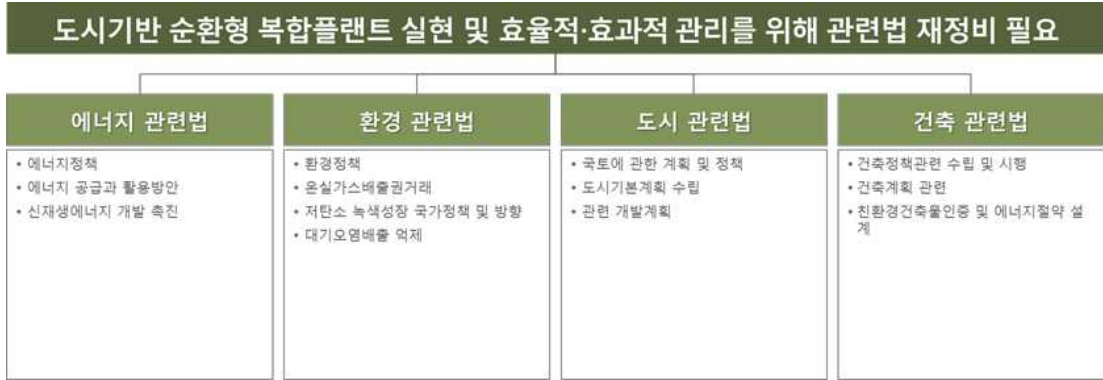


그림 2.32 국내 관련법 검토 시사점

제 5 절 연구개발 동향 분석

1. 연구개발 동향

- 열병합(CHP, Combined Heat and Power) 시스템에 대해서는 1990년대 초부터 한국 가스공사 연구개발원, 에너지관리공단에서 정부의 개발비 지원으로 기술개발이 진행되었고, 1993년 당시 통상산업부의 지원으로 수행된 '소형 열병합 발전시스템 개발 및 보급방안의 기획'과제를 통해 소형 CHP(Combined Heat and Power) 시스템에 대한 기술개발의 틀은 마련됨
- 2004년 '소규모 지역냉난방시스템 시뮬레이터 개발'과제가 단독수요처 대상으로 수행된 바 있으나, 플랜트 복합화를 위한 생애주기에 걸친 요건 및 추적성 기반의 통합 설계 및 운영관리와 훈련기술이 부재
- 1990년대 후반부터 소각기술의 국산화를 위한 연구가 환경부 주관으로 진행되었으나, 50톤/일급 스토커 소각로의 국산화를 통한 상업화가 유일함하며, 2000년대 초반에는 열분해 용융 기술에 대한 연구가 활발하게 추진되어 실증화 사업으로 열분해 용융로의 시범적용이 수행됨
- 2000년대 후반부에는 환경부 폐기물 정책이 RDF로 전환되면서, 소각에 대한 연구를 거의 진행되지 않은 실정이지만, 국내 소각분야의 연구역량은 실증설비 설계 및 운영이 가능한 수준임
- 환경부는 하수처리 시설을 저탄소 녹색성장의 성장동력으로 활용하기 위하여 다량의 에너지를 소비하는 하수처리시설의 에너지 자립화 50% 달성을 목표로 단계적으로 진행 중임
- 하수처리시 발생하는 슬러지 처리를 위한 다양한 방법이 제시되어 연구를 수행하였지만, 아직까지 경제성 확보가 어려운 실정임
- 도시기반 플랜트로 분류할 수 있는 열병합 및 지역냉난방과 관련된 타 부처 연구개발과제 분석결과 아래 표 2.25에 보인 바와 같이 환경부, 산업자원부(지식경제부), 과학기술부(교육과학기술부) 등 타 부처에서는 친환경에너지플랜트 관련 단위공정 개발 및 요소기술 개발과제가 추진되어 왔으나, 요소기술개발에 치중함으로써 연구개발성과가 실용화로 연결된 경우는 매우 드문 실정임
- 이와 같이, 복합플랜트를 구성하는 단위 기능을 갖는 플랜트(하수처리 기술, 폐기물 처리 기술, 열병합발전 기술 등)의 핵심기술 확보를 위한 연구를 지속적으로 진행하여, 현재는 실증 규모의 플랜트에 대한 설계 및 운전 능력을 보유하고 있는 것으로

판단됨

- 복합플랜트를 위한 단위 기술의 복합화(예 : 하수처리+폐기물 소각+열병합발전 기능을 갖는 융·복합 플랜트)에 대한 사례는 국내는 물론 해외에도 거의 없는 실정임

표 2.25 국내 에너지 분야 R&D 현황²⁶⁾

부처명	사 업 명	주요 내용	특 징
지식경제부	에너지자원기술개발사업	에너지 효율향상, 온실가스처리기술, 자원기술 개발	신재생에너지 요소기술 개발
	신재생에너지 이용기술 개발사업	수소/연료전지, 풍력, 태양광 발전기술 개발	신재생에너지 요소기술 개발
환경부	차세대 핵심환경기술 개발사업	폐기물처리 및 자원화	요소기술 개발 및 파일럿 규모 검증
	글로벌담 환경기술개발사업	하수 고도처리 및 에너지 효율향상	핵심요소기술 개발 및 파일럿 규모 검증
과학기술부	고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술개발사업	물분해 수소에너지 제조·저장·이용시스템 원천기술개발	수소에너지 기술 관련 파일럿 규모 검증
	이산화탄소 저감 및 처리기술개발사업	에너지 이용효율 향상 및 CO2 처리 기반기술 확보	미활용에너지 이용 요소기술 개발
해양수산부	해양에너지 실용화기술개발사업	조력, 조류, 파력 등 해양에너지 실용화기술 개발	조력, 조류에너지 산업화

- 즉 복합플랜트를 구성하는 단위 기술 간의 연계(Network integration)를 위한 실적은 일부 찾아볼 수 있으나(예 : 소각시설과 열병합발전시설간의 여열 연계), 다양한 형태의 플랜트간 열 연계에 따른 효율 향상 및 비용 대비 사회적 편익 분석을 위한 해석 및 설계기술과 관련한 정부차원의 연구개발은 없었음
- 기존 단위 플랜트의 통합 또는 융합 개념인 복합플랜트는 기존 단위 플랜트와는 달리, 단위 플랜트간의 물질 및 열의 통합과 이에 따른 기술적 쟁점 사항에 대한 해결이 필요함(예 : 현재 스토커식 생활폐기물 소각시설에서 하수 슬러지를 소각할 경우, 생활폐기물의 15% 정도까지만 하수 슬러지를 소각할 수 있으며, 소각시설과 하수처리시설의 통합시, 생활폐기물 소각로에서 하수슬러지 소각율을 높일 수 있는 소각기술이 요구됨)

26) 친환경에너지플랜트사업단 사전·상세기획연구 보고서, 2008

- 타부처 연구개발의 내용을 살펴보면, 먼저 지식경제 R&D전략기획단에서 지원하고 삼성물산에서 수행하는 K-MEG(Korea Micro Energy Grid) 사업을 들 수 있는데, 여기서는 에너지 생산과 사용을 효율적으로 운영함으로써 에너지 자족도시(건물)를 구현할 수 있는 토털 에너지솔루션 비즈니스 모델을 개발 중임²⁷⁾



그림 2.33 K-MEG 사업 수행체계

- 이를 위해 K-MEG 에너지 통합운영 관리시스템 개발 및 구축, K-MEG 에너지그리드 구축, K-MEG 에너지소비원 최적관리시스템 개발, DC 배전 적용 K-MEG 개방형 테스트베드 구축 및 비즈니스 모델 실증 및 사업화에 관한 기술개발을 수행하고 있음²⁸⁾

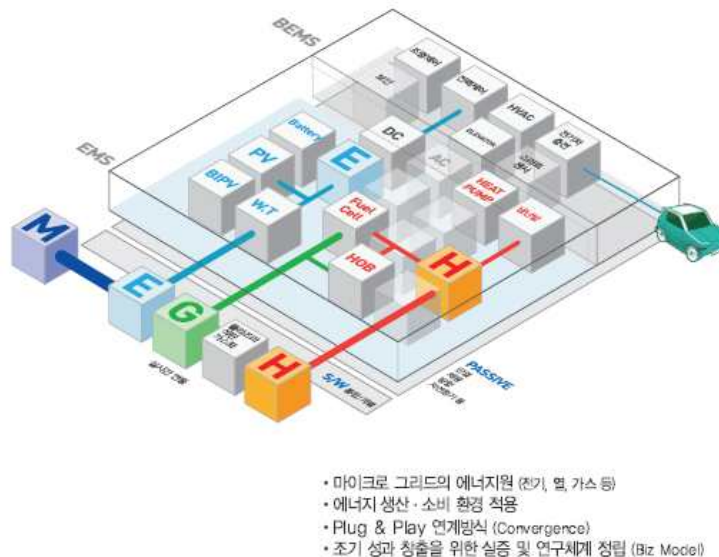


그림 2.34 K-MEG 사업 수행내용 개념도

27) K-MEG, Korea Micro Energy Grid 브로셔, 삼성물산(주), 2011

28) K-MEG 소개자료, 삼성물산(주), 2011

- 본 사업은 기존 에너지 공급설비와 관련하여 주로 개발된 기술을 현장적용을 통해 비즈모델을 조기에 창출하는 것을 목표로, 에너지 생산설비의 효율화(Community Energy Supply System)와 에너지소비원의 최적화 등에 대한 연구개발을 수행하고 있음
- 도시에서 발생하는 각종 배열을 합리적으로 이용하고자 한다는 점에서는 본 기획의 내용과 일정 부분 겹치는 부분(도시연계형의 경우)도 있으나, K-MEG 사업은 주로 기존의 에너지 공급계통을 제외한 범위를 대상으로 그리드화(분산화)를 추구하는 반면, 본 기획연구에서는 기존 도시기반 플랜트의 융합 및 복합을 통해 기존 도시가 지니고 있는 에너지와 물질의 공급·처리체계를 순환형으로 전환한다는 포괄적인 내용을 다룬다는 점에서 본 사업과는 범위와 내용면에서 큰 차이가 있는 것으로 판단 됨
- 또 타부처의 경우에는 주로 열병합 설비의 설계와 실증분야 기술 개발과 같은 요소 기술개발에 역점을 두고 추진함
- 2011년 한국건축학회지회연합회 학술발표대회에서 한국해양대학교에서 신재생에너지를 이용한 도시 기반 에너지플랜트용 에너지 통합관리 운영을 위한 알고리즘 개발에 관해 발표함(그림 2.35, 표 2.26 및 표 2.27 참조)



그림 2.35 도시에너지 통합 운영관리 개념도²⁹⁾

표 2.26 발전원별 발전단가³⁰⁾

구 분	발전단가(원/kWh)	구 분	발전단가(원/kWh)
복합GT	120.72	태양광	716
LNG	113.2	풍력	107
유류	95.13	바이오매스	98
국내탄	60.67	폐기물	71
석탄	60.3	연료전지	264
원자력	41.4	액화석탄가스	56.6
열병합	92.97	소수력	70

표 2.27 에너지원 우선순위³¹⁾

전기에너지		열에너지	
소수력	1	연료전지	1
풍력	2	지역난방(지열, 하천)	2
태양광	3	열병합	3
연료저지	4		
부생가스	5		
폐기물	6		
바이오	7		
IGCC/CCT	8		
열병합	9		

- 한편 ‘도시 내 건축물에너지 소비특성을 고려한 U-기반 도시에너지 수요 및 관리 방안 연구 - 대구·경북을 중심으로’에서는 도시 내 건축물 에너지 소비특성을 고려한 도시에너지 수요 및 관리방안에 관한 연구내용 발표(표 2.28 및 그림 2.36 참조)

29) 한국건축학회 지회연합회 학술발표대회 논문집, 2011

30) 한국건축학회 지회연합회 학술발표대회 논문집, 2011

31) 한국건축학회 지회연합회 학술발표대회 논문집, 2011

표 2.28 연구 대상지역의 각종 건축물 건축 면적³²⁾

건물 용도	Mesh Data 조사대상	건축면적(m ²)	비율(%)
주거용	단독주택, 공동주택 등	1,898,336	66.9
업무용	사무소 등	312,133	11.0
상업용	백화점, 판매시설 등	295,107	10.4
교육·문화용	학교, 공연장, 종교시설, 운동시설 등	248,868	8.7
의료용	병원 등	31,213	1.1
숙박용	호텔, 여관 등	45,401	1.6
기타 용도	창고, 지하철 정류장 등	8,512	0.3
합 계		2,837,573	100

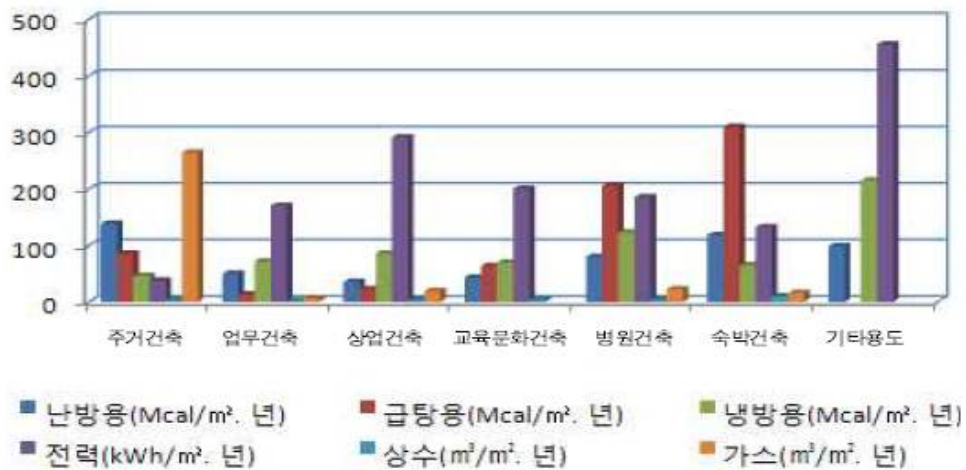


그림 2.36 건물용도별 에너지소비 원단위³³⁾

2. 기존 유사 사업 검토

○ 본 사업과 관련이 있는 기존 수행사업을 비교하여 정리하면 다음과 같음

- U-Eco City 사업

- 기존 도시에 IT기술을 접목하여 도시의 편의성 및 효율성을 높이기 위한 사업임.
- 주요내용은 기반 인프라 기술개발, U-공간 융복합 건설기술 기준과 서비스 기술개

32) 한국생태환경건축학회 논문집 통권 46호, 2010

33) 한국생태환경건축학회 논문집 통권 46호, 2010

발, U-ECO 공간구축 핵심요소 기술개발, T/B 시범사업 등의 요소기술 개발이며 에너지 자원의 효율적인 Mix와는 관계가 없음

- 제주 스마트그리드 실증단지 구축사업

·전력 위주의 네트워크 구축과 새로운 서비스 모델 창출이 주요 내용으로 전력 이외의 청정연료, 열, 용수, CO₂ 등을 포함하는 복합에너지 네트워크 구축이 주요 내용인 본 사업과는 중복성이 없음

- K-MEG 사업

·K-MEG은 에너지 측면에서의 빌딩에너지 효율향상이 대상인 반면에 본 기획은 에너지 공급측면서의 에너지 Mix가 대상임

표 2.29 기존 국내 수행 유사사업과의 비교

구분	본 사업	스마트그리드 실증단지 구축 사업 (통상산업자원부)	K-MEG 사업 (통상산업자원부)
총사업비(억원)	200억원 (예상)	101,735억원	1,092억원
사업기간	2015.1 ~ 2017.12	2009.12 ~ 2013.5	2011.7 ~ 2014.6
사업목적	청정연료, 열, 용수, CO ₂ 등이 포함된 통합 네트워크를 구축하는 공급/생산/처리 측면에서의 복합플랜트 모델 개발	지능형 전력망 구축과 새로운 서비스 모델 창출	공급측면에서의 에너지 Mix가 아닌 빌딩 에너지 효율 30% 향상
세부내용	에너지 생산/공급 시설 및 사회기반시설 간의 고효율화 및 연계 기술 개발을 통한 복합 플랜트 모델 개발	지능형 전력전송, 지능형 건물, 지능형 수송, 지능형 분산발전, 지능형 전력시장의 5가지 분야로 구분하여 기술개발	그린빌딩, 그린빌리지 등의 빌딩에너지 생산/사용의 최적화를 달성할 수 있는 마이크로 에너지그리드 시스템 개발

- 본 사업은 기존의 전력 공급망 외에도 열 및 가스 생산시설과 공급망 뿐만 아니라 수처리 시설과 폐기물 처리시설 등과 같은 사회기반시설을 통합적으로 연계하여 도시를 대상으로 하는 복합플랜트 모델을 개발, 구축하는 것이라는 점에서 차별화 됨

제 6 절 SWOT 분석

역량	환경	기회 (O)	위협 (T)
		<ul style="list-style-type: none"> ·에너지 및 폐기물 효율적 관리체계 중요성 증가 ·에너지 및 폐기물 비용 증가 ·도시기반 인프라 환경의 급격한 변화 	<ul style="list-style-type: none"> ·민원으로 인한 에너지·환경 플랜트의 도심 설치 어려움 ·도심 플랜트 환경오염 설비 강화로 인한 경제성 저하 ·비좁은 도심 공간 활용에 의한 제한성 높음
강점 (S)	<ul style="list-style-type: none"> ·우수한 폐기물 에너지화 플랜트 확보 ·ITC 활용 통합관리 체계 기술 보유 ·다양한 test bed 후보지 확보 	SO 전략	ST 전략
		<ul style="list-style-type: none"> ·친환경 에너지타운 구축의 사회적 수요 증가에 따른 사업성 확보 ·분산형 에너지 공급 및 자립화로 경제성 확보 ·폐기물 처리비용 절감 	<ul style="list-style-type: none"> ·복합플랜트의 지하화로 환경문제에 대한 민원 해소 및 도심공간 활용성 증가 ·폐기물 이동에 의한 비용 절감으로 경제성 확보 ·지상공간에 주민편익시설 조성으로 친환경성 강화
약점 (W)	<ul style="list-style-type: none"> ·선진국 대비 낮은 플랜트 엔지니어링 경쟁력 ·복합플랜트 설치 및 운영에 대한 경험 부족 ·시설비 증가에 따르는 경제성 문제 	WO 전략	WT 전략
		<ul style="list-style-type: none"> ·친환경 에너지타운 구축에 대한 필요성 대비 기술확보 지연이 우려되며 R&D전략을 핵심기술 보유와 설계기술 확보로 이원화하여 추진함으로써 기술력 조기 확보 	<ul style="list-style-type: none"> ·플랜트 복합화와 지하화에 따른 건설비용 증가가 우려되며 폐기물 에너지화 효율향상 및 폐기물 이동비용 절감으로 경제성 확보 전략 강화 ·국가 R&D사업에 의한 복합플랜트의 기술력과 신뢰성 확보를 통하여 경쟁력 강화

제 3 장 기획결과 및 사업 개요

제 1 절 사업의 비전 및 전략 목표

1. 사업의 명칭

순환형 복합플랜트 기반 친환경 에너지타운 핵심기술 개발 사업

- 현재 국내 기존 도시기반 유틸리티 시설이 안고 있는 각종 문제점의 체계적인 개선을 통해 효율적인 에너지 공급체계와 폐기물 등 자원의 순환이용이 가능한 고효율 친환경적 도시기반 복합플랜트 구축에 요구되는 핵심기술 개발, 실증
- 신도시 개발이나 도심 또는 기존 신도시 리모델링 등 실제 적용과 실증이 필요하나, 현 단계에서 실현가능성을 고려하여 순환형 복합공정 개발, 생태도시의 적용성 검토 및 도시유형별 적용방안 도출 등 향후 본격적인 도입과 적용에 필수적으로 요구되는 핵심 기반기술을 개발하는 내용을 반영

2. 사업의 비전

Nega-Watt and Near-Zero, Energy and Waste Free Community with Eco-Energy Park

- 수요처 내에 위치하는 도심 공원 등 공공용지의 지하공간을 이용해 에너지 공급시설과 폐기물 및 하수를 처리하는 환경시설 등 도시기반 유틸리티 시설을 설치함으로써 자원과 에너지의 합리적 순환시스템 구축기반 확보
- 에너지 공급 및 환경기초시설 등 각종 도시기반 플랜트의 연계, 복합화를 통한 공정효율 향상 및 고성능화
- 회수자원을 재활용하여 다양한 방법(체육시설, 대피시설, 근린시설 등)으로 지역주민에게 환원함으로써 하여 지역공동체의 장을 제공함으로써 혐오시설이라는 인식을 불식시키고 주민친화시설로 개발
- 친환경, 고성능의 자립형 도시 라이프라인 인프라 구축을 위한 순환형 도시기반 복합플랜트 개발, 실증을 통한 고부가가치 국가 신성장산업화



그림 3.1 순환형 도시기반 복합플랜트가 적용된 Eco-Energy Garden의 이미지

3. 사업의 전략목표

가. 기술 분류 체계

- 앞 장에서 기술한 도시기반 유틸리티 관련 현황 조사와 기술체계 분석 및 전문가 집단을 대상으로 한 의견수렴 과정을 거쳐 도시기반 순환형 복합플랜트 개발과 구축을 위해 요구되는 기술들을 다음 표와 같이 분류, 정리함 (세부내용 기회보고서 참조)

표 3.1 도시기반 순환형 복합플랜트 기술 분류 체계

대분류	중분류	소분류	세분류 (요소/단위기술)
핵심기술	(1) 복합플랜트 모델 개발 기술	(1-1) 신도시 건설 모델 개발 기술	(1-1-1) (1-1-2)
		(1-2) 기존 신도시 리모델링 모델 개발 기술	(1-2-1) (1-2-2)
		(1-3) 도심 재개발 모델 개발 기술	(1-3-1) (1-3-2)
	(2) 복합플랜트 계획, 설계 및 운영 기술	(2-1) 용·복합플랜트 공정 계획 및 설계 기술	(2-1-1) (2-1-2)
		(2-2) 용·복합플랜트 운전 및 공정 제어 기술	(2-2-1) (2-2-2)
		(2-3) 계통 정보화 및 유지관리 기술	(2-3-1) (2-3-2)
	(3) 도시기반형 복합화 핵심공정 기술	(3-1) 에너지시스템 고효율화 복합 공정 기술	(3-1-1) (3-1-2)
		(3-2) 생활폐기물 에너지화 복합 공정 기술	(3-2-1) (3-2-2)
		(3-3) 자원·에너지 순환형 수처리 복합공정 기술	(3-3-1) (3-3-2)
		(4) 배후지원형 복합화 핵심공정 기술	(4-1) 통합형 바이오에너지 생산 복합공정 기술
	(4-2) 생활폐기물 천연가스화 복합 공정 기술		(4-2-1) (4-2-2)

		(4-3) 도시 기반 폐열/폐가스 이용 CO ₂ 합성 연료화 기술	(4-3-1) (4-3-2)	
응 용 기 술	연 계	(5) 도시계획 연계 기술	(5-1) 에너지 수요 평준화 및 수급 관리 기술	(5-1-1) (5-1-2)
			(5-2) 자원·에너지 순환형 도시계 획 및 설계 기술	(5-2-1) (5-2-2)
			(5-3) 복합플랜트 기반 도시 주거환 경 개선 기술	(5-3-1) (5-3-2)
	기 술	(6) 에너지 및 환경플 랜트 연계 기술	(6-1) 신재생에너지의 에너지 생산 공정 연계 기술	(6-1-1) (6-1-2)
			(6-2) 폐기물 처리 및 에너지 생산 공정 연계 기술	(6-2-1) (6-2-2)
			(6-3) 수처리 및 에너지 생산 공정 연계 기술	(6-3-1) (6-3-2)
	적 용	(7) 부지선정, 플랜트 설계 및 시공 기술	(7-1) 부지 및 라이프라인 매핑 및 설치 기술	(7-1-1) (7-1-2)
			(7-2) 복합플랜트 지하화 설치 기술	(7-2-1) (7-2-2)
			(7-3) 안전 및 환경 관리 기술	(7-3-1) (7-3-2)
	기 술	(8) 기술관리 및 제도 개선 지원 기술	(8-1) 경제성, 환경성, 기술성 등 분석 및 평가 기술	(8-1-1) (8-1-2)
			(8-2) 도시기반 유틸리티 통합관리 및 계통연계 기술 표준화	(8-2-1) (8-2-2)
			(8-3) 기술 표준화 및 제도개선방안 검토	(8-3-1) (8-3-2)

(1) 전략목표 1 : 도시유형별 복합플랜트 표준모델 확보

- 본 기획에서는 먼저 향후 도시기반 순환형 복합플랜트의 구체적인 개념을 확립하는 한편, 타당성 검토와 세부 적용방안을 수립하여 도입장소를 선정, 협의하는데 활용하기 위해 핵심기술 분야 중 기반기술 분야로 분류된 복합플랜트 모델 개발 기술,

즉 신도시 건설 모델 개발 기술과 기존 신도시 리모델링 모델 개발 기술 및 도심 재개발 모델 개발 기술 개발을 우선 개발대상 주제로 선정

(2) 전략목표 2 : 복합플랜트 설치·운영을 위한 기반 조성

- 도시기반 순환형 복합플랜트 도입을 위해서는 용·복합플랜트 공정 계획, 설계 및 운영기술 개발이 요구되며, 여기에는 기존 플랜트들을 대상으로 한 운영현황과 도시 내 자원 및 에너지 수요의 수집 및 분석이 필수적이므로, 이를 효과적으로 지원하기 위한 ICT 기반의 도시 자원 및 에너지 수급 통합 모니터링과 체계적인 분석 등 핵심 기반기술 개발을 또 하나의 전략목표로 설정

(3) 전략목표 3 : 분야별 복합·연계 핵심공정 개발 및 실증

- 앞서도 기술한 바와 같이 도시기반 순환형 복합플랜트는 기본적으로 도시의 외곽이 아니라 자원과 에너지의 수요처 및 발생원의 근거리에 위치한 시설에서 처리하는 것이 바람직하나, 현실적으로는 이를 위한 분위기나 여건이 성숙되지 않았음을 고려하여 근본적인 도시기반형 분야의 기술개발에 앞서 배후지원형 분야의 시설을 대상으로 핵심 및 응용기술을 개발함으로써, 향후 본 사업의 추진을 선도하는 것으로 구상
- 즉 핵심기술 분야 중 공정기술 분야에 포함되는 도시기반형 복합화 핵심공정 기술 개발에 앞서 배후지원형 복합화 핵심공정 기술(용·복합화 공정 기술) 또는 응용기술 분야 중 에너지 및 환경플랜트 연계기술에 해당하는 일부 주제를 중점 개발대상으로 선정하며, 신기술 개발은 물론 기 개발기술의 조합과 적용 또는 기 개발기술의 개선을 모두 포함
- 여기서 배후지원형 복합화 핵심공정 기술(핵심-공정기술 분야)에는 가연성 또는 유기성 폐기물로부터 에너지를 회수하여 에너지 생산공정과 결합하는 통합형 바이오 에너지 생산 복합공정 기술과 생활폐기물 천연가스화 복합공정 기술 등이 해당되는 한편, 에너지 및 환경플랜트 연계 기술(응용-연계기술 분야)에는 신재생에너지의 에너지 생산공정 연계 기술과 폐기물 처리 및 에너지 생산공정 연계 기술 등이 포함됨
- 단 예산지원 규모에 따라 복합공정과 연계공정, 또는 신재생에너지 분야와 폐기물 처리 및 자원화 분야를 모두 지원할 수도 있고, 예산이 허락되지 않는 경우에는 상호 공모에 의한 경합을 하는 것도 가능할 것임

- 당해 전략목표는 본 기획사업의 중추를 담당해야 하며, 본 사업 수행을 위한 선도 사업이라는 점을 감안하여 사업을 대표하는 가시적인 성과물을 도출해야 함은 물론, 해당분야에 대한 기술적인 내용 뿐만 아니라 다른 전략목표의 추진내용도 적극적으로 지원해야 함

(4) 전략목표 4 : 복합플랜트 도입환경 및 기술기반 구축

- 본 도시기반 순환형 복합플랜트 기술 분야와 본 사업이 타 부처에서 수행하는 각종 유사 주제와 차별화되는 대표적 사항으로 응용기술 분야 중 연계기술 분야의 도시계획 연계기술을 본 사업의 또 다른 전략목표로 선정하며, 여기에는 자원·에너지 순환형 도시계획 및 설계 기술과 복합플랜트 기반 도시 주거환경 개선 기술이 포함됨
- 본 전략목표는 타 부처에서 이미 개발되어 실용화되었거나 또는 개발은 되었지만 도입에 애로를 겪고 있는 기술을 포함하여 도시계획 및 도시 유틸리티 수요와 연계하여 합리적, 효율적, 생태적 설치, 운영기술을 개발하는 것으로 타 정부부처와의 협조를 통한 공동추진을 고려하는 것도 바람직할 것으로 판단됨
- 마지막으로 이상의 전략목표를 총괄하여 과제들의 성공적인 수행을 지휘하면서, 향후 본 사업의 추진을 위해 기술관리 및 제도개선 지원 기술 분야(응용-적용기술 분야)의 도시기반 순환형 복합플랜트기술 표준화 및 제도개선방안을 검토, 도출하는 연구 추진

표 3.2 기획사업의 전략목표 및 해당 기술 분야

전 략 목 표	기술 분류표 해당 분야			비 고
	대분류		중분류	
도시유형별 복합플랜트 표준모델 확보	핵심 기술	기반 기술	복합플랜트 모델 개발 기술	
복합플랜트 설치·운영을 위한 기반 조성			복합플랜트 계획, 설계 및 운영 기술	
분야별 복합·연계 핵심공정 개발 및 실증	핵심 기술	공정 기술	배후지원형 복합화 핵심공정 기술	
	응용 기술	연계 기술	에너지 및 환경 플랜트 연계 기술	
복합플랜트 도입환경 및 기술기반 구축	응용 기술	연계 기술	도시계획 연계 기술	
	응용 기술	적용 기술	기술관리 및 제도 개선 지원 기술	

제 2 절 핵심과제 도출

1. 기술 수요조사

가. 기술체계 분석

도시기반 순환형 복합플랜트 후보공정과 기술 및 핵심과제 도출을 위해 복합공정 분석을 위한 분석도구를 작성하였다(세부사항은 기획보고서 참조). 또한 도시기반 자원 및 에너지 수급과 관련된 전체의 유틸리티 시설을 가연성폐기물 처리설비, 유기성폐기물 처리설비, 천연가스 이용 복합발전설비, 중유 및 미분탄 열병합발전설비, 신재생에너지설비, 수처리설비, 원자력발전설비 및 기타 설비의 8개 군으로 구분한 후, 각각의 설비에 대해서 공급되는 원료 및 에너지를 Input Stream으로, 생산되는 생산물과 에너지를 Output Stream으로 구분하여 분석도구에 입력하여 기술체계 분석을 수행하였다.

표 3.3은 가연성폐기물 처리설비 분야의 소각 설비 중 스토커식 소각방식과 가스화방식 중 산소 가스화설비에 대한 Input stream과 Output stream 작성결과를 예시한 것으로, 여기서 “●”기호는 이미 기술적으로 상업화된 공정을 의미하는 것으로, 산소가스화 설비에서 생활폐기물을 공급하여 합성가스를 생산하는 것은 이미 기술적으로 상업화 단계의 수준에 도달해 있음을 알 수 있다.

표 3.3 가연성폐기물 설비에 대한 input stream과 output stream 작성 예시

대분류	중분류	소분류	Input stream			Output stream			
			생활 폐기물	산소	공기	합성 가스	연소 가스	전력	고압 증기
가연성폐기물 처리설비	소각	스토커 소각	●		●		●	●	●
가연성폐기물 처리설비	가스화	산소 가스화	●	●		●		●	●

표 3.4는 기타 설비 분야의 CO₂ 전환설비 중 합성가스 전환설비에 대한 Input Stream과 Output Stram 작성결과를 예로써 나타낸 것으로, 여기서 “■”기호는 아직까지 상용되지 않았지만 파일럿 규모의 연구개발이 진행되고 있는 것을 의미하며, “▲”기호는 아직까지 연구개발이 활발하지 않고 원천기술 연구개발 단계에 머물러 있음을 말해주는

것이다.

이와 같은 방법으로 8개 분야(대분류) 각각 중분류, 소분류로 구분된 플랜트에 대하여 Input Stream과 Output Stream에 대하여 각각의 기술수준(●, ■, ▲ 기호로 구분) 분석을 통해 복합플랜트 후보기술 및 핵심과제를 도출하였다. 복합플랜트 후보기술 도출시 적용한 개념도를 그림 3.2에 도시하였다.

표 3.4 기타 설비에 대한 input stream과 output stream 작성 예시

대분류	중분류	소분류	Input stream			Output stream		
			CO ₂	연소 가스	증기	합성 가스	액체 연료	전력
기타	CO ₂ 전환	합성가스 전환	■		●	■	▲	

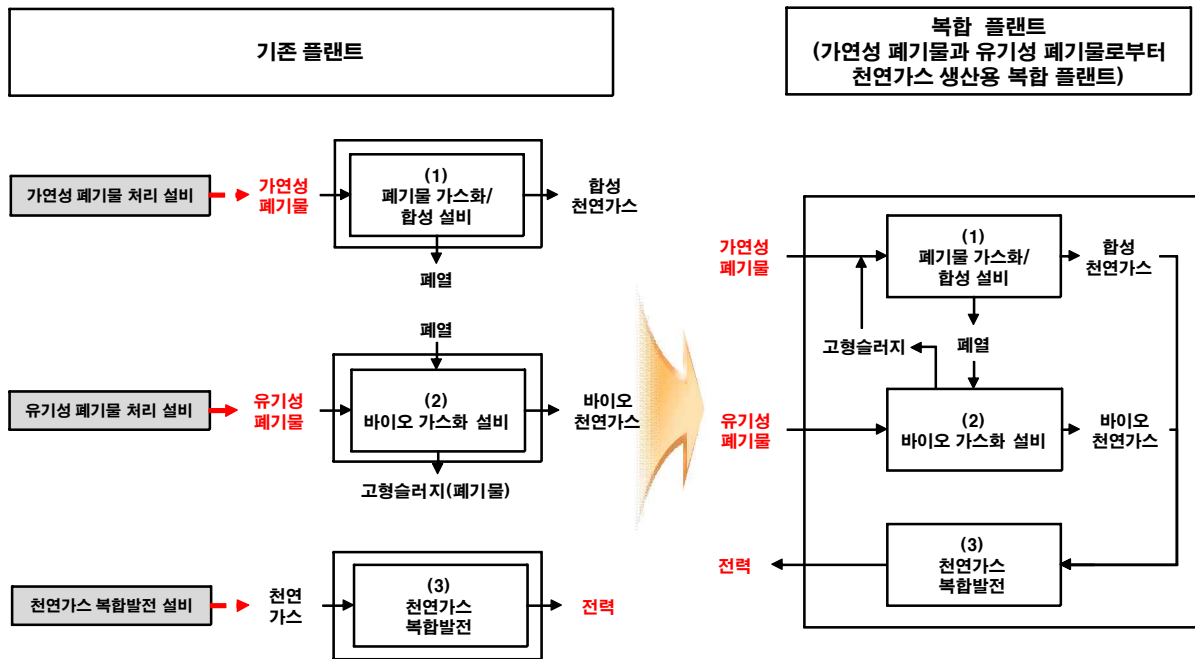


그림 3.2 기존 단순 플랜트로부터 복합플랜트 도출 개념도

먼저 가연성폐기물을 대상으로 한 폐기물가스화 및 합성설비의 주 공정에서 합성천연 가스를 생산하며 부산물로서 폐열을 얻는 반면, 유기성폐기물을 대상으로 한 바이오가스 화 설비에서는 폐열을 사용하는 주 공정에서 바이오 천연가스를 생산하면서 고형슬러지 를 폐기물로 배출한다.

이와 같은 가연성폐기물과 유기성폐기물을 대상으로 하여 가연성폐기물 가스화 및 합

성설비에서 바이오가스화 설비에서 폐기물로 배출되는 고형 슬러지를 연료의 일부로 사용하고, 대신 폐열을 바이오가스화 설비의 보조연료로 공급하는 방안이 복합플랜트의 공정 중 하나로 고려될 수 있다. 즉 가연성폐기물 가스화 및 합성설비와 바이오가스화 설비의 연계를 통해 고형 슬러지 폐기물의 발생을 원천적으로 방지하며, 바이오가스화 플랜트에서 필요로 하는 폐열을 자체적으로 확보함으로써 에너지 이용효율을 극대화 할 수 있다는 장점이 있다.

이러한 복합공정을 구축함으로써 가연성폐기물과 유기성폐기물로부터 얻어지는 신재생 에너지원의 일종인 바이오가스를 기존 도시에서 천연가스(도시가스)를 원료로 하는 열병합발전 설비의 연료로 사용함으로써 폐기물 발생을 근본적으로 줄이는 한편, 도시에서 필요한 전력과 열을 생산하는데 따른 에너지 이용효율을 높여 온실가스 배출을 억제하는 효과도 얻을 수 있을 것이다.

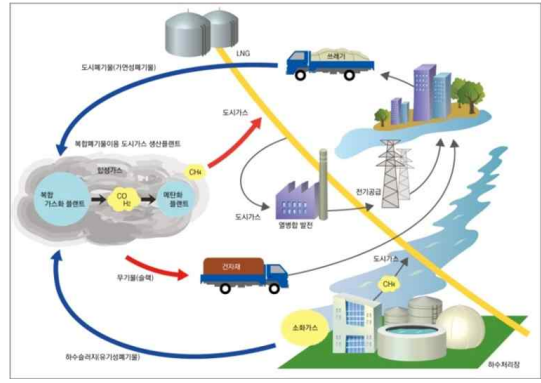
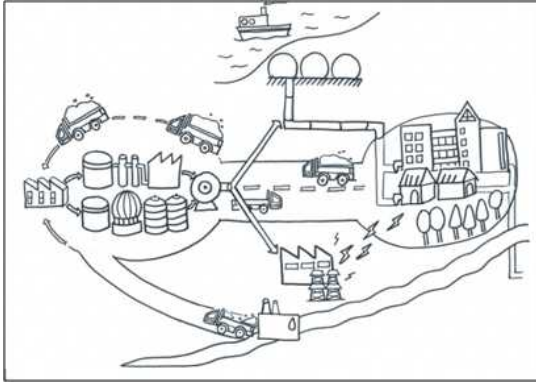
이와 같은 과정을 거쳐 도출한 다양한 공정 중 가연성·유기성 폐기물 처리 및 복합발전 복합공정 개요를 표 3.5에 보였다.

표 3.5 도출된 가연성·유기성 폐기물 처리 및 복합발전 공정 개요

복합공정	가연성·유기성 폐기물 처리 및 복합발전 복합공정																																																																																																																																						
기술체계 분석결과	<table border="1"> <thead> <tr> <th>소분류</th> <th>도시생활폐기물</th> <th>농·산림폐기물</th> <th>바이오매스</th> <th>음식물류 폐기물</th> <th>고형연료</th> <th>광형 슬러지</th> <th>고형 슬러지</th> <th>저압 증기</th> <th>전기</th> <th>합성천연가스</th> <th>바이오메탄</th> <th>고압 증기</th> <th>저압 증기</th> <th>전기</th> <th>광형 슬러지</th> <th>온·열</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>중기가스화</td> <td>●</td> <td>●</td> <td>●</td> <td></td> <td>●</td> <td>●</td> <td>■</td> <td></td> <td>●</td> <td>■</td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>●</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>축대가스화</td> <td>●</td> <td>●</td> <td>●</td> <td></td> <td>●</td> <td>●</td> <td></td> <td></td> <td>●</td> <td>■</td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>●</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>가스화용융</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td></td> <td>●</td> <td>●</td> <td></td> <td></td> <td>●</td> <td>■</td> <td></td> <td>■</td> <td>■</td> <td>●</td> <td></td> <td>●</td> </tr> <tr> <td>음식바이오가스화</td> <td></td> <td></td> <td>●</td> <td>■</td> <td></td> <td>●</td> <td></td> <td>■</td> <td></td> <td>■</td> <td>●</td> <td></td> <td>■</td> <td></td> <td>■</td> <td></td> </tr> <tr> <td>간식바이오가스화</td> <td></td> <td></td> <td>●</td> <td>■</td> <td></td> <td>●</td> <td></td> <td>■</td> <td></td> <td>■</td> <td>●</td> <td></td> <td>■</td> <td></td> <td>■</td> <td></td> </tr> <tr> <td>고형합가스화</td> <td></td> <td></td> <td>●</td> <td>■</td> <td></td> <td>●</td> <td></td> <td>■</td> <td></td> <td>■</td> <td>●</td> <td></td> <td>■</td> <td></td> <td>■</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																소분류	도시생활폐기물	농·산림폐기물	바이오매스	음식물류 폐기물	고형연료	광형 슬러지	고형 슬러지	저압 증기	전기	합성천연가스	바이오메탄	고압 증기	저압 증기	전기	광형 슬러지	온·열	중기가스화	●	●	●		●	●	■		●	■		■	■	●			축대가스화	●	●	●		●	●			●	■		■	■	●			가스화용융	■	■	■		●	●			●	■		■	■	●		●	음식바이오가스화			●	■		●		■		■	●		■		■		간식바이오가스화			●	■		●		■		■	●		■		■		고형합가스화			●	■		●		■		■	●		■		■	
	소분류	도시생활폐기물	농·산림폐기물	바이오매스	음식물류 폐기물	고형연료	광형 슬러지	고형 슬러지	저압 증기	전기	합성천연가스	바이오메탄	고압 증기	저압 증기	전기	광형 슬러지	온·열																																																																																																																						
중기가스화	●	●	●		●	●	■		●	■		■	■	●																																																																																																																									
축대가스화	●	●	●		●	●			●	■		■	■	●																																																																																																																									
가스화용융	■	■	■		●	●			●	■		■	■	●		●																																																																																																																							
음식바이오가스화			●	■		●		■		■	●		■		■																																																																																																																								
간식바이오가스화			●	■		●		■		■	●		■		■																																																																																																																								
고형합가스화			●	■		●		■		■	●		■		■																																																																																																																								
	<p>■(주황색) : Input Stream ■(황색) : Output Stream ■(회색) : Connection Stream → : Connecting Line</p>																																																																																																																																						
복합공정 개요	<ul style="list-style-type: none"> ·복합 기술 : 가연성폐기물 가스화 용융공정과 바이오가스화 설비의 복합화 공정 ·가연성폐기물 가스화 용융 설비로부터 합성천연가스를 생산하면서, 바이오가스화 플랜트에서 발생된 공정 슬러지를 동시에 연료로 사용 ·바이오가스화 설비에서 바이오 메탄가스를 생산하면 가스화 용융 설비에서 배출되는 저압증기를 소화조 가열용 에너지원으로 활용 ·복합화 효과 : 바이오가스화 설비의 소화조를 가열하는데 필요한 에너지를 가스화 용융 설비의 폐열(저압 증기)을 사용함으로써 에너지 이용효율을 높이고, 바이오가스화 설비에서 배출되는 공정 슬러지를 가스화용융 설비에서 사용함으로써 공정 폐기물의 발생을 최소화할 수 있음. 또 기존 																																																																																																																																						

천연가스를 연료로 사용하는 열병합발전 공정에 신재생에너지인 바이오합성가스를 공급함으로써 온실가스 저감효과도 얻을 수 있음

개 념 도



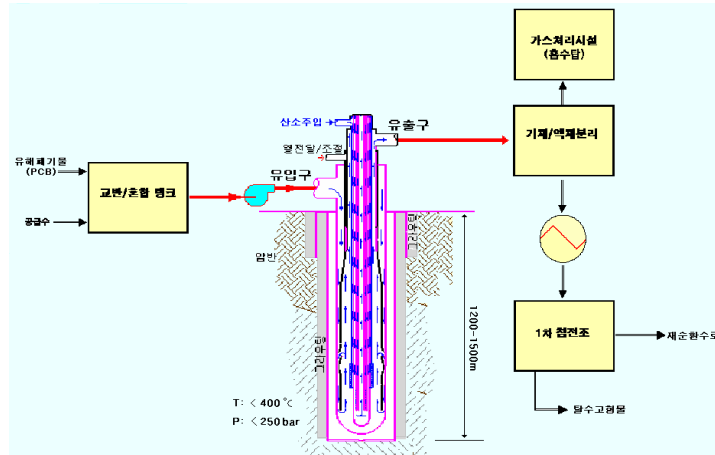
나. 전문가 설문조사

- 도시기반 순환형 복합플랜트 후보공정과 기술 및 핵심과제 도출을 위한 또하나의 방법으로 전문가 집단을 대상으로 설문조사를 수행하였으며, 여기에는 기존의 기획 또는 연구개발 결과의 조사, 분석결과도 포함
- 표 3.6에 설문조사 결과의 하나인 유기성폐기물 처리 및 에너지화를 위한 초심층 습식산화 복합공정에 대한 작성결과를 예시함 (세부내용은 기획보고서 참조)

표 3.6 유기성폐기물 처리 및 에너지화를 위한 초심층 습식산화 복합공정에 대한 설문 조사 결과

세부 공정명 : 유기성폐기물 처리 및 에너지화 초심층 습식산화 복합공정

개략 공정도



공정 개요 및 특징

- 설정되는 설계압력에 따라 지하 약 1~2km의 심층 깊이에 Casing Pipe를 삽입하고 반응기를 추가로 설치하는 구조로 구성
- 적정 농도의 유기성 폐기물을 심층 반응기 Inner Pipe에 적정 유속으로 주입하면 중력 즉 수두에 의해 고압이 유지되고 주입되는 산소와 유기물질의 반응열에 의해 고온이 유지되면서 반응이 진행
- 반응에 따른 가스와 물 및 무기물 등은 가스의 부력과 순환펌프에 의해 밖으로 배출되며, 가스는 정제 후 합성가스로 이용 가능

도입에 따른 효과·편익 분석

- 추가적인 동력원이 없이도 자연현상을 이용한 고온(150~350℃), 고압(80~220 기압)의 초임계 상태에서 최적 반응조건을 유지함으로써 슬리지 등 모든 유기성 폐기물을 효과적으로 처리
- 유기물의 완전 산화반응을 통해 무해한 처리가 가능하고 발생된 합성가스는 회수하여 연료로 사용
- 유기물 함량이 낮아 처리에 따른 에너지 소비가 많은 물질에도 적용이 가능한 일종의 액상연소 방법임

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 산화반응속도 조절 및 반응 후 생성물질의 조절을 위한 처리물질 및 산소의 공급조건 등 이론 및 실증연구 필요
- 미국, 중국, 남아공, 영국, 네덜란드 및 일본 등에서 실증 규모의 사업을 수행한 바 있고, 국내에서는 한국건설기술연구원에서 기초연구만 수행된 상태임

다. 기술 수요조사 결과

- 이상에서 기술한 도시기반 유틸리티 관련 기술체계 분석 및 전문가 집단을 대상으로 한 설문조사와 함께 전문가 의견수렴과 도시기반 유틸리티 설비의 설치 및 운영 현황과 시사점 그리고 다양한 연구결과 등을 통해 도시기반 순환형 복합플랜트 개발사업의 핵심과제 선정을 위한 후보공정과 기술을 표 3.7에 정리함 (세부사항은 기획보고서 참조)

표 3.7 핵심과제 도출을 위한 도시기반 순환형 복합플랜트 후보 공정 및 기술 일람

도출 경로	복합플랜트 후보 공정 및 기술
기술체계	·가연성 폐기물과 유기성 폐기물로부터 천연가스 생산용 복합플랜트

분석	·유기성 폐기물 복합처리 플랜트
	·복합 폐기물 소각 열병합발전 플랜트
	·복합 폐기물 가스화 열병합발전 플랜트
	·발전소 폐열 이용 온도차 발전 플랜트
	·배수 이용 냉난방 및 중수도 이용 플랜트
	·ORC/Kalina 사이클, 초임계 CO ₂ 사이클 이용 발전 플랜트
	·원자력을 이용한 수소 생산과 CO ₂ 이용 연료생산 복합플랜트
	·발전소 배출 CO ₂ 와 해조류를 이용한 청정연료 생산 복합플랜트
	·플라즈마 램프와 광합성 미생물 이용 CO ₂ 자원화 복합플랜트
전문가 설문조사 등	·유기성 폐기물 처리 및 에너지화 초심층 습식산화 복합플랜트
	·플라즈마 용융 생활 폐기물 처리 및 에너지화 복합플랜트
	·신재생에너지 이용 압축공기 저장 및 복합플랜트
	·하수처리 소화가스 이용 열병합발전 복합플랜트
	·냉온열 동시 장거리 수송 및 이용 시스템
	·처리수 이용 건천화 방지 및 생태학적 이용 시스템
	·전기·열 복합 에너지 네트워크 모델 개발
기타	·에너지·수자원·식량자원 복합생산 플랜트
	·복합공정 및 스마트 라이프라인 통합 운영관리시스템
	·복합플랜트 생애주기 통합정보 관리체계
	·도시계획 연계 설치 및 운영 기술
	·지하공간을 이용한 설치기술

2. 세부과제 구성

가. 세부과제 선정

- 이상의 기획과정을 거쳐 도출된 도시기반 순환형 복합플랜트 후보 공정 및 기술을 검토하여 다음과 같이 본 기획사업의 세부과제 선정

표 3.8 전략목표별 세부과제 및 주요 수행내용

전략목표	세부과제명	주요 수행내용
도시유형별 복합플랜트 표준 모델 확보	(제1세부과제) 도시 유형별 복합플랜트 모델 및 설계기술 개발	·신도시 건설 복합플랜트 모델 ·신도시 리모델링형 복합플랜트 모델 ·도심 재개발형 복합플랜트 모델 ·복합플랜트 입지조건 분석 및 설계·시공기술 확보 및 사업모델 개발
복합플랜트 설치·운영을 위한 기반 조성	(제2세부과제) 도시기반 순환형 복합플랜트 최적 운영 기반기술 개발	·ICT 기반 자원·에너지 수급 통합 모니터링 기술 개발 ·자원·에너지 수급관리를 위한 통합 운영관리 플랫폼 구축 ·데이터 기반의 통합관리를 위한 빅데이터 수집 및 분석, 활용 기술 ·자원·에너지 수급 시나리오별 복합공정 운영 관리 알고리즘 개발
분야별 복합·연계 핵심공정 개발 및 실증	(제3세부과제) 도시기반 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발	·에너지·환경 플랜트의 연계 및 융·복합화와, 국토의 효율적 이용에 기여할 수 있는 핵심기술 ·에너지 공급 및 환경기초시설의 연계 기술 ·복합플랜트 실증을 위한 최적 입지 선정 및 타당성 검토 ·기존 시설의 연계 및 융·복합화를 통한 기술개발 방안 제시
복합플랜트 도입환경 및 기술기반 구축	(제4세부과제) 시설의 도심 설치를 위한 주민친화적 구축기술 개발	·시설의 지하공간 이용 구축기술 ·시설 및 공간의 안전 및 환경성능 개선 기술 ·지상공간의 생태적 조성 및 부산물 활용 주민친화적 공간 조성 기술

나. 세부과제 간의 연관 관계

제 3 절 연구추진 전략 및 체계

1. 연구 추진전략

가. 기술 분야 전체 추진전략

본 기획연구의 비전과 최종 목표 및 전략목표와 세부과제의 관련성, 그리고 진행단계 등 연구 추진전략을 그림 3.3에 도식화 하였다. 도시기반 순환형 복합플랜트 전체 기술 분야 중 선행이 가능하고 또 후속과제의 수행을 뒷받침할 수 있는 주제를 본 기획의 세부과제로 선정함으로써 향후 본 사업을 선도하는 전략을 수립하였다.

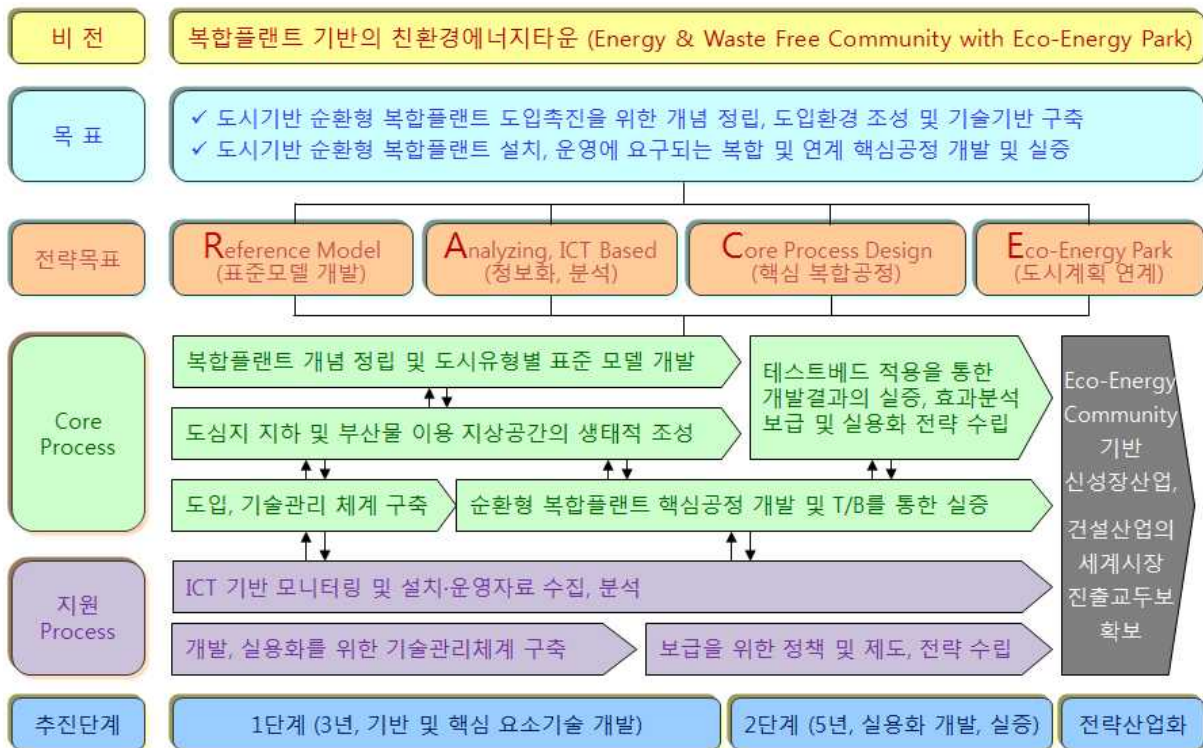


그림 3.3 도시기반 순환형 복합플랜트 기술 분야 전체의 연구 추진전략

즉 본 기획과제는 도시기반 순환형 복합플랜트 기반의 친환경 에너지타운의 체계적이고 효과적인 구축을 위해 복합플랜트에 관련된 핵심 공정기술 개발 분야와 친환경 에너지타운 구축을 위한 적용기술 개발 분야로 이원화하여 동시에 기술개발을 진행함으로써 빠르게 변화하는 도시 인프라에 대한 요구 및 환경변화에 신속한 대응이 가능하도록 연구 추진전략에 반영하였다.

나. 기술개발 로드맵

(1) 기술 분야 전체 로드맵

앞에서 기술한 바 있는 추진전략 중 기술개발 로드맵을 그림 3.4에 보였다. 전체 수행 내용을 일반과제와 사업단 과제로 구분하여 표기하였고, 본 연구기획은 일반과제 부분에 해당된다. 본 기획과제는 사업단 과제의 본격적인 수행에 앞서 선도적인 역할을 하는 것으로 도시기반 순환형 복합플랜트 핵심기술을 개발하며 후속으로 추진될 사업단 과제를 이끌어내는 역할을 수행한다. 이런 의미에서 본 기획과제를 '선도과제'라 부를 수 있을 것이다.

즉 본래 의미의 도시기반 복합플랜트가 수요처와 발생원의 근거리에 설치, 운영되어야 하나 아직 이에 대한 개념 정립이 부족한 측면이 있고, 또 주민의 시설에 대한 부정적 인식이 있다는 점을 감안하여, 본 선도과제를 수행함으로써 핵심기술 개발과 실증을 통한 개념 정립과 본 사업의 추진을 위한 분위기 조성은 물론, 기술개발 방향의 설정과 테스트베드 적용방안에 대한 사전검토를 통한 사업부지 선정 등의 임무를 부여함으로써, 본 사업인 사업단 과제의 원활한 착수를 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

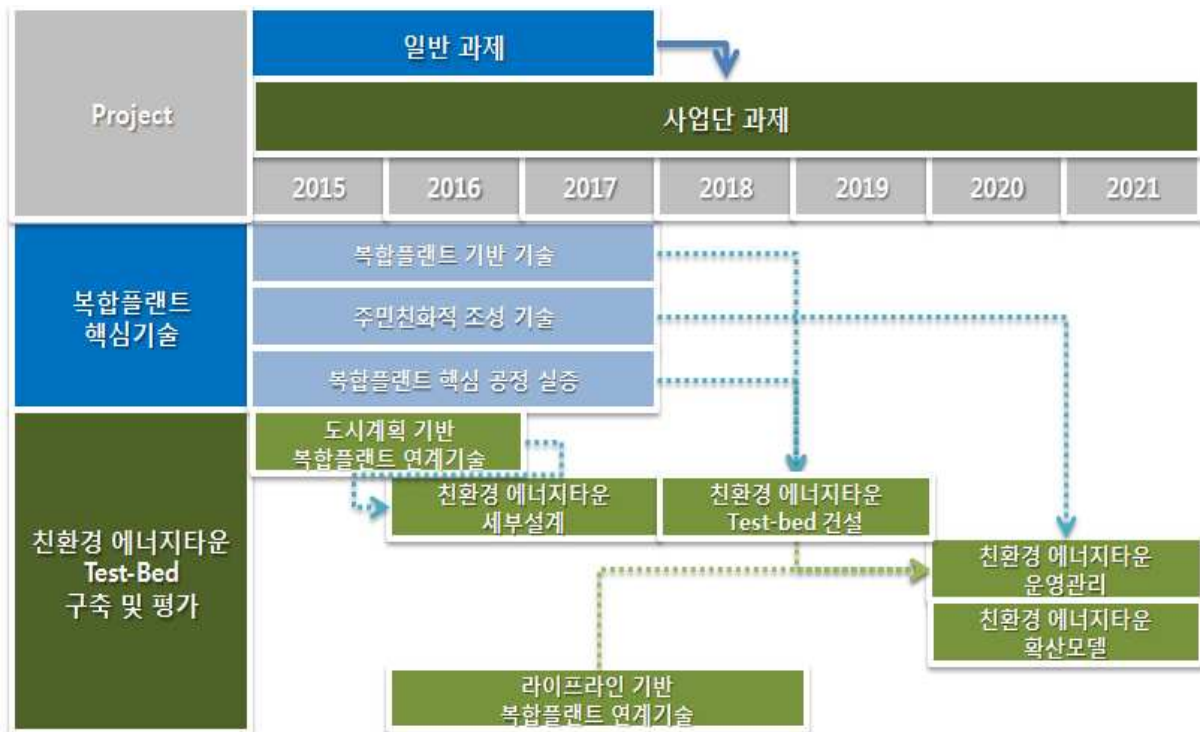


그림 3.4 기술 분야 전체 로드맵과 선도과제(일반과제)의 위계

(2) 선도과제의 역할

본 선도과제는 도시기반 순환형 복합플랜트를 기반으로 하는 친환경 에너지타운을 구축하고 이에 따른 경제적, 기술적 가치를 평가하여 확산, 보급함에 그 목적을 두고 있다. 따라서 연구의 추진전략을 다음과 같이 두 가지 측면으로 나누어 검토할 수 있다.

- 도시기반 순환형 복합플랜트 핵심기술 개발
 - 기술개발이 이미 수행되어 기 확보된 단위공정은 제외하고 공정 간 연계기술 개발
 - 복합플랜트의 자원 및 에너지의 순환이용을 피하여 부산물 이용의 극대화, 폐기물 발생의 최소화를 위한 미확보 단위공정 또는 복합공정의 실증을 통한 기술 검증
- 검증된 핵심기술과 연계되는 도시기반 순환형 복합플랜트 기반의 친환경 에너지타운 구축 지원기술 개발
 - 검증된 핵심공정과 연계한 복합플랜트를 완성하기 위한 연계기술 개발
 - 친환경 에너지타운 구축을 위한 복합플랜트와 라이프라인 연계기술 확보
 - 친환경 에너지타운 설계, 건설 및 운영에 의한 평가 및 보급·확산 모델 확보
 - 관련 범위가 매우 넓고 다양한 도시기반 순환형 복합플랜트 기술 개발 및 적용을 위한 Test-bed 구축과정의 합리적인 관리와 성공적인 목표달성을 지원하는 사업단 과제 추진방안 도출

2. 연구 추진체계

연구개발 과정에서의 합리적이고 효율적인 연구수행과 연구주체 간 상호 의사소통을 위해 각종 복합플랜트에 대한 모델을 정의하고, 기술개발 또는 실증을 위한 주제가 어느 종류에 해당되는지 구분할 수 있어야 한다. 이를 위해 본 기획에서는 여러 가지 측면에서 복합플랜트 모델을 제안하고 다음과 같이 정의한다.

가. 복합플랜트 모델 정의

(1) 구성형태에 따른 분류

(가) NIM (Network Integration Model)

- Network Integration Model(NIM)은 기존 개별적으로 설치된 도시기반 유틸리티 시설 또는 유효자원으로 활용이 가능한 에너지 등이 공정 부산물로 발생하는 시설들(발생원)을 상호 연계하여 재이용 또는 순환이용할 수 있는 공급체계를 갖추고 수요처에 공급을 수행하는 모델로, 유틸리티 시설과 발생원 및 수요처의 거리와 수요와 공급량의 밸런스가 중요한 인자가 됨 (그림 3.5 참조)

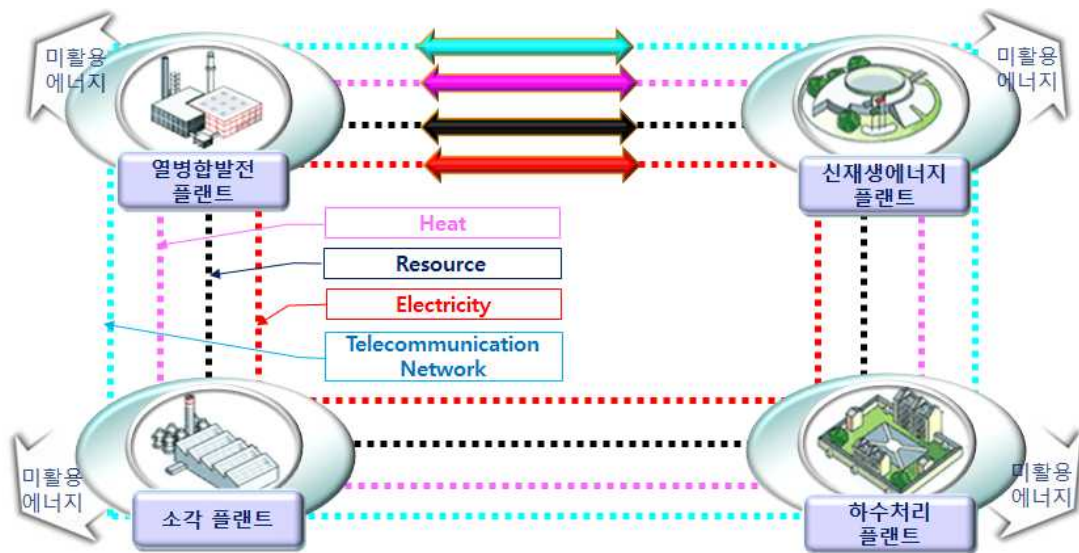


그림 3.5 Network Integration Model(NIM)의 개념도

(나) PCM (Plant Complex Model)

- Plant Complex Model(PCM)은 기본적으로는 에너지의 수요와 공급 관련 공정, 폐기물의 처리 및 자원화 관련 공정, 하수 처리 및 자원화 관련 공정 및 신재생에너지 생산에 관한 공정 등을 동일한 장소에 패키지 형태로써 복합적으로 설치하는 모델로, 분야별로 에너지화 등 일부 공정에 대한 기술개발은 소극적으로 있어 왔으나 아직 기술개발이 충분히 이루어지지 않은 기술 분야임
- 복합공정의 계획, 설계, 설치, 운전제어 및 유지관리 등에 많은 설계 및 운영 자료의 축적이 요구되고, 또 운영관리에도 첨단 정보화 기술이 요구되고 있어 향후 기술개발이 성공적으로 수행되는 경우 고부가가치의 건설 분야와 에너지 분야가 융·복합한 신성장산업으로 발전이 가능
- 다만 이 모델이 실현되기 위해서는 자원과 에너지의 수요처와 발생원 내, 또는 그로부터 가까운 입지에 시설이 설치되어야 하나, 현재로서는 지역주민의 혐오시설 인식에 따라 부지난을 겪을 가능성이 크므로 이에 대한 대책이 요구되며, 본 기획

에서는 선도과제의 수행을 통해 이와 같은 문제를 해결하고, 향후 시설의 설치를 담당할 본 사업의 추진을 위한 분위기 조성은 물론, 테스트베드의 적용을 위한 사업부지 선정 등을 수행하는 것으로 계획

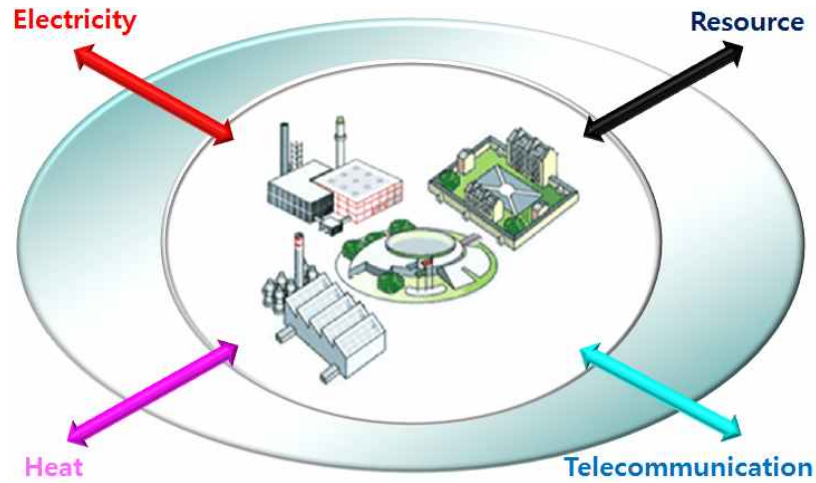


그림 3.6 Plant Complex Model(PCM)의 개념도

(2) 대상 범위 및 연결 형태에 따른 분류

○ 그림 3.7은 기존의 도시기반 유틸리티 시설 특히 PCM의 형태로 시스템을 구성하는 경우 적용 가능한 복합화 모델을 도시한 것으로, 다음과 같이 Plug-in Model과 Add-in Model 및 Imbedded Model의 3가지로 구분

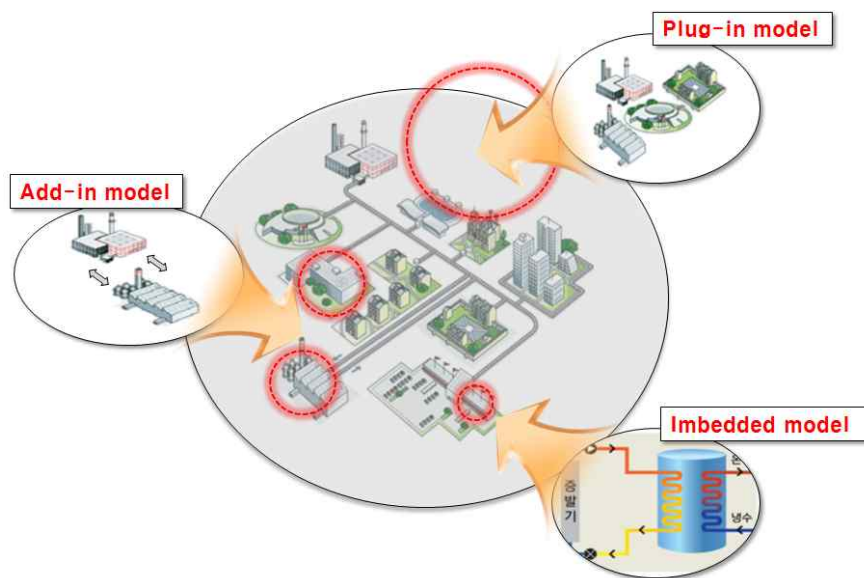


그림 3.7 대상범위 및 연결 형태에 따른 복합플랜트 모델 분류

(가) Plug-in Model

- 하나의 공정 또는 시설이 단독으로도 설치되어 운영이 가능할 정도로 완성된 패키지의 형태로 구성되어 시설의 설치 후 기본적인 배관과 배선 등만 연결하면 기존의 시설과 연계되어 바로 작동이 가능한 모델로, 기존의 시스템과 대등한 수준의 규모와 기능을 가지며 추가되는 시설은 물론 기존의 시스템도 상당한 완성도가 요구되는 모델

(나) Add-in Model

- 기존의 시스템에 추가로 설치되는 일정 수준 완성된 공정으로, 일반적으로 독자적인 운영은 불가능하며 기존의 시스템과 연동되어 운영되는 모델

(다) Imbedded Model

- 기존의 시스템에 추가되어 기존 공정에 새로운 기능을 부여하거나 성능을 개선하는 역할을 수행하는 모델

(3) 적용도시 유형에 따른 분류

- 복합플랜트가 적용되는 도시의 유형에 따라 다음과 같이 분류 가능
 - 신도시 개발 모델
 - 도시재생 모델
 - 기존 신도시 재생 모델
 - 도심 재개발 모델
 - 외국 신도시 모델
 - 산업단지 연계 모델

나. 실증 복합공정 검토

(1) 도시기반형 복합공정

- 그림 3.8은 도시기반형의 순환형 복합플랜트에 적용가능한 복합공정 계통도의 예를 도시한 것으로 현재 개발 또는 실용화되었거나 또는 가까운 장래에 개발 및 활용이

가능한 기술들을 조합하여 작성한 것임

- 여기서 전체의 시설은 에너지 순환계통과 자원 순환계통 및 물 순환계통으로 나누어지는데, 각각의 계통에 앞에서 언급한 기술을 적용한다고 가정할 때 자원과 에너지의 관련성과 수급관계를 도시한 것이며, 다만 이들 시설이 어느 한 현장에 모두 설치되는 것은 아니고 또 모든 현장에 동일한 시설이 설치될 수는 없으며 지역의 여건에 맞는 시스템으로 계획되어야 효율적이고 합리적인 시스템이 구축될 수 있다는 점이 복합플랜트 연구개발의 또 다른 중요 요소임
- 하지만 앞서도 기술한 바 있듯이 그림 3.9에 보인 본 복합공정이 도입되기 위해서는 자원과 에너지의 수요처와 발생원 내, 또는 그로부터 가까운 곳에 시설이 설치되어야 하나, 현재로서는 지역주민의 혐오시설 인식에 따라 부지난을 겪을 가능성이 크므로 본 기획연구에서 다루는 선도과제 이후의 본 사업에서 추진하는 것으로 함
- 그림 3.9 및 그림 3.10에 도시기반형 복합플랜트 복합공정을 적용한 개념도와 도심 근린공원의 지하공간을 이용해 설치한 시설의 투시도를 각각 보인 것임

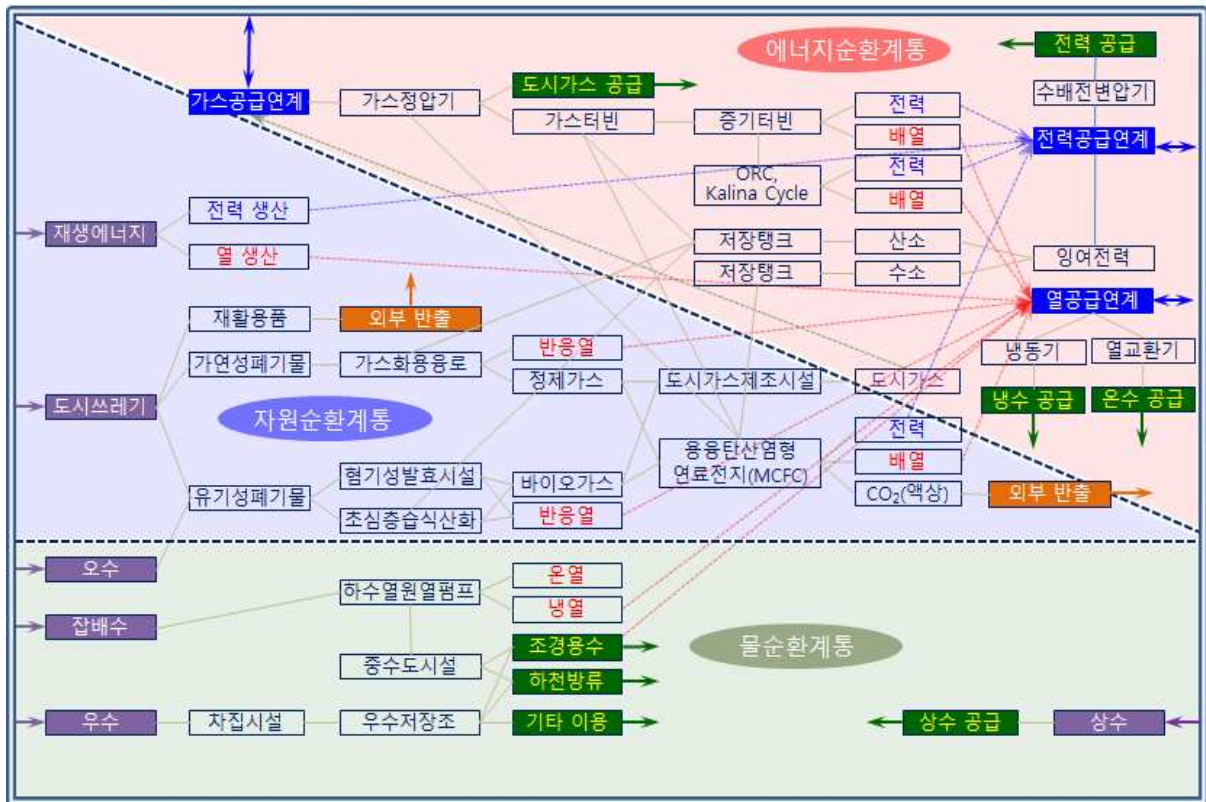


그림 3.8 도시기반형 복합플랜트의 복합공정 계통도

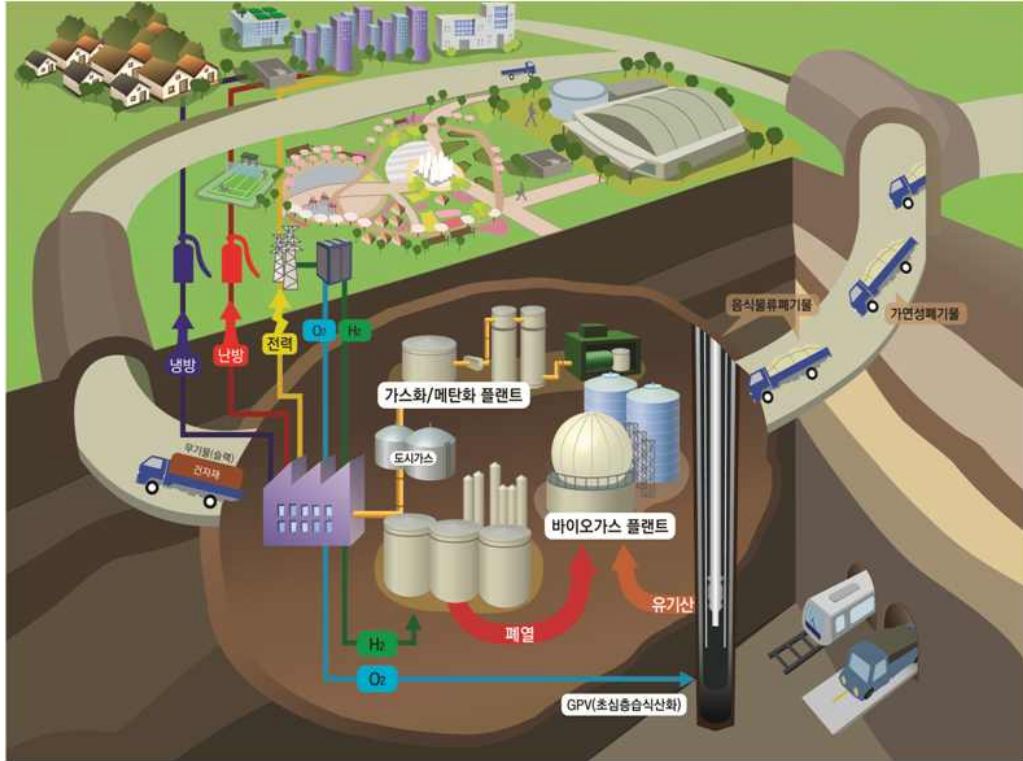


그림 3.9 도시기반형 복합플랜트 복합공정 적용 개념도

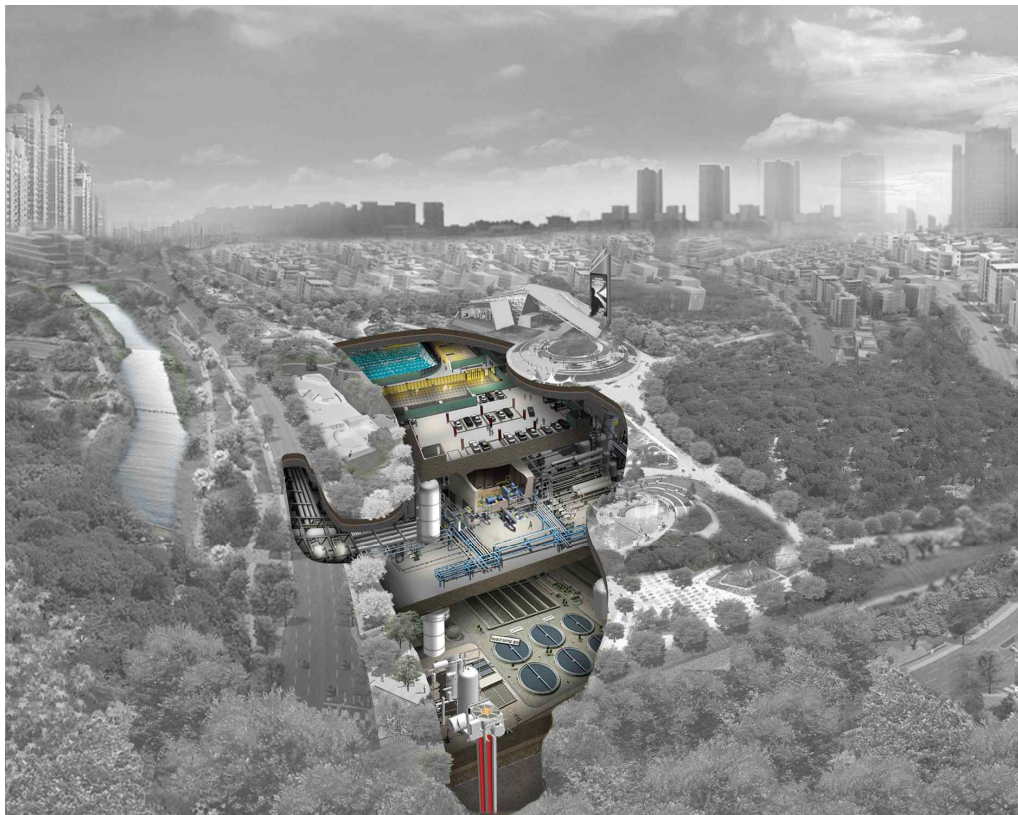


그림 3.10 지하에 설치된 도시기반형 복합플랜트 복합공정 적용시설 투시도

(2) 도시배후형 복합공정

- 그림 3.11은 수도권 매립지와 연계하는 도시배후형 복합공정 개념도를 보인 것으로, 열화학적 가수분해 기술을 이용한 음식물류 폐기물 가용화 및 연료화 기술과 초심층 습식산화 기술을 이용한 하수슬러지 가용화 기술 개발과 이미 설치되어 있는 가연성폐기물 처리 및 에너지화 플랜트에 연결, 운용하는 통합공정 기술 개발이 연구개발 범위로 검토될 수 있음



그림 3.11 수도권 매립지와 연계하는 도시배후형 복합공정 개념도

(3) 신재생에너지 연계형 복합공정

- 그림 3.12는 기존 운영 중인 산업단지에서 발생하는 폐수로부터 열펌프를 이용해 열을 회수하여 이용하는 한편, 동절기 온배수로 배출로 인한 안개 등 환경영향 인자를 경감시키는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단됨
- 또한 인근 소각시설(용융식)과 연계하여 배열과 연소가스를 원료로 사용하는 연료전지에 의한 열병합발전과 태양광발전 등 신재생에너지와 연계하는 복합공정을 적용하는 생태산업단지(Eco-Industrial Park, EIP) 조성을 위한 복합공정임

- 신재생에너지인 태양광발전 및 연료전지에서 생산된 전력을 폐수처리시설 및 폐수열원 열펌프 소요동력으로 공급, 사용
- 열펌프 생산열, 소각배열 및 연료전지에서 생산된 배열과 전기를 인근 지역에 공급, 판매

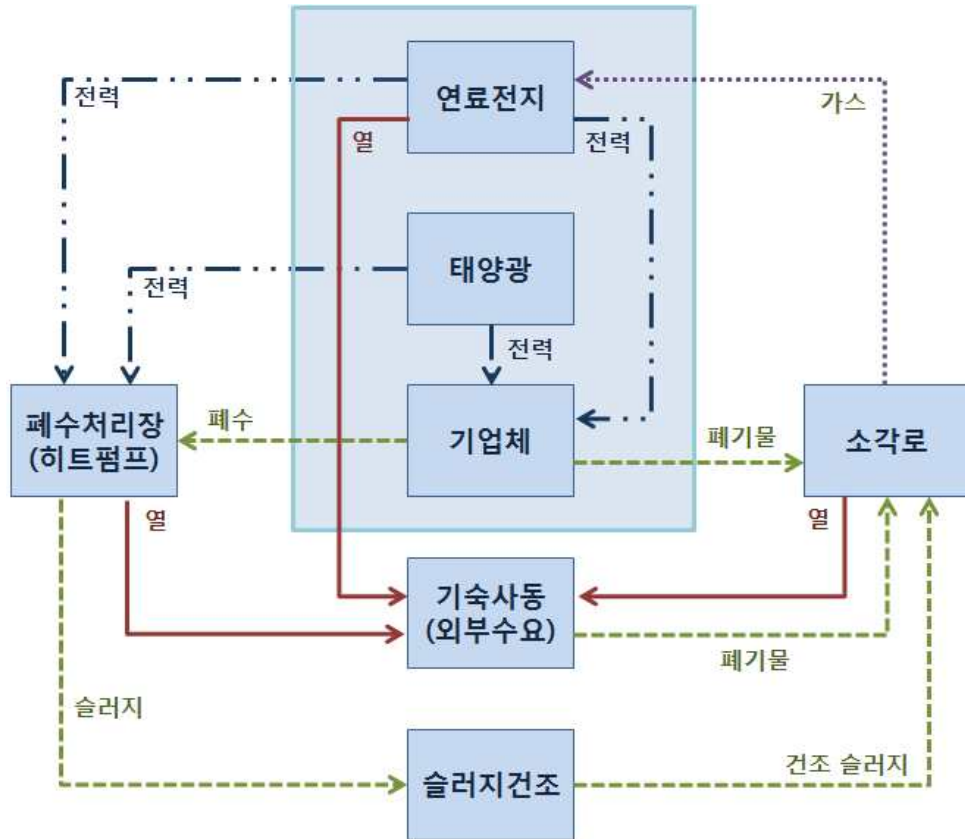


그림 3.12 신재생에너지 연계형 복합공정 계통도

다. 실증 후보지 검토

- 본 기획에서 검토한 실증 후보지별 주요 특징을 표 3.9에 정리함

표 3.9 검토한 실증 후보지 및 주요 특징

실증 후보지	지역적 특성
기존 신도시 근린체육공원 (도시기반형)	· 기존 35,000명 기준의 기존 신도시 재개발 모델 · 폐기물 처리설비와 에너지 공급 설비의 연계를 통해 에너지 이용 효율을 증대하고, 환경오염물질 배출을 최소화하고, 이에 따른 온실가스 배출량을 감축하기 위함

	<ul style="list-style-type: none"> ·토지의 효율적인 활용을 위해 복합 플랜트의 지하시설화 및 이를 위한 플랜트 설계 방법론 확립
수도권 매립지 (도시배후형)	<ul style="list-style-type: none"> ·대량의 폐기물 처리 시설과 연계 모델 ·대량의 폐기물로부터 전기, 가스 및 열을 복합적으로 생산하여 인근 도시에 최적 비율로 공급
새만금 간척지 (도시배후형, 그림 3.13 참조)	<ul style="list-style-type: none"> ·바이오매스 수급이 가능한 농촌 지역에 대해 복합적으로 에너지를 생산하는 모델 ·바이오매스로부터 바이오에탄올, 바이오디젤, 고형연료, 바이오가스를 복합적으로 생산하는 waste near zero화 ·개발계획이 수립되고 착공까지의 기간이 너무 길어 향후 개발계획에 반영하는 것이 바람직
LCD 산업단지 (신재생에너지 연계형)	<ul style="list-style-type: none"> ·생태산업단지형 모델 ·공장 폐수로부터 에너지를 회수하여 전기, 난방 및 냉방으로 활용하는 복합플랜트
해외 신도시 (베트남 등) (도시기반형, 그림 3.14 참조)	<ul style="list-style-type: none"> ·해외 신도시 모델 ·해외 신도시 개발시, 모듈러 도시계획에 발전 및 환경시설을 패키지화하여 대응하는 한편, 연계를 통해 에너지 이용효율을 증대하고, 폐기물 발생을 최소화하는 플랜트 개발



그림 3.13 새만금 간척지 개발계획

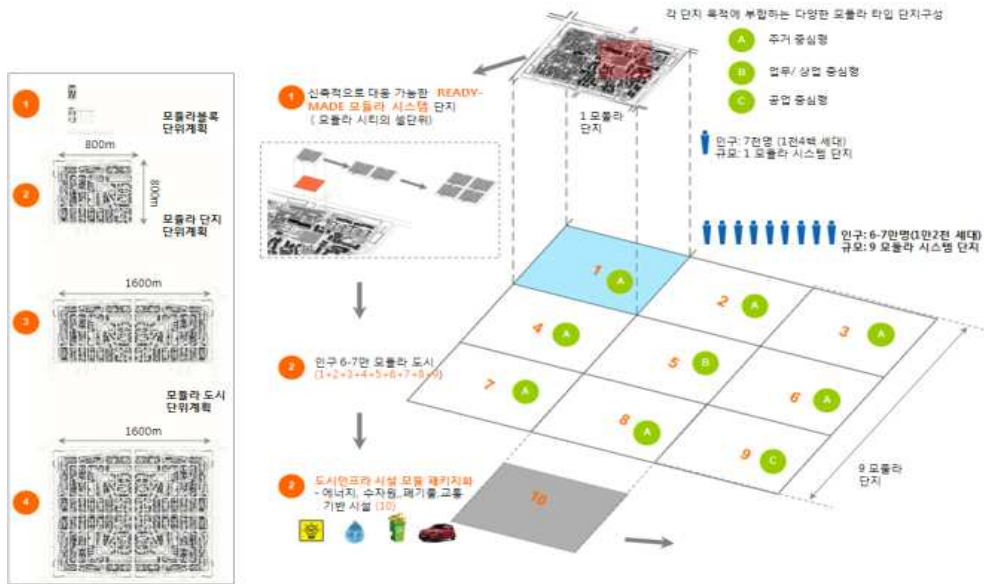


그림 3.14 모듈러 도시계획에 대응한 도시기반 플랜트

라. 실증 추진방안

- 이상에서 도출, 검토한 실증 후보지 이외에도 가능한 대상이 있을 수 있고, 또 대상 후보지별로 특장점이 있을 수 있으므로, 4개의 핵심과제 중 실증과 관련된 핵심과제(제3핵심과제)는 실증 대상 및 후보지별로 제안을 하여 경합을 하도록 하고, 이외의 핵심과제는 공통의 내용으로 수행
- 실증 대상 및 후보지 선정과정에서 복합공정의 실현가능성과 적용효과, 기존 시설 관리주체의 의지와 협조관계, 연구예산 중 민간부담금 출연 내역 및 신뢰성, 향후 본 사업(사업단 과제) 추진을 시사점 및 파급효과 등이 중점적으로 검토되어야 함

제 4 장 세부과제 구성 및 추진전략

앞 장에서 기술했듯이 본 기획에서는 수행과제의 비전을 설정한 전략목표를 ① 도시유형별 복합플랜트 표준모델 확보, ② 복합플랜트 설치·운영을 위한 기반 조성, ③ 분야별 복합·연계 핵심공정 개발 및 실증 및 ④ 복합플랜트 도입환경 및 기술기반 구축의 4가지로 설정하는 한편, 각각의 전략목표에 대응하는 세부과제를 선정하였다. 세부과제별 개요를 설명하면 다음과 같다.

제 1 절 제1세부과제

도시 유형별 복합플랜트 모델 및 설계기술 개발

1. 개요 및 정의

도시기반 순환형 복합플랜트는 기존의 자원과 에너지를 도시에 공급하고 배출되는 폐기물질을 처리하는 기존의 도시기반 플랜트와는 관념적인 측면에서 큰 차이가 있다. 기존의 도시기반 플랜트가 단기간에 걸친 도시화와 산업화 과정에서 급격히 증가하는 수요를 지원하기 위한 대규모 공급의 필요성에 따라 규모의 경제를 추구하며 독자적인 기능만을 갖는 대규모 시설들을 설치, 운영해 왔다. 자연스럽게 이들은 주민기피시설이 되어 발생원이나 공급처로부터 먼 도시의 외곽지역에 설치하는 것이 관행이 되어 왔다.

그 결과 도시생활을 영위하기 위해 필수적인 에너지와 폐기물의 운반에 많은 불편함과 비용이 따랐을 뿐만 아니라, 부산물도 효과적으로 이용하지 못했다. 지역난방시설이 동시에 설치되는 신도시 지역에서는 제한적으로나마 발전이나 소각 후 발생하는 배열을 이용할 수 있었지만, 이외의 경우에는 전혀 그러지 못하는 실정이다. 예를 들어 하수에 포함된 열을 냉난방에 이용하고자 하는 시도가 있었지만 마땅한 수요처를 찾지 못했다. 발전소의 막대한 배열도 강이나 바다에 그대로 버려지고 있다.

최근에는 이와 같은 불합리한 현상을 해소하려는 노력의 일환으로 에너지 산업의 일각에서 막대한 비용이 드는 소위‘열배관 고속도로’를 건설하려는 시도조차 검토되고 있다. 하지만 현 시점에서 각자 담당하는 에너지원 공급주체의 상반된 입장과 이해관계를 따지기에 앞서, 지금과 같은 도시기반 유틸리티 시설의 설치 및 운영형태가 바람직한가에 대한 검토가 선행되어야 한다. 즉 지금의 시설을 그대로 유지할 것인지, 과거 개발 주도시대의 관념을 현대사회가 요구하는 친환경적이고 합리적인 것으로 바꿀 것인지에 대

한 고민과 의사결정이 필요하다.

여기서 친환경적이고 합리적인 관념이란 지금까지와 같이 도시 자원과 에너지의 대량 소비를 지원하는 대량생산의 개념에서 도시의 계획단계에서부터 지역의 자원과 에너지 수요를 최소화하는 노력과 아울러, 해당 지역이 가진 자원을 최대한 순환 이용하는 체계가 채택되어야 한다. 즉 해당지역에서 발생하는 배출물을 스스로 처리하고 또 필요로 하는 에너지와 자원도 알아서 충당하는 것을 원칙으로 하되, 불가피한 경우에만 외부에 의존하여야 한다.

이 경우 각 시설들의 유기적인 결합과 수요와 공급의 조화 및 균형을 통해 효율이 획기적으로 높아짐은 물론, 에너지와 자원의 순환이용을 꾀할 수 있어 궁극적으로 배출량과 소비량은 물론 비용도 크게 줄일 수 있다는 장점이 있다. 게다가 도시 내에 설치되는 이들 시설에서 추가로 얻어지는 부산물은 지역에 환원되어 매우 유효하게 이용될 수 있다. 즉 여분의 배열은 수영장이나 식물원 등 주민편의시설에 거의 무상으로 제공될 수 있고, 처리수는 조경용수나 인공하천에 공급함으로써 별도의 비용을 들이지 않고도 생태적인 도시를 조성할 수도 있다.

이를 위해서는 신도시를 건설하거나 도심을 재개발할 때, 또는 기존 신도시를 리모델링(도시 재생)하고자 할 때 활용할 수 있는 도시유형별 도시기반 순환형 복합플랜트 모델이 개발되어야 한다. 물론 이 과정에서는 에너지 공급시설과 폐기물 처리 및 자원화 시설, 그리고 수처리 및 자원화 시설 등 에너지 및 환경 관련 도시기반 시설의 연계와 통합을 위한 연구개발은 물론, 도시계획 과정에서도 도시기반 플랜트를 보는 관점도 지금까지의 관념으로부터 벗어나 창의적이고 복합적인 설계기법과 제도적 지원이 필요한 것으로 판단된다.

스웨덴의 함마비(Hammarby) 신도시의 에코 사이클과 예테보리(Gothenberg)시의 지역 에너지 네트워크 및 일본 NEDO의 유틸리티 인프라 네트워크 구상이 좋은 예라 할 수 있다. 국내에서도 한국건설기술연구원에서 지하공간을 이용한 복합플랜트에 대한 연구를 통해 국내 실정에 적합한 모델을 제시한 바 있고, 지에스건설(주)에서는 동남아시아 등 해외 신도시 개발사업 수주를 위한 새로운 비즈니스 모델의 하나로 모듈러 도시계획에 대응하는 도시기반 플랜트 패키지 모델을 제시한 바 있다.



그림 4.1 Hammarby 신도시의 Eco-Cycle 개념도



그림 4.2 예테보리(Gothenberg)시의 연계운영 에너지 네트워크 현황



그림 4.3 일본 NEDO의 순환형 유틸리티 인프라 네트워크 구성

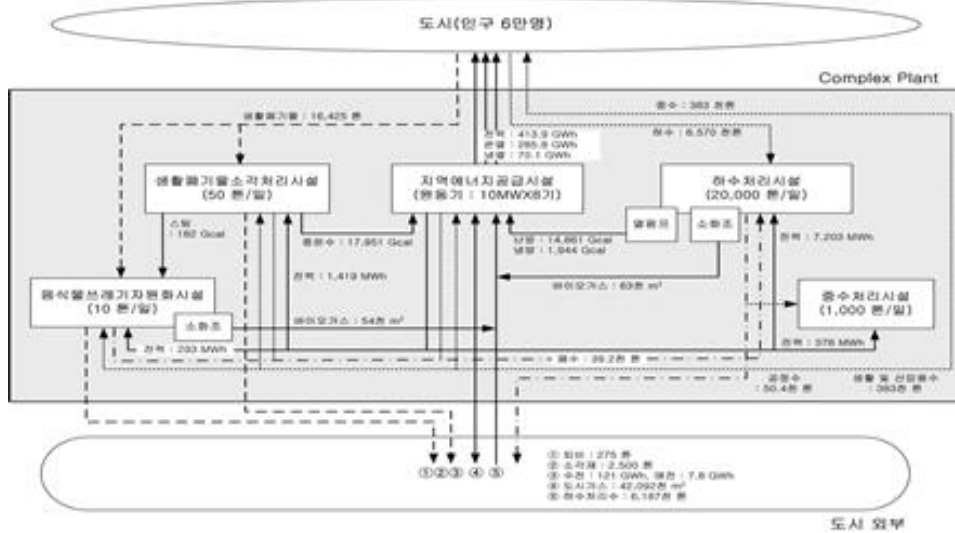
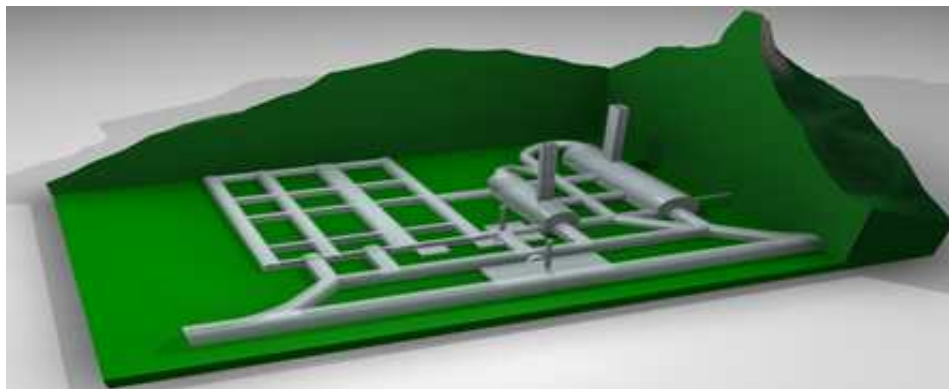


그림 4.4 지하공간을 이용한 복합플랜트 구축방안 및 효과 (한국건설기술연구원)

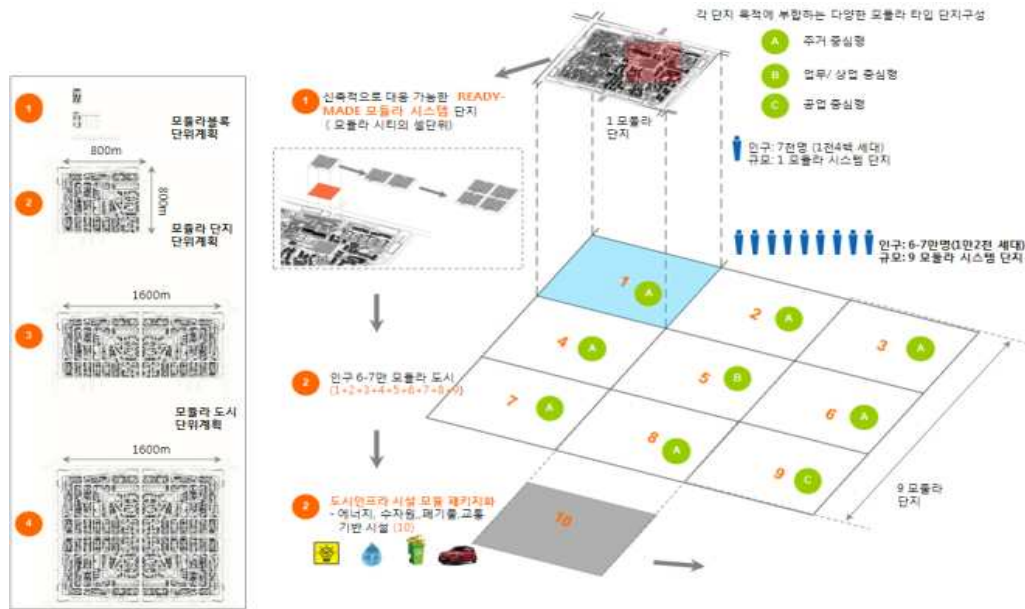


그림 4.5 모듈러 도시계획에 대응한 도시기반 플랜트

2. 연구목표 및 내용

가. 연구목표

본 기획연구 제1세부과제의 연구목표는 다음과 같다.

표 4.1 제1세부과제의 연구목표

제1세부과제의 연구목표	
전략목표	도시유형별 복합플랜트 표준모델 확보
세부과제명	도시 유형별 복합플랜트 모델 및 설계기술 개발
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 실정에 적합한 도시유형 설정 및 각 도시유형에 따른 도시기반 유틸리티 복합공정 표준모델 개발 ○ 복합공정 타당성 검토 및 계획기술 개발 ○ 입지조건 및 수요를 고려한 비즈니스 모델 발굴

나. 연구내용 및 범위

‘도시유형별 복합플랜트 표준모델 확보’가 전략목표인 제1세부과제에서는 여러 가지 도시유형과 당해 도시에서 필요로 하는 에너지와 자원의 수요 등을 고려하여 최적의 도시기반 유틸리티 시설을 구축할 수 있게 해주는 표준모델을 제시하는 한편, 입지조건과 지역의 여건을 고려하여 최적의 시스템 구성을 위한 설계 및 시공기술을 확보함으로써 사업모델화를 개발하는 연구를 중점적으로 수행한다. 도시유형으로는 새롭게 건설되는 신도시형과 기존 신도시의 리모델링형, 기존 도심의 재개발형 등으로 나누어 각각의 특성에 맞는 경제적이고 자원과 에너지 절약적인 설계기술을 검토한다. 제1세부과제의 연구내용 및 범위를 표 4.2에 정리하였다.

표 4.2 제1세부과제의 연구내용 및 범위

세부과제명	중점 추진과제명	세부 연구내용 및 범위	기술분야 ³⁴⁾
도시 유형별 복합플랜트 모델 및 설계기술 개발	도시유형 설정 및 복합공정 표준모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> ·도시 자원 및 에너지 순환체계 개선을 위한 순환형 복합플랜트 개념 정립 ·신도시 건설을 위한 도시기반형 복합플랜트 모델 개발 ·기존 신도시 리모델링을 위한 에너지·환경 복합플랜트 모델 개발 ·도심 재개발형 복합플랜트 모델 개발 ·복합공정별 계획 및 설계 기술 개발 ·도시계획과 유틸리티 수급 관련 도시 기반시설 계획의 유기적인 협조체계 구축을 위한 제도개선 방안 마련 	핵심-기반-(1)
	복합공정 타당성 검토 및 계획기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ·복합공정 에너지 및 물질수지 분석기술 개발 ·융·복합 플랜트 통합 플랫폼 설계기술 개발 ·복합플랜트 EPC 기술 개발 ·복합플랜트 통합공정 계통분석 및 설계 지원기술 개발 	핵심-기반-(2)
	입지조건 및 수요를 고려한 비즈모델 발굴	<ul style="list-style-type: none"> ·국내·외 복합플랜트 시장 및 후보지 조사, 분석 ·입지조건 및 자원·에너지 공급 및 처리수요를 고려한 효과분석 및 타당성 검토 ·도시유형별 복합플랜트 비즈모델 선정 	<ul style="list-style-type: none"> ·용용-적용-(7) ·용용-적용-(8)

34) 기획보고서 참조

다. 주요 연구 성과물

제1세부과제의 중점 추진과제별 도출되는 주요 연구 성과물을 정리하면 표 4.3에 보인 바와 같다.

표 4.3 제1세부과제의 중점 추진과제별 주요 연구 성과물

세부과제명	중점 추진과제명	주요 성과물
도시 유형별 복합 플랜트 모델 및 설계기술 개발	도시유형 설정 및 복합공정 표준모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> ·신도시 건설을 위한 도시기반형 복합플랜트 모델 ·기존 신도시 리모델링을 위한 에너지·환경 복합플랜트 모델 ·도심 재개발형 복합플랜트 모델 ·도시계획과 도시기반시설 계획의 협조체계 구축 제도개선(안)
	복합공정 타당성 검토 및 계획기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ·복합공정 에너지 및 물질수지 분석도구 ·복합플랜트 적용 경제성 및 효과분석 도구 ·통합공정 계통분석 및 설계 지원도구
	입지조건 및 수요를 고려한 비즈모델 발굴	<ul style="list-style-type: none"> ·국내·외 복합플랜트 설치 후보지 ·후보지별 효과분석 및 타당성 검토 결과 ·도시유형별 복합플랜트 비즈모델

제 2 절 제2세부과제

도시기반 순환형 복합플랜트 최적 운영 기반기술 개발

1. 개요 및 정의

향후, 도시 에너지 공급은 기존 화석 연료의 기반에서 신재생 에너지를 포함한 다양한 에너지원의 발굴 및 활용을 통한 에너지 공급 시스템의 다원화와 중앙공급 방식에서 탈피한 분산발전 시스템으로의 전환을 통해 공급보다 수요관리에 중점을 둘 것으로 예상된다. 또한, 기존 도시 에너지 관련 설비의 효율적인 운영을 통한 온실가스 감축 노력 및 탈탄소화로의 시장 변화가 확대될 것으로 전망된다. 따라서 미래 도시기반의 에너지 공급 및 수요 체계는 아래와 같은 3가지 방향으로 전환될 것으로 예측할 수 있다.

- 화석연료 기반에서 다양한 에너지원(신재생에너지, 미활용 에너지 등)을 활용한 에너지 공급 시스템의 다양화 및 통합 체계로의 전환
- 기존 중앙공급 중심에서 탈피한 수요에 능동적으로 대처할 수 있는 분산발전 시스템의 비중 증가
- 최적 가용 기술의 통합·운영으로 발전의 탈탄소화, 에너지향상에 통한 온실가스 감축 노력 증가

따라서, 미래 도시 기반 에너지 공급 및 수요 체계는 상기 3가지 요건의 어떻게 충족시키느냐가 가장 큰 관건일 것으로 판단된다.

도시 에너지 공급은 화석연료를 기반으로 한 중앙공급 방식에서, 신재생에너지의 융·복합화와 가정, 공장 및 빌딩 단위로 관리하는 분산형으로 에너지 수요 체계 재편이 불가피하며 이때 따른 에너지 공급원과 수요의 유기적으로 연계 및 통합 운영이 필요한 상황이다. 이를 위해서는 도시 에너지를 공급하는 근간이 되는 설비인 에너지 및 환경 플랜트의 연계 및 융복합, 도시 자원의 공급 및 소비의 순환형 체계 관리, 통신(Data) 서비스와 도시기반 플랜트 상호간의 연계 및 통합이 이루어져야 한다. 따라서 기존 HEMS, FEMS, BEMS 시스템보다 상위 단계의 에너지 관리체계를 통해 에너지의 수요, 공급 및 운영 전반을 통합한 에너지관리시스템이 요청되는 실정이다.

본 핵심과제에서는 이를 구현하기 위한 도시에너지관리시스템(CEMS, City Energy Management System)을 개발하기 위한 기반연구를 수행하기 위한 것으로, 개발하고자 하

는 CEMS의 개념도를 그림 4.6에 나타내었다.

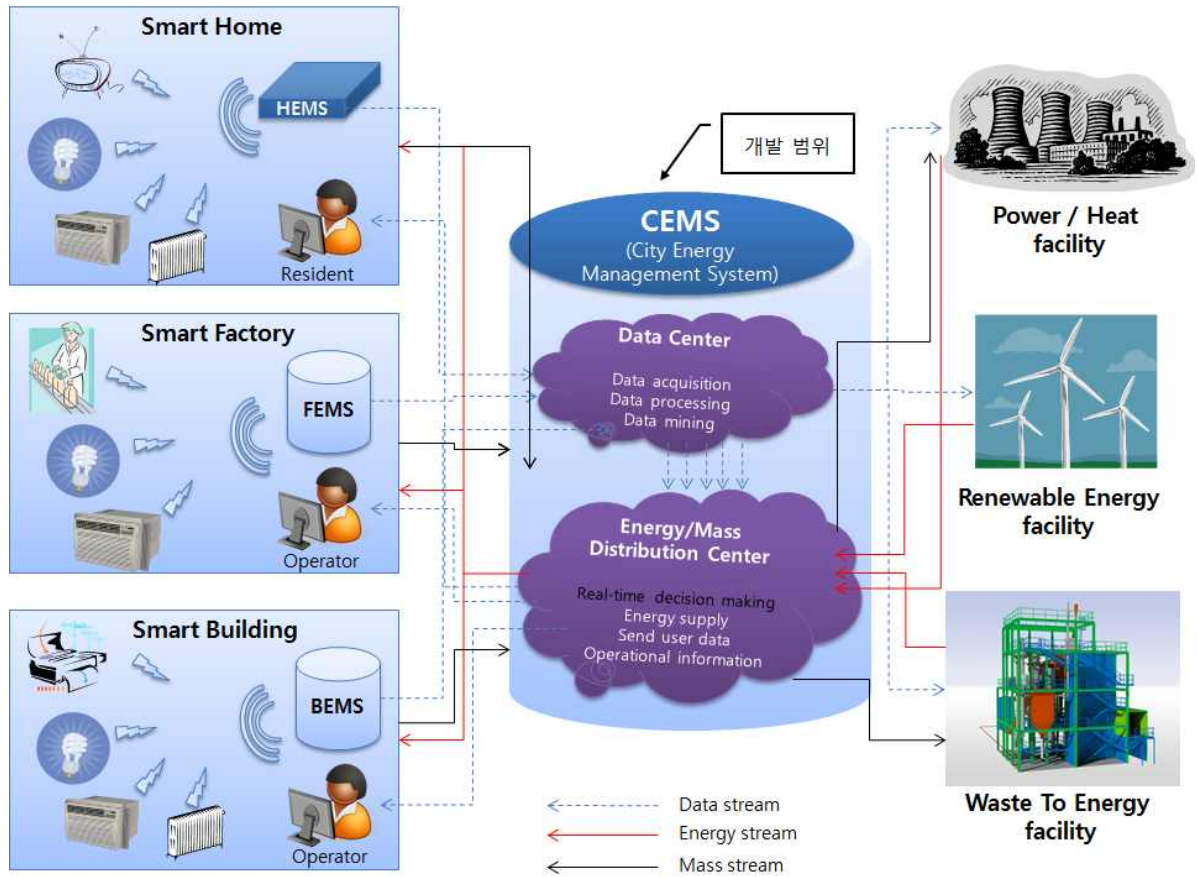


그림 4.6 도시에너지관리시스템(CEMS) 개념

이와 같은 CEMS 기반의 '순환형 도시기반 복합플랜트 최적 운영 기반기술 개발'을 위한 추진전략은 다음과 같다.

- 기존 에너지 수요관리 체계(HEMS, FEMS, BEMS)의 연구결과를 활용(연구 대상은 아님)하고, 이를 공급측과 연계하는 도시 전체의 에너지 수요를 관리하는 통합 표준 체계 구축
- 도시 전체의 에너지를 공급하는 화석연료 기반의 기존 에너지 공급시스템과, 신재생에너지 기반(폐기물, 태양광 및 태양열, 풍력 등)의 분산형 에너지 공급시스템과 기존 미활용에너지를 통합한 에너지 공급관리 통합 표준체계 구축
- 에너지 수요 및 공급 관련 자료 확보가 어려울 것으로 판단되므로, 과제 참여기관에서 수요 및 공급 자료 확보방안을 구체적으로 제시하도록 함(예를 들면, 과제 제안시 에너지 수요 및 공급업체가 과제에 참여할 수 있는 방안도 있으며, 관련 기업

의 참여가 어려울 경우, 가상 플랜트(Virtual Plant)를 통한 공급 및 수요패턴을 연계할 수 있는 방법의 제안도 가능함)

- 빅데이터 기반의 도시 내의 에너지 수요/공급, 자원의 발생/처리를 통합 관리 운영하는 표준 체계 확립 및 플랫폼 구현
- 빅데이터 기반의 플랫폼을 활용하여 도시 기반의 에너지 및 환경 플랜트 효율 최적화, 플랜트 안전 사전 진단 및 플랜트 수명 예측 기술로 활용

따라서, 제2핵심과제는 빅데이터 기반의 도시 에너지통합관리시스템(CEMS)의 구축을 통해 미래 스마트 도시에서 가장 중요한 핵심 인프라인 에너지·환경시스템을 통합 관리할 수 있는 기반 기술을 확보하는데 있다.

2. 연구목표 및 내용

가. 연구목표

본 기획연구 제2세부과제의 연구목표는 다음과 같다.

표 4.4 제2세부과제의 연구목표

제2세부과제의 연구목표	
전략목표	복합플랜트 설치·운영을 위한 기반 조성
세부과제명	도시기반 순환형 복합플랜트 최적 운영 기반기술 개발
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ ICT 기반의 복합공정 통합 운영관리 기술 개발 ○ 에너지 수요 평준화 및 수급관리 기술 개발

나. 연구내용 및 범위

도시기반 순환형 복합플랜트는 유틸리티 공급 및 처리시설 중 2개 이상의 공정이 연계 또는 복합된 것으로, 기존 도시기반 시설이 하나의 시스템으로 구성되어 공정기술이 확립된 것에 반해 복합공정의 운영기술은 아직 해결해야 할 과제가 많은 것이 일반적이다. 이와 같은 연계 및 복합공정의 운영관리를 위해서는 운영 데이터의 분석과 진단 그리고 운전제어 기술 개발이 필수적이며, 이를 위해서는 도시 자원 및 에너지의 수요는 물론

기존 유틸리티 시설들의 운영 데이터 수집이 선행되어야 한다.

또한 도시기반 순환형 복합플랜트의 궁극적인 목적이 도시에서 필요로 하는 자원과 에너지를 최소로 함으로써 환경에 미치는 부하를 최소화 하는데 있다. 이를 위해서는 이들 자원과 에너지 수요를 최소로 억제함과 동시에 시간과 공간 그리고 에너지와 자원의 종류에 따른 변동을 최소로 함으로써 수요와 공급에 따른 효율을 극대화하는 것이 매우 중요하다. 제2세부과제에서는‘복합플랜트 설치·운영을 위한 기반 조성’이라는 전략목표 달성을 위해 도시기반 순환형 복합플랜트 최적 운영 기반기술 개발을 목적으로 표 4.5에 정리한 기술에 관한 연구개발을 수행한다.

표 4.5 제2세부과제의 연구내용 및 범위

세부과제명	중점 추진과제명	세부 연구내용 및 범위	기술분야 ³⁵⁾
도시기반 순환형 복합플랜트 최적 운영 기반 기술 개발	ICT 기반의 복합공정 통합 운영관리 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ·ICT 기반 도시 자원·에너지 수급 통합 모니터링 기술 개발 ·실시간 도시 자원 및 에너지 수급 정보화 시스템 구축 ·데이터 기반의 통합관리를 위한 빅데이터 수집 및 분석, 활용 기술 ·자원·에너지 수급 시나리오별 복합공정 운영관리 알고리즘 개발 	응용-적용-(8)
	에너지 수요 평준화 및 수급관리 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ·GIS 연계 자원·에너지 면적계획 수립 기술 개발 ·도시기반 에너지 수요관리 및 평준화 기술 개발 ·스마트 도시기반 유틸리티 수급계통 통합 관리기술 개발 ·도시기반 유틸리티 요금체계 분석 및 개선방안 연구 	응용-적용-(8) 응용-적용-(5)

35) 기획보고서 참조

다. 주요 연구 성과물

제2세부과제의 중점 추진과제별 도출되는 주요 연구 성과물을 정리하면 표 4.6에 보인 바와 같다.

표 4.6 제2세부과제의 중점 추진과제별 주요 연구 성과물

세부과제명	중점 추진과제명	주요 성과물
도시기반 순환형 복합플랜트 최적 운영 기반기술 개발	ICT 기반의 복합공정 통합 운영관리 기술 개발	·실시간 도시 자원 및 에너지 수급 정보화 시스템 ·통합관리를 위한 빅데이터 및 활용 기법 ·자원·에너지 수급 시나리오별 복합공정 운영관리 알고리즘
	에너지 수요 평준화 및 수급관리 기술 개발	·자원·에너지 면적계획 수립 가이드라인 ·도시기반 에너지 수요관리 및 평준화를 위한 설계지침 ·도시기반 유틸리티의 합리적 요금체계(안)

제 3 절 제3세부과제

도시기반 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발

1. 개요 및 정의

제3세부과제인 ‘순환형 도시기반 복합플랜트 핵심 공정기술 개발’은 도시기반 순환형 복합플랜트의 핵심기술을 개발하기 위한 것으로, 플랜트 구성 방법에 따라 PCM(Plant Complex Model), NIM(Network Integration Model)이 제시된 바 있으며, 플랜트 적용 방법에 따라 Plug-in model, Add-in model, Imbedded model 등이 제시되었다. 일반적으로, 신도시 등에서 새로운 에너지 인프라 건설시에 적용 가능한 모델로는 PCM을 들 수 있으며, 기존 도시의 재개발을 수행할 경우 적용 가능한 모델로는 NIM이 적합한 모델로 것으로 판단된다. 그러나 이러한 모델을 연구개발 단계에서 직접 도시 내에 적용하기에는 아직까지 에너지 및 환경시설에 대한 국민들의 부정적인 시각과 기술적인 미성숙 등으로 많은 어려움이 있을 것으로 예상된다. 따라서 제3핵심과제 수행방법으로는 도심과 떨어진 또는 도심 인근에 설치되어 있는 에너지·환경 시설(예를 들면 도심 인근의 대량의 폐기물 확보가 가능한 지역, 산업단지 등과 같이 도심 지역에서 떨어져 있지만, 에너지 수요가 많고, 미활용 에너지의 활용 및 연계가 가능한 시설이 있는 지역 등)을 기반으로 복합플랜트 핵심기술 개발을 통해 향후, 사업단 과제 등과 연계하여 도심지역 적용을 실증할 수 있다. 즉, 본 제3핵심과제에서는 도시기반 순환형 복합플랜트를 구성하는 핵심 공정기술을 배후지원 시설을 대상으로 개발함과 동시에, 도심지 내에 적용가능한 도시기반 복합공정 또는 신재생에너지 연계형 복합공정으로 확장하기 위함이다. 이를 위해 본 연구에서 수행할 내용은 다음과 같다.

- 배후지원형 복합화 핵심공정 기술 개발
- 에너지 및 환경 플랜트 연계기술 개발

먼저 ‘배후지원형 복합화 핵심 공정기술 개발’은 주민 주거지역과 구분된 지역에서의 대량의 비 화석에너지원(예 : 폐기물 에너지)의 확보 가능한 경우, 복합 플랜트를 통해 비 화석 에너지로부터 도시에 필요한 전력, 가스 및 열을 공급하는 핵심 기술을 개발하는 경우이지만, 이들 복합플랜트가 발생원과 수요처가 있는 도심 지역 내에 설치할 경우를 고려해서 연구개발을 수행하여야 한다.

이러한 배후지원형 복합플랜트에 대한 가장 현실적인 모델 중에 하나가 수도권매립지이다. 수도권매립지는 수도권에서 발생하는 생활폐기물(가연성 폐기물과 유기성 폐기물 등)을 대량으로 수집되어 매립처분 하는 곳으로, 이곳에서 수집된 폐기물을 활용하여 수도권 인근 배후 도시에서 필요로 하는 에너지를 공급하는 방법이다.

그림 4.7에 수도권매립지를 대상으로 한 배후지원형 복합화 모델의 한 예를 나타낸 것으로, 수도권매립지에서 수집한 폐기물의 각각의 특성에 따른 적절한 열적, 생물학적 변환 과정을 통해 도시 기반 에너지인 천연가스를 생산하여 인근 발전소의 연료로 공급하여 전력과 열을 생산하여 도시로 공급하는 방법이다.



그림 4.7 수도권매립지를 대상으로 한 배후지원형 복합화 모델

폐기물 중 가연성 폐기물은 가스화와 메탄합성공정을 통해 도시가스를 생산하고, 유기성 폐기물은 바이오 가스화 공정을 통해 도시가스를 생산하며, 가스화 및 메탄합성공정에서 발생하는 폐열은 바이오 가스화 공정으로 공급하고, 바이오 가스화 공정에서 발생하는 폐 슬러지(또는 고형연료)는 가스화와 메탄합성공정의 연료로 사용하여 플랜트간의 융복합 및 연계를 구현하면서 도시에서 필요로 하는 전력과 열을 공급하는 모델이다. 그림 4.8에는 수도권매립지에 일일 유입되는 폐기물을 기준으로 한 전력 및 열을 생산한 구체적인 예를 나타내었다.

‘에너지 및 환경 플랜트 연계기술 개발’은 에너지 플랜트(주로 전력 및 열을 생산하는 플랜트)와 환경 플랜트(폐기물 또는 폐수 처리 플랜트) 간의 에너지 및 자원의 연계 또는 융복합을 통해, 폐기물의 환경적 처리, 폐기물 발생 억제와 같은 환경적 이점뿐만 아니라, 에너지 이용 효율 극대화 등과 같은 에너지 이용 측면의 이점을 최대화 할 수 핵심 기술을 개발하는데 있다. 이러한 에너지 및 환경 플랜트 연계 기술의 하나의 모델

로, 산업단지에서 발생하는 폐열, 폐기물 등을 이용하여 열과 전기를 생산하고, 태양광 등과 같은 신재생에너지를 활용하는 인근 도시의 에너지 제공 및 환경 친화적 폐기물 처리를 제시하는 것으로, 그림 4.9에 개념도를 도시하였다.

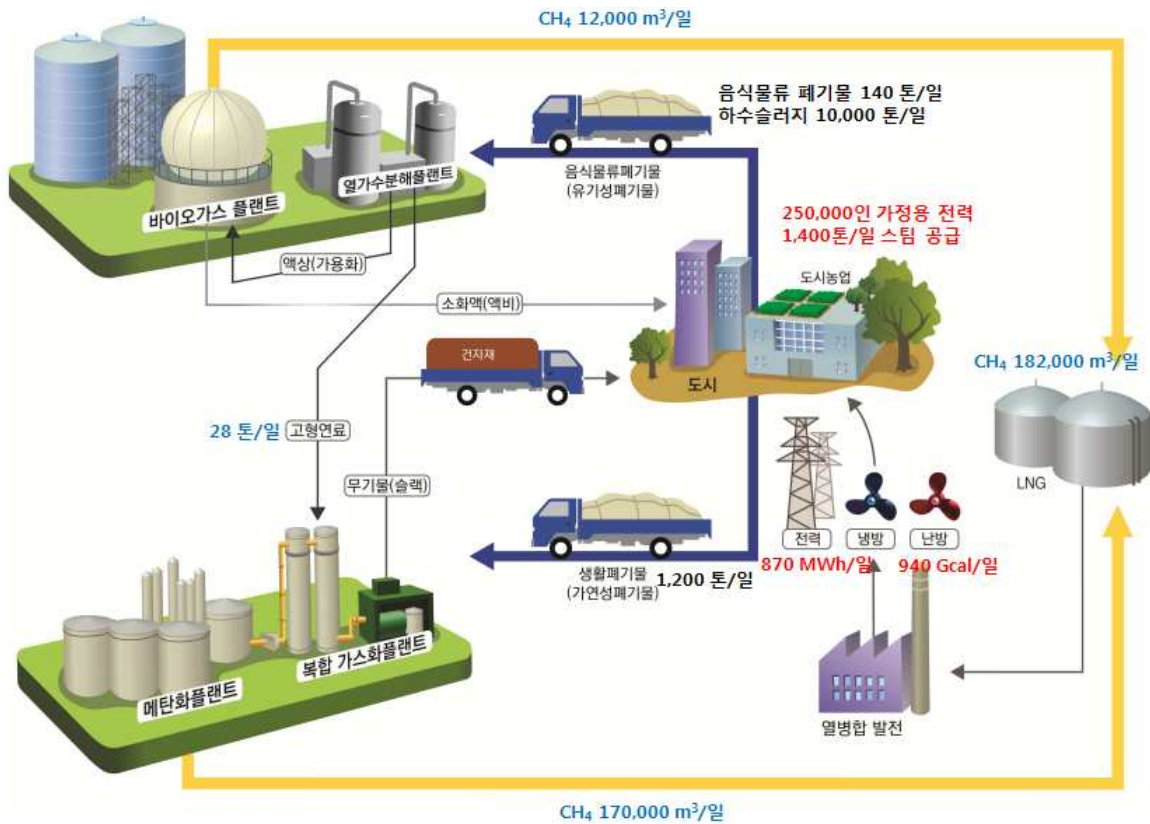


그림 4.8 수도권매립지 수집 폐기물 대상 전력 및 열 생산 플랜트 융복합 개념도

이와 같이 에너지 및 환경 플랜트 연계 기술은 지역적 특성에 따라 다양한 모델을 도출할 수 있으며, 이에 따른 효과 역시 다양하게 평가될 수 있다. 따라서 제3세부과제인 ‘순환형 도시기반 복합플랜트 핵심 공정기술 개발’에서는 구체적으로 과제 내용에서 특정 지역에 대한 특정 기술을 개발하는 것으로 구체적으로 제시하는 것보다는, 개발하고자 하는 방향과 소요 연구비만을 제시하고, 향후 과제 공고 후 제출된 다양한 사업제안자의 다양한 모델에 대한 평가를 통해 최종적으로 핵심기술 개발대상을 선정하는 방법으로 추진하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

제3세부과제의 추진전략을 정리하면 다음과 같다.

- 사업 공고시 개발 기간, 개발 비용만을 제시하고, 과제 제안자가 직접 대상 지역, 대상 기술을 제시하여 평가를 통해 기술 개발 대상이 되는 핵심 기술을 선정하는 방법으로 추진

- 기존 타 부처(산업부, 환경부 등)에서 수행하였거나, 수행 중인 연구와의 중복성을 피하기 위하여, 기존 타 부처의 수행 연구의 활용 및 연계 방안을 과제 제안자가 구체적으로 제시하도록 사업 공고시 명시
- 과제 신청시 본 연구를 통해 개발된 기술이, 도시 내에서 건설되는 도시 기반 순환형 복합 플랜트와의 연계, 신재생에너지 연계 복합플랜트와의 연계성에 대해 구체적으로 제안하도록 사업 공고시 명시

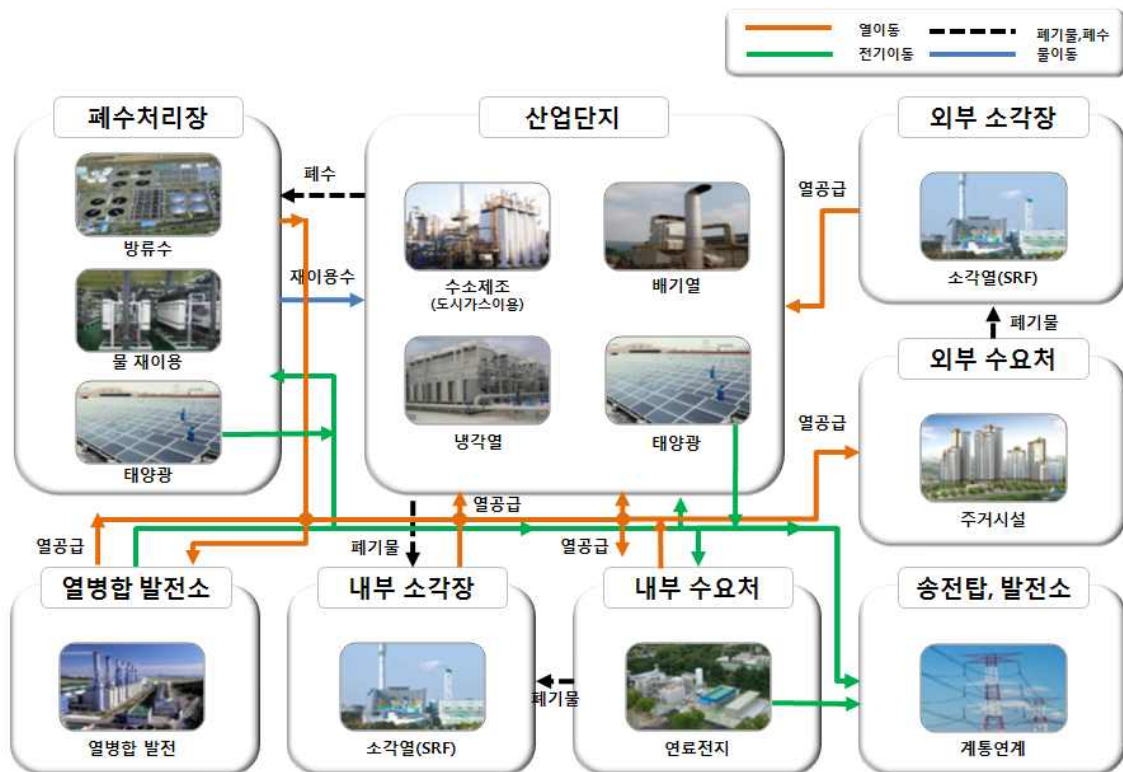


그림 4.9 산업단지에서 발생하는 폐수 및 폐열과 폐기물로부터 에너지 회수하는 에너지 환경 플랜트 연계 개념도

2. 연구목표 및 내용

가. 연구목표

본 기획연구 제3세부과제의 연구목표는 표 4.7에 보인 바와 같다.

나. 연구내용 및 범위

도시기반 순환형 복합플랜트는 기존의 도시기반 유틸리티 공급 및 처리시설들에 잠재되어 있는 각종 문제점들을 해결하기 위한 새로운 개념의 시스템이다. 이를 실현하기 위해서는 기술적인 진화도 물론 필요하지만, 새로운 개념에 적응하기 위한 과도적인 과정이 필요한 것으로 생각된다. 예를 들면 기존의 도시기반 유틸리티 시설은 주거지역으로부터 멀리 떨어져 있는 것이 통념으로 되어 있기 때문에, 이를 주거지역 인근 또는 주거지역 내에 설치하라고 할 때 거주자의 혐오시설에 대한 인식을 불식시키는 노력이 필요해 보인다.

표 4.7 제3세부과제의 연구목표

제3세부과제의 연구목표	
전략목표	분야별 복합·연계 핵심공정 개발 및 실증
세부과제명	도시기반 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 복합플랜트 핵심공정 적용기술 개발 및 적용을 위한 실증 후보지 발굴 ○ 실증 후보지를 대상으로 복합플랜트 핵심공정 개발, 설치 및 운영 ○ 타당성 검토 및 사업화방안 검토 ○ 도시기반형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발 및 도입방안 검토

제3세부과제는 이와 같은 역할을 수행하는 것으로 도시기반형 시설을 바로 적용하기에 앞서 도시의 배후에 대표적인 친환경 시설을 설치, 운영함으로써 도입효과는 물론 그에 대한 인식을 제고할 수 있게 해주는 본 기획사업의 대표과제라 할 수 있다. 즉 향후 수행될 본 사업을 준비해야 하는 타 사업에 비해 실질적인 연구성과를 도출함으로써 사업의 성격을 대변함과 동시에, 향후 수행되는 본 사업이 효과적으로 착수될 수 있도록 견인하는 역할을 수행하는 것으로 계획하였다.

제3세부과제에서는 ‘분야별 복합·연계 핵심공정 개발 및 실증’이라는 전략목표 달성을 위해 도시기반 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발을 목적으로 표 4.8에 정리한 기술에 관한 연구개발을 수행한다.

표 4.8 제3세부과제의 연구내용 및 범위

세부과제명	중점 추진과제명	세부 연구내용 및 범위	기술분야 ³⁶⁾
도시 기반 순환형 복합플랜트 핵심 공정 기술 개발	복합플랜트 유형별 핵심 공정기술 개발 및 실증	<ul style="list-style-type: none"> · 다음 분야에 대한 복합플랜트 핵심공정 적용기술 개발 및 적용을 위한 실증 후보지 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 도시배후형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발 및 실증 - 신재생에너지 연계형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발 및 실증 - 기타 자원 및 에너지 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발 및 실증 · 핵심공정 개발 및 이를 적용한 플랜트 설계 및 설치 · 복합플랜트 운전관리기술 개발 및 이를 적용한 시운전 · 운전결과 분석, 타당성 검토 및 사업화 방안 도출 	핵심-공정-(4) 응용-연계-(6)
	도시기반형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 도시기반형 복합플랜트 공정기술 검토를 위한 도시 모델 수립 · 모델도시 대상 복합플랜트 적용 핵심공정 도출 및 모델 수립 · 도시기반형 복합플랜트 적용을 위한 후보지 조사, 타당성 분석 · 후보지를 대상으로 한 개념설계 및 도입방안 검토 	핵심-공정-(3)

다. 주요 연구 성과물

제3세부과제의 중점 추진과제별 도출되는 주요 연구 성과물을 정리하면 표 4.9에 보인 바와 같다.

36) 기획보고서 참조

표 4.9 제3세부과제의 중점 추진과제별 주요 연구 성과물

세부과제명	중점 추진과제명	주요 성과물
도시기반 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발	복합플랜트 유형별 핵심 복합 공정기술 개발 및 실증	<ul style="list-style-type: none"> ·복합플랜트 핵심 공정기술 및 설계결과 ·복합플랜트 핵심 공정기술을 적용한 실증 플랜트 ·복합플랜트 핵심 공정기술 적용 실증 분석결과 ·경제성 등 타당성 검토결과 및 사업화 모델
	도시기반형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ·도시기반형 복합플랜트 적용 핵심공정 모델 ·도시기반형 복합플랜트 적용을 위한 후보지 ·도시기반형 복합플랜트 개념설계 및 적용효과 분석결과

제 4 절 제4세부과제

시설의 도심 설치를 위한 주민친화적 구축기술 개발

1. 개요 및 정의

앞에서도 기술했듯이 본 기획과제가 대상으로 하는 주제는 기존 분야에 따라 개별적으로 설치 및 운영되는 공정과는 차별화되고 전혀 새로운 핵심 공정기술은 물론, 타 부처에서 이미 개발되어 실용화되었거나 또는 개발은 되었지만 도입에 애로를 겪고 있는 기술을 포함하여 도시계획 및 도시 유틸리티 수요와 연계하여 합리적, 효율적, 생태적 설치, 운영기술을 개발하는 것으로, 수요처와 발생원의 최단거리에 설치되는 것을 전제로 한다.

따라서 이들 시설은 안전하고 친환경적임과 동시에 주민친화적이어야 한다. 하지만 지금까지 도시기반 유틸리티 시설들은 이와 같은 개념과 거리가 멀고 혐오시설로 인식되어 수요처와 발생원으로부터 매우 멀리 떨어진 도시의 외곽에 대규모로 또 개별적으로 설치, 운영되었고, 결국 순환형 이용에 많은 어려움이 있을 뿐만 아니라, 자원과 에너지의 장거리 수송에 따른 비효율성이 내재되어 있었다.

이와 같은 문제점을 개선하고자 본 기획에서는 이와 같은 도시기반 유틸리티 시설을 수요처와 발생원의 근거리에 해당 지역의 수요에 해당하는 용량의 시설을 설치하되, 입지로는 도시 내의 공공용지 특히 근린공원의 지하에 설치하는 방안을 검토하였다. 물론 이와 같은 시설을 설치하기 위해서는 복합공정 등 유틸리티 플랜트 자체에 대한 성능은 물론 안전 및 환경성능과 시설의 설치에 관한 기술, 즉 지하공간 이용 기술, 지하 시설과 연계한 지상공간의 생태적 조성기술, 부산물을 이용하는 주민친화적 이용기술 등에 관한 연구개발이 필요하다.

그림 4.10은 도심 근린공원을 이용해 도시기반 순환형 복합플랜트 구축 개념을 도시한 것으로, 외형적으로는 기존의 공원과 큰 차이가 없어 보이지만 주로 단편적으로 이용되는 지상공간의 지하에 도시에서 필요로 하는 기반시설들을 설치하여 도시의 운영에 필수적인 각종 유틸리티들을 최대한 자족이 가능하도록 공급, 처리함은 물론, 신재생에너지를 적극 활용하는 전기차 충전시설, 처리수 등 재생 자원을 이용하는 분수대와 실개천 및 살수장치, 공급하고 남는 배열 등 재생에너지를 이용하는 식물원이나 수영장을 매우 적은 비용으로 운영할 수 있다는 점에 큰 차이가 있다.

또 최근 들어 빈번히 발생하는 폭한기와 폭서기 등 기후변화에 따른 주민 대피소 등

공공시설과 상업시설 등의 커뮤니티 시설을 설치하는 등 지역주민들이 같이 어울릴 수 있는 명실상부한 지역공동체 구축을 위한 주민친화 공간으로의 구축도 가능할 것으로 판단된다.



그림 4.10 도심 근린공원 지하공간을 이용한 도시기반 순환형 복합플랜트의 설치 개념도

2. 연구목표 및 내용

가. 연구목표

본 기획연구 제4세부과제의 연구목표는 다음과 같다.

표 4.10 제4세부과제의 연구목표

제4세부과제의 연구목표	
전략목표	복합플랜트 도입환경 및 기술기반 구축
세부과제명	시설의 도심 설치를 위한 주민친화적 구축기술 개발
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하공간 이용 복합플랜트 구축기술 개발 ○ 생태 및 주민친화적 커뮤니티 공간 조성 기술 개발

나. 연구내용 및 범위

지금까지 도시기반 유틸리티 시설들은 혐오시설로 인식되어 수요처와 발생원으로부터 매우 멀리 떨어진 도시의 외곽에 대규모로 또 개별적으로 설치, 운영되었고, 결국 순환형 이용에 많은 어려움이 있을 뿐만 아니라, 자원과 에너지의 장거리 수송에 따른 비효율성이 내재되어 있었다. 도시기반 유틸리티 시설을 수요처와 발생원의 근거리에, 또 해당 지역의 수요에 해당하는 용량의 시설을 설치함으로써 이와 같은 문제점을 개선하기 위해 본 기획연구에서는 시설의 입지로 도시 내의 공공용지 특히 근린공원의 지하 등에 설치하는 방안을 검토하였다.

본 과제에서는 도시기반 순환형 복합플랜트 시설을 도심의 지하공간에 설치하는데 따른 문제점 분석을 통해 해결방안을 제시함으로써 향후 본 사업의 원활한 수행을 지원하기 위해 표 4.11에 정리한 과제들을 수행한다.

표 4.11 제4세부과제의 연구내용 및 범위

세부과제명	중점 추진과제명	세부 연구내용 및 범위	기술분야 ³⁷⁾
시설의 도심 설치를	지하공간 이용 복합플랜트 구	·도시기반 복합플랜트 지하설치를 위한 계획기술 개발	응용-적용-(7)

위한 주민 친화적 구 축기술 개 발	축기술 개발	·수요처와 공급원 및 입지를 고려하는 순환형 도시 라이프라인 매핑기술 개 발 ·스마트 지하공동구 설치 및 운용기술 개발 ·지하공간의 안전 및 환경성능 개선기 술 개발	
	생태 및 주민친 화적 커뮤니티 공간 조성 기술 개발	·복합플랜트 최적 입지선정 가이드라인 개발 ·입지공간의 생태적, 주민친화적 고도 이용계획 수립 연구 ·부산물을 활용한 도시기반시설의 효과 적 설치방안 연구 ·지역주민의 적극적인 참여 및 의사결 정 방안 연구	응용-연계-(5)

다. 주요 연구 성과물

제4세부과제의 중점 추진과제별 도출되는 주요 연구 성과물을 정리하면 표 4.12에 보인 바와 같다.

표 4.12 제4세부과제의 중점 추진과제별 주요 연구 성과물

세부과제명	중점 추진과제명	주요 성과물
도시 유형별 복합 플랜트 모델 및 설 계기술 개발	지하공간 이용 복합플랜트 구 축기술 개발	·도시기반 복합플랜트 지하 설 치 및 계획 가이드라인 ·순환형 도시 라이프라인 매핑 도구 ·스마트 지하공동구 설치 및 운 용 매뉴얼 ·지하공간의 안전 및 환경성능 시스템
	생태 및 주민친화적 커뮤니티 공간 조성 기술 개발	·복합플랜트 최적 입지선정 가 이드라인 ·입지의 생태적, 주민친화적 고

37) 기획보고서 참조

		<p>도 이용계획 수립 지침</p> <ul style="list-style-type: none"> ·부산물을 활용한 도시기반시설의 효과적 설치기술 및 지침 ·지역주민 참여와 의사결정 시스템 및 홍보자료
--	--	--

제 5 장 사업추진 체계 및 방법

제 1 절 사업추진체계

앞 장에서 본 사업의 추진과정에서 합리적이고 효율적인 연구수행과 연구주체 간 상호 의사소통을 위해 각종 복합플랜트에 대한 모델을 정의한 바 있고, 기술개발 또는 실증을 위한 주제가 어느 종류에 해당되는지 구분할 수 있도록 하기 위해 여러 가지 측면에서 복합플랜트 모델을 제안한 바 있다.

1. 대상 모델 선정

가. 구성형태에 따른 검토

본 기획에서는 복합플랜트 구성형태에 따라 NIM(Network Integration Model)과 PCM(Plant Complex Model)로 구분한 바 있는데, PCM은 기본적으로는 에너지의 수요와 공급 관련 공정, 폐기물의 처리 및 자원화 관련 공정, 하수 처리 및 자원화 관련 공정 및 신재생에너지 생산에 관한 공정 등을 동일한 장소에 패키지 형태로써 복합적으로 설치하는 모델로, 분야별로 에너지화 등 일부 공정에 대한 기술개발은 소극적으로 있어 왔지만 아직 개발기술의 적용 및 효과분석이 충분히 이루어지지 않은 상태이다.

또한 이 모델이 실현되기 위해서는 자원과 에너지의 수요처와 발생원 내, 또는 그로부터 가까운 입지에 시설이 설치되어야 하나, 현재로서는 지역주민의 혐오시설 인식에 따라 부지난을 겪을 가능성이 크므로 이에 대한 대책이 요구되며, 본 기획에서는 선도과제의 수행을 통해 이와 같은 문제를 해결하고, 향후 시설의 설치를 담당할 본 사업의 추진을 위한 분위기 조성은 물론, 테스트베드의 적용을 위한 사업부지 선정 등을 수행하는 것으로 기획한 바 있다.

나. 대상 범위 및 연결 형태에 따른 검토

복합플랜트의 대상 범위 및 연결 형태에 따라서는 Plug-in Model과 Add-in Model 및 Imbedded Model의 3가지로 구분한 바 있으며, Plug-in Model은 하나의 공정 또는 시설이 단독으로도 설치되어 운영이 가능할 정도로 완성된 패키지의 형태로 구성되어 시설의 설치 후 기본적인 배관과 배선 등만 연결하면 기존의 시설과 연계되어 바로 작동이 가능한 모델로, 기존의 시스템과 대등한 수준의 규모와 기능을 가지며 추가되는 시설은 물론 기

존의 시스템도 상당한 완성도가 요구되는 모델이다.

따라서 사전연구 성격을 띤 본 기획에서는 기존의 시스템에 추가로 설치되는 일정 수준 완성된 공정으로, 일반적으로 독자적인 운영은 불가능하며 기존의 시스템과 연동되어 운영되는 모델인 Add-in Model과 기존의 시스템에 추가되어 기존 공정에 새로운 기능을 부여하거나 성능을 개선하는 역할을 수행하는 모델인 Imbedded Model을 대상으로 검토하였다.

2. 복합공정 선정

본 기획에서는 당초 국내 실정에 적합한 도시기반 순환형 플랜트 구축을 위한 복합공정으로 도시기반형을 검토하였다. 도시기반형 복합공정은 현재 국내 도시가 안고 있는 제반문제점을 해소하여 친환경적이고 자원 및 에너지의 순환이용이 가능하도록 현재 개발 또는 실용화되었거나 또는 가까운 장래에 개발 및 활용이 가능한 기술들을 조합하여 구성하였다.

여기서 전체의 시설은 에너지 순환계통과 자원 순환계통 및 물 순환계통으로 나누어지는데, 각각의 계통에 앞에서 언급한 기술을 적용한다고 가정할 때 자원과 에너지의 관련성과 수급관계를 도시한 것이며, 다만 이들 시설이 어느 한 현장에 모두 설치되는 것은 아니고 또 모든 현장에 동일한 시설이 설치될 수는 없으며 지역의 여건에 맞는 시스템으로 계획되어야 효율적이고 합리적인 시스템이 구축될 수 있다는 점이 복합플랜트 연구개발의 또 다른 중요 요소이다.

하지만 본 도시기반형 복합공정이 도입되기 위해서는 자원과 에너지의 수요처와 발생원 내, 또는 그로부터 가까운 곳에 시설이 설치되어야 하나, 현재로서는 지역주민의 혐오시설 인식에 따라 부지난을 겪을 가능성이 크므로 본 기획연구에서 다루는 선도과제 이후의 본 사업에서 추진하는 것으로 하고, 본 기획에서는 이외의 공정 즉 도시배후형 및 신재생에너지 연계형 복합공정을 대상으로 사업을 우선적으로 수행한 후, 당해 사업의 수행결과를 궁극적으로 도시기반형 복합공정 구축의 기반으로 활용하는 것으로 설계하였다.

도시배후형 복합공정으로는 수도권 매립지와 연계하는 방안을 검토하였는데, 열화학적 가수분해 기술을 이용한 음식물류 폐기물 가용화 및 연료화 기술과 초심층 습식산화 기술을 이용한 하수슬러지 가용화 기술 개발과 이미 설치되어 있는 가연성폐기물 처리 및 에너지화 플랜트에 연결, 운용하는 통합공정 기술 개발이 연구개발 범위로 검토된 바 있다.

신재생에너지 연계형 복합공정으로는 기존 운영 중인 산업단지에서 발생하는 폐수로부터 열펌프를 이용해 열을 회수하여 이용하는 한편, 동절기 온배수로 배출로 인한 안개

등 환경영향 인자를 경감시키는데 도움을 줄 수 있는 모델이 검토되었다. 또 인근 소각 시설(용융식)과 연계하여 배열과 연소가스를 원료로 사용하는 연료전지에 의한 열병합발전과 태양광발전 등 신재생에너지와 연계하는 복합공정을 적용하는 생태산업단지(Eco-Industrial Park, EIP) 조성을 위한 복합공정도 검토하였다. 이때 신재생에너지인 태양광발전 및 연료전지에서 생산된 전력을 폐수처리시설 및 폐수열원 열펌프 소요동력으로 공급, 사용하고, 열펌프 생산열, 소각배열 및 연료전지에서 생산된 배열과 전기를 인근 지역에 공급, 판매하는 것으로 계획하였다.

3. 실증 후보지 및 실증 추진방안

가. 실증 후보지 검토

도시기반 순환형 복합플랜트 실증 후보지로는 국내외 신도시 건설지역이나 기존 신도시 근린체육공원 등의 도시 공공용지(도시기반형), 수도권 매립지 등 도시 외곽지역에 설치되어 있는 기존 시설이나 새만금 간척지와 같이 새로 조성될 예정인 시설(도시배후형), 기존 시설이나 산업단지 등에서 발생하는 미활용에너지 등의 이용가능 시설(신재생에너지 연계형) 등을 검토하였다.

그 중 대량의 폐기물 처리 시설과 연계하여 대량의 폐기물로부터 전기, 가스 및 열을 복합적으로 생산하여 인근 도시에 최적 비율로 공급이 가능한 수도권 매립지 연계 도시배후형과, 생태산업단지형 모델로서 공장 폐수로부터 에너지를 회수하여 전기, 난방 및 냉방으로 활용하는 복합플랜트를 구축하는 신재생에너지 연계형 실증 후보지가 제안되었다.

나. 실증 추진방안

이상에서 도출, 검토한 실증 후보지 이외에도 가능한 대상이 있을 수 있고, 또 대상 후보지별로 특징점이 있을 수 있으므로, 4개의 핵심과제 중 실증과 관련된 핵심과제(제3핵심과제)는 실증 대상 및 후보지별로 제안을 하여 경합을 하도록 하고, 이외의 핵심과제는 공통의 내용으로 수행하는 것으로 하였다.

실증 대상 및 후보지 선정과정에서는 제안된 복합공정의 실현가능성과 적용효과, 기존 시설 관리주체의 의지와 협조관계, 연구예산 중 민간부담금 출연 내역 및 신뢰성, 향후 본 사업(사업단 과제) 추진을 시사점 및 과급효과 등이 중점적으로 검토하는 것으로 하였다.

제 2 절 제안요구서 (RFP)

연구사업명	순환형 복합플랜트 기반 친환경 에너지타운 핵심기술 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도시유형별 복합플랜트 표준모델 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 실정에 적합한 도시유형 설정 및 각 도시유형에 따른 도시기반 유틸리티 복합공정 표준모델 개발 - 복합공정 타당성 검토 및 계획기술 개발 - 입지조건 및 수요를 고려한 비즈니스 모델 발굴 ○ 복합플랜트 설치·운영을 위한 기반 조성 <ul style="list-style-type: none"> - ICT 기반의 복합공정 통합 운영관리 기술 개발 - 에너지 수요 평준화 및 수급관리 기술 개발 ○ 분야별 복합·연계 핵심공정 개발 및 실증 <ul style="list-style-type: none"> - 복합플랜트 핵심공정 적용기술 개발 및 적용을 위한 실증 후보지 발굴 - 실증 후보지를 대상으로 복합플랜트 핵심공정 개발, 설치 및 운영 - 타당성 검토 및 사업화방안 검토 - 도시기반형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발 및 도입방안 검토 ○ 복합플랜트 도입환경 및 기술기반 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 지하공간 이용 복합플랜트 구축기술 개발 - 생태 및 주민친화적 커뮤니티 공간 조성 기술 개발
2. 연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 국내 기존 도시기반 유틸리티 시설이 안고 있는 각종 문제점의 체계적인 개선을 통해 효율적인 에너지 수급체계와 폐기물 등 자원의 순환이용이 가능한 고효율 친환경적 도시기반 복합플랜트 구축에 요구되는 핵심기술 개발, 실증 필요 ○ 신도시 개발이나 도심 또는 기존 신도시 리모델링 등 실제 적용과 실증이 필요하나, 현 단계에서 실현가능성을 고려하여 순환형 복합공정 개발, 생태도시의 적용성 검토 및 도시유형별 적용방안 도출 등 향후 본격적인 도입과 적용에 필수적으로 요구되는 핵심 기반 기술을 개발 필요 ○ 수요처 내에 위치하는 도심 공원 등 공공용지의 지하공간을 이용해 에너지 공급시설과 폐기물 및 하수를 처리하는 환경시설 등 도시기반 유틸리티 시설을 설치함으로써 자원과 에너지의 합리적 순환 시스템 구축기반 확보

- 에너지 공급 및 환경기초시설 등 각종 도시기반 플랜트의 연계, 복합화를 통한 공정효율 향상 및 고성능화
- 회수자원을 재활용하여 다양한 방법(체육시설, 대피시설, 근린시설 등)으로 지역주민에게 환원함으로써 하여 지역공동체의 장을 제공함으로써 혐오시설이라는 인식을 불식시키고 주민친화시설로 개발
- 친환경, 고성능의 자립형 도시 라이프라인 인프라 구축을 위한 순환형 도시기반 복합플랜트 개발, 실증을 통한 고부가가치 국가 신성장산업화

3. 기술동향

- 에너지공급플랜트 분야
 - 에너지공급플랜트 분야에 대한 기술로는 열병합발전플랜트 관련 기술, 집단에너지공급시스템 관련 기술, 분산형 시설의 네트워크 구축기술 등이 포함됨
 - 열병합발전 방식은 기존의 발전 방식에 비하여 약 30~40% 정도의 이용효율 향상을 기대할 수 있는 고효율 에너지 기술일 뿐만 아니라 온실가스인 CO₂ 등의 대기오염물질 배출을 획기적으로 줄일 수 있는 대표적인 친환경기술
 - 국내에서는 사업자의 규모나 단일 집단에너지 사업장의 규모가 외국에 비해 최고 수십 배 이상 크고, 이들 대규모 시설은 시시각각으로 변화하는 각종 도시 부하구조에 능동적, 탄력적으로 대처하는 것이 매우 어려울 뿐만 아니라, 시설의 대규모화로 인해 수요처나 발생원으로부터 멀리 떨어진 도시 주변지역에 설치하는 것이 일반화되어 있어 에너지와 물질의 수송에 따른 손실과 비용상승의 원인이 되고 있음
 - 에너지절감 및 온실가스 저감효과가 높은 집단에너지사업의 경우, 최근 들어 연료 단가의 상승 및 각종 환경규제로 인해 경제성이 떨어지고 있음. 따라서 집단에너지사업도 분산화 및 복합화 등의 관련 기술개발을 통하여 보다 효율적인 시스템을 구축하는 것이 절실
- 환경 및 자원플랜트 분야
 - 세계적으로 소각로에서는 열분해·용융 방식이 두각을 나타내고 있는데, 유럽의 경우 이미 폐기물 열분해·용융기술의 개발을 오래전부터 수행하여 실증 플랜트를 건설하였고 현재 기술의 상용화에 근접
 - 국내에 건설되는 소각로 대부분이 외국으로부터 기술을 도입하여 건설되고 있는 실정으로 국내 기술개발 혹은 외국기술의 국산화 등이 절실히 요구되고 있음
 - 폐기물 전처리시스템은 10년 전부터 독일을 중심으로 유럽에서 확

립한 시스템으로 독일을 비롯한 스페인, 이탈리아, 오스트리아 등 EU 국가들과 미국, 캐나다 등 선진외국에서 80여기 이상 운영 중에 있으며 연간 850만 톤의 폐기물을 처리

- 국내의 경우 폐기물 전처리기술과 관련해서 GS건설, 포스코, 동부건설 등 대기업에서 관심을 보이고 있으나 기술력을 보유한 상태는 아님. 폐기물 전처리 기술의 국내 기술수준은 기술 선진국인 유럽과 비교하여 전반적으로 10~30% 정도 뒤쳐진 것으로 알려짐
- 최근에는 각종 연소기로부터 배출되는 이산화탄소의 배출을 최소화하고 나아가 이를 자원화하는 기술개발이 진행되고 있으나, 경제성 측면에서 실용화에 어려움이 있음

○ 복합플랜트 분야

- 복합플랜트란 에너지와 물 그리고 폐기물 등 인간이 도시생활을 영위하기 위해서 필수적인 자원과 에너지를 효과적으로 이용함으로써 자연에 미치는 환경부하를 최소화하기 위해서 도입하는 시스템
- 에너지 순환계통에는 열병합발전과 그 폐열을 이용하는 지역냉난방 시설, 소각폐열 및 각종 도시배열을 이용하는 폐열 회수이용 시설 및 축열조나 변압기와 같은 에너지의 저장·변환시설 등이 포함
- 물 순환계통에는 상수처리시설과 하수 및 중수처리시설은 물론 우수의 저장 및 이용시설과 아울러 진공 하수도시설 등 하수반송시설 등이 포함
- 자원(폐기물) 순환계통에는 쓰레기의 집하, 수집, 중간처리 및 재활용시설과 쓰레기 소각시설, RDF화 및 퇴비화 등 재자원화 시설 그리고 쓰레기의 반송시설이 포함
- 국내 기술수준은 복합플랜트 설계, 시공 및 운전 기술의 기술수준이 선진국 대비 62.7% 수준에 머물고 있는 것으로 조사되었으며, 열병합발전 및 개별 시설의 연계·복합화 공정, 재생에너지 이용기술 등에서 기술수준이 선진국 대비 전반적으로 60% 수준에 머물고 있는 것으로 조사됨

4. 연구개발 내용

□ 제1세부과제 : 도시 유형별 복합플랜트 모델 및 설계기술 개발

○ 도시유형 설정 및 복합공정 표준모델 개발

- 도시 자원 및 에너지 순환체계 개선을 위한 순환형 복합플랜트 개념 정립
- 신도시 건설을 위한 도시기반형 복합플랜트 모델 개발
- 기존 신도시 리모델링을 위한 에너지·환경 복합플랜트 모델 개발

- 도심 재개발형 복합플랜트 모델 개발
- 복합공정별 계획 및 설계 기술 개발
- 도시계획과 유틸리티 수급 관련 도시기반시설 계획의 유기적인 협조체계 구축을 위한 제도개선 방안 마련
- 복합공정 타당성 검토 및 계획기술 개발
 - 복합공정 에너지 및 물질수지 분석기술 개발
 - 용·복합 플랜트 통합 플랫폼 설계기술 개발
 - 복합플랜트 EPC 기술 개발
 - 복합플랜트 통합공정 계통분석 및 설계 지원기술 개발
- 입지조건 및 수요를 고려한 비즈모델 발굴
 - 국내·외 복합플랜트 시장 및 후보지 조사, 분석
 - 입지조건 및 자원·에너지 공급 및 처리수요를 고려한 효과분석 및 타당성 검토
 - 도시유형별 복합플랜트 비즈모델 선정

□ 제2세부과제 : 도시기반 순환형 복합플랜트 최적 운영 기반기술 개발

- ICT 기반의 복합공정 통합 운영관리 기술 개발
 - ICT 기반 도시 자원·에너지 수급 통합 모니터링 기술 개발
 - 실시간 도시 자원 및 에너지 수급 정보화 시스템 구축
 - 데이터 기반의 통합관리를 위한 빅데이터 수집 및 분석, 활용 기술
 - 자원·에너지 수급 시나리오별 복합공정 운영관리 알고리즘 개발
- 에너지 수요 평준화 및 수급관리 기술 개발
 - GIS 연계 자원·에너지 면적계획 수립 기술 개발
 - 도시기반 에너지 수요관리 및 평준화 기술 개발
 - 스마트 도시기반 유틸리티 수급계통 통합 관리기술 개발
 - 도시기반 유틸리티 요금체계 분석 및 개선방안 연구

□ 제3세부과제 : 도시기반 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발

- 복합플랜트 유형별 핵심 복합공정기술 개발 및 실증
 - 다음 분야에 대한 복합플랜트 핵심공정 적용기술 개발 및 적용을 위한 실증 후보지 제안
 - 도시배후형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발 및 실증
 - 신재생에너지 연계형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발 및 실증
 - 기타 자원 및 에너지 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발 및 실증
 - 핵심공정 개발 및 이를 적용한 플랜트 설계 및 설치
 - 복합플랜트 운전관리기술 개발 및 이를 적용한 시운전

- 운전결과 분석, 타당성 검토 및 사업화 방안 도출
- 도시기반형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발
 - 도시기반형 복합플랜트 공정기술 검토를 위한 도시 모델 수립
 - 모델도시 대상 복합플랜트 적용 핵심공정 도출 및 모델 수립
 - 도시기반형 복합플랜트 적용을 위한 후보지 조사, 타당성 분석
 - 후보지를 대상으로 한 개념설계 및 도입방안 검토

□ 제4세부과제 : 시설의 도심 설치를 위한 주민친화적 구축기술 개발

- 지하공간 이용 복합플랜트 구축기술 개발
 - 도시기반 복합플랜트 지하설치를 위한 계획기술 개발
 - 수요처와 공급원 및 입지를 고려하는 순환형 도시 라이프라인 매핑기술 개발
 - 스마트 지하공동구 설치 및 운용기술 개발
 - 지하공간의 안전 및 환경성능 개선기술 개발
- 생태 및 주민친화적 커뮤니티 공간 조성 기술 개발
 - 복합플랜트 최적 입지선정 가이드라인 개발
 - 입지공간의 생태적, 주민친화적 고도 이용계획 수립 연구
 - 부산물을 활용한 도시기반시설의 효과적 설치방안 연구
 - 지역주민의 적극적인 참여 및 의사결정 방안 연구

5. 연구개발 추진방법

- 연구개발 추진전략
 - 연구책임자는 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획을 수립하여야 함
 - 실용화 및 사업화와 관련한 성과목표 및 지표를 구체적으로 제시하고, 그 달성도를 증명할 수 있는 시험 적용, 테스트베드, 기술이전 등을 포함한 연구개발 추진
 - 연구책임자는 테스트베드가 해당 핵심과제 연구기간 내에 수행될 수 있도록 연구일정을 수립해야 함
 - 제3세부과제의에 적용 가능한 복합플랜트 종합설계 및 설치기술을 개발하며 테스트베드 적용 및 운영을 통한 성능 검증 및 개선방안 제시
 - 기 수행되었거나 현재 수행 중인 관련 연구개발결과의 구체적인 연계, 통합 및 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진
 - 실용화 추진을 위한 테스트베드는 연구책임자와 유기적인 협력을 통하여 추진하여야 함
- 연구개발 추진체계
 - 선진 기술개발체계/관련지식 등 습득을 통한 연구기반 마련, 선진 사례 및 우수사례 벤치마킹

- 새로운 기술과 우수한 IT, 최적화 기술의 접목을 병렬적으로 진행
- 독자기술의 성능평가, 시험을 위한 시설 구축 및 기기 및 설비의 신뢰성 확보
- 세부과제 3의 경우 도시기반 플랜트의 설계 및 운전실적이 있는 유경험자가 반드시 포함되어야 함

6. 주요 최종성과물

- 도시 유형별 복합플랜트 모델 및 설계기술 개발
 - 신도시 건설을 위한 도시기반형 복합플랜트 모델
 - 기존 신도시 리모델링을 위한 에너지·환경 복합플랜트 모델
 - 도심 재개발형 복합플랜트 모델
 - 도시계획과 도시기반시설 계획의 협조체계 구축 제도개선(안)
 - 복합공정 에너지 및 물질수지 분석도구
 - 복합플랜트 적용 경제성 및 효과분석 도구
 - 통합공정 계통분석 및 설계 지원도구
 - 국내·외 복합플랜트 설치 후보지
 - 후보지별 효과분석 및 타당성 검토 결과
 - 도시유형별 복합플랜트 비즈모델
- 도시기반 순환형 복합플랜트 최적 운영 기반기술 개발
 - 실시간 도시 자원 및 에너지 수급 정보화 시스템
 - 통합관리를 위한 빅데이터 및 활용 기법
 - 자원·에너지 수급 시나리오별 복합공정 운영관리 알고리즘
 - 자원·에너지 면적계획 수립 가이드라인
 - 도시기반 에너지 수요관리 및 평준화를 위한 설계지침
 - 도시기반 유틸리티의 합리적 요금체계(안)
- 도시기반 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발
 - 복합플랜트 핵심 공정기술 및 설계결과
 - 복합플랜트 핵심 공정기술을 적용한 실증 플랜트
 - 복합플랜트 핵심 공정기술 적용 실증 분석결과
 - 경제성 등 타당성 검토결과 및 사업화 모델
 - 도시기반형 복합플랜트 적용 핵심공정 모델
 - 도시기반형 복합플랜트 적용을 위한 후보지
 - 도시기반형 복합플랜트 개념설계 및 적용효과 분석결과
- 도시 유형별 복합플랜트 모델 및 설계기술 개발
 - 도시기반 복합플랜트 지하 설치 및 계획 가이드라인
 - 순환형 도시 라이프라인 매핑 도구
 - 스마트 지하공동구 설치 및 운용 매뉴얼
 - 지하공간의 안전 및 환경성능 시스템
 - 복합플랜트 최적 입지선정 가이드라인

- 입지의 생태적, 주민친화적 고도 이용계획 수립 지침

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 2015년 00월~2018년 00월 (3년)
 - 1차년도 연구기간 : 2015년 00월~2016년 00월 (1년)
- 총 정부출연금 : 10,000백만원 이내

8. 기타

- 테스트베드 적용기술을 대상으로 추진하되, 이외의 기술에 대해서도 병행 검토
- 테스트베드 개발사업자와 긴밀한 협조관계 유지하여 연구결과의 사업계획 반영
- 기존의 도시기반시설 설치지침을 따르는 것을 원칙으로 하되, 불가피하거나 변경이 바람직한 경우에는 제도개선안을 마련하여 총괄연구책임자 및 관계기관과 협의
- 제3세부과제의 대상 세부공정은 응모자 제안형으로 추진
- 과제 선정 후 사업 운영계획에 따라 과제내용이 일부 변경될 수 있음
- 기타 세부사항은 ‘도시기반 순환형 복합플랜트 기술기획 최종보고서, 제3편 순환형 복합플랜트 기반 친환경 에너지타운 핵심기술 개발 사업’ 참조

제 3 절 소요 연구비

1. 총 연구개발비 소요내역

본 사업의 연구개발비는 아래 표 5.1에 보인 바와 같이 총 15,125백만원이며 정부출연금 10,000백만원, 민감부담금 5,125백만원이다. 민감부담금은 주로 실증에 참여할 것으로 예상되는 대기업 군은 전체 소요연구비의 50%, 이외의 경우에는 전체 소요연구비의 20% 수준으로 책정하였고, 총 민간부담금은 현물 85%, 현금 15%를 기준으로 하였다. 각 세부과제의 비용은 과제의 업무 내용에 따라 예상되는 인건비 및 직접비를 산출하여 계상하였다.

표 5.1 세부과제별 연구개발비 소요내역

(단위 : 백만원)

사업명	세부과제명	정부	민간	합계
순환형 복합플랜트 기반 친환경 에너지타운 핵심기술 개발	제1세부과제 : 도시 유형별 복합플랜트 모델 및 설계기술 개발	1,500	375	1,875
	제2세부과제 : 도시기반 순환형 복합플랜트 최적 운영 기반기술 개발	2,500	625	3,125
	제3세부과제 : 도시기반 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발	5,000	3,875	8,875
	제4세부과제 : 시설의 도심 설치를 위한 주민친화적 구축기술 개발	1,000	250	1,250
합 계		10,000	5,125	15,125

표 5.2 연차별, 비목별 연구개발비 소요내역

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	합계	
소요예산	인건비	935	1,270	1,100	3,305
	직접비	2,500	3,950	3,355	9,805
	간접비	500	590	560	1,650

	위탁사업비	110	125	130	365
합	계	4,045	5,935	5,145	15,125
재원조달	정 부	3,236	4,748	4,116	12,100
	민 간	809	1,187	1,029	3,025
합	계	4,045	5,935	5,145	15,125

2. 세부과제별 소요내역

가. 제1세부과제

표 5.3 제1세부과제 세세부과제별 연구개발비 소요내역

(단위 : 백만원)

세부과제명	세 세 부 과 제 명	정부	민간	합계
도시 유형별 복합플랜트 모델 및 설계기술 개발	도시유형 설정 및 복합공정 표준모델 개발	500	125	625
	복합공정 타당성 검토 및 계획기술 개발	500	125	625
	입지조건 및 수요를 고려한 비즈모델 발굴	500	125	625
합 계		1,500	375	1,875

표 5.4 제1세부과제 연차별, 비목별 연구개발비 소요내역

(단위 : 백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	합 계	
소요예산	인건비	120	150	150	420
	직접비	300	350	350	1,000
	간접비	80	80	80	240

	위탁사업비	60	75	80	215
합	계	560	655	660	1,875
재원조달	정 부	448	524	528	1,500
	민 간	112	131	132	375
합	계	560	655	660	1,875

나. 제2세부과제

표 5.5 제2세부과제 세세부과제별 연구개발비 소요내역

(단위 : 백만원)

세부과제명	세 세 부 과 제 명	정부	민간	합계
도시기반 순환형 복합플랜트 최적 운영 기반기술 개발	ICT 기반의 복합공정 통합 운영관리 기술 개발	1,500	375	1,875
	에너지 수요 평준화 및 수급관리 기 술 개발	1,000	250	1,250
	합 계	2,500	625	3,125

표 5.6 제2세부과제 연차별, 비목별 연구개발비 소요내역

(단위 : 백만원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	합 계	
소요예산	인건비	215	270	250	735
	직접비	500	900	600	2000
	간접비	120	140	130	390
	위탁사업비	0	0	0	0
합	계	835	1,310	980	3,125
재원조달	정 부	668	1,048	784	2,500
	민 간	167	262	196	625
합	계	835	1,310	980	3,125

다. 제3세부과제

표 5.7 제3세부과제 세세부과제별 연구개발비 소요내역

(단위 : 백만원)

세부과제명	세 세 부 과 제 명	정부	민간	합계
도시기반 순환형 복합플랜트 핵심 공정기술 개발	복합플랜트 유형별 핵심 복합공정기 술 개발 및 실증	3,500	3,500	7,000
	도시기반형 복합플랜트 핵심 공정기 술 개발	1,500	375	1,875
합 계		5,000	3,875	8,875

표 5.8 제3세부과제 연차별, 비목별 연구개발비 소요내역

(단위 : 백만원)

구 분		1차년도	2차년도	3차년도	합 계
소요예산	인건비	500	750	600	1,850
	직접비	1,500	2,500	2,155	6,155
	간접비	250	320	300	870
	위탁사업비	0	0	0	0
합 계		2,250	3,750	3,055	8,875
재원조달	정 부	1,800	2,856	2,444	7,100
	민 간	450	714	611	1,775
합 계		2,250	3,570	3,055	8,875

다. 제4세부과제

표 5.9 제4세부과제 세세부과제별 연구개발비 소요내역

(단위 : 백만원)

세부과제명	세 세 부 과 제 명	정부	민간	합계
시설의 도심 설 치를 위한 주민 친화적 구축기술 개발	지하공간 이용 복합플랜트 구축기술 개발	500	125	625
	생태 및 주민친화적 커뮤니티 공간 조성 기술 개발	500	125	625
합 계		1,000	250	1,250

표 5.10 제4세부과제 연차별, 비목별 연구개발비 소요내역

(단위 : 백만원)

구 분		1차년도	2차년도	3차년도	합 계
소요예산	인건비	100	100	100	300
	직접비	200	200	250	650
	간접비	50	50	50	150
	위탁사업비	50	50	50	150
합 계		400	400	450	1,250
재원조달	정 부	320	320	360	1,000
	민 간	80	80	90	250
합 계		400	400	450	1,250

제 4 절 제안과제 평가전략

본 사업의 수행을 위해 제안되는 과제의 평가를 위한 평가항목과 각 항목별 평가방법 및 전략은 표 5.11에 정리한 바와 같다.

표 5.11 제안과제 평가항목 및 평가전략

평가항목		배점	평가방법 및 전략
연구개발목표		15	·최종목표 및 연차별 달성목표의 적절성·타당성(5점) ·성과목표·지표 설정의 명확성 및 적정성(10점)
연구개발내용		20	·사업단과제 연구목표와의 부합성(5점) ·과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성(5점) ·연구개발내용의 실현가능성(5점) ·연구개발내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획		15	·연구추진전략, 체계의 구체성 및 타당성 (5점) ·연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성 (5점) ·연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성 (5점)
연구성과물 활용계획의 구체성 및 달성 가능성		20	·연구성과물 혁신성 및 차별성 (5점) ·연구성과물 활용방안의 구체성 및 적절성 (5점) ·연구성과물의 실용화 및 사업성 (5점) ·연구성과물의 기대성과(정책적, 사회, 경제적 파급효과 등) (5점)
연구기관 지원수준 및 의지		15	·연구인프라 구축 수준 및 활용성 (5점) ·연구관리시스템 및 지원시스템의 적절성 (5점) ·민간부담금 부담 및 해당기관의 연구지원 의지 (5점)
연구진 구성의 전문성		15	·연구책임자 전문성 및 해당분야 실적 (10점) ·연구진 전문성 및 구성의 적정성 (5점)
기타	부합성 평가	-	·평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정 시 탈락 조치
	중복성 평가	-	·평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치

참 고 문 헌

1. 지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화, 한국건설기술연구원 연구보고서, 한국건설교통기술평가원 (2004)
2. 친환경에너지플랜트 사업단 기획연구 최종보고서, 한국건설교통기술평가원 (2008)
3. 자원 에너지 순환형 복합플랜트, 대한설비공학회지, 제36권 제 10호 (2007)
4. 폐자원 에너지화 기술동향보고서, 한국환경산업기술원 (2013)
5. 폐자원 에너지화 기술개발사업 기획 및 사전타당성조사 분석 최종보고서, (주)기술과가치 (2012)
6. 폐자원 에너지화 기술개발사업 예비타당성 조사 보고서, 한국과학기술기획평가원 (2012)
7. 유기성 폐자원 에너지 활용시설 현황 (2012)
8. 폐자원 및 바이오매스 에너지화 기술, 환경관리공단 (2009)
9. Waste to Energy Report, 한국환경자원공사 (2009)
10. 바이오매스 에너지화 기술개발 R&D 전략로드맵 수립 최종보고서, 지식경제부 (2012)
11. 폐기물에너지 기술개발 전략로드맵, 지식경제부 (2012)
12. 폐자원 에너지화 기술개발사업 상세기획 최종보고서, 환경부 (2012)

부 록 1
기술수요조사서

제 목	복합폐기물 에너지 회수용 일체형 보일러 개발
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 발생하는 다양한 종류의 폐기물을 통합적으로 처리되지 못하고, 각각의 처리시설에서 처리되기 때문에 효율적 처리가 불가능하고, 건설비가 중복 투자되는 문제점이 발생하고 있음 ○ 유기성(음식물 등) 및 가연성(생활계, 사업장계 등) 폐기물을 통합하여 처리하면서 에너지를 회수를 극대화 할 수 있는 보일러 기술 개발이 필요함
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기성 및 가연성 폐기물 등의 복합폐기물 처리기술 개발 필요 ○ 다양한 폐기물을 하나의 시설에서 처리하면서 에너지 회수를 극대화할 수 있는 일체형 보일러 기술 확보
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 100톤/일급 복합폐기물 에너지 회수 시스템 개발(에너지 회수율 75%이상)
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 플랜트 건설 지자체 및 지역 선정 - 10톤/일급 복합폐기물 전처리 기술 개발 - 5톤/일급 일체형 보일러 기술 개발 ○ 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 10톤/일급 복합폐기물 전처리 시스템 구축 - 5톤/일급 일체형 보일러 시스템 구축 - 100톤/일급 복합폐기물 에너지 회수 시스템 설계 ○ 3차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 100톤/일급 복합폐기물 에너지 회수 시스템 건설/구축 ○ 4차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 100톤/일급 복합폐기물 에너지 회수 시스템 최적화 - 플랜트 성능 검증
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특허 5건 이상 ○ 최종보고서 ○ 일체형 보일러 plant
예상소요비용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 300억원(1년 20억원, 2년 80억원, 3년 150억원, 4년 50억원)
수행가능기관	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국·공립연구소, 전문기업 등

제 목	가축분뇨 자원화 복합플랜트 개발
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기성폐기물(축산분뇨, 음식물류폐기물)의 런던협약에 의한 해양 투기금지의 대안책 필요. ○ 고품수의 유기성폐기물의 저에너지소비 플랜트를 이용한 감량화 기술개발이 절실함. ○ 감량화 이후 자원화 및 에너지화를 통한 도심내 에너지 순환체계가 포함된 융합기술접목 플랜트 필요.
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축산분뇨 및 음식물류폐기물을 활용하여 악취를 본질적으로 저감시키며 퇴비화(자원화)시 수분조절제, 부숙제에 대한 대체 방안기술로 수분조절제 없이 함수율 60% 이내로 저감이 가능한 복합플랜트 개발
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고분자량의 고행성유기물을 저분자량으로 퇴비화 속도를 향상(15일 이내) : 유기물대 질소의 비 45이하, 수분 55%이하, 종자발아지수(부숙도) 70이상 ○ 열가수분해 플랜트로 함수율 감량(60%)으로 경제성 확보(툽밥대비 50%절감) ○ 100ton/d급 열가수분해 실증 + 50ton/d급 퇴비화장치 실증 ○ 수분조절제, 부숙제 대체 방안 기술접목으로 운영비 절감 ○ 퇴비화시 호기성미생물의 활동성을 향상시킴으로 품질 및 속도향상
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 및 음식물류폐기물의 열가수분해 특성 및 최적운전조건도출 - 열가수분해 생성물의 퇴비화 최적조건 도출 ○ 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 실증플랜트 물질수지 및 설계인자 도출 - 열가수분해 실증플랜트 제작, 퇴비화 실증플랜트 제작 ○ 3차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 열가수분해, 퇴비화 플랜트 시운전 및 운전최적화
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열가수분해 플랜트 + 퇴비화 플랜트의 복합 실증플랜트 ○ 유기성폐기물 퇴비화 경제성 평가물
예상소요비용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 300(억원)
수행가능기관	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국·공립연구소, 전문기업 등

제 목	유기성폐기물 전처리 기술 개발
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 음식폐기물과 축산분뇨의 통합 바이오가스플랜트를 이용한 유기성 폐기물의 에너지화 시스템에서 복합화를 통한 에너지효율상승 및 활용성 확보필요. ○ 현재 설치된 바이오가스플랜트의 효율, 운영/관리, 에너지활용 등의 미흡한 문제점의 해결방안 마련필요
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기성폐기물의 전처리를 통한 바이오가스플랜트의 운전안정화 확보 ○ 혐기소화조의 혐기소화미생물의 균질화 및 균일한 온도유지기술 확보
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열가수분해 기술을 이용한 바이오가스플랜트 전처리 기술 개발 ○ PCM(Phase Change Material)을 적용한 에너지소비 절약형 혐기소화조 개발
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열가수분해 전처리에 따른 혐기소화 최적화 및 효율 평가(1연차) ○ 35℃, 55℃ 온도의 상변화물질 제조 및 생산기술 확보(1연차) ○ 열가수분해+혐기소화조 통합시스템 설계인자도출(2연차) ○ PCM물질을 포함한 혐기소화조 설계인자도출(2연차) ○ 200ton/d급 실증 복합플랜트시공(3연차) ○ 복합플랜트 운전 및 에너지수급연계 시스템 개발(3연차)
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ PCM 물질 제조기술 ○ 열가수분해 전처리 기술과 PCM 적용 혐기소화조 실증플랜트
예상소요비용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 500(억원)
수행가능기관	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국·공립연구소, 전문기업 등

제 목	압축공기 활용 신재생에너지 생산
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최근 우리나라의 에너지사용량이 월별, 시간대별차이가 크므로 전력수요의 피크시 공급이 부족하여 전력 예비율이 매우 위험한 수준이며, 향후 전력생산의 큰 비중을 차지할 신재생에너지의 발전은 간헐적 생산이 불가피함. <ul style="list-style-type: none"> - 이러한 전력들의 효율적이며 경제적인 생산을 위해 전기에너지 저장(EES, Electrical Energy Storage)에 대한 연구 및 상용화가 활발하게 이루어짐. - 다양한 EES중 대규모의 전력에너지 저장시 경제성 및 효율성이 높은 압축공기에너지저장 (CAES, Compressed Air Energy Storage)시설 도입이 필요함. ○ 에너지저장매체 및 시설의 개발은 신재생에너지의 확대 보급 정책과 부합(병행필요) (화력발전 → 신재생에너지발전(에너지저장기술 필요성 증대)) ○ 대규모 단지의 풍력발전단지 외에 소형풍력의 보급이 상용화 되어야 하며, 전기생산 이외의 에너지(공기)활용방안 모색이 시급함. ○ 현재 풍력발전기술은 최종에너지 생산을 전기로 전환되어 활용하는 실정이며, 낮은 전력전환효율에도 불구하고 전력효율 향상의 연구에만 매진하고 있는 실정임.
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신·재생에너지(풍력)의 공기압축 저장으로 전력공급의 안정성을 확보 (신재생에너지의 전력수급 및 공급 불안정해소, 에너지저장 및 에너지활용 극대화) ○ 풍력의 운동에너지 이용 직접압축저장공기(10kgf/cm²)를 이용한 건물내 공조시스템 개선 (에너지절약형 냉,난방 공조시스템 및 공기질 개선용 환기시스템 확보) ○ 하수처리장 폭기조내 Air 공급망 구축 (에너지 전환소비량(전기→Air)없이 압축공기의 직접 활용에 따른 경제성 확보)
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존방식의 압축공기활용(풍력발전 → 전력생산 → 송풍기, 압축기가동 → 활용)에서 에너지의 많은 변환단계로 인한 에너지 손실을 최소화 할수 있도록 풍력에너지에서 초기에 발생하는 운동에너지를 직접적으로 회전피스톤운동으로 연결하여 바로 공기를 압축함.
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 풍력을 회전력으로 변환시키는 풍력 블레이드(1~2연차) <ul style="list-style-type: none"> - 풍력타워, 회전축, 저풍속 고회전 블레이드 구축기술 접목

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 회전 운동에너지를 이용한 공기압축 기술(2~5연차) <ul style="list-style-type: none"> - 풍력 블레이드의 회전력을 공기압축기의 동력으로 직접 제공하기 위해 기어, 체인, 벨트 등을 이용하는 동력 전달 시스템 구축 - 저장된 압축공기를 일정한 압력과 유량으로 공급하는 압력/유량 조절 시스템 ○ 50kW급 pilot plant 제작, 운전 및 관리(5~7연차)
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 50kW급 풍력이용 pilot 공기압축시스템 ○ 발전기 연계포함
예상소요비용	○ 100(억원)
수행가능기관	○ 전문기업, 국·공립연구소 등

제 목	하폐수 슬러지로부터 고품연료 생산기술
<p>연구개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 슬러지 건조 고품연료화 기술로서 다양한 방식의 공정이 개발 및 적용된 바 있으나, 에너지효율 문제와 악취 문제는 미해결 과제임. ○ 단독 건조의 경우 수분증발열량이라는 한계 에너지소비율을 고려 했을시 에너지 효율적이지 않음. ○ 또한 건조과정에 발생하는 배가스는 고강도 악취로서 많은 악취제 거비용이 수반되게 됨. ○ 저에너지 소비형 슬러지 건조 고품연료화를 위해서는 탈수기술과 연동한 고효율 건조기술의 개발이 요구되고, 발생 악취가스의 온도를 유지하면서 수분을 제거하여 건조공기로 재순환하는 기술이 절실히 필요함.
<p>연구개발 목적</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 직접 열회수형 슬러지 고품연료화 장치기술 개발 및 실증 ○ 고품연료 생산 및 실증 사이트 에너지 공급 
<p>연구개발 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 직접 열회수형 슬러지 건조 고품연료화 실증(30 톤/일) 통합 시스템 완성 ○ 저에너지 소비형 슬러지 감량화 기술 개발(함수율 구간별 최적 요소기술 적용) ○ 멤브레인 드라이어를 통한 악취 농축 및 직접 열회수 기술 개발 ○ 배후단지와 연계하는 에너지 생산 및 활용 시스템 구축 

<p>연차별 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 대상 폐기물의 전기삼투 특성 파악 - 대상 폐기물 건조물의 성형 조건 도출 - 공정 발생악취 특성 파악 및 처리공정 선정 - 처리단계별 폐기물 특성 파악 - 실증시설용 기본설계 ○ 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 각 공정별 요소기술의 최적화 - 실증시설용 실시설계 - 설치현장 기초공사 및 요소기술 구성설비 제작 ○ 3차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 실증시설 현장 설치 및 시운전 - 실증시설 성능 평가 ○ 4~5차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 실증시설 현장운전을 통한 운전자료 확보 - 실증시설 통합 성능 평가 - 최적화 및 기술혁신(Technical Innovation) : 사업성 극대화 ○ 6차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 실증시설 현장운전을 통한 운전자료 확보 - 공인인증 및 사업화 추진
<p>최종 성과물</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 30 톤/일 이상급 슬러지류 건조 고품연료화 시스템 ○ 전소 또는 석탄 등과 혼합 연소할 수 있는 고품연료 ○ 표준설계서 ○ 운전매뉴얼 및 유지관리지침서 ○ 지적재산권(특허 및 프로그램), 신기술 검증 등
<p>예상소요비용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 80억원/6년
<p>수행가능기관</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국·공립연구소 등

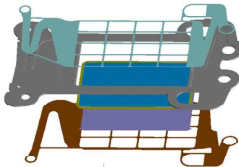
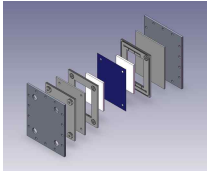
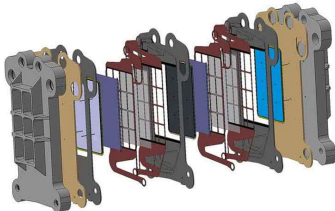
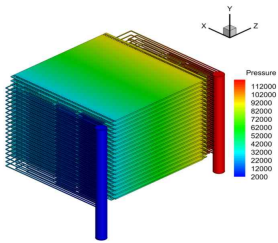
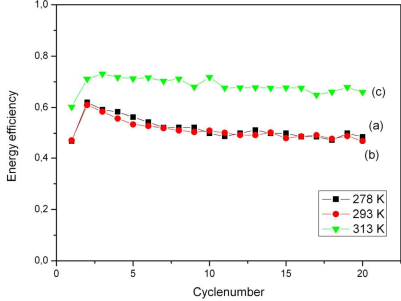
<p>제 목</p>	<p>수요변동 대응 가능한 이산화탄소 회수형 Trigenation 시스템 (Combined Carbon dioxide, Cooling, Heat and Power : C³HP)</p>
<p>연구개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 바이오가스 플랜트에서 생산되는 바이오가스는 대부분 on-site에서 보일러나 발전기를 통해 열 및 전기에너지로 변환시켜 단순이용되고 있음. ○ 도심과 같이 에너지 수요처가 충분할 경우 정제·고질화를 통한 바이오메탄을 생산할 필요는 없음. ○ 도시기반 순환형 복합플랜트 개념에서는 도시부하 구조 및 변동에 따른 에너지원의 탄력적 운용 및 공급이 요구됨. ○ 기존의 단순 열병합발전은 수요/부하 및 비상상황에 능동적으로 대처가 불가능하며, 수요변동에 따라 각각의 생산량을 조절할 수 있는 이산화탄소 회수형 Trigenation 시스템의 개발이 절실히 요구됨(회수된 이산화탄소는 도시농업 탄소원으로 활용).
<p>연구개발 목적</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수요변동 대응 가능한 이산화탄소 회수형 Trigenation(Combined Carbon dioxide, Cooling, Heat and Power : C³HP) 시스템 개발 및 실증 ○ 도시기반 순환형 복합플랜트에서 생산된 바이오가스의 효율적 이용
<p>연구개발 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 바이오가스로부터 이산화탄소 회수장치 실증 ○ 에너지 전환시설(C³HP) 실증 ○ 실증시설 운전, 최적화 및 성능평가
<p>연차별 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 분리·정제 공정의 최적화

	<ul style="list-style-type: none"> - 이산화탄소 회수를 위한 최적 분리모듈 공정 도출 - 최적 냉난방 에너지 전환공정 선정 및 시스템 검토 - 기본설계를 위한 물질수지 및 공정인자 제시 - 기본설계안 제시 ○ 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 파일럿시설 활용 바이오가스 분리성능 및 효율 평가 - 실증공정 실시설계 및 보완 ○ 3차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 단위공정 구성 - 실증시설 제작 및 현장 설치 - 이산화탄소 회수형 청정에너지 전환 실증시설 완성 ○ 4~7차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 실증시설 운전(O&M) 및 최적화(Technical Innovation) - 신뢰성 평가 - 상용운전을 통한 성능 평가 - 경제성 및 환경성 분석 - 시스템 안전성 평가 및 개선방안 도출 - 통합 실증시설 성능 평가(신기술 인·검증) - 융합시스템의 인증기준 및 표준 개발
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 5 m³Biogas/min 이상 규모급 수요변동 대응 가능한 이산화탄소 회수형 Trigenation(Combined Carbon dioxide, Cooling, Heat and Power : C³HP) 시스템 ○ 바이오가스 청정에너지 전환 운전·유지관리 기술 패키지 ○ 바이오가스 고품질화 및 이산화탄소 회수·이용 시스템 ○ 표준설계서, 운전매뉴얼 및 유지관리지침서 ○ 지적재산권(특허 및 프로그램), 신기술 검증
예상소요비용	○ 70억원/7년
수행가능기관	○ 국·공립연구소 등

제 목	음식물류 폐기물 자원화 기술
<p>연구개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도심지역에서 발생될 수 있는 대표적인 유기성 폐자원으로는 인분과 음식물쓰레기가 있음. ○ 주거지역 단위 음식물쓰레기는 발생량이 꾸준히 증가하고 있으며, 주거시설 고층화에 따라 분리배출의 불편함 발생 ○ 이에 따라 주방용 오물분쇄기 허용이 임박하였으나, 주방용 오물분쇄기는 음식물쓰레기를 하수로 배출하여 수처리 계통으로 투입하는 개념으로서 도심 바이오 에너지 생산에 있어서 적절하지 않음. ○ 따라서 자원화(바이오가스화) 연계 가능한 고품질 회수공정이 결합된 신개념 디스포저 시스템의 개발이 필요함.
<p>연구개발 목적</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도심 바이오에너지 단지 구축을 위한 필수 요소기술 개발 ○ 도시기반 순환형 복합플랜트에서 효율적인 바이오가스 생산
<p>연구개발 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 편의성 향상 및 자원화 겸용 도시형 음식물쓰레기 배출·수거시스템 개발 및 실증 ○ 자원화 연계 가능한 고품질 회수타입의 신개념 디스포저 시스템 개발 및 실증 ○ 실증시설 운전, 최적화 및 성능평가

<p>연차별 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 음식물쓰레기 분쇄이송기 성능 최적화 - 고액분리 시스템 최적화 - 고품질 회수부 최적화 ○ 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 통합시스템 최적화(시범세대) - 자동운전 프로그램 최적화 - 과부화시 안정성 평가 - 기본 및 실시설계 ○ 3차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 실증공정 실시설계 보완 - 실증시설 설치 및 운전 - 고품질 거동 평가 - 오수 배출량 및 수질 조사 - 최적 운전상태 유지 ○ 4~7차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 안전성 평가 및 개선방안 도출 - 운전매뉴얼 및 유지관리지침서 작성 - 실증시설 운전(O&M) 및 최적화(Technical Innovation) - 실증시설 성능 및 신뢰성 평가 - 주민 설문조사 - 공인기관 인증 - 융합시스템의 인증기준 및 표준 개발
<p>최종 성과물</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 배후단지 전세대 규모 고품질 회수공정이 결합된 신개념 디스포저 시스템 ○ 배후단지 전세대 규모 편의성 향상 및 자원화 겸용 도시형 음식물 쓰레기 배출·수거시스템 ○ 바이오가스 전환을 위한 전처리로서 운전·유지관리 기술 패키지 ○ 표준설계서, 운전매뉴얼 및 유지관리지침서 ○ 지적재산권(특허 및 프로그램), 신기술 검증
<p>예상소요비용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 60억원/7년
<p>수행가능기관</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국·공립연구소 등

제 목	순환형 도시 기반 복합플랜트의 Fe/Cr-RFB (redox flow battery) 에너지 저장시스템 개발																						
제안 과제명	○ 순환형 도시 기반 복합플랜트의 Fe/Cr-RFB (redox flow battery) 에너지 저장 시스템 개발																						
연구개발 필요성	<p>○ 도시기반 복합플랜트의 교류 전력의 보조전원으로 이용되는 에너지 저장장치의 개발로 피크 전력 사용시 발생하는 전력 수요/공급 불균형의 해소 수단 확보</p> <div data-bbox="470 616 1348 996"> <table border="1"> <caption>Annual Production ESP/ TWh</caption> <thead> <tr> <th>Technology</th> <th>Production (TWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na/S</td> <td>~100</td> </tr> <tr> <td>CrCl2/FeCl2</td> <td>~10</td> </tr> <tr> <td>Na/NiCl2</td> <td>~5</td> </tr> <tr> <td>Pb/PbO2</td> <td>~3</td> </tr> <tr> <td>Zn/Br2</td> <td>~2</td> </tr> <tr> <td>C6/LiFePO4</td> <td>~1.5</td> </tr> <tr> <td>Li/S</td> <td>~1</td> </tr> <tr> <td>C6/LiCoO2</td> <td>~0.5</td> </tr> <tr> <td>Mg/Sb</td> <td>~0.3</td> </tr> <tr> <td>V(SO4/VO2 (HSO4))</td> <td>~0.1</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p><복합 플랜트용 에너지 저장 장치> <Fe-Cr RFB 전지 출력 효율 예상치></p> <p>○ 기존에 운용/가동 중인 풍력, 태양열 등 신재생 에너지를 이용한 전력 공급을 일정하게 해주는 보조 전력으로서의 에너지 저장 장치 개발로 신재생 에너지의 전력 공급 불균형 해소 수단 확보</p>	Technology	Production (TWh)	Na/S	~100	CrCl2/FeCl2	~10	Na/NiCl2	~5	Pb/PbO2	~3	Zn/Br2	~2	C6/LiFePO4	~1.5	Li/S	~1	C6/LiCoO2	~0.5	Mg/Sb	~0.3	V(SO4/VO2 (HSO4))	~0.1
Technology	Production (TWh)																						
Na/S	~100																						
CrCl2/FeCl2	~10																						
Na/NiCl2	~5																						
Pb/PbO2	~3																						
Zn/Br2	~2																						
C6/LiFePO4	~1.5																						
Li/S	~1																						
C6/LiCoO2	~0.5																						
Mg/Sb	~0.3																						
V(SO4/VO2 (HSO4))	~0.1																						
연구개발 목적	<p>○ 순환형 도시기반 복합 플랜트 발전의 부하 관리 및 부하 평준화로 피크 전력 사용시간의 최대 전력 수요 대응</p> <p>○ 보편적으로 입수 가능한 저렴한 전극 소재 (Fe) 및 전해질을 사용하는 에너지 저장 시스템 개발</p> <p>○ 에너지 밀도의 점진적 증대 가능한 신재생 에너지 제조용 에너지 저장 장치 개발</p> <div data-bbox="486 1545 1404 1836"> <p><Fe-Cr RFB 전지 계통도> <철 전극 소재> <Demo unit></p> </div>																						
연구개발 목표	○ 단일 전지 기준 상온 운전 시 출력 밀도 15 mW/cm ² (충전시), 10 mW/cm ² (방전 시) 이상 달성																						

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 단일 전지 2개 직렬 운전 시 출력 밀도 28 mW/cm² (충전시), 14 mW/cm² (방전 시) 이상 달성 ○ 단일 전지 기전력 1.1 Volt 이상 달성 ○ 500W급 Fe-Cr RFB 전지 스택 제작 및 평가
<p>연차별 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1차년도: Single test cell 제작 (flow cell (유로 패턴) 설계 및 관련 전산 모사, 전극, 분리막, 기타 지지 장치 소재 선정) 및 평가 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <ul style="list-style-type: none"> ○ 2차년도: Single cell 설계 조건 최적화 및 평가 ○ 3차년도: Single cell 연속 운전 시험을 위한 펌프, 배관 밸브, 프레임 소재 선정 및 전산 해석 결론 ○ 4차년도: 셀 적층 조건 확립을 위한 전산 모사, 소재 선정 및 전지의 용량, 에너지 밀도 달성도 평가 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <ul style="list-style-type: none"> ○ 5차년도: 셀 스택의 연속 운전 성능평가 및 전산 해석 결론 <div style="text-align: center;">  </div>
<p>최종 성과물</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고효율 Fe-Cr RFB 전지 single cell ○ 500W급 Fe-Cr RFB 전지 스택
<p>예상소요비용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3,500,000,000
<p>수행가능기관</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구소, 벤처 및 중소기업, 대학

제 목	합성가스로부터 고발열량 합성천연가스 생산기술 개발
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 폐기물의 가스화로 얻은 합성가스로부터 수성가스전환, 이산화탄소 제거 및 메탄화 반응을 거쳐 고농도의 SNG를 생산할 수 있음 ○ 생산된 SNG(9,400 kcal/Nm³)는 현재 사용하고 있는 천연가스 (9,700~10,800 kcal/Nm³)와 발열량 차이가 크기 때문에 천연가스 배관망에 연결할 수 없음 ○ 국내의 경우 발열량을 조절하기 위해 LPG를 10% 정도 SNG와 혼합하여 배관망에 연결하여야만 사용이 가능함 ○ 따라서, 메탄과 함께 C₂~C₅ 범위의 탄화수소를 함께 생산할 수 있는 고발열량의 SNG 제조용 혼성축매와 공정이 개발되면 기존의 천연가스 배관망에 연결이 가능하며, 공정의 단순화와 비용절감에 큰 영향을 미칠 것임
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고발열량의 SNG 생산을 위한 혼성축매 및 이의 공정 개발
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 메탄화 반응과 FT 합성반응이 동시에 진행되어 일산화탄소의 수율을 높이고, 생성물 중 C₂~C₅ 범위의 탄화수소가 10%이내 포함되어 있는 고발열량의 SNG를 생산하고자 함 ○ 고발열량의 SNG 생산을 위한 신규의 혼성축매 개발, Lab. 장치와 합성가스 20 Nm³/h 규모의 SNG 장치에서 개발한 축매의 성능(전환율, 수율, SNG의 발열량 등등) 평가 ○ 합성가스 800 Nm³/h 규모의 SNG 설비에 대한 설계, 구축 및 운전을 통하여 경제성 있는 SNG 공정의 최적화
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1~2연차 <ul style="list-style-type: none"> - 고발열량의 혼성축매 및 성형기술 개발 - Lab. 장치에서 축매의 성능 평가 ○ 3~5연차 <ul style="list-style-type: none"> - 고발열량의 혼성축매의 최적화 및 대량 생산 - 합성가스 20 Nm³/h 규모 SNG 장치에서 개발 축매의 성능 - 합성가스 800 Nm³/h 규모의 SNG 설비(Test-bed)에 대한 기본설계 (경제성 측면에서 접근) ○ 6~7연차 <ul style="list-style-type: none"> - 합성가스 800 Nm³/h 규모의 SNG 설비에 대한 상세설계 및 구축 - 합성가스 800 Nm³/h 규모의 SNG 설비에 대한 운전 및 최적화 - 상용규모의 SNG 설비에 대한 기본설계
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신규의 혼성축매 및 이를 적용한 SNG 공정에 대한 지식재산권 ○ 합성가스 800 Nm³/h 규모의 SNG 설비(Test-bed)에 대한 운전 최적

	<p>화기술</p> <p>○ 상용규모의 SNG 설비에 대한 기본설계 패키지 (Basic Design Package)</p>
예상소요비용	○ 3억/년 (1~2연차), 10억/년 (3~5연차), 40억/년 (6~7연차) : 총 116억
수행가능기관	○ 국·공립연구소 등

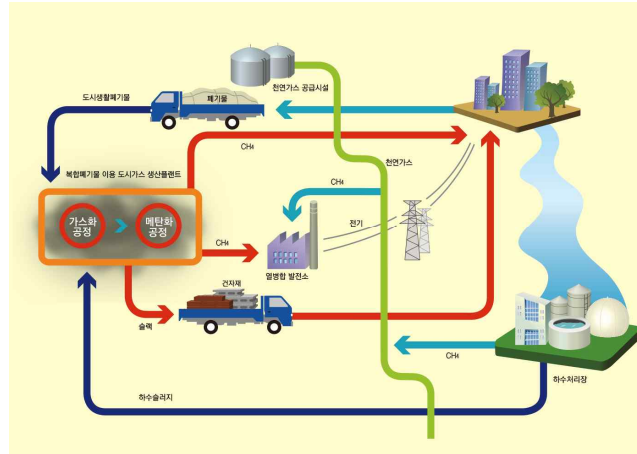
제 목	합성가스로 천연가스화를 통한 복합발전 기술 개발
연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최근 대도시를 기반으로 토지이용을 극대화 할 수 있는 고밀도 주택형태인 고층아파트, 연립주택, 빌라 등 다양한 집합 주거형태가 일반화 되고 있다. ○ 이러한 집합 주거에는 청정에너지로 각광 받고 있는 천연가스 공급이 보편화 되고 있으며 대단위 아파트단지의 경우 온수를 공급 받기 위한 열공급시설을 반드시 설치하도록 되어 있다. ○ 환경에 관심이 높은 지역주민의 각종 민원으로 집합 주거지역에 지역내 폐기물 복합발전 시설이 혐오시설로 설치 반대를 받고 있다.
연구개발 목적	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지역주민의 민원발생소지가 많은 폐기물 복합발전 시설을 도시 외각으로 이전설치 ○ 도시 외각에 설치된 폐기물 복합발전 시설에서 생산되는 합성천연가스를 파이프라인을 통해 집합 주거지역에 공급하고 대단위 아파트 단지 주변에 청정연료인 천연가스를 이용한 열공급시설을 두어 지역주민의 민원발생을 최소화 함 ○ 비교적 분리수거가 용이한 집합 주거지에서 발생하는 가연성 폐기물로부터 폐기물 복합발전 이용 가능
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도심 집합 주거지에서 수거한 가연성 폐기물로부터 합성가스를 제조 할 수 있는 폐기물가스화 개발 ○ 합성가스(CO, H₂등)로부터 청정연료인 SNG 생산시설 개발 ○ 합성가스로부터 SNG의 발열량을 보조할 LPG 생산시설 개발 ○ SNG 합성시 수반되는 과열증기로부터 전기 생산시설 설치
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가연성 폐기물로부터 폐기물 가스화기 개발 (1, 2년차) ○ 합성가스로부터 SNG 생산설비 개발 (1, 2, 3년차) ○ SNG 공정에 적합한 CO₂ 분리설비 실험 (2, 3년차) ○ 합성가스로부터 LPG 생산설비 개발 (2, 3년차) ○ 과열증기로부터 전기 생산설비 설치 (3년차) ○ 폐기물 복합발전 전체 설비 가동 시험 (3년차)
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 폐기물 복합발전 전체 공정 PDP ○ 폐기물 가스화 실증설비 ○ SNG 생산 실증설비
예상소요비용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인구 1만명기준 (폐기물가스화 시설: 50억, SNG 생산시설: 30억)
수행가능기관	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국·공립연구소 등

부 록 2

연계·복합 세부공정 분석표

가연성 폐기물과 유기성 폐기물로부터 천연가스 생산용 복합 플랜트

개략 공정도



공정 개요 및 특징

- 도시에서 발생하는 생활폐기물(MSW, Municipal Solid Waste)과 음식물 및 하수 처리 공정 중에서 발생하는 유기성 폐기물로부터 도시 에너지의 기반이 되는 도시가스(natural gas)를 발생하고, 처리 공정 중에 발생하는 부산물(슬랙)은 도시에서 필요한 전자재 등으로 재순환하는 플랜트
- 도시기반으로 발생하는 폐기물을 전량 자원화 하고 공정 중에서 발생하는 2차 폐기물의 발생을 최소화 할 수 있는 near zero waste 구현
- 도시 생활 폐기물과 유기성 폐기물을 가스화(gasification)을 통해 가연분은 합성가스(syngas)로 전환하고, 불연분은 용융하여 슬랙으로 처리하고, 합성가스는 메탄합성공정을 통해 CH₄가 주성분이 도시가스를 생산하고 슬랙은 전자재로 활용함

도입에 따른 효과·편익 분석

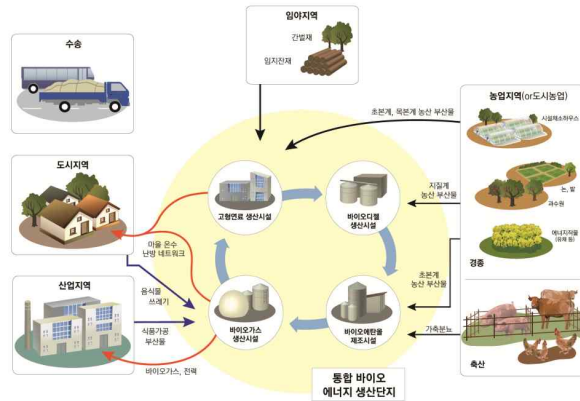
- 일일 100톤의 폐기물로부터 15~20 톤/일 천연가스 생산
- 폐기물 처리 비용을 절감하고, 2차적인 폐기물 발생을 최소화 할 수 있음
- 99% 이상 수입에 의존하는 천연가스를 자체 생산하므로써, 에너지의 안정적인 확보에 기여

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 도시 생활 폐기물 가스화 기술은 실증단계, 합성가스 이용 메탄합성 기술도 실증단계로 접어든 단계로, 2가지 기술의 조합을 통해 단기간 내에 상업화 가능한 기술임
- 생산된 도시가스의 경제성을 확보하기 위해서는 가스화 공정에서의 산소 소비를 최소화 하고, 고순도의 메탄이 주성분인 메탄합성공정의 최적화 및 전체 공정을 연계한 신뢰성 확보를 위한 test-bed의 연구가 필요한 단계임

유기성 폐기물 복합 처리 플랜트 (Near zero waste plant)

개략 공정도



공정 개요 및 특징

- 기존의 별도로 운영되던 바이오매스 고형연료, 바이오 디젤 플랜트, 바이오 에탄올 플랜트, 바이오가스 플랜트를 하나의 통합 플랜트로 개발하여 다양한 바이오매스를 동시에 활용하고 각각에서 발생하는 부산물을 자체에서 활용함으로써 최소화 함
- 각각의 생산기술은 상용화 되었기 때문에 실현성 높음
- 여러 가지 바이오매스를 동시에 활용 할 수 있다는 점에서 육상 바이오매스 조차도 부족한 국내 실정에 적합하며 식량 자원을 활용하지 않는다는 점에서 향후 발전 가능성 높음

도입에 따른 효과·편익 분석

- 바이오 디젤, 바이오 알코올 생산과정에서 발생하는 부산물의 처리가 주요 플랜트의 경제성을 떨어트리는 주요 원인 중 하나이며 이를 바이오가스, 바이오 고형연료의 기질로 활용함으로써 자원의 재이용을 통하여 극복함
- 바이오에탄올 생산량 : 70 kg/ton-BM 이상 (폐옥수수대 기준)
- 바이오메탄 생산량 : 10 Nm³/ton-BM 이상 (폐옥수수대 기준, 바이오에탄올 생산 후)
- 바이오고형연료 생산량 : 800 kg/ton-BM 이상 (폐옥수수대 기준, 바이오에탄올 + 바이오메탄 생산 후)
- 바이오디젤 생산량 : 970 kg/ton-BM 이상 (식용유 부산물 soap + acid oil 기준)
- 바이오메탄 생산량 : 5 Nm³/ton-BM 이상 (식용유 부산물 soap + acid oil 기준, 바이오디젤 생산 후)
- 공정 폐기물 발생량 : 10 kg/ton-BM 이하

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 통합 바이오에너지 생산 플랜트의 경제성 확보를 위해서는 1000톤/일 규모의 바이오매스의 지속적인 공급이 필요함
- 바이오가스 플랜트의 부산물인 혐기소화액을 도시농업 또는 농업에서 비료로 활용될 수 있는 체계가 확보되어야 함

발전소 배출 CO₂와 해조류를 이용한 청정연료 생산 복합플랜트

개략 공정도



공정 개요 및 특징

- 해안가에 위치한 화력발전소에서 발생하는 이산화탄소를 미세조류에 공급하여 미세조류의 광합성 촉진
- 또한 화력발전소 냉각수를 미세조류에 공급하여 수온을 높임으로서 겨울철 미세조류 배양을 가능하게 함
- 하폐수처리장과 바이오가스플랜트의 소화액을 미세조류에 공급하여 질소와 인 기질로 활용함으로써 미세조류의 배양속도를 촉진함
- 미세조류로부터 바이오디젤을 생산하고 이때 발생하는 부산물(글리세롤 등)을 바이오가스의 원료로 재이용

도입에 따른 효과·편익 분석

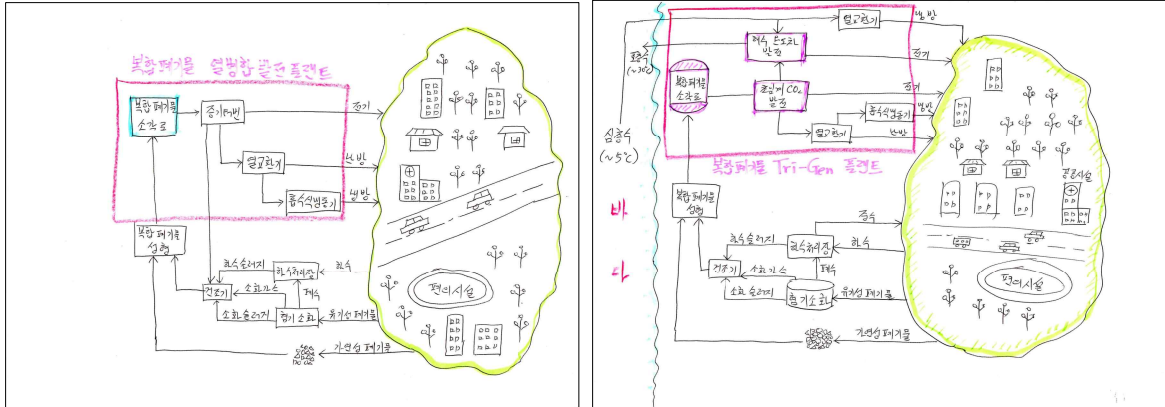
- 현재는 추정단계이기 때문에 정량화가 어렵지만 육상 바이오매스의 부족을 채워줄 수 있음
- 최대 해양바이오매스이용 바이오디젤 생산량 : 14 - 35 TOE/ha/year
- 화력발전소에서 대량 발생하는 CO₂를 주변의 해양에서 바이오매스 생산체계에 고정화하여 온실가스 저감효과 매우 큼
- 화력발전소는 대부분 해안가에 위치하고 있어 이산화탄소의 공급이 용이하고 냉각수로 해수를 사용하고 있기 때문에 수온을 높이는데 유리함

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 해양에서 미세조류를 대규모로 배양할 수 있는 기술이 확보되어야 하며 현재 해양바이오에너지 생산기술연구단이 설립되어 미세조류 배양에 대한 기술을 축적하고 있음 (기술개발단계)
- 현행 법규상 육상폐기물의 해양투기가 금지되어 있기 때문에 하폐수처리장과 바이오가스 플랜트의 혐기소화액을 질소 및 인의 공급원으로 활용은 어려우며 향후 바이오매스 활용을 위하여 해양바이오매스 생산 촉진을 위하여 부분적인 해양공급부분이 법규적으로 완화되어야 함

복합폐기물소각 열병합발전공정

개략 공정도



(a) 증기터빈 방식

(b) Tri-gen 방식

공정 개요 및 특징

- 하수처리시설에서 발생하는 하수슬러지와 유기성폐기물 소화설비에서 발생하는 소화슬러지를 건조한 후 도시에서 수거된 가연성폐기물과 함께 섞어 복합폐기물을 성형
- 성형된 복합폐기물을 연료로 소각로를 이용하여 열병합발전을 수행하여 전기와 냉난방전용 열을 생산하는 공정으로, 생산되는 전기와 열은 복합폐기물의 배출하는 도시로 공급되어 도시기반 순환형 공정을 이룸
- 복합폐기물 용량에 따라 증기터빈 방식은 증기터빈, Tri-gen 방식은 초임계 CO₂ 터빈과 해수온도차발전용 저압터빈 적용

도입에 따른 효과·편익 분석

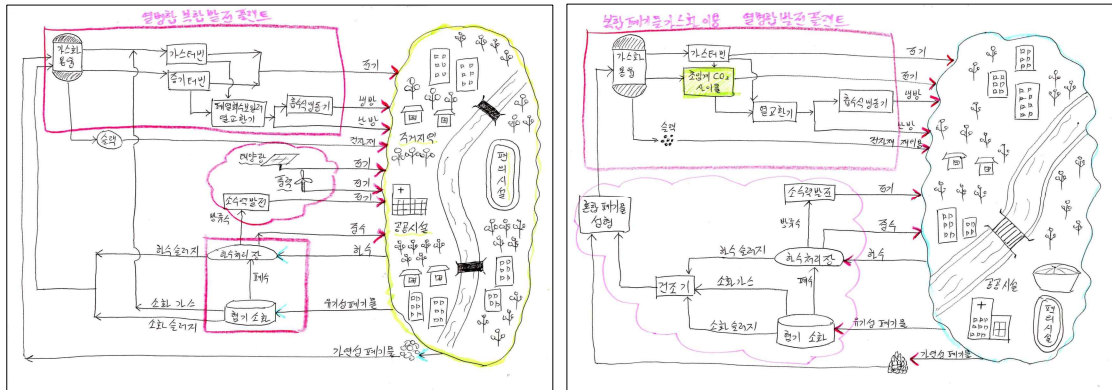
- 증기터빈 방식은 내륙에 위치하는 신도시나 기존도시 재생에 적합하며, Tri-gen 방식은 해안도시나 해상도시에 적합
- 하수처리시설의 부지에 태양광이나 풍력 등의 신재생에너지 시설과 연계, 설치하는 경우 에너지 밸런스 구축에 더욱 유리

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 복합폐기물 발열량이 높을수록 바람직하므로 슬러지의 건조와 가연성폐기물의 분리수거가 반드시 필요
- 증기터빈 방식에서는 증기터빈의 배열을 이용한 흡수식냉동기를 적용하여 냉방수요를 충족시키며, Tri-gen 방식에서는 초임계 CO₂ 터빈의 배열을 이용한 흡수식냉동기와 저온의 심층수를 활용하여 냉방수요를 충족

복합폐기물가스와 열병합복합발전공정

개략 공정도



(a) 증기/가스터빈 복합발전 방식

(b) 초임계CO2 복합발전 방식

공정 개요 및 특징

- 하수처리시설에서 발생하는 하수슬러지와 유기성폐기물 소화설비에서 발생하는 소화슬러지를 건조한 후 도시에서 수거된 가연성폐기물과 함께 섞어 복합폐기물을 성형
- 성형된 복합폐기물을 연료로 가스화용융로를 이용하여 합성가스를 생산한 후 이를 이용한 열병합 복합발전을 수행하여 전기와 냉난방열을 생산하는 공정으로, 생산되는 전기와 열은 복합폐기물을 배출하는 도시로 공급되어 도시기반 순환형 공정을 이룸

도입에 따른 효과·편익 분석

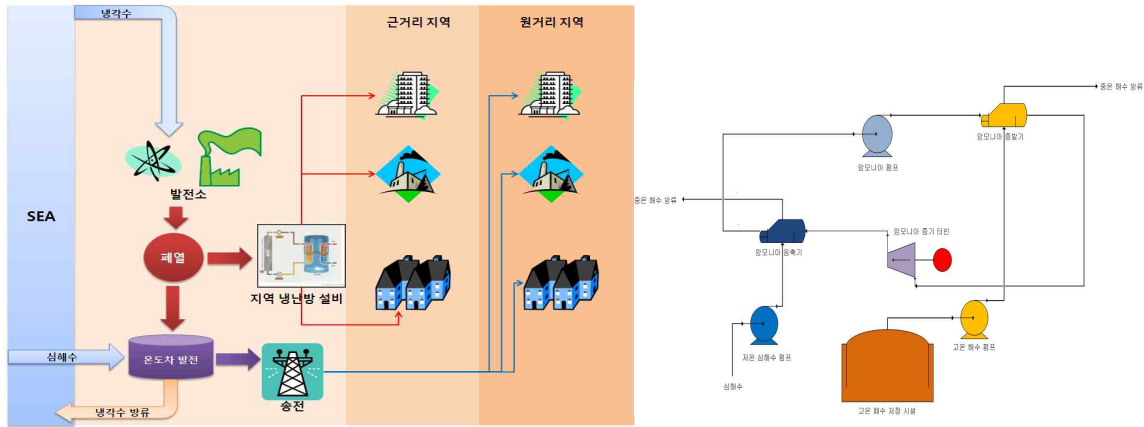
- 증기터빈/가스터빈 복합발전 방식은 기존의 석탄화력 복합발전과 유사한 기술이며, 현재 선진국을 중심으로 핵심기술개발이 진행중인 초임계CO2사이클을 이용하는 복합발전은 집중적인 기술개발이 필요
- 복합폐기물 가스화용융로에서 배출되는 슬래크은 도시에서 사용되는 건축자재로 재활용
- 하수처리시설의 부지에 태양광이나 풍력 등의 신재생에너지 시설과 연계, 설치하는 경우 에너지 밸런스 구축에 더욱 유리

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 복합폐기물 발열량이 높을수록 바람직하므로 가연성폐기물의 분리수거가 반드시 필요
- 터빈의 배열을 이용한 흡수식냉동기를 적용하여 냉방수요를 충족

발전소 폐열을 이용한 온도차 발전 공정

개략 공정도



폐열 온도차 발전 개념도

폐열 온도차 발전 공정도

공정 개요 및 특징

- 발전소 폐열을 이용한 온도차 발전 공정으로 해양 온도차 발전 원리에서 고온의 지표수 대신 발전소의 폐열을 이용한 발전
- 해양 온도차 발전은 연중 25℃ 이상의 고온을 유지할 수 있는 지역에서 이루어 질 수 있는 발전 방식이나, 발전소 폐열을 이용하면 연중 바뀌는 지표수 온도에 관계없이 일정한 고온 해수를 확보 할 수 있어 안정적인 발전이 가능하다.
- 많은 양의 해수를 이용해야하기 때문에 용량이 큰 펌프와 열교환기가 필요하고, 200m 이하의 심층수를 이용해야 하기 때문에 파이프라인 설치 비용이 크다.

도입에 따른 효과·편익 분석

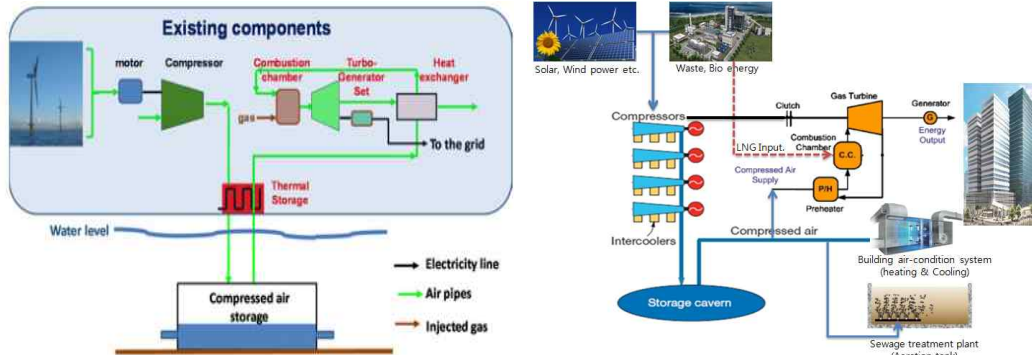
- 발전소에서 발생하는 고온의 폐수는 바로 바다로 방류하는 것이 일반적이지만 방류 직전 심해수와 온도차를 이용해서 발전량을 더 증가 시킬 수 있다.
- 2000MWe 급의 화력발전소의 경우 필요한 냉각수가 65m³/s로 연간 2억m³ 정도의 고온 해수가 바다로 방류하게 되는데, 온도차 발전을 이용해서 지표수 온도와 비슷한 온도로 방류함으로써 해양 생태계 보존에 큰 기여를 할 수 있다.
- 발전소의 폐열을 활용하기 위해 지역 냉난방에 대한 연구와 보고는 있지만, 발전소 근거리 냉난방 수요가 적어 실효성이 떨어지나, 이를 발전을 통한 송전을 하면 거리에 관계없이 폐열의 활용이 가능하다.
- 화력 및 원자력발전소 뿐 아니라 폐열을 발생하는 모든 플랜트와 연계 가능.

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 적용가능 발전소 부지 선정(예상 이용 면적 500m²)
- 국내 온도차 발전 실증설비 실적이 없으므로, 파이프라인 시공 및 펌프 설계 및 이용에 국내 업체 가능 여부 검토
- 초기 투자비가 크기 때문에 과제화 가능여부 검토(예상 비용 약 100억원)

신·재생에너지 압축공기 저장(CAES) 및 복합 활용공정

개략 공정도



(a) 기존의 CAES

(b) CAES + 공조시스템 복합공정

공정 개요 및 특징

- 신재생에너지의 공기압축 저장(Compressed-Air Energy Storage)으로 전력공급의 안정성을 확보
(신재생에너지의 전력수급 및 공급 불안정해소, 에너지저장 및 에너지활용 극대화)
- 압축저장공기를 이용한 건물내 공조시스템 개선
(에너지절약형 냉,난방 공조시스템 및 공기질 개선용 환기시스템 확보)
- 하수처리장 폭기조내 Air 공급망 구축
(에너지 전환소비량(전기->Air)없이 압축공기의 직접 활용에 따른 경제성 확보)

도입에 따른 효과·편익 분석

- 공기압축저장시설(CAES)이 도입될 경우 대용량으로(100MW급 이상) 에너지 저장 가능하여 피크부하(peak load)시 블랙아웃을 예방(예비전력 확보)하고, 신재생에너지의 단점인 전력공급편차를 줄여 에너지 활용 측면에서 큰 효과를 나타냄.
- 70% 이상의 에너지 저장 효율로 에너지 저장 매체중 가장 높은 에너지저장 및 전환 효율을 보임.
- 높은 에너지저장효율 외에도 에너지의 전환단계를 거치지 않는 압축공기의 직접 활용으로 에너지전환 소비율 최소화 및 경제성 확보가능

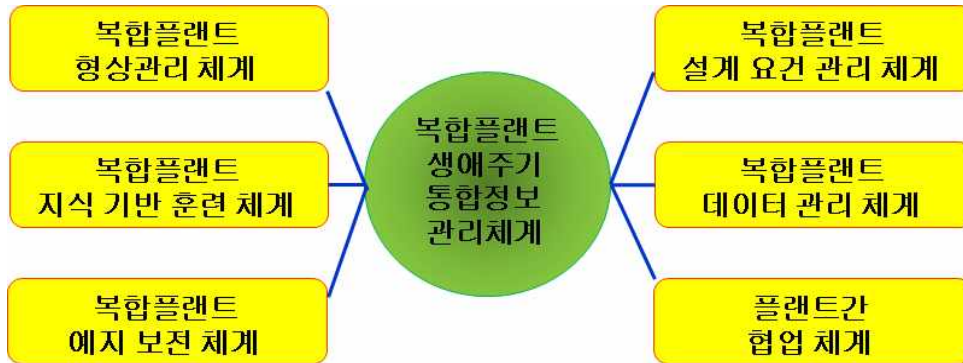
기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 지하공간에 압축공기저장을 위한 지반 및 지형조건 파악
- 압축기 및 터빈/연소기 기술개발, 시스템의 안전성 확보 및 향상에 대한 검증
- 기존의 난 냉방 공조시스템 기술(하수처리장의 폭기조 공기주입시스템 등)과 압축공기의 활용 연계 시스템의 접목성 평가

- ※ 1. 박완문 외, 압축공기저장시설의 국내적용을 위한 지하공동의 기밀성 분석, 한국지구시스템공학회지 Vol.47, No.1, pp.17-25, 2010
2. 정영석 외, 압축공기 에너지 지하저장 pilot plant 구축 설계 사례, 포스코엔지니어링 기술보 제 27권 제1호, 토목분야, pp.78-91

복합플랜트 생애주기 통합정보 관리체계 개발

개략도



기술 개요 및 특징

- 복합플랜트는 기존의 광역/지역 에너지 공급 플랜트와 연계 또는 새로운 플랜트 기술의 접목 등을 요구하므로, 복합플랜트를 구성하는 각 플랜트간 및 통합 플랜트의 설계/건설/운전/폐기의 생애주기동안의 정보관리가 필수적임.
- 제안된 정보관리체계는 플랜트간 경계요건 등을 포함하는 설계요건관리, 데이터 관리, 협업관리, 형상관리, 지식기반 훈련, 예지보전을 통한 수명관리 등을 포함함

도입에 따른 효과·편익 분석

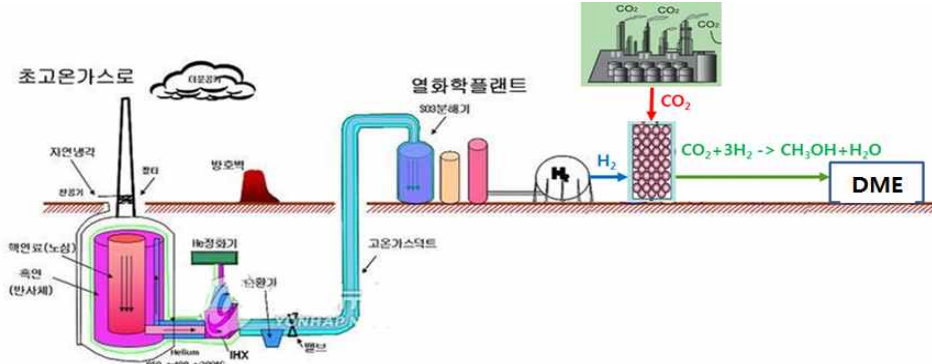
- 복합플랜트 개발단계에서부터 모든 관련 정보의 집적 및 연계를 통한 지식화를 통해 생애주기 전반에 걸쳐 안정성과 신뢰성, 경제성 향상을 도모할 수 있음
- 플랜트 생애주기 저반에 걸친 정보 표준화 (ISO TC184)를 통해 복합플랜트의 해외 시장 진입 지원

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 본 체계 개발을 위해서는 대상이 되는 각 플랜트의 정보관리 체계 및 경계 요건이 사전 검토되어야 함.
- 복합플랜트는 다학제간 융합 개념이 도입되므로 시스템엔지니어링 프로세스 기반으로 정보관리체계가 설계 및 구축되어야 함.
- 통합 운영체계의 주체가 사전 정의되어야 함.

원자력을 이용한 수소 생산과 CO₂ 이용 연료 생산 복합 공정

개략도



자료 : <http://www.sankeibiz.jp/business/news/110124/bsc1101240500000-n1.htm>
<http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=101&oid=001&aid=000214>

2321

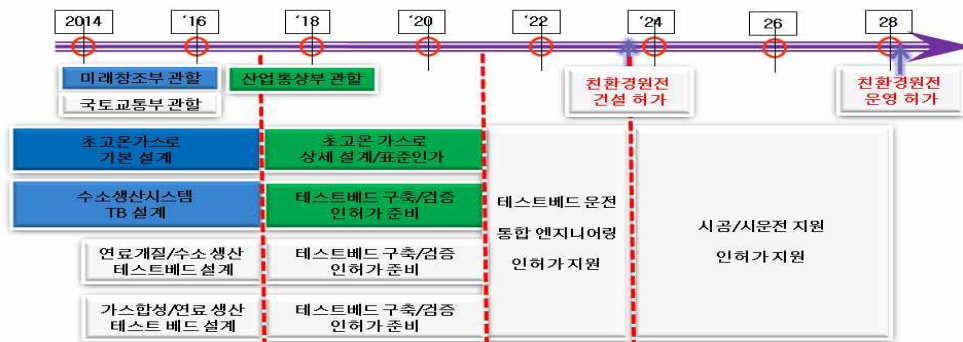
공정 개요 및 특징

- He를 냉각재로 사용하는 초고온가스로(VHTR: Very High Temperature Reactor) 에서 생산되는 900°C 이상의 고온 열에너지를 이용하여 수소를 생산함.
- 포집된 CO₂와 VHTR에서 생산된 H₂를 합성하여 DME 등을 생산하고, 수소를 이용한 연료전지에도 사용

도입에 따른 효과·편익 분석

- 2009년 기준 영국 가디언 통계에 따르면 국내 총 CO₂ 발생량은 5.28억 톤으로서, 3% 씩 증가하고 있는 상황에서 CO₂ 저감을 위한 원자력 이용 복합공정은 현실적인 대안임.
- 원자력 초고온을 이용한 수소 생산 및 CO₂ 합성을 통한 연료 생산 공정은 원자력의 친환경적 활용과 CO₂ 저감을 동시에 이룰 수 있는 사회/경제적 편익 효과를 향상시킬 수 있음.

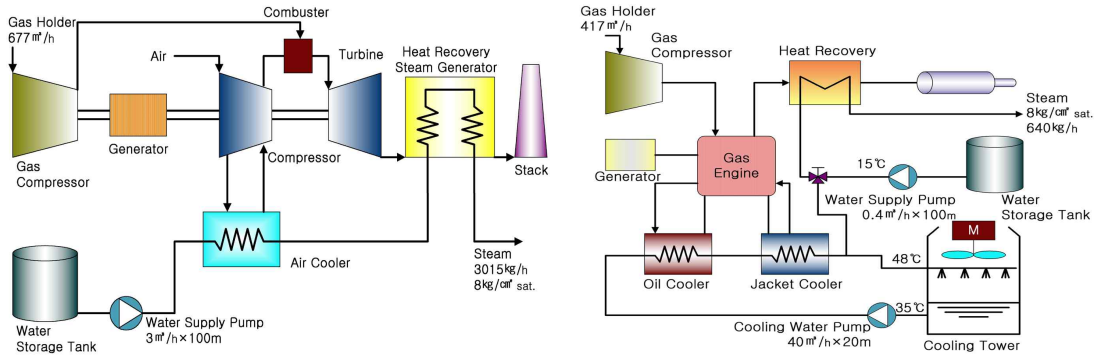
기타 검토사항 (타 부처 관련 연구개발 연계 일정)



- VHTR 개발 및 수소생산플랜트 개발을 관할하는 타 부처와 연계하여 진행되어야 함
- CCS 상용화 개발 일정이 고려되어야 하며, 연계 개발이 전제되어야 함.

하수처리 소화가스 이용 열병합발전 복합 공정

개략 공정도



(a) 가스터빈 방식

(b) 가스엔진 방식

공정 개요 및 특징

- 하수처리시설에서 발생하는 소화가스를 이용하여 열병합발전을 수행하여 열과 전기를 생산하는 공정으로, 생산되는 전력은 하수처리 공정 수요에 충당하고 발전배열은 소화조 가온용으로 사용
- 열 부족분을 외부로부터 도입하는 소화가스 전량발전방식, 공정에 소요되는 열량을 우선 충당하는 소화가스 일부 발전방식, 외부 연료를 도입하여 발전을 수행하는 소비전력 전량 발전방식 검토
- 하수처리 용량에 따라 1MW급 가스터빈 또는 가스엔진 병렬 적용

도입에 따른 효과·편익 분석

- 하수처리 용량이 500천톤/일인 경우 가스터빈 방식은 연간 2,150TOE, 가스엔진 방식은 연간 1,750TOE의 에너지 절감이 가능하며, 절감량은 하수처리 용량에 거의 선형적 비례
- 처리공정에서 전력과 열을 소비하면서 발생하는 소화가스의 소각처리에 따른 온실가스 감축 및 환경오염 방지
- 하수처리시설의 부지에 태양에너지 등의 신재생에너지 시설과 연계, 설치하는 경우 에너지 밸런스 구축에 더욱 유리

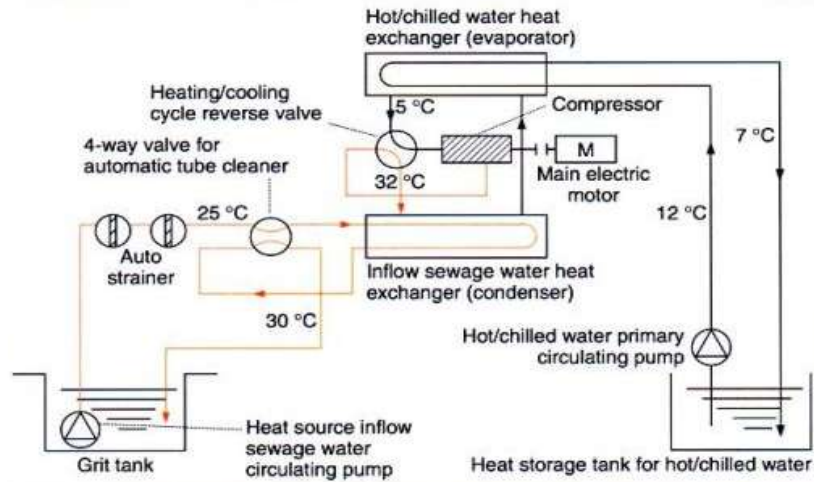
기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 소화가스 정제 및 균일화를 통한 발열량 5,600 kcal/Nm³ 이상 확보 필요
- 하수 및 하수처리 공정에 따른 하수슬러지 발생량, 소화조 가열조건(온도 등) 및 소화가스 발생량 및 공정 소비전력 등 에너지 및 물질수지 밸런스 파악
- 기존 집단에너지 공급시설과 연계 또는 복합설치의 경우에는 타 공정 배열을 이용한 연료화 방안 병행 검토

- ※ 1. 이태원 외, 하수처리 공정에서의 열병합발전 적용타당성 검토 연구, 공기조화냉동 공학회 1998하계학술발표회 논문집, pp.405~410, 1998.
2. 이태원 외, 중소형 열병합 발전시스템의 적용에 관한 연구, 한국건설기술연구원 책임연구과제보고서, 1998.

배수 이용 냉난방 및 중수도 시스템

개략 공정도



공정 개요 및 특징

- 최근 건물에 많이 도입되고 있는 지열원 열펌프 시스템은 국내 기후조건에 따른 동절기와 하절기의 냉난방 부하 및 부하량 차이로 인해 해가 지날수록 동절기 성능이 특히 떨어져 과다 설계, 동절기 난방용 전력소비 증가 및 경제성 저하의 원인이 되고 있음
- 건물 등에서 배출되는 생활하수 중 오수를 제외한 배수는 계절에 따른 온도변화가 적어서 냉난방 수행을 위한 열펌프 시스템의 열원으로 유용하게 이용이 가능하고, 간단한 처리 후 중수로 이용이 가능
- 중수처리시설의 수조에 열펌프 열교환기 설치

도입에 따른 효과·편익 분석

- 양질의 도시 미활용에너지인 배수열을 이용한 효과적인 냉난방에 의한 에너지절약, 동절기 열펌프 시스템의 COP 최소 1.0 이상 향상 예상
- 중수 이용을 통한 수자원 절약 및 순환이용은 물론, 하절기 열섬효과 완화, 냉방용 에너지 절감에 기여
- 설치비가 높고 경제성이 낮으며 지반환경 오염 등이 수반되는 지열원 이용 시스템을 대체하는 새로운 신재생에너지원 발굴, 적용

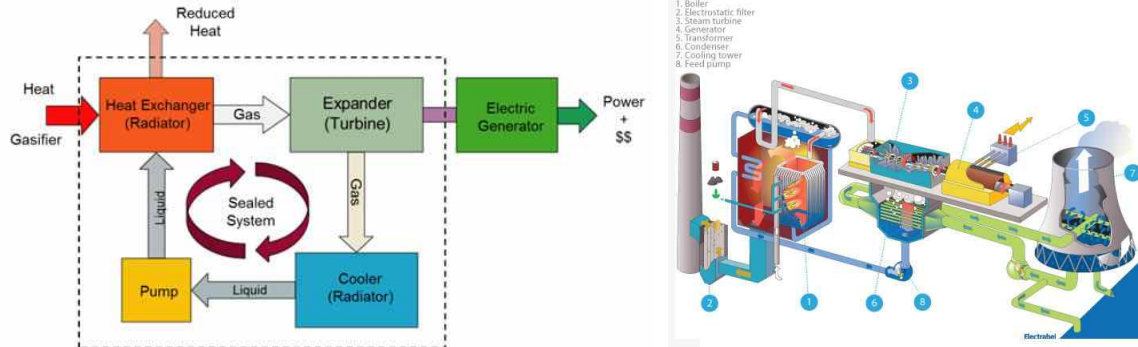
기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 1990년대 일시적으로 도입이 시도된 이후 보급이 확대되지 않고 있는 중수 처리기술과 재생수 이용방안 및 관련 법규 등에 대한 종합적인 검토 필요
- 처리/재생수의 효과적인 이용을 위해 우수 이용방안, 옥상/벽면 녹화 등 조경 분야와의 협력관계 필요

※ 1. 이태원 외, 지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화, 연구보고서, 건설교통부·한국건설교통기술평가원, 2004.

ORC/ Kalina 사이클 기반 발전공정

개략 공정도



공정 개요 및 특징

- 수증기를 이용해 증기터빈을 구동하는 대신 물보다 비등점이 낮은 물질을 작동유체로 이용하여 발전을 수행 바이너리 발전방식의 일종
- 바이너리 작동유체로는 n-헥산과 같은 탄화수소(유기혼합물) 등이 사용(Binary Cycle 이라고도 함)되며, 특히 물과 암모니아 혼합물을 작동유체로 사용하는 것을 Kalina 사이클이라 함
- 수증기를 이용하는 방식으로는 이용이 불가능한 150~200℃의 열원도 이용 가능하며, Kalina 사이클은 100℃ 이하의 열원도 발전 수행 가능

도입에 따른 효과·편익 분석

- 기존의 공정으로는 회수 및 이용이 불가능한 도시 저밀도 에너지의 에너지화를 통한 순환이용 기반 구축
- 기존 화석연료를 이용하는 발전시설에서는 Trigenation 시스템 구축으로 에너지의 다단계 이용 및 에너지 이용효율 향상
- 천연가스를 연료로 하는 캐스케이드 방식 발전공정을 통해 배열을 이용하면서도 45% 이상의 발전효율 달성

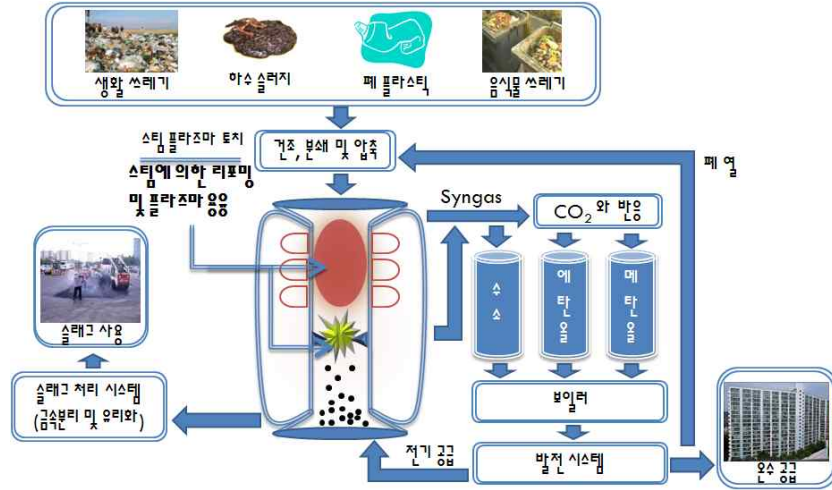
기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- Ormat사(이스라엘)이 세계 최고의 점유율을 차지하고 있고, 일본에서는 RPS 상의 신 에너지의 하나로 인정된 바 있음
- 국내에서는 포스코 등에서 개발한 바 있으나, 상용화를 위해서는 기술적, 제도적 사항에 대한 종합 검토 필요

※ 1. 김용찬 외, 친환경에너지플랜트사업단 사전·상세기획 연구, 연구보고서, 국토해양부·한국건설교통기술평가원, 2008.

플라즈마 용융 생활폐기물 처리 및 에너지화 복합 공정

개략 공정도



공정 개요 및 특징

- 생활폐기물을 3,000℃ 이상의 고온의 스팀 플라즈마로 가열하여 유기화합물인 생활쓰레기, 음식물쓰레기, 하수슬러지, 폐플라스틱을 Syngas (합성가스, 수소와 일산화탄소로, 즉 H₂와 CO로 구성)로 변환
- 플라즈마 용융 : 잔류 유기화합물을 Syngas로 추가 변환하고 용융
- 슬래그 처리 : 플라즈마 용융과정에서 남은 무기물에서 금속은 분리하고 남은 찌꺼기(유독성 화합물 등)는 유리화를 통해 제거
- 생산되는 합성가스는 에탄올, 메탄올, 메탄, 수소 등의 에너지원으로 변환된 후, 보일러를 통해 온수, 가스 엔진이나 연료전지를 통해 전력 생산에 이용

도입에 따른 효과·편익 분석

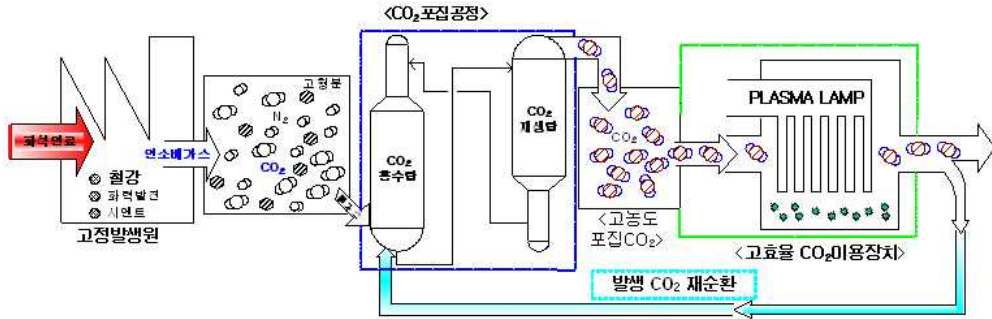
- 다이옥신 발생량 전무
- 매립에 의해 유발되는 2차 오염을 방지, 매립지의 수명 연장 효과, 비산재 및 바닥재의 동시 처리, 하수슬러지 및 종이 슬러지도 처리 가능
- 기존 소각로 정도의 설치비 및 운영비 정도로 가능
- 스팀, 온수 또는 전력 생산
- 스팀 플라즈마 토치로 생활쓰레기의 자원화와 플라즈마 용융처리의 복합 운영으로 기존 폐기물 소각로 및 플라즈마 용융로에 비해 전력 소비 감소

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

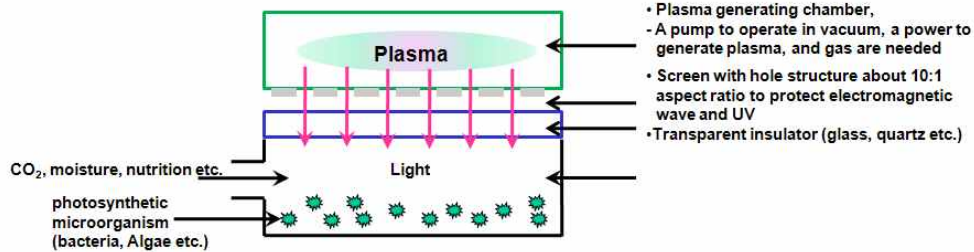
- 선진국에서는 제품 생산단계이나, 국내에서는 아직 개발단계임
- 스팀 플라즈마 토치와 플라즈마 용융처리의 복합 운영을 위한 기술개발 필요

플라즈마 램프와 광합성 미생물 이용 CO₂ 자원화 복합공정

개략 공정도



(a) 공정 계통도



(b) 플라즈마 램프 이용 광합성 반응기

공정 개요 및 특징

- 빛과 수분, 그리고 영양분을 잘 공급할 수 있어 광합성 미생물이 잘 성장할 수 있어 광합성 반응을 위해 공급하는 CO₂를 자원화 할 수 있는 Bioreactor
- 태양빛을 이용할 수 있으나 밤이나 흐린 날에는 태양빛을 대체할 수 있고 광합성 미생물이 특히 강하게 반응하는 파장대의 빛만 공급할 수 있는 플라즈마 램프(PDP, Plasma Display Panel)처럼 플라즈마에 의한 빛 공급장치
- 플라즈마 발생에 사용될 전력은 여유 전력이나 태양전지 및 2차전지 이용 공급
- CO₂ 주입장치와 바이오 반응기에서 제거되지 않은 CO₂를 다시 주입하기 위한 포집장치 및 재주입장치

도입에 따른 효과·편익 분석

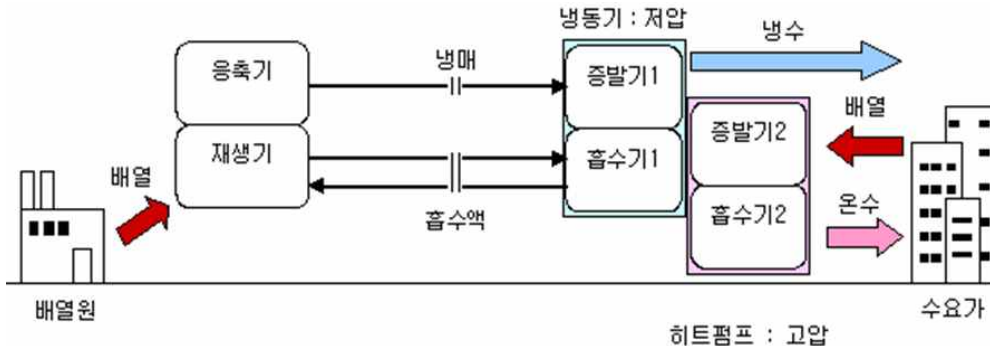
- 광합성반응을 통해 성장시킨 조류로 바이오디젤, 바이오에탄올과 같은 친환경연료 개발 뿐 만 아니라 고부가 가치 산물인 화장품 원료, 의약품 원료 등으로 재합성
- 측정된 파장에 강하게 반응하는 조류의 일반적인 특징에 맞게 플라즈마로 선택적 빛만을 발생시키는 램프를 개발하여 햇빛이 없는 밤에도 효율적인 조류의 성장이 가능

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 자연적인 광합성 반응을 이용한 CO₂ 재합성을 통해 조류와 같은 바이오연료의 재료 개발 필요

냉·온열 동시 장거리 수송 및 이용시스템

개략 공정도



공정 개요 및 특징

- 생산지에는 재생기와 응축기를, 수요처에는 증발기와 흡수기를 설치하여 농도차에 의해 상온에서 에너지를 장거리 수송
- 온도 포텐셜(엔탈피 차에 의한 현열 수송)을 농도 포텐셜(농도차에 의한 잠열 수송)로 바꾸는 것으로, 화학 첨가제와 나노유체에 의한 에너지 변환 촉진 기술 적용
- 에너지의 변환, 수송 및 이용효율 향상, 원거리에 떨어져 있는 열원과 수요처 연계에 적용 유리

도입에 따른 효과·편익 분석

- 현열에 의한 에너지 수송방식에 비해 잠열을 이용함으로써 연간 60%의 반송동력 절감
- 상온에서 에너지를 수송, 변환하므로 기본적으로 단열재가 불필요하여 시설비 및 초기투자비 절감
- 현열수송의 경우 배관직경 470mm, 투자비 15억원인 반면, 잠열수송의 경우 배관직경 65mm, 투자비 약 2억원 (5,000RT, 수송거리 10km 기준, 열손실 비용 7,000원/m 적용시)
- 잠열에 의한 에너지 수송으로 운영단계 수송 매체의 양이 줄고(현열 수송 경우의 약 1/20 수준) 반송동력 절감(현열 수송 경우에 비해 약 10% 수준)
- 비용 측면에서 초기투자비와 운영비 절감으로 67% 절약
- 환경친화적인 이성분 혼합물을 수송 매체로 사용

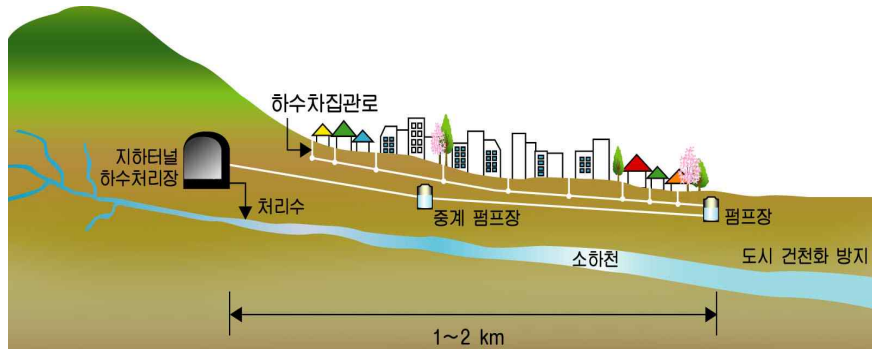
기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 국내에서는 이론적인 검토 수준 단계에 머물러 있고, 아직 실증사례 없어 설계 및 운전제어를 위한 기술개발이 선행되어야 함
- 기존의 집단에너지 공급 및 열원설비의 개념이 근본적으로 바뀌어야 하며, 이미 건설된 기존 도시에는 적용이 제한적

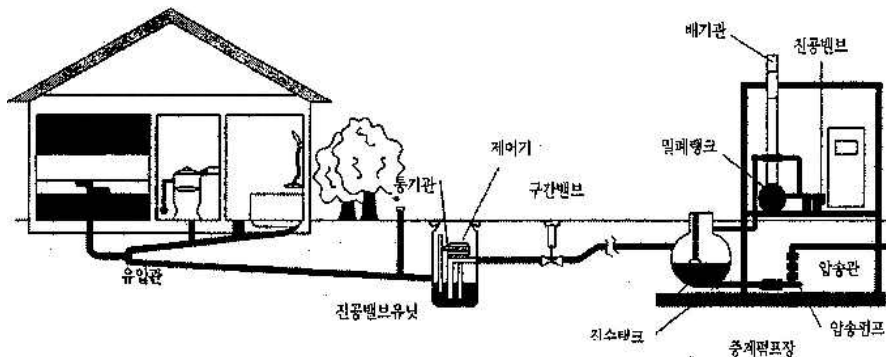
※ 1. 강용태, 상온에너지 장거리 수송시스템 개발, 한국건설기술연구원 세미나 발표자료, 2009.

세부 공정명 : 처리수 이용 건전화 방지 및 생태적 이용시스템

개략 공정도



(a) 처리수 이용 생태계획 개념도



(b) 진공 하수도 시스템

공정 개요 및 특징

- 하수처리장에서 배출되는 처리수를 도시 내 하천으로 방류하거나 실개천을 조성하여 생태적 도시계획 수립
- 부압을 이용하여 하수를 흡입, 반송하는 방법으로 진공밸브 유닛과 진공 스테이션 및 진공하수관 등으로 구성
- 플라즈마 방전을 이용한 멸균

도입에 따른 효과·편익 분석

- 공사에 따른 도로의 차단이나 절단공사를 최소화하고 공사비 절감, 공기단축을 꾀할 수 있으며, 배관 경로 변경과 유지관리 용이
- 하수관로에 경사를 주어야 하는 현재의 방법에 비해 하수처리시설의 입지에 제한이 없어 다양한 도시계획 수립 용이
- 하수관로를 기존 타 유틸리티 배관과 병설하여 공동구 수납 가능

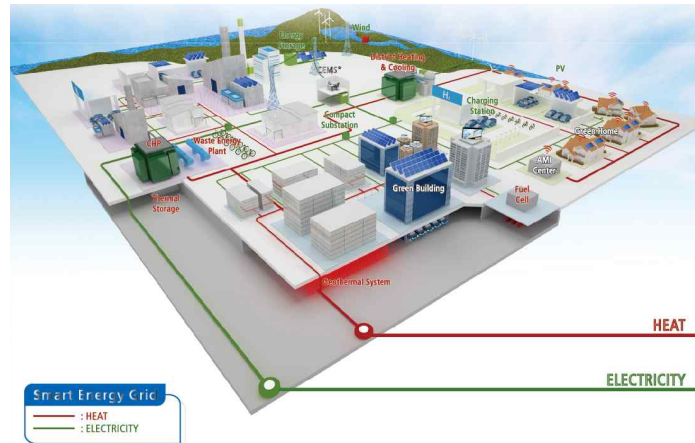
기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 국내 적용사례 없음

※ 1. 이태원 외, 지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화, 연구보고서, 건설교통부·한국건설교통기술평가원, 2004.

세부 공정명 : 전기·열 복합에너지 네트워크 모델

개략 모식도



주요 요소기술 특징

- AMI (Advanced Metering Infrastructure) 구축기술 : 양방향 통신기능을 활용하여 에너지 생산/소비시설의 실시간 에너지 생산/소비 모니터링과 중앙 통제센터의 제어신호 전달을 위한 통신망 구축 기술
- 열 네트워크 구축기술 : 열생산 시설과 소비시설간의 최적 열배관 네트워크 구축을 위한 시뮬레이션/설계/시공 기술
- 에너지 소비량 예측기술 : 모니터링된 에너지 소비량을 바탕으로 시간/일/주간/월간 단위의 에너지 소비량 예측기술
- 에너지 저장 기술 : 전기·열 복합에너지 운영을 위한 전기, 열 에너지 저장 기술
- 에너지 통합 관제기술 : 에너지 소비량 예측을 통한 최적화된 전기, 열 생산시설의 운전패턴 제어기술

도입에 따른 효과·편익 분석

- 에너지 생산비용 저감 : 에너지 소비량 예측을 통한 잉여에너지 생산 최소화, 전기·열 복합에너지 네트워크 기술을 통하여 생산단가가 낮은 시간대에 생산량을 충분히 확보하여 전체적인 에너지 생산비용 최소화
- 피크(peak) 에너지 소비 저감 : 에너지 네트워크 및 저장기술을 활용하여 피크에너지 소비를 저감하게 되면 에너지 생산시설의 용량 저감 가능
- 에너지 Audit에 의한 소비 억제 : 에너지 가격변화를 사용자에게 알림으로써 비싼 시간대(peak time) 에너지 소비 억제 가능

기타 검토사항 (도입을 위한 전제조건 등)

- 전기, 열 공급 사업자가 동일 기관(기업)이어야 함
- 다양한 에너지 소비패턴의 구성(주거, 상업, 산업시설의 공존)이 복합에너지 네트워크

크 운영에 적합함

- 전기 배선, 열 배관 구축에 필요한 초기투자비용이 에너지 운영사업을 통하여 회수되는 구조임
-

- ※ 1. 박시삼 외, 도시에너지 관리시스템 개발을 위한 AMI 구축 및 운영 사례 분석, 도시설계학회 2013춘계학술발표회.
- 2. 나상민, 박시삼, A Case Study of Micro Energy Grid Village and Development Concept of Smart City Energy Management System, EU-KOREA Conference on Science and Technology 2012

