
상용급 액체수소 플랜트용 압축기 핵심기술 개발 및 실증



국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport



국토교통
과학기술진흥원

차 례

I . 동향분석 및 문제도출(Why)	1
1. 사업 배경	1
2. 주요 동향	13
① 국내외 시장 · 산업동향	13
② 국내외 기술동향	19
③ 국내외 정책동향	44
3. 문제제기	45
II . 사업추진 당위성(Why)	46
1. 추진 필요성 및 경위	46
2. 시급성	47
3. 국고지원 타당성	48
III . 기술개발 내용(What)	50
1. 사업개요 및 범위	50
2. 핵심 개발내용	51
3. 연차별 연구개발 내용	53
4. 차별성 및 연계성	55
5. 실행전략 및 중장기 연계 로드맵	68

IV. 기술개발 목표(What)	69
1. 사업 목표	69
2. 성과(기술적) 목표	70
① 핵심 성능시험 방안 및 성능지표	71
② 특성화지표	73
③ As-Is - To-Be	76
V. 사업 추진방안(How)	77
1. 추진체계 및 전략	77
2. 과제 선정 · 관리 · 평가계획	79
3. 인력현황	80
4. 소요예산 및 자원조달 계획	82
5. 위험요인 및 극복방안	86
6. 신재생에너지 R&D 투자 패키지와의 연계방안	87
VI. 기대효과(Outcom)	90

상용급 액체수소 플랜트용 압축기 핵심기술 개발 및 실증

- (목적) 대용량 수소 저장·공급 수소액화플랜트의 핵심기자재인 냉매 압축기 개발, 실증을 통한 수소경제 활성화 및 탄소중립 실현 기반 구축
 - (목표) 수소액화용(-253℃) 원심형* 압축기 개발을 통해 기존 용적형** 압축기 대비 효율 8% 이상 향상 (최종 액화효율 8% 이상 향상)
 - * 고순도의 액체수소 확보 및 낮은 온도에서도 효율적으로 작동 가능
 - ** 피스톤 방식으로 윤활유 처리가 필요하며, 주요 작동 범위가 상온임
- (기간) '22.4월 ~ '27.12월 (5년 9개월)
- (예산) ('21년) 40 억원, 총 사업비 380억원(국고 290억원)
- (수행방식) 지정 공모(100%)
- (기술분야) 기계·소재 신재생패키지(수소)
- (연구개발단계) 제품개발(100%)
- (연구내용별단계) 핵심 기자재, 시스템·공정
- (예타제도 연계성) 성장형
- (연구전략성) 핵심기술 국산화(선도형)
- (전문기관/수행주체) 국토교통과학기술진흥원/ 산(60%), 학(10%), 연(30%)
- (As-is vs To-be)

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'22년 수준	최종 목표수준	
	~'21	'22	'26(종료년도)	'27~(종료이후)
수소 액화용 압축기	■ 수소 액화용 압축기 기술 전문 - (국내) 수소충전소용 고압저유량 압축기 개발 - (국외) 수소액화용 용적형 압축기 개발 및 실증실적 보유 * (원심형 압축기) 상용화 추진 중  < 수소 액화용 용적형 압축기 >	■ 수소액화용 압축기 핵심기술 개발 착수	■ 수소액화용 압축기 핵심기술 확보 * 상용급(5톤/일) 수소액화플랜트 적용 가능한 원심형압축기 개발 및 검증  < 수소액화용 원심압축기 >	■ 대용량(5톤/일) 수소액화 플랜트 연계 실증* * 범부처 수소 전주기 R&D 사업 등 연계 추진 ■ 액체수소 플랜트 에너지효율·국산화율 제고 및 국내외 시장 진입 * 각 8%, 10% 이상 향상  < 대용량 수소액화플랜트 >

I. 동향분석 및 문제도출(Why)

1. 사업배경

□ 전 세계적인 지구 온난화 방지 정책

- (2050 탄소중립) 지구의 생태계를 보전하기 위해 유엔기후변화협약에서 지구 생태계를 보전하기 위해 유엔 회원국에 온실가스 감축의무를 부과
 - 121개 국가가 2050 탄소중립 목표 기후동맹에 가입하며 탄소중립의 글로벌 의제화가 이루어짐
 - 미국, EU, 일본 등 29개국이 '2050 장기 저탄소 발전전략(LEDs)'을 UN에 제출했으며('21.01.28 기준) 우리나라는 2020년 12월 30일에 제출
 - 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 장기저탄소 발전전략(LTLEDs) 제출국가는 다음과 같음
 - * 캐나다, 독일, 멕시코, 미국, 베냉, 체코, 영국, 우크라이나, 마셜제도 공화국, 피지, 일본, 포르투갈, 코스타리카, EU, 슬로바키아, 싱가포르, 남아프리카 공화국, 핀란드, 노르웨이, 라트비아, 벨기에, 스페인, 스웨덴, 네덜란드, 오스트리아, 한국, 덴마크, 스위스, 프랑스

The screenshot shows the United Nations Climate Change website. The main heading is 'Communication of long-term strategies'. Below this, there is a table with columns: Party, Submission date, and Submission. The Republic of Korea's submission is highlighted in a red box. The submission text for the Republic of Korea is: '2050 Carbon Neutral Strategy of the Republic of Korea towards a sustainable and green society'. Below this, there is a note: 'The secretariat has, in addition to the file above, received a version of the LTLEDs in a non-UN language. This version is held as an official record by the UNFCCC secretariat but not displayed on this website'.

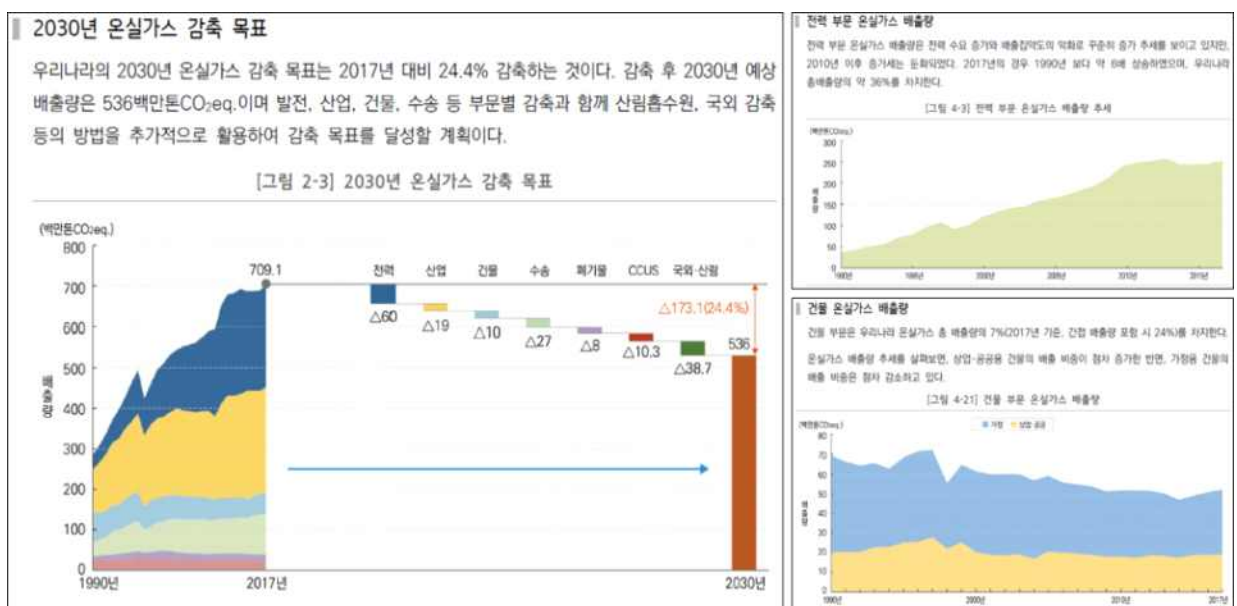
Party	Submission date	Submission
Switzerland	28/01/2021	Switzerland's Long-Term Climate Strategy
Denmark	30/12/2020	Denmark's Mid-century, Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategy
Republic of Korea	30/12/2020	2050 Carbon Neutral Strategy of the Republic of Korea towards a sustainable and green society*
Austria	11/12/2020	Long-Term Strategy 2050
Netherlands	11/12/2020	Long term strategy on climate mitigation
Sweden	11/12/2020	Sweden's long-term strategy for reducing greenhouse gas emissions
Spain	10/12/2020	Spanish Long-Term Low GHG Emission Development Strategy
Belgium	10/12/2020	Stratégie à long terme de la Belgique

<UN에 제출한 2050 장기 저탄소 발전전략>

- 온실가스 감축을 위해서는 이산화탄소를 배출하지 않는 재생에너지, 재생 에너지 기반 수소의 활용이 필수

- (대한민국 2050 탄소중립 전략) 우리나라는 ‘제22차 비상경제 중앙대책본부회의’에서 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 확정·발표(‘20.12)
 - 무역의존도가 높은 국내 경제·산업구조 특성상 새로운 국제질서에 대한 적극적 변화 및 선제적 대응 필수
 - 우리나라의 2030년 온실가스 감축 목표는 2017년 대비 24.4%를 감축하는 것이기에, 국가 온실가스 총배출량의 약 36%를 차지(‘17 기준)하는 에너지 공급 부문에서 친환경적인 전력 생산과 활용 확대가 이루어져야 함
 - 국가 온실가스 총배출량의 약 7%를 차지(‘17 기준, 간접 배출량 포함 시 24%)하는 건물부문은 건물 에너지 사용 최소화, 에너지 효율 극대화, 저탄소 에너지원 공급을 통해 비용 효과적으로 감축이 이루어져야 함
- ‘대한민국 2050 탄소중립 전략’에서 제시된 2030년 온실가스 감축 목표와 전력 및 건물 부문의 온실가스 배출량 추세
 - 건물 부문의 경우, 직접 배출량은 2017년 기준 1990년보다 25% 감소하였지만, 간접 배출량은 1990년보다 약 8.8배 증가
 - 건물 부문의 경우, 가전기기 및 사무기기 사용 확대, 취사 기기의 전기화, 난방 연료의 전환(석유/석탄→전력) 등의 전력 및 열 사용량이 간접 배출량 증가에 영향

* 출처: 대한민국 2050 탄소중립 전략(대한민국정부)



<2030년 온실가스 감축 목표 및 온실가스 배출량 추세>

- '대한민국 2050 탄소중립 전략'에 따른 에너지 및 건물 부문 미래상과 기대효과 발췌



<대한민국 2050 탄소중립 전략에 따른 에너지 미래상>

- (신재생에너지) '재생에너지 3020 이행계획'에 따른 재생에너지 보급 목표 설정
- 2030년 재생에너지 발전량 비중은 20%를 목표로 하며, 신규설비 95% 이상을 태양광, 풍력 등 청정에너지로 공급 예정



<재생에너지 3020 이행계획(안)>

- '제3차 에너지기본계획'에서 재생에너지 확대 및 육성 비전 제시

제3차 에너지기본계획

2019. 6

 산업통상자원부

비전 및 중점 추진과제

에너지 전환을 통한 지속가능한 성장과 국민 삶의 질 제고

- ① 에너지정책 패러다임을 소비구조 혁신 중심으로 전환
 - 소비효율 38% 개선('17년 대비), 수요 18.6% 감축('40, BAU 대비)
 - 부문별 수요관리 강화, 수요관리 시장 활성화
- ② 깨끗하고 안전한 에너지믹스로 전환
 - 원전은 점진적으로 감축하고 석탄은 과감하게 감축
 - 재생에너지 발전비중 30~35%('40)로 확대
 - 미세먼지를 저감하고 2030 온실가스 감축로드맵 이행
- ③ 분산형·참여형 에너지 시스템 확대
 - 분산형 전원 확대, 계통체계 정비
 - 전력 프로슈머 확대, 지자체 역할·책임 강화
- ④ 에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화
 - 재생에너지, 수소, 효율연계 산업 등 미래 에너지산업 육성
 - 전통에너지산업 고부가가치화, 원전산업 핵심생태계 유지
- ⑤ 에너지전환을 위한 기반 확충
 - 전력·가스·열 시장제도 개선
 - 에너지 빅데이터 플랫폼 구축

<제3차 에너지기본계획>

□ (수소경제 활성화) 정부의 수소경제 활성화 의지

- 정부는 온실가스 감축 의무를 달성하기 위해 이를 위해 2030년까지 국내 총 발전량의 20%를 재생에너지로 보급하겠다는 정책을 설정(제8차 전력수급기본계획(2017-2031))

6 발전량 전망

◇ 온실가스 배출권 거래비용 등 환경비용을 감안한 목표 시나리오와 현재 전력시장제도에 기반한 기준 시나리오 전망

① 목표 시나리오 : 환경비용을 고려하여 발전비용 재조정

- * 신재생 발전단가는 '30년까지 35.5% 하락 가정. 여타 연료비 및 물가 고정 가정
- * 발전연료 세제 세수증입으로 개편(유연탄 30→36원/kg, LNG 60 → 12원/kg). 온실가스 배출권 거래 비용, 악용비 등을 발전비용에 추가적으로 반영

【주요특징】

- 환경급전의 시행으로 일부 석탄의 발전비용이 LNG보다 증가
- 기준 시나리오 대비, 석탄비중이 추가 감소하고 LNG 비중은 확대
- * '30년 발전량 (기준→목표시나리오) : 석탄 (40.5%→36.1%), LNG (34.5%→18.8%)

< 발전량 비중 전망 >

연도	원자력	석탄	LNG	신재생	석유	양수	계
2017	30.3%	45.4%	16.9%	6.2%	0.6%	0.7%	100%
2030	23.9%	36.1%	18.8%	20.0%	0.3%	0.8%	100%

3 재생에너지 보급목표 및 확대방안 (재생에너지 3020 요약)

① 목표 : '30년 재생에너지 발전량 비중 20%(132TWh) 달성

- * 재생에너지 사업용 발전량(115TWh) 및 자가용 발전량(17TWh)의 합계 IGCC, 연료전지 등 신에너지는 제외된 목표
- 전력계통의 안정성, 국내 보급여건, 재생에너지 잠재량 등을 고려하여 발전 비중 20%를 목표로 설정
- * 환경정책연구원(14년) : 국내 태양광·풍력 입지잠재량 162GW
- '30년까지 신규로 보급되는 재생에너지 설비용량은 48.7GW 전망
- * 단기('18~'22) 12.4GW, 중장기('23~'30) 36.3GW

② 추진전략

【분야】 폐기물·바이오 중심 → 태양광·풍력 등 청정에너지 보급

- ※ 연료연소 기반 재생에너지(폐기물, 무드열화 등)에 대한 REC 가중치 축소 추진

【방식】 사업자·개발업자 중심 → 국민참여 유도 및 계획적 개발

【경제성】 대형프로젝트 부재 → 규제완화 등 대형프로젝트 지원

<제8차 전력수급기본계획>

- 수소를 중요한 에너지원으로 사용하고, 수소가 국가경제, 사회전반, 국민 생활 등에 근본적 변화를 초래하여, 경제성장과 친환경 에너지의 원천이 되도록 하는 수소경제활성화 로드맵 발표 (2019.1, 관계부처 합동)

참고 1 수소경제 개념도

- 수소가 자동차 등 수송용 연료, 전기·열 생산 등 주요한 에너지원으로 사용되는 경제 → 국가경제, 사회, 국민생활 전반에 근본적 변화 초래
- 수소가 경제 성장(새로운 성장동력)과 친환경 에너지의 원천



참고 3 수소경제 활성화 로드맵 비전 및 주요 추진목표

□ 수소경제 활성화 로드맵 비전

< 비전 >			
세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약			
- 수소차·연료전지 세계시장 점유율 1위 달성 - 화석연료 자원 빈국에서 그린 수소 산유국으로 진입			
목표	2018년	2022년	2040년
수소 차 (수출)	1.8천대 (내수)	8.1만대 (1.4만대)	620만대 (330만대)
연료 전지	307MW (발전용)	1.5GW (1.4GW)	15GW (8GW)
가정·건물용	7MW (연계)	50MW	2.1GW
수소 공급	13만톤/년	47만톤/년	526만톤/년 이상
수소 가격	-	6,000원/kg	3,000원/kg
기본 방향 : 전주기 안전성 확보 → 발생 → 저장·운송 → 생산 → 중소·중견 산업생태계 조성			
추진 전략	수소경제 준비기 (2018~2022) : 수소산업생태계 조성, 기반 인프라 구축 및 법적제도적 기반완비		
	수소경제 확산기 (2022~2030) : 수소이용 범위 확대, 대규모 수요 공급 시스템 구축		
	수소경제 선도기 (2030~2040) : 해외 수소 생산 및 수송에 본격화, 탄소배출 수소 공급 시스템		
민관 역할분담	정부	- 지원 및 규제완화 - 대규모 인프라 투자	- 산업생태계 보완 - 국제표준 선점
	민간	- 핵심기술 내재화 - 투자확대	- 수소사회 이행 - 국제 리더십 확보 - 민간 주도 시장 확대 - 글로벌 시장 선도

<2019.1 관계부처 합동 수소경제 활성화 로드맵>

- 세계 최초로 “수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률” 시행 (2021. 2. 5)
- 수소경제 활성화를 위한 대용량 수소 생산, 저장 운송 인프라 필요
 - 이러한 수소경제활성화 추진과 관련하여, 수소의 생산, 저장, 운송, 분배와 관련된 인프라 구축 및 향후 수소경제 효과의 국내 환류(신규 플랜트 산업 수주, 플랜트 핵심 소재부품장비 국산화를 통한 해외 진출)를 위해 관련 인프라의 국산화 필요
 - 특히 본격적인 수소경제에서는 대용량의 수소 생산, 저장 인프라가 필수
 - 액체수소(liquid hydrogen)는 극저온 상태(대기압 기준 -253℃)로 냉각하여 액화된 수소이며 기체수소의 부피를 약 1/800로 감소시킬 수 있어 동일 압력에서 기체수소 대비 800배의 체적에너지 밀도를 가지고 있음
 - * 고압 기체수소 (200 bar) 대비 액 4.5배의 저장밀도

<수소의 저장방식별 장·단점, 출처 : Technology Roadmap (H2 & FC), 2015, IEA>

Application	Power or capacity	Efficiency	Initial investment cost	Life time
Compressor (70 MPa)	-	80-91%	200-400\$/kWh ₂	20 years
Liquefier	15-80MW	~70%	900-2,000\$/kW	30 years
FCEV on-board storage tank (70 MPa)	5-6kgH ₂	Almost 100% (w/o compression)	33-17\$/kWh (10,000 and 500,000 units produced per year)	15 years
Pressurized tank	0.1-10MWh	Almost 100% (w/o compression)	6,000-10,000\$/MWh	20 years
Liquid storage	0.1-100GWh	Boil-off stream: 0.3% loss per day	800-10,000\$/MWh	20 years
Pipeline	-	95% (w/ compression)	Rural: 300,000-1.2 M\$/km Urban: 700,000-1.5 M\$/km (dependent on diameter)	40 years

- 액체수소는 대기압에서 저장이 가능하고, 이에 따라 저장용기의 안전성 부분에서 장점을 가지고 있으며, 낮은 온도로 기존 고압 기체수소에 비해 폭발 위험성이 낮음
- 단위부피, 단위 무게당 에너지 저장밀도가 가장 높고, 활용을 위해 다른 공정이 필요 없이 단순 기화만으로 즉시 활용이 가능한 장점이 있음

<다양한 수소 저장방식의 비교>

	Liquid Hydrogen	Organic Hydride (methylcyclohexane, C ₇ H ₁₄)	Ammonia
Molecular weight	2.016	98.19	17.03
Boiling point (K)	20.3	374	240
Density (g/cm ³)	0.0706	0.769	0.682
Mass hydrogen density (mass%)	100	6.16	17.8
Hydrogen density per unit volume (kg/100L)	7.06	4.73	12.1
Technologies required in production regions	Hydrogen liquefaction equipment is needed	React toluene with hydrogen to produce methylcyclohexane	Synthesize ammonia from hydrogen and nitrogen
Technologies required in consumption regions	Evaporate and gasify liquids	Dehydrogenate methylcyclohexane to separate out the hydrogen	Combustion ammonia as is to extract energy

- 도심지 설치 부지 및 운송 문제에 따른 액체수소 인프라 구축의 필요성
 - 저장용량 측면에서 액체수소는 고압 기체수소 (200 bar) 대비 액 4배의 저장밀도를 가짐
 - 수송효율 및 실제 설치부지 관점에서는 10배 이상의 차이를 보임
 - 도심지 내 부지 가격 및 저장 안전성 측면을 동시에 고려할 경우, 수소 에너지 보급화를 위해서 액체수소 기반의 인프라 구축은 필수적임
 - 해외 수소충전소 액체수소 공급 비율은 미국 (87%), 일본 (63%), 유럽 (12%) 수준이며, 향후 액체수소 공급 비율은 증가할 것으로 예상됨 (Linde)
 - 수소 활용 초기에는 현재 인프라가 일부 구축되어 있는 기체수소 기반 저장/ 운송 시스템이 적절하나, 수소 활용이 본격화되는 시점에서는 대용량 저장, 도심지에서의 안전 측면, 인프라 구축비용을 포함한 경제성 측면에서 액체수소 기반 인프라가 경쟁력을 가지며, 궁극적으로 파이프라인 운송과 함께 미래 수소사회의 핵심 인프라가 될 것으로 예측됨



※ Courtesy of Linde Korea

<고압 기체수소와 액체수소의 수송효율 비교>



※ Courtesy of Linde Korea

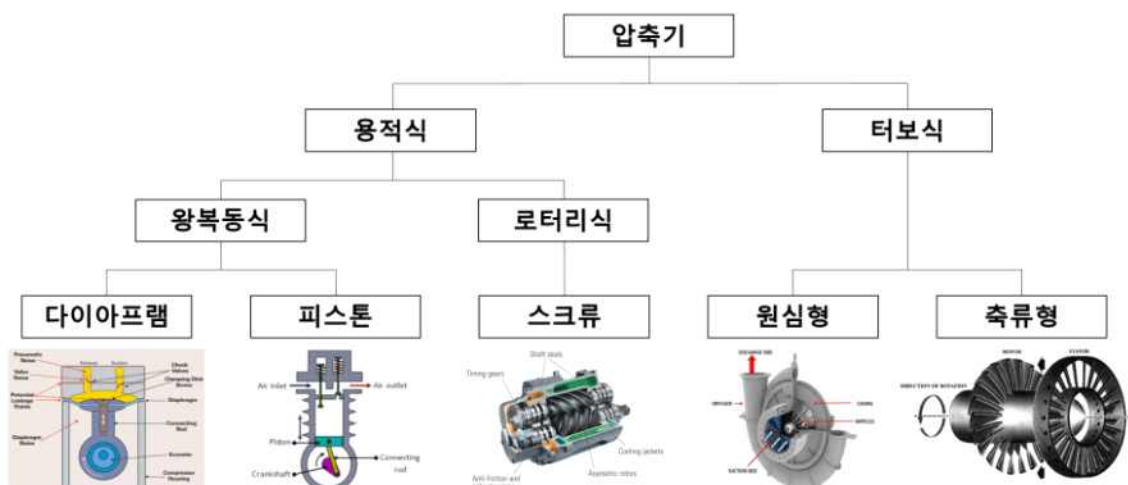
<고압 기체수소와 액체수소의 저장효율 비교 (Cologne, Germany)>

- 수소액화플랜트에서의 최대 에너지 소비 장비인 다단원심압축기 국산화 개발 필요
 - 수소액화플랜트에서 사용되는 압축기는 플랜트의 규모에 따라 용적형 압축기와 다단원심형압축기가 사용되며 작은 용량의 액화플랜트에는 용적형 압축기가, 대용량 플랜트에서는 다단원심압축기가 사용됨
 - 고효율과 안정적인 운전을 위해서는 유량 및 토출압 등의 수소액화플랜트의 운전 사양에 맞는 압축기 종류를 선택하여 적용하여 함
 - 압축기의 종류에 따른 달성 가능 최대 효율은 용적형 압축기보다 터보형 압축기가 높음
 - 이미 국내에서는 국내기업의 정부과제 수행과 적극적인 연구개발로 수소 액화플랜트용 용적형 압축기에 대한 기술개발을 완료하였음
 - 플랜트용 다단원심압축기는 높은 기술 수준과 큰 부가가치로 인해 해외에서도 몇 몇 선도기업들이 독점적으로 시장을 지배하고 있으며 국내 기업들도 시장에 진입하기 위해 많은 노력을 하고 있음

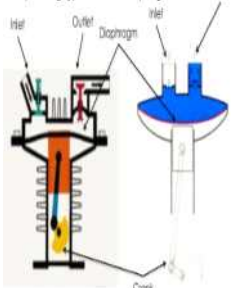
- 특히 수소액화플랜트용 다단원심압축기에 대한 연구개발은 아직 국내에서 수행되지 않았으나 이미 국내 기업 및 연구기관들에서는 LNG 액화플랜트 및 수송선에 사용되는 터보기계 개발을 통해 관련된 많은 요소기술들 (공력설계, 회전체 동력학설계 및 시스템 설계 등)을 확보하고 있음
- 다단원심압축기는 구동부(모터 또는 터빈), 공력부(임펠러, 디퓨저 및 볼류트), 축계(회전축, 베어링 및 씰)로 구성되며 이러한 구성품들이 모여 다단원심압축기 시스템을 구성하게 됨
- 실제 개발된 시제품에 대한 실증시험이 반드시 수행되어야 제품의 신뢰성을 확보할 수 있으며 이에 대한 track record를 보유해야 시장에 진입할 수 있음
- 따라서 구축 예정인 5 TPD 수소액화플랜트와 연계한 실증시험을 포함하여 다단원심압축기의 개발을 수행해야 함

□ 수소액화플랜트 적용 다단원심압축기 특징

- (압축기 종류) 압축기는 크게 용적식 압축기와 터보식 압축기로 나눌 수 있음
 - 용적형 압축기는 압축 챔버의 부피를 강제로 축소하여 압력을 발생하는 방식으로 크게 다이어프램 압축기, 피스톤 압축기와 같은 왕복동식 압축기와 스크류 압축기로 나눌 수 있음
 - 터보식 압축기는 공기를 가속시켜 얻는 속도에너지로 압력으로 변환하는 방식의 압축기임
 - 터보압축기는 원심형 터보압축기와 축류형 터보압축기로 나눌 수 있음



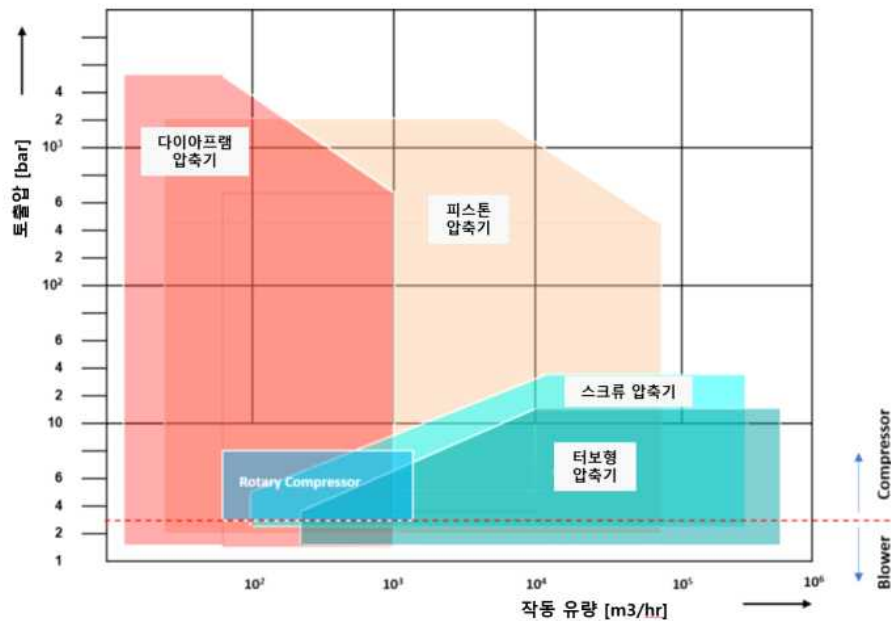
<압축기 종류 및 장·단점 분석>

구분	용적형			원심형 (다단)터보형
	스크류형	다이아프램형	왕복동형	
형 태				
원 리	기어를 맞물려 압축하는 방식	고무, 금속으로 된 다이아프램을 운동시켜 압축하는 방식	실린더 내에서 피스톤운동으로 압축하는 방식	고속회전에 의한 원심력으로 압축하는 방식
특 성	고압축비 / 저유량	고압축비 / 저유량	고압축비 / 저유량	저압축비 / 고유량
기술수준	(국내) 실증완료 (국외) 상용화	(국내) 실증완료 (국외) 상용화 * 수소 충전소용 기준	(국내) 상용화 (국외) 상용화	(국내) 원천기술 확보 (국외) 실증단계 * 수소 액화용 기준
장 점	운동방식이 간단, 설치가 쉬움	고순도 가스이용 가능, 밀폐구조로 이물질 민감도 낮음	압력과 용량의 조절범위가 넓음, 전력소비 적음	소형·경량화, 고순도 가스이용 가능, 저렴한 정비비용, 전력소비 적음
단 점	고속회전으로 소음발생 및 전력소비 큼	유량이 적고 압축비 제한	이물질에 민감하며 정비비용 큼	사용조건에 따라 컨트롤 시스템 필요
검 토	국산화 실적보유로 연구개발 범위에서 제외(민간 추진가능)	저유량 특징으로 대용량 수소액화 플랜트용으로는 부적합	국산화 실적보유로 연구개발 범위에서 제외(민간 추진가능)	연구개발 범위에 부합 (5톤/일 급 헬륨 원심형 압축기)

○ (압축기 종류별 운전 영역) 압축기는 유량 및 토출압 등의 운전 사양에 적합한 압축기 종류를 적용해야 함

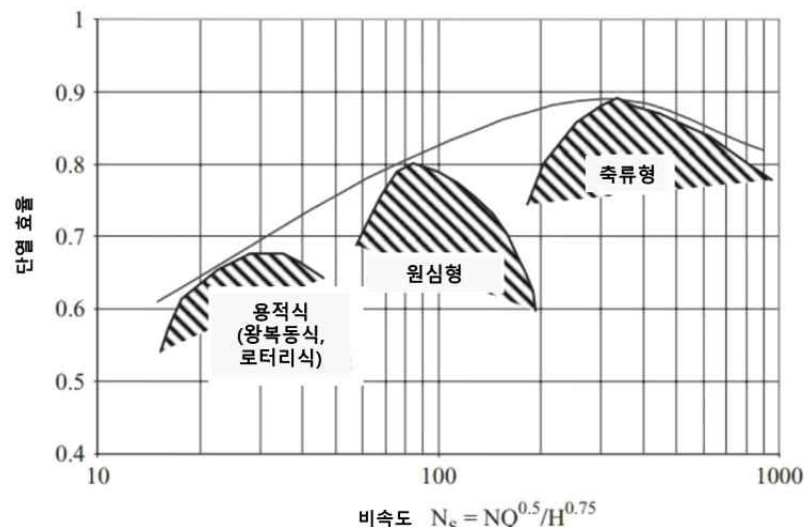
- 용적형 압축기는 저유량 높은 토출압에 적합하며, 터보식 압축기는 고유량 낮은 토출압에 유리한 특성을 가짐
- 다이아프램 압축기, 피스톤 압축기, 원심형 압축기, 축류형 압축기 순으로 최대 토출압은 높고 최대 작동 유량이 작음

- 수소액화공정의 효율은 압축기의 효율에 의해 크게 좌우되므로, 구상하는 수소액화공정에 맞는 압축기의 선택도 중요하지만 압축기의 종류가 정해지면 그 압축기의 특성에 맞게 수소액화공정의 수정설계도 필요함



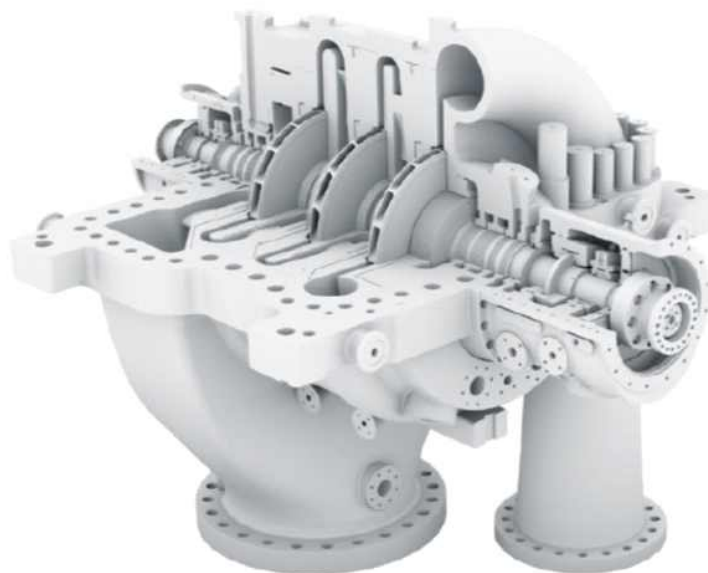
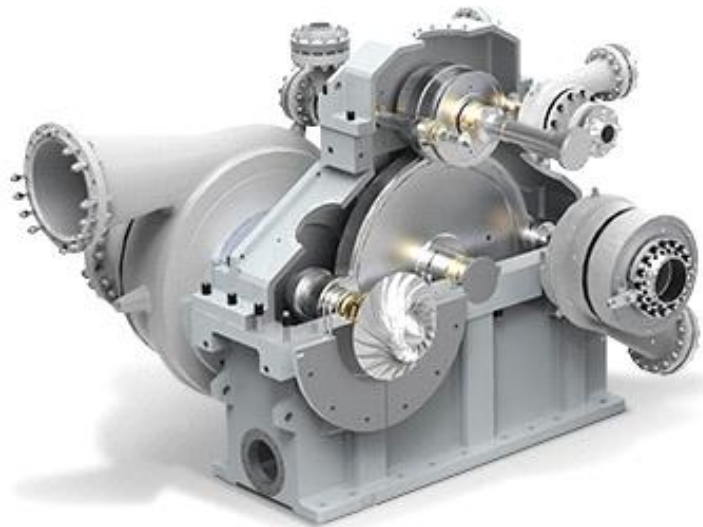
<압축기 종류별 운전 영역>

- (압축기 종류별 효율) 압축기의 종류에 따른 달성 가능 최대 효율은 용적형 압축기보다 터보형 압축기가 높음
- 유량 및 토출압 등의 운전 사양에 맞는 압축기를 적용하여야 수소액화 플랜트의 높은 효율을 달성할 수 있음
- 운전 사양에 맞게 적용된 경우, 달성 가능한 최대 효율이 용적형 압축기보다 터보형 압축기가 높음



<압축기 종류별 효율 분포>

- (원심압축기 타입) 다단 원심압축기는 기어박스타입(Integrally Geared type)과 배럴타입(Barrel type) 압축기로 나눌 수 있음
- 기어박스타입 원심압축기의 경우 API167 또는 API672 규격에 따른 압축기로 하나의 큰 동력축과 임펠러가 달린 여러 개의 축들이 기어들로 연결되어 있는 구조이며, 국내에서 개발되는 대부분의 유틸리티용 공기 압축기나 프로세스 압축기가 이 형태임
- 배럴타입 다단 원심압축기는 하나의 축에 여러 개의 임펠럴를 설치하여 회전시켜 고압의 공기를 생산하는 기계 기술로 배럴타입의 다단 원심압축기는 고압 공기의 생산과 이송에 유리하나 현재 사용처에 관계없이 100% 수입에 의존하고 있음



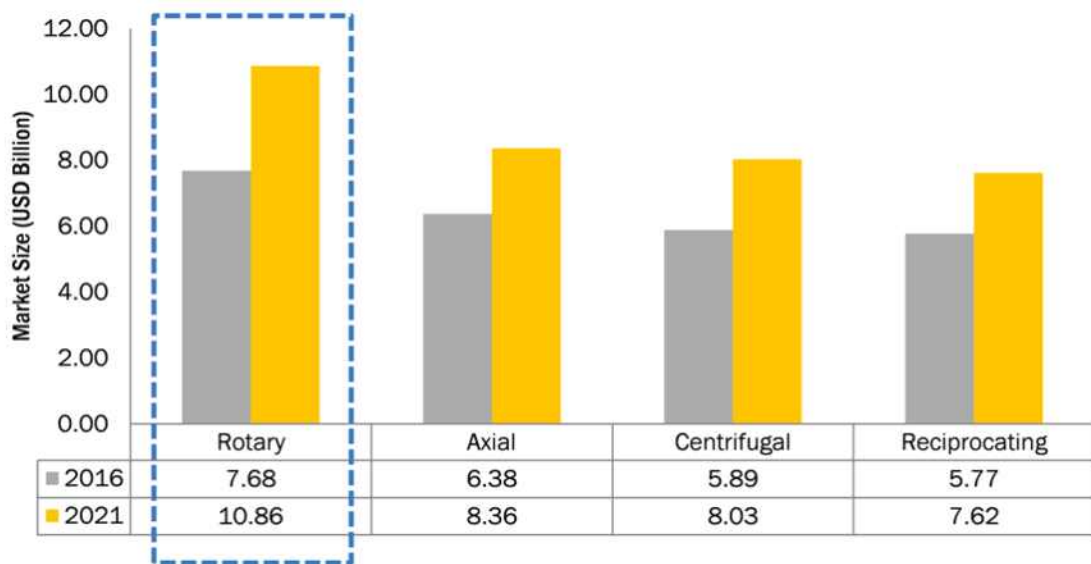
<기어박스타입 원심압축기(상) 및 배럴타입 원심압축기(하)>

2. 주요 동향

① 국내·외 시장·산업 동향

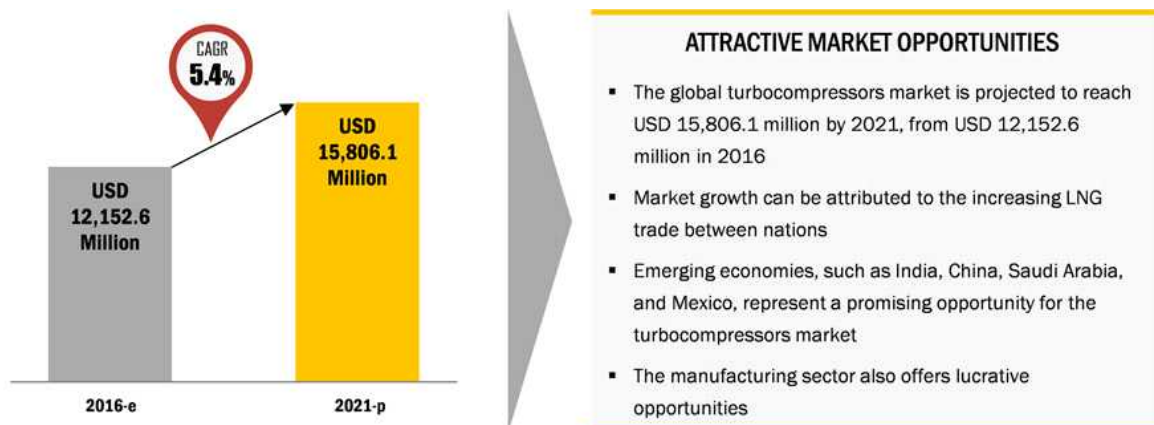
□ 국외 시장·산업 동향

- (터보압축기) 압축기는 항공기 추진에서부터 대형복합발전, 제조 공장의 유틸리티용, 화학 공정의 프로세스, 냉동기 등등 산업 전반에 걸쳐 다양하게 사용되어, 압축기 범위 설정에 따라 압축기 시장의 규모가 크게 달라짐

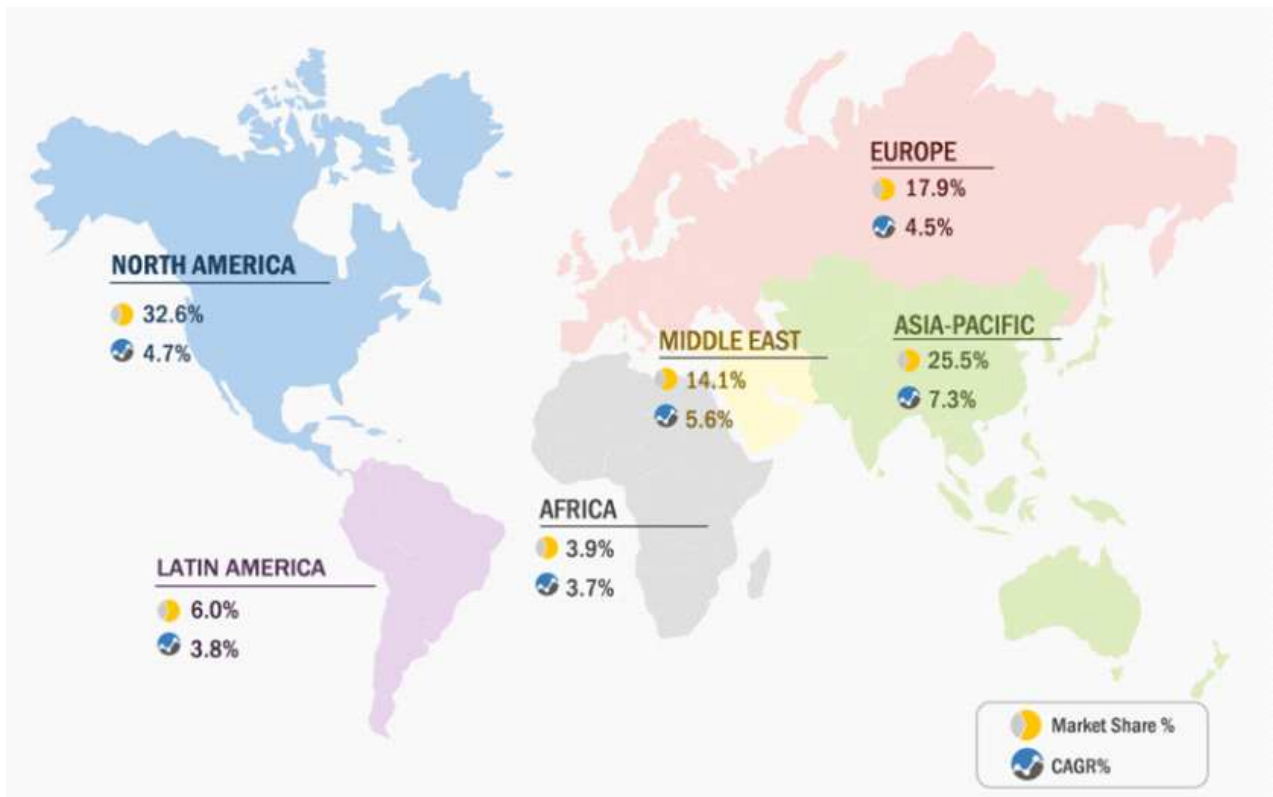


<압축기 종류별 해외 시장 규모 및 전망, 출처 : 2021 MarketsandMarkets>

- 본 과제와 관련된 터보압축기의 시장은 연 평균 5.4% 성장하며, 2021년 158억 달러(약 15.8조원) 규모가 될 것으로 예측되며 이 중 원심형 터보압축기는 시장의 절반 정도인 73억 달러(약 7.3조원)로 예상됨

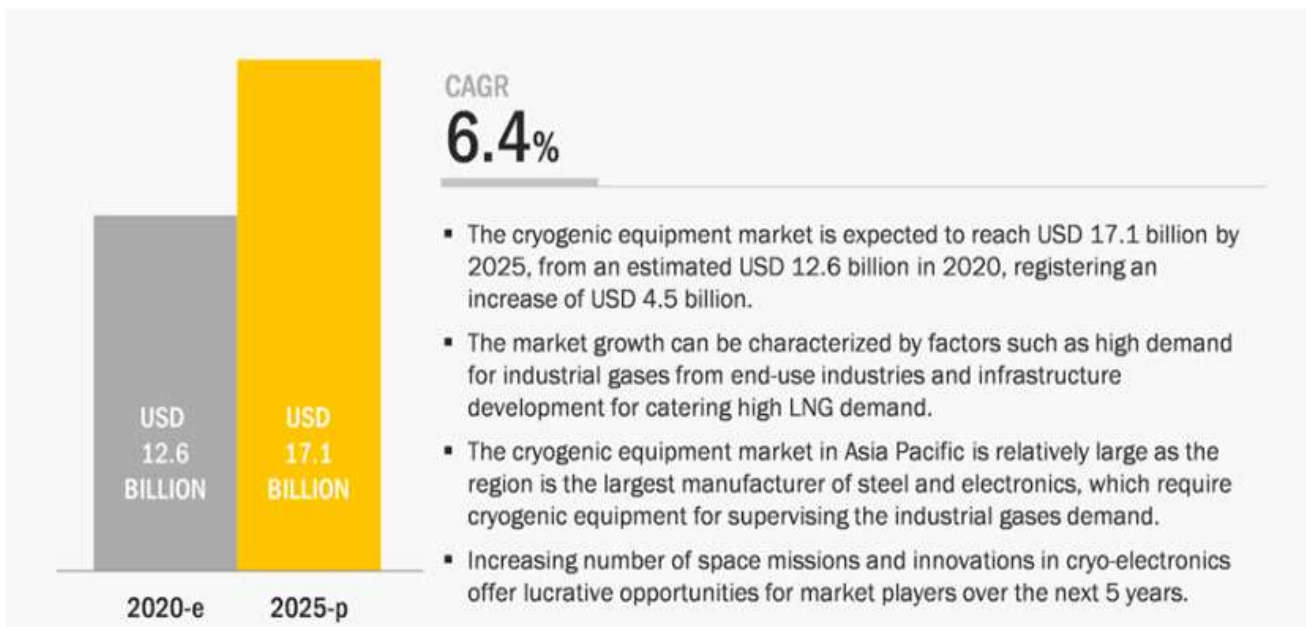


<터보압축기 해외 시장 전망, 2021 MarketsandMarkets>

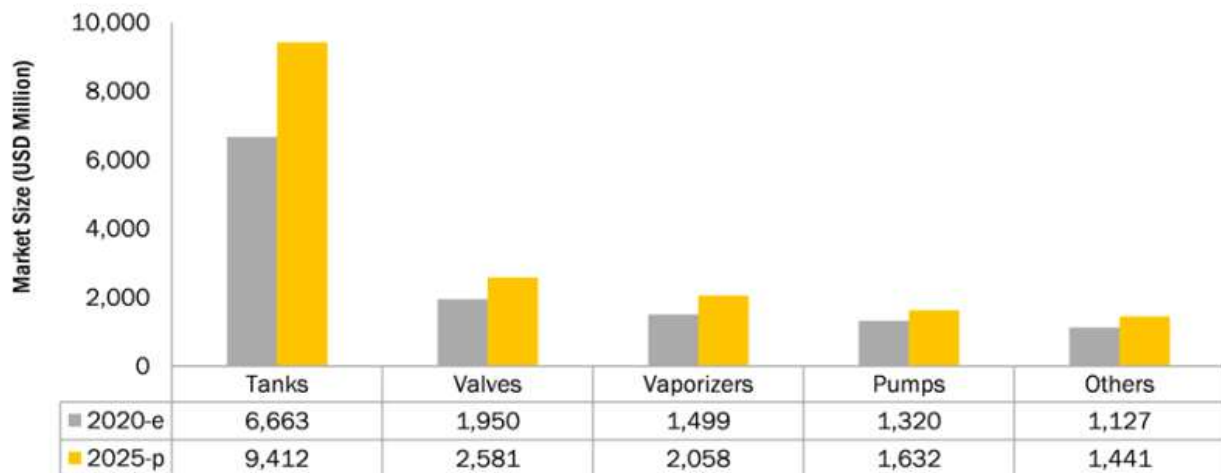


<터보압축기 지역별 시장 규모 및 시장, 출처 : 2021 MarketsandMarkets>

- 액화플랜트와 연계된 극저온 설비 시장은 연평균 6.4% 성장하여, 2025년에는 171억 달러(약 17.1조원) 규모가 될 것으로 예측되며, 이중 압축기(펌프)는 약 10%에 해당하는 16억 달러(약 1.6조원) 규모가 될 것으로 예상됨



<극저온 설비 해외 시장 규모 및 전망, 출처 : 2021 MarketsandMarkets>



<극저온 설비 종류별 해외 시장 규모 및 전망, 출처 : 2021 MarketsandMarkets>



<냉매 종류별 해외 시장 규모 및 전망, 출처 : 2021 MarketsandMarkets>

- (수소비전 2050) 2017년 1월 다보스 포럼에서 탄소경제사회를 수소경제 사회로 이행하기 위한 수소비전 2050을 발표하고 수소위원회 신설
 - 2050년 글로벌 수소경제 규모는 2050년 2조 5,000억 달러(약 2,940조원), 3,000만개 일자리 창출 전망(맥킨지, '18)
 - 전 세계 수소 인프라 시장 규모는 '25년 20조엔, '35년 59조엔, '50년 160조엔 (약 1,620조 원)까지 성장할 것으로 전망(닛케이 BP 글린테크연구소, '18)
- 여기에서 수소에너지저장시장은 연 평균 5.8% 성장하여 2024년 182억 달러 (약 18.2조원) 규모가 될 것으로 예측되며, 이 중 액화수소시장은 2024년에 48억 달러(약 4.8조원) 에 해당함
- (고효율수소액화플랜트 상용화 기술개발 기획 보고서) 전세계 수소 유통량 에서 2030년부터의 증가분을 액체수소로 유통한다고 가정했을 경우, 2030년 기준 세계 수소액화플랜트 건설시장은 54조원(US DOE 산정식), 압축기 비중을 10%로 산정시 압축기 시장은 약 5.4조원

- 미국 California Air Resources Board에 따르면 수소전기차의 도입율과 무관하게 향후 액체수소충전소가 확대될 것으로 전망
 - * 미국, 독일, 일본 등은 대용량의 액체수소 충전소 기술을 개발·상용화하여 운영 중
- 액체수소 생산을 위한 수소액화플랜트는, 전세계적으로 약 360 ton/day 규모 (5 ~ 30 ton/day 급 약 20 개)로 건설, 운영 중

구분	액화수소 생산시설 운영 현황	
	2020년(누적)	2021년 이후 (신규 계획)
미국	300 ton/day	60 ton/day (2 sites)
유럽	25 ton/day	5 ton/day (1 site)
일본	35 ton/day	

자료출처 : 한국기계연구원('21. 2)

- 액화플랜트 시장은 글로벌 4대 기업(린데, 프락스에어(2018년 린데와 합병), 에어리퀴드, 에어프로덕트)이 기술과 상용화 시장을 독점
- 최근 활발하게 액화수소에 관심을 집중하고 있는 일본의 경우 이와타니 중공업이 린데의 기술을 도입하여 수소액화, 액화수소 공급 및 액화수소 충전소의 밸류 체인을 완성하고 있으며, 카와사키중공업이 2018년 독자 기술로 5 ton/day 규모의 수소액화 플랜트를 개발하여 운영 중
- 카와사키중공업은 5 ton/day 수소액화기의 실정실험을 실시 3,000시간 연속 운전을 통해 신뢰성과 내구성을 확인하고 상용화 시작('20).
- 카와사키중공업은 액화수소를 저장하기 위한 높은 단열 성능을 가진 저장 탱크와 수송 컨테이너 등 수소 활용 관련 기술을 보유 중



<카와사키중공업이 하리마공장에서 실증 운전한 수소액화기, 2020.07. 가스신문>

□ 국내 시장·산업 동향

- 수소경제는 전후방 경제적, 산업적 파급효과가 큰 미래 성장동력
 - (전방산업) 차량을 중심으로 한 수송분야와 전기, 열 등 에너지 분야까지 다양한 새로운 미래산업 창출 가능
 - (후방산업) 협력 부품업체가 많고, 수소 생산-저장-운송-활용 등의 밸류체인 전반에 걸쳐 다양한 산업과 연계
- 국내에서 수소경제는 온실가스 감축 등 친환경 에너지로 에너지 자립에 기여
 - 온실가스 17% 감축, 미세먼지 30% 저감 등 깨끗하고 안전한 청정사회 진입을 촉진
 - 최종 에너지 소비량의 20%를 대체해 에너지공급 리스크를 완화하고 에너지 자립 제고
- 국내 수소 시장은 지속적인 성장세를 유지하여 2050년 70조 원 매출, 누적 60만 개의 고용효과 창출 전망(맥킨지, '18)
 - 수소 생산-저장-운송-활용 인프라 고도화를 위한 R&D 투자 확대로 새로운 시장 형성 및 고용 확대 유발 예상
- 국내 수소 인프라 시장은 그린 수소경제 가속화를 통한 NET ZERO 달성 정부정책에 힘입어 새로운 시장이 형성될 것으로 예상
 - '20년 12월 기준 수소충전소는 총 56기가 구축 운영 중이며, '40년까지 1,200개소목표 달성 가속화 추진 예상
 - 수소충전소 구축 확대에 따른 안정적인 공급과 경제성 등을 고려하여 액체 수소 생산/공급/충전 인프라 구축 시장진입이 시급
- * 국내에는 액체수소 생산을 위한 수소액화플랜트가 전무한 상태로 최근 각 지자체는 외국 기술을 도입하여 세계 최대 규모의 수소액화플랜트 건설을 계획 중
- * 액체수소충전소는 액체수소 생산시설이 확보된 후 글로벌 기업을 통해 국내에 초기 도입 예정

구 분	국내 액체수소 생산시설 구축 전망			
	울산시	창원시	평택시	인천시
사 업 비	약 3,000억원	약 1,200억원	약 3,000억원	미정
사업기간	2021 ~ 2022(예정)	2021 ~ 2022(예정)	2022 ~ 2025(예정)	2023 ~ 2025(예정)
추진기업 (국외기술 공급자)	효성 (Linde)	두산중공업 (Air Liquide)	한국가스공사 (미정)	SK(주) (Plug Power)
규 모	30 ton/day	5 ton/day	30 ton/year	90 ton/day

자료출처 : 한국기계연구원('21. 2)

- 대용량 수소액화플랜트용 다단원심압축기는 전량 수입에 의존하므로 수소 수요량 기준(수소인프라 및 충전소 구축방안) 등에 따른 압축기 관련 국내에서의 경제적 효과(수입대체 효과)는 4,600억원 수준
- 현재 국내에서 계획하고 있는 수소액화플랜트 건설 용량 (150 ton/day - 인천 90 ton/day, 울산 30 ton/day, 평택 30 ton/day: 모두 2025년 이내 목표)을 산정하고 사업비 (3,000억원/30 ton/day) 고려하면 약 1조 5천억원 수준, US DOE 산정식을 고려하면 ($5기 * 5.6M\$ * 1.1 * 1.24 * 30ton/day^{0.8}$) 5.8억\$, 약 7,000억원 수준)
- 30년 기준 수소차 수요량 373,500톤 예측 (수소경제활성화로드맵, 전체 수소수요량은 194만톤) 에 따라 액체수소플랜트 (1,000 ton/day = 200기 (5톤/일 급) 운영이 필요 (전체 수소수요 중 수소차 수요량을 액체수소 공급 가정)
 - * US DOE 30 ton/day 용량 가정 총 33.3기 건설비 : 38.6억\$ = 약 4.6 조원 (압축기: 10% 가정, 4,600억원)

② 국내·외 기술 동향

□ 국외 기술 동향

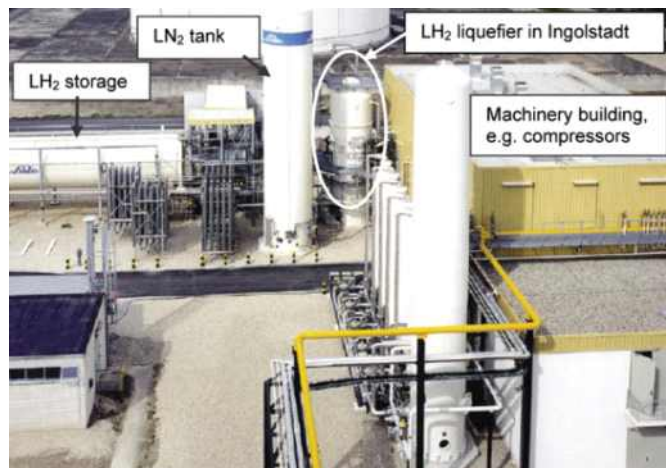
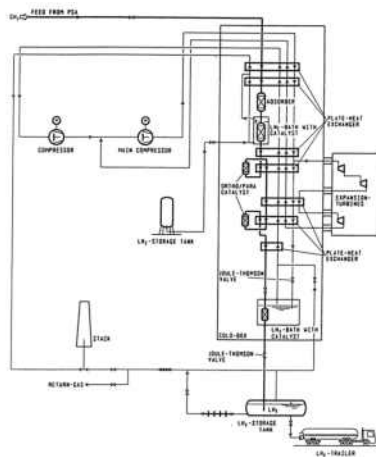
- 현재 상업적으로 활용되고 있는 전 세계의 수소액화플랜트의 현황을 살펴 보면, 상용 수소액화플랜트 제조사는 크게 APCI (미국), Praxair (미국), Linde (독일), Air Liquide (프랑스) 등 4개 회사로 압축할 수 있음
 - * Linde-Praxair 합병 (2018. 10. 22)
- 일본의 Iwatani와 중국의 CALT 등에서도 수소액화플랜트 개발을 진행하고 있지만, 주요 4개 회사의 원천기술에 의존하고 있는 실정임
- 주요 4개 회사에서 적용하고 있는 수소액화 사이클은 주로 Precooled Claude 사이클과 헬륨 Claude 사이클로써 용량은 5-34 ton/day (TPD) 수준
- Praxair (미국)
 - Praxair는 현재 미국에 6-35 TPD의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소 액화 플랜트를 5기 이상 설치하였음
 - 수소액화 플랜트의 소요전력은 12.5-15 kWh/kgLH₂ 수준임
 - 수소액화 사이클은 Precooled Claude 사이클을 사용하지만, 좀 더 복잡한 공정으로 구성되어 있음. 3개의 열교환기가 있는데, 첫 번째 열교환기는 질소가스와 외부 냉동기에 의해 냉각되고, 두 번째 열교환기는 액체질소와 수소 가스에 의해 냉각되고 있으며, 세 번째 열교환기는 팽창기와 J-T 밸브에 의해 팽창되는 수소 Claude 사이클에 의해 냉각됨
- Air Product & Chemicals (미국)
 - Air Product & Chemicals는 현재 미국에 30-35 TPD의 액체 수소 생산 용량을 가지는 수소액화플랜트를 4개 이상 설치하였음
 - 5 TPD의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화플랜트를 미국과 네덜란드에 각각 1기씩 설치하였음
 - Air Product & Chemicals사의 자세한 기술적인 내용은 공개되어 있지 않은 상황임

○ Air Liquide (프랑스)

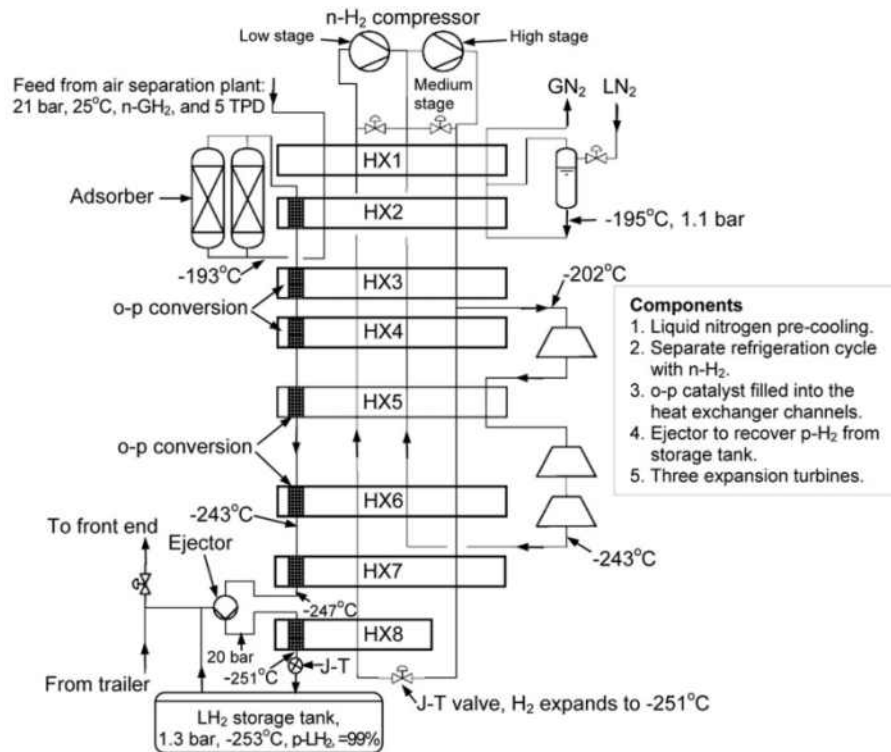
- Air Liquide는 10 TPD의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화플랜트를 프랑스와 캐나다에 각각 1기씩 설치하였음
- 수소액화 플랜트의 소요전력은 13 kWh/kgLH₂ 정도이고, 액체질소를 예냉용으로 사용하는 수소 냉매 Claude 사이클을 주로 사용

○ Linde (독일)

- 현재 가장 활발히 수소액화플랜트 건설을 진행하고 있는 업체로써, 대표적인 수소액화플랜트는 Ingolstadt와 Leuna에 위치하고 있음
- Ingolstadt에 위치하고 있는 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 약 4.4 TPD로 Precooled Claude 사이클을 사용
- Leuna에 위치하고 있는 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 약 5 TPD로 Precooled Claude 사이클을 사용하였으며, 액화플랜트의 구성은 왕복동 압축기 및 팽창터빈을 채용한 수소냉각시스템과 알루미늄 재질의 Plate-fin 열교환기, 액체질소 예냉시스템을 포함하는 콜드박스로 구성



<Ingolstadt 수소액화 공정(Linde)>



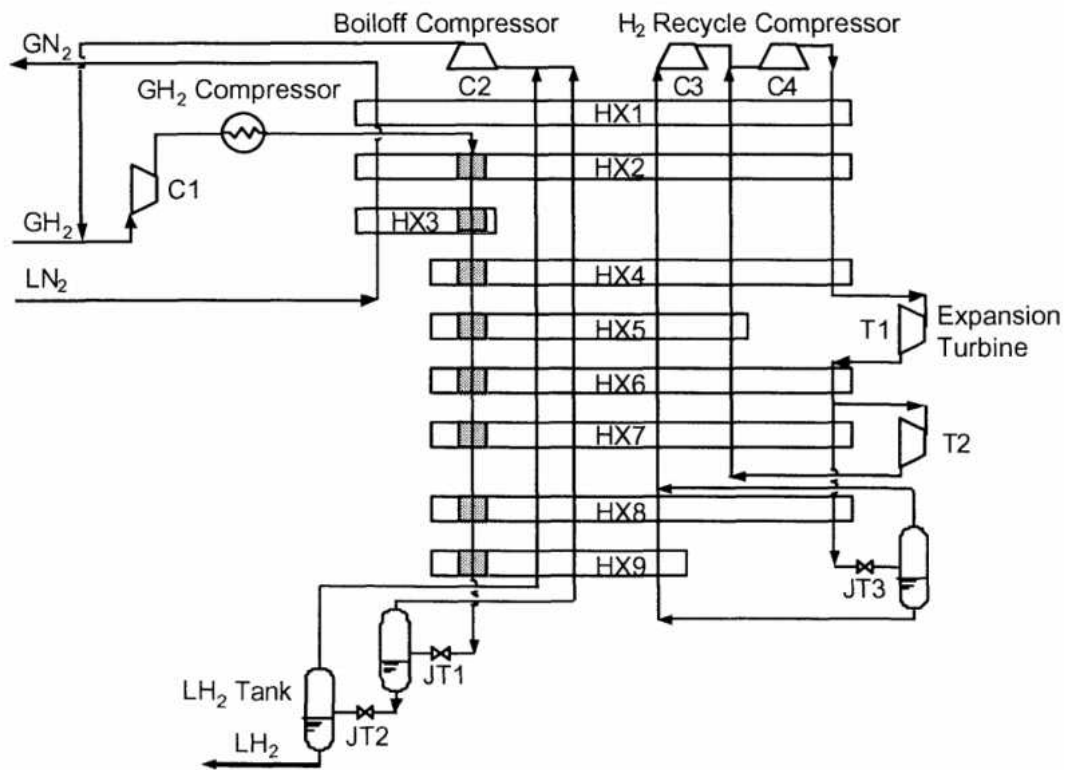
<Leuna 수소액화 공정 (Linde)>

○ The World Energy NETwork (WE-NET) project (일본)

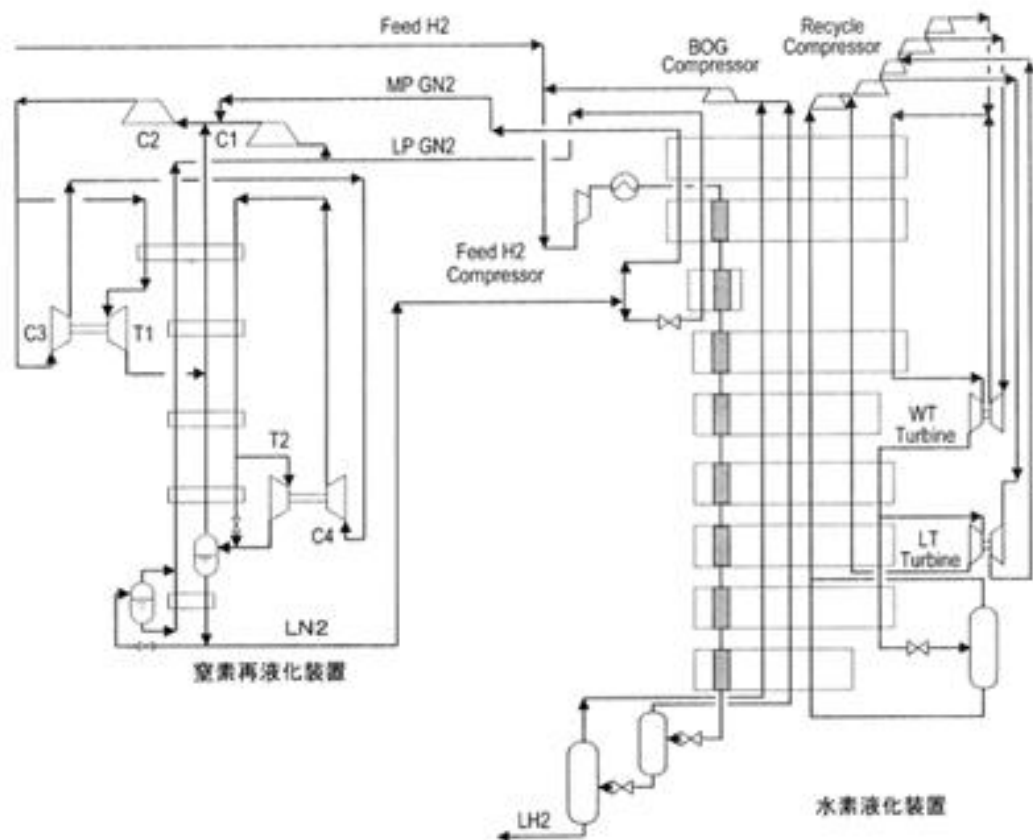
- 일본에서는 신에너지·산업기술총합개발기구 (NEDO) 중심으로 수소이용 국제 그린에너지 시스템 기술(WE-NET) 프로젝트인 대형 수소액화 플랜트 개발을 위해 미쓰비시 중공업, 일본 Air Liquide 및 일본산소 등 3개 회사가 분담하여 검토
- 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 세계 최대인 약 300 TPD를 목표로 액체질소 Pre-cooled 수소 Claude 사이클, 헬륨 Brayton 사이클, 혼합 냉매 사이클 및 네온 사이클 등 4개의 사이클에 대한 설계를 진행
- 수소 Claude 사이클과 예냉용 액체질소 재액화 냉동사이클의 조합으로 구성된 수소액화공정의 경우, 공정 액화효율 목표치는 40% 이상임

<4개 사이클에 대한 설계 공정 액화효율>

	H ₂ Claude Cycle	He Brayton Cycle	Mixed Ref. Cycle	Neon Cycle
Feed H ₂ Pressure (MPa)	3.04	3.55	3.04	5.07
Recycle High Pressure (MPa)	4.05	3.04	5.07	5.07
Required Power (MW)	109.4	107.6	124	105
Process Efficiency (%)	45.2	46.0	40.0	47.0

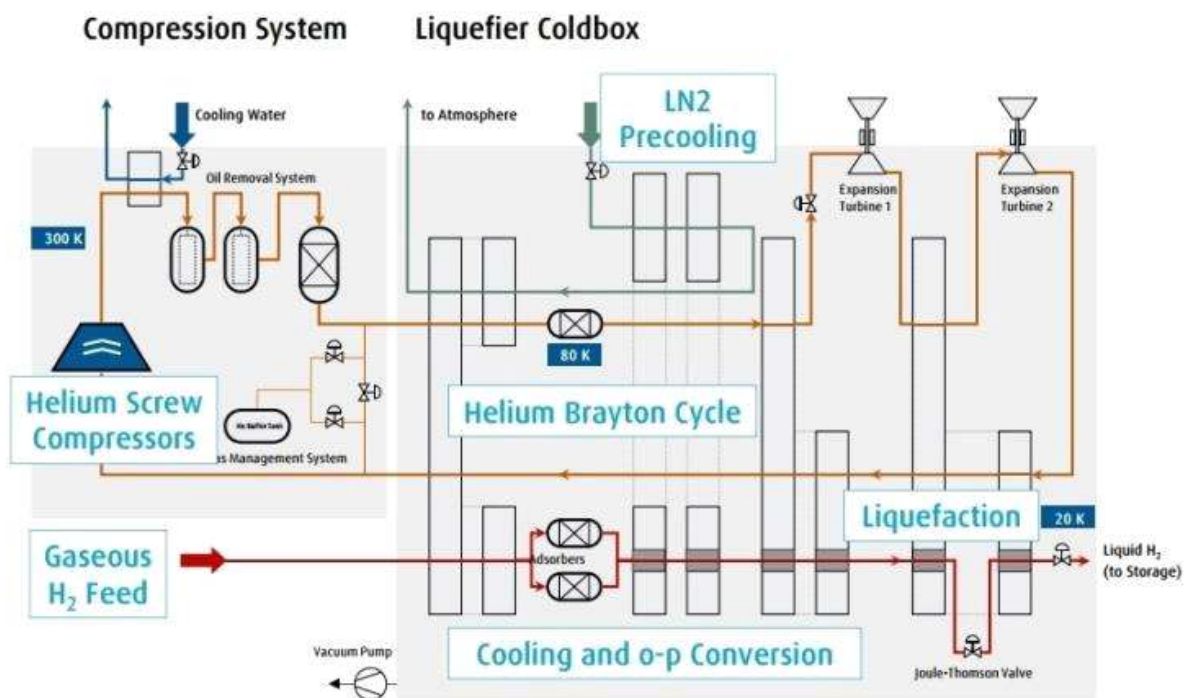


<액체질소 예냉 수소 Claude 액화공정 (WE-NET)>



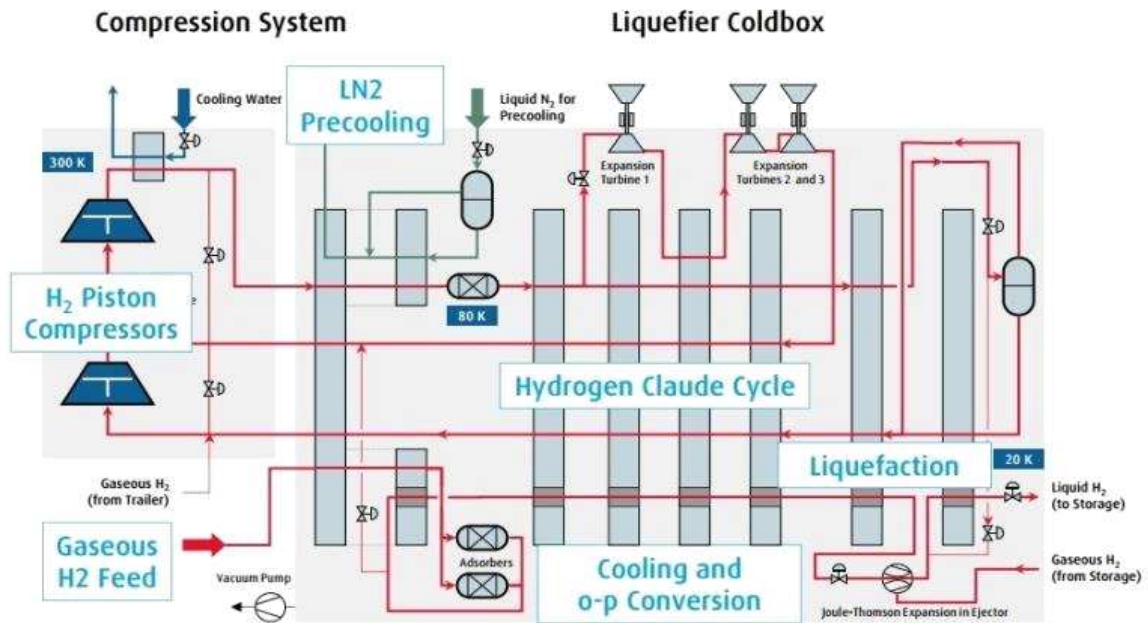
<수소 Claude 사이클/질소 재액화 냉동사이클 조합 (WE-NET)>

- 현재 상용으로 사용되는 수소액화공정에는 크게 2가지로 분류할 수 있음
 - Helium Turbo Brayton 사이클은 터빈의 팽창만으로 냉열을 얻는 시스템으로, 헬륨을 이용하므로, 비교적 저가의 오일 인젝트 스크류압축기를 사용할 수 있고, 비방폭 구성으로 시스템 구성이 가능함
 - * 초기투자비가 작은 장점이 있지만, 현 수준에서는 효율이 낮아 운전비용이 크다는 단점이 있고 액화에너지 효율은 12.3~13.4kWh/kgH₂ 정도임
 - * 현재까지는 주로 소용량 (3TPD) 시스템에 많이 채용되고 있으나, 핵심기자재인 압축기의 변화 (대용량 터보 압축기) 적용시 대용량화 및 경제성을 확보할 수 있을 것으로 예측됨



<헬륨(He) Brayton 사이클 개요>

- Hydrogen Claude Cycle은 팽창용 터빈과 줄 톱슨 밸브를 같이 사용하여 비교적 높은 에너지효율을 갖는 시스템이나, 냉열을 위해 수소 사이클을 이용하므로, 고가의 수소용 압축기와 방폭 사양의 시스템설계가 필요하여, 초기투자비가 높아지는 단점이 있음



<Hydrogen Claude Cycle>

- 글로벌 4대 기업(린데, 프락스에어(2018년 린데와 합병), 에어리퀴드, 에어프로덕트)이 기술과 상용화 시장을 독점

주요 4개 회사에서 적용하고 있는 수소액화 사이클은 주로 Precooled 수소 Claude 사이클과 Precooled 헬륨 Brayton 사이클로써 용량은 0.5-30 ton/day 수준, 수소액화 플랜트의 소요전력은 10~15 kWh/kgLH2 수준임

<액화 기술 분류 및 분류별 기업 수준 비교>

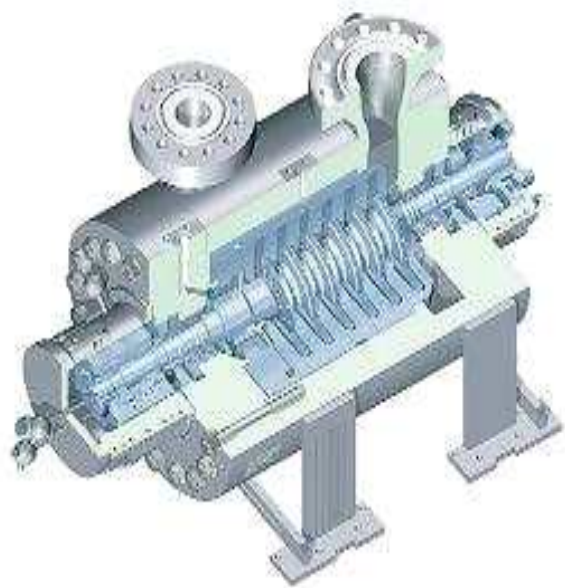
기술분류			기업별 수준 비교			
대분류	소분류		린데	에어리퀴드	에어프로덕트	카와사키중공업
고효율 수소액화 공정			100%	100%	100%	80%
수소액화 핵심 기자재 (Vendor 활용)	압축기	용적형 압축기 (Hofer, Kaeser, Sulzer 등)	100%	100%	100%	-
		터보식 압축기 (Man, Atlas Cop, GE 등)	90%	90%	90%	-
	터보익스펜더 (Linde, Air Liquide, Cryo Star, Atlas Copco, Atecko 등)		100%	90%	90%	80%
	열교환기 (ALPEMA, Chart, Fives Cryo, Kobe Steel, Linde GMBH, Simitomo)		100%	90%	90%	90%
	저장탱크		100%	100%	100%	80%
플랜트 설계/건설/운영			100%	95%	95%	90% (이와타니, 카와사키중공업)

※ 수소액화용 용적형 압축기는 개발되어 실증이 완료되었으나 터보식 압축기는 실증실적이 없음

- 수소액화플랜트에 사용되는 압축기와 같은 가스압축기는 시장 특성상 공정별로 특화된 형식이 적용되는 특징을 지니고 있으며 대표적인 형식으로 Integrally Geared type과 Barrel type 이 있음
- 특히, 높은 압력대의 압축기가 많이 소요되는 액화플랜트 산업에서는 시장 규모 측면에서 Barrel type이 주류를 차지하고 있음
- Integrally Geared type의 가스 압축기 중 가장 높은 수준의 기술력을 가진 업체는 Man Turbo로 CO₂ 가스를 압축하는 용도로 10단 압축기까지 개발을 완료하였음
- Man Turbo는 10단을 구성하기 위해 불기어 두 개를 사용하는 기술을 개발하여 특허를 출원하였으며 이 기술을 바탕으로 실제로 요소합성공정에 사용되는 대용량 CO₂를 개발 완료하여 운영하고 있음

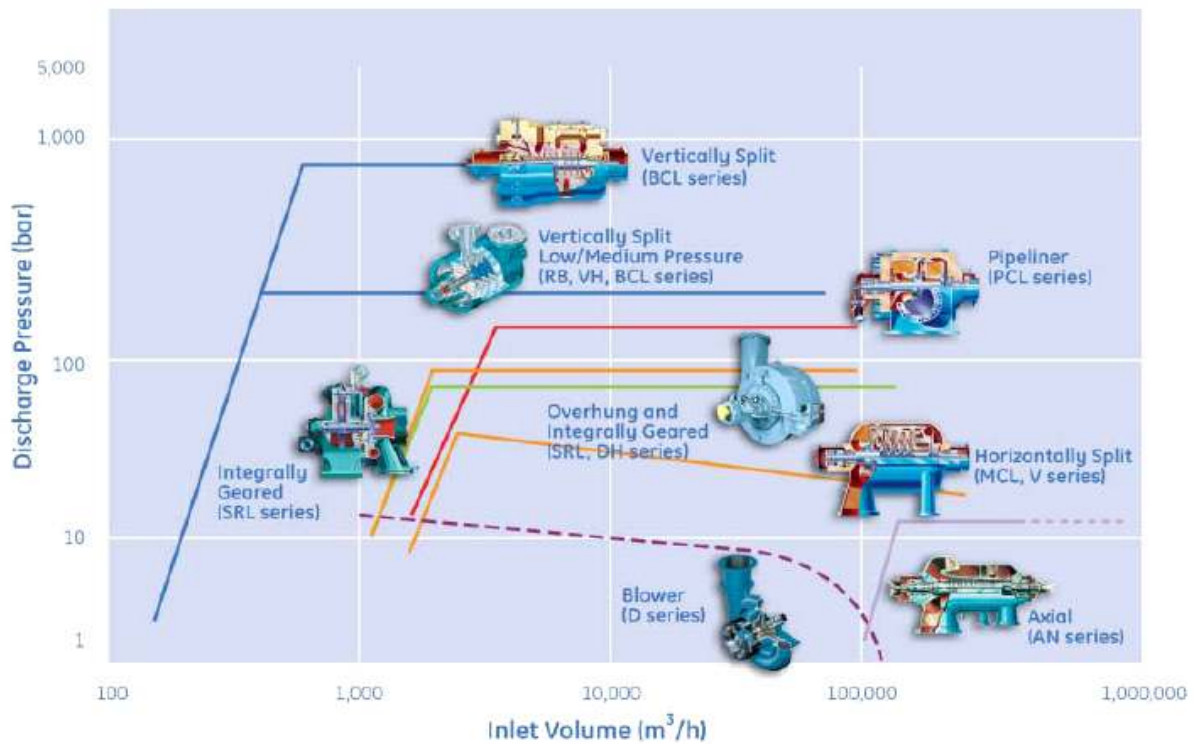


<Man T社の 10단 기어 타입 터보 압축기>



<SIEMENS社の Barrel type 고압가스 압축기>

- 공기압축기는 Atlas Copco등 Global업체들이 시장을 주도하에 Local업체들의 비중도 상대적으로 높은 반면, 가스압축기는 GE, Siemens, Dresser-Rand등 Global 업체들이 독점하고 있음
- 가스압축기 시장을 주도하고 있는 업체로는 General Electronics, Dresser-Rand, Siemens, Man turbo 등이 있으며 각 회사의 주요 제품과 라인업은 다음과 같음.
- General Electronics 社
 - GE社는 원심형과 축류형의 모든 압축기를 보유하고 있으며 용량은 최대 50만m³/hr에서 60만m³/hr 수준의 대용량 가스 압축기도 보유하고 있으며 GE社의 대표 압축기 모델 라인은 아래와 같음
 - 모델명 : BCL, RB, VH 시리즈
 - 제품군 : 아래 그림 참조



<GE社の 압축기 라인업>

○ Siemens 社

- 라인업 보유현황은 원심형 및 축류형을 생산하고 있으며 대표적인 모델은 아래와 같고 가스압축기의 경우 대부분이 원심형 배럴방식으로 사용이 되고 있으며 CO2 압축기의 경우 특별하게 8단의 기어타입으로 개발이 되어 있음
 - 모델명 : STC-SV
 - 체적유량 : 250~480,000 m³/hr
 - 토출압 : up to 1,000 bar
- 적용 분야: 석유화학 공장, 메탄올 공장, 정제소, 비료공장, CNG/ LNG/ PNG/BOG /EFG 관련 오일 & 가스 산업

<SIEMENS社の 압축기 모델별 압축기 사양>

타입	어플리케이션	드라이버	유량(m ³ /h)
STC-GC Integrally Geared	▪ ASU	전기모터	120,000
STC-GO Integrally Geared	▪ 석유화학, 정유 ▪ 공기, 질소, 연료가스	스팀터빈 가스터빈 전기모터	200,000
STC-GV Integrally Geared	▪ ASU, 탄화수소 ▪ EO, 연료가스 ▪ 석유화학		480,000
STC-SH Horizontally Split	▪ 석유화학(올레핀 등) ▪ 정유(Coke Gas, RFCC 등) ▪ LNG, BOG		250 ~ 600,000
STC-SP Centr, Axial, Overhung	▪ 석유화학(PE, PP, EO/EG)		200 ~ 130,000
STC-SR Axial-Radial	▪ GTL, CTL ▪ 공기, 산소		50,000 ~ 1,300,000
STC-SV Vertically split	▪ 석유화학 ▪ 정유(Coke Gas, RFCC 등) ▪ LNG, BOG		250 ~ 480,000
STC-SX Axial	▪ 공업로, RFCC		50,000 ~ 1,300,000

○ Dresser-Rand 社

- 87년 Dresser Industries와 Ingersoll-Rand의 합작회사로 설립 00년대 이후 연평균 13%의 높은 성장을 이루고 있으며, Offshore등 Oil&Gas분야에서 뛰어난 실적을 보유하고 있음
- 라인업 보유현황은 터보타입으로는 배럴형 압축기인 Datum이 시장에 널리 알려져 있으며, 축류형은 FCC Air등 대량의 공기 주입 용도로만 적용되고 있음

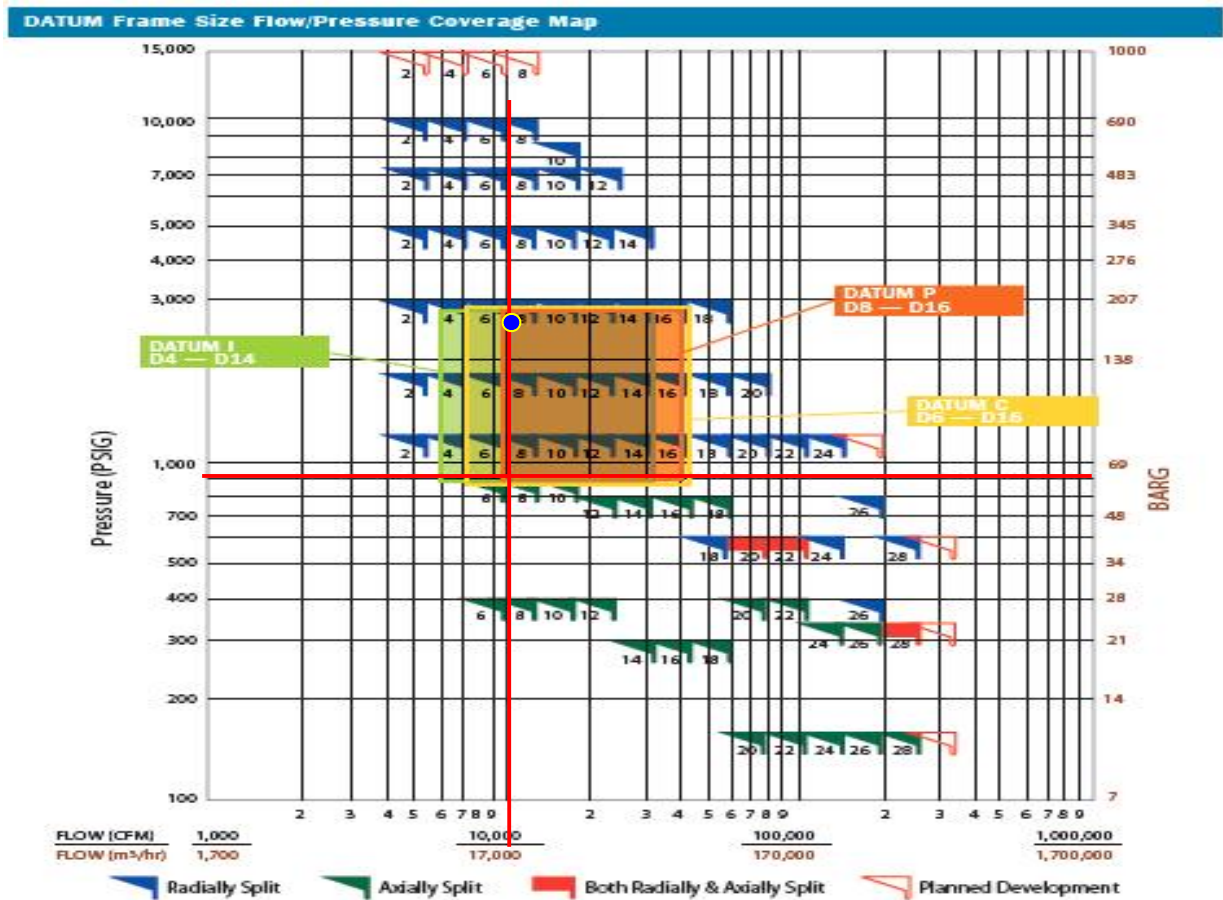


<DR社の DATUM 압축기 형상>

<DR社の 압축기 모델 별 압축기 사양>

타입	어플리케이션	사양
Centrifugal (Axial & Radial Split)	- 정유, 석유화학 - LNG, ASU	611,000m ³ /h
Axial	FCC, Blast Furnace	500,000m ³ /h
Rotary	- Dirty Gas, Corrosive Gas - Gas with liquid	50,970m ³ /h
Reciprocating	정유(수첨공정), 석유화학 LNG생산, 저장, 이송 Navy-Nuclear Submarine	149KW-33.5MW 4,200kg/cm ²

- 특히, DR社の 경우 높은 수준의 원심형 베럴타입의 제품군을 가지고 있는데, 이 압축기의 라인업은 다음과 같음



<DR社の barrel type 압축기 제품군>

○ Man Turbo 社

- Man Turbo는 현재 개발된 원심형 기어타입 압축기의 최고 수준의 기술력을 보유한 업체이며. 라인업 보유현황은 축류형, 원심형, 스크류형 압축기를 생산하며 축류형은 Simens, Dresser Rand와 같이 가장 큰 용량의 유량을 지니고 있음

· 모델명 : RB, HOFIMTM



<Man turbo社の 터보압축기 형상>

<Man Turbo社の 압축기 모델 별 압축기 사양>

타입	어플리케이션	사양
Axial	■ ASU, 암모니아, 질산 ■ RFCC, 가스액화플랜트 ■ Blast furnace blower	70,000-1,400,000m ³ /h
■ Centrifugal - Vertically split - Horizontally Split - Integrated Coolers ■ Integrally Geared ■ Encapsulated Casing	■ 석유/가스 ■ 석유화학 ■ ASU ■ 철강 ■ 제지	2,000-230,000m ³ /h
		2,000-660,000m ³ /h
		66,000-700,000m ³ /h
		2,000-500,000m ³ /h
		2,000-30,000m ³ /h
■ Screw - Oil Free	■ 정유, 석유화학, 철장 ■ Dirty Gas	100,000m ³ /h

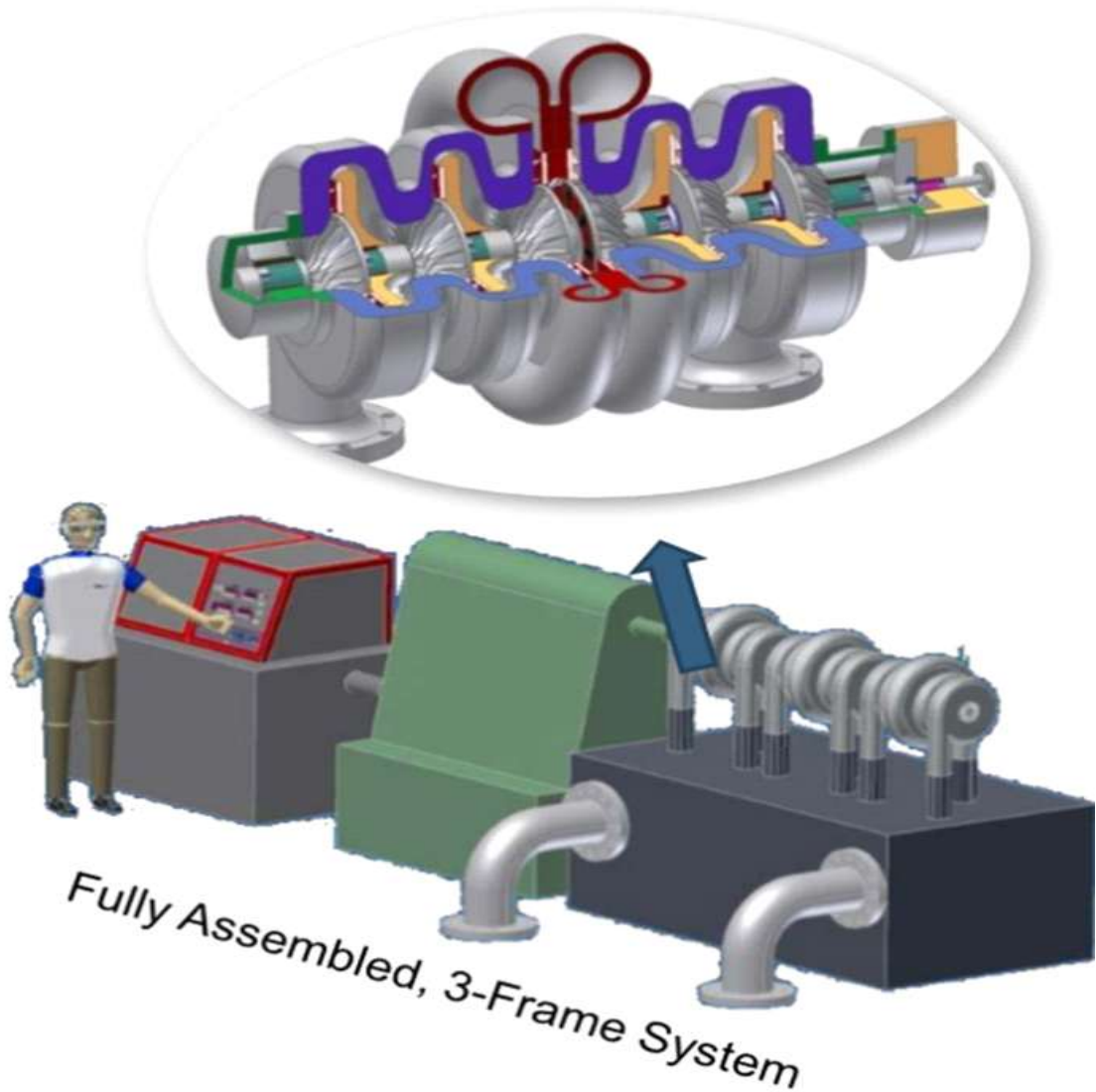
○ Mohawk Innovative Technology Inc. 社

- Mohawk Innovative Technology Inc.(MiTi)는 수소 수송관용 압축기를 개발하기 위해 Mitsubishi Heavy Industries(MHI)와 함께 미국 DOE 주관 '수소 프로그램(Hydrogen Program)'에 참여함
- Phase II를 진행하던 중간결과 발표 당시('12.05.17) 원심형 압축기 한 단에 대한 제작과 시험설비 구축에 대해 발표했으며, 목표로 한 압축기 조건은 아래와 같음

<MiTi 社の 수소압축기 목표 사양>

유량	240 ~ 500 ton/day	단 수	6단 또는 9단 (2 또는 3 프레임)
흡입압력	24.1 ~ 34.5 bar	회전속도	60,000 rpm
토출압력	84.5 ~ 88.6 bar	파워	5.8 ~ 8.9 MW

Single Frame



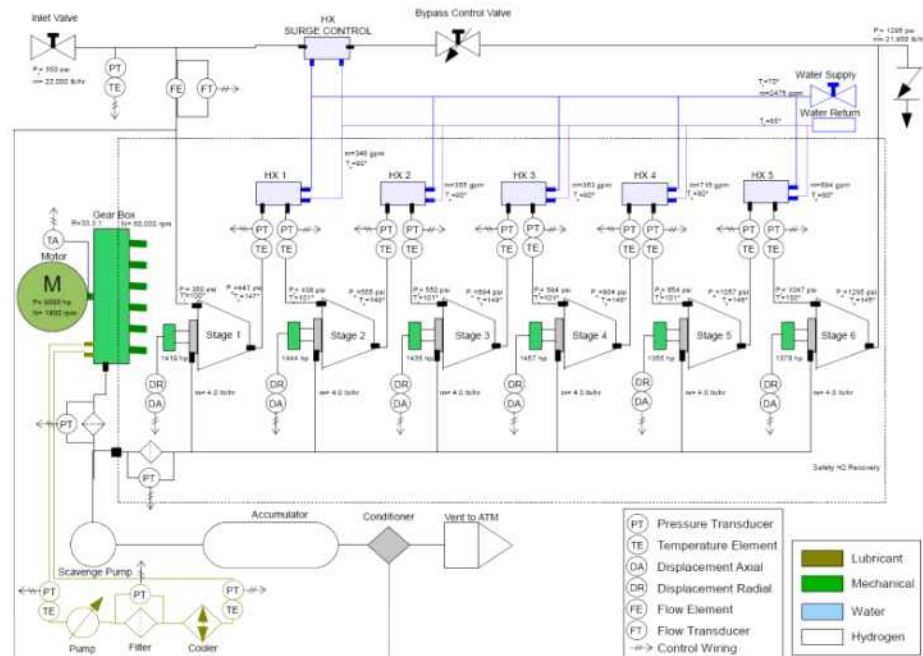
<MiTi 社の 수소압축기 개념도, 출처 : 2012, Oil-free centrifugal hydrogen compression technology demonstration(Mohawk Innovative Technology Inc.)>

○ Concepts NREC 社

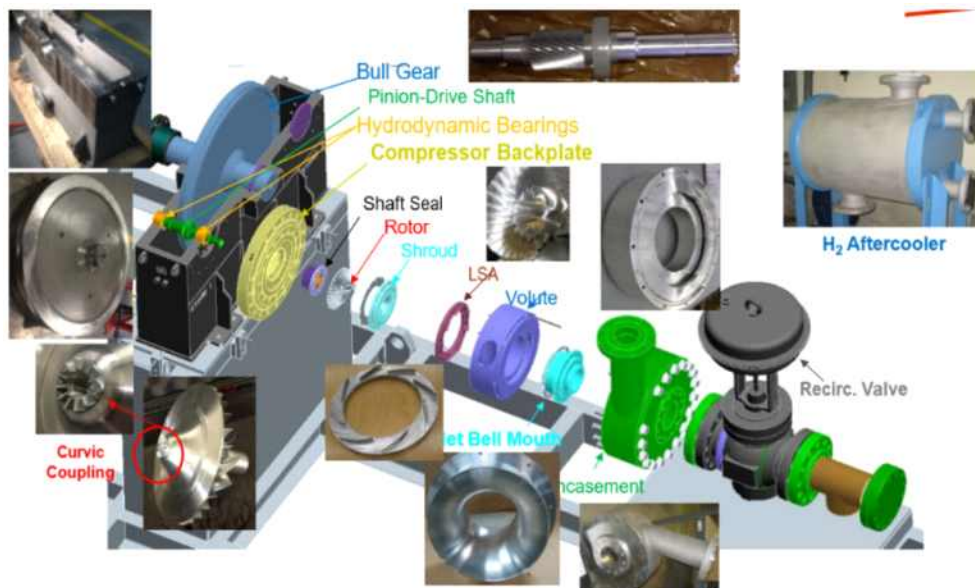
- Concepts NREC는 수소 수송관용 압축기를 개발하기 위해 Texas A&M University와 함께 미국 DOE 주관 '수소 프로그램(Hydrogen Program)'에 참여함
- Phase III를 진행하던 중간결과 발표 당시('14.06.17) Phase II 때 설계·제작했던 원심형 압축기 한 단의 프로토타입을 발표했으며, 목표로 한 압축기 조건은 아래와 같음

<Concepts NREC 社の 수소압축기 목표 사양>

유량	240 ton/day	단 수	6단
흡입압력	24.1 bar	회전속도	60,000 rpm
토출압력	88.6 bar	파워	6.3 MWe

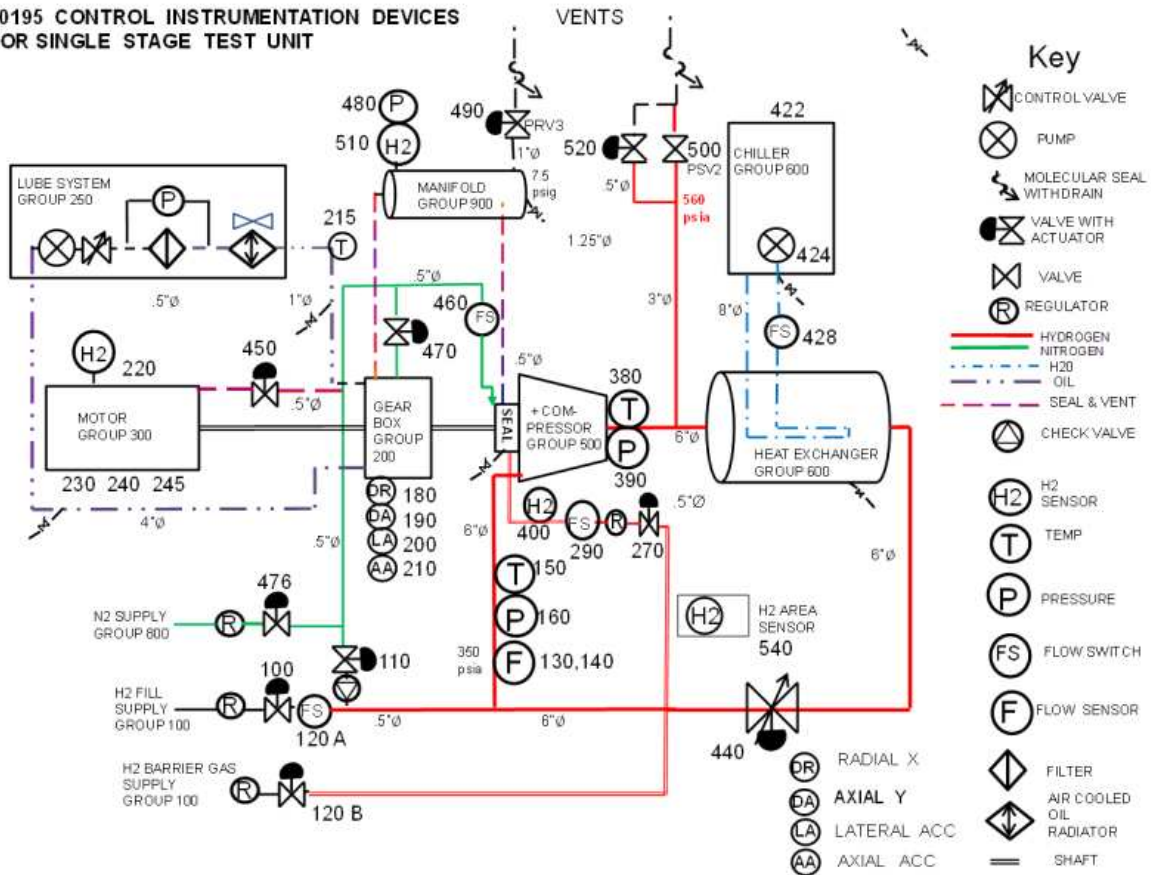


<수소압축기 시스템의 일반적인 공정배관계장도(P&ID), 출처: Concepts NREC, 2014, 2014 DOE Hydrogen Program Merit Review>



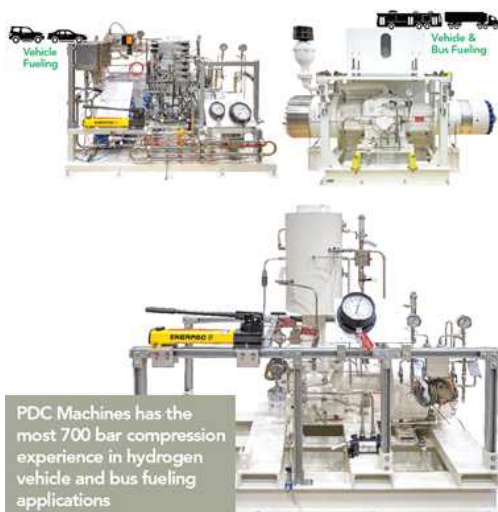
<Concepts NREC 社の 수소압축기 1단 프로토타입, 출처: Concepts NREC, 2014, 2014 DOE Hydrogen Program Merit Review>

10195 CONTROL INSTRUMENTATION DEVICES
FOR SINGLE STAGE TEST UNIT



<Concepts NREC 社の 연구실 수준 프로토타입 P&ID, 출처: Concepts NREC, 2014, 2014 DOE Hydrogen Program Merit Review>

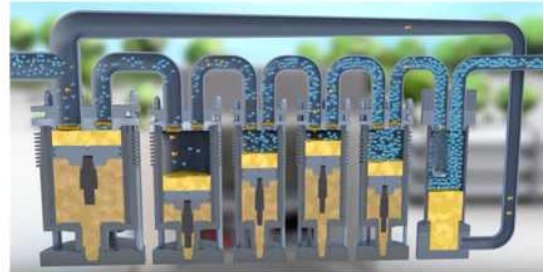
- PDC Machines 社は 다이어프램식 수소압축기를 제작하고 있으며, 효성의 수소압축패키지에 사용됨



COMPRESSOR PACKAGE	
Compressor Type	Diaphragm
Bare Comp. Maker	미)PDC
Packager	(주)효성
Suction Pressure	40 ~ 250 bar
Discharge Pressure	1030 bar
Flow Rate	60 Nm ³ /hr@180bar
Motor Power	22kW
Comp. Running Time	약 500시간

<PDC Machines 社の 다이어프램식 수소압축기, 출처: 2016, (효성) PDC Brochure, 수소충전인프라 핵심구성품 개발, 국산화 방안 및 설치 최적화 방안>

- Linde 社は 피스톤식 압축기인 이온성(ionic) 수소압축기를 개발함
- 이온성 압축기는 이온성 액체가 수소의 오염을 방지하고 윤활 및 냉각 기능을 하여 압축기 효율을 향상시킴



	Unit	Ionic compressor 50
Max. delivery rate with two IC 50	kg/h	18
Max. feasible compression pressure	MPa	50.0
Target fuelling pressure at 15 °C	MPa	35.0
Pre-cooling temperature	°C	-
Losses	%	-
Weight	t	10
Ambient operating temperature	°C	-20 to +45
Electricity consumption, inlet 0.8 MPa	kWh/kg	2.9
Electricity consumption, inlet 2.5 MPa	kWh/kg	2.2
Electricity consumption, pre-cooling	kWh/kg	Not required
Power requirements, installed	kW	95
Design	-	Containerised solution
Footprint	m²	15
Codes and standards	-	CE
Maintenance interval	Operating h	2,000 (10,000)
Operating hours (accumulated), reference value	h	28,000

The ionic compressor

In five steps, the ionic compressor compresses gaseous hydrogen to 100 MPa. Highlights include the eponymous ionic liquid, which does not bond with the gas. It acts as both a lubricant and coolant, and thus significantly reduces wear and tear. Additionally, the ionic compressor has fewer moving parts than a typical piston compressor. The liquid also increases the compressor's energy efficiency due to better cooling and fewer dead spots during the compression process.

By eliminating the need for lubricants, the ionic compressor protects the hydrogen against the risk of contamination. This ensures high levels of purity, making the compressor ideal, for example, for purity-critical fuel-cell applications.

<Linde 社の 피스톤식 이온성 수소압축기, 출처 : Linde 홈페이지>

□ 국내 기술 동향

- 소형 (수 kg/day) 수소액화기의 경우 과기부의 신기술융합형성장동력사업의 “자기냉각 액화물질 연구단 (2011~2015)”에서 기술개발을 수행, 현재의 국내 소용량 수소액화기 기업의 토대가 됨
- GM냉동기(수입)를 이용한 소용량(수 kg/day) 수소액화기의 경우 하이리움, 헥사, 패리티 등 중소 기업 위주로 구성되어 있으나, 수요가 적어 상용제품의 판매는 미미하고, 실험실 규모의 액체수소 생산을 위해 활용되고 있음
- 국내 상용급(0.5 ton/day 이상) 수소액화 플랜트 기업은 전무하며, 현재 상용급 수소액화 플랜트의 공정 및 기자재 국산화를 위한 R&D*가 진행되고 있는 수준
- “상용급액체수소플랜트 핵심기술개발 사업 (국토교통부, 2019~2023) : 현재 수소액화 플랜트의 공정 및 기자재 국산화를 위한 R&D가 진행되고 있으며, 2021년 0.5 ton/day 급 수소액화플랜트 구축, 2022년부터 액체수소의 생산이 예정되어 있음

참고: 상용급액체수소플랜트 핵심기술개발 개요

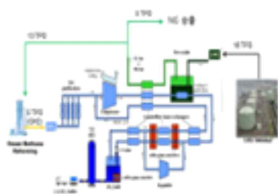
□ 연구개요

○ 연구목적

- 수소액화 플랜트 공정기술 및 수소액화 핵심설비, 액체수소 저장탱크 기술의 국산화 개발을 통한 수소의 대용량 생산·저장·운송·활용 기반마련

○ 연구내용

- (1세부) **고효율 수소액화 공정기술 개발**
 - 상용급 LNG 냉열활용 수소액화 공정 설계 기술
 - 파일럿급(0.5 톤/일) 수소액화플랜트 구축·운용·액체수소 생산 기술
 - 상용급(5톤/일) 공정설계 스케일업 기술 등
- (2세부) **수소액화용 극저온 터보 팽창기 개발**
 - 파일럿급(0.5 톤/일) 수소액화 플랜트 적용 터보팽창기 시제품 개발
 - 상용급(5톤/일) 수소액화 플랜트 적용 터보팽창기 시제품 개발
 - 터보 팽창기용 고속베어링 개발
- (3세부) **수소액화용 극저온 열교환기 개발**
 - 파일럿급(0.5 톤/일) 수소액화 플랜트 적용 열교환기 시제품 개발
 - 상용급(5톤/일) 급 수소액화 플랜트 적용 열교환기 시제품 개발
 - Ortho-para 전환 촉매의 충진을 고려한 열교환기 설계 기술 개발
- (4세부) **수소액화용 Cold Box 개발**
 - 파일럿급(0.5 톤/일) 수소액화 플랜트 적용 Cold Box 시제품 개발
 - 상용급(5톤/일) 수소액화 플랜트 적용 Cold Box 시제품 개발
 - Cold Box 구조 설계 및 단열 기술 개발
- (5세부) **수소액화용 극저온 밸브 개발**
 - 파일럿급(0.5 톤/일) 수소액화 플랜트 적용 극저온 밸브 시제품 개발
 - 상용급(5톤/일) 수소액화 플랜트 적용 극저온 밸브 시제품 개발
 - 극저온 수소 밸브 설계기술 개발
- (6세부) **액체수소 저장탱크 개발**
 - 고용적률 내압구조 설계 기술, 극저온 단열기술 및 안전장치 기술
 - 중·대용량 시제품 (35m³, 350m³) 제작 및 성능시험 기술



[수소액화 공정]

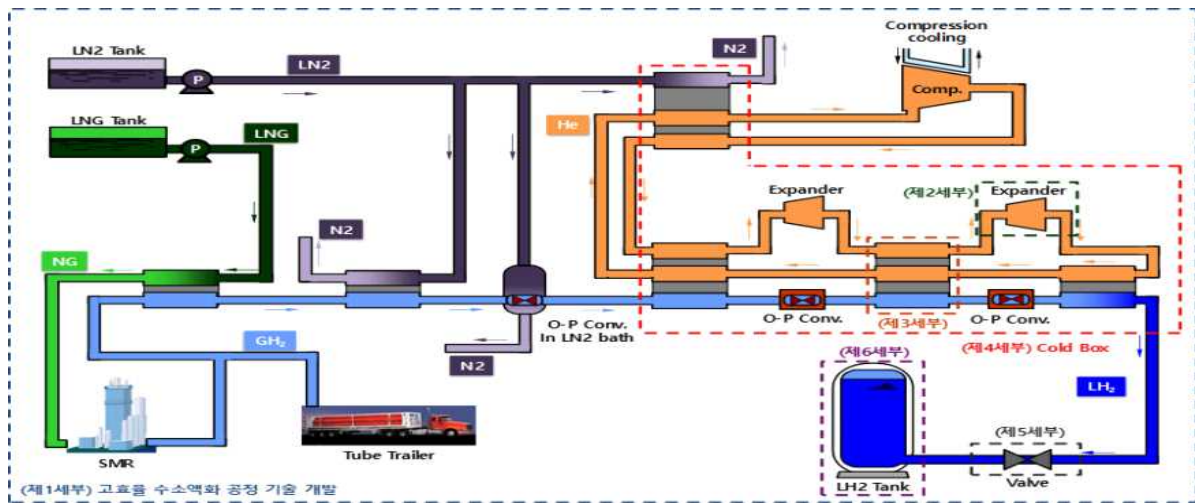


[수소액화 핵심설비]



[액체수소 저장탱크]

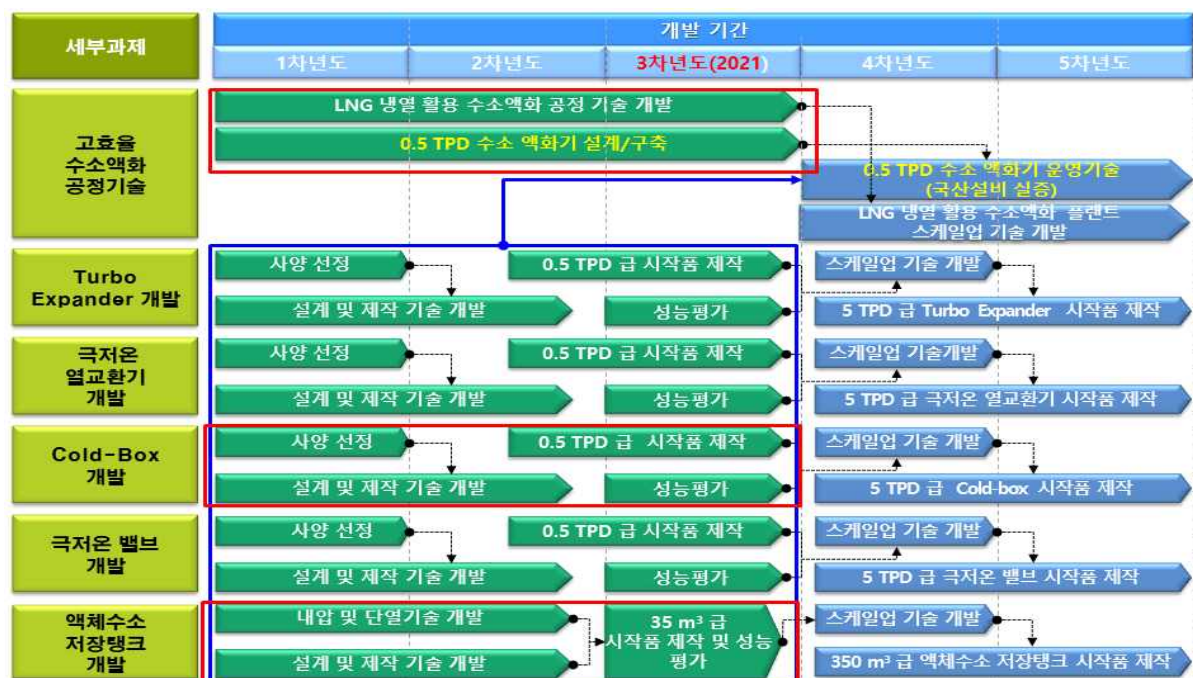




□ 연구단 구성

총괄 과제 명		
상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발		
1세부 과제 (주관연구기관, 연구단) 고효율 수소액화 공정기술 개발 (한국기계연구원)	2, 3, 4, 5 세부 과제 (협동연구기관) 수소액화 핵심설비 개발 (대주기계, 동화엔텍, 한국기계연구원, S&S밸브)	6세부 과제 (협동연구기관) 액체수소 저장탱크 개발 (한국과학기술원)
주요 연구내용 - LNG 냉열 활용 수소액화 공정 기술 - 0.5 ton/day 수소액화 플랜트 설계/구축/운용 - 수소액화 플랜트 스케일업 (5~50 ton/day) 기술개발	주요 연구내용 - 극저온 팽창기 개발 - 극저온 열교환기 개발 - Coldbox 개발 - 극저온 밸브 개발	주요 연구내용 - 중소형(35m³) 액체수소 저장탱크 설계, 제작 기술개발 - 대용량(350m³) 액체수소 저장탱크 설계, 제작 기술개발
참여기관	중앙대, KIST, 고등기술연구원, 대우조선해양, 가스안전공사 등 산학연 총 18개 기관	

□ 사업일정



- 상용급 수소액화 공정의 경우 현재 기술개발이 진행 중으로 pilot 플랜트 구축, 운영을 통하여 기술이 검증되면 향후 대용량 수소액화플랜트 설계에 활용될 수 있음
- 상용급 수소액화 플랜트 핵심 설비의 국산화를 위해 현재 수소액화용 열교환기, 터보익스펜더, 콜드박스, 대용량 저장탱크 개발이 진행 중으로, plot 플랜트 실증, Track Record를 확보시 국내 수소액화 플랜트 시장 진출 가능
- 다만, 현재 수소액화 플랜트의 핵심 설비인 압축기는 국산화 대상이 아니며 국외 제품을 사용하여 설계 중으로, 향후 수소액화플랜트의 완전한 국산화를 위하여 압축기 개발 추진 필요

<수소액화플랜트 국산화 현황>

기술분류		기업별 수준 비교	
대분류	소분류	국산화 수준	비고
고효율 수소액화 공정	소형(10 kg/day)	80%	(소형 액화기) 하이리움, 헥사, 패리티
	상용급(500 kg/day 이상)	80%	한국기계연구원 "상용급액체수소플랜트 연구단"
수소액화 핵심 기자재	압축기	50%	경원기계, 광신기계 (용적식) 한화파워 (터보식)
	터보익스펜더	50%	한화파워, 대주기계
	열교환기	70%	동화엔텍
	저장탱크	80%	(대용량 탱크) 래티스테크날러지, 두산중공업 (소용량 용기)한비크라이오, 하이리움
플랜트 설계/건설/운영	건설	70%	GS건설, "상용급액체수소플랜트 연구단"
	운영	50%	"상용급액체수소플랜트 연구단"
종합		65%	

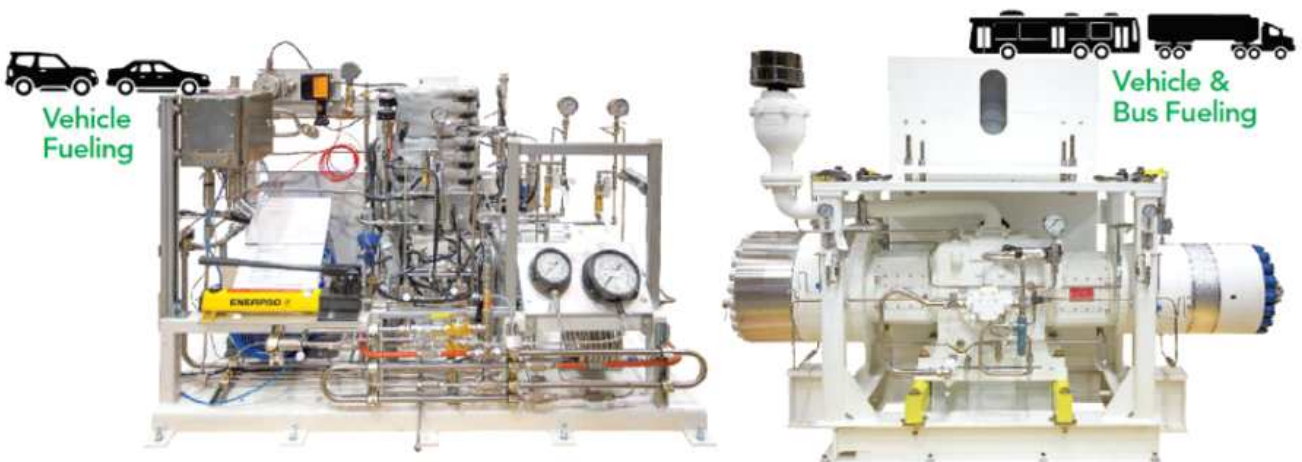
- 국내에서는 소형 용적형 압축기 기술, LNG용 터보식 압축기의 기술 역량은 일부 보유하고 있으나, 수소액화용 터보압축기 기술 역량은 부족한 상태이며 실 가스용 압축기 개발과 관련하여 국내에서 수행된 연구개발 수행 실적은 다음과 같음

- (주)광신기계공업은 2006년부터 2009년까지 수소충전소용 다이어프램 압축기를 개발, 국내에 8대를 보급함. 250~400kg/day의 수소를 생산할 수 있는 다이어프램 압축기의 사양은 60~400bar의 흡입압력으로 최대 900bar까지 압축할 수 있으며, 30~400N m³/hr의 수소유량을 가짐
- 이후 (주)광신기계공업은 다이어프램식 모듈화수소압축기 국산화에 성공함. 수소(H₂) 공급압력 180bar, 수소(H₂) 최대 충전압력 700bar, 처리능력 12,000 Nm³/day로 시간당 3대(5kg/대)의 차량에 수소를 충전할 수 있는 사양임



<광신기계공업이 국산화한 모듈화수소압축기가 설치된 창원센트럴수소충전소>

- 효성은 PPI(미, 현 Sundyne) 및 PDC(미) 등으로부터 다이어프램 압축기를 도입하여 현대자동차 남양 수소충전소(2008)와 한국가스안전공사 수소/CNG 충전시스템(2011)을 구축함





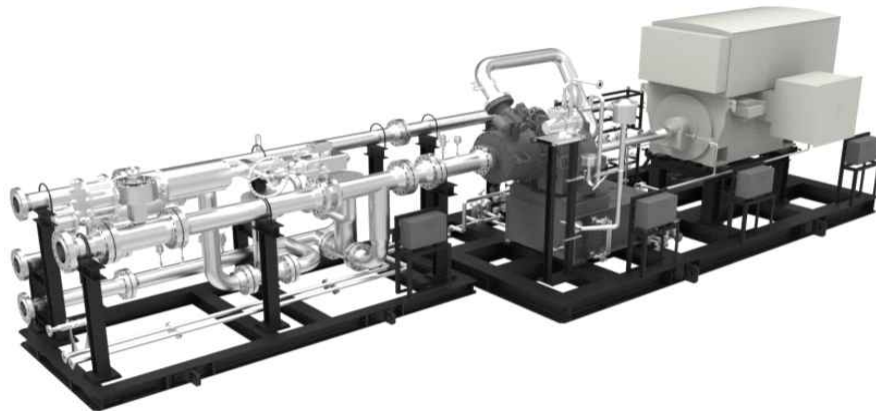
<효성이 2011년에 패이킹한 한국가스안전공사의 수소/CNG 충전시스템>

- 한국기계연구원은 2008년~2013년에 자기베어링을 적용한 터보냉매압축기를, 2015년~2019년에 자기베어링을 적용한 산업용 2단 압축기를 개발하여 실증에 성공함
- 삼성테크윈은 2010년~2015년에 수행한 “LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Comlander 개발” 과제를 통해 N2용 원심압축기와 익스팬더 개발
- 삼성테크윈은 2011년~2014년에 수행한 “LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발” 과제를 통해 증속기어 형태의 6단 원심압축기를 개발하여 실증에 성공함
- 한화파워시스템은 2011년~2020년에 수행한 “LNG-FPSO 공정 최적설계기술 개발” 과제를 통해 LNG-FPSO Topside에 사용하는 다단 원심압축기 실증에 성공함
- 한화파워시스템은 2020년~2022년에 수행중인 “LNG 운반선용 4단 LD 압축기 개발” 과제에서 LNG BOG 압축용 증속기어 형태의 4단 원심압축기를 개발하고 있음
- 현재까지 국내에서 개발된 프로세스용 원심압축기는 대부분 LNG 산업에 사용되는 것으로 integrally gear 형태의 다단 원심압축기 개발에 집중되었고 수소액화용 다단 원심압축기 개발은 수행된 적이 없음

○ 국내 터보압축기 시장을 주도하고 있는 업체로는 한화파워시스템, 현대 터보기계, 세아압축기가 있으며 각 회사의 주요 제품은 다음과 같음

○ 한화파워시스템 社

- 한화파워시스템은 한화그룹으로 인수되기전 삼성테크윈이었으며 초기 가스 터빈 개발을 통해 습득한 기술을 바탕으로 터보압축기를 개발, 제작 및 생산하고 있음
- 한화파워시스템은 공기압축기이외에도 LNG 선박용 LD 압축기와 BOG 압축기의 개발에 성공하였으며 다양한 가스압축기 개발을 위한 기술을 보유하고있음



<한화파워시스템사, Fuel gas compressor>

○ 현대중공업터보기계 社

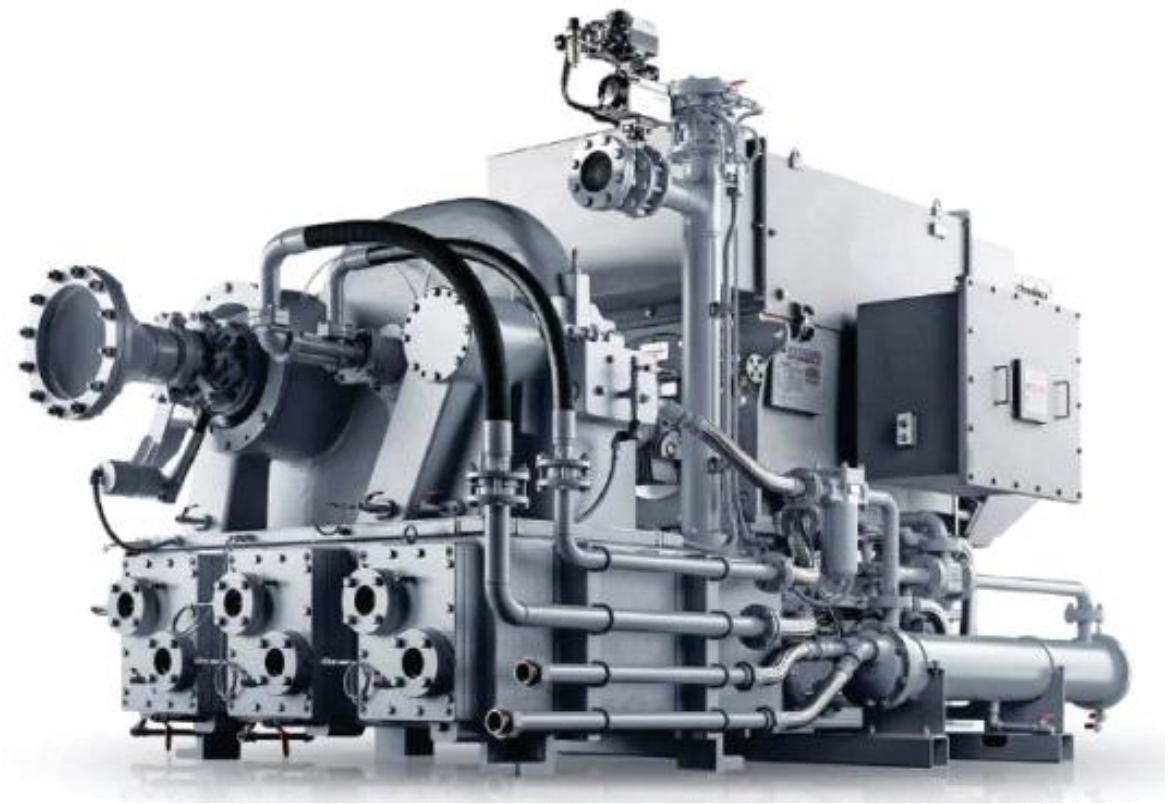
- 현대중공업터보기계는 공기압축기 개발하였으며 일본 MHI사와 기술제휴를 맺고 배럴타입 가스압축기를 제작하고 있으면 3번의 납품 실적을 가지고 있음



< 현대중공업터보기계 사의 barrel type 가스압축기 시험리그 >

○ 세아엔지니어링 社

- 세아엔지니어링은 공기압축기, N2용 압축기 및 연료가스압축기를 생산하고 있음



< 세아엔지니어링 사의 Integrally geared type 공기용 다단원심압축기 >

② 국내·외 정책 동향

□ 해외 정책 동향

- (유럽) 「유럽 에너지시스템 통합 및 수소 전략」 발표('20.7, 유럽집행위원회)하고 그린뉴딜 가속화 추진
 - 수소 친환경시스템 2050 로드맵 이행을 통한 재생수소 생산 1,000만톤 생산설비 구축
 - * 재생수소 수전해 생산 : 1단계('20~'24) 6GW(100만톤), 2단계('25~'30) 40GW(1,000만톤)
 - 액화수소 공급·활용 확대 법적체제 마련 및 수소 운송·충전소 확충을 위한 투자 제시
 - * '30년까지 수소 운송·공급·충전소 건설에 650억 유로(한화 89조5,134억5,000만원) 투자 예정
- (미국) 「수소기술 부흥을 위한 수소프로그램 계획」(Hydrogen Program Plan)을 발표('21. 1)를 통해 청정수소 에너지 기술의 실용화 추진
 - '50년 수소 수요량을 4,100만톤까지 확대하여 총 에너지의 14% 달성 비전 제시
 - * 수소모빌리티 다변화 및 가격경쟁력 확보(수소차 120만대, 물류차량 30만대, 충전소 1,000개소), 수소발전 Grid Parity 달성('30년)
 - 캘리포니아 중심으로 풍력발전 기반 그린수소 생산기술 개발 추진(Wind 2 H₂ 프로젝트)
- (일본) 해외 수소 공급체계 다변화, 모빌리티/발전 이용 확대
 - 재생에너지 활용한 이산화탄소 없는 수소 공급시스템 개발
 - * 수소차 80만대, 수소버스 1,200대, 충전소 900개소, 가정용 연료전지 530만대, 수소 발전 단가 17엔/kWh, 연료전지 발전 Grid Parity 실현('30년)
 - '30년까지 호주 브루나이에서 생산된 액화수소 수입망 구축 전략수립 추진
 - * 세계 최초 액화수소 운반선 수소프론티어를 제작 완료하여 진수('20.12)
- (호주) 풍부한 천연자원을 활용한 글로벌 수소 수출국 위치 선점
 - 그린수소 단가 저감, 에너지전환 관련 수소 기술 향상
 - * ① 아시아 시장 Top3 수소수출국, ② 수소안전 관련 Track Record 확보, ③ 경제성 확보 및 일자리 창출, ④ 국제적으로 인정받는 인증제도 확보
 - 그린수소의 수출을 위한 대용량 운송방안으로 액화수소 도입

□ 국내 정책 동향

- 세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약하기 위한 수소산업 전주기 (생산-저장·운송-활용) 발전 전략 및 목표 제시('19. 1. 수소경제활성화 로드맵)

- '19년 수소경제 준비기 → '22년 확산기 → '40년 선도국 도약

	2018년	2022년	2030년	2040년
수 소 차	900대	6.7만대	85만대	290만대
수 소 충 전 소	14기	310기	660기	1,200기
수 소 가 격	8,500원/kg	6,000원/kg	4,000원/kg	3,000원/kg
수 소 공 급	130톤/년	3만톤/년	37만톤/년	101만톤/년
연 료 전 지	307MW	1GW	3GW	8GW

- 수소생산기지 : 수소경제 본격화에 대비 25년까지 선제적 구축
 - * 중규모 : 권역별(호남·경남·중부·강원) 구축, 25년 수요의 15% 담당
 - ** 소규모 : 버스충전소와 연계·구축, 25년까지 총 40기를 구축
- 그린수소 생산 : 제주풍력 연계 3MW급, 새만금 태양광 연계 2MW급 등, 재생에너지와 연계한 그린수소 실증사업을 추진
- 액체수소 생산 플랜트 : 각 지자체는 25년까지 세계 최대규모의 수소액화 플랜트 건설을 추진 ('23년 울산(연 1.3만톤), 창원(연 1.7천톤) 등)
- 액체수소 충전소 : 각 지자체의 액체수소 생산 플랜트 건설계획 ('23년 울산(연 1.3만톤), 창원(연 1.7천톤) 등)에 의한 액체수소의 활용을 위하여 25년까지 액체수소충전소 40기 구축 추진 ('20. 7, 1차 수소경제위원회)
- 그린 수소경제 가속화를 통해 NET ZERO 달성 지원·추진
 - 「수소경제 이행 기본계획(수소경제로드맵 2.0)*」 수립('21.上)
 - * 재생e 전력 활용 수전해 기술개발 가속화, 연도별 그린수소 비중 제시 등
 - 수소발전 의무화제도 도입으로 발전분야 청정수소 활용 확대 추진
 - * HPS : 그린수소의 활용을 촉진하기 위한 수소발전의무화제도('20.10, 제2회 수소경제위)
 - 액화수소 플랜트 및 충전소 국산화 계획, 기체충전소와의 전략적 배치, 해외수소 수입(운반선, 인수기지)와 연계 방안 등
- '30년까지 자동차 온실가스 24% 감축「제 4차 친환경자동차 기본계획」
 - 전국 30분 이내 충전소 도달이 가능하도록 '25년까지 수소충전소 450기 구축
 - '25년까지 수소차 쏘 차종 상용화 확대 출시 및 액화수소 차량 개발·실증
 - * 10톤 트럭('21년), 광역버스('22년), 23톤 트럭('23년), 액화수소차량 개발('25년) 및 실증('26년)

3. 문제제기

□ 미시행시의 문제점

- (수소경제) 「수소경제 활성화 로드맵」에서 '30년 해외 수소 본격 도입 예정으로 대용량 수소 저장·운송 인프라의 단계적 구축 필요
 - 현재 대용량 대용량 수소 저장·운송 인프라 기술개발을 위하여 상용급 액체 수소 플랜트 핵심기술개발사업('19~'23) 추진 중. 공정기술 개발 및 pilot 급 (0.5 TPD) 수소액화 플랜트 실증을 목표로 한 사업으로 시장진출을 위해 대용량 수소액화 플랜트 (5 ton/day~) 실증 사업 필요
 - 상기 사업에서 핵심기자재의 국산화를 동시에 추진하고 있으나, 핵심기자재인 압축기의 국산화는 제외되어 있음
 - * 사업 시작 시점에서 기술개발 난이도를 고려하여 제외. 최근에 LNG 액화용 터보압축기의 개발 성공(LNG 플랜트 사업단)으로 수소액화용 터보압축기의 기술개발 성공 가능성 증대
- (시장진출) 해외 기술에 의한 대용량 수소액화 플랜트, 핵심기자재 기술 및 시장 종속
 - 최근, 국내 지자체는 정부의 수소경제 활성화 정책에 부응하기 위해 세계 최대 용량 (30 ton/day) 수준의 대용량 수소액화플랜트 건설계획을 발표
 - * 창원(두산중공업, Air Liquide 5 ton/day, 울산(효성, Linde, 30 ton/day), 평택(지역난방공사, Air Liquide or Air Products), 인천(SK, Plug Power, 90 ton/day)
 - 그러나, 핵심기술/제품은 모두 국외 기술을 도입할 예정으로 향후 기대 효과의 국내 환류 및 세계시장 진출을 위하여 기술 및 제품의 국산화 필요
 - * 압축기는 수소액화플랜트에서 약 10%의 가격 비중을 가진 핵심 설비
- (해외시장) 전 세계 수소액화플랜트 건설시장 규모는 2030년 기준 약 54조원 수준으로 예측, 압축기의 경우 가격비중 10%를 고려하면 약 5.4조원 규모
 - * “고효율 수소액화 플랜트 상용화 기술개발 기획” 최종보고서, 국토교통부 2018
 - 수소는 해외에서 수입해 오더라도 실증 경험을 통한 수소생산 플랜트의 해외 현지 수출 등 미래시장 개척 및 글로벌 시장 선도 필요
- (국내시장) 수소경제활성화로드맵의 수소차 수요량 (373,500톤) 기준, 2030년 국내 수소액화플랜트 건설시장 약 4.6 조원, 압축기의 경우 가격 비중 10%를 고려하면 약 4,600억원 규모
 - * US DOE 30 ton/day 용량 33기 건설비 : 35억\$ = 약 4.6 조원

II. 사업추진 당위성(Why)

1. 추진 필요성 및 경과

□ 필요성 및 요구배경

- (추진 필요성) 액체수소는 수소 대용량 저장·공급 방안의 핵심으로, 핵심 설비 등 조기 국산화 개발 및 실증 필요
 - (정책목표 달성) 수소경제 활성화 로드맵('19.1)*에 따른 액화 저장방식으로, 수소액화플랜트 핵심기술 국산화 추진 필요
 - * (~'30) 액화플랜트 및 액화탱크, 펌프, 밸브 등 국산화 기술 개발
 - (실증실적 확보) 수소사회 전환을 위해 정부 주도의 실용화 기술개발* 및 시장공급을 통해 상용화·사업화 기반을 마련할 수 있도록 역할** 수행 필요
 - * 천연가스 액화용 압축기 실증실적 확보('20.10.)에 따라 일부 기술연계 가능
 - ** 테스트베드 기반의 실증실적(Track-Record) 확보가 매우 중요
 - *** 부처간 역할분담(국토부, 액체수소분야) 및 조속한 시장선점을 위해 집중지원 필요

☞ 본격적인 수소경제 활성화('30년, 수소경제 선도기) 시점까지 정부투자 필요

- 고난이도 핵심기술의 해외의존 탈피, 국내·외 액체수소 시장형성 등 정부 차원 기반마련 후 민간에서의 활성화 주도역할 기대

- (요구배경) 수소경제 조기 구현을 위한 「수소경제 활성화 로드맵, '19.1」 이후 수소경제 기반 조성 및 안전관리를 위한 「수소경제법, '20.2」 제정

□ 추진경과

- (기획연구) 고효율 수소액화 플랜트 상용화 기술개발 기획 (국토교통진흥원, 주관기관: 한국기계연구원, 기간: 2016.09.~2018.12.)
 - 상용급 액체수소플랜트 핵심설비 개발 및 테스트베드 구축·운영 로드맵 수립
- (선행사업) 상용급액체수소플랜트 핵심기술개발 (국토교통진흥원, 주관기관: 한국기계연구원, 기간: 2019.04.~2023.12.)
 - * 수소액화 플랜트 공정기술 및 수소액화 핵심설비, 액체수소 저장탱크 기술의 국산화 개발을 통한 수소의 대용량 생산·저장·운송·활용 기반 마련

2. 시급성

□ 수소경제의 조기 구현

- 「수소 기술개발 로드맵」의 대용량 수소 저장, 운송 인프라 구축과 연계하여, 체계적인 R&D를 추진하여 수소경제의 조기 구현
 - '30년 대규모의 해외 수소 본격 도입 예정으로, 해외 수소생산 및 저장·운송 인프라의 단계적 구축 필요
 - 인프라 구축시의 핵심 기술 및 제품 국산화를 위하여 본 사업의 조기 착수가 반드시 필요
 - 개발중인 수소액화 실증플랜트와의 연계와 향후 액체수소 시장확보 등을 위해 시급히 액체수소 플랜트용 압축기 개발 필요
 - (현재 진행중인 0.5톤/일 수소액화플랜트 사업 추진 예정인 및 5톤/일 수소액화플랜트 국산화 개발 사업(범부처 로드맵)에의 압축기(원심형)의 적기 실증을 위해 본 사업(후속 연계형 R&D)의 '22년 착수가 반드시 필요
 - 현재 해외 선진사의 경우도 상용급(5톤/일)의 액체수소 플랜트용 원심형 압축기는 실증실적이 없으며, 조속한 기술개발을 통해 시장선점 가능성 제고필요
- ☞ (캥거루 전략) 아직 세계적으로 미상용화된 수소액화 원심형 압축기의 선제적 개발·실증으로 세계최고 수준의 기술 확보
- (성공가능성 제고) 일부 기 국산화된 요소기술을 연계·활용 추진
 - 대형 범부처 수소예타사업 내의 대용량 수소액화플랜트 구축과의 연계성을 고려하여, 핵심 기자재인 압축기의 '22년 비예타 신규사업을 추진
 - 압축기를 제외한 핵심 기자재의 경우 범부처 대용량 수소액화플랜트 구축을 위하여 연구 진행 중, 타 기자재와의 개발 일정, 대용량 수소액화 플랜트에서의 연계 실증을 위하여 '22년 추진 필요

▲ (0.5톤/일 수소액화플랜트) 0.5톤/일 국산화 액화공정 검증 및 5톤/일 액화 공정 패키지 설계확보가 핵심이며, 5톤/일 핵심설비(터보팽창기, 열교환기, 콜드박스, 밸브 및 저장탱크) 시제품 제작 (~'23년)

▲ (본 사업) 5톤/일 압축기 제작 및 성능평가 추진 (~'26년)

▲ (5톤/일 수소액화플랜트) 5톤/일 핵심설비(터보팽창기, 열교환기, 콜드박스, 밸브 및 저장탱크) 시제품 제작 및 실증플랜트 구축·운영 (~'28년)

< 압축기 성능검증을 위한 실증플랜트 연계방안 >

구분	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28
상용급 액체수소플랜트 핵심기술(0.5톤/일)개발	0.5톤/일 핵심설비* 설계·제작			0.5톤/일 플랜트 구축·운영		—				
상용급 액체수소 압축기 핵심기술 개발 및 실증	—			5톤/일 헬륨 원심형 압축기 설계·제작·성능평가·실증						
LNG냉열 활용 액체수소플랜트(5톤/일) 구축·운영	—					5톤/일 핵심설비* 설계·제작			5톤/일 플랜트 구축·운영	
비 고	국산화 핵심기술 확보					대형화 및 상용화				

* 터보팬창기, 열교환기, 콜드박스(이하 액화시스템 핵심설비), 밸브 및 저장탱크 등

3. 국고지원 타당성

- 핵심원천기술 개발을 위한 R&D 사업으로 각종 규제, 세제 및 제도개선 등 만의 재정투입 없는 방식으로는 목적을 달성할 수 없음.
- 장기적인 집중투자가 요구되는 수소경제 인프라 기술 개발 성격의 연구로서 민간의 단기투자자 선도적인 성과를 도출하기 어려운 분야
 - 본사업은 극저온(-253℃)의 액체수소를 생산하기 위한 핵심설비의 핵심 기술을 개발하는 사업으로, 기술적으로 국내 기술역량이 취약한 터보식 압축기 시스템 개발 사업으로 현재 국내 민간기업에는 독자 기술 역량이 부족함.
 - 또한, 아직까지 수소경제의 규모경제가 도달하지 아니한 상태로 민간 기업 독자적으로 투자하기에는 위험성이 상존
 - 현재 액체수소 생산 기술은 해외의 Linde 등에 의해 기술, 상용화 시장이 독점되고 상황으로 향후 수소경제 인프라의 국외 종속을 막기 위하여 우선적으로 핵심 원천기술을 국가 R&D 사업으로 도록 개발하고 이를 민간 기업에 기술을 이전하여 국내 업체의 경쟁력을 강화할 필요가 있음
 - 수소사회의 전환을 위한 시작 단계인 점을 감안하여 테스트베드 실증실적 확보 등 기업의 시장진출 위한 정부주도의 시장창출 등이 필요하며,

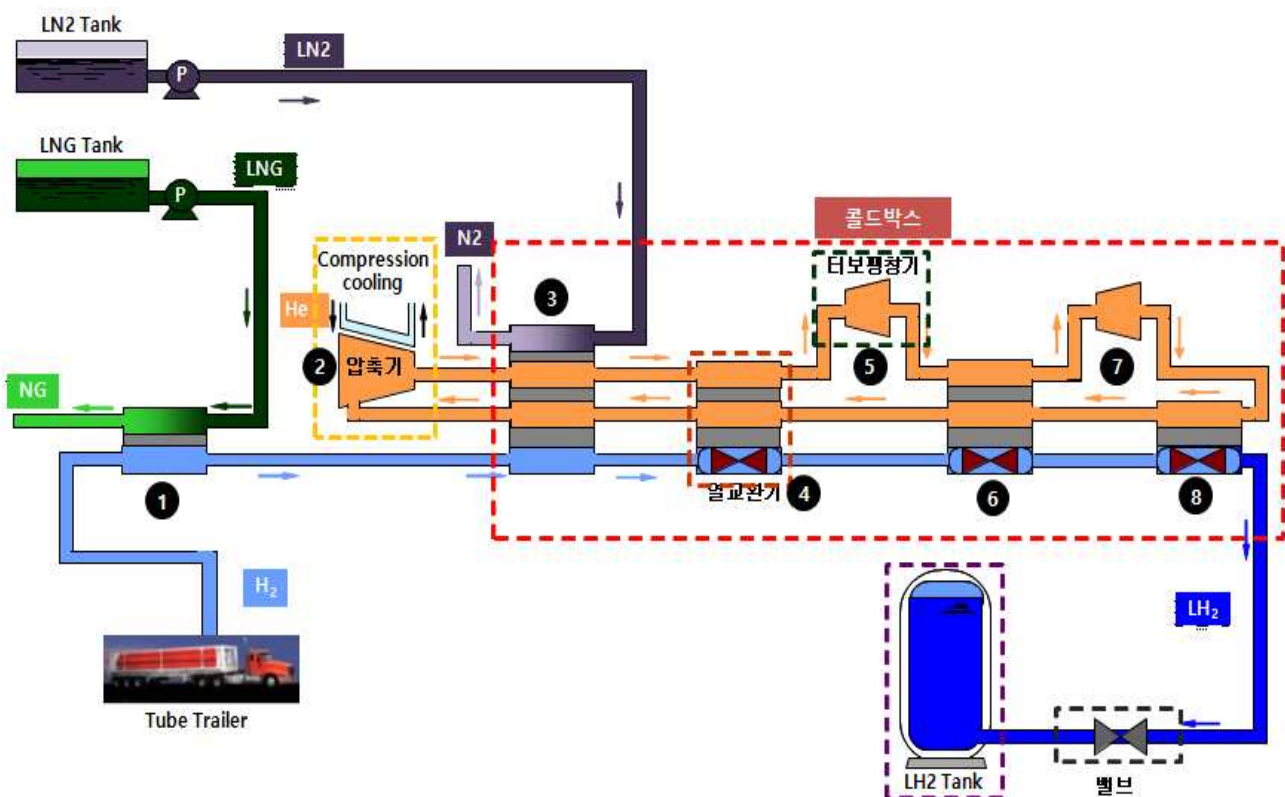
과학난제 극복, 미래 신시장 창출, 사회문제 해결 등 국가 전략분야를 중심으로 고위험-혁신형 연구개발 지원 강화 필요

- 기타 최근 이슈(일본 무역규제, 탄소중립, 코로나19 대응 등) 관련 의견
 - 본 연구를 통해 친환경 청정에너지인 액체수소의 생산효율을 최적화 가능하며, 그 외에도 그린뉴딜, 신유망 저탄소산업 등으로 연계하여 정부의 '2050 탄소중립' 정책 구현에 기여할 수 있음

3. 기술개발 내용(What)

1. 사업개요 및 범위

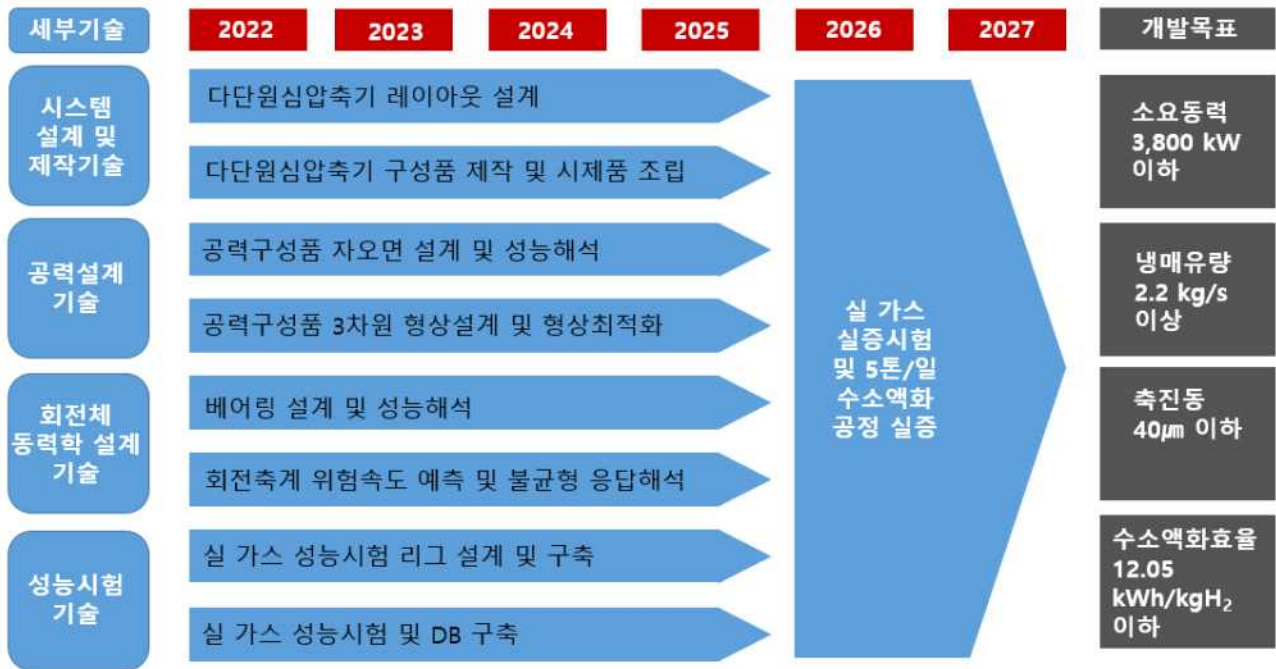
- (목적) 수소액화플랜트의 주요 핵심기술·기자재인 압축기(냉매용 등) 국산화 개발·실증기반 대용량 수소 저장·운송 기반 제고
- (목표) 수소액화용(-253℃) 원심형* 압축기 개발을 통해 기존 용적형** 압축기 대비 액화효율 8% 이상 향상
 - * 고순도의 액체수소 확보 및 낮은 온도에서도 효율적으로 작동 가능
 - ** 피스톤 방식으로 운할유 처리가 필요하며, 주요 작동 범위가 상온임
 - *** (해외사 A) 왕복동형 압축기 적용시 13.1kWh/kgH₂ 에너지소모 —(목표)
 - 국산화 원심형 압축기 적용시 12.05kWh/kgH₂ 에너지소모
- (연구내용) 대용량 액체수소 플랜트용 원심형 압축기* 설계·제작 등 핵심 기술 개발 및 실증플랜트와 연계한 성능평가·운영
 - * 기체의 수소를 액화하기 위해 필요한 주요 핵심설비 중 하나
- (연구기간 / 연구비) : '22.4~'27.12 / 29,000백만원
- (연구범위) 수소액화 공정 중 냉매용(헬륨) 원심 압축기의 핵심기술 개발



2. 핵심 개발내용

- (핵심기술 1) 수소액화용 다단원심압축기 시스템 설계 및 제작 기술
 - (정량목표) 정격 소요동력 3,800 kW 이하 (5 ton/day 수소액화시스템 기준)
 - 다단원심압축기 구동부 설계 및 해석
 - 다단원심압축기 레이아웃 설계
 - 단별 임펠러 상사 성능시험리그 구축 및 성능시험
 - 다단원심압축기 구성품 제작 및 시제품 조립
 - 시스템 구성품 구조건전성 해석
 - 다단원심압축기 회전안정성 시험
 - 실 가스 Test-bed 총괄 연계 운전
- (핵심기술 2) 수소액화용 다단원심압축기 공력설계기술
 - (정량목표) 정격 냉매유량 2.2 kg/s 이상
 - 단별 임펠러, 디퓨저 및 볼류트 자오면 설계 및 성능해석
 - 단별 임펠러, 디퓨저 및 볼류트 3차원 형상 설계 및 3차원 성능해석
 - 최적화 기법을 이용한 압축기 공력부품 형상 최적화
 - 단별 임펠러 구조해석
 - 단별 임펠러 성능시험 결과분석 및 설계보완
 - 베어링 설계를 위한 축추력 및 하중 계산
- (핵심기술 3) 수소액화용 다단원심압축기 회전체동역학 설계기술
 - (정량목표) 축진동 40 μm 이하, 누설량 60 g/s 이하
 - 저널 및 스러스트 베어링 설계 및 성능해석
 - 회전축계 위험속도 예측 및 불균형 응답 해석
 - 씰 설계 및 누설량 예측
- (핵심기술 4) 수소액화용 다단원심압축기 실 가스 성능시험기술
 - (정량목표) 수소액화 효율 12.05 kWh/kgH₂ 이하
 - 실 가스 성능시험 리그 설계 및 구축
 - 5 ton/day 수소액화 플랜트 연계 실가스 실증
 - 수소액화용 다단원심압축기 실 가스 성능시험 및 DB 확보

□ 실행로드맵



3. 연차별 연구개발 내용

☐ 연차별 연구내용

	수소액 화용 다단원심압축기 기술개발					
	연차별 추진계획					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
목표	수소액 화용 다단원심압축기 기본설계	수소액 화용 다단원심압축기 상세설계 및 제작도면 작성	단별 공력구성품 상사성능시험	실증설비 구축 및 압축기 시스템 회전안정성 시험	실증설비 구축 및 시운전	실증설비 연계 운전 및 실가스 성능시험
핵심 기술 1	수소액 화용 다단원심압축기 시스템 개념설계	- 수소액 화용 다단원심압축기 레이아웃 설계 및 구성품 제작도면 작성 - 단별 공력구성품 성능시험을 위한 상사성능 시험리그 구축	- 단별 공력구성품 제작 및 조립 - 단별 공력구성품 상사성능 시험 및 DB 구축	수소액 화용 다단원심압축기 제작 및 회전안정성 시험	실가스 test bed 연계 시운전	실가스 test bed 연계 실가스 성능시험
핵심 기술 2	단별 공력구성품 (임펠러, 디퓨저, 볼류트) 자오면 설계 및 성능해석	단별 공력구성품 3차원 형상설계 및 3차원 성능해석	단별 공력구성품 상사성능 시험 결과 분석 및 설계보완	최적화 기법을 이용한 공력구성품 3차원 형상 최적화	실가스 test bed의 시운전 시험 결과분석 및 설계보완	실가스 성능 시험 결과분석 및 설계보완
핵심 기술 3	베어링 및 회전축계개념설계	- 저널 및 스톱 베어링 설계 및 성능해석 - 회전축계 위험속도 예측 및 불균형 응답해석	상사시험리그에서의 축진동 측정 및 설계보완	다단원심압축기 회전안정성 시험에서 축진동 측정 및 설계보완	실가스 test bed의 시운전 시 축진동 측정 및 설계보완	실가스 test bed의 실증설비 연계 운전에서 축진동 측정 및 설계보완
핵심 기술 4	실가스 성능 시험리그 개념설계	실가스 성능 시험리그 상세설계	실가스 성능 시험리그 구축	실가스 성능 시험리그에 시제품 설치	전체 공정과 연계 운전 및 성능시험	전체 공정과 연계 운전 및 실가스 성능 시험

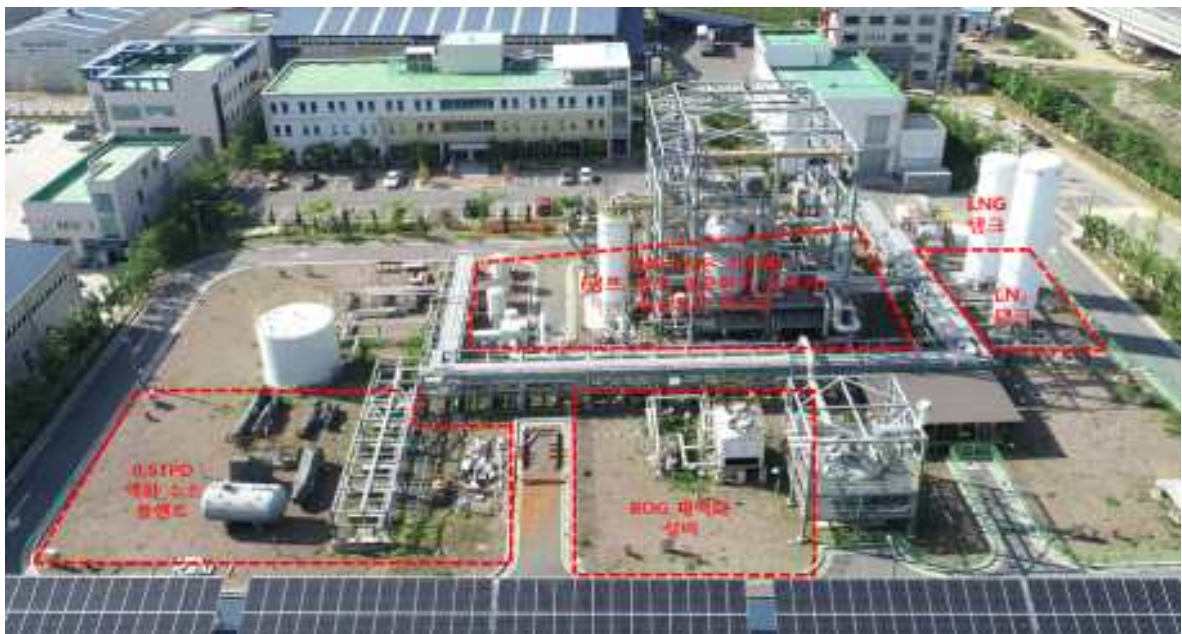
□ 실증추진 관련

- (성능평가) 개발된 압축기는 무부하 시험을 진행하며, 김해 LNG·극저온 기술기계시험센터의 LNG극저온 압축기 성능평가 시스템을 활용 가능

<LNG극저온 압축기 성능평가 시스템 현황>

시험범위			평가항목
유체	유량	온도	
LNG, LN ₂	6톤/h	-196℃	유량, 압축비, 효율, 진동, 신뢰성 등

<김해 LNG·극저온기계기술 시험인증센터>



- (실증) 추진예정인 유관사업의 실증 테스트베드와 연계하여 시운전·연속 운전 실시
 - (5톤/일) 향후 예타사업*으로 추진예정인 수소액화플랜트와 연계하여 실증 추진 (실증부지제공 등 관심지자체 : 경기 평택, 강원 삼척 등)
 - * 범부처 수소 R&D사업 내 주요과제로 추진예정(LNG냉열 활용 5톤/일급 수소액화 플랜트 구축 및 운영기술 개발, '24~'28)

4. 차별성 및 연계성

□ 선행연구 및 차별성

○ 선행연구

<기 존 과 제 분 석>

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발	한국기계연구원	2008. 12. ~ 2013. 09.	빙축열용 2단 터보냉매압축기 개발, 규모에서 차별성, 냉매 및 사양 차별
LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발	삼성테크윈	2010. 04. ~ 2015. 03.	N2용 원심압축기와 익스팬더를 개발, 규모에서 차별성, 냉매 및 사양 차별
LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발	삼성테크윈 한국기계연구원 화진기업 한국가스공사 등	2011. 06. ~ 2014. 05.	증속기어 형태의 6단 원심압축기 실증 개발, 규모에서 차별성, 냉매 및 사양 차별
LNG-FPSO 공정 최적설계기술 개발	한국가스공사 삼성테크윈	2011. 07. ~ 2016. 06.	LNG-FPSO Topside에 사용하는 다단 원심압축기 실증 개발, 규모에서 차별성, 냉매 및 사양 차별
LNG 운반선용 4단 LD 압축기 개발	한화파워시스템	2020. 07 ~ 2022. 12.	LNG BOG 압축용 증속기어 형태의 4단 원심압축기 개발, 규모에서 차별성, 냉매 및 사양 차별

○ 선행연구와의 차별성

- ‘냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발’ 과제와의 차별성

구분	냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발	수소액화용 다단원심압축기 개발	비고
부처	산업통상자원부	국토교통부	
총사업비	6,400 백만원	34,800백만원	민간매칭 25%시
사업기간	2008. 12. ~ 2013. 09.	2022.04.01 ~ 2027.12.31	
목표	냉동기용 터보냉매압축기 설계 원천기술 개발	5톤/일 수소액화용 다단 원심압축기 개발	-
목적	한미 FTA 대응 압축기 원천기술 개발	고효율 수소액화플랜트 구축을 위한 핵심기계 개발	-
적용분야	기계/조선/해양 분야	수소 플랜트 분야	-
연구수행 방식	국내 산학연 컨소시엄 구성을 통한 독자 개발	고효율 수소액화공정 요구조건을 충족하는 다단원심압축기 개발	
기술 성숙도	연구개발단계: 응용연구(파일럿) 기술성숙도(TRL): 4-5단계 * 극저온 시험절차 수립	연구개발단계: 개발연구(실증) 기술성숙도(TRL): 6-7단계 * 실제 환경에서의 시제품 데모	-
주요 연구내용	빙축열용 2단 터보냉매압축기 개발 및 자기베어링을 이용한 직결구동터보냉매압축기 개발	수소액화용 다단원심압축기 구성품 설계, 제작 및 성능시험 시제품 제작 및 상사시험 액화공정에 연계한 실 가스 성능시험 등	-
성과 활용	터보냉매압축기 원천기술 확보를 통한 터보냉동기 시스템 개발	트랙레코드(tract record) 확보로 해외 신시장 진출 수소액화플랜트와 연계	-

- 'LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발' 과제와의 차별성

구분	LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발	수소액화용 다단원심압축기 개발	비고
부처	산업통상자원부	국토교통부	
총사업비	1,800 백만원	34,800백만원	민간매칭 25%시
사업기간	2010. 04. ~ 2015. 03.	2022.04.01~2027.12.31	
목표	LNG운반선용 compander 개발	5톤/일 수소액화용 다단 원심압축기 개발	-
목적	LNG 운반선용 핵심기계 국산화 개발	고효율 수소액화플랜트 구축을 위한 핵심기계 개발	-
적용분야	기계/조선/해양 분야	수소 플랜트 분야	-
연구수행 방식	국내 산업체 독자개발	고효율 수소액화공정 요구조건을 충족하는 다단원심압축기 개발	
기술 성숙도	연구개발단계: 응용연구(파일럿) 기술성숙도(TRL): 4-5단계 * 극저온 시험절차 수립	연구개발단계: 개발연구(실증) 기술성숙도(TRL): 6-7단계 * 실제 환경에서의 시제품 데모	-
주요 연구내용	N2용 원심압축기와 익스팬더를 개발, 규모에서 차별성, 냉매 및 사양 차별	수소액화용 다단원심압축기 구성품 설계, 제작 및 성능시험 시제품 제작 및 상사시험 액화공정에 연계한 실 가스 성능시험 등	-
성과 활용	LNG액화플랜트용 터보냉매압축기의 기반기술로 활용	트랙레코드(tract record) 확보로 해외 신시장 진출 수소액화플랜트와 연계	-

- 'LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발' 과제와의 차별성

구분	LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발	수소액화용 다단원심압축기 개발	비고
부처	산업통상자원부	국토교통부	
총사업비	6,268 백만원	34,800백만원	민간매칭 25%시
사업기간	2011. 06. ~ 2014. 05.	2022.04.01~2027.12.31	
목표	육상용 터보형 고압가스압축기 개발	5톤/일 수소액화용 다단 원심압축기 개발	-
목적	기존 용적형 압축기를 대체하는 고효율 터보형 압축기 개발	고효율 수소액화플랜트 구축을 위한 핵심기계 개발	-
적용분야	기계/조선/해양 분야	수소 플랜트 분야	-
연구수행 방식	국내 산학연 컨소시엄 구성을 통한 독자적 개발	고효율 수소액화공정 요구조건을 충족하는 다단원심압축기 개발	
기술 성숙도	연구개발단계: 개발연구(실증) 기술성숙도(TRL): 6-7단계 * 실제 환경에서의 시제품 데모	연구개발단계: 개발연구(실증) 기술성숙도(TRL): 6-7단계 * 실제 환경에서의 시제품 데모	-
주요 연구내용	증속기어 형태의 6단 원심압축기 실증 개발, 규모에서 차별성, 냉매 및 사양 차별	수소액화용 다단원심압축기 구성품 설계, 제작 및 성능시험 시제품 제작 및 상사시험 액화공정에 연계한 실 가스 성능시험 등	-
성과 활용	초고압 압축기 국내기반 기술 확보를 통한 가스압축기 개발	트랙레코드(tract record) 확보로 해외 신시장 진출 수소액화플랜트와 연계	-

- 'LNG-FPSO 공정 최적설계기술 개발' 과제와의 차별성

구분	LNG-FPSO 공정 최적설계기술 개발	수소액화용 다단원심압축기 개발	비고
부처	산업통상자원부	국토교통부	
총사업비	13,476 백만원	34,800백만원	민간매칭 25%시
사업기간	2011. 07. ~ 2016. 06.	2022.04.01~2027.12.31	
목표	높은 신뢰성을 갖는 LNG_FPSO 플랜트 공정응용 기술 개발	5톤/일 수소액화용 다단 원심압축기 개발	-
목적	LNG_FPSO topside 플랜트 독자설계 능력확보	고효율 수소액화플랜트 구축을 위한 핵심기계 개발	-
적용분야	기계/조선/해양 분야	수소 플랜트 분야	-
연구수행 방식	국내 산학 컨소시엄 구성을 통한 독자적 개발	고효율 수소액화공정 요구조건을 충족하는 다단원심압축기 개발	
기술 성숙도	연구개발단계: 개발연구(실증) 기술성숙도(TRL): 6-7단계 * 실제 환경에서의 시제품 데모	연구개발단계: 개발연구(실증) 기술성숙도(TRL): 6-7단계 * 실제 환경에서의 시제품 데모	-
주요 연구내용	LNG-FPSO Topside에 사용하는 다단 원심압축기 도입 및 최적화	수소액화용 다단원심압축기 구성품 설계, 제작 및 성능시험 시제품 제작 및 상사시험 액화공정에 연계한 실 가스 성능시험 등	-
성과 활용	원격지 중소 가스전 개발	트랙레코드(tract record) 확보로 해외 신시장 진출 수소액화플랜트와 연계	-

- 'LNG 운반선용 4단 LD 압축기 개발' 과제와의 차별성

구분	LNG 운반선용 4단 LD 압축기 개발	수소액화용 다단원심압축기 개발	비고
부처	산업통상자원부	국토교통부	
총사업비	774백만원(20년 예산)	34,800백만원	민간매칭 25%시
사업기간	2020.07.01~2022.12.31	2022.04.01~2027.12.31	
목표	LNG 운반선용 4단 LD 압축기 패키지 개발	5톤/일 수소액화용 다단 원심압축기 개발	-
목적	LNG 운반선용 BOG 압축기의 국산화 개발	고효율 수소액화플랜트 구축을 위한 핵심기계 개발	-
적용분야	기계/조선/해양시스템 분야	수소 플랜트 분야	-
연구수행 방식	LNG 운반선에 설치가능하며 BOG의 가압조건을 만족하는 다단압축기 개발	고효율 수소액화공정 요구조건을 충족하는 다단원심압축기 개발	
기술 성숙도	연구개발단계: 응용연구(파일럿) 기술성숙도(TRL): 4-5단계 * 극저온 시험절차 수립	연구개발단계: 개발연구(실증) 기술성숙도(TRL): 6-7단계 * 실제 환경에서의 시제품 데모	-
주요 연구내용	LD 압축기 패키지 설계 및 해석 주요구성품 설계 및 성능해석 실 가스 시험계획 수립 등	수소액화용 다단원심압축기 구성품 설계, 제작 및 성능시험 시제품 제작 및 상사시험 액화공정에 연계한 실 가스 성능시험 등	-
성과 활용	LD 압축기를 활용한 시스템엔지니어링 기법 기반 제품 및 기술개발 활용	트랙레코드(tract record) 확보로 해외 신시장 진출 수소액화플랜트와 연계	-

- LNG용 압축기 기술을 그대로 수소액화에 사용이 불가하며, 특히 수소 액화용 헬륨 압축기의 경우 작동 유체인 헬륨의 밀도 낮아 단별 승압량이 작아 단수 증가 리키지에 취약함
 - 본 사업에서 개발하는 수소액화용 터보압축기는 Helium torbo Brayton cycle용 터보압축기이며, 작동 유체는 헬륨임
 - 작동 유체인 헬륨의 경우 LNG에 비해 밀도가 낮아 압축기 단별 승압비가 낮아 단수가 증가하고, 고압이며 점성이 낮아 작동 유체의 누설에 의한 효율 저하가 우려되며, 수소액화용 헬륨 터보압축기는 배럴타입 원심 압축기로 개발 필요
- 원심압축기 중에서도 배럴타입 다단 원심압축기로 제작이 필요하며, 현재 국내에서는 배럴타입 다단 원심압축기 개발 실적이 전무함
 - 배럴타입 다단 원심압축기는 하나의 축에 여러 개의 임펠러를 설치하여 회전시켜 고압의 공기를 생산하는 기계 기술로 배럴타입의 다단 원심압축기는 고압 공기의 생산과 이송에 유리함
 - 현재 배럴타입 원심압축기는 사용처에 관계없이 100% 수입에 의존하고 있음
- 연계방안

사전 확보기술		본 핵심 R&D 필요기술명	후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)	
선행 기술명	● 냉동기용 고효율 터보 냉매압축기 설계원천기술 ● 액화 및 재액화용 Compander 설계기술	수소액화용 다단원심압축기 시스템 설계 및 실증 기술	기술명	● 5톤/일 수소액화플랜트 구축 및 실증 기술
연계 대상물	● 공력구성품(임펠러, 디퓨저, 볼류터 및 리턴채널) ● 회전축계, 베어링 및 씸		대상 성과물	● 수소액화용 다단원심 압축기 시스템
활용 방안	● 압축기 주요구성품의 설계기술로 활용		활용 방안	● 대용량 수소액화플랜트 구축의 핵심기계로 활용
		↑		
에너지 기술개 발사업 및 민간 기술 연계	과제 개요	연계대상 성과물		중복성/연계성
	과제명: 냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발 기간: 2008. 12. ~ 2013. 09. 내용: 냉동기용 터보냉매압축기 설계 원천기술 개발 과제명: LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발 기간: 2010. 04. ~ 2015. 03. 내용: LNG운반선용 compander 개발	● 주요구성품 설계 DB		● (중복성) 실 가스용 다단원심압축기 개발 ● (연계성) NG용 압축기의 구성품 설계기술

사전 확보기술		본 핵심 R&D 필요기술명	후속/연계 활용기술 (본 사업 핵심/구성기술에서)
선행 기술명	•LNG 운반선용 4단 LD 압축기 기술 •LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20ton/hr급 터보형 고압가스압축기 실증 시험 기술	수소액화용 다단원심압축기 시스템 설계 및 실증 기술 ⇨	기술명 •5톤/일 수소액화플랜트 구축 및 실증 기술
연계 대상물	•압축기 주요구성품(임펠러, 디퓨저, 볼류트, 축계, 베어링, 씰 등) 설계 및 성능해석 기술 •압축기 주요구성품(임펠러, 디퓨저, 볼류트, 축계, 베어링, 씰 등) 설계 및 성능해석 기술		대상 성과물 •수소액화용 다단원심 압축기 시스템
활용 방안	•압축기 주요구성품의 설계기술로 활용 •압축기 시제품 실증시험기술 활용		활용 방안 •대용량 수소액화플랜트 구축의 핵심기계로 활용
		↑	
에너지 기술개 발사업 및 민간 기술 연계	과제 개요	연계대상 성과물	중복성/연계성
	과제명: LNG 운반선용 4단 LD 압축기 개발 기간: 2020. 07.~2022. 12. 내용: LNG 운반선용 4단 LD 압축기 패키지 개발 과제명: LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발 기간: 2011. 06. ~ 2014. 05 내용: 육상용 고압가스압축기 개발	•주요구성품 설계 DB 및 실증 시험 절차서	•(중복성) 실 가스용 다단원심압축기 개발 •(연계성) NG용 압축기의 구성품 설계기술과 실증시험 절차서를 활용

- (리스크 저감) 기존 연계 사업 등으로부터 사전 확보기술을 활용하고 실증 사업으로부터 운전 기술 등을 활용하여 사업 리스크를 저감함
- 압축기 주요구성품(임펠러, 디퓨저, 볼류트, 축계, 베어링, 씰 등) 설계 및 성능해석 기술 등을 압축기 주요구성품의 설계기술로 활용
- 0.5ton/day 수소액화 플랜트 실증 과제로부터 수소액화공정 실증시험 절차서, 측정 데이터 및 운전 기술을 압축기 실가스 성능시험용 리그 설계/구축 및 성능시험에 활용

○ 세부기술별 차별성과 연계방안

본 사업 제안기술		NTIS 검색기술					검토 결과
중점기술	세부기술	부처명	과제명	과제 수행 기관	목 표	내 용	유사·중복성 및 연계활용방안
1. 수소액화용 다단원심압축기 시스템 설계 및 제작기술	구동부 설계 및 해석	지경부	냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발	한국기계 연구원	구동용 직결구동 고속모터 개발	고속모터 개발 및 성능시험	유사중복성 : 유사성 없음 차별성 : 구동부 연결방식 연계활용방안 : 관련없음
		지경부	LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발	삼성테크 원(주)	기어박스를 이용한 구동시스템 개발	모터와 기어박스를 포함한 구동시스템 개발	유사중복성 : 모터와 기어박스 시스템 구조 차별성 : Bull-pinion 기어 연결방식이 아닌 1 축으로의 연결 방식 연계활용방안 : 모터와 기어박스 기술활용
		지경부	LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20 ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발	삼성테크 원(주)	기어박스를 이용한 구동시스템 개발	모터와 기어박스를 포함한 구동시스템 개발	유사중복성 : 모터와 기어박스 시스템 구조 차별성 : Bull-pinion 기어 연결방식이 아닌 1 축으로의 연결 방식 연계활용방안 : 모터와 기어박스 기술활용
		국토교통부	LNG-FPSO 공정 최적 설계기술 개발	한국가스 공사	기어박스를 이용한 구동시스템 개발	모터와 기어박스를 포함한 구동시스템 개발	유사중복성 : 모터와 기어박스 시스템 구조 차별성 : Bull-pinion 기어 연결방식이 아닌 1 축으로의 연결 방식 연계활용방안 : 모터와 기어박스 기술활용
		산업부	LNG운반선용 4단 LD압축기 개발	한화파워 시스템(주)	기어박스를 이용한 구동시스템 개발	모터와 기어박스를 포함한 구동시스템 개발	유사중복성 : 모터와 기어박스 시스템 구조 차별성 : Bull-pinion 기어 연결방식이 아닌 1 축으로의 연결 방식 연계활용방안 : 모터와 기어박스 기술활용
	시스템 구조건전성 해석 회전안정성 시험 등 성능 평가	지경부	냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발	한국기계 연구원	자기베어링적용 회전체 설계 및 시험	자기베어링 적용 고속 축계 개발	유사중복성 : 유사성 없음 차별성 : 적용 베어링 종류 및 축계 구조 연계활용방안 : 구조해석 기술
		지경부	LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발	삼성테크 원(주)	구조해석을 통한 시스템 구조건전성 검토 및 회전안정성 시험	구성품 구조해석을 통한 안전마진 확보 및 시제품 회전안정성 시험 수행	유사중복성 : 구조해석 기술 차별성 : 시스템 구조(Integrally gear type->barrel type)변화에 따른 설계 기술 연계활용방안 : 구조해석 기술 및 회전안정성 시험 절차서 활용
		지경부	LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20 ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발	삼성테크 원(주)	구조해석을 통한 시스템 구조건전성 검토 및 회전안정성 시험	구성품 구조해석을 통한 안전마진 확보 및 시제품 회전안정성 시험 수행	유사중복성 : 구조해석 기술 차별성 : 시스템 구조(Integrally gear type->barrel type)변화에 따른 설계 기술 연계활용방안 : 구조해석 기술 및 회전안정성 시험 절차서 활용
		국토교통부	LNG-FPSO 공정 최적 설계기술 개발	한국가스 공사	구조해석을 통한 시스템 구조건전성 검토 및 회전안정성 시험	구성품 구조해석을 통한 안전마진 확보 및 시제품 회전안정성 시험 수행	유사중복성 : 구조해석 기술 차별성 : 시스템 구조(Integrally gear type->barrel type)변화에 따른 설계 기술 연계활용방안 : 구조해석 기술 및 회전안정성 시험 절차서 활용
		산업부	LNG운반선용 4단 LD압축기 개발	한화파워 시스템(주)	구조해석을 통한 시스템 구조건전성 검토 및 회전안정성 시험	구성품 구조해석을 통한 안전마진 확보 및 시제품 회전안정성 시험 수행	유사중복성 : 구조해석 기술 차별성 : 시스템 구조(Integrally gear type->barrel type)변화에 따른 설계 기술 연계활용방안 : 구조해석 기술 및 회전안정성 시험 절차서 활용
2. 수소액화용 압축기 시스템 고효율 공력설계 기술개발	공력부품 설계 및 형상최적화	지경부	냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발	한국기계 연구원	압축기(임펠러, 디퓨저, 볼류트, 리턴채널) 공력설계 기술 개발	고효율 공력구성품 개발을 위한 기본설계, 상세설계 최적설계 및 성능해석 기술 개발	유사중복성 : 설계대상 공력구성품 종류 및 형태 차별성 : 상이한 작동유체(냉매->헬륨) 및 운전조건 연계활용방안 : 작동유체의 특성을 고려한 공력설계 원천기술, 최적화 기술 활용
		지경부	LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발	삼성테크 원(주)	압축기(임펠러, 디퓨저, 볼류트) 및 터빈(볼류트, 노즐, 로터) 공력설계 기술 개발	고효율 공력구성품 개발을 위한 기본설계, 상세설계 최적설계 및 성능해석 기술 개발	유사중복성 : 설계대상 공력구성품 종류 및 형태 차별성 : 상이한 작동유체(질소->헬륨) 및 운전조건 연계활용방안 : 작동유체의 특성을 고려한 공력설계 원천기술, 최적화 기술 활용
		지경부	LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20 ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발	삼성테크 원(주)	압축기(임펠러, 디퓨저, 볼류트) 공력설계 기술 개발	고효율 공력구성품 개발을 위한 기본설계, 상세설계 최적설계 및 성능해석 기술	유사중복성 : 설계대상 공력구성품 종류 및 형태 차별성 : 상이한

본 사업 제안기술		NTIS 검색기술					검토 결과
중점기술	세부기술	부처명	과제명	과제 수행 기관	목 표	내 용	유사-중복성 및 연계활용방안
3. 수소액화용 압축기 회전체 동역학 설계기술 개발						개발	작동유체(NG->헬륨) 및 운전조건 연계활용방안 : 작동유체의 특성을 고려한 공력설계 원천기술, 최적화 기술 활용 :
		국토교통부	LNG-FPSO 공정 최적 설계기술 개발	한국가스공사	압축기(임펠러, 디퓨저, 볼류트) 공력설계 기술 개발	고효율 공력구성품 개발을 위한 기본설계, 상세설계 최적설계 및 성능해석 기술 개발	유사중복성 : 설계대상 공력구성품 종류 및 형태 차별성 : 상이한 작동유체(NG->헬륨) 및 운전조건 연계활용방안 : 작동유체의 특성을 고려한 공력설계 원천기술, 최적화 기술 활용
		산업부	LNG운반선용 4단 LD압축기 개발	한화파워시스템(주)	압축기(임펠러, 디퓨저, 볼류트) 공력설계 기술 개발	고효율 공력구성품 개발을 위한 기본설계, 상세설계 최적설계 및 성능해석 기술 개발	유사중복성 : 설계대상 공력구성품 종류 및 형태 차별성 : 상이한 작동유체(NG->헬륨) 및 운전조건 연계활용방안 : 작동유체의 특성을 고려한 공력설계 원천기술, 최적화 기술 활용
	공력부품 성능시험	지경부	냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발	한국기계연구원	해당없음	해당없음	유사중복성 : 유사성 없음 차별성 : 해당없음 연계활용방안 : 해당없음
		지경부	LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발	삼성테크원(주)	-	-	유사중복성 : 차별성 : 연계활용방안 :
		지경부	LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20 ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발	삼성테크원(주)	단별 공력부품 성능시험	ASME PTC 10에 따른 축 및 단별 공력부품 성능시험 수행 공기시험을 통해 무차원설계변수 검증	유사중복성 : 단별 공력성능시험기술 차별성 : 임펠러 사양 및 운전조건 연계활용방안 : 단별공력성능시험리그 보안을 통한 활용, 단별 성능시험 절차서
		국토교통부	LNG-FPSO 공정 최적 설계기술 개발	한국가스공사	-	-	유사중복성 : 차별성 : 연계활용방안 :
		산업부	LNG운반선용 4단 LD압축기 개발	한화파워시스템(주)	-	-	유사중복성 : 차별성 : 연계활용방안
	베어링/축계 설계 및 위험속도 예측	지경부	냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발	한국기계연구원	자기베어링적용 회전체 설계 및 시험	자기베어링 적용 고속 축계 개발	유사중복성 : 유사성 없음 차별성 : 적용 베어링 종류 및 축계 구조 연계활용방안 : 회전체 동역학 설계 및 해석 기술
		지경부	LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발	삼성테크원(주)	오일윤활베어링 적용한 축계 개발 및 위험속도예측	오일윤활베어링 설계 및 제작 Bull-pinion 구조의 회전체 동역학 해석	유사중복성 : 오일윤활베어링 기술 차별성 : Bull-pinion 기어 연결방식이 아닌 1 축으로의 연결 방식으로의 변화에 따른 설계 기술 연계활용방안 : 회전체 동역학 해석 기술 및 오일윤활베어링 설계 및 제작 기술 활용
		지경부	LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20 ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발	삼성테크원(주)	오일윤활베어링 적용한 축계 개발 및 위험속도예측	오일윤활베어링 설계 및 제작 Bull-pinion 구조의 6단 회전체 동역학 해석	유사중복성 : 오일윤활베어링 기술 차별성 : Bull-pinion 기어 연결방식이 아닌 1 축으로의 연결 방식으로의 변화에 따른 설계 기술 연계활용방안 : 회전체 동역학 해석 기술 및 오일윤활베어링 설계 및 제작 기술 활용
		국토교통부	LNG-FPSO 공정 최적 설계기술 개발	한국가스공사	오일윤활베어링 적용한 축계 개발 및 위험속도예측	오일윤활베어링 설계 및 제작 Bull-pinion 구조의 회전체 동역학 해석	유사중복성 : 오일윤활베어링 기술 차별성 : Bull-pinion 기어 연결방식이 아닌 1 축으로의 연결 방식으로의 변화에 따른 설계 기술 연계활용방안 : 회전체 동역학 해석 기술 및 오일윤활베어링 설계 및 제작 기술 활용
		산업부	LNG운반선용 4단 LD압축기 개발	한화파워시스템(주)	오일윤활베어링 적용한 축계 개발 및 위험속도예측	오일윤활베어링 설계 및 제작 Bull-pinion 구조의 4단 회전체 동역학 해석	유사중복성 : 오일윤활베어링 기술 차별성 : Bull-pinion 기어 연결방식이 아닌 1 축으로의 연결 방식으로의 변화에 따른 설계 기술 연계활용방안 : 회전체 동역학 해석 기술 및 오일윤활베어링 설계 및 제작 기술 활용
	누설방지를 위한 셀 설계 및 누설량 예측	지경부	냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발	한국기계연구원	누설방지를 위한 hermetic type 구조 설계	자기베어링 적용한 hermetic type 압축기 구조 설계	유사중복성 : 중복성 없음 차별성 : DGS를 적용한 누설방지 기술 연계활용방안 : 활용계획 없음
		지경부	LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발	삼성테크원(주)	DGS를 적용한 누설방지	DGS 설계, 제작 및 제어 기술 개발	유사중복성 : DGS 적용기술 차별성 : 상이한 작동유체(질소->헬륨) 및 운전조건 연계활용방안 : DGS적용 기술 및 제어기술
		지경부	LNG 인수기지용 7.4MPaG,	삼성테크	DGS를 적용한	DGS 설계, 제작 및 제어 기술	유사중복성 : DGS 적용기술

본 사업 제안기술		NTIS 검색기술					검토 결과
중점기술	세부기술	부처명	과제명	과제 수행 기관	목 표	내 용	유사·중복성 및 연계활용방안
			20 ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발	원(주)	누설방지	개발	차별성 : 상이한 작동유체(NG->He) 및 운전조건 연계활용방안 : DGS적용 기술 및 제어기술
		국토교통부	LNG-FPSO 공정 최적 설계기술 개발	한국가스공사	DGS를 적용한 누설방지	DGS 설계, 제작 및 제어 기술 개발	유사중복성 : DGS 적용기술 차별성 : 상이한 작동유체(He) 및 운전조건 연계활용방안 : DGS적용 기술 및 제어기술
		산업부	LNG운반선용 4단 LD압축기 개발	한화파워시스템(주)	DGS를 적용한 누설방지	DGS 설계, 제작 및 제어 기술 개발	유사중복성 : DGS 적용기술 차별성 : 상이한 작동유체(NG->He) 및 운전조건 연계활용방안 : DGS적용 기술 및 제어기술
4. 수소액화용 압축기 실 가스 성능시험기술 개발	압축기 성능시험 시스템 구축 및 성능평가	지경부	냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발	한국기계연구원	냉동시스템을 이용한 압축기 성능시험	KS 및 ARI 냉동기 시험규격에 따른 압축기 성능시험기술 개발	유사중복성 : 국제규격에 따른 성능시험 차별성 : 상이한 작동유체(냉매->비활성기체) 및 시험조건 연계활용방안 : 실 가스를 이용한 시험절차 :
		지경부	LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발	삼성테크원(주)	-	-	유사중복성 : 차별성 : 연계활용방안 :
		지경부	LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20 ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발	삼성테크원(주)	유사가스 시험리그 구축	ASME PTC 10 규격에 따른 통합성능시험리그 구축 유사가스를 활용한 압축기 성능시험 수행	유사중복성 : 국제규격에 따른 성능시험 차별성 : 상이한 작동유체(질소->헬륨) 및 시험조건 연계활용방안 : 실 가스를 이용한 시험절차
		국토교통부	LNG-FPSO 공정 최적 설계기술 개발	한국가스공사	-	-	유사중복성 : 차별성 : 연계활용방안 :
		산업부	LNG운반선용 4단 LD압축기 개발	한화파워시스템(주)	-	-	유사중복성 : 차별성 : 연계활용방안 :
		지경부	냉동기용 고효율 터보 냉매압축기의 개발	한국기계연구원	해당없음	해당없음	유사중복성 : 차별성 : 연계활용방안 :
	5톤/일 수소액화 플랜트 연계 실증	지경부	LNG-FPSO 액화 및 LNG 운반선 재액화용 Compander 개발	삼성테크원(주)	-	-	유사중복성 : 차별성 : 연계활용방안 :
		지경부	LNG 인수기지용 7.4MPaG, 20 ton/hr급 터보형 고압가스압축기 개발	삼성테크원(주)	인수기지에서의 실증 시험	삼척인수기지에서의 압축기 실증성능시험	유사중복성 : 중복성 없음 차별성 : 작동유체 및 시험조건 연계활용방안 : 국제 규격에 따른 실증시험 절차서
		국토교통부	LNG-FPSO 공정 최적 설계기술 개발	한국가스공사	테스트베드를 활용한 압축기 성능시험	테스트베드에서의 압축기 성능시험	유사중복성 : 중복성 없음 차별성 : 작동유체 및 시험조건 연계활용방안 : 국제 규격에 따른 실증시험 절차서
		산업부	LNG운반선용 4단 LD압축기 개발	한화파워시스템(주)	-	-	유사중복성 : 차별성 : 연계활용방안 :

참고: LNG플랜트사업단 개요

□ 연구 개요

- 연구기간 : '08.06.18~'20.12.17 (12년 6개월)
- 연구비 : 총 172,610백만원 (정출금 112,527백만원, 민간 60,083백만원)
- 주관기관 : 한국가스공사

□ 연구 목표

- 해외 LNG플랜트 시장에 진입할 수 있는 EPC(설계·조달·시공) 핵심기술 확보
 - 천연가스 액화공정*, 상용 액화플랜트 설계·시공·운영 독자기술 개발
 - * 기체 천연가스를 -162°C 초저온 상태에서 부피를 1/600로 줄여, 수송과 저장이 용이한 액체 천연가스(LNG)화 하는 공정
 - * (LNG 생산 목표량) 100톤/일, 72시간 연속생산
- 부유식 해양 LNG플랜트 설계기술 확보를 통한 LNG-FPSO 엔지니어링 자립

비전

LNG 플랜트 글로벌 TOP 5 경쟁력 확보

사업목표

- 해외 LNG플랜트 시장에 진입할 수 있는 LNG 액화공정 및 상용 액화플랜트 설계 독자기술 개발
- 부유식 해양 LNG플랜트 설계기술 확보를 통한 LNG-FPSO 엔지니어링 자립

연구목표

- 천연가스 액화 신공정 개발 및 라이선스 구축
- 상용 액화플랜트 설계기술 확보
- LNG-FPSO 플랜트 Topside 설계기술 개발
- 테스트베드를 통한 공정기술 실증

핵심 성과물

LNG 액화공정 라이선스 획득	상용 액화플랜트 기본설계 패키지 (연산 500만톤급)	테스트베드 (액화능력 100톤/일 Pilot 액화플랜트)	LNG-FPSO 플랜트 Topside 공정기술	LNG-FPSO 플랜트 Topside 기본설계 패키지 (연산 200만톤급)
---------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	--

□ 연구 내용

육상 천연가스 액화플랜트 (LNG Plant)

핵심 1 [한국건설기술연구원] LNG 플랜트 핵심 기반기술 개발
1-1 RAM 기반 LNG 플랜트 모듈화 기술 개발
1-4 LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발

핵심 2 [한국가스공사] 고효율 LNG 플랜트 공정기술 개발
2-1 고효율 천연가스 액화공정기술 개발
2-2 천연가스 전처리기술 개발
2-3 LNG 플랜트 열교환기 개발
2-4 LNG 플랜트 압축기 개발

핵심 3 [GS건설] 대용량 LNG 플랜트 설계 및 건설기술 개발
3-1 LNG 플랜트 설계기술 개발
3-2 LNG플랜트 건설 및 운영유지관리 기술 개발
3-4 초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발

핵심 4 [한국가스공사] LNG-FPSO 공정 응용기술 개발
4-1 LNG-FPSO 공정 최적 설계기술 개발
4-2 천연가스 해상 전처리기술 개발
4-3 LNG-FPSO 안전설계 및 신뢰성 공학기술 개발

핵심 5 [현대중공업] LNG-FPSO 플랜트 설계 및 건설기술 개발
5-1 LNG-FPSO 플랜트 Topside 설계기술 개발
5-3 LNG-FPSO Plant-CCS 연계기술 개발

해상 부유식 천연가스 액화플랜트 (LNG-FPSO)

- * RAM : Reliability(신뢰도), Availability(가용도), Maintainability(정비도)로 기본수행능력 및 성능을 나타내는 기준이 됨
- * CCS : Cargo Containment System, 화물격납장치

□ 연구 실적

- 국내 최초 고효율 천연가스 신액화공정(KSMR) 개발('11.5)
- 초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발 및 현장적용('12.7, 삼척)
- 국내 최초 상용급(육상용, 연산 500만 m3급) LNG 플랜트 기본설계 완료('14.12)
- LNG-FPSO 플랜트 Topside 설계·건조기술 확보('15.12)
- 천연가스 액화플랜트 핵심설비(LNG 액화용 터보압축기 및 열교환기 등) 제작 및 테스트베드 운영 등 국산화 기술 확보
- * 국산화 액화공정 테스트베드 시운전(2회)·연속운전 완료 및 LNG생산 확인 ('20.10)



냉매용 압축기



열교환기 및 Coldbox



삼척기지 저장탱크



테스트베드 구축

5. 실행전략 및 중장기 연계 로드맵 추가

구분	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

핵심설비 개발

냉매 압축기	5TPD				기본 설계	상세 설계	부분품 제작	시제품 제작	성능 평가	플랜트 연계실증	
터보 팽창기	0.5TPD	기본 설계	상세 설계	시제품 제작	성능 평가	플랜트 연계실증					
	5TPD				스케일업 설계	시작품 제작	기본 및 상세설계	시제품 제작	성능평가 인증	플랜트 연계실증	
열 교환기	0.5TPD	기본 설계	상세 설계	시제품 제작	성능 평가	플랜트 연계실증					
	5TPD				스케일업 설계	시작품 제작	기본 및 상세설계	시제품 제작	성능평가 인증	플랜트 연계실증	
콜드 박스	0.5TPD	기본 설계	상세 설계	시제품 제작	성능 평가	플랜트 연계실증					
	5TPD				스케일업 설계	시작품 제작	기본 및 상세설계	시제품 제작	성능평가 인증	플랜트 연계실증	
극저온 밸브	0.5TPD	기본 설계	상세 설계	시제품 제작	성능 평가	플랜트 연계실증					
	5TPD				스케일업 설계	시작품 제작	기본 및 상세설계	시제품 제작	성능평가 인증	플랜트 연계실증	
액체수소 저장탱크	35m³	기본 설계	기본 설계	시제품 제작	성능 평가	플랜트 연계실증					
	350m³				스케일업 설계	시작품 제작	기본 및 상세설계	시제품 제작	성능평가 인증	플랜트 연계실증	

테스트베드 구축·운영

0.5 TPD	기본 설계	상세설계 구매조달	플랜트 구축	시운전 (공정검증)	연속 운전					
5 TPD					개념 설계	기본 설계	상세 설계	구매조달 · 플랜트 구축	시운전	연속 운전
비 고	국산화 핵심기술 확보					대형화·효율화				

※ : 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발('19~'23, 추진중 사업)

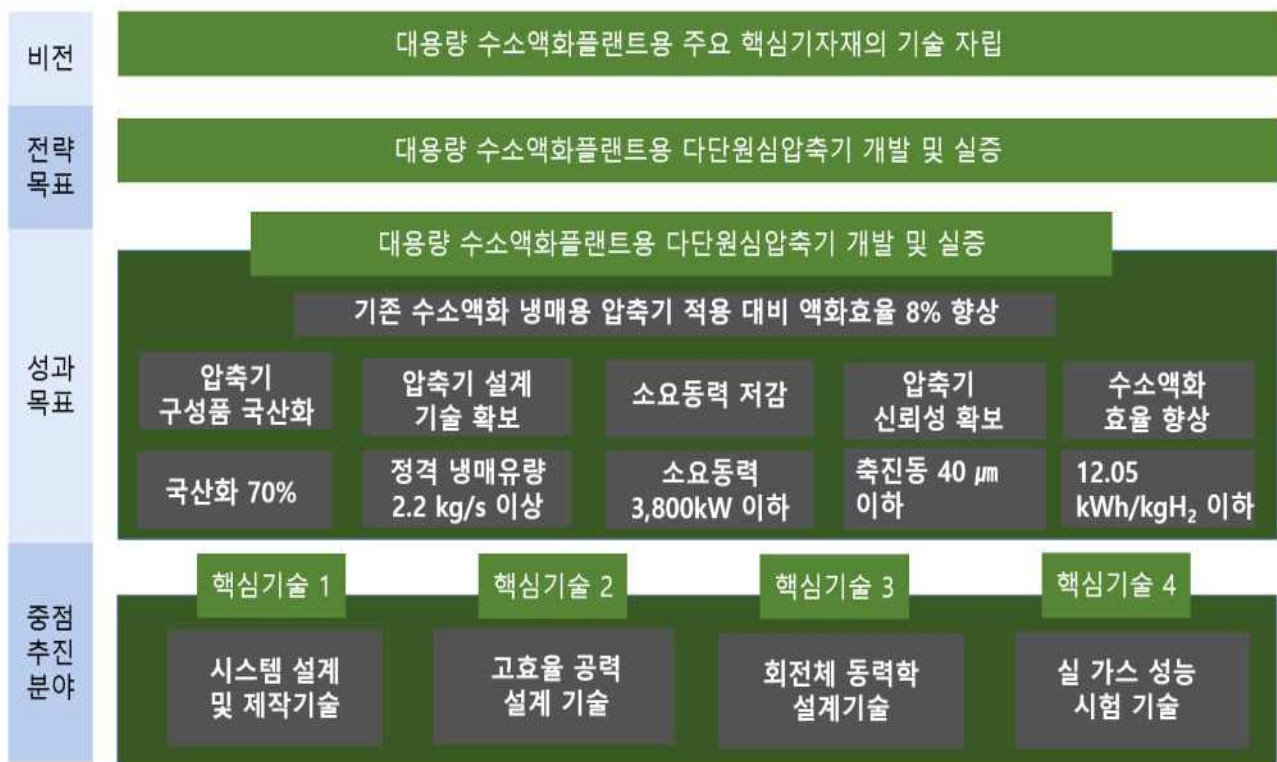
: 상용급 액체수소 플랜트용 압축기 핵심기술 개발 및 실증('22~'27, 예산요구 사업)

: 상용급 액체수소 플랜트 구축·운영('24~'28, 예타 추진예정 사업)

4. 기술개발 목표(What)

1. 사업 목표

- 비전: 대용량 수소액화플랜트용 주요 핵심기자재의 기술 자립
- 사업목표: 5톤/일 수소액화플랜트용 다단원심압축기 개발 및 실증
 - 수소액화용 다단원심압축기 고효율 공력설계기술 개발
 - 수소액화용 다단원심압축기 회전체동역학 설계기술 개발
 - 수소액화용 다단원심압축기 실 가스 성능시험기술개발
 - 수소액화용 다단원심압축기 시스템 설계 및 제작기술 개발



2. 성과(기술적) 목표

☐ 공통지표

○ 액화수소량: 5 TPD

- 측정산식: 수소냉각사이클이 정격 조건(온도, 압력, 유량 등) 도달 후 1주기 동안 생산된 평균 액화수소량
- 측정방법: 실증설비 실험결과

☐ 핵심성과지표

○ 총괄목표: 기존 수소액화 냉매용 압축기 적용 대비 액화효율 8% 향상

- 측정산식: 측정치
- 측정방법: 실증설비 실험결과

○ 핵심기술별 목표

- 핵심기술1: 정격 소요동력 3,800 kW 이하
 - 측정산식: 압축기 구동부 인가전력 측정
 - 측정방법: 실증설비 실험결과 (전력 측정)
- 핵심기술2: 정격 냉매유량 2.2 kg/s 이상
 - 측정산식: 측정치, PTC 10 또는 API 617 규격
 - 측정방법: 실증설비 실험결과
- 핵심기술3: 축진동 40 μ m(rms) 이하, 누설량 60 g/s 이하
 - 측정산식: 측정치, ISO 10816-3 규격
 - 측정방법: 다단압축기 무부하 시험 결과
- 핵심기술4: 수소액화 효율 12.05 kWh/kgH₂ 이하
 - 측정산식: 압축기 소요 동력 (KWh) / 액체수소 생산량 (kg)
 - 측정방법: 실증설비 실험결과

☐ 최종성과물 : 5톤/일 급 수소액화용 원심압축기 시스템, 설계서 및 시험 절차서 등

① 핵심 성능 시험 방안 및 성능지표

	단별공력부품 성능시험	압축기 시스템 무부하 시험	압축기 시스템 성능시험	실증시험
작동유체	공기	무부하 조건	공기	He
성능지표	유량@DP, 토출압@DP, 등엔트로피 효율@DP (작동유체 차이에 따른 상사성 적용)	축진동 크기@DP	유량@DP, 토출압@DP, 등온 효율@DP 축진동 크기@DP 셀 누설량@DP (작동유체 차이에 따른 상사성 적용)	유량@DP, 토출압@DP, 등온 효율@DP 축진동 크기@DP 셀 누설량@DP 단위질량당 소요동력 (kW/kg)@DP turndown ratio
비고				5 ton/day 수소액화 플랜트 실증 (범부처 기획 연계)
	2025	2026	2026~2027	2027~

- @DP: 설계점(design point)을 나타내는 용어로 압축기를 설계할 때 기준이 되는 운전점으로, 압축기의 질량 유량과 토출압(또는 압력비)이 주어짐
- 질량 유량@DP; 설계점에서 압축기에 의해 흐르는 Helium의 질량을 나타내는 값으로 단위는 kg/s 또는 ton/day임
- 토출압@DP; 설계점에서 압축기 출구부에서의 압력을 나타내는 값으로 단위는 kPa 또는 bar임
- 압력비@DP; 설계점에서 압축기의 입구부 압력 대비 출구부 압력이 얼마나 증가하는지 나타내는 값으로 출구압력/입구압력으로 계산함
- 등엔트로피 효율@DP; 설계점에서 압축에 필요한 열역학의 등엔트로피 과정에 따른 이론 동력과 실제 압축기에서 소요되는 동력의 비
- 축진동 크기@DP; 설계점에서 동작하는 압축기 축이 얼마나 진동하는지 나타내는 진폭의 크기를 나타내며 단위는 μm 임
- 셀 누설량@DP; 압축기의 회전하는 축과 고정된 하우징 사이의 틈새를 통해 누설되는 Helium의 누설 유량을 나타내며, 단위는 kg/s 또는 g/s임
- 등온 효율@DP; 설계점에서 압축에 필요한 열역학의 등온 압축 과정에 의한 이론 동력과 실제 압축기에서 소요되는 동력의 비
- 단위질량당 소요동력@DP; 설계점에서 Helium의 단위질량당 압축하는데 필요한 동력

□ 검 · 인증 추진 방안

- 핵심설비는 무부하 성능평가 및 5톤/일 플랜트 운영결과에 따라 공인 인증(KGS) 및 공인성적서(KOLAS) 등을 통해 검증
- 시제품 개발 시 국내·외 인증 (KGS · KTL, ASME* 등)을 추진

* American Society of Mechanical Engineers (미국기계학회)



- ASME Stamp : 압력기기 설계 및 제작에 대한 인증
- User's Design Specifiacion (USD) : 압력기기 설계 사양서
- Manufacturer's Design Report (MDR) : 설계 사용서에 따른 압력기기 설계 및 제작·시험

□ 핵심성과지표

세부 성과 지표		단위	기술수준		달성 목표	세계 최고수준 (보유국 기업/기관별)
			해 외	국내	최 종	과제 종료 시점
압축기 개발	He 유량@DP,	kg/s	-	-	2.2	-
	토출압@DP,	kPa	-	-	2800	-
	등온효율@DP	%	-	-	70	-
	축 진동@DP	μm	-	-	40	-
	셀 누설량@DP	g/s	-	-	1이하	-
5 ton/day 실증	소요동력	kW	-	-	3,800이하	-
	수소액화 효율	kWh/kgLH ₂	13.1	-	12.05	13.1(Linde)
	Turn-down Ratio (% of nominal)	%	20	-	22	-

※달성 목표값들은 추후 기획과정에서 변경될 수 있음

② 특성화지표

○ 사업화 매출액: 43.67억원

- 측정산식:

- $(\sum \text{국내외 수주액} \times \text{매출액기여도}) + (\sum \text{수출액} \times \text{매출액 기여도}) + (\sum \text{국산화 효과})$
- 최근 3년 국토교통R&D 기술가치평가 기술기여도 평균값 38.8%
- '20년 7년 평균 플랜트연구개발사업 수주 및 수출액 39.7억

- 측정방법:

- 참여기업 매출증빙

○ 수입 대체율: 30% 이상

- 측정산식:

- $(\text{전체 연구비} - \text{해외 빠져나가는 연구비}) / \text{전체연구비} \times 100$

- 측정방법:

- R&D를 통해 도출된 기술(플랜트설계, 제작, 시공, 운영 전주기)의 국산화율에 비례한 비용절감효과 등을 통해 수입대체(국산화 효과) 목표 달성

○ 기술이전 수입료: 3.63억원

- 측정산식:

- $\sum \text{기술이전료 (사업기간} \sim \text{종료 후 3년 이내)}$
- '20년 5년 평균 플랜트연구개발사업 기술료 3.3억원의 110% 설정

- 측정방법:

- 기술이전료 증빙

○ 특허등급지수(SMART): 4

- 목표치 설정방법:

- (1차년) 최근 5년간('15~'19) 국토교통 R&D의 특허등급지수의 평균 값 (3.97)을 '20년 목표치로 설정함

연도	'15	'16	'17	평균
지수	4.03	3.80	3.99	3.97
연도	'18	'19		
지수	3.99	4.03		

- (2차년 이후) 매년 전년도 목표치 보다 3% 증가한 값으로 목표치를 증가
- 측정산식:

- 특허등급평균 = $\frac{1}{N} \sum_i A_i$

(Ai: 등급별 국내외 특허등록 SMAT 등급, N: 특허건수)

- 특허 등급별 배점

등급	배점
AAA	9
AA	8
A	7
BBB	6
BB	5
B	4
CCC	3
CC	2
C	1

- 측정방법:

- 당해연도 말 NTIS에 등록완료된 특허등록 실적을 대상으로 한국발명진흥회의 SMART 등급 확인 후 특허등급 지수를 산출
- 당해연도 말 NTIS에 등록완료된 특허등록 실적을 대상으로 한국발명진흥회의 SMART 등급 확인 후 특허등급 지수를 산출

○ 논문지수: 60

- 목표치 설정방법:

- (1차년) 최근 5년간('15~'19) 국토교통 R&D의 학술지 게재 논문지수의 평균 값(59.08)을 목표치로 설정함

연도	'15	'16	'17	평균
지수	52.84	58.10	64.09	59.08
연도	'18	'19		
지수	59.39	60.99		

- (2차년 이후) 질적으로 우수한 논문 성과를 지속적으로 창출하기 위해 매년 전년도 목표치 보다 3% 증가한 값으로 목표치를 증가

- 측정산식:

- 학술지 게재 논문 지수 = $\Sigma(\text{표준화된 순위보정영향력 지수}) / \Sigma(\text{SCI(E) 논문 건수})$

- 측정시기 및 방법:

- 당해연도 말 NTIS에서 검증완료된 SCI(E) 논문을 대상으로 JCR 분류에 따라 해당 저널 Impact Factor 순위를 확인 후 표준화된 순위보정영향력 지수를 산출
- 동 저널이 여러 분야에 중복되는 경우 각 중복분야에서 학술지가 차지하는 표준화된 순위보정영향력 지수의 평균값을 사용
- 국토교통R&D 사업관리시스템, NTIS 등을 통한 SCI(E) 검증 및 JCR 분류에 따른 IF 순위 확인

○ 국산화율: 70%

- 측정산식:

- $[\Sigma \text{개발 설비 단가} / (\Sigma \text{개발 설비 단가} + \Sigma \text{미개발 설비 단가})] \times 100$

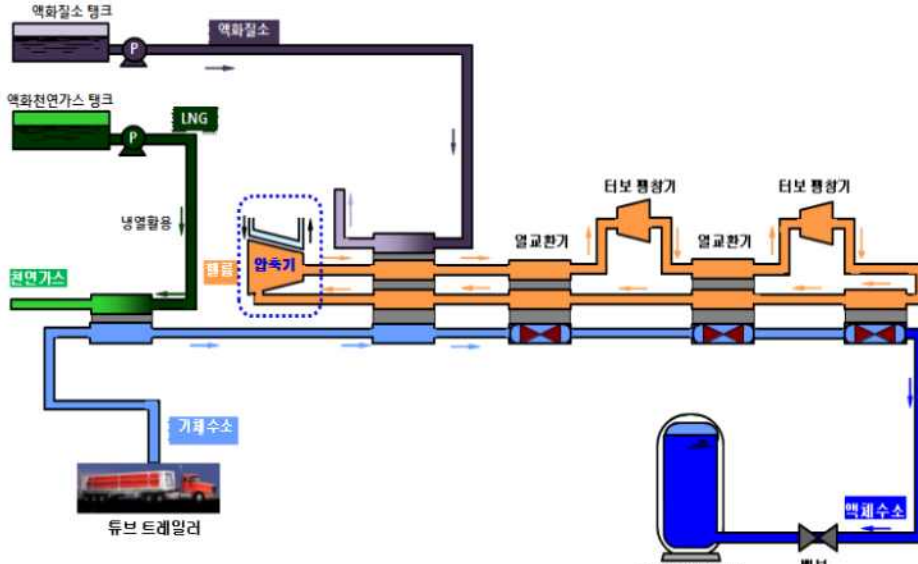
- 측정방법:

- 원료 공급설비, 합성가스 제조설비, 정제설비, 수성가스 전환설비, 수소 추출 설비 등의 설계, 제작, 시공, 운영 등의 국산화

- 측정방법:

- 연구책임자를 대상으로 당해연도 말 기준 연구성과 조사를 통해 플랜트 기술 수주 및 수출, 기술실시계약, 국산화율 관련 자료를 확보
- 정량적이고 객관적으로 성과를 검증할 수 있도록 세금계약서, 납품계약서, 공사계약서, 매출확인서 등 증빙자료를 확인한 성과만을 인정
- 관련 보고서 등 기반의 설계기술·시공·운영관련 수주액과 견적서, 공시 가격 등 기반의 상용제품 가격을 확인하고, 국산화율을 통해 산정된 금액만을 인정

③ As-Is vs To-Be

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'22년 수준	최종 목표수준	
	~'21	'22	'26(종료년도)	'27~(종료이후)
수소 액화용 압축기 (형식, 용량, 압축기 효율, 플랜트 효율 정리)	■ 수소액화용 압축기 기술 전무 - (국내) 수소충전소용 고압저유량 압축기 개발 - (국외) 수소액화용 용적형 압축기 개발 및 실증실적 보유 * (원심형 압축기) 상용화 추진 중  < 수소 액화용 용적형 압축기 >	■ 수소액화용 압축기 핵심기술 개발 착수 소요동력 (14.3 KWh/kgLH2), 0.5 ton/day 용적형 압축기 기준	■ 수소액화용 압축기 핵심기술 확보 * 상용급(5톤/일) 수소액화플랜트 적용 가능한 원심형압축기 개발 및 검증  < 수소액화용 원심압축기 > 소요동력 (11.4 KWh/kgLH2), 5ton/day 터보식 압축기 기준	■ 대용량(5톤/일) 수소액화 플랜트 연계 실증* * 범부처 수소 전주기 R&D 사업 등 연계 추진 ■ 액체수소 플랜트 에너지효율·국산 화물 제고 및 국내외 시장 진입 * 각 8%, 10% 이상 향상  < 대용량 수소액화플랜트 > 세계 최고수준 (11.4 KWh/kgLH2, 용적형 압축기) 대비 8% 향상
그림				

※ 수소 수요량 기준(수소인프라 및 충전소 구축방안) 등에 따른 압축기 관련
경제적 효과(수입대체 효과) = 4,600억원

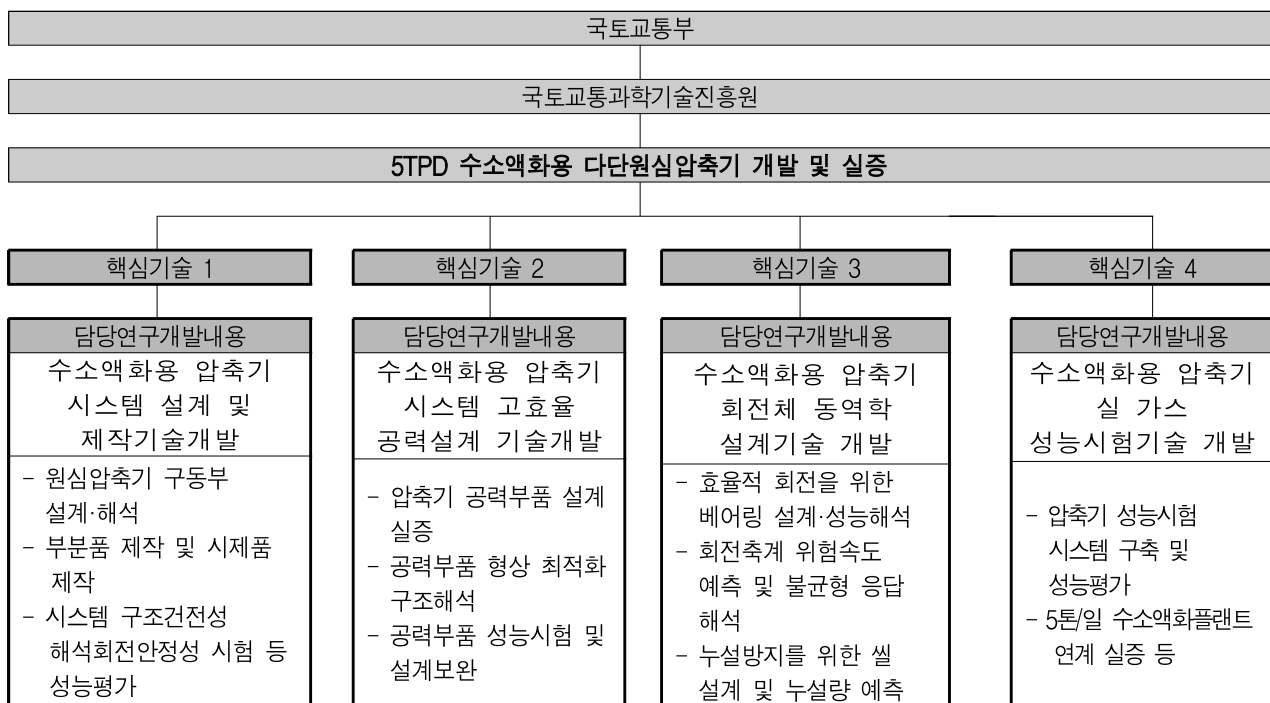
- ① '30년 기준 수소차 수요량 373,500톤 예측에 따라 액체수소플랜트 33기(30톤/일 급) 운영이
필요하며, 이에 대한 인프라(압축기) 마련 필요
- ② 압축기(30톤/일 급) 1기 도입 가격은 140억원
- ☞ ① 압축기 33기 × ② 1기 도입가격 140억 = 4,600억의 수입대체 효과

5. 사업 추진방법

1. 추진체계 및 전략

□ 추진체계

- (추진체계) 5TPD 수소액화용 다단원심압축기 개발 및 실증 기술개발은 산·학·연 협동 연구체계로 사업추진



○ 사업추진 주체별 역할분담

- 사업의 전체적인 총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 사업관리는 주관기관을 중심으로 관리하는 형태의 추진체계를 구성함
- 사업 목표를 위한 세부기술별 역할 분담형 기술개발로 전략적 R&D 연계를 통한 대형성과 창출
- (주관부처 : 국토교통부) 사업을 주관하여 추진하는 중앙행정기관으로 사업 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 기본계획 수립, 투자우선순위 결정, 국토정책과의 연계 및 정책적 수요 정보 제공

- (전문기관 : 국토교통과학기술진흥원 담당 사업실) 전반적 사업관리 및 예산 운용 등의 사업추진 시의 실무를 담당하며, 분야별 전략과제의 기획·평가·관리·성과확산 등을 추진
- (주관기관) 사업추진 권한과 책임 하에 과제기획부터 성과확산까지 총괄 업무를 추진하며, 기술개발사업 사업추진을 위한 컨소시엄 (연구그룹) 구성. 연구개발계획, 유·무형의 성과물 관리, 대외협력업무, 사업화 전략수립, 대 국민 홍보 등 전주기적 관리. 과제수행에 대한 자체평가 및 사업추진방향·예산 조정에 대한 권한과 책임사업을 주관하여 수행하는 기관을 의미하며 모든 과제를 총괄 관리 및 지원하는 역할을 수행함

주체	역할 및 기능
주관부처 (국토교통부)	• 사업총괄 부처(최상위 의사결정기관) • 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정 • 사업 시행계획 수립 • 사업 투자우선순위 결정 등
전문기관 (국토교통과학기술 진흥원)	• 연구단 기획·평가·운영위원회 구성·운영 • 연구단 진도 및 실적 점검 • 연구단 및 중점, 세부과제 선정·단계·최종평가 • 사업진도 및 연구개발 성과에 대한 검증 및 평가 수행 • 각 기술 분야 산학연 전문가들로 구성된 평가위원회를 이용하여 관계법령에 따라 선정평가, 연차 단계평가, 최종평가 등을 시행(연차평가, 현장실태 점검, 중간실적 및 계획 평가, 최종성과 평가) • 기술 확산 및 정책 활용성 검토 등
산학연 협동연구체계	• 주관기관 - 사업추진을 위한 컨소시엄 구성 - 세부과제 진도관리·자체평가·참여기관 간 역할배분 등 - 상세설계, 제작 및 성능시험 - 연구성과 관리 및 사업화 지원 - 연구성과 보급·확산 및 홍보 • 대학: 촉매 개발, 데이터 해석, 가스 분석 등 • 출연연: 라이선스 확보, 기본설계, 최적화
연구개발사업 협의체 (사업협력기관)	• 주관기관과 참여기관 간 사업추진 방향과 운영에 대한 실무 협의 • 참여기관 간 과제, 예산 조정 협의 • 후속과제 기획 협의

□ 추진전략

- 중견·중소기업 주도의 현지 수요기반 융복합 R&D 추진
 - 수요자 관점의 연구개발을 확대하기 위해 가치사슬과 연관성이 높은 중견·중소기업이 주도적으로 컨소시엄을 형성하고 세부 요소 기술은 출연 연구소, 대학이 역할을 분담
- 개발기술의 완성도 제고를 위한 단계적 검증과 실증을 통해 상용화 기반 마련
 - 기술의 완성도 제고를 위해 연구기반구축, 핵심설비 국산화, 기 계획중인 5 ton/day 수소액화플랜트에서의 실증 동시 추진
- 사업특성을 고려한 효율적인 사업관리 및 개발성과의 확산체계 구축
 - 중장기 산업기술개발사업으로 연구개발사업의 성공적인 추진 및 상용화·실용화 등 현장적용 확대를 위한 민간과의 협력
 - 연구개발 성과물의 실용화 및 현장적용 강화를 위한 실용화 단계별 세부적인 지원방안을 수립

2. 과제 선정 · 관리 · 평가계획

- (과제 선정방식) 사전기획 내용 및 기술수요 조사 등을 반영한 Top-down(지정공모) 방식을 통해 평가기준에 따른 선정
 - 본 사업은 세부기술별 성과보다는 모든 세부기술의 조합을 통하여 성과가 평가되므로, 주관기관의 주도성을 강화하고, 각 세부기술의 산학연 참여를 유도 (단일과제 형식)
- (과제 평가 방안) 성과관리 방안
 - 세부기술의 기술 성과보다는 시작품, 성능평가 결과 등 제품의 성능에 집중하여 관리.
 - 특히, 최종적으로 핵심적인 5 ton/day 수소액화플랜트에서의 연계 실증에 집중
 - 연계 실증 후에도 Track Record 확보를 위하여 5 ton/day 수소액화 플랜트에서의 운영 결과 추적평가.
 - 이를 위하여, 본 사업 주관기관 및 참여기관의 “5 ton/day 수소액화 플랜트 실증사업”과 협력하여 연구수행 필요

3. 인력현황

□ 연구인력

- 압축기 기술개발과 관련이 있는 기계항공원자력 전공의 우리나라 석박사 학위 연구원 수 현황은 아래 표와 같음
- 관련 전공은 기계항공원자력 등으로, 박사 학위자가 총 7,859명이고 석사 학위자가 총 16,743명으로 파악됨
- 또한 정부출연연구기관을 포함한 공공연구기관의 경우에, 박사 학위자가 2,482명이고, 석사 학위자가 총 1,662명으로 파악됨
- 기업의 경우에 박사 학위자가 2,852명이고, 석사 학위자가 12,349명으로 파악됨

<표 기계항공원자력 분야 석박사 연구원 수(2016년 기준)>

	박사 (명)	석사 (명)	계 (명)
전체	7,859	16,743	24,602
공공연구기관	2,482	1,662	4,144
기업	2,852	12,349	15,201

□ 정부출연연구원 연구인력 현황

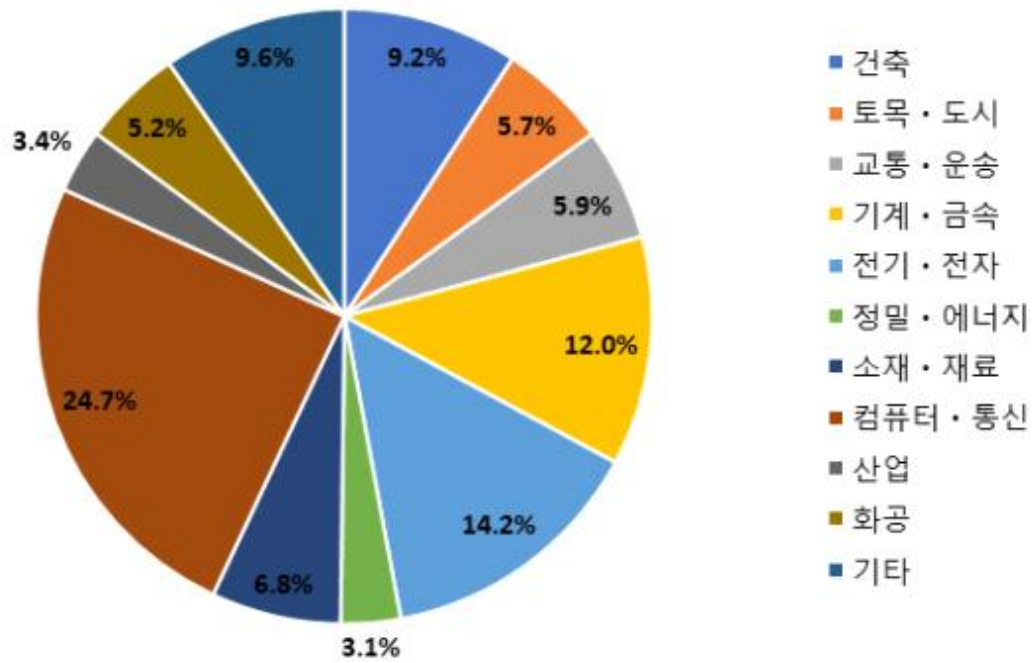
연구소명	연구실명	연구분야	인원(명)
한국기계연구원	에너지변환 기계연구실	- 극저온 냉동 및 액화기술 - 고효율 유체기계기술(압축기, 펌프, 터빈) - 가스터빈 사이클 및 냉각 기술	22
	열시스템 연구실	- 고효율 열에너지 시스템 기술 - 고효율 히트펌프 및 공기조화 시스템 기술 - 열교환기, 반응기, 밸브, 센서/액추에이터 등 핵심기계 기술 - 가스플랜트, 발전플랜트 등 에너지 플랜트 공정기술 - 에너지 변환 스마트 디바이스 기술	18
	LNG극저온 기계기술시험 인증센터	- LNG 및 극저온 기자재(펌프, 밸브, 압축기, 열교환기) - 성능시험 및 평가기술 - KOLAS 및 공인 인증 시험 수행 - LNG 및 극저온 관련 기술 연구 - 극저온 기자재 제작, 판매 기업에 대한 기술 지원	7
한국에너지기술연구원	열변환시스템 연구실	- 열-열, 열-전기, 전기-열의 효율적 변환 기술 - 대용량 전력저장을 포함한 열에너지시스템 · 기술 - 터빈, 압축기, 미래형 열교환기, 히트파이프	15
한국생산기술연구원	청정에너지 시스템 연구부문	- 녹색부품 · 시스템의 고효율화 기술 - 냉동공조/유체기계/열교환기 설계 및 평가 - 콜드체인 부품소재 및 시스템 기술 - 신재생에너지 복합연계제어 및 시스템설계 기술	26
한국항공우주연구원	항공엔진실	- 항공기용 가스터빈 - 압축기, 터빈, 연소기 - 고온고압터빈 공력/구조/냉각 설계 기술 - 항공기용 엔진 시험평가 기술	26

□ 산업체 연구인력 현황

기업명	연구소명	연구분야	인원(명)
한화파워시스템	판교 R&D센터	- 산업용 터보기계 성능개선 - 구성품 최적화 - 성능시험기술	270
한화에어로스페이스	판교 R&D센터	- 항공기 엔진 개발 - 엔진 성능시험 기술 개발	110
두산중공업	중앙연구소	- 소재기술개발/신공정 - 열유체 요소기술 - 공정제어	200
현대중공업터보기계	R&D센터	- 터보기계 성능개선 - 구성품 최적화 - 성능시험기술	10명
광신기계	기술연구소	압축기 요소기술 및 생산 기술	15명
터보링크	기술연구소	오일윤활베어링 설계/제작 /성능시험	10명
동화엔텍	R&D센터	- 가스프로세싱 엔지니어링 - 컴팩트 열교환기	21
한국셀마스터	기술연구소	터보기계용 셀 설계 및 제작	20

□ 대학

- 대다수의 대학들이 기계, 에너지, 제어계측 등 압축기 관련 학과를 설치하고 있으나, 압축기에 특화된 전문인력 양성 및 배출은 부족한 상황임
- 교육통계서비스의 2020년 대학 학과별 입학상황 통계에 따르면, 공학계열에서 압축기와 관련한 전공인 기계·금속 및 정밀·에너지 학과 입학자 수는 전체 공학계열 입학자 비율의 각각 12%, 3.1%로 매우 낮음
- 압축기 관련 학과가 적을 뿐만 아니라 대학에서 배우는 전공지식만으로는 압축기에 대한 이해, 설계, 제작 등에 대한 인력양성의 한계가 존재함
- 국가 R&D를 통해 압축기를 포함한 터보기계 관련 기술개발이 이루어지고 있으나, 대부분의 대학에서의 전문인력 양성·배출, 관련 기술에 대한 연구진의 경험, 교육과 현장의 유기성이 부족함



*출처: 교육통계서비스(<https://kess.kedi.re.kr/index>)

대학 공학계열 학과별 입학자 비율 (2020년)

4. 소요예산 및 재원조달 계획

□ 소요예산

○ 연차별 투자계획

(백만원)

구분 (사업기간)	총사업비	연차별 투자계획					
		'22	'23	'24	'25	'26	'27
○ 사업기간: '22~'27	38,700	5,300	6,600	10,700	10,700	2,700	2,700
합 계	38,700	5,300	6,600	10,700	10,700	2,700	2,700
○ 국 고	29,000	4,000	5,000	8,000	8,000	2,000	2,000
▪ 출연							
○ 민간매칭 등	9,700	1,300	1,600	2,700	2,700	700	700

* 민간매칭은 기업차향후 정부투자에 따라 변경가능

○ 핵심기술별 연차별 투자계획

- 38,700 백만원 (정부 75% 29,000, 민간* 25% 9,700)

* 민간매칭은 기업참여수에 따라 변경될 수 있음

- 정부출연금 290억백만원 중 연구장비재료비는 126억원으로 43.5%에 해당

* 압축기 시제품 제작 및 단별 성능 시험 81억, 압축기 공력설계 및 기술개발 13억, 회전체(축계, 베어링 등) 공력설계 및 기술개발 13억, 실증 시험 61억으로 소요됨

- 현재 상용화되어 있는 용적형 5TPD 압축기의 단순 해외도입 비용은 약 60억 수준으로 미 상용화된 원심형 압축기는 향후 상용화 가정시 1.5배 수준인 90억원 정도로 판단됨

- 따라서 순수 압축기 시제품의 제작에 소요되는 연구장비재료비(81억)는 적절한 수준임

(백만원)

구분	핵심기술명	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		6차년도		총연구비	
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
핵심기술 1	수소액화용 다단원심압축기 시스템 설계 및 제작기술	1,500	500	2,300	700	3,800	1,300	3,800	1,300	600	200	600	200	12,600	4,200
핵심기술 2	수소액화용 다단원심압축기 공력설계기술	600	200	600	200	600	200	600	200	300	100	300	100	3,000	1,000
핵심기술 3	수소액화용 다단원심압축기 회전체동력학 설계기술	600	200	600	200	600	200	600	200	300	100	300	100	3,000	1,000
핵심기술 4	수소액화용 다단원심압축기 실가스 성능시험 기술	1,300	400	1,500	500	3,000	1,000	3,000	1,000	800	300	800	300	10,400	3,500
계		4,000	1,300	5,000	1,600	8,000	2,700	8,000	2,700	2,000	700	2,000	700	29,000	9,700

○ 수소액화용 다단원심압축기 시스템 설계 및 제작기술

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	합계
인건비	362	362	724	724	362	362	2,896
연구장비재료비	1,265	2,174	3,468	3,468	174	174	10,723
기타경비 및 간접비	373	464	808	808	264	264	2,981
세부과제 연구비	2,000	3,000	5,000	5,000	800	800	16,600

○ 수소액화용 다단원심압축기 공력설계기술

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	합계
인건비	217	217	217	217	144	144	1,156
연구장비재료비	385	385	385	385	127	127	1,794
기타경비 및 간접비	198	198	198	198	129	129	1,050
세부과제 연구비	800	800	800	800	400	400	4,000

○ 수소액화용 다단원심압축기 회전체동력학 설계기술

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	합계
인건비	217	217	217	217	144	144	1,156
연구장비재료비	385	385	385	385	127	127	1,794
기타경비 및 간접비	198	198	198	198	129	129	1,050
세부과제 연구비	800	800	800	800	400	400	4,000

○ 수소액화용 다단원심압축기 실 가스 성능시험 기술

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	합계
인건비	289	289	724	724	434	434	2,894
연구장비재료비	1,099	1,372	2,559	2,559	252	252	8,093
기타경비 및 간접비	312	339	717	717	314	314	2,713
세부과제 연구비	1,700	2,000	4,000	4,000	1,000	1,000	13,700

* 간접비율은 10.0%로 계상

○ 핵심기술별 총괄 소요인력

(단위 : 명)

구분	핵심기술명	구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	합계
핵심기술 1	수소액화용 다단원심압 축기 시스 템 설계 및 제작기술	책임급	12	12	12	12	12	12	72
		선임급	9	9	9	9	9	9	54
		원급	4	4	4	4	4	4	24
핵심기술 2	수소액화용 다단원심압 축기 공력 설계기술	책임급	5	5	5	5	5	5	30
		선임급	4	4	4	4	4	4	24
		원급	1	1	1	1	1	1	6
핵심기술 3	수소액화용 다단원심압 축기 회전 체동력학 설계기술	책임급	5	5	5	5	5	5	30
		선임급	4	4	4	4	4	4	24
		원급	1	1	1	1	1	1	6
핵심기술 4	수소액화용 다단원심압 축기 실 가 스 성능시 험 기술	책임급	10	10	10	10	10	10	60
		선임급	6	6	6	6	6	6	36
		원급	4	4	4	4	4	4	24

○ 전체 소요인력

(단위 : 명)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	합계
책임급	32	32	32	32	32	32	192
선임급	23	23	23	23	23	23	138
원급	10	10	10	10	10	10	60
합계	65	65	65	65	65	65	390

□ 재원조달계획

○ 재원분담율 : 국고(회계) : 지방비 : 민자 = 75 : 0 : 25

- 대기업, 중견, 중소 기업 모두 참여가 예상되나, 핵심기술개발을 주도하는 기업은 중소기업 위주로 구성될 예정이므로, 중소기업형의 분담비율 25% 수준으로 민간 분담비율을 설정함

* 공모시 대기업과 중소기업 참여수에 따라 민간 분담비율은 변경 가능

○ 기존 재원범위 내에서의 수용 가능성

- 계획된 소요예산은 국토교통부 R&D 예산 규모에서 수용 가능
- 민간부담금의 경우 총 연구개발비의 25% 수준이며 본 사업의 경우 지원 대상이 대기업/중소기업으로 중점분야별 참여 기업 규모를 감안하여 민간 부담금 적용 비율을 차등 적용
- 재원조달 문제로 인한 본 사업의 지연 가능성은 매우 적은 것으로 판단

5. 위험요인 및 극복방안

○ 기술개발의 한계 및 극복방안

핵심기술	한계점	해결방안
수소액화용 압축기 시스템 설계 및 제작기술개발	○ 국내에서의 압축기 개발실적은 bull-pinion 기어방식을 이용한 압축기 시스템 개발에 한정됨 ○ barrel 형식의 압축기를 국내에서 개발하여 제작한 경험이 부족	○ 기존 국가 R&D로 TRL 6 이상 기술 연계 및 활용 극대화 ○ 외국기술 도입 상용급 플랜트 건설 경험(서부발전 IGCC, 포스코 SNG) 활용 ○ 모듈화, 표준화, ICT 적용 등 국내 고유기술 접목으로 해외 경쟁력 확보
다단압축기에서의 단 사이 공력성능 matching 기술	○ 현재 국내에서 개발된 다단원심압축기는 integrally gear 형식으로 볼류트를 통해 단 사이를 연결하고 있음 ○ 냉동기용 터보냉매압축기는 리턴채널을 이용하여 단 사이를 연결하나 단수가 2단으로 한정됨	○ 2단 터보냉매압축기에서 리턴채널을 적용하는 방법을 확장하여 개발하는 다단압축기 개발에 적용
다단원심압축기에 대한 회전체 동역학 설계기술 개발	○ 현재 국내에서 개발된 실 가스용 다단원심압축기는 integrally gear 형식에 한정되어 있음	○ barrel 형식의 압축기에 대해 수행한 회전체 유지보수 경험과 축적된 DB 활용
수소액화용 압축기 실 가스 성능시험기술 개발	○ 수소액화플랜트에서의 터보압축기 운전경험 부족	○ 0.5TPD에서의 스크류 압축기 운전경험을 활용 ○ LNG 액화플랜트에서의 터보압축기 운전경험을 활용
수소액화플랜트 실증 연계	○ 범부처 “5 ton/day 수소액화플랜트 실증사업”의 경우 본 사업의 결과물인 압축기가 사용될 계획으로, 본 사업 실패시 “수소액화플랜트 실증사업”의 실패로 귀결될 위험	○ 범부처 “5 ton/day 수소액화플랜트 실증사업”에서 압축기의 경우 외국제품과 국내 개발품을 병렬 적용하여 실증.

(6) 신재생에너지(수소) R&D 투자 패키지와의 연계방안

□ 중점기술(투자필요영역)

- (추진목표 달성 연계성) '30년 수소경제 활성화를 위해 수소액화 효율제고 및 국산화 달성을 통한 수소 저장·운송의 경제성 확보
- (투자필요영역 부합성) 액체수소 저장(T7), 수소 시범도시(T26) 등과 연계
 - * 탄소중립 기반 액체수소 생산기술(대규모 수소 저장·운송)

□ 제도개선

- (수소도시 보급·확산) 수소경제 조기 구현에 필요한 수소전주기 생태계 구축, 도시 내 수소공급 포트폴리오 수립, 주민수용성 확보, 수소도시 보급·확산을 위한 「수소도시 특별법」 제정 추진

□ 부처협업

- (R&D 이어달리기) 기 개발된 기초·원천 및 설계기술을 연계하여 플랫폼을 구축하고 실증플랜트 운영을 통한 최종 실·검증 추진
 - * 과기부(기초·원천기술) → 산업부(엔지니어링) → 국토부(통합 실증 및 해외시장 진출)
- (플랜트R&D협의회) '15년부터 “플랜트R&D협의회”를 구성하여 연구내용에 대해서 협력방안 등을 협의
 - (산업부) 단위(요소) 공정기술과 엔지니어링 공통 기반기술 및 지원기술
 - (국토부) 단위(요소)기술의 연계·통합, 실증 및 시공기술 등 실용화 기술
 - * 다만 연구개발의 시급성, 중요성 등을 고려하여 타 부처 소관 가치사슬 연구내용 반영이 불가피한 경우에는 양 부처 사전협의 후 추진
- (국토부 추진사유) 도시기반의 수소활용 및 보급확대를 위한 '수소교통 정책' 및 '수소도시 정책'을 추진중이며, 부처간 역할분담*에 따른 수소 R&D(활용성·가용성·안전성 확인 포함) 추진

< 국토부 수소 관련 정책 추진현황 >

- ◇ 수소버스 및 충전소 보급 확대 추진 방안('18.8, 국토부 교통정책조정과)
- ◇ 지역사업과 연계한 수소차 충전소 확충방안 검토('18.8, 국토부 도시정책과)
- ◇ 수소경제 활성화 로드맵('19.01, 합동부처(국토부 미래전략일자리담당관))
- ◇ 신재생에너지 R&D 패키지 투자 모델('19.01, 과기부, 산업부, 국토부)
- ◇ 수소 시범도시 추진전략('19.10, 합동부처(국토부 도시활력지원과))
- ◇ 수소 기술개발 로드맵('19.10, 합동부처(국토부 도시활력지원과))
- ◇ 수소 인프라 및 충전소 구축 방안('19.10, 합동부처(국토부 교통정책조정과))
- ◇ 수소 기술개발 로드맵 이행현황 및 향후계획(안) ('20.7 합동부처)
- ◇ 수소도시 추진현황 및 확산전략(안) ('20.7 합동부처(국토부 도시활력지원과))
- ◇ 수소시범도시 기본계획 및 수소도시법 제정방안 ('20.10 합동부처(국토부 도시활력지원과))
- ◇ 수소교통 복합기지 구축사업 선정(평택) ('20.12 국토부 교통정책총괄과) 등

○ (부처별 수소인프라 구축 역할분담) 범부처 「수소 전주기 기술개발사업」 기획 부처협의체에서 부처별 희망분야 조사결과, 액체수소 플랜트 연관 기술은 국토부에서 추진

- 국토부에서 기 추진중인 “상용급 액체수소 플랜트 핵심기술개발사업 (2019~2023) 연계”

<수소 기술개발 로드맵의 부처별 역할 범위(안)>

중분류		단기					중기		장기		추진부처(예정부처)					
		~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35	~'40	과기부	산업부	국토부	해수부	환경부
수소 생산	연료 이용 수소생산	① 소형·중형 개질 수소 생산 시스템 개발														
		② 펌프크/석탄 순산소가스화 수소 생산 기술 개발														
		③ 미생물 활용 CO전환 바이오수소 대량생산 기술 개발														
	폐자원/ 바이오매스 이용 수소생산	④ 가연성 폐자원 가스화 수소생산 플랜트 실증														
		⑤ 생물학적 발효 기반 바이오수소 고생산성 기술 개발														
		⑥ 바이오매스 가스화 수소 생산 플랜트 실증														
	물분해 수소생산	⑦ 수~수심 MW 수전해 시스템 개발														
		⑧ 고온 수전해 수소 생산 기술 개발														
		⑨ 광분해 수소 생산 기술 개발														
		⑩ 고효율 열화학사이클 기술 개발														
⑪ 초고온 시험로 기술 개발																
수소 저장·운송	물리적 수소 저장 기술	① 고압수소 저장 시스템 가격 저감 기술 개발														
		② 수소 액화플랜트 및 저장 기술 개발														
		③ 고체 흡착 소재 및 저장 시스템 개발														
	화학적 수소 저장 기술	④ 액상 유기수소화물 저장 및 추출 기술 개발														
		⑤ 액상 암모니아 추출 및 저장 기술 개발														
		⑥ 금속수소화물 수소저장 시스템 개발														
	수소운송 기술	⑦ 육상 운송 비용 저감 기술 개발 · 대용량 고압기체, 대용량 액체수소, 중장거리 수소 배관망														
		⑧ 해외 생산 수소 이송용 선박 기술 개발 · 극저온 단열, BOG 처리, 적하역 기술														

중분류		단기					중기		장기		추진부처(예정부처)						
		~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35	~'40	과기부	산업부	국토부	해수부	환경부	
수소 활용 / 수송	육상용 수송수단	① 승용 연료전지시스템 가격저감 기술 개발					① 수소택시										
		① 상용 연료전지시스템 및 전장장치 기술 개발					① 특장차, 중대형 트럭										
		① 수소열차용 파워팩 및 시스템 기술 개발					① 고속철도용 파워팩 및 시스템 개발										
		① 중대형 건설기계 파워팩 및 전동장치 개발 (중형 건설기계 적용)					① 대형 건설기계 적용										
		② 웨어러블 로봇용 연료전지시스템 및 전력제어시스템 기술 개발															
	해상용 수송수단	① 소형선박용 파워팩 및 시스템 기술 개발					① 연안선박용 시스템 기술 개발										
							① 대양선박용 연료전지모듈 및 시스템 기술 개발										
	항공용 수송수단	① 일반 및 특수목적용 수소드론 시스템 개발				① 대형물류 운송용 수소드론 시스템 개발											
		② 12인승 유인항공기 완전기술 개발				② 유인항공기 시스템 설계 및 제어기술 개발		② 경량화									

수소 활용 / 발전	수소활용 공통기술	①② 핵심 소재·부품·장치·촉매, 전해질, 분리판, 개질기 등 국산화 및 고도화														
		①② 장애요인 극복을 위한 엔지니어링 기술 개발														
	고정형 연료전지	① 제품 경량화 및 고부가가치화														
		① 고효율·고신뢰성 시스템 모듈화														
안전·환경·인프라	융·복합 발전	① 전기·열·수소 동시 생산 시스템 개발					① 대용량 스택 및 시스템 개발									
		① 연료전지 기반 가상발전소 실증														
	수소터빈	② 50% 수소 혼소 중대형 GT 기술 개발 및 실증														
		② 100% 수소 전소 소형 및 중대형 GT 기술개발														

안전·환경·인프라	안전기술	소재, 부품, 시스템 안전평가 기술 개발					DB구축									
		전주기 설치, 안전 및 사고예방 기술 개발														
		전주기 안전 모니터링 및 관리 실증														
		품질 및 측정기술(시험법/장비) 개발														
	표준화 및 인증기술	모빌리티, 에너지 및 공급/계량 등 표준 개발														
		소재/부품/제품 시험 평가 및 인증 개발														
	환경 및 경제성 평가	전주기 환경성 분석 프로그램 개발					검증 및 보완									
		전주기 경제성 분석 프로그램 및 비즈니스 모델 개발					검증 및 보완									
							전주기 환경·경제성 통합 분석 프로그램 개발									
	수소 공급 인프라	수소 충전 기술 개발					평가 및 실증									
		수소병커링 기술 개발					검증 및 향안 실증									
수소사회 기반구축		도시기반 건물/교통의 수소 활용·공유 기술 및 최적 운영시스템 실증														
		도시기반 수소 전주기 인프라 구축 및 최적 운영시스템 실증														
		생산/저장·운송/수송/발전·산업의 기반·기업·연구소 집적 클러스터 실증														

6. 기대효과

□ 경제적 효과

- 세계 최고 수준의 기술경쟁력 확보로 글로벌 기업의 기술 독과점을 차단하고 국내외 시장 진출 가능
- 수소액화 플랜트 및 핵심설비 국산화를 통한 액체수소 인프라 국내외 시장 진출
 - * 2030년 기준 수소액화플랜트 건설시장 54조원(세계) 4.6조원(국내), 수소액화용 압축기 시장 5.4조원(세계), 4,600억원(국내)
- 향후 그린수소의 해외 수입 등에서의 액체수소 운송선박, 액체수소 저장, 운송 인프라 시장 진출

□ 기술적 효과

- 세계 최고 수준의 기술경쟁력 확보로 글로벌 기업의 기술 독과점을 차단
- 수소액화용 터보 압축기의 기술 확보를 통한 타 산업 (LNG 산업, 액체 헬륨 산업)의 압축기 기술 고도화

□ 사회적/환경적 효과

- 대용량 액화수소의 안정적인 공급시스템 구축을 통한 정부의 수소경제사회 활성화 및 탄소중립(Net Zero) 정책에 기여

□ 일자리 창출 효과

- 2030년 기준 수소액화플랜트 건설시장 4. 6조원, 압축기 부분 4,600억원
- 일자리 창출 (플랜트 및 압축기 부분 고용창출계수 0.83인/억원)
 - 사업비 고용효과 = 사업비 지출 × 고용유발계수 = 4,600억×0.83인/억 = 3,818명

* 2020년 재정사업 고용영향평가 가이드라인, 고용노동부

□ 민간 활용 방안

- 압축기 최종 실증(5톤/일 액화플랜트 연계실증) 이후 기술이전 등을 통해 민간에서 활용할 수 있도록 유도 / 기 개발한 핵심설비(열교환기, 팽창기 등)를 포함하여 액화시스템·플랜트 등으로 해외수출 추진
- 수소액화용 터보압축기 단품으로는 활용의 제약이 많음
 - 수소액화용 헬륨 터보압축기 단품으로는 활용처가 대용량 액체수소 플랜트에 국한되어 있어, 직접적인 활용이 제한적임
 - 다만 대용량 수소액화용 터보압축기는 세계적으로도 개발된 제품이 없는 관계로, 액화시스템/플랜트의 해외수출 시 핵심설비로서 포함되어 수출이 가능할 것으로 판단됨
- 배럴타입 원심압축기 설계 및 개발 기술은 활용도가 매우 높음
 - 국내에서는 현재 배럴타입 다단 원심압축기의 경우 개발 및 제조 실적이 없으며, 사용처에 관계없이 100% 수입에 의존하고 있음
 - 배럴타입 원심압축기는 정유 및 석유화학 플랜트에서 공기 및 실가스 가압 및 이송용으로 현재 많이 사용됨
 - 향후 대용량 에너지저장 시스템용 고압 공기 압축기에 대한 수요도 크게 증가할 것으로 예상됨
 - 배럴타입 원심압축기의 개발 필요성이 증가하고 있는 상황에서 본 과제를 통해 확보될 배럴타입 원심압축기 설계 및 개발 기술은 원천기술 측면에서 매우 활용도가 높음(R&D 이어달리기) 기 개발된 기초·원천 및 설계기술을 연계하여 플랫폼을 구축하고 실증플랜트 운영을 통한 최종 실·검증 추진