

# 이달의 신기술

## RENEWABLE ENERGY

### 화석연료 대체할 미래 에너지 수소에너지, 재생에너지

# 5

<b>COLUMN</b> .....	02
우리나라의 수소에너지 기술 개발 전략	
<b>인더스트리 포커스</b> .....	08
미래 에너지와 그린동력	
<b>이달의 산업기술상 사업화 기술</b> .....	24
성능과 안전성은 기본, 가격 절감까지 세 마리 토끼를 모두 잡다_ 일진복합소재(주)	
<b>SPECIAL</b> .....	40
전반적인 시장 위축에도 고급 디스플레이 수요는 강세	
<b>테크 컬처</b> .....	76
당신의 꿈은 온전히 당신 것인가? 복제된 현대인의 자화상, '더 문'	

# CONTENTS

MAY 2020

## THEME

## 기술을 말하다



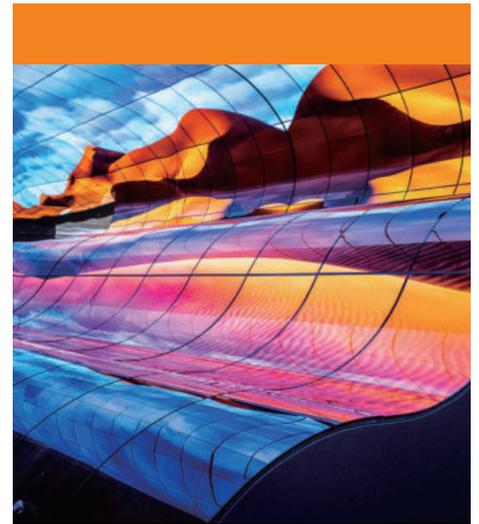
- 02 COLUMN  
우리나라의 수소에너지 기술 개발 전략
- 08 인더스트리 포커스  
미래 에너지와 그린동력
- 14 TREND & ISSUE  
독일의 수소에너지 인프라 구축 및 연구개발 추진 현황

- 24 이달의 산업기술상 사업화 기술  
\_ 일진복합소재(주)  
성능과 안전성은 기본, 가격 절감까지 세 마리 토끼를 모두 잡다



- 31 이달의 새로 나온 기술
- 35 이달의 사업화 성공 기술

- 40 SPECIAL  
전반적인 시장 위축에도  
고급 디스플레이 수요는 강세



- 44 R&D 기업 (주)아이컴포넌트  
세계 최고 IT 소재 기술 전문기업을 향해 나아가다
- 48 유망기술 ①  
As 및 Sb 미함유 친환경 원적외선 광학유리 소재 및 광학렌즈 기술 개발
- 52 유망기술 ②  
온실가스 저감용 방오 성능을 갖는 선박용 저마찰 필름 기술 개발
- 54 R&D 프로젝트\_ 한국자동차연구원  
수소택시 실증 기반 수소 저장 및 운전장치 요소부품 내구성 검증 기술 개발

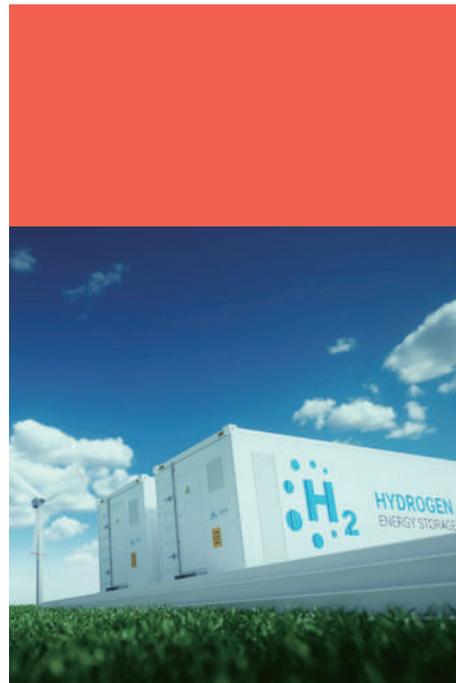
# 기술을 보다

## 56 4차 산업혁명

시시대의 새로운 교육법 뜬다  
“핵심은 문제 해결 능력”

## 62 미래 세계

재생에너지 증가가 석탄발전 하락 이끌어



등록일자 2013년 8월 24일

발행일 2020년 4월 30일

발행인 한국산업기술평가관리원 원장 정양호

발행처 한국산업기술평가관리원, 한국에너지기술평가원,

한국산업기술진흥원, 한국공학한림원

주소 대구광역시 동구 첨단로 8길 32(신서동)

한국산업기술평가관리원

후원 산업통상자원부

편집위원 산업통상자원부 김정희 국장, 이재식 과장, 홍기웅 사무관,

양동춘 사무관, 조원철 사무관, 배은주 사무관, 정재욱 사무관,

김영희 주무관, 강미래 주무관

한국산업기술평가관리원 한중석 본부장, 고병철 단장,

김세진 팀장, 박종성 책임

한국에너지기술평가원 이화웅 본부장

한국산업기술진흥원 오명준 본부장

한국산업기술문화재단 정경영 상임이사

한국공학한림원 남상욱 사무처장

편집 및 제작 한국경제매거진 (02-360-4845)

인쇄 영남프린텍 (063-964-1700)

구독신청 02-360-4845 / power96@hankyung.com

문의 한국산업기술평가관리원 (042-712-9230)

잡지등록 대구동, 라00026

※ 본지에 게재된 모든 기사의 판권은 한국산업기술평가관리원이 보유하며, 발행인의 사전 허가 없이는 기사와 사진의 무단 전재, 복사를 금합니다.

## 68 미래 인터뷰

수소에너지가 충분히 보급된  
수소경제 시대는 어떤 모습일까?  
수소융합얼라이언스추진단 이승훈 본부장

## 72 1318 테크

수소에너지의 문제점

## 76 테크 컬처

당신의 꿈은 온전히 당신 것인가?  
복제된 현대인의 자화상, '더 문'

## 78 리쿠르팅

## 80 NEWS

# 이달의 신기술



## 우리나라의 수소에너지 기술 개발 전략 수소 기술 개발 로드맵을 중심으로

2019년 1월 정부는 수소경제로 전환하기 위한 전략과 함께 수소 생산, 저장·운송, 수소차와 연료전지 발전 등의 수소 활용별 보급 목표를 포함한 '수소경제 활성화 로드맵'을 발표했다. 이후 정부의 보급 지원 정책 확대와 함께 수소차, 수소충전소 그리고 연료전지 발전소의 보급은 크게 늘어나고 있다. 하지만 지원 정책에 의한 보급의 확대는 오랫동안 지속되기는 어렵다. 즉, 진정한 수소경제를 구현하기 위해서는 관련 기술 개발이 선행되고 이를 통한 성능 향상, 가격 절감, 안전성 구현 등의 현안이 선결되어야 한다. 이에 따라 정부는 과학기술정보통신부를 중심으로 '수소경제 활성화 로드맵'의 후속 조치로 범부처 '수소 기술 개발 로드맵'을 2019년 10월 발표했다. 이에 본고에서는 수소 기술 개발 로드맵의 내용을 요약하고 여기에 담긴 우리나라 수소 관련 기술 개발 전략을 알아본다.

### 수소 기술 개발 로드맵 '기술의 분류와 정의'

범부처 수소 기술 개발 로드맵에서는 수소 관련 기술을 크게 5가지로 분류했다. 5가지의 대분류 기술은 수소화합물로부터 수소를 제조하는 생산 기술, 수소를 용도에 맞게 저장하고 운송·분배·공급하는 저장·운송 기술, 수소를 활용해 발생한 전기로 구

동하는 수송수단으로써의 활용 기술, 수소를 활용해 전기와 열을 생산하는 발전시스템으로써의 활용 기술, 그리고 수소 전주기 기술 개발을 뒷받침하기 위해 안전, 표준화·인증, 환경·경제, 인프라 및 기술 실증을 포함한 안전·환경·인프라 기술이며, 이 중 생산, 저장·운송, 그리고 두 가지의 활용 기술은 수소경제 활성화 로드맵의 분

류 체계를 그대로 따른 것이다. 이들 대분류는 18개의 중분류와 49개의 소분류로 구분돼 분류별로 로드맵이 구성됐으며, 이들 기술 분류는 <표 1>에 자세히 나와 있다. 소분류의 기술은 단위 제품 또는 공정 수준의 기술로 분류됐으며, 수소와 관련된 대부분의 기술이 포함돼 있다.

## 수소 기술 개발 로드맵

### ‘비전 및 목표’

수소 기술 개발 로드맵의 비전은 <그림 1>에 나타난 바와 같이 세계 최고 수준의 기술력 확보로 수소경제 선도국으로 도약하는 것이다. 이는 수소경제 활성화 로드맵의 비전인 수소 선도국으로 도약하는 것을 기술 개발로 뒷받침한다는 의미다. 또한 각 세부 기술의 목표는 분야별 목표와 기술적인 목표로 구성돼 있는데, 분야별 목표는 기술 개발 방향을 나타내고 세부 목표는 기술이 개발됐을 때 가져야 할 최종 특징을 나타낸다.

수소 생산을 예로 들면, 초기에는 저가의 수소 생산 기술을 상용화하는 데 집중하고 이후 그린수소 생산 기술을 개발해 기후변화에 대응한다는 전략으로 기술을 개발하며, 이 기술은 생산단가 목표인 kg당 2500원 수준의 가격 경쟁력을 갖추어야 한다는 목표를 보여주고 있다.

## 수소 기술 개발 로드맵

### ‘분야별 세부 기술 개발 전략’

수소 기술 개발 로드맵에서 제시한 중점 추진 전략은 세 가지다. 첫 번째는 수소 전주기 분야별 목표 달성을 위한 핵심 기술 개발을 추진하는 것이다. 국내 기술 경쟁력, 기술 실현 가능성, 적용 시기 그리고 경제성·환경성 향상 가능성 등을 고려해 핵심 기술을 선정하고 빠른 시장 진입이 가능한 분야는 시스템 및 제품 개발 위주로, 그리고 선진국과의 초기 경쟁선상에 있는 기술은 원천 기술 확보에 주력해 기술을 개발한다는 전략이다.

두 번째 전략은 수입 의존도가 높은 소

대분류	중분류	소분류
1. 생산	1-1. 연료 이용 수소 생산	1-1-1. 개질 반응
		1-1-2. 가스화 반응
		1-1-3. 생물학적 전환 반응
	1-2. 폐자원·바이오매스 이용 수소 생산	1-2-1. 가연성 폐자원 가스화
		1-2-2. 생물학적 발효
		1-2-3. 바이오매스 가스화
	1-3. 물분해 수소 생산	1-3-1. 전기분해
		1-3-2. 광분해
		1-3-3. 열 분해
1-3-4. 초고온 가스화		
2. 저장·운송	2-1. 물리적 수소 저장	2-1-1. 기체 수소 저장
		2-1-2. 액체 수소 저장
		2-1-3. 물리흡착 수소 저장
	2-2. 화학적 수소 저장	2-2-1. 액상 수소화물 저장
		2-2-2. 금속 및 무기 수소화물 저장
	2-3. 수소 운송	2-3-1. 육상 수소 운송
2-3-2. 해상 수소 운송		
3. 활용 (수송수단)	3-1. 육상용 수송수단	3-1-1. 승용차
		3-1-2. 상용차
		3-1-3. 철도차량
		3-1-4. 건설기계
		3-1-5. 개인이동
	3-2. 해상용 수송수단	3-2-1. 연안선박
		3-2-2. 대양선박
	3-3. 항공용 수송수단	3-3-1. 드론
		3-3-2. 유인항공기
4. 활용 (발전·산업)	4-1. 수소 활용 공통 기술	4-1-1. 연료전지 소재
		4-1-2. 연료전지 엔지니어링
	4-2. 고정형 연료전지	4-2-1. 마이크로 열병합
		4-2-2. 분산발전용
	4-3. 융·복합 발전	4-3-1. 융합(연계) 플랫폼 기술
		4-3-2. 연료전지 네트워크
4-4. 수스타빈	4-4-1. 중대형 발전용	
	4-4-2. 소형 발전용	
5. 안전·환경·인프라	5-1. 안전 기술	5-1-1. 소재·부품·시스템 안전
		5-1-2. 시설 및 설치 안전
		5-1-3. 사고 예방 기술
		5-1-4. 품질 및 측정 기술
	5-2. 표준화 및 인증 기술	5-2-1. 수소 모빌리티 표준화
		5-2-2. 수소에너지 표준화
		5-2-3. 수소 공급 및 계량 표준화
		5-2-4. 시험인증 기술 표준화
	5-3. 환경 및 경제성	5-3-1. 환경성 평가
		5-3-2. 경제성 평가
5-4. 수소 공급 인프라	5-4-1. 수소 충전 기술	
	5-4-2. 수소 병커링	
5-5. 수소사회 기반 구축	5-5-1. 수소 클러스터	
	5-5-2. 수소도시 실증	

<표 1> 수소 전주기 기술 분류 체계

세계 최고 수준 기술력 확보로 수소경제 선도국으로 도약

1. 저가 수소 대량 생산 기술 상용화 및 그린수소 생산 기술 개발



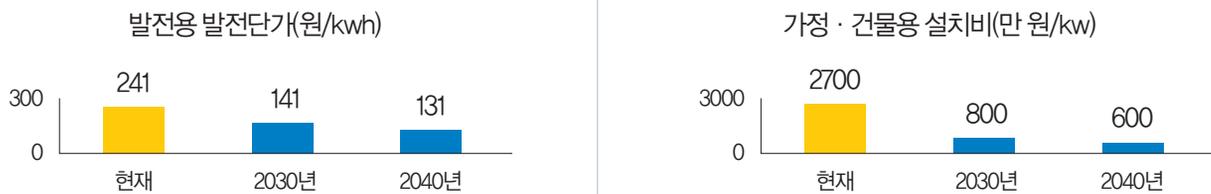
2. 다양한 저장·운송 핵심 기술 확보 및 전략적 운송 인프라 구축

차량용 탱크 가격 2030년 45만 원/kg (현재 100만 원/kg)	총전소용 탱크 용기 2030년 타입4 복합소재 (현재 타입1 금속소재)	트레일러 운송비 2040년 700원/kg (off-site 기준)	배관망 구축 비용 2040년 4억 원/km, 100bar (현재 10억 원/km, 20bar)
---	---	--	--

3. 연료전지시스템 기반의 수송수단 저변 확대

현재	승용차, 상용차, 소형 건설기계
2030년	육상 수송수단, 연안선박, 수소드론 상용화
2040년	대양선박, 유인항공기 상용화가 가능한 원천·제품화 기술 개발

4. 발전용 연료전지시스템 고효율·저가화 기술 확보



5. 수소 안전·제도 완비, 표준 선점, 보급 기반 확대

안전 확보를 위한 데이터베이스 구축률 2030년 100%	국제표준 제안 2030년 15건	총전소 구축비용 2030년 300만 원/kg
------------------------------------	----------------------	-----------------------------

〈그림 1〉 수소기술개발 로드맵의 비전과 목표

재·부품의 국산화와 성능 개량을 추진하는 것이다. 이는 최근의 대일 무역 마찰에 따라 소재·부품에 대한 국내 기술력 확보 요구에 대응한 전략이라고 할 수 있다.

마지막 전략은 미래 시장 개척 및 글로벌 시장 선도를 위한 기술 개발로 세계적으로 기술 성숙도가 낮아 시장이 아직 형성되지 않았으나 성장 가능성이 있는 장기 유망한 분야와 국내의 여건보다는 해외에 적합한 수출 시장 및 틈새 시장을 공략할 수 있는 기술의 개발이다. 이 세 가지 전략이 모두 다 중요하다고 할 수 있으나, 지면이 짧아 국내 목표 달성을 위해서는 첫 번째 전략 위주로 분야별 전략을 기술했고, 핵심 기술별 주요 전략은 <그림 2>를 참고하면 된다.

수소경제가 활성화됨에 따라 수소의 수요는 급증할 것으로 예상된다. 따라서 국내 수소 공급의 대부분을 차지하고 있는 부생수소는 생산량 확대에 한계가 있기 때문에 빠른 시일 안에 수소의 대량 생산 기술을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 동시에 기후변화에 대응할 수 있는 에너지 기술의 개발도 매우 중요한 요소다. 이러한 점을 고려해 수소 생산 기술의 개발 전략은 국내 현실에 적합한 중소형 개질 수소 생산 기술을 확보해 단기 수요에 대응하고, 수전해 기술과 같이 경제성 확보와 대량 생산이 가능한 친환경 수소 생산 기술 개발을 통해 그린수소로 점진적으로 전환한다는 전략을 수립했다.

수소 저장·운송 기술의 개발 전략은 물리적·화학적 저장 및 이를 운송하는 여러 종류의 핵심 기술을 우선 확보한다는 전략이다. 하지만 이들 기술은 각각 대규모 인프라 구축을 필요로 하기 때문에 우선 국

가의 전략적 수소 공급 시나리오를 수립하고 이후 다시 검토해 적합한 기술에 집중 투자하는 전략을 가지고 있다. 국가 수소 공급 시나리오 구축을 위해서는 경제적·환경적 분석이 필요하며, 이러한 분석 및 평가 방법은 안전·환경·인프라 분야에 개발 전략이 나와 있다.

우리나라는 수소 승용차 분야에서 세계 최고 수준의 기술력을 가지고 있다. 하지만 그 외의 부분에서는 상대적으로 뒤처지고 있기 때문에 승용차 분야의 기술력을 다른 수송 분야로 확대할 필요가 있다. 따라서 이 분야의 기술 개발 전략은 승용차 분야의 기술력을 모듈화하고 이를 활용해 철도, 드론 등 타 수송 분야로 확대한다는 전략이다. 또한 이러한 응용 분야의 확대를 위해 전장 및 전기 동력 추진체 기술을 개발한다는 전략을 수립했다.

발전용 연료전지 분야에서는 소재·부품의 국산화와 고효율·고신뢰 제품의 개발, 제품의 다양화 등을 통해 경제성을 높이는 한편 성능 향상 기술에 집중해 시장 경쟁력을 확보한다는 전략을 가지고 있다.

마지막으로 안전·환경·인프라 분야의 기술은 수소경제 이행을 위해 시급한 기술이기 때문에 기반 구축과 함께 지속적으로 개발해 안전성 확보 기준을 마련하고 기술 표준화 프로세스를 구축한다는 전략이다. 또한 위에 기술한 바와 같이 국가 수소 공급 인프라 구축 전략 등을 마련하는데 필요한 경제성·환경성 평가 및 분석연구를 수행하고, 실증을 통한 기반 구축을 이루어 나간다는 전략이다.

수소 기술 개발 로드맵에는 이러한 핵심

기술 전략 이외에도 소재·부품의 국산화, 미래 시장형 또는 해외 시장형 기술의 세부 기술별 개발 전략도 각각 수립돼 있으며, 이러한 전략이 균형 있게 추진돼야 우리나라의 수소경제에 좋은 결과로 나타날 수 있을 것이다.

## 수소경제로의 전환과 미래 에너지 강국으로 도약

우리나라의 수소경제에 대한 확신과 의지는 수소경제 활성화 로드맵, 수소 기술 개발 로드맵, 그리고 작년 12월 국회를 통과한 '수소경제 육성 및 안전에 관한 법률'에서 쉽게 알 수 있다. 수소경제는 환경 영향 및 자원 고갈이 없는 유일한 에너지 시스템이며, 자원에 의존하는 것이 아니라 기술에 의존하기 때문에 우리나라처럼 자원이 풍부하지 않은 국가가 추진해야 할 시급하고 적절한 과제라고 할 수 있다. 또한 수소 관련 기술의 개발은 수소경제로의 전환과 우리가 미래 에너지 강국으로 도약하는 데 있어 매우 중요한 요소이기 때문에 적절한 전략을 가지고 추진해야 한다.

이에 정부는 수소 시장, 산업, 정책, 기술 환경을 분석하고 우리나라에 적합한 기술 개발 전략을 수소 기술 개발 로드맵에 담았고 대형 연구개발사업을 통해 수소 관련 기술 개발을 추진하려고 한다. 그 일환으로 정부는 과기정통부를 중심으로 범부처 연구개발사업의 예비타당성 조사를 준비 중이다. 이러한 사업 추진이 성공적으로 이루어졌을 때 우리는 친환경, 고갈 없는 수소경제로 전환할 수 있고, 또한 에너지 강국으로 도약할 수 있을 것이다.

대분류	중분류	현 수준	단기					중기		장기		목표
			~2020	2021	2022	2023	2024	2025	~2028	~2030	~2035	
수소 생산	연료 이용	시스템 설계, 소규모 실증	소형 개질 수소 생산 시스템 개발									시스템 효율 78%(HHV)(2030)
			중형 개질 수소 생산 시스템 개발									
	물분해	1MW급 원천 기술 및 스택 기술 개발	알칼라인 수전해 시스템 개발									2030년 100MW급 시스템 개발 ※시스템 효율 50kWh/kg-H <sub>2</sub> , 재생전원 연계 수십MW급 실증(2030)
고분자 전해질 수전해 시스템 개발												
	설계 단계	재생에너지 연계 P2H 기술 개발										

저장·운송	물리적 수소 저장	100만 원/kg 0.1톤/일, 3m <sup>3</sup> /탱크 1기	고압수소 저장시스템 가격 저감 기술 개발									45만 원/kg 50톤/일, 8만 m <sup>3</sup> /탱크1기
			수소 액화플랜트 및 저장 기술 개발									
	화학적 수소 저장	유기수소화물 신소재 개발	액상수소화물 저장 및 추출 기술 개발 (유기수소화물 / 암모니아(추출))									1000Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> /h급 수소추출시스템
수소 운송	200bar 튜브트레이일러, 단거리 배관망 원천 기술 개발, 기본 설계	육상 운송비용 저감 기술 개발 (대용량 기체 / 대용량 액체 / 수소 배관망)	육상 운송비용 저감 기술 개발									1500L · 450bar 튜브트레이러, 3.5톤급 탱크로리 등 16만 m <sup>3</sup> 급 액체수소운송선
			해외 생산 수소 이송용 선박 기술 개발									

기술 개발 현황/보급 실적/경제성·환경성 분석 이후 ▲ 국가수소공급 전략 수립 및 기술 개발 재정비

활용 (수송수단)	육상용	국내 개발 및 실증 단계	연료전지시스템 모듈화 및 전장장치 개발 (수소열차용 / 중대형 건설기계) (고속철도용)									(철도) 내구 25년 (건설기계) 내구 2만 시간
	해상용	R&D (대양선박은 기초연구)	수소선박 연료전지시스템 개발 ( 소형선박용 ) ( 대양선박용 )									시스템 가격 50만 원/kW, 내구 20년
	항공용	핵심 부품 기술 해외 의존	수소드론 시스템 개발 (일반 및 특수목적용) (대형물류 운송용)									시스템 출력밀도 0.6kW/kg(2030)

활용 (발전·산업)	고정형 연료전지	시스템 가격 2700만 원/kW(PEMFC 기준) 효율 약 75% 발전단가 241원/kWh	마이크로 열병합 소형화·제품 다양화									시스템 가격 800만 원/kW(2030) 효율 90%(2030) 발전단가 141원/kWh(2030)
			분산발전용 고효율·고신뢰성 연료전지시스템 개발									
			대규모 발전용 연료전지시스템 개발									

안전·환경·인프라	안전 기술	선진국 의존 안전성 평가 기술 수준 78% 품질 표준/장비 개발 2건	소재, 부품, 시스템 안전평가 기술 개발					DB구축				DB 구축 100% 안전성 평가 기술 수준 98% 품질 표준/장비 개발 누적 10건
			전주기 설치, 안전 및 사고 예방 기술 개발									
			전주기 안전 모니터링 및 관리									
	표준화 및 인증 기술	국제표준 미흡 시험 인증 기준/장비 3건	품질 및 측정 기술(시험법/장비) 개발									국제표준 15건 시험 인증 기준/장비 10건
			모빌리티, 에너지 및 금공/계량 등 표준 개발									
환경 및 경제성 평가	인벤토리·환경성 평가 기준 없음 수소 분야 적용 경제성 평가 프로그램 없음	전주기 환경성 분석 프로그램 개발					검증 및 보완				수소 전주기 통합 환경성·경제성 평가 프로그램 구축	
		환경·경제성 통합 분석 프로그램 개발										
		전주기 경제성 분석 프로그램·비즈모델 개발					검증 및 보완					
수소 공급 인프라	국산화율 40% 유사연료 병커링 터미널 기초설계	수소 충전 기술 개발					평가 및 실증				국산화율 100% 6만3000m <sup>3</sup> /주 병커링 터미널 설계	
		수소 병커링 기술 개발					검증 및 항만 실증					
수소사회 기반 구축	사례 없음 소규모 실증 진행 중	수소 전주기 분야별 집적 클러스터 실증									밸류체인별 구축 도시 단위 건물/교통/기반 실증	

▲ 저장·운송 전략 수립에 활용

〈그림 2〉 핵심 기술 개발 전략  정부의 집중 지원이 필요한 기간

# Innovation Bank of Korea

# 나는 새롭다

은행을 벗어나자  
금융이 있어야 할 곳은 고객의 옆이다

당신을 이롭게 금융을 혁신하다  
Innovation **Bank of Korea**



IBK캐피탈 IBK투자증권 IBK연금보험 IBK자산운용 IBK저축은행 IBK시스템 IBK신용정보



참! 좋은 은행

**IBK 기업은행**

### 미래 에너지 전망과 신기후체제 이행

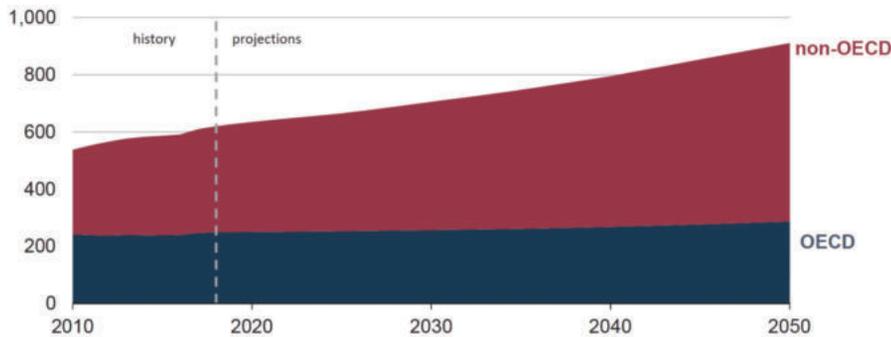
먼저 미국정보협회에서 보고한 IEO (International Energy Outlook 2019)에 따르면 2050년까지 총 에너지 사용량은 비

경제협력개발기구(OECD) 국가를 중심으로 현재 대비 50% 이상 증가할 것으로 예상되고 있다. 하지만 우리나라가 속해 있는 OECD 국가의 경우 에너지 상승세는 정

체되면서 에너지의 섹터별 · 연료별 포트폴리오만 재배열될 것으로 예측되고 있다. 분야별로는 산업용이 가장 가파르면서 큰 증가폭을 보일 것으로 예상되며 뒤를 이어 수송용, 주거용, 상업용 순으로 예측되고 있다. 연료별로는 석유계 액체연료가 여전히 높은 분포를 보이는데 이것은 액체연료의 높은 에너지밀도와 저렴한 가격, 그리고 화학제품의 원료로 사용되기 때문이다.

여기서 주목할 만한 것은 전기의 사용량이 매우 가파르게 증가한다는 것이다. 인구의 증가, 삶의 질 향상 등은 저개발 국가의 국민소득 확대와 함께 전기 사용량을 크게 증가시킬 것이다. 자동차와 같은 수송수단의 전동화와 여전히 꾸준한 증가세

World energy consumption  
quadrillion British thermal units

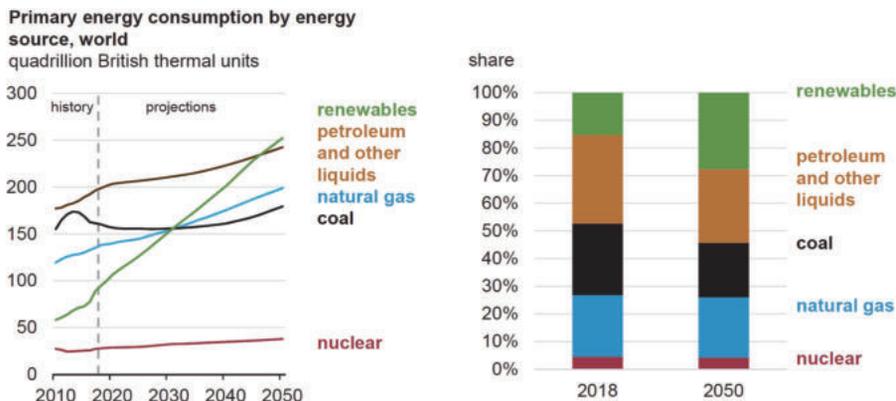


〈그림 1〉 세계 에너지 소비량 전망  
출처 : 미국정보협회

## 미래 에너지와 그린동력

미래학자들은 종종 메가트렌드를 제시하면서 미래를 예측하곤 한다. 다양한 출처의 미래 메가트렌드를 분석해 보면 공통적으로 나타나는 현상이 도시화, 고령화, 개인화 등이고 에너지 측면에서 본다면 지속가능한 에너지, 재생에너지, 온실가스 저감으로 대변된다고 할 수 있다. 기계장치의 동력 측면에서는 다중 개인기기의 증가 및 전동화가 미래 트렌드로 나타나고 있는 것으로 보고되고 있다. 이를 토대로 미래의 에너지는 어떤 흐름으로 전개될 것인지 예측해 보고자 한다.





〈그림 2〉 세계 에너지원별 에너지 소비량 전망  
출처 : 미국정보협회

를 보이는 산업용 전기 수요 또한 전 세계 적인 전기에너지 사용량을 높일 것으로 예상되고 있다.

IEO 보고서에 따르면 전기 사용량이 늘어나면서 재생에너지 소비량은 매년 3%를 웃도는 증가율을 보이며 매우 가파르게 상승할 것으로 예측된다. 화석연료 중에서 1.1%로 가장 높은 연평균 상승률이 예상되는 천연가스와 비교해도 괄목할 만한 증가세다. 석탄의 경우 천연가스와 재생에너지의 증가로 감소세를 보이다 2040년을 기점으로 아시아 비OECD 국가의 전기 수요가 늘면서 다시 증가세로 전환될 것으로 예상된다.

2015년 12월 유엔기후변화협약 당사국 총회(COP21)에서는 유엔 회원국 195개국이 참여해 기존의 교토의정서를 대체하는 새로운 합의문으로 신기후체제가 선언됐는데, 이 합의문에 따라 각 국가는 자발적으로 제안한 온실가스 감축안을 올해부터 의무적으로 이행해 나가야 한다는 내용이 다. 이 합의문은 국제법상의 구속력은 없지만 모든 당사국이 감축 의무를 가지는 최초의 범세계적 기후합의라는 데 큰 의미

가 있으며 재생에너지 분야의 비중 증가, 온실가스 배출권 거래제라는 이슈를 등장시켰다. 이 같은 신기후체제의 확대는 에너지의 거의 대부분을 수입에 의존하는 우리나라와 일본 등에 에너지 정책의 변화를 몰고오면서 국가 에너지 정책의 변화 기조에 맞춘 연구개발 투자와 산업 투자가 수반되고 있다.

### 재생에너지 연계 수소에너지

지금까지 살펴본 바와 같이 지구온난화라는 대전제하에 온실가스 감축을 목적으로 추진되는 신기후체제의 등장과 맞물려 미래 세계 에너지 수요와 시장 변화는 한마디로 재생에너지의 가파른 증가로 이어질 수 있다. 재생에너지는 햇빛이나 바람, 물, 파도, 지열 등 지속적으로 공급할 수 있는 재생 가능 에너지를 통칭한다. 재생 에너지는 대부분 에너지 발생 지역과 소비 지역이 다른 경우가 많아 에너지 이동이 용이한 전기에너지의 형태로 변환돼 사용되는데 전기에너지의 경우 부하의 변동성과 장기적인 저장 측면에서 문제점을 가지고 있다.

이를 해결하기 위해 재생에너지로부터 얻은 미활용 전기에너지를 이용해 물을 전기분해한 후 수소를 생산하거나 탄소와 결합시킨 합성연료를 생산해 이용하는 Power to Gas(P2G) 또는 Power to Fuel(P2F) 개념이 등장했다. P2F 기술은 CCU(Carbon Capture & Utilization) 기술과 직접적으로 연동되게 되는데 CCU 기술은 이산화탄소를 연소기로부터 안정적으로 포집한 후 이를 전력, 고온의 열, 물이나 스팀을 투입해 반응시켜 탄화수소계 합성연료(e-fuel)를 산출해낸다. 하지만 우리나라에서의 이산화탄소 포집과 저장 및 운반 기술은 낮은 경제성과 기술 완성도 부족으로 아직 산업의 한 형태로 정착하기에는 시간이 더 필요하다.

주목할 만한 것은 재생에너지와 연계된 P2G 시스템의 경우 새로운 에너지 캐리어로서 수소에너지를 등장시키며 이 수소에너지는 탄소를 전혀 포함하지 않고 있기 때문에 청정하면서도 신기후체제 이행을 위한 에너지 스펙트럼에서 매우 중요한 부분을 담당하게 될 것이라는 점이다.

그렇다면 신에너지로 대변되고 있는 수소에너지에 대해 좀 더 살펴보자. 먼저 수소를 이해하기 위해선 수소의 물성부터 알아야 한다. 수소(H<sub>2</sub>)는 수소원자 두 개가 결합된 분자로 상온에서 가스 상태로 존재하며 영하 253도에서 액체 상태로 변한다. 가스밀도와 점성은 매우 낮고 확산성은 아주 높다. 점화를 일으키는 최소 에너지는 탄화수소계 연료에 비해 10분의 1 수준으로 매우 낮은 반면 화염이 전파하는 속도는 8배 이상으로 빠르다. 수소가 공기 중에 4~75% 섞여 있을 때 점화가 가능하며 매

우 넓은 가연 한계를 가지고 있고 대기 중에 노출됐을 경우 공기보다 가볍기 때문에 급속히 상승하면서 확산하는 특징이 있다. 수소는 분자 크기가 매우 작아 누설의 위험성이 높으며 일부 고무류 또는 금속류 재질은 수소에 의해 경화되거나 취화되기 때문에 수소 취급 시 재질 선택에 유의해야 한다. 수소는 색깔도 없고 향도 나지 않으며 맛도 느낄 수 없다. 수소는 연소 시 매우 반응성이 높은 활성 이온을 많이 만들기 때문에 연소 속도가 빠르고 반응이 급격하게 진행된다. 또한 수소 분자는 일정 조건에서 촉매에 의해 이온화되면서 전자를 방출하므로 이를 이용한 연료전지에 쓰일 수 있다. 이러한 수소를 연소기나 전지에 연료로 사용할 경우 온실가스를 배출하지 않거나 배출량을 최소화할 수 있다는 장점이 있어 친환경 연료로 주목받고 있다. 충분한 전기가 있다면 전기분해를 통해 물로부터 비교적 쉽게 수소를 얻을 수 있기 때문에 자원의 지역 의존성이 대폭 줄게 되고 직접 연료로 사용되거나 합성연료를 만드는 원료로 사용될 수 있어 새로운 에너지 캐리어의 역할을 담당할 것으로 예상된다. 하지만 수소 저장용기의 무게와 부피 문제로 인한 사용범위의 제한성과 수소의 특성에 기인한 안전 문제는 반드시 극복해야 할 단점이며 아직까지 구축되지 않은 수소 제반시설(인프라) 또한 많은 투자가 필요한 상황이다.

### 무탄소에너지 이용 그린동력 기술

이러 수소에너지, 암모니아에너지 등 무탄소에너지를 이용하는 그린동력 기술에 대해 살펴보자. 다양한 그린동력 기술이



〈그림 3〉 벨기에 ABC가 설계한 6기통 수소엔진  
출처 : [www.abc-engines.com](http://www.abc-engines.com)

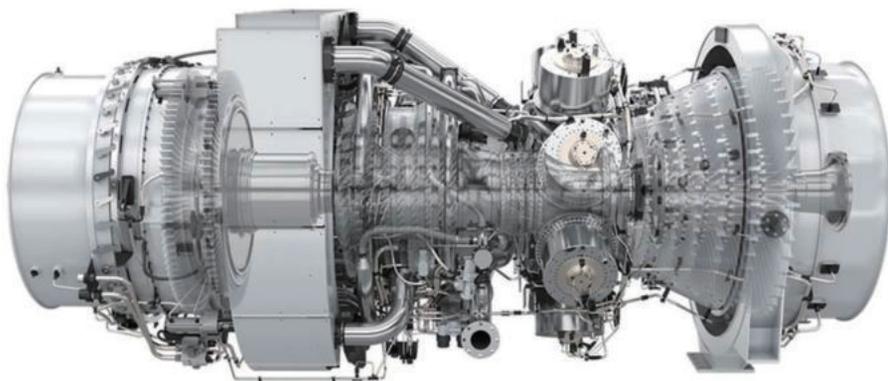
있지만 여기서는 미래 무탄소에너지와 연관이 가장 큰 수소동력과 암모니아동력을 다루도록 하겠다.

먼저 수소동력은 크게 내연기관 기반 동력장치와 연료전지 기반 동력장치로 나눌

수 있다. 내연기관 수소동력장치로는 수소엔진과 수소가스터빈이 대표적이다. 수소엔진은 독일의 BMW, 미국의 포드, 일본의 마쓰다에서 개발해 일부 상용화됐지만 강화된 배기규제로 지금은 판매되지 않는다.



〈그림 4〉 벨기에 CMB의 수소엔진 탑재 연락선  
출처 : [www.cmb.be](http://www.cmb.be)



〈그림 5〉 지멘스 SGT-A65 가스터빈  
출처 : 지멘스사 웹사이트, siemens.com

하지만 최근 재생에너지와 연계된 수소에  
너지 이용에 대한 기대감으로 발전용과 선  
박용 시장에 수소엔진이 다시 등장했다.

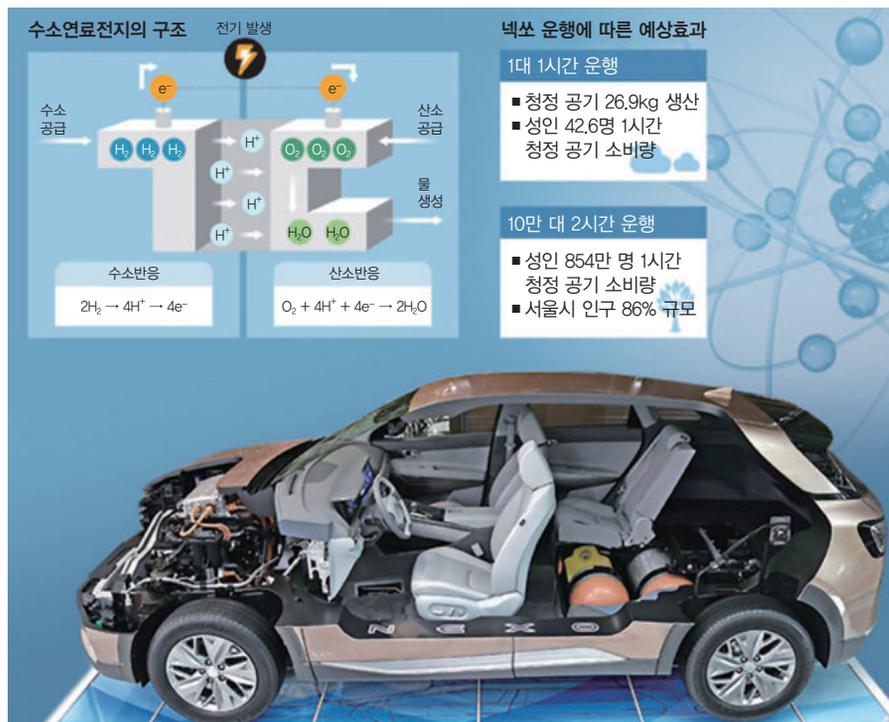
벨기에 CMB는 볼보 펜타엔진을 개조해  
1000마력의 수소엔진을 개발했으며, ABC  
와 협업해 선박용으로 중속 수소엔진을 선  
보였는데 출력 범위는 0.8~3MW이고 배기  
수준은 국제해사기구(IMO) Tier III 질소산화  
물 기준의 10분의 1 이하인 것으로 보고됐  
다. CMB는 또한 50kW 볼꽃 점화방식 수소  
엔진을 이용해 하루 500kg의 이산화탄소  
를 저감시킬 수 있는 실증연구도 진행했다.  
독일 KEYOU는 7.8리터 6기통 엔진을 개발  
중인데 출력 180kW를 나타내면서 희박연  
소, 배기재순환과 H<sub>2</sub> SCR 후처리 시스템을  
이용해 배기규제를 만족시키고 있다.

가스터빈산업 분야에서도 최근 수소를  
부분적으로 이용하거나 100% 이용하는  
연구개발이 다양하게 진행되고 있는데 천  
연가스 가스터빈에 수소를 혼소시키는 연  
구를 시작으로 점차 수소 혼소량을 증가시  
키면서 궁극적으로 100% 수소를 사용하  
는 가스터빈으로 발전시켜 나가고 있는 추  
세다. 일본의 가와사키중공업은 가스터빈  
수소 전용 연소 기술을 개발했으며, 이는

1MW급으로 증기 또는 물 분사 없이 질소  
산화물 배출이 현 배기규제 수준을 넉넉하  
게 만족시키는 40ppm 이하를 보이는 것  
으로 알려졌다. 독일 지멘스는 SGT-A65  
가스터빈을 100% 수소를 적용해 운영하  
는데 성공했으며, 시장 수요를 반영해 현  
재는 20%의 수소를, 2030년에는 100% 수

소를 가스터빈에 이용할 계획이다. 미국  
GE 또한 수소를 부분적으로 전소시켜 전  
기를 생산하기 위한 수소 가스터빈 개발을  
진행하고 있는데, 특히 호주의 실증사이트  
에서 15MW 수전해 플랜트와 연계한 후  
10MW 수소 가스터빈을 개발 중이다.

다음으로 수소연료전지 동력원에 대해  
알아보자. 연료전지만 연료와 산화제의 반  
응을 통해 화학적 에너지를 전기에너지로  
변환시켜 주는 장치다. 연료전지는 여러  
종류가 있고 용도도 다양하지만 이 지면에  
서는 차량용 수소연료전지에 대해서만 언  
급하겠다. 수소연료전지를 차량용 동력 시  
스템으로 이용하기 위해서는 직접적으로  
전기를 발생시키는 연료전지 스택과 여러  
가지 주변 장치, 즉 BOP(Balance of Plant)  
부품이 필요하다.



〈그림 6〉 수소연료전지 구조 및 수소연료전지차 넥소 단면도  
출처 : 현대자동차 & 문화일보

수소연료전지차의 핵심 부품으로는 연료전지 스택과 수소 저장 탱크, 수소 공급 밸브 및 압력 레귤레이터, 에어컴프레서, 가습기, 온도 제어 밸브, 수소 센서, 스택 냉각수 및 냉각수 펌프 등이 있다. 모두 기술적 난이도가 높은 것으로 700기압의 수소저장 시스템으로부터 안정적으로 수소를 스택에 공급해야 하고 대기 중의 불순물을 완전히 정화시켜 깨끗한 공기를 공급해 스택 온도를 적정하게 유지시켜야 한다. 물론 구동은 전기차와 같이 모터와 감속기를 통해 이루어지기 때문에 전기를 저장하고 부하를 조절할 수 있도록 고전압 배터리를 장착하고 있으며 모터를 제어하기 위한 인버터 탑재는 필수다.

세계적으로 수소연료전지차를 상용화시켜 판매하고 있는 곳은 현대, 도요타, 혼다 등 3사다. 현대자동차의 넥쏘와 도요타의 미라이, 혼다의 클래리티가 현재 가장 완성도 높은 수소연료전지 구동 승용차로 판매되고 있다. 현대 넥쏘는 85kW 출력의 연료전지 스택으로부터 약 300~400V의 전기가 생산되고 있으며 시스템 효율은 60%를 상회하고 있는 것으로 알려졌다. 최대출력은 120kW이고 영하 30도에서도 시동이 가능하며 5분의 충전으로 600km 이상을 주행할 수 있다.

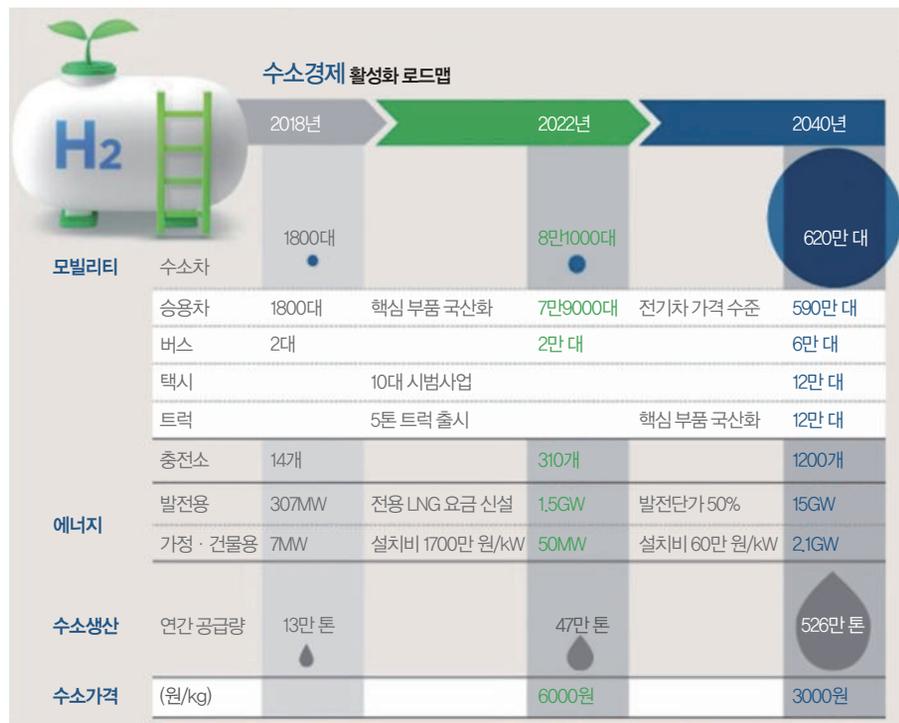
연료전지 시스템은 수소를 연료로 사용함으로써 이산화탄소 배출이 없고 깨끗한 공기를 스택에 공급해야 하기 때문에 초미세먼지 제거 필터를 장착해 대기 중으로부터 초미세먼지를 99.9% 이상 걸러내는 공기정화 기능도 갖추고 있다. 또한 수소연료전지를 통해 전기를 생산하기에 다량의 수소연료전지차를 이용하면 외부로

전력 공급이 가능한데 현대자동차에 따르면 수소연료전지차 약 10만 대를 동시에 발전시킬 경우 원자력발전소 1기에 해당하는 전력 공급이 가능할 것으로 분석하고 있다. 이러한 수소연료전지차의 장점에도 불구하고 연료전지 스택에 촉매로 사용되는 귀금속(백금)으로 인해 차량 가격이 상대적으로 비싸고 연료전지 스택의 주요 구성품인 막전극접합체(Membrane Electrode Assembly)의 대량 생산이 쉽지 않아 기술 개발을 통해 백금 사용량을 더욱 줄이고 대량으로 스택컴플리트를 개발할 수 있는 공정 개발의 고도화가 필요하다.

다음으로 수소와 더불어 무탄소연료의 또 다른 축으로 거론되는 암모니아(NH<sub>3</sub>)는 수소를 원료로 하버보쉬법에 따라 대량 생

산이 가능하며 비료의 원료로 전 세계적으로 유통되고 있다. 암모니아가 최근 각광받기 시작한 것은 바로 물성에 기인한 저장과 운송의 편리성 때문이다. 더욱이 국제해사기구에서는 2050년까지 선박용 이산화탄소 배출량을 2008년 수준 대비 50% 이상 저감시키는 것을 법으로 규정하고 있기 때문에 연료 공급과 저장성이라는 벅커링 측면에서 대형 선박 추진 시스템에 암모니아 연료 도입의 필요성이 대폭 증가하고 있는 것이다.

이와 같은 이유로 중동이나 호주 같은 태양광이나 노지갈탄이 풍부한 나라에서 수소를 생산한 후 이를 암모니아로 변환시켜 에너지를 공급하려는 계획이 속속 발표되고 있다. 암모니아는 연소 측면에서 탄소를 포함하지 않고 있다는 장점이 분명하지



〈그림 7〉 우리나라 수소경제 활성화 로드맵

출처 : 정부, 뉴시스

만 연소 기술 고도화를 통한 낮은 발열량 문제 극복과 연소 후 다량 발생이 예상되는 질소산화물 저감이 반드시 필요하다. 암모니아는 액화온도가 영하 33도이고 저장용기 내 압력을 10기압 이상으로 유지하면 상온에서도 액체 상태로 존재한다. 암모니아는 질량에너지밀도와 체적에너지밀도의 차이가 수소에 비해 크지 않기 때문에 무게보다는 부피에 더 영향을 받는 선박용에서의 운반성과 저장성 측면에서 유리한 측면이 있다. 하지만 암모니아는 인체에 해로운 독성 물질이기 때문에 누설에 철저히 대비해야 하며 안정적으로 연료를 공급하기 위한 연료 공급 시스템의 개발이 선행되어야 한다.

## 수소경제 활성화 로드맵과 에너지 포트폴리오

우리나라 정부는 2019년 수소경제 활성화 로드맵을 제정해 발표했다. 이 로드맵의 비전은 세계 최고 수준의 수소경제 선도 국가로 도약하는 것이며, 이의 구체적 이행을 위해 수소 생산과 저장, 운송, 활용이라는 큰 그림과 구체적 이행 목표 및 계획을 제시했다. 수소 생산 분야에서는 초기에는 부생수소와 추출수소로 대변되는 그레이 수소를 시작으로 재생에너지와 연계한 수전해와 해외 생산을 통한 그린 수소 생산과 공급을 궁극적으로 고려하고 있는데, 2040년 기준으로 연간 526만 톤을 안정적으로 공급해 수소 가격을 kg당 3000원 이하로 유도하는 것을 목표로 하고 있다. 수소 저장과 운송 분야에서는 안정적이고 경제성 있는 수소 유통체계 확립을 목표로 다양한 수소 저장 방법과 튜브

트레일러와 파이프라인 보급 확대를 계획하고 있다. 이 부분에서 수소 저장을 위한 수소 액화와 액상 저장 기술 고도화, 가스 상태의 수소 저장 고압화 기술 개발이 매우 중요한 이슈로 부각됐다. 참고로 국내 전역에 걸쳐 매설된 천연가스 파이프라인은 재질에 의한 내구성의 취약 문제로 수소용으로는 사용이 불가능하기 때문에 수소 내취화성이 있는 재질의 파이프라인 연구와 설치도 수반돼야 한다. 마지막으로 수소 활용 분야에서는 수소 모빌리티와 연료전지 발전이 양대 축으로 제시되고 있는데 수소차는 2040년까지 620만 대 보급, 수소충전소는 1200곳 구축을 목표로 추진 중이며, 연료전지 발전의 경우 2040년까지 가정 건물용 연료전지 2.1GW, 발전용 연료전지 15GW 보급을 계획하고 있다. 수소가스터빈의 경우 지속적인 기술 개발 및 실증을 통해 2030년 이후 상용화 보급을 추진하고 있다.

앞에서도 언급했듯이 세계의 총 에너지 수요는 계속 증가할 것이며, 이는 에너지 분야의 산업과 관련 시장도 계속 성장해 나갈 것이라는 것을 뒷받침해 준다. 우리나라가 속한 OECD 국가에서는 신기후체제를 이행하기 위해 무탄소연료인 수소나 암모니아로 에너지 캐리어가 점진적으로 전환될 것으로 예상되며 재생에너지로서 기존의 화석에너지를 대체하려는 노력을 끊임없이 경주할 것이다.

반면 저개발국이나 비OECD 국가에서는 삶의 수준 향상에 따른 에너지 소비 증가로 기존의 화석연료 기반 전기에너지의 수요 또한 지속적으로 증가할 것이다. 여기에 우리나라는 본격적인 산업화 이후

국내 에너지의 95% 이상을 해외로부터 의존하고 있다는 것을 고려하면 에너지원의 다변화와 에너지 수입 국가의 다각화 또한 매우 중요한 요소다. 따라서 국내 재생에너지 관련 기술을 지속적으로 발전시키고 무탄소연료인 수소에너지 비율을 지속적으로 올려가면서 기존 화석연료 이용 기술의 고도화도 병행해 나가야 한다. 적용 분야에 따라서도 수소연료전지, 수소 내연기관, 암모니아 이용 시스템 등 무탄소 동력장치를 시의적절하고 유연하게 보급 및 사용해야 하며, 아무리 무탄소연료라 하더라도 하나의 연료와 하나의 에너지 공급 방법에만 치중해서는 안 된다. 이러한 에너지 포트폴리오의 현명한 관리는 불확실한 세계 정세와 경기에 맞물려 에너지 안보를 위해 매우 중요하다.

많은 경제학자와 기술전문가들은 지난 한 세기를 지배해온 석유의 시대를 지나 현재 천연가스의 시대에 접어들었다고 말하곤 한다. 그리고 미래의 에너지는 수소가 될 것이라고 예측한다. 그러나 수소경제의 본격적 도래 시기는 예측과 전망이 각기 다르다. 하지만 분명한 것은 신기후체제와 같은 국제적인 지구온난화 대응 노력과 경제 선도국의 신재생에너지 이용 확대 정책은 공공연하게 전 세계적으로 광범위하게 추진되고 있으며 여기에 탄소가 포함되지 않은 수소를 비롯한 무탄소연료가 미래 에너지의 주역이 될 것이라는 사실이다. 무탄소연료와 연계된 수소연료전지와 수소내연기관으로 대변되는 그린동력 기술은 우리나라에 새로운 에너지산업 성장 기회의 중심이 될 것이라고 예측해 보면서 글을 맺고자 한다.



‘안전한 에너지 공급을 위한 윤리위원회’ 보고서를 들고 탈핵 선언을 하는 앙겔라 메르켈 총리.

## 독일의 수소에너지 인프라 구축 및 연구개발 추진 현황

2015년 12월 신기후변화협약인 파리협정(Paris Agreement)이 채택됐는데, 이 협정의 핵심 내용은 2021년부터 195개 모든 당사국이 온실가스 감축 목표를 자율적으로 설정하고 지구 기온 상승을 1.5도 이하로 제한하기 위해 노력해야 한다는 것이다. 기존에 온실가스 감축의무 대상이 개발도상국에 국한됐던 교토의정서와는 달리, 파리협정에서는 모든 당사국이 스스로 결정한 국가별 자발적 온실가스 감축 방안을 이행하며 5년마다 달성 여부를 점검받고, 강화된 목표를 제출해야 한다는 것에 차별점이 있다. 이렇듯 지속가능한 친환경 정책 수립과 이를 위한 각국의 관심과 지원이 계속되는 가운데, 신재생에너지에 대한 연구개발(R&D)은 국가적 차원을 넘어 전 세계적 이슈가 되고 있다.

### 독일의 에너지 전환(Energiewende) 정책과 수소에너지

독일은 유럽 국가 중에서도 신재생에너지 보급을 가장 적극적으로 추진하고 있는 나라다. 독일은 2022년까지 17개 원전의 완전 폐쇄를 목표로 ‘에너지 전환(Energiewende)’ 정책을 추진해 오고 있다. 이 정책은 국가의 관리감독하에 핵과 화석연료 중심이었던 구에너지원 대신 신재생에너지, 수소에너지 등 미래 에너지로의 대전환을 목표로 하고 있다. 2011년 후쿠시마 원전 사태 이후 앙겔라 메르켈 정

부는 탈핵 선언을 하면서 신재생에너지로의 전환을 천명했고, 이후 독일 연방정부는 빠른 시간 내 미래 에너지 시대에 도달한다는 목표를 달성하기 위해 각계 전문가 17명으로 구성된 ‘안전한 에너지 공급을 위한 윤리위원회’를 출범시켰다. 이 윤리위원회에서는 독일이 모든 전력시스템을 100% 신재생에너지 기반 시스템으로 전환하는 것이 기술적으로 타당하다는 연구 보고서를 발표한 바 있다.

독일의 에너지 정책은 기본적으로 에너지 이용의 경제성, 에너지 공급의 안정성,

에너지의 환경친화적 이용이라는 3대 목표를 기조로 추진되고 있다. 독일 연방정부 주도로 태양광을 포함한 신재생에너지 확대 및 에너지 효율화를 위한 다양한 정책을 펼치고 있는데, 이들은 2010년 수립한 ‘에너지구상(Energiekonzept)’이라는 국가에너지기본계획을 바탕으로 하고 있다. 에너지구상에서는 2050년까지 단계적인 에너지·기후변화 목표를 제시하고 있으며, 온실가스 배출 감축, 신재생에너지 이용 확대, 에너지 효율 강화를 위한 구체적인 목표를 담고 있다.

구분	분야	2020년	2030년	2040년	2050년
기후변화 대응	온실가스 감축 (1990년 대비)	-40%	-55%	-70%	-80~-95%
신재생에너지 확대	전력 생산 중 비율	35%	50%	65%	80%
	최종 에너지 소비 중 비율	18%	30%	45%	60%
에너지 효율 강화	총 에너지 소비	-20%	⇒		-50%
	전력 소비	-10%	⇒		-25%
	전력 생산		매년 2.1% 효율 향상		

〈표 1〉 국가에너지기본계획 목표

이와 함께 독일 연방정부는 ‘모빌리티 및 연료전략’을 수립하고, 이동수단의 1차 연료 및 에너지 사용 비중을 2005년 대비 2020년 10%, 2050년 40% 수준까지 감축하는 것을 목표로 세웠다. 이 전략에는 BEV(Battery Electric Vehicle), FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle) 등 친환경차 보급 확대, 드라이브 트레인의 전동화를 목표 달성의 관건으로 제시하고 있다. 이를 위해서는 신재생에너지 보급이 확대돼야 하고, 대량의 수소연료 저장이 불가피함을 강조하고 있다. 이는 독일 연방정부가 온실가스 배출 감축을 위한 신재생에너지원으로 수소에너지를 중요하게 고려하고 있으며, 연료전지 기술의 차량 적용 필요성을 절감하고 있음을 보여주는 것이다. 실제로 기존의 태양광, 풍력 등의 신재생에너지 이외에 미래 에너지로 최근 가장 각광받고 있는 것이 수소에너지다. 수소는 잘 알려진 것처럼 무색무취의 기체이며 원소기호 1번, 원자량 1.008g/mol로, 지금까지 알려진 원소 중 가장 가볍고 비중이 공기의 14분의 1에 지나지 않는다. 이러한 특성을 갖는 수소에너지는 이산화탄소 배출이 적어 공해가 없는 청정에너지 자원이자 화석연료 고갈과 같은 미래 에너지 문제를 해결하는 대체에

너지원으로 부상하고 있다. 과거에는 수소에너지가 특수한 상황에만 사용됐으나, 현재는 기술의 발달로 실용화 범위가 확대되고 있다. 연료전지와 연계해 통해 전기에너지로 쉽게 전환할 수 있는 수소에너지는 최근 휘발유, 디젤자동차의 대안으로 많은 관심을 받고 있는 수소자동차뿐만 아니라 다양한 분야에서 활용되고 있다.

올해 2월 독일 연방정부는 그린수소 생산 지원을 위한 일부 정책을 언론에 제한적으로 발표했다. 연안 풍력발전소를 활용해 대규모로 그린수소를 생산하겠다는 목표가 제시됐으나, ‘국가수소전략’의 전체 내용은 아직까지 공개되지 않고 있다. 그 이유는 신재생에너지를 활용한 그린수소 생산 비용이 높아 아직까지 시장 경쟁력을 갖추지 못하고 있으며, 수소충전소의 보수

및 유지에 필요한 인프라가 부족하다는 등의 수많은 비판에 맞서야 하기 때문이다.

※화석연료를 통한 수소 생산 비용은 kg당 2~3유로로 저렴하나, 신재생에너지를 통한 수소 생산 비용은 kg당 11~12유로로 높음.

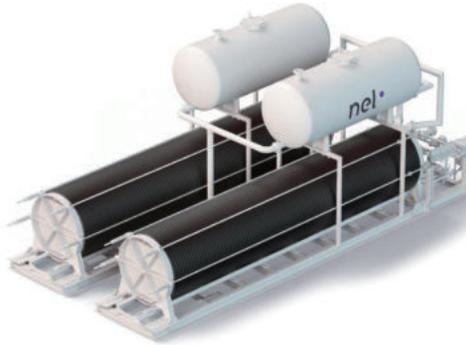
### 수소 생산·저장·운송방법과 유럽의 주요 기업

전 세계적으로 생산되는 수소는 연간 약 7000억 Nm<sup>3</sup>이며 다양한 방법으로 생산이 이루어지고 있다. 수소 생산에 사용되는 방법으로는 천연가스 개질법이 반 이상이며, 이 밖에 화학플랜트 및 철강회사의 제철 공정에서 발생하는 부생수소, 전기분해로 발생하는 수소 등이 있다. 천연가스 개질법은 주로 화석연료인 천연가스, 석유, 석탄을 이용해 수증기 개질, 열분해, 가스화로 수소를 생산하는 것이다. 전기분해 방법은 태양광이나 풍력을 통한 물분해, 광을 이용한 물의 직접분해, 생물학적 혹은 유기성 폐기물로부터의 수소 생산, 원자력에너지를 이용한 열 화학분해, 고온 전기분해를 통한 수소 생산 등이 있다. 현재 유럽에서는 화석연료를 활용하는 방법과 물 전기분해(수전해)로 수소를 생산하는 방법을 주로 연구하고 있다.

생산방법	에너지원	장점	단점
천연가스 개질	화석연료 (천연가스, 석탄 등)	- 대량 생산 가능 - 저렴한 생산단가 - 안정적 기술	- 이산화탄소 발생 - 에너지 안보 취약
전기분해	신재생에너지 (태양력, 풍력, 조력 등)	- 친환경성 - 다양한 에너지 활용	- 높은 생산단가 - 지역적 제한 - 낮은 에너지 효율
	원자력	- 대량 생산 - 이산화탄소 미발생	- 원자력 발전에 대한 거부감
부생수소	주로 화석연료	- 폐가스 활용	- 정제 필요 - 생산량 확대 한계

**화석연료 개질에 의한 수소 생산 및 주요**

**기업** - 현재 대부분의 수소 제조에는 화석 연료가 사용된다. 제조 공정에서 높은 반응 온도를 유지하기 위해 열원으로 화석연료를 사용하는 것인데, 이때 이산화탄소가 부수적으로 생성된다. 천연가스를 원료로 수소를 제조할 때는 주로 수증기 개질법과 부분산화법이 이용된다. 그중 수증기 개질법이 더 경제적이기 때문에 현재 세계 수소의 거의 절반이 이 방법을 통해 생산되고 있다. 수증기 개질법을 이용해 수소를 생산하는 대표적인 유럽 기업으로는 린데와 에어리퀴드 등이 있다. 이 두 회사는 수증기 개질법과 탄화수소의 부분산화법으로 수소를 생산한다. 린데와 에어리퀴드의 수소 제조 공정을 살펴보면 첫 번째로 공급되는 원료(천연가스, 나프타 가스, 등)를 수소화 탈황(Hydrodesulfurization) 방법으로 전처리한 후 수증기 개질이 진행된다. 이어 수증기는 일산화탄소로 변형되며 마지막으로 압력 흡착을 통해 불순물을 정제 한 수소가 생산된다.



〈그림 2〉 벨하이드로젠의 알칼리 수전해조



〈그림 3〉 티센크루프의 20MW 모듈 제품

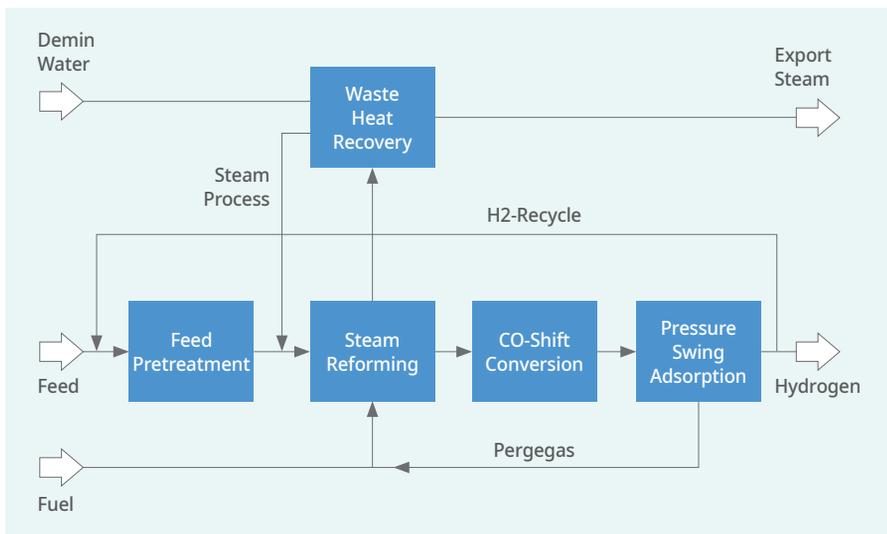
**물 전기분해를 통한 수소 생산 및 주요**

**기업** - 물을 전기분해해 수소를 제조하는 방법은 가장 간단하면서도 신뢰성이 높을 뿐만 아니라 기술에 따라서는 대량 생산도 용이한 방법이다. 하지만 물을 전기분해할 때 사용되는 전기에너지의 비용이 높다는 단점이 있다. 따라서 필요한 전기 에너지를 얻기 위해 태양에너지나 풍력에너지 같은 대체에너지를 사용함으로써 온실가스 발생이나 환경 부하를 없애고, 기술의 경제성을 확보하는 것이 관건이라 할 수 있다. 물의 전기분해에는 크게 세 가지 종류가 있는데, 20~30wt% 알칼리 수

용액을 기반으로 한 알칼리 수용액 수전해, 고분자 전해질 막을 이용한 고분자 전해질 수전해, 고온 수증기를 이용한 고체 산화물 수전해 방식 등이다. 현재 상용화된 방식은 알칼리 수전해가 대부분이며, 최근 들어 고분자 전해질 수전해의 상용화가 시작됐다.

노르웨이의 벨하이드로젠이 현재 알칼리 수전해법을 사용해 수소를 제조하고 있는데, 시간당 150~3880Nm<sup>3</sup>까지 수소를 생산할 수 있는 제품을 보유하고 있다. 또한 프랑스의 맥피 역시 알칼리 수전해로 수소를 생산하고 있으며, 시간당 800Nm<sup>3</sup>의 수소 생산을 하는 전해조를 보유하고 있다. 독일 대기업인 티센크루프도 알칼리 수전해 방식으로 수소를 생산하고 있으며, 현재 제품의 규모는 10MW와 20MW다.

고전류밀도 운전이 용이한 고분자 전해질 수전해법 또한 현재 많은 기업에서 연구하고 있으며, 이미 유럽의 몇몇 회사는 고분자 전해질 수전해 제품을 출시하고 있다. 독일의 아이가스에너지, 에이치텍, 지멘스와 프랑스의 아베라가 고분자 전해질 수전해 연구를 진행 중이며 제품을 출시하고 있다. 아이가스에너지는 최대 전류밀도 3A/cm<sup>2</sup> 운전이 40bar에서 가능하며 최대



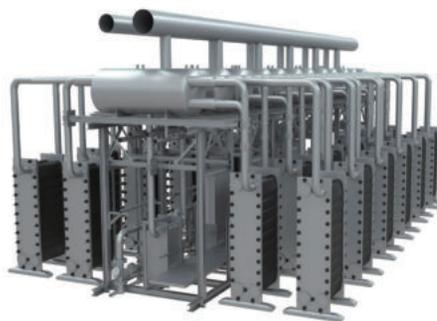
〈그림 1〉 린데의 수소 생산 공정



〈그림 4〉 Igas-Energy 수소 발생 모듈

수소 생산량은 시간당 320Nm<sup>3</sup>다. 에이치텍 제품은 시간당 최대 210Nm<sup>3</sup>의 수소 생산이 가능하며, 아베라는 시간당 200Nm<sup>3</sup>, 지멘스는 35Bar에서 시간당 225Nm<sup>3</sup>의 수소를 생산하는 전해조를 보유하고 있다.

**수소의 저장 및 운송 방법** - 수소는 단위 질량당 에너지밀도가 가장 큰 물질이지만 단위부피당 밀도는 매우 낮기 때문에 이를 저장 및 운송하기 위해서는 고압으로 압축을 하거나 액화시켜야 한다. 그중 가장 일반적인 방법은 압축 저장으로, 고압에서 수소기체를 압축시킨 후 제한된 부피의 용기에 저장하는 방식이다. 이러한 방식은 저장 장치의 구성이 단순하고 중량 면에서 이점이 있기 때문에 수소 저장 방법 중 가장 실용성이 높은 것으로 평가되고 있다. 하지만 더 많은 수소를 저장하기 위해 높은 압력을 가하게 되고, 저장 압력이 높아질수록 큰 압력을 버티기 위해 용기의 두께가 두꺼워지면서 무게가 증가하므로 질량효율(용기를 포함한 질량당 수소의 질량 비율)이 떨어지는 단점이 있다. 또한 약간의 충격에도 높은 위험성을 내포하고 있다. 그러므로 이러한 단점을 보완해 고압을 견딜 수 있는 압력장비의 설계 및 개



〈그림 5〉 지멘스의 고분자 전해질 수전해 모듈

발이 요구되고 있다. 기체수소는 주로 파이프라인 혹은 트럭으로 운송된다. 기체수소의 저장 압력은 약 30bar 내외이므로 기체 저장 탱크를 물리적으로 실어 옮기는 방법이 가장 보편적이다. 또한 파이프라인 설치 후 이를 통해 수소를 운송하는 방법도 효율적이다. 하지만 초기 투자비용이 높고, 누수 발생 시 위험도가 크다는 단점이 있다. 이 같은 단점을 보완하기 위해 활발하게 연구되고 있는 분야가 액화수소 저장 기술이다. 액화된 수소는 운송을 위한 중량당 에너지밀도가 가장 좋은 수소의 형태이며, 부피당 에너지밀도도 가장 좋다. 그밖에 다른 수소 저장 기술로는 수소저장 합금 방식이 있다. 수소는 금속 사이로 스며들기 쉬워 금속을 무르게 하는 특성이 있다. 이 금속의 틈으로 스며드는 장점을 활용한 것이 수소저장합금이다. 수소저장 합금을 사용해 수소를 저장하면 폭발 위험이 없다는 점에서 매우 안전하다. 뿐만 아니라 gas로 저장하는 것보다 부피가 최대 5분의 1로 줄어든다. 또한 일단 금속에 수소를 흡수시키기 때문에 순도가 높은 수소를 얻을 수 있다는 이점도 있다. 하지만 저장된 수소가 100% 이용되지 않고 일부 저장용기에 영구적으로 결합하는 현상이 발

생할 가능성이 있어 지속적으로 사용하기에는 어려움이 있다.

### 독일의 수소에너지 인프라 구축 및 NIP 연구개발 프로그램

독일은 2002년 CEP(The Clean Energy Partnership)를 설립해 수소에너지를 연료 및 에너지 저장원으로 활용하기 위한 적합성 검증 등의 활동을 펼치고 있으며, 2004년 베를린에 첫 수소충전소 설치를 시작으로 인프라를 확대해 나가고 있다. 독일의 수소 인프라 확충, 수소충전소 신설 및 운영은 H2모빌리티가 담당하고 있다. H2모빌리티는 에어리퀴드, 다임러, OMV, 쉘, 토탈, 린데 등 6개 민간기업이 공동 출자해 설립한 합작회사다. BMW, 폭스바겐, 혼다, 현대, 도요타와 국가수소 및 연료전지기술협회(NOW GmbH)<sup>1)</sup>가 자문 파트너로 참여하고 있다.

H2모빌리티가 설치한 독일 내 수소충전소는 83곳(2020년 3월 기준)이며, 2020년 말까지 100개의 충전소를 설치해 650만 명의 사용자에게 서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 이 과정에서 지역적 균형과 안배를 고려할 계획이며, 수소자동차 보급 증가 추세에 따라 2025년까지 전국의 수소충전소를 400여 개까지 확충하는 것을 목표로 하고 있다. 독일 연방정부는 수소충전소 설치 및 운영을 지원하기 위해 설치비의 50%와 운영비의 50% 이상을 지원하고 있으며, 향후 최대 4억 유로의 충전

1) NOW(Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) GmbH : 독일 연방정부의 NIP 프로그램을 관리하기 위해 2008년 설립된 기관이며, 2018년 2월 국가 전체의 수소 및 연료전지 기술 전반과 국제협력 활동을 전담하는 것으로 역할이 확장됐다.



(그림 6) H2모빌리티가 운영하는 수소충전소 현황도

소 설치 보조금을 추가로 지원할 계획이다. H2모빌리티는 독일연방교통부(BMVI)의 NIP2(National Innovation Programme for Hydrogen and Fuel Cell Technology 2) 프로젝트, 유럽연합 집행위원회의 수소 이동성 유럽 프로젝트(Hydrogen Mobility Europe project : H2ME) 및 수소충전소 연결 프로젝트(Connecting Hydrogen Refueling Stations : COHRS)를 통해 회사 운영 및 사업 추진 예산을 지원받고 있다.

독일 연방정부는 수소 인프라 구축을 위해 ‘수소 및 연료전지 기술 국가 혁신 프로그램(Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff – und Brennstoffzellentechnologie : NIP)을 운영하고 있다. NIP 프로그램은 정부와 해당 분야 기업체의 민관 파트너십 프로젝트이며, 수소 및 연료전지 분야의 응용 기술 R&D를 대폭 강화하는 것을 목표로 하고 있다. 보다 구체적인 NIP 프로그램의 목표를 살펴보면, 화석연료를 대체할 에너지원을 찾고 수소 및 연료전지 기술 R&D를 통해 상용 가능한 제품을 생산하는 것이다. 이를 위해 전략적으로 클러스터를

지정해 R&D 역량을 집중시키며, 국내 및 국제적 네트워크를 구축하는 데도 집중하고 있다. 연방정부는 2007~2016년 NIP 프로그램(1차)에 5억 유로를 투자해 수소 인프라 기반을 구축하고, 산학연 등과 협력해 수소에너지에 대한 기초 타당성 연구를 진행했다. 이후 2016~2026년 2차 NIP 프로그램을 신설해 수소에너지 응용 기술 개발 및 제품 양산을 위한 기술 개발 등을 지원하고 있다. 2차 NIP 프로그램은 BMW, 경제에너지부(BMWi), 교육연구부(BMBF), 환경부(BMU) 등이 협력하는 범부처 형태로 운영하고 있으며, 총 예산 규모는 14억 유로에 달한다.

NIP 프로그램은 다양한 분야에 보조금을 지원하고 있다. 크게 교통수단(도로, 철도, 수상 등) 및 항공기의 수소연료장치 장착과 그에 따른 연료 공급 및 유지에 필요한 인프라 지원, 물류를 위한 특수 수송차량의 수소연료장치 장착과 그에 따른 연료 공급 및 유지에 필요한 인프라, 선박·차량·항공기의 에너지 공급을 위한 고효율 열병합발전 투자 보조금, 공공 수소연료

보급 기반시설 투자 보조금 등으로 구분할 수 있다.

2차 NIP 프로그램에 대한 보조금 지원 계획에 따라 BMW는 수소 및 연료전지 기술 개발을 위해 2019년까지 2억5000만 유로를 지원했다. 현재까지 지원된 사업을 살펴보면 대중교통 및 물류 트럭의 연료전지 개발, 열차 및 선박용 연료전지 개발, 공공 수소충전소 설립, 독립형 에너지 인프라 및 자립형 에너지 공급을 위한 연료전지 시스템 개발 등이 있다. BMW는 매년 약 2500만 유로를 ‘6차 에너지 연구 프로그램’의 일환으로 수소 및 연료전지 R&D에 지원하고 있으며, BMU와 BMBF도 긴밀히 협력하고 있다. 2차 NIP 프로그램을 통해 현재 진행 중인 주요 R&D 프로젝트를 살펴보면 다음과 같다.

## 2차 NIP 프로그램의 주요 R&D 프로젝트

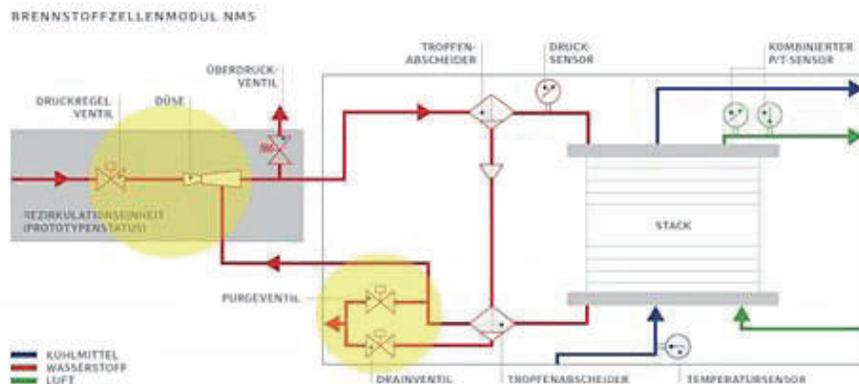
**HYLAND 프로젝트 : 지역별 수소 인프라 구축 지원** – 지역별 균등한 수소경제 발전을 위한 방안으로 HYLAND 프로젝트를 실시하고 있다. 이 프로젝트를 통해 각 지자체에서는 수소에너지의 저장, 운송, 분배를 위한 인프라 구축에 대한 지원을 받는다. HYLAND 프로젝트는 초기 지원인 하이스타터(HyStarter), 심층 지원인 하이엑스퍼츠(HyExperts), 최종 구현 단계 지원인 하이퍼포머(HyPerformer) 등 총 3 단계로 진행된다. 하이스타터로 킬, 뤼겐-슈트랄준트, 샤움부르크 일대, 라우지츠, 바이마르, 마부르크 일대, 노이슈타트 안 데어 발트납, 로이틀링겐, 알게우 등

총 9개 지역이 선정됐다. 수소 및 연료전지 개발뿐만 아니라 수소의 운송 및 저장 인프라 구축을 위한 초기 아이디어 구현을 위해 1년 동안 지원을 받는다. 현재 1단계 하이스타터가 진행 중이며, 2단계인 하이엑스퍼츠는 1단계 지원을 받은 지역 간 경쟁을 통해 선정되며, 초기 아이디어를 전문적으로 구조화하는 과정을 지원하게 된다. 3단계인 하이퍼포머 또한 2단계 지원을 받은 지역 간 경쟁을 통해 선정되며, 수소 및 연료전지 인프라의 실제 구현을 위해 필요한 보조금을 지원받게 된다.



〈그림 7〉HYLAND 프로젝트의 하이스타터로 선정된 9개 지역

**EWAS 프로젝트 : 확장 가능한 모듈식 수소공급장치 개발** - EWAS 프로젝트는 PEM(Proton-Exchange Membrane) 연료전지 모듈용 밸브를 포함한 확장 가능한 모듈식 수소공급장치 개발을 목표로 한다. 연료전지 모듈용 밸브 개발을 통해 수소 공급에 필요한 저장소의 설치 공간을 줄이고 전체 시스템의 효율성을 높일 수 있다. 새로운 형태의 압력제어 밸브가 시뮬레이션 및 실험 테스트 단계를 거쳐 개발이 완



〈그림 8〉EWAS 프로젝트의 연료전지 모듈 개념도

료됐으며, 현재는 비용과 기능 측면에서 효율성을 높여 상용화하는 막바지 단계를 진행하고 있다. 프로젝트 수행기관은 ElringKlinger AG, Staiger GmbH 등이다.

**HZWO 프로젝트 : PEM 연료전지 모듈 개발** - HZWO 프로젝트에서는 PEM 연료전지 모듈을 개발하며, 이에 필요한 합성 설계 소프트웨어를 함께 개발하고 있다. 또한 저렴한 비용으로 엔드 플레이트 고정 시스템,하우징 하이브리드 유닛 및 공기 압축기 유닛과 같은 스택 구성 요소를 대규모로 생산할 수 있는 방법을 개발하고 있다. 작센 지역 중소기업의 연료전지 시스템 가치사슬을 구축하는 것은 HZWO 프로젝트의 또 다른 주요 목표다. 프로젝트에 참여하는 기업은 완전히 새로운 것을 개발하기 보다는 기존의 기술과 전문지식을 바탕으로 중소기업이 다룰 수 있는 제품과 시스템 개발에 초점을 맞추고 있다. 이를 위해 작센 지역에는 HZWO-Drive for Saxony 클러스터가 구축돼 있고, HZWO e.V. 협회가 신설돼 연료전지 개발에 관심 있는 기업의 참여를 유도하고 있다. 프로젝트 수행기관

은 켐니츠공대, 프라운호퍼 IWU, WätaS Wärmetauscher Sachsen GmbH, Bernd Flach Präzisionstechnik GmbH & Co. KG, FES GmbH Sachsen 등이다

**DELFIN 프로젝트 : 수소 저장 기술 연구 개발** - DELFIN 프로젝트에서는 섬유 강화 플라스틱을 이용해 수소 저장 압력용기를 개발한다. 기존 수소 저장 압력용기의 성능 개선을 위한 재료 R&D 및 개발한 수소 저장 압력용기의 안전성을 입증하기 위한 테스트도 진행하고 있다. 프로젝트 수행기관은 메르세데스벤츠 연료전지 GmbH, NPROXX Jülich GmbH, IKV, BAM, Teijin Carbon Europe GmbH, Ford - Werke GmbH, Elkamet Kunststofftechnik GmbH, ISATEC GmbH 등이다.

**ROUNDROBIN 프로젝트 : 수소 저장 용기 개발 및 안정성 테스트** - ROUNDROBIN 프로젝트는 독일 슈투트가르트대 재료연구소, 일본 규슈대, 미국 Sandia National Laboratories의 국제협력 프로젝트다. 수소 저장 용기를 개발하고, 안정성을 테스

트하는 것이 주 목적이다. 특히 수소 저장 용기에 영향을 미치는 다양한 요인을 정교하게 분석하고, 수소 저장 용기 개발 과정을 표준화하는 것도 목표 중 하나다. 주로 수소차량용 탱크 제작에 활용하기 위한 기술 개발을 진행하고 있다. 프로젝트 수행 기관은 슈투트가르트대 등이다.



〈그림 9〉 1000bar 압력으로 수소를 저장하기 위한 용기 테스트(ROUNDROBIN 프로젝트)

독일에서는 프라운호퍼연구소, 헬름홀츠 연구소뿐만 아니라 많은 기업과 연구소가 수소에너지 활용을 위한 기초 연구와 상용화 연구를 활발히 진행하고 있다. 주요 기업 및 연구소 현황을 살펴보면 다음과 같다.

### 독일의 수소에너지 관련 주요 기업 및 연구소 현황

**퓨얼셀 에너지 솔루션(Fuelcell Energy Solution GmbH)** – 드레스덴에 위치한 프라운호퍼 IKTS(세라믹기술시스템연구소)와 미국 FCE의 자회사인 FCES는 합작으로 퓨얼셀 에너지 솔루션을 설립해 연간



〈그림 10〉 Fuelcell Energy Solution GmbH의 연료전지 솔루션 시설

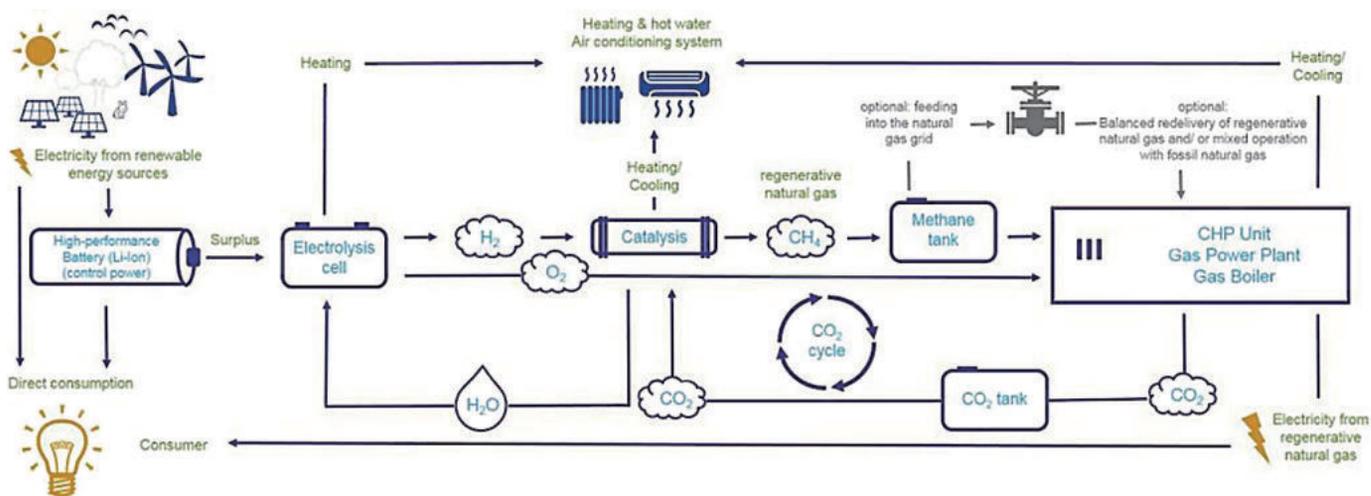
250kW~2.8MW 규모의 전력을 생산하고 있다. 최첨단 연료전지 기술을 활용해 수소 생산 및 저장과 관련한 환경친화적인 솔루션을 제공하고 있다. 한국남부발전(KOSPO)에서 2018년 시운전에 들어간 연료전지발전소도 이 업체에서 제조한 SureSource 3000 발전소 플랫폼 설비를 이용하고 있다.

**하이드로지니어스(Hydrogenious)** – 바이에른 주 에어랑겐에 위치한 스타트업 하이드로지니어스는 2013년 액체수소 저장 기술인 ‘액상 유기물 수소 저장체(Liquid Organic Hydrogen Carrier : LOHC)’를 개발해 미국과 독일 시장에 출시했다. 화학물질을 저장 용기로 활용하는 것이 기술의 핵심이며, 수소 공급 후 물질 소모 없이 다시 저장체로 사용하는 것이

가능하다. 이는 고압 수소탱크 등 별도의 특수 용기가 필요 없다는 데에서 큰 의의를 갖는다. 이 기술로 수소자동차 대중화의 발판을 마련했으며, 2018년 4월 26일에는 독일에 LOHC 기술이 사용된 최초의 수소충전소가 완공됐다.



〈그림 11〉 하이드로지니어스의 수소 저장 시스템



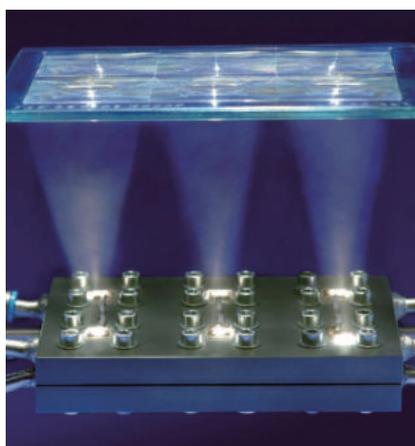
Concept of the SmartEnergyTechnology with an efficiency (rate of use) up to 90 %

〈그림 12〉 P2G 시스템의 작동 원리

**엑시트론(Exytron GmbH)** – 엑시트론은 2015년부터 라이프니츠촉매연구소와 협력해 무탄소 주거단지 프로젝트를 실시하고 있다. 이는 태양광발전으로 생산된 전력을 수소가스나 천연가스로 저장해 다시 활용하는 P2G(Power to Gas)<sup>2)</sup> 기술을 상용화한 것으로 스마트 에너지 기술이라고도 불린다. 이를 통해 수소 생산뿐만 아니라 배출되는 메탄을 전기와 열을 생산하는데 사용하기 때문에 이산화탄소 배출이 없는 친환경적 모델이다. 아우구스부르크에 1974년 지어진 주택단지를 리모델링해 이 설비를 구축했으며, 70여 가구가 시범적으로 사용하고 있다. 또한 하노버 근교 베른슈타인호수 휴양지에 있는 호텔 등의 기존 및 신축 건물에도 이 스마트 에너지 기술이 적용됐다.

**프라운호퍼 ISE(Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE)** – 프라운호퍼 ISE는 수소 연구가 가장 활발한 독일 연구소 중 하나다. 2012년부터 단기 과

제를 포함해 약 15개의 수소 관련 과제를 진행하고 있으며 연구 분야 역시 다양하다. 뿐만 아니라 프라운호퍼 ISE의 소재지인 프라이부르크 시와 함께 미래의 수소버스 운행 계획도 진행 중이다. 2019년부터 진행된 이 계획의 명칭은 ‘FrHyBus’로, 현재의 상용버스 정거장, 루트를 기반으로 미래 수소버스가 상용화됐을 경우 필요한 수소충전소의 위치, 수소량 및 전력량을 계산해 산출했다. 또한 헬름홀츠 연구소와



〈그림 13〉 프라운호퍼 ISE가 개발한 태양광 수전해 모듈

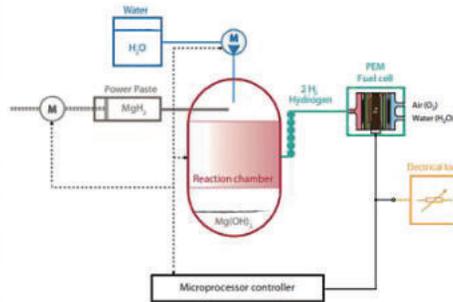
함께 물을 전기분해하는 방식뿐만 아니라 태양광을 이용해 물을 분해하는 태양광 수전해에 대한 연구도 진행했다. 기존 태양광 수전해의 단점은 복잡한 시스템 구성과 비싼 초기 비용이었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 기존 태양광 수전해 방법을 변형시켜 복잡한 시스템을 간결하게 바꿨으며, 또한 태양광을 수전해와 바로 연결해 수소를 생산하는 연구를 진행했다. 그 결과, 태양광을 수소로 변환시키는 변환효율을 20% 이상으로 끌어올리는 결과를 이뤄냈다.

**프라운호퍼 IFAM(Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung)** – 프라운호퍼 IFAM은 꾸준히 알칼리 수전해를 연구하고 있으며, 특히 전극 개발에 많은 공을 들이고 있다. 합금 전극을 아주 얇은(150um) 포일 형

2) P2G(Power to Gas) : 태양광, 풍력과 같은 대규모 신재생에너지 단지에서 생산된 잉여전력을 활용해 수소를 생산하는 기술.



〈그림 14〉 IFAM에서 개발한  $MgH_2$  펠릿의 가수분해로 인한 수소 저장 및 발생 방식



**율리히(Juelich) 연구소** - 율리히 연구소에서는 고온 수소연료전지 발전 연구를 하고 있다. 실험 개시 이래 시간당 3400kW의 전력을 생산했으며, 이는 한 가구의 연간 사용량에 해당한다. 이 연구소는 고체산화물연료전지(Solid Oxide Fuel Cell : OFC)와 관련해 이미 95개의 특허를 출원했다.

**막스플랑크(Max-Planck) 연구소** - 기초과학 연구소로 유명한 막스플랑크 연구소에서는 직접 실험과 모델링을 통한 수소 제조 연구를 하고 있다. 주로 PEM 수전해에 대한 실험 및 모델링을 진행하고 있으며, 응용과학을 기반으로 한 프라운호퍼 연구소와 달리 시간에 따른 물 전기분해 반응의 메커니즘, 저항, 그리고 내구성에 대해 연구하고 있다. 또한 상변화에 의한 물질전달저항의 메커니즘 및 촉매와 전극의 상관관계를 보다 더 깊게 연구하고 있다.

마지막으로 신재생에너지를 사용해 수소를 생산하는 독일 프렌츨라우 소재 하이브리드 발전소와 에너지 파크 마인츠를 소개하며 마무리하고자 한다.

## 신재생에너지를 활용한 수소 생산 시설

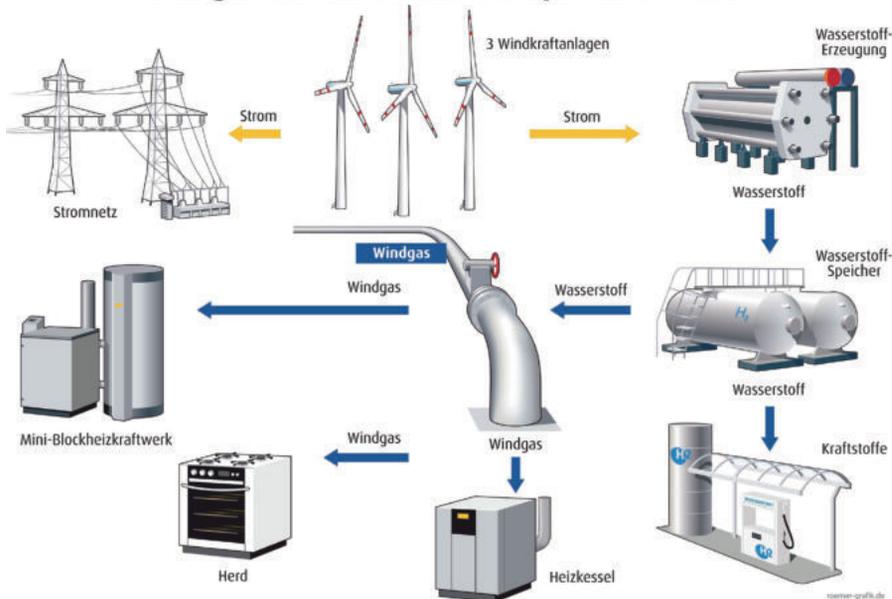
**프렌츨라우의 하이브리드 발전소** - 프렌츨라우에는 세계 최초의 수소-풍력-바이오가스 하이브리드 발전소가 있다. 이 발전소는 2011년 가동을 시작했고, 풍력에너지를 이용해 친환경적으로 수소를 생산해 필요에 따라 전력 생산에 투입한다. 에너트락 AG와 바텐팔이 프로젝트 파트

태로 제작한 것이 그 대표적인 예다. 또한 이 연구소에서는 다공성 3D 전극 연구를 진행하고 있는데, 다공성 전극은 기체 순환이 용이하며 전극의 표면적을 높일 수 있다는 장점이 있다. 이러한 다공성 전극을 철과 니켈 메시, 폼 형태로 제작 및 개발해 이 3D 전극으로 수소 발생 반응과 산소 발생 반응의 성능을 향상시키는 데 성공했다. 뿐만 아니라 금속 합금 방법으로 수소를 저장하는 연구도 활발히 진행 중이다. 금속 수소화물 펠릿에 수소를 흡착시킨 형태로 저장해 물에 담근 후 가수분해 반응을 일으켜 수소를 해방시키는 방법이다. 이렇게 제작된 펠릿은 가볍고 콤팩트하며, 비휘발성이기 때문에 매우 안전하고 경제적인 방법이다. 현재 마그네슘 금속을 이용해 펠릿을 제작했으며, 다른 금속을 응용하는 연구도 진행하고 있다.

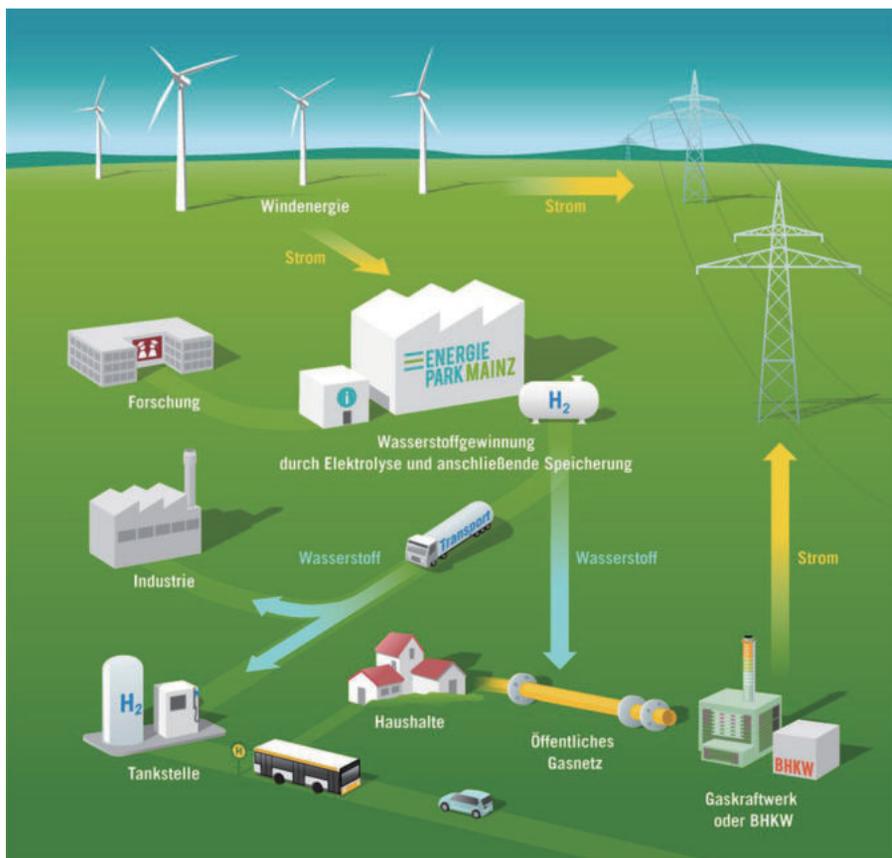
**헬름홀츠 재생에너지연구소(Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien : HIERN)** - 헬름홀츠 연구소에서는 수소를 저장하고 운반하는 연구를 하고 있다. 특히 이 연구소에서는 전기화학적 촉매를 이용해 액상 유기화 수소 운반체(LOHC)에 대한 연구를

진행했다. LOHC 기술을 통해 많은 양의 수소를 운반할 수 있다. 수소화된 H18-DBT는 높은 비점을 가진 액체로 변환돼 긴 시간 에너지 누수 없이 탱크에 저장할 수 있다. 이렇게 저장된 수소는 고온에서 촉매와 반응시켜 다시 사용할 수 있다. 또한 헬름홀츠 연구소에서는 프라운호퍼 IFAM과 함께 수소를 금속합금 방식으로 저장하는 연구를 진행 중이다. 통상적으로 수소저장합금에는 마그네슘 혹은 리튬이 사용된다. 현재 이 두 금속을 혼합해 합금하는 방법을 연구 중이며, 이 연구가 성공적으로 끝난다면 지금의 방식보다 훨씬 더 많은 수소를 저장할 수 있는 효과를 기대할 수 있다. 하지만 이 방법으로 수소를 저장할 때 수소를 다시 사용하기 위해서는 기존 수소 재사용에 필요한 것보다 훨씬 높은 온도가 요구된다. 그러므로 가장 이상적인 방법은 연료전지에서 나오는 발열을 이용해 수소를 사용하는 것이다. 또한 새로운 합금 방식으로는 금속 입자가 시간이 지날수록 불안정해지는 경향이 있지만, 헬름홀츠 연구소에서는 이러한 문제점을 해결해 현재 10분 만에 저장탱크의 80%까지 저장할 수 있는 기술을 획득한 것으로 알려졌다.

### Windgas aus dem ENERTRAG Hybridkraftwerk



〈그림 15〉 하이브리드 발전소의 동작 과정



〈그림 16〉 에너지 파크 마인츠 운영 현황

너로 참여하고 있으며, 연간 500kW의 전력을 생산하고 있다. 강한 바람이 부는 계절에 풍력에너지로 수소를 생산해 저장하며, 필요한 경우 수소를 다시 전기에너지로 변환시킨다. 에너지를 수소 형태로 저장함으로써 바람이 없을 때에는 다시 에너지원을 안정적으로 공급할 수 있다.

**에너지 파크 마인츠(Energiepark Mainz)** – 2015년 처음 구축된 에너지 파크 마인츠에서는 풍력발전을 통해 만들어진 전력으로 수소를 생산하고 있다. 이렇게 생산된 수소는 수소차량 연료로 사용되거나 다시 연료전지를 통해 전기를 생산하는 용도로 쓰인다. 유틸리티를 이용해 수소를 충전하는 P2G 시스템을 구축한 곳이다. 연간 200톤 정도의 수소를 생산한다.

#### 참고자료

- [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutzplan_2050_bf.pdf)
- <https://h2.live/h2mobility>
- <https://www.now-gmbh.de>
- <https://www.alstom.com>
- <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/forschung-fuer-den-markt/wasserstoff/interview-wasserstoff-doetsch.html>
- <https://enertrag.com>
- <https://www.fuelcellenergy.com>
- <https://www.hydrogenious.net>
- <https://www.energiepark-mainz.de>
- <https://exytron.online>
- <http://www.hi-ern.de>
- <https://www.dwv-info.de>
- <https://www.ifam.fraunhofer.de>
- <https://www.zbt-duisburg.de>
- <https://www.hiat.de>
- <https://www.dlr.de>
- <https://www.linde-engineering.com>
- <https://igas-energy.de>
- <https://www.h-tec.com>
- <https://www.arevah2gen.com>

# 성과와 안전성은 기본, 가격 절감까지 세 마리 토끼를 모두 잡다

일진복합소재(주)

이달의 산업기술상은 산업통상자원부 연구개발(R&D)로 지원한 과제의 기술 개발 및 사업화 성과의 확산과 연구자의 사기 진작을 위해 매월 수상자를 선정한다. 사업화 기술 부문은 종료 후 5년 이내 과제 중 매출·수출 신장, 고용 확대 등의 사업화 성과 창출에 크게 기여한 기술을 시상한다. 일진복합소재(주)가 '수소 저장 무게효율 5.7wt%를 만족하는 700bar 수소저장장치용 저장용기 및 핵심 부품 개발' 연구과제를 통해 수소탱크 가운데 가장 진화한 형태인 '타입4' 탱크 개발에 성공했다. 이렇듯 많은 양의 수소를 저장하면서도 무게가 가벼운 수소연료탱크를 개발한 성과를 인정받아 영예의 장관상을 수상했다.

NEW

TECHNOLOGY

---

# 이달의 산업기술상

INDUSTRIAL  
TECHNOLOGY  
AWARDS



OF THE MONTH

사업화 기술 부문  
산업통상자원부 장관상

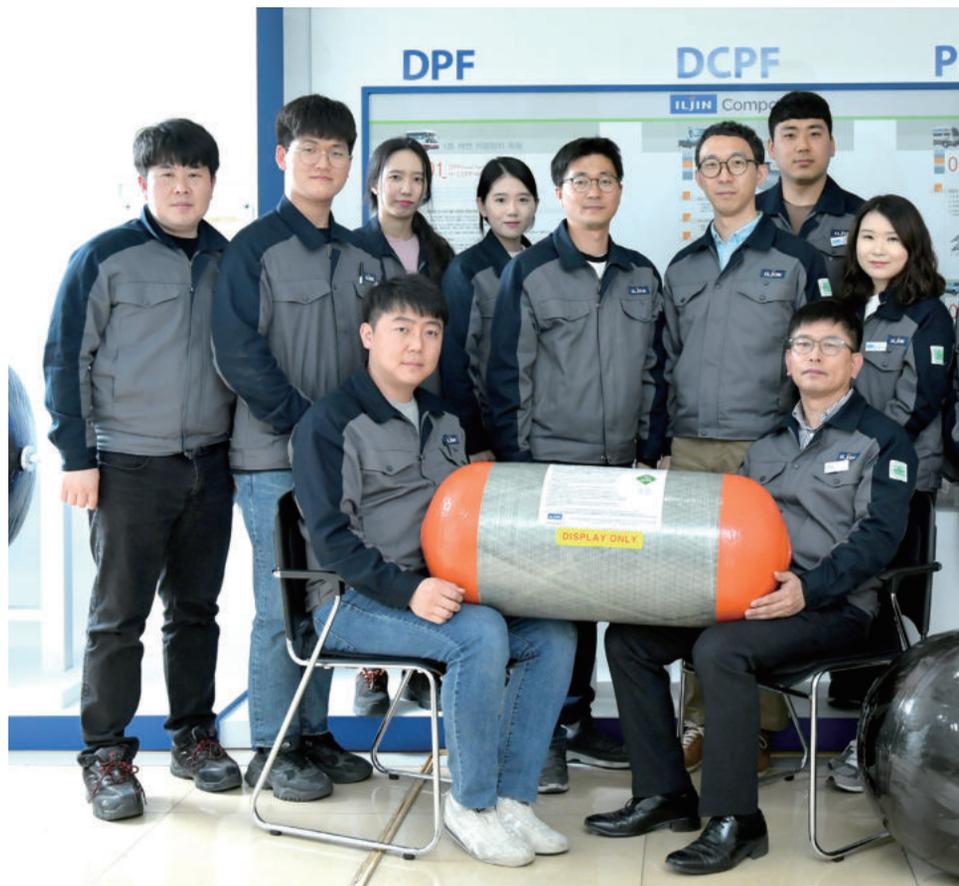
# 성과와 안전성은 기본, 가격 절감까지 세 마리 토끼를 모두 잡다

각국의 저탄소 및 연비 규제가 강화됨에 따라 친환경 자동차의 개발 및 보급이 가속화되고 있는 가운데 대표적 친환경 차량 중 하나인 수소연료전지자동차의 핵심 부품인 수소연료탱크는 세계적으로 일본의 도요타와 한국의 일진복합소재만이 가장 진화된 형태의 타입4 수소탱크를 생산하고 있다. 일진복합소재가 범용 탄소섬유를 사용해 많은 양의 수소를 저장하면서도 무게가 가벼운 700bar 수소저장장치용 저장용기 및 핵심부품 개발에 성공해 국내 완성차 업체는 물론 글로벌 완성차 업체로부터 주목을 받고 있다.

## 세계 최고 수준

### 수소차용 수소탱크 개발 성공

현재 대표적인 친환경 무공해 차량으로 전기자동차와 수소자동차가 각광받고 있다. 전기차의 경우 현재까지는 배터리 용량에 의한 짧은 주행 거리 및 긴 충전 시간으로 근거리 운전에 적합해 주로 승용차에 적용되고 있다. 반면 수소차는 3분 이내의 충전으로 약 500km 주행이 가능하고 승용차 외에 트럭이나 버스 등 큰 파워를 필요로 하는 상용차에도 적합해 향후 친환경 무공해 차량 시장을 주도할 것으로 전망되고 있다.



## How to

개발 초기 소재 물성에 대한 한계가 드러나 난항을 거듭하던 중 최고 기술을 확보하기 위해서는 특별한 소재를 자체 개발해야 한다는 사명감과 20년 이상 쌓아올린 경험을 바탕으로 엄청난 시행착오에도 불구하고 자체 기술로 수소 고압용기 세계 최고 기술력을 확보할 수 있게 됐다.

그러나 수소차가 향후 자동차 시장을 주도하기 위해서는 에너지밀도가 작은 가스 형태의 연료인 수소를 안전성이 확보된 700bar 고압가스로 압축해 저장하는 수소저장장치용 저장용기 및 핵심 부품 기술 개발이 우선돼야 한다.

이런 가운데 일진복합소재가 자체 기술로 세계 최고 수준의 수소저장장치용 저장용기와 이에 따른 핵심 부품 개발에 성공한 것은 나날이 치열해져 가는 글로벌 무공해 친환경 자동차 시장에서

수소 저장 무게효율 5.7wt%를 만족하는 700bar 수소저장장치용 저장용기 및 핵심 부품 개발

김기현  
일진복합소재(주) 대표이사



국내 완성차 업체의 경쟁력 강화는 물론 국내 소재산업의 잠재 기술력을 한층 끌어올리는 계기가 될 것으로 기대되고 있다.

이와 관련해 일진복합소재 운영길 전무는 “현재 수소차 용 고압용기 제작 업체는 일진 복합소재와 도요타가 양산 기술을 보유하고 있으며, 고압수소 700bar 수소탱크 기술은 일진복합소재가 우위에 있다”고 강조했다.

성과와 안전성, 가격 절감까지 장점 두루 갖춰

본 연구과제를 통해 일진복합소재가 개발에 성공한 기술은 저투과성 라이너 및 고성능 에폭시를 적용해 수소 저장 무게효율 5.7wt%를 만족시키는 복합재료 타입4 수소탱크와 수소 안전성이 확보된 수소저장 시스템으로, 성능은 물론 안전성과 가격 절감 효과까지 장점을 두루 갖춘 세계 최고의 기술이라 할 수 있다.



사업명 산업핵심기술개발사업  
연구과제명 수소 저장 무게효율 5.7wt%를 만족하는 700bar 수소저장장치용 저장용기 및 핵심 부품 개발  
제품명 수소탱크(HT700-052J)  
개발기간 2015. 6 ~ 2018. 8 (38개월)  
총정부출연금 3,650백만 원  
개발기관 일진복합소재(주) / 전라북도 완주군 봉도읍 완주산단5로 97-46 063-730-4622 / www.composite.co.kr  
참여연구진 운영길 외

이에 대해 윤 전무는 “현재 상용화하고 있는 수소차는 높은 가격 때문에 일반인이 구입하기 어려워 시장 확대에 걸림돌이 되고 있다. 따라서 이런 상황을 해결하기 위해 연구개발 과정에서 1세대 수소저장탱크에 적용된 고기능성 탄소섬유 대신 범용 탄소섬유를 사용했으며, 자체 개발한 고기능성 에폭시를 적용해 기술 개발을 진행했

wt%

중량퍼센트(Weight Percent), 물질의 각 성분을 중량의 백분율로 표시한 것이다.

”고 설명했다. 그리고 “기존 방식에 복합재료 적층 방식으로는 탄소섬유를 절감할 수 없어 새로운 적층 방법을 적용했고, 이 결과로

세계 최고의 수소탱크를 개발하는 데 성공했다”고 말했다.

또한 윤 전무는 “수입에 의존하던 수소자동밸브와 고압센서의 경우 국내 부품업체와 협력해 국산화 기술력을 확보했으며, 개발된 부품을 현대자동차의 수소차인 넥쏘에 장착하며 양산에 나서 사업화에도 성공하게 됐다”고 밝혔다.

특히 수소차에 대한 세간의 우려 중 하나인 수소탱크의 안전성과 관련해 윤 전무는 “일반적으로 수소가스는 위험하고 화재 발생 시 위험 요소가 있어 화재 시험에 대한 법적인 기준이 강화되고 있다”면서 “강화된 법규에서는 화재 상황에서 수소탱크가 폭발하지 않아야 하므로 내화



윤영길 일진복합소재㈜ 전무

성능을 향상시키기 위한 난연 성능 확보가 필수적이다. 개발에 성공한 당사의 수소탱크에는 탄소섬유 복합재료 외부를 보호하기 위해 별도로 개발된 내화재가 사용됐으며, 수소탱크 취약 부위인 돔 부분을 보강해 1시간 이상 화재 상황에서도 탱크가 폭발하지 않고 견딜 수 있도록 개발됐다”고 설명했다.

### 현대차 수소차에 독점 공급, 글로벌 기업 성장 기대

사업화 현황과 전망을 묻는 질문에 윤 전무는 “이렇듯 세계 최고 수준의 기술력과 제품을 개발할 수 있었던 것은 소재산업 육성을 위한 정부의 노력과 지원은 물론 일진복합소재가 20년 가까이 복합재료 고압용기를 개발하고 양산해 온 풍부한 경험과 세계 최고 기술력을 바탕으로 자동

차뿐만 아니라 산업 전반에 적용할 수 있는 독보적인 기술을 보유하고 있기 때문”이라면서 “앞서 말한대로 본 과제에서 개발된 수소 저장 무게효율 5.7wt% 타입4 수소탱크 및 고압부품을 현대차 넥쏘에 적용해 양산하고 있으며, 국내 완성차 기준으로 2019년 6000대, 2020년 1만1000대 예정으로 당사의 수소고압용기를 적용할 예정이다. 또한 글로벌 해외 완성차 업체도 당사 제품에 관심이 높아 해외 시장 진출에도 청신호가 켜질 것으로 기대된다”고 밝혔다.

끝으로 신기술을 통한 향후 개발 계획 및 목표와 관련해서는 “본 과제로 개발된 기술을 연료전지 드론에 적용해 상용화를 진행하고 있으며, 철도·항만 등과 같은 기간산업에도 적용하기 위해 기술 개발을 계획하고 있다”고 말했다.

또한 “초기 진입 단계인 연료전지 시장에 본 과제를 통해 개발된 고압수소 저장 기술을 적용하고, 세계 최고 수준의 수소탱크 및 수소 부품에 대한 해외 글로벌 자동차 OEM뿐만 아니라 수소 충전에 필요한 인프라 구축의 필수적인 수소 이송 산업에 적용할 수 있는 수소탱크 및 시스템 개발에도 박차를 가하는 등 산업 전반에 걸쳐 개발 기술을 적용할 예정”이라며 “무엇보다도 가장 큰 목표는 국산화 기술을 확보함으로써 본격적인 수소사회가 이루어지는 시점에서 일진복합소재가 수소연료전지 시장을 선도함과 동시에 글로벌 기업으로 자리매김할 수 있도록 하는 데 있다”고 강조했다.



# 최고의 금융파트너 우리나라 1등은행이 함께합니다



## R&D 수행 중소·중견기업 사업화 지원 프로그램 종합안내



R&D 사업화자금  
**전용 대출**

R&D 사업수행  
중소·중견기업을 위한  
**우리 R&D 플러스론**



고객만족을 위한  
**맞춤형 컨설팅**

다양한 분야별  
컨설팅 제공을 통한  
**기업의 성공 지원**



우리은행 대표  
**금융프로그램**

R&D 기업대상  
수출입 업무 등 교육지원  
**다양한 프로그램 제공**

- 신청대상** 산업통상자원부 선정 R&D 과제 수행 중소·중견기업
- 신청방법** 우리은행 기관영업전략부 산업통상자원부 R&D자금 전담은행 담당자 전화(☎02-2002-3348)  
※ 금융기관 신용관리대상자 등 여신부적격자에 대하여 대출이 제한될 수 있습니다.

더 나은 내일을 위한 동행,  
이제 신한은행과 함께 하세요

전용  
대출

기술사업화  
컨설팅

금융  
프로그램  
(법률자문 서비스 등)

# 산업통상자원부와 신한은행이 함께하는 R&D 수행 중소·중견기업 지원 프로그램 안내

신한은행은 산업통상자원부 R&D 자금 전담은행으로  
다음과 같은 지원 프로그램을 운영하고 있습니다.

## R&D 사업화자금 전용 대출

R&D 수행 중소·중견기업을 위해 대출을 시행하고 있습니다.  
(신한 산업기술 우수기업 대출)

## 기술사업화 컨설팅

기술사업화 컨설팅 제공을 통해 기업의 성공을 지원합니다.

## 신한은행 대표 금융프로그램 (법률자문 서비스 등)

지역번호사회 연결을 통한 법률자문 서비스 등 기업에게  
꼭 필요한 다양한 프로그램을 제공합니다.

- 신청대상 산업통상자원부 선정 R&D 과제 수행 중소·중견기업
- 신청방법 신한은행 기관고객1본부 산업통상자원부 R&D 자금전담은행 담당자 전화 ☎ 02-2151-5581)

※금융기관 신용관리대상자 등 여신부적격자에 대하여 대출이 제한될 수 있습니다.



## 세라믹

- 레이저 가공 기술을 적용한 직경 45 $\mu$ m, Hole 밀도 10,000 Hole/cm<sup>2</sup> 수직형 Probe Card용 세라믹 기판
- 가시광 투과율 70%, 적외선 차단율 90%급의 에너지효율 향상을 위한 윈도우 칼코지나이드 기반 세라믹 복합 코팅 소재 개발

## 지식서비스

- 체험자의 위치추적 기능을 겸비한 VR 서비스 구현과 트릭아트 뮤지엄에 VR 기술을 적용한 VR아트 뮤지엄

# 이달의 새로 나온 기술

산업통상자원부 연구개발 과제 중  
최근 성공적으로 개발이 완료된 신기술을 소개한다.  
세라믹 2개, 지식서비스 1개로  
총 3개의 신기술이 나왔다.

프로브카드란 웨이퍼 상태에 있는 IC(Integrated Circuit)를 검사하기 위해 검사장치(프로버 및 프로버 스테이션)와 기계적 접촉으로 프로브 스테이션의 전기적 신호를 칩으로 전해주는 검사장비로 EDS(Electrical Die Sorting) 테스트의 핵심 장비다. 반도체 공정에서 칩 가공 공정이 완료된 후 웨이퍼 단위에서 각 칩의 전기적 특성 평가가 이루어져야 하며, 반도체 검사 공정 중 Burn In 테스트와 웨이퍼 레벨 테스트 두 공정에서 프로브카드가 사용된다.

프로브카드는 탐침의 모양과 구조에 따라 수평형과 수직형, MEMS 형식으로 구분된다. 비메모리 반도체인 모바일 AP 칩, SoC(System on Chip) 검사용으로 수직형 프로브카드가 적용된다. 수직형 프로브카드 핵심 부품인 가이드 플레이트는 일본의 FerroTec이 전 세계 프로브카드 시장의 90% 이상을 차지하고 있다. 현재는 회전형 드릴을 이용한 MCT(머시닝센터) 설비로 원형의 홀만 가공해 사용하고 있으나, 향후 반도체 IC 검사용 프로브

이강복 총괄책임자

본 과제를 통해 개발된 세라믹 제품은 수평형과 수직형, MEMS 형식의 초미세 홀 가공을 필요로 하는 프로브카드용 가이드 플레이트로 사용할 수 있으며, 관계사인 새한테크 로텍과의 유기적인 협업을 통해 국내 시장뿐만 아니라 해외 시장 진출을 목표로 하고 있습니다.

카드의 기술 및 시장은 대구경화, MEMS 핀 적용, 헵피치 구현, 고전류가 인계되는 방향으로 발전하고 있어 이에 대응이 가능한 기판 및 사각 홀 가공 기술이 선행돼야 한다. 세라믹 가이드 플레이트는 비전도성 재료여야 하며, 실리콘 웨이퍼(CTE : 3.5~3.8ppm/k)의 열팽창계수와 유사하거나 이보다 낮은 기판 재료가 요구된다. 사각 홀 가공은 레이저 방식이 유일한 대안으로 세라믹 기판 가공 시 발생하는 과도한 열입량을 흡수하고 수천 또는 수만 개의 미세 홀 가공 후에도 기판 변형이 없고 가공 홀 주변으로 열적 변형이 없어야 하는 극한의 기판 소재가 필요하다.

이러한 가운데 (주)새한팅스텐이 (주)프로이천, 한국세라믹기술원과 공동으로 미세 사각 홀 가공이 가능하고 우수한 내열 충격성, 내마모성, 내부식성 등의 기계적 특성이 우수한 세라믹 기판 개발을 추진했다. 이를 통해 미세 홀 MCT 가공이 가능한 산화물계 세라믹 기판 소재 및 Tape Casting 공정 기술을 적용한 초미세 홀 레이저 가공이 가능한 질화물 조성 기판을 개발하는 성과를 올렸다.

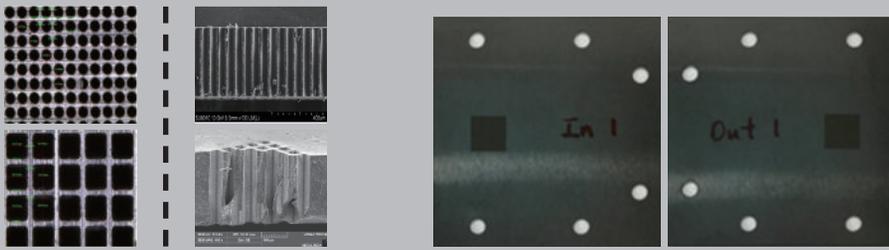
이렇듯 FerroTec으로부터 수입하던 머시닝블 기판을 대체할 수 있는 세라믹 기판 제작을 통해 프로브카드 가이드 플레이트용 기판의 수입 대체 및 해외 시장 진출이 가능할 것으로 전망된다. 더불어 레이저를 이용한 초미세 홀 가공 기술을 확보함으로써 반도체 공정 기술의 미세화 추세에 따라 고집적 프로브카드 가이드 플레이트용 시장에 효과적으로 대응할 수 있을 것으로 보인다.

Tape Casting 공정으로 제작된 질화물 플레이트



레이저 가공 사진

레이저 가공 시제품



# 레이저 가공 기술을 적용한 직경 45 $\mu$ m, Hole 밀도 10,000 Hole/cm<sup>2</sup> 수직형 Probe Card용 세라믹 기판

(주)새한팅스텐

031-529-3333 / www.filament.co.kr

세라믹 / 세라믹

# 가시광 투과율 70%, 적외선 차단율 90%급의 에너지효율 향상을 위한 윈도우용 칼코지나이드 기반 세라믹 복합 코팅 소재 개발

(주)엠트

041-338-3723 / www.amte.co.kr

태양 복사열 차단을 위해 현재 시판되고 있는 대부분의 제품(필름 및 특수유리)은 염료(Dye)와 같은 유기물을 첨가해 기능성을 부여한다. 하지만 유기물 본연의 낮은 안정성으로 인한 미흡한 성능과 낮은 내후성, 높은 가격의 문제로 대체 기술 개발에 대한 요구가 매우 큰 상황이다.

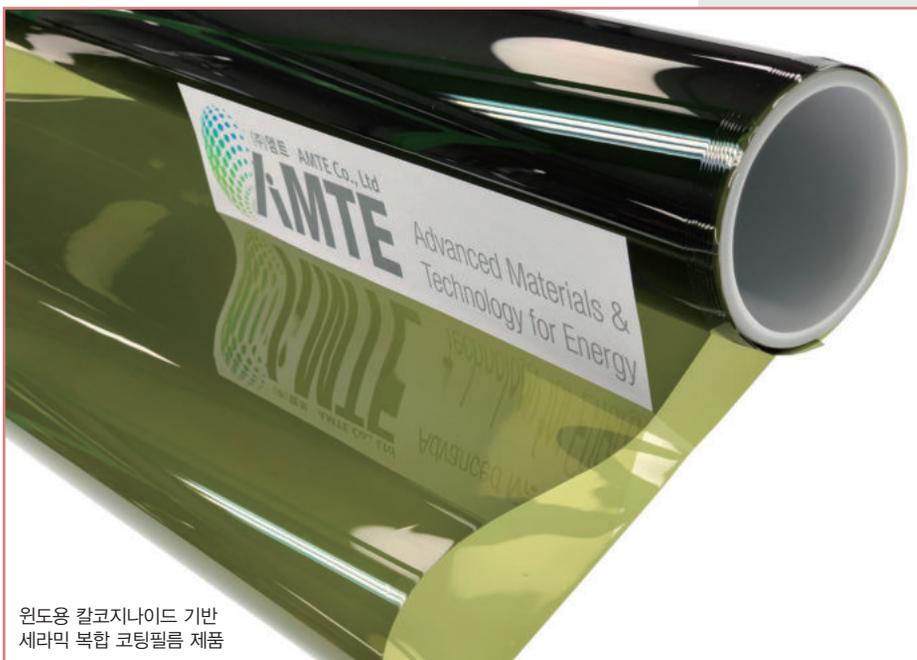
이 같은 문제점을 극복하기 위해 ITO, ATO 및 텅스텐 브론즈 등과 같은 안정된 세라믹 소재를 이용하는 기술이 대안으로 제시되고 있으나, 차단 성능과 원천 소재 가격에 대한 한계가 여전히 존재하고 있는 실정이다. 더불어 국내 수요의 대부분을 전량 수입에 의존하고 있으며, 해외 업체의 특허권 독점에 의한 소재의 수급 및 가격 불안정성 때문에 가격 및 성능 면에서 경쟁력이 있는 신규 소재의 개발이 절실히 요구되고 있다.

김남훈 총괄책임자

건축용·차량용 열 차단 필름 등으로 제품을 출시했고, 해외 유명 전시회를 통해 적극적인 마케팅을 하고 있습니다. 또한 응용 기술 개발을 통해 에너지 절감형 스마트 건축물과 스마트 윈도우 제품 등 적용 분야를 확장하고 있습니다.

이러한 가운데 (주)엠트는 한양대 에리카산학협력단, 고등기술연구원연구조합, 서울과학기술대 산학협력단, 중앙대 산학협력단과 공동 연구를 통해 핵심 기술인 저가의 고성능 UV 및 IR 차단 소재 대량 합성 기술, 분산성 및 내구성·안정성 향상을 위한 고분자 복합화 기술 등을 확보했다.

이렇듯 본 연구에서 개발한 저가의 고성능 열 차단 소재는 칼코지나이드 계열의 복합물질이며, 본 소재에 사용되는 구리(Cu), 황(S), 셀레늄(Se) 등은 기존 소재인 인듐(In) 및 텅스텐(W)에 비해 저렴하기 때문에 가격 경쟁력을 확보할 수 있다. 또한 성능 면에서도 이론적으로 가시광 투과율 70% 이상, 적외선 차단율 90% 이상의 특성을 발현할 수 있는 소재다. 이러한 소재는 국내 특허와 해외 PCT 특허 출원을 했으며, 창유리용 필름 소재(고분자 기지, Polymer Matrix) 내에 균일 분산돼 기존 필름에 UV 및 IR 차단 기능성을 부여하는 역할을 한다.



윈도우용 칼코지나이드 기반 세라믹 복합 코팅필름 제품

필름 생산 과정



# 체험자의 위치추적 기능을 겸비한 VR 서비스 구현과 트릭아트 뮤지엄에 VR 기술을 적용한 VR아트 뮤지엄

(주)로로아트플랜

02-993-2257 / roro-art.com

(주)로로아트플랜이 시크릿타운과 공동으로 추진한 본 연구과제는 세계 최초로 가상현실(VR) 시스템을 활용한 문화예술 콘텐츠 서비스로, 기존 트릭아트의 한계를 넘어 새로운 경험을 제공하는 뮤지엄 등 다양한 공간에 설치함으로써 VR 체험 콘텐츠를 제공하는 것을 목표로 한다. 이는 한류 콘텐츠 관광 사업 활성화를 통한 이익 창출뿐만 아니라 일자리 창출, 관광 상품화 등으로 지역경제 활성화에 기여하며 다양한 문화 콘텐츠 및 유행을 만들고 문화생활의 질을 향상시키는 데 필요한 사업이다.

이와 관련해 VR아트 뮤지엄이라는 새로운 콘텐츠로 고객에게 즐거움과 감동을 주기 위해 이미지를 기반으로 한 공간 인식 기술을 발전시킴으로써 VR의 몰입감을 증대시켰다. 사용자는 HMD를

신혁 총괄책임자

이 사업을 통해 개발된 AR, VR을 활용한 혼합현실(MR) 움직이는 트릭아트 제품은 이미 상용화가 활발하게 이루어져 현재 회사에 큰 도움이 되고 있습니다. 선택의 미래는 VR 콘텐츠로 보강해 개발 중이며, 이 콘텐츠가 완성되면 학교, 공공기관, 뮤지엄, 종교단체 등 다양하게 이용이 가능합니다. VR을 통해 선택적인 재미있는 모험을 했는데 자신의 MBTI 인격성 검사 테스트가 되는 신선한 콘텐츠입니다.

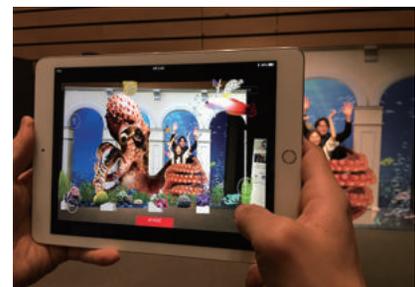
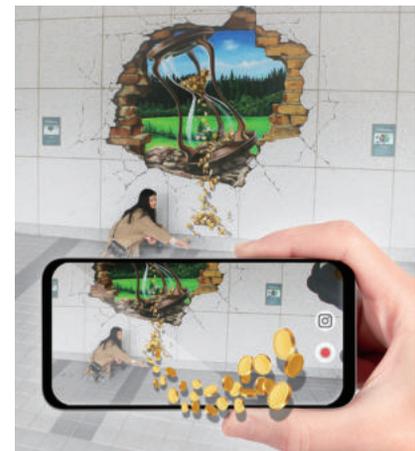


움직이는 트릭아트

착용함으로써 현실 속의 트릭아트와 가상의 3D 콘텐츠가 결합된 새로운 장르의 증강현실(AR) 및 VR 콘텐츠를 생동감 있게 즐길 수 있으며, 창의적인 아트 뮤지엄 작품을 감상할 수 있다.

이를 통해 이전에 없던 콘텐츠를 활용한 VR아트 뮤지엄으로 새로운 경험과 체험을 제공한다. 특히 검증된 사업인 트릭아트 뮤지엄과 연계가 가능해 기존 트릭아트 뮤지엄의 업그레이드를 통한 사업화가 유망하다. 더불어 급변하는 VR 기술을 적극적으로 활용해 차별화된 콘텐츠를 만들 수 있고, 한국에서 성공한 트릭아트가 빠르게 해외로 확산됨에 따라 트릭아트와 함께 수출 가능성도 높다.

그동안 시공한 다양한 AR 트릭아트



### 전기·전자

- (주)다이나톤의 그랜드 디지털 피아노
- (주)라운텍의 증강·가상현실 기기용 마이크로디스플레이

### 지식서비스

- (재)대구경북디자인센터의 시니어 사용자 전기 삼륜차
- (주)원차일드의 유아·아동용 스마트 식기

# 이달의 사업화 성공 기술

산업통상자원부 연구개발 과제를 수행해 종료한 후 5년 이내 사업화에 성공한 기술을 소개한다. 사업화 성공 기술은 개발된 기술을 향상시켜 제품의 개발·생산 및 판매, 기술 이전 등으로 매출을 발생시키거나 비용을 절감해 경제적 성과를 창출한 기술을 말한다. 전기·전자 2개, 지식서비스 2개로 총 4개의 사업화 성공 기술이 나왔다.

(주)다이나톤의 **그랜드 디지털 피아노**

# 일반 가정에서 하이그로시 그랜드 피아노를 연주하다

전자악기 분야의 세계적인 메이저 기업인 아마하, 롤랜드의 그랜드 디지털 피아노는 900만~2000만원대에 제품군이 형성돼 있다. 그랜드형 디지털 피아노 제품의 보급가형 라인업을 형성, 해외 진출 및 브랜드 이미지 제고를 통한 고급화 전략을 펼침으로써 기존 업라이트(Upright) 라인업과는 차별화된 고급 제품을 개발했다.

(주)다이나톤의 SGP-600(High Glossy Slim Grand Piano)은 명품 어쿠스틱 그랜드 피아노의 건반 동작과 음향을 재현한 보급형 그랜드 디지털 피아노다. 고급 그랜드 피아노를 연주하는 듯한 건반 움직임과 터치감을 구현(Grand Action 구현, Key 단차, 틈새, 하중 등 어쿠스틱 그랜드 피아노의 Specification과 유사)하고, 고가 명품 그랜드 피아노에서 발현되는 깊이 있는 소리(음원)를 재현하기 위한 사운드 시스템(Stereo Damper, Sound Resonance, Audio Interface)이 적용됐다.

**그**랜드 피아노와 동일한 고품질 하이그로시 외장, 국내 최소형 슬림 디자인(30평형대 공간에서도 사용 가능), 경량 설계로 쉽게 이동 가능, New RHA-3W 해머액션 목재 건반 3센서, 256 동시 발음 사양



다이나톤 MusikMesse 해외 전시회

## Korea Grand Piano 'SGP-600' 세계를 누비다

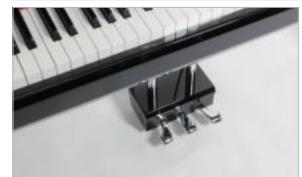
현재 다이나톤은 30여 개국 40여 바이어를 통해 해외로 제품을 수출하고 있으며, SGP-600 모델의 경우 미국 현지법인 DAC(Dynatone America Corp)를 주력어로, 북미 시장에 진출해 있다.

창의산업전문기술개발사업 / 전기·전자

기술명 : 명품 어쿠스틱 그랜드 피아노의 건반 제작 기술과 공명음 음원 기술을 적용한 보급가형 그랜드 디지털 피아노 개발

연구개발기관 : (주)다이나톤 / 054-476-0841 / www.dynatone.co.kr

참여연구진 : (주)다이나톤 도상인, 허주철, 장문권 외



(주)라운텍의 증강·가상현실 기기용 마이크로디스플레이

# 증강·가상현실 기기를 더 실감 있게 구현하다

마이크로디스플레이는 1인치 미만의 화면에 QVGA 이상의 고해상도, 고속 데이터 처리 및 저전력을 구현한 기술이다. (주)라운텍은 고해상도의 영상을 고집적도의 반도체 기술 기반 웨이퍼와 디스플레이 소자 기술을 결합한 디스플레이 패널 및 이를 구동하는 컨트롤러 IC를 개발해 증강·가상현실 기기에 최적화한 초소형, 고해상도 제품을 사업화했다.

기존의 단순 픽셀 어레이 구조의 TFT 유리 또는 플라스틱 기판과 달리 마이크로디스플레이는 인터페이스 회로, 타이밍 컨트롤러, 전원 제어 회로, 데이터 구동 회로, 스캔 구동 회로, 통신 회로, 메모리 등 필요한 모든 기능 블록이 실리콘 구동기판에 한꺼번에 집적돼 4000ppi 이상의 미세 화소와 저전력 소비로 120Hz 이상의 고속 프레임 레이트를 지원한다. 이러한 디스플레이 패널은 다양한 AP와의 고속 디지털 인터페이스(MIPI, LVDS)를 지원하는 컨트롤러 IC로 구동되며, 영상 프레임 버퍼, 영상 압축·해제, 증강·가상현실 기기의 광학 왜곡 보정 및 어지럼증을 줄이는 고속 영상 처리, 화면의 끊어짐을 해소하는 기술이 컨트롤러 IC에 적용됐다.

시스템반도체상용화기술개발 / 전기·전자  
 기술명 : HD급 초저전력 스마트 안경용 마이크로디스플레이 칩셋 SoC 및 솔루션 개발  
 연구개발기관 : (주)라운텍 / 031-786-4600 / www.raon.io  
 영보엔지니어링(주) / 041-537-1111 / www.youngboeng.com  
 고려대 산학협력단 / 02-3290-5851 / www.korea.ac.kr  
 강원대 산학협력단 / 033-250-6928 / www.kangwon.ac.kr  
 참여연구진 : (주)라운텍 김보은, 영보엔지니어링(주) 김철용, 고려대 산학협력단 김철우, 강원대 산학협력단 황인철 외



(주)라운텍의 마이크로디스플레이 패널과 구동 SoC가 적용된 레노버의 증강현실 안경 제품

마이크로디스플레이 기술은 증강·가상·혼합현실 글라스, HMD(Head Mounted Display), HUD(Head Up Display), FPV(First Person View, 드론 조종용) 고글, 프로젝터 및 차량용 헤드램프 등에 활용된다.

## 5G 기술로 증가하는 실감형 콘텐츠 지원하다

라운텍은 기존 사업화제품 외에도 0.5" HD, 0.55" FHD, 0.7" QHD 등 LCoS(Liquid Crystal on Silicon) 기술 기반의 제품 및 마이크로 LED와 마이크로 OLED용 구동기판 기술도 확보했다. 따라서 5G 기술의 보급화에 의해 성장하는 다양한 산업 분야에서 실감형 콘텐츠를 지원할 수 있는 라운텍의 제품·기술에 대한 수요는 꾸준히 증가할 것으로 전망된다.

				
<b>RDC200A</b>	<b>RDP370F-X</b>	<b>RDP551F</b>	<b>RDP502H</b>	<b>RDP700Q</b>
LVDS, MIPI	1920x1080 Full HD	2064x1112 Full HD / 2K1K	1280x720 HD	2560x1440 WQHD / 4M(½ 4K)
7.4x7.4mm eWLB	0.37"	0.55" / 0.57"	0.5"	0.7"

## (재)대구경북디자인센터의 시니어 사용자 전기 삼륜차 고령층의 안전한 이동을 책임지다

시니어용 전기 삼륜차는 저출산·고령화 사회로의 진입에 따른 인구 구조 및 가족 개념의 변화로 늘어난 고령층을 타깃으로 제작된 친환경 이동 수단이다.

기존에 판매되는 소형 삼륜차를 기반으로 농촌 시니어의 사용 행태를 관찰하고 인터뷰해 시니어 맞춤형 경험디자인(UXD) 요소를 적용했다. 시니어 이용자의 다양한 체형에 따라 높이 조절이 가능한 보조 발판과 삼륜차 특성상 바닥에 발을 지지하고 이동하는 경우 발목 사고를 방지하고 안전하게 승·하차하기 위한 사이드 스텝을 설계했다. 슬라이드 타입의 히든 적재함을 장착해 적재물을 외부에 노출시키지 않으면서도 안전하고 깔끔하게 보일 수 있도록 했으며, 운행 중 운전석 하체 부분으로 이물질이 유입되는 것을 방지하기 위해 펜더를 적용했다. 탈착식 배터리에 틸팅 구조를 결합해 충전이 편리하고 간편하게 탈부착할 수 있도록 제작했다.

디자인혁신역량강화사업 / 지식서비스

기술명 : 의료기기 특화산업기반  
시니어 사용자 전기 삼륜차의 디자인  
개발과 BM 창출

연구개발기관 :  
(재)대구경북디자인센터(주관) /  
(주)케이.피.디 /  
(주)그린모빌리티 / 053-611-1493 /  
www.greenmobility.kr

참여연구진 : (재)대구경북디자인센터  
이경남, 김영혜, (주)그린모빌리티  
오승호, 문성훈, (주)케이.피.디 채영삼,  
박세진, 김승하 외

**퍼**스널 모빌리티 시장 전체에 적용될 수 있다. 전기 이륜차, 사륜차 외 1인 창업에 필  
요한 맞춤형 개발까지 가능하다. 그린모빌리티는 고객의 수요에 맞게 커스터마이  
징 개발과 제작이 가능한 것이 강점이다.



### 퍼스널 모빌리티 시장 확대에 따라 새로운 소비층 공략

환경 규제 강화로 친환경 에너지산업의 중요성이 커지고 시니어의 증가로 이들에 대한 사업과 관련 시장이 점차 확대되고 있다. 이런 이유로 친환경적이면서 경제성이 뛰어난 퍼스널 모빌리티 시장이 주목받기 시작했으며 친환경 이동 수단에 대한 관심이 증가해 디자인 개발을 하게 됐다.

단순한 관심뿐만 아니라 시니어를 위한 안전한 이동 수단이 필요해졌으며, 가치관의 변화로 시니어는 늙고 병든 이미지에서 벗어나고 싶어 한다. 또한 이동보조기에 대한 거부감이 높아져 트렌드를 반영한 새로운 디자인의 제품을 제작하게 됐다.

초기에는 소비자의 감성을 자극하는 전략적인 마케팅으로 바이어들로부터 좋은 반응을 이끌어냈다. 이를 기반으로 시니어층을 타깃으로 구체화하고 수요층의 니즈를 파악해 기존 제품 대비 차별화 요소와 단순 판매가 아닌 맞춤형 개발에서 렌탈, AS까지 토털 케어 서비스의 강점을 강조해 경쟁력 있는 제품임을 지속적으로 홍보하고 있다.

저소음, 친환경 운송 수단임을 부각시키면서 사용이 익숙지 않은 시니어를 위해 성능보다는 안정성에 초점을 맞춰 개발된 제품이라고 홍보(부드러운 주행감, 최고 시속 25km 내외 등)함으로써 지속적으로 시장을 확대해 나갈 계획이다.

(주)원차일드의 유아·아동용 스마트 식기

## 음식물 흘림을 방지하는 똑똑한 유아·아동용 식기

기존의 유아·아동용 그릇은 어른 식기를 축소한 형태가 대부분이었다. 이 때문에 숟가락 사용이 서툰 아이들은 그릇 밖으로 음식물을 흘리거나 손으로 받쳐 먹곤 했다.

이에 원차일드는 아이들이 숟가락을 사용하는 방법적·구조적·형태적인 것에 기준해 그릇 상부로 돌출된 부분을 만들어 그릇 안에서 숟가락을 끝까지 밀어 올려도 음식물이 숟가락에 쉽게 담기도록 디자인하고 개발했다. 이를 통해 그릇 내부 바닥면에 기울기를 주어 액체 형태의 음식물을 먹을수록 자연스럽게 한쪽으로 모이게 만들어 더욱더 쉽게 숟가락을 사용할 수 있도록 했다. 100% 무독성 실리콘 재질로 국내에서 제작해 인체에 무해하며 전자레인지, 식기세척기, 냉동·냉장 보관, 열탕 소독 등 다양하게 사용할 수 있다.

이처럼 원차일드의 식기는 숟가락을 처음 사용하거나 익숙하지 않은 아이들을 위한 그릇으로, 숟가락 사용이 쉽고 음식물 흘림을 방지하는 똑똑한 유아·아동용 식기다.

창의산업전문기술개발사업 / 지식서비스  
 기술명 : 위생적이고 숟가락 사용의 편의성이 우수한 유아·아동용 식기  
 연구개발기관 : (주)원차일드 / 02-518-5495 / www.onechild.co.kr  
 참여연구진 : (주)원차일드 이상연



음식물 흘림 방지와 바닥면이 기울어져 있는 기능적인 디자인, 감성적인 컬러로 개발됐으며 인체에 무해한 무독성 실리콘 소재를 사용했다. 아이들이 스스로 숟가락을 사용할 수 있도록 하는 자기주도적 식기로 집중력, 성취감, 자존감 상승은 물론 소근육 발달에도 도움을 준다.



프런트 뷰 단면도

### 아이들을 위한 그릇은 따로 있다

기존엔 키즈볼(큰 사이즈)과 베이비볼(이유식기, 작은 사이즈) 두 종류만 있었지만 바닥면에 흡착판이 있어 강하게 누르지 않아도 바닥에 붙는 중간 사이즈의 킨더볼을 개발했다.

기존에는 오프라인 위주로 판매했지만 앞으로는 인플루언서와 블로그, 소셜 네트워킹을 통한 홍보 등 온라인으로도 판매할 계획이다. 또한 국내 대표 유아 브랜드와 협업해 오프라인 판매도 확장하고 기업의 PB 상품으로도 공급할 예정이다. 특히 향후 지속적인 매출이 발생하고 유아·아동이 있는 가정에서 필수적인 제품으로 인식될 것으로 전망된다.



## 코로나 여파로 디스플레이 시장 급감 불가피 전반적인 시장 위축에도 고급 디스플레이 수요는 강세

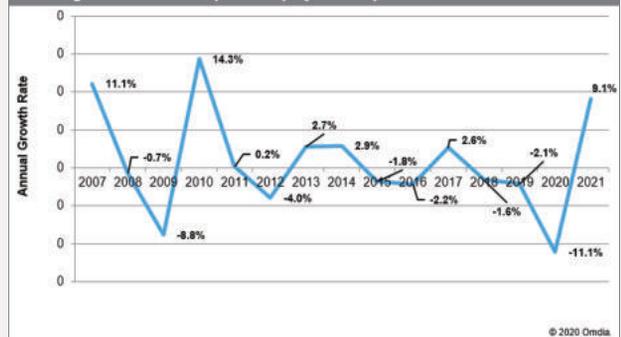
신종 코로나바이러스 감염증(코로나19) 사태로 TV와 스마트폰 수요가 급감하면서 디스플레이 시장이 역대 최대 폭으로 위축될 것이라 전망이 나왔다. 이러한 디스플레이 시장의 전반적인 위축에도 삼성, LG가 이끌고 있는 고급 디스플레이 수요는 강세를 지속할 것으로 예측되고 있다.

### 코로나에 올해 세계 디스플레이 시장 ↓ ...

#### 역대 최대 감소율

시장조사업체 옴디아는 4월 보고서에서 코로나19의 영향으로 올해 글로벌 평균 디스플레이 출하량(32억 대)이 지난해(36억 대)보다 11.1% 감소할 것으로 예측했다. 글로벌 디스플레이 출하량이 두 자릿수로 감소한 것은 옴디아가 관련 통계를 조사한 이후 처음이다. 글로벌 금융위기 당시인 2009년에는 8.8% 감소한 바 있다.

Annual growth rate for flat panel display unit shipments



옴디아는 코로나19 팬데믹에 따라 각국의 오프라인 매장이 폐쇄되면서 TV와 스마트폰 수요가 급감하고 있고, 다른 분야보다 코로나19로 인한 충격이 클 것으로 전망된다며 디스플레이 시장도 급감할 것이라고 설명했다.

부문별로는 올해 액정표시장치(LCD) TV용 패널 출하량은 9.5% 감소하고, 스마트폰용 패널은 10% 감소할 것으로 예측했다. 데스크톱 모니터용과 노트북용 패널은 각각 1.9%, 5.8% 줄어든 것으로 전망됐다.

반면, 유기발광다이오드(OLED) TV용 패널은 35.9% 증가하고, 스마트폰용 능동형유기발광다이오드(AMOLED) 패널도 9.0% 성장할 것으로 전망됐다.

옴디아는 전반적인 시장 위축에도 고급 디스플레이 수요는 강세를 지속할 것이라며 LG디스플레이와 삼성디스플레이 등 한국 업체가 LCD 라인을 고급 디스플레이로 전환하면서 중소형 TV 패널 생산이 급감할 것이라고 설명했다.

한편, 내년에는 코로나19의 영향에서 벗어나면서 전 세계 디스플레이 출하량은 올해보다 9.1% 반등할 것으로 전망됐다.

### 삼성디스플레이, 스마트폰 OLED ‘독주’... 시장점유율 90%

스마트폰 OLED 시장 절대강자 삼성디스플레이가 올해 1분기에도 독주를 이어갔다. 시장조사업체 스톤파트너스에 따르면 올 1분기 출하된 전체 6830만 장의 스마트폰 OLED 패널 중 삼성디스플레이가 6160만 장을 출하해 시장점유율 90.2%를 차지했다.



출처 : 한경DB

삼성디스플레이의 1분기 점유율은 전년 동기 대비 3.9%포인트 하락했으나 출하 물량 자체는 200만 장 늘었다. 2위는 330만 장을 출하해 점유율 4.9%를 기록한 에버디스플레이 옵트로닉스(EDO)였다.

삼성디스플레이의 시장 지배력은 당분간 공고할 것으로 전망된다. 최근 중소형 스마트폰에도 OLED 패널을 탑재하며 시장이 확대되는 데 반해 아직 중국 제조사 등 경쟁사에서 공급하는 스마트폰 OLED 패널 수는 미미해서다.

스톤파트너스 관계자는 “올해 삼성디스플레이는 ‘리지드 홀(Rigid Hole)’ 제품 공급을 확대하면서 시장 지배적 위치를 더욱 탄탄하게 다질 것으로 보인다”며 “당분간 모바일용 리지드 OLED 시장점유율이 90% 이하로 떨어질 일은 없을 것”이라고 내다봤다.

### 바빠진 LG디스플레이... 중국 ‘IT공룡’ 화웨이, OLED TV 합류

중국의 정보기술(IT) 기업 화웨이가 OLED TV 제조사로 합류하며 LG디스플레이의 고객이 또 한 곳 늘었다. 화웨이 외에도 올해 3개 제조사가 추가로 OLED 시장에 뛰어들 전망이어서 OLED 패널을 독점 생산하는 LG디스플레이의 실적 개선이 앞당겨질지 주목된다.

화웨이는 4월 신제품 발표회를 통해 자사의 첫 OLED TV인 ‘X65’를 선보인 바 있다. 가격은 2만4999위안(약 430만 원)으로 프리미엄 시장을 겨냥했다.



발표회에서는 LG디스플레이가 공급한 OLED 패널의 '퍼펙트 블랙'과 자연스러운 색상 표현, 적은 블루라이트 방출량 등이 강조됐다. 1.2mm의 얇은 베젤(테두리), 24.9mm의 두께 등도 눈길을 끌었다.

화웨이의 이번 합류로 OLED TV 시장에서는 올해 출시를 예고한 샤오미, 샹프, 비지오를 비롯해 총 19개사가 접전을 펼칠 전망이다. 옴디아에 따르면 글로벌 OLED TV 판매량은 올해 350만 대에서 내년에는 600만 대, 2024년에는 950만 대까지 증가할 것으로 예측된다.

현재 유일하게 TV용 OLED 패널을 생산하고 있는 LG디스플레이는 늘어나는 수요에 대응하기 위해 중국 광저우 신규 공장에서 양산 준비에 속도를 내고 있다. 업계에 따르면 지난 3월 전세기로 광저우에 급파된 LG디스플레이 임직원 290여 명이 격리를 마치고 공장에 투입된 것으로 알려졌다.



광저우 8.5세대 OLED 공장 가동이 시작되면 월 6만 장(유리 원장 기준) 규모의 생산능력을 갖추게 된다. 8.5세대 유리 원장 하나로는 55인치 TV 패널 6장 또는 65인치 TV 패널 3장을 만들 수 있다.

LG디스플레이는 이 밖에 파주 8.5세대 공장(월 7만 장)을 가동 중이며, 파주 10.5세대 공장(월 4만5000장)은 이르면 2023년 가동에 들어간다. 앞서 LG디스플레이 정호영 사장은 하반기 흑자 전환을 전망했으나 코로나19 여파로 성장세가 더딜 수 있다는 관측이 나온다.

## LCD서 韓 밀어낸 中 BOE, 다음 타깃은 '플렉시블 OLED'

LCD 시장에서 국내 디스플레이 업체를 밀어낸 중국 BOE가 OLED 추격에도 발동을 걸었다. 1차 목표로 프리미엄 스마트폰에 탑재되는 플렉시블 OLED를 점찍었다.



출처 : 삼성디스플레이

국내 업체보다 10여 년 늦게 LCD 시장에 진입했지만 중국 정부의 막대한 보조금에 힘입어 저가 물량 공세를 펴 업계 1위로 올라간 만큼 OLED 시장에서도 수년 내 국내 업체를 위협할 것 이란 우려가 나오고 있다.

BOE는 중국 충칭에 위치한 플렉시블 OLED 공장 B12에서 6세대 OLED 기판(가로 1500mm X 세로 1850mm) 생산을 위한 장비를 발주한 것으로 알려졌다. BOE는 이 기판 제조를 위해 B12 외에 청두에 B7, 멩양에 B11 공장을 지어 놓은 상태다.

플렉시블 OLED는 구부러지는 재료를 사용한 디스플레이로 폴더블폰을 비롯한 프리미엄 스마트폰과 자동차 전용용 디스플레이에 주로 탑재된다. 디스플레이업계는 플렉시블 OLED를 향후 10년을 책임질 미래 먹거리로 보고 치열한 경쟁을 벌이고 있다.

시장조사업체 유비리서치에 따르면 플렉시블 OLED 시장 규모는 지난해 약 22조4700억 원(182억9000만 달러)에서 2023년 40조1750억 원(347억 달러)로 2배 가까이 급성장할 것으로 전망된다. 당장 올해 OLED 탑재 스마트폰 출하량도 전년 대비 50%가량 성장한 6억 대 규모로 추산된다.



화웨이 'P40', P40 시리즈에는 BOE와 삼성디스플레이, LG디스플레이의 플렉시블 디스플레이가 탑재됐다. 출처 : 화웨이

BOE가 정부 보조금과 세제 혜택을 등에 업고 최근 공격적으로 투자를 확대하며 눈독을 들이고 있는 것도 그래서다. 중소형 OLED 시장을 독주하고 있는 국내 업체로서는 경계 대상일 수밖에 없다.

현재 플렉시블 OLED 시장은 삼성디스플레이, LG디스플레이 등 국내 업체가 주도하고 있다. 시장조사업체 DSCC는 2016년까지만 해도 시장점유율을 삼성디스플레이가 87%, LG디스플레이가 13%로 국내 업체가 사실상 100% 독점했지만 2025년에는 BOE가 31% 수준까지 점유율을 끌어올려 1위 삼성디스플레이를 제칠 가능성이 있다고 내다봤다.

BOE의 충칭·청두·멘양 3개 공장이 정상 가동되면 6세대 OLED 기판 생산능력(CAPA)을 월 14만4000장까지 끌어올릴 것으로 추산된다. 당장 삼성디스플레이(17만 장)와도 큰 차이가 나지 않는 수준이다. 수출까지 감안하면 삼성디스플레이가 크게 앞서지만 중국 정부의 전폭적인 지원과 함께 수주 물량도 자국 업체에 몰아주는 중국 특성상 BOE의 가격경쟁력 확보, 점유율 확대가 예상된다.

폴더블 디스플레이 분야도 안심할 수 없다. 현재 폴더블 OLED 시장 역시 삼성디스플레이가 90%가량의 점유율로 독주하고 있다. 전체 플렉시블 OLED 시장에서 폴더블 OLED가 차지하는 비중은 올해 1.3% 수준에서 2026년 11.3%까지 커질 것으로 예상된다.

점유율 10% 수준인 BOE는 이 분야에서도 추격의 신호탄을 쏘았다. 올해 초 모토로라 '레이저', 화웨이 '메이트Xs' 등의 폴더

블 패널을 단독 공급했다. 이어 애플에도 납품할 것으로 예상된다.

애플은 올 하반기 출시가 유력한 첫 5세대 이동통신(5G) 스마트폰에 OLED 채택이 확실시된다. 내년에는 애플도 폴더블 폰을 내놓을 가능성이 높다. 그간 중소형 OLED 시장을 지배하는 라이벌 삼성의 디스플레이를 울며 겨자 먹기로 이용해 왔던 애플로서 BOE가 돌파구가 될 수 있다.

최근 BOE는 LG디스플레이와 함께 애플 공급사 지위를 획득하고 B11 공장에 애플 전용 OLED 모듈 라인을 건설 중인 것으로 알려졌다.

국내 업체들은 BOE의 움직임을 예의주시하고 있다. 올해 들어 코로나19로 인한 공급 차질 등으로 LCD 가격이 상승 추이에 접어들었지만 삼성디스플레이와 LG디스플레이는 연내 LCD 시장에서 손을 떼기로 했다. 중국 업체의 저가 물량 공세로 LCD 가격이 급락한 탓에 수년간 사업 부진을 겪었던 국내 업체로서는 불가피한 선택이었다는 설명이다.

LCD에 이어 중소형 OLED 시장에도 중국의 위협이 가시화되자 업계 1위 삼성디스플레이는 '초격차' 벌리기로 맞대응에 나선다. 삼성디스플레이의 신규 생산 공장 A5(충남 아산디스플레이시티2)에 대한 투자가 진행돼 내후년쯤부터 본격 가동될 것으로 업계는 보고 있다.

증권가는 플렉시블 OLED 패널에 터치 일체형 기술을 접목, 패널 내부에 터치 센서를 집어넣어 생산비용 및 기간을 단축할 수 있는 '와이옥타' 공정이 A5 공장에 추가 건설될 것으로 예상하고 있다. OLED 패널과 커버글라스를 접합하는 과정에서 잉크젯 OCR 장비 기반의 새로운 공정 도입도 점쳐진다. 잉크젯 OCR은 기존 OCA 필름 대신 투명 접착제를 도포해 OLED 패널과 커버글라스를 접합, 비용을 크게 절감하는 장비다.

김철중 미래에셋대우 연구원은 "중국에서 중소형 OLED 투자가 재개되는 시점에서 삼성디스플레이는 가격경쟁력을 높이기 위해 와이옥타에 대한 지출을 늘리고 잉크젯 OCR 장비 기반 공정을 도입할 것"이라며 "삼성디스플레이는 7세대 등 기존 6세대 OLED 공장을 무력화할 수 있는 초격차 투자를 고민해야 한다"고 말했다.

반도체 소재와 자동차 부품, 제조장비 등 우리나라 산업의 중심인 제조업의 뿌리가 되는 소재·부품·장비(이하 소부장)산업은 제조업의 허리이자 경쟁력의 핵심 요소라 할 수 있다. 그러므로 우리나라는 예전부터 이 소부장산업을 강화하기 위해 다각도의 대책 마련과 정책을 펼쳐 왔으며, 최근에는 일본의 수출 규제 조치에 대응해 훨씬 적극적인 육성 정책을 펴나가고 있다. 이에 따라 본지는 2020년 스페셜 코너로 소부장산업의 강소기업을 소개하는 ‘소부장 기업을 가다’를 마련했고, 그 네 번째로 ‘고성능 배리어 필름 기술 개발’을 비롯해 광학 필름 및 유관 산업 분야의 핵심 소재 관련 기술을 선도적으로 개발하고 있는 (주)아이컴포넌트를 소개한다.

### 2000년 설립, 명실상부한 국내 최고 IT 부품소재 전문기업

아이컴포넌트는 국내 대기업 연구소에서 광학 필름을 개발하던 연구원들이 2000년 5월 12일 창업한 회사다. 주 사업 분야는 코팅 부문에서 배리어(Barrier) 코팅 필름 제품과 일반 기능성 코팅 제품을 생산하고 있으며, 압출생산 분야에서는 도광판, 박판 PC 필름, 고순도

## 세계 최고 IT 소재 기술 전문기업을 향해 나아가다

### 고성능 배리어 필름 기술 개발 (주)아이컴포넌트

아크릴수지 필름 등 광학 필름을 생산하고 있다.

창업 당시부터 플렉시블 LCD용 기판을 개발해 오던 아이컴포넌트는 2002년 전량 수입에 의존하던 1mm 미만 박판 PC(폴리카보네이트) 필름을 국내 최초로 국산화하는 데 성공해 주목을 받기 시작했으며, 이를 발판으로 PMMA 필름을 비롯해 PCB(인쇄회로기판) 필름 등 산업용 필름 분야로 영역을 넓혀갔다. 그리고 2012년 1월 사업화를 위해 배리어 코팅 필름 신규 투자를 기점으로 본격적인 배리어 필름 기술 개발에 나서 압출, 용액 코팅, 배리어 코팅 등 명실상부한 플라스틱 기판 사업 전문 기업이 됐다.

이후 아이컴포넌트는 2013년 LG전자의 G Flex와 삼성전자의 갤럭시 라운드가 출시되면서 중소형 디스플레이의 경우 플렉시블 OLED의 가능성을 엿보게 됐고, 대형 TV는 QDEF가 적용된 SUHD TV가 출시되면서 본격적으로 배리어 필름의 사업화를 시작할 수 있게 됐다. 지속적인 연구개발 노력으로 현재는 미래 먹거리인 폴더블, 롤러블 등 유리를 대체할 수 있는 기술 및 제품 개발의 선도 기업 역할을 톡톡히 해내고 있다.

### 뛰어난 기술 확장성의 고성능 배리어 필름 기술 개발

디스플레이는 기본적으로 투명성이 요구되고 주변 환경으로부터 디스플레이 소재를 보호해야 하는데 가장 안정적인 재료가 유리다. 유리는 투명하고 수분이 투과하지 않으며



내열성과 내후성이 좋은 반면 무겁고 외부 충격에 의해 쉽게 깨진다는 단점이 있다. 또한 폴더블, 롤러블 디스플레이처럼 다양한 형태로 변형시키는 데 한계가 있다.

이에 따라 가벼우면서도 외부 충격에 쉽게 깨지지 않는 내구성, 다양한 형태로의 변형이 용이한 플라스틱 필름이 적용됐지만 이는 유리만큼 내열성과 표면경도가 뛰어나지 않은 데다 주변의 수분이나 산소 등이 쉽게 침투돼 외관, 신뢰성 등 디스플레이 품질에 영향을 주는 단점을 지니고 있다. 이를 해결하기 위해 기체 차단성이 좋은 유리와 비슷한 무기재료를 코팅해 플라스틱과 무기재료의 장점만을 따온 것이 바로 배리어 필름이다.

이와 관련해 아이컴포넌트 미래사업본부 이기호 본부장은 “OLED 재료는 수분에 가장 민감해 WVTR(Water Vapor Transmission Rate, 수분 투과도)  $10^{-6}g/m^2/day$  수준의 기체 투과 방지성이 요구되고 있다”면서 “이는 국제 공인 축구 경기장 5개를 합친 넓이에 30일 동안 투과된 수증기의 양이 1.071g이며, 이를 달리 해석하면 두께가 200um인 플라스틱 필름의 WVTR이  $2g/m^2/day$ 인 경우 단순 계산식으로 OLED에 적용하기 위해 요구되는 WVTR  $10^{-6}$  수준으로 만들려면 재료의 두께가 261km가 돼야 하고 쿼텀닷용에 적용하려면 5mm 두께로 만들어야 한다. 그러나 유리와 같은 무기재료로 1um 이하의 얇은 두께로 코팅을 해주면 해결이 가능한데 바로 이러한 기술을 가능하게 하는 것이 증착을 이용한 배리어 코팅 기술”이라고 설명했다.

## R&D INTERVIEW

이기호 ㈜아이컴포넌트 미래사업본부 상무이사/본부장

### 개발 과정 중 성공과 실패는 훗날 피가 되고 살이 된다

- 꾸준한 연구개발 및 장·단기적 정부 지원, 소부장 경쟁력 키운다

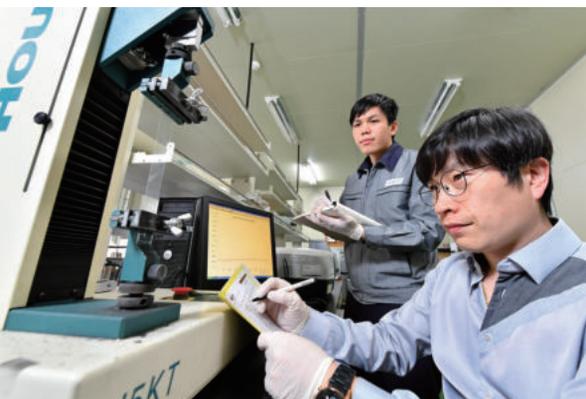
- 소부장 각각의 내재화보다 유기적인 내재화 정책 마련돼야

아이컴포넌트의 주된 사업 분야인 필름산업은 전방산업인 IT산업의 핵심 소재로 사용되는 만큼 IT 부문 기술 동향에 따라 밀접하게 연관돼 부침(浮沈)을 거듭하는 분야다. 그러므로 그 어떤 산업 분야보다도 R&D 전략에 있어 세밀함과 함께 국내 소부장산업 발전을 위한 대안과 전략을 가지고 있을 것으로 판단된다.

이기호 본부장은 “아이컴포넌트의 R&D 전략 및 철학, 역량은 크게 세 가지로 설명할 수 있다. 첫 번째로는 ‘제품 및 기술의 흐름을 보는 안목’이다. 당사의 창업부터 지금까지의 역사를 보면 세계 최초보다는 ‘수입 대체’가 키워드였다. 또한 제품 개발의 벤치마킹 대상이 국외에 많이 있었다. 즉, 초창기의 사업화 아이템은 First Mover보다는 Fast Follower였다. 두 번째는 ‘대기업과의 협업 및 신속한 개발 대응’이다. 아이러니하게도 연구개발의 주체는 전 세계적 디스플레이 업체가 포진하고 있는 국내 대기업과의 협업 및 공동개발이었다. 이 가운데 양산 적용된 제품은 QD용 배리어 필름이었으며, 세계 최초 개발보다는 세계 최초의 양산 적용 타이틀이었다. 즉, 중소기업의 특성상 고객의 요구에 신속하게 대응하는 역량이 있어야 한다. 끝으로 ‘개발 과정 중의 성공과 실패는 훗날 피가 되고 살이 된다’이다. 앞서 말한 대로 창업 시점부터 10년 이상 한 우물만 파왔다. 이 과정에서 술한 시행착오가 있었지만 힘든 여건과 상황 속에서도 묵묵히 지원을 아끼지 않고 기다려준 경영진의 자세와 실행력 그리고 실패 속에서도 또 다른 기회와 문제 해결을 위해 노력한 임직원 및 연구원들의 노고가 있었기에 가능했다”고 말했다.

이율리 본부장은 국내 소부장 기업의 발전을 위한 전략과 대책에 대해 “당사의 연구개발은 창업 초기부터 중기형 과제, 21세기 프린티어기술개발사업, ATC사업, 소재부품산업미래성장동력, WPM 등과 함께하고 있으며, 연구개발 주체는 달라도 핵심적인 배리어 기술은 같았다. 연구결과가 매출로 연결되기 시작한 것은 거의 13년이 지난 후였다. 예를 들면 WPM 정부지원금이 23억 원이었으나 누적 매출은 2019년까지 770억 원 정도였다. 이는 지금까지 당사가 배리어 필름 관련 국책과제 전체 정부지원금보다 10배 이상의 성과를 냈다는 것”이라면서 “소부장산업 또는 기업이 경쟁력을 갖추려면 꾸준한 연구개발이 필요하고, 여기에 정부의 장·단기적 지원이 큰 도움이 된다. 당사는 여러 개의 국책과제를 수행했으나 모든 과제가 의미 있는 매출로 연결되지는 않았다. 다시 말해 과제의 성공 여부도 중요하지만 실패를 해도 계속 혁신적인 연구개발에 도전할 수 있게 인정해주는 분위기가 우선 조성돼야 한다”고 강조했다.

그리고 “소재를 생산하기 위해서는 부품과 장비가 필요하나 정작 핵심적인 부품이나 장비는 수입 제품을 사용해야 한다. 2019년 일본 리스크, 2020년 코로나 리스크에 의한 수출입 문제 및 경기 침체 등 앞으로 어떠한 일이 벌어질지 모르는 상황이다. 이에 소재나 부품, 장비 등 각각의 내재화가 아닌, 소재를 개발하는 데 필요한 부품-장비의 내재화가 적극 권장되고 지원되는 유기적인 내재화 정책이 마련돼야 한다”고 덧붙였다.



이어 이 본부장은 “기존에는 수분 및 산소 차단성을 높이기 위해 가스 배리어층인 무기물 층과 유연성을 부여하기 위한 유기물층이 교차로 여러 층 코팅되는 다층의 배리어 필름이 적용되었으나 공정이 늘어나 롤투를 공정성이 불가능하고 경제성이 없는 공정”이라며, “당사는 이러한 부분을 해결하기 위해 언더 코팅층, 무기막 배리어층, 유기 하이브리드 오버 코팅층의 3층으로 하이배리어를 구현하였으며 2014년 하반기부터 고성능 배리어 필름을 공급하고 있으며, 기술 및 재료의 확장성이 뛰어나 QD, 플렉시블 OLED, EPD, FPV 등의 다양한 어플리케이션에 적용되고 있다”고 밝혔다.

### 유리 대체 기술 및 하이 배리어 필름 양산 개발 박차

한편 아이컴포넌트는 IT 기기 및 일반 산업용 필름 제품군을 생산하는 필름 소재 전문 업체답게 명실상부한 국내 최고의 필름 제조 기술과 개발 계획을 확보하고 있다. 이에 대해 이 본부장은 “압출 기술의 성과로는 세계에서 두 번째로 Super Enpla(엔지니어링 플라스틱) PES(폴리에테르 술폰) 광학용 필름을 개발했으며, 국내에서는 최초로 고객사와 78인치 아크릴 수지 Wedge Type LGP(도광판)를 개발했다. 또 국내 최초로 0.1mm 이상의 PC 필름을 양산했고 현재 세계 최초로 압출을 이용한 Slope Type PC LGP를 양산하고 있다”고 설명했다.

아울러 그는 “압출 기술과 코팅 기술의 성과로는 전량 수입해 오던 자동차용 계기판 및 기능성 코팅 계기판을 양산하고 있으며, 세계적인 기업과 헤드업 디스플레이(HUD)용 Dust Cover도 양산하고 있다. 향후에는 본격적인 유리 대체 기술을 적용해 올해 안에 PC/PMMA 2-레이어 제품을 양산할 예정”이라면서 “또한 코팅 기술과 증착 기술 성과로는 국내에서는 최초로 P-OLED용 하이브리드 인캡용 배리어 필름과 QDEF용 배리어 필름을 양산했고 현재는 ESL용 EPD 및 플렉시블 태양광용 하이 배리어 필름을 양산하고 있다. 또한 폴더블, 롤러블 IT 기기용 유리 대체를 목적으로 고경도 코팅 제품을 개발 중”이라고 밝혔다.

끝으로 앞으로의 계획과 목표에 대해 이 본부장은 “크게 두 가지 측면에서 계획과 목표를 갖고 있다”면서 “먼저 유리 대체 측면에서는 지금까지 당사의 투명한 플라스틱 필름 및 시트의 경우 항상 유리와의 경쟁이 이루어지고 있는 가운데 폴더블, 롤러블, 스트레처블 디스플레이가 도래하게 되면 결국 유리의 대체 소재가 요구되고 재료의 융·복합, 혁신적인 공정 및 소재가 요구된다. 현재 폴더블 관련 소재를 주요 고객사와 개발하고 있다. 당사의 압출, 기능성 코팅, 증착 기술을 이용해 유리 대체 기술 개발에 매진할 것이며 이와 관련한 투자를 진행하고 있다”고 말했다.

또한 “다음은 하이 배리어 필름 양산 개발이다. 이는 기존 배리어 기술을 심화시켜 양산 수준인 WVTR  $10^{-4} \text{g/m}^2/\text{day}$  이하의 배리어 필름을 개발, 플렉시블 태양광(FPV)에 적용하기 위해 승인을 진행 중이며, 향후 이러한 기술과 품질이 성숙된다면 고품질의 디스플레이도 당사 배리어 필름을 사용해 롤투를 공정으로 대량생산하는 날이 오리라 기대해 본다”고 밝혔다.





## As 및 Sb 미함유 친환경 원적외선 광학유리 소재 및 광학렌즈 기술 개발

가시광 영역의 상을 획득하기 힘든 환경에서 유용하게 사용되는 적외선 영상 기술은 자동차, 플랜트, 보안, 소방방재, 방위산업 등 적외선과 관련한 광학 수요가 많아 향후 중요한 기술 분야로 부각될 것으로 예상된다.

### 개발이 필요한 이유

적외선 소재 기술은 투과성이 좋고 물리적·화학적·기계적 특성이 우수한 소재를 개발하는 기술로, 이 중 특히 시장의 관심도가 높은 분야는 적외선 영역이다. 장파장 적외선(Long Wave Infra Red : LWIR) 영역의 투과특성이 높은 친환경 소재 기술이며, 핵심은 비소(As)와 안티몬(Sb)을 포함하지 않는 게르마늄(Ge) 기반 칼코지나이드(Chalcogenide) 소재 기술이다. Ge은 적외선 소재로 가장 많이 사용되는 재료로, 적외선 영역의 파장 투과도는 물론 굴절률이 4 이상으로 높고 LWIR 영역에

서 고른 투과성을 보이기 때문에 AR(Anti-Reflective) 코팅 후 특정 파장 영역의 투과 효율을 극대화하기에 용이하다. 하지만 재료 단가가 높아 저가 시장에서는 경쟁력을 확보하는 데 한계가 있다.

칼코지나이드는 주기율표 6족에서 산소(O)를 제외한 황(S), 셀레늄(Se), 텔루륨(Te) 등의 칼코젠 원소를 하나 이상 포함하는 이원계 이상의 화합물로 구성돼 있는 소재다. 적외선 광학기기로 사용되는 칼코지나이드 유리 소재( $\text{Ge}_{20}\text{Sb}_{15}\text{Se}_{65}$ )는 Ge 성분을 약 20%만 함유해 기존 Ge 등 고가의 단결정 소재에 비해 생산에 소요되는 공정 비용이 낮



다는 점에서 향후 적외선 카메라 가격을 낮출 수 있어 주목된다.

적외선 투과 글라스 소재 기술은 독성이 많은 As 및 Sb를 포함하지 않는 친환경 소재라는 장점이 있다. 모바일 기기용 적외선 광학계에서는 친환경 칼코지나이드 소재로 이루어진 광학부품이 필수적으로 사용된다.

국내에서는 지금까지 Ge-Sb-Se계 저분산 소재와 Ge-Sb-S계 고분산 소재가 처음으로 국가 연구개발을 통해 양산에 성공했고, 광학계 적용을 위한 테스트 단계에 있으나 친환경 적외선 광학유리 소재 관련 연구는 전무한 실정이다. 해외 연구기관의 국제 연구 논문 수준에서 기초 물성에 관한 연구는 진행돼 왔으나 스마트 기기 광학렌즈용 친환경 칼코지나이드 유리 소재, 적용성 평가 그리고 성능 평가에 대한 연구는 아직 이루어지지 않고 있다.

### 전체 시장 및 응용분야별 시장 분석

적외선(IR) 이미징 글로벌 시장은 2013년 53억6900만 달러 규모이며, 연평균 6.50%(2014~2020년) 성장해 2020년 84억5000만 달러에 달할 것으로 예상된다. IR 렌즈 시스템 시장은 2013년 8억

800만 달러로, 연평균 6.08%(2014~2020년) 성장해 2020년 12억 3800만 달러에 이를 것으로 보인다. 파장에 따른 IR 이미징 시장은 단파장 적외선(SWIR), 중파장 적외선(MWIR), 장파장 적외선(LWIR)으로 세분된다. LWIR 시장 규모는 2013년 22억4200만 달러로, 연평균 7.24%(2014~2020년)의 가장 높은 성장률을 보이며 2020년 37억200만 달러에 달할 것으로 예상된다. LWIR은 보안, 자동차, 항공우주, 방위 등에 적용되며 점차 확대되고 있다.

LWIR 스펙트럼 범위는 8~12 $\mu$ m이며, 이 범위에서 작동하는 카메라는 열의 대기흡수에 대한 세부 정보를 제공한다. LWIR은 안개와 연기를 투과해 보다 나은 시각을 제공하므로 열화상 촬영 및 수동 시력(Passive Vision) 개선에 가장 적합하다. 가전제품, 감시, 자동차, 우주항공, 국방, 산업, 의료 및 소방과 같은 주요 응용산업 분야 중에서 군사용, 국토 안보 및 산업용 감시 분야가 LWIR 시장의 가장 큰 고객이다. 가전제품 시장은 연평균 10.36%로 가장 높은 성장률을 보여 2020년 최대 규모의 시장을 형성할 것으로 예상된다.

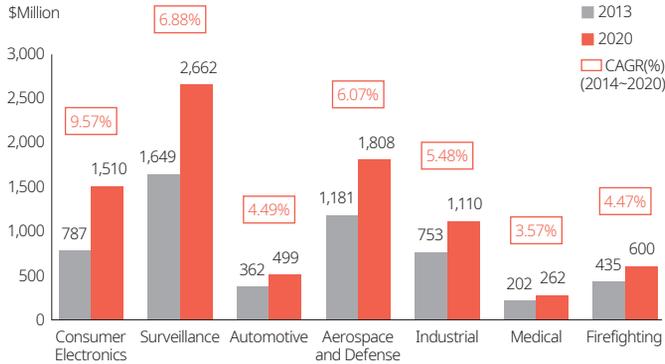
(단위 : 백만 달러)

Component	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020	CAGR (2014~2020)
IR lens System	808.57	868.58	930.19	992.63	1,054	1,115	1,238	6.08%
Sensor	1,189	1,297	1,409	1,526	1,644	1,764	2,015	4.63%
IR Detector	3,124	3,369	3,621	3,878	4,133	4,388	4,910	6.48%
Others	246.97	256.33	264.83	272.19	277.86	282.01	286.46	1.87%
Total	5,369	5,790	6,225	6,669	7,109	7,549	8,450	6.50%

Source : Annual Reports, Press Releases, Experts' Interviews, and MarketsandMarkets Analysis

<표 1> 구성 요소에 따른 적외선 이미징 시장 동향 2013~2023년

세계 IR 이미징 응용 시장은 가전제품, 감시(군사, 국토 안보 및 산업), 자동차, 방위 및 항공우주, 산업, 의료 및 소방 등이며, IR 영상의 전반적인 응용 시장은 2014년 5.79%에서 2020년 8.45%로 성장할 것으로 예상된다. 가장 큰 시장인 감시 응용 분야는 연평균 6.88% (2014~2020년) 성장해 2020년 26억6200만 달러로 예상되며, 가전제품 분야는 같은 기간 9.57%의 가장 높은 성장률을 보이며 2020년까지 15억1000만 달러 규모가 될 것으로 전망된다. Uncooled Infrared Imaging Technology & Market Trend Report, Yole Development에 따르면 원적외선 카메라가 스마트폰에 장착될 경우 휴대전화 시장이 급격히 성장할 것으로 보이면서 2020년에는 299~399달러대의 초소형·초경량 적외선 카메라 시장도 1000만 대 규모로 확대될 것으로 예상된다.



〈그림 1〉 응용분야별 전 세계 적외선 이미징 시장 및 성장률, 2013~2020년

출처 : Infrared Imaging Market – Analysis & Forecast to 2020

가전기기 분야의 IR 카메라 전체 시장에서 아시아태평양(APAC) 지역은 41.09%를 점유해 2014~2020년 연평균 성장률(CAGR) 10.47%로 가장 큰 성장세를 보일 것으로 전망되며 2020년에는 6억 5700만 달러 규모로 관련 시장을 이끌 것으로 예상된다. 시장 규모 측면에서 그 뒤를 이은 미주 지역은 CAGR 10%로 2020년 5억6100만 달러 규모를 기록할 것으로 보인다.

(단위 : 백만 달러)

Region	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020	CAGR (2014~2020)
Americas	284	317	351	389	428	469	561	10.00%
Europe	119	131	144	135	170	184	215	8.56%
APAC	323	361	403	448	495	545	657	10.47%
RoW	60	63	67	70	72	74	78	3.47%
Total	787	872	964	1,063	1,165	1,273	1,510	9.57%

Source : Expert Interviews, Annual Reports, Journals, and MarketsandMarkets Analysis

〈표 2〉 Consumer Electronics 분야 적외선 카메라 지역별 시장 성장률 2013~2020년

### 핵심 기술 및 주요 연구내용

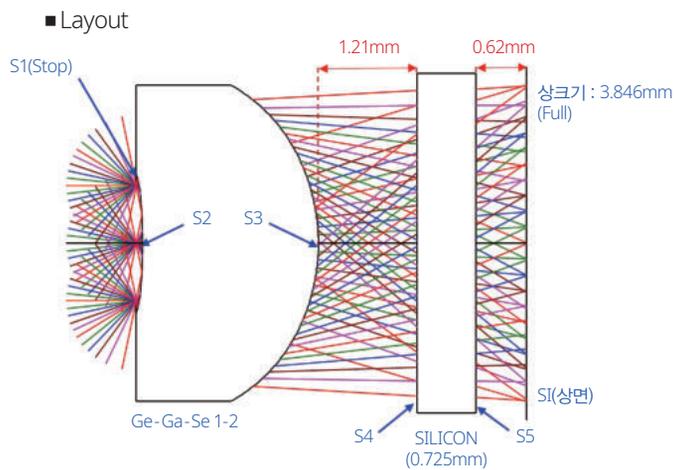
‘As 및 Sb 미함유 친환경 원적외선 광학유리 소재 및 광학렌즈 기술 개발’의 핵심은 친환경 적외선 광학유리 소재 개발이다. 이와 관련해 As 및 Sb 미함유 Ge-In-Se, Ge-Ga-S, Ge-Ga-Se-S, Ge-Ga-Se, Ge-Ga-Se-Te, Ge-Ga-Te 기반 원천 조성 개발 및 물리적·광학적 분석을 추진하고, 몰드 성형이 가능한 원적외선 광학유리 소재 조성 선별, 몰드 성형 적합성과 양산성을 고려한 최대 직경 60mm 유리잉곳 제조 공정 개발 등을 수행한다. 이를 통해 최적화된 친환경 원적외선 광학유리를 적용한 저가형 진공 몰드 성형 제조공정 기술을 개발한다.

다음으로 친환경 소재 적용 광학렌즈를 개발한다. 이와 관련해 개발한 원적외선 광학유리 광학상수를 이용, 모바일 기기를 포함한 다양한 응용분야의 광학계 사양을 만족시키는 광학설계를 도출하고, As 및 Sb 미함유 개발 광학유리를 이용한 광학렌즈의 상대적 성능 비교에 쓰이는 적외선 상용 소재(GASIR1, GASIR5)와의 비교 분석 작업을 한다. 이를 통해 GASIR1에 비해 후보로 조성한 광학유리의 특성(굴절률, Abbe 수)이 상대적으로 높은 설계 이점을 확인하고, 광학 스펙에 맞춰 개발 소재를 적용한 광학모듈 광학계 설계 및 Thermal Defocus, Chromatic Aberration, MTF 성능 시뮬레이션(-40~80도)을 완료한다.

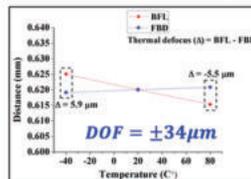
이러한 핵심 기술 개발을 기반으로 친환경 소재 적용 광학렌즈 및 광학모듈을 시연한다. 이와 관련해 스마트 기기에 장착할 수 있는 초소형 광학모듈 시스템을 구현하기 위한 친환경 소재 유리잉곳 제조, 개발 소재 적용 광학렌즈를 제작한다.



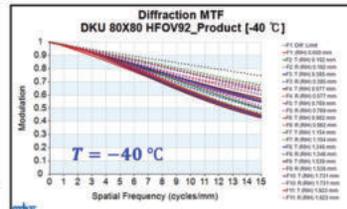
〈그림 2〉 친환경 적외선 광학유리 소재 및 광학모듈 핵심 기술



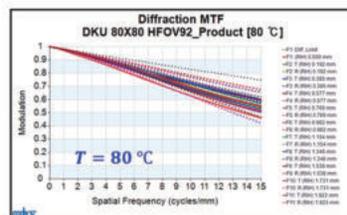
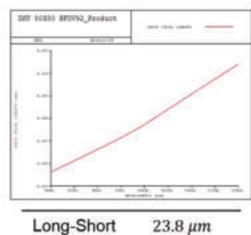
■ Thermal Defocus Analysis



■ MTF(-40°C, +20°C, +80°C)



■ Chromatic Aberration



〈그림 3〉 친환경 적외선 광학유리 소재 및 광학모듈 제품 개발 핵심 기술

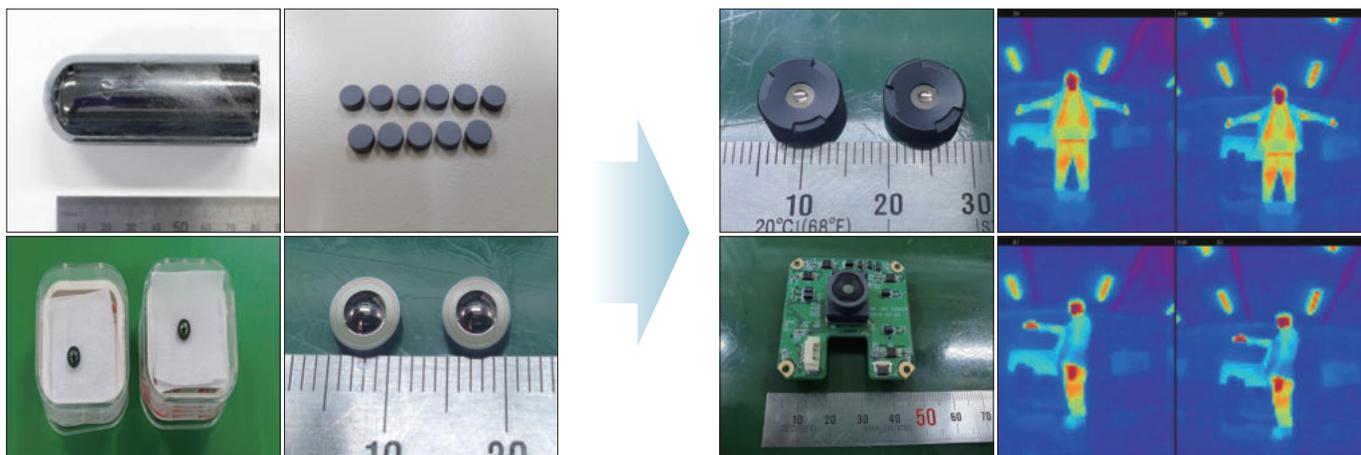
한편, 개발 소재를 적용한 광학렌즈와 상용렌즈의 성능은 유사한 수준인 것으로 확인됐으며, 친환경 소재에 적용한 초소형 광학모듈은 2~3년 내 애플, 삼성 등의 모바일 기기에 적용될 것으로 기대되고 있다.

기대 및 파급효과

한편 'As 및 Sb 미함유 친환경 원적외선 광학유리 소재 및 광학렌즈 기술 개발'을 수행함으로써 향후 수입 의존도에서 탈피해 국산화를 실현할 것으로 기대된다. 전량 해외 수입에 의존하고 있는 친환경 소재 적용 적외선 광학유리 소재 및 광학모듈 국산화 기술 개발

성공은 기존 가시광 영역 광학산업에서 벗어나 적외선 광학산업 분야에서 세계 시장을 선점할 수 있는 기회를 창출할 것으로 보인다.

더불어 신시장 창출을 위한 신성장동력 산업으로 자리매김하는 효과도 있을 것으로 예상된다. 친환경 광학유리 소재 및 초박형 광학모듈 기술을 통해 국내 중소·중견기업의 기술 및 가격 경쟁력 확보와 더불어 다양한 응용산업 분야에 적용됨으로써 고부가가치 세계 적외선 광학소재 및 부품 시장 선점이 가능하다. 초박형 적외선 광학모듈 및 시스템은 생산 공정 모니터링, 전력 유지 및 보수, 산업 설비 열원 등 다양한 분야에 적용(로봇, 드론, 자동차 등)됨에 따라 20% 이상의 시장 점유율이 전망된다(200만 대, 2019년).



〈그림 4〉 친환경 칼코지나이드 유리, 볼렌즈, 광학렌즈 및 FOV 90도 카메라 영상

# 온실가스 저감용 방오 성능을 갖는 선박용 저마찰 필름 기술 개발

본 프로젝트는 기후변화 대응에 필요한 저탄소·에너지 저감형 신소재 부품 기술을 세계 각국의 환경규제에 대응하는 수출 전략상품으로 발전시켜 우리나라의 주력산업인 조선 및 관련 화학제품 분야의 선진 기업 원천 기술 의존도에서 탈피하고 관련 분야의 경쟁력을 확보하는데 그 목적이 있다.

## 개발이 필요한 이유

방오도로 기술은 인체에 유해한 주석이 포함된 도로에서 자기마모형(SPC) 도로로 개발이 진행됐으며 최근에는 방오제가 첨가되지 않고 도막의 표면특성으로 방오 성능을 갖는 친환경적인 Foul-release 방오도로가 적용되고 있다. 현재 SPC와 Foul-release 방오도로 제품이 국내외에서 널리 적용되고 있으나 고객의 요구가 점차 선박의 마찰 저감에 의한 연비 개선 및 온실가스 저감으로 바뀌고 있어 그에 따른 방오도로의 성능 개선이 필수적으로 요구되고 있다. 하지만 기존 스프레이형 방오도로로는 한계점에 도달한 상황이다.

필름형 선박용 방오도로 기술은 저마찰 방오 코팅 소재와 Self-adhesive Film 등의 복합 기술로 구성되며, 선박의 도장 공정에서 발생하는 VOC를 제거하고 도장 공정의 간소화를 통한 생산성 향상을 확보할 수 있는 기술이다. 또한 해수와 접촉하는 방오필름의 표면을 마찰 저감에 최적화된 소재 및 구조로 설계할 수 있으며 선박의 해수와 표면마찰 저항 감소를 통한 획기적인 연료 절감 및 온실가스 저감을 구현할 수 있어 기술 개발이 필요하다.



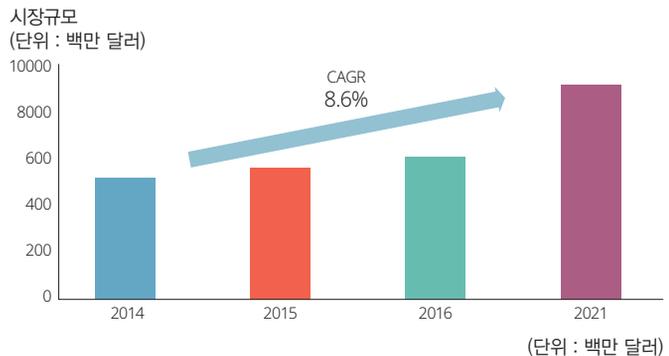
〈그림 1〉 국내 선박용 방오도로 시장 규모 및 전망

출처 : Markets and Market 보고서(2116) "Antifouling Paints & Coatings Market, Global Forecast to 2021"; \*CAGR : Compound Annual Growth Rate

현재 유럽의 PPG 및 일본의 Nitto Denko 등에서 이러한 필름형 방오도로를 정부 지원 또는 민간기업 등에서 개발하고 있으며 현재는 개발 단계 또는 소형 선박 적용 단계로 보인다.

국내 선박용 방오도로 시장은 2016년 약 4억1000만 달러를 기록한 후 성장세(CAGR 6.6%)를 이어가 2021년 6억2000만 달러 규모가 될 것으로 전망된다.

세계 방오도로 시장은 2014년 51억8000만 달러에서 CAGR 8.6%를 보이며 2015년에는 56억1000만 달러, 2021년에는 약 92억2000만 달러 규모로 확대될 것으로 전망된다.



〈그림 2〉 세계 선박용 방오도로 시장 규모 및 전망

출처 : Markets and market 보고서(2116) "Antifouling Paints & Coatings Market, Global Forecast to 2021"; \*CAGR : Compound Annual Growth Rate

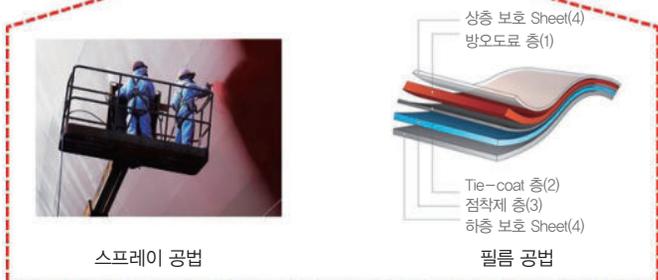
국내 조선 시장은 세계 경제 침체에 따른 일시적 수요 감소 및 공급량 초과로 한중일 3국 간 수주 경쟁이 치열하게 전개될 것으로 예측되는 가운데, 선박용 도로 시장 역시 고객(선주)의 요구에 부응하는 고부가가치 창출형 친환경 도로 경쟁이 예상된다.

유럽 및 일본의 선진 도료기업에서 필름형 방오도료를 일부 출시해 고객인 선주에게는 연비와 온실가스 저감을, 조선사에는 높은 생산성, 유기화합물 배출 최소화 및 친환경적 안전한 작업장에 대한 실현 가능성을 높이고 있어 향후 필름형 방오도료 및 관련 제품이 차지하는 점유율이 급상승할 것으로 판단된다.

### 핵심 기술 및 주요 연구내용

‘온실가스 저감용 방오 성능을 갖는 선박용 저마찰 필름 기술 개발’의 핵심 기술은 크게 2가지로 구분할 수 있다.

첫째는 방오 성능이 우수한 저마찰 양친매성 방오 소재 개발이다. 이와 관련해 선박 해수 침수부의 해양 생물 Foulings을 제어하기 위한 필름형 방오 소재 개발을 비롯해 친수성과 소수성을 동시에 구현하는 양친매성 소재 개발, 장기 해수 침적 조건에서 안정성을 갖는 방오 소재 개발을 수행한다. 또한 해수와의 저마찰 특성을 구현할 수 있는 표면특성을 갖는 방오 소재 개발, 접착과 보수가 가능한 방오필름의 점착제 시스템 개발, 방오 소재의 필름화 기술 개발 등을 추진한다.



〈그림 3〉 기술 개발 과제의 개념도

둘째는 필름형 방오필름의 성능 평가 기술 개발이다. 이와 관련해 기존 방오제를 사용하는 방오도료와 다르게 표면특성을 이용한

Foul-release 타입의 특징에 맞는 평가 시스템을 구축한다. 더불어 3가지 종류의 미세조류(Nitzschia, sp., Navicula, annexa., Amphora, sp.)와 1종의 대장균(Escherichia Coli)을 사용한 미생물 부착 시험 시스템을 개발하고, 해수 유속에 따른 해양 부착 생물(Foulant)의 제거 성능 평가를 위한 회류수조 시험 시스템을 개발한다. 이외에도 해수 침적 시험, 실선(소형 어선) 적용 시험 등을 수행한다.



〈그림 4〉 필름형 방오필름의 성능 평가 기술 개발

### 기대 및 파급효과

‘온실가스 저감용 방오 성능을 갖는 선박용 저마찰 필름 기술 개발’을 통해 국내 조선산업 및 도료산업의 핵심요소 기술 자립화 및 원천 기술 개발을 실현할 것으로 기대되고 있다. 이와 관련해 필름형 방오도료 원천 기술 개발을 통한 기술 선도성을 제고하고 해외 시장을 개척할 수 있다. 또한 고부가가치 선박용 도료 시장 선점 및 국내 도료사 기술 경쟁력 극대화에 기여한다.

다음으로 국내 조선산업 경쟁력 확보를 위한 기술 개발을 기대하고 있다. 이와 관련해 필름형 방오도료 사용으로 기존 스프레이 도장 방법 대비 재료비 약 30% 절감, 작업 간소화 및 도료 비산이 없는 친환경 작업장 구축 효과를 올릴 수 있다. 더불어 저마찰 방오도료 기술 적용에 따른 연비 저감 및 친환경 효과(예: 1만 TEU 컨테이너선 기준, 마찰력 4% 감소 시 척당 연간 28억 원 연료비 절감, 척당 이산화탄소 배출량 연간 1만 3200톤 저감)가 기대되고 있다.

# 한국자동차연구원이 수행하는 R&D 프로젝트 수소택시 실증 기반 수소 저장 및 운전장치 요소부품 내구성 검증 기술 개발

본 R&D 프로젝트는 수소를 연료로 이용해 전기를 생산하고 전기모터로 구동하는 수소 전기차의 사용연한을 개선하는 기술 개발이다.

## 수소 전기차의 내구연한 향상을 도모하다

현재 수소 전기차의 사용연한은 20만 km 내외이며 완성차에서는 10년 또는 16만 km를 보증하고 있다. 내연기관차의 사용연한은 30만 km 이상이기 때문에 수소 전기차를 내연기관차만큼 사용할 수 있는 수준으로 만들기 위해서는 내구연한을 향상시키는 기술을 개발해야 한다. 수소 전기차의

보증기간인 10년, 16만 km도 일반인이 사용하기에는 큰 문제가 되지 않을 수 있으나 사업용인 경우 2배 이상의 내구연한이 필요하다.

특히 수소 전기차가 중고차로 판매될 경우 내구연한이 낮으면 차량 가격이 떨어질 수 있다. 중고 시장이 활성화되지 않는 자동차는 신차의 판매도 저조할 수밖에 없기 때문에 수소 전기차의 내구연한 향상은 자

동차를 운행하는 소비자를 위해 필수적으로 개발해야 하는 기술이다.

이에 본 프로젝트는 수소 전기차의 핵심 부품 중 공기 공급, 수소 공급, 열관리시스템 등의 부품과 수소저장시스템의 부품을 향상시키는 것을 목적으로 하고 있다. 물론 연료전지 스택에 대해서도 연구가 진행된다. 이와 관련해 수소 전기차의 다양한 부품의 내구성을 분석하고 개선안을 도출할 계획이다. 도출된 개선안은 차기 프로젝트를 통해 다시 개발되는 형태다.

한국자동차연구원, 현대자동차 및 부품 생산기업 등은 수소택시로 운행되는 수소 전기차 전 차량에 대해 5만 km마다 주행 거리에 따른 차량 및 부품 상태의 변화를 체크하는 한편 가혹한 택시 운행 환경에서 개선해야 할 점, 내구성을 높일 수 있는 방법 등을 연구하고 있다.

## 수소택시 실증 기반 연구 진행하다

본 프로젝트의 핵심은 부품의 내구성이 있는지 없는지를 분석하는 것이며, 왜 문제가 발생했는지를 단기간에 파악하는 것이다. 일반적인 수소 전기차로는 10년이 걸리는 것을 수소택시로 운행 시 2년 이내 파악할 수 있다.



국내 자동차업체의  
자생력 확보와 산업 육성  
**한국자동차연구원**



국회 수소충전소 개소식 때 투입된 수소택시

1990년 설립된 한국자동차연구원은 국내 자동차업체의 자생력 확보와 산업 육성을 위해 정부와 업체가 힘을 모아 자동차 관련 연구개발, 시험인증, 교육 및 정보 제공 등 부품업계를 위한 다양한 지원을 수행하고 있다. 수소 전기차 분야에서는 1998년부터 국내 완성차 및 부품업체와 함께 연료전지 스택, 수소공급시스템, 공기공급시스템, 열 관리시스템, 수소저장시스템, 전력변환시스템 등의 부품 개발 및 개선 연구를 진행하고 있다.

최근 한국자동차연구원은 내연기관차에서 경유차, 휘발유차가 차체(플랫폼)를 같이 사용하는 것처럼 수소 전기차와 전기차가 차체를 공용으로 사용할 수 있는 기술을 개발하고 있다. 이 기술이 개발된다면 개발비만 수천억 원이 투자되는 수소 전기차 전용 플랫폼을 만들지 않아도 되기 때문에 수소 전기차의 가격 경쟁력이 개선되고 다양한 차종으로 개발이 가능할 것으로 판단된다.

이와 관련해 본 프로젝트는 2019년부터 2022년까지 진행되며 총 20대의 수소택시가 서울에서 운행된다. 2019년에 10대가 운행되었으며, 2020년 5월 추가로 10대가 투입돼 총 20대가 운행된다. 본 프로젝트의 연구는 실도로 운행과 차량 분해 등 2가지로 이루어진다. 실도로 운행은 20만 km까지 운행 중 부품 성능 데이터를 수집해 분석하면서 문제점을 파악하는 형태다. 더불어 차량 분해는 16만, 20만, 25만, 30만 km를 달성한 수소택시를 분해해 부품의 상태와 내구성의 관계를 분석하고 개선사항을 도출하는 형태다.

한편, 2019년 1월 17일 발표된 '수소경제 활성화 로드맵'에 수소택시를 적용한 대중교통 전환 내용이 포함돼 있으며, 정부는

2023년부터 수소택시를 보급할 계획이다. 하지만 현재 수소 전기차 수준은 50만 km로, 내구성이 필요한 택시에 적용 시 최소 1회 이상 연료전지시스템을 교체해야 하는 상황이 발생할 수 있다.

본 프로젝트에서 수소 전기차를 택시 기반으로 실도로를 운행해 내구성을 개선할 수 있는 기술을 확보할 경우 수소택시 운행 시 연료전지시스템 교체 없이도 내연기관차 수준의 내구성을 확보할 수 있는 기반이 될 것으로 판단된다. 본 프로젝트를 통해 도출된 부품 내구연한 개선안이 개발되면 기존 수소 전기차에 동일하게 적용되기 때문에 과제 종료 3년 뒤인 2025년의 경제적 파급효과는 수천억 원에 이를 것으로 전망된다.



〈그림 2〉 수소택시 실증 기반 수소 저장 및 운전장치 요소 부품 내구성 검증 기술 개발 개요

# AI 시대의 새로운 교육법 뜬다 “핵심은 문제 해결 능력”

21세기 교육 프레임워크가 2000년대 초반에 나왔다면 지금은 4차 산업혁명을 말한다. AI 시대에 필요한 인재는 어떤 능력을 가져야 하나? 한마디로 역량이다. 그중 핵심은 문제 해결 능력이다. 세상에서 발생하는 문제를 파악하고 그 문제를 해결해 낼 수 있는 능력을 키우자는 것이다. 그것은 복합적이고 입체적인 능력에 해당한다.

이현주, 윤희은 [한경비즈니스, 한국경제신문 기자]

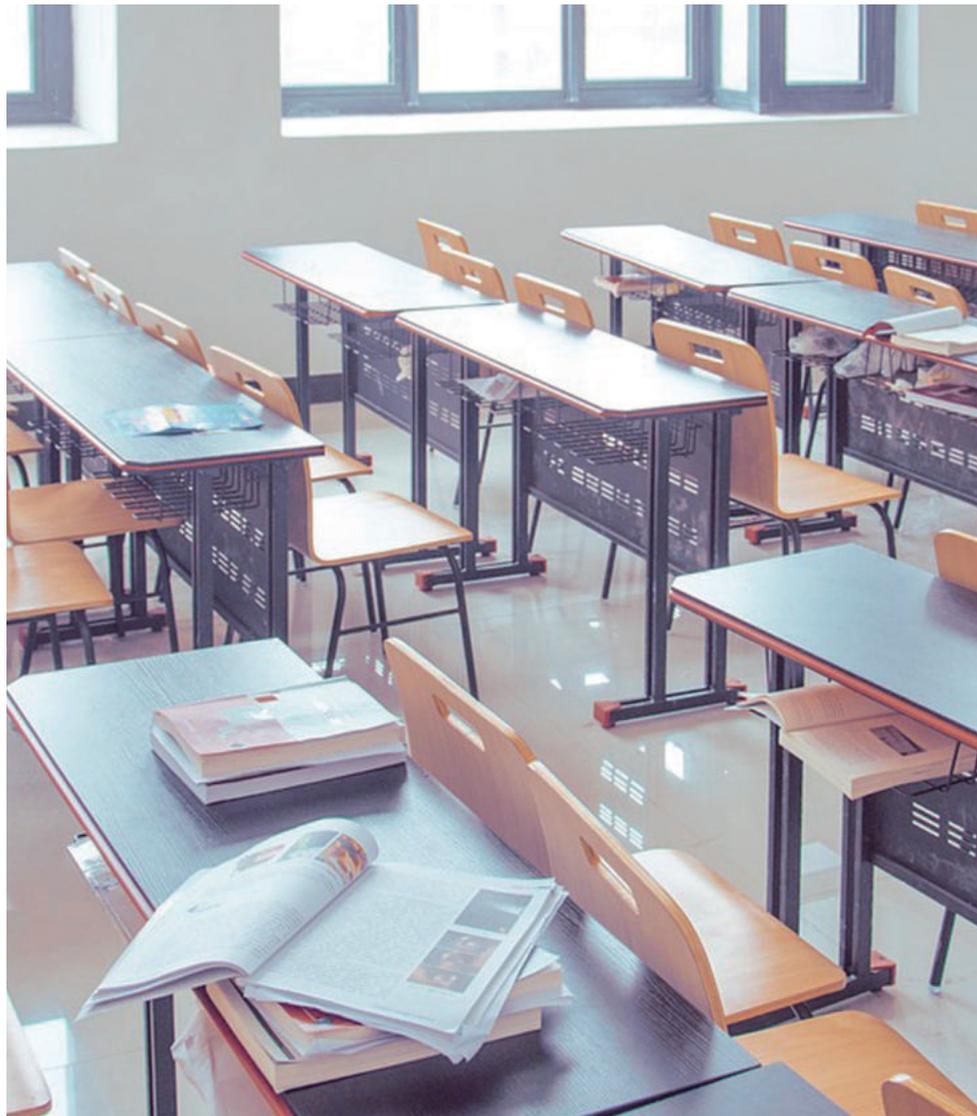
## '거꾸로캠퍼스' 미래 교육 현장

세상은 빠르게 바뀌는데 왜 교육은 여전히 그대로일까? 교육의 패러다임 전환에 팔을 걷어붙이고 미래 교육을 실천하는 곳이 있다. '거꾸로캠퍼스'는 붕괴 상태의 교실을 되살리는 과감한 교육 실험을 한 데 이어 21세기 교육 모델을 찾는 실험 공간을 마련했다. 이곳에선 어떤 교육이 이뤄지고 있는지 탐방했다.

2014년 봄 '거꾸로교실의 마법'이라는 한 다큐멘터리가 TV에 방송됐다. 거꾸로교실은 말 그대로 교실에서 선생님이 아닌 학생이 주체가 되고 수업과 숙제를 하는 장소가 뒤바뀐다는 뜻이다. 학생들은 강의식 수업을 동영상으로 미리 보고 교실에선 수업 대신 다양한 활동과 토론, 프로젝트를 진행한다.



거꾸로캠퍼스에선 소통과 협력을 통해 학생들이 무엇을 배울지를 주도적으로 결정한다.





2010년 미국에서 시작돼 호주·유럽 등 전 세계적으로 화제가 된 플립트러닝(Flipped Learning, 역진행 수업) 교육 방법이다. 실제 부산의 중학교 두 곳에서 한 학기 동안 이 방식을 시범적으로 도입했고 성적이 낮았던 학생들이 순식간에 80, 90점대의 상위권으로 치고 오르는 모습이 방송되며 큰 화제를 모았다.

이 다큐멘터리 방송 이후 전국에서 뜻있는 중고교 교사들이 하나둘 모여들었다. 다큐멘터리를 제작한 당시 PD는 안정적인 방송국을 박차고 나와 직접 거꾸로교실 프로젝트를 실행하기에 이른다. 그렇게 미래교실네트워크라는 비영리 민간단체가 설립됐다. ‘실험’에서 ‘증명’으로 넘어가기 위해 이들은 2017년 2월 6명의 교사와 12명의 학생이 혁신적 교육 방법을 적용한 ‘거꾸로캠퍼스’의 문을 열었다.

#### 4차 산업혁명 시대, 새로운 교육 실험

서울 종로구 대학로 공공그라운드(구 샘터 사옥)에 있는 거꾸로캠퍼스를 찾았다. 이날은 1년 중 마지막 학기에 해당하는 네 번째 모듈이 시작되는 날이었다. 오리엔테이션을 위해 학생들이 둘러앉았는데 선생님과 학생이 한눈에 구분되지 않았다. 전형적인 교실 구조가 아닐 뿐만 아니라 무엇보다 서로를 닉네임으로 부르고 있다.

거꾸로캠퍼스에선 나이에 상관없이 모두가 수평적인 의사소통을 한다. 거꾸로캠퍼스의 교장도 ‘선생님’이 아닌 ‘एको’로 불린다. 이성원 거꾸로캠퍼스 교장은 “학년 구분 없이 열네 살과 열아홉 살 학생이 같은 책상에서 공부하는 무학년 제도로, 수평적 배움의 질서를 만들고 있다”며 “‘형’이라고 부르면 한쪽이 다른 한쪽에서 배워야 하는 관계가 되지만 그냥 ‘수달’ 이렇게 부르는 순간 서로가 서로에게 질문하는 게 자연스러워진다”고 말했다.

거꾸로캠퍼스는 비인가 대안학교로, 이곳에선 실험학교라고 표현한다. 새로운 세상이 오고 있다. 미래의 인재는 기존 교육의 프레임에서 나오지 않는다. 기본적인 ‘교육의 회로’부터 바꿔야 한다. 이 같은 취지에서 거꾸로캠퍼스가 시작됐다. 그렇다면 기존 학교와 무엇이 다를까.



거꾸로캠퍼스에서 중요하게 여기는 것은 ‘잠재력’이다. 각자의 잠재력을 깨우는 ‘트리거’ 역할을 하는 ‘최적’의 교육 프로그램을 만드는 게 목적이다. 이때 최고가 아닌 최적이 중요하다. 명명하면 ‘21세기 인재 양성을 위한 최적의 교육을 실현하고 협력적 문제 해결 중심 교육으로 진짜 세상에서 필요한 핵심 능력을 배양하자’는 것이다.

이를 위해 필요한 방법이 개별화 무학년제다. 이전의 줄세우기식 교육은 없다. 소통과 협력을 통해 문제를 해결하는 것을 진짜 능력으로 본다. 주제 중심의 융합 수업, 프로젝트 수업이다. 과정 중심, 발표 중심이다. 시험은 없다. 1등이라는 표현도 쓰지 않는다. 각자의 학습과 성장 속도가 모두 다르고 그 다른 시작점에서 개인의 잠재력을 어떻게 끌어낼 것인지, 또한 각자의 방향에 따라 자기 속도에 맞는 성장을 돕는 교육이 무엇일지 실험하는 곳이다.

파격적으로 느껴지는 이 교육 방식은 해외에서 먼저 인정받았다. 미래 교육을 고민하는 ‘경제협력개발기구(OECD) 에듀케이션 2030’ 프로젝트의 포르투갈 리스본 콘퍼런스 자리에 거꾸로캠퍼스의 학생 3명이 초청받아 발표자로 섰다. 미래 교육 체계를 수립하는 ‘OECD 러닝 컴퍼스(Learning Compass)

2030’에 거꾸로캠퍼스의 사례가 녹아들었다. 또 매년 전 세계 100개의 혁신적인 교육 솔루션을 찾는 ‘핀란드 헨드레드 글로벌(HundrED Global) 100’에 2018년부터 2년 연속 선정됐다.

### 놀다 보니 슈퍼맨, 웃다 보니 어벤저스

거꾸로캠퍼스는 당초 고등학교 과정으로 만들어졌다. 16세부터 19세까지가 입학할 수 있는 연령대다. 그런데 찾아오는 이들의 연령이 점차 낮아져 지금은 14세부터 19세까지 중고등학교 커리큘럼으로 운영되고 있다. 매년 숫자가 늘고 있는데, 학생들은 전원 기숙사 생활을 한다. 베이스캠프에 해당하는 해화 랩(Lap) 인근에 숙소가 마련돼 있다.

학기에 해당하는 모듈은 1년에 총 네 번, 모듈마다 공부할 주제를 학생들이 직접 회의를 통해 결정한다. 그 결정에 따라 주제와 키워드를 중심으로 국어 영어 수학 사회 과학 등 5개 교과가 주제 중심 융합 형태로 재구성된다. 예를 들어 지난 모듈에서는 ‘인간관계 어떻게 맺어야 하는가’가 주제였다. 오전 수업에는 ‘주제 중심 모듈 수업’이 이뤄진다. 국어의 경우 인간관계와 관련한 사회심리학 책을 읽고 토론하며 글을 썼다. ‘브랜드, 당신의 가치를 발견하세요’라는 주제라면 그에 따른 관련 서적이 사회와 과학의 교과목 커리큘럼에 포함된다.

지식이나 교과 과목 학습보다 더 중요하게 여기는 것은 관점을 키우는 훈련이다. 오후엔 1주일 공통으로 영어토론 수업이 포함되며 이후 ‘개인 주제 프로젝트’와 ‘사회 수프(사상 최대 수업 프로젝트)’ 프로그램이 채워진다. 개인의 관심에 따라 정한 주제를 스스로 세상과 연결해 공부하는 개별 프로젝트 학습, 배운 내용으로 해결하고 싶은 진짜 세상의 문제를 솔루션으로 제안하고 발표하는 팀 프로젝트가 진행된다.

학생들은 노인의 디지털 소외 현상의 원인과 해법, 음식물 쓰레기 재활용 방안 등 각자 관심 있는 주제를 정해 연구한다. 때에 따라 논문을 찾고 전문가 인터뷰를 진행하며 마지막 연구 결과를 발표하고 e북 형태로 제작한다. 1년을 기준으로 개인 프로젝트 4개, 팀 프로젝트 1개 이상을 소화한다.

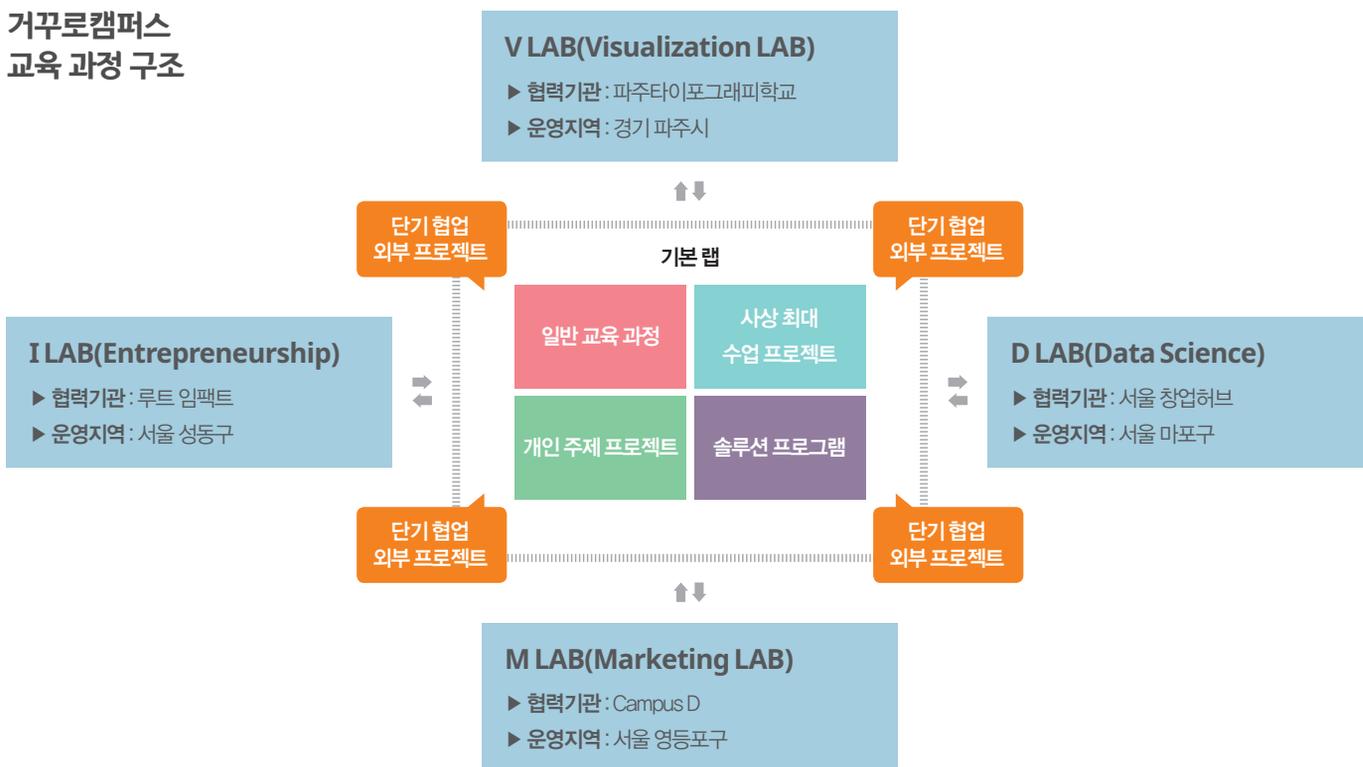
“한 주제에 대해 깊이 있게 생각해 보고 나오는 경험, 그 ‘작은 성공’을 쌓아가며 자신의 관심 분야를 찾아나가고 이에 따라 진로도 결정된다”고 이 교장은 설명했다.

대학 입시는 선택일 뿐 이곳의 목적은 아니다. 비인가 학교인 만큼 검정고시를 스스로 치러야 한다. 실제로 학생들은 이 과정을 통해 무엇을 배울까. 거꾸로캠퍼스에서 강조하는 핵심 역량은 총 5가지다. 비판적 사고력, 소통, 협력, 창의력, 인지적 공감 능력이 그것이다. 이 중에서 특히 소통과 협력을 통해 갈등을 조정하고 최선의 문제 해결 능력을 키우고 있다고 한다.

한 모듈이 끝나면 다양한 알파랩 가운데 한 곳을 선택해 전문적인 역량을 키운다. V랩은 파주타이포그래피학교(Pati), M랩은 3D프린팅을 다루는 캠퍼스, I랩은 스타트업이 모여 있는 성수동 루트임팩트, D랩은 데이터 사이언스를 배우는 공간이다. 해화랩과 알파랩을 오가며 학생들은 실제 비즈니스 모델을 만들어 보기도 한다.

이 교장은 “질문과 답변을 통해 스스로 공부법을 터득할 때 더 많은 지식이 쌓인다”며 “배움은 평생의 과정으로 이곳을 나갈 때는 무엇을 더 배우고 싶은지에 대한 확신을 갖게 해주는 게 목표”라고 말했다.

### 거꾸로캠퍼스 교육 과정 구조



## 프랑스 '에콜42' 전공 상관없이 공짜로 개발자 교육

정해진 학기도, 교수도, 졸업장도 없다. 출석 체크도 안 한다. 학생이 희망하면 집에 가지 않고 하루 종일이라도 학교에 머물 수 있다. 소프트웨어 개발자 양성을 목적으로 2013년 프랑스 파리에 설립된 교육기관 에콜42(Ecole42)의 운영 방식이다. 이곳은 자기주도학습을 기반으로 교육이 이뤄진다. 아무 PC에 앉아 클라우드에 접속해 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT) 등 관심 분야를 공부한다. 18~30세면 전공과 관계없이 학생이 될 수 있고 학비도 무료다.

에콜42 설립자는 프랑스 이동통신사 프리모바일의 그자비에 니엘 회장이다. 소프트웨어 개발자 양성을 기치로 내걸고 사비를 털어 설립했다. 기업들의 반응은 기대 이상이다. 당장 기업 현장에서 통하는 코딩 기술을 가르치기 때문이다. 실무 능력만 보면 공대 졸업자를 넘어선다는 게 현지 기업의 공통된 반응이다.

개발자 구인난은 세계적으로 나타나는 현상이다. 4차 산업혁명 시대를 맞아 개발자 공급이 수요를 따라가지 못하는 모습이다. 주요 선진국은 대학의 소프트웨어 교육 관련 정원을 늘리고, 에콜42와 같은 대안 교육기관을 세우는 등 다양하게 대응하고 있다.

글로벌 개발자의 블랙홀로 불리는 미국 실리콘밸리에선 '정통 미국인'을 찾는 게 쉽지 않다. 샌프란시스코에서 새너제이에 이르는 베이지역 기술 노동자의 57%가 외국인일 만큼 여러 나라에서 온 사람이 뒤섞여 있다. 대다수 외국인 개발자는 전문직 취업비자(H-1B)를 받고 미국에 들어온다. 매년 6만5000명을 유치하는 비자 할당(쿼터)이 있으며 석사학위 이상 소지자 2만 명을 별도로 뽑는다. 전체 H-1B 소지자 중 70~80% 안팎이 IT업계로 유입되고 있다.

실리콘밸리 최고경영자(CEO)들은 지금보다 더 문호를 넓혀야 한다고 주장하고 있다. 브렉스 헨리크 두부그라스 CEO는 최근 미국 IT 전문지 테크크런치의 인터뷰에서 "비자로 외국인 유입을 제한하면 유능한 인재를 다른 나라에 빼앗길 것"이라고 말했다. 한국에도 H-1B에 해당하는 E7 비자가 있지만 스타트업(신생 벤처기업)은 활용하기 쉽지 않다. 한국인 5명을 고용해야 외국인 1명을 뽑을 수 있는 등 조건이 까다롭다. 업계에선 소프트웨어 개발자 등 IT 인력에 특화된 비자를 별도로 도입해 운영할 필요가 있다고 주장한다. 개발자 구인난으로 어려움을 겪는 기업의 덩치가 커지면 내국인 고용도 늘어난다는 논리다. 전례가 없는 것도 아니다. 무역업체에 입사하는 외국인용 D9이 특정 업종에 발급하는 대표적 비자로 꼽힌다.





## 한국판 에콜42 '42서울' 교수 · 교재 · 학비 없는 SW 교육기관

42서울은 과학기술정보통신부가 350억 원의 예산을 들여 설립한 소프트웨어 인재 양성 기관 '이노베이션 아카데미'의 첫 교육 프로그램이다. 멘토만 있을 뿐 교수도, 교재도, 학비도 없다.

42서울의 벤치마킹 모델은 프랑스의 에콜42로, 과기정통부가 돈을 주고 들여왔다.

42서울에 쏠린 관심과 지원은 폭발적이다. 작년 11월 초 접수를 시작한 뒤 한 달여 만에 1만118명에 달하는 지원자가 몰렸다. 이 중 8338명이 지원 자격을 얻기 위한 온라인 테스트를 거쳤다. 기억력과 이해력 등을 검증하는 테스트다. 코딩을 몰라도 기본적인 소양만 있으면 통과할 수 있다.

지원자가 몰리자 과기정통부는 42서울의 수강자 수를 대폭 늘렸다. 본래 450명으로 예정한 1기 인원을 600명으로 증원했다. 2, 3기 정원도 각각 450명에서 600명으로 확대했다. 총 1800명의 1~3기 정원이 한 달여 만에 마감됐다.

지원자 연령은 20대부터 60대까지 다양하다. 이노베이션 아카데미 관계자는 "20대 중후반이 대부분이지만, 3040세대도 예상보다 많이 지원했다"고 전했다. 이어 "직장생활을 그만두고 42서울을 통해 '제2의 커리어'를 노리는 이들이 적지 않다"고 덧붙였다.

이노베이션 아카데미 지원자 커뮤니티에는 "직장을 그만두고 도전하는 사람이 꽤 되는 것 같다" "42서울로 진로를 완전히 변경해 보려 한다" 등의 글이 속속 올라오고 있다. 42서울에 합격한 한 스타트업 직원은 "42서울의 교육과정을 수료하면 몸값을 두 배 이상 높일 수 있지 않을까 싶어 과감히 도전했다"고 말했다.

정보기술(IT) 업계에서는 "예상했다"는 반응을 내놨다. IT 분야 스타트업 대표는 "전문 교육과정을 이수한 개발자를 구하는 게 힘들다 보니 요즘 개발자는 '부르는 게 값'"이라며 "경력 있는 개발자는 몸값이 최소 연 1억 원부터 출발한다"고 전했다.

42서울은 합격자를 대상으로 에콜42처럼 '라피신(예비 교육 과정)'에 들어간다. 한 달 동안 가장 기본적인 C언어를 활용한 프로그램 개발을 이수하는 기간이다. 이 과정에서 여러 단계 평가를 받아 상당수 합격자가 중도 이탈할 것으로 보인다. 최종적으로 남은 수강생은

23개월간의 본 프로그램을 교육받는다. 5개의 소프트웨어 개발 프로젝트를 필수로 수행한 뒤 웹 개발이나 3차원(3D) 그래픽 개발 등 전문 과정을 하나 정해 자신의 진로를 확정한다. 개인 프로젝트도 있지만 대부분이 팀 프로젝트다. 동료가 개발 능력과 협업 능력을 평가한다.

학습시간이 정해진 것은 아니다. 다만 주어진 프로젝트를 시간에 맞춰 수행하려면 거의 매일 출석해 아침부터 저녁까지 교실에 머물러야 한다. 이노베이션 아카데미 관계자는 "밤샘 프로젝트를 감수해야 하는 일도 적지 않을 것"이라며 "이 때문에 42서울에 지원한 직장인이 줄줄이 퇴사를 고려하고 있다"고 설명했다.

과기정통부는 42서울 이외에도 다양한 소프트웨어 인재 육성 프로그램을 계속 내놓을 예정이다. 과기정통부 관계자는 "이노베이션 아카데미는 2023년까지 1만 명의 소프트웨어 인재를 육성한다는 정부 계획에 따라 탄생한 기관"이라며 "앞으로 새 교육 프로그램을 추가하면서 목표에 접근해 나갈 것"이라고 말했다.

하지만 민간기업에서 운영하는 에콜42 수준의 성과를 정부가 주도하는 42서울이 낼 수 있을지는 미지수다. 에콜42는 니엘 회장의 막대한 기부금과 기업의 후원금으로 운영된다. 다양한 기업과 취업망을 연계하고 있어 취업 후 진로도 명확하다. 매년 1000명씩 배출되는 에콜42 졸업생은 약 6000만 원의 연봉을 받는다. 내로라하는 스타트업 창업 사례도 다수 배출했다. 과기정통부 관계자는 "이노베이션 아카데미 졸업 후 가능한 진로와 관련해서도 각종 지원 방안을 준비하고 있다"고 밝혔다.

# 재생에너지 증가가 석탄발전 하락 이끌어

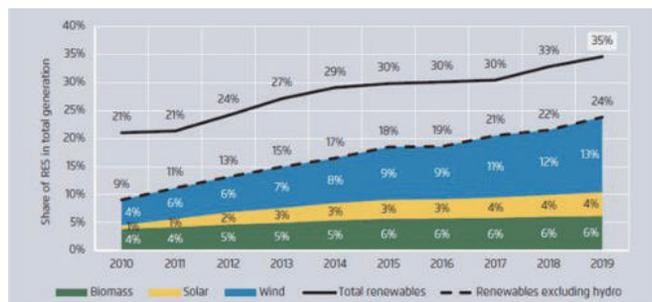
유럽 처음으로 2019년 태양광+풍력, 석탄발전량 추월



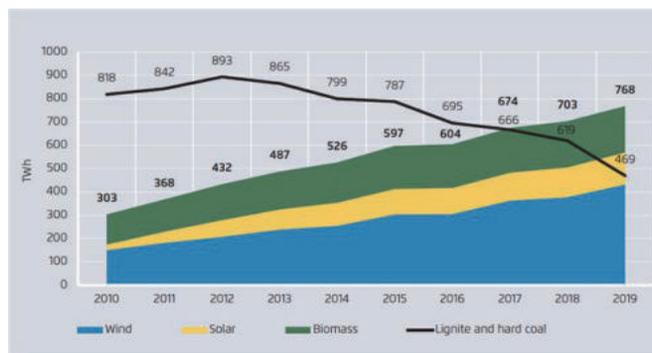
영국 런던에 본부를 둔 비영리 단체인 샌드백(Sandbag)과 독일의 싱크탱크인 아고라 에네르기벤데(Agora Energiewende)가 발표한 2019년 유럽 전력 부문(The European Power Sector in 2019) 연례 보고서에 따르면 태양광과 풍력발전량이 석탄발전량을 추월했다. 유럽연합(EU) 전체에서 석탄발전량이 전년 대비 24% 급감하며 전력 부문의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량도 12% 감소하는 등 1990년 이후 가장 큰 폭으로 하락했다



EU의 2019년 전체 발전량 중 풍력과 태양광 비중은 18%(569TWh)로 크게 늘었다. 반면 석탄 비중은 2018년 대비 25% 하락하며 15%(469TWh)를 기록, 풍력과 태양광보다 낮아졌다. 5년 전 석탄발전량이 풍력과 태양광발전량보다 두 배 이상 높았던 것에 비하면 큰 변화다.

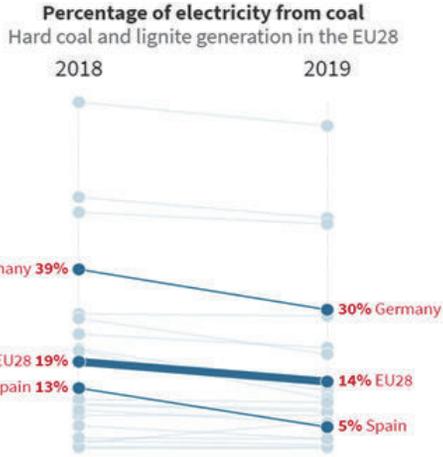


〈그림 1〉 EU 28개국 재생에너지 비중(총전력생산 비중)  
출처 : Agora Energiewende

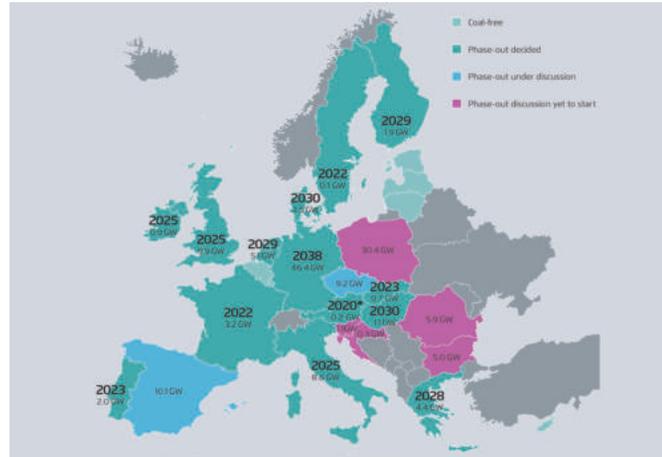


〈그림 2〉 EU 28개국 풍력, 태양광, 바이오매스와 석탄발전량  
출처 : Agora Energiewende

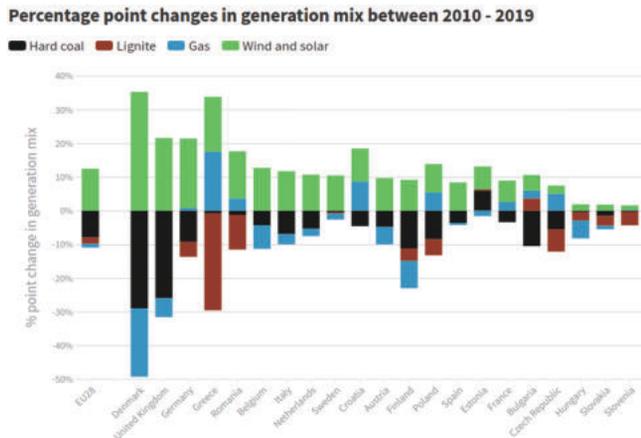
석탄발전량은 특히 서유럽 국가에서 전년 대비 큰 폭으로 하락했다. 독일은 39%에서 30%로, 그리스는 28%에서 20%로, 스페인도 13%에서 5%로 줄었다. 줄어든 석탄발전 비중의 절반은 풍력과 태양광으로, 나머지 절반은 가스로 대체됐다. 이때 풍력과 태양광 발전은 신규 설비 용량이 증가함에 따라, 가스는 배출권거래제에서 이산화탄소 가격 상승과 가스 가격 하락으로 가스발전소의 경쟁력이 높아지면서 발전량이 증가했다.



〈그림 3〉 유럽 28개국과 독일, 스페인의 석탄발전량 감소(2018~2019년)  
출처 : Agora Energiewende



〈그림 5〉 석탄 단계별 퇴출 연도와 남은 석탄 용량  
출처 : Agora Energiewende



〈그림 4〉 유럽 각국의 발전믹스 변화(2010~2019년)  
출처 : Agora Energiewende

2010~2019년 석탄발전량 감소와 태양광 및 풍력발전량 증가를 국가별로 비교해 보면 태양광과 풍력발전 비중이 가장 큰 폭으로 높아진 국가일수록 석탄발전 비중이 가장 큰 폭으로 낮아졌다.

한편 그리스와 헝가리가 각각 2028년과 2030년까지 석탄발전으로 전기를 생산하지 않기로 선언하며, 총 28개국 중 20개국이 2030년까지 석탄발전을 퇴출하기로 결정했다.

샌드백의 전력분석가인 데이브 존스는 “유럽이 석탄발전을 풍력과 태양광으로 빠르게 대체하며 전 세계를 선도하고 있으며, 그 결과 전력 부문의 이산화탄소 배출량은 유례없이 빠르게 떨어졌다”면서 “전 세계 온실가스 배출의 30%는 석탄발전에서 나오므로 석탄발전에서 빠르게 벗어나는 것이 중요하다”고 강조했다.

한편, 2019년 유럽의 원자력발전량은 2018년 대비 1%가량 줄어들었는데 2010년에 비하면 11%가량 줄어든 수치다.



〈그림 6〉 발전원별 발전량 추이(2010~2019년)

지난해 스위스, 독일, 스웨덴에서 각각 1기씩 원전이 영구 폐쇄돼 유럽에서는 원전설비가 줄어들었다. 2019년 신규 원전은 러시아, 한국, 중국뿐이다.

Permanent shutdowns	
BILIBINO-1	(11 MW(e), LWGR, RUSSIA) on 14 January
CHINSHAN-2	(604 MW(e), BWR, TAIWAN, CHINA) on 16 July
FUKUSHIMA-DAINI-1	(1067 MW(e), BWR, JAPAN) on 30 September
FUKUSHIMA-DAINI-2	(1067 MW(e), BWR, JAPAN) on 30 September
FUKUSHIMA-DAINI-3	(1067 MW(e), BWR, JAPAN) on 30 September
FUKUSHIMA-DAINI-4	(1067 MW(e), BWR, JAPAN) on 30 September
GENKAI-2	(529 MW(e), PWR, JAPAN) on 9 April
MUEHLEBERG	(373 MW(e), BWR, SWITZERLAND) on 20 December
PHILIPPSBURG-2	(1402 MW(e), PWR, GERMANY) on 31 December
PILGRIM-1	(677 MW(e), BWR, USA) on 31 May
RINGHALS-2	(907 MW(e), PWR, SWEDEN) on 31 December
THREE MILE ISLAND-1	(819 MW(e), PWR, USA) on 20 September
WOLSONG-1	(661 MW(e), PHWR, KOREA, REP.OF) on 24 December

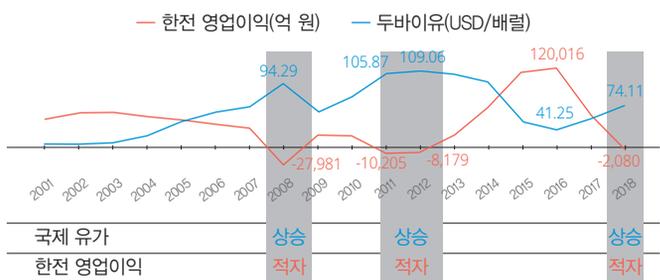
〈그림 7〉 2019년 영구 폐쇄된 세계 원전 리스트

출처 : IAEA 데이터베이스(<https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>)

### 정책위키 Q&A로 풀어보는 오해와 진실

**Q** 에너지 전환(탈원전) 정책으로 한전의 적자가 늘어나고 있다는데?

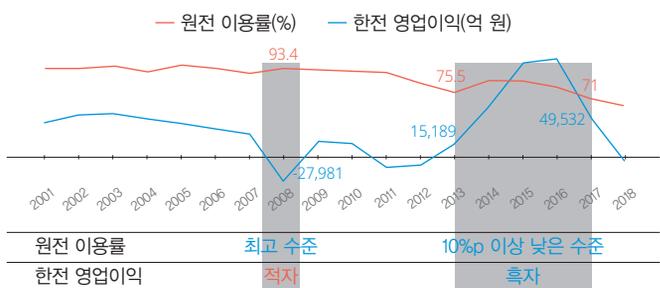
**A** 한전 적자는 국제유가 등 발전연료비 상승에 따른 구입 전력 비 증가가 주요 원인이다. 에너지 전환 정책과는 무관하다. 과거 국제유가와 한전 영업이익의 자료를 보면 영업이익은 국제유가와 정반대의 상관관계를 보인다. 실제로 2001년 이후 국제유가 상승기와 배럴당 100달러에 가까운 고유가 시기에 한전의 적자가 발생한 것을 확인할 수 있다. 반면 2013년부터 국제유가는 하락하기 시작했고 배럴당 약 40달러까지 떨어지면서 한전은 5년간 큰 폭의 영업이익을 거뒀다.



〈그림 8〉 한전 영업실적(연결)과 국제유가

출처 : 금감원, 전자공시시스템(한전 사업보고서), 한국석유공사 페트로넷

원전 이용률과 한전의 적자는 크게 관계가 없다. 과거 2008년과 2011년에도 원전 이용률이 90%가 넘었지만 당시 고유가로 한전의 적자가 발생했다. 2019년 상반기 원전 이용률은 전년 대비 약 20% 포인트 늘어났지만, 한전의 실적은 국제유가 탓에 오히려 악화됐다. 결국 원전 이용률은 한전의 영업실적에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.



〈그림 9〉 한전 영업실적과 원전 이용률 추이

출처 : 금감원, 전자공시시스템(한전 사업보고서), 한수원 홈페이지

※(최근 원전 이용률) 2017년 상반기 74.7%→2018년 상반기 58.8%→2019년 상반기 79.3%

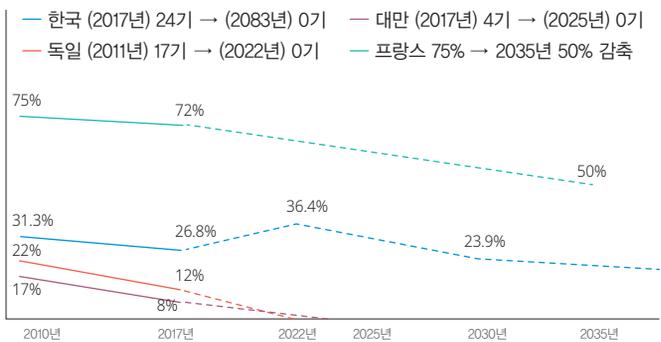
**Q** 에너지 전환 정책을 추진하면서 원전을 고의로 멈췄기 때문에 원전 이용률이 감소했다고 하는데?

**A** 원전 이용률은 과거 두 차례에 걸쳐 크게 감소했다. 2012~2013년에는 원전 납품비리에 따른 원전 정비일수 증가가 원인이었다. 2017~2018년은 과거 원전의 부실 시공 탓에 철판 부식, 콘크리트 공극 등이 발견되면서 원전 보수를 위해 정비일수가 크게 늘었다(원전 정비일수 : 2016년 1769일 → 2017년 2565일 → 2018년 2917일). 모두 원전의 안전한 이용을 위해 불가피한 조치였을 뿐 정부에서 추진 중인 에너지 전환 정책과는 무관한 사항이다.

에너지 전환 정책은 원전을 한꺼번에 없애는 것이 아니다. 수명이 다한 원전을 점진적으로 폐기하는 것이다. 에너지 전환이 완료되는 시기는 앞으로 60년 이후다. 우리나라는 지금도 원전을 짓고 있다. 2024년까지는 5기(신고리 4·5·6, 신한울 1·2)의 원전이 추가로 준공돼 원전 설비용량은 오히려 늘어난다.

**Q** 급격한 탈원전으로 전력이 부족해 전기요금이 폭등하는 것은 아닌지?

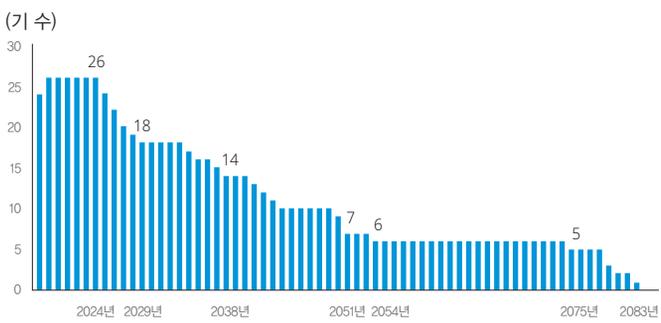
**A** 탈원전 정책의 속도가 급격하다는 주장은 잘못된 것이다. 에너지 전환 정책은 원전을 당장 없애는 것이 아니라 앞으로 60년 이상에 걸쳐 수명이 다한 원전을 점진적으로 줄여 나가는 정책이다. 독일은 2022년, 대만은 2025년에 원전을 완전 폐기할 계획이다. 프랑스도 현재 약 70%인 원전 비중을 2035년에는 50%로 대폭 낮출 예정이다. 다른 나라와 비교해 보면 우리나라의 에너지 전환 속도가 오히려 늦다는 게 옳은 지적일 것이다.



〈그림 10〉 원전 발전 비중 전망

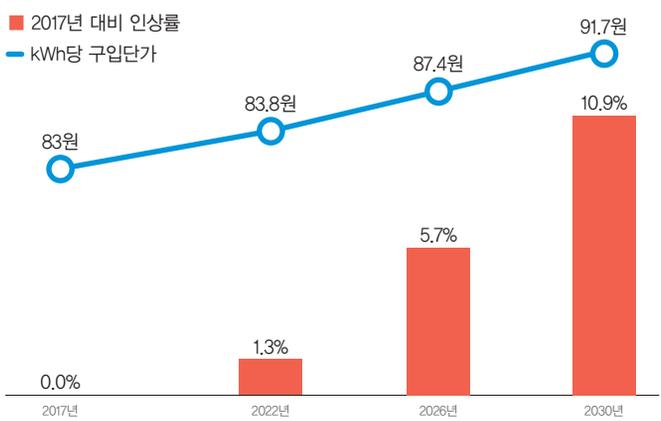
출처 : [독일] 원자력법(2011년), [대만] 전기사업법(2017년), [프랑스] 중장기에너지계획(2019년)

우리나라 원전 규모는 2024년까지 신규 5기를 추가 준공하면 2030년까지는 20GW 이상으로 유지된다.



〈그림 11〉 연도별 원전 운영 전망(기수, 2019년 현재 기준)

에너지 전환 정책이 장기적·점진적으로 진행되고 2024년까지는 원전이 늘어난다는 점 등을 감안하면 에너지 전환 정책 때문에 지금 당장 전기요금이 급격히 오른다는 주장은 사실에 맞지 않다. 제8차 전력수급기본계획 수립 과정에서 재생에너지 발전 가격이 낮아지고 있는 추이를 반영해 2030년까지 에너지 전환에 따른 전력 구입비 인상폭은 2017년 대비 10.9%로 전망한 바 있다.

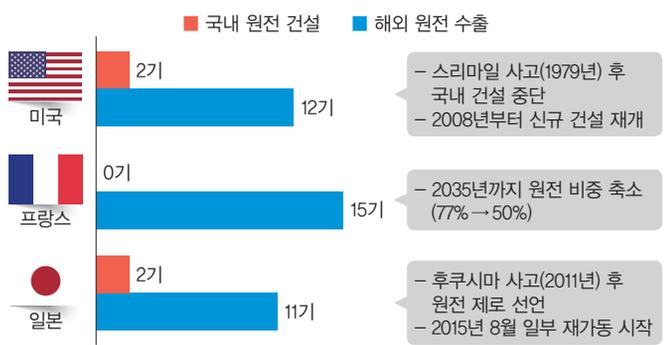


〈그림 12〉 2030년까지 전력구입단가 전망  
출처 : 산업부, 제8차 전력수급기본계획(2017년 12월)

전기요금은 한전의 적자가 일시적으로 발생했다고 즉시 조정·인상되지 않는다. 중장기 재무 전망과 손익 추이, 경제에 미치는 영향 등을 종합적으로 검토해야 할 사안이다. 2001년 이후 지난 18년간 한전은 14번의 영업이익 흑자를 기록했다. 최근 여름철 가정용 누진제 인하를 제외하고는 전기요금을 인하한 사례는 없다는 점도 고려할 필요가 있다.

Q 원전 해외 수출 사업이 차질을 빚고 있다는데?

A 미국, 프랑스, 일본 등 주요 선진국도 자국 내 원전 비중은 줄여 나가면서 해외 원전 수출은 적극적으로 확대 중이다. 이들 국가의 최근 10년간 국내 원전 건설과 해외 수출 실적을 살펴 보면 미국과 일본은 자국 내 원전을 각각 2기씩 건설 중이고, 프랑스는 신규 원전 건설은 전혀 없지만 3개 국가 모두 10기 이상의 원전을 해외로 수출하고 있다.



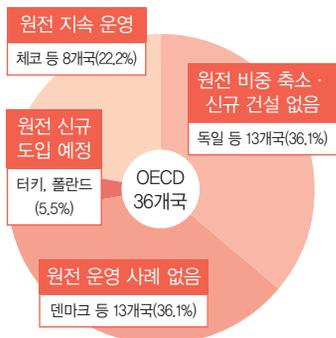
〈그림 13〉 주요 원전 수출국가의 국내 상황과 최근 10년간 수출 실적

이 같은 추세는 원전 수출이야말로 원전을 도입하려는 국가의 경제·정치적 상황에 더 큰 영향을 받는 것이지, 원전 수출국의 원전 정책과는 무관하다는 점을 말해준다. 우리나라가 국내 원전을 축소하면서 해외에 원전을 수출한다고 해서 모순이라고 말하기는 어렵다.

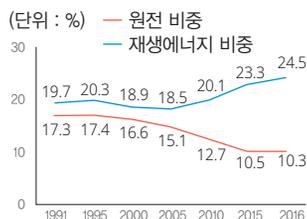
우리나라에서 단독으로 개발한 APR1400이 지난해 미국 원자력 규제위원회(NRC)로부터 최종 표준설계인증을 획득하면서 세계적인 원전 기술 보유국임을 인정받았다. 실제로 영국, 사우디아라비아 등 원전을 도입하려는 주요 국가도 한국이 에너지 전환 정책을 추진한다는 점을 알고도 자국 내 원전 사업 참여에 러브콜을 보내고 있다.

Q 탈원전으로 국내 원전산업 생태계가 붕괴되는 것은 아닌지?

A OECD 36개국 가운데 약 4분의 3인 26개국은 원전이 없거나 비중을 낮추고 있다. 36개국에서 건설 중인 원전 수는 총 15기에 불과하다. 이 가운데 5기는 한국이 건설 중이다.

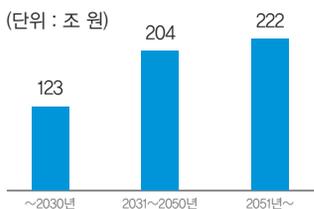


〈그림 14〉 OECD 국가의 원전 정책  
 출처: 세계원자력협회(WNA), 2018년 12월



〈그림 15〉 전 세계 발전 비중  
 출처: IEA, Electricity Information 2018

세계적 에너지 전환 추세에 맞게 우리 원전산업도 변화가 필요한 시점이다. 특히 원전해체산업 세계 시장 규모는 2030년까지 123조 원, 2050년경에는 200조 원이 넘어설 전망이다. 원전 건설 쓸림의 산업구조에서 원전해체산업, 방사선 등 유망 분야 중심으로 산업 구조 다변화가 시급하다. 정부도 이 같은 산업구조 변화에 발맞춰 원전해체산업 육성, 해체연구소 설립 등 신시장 창출을 위해 적극 지원해 나갈 계획이다.



〈그림 16〉 원전 해체 세계 시장규모 전망  
 출처: BatesWhite Consulting(2017년 12월)



〈그림 17〉 국내 방사선 분야 시장 현황  
 출처: 한국방사선진흥협회(2016년)

비전	2035년 세계 시장 점유율 10%(5위) 달성
추진 전략	① 초기 시장 및 인프라 구축 ② 원전 해체 전문기업 육성 ③ 글로벌 시장 진출 지원

비전	기술 개발·산업 육성 핵심 인프라
기능 및 역할	전문인력 양성, 상용화 기술 개발, 지역경제 활성화, 중소기업 지원

〈그림 18〉 원전해체산업 육성 전략

Q 탈원전으로 우수한 원전 전문인력이 해외로 유출되고 있다는데?

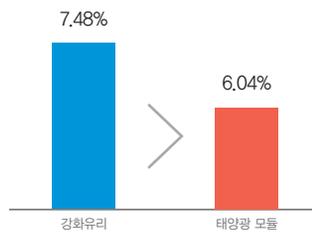
A 원자력 관련 3개 공기업(한국수력원자력, 한전기술, 한전 KPS)에서 근무하던 인력이 2017년 이후 해외로 이직하는 총 14명이다. 모두 아랍에미리트연합(UAE)으로 진출해 원자력 공사(ENEC 3명), UAE 원전 운영 전담회사(Nawah Energy 11명)에서 일하고 있다.

UAE는 원전 경쟁 국가가 아니라 2009년 원전 수출 이후 우리나라와 건설·운영·투자·정비 등 공동 사업을 추진하고 있는 협력국가다. UAE로의 '인력 진출'을 '인력 유출'로 표현하는 것은 부적절하다.

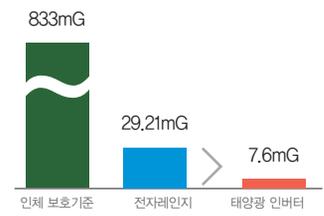
원자력산업 종사자의 전공 분야는 기계 24.2%, 전기·전자 21.3%, 원자력 7% 등을 차지하고 있다. 원자력 전공 학생이 줄어들기 때문에 원전 생태계가 곧장 붕괴된다는 주장은 과장된 측면이 있다. 다만, 정부는 원전 해체, 방사선 등 신규 유망 분야를 중심으로 원자력 연구개발(R&D)을 확대해 나감으로써 대학의 인력 양성 과 연구 분야 전환을 유도해 산업구조 변화에 충분히 대응하고 적응해 나갈 수 있도록 지원할 계획이다.

Q 태양광 재생에너지 활용은 오히려 환경 훼손 등 부작용을 일으키지 않나?

A 태양광발전이 빛 반사, 전자파, 중금속, 녹조 등과 같은 환경 문제를 일으킨다는 주장은 사실과 다르다. 태양광 패널은 강화유리보다 빛 반사율이 낮고, 전자레인지보다 전자파가 훨씬 적게 나온다. 태양광 패널에는 카드뮴과 같은 중금속이 없으며, 저수지 녹조 현상도 태양광과는 상관관계가 없다는 점이 밝혀졌다.



〈그림 19〉 가시광선 반사율 비교



〈그림 20〉 전자파 세기 비교

출처: 태양광&풍력발전 바로알기(한국에너지공단, 2018년 5월)

다만, 태양광 보급으로 인한 지나친 산림 훼손을 막기 위해 산지 태양광에 대한 인센티브를 줄이고(산지 태양광 REC 1.2 → 0.7, 2018년 6월), 경사도 규제 강화와 잡종지 전환 금지 등 산지 입지 규제를 강화했다. 그 결과 산지 태양광 허가 건수가 90% 이상 크게 감소(2018년 1~4월 1615건 → 2019년 1~4월 108건)하고 있다. 태양광 사기 및 비리 근절을 위해 경찰청과 함께 조사·처벌하고 있다. 태양광피해신고센터(1670-4260)도 운영 중이다.

\*이 콘텐츠는 에너지전환포럼의 보도자료와 정책위키를 토대로 작성됐음을 밝힙니다.

# 수소에너지가 충분히 보급된 수소경제 시대는 어떤 모습일까?

## 수소융합얼라이언스추진단 이승훈 본부장

여러 모로 한계를 명확히 드러내고 있는 화석연료.  
이를 대체할 새로운 에너지가 지금 이 순간에도 활발히 연구되고 있다.  
대체에너지 중 수소에너지는 빼놓을 수 없는 분야다.  
그 수소에너지의 개발과 보급에 힘쓰고 있는  
수소융합얼라이언스추진단 이승훈 본부장을 만나 수소산업의  
현재와 미래에 대한 이야기를 들어봤다.

취재 이등훈 사진 서범세



이승훈  
수소융합얼라이언스추진단 본부장

여러 가지 대체에너지 중에도 수소에너지는 가장 돋보이는 존재 중 하나다. 지구 표면의 70%를 차지하는 물에서 얻을 수 있다. 따라서 화석연료나 태양에너지, 풍력과는 달리 지역에 따른 가용량 편차가 적고, 고갈될 염려도 없다. 또한 연소 시 다시 물이 되므로 공해도 발생시키지 않는 청정에너지다. 반면 화석연료는 사용할 때마다 이산화탄소와 미세먼지 등 공해 물질을 발생시키고, 이는 온실효과를 일으켜 지구 온난화에 영향을 끼친다. 때문에 주요 선진국은 2015년 파리기후협약을 통해 지구의 평균기온 상승을 산업화 이전 대비 2도보다 낮은 수준으로 유지하고, 1.5도로 제한하기 위해 노력하고 있다. 이 협약에는 우리나라도 가입돼 있다. 수소를 비롯한 무공해 대체에너지의 개발과 보급이 시급해진 셈이다.

그러나 여전히 우리 주변에서 수소에너지를 찾기란 쉽지 않다.

이에 따라 산업통상자원부는 2016년 수소 관련 전문 업무를 수행하면서 수소에너지의 개발과 보급을 앞당기기 위한 민관 연합체 수소융합얼라이언스를 구성하기 위해 20여 업체와 MOU를 체결했다. 이어 2017년 2월에는 수소융합얼라이언스추진단을 발족했다. 2020년 현재는 지자체 22개를 포함해 총 82개 업체가 이 수소융합얼라이언스에 가입돼 있다. 추진단은 국내 최초의 수소 관련 전문기관 중 하나로, 수소충전소를 비롯한 수소 인프라 건설에 필

요한 제반 업무를 진행하고 있다. 수소 전기차, 수소연료전지, 수소산업의 전반적인 통계 관리와 정책 지원 등의 업무도 하고 있다.

본지는 이승훈 본부장을 만나 수소에너지 개발의 진행 현황 및 앞으로의 과제에 대해 이야기를 들어봤다. 중앙대에서 기계공학 전공으로 박사학위를 취득했으며, API 570(미국석유협회 배관 검사) 자격증 보유자인 이 본부장은 한국가스안전공사에서 18년간 재직하는 동안 수소 연구에 10년간 매진했다. 그는 가스안전공사에서 고압용기 안전성 확보 시험 기준을 연구했으며, 2012년에는 700bar급 수소 전기차에 사용되는 고압용기 및 부품 10종의 검사 기준을 제정, 이후 수소 관련 사업을 기획했다. 2014년 삼성으로 이직한 후에는 인프라기술팀에서 안전사고 예방과 재발 방지책을 연구했다. 이후 2017년 초 추진단이 설립될 당시 옮겨와 현재 4개 지원실(정책기획, 기반구축, 기술개발, 대외협력)을 이끌며 관련 업무에 종사하고 있다.



수소경제 시대를 앞당기기 위해서는 충전소와 같은 인프라 구축이 급선무다.

**Q** 많은 나라에서 화석연료의 한계를 극복하고자 수소에너지의 연구개발이 활발한 것으로 알고 있습니다. 우리나라

**A** 의 수소산업 현황과 발전 방향에 대해 알려주십시오.

의외로 일반인의 생각보다는 훨씬 더 발전돼 있습니다. 우리나라는 이미 1970년대부터 수소에너지를 사용해 왔습니다. 한 가지 예로 들어 보더라도 올 2월 기준 우리나라가 보유한 수소 전기차는 무려 5500대입니다. 세계 2위 수준입니다(1위는 미국). 일본조차도 4000대에 불과한데 말입니다. 다만 인프라 면에서는 낙후된 부분이 있습니다. 미국, 일본, 독일 등 선진국은 수소 인프라를 구축한 후 수소 전기차를 보급하였는데, 우리나라는 그 반대입니다.

이에 따라 2019년 우리나라는 수소경제 활성화 로드맵을 발표했는데 2040년까지 수소경제의 핵심 인프라인 수소충전소를 1200개(현재는 연구용 8개 포함 34개)로 늘릴 계획입니다. 또한 2022년까

지 수소 전기차 6만7000대(승용차 6만5000대, 버스 2000대)를 보급할 예정입니다.

버스는 승용차보다 연료 소모량이 크기 때문에 원활한 연료 보급을 위해 소규모 수소추출기지 사업도 진행 중입니다. 버스 충전소에 수소 공급 배관을 설치해 멀리 떨어진 차량에도 수소를 공급할 수 있도록 하는 것입니다. 창원, 평택, 강원도에 이어 올해는 5군데에 새로 건설할 예정입니다.

한편 현재 우리나라에서 생산되는 수소에너지의 대부분은 석유화학 플랜트에서 나오는 부생수소입니다. 석유산업의 부산물이므로 생산량이 제한적입니다. 이에 따라 재생에너지를 사용한 그린 수소 생산 기술을 개발 중입니다. 그러나 재생에너지인 태양에너지나 풍력에너지를 사용한 발전은 그 전력 생산이 불규칙적입니다. 어떨 때는 너무 적게, 어떨 때는 너무 많이 생산됩니다. 기존의 전력망은 이런 변동성 때문에 생산된 전기를 전부 활용하지 못합니다. 그러나

이런 문제점도 장점으로 전환될 수 있습니다. 전력 생산량이 너무 많을 때는 이 잉여 전기로 물을 분해해 수소를 생산하면 버려지는 전기를 활용할 수 있습니다.

수소에너지의 실용화는 장기적인 관점에서 봐야 합니다. 2040~2060년대 정도는 돼야 기존 화석연료를 30~40% 대체할 수 있을 것으로 보입니다. 또한 국내에서 필요량의 30~40%만 생산해도 에너지 자립을 이룰 수 있을 것으로 보입니다. 국내 수소산업과 시장이 더 커지면 수소에너지도 수입해 와야 할 것입니다.

**Q** 수소는 지역적 편재가 없는 에너지로 알고 있는데, 수입할 필요가 있나요?

**A** 말씀하신 대로 수소는 물에서 얻을 수 있기 때문에 이론상 지역적 편재가 없습니다. 그러나 특정 국가가 다른 나라보다 더 싸게 생산할 수는 있습니다. 앞서 말했던 태양에너지나 풍력 에너지가 풍부한 국가(중동 사막 국가나 호주 등)가 그런 경우죠. 이런 나라는 풍부한 재생에너지로 염가에 발전과 수소를 생산해 수소 수출국이 될 수 있습니다.

우리나라는 이런 천혜의 자연 조건을 갖춘 건 아닙니다. 그러나 수소 기술 개발 면에서 먼저 움직이고 세계를 선도할 잠재력을 지니고 있습니다. 그러면 장차 수소에너지 시대에 에너지 강국의 입지를 차지할 수 있습니다.

**Q** 수소에너지는 우리의 삶 속에서 어떤 형태로 만날 수 있을까요?

**A** 수소에너지의 대표적인 형식은 단연 수소연료전지입니다. 수소연료전지는 문자 그대로 수소를 이용해 전력을 생산해 내는 전지입니다. 다행히도 우리는 현재 이 수소연료전지 분야에서 세계 최상위권의 기술력을 지니고 있습니다. 특히 자동차용 연료전지는 그 용도 및 가격 경쟁력 면에서 세계 최고입니다.

수소연료전지는 자동차 이외에도 다양한 분야에 널리 쓰일 수 있습니다. 가정에도 설치돼 발전 및 난방에 활용될 수 있습니다. 특이한 점은 일본이 가정용 수소연료전지 분야에서 우리보다 앞서 있다는 사실입니다. 일본제 가정용 수소연료전지는 800W급 모델의 가격이 1000만 원 이하로 저렴합니다. 일본 내 보급량도 30만 대 이상입

니다. 지진이 많아 가스와 전기가 끊기기 쉬우므로 자가발전 장비가 필요한 현지의 실정을 반영한 것이라 하겠지요. 수소연료전지는 가정뿐만 아니라 사무용·건물용으로도 확장이 가능합니다. 또한 400MW급 이상의 수소연료전지는 그 자체로 발전소로도 사용할 수 있습니다.

또한 수소연료전지는 자전거나 오토바이, 지게차 등 산업용 중장비를 비롯해 무인항공기, 기차 등의 에너지원으로도 쓰일 수 있습니다. 현재 유럽에는 프랑스의 알스톰사가 개발한 수소기차가 운행 중입니다. 수소기차는 발전기 역할을 하는 연료전지를 탑재해 전기를 공급하는 전력 선로 건설비용을 줄일 수 있어, 총 건설 비용을

*우리나라는 수소 기술 개발 면에서 먼저 움직이고 세계를 선도할 잠재력을 지니고 있습니다. 그러면 장차 수소에너지 시대에 에너지 강국의 입지를 차지할 수 있습니다.*

일본 역시 수소에너지 연구와 보급에 적극적이다. 일본의 가정에서 쓰이는 수소연료전지.



10~20% 절감할 수 있습니다. 군용 잠수함의 구동엔진으로 연료전지를 쓸 수 있습니다.

현재 수소연료전지는 시장이 형성되는 단계입니다. 우리나라는 이 기회를 노려 전 세계 1위의 초기 시장을 형성하고, 연구개발을 통해 기술력을 확보해 나가야 합니다.

**Q** 그렇다면 수소에너지가 충분히 보급된 수소경제 시대는 어떤 모습일까요?

**A** 수소에너지는 온실가스 등 공해 물질을 배출하지 않는 청정에너지입니다. 그러면서도 매장량이 무한정이고, 편재가 없는 이상적인 에너지입니다. 그렇기 때문에 사실상 기존 화석연료의 유일한 대안으로 여겨지고 있으며, 또한 반드시 그렇게 되어야 합니다. 실제로 미국이나 일본 등의 선진국 역시 수소에너지 연구개발에 열심입니다. 기존의 산업은 선진국의 기술선점에 따라 끌려가고 있는 상태입니다. 만약 우리가 사용하는 에너지가 재생에너지와 수소에너지로 전환된다면, 산업화가 늦은 국가도 선진국과 동일한 조건에서 출발할 수 있다는 것입니다. 이는 우리나라와 같은 후발주자에 큰 기회가 될 수 있습니다. 석유 중심의 에너지 선진국이 몰락하고, 신형 에너지 강국이 등장할 가능성도 있습니다.



수소가 말로 가장 친환경적이며 지속가능한 미래를 열어가는 에너지다.

무엇보다도 수소에너지는 다음 세대의 생존권과 지속가능한 삶을 보장해주는 에너지입니다.

**Q** 현재 추진단 활동의 주요점과 애로 사항은 어떤 것이 있습니까?

**A** 앞서 말했듯이 충전소 등 인프라 확장을 통한 보급 확대가 당면 과제입니다. 관련된 법률적 규제도 개선해야 합니다. 작년에는 12건, 작년에는 2건의 관련 규제를 개선했습니다. 올해는 수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률(약칭 수소법)이 제정돼 내년 2월 5일 시행을 앞두고 있습니다.

추진단에서는 그 외에도 정부 연구개발 기획 제안, 수소 인력풀 구성, 긴급 분야 업무단 조직 등을 통해 정부의 수소에너지 진흥 정책이 제대로 실시될 수 있도록 지원하고 있습니다. 작년에 발생한 강릉 수소탱크 폭발 사고를 분석하고, 수소의 안전성을 홍보하여 대국민 수용성이 저하되지 않도록 주민설명회 등 홍보 활동을 개최하기도 했습니다.

또한 해외 여러 나라와 MOU를 체결하는 등 수소에너지 개발에 필요한 국제협력을 증진시키고 있습니다. 앞으로 글로벌 비영리 민간 단체를 창설해 세계적인 수소 시장 확대에 대비해 나갈 것입니다. 애로 사항이라면 작년에 제시된 수소경제 활성화 로드맵을 분야별로 더욱 구체적으로 세분해야 합니다. 의외로 국내의 에너지 대기업이 참여하지 않는다는 점도 문제입니다. 수소에너지는 장기적인 안목으로 접근해야 하기 때문입니다.

무엇보다도 중요한 점은 완벽한 안전관리 시스템을 갖추어야 한다는 것입니다. 인재였던 작년 강릉 사건의 전철을 밟지 않도록 반성할 필요가 있습니다.

**Q** 그 외에 지면을 통해 밝히고 싶은 부분이 있다면?

**A** 수소에너지야말로 가장 친환경적이며 우리의 미래를 지속가능할 수 있게 하는 에너지임을 국민 여러분이 인식해주셨으면 합니다.



# 수소에너지의 문제점

## 왜 아직도 수소에너지는 전면 보급되지 못하는 것인가

꿈의 에너지로 일컬어지는 수소에너지. 그러나 그 보급은 의외로 요원하다. 어떤 문제가 있기에 아직도 보급되지 못하는 것인가?

이경원 [과학칼럼니스트]

일단 모르는 분들을 위해 수소(H) 에너지, 그리고 그 수소에너지가 제시하는 이상인 수소경제에 대해 간단히 설명하는 것이 순서일 것이다.

수소라는 이름이 주는 어감 때문에 이것을 무슨 수소폭탄 같은 방사능 물질로 오해하는 분도 있다. 그러나 그렇지 않다. 수소에너지는 대부분 석유나 석탄, 가스와 같이 연소 반응을 이용한 연료로 활용된다.

수소는 냄새와 색깔이 없으며, 가

장 가볍다. 그리고 지구 표면의 70%를 차지하는 물을 전기 분해하면 쉽게 얻을 수 있다. 그리고 이를 연소시키면 다시 물로 환원되기 때문에 이론상 공해가 없고, 매장량도 사실상 무제한이라 할 수 있다. 이러한 수소는 연료전지의 형태로 만들어 가정, 건물, 공장, 차량의 전력공급원으로 사용할 수 있다.

그리고 기존의 화석연료를 더 이상 에너지로 사용하지 않고, 수소에너

지를 통해 수소를 생산, 사용하는 경제구조를 가리켜 수소경제라고 부른다. 이러한 수소경제가 완성되면 인류는 과거 화석연료 기반의 에너지 구조에서 벗어날 수 있다. 화석연료는 매장량이 제한적이며 그나마도 편중돼 있다. 또한 사용 시 미세먼지와 이산화탄소 등 여러 공해 물질을 배출한다. 그러나 수소는 앞서 말한 어떤 문제도 없다. 때문에 지극히 이상적인 대체에너지로 여겨지고 있다. 심지어 인류 최초의 내연기관 중 하나인 드 리바 엔진(1806년)도 수소에너지로 작동됐다.

하지만 아직도 수소경제의 시대는 오지 않고 있다. 왜 우리는 꿈의 에너지인 수소를 아직도 전면적으로 활용할 수 없는 것일까. 그 이유를 알아보자.

### 수소에너지의 문제점

아닌 게 아니라 수소에너지로 전면적 수소경제를 이루기에는 아직 여



러 가지 문제점이 있다. 그 문제점 중 대표적인 부분을 짚어 보기로 하자.

### ① 현재의 수소에너지는 화석연료 기술에 기반하고 있다

현재 생산되는 수소에너지 중 약 95%는 물의 전기분해가 아닌 천연가스에서 얻는다. 천연가스에서 증기 메탄 개질법(Steam Methane Reformation : SMR)을 통해 수소를 얻는다. 천연가스 속에는 탄화수소가 들어 있는데, 이 탄화수소를 분해해 수소와 이산화탄소를 만들고, 이 중 수소를 취하는 것이다. 즉, 수소를 만들 때마다 이산화탄소가 발생돼 대기 중으로 배출되는 것이다. 이런 방식으로 수소를 만든다면 수소를 친환경적인 재생에너지라고 말할 수 없다. 환경 파괴가 없고 재생 가능한 에너지로 수소를 만들어야 비로소

수소는 진정한 재생에너지로 불릴 수 있다.

### ② 의외로 비용이 많이 든다

미국 에너지부는 석탄 사용 화력발전소에서 수소에너지를 얻기 위해 10년간 9억5000만 달러를 투자했다. 물론 앞서 말한 SMR법을 이용해서다. 이를 위해서는 분해된 이산화탄소를 지하에 저장할 수 있도록 발전소의 설계를 개량해야 한다. 만약 제대로만 되면 이산화탄소가 대기 중으로 발생되지 않는 세계 최초의 화석연료가 될 것이다. 그러나 지하에 저장된 고농도 이산화탄소가 어떤 부작용을 일으킬지는 아무도 모른다.

또한 수소연료전지를 만드는 데 필요한 백금 등의 귀금속은 매우 비싸다. 이런 점을 감안하면 수소에너

지의 비용은 화석연료보다 더욱 비싸질 수도 있다. 물론 장기간 사용될 경우 이런 높은 초기 투자 비용은 상쇄될 수 있다. 그러나 초기 투자자들의 진입을 막는 장벽이 될 수도 있다. 바로 이런 점이 대기업에서 많은 자금 투자를 꺼리는 요소로 작용할 수 있다.

### ③ 운반 문제가 따른다

수소는 운반 시 에너지 손실이 20%에 달하는 것으로 추정된다. 그리고 저장 시에는 매일 1%의 에너지 손실이 있을 수 있다. 또한 최대 50%까지는 증발해 손실될 수 있다. 따라서 수소에너지를 유용하게 운용하려면 이러한 에너지 손실을 줄여야 한다. 그렇지 않으면 수소에너지 생산 비용은 다른 에너지보다 계속 비쌀 수도 있다.

↑ 수소에너지가 제시하는 목표는 기존의 화석연료 체계에서 벗어나는 것이다. 그러나 현재로서는 수소에너지도 화석연료를 통해 만들어지고 있다.

④ 현재의 인프라 기술과는 호환이 안 되는 부분도 있다

현재 인류의 에너지 인프라는 화석 연료에 맞게 만들어져 있다. 재생에너지 기술이 발전하면서 태양에너지와 풍력에너지도 기존 인프라에 맞는 형식으로 변환될 수 있었다. 그러나 수소에너지는 얘기가 다르다. 수소에너지를 저장하려면 수소연료전지를 만들어야 한다. 신재생에너지는 이 연료전지와 호환이 가능해질 수도 있다. 그러나 연료전지는 기존의 화석연료 인프라와는 공존이 아예 불가능할 가능성이 높다.

⑤ 특정 조건에서는 잘 운용할 수 없다

수소에너지는 특정한 기온대나 환경에서는 취급하기가 어렵다. 현재

의 기술력으로는 온도가 100도에 근접하면 수소의 효율성이 낮아진다. 현재는 폴리머 교환막을 사용해 수소에너지를 만들어내고 있다. 그런데 이 교환막은 고온 상태에서는 제대로 작동되지 않는다. 이런 한계 때문에 자동차 등 열이 많이 발생하는 환경에서는 수소에너지를 사용하기가 어려운 것이다.

⑥ 보급이 더디다

현재로서는 수소에너지를 접하는 것조차 쉽지 않다. 현재 공업용 특수 용도에 맞는 규모로는 수소가 생산되고 있으나, 상용 내지 가정용으로의 대량 생산은 어렵다. 미국의 경우 2018년 1월 현재 공공 수소연료 충전소가 불과 39개뿐이다. 이 중 35개가 캘리포니아 주에만 있다. 그나마도

1937년 독일 비행선 힌덴부르크 호의 추락 사고 장면. 양력을 얻기 위해 탑재했던 수소에 불이 나면서 추락했다. 수소는 기존의 화석연료에 비해 보관과 운송 시 안전에 더 신경 써야 한다.

그 대부분이 베이 에리어와 로스앤젤레스 복합 대도시권에 있다. 나머지 4개는 매사추세츠, 코네티컷, 사우스캐롤라이나 주에 있다. 이렇게 충전소 수가 너무 부족하기 때문에 일부 지역에서만 사용할 수 있다. 이 충전소 중 7곳은 충전 장비 제작사와 수소 공급 업체의 허가가 있어야 수소를 충전해 준다.

⑦ 수소도 환경을 파괴할 수 있다

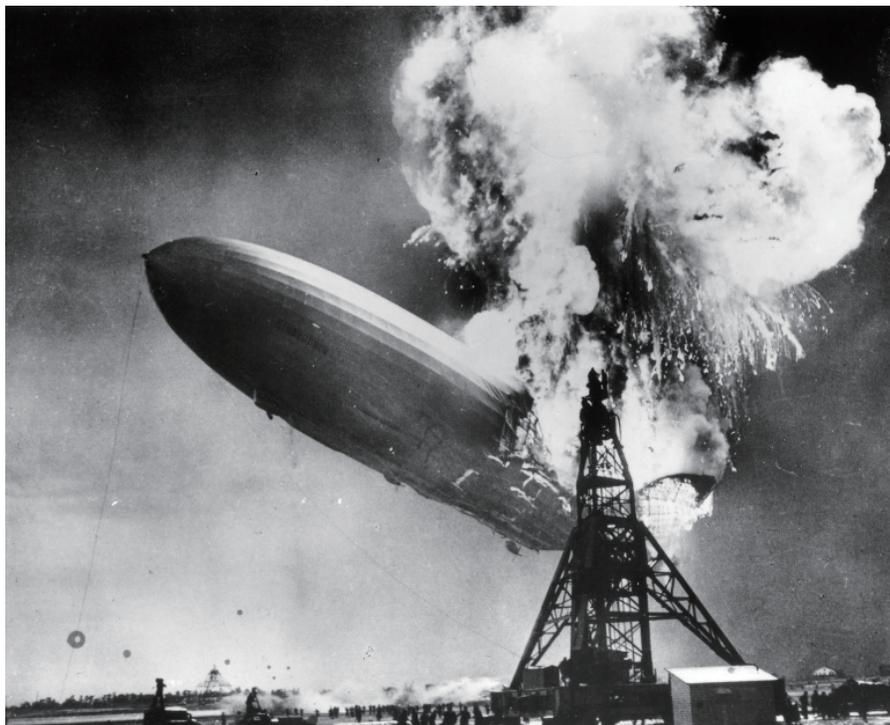
수소는 대기 중에 비교적 풍부하게 있는 기체다. 그러나 다른 기체와 적절한 균형을 이루어야 한다. 수소에너지를 생산하면 대기 중의 수소 농도가 높아질 수 있다. 이것이 너무 높아지면 대기 중의 오존층을 파괴할 수도 있다. 오존층이 파괴되면 인간은 태양이 방출하는 장파장 자외선과 중파장 자외선에 더 많이 노출된다. 이는 자연환경과 보건을 위협하며, 그 외에도 인간이 알지 못하는 다른 부작용을 몰고 올 수 있다.

⑧ 수소의 생산에는 어떤 형태로든 다른 에너지가 필요하다

수소 자체는 고갈될 위험이 없는 에너지다. 그러나 이를 에너지화, 즉 연료전지의 형태로 만들려면 수소가 됐든 다른 에너지가 됐든 별도의 에너지 자원이 필요하다. 그렇지 않을 경우 수소연료전지는 사용할 수 없게 된다.

⑨ 현재로서는 장거리 교통수단의 에너지 원으로 쓰이기 어렵다

현재는 수소연료전지의 평균 에너지 지원 거리는 약 500km 다. 즉, 수소에너지를 사용





하는 교통수단이 충전소에서 평균 500km까지만 갈 수 있다는 말이다. 앞서도 말했듯이 수소충전소 수가 아주 적다는 점을 감안하면 수소에너지를 사용하는 교통수단의 기동성은 큰 제약을 받는 셈이다.

**⑩ 안전 문제 해결해야**

사실 연료 중에 100% 안전한 것은 없다. 그러나 수소는 기존의 화석연료보다도 인화성이 훨씬 강한 물질이다. 또한 화석연료보다도 저장이 어렵다. 때문에 수소연료전지를 탑재하고 있는 차량은 고온이나 큰 충격에 노출될 경우 화재를 일으키거

나 심지어는 폭발할 가능성이 화석연료 차량보다 높다.

**수소에너지의 전면 보급을 위해서는 더 많은 연구와 기술 혁신이 필요**

사실 수소에너지 연구는 현재도 계속 진행 중이다. 앞서도 말했듯이 수소는 에너지로 사용된 역사가 19세기부터로 비교적 짧다. 때문에 앞으로 연구와 실험을 해 나가야 할 부분이 많은 에너지인 것이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 이미 다각도의 연구가 진행 중이다. 생산 과정에서 온실가스가 발생하지

않고, 다른 에너지의 사용을 최소화하기 위해 태양광과 바이오매스 등 자연 에너지를 사용하는 수소 생산 기술이 연구되고 있다.

또한 고분자 수전해장치를 사용한 온사이트식 수소 스테이션을 보급해 현지에서 수소를 자체 생산 및 사용, 수소도시 생태계 구축을 도모하고 있다. 비극고속 촉매를 사용해 수소의 생산단가를 낮추는 방법도 연구 중이다.

어떤 과학 기술도 문제 없이 성장하고 발전하지 않았다. 과학 기술의 역사는 오히려 문제 해결의 역사다. 충분한 기술 혁신을 통해 수소의 문제를 해결하고 보급할 때 비로소 우리는 꿈꿔왔던 수소경제 시대에 진입할 수 있을 것이다.

↑ 화석연료가 아닌 다른 청정에너지로 수소에너지를 생산함으로써 친환경성과 지속가능성을 높이는 방법도 활발하게 연구되고 있다.



이동훈 [과학칼럼니스트]



## 당신의 꿈은 온전히 당신 것인가? 복제된 현대인의 자화상, '더 문'

이 영화 '더 문'은 달의 뒷면에서 혼자 에너지 자원인 헬륨3를 채굴하는 루나인더스트리의 노동자 샘 벨(샘 로크웰 분)의 이야기다. 인공지능인 '거티'를 벗삼아 3년간 달 기지 사랑(영화를 보면 정말로 'Sarang-사랑'으로 표기된다. 던컨 존스 감독은 한국인과 연애한 적도 있는지라, 한국에 대한 애정과 관심이 남다르다는 후문이다)에서 머무르는 그, 지구와 실시간 통신은 안 되고, 녹화해둔 메시지를 전달받는다. 아내와 딸을 다시 만날 생각만으로 힘든 달 근무를 이어가는 샘. 그런데 귀환을 2주 앞둔 그의 눈앞에 갑자기 이상한 것이 보이기 시작한다. 급기야

그는 달 야외 임무 중 사고를 당해 의식을 잃는다. 깨어난 그의 눈앞에는 더욱 이해할 수 없는 광경이 펼쳐져 있는데...

세상은 당신에게 권하고  
심지어 요구한다.  
하나뿐인 당신을 소리 높여  
외치라고.  
하지만 당신과 같은 사람이  
여러 명이 있다면?  
심지어 당신이 누군가의  
복제품일 뿐이라면?  
만약 그렇다면 당신의  
가치는 대체 얼마인가?

### 헬륨3의 효용성은?

일단 이번 달의 주제에 맞게 이 점부터 짚어보자. 영화에서 언급되는 헬륨3는 대체 무엇인가? 에너지로서 어떤 효용이 있

는 것인가? 사실 이 작품 말고도 달의 헬륨3와 그 효용을 언급한 픽션이나 논픽션은 상당히 많기 때문에 궁금해할 분들이 있을 것이다.

헬륨3(<sup>3</sup>He)는 헬륨의 동위원소로, 핵융합발전의 원료로 쓰일 수 있다. 헬륨3는 양성자 2개와 중성자 1개로 이뤄져 있는데 이것을 바닷물에 풍부한 중수소(양성자 1개, 중성자 1개)와 핵융합시키면 양성자 2개, 중성자 2개의 정상적인 헬륨 원자가 되면서 막대한 전기에너지를 방출한다. 1g의 헬륨3는 석탄 약 40톤 수준의 전기에너지를 생산할 수 있다. 또한 방사능이 없으므로 유해한 방사능 폐기물을 생성하지 않는다. 이 헬륨3는 태양풍에서 나온다. 지구는 강한 자기장으로 보호받고 있어 태양풍 속의 헬륨3가 잘 쌓이지 않는다. 그러나 달의 자기장은 미약하기 때문에 태양풍이 실어 온 헬륨3가 많이 쌓여 있다.

이런 사실 때문에 달에 있는 헬륨3를 채굴하지는 주장이 학계 일각에서 꾸준히 제기돼 온 것이 사실이다. 아폴로 계획에 참여했던 지질학자 해리슨 슈미트, 위스콘신 매디슨대의 학자 제럴드 쿨친스키 등이 대표적인 인물이다. 쿨친스키는 핵융합기술연구소에서 소형 핵융합로를 만들기도 했지만, 아직까지는 순발전량을 내지는 못했다.

그래도 헬륨3를 얻기 위해 우주 탐사를 하려는 사람들은 아직 많다. 기존의 우주 개발 선진국 외에도 인도에서도 달의 헬륨3를 채굴하고자 하고 있다. 미국 정치인 뉴트 깅리치도 헬륨3를 포함한 달의 자원 획득을 주장한 적이 있다. 일각에서는 달보다 헬륨3가 더욱 풍부한 목성에 가서 채굴하자고 주장하기도 한다. 다만 헬륨3로 안전한 핵융합반응을 일으킬 수 있을지에 대해서는 아직 학계에서도 결론이 나지 않았다.

### 당신은 과연 얼마나 고유한 존재인가

다시 영화로 돌아가서, 샘의 눈앞에 나타난 것은 자신을 쏙 빼닮은 복제인간이었다. 이야기가 진행되면서 샘은 더 충격적인 진실을 알게 된다. 자신도, 자신의 눈앞에 있는 복제인간도 실은 지구에 있는 ‘진짜’ 샘 벨의 복제인간이었으며, 자신들의 기억도 모조리 조작된 것이라는 사실을 말이다. 루나인더스트리의 달 기지에는 그들과 같은 복제인간이 수백 명이 더 보관돼 있었다. 달에서 3년 근무하면 지구로 돌아간다고 알고 있었지만 실은 수명을 다해 폐기 처분될 운명이었던 것이다.

세상은 우리에게 속삭인다. “당신은 세상에 하나밖에 없는 존재입니다! 그런 소중한 당신을 마음껏 표현하고 인정받으십시오!” 하지만 돌아볼 일이다. 우리는 과연 얼마나 스스로의 고유함을 잘 표현하며 살고 있는가. 더 나아가 우리는 과연 얼마만큼 잘나고 고유하고 독특한 개체들인가.

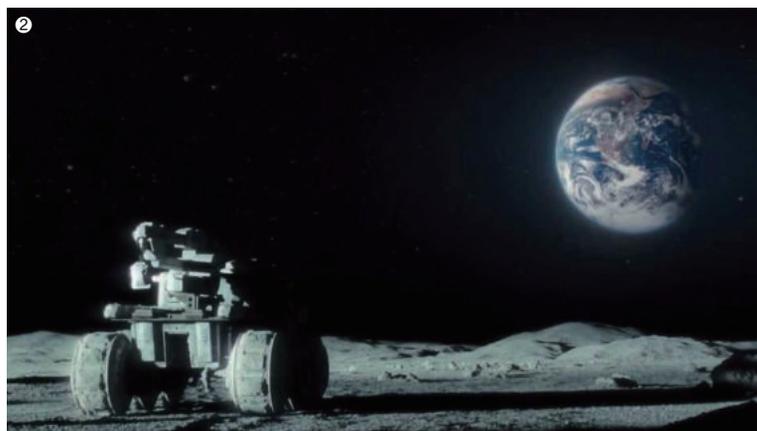
아무리 잘난 사람이라도 그 키는 2m를 넘기 힘들고, 그 수명은 100년을 넘기 힘들다. 광대한 우주의 시공간에 비하면 먼지만도 못한 존재가 우리다. 그런 나약한 존재가 인간이기에 개체의 수명과 유전자의 수명을 극대화하기 위해 공동으로 살게 됐다. 하지만 그러한 집단주의가 너무 극으로 흘러가면, 결국 개인의 고유성을 침해하게 된다. 영화속 복제인간처럼 돼 가는 것이다.

그런 사례는 멀리 갈 것도 없이 우리 주변에서 많이 찾아볼 수 있다. 젊은이들은 누가 시키지 않았는데도 비슷

한 패션을 하고 다닌다. 누가 시키지 않았는데도 특정 연령대가 되면 모두 비슷한 헤어스타일을 하고 다닌다. 지극히 주관적이고 감성적인 영역인 취미를 즐길 때조차도 본인에게 전혀 필요 없는 장비나 상품을 남들이 다 가지고 있다는 이유만으로 꾸역꾸역 사들인다. 그러면서 어디 가면 나는 소중하단다, 나는 잘났단다, 나는 독특하단다는 식으로 실제 없는 자기 자량을 있는 대로 하고 다니는 게 우리네 모습이다.

진지하게 묻고 싶다. 남들 하는 대로 안 하면 그렇게 불안해서 남들 하는 대로 다 따라 해야 직성이 풀리는 ‘나는 대체 얼마나 잘났나? 집단의 고정관념과 거대 자본의 계산에 따라 이리저리 끌려다니며 돈과 시간을 착취당하면서도, 그게 착취가 아니라 ‘나의 훌륭함을 나타내는 행위’라고 믿는 ‘나의 실체는 과연 어디에 있나?’

인간은 모두 닮았지만 모두 다르다. 광고 속 멋진 몸매의 패션 모델이 입은 옷이 내게도 어울리라는 보장은 없다. 독일 속담에도 있듯이 ‘누구도 내게 맞는 모자를 대신 씌워 주지 않는다’ 스스로가 진정으로 소중하고 잘난 존재라고 생각한다면 남이 뭘 하는지부터 볼 필요가 없다. 대신 거울 속 자신의 모습을 보라. 그 자신이 무엇을 원하고, 무엇을 필요로 하는지부터 생각하고 그 필요를 채워라. 어차피 한 번밖에 주어지지 않는 인생 아닌가.



① 주인공 샘이 자신의 복제인간을 발견하게 되면서 영화의 분위기는 급물살을 탄다.  
② 영화는 혼자서 지키고 있는 우주 기지의 고독한 분위기나 장차 먼 우주 임무에 나서는 우주비행사들이 극복해야 할 정신적 문제도 잘 표현했다.

## R&D related Job Search



New Technology  
Quiz

전공 상관없이 공짜로 개발자 교육을  
받을 수 있는 프랑스 '에콜42'는  
4차 산업혁명 시대를 맞아 개발자 공급이  
수요를 따라가지 못하는  
'개발자 구인난 시대'의 대안  
교육기관으로 유명하다.  
이러한 에콜42를 벤치마킹해 국내에서  
운영되는 소프트웨어 인재 양성기관  
'이노베이션 아카데미'의 첫 교육  
프로그램으로 교수·교재·학비 없는  
SW 교육의 명칭은 무엇일까요?

### 79호 정답 및 당첨자

블록(블록형 코딩)

유소현, 김언중, 심재일, 안기범, 구상민



실크장패드

\* 퀴즈 정답은 eco\_news@naver.com으로 보내주세요.  
독자선물은 교환, 환불이 불가능합니다.  
주소 불명 등으로 반송 시 재발송하지 않습니다.

NEW TECHNOLOGY  
OF THE MONTH



# R&D 관련 구인 및 구직



연구개발(R&D) 관련 직종의  
구인 및 구직을 소개합니다.  
R&D 관련 직종(연구직, 기획, 관리,  
홍보 등)의 구인 및 구직 관련 자료  
(구인공고, 자기소개서)를  
e메일로 보내주세요.

보낼 곳 eco\_news@naver.com

문의 042-712-9216, '이달의 신기술' 담당 김은아 기자



신한벽지(주)(shinhanwall.co.kr)

R&D 부문 경력 직원 채용

- 담당업무: 신제품 개발
- 응모자격 및 우대사항: 학사 이상(관련 학과 전공자), 경력 3년 이상, 관련 자격증 보유자 우대
- 근무형태: 정규직
- 근무처: 경기 김포시
- 모집기간: 6월 30일까지(채용 시 마감)
- 문의전화: 031-989-4760

오덱(주)(ordeg.co.kr)

2020년 연료전지촉매기술팀 신입·경력 사  
원모집

- 담당업무: 연료전지촉매기술팀
- 응모자격 및 우대사항: 학사 이상(신입·경력 1년 이상), 유관 업무 경험(인턴·알바) 및 경력자, TOEIC 600점 이상, 화학·화학공학·신소재·재료공학
- 근무형태: 정규직(수습 6개월)
- 근무처: 인천 연수구
- 모집기간: 상시 채용(국문, 영문이력서, 자기소개서 제출)
- 문의전화: 02-3705-9600

(주)휴네시온(hunesion.com)

정부과제 R&D 사업관리자 모집

- 담당업무: 정부과제 R&D 사업관리자 (R&D과제 기획, R&D과제 사업비 실무, R&D과제 성과 관리, 과제 문서 관리, 보안 관리, 지적권 관리, 과제자산 관리 등)
- 응모자격 및 우대사항: 국가 R&D 과제 관리 유경험자, 연구지원 전문가 교육 이수자, EZbaro, PMS, SMART 등 과제 경험자
- 근무형태: 정규직
- 근무처: 서울 강남구
- 모집기간: 5월 20일까지
- 문의전화: 02-539-9813

에스모터스(s-motors.kr)

R&D 연구원 국책과제 진행 업무

- 담당업무: 연구 부문
- 응모자격 및 우대사항: 학사 이상(자동차공학, 기계·메카트로닉스·로봇 전공), 경력 3년 이상, CAD·CAM 프로그램 능숙자, 운전 가능자, 문서 작성 우수자, 프레젠테이션 능력 우수자, 차량 소지자, 인근 거주자
- 근무형태: 정규직(수습 3개월)
- 근무처: 전북 완주군
- 모집기간: 상시 채용
- 문의전화: 1599-2223

평범한 우리가  
세상을 바꾸는 방법

# 공익신고



공익신고자 보호 더욱 강해졌습니다

## 보호

- 비밀보장, 신분보호, 불이익조치 금지, 책임감면

## 보상

- 내부 공익신고자에게 최대 30억원의 보상금 지급
- 공익에 기여한 경우 최대 2억원의 포상금 지급
- 구조금(치료비, 이사비, 소송비용 등) 지원

## 상담

- 국번없이 **110** 또는 **1398**

## 신고

- 홈페이지 **1398.acrc.go.kr**
- 우편(서울시 서대문구 통일로 87)



신고대상 : 6대 분야, 284개 법률 위반행위

### 건강



- 불량식품 제조·판매
- 무면허 의료행위

### 안전



- 부실시공
- 소방시설 미설치

### 환경



- 폐수 무단방류
- 폐기물 불법 매립

### 소비자이익



- 개인정보 무단 유출
- 허위·과장광고

### 공정경쟁



- 기업 간 담합
- 불법 하도급

### 기타 공공의 이익



- 거짓 채용광고
- 방위산업기술 불법사용



국민권익위원회



## SKC, 반도체용 하이엔드급 블랭크 마스크 연내 양산 개시

SKC는 일본 의존도가 90% 이상인 ArF용 등 하이엔드급 블랭크 마스크(Blank Mask) 시제품을 현재 국내 수요기업과 테스트 중이며, 하반기 본격 양산할 예정이라고 밝혔다.

반도체 공정의 핵심 소재인 블랭크 마스크가 양산되면 국내 공급 안정성이 개선될 전망이다. SKC는 2018년부터 총 430억 원을 투자해 블랭크 마스크 신규 공장을 2019년 말 완공한 바 있으며, 이번 양산 품목보다 첨단 제품을 2021년 양산 목표로 개발 중이다.

이와 관련해 정승일 산업통상자원부 차관은 4월 20일 SKC의 블랭크 마스크 공장(천안)을 방문해 소부장 정책성과 가속화를 강조했다. 정 차관은 먼저 SKC의 블랭크 마스크 국산화를 위한 임직원의 노고에 감사를 표명하며, 그간 정부의 소부장 정책 성과를 밝혔다.

20대 품목은 2021년 공급 안정성 확보를 목표로 국내 생산 확대, 기술 개발(2019년 추경 650억 원, 2020년 1165억 원), 수입국 다변화 등을 계획대로 추진 중이며, 특히 일본의 수출 규제 3개 품목은 공장 신증설, 외투기업 투자 등으로 올해 중 완전한 공급 안정화를 달성할 계획임을 밝혔다. 나머지 80대 품목 중심으로 올해 연구개발(R&D) 지원(1조2000억 원)을 추진 중이며, 공급선 다변화 등을 통해 기본적인 공급 안정성을 확보할 계획이다.

품목		국내 생산	수입국 다변화
불화 수소	불산액	<ul style="list-style-type: none"> <li>■(솔브레인) 공장 신증설 및 생산 투입</li> <li>※생산능력을 신증설 이전 대비 2배 확대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■중국산 등 생산 투입</li> </ul>
	불화수소가스	<ul style="list-style-type: none"> <li>■(A사) 공장 신설 및 시제품 테스트 중</li> <li>※빠르면 5월 양산 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■미국산 생산 투입</li> </ul>
EUV 레지스트		<ul style="list-style-type: none"> <li>■(미국 듀폰) 개발·생산시설 투자 신고 완료(2020.1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■벨기에산 생산 투입</li> </ul>
불화 폴리이미드		<ul style="list-style-type: none"> <li>■(코로링인더스트리) 생산체제 기(既)마련(연간 3000만 장) 후 해외 기업에 일부 수출 중</li> <li>■(SKC) 공장 신설 및 시제품 테스트 중</li> </ul>	

문의처 산업통상자원부 반도체디스플레이과(044-203-4273)

이달의 신기술은 여러분야의 의견에 항상 귀 기울이고 있습니다. 관심 있는 콘텐츠, 시연회에 우먼하라고 생각하시는 신기술을 비롯해 추가됐으면 하는 내용, 바라는 점 등이 있다면 많은 참여 바랍니다.

042-712-9230 jsung2@keitre.kr

정기구독 안내

2020

MAY

# NEW TECHNOLOGY OF THE MONTH

산업통상자원부 산하 한국산업기술평가관리원, 한국산업기술진흥원, 한국에너지기술평가원, 한국공학한림원 등 R&D 대표기관 및 최고 권위인 공학기술자단체가 공동으로 발행하는 <이달의 신기술>

계좌번호

전화

구독료

038-132084-01-016 기업은행  
1005-102-350334 우리은행

02-360-4845

50,000원 (연간)

온라인 신청

이메일 접수

<https://goo.gl/u7bsDQ>

[power96@hankyung.com](mailto:power96@hankyung.com)

VOL.....

# 80



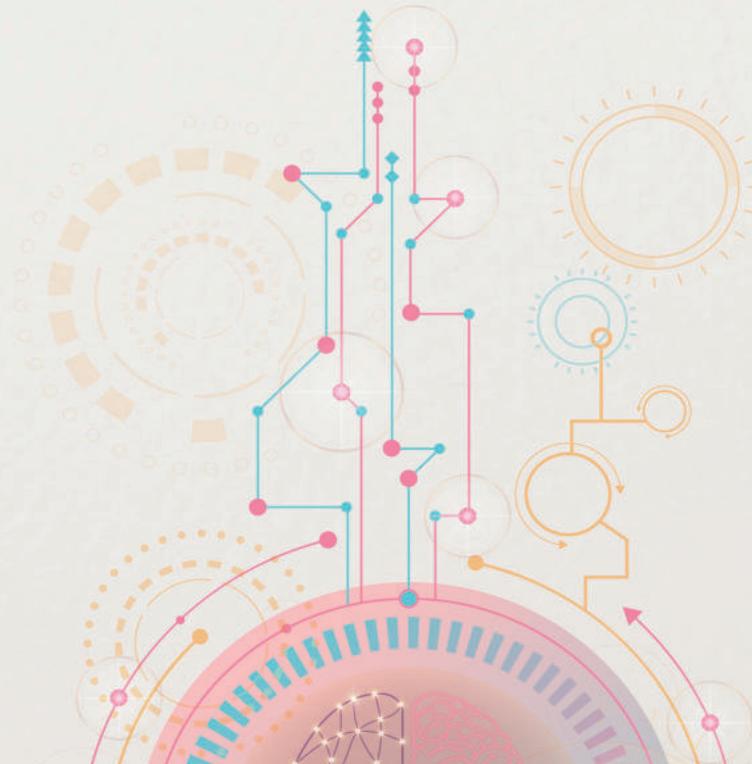
투명하고 전문적인  
산업기술 기획·평가·관리를  
이끄는 *Keit*

*Keit* 한국산업기술평가관리원

www.keit.re.kr  
www.facebook.com/keitkorea  
유튜브 검색창에서 'KEIT' 검색



**“국민을 위한  
따뜻한 기술개발로 국민 행복을  
만들어 가겠습니다”**



○ KEIT R&D 상담콜센터  
1544-6633