

VOL 21-10  
2021.10

# KEIT PD

## Issue Report

### FOCUSING ISSUE

탄소 감축을 위한 LNG 냉열 발전 재기화 기술

### PD 기술 이슈

- ISSUE 1 선박·해양 프로세스 시스템 디지털 트윈 개발 방향
- ISSUE 2 디지털엔지니어링 설계기술과 탄소저감
- ISSUE 3 인공지능가전 기술동향과 산업전망
- ISSUE 4 주조산업의 최신 기술 활용 사례

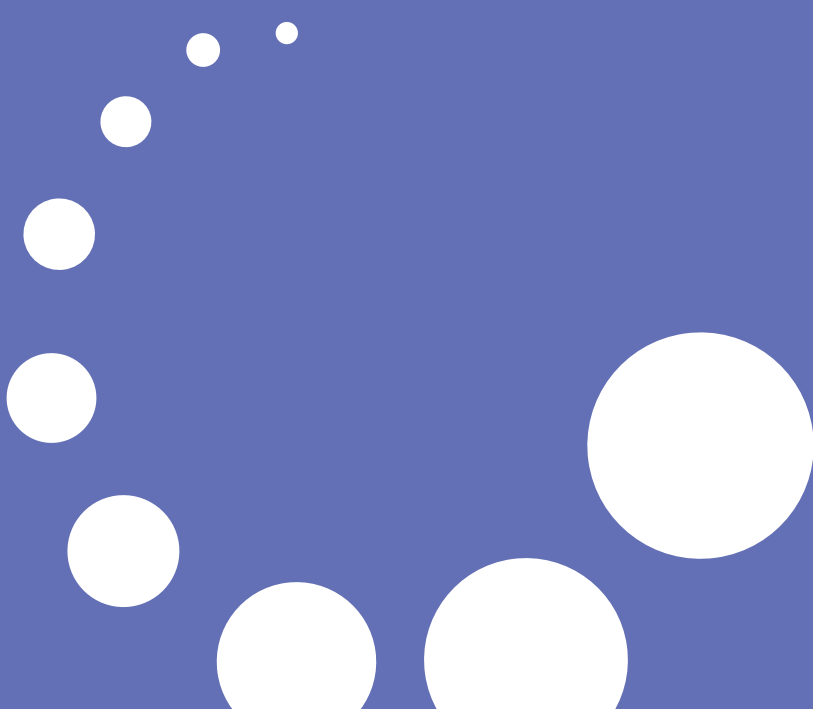
**Keit** 한국산업기술평가관리원  
Korea Evaluation Institute of Industrial Technology





VOL 21-10 2021.10  
KEIT PD ISSUE REPORT

❶ [FOCUSING ISSUE] 탄소 감축을 위한 LNG 냉열 발전 재기화 기술	07
❷ [PD 기술 이슈 1] 선박·해양 프로세스 시스템 디지털 트윈 개발 방향	19
❸ [PD 기술 이슈 2] 디지털엔지니어링 설계기술과 탄소저감	33
❹ [PD 기술 이슈 3] 인공지능가전 기술동향과 산업전망	51
❺ [PD 기술 이슈 4] 주조산업의 최신 기술 활용 사례	69



VOL 21-10

2021.10

# KEIT PD

## Issue Report

### FOCUSING ISSUE

탄소 감축을 위한 LNG 냉열 발전 재기화 기술

### PD 기술 이슈

ISSUE 1 선박·해양 프로세스 시스템 디지털 트윈 개발 방향

ISSUE 2 디지털엔지니어링 설계기술과 탄소저감

ISSUE 3 인공지능가전 기술동향과 산업전망

ISSUE 4 주요산업의 최신 기술 활용 사례





# FOCUSING ISSUE

탄소 감축을 위한 LNG 냉열 발전 재기화 기술



## 탄소 감축을 위한 LNG 냉열 발전 재기화 기술

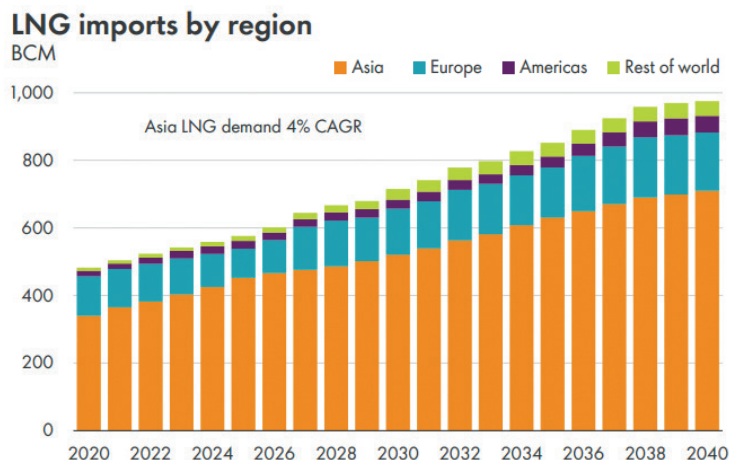
HIGH  
EMISSIONS



LOW  
EMISSIONS

## // 기획의도

★ 탄소 중립 사회로 가는 과정에서, 기존 연료 대비 적은 탄소 및 미세먼지 배출량을 가지는 천연가스에 대한 수요가 지속적으로 증가하는 추세임. 특히 중국과 동남아시아 지역의 천연가스 수요 증가로 인해 아시아지역의 LNG 수입량은 2040년까지 증가할 것으로 전망하고 있음



(출처 : Shell LNG Outlook 2021)

\* BCM : Billion Cubic Meter, CAGR : Compound Annual Growth Rate

| 그림 1. 세계 LNG 수입량 전망치 |

★ 우리나라의 경우에도 제9차 전력수급기본계획에 따라 국가 온실가스 감축 목표(NDC)와 연계, 석탄 발전의 비중을 줄이고 LNG 발전의 비중을 증가시킬 예정으로 2034년까지 총 24기의 LNG 발전소가 증설될 예정임

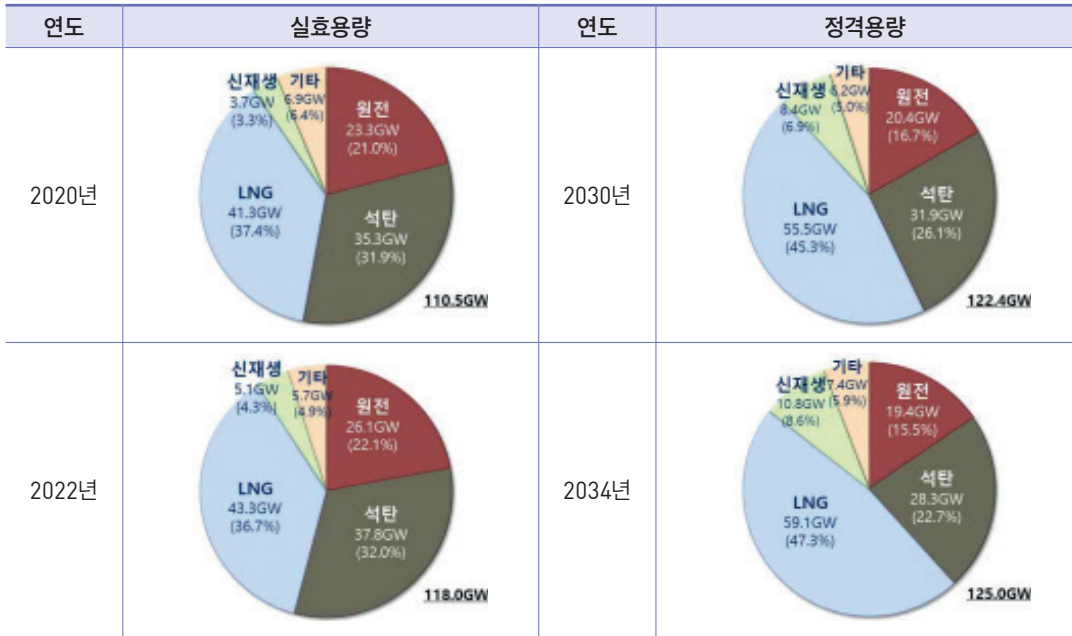
### < 연차별 석탄 폐지 및 LNG 전환 계획 >

구분	'20~'24년	'25~'30년	'31~'34년
석탄 폐지	삼천포#1,2 보령#1,2 호남#1,2		
석탄폐지후 LNG연료전환	삼천포#3,4	태안#1~4 보령#5,6 하동#1~4 삼천포#5,6 당진#1~4	태안#5,6 영흥#1,2 하동#5,6

(출처 : 산업통상자원부, 제9차 전력수급기본계획(2020))

| 그림 2. 우리나라 석탄 발전 폐지 및 LNG 발전 전환 계획 |

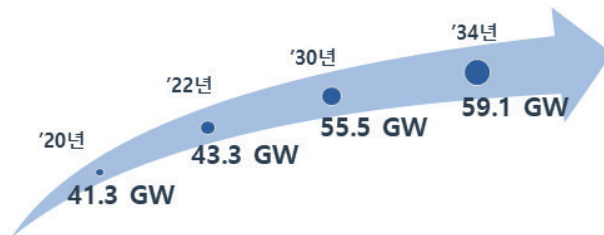




(출처 : 산업통상자원부, 제9차 전력수급기본계획)

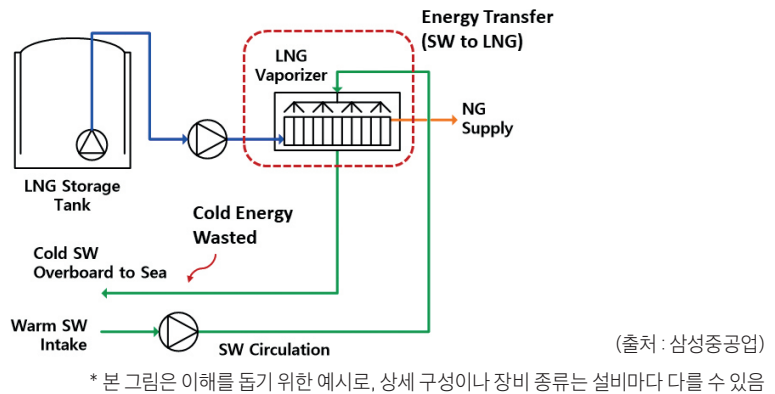
\* [그림 3]의 실효용량 기준 LNG 발전 비중을 재구성함

| 그림 3. 우리나라 LNG 발전 비중 증대 계획 |



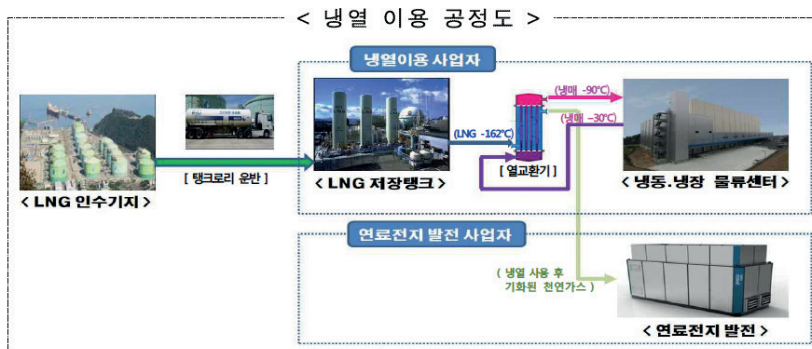
| 그림 4. 우리나라 LNG 발전 실효 용량 증대 계획 |

- ★ 천연가스는 효율적인 운송을 위해  $-163^{\circ}\text{C}$ 의 낮은 온도로 액화되며, 수요지에서 연료로 사용하기 위해서는 다시 가열시켜 기체 상태로 만드는 재기화 과정을 거치게 됨. 이 재기화 과정에서, 현재 육상터미널에서는 해수와 액화 천연가스(LNG)를 직접 열교환, 해수의 에너지를 LNG로 전달하여 기화시키며 에너지를 잃고 차가워진 해수는 외부로 단순 배출하고 있음



| 그림 5. 일반적인 Open Rack Vaporizer(ORV) LNG 재기화 공정 |

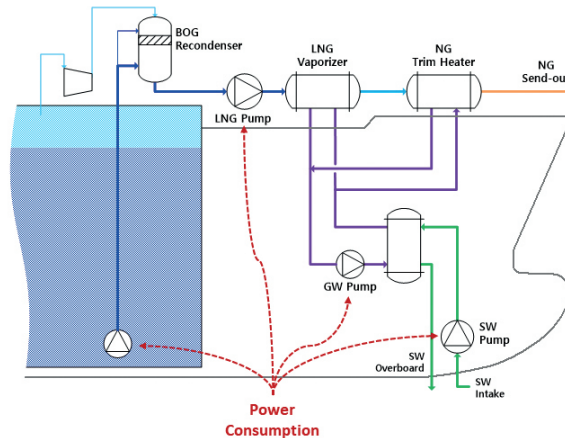
- ★ 에너지 효율화 측면에서, 극저온의 온도로 저장되어 있는 LNG의 차가운 상태, 즉 일반적으로 '냉열'이라고 부르는 낮은 에너지 준위를 활용하고자 하는 다양한 시도가 있어 왔음. LNG 냉열을 활용하여 냉동 창고를 가동하거나, 대규모 서버의 냉각, 폐기물 분쇄를 위한 페타이어 등의 냉각에 활용하는 등의 사례가 있음. 그러나 이와 같은 냉열 활용 사례는 LNG 저장 시설과 냉열을 활용하고자 하는 시설이 인접해야만 함. 그렇지 않은 경우에는 LNG를 운송하는 탱크로리 등을 이용하여 냉열 활용 시설까지 운송하는 방안이 필요하며, 운송 간 에너지와 냉열 손실이 발생함. 또한, 냉열활용 후 기화된 가스를 사용하는 방안이 같이 준비되어야함. 대규모 설비 운전자 간 협조 체계가 원활히 구축되기 위한 사회적, 제도적 기반이 아직 미흡한 상황임



(출처 : 산업통상자원부, 제3차 에너지기본계획 (2019))

| 그림 6. 정부 냉열 발전 이용 계획 개요 |

- ★ 향후 국내에 다수의 LNG 발전소가 증설될 예정이며, 그에 따른 LNG 재기화 설비의 운용 역시 확대가 예상되는 상황임. 최근 민간 사업자 중에서도 LNG 직도입 움직임이 있어 LNG 재기화 설비에 대한 수요는 더욱 커질 가능성이 있음
- ★ LNG 냉열을 LNG 재기화 설비 내에서 직접 활용하여 재기화 설비를 효율적으로 운용하기 위한 기술이 있다면, 위와 같은 제약 조건을 해소하면서도 현재 미 활용되고 있는 에너지 활용이 가능함. LNG 재기화 설비는 공정 자체가 일견 단순해 보일 수 있으나, LNG 재기화에는 막대한 양의 해수를 순환시킬 대량의 에너지가 필요하며, 천연가스를 발전소나 도시에 공급하기 위해 LNG를 높은 압력으로 가압시키는 에너지 역시 필요함



(출처 : 삼성중공업)

\* 본 그림은 이해를 돕기 위한 예시로, 상세 구성이나 장비 종류는 설비마다 다를 수 있음

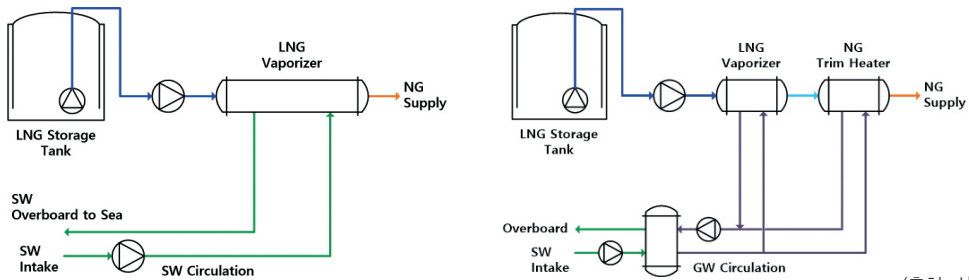
| 그림 7. GW Indirect Type FSRU 개략도 |

- ★ [그림 7]은 일반적인 글리콜 간접식 부유식 저장 및 재기화 설비(FSRU-Floating, Storage & Regasification Unit)의 개요도임. 이런 재기화 설비에서는 앞서 기술한 바와 같이 대량의 에너지가 소모되며, 750MMSCFD(Million Standard Cubic Feet per Day) 재기화 송출 용량의 경우 약 16MW 가량의 전력이 재기화 설비 운용에 투입되어야 함(예시, 상세 수치는 Project마다 다름)
- ★ 육상 설비에서는 일반적으로 이러한 소요 전력을 인근 화력발전소나 설비 내부 자체 발전기 등에서 공급받게 되므로, LNG 재기화 과정 중에서도 상당한 양의 탄소가 배출되고 있음. 이 소요 에너지를 LNG 냉열을 활용하여 충당할 수 있다면, 에너지 효율화는 물론 탄소 배출량 저감 역시 달성 가능성이 가능함. 우리나라 정부 역시 제3차 에너지기본계획에 LNG 냉열 활용 확대를 주요 과제로 포함시키는 등 냉열 활용에 대한 관심이 높아지고 있는 상황에서, 기존 재기화 설비를 대체하며 독립적으로 냉열을 회수, 활용할 수 있는 자가 발전 설비에 대한 잠재적 수요가 성장하고 있음
- ★ 또한, 국내 조선3사가 압도적인 시장 점유율을 보이는 부유식 재기화 설비(FSRU)에 있어서 이러한 기술은 제품 차별화를 위한 기술로 주목 받고 있음. 특히, 최근 삼성중공업은 세계 최초의 부유식 재기화 설비용 냉열 발전 공정을 독자 개발, 성능 시험을 성공리에 수행하였고, 대우조선해양도 일본 MOL사와 함께 시험을 마친 것으로 알려져 있는 등 조선 3사들은 냉열 활용 부유식 재기화 설비 설계를 진행 중에 있음

## 과제 핵심기술 및 주요 연구내용

### ★ 냉매 간접식 재기화 시스템

- 기존 해수 직접식 재기화는 LNG와 해수의 직접 열교환 후, 냉열을 바다로 단순 배출하고 있음. 또한, 해수는 빙점이 높아 열교환기 내에서 활용 가능한 온도 범위에 제약이 있어 상당히 많은 유량의 해수를 사용하여야만 재기화 시스템을 지속적으로 운용할 수 있음. 이 때문에 FSRU의 경우에는 해수 대신 일종의 부동액인 글리콜 수용액을 중간 매개체로 활용한 글리콜 간접식 재기화를 적용하고 있음. 글리콜 간접식의 경우, 해수 대비 빙점이 낮으므로 열교환기를 보다 효율적으로 운용할 수 있어 순환 유량을 줄일 수 있고 장비 재질 변경 및 크기 감소로 가격을 낮출 수 있다는 장점이 있음



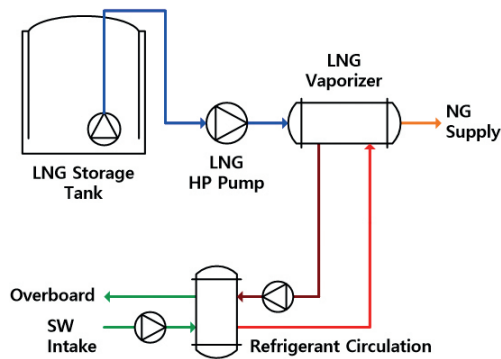
(출처 : 삼성중공업)

\* 본 그림은 이해를 돕기 위한 예시로, 상세 구성이나 장비 종류는 설비마다 다를 수 있음

\* [그림 5] 및 [그림 7]에 있는 것과 같은 시스템을 보다 간략히 도시한 것으로, 사용하지 않아도 무방합니다.

| 그림 8. (좌) 해수 직접식 재기화 시스템, (우) 글리콜 간접식 재기화 시스템

- 그러나, 글리콜 간접식 재기화도 글리콜 수용액이 항상 액체 상태로 순환한다는 점에서 열교환기 효율 향상에 제약이 있음. 따라서 본 기술에서는 상전이(Phase Transition)를 이용할 수 있는 적절한 물질을 열전달 매개체로 선정함



(출처 : 삼성중공업)

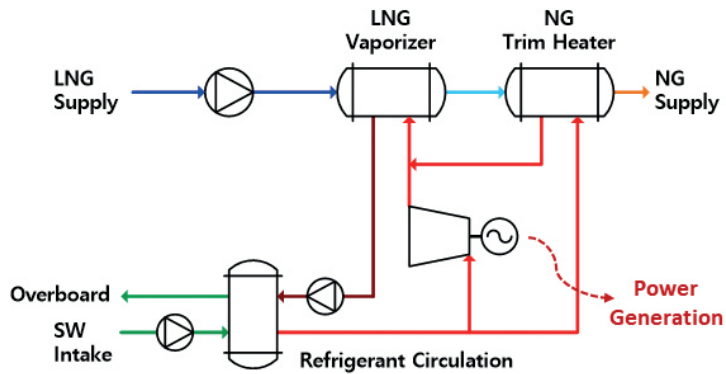
\* 본 그림은 이해를 돕기 위한 예시로, 상세 구성이나 장비 종류는 설비마다 다를 수 있음

| 그림 9. 냉매 간접식 재기화 시스템 |

- 재기화 과정 중에서 상전이를 이용한다는 것은, 가용한 열원(주로 해수)에서 에너지를 받으면 기화가 되고 LNG를 기화시키는 과정 중에 액화가 되어야 한다는 것임. 이러한 공정을 통해 열교환기 내부의 열 교환 곡선을 보다 효율적으로 설계할 수 있는 가능성이 있음
- 열교환기를 효율적으로 설계함으로써 같은 양의 LNG를 기화시키기 위해서 더 적은 열매체 순환 유량이 필요하기에 즉, 열매체 순환에 들어가는 에너지가 줄어들어 더욱 효율적인 재기화 공정을 구현할 수 있음
- \* 참고사항) 이 물질은 LNG 입장에서 열매(熱媒)로 작용하나, 일반적인 명칭을 따라 냉매(冷媒, Refrigerant)로 통칭하여 본 기술은 냉매 간접식 재기화로 명칭함

★ 냉열 발전 재기화 시스템

- 기화와 액화를 반복하는 냉매 간접식 재기화의 냉매 순환 루프를 개선시키기 위하여, 발전소에서 전통적으로 사용하고 있는 랭킨 사이클(Rankine Cycle)을 적용할 수 있음. 이 경우, 기체 냉매의 에너지를 팽창기(Expander)를 통하여 일부 또는 전부 추출하게 되며, 팽창기는 발전기(Generator)에 연결되어 유체의 에너지를 전기 에너지로 변환함



(출처 : 삼성중공업)

\* 본 그림은 이해를 돕기 위한 예시로, 상세 구성이나 장비 종류는 설비마다 다를 수 있음

| 그림 10. 냉열 발전 재기화 시스템 |

- FSRU 혹은 신규 LNG 터미널에서 LNG를 필요한 가스 송출 압력보다 높게 가압할 수 있음. 냉매 발전이 가능한 것과 마찬가지로, 액체를 가압한 뒤 가열하여 기화시키면 기체에서 추출할 수 있는 에너지가 가압 에너지보다 크기 때문에 그 압력차를 이용하여 추가 발전이 가능함. 이를 가스 직접 팽창 발전이라고 하며, 일부 조선사는 냉열 발전 재기화 시스템에 옵션으로 포함하여 제시하고 있음

## ★ 냉매의 선정과 성능 검증

- 1기당 시간당 200톤 내외의 LNG를 기화시키는 용량의 설비가 다수 설치되는 재기화 시설의 규모를 감안했을 때, 냉열 발전 재기화에 사용되는 열 매개체 선정에는 상업성과 온실가스 감축 역시 고려할 필요가 있음. 순환되며 기화/액화의 상전이를 반복해야 하는 물리 화학적 특징과 상업성을 만족하기 위해 본 기술에서는 일반적으로 널리 사용되는 냉매 중에서 선정하게 되는데, 냉매의 종류는 매우 다양하고 재기화 설비가 요구하는 성능과 설치되는 주변 환경에 따라서 최적의 효율을 가지면서 안전하고, 친환경적인 매개체를 선정하는 것이 핵심임
- 짧은 구간 내에서 기화와 액화가 일어나며, 일반적으로 압축기를 사용하는 다른 냉매 시스템과 달리 발전을 위해 펌프를 사용하는 시스템 특성 상, 실제 운전 가능성 및 성능 시험이 반드시 필요하며, 특히 고가의 새로운 시스템 적용을 위해서는 사전에 운전의 준비, 냉매의 충전, 초기 시동 등의 절차를 확인하고 검증, 정립할 필요가 있음
- 아래 사진은 조선소 개발 LNG 냉열 발전 실증 설비를 구축하여 실제 LNG와 냉매로 수행한 성능 시험으로, 설계 목표와 동일 수준의 출력을 확인, 검증하였음



\* 삼성중공업 거제조선소 내 위치한 LNG 센터에서 자체 개발한 냉열 발전 재기화 시스템(S-REGAS-CGR)의 성능 시험을 '21년 4월 완료

| 그림 11. 삼성중공업 냉열 발전 재기화 시스템 실증 부지 |

## // 기대효과 및 파급효과

### ★ 자가 발전을 통한 탄소 배출 제로(Net-zero Emission, NZE) 재기화 시스템

- 본 설비를 재기화 시스템에 적용할 경우, 해수 순환 펌프, LNG 송출 펌프 등에서 소모되는 동력을 자가 발전으로 충당할 수 있음
- 25도 이상 해수온에서 직접 팽창 발전이 가능한 경우, 재기화 설비 소요 동력을 상회하는 발전량이 예상되며 이는 곧 운전비용(OPEX, Operating Expenditure)이 거의 들지 않는 경제적인 설비를 뜻함
- 이는 앞서 기술한 바와 같이 일반적으로 외부 화력 발전에서 조달하는 전력이었으므로 이를 탄소 배출량으로 환산하는 경우, 750MMSCFD 용량의 표준 FSRU 기준 연간 약 6만 톤의 탄소 배출을 절감하는 효과를 기대할 수 있음
- 또한 탄소 배출권 거래가 가능한 경우, 운용사 입장에서는 운영비 절감에 더해 추가 수익 기회가 창출될 수 있음

### ★ 순수 국내 기술로 적용 가능한 냉열 발전 재기화 기술

- 냉열 발전 재기화 기술 자체는 이미 존재하던 기술이었으나, 국내 한 조선사는 해외 업체에 의존하지 않고 독자적으로 선박에서의 설비 배치 제약을 해소하면서도 안전성과 효율성을 더욱 높인 냉열 발전 기술을 세계 최초로 개발함
- 특히 독자적으로 성능 실증 시험까지 완료하여 개발 기술의 완성도를 높였고, 주요 제품의 국산화가 가능한 상황으로 신규 FSRU를 비롯한 육상 재기화 설비에 적용 노력하고 있음
- LNG 주요 수입국 중 하나인 우리나라에서 제9차 전력수급계획에 따라 국내 LNG 터미널 및 발전소 증설이 예정되어 있으므로 잠재적 시장이 큰 시점임
- 순수 국내 기술을 바탕으로 한 설비를 국내 육상 적용할 경우, 내수 활성화와 일자리 창출은 물론 국가 온실가스 감축 목표 달성 및 탄소 중립 2050 계획에 기여할 수 있음







# PD 기술 이슈

## ISSUE 1

선박·해양 프로세스 시스템 디지털 트윈 개발 방향

- KEIT 조선해양PD

## ISSUE 2

디지털엔지니어링 설계기술과 탄소저감

- KEIT 지식서비스PD

## ISSUE 3

인공지능가전 기술동향과 산업전망

- KEIT 스마트전자PD

## ISSUE 4

주조산업의 최신 기술 활용 사례

- KEIT 뿌리기술PD



# 선박·해양 프로세스 시스템 디지털 트윈 개발 방향

|저자| 류민철 조선해양PD / KEIT  
서유탉 교수 / 서울대학교

## SUMMARY

### /// 선박·해양 공정(Process) 시스템의 디지털 전환을 위한 원천 기술 확보 필요

- ★ 스마트 선박 및 차세대 해양플랜트 디지털 전환으로 주요 공정 시스템의 운전 자동화, 운전 최적화, 예측 유지 보수 기술 구현 및 신규 서비스 사업 가능
- ★ 저탄소 및 무탄소 연료의 도입은 선박 및 해양플랜트내 에너지 시스템의 변화를 동반하고 있으며, 특히 신규 개발 공정 시스템은 디지털 트윈 기술을 접목하여 발주처와 운용사업자에게 이익을 제공하는 서비스를 만들 수 있어야 함

### /// 선박 에너지 시스템 디지털 트윈의 특징

- ★ 선박내 에너지 시스템은 연료 탱크, 연료 공급 시스템, 엔진, 보일러, 발전기 등으로 구성되며, 해상상태 운항 조건에 따른 최적 운전 전략 도출이 가능함
- ★ 엔진, 보일러, 발전기에는 장비 운전 상황을 모니터링할 수 있는 센서들이 부착되며, 수집한 데이터를 바탕으로 기계 학습 알고리즘을 통해 성능 예측 가능
- ★ LNG, 수소, 암모니아 등 저온 유체를 다루는 연료 탱크와 연료 공급 시스템에 대한 공정 모사와 디지털 트윈 고도화 기술개발 필요

### /// 시사점

- ★ 스마트 선박 시장경쟁력 확보를 위해서는 자율운항 기술과 더불어 선박 에너지 시스템의 운전효율을 높여 연료 소모를 최소화할 수 있는 디지털 트윈 원천 기술 및 데이터 활용 알고리즘 검증을 위한 지속적인 연구개발 투자 필요
- ★ 선박 및 해양플랜트 설계단계에서 시스템 관련 모든 정보를 고려한 개발 필요

## 1. 선박·해양 공정 시스템 디지털 트윈

### // 선박·해양플랜트를 위한 디지털 트윈

★ 디지털 트윈은 선박 또는 해양플랜트의 주요 시스템을 가상의 공간에서 실제에 가깝게 이미지화한 것이며, 이를 위해 운용되는 다양한 소프트웨어 및 센서에서 얻어지는 데이터를 통합하여 가시화할 수 있음

- 실시간 데이터 획득 및 분석 기술이 적용된 디지털 트윈은 개념 설계 단계에서 제작, 설치, 운전 에 이르기까지 전 주기에 활용 가능하며, 자동화 및 인공 지능 기술의 적용은 운전 과정 중 선원의 개입을 최소화시킬 수 있을 것으로 예상됨
- 클라우드 계산, 가상 현실, 기계 학습, 인공 지능 등을 활용한 디지털 기술은 선박, 해양플랜트의 운전 효율을 크게 향상시키고, Lifetime 동안의 운전 및 유지보수 비용을 획기적으로 절감할 수 있을 것으로 기대됨
- [그림 1]은 DNV-GL에서 제시한 해양플랜트의 디지털 트윈 개념도이며, 원하는 대상(real asset)에 대한 디지털 트윈을 구현하기 위해 엔지니어링 시뮬레이션 데이터, 성능 데이터, 검사 데이터, 센서 데이터들이 클라우드 기반 계산 솔루션에서 통합되고 있음. 따라서 디지털 트윈은 이들 데이터의 통합 및 가시화를 위한 플랫폼이라고 할 수 있음



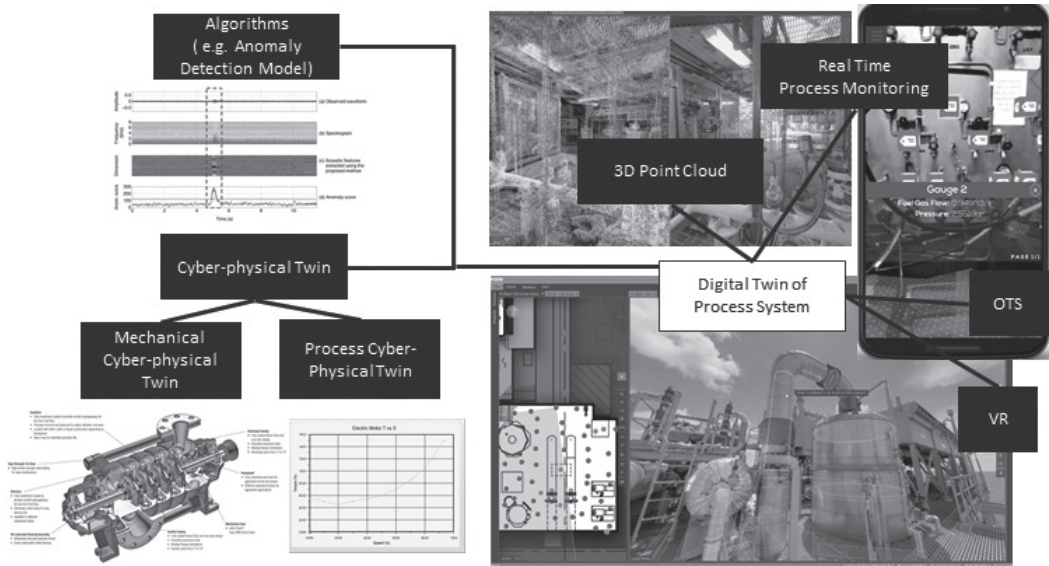
(출처 : Data smart asset solutions-Digital Twin(2021, DNV-GL))

| 그림 1. 선박·해양 시스템을 위한 디지털 트윈 개념도 |

## /// 선박·해양플랜트 공정 시스템 디지털 트윈의 주요 구성 요소

★ 선박·해양플랜트 공정 시스템을 위한 디지털 트윈은 실시간으로 공정 운전 상황을 모니터링할 수 있는 기술, 주요 장비 및 배관을 위한 3D 포인트 클라우드 기술, 공정 시스템을 구현할 수 있는 가상 현실 기술 등으로 구성되며, 공정 시스템의 디지털 트윈은 운전자 교육 시스템(Operator Training System)으로도 활용 가능

- 공정 시스템의 운전 상황은 주요 장비와 유닛들에서 얻어지는 데이터 분석을 통해 가능하며, 주로 공정 시스템내 유체의 물성을 예측할 수 있는 온도, 압력, 유량 데이터를 획득함. 이때 얻어지는 데이터를 다양한 기계 학습 알고리즘에 적용해 이상 상황을 감지할 수 있음. 공정 시뮬레이션 소프트웨어에서 얻어지는 데이터와 센서에서 얻어지는 실제 운전 데이터를 비교 분석함으로써 알고리즘의 정확도를 향상시킬 수 있음
- 펌프와 컴프레서, 열교환기 등의 주요 장비들은 기계적인 성능을 확인할 수 있는 데이터 분석이 필요함. 디지털 트윈은 이들 주요 장비들의 성능을 최적화하고, 이상 감지와 예측 유지 보수, 잔여 수명 예측을 위한 알고리즘 적용이 가능함. 특히 주요 장비들에서 얻어지는 센서 데이터(압력, 온도, 진동, 회전수, 전력 등)를 효과적으로 분석할 수 있는 Cyber-Physical Model을 구축하는 것이 필요하며, 공정 시뮬레이션 소프트웨어와 연동할 수 있어야 함



| 그림 2. 선박·해양 공정 시스템 디지털 트윈의 구성 예 |

## 2. 선박·해양 공정 시스템 디지털 트윈의 활용

### 에너지 소모 최소화를 위한 최적 운전 조건 모색

★ 선박 및 해양플랜트 에너지 시스템은 운전에 소모되는 연료의 양을 최소화할 수 있는 고효율 운전 조건을 찾는 것이 중요함. 선박 속도 및 항로 조건, 또는 해양플랜트의 운전 중 해상상태에 따라 달라질 수 있으므로, 선박 또는 해양플랜트 특성을 고려한 다양한 데이터 분석 기법으로 최적 운전 조건 모색 필요

- 선박 에너지 시스템은 엔진, 보일러, 발전기 등을 포함하며, 다양한 운전 상황(앵커링, 로딩, 연안/원양 항해, 디스차징, 해상조건, 선박 설계 특성 등)에 따라서 연료 소모량이 달라질 수 있음. 따라서, 에너지 시스템의 성능을 예측하면서 효율을 최적화하는 모델은 선박의 설계 특성과 다양한 운전 상황별로 분석 및 학습을 할 수 있어야 함
- 엔진, 보일러, 발전기 등의 주요 장비를 위한 시뮬레이션 모델은 공정 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하거나 이등 장비를 위해 개발된 코드를 이용할 수 있음. 기자재업체에서 제공하는 모델을 이용할 수도 있지만, 해당 모델들을 통합 운용할 수 있는 플랫폼 역할의 통합 디지털 트윈 필요

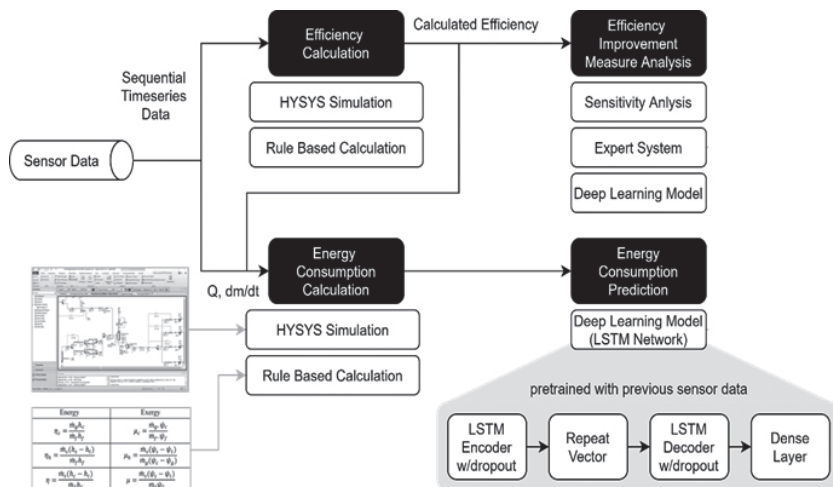


그림 3. 선박 에너지 시스템 운전 최적화 알고리즘

※ 기계 학습 알고리즘으로 제안된 LSTM(Long Short-Term Memory) 모델은 신경망 모델의 한 종류로 주요 변수들을 기반으로 각 변수가 어떤 영향을 미치는지 학습하며, 시계열(time-series) 데이터를 분석하는 데 유리함

- [그림 3]은 공정 시뮬레이션 모델과 기계학습 알고리즘을 적용한 선박 에너지 시스템 최적화 모델 개념도를 나타냄. 주요 장비와 연료 유량계에서 얻어지는 센서 데이터는 효율 및 연료 소모량 계산에 사용되며, 이때 공정 시뮬레이션 모델과 코드 기반 모델을 모두 사용함. 계산된 효율과 연료 소모량은 기계 학습 알고리즘에 전달되어 예측 및 최적화에 사용됨

## // 공정 시스템 주요 장비의 예측 유지 보수

★ 공정 시스템의 유지 관리는 크게 4가지로 구분되는데, (1) 고장/사후 보전, (2) 예방/정기 유지보전, (3) 예측/상태기반 유지보전, (4) 선행 예방 보전으로 나눌 수 있음

- (1) 고장/사후 보전(Corrective/Reactive maintenance)은 장치가 완전히 가동 중지된 이후 수리하는 방법이며, (2) 예방/정기 유지보전(Preventive/Time based maintenance)은 미리 정해진 시간 간격으로 수리하는 방법. 현재 공정 시스템을 유지 보수하기 위해 (1)과 (2)의 방법을 많이 사용함
- (3) 예측/상태기반 유지보전(Predictive maintenance)은 장비의 주기적인 모니터링을 통해 비정상적인 경향이 감지되면 수리하는 방법이고, (4) 선행 예방 보전(Proactive maintenance)은 고정 원인을 추적해 해당 원인을 미리 제거하는 방법
- 기계 학습 알고리즘을 적용하는 경우 예측/상태기반 유지보전과 선행 예방 보전 모두를 사용할 수 있으며, 디지털 트윈이 단순한 시스템 가시화에 그치지 않고 운전 최적화에 활용될 수 있는 원천 기술에 해당함

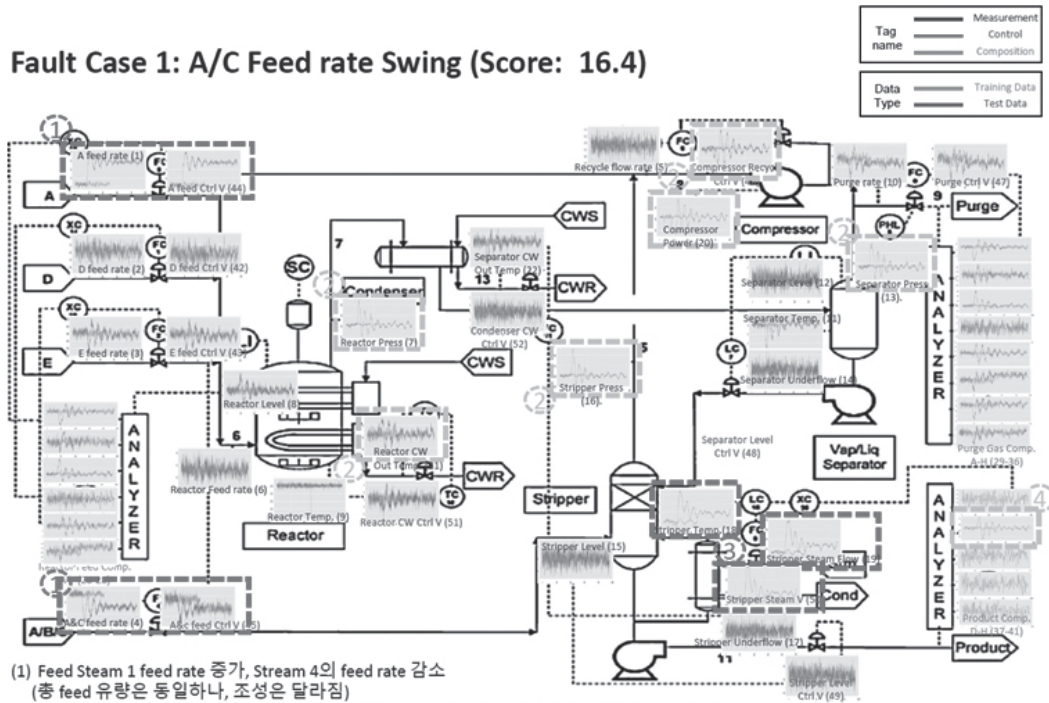
※ 데이터 분석을 위한 다양한 기계 학습 알고리즘이 있음. Support Vector Machine은 여러 데이터 포인트들을 분류하는 경계면을 찾는 방법론으로 학습된 영역 밖으로 데이터가 벗어나면 이상 상황으로 감지함. Nearest Neighbor는 학습된 데이터 집합으로부터 거리를 이용해 이상 상황을 판단하며, Clustering은 비슷한 데이터 묶음으로 군집을 형성하여 거리 및 조밀도에 기반하여 정상 군집과 이상 군집을 구분함. Neural Network는 인공 신경망이라고도 부르며, 다수의 레이어를 원하는 개수의 노드로 구성하여 입력된 활성화 함수를 이용해 이상 상황을 감지함. Reinforcement Learning은 강화 학습으로 불리며, 1회 학습 결과값을 고정해 이용하지 않고 지속해서 들어오는 입력값을 받아서 정상 상태를 직접 정의하고, 이를 기반으로 허용 범위를 벗어나는 구간을 파악 [1]

(출처 : Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville, Deep Learning, 2016)

- 선박 에너지 시스템과 같이 많은 센서 데이터 입력을 받는 경우 데이터 분석에 과도한 시간이 소요될 수 있음. 데이터 입력값들을 이미지 데이터(signature matrix)로 변환하고, 시계열 분석을 통해 중요한 데이터를 감지해 행렬의 차원을 축소하는 것도 가능
- 시스템 정상 운전 데이터를 이용해서 모델을 학습한 후 비정상 운전 데이터를 테스트 데이터로 사용하여 이상 상황을 감지하고, 나아가 이상 상황을 수치화하는 할 수 있음. 이상 상황값(Anomaly score)을 계산하는 것으로, 값이 커지면 상황이 심각해지는 것을 의미함

- [그림 4]는 화학 공정에 다변수 기반 이상 감지 모델을 적용해 이상 상황값을 계산한 예를 보여주고 있음. [2] 공정에 공급되는 Feed 유량이 불안정해지는 경우이며, 반응기와 분리기, 컴프레서의 압력과 온도가 정상 범위에서 일시적으로 벗어났지만 공정 제어 알고리즘이 정상 작동하면서 안정화됨. 원하는 제품의 조성을 얻기위해 스트리퍼 온도가 상승했고, 얻어진 이상 상황값은 16.4 정도. 공정 제어기가 제대로 작동하고 제품 조성에도 이상이 없어서 이상 상황값이 그리 높지 않은 경우. 하지만, Feed 공급이 중단될 때는 장비 대부분에서 운전 데이터가 정상 범위를 벗어나면서 이상 상황값이 266.5까지 상승하게 됨
- 기계 학습 알고리즘과 공정 시뮬레이션 모델을 함께 사용하는 경우 발생할 수 있는 이상 상황을 예측하고, 이를 수치화하여 예측 유지 보수를 실행에 옮기는 전략을 수립할 수 있음

## Fault Case 1: A/C Feed rate Swing (Score: 16.4)



- (1) Feed Steam 1 feed rate 증가, Stream 4의 feed rate 감소  
(총 feed 유량은 동일하나, 조성은 달라짐)
- (2) Reactor, Separator, Compressor 압력 및 온도, Stream control fluctuation 발생하나 안정화 됨
- (3) Stripper의 경우 product의 조성을 맞추기 위해서 제어 온도 상승

(출처: "Statistical Process Monitoring Based on Dissimilarity of Process Data",  
AIChE Journal, Vol.48, pp1231-1240, 2002. Tennessee Eastman Process)

| 그림 4. 다변수 이상 감지 모델을 적용한 이상 상황값 계산 예 |



★ 기계학습 기법을 활용한 공정의 이상 감지는 화공 플랜트에서도 활발히 연구 중. LG화학은 LDPE(Low Density Polyethylene) 공정의 이상을 사전에 감지하기위해 기계학습 알고리즘을 적용했음. 안전성과 생산성 극대화를 위해 화학 공정의 예상치 못한 이상을 감지하고 예방하는 것이 중요한데, LDPE 공정은 3,000kg/cm<sup>2</sup>g 이상까지 승압되는 고압 공정이어서 긴급 생산 중단 상황이 발생하면 보수 기간 증가와 생산성 손실이 발생함. 고압 공정의 주요 변수들의 운전 데이터를 수집하고, 비지도학습 기계학습 기술을 활용하여 긴급 생산 중단의 사전 감지 모형을 개발하였음. 4회의 긴급 생산 중단을 2.4일 전에 감지하는 결과를 얻을 수 있었음. 더불어 물리적으로 의미 있는 핵심 변수들을 활용하면, 고압 설비의 수명을 예측할 수 있음을 확인하였음. 지속적인 기술 개발을 통해 능동 감시 시스템으로 자리 잡을 것으로 기대됨

(출처: “머신러닝 기법을 활용한 LDPE 공정의 이상 감지”, Korean Chem. Eng. Res., Vol.58, pp224-229, 2020)

★ 유럽 국가들의 연구 개발과제 중 하나인 “HORIZON” 프로젝트에서는 선박 디지털 트윈 개발 과제를 2021년 1월부터 2023년 12까지 지원할 예정. 프로젝트 명칭은 “Enabling Maritime Digitalization by Extreme-scale Analytics, AI and Digital Twins”이며, 프로젝트에서 다루는 주요 주제는 1) global vessels traffic monitoring and management, 2) globally optimal ship energy system design, 3) short-sea autonomous shipping, 4) global fleet intelligence. 이 프로젝트를 통해 “VesselAI”를 개발하고자 하며, VesselAI의 주요 기능은 선박 성능의 모델링과 예측을 향상시킬 수 있는 프레임워크. 다양한 동적 상황에서 선박 및 선단의 행동을 정확히 모델링하고 운항을 최적화하는 것을 목표로 함. 이를 위해 선박으로부터 생산되는 많은 양의 데이터를 처리할 수 있는 AI, 기계 학습 알고리즘과 클라우드 계산 등을 핵심 기술로 개발할 예정

## 3. 환경규제에 따른 선박 공정 시스템의 변화와 기술 개발 동향

### // 탄소배출 규제와 저탄소 및 무탄소 연료의 등장

★ 국제 해사기구(IMO)의 탄소배출규제가 강화되면서 선박 연료 수요가 크게 바뀌고 있음. LNG와 LPG 등 저탄소 연료 사용이 증가할 것으로 예상되고, 장기적으로는 암모니아와 수소 등 무탄소 연료를 사용하게 될 것으로 예상됨. 지금까지 HFO, MGO 등 액체 연료를 사용하는 선박 에너지 시스템은 극저온 저장 탱크를 사용하는 에너지 시스템으로 전환될 것이며, 스마트 선박으로 발전하기 위한 공정 시스템 디지털 트윈 기술이 적용될 것으로 예상됨

- Shell과 Deloitte의 시장 조사에서 많은 기업들은 탈탄소 기술을 향후 핵심 기술로 인식하고 있는 것으로 나타났으며, 머스크는 2050년까지 net-zero carbon에 도달하기 위해 carbon-neutral 선박을 2030년부터 운항한다고 발표함 [3]

(출처 : Shell. Decarbonising Shipping : Setting Shell's Course; Shell : The Hague, The Netherlands, 2020)

- 하지만, carbon-neutral 선박에 도달하기 위한 기술 경로(technical pathway)는 단순하게 결론을 내리기 어려움. Shell이 제시한 시나리오는 다양한 연료가 시장에서 사용되는 "poly-fuel scenario"이며, 먼저 LNG 연료의 확대와 탄소 재순환 기술의 적용이 이루어지고, 기술의 성숙도에 따라 암모니아 또는 수소 사용이 증가할 것으로 예측함. 이 부분은 일본의 "Roadmap to Zero Emission from International Shipping"에서도 제시됨

※ 수소와 암모니아가 무탄소 연료로서 중요하지만, 에너지 시스템을 구성하기 위한 저장, 운송, 안전, 독성, 비용 등은 여전히 다양한 기술적 제약으로 나타남. 바이오 연료는 신재생 에너지로부터 생산되는 수소에 비해 경쟁력을 가지지만, 지속성과 가용성 분야에서 한계를 보이므로 일정 기간이 지나면 비용 상승을 피할수 없을 것으로 예상됨. 비용 측면에서는 CCS 기술과 연계된 천연가스 기반 수소/암모니아와 신재생 에너지를 이용한 수소/암모니아가 경쟁력을 확보할 것으로 예상됨 [4]

(출처 : "Techno-Economic Assessment of Zero-Carbon Fuels", Lloyd's Register, London, UK, 2020)

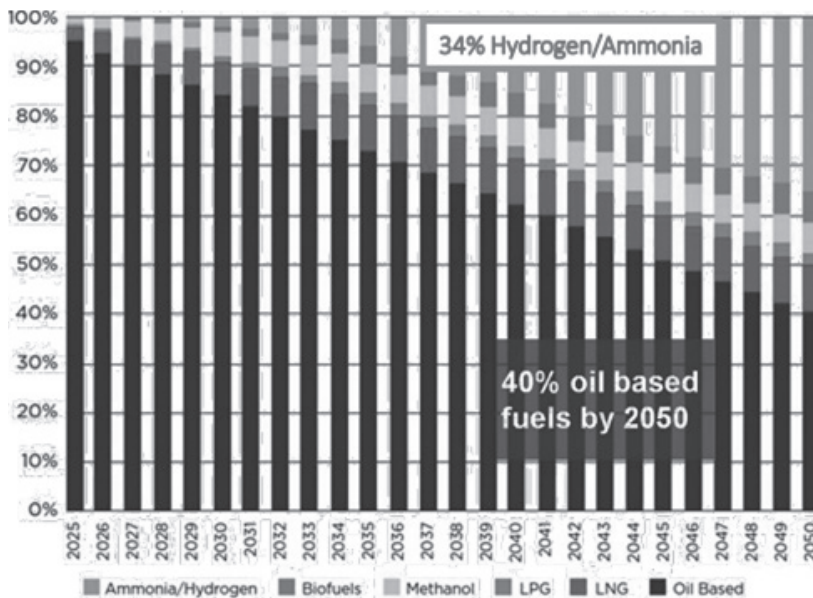
※ 암모니아와 수소의 연료 물성을 아래의 표에 정리함. 수소는 매우 낮은 점화 온도를 가지고 있어 제어가 어려울 수 있고, 수소와 공기를 혼합해 연소할 경우 높은 연소 온도로 인해 NOx 배출이 많아질 수 있음. 수소의 높은 자동점화 온도는 spark-ignition 엔진에 적합하고, compression-ignition 엔진에 적용이 어려움. 선박은 compression-ignition 엔진을 주로 사용하기 때문에, 수소를 secondary fuel로 사용하는 것이 유리할 수 있음. 암모니아는 높은 octane rating을 가지고 있어 디젤 엔진에 적합하며, 높은 점화 온도를 가지고 있음. 암모니아의 단점은 energy content가 탄화수소 계열 연료에 비해 낮다는 것이지만, 연소 효율이 좋아 적은 양의 공기로 더 많은 암모니아를 연소 시키는 것이 가능함. 최소 발화 에너지가 높고, 화염 속도가 느린 단점을 극복해야 함 [5,6]

(출처 : White, C.M.; Steeper, R.R.; Lutz, A.E. The hydrogen-fueled internal combustion engine : A technical review. Int. J. Hydrogen Energy 2006, 31, 1292-1305. Mørch, C.; Bjerre, A.; Gøttrup, M.; Sorenson, S.; Schramm, J. Ammonia/hydrogen mixtures in an SI-engine : Engine performance and analysis of a proposed fuel system. Fuel 2011, 90, 854-864)

| 표 1. 암모니아와 수소의 연료 물성 |

	Unit	Ammonia	Hydrogen
Lower heating value	MJ/kg	18.8	120.0
Flamability limits, gas in air	vol. %	15-28	4.7-75
Laminar flame speed	m/s	0.015	3.51
Autoignition temperature	℃	651	571
Absolute min. ignition energy	mJ	8.0	0.018
Octane rating, RON	-	> 130	> 100
Density, 25℃, 1atm	g/L	0.703	0.082

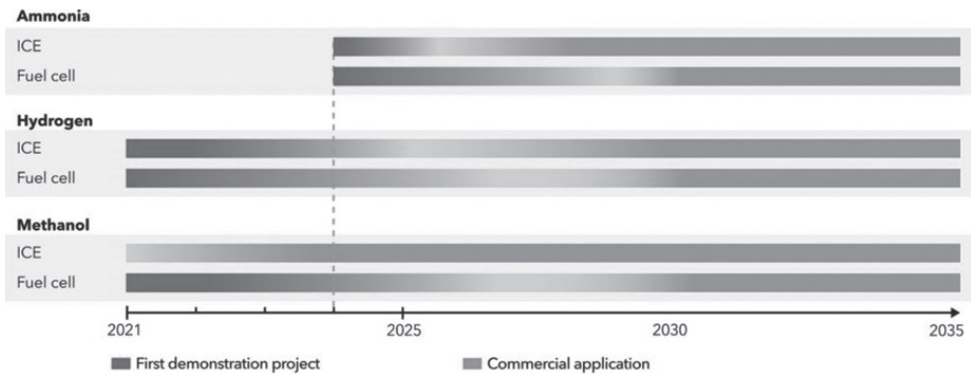
★ [그림 5]는 IMO와 ABS社의 선박 연료 시장 에너지 믹스 예측을 나타냄. 2050년까지 40%는 LNG를 포함한 기존 연료를 사용하고, 34%가 수소 또는 암모니아일 것으로 예측됨. DNV-GL社의 통계에 의하면 2021년 기준 전체 선박의 99.5%는 HFO, MGO 등의 전통 연료를 사용하고 있으며, 0.5%의 선박이 LNG를 포함한 대체 연료를 사용하고 있음. 2021년 발주된 계약을 살펴보면 88.16%는 전통 연료를 사용하고, 11.84%의 선박이 대체 연료를 사용함. LNG가 6.1%로 가장 높고, 배터리 3.85%, LPG 1.51%, 메탄올 0.30%이며, 암모니아와 수소는 각각 0.02%, 0.06% 수준에 머물고 있음. 선박 연료 시장은 환경 규제 계획과 개발 기술의 경제성에 따라 지속적으로 변화가 일어날 것임



(출처 : IMO, ABS)

| 그림 5. 선박 연료 시장의 에너지 믹스 |

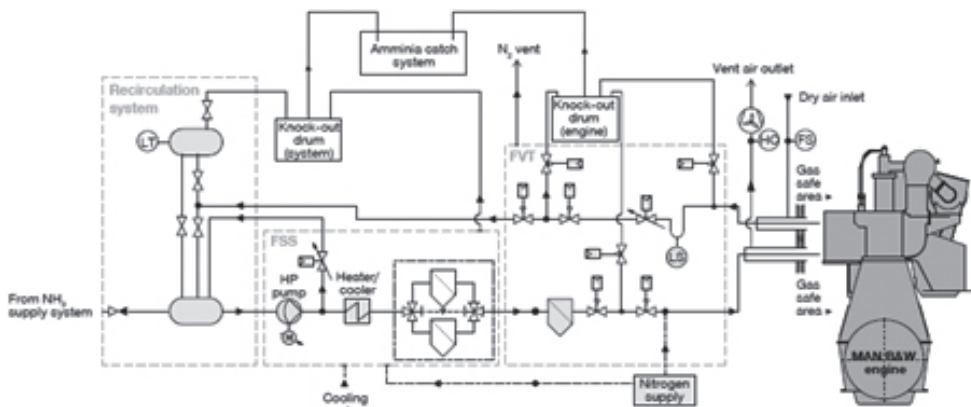
★ [그림 6]은 2019년 DNV-GL 社에서 예측한 암모니아와 수소, 메탄올의 시장 진입 가능성과 예상 시점을 나타냄. 메탄올-엔진 조합은 이미 시장에 진입하고 있으며, 암모니아-엔진의 경우 2025년 이후 시장에 진입할 것으로 예상됨. 수소-연료전지는 2030년 이후 시장에 진입할 수 있을 것으로 예상됨. 전통 연료와 비교하여 대체 연료의 시장 진입은 에너지 시스템의 신뢰성과 효율에 따라 달라질 것으로 예상됨 [7]



(출처 : DNV-GL, Maritime Forecast to 2050, 2021)

| 그림 6. 선박 대체 연료 기술의 시장 진입 타임라인 |

★ [그림 7]은 MAN 社에서 제안한 2행정 엔진과 암모니아 연료공급 시스템을 나타냄. 암모니아 연료 탱크의 저장 압력은 18bar로 LPG와 유사하지만, 부식 방지를 위해 6% 이하의 니켈 합금을 사용해야 하고 구리는 사용할 수 없음. 엔진에 공급되지 않은 recirculating 암모니아는 sealing oil 오염 우려가 있어 따로 저장해야 하며, HP Pump를 통해 엔진 공급 조건을 맞춰주어야 함. 새롭게 제안되는 해양 공정 시스템의 성능을 검증할 수 있는 유체 물성 데이터베이스 구축과 운전 조건을 최적화할 수가 있는 디지털 트윈 기술개발이 필요함 [8]



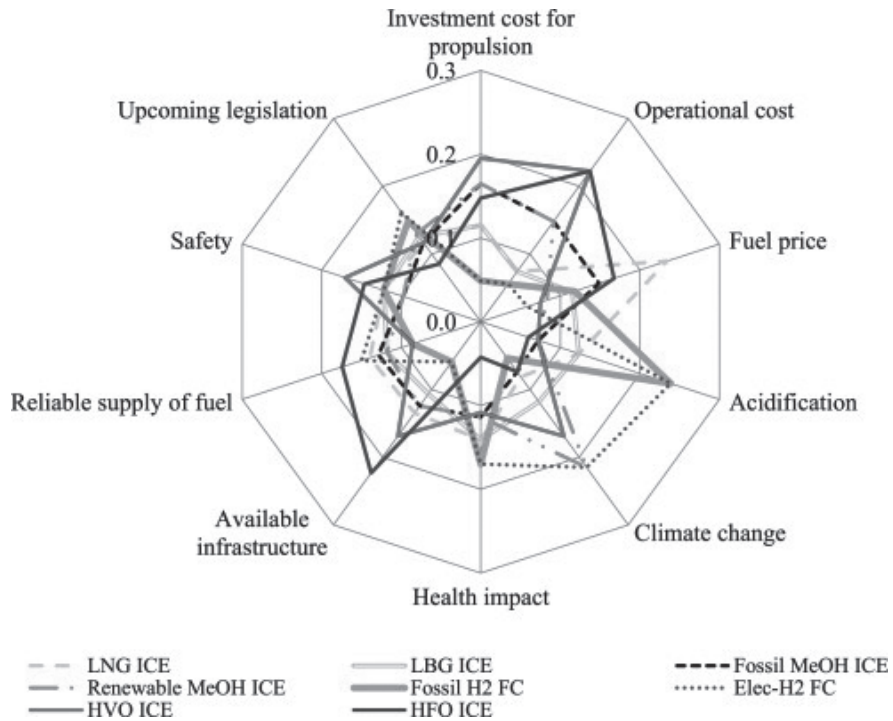
(출처 : MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia. MAN ES, 2020)

| 그림 7. MAN 2행정 엔진과 암모니아 연료 공급 시스템 개념도 |

## 연료전지 기반 에너지 시스템

★ 선박 무탄소 연료로 수소를 사용하기 위해서는 연료전지와 함께 사용하는 것이 유리할 것으로 예상됨. [그림 8]은 선박 연료에 따른 다양한 성능을 비교한 것. LNG는 연료 비용이 적게 드는 장점이 있고, HFO는 인프라와 연료 공급 측면에서 유리함. 수소는 친환경 연료답게 산성화 및 기후 변화 효과에서 우수함을 보여주고 있지만, 연료 비용과 인프라 측면에서 단점이 지적되고 있음 [9]

- 현재 수소 생산을 위한 많은 프로젝트가 진행되고 있지만, 대규모 수소 생산, 운송, 인프라 및 공급 네트워크가 구축되지 못한 점은 단기간에 수소를 사용하기 위한 최대 장애 요인으로 꼽히고 있음



(출처 : "Alternative marine fuels: Prospects based on multi-criteria decision analysis involving Swedish stakeholders", Biomass and Bioenergy, Vol.126, 2019, pp159-173)

| 그림 8. 선박 연료 성능 비교 |

★ 선박을 위한 수소-연료전지 시스템은 아직 연구 단계. [그림 9]는 TECO社에서 제안하고 있는 연료 전지 및 수소 공급 개념도로 모듈 설계를 통해 400kW에서 24MW까지 고분자막(PEM) 연료전지를 공급할 수 있고, 2025년 무렵 가격 경쟁력을 가질 수 있을 것이라 주장함. 수소 공급을 위해서는 압축 수소, 액화 수소, 메탈 하이드라이드, 암모니아 시스템이 모두 가능하나 선종, 운항 루트, 운항 시나리오 등에 따라 경제성 평가를 통해 적용 시스템과 사양 결정 필요

- 대양 항해 선박 적용을 위해서는 높은 저장 효율을 가지는 액화 수소 탱크가 적절하지만, -250℃의 낮은 저장 온도와 70kg/m<sup>3</sup>의 낮은 밀도(LNG의 1/6 수준), 증발 가스 처리 및 대형화 등에 대한 기술적 어려움을 해결해야 함
- LNG, LPG 등 저탄소 연료는 이미 시장에 진입하고 있으며, 암모니아는 기존 에너지 시스템에 기반한 연구 개발을 통해 빠른 시장 진입이 가능할 것으로 사료됨. 수소-연료전지는 선박 에너지 시스템으로 연구 개발이 부족한 상태이며, 단계별로 오랫동안 연구 결과를 축적해 시장 진입 가능 기술을 확보해 나가야 할 것으로 생각됨



(출처 : TECO 2030, Its all about moving mountains together, 2021)

| 그림 9. 수소-연료전지 시스템 개념도 |

## 4. 맺음말

- ★ 스마트 선박을 위한 디지털 트윈 기술은 에너지 시스템에도 적용 시도되고 있으며, 단순한 3D 가시화 및 데이터 모니터링 단계를 넘어 연료 소모량 최소화 및 에너지 시스템 고효율 운전, 예측 유지 보수를 위한 전략 수립이 가능해야 함. 이를 위해서는 선박 및 해양플랜트 에너지 시스템의 공정 디지털 트윈을 구축하고, 다양한 기계 학습 알고리즘을 적용한 차세대 운영 시스템 개발이 필요함
- ★ IMO의 환경 규제에 대응하기 위해 저탄소 및 무탄소 연료 추진 선박 구현에 필요한 에너지 시스템의 구성과 성능에 대한 기술개발이 진행 중. 연구 개발 단계에서 디지털 트윈을 포함한 스마트 기술을 적용함으로써 시장 진입이 보다 용이하며 우리 조선해양 산업이 지속 성장할 수 있는 하나의 핵심 테마가 될 것으로 판단됨
- ★ 현재 시장 규모가 빠르게 성장하고 있는 LNG를 포함한 저탄소 가스 선박에 대한 디지털 트윈 원천 기술을 확보하고, 여기서 얻어진 경험과 후속 연구개발 투자로 암모니아와 수소 등 무탄소 연료 선박에 대한 디지털 트윈 기술을 선점할 수 있을 것으로 기대됨
- ★ 상기한 디지털 트윈 기술은 해외 주요 기자재 업체, 엔지니어링사 등에서 개발 및 적용을 시도하고 있음. 선박과 해양플랜트를 설계하고 건조하는 우리 조선사들은 설계와 생산을 위한 모든 정보와 기자재 정보를 취급하고 있기에 통합화된 디지털 트윈 기술을 개발하고 적용하는데 우위를 가질 수 있으며 선사 및 운용사 대상으로 서비스할 수 있는 기술을 지속 개발함으로써 인도 후 운용 과정에서의 새로운 서비스 사업화를 위하여 적극적인 기술개발 투자가 필요함. 또한, 해양플랜트 기술 자립도를 높이기 위한 기술개발도 지속적으로 추진 필요함

## [참고문헌]

1. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville Deep Learning, 2016.
2. "Statistical Process Monitoring Based on Dissimilarity of Process Data", AIChE Journal, Vol.48, pp1231-1240, 2002.
3. "Decarbonising Shipping: Setting Shell's Course", Shell, 2020.
4. "Techno-Economic Assessment of Zero-Carbon Fuels", Lloyd's Register, London, UK, 2020.
5. White, C.M.; Steeper, R.R.; Lutz, A.E. "The hydrogen-fueled internal combustion engine: A technical review", Int. J. Hydrogen Energy, Vol.31, pp1292-1305, 2006.
6. Mørch, C.; Bjerre, A.; Gøttrup, M.; Sorenson, S.; Schramm, J. "Ammonia / hydrogen mixtures in an SI-engine: Engine performance and analysis of a proposed fuel system", Fuel, Vol.90, pp854-864, 2011.
7. DNV-GL, Maritime Forecast to 2050, 2021.
8. MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia. MAN ES, 2020.
9. "Alternative marine fuels: Prospects based on multi-criteria decision analysis involving Swedish stakeholders", Biomass and Bioenergy, Vol.126, pp159-173, 2019.

## [국내외 주요 기술개발 현황] 사례

연구기관명	프로젝트명	개요	연구기간
랩오투원	<ul style="list-style-type: none"> <li>자율운항선박 에너지 통합 관제시스템 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>자율운항 체계 내 선박 에너지 지표 관리 프로그램 개발</li> <li>선박 에너지 시스템 성능 진단 및 소모량 예측 관리 프로그램 개발</li> </ul>	2021.04 - 2025.12
National Technical University of Athens (NTUA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enabling Maritime Digitalization by Extreme-Scale Analytics, AI and Digital Twins</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>VesselsAI 라는 선박 디지털 트윈 프레임 워크 개발</li> <li>다양한 동적 상황에서 선박 및 선단의 성능을 정확히 모델링하고 운항 성능을 최적화 할 수 있는 알고리즘 개발</li> </ul>	2021.01 - 2023.12



# 디지털엔지니어링 설계기술과 탄소저감

| 저자 | 김돈정 지식서비스PD / KEIT  
문두환 교수 / 고려대학교  
윤형준 교수 / 연세대학교

## SUMMARY

### /// 디지털엔지니어링 설계 및 탄소저감

- ★ 설계 엔지니어링 영역은 사업비 규모의 5~25% 수준이나, 전체 프로젝트 원가와 최종 결과물의 품질에 결정적인 역할
- ★ 탄소저감 공정모델 기반 친환경 설계방법론 개발, 디지털 엔지니어링 설계 기술 개발, 및 탄소저감 실증을 위한 공정개선 기술 내재화를 통한 중소 엔지니어링 기술경쟁력 제고가 요구됨

### /// 시장 및 기술현황

- ★ 국내 및 글로벌 엔지니어링 시장은 꾸준히 성장하고 있으며, 탄소시장 규모도 '20년 기준 약 309조 원으로 '17년보다 5배 이상 급격히 성장 중
- ★ 해외 선진기업들은 빅데이터, AI 등 4차 산업혁명 지능정보기술을 융합한 디지털 엔지니어링 기술개발에 집중 투자

### /// 정책제안

- ★ 국내 디지털엔지니어링 구현을 위해 AI를 활용 정형/비정형 도면, 설계 문서 등을 자동 인식, 디지털화하고 최적 경로를 자동으로 추출하는 기술 필요
- ★ 탄소 다배출 공정에 디지털 엔지니어링 기술을 직접 적용하여 탄소 다 배출 기업들을 탄소배출 저감 기업으로 체질개선·전환할 수 있는 탄소저감 기술 필요

## 1. INTRO

### // 디지털 엔지니어링 설계의 필요성

★ 기획·설계 엔지니어링 영역은 사업비 규모의 5~25% 수준이나, 전체 프로젝트 원가와 최종 결과물의 품질에 결정적인 역할

| 표 1. 기획·설계 엔지니어링 영역의 사업비 규모 비교 |

분야	건설·설비·환경·자원	정보통신	플랜트
비중	5~10%	15~20%	15~25%

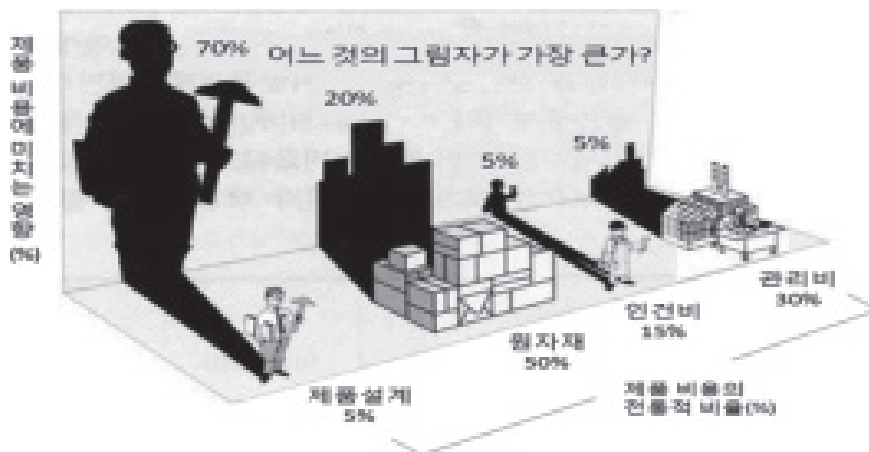
★ 기획·설계 등 전방가치사슬 영역에서의 결정은 구매·조달, 시공 등 후방가치사슬에 절대적 영향

※ 입지 조성, 용량 및 최적 모델 산출, 설비 배치, 공정도 등 설계 → 프로젝트 발주금액과 기자재 사양 등을 결정하는 핵심영역(기자재 국산화에 영향)

- 설계 결함은 상세설계의 잦은 변경, 사업 기간 연장 등을 가져와 프로젝트 손실의 약 30%를 발생시키는 주요 요인

※ (사례1) 대형댐 계통 3단계 광역상수도 건설사업 4공구 공사(발주금 664억 원) → 6차례 설계변경 → 사업비 110억 원 증가

※ (사례2) 송가 프로젝트(반잠수식 시추선 4척, 2조 4,000억 원) 수주 → 발주처 요구로 유럽업체에 설계 위탁 → 110회 설계변경 → 적당 평균 10개월 인도 지연 → 약 1조 원 손실

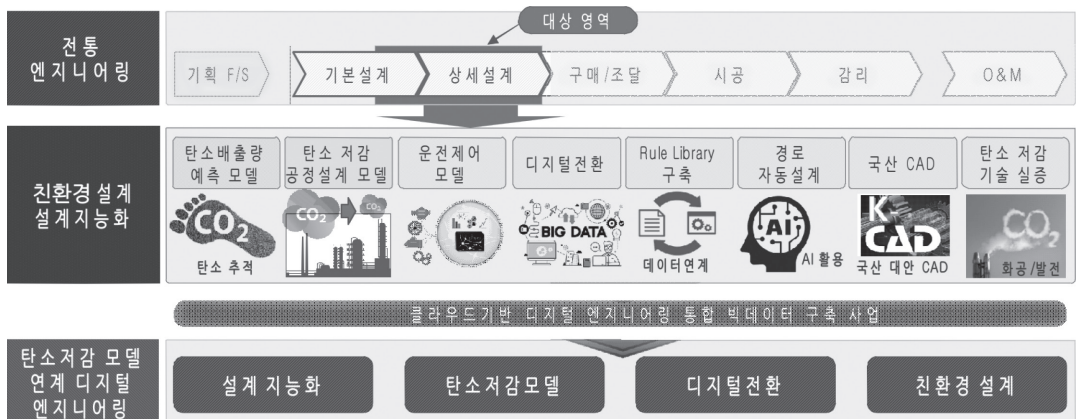


(출처 : KISTI)

| 그림 1. (사례) 제품개발 비용에 미치는 영향 요소 |

## // 디지털엔지니어링 설계 기술과 탄소저감

- ★ (대상 엔지니어링 영역) 엔지니어링 영역은 기획, 설계, 시공, O&M의 전 주기를 포괄하고 있으나, 탄소저감을 위한 다양한 정부 지원 및 산업체의 노력과 이를 지원하기 위한 기본설계 및 상세설계 단계의 엔지니어링 기술을 대상으로 함
- ★ (디지털 엔지니어링 기술 분야) 설계 단계에서 적용 가능한 탄소저감 지원 디지털 엔지니어링 기술을 개발(탄소 저감 공정 설계, 탄소 모니터링, 탄소 배출량 예측, 탄소 배출량 제어 등)
  - 탄소저감 설계를 자동화하고 분석/예측/제어에 필요한 전용화된 디지털화, 빅데이터, AI, 디지털트윈 기술의 병행 개발 필요(디지털전환, 라이브러리, 경로설계 등)
- ★ (디지털엔지니어링 기반 탄소저감 기술 목표) 탄소저감 공정모델 기반 친환경 설계방법론 개발, 디지털 엔지니어링 설계 기술 개발, 및 탄소저감 실증을 위한 공정개선 기술 내재화를 통한 중소 엔지니어링 기술경쟁력 제고



| 그림 2. 전통 엔지니어링 vs 탄소저감모델 연계 디지털 엔지니어링 설계 |

### 용어 설명

- (디지털 엔지니어링 설계) AI 기술을 적용하여 엔지니어링 중요설계업무 프로세스를 사람이 아닌 프로그램으로 처리하는 방법 혹은 프로그램으로 자동화하는 방법
- (탄소저감) 온실가스 배출을 최대한 줄이고, 남은 온실가스는 흡수, 제거(CCUS)해서 실질적인 배출량이 Zero가 되는 탄소중립의 가장 핵심적인 부분으로 탄소 다배출 업종에 직접 적용하여 공정 효율화하고 에너지를 절감하여 직접 배출되는 탄소(Scope 1)와 간접 배출되는 탄소(Scope 2, 3)를 줄이는 것

## 2. 시장현황

/// [글로벌 엔지니어링 시장규모] '19년 기준 1,645억 달러 수준이며, 연평균 3.9% 성장

★ (해외 엔지니어링 시장규모) '18년도 719억 달러에서 '19년도 723억 달러로 0.6% 소폭 증가

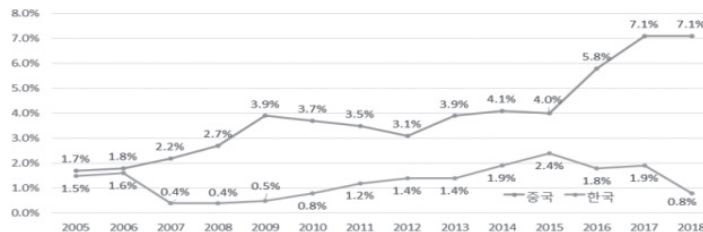
| 표 2. 세계 엔지니어링 시장 규모 |

(단위 : 억 달러)

구분	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	CAGR
Global 시장규모	1,170	1,305	1,421	1,439	1,443	1,362	1,434	1,441	1,558	1,645	3.9%
Domestic 시장	594	652	704	723	735	708	793	795	839	922	5.0%
Int'l 시장	576	653	717	716	708	654	641	646	719	723	2.5%

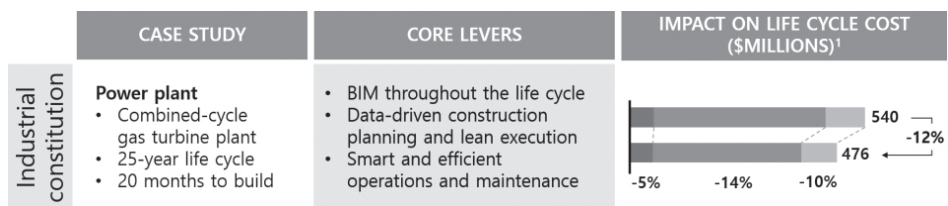
(출처 : ENR誌 각 년 호)

★ 2010년대 이후 중국 등 후발국과 레드오션(상세설계, 시공)에서 경쟁하면서, 국내기업의 세계시장 점유율은 매년 감소 추세



| 그림 3. 한·중엔지니어링 세계시장 점유율 추이 |

★ BCG(Boston Consulting Group)에 따르면, 건설과 플랜트 엔지니어링산업의 디지털 전환에 따른 비용 절감은 54억 달러에서 47억 달러로 약 12% 감소 추정



(출처 : BCG, Digital in Engineering and Construction)

| 그림 4. 엔지니어링 디지털 전환에 의한 연간 비용 경감 규모 |

/// [국내 엔지니어링 시장] '20년 기준 수주실적은 8.4조 원으로 전년 대비 3.2% 증가하였으며, 대부분 영세 기업으로 수주 경쟁 과열

| 표 3. 최근 5년간 국내 엔지니어링 시장 현황 |

(단위: 조 원)

구분		'14	'15	'16	'17	'18	'19
수주실적	국내수주	5.9	5.7	6.9	5.9	6.4	7.4
	해외수주	1.3	0.4	0.3	0.6	1.1	0.8
	합계	7.2	6.1	7.2	6.5	7.5	8.2

(출처: 한국엔지니어링협회 신고자료)

★(수주 경쟁 심화) '20년 기준 수주실적은 8.4조 원(53천 건)으로 전년 대비 3.2% 증가하였으나, 정부 SOC 예산 및 공공부문 발주 감소로 국내시장에서의 과다 경쟁 양상

※ 정부 SOC 예산(조 원): ('14) 23.7 → ('15) 26.1 → ('16) 23.7 → ('17) 22.1 → ('18) 19 → ('19) 19.8

★(영세한 규모) 엔지니어링 산업은 대부분 영세한 중소기업(94.5%)이며, 건설(54.6%)과 정보통신(15.5%)부문이 70% 이상을 차지('18년 기준)

| 표 4. 엔지니어링 업체 매출액 및 영업이익률 |

구분		엔지니어링 전업사		엔지니어링 서비스기업		E&C 기업		전산업	
		'18	'17	'18	'17	'18	'17	'18	'17
전체 기업	매출액증가율 (전년대비, %)	1.37	3.76	-2.41	-5.06	0.25	6.80	3.99	9.19
	영업이익률 (매출액비, %)	3.98	5.07	4.36	4.46	6.62	5.55	5.64	6.11
20대 기업	매출액증가율 (전년대비, %)	0.85	-0.74	-5.52	-11.28	6.74	-0.28	N/A	N/A
	영업이익률 (매출액비, %)	2.54	3.72	4.69	3.96	5.75	6.94	N/A	N/A

(출처: Engineering Insight)

★ 매출 성장은 정체, 일부 대기업이 매출과 영업이익의 대부분을 차지하고 있어 중소·중견기업의 지속성장을 지원하기 위한 정부의 R&D 지원 필요

※ 국내 엔지니어링 전문기업은 대부분 KSIC72121(건물 및 토목 엔지니어링 서비스업) 또는 KSIC72129(기타엔지니어링 서비스업)으로 분류

- '건물 및 토목 엔지니어링 서비스업'의 경우 매출 성장은 정체 중인 반면, 대기업이 시장의 56.2%, 영업이익의 97%를 차지하는 등 불균형이 심각

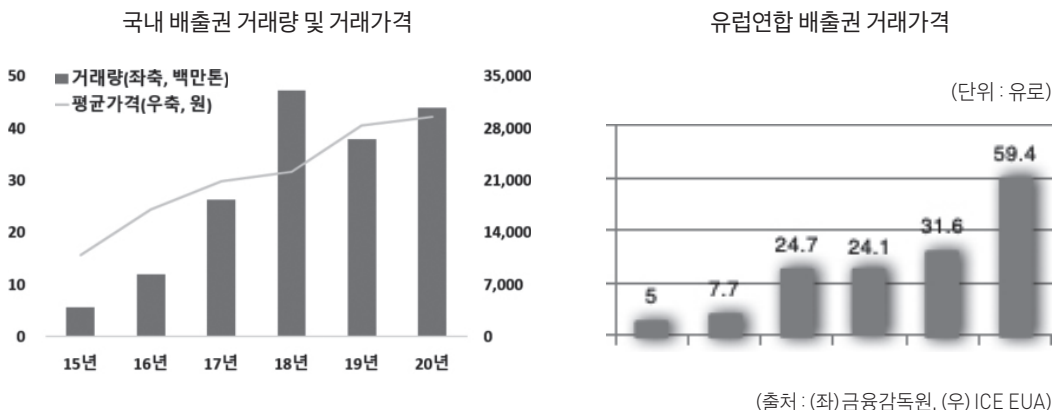
## ▣ [탄소 시장] '20년 기준 시장규모는 약 309조 원(2,790달러)으로 '17년보다 5배 성장하였으며, 특히 유럽 탄소 배출권 가격 급등세가 지속

★ (유럽연합 탄소 시장) 탄소배출권인 EUA(EU Emissions Allowances)의 거래가격은 59.4유로('21.9)로 '17년 5.0유로 대비 약 12배 상승

- 주요국의 탄소거래제(ETS, Emission Trading System) 확대 및 배출권 가격 안정화 정책 등으로 인해 시장규모는 더욱 커질 것으로 예상

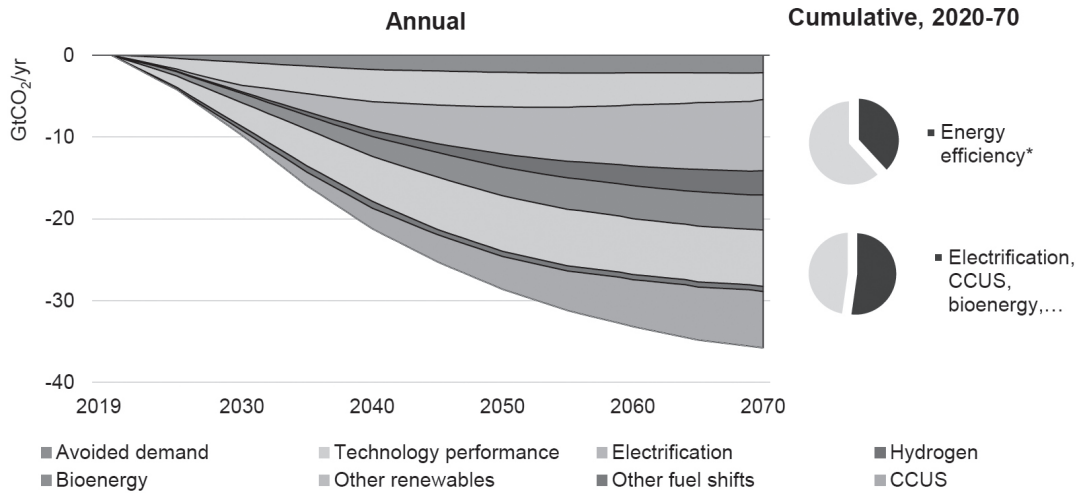
★ (국내 탄소 시장) 유럽연합(EU)에 이어 세계 2위 규모로 급성장

- '20년 배출권 시장 규모는 43.9백만 톤이 거래되어 '15년 대비 7.7배 증가하였고, 배출권 '20년 평균 가격은 t당 2.9만원으로 '15년 대비 2.6배 오름



| 그림 5. 국내의 배출권 거래 현황 |

★ 국제에너지기구(IEA) 자료에 따르면 탄소중립을 달성하기 위해 공정개선, 재생에너지, 풍력·태양광 발전, 탄소포집(CCUS) 등 다양한 기술개발 및 접근이 필요



IEA 2020. All rights reserved.

| 그림 6. 2070년 탄소중립 시나리오에 따른 에너지분야의 탄소저감량 예측 |

## 3. 기술동향

### 4차 산업혁명 시대로 진입하면서 해외 선진기업들은 빅데이터, AI 등 4차 산업혁명 지능정보기술을 융합한 디지털 엔지니어링 기술개발에 집중 투자

- ★ 글로벌 전문기업은 단계별 소프트웨어(CAD·CAM·CAE)에서 3D 통합솔루션 개발과 M&A를 통해 기술경쟁력 제고와 세계시장 지배력 제고
  - Autocad, ZWCAD, GstarCAD, BricsCAD 등의 전통 2D기반의 설계 소프트웨어도 경쟁력을 갖추기 위한 3D 설계 기능이 보강된 통합솔루션 추진 중
- ★ 글로벌 선진기업들은 4차 산업혁명 신기술과 엔지니어링 기술의 접목을 통한 새로운 엔지니어링 서비스 개발 시행
  - 해외 FLUOR(미), JGC(일) 등 주요 EPC 기업에서는 AI 및 디지털트윈 기술을 활용하여 설계의 생산성 향상과 과감한 프로젝트 스케줄 단축을 시도 중
- ★ 국내의 경우, 설계 데이터, 지식, 경험의 지식 자산화를 통한 지능형 설계 지원기술 필요성을 인지하기 시작하였으며, 기업 간 R&D 협업 생태계 조성의 필요성 대두
  - 외산 CAD로 인한 중소 엔지니어링사의 비용부담으로 대안 CAD 개발 요구가 높아지고, 산업데이터표준 기술을 활용 시 시스템간의 연동문제도 해결 가능

| 표 5. 엔지니어링 국가별 기술수준 비교 |

(단위 : %, 년)

구분	한국		미국		일본		유럽		중국	
	상대 수준	격차 기간	상대 수준	격차 기간	상대 수준	격차 기간	상대 수준	격차 기간	상대 수준	격차 기간
(2019년) 엔지니어링	78.2	1.9	100	0.0	88.4	1.2	92.4	0.8	68.4	2.8
(2017년) 엔지니어링	80.3	2.2	100	0.0	92.5	0.8	95.6	0.4	71.1	3.0
(2015년) 엔지니어링	79.4	2.3	100	0.0	93.1	0.8	98.0	0.2	71.9	3.2
(2013년) 엔지니어링	76.6	2.4	100	0.0	91.7	1.0	93.4	0.8	67.0	3.8

(출처 : 2019년 산업기술수준조사)



★ 온실가스 다배출업종의 저탄소 전환, CCUS 기술 상용화 및 디지털 엔지니어링 실현을 통한 에너지 효율 개선 등의 저탄소 생태계 구축을 위한 투자 강화

- 기후 위기의 본격 대응을 위해 운영사의 요구를 반영하여, 글로벌 전문기업은 글로벌 新패러다임으로 대두되고 있는 탄소 저감을 고려한 설계 기술 도입 검토 중

### // 국외 주요 기술 개발 사례

★ (AutoDesk) 특정 분야에 국한되지 않고 전 산업에 사용되는 2D 중심의 오토캐드(AutoCAD)를 기반으로 엔지니어링 솔루션인 AutoCAD Plant 3D를 시장에 제공

- Plant 3D 툴셋기 기반 설계 자동화 및 P&ID, 3D 모델링, 배관문서화, 설계 검토 등의 기능을 통합적으로 지원하여 생산성을 최대 74%까지 높임

규칙/템플릿 활용 객속 3D 설계	플랜트/건축/토목 설계 통합	P&ID 데이터 검증
		

★ (HEXAGON) HEXAGON PPM은 화학, 철금속/광산, 조선해양, 전력 분야의 공정 설계 및 최적화, 2D/3D 설계, 및 설계 무결성 검증을 위한 통합 플랫폼 제공

- 설계 자동화 및 검증, 공정 해석, 구조·배관 해석, 자재/템플릿 라이브러리 제공
- 이탈리아 Eco Fox사는 바이오 연료 생산 플랜트의 확장 과정에서 CAESAR II, 및 CADWORX&ANALYSIS를 활용하여 공정 해석 최적화, 2D/3D 설계검사 수행

2D/3D 설계 검토	규칙 기반 설계 자동화	구조·배관해석
		

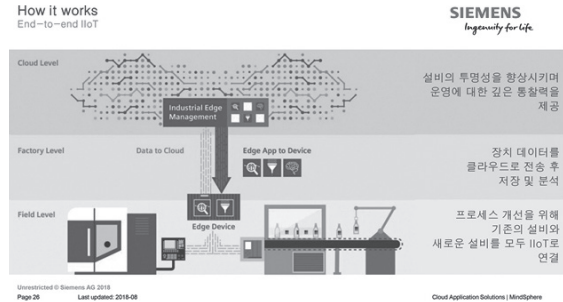
★ (Ansys·HyperWorks) 다분야 물리해석이 가능한 통합솔루션 개발로 제품 설계 주기를 최대 50%까지 단축

- Ansys는 최근 GE社와의 협업을 통해 운영·유지보수까지 소프트웨어 영역 확장

★ (Siemens) 제조 전반을 소프트웨어/로봇으로 제어하는 솔루션을 개발하여 설계 데이터만으로 자동생산이 가능한 자동화 시스템 개발·적용

- 설계도면(CAD) 파일을 바탕으로 약 120종의 다양한 제품을 자동으로 생산할 수 있는 PLM(Product lifecycle management) 시스템을 개발하여 테스트 중

- 기본설계와 엔지니어링 데이터들을 통합관리를 지원하는 시스템인 COMOS 개발



| 그림 7. Siemens사의 MindSphere |

★ (Schneider Electric) 플랜트의 공정 시뮬레이션, 운전 시뮬레이션 및 수학적 모델링을 동일한 플랫폼에 통합시킨 공정 및 배관설계 지원 시스템인 Sim Central 개발

- 정상상태, 유압, 다이내믹 거동 및 최적화 시뮬레이션을 동시수행하는 플랫폼 제공 및 반응기를 포함한 기기장치들의 디지털 트윈 모델링이 가능

★ (Aveva) 통합 엔지니어링 플랫폼에서 데이터 중심의 자동화된 워크플로우를 만들어 높은 정보 투명성을 제공하고 협업, 설계 단계 중 오류 최소화 서비스를 시작

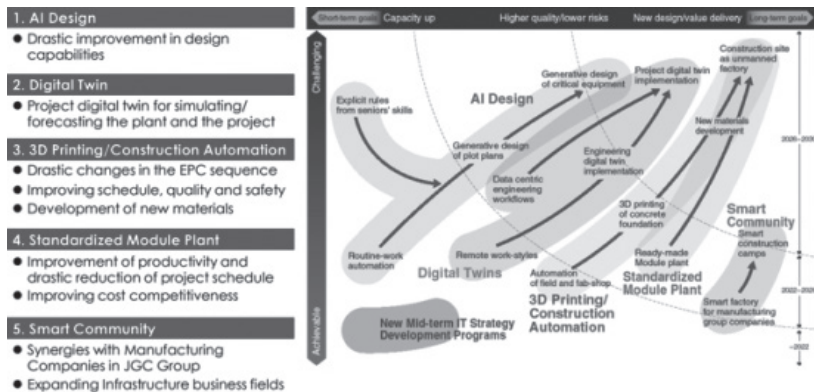
- 설계 단계서만 최대 50% 빠른 FEED설계속도, 30% 높은 효율성, 최소 5% TIC를 절감

★ (Aspen Technology) 경쟁관계인 Hyprotech사를 인수합병하여 엔지니어링 시뮬레이션 소프트웨어 시장의 경쟁력을 높였고,

- 3D 배관설계 자동화 SW인 Optiplant를 개발한 ASD사를 인수, 설계 분야에서 시뮬레이션 SW 통합 플랫폼 구현을 통해 전체 비용을 30% 절감하는 제품 출시

★ (JGC) 일본 엔지니어링 대표기업, AI Design, Digital Twin, 3D construction automation 등 스마트 엔지니어링 이노베이션 프로그램을 계획하고 기술개발 중

- 스마트 엔지니어링 고도화를 통한 설계 기간 1/3로 단축, 속도 x2를 목표로 제시



[ 그림 8. JGC 스마트 엔지니어링 고도화 비전 ]

## // 국내 주요 기술 개발 사례

★ (삼성엔지니어링) 전사 업무의 Digital Transformation을 추진하는 조직을 신설하여 각 분야별 업무 지원 Platform 구축을 목표로 진행 중

- 스캔한 공정 도면과 문서 등을 자동인식하여 설계 데이터로 활용하고 설계 전 공정의 작은 부분까지 데이터로 구축하는 설계 자동화 환경 구축 중

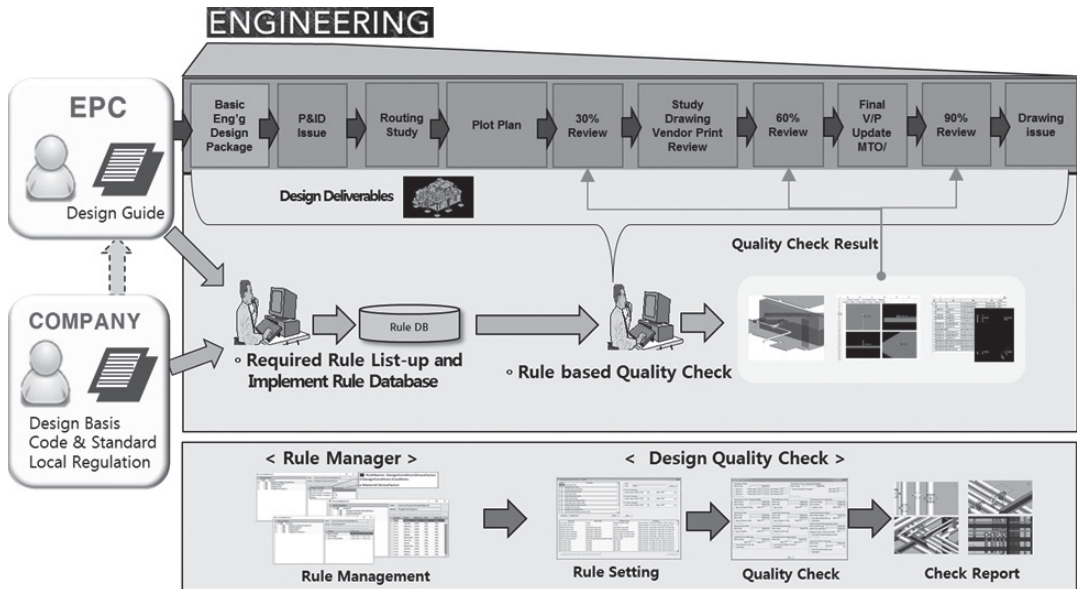
- '20년부터 시작하는 모든 Project에 AWP(Advanced Work Package)를 적용하고 있으며, 이와 관련된 전사 시스템 구축까지 완료

★ (DLI앤씨) 플랜트 BIM 도입을 통한 설계 디지털화와 표준원가 데이터 체계마련을 위해 다양한 기술을 도입하고 혁신 과제를 수행 중

- 3D 모델의 형상을 카탈로그로 데이터베이스화 하고, EPC의 각종 Data를 관리할 수 있도록 BIM Data 기반 엔지니어링 참조 데이터 체계 표준화 진행 중

- BIM 중심 데이터 체계를 구축하고, 다양한 설계 자동화 기술을 도입하고 있으며, 설계 마스터 데이터를 기반으로 BIM을 통한 4D, 5D Platform구축 진행 중

★ (대우건설) 설계 디지털화를 위해 Hexagon사의 분야별 소프트웨어들 간의 설계정보를 연계하는 시스템 구축을 기획하고 있으며 프로젝트 입찰문서인 ITB 문서들을 AI 기반 인식 기술(NLP)로 분석하여 프로젝트 업무에 활용하는 연구를 진행



[ 그림 9. 대우건설의 설계정보 연계 및 AI 기반 분석 시스템 개요도 ]

- ★ (현대엔지니어링) 탄소중립 친환경시대를 맞아 신재생에너지 생산시설의 기본설계 엔지니어링 역량 확보 및 관련 시장 진출을 추진 중
  - '21년 미국 '어반X 재생 디젤 정유공장'의 기본설계 사업을 OBCE(Open Book Cost Estimation) 방식으로 수주하여 탄소중립 엔지니어링 기술 개발 기반을 마련
- ★ (SK건설) 머닝러닝 기법의 AI 입찰안내서 종합분석시스템을 개발하여 입찰안내서 분석의 시간 절약 및 정확도 향상
- ★ (SK에코플랜트) 수소 가스터빈을 이용한 분산형 집단에너지 사업을 진행을 통해 친환경 수소 공급 기술 및 수소 터빈 열병합발전 플랜트 설계 기술 확보 추진 중
- ★ (도프텍) 엔지니어링 IT 솔루션 개발 전문 중소기업으로 DT 기술을 바탕으로 설계 및 공사분야의 스마트 설계 자동화 솔루션을 개발 진행
  - AI 기술을 활용한 도면 디지털화 제품을 개발하여 국내 엔지니어링사에 디지털 트랜스포메이션 서비스를 제공

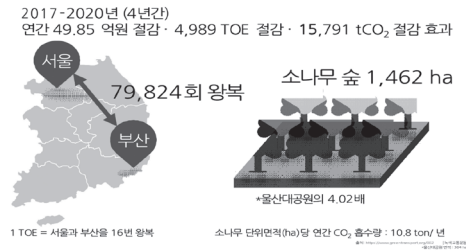
## 탄소저감 기술개발 사례

★ 산업부는 탄소다배출 분야를 중심으로 에너지 효율개선, 신기술 개발을 통해 2050 탄소중립 달성을 추진 중

※ '18년 기준 이산화탄소 배출량이 총 1억 500만 톤을 배출 중인 철강업계는 '그린철강위원회' 출범('21.6)하였고, 배출량은 총 5,800만 톤인 석유화학업계는 '석유화학 탄소제로위원회' 출범('21.6)

★ (한국생산기술연구원) 석유화학 및 발전 분야 기업을 대상으로 에너지와 CO<sub>2</sub> 절감을 위한 기본설계 및 실증화 사업 수행

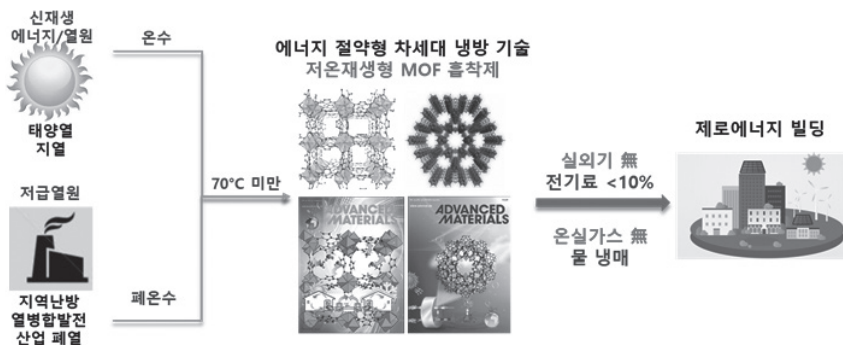
- 에너지 다소비 공정을 대상으로 시뮬레이션을 활용하여 수요기업 맞춤형 최적 기본 설계안을 도출, 실증화하여 '20년까지 4년간 18개 기업의 15,791tCO<sub>2</sub>/년 절감



| 그림 10. 에너지 공정의 탄소배출량 저감효과(예시) |

★ (한국화학연구원) 차세대 흡착소재인 MOF를 사용하여 지구온난화지수(GWP)가 0인 물을 활용한 흡착식 냉동·냉방 상용화 기술 개발 및 실증 추진(전남 여수)

- 기존 전기 압축식 냉동기 대비 냉수온도 기준 5°C 이하 생산에 필요한 에너지 저감과 신재생에너지 대체 효과로 탄소 저감 50% 이상



(출처 : 한국화학연구원)

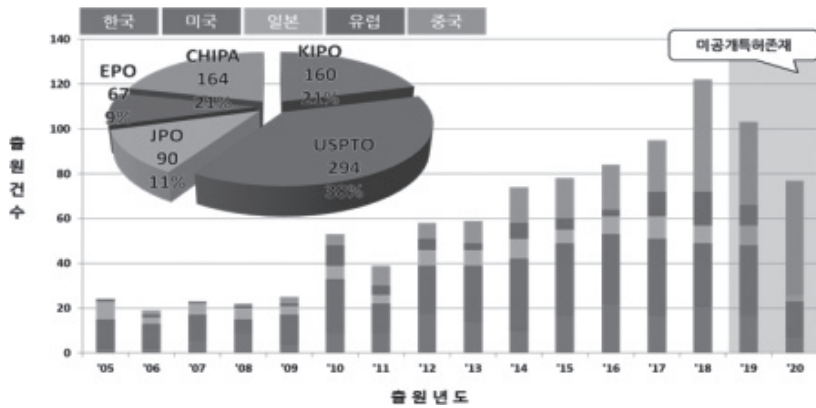
| 그림 11. 흡착식 냉방 냉동 기술 |

- ★ 국가 CCS 종합추진계획('10.7)과 에너지신산업확산전략('15.11)을 통해 탄소포집 및 저장관련 기술개발 및 사용화를 추진하여 건식 및 습식 포집 기술 확보
  - 습식 포집기술은 10MW급 탄소포집 설비를 구축하여 5,000시간 연속운전에 성공하였고, 개발된 아민 계열의 흡수제는 기존 대비 35% 에너지 절감효율 달성
  - 건식 포집기술은 10MW 포집플랜트를 6개월 장기운영한 기록을 확보하였고 포집율도 80% 이상, 순도 99% 이상을 보임으로서 최고 수준의 기술을 확보 중



## // 국가별 특허 동향

★ 엔지니어링 설계 지능화의 국가별 출원 비중을 살펴보면 미국(38%)이 최대 출원국으로 엔지니어링 설계 지능화를 주도하고 있으며, 중국, 한국, 일본, 유럽 등의 순

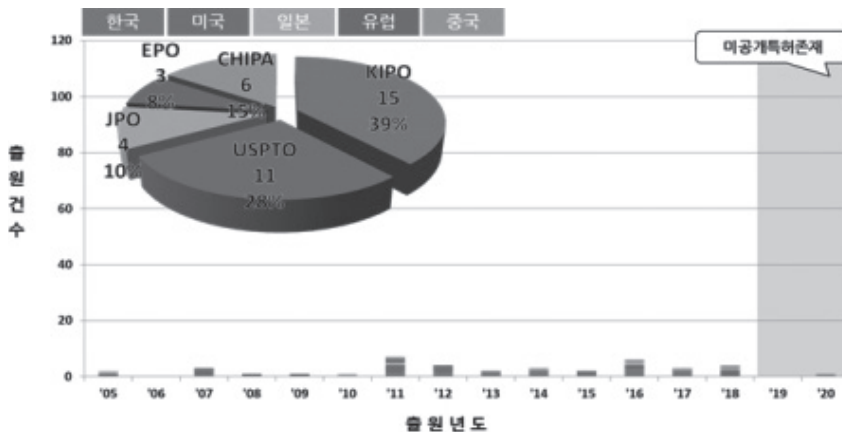


(출처 : 한국특허전략개발원)

| 그림 12. 엔지니어링 설계지능화 특허출원 변동추이 |

★ 엔지니어링 설계 지능화의 요소 기술로 탄소저감 설계 기술의 국가별 출원 비중 을 살펴보면 한국, 미국, 중국, 일본, 유럽 순

- 관련된 환경 규제와 정책이 계속 증가함에 따라서 본 분야에 대한 니즈(Needs)는 증가할 것으로 판단되어 탄소저감 설계 기술에 대한 기술력 확보 필요



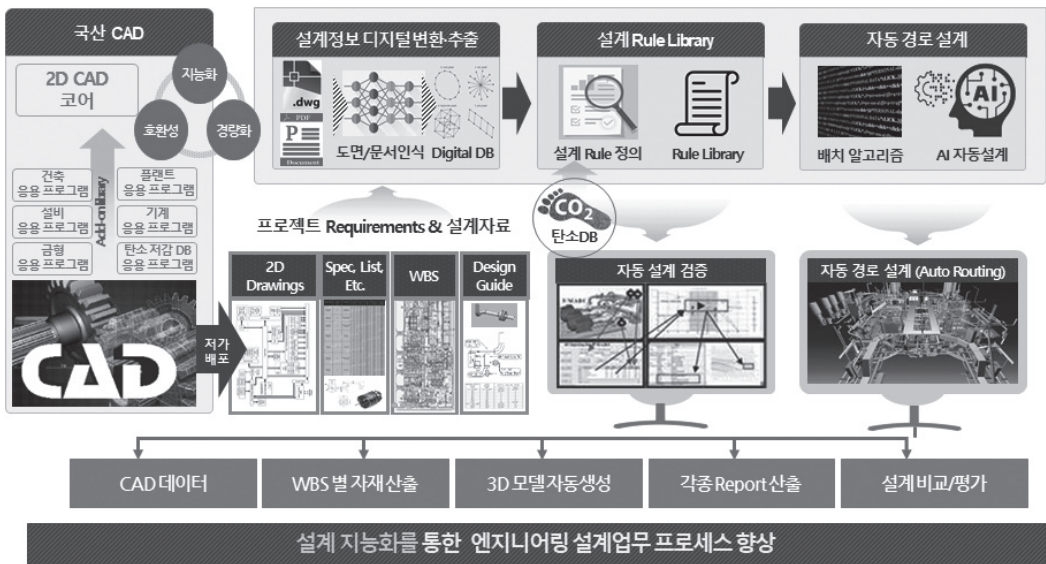
(출처 : 한국특허전략개발원)

| 그림 13. 엔지니어링 설계지능화의 탄소저감 설계 특허출원 변동추이 |

## 4. 시사점 및 과제

### 4차 산업혁명 기술 도입 등 디지털 전환을 통해 엔지니어링 산업을 고부가가치 산업으로 변화시키고 중소·중견 전문기업의 혁신역량을 강화 필요

- ★ 설계에서 수작업에 의한 반복적인 설계오류로 인한 효율성 및 정확성 저하를 극복하기 위한 설계 데이터 및 업무시스템 디지털화 및 자동화 기술이 시급
- ★ 글로벌 엔지니어링 기업은 전통적 설계 SW 영역을 넘어서 디지털 전환을 통해 업무의 효율성을 높이는 솔루션에 역량을 집중
  - 그러나, 글로벌 시장 역시 4차 산업혁명 新기술 도입은 이제 출발점으로, ICT 기술 강국인 우리나라로서는 기술격차를 극복할 절호의 기회
- ★ 국내 엔지니어링 산업이 당면한 문제로 글로벌 외국기업에 의한 국내 엔지니어링 S/W 시장 장악, 국산 엔지니어링 S/W 사용 기피 문제해결 필요
  - 대안으로써 중소기업에서는 저가의 대안 CAD를 활용 고려 중으로 이에 대한 지원이 절실
  - ☞ 디지털엔지니어링 구현을 위해 시를 활용 정형/비정형 도면, 설계 문서 등을 자동 인식, 디지털화하고 최적 경로를 자동으로 추출하는 기술 개발



| 그림 14. 디지털 엔지니어링 설계지능화 기술 개발 개요 |



## 기후변화 관련 글로벌 규제 강화 대응을 위해서 다양한 탄소저감기술이 개발되고 있어 엔지니어링 분야에서도 선제적 대응 기술 개발 필요

★ 전 세계 40여 명의 정상이 참여한 기후정상회담에서 순 탄소배출 '제로'를 위한 탄소중립 목표를 재확인, 한국도 기존의 24.4% 감축목표치를 상향제시 예정

표 6. 2030 온실가스 감축목표에 따른 국가별 감축량

(단위 : 백만 톤)

	2030년 잔여배출량	2030년까지 감축량	2019년 배출량	필요 감축량	감축비율(2019년 대비, %)
한국	472.94	254.66	611	138.06	22.6
독일	437.325	812.175	702	264.675	37.7
프랑스	330.84	220.56	324	-6.84	-2.1
일본	760.212	647.588	1107	346.788	31.3
영국	255.296	542.504	370	114.704	31.0
캐나다	437.82	291.88	577	139.18	24.1
미국	3695.9	3695.9	5285	1589.1	30.1
러시아	2231.25	956.25	1678	-553.25	-33.0

(출처 : 환경부, 글로벌카본프로젝트)

★ 탄소배출 규제 대응을 위해 탄소 다배출 업종은 탄소배출 비용 증가에 대비해야하며, 설계 단계부터 탄소배출량을 예측한 엔지니어링 기술이 필요

※ 업종 별로는 발전, 철강, 석유화학 순으로 온실가스 배출량이 많음

- AI, 빅데이터 등의 4차 산업기술을 적극 도입하여 탄소 배출량을 예측하고 탄소 DB를 연계한 시도는 정제된 엔지니어링 설계에 새로운 돌파구가 될 수 있음

☞ 탄소 다배출 공정에 디지털 엔지니어링 기술을 직접 적용하여 탄소 다 배출 기업들을 탄소배출 저감 기업으로 체질개선·전환할 수 있는 탄소저감 기술 개발

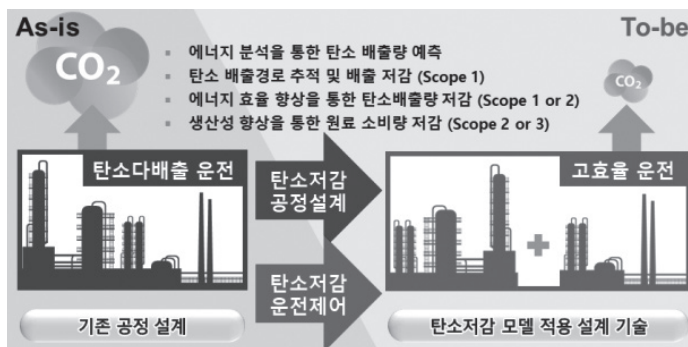


그림 15. 탄소저감모델 적용 설계기술 개요

## [참고문헌]

1. 과학기술정보통신부, 2050 탄소중립 대한민국 정책브리핑, 2020.12.
2. 관계부처합동, 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안), 2021.6.
3. 금융감독원, 상장법인의 온실가스 배출권 재무공시 현황 분석 및 주식공시 모범사례 마련, 2021.4.
4. 산업통상자원부, 디지털 엔지니어링 미래선도 기술개발사업 기획보고서, 2020.9.
5. 에너지경제 연구원, 국내외 환경변화에 따른 CCS 정책 추진계획 수립 연구, 2018.
6. 엔지니어링협회, Engineering Insight 2019.11월호
7. 한국산업기술평가관리원, 2019년 산업기술수준조사, 2020.2.
8. 한국산업기술평가관리원, 2020년 산업기술 R&D 투자전략 보고서- 디지털 엔지니어링 분야, 2020.9.
9. 한국특허전략개발원, 특허기술동향조사보고서(디지털 엔지니어링), 2021.6.
10. 한국플랜트산업협회, 2019년 플랜트 산업 상세설계 분야 인력수급 및 교육훈련 수요조사, 2020.01.
11. Boston Consulting Group, Digital in Engineering and Construction, 2016.
12. ENR誌 각 년호('11년까지 Top200 기준, '12년부터 Top225 기준)
13. ICE EUA Carbon Futures Index.
14. IEA, Energy Technology Perspectives 2020- Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage, 2021.2.
15. R&D 전략기획단, 기술혁신을 통한 산업계 탄소중립 대응방안, 2021.3.

# 인공지능가전 기술동향과 산업전망

|저자| 변기영 스마트전자PD / KEIT

이정기 센터장 / 전자기술연구원 스마트가전혁신지원센터

## SUMMARY

### 연결성(IoT)을 넘어 지능화(AI)로 진화

- ★ 인공지능 스피커로 촉발되어 쉐 생활가전 및 스마트홈 디바이스로 확산되고 있으며, 이에 따라 관련 시장이 급속히 성장할 것으로 전망
- ★ IoT연결성 기술을 기반으로 영상·음성·문자·센싱 등 다양한 데이터를 활용하여 제품특성에 맞는 인공지능 가전의 초기모델이 시장 출시 중이며, 핵심 서비스별 구현에 필요한 요소기술 개발이 필요

### 시사점 및 정책제안

- ★ 글로벌 톱 수준의 가전산업 시장격차 유지와 동시에 중소·중견기업의 중·소형 가전의 시장경쟁력 확보의 전기를 마련
- ★ 대기업에 비해 AI전문인력 확보한계, 초기 투자비용 부담, 제품평가·인증이 취약한 중소·중견기업의 산업경쟁력 확보를 위해 국가주도의 산업육성 정책마련 및 연구개발 지원이 필요
- ★ 혁신제품 창출과 빠른 시장진입을 위한 산·학·연 기술협력 네트워크 구축과 함께 인공지능 가전의 핵심부품·혁신제품 창출에 지속적 지원이 필요

## 1. 인공지능가전 기술의 정의

### // 인공지능과 가전

★ 인공지능(AI : Artificial Intelligence)은 인간의 지적능력을 컴퓨터로 구현하는 과학기술로 상황인지, 판단·행동, 창의적 기능 수행의 능력을 포함

- 인공지능기술은 1950년대 학문적 이론의 태동 후 2010년대 혁신적 기술도약\*을 거쳐 인공지능 스피커를 계기로 본격 시장확산 및 산업기술의 개화를 촉발

\* (2010) 딥러닝 발표, (2011) 왓슨 제퍼디쇼 우승, (2016) 알파고 바둑 우승

★ 가전산업은 TV, 냉장고, 세탁기 등 가정용 전자기기 제품을 제조하는 산업으로 내구소비재 특성상 품질·신뢰성을 바탕으로 지속적 新기술혁신이 요구되는 산업

- 협의의 가전은 생활편의증대·가사노동경감의 가정용 전자기기\*이나 점차 개인 정보기기, 위생·건강, 심미성이 강조되는 소비자 전자제품\*\*으로 진화 중

\* (HA) Home/Household Appliance, \*\* (CE) Consumer Electronics

★ 2010년대 중반 이후 가전산업 주요트렌드는 5G·빅데이터 기반의 초연결 IoT기술 및 사물지능화(AI)기술의 제품도입과 서비스 확산으로 관련 플랫폼 선점 경쟁 중

- 글로벌 IT기업은 인공지능 스피커를 필두로 IoT·AI 플랫폼 경쟁을 가속하고 있으며, 국내 이통사·제조사·서비스사 역시 시장경쟁에 참여 중

\* (삼성) SmartThings, (LG) ThinQ, (SKT) NUGU 스마트홈, (KT) 기가지니 홈IoT, (네이버) 클로바

- 세계최대 ICT전시회인 'CES'에서는 2017년 부터 인공지능(AI) 사물인터넷(IoT) 등이 주제로 부상되었으며, 2020년에는 'AI를 일상으로(AI in everyday life)'와 같이 스마트홈, IoT가전에 인공지능 적용을 본격화 발표

\* (삼성) 스마트홈 시프로젝트 '네온(Neon)' 전시 : 스마트폰, TV, 냉장고 등 스마트가전에 적용되는 차세대 시비서

\* (LG) 일상생활속에서 AI기술을 체험하는 'LG씽큐존' 전시 : 식당주문로봇, 요리후 서빙·설거지 로봇(클로이)

홈로봇		생활가전			스마트홈	
						
삼성 불리	LG클로이	삼성 스마트냉장고	LG 스마트세탁기	웅진코웨이 IoT정수기	SKT 스마트홈	코맥스 시홈

(출처 : CES홈페이지 및 언론기사 가공)

| 그림 1. CES 2020 인공지능 가전 사례 |

- 삼성·LG 등 국내 가전제조사들은 AI솔루션을 탑재한 지능형 세탁기·건조기, 로봇청소기, 공기청정기 등 전 품목에 AI기술 도입 제품을 지속적으로 시장에 출시

| 표 1. 국내·외 인공지능 스피커 현황 |

국외	애플	아마존	구글	MS	
시플랫폼 (출시연도)	시리 (2011)	알렉사 (2014)	구글 어시스턴트 (2016)	코타나 (2014)	
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 문맥이해</li> <li>• 대화가능</li> <li>• 아이폰 탑재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연어처리</li> <li>• 빠른 반응속도</li> <li>• 클라우드 기반</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 검색엔진연동</li> <li>• M메신저, 스마트폰, 자동차 확산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MS운영체제 기반</li> </ul>	
국내	SKT	KT	삼성	네이버	카카오
시플랫폼 (출시연도)	누구 (2016)	기가 지니 (2017)	빅스비 (2017)	클로바 (2017)	미니 (2017)
특징	아이리버협업 (MP3플레이어)	가온미디어협업 (셋톱박스)	갤럭시 S8탑재, 자사 가전제품 연동 (스마트홈)	인포마크 협업 (키즈폰)	탱크램 디자인 (스마트기기)

(출처: 언론기사)

## /// 인공지능 가전 주요 기술

- ★(정의) 인공지능 기술 정의는 현재 학문적 논의가 진행 중이며, 주요 키워드는 데이터를 학습하여, 인지·추론 및 상황대응능력을 갖는 기술로 수렴

| 표 2. 인공지능에 대한 다양한 정의 |

연구자	발표연도	아마존
McCarthy	1956	지능적인 기계를 만드는 과학 및 엔지니어링
Bellman, R.	1978	인간의 사고와 의사결정, 문제해결, 학습과 같은 활동의 자동화
Kurzweil, R.	1990	사람처럼 지능이 요구되는 기능들을 수행할 수 있는 기계를 만드는 기술
Winston, P. E.	1992	지각, 추론 및 행동을 가능하게 하는 계산에 관한 연구
관계부처합동	2016	인간의 인지능력(언어·음성·시각·감성 등)과 학습, 추론 등 지능을 구현하는 기술로 인공지능 SW/HW, 기초기술(뇌과학·산업수학 등)을 포괄

★ (주요기술) 2018년 5월 과기부 지능정보사회추진단은 「인공지능 R&D 전략」에서 인공지능기술은 알고리즘, 데이터, 컴퓨팅이 주요 기술임을 발표

- (알고리즘) 차별화된 인공지능서비스 제공을 위한 특화 알고리즘이 필요

\* (예) (아마존) 알렉사, (구글) 어시스턴트, (네이버) 클로바, (카카오) 카카오팀 등

- (데이터) 활용하는 데이터의 양과 질에 따라 인공지능의 성능이 결정\*되며, AI제품·서비스 분야에 따라 차별적 데이터가 요구\*\*

\* (예) (中) 대량의 데이터를 활용하여 얼굴인식 분야의 정확도 99% 달성('16, 이투테크놀로지)

\*\* (예) (응용산업별) 헬스케어 또는 농업 또는 금융 등, (특성별) 한국인, 유럽인 등

- (컴퓨팅) 고속 병렬처리 가능한 고성능 컴퓨팅 자원이 필수

\* GPU 12개는 CPU 약 2,000개와 동등 성능



(출처 : 4차산업혁명위원회(2018.5.15.) 붙임2. 인공지능 R&D 전략)

| 그림 2. 인공지능 구성기술 |

★ (기술분류) 2000년대 이후 국내외 주요기관들은 다양한 인공지능 기술 분류체계를 선보였고, 2021년 특허청은 인공지능 기술분류체계를 발표

| 표 3. 특허청의 인공지능 기술분류 |

구분	내용
학습 및 추론	기계학습(지도학습, 딥러닝, 인공신경망 등), 추론, 지식표현 및 온톨로지, 지식처리, 공간 지능, 운동 지능, 소셜 지능, 협업 지능
언어처리 기반 인공지능	자연어처리, 언어분석, 의미이해, 대화 이해 및 생성, 자동 통·번역, 질의응답, 텍스트 요약생성, 대화형 인공지능 등
시각처리 기반 인공지능	영상 처리 및 패턴 인식, 객체 인식, 행동 이해, 장소/장면 이해, 비디오 분석 및 예측, 시공간 영상 이해, 비디오 요약, 영상 분석, 예측 및 분류
상황인식 기반 인공지능	감성 지능, 사용자 의도 이해, 뇌-컴퓨터 인터페이스, 오감 인지, 다중 상황 판단, 지능형 개인비서, 게임 지능, 모방창작 지능, 학습도덕-윤리-규범 지능 등

(출처 : 특허청(2021))

★ (기술분야) 과기부는 「i-Korea 4.0 실현을 위한 인공지능 R&D 전략(2018)」에서 응용분야별 서비스 구현을 위한 인공지능 기술의 레이어화하여 설명



(출처 : i-Korea 4.0 실현을 위한 인공지능 R&D 전략(2018), 과기부)

| 그림 3. 인공지능 구성기술 |

- 인공지능의 기능을 구현하기 위한 프로그램 구현의 세부기술로 패턴인식, 머신러닝, 딥러닝, 전이학습, 강화학습 등이 사용되며 인식·제어·예측 등 응용분야별 특성에 맞추어 개발에 반영

| 표 4. 인공지능 프로그램 구현기술 |

구분	내용
패턴인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (개념)인지하고자하는 대상을 학습과 추론을 통해 인공적으로 모델링하여 지각하는 기술</li> <li>• (절차) 측정(센서) → 전처리(잡음제거, 특징추출, 정규화) → 차원축소(특징선택) → 인식·예측(분류·회귀·클러스터링) → 모델선택(교차검증) → 결과도출</li> </ul>
머신러닝	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 컴퓨터에 명시적 프로그램 없이 배울수 있는 능력을 부여하는 연구분야(아서사무엘,1959)</li> <li>• 컴퓨터(기기) 스스로 경험을 통해 학습하고 문제해결을 개선하는 컴퓨터 알고리즘 기술</li> <li>• 인공지능경망 분야에서 발전하여 딥러닝 기법으로 진화</li> </ul>
딥러닝	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다층구조로 설계된 인공신경망구조의 학습데이터를 처리하는 기법</li> <li>• 컴퓨터비전, 음성인식, 자연어처리, 음성신호처리 등의 분야에 활용</li> </ul>
전이학습	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 특정분야에서 학습된 신경망의 일부 능력을 유사 또는 새로운 분야에 활용하는 기술</li> <li>• 학습데이터 수가 적을때 효과적이며 학습속도가 빠른 장점</li> </ul>
강화학습	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 머신러닝의 한 분야로 보상을 최대한 많이 받는 방법을 학습하는 기법</li> <li>• 대량의 학습데이터를 기반으로 시행착오를 통해 목표에 접근해가는 기법</li> <li>• 보상이라는 개념을 사용하여 가중치와 편향을 학습하여 최적의 행동양식을 결정</li> </ul>

## // 인공지능 가전 사례

★ IoT연결성 기술을 기반으로 영상·음성·문자·센싱 데이터를 활용하여 제품특성에 맞는 인공지능가전이 시장에 출시되고 있으며, 다양한 생활가전에 확산 전망

| 표 5. 국내 인공지능 가전 사례 |

기업명	제품 및 시 기능
오텍캐리어	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 에어컨 : 스스로 실내환경을 파악후 최적 실내환경 제공, AI음성인식(SKT '누구'와 연동)</li> </ul>
더화이트 커뮤니케이션	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 클라우드게이트 : 실시간 고객상담데이터 분석 및 통합AI응대 솔루션</li> </ul>
신한카드	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 챗봇 2.0 : 챗봇 상담, 시콜센터 구축</li> </ul>
삼성전자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 로봇청소기 : 인텔시솔루션, 라이다·3D센서</li> <li>• 세탁·건조기 : 맞춤형 세탁·건조, 최적코스 추천</li> <li>• 냉장고 : 내부카메라를 이용한 냉장고내부 식품의 식재료 관리, 음성인식 레시피검색</li> <li>• 에어컨 : 음성제어, 사용자 선호 모드 맞춤</li> <li>• 조리기 : 간편식 인쇄 바코드를 카메라 스캔 후 최적조리값의 자동설정 기능</li> </ul>
LG전자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대형실외기 : 실내·외 온도·습도 감지 쾌적제어·에너지 절감</li> <li>• 에어컨 : 실내온도 감지 쾌적온도 자동제어</li> <li>• 세탁기 : 세탁물 무게감지 후 의류재질확인, 세탁강도 자동조정</li> <li>• 의류건조기 : LG씽큐앱 연동, 최적건조옵션 자동 설정</li> <li>• 로봇청소기 : 300만 장의 사물이미지 학습 후 실내공간·장애물 인지</li> <li>• 냉장고 : 내부 식재료 모니터링 후 자동주문알림, 요리방법 추천, 스마트레시피·노크온</li> <li>• 오븐 : LG씽큐앱 연동, 간편식 인쇄바코드 스캔 후 자동 최적 조리법 제공</li> </ul>

(출처 : TECCEL 홈페이지(AI+인증 제품 일부발체, 각사 홈페이지)



- ★ IoT AI 기술을 활용한 국내외 스마트 인테리어 기업들의 ICT 기술 적용범위가 전자제품을 넘어 스마트 홈 퍼니싱 제품으로 확대
- 글로벌 ICT기업 CES 2019에 스마트 침대·소파·미러 등 홈퍼니싱 제품 다수 전시
  - 스웨덴 가구업체 이케아는 '18년에 커넥티비티를 강조한 스마트 조명과 플러그를 출시하였으며, IoT·AI 등의 기술 추세에 맞춰 아마존 알렉사와 구글 어시스턴트, 애플 홈킷으로 제어할 수 있는 스마트 브라인드 2종 출시 등 다양한 제품 출시
  - 아마존은 자체 가구 브랜드를 출시하여 보유한 유통채널과 알렉사 생태계 등을 활용해 스마트 가구 사업 본격화 가능성
  - LG전자는 가구 브랜드 Natuzzi와 손잡고 구글 어시스턴트 지원 스마트 소파를 선보이는 등 가전업계 스마트 인테리어 가전 관심 증가

| 표 6. 해외 인공지능 가전 사례 |

기업명	제품 및 AI 기능
노키아	• 사용자의 수면을 분석하고, 조명과 소리를 이용하여, 수면 호르몬도 조절해 줄 수 있는 수면 보조 시스템인 오라(Aura)와 잠을 자는 동안 침대를 움직이는 모든 상태를 기록할 수 있는 패드 형태로 만들어진 노키아 슬립(Nokia Sleep) 출시
KPN, BAM	• 스마트 창문은 창틀에 삽입돼 있는 센서가 하루 동안의 날씨 변화 등과 같은 주변 환경 데이터를 수집하여 거주자에게 개선사항을 제안
소브로	• 스마트 거실 탁자는 냉장고 서랍, 블루투스 스피커, 충전 포트, LED 라이트 기능 포함
런드로이드	• 스마트 수납장 런드로이드는 옷과 신발의 상태를 파악하고 최적의 상태로 관리될 수 있도록 냄새 제거, 살균, 다림질의 기능을 탑재
한샘	• LG전자와 IoT 기술이 도입된 바흐801 스마트 모션베드 출시, 구글홈 인공지능(AI) 스피커 연동을 통해 음성명령으로 침실 공간의 제품들을 제어
에몬스	• 1,600개 센서를 부착해 실시간으로 수면 질을 체크하는 모션베드 릴렉시온을 출시
코웨이	• 스마트 베드 시스템은 올바른 수면 습관 형성을 위해 수면 공간의 환경과 사용자의 수면 상태를 실시간 모니터링 및 분석해 자동으로 최적의 숙면 솔루션을 제공
체리쉬	• 체리쉬가 처음 선보인 '인공지능 모션베드'는 네이버의 인공지능 플랫폼 '클로바'가 장착된 스피커와 연동 가능한 세계 최초의 제품이며, 스피커의 음성인식을 통해 침대의 모션 조작

(출처: "국내외 사물인터넷 및 스마트가전 시장분석과 비즈니스전략", 산업경제리서치)

## 2. 국내외 시장동향

### // 시장동향

★ 협의의 가전시장은 TV, 세탁기, 냉장고 등 가정용 전자기기·제품(HA)이나, 휴대폰, 웨어러블 기기 등 광의의 소비자 전자제품(CE)로 범위가 확대 중\*

\* (HA) Home/Household Appliance, \*\* (CE) Consumer Electronics

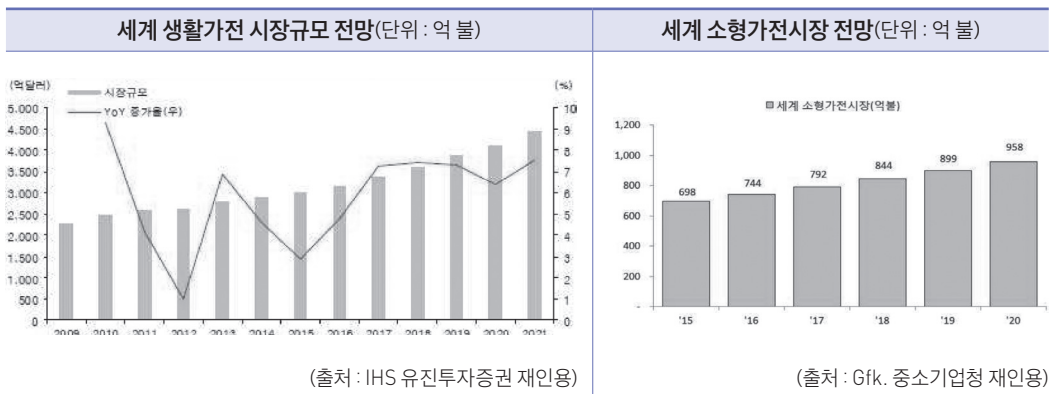
- 때문에, 가전제품 분류 및 시장 범위가 매우 다양하나 아직까지는 영상·음향가전(TV), 생활가전(세탁기·에어콘), 주방가전(냉장고·조리기) 등이 주력시장을 형성 중

★ (해외 시장규모) 세계 주유가전 판매대수는 '16년 560백만 대에서 '17년 616백만 대로 9.9% 성장하였으나, 글로벌 시장포화로 '16~'23년 성장률은 1.7% 수준 전망

- 주유가전의 판매대수는 정체이나, 가전의 스마트화·프리미엄화와 중소형 뉴라이프 가전\*의 성장으로 금액기준 시장규모는 '16년 3,3134억 불에서 '21년 4,429억 불로 연평균 7.2% 성장할 것으로 전망(IHS)

\* (예) 의류건조기, 의류관리기, 무선청소기, 에어프라이어 등

| 표 7. 세계 가전 시장 전망 |

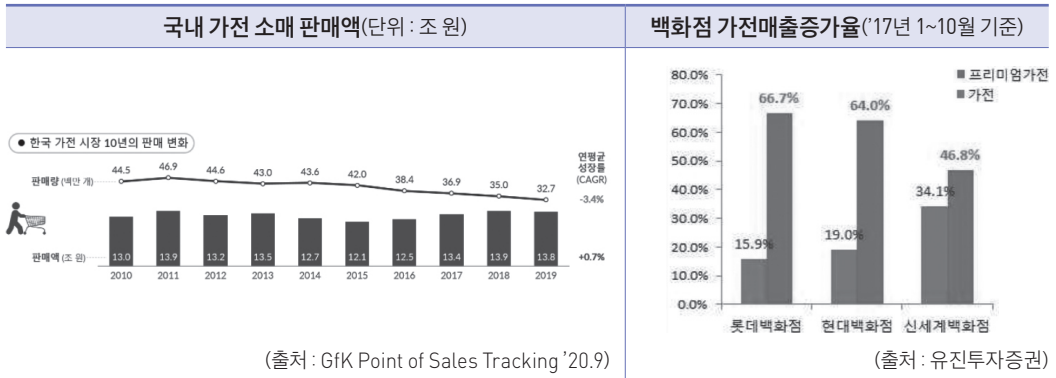


(출처: 한국무역보험공사 산업동향보고서(2018.10))

★ (국내 시장규모) 국내 가전시장은 '10~'15년 연평균 3.5% 소폭성장 후 '16년 12.4%, '17년 11.2%의 판매액 증가를 기록하며 '17년 약 22.4조의 시장을 형성

- '18년 상반기 역시 전년대비 15.2% 증가하고 있으며, 대형 TV 등 프리미엄가전과 기후환경문제에 따른 에어컨·공기청정기·건조기 등의 수요증가가 성장세를 견인

| 표 8. 국내 가전 시장 전망 |



(출처: 한국무역보험공사 산업동향보고서(2018.10))

- 삼성·LG·대우 등 대기업은 TV·냉장고 등 고가·프리미엄 가전을 중심으로, 중견·중소기업은 김치냉장고·에어콘·청소기·공기청정기·조리기 등 중저가·다양한 생활가전을 중심으로 외국기업과의 치열한 경쟁 중이며 브랜드 향상·해외진출 등으로 높은 영업이익률 기록 등 선전 중

| 표 9. 국내 가전산업 주요 중소·중견 기업 |

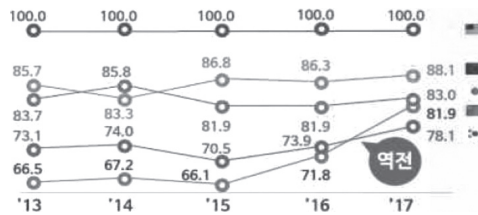
업체명	주요가전 제품	매출액(억 원)		
		'19	'20	'21.8(반기)
코웨이	정수기, 공기청정기, 비데	30,189	32,374	17,843
위니아딤채	김치냉장고, 에어컨	7,504	8,755	4,584
쿠쿠홀딩스	전기밥솥, 전기레인지	5,283	5,877	3,258
바디프랜드	안마의자	4,802	5,556	3,119
청호나이스	정수기, 공기청정기, 비데	4,007	4,187	-
린나이 코리아	전기레인지, 보일러, 온수기	3,116	3,185	-
위닉스	공기청정기, 건조기, 제습기	3,862	3,823	2,171
쿠첸	전기밥솥, 전기레인지	2,091	1,852	-
신일전자	선풍기, 써큘레이터, 팬히터	1,458	1,724	866
휴롬	착즙기	712	756	-
자이클	주방가전, 조리기기	297	180	64
유닉스전자	헤어드라이어, 면도기	498	361	-

(출처: DART. 연결재무제표, 연결손익계산서 기준(“-”는 조사시점기준 미발표))

## 3. 국내외 기술개발 동향

### 기술수준

★ 우리나라의 인공지능 기술력은 세계 최고 수준의 미국대비 78.1% 수준으로 유럽(88.1%), 일본(83.0%), 중국(81.9%) 순으로 조사됨



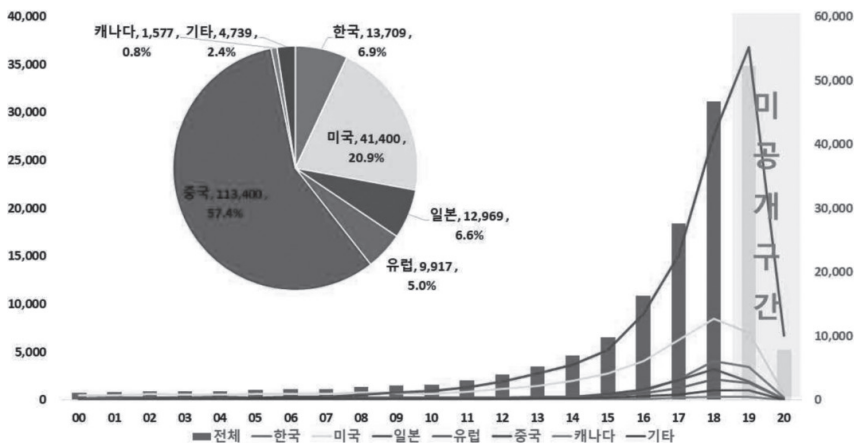
(출처: 인공지능 R&D전략(2018), 4차산업혁명위원회)

| 그림 4. 한국과 주요국의 인공지능 기술수준 비교 |

- 연구역량 측면에서 최근 20년간 인공지능 관련 논문발표 건수는 중국(13만 건), 미국(11만 건)에 비해 한국은 1.9만 건 수준

### 출원동향

★ 인공지능 글로벌 특허출원건수는 중국이 총 113,803건으로 압도적 1위이며, 미국(2위), 한국(3위), 일본(4위) 순으로 조사



(출처: 특허빅데이터기반 산업혁신전략(인공지능분야), 특허청(KISTA), 2020)

| 그림 5. 인공지능 글로벌 특허 출원 동향 |

## // 산업전망

★ 2020년 IITP는 인공지능 원천 R&D전략수립을 목적으로 ‘인공지능기술청사진2030’을 발표하였고, 15개 산업분야의 대표제품·서비스의 단기-중기-장기를 소개

- 이중, 스마트홈·가전 산업분야는 연결성 중심 생활편의서비스('20~'23)에서 학습기반 사용자 맞춤서비스('24~'27)를 거쳐 공간초월 비서 서비스로의 진화를 예측

표 10. 스마트홈·가전 산업분야 발전전망

	단기('20~'23)	중기('24~'27)	장기('28~'30)
	가전기기-AI연결을 통한 다양한 생활편의 서비스 제공	데이터 학습을 통한 개별 사용자 맞춤 스마트홈 서비스	공간적 제약이 없는 인공지능 비서형 스마트홈 서비스
융합가전	<ul style="list-style-type: none"> <li>공간/상황학습 기반 맞춤형 추천서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>스마트홈 연계형 노약자 보조로봇서비스</li> <li>스마트홈 구성요소별 패턴학습기반 자율능동 서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>다중에이전트 기반 복잡형 상황판단 및 스마트홈 제어서비스</li> <li>다중센서 데이터기반 지능형 데일리 헬스케어 서비스</li> </ul>
홈 오토메이션	<ul style="list-style-type: none"> <li>입주자인식기반 단지 공용기기 지능형 제어·관리 서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상황별 클라우드 데이터 기반 유사환경 맞춤형 제어·추천 서비스</li> <li>지능형 반려동물 돌봄서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>개인화된 로봇 비서 서비스</li> <li>공동주택 무인로봇 배송 서비스</li> </ul>
홈 시큐리티	<ul style="list-style-type: none"> <li>다중센서 데이터기반 지능형 승강기 모니터링 서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>외출여부판단을 통한 댁내 환경자동 보안설정 서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사용자 미참여형 보안 자동설정 서비스</li> </ul>
그린 홈	<ul style="list-style-type: none"> <li>생활공간 중심의 지능형 냉방/난방 서비스</li> <li>계시별 요금 기반 지능형 전력사용 추천서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>스마트기기를 활용한 전력총괄제어 서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>실시간 요금상황에 따른 에너지 자동거래 및 충전서비스</li> </ul>
TV&홈 엔터테인먼트	<ul style="list-style-type: none"> <li>지능형 언어학습 기반 음성제어 서비스</li> <li>시기반 가이드라인 음성안내 서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>콘텐츠 자동분석 기반 화질 및 음성 최적제어 서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대화인식 및 판단을 통한 사용자 컨디션 맞춤형 제어기술 서비스</li> </ul>

(출처 : 인공지능기술청사진2030(2020), IITP)

- 또한, 스마트홈·가전 산업분야의 핵심서비스에 필요한 인공지능 요소기술을 제시

| 표 11. 스마트홈·가전 산업분야 핵심서비스별 필요 인공지능 요소기술 |

	깊이성장 AI			범위성장 AI				지속성장 AI				신뢰성있는 AI			소통감성 AI			공감하는 AI			
	자기지도 학습	메타 학습	강화 학습	지식 기반 추론 기술	상식 기반 추론 기술	실세계 변화 적응 기술	절차적 지식	학습역량 진단 및 개선	평생 학습	뇌인지 발달 모사	모델 경량화	연합 학습	설명 가능한 AI	견고한 AI	공정한 AI	단일 감각 지능 고도화	복합 대화 기술	에이전트 간 협업 기술	다중 감각 인지	행동 지능	교감형 AI
단기 : 가전기기-AI연결을 통한 다양한 생활편의 서비스 제공																					
공간/상황 학습 기반 맞춤형 추천 서비스	◎	○	◎	◎	○	○	○	○	◎	○	○	◎	○	◎	-	◎	◎	○	◎	○	○
입주자 인식 기반 단지 공용기기 지능형 제어, 관리 서비스	◎	○	○	○	-	○	○	○	○	-	○	◎	○	◎	-	◎	-	○	○	-	-
다중 센서 데이터 기반 지능형 승강기 모니터링 서비스	○	○	-	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	◎	-	○	-	◎	◎	○	-
생활공간 중심의 지능형 냉방/난방 서비스	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	◎	◎	◎	○	○	-	◎	○	○	○
계시별 요금 기반 지능형 전력사용 추천 서비스	○	○	○	◎	-	○	-	○	○	○	○	◎	◎	◎	○	○	-	○	-	-	-
지능형 언어학습 기반 음성제어 서비스	◎	-	-	○	○	○	-	○	○	○	○	-	○	○	◎	○	-	○	-	◎	
AI 기반 가이드라인 음성 안내 서비스	◎	-	-	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	-	○	-	◎	
중기 : 데이터 학습을 통한 개별 사용자 맞춤형 스마트홈 서비스																					
스마트홈 구성요소별 패턴 학습 기반 자율 행동 서비스	○	○	◎	○	○	◎	○	◎	◎	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	-	-	
스마트홈 연계형 노약자 보조 로봇 서비스	◎	○	◎	○	○	○	○	◎	◎	◎	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎
상황별 클라우드 데이터 기반 유사 환경 맞춤형 제어 추천 서비스	◎	○	○	○	○	○	-	◎	◎	-	○	◎	◎	◎	○	○	◎	○	○	○	○
지능형 반려동물 돌봄 서비스	◎	○	◎	○	○	◎	○	◎	◎	◎	○	○	◎	○	◎	-	○	○	◎	◎	

외출 여부 판단을 통한 실내 환경 자동 보안설정 서비스	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	◎	-	○	○	○	○	-	
스마트 기기를 활용한 전력 총괄 제어 서비스	-	○	○	○	○	◎	-	○	○	-	○	○	◎	◎	-	○	-	○	○	-	○
콘텐츠 자동 분석 기반 화질 및 음성 최적제어 서비스	○	○	◎	○	-	○	-	○	○	-	○	○	○	◎	◎	◎	-	-	◎	○	○
<b>장기 : 공간적 제약이 없는 인공지능 비서형 스마트홈 서비스</b>																					
다중 에이전트 기반 복합형 상황 판단 및 스마트홈 제어 서비스	◎	○	◎	○	○	◎	○	○	○	-	○	○	◎	◎	○	○	○	◎	○	○	○
다중 센서 데이터 기반 지능형 데일리 헬스케어 서비스	◎	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎
개인화된 로봇 비서 서비스	◎	○	◎	○	○	◎	○	○	○	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎
공동주택 내 무인 로봇 배송 서비스	◎	○	◎	○	○	○	○	◎	○	○	◎	○	○	◎	○	◎	○	○	○	◎	○
사용자 미참여형 보안 자동설정 서비스	◎	○	○	○	○	○	-	○	○	-	○	○	○	◎	-	○	-	-	○	○	○
실시간 요금 상황에 따른 에너지 자동 거래 및 충전 서비스	-	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	◎	◎	○	○	◎	-	-	-	-
대화 인식 및 판단을 통한 사용자 컨디션 맞춤형 스마트홈 제어 서비스	◎	○	○	○	○	◎	○	○	◎	-	○	◎	○	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	◎

(출처 : 인공지능기술청사진2030(2020), IITP)

## 4. 국내 외 정책 동향

### // 국외 정책 동향

- ★ (미국) AI이니셔티브 행정명령('19.2) : R&D와 전문인력 양성에 대한 정부의 장기적·선제적 투자 방향 제시
  - 민간추진이 어려운 차세대 R&D 및 군사안보 분야 활용에 중점
- ★ (중국) 차세대 인공지능 발전계획('17.7) : 정부주도의 데이터, AI분야에 대규모투자 및 인력 양성을 추진하고, 선도기업을 지정하여 산업별 특화 플랫폼\* 육성
  - \* (예) 바이두-자율차, 알리바바-스마트시티, 텐센트-의료/헬스, 아이플라이텍-음성 등
  - 정부주도의 산업별 플랫폼과 빅데이터를 축적하여 AI경쟁력 확보
- ★ (일본) AI전략 2019('19.3) : 산업활력을 제고하고, 저성장·고령화의 사회문제 해결수단으로 AI기술혁신 가속화 및 인재육성 계획\*
  - \* (목표) AI응용인재 년 25만 명, 고급인재 년 2,000명 및 최고급인재 년 100명
  - 산업경쟁력 확보와 함께 사회문제 해결을 주요과제로 인식
- ★ (독일) AI육성전략('18.11) : AI를 통한 중소·제조분야 산업경쟁력 확보를 위한 대규모 투자 및 AI응용의 인더스트리4.0 입지 확립 추진
  - AI를 통한 노동시장변화에 대응한 직업훈련, 법규범 현실화 등 추진
- ★ (영국) AI Sector Deal('18.4) : 산업생산성 향상을 위한 AI글로벌 기업유치, AI환경구축, 인력양성 등 AI관련 5개 분야별 정책을 제안
  - 만·관 협력기반의 AI인재양성 및 비즈니스 환경조성에 집중 투자
- ★ (프랑스) AI 권고안('18.3) : 미래 디지털경제의 핵심으로 AI강국과의 경쟁 및 AI를 통한 사회문제해결을 목표로 데이터, AI생태계조성, 전략분야의 산업화 및 직업·고용, 윤리 등의 문제해결을 추진
  - 산업경쟁력 확보, 사회문제 해결과 더불어 일자리 변화 대응을 포함



## // 국내 정책 동향

- ★ 인공지능 국가전략('19.12) : 3대분야 9대전략 100대과제 세부목록 중 어젠더2-2. 산업전반의 AI활용전면화를 위해 로봇, 가전 등 AI융합제품개발 제시(AI가전포함)
- ★ 데이터·AI경제 활성화 계획('19.6) : 스마트홈의 미래변화모습 : AI기반의 기기, 조명, 에너지 등이 맞춤형·자율관리되어 가정내 생활혁명 본격화
  - \* (사례) 음성·생체·모션인식 방식의 자동인식제어 및 자율설정, 지능형 스마트 미터링 등
- ★ 한국판뉴딜('20.7) : D.N.A. 생태계 강화를 위한 1·2·3차 쏠산업으로 AI확산 제시
  - AI+X 7대 선도 프로젝트 중 AI홈 서비스 포함
- ★ 디지털기반 산업혁신성장(산업부, '20.8) : 산업전반에 D.N.A. 기술을 접목하여 산업가치사슬혁신 및 고부가가치화 추진
  - 추진과제로 디지털전환의 필수4대 핵심부품\*을 집중개발
    - \* 지능형 반도체, 지능형 센서, 임베디드 인공지능, 인공지능 융합로봇
- ★ 2022년 국가연구개발 투자방향 및 기준('21.3) : ICT·SW분야의 디지털전환을 위한 DNA 기술융합을 촉진
  - 4대유망분야로 자동차, 바이오헬스, 스마트제조, 모바일·가전을 선정하고, 융복합·지능형 핵심센서 기술경쟁력을 조기확보하여 AI기반의 IoT기술을 지원

## 5. 인공지능가전을 위한 참조모델

### 연결성 확대를 위한 표준화 동향

★ CSA\*는 플랫폼 사업자 중심의 스마트홈 기기 및 시스템에 대한 새로운 오픈소스 표준인 매터(Matter)를 발표('21.5)

\* Connectivity Standard Alliance, 민간 표준화 단체(舊 Zigbee Alliance)

- (특징) 플랫폼 확장을 위해 제조업체 개발을 단순화하고, 소비자 호환성을 향상

\* (회원사) 플랫폼社(아마존, 구글, 애플, 삼성), 가전·IT기기社(LG, 이케아, 화웨이), 칩셋社(NXP, 실리콘랩스 등)

- OCF\*와 생태계 확장 경쟁 및 상호연동을 위한 협력관계를 유지하며 스마트 홈(IoT·AI 가전) 시장 확대에 긍정적 영향 전망

\* OPEN CONNECTIVITY FOUNDATION : 사물인터넷 오픈 플랫폼 개발의 글로벌 표준단체(OIC, 2014년)

| 표 12. 인공지능 가전 연결성 확대 표준 비교 |

구분	OCF	매터
주요회원사	삼성전자, LG전자, 인텔, 퀄컴 (512개, IoT전 분야 회원사)	구글, 아마존, 애플 (180개 이상 플랫폼/디바이스 회원사)
통신 방식	디바이스 및 클라우드 간 통신 (D2D, D2C, C2C)	디바이스 간 통신 (D2D)
표준화영역	전 IoT 영역 (디바이스 중심)	스마트홈 (플랫폼 중심)
사업화 현황	건설사 중심 B2B 건설, 통신, 가전 등 C2C 클라우드 서비스 연동 중심 사업화 추진 중	플랫폼사 중심 B2C 기 구축되어 있는 플랫폼 기업중심 D2D 연동기기 확대 추진 중

## // 소프트웨어 품질특성 표준 : ISO/IEC 9126

- ★ 소프트웨어 품질보증을 위한 고객관점에서의 소프트웨어 품질특성 및 하위특성을 정의하며 향후 인공지능 가전의 참조모델로 활용 전망

| 표 13. 인공지능 가전 연결성 확대 표준 비교 |

품질특성	기능성	신뢰성	사용성	효율성	유지보수성	이식성
하위특성	적합성 상호운영성 보안성 정확성 준수성	경합허용성 회복성 성숙성 준수성	이해성 학습성 운영성 친밀성 준수성	시간반응성 자원효율성 준수성	분석성 변경성 안정성 테스트용이성 준수성	적용성 설치성 공존성 대체성 준수성

## // 데이터 품질관리 성숙도 모델 : DQM3

\* Data Quality Management Maturity Model

- ★ 한국데이터베이스진흥원에서는 데이터의 품질기준, 품질관리 프로세스, 품질관리 성숙수준을 3개 요소에 대한 데이터관리 성숙모델을 개발(2006)
- 데이터 품질 기준 : 정확성, 일관성, 유용성, 접근성, 적시성, 보안성
  - 성숙도 단계 : ① 도입 → ② 정형화 → ③ 통합화 → ④ 정량화 → ⑤ 최적화

## [참고문헌]

1. “인공지능 국가전략”, 관계부처합동(2019)
2. “한국판 뉴딜”, 관계부처합동(2020)
3. “디지털기반 산업혁신성장 전략”, 관계부처합동(2018)
4. “I-Korea 4.0 실현을 위한 인공지능(AI) R&D 전략”, 과기부(2018)
5. “특허 빅데이터 기반 산업혁신전략(인공지능분야)”, 특허청(KISTA, 2020)
6. “인공지능 기술청사진 2030”, IITP(2020)
7. “인공지능 기술전망과 혁신정책방향”, STEPI(2018)
8. “AI칩을 향한 무한경쟁”, 딜로이트 안진회계법인(2019)
9. “인공지능가전제품 문제점 및 개선방안(AI스피커중심)”, 한국소비자원(2017)
10. “인공지능 기술 및 산업분야별 적용사례”, ITFIND(2019)
11. “국내외 가전산업동향 및 트렌드 분석”, 한국무역보험공사(2018)
12. “인공지능기술청사진2030”, IITP(2020)
13. AI+ 인증, 와이즈스톤 ICT시험인증 연구소 홈페이지
14. “국내외 사물인터넷 및 스마트가전 시장분석과 비즈니스전략”, 산업경제리서치(2020)

# 주조산업의 최신 기술 활용 사례

| 저자 | 이병현 뿌리기술PD / KEIT

## SUMMARY

### /// 주조산업의 스마트화 기술 활용 동향

- ★ 세계적으로 스마트공장에 대한 관심이 증가함에 따라 주조산업에서도 스마트화를 적용하기 위한 노력이 행해지고 있음. 독일, 미국, 일본과 중국에서는 주물공장의 단위 공정별로 실시간 모니터링 기반의 공정제어 시스템을 구축하여 생산성을 향상시키고 효율적 공정관리를 유도함
- ★ 국내 주조산업에서도 스마트화에 대한 관심이 증대하고 있으며 주물공장의 스마트화를 위해서 현장별 상황을 고려한 단계별 순차 활용이 요구됨. 주조공장에 스마트화를 도입한 시범사례에 대한 정보가 공개되어 있으므로, 이를 활용하면 스마트화 방안 검토에 참조될 것으로 판단됨

### /// 주조산업의 적층제조 기술 활용 동향

- ★ 최근 제조 산업의 다양한 요구에 대응하기 위하여 주조 산업도 “유연생산체계”로의 전환을 위한 적극적인 노력이 요구되고 있음. 이를 위해 전 세계적으로 주조기술이 갖는 장점(대형제품, 대량생산, 원가절감 유리)과 첨단기술인 적층제조기술의 장점(복잡 형상 정밀제어 가능, 일체형/통합형 제조, 고객맞춤 유연생산 가능)이 결합된 새로운 방법을 시도 중임
- ★ 선진국(해외)의 경우 주조산업에서 적층 조형(적층 공정으로 몰드, 주형, 중자 등 제작)을 적용한 사형주조나 신속 시제품 제작(Rapid tooling)에 의한 정밀주조 공정 및 기술을 활발히 개발하여 적용하고 있음
- ★ 국내 주조산업은 스마트, 적층제조, 로봇활용 등 첨단기술 도입 사례가 매우 적고, 관련 기술도 해외에 비해 미흡하므로, 경쟁력 제고를 위해 첨단기술을 신속히 도입하고 적용하여야 할 것으로 판단됨

### /// 시사점

- ★ 고열 및 분진 등으로 인해 극한 직업으로 인식되어 청년인력 확보에 어려움이 많은 주조 산업에 첨단산업과의 융합을 통해 유연생산체계를 구축하면 새로운 인력을 확보하고 고객 니즈 다변화 요구와 제조 산업 패러다임 형태 변화에 대응할 수 있을 것으로 기대
- ★ 이를 위해 주물 공장의 생존과 지속적인 성장을 위해서 본 고에서 제시된 사례 연구들을 바탕으로 각 공정 별 상황에 맞춘 스마트화 방안의 설계 및 도입이 필요할 것으로 판단됨
- ★ 더불어 기존 주조산업의 장점을 극대화하고 단점을 극복하기 위해 적층제조와 같은 첨단기술의 적용 및 융합이 절실히 요구되고 있음. 현재까지는 해외 선도국 및 선도업체 일부를 제외하고 첨단기술의 도입이 여전히 초기 단계에 있으므로, 국내에서 현재 상황을 인식하고 신속히 대응한다면 국내 주조산업이 겪고 있는 어려움을 극복하고, 나아가 글로벌 시장 및 기술 선점이 가능할 것으로 기대됨

## 1. 주조 공정의 개요

### // 주조기술의 정의



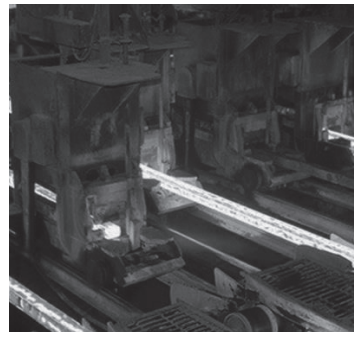
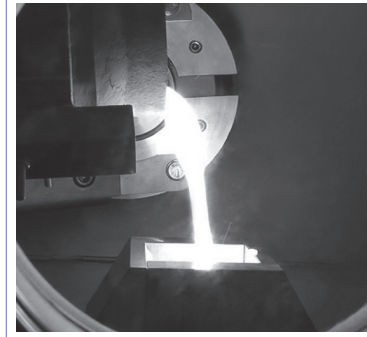
★ 주조는 금속을 용해하여 액체 상태에서 재료를 일정한 형상의 틀에 용탕을 부어 넣고 응고 및 냉각을 시켜 원하는 모양으로 만드는 방법으로 금속재료를 용광로(furnace) 안에 장입하고 녹여서 섞일 수 있는 상태로 만든 후, 거푸집과 같은 주형 속에 주입해 응고시킴으로써 소정의 형태로 만드는 기술

- 이와 같은 일련의 공정으로 얻어진 제품을 주물 또는 주조품이라고 하고, 주물품의 설계, 주조 방안의 작성, 모형의 제작, 용해 및 주입, 후처리 순서로 진행됨



| 그림 1. 주조 공정 순서도 |

- 주형은 모래, 금속, 세라믹 등을 재료로 사용하며, 제품의 제조 물량, 요구되는 치수정밀도, 제품의 형상 등을 고려하여 주형 재료를 선정하고, 각종 로 안에서 고철, 선철, 합금철 또는 비철금속 원료를 가열해 용해하고 적정 성분으로 조정된 액상 금속을 모래 또는 금속재의 주형에 부어 넣은 후 냉각 응고시킴
- 용융금속이 응고가 완료되면 모형과 동일한 형상의 금속 물체가 됨. 가장 일반적인 주형은 모래를 주재료로 점결제로써 벤토나이트 또는 유기바인더를 이용하며, 세라믹스, 시멘트가 섞인 모래, 기타 물질이 사용됨

사형주조	금형주조	다이캐스팅
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모래로 만들어진 주형에 용탕을 주입하는 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 금속으로 만들어진 주형에 용탕을 중력에 의하여 주입하여 주물을 만드는 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정밀한 금형에 용탕을 고압고속으로 주입하여 주물을 만드는 방식</li> </ul>
정밀주조	연속주조	특수주조
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가용 또는 가용융성 소재로 모형을 만들고 주형 재료를 씌워 외형을 만든 후 모형을 용융시켜 제거하는 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용탕을 일정한 형상의 수냉 주형에 연속 주입하고 반응고 상태의 주편을 주형으로부터 연속적으로 빼내는 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 활성금속, 초내식, 초내열합금 등을 진공 또는 불활성 분위기에서 용해하는 주조방식</li> </ul>

## 2. 주조산업의 스마트화 기술개발 현황

### // 주조산업의 스마트화 방안

★ 4차 산업혁명의 급속한 흐름에 따라 주조산업에서도 데이터를 근간으로 하는 스마트 팩토리로 변모될 것으로 전망되며, 효과적인 도입을 위해서 각 주물 공장의 현 상황에 따라 단계별 적용이 필요함. 이를 위해, 스마트제조혁신추진단에서는 스마트공장의 수준별 구축 형태를 5가지 수준으로 정의하여 도입을 원하는 업체에 따라 점진적 적용이 가능한 가이드라인을 제시함

- 현재 국내 주물공장에서는 작업자, 설비, 자재, 운전조건+환경 등의 IoT 대상 요소 중 소수의 요소에 대해 디지털화를 구축한 기업들도 있으나, 대부분은 '기초' 단계부터 순차적 적용이 요구되는 것으로 파악됨

| 표 1. 스마트공장 수준별 구축 형태 가이드라인 |

	수준정의	표준	IoT 대상	특성	구축수준	주요도구
고도화	Level 5	자율운영	작업자, 설비, 자재, 운전조건+환경	맞춤 및 자율	모니터링, 제어, 최적화까지 자율로 진행	인공지능, AR/VR, CPS 등
중간2	Level 4	최적화	작업자, 설비, 자재, 운전조건	최적화	공정운영 시뮬레이션을 통해 사전 대응 가능	센서 제어기 최적화 도구
중간1	Level 3	제어	작업자, 설비, 자재	분석	수집된 정보를 분석하여 제어 가능	센서+분석도구
기초	Level 2	모니터링	작업자, 설비, 자재	측정	생산정보의 모니터링이 실시간 가능함	센서
	Level 1	점검	자재	식별	부분적 표준화 및 데이터 관리	바코드 RFID

(출처 : 스마트제조혁신추진단)

★ 주물 공장의 스마트화를 위해서는 현장에서 얻어지는 각종 데이터와 센서에서 의해서 취득한 각종 데이터를 체계적으로 수집하여 빅데이터의 원천으로 활용해야 할 것이며, 이를 근간으로 빅데이터 마이닝기술을 활용하여 주조 불량을 예측·제어하고 공정 최적화를 유도하면 생산성을 극대화할 수 있을 것으로 기대됨

- 조형, 용해, 주입, 후처리 등 공정 별로 장비에 다양한 센서를 부착하여 각 공정에서 발생하는 온도, 압력, 전력, 분진, 진동 등 방대한 데이터들을 유무선 인터넷 통신망으로 클라우드 데이터센터에 저장하고, 실시간 분석을 통해 정상 가동 여부를 판단하여 문제 발생 시 신속히 대처가 가능할 것으로 예상됨
- 데이터 기반 딥러닝 인공지능기술을 도입하여 이미지 인식기술에 의한 주조 불량률의 정밀판독, 딥러닝 학습에 의한 데이터의 비정상 패턴 분류예측 등으로 공정관리의 극대화가 이루어질 것으로 예측
- 사물인터넷기술이 현장과 제어부를 네트워크하여 실시간으로 각 주조공정을 무선 통제하며 공정 최적화 관리와 운영이 이루어지게 되는 기술은 주물현장의 자동화 및 청정화 시스템을 도입할 수 있어 고열·분진 등 극한 직업으로 인식되어 청년인력 취업 기피문제 해결 가능할 것으로 기대됨

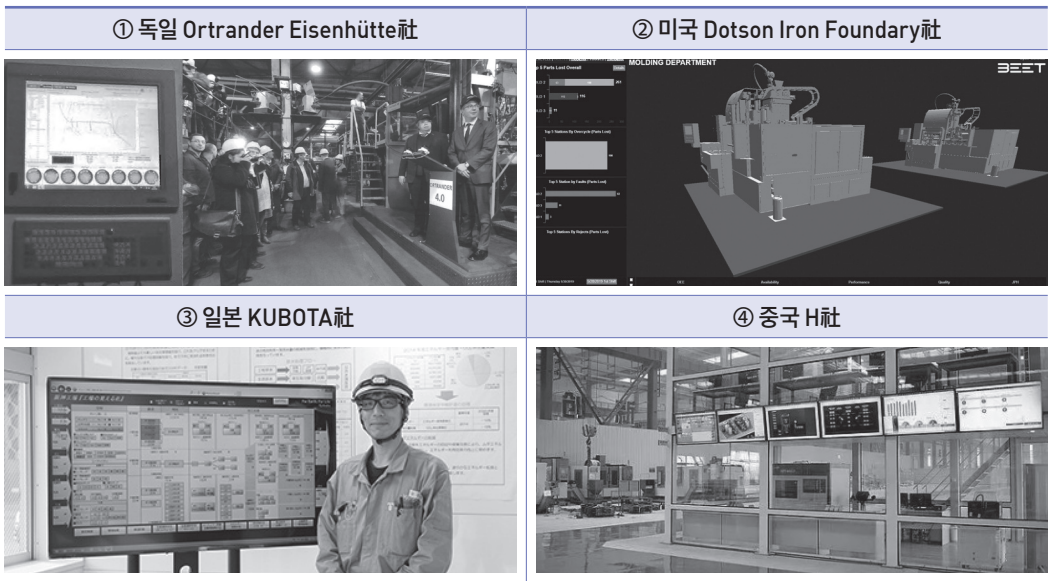


- ★ 시로봇의 발달로 주물현장의 힘들고 정교한 작업들은 시로봇으로 대체 가능하며, 주조 공정에서의 어려운 문제들이 해결 가능할 것으로 기대됨
  - 협동 로봇의 보급으로 조형, 주입, 후처리 등에 로봇과의 협업이 증가될 것으로 예상. 작업자를 대신하여 로봇이 용탕에서 주조기로 바로 주입할 수 있는 자동화 설비를 설치하고, 자동화로 주물을 제작함으로써 공정시간 단축, 생산성 향상 및 작업자의 안전도를 강화하고 노동 강도를 낮출 수 있음
  - 이를 위해, 주형 제조공정의 자동화 시스템으로 다양한 형상의 주형 취급을 위한 유연공구전환(Flexible Tool Changer) 시스템 적용, 다관절 로봇 시스템 및 주형 캐리지 적용, 자동화 시스템의 수명향상을 위한 분진과 슬러지 등으로부터 보호하기 위한 방진구조시스템 적용, 실시간 작업관리를 위한 원격 온라인 모니터링시스템 적용 등의 자동화 기술이 요구되고 있음
- ★ 현장 작업자들은 단순 노동에서 탈피하여 무인시스템을 통제·관리하는 전문교육 및 ICT 기술의 재교육을 통해 데이터와 코딩에 익숙한 전문엔지니어로 전환되는 과정 개발이 필요하며, 나아가 증강현실기술을 이용한 설계공정 및 클라우드 기반 주조 플랫폼 운영이 가능해질 것으로 기대됨
  - 고성능컴퓨팅 기능을 갖춘 고글을 착용하고 3차원 공간에서 장비를 이용하여 주물의 설계 및 주조 방안과 공정 레이아웃 설계 등이 가능해질 것으로 예측됨
  - 지능화, 무인화된 주조현장에서 주조통합플랫폼의 중요성을 인식하여야 함. 플랫폼상에서 주조시뮬레이션을 비롯한 각종 응용 S/W 라이브러리와 데이터가 사스(Software as a service) 형태로 탑재되어 서비스되며 경쟁력 있는 콘텐츠만 지속가능한 환경으로 변화될 것으로 전망

## /// 주물공장의 스마트화 적용 사례

- ★ 독일에서 Industry 4.0이 시발된 이후 국내외 주물공장에서도 스마트공장화를 활발히 추진하고 있으며, 독일, 미국, 중국, 일본 등에서는 각 공장별 상황을 반영한 다양한 방식의 스마트화가 진행 중임
  - 일례로 독일의 Ortrander Eisenhütte社의 경우, 용해, 조형 작업, 품질 관리 등 주조 단위 공정 별로 실시간 데이터를 취득하여 공정 제어가 가능한 시스템을 구축하였으며, 이를 통해 에너지 절감 및 불량률 저감을 달성함. 또한, RFID를 활용한 운반 상자 추적 시스템을 도입하여 공정 최적화를 구현함으로써 생산성을 향상시킴
  - 미국 Dotson Iron Foundry社에서는 주형 장비, 이송, 턴테이블 작동 등에 실시간 데이터 모니터링 시스템을 구축하여 지체 공정을 파악하여 공정을 최적화하고, 공정 유지보수에 활용하여 생산성 향상, 가동 중지 시간 및 사이클 시간 단축, 유지 보수 일정 관리 및 통신의 개선을 달성한 것으로 보고됨
  - 중국의 경우, 주물 산업 13차 발전전략 5개년(2017-2022)을 기반으로 주물공장의 스마트화를 추진하고 있으며 ERP, MES 등을 도입하는 주물공장들이 증가하고 있는 것으로 보고됨. 루통 정밀 유한 공사에서는 알루미늄 저압 주조 장비 시스템 업그레이드, 용융 용광로 시스템 최적화, 지능형 저압 주조 설비의 도입 등을 통해 유연 생산라인을 구축하고, 지능형 통합 플랫폼을 도입하여 소재-금형제조-주조까지 자동화를 통해 생산성이 증가하고 영업 이익이 증대된 것으로 보고됨

- 일본의 KUBOTA社에서는 위험한 생산 라인에 로봇을 도입하여 작업자의 안전도를 확보하고 작업자와 로봇의 협력 생산체계를 구축함. 또한 IoT 기술을 적용하여 공정상 발생하는 빅데이터의 취득 및 분석을 통해 효율적인 생산관리를 수행하고 있으며, 이를 활용하여 새로 유입된 젊은 인력에 대한 숙련된 노하우의 전수가 이전보다 용이해져 작업 및 생산성이 향상된 것으로 평가됨



(출처: ① BDG report 2015, ② Modern casting (2021), ③ kubota社. 홈페이지, ④ <http://www.yzweekly.com/>)

★ 국내 주조산업에서도 스마트공장화에 대한 관심이 증대되고 있으며, 정부 지원을 통해 스마트공장을 구축한 시범공장들에 대한 구축 사례 정보가 공개되어 있고, 견학이 가능하여 각 주물공장에서의 상황을 고려하여 스마트화 방안에 대해 검토해볼 수 있음

- 동양피스톤은 엔진 피스톤 및 친환경차용 부품을 생산하는 기업으로 2016년 산업통상자원부 선정 대표 스마트공장임. 주조-성형-가공-출하까지의 전 공정이 자동화되어 있으며, 각 장비에서는 센서를 통한 공정데이터 실시간 모니터링을 실시하여 중앙 서버에 전송하여 관리자는 이상 데이터 발생 시 즉각적인 대응이 가능함. 또한, 맞춤형 설계관리(PLM), 유연생산시스템(APS) 등을 구축하여 생산계획에서 생산, 유통에 이르는 과정을 소프트웨어로 연결시켜 생산성이 향상됨. 동양피스톤에서는 스마트공장 도입 후 생산성 25% 향상, 불량률 85% 저감 외에 품질력·생산력 향상에 따른 글로벌 완성차업체 납품 규모가 증가됨
- 금영정공(주)은 자동차 컴프레서, DCT, 토크컨버터 등의 주물을 생산하는 기업으로 바코드 및 스캐너를 활용한 로트(Lot)추적시스템을 구축하여 완성품 검사-최종 검수-출하까지 추적이 가능함. 이를 통해 신속한 불량 원인 파악 및 불량률 50% 저감을 달성함. 또한, MES를 도입하고 다이캐스팅 주조와 가공 공정에 로봇 설비를 투입하여 생산성을 향상시켰으며, 생산 현황, 장비가동 현황, 설비 조건 등을 관리자가 스마트폰 앱을 통해 확인이 가능하여 이상 발생 시 실시간 대응이 가능해지는 등 총 제조 소요시간이 16.6% 단축되었음

- (주)대한오토텍은 다이캐스팅, 중력주조, 정밀 주조 등을 통해 자동차용 부품을 생산하는 기업으로 주조 라인에 로봇을 도입하여 자동화 라인을 구축하고, MES를 도입하여 생산정보를 관리함. 이를 통해 생산성 40% 향상, 불량률 29% 감소, 업무 효율 30% 증가 등의 실적을 도출함
- (주)부천주물은 자동차 및 철도 차량용 주물을 생산하는 기업으로 ICT를 기반으로 한 생산공정관리시스템을 구축하고 제조 현장의 웹 관제 시스템을 구현하여 실시간 모니터링을 통해 생산정보를 관리하고 있음. 이를 통해 수기에 의한 데이터 오류를 최소화하여 불량률을 5%에서 3%로 개선, 데이터 입력 등의 서류 작업을 20일에서 12일로 단축, 생산계획 대비 실적 90% 달성 등 생산성이 향상됨



(출처 : ① 중앙일보, ② 스마트제조혁신추진단, ③ 중소벤처기업부 홍보영상, ④ 스마트제조혁신추진단)

- ★ 현재 국내 주물공장에서는 시범공장 사례와 같이 중간 이상 단계의 스마트화를 구축한 기업이 있는 반면, 대부분은 기초 단계부터 도입해야 하는 실정으므로 각 공장별 상황에 맞추어 단계별로 순차적 적용이 필요함
  - 기초 단계부터 도입하는 주물공장의 경우 우선적으로 각 공장별 주요 라인에 대해 자동화를 적용할 공정을 검토하면서 다음 단계로 적용할 스마트화 방안을 고려한 준비가 필요할 것으로 판단됨
  - 중간 이상 단계의 스마트화를 목표로 하는 공장의 경우, 주요 전공정에 대한 자동화 시스템을 기반으로 각 장비별 센서를 통한 주요 생산 보 빅데이터화, 품질 데이터와의 연계 등을 통해 지능형 품질 관리 시스템을 구축할 뿐만 아니라 인공지능, AR/VR, CPS 기반의 자율 운영 시스템 도입을 위한 고민이 필요한 것으로 사료됨

## 3. 주조산업의 적층 제조 기술 적용 현황 및 관련 기술개발 동향

### /// 적층 조형 기술의 정의 및 특징

- ★ 일반적으로 전통 방식의 주조 프로세스는 ‘설계 → 모형(목형) → 주형 및 조형 → 주조 및 주조품’의 일련의 복잡한 제조 과정이 요구되는데, 이 과정에서 목형 치수 변형, 형상 및 공간 제약, 낮은 정밀도 등 여러 문제점이 발생함
  - 첫째로, 목형을 사용할 때 불완전 건조, 흡습 등으로 인한 함수율로 제작 과정 중 수축(shrinkage)이나 심한 경우 제품에 비틀림(distortion)과 같은 결함이 발생할 수 있음. 따라서 수축을 고려한 소재 선택 및 치수 디자인이 필요하며, 제작 후 많은 후처리 공정이 수반됨
  - 둘째로, 사형주조를 이용하여 중대형 크기의 기계 부품을 제작하는 경우, 사용되는 주형 및 중자유 목형 역시 크기가 증가하는데, 향후 보관(공간 확보, 습도제어 등)에 상당한 비용이 소모됨
  - 마지막으로, 너무 복잡하거나 두께의 편차가 큰 형상을 제작하는 데 한계가 있으며, 가능하더라도 중자 제작 시 여러 개의 목형이 필요함. 또한, 목형 조립 시 치수 오차, 낮은 정밀도로 인한 결함 발생(Burr, Fin 등)이 쉬운 기술적인 문제점이 존재함
- ★ 한편, 최근 주조산업에서 새롭게 시도 중인 ‘적층 조형 기술’은 적층 제조공정(3D 프린팅)으로 CAD 설계도면으로부터 복잡/일체 형상의 몰드, 주형 등을 직접 신속하게 조형하는 방식임
  - 적층 조형을 사형주조에 적용하는 경우 아래 표와 같이 기술적으로 상당한 장점이 있지만, 초기 장비 도입 가격이 고가이고, 단순 형상, 대형부품, 대량생산 등이 필요한 경우에는 기존 전통 방식의 주조기술에 비해 제조 비용 및 단가 상승 등의 단점을 나타냄. 따라서 상황에 따라 적층 제조공정의 활용 여부를 적절히 판단하여 적용할 필요가 있음

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 목형 및 금형 불필요</li> <li>• 설계변경으로 금형 수정에 따른 추가 비용 없음</li> <li>• 제작 기간 단축 및 제작비용 절감</li> <li>• 노동력 감소</li> <li>• 목형 및 금형 보관 필요 없음</li> <li>• Core 등 통기도 확보를 통한</li> <li>• 가스 제거로 주조결함 최소화</li> <li>• Undercut 등 형상에 제한 없음</li> <li>• 다수의 Core를 일체형으로 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대량생산 시 전통 제조 방식 대비가격상승</li> <li>• 고가의 장비 가격</li> </ul>

(출처 : 금속 주조에서의 3D 프린팅 활용 사례, KTC)

## // 적층 조형 방법의 종류

★ 적층 조형의 방법은 적층 제조 기술(공정 및 장비)의 발전과 주조와 융합 수준에 따라 하이브리드형, 분할 제작/결합형, 일체형의 3가지로 분류됨.

- 하이브리드형 : 전통 방식의 몰드와 적층 제조공정으로 제작된 코어를 결합하여 두 방식을 융합하여 제품을 생산하는 방법
- 분할 제작/결합형 : 몰드 및 코어를 개별로 적층 제조공정으로 제작한 후 결합하는 방법
- 일체형 : 몰드와 코어를 통합 설계하여 적층제조 공정으로 일체형으로 제작하는 방법

구분	하이브리드형	분할제작/결합형	일체형
개념	전통방식의 몰드와 3D 프린팅 코어 결합	몰드 및 코어 세트 3D 프린터로 제작하여 결합	몰드와 코어를 일체형으로 프린팅
사진			

★ 최근 각종 주조품들은 가볍고(경량화), 콤팩트하고(소형화), 얇고(박육화), 높은 성능(고성능화)이 요구되는 추세에 따라 몰드와 복잡한 내부구조를 요구하므로, 일체 성형 주형 사용량이 점차 증가하고 있음

- 이 방식은 복잡한 형상의 주형을 한 공정으로 신속히 제작할 수 있으므로 제조 시간과 비용 절감, 주조품의 성능 품질향상에 효과적이지만, 설계 및 구현에 있어 높은 기술적 난이도가 요구되므로 적용 소재 및 적층 장비 기술 고도화가 동반되어야 함
- 이를 해결하기 위해 국내·외적으로 적층 제조용 주형 소재(주물사 및 바인더) 및 적층 장비 개선(신속화, 정밀화, 대형화)을 위한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 일부는 상용화에 근접하여 실제 현장에 적용되고 있음

## // 조형용 적층 제조 기술의 종류

★ 현재 주조산업에서 대표적으로 이용되고 있는 몰드 및 주형 조형용 적층 제조 기술은 레이저 소결법(Selective Laser Sintering : SLS)과 잉크젯 적층 조형법(Binder Jetting : BJ)임

- 레이저 소결법은 열 경화형 주물사(Resin Coated Sand : 페놀수지를 피복 및 건조한 모래)를 사용하여 원하는 형태로 적층하면서 고온의 CO<sub>2</sub> 레이저 열원으로 가열 및 경화시켜 조형하는 기술임. 레이저 가열만으로는 조형물의 강도가 부족하므로 적층 후 꺼내어 오븐에서 추가로 경화시켜야(post cure) 고정밀·고강도의 주형을 얻을 수 있음

- 접착제 분사법은 주형용 모래에 자경성 바인더(self-curing binder)를 잉크젯으로 분사하면서 적층 조형하는 기술임. 주로 사용되는 바인더 종류로는 폴란수지, 페놀수지, 시멘트, 액체 유리(liquid glass) 등이 있으며, 이러한 접착제는 수지와 경화제(경화 촉매)의 조합으로 구성됨. 모래와 혼련 된 바인더는 일정 시간이 지나면 스스로 경화되어 최종 형상으로 조형되고, 탈사하여 주조용 몰드 또는 주형으로 사용됨

★ 적층 조형 공정에 있어 접착제 분사법이 레이저소결법에 비해 공정단계 및 제작비용 등에 다소 우위를 나타내므로, 대부분 적층 제조공정을 활용하고자 하는 주조공장에서는 접착제 분사법을 도입하는 추세임

접착제 분사 방식 모식도 (Binder Jetting)	접착제 분사용 분말의 확대 사진	접착제 분사 방식으로 제조한 중자 사진

(출처: 최진용-접착제 분사 기술을 활용한 산업용 중자 제작, 한국인터넷방송통신학회논문지)

★ 적층 조형 공정에 사용되는 주물사는 주로 SiO<sub>2</sub> 기반으로 용융 금속의 종류에 따라 순도를 조절하여 사용함. 주형이 통기성 및 적절한 강도를 가져야 하므로 일반적으로 평균 입도가 150~400 $\mu$ m 정도의 주물사를 사용하며, 우수한 적층 특성 확보를 위해 입형은 가능한 구형을 사용함

★ 분사되는 바인더의 양은 많을수록 주형의 강도를 증진할 수 있으나, 과량의 바인더 첨가 시 형상 및 치수 제어가 어려우며, 경화 속도 지연, 기공률 감소로 인한 통기성 및 가스 배출에 악영향을 미치는 단점이 발생할 수 있음. 따라서 적층 조형 공정으로 양질의 조형물을 얻기 위해서는 주요 소재인 주물사와 바인더(수지 및 바인더)의 종류, 조합, 조성 및 분사량 등에 관한 많은 연구를 통한 최적화가 필요한 상황임


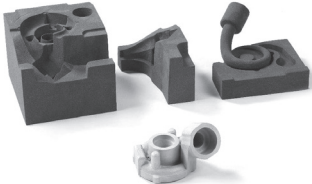

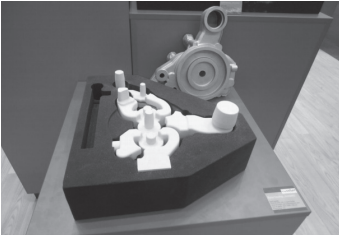
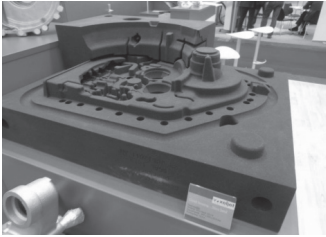

### 적층제조용 주물사 연구 예(주물사-바인더 혼합 조성에 따른 경화 특성)



(출처: 손현진-사형 주조 3D 프린팅용 소재의 기계적 특성 및 신뢰성, 한국재료학회지)

## // 주조 분야 적층 조형 기술 활용 사례

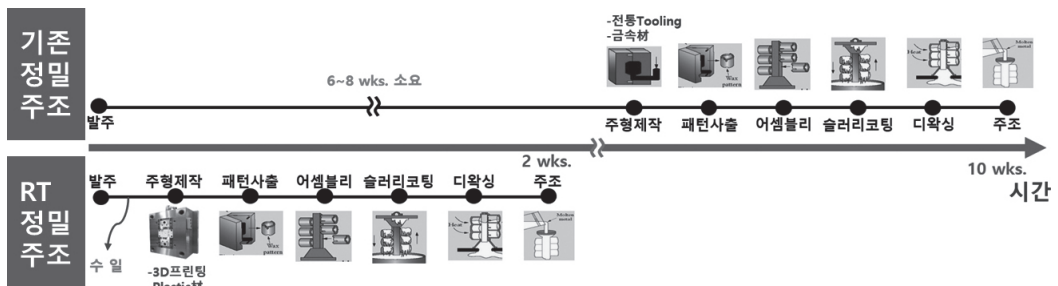
- ★ 주조 분야에서 적층 조형 기술을 활용하는 경우는 주로 대상 제품의 불필요한 부분을 최소화하여 경량화하거나, 얇은 영역과 두꺼운 영역이 혼재하는 극단적인 복잡 구조 구현, 일반적이지 않은 다품종 소량형 부품 생산, 기존 분할제품의 통합/일체화 제조를 위한 것임
- ★ 주조산업의 대표 활용 분야인 자동차 분야의 경우 연비와 주행 성능 향상을 위해 차체 경량화, 부품 소형화(컴팩트화) 및 정밀화, 부품 일체화, 엔진 효율 향상 기술이 필수적으로 요구되고 있으며, 이를 달성하기 위해 적층 조형 기술을 적극적으로 도입하여 활용 중임
  - 적층 조형을 활용한 주조품 대표 제조 사례는 아래와 같이, 엔진 블록, 실린더헤드, 배기구, 터보차저, 터빈 휠, 임펠러, 펌프와 클러치 하우징 등 자동차 부품과 복잡 형상 디자인 가구, 건축물 및 조형물 등 대형 예술 작품에 이르기까지 다양하게 활용되고 있음

엔진블럭	실린더헤드	매니폴드
		
터보차저	터빈휠	임펠러
		
펌프 하우징	클러치하우징	농기계 부품류
		

## /// 적층 제조 기반 정밀주조에 의한 고속 시제품 제조(Rapid Tooling) 기술

- ★ 최근 B2C 비즈니스 모델이 일방향에서 쌍방향으로 변하고 있으며 이 변화에 맞춰 제조업 패러다임 또한 대량생산 체제에서 다품종소량생산 체제로 변화하고 있으며 이에 대응하기 위한 새로운 공정기술 개발이 필요함
  - 최근 고객니즈 다변화, 산업별 공급과잉 심화로 다품종 맞춤형 생산과 개인화 생산에 대한 필요성이 증가하고 있으며 이에 대응하는 유연생산체계에 관한 관심도 확대 중임
  - 다양한 제품을 생산하기 위하여 투자비와 생산라인 변경을 최소화할 수 있는 기술에 대한 요구가 제조업의 요구이며, 이에 대응 가능한 뿌리 기술 확보는 우리나라 뿌리산업 경쟁력의 근간이 될 수 있는 중요한 기술임
- ★ 정밀주조 기술은 미려한 표면, 높은 정밀도, 복잡 형상의 일체형 부품 제조, 소량~대량생산에 적합한 장점이 있으나 제조공정이 길고 제조원가가 비싸다는 단점으로 인하여 우리나라 수출 주력 산업 중 하나인 자동차 부품 생산에는 적용이 제한적임
  - 정밀주조는 주형 제작, 패턴 사출, 패턴 어셈블리, 슬러리코팅, 디왁싱, 주조 등 복잡한 공정으로 최종 제품을 제조하는 데까지 걸리는 시간이 길어 제조원가가 비쌈
- ★ 적층 제조기술은 디지털 설계방식이며 간소한 제조공정으로 형상 자유도가 높은 장점이 있으나, 대량생산이 어려운 단점이 있어 프로토타입을 제조하거나 생산 수량이 적은 제품의 제조 위주로 활용되고 있음
- ★ 정밀주조 부품의 성능, 가격, 납기의 병목현상으로 작용하는 왁스패턴 제조공정 개선을 위해 적층 기술을 접목하여 수송기기 부품의 세미 대량생산 공정방안에 관한 고속 시제품 제조(Rapid Tooling : RT) 연구가 활발히 진행되고 있음
  - 시제품의 경우 적층 제조기술에 의한 direct product printing을 하는 것이 효과적이지만, 소량 생산(수십~수백 개) → 세미 대량생산 (수천~수십만 개) → 대량생산(수백만 개 이상)으로 생산량 증대 시 다른 솔루션이 필요함
  - 기존 주조공정의 QCD(품질·가격·납기) 경쟁력에 가장 큰 영향을 미치는 주형(mold) 제작 공정의 문제점을 해결하는 솔루션으로서 적층 제조기술을 응용(RT)하는 방안에 관한 연구가 진행되고 있음

기존 정밀주조 공정과 Rapid Tooling 정밀주조 공정의 차이점





★ Rapid Tooling 기술을 적용한 정밀주조 공정기술을 통해 정밀주조 공정의 장점(미려한 표면, 높은 정밀도, 복잡 형상의 일체형 부품 제조 등)을 유지하면서도 정밀주조 공정의 왁스패턴 제조공정이 획기적으로 개선된다면, 항공기 엔진 부품, 귀금속, 의료용 등 기존 적용 분야 QCD경쟁력 재고는 물론 자동차 부품 등의 세미 대량생산에 확대 적용 가능할 것임

- 적층 제조기술의 단점인 표면 특성 특히 복잡 형상 부품의 내부 표면의 표면을 개질하여 부품의 성능을 향상하기 위한 표면처리 공정과의 융합연구가 이루어지게 되면, 화학 플랜트, 자동차 부품, 통신용 부품의 성능 개선 및 일렉트로닉스 디바이스 제조에도 적용 가능할 것임

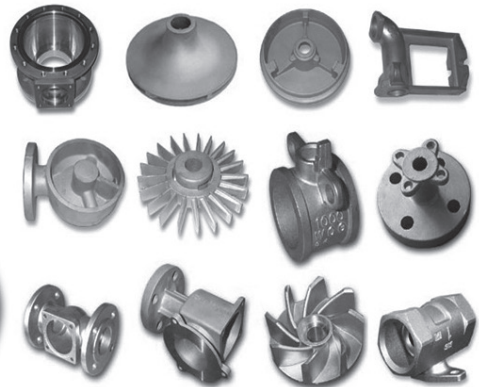
RT 정밀주조 공정 적용분야



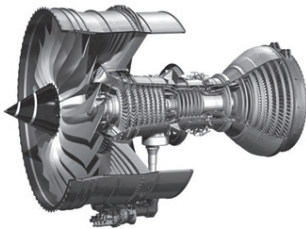
귀금속/장신구



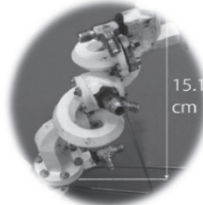
의료/바이오



자동차/중장비



항공/우주

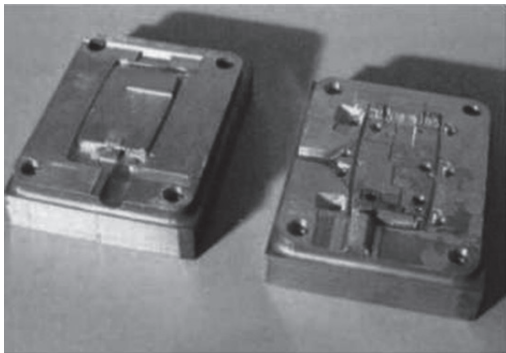


화학플랜트

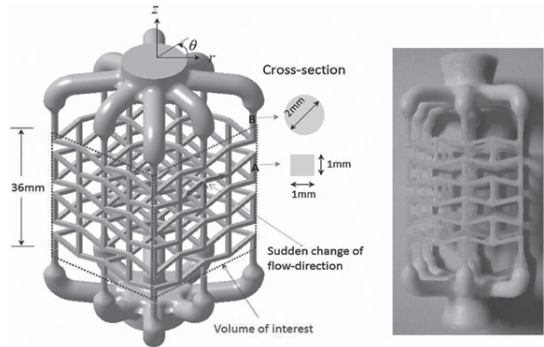
## // 기타 주조산업 적층 제조기술 적용 사례

- ★ 주조산업에서 적층 제조기술을 적용한 기타 사례로는 조형이나 왁스패턴 몰드를 제조하는 것이 아니라, 주조용 금속 금형 또는 왁스패턴 자체를 직접 적층 제조로 제작하는 경우를 들 수 있음
  - Loughborough University는 Sony Ericsson과 함께 휴대폰 프레임 제조하기 위한 다이캐스팅 금속 거푸집을 적층 제조기술 중 하나인 SLS(Selective Laser Sintering)를 활용하여 제조하였음
  - University of North Texas는 정밀 주조용 왁스패턴을 Materials jetting 방식을 적용하여 직접 프린팅 후 정밀주조를 통해 셀룰러 구조의 금속 구조물을 제조한 사례가 있음
- ★ 주조, 금형 사출 등 뿌리산업의 품질 가격 경쟁력 향상과 동시에 작업환경을 개선하기 위해 미국 Daimler Truck 등에서는 금형 툴링 등 주요공정에 적층 제조 공정을 접목하려는 시도가 활발히 이루어지고 있음

### 기타 주조산업 적층 제조 활용 사례



<Die-casting mold by SLS>



<3D cellular structure by Materials jetting>

## 4. 결론 및 시사점

- ★ 최근 주조산업은 고객 니즈 다변화 요구와 제조 산업 패러다임 형태 변화에 대응하기 위해 “유연생산체계(Flexible Manufacturing System)”를 적용 및 강화하고 있으며, 이를 위해 전통 제조 산업과 첨단산업과 융합을 시도하고 있음
- ★ 4차 산업혁명을 맞이하여 주조산업에서도 스마트공장에 대한 관심이 증가하고 있음에도 불구하고 뿌리산업분야의 중소기업에서 스마트공장 도입이 현실적 여건으로 인해 어려움이 많은 상황임. 그러나 주물 공장의 생존과 지속적인 성장을 위해서 스마트공장화에 대한 요구는 갈수록 증가할 것으로 예상됨. 현재 대부분의 주물 공장에서 고도 수준의 스마트화 도입은 당장 어려울 수 있으나, 앞서 제시된 사례 연구들을 바탕으로 각 공장 별 상황에 맞춘 스마트화 방안의 설계 및 도입이 필요할 것으로 판단됨
- ★ 이와 더불어, 기존의 주조기술이 갖는 장점(대형제품, 대량생산, 원가절감 유리)과 첨단기술인 적층제조기술의 장점(복잡 형상 정밀제어 가능, 일체형/통합형 제조, 고객맞춤 유연생산 가능)을 적절히 적용하면 미래 산업의 요구에 가능할 것으로 기대됨. 이미 해외에서는 주조산업에서 적층 조형(적층 공정으로 몰드, 주형, 중자 등 제작)을 적용한 사형주조나 신속 시제품 제작(Rapid tooling)에 의한 정밀주조 공정 및 기술을 활발히 개발하여 적용하고 있음. 현재까지는 국내 주조산업에서 적층 제조기술을 도입하여 적용하는 사례는 극소수이며, 관련 기술도 선도국과 비교해 상당히 부족한 실정이므로, 국내에서도 시장 및 기술 경쟁력 제고를 위해서 해당 기술을 신속히 도입하고 적용하여야 할 것으로 판단됨

## [참고문헌]

1. 2019 뿌리산업 백서
2. 국내 주조산업 현황조사, 한국주조공학회지, 41(2), 144-152
3. Volume of the global casting production in 2019, by country (in million metric tons)
4. 스마트제조혁신 추진단 홈페이지 (<https://www.smart-factory.kr>)
5. BDG report 2월호(2015)
6. Modern casting, 4월호(2021)
7. kubota社. 홈페이지([https://www.kubota.co.jp/kubotapress/technology/factory\\_automation01.html](https://www.kubota.co.jp/kubotapress/technology/factory_automation01.html))
8. 적층제조기술의 주조 응용과 주형용 고속 적층조형 장치의 개발, ReSEAT 프로그램 첨단기술정보분석, 한국과학기술정보연구원
9. 금속 주조에서의 3D프린팅 활용 사례, KTC 발표자료
10. 최진용 외, 접착제 분사 기술을 활용한 산업용 중자 제작, JIBC 19(5) (2019) 245
11. 손현진 외, 사형 주조 3D 프린팅용 소재의 기계적 특성 및 신뢰성, Korean J. Mater. Res. 30(1) (2020) 38
12. Jouni Hanninen et al., Direct Metal Laser Sintering, Advanced Materials and Processes, 160 (2002) 33
13. Jiwon Mun et al., Indirect additive manufacturing based casting of a periodic 3D cellular metal &#8211; Flow simulation of molten aluminum alloy, J Manufact Proces 17 (2015) 28



## 작성자/문의처

// 정책기획팀	▶ 이정우 팀장		042-712-9300		jwlee@keit.re.kr
	▶ 최재홍 연구위원		042-712-9313		jaehong815@keit.re.kr
	▶ 도정희 연구위원		042-712-9301		dojh@keit.re.kr
	▶ 이철주 수석		042-712-9305		lcj08@keit.re.kr
	▶ 정찬혁 수석		042-712-9304		supei@keit.re.kr
	▶ 임문혁 책임		042-712-9303		mhyim@keit.re.kr
	▶ 차현진 책임		042-712-9302		fmcha@keit.re.kr
	▶ 유동훈 선임		042-712-9307		yudonghun@keit.re.kr
	▶ 진명현 주임		042-712-9306		ayoayd1314@keit.re.kr

## | 주력산업 |

// 전기수소차	▶ 이백행 PD		02-556-9532		leebh@keit.re.kr
// 자율주행차	▶ 서재형 PD		02-556-9533		sjhbjj@keit.re.kr
// 조선해양	▶ 류민철 PD		02-556-9531		okpo6000@keit.re.kr
// 첨단기계	▶ 전형호 PD		02-556-9535		hhchun@keit.re.kr
// 첨단장비	▶ 심창섭 PD		02-556-9534		caleb92@keit.re.kr
// 로봇	▶ 이준석 PD		02-556-9536		ssesera@keit.re.kr

## | 신산업 |

---

/// 바이오	▶ 김형철 PD		02-6009-8771		hckim@keit.re.kr
/// 지식서비스	▶ 김돈정 PD		02-6009-8772		jamesdon@keit.re.kr
/// 디자인	▶ 이태림 PD		02-6009-8777		lilia@keit.re.kr
/// 의료기기	▶ 박지훈 PD		02-6009-8773		jihoon@keit.re.kr
/// 이차전지	▶ 송준호 PD		02-6009-8774		battery@keit.re.kr
/// 스마트제조	▶ 고재진 PD		02-6009-8775		jaejini@keit.re.kr
/// 스마트전자	▶ 변기영 PD		02-6009-8776		gybyun@keit.re.kr

## | 소재부품산업 |

---

/// 화학공정	▶ 한정우 PD		02-556-9572		jwhan@keit.re.kr
/// 섬유	▶ 윤석한 PD		02-556-9573		yshs@keit.re.kr
/// 세라믹	▶ 이건훈 PD		02-556-9571		khoon17@keit.re.kr
/// 탄소·나노	▶ 최영철 PD		02-556-9575		carbonnano@keit.re.kr
/// 뿌리기술	▶ 이병현 PD		02-556-9577		bhlee@keit.re.kr
/// 시스템 반도체	▶ 김진섭 PD		02-556-9579		keti3@keit.re.kr
/// 반도체 공정장비	▶ 이정호 PD		02-556-9574		plasma@keit.re.kr
/// 디스플레이	▶ 박영호 PD		02-556-9576		yhopark@keit.re.kr
/// 금속재료	▶ 김도근 PD		02-556-9578		dogeunkim@keit.re.kr

## PDI슈리포트 발간 목록

발간호	발간분야	이슈제목
18-특집호	19대 분야	2017년 연구개발 주요성과 및 2018년 추진 계획
18-3호	FOCUSING ISSUE	폐, 간, 심질환 영상판독지원을 위한 인공지능 원천기술개발 및 PACS 연계 상용화
	바이오약	차세대 신약개발 플랫폼: 표적 단백질 분해 기술
	메디컬디바이스	스마트 헬스케어의 현재와 미래
	첨단장비	롤투롤 패터닝 시스템 개발동향 및 개발방향
	산업융합	비침습 생체정보 처리 기술 현황
	금속재료	초내열합금 소재·부품 개발 동향
	특집	최신 자동차 기술 발전 동향
18-4호	FOCUSING ISSUE	혼합현실(Mixed Reality) 기반 산업용 협업지원시스템
	지식서비스.ENG	4차 산업혁명 시대의 스마트 플랜트 엔지니어링
	미래형 자동차	전기 추진자동차(xEV) 에너지저장시스템 기술 동향
	조선해	자율운항선박 기술 동향과 산업 전망
	뿌리기술	운전자 감성인지 능동형 내장재 모듈 기술 동향
18-5호	FOCUSING ISSUE	생산성 최적화 및 Seamless 설비운영을 위한 인공지능 기반 제조상황 진단예측 시스템 개발
	나노융합	4차산업혁명 초연결 기반을 만드는 기술, 스마트 나노센서 산업 동향
	스마트전자	IoT 가전 기반 스마트홈 기술 동향
	지능형반도체	적외선 분광센서 기술 동향 및 시사점
	화학공정	3D 프린팅용 광경화성 유연 탄성 재료 기술개발 동향
	특집	산업별 센서의 혁신
18-6호	FOCUSING ISSUE	하지기능회복 및 보조를 위한 스마트 근골격 인공대체기기 기술개발
	디자인	디자인, 스마트시티를 그리다
	표준	스마트시티의 성공과 표준
	지능형 로봇	글로벌 로봇 기술개발 챌린지 현황 및 한국 로봇 챌린지 제안
	디스플레이	「SID 2018(Display Week)」를 통해 본 디스플레이 산업 동향
	특집 1	비즈니스 효율성을 높이는 인공지능과 머신러닝, 블록체인의 혁신



발간호	발간분야	이슈제목
18-7호	FOCUSING ISSUE	만성완전폐색병변 치료용 마이크로의료로봇 시스템 개발
	바이오의약	디지털 진단 기술 및 동향 분석
	첨단기계	농업 및 건설분야 드론 활용기술
	산업융합	경량 임베디드시스템을 위한 내장형 인공지능 기술 동향
	지식서비스	스마트 금융 서비스 창출을 위한 기술 동향 분석
	특집	첨단 디스플레이 기술 발전 현황
18-8호	FOCUSING ISSUE	비정형 환경 고난도 중량물 작업을 위한 유압 로봇 제어 기술 개발
	메디칼디바이스	글로벌 기술규제에 따른 의료기기 R&D 투자 전략
	산업융합	Linux 기반 지능형 IoT 시스템플랫폼 기술 동향
	금속재료	희토류 친환경 재활용 기술 및 자원 확보 방안
	세라믹	첨단신소재 제조혁신 선도를 위한 i-Ceramic 플랫폼
18-9호	FOCUSING ISSUE	자율운행 선박을 위한 운항관제 인공지능 시스템 원천기술 개발
	나노 융합	나노 냉음극 전계 방출형 신개념 디지털 엑스선 튜브 개발 동향
	미래형자동차	자율주행서비스 기술 동향
	조선해양	조선해양 ICT융합 분야 기술 동향과 산업 전망
	뿌리기술	다공성 표면처리 기술 및 시장동향
	산업융합	디지털 트윈 기술 발전방향
18-10호	FOCUSING ISSUE	리튬이온전지의 10C(6min)급 급속충전을 위한 융복합 음극 소재 개발
	디자인	「디자인 경영」 선언
	스마트전자	산업용 AR의 기술 동향과 산업 전망
	지능형반도체	바이오헬스케어용 반도체 기술 및 시장 동향
	화학공정	3D 프린팅용 고강도/고내열성 고분자 소재 개발 동향

## PDI슈리포트 발간 목록

발간호	발간분야	이슈제목
18-11호	FOCUSING ISSUE	장비/제어/공정 통합 가상공작기계 기술 및 이에 기반한 공작기계 지능화 원천기술 개발
	지능형로봇	시각 및 촉각을 이용한 로봇의 파지/조작 기술
	디스플레이	OLED 제조혁신을 통한 디스플레이 산업 경쟁력 강화
	기능성섬유	맞춤형 의류 산업으로의 사업모델 동향
18-12호	첨단기계	스마트 건설기계 기술개발 배경 및 추진전략
	산업융합	스마트공장 선도모델공장 및 R&D 연계 전략
	세라믹	스마트 공간산업을 위한 글래스 기반 인터랙티브 모듈-서비스 산업
19-특집호	20대 분야	2018년 연구개발 주요성과 및 2019년 추진 계획
19-3호	FOCUSING ISSUE	실용화를 위한 ODD-RSD 기반 자율주행시스템 개발
	FOCUSING ISSUE	SiC 파워반도체 상용화 센터 구축 및 공정기술 개발
	나노융합	나노복합소재를 이용한 천연활성물질 기반 고성능성 화장품
	반도체	차량용 반도체 기술 및 국내 발전 전략
19-4호	금속재료	경량 금속소재(Al, Mg, Ti) 시장 및 기술 동향
	FOCUSING ISSUE	전기승용차-전기버스 범용 충전 가능한 400kW급 전기차 충전기 개발
	지식서비스	음성인식 가상비서 기술 동향 및 전망
	로봇	자율주행로봇을 위한 SLAM 기술 동향과 산업 전망
19-5호	디스플레이	Volumetric 디스플레이 기술 동향 및 향후 추진 방향
	뿌리기술	열처리 산업 현장의 에너지 효율 향상 방안
	FOCUSING ISSUE	스마트미러기반 복합상황인지 IoT 스마트 가전 기술
	바이오	융복합 기술기반 의약품 개발 동향
	스마트전자	지능형 스마트홈의 미래 홈케어 기술
	첨단장비	국내외 High-end 정밀가공장비 스마트 요소기술 분석
산업융합	스마트 공장 시험인증 서비스 개발 현황	
화학공정	생분해성 고분자 소재 연구 및 선진 연구 개발 동향	

발간호	발간분야	이슈제목
19-6호	FOCUSING ISSUE	수면환경관리 및 무자각 생체리듬 유도를 통한 통합수면관리 서비스
	디자인	기업의 미래먹거리 발굴 전략으로서 선행디자인
	첨단기계	자율주행기반 스마트 농기계 기술개발 배경 및 추진전략
	자동차	전기자동차 공조 및 통합열관리 기술 동향
19-7호	FOCUSING ISSUE	응급상황 사전 예측을 위한 의사결정 지원 시스템 개발
	의료기기	미용 의료기기 기술 동향과 산업 전망
	조선해양	한국형 스마트 야드의 기술현황 및 산업 전망
	자율주행	자율주행차 인공지능 상용화기술과 산업 전망
	세라믹	세라믹 비드 제조 기술 및 시장 동향
19-8호	FOCUSING ISSUE	NeoPepsee 머신러닝 신항원 예측 알고리즘 기반 CART 대체 개인맞춤 T면역세포 치료제 개발
	나노융합	나노 안전성 분야 주요 이슈 및 동향
	스마트 전자	공기산업 기술
	반도체	2.5D/3D Heterogeneous integration using Advanced packaging
	금속재료	인공지능활용 금속재료 합금설계 기술 동향
19-9호	FOCUSING ISSUE	스트레처블 디스플레이를 위한 20% 연신 가능한 백플레인 및 발광화소 개발
	지식서비스	에듀테크 현황 및 추진방향
	로봇	수술로봇 기술 동향과 산업 전망
	뿌리기술	이중소재 접합기술 개발 동향
	디스플레이	『SID 2019(Display Week)』를 통해 본 디스플레이 산업 동향
19-10호	FOCUSING ISSUE	심혈관 진단/치료 가이드용 기능성 융합미세영상기기 개발
	바이오	생분해성 바이오플라스틱 생산기술과 산업 동향
	첨단장비	스마트 섬유제조장비 글로벌 기술개발 동향
	스마트제조	실내외 무선측위기술 동향과 전망
	화학공정	미래차용 경량 고분자 소재 연구 개발 동향

## PDI슈리포트 발간 목록

발간호	발간분야	이슈제목
19-11호	FOCUSING ISSUE	하반신 완전마비 장애인의 일상생활 운동보조를 위한 전동형 외골격로봇 개발 및 제품화
	디자인	표면감성디자인 프로세스 체계화
	첨단기계	터보분자펌프 기술개발 배경 및 추진전략
	전기·수소자동차	수소상용차 기술개발 동향
	섬유	Techtextil 2019 전시회를 통해 본 기능성 섬유 기술개발 동향 (친환경 섬유 및 전자기능 섬유 중심)
	표준	블록체인과 표준
19-12호	의료기기	선형가속기 기반 암치료기 기술 동향과 산업 현황
	조선해양	선박용 수소연료전지 기술개발 동향과 방향
	자율주행차	자율주행 셔틀 및 서비스 개발 동향
	섬유	부직포 소재 산업의 기술 혁신과 미래 전망
	세라믹	시멘트산업 현황 및 최근 이슈 동향
	탄소·나노	활성탄소 산업 현황과 기술 전망
20-특집호	21대 분야	2019년 연구개발 주요성과 및 2020년 추진 계획
20-3호	FOCUSING ISSUE	수소전기버스용 대용량 수소탱크 개발
	탄소·나노	표준화를 통한 나노제품의 기술선도와 규제대응
	디스플레이	미래 디스플레이 : 평판 디스플레이를 뛰어넘어 탈평판 디스플레이로
	세라믹	밀가루, 세라믹 분말 그리고 국내 세라믹 원료산업의 현황
	로봇	웨어러블 로봇의 기술동향과 산업전망
	의료기기	디지털치료제 기술동향과 산업전망
20-4호	뿌리기술	'주조, 용접, 표면처리 최신 기술 개발 동향'
	스마트전자	공기산업을 선도하는 스마트 센서기술
	이차전지	고에너지 고안전성 전고체전지 기술
	특집	『CES(Consumer Electronics Show) 2020』를 통해 본 소비자가전 주요 산업동향

발간호	발간분야	이슈제목
20-5호	FOCUSING ISSUE 1	자율주행 인지 대응형 코팅 소재 및 공정기술 개발
	FOCUSING ISSUE 2	CMOS 호환 고성능 GaN 전력반도체 개발
	첨단장비	공정혁신 제조장비 국내외 기술동향 및 수요 분석
	지식서비스	디지털엔지니어링 기술동향 및 전망
	자율자동차	자율주행 상용화를 위한 차량 안전기술 동향
	첨단기계	승강기산업의 기술동향과 산업전망
20-6호	FOCUSING ISSUE	As 및 Sb 미함유 친환경 원적외선 광학유리 소재 및 광학렌즈 기술 개발
	해양조선	IMO 친환경선박 관련 규제 및 대응 방안
	디자인	소재 및 표면처리 특허 빅데이터를 활용한 디자인 프로세스 개발
	전기수소차	대형 상용차 전기구동시스템 기술 동향
	화학공정	위·변조 방지 태그 기술 현황 및 개발 방향
20-7호	FOCUSING ISSUE 1	다양한 물품을 운반할 수 있는 사람 추종형 이송로봇 개발
	FOCUSING ISSUE 2	은실가스 저감용 방오성능을 갖는 선박용 저마찰 필름 기술 개발
	반도체	경량 인공지능 반도체의 발전 전망
	섬유	친환경 섬유 기술동향 및 전망
	바이오	EAP 서비스산업 동향 분석
20-8호	FOCUSING ISSUE	초실감 미래형 디스플레이를 위한 마이크로디스플레이 기술 개발
	탄소·나노	탄소섬유 소재산업 및 기술개발 동향
	디스플레이	OLED 발광재료 기술개발 현황 및 전망
	세라믹	세라믹 소재와 단일도메인항체의 융합 그리고 감염병 진단 기술
	의료기기	이동형병원 산업동향과 개발전망
	로봇	직접교시기술의 동향 및 전망

## PDI슈리포트 발간 목록

발간호	발간분야	이슈제목
20-9호	FOCUSING ISSUE	빅데이터 기반 시의 산업특화 활용을 위한 개방형 AI 클라우드 서비스 시스템 개발
	첨단장비	철삭공구 데이터 플랫폼 관련 국내외 기술동향
	금속재료	미래 선도형 금속재료산업 기술동향 및 전망
	이차전지	이차전지산업 현황 및 전망
	스마트전자	전장용 MLCC 기술동향과 산업전망
	스마트제조	증강기술을 활용한 스마트제조 기술동향
20-10호	FOCUSING ISSUE 1	잔존 혈액암세포 검사용 혈구 분석시스템 개발
	FOCUSING ISSUE 2	미래 선박 - 자율운항선박 기술개발
	첨단기계	굴착기용 전기구동 실린더 기술개발 동향
	지식서비스	비대면서비스 산업동향 및 기술현황
	자율주행차	미래 교통수단 퍼스널 모빌리티 산업 생태계
20-11호	FOCUSING ISSUE	토공작업 자동화를 위한 양방향 실시간 3D 측량정보를 제공하는 스마트건설기계연동형 드론측량시스템 개발
	조선해양	친환경선박 대체연료 기술개발 동향
	화학공정	카메라 적외선 차단(흡수) 필터 소재 기술 동향
	디자인	에코패키지 디자인 동향
	전기수소차	수소전기차용 수소저장용기 기술동향
20-12호	FOCUSING ISSUE	리튬이차전지용 파우치
	섬유	방역용 섬유소재 산업동향
	바이오	3차원 생체조직 칩 기반 신약개발 플랫폼 기술
	스마트제조	산업일자리 고도화 기술동향
	뿌리기술	3D 프린팅 기술을 접목한 금형 제조기술 동향
21-특집호	21대 분야	2020년 연구개발 주요성과 및 2021년 추진 계획

발간호	발간분야	이슈제목
21-3호	FOCUSING ISSUE	장시간 무인가공을 위한 유연 라인 가공시스템 실증
	이차전지	전기차용 고성능 배터리의 니켈계 양극소재 기술
	세라믹	양방향 세라믹연료전지의 기술개발 동향과 방향
	금속재료	항공용 금속소재 자립화 현황 및 전망
	전기수소차	전기자동차 배터리 팩 고밀도화 기술
20-4호	FOCUSING ISSUE	5G 연계 산업유형별 폼팩터를 적용한 산업용 AR기기 참조모델 개발
	로봇	비대면 휴먼케어 서비스 로봇 기술 현황 및 발전 방향
	바이오	의약품 3D 프린팅 기술의 현재와 미래
	탄소·나노	탄소소재 적용 전자파 차폐 산업현황과 기술전망
	자율주행차	자율주행기술 활용 상용차 위험환경 극복 기술 동향
21-5호	FOCUSING ISSUE	비정상 비행상황 대응 팀 단위 협업 훈련을 위한 가상 운항승무원 트레이닝 서비스 시스템 개발
	지식서비스	디지털 유통물류 기술동향과 산업전망
	스마트전자	광융합휴먼케어 기술동향과 산업전망
	뿌리	지능형 소성가공기술 동향 및 전망
	스마트제조	스마트공장을 위한 수직 통합패키지 개발
21-6호	FOCUSING ISSUE	생체의료용 고기능성 타이타늄(Ti) 합금 소재 및 응용제품 개발
	첨단기계	광산장비의 친환경 스마트 기술혁신
	디자인	휴먼팩터 지능화의 디자인 기술동향과 산업전망
	화학공정	국내 불소화학 산업 동향
	반도체	반도체 소부장 산업현황 및 투자전략

## PDI슈리포트 발간 목록

발간호	발간분야	이슈제목
21-7호	FOCUSING ISSUE	퍼스널 모빌리티 플랫폼 핵심기술 개발 및 실증
	첨단장비	3D Printed Electronics(3DPE) 분야 국내-외 기술동향
	의료기기	신경자극 의료기기 기술 및 시장동향
	섬유	자원순환 화학재생 섬유 기술동향 및 전망
	디스플레이	디스플레이용 QD 소재 기술 동향 및 향후 추진 방향
21-8호	FOCUSING ISSUE	AI 반도체 기술 소개
	전기수소차	중대형 수소상용차의 기술개발 방향
	로봇	유연물 핸들링 로봇 시스템을 위한 인식, 파지, 조작 기술
	이차전지	리튬-황 차세대 이차전지의 기술 동향 및 전망
	금속재료	수소 파이프라인 강재 기술개발 동향
21-9호	자율주행차	자율주행차 인지센서 상용화기술과 산업전망
	바이오	기술기반의약품(TBM)의 기술개발 동향과 미래가치
	스마트제조	임베디드 인공지능 SW 기술맵 동향
	탄소·나노	이차전지 음극재용 탄소나노소재 기술동향 및 전망
21-10호	FOCUSING ISSUE	탄소 감축을 위한 LNG 냉열 발전 재기화 기술
	조선해양	선박-해양 프로세스 시스템 디지털 트윈 개발 방향
	지식서비스	디지털엔지니어링 설계기술과 탄소저감
	스마트전자	인공지능가전 기술동향과 산업전망
	뿌리기술	주조산업의 최신 기술 활용 사례





## KEIT PD Issue Report

| 발 행 일 | 2021년 10월

| 발 행 처 | 한국산업기술평가관리원(KEIT)

| 주 소 | (대구본원) 41069 대구광역시 동구 침단로 8길 32(신서동 1152번지) TEL. 053-718-8114

(대전본원) 35262 대전광역시 서구 문정로 48길 48(탄방동 647) 계룡빌딩 3층 TEL. 042-712-9300~5

| 홈페이지 | [www.keit.re.kr](http://www.keit.re.kr)

이 책자의 저작권은 한국산업기술평가관리원에 있습니다. 무단전재와 복제를 금합니다.

ISSN 2234-3873

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



# 기술강국코리아를 향한 R&D지원 글로벌 리더 *Keit*



R&D 골든타임을 찾다! **기획**

**평가** R&D 가치를 높이다!

**관리** R&D 성과를 창출하다!