

VOL 21-11

2021.11

# KEIT PD

## Issue Report

### PD 기술 이슈

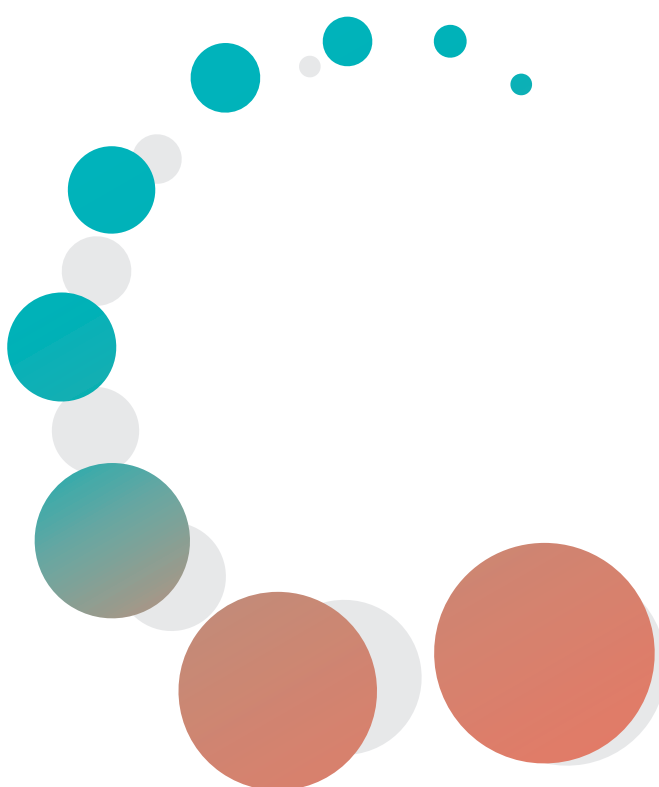
ISSUE 1 극저온 냉동기 기술 및 시장 동향

ISSUE 2 CMF디자인 기술동향과 산업전망

ISSUE 3 국내 축매 산업의 기술 동향

ISSUE 4 전력반도체 최신 기술 이슈 및 향후 전망

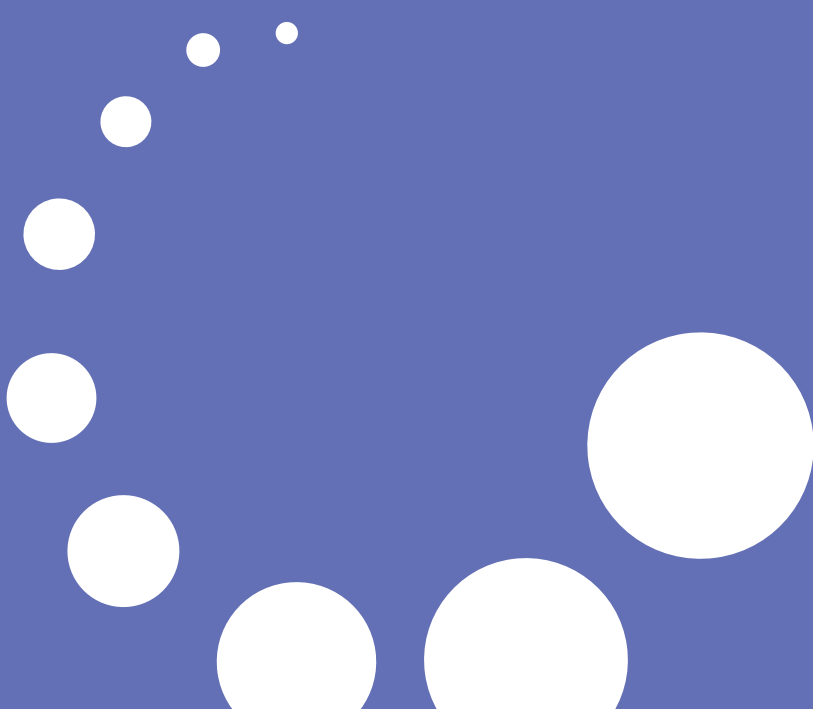
**Keit** 한국산업기술평가관리원  
Korea Evaluation Institute of Industrial Technology





VOL 21-11 2021.11  
KEIT PD ISSUE REPORT

❶ [PD 기술 이슈 1] 극저온 냉동기 기술 및 시장 동향	07
❷ [PD 기술 이슈 2] CMF디자인 기술동향과 산업전망	21
❸ [PD 기술 이슈 3] 국내 촉매 산업의 기술 동향	30
❹ [PD 기술 이슈 4] 전력반도체 최신 기술 이슈 및 향후 전망	45



VOL 21-11

2021.11

# KEIT PD Issue Report

## PD 기술 이슈

ISSUE 1 극저온 냉동기 기술 및 시장 동향

ISSUE 2 CMF디자인 기술동향과 산업전망

ISSUE 3 국내 촉매 산업의 기술 동향

ISSUE 4 전력반도체 최신 기술 이슈 및 향후 전망





# PD 기술 이슈

## ISSUE 1

극저온 냉동기 기술 및 시장 동향

- KEIT 첨단기계PD

## ISSUE 2

CMF디자인 기술동향과 산업전망

- KEIT 디자인PD

## ISSUE 3

국내 촉매 산업의 기술 동향

- KEIT 화학공정PD

## ISSUE 4

전력반도체 최신 기술 이슈 및 향후 전망

- KEIT 시스템반도체PD



# 극저온 냉동기 기술 및 시장 동향

|저자| 전형호 첨단기계PD / KEIT  
이천규 선임 / 한국생산기술연구원

## SUMMARY

### /// 극저온 냉동기 실증 기술 연구개발 필요

- ★ 산업현장 내의 극저온 냉동기에 대한 수요는 앞으로도 꾸준히 증가할 것으로 보이며, 이에 제조업/전력 송배전 분야를 중심으로 중규모 이상의 산업용 극저온 냉동기 수요가 지속적으로 증가할 것으로 예측
- ★ 탄화수소 중심 에너지원에서 그린 수소 중심의 에너지원으로 산업의 패러다임 변화가 있을 것이며, 이에 기반 기술인 극저온 냉동기 기술의 원천기술 확보 필요

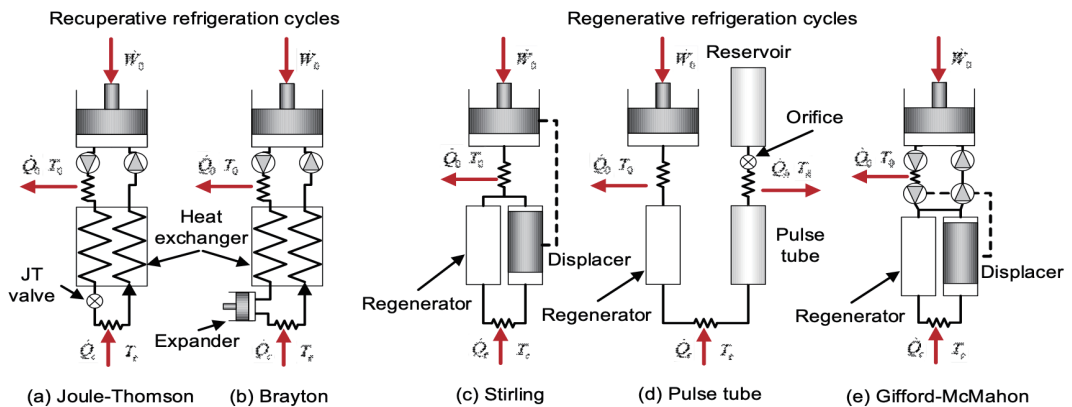
### /// 시사점 및 정책제안

- ★ 극저온 냉동기의 수명 및 냉동기의 국산화 측면에서 핵심 부품 및 요소기술 개발 필요
- ★ 점차 요구되는 온도범위가 낮아지는 산업계(반도체, 초전도 기기 및 의료기기 등) 전반에 응용 분야 맞춤형 극저온 냉동기의 개발 필요

## 1. 극저온 냉동기 개요

### /// 극저온 냉동기(Cryogenic Refrigerator)란?

- ★ 극저온(Cryogenic)은 120K 이하(-153°C 이하)의 환경을 극저온이라 칭하며, 극저온 냉동기는 극저온 환경을 만들 수 있는 온도까지 낮출 수 있는 냉동기를 총칭 [1]
- ★ 극저온 냉동기는 온도에 따라 적용하는 냉동 방식이 다양함. 기본적으로는 동작 방식에 기반하여 재생식(Regenerative) 극저온 냉동기와 복열식(Recuperative) 극저온 냉동기로 구분
- ★ 재생식 극저온 냉동기는 왕복 유동(Oscillating flow)의 작동유체와 열 재생 물질 간 열전달을 이용하여 온도를 낮추는 방식의 냉동기이며, 스텔링 냉동기(Stirling refrigerator), 펄스튜브 냉동기(Pulse Tube refrigerator) 및 GM 냉동기(Gifford-McMahon refrigerator)가 재생식 냉동기로 포함
- ★ 복열식 극저온 냉동기는 고압의 작동유체와 저압의 작동유체간 열교환을 통해 온도를 낮추는 방식의 냉동기이며, 줄톰슨 냉동기(Joule-Thomson refrigerator) 및 역브레이튼 냉동기(Reverse-Brayton refrigerator)가 해당



[ 그림 1. 극저온 냉동기의 분류 및 원리 [2] ]



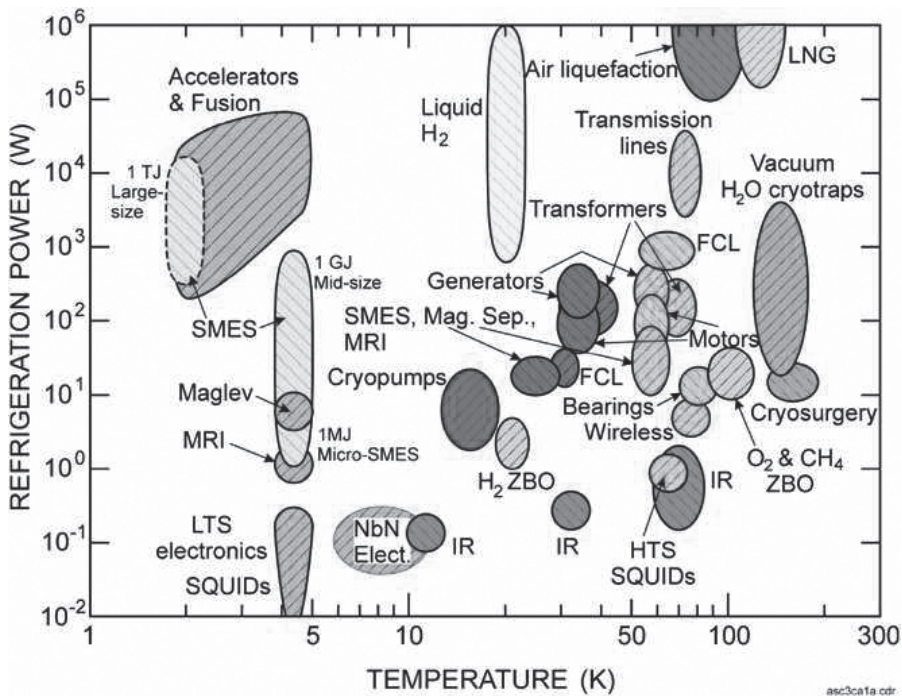
- ★ 줄톰슨 냉동기(Joule-Thomson Refrigerator)는 고압의 작동유체를 밸브를 이용해 팽창시켜, 저온의 작동유체를 만들어 일부 냉각된 열을 저온에서 사용하고, 남은 열을 압축기로 회수되면서 고압의 작동유체를 예냉하는데 사용하는 방식의 냉동기로, 압축기와 열교환기만 크고 작게 구성할 수 있다면 규모의 제한이 없어 다양한 냉각용량에 주로 적용
- ★ 역브레이튼 냉동기(Reverse Brayton Refrigerator)는 줄톰슨 냉동기와 유사하나, 팽창 과정에서 밸브 대신에 기계적 구동부를 갖는 팽창기(Expander)를 적용하여 열역학적 효율을 높이고 더 효율적으로 저온을 구성하기 위한 방식으로, 저온부에 동작부가 있어 팽창기의 제어가 매우 중요한 시스템으로, 시스템의 특성상 대형 시스템에 주로 적용
- ★ 스텔링 냉동기(Stirling Refrigerator)는 가장 효율이 높은 극저온 냉동 사이클로, 압축기에서 압축된 작동 유체를 재생기(Regenerator)를 통과하면서 가지고 있던 열을 저장하고, 재생기를 통과하고 난 후에 기계적인 팽창과정을 가지면서 냉각이 되는 냉동방식으로, 팽창과정을 거치고 난 작동유체는 일부 목표를 냉각하는데 쓰이고, 이후 남은 저온의 작동유체는 재생기의 온도를 낮추는데 사용되어, 상온과 극저온간의 온도차를 재생기를 통해 구성하는 방식
- ★ GM 냉동기(Gifford-McMahon Refrigerator)는 스텔링 냉동기와 동작방식이 유사하나, 압축기와 팽창을 할 수 있는 구동부(Displacer)를 좀 더 간편하게 연동하고, 스텔링 냉동기에서 효율에 민감한 영향을 미치는 무효 부피 및 무급유 압축기를 사용하지 않고도 극저온을 얻기 위해 구성한 시스템
- ★ 펄스튜브 냉동기(Pulse tube Refrigerator)는 스텔링 냉동기와 동작 방식이 비슷하나, 팽창부에 기계적인 구동부(Displacer) 대신 가상의 가스 피스톤을 구성할 수 있는 펄스튜브, 오리피스(Orifice)와 저장체(Reservoir)를 장착한 냉동 방식

## /// 극저온 냉동기의 적용 분야

★ 극저온 냉동은 천연가스 액화, 공기 액화 분리 및 극저온 수술에서부터 입자가속기용 액체 헬륨 냉동까지 다양한 분야에서 적용되고 있으며, 산업에서 많이 사용되는 기체들의 액화 온도에 따라 구분 가능

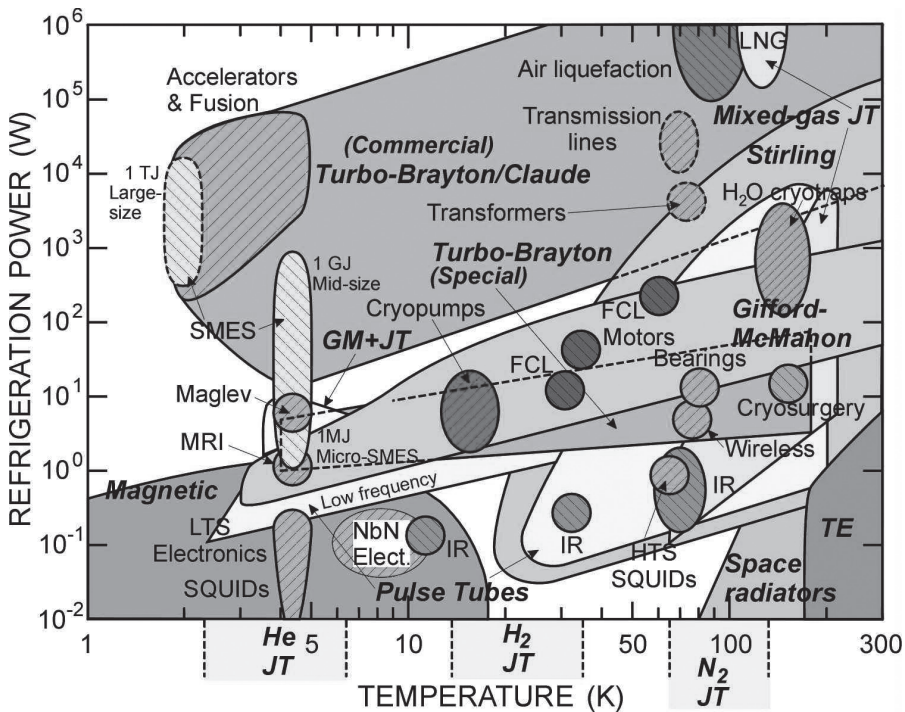
- 77K(-173°C) 초과 120K(-153°C) 이하: 천연가스 액화(Natural gas liquefaction), 극저온 수술(Cryosurgery), 극저온 수분 흡착(Vacuum H<sub>2</sub>O cryotraps) 등
- 20K(-253°C) 초과 77K 이하: 고온 초전도 냉각(High temperature superconductor), 적외선 센서 냉각(Infrared sensor refrigeration) 등
- 4.2K(-269°C) 초과 20K 이하: 수소 액화(Hydrogen liquefaction), 극저온 펌프(Cryopumps) 등
- 4.2K 이하: 저온 초전도체 냉각(Low temperature superconductor), 자기공명영상(Magnetic resonance imaging), 입자가속기용 냉각(Accelerators) 등

※ 헬륨(-269°C), 수소(-253°C), 질소(-196°C), 산소(-183°C) 및 메탄(-169°C) 등



| 그림 2. 극저온이 적용되는 산업 분야 [2] |

- ★ 극저온 냉동기는 냉각 대상의 온도에 따라서 맞춰 적용이 되어야 하며, 일반적으로 중소형 냉동 시스템에는 재생식 극저온 냉동기가, 대형 냉동 시스템에는 복열식 극저온 냉동기를 적용
  - 역브레이튼 냉동기: 냉매에 따라 다양한 온도범위로 냉각할 수 있으며, 구성 요소(압축기 및 팽창기)의 규모에 따라 가변적으로 냉각 용량 출출 가능
  - 혼합냉매 줄톰슨 냉동기: 저온 동작부가 없어 초소형 냉동기가 적용되는 분야인 극저온 수술이나 초대형 시스템(10kW 이상)인 천연가스 액화 시스템에 주로 적용
  - 스텔링 냉동기, 펄스튜브 냉동기: 20K 이상의 온도범위에 적용되며, 군사용인 초소형부터 중대형 냉각 용량(수 kW) 까지 적용 가능
  - GM 냉동기: 4K 이상의 온도범위에서 주로 적용되며, 온도에 따라 가변이나 최대 약 수백 W 정도의 냉각 용량에 적용



| 그림 3. 분야별 적용되는 극저온 냉동기 형태 [3] |

## // 극저온 냉동기의 역사

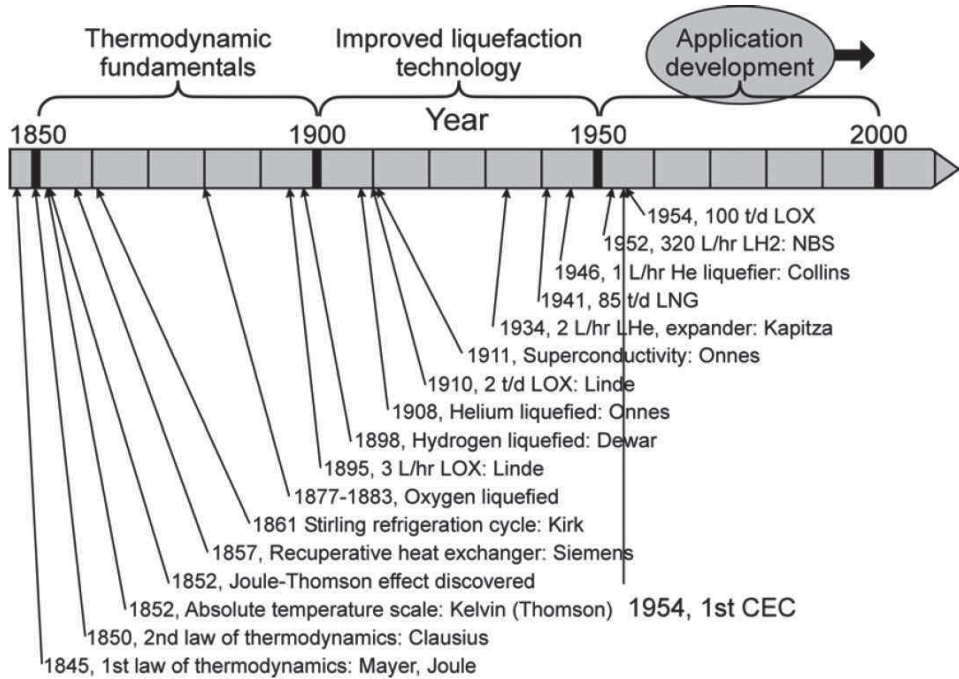
★ 극저온 냉동은 가스 액화 기술로부터 발전하였으며, 1877년에 Faraday와 Perkins가 처음 산소가 액화(-183°C, 90K)되고, 1898년 Dewar에 의해 수소를 액화(-253°C, 20K)시켰으며, 1908년 Onnes에 의해 헬륨이 액화(-269°C, 4.2K)되었음 [4]

| 표 1. 다양한 유체의 비등점(Boiling point) 및 삼중점(Triple point) [3] |

(단위 : 절대온도 K)

유체	끓는점	삼중점
크립톤(Kr)	119.78	115.77
메탄(CH <sub>4</sub> )	111.67	90.69
산소(O <sub>2</sub> )	90.19	54.36
아르곤(Ar)	87.30	83.81
불소(F)	85.04	53.48
일산화탄소(CO)	81.63	68.13
공기(0.76N <sub>2</sub> +0.23O <sub>2</sub> +0.01Ar)	78.9 - 81.7	59.75
질소(N <sub>2</sub> )	77.36	63.15
네온(Ne)	27.1	24.56
수소(Normal, H <sub>2</sub> )	20.39	13.96
수소(para, H <sub>2</sub> )	20.28	13.80
헬륨-4(He <sub>4</sub> )	4.230	-
헬륨-3(He <sub>3</sub> )	3.191	-

★ 1900년대부터 1950년대까지 공기 액화 시스템, 천연가스 액화 시스템 등 가스 액화 시스템 기술의 발전이 이루어졌고, 1946년 미국 MIT의 Collins 교수가 헬륨을 대량으로 액화할 수 있는 액화기와 극저온 용기(Cryostat)을 개발하면서, 현재까지 극저온 냉동기 개발 및 극저온 냉동기를 적용한 시스템 발전이 이루어짐 [4]



| 그림 4. 극저온 분야의 발전 과정 [4] |

- ★ 초창기의 줄통슨 냉동기는 순수 냉매(질소, 산소 등)를 이용하여 고압의 가스를 액화점에 근접하게 팽창 밸브로 들어가게 하여 발전하기 시작하였고, 효율적으로 온도를 낮추기 위하여 고효율의 열교환기가 필요하게 됨 [5]. 이에 현재는 혼합 냉매(질소, 메탄, 에탄 프로판 등의 혼합물)를 이용하는 방식이 다수 사용되고 있음 [5]
- ★ 역브레이튼 냉동기는 단순 밸브를 이용하여 온도를 낮추는 줄통슨 냉동기 대비, 팽창기를 이용한 높은 열역학적 효율을 기반으로 개발이 진행되었으며, 줄통슨 냉동기보다 더 낮은 압력비로 동작할 수 있는 시스템으로 발전함 [5]
- ★ 스텔링 냉동기는 1815년 Robert Stirling에 의해 사이클이 개발되고 난 후 긴 기간동안 산업에서 사용되지 않고 있었으나, 1946년 Philips Company에 의해 작동유체로 헬륨을 적용하여 처음 공기를 액화시키면서 현재의 냉동기 형태를 갖추게 되었으며 [5], 오래된 역사를 토대로 스텔링 냉동기는 재생식 냉동기의 모태가 됨
- ★ GM 냉동기는 1960년대 Gifford와 McMahon에 의해 스텔링 냉동기에서 무효 부피의 최소화를 극복하고 무급유(Oil-free) 압축기 수명 제한의 단점을 보완한 동작 방식의 냉동기로 개발 [5]
- ★ 펄스튜브 냉동기는 1960년대 중반에 처음 Syracuse 대학에 Gifford와 Longworth에 의해 GM 냉동기를 개발하던 도중 실수로 처음 개발되었으며, 1984년 모스크바 Bauman Technical Institute의 Mikulin 등에 의해 orifice를 삽입하는 현재의 형태가 제안되었고, 1990년대 이후 스텔링 냉동기와 비슷한 수준의 효율을 갖는 형태로 발전 [5]

## 2. 극저온 냉동기 기술동향

### // 극저온 냉동기 기술개발 동향

★ 극저온 냉동기는 적외선 센서 냉각, 극저온 수술, 군사용 등 초소형 냉각 시스템에서부터 공기 액화, 천연가스 액화 산업 등 초대형 수요처까지 매우 다양한 산업에서 적용되고 있으며, 국내 기술은 분야에 따라 상이하나 대체로 선진국 대비 50% 이하의 수준을 보유

- 세계적으로는 미국, 일본, 독일, 프랑스, 네덜란드 등이 극저온 냉동기 기술의 최첨단을 이끌고 있고, 특히 미국과 일본은 전 분야에서 높은 기술력을 보유

※ 미국 Cryomech, Thales, 일본 Smitomo Heavy Industries, 독일 Linde, 프랑스 Air Liquide, 네덜란드 Stirling cryogenics 등이 대표적인 극저온 냉동기 및 시스템 개발 기업

★ 극저온 냉동기는 냉각 온도에 따라 적용이 상이하므로, 기술 개발 동향도 서로 다른 형태를 보이고 있음

- 줄톰슨 냉동기는 적용 냉매에 따라 상이하나, 다수의 기술 개발이 77K 이상의 온도에서 효율을 향상시키기 위하여 최적의 혼합냉매 조합 및 구성을 개발하는 방식으로 기술개발이 진행

- 역브레이튼 냉동기는 두가지 방향으로, 77K 이하 온도의 초소형 터보팽창기를 구성하는 시스템과 대형 냉각 용량이 요구되는 초전도 전력기기 냉각용으로 다수 적용되고 있으며, 질소, 네온 혹은 헬륨 등을 이용한 터보 팽창기 및 터보 압축기 기술 개발이 집중되고 있음 [6]

- 스텔링 냉동기는 군사용 및 우주산업용으로 소형화 기술개발이 많이 진행되고 있고, 또한 고효율을 도달하면서도 높은 냉각용량(1 시스템당 77K에서 1kW 이상)을 확보하기 위하여 대형화 기술개발도 다수 진행되고 있음

- GM 냉동기는 자기유도영상(MRI) 내의 4K에서 냉각용량 0.5W 이상 급의 냉동기가 적용되어, 액체헬륨 재액화 용으로 가장 많이 수요가 존재하고, 이를 위한 재생기(Regenerator) 소재 기술 개발이 많이 진행되고 있음. 미국의 Cryomech사와 일본의 SHI사에서 상용화가 가장 많이 된 냉동기이며, 중소형 냉각용량(77K에서 100W 미만)에 주로 적용 중으로, 저온의 동작부의 밀폐 기술(Sealing), 작동유체 제어 기술에 핵심인 회전형 밸브(Rotary valve) 등의 수명을 연장하는 기술개발에 집중하고 있음 [6]

- 펄스튜브 냉동기는 헬륨 액화를 위한 4K 냉동 시스템 개발이 주를 이루고 있으며, 기존의 1단 냉동 외에 2단 냉동방식을 구성하는 방식을 개발완료. 현재 상용화된 기술로는 4K에서 냉각 용량 0.2W, 50K에서 냉각용량 2W를 구현하고 있음 [6]

| 표 2. 극저온 냉동기 주요 제품 비교 |

냉동기 형태	업체명(제품명)	제품사진	주요 성능
줄통슨 냉동기	Polycold systems Inc. (PT-13)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비가연성 혼합냉매 및 가연성 혼합냉매 제품</li> <li>• 냉각용량 : 6W @ 86K</li> <li>• 중량 : 31.1kg(압축기 포함)</li> </ul>
역브레이튼 냉동기	Air Liquide (TBF-1050)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해상 천연가스 플랜트 천연가스 액화용 제품</li> <li>• 냉각용량 : 50kW @ 40K</li> <li>• 중량 : N/A</li> </ul>
스털링 냉동기	Stirling cryogenics (SPC-1)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 질소 및 산소 액화 적용 제품</li> <li>• 냉각용량 : 1kW @ 70K</li> <li>• 중량 : 500kg</li> </ul>
	Air Liquide (K508)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적외선 센서 냉각용 고속 냉각 및 초소형 시스템</li> <li>• 냉각용량 : 220mW @ 77K</li> <li>• 중량 : 450g</li> </ul>
GM 냉동기	SHI cryogenics group (RDK-415D)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• MRI 헬륨 재액화용, 액체 헬륨 적용</li> <li>• 냉각용량 : 1.5W @ 4.2K</li> <li>• 중량 : 18.5kg(압축기 제외)</li> </ul>
	Cryomech (AL330)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소 재액화용</li> <li>• 냉각용량 : 40W @ 20K</li> <li>• 중량 : 20.9kg(압축기 제외)</li> </ul>
펄스튜브 냉동기	Cryomech (PT425)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 액체헬륨 냉각 적용</li> <li>• 냉각용량 : 2.7W @ 4.2K</li> <li>• 중량 : 26.3kg(압축기 제외)</li> </ul>
	SHI cryogenics group (RP-182B2S)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 액체헬륨 냉각 적용</li> <li>• 냉각용량 : 1.5W @ 4.2K</li> <li>• 중량 : 28.0kg(압축기 제외)</li> </ul>



## // 국내 극저온 냉동기 기술개발 동향

- ★ 국내의 극저온 냉동기 기술개발은 바이오 산업에 적용되는 초저온 환경 챔버(약 -100°C), 천연가스 액화 시스템 등의 적용 기술개발이 진행 중이나, 극저온 냉동기 자체에 대한 기술 개발은 미비
  - 액화수소 산업, 액화천연가스 산업, 반도체 산업, 바이오 산업 등 다양한 산업에서 점진적으로 극저온 환경에 대한 수요가 증대되고 있어, 다수의 산업분야에서 극저온 냉동 시스템을 개발하려는 추세
- ★ KAIST는 자기냉동기, 맥동관 극저온 냉동기 등 극저온 냉동기의 냉각 특성 규명을, 홍익대학교에서는 최근 초전도 전력기기용 냉각 시스템, 수소 액화용 극저온 냉동 사이클 등 기초연구를 진행 중이며, 극저온 냉동기 실용화 기술은 한국기계연구원에서 다수 진행하고 있으나, 선진국 대비 부족한 상황
  - 학계에서는 극저온 냉동기의 원천기술 개발에 집중하고 있는 반면, 요소부품이나 부품의 내열성, 고수명을 유지하는 기술 및 소형화 기술이 부족

[ 표 3. 국내 극저온 냉동기 기술 개발 현황 ]

냉동기 형태	업체명(제품명)	제품사진	주요 성능
줄통슨 냉동기	세일유프리지 (SF-95U630)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세포 동결 및 약품 보관용</li> <li>• 보관 용량 : 630 L, -95°C</li> <li>• 중량 : 379kg(압축기 포함)</li> </ul>
역브레이튼 냉동기	한국기계연구원		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 액화천연가스 운반선용 네온 역브레이튼 냉동기 개발</li> <li>• 냉각용량 : 2kW @ 77K</li> </ul>
스털링 냉동기	한국기계연구원		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초저온 냉동고용 냉동기, 전자 열화상 카메라 냉각용 등</li> </ul>



### 3. 극저온 냉동기 시장 현황 및 전망

#### // 국내외 시장 규모

- ★ 극저온 냉동기 관련 국내 시장은 천연가스 관련 산업 및 바이오 냉동고를 제외하고는 아직까지 초기 준비 단계이며, 최근 수소경제 활성화 및 산업에서의 극저온 요구에 따라 조만간 관련 시장이 급성장할 것으로 예측
  - 2020년 MarketsandMarkets의 예측자료에 따르면 2020년 23억 불(2조 68백억 원)에서 2025년 31억 불(3조 62백억 원) 규모로 연평균 6% 수준의 성장률을 보일 것이라 예측
  - 박성재 등은 2030년 세계 극저온 냉동기 시장은 약 16조 원 정도로 예측하며, 이중 대형 냉동기 및 LNG 재액화기의 시장이 대다수를 차지할 것으로 예상 [7]
  - 대형 용량(10kW 이상)의 역브레이튼 냉동기에 대한 수요가 급증할 것이라 예상하고, 중용량(수 kW급) 극저온 냉동기인 GM 냉동기, 맥동관 및 스테링 극저온 냉동기의 부상이 예상됨

#### // 극저온 냉동기 미래 전망

- ★ 산업현장 내의 극저온 냉동기에 대한 수요는 앞으로도 꾸준히 증가할 것으로 보이며, 이에 제조업/전력 송배전 분야를 중심으로 중규모 이상의 산업용 극저온 냉동기 수요가 지속적으로 증가할 것으로 예측
  - 송/배전 시 손실을 최소화하기 위한 초전도 전력 케이블, 초전도 한류기 등 다양한 전력기기들의 초전도 적용이 전 세계적으로 진행되고 있으며, 이에 액체질소 냉각을 위한 대형 냉동기 시스템이 연구되고 있음
- ★ 정부 주도의 강력한 탄소 중립 및 수소 경제 활성화 정책에 기반하여 탄화수소 중심 에너지원에서 그린 수소 중심의 에너지원으로 산업의 패러다임 변화가 있을 것으로 예상되며, 이에 따른 기반 기술인 극저온 냉동기 기술의 원천기술 확보 필요
  - 수소 경제의 활성화 로드맵에 기반, 2040년까지 수소 자동차 620만 대 및 수소 충전소 1,200개소 구축 예정으로 안정적이고 경제성 있는 수소 유통체계 확립을 위하여 안전성, 경제성이 우수한 수소 액화, 액상 저장 기술 개발 필요
  - 수소 액화를 위해 수소 액화 플랜트, 액화 수소 저장 탱크, 액화 수소의 유지를 위한 무손실 저장(Zero Boil off storage) 등이 필요하며, 시스템을 위해 액체 수소 온도(20K)로 냉각할 수 있는 극저온 냉동기 수요 증가 예상
  - 이러한 수요 증가에 힘입어, 그동안 진행되어 왔던 기초 연구개발을 기반으로 실증 기술, 대규모 극저온 냉동기 실증 기술 및 고효율, 고수명을 위한 요소부품 개발 기술로 확대하여 타 분야로의 기술 보급 및 확장, 나아가 극저온 냉동기의 대중화에 크게 기여할 것으로 예상

★ 산업계(반도체 및 의료기기 등)의 적용 온도범위 확장에 따라 극저온 냉동기 수요 증대 및 다양한 분야로의 응용 기술 개발 수요도 확장될 예정

- 반도체 산업에서는 초 고난도 공정(극자외선 노광(EUV lithography), 초미세 식각, 고종횡비 식각 등)을 적용하기 위하여 점차 공정의 요구 온도 범위가 확장되고 있고, 이에 반도체 산업용 극저온 냉동기술도 부각될 것으로 예상
- 전립선암, 세포암, 심장판막술 등에 적용되는 극저온 냉동 절제술용 극저온 냉동기, 발사체 및 측정용 초소형 적외선 센서 냉각 극저온 냉동기 등 다양한 응용 분야 맞춤형 소형 냉동기 시장도 점차 증대되는 추세

**[참고문헌]**

1. "Refrigeration Systems for Achieving Cryogenic Temperatures", Ronald G. Ross, Jr.(2016), Chapter 6 in Low Temperature Materials and Mechanisms, pp.109-181
2. "Cryocoolers: the state of the art and recent developments", Ray Radebaugh(2009), Journal of Physics: Condensed Matter, 21, 164219
3. "Fundamentals of Cryocoolers With Applications to 4K Systems", Ray Radebaugh(2011), Short course at Cryogenic Engineering Conference 2011
4. "HISTORICAL SUMMARY OF CRYOGENIC ACTIVITY PRIOR TO 1950\*", Ray Radebaugh(2007), Cryogenic Engineering, Fifty Years of Progress, Springer
5. "Development of the Pulse Tube Refrigerator as an Efficient and Reliable Cryocooler", Ray Radebaugh(2000), Proc. Institute of Refrigeration
6. "Review of Refrigeration Methods", Ray Radebaugh(2020), Handbook of Superconducting Materials, Taylor and Francis Books
7. "초전도 케이블 액체질소 냉각용 극저온 냉동기 기술", 박성제, 홍용주, 고준석, 김효봉(2013), 기계와 재료

## [국내외 주요 기술개발 현황]

연구기관명	프로젝트명	개요	연구기간
한국과학기술원	• 극저온 냉동기술	• 펄스튜브 냉동기, 능동 재생식 자기 냉동기, 혼합냉매 줄톰슨 냉동기 같은 소용량 극저온 냉동기 개발 기술의 선진화	2007.07-2012.06
한국전력공사 전력연구원 외	• 송전급 초전도 전력기기 실계통 적용기술 개발	• 송전급 초전도 전력기기(케이블, 한류기 등) 실계통 적용기술 및 초전도 케이블 냉각용 국산 극저온 냉동기 개발	2011.07-2016.10
한국과학기술연구원 외	• 기술융합형 액화물질 저장용기 기술개발	• 극저온 액화사이클을 이용한 1L/h 급 수소액화 시스템 구축	2011.07-2016.06
한국기계연구원 외	• 초전도케이블 액체 질소 냉각용 냉동 능력 4kW 급 스테링 극저온냉동기 개발	• 스테링 극저온 냉동기 및 냉각시스템 제작 공정 기술 개발	2013.06-2018.05
한국기계연구원	• 미래에너지 대응 극저온 냉각시스템 개발	• LNG 액화, 초전도 전력기기 냉각용 냉동능력 2kW급 역브레이크 극저온 냉각시스템 설계 및 운전/제어 기술 개발	2018.01-2020.12
한국기계연구원 외	• 상용급 액체수소플랜트 핵심기술개발	• 상용급 수소액화 플랜트(0.5~50 TPD) 기술 개발	2019.04-2021.12
(주)유니셈 외	• 냉각용량 2kW 급 반도체 식각공정용 초저온 냉각시스템 개발	• 반도체 식각장비에 적용되는 냉동능력 2kW 급 초저온 냉각 시스템 및 초저온 정전척 설계 및 운전/제어기술 개발	2021.04-2024.12

# CMF디자인 기술동향과 산업전망

| 저자 | 이태림 디자인PD / KEIT

## SUMMARY

### /// 제조현장에 기반한 CMF디자인 기술동향

- ★ 제조 단계에 컬러개발, 성형/가공, 표면처리 등에 디자인프로세스를 적용하여 기술적, 경제적, 친환경, 미학적 가치를 높이는 CMF디자인\* 개발
  - \* CMF디자인 : 제품, 자동차, 건축재 등에 적용하는 색채(Color), 소재(Material), 마감(Finishing)에 대한 디자인
- ★ CMF디자인은 시장에서 다양한 산업에 적용되어 고품질의 디자인으로 활용되고 있지만, 현재 체계적인 디자인 R&D는 진행되고 있지 않은 상태
- ★ 제조현장 CMF디자인의 지식 노하우를 창의적 디자인 프로세스와 접목하여 고품질의 CMF디자인 핵심기술 확보 및 관련 산업 적용
- ★ 이에 보고는 CMF디자인의 정의 및 기술 동향을 분석하고 제조현장에 기반한 디자인 전문지식(Know-how)을 축적할 수 있는 CMF디자인 개발의 체계를 제시하고자 함

### /// CMF디자인 산업전망

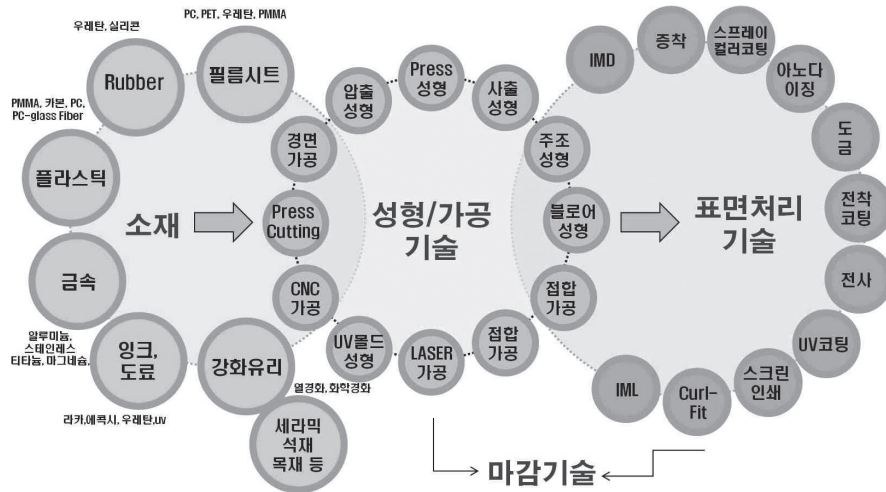
- ★ CMF디자인은 양산 기반 디자인 적용기술로 디자인 시방서 및 CMF 양산을 위한 디자인 핵심 기술의 확보를 위하여 체계적인 CMF디자인 개발 정보 필요
- ★ 특히, 디자인의 창의적 혁신(Design Innovation)을 위하여 CMF디자인 솔루션을 체계화하여 제공함. 이는 제품(가전, 건강, 자동차 등), 건축재, 고기능성 소재 중심으로 고품질의 CMF디자인 핵심기술을 확보하여 이 결과물을 산업에 적용함으로써 구현됨
- ★ CMF디자인 연구개발 성과를 쉐어업 영역으로 보급 활용하여 산업생태계 고도화
  - (공급) 제조기술에 대해 실제 현장에서 디자인을 고도화함으로써 디자인 경험 데이터를 확보하고 축적 공유하여 고품질 CMF디자인 개발의 체계화 가능
  - (수요) 시장에서의 실증으로 산업에서 요구하는 인증 spec, 사용성 평가, 규제 및 제도 개선 등을 포함하며, 이는 기술 검증 활동과 병행하여 진행

## 1. CMF디자인 핵심기술의 정의

### 제조현장에 기반한 CMF디자인의 정의

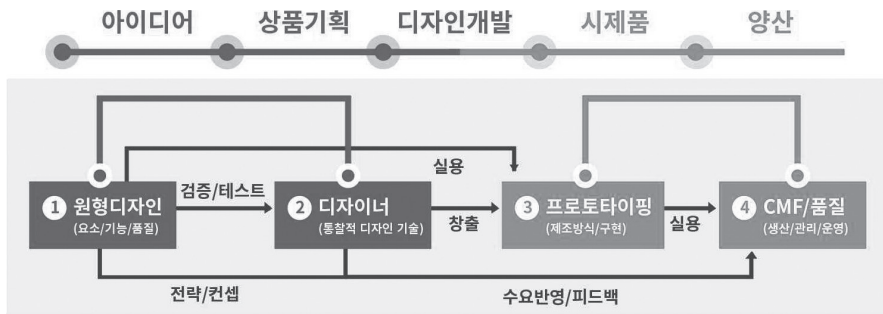
★ (핵심기술) 제조 단계에서 컬러개발, 성형/가공, 표면처리 등에 디자인프로세스를 적용하여 기술적, 경제적, 친환경, 미학적 가치를 높이는 CMF디자인\* 개발 기술

\* CMF디자인 : 제품, 자동차, 건축재 등에 적용하는 색채(Color), 소재(Material), 마감(Finishing)에 대한 디자인



| 그림 1. CMF디자인 핵심기술 개념도 |

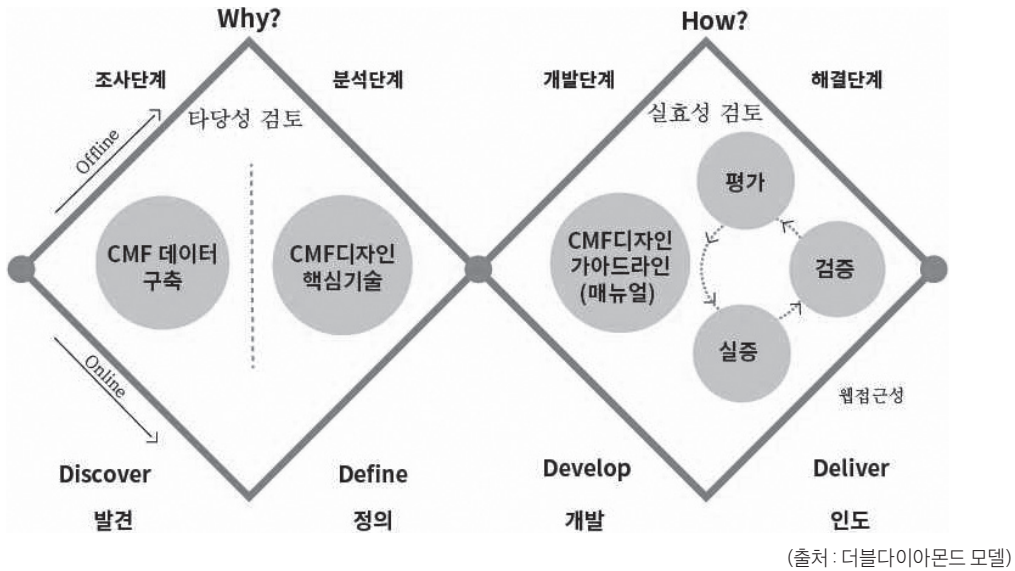
★ (산업적용) 제조현장에서의 CMF디자인 경험지식 노하우를 창의적 디자인 프로세스와 접목하여 고품질의 CMF디자인 핵심기술 확보 및 제품개발 프로세스에 적용



| 그림 2. CMF디자인 개발 프로세스 |

## CMF디자인 개발 시스템

★ CMF디자인 개발 시스템은 양산에 기반한 디자인 핵심기술로 실제 제조현장에서 요구되는 CMF디자인 시방서 및 CMF디자인 실증화 기술개발



| 그림 3. CMF디자인 개발 개념도 |

- ★ 소재의 종류 및 특성에 따른 성형, 가공, 표면처리 기술 분류 체계
  - 소재별(플라스틱, 금속, 섬유, 필름, 시트, 러버, 특수소재, 석재 등) CMF 분류
  - 가공요소별(사출, 프레스, CNC, 에칭 등) 분류 체계화 및 가공 정보 확보
  - 표면처리 기술요소(도료, 인쇄, 증착, 도금 등) 정량적 체계화 및 가공 정보 확보
- ★ 가공정보 기준 표준시편 제작 및 샘플북 제작
  - 최종사용자의 요구에 정량적으로 대응할 수 있는 외관표면 상태별 시편 제작
  - \* ex1. 광택도 : 업체마다 상이한 표면광택도(유광)의 기준값 정의 및 표준화

★ 디지털 사양서 및 적용 체계 구축

- 실물, 디지털 시편(랜더링) 등의 표준 샘플 및 사례 디지털 라이브러리화
- 구축된 소재가공 계열 정보 활용을 위한 디자인 디지털 사양서 작성 환경 구축



## 2. 산업 현황

★ 국내외 시장 동향

- 국외의 경우, 세계 최고 수준의 슬림화, 초경량화 디자인 구현을 위해 키보드, 기판 등 각종 부품의 경량화 디자인 연구와 기술을 적용한 제품 출시
- 유럽/미국 등 최고기술국은 감성기술 및 코딩SW기술, 설계기술과 결합하여 고품질 디자인의 제품화 기술에 집중함




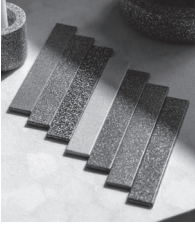




- 국내의 경우, 생활가전, 의료기기, 방송장비, 전문장비, 산업기기 등 강소, 중견, 중소기업의 주력군에 있어 프리미엄 상품화의 요구 급증함
- 사용자 감성 기반의 컬러 시스템 구현하여 사용자 주문형 맞춤 생산과 냉장고 문, 가림막, 칸막이 등 CMF디자인 개발 결과물을 다양한 제품에 적용
  - \* 예시 : 컬러를 한층 선명하게 제작한 디지털 프린팅 기법, 디지털 방식으로 구현한 색상이 한층 선명하고 또렷하게 만든 프리즘 360 글래스 컬러링 공법, 소비자 눈높이에 맞춘 색상 구현 사례
- 디자인 사양 완성도 제고를 위한 사양 표준화 추진으로 사양요소 정량화하고 디지털 사양시스템 구축 적용으로 CMF디자인 프로세스의 효율화 추진



고객맞춤형 서비스와 프리미엄 신소재를 활용한 인테리어 가전 주도

★ 핵심기술테마

개발 분야	핵심 기술 테마
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CMF디자인 요소기술 및 적용 시스템</li> <li>• CMF디자인 핵심기술 개발 및 실증</li> <li>• 실효성 검증을 위한 평가 체계 개발</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>❶ 사용자 감성 기반의 컬러 시스템 개발</li> <li>❷ 재료의 가공방법 CMF디자인개발</li> <li>❸ CMF디자인 프로토타입 기술개발</li> <li>❹ 가상환경의 CMF디자인 평가 체계 개발</li> </ol>
<p>삼성, 비스포크 CMF 매뉴얼</p>	<p>사용자 감성 기반의 컬러 시스템 개발</p>
 <p>BESPOKE 기성품          원형 디자인을 그대로 구현          원형과 달리 컬러와 질감을 자유롭게 표현할 수 있는 컬러링          원형과 달리 다양한 패턴을 적용할 수 있는 컬러링          원형과 달리 다양한 질감을 적용할 수 있는 컬러링</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 컬러를 한층 선명하게 제작한 디지털 프린팅 기법</li> <li>• 디지털 방식으로 구현한 색상이 한층 선명하고 또렷하게 만든 프리즘 360 글래스 컬러링 공법</li> <li>• 다양한 맞춤형 패널로 빠르게 주문 생산이 가능</li> <li>• 냉장고 문, 가림막, 칸막이 등 다양하게 활용 가능</li> <li>• 소비자 눈높이에 맞춘 색상으로 사용자 감성을 반영</li> </ul>
<p>벽타일, 까슬레 제품</p>	<p>재료의 가공방법 CMF디자인 개발</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 빵집에서 버린 달걀껍질을 모아서 얼룩덜룩한 패턴의 벽타일을 만들 (텍스타일 디자이너 일리인 안 링 응)</li> <li>• 달걀껍질을 씻기 전에 재사용하면 문제를 줄일 수 있음</li> <li>• 제조방법만 바꾸어 건축 등 다른 산업분야에 활용</li> <li>• 벽타일, 바닥재 등으로 재탄생</li> </ul>
<p>세턴바스, (좌) 액상아크릴을 사용한 욕조, (우) 세투(Setu) 다목적용 의자(허먼밀러)</p>	<p>CMF디자인 프로토타입 기술개발</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신소재를 활용하여 디자인의 확장성과 차별성을 반영한 CMF디자인 기술개발</li> <li>• 과정-형태-기능과 사용에 따른 사용자 경험을 반영한 폴리프로필렌 소재의 기능을 적용한 제품·서비스 기술개발</li> <li>• 93% 재생가능 제품으로 소재-형성과정이 조합된 반영구적 제품·서비스 기술개발</li> </ul>
<p>메타버스의 범용 기술 적용 디자인</p>	<p>가상환경의 CMF디자인 평가 체계 개발</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실제 모델을 가상에 투영시켜 평가하는 메타버스 환경에서 제품 기획에서 칼라선택, 소재 및 마감처리 디자인 개발 평가 체계 구축</li> <li>• 현실과 가상의 경계를 넘어 새로운 미래 공간 활용하는 메타버스 디지털 콘텐츠 기술개발</li> </ul>

★ 세부개발내용

개발 범위		개발 내용
핵심 기술	CMF 조사분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CMF 분류 체계 개발</li> <li>- CMF 감성 언어 분류</li> <li>- CMF 측정 Tool 개발 (측정 공간, 조도 밝기, 측정 도구 등에 대한 디자인 메카니즘 정립)</li> <li>- 소재별 상용화 데이터 베이스화(활용되고 있는 분야별 분류) * 既 구축된 온·오프라인 CMF디자인 DB 보완·활용</li> <li>- 친환경 소재 데이터베이스화 및 평가 시스템 개발 (친환경 소재 디자인 시스템 등)</li> </ul>
	CMF디자인의 제품화 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 소재별 컬러와 피니싱 시편 제작과 활용 분야 적용</li> </ul>
	CMF디자인 프로토타입 개발 (시제품제작 및 평가)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 소재를 대체 하여 원가 절감, 공정 개선, 트렌드 반영 등을 위한 CMF디자인 응용 기술 개발(컬러+소재, 소재+피니싱, 컬러+소재/피니싱)</li> <li>- (평가 방법) 심미적 방법을 통한 정량화, 설문조사, CMF에 대한 기능성·사용성·심미성 테스트</li> </ul>
	CMF디자인 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 소재의 종류 및 특성에 따른 성형, 가공, 표면처리 디자인 개발 핵심기술 도출 및 개발</li> <li>- 보편적 개발지식으로 활용할 수 있는 가전, 가구, 전자재, 자동차 등 관련 산업분야에 디자인 적용</li> </ul>
적용 기술	정량/정성 평가 사전 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 다수기업이 활용할 수 있는 제조현장의 디자인 전문지식(Know-how)이 축적된 보편적인 CMF디자인 개발 체계 구축 * 既 구축된 CMF디자인 개발 체계에 대한 전문가 검증 필수</li> <li>- CMF의 특성상 오프라인에서 직접 감촉을 느끼고 확인하는 공간이 필요, 온라인상은 프로그램 상 렌더링 시 필요한 소재별 소스를 제작하여 다수의 디자이너에게 제공</li> <li>- 정량 평가(품질개선정도) : 원가절감, 상품의 다양성, 양산성 개선, 기존 소재의 대체 효과, 친환경 경쟁력 등</li> <li>- 정성 평가 : 소비자 반응 테스트, 고객사 만족도 등</li> </ul>
	시방서 제작 CMF디자인 품질 인증	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 표준화된 시방서를 제작하여 공통으로 활용</li> <li>- 개발된 CMF는 권역별 인프라를 활용하여 공급자와 소비자와 연결 활동 지원</li> <li>- 개발된 CMF의 시편을 제작하여 DB 구축 및 활용</li> </ul>

## 3. 관련 기술의 산업 전망

- ★ CMF디자인은 시장에서 다양한 산업에 적용되어 고품질의 디자인으로 활용되고 있지만, 현재 체계적인 CMF디자인 R&D는 진행되고 있지 않은 상태
- ★ 디자인의 창의적 혁신(Design Innovation)을 위하여 CMF디자인 솔루션을 체계화하여 제공함. 이는 제품(가전,건강,자동차 등), 건축재, 고기능성 소재 중심으로 고품질의 CMF디자인 핵심기술을 확보하여 이 결과물을 산업에 적용함으로써 구현됨
- ★ CMF디자인 연구개발 성과물을 소산업 영역으로 보급 활용하여 산업 생태계 고도화
  - (공급) 제조기술에 대해 실제 현장에서 디자인을 고도화함으로써 디자인 경험 데이터를 확보하고 축적 공유하여 고품질 CMF디자인 개발의 체계화 가능
  - (수요) 시장에서의 실증으로 산업에서 요구하는 인증 spec, 사용성 평가, 규제 및 제도 개선 등을 포함하며, 이는 기술 검증 활동과 병행하여 진행



| 그림 4. CMF디자인 연계 산업 가치사슬 |

### [참고문헌]

1. 김선아, 나건, CMF중심 디자인 프로세스에 관한 연구, 한국디자인지식학회, 2014.4.
2. 제품 개발 프로세스\_신제품 개발을 위한 시스템적 접근법 6th Edition, 번역본(Product Design and Development), Karl T. Ulrich & Steven D. Eppinger 저, 홍유석, 강창묵, 곽민저 역, 2011.
3. 소재 경험으로 감성을 디자인하다, 번역본(Matrrtrial Experience : Fundamentals of Materials and Design), 황인경 옮김, 생능출판, 2019.
4. 재료와 디자인, 번역본(Materilas and Design 3rd Edition), 권오양 이캐시연주 공역, 북스힐, 2015.
5. 방법을 찾아 가는 여정\_품질바탕의 인간중심 IP-R&D 디자인전략, 이정재 지음, 지식과감정, 2020.

# 국내 촉매 산업의 기술 동향

|저자| 한정우 화학공정PD / KEIT  
하정명 책임연구원 / 한국과학기술연구원

## SUMMARY

### ESG 기반 촉매 화학 공정 기술 개발에 대한 수요 폭증

- ★ 국내외의 탄소중립 기술에 대한 수요 및 규제로 인해 국내 화학산업의 탄소중립 기술에 대한 수요 폭증. 국내외 규제 및 온실가스 감축에 대한 국민적인 동의에 따라 화학산업의 온실가스 감축은 더 이상 미룰 수 없는 의제가 됨
- ★ 전통적인 석유화학산업의 개념을 넘어서는 새로운 패러다임을 신속히 도입해야할 필요성에 직면하여 기존의 경제성을 고려한 기술 개발뿐만 아니라, 탄소중립의 가치만으로 진행되는 기술 개발이 매우 중요해짐
- ★ 국가 탄소중립 시나리오는 화학산업의 존속을 위협할 정도로 급격한 변화를 요구하고 있으며, 이는 수출이 중요한 국내 산업들에게 가해지는 국제적 규제, 수요와도 유사하여, 해외 시장 개척을 위해서도 탄소중립 공정 기술 개발이 반드시 필요함
- ★ 경제성 부족 등의 이유로 실험실 규모, 파일럿 규모 등 소규모 연구개발사업으로 진행된 탄소중립 공정 기술을 신속히 상업 생산 규모로 확장할 필요가 있음

### 시사점 및 정책제안

- ★ 탄소중립 기술을 단순히 경제성의 관점에서 보는 것이 아닌 탄소 다배출 기술은 상업적 활용이 불가능하다는 인식을 기반으로 기술 개발 필요
- ★ 탄소중립 기술 활용에 대한 국가적 인센티브 도입 및 일반인 대상 홍보 강화. 각 기업의 신규 기술 개발 및 적용 적극 지원

## 1. ESG 기반 화학 촉매 기술 개발 배경

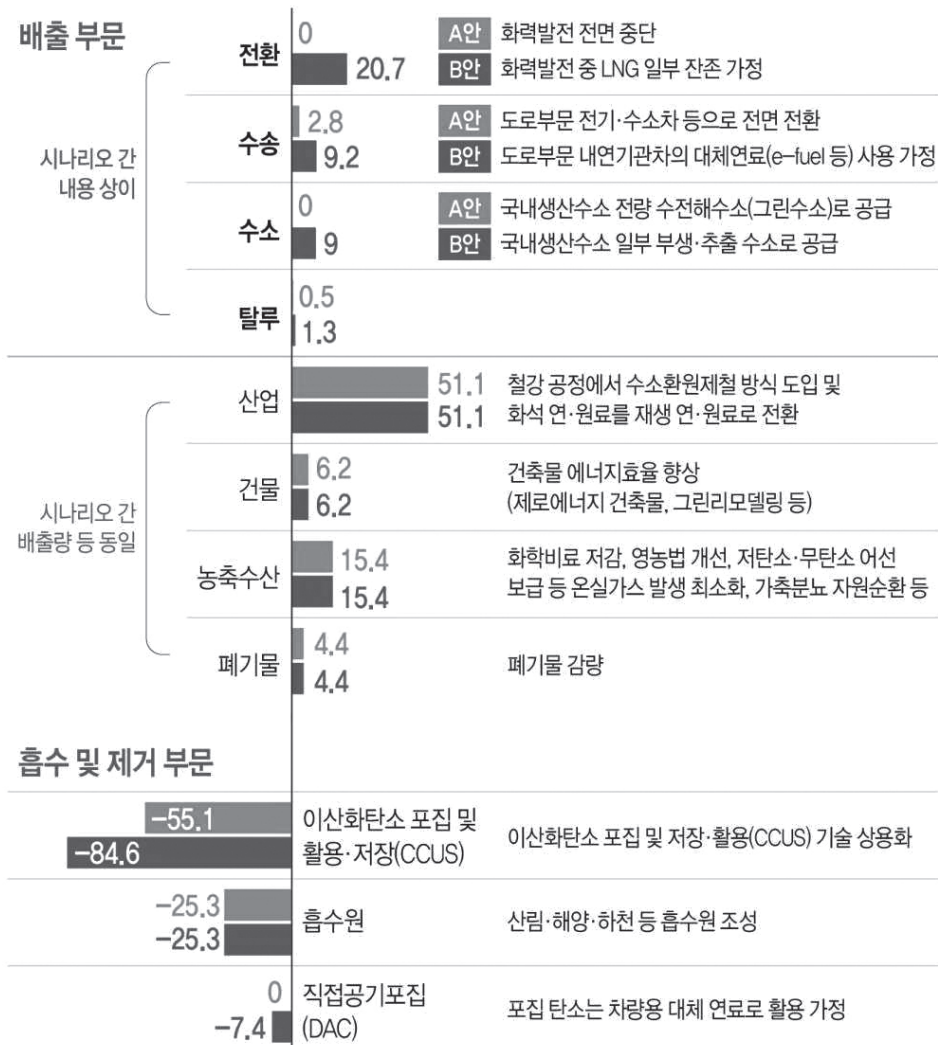
### // 온실가스 규제로 급격한 산업 기술 혁신 압력

- ★ 석유화학기업들은 기후변화대응과 관련하여 온실가스 감축에 대한 다양한 규제에 직면하고 있으며, 이로 인해 기존의 공정 산업 형태를 급격히 변화시켜 온실가스 감축 기술을 시급히 활용해야하는 상황에 처함
  - 대한민국 정부는 탄소중립위원회를 중심으로 다양한 온실가스 감축 시나리오를 작성하며 탄소중립 목표를 준비하고 있으며, 탄소중립기본법 제정으로 온실가스 감축을 서두르고 있음
  - 탄소중립기본법에 따르면, 2030년 온실가스 배출량은 2018년 대비 35% 이상 감축되어야 함. 매우 도전적인 목표로 온실가스를 대량 배출하는 국내 산업체들, 특히 석유화학 기업들의 부담이 매우 큰 상황임
  - 2019년 기준 국내 제조업 분야의 온실가스 배출량은 3.45억 톤이며, 특히 화학산업 부문에서 6,947만 톤의 온실가스가 배출되고 있음
    - ※ 한국에너지공단, 2020 산업부문 에너지사용 및 온실가스 배출량 통계
  - 2021년 10월에 발표된 탄소중립시나리오 최종안에서는 산업 부문에서 강력한 탄소배출 억제를 목표로 하고 있어, 기업들이 이에 적극적으로 대응할 필요가 있음
    - ※ 2050 탄소중립 시나리오 최종안
  - 국내에서 ESG 관련 주요 촉매 기술로는 에너지 산업에 필요한 수소의 생산, 저장을 위한 촉매 기술, 화석연료 대체를 위한 바이오매스 전환/활용 촉매 기술, 온실가스 저감을 위한 이산화탄소 직접 전환 촉매 기술, 화석연료 대체 및 탄소중립적 화학제품 생산을 위한 플라스틱 업사이클링 촉매 기술 등이 있음

## 2050 탄소중립 시나리오 최종안

목표 배출량, 단위: 백만t CO<sub>2</sub>e/q

- A안** 화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 감축
- B안** 화력발전이 잔존하는 대신 CCUS 등 신기술을 적극 활용



자료/ 환경부 등 관계부처 합동



이재윤 기자 / 20211018

트위터 @yonhap\_graphics 페이스북 tuney.kr/LeYN1

(출처 : 연합뉴스 2021.10.18)

| 그림 1. 2050 탄소중립 시나리오 최종안 |



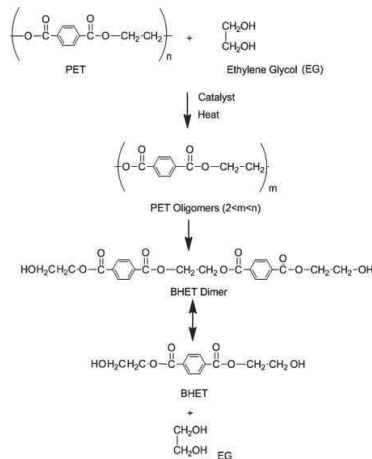
## 2. ESG 관련 촉매 공정 기술

### // 수소 생산/저장 관련 촉매 공정 기술

- ★ 수소 경제의 기반으로 수소 생산을 위한 물의 전기 분해 전극 촉매, 전통적인 개질 촉매 등이 활발히 연구되고 있으며, 수소의 실제 활용을 위해 수소 저장 및 수소의 가역적 생산 촉매도 개발되고 있다.
- ★ 수소는 수송용 연료인 가솔린 및 디젤 대비 무게 대비 에너지 밀도가 약 3배 높은 33.3kWh/kg(120MJ/kg)으로 대용량 에너지 저장에 적합. 수전해 등으로 그린 수소를 생산할 경우 이산화탄소 배출없는 재생에너지의 생산 및 저장이 가능함. 국내 수전해 수소 생산 비용이 매우 높은 편이어서 국내 수소 생산 외에도 해외 수소의 수입/저장/운송에 대한 연구 개발 수요도 높아지고 있음
- ★ 수소는 부피 대비 에너지 저장 밀도가 2.97kWh/m<sup>3</sup>(0°C, 1bar)로 매우 낮아서 기체 수소를 저장/수송하는 것은 비효율적. 극히 낮은 온도에서 수소 밀도를 물리적으로 증가시키는 방으로는 여전히 부피 대비 에너지 밀도가 낮음
- ★ 수소 활용을 넓히기 위해 다양한 수소 저장/운송 방법이 필요하며 이를 위한 촉매 기술이 필요한 상황임. 고압 압축 저장 등 물리적으로 수소의 부피 대비 밀도를 높이는 방법 외에도 화학적인 방법으로 수소 저장 및 생산하는 방법이 연구되고 있음
- ★ 화학적인 수소 저장 및 활용 방법으로 액상유기수소운반체(LOHC, liquid organic hydrogen carrier)와 암모니아 수소 저장체 활용 기술과 관련된 촉매 기술이 많은 관심을 받고 있음. 우리 나라와 같이 수소 생산 비용이 높은 지역에서는 이러한 수소 저장/운송 시스템을 활용하여, 저가의 수소 생산이 가능한 지역으로부터 수소를 수소 저장체로 변환하고 국내로 운송하여 활용하는 기술을 이용할 수 있음
- ★ LOHC는 1.83MWh/m<sup>3</sup>의 높은 부피 대비 수소 저장 용량과 높은 무게 대비 수소 저장 용량을 가지며, 반복적인 수소 저장 및 방출 사이클 구현이 가능하고, 기존의 화석 연료 저장/운송 인프라를 그대로 이용하여 대용량 수소 저장/운송 시스템으로 활용할 수 있음
- ★ LOHC 제조/분해 및 수소 생산 촉매로는 귀금속 촉매 등의 수소화, 탈수소화 촉매가 사용되며 실제 공정에 적용하기 위해 코킹 등 촉매 비활성화를 극복하고 높은 수율 및 선택도로 LOHC 전환이 가능해야 함. 암모니아 분해 촉매 역시 비활성화에 저항하는 촉매 개발이 필요함. 이들 촉매는 촉매를 포함하는 전체 시스템의 한 부분으로 높은 효율을 보일 수 있도록 구성되어야 함

## // 플라스틱 업사이클링 촉매 공정 기술

- ★ 국내 석유화학산업의 주요 제품인 플라스틱이 사용후 환경 오염을 유발하고 매립, 소각 등을 통해 지속적으로 온실가스를 배출하므로, 친환경, 저탄소 공정 구현을 위해 플라스틱 생산업체들은 플라스틱의 업사이클링을 통해 지속가능한 플라스틱 생산 공정을 구축하여 기존 산업과 시장을 유지하고자 함
- ★ 플라스틱 업사이클링 촉매는 플라스틱 분해 촉매, 분해후 오염 물질 제거/전환 촉매 등이 포함되며, 다양한 플라스틱 종류에 대해 다른 종류의 촉매가 필요함
- ★ 일반적인 열분해 반응을 위한 촉매로는 적절한 분해를 통한 저분자 생산을 위한 디왁싱(dewaxing) 촉매, 불순물중 염소, 황 등을 제거하기 위한 촉매 시스템 등이 필요함. 주로 제올라이트나 금속 산화물 촉매를 이용하며, 디왁싱과 탈염/탈황이 함께 이루어지는 촉매들이 보고되고 있으나, 앞으로 열분해가 활발히 사용되게 되면 플라스틱 원료의 특성에 따라 다양한 촉매 개발이 필요할 수 있음
- ★ 플라스틱의 촉매 열분해를 통해 BTX 등을 생산하는 직접 전환 반응에 대한 연구 개발도 활발히 진행되고 있으며, 이때 제올라이트, 고체염기, 또는 금속이 첨가된 탄소 등의 촉매가 사용되고 있음. 고체 잔류물을 최소화하고 원하는 영역의 제품을 선택적으로 생산하기 위한 촉매 개발이 필수적임. 촉매 열분해는 질소 기체와 같은 비반응성 유체 분위기에서 폴리우레탄 등의 플라스틱을 400-600°C에서 직접 전환함
- ★ PET, 폴리우레탄, 폴리스티렌, 폴리에스터 등의 플라스틱은 각각 고분자 구조의 특성에 맞게 촉매를 사용하여 단량체 제조가 필요함. PET나 폴리에스터는 무촉매 열분해로 단량체 생산도 가능하나, 에틸렌 글리콜을 첨가한 클리콜리시스 반응으로 분해할 수 있으며 [1], 다양한 산, 염기, 금속 촉매가 사용됨. 폴리우레탄은 유기금속 촉매를 이용하여 단량체로 분해할 수 있음. 폴리스티렌은 금속산화물 등의 산, 염기 촉매를 이용하여 분해할 수 있음



(출처 : Sheel and Pant, Recycling of polyethylene terephthalate bottles, 2019, 61-84)

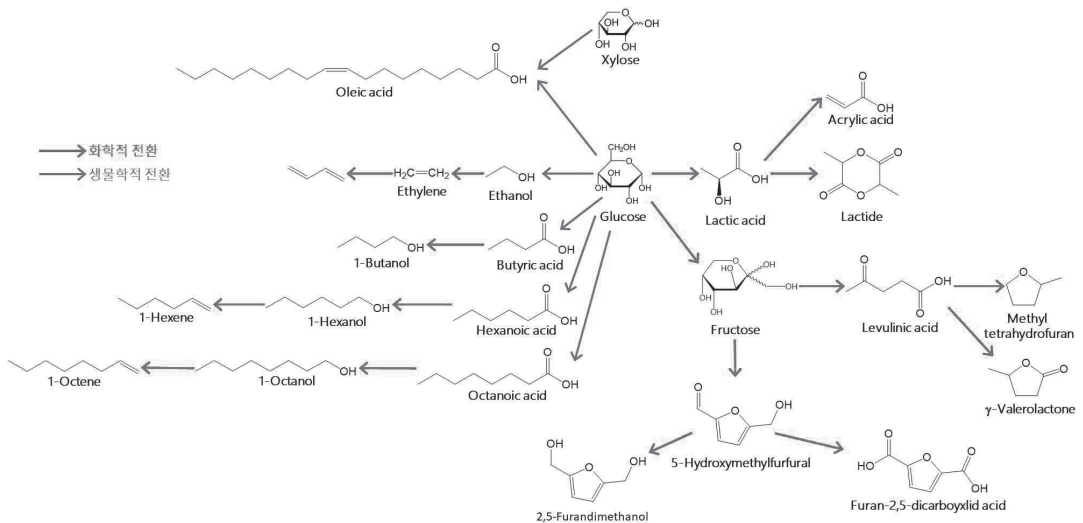
| 그림 2. PET의 글리콜분해 반응 |

## // 이산화탄소 전환 촉매 공정 기술

- ★ 온실가스 감축 정책의 주요 대상인 이산화탄소는 화학적으로 매우 안정한 물질이나, 이산화탄소의 직접 전환을 통해 온실가스 배출을 억제하고, 온실가스 자체를 직접 감소시킬 수 있음
- ★ 상업화된 이산화탄소의 직접 전환 기술은 아직 존재하지 않음. 이산화탄소로부터 메탄올, 이산화탄소 유래 고분자, 유레아(urea, 비료 원료) 등을 생산하는 기술이 실증 단계에서 연구되고 있으며, 일산화탄소(합성가스), 경질 올레핀, BTX, 석유 대체 연료 등을 생산하는 기술은 파일럿 규모 연구 개발이 진행중임. 그 외에 포름산, 아세트산 생산 기술이 실험실 규모로 연구되고 있음
- ★ 이산화탄소의 화학적 안정성 때문에 이산화탄소의 화학적 전환은 매우 어려움. 메탄올 합성 반응에는 열/또는 촉매 화학반응을 이용한 Cu 기반 촉매가 이용되며, 이산화탄소를 원료로 생산되는 폴리카보네이트 생산에는 다양한 유기금속 촉매가 활용됨. 암모니아와 CO<sub>2</sub>의 반응으로 얻어지는 유레아는 무기/유기 촉매를 이용하여 생산하며, 일산화탄소(합성가스)는 전기화학촉매를 이용한 이산화탄소의 전기분해, 촉매화학반응 등을 통해 생산할 수 있으며, 주로 전이금속, 귀금속 촉매가 사용됨
- ★ 기타 파일럿 및 실험실 규모에서 개발되고 있는 다양한 이산화탄소 전환 반응의 경우 경질올레핀은 In-Zr/SAP0-34, Na-CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 등의 촉매가 활용되고, 제올라이트에 금속이 담지된 촉매가 BTX 생산에 활용되고 있음. 연료로 사용가능한 액상 탄화수소는 역수상가스전이반응(RWGS)와 피셔-트롭쉬(FTS) 반응으로 얻을 수 있음. 포름산, 아세트산은 다양한 전이금속촉매를 활용하여 촉매화학 또는 전기촉매 반응으로 생산할 수 있음

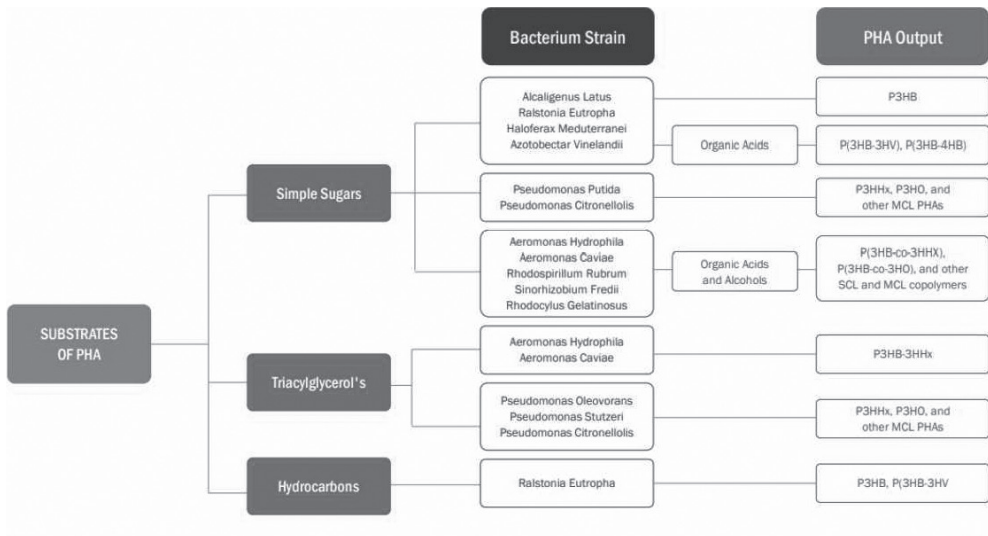
## // 바이오매스 전환 촉매 공정 기술

- ★ 바이오매스의 전환을 통해 석유 대체 연료를 생산하거나 석유화학 대체 기초소재를 생산할 수 있음. 지속가능하며 우수한 탄소포집체인 식물체를 원료로 유기물 등 석유화학에서 생산 가능한 제품을 생산할 수 있음
- ★ 바이오매스 원료로는 식량 자원인 사탕수수, 전분, 옥수수 등이 있으며, 비식량자원으로 목재, 초본, 해조류 등이 있음. 미세조류, 유지 등과 같이 바이오디젤 제조에 사용되는 고탄소 지질(triglyceride)을 생산하는 원료도 있음. 다양한 원료로부터 실제 반응 공정에 사용되는 자원은 당(글루코오스, 자일로오스, 프룩토오스 등)과 지질이며, 당을 원료로 촉매화학반응을 통해 푸란계 화합물, 알코올, 케톤, 카르복시산 등 다양한 탄화수소 화합물을 생성할 수 있고, 지질로부터 바이오디젤 생산이 가능하며 이외에도 생물/화학공정에 의해 화장품 용매 등으로 사용 가능한 고탄소 알코올을 생산할 수 있음. 각 반응 공정에 대해 수소화 촉매, 고체산 촉매, 고체 염기 촉매 등 다양한 촉매들이 활용되고 있어서 각 반응에 적합한 촉매 기술이 필요함
- ★ 바이오매스, 특히 당으로부터 생산 가능한 다양한 플랫폼 화합물들이 제안되었으나, 실질적인 상업화에 도달한 공정 기술은 거의 존재하지 않음. 젖산(lactic acid)을 기반으로 생산된 고분자 PLA는 생분해성 고분자로서 널리 연구되었고 상업적 생산도 진행됨



| 그림 3. 당으로부터 생산 가능한 다양한 플랫폼 화합물 |

- ★ 목재, 초본으로부터 얻을 수 있는 리그닌은 당 생산 과정에서 발생하는 부산물로 취급받으나, 촉매/화학공정으로 다양한 방향족 화합물 생산의 원료가 될 수 있음. 현재까지 리그닌 원료 자체를 활용한 소재 생산 기술이 활용되는 사례가 있으나 리그닌으로부터 방향족 화합물 생산 기술은 연구 개발 단계에 머무르고 있음
- ★ 현재 당을 기반으로 하는 원료로부터 다양한 생분해성 고분자들이 상업적으로 생산되고 있으며, 이중 PLA, PHA 등이 생산되고 있으며, PBAT는 석유화학 원료중 아디프산과 부탄디올을 바이오매스로부터 생산하여 바이오고분자로 활용할 수 있음

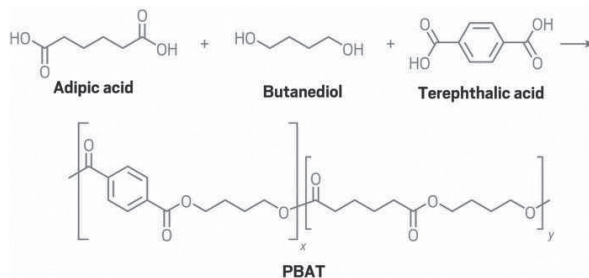


Note: The figure explains how a variety of feedstock substrates and bacterium strains can produce different PHAs as output.

Source: Related Industry Publications, Industry Journals, and MarketsandMarkets Analysis

(출처: 고분자 과학과 기술 2021, 32, 4-7)

| 그림 4. 다양한 PHA 제품들 |



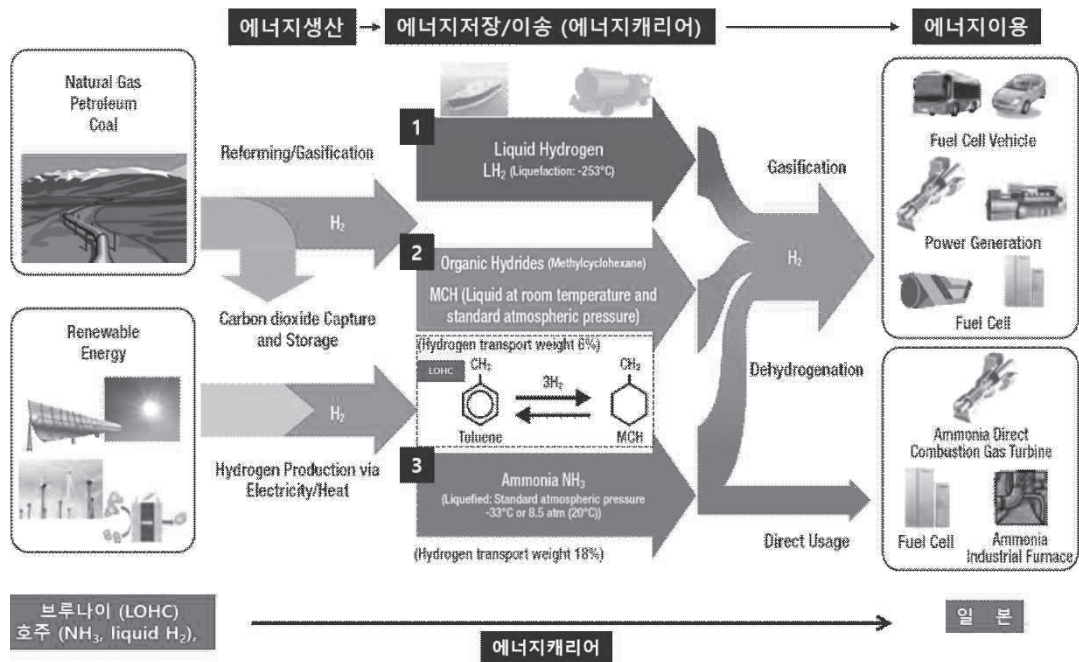
(출처: C&EN News, 2021.09.21.)

| 그림 5. PBAT 생산 과정 |

## 3. ESG 관련 촉매 기술 국내외 동향

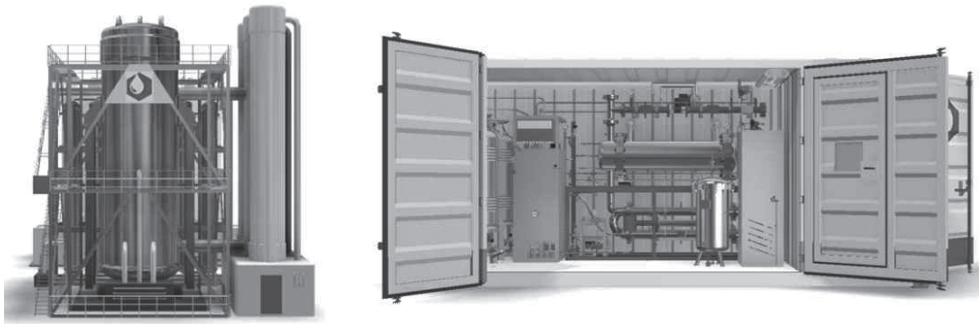
### 수소 생산/저장 관련 촉매 공정 기술

- ★ 일본은 LOHC 기반 대용량 수소/저장을 위해 국가 로드맵 및 수소 공급망 구축에 대한 전략적 계획을 수립함. 일본 치요다화학건설은 톨루엔을 브루나이에서 생산된 메틸시클로헥산으로 전환하여 일본으로 수송후 수소를 다시 생산하는 사업을 진행중 [2]



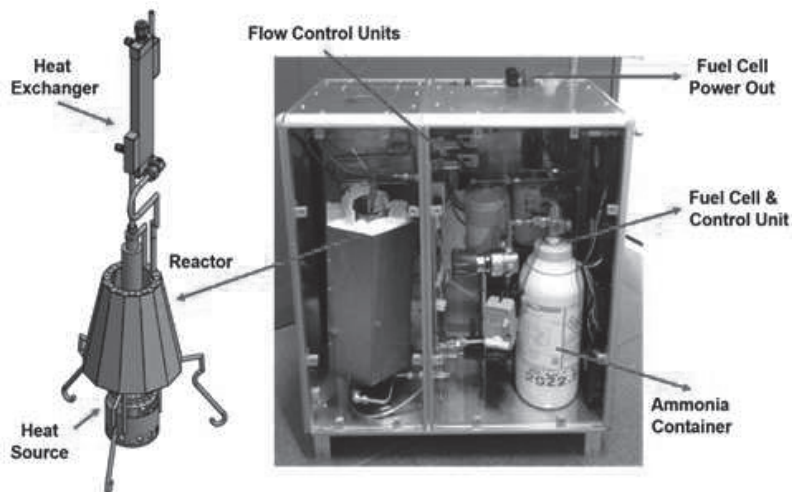
| 그림 6. 일본의 CO<sub>2</sub> 배출 없는 수소의 해외 수입 전략 |

- ★ 독일 Hydrogenious Technologies에서는 디벤질톨루엔(dibenzyltoluene) 기반의 상용 열매체유(Marlotherm)를 이용하여 대량의 수소를 저장하고 상온 및 상압에서 운송하며 필요시 화합물에 저장된 수소를 추출할 수 있는 시스템을 개발. 수소저장 플랜트의 경우 시간당 30~50bar에서 5,000Nm<sup>3</sup>의 수소 저장 및 8,000L의 수소가 저장된 LOHC 생성이 가능하고, 수소 방출시스템의 경우 시간당 250Nm<sup>3</sup>까지 수소 방출이 가능. Hydrogenious Technologies는 LOHC 시스템을 독일 및 미국 시장에 출시하였으며, 최근에는 중국의 수소연료전지 분야를 선도하는 기업 중 하나인 Zhongshan Broad-Ocean Motors와 전략적 파트너십을 체결하고 LOHC를 활용한 수소충전소 네트워크 수립을 추진하고 있음



| 그림 7. (좌) 독일 Hydrogenious Technologies의 수소저장시스템, (우) 수소 방출시스템 |

- ★ 국내에서는 KIST에서 LOHC 및 암모니아 분해를 통한 수소 생산 기술 개발을 진행함. Ru 금속 기반 불균일 촉매를 활용하여 암모니아 기반 수소 연료전지 시스템을 이용한 분산 발전 시스템 개발에 성공한 바 있음 [3]. (주)원익머트리얼즈는 관련 기술을 기반으로 고체 암모니아 저장체를 개발한 바 있음



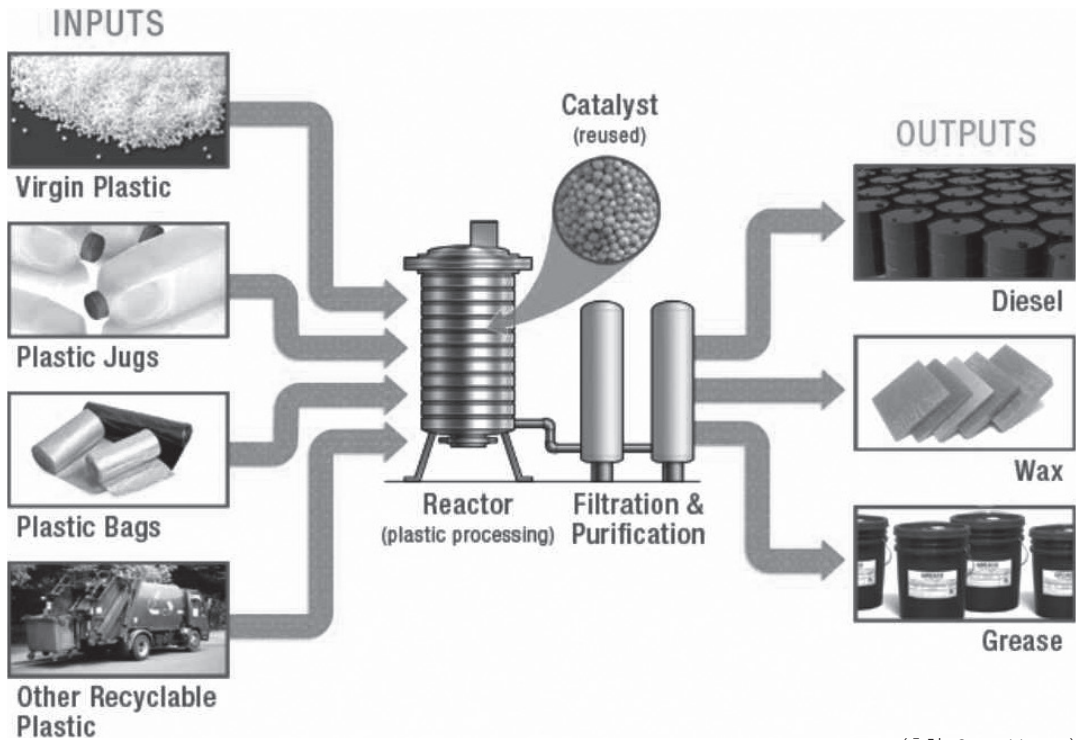
| 그림 8. KIST 수소·연료전지연구단에서 개발한 1kW 급 암모니아 수소생산시스템 |



- ★ 수소 경제로 급격한 변화를 모색하는 국가 정책과 세계적인 흐름에 따라 국내에서는 포스코, 한화솔루션 등 다양한 기업들이 수소 활용/생산/저장과 관련한 사업을 진행하고 있음. 한화솔루션은 신재생에너지 생산 시스템, 수전해 시스템, 수소 압축기, 수소 저장 소재, 수소 충전 시스템으로 연결된 전반적인 밸류체인 구성을 추진하고 있음. 포스코는 해외 생산 그린수소를 암모니아로 전환하고 운송/저장하여 활용하는 체계 구성을 추진하고 있음

## // 플라스틱 업사이클링 촉매 공정 기술

- ★ 플라스틱 열분해유의 업그레이딩을 통한 석유화학 기초 소재 생산 기술은 국내외 주요 화학 회사들이 최근 많은 관심을 보이고 있음. 플라스틱 업사이클링 촉매로는 플라스틱 분해 오일에 포함된 고탄소 파라핀을 저분자로 분해하는 디왁싱(dewaxing) 촉매와 염소, 황 등 다양한 이물질질을 제거하는 탈염/탈황 촉매, 플라스틱 직접 분해 촉매 등이 있음. 대규모 기업들의 관심에도 불구하고 관련 연구 개발은 파일럿 규모 또는 스타트업 기업의 개발 단계에 머물러 있는 경우가 많음
- ★ 플라스틱 소재의 직접 촉매 열분해를 기반으로 BTX 등의 기초화학원료를 생산하는 기술이 GreenMantra(캐나다), Plastic Energy(스페인), SABIC(사우디 아라비아), Nesté(핀란드) 등의 회사들에 의해 제안되고 있음



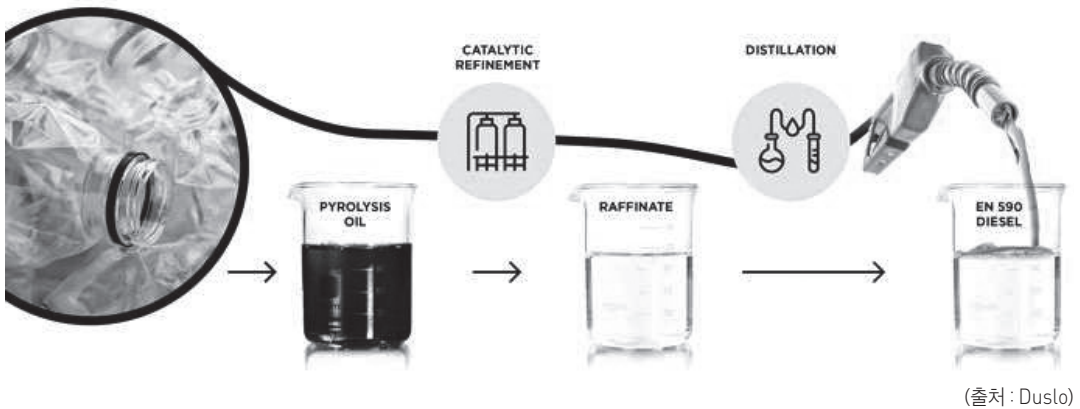
(출처 : GreenMantra)

| 그림 9. GreenMantra의 촉매 열분해 공정 |



★스위스에 기반한 Clariant는 슬로바키아에서 Duslo와 함께 HYDEX E라고 명명한 촉매를 이용하여 플라스틱 열분해오일을 원료로 수소 첨가 디왁싱 촉매 공정의 파일럿 운전(연간 40MT)을 수행함(2020년 7월, Clariant 등). 300°C에서 열분해로 얻어진 열분해오일을 겨울철 경유 품질 기준(Euro 6)에 부합하는 연료로 전환함

### PLASTIC WASTE TO FUEL



| 그림 10. Clariant-Duslo의 플라스틱 열분해오일 업그레이딩 기술 |

★미국 Huntsman은 PET병을 원료로 폴리에스터를 생산하는 22,000MT/년 규모의 공장을 2020년에 대만에 건설하였음 [4]. 글리콜분해(glycolysis) 공정과 유사하게 PET를 분해하여 폴리우레탄 생산 원료로 활용함. 미국 Eastman은 미국 테네시 킹스포드에 2022년 말까지 연간 10만 톤의 PET를 메탄올분해(methanolysis) 반응으로 전환하여 단량체를 생산하고 PET로 다시 생산할 수 있는 공장을 건설할 것을 발표함 [5]. 캐나다의 Loop Industries도 미국 사우스캐롤라이나 스파르탄버그에 연간 4만 톤 규모의 PET 분해 공장을 건설하고 있음

## // 이산화탄소 전환 촉매 공정 기술

- ★ 현재 운영중인 CO<sub>2</sub> 포집·저장 대형 통합 프로젝트는 미국, 캐나다, 브라질, 유럽 등에서 총 13개 실증 단계 진행 중이며, 주로 원유회수 목적 및 지중 CO<sub>2</sub> 저장 방식의 기술이 연구되고 있음 [6]
- ★ CO<sub>2</sub> 전환기술은 미국, 독일에서 연구개발에 많은 투자를 하고 있음. 특히, 독일에서 정부의 지원과 함께 CO<sub>2</sub> 활용기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, Bayer, Cyno Biofuels, BASF사에서 CO<sub>2</sub>를 전환시켜 다양한 연료를 생산하는 프로젝트를 진행중임. 미국 또한 Department of Energy(DOE)의 지원을 통해 이산화탄소를 연료 및 화학제품으로 전환시키는 프로젝트가 수행되고 있으며, 이외에 영국, 호주, 일본, 중국에서도 이산화탄소 활용 연구가 진행중임
- ★ CO<sub>2</sub>의 탄산광물화는 천연광물 혹은 산업폐기물을 이용하여 CO<sub>2</sub>를 포집하고 이를 건축 재료, 미세조류 배양 공급원 등으로 활용하는 연구임. 미국, 아이슬란드, 캐나다 등에서 CO<sub>2</sub>를 화학적 전환과정을 통해서 고부가가치의 화학물질(고분자, 메탄올, 개미산)을 생산하는 연구를 수행하고 있으며, 메탄올의 경우 공정 개발에 성공하여 현재 생산중에 있음. 고부가가치의 의약품 원료용 미세조류 기술은 최종 제품의 경제성이 높아서 개발에 대한 기대치가 높지만 바이오연료 등은 화석연료에 비해 경제성이 뒤져있는 실정임
- ★ 국내 CO<sub>2</sub> 활용기술은 전기화학, 광물화, 고분자, 생물전환 등 미래부 추진 기초원천연구가 증점적으로 진행되고 있으며, 산업부 및 기업을 중심으로 고분자 및 연료 생산관련 실증 연구가 추진 중임. 한국전력공사, 포항산업과학기술원 등에서 주요 배출원인 발전과 철강 분야를 중심으로 단계적 연구과정을 거쳐 10MW 급 Pilot plant 연구까지 수행중이며, 연소후 습식/건식 기술은 세계적 경쟁력 확보를 위한 Track-record 확보 차원의 기술 최적화 및 장기 운전 연구가 수행되고 있음
- ★ CO<sub>2</sub> 활용기술은 저장기술에서 요구되는 대규모 저장소가 필요하지 않고 경제적으로 이익이 발생하기 때문에 국내에서 다양한 규모의 사업화 노력이 진행되고 있음. 극동화학/대우건설은 하루 10톤의 CO<sub>2</sub>를 처리하는 DECO<sub>2</sub> 통합공정을 설계하여 인천 서구 청라 소각장 배출가스를 대상으로 실증화 단계에서 공정을 수행하고 있음. 또한, Korea CCS 2020 사업을 중심으로 많은 연구팀에서 CO<sub>2</sub>를 고부가가치 화합물로 전환시키는 연구를 활발히 수행하고 있음

## // 바이오매스 활용 촉매 공정 기술

- ★ 바이오매스의 전환을 통해 석유 대체 연료를 생산하거나 석유화학 대체 제품을 생산하는 기술은 장기간 학/연을 중심으로 진행되어 왔으며, 일부 기술은 산업계에 적용이 시도되기도 하였으나, 경제성 또는 제품 성능 확보 어려움으로 실질적으로 시장을 주도하는 산업바이오(화이트 바이오) 제품은 거의 없음. 최근의 탄소 중립 분위기에서 관련 연구 개발에 대한 관심이 다시 높아지고 있음
- ★ 이탈리아 Novamont는 PBAT(polybutylene adipate terephthalate; 아디프산, 부탄디올, 테레프탈산의 공중합체) 등 생분해성 폴리에스터의 생산량을 연간 10만 톤 이상으로 늘리고 있음. 관련 시장이 급격히 확대되면서 BASF 등 해외 기업들은 관련 제품의 생산량을 늘리고 있음 [7]
- ★ LG화학과 SK케미칼은 PLA(poly(lactic acid)) 양산을 위해 준비 중임. 깨지기 쉬운 PLA의 특성을 보완한 고유연 PLA 제품 생산을 목표로 하고 있음. 그 외 친환경 플라스틱으로서 생분해성 플라스틱에 대한 개발이 지속되고 있음
- ★ 이산화탄소 또는 당으로부터 생물학적 전환 공정으로 생산 가능한 생분해성 고분자인 PHA(polyhydroxyalkanoate)는 CJ에서 미국 메타볼릭스(Metabolix)사를 인수하여 원천기술을 활용한 사업을 시작하고 있음

## [참고문헌]

1. Sheel, A.; Pant, D. Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles 2019, 61-84
2. Japan SIP Energy Carriers, Energy carriers, [https://www.jst.go.jp/sip/pdf/SIP\\_energycarriers2015\\_en.pdf](https://www.jst.go.jp/sip/pdf/SIP_energycarriers2015_en.pdf)
3. Yoon, C., Ammonia as an efficient COX-free hydrogen carrier: Fundamentals and feasibility analyses for fuel cell applications, Applied Energy, 224 (2018) 194-204
4. <https://cen.acs.org/business/5-new-technologies-making-impact/98/i46>
5. <https://cen.acs.org/environment/recycling/Eastman-build-250-million-plastics/99/web/2021/02>
6. CCU 기술 국내외 연구동향, 2019, 한국과학기술연구원 환경복지센터
7. <https://cen.acs.org/business/biobased-chemicals/biodegradable-polymer-PBAT-hitting-big/99/i34>

## [국내외 주요 기술개발 현황] 사례

연구기관명	프로젝트명	개요	연구기간
한국과학기술연구원 (한국가스공사)	• LOHC 기반 수소방출 시스템 원천기술개발	• LOHC 기반 수소 저장/생산 기술 개발	2019.06-2022.12
한국과학기술연구원 (고려대, 아주대 등)	• Carbon-To-X	• 이산화탄소로부터 메탄올, 포름산, 미세조류, 고분자 등 생산	2020.07-2025.01
대경에스코 (한화솔루션, 롯데케미칼 등)	• 폐플라스틱 열분해유익 촉매화학적 업그레이딩을 통한 나프타 대체 원료 생산 기술 개발	• 플라스틱 폐기물로부터 나프타 대체 원료 생산	2021.04-2024.12
한국화학연구원	• 산업 미생물 발효에 적합한 고농도 바이오슈가 제조 및 공통 활용 기술 개발	• 바이오매스 유래 당 생산 기술 개발	2014.07-2019.08

# 전력반도체 최신 기술 이슈 및 향후 전망

| 저자 | 김진섭 시스템반도체PD / KEIT  
김기진 팀장 / KEIT

## SUMMARY

### /// 전력반도체 기술의 주요 동향 및 전망

- ★ 기존 전력반도체는 Si 기반 전력반도체가 주된 기술이었으나 그 성장 속도는 늦춰져 이미 성숙한 시장으로 진입했고 반면 SiC/GaN 기반 WBG(Wide Band Gap) 전력반도체는 EV/HEV 시장의 성장과 함께 급성장하는 기술 분야로 떠오르고 있음
- ★ WBG 전력반도체는 Si 기반 반도체보다 높은 에너지밴드 갭, 스위칭 속도, 온도특성 등의 이유로 전력 모듈을 고효율, 고 신뢰성, 소형, 경량화가 개발 가능하여 2018년 테슬라 모델부터 EV/HEV 전력모듈에 WBG 전력반도체가 적용되기 시작했으며 미국, 일본, 독일 등 기술 선진국들은 공장증설 등 투자 금액을 증액하고 있음
- ★ “기후 변화 대응”정책과 맞물린 핵심 기술로써 WBG 반도체는 생활가전, EV/HEV를 시작으로 산업용, 전력전송용까지 확장하려는 마일스톤을 가지고 있으며 이는 기존 전력반도체 시장의 새로운 패러다임

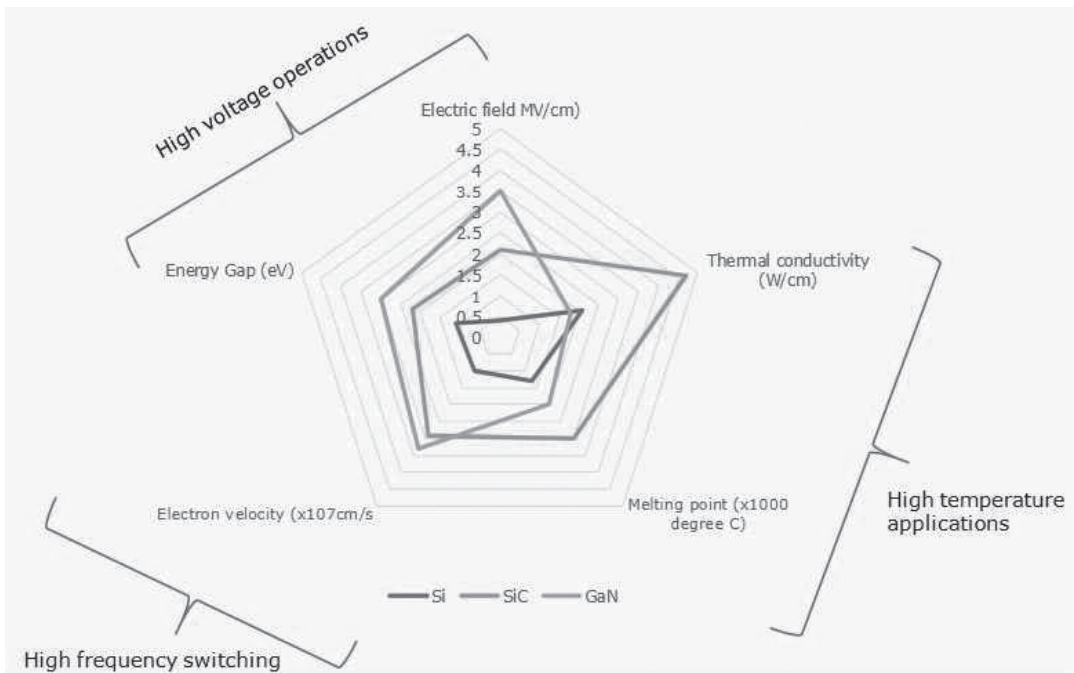
### /// 시사점 및 정책제안

- ★ 정부주도의 WBG 전력반도체 생산 제조 시설은 존재하나 기업 위주의 생산시설은 현저히 부족하여 기업의 인프라 구축을 위한 적극적인 투자 유도 필요
- ★ WBG 전력반도체 생산 시설도 고 전력을 목표로 하는 SiC 기반 시설 투자와 중 전력을 목표로 하는 GaN 기반 시설 투자로 이원화하여 진행해야 하고 이는 장기적인 정부 지원 통해 투자 비전을 명확히 해야 함
- ★ WBG 반도체 소자의 특성은 아직 연구 초기 단계로 소자 특성 개선 및 성능 분석에 대한 지속적인 R&D 투자로 성능 극대화 및 성능 안정화를 달성해야 함
- ★ 수요기업과 원활한 소통 및 기술교류를 위한 조직을 구성하여 수요자의 요구와 검증을 통해 투자 산업의 발전 속도를 높일 수 있도록 추진

## 1. 전력반도체 최신 이슈

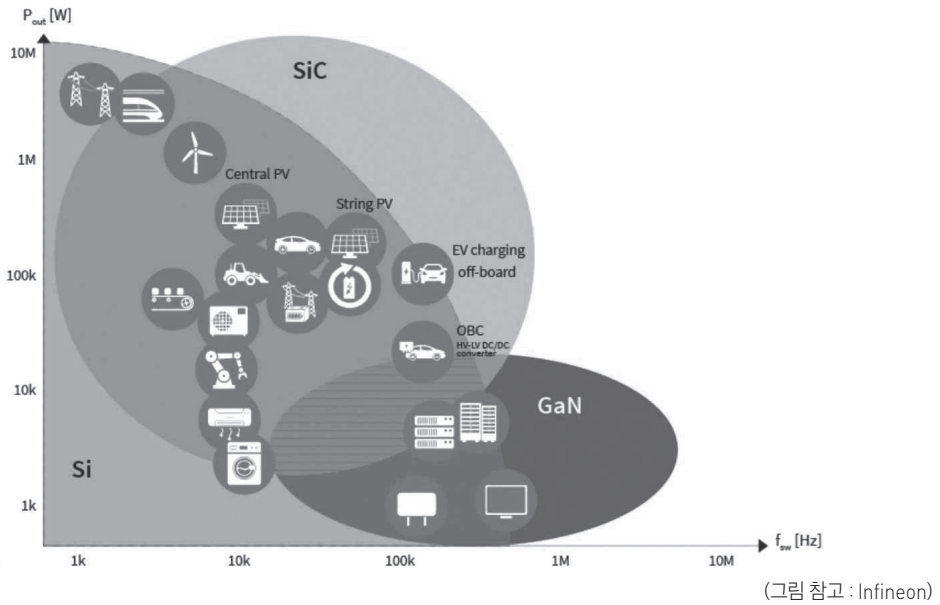
### // 전력반도체란

- ★ 전력반도체란 전기에너지를 활용하기 위해 전력변환(DC-AC, AC-DC) 인버터, 전력변압(DC-DC) 컨버터, 전력 분배 및 제어를 수행하는데 사용되는 부품으로 주로 정류, 증폭, 스위칭 역할을 수행하는 반도체
- ★ 삼성전자, SK하이닉스가 주도하고 있는 메모리 반도체, 인텔/엔비디아가 주도하고 있는 시스템 반도체는 수 V 동작전압과 수 mA 동작전류로 작동하는 반면 전력반도체는 수십 V~수 kV 동작전압과 수A~수십A 동작전류로 작동함



| 그림 1. 반도체 소재에 따른 특징 [1] |

- ★ 전력반도체를 반도체 소재 관점에서 분류하면 Si 기반 전력반도체, SiC 기반 전력반도체, GaN 기반 전력반도체로 나눌 수 있고 SiC와 GaN 전력반도체를 합쳐서 WBG 전력반도체라 부름
  - Si 기반 전력반도체는 Thyristor, BJT, IGBT, MOSFET 등의 전력 소자가 있으며, 에너지 밴드 갭이 낮아(1.1eV) 고출력을 위해 다수의 반도체를 병렬로 묶어 부피와 무게 최소화에 한계가 있음
  - Electron Velocity가 낮아 스위칭 속도의 제한이 있어 100KHz 이하로만 적용이 가능하며 동작 주파수가 낮은 만큼 크기가 커지는 문제점이 있음
  - Si 기반 전력반도체는 Thermal Conductivity가 낮아 고 전력 시스템을 만들기 위해서 큰 부피의 방열 시스템이 필요하여 부피와 무게에 문제점을 내포
  - SiC 기반 전력반도체는 SiC-MOSFET 등의 전력 소자가 있으며, 에너지 밴드 갭이 높고(3.2eV) 전력밀도가 높아 수백 kW 이하의 중 전력 전력시스템을 최소화하는데 적합
  - Electron Velocity가 Si 기반 보다 높아 스위칭 속도를 1MHz까지 높일 수 있어 전력 시스템을 소형화할 수 있음
  - SiC 기반 전력반도체는 Thermal Conductivity가 높아 고 전력 시스템을 만들 때 방열 시스템을 최소화할 수 있음
  - GaN 기반 전력반도체는 GaN HEMT 등의 전력 소자가 있으며, 에너지 밴드 갭이 높아(3.4eV) 고전압을 다루는데 최적화된 반도체
  - 상대적인 Electron Velocity가 가장 빨라 10MHz 이상 초고속 스위칭이 가능하여 시스템 크기 최소화에 가장 적합한 반도체
  - Thermal Conductivity는 높지 않아 아직까지는 고 전력 응용 예 보다는 생활가전 등 소 전력 응용 예에 적용되고 있음
- ★ 소모 전력에 따른 전력반도체의 응용 예를 구분하면 중소전력인 IT 및 생활 가전 분야, 중 전력인 EV/HEV 충전 분야, 중/고 전력 산업 분야로 나뉨



| 그림 2. 반도체 소재에 따른 적용 가능 예 [2] |

| 표 1. 응용 분야에 따른 소모 전력 |

구분	사용 전력	응용 분야
IT/가전	< 500W	PC, 노트북, TV, 휴대폰
	1~5kW	UPS, 냉장고, 에어컨
EV/HEV 충전	30~350kW	OBC, DC-DC 컨버터, DC-AC 인버터
산업	5~100kW	산업용 모터, ESS
	100k~1MW	산업용 UPS, 산업용 기계 장치, PV 변환기
	> 1MW	전력 전송, 기차

- ★ 전력반도체는 On/Off 스위칭 동작을 통해 디바이스가 켜졌을 때 낮은 On-저항 값을 갖고 꺼졌을 때 낮은 Off-누설전류 특성을 가지면서 해당 응용분야에 맞게 동작하는 것이 핵심
- ★ WBG 전력반도체는 Si 기반 전력반도체 보다 8배 높은 전압 항복 능력을 가지고 있어 앞서 언급한 전력반도체의 낮은 On-저항 값과 낮은 Off-누설전류로 전력변환 효율을 극대화 할 수 있음
  - Si 기반 전력반도체의 항복전압을 2배 높이면 On-저항은 5배 올라가고, SiO<sub>2</sub> 절연 막의 한계로 일정량의 누설 전류를 가지고 있어 고전압/고성능을 달성하기 어려움



- ★ 또한 WBG 전력반도체는 높은 동작 온도를 가지고 있어 방열을 위한 시스템을 최소화 할 수 있어 Si 기반 전력반도체 대비 소형화 및 경량화가 가능
  - Nissan Leaf와 Jaguar I-PACE에 IGBT 기반 인버터의 무게가 각각 11.15kg, 8.23kg이었던 것에 반해 테슬라 Model 3에 탑재된 SiC 인버터 무게는 4.8kg임
  - 일본의 Rhom 사도 Si 기반에서 SiC 기반으로 인버터를 개발하여 손실을 85% 줄이고 부피는 50% 줄이는 효과를 거둠
  - EV의 운행 거리는 무게에 반비례하기 때문에 향후 EV/HEV 분야에 WBG 전력반도체 채용 추세는 더욱 가속화 될 것임

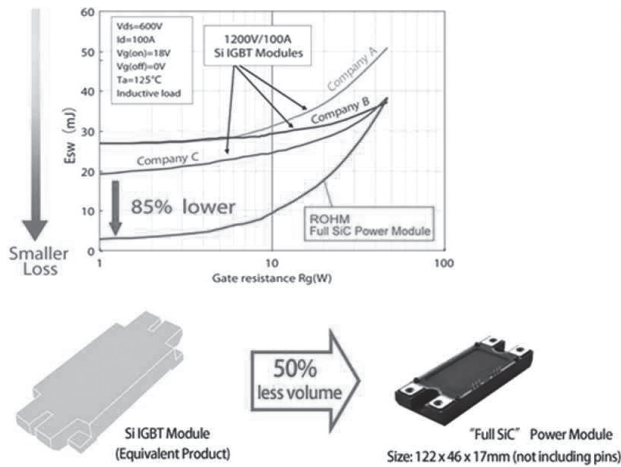
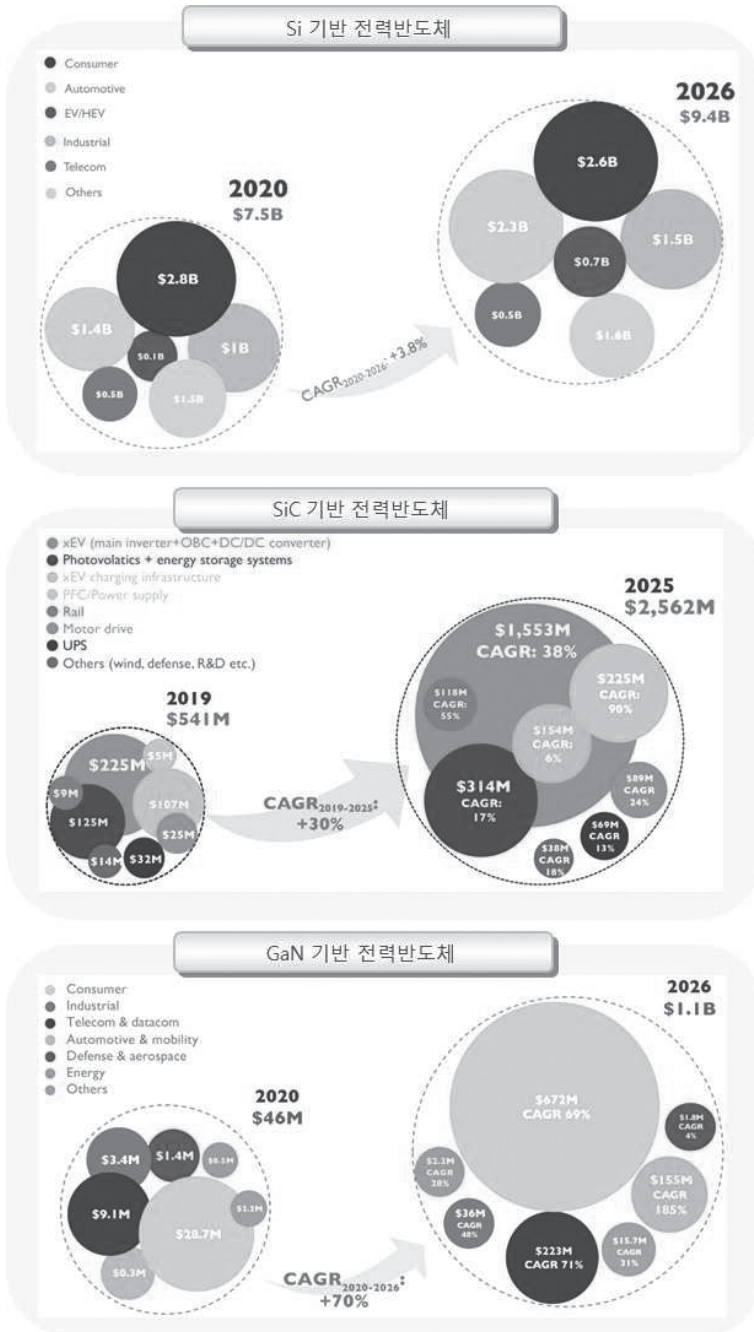


그림 3. Rhom사의 WBG 전력반도체 채용 효과

- ★ 가격 측면에서 Si 기반 반도체가 WBG 반도체 보다 50~100% 정도 경쟁력이 있어 기존 전력 전송/산업용 기계 시스템에서는 Si 기반 전력반도체가 주로 사용되고 있지만, 초소형, 고성능이 요구되는 EV/HEV 및 가정용 기기에서는 WBG 반도체의 성장 속도가 빠름

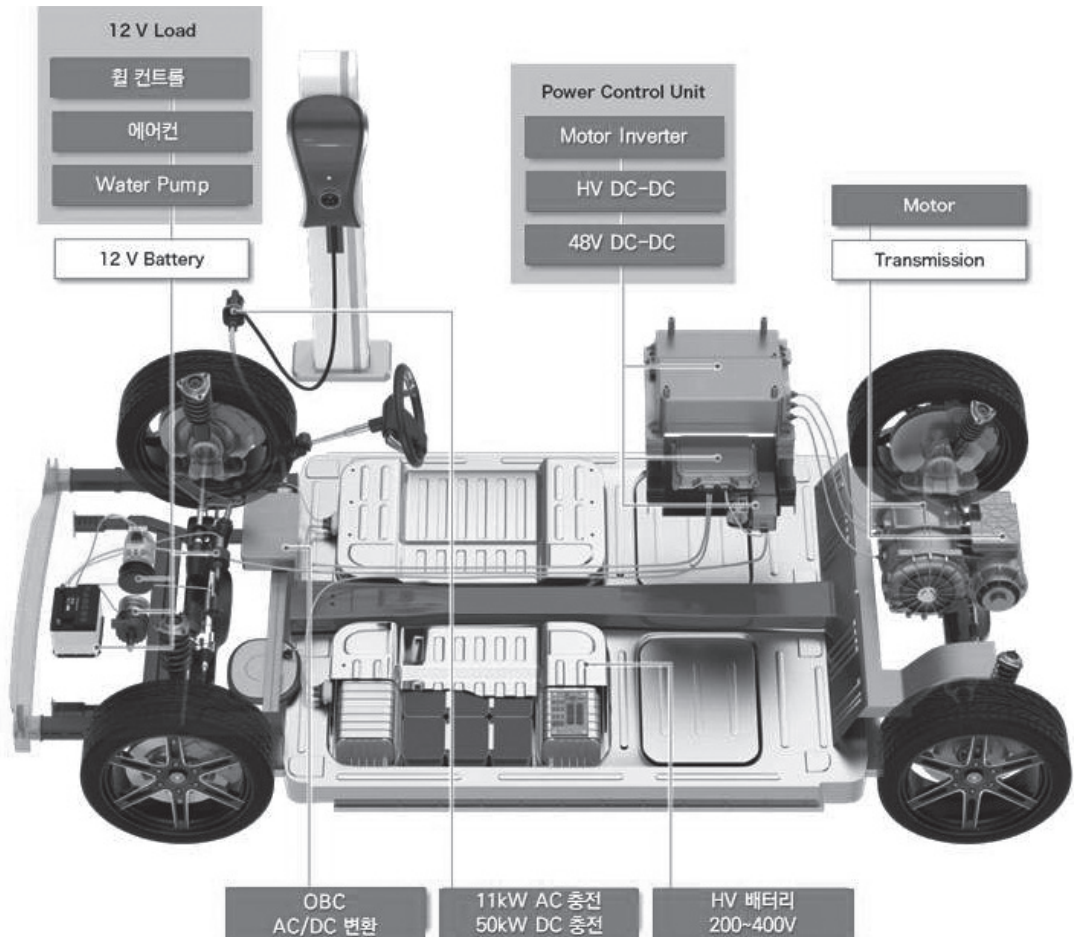
### 전력반도체 시장의 변화

- ★ 기존 전력반도체는 Si 기반 전력반도체가 시장의 주를 이루고 있으며 향후 5년 후에도 50% 이상 시장을 선점할 것으로 전망
  - Si 기반 전력반도체 시장은 생황가전, 산업용 기기에 주로 사용되고 있으나 2026년까지 CAGR 3.8%의 성장률을 보이는 성숙된 산업 분야로 인식 됨
- ★ SiC 기반 전력반도체는 크기, 무게, 성능의 강점을 바탕으로 향후 4년 동안 30% 이상 성장될 것으로 전망
  - 최근 전망에 따르면 EV/HEV 관련 차내 충전 시스템 분야가 CAGR 38%로 성장할 것으로 전망되고 있으며 충전 인프라 시장은 90% 성장할 것으로 전망



| 그림 4. 전력반도체 시장 전망(Yole Report) |

- ★ GaN 기반 전력반도체는 Si Wafer 위에 GaN 반도체를 생성하는 기술을 바탕으로 대량 생산의 강점을 가지고 있어 생활가전 전력반도체부터 시장 점유율을 점차 확대하고 있음
  - 최근 무선 충전 시장의 급성장에 따라 GaN 기반 생활가전 전력반도체 시장은 2026년까지 CAGR 69%로 고성 성장을 예상
  - EV/HEV용 전력반도체 시장에서 GaN 기반 전력반도체는 CAGR 185%로 급 성장할 것을 전망
- ★ 이와 같이 EV/HEV 기술의 성장은 전력반도체 기술 개발 속을 Si 기반 전력반도체에서 WBG 전력반도체로 이동하는 동력으로 작용하고 있으며 이런 추세는 ‘탄소중립’을 추구하는 전 세계 정책과 함께 더욱 가속화 될 것으로 전망



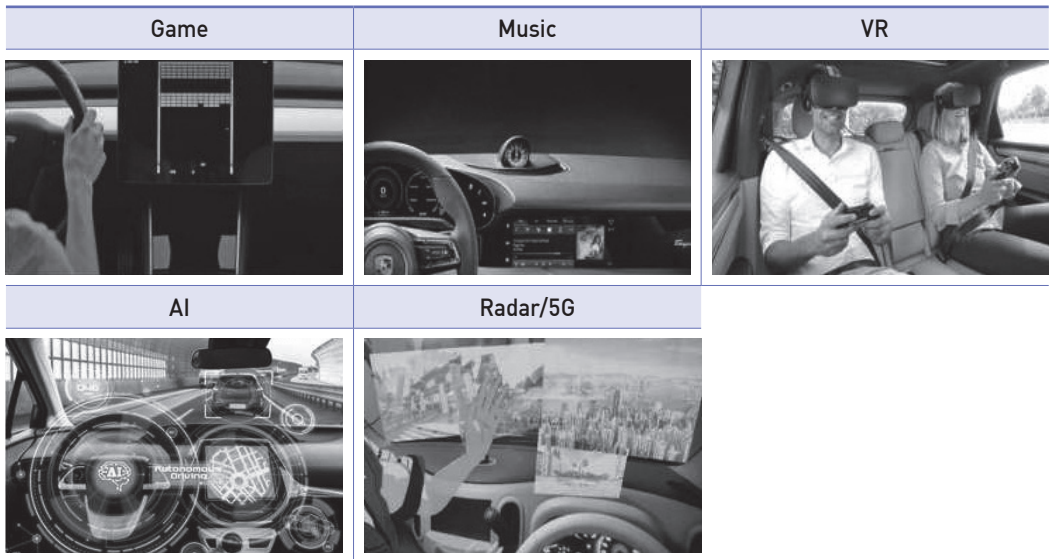
| 그림 5. EV 내부 전력 구성 |

★ EV의 전력 공급원은 AC를 이용하는 충전 시스템과 DC를 이용하는 충전 시스템으로 나뉨

- DC 충전기는 배터리에 필요한 DC 전원을 직접 공급해 주는 차량 외부에 설치된 충전 시스템으로 50kW급 전력 모듈이 사용되어 고속 충전을 가능하게 함
- DC 충전 시스템 구성을 위해 성능과 가격의 상충관계에 따라 SiC와 Si 기반 전력반도체가 모두 활용될 것으로 보임
- AC 충전기는 Grid의 AC 전원을 차량에 연결하고 차량 내의 OBC(On Board Charger)에서 배터리에 공급되는 DC 전원을 생성함으로써 동작
- OBC 동작이 22kW 이내로 모듈을 만들고 있어 SiC와 GaN 기반 WBG 전력반도체로 만든 모듈이 관련 시장의 주력 전력반도체가 될 전망

★ 외부 에너지는 전기 차의 HV(High Voltage) 배터리에 저장되고 이는 전기차를 구동하는 다양한 에너지원으로 사용됨

- 전기 차의 구동 시스템은 DC 모터/AC 모터 등이 있으며 이를 위해 200kW를 변환할 수 있는 HV DC-DC 변환기, 인버터 등의 변환 모듈이 필요
- 관련 모듈의 성능 최적화를 위해 테슬라 등 EV/HEV 기업들은 SiC 기반 전력반도체를 채용하고 있음



| 그림 6. 미래형 인포테인먼트 시스템 |

- ★ Tesla, BMW, Nissan, 현대차 등은 차량의 편의성을 위해 차량 내 인포테인먼트 기능(인공지능, 5G 통신, VR, 게이밍 등)을 강화하고 있음
  - 기존 자동차의 전원은 12V 배터리 시스템과 DC-DC 변환기를 통해 Wheel 컨트롤, 에어컨 전원 공급 등을 하고 있음
  - 차량 내 인포테인먼트를 위해 레이더, 라이다 등의 센서 모듈과 디스플레이 및 통신 장치 채용이 증가하고 있음
  - 신규 디바이스에 에너지 공급을 효율적으로 하기위해 48V 전압 원을 새롭게 필요로 하고 있고 관련 전원을 공급할 수 있는 전력반도체의 수요도 급증하고 있음
  - 기존 생활 가전 전력반도체(240V 이하 반도체)에 강점이 있는 GaN 기반 전력반도체의 신뢰성을 높이는 “차량용 반도체 최적화 연구”가 활발히 진행되고 있고 그 결과 Ti 등 시스템 반도체 전문기업들이 시장에 진입하고 있음
- ★ 이와 같이 EV/HEV 시장의 성장은 전력반도체 시장에 직접적인 변화를 유도하고 있으며 이로 촉발된 기술 범위는 인포테인먼트를 구동하는 소 전력 전력반도체부터 모터를 구동하는 중 전력 전력반도체까지 다양하게 확산될 것으로 전망

## 2. WBG 전력반도체 국내외 동향

### EV 산업 투자 동향

- ★ 2021년 미국 DOE(Department of Energy)에서 국제 기후 위기에 관한 6가지 대책을 세웠고 관련 핵심 기술은 EV의 조기 보급 임
  - 미국, 한국, 프랑스, 중국 등이 EV 개발에 앞장서고 있으며 특히 중국의 선전시는 전체 버스를 전기 버스로 전환할 만큼 적극적
  - 테슬라는 중국에 50억 불을 투자해 "Gigafactory 3"를 설립했고 현대자동차도 EV 생산에 미국에만 2025년까지 74억 불을 투자
  - 일본과 영국에서는 Nissan과 AESC 그룹이 공동으로 배터리 공장을 설립 중
- ★ 독일은 보조금 정책을 통해 미국은 충전 인프라 투자를 통해 EV 시장의 조기 정착 시기를 앞당기고 있음
  - 독일은 2020년 EV 보조금으로 차당 4,718달러를 지급해주고 있으며 2025년에는 이를 6,700달러까지 올릴 것으로 계획
  - 미국은 2021년 1조 740억 달러의 EV 인프라 R&D 투자로 EV 충전시스템을 조기 구축하고자 함

### 재생 에너지 산업 투자 동향

- ★ 미국을 중심으로 GCC(Gulf Cooperation Council)국가들이 태양광 에너지관련 신설 투자를 증대
  - 미국은 American Security Project를 통해 미국 중동부에 태양광 발전 산업을 육성하고 있으며 투자 규모는 2008년 대비 2020년 12배에 달할 만큼 대규모 투자를 진행 중
  - 사우디아라비아의 "Mutjedda" 프로젝트를 통해 280억 불의 태양광 산업 발전을 위한 투자가 진행 중
- ★ 아시아 태평양 지역도 SiC와 GaN 기반으로 태양광 산업 구축에 집중 투자 중
  - 중국은 석탄보다 저렴한 태양광 에너지원 보유라는 목표로 룡양사 댐 태양광 공원에 850MW 프로젝트를 진행 중

## /// WBG 전력반도체 서플라이 체인 동향

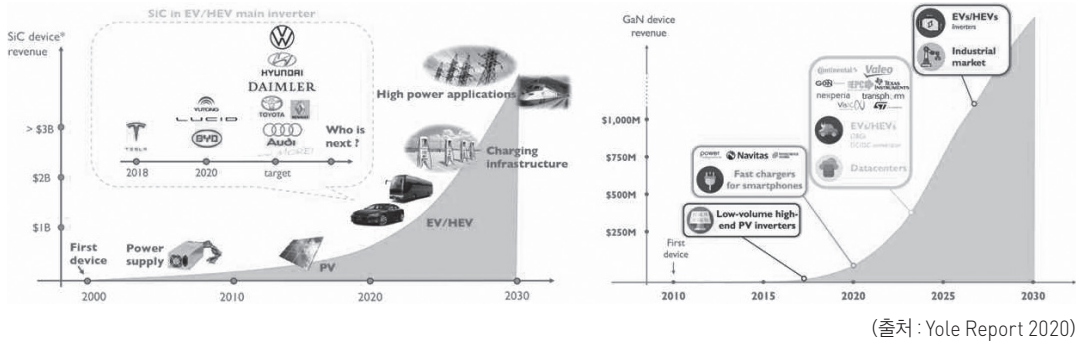
- ★ GlobalWafers, XIAMEN POWERWAY ADVANCED MATERIAL, Shin-Etsu 화학, Jiaozuo Commercial Finewin 등 WBG 반도체 생산을 위한 다양한 재료 공급사들이 존재
  - 이들 기업은 차량용 적용에 적합한 High Quality 그리고 대량 양산이 가능한 재료 공급을 보장하고 있으며, 지속적인 가격 경쟁력을 높여 WBG 반도체 시장 확산에 기여
  - Cree와 STMicroelectronics는 상호 협의를 통한 공급 계약을 맺어 시장 주도권을 확보하기 위한 개발 MOU를 체결
- ★ WBG 전력반도체를 생산하는 기업들은 Rohm, Renesas, STMicroelectronics, Infineon 등이 있으며 모듈을 생산하는 기업으로는 Semikron, Alpha and Omega, Fuji Electric 등 WBG 반도체 생산부터 모듈까지 다양한 기업들이 존재
  - 2021년 Rohm사는 “Apollos Chikugo” 공장을 설립 SiC 전력반도체를 대량 생산할 수 있는 인프라를 구축
  - 2020년 STMicroelectronics는 “Exagan” 개발로부터 GaN 전력반도체를 생산할 수 있는 원천 기술 확보
  - Topsil사는 로컬 소재 공장을 합병하여 Si, GaN 소재부터 소자까지 개발 할 수 있는 환경 구축
  - Infineon과 Mitsubishi는 소자 공정과 후처리 공정 기술의 협력을 통해 산업 생태계 활성을 위한 지역적 한계를 극복
- ★ Avnet, DigiKey, Rutronik 등 전 세계 전자 부품 공급 망이 있어 생산된 전력반도체 공급이 원활하게 진행되고 있으며 Mouser같은 온라인 부품 배급사까지 존재 하여 전력반도체 공급 및 수급이 원활
- ★ Denso, LG전자, HELLA GmbH 등 다양한 최종 수요자들이 전력반도체를 필요로 하고 있음
  - Denso는 차량용 전력반도체의 중요한 최종 수요자라서 벤츠, 볼보, 도요타, 포드 등의 자동차에 전력모듈을 필요로 하고 있음
  - LG전자는 가정용 전력반도체의 최종 수요자로서 세탁기, TV, 에어컨 등에 전력 모듈을 필요로 하고 있음
  - HELLA GmbH는 조명 분야에 전력반도체에 중요한 최종 수요자로서 다양한 조명 기기에 전력 모듈을 필요로 하고 있음

## // WBG 전력반도체 기술 개발 동향

- ★ WBG 전력반도체 제조 기업들은 출력 파워, 전류 밀도, 효율을 높일 수 있는 새로운 소자 개발을 진행 중
  - 2021년 GaN System은 자체 GaN 전력반도체 기술을 이용하여 e-bike, e-scooter 등을 구동할 수 있는 차세대 GaN 기반 모터 드라이버를 개발하기 위해 FTEX와 협업
  - 2019년 Alpha and Omega 사에서 650V GaN 모델을 공개했고, 이를 통해 서버, 데이터 센터, 통신 장비 등의 전력 모듈 소형화를 추진
- ★ 반도체의 항복전압을 높이고 스위칭 속도를 빠르게 하는 WBG 전력반도체 양산성 향상을 연구 중
  - 2019년 Microchip은 새로운 SiC diode와 MOSFETs를 발표해서 10만 번 실험 횟수에도 강건한 디바이스 발표
- ★ 새롭게 전력반도체 소자를 개발하고 싶은 기업의 수요를 충족시킬 수 있도록 다양한 정부 투자가 진행 됨
  - North Carolina State University에서 SiC 프로그램인 "PRESICTM"을 발족, SiC를 기반으로 전력반도체를 생산하고 싶은 기업의 소자를 제작해 줌
  - 국내에서는 파워반도체상용화센터와 함께 "파워(전력) 반도체 시제품 공동 제작 지원 프로그램"을 운영, 현재까지 9개 기업과 SiC 전력반도체 디바이스 개발을 추진 중
- ★ WBG 전력반도체의 성능을 소재와 패키징 기술을 통해 개선하고자하는 연구도 진행 중
  - Siltecta GmhB사는 "Cold Split"이라는 기술을 개발하여 SiC 크리스털 구조를 개선하였고 이를 통해 같은 웨이퍼에 집적할 수 있는 칩 면적을 두 배로 확장시키려 함
  - Nexperia사는 Through-epi-via를 통해 GaN 디바이스의 사이즈를 24% 줄이고, 온 저항, 문턱전압 등을 낮춰 OBC에 최적인 소자를 제안



## WBG 개발 마일스톤



| 그림 7. WBG 개발 마일스톤 : (좌) SiC, (우) GaN |

- ★ SiC 기반 전력반도체 시작은 2000대 최초로 Infineon에서 SiC Diode를 만들며 시작되었으며 현재는 600V와 1700V의 MOSFET을 출시하고 있음
  - 1200V와 1700V 제품군을 중심으로 2023년부터 EV 모터 인버터의 본격적인 시장 상생을 예상하고 있음
  - 2027년까지 EV 충전 인프라를 SiC 기반 전력반도체로 설치하고 2030년에는 고출력 응용예인 전력전송 분야에도 상당한 매출이 발생할 것으로 전망
  - Infineon, Renesas, Rohm 등의 회사가 관련 기술을 주도하고 있음
- ★ GaN 기반 전력반도체 시작은 2010대 최초로 개발되었으며 최근 TI에서 650V HEMT를 출시함
  - TI, GaN Systems를 중심으로 2024년부터 EV OBC, DC-DC 변환기 등 소 전력 전력모듈에 GaN 시장 진출을 예상하고 있음
  - 2024년까지는 고속 스위칭 특성과 고효율 특성으로 급증하는 데이터센터에 가장 많이 활용될 것으로 전망
  - 지속적인 소자 개선과 열 문제 개선을 통해 2027년까지 EV 인버터, 그리고 산업용 전력반도체 시장까지 분야를 확장할 것으로 예상
  - TI, GaN Systems, EPC 등의 반도체 제조사들이 기술을 주도할 것으로 예상

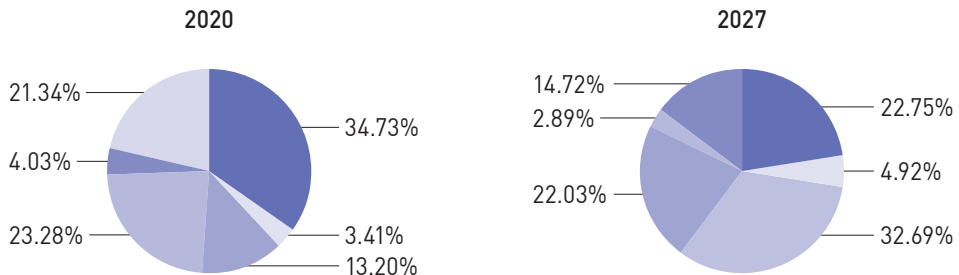
## 3. WBG 전력반도체 시장 전망

★ WBG 전력반도체 제품은 개별 SiC 소자, SiC 파워모듈, 개별 GaN 소자, GaN 파워 모듈로 나뉘고 각 시장은 평균 30%가 넘는 성장속도로 향후 전력반도체 시장의 성장을 이끌 것으로 전망 [3]

- 개별 SiC 소자는 2021년 427.1M\$에서 CAGR 24%로 2027년 1,555.51M\$로 성장할 것으로 전망
- SiC 파워 모듈은 2021년 356.85M\$에서 CAGR 36.1%로 2027년 2,268.76M\$로 성장할 것으로 전망
- 개별 GaN 소자는 2021년 24.93M\$에서 CAGR 38.8%로 2027년 178.05M\$로 성장할 것으로 전망
- GaN 파워 모듈은 2021년 49.6M\$에서 CAGR 48.9%로 2027년 539.94M\$로 성장할 것으로 전망

★ WBG 전력반도체 응용 분야는 2021년 PC 등 파워서플라이 시장이 전체시장의 34.73%의 점유율을 보인 반면 2027년에는 EV/HEV 관련 전력반도체가 32.69%로 시장을 주도할 것으로 전망

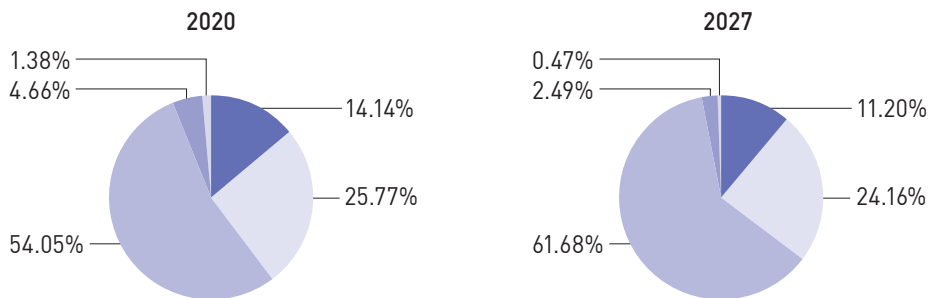
- 2021년 WBG 전력반도체 응용 기술 점유율 순서는 1. 파워서플라이(34.73%), 2. 태양광 인버터(23.28%), 3. EV/HEV(13.2%) 임
- 2027년 예상 WBG 전력반도체 응용 기술 점유율 순서는 1. EV/HEV(32.69%), 2. 파워서플라이(22.75%), 3. 태양광 인버터(22.03%) 임



| 그림 8. WBG 전력반도체 응용 기술 점유율 변화 [3] |

★ WBG 전력반도체 시장을 지역별로 나누어 봤을 때, 중국의 영향력이 높아 2021년 시장 점유율 1위를 기록하고 있으며 이런 추이는 더욱 가속화 될 전망 [3]

- 2021년 지역별 시장 점유율은 1. 아시아(54.05%), 2. 유럽(25.77%), 3. 미국(14.14%)에서 2027년 1. 아시아(61.68%), 2. 유럽(24.16%), 3. 미국(11.20%)으로 전망



| 그림 9. WBG 전력반도체 시장 지역별 기술 점유율 변화 [3] |

## 4. 국내 WBG 전력반도체의 발전 전망

### WBG 전력반도체 소자 전망

★ 전력반도체 소자의 발전 방향은 Si 기반 전력반도체에서 WBG 전력반도체 소자로 분명한 방향 전환을 하고 있음

★ WBG 전력반도체 소자도 240V, 600V, 1200V, 1700V 등 사용처에 따라 다양하게 분류할 수 있어 반도체 소재부터 소자에 이르기까지 많은 공급 망을 필요로 함

★ SiC 소재와 GaN 소재의 국내 기술력은 높지 않으나 양산성 높은 해외 기업 공급망이 다수 형성되어 안정적인 소재 공급 가능

- 전기차용 전력반도체와 재생에너지 전력반도체의 지속적인 성장과 함께 전력반도체 소자를 생산하는 기업들이 전략적 기술 제휴를 맺고 있어 소자, 소재, 패키징 등 한 기술 분야라도 경쟁력을 확보 한 경우 충분히 글로벌 컨소시움에 참여를 통한 신 소자 개발 가능

- SiC 소재, 소자는 지속적인 R&D를 통해 기초 원천 기술을 확보하고 있으며, GaN 기술 분야는 통신소자 개발을 통한 한국만의 독자적인 기술 보유

★ 하지만 WBG 전력반도체 소자 제작 시설과 소자 성능 분석에 대한 국내 제조 및 연구 인프라 부족

- 일본은 Renesas, Mitsubishi, 독일은 Infineon, 미국은 Wolfspeed, 스위스는 STMicroelectronics, 영국은 Nexperia 등 SiC 반도체에 대한 소자 양산이 가능한 기관이 존재

- 미국의 TI, GaN System, 독일의 Infineon 등이 GaN 소자 양산이 가능한 기관이 존재

- 국내에서는 SiC 기반 Foundry로 파워반도체상용화 센터가 존재하고 이를 기업과 연계하여 활성화하려고 추진 중

- 5G 등 이동통신 부품 개발을 위해 GaN RF 증폭기 관련 R&D가 지원되어 국내 중소기업의 Foundry 기초역량 확보하였지만 전력반도체를 위한 기초 연구는 미비

★ 국내 SiC Foundry의 6인치 제조 시설 확보

- 전기차용 반도체에서 Si 기반 전력반도체와 비교하여 경쟁력을 확보하기 위해서는 6인치 이상 SiC 공정이 필요

- 6인치 이상 공정의 안정화 및 양산 기술로의 전환을 통한다면 SiC 기반 전력반도체 기술 경쟁력 확보 가능

★ 생활 가전, EV/HEV OBC 등에 GaN 기반 전력반도체의 높은 성장성에 비해 국내 R&D 투자가 미비

- 국내 잘 개발된 실리콘 소자위에 GaN 소자를 만드는 Foundry 기술을 투자하여 8인치 이상 Si 기반 기술에 GaN 전력 소자를 제작한다면, 양산성 및 가격경쟁력을 갖춘 전력반도체 소자 기술을 확보하는 것으로 세계 시장에서 경쟁력이 있을 것으로 판단

- GaN의 열 특성을 개선하는 독보적인 기술 내재화를 통해 모듈의 초 소형화 및 GaN 소자의 고효율화 기술력을 확보하면 GaN 소자도 새로운 도약을 할 수 있을 것으로 전망

## /// WBG 전력반도체 모듈 전망

- ★ WBG 전력반도체 모듈은 보통 전력반도체 소자인 스위치와 다이오드 그리고 수동회로의 조합으로 이루어진 기술
- ★ SiC 기반 전력 모듈 시장은 2027년까지 CAGR 36.1%, GaN 기반 전력 모듈은 2027년까지 48.9%에 이르는 고성장 분야임
- ★ 우리나라는 특히 가전은 삼성전자, LG전자, 자동차는 현대모비스 등 최종 파워 모듈을 수용할 수 있는 국내 수요처를 보유하고 있어 모듈 관련 산업의 전망이 밝음
- ★ 모듈 개발은 소재, 소자 개발에 상관없이 회로 기술과, 패키징 기술력을 확보하고 있으면 해외 업체와 전략적 제휴를 통해 사업화 가능
  - 국내 반도체 패키징 기업들과 반도체 공정 센터의 기술력을 이용하면 모듈 생산이 가능하나 소자의 최적화를 위해 소자 개발과 함께 패키징 개발을 했을 때 기술 경쟁력이 높음
- ★ 최근 산업부에서 “디지털 그린 뉴딜의 핵심부품, 차세대 전력반도체 본격 육성”방안으로 반도체 소자-모듈-시스템 연계를 추진하고 있으며 이를 전문기업 중심으로 기반 시설을 확보하고자 하는 의지에 대한 적절한 투자가 이루어진다면 WBG 전력반도체 모듈의 밝은 전망을 예측할 수 있음

## 5. 결론 및 시사점

### // 새로운 시대로의 변화

- ★ 기존 전력반도체 시장은 주로 파워 서플라이 전력 변환, 그리고 재생에너지 전력 변환 및 저장 등에 사용되어 전력반도체의 부피, 무게 등의 제약이 적은 Si 기반 전력반도체가 가장 많이 사용되었으며 관련 시장은 이미 기술 성숙기에 진입
- ★ 전 세계적으로 기후 변화에 대응하기 위해 “탄소중립”을 위해 정책적 지원을 아끼지 않기로 합의되고 있으며, 이를 이끄는 기술이 화석 연료를 사용하지 않는 EV 사용의 확대임
- ★ EV 시장의 폭발적인 성장은 전기 충전 인프라, OBC, 모터 인버터, 컨버터, 인포테인먼트용 컨버터 등 전력반도체의 새로운 수요를 요구 있으며, 이런 수요는 기존 Si 기반 전력반도체 시스템과 달리 차량 안에 탑재되는 만큼 안정성, 소형화, 경량화를 갖춘 새로운 전력반도체라는 새로운 기술 트렌드를 창출
- ★ 이런 기술적 트렌드를 따라 기술 선진국 들이 SiC 기반/GaN 기반 전력반도체들을 앞 다투어 투자하고 있으며, 시장 선점을 위한 원천 기술 확보에 주력 중
- ★ 그러나 국내에서는 아직 Si 기반의 전력반도체 트렌드를 벗어나지 못하고 세계 시장을 주도할 수 있는 새로운 전력반도체 기술개발을 추진하고 있는 기업들이 현저히 부족한 상황
- ★ 국내에서 WBG 전력반도체를 활성화하기 위해서는 Foundry 기반 기업이 존재해야 하며 이를 활용할 시스템 개발 인력을 육성해야 하는데, 이는 장기간 투자가 필요한 기술 분야로써 정부와 기업이 손잡고 장기간에 걸친 R&D를 지속적으로 추진해야 함
- ★ WBG 반도체 소자의 특성은 아직 연구 초기 단계로 소자 특성 개선 및 성능 분석에 대한 지속적인 R&D 투자로 성능 극대화 및 성능 안정화를 달성해야 함
- ★ Si 기반 전력반도체 시장에서도 전체 시장의 90%이상 부품을 해외에서 공급하고 있는 현실에서 차세대 전력반도체에서도 시기적절한 투자가 이뤄지지 않는다면 향후 폭발적으로 성장하는 산업에 핵심 소재, 부품 기술을 확보하지 못할 것임
- ★ 최근 정부의 전력반도체 추진 계획을 살펴보면 이런 우려를 불식시킬만한 정책들을 준비하고 있어 한국 전력반도체 시장의 새로운 도약을 기대하게 만들고 있음

- ★ 특히 한국은 LG전자, 삼성전자, 현대차, 현대모비스, 만도 등 세계 최고의 전력반도체 수요기업들을 보유하고 있는 나라로써 수요기업과 연계한 종합적인 투자 방향이 마련된다면 국내 새로운 성장 동력으로 육성할 만한 기술을 발굴할 수 있을 것으로 전망
- ★ 이를 위해 생산자와 수요자가 포함된 단체를 구성하여 수요자의 요구와 검증을 통해 산업 발전 속도를 높일 수 있도록 추진

## [참고문헌]

1. Navitas Semiconductor, <https://navitassemi.com/>
2. Gowthamraj Rajendran, "Hard Switching Characteristics of SiC and GaN Devices for Future Electronic Vehicle Charging Stations"
3. Global Market Insight 2021

## [국내외 주요 기술개발 현황]

연구기관명	프로젝트명	개요	연구기간
부산테크노파크	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SiC 파워반도체 연구플랫폼 구축 사업</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 파워반도체 일괄공정 라인구축</li> <li>2. 연구플랫폼구축 사업 운영위원회 구성</li> <li>3. 연구플랫폼 인프라 활용 기업지원 체계 구축</li> </ol>	2017.07-2023.12
포항공과대학교	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SiC 전력반도체 6인치 핵심 표준공정 기술개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SiC Planar MOSFET 웨이퍼 레벨 일괄집적공정 및 표준 개발 1단계 개발한 핵심 공정 외의 단위공정 표준화 6인치 SiC Planar MOSFET 일괄공정 제작 및 최적화</li> </ul>	2019.03-2021.12
한국전자기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 통합형 최적설계 플랫폼 기반 초고효율 전력변환시스템 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SiC 기반 토폴로지 해석 모델</li> <li>• GaN 기반 토폴로지 해석 모델</li> <li>• 정보기기용 전원공급시스템 가전기기용 인버터시스템</li> <li>• 온라인 무정전 전원시스템</li> </ul>	2021.05-2024.12





## 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 고기능성 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 사용화를 위한 차량 안전기술 동향
	첨단기계	승강기산업의 기술동향과 산업전망
20-6호	FOCUSING ISSUE	As 및 Sb 미합유 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
21-4호	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 제거화 기술
	조선해양	선박-해양 프로세스 시스템 디지털 트윈 개발 방향
	지식서비스	디지털엔지니어링 설계기술과 탄소저감
	스마트전자	인공지능가전 기술동향과 산업전망
	뿌리기술	주조산업의 최신 기술 활용 사례
21-11호	첨단기계	극저온 냉동기 기술 및 시장 동향
	디자인	CMF디자인 기술동향과 산업전망
	화학공정	국내 촉매 산업의 기술 동향
	시스템반도체	전력반도체 최신 기술 이슈 및 향후 전망



## KEIT PD Issue Report

| 발 행 일 | 2021년 11월

| 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, 신변보호, 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