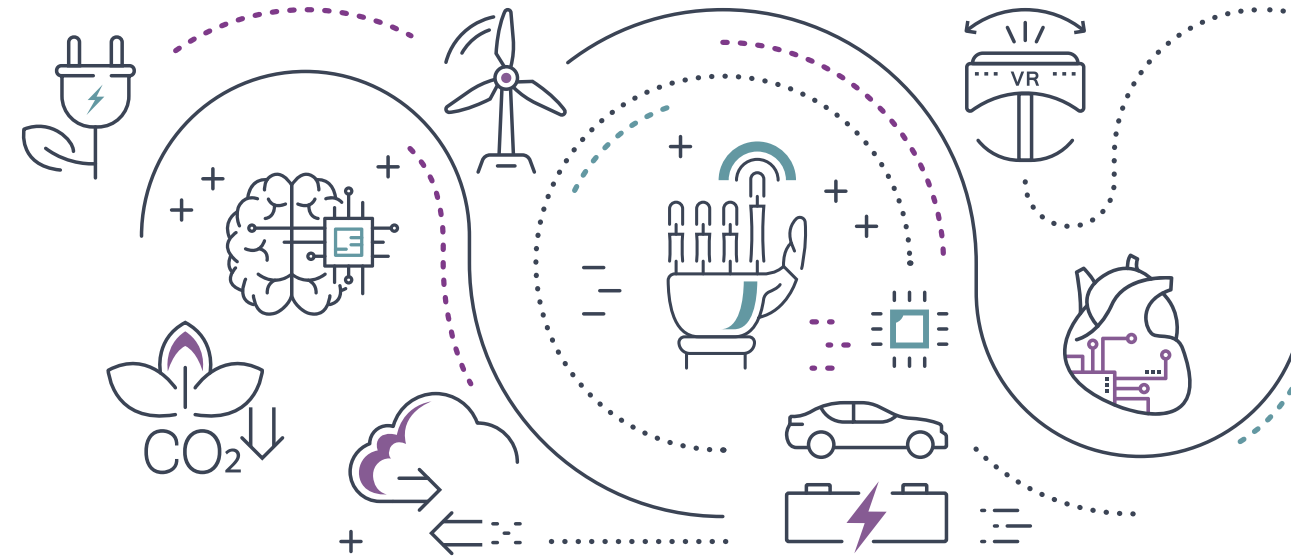


발간등록번호
11-1721000-000593-01

www.msit.go.kr

소재·부품·장비 미래선도품목



소재·부품·장비 미래선도품목



소재·부품·장비 미래선도품목



발간사

Greetings

2019년 7월, 일본은 우리나라를 대상으로 갑작스러운 수출규제조치를 단행 했습니다. 대일 수입 의존도가 높았던 3대 반도체 핵심품목에 대한 수출규제 강화로 국내 기술·산업계는 걱정에 휩싸였습니다. 현장의 과학기술인, 기업인 뿐 아니라 이를 지켜보는 국민들도 자존심에 상처를 입었습니다.

하지만 우리는 가만히 있지 않았습니다. 해야 할 일, 할 수 있는 일을 찾아 신속하게 움직였습니다. 기업과 대학, 연구소는 대응전략을 새우고 새로운 연구개발에 돌입했습니다. 또한 생산시설을 확충하고 전문 인력을 양성하는 등 전 방위적인 노력을 기울였습니다. 그 결과 예상보다 빨리 관련 분야에서 실질적인 공급 안정화를 이루었습니다. 뿐만 아니라 3대 품목 외의 영역에서도 국산화 성과가 나타나고 있어 대단히 고무적입니다.

최근 코로나19로 인한 글로벌 경기의 둔화와 맞물려 소재·부품·장비 산업을 둘러싼 국내외 상황이 빠르게 변하는 가운데, 우리 앞에는 또 다른 과제가 놓여 있습니다. 특정 국가의 수출규제를 넘어, 미·중 기술패권 경쟁으로 촉발된 글로벌 공급망 재편에 대응해야 하는 새로운 도전에 직면해 있습니다. 이에 따라, 과학기술정보통신부는 소재·부품·장비 분야의 연구개발 전략의 고도화를 위해 더욱 정책 역량을 더욱 집중하고 있습니다.



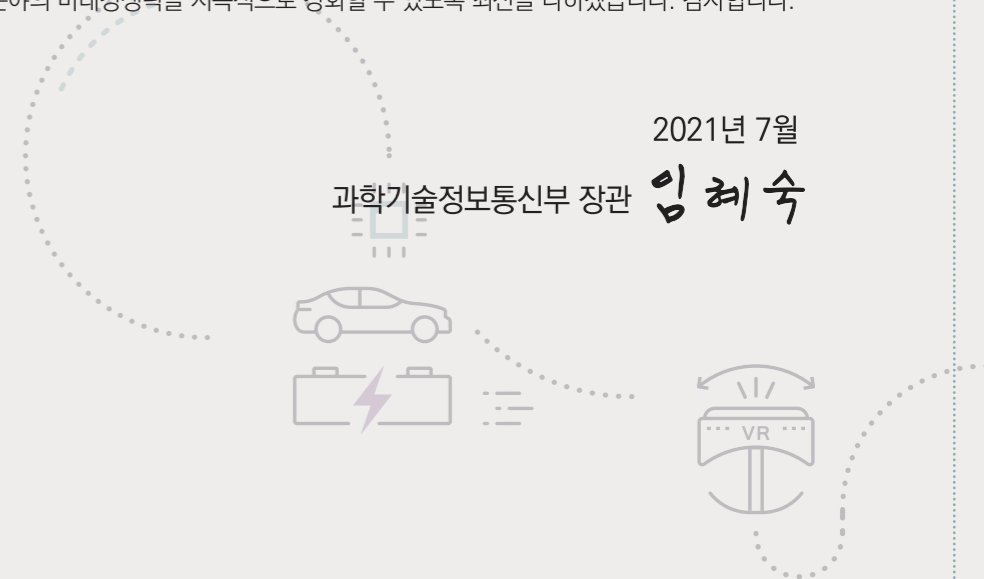
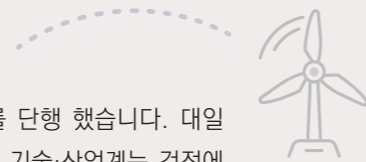
먼저 '단기 공급망 안정화'를 위한 대응 전략으로, 기술 자립화가 시급한 핵심품목 총 185개를 선정하여 보다 적극적이고 신속한 연구개발을 지원하고 있습니다. 시작한지 2년도 되지 않아, 일부 부문에서 성과가 속속 나오고 있습니다. 이와 같은 성과가 전체 기술분야로 확산될 수 있도록 세심하게 살펴가며 정책을 추진하겠습니다. 아울러 '중장기 미래 공급망 선제 확보' 대응 전략으로, 미래선도품목 65개를 선정하여 중장기적인 연구개발 지원을 강화해 나가겠습니다. 미래선도 품목은 5~10년 이후 미래 공급망의 핵심으로 예상되는 차세대 기술부문으로, 200명 이상 전문가와 기업의 의견을 토대로 도출하였습니다. 단기·중장기를 아우르는 투 트랙 전략을 통해 소부장의 자립도를 획기적으로 높이고, 더 강한 경제를 만드는 동력이 되도록 지원하겠습니다.

「소재·부품·장비 미래선도품목」은 그동안 소재·부품·장비 분야에서 추진되었던 정책, 연구개발 활동 및 성과와 함께 품목별 요소기술과 국내외 현황, 기술 로드맵 등을 묶어낸 자료로서, 우리 기술의 현주소를 파악하고 기회와 위협요소를 판단하는데 많은 도움이 될 것입니다. 본 책자가 관련분야의 학계, 연구기관의 연구자와 산업계 종사자들의 활동에 유용하게 활용될 수 있기를 기대합니다.

위기를 지혜롭게 극복하고 새로운 기회로 만들어 가고 있는 대한민국의 모든 연구자들과 관계자 분들께 지면을 빌려 뜨거운 박수를 보냅니다. 과학기술정보통신부는 국가 과학기술 컨트롤타워로서 소재·부품·장비 분야의 미래경쟁력을 지속적으로 강화할 수 있도록 최선을 다하겠습니다. 감사합니다.

2021년 7월

과학기술정보통신부 장관 **임혜숙**



미래 신공급망 창출·선점 3개의 기반 마련



1 탄소중립



2 디지털 뉴딜



3 바이오 혁신



총 65개의 미래선도품목 발굴·선정



반도체

고해상도 BEUV 포토레지스트



디스플레이

초미세 마이크로 LED



전기전자(배터리)

전고체 전지 소재



자동차

4D 라이다 모듈



기계금속

액화수소 저장 용기



그린에너지

차세대 태양광 소재 (건식 공정용 페로브스카이트)



미래 소재

홀로그램 메타 소재



비대면 디지털

인공지능용 PIM 반도체



바이오

인공장기 생체 소재

반도체



회로 선 폭 초미세화
현재 5nm 구조
5년 후 1.5nm 이하



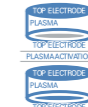
반도체 구조 고적층화
현재 밴드 기준 176단
5년 후 400단 이상



초고해상도 BEUV 포토레지스트



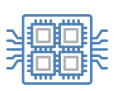
차세대 반도체용 ALD 전구체 및 장비



3차원 웨이퍼 간 직접 본딩 장비



펜토초 레이저 다이싱 장비



이종 집적 방열 소재

디스플레이



초고해상도·초실감화 디스플레이
현재 LCD/OLED
5년 후 초미세 마이크로 LED



여러 번 접히는 플렉시블 디스플레이
현재 1축 폴더블
5년 후 다축 폴더블



초미세 마이크로 LED 소재·부품



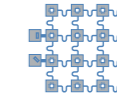
마이크로 LED 화소 공정 장비



3차원 표시 광학 소재·부품



AR·VR 디스플레이 소재·부품



자유곡면 플렉시블 기판 및 유기 소재



폴더블 윈도우용 하이브리드 소재

전기·전자



고용량의 안정성 높은 배터리
현재 리튬이온 전지
5년 후 전고체 전지



전기차를 위한 고전압 제어·비접촉 센서
현재 400EV
5년 후 1,000EV



전고체 전지용 고체 전해질



리튬 금속 음극 소재



축감 재현용 초음파 생성기



초고전압 MLCC



고주파용 단결정 기판 소재

자동차



완전 자율주행
현재 Level 2~3
5년 후 Level 4~5



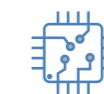
친환경·경량화
현재 전기차 연비 6km/kWh
5년 후 7km/kWh 이상



융합 센서의 통합 신호 처리용 AP



4D 센싱용 라이다 모듈



V2X 통신 반도체 소재



차량용 구조 전지 시스템



고전압 고출력 전력 반도체용 방열기판



무연할 환경 저마찰 고내구 구동 모듈

기계금속



극저온·초고온 등 극한 환경 대응

현재 LNG 저장
5년 후 액체수소 저장



스마트 제조 확산

현재 레이저 기반/저탄소강 현재 자율주행 Lv3.5
5년 후 소결 기반/고탄소강 5년 후 자율주행 Lv4 이상



가스터빈용
내열 소재



액체수소 저장용
금속 소재



건설기계용
정밀 위치 인지 장비



비정형 실내외
자율주행 시스템



3D 프린팅용
금속 분말

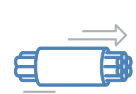
미래 소재

미래 소재의 경우,
장기 개발이 요구되는
소재 특성 고려

“10년 후를 대비한
특수 소재”



양자 컴퓨터/홀로그램/
휴먼 증강/베타 전지 등



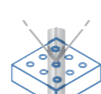
ICT 차세대 통신용
강유전체 광소재



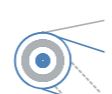
ICT 극한환경용
다이아몬드 반도체 소재



ICT 차세대 통신용
초고주파 소재



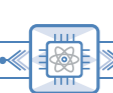
ICT 홀로그램
메타 소재



ICT 3D AR용
메타렌즈 소재



ICT 미래차용
섬유형 OLED 소재



ICT 양자 컴퓨터용
상온 동작 능동 소재



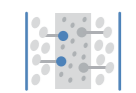
ICT 초분광 영상용
적외선 센서 소재



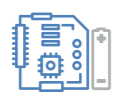
제조 나노 구조
알루미늄 합금



제조 멤리스터용
나노 복합 소재



에너지 듀얼 이온
전지용 전지 소재



에너지 베타
전지용 질화물
반도체 소재



에너지 암모니아
연료전지용
나노 촉매 소재



에너지 차세대 전고체
전지 소재



에너지 고밀도
수소 저장용 경금속
수소화물



Pb-free
에너지 친환경
페로브스카이트
소재



에너지 저온형
수전해용
세라믹 소재



바이오 소프트
웨어러블
인공근육 소재



바이오 휴먼 증강용
인체 감각 모방형
전자 소재



바이오 체내 주사용
생분해성
형상기억 소재



바이오 바이오
인터페이스 소재

비대면 디지털



초고속 유무선 통신

현재 5G
5년 후 6G, 저궤도 위성 등



인공지능 적용·확산

현재 GPU 기반
5년 후 NPU, 뉴로모픽



6G 통신용
전력 증폭기
GaN 집적회로



테라비트급 데이터
전송용 광통신 부품



대용량 코히어런트
광통신 부품



저궤도 위성통신용
통합 단말 모듈



양자 인터넷용
양자 증계기 부품



인공지능용
PIM 반도체



고정밀 디지털
레이더 모듈

바이오



재생 의료 고도화

현재 유전자 치료제 검증
5년 후 난치성 질환 치료



친환경 바이오

현재 동물고기
5년 후 배양육



유전자치료용
핵산 및 바이러스
벡터 소재



인체 이식용 지지체
및 인공장기
생체 소재



초병렬적 DNA
합성 장비



대체육 소재



친환경 사료 소재

그린 에너지 분야



고효율 재생 에너지

현재 실리콘 태양광 현재 일반 풍력
5년 후 페로브스카이트 5년 후 초대형 풍력



그린 수소 생산

현재 그레이수소
5년 후 그린 수소



건식 공정용
페로브스카이트 소재



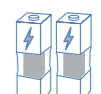
초대형 풍력발전용
분리형 블레이드



고강도 복합 나노
섬유 및 공정 장비
(Solvent free
용융-전기 방사)



고 안정성 음이온
교환막 수전해 스택



초고성능
세라믹 전해 전지

1

소재·부품·장비 미래선도품목
R&D 추진방안

I 추진 배경

글로벌 공급망(GVC) 지각 변동 → 국내 소부장 산업에는 기회

- COVID-19로 인해 공급망 위기 관리 필요성이 대두되고, 미·중 기술패권 경쟁 등으로 글로벌 공급망(GVC) 재편이 가속화되는 추세
 - ※ 미국 바이든 행정부는 반도체 등 주요 공급망 검토 행정명령 서명('21.2.)
- 글로벌 공급망(GVC) 재편 추세에 맞춰, 그간 시장 공략이 어려웠던 분야·지역에 대한 국내 소부장 산업의 시장 진출 기회로 활용
 - ※ 글로벌 소부장 기업의 64% 상당이 글로벌 공급망 재편을 준비 중(KOTRA, '20.9.)

첨단 소부장 분야 글로벌 경쟁 가속화 → 미래 대응 강화 필요

- 반도체, 디스플레이, 배터리 등 활용도가 높은 첨단 소부장 분야에 대해서는 기술 경쟁이 더욱 가속화 되는 양상*
 - * EU, 2025년까지 600만 대 전기차 공급 배터리의 대부분을 국내 생산으로 계획
 - 기존 소부장 국산화 전략을 넘어 미래 공급망을 창출·선점하기 위해 차세대 소부장에 대한 기술 확보가 중요
 - ※ 이에, 기업의 초격차 전략(2~3년)을 뒷받침하여 향후 5년 이후 중장기 미래를 선제적으로 대비하는 정부 R&D 전략 병행 필요
- 그간 정부는 일본 수출규제, 글로벌 공급망 재편 등 대내외 환경 변화에 대응하여 총 2번에 걸쳐 소부장 R&D 전략 마련
- 금번 대책은 소부장 R&D 3번째 전략으로 단기 현안 대응을 넘어 중장기 미래 대비를 위한 미래선도품목에 중점을 두고 수립

대내외 환경	소부장 R&D 전략	지원 대상
일본의 수출규제	① 소부장 R&D 투자 전략 및 혁신 대책('19.8.)	대(對)일본 R&D 품목 100개
GVC 재편 가속화	현재 ② 소부장 R&D 고도화 방안('20.10.)	대(對)세계 R&D 품목 85개
	미래 ③ 소부장 미래선도품목 R&D 추진 방안 ('21.5.)	미래선도품목 65개

【참고】 미래선도품목 개요

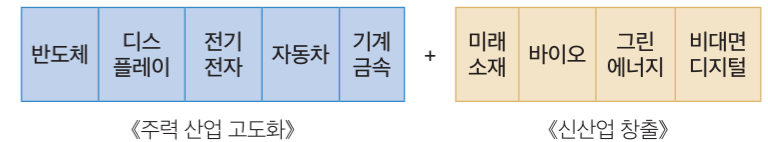
- (배경) 글로벌 공급망(GVC) 재편에 선제 대응하여 현재 공급망 안정을 넘어 미래 공급망을 창출·선점하기 위한 미래선도품목 발굴 추진

※ 소부장 R&D 고도화 방안(제5차 소부장경쟁력위, 경제부총리 주재, '20.10.14.) 후속 조치

	소부장 1.0 ('19.8)	소부장 2.0 ('20.7)	소부장 R&D 고도화
현재 공급망 안정화	핵심전략품목 100 (對일본)	GVC 핵심품목 100 (對일본) 238 (對세계)	① R&D 핵심품목 100 (對일본) 85 (對세계)
		+β (신산업)	② 미래선도품목 65개 (5년 이후)

- (개념) 향후 5년 이후, 기술 혁신 등을 통해 △주력 산업 고도화(5개 분야) △신산업 창출(4개 분야)을 견인하는 미래 핵심 소부장 품목

【미래 공급망 창출】 미래선도품목 분야



- (비교) 미래선도품목 vs R&D 핵심품목

구분	미래선도품목	R&D 핵심품목
개념	향후 미래 유망 제품·서비스 구현의 핵심적인 위치가 예상되어 선제적 기술 선점이 필요한 품목* * 기존에 존재하지 않았거나, 존재하더라도 매우 높은 혁신성 보유, 차별성이 강한 품목	글로벌 공급망(GVC) 상에서 대외 의존성이 높아 기술 내재화가 시급한 품목
목적	미래 新공급망 창출·선점	현재 공급망 안정성 확보
상용화 여부 (선도국 기준)	상용화 이전 단계	현재 상용화 달성
개발 기간	5년 이후	5년 내외

II 국내외 동향 및 시사점

1. 해외 동향

美·中 기술 패권 경쟁 등에 따라 반도체, 배터리와 같은 글로벌 공급망(소부장) 선점을 위한 국가간 경쟁 심화

미국 → 공급망 관리 강화 및 자국 기업의 시장 진출 본격화

- 글로벌 공급 리스크가 높은 4대 분야(반도체, 배터리, 원료 의약품, 희토류)에 대한 공급망 검토 실시(행정명령 14017호, '21.2~)
- 또한, 반도체 제조 및 연구개발에 총 500억 달러 규모의 투자계획을 발표('21.3) 하고, 자국 기업의 반도체 시장 참여도 본격화*
* (인텔) 반도체 파운드리 분야에 대한 200억 달러 규모의 투자 계획 발표('21.3)

중국 → 신소재, 스마트 제조 등 미래 소부장 분야 투자 강화

- 신소재, 스마트 제조 등 8대 산업 7개 영역에 대하여 향후 5년간 매년 7% 이상 R&D 투자 확대('21.3, 중국 양회)
※ (중 리커창 총리) "10년간 단 하나의 칼을 가는 심정으로 매진할 것이며, 과학기술인이 한 가지 일에만 전념하도록 부담을 확실하게 덜어주겠다"고 언급
- 특히, 반도체 관련 소부장에 대한 대규모 투자*도 추진
* 상하이 반도체 집적회로 산업계획('21~'25) 발표 : '25년까지 포토레지스트, 웨이퍼, 자동화 설비 등 반도체 소재·장비에 대하여 총 1,000억 위안 투자 예정

일본 → 핵심 소재 기술 확보를 통해 차세대 산업 분야 선점 노력

- 소재 다양성 확보를 위해 탄소중립 등 지속 가능 발전 대상(SDGs)으로 영역을 확대하는 '소재 혁신 강화전략' 마련('21.1)
- 또한, 반도체, 이차전지 등 기 확보된 日 소재 기술력을 활용하여 차세대 소부장 선점을 위한 기술협력·R&D 투자도 강화
| 반도체 | 다만 TSMC 사는 반도체 패키징 관련 R&D 센터를 일본에 설립하는 방안 검토
| 이차전지 | 일본은 차세대 이차전지인 전고체 전지 관련하여 전세계 특허 점유율 37%를 차지, 탄소중립 R&D 기금 2조 엔을 활용하여 전고체 전지 지원 추진 예정

2. 국내 동향 및 시사점

산업 현황 → 주력 분야에 대한 글로벌 위협 → 미래 기술 선점 필요

- 반도체, 디스플레이 등 주요 분야에서 세계를 선도하고 있는 국내 수요기업을 중심으로 소부장 산업 성장을 견인 중

| D램 시장점유율, '20년 4분기 | 삼성전자 42.1%(1위), SK하이닉스 29.5%(2위)
| 중소형OLED 시장점유율, '20년 | 삼성디스플레이 68.2%(1위), LG디스플레이 21%(2위)
| 리튬전지 시장점유율, '20년 | LG엔솔 23.5%(2위), 삼성SDI 5.8%(4위), SK이노 5.4%(5위)

- 다만, 최근 現 세대 소부장 기술이 임계점에 도달*하고, 해외 경쟁 기업의 기술 추격(혹은 선점) 위험이 가중

* (리튬전지) 잠재용량밀도 대비 70%이상 돌파 (OLED) 낮은 수명·저휘도 등 한계 노출

| 중국 | BOE 사(社)는 OLED 분야에 10억 위안을 투자, LCD 분야는 세계시장 1위 달성
| 일본 | 도요타 사(社)는 '25년까지 전고체 배터리 양산 계획, 핵심특허 100개 이상 보유
| 미국 | 마이크론 사(社)는 낸드 메모리 시장 선점을 위해 日 키옥시아 사(社) 인수를 검토 중

R&D 생태계 → 중장기 인프라 취약 → 전문인력 확보·AI 기술 활용

- 전문인력 부족·유출 기초과학 역량을 보유한 전문인력 부족*과 함께, 고경력 기업인의 인력 유출 문제 등이 부각

* '19년 기준 차세대 반도체, 첨단 소재 분야에서 석·박사급 인력 공급이 부족한 상황 (학력별 부족률 : 고졸 1.2%, 전문대졸 1.5%, 대졸 3.3%, 석·박사 4.2%, 출처 : KIAT)

| 소재 분야 연구인력 추이('15~'18, 출처 : 소재기술백서) |

구분	2015년		2016년		2017년		2018년	
	인원	단위·명	인원	단위·명	인원	단위·명	인원	단위·명
박사	2,922	9.2	3,183	9.6	3,596	10.1	3,623	9.5
석사	11,149	35.3	11,532	34.7	12,409	34.7	13,253	34.6
학사	15,688	49.6	16,443	49.5	17,469	48.9	18,953	49.5
기타	1,868	5.9	2,077	6.8	2,259	6.3	2,488	6.5
합계	31,627	100	33,235	100	35,733	100	38,317	100

- 기존 연구방식 한계 빠르게 변화하는 기술 환경에서 전통적인 연구 방식(실험, 이론 등)으로는 한계* → AI 접목한 R&D 혁신 必

* 기존의 실험·이론·모델링에 의한 소재 연구방법으로는 통상 10~20년 소요

결국, 차세대 기술 선점이 국가 경쟁력의 핵심 → ①소부장 미래선도품목 발굴·육성 + ②중장기 R&D 생태계 지원 강화 추진

III 발굴 프로세스

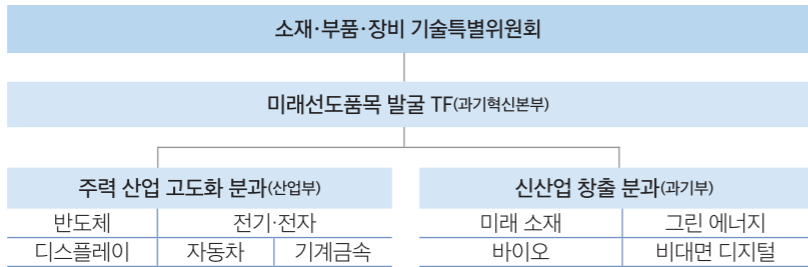
수요 발굴

검증 작업

수요·공급 매칭

세부 분야별 산·학·연·관 TF 구성·운영

- △주력 산업 고도화, △신산업 창출 분야에 주관부처(2개)를 지정하여 산·학·연·관 TF*를 구성·운영 (2020.10.~12.)
- * 산·학·연 전문가 119명으로 구성하여 실무 작업 실시(기관 수요조사 병행 등)



분야별 검토 자문단을 운영하여 중복성·적절성 검토

- (검증) 총 68명의 산학연 전문가를 별도로 구성, △기존 사업과의 중복성, △정부지원 적절성(평가지표) 등을 검토

| 미래선도품목 평가지표 |

판단 기준	주요 내용
미래 유망성	미래 유망 분야의 핵심 기능 구현 여부, 고부가가치 기여 등
기술 혁신성	기존 품목 대비 성능 혁신(소재, 메커니즘의 패러다임 전환 등)
실현 가능성	기존 품목과의 대체 난이도 비교, 핵심 고도기술 수반 여부 등

- (선별) 미래선도품목 발굴 TF에서 도출한 총 122개 후보군(분야별 10개 내외)에 대한 '교차 검증' 및 '선별 작업' 실시

소부장 기업을 대상으로 2단계 의견 수렴 병행

- 미래선도품목에 대한 산업계 수용성 확보를 위해 수요 기업을 대상으로 다수의 릴레이 간담회, 추가 조정 실시(총 8개 분야별, 총 33명)
- ※ (1차) 분야별 수요 기업 의견 수렴 → (2차) 분야별 수요·공급 기업 의견 수렴

소부장 관련 전문가 총 211명 참여, 광범위한 의견 수렴을 통해 도출

【참고】 현장 목소리 (수요·공급 기업 의견 수렴, '21.3.~4. 총 33개 사)

분야	현장 목소리
반도체	<ul style="list-style-type: none"> 장비에 종속된 소재라 할지라도 선제적으로 준비하는 것이 중요, 시간이 지나서 시작하면 추격하기 어려움 특히, 기술 개발에 성공하기 위해서는 수요 기업의 평가 병행이 중요
디스플레이	<ul style="list-style-type: none"> 새로운 디스플레이가 기술 개발에서 시장 진출까지 10년이 소요되는 만큼, 긴 호흡을 가지고 준비하는 것이 중요 기술 변화에 신속 대응하기 위해서는 광학 등 기초과학 역량을 보유한 우수 인력 필요 인공지능을 이용하여 R&D의 시행착오를 줄이는 것도 필요
전기전자	<ul style="list-style-type: none"> 리튬이온 전지의 한계가 다가오고 있는 가운데 게임 체인저 기술 확보가 중요 고급 인력이 해외 기업으로 빠져나가는 문제 해결 필요
자동차	<ul style="list-style-type: none"> 운송수단은 전기차뿐만 아니라, UAM·로봇 등 다양한 수단으로 확대되고 있으며, 이에 공통으로 활용 가능한 소부장 공급망 기술 확보 중요
기계금속	<ul style="list-style-type: none"> 선진국이 앞서있는 분야(예: 3D 프린팅, 액체수소 저장 소재 등)가 다수 있는 분야로서, 다소 늦은 감이 있지만 긴 호흡으로 R&D를 지원하는 것이 필요
비대면 디지털	<ul style="list-style-type: none"> 통신 분야에 있어서는 글로벌 1등을 유지하는 것이 중요. 목표를 공격적으로 가져가 R&D를 진행할 경우, 실패해도 남는 건 있음 마·중 갈등에서 틈새시장이 될 수 있음
바이오	<ul style="list-style-type: none"> 재생 의료 관련 품목은 충분히 추격 가능한 미래 유망 분야로, 정부 지원이 반드시 필요 바이오 산업이 발전하기 위해서는 무엇보다 우수 인력이 필요
그린 에너지	<ul style="list-style-type: none"> 국내 태양광 밸류체인을 보면 관련 소재·부품이 수입에 상당히 의존 국내 제품의 효율 저감 문제 해결이 우선적으로 필요 선진국에서 한발 앞서가고 있는 분야(예: 풍력)에서 보다 도전적인 R&D 지원을 하지 않으면 2050년에 경쟁력이 도태될 우려

목 표

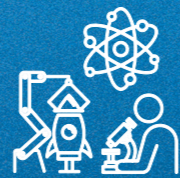
미래 신공급망 창출·선점 3개의 기반 마련



1 탄소중립



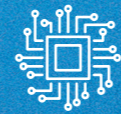
2 디지털 뉴딜



3 바이오 혁신

추진 방안

1 총 65개의 미래선도품목 발굴·선정



반도체

고해상도 BEUV
포토리지스트



디스플레이

초미세 마이크로
LED



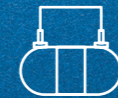
자동차

4D 라이다 모듈



전기전자(배터리)

전고체 전지 소재



기계금속

액화수소
저장용기



미래 소재

홀로그램
메타 소재



그린에너지

차세대 태양광 소재
(건식 공정용 페로브스카이트)



비대면 디지털

인공지능용
PIM 반도체



바이오

인공장기
생체 소재

2 미래선도품목 R&D 지원 강화

2-1 | 맞춤형 R&D 관리·평가 지원

2-2 | 중장기 R&D 기반 고도화

1 미래선도품목 발굴·선정 (총 65개)

| 1-1 | 주력산업 고도화를 위한 미래선도품목

반도체, 디스플레이 등 주력산업 고도화 5대 분야별 미래 기술 트렌드를 고려하여 총 27개 미래선도품목 발굴·선정

	미래 기술 트렌드	미래선도품목
반도체	회로 선폭 초미세화 현재 5nm 구조 5년 후 1.5nm 이하	① 초고해상도 BEUV 포토레지스트 ② 차세대 반도체용 ALD 전구체 및 장비 ③ 3차원 웨이퍼 간 직접 본딩 장비 ④ 펄스 레이저 다이싱 장비 ⑤ 이종 집적 방열 소재
	반도체 구조 고적층화 현재 낸드 기준 176단 5년 후 400단 이상	
디스플레이	초고해상도·초실감파 디스플레이 현재 LCD/OLED 고정 시점 3차원 5년 후 초미세 마이크로 LED 5년 후 다시점 3차원	① 초미세 마이크로 LED 소재·부품 ② 마이크로 LED 화소 공정 장비 ③ 3차원 표시 광학 소재·부품 ④ AR·VR 디스플레이 소재·부품 ⑤ 자유곡면 플렉시블 기판 및 유기 소재 ⑥ 폴더블 윈도우용 하이브리드 소재
	여러번 접히는 플렉시블 디스플레이 현재 1축 폴더블 5년 후 다축 폴더블	
전기전자	고용량의 안정성 높은 배터리 현재 리튬이온 전지 5년 후 전고체 전지	① 전고체 전지용 고체 전해질 ② 리튬 금속 음극 소재 ③ 촉감 재현용 초음파 생성기 ④ 초고전압 MLCC ⑤ 고주파용 단결정 기판 소재
	전기차를 위한 고전압 제어·비접촉 센서 현재 400EV 5년 후 1,000EV 현재 접촉형 센서 5년 후 비접촉 센서	
자동차	완전 자율 주행 현재 Level 2~3 5년 후 Level 4~5	① 융합 센서의 통합 신호 처리용 AP ② 4D 센싱용 라이다 모듈 ③ V2X 통신 반도체 소재 ④ 차량용 구조 전지 시스템 ⑤ 고전압 고효율 전력 반도체용 방열기판 ⑥ 무윤활 환경 저마찰 고내구 구동 모듈
	친환경·경량화 현재 전기차 연비 6km/kWh 5년 후 7km/kWh 이상	
기계금속	극저온·초고온 등 극한 환경 대응 현재 LNG 저장 5년 후 액체수소 저장	① 가스터빈용 내열 소재 ② 액체수소 저장용 금속 소재 ③ 건설기계용 정밀 위치 인지 장비 ④ 비정형 실내외 자율주행 시스템 ⑤ 3D 프린팅용 금속 분말
	스마트 제조 확산 현재 레이저 기반/저탄소강 5년 후 소결기반/고탄소강 현재 자율주행 Lv 3.5 5년 후 자율주행 Lv 4 이상	

1. 반도체 분야: 총 5개 품목

인공지능·빅데이터 처리 등에 대응하여 차세대 반도체 구현에 필수적인 초고집적화(초미세화, 고적층화) 공정 관련 품목 선정

① (초미세화) 회로 선폭 초미세화(5nm 핀펫 구조 → 1.5nm 이하 GAA 구조)에 대비하여 전 공정 단계 (노광, 증착)의 주요 품목(2개)

품목	주요 내용
초고해상도 BEUV (Beyond EUV) 포토레지스트	■ 3nm 이하의 반도체 노광 공정에 적용되는 EUV (13.5nm) 및 BEUV(6.7nm)용 포토레지스트 (감광액)
차세대 반도체용 ALD(원자층 증착) 전구체 및 장비	■ 차세대 메모리, 시스템 반도체 등의 제조 시, 증착 공정에서 적용 가능한 원자층의 증착 전구체 및 공정 장비

② (고적층화) 공정 미세화의 한계 극복을 위해 3차원 패키징 등 후 공정 관련 품목(3개)

품목	주요 내용
3차원 웨이퍼 간 직접 본딩 장비	■ 웨이퍼 사이에 중간 매체 없이 직접 적층이 가능하도록 하는 본딩 장비
펄스 레이저 다이싱 장비	■ 펄스 레이저* 광원을 이용하여 정밀도, 속도 등을 높인 웨이퍼 절단 장비 * 펄스 레이저: 10 ⁻¹⁶ 초의 아주 짧은 펄스 폭을 갖는 레이저 → 물질의 열적 변형 없이 가공 가능
이종 집적 (Heterogeneous Integration) 방열 소재	■ 다수의 이종 특성을 갖는 칩들을 집적할 경우에 발생하는 열을 내보내는 특수 소재

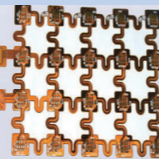

2. 디스플레이 분야: 총 6개 품목

실감 콘텐츠 수요가 높아짐에 따라 현재의 OLED 경쟁력을 이을 △초고해상도(마이크로 LED) △다축 플렉시블(스트레처블 등) 관련 품목 선정

① (초고해상도·초실감화) 가상·증강 현실, 스마트워치·글래스 등에 요구되는 디스플레이 품목(4개)

품목	주요 내용	
초고해상도	초미세 마이크로 LED 소재·부품 ■ 수 μm 이하의 초미세 마이크로 LED를 이용하여 디스플레이 패널·모듈을 제조하기 위한 소재·부품	
	마이크로 LED 화소 공정 장비 ■ 초미세 마이크로 LED 화소를 제조하기 위한 공정(증착/검사 등 포함) 장비	
초실감화	3차원 표시 광학 소재·부품 ■ 사용자의 초점거리에 3D 영상을 형성하여 피로감 없이 입체감을 제공하는 디스플레이 소재·부품	
	AR·VR 디스플레이 소재·부품 ■ 가상·증강 현실 영상을 제공하기 위한 자발광형 마이크로 디스플레이와 이를 제조하기 위한 소재·부품	

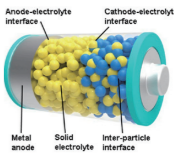
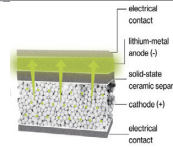
② (다축 플렉시블) 3차원 자유곡면에 밀착하여 다양한 기기에 활용 가능한 디스플레이 관련 품목(2개)

품목	주요 내용	
자유곡면 플렉시블 기판 및 유기 소재	■ 임의의 3차원 자유곡면에 밀착되는 신축성 디스플레이 모듈 및 유연 접합 소재	
폴더블 윈도우용 하이브리드 소재	■ 폴더블 디스플레이에 사용되어 다축으로 접히는 초박판 강화 유리 소재	


3. 전기·전자 분야: 총 5개 품목

모바일 ICT 기기, 전기차 확산 등에 따라 △고에너지(전고체 전지) △비접촉 센서(촉각) △고전압·고주파 제어 관련 품목 선정



① (고에너지·고안전화) 현 리튬이온 전지를 이을 차세대 전지로 '전고체 전지'의 핵심 품목(2개)

품목	주요 내용	
전고체 전지용 고체 전해질	■ 빠른 속도로 이온 전달이 가능한 황화물계의 고체 상태 소재 (기존 액체 전해질 → 고체 전해질)	
리튬 금속 음극 소재	■ 전고체 전지의 고에너지 밀도에 맞추어 고용량·장수명의 리튬 기반 음극 소재	

② (비접촉 센서) VR·AR, 차량 인포테인먼트 조작 등 공간 햅틱과 관련된 비접촉 센서 품목

품목	주요 내용	
촉각 재현용 초음파 생성기	■ 사용자와 접촉 없이 입체적인 촉감을 제공하기 위해 공중에 공기압 초점을 생성하는 디바이스	

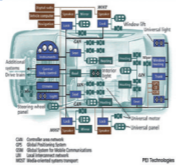

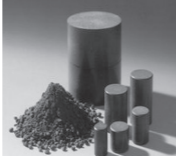
③ (고전압·고주파 제어) 전기차 전장 부품 등과 같은 고전압·고주파 환경에 대응하는 품목(2개)

품목	주요 내용	
초고전압 MLCC (적층 세라믹 콘덴서)	■ 수백 층 이상의 세라믹 유전체와 내부 금속 전극을 상호 교차시킨 적층 구조의 고유전율 커패시터로 전기 에너지를 저장·분산시키는 부품	
고주파용 단결정 기판 소재 (반절연 SiC 기판)	■ 고성능 GaN 에피 RF 통신 소자 구현을 위한 반절연(Semi-Insulating) SiC 기판 소재	

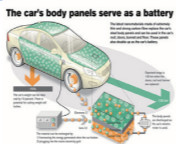
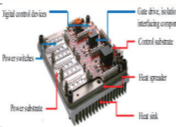

4. 자동차 분야: 총 6개 품목

ICT 융합 확산, 환경 규제 강화 추세에 따라 △스마트화(자율주행 자동차) △친환경·경량화(전기·수소차 등) 관련 품목 선정

① (자율주행) 안전 자율주행 구현을 위해 자동차의 두뇌와 눈, 귀에 해당되는 품목(3개)

품 목	주요 내용	
융합 센서의 통합 신호 처리용 AP (MCU 통합 등)	<ul style="list-style-type: none"> 대용량 영상, 소리 및 라이다, 압력, 온도 등 통합 신호 처리를 통해 능동 대처가 가능한 도메인 컨트롤 방식의 AP(MCU 통합 등) 	
4D 센싱용 라이다 모듈 (FMCW 방식)	<ul style="list-style-type: none"> 4D(3D+속도) 센싱을 통해 사물 인식, 공간 위치 인식, 위험 상황 감지 등을 구현하는 주파수 변조 방식의 차세대 라이다 부품 	
V2X 통신 반도체 소재 (vehicle to everything)	<ul style="list-style-type: none"> 차량용 고주파 신호 손실 최소화를 위해 패키징 몰딩·기판용 열경화성 고분자 복합 소재 	



② (친환경·경량화) 전기차 및 수소차의 효율 향상(경량화 등), 내구성 증진 등을 위한 관련 품목(3개)

품 목	주요 내용	
차량용 구조 전지 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 배터리와 하중 지지를 위한 구조물을 일체형으로 구현하는 에너지 저장 시스템 	
고전압 고출력 전력 반도체용 방열기판 (Si ₃ N ₄ :질화규소 기판)	<ul style="list-style-type: none"> 열적, 기계적, 화학적 특성이 우수하여 방열기판 및 구조에 사용되는 재료 	
무윤활 환경 저마찰 고내구 구동 모듈	<ul style="list-style-type: none"> 자동차 마찰 저감을 위한 저마찰 코팅 소재 및 공정 장비 	



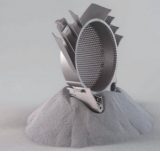
5. 기계금속 분야: 총 5개 품목

극저온·초고온 등 극한 환경(수소 생태계 등), 스마트 제조 확산 등에 따라 △극한 환경 소재 △스마트 기계 관련 소부장 품목 선정

① (극한 환경 소재) 친환경 에너지 전환에 따라 초고온 혹은 극저온 등의 극한 환경을 견디는 관련 품목 (2개)

품 목	주요 내용	
가스터빈용 내열 소재 (저희유금속 함유)	<ul style="list-style-type: none"> 가스터빈 블레이드, 베인, 디스크 등에 사용되는 고온·내식 환경용 금속 재료 및 열차폐 코팅 소재 	
액체수소 저장용 금속 소재 (내수소취화)	<ul style="list-style-type: none"> 극저온(영하 253°C) 액체수소 기반의 저장 및 운송을 위한 금속 기반 구조 재료 (내피, 외피, 다층 단열재 등) 	

② (스마트 기계) 건설기계 지능화, 다품종 유연 제조 추세에 따라 건설기계, 제조기계 관련 품목(3개)

품 목	주요 내용	
건설기계용 정밀 위치 인지 장비	<ul style="list-style-type: none"> 건설기계에 무인화·자동화 기술을 적용하기 위해 정확한 자기 위치 인지(cm급 수준)가 가능한 고정밀 위성항법 시스템 	
비정형 실내외 자율주행 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 로봇이 정형화되지 않은 실제 환경에서 지형지물을 극복하고 자율주행을 가능하게 하는 장비 시스템 	
3D 프린팅용 금속 분말 (소결 기반 고탄소강)	<ul style="list-style-type: none"> 소결형 3D 프린팅이 가능하도록 우수한 물성(고경도, 고강도, 고내식, 고내열)을 갖는 합금강을 이용한 3D 프린팅용 분말 소재 	

| 1-2 | 신산업 창출을 견인하는 미래선도품목

미래 소재, 비대면 디지털 등 신산업 4대 분야별 기술 트렌드를 고려하여 총 38개 미래선도품목 발굴·선정

미래 소재

비대면 디지털

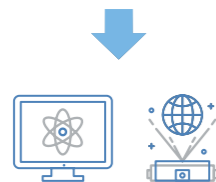
바이오

그린에너지

미래 기술 트렌드

미래 소재의 경우,
장기 개발이 요구되는
소재 특성을 고려,

“10년 후를 대비한
특수 소재”



양자 컴퓨터/홀로그래프/휴먼 증강/베타 전지 등

미래선도품목

- 1 ICT 차세대 통신용 강유전체 광소재
- 2 ICT 극한 환경용 다이아몬드 반도체 소재
- 3 ICT 차세대 통신용 초고주파 소재
- 4 ICT 홀로그래프용 메타 소재
- 5 ICT AR용 메타렌즈 소재
- 6 ICT 미래차용 섬유형 OLED 소재
- 7 ICT 양자 컴퓨터용 상온 동작 능동 소재
- 8 ICT 초분광 영상용 적외선 센서 소재
- 9 제조 나노 구조 알루미늄 합금
- 10 제조 멤리스터용 나노 복합 소재
- 11 에너지 듀얼 이온 전지용 전지 소재
- 12 에너지 베타 전지용 질화물 반도체 소재
- 13 에너지 암모니아 연료전지용 나노 촉매소재
- 14 에너지 차세대 전고체 전지 소재
- 15 에너지 고밀도 수소 저장용 경금속 수소화물
- 16 에너지 친환경 페로브스카이트 소재
- 17 에너지 저온형 수전해용 세라믹 소재
- 18 바이오 소프트 웨어러블 인공근육 소재
- 19 바이오 휴먼 증강용 인체 감각 모방형 전자 소재
- 20 바이오 체내 주사용 생분해성 형상기억 소재
- 21 바이오 바이오 인터페이스 소재

- 1 6G 통신용 전력 증폭기 GaN 집적회로
- 2 테라 비트급 데이터 전송용 광통신 부품
- 3 대용량 코히어런트 광통신 부품
- 4 저궤도 위성통신용 통합 단말 모듈
- 5 양자 인터넷용 양자 중계기 부품
- 6 인공지능용 PIM 반도체
- 7 고정밀 디지털 레이더 모듈

- 1 유전자 치료용 핵산 및 바이러스 벡터 소재
- 2 인체 이식용 지지체 및 인공장기 생체 소재
- 3 초병렬적 DNA 합성 장비
- 4 대체육 소재
- 5 친환경 사료 소재

- 1 건식 공정용 페로브스카이트 소재
- 2 초대형 풍력발전용 분리형 블레이드
- 3 고강도 복합 나노 섬유 및 공정 장비
- 4 고 안정성 음이온 교환막 수전해 스택
- 5 초고성능 세라믹 전해 전지

초고속 유무선 통신

현재 5G
5년 후 6G, 저궤도 위성 등

인공지능 적용·확산

현재 GPU 기반
5년 후 NPU, 뉴로모픽

재생 의료 고도화

현재 유전자 치료제 검증
5년 후 난치성 질환 치료

친환경 바이오

현재 동물 고기
5년 후 배양육

고효율 재생 에너지

현재 실리콘 태양광
5년 후 페로브스카이트
현재 일반 풍력
5년 후 초대형 풍력

그린 수소 생산

현재 그레이수소
5년 후 그린 수소

6. 미래 소재 분야: 총 21개 품목

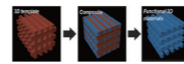
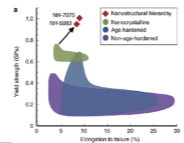
국내 산업(완제품)의 기초체질 강화(소재)를 위해 향후 10년 이상의 장기 미래를 대비하는 차차세대 소재 개발

1 (차세대 ICT) △초고속·저손실 6G 통신, △차세대 디스플레이(홀로그래프 등), △양자 컴퓨팅 구현 관련 품목(8개)

품목	주요 내용	
차세대 통신용 강유전체 광(光) 소재	■ 피코초 수준의 광전 변환 특성을 가지고, 가시광~ 적외선 영역을 포괄하는 저손실 집적형 포토닉스 소재	
6 G 통신	극한 환경용 다이아몬드 반도체 소재	■ 고전압, 고온, 초고속, 내방사성 소재의 특성으로 극한 환경에서 동작하는 다이아몬드 반도체 소재
차세대 통신용 초고주파 소재 (AlN HEMT 기반)	■ 향후 6G 통신(mmWave 대역)에서 활용될, 기존 소재의 물리적 한계를 뛰어넘을 수 있는 신호 저손실, 고방열, 저유전 특성 등에 부합하는 신소재	
홀로그래프용 메타 소재	■ 실시간으로 제어 가능한 나노 구조체로 고화질 광 시야각 홀로그래프를 가능하게 하는 능동 메타 소재	
디 스플 레 이	3D AR용 메타렌즈 소재	■ 가시광 대역 초점 가변 능동 제어 특성과 무색수차 특성을 지닌 메타렌즈 소재
미래차용 섬유형 OLED 소재	■ 섬유 원단에 OLED 층을 구성하여 자체 발광하는 섬유 소재 (헤드라이너, 도어트림, 시트 등에 적용 가능)	
양 자	양자 컴퓨터용 상온 동작 능동 소재	■ 비가역적인 양자 계산을 수행하고, 양자비트를 구현 가능한 능동적 기능의 양자 소재
센 서	초분광 영상용 적외선 센서 소재	■ 화합물 반도체를 기반으로 하여 근·단·중 파장 적외선(IR)까지 검출이 가능한 에피 기판 소재

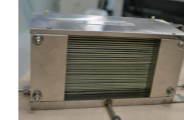
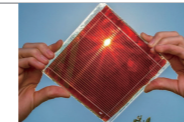
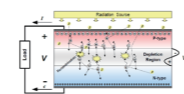
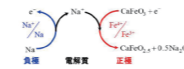
② (차세대 제조) 초고강도, 고저항 변화율 등의 고기능성을 구현 가능한 제조용 소재 관련 품목(2개)

품목	주요 내용
나노 구조 알루미늄 합금	<ul style="list-style-type: none"> 기존의 야금학적 기술로 달성할 수 없는 1GPa 이상의 초고강도 (인장 강도) 특성을 가지는 알루미늄 합금
멤리스터용 나노 복합 소재	<ul style="list-style-type: none"> 금속 내부에 연속적인 세라믹 나노 구조체를 함침시켜 다기능성(초고강도, 저항 변화율)을 구현하는 복합 소재 (고강도 메타 합금, 차세대 메모리 등 활용)



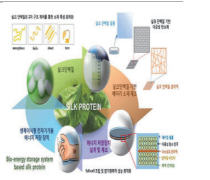
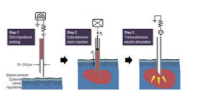
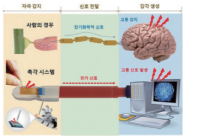
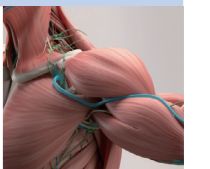
③ (차세대 에너지) 초고용량, 초장수명을 구현하는 듀얼 이온 전지, 베타 전지(수명 100년), 암모니아 연료전지 등 관련 품목(7개)

품목	주요 내용
듀얼 이온 전지용 전지 소재	<ul style="list-style-type: none"> 듀얼 이온의 저장(Dual-ion storage)을 통해 고전압 시스템을 가능하게 하는 전지 소재
베타 전지용 질화물 반도체 소재	<ul style="list-style-type: none"> 반영구적 초소형 3차전지인 베타 전지의 효율 및 안정성을 높이는 질화물 계열의 반도체 소재
암모니아 연료전지용 나노 촉매 소재	<ul style="list-style-type: none"> 암모니아를 직접 연료로 수소를 개질할 수 있도록 하는 연료 전지 촉매 소재
차세대 전고체 전지 소재 (산화물계)	<ul style="list-style-type: none"> 폭발 및 발화 가능성을 원천적으로 차단하는 고에너지 밀도 산화물계 전고체 전지 전해질
고밀도 수소 저장용 경금속 수소화물	<ul style="list-style-type: none"> 모빌리티 활용 목적으로 고체 상태의 수소 저장이 가능하고, 고에너지 밀도 특성을 가지는 친환경 경금속 기반의 수소 화물(Metal hydride)
친환경(Pb-free) 페로브스카이트 소재	<ul style="list-style-type: none"> Pb(납) 성분이 없으면서, 변환 효율(>20%)이 우수한 페로브스카이트(Perovskite) 태양전지 소재
저온형 수전해용 세라믹 소재	<ul style="list-style-type: none"> 500℃ 이하의 온도(기존 700~800℃)에서 작동 가능하여 고온 부식 및 열화 문제 해결이 가능한 초이온(H⁺) 전도성 세라믹 소재



④ (차세대 바이오) 인간 신체 능력을 보완하는 휴먼 증강(근력, 피부 등), 인체 내 삽입 가능한 생체 적합성 소재 관련 품목(4개)

품목	주요 내용
소프트 웨어러블 인공근육 소재	<ul style="list-style-type: none"> 우수한 착용감을 가지면서 신체의 근·골격을 바르게 유지·보호하고 신체 기능을 강화하는 인공근육 소재
휴먼 증강용 인체 감각 모방형 전자 소재	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 감각(오감, 생체 정보 등) 및 신경망 모사 구조와 유연·신축, 보호·치유 등의 특성을 지닌 나노 전자 소재
체내 주사용 생분해성 형상기억 소재	<ul style="list-style-type: none"> 삽입형 의료소자용(센서, 약물 전달체 등) 재료로서, 주사기를 통해 체내에 삽입되면 체내에서 형태 복원이 가능하며 최종적으로 생분해되는 의료 소재
바이오 인터페이스용 소재 (면역 반응 제어)	<ul style="list-style-type: none"> 체내 극한 환경(면역 반응 등)을 장기간 견뎌야 하는 체내 이식형 기기 표면에 면역 반응 제어 기능 부여가 가능한 소재




7. 비대면 디지털 분야: 총 7개 품목

화상회의, 인공지능, 자율주행 자동차(혹은 비행체) 등 비대면 디지털 수요에 따라 △초고속 통신 △인공지능 반도체 △고정밀 센서 관련 품목 선정


① (초고속 통신) 비대면 디지털 확산의 핵심 인프라가 되는 초고속 통신 관련 품목(5개)

품 목	주요 내용	
6G 통신용 전력 증폭기 GaN 집적회로	■ 6G 기지국에 활용되는 서브 테라헤르(100~300GHz) 대역의 GaN 화합물 반도체 소자	
테라 비트급 데이터 전송용 광통신 부품	■ 데이터센터, 에지 클라우드에 활용되는 테라비트급 광 송·수신 부품 및 모듈	
대용량 코히어런트 광통신 부품	■ 메트로 액세스(100~600km)의 파장당 1.2Tbps급 데이터 전송을 위한 코히어런트 광 송·수신용 소자 및 부품	
저궤도 위성통신용 통합 단말 모듈 (위성/이동)	■ 지상 이동통신망이 미치지 않는 영역인 자율이동 비행체를 대상으로 Gbps 데이터 서비스가 가능한 핵심 부품	
양자 인터넷용 양자 증계기 부품	■ 양자 통신, 클라우드 양자 컴퓨팅, 양자 IoT 네트워크 구현을 위한 장거리 전송용 증계기 핵심 부품	

② (인공지능화) 국내 메모리 기술력을 활용한 초고속 연산 반도체 관련 품목

품 목	주요 내용	
인공지능용 PIM 반도체	■ 인공지능 관련 데이터 저장과 연산 작업을 통합하여 초고속·초저전력을 구현하는 신개념 반도체	


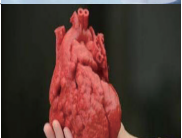

③ (고정밀 센서) 기존 라이다의 한계(악천후 대응 등)를 보완하는 정밀 센서 품목

품 목	주요 내용	
고정밀 디지털 레이더 모듈	■ 기존 센서의 한계(기상, 조도 등)를 극복하고, 고속·고정밀도·저전력 구현이 가능한 칩 부품	



8. 바이오 분야: 총 5개 품목

글로벌 보건 긴급 상황과 탄소중립 추세 등에 대응하여 △재생 의료 고도화 △그린 바이오 관련 소부장 품목 선정

① (재생 의료 고도화) △질병 치료제 신속 개발, △손상된 장기 재생 등 미래의 바이오 수요에 대응한 품목(3개)

품 목	주요 내용	
유전자 치료용 핵산 및 바이러스 벡터 소재	■ 각종 질병 치료에 응용되는 의료용 핵산 소재(치료용 핵산 및 전달체 등)와 유전자를 전달하는 바이러스 벡터 소재	
인체 이식용 지지체 및 인공장기 생체 소재	■ 환자 유래 iPSC 기반의 신약 개발용 오가노이드와 생체 적합형 바이오 인공장기 소재 및 관련 공정 장비	
초병렬적 DNA 합성 장비	■ 단백질 엔지니어링, 신약 개발 등 광범위한 용도로 활용하기 위해 다량의 DNA 합성이 가능한 장비	

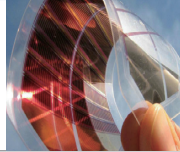
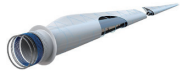
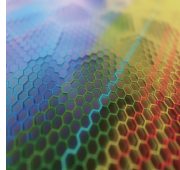
② (그린 바이오) 탄소중립에 따라 향후 바이오 분야에서 유망한 제품(친환경 식품)에 필요한 핵심 소재(2개)

품 목	주요 내용	
대체육(肉) 원료	■ 미역, 해조류, 쌀 등의 추출물을 활용하거나, 동물성 근줄기 세포를 이용하여 실제 고기의 조직감을 구현하는 대체육 원료(배양액, 지지체 등)	
친환경 사료 소재	■ 동물 사육 과정에서 발생하는 메탄가스를 감소시키기 위해 곤충 기반 단백질, 염생식물 등을 활용한 친환경 사료	


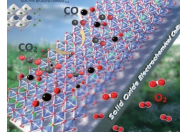
9. 그린 에너지 분야: 총 5개 품목

기후변화 위기 대응을 위한 전 세계적인 탄소중립에 기여하는 △고효율 재생 에너지 △그린 수소 생산 분야의 품목 선정

① (고효율 재생 에너지) 발전 단가를 절감하기 위해 효율성 개선과 관련된 △태양광(고효율 소재·생산) △풍력(대형화) 분야 품목(3개)

품목	주요 내용	
건식 공정용 페로브스카이트 소재	<ul style="list-style-type: none"> ■ 페로브스카이트·실리콘 탠덤(적층형) 태양전지를 구현하기 위해 상부 셀 건식 공정에 이용이 가능한 페로브스카이트 소재 	
초대형 풍력 발전용 분리형 블레이드	<ul style="list-style-type: none"> ■ 초대형 풍력 터빈에 사용할 수 있도록 분리형으로 제작, 결합이 가능한 블레이드 소재 	
고강도 복합 나노 섬유 및 공정 장비 (Solvent free)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 고분자 소재를 활용하여 용매가 필요 없고, 고강도 특성을 가진 나노 섬유 소재 (연료전지 분리막, 에어필터 등에 활용) 	

② (그린 수소 생산) 재생 전력의 부하 변동성을 활용하는 그린 수소 생산에 필요한 수전해 관련 품목(2개)

품목	주요 내용	
고 안정성 음이온 교환막 수전해 스택	<ul style="list-style-type: none"> ■ 높은 차압 성능과 승온 안정성으로 재생 에너지의 부하변동에 안정적으로 대응하는 차세대 음이온 교환막 수전해 스택 	
초고성능 세라믹 전해 전지	<ul style="list-style-type: none"> ■ 고효율·고내구성의 세라믹 전해 전지에서 사용되는 전기 화학 촉매, 산소 이온 전도체 및 전지(음극 지지형 혹은 금속 지지형) 	

2 미래선도품목 R&D 지원 강화

| 2-1 | 맞춤형 R&D 관리·평가 지원

① (연구 자율성 강화) △참여 제한 완화, △유연한 연구 방식 적용

	참여 제한 완화	
연구 방식	자율성 강화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미래선도품목 R&D에 대해서는 필요 시 3책 5공 완화 ■ 대내외 환경 변화 등을 고려, 연구 방향 및 목표 수정 허용
	장기 연구 지원	<ul style="list-style-type: none"> ■ 후속 과제를 지원하는 '오래달리기형 R&D'로 추진 (예: 기본 6년 과제 + 추가 3년 과제 지원 등)

② (장기적 평가) 소부장 특정 평가시점을 3년 이후로 적용

※ (예: 10년 사업) 3년마다 단계 평가(3+3+3), 직전 최종 년도에 사업화 컨설팅 평가

● 미래선도품목 R&D 종료 시, 우수 성과에 대한 후속 지원을 위해 다양한 방식의 '이어 달리기 프로그램' 적용

※ 범부처 이어달리기 전용 R&D 트랙 확대(나노 미래 소재 원천 → 나노 융합 혁신 제품 개발 등) 등

| 2-2 | 중장기 R&D 기반 고도화

③ (AI 활용 R&D 혁신) 소재 R&D에서 생성되는 데이터를 AI 기술로 분석·가공, 신소재 개발 및 공정 최적화를 위한 서비스 제공

※ 소재 연구 데이터 플랫폼 구축 사업 추진('21년, 59.5억 원, 과기정통부)



④ (전문인력 확보) 산업 기초 인력 양성 및 고경력 은퇴자 활용, 추진

● (산업 기초 인력 양성) 산업계 수요가 높은 물리학(광학 등), 소재(세라믹, 나노 등) 분야의 기초 연구 R&D 확대를 통해 전문인력 양성 유도

■ 소부장 기초 연구 분야: 물리학(광학, 응집물리, 입자물리 등), 소재(세라믹, 나노 등)

■ 기초 연구 분야 지원 예산: ('19년) 1,897억 원 → ('20년) 2,350억 원

● (고경력 은퇴자) 고경력 기업인의 사회적 활동 기회를 제공하기 위해 중소·벤처 기업에 대한 기술 컨설팅 지원 사업 등* 추진

* 고경력 과학기술인 활용 지원 사업(과기정통부, '21년, 15억 원), 스마트 마이스터 운영 사업(중기부, '21년, 70억 원) 등

V 향후 계획

미래선도품목 R&D가 지속적이고 안정적으로 추진될 수 있도록 △정부 R&D 예산 반영 △이행 상황 점검 △로드맵 재설계 추진

| 1 | 2022년 정부 R&D 예산 반영: 2021년 상반기

① 미래선도품목 R&D 예산 규모의 적절성을 검토*하여 차년도 R&D 예산에 반영

* 미래선도품목별 소관부처 지정 및 소요 예산에 대한 의견 수렴 → 품목별 예산 규모의 적절성 검토 후 반영

② 품목에 따라 대형 과제 기획이 필요한 경우, 신규 사업도 안정적으로 착근될 수 있도록 사전 컨설팅* 지원

* 예타 사전 컨설팅 지원, 신규 사업 중복성 사전 검토 지원 등

| 2 | 이행 상황 점검: 매년 하반기

① 국가 과학기술심의회 산하 소부장 기술특별위원회를 통해 미래선도품목 R&D에 대한 진행 상황 (품목별 이슈 등) 관리

- 미래선도품목별로 과제 기획, 예산 반영 여부 등 점검
- 점검 결과는 차년도 R&D 예산 배분 조정과 연계·지원

| 3 | 로드맵의 주기적 재설계: 2023년 이후

① 대내외 환경 변화, 품목별 개발 진척도 등을 고려하여 3년 주기로 미래선도품목에 대한 주기적 재설계* 추진

* △신규 품목 추가 △기존 품목 조정(목표·기간 변경, 종료 등)

※ 미래선도품목 세부 내용은 '전면 공개'하여 중장기적으로 관리·지원

분야별 세부 기술 로드맵

분야별 세부 기술 로드맵

반도체

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

초미세화 (반도체 전공정)	FinFET 구조: 5nm	GAA(Gate All Around) 구조: ≤1.5nm	3D 소자 구조: ≤1.0nm
미래선도품목	초고해상도 BEUV 포토 레지스트 (화학 증폭형) 해상도 >8nm LWR >1.6nm 감도 >20mJ/cm ²	(유무기 혼합 레지스트) 해상도 <6nm, LWR <1.2nm, 감도 <10mJ/cm ²	(유무기 혼합 레지스트) 해상도 <6nm, LWR <1.0nm, 감도 <5mJ/cm ²
	차세대 반도체용 ALD 전구체 및 장비	EOT 10Å 이하 유전율 60 이상	eTox 4Å 이하 유전율 100 이상

고적층화 (반도체 후공정)	D램: 12단 낸드: 176단	D램(백키지 적용) 기준: 30단 이상 낸드 기준: 400단 이상	D램(백키지 적용) 기준: 40단 이상 낸드 기준: 800단 이상
미래선도품목	웨이퍼 간 분당 정렬 정밀도 ≤100nm	웨이퍼 간 직접 분당 정렬 정밀도 ≤50nm	웨이퍼 간 직접 분당 정렬 정밀도 ≤20nm
	본딩 처리 속도 15매/시간	본딩 처리 속도 ≥25매/시간	본딩 처리 속도 ≥50매/시간
	본딩 온도 ≤350℃	본딩 온도 ≤250℃	본딩 온도 ≤200℃
	Contact 방식: Bump to bump	Contact 방식: Bump-less	
펄스초 레이저 다이싱 장비	펄스초 레이저 : UV >30W	Crack-free 펄스초 레이저: DUV >5W	Crack-free 펄스초 레이저: DUV ≥30W
	고정밀&고속 스테이지	고정밀/고속 스테이지: >1,800nm/s 위치 정밀도: <±2	고정밀/고속 스테이지: >2,000nm/s 위치 정밀도: <±2
이종 집적 방열 소재	열유속 70W/cm ²	열유속 350W/cm ²	열유속 600W/cm ²

디스플레이

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

초고해상도 (마이크로 LED)	평판형 모듈러 디스플레이	AM-유연 모듈러 소형 디스플레이 (화소 밀도 ≤5,000ppi)	유연-신축/초소형 (화소 밀도 ≤10,000ppi)	초소형/고휘도 (화소 밀도 ≥10,000ppi)	
미래선도품목	초미세 마이크로 LED 소재·부품	평판형 휘도 ≥ 1,000nits	2D 굴곡 반경 ≤10mm 휘도 ≥3,000nits	2D 굴곡 반경 ≤1mm 휘도 ≥50,000nits	다축 굴곡 반경 ≤1mm 휘도 ≥50,000nits
	마이크로 LED 화소 공정 장비	Multi-Wafer, 6인치 화소 결함 <10/cm ²	Single-Wafer, 8인치 화소 결함 <0.5/cm ²	Single-Wafer, 12인치 화소 결함 <0.05/cm ²	Single-Wafer, 12인치 화소 결함 7σ 이하
	3차원 표시 광학 소재·부품	시야각: ≥10도	3차원 표시 시야각: ≥30도		3차원 표시 시야각: ≥60도
	AR·VR 디스플레이 소재·부품	평면 해상도: ≥2K 지연 속도: ≥50msec	평면 해상도: ≥4K 지연 속도: ≤20msec		입체 해상도: ≥2K 지연 속도: ≤10msec

다축 플렉시블	폴더블(1축)	다축 폴더블/롤러블 (2축 이상 폴딩, 롤 반경 <10mm)	자유곡면/스트레처블 (연신율 >30%)	
미래선도품목	자유곡면 플렉시블 기판 및 유기 소재	연신율: ~5%	연신율: >20%	연신율: >30%
	폴더블 윈도우용 하이브리드 소재	단순 표면 보호 기능	Multi-axis 하이브리드 소재	Multi-direction 하이브리드 소재



전기전자

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

고에너지 고안전화 (전고체 전지)	리튬이온 전지	(전고체 전지) 400Wh/kg급 셀 개발	(전고체 전지) 팩 개발 및 전기차 실증	(전고체 전지) 450Wh/kg급 셀 개발	(전고체 전지) 양산화 및 보급 확대
	미래선도품목	전고체 전지용 고체 전해질 (황화물계)	두께: 100 μ m 이온 전도도: 1mS/s	두께: $\leq 30\mu$ m 이온 전도도: ≥ 1 mS/s (100kg/batch)	두께: $\leq 20\mu$ m 이온 전도도: ≥ 1 mS/s (양산급 생산)
	리튬 금속 음극 소재	두께: 100 μ m 리튬 가역 효율: 99%	두께: $\leq 40\mu$ m 리튬 가역 효율: 99.5%	두께: $\leq 30\mu$ m (또는 Li-free) 리튬 가역 효율: $\geq 99.8\%$	

비접촉 센서 (촉각)	전시/홍보용 시제품	차량 등 개인 공간 적용/ 보조적 인터페이스	키오스크 등 개방된 외부 공간/ 보편적 인터페이스
	미래선도품목	촉감 재현용 초음파 생성기	강도: 20mN/ 35dB SL 초점 크기: 10
		강도: 50mN/43dB SL 초점 크기: 6mm	

고전압 고주파 제어 (전자부품)	5G	Beyond 5G/Pre 6G	6G		
	400EV	1,000EV	1,200EV	1,600EV	
미래선도품목	초고전압 MLCC (적층세라믹 콘덴서)	내전압: 630V 정격용량: 0.1~1 μ F 온도: -55~125 $^{\circ}$ C, 크기: 5.7 x 5.0mm	내전압: 1,200V 정격용량: 0.1~3 μ F 온도: -55~150 $^{\circ}$ C ($\pm 15\%$) 크기: 4.5 x 3.2mm	내전압: 1,500V 정격용량: 0.1~5 μ F 온도: -55~175 $^{\circ}$ C ($\pm 15\%$) 크기: 4.5 x 3.2mm	내전압: 2,000V 정격용량: 0.1~10 μ F 온도: -55~175 $^{\circ}$ C ($\pm 15\%$) 크기: 3.2 x 2.5mm
	고주파용 단결정 기판 소재	단결정 직경: ≥ 4 inch 비저항: $\geq 10^4 \Omega$ cm	단결정 직경: ≥ 4 inch 비저항: $\geq 10^6 \Omega$ cm	단결정 직경: ≥ 6 inch 비저항: $\geq 10^7 \Omega$ cm	단결정 직경: ≥ 8 inch 비저항: $\geq 10^8 \Omega$ cm



자동차

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

자율주행	Level 3	Level 4	Level 5 자율주행	
미래선도품목	융합 센서의 통합 신호 처리용 AP	최대 동작 거리 100m	최대 동작 거리 200m	최대 동작 거리 ≥ 300 m
	4D 센싱용 라이다 모듈	최대 동작 거리 100m	최대 동작 거리 200m	최대 동작 거리 ≥ 300 m
	V2X 통신 반도체 소재	-	손실 계수 10% (열경화성 에폭시 수지 대비)	손실 계수 $\leq 7\%$ (열경화성 에폭시 수지 대비)

친환경·경량화 (전기차·수소차)	전비 6km/ kWh	전비 7.0km/kWh	전비 7.5km/kWh 이상
	중형차급 전기차 중량 1,500kg	중형차급 전기차 중량 1,050kg	중형차급 전기차 중량 1,000kg 이하
	수소차 기준 내구 16만km	수소차 기준 내구 30만km	수소차 기준 내구 30만km 이상

미래선도품목	차량용 구조 전지 시스템	-	구조 전지 용량 50Wh/kg	구조 전지 용량 ≥ 60 Wh/kg
	고전압 고출력 전력 반도체용 방열기판	전량 수입 열 전도도 90W/mK	열 전도도 130W/mK	열 전도도 ≥ 170 W/mK
	무윤활 환경 저마찰 고내구 구동 모듈	윤활 마찰	무윤활 마찰 0.03	무윤활 마찰 0.02 이하

기계금속

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기					
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	
극한 환경 소재	LNG 부품	액체수소 대응 극저온·내수소취성 소재 장기 물성 확보					액체수소 저장·수송 장치 부품 및 시스템					
	고온 소재	H클래스 가스터빈 대응급 고온 소재					AI 기반 내열 소재 부품화					
미래선도품목	가스터빈용 내열 소재	온도 수용성: 1,030℃ 희유원소 함량: 1.5%	온도 수용성: 1,060℃ 희유원소 함량: <1.5%					온도 수용성: 1,075℃ 희유원소 함량: ≤1.0%				
	액체수소 저장용 금속 소재	LNG급(영하 162℃) 대응 물성 확보	극저온(영하 253℃) 물성 확보					부품 제조 기술 확보 (성형 및 용접 기술, 시스템 신뢰성 등)				
스마트 기계 (자동화·맞춤형)	저탄소강 분말 레이저 기반 3D 프린팅	고탄소강 분말 적용 소결 기반 3D 프린팅 소재 국산화					3D 프린팅 기반 대형 부품 제조 기술 확보					
	고정밀 위성항법 시스템	3D MC용 GNSS 사물·자세 인지 시스템					완전 무인·자율제어용 융합 센서 인지 시스템					
	자율주행 Lv 3.5 (조건부 자율동작)	자율주행 Lv 4 (특정 상황에 한해 사용자 개입)					자율주행 Lv 4 이상 (사용자 개입의 최소화)					
미래선도품목	건설기계용 정밀 위치 인지 장비	위치 인지 시스템 (위치 정밀도: <3cm)	지형 및 사물 인지 시스템 (지형 인지 오차: <10cm) (인지 속도: <100msec)					지형 및 사물 인지 시스템 (지형 인지 오차: <5cm) (인지 속도: <50msec)				
	비정형 실내외 자율주행 시스템	도로·인도 자율주행	비평탄지를 포함한 실외 환경 자율주행					급경사, 계단, 엘리베이터 등을 포함한 실내·외 완전 자율주행				
	3D 프린팅용 금속 분말	BJ/FDM용 금속 분말 입도: 50μm/20μm급	BJ/FDM용 금속 분말 입도 20μm/5μm급, 탄소 함량 >1.5%					금형 및 사시 부품 3D 프린팅: 적층 면적 2,000x2,000mm 속도 500g/min				

미래 소재

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
차세대 ICT	통신	5G	Beyond 5G			6G					
	디스플레이	폴더블/3D 모사	스트레처블/가상공간 홀로그램			자유곡면/혼합 현실 표시 홀로그램 (텔레프레즌스)					
미래선도품목	양자	4큐비트 양자 논리회로, 2큐비트 양자 어닐	잡음이 있는 중간 형태 양자 컴퓨팅(NISQ)			양자 오류 보정 양자 컴퓨터					
	차세대 통신용 강유전체 광 소재	100GTRx	LNOI 포토닉스 칩 (>1Tb/s)			LNOI 포토닉스 칩 (>10Tb/s)		다기능 올인원 LNOI 포토닉스 브릿지 칩			
미래선도품목	극한 환경용 다이아몬드 반도체 소재	주파수 대역 ~100GHz 이하					주파수 대역 100GHz 이상				
	차세대 통신용 초고주파 소재	통신 모듈 (<150℃/<10 KGy/W밴드<0.5W)	고온·고주파 통신 모듈 (<300℃/<1MGy/W밴드<1W)			초고온·내방사선·초고출력 통신 모듈 (>500℃/<10MGy/W밴드<1kW) ※동작 온도/내방사선/출력					
미래선도품목	홀로그램용 메타 소재	가시광 대역 능동 복소 광변조 계조 표현 불가	가시광 대역 능동 복소 광변조 계조 표현 ≥64단계 (6-bit)			가시광 대역 능동 복소 광변조 계조 표현 ≥256단계(8-bit)					
	3D AR용 메타렌즈 소재	초박형 메타렌즈	가시광 대역 무색수차 메타렌즈			대구경 초점 가변 메타렌즈					
미래선도품목	미래차용 섬유형 OLED 소재	웨어러블 디바이스	유연한 섬유형 디스플레이			자동차 내장 부품(벨러, 트림, 헤드라이너 등)					
	양자 컴퓨터용 상온 동작 능동 소재	양자 게이트 (4큐비트)	양자 프로세서 모듈 (100큐비트)			양자 능동 소재 활용 양자 프로세서 (10,000큐비트급 99.99% 양자 연산 신뢰도)					
	초분광 영상용 적외선 센서 소재	실리콘 CMOS 기반 센서	단·중파장 적외선 초분광 센서			IR 초분광 카메라 적용 영상 센서					

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

차세대 제조	소형화	유연화/초탄성화		초극대화/초극소화		
미래선도품목 나노 구조 알루미늄 합금	7XXX Al 합금 (0.7GPa)	적층 제조 나노 분산 Al(0.9GPa)		나노 구조화 Al 합금(1GPa)		수송기용 고강도 알루미늄 합금 판재
미래선도품목 멤리스터용 나노 복합 소재	높은 구동 전력 10MW	1MW 이하 전력 구동		100KW 이하 전력 구동		전력 구동 20KW 수준

차세대 바이오	인간증강	약세서리/착용형	부착형/직물 일체형 기기	신체 부착 및 일체형	생체 이식/인공장기	
맞춤의료	부착형	단기 이식형		장기 이식형		
미래선도품목 소프트 웨어러블 인공근육 소재	강체 기반	소프트 기반 (변형률 30%)		소프트·임프란트 기반 (변형률 40% 이상)		
휴먼 증강용 인체 감각 모방형 전자 소재	인간 근육 대비 높은 파워 밀도 1~30배	인간 근육 대비 높은 파워 밀도: 50배		인간 근육 대비 높은 파워 밀도: 50배 ↑		
체내 주사용 생분해성 형상기억 소재	생체-감각 신호 감지	단일 감각-기능 증강		복합 감각-기능 증강, 인공 감각		생체 이식 및 인공장기 디바이스
바이오 인터페이스 소재	신축성 전자 소재 (평창 면적 5배, 탄성 변형률 >0.05, 비분해성, 통신 거리 3cm)	대면적 형상기억·생분해성 소재 (작동 온도 <50°C, 평창 면적 100배, 탄성 변형률 >0.1, 작동 수명 수일~수주, 통신 거리 10cm)		초대면적/3차원 구조/다기능 형상기억 생분해성 소재 (작동 온도 <36°C, 평창 면적 1,000배, 탄성 변형률 >0.5, 작동 수명 수주~수개월, 통신 거리 50cm)		
바이오 인터페이스 소재	피부 접촉 소재 (<1month/ >30%, Biophysical)	생체 조직 내 이식 소재 및 부품 (>1year/ <10%, Biochemical) ※이식 기간, 이물 반응률, 생체 기능성		생체 조직 내 이식 부품 및 모듈 (>5years/ <1%/ Multi-functional) ※이식 기간, 이물 반응률, 생체 기능성		

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기				장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34

차세대 에너지	리튬 전지	리튬 이차전지	고용량 리튬 이차전지 (기존 이차전지 성능 향상)		전고체 전지 리튬황 전지/리튬금속 전지 (고에너지 밀도 고안전성 이차전지 혁신)	
	연료 전지	탄화수소 고체 산화물 연료전지	탄화수소 고체 산화물 연료전지		암모니아 고체 산화물 연료전지 성능 향상	
	베타 전지	p-(i)-n 접합 구조 기반 베타 전지 소자	3차원 p-(i)-n 구조 기반 단위 칩	적층형 베타 전지 단위 모듈	인체 삽입형 인공심장 박동기 전원 모듈	베타 전지 기반 저전력(수 W급) 전원 시스템
미래선도품목	듀얼 이온 전지용 전지 소재	양극활 물질 용량/작동 전위 100mAh·g ⁻¹ /4.5V	양극활 물질 용량/작동 전위 200mAh·g ⁻¹ /4.7V		양극활 물질 용량/작동 전위 250mAh·g ⁻¹ /4.8V 이상	
	베타 전지용 질화물 반도체 소재	출력 전력 ~수nW (질화물 소재 기준)	출력 전력 ~1μW	출력 전력 ~수십μW	출력 전력 수mW급	출력 전력 수W급
	암모니아 연료전지용 나노 촉매 소재	암모니아 연료전지 소재 및 단전지 기초 연구	암모니아 개질 및 내식성·내구성이 강한 나노 구조 촉매 전극 소재 개발		고내구성 나노 구조 촉매 소재·공정 기술	
	차세대 전고체 전지 소재	에너지 밀도 ~250Wh/kg	에너지 밀도 300~350Wh/kg		에너지 밀도 >500Wh/kg	
	고밀도 수소 저장용 경금속 수소화물	물리적 수소 저장	화학적 수소 저장 (고체)		화학적 수소 저장 (고체 또는 액체)	
	친환경 페로브스카이트 소재	Pb 기반 PSC* 소재 * PSC: Perovskite Solar Cell	Pb-free 페로브스카이트 소재 자원 재활용(Recycling) 기술 PSC 모듈화		친환경(Pb-free, Green-solvent) PSC 효율(>30%) 향상 및 산업화	
	저온형 수전해용 세라믹 소재	작동 온도 700°C형 수전해 세라믹 소재	작동 온도 350~500°C 이온 전도도 ≥5×10 ⁻³ S/cm		셀 활성 면적 50cm ² 이상 수전해용 셀	

비대면 디지털

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

초고속통신	무선	5G	Beyond 5G	6G
	광 (光)	광트랜서버	Co-packaged 모듈	
파장 대역: C 밴드		파장 대역: C+L band (확장)		파장 대역: C+L+S band (추가 확장)
저궤도 위성	위성망, 이동망 별도 단말 사용	초공간 비지상 통신단말 검증	초공간 비지상 통신단말 실용모델	6G 위성통신 표준 기반 위성-이동 통합단말 고도화 (UAM 적용)
보안	양자키 분배	다중 노드 간 얽힘 상태 공유		양자 메모리 활용 양자 인터넷 구현
미래선도품목	6G 통신용 전력 증폭기 GaN 집적회로	주파수 대역 / 대역폭 <28GHz / ≤800MHz	주파수 대역 / 대역폭 100~300GHz / ≤40GHz	주파수 대역 / 대역폭 >300GHz / >40GHz
	테라 비트급 데이터 전송용 광통신 부품	채널 수 / 전송 용량 / 전력 소모 4 / 100Gbps / bit당 30pJ	채널 수 / 전송 용량 / 전력 소모 8 / 1.6Tbps / bit당 2pJ	채널 수 / 전송 용량 / 전력 소모 32 / 6.4Tbps / bit당 0.1pJ
	대용량 코히어런트 광통신 부품	파장당 600Gbps	파장당 1.2Tbps	
	저궤도 위성통신용 통합 단말 모델	전송 속도 50Mbps급	전송 속도: 1Gbps, 기능: Dual Connectivity	전송 속도: 1Gbps 이상, 기능: Multiple Connectivity
	양자 인터넷용 양자 중계기 부품	신뢰 노드 중계기 (전송 거리 ≥50km)	양자 얽힘 네트워크 기반 중계기 (전송 거리 ≥200km)	양자 메모리 기반 양자 중계기 (전송 거리 ≥1,000km)
	인공지능화	GPU 기반	NPU 기반	Neuromorphic 기반
미래선도품목	인공지능용 PIM 반도체	연산 속도: 16 전력 소모: 40	연산 속도: 400TFLOPS 전력 소모량: 60W	연산 속도: ≥400TFLOPS 전력 소모량: <60W

고정밀 센서	FMCW 기반 아날로그 레이더	디지털 레이더 (OFDM, PMCW 기반 등)	New Waveform-세밀빔 기반 지능형 디지털 레이더 (영상화, 간섭 저감 직교 sequence 및 FDM 기반 디지털 waveform 방식)
	미래선도품목	고정밀 디지털 레이더 모듈	해상도: 방위각 1°, 양각 2° 주파수: 76~81GHz
		해상도: 방위각 0.05°, 양각 0.1° 주파수: sub-THz	

바이오

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

재생 의료 고도화	유전자/세포 치료제 검증	난치성 유전/비유전 질병 치료제	개인 맞춤형 치료제 및 치료 기술
	세포 프린팅용 바이오 잉크	구조 모사 3차원 적층 및 세포 기반 적층 기술	조직 장기 구조 모방 3D, 4D 제작
	저효율 DNA 합성	초병렬적 DNA 합성	차세대 초병렬 DNA 합성
미래선도품목	유전자 치료용 핵산 및 바이러스 벡터 소재	바이러스 벡터 분리 및 정제 기술	바이러스 벡터 생산성 향상 기술
		고품질 핵산 합성 및 mRNA 생산 기술	생물 전환 반응, 제형(DDS) 기술을 통한 표적 최적화
	인체 이식용 지지체 및 인공 장기 생체 소재	바이오 잉크 등 생체 적합 소재	생리 활성 소재 및 3차원 구조 모사 가능 소재 개발
	초병렬적 DNA 합성 장비	96개 수준의 저효율 합성 장비	백만 개 이상의 올리고를 한 개의 칩으로 합성하는 화학 공정과 장비

그린 바이오	수입 사료 중심 원료 공급	한국형 친환경 소재 발굴 및 가공 기술 개발	친환경 사료 국산화 및 경제성 확보
	인공배양육	배양육 제조 기술 개발을 통한 대체육의 국산화 실현	축산물 부위별 대체 배양육 개발

미래선도품목	대체육 원료	식물성 원소재 발굴 및 배합비 개발	단백질 성형 압축 공정 기술 대체육 조직감 구현	대체육 구현을 위한 풍미 및 조직감 표준화
		근육줄기세포 배양 및 확립	성장인자(단백질) 생산 세포주 확립 무혈청 세포 배양액 기술	부위별, 축종별 줄기세포주 배양
		세포 지지체 개발	3차원 세포 부착 고분자 지지체	배양육 대량 생산 및 생산 공정 최적화
	친환경 사료 소재	배합 사료 원료 미비	친환경 배합 사료 소재 발굴, 가공기술의 확보	친환경 배합 사료 국산화 및 제품 생산
조사료 농후 사료 원료 미비		국내 생산 친환경 조사료, 농후 사료 소재 발굴, 재배 기술 및 육종	비농경지 활용 친환경 사료 소재의 생산 및 제품 생산	
	수입 사료에 의존	한국형 사료 급여 효과 검증 및 친환경 사료 인증제도 마련	탄소중립 한국형 사료 생산 시스템 구축	



그린 에너지

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
고효율 재생 에너지	태양광	용액 공정 페로브스카이트	건식 공정 페로브스카이트 소재 및 탠덤 셀		건식 페로브카이트 탠덤 모듈 및 대면적 장비 기술		건식 페로브스카이트 탠덤 대량 생산				
	풍력	일체형 블레이드	블레이드 Infusion용 열가소성 레진 / MW급 분리형 블레이드 체결 기술		분리형/리사이클링 풍력 블레이드						
	기타 소재	용매 전기방사/ Melt Blown 부직포	용매 Free melt 전기방사 열가소성 및 열경화성 수지 응용 소재	수소 전자·이차전지 분리막 소재		미래형 자동차 경량화 소재 /인체 삽입형 의료 소재					
미래선도품목	건식공정용 페로브스카이트 소재	태양전지 셀 효율 25%	태양전지 셀 효율 30%		태양전지 셀 효율 35%						
	초대형 풍력발전용 분리형 블레이드	일체형 블레이드 68m급	분리형/리사이클링 블레이드 <100m급		분리형/리사이클링 블레이드 ≥100m급						
	고강도 복합 나노 섬유 및 공정 장비	양산 기술 미확보	직경: ≤1,000nm급 인장탄성계수: ≥100MPa		직경: ≤700nm급 인장탄성계수: ≥200MPa						
그린 수소 생산	음이온 교환막	음이온 교환막 수전해 스택		재생 에너지 연계 수전해 통합 시스템							
	고온 전해질 소재	차세대 고효율 P2G SOFC/EC 소재 /생산 기술		고효율 고내구성 고온 세라믹 전지 수소 생산-저장 실증 및 상용화 (MW class SOFC/EC 수소 생산-저장 P2G 실증)							
미래선도품목	고 안정성 음이온 교환막 수전해 스택	음이온 교환막 (기초 원천 단계)	핵심 부품 스케일업 (유효 면적: 200cm ²)		재생 에너지 연계 고 안정성 음이온 교환막 수전해 스택 (수소 생산 밀도: 2.0A/cm ² , 셀 효율 77%)						
	초 고성능 세라믹 전해 전지	고효율 전해 전지 소재 (변환 효율: >90%, 변환 성능: 2.0A/cm ² @1.3V)	차세대 세라믹 수전해 스택 (변환 효율: >90%, 변환 성능: 2.0A/cm ² @1.3V)		1MW급 수소 에너지 생산-저장용 Reversible SOFC/EC 시스템 (수소 생산량: 20Nm ³ /hour, 10kg.H/hour)						

2

소재·부품·장비 미래선도품목 상세설명 자료

CONTENTS

목차

주력 산업 고도화 관련 품목

분야	품목명	페이지
반도체	1. 초고해상도 BEUV 포토레지스트	49
	2. 차세대 반도체용 ALD 전구체 및 장비	51
	3. 3차원 웨이퍼 간 직접 본딩 장비	55
	4. 펄스 레이저 다이싱 장비	58
	5. 이종 집적 방열 소재	60
디스플레이	6. 초미세 마이크로 LED 소재·부품	63
	7. 마이크로 LED 화소 공정 장비	66
	8. 3차원 표시 광학 소재·부품	68
	9. AR·VR 디스플레이 소재·부품	70
	10. 자유곡면 플렉시블 기판 및 유기 소재	72
	11. 폴더블 윈도우용 하이브리드 소재	74
전기전자	12. 전고체 전지용 고체 전해질	77
	13. 리튬 금속 음극 소재	80
	14. 촉감 재현용 초음파 생성기	82
	15. 초고전압 MLCC	84
	16. 고주파용 단결정 기판 소재	86
자동차	17. 융합 센서의 통합 신호 처리용 AP	89
	18. 4D 센싱용 라이다 모듈	91
	19. V2X 통신 반도체 소재	93
	20. 차량용 구조 전지 시스템	95
	21. 고전압 고효율 전력 반도체용 방열기판	97
22. 무윤활 환경 저마찰 고내구 구동 모듈	100	
기계금속	23. 가스터빈용 내열 소재	104
	24. 액체수소 저장용 금속 소재	106
	25. 건설기계용 정밀 위치 인지 장비	108
	26. 비정형 실내외 자율주행 시스템	111
	27. 3D 프린팅용 금속 분말	113

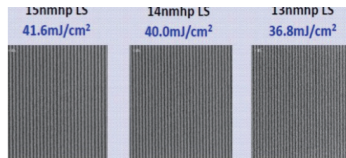
신산업 창출 관련 품목

분야	품목명	페이지
미래소재	28. 차세대 통신용 강유전체 광소재	118
	29. 극한 환경용 다이아몬드 반도체 소재	120
	30. 차세대 통신용 초고주파 소재	122
	31. 홀로그램용 메타 소재	124
	32. 3D AR용 메타렌즈 소재	127
	33. 미래차용 섬유형 OLED 소재	129
	34. 양자 컴퓨터용 상온 동작 능동 소재	131
	35. 초분광 영상용 적외선 센서 소재	133
	36. 나노 구조 알루미늄 합금	135
	37. 멤리스터용 나노 복합 소재	137
	38. 듀얼 이온 전지용 전지 소재	140
	39. 베타 전지용 질화물 반도체 소재	142
	40. 암모니아 연료전지용 나노 촉매소재	144
	41. 차세대 전고체 전지 소재	146
	42. 고밀도 수소 저장용 경금속 수소화물	148
	43. 친환경 페로브스카이트 소재	151
	44. 저온형 수전해용 세라믹 소재	153
	45. 소프트 웨어러블 인공근육 소재	155
46. 휴먼 증강용 인체 감각 모방형 전자 소재	157	
47. 체내 주사용 생분해성 형상기억 소재	160	
48. 바이오 인터페이싱 소재	162	
비대면 디지털	49. 6G 통신용 전력 증폭기 GaN 집적회로	165
	50. 테라 비트급 데이터 전송용 광통신 부품	167
	51. 대용량 코히어런트 광통신 부품	169
	52. 저궤도 위성통신용 통합 단말 모듈	171
	53. 양자 인터넷용 양자 중계기 부품	173
54. 인공지능용 PIM 반도체	175	
55. 고정밀 디지털 레이더 모듈	177	
바이오	56. 유전자 치료용 핵산 및 바이러스 벡터 소재	180
	57. 인체 이식용 지지체 및 인공장기 생체 소재	182
	58. 초병렬적 DNA 합성 장비	184
	59. 대체육 소재	186
60. 친환경 사료 소재	188	
그린 에너지	61. 건식 공정용 페로브스카이트 소재	191
	62. 초대형 풍력발전용 분리형 블레이드	193
	63. 고강도 복합 나노 섬유 및 공정 장비	195
	64. 고 안정성 음이온 교환막 수전해 스택	197
	65. 초고성능 세라믹 전해 전지	199

반도체

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
초미세화 (반도체 전공정)	FinFET 구조: 5nm	GAA(Gate All Around) 구조: ≤1.5nm					3D 소자 구조: ≤1.0nm				
미래 선도 품목	초고해상도 BEUV 포토 레지스트	(화학 증폭형) 해상도 >8nm LWR >1.6nm 감도 >20mJ/cm ²	(유무기 혼합 레지스트) 해상도 <6nm, LWR <1.2nm, 감도 <10mJ/cm ²			(유무기 혼합 레지스트) 해상도 <6nm, LWR <1.0nm, 감도 <5mJ/cm ²					
	차세대 반도체용 ALD 전구체 및 장비	EOT 10Å 이하 유전율 60 이상	eTox 4Å 이하 유전율 100 이상		eTox 3Å 이하, 유전율 200 이상						
고적층화 (반도체 후공정)	D램: 12단 낸드: 176단	D램(백지 적층) 기준: 30단 이상 낸드 기준: 400단 이상			D램(백지 적층) 기준: 40단 이상 낸드 기준: 800단 이상						
미래 선도 품목	3차원 웨이퍼 간 직접 본딩 장비	웨이퍼 간 본딩 정렬 정밀도 ≤100nm	웨이퍼 간 직접 본딩 정렬 정밀도 ≤50nm			웨이퍼 간 직접 본딩 정렬 정밀도 ≤20nm					
		본딩 처리 속도 15매/시간	본딩 처리 속도 ≥25매/시간			본딩 처리 속도 ≥50매/시간					
		본딩 온도 ≤350℃	본딩 온도 ≤250℃			본딩 온도 ≤200℃					
	펄스 레이저 다이싱 장비	Contact 방식: Bump to bump	Contact 방식: Bump-less								
이종 집적 방열 소재	펄스 레이저 : UV >30W	Crack-free 펄스 레이저: DUV >5W			Crack-free 펄스 레이저: DUV ≥30W						
	고정밀&고속 스테이지	고정밀/고속 스테이지: >1,800nm/s 위치 정밀도: <±2			고정밀/고속 스테이지: >2,000nm/s 위치 정밀도: <±2						
	열유속 70W/cm ²	열유속 350W/cm ²			열유속 600W/cm ²						

1 초고해상도 BEUV(Beyond EUV) 포토레지스트

품목명	초고해상도 BEUV 포토레지스트	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 3nm node 이후 반도체 공정에 적용 가능한 새로운 원리의 EUV(13.5nm)/BEUV(6.7nm) 포토레지스트 <p>화학 증폭형 레지스트 및 금속 산화물 레지스트의 성능 한계를 근본적으로 극복할 수 있는 원리의 포토레지스트 소재 해상도 6nm(L/S 기준) 이하, 선폭 거칠기 1nm 이하, 감도 5mJ/cm² 이하의 성능 확보</p> <p>에칭 저항성 조절 및 음성(Negative)/양성(Positive) 구현이 가능한 분자 설계</p> <p>건식 현상 및 증착이 가능한 포토케미스트리 공정 확보</p>		 <p>출처: Extreme Ultraviolet Litography (EUVL): novel patterning materials, progress and challenges, p. 24. Plenary lecture given by Prof. Kenneth Gonsalves (ITT Mandi, India) on September 12, 2017 in Gramado (Brazil) during the XVI B-MRS Meeting.</p>
핵심 요소 기술		<ol style="list-style-type: none"> 물리적인 해상도가 6nm 이하(3nm 노드, L/S 기준)로 가능케 할 수 있는 분자 설계 에칭 저항성 등 건식 레지스트 특성 최적화를 위한 유무기 조합 개발 대면적 (>300mm) 건식 증착 및 현상 공정 개발 Stochastic failure를 최소화 가능한 특성의 확보 	
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 13.5nm 및 6.7nm 단파장에 적합한 흡광 특성을 가진 다양한 형태의 포토레지스트 소재가 개발되고 있다. 하지만 아직까지 해상도, 선폭 거칠기, 광감도 모두를 만족시키지 못하고 있다. 해상도와 선폭 거칠기에 장점이 많은 레지스트의 개발은 2030년 이후 1.5nm 반도체 노드의 노광 기술에서 핵심적인 역할을 할 것으로 기대하고 있다. 시장 규모 전망 양산 적용이 시작된 2020년 기준, 190억 원 규모의 EUV 레지스트 시장은 독점 중인 EUV 노광 장비 공급의 한계로 제한을 받을 수밖에 없으나, 적용 제품의 확대에 따라 폭발적인 성장이 예상된다. 따라서 2023년에는 910억 원 규모로, 약 5배 증가할 것으로 보인다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 EUV 포토레지스트를 구성하는 산촉매, Quencher 등의 화학적 불균질로 전사되는 패턴의 선폭 거칠기 등 이미지 특성이 나빠지는 화학적 확률 결함(Chemical stochastic effect)이 발생한다. 이를 해결하기 위해 단분자층 수준에서 성분 및 구조 조절이 가능하며, EUV/BEUV 조사로 분해 및 가교 결합이 가능한 기능기의 조절을 통해 음성과 양성, 두 종류의 포토레지스트 구현이 가능하다. 현재 대비 비교 포토레지스트의 성능은 Z-factor(해상도³ × 선폭 거칠기² × 민감도)라는 정량치로 평가된다. 포토레지스트를 이용할 때, 민감도를 높이기 위해 산촉매를 사용하면 해상도가 떨어지고, 광자의 양을 늘리면 결함이 늘어나 LER이 나빠지는 등 성능의 Trade-off가 발생한다. 3nm 노드 이하급의 초미세 패턴이 가능한 수준으로 해상도, 선폭 거칠기, 광감도 모두를 만족할 수 있는 성능을 달성했다. 	
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 분자 설계 및 분자막 증착 기술은 이미 반도체, 봉지막 등 다양한 분야에서 성능을 향상시킬 수 있는 방법론으로 성공 가능성을 보여주었으므로, 해당 연구를 통해 다층막 기반 EUV/Blue-X 포토레지스트에 대한 기술개발과 지적재산권 확보가 가능하다. 		

기술 여건	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 약 5년 정도 걸릴 것으로 예상된다. 				
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 최고 기술 보유국(일본, 미국) 대비 50% 수준 				
국내 연구 현황	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 일본과 미국이 선도국으로 기술개발을 주도하고 있는 실정이다. <table border="1"> <tr> <td>일본</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • JSR 등 현재 상업화되어 있는 산촉매(Photo Acid Generator, PAG)를 사용하는 화학 증폭형(Chemically Amplified) PR의 경우, 산의 확산으로 패턴이 손상되어 해상도(Resolution, R)와 선폭 거칠기(Line Edge Roughness, LER)가 모두 나빠지는 고질적인 문제점이 발생해, 현재 한계점에 봉착(해상도: 15~50nm, 선폭 거칠기: ~3nm, 감도: ~20mJ/cm²) </td> </tr> <tr> <td>미국</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Inpria 사가 개발 중인 무기 성분을 함유하는 유기-무기 하이브리드 PR은 최근 많은 연구가 진행되어 EUV 민감도와 해상도에서 어느 정도 진전을 이뤘으나 합성이 매우 복잡하고 균일성에 문제가 있음. 또한, 12nm 이하(3nm 노드 이후)의 초미세 패턴닝에 적용하기에는 충분한 성능을 나타내지 못하고 있는 실정. 더욱이 대부분 음성(Negative) 특성을 보여 해상도에서 유리한 양성(Positive) PR은 전무한 상태(해상도: 10~30nm, 선폭 거칠기: ~2nm, 감도: ~10mJ/cm²) </td> </tr> </table>	일본	<ul style="list-style-type: none"> • JSR 등 현재 상업화되어 있는 산촉매(Photo Acid Generator, PAG)를 사용하는 화학 증폭형(Chemically Amplified) PR의 경우, 산의 확산으로 패턴이 손상되어 해상도(Resolution, R)와 선폭 거칠기(Line Edge Roughness, LER)가 모두 나빠지는 고질적인 문제점이 발생해, 현재 한계점에 봉착(해상도: 15~50nm, 선폭 거칠기: ~3nm, 감도: ~20mJ/cm²) 	미국	<ul style="list-style-type: none"> • Inpria 사가 개발 중인 무기 성분을 함유하는 유기-무기 하이브리드 PR은 최근 많은 연구가 진행되어 EUV 민감도와 해상도에서 어느 정도 진전을 이뤘으나 합성이 매우 복잡하고 균일성에 문제가 있음. 또한, 12nm 이하(3nm 노드 이후)의 초미세 패턴닝에 적용하기에는 충분한 성능을 나타내지 못하고 있는 실정. 더욱이 대부분 음성(Negative) 특성을 보여 해상도에서 유리한 양성(Positive) PR은 전무한 상태(해상도: 10~30nm, 선폭 거칠기: ~2nm, 감도: ~10mJ/cm²)
		일본	<ul style="list-style-type: none"> • JSR 등 현재 상업화되어 있는 산촉매(Photo Acid Generator, PAG)를 사용하는 화학 증폭형(Chemically Amplified) PR의 경우, 산의 확산으로 패턴이 손상되어 해상도(Resolution, R)와 선폭 거칠기(Line Edge Roughness, LER)가 모두 나빠지는 고질적인 문제점이 발생해, 현재 한계점에 봉착(해상도: 15~50nm, 선폭 거칠기: ~3nm, 감도: ~20mJ/cm²) 			
	미국	<ul style="list-style-type: none"> • Inpria 사가 개발 중인 무기 성분을 함유하는 유기-무기 하이브리드 PR은 최근 많은 연구가 진행되어 EUV 민감도와 해상도에서 어느 정도 진전을 이뤘으나 합성이 매우 복잡하고 균일성에 문제가 있음. 또한, 12nm 이하(3nm 노드 이후)의 초미세 패턴닝에 적용하기에는 충분한 성능을 나타내지 못하고 있는 실정. 더욱이 대부분 음성(Negative) 특성을 보여 해상도에서 유리한 양성(Positive) PR은 전무한 상태(해상도: 10~30nm, 선폭 거칠기: ~2nm, 감도: ~10mJ/cm²) 				
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 새로운 개념의 레지스트 관련 연구는 몇몇 대학에서 진행되고 있으나, 초기 단계에 불과하다. 따라서 다양한 방법의 접근이 필요한 상황이다. <table border="1"> <tr> <td>동진 세미켄 등</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 기존 화학증폭형 레지스트에 대한 추격형 개발에 착수하였으나, 아직 선진국 대비 기술 격차는 3년 이상으로 판단 </td> </tr> </table>	동진 세미켄 등	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 화학증폭형 레지스트에 대한 추격형 개발에 착수하였으나, 아직 선진국 대비 기술 격차는 3년 이상으로 판단 			
동진 세미켄 등	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 화학증폭형 레지스트에 대한 추격형 개발에 착수하였으나, 아직 선진국 대비 기술 격차는 3년 이상으로 판단 					

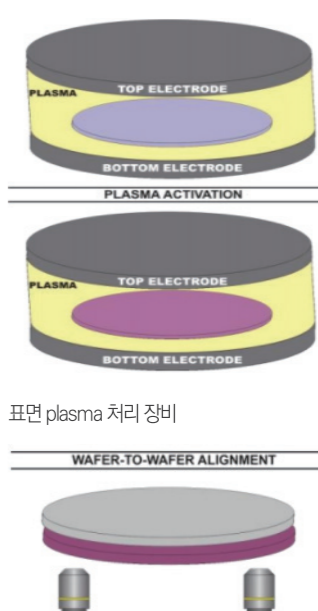
2 차세대 반도체용 ALD(원자층 증착) 전구체 및 장비

품목명	차세대 반도체용 ALD 전구체 및 장비	구분	소재/장비
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 차세대 메모리 Capacitor 유전막으로 적용 가능한 등가 산화막 두께(Equivalent Oxide Thickness, EOT)<3Å를 구현하는 Ultra High-k 원자층 증착(ALD) 전구체 및 공정 장비 ● 시스템 반도체 적용 가능한 고이동도 p형 금속 산화물 및 칼코겐 화합물 박막 형성 또는 차세대 메모리용 Gate 형성을 위한 칼코겐 화합물의 원자층 증착 전구체 및 공정 장비 		 <p>출처: https://www.asm.com/solutions/products/atomic-layer-deposition-products/pulsar-xp-ald</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1. EOT < 3Å를 구현하는 ultra high-k ALD 전구체 및 공정 기술(DRAM Capacitor용) <ol style="list-style-type: none"> ① (단기) Ternary perovskite high-k 전구체 및 공정 ② (중기) 고품질 k >100, EOT (<3Å)인 ALD 전구체 및 공정 ③ (장기) high-k 전구체 3차원 DRAM 적용 기술 2. 고이동도 p형 금속 산화물/칼코겐 화합물 박막 형성을 위한 ALD 전구체 및 공정 기술 <ol style="list-style-type: none"> ① (단기) P형 반도체 소재용 ALD 전구체 ② (단기) 칼코겐 화합물 박막을 위한 ALD 공정 ③ (중기) 고품질 P형 금속 산화물/칼코겐 화합물 반도체 박막 합성 기술 ④ (중기) 고품질 칼코겐 화합물 박막 형성을 위한 Dopant ⑤ (장기) 고품질 P형 금속 산화물/칼코겐 화합물 반도체를 이용한 응용 기술 ⑥ (장기) ALD 공정을 통한 칼코겐 화합물 박막 형성을 위한 전구체 및 소재 집적 기술 		
중요성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 차세대 메모리 DRAM Capacitor의 EOT Scale은 지속적인 DRAM Shrinkage를 위한 핵심기술이나, 100nm Tech 이후부터 적용되던 ZrO₂ 기반 유전체 이후 신물질 개발은 답보 상태이다. EOT Scale을 위해 고온 안정성 전구체를 통해 단차 피복을 개선하거나, 전극과 유전체 사이에 계면층을 도입하는 등의 기술이 적용되었지만, 이는 Tech. Extension의 개념이다. TiO₂나 Perovskite 구조의 산화막이 차세대 기술로 언급되어 왔고 많은 연구가 지속되고 있으나, 양산 적용 가능한 수준의 전구체와 공정 개발은 미흡한 실정이다. 따라서 미래 메모리 산업의 시장 점유율을 높이고 경쟁력을 확보하기 위해서는 해당 기술의 선점이 필수적이다. 비실리콘계 차세대 반도체 소재의 산업적인 중요성은 전 세계적으로 인지되고 있다. 특히 층상 구조 소재의 경우 2016년 세계경제포럼에서 떠오르는 10대 기술 중 하나로 선정되었다. 반도체 소자의 미세화를 통한 집적도 향상, 소자의 성능 향상, 전력 소모 감소가 점차 한계에 다다르고 있어, 하부 CMOS 소자층 위에 n/p 채널층을 비롯한 상부 소자를 형성하는 3차원 모놀리식(M3D) 집적 소자 공정의 개발이 요구되고 있다. 		
미래 유망성			

소재·부품·장비	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 우리나라는 DRAM 최강국으로, DRAM 기술을 리딩하는 소재 업체뿐만 아니라 전통적으로 High-k 연구 강국이다. 그러나 전구체 같은 원료는 미국과 일본에 의존하여 왔다. 최근, 일본의 반도체 소재 수출규제 이후 반도체 원료의 국산화를 위해 많은 투자와 노력이 지속되어 왔으므로, 이를 기반으로 미래 반도체의 소재-공정 경쟁력을 확보할 수 있는 역량을 갖췄다고 판단한다. 국내의 전구체 업체로는 메카로, UP Chemical, Union Materials, 한솔케미칼, 디엔에프, 솔브레인 등을 들 수 있다. 최근 전구체 분야와 관련된 신규 중소기업이 설립되고 있으며 전구체 산업 시장에 있어 높은 미래 성장 가능성 및 고부가가치를 예상한 일부 대기업(한솔케미칼, SK케미칼)이 진출하고 있어 기술적인 역량이 높다. 지속적인 투자와 산학연의 협력이 이루어질 경우, 전구체 상용화 가능성은 높을 것이다. ● 예상 소요 기간 EOT<3Å를 구현하는 Ultra High-k 기술은 전구체 개발, 고결정성 초극박막 제조 기술 개발, 3D 구조의 적용이 가능한 ALD 공정 및 장비 개발 등 소재-공정-장비의 통합적인 기술 개발이 수행되어야 하므로, 단기 3년, 중기 5년, 장기 8년의 체계적인 연구개발이 필요하다. 시스템 반도체에 적용 가능한 p형 금속 산화물 기술 역시 산화가 제어 전구체 개발, 저온 성장 기술, 결정화 공정 및 도핑 공정/장비 기술 등의 요소 기술 개발이 수행되어야 하므로, 단기 3년, 중기 5년, 장기 8년의 연구 기간이 필요하다. 칼코겐 화합물을 이용한 차세대 메모리용 원자층 증착법 기술은 리간드 주도형에 반응하는 금속 전구체이다. 칼코겐 전구체 세트와 이를 이용한 공정/장비 기술의 통합적인 개발이 수행되어야 하므로 단기 3년, 중기 5년, 장기 8년의 연구개발이 필요하다. 		
		<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 수준 선도국 대비 기술 수준: 최고 기술 보유국(미국, 일본, 유럽) 대비 50% 수준 		
소재·부품·장비	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● STO, BTO 등 삼성분계 Perovskite ALD 공정에 대한 연구는 국내외에서 지속적으로 진행되고 있다. 하지만 고온안정성, 저오염, 고품질 Perovskite High-k ALD 전구체에 대한 연구, 전용장비에 대한 연구는 아직 충분하지 않다. EOT<3Å를 만족하기 위해서는 신규 물질에 대한 증착 기술 및 도핑 기술이 필요하다. P형 금속 산화물 칼코겐 화합물의 전구체의 경우, Cu₂O, SnO 증착용 전구체 개발이 일부 진행되고 있으나, 기술 수준이 높지 않다. 또한, 차세대 메모리용 칼코겐 화합물 공정-장비-소재 기술 개발의 경우도 연구 초기 단계이다. EOT<3Å를 만족하기 위해서는 High-k 유전막 자체뿐만 아니라 커패시터 내 전극막과의 계면 특성 역시, 매우 중요하다. 산화물 전극막 사용을 통한 High-k의 Oxygen Vacancy 상쇄 등 다양한 방식으로 시도되고 있으나 우수한 전기적 특성을 보이는 커패시터에 대한 보고는 미흡하다. ● 최근 반도체 공정에서의 소재-장비-공정 기술의 중요도를 반영해 일본, 미국, 중국, 유럽 정보는 관련 역량 강화를 위한 범정부 차원 지원을 이어가는 중이다. 일본은 2020년 소재 기술 역량과 머티리얼 혁신력 강화를 위한 준비회를 범정부 차원으로 발족했다. 핵심 소재·부품 기업 및 대학 전문가와 내각부, 외무성, 농림수산성, 국토교통성의 참여하에 첨단 기술력 강화를 위한 소재 등 기초 기술의 글로벌 역량 강화 방안을 모색하는 중이다. 		
		<table border="1"> <tr> <td>미국 2001년~</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 2001년, 'National Nanotechnology Initiative'를 발족하고, 소재 기술에 대한 지속적 투자 진행 중(2019년 누적 투자 금액 270억 달러) </td> </tr> <tr> <td>미국 2011년~</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 소재 기술 개발에 정보과학기술을 접목하는 'Materials Genome Initiative' 발족, 신소재 개발 효율성을 높이는 연구 진행 중 </td> </tr> </table>	미국 2001년~	<ul style="list-style-type: none"> • 2001년, 'National Nanotechnology Initiative'를 발족하고, 소재 기술에 대한 지속적 투자 진행 중(2019년 누적 투자 금액 270억 달러)
미국 2001년~	<ul style="list-style-type: none"> • 2001년, 'National Nanotechnology Initiative'를 발족하고, 소재 기술에 대한 지속적 투자 진행 중(2019년 누적 투자 금액 270억 달러) 			
미국 2011년~	<ul style="list-style-type: none"> • 소재 기술 개발에 정보과학기술을 접목하는 'Materials Genome Initiative' 발족, 신소재 개발 효율성을 높이는 연구 진행 중 			

소재·부품·장비	미래 유망성	<p>칼코겐 화합물을 이용한 차세대 메모리 소자는 비휘발성과 빠른 속도 등을 장점으로 데이터센터용 메모리 등에 사용하는 것을 목표로 개발이 진행되고 있으며, 인공지능 컴퓨팅에 적용 시 저전력, 고효율성을 달성할 수 있어 많은 연구개발이 진행 중이다.</p> <p>반도체 소자 미세화에 필수적인 원자층 증착법은 반도체 기판 표면에서 발생하는 화학 반응을 이용한 것으로 전구체 소재와 소재의 특성을 고려한 장비, 그리고 소재와 장비의 성능을 최대한 이끌어내는 공정 기술이 동시에 개발되는 추세이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 메모리 반도체 소자의 비약적인 발전뿐만 아니라 스마트폰, 5G, 자율주행 자동차 등 시스템 반도체에 대한 수요 증가로 인해 2016년 이후 수출입 규모가 지속적으로 증가하고 있으며, 2022년 세계 반도체 시장 규모는 약 4,800억 달러 규모, 매년 10% 이상의 높은 성장률을 예상하고 있다. 반도체 CMOS 소자의 급속한 스케일링과 더불어 이종접합 기술을 이용한 3차원 집적 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 기존 CMOS 소자 형성 위에 새로운 소자를 적층하는 Back-End-Of-Line 트랜지스터 구현 기술에 대한 신시장이 형성되고 있는 상황이다. 칼코겐 화합물을 이용한 차세대 메모리 소자는 클라우드 컴퓨팅용 데이터센터의 고성능 비휘발성 메모리 수요 증가에 따라 연 51%로 성장하여 2025년에는 60억 달러에 이를 것으로 예상된다. 세계 ALD 전구체 시장은 2018년 4.6억 달러 수준이었으며, 연평균 8% 가량 성장해 2023년 약 6.2억 달러 수준에 이를 것으로 전망된다.
		<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 초극박막에서 고결정성의 Perovskite 박막을 통해 유전율 100 이상, EOT<3Å를 구현하기 위해서는 전구체, 공정 및 장비 개발이 통합적으로 이뤄져야 한다. 또한, EOT 감소 기술은 단순히 정전 용량을 높이는 것뿐만 아니라, 100 이상의 High Aspect Ratio를 구현해야 하는 구조적인 부담도 감소시키는 효과를 가져올 수 있어, 초미세화된 DRAM Capacitor 구조의 안정적인 형성을 기대할 수 있다. 비실리콘계 산화물 반도체 소재는 BEOL 집적형 기능성 소자, 차세대 고성능 트랜지스터, 메모리, 디스플레이, 화학 센서, 광전변환 소자, 에너지 저장 소자 등과 같이 다양한 응용 분야에 활용될 가능성이 매우 크고, 기존 벌크 재료 특성상의 한계에 혁신을 가져올 것으로 기대된다. 칼코겐 화합물을 이용한 차세대 메모리 소자는 저항 기반 메모리 소자로, 폰 노이만 방식의 컴퓨팅 방식을 탈피하여 저전력으로 동작이 가능한 혁신적인 인공지능 반도체 등에 응용될 가능성이 매우 크다. 현재, 해당 소자는 낮은 집적도에 비해 높은 제조 비용이 단점으로 꼽히나 원자층 증착법 연구를 통해서 고집적 수직 적층 소자를 가능하게 해, 시장 경쟁력을 혁신적으로 높일 수 있을 것으로 예상된다. ● 현재 대비 비교 Perovskite 전구체 중 Sr(또는 Ba) 전구체는 현재 Air liquid 사의 Cyclopentadienyl 계열의 Absolut Sr(제품명)이 가장 우수한 성능을 보이나, 높은 휘발 온도 및 낮은 증기압으로 안정적인 ALD 공정에 적합하지 않다. 높은 열 안정성과 높은 증기압의 새로운 전구체 개발은 Perovskite High-k 개발의 시작 단계이다. 현재, Zr(Hf)O₂ 기반의 유전체의 유전율은 최대가 60정도로 예상하고 있으며, 이를 이용한 커패시터의 EOT scale의 한계는 4.5Å으로 인식되고 있다. 반면, 100 이상의 유전율을 갖는 초극박막 Perovskite 유전체는 DRAM Capacitor의 EOT Scale 한계의 Breakthrough를 위한 핵심 기술이다. 현재는 N-type 특성을 갖는 이황화 몰리브데넘에 연구가 치중되어 있고, P-type 특성의 반도체 소재에 대한 저온 대면적 형성 기술이나 이종의 소재를 복합하여 전하 이동을 제어하는 소재 형성 기술에 대한 개발 성숙도는 매우 낮다. 칼코겐 화합물을 이용한 차세대 메모리용 물질은 스퍼터링을 이용한 증착 방식에 집중되어 있어, 수직 적층 소자 제작에 필요한 단차 피복성이 충분히 확보되지 않고 있다.

3 3차원 웨이퍼 간 직접 본딩 장비

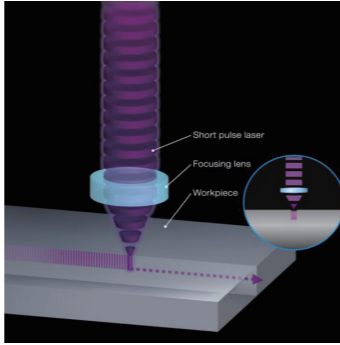
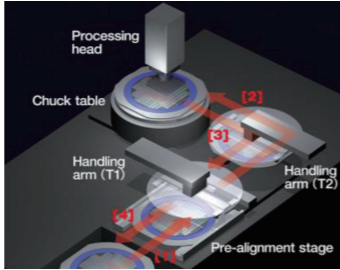
품목명	3차원 웨이퍼 간 직접 본딩 장비	구분	장비
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 반도체 소자의 초집적화, 초기능화, 초성능화를 위해, One chip system, 탈 Moore's law를 가능하게 하는 3차원 구조의 IC Wafer bonding system* 장비 <p>* $\Delta 0.5\text{nm}$ 이하의 Wafer Surface Roughness 유지 CMP 기술과 Cleaning 공정 Δ고도의 표면 청정도 유지 및 표면 에너지를 극대화하는 Plasma activation 및 수소 표면 처리 공정 $\Delta 100\text{nm}$ 이하 Alignment 허용 진공 수준 Direct bonding ΔBatch type 열처리 기술이 연계된 Bonding system</p>		 <p>표면 plasma 처리 장비</p> <p>optical alignment 장비</p> <p>출처: https://www.semanticscholar.org/paper/Results-on-aligned-SiO2%2FSiO2-direct-wafer-to-wafer-Gamier-Angermayer/ae150b4c0dc66640725d1a72f8669e06b81c40c7</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 0.5nm 이하의 Wafer Surface Roughness 유지 CMP 기술과 Cleaning 공정 고도의 표면 청정도 유지 및 표면 에너지를 극대화하는 Plasma activation 및 수소 결합 표면 처리 공정 기술 100nm 이하 alignment 허용 진공 수준 Direct bonding 기술 Bonding wafer batch type 열처리 기술 		
중요성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 3-D Hybrid Wafer bonding 기술은 CIS를 비롯하여 NAND Flash, High Band Width Memory(DRAM) 등 시장 규모가 큰 제품에 우선 적용을 시도 중이므로 시장성이 매우 높다. EVG, TEL, SUSS 등 본 기술과 관련된 다양한 장비들이 이미 시장에 진출해 있으며, 반도체 장비 NO.1 업체인 Applied Materials 사에서도 사업화 진출을 검토 중이다. 시장 규모 전망 향후 2년, Hybrid Wafer bonding 기술이 채택된 제품이 3년 이후 생산량의 20%를 점유한다면, 2024년 이후의 장비 시장 규모는 연 3,100억 원에 이를 것으로 전망된다. (기준 Throughput: 15매/hr, 장비 가격: 50억 원/대) 	미래 유망성	

구 내 외	연구 동향																
해외	<table border="1"> <tr> <td>미국 2018~2023년</td> <td>• 소재 기술의 국가 안보 연관성에 주목해 DARPA를 중심으로 'Electronics Resurgence Initiative'를 발족하여 반도체 소재·소자 제조 기술에 대해 5년간 15억 달러 투자 진행</td> </tr> <tr> <td>중국 2006~2020년</td> <td>• '국가 중장기 과학기술 발전 계획 요강'에 첨단 기술 등 8개 분야에 신소재 기술을 선정하고, 중대 과학연구 등 4개 분야에 나노 연구를 지정해 지속적인 투자 진행</td> </tr> <tr> <td>중국 2016~2020년</td> <td>• '과학기술 혁신 5개년 계획 13차'에 중점 신소재를 15대 중대 과학기술 프로젝트 중 하나로 선정</td> </tr> <tr> <td>중국 2015년</td> <td>• '중국 제조 2025'에 2024년까지 세계 제조 강국 리더가 되는 것을 목표로 내걸고, 반도체 재료 자급자족을 위한 투자 확대 선언. 2025년까지 핵심 소재와 기초 재료의 70% 자급을 목표로 기술 개발 중</td> </tr> <tr> <td>EU 2014~2020년</td> <td>• 첨단 기술 주도권 확보를 목표로 한 'Horizon 2020' 프로젝트를 통해 나노 기술, 첨단 소재, 첨단 제조 기술, 생명 공학 분야를 선정, 집중투자 진행</td> </tr> <tr> <td>독일 2018~2021년</td> <td>• 제조 기술 및 산업 진흥을 위해 2018년 수립한 '하이테크 전략 2025'에서 마이크로 전자 소자, 재료를 주요 전략 분야로 지정</td> </tr> <tr> <td>영국 2014년~</td> <td>• 영국이 선도할 8개의 과학기술 분야를 지정, 발표한 2014년의 과학기술 혁신 전략 'Our plan for growth'에 나노 기술과 첨단 소재 선정</td> </tr> <tr> <td>프랑스 2019~2024년</td> <td>• 'Nano22 프로그램'을 통해 반도체용 핵심 소재 소자 기술 개발 진행. ST 마이크로 일렉트로닉스 등 기업과 공동으로 5년간 90억 유로 이상을 투자</td> </tr> </table>	미국 2018~2023년	• 소재 기술의 국가 안보 연관성에 주목해 DARPA를 중심으로 'Electronics Resurgence Initiative'를 발족하여 반도체 소재·소자 제조 기술에 대해 5년간 15억 달러 투자 진행	중국 2006~2020년	• '국가 중장기 과학기술 발전 계획 요강'에 첨단 기술 등 8개 분야에 신소재 기술을 선정하고, 중대 과학연구 등 4개 분야에 나노 연구를 지정해 지속적인 투자 진행	중국 2016~2020년	• '과학기술 혁신 5개년 계획 13차'에 중점 신소재를 15대 중대 과학기술 프로젝트 중 하나로 선정	중국 2015년	• '중국 제조 2025'에 2024년까지 세계 제조 강국 리더가 되는 것을 목표로 내걸고, 반도체 재료 자급자족을 위한 투자 확대 선언. 2025년까지 핵심 소재와 기초 재료의 70% 자급을 목표로 기술 개발 중	EU 2014~2020년	• 첨단 기술 주도권 확보를 목표로 한 'Horizon 2020' 프로젝트를 통해 나노 기술, 첨단 소재, 첨단 제조 기술, 생명 공학 분야를 선정, 집중투자 진행	독일 2018~2021년	• 제조 기술 및 산업 진흥을 위해 2018년 수립한 '하이테크 전략 2025'에서 마이크로 전자 소자, 재료를 주요 전략 분야로 지정	영국 2014년~	• 영국이 선도할 8개의 과학기술 분야를 지정, 발표한 2014년의 과학기술 혁신 전략 'Our plan for growth'에 나노 기술과 첨단 소재 선정	프랑스 2019~2024년	• 'Nano22 프로그램'을 통해 반도체용 핵심 소재 소자 기술 개발 진행. ST 마이크로 일렉트로닉스 등 기업과 공동으로 5년간 90억 유로 이상을 투자
미국 2018~2023년	• 소재 기술의 국가 안보 연관성에 주목해 DARPA를 중심으로 'Electronics Resurgence Initiative'를 발족하여 반도체 소재·소자 제조 기술에 대해 5년간 15억 달러 투자 진행																
중국 2006~2020년	• '국가 중장기 과학기술 발전 계획 요강'에 첨단 기술 등 8개 분야에 신소재 기술을 선정하고, 중대 과학연구 등 4개 분야에 나노 연구를 지정해 지속적인 투자 진행																
중국 2016~2020년	• '과학기술 혁신 5개년 계획 13차'에 중점 신소재를 15대 중대 과학기술 프로젝트 중 하나로 선정																
중국 2015년	• '중국 제조 2025'에 2024년까지 세계 제조 강국 리더가 되는 것을 목표로 내걸고, 반도체 재료 자급자족을 위한 투자 확대 선언. 2025년까지 핵심 소재와 기초 재료의 70% 자급을 목표로 기술 개발 중																
EU 2014~2020년	• 첨단 기술 주도권 확보를 목표로 한 'Horizon 2020' 프로젝트를 통해 나노 기술, 첨단 소재, 첨단 제조 기술, 생명 공학 분야를 선정, 집중투자 진행																
독일 2018~2021년	• 제조 기술 및 산업 진흥을 위해 2018년 수립한 '하이테크 전략 2025'에서 마이크로 전자 소자, 재료를 주요 전략 분야로 지정																
영국 2014년~	• 영국이 선도할 8개의 과학기술 분야를 지정, 발표한 2014년의 과학기술 혁신 전략 'Our plan for growth'에 나노 기술과 첨단 소재 선정																
프랑스 2019~2024년	• 'Nano22 프로그램'을 통해 반도체용 핵심 소재 소자 기술 개발 진행. ST 마이크로 일렉트로닉스 등 기업과 공동으로 5년간 90억 유로 이상을 투자																
국내	<ul style="list-style-type: none"> 국내는 High-k 50 이하의 Binary ALD 전구체 개발에 초점을 맞추고 있다. <table border="1"> <tr> <td>(주)메카로, SK트리켄(주), (주)디엔에프, 유피캠 등</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> n형 반도체 전구체 개발에 초점 ※ 칼코겐 화합물 전구체는 높은 개발 난이도로 인해 신규 개발 정체 </td> </tr> </table>	(주)메카로, SK트리켄(주), (주)디엔에프, 유피캠 등	<ul style="list-style-type: none"> n형 반도체 전구체 개발에 초점 ※ 칼코겐 화합물 전구체는 높은 개발 난이도로 인해 신규 개발 정체 														
(주)메카로, SK트리켄(주), (주)디엔에프, 유피캠 등	<ul style="list-style-type: none"> n형 반도체 전구체 개발에 초점 ※ 칼코겐 화합물 전구체는 높은 개발 난이도로 인해 신규 개발 정체 																

국내외 연구 동향	국내	삼성전자, SK하이닉스	<ul style="list-style-type: none"> 스마트폰 카메라용 CMOS Image Sensor Chip 제조에 Wafer to wafer interconnection 기술을 사용 중이나, 아직은 대부분 Micro-bump를 사용하는 Eutectic bonding 기술을 적용 중
		<ul style="list-style-type: none"> Direct pad to pad contact를 가능하게 하는 3-D Hybrid direct wafer interconnection 기술의 경우 제품 적용을 위한 기술 개발을 시도하고 있지만, 아직은 외산 장비 기술에 의존하고 있다. 국내에는 아직까지 3-D Hybrid wafer bonding 장비를 개발 또는 판매한 장비 업체가 없다. 반도체 Wafer Bonding 장비로 Temporary wafer bonding/de-bonding 장비를 개발하고, 소규모로 사업화에 성공한 곳은 1~2개 업체에 불과하다. 시장 측면에서 국내 소자업체들이 CIWS와 NAND 및 DRAM 등 메모리 반도체를 주로 생산하기 때문에 국내 시장이 크게 성장할 것으로 예상되며, 그 시장 규모는 2024년 이후 연간 1,300억 원 정도로 추정하고 있다. 	

국내외 연구 동향	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 현재 반도체 패키징 기술은 전극에 저융점 금속 합금의 Bump를 형성하고 Eutectic 반응을 이용하는 Flip Chip Bonding 기술에 의존하고 있으며, 고도의 집적도를 요하는 초고집적 반도체 패키징 기술로는 한계에 이르렀다. 차세대 기술인 3차원 Wafer 간 직접 Bonding 기술은 별도의 Bumping 공정을 생략하고 전극 Pad와 Pad를 직접 접합 Bonding하는 혁신적인 기술이다. 이 때문에 제조 비용 저감, 제조 시간 단축 등 생산성의 혁신을 가져올 수 있으며, 초고집적 반도체 Chip의 패키징 기술에 적합한 혁신적 기술이다. 현재 대비 비교 집적도 측면의 경우, 현재 최대 pad 수가 625/mm²이나, 3차원 Wafer 간 직접 bonding 기술은 pad 수가 100,000/mm² 이상 가능하다. 신뢰성 측면의 경우, 3차원 Wafer 간 직접 bonding 기술은 Pad와 Pad 층 간에 별도의 금속 물질이 없다. 따라서, 기존의 저융점 금속인 In, Sn 등을 사용하여 Pad 금속(예: Cu)과 Intermetallic compound(IMC)를 형성하는 Eutectic bonding과는 다르게, Chip 동작 중 발생하는 열에 의한 IMC의 특성 변화에 기인한 신뢰성 문제를 해결할 수 있으며, 완벽한 Hermetic Sealing이 가능하며 Chip의 신뢰성도 크게 향상시킬 수 있다. 			
		<ul style="list-style-type: none"> 실현 가능성 국내 기술 역량 국내 반도체 제조사는 아직은 대부분 Micro-bump를 사용하는 Eutectic bonding 기술을 적용 중이다. Direct pad to pad contact를 가능하게 하는 Hybrid direct wafer interconnection 기술을 제품에 적용하기 위한 기술 개발을 시도하고 있지만, 아직은 외산 장비 기술에 의존하고 있다. 예상 소요 기간 장비 개발과 공정 기술 개발 및 제품 적용 등을 고려할 때 적어도 3년 이상 소요될 것으로 예상된다. 			
국내외 연구 동향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(오스트리아) 대비 50% 수준 			
	해외	<ul style="list-style-type: none"> Hybrid wafer bonding 기술은 CIS를 비롯하여 NAND Flash, High Band Width Memory(DRAM) 등 시장 규모가 큰 제품에 우선 적용을 시도 중이다. <table border="1"> <tr> <td>EVG(오스트리아), TEL(일본), SUSS(독일) 등</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 시장 규모가 큰 제품 시장에 이미 진출 </td> </tr> <tr> <td>Applied Materials (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 사업화에 대한 관심을 가지고 있는 상황 </td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> 아직 개발 단계로 시장 규모는 미미하다. 대략적으로 규모를 추정해 보면 2021년 기준, 메이저 업체들의 CIS 생산 Capa는 30만 장/월, NAND 생산 Capa는 100만 장/월, DRAM Capa는 120만 장/월 정도로 예상된다. 향후 2년, Hybrid wafer bonding 기술이 채택된 제품이 3년 이후 생산량의 20%를 점유한다면, 2024년 이후 장비 시장 규모는 연 3,100억 원 정도로 전망된다. (기준 Throughput: 15매/hr, 장비 가격: 50억 원/대) 현재 contact pad의 pitch가 1μm 이하에서도 가능한 Hybrid Direct wafer interconnection 기술에 대한 R&D가 전 세계적으로 진행 중이다. <p>※ 3-D Hybrid direct wafer bonding 공정은 고도의 Surface 제어 기술이 필요하다. 따라서 표면 처리, 청정도 유지, 본딩 등 복합적인 기술을 확보해야 하는 난이도 높은 분야에 해당된다. 특히, 장비 측면에서는 100nm 이하의 정밀 오차를 제어할 수 있는 정밀 Alignment 기술 개발이 핵심이다.</p>	EVG(오스트리아), TEL(일본), SUSS(독일) 등	<ul style="list-style-type: none"> 시장 규모가 큰 제품 시장에 이미 진출 	Applied Materials (미국)
EVG(오스트리아), TEL(일본), SUSS(독일) 등	<ul style="list-style-type: none"> 시장 규모가 큰 제품 시장에 이미 진출 				
Applied Materials (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 사업화에 대한 관심을 가지고 있는 상황 				

4 펄초 레이저 다이싱 장비

품목명	펄초 레이저 다이싱 장비	구분	장비
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 기존 Si 웨이퍼 레이저 다이싱 및 스텔스 레이저를 이용한 GAL(Grinding After Laser) 기술을 능가하는 펄초 레이저 광원-광학계 시스템 및 Crack-free 다이싱 장비 	 <p>Laser 광원</p>  <p>광학계 및 기타 주변 설비</p> <p>출처: https://technology.discousa.com/method/laser/, https://m.blog.naver.com/PostView.naver?siHttpsRedirect=true&blogId=notealus&logNo=220873856372</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 펄초(수십 fs) 레이저 광원/광학계 시스템 설계 기술 2 新 Crack-free 다이싱 장비 설계 기술 (열 충격 혹은 새로운 기술) 		
중요 정보	<p>미래 유망성</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 반도체 기술은 반도체 칩이 만들어진 Si wafer의 두께를 박막화하는 방향으로 발전하였으며, 현재의 기술은 Si wafer 두께가 80μm 정도로 향후, 박막화 경향은 더욱 심화될 전망이다. 반도체 칩이 생성된 박막 Si wafer를 기존과 같이 블레이드 다이싱할 경우 Crack이 발생하여 반도체 칩을 손상시키는 문제점이 있다. Si wafer 두께의 박막화 심화에 따라 반도체 칩을 손상시키지 않는 새로운 다이싱 기술이 개발되고 있다. 일본 DISCO 사는 스텔스 레이저를 사용한 GAL 기술을 주로 사용하고 있으며, Si wafer의 박막화, 칩의 품질 및 수율 향상을 위하여 레이저 다이싱 기술 사용을 확대하고 있다. 스텔스 레이저를 사용한 GAL 방법을 능가하는 펄초 레이저 광원/광학계 시스템 및 Crack-free 다이싱 공정 및 장비 개발이 필요하다. ● 시장 규모 전망 2023년 약 1조 5,000억 원(전체), 약 1,600억 원(국내) 		

중요성	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 신열 충격법은 Wafer Pattern면에서 절단 가능한 혁신적인 기술이다. Wafer Pattern면을 Laser grooving하는 동시에, 절단하는 기술로 Si wafer 절단면에 열손상을 주지 않는다. 다양한 두께(5~200μm)의 Wafer와 다양한 Pattern면에서도 절단 가능하다. ● 현재 대비 비교 현재의 스텔스 기술은 Wafer 후면에서만 절단할 수 있으나, 신열 충격법은 Wafer Pattern면에서도 절단이 가능하다. 스텔스 기술은 Low-K 등 Wafer Patter면이 두껍거나 예민하면 Laser Grooving 공정을 추가해야 하나, 신열 충격법은 Wafer Pattern면에서 Grooving과 동시에 절단이 가능하다. 스텔스 기술은 열손상을 연마로 알아내야 하지만, 신열 충격법은 절단 시부터 Wafer Pattern면에서 Wafer면에 열손상을 전혀 주지 않고 절단할 수 있다. 스텔스 기술은 두께 50μm 이하 TSV wafer의 구조상 앞뒷면에 모두 Pattern이 있는 구조에서 절단이 불가하지만, 신열 충격법으로는 가능하다.
	실행 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 국내 중소기업은 이미 2년 전부터 신열 충격 기술을 개발하여 삼성전자와 SK hynics에서 샘플 가공을 진행하여 가능성을 확인하였다. 양산에 적용 가능한 다이싱 장비 개발을 지원하면, 국내에서 개발할 수 있는 역량이 있다. ● 예상 소요 기간 3년
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본) 대비 50% 수준
국내외 연구개발 현황	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 일본의 DISCO 사가 시장 점유율(80% 이상)과 기술 수준이 가장 높다. ※ 시장 규모 전망: 약 1조 5,000억 원(2023년) <p>DISCO(일본), ASM(네덜란드), ESI(미국)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 해당 품목 관련 연구 선도 ※ DISCO 사의 시장 점유율은 80% 이상
	국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 일부 국내 기업들이 관련 기술을 개발 중이나, 기존 다이싱 기술과 동일 혹은 그 이상의 가공 속도 및 품질이 요구되고 있다. 따라서 기존의 스텔스 공정을 대체할 수 있는 레이저 소스 및 기술 개발이 필요하다. ※ 국내 시장 규모 전망: 약 1,600억 원(2023년) <p>이오테크닉스</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 레이저 기술을 개발 중이나 DISCO 사의 원천 기술 장벽을 넘지 못하고 있으며, 해외 선두 기업의 기술/시장 점유로 인한 진입 장벽도 매우 높은 상황

5 이종 집적(Heterogeneous Integration) 방열 소재

품목명	이종 집적 방열 소재	구분	소재											
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> Heterogeneous 패키징 시스템을 위한 고효율 열 관리(Thermal management) 소재 													
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> Chip-scale 용 고열 전도 열 계면 소재 열 계면 소재 접합 시 계면 열 저항을 최소화하는 계면 소재 저온 접합(Assembly) 가능한 고방열 나노 소재 		출처: https://ase.aseglobal.com/en/heterogeneous_integration											
기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 대만 TSMC는 패키징 기술에서의 우위를 바탕으로 파운드리 분야에서 주도적인 위치를 확고하게 할 수 있었다. 앞으로는 이종 집적화(Heterogeneous Integration) 기술이 파운드리 산업에서의 경쟁력을 결정하는 핵심 기술이 될 것으로 보인다. 시장 규모 전망 글로벌 TIM(방열 소재) 시장은 2020년 3.1조 원 규모에서 연평균 10.4% 성장을 거듭해 2025년에는 5.1조 원까지 성장할 것으로 예측된다. - 방열 소재는 반도체 산업 전 분야에서 핵심적인 기술 차별화 요소이기 때문에 반도체 시장 전체에 높은 파급 효과를 가진다. 현재 방열 소재로 직접적인 영향을 주는 파운드리 시장 규모는 2020년 약 90조 원, 연평균 성장률도 10%를 넘어설 것으로 추정된다. - 스마트폰의 경우 열 관리(Thermal Management) 부품 시장은 연평균 26.1%(2016~ 2022) 성장할 것으로 예상되며, 빠르게 증가하는 추세이다. (by yole development). 칩 패키징과 PCB의 열 관리 방안은 전체 방열 솔루션(Thermal Solution) 시장(2022년 36억 달러 수준)의 3/4을 차지할 것으로 보인다. 													
	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 기존 방열 소재(grease, paste 등)에서 벗어나 나노 소재 및 저온 접합 기술 같은 새로운 개념이 등장할 예정이다. 현재 대비 비교 <table border="1"> <thead> <tr> <th>열 계면 소재</th> <th>현재 (양산 적용 중)</th> <th>현재 (연구개발 중)</th> <th>미래 필요 소재</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TIM 1 적용 경우</td> <td>< 5W/mK</td> <td>~20W/mK</td> <td>> 30W/mK</td> </tr> <tr> <td>TIM 2 적용 경우</td> <td>< 70W/mK</td> <td>~150W/mK</td> <td>> 250W/mK</td> </tr> </tbody> </table>	열 계면 소재	현재 (양산 적용 중)	현재 (연구개발 중)	미래 필요 소재	TIM 1 적용 경우	< 5W/mK	~20W/mK	> 30W/mK	TIM 2 적용 경우	< 70W/mK	~150W/mK	> 250W/mK	
열 계면 소재	현재 (양산 적용 중)	현재 (연구개발 중)	미래 필요 소재											
TIM 1 적용 경우	< 5W/mK	~20W/mK	> 30W/mK											
TIM 2 적용 경우	< 70W/mK	~150W/mK	> 250W/mK											

중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 현재 국내 소재 기업 중에서는 양산에 적용하고 있는 기업이 없는 상황이다. 하지만 미래 이종 집적화 기술의 핵심은 첨단 패키징의 요소 기술로, 개발 소요 기간이 길더라도 실현 가능성이 있고, 또한 반드시 실현해야 할 부분이다. 예상 소요 기간 소재 개발부터 양산 적용 신뢰성 테스트까지 5년 정도 걸릴 것으로 보인다. 						
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 선도국 대비 10% 이내 수준 최고 기술 보유 기업 : Honeywell(미국), Shin-Etsu(일본), Dow Chemical(미국) 						
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> 전통적인 방열 소재에서 벗어나 다양한 방열 나노 소재가 개발되고 있고, 최근 metal TIM 등 열전도도가 높은 열 계면 소재와 함께 카본(Carbon) 계열 방열 소재도 연구되고 있다. Heterogeneous 패키징 시스템과 AI, 5G, 자동차 등 새로운 적용 분야에서 반도체 소자의 열 문제가 대두되고 있는 상황에서 Heat pipe, Vapor chamber, Microchannel cooling 등 다양한 구조적인 방열 방법과 배선 소재, 설계 및 공정이 다양하게 개발되고 있다. 						
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>일본</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> 일본은 Shin-Etsu 등 thermal paste, thermal grease 소재를 전통적으로 제조 양산하고, 기존 소재 시장의 경쟁력을 갖추고 있음 </td> </tr> <tr> <th>미국</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> 미국은 IEEE EPS 주도로 이종 집적화 즉 첨단 패키징 기술을 차세대 반도체 기술로 보고 2019년부터 HIR을 발표하고 있으며, 시스템 패키징의 열 관리에 관한 소재 개발을 진행 중임. 또한, Honeywell 등 200W/mK의 metal TIM을 개발하고 있음 IDM 기업인 Intel, 패키징 기업인 ASE 등에서 다양한 HI 패키징 개발을 시도하고 있으며, 이에 열 관리 분야도 중요해지고 있음 </td> </tr> <tr> <th>대만</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> TSMC는 TSRI(Taiwan Semiconductor Research Initiative)를 중심으로 시스템 패키징 기술을 개발하고 있으며, 최근에는 일본 동경대의 d.lab과 HI 집적 설계 기술, 쓰꾸바에 대만-일본 공동연구센터를 설립해 차세대 패키징 기술 연구를 추진하고 있음 </td> </tr> </thead></table>	일본	<ul style="list-style-type: none"> 일본은 Shin-Etsu 등 thermal paste, thermal grease 소재를 전통적으로 제조 양산하고, 기존 소재 시장의 경쟁력을 갖추고 있음 	미국	<ul style="list-style-type: none"> 미국은 IEEE EPS 주도로 이종 집적화 즉 첨단 패키징 기술을 차세대 반도체 기술로 보고 2019년부터 HIR을 발표하고 있으며, 시스템 패키징의 열 관리에 관한 소재 개발을 진행 중임. 또한, Honeywell 등 200W/mK의 metal TIM을 개발하고 있음 IDM 기업인 Intel, 패키징 기업인 ASE 등에서 다양한 HI 패키징 개발을 시도하고 있으며, 이에 열 관리 분야도 중요해지고 있음 	대만	<ul style="list-style-type: none"> TSMC는 TSRI(Taiwan Semiconductor Research Initiative)를 중심으로 시스템 패키징 기술을 개발하고 있으며, 최근에는 일본 동경대의 d.lab과 HI 집적 설계 기술, 쓰꾸바에 대만-일본 공동연구센터를 설립해 차세대 패키징 기술 연구를 추진하고 있음
		일본	<ul style="list-style-type: none"> 일본은 Shin-Etsu 등 thermal paste, thermal grease 소재를 전통적으로 제조 양산하고, 기존 소재 시장의 경쟁력을 갖추고 있음 					
		미국	<ul style="list-style-type: none"> 미국은 IEEE EPS 주도로 이종 집적화 즉 첨단 패키징 기술을 차세대 반도체 기술로 보고 2019년부터 HIR을 발표하고 있으며, 시스템 패키징의 열 관리에 관한 소재 개발을 진행 중임. 또한, Honeywell 등 200W/mK의 metal TIM을 개발하고 있음 IDM 기업인 Intel, 패키징 기업인 ASE 등에서 다양한 HI 패키징 개발을 시도하고 있으며, 이에 열 관리 분야도 중요해지고 있음 					
대만	<ul style="list-style-type: none"> TSMC는 TSRI(Taiwan Semiconductor Research Initiative)를 중심으로 시스템 패키징 기술을 개발하고 있으며, 최근에는 일본 동경대의 d.lab과 HI 집적 설계 기술, 쓰꾸바에 대만-일본 공동연구센터를 설립해 차세대 패키징 기술 연구를 추진하고 있음 							
<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 방열 소재를 개발하고 있는 중소 소재 기업들이 있지만, 양산 적용 가능한 소재는 아직 없는 상태다. 								
국내								

디스플레이

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기						장기			
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

초고해상도 (마이크로 LED)	평판형 모듈러 디스플레이	AM-유연 모듈러 소형 디스플레이 (화소 밀도 ≤ 5,000ppi)	유연-신축/초소형 (화소 밀도 ≤ 10,000ppi)	초소형/고휘도 (화소 밀도 ≥ 10,000ppi)
초실감화 (3차원 공간 표시 등)	착용 공간 표시 (1인 사용자 고정시점)	점유 공간 표시 디스플레이 (1인 사용자 다시점)		확장 공간 표시 디스플레이 (다수 사용자 다시점)

미래선도품목	초미세 마이크로 LED 소재·부품	평판형 휘도 ≥ 1,000nits	2D 굴곡 반경 ≤ 10mm 휘도 ≥ 3,000nits	2D 굴곡 반경 ≤ 1mm 휘도 ≥ 50,000nits	다축 굴곡 반경 ≤ 1mm 휘도 ≥ 50,000nits
	마이크로 LED 화소 공정 장비	Multi-Wafer, 6인치 화소 결함 < 10/cm ²	Single-Wafer, 8인치 화소 결함 < 0.5/cm ²	Single-Wafer, 12인치 화소 결함 < 0.05/cm ²	Single-Wafer, 12인치 화소 결함 7σ 이하
	3차원 표시 광학 소재·부품	시야각: ≥ 10도	3차원 표시 시야각: ≥ 30도		3차원 표시 시야각: ≥ 60도
	AR·VR 디스플레이 소재·부품	평면 해상도: ≥ 2K 지연 속도: ≥ 50msec	평면 해상도: ≥ 4K 지연 속도: ≤ 20msec		입체 해상도: ≥ 2K 지연 속도: ≤ 10msec

미래선도품목	다축 플렉시블	폴더블(1축)	다축 폴더블/롤러블 (2축 이상 폴딩, 롤 반경 < 10mm)	자유곡면/스트레처블 (연신율 > 30%)
	자유곡면 플렉시블 기판 및 유기 소재	연신율: ~5%	연신율: > 20%	연신율: > 30%
미래선도품목	폴더블 원도우용 하이브리드 소재	단순 표면 보호 기능	Multi-axis 하이브리드 소재	Multi-direction 하이브리드 소재

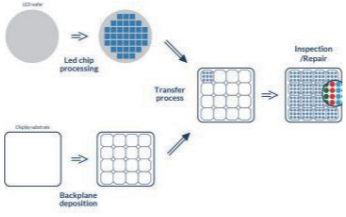
6 초미세 마이크로 LED 소재·부품

품목명	초미세 마이크로 LED 소재·부품	구분	소재/부품	
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 수 μm 이하의 초미세 마이크로 LED로 능동구동형 디스플레이 패널 및 모듈을 제조하기 위한 소재 및 부품 유연·투명·신축이 가능한 패널 및 모듈 제작을 위해 적용되는 색 변환, 기판, 배선, 코팅 및 조립 소재 마이크로 LED 패널 및 모듈 제작을 위한 공정 및 부품 		<p>출처: https://travel-on-data.com/10</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 초대형, 유연/신축 특성의 디스플레이를 위한 소재 및 부품 기술 (중기) 그린-폼팩터 융복합 신기능 실현 소재 기술 (장기) 가상 증강현실 마이크로디스플레이 제조를 위한 소재 			
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 글로벌 디스플레이 및 완제품 기업들은 차세대 디스플레이 주도권을 확보하고자 마이크로 LED 소재, 부품 및 장비 산업 육성에 집중투자하고 있다. 글로벌 디스플레이 산업은 2018년 1,132억 달러에서 2025년 1,210억 달러로 소폭 증가, 산업 전체를 극복하고 신시장을 창출하기 위해 각국은 산업 육성 투자에 집중하고 있다. (중국 48억 달러 이상, 대만 10억 달러, 유럽·미국은 정부와 민간 협력 투자) 시장 규모 전망 마이크로 LED 디스플레이는 2027년 710억 달러 이상의 신시장 창출이 예측되며(IDtech), LED 전광판 누적 설치 시장은 약 200조 원으로 추산된다. 초대형 디스플레이로서 TVs, 전광판 시장을 주도하여 스마트워치, 스마트글래스 등 모바일/웨어러블 기기로 시장이 확대될 것으로 예측된다. 		
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 마이크로 LED 디스플레이 기술은 기존 대비 고휘도, 고효율, 고신뢰성의 장점을 지닌다. 초미세화를 통해 폼팩터 변형과 제품 디자인에 정합하는 신개념 융복합 디스플레이로의 발전 가능성이 있다. 기계적 강성과 재료의 물성을 고려하여 극한 환경에서도 고신뢰성의 폴더블, 롤러블, 스트레처블 디스플레이로 활용할 수 있는 기술이다. 현재 대비 비교 평판형에서 유연, 신축, 투명, 초소형화 등의 폼팩터 고도화로 혁신적 솔루션을 제공하는 기술 개발은 초기 단계에 있다. 		

중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 평판형 마이크로 LED TVs, 전광판 등은 해외기술에 의존하여 상용화 발표가 되었으나, 미래 폼팩터 가변 요구에 적합한 소재·공정 기술의 진입 장벽이 존재한다. 또한, OLED, 반도체 강국으로서 축적된 기술을 기반으로 마이크로 LED 디스플레이 개발에 집중 시 글로벌 기술 선도 위상을 확보할 수 있다. ● 예상 소요 기간 마이크로 LED 디스플레이의 초미세화 및 폼팩터 가변 특성 구현을 위한 소재, 공정 및 장비 기술 개발에 착수한다면, 6~7년 이내에 기술 선도국과의 격차를 극복하고, 고신뢰성의 초고밀도, 유연, 투명, 신축 디스플레이 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 																
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본) 대비 85% 수준 																
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 마이크로 LED 디스플레이 색 변환 소재부터 조립, 기판 소재는 일본, 미국이 기술 발전을 주도하고 있다. 대표적인 기업으로는 나노시스, 3M, 도레이, 신에츠, 센주 등이 있다. 																
		<table border="1"> <tr> <td>Nanosys(미국)</td> <td>• 2012년 3M과 전략적 제휴를 통한 QDEF를 개발, Cd free QD 및 마이크로 LED 디스플레이용 QD 개발 진행</td> </tr> <tr> <td>Toray(일본)</td> <td>• 레이저 기술을 기반으로 전사용 점착 소재/장비와 나노 LED 디스플레이용 잉크젯 장비 개발 진행</td> </tr> <tr> <td>OSRAM(독일)</td> <td>• 교세라와 협업을 통하여 3.9인치 마이크로 LED 디스플레이 개발, PLT Tech의 QD를 적용한 조명 및 디스플레이 개발 진행</td> </tr> <tr> <td>Lexstar(대만)</td> <td>• 마이크로 LED 광원에 QD를 일체화하여 BT.2020의 90% 수준의 화소 기술 개발</td> </tr> <tr> <td>Playnitride(대만)</td> <td>• 자국 내 LED 기업인 렉스타와 협업하여 2019년 QD를 적용한 7.56인치, 114ppi급 투명 디스플레이 출시</td> </tr> <tr> <td>AUO(대만)</td> <td>• 에피스타, 플레이나이트라이드와 협업하여 169ppi급 플렉시블 디스플레이 개발, 자동차 CID 적용 계획 발표</td> </tr> <tr> <td>Konka(중국)</td> <td>• 2021년 CES에서 1.6inch급, 264ppi, 충전 주기 35일의 스마트워치 개발, 발표</td> </tr> <tr> <td>NTHU(대만)</td> <td>• 2020년 대만의 Tshing Hua National Univ.에서 UV 마이크로 LED에 적용이 가능한 Encapsulated QD 및 잉크젯 기술 개발</td> </tr> </table>	Nanosys(미국)	• 2012년 3M과 전략적 제휴를 통한 QDEF를 개발, Cd free QD 및 마이크로 LED 디스플레이용 QD 개발 진행	Toray(일본)	• 레이저 기술을 기반으로 전사용 점착 소재/장비와 나노 LED 디스플레이용 잉크젯 장비 개발 진행	OSRAM(독일)	• 교세라와 협업을 통하여 3.9인치 마이크로 LED 디스플레이 개발, PLT Tech의 QD를 적용한 조명 및 디스플레이 개발 진행	Lexstar(대만)	• 마이크로 LED 광원에 QD를 일체화하여 BT.2020의 90% 수준의 화소 기술 개발	Playnitride(대만)	• 자국 내 LED 기업인 렉스타와 협업하여 2019년 QD를 적용한 7.56인치, 114ppi급 투명 디스플레이 출시	AUO(대만)	• 에피스타, 플레이나이트라이드와 협업하여 169ppi급 플렉시블 디스플레이 개발, 자동차 CID 적용 계획 발표	Konka(중국)	• 2021년 CES에서 1.6inch급, 264ppi, 충전 주기 35일의 스마트워치 개발, 발표	NTHU(대만)	• 2020년 대만의 Tshing Hua National Univ.에서 UV 마이크로 LED에 적용이 가능한 Encapsulated QD 및 잉크젯 기술 개발
		Nanosys(미국)	• 2012년 3M과 전략적 제휴를 통한 QDEF를 개발, Cd free QD 및 마이크로 LED 디스플레이용 QD 개발 진행															
		Toray(일본)	• 레이저 기술을 기반으로 전사용 점착 소재/장비와 나노 LED 디스플레이용 잉크젯 장비 개발 진행															
		OSRAM(독일)	• 교세라와 협업을 통하여 3.9인치 마이크로 LED 디스플레이 개발, PLT Tech의 QD를 적용한 조명 및 디스플레이 개발 진행															
		Lexstar(대만)	• 마이크로 LED 광원에 QD를 일체화하여 BT.2020의 90% 수준의 화소 기술 개발															
		Playnitride(대만)	• 자국 내 LED 기업인 렉스타와 협업하여 2019년 QD를 적용한 7.56인치, 114ppi급 투명 디스플레이 출시															
		AUO(대만)	• 에피스타, 플레이나이트라이드와 협업하여 169ppi급 플렉시블 디스플레이 개발, 자동차 CID 적용 계획 발표															
		Konka(중국)	• 2021년 CES에서 1.6inch급, 264ppi, 충전 주기 35일의 스마트워치 개발, 발표															
		NTHU(대만)	• 2020년 대만의 Tshing Hua National Univ.에서 UV 마이크로 LED에 적용이 가능한 Encapsulated QD 및 잉크젯 기술 개발															

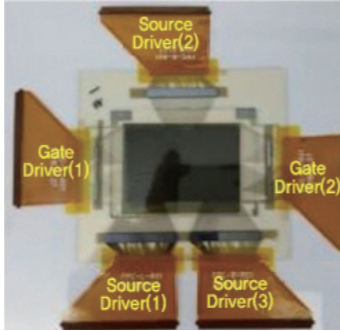
국내외 연구 동향	국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내는 대기업 중심으로 해외 기업과 협력하여 패널 및 Set 개발 추진, 소재/장비 기업들의 국산화 추진 및 기술 고도화를 위한 집중 개발이 진행 중이다. 														
		<table border="1"> <tr> <td>한솔케미칼</td> <td>• 삼성전자 TV용 QDEF 생산, 마이크로 LED 디스플레이용 QD 개발 진행</td> </tr> <tr> <td>LG디스플레이</td> <td>• TV 및 초대형 디스플레이 관련 LG전자와 협업 진행</td> </tr> <tr> <td>삼성디스플레이</td> <td>• '19년 QNED 디스플레이 개발 발표, QD-OLED TV용 패널 동시 개발 진행</td> </tr> <tr> <td>삼성전자</td> <td>• 30μm급 R/G/B 마이크로 LED를 적용한 The Wall 2.0 개발 완료, 75인치급 TV 및 투명 디스플레이 개발 진행</td> </tr> <tr> <td>LG전자</td> <td>• '20년 9월 30ppi급 마이크로 LED 사이니지 MAGNIT 출시, 투명 및 유연 모듈러 디스플레이 기술 개발 진행</td> </tr> <tr> <td>한국광기술원</td> <td>• 초고해상도 B/G 광원 동시 증착-적층 기술을 개발하고, 백플레인 접합 및 TFT Monolithic Integration 기술 개발 진행</td> </tr> <tr> <td>광주과학기술원</td> <td>• GaN 기반의 B/G 마이크로 LED 동시 성장 기술과 Red 적층을 통한 초미세 RGB 화소 형성 기술 개발 진행</td> </tr> </table>	한솔케미칼	• 삼성전자 TV용 QDEF 생산, 마이크로 LED 디스플레이용 QD 개발 진행	LG디스플레이	• TV 및 초대형 디스플레이 관련 LG전자와 협업 진행	삼성디스플레이	• '19년 QNED 디스플레이 개발 발표, QD-OLED TV용 패널 동시 개발 진행	삼성전자	• 30 μ m급 R/G/B 마이크로 LED를 적용한 The Wall 2.0 개발 완료, 75인치급 TV 및 투명 디스플레이 개발 진행	LG전자	• '20년 9월 30ppi급 마이크로 LED 사이니지 MAGNIT 출시, 투명 및 유연 모듈러 디스플레이 기술 개발 진행	한국광기술원	• 초고해상도 B/G 광원 동시 증착-적층 기술을 개발하고, 백플레인 접합 및 TFT Monolithic Integration 기술 개발 진행	광주과학기술원	• GaN 기반의 B/G 마이크로 LED 동시 성장 기술과 Red 적층을 통한 초미세 RGB 화소 형성 기술 개발 진행
		한솔케미칼	• 삼성전자 TV용 QDEF 생산, 마이크로 LED 디스플레이용 QD 개발 진행													
		LG디스플레이	• TV 및 초대형 디스플레이 관련 LG전자와 협업 진행													
		삼성디스플레이	• '19년 QNED 디스플레이 개발 발표, QD-OLED TV용 패널 동시 개발 진행													
		삼성전자	• 30 μ m급 R/G/B 마이크로 LED를 적용한 The Wall 2.0 개발 완료, 75인치급 TV 및 투명 디스플레이 개발 진행													
		LG전자	• '20년 9월 30ppi급 마이크로 LED 사이니지 MAGNIT 출시, 투명 및 유연 모듈러 디스플레이 기술 개발 진행													
		한국광기술원	• 초고해상도 B/G 광원 동시 증착-적층 기술을 개발하고, 백플레인 접합 및 TFT Monolithic Integration 기술 개발 진행													
광주과학기술원	• GaN 기반의 B/G 마이크로 LED 동시 성장 기술과 Red 적층을 통한 초미세 RGB 화소 형성 기술 개발 진행															

7 마이크로 LED 화소 공정 장비

품목명	마이크로 LED 화소 공정 장비	구분	장비
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 10K ppi급 이상의 초고해상도, 무결점 디스플레이 구현을 위한 μm 이하의 초미세 마이크로 LED 화소 제조를 위한 신공정 소재 및 장비 에피-칩 Zero Defect 실현 초미세 마이크로 LED 화소 신공정 소재 및 장비  <p>출처: https://www.microled-info.com/introduction</p>		
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 디스플레이 화소 전용 고정밀 에피 증착 웨이퍼 및 에피/칩 기술 (중기) 초고해상도 구현을 위한 초미세 하이브리드 화소 형성 소재 및 장비 기술 (장기) 고이동도 화합물 TFT 및 초소형화/경량화를 위한 구동 회로 증착 기술 		
주요 내용	미래 유망성 <ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 글로벌 완제품·서비스 기업들은 미래 개인 모바일 기기를 스마트폰-스마트글래스-스마트워치로 변화할 것이라 예측하고, 마이크로 LED 디스플레이 기술 개발에 투자를 진행 중이다. 애플, 페이스북, 구글 등의 서비스 플랫폼 기업들과 일본, 대만 등의 디스플레이 기업이 협력하여 개발을 추진하고 있으며, 중국 Konka 등 완제품 기업에서는 스마트워치를 출시했다. 시장 규모 전망 가상·증강현실은 2025년 800억 달러 규모에서 2030년 이후 3배 이상의 시장이 성장할 것으로 보인다. 여기서 초고해상도 디스플레이는 300억 달러 이상으로, 전체 비중의 30%를 차지할 것으로 예상된다. (Digi-Capital, IHS) 초고해상도 스마트글래스, HMD용 고품질 마이크로 LED 및 나노 LED 제조 장비는 필수로, 2027년 100억 달러 이상의 규모로 지속적인 시장 성장이 예측된다. (에피/칩, 조립 등 Yole Development) 		
	기술 혁신 내용 고휘도-저전력 초고해상도 확장현실(XR, Extended Reality) 디스플레이 구현을 위해 초미세 마이크로 LED RGB 동시 증착, 마이크로 OLED 및 QD의 장점만을 융합시키는 하이브리드 소재-공정 신기술을 확보할 수 있다. 실내외 조도 환경에 제한을 받지 않으며, 10K ppi 이상의 초고해상도 솔루션을 제공하는 선도국과의 기술 격차를 해소하고, 시장 지배력을 높일 수 있는 기술로 기대를 모으고 있다.		
	현재 대비 비교 글로벌 스타트업을 중심으로 마이크로 LED를 적용한 실험실 수준의 초고해상도 제품이 실현되었으나, 양산에 적합한 고품질의 패널 생산 공정 및 장비에 대한 솔루션은 제시된 바 없다.		
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 2017년도부터 마이크로 LED 중소기업 및 Fabless 기업을 중심으로 시제품 수준에서 개발이 진행되었으며, 초고품질의 에피-칩, 하이브리드 화소-패널 생산 장비 확보 시 완제품 기업들과의 협력 가속화 및 글로벌 경쟁 대열에 진입할 수 있다. 		

중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 예상 소요 기간 Defect Zero에 가까운 고품질의 생산 공정에 대한 근본적인 솔루션을 확보하여 10K ppi 이상의 초고밀도-고품질의 양산 제품을 8년 이내에 생산할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 	
국내외 연구 동향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 80% 수준 	
	해외	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 마이크로 LED 공정 및 장비 기술은 일본의 니치아-일본산소, 독일 오스람-Axitron, 미국 Veeco, 오스텐도, 모조비전, 프랑스 알레디아, 스웨덴 Glo, 홍콩 JBD 등이 기술을 주도하고 있다. 	
		Apple(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 스마트워치용 마이크로 LED 기술 투자에 집중, 최근 마이크로 LED를 적용한 스마트워치-스마트글래스 미래비전 발표
		Facebook(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2개의 Full-HD 60Hz AMOLED를 적용, 3.54인치 VR 출시, INFNILED 사를 인수하여 AR용 마이크로 LED HMD 개발 진행
		Mojo Vision(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 0.48mm 직경에 14,000ppi(1.8μm 마이크로 LED pixel)의 마이크로 디스플레이 기술 발표
		Pstendo Technologies(미국)	<ul style="list-style-type: none"> RGB LED를 적층/접합, 화소에 Hole을 형성하여 Waveguide 형태로 발광하는 구조를 제안하여 Lab. 수준의 5,000ppi급 AR용 디스플레이 패널 제작
		VueRea(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 캐나다 워털루에 위치한 VueReal 사는 2017년 6,000ppi 해상도의 4K급 마이크로 LED 패널 개발 성공
		JBD(홍콩)	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 600ppi급 20M 화소 구현에 성공, 적층형 화소로 2.5μm 이하, 5,000ppi급 마이크로 디스플레이 개발 진행
	Sharp(일본)	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 SID에서 QD를 적용한 RGB Full Color 구현, 0.38인치, 1,056ppi, 1,000nit급 마이크로 디스플레이 시연 	
	Aledia(프랑스)	<ul style="list-style-type: none"> RGB 적층 구조의 Nano Rod 연구, 10K ppi급 초고해상도 마이크로 디스플레이 개발 진행 	
국내	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 삼성전자, LG전자, 광주과학기술원, 루멘스, 라온텍, 한국광기술원, 한국나노기술원 등이 기술 개발에 나서고 있다. 		
	루멘스	<ul style="list-style-type: none"> 2017년 2,600ppi, 720p급, FHD 단색 마이크로 디스플레이 시연, 최근 QD 기술을 적용한 Full Color 기술 개발 진행 	
	라온텍	<ul style="list-style-type: none"> LCoS 적용 AR/MR 마이크로 디스플레이를 생산하고 있으며, 연구기관과 협업하여 OLEoS 및 마이크로 LED 기술 개발 진행 	
	한국광기술원	<ul style="list-style-type: none"> 초고해상도 R/B/G 동시 증착, 적층 기술 개발 진행, 백플레인 접합 및 TFT Monolithic Integration 기술 개발 진행 	
	광주과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> GaN 기반의 B/G 마이크로 LED 동시 성장 기술과 Red 적층을 통한 초미세 RGB 화소 형성 기술 개발 진행 	

8 3차원 표시 광학 소재·부품

품목명	3차원 표시 광학 소재·부품	구분	소재/부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 양쪽 눈에 서로 다른 영상을 제공하여 사용자의 초점거리에 3D 영상을 형성함으로써 피로감 없이 입체감 있는 이미지를 볼 수 있는 실감형 디스플레이 소재·부품 ※ 초다시점, 라이트필드, 홀로그래프, 볼류메트릭 디스플레이 등 	 <p>출처: https://ettrends.etri.re.kr/ettrends/1621/0905002168/</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (중기) 볼류메트릭 패널 및 입체 구현 기술 (장기) 간섭광학 기반 홀로그래프 구현 소자 제조 기술 (중기) 초고성능 광변조 패널 기술 (중기) 입체영상용 광학계 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 해외의 대기업을 중심으로 입체영상을 AR/VR 기기에서 구현하기 위한 3차원 표시 광학 소재·부품 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 공간 표시 디스플레이는 미래 트렌드이며, 2040년 이후에는 주류 디스플레이로 자리 잡을 것으로 예측된다. COVID-19의 전 세계적인 유행으로 비대면 서비스에 대한 요구가 급증하고 있으며, 원격회의·의료·교육 등 다양한 분야에서 실제로 체험하는 느낌을 주는 공간 표시 디스플레이가 사용될 것으로 전망된다. 시장 규모 전망 3D 디스플레이 시장은 2019년 100억 달러 규모, 연평균 25% 성장하여 2026년에는 600억 달러 규모에 달할 것으로 전망된다. (Global Market Insights, 2020) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 사용자의 양쪽 눈에 서로 다른 영상을 제공하여 초점거리에서 3차원 영상을 형성함으로써, 피로감 없이 입체감을 느낄 수 있는 이미지를 제공한다. 광시야각 3D HMD, HUD 제공으로 사용자 편의성을 확보하고, 신시장 창출이 가능하다. 이를 위해서는 5,000ppi 이상의 집적도와 8K 해상도를 갖는 초고해상도 패널이 확보되어야 하고, 초박형 회절 광학소자·홀로그래프 광학 소자 등 3D 디스플레이용 광학 부품이 개발되어야 한다. 현재 대비 비교 현재 HMD, HUD에 제공되는 것은 2D 제품으로 시야각이 좁아 사용자 만족도가 떨어지고, 장시간 사용 시 불편하다. 하지만, 3차원 표시 광학 소재·부품이 개발될 경우, 광시야각 3D 영상을 제공할 수 있어 사용자에게 자연스러운 입체 공간 영상을 제공할 수 있다. 이러한 입체 공간 영상은 아직 전 세계적으로 양산품 수준에서 구현된 바가 없다. 	

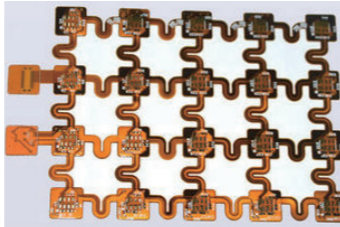
중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 3차원 표시 광학 소재·부품 기술의 경우, 일반 디스플레이 패널은 국내 기술이 세계 최고 수준이다. 초고해상도 패널 부품의 경우에도 높은 기술 인프라와 인력을 보유하고 있다. 하지만 패널 이외에 광학 소자나 부품 기술은 선진국 대비 80% 수준으로 원천 기술 개발과 더불어 인프라, 인력 확보가 필요하다. 예상 소요 기간 우리나라가 우위를 보이는 분야를 중심으로 상용화를 위한 집중적인 R&D 투자가 이루어진다면, 5~6년 이내에 3차원 표시 디스플레이 분야에서도 세계 최고 수준의 기술력을 보유할 수 있을 것으로 기대된다. 										
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 80% 수준 										
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> 3D HMD 분야의 기술은 해외 기업 Microsoft, Magic Leap이 주도하고 있으며, 3D HUD 분야에서는 GM, Continental 등이 주도하고 있다. 										
		<table border="1"> <tr> <td>Microsoft (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 2016년 Siggraph에서 Holographic Near-eye display의 홀로그래프 재현 기술 발표 2019년 HOE 기술이 적용된 광시야각의 AR HMD인 Hololens 2 출시 </td> </tr> <tr> <td>Magic Leap(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 2018년 Magic Leap One이라는 AR HMD 발표, LF 기술을 이용하여 깊이감 표시 </td> </tr> <tr> <td>VividQ(영국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 제한된 시야각에서 홀로그래프 영상을 제공하는 HMD 시제품 개발 </td> </tr> <tr> <td>GM & Envisics (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 2019년 SID에서 두 종류의 초점거리를 제공하는 홀로그래프 AR HUD 시제품 발표 </td> </tr> <tr> <td>Continental & Leia(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 2020년 SID에서 DLB 기술을 이용한 라이트필드 HUD 기술을 개발하는 중이라 발표 </td> </tr> </table>	Microsoft (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2016년 Siggraph에서 Holographic Near-eye display의 홀로그래프 재현 기술 발표 2019년 HOE 기술이 적용된 광시야각의 AR HMD인 Hololens 2 출시 	Magic Leap(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2018년 Magic Leap One이라는 AR HMD 발표, LF 기술을 이용하여 깊이감 표시 	VividQ(영국)	<ul style="list-style-type: none"> 제한된 시야각에서 홀로그래프 영상을 제공하는 HMD 시제품 개발 	GM & Envisics (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 SID에서 두 종류의 초점거리를 제공하는 홀로그래프 AR HUD 시제품 발표 	Continental & Leia(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 SID에서 DLB 기술을 이용한 라이트필드 HUD 기술을 개발하는 중이라 발표
		Microsoft (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2016년 Siggraph에서 Holographic Near-eye display의 홀로그래프 재현 기술 발표 2019년 HOE 기술이 적용된 광시야각의 AR HMD인 Hololens 2 출시 									
		Magic Leap(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2018년 Magic Leap One이라는 AR HMD 발표, LF 기술을 이용하여 깊이감 표시 									
		VividQ(영국)	<ul style="list-style-type: none"> 제한된 시야각에서 홀로그래프 영상을 제공하는 HMD 시제품 개발 									
		GM & Envisics (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 SID에서 두 종류의 초점거리를 제공하는 홀로그래프 AR HUD 시제품 발표 									
Continental & Leia(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 SID에서 DLB 기술을 이용한 라이트필드 HUD 기술을 개발하는 중이라 발표 											
국내	<ul style="list-style-type: none"> 삼성디스플레이, May 사, 서울대학교, 한국전자통신연구원(ETRI) 등에서 초고해상도 패널 및 광학계에 관한 연구를 추진하고 있으나, 상용화를 위해서는 집중적인 R&D가 필요한 상황이다. 											
	<table border="1"> <tr> <td>삼성디스플레이</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 2019년 SID에서 라이트필드 디스플레이에 적용 가능한 2,200ppi 집적도의 5인치급 역정 디스플레이 패널 발표 </td> </tr> <tr> <td>May 사</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 4K급 LCoS 패널을 기반으로 홀로그래피 AR HUD 영상 구현이 가능한 기술 시제품 개발 </td> </tr> <tr> <td>브라이트</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 현대오트론, 한교홀로그래프, 셀컴스 등과 함께 홀로그래프 광학 엔진을 이용한 AR HUD 시스템 개발 중 </td> </tr> <tr> <td>서울대학교</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 2020년 SID에서 DMD 소자를 이용하여 스페클노이즈를 줄이고 시야각은 향상시킨 Holographic Near-Eye Display 발표 </td> </tr> <tr> <td>한국전자통신연구원 (ETRI)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 2020년 SID에서 1μm 픽셀피치의 홀로그래프 디스플레이용 16K급 초고해상도 공간 광 변조기 발표 </td> </tr> </table>	삼성디스플레이	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 SID에서 라이트필드 디스플레이에 적용 가능한 2,200ppi 집적도의 5인치급 역정 디스플레이 패널 발표 	May 사	<ul style="list-style-type: none"> 4K급 LCoS 패널을 기반으로 홀로그래피 AR HUD 영상 구현이 가능한 기술 시제품 개발 	브라이트	<ul style="list-style-type: none"> 현대오트론, 한교홀로그래프, 셀컴스 등과 함께 홀로그래프 광학 엔진을 이용한 AR HUD 시스템 개발 중 	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 SID에서 DMD 소자를 이용하여 스페클노이즈를 줄이고 시야각은 향상시킨 Holographic Near-Eye Display 발표 	한국전자통신연구원 (ETRI)	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 SID에서 1μm 픽셀피치의 홀로그래프 디스플레이용 16K급 초고해상도 공간 광 변조기 발표 	
	삼성디스플레이	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 SID에서 라이트필드 디스플레이에 적용 가능한 2,200ppi 집적도의 5인치급 역정 디스플레이 패널 발표 										
	May 사	<ul style="list-style-type: none"> 4K급 LCoS 패널을 기반으로 홀로그래피 AR HUD 영상 구현이 가능한 기술 시제품 개발 										
	브라이트	<ul style="list-style-type: none"> 현대오트론, 한교홀로그래프, 셀컴스 등과 함께 홀로그래프 광학 엔진을 이용한 AR HUD 시스템 개발 중 										
서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 SID에서 DMD 소자를 이용하여 스페클노이즈를 줄이고 시야각은 향상시킨 Holographic Near-Eye Display 발표 											
한국전자통신연구원 (ETRI)	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 SID에서 1μm 픽셀피치의 홀로그래프 디스플레이용 16K급 초고해상도 공간 광 변조기 발표 											

9 AR·VR 디스플레이 소재·부품

품목명	AR·VR 디스플레이 소재·부품	구분	소재/부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 고휘도 초고해상도 가상 및 증강 현실 영상을 제공하기 위한 자발광형 마이크로(초소형) 디스플레이 제조 관련 소재·부품 ※ AR·VR 디바이스의 소형화와 경량화를 위한 초소형 디스플레이 		 <p>출처: https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/microdisplay</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 고휘도-고색 재현 구현을 위한 초고해상도 자발광 소재 기술 (중기) 초고해상도 픽셀 컬러화 소재 기술 (장기) 초고해상도 자발광형 마이크로 디스플레이 패널 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 가상·증강 현실 기술은 미래를 선도할 수 있는 기술로 평가받고 있다. 마이크로소프트, 구글, 페이스북, 애플 등 세계 초거대 IT 기업들이 마이크로 디스플레이를 이용한 가상·증강 현실용 디바이스를 앞다퉈 개발하고 있다. 시장 규모 전망 COVID-19 팬데믹으로 원격 소통을 위한 ICT 기술의 수요가 급증하고 있으며, AR·VR 디바이스는 미국과 유럽 등에서 기술 개발 및 세계 시장을 주도하고 있다. ※ 2024년 기준, 세계 2,490억 달러, 국내 8.5조 원 규모(ABI Research, CAGR 2024년 60% 추정) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 좁은 반치폭으로 색 재현력이 우수한 초고해상도 자발광 소재 및 픽셀 컬러화 소재를 기반으로 광손실을 최소화하고 휘도를 개선함으로써 고휘도, 고색 재현, 저소비전력 마이크로 디스플레이 제작이 가능하다. 현재 대비 비교 반사형 마이크로 디스플레이와 컬러 필터 기반의 자발광 마이크로 디스플레이는 화질과 휘도 등에 한계가 있어 이를 동시에 개선할 수 있는 파괴적 기술이 필요하다. 초고해상도 패터닝이 가능한 색 변환 또는 자발광 소재 및 소재가 학술적 수준에서 보고되고 있으나, 본격적인 기술 개발은 이루어지지 않고 있다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 색 변환 소재를 활용한 대형 LCD 디스플레이는 국내에서 개발되어 판매하고 있으며, OLED 디스플레이는 양산 단계에 접어들고 있다. 이렇게 국내에서 색 변환 소재 및 소재에 대한 세계 최고 수준의 연구가 보고되고 있다. 마이크로 디스플레이의 경우, 국가 과제 수행을 통해 연구기관과 중소기업이 개발된 적이 있다. 따라서, 색 변환 기반의 자발광 소재를 활용한 마이크로 디스플레이 개발을 위한 국내 연구 역량은 세계 최고 수준이라 할 수 있다. 	


중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 예상 소요 기간 국내 연구 인프라를 활용하여 초고해상도 색 변환 소재 및 공정 기술을 개발하고, 이를 초고해상도/고휘도 자발광 마이크로 디스플레이로 적용하여 패널을 제작하는 데 6~7년이 소요될 것으로 예상된다. 고해상도 디스플레이를 위한 컬러화 소재 중 컬러레지스트는 70%, 청색안료와 블랙컬럼스페이서는 100% 일본 수입에 의존하고 있다. 			
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 80% 수준 			
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> 현재 AR/VR 디바이스에서 활용되기 시작한 OLED 마이크로 디스플레이의 경우, 미국과 일본 업체가 기술을 선도하고 있고, 중국도 매우 큰 관심을 보이고 있다. 차세대 기술로 연구되고 있는 Quantum-dot 기반의 마이크로 디스플레이 관련 연구 내용은 거의 보고되지 않고 있다. 			
		<table border="1"> <tr> <td>BOE(중국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 중국의 BOE 사는 Quantum-dot에 대한 연구개발에 집중하고, 이를 모바일, TV 등에 적용하기 위해 활발히 연구 중. 2017년도 SID Display Week에서 자발광의 진정한 QLED를 적용한 5인치(80ppi), 14인치(80ppi) 디스플레이 패널을 세계 최초로 전시하였으나, Quantum-dot을 이용한 마이크로 디스플레이 관련 시제품은 아직 없음 </td> </tr> <tr> <td>베이징대학교 및 남방과학기술대학(중국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 올해 SID Display Week 2020에서 QLED-on-Silicon 마이크로 디스플레이 발표. 0.47인치, VGA의 픽셀피치가 16μm인 적색 단색 패널을 개발했으나, 최대 휘도가 300nit 정도로, 성능은 높지 않음 </td> </tr> </table>	BOE(중국)	<ul style="list-style-type: none"> 중국의 BOE 사는 Quantum-dot에 대한 연구개발에 집중하고, 이를 모바일, TV 등에 적용하기 위해 활발히 연구 중. 2017년도 SID Display Week에서 자발광의 진정한 QLED를 적용한 5인치(80ppi), 14인치(80ppi) 디스플레이 패널을 세계 최초로 전시하였으나, Quantum-dot을 이용한 마이크로 디스플레이 관련 시제품은 아직 없음 	베이징대학교 및 남방과학기술대학(중국)
	BOE(중국)	<ul style="list-style-type: none"> 중국의 BOE 사는 Quantum-dot에 대한 연구개발에 집중하고, 이를 모바일, TV 등에 적용하기 위해 활발히 연구 중. 2017년도 SID Display Week에서 자발광의 진정한 QLED를 적용한 5인치(80ppi), 14인치(80ppi) 디스플레이 패널을 세계 최초로 전시하였으나, Quantum-dot을 이용한 마이크로 디스플레이 관련 시제품은 아직 없음 			
베이징대학교 및 남방과학기술대학(중국)	<ul style="list-style-type: none"> 올해 SID Display Week 2020에서 QLED-on-Silicon 마이크로 디스플레이 발표. 0.47인치, VGA의 픽셀피치가 16μm인 적색 단색 패널을 개발했으나, 최대 휘도가 300nit 정도로, 성능은 높지 않음 				
국내	<ul style="list-style-type: none"> 삼성디스플레이가 Quantum-dot 디스플레이에 대해 연구하고 있으나, 주로 TV를 타깃으로 한 기술 개발이며, 마이크로 디스플레이처럼 고해상도 디스플레이에 대한 연구는 이루어지고 있지 않다. <table border="1"> <tr> <td>삼성디스플레이</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 현재 Quantum-dot 시트와 LCD TV를 결합한 QLED TV를 판매 중. 더 나아가 청색 OLED와 Quantum-dot color conversion layer를 이용한 QLED 디스플레이 개발에 박차를 가하고 있으나 양산 단계에는 이르지 못하고 있다. Silicon wafer를 이용한 초소형 마이크로 디스플레이 관련 기술은 개발하고 있지 않음 </td> </tr> <tr> <td>한국전자통신연구원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 국내 최초의 SXGA급 OLEDoS 개발에 성공한 뒤, 최근 IMID 2020에서 Full-color OLEDoS를 발표하였고, Quantum-dot 기반의 마이크로 디스플레이를 위한 기초 기술을 연구하는 중 </td> </tr> </table>	삼성디스플레이	<ul style="list-style-type: none"> 현재 Quantum-dot 시트와 LCD TV를 결합한 QLED TV를 판매 중. 더 나아가 청색 OLED와 Quantum-dot color conversion layer를 이용한 QLED 디스플레이 개발에 박차를 가하고 있으나 양산 단계에는 이르지 못하고 있다. Silicon wafer를 이용한 초소형 마이크로 디스플레이 관련 기술은 개발하고 있지 않음 	한국전자통신연구원	<ul style="list-style-type: none"> 국내 최초의 SXGA급 OLEDoS 개발에 성공한 뒤, 최근 IMID 2020에서 Full-color OLEDoS를 발표하였고, Quantum-dot 기반의 마이크로 디스플레이를 위한 기초 기술을 연구하는 중
삼성디스플레이	<ul style="list-style-type: none"> 현재 Quantum-dot 시트와 LCD TV를 결합한 QLED TV를 판매 중. 더 나아가 청색 OLED와 Quantum-dot color conversion layer를 이용한 QLED 디스플레이 개발에 박차를 가하고 있으나 양산 단계에는 이르지 못하고 있다. Silicon wafer를 이용한 초소형 마이크로 디스플레이 관련 기술은 개발하고 있지 않음 				
한국전자통신연구원	<ul style="list-style-type: none"> 국내 최초의 SXGA급 OLEDoS 개발에 성공한 뒤, 최근 IMID 2020에서 Full-color OLEDoS를 발표하였고, Quantum-dot 기반의 마이크로 디스플레이를 위한 기초 기술을 연구하는 중 				

10 자유곡면 플렉시블 기판 및 유기 소재

품목명	자유곡면 플렉시블 기판 및 유기 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 임의의 형상을 가진 3차원 자유곡면에 완전히 밀착되어, 신축성 전자기기를 구현하기 위한 디스플레이용 핵심 기판 소재 및 기능성 유기 소재 <p>기존 플렉시블/신축성 디스플레이가 갖는 한계를 극복하기 위한 핵심 소재</p>		 <p>출처: https://www.globalsources.com/si/AS/shenzhen-compro/6006850853741/pdtl/polyimide-PI-flexible-pcb/1133626133.htm</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기)고해상도 신축성 디스플레이를 위한 기능성 기판, 배선 및 접합 소재 기술 (중기)신축성 구동 모듈 제작을 위한 기판 및 기능성 유기 소재 (장기) 고신뢰성 입체형 신축 접합 및 실장 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 신축성 디스플레이는 아직 상용화되지 않았으며, 대학과 소재 기업 중심으로 연구가 진행 중이다. 신축형 디바이스용 소재는 의료용 패치형 제품이 먼저 상용화될 것으로 보인다. 2020년 8억 달러의 시장 규모는 2027년, 12.3억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다. (Grandviewsearch 2020) 시장 규모 전망 신축성 디스플레이 시장의 매출은 연평균 149%가 성장해 2025년 약 6,300만 달러에서 2029년 24.4억 달러에 이를 것으로 예상된다. (IHS 2020) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 3차원 자유곡면에 밀착이 가능한 신축형 디스플레이는 폼팩터 진화의 최종 단계이다. 모바일, 전자 피부, 스마트 의복, 바이오, 자동차 등 다양한 분야에 새로운 패러다임을 제시, 시장 정체 극복 및 고부가가치 창출이 가능하다. 현재 대비 비교 현재까지는 플렉시블 디스플레이가 개발되어 폴더블, 롤러블 제품에 응용되어 왔다. 이는 1축 중심의 힘을 기반으로 하여 다축 곡률을 가진 표면에는 적합하지 않다. 따라서 신축성 디스플레이가 개발된다면 새롭고 다양한 응용 분야에 적용될 것으로 전망된다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 삼성과 LG 같은 기업을 중심으로 플렉시블 디스플레이 시장 확장을 위한 연구가 진행 중이며, 본격적으로 시장이 열리다면 시장을 주도할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 소재 부문은 주로 해외 기업에 의존하고 있기 때문에 국내 산업 생태계 활성화를 위한 역량 강화가 필요하다. 예상 소요 기간 신축성 디스플레이는 개발 난이도가 높으며, 개발 이후에도 응용 제품의 형태에 대한 높은 신뢰성을 요구한다. 고신뢰성 확보에는 상당한 기간이 소요될 것으로 보이며, 본격적으로 상용화하기까지 10년 이상 소요될 것으로 전망된다. 	

구분	기술 수준	
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 90% 수준
해외		<ul style="list-style-type: none"> 신축성 전자회로 및 디스플레이 기술은 노스웨스턴대, 동경대, 코넬대, Holst Centor 등 학교와 연구소 중심으로 이루어지고 있으며, 신축성 전자회로 구현에 대한 원천 기술을 다량 보유하고 있다.
	노스웨스턴대학교 (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 단결정 실리콘 나노 박막의 전사 공정을 이용한 다양한 고성능 신축성 회로, 디스플레이, 바이오 센서 소자 구현
	동경대학교 (일본)	<ul style="list-style-type: none"> Pre-stretching & total transfer 방식으로 45%까지 연신이 가능한 능동 구동 16x24 마이크로 LED 디스플레이 시연품 발표
	Holst Center (네덜란드)	<ul style="list-style-type: none"> Rigid island-serpentine 배선 방식으로 해상도 13ppi, 휘도 170cd/m²인 신축성 능동 구동 32x32 LED 디스플레이 발표
	코넬대학교 (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 하이드로젤 전극과 고무 기판을 이용하여 변형에 따라 발광 특성이 달라지는 신축성 디스플레이 소자 발표
국내		<ul style="list-style-type: none"> 삼성디스플레이, LG디스플레이, 한국전자통신연구원, 한국기계연구원, 서울대학교 등에서 신축성 디스플레이 기판, 배선 및 발광 소자를 연구 중이다. 그러나 자유곡면 밀착을 위한 입체형 소자 모듈, 일체형 신축 접합 및 인터페이스에 대한 기술 개발은 초기 단계이다.
	삼성디스플레이	<ul style="list-style-type: none"> SID 2017에서 9.1인치급 능동 구동 신축성 OLED 디스플레이 발표
	LG디스플레이	<ul style="list-style-type: none"> 국책 과제로 20% 연신이 가능한 100ppi급 Full color 마이크로 LED 패널 기술을 공동 개발 중
	한국전자통신연구원	<ul style="list-style-type: none"> 산화물 트랜지스터를 기반으로 100ppi급 연신율 60% 이상의 신축성 백플레인 및 터치-압력-스트레칭 UI 기술 개발 중
	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> Island-serpentine 구조와 다층 박막을 이용하여 터치와 압력을 동시에 측정하는 투명 신축성 센서 어레이 제작
한국기계연구원	<ul style="list-style-type: none"> 2017년 40% 연신이 가능한 롤프린팅 기반의 마이크로 LED 디스플레이 구현 	

11 폴더블 윈도우용 하이브리드 소재

품목명	폴더블 윈도우용 하이브리드 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 폴더블 디스플레이에 사용되는 고경도 가변형 복합 소재 ※ 두께가 매우 얇아 유연하게 접을 수 있는 수준으로, 유연하고 외부 변형에 강한 특성 보유 		출처: https://www.edaily.co.kr/news/read?newsId=01220166622650952&mediaCodeNo=257
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 초박판 유리 기반 특성 향상 기술 (중기) 유무기 복합 소재 제조 기술 (장기) 나노복합 유무기 원천 소재 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 최근 폴더블 디스플레이의 본격적인 상용화에 힘입어, 커버 윈도우 소재로 CPI와 UTG가 각각의 장단점을 바탕으로 경쟁하고 있다. 국내 기업인 도우인시스에서는 독일의 Schott 사에서 공급받는 Thin glass 소재로 UTG를 제작·공급하고 있다. 독일의 Vitron 사에서는 접힘부에 레이저 패터닝을 적용하여 최소 굴곡 반경을 낮추는 구조를 제안, 개발 중이다. 시장 규모 전망 UBI research에 따르면 2020년 1억 6천2백만 달러 수준인 UTG 시장 규모가 2024년에는 8억 8천3백만 달러 규모로, 연평균 54% 수준의 고성장을 전망하고 있다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 현재 폴더블, 롤러블 디스플레이는 프리미엄 제품으로 시장 도입기이다. 하지만 지금과 같은 생산 방식은 수율과 품질 확보 문제로 본격 양산 체제에 대한 대응이 어려운 상황이다. 이에 하이브리드 소재 및 구조 개발을 통해 생산성, 품질, 내구성 등을 추가로 확보해야 한다. 현재 대비 비교 현재, 커버 윈도우로는 CPI와 UTG가 경쟁하고 있다. 하지만 각각의 장점을 통합하여 면 품질과 최소 곡률 반경, 깨짐에 대한 내구성, 표면 경도 등을 모두 충족시키는 방식으로서의 기술·제품·공정 개발이 필요하다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 삼성디스플레이의 폴더블 스마트폰, LG디스플레이의 롤러블 TV 등 형태 가변형 디스플레이는 국내에서 처음 개발되고 상용화되었다. 이를 통해 개발된 커버 윈도우 개발 역량은 글로벌 최고 수준이라고 할 수 있다. 다만, 소재 측면에서 자체 생태계 구축을 위한 노력이 필요하다. 예상 소요 기간 폴더블 혹은 롤러블 제품의 형태와 응용 분야가 결정되고, 제품의 콘셉트 설계에 따른 요구 조건이 설정되면, 소재 선정과 구조·공정 개발, 제품화까지 난이도에 따라 최소 2년에서 5년 수준의 개발 기간이 소요될 것으로 보인다. 	

기술 수준	● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본) 대비 90% 이상 수준									
		<ul style="list-style-type: none"> CPI 기반 소재 기술과 UTG 기반 소재 기술이 상호 경쟁 하에 개발되고 있다. CPI의 낮은 경도는 UTG로 보완하고, UTG의 깨짐 특성은 CPI 기술로 개선할 수 있어 상호 보완적인 기술 개발이 필요하다. Glass fiber reinforced plastic film 기술과 고분자 복합 Nanofiber 기술, 새로운 유·무기 코팅 소재 등의 새로운 기술과 이들의 복합화 기술이 활발히 연구되고 있으며, 신규로 우수한 성능의 무기·하이브리드 소재 기술의 개발이 필요하다. 								
국내외 연구 동향	해외	<table border="1"> <tr> <td>Schott(독일)</td> <td>• UTG 원판 유리 적용 및 화학 가공</td> </tr> <tr> <td>Sumitomo(일본)</td> <td>• 가장 우수한 CPI 원판 유리 제품 생산</td> </tr> <tr> <td>Corning(미국), Asahi(일본), Nippon Electric Glass(일본), Schott(독일)</td> <td>• 박판 원판 유리 개발 진행 ※ 100μm 이하 원판 유리 생산 기술은 Schott 사가 우수한 것으로 예상</td> </tr> <tr> <td>LPKF(독일)</td> <td>• UTG 두께를 내구성 있는 두께로 유지하며, 폴딩 반경을 줄일 수 있는 레이저 가공 및 굴절률 매칭 유무기 복합 소재 제조를 통한 Invisible 기술 개발</td> </tr> </table>	Schott(독일)	• UTG 원판 유리 적용 및 화학 가공	Sumitomo(일본)	• 가장 우수한 CPI 원판 유리 제품 생산	Corning(미국), Asahi(일본), Nippon Electric Glass(일본), Schott(독일)	• 박판 원판 유리 개발 진행 ※ 100μm 이하 원판 유리 생산 기술은 Schott 사가 우수한 것으로 예상	LPKF(독일)	• UTG 두께를 내구성 있는 두께로 유지하며, 폴딩 반경을 줄일 수 있는 레이저 가공 및 굴절률 매칭 유무기 복합 소재 제조를 통한 Invisible 기술 개발
	Schott(독일)	• UTG 원판 유리 적용 및 화학 가공								
	Sumitomo(일본)	• 가장 우수한 CPI 원판 유리 제품 생산								
	Corning(미국), Asahi(일본), Nippon Electric Glass(일본), Schott(독일)	• 박판 원판 유리 개발 진행 ※ 100μm 이하 원판 유리 생산 기술은 Schott 사가 우수한 것으로 예상								
LPKF(독일)	• UTG 두께를 내구성 있는 두께로 유지하며, 폴딩 반경을 줄일 수 있는 레이저 가공 및 굴절률 매칭 유무기 복합 소재 제조를 통한 Invisible 기술 개발									
국내	<ul style="list-style-type: none"> 삼성디스플레이를 필두로 관련 중소·중견 기업에서 CPI, UTG 관련 기술을 개발하고 있다. 									
	<table border="1"> <tr> <td>삼성디스플레이</td> <td>• CPI 및 UTG 최초 상용화 추진</td> </tr> <tr> <td>도우인시스, 유티아이, 켈트로닉스, 제이앤티씨</td> <td>• UTG 가공 및 강화 기술 개발</td> </tr> </table>	삼성디스플레이	• CPI 및 UTG 최초 상용화 추진	도우인시스, 유티아이, 켈트로닉스, 제이앤티씨	• UTG 가공 및 강화 기술 개발					
삼성디스플레이	• CPI 및 UTG 최초 상용화 추진									
도우인시스, 유티아이, 켈트로닉스, 제이앤티씨	• UTG 가공 및 강화 기술 개발									



전기전자

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재		중기				장기			
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34

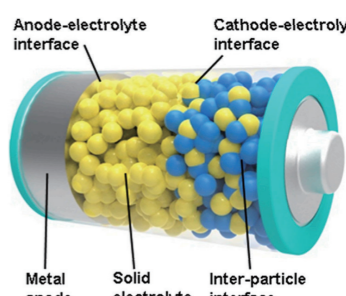
고에너지 고안전화 (전고체 전지)	리튬이온 전지	(전고체 전지) 400Wh/kg급 셀 개발	(전고체 전지) 팩 개발 및 전기차 실증	(전고체 전지) 450Wh/kg급 셀 개발	(전고체 전지) 양산화 및 보급 확대
--------------------------	---------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	----------------------------

미래 선도 품목	전고체 전지용 고체 전해질 (황화물계)	두께: 100 μ m 이온 전도도: 1mS/s	두께: $\leq 30\mu$ m 이온 전도도: $\geq 1\text{mS/s}$ (100kg/batch)	두께: $\leq 20\mu$ m 이온 전도도: $\geq 1\text{mS/s}$ (양산화 생산)
	리튬 금속 음극 소재	두께: 100 μ m 리튬 가역 효율: 99%	두께: $\leq 40\mu$ m 리튬 가역 효율: 99.5%	두께: $\leq 30\mu$ m (또는 Li-free) 리튬 가역 효율: $\geq 99.8\%$

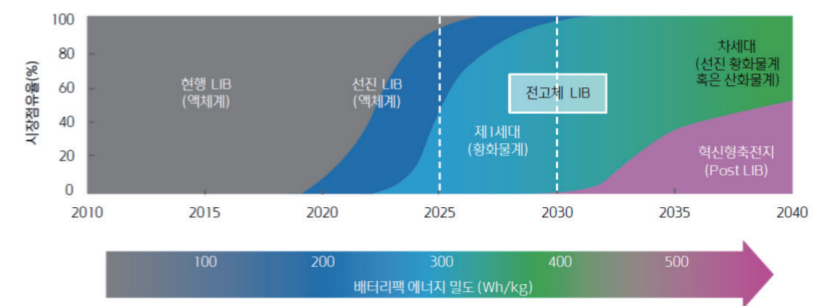
비접촉 센서 (촉각)	전시/홍보용 시제품	차량 등 개인 공간 적용/ 보조적 인터페이스	키오스크 등 개방된 외부 공간/ 보편적 인터페이스
미래 선도 품목	촉각 재현용 초음파 생성기	강도: 20mN/ 35dB SL 초점 크기: 10	강도: 30mN/38.5dB SL 초점 크기: 8.5mm

고전압 고주파 제어 (전자부품)	5G	Beyond 5G/Pre 6G	6G		
	400EV	1,000EV	1,200EV	1,600EV	
미래 선도 품목	초고전압 MLCC (적층세라믹 콘덴서)	내전압: 630V 정격용량: 0.1~1 μ F 온도: -55~125 $^{\circ}$ C, 크기: 5.7 x 5.0mm	내전압: 1,200V 정격용량: 0.1~3 μ F 온도: -55~150 $^{\circ}$ C ($\pm 15\%$) 크기: 4.5 x 3.2mm	내전압: 1,500V 정격용량: 0.1~5 μ F 온도: -55~175 $^{\circ}$ C ($\pm 15\%$) 크기: 4.5 x 3.2mm	내전압: 2,000V 정격용량: 0.1~10 μ F 온도: -55~175 $^{\circ}$ C ($\pm 15\%$) 크기: 3.2 x 2.5mm
	고주파용 단결정 기판 소재	단결정 직경: $\geq 4\text{inch}$ 비저항: $\geq 10^4\Omega\text{cm}$	단결정 직경: $\geq 4\text{inch}$ 비저항: $\geq 10^6\Omega\text{cm}$	단결정 직경: $\geq 6\text{inch}$ 비저항: $\geq 10^7\Omega\text{cm}$	단결정 직경: $\geq 8\text{inch}$ 비저항: $\geq 10^8\Omega\text{cm}$

12 전고체 전지용 고체 전해질(황화물계)

품목명	전고체 전지용 고체 전해질	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 빠른 속도로 이온 전달이 가능한 황화물계의 고체 상태 소재로, 전지에서 이온의 이동 통로인 전해액 역할과 양극 및 음극을 분리하는 전자 절연성 분리막 기능을 동시에 담당하는 소재 <p>※ 종래의 가연성 유기 액체 전해액에 비해 높은 불연성과 난연성의 황화물계 고체 전해질 적용으로 보다 안전한 전지 기술 구현이 가능할 것으로 기대되고 있다.</p>		<p>출처: Xu, Lin, et al. "Interfaces in solid-state lithium batteries." Joule 2.10 (2018): 1991-2015.</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 황화물계 고체 전해질 입도 및 계면 제어 기술 (중기) 전지 제작 공정성 확보를 위한 수분 안정형 고체 전해질 소재 (장기) 초고이온 전도성 혁신 소재 		
미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 <p>기후변화에 대응하기 위하여 에너지 효율이 높은 전기자동차 개발이 활발하게 진행 중이다. 이에 따라 고안전성과 고에너지 밀도의 차세대 전지 개발이 요구되고 있다.</p> <p>일본 도요타자동차와 신에너지산업기술종합개발기구(NEDO)는 황화물계 고체 전해질을 이용한 전고체 전지부터 점차 시장을 형성하여 전기차용 차세대 전지 시장을 점유할 것으로 보이며, 관련 연구개발이 활발하게 수행되고 있다.</p>		
	<ul style="list-style-type: none"> 시장 규모 전망 <p>시장조사 전문기관 HIEDGE의 예측에 따르면, 2030년 전기차 시장은 120만 대 수준으로 급성장하고, 이 중 10%가 전고체 전지를 탑재할 것으로 보인다.</p>		

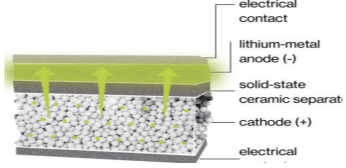
전기차 배터리 장기 기술 및 시장 전망



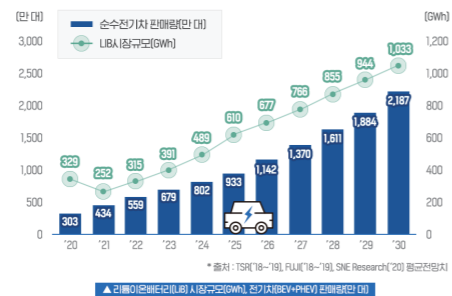
국내외 연구 동향	국내	<ul style="list-style-type: none"> 현대자동차, 삼성SDI, 한국전자기술연구원, 한국과학기술연구원, 한국전기연구원, 연세대학교 등이 고체 전해질 및 전고체 전지 연구를 추진하고 있다. 그러나 선진 기관에 비해 출발이 늦어 원천 기술이 부족하며, 고체 전해질 핵심 기술 및 생산 기술 보유가 미흡한 상황이다. 	
		현대자동차	<ul style="list-style-type: none"> 전고체 전지 연구개발 진행 중
		삼성SDI	<ul style="list-style-type: none"> 고체 전해질 및 셀 구성 기술 개발 중
		한국전자기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> 신규 고체 전해질 합성, 입도 및 계면 제어, 구조제어 기술 연구 고체 전해질 합성 공정 기술, 입도 제어 초기 기술 연구 중
		한국과학기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> 고이온 전도성 고체 전해질 합성 기술 연구
	연세대학교	<ul style="list-style-type: none"> 고이온 전도성 고체 전해질 연구 	

중요성	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 전고체 전지는 보다 높은 안전성을 확보함과 동시에 셀 설계 및 팩 기술 개발을 통해 고에너지 밀도 구현이 가능한 신기술로 주목받고 있다. 고체 전해질은 전고체 전지의 핵심 소재로, 빠른 속도로 리튬이온 전달이 가능하다. 하지만 양극과 음극을 분리하는 전자 절연성 확보가 중요하다. 최근 고체 상태에서도 유기 액체에 못지않은 빠른 속도의 리튬이온을 전달할 수 있는 새로운 구조의 황화물 고체 전해질이 보고되며 활발한 연구가 진행되고 있다. 고체 전해질의 연구개발을 통해 종래 리튬이온 전지 시스템을 초월하는 수준의 고에너지 밀도·고안전성 전고체 전지를 구현한다면 기술적 혁신이 기대되며, 급성장하는 차세대 전지 시장에서 기술적 우위를 바탕으로 시장을 선도해나갈 수 있을 것이다. 현재 대비 비교 종래 리튬이온 전지의 유기 액체전해액은 가연성으로, 화재 등 안전성의 우려가 있었다. 반면, 불연·난연성의 황화물계 고체 전해질은 안전성이 더 높아질 것으로 기대된다. 하지만 아직 연구 초기 단계로, 보다 높은 이온 전도도, 수분 안정성, 적정 입도 제어 및 계면 최적화가 필요한 상황이다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 해외 선진 연구기관에 비해 연구개발을 늦게 시작해 원천 기술이 부족하며, 고체 전해질 핵심 소재 기술과 생산 기술 개발이 미흡한 상황이다. 최근 현대자동차, 삼성SDI 등 대기업이 협력하여 전고체 전지 개발에 박차를 가하고 있으며, 이에 따라 황화물계 고체 전해질 소재 연구도 가속화되고 있다. 또, 종래 이차전지 소재 개발 경험을 가진 업체를 중심으로 집중적인 투자를 진행하고 있어 실현 가능성을 높이고 있다. 예상 소요 기간 기술 확보 및 상용화에는 5~10년 정도 소요될 것으로 예상되나, 정부와 기업의 투자 지원 규모에 따라 가속화도 가능하다. 	
국내외 연구 동향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본) 대비 80% 수준 	
	해외	<ul style="list-style-type: none"> 고체 전해질 분야에 관한 기술은 일본의 도요타자동차, 미쓰이금속광업, 동경공업대학 등이 주도하고 있다. 	
		TOYOTA(일본)	<ul style="list-style-type: none"> 차량 탑재용 고안전성 고에너지 밀도 전고체 전지 개발 중
		Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd. (일본)	<ul style="list-style-type: none"> 아지로드ایت 구조 황화물 고체 전해질 생산 및 입도 제어 기술 개발
		동경공업대학(일본)	<ul style="list-style-type: none"> 상온에서 유기 전해액 동등 수준의 25mS/cm급 초고이온 전도성 황화물 고체 전해질 발표
		Idemitsu Kosan Co., Ltd.(일본)	<ul style="list-style-type: none"> 황화물 전해질 소재 개발, 2009년 1월에 ASSB 출품
Hitachi Zosen(일본)	<ul style="list-style-type: none"> 황화물 고체 전해질을 사용한 시제품 발표(2016) 		

13 리튬 금속 음극 소재


품목명	리튬 금속 음극 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 전고체 전지의 고에너지 밀도를 획기적으로 높인 리튬 금속 음극 소재 전고체 전지용 계면 안정화 리튬 금속 소재 기술 리튬 금속 박형 가공 및 표면 보호층 코팅 기술 무음극 전극용 집전체 및 리튬 전착 계면층 기술 		출처: https://www.technologyreview.com/2021/02/24/1018102/lithium-metal-batteries-electric-vehicle-car/
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단/중기) 리튬 금속 계면 안정화 기술 (단/중기) 리튬 음극 극박화, 대면적화 기술 (장기) 리튬 무음극(Li-free) 기술 		
미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 전기차(EV) 시장이 급속하게 성장함에 따라 이차전지 고에너지 밀도 기술 확보와 고안정성을 만족시키는 차세대 전지 기술의 상용화가 시급한 상황이다. 리튬 이차전지의 에너지 밀도를 높이는 데는 한계에 있으며, 발화에 의한 안전성 문제는 해결이 불가능하다. 이에 전고체 전지가 대안 기술로 떠오르고 있으며, 기술 경쟁이 심화하고 있다. 전고체 전지의 고에너지 밀도화로 경쟁력을 확보하기 위해서는 리튬 금속 음극 적용이 필수적이다. 리튬 금속 음극 적용 시, 수지상 성장 및 계면 부반응을 억제해 신뢰성(수명)과 안전성을 확보해야 한다. 시장 규모 전망 시장조사 전문기관인 SNE 리서치 및 FUJI의 예측에 따르면, 2030년 전기차(BEV+PHEV) 시장은 2,200만 대 수준으로 급성장하고, 이중 약 10%는 리튬 금속을 채용한 고에너지 밀도 리튬 이차전지를 탑재할 것으로 보인다. 		
기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 리튬 금속 음극 소재는 리튬 이차전지 고에너지 밀도 구현에 필수적인 요소로, 미래 리튬-황의 액체 전해질 기반 이차전지뿐만 아니라 전고체 전지 고에너지 밀도 구현을 위한 신기술로 주목받고 있다. 미래 450~500Wh/kg급 고에너지 밀도 리튬 이차전지 구현에 필수적인 소재 기술로, 전 세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 기술의 확보는 급성장하는 차세대 이차전지 시장의 우위를 차지하고 선도해나갈 수 있는 중요한 열쇠이다. 		

Global 전기차동차 및 리튬Battery 수급 전망




기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 현재 대비 비교 종래 리튬 이차전지 음극 소재는 흑연 또는 실리콘계 소재가 사용되었다. 이로 인해 구현 가능한 에너지 밀도는 350Wh/kg 이하로 제한되어 있다. 향후 리튬 금속의 음극 적용은 400Wh/kg 이상, 더 나아가 500Wh/kg의 고에너지 밀도 이차전지 구현에 크게 기여할 것이다. 그러나 리튬 금속의 불균일 성장과 이로 인한 수명 및 안전성 저하 문제, 그리고 박형 및 대면적화 기술은 앞으로 해결해야 할 부분이다. 										
중요성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 해외 선진 연구기관보다 원천 기술이 부족하며, 상용화를 위한 박형 대면적화와 표면 처리에 대한 기술 개발이 미흡한 상황이다. 최근 LG에너지솔루션, 현대자동차 등 대기업이 협력하여 리튬 금속 이차전지 개발에 박차를 가하고 있고, 이에 따라 리튬 금속 음극 소재 연구도 가속화되고 있다. 예상 소요 기간 기술 확보 및 상용화에는 5~10년 정도 소요될 것으로 예상되나, 정부와 기업의 투자 지원 규모에 따라 시기를 앞당기는 것도 가능해 보인다. 										
실현 가능성											
기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 60% 수준 										
국내 외 연구 현황	<ul style="list-style-type: none"> 해외 <table border="1"> <tr> <td>Bolloré (프랑스)</td> <td>카셰어링 전기버스 채용을 목표로 리튬 금속 채용 고분자 전지 개발 중. 60~80도 고온에서의 작동에 한계를 보임</td> </tr> <tr> <td>Solid Power (미국)</td> <td>리튬 금속 음극을 적용한 황화물 기반 전고체 전지 시스템 개발 중임. 현재 2Ah 수준의 프로토타입 전지를 개발하였으며, 대면적화 및 수명 향상을 위한 연구개발 진행 중</td> </tr> <tr> <td>Karlsruhe 연구소 (독일)</td> <td>활발한 황화물 전고체 전지를 개발하는 중이며, 리튬 금속에 적합한 고체 전해질 연구 및 계면 현상 해석도 함께 수행 중</td> </tr> </table> 국내 <ul style="list-style-type: none"> 액체 기반 전지뿐만 아니라 전고체 전지용 리튬 금속 기반 음극에 관한 연구가 부족한 상황이다. 연구소를 중심으로 리튬 박형 기초 기술을 연구하고 있다. 삼성에서 무음극 전극을 적용한 전고체 전지 기술을 논문으로 발표해 기술 구현 가능성을 보고했다. 전고체 전지 상용화 기술을 개발하고 있는 기업은 기초 연구를 진행하고 있을 것으로 추정된다. 국내 연구소 및 대학에서도 기초 기술 검증 및 구현 가능성을 검토하고 있으나, 미래 기술로 장기간의 연구가 필요하다. <table border="1"> <tr> <td>삼성전자, 삼성SDI</td> <td>Ag/C 층을 적용한 무음극 리튬 금속 적용 전고체 전지 기술 가능성 보고</td> </tr> <tr> <td>KETI, KERI, RIST</td> <td>리튬 금속을 채용한 전고체 전지 기술 가능성 탐색 중</td> </tr> </table> 	Bolloré (프랑스)	카셰어링 전기버스 채용을 목표로 리튬 금속 채용 고분자 전지 개발 중. 60~80도 고온에서의 작동에 한계를 보임	Solid Power (미국)	리튬 금속 음극을 적용한 황화물 기반 전고체 전지 시스템 개발 중임. 현재 2Ah 수준의 프로토타입 전지를 개발하였으며, 대면적화 및 수명 향상을 위한 연구개발 진행 중	Karlsruhe 연구소 (독일)	활발한 황화물 전고체 전지를 개발하는 중이며, 리튬 금속에 적합한 고체 전해질 연구 및 계면 현상 해석도 함께 수행 중	삼성전자, 삼성SDI	Ag/C 층을 적용한 무음극 리튬 금속 적용 전고체 전지 기술 가능성 보고	KETI, KERI, RIST	리튬 금속을 채용한 전고체 전지 기술 가능성 탐색 중
Bolloré (프랑스)	카셰어링 전기버스 채용을 목표로 리튬 금속 채용 고분자 전지 개발 중. 60~80도 고온에서의 작동에 한계를 보임										
Solid Power (미국)	리튬 금속 음극을 적용한 황화물 기반 전고체 전지 시스템 개발 중임. 현재 2Ah 수준의 프로토타입 전지를 개발하였으며, 대면적화 및 수명 향상을 위한 연구개발 진행 중										
Karlsruhe 연구소 (독일)	활발한 황화물 전고체 전지를 개발하는 중이며, 리튬 금속에 적합한 고체 전해질 연구 및 계면 현상 해석도 함께 수행 중										
삼성전자, 삼성SDI	Ag/C 층을 적용한 무음극 리튬 금속 적용 전고체 전지 기술 가능성 보고										
KETI, KERI, RIST	리튬 금속을 채용한 전고체 전지 기술 가능성 탐색 중										

14 촉각 재현용 초음파 생성기

품목명	촉각 재현용 초음파 생성기	구분	부품/장비
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 사용자와의 접촉 없이 공중에서 입체적 촉감을 제공하기 위해 공중에 공기압 초점을 생성하는 디바이스 <p>지향성 스피커 기술을 기반으로 다수의 초음파 트랜스듀서를 협력적으로 구동하여 원하는 위치에 사람이 느낄 수 있는 다수의 공기압 초점을 생성하는 장치</p>	 <p>출처: https://www.etri.re.kr/webzine/20190215/sub02.html</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (중기) 고효율 초음파 트랜스듀서 제조 기술 개발 2 (중기) 초음파 모듈 제작 및 제어 기술 개발 3 (중기) 비접촉식 촉감 표현 기술 개발 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>최근 차량, 키오스크, 정보 단말기 등에서 물리적 버튼을 대신해 터치스크린이 사용되고, HMD를 비롯한 AR/VR 기기가 늘어나고 있다. 이에 따라 조작 피드백을 전달하고 실감 콘텐츠를 표현하기 위한 햅틱 인터페이스의 수요가 급증하고 있다.</p> <p>차량 내에서 운전자를 위한 인포테인먼트 조작 시스템에 적용하기 위해 보쉬, 푸조, 현대자동차 등 국내외 많은 관련 기업이 특허출원 및 시제품을 출시하고 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 <p>햅틱 기술 시장은 2021~2026년 44.34억 달러에서 46.01억 달러 규모로 성장할 것으로 예측된다. VR, AR, MR 같은 비접촉 햅틱 시장은 2026년 4.1억 달러 규모로, 전체 시장의 8.7%를 차지할 것으로 전망하고 있다. (Haptics 2020~2030 Technologies, Markets and Players, IDTechEx Research, 2020)</p>	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>비접촉식 햅틱 기술은 사용자가 화면에 직접 손을 대지 않을 뿐 아니라, 별도의 장비를 착용하지 않고도 공간적 범위에서 부피감과 재질감을 전달할 수 있어 동작 범위가 넓고 정밀도가 높으며 안전성 또한 우수한 기술이다.</p> <p>착용할 때의 불편함이나 신체 접촉에 따른 위생 문제가 없어, 다수가 이용하는 기기에 적합하다.</p> <p>비대면 주문을 위한 키오스크 및 체험형 사이니지, VR·AR 체험관에서의 시범적 적용이 증가하는 추세로, 홀로그래픽 디스플레이와 함께 적용되어 VR·AR 전시, 체험, 학습 환경을 구성할 수 있을 것으로 예측된다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 <p>현재, 접촉 방식 햅틱 관련 연구는 상용화 단계이다. 비접촉 방식 햅틱 기술은 공기 분사, 레이저, 자력 등을 이용한 연구가 진행되고 있다. 그러나 정밀도, 안전성 등의 문제로 실험실 수준에 그치고 있으며, 초음파 초점 방식만이 상용화로 고려되고 있다.</p>	


중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>현재 연구소·대학 주도의 국내 연구 기반이 갖춰져 있으나, 초지향성 스피커와 주요 기술적 특성을 공유하고 있어 국내 제조사와의 공동 연구·개발 시 10년 이내 제품화 경쟁력 확보가 가능하다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 <p>현재 기술이 지닌 특성을 시장에 맞게 개선한다면, 2026년 이후 개인화된 공간에서 보조적으로, 2030년 이후에는 보편적으로 사용 가능해질 것으로 예측된다.</p>						
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(영국/일본) 대비 70% 수준 						
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 차세대 비접촉 햅틱 분야의 기술은 해외 기업 Ultraleap과 도쿄대학교가 주도하고 있다. 						
		<table border="1"> <tr> <td>Ultraleap (영국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 비접촉 햅틱 디바이스 개발 키트(7,500달러)와 키오스크, 전시, 차량 내 정보 시스템에 적용된 프로토타입 출시 </td> </tr> <tr> <td>도쿄대학교 (일본)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 다수의 초음파 모듈을 정육면체 형태로 배치하여 홀로그래픽 디스플레이와 연동한 비접촉 햅틱 연구 진행 </td> </tr> </table>	Ultraleap (영국)	<ul style="list-style-type: none"> • 비접촉 햅틱 디바이스 개발 키트(7,500달러)와 키오스크, 전시, 차량 내 정보 시스템에 적용된 프로토타입 출시 	도쿄대학교 (일본)	<ul style="list-style-type: none"> • 다수의 초음파 모듈을 정육면체 형태로 배치하여 홀로그래픽 디스플레이와 연동한 비접촉 햅틱 연구 진행 		
	Ultraleap (영국)	<ul style="list-style-type: none"> • 비접촉 햅틱 디바이스 개발 키트(7,500달러)와 키오스크, 전시, 차량 내 정보 시스템에 적용된 프로토타입 출시 						
	도쿄대학교 (일본)	<ul style="list-style-type: none"> • 다수의 초음파 모듈을 정육면체 형태로 배치하여 홀로그래픽 디스플레이와 연동한 비접촉 햅틱 연구 진행 						
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● KAIST, 경희대학교, 한국전자통신연구원(ETRI), 한국전자기술연구원(KETI) 등 대학과 연구원 주도로 초음파 기반 비접촉식 햅틱 기술 관련 연구가 추진되고 있다. 							
	<table border="1"> <tr> <td>KAIST</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 초음파 기반 비접촉식 햅틱 기술을 이용한 유체 표현 기법 개발 </td> </tr> <tr> <td>경희대학교</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 접촉 및 비접촉 햅틱 관련 콘텐츠 연구 진행 중 </td> </tr> <tr> <td>ETRI</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 초음파 초점 제어 알고리즘 및 VR 연동 비접촉식 촉각 콘텐츠 개발 </td> </tr> <tr> <td>KETI</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 압전 소자를 이용한 접촉 햅틱 모듈 개발 및 비접촉 압전 소자 연구 </td> </tr> </table>	KAIST	<ul style="list-style-type: none"> • 초음파 기반 비접촉식 햅틱 기술을 이용한 유체 표현 기법 개발 	경희대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 접촉 및 비접촉 햅틱 관련 콘텐츠 연구 진행 중 	ETRI	<ul style="list-style-type: none"> • 초음파 초점 제어 알고리즘 및 VR 연동 비접촉식 촉각 콘텐츠 개발 	KETI
KAIST	<ul style="list-style-type: none"> • 초음파 기반 비접촉식 햅틱 기술을 이용한 유체 표현 기법 개발 							
경희대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 접촉 및 비접촉 햅틱 관련 콘텐츠 연구 진행 중 							
ETRI	<ul style="list-style-type: none"> • 초음파 초점 제어 알고리즘 및 VR 연동 비접촉식 촉각 콘텐츠 개발 							
KETI	<ul style="list-style-type: none"> • 압전 소자를 이용한 접촉 햅틱 모듈 개발 및 비접촉 압전 소자 연구 							

15 초고전압 MLCC(적층 세라믹 콘덴서)

품목명	초고전압 MLCC	구분	소재/부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 수백 층 이상의 세라믹 유전체와 내부 금속 전극을 상호 교차하여 적절한 이종 다층 구조의 고용량 커패시터로, 초고전압·고용량의 전기 에너지를 저장·분산시키는 용도로 사용되는 전자 소자 	 <p>출처: http://www.samwha.com/capacitor/news/news_product4.aspx</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (중기) 세라믹 유전체 기술 개발 (중기) 내·외부 전극 고밀도 제어 기술 개발 (중기) MLCC 공정 기술 개발 (중기) MLCC 집적 모듈 기술 개발 		
주요 정보	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 전기자동차 및 자율주행 자동차 시장 급성장과 UAM, 드론, 무인 항공체 등 다양한 모빌리티 시장의 출현으로 세라믹 유전체 소재를 기반으로 한 초고전압 및 고용량 전장용 MLCC에 대한 연구가 진행되고 있다. 시장 규모 전망 전장용 MLCC 시장은 2019년 33억 달러에서 2022년 57억 달러 규모로 성장할 것으로 전망하고 있다. (2019 삼성전기) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 1,000V급 전기차 충전 시스템에 대응하는 1,200V 이상 초고전압 MLCC 경우, IT 및 일반 전장용 MLCC보다 높은 전계에서의 안정적인 용량을 구현해야 한다. 이는 High CV를 지닌 유전 소재 신규 모조성 및 분위기 소성 기술과 수십 nm~μm급 입자를 가진 내·외부 전극 및 용량 제어를 위한 고내구성 집적화 기술을 바탕으로 고도화된 기술이 적용된 공정을 통해서만 개발과 생산이 가능하다. 현재 대비 비교 현재는 1,200V 이상의 초고전압에 대응 가능한 MLCC 제품이나 기술은 없는 상황이다. 전기차 충전 시스템의 효율을 높인 고전압 충전 개발에 대응하기 위한 초고전압 MLCC는 전기차 초고속 충전, 전기차 충전 스테이션, UAM 등의 차세대 핵심 산업군에 필수적으로 요구될 전자부품 기술이다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 국내의 경우, IT 기기용 MLCC 개발은 활발하나 전장용 MLCC에 대한 기술 개발 및 상용화가 미미한 상황이다. 최근 대일 무역 의존 탈피를 위하여 자동차용 인포테인먼트, 인버터용 MLCC를 국산화하기 위해 연구개발이 진행되고 있다. <p>하지만, 전기 및 하이브리드 자동차의 고전압·고속 충전 시스템에 대응하는 초고전압 MLCC에 대한 개발은 이뤄지지 않고 있다. 정부 차원에서 산·학·연을 통한 소재·공정·부품 등 핵심 요소 기술을 지원하고 수요 기업을 통한 실증을 확보한다면, 초고전압 전장용 MLCC 기술과 시장을 선도적으로 주도할 수 있을 것이다.</p>	

주요 정보	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 예상 소요 기간 MLCC 분야의 국내 기반 기술과 인력, 인프라를 적극적으로 활용하여 해당 초고전압 MLCC 기술의 개발을 착수한다면, 4~5년 이내에 1,200V 구동 초고전압 MLCC 요소 기술을 확보하고, 이후 1~3년 이내에 제품을 양산 가능할 것으로 기대된다. 																
	국내외 연구 동향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본) 대비 70% 수준 															
해외		<ul style="list-style-type: none"> 차세대 전장용 MLCC 분야의 기술은 해외 기업 Murata, TDK 등이 주도하고 있다. 특히, 일본의 경우 전장 부품 업체와 완성차 업체 간 긴밀한 협업을 통해 글로벌 시장 표준을 선도하고 있다. 																
		<table border="1"> <tr> <td>Murata, TDK(일본)</td> <td>IT용 MLCC 생산 물량을 줄이고, 전장용 MLCC 생산 능력을 확대하면서 글로벌 점유율 확장 중</td> </tr> <tr> <td>Kyocera(일본)</td> <td>MLCC 고온 안정성 및 신뢰성 관련 연구</td> </tr> <tr> <td>JFE mineral(일본)</td> <td>초미립 니켈 전극 분말 고용점화 연구 중 (Ni + additive)</td> </tr> <tr> <td>Shoei chemical (일본)</td> <td>Ni, Cu, Cr, Sn, Mn, Co 등의 원소로 합계를 통해 소고용점화 관련 연구 중</td> </tr> </table>	Murata, TDK(일본)	IT용 MLCC 생산 물량을 줄이고, 전장용 MLCC 생산 능력을 확대하면서 글로벌 점유율 확장 중	Kyocera(일본)	MLCC 고온 안정성 및 신뢰성 관련 연구	JFE mineral(일본)	초미립 니켈 전극 분말 고용점화 연구 중 (Ni + additive)	Shoei chemical (일본)	Ni, Cu, Cr, Sn, Mn, Co 등의 원소로 합계를 통해 소고용점화 관련 연구 중								
		Murata, TDK(일본)	IT용 MLCC 생산 물량을 줄이고, 전장용 MLCC 생산 능력을 확대하면서 글로벌 점유율 확장 중															
		Kyocera(일본)	MLCC 고온 안정성 및 신뢰성 관련 연구															
JFE mineral(일본)		초미립 니켈 전극 분말 고용점화 연구 중 (Ni + additive)																
Shoei chemical (일본)		Ni, Cu, Cr, Sn, Mn, Co 등의 원소로 합계를 통해 소고용점화 관련 연구 중																
국내		<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 삼성전기, 삼화콘덴서 등이 전장용 MLCC를 연구하고 있으나 선행개발 단계이며, 양산 실적은 미비하다. 																
		<table border="1"> <tr> <td>삼성전기</td> <td>중국 생산법인(텐진 신공장) 셋업 완료 및 시험 생산 진행 중</td> </tr> <tr> <td>삼화콘덴서공업</td> <td>제2공장 증축으로 전장용 MLCC 일부 양산 중</td> </tr> <tr> <td>경상대학교</td> <td>전장용 BaTiO₃ 분말과 소성 공정에 대한 연구</td> </tr> <tr> <td>고려대학교</td> <td>전장용 X9R급 BaTiO₃ 나노 구조에 대한 연구</td> </tr> <tr> <td>한국세라믹기술원</td> <td>전장 MLCC용 액상 첨가제 및 유전체 분말 개발 중</td> </tr> <tr> <td>한국전자기술연구원</td> <td>고전압·고용량 MLCC용 터미널 및 모듈화 기술 개발 중</td> </tr> <tr> <td>한국재료연구원</td> <td>건식 공정 기반의(분무열 분해, RF plasma 공정) 구형의 고품위 전극 분말 합성 및 입도 제어 기술 연구</td> </tr> <tr> <td>한국생산기술연구원</td> <td>조성 설계, 반응 경로 기반 나노 스케일 입자 구조 설계, RF plasma 이용 니켈 분말 합성 기술 연구</td> </tr> </table>	삼성전기	중국 생산법인(텐진 신공장) 셋업 완료 및 시험 생산 진행 중	삼화콘덴서공업	제2공장 증축으로 전장용 MLCC 일부 양산 중	경상대학교	전장용 BaTiO ₃ 분말과 소성 공정에 대한 연구	고려대학교	전장용 X9R급 BaTiO ₃ 나노 구조에 대한 연구	한국세라믹기술원	전장 MLCC용 액상 첨가제 및 유전체 분말 개발 중	한국전자기술연구원	고전압·고용량 MLCC용 터미널 및 모듈화 기술 개발 중	한국재료연구원	건식 공정 기반의(분무열 분해, RF plasma 공정) 구형의 고품위 전극 분말 합성 및 입도 제어 기술 연구	한국생산기술연구원	조성 설계, 반응 경로 기반 나노 스케일 입자 구조 설계, RF plasma 이용 니켈 분말 합성 기술 연구
		삼성전기	중국 생산법인(텐진 신공장) 셋업 완료 및 시험 생산 진행 중															
	삼화콘덴서공업	제2공장 증축으로 전장용 MLCC 일부 양산 중																
	경상대학교	전장용 BaTiO ₃ 분말과 소성 공정에 대한 연구																
	고려대학교	전장용 X9R급 BaTiO ₃ 나노 구조에 대한 연구																
한국세라믹기술원	전장 MLCC용 액상 첨가제 및 유전체 분말 개발 중																	
한국전자기술연구원	고전압·고용량 MLCC용 터미널 및 모듈화 기술 개발 중																	
한국재료연구원	건식 공정 기반의(분무열 분해, RF plasma 공정) 구형의 고품위 전극 분말 합성 및 입도 제어 기술 연구																	
한국생산기술연구원	조성 설계, 반응 경로 기반 나노 스케일 입자 구조 설계, RF plasma 이용 니켈 분말 합성 기술 연구																	

16 고주파용 단결정 기판 소재(SiC)

품목명	고주파용 단결정 기판 소재	구분	소재	
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 고성능 GaN 에피 RF 통신 소자 구현을 위한 반절연 (Semi-Insulating, SI) SiC 기판 소재 ※ 종래 GaN/Si 소자 또는 GaN/Sapphire 소자보다 신뢰성이 높고, 고성능을 발휘할 수 있는 기판 소재 		출처: http://www.thelec.kr/news/article_View.html?dxno=6645	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (중기) 고순도 반절연(HPSI)-SiC 단결정 성장용 고순도 원료 분말 제조 기술 개발 (중기) 6인치급 비저항 10⁶ ohm·cm 이상인 HPSI-SiC 단결정 성장 및 웨이퍼 제조 기술 개발 			
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 최근 구조적인 문제로 통신 및 파워 반도체 등 차량용 반도체 품귀 현상이 장기화되고 있어, 미국 및 EU 지역 기업들이 공격적인 투자에 나서고 있다. 미래 자율주행 자동차 등에 적용되는 GaN 고주파 통신 소자의 폭발적 성장과 차량용 반도체 품귀 현상 지속이 예상됨에 따라, 향후 시장성 높은 분야가 될 전망이다. 시장 규모 전망 GaN 고주파 통신 소자 시장은 2020년 7.45억 달러 규모에서 연평균 22% 성장하여, 2025년이면 19.9억 달러에 달할 것으로 보인다. 이에 따라 차세대 통신 소자 기판시장도 2020년 2.5억 달러에서 2025년 5.5억 달러 규모로 성장하리라 예측하고 있다. (Yole Development, 2016) 		
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 RF 통신 소자로 사용되는 GaN/SI-SiC 소자는 GaN/Si 소자 또는 GaN/sapphire 소자보다 열전도도가 우수하고, 결정격자 정수의 차이가 작아 GaN 에피 품질이 우수하며, 고성능 고신뢰성의 통신 소자가 가능하다. 통신 소자용 반절연 SiC 기판은 바나듐 도핑(VDSI)하거나 고순화(HPSI)를 통해 구현할 수 있다. 고순도 반절연(HPSI) SiC 기판은 바나듐 도핑 반절연(VDSI) SiC 기판 대비 신뢰성이나 성능 측면에서 진일보한 기술이다. 현재 대비 비교 HPSI-SiC 기판은 종래의 VDSI-SiC보다 높은 기판 신뢰성과 고전압/고주파의 동작 특성을 갖는다. 따라서 통신 소자의 레퍼런스 제품으로 적용하고 있으나 국내에서는 아직 개발 이력이 없다. 		
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 SiC 단결정 성장 기술은 개발 기간에 10여 년 이상이 걸릴 만큼 진입장벽이 높은 기술이다. 국내에서는 산업통상자원부에서 국가과제로 HPSI-SiC 기판의 선행연구라고 할 수 있는 전도성 SiC 기판과 VDSI-SiC 기판 연구개발을 수행한 바 있어 상당한 기술과 인프라, 인력이 확보된 상태이다. 예상 소요 기간 국내에서 해당 소재의 기술 개발에 착수한다면, 6~7년 이내에 6inch급 고순도 반절연(HPSI) 단결정 기판 소재 기술을 확보할 수 있을 것이다. 		

기술 수준	기술 수준	
	● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 40% 수준	
해외	Cree-Wolfspeed (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 시장에서 널리 사용 중인 10⁶ ohm·cm 이상의 4/6inch급 고순도 반절 (HPSI) 기판 공급 중. 8inch급 전도성 기판의 품질 고도화와 양산 능력 확대에 주력하고 있으며, 시장 변화에 따라 8inch급 통신용 기판 개발도 가능할 것으로 전망
	II-VI(미국)	<ul style="list-style-type: none"> HPSI가 아닌 바나듐 도핑 반절연기판(VDSI 기판) 제조 기술을 보유하고 있으며, 2019년 세계 최초로 8inch급 통신용 VDSI-SiC 기판 발표
	SICC(중국)	<ul style="list-style-type: none"> 산동대학교 기술로 설립된 기업으로, 중국 정부의 전폭적인 지원으로 전력 반도체 및 통신 반도체 기판 기술을 축적하고, VDSI 기판에 이어 HPSI 기판 기술을 개발해, 4inch급 HPSI-SiC 기판 시제품 공급 중
국내	<ul style="list-style-type: none"> 국내에는 PVT법으로 전도성 SiC 기판을 개발하는 기업(POSCO, SKC)과 용액법으로 SiC 단결정을 개발하는 기업(일진디스플레이, LG화학)이 있다. 반절연 기판의 경우 유일하게 사파이어테크놀로지(STC)가 2010년부터 6인치급의 VDSI-SiC 반절연 기판 개발을 착수했으나 경영 악화로 중단했다. 	
	사파이어 테크놀로지	<ul style="list-style-type: none"> 2010년부터 산업통상자원부 전략적 핵심 소재 기술 개발 사업으로 통신용 VDSI-SiC 기판을 개발한 바 있으나 경영 악화로 과제 중단(기업도 해체된 상태)
	한국세라믹기술원	<ul style="list-style-type: none"> VDSI 반절연 기판용 원료 도핑 제어 기술 및 결정 성장 기술 연구
	동의대학교	<ul style="list-style-type: none"> VDSI 반절연 기판용 SiC 단결정 성장 기술 연구

자동차

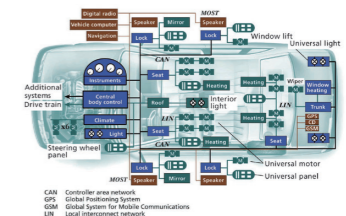
기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

자율주행	Level 3	Level 4	Level 5 자율주행
융합 센서의 통합 신호 처리용 AP	최대 동작 거리 100m	최대 동작 거리 200m	최대 동작 거리 ≥300m
4D 센싱용 라이다 모듈	최대 동작 거리 100m	최대 동작 거리 200m	최대 동작 거리 ≥300m
V2X 통신 반도체 소재	-	손실 계수 10% (열경화성 예측시 수치 대비)	손실 계수 ≤7% (열경화성 예측시 수치 대비)

친환경·경량화 (전기차 수소차)	전비 6km/kWh	전비 7.0km/kWh	전비 7.5km/kWh 이상
	중형차급 전기차 중량 1,500kg	중형차급 전기차 중량 1,050kg	중형차급 전기차 중량 1,000kg 이하
	수소차 기준 내구 16만km	수소차 기준 내구 30만km	수소차 기준 내구 30만km 이상

미래선도품목	차량용 구조 전지 시스템	-	구조 전지 용량 50Wh/kg	구조 전지 용량 ≥60Wh/kg
	고전압 고출력 전력 반도체용 방열기판	전량 수입 열 전도도 90W/mK	열 전도도 130W/mK	열 전도도 ≥170W/mK
	무윤활 환경 저마찰 고내구 구동 모듈	윤활 마찰	무윤활 마찰 0.03	무윤활 마찰 0.02 이하

17 융합 센서의 통합 신호 처리용 AP(MCU 통합 등)

품목명	융합 센서의 통합 신호 처리용 AP	구분	부품/장비
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 기존 높은 신뢰성의 요구사항을 만족하면서 차세대 자동차에 대응할 수 있는 대용량 영상, 소리 및 LiDAR, 압력, 온도 반도체 센서들의 통합 신호 처리로 능동 대처가 가능한 도메인 컨트롤 방식의 AP(MCU 통합 등) 		 <p>출처: https://ieeexplore.ieee.org/document/976923 https://www.researchgate.net/publication/2965671_Expanding_automotive_electronic_systems</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (중기) 상용화 가능한 수준 차량용 고신뢰도 MCU IP (장기) 차량용 모듈에 장착 가능한 오류 능동 대처형 ECU 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 자동차의 고기능화, 지능화, 전동화 추세에 따라 부품의 전자화 지능화 차량용 반도체 사용 범위가 갈수록 확장되고 있다. 세계 차량용 반도체는 2021년 3분기까지 공급 부족이 확실시된다. 다수의 완성차업체는 부분 생산 중단 상태이며, 이는 장기간 지속될 전망이다. 시장 규모 전망 차량용 반도체 글로벌 시장 규모는 2020년 380억 달러로 반도체 시장의 9.6%를 차지하고 있으며, 연평균 10.1%씩 상승해 2026년이면 2026년 676억 달러에 달할 것이다. (IHS Market, 2020) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 전기차와 ADAS, 자율주행 자동차의 발전에 따라, 영상과 소리, LiDAR, 압력, 온도 등 센서의 개수가 많아지고, 인지, 제어의 종류가 늘어나는 만큼 차량에 장착되는 반도체 수도 함께 늘어나고 있다. 또한, 통합 신호 처리와 인지 및 제어 판단의 역할을 담당하는 ECU의 개수도 급속히 증가하고 있다. ECU의 개수가 늘어나는 만큼 신호 획득 및 제어의 복잡도가 증가하며, 오류와 고장 가능성도 커진다. 따라서 통합 신호 처리와 인지 판단 역할, 통합 제어의 역할을 하는 고성능 ECU가 필요하다. 현재 대비 비교 현재 차량 1대당 약 400여 개의 반도체가 장착되고 있으나, 향후 2,000개까지 증가할 것으로 전망된다. 따라서 이를 통합 관리할 수 있는 ECU 개발이 필요하다. 차량 내 늘어나는 반도체 센서의 개수와 데이터 양의 증가로 차량 네트워크에 부하가 커지는 데 대한 대책 마련도 필요하다. 	

18 4D 센싱용 라이다 모듈(FMCW 방식)

품목명	4D 센싱용 라이다 모듈	구분	부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 4D(3D+속도) 센싱을 통한 사물 인식, 공간 위치 인식, 위험 상황 감지 등 자율주행을 가능하게 하는 주파수 변조 방식(FMCW)의 자율차용 차세대 라이다 부품 소재 ※ FMCW 송수신부 부품 소재 기술 및 4D 센싱 시스템 	 <p>출처: http://www.f4news.com/2020/11/03/3-year-old-aeva-goes-public-at-2-1b-valuation/</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (장기) FMCW라이다 송신부 부품 소재 기술 (장기) FMCW라이다 수신부 부품 소재 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 기술 선진국들은 자율주행 미래 자동차의 기술 요건인 자율주행 4~5단계를 만족시키면서 1세대 ToF 방식 라이다의 문제점을 해결할 대안으로 '차세대 FMCW 라이다'를 핵심 기술로 주목하고, 공격적으로 R&D에 투자하고 있다. 시장 규모 전망 자율차용 라이다 부품 시장은 연평균 55%의 성장률을 기록하고 있으며, 2025년 10조 원 규모가 될 것으로 예상된다. 또한, 자율차 주행 보조용 라이다 부품 시장은 연평균 114%의 경이로운 성장률을 보일 것으로 예상되며, 시장 규모는 2025년 3조 5천억 원에 이를 전망이다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 주파수 변조 방식인 FMCW 라이다는 1세대 ToF 방식 라이다의 단점인 차량 간 간섭, 태양광 간섭, 근거리 동작, 낮은 해상도 등을 극복할 수 있는 고해상도, 주-야간 동시 동작, 장거리 동작은 물론, 대상 물체의 속도까지 측정 가능한 4D(3D+속도) 기능을 갖춘 최적의 자율주행용 라이다이다. 1,550nm 대역 저출력 송신부 레이저 사용으로 Eye-safety를 40배 이상 확보할 수 있다. 현재 대비 비교 현재는 ToF 방식 라이다 개발이 대부분이다. 해외의 경우 상용화된 제품이 나오고 있지만, ToF 방식의 한계 때문에 미래 자율차에 적용하기는 어려울 것으로 보인다. FMCW 라이다 기술은 전 세계적으로 10여 개 정도의 기업과 연구소에서 공격적인 R&D와 상용화를 위한 기술을 개발하고 있으나, 아직 초기 단계로 볼 수 있다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 미국, 독일, 일본에서는 이미 1세대 ToF 라이다를 상용화했으나 국내에서는 아직 개발조차 미흡한 수준이다. 하지만 차세대 라이다 모듈인 FMCW 라이다 기술은 세계적으로 개발 초기 단계이므로 핵심 기술 개발을 통한 부품·소재의 국산 자립화가 충분히 가능할 것으로 보인다. 또한, 세계 최고 수준의 국내 반도체 공정 기술과 연계할 경우, 자립 가능성이 큰 품목이라 할 수 있다. • 송신부 고성능 레이저 기술 역량 보유(국내 연구소, 대학) • 수신부 소자 및 광학 기술 역량 보유(국내 연구소, 대학) • 신호 처리 및 시스템 집적화 기술 보유(국내 연구소, 대학, 기업) 	

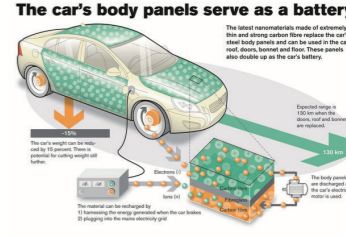
해외	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(유럽, 일본) 대비 30% 수준 						
	기술 현황	<ul style="list-style-type: none"> 미국 테슬라는 독자적으로 반도체를 개발해 경쟁력 확보에 나섰으며, 독일 폭스바겐, 다임러, BMW 역시 NXP, 인피니언 같은 반도체 기업과 협력을 강화하고 있다. 최근 ADAS 시스템을 위한 센서퓨전 기술 도입을 진행 중이다. 						
국내	연구 동향	<table border="1"> <tr> <td>Volkswagen(독일)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어와 데이터가 자동차의 가치를 좌우하게 될 '모빌리티 서비스(MaaS, Mobility as a Service)'의 본격화에 대비하기 위한 액추에이터와 센서 등 차량용 전자 플랫폼 혁신에 주력 </td> </tr> <tr> <td>Bosch(독일)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 차량용 MEMS 센서를 통합 복합 센서로 개발하는 전략 수립 압력, 온도, 중력, 가속도, 광학, 주파수 감지를 통합하는 R&D 진행 </td> </tr> <tr> <td>Qualcomm(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 3세대 퀄컴 스냅드래곤 오토모티브(Qualcomm Snapdragon Automotive)에 퀄컴 820A 기반의 통합 ECU 발표 </td> </tr> </table>	Volkswagen(독일)	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어와 데이터가 자동차의 가치를 좌우하게 될 '모빌리티 서비스(MaaS, Mobility as a Service)'의 본격화에 대비하기 위한 액추에이터와 센서 등 차량용 전자 플랫폼 혁신에 주력 	Bosch(독일)	<ul style="list-style-type: none"> 차량용 MEMS 센서를 통합 복합 센서로 개발하는 전략 수립 압력, 온도, 중력, 가속도, 광학, 주파수 감지를 통합하는 R&D 진행 	Qualcomm(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 3세대 퀄컴 스냅드래곤 오토모티브(Qualcomm Snapdragon Automotive)에 퀄컴 820A 기반의 통합 ECU 발표
		Volkswagen(독일)	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어와 데이터가 자동차의 가치를 좌우하게 될 '모빌리티 서비스(MaaS, Mobility as a Service)'의 본격화에 대비하기 위한 액추에이터와 센서 등 차량용 전자 플랫폼 혁신에 주력 					
		Bosch(독일)	<ul style="list-style-type: none"> 차량용 MEMS 센서를 통합 복합 센서로 개발하는 전략 수립 압력, 온도, 중력, 가속도, 광학, 주파수 감지를 통합하는 R&D 진행 					
Qualcomm(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 3세대 퀄컴 스냅드래곤 오토모티브(Qualcomm Snapdragon Automotive)에 퀄컴 820A 기반의 통합 ECU 발표 							
<ul style="list-style-type: none"> 현대자동차, 삼성전자, SK하이닉스, LG전자 등 세계 순위권 내의 완성차 제조, 반도체 제조 및 생산, 전기차용 배터리 기업을 보유하고 있음에도 레벨3 이상의 자율주행을 구현할 수 있는 센서, 통신, 제어 연산용 반도체 생산 비중은 낮다. 								
<table border="1"> <tr> <td>현대모비스</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 2017년, 기존 BCM(Body Control Module, 차체 제어 모듈), 스마트키, TPMS(Tire Pressure Monitoring System, 타이어 공기압 경보장치), PAS(Parking Assist System, 주차 보조 시스템) 등 4개의 ECU를 하나로 통합한 통합 바디 제어기(Integrated Body Unit, IBU) 개발 </td> </tr> <tr> <td>어보브반도체</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 2021년 라이다용 MCU(A31Q213)와 주차 보조 시스템(PAS)용 MCU(A94Q216), 모바일 기기 충전용 MCU(A94Q427) 연내 공급 계획 발표 </td> </tr> </table>	현대모비스	<ul style="list-style-type: none"> 2017년, 기존 BCM(Body Control Module, 차체 제어 모듈), 스마트키, TPMS(Tire Pressure Monitoring System, 타이어 공기압 경보장치), PAS(Parking Assist System, 주차 보조 시스템) 등 4개의 ECU를 하나로 통합한 통합 바디 제어기(Integrated Body Unit, IBU) 개발 	어보브반도체	<ul style="list-style-type: none"> 2021년 라이다용 MCU(A31Q213)와 주차 보조 시스템(PAS)용 MCU(A94Q216), 모바일 기기 충전용 MCU(A94Q427) 연내 공급 계획 발표 				
현대모비스	<ul style="list-style-type: none"> 2017년, 기존 BCM(Body Control Module, 차체 제어 모듈), 스마트키, TPMS(Tire Pressure Monitoring System, 타이어 공기압 경보장치), PAS(Parking Assist System, 주차 보조 시스템) 등 4개의 ECU를 하나로 통합한 통합 바디 제어기(Integrated Body Unit, IBU) 개발 							
어보브반도체	<ul style="list-style-type: none"> 2021년 라이다용 MCU(A31Q213)와 주차 보조 시스템(PAS)용 MCU(A94Q216), 모바일 기기 충전용 MCU(A94Q427) 연내 공급 계획 발표 							

19 V2X(Vehicle to everything) 통신 반도체 소재

품목명	V2X 통신 반도체 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 자율주행 및 차량용, 통신용 반도체 신호 손실 최소화를 위한 패키징 Molding·기판용 열경화성 고분자 복합 소재 ※ 기존의 열경화성 에폭시 수지 대비 1/10 수준의 손실 계수(Df)를 가지며, 내구성 및 신뢰성을 지닌 열경화성 고분자 복합 수지 	 <p>출처: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-78219-5_10</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 고분자 원소재 합성 기술 나노 세라믹 원소재 합성 기술 복합(Compounding)화 기술 고분자 복합체 특성 해석 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 V2X 기술 시장을 선도하는 미국은 2022년까지 모든 신차에 V2V 통신 장비를 의무화한다. V2X 통신 모듈을 장착한 신차는 연평균 30%의 고성장을 지속하고 있다. V2X 통신을 위한 AI 컴퓨팅 기술에 기반을 둔 mmWave(28GHz 이상) 주파수 대역 사용을 위해 통신용 반도체, 기판 소재 및 패키징 방식까지도 달라질 것으로 예상된다. 시장 규모 전망 차량 반도체 시장 규모는 2019년 410억 달러에서 2040년 최대 2,000억 달러로, 약 4배의 성장이 전망된다. 이 중 소재 관련 패키징 시장 규모는 2019년 176억 달러에서 2024년에는 208억 달러까지 성장, 연평균 성장률 3.4%를 예상하고 있다. 특히, 고분자 수지 기반의 기판 절연 소재는 5% 이상 급증할 것으로 보인다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 6G 기술은 1Tbps급 전송 속도, 저궤도 위성통신 기반 공중 10km까지 확대된 통신 커버리지 등 5G를 뛰어넘는 기술적 진화를 통해 실시간 원격 수술, 완전 자율주행 자동차, 플라잉 카 등 고도화된 융합 서비스를 대중화할 수 있다. (2028~2030년경 상용화 예상) 6G를 포함한 차량용 고주파(mmWave, Terahertz 등)는 그 특성상 직진성이 강하나 전송 손실이 매우 크다. 전파를 주고받는 통신 부품 특히, 안테나 같은 통신 Chip Packaging에 사용되는 고분자 수지는 손실률이 매우 중요하다. (현 열경화성 수지 손실 계수 0.01) 현재 대비 비교 따라서 손실률은 낮으면서 고주파 특성이 뛰어난 소재가 필요하다. 현재, 불소계 수지 및 액정 고분자(Liquid crystalline polymer)가 이에 대한 후보군으로 거론되나(Df 0.002~3), 부품 신뢰성 취약으로 자동차 소재로 적용되지 못하고 있다. 이러한 저손실 고분자는 현재 전량 일본과 유럽 등에서 수입하고 있다. 일부 국내업체에서 해외 원소재를 기반으로 복합화 중심의 개발을 진행하고 있으나, 이 역시 선도업체에 못 미치는 수준이다. 	

중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 예상 소요 기간 송신부와 수신부의 소재·부품 관련 국내 기술 역량을 고려하면, 송·수신부 부품 개발에는 5~7년 정도 소요될 것으로 보인다. 반면, 신호 처리 및 시스템 기술은 이보다 빠른 3~4년 정도로 예상된다. 	
국내외 연구 동향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 기초 단계 수준 	
	해외	<ul style="list-style-type: none"> 선진 기술사의 적극적인 지원과 협업으로 많은 스타트업 기업이 출범해 활발히 연구개발이 진행되고 있다. 현재, 상용화를 위한 기술을 개발 중이다. 	
		Aurora(미국)	• FMCW 라이다 개발회사인 BlackMore 사를 인수합병 후 연구개발 중
		AEVA(미국)	• FMCW-Lidar-on-chip 개발 발표
		SiC(미국)	• 원칩형 소형 FMCW 라이다 연구개발 및 DELL 사로부터 투자 유치 성공
국내	<ul style="list-style-type: none"> 대기업은 해외 라이다 기업과의 제휴를 통해 자율주행용 플랫폼 위주로 개발하는 중이고, 중소기업은 1세대 ToF 방식 자율주행용 모듈을 개발하고 있으나 아직 연구 단계이다. FMCW 방식 라이다 모듈은 국내 중소기업과 대학에서 신호 처리 시스템 부분에 대한 초기 단계 수준의 연구를 진행하고 있으나 핵심 부품에 대한 개발은 이뤄지지 않고 있다. 		
	카네비컴	• 1세대 ToF 방식 라이다 모듈 개발	
	인포웍스	• 초기 단계의 FMCW 방식 라이다 신호 처리 시스템 개발 중	
	현대자동차	• 해외 개발기관과 협업 중	
	광주과학기술원	• Pulsed-ToF와 FMCW 방식을 동시에 가능하게 하는 하이브리드 On-chip 방식을 적용한 다채널 라이다 송·수신 SoC 연구 수행	


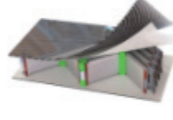


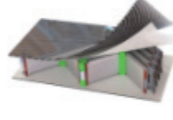


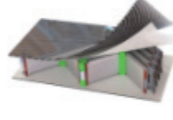

20 차량용 구조 전지 시스템

품목명	차량용 구조 전지 시스템	구분	소재/부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 에너지를 저장하기 위한 배터리와 하중을 지지하기 위한 구조물을 일체형으로 구현할 수 있는 구조 전지 (Structural battery) ※ 경량화 및 하중 지지가 필요한 xEV, PAV, 로봇 등에 적용 가능 ※ 구조 전지는 배터리 일부 또는 전체가 고강도 탄소나노 복합 경량 에너지 소재를 이용한 것으로, 에너지 저장과 동시에 기계적 하중 지지가 가능한 기능성 구조로 설계되므로 에너지 저장 용량이 늘어나면서 하중 지지 기능도 늘어남 	 <p>출처: http://www.iccm-central.org/Proceedings/ICCM20proceedings/papers/paper-1121-2.pdf</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (장기) 구조 전지용 탄소나노 소재 제조 기술 2 (장기) 구조 전지용 전극/전해질/분리막 제조 기술 3 (장기) 구조 전지 시스템화 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 구조 전지의 전기화학적 구성 및 하중 지지를 위한 핵심 소재인 전극/전해질/분리막 제조 기술 개발 ※ 구조 전지 설계 최적화를 통한 구조 전지 시스템 제조 공정 및 성능 최적화 기술 개발 		
중요성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 최근 로봇, 수송기기 특히 전기자동차와 전기 추진 비행기 등 다양한 첨단 기계 수송 시스템에 전기 추진 적용 기술이 주목받고 있다. 그러나 기존 추진 시스템과 비교해 낮은 에너지 효율과 주행거리 증대 문제, 경량화 문제 등의 주요 이슈 해결이 필요하다. 선진국에서는 이러한 이슈를 해결하고자 전기 에너지 저장과 함께 기계적 하중을 강화하기 위한 구조물과 배터리를 일체형으로 만들려는 연구를 진행하였다. 이러한 구조 전지 시스템은 2000년대 초반부터 개발이 진행되어 왔다. ● 시장 규모 전망 전기차용 이차전지 시장은 연평균 26%의 성장률을 기록하고 있으며, 2030년이면 350조 원(약 3,130억 달러) 규모가 될 것으로 보인다. 구조 전지가 양산화되어 적용될 경우, 전체 전기차용 이차전지 시장의 1% 이상을 차지할 것이며, 이 경우 3.5조 원 이상의 시장 규모를 형성할 것으로 예상된다. 		
기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 미국, 영국, 스웨덴 등 선진국에서는 리튬 이차전지를 복합 재료 구조 내부에 적용하여 소형화하거나 배터리 셀 내부를 관통하면서 전단응력을 보강하는 절연성 패스너 시스템을 적용하여, 층상형 복합재 배터리의 하중 지지 기능을 높이는 방식으로 구조 전지 관련 연구가 진행되었다. 이차전지의 기본 구성 요소인 전극, 전해질, 분리막 자체를 에너지 저장과 하중 지지 역할을 동시에 담당하는 고강도 탄소나노 복합 섬유형 전극과 유리섬유 등을 활용한 분리판·지지체를 적용함으로써, 이차전지 자체를 경량화하고, 하중 지지가 가능한 구조 전지 시스템을 개발하고 있다. ● 현재 대비 비교 기존 방식은 복합재 구조 내부 적층 플라이와 패키징된 리튬 이차전지 간에 층간 분리를 일으킬 수 있는 근본적인 위험성이 내재되어 있다. 또한, 하중 경로의 불연속 구간이 발생해 연속적인 하중 지지가 가능한 구조 전지 시스템으로 작동될 수 없다. 		

세계적 동향	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 전 세계적으로 기술을 선도하는 것은 일본의 주요 소재업체들로, 차세대 통신 로드맵(5G, mmWave, 6G)을 기반으로 소재를 개발하고 있다. 국내에서는 두산, LG화학 등이 단순 복합화를 중심으로 개발하고 있지만 원소재 개발 이력이 없으며, 선진 업체와의 기술 격차가 매우 크다. ● 예상 소요 기간 이에 국내 소재 기술 내재화를 위한 원천 소재 개발에 약 3년, 소재 기반 부품화 및 실증에 3년, 총 6년 이내에 원천 소재·부품화 기술을 확보할 것으로 예상된다. 	
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본) 대비 10% 이하 수준 	
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 일본 주요 소재업체(미쓰비시 Gas Chemical, 히타치 케미컬, 스미토모 등)가 차세대 통신 로드맵(5G, mmWave, 6G)을 기반으로 계속 소재를 개발하며 전 세계 기술을 선도하고 있다. 	
		MGC(일본)	<ul style="list-style-type: none"> • 자체 개발 고분자 수지(BT 수지)를 기반으로 모바일·차량용 5G RF 통신 열 경화성 기판 소재 전 세계 시장 점유율 1위(Df 0.003)
		Showadenko (구 히타치 케미컬) (일본)	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 최초 자체 개발 고분자 수지(PI 수지)를 기반으로 Mobile 5G RF 수지 (Df 0.004) 양산
		Sumitomo(일본)	<ul style="list-style-type: none"> • 저손실 몰딩 소재, 접합제 등 다양한 제품 제공 중
		Panasonic(일본)	<ul style="list-style-type: none"> • LCP 특화 기술을 기반으로 저손실 통신 기판 소재 개발 중
	Rogers(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 테플론 수지 기반의 저손실 소재 개발·공급 중 	
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 두산, LG화학 등 국내기업들은 원소재 개발 이력이 없다. 다만, 원소재 합성 기술의 부재로 일본 소재를 구매하여 단순 복합화 개발을 진행 중이나, 선진 업체와의 기술 격차가 매우 크다. 		

21 고전압 고출력 전력 반도체용 방열기판


품목명	고전압 고출력 전력 반도체용 방열기판	구분	소재/부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 열적, 기계적, 화학적 특성이 우수하여 방열 소재 기판 및 구조 재료에 광범위하게 사용되는 재료 주로 전기차 전력 반도체용 방열기판에 사용되는 원료 	 <p>출처: https://www.mdpi.com/2072-666X/10/6/406/html</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (장기) 고열 전도/고신뢰성 방열기판용 질화규소 원료분말 제조 기술 (장기) 130 W/m·K 급 방열기판 소재 및 금속 접합 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 2020년대 중반부터 전기자동차 구동용 파워 모듈에 SiC 전력 모듈이 본격적으로 적용되면서 200℃ 이상 고온에서의 절연성 유지와 내열 충격성 개선이 요구되고 있다. 특히 내열 피로에 대해서는 종래의 Si계 파워 모듈에서는 -40℃~125℃의 열 사이클 내구도가 요구되었으나, 앞으로는 -40℃~>200℃의 열 사이클에 장기간 버틸 수 있는 내구성이 필요해질 것이다. 이는 질화규소 소재가 아니면 내구성이 보장되지 않는 가혹한 환경이며, 현재 상용 질화규소 방열기판 대비 더 우수한 열 전도도와 파괴인성이 필요할 것으로 예측된다. 시장 규모 전망 Si₃N₄ 시장 규모는 2018년 약 954억 원에서 2023년 약 1,346억 원으로 연평균 7.2%의 성장률로 증가할 것으로 예상된다. Si₃N₄ Powder 시장 규모는 2020년 7,800만 달러에서 2026년 9,100만 달러로 연평균 2.5% 성장을 전망하고 있다. (www.360researchreports.com, 2020) 전기차 파워 모듈용 세라믹 방열기판 시장은 2016년 2.35억 달러에서 2030년 5.60억 달러 규모로 성장할 것으로 전망된다. 또한 파워 모듈 고전압 추세에 맞춰 Si₃N₄의 비중이 14.9%(0.35억 달러)에서 40.4%(2.26억 달러)로 확대될 것으로 보인다. (Yole Development, 2017~2019) 질화규소 방열기판의 시장 점유율은 2013년 도시바 38%, Hitach 31%, Denka 21%에서 2017년 도시바 40%, Denka 40%, 히타치 8%로, Denka의 급격한 시장 점유율 증가가 눈에 띈다. Denka의 경우 원료 분말부터 금속 접합 방열기판까지 일관 공정을 보유하고 있을 뿐만 아니라, 산소 함량이 낮은 원료 분말에 관한 기술력이 뒷받침되고 있기에 주목할 필요가 있다. (방열부재소재세계시장조사, 후지경제, 2013, 2017) 	
		기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 : 방열기판 요구 특성 극대화를 위한 맞춤형 원료 분말 개발 질화규소의 열 전도도를 극대화하기 위해서는 격자산소 함유량은 최소화하되, 입자는 최대한 성장시켜야 한다. 또한, 내구성을 극대화하기 위해서는 파괴인성과 강도 향상이 필요하다. 열-기계적 특성을 향상시키기 위해 원료의 산소 함유량을 낮추고, 입성장 촉진을 위해 원료의 α-상 비율을 제어하며, 내구성 향상을 위해 원료의 고순도화를 동시에 확보함으로써 방열기판 맞춤형 원료 분말 기술을 개발한다.

국내 주요	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 에너지 저장과 하중 지지 역할을 동시에 담당하는 고강도 탄소나노 복합 섬유형 전극과 유리섬유 등을 활용한 전극-전해질 분리막 소재 개발은 높은 기술 장벽이 예상된다. 하지만, 국내에는 이미 세계 최고 수준의 이차전지용 전극-전해질 분리막 소재 기술과 이차전지 제조 기술이 있다. 따라서, 구조 전지용 소재 기술이 개발된다면, 상용화할 수 있는 진정한 의미의 미래 모빌리티용 구조 전지 시스템 제조 기술을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 예상 소요 기간 국내에서 해당 소재의 기술 개발에 착수한다면 6~7년 이내에 구조 전지용 전극-전해질 분리막 소재 기술과 이를 이용한 미래 모빌리티용 구조 전지 시스템 제조 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대한다. 									
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(스웨덴) 대비 30% 이하 수준 									
국내 주요	해외	<ul style="list-style-type: none"> 이 분야를 선도하고 있는 스웨덴, 미국, 영국에서는 탄소섬유를 활용한 구조 전지 구현을 위한 연구가 진행되고 있다. 									
		<table border="1"> <tr> <td>Volvo(스웨덴)</td> <td>탄소 복합 소재 사이에 기존 파우치형 전지를 삽입한 구조 전지</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cape Bouvard Technologies (호주)</td> <td>탄소 복합 소재 사이에 기존 파우치형 전지를 삽입한 구조 전지</td> <td></td> </tr> <tr> <td>미시간대학교 (미국)</td> <td>아라미드 나노 섬유를 지지체로 적용한 구조 전지 시스템</td> <td></td> </tr> </table>	Volvo(스웨덴)	탄소 복합 소재 사이에 기존 파우치형 전지를 삽입한 구조 전지		Cape Bouvard Technologies (호주)	탄소 복합 소재 사이에 기존 파우치형 전지를 삽입한 구조 전지		미시간대학교 (미국)	아라미드 나노 섬유를 지지체로 적용한 구조 전지 시스템	
		Volvo(스웨덴)	탄소 복합 소재 사이에 기존 파우치형 전지를 삽입한 구조 전지								
	Cape Bouvard Technologies (호주)	탄소 복합 소재 사이에 기존 파우치형 전지를 삽입한 구조 전지									
미시간대학교 (미국)	아라미드 나노 섬유를 지지체로 적용한 구조 전지 시스템										
<ul style="list-style-type: none"> 국내에는 구조 전지를 생산하여 적용하는 기업은 없으며, 벤처기업과 연구소, 학교에서 구조 전지에 관한 연구를 진행하고 있다. 											
국내	<table border="1"> <tr> <td>(주)사성파워</td> <td>유리섬유 전극 및 분리판 지지체를 활용하여 구조 전지 기술을 구현</td> </tr> <tr> <td>한국과학기술원</td> <td>탄소나노 소재를 적용한 전극 제조 및 폴리머 전해질 적용한 구조 전지 (커패시터) 구현</td> </tr> </table>	(주)사성파워	유리섬유 전극 및 분리판 지지체를 활용하여 구조 전지 기술을 구현	한국과학기술원	탄소나노 소재를 적용한 전극 제조 및 폴리머 전해질 적용한 구조 전지 (커패시터) 구현						
(주)사성파워	유리섬유 전극 및 분리판 지지체를 활용하여 구조 전지 기술을 구현										
한국과학기술원	탄소나노 소재를 적용한 전극 제조 및 폴리머 전해질 적용한 구조 전지 (커패시터) 구현										

중요성	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 일본의 2대 원료기업 Ube, Denka는 산소 함유량이 1.3wt% 내외이며, 방열기판에 특화된 분말이라기보다는 소결성을 중시하고 절삭공구, 베어링 등 내구성 특화 응용 분야에 주로 적용되는 특징이 있다. 현재 상용 분말에서 놓치고 있는 산소 함유량 저감, 입성장 촉진을 위한 의도적인 양이온 제어 등으로 방열기판 맞춤형 원료 분말 기술을 개발함으로써 후발주자의 불리함을 해소할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 					
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 질화규소 원료 분말의 경우, 전구체인 SiCl₄를 생산하는 OCI에서 정부 R&D를 통해 도가니 코팅용 질화규소 분말 기술을 개발한 적이 있다. OCI는 또 다른 전구체인 고순도 Si 잉곳도 오랜 기간 상업적으로 생산한 이력이 있어, 원료 분말 생산 기반을 갖춘 상태이다. 소결용 질화규소 원료 분말 기술 개발이 이뤄진 적이 없다는 것은 약점이나, 최근 아모텍에서 직접질화법 원료 분말 제조 기술 연구를 진행하는 등 사업화에 의지를 가진 기업이 나타나고 있어, 정부 지원을 통해 기술 자립화를 시도할 수 있는 적기로 보인다. 방열기판의 경우 2014년부터 정부 R&D 사업을 통해 열 전도도 90W/m·K급의 상용화 기술을 두 차례 개발하고자 했으나 상용화에는 성공하지 못하였다. 다만, 국내에 재료연구원, 세라믹기술원, KAIST, 금오공대 등의 연구기관이 소재 기술 역량과 인프라를 확보할 수 있었다. 전기차 상용화가 가속화됨에 따라 국내의 방열기판에 대한 니즈가 증가하고 있다. 더불어 방열기판의 상용화를 검토·추진하는 기업도 늘어나고 있어, 기술 개발의 적기라고 판단된다. ● 예상 소요 기간 원료 분말 제조 기술의 경우, 정부 R&D 기술 개발 이력이 없는 것을 감안했을 때 TRL 3단계부터 7단계까지 5년 이상 소요될 것으로 예상된다. 130W/m·K급 질화규소 방열기판 제조 기술의 경우, 2014년부터 정부 R&D 기술 개발 이력이 있음에도 아직 90W/m·K급 방열기판의 상용화에 성공하지 못했다. 이러한 점을 고려하면, 역시 5년 이상 소요될 것으로 판단된다. 					
국내외 연구동향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 대비 원료 분말 10%, 방열기판 50% 수준 					
	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● Si₃N₄ 분말 주요 제조업체는 Denka(일본), Ube(일본), AlzChem(독일), HC Starck(독일), Yantai Tomley Hi-tech(중국) 등으로 일본이 시장을 선도하고 있다. 세계 2대 기업인 일본의 Denka, Ube는 이미 확보된 소재 기술을 통해 방열기판 기술의 역량을 높이고, 전기차 점유 상승을 대비하여 설비투자를 확대하고 있다. 유럽, 중국 등 후발주자는 소재·부품을 생산하는 수요 기업과의 Lock-in 전략을 통해 기술 개발과 시장 진입을 추진하고 있다. <table border="1"> <tr> <td>Denka(일본)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> · 직접 질화법 세계 1위 · 산소 저감 분말 기술 개선과 동시에 2020년 신규 공장 건설, 생산 능력 3배 증가 </td> </tr> <tr> <td>Ube(일본)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> · 이미드 환원법 세계 1위 · 열 관리 소재 부품, 차량 경량화 소재 부품 등 자체 연구개발에 연간 150억 엔 투자, 지속적으로 기술 개선 </td> </tr> <tr> <td>VESTA(스웨덴)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> · 직접 질화법 신규 업체 · 세계 1위 베어링 기업 SKF(스웨덴)에 합병되어 베어링용 질화규소 분말과 파워 모듈 방열기판용 분말 기술 개발 중 </td> </tr> </table>	Denka(일본)	<ul style="list-style-type: none"> · 직접 질화법 세계 1위 · 산소 저감 분말 기술 개선과 동시에 2020년 신규 공장 건설, 생산 능력 3배 증가 	Ube(일본)	<ul style="list-style-type: none"> · 이미드 환원법 세계 1위 · 열 관리 소재 부품, 차량 경량화 소재 부품 등 자체 연구개발에 연간 150억 엔 투자, 지속적으로 기술 개선 	VESTA(스웨덴)
Denka(일본)	<ul style="list-style-type: none"> · 직접 질화법 세계 1위 · 산소 저감 분말 기술 개선과 동시에 2020년 신규 공장 건설, 생산 능력 3배 증가 						
Ube(일본)	<ul style="list-style-type: none"> · 이미드 환원법 세계 1위 · 열 관리 소재 부품, 차량 경량화 소재 부품 등 자체 연구개발에 연간 150억 엔 투자, 지속적으로 기술 개선 						
VESTA(스웨덴)	<ul style="list-style-type: none"> · 직접 질화법 신규 업체 · 세계 1위 베어링 기업 SKF(스웨덴)에 합병되어 베어링용 질화규소 분말과 파워 모듈 방열기판용 분말 기술 개발 중 						

국내외 연구동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 일본은 1990년대부터 전기차용차 개발 청사진을 만들고, 방열기판 개발을 긴 호흡으로 착수해 선구자적 기술 이정표를 확립하였고, 현재까지 기술을 선도하고 있다. 현재 일본의 도시바, Denka, Maruwa, 히타치 등의 기업에서 열 전도도 85~90W/m·K, 강도 650~800MPa, 파괴인성(KIC) 6.5~7MPa·m^{1/2} 사양의 질화규소 방열기판을 170×130mm² 크기로 만드는 대면적 양산 기술을 보유하고 있다. <table border="1"> <thead> <tr> <th>기업명</th> <th>열 전도도 (W/m·K)</th> <th>파괴인성 (MPa·m^{1/2})</th> <th>굴곡강도 (MPa)</th> <th>기판 크기</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TOSHIBA (일본)</td> <td>90</td> <td>6.5</td> <td>650</td> <td>170×130mm²</td> </tr> <tr> <td>Denka (일본)</td> <td>90</td> <td>-</td> <td>700</td> <td>5.5×7.5inch²</td> </tr> <tr> <td>Maruwa (일본)</td> <td>85</td> <td>6.5</td> <td>700</td> <td>5.5×7.5inch²</td> </tr> <tr> <td>Roger Corporation (미국)</td> <td>90</td> <td>6.5~7.0</td> <td>700</td> <td>178×127mm²</td> </tr> <tr> <td>Kyocera (일본)</td> <td>60</td> <td>5</td> <td>800</td> <td>5.5×7.5inch²</td> </tr> </tbody> </table> <p>한편, 히타치금속이 2017년 열 전도율 130W/m·K의 고열 전도 질화규소 기판을 개발했다고 발표했으나, 현재까지 상용화되지 않은 것으로 파악된다.</p>	기업명	열 전도도 (W/m·K)	파괴인성 (MPa·m ^{1/2})	굴곡강도 (MPa)	기판 크기	TOSHIBA (일본)	90	6.5	650	170×130mm ²	Denka (일본)	90	-	700	5.5×7.5inch ²	Maruwa (일본)	85	6.5	700	5.5×7.5inch ²	Roger Corporation (미국)	90	6.5~7.0	700	178×127mm ²	Kyocera (일본)	60	5	800	5.5×7.5inch ²
	기업명	열 전도도 (W/m·K)	파괴인성 (MPa·m ^{1/2})	굴곡강도 (MPa)	기판 크기																											
TOSHIBA (일본)	90	6.5	650	170×130mm ²																												
Denka (일본)	90	-	700	5.5×7.5inch ²																												
Maruwa (일본)	85	6.5	700	5.5×7.5inch ²																												
Roger Corporation (미국)	90	6.5~7.0	700	178×127mm ²																												
Kyocera (일본)	60	5	800	5.5×7.5inch ²																												
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 2014년부터 산자부 소재부품기술 개발사업 및 출연연 자체 사업 등 산학연 협력을 통해 전력 반도체용 방열기판 적용을 위한 질화규소 소재 연구개발이 진행된 바 있으나, 현재까지 양산 수준에 도달하지 못하였다. 최근 몇 년간, 일부 국내 기업이 기술을 개발하고 있지만 아직 상용화된 것은 없다. <table border="1"> <thead> <tr> <th>회사명</th> <th>사용 분말</th> <th>제조방식</th> <th>특이사항</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>O 사</td> <td>DENKA</td> <td>Tape casting</td> <td>양산 어려움 (새로운 방식)</td> <td>개발 진행 중</td> </tr> <tr> <td>L 사</td> <td>자회사 (일본 소재)</td> <td>Tape casting</td> <td>투자 최소화 전장용 Test 품</td> <td>개발 포기</td> </tr> <tr> <td>K 사</td> <td>Ube</td> <td>Tape casting</td> <td>투자 검토 중</td> <td>개발 지연</td> </tr> <tr> <td>W 사</td> <td>Ube</td> <td>Press Tape casting</td> <td>Pilot 설비 확보</td> <td>양산 포기</td> </tr> <tr> <td>A 사</td> <td>자체 조달</td> <td>Roll Press Tape casting</td> <td>양산 장비 확보 중</td> <td>양산 개발 중</td> </tr> </tbody> </table>	회사명	사용 분말	제조방식	특이사항	비고	O 사	DENKA	Tape casting	양산 어려움 (새로운 방식)	개발 진행 중	L 사	자회사 (일본 소재)	Tape casting	투자 최소화 전장용 Test 품	개발 포기	K 사	Ube	Tape casting	투자 검토 중	개발 지연	W 사	Ube	Press Tape casting	Pilot 설비 확보	양산 포기	A 사	자체 조달	Roll Press Tape casting	양산 장비 확보 중	양산 개발 중	
회사명	사용 분말	제조방식	특이사항	비고																												
O 사	DENKA	Tape casting	양산 어려움 (새로운 방식)	개발 진행 중																												
L 사	자회사 (일본 소재)	Tape casting	투자 최소화 전장용 Test 품	개발 포기																												
K 사	Ube	Tape casting	투자 검토 중	개발 지연																												
W 사	Ube	Press Tape casting	Pilot 설비 확보	양산 포기																												
A 사	자체 조달	Roll Press Tape casting	양산 장비 확보 중	양산 개발 중																												

22 무연활 환경 저마찰 고내구 구동 모듈

품목명	무연활 환경 저마찰 고내구 구동 모듈	구분	소재/부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 자동차 엔진 부품(내연기관, 하이브리드, EV 엔진)의 품질 고도화 및 연비 향상을 위한 저마찰 코팅 소재, 부품, 공정 무연활 엔진 부품의 품질 고도화 및 연비 향상 기술(4원계 이상 합금 원소, 무연활 마찰 0.03 이하, 마모손실률 10% 미만) ※ 무연활: 부품 조립 시 초기 주입된 윤활유 외에 추가 공급 없이 가동되는 조건 ※ 마모손실률: 부품별 정해진 내구시험 조건 하에 부품에 대한 마모 실험 후, 초기 코팅층 두께 대비 손상된 두께의 양을 정량화한 것 또는 기존 코팅 대비 손상 정도 		출처: https://carbodeon.com/application/wear-resistant-low-friction-coatings/
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (단기) 자가보호 저마찰 코팅 소재의 적용 분야 확대 연구 2 (중기) 무연활 환경 코팅 소재 및 공정 개발 3 (장기) 경량부품 적용을 위한 코팅 소재 및 공정 개발 		
미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 2000년대 중반부터 자동차의 연비 향상을 위한 가장 효율적 기술로 엔진 부품의 저마찰 코팅 기술이 보고되어 전 세계적으로 연구개발이 진행 중이다. 자동차 내연기관에서 마찰 손실은 33%이며, 엔진과 트랜스미션의 손실은 16.5%이다. 향후 자동차 엔진 환경의 가혹화, 저점도 오일 사용, 무연활 환경 등으로 마찰과 마모 손실이 더욱 심해질 것으로 보이며, 신규 코팅 소재 개발이 요구된다. ● 시장 규모 전망 일본 야노경제연구소에 의하면, 자동차 마찰과 마모 특성 개선 및 연비 향상을 위해 적용을 고려 중인 나노 복합 코팅 기술의 전 세계 시장 규모는 2015년 이후 15조 이상으로 파악된다. 국내의 경우 2020년 이후 수천억대 규모가 될 것으로 예측된다. 		
기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 최근 열처리, 표면 처리된 제품에 맞춤형 최적화 품질을 구현하기 위해, 단일층에 다양한 특성을 동시에 부여한 신개념 코팅층의 수요가 크게 증가하고 있다. 다기능성 코팅을 위해서는 다수의 상을 나노미터(nm) 단위로 형성시키는 나노 복합코팅 기술을 개발해야 한다. 이를 위해서는 다수의 원소 타깃을 이용한 공정이 요구되는데, 이 경우 특정 상을 형성시키기 위해 공정이나 장비가 매우 복잡해질 수 있다. 합금화가 어려운 다수의 원소를 손쉽게 합금화할 수 있는 기술을 통해 균일도가 높은 합금 조성 코팅층을 우수한 양산성과 용이한 공정으로 적용할 수 있으며, 고가의 수입 공정이나 장비 없이 나노 복합코팅층 상용화가 가능하다. 고경도의 질화물(ZrN, MoN, Si₃N₄ 등)과 코팅 내구성을 높일 수 있는 금속 성분(Cu, Ni, Co 등)이 복합상으로 존재하는 나노 복합코팅층을 적용하면, 금속 성분의 상이 자동차가 움직일 때 오일에 대한 촉매 작용을 해 코팅층 표면에 새로운 보호막을 형성하고, 부품의 내구성과 마찰 특성을 향상시킬 수 있다. 		

중요성	기술 혁신성	실현 가능성	기술 수준	국내외 연구 동향						
	<ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 향후 전기자동차 및 기계 부품의 사용 환경은 갈수록 가혹해질 것으로 보인다. • 윤활유를 계속 공급하던 방식에서 제작 초기의 윤활유 공급 후 제품 수명이 다할 때까지 사용하게 되는 무연활 방식이 되면 더 높은 내구성과 마찰 특성이 요구된다. • 전기자동차의 경우 전기 통전에 의한 전식 발생, 고하중 부품의 경우 표면에 형성되는 이상층 형성에 의한 급격한 손상을 막기 위해 새로운 개념의 코팅층을 요구하고 있다. • 다기능성 나노 복합코팅층과 이를 양산 적용하는 공정 기술을 개발해 수요 분야에서 요구하는 최적 물성을 갖는 코팅 소재를 보다 빠르게 제작할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 국내에서 다기능성 나노 복합코팅용 합금 타깃 소재를 개발하고, 이를 자동차 부품에 적용하는 시도가 세계 최초로 이뤄졌다. 이렇게 확보된 원천 기술의 적용 분야를 확대하기 위한 연구가 필요하다. ● 예상 소요 기간 무연활 환경 아래 자동차 부품(전기자동차 등)의 내구성과 마찰 특성을 향상시키기 위해 단기간 개발이 필요한 한두 가지 부품을 집중적으로 연구한다면, 3년 내에 양산 적용 가능성에 대한 평가 완료까지 가능할 것으로 기대된다. 신규 부품의 사용 환경을 고려한 적절한 합금 소재 개발, 국내 자동차 부품 적용 양산 회사에 장비를 적용하는 공정 개발, 수요 기업인 부품 및 자동차 업체와의 공동 품질 평가를 통해 빠르게 적용하려는 연구가 함께 이뤄져야 한다. 관련 기술은 독일 세플러 등 선진 자동차 부품 업체에서도 관심이 높으며, 필요한 경우 국제 협력을 통한 해외 상품화 가능성을 타진할 필요도 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본, 독일 등) 대비 90% 수준 ※ 나노 복합코팅용 합금 타깃 소재 기술은 최고 수준(선진국 동등) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 해외 						
				<ul style="list-style-type: none"> ● 최근 자동차 사용 연한 증가, 엔진 효율 및 연비 향상을 위한 코팅 기술의 적용 비중이 확대하고 있다. 특히, 차세대 무연활 환경 구동 부품 코팅 분야에 대한 기술은 기존 자동차 엔진 부품 코팅 시장의 선도 기업인 독일의 OERIKON BALZERS사와 스위스의 HAUZER사에서 연구개발을 주도하고 있다. ※ 일본의 경우, 관련 기술의 중요성에 비해 자체 기술력이 부족하다고 판단, 유럽의 중요 코팅장비 회사를 공격적으로 매입하고 있다. 						
				<table border="1"> <tbody> <tr> <td>OERIKON BALZERS(독일)</td> <td>• 기존 건식코팅 기술 기반으로 다양한 합금원소가 첨가된 타깃 제작 및 코팅 기술 개발, 70년 이상 기술 경험 보유</td> </tr> <tr> <td>Schaeffler(독일)</td> <td>• 베어링 부품 코팅 기술 개발을 바탕으로 신규 코팅 및 평가 기술을 자체 개발, 선도 중 • Customized surface 기술이라는 개념을 통해 부품의 적용 환경에 맞는 최적 코팅층 개발을 위해 다양한 연구를 진행 중</td> </tr> <tr> <td>HAUZER(네덜란드)</td> <td>• 자동차 및 공구, 금형에 적용 가능한 다양한 코팅 기술 보유 • 최근 일본 IHI에서 인수</td> </tr> </tbody> </table>	OERIKON BALZERS(독일)	• 기존 건식코팅 기술 기반으로 다양한 합금원소가 첨가된 타깃 제작 및 코팅 기술 개발, 70년 이상 기술 경험 보유	Schaeffler(독일)	• 베어링 부품 코팅 기술 개발을 바탕으로 신규 코팅 및 평가 기술을 자체 개발, 선도 중 • Customized surface 기술이라는 개념을 통해 부품의 적용 환경에 맞는 최적 코팅층 개발을 위해 다양한 연구를 진행 중	HAUZER(네덜란드)	• 자동차 및 공구, 금형에 적용 가능한 다양한 코팅 기술 보유 • 최근 일본 IHI에서 인수
OERIKON BALZERS(독일)	• 기존 건식코팅 기술 기반으로 다양한 합금원소가 첨가된 타깃 제작 및 코팅 기술 개발, 70년 이상 기술 경험 보유									
Schaeffler(독일)	• 베어링 부품 코팅 기술 개발을 바탕으로 신규 코팅 및 평가 기술을 자체 개발, 선도 중 • Customized surface 기술이라는 개념을 통해 부품의 적용 환경에 맞는 최적 코팅층 개발을 위해 다양한 연구를 진행 중									
HAUZER(네덜란드)	• 자동차 및 공구, 금형에 적용 가능한 다양한 코팅 기술 보유 • 최근 일본 IHI에서 인수									

국내외 연구 방향	국내	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 내연기관 부품의 연비 저감을 위한 열표면 처리 기술 위주로 개발되고 있다. 무유황 환경 구동 부품에 대한 열표면 처리 기술 개발은 걸음마 단계이지만, 해외와의 격차가 크지 않아 빠르게 대응해 자체 원천 기술을 확보한다면 효율성이 클 것으로 기대된다.
		동우열처리 <ul style="list-style-type: none"> 국내 최초로 자동차 엔진 부품인 타펫, 피스톤링, 핀 등에 건식코팅 기술 적용
		제이앤엘테크 <ul style="list-style-type: none"> 한국생산기술연구원과 공동으로 내연기관 CVD 엔진에 대한 나노 복합코팅 기술을 전 세계 최초 적용, 품질 고도화 확보 타 분야로 확대를 위한 연구 진행 중
		현대트랜시스 <ul style="list-style-type: none"> 자동변속기 개발 기술을 바탕으로 감속기-모터-인버터를 일체형으로 고안한 구동장치 개발 중 변속기 내구성 향상을 위한 열처리/표면 처리 기술 개발 중
		현대자동차 <ul style="list-style-type: none"> 남양연구소를 중심으로 자동차 구동 부품의 저마찰 코팅을 적용한 연비 향상 연구를 10년 이상 진행 중 최근 오일 점도 감소 및 무유황 환경 등 엔진 사용 환경의 가혹화에 따라 신규 코팅 소재 적용에 적극적임


기계금속

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

극한 환경 소재	LNG 부품	액체수소 대응 극저온·내수소취성 소재 장기 물성 확보	액체수소 저장·수송 장치 부품 및 시스템	
	고온 소재	H클래스 가스터빈 대응급 고온 소재	SI 기반 내열 소재 부품화	
미래선도품목	가스터빈용 내열 소재	온도 수용성: 1,030℃ 희유원소 함량: 1.5%	온도 수용성: 1,060℃ 희유원소 함량: <1.5%	온도 수용성: 1,075℃ 희유원소 함량: ≤1.0%
	액체수소 저장용 금속 소재	LNG급(영하 162℃) 대응 물성 확보	극저온(영하 253℃) 물성 확보	부품 제조 기술 확보 (성형 및 용접 기술, 시스템 신뢰성 등)


스마트 기계 (자동화·맞춤형)	저탄소강 분말 레이저 기반 3D 프린팅	고탄소강 분말 적용 소결 기반 3D 프린팅 소재 국산화	3D 프린팅 기반 대형 부품 제조 기술 확보	
	고정밀 위성항법 시스템	3D MC용 GNSS 사물·자세 인지 시스템	완전 무인·자율제어용 융합 센서 인지 시스템	
	자율주행 Lv 3.5 (조건부 자율주행)	자율주행 Lv 4 (특정 상황에 한해 사용자 개입)	자율주행 Lv 4 이상 (사용자 개입의 최소화)	
미래선도품목	건설기계용 정밀 위치 인지 장비	위치 인지 시스템 (위치 정밀도: <3cm)	지형 및 사물 인지 시스템 (지형 인지 오차: <10cm, 인지 속도: <100msec)	지형 및 사물 인지 시스템 (지형 인지 오차: <5cm, 인지 속도: <50msec)
	비정형 실내외 자율주행 시스템	도로·인도 자율주행	비평탄지를 포함한 실외 환경 자율주행	급경사, 계단, 엘리베이터 등을 포함한 실내·외 완전 자율주행
	3D 프린팅용 금속 분말	BJ/FDM용 금속 분말 입도: 50μm/20μm급	BJ/FDM용 금속 분말 입도 20μm/5μm급, 탄소 함량 >1.5%	금형 및 사시 부품 3D 프린팅: 적층 면적 2,000x2,000mm 속도 500g/min

23 가스터빈용 내열 소재(저희유 금속 함유)

품목명	가스터빈용 내열 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 가스터빈 블레이드, 베인, 디스크 등에 사용되는 고온-내식 환경용 금속 재료 및 열차폐 코팅 소재 ※ 최종 제품의 특성이 합금계, 제조 방법, 불순물 제어에 크게 의존하며, 국산 합금 및 제조 기술의 상용화는 요원한 상태 		<p>출처: https://www.americanscientist.org/article/each-blade-a-single-crystal</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (장기) 고온 소재 최적화 설계 기술 및 D/B 개발 2 (장기) 고정정 모합금 제조 기술 3 (장기) 고온 소재 부품화 기술 		
향우요	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>환경규제로 에너지 산업은 석탄에서 재생 에너지로 전환되고 있다. 가스터빈 발전은 브릿지 전원의 중추 역할을 하고, 재생 에너지의 간헐성에 대응할 수 있어 지속적인 성장이 예상된다. 가스터빈은 세계적으로 약 1.9%의 지속적인 성장세가 예상되며, 2040년까지 약 1,365GW의 추가 설비 수요가 발생할 것으로 전망된다. (IEA, 2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 <p>가스터빈 발전 확대에 따라 글로벌 가스터빈 고온 부품 소재 시장은 2020년 13억 5천5백만 달러에서 연평균 9.0% 성장하여, 2027년 24억 8천2백만 달러에 이를 것으로 예상된다. (Global Superalloy Market 2020~27, 2020)</p> <p>국내에서도 표준 LNG 복합모델 개발과 함께 2030년까지 15기의 단계별 실증사업 추진으로 약 4.4조 원의 가스터빈 시장이 창출될 것으로 전망하고 있다. (산업부 보도자료, 2020)</p>	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>희유원소 함량을 낮추면서도 우수한 주조성, 고온 특성을 갖는 단결정 합금, 접합 특성과 고온 특성을 동시에 확보한 일방향 응고 및 다결정 합금의 설계는 서로 상충되는 두 가지 특성을 동시에 확보하는 것이다. 현재까지 개발된 상용 합금보다 기술적인 난이도가 매우 높으며, 혁신적인 아이디어가 전제되어야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 <p>희유원소를 저감한 단결정 합금, 접합성이 향상된 일방향 응고 및 다결정 합금 등의 설계 기술 개발에 일부 기초 연구가 진행되었으나, 합금의 상용화를 위해 합금 설계 최적화, 후보 합금 특성 D/B 구축, 개발 합금을 이용한 부품화 기술 개발은 미진한 상황이다.</p>	
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>정부와 민간 주도로 주조용, 단련용 합금 개발을 성공적으로 수행한 사례가 있으며, 최근에는 Si를 접목한 합금 설계 사례가 산-학-연에서 빈번하게 보고되고 있다.</p> <p>현재 정부가 주도하는 기술 개발 사업의 일환으로 '고정정 모합금 제조를 위한 불순물 및 미량원소 제어 기술' 개발이 진행되고 있다.</p>		



중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 <p>고온 소재 최적화 설계 기술과 데이터베이스 개발에 5년이 소요될 것으로 예상된다. 그러나 데이터베이스의 범위와 크기에 따라 변동될 수 있다.</p> <p>고정정 모합금 제조 기술 개발에 4~5년, 이를 이용한 부품화 기술 개발에 약 3~4년이 소요될 것으로 예상된다.</p>												
국내외 연구 동향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 70% 수준 												
	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 고성능 청정 내열 합금에 대한 기술은 해외 기업 Cannon-Muskegon, GE(General Electric) 등이 주도하고 있다. <table border="1"> <tr> <td>Cannon-Muskegon (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 고정정 내열 합금 개발: 주조성과 내산화성 향상을 위해 CMSX4 대비 S의 함량을 낮춘 CMSX-4 SLS, MAR-M247의 특성을 개선하고자 Si, C, Zr 등 불순물과 미량원소를 제어한 CM247LC 개발 ● 희유원소 저감 내열 합금 개발: CMSX4 대비 고가의 Re 함량을 낮추면서, 1,010℃ 이하에서 동등한 특성을 나타내는 CMSX-8 개발 ● 접합성이 우수한 다결정 합금 개발: 고도화된 합금 설계와 미량 원소 제어를 통하여 IN939의 용접성과 연성을 개선한 CM939W 개발 </td> </tr> <tr> <td>General Electric (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● Rene N500: Re-free 단결정 초내열 합금 개발 </td> </tr> <tr> <td>OXMET Tech (영국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 접합성이 우수한 3DP용 내열 합금 개발: 다결정 초내열 합금의 Printability를 개선하기 위해 개발된 3DP용 합금 ABD900 개발 </td> </tr> </table>	Cannon-Muskegon (미국)	<ul style="list-style-type: none"> ● 고정정 내열 합금 개발: 주조성과 내산화성 향상을 위해 CMSX4 대비 S의 함량을 낮춘 CMSX-4 SLS, MAR-M247의 특성을 개선하고자 Si, C, Zr 등 불순물과 미량원소를 제어한 CM247LC 개발 ● 희유원소 저감 내열 합금 개발: CMSX4 대비 고가의 Re 함량을 낮추면서, 1,010℃ 이하에서 동등한 특성을 나타내는 CMSX-8 개발 ● 접합성이 우수한 다결정 합금 개발: 고도화된 합금 설계와 미량 원소 제어를 통하여 IN939의 용접성과 연성을 개선한 CM939W 개발 	General Electric (미국)	<ul style="list-style-type: none"> ● Rene N500: Re-free 단결정 초내열 합금 개발 	OXMET Tech (영국)	<ul style="list-style-type: none"> ● 접합성이 우수한 3DP용 내열 합금 개발: 다결정 초내열 합금의 Printability를 개선하기 위해 개발된 3DP용 합금 ABD900 개발 						
Cannon-Muskegon (미국)	<ul style="list-style-type: none"> ● 고정정 내열 합금 개발: 주조성과 내산화성 향상을 위해 CMSX4 대비 S의 함량을 낮춘 CMSX-4 SLS, MAR-M247의 특성을 개선하고자 Si, C, Zr 등 불순물과 미량원소를 제어한 CM247LC 개발 ● 희유원소 저감 내열 합금 개발: CMSX4 대비 고가의 Re 함량을 낮추면서, 1,010℃ 이하에서 동등한 특성을 나타내는 CMSX-8 개발 ● 접합성이 우수한 다결정 합금 개발: 고도화된 합금 설계와 미량 원소 제어를 통하여 IN939의 용접성과 연성을 개선한 CM939W 개발 													
General Electric (미국)	<ul style="list-style-type: none"> ● Rene N500: Re-free 단결정 초내열 합금 개발 													
OXMET Tech (영국)	<ul style="list-style-type: none"> ● 접합성이 우수한 3DP용 내열 합금 개발: 다결정 초내열 합금의 Printability를 개선하기 위해 개발된 3DP용 합금 ABD900 개발 													
국내	국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 한국재료연구원 등 출연연이 국산 내열 소재를 개발하고 있으며, 한국로스트악스와 성일터빈, 세아창원특수강, 한국진공야금, 한스코 등이 고온 소재-부품 국산화를 위한 연구를 추진하고 있다. 그러나 대부분 부품화 기술에 집중되어 있으며, 소재 기술은 상용화의 문턱을 넘지 못하고 있다. <table border="1"> <tr> <td>한국재료연구원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 주조용 초내열 합금을 개발하기 위한 연구를 주도하고 있으며, 일부 개발된 합금의 상용화 추진 중. 1.5wt.% Re 단결정 합금, Re-free 단결정 합금 등 희유원소 저감 내열 합금 개발 ● 일방향 응고 조직 제어 합금 개발: 용접성을 개선한 베인용 일방향 응고 합금, 불순물 제어 CM247LC급 일방향 응고 합금 개발 </td> </tr> <tr> <td>한국생산기술연구원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● Ni기 내열 합금 분말 제조 및 Canning-HIP 공정을 이용한 부품 제조 기술 개발 </td> </tr> <tr> <td>한국로스트악스</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● GT24 HP 1단 블레이드 제작 기술 개발: 단결정 블레이드인 GT24 HP 1단 블레이드의 제작 기술 국산화 등 부품화 기술 보유 </td> </tr> <tr> <td>성일터빈</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 고온 부품 국산화 및 각종 연소기 부품 개발: GT11NM 블레이드 등 고온 부품 12종과 각종 연소기 부품에 대한 부품화 기술 보유 </td> </tr> <tr> <td>세아창원특수강</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 상용 내열 합금에 대한 개발: IN718, Hastelloy X, IN738LC 등 상용 내열 합금에 대한 국산화 진행 중 </td> </tr> <tr> <td>한국진공야금, 한스코</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 상용 내열 합금에 대한 개발 진행 중 ● 불순물 함량이 제어된 주조용 초내열 합금 모합금 기술 개발 진행 중 </td> </tr> </table>	한국재료연구원	<ul style="list-style-type: none"> ● 주조용 초내열 합금을 개발하기 위한 연구를 주도하고 있으며, 일부 개발된 합금의 상용화 추진 중. 1.5wt.% Re 단결정 합금, Re-free 단결정 합금 등 희유원소 저감 내열 합금 개발 ● 일방향 응고 조직 제어 합금 개발: 용접성을 개선한 베인용 일방향 응고 합금, 불순물 제어 CM247LC급 일방향 응고 합금 개발 	한국생산기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> ● Ni기 내열 합금 분말 제조 및 Canning-HIP 공정을 이용한 부품 제조 기술 개발 	한국로스트악스	<ul style="list-style-type: none"> ● GT24 HP 1단 블레이드 제작 기술 개발: 단결정 블레이드인 GT24 HP 1단 블레이드의 제작 기술 국산화 등 부품화 기술 보유 	성일터빈	<ul style="list-style-type: none"> ● 고온 부품 국산화 및 각종 연소기 부품 개발: GT11NM 블레이드 등 고온 부품 12종과 각종 연소기 부품에 대한 부품화 기술 보유 	세아창원특수강	<ul style="list-style-type: none"> ● 상용 내열 합금에 대한 개발: IN718, Hastelloy X, IN738LC 등 상용 내열 합금에 대한 국산화 진행 중 	한국진공야금, 한스코	<ul style="list-style-type: none"> ● 상용 내열 합금에 대한 개발 진행 중 ● 불순물 함량이 제어된 주조용 초내열 합금 모합금 기술 개발 진행 중
한국재료연구원	<ul style="list-style-type: none"> ● 주조용 초내열 합금을 개발하기 위한 연구를 주도하고 있으며, 일부 개발된 합금의 상용화 추진 중. 1.5wt.% Re 단결정 합금, Re-free 단결정 합금 등 희유원소 저감 내열 합금 개발 ● 일방향 응고 조직 제어 합금 개발: 용접성을 개선한 베인용 일방향 응고 합금, 불순물 제어 CM247LC급 일방향 응고 합금 개발 													
한국생산기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> ● Ni기 내열 합금 분말 제조 및 Canning-HIP 공정을 이용한 부품 제조 기술 개발 													
한국로스트악스	<ul style="list-style-type: none"> ● GT24 HP 1단 블레이드 제작 기술 개발: 단결정 블레이드인 GT24 HP 1단 블레이드의 제작 기술 국산화 등 부품화 기술 보유 													
성일터빈	<ul style="list-style-type: none"> ● 고온 부품 국산화 및 각종 연소기 부품 개발: GT11NM 블레이드 등 고온 부품 12종과 각종 연소기 부품에 대한 부품화 기술 보유 													
세아창원특수강	<ul style="list-style-type: none"> ● 상용 내열 합금에 대한 개발: IN718, Hastelloy X, IN738LC 등 상용 내열 합금에 대한 국산화 진행 중 													
한국진공야금, 한스코	<ul style="list-style-type: none"> ● 상용 내열 합금에 대한 개발 진행 중 ● 불순물 함량이 제어된 주조용 초내열 합금 모합금 기술 개발 진행 중 													

24 액체수소 저장용 금속 소재(내수소취화)

품목명	액체수소 저장용 금속 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 극저온(영하 253도) 액체수소 저장 및 운송을 위한 금속 기반 구조 재료 ※ 현재 저온용 소재로 사용되고 있는 금속 소재 대비 극저온 영역에서 강도와 인성이 우수하며, 내수소취성이 뛰어난 금속 소재 ※ 수소의 저장, 운송, 배급의 안정성 확보를 위한 소재 개발 및 안정성과 신뢰성 평가 		 <p>출처: https://h2stationmaps.com/hydrogen-stations</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (단기) 액체수소 저장 및 수송용 금속 소재 개발 2 (단기) 극저온 수소취성, 극저온 인성, 열 피로, 열 전달 평가 기술 3 (중기) 액체수소 저장 부품 제조 기술 4 (장기) 액체수소 저장 소재 장기 물성 평가 및 규격화 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 수소경제는 수소 생산, 저장과 운송, 활용이 핵심이며, 수소경제의 조기 활성화를 위해서는 수소 저장 및 운송 등 핵심 인프라 구축이 필요하다. • 유엔 산하 IPCC, "2030년까지 이산화탄소 배출량 45% 줄여야" • 수소 연관 에너지는 2050년경 전체 에너지 공급의 약 40%를 차지할 전망 ● 시장 규모 전망 2050년 수소경제 관련 전체 시장 규모는 2,940조 원에 이를 것으로 예상되며(Hydrogen council 2017), 이 중에서 수소 저장 및 운송에 관한 인프라 시장 규모는 약 400조 원에 이를 것으로 예상된다. (NEDO 백서 2014) 수소 저장 및 운송 인프라는 가스·액체수소를 포함하고 있으며, 액체수소에 관한 별도의 데이터는 없으나 시장 규모는 향후 지속해서 증가할 전망이다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 기존에 개발된 이력이 없는 액체수소 수준의 극저온 및 취하 분위기에서 안정적으로 활용 가능한 고기능 금속 소재 제조 및 평가 기술이다. 극저온·내수소취화 금속 소재는 기존 가스 형태의 수소 저장·운송의 한계를 극복하고 미래 수소 인프라의 효율성을 획기적으로 높일 것으로 기대된다. ● 현재 대비 비교 현재 액화천연가스 온도 수준에서 활용 가능한 저온용 금속 소재 제조 기술은 확보되어 있으며, 이를 기반으로 액체수소 저장과 수송용 소재 제조 및 평가 기술로 도약이 필요하다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 국내 철강 및 범용 금속 생산 기술은 세계 최고 수준이며, 액화천연가스 저장 및 수송용 금속 소재 제조와 평가 기술 역량은 충분하게 구축되어 있다. 	

중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 액체수소 저장 및 수송용 금속 소재 개발은 소재 제조 기술뿐만 아니라 극저온에서의 물성 평가, 수소 환경에서의 내취화 특성 평가, 부품 제조 기술 개발이 함께 이뤄져야 하므로, 10년 정도의 장기적인 기술 개발 전략이 필요할 것으로 판단된다. 						
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(독일) 대비 70% 수준 						
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 수소 에너지 선진국인 미국, 일본, 유럽을 중심으로 연구가 진행되고 있으며, 차세대 액체수소 저장 분야 기술은 해외 기업 Linde plc(독일), Air Liquide(프랑스), Air products, Praxair(미국), Iwatani(일본), 도요카네츠(일본) 등과 NASA(미국)가 주도하고 있다. 						
		<table border="1"> <tr> <td>유럽</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Linde plc(독일): 자동차 회사 BMW와 함께 고성능 압축 액체수소 저장 및 디스펜서 시스템 개발 • Daimler AG(독일): 액화 수소 탱크 탑재형 연료전지 자동차 개발 </td> </tr> <tr> <td>일본</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 국가 차원에서 액체수소 기반 인프라 구축, 대형 액체수소 생산 플랜트와 액체수소 충전소 설치 • Iwatani: 일본 최대 액화 플랜트 설치 및 운영 (린데 기술 협력) • 세계 최초 액체수소 운반선 '수소 프론티어' 진수 • Kawasaki: 선박 탑재용 액화 수소 저장 탱크 개발 중 </td> </tr> <tr> <td>미국</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 1960년대부터 액체수소 생산 플랜트 구축 • 항공우주, 반도체, 국방, 운송 등에 액체수소 활용 • NASA: UAV용 35m³급 액체수소 저장 용기 개발 • LLNL: 극저온 고압 탱크 개발 및 성능 평가 </td> </tr> </table>	유럽	<ul style="list-style-type: none"> • Linde plc(독일): 자동차 회사 BMW와 함께 고성능 압축 액체수소 저장 및 디스펜서 시스템 개발 • Daimler AG(독일): 액화 수소 탱크 탑재형 연료전지 자동차 개발 	일본	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 차원에서 액체수소 기반 인프라 구축, 대형 액체수소 생산 플랜트와 액체수소 충전소 설치 • Iwatani: 일본 최대 액화 플랜트 설치 및 운영 (린데 기술 협력) • 세계 최초 액체수소 운반선 '수소 프론티어' 진수 • Kawasaki: 선박 탑재용 액화 수소 저장 탱크 개발 중 	미국	<ul style="list-style-type: none"> • 1960년대부터 액체수소 생산 플랜트 구축 • 항공우주, 반도체, 국방, 운송 등에 액체수소 활용 • NASA: UAV용 35m³급 액체수소 저장 용기 개발 • LLNL: 극저온 고압 탱크 개발 및 성능 평가
		유럽	<ul style="list-style-type: none"> • Linde plc(독일): 자동차 회사 BMW와 함께 고성능 압축 액체수소 저장 및 디스펜서 시스템 개발 • Daimler AG(독일): 액화 수소 탱크 탑재형 연료전지 자동차 개발 					
		일본	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 차원에서 액체수소 기반 인프라 구축, 대형 액체수소 생산 플랜트와 액체수소 충전소 설치 • Iwatani: 일본 최대 액화 플랜트 설치 및 운영 (린데 기술 협력) • 세계 최초 액체수소 운반선 '수소 프론티어' 진수 • Kawasaki: 선박 탑재용 액화 수소 저장 탱크 개발 중 					
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 1960년대부터 액체수소 생산 플랜트 구축 • 항공우주, 반도체, 국방, 운송 등에 액체수소 활용 • NASA: UAV용 35m³급 액체수소 저장 용기 개발 • LLNL: 극저온 고압 탱크 개발 및 성능 평가 							
<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 과학기술부를 중심으로 2000년 이후 수소 생산 및 저장용 탱크의 연구가 본격적으로 추진되었다. 액체수소 인프라 및 관련 연구는 아직 초기 단계이다. 수소 생산과 부품 중심으로 연구개발이 이뤄지고 있으며, 소재 관련 연구개발은 부족한 상황이다. 								
<table border="1"> <tr> <td>한국기계연구원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 상용급 액체수소 플랜트 연구단 출범 • 2023년까지 수소 상용화에 대비한 액체수소 생산 관련 기술 개발 </td> </tr> <tr> <td>KIST</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 자기 냉각 액화 물질 융합연구단 운영 (2011~2016) • 액체수소 저장 용기의 건전성 평가 기술 및 결함/손상 탐지 기술 개발 </td> </tr> <tr> <td>하이리움(주)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 액체수소 전문 기업 • 극저온 액체수소 제조 기술 및 저장 탱크 개발 </td> </tr> <tr> <td>케이시알(주)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 기체수소 저장용 나노 복합 소재 초경량 수소 탱크 개발 </td> </tr> </table>	한국기계연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 상용급 액체수소 플랜트 연구단 출범 • 2023년까지 수소 상용화에 대비한 액체수소 생산 관련 기술 개발 	KIST	<ul style="list-style-type: none"> • 자기 냉각 액화 물질 융합연구단 운영 (2011~2016) • 액체수소 저장 용기의 건전성 평가 기술 및 결함/손상 탐지 기술 개발 	하이리움(주)	<ul style="list-style-type: none"> • 액체수소 전문 기업 • 극저온 액체수소 제조 기술 및 저장 탱크 개발 	케이시알(주)	<ul style="list-style-type: none"> • 기체수소 저장용 나노 복합 소재 초경량 수소 탱크 개발
한국기계연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 상용급 액체수소 플랜트 연구단 출범 • 2023년까지 수소 상용화에 대비한 액체수소 생산 관련 기술 개발 							
KIST	<ul style="list-style-type: none"> • 자기 냉각 액화 물질 융합연구단 운영 (2011~2016) • 액체수소 저장 용기의 건전성 평가 기술 및 결함/손상 탐지 기술 개발 							
하이리움(주)	<ul style="list-style-type: none"> • 액체수소 전문 기업 • 극저온 액체수소 제조 기술 및 저장 탱크 개발 							
케이시알(주)	<ul style="list-style-type: none"> • 기체수소 저장용 나노 복합 소재 초경량 수소 탱크 개발 							

25 건설기계용 정밀 위치 인지 장비

품목명	건설기계용 정밀 위치 인지 장비	구분	장비
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 건설기계의 Machine Guidance·Machine Control 및 무인화·자동화 기술 적용을 위한 cm급 수준의 정확한 자기 위치 인지가 가능한 고정밀 경제형 국산 위성항법장치 <p>반사율을 포함한 지형 및 대상체에 대한 측정 결과를 점군 데이터(PCD, Point cloud data)로 출력할 수 있는 주변 환경 인지 장치(4D Image Radar, Solid state LiDAR 등)</p> <p>※ 카메라, LIDAR 등 이종 센서와 통합된 Sensor fusion 적용, 악천후 조건에서도 협업 장비 및 장애물 정보 취득 가능</p> <p>※ 무인 건설기계, 자율주행 자동차를 포함해 로봇, 보안, 드론 등에 활용도 높은 부품</p>	Case Study - Heavy Equipment	 <p>출처: https://www.sanav.com/case/construction/</p>  <p>출처: https://www.constructionequipment.com/preventing-deaths-radar-obstacle-detection</p>
핵심 요소 기술	<p><자기 위치 인지></p> <ol style="list-style-type: none"> 1 (단기) 건설 현장 측량 및 건설기계 3D MG*용 GNSS 기술 개발 2 (중/장기) 건설기계 3D MC** 및 무인/자동 제어용 GNSS 기술 개발 <p>* MG: Machine Guidance ** MC: Machine Control</p> <p><주변 환경 인지></p> <ol style="list-style-type: none"> 1 (단기) 주변 환경 인지를 위한 Radar, LiDAR 설계 및 제작 2 (중기) LiDAR 설계 기술 및 협업 장비·장애물 데이터 처리 기술 3 (장기) 협업 장비·장애물 데이터 활용 Safety 및 Auto solution용 인지 시스템 적용/실증 기반 상용화 기술 개발 		
중요성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>최근 Industry 4.0의 흐름 속에서 건설기계의 생산성 향상 및 비용 절감을 위해 ICT나 무인화·자동화 기술이 적용되는 방향으로 개발이 이루어지고 있다. 이러한 기술을 구현하기 위해서는 실시간으로 장비의 정확한 자기 위치 인지가 가능한 고정밀 위성항법 시스템이 필수적이다.</p> <p>현재 건설기계 분야에서의 고정밀 위성항법 시스템은 해외 기업인 Trimble, Leica가 독점하고 있으며, 고가의 가격으로 장비 장착 양산화 및 확산이 어렵다.</p> <p>최근 UAV 및 자동차 분야에서 사용되는 저가형 위성항법 시스템이 기존의 고정밀 위성항법 시스템과 비교해 동등한 수준의 성능을 보인다. 따라서, 해당 원소재(Chip)를 이용하여 건설기계의 스펙에 맞는 양산 제품을 개발함으로써 가격 경쟁력을 확보하고, 관련 기술의 확대·적용하는 기반이 될 것이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 <p>4D Image Radar의 세계 시장은 2015년 이후 연평균 15.6%로 성장하고 있으며, 2025년 86억 달러에 이를 것으로 예상된다. LiDAR의 세계 시장은 2018년 10억 달러 수준이며, 연평균 35% 수준으로 급격히 성장해 2025년이면 100억 달러 수준에 이를 것으로 예상된다. (Yole report, 2019)</p>		

중요성	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>지형 및 대상체에 대한 측정 결과를 점군 데이터로 출력할 수 있는 주변 환경 인지 시스템(4D Image Radar, Solid state LiDAR 등)은 무인 건설기계 외에도 자율주행 자동차를 포함해 로봇, 보안, 드론 등 활용도가 매우 높다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 <p>건설기계 무인화·자동화 시스템에서 협업 장비를 인지하거나 장애물을 인지하는 데 주로 LiDAR와 카메라를 적용하고 있다. 특히, 무인 자율작업을 위한 경우에는 점군 데이터 추출을 위해 LiDAR를 필수적으로 설치하고 있다. 하지만 LiDAR는 매우 고가인데다 강우, 안개, 먼지 등 심각한 악천후에 취약하다는 단점이 있다.</p> <p>Radar의 경우 기상 조건의 영향을 거의 받지 않는다는 장점이 있으나 LiDAR만큼의 해상력을 표현할 수 없다는 한계가 있었다. 하지만, 최근 4D Image Radar가 개발되기 시작하면서 Radar도 대상체의 점군 데이터 추출이 가능하다.</p>			
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>현재의 기술 수준은 LiDAR에 미치지 못하지만 향후 개발될 4D Image Radar의 성능과 이종 센서와의 결합을 고려한다면, LiDAR를 충분히 대체할 수 있다. 악천후에도 강건한 협업 장비 및 장애물 인지용 센서로 활용될 것으로 전망된다.</p> <p>건설기계의 지형 인식이 필요한 거리는 30m 이내이다. 국내 고성능 Stereo camera 기술을 고려할 때, 10cm 이하 수준의 해상력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. Radar와의 이종 결합으로 환경 노이즈에 대한 강건함과 가격 경쟁력 확보가 가능하다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 <p>국내에서 해당 이종 결합 센서 기술 개발을 착수한다면, 6~7년 이내에 건설기계용 고정밀 지형·사물 인지 시스템 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.</p>			
국내외 연구 동향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: Radar의 경우 국내 기업이 기술 선도 중(스마트레이더시스템) 			
	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 자기 위치 인지 <p>건설기계 고정밀 위성항법 기술은 해외 기업 Trimble, Leica 등이 주도하고 있으며, UAV 및 차량용 위성항법 기술은 해외 기업 U-blox 등이 주도하고 있다.</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Trimble(미국), Leica(독일)</td> <td>● 건설기계용 고정밀 위성항법 시스템 양산 중</td> </tr> <tr> <td>U-blox(스위스)</td> <td>● UAV 및 차량용 저가형 위성항법 시스템 원천 기술 보유</td> </tr> </tbody> </table>	Trimble(미국), Leica(독일)	● 건설기계용 고정밀 위성항법 시스템 양산 중	U-blox(스위스)
Trimble(미국), Leica(독일)	● 건설기계용 고정밀 위성항법 시스템 양산 중				
U-blox(스위스)	● UAV 및 차량용 저가형 위성항법 시스템 원천 기술 보유				

26 비정형 실내외 자율주행 시스템

품목명	비정형 실내외 자율주행 시스템	구분	장비
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 정형화되지 않은 실 환경에서 활용되는 로봇의 지형지물 극복 및 자율주행 시스템 <p>이동 로봇 기구, 센서 등의 HW와 자세 제어 및 자율주행 SW(비정형 환경 분석 등)로 구성</p>		 <p>출처: https://news.mit.edu/2017/new-robot-rolls-rules-pedestrian-conduct-0830</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 복잡도가 높고 동적 요소가 존재하는 비정형 환경 주행로봇 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ (중기) 비정형 환경 주행 메커니즘 설계 기술, 비정형 주행로봇 보행·조작 알고리즘 기술 (장기) 비정형 환경 주행로봇 상황 인지 및 분석 기술 도로, 인도, 엘리베이터 등 다양한 실내외 공간 로봇 자율주행 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ (중기) 실내외 대공간 지도 작성 및 자기 위치 인식 기술, 실내외 대공간 광역 주행 경로 계산 기술 (장기) 실내외 대공간 주행 제어 기술, 비정형 실내외 대공간 자율주행 환경 데이터 분석 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 전 세계 전문 서비스 로봇(물류, 전문 청소, 검사·유지 관리, 건설, 구조, 국방 등) 분야의 2018년 매출은 전년 대비 32% 성장한 92억 달러로, 최근 4년간 연평균 26% 성장하는 등 전문 분야에서의 로봇 활용이 빠르게 증가하는 추세이다. 2019년 전 세계 전문 서비스 로봇의 매출액을 기준으로 39%(57억 달러), 판매 유닛 수 기준으로 48%를 물류 로봇이 점유했다. 이렇게 물류 로봇은 로봇 산업 발전의 가장 중요한 견인차 구실을 할 것으로 예상된다. (IFR World Robotics 2019) 시장 규모 전망 세계의 서비스 로봇 시장은 연평균 32%씩 성장하여 2025년이면 1,000억 달러 규모에 이를 것으로 전망된다. (Macquarie, "Service Robots/AI: The force is awakening", 2017.7.) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 배달 로봇, 청소 로봇, 보안 로봇 등 서비스 로봇의 실 환경 적용을 위한 비정형의 일상 공간, 지형지물 극복 및 사람 수준의 자율주행 기능은 로봇 제품의 경쟁력 및 상품성 확보를 위한 필수 기술이다. 또한, 로봇과 사람은 공존해야 한다. 따라서 안전 문제는 기술적인 해결뿐만 아니라 환경 개선 및 제도적 장치 마련 등이 병행되어야 한다. 현재 대비 비교 현재 실내외 자율주행 이동 로봇 기술은 제한된 환경에서 사용하거나, 사용자가 계속 개입해야 하는 수준에 머무르고 있어, 관련 기술을 이용한 서비스 로봇의 상품성이 확보되지 않은 상황이다. 	
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 세계적으로 배달, 검사 및 감시·정찰 등의 서비스에 로봇을 활용하기 위하여 비정형 환경에서의 자율주행 로봇 개발과 실증을 하고 있다. 국내에서도 비정형 환경 이동 로봇 기술을 개발하고, 제한된 실외 환경에서의 자율주행 배달 로봇을 실증하고 있으며, 국내에 상당한 기술과 인프라, 인력이 이미 확보된 상태이다. 		

국내외 연구 현황	해외	<ul style="list-style-type: none"> 주변 환경 인지 General Radar, Einstein 등의 업체가 연구개발 중이다. 		
		<table border="1"> <tr> <td>General Radar (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Resolution 수직, 수평 약 1° 급 개발 </td> </tr> </table>	General Radar (미국)	<ul style="list-style-type: none"> Resolution 수직, 수평 약 1° 급 개발
		General Radar (미국)	<ul style="list-style-type: none"> Resolution 수직, 수평 약 1° 급 개발 	
		<table border="1"> <tr> <td>Einstein(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Resolution 수직 18° 급, 수평 5.7° 급 개발 </td> </tr> </table>	Einstein(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Resolution 수직 18° 급, 수평 5.7° 급 개발
		Einstein(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Resolution 수직 18° 급, 수평 5.7° 급 개발 	
	<table border="1"> <tr> <td>Quanergy(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 자율주행 자동차용 Solid State Lidar 개발 중 (목표 원가는 200~300달러 수준) </td> </tr> </table>	Quanergy(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 자율주행 자동차용 Solid State Lidar 개발 중 (목표 원가는 200~300달러 수준) 	
	Quanergy(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 자율주행 자동차용 Solid State Lidar 개발 중 (목표 원가는 200~300달러 수준) 		
	<table border="1"> <tr> <td>Velodyne(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 자율주행 자동차용 Solid State Lidar 개발 중 (16CH, 목표 원가는 500달러 수준) </td> </tr> </table>	Velodyne(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 자율주행 자동차용 Solid State Lidar 개발 중 (16CH, 목표 원가는 500달러 수준) 	
Velodyne(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 자율주행 자동차용 Solid State Lidar 개발 중 (16CH, 목표 원가는 500달러 수준) 			
국내	<ul style="list-style-type: none"> 자기 위치 인지 국내에서는 MBC, GNSS 등의 전문 업체가 저가형 고정밀 위성항법 시스템 개발을 추진하고 있으나, 건설기계용 스펙에 맞는 양산 제품은 개발되지 않고 있다. 			
	<table border="1"> <tr> <td>MBC</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 저가형 Chip을 이용하여 UAV 및 차량용 고정밀 위성항법 시스템 양산 중 </td> </tr> </table>	MBC	<ul style="list-style-type: none"> 저가형 Chip을 이용하여 UAV 및 차량용 고정밀 위성항법 시스템 양산 중 	
	MBC	<ul style="list-style-type: none"> 저가형 Chip을 이용하여 UAV 및 차량용 고정밀 위성항법 시스템 양산 중 		
<ul style="list-style-type: none"> 주변 환경 인지 스마트레이더시스템, 비트센싱 등의 업체가 연구개발 중이다. 스마트레이더시스템 현재 최고 수준의 기술을 보유하며 업계를 선도하고 있다. 				
	<table border="1"> <tr> <td>스마트레이더시스템</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Resolution 수직, 수평 약 0.5° 급 개발 중 </td> </tr> </table>	스마트레이더시스템	<ul style="list-style-type: none"> Resolution 수직, 수평 약 0.5° 급 개발 중 	
스마트레이더시스템	<ul style="list-style-type: none"> Resolution 수직, 수평 약 0.5° 급 개발 중 			
	<table border="1"> <tr> <td>비트센싱</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 4D Image Radar 개발 중 </td> </tr> </table>	비트센싱	<ul style="list-style-type: none"> 4D Image Radar 개발 중 	
비트센싱	<ul style="list-style-type: none"> 4D Image Radar 개발 중 			

27 3D 프린팅용 금속 분말(소결 기반)

품목명	3D 프린팅용 금속 분말	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 소결 기반 3D 프린팅(BJ*/ME**)용 금속 분말 최적 설계 및 제조 기술, 3D 적층 부품 제작 및 평가 기술 등 포함 * BJ: Binder Jetting (Binder와 Metal powder를 순서대로 적층) ** ME: Material Extrusion (Binder와 Metal powder가 혼합된 Filament를 적층)	 <p>출처: https://www.cleanroomtechnology.com/news/article_page/Contamination_risks_in_metal_3d_printing/144726</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 고특성 발현 가능한 최적 성분 제어 고탄소 합금강 분말 설계 기술 2 가스 및 수분사 공정을 통한 3D 프린팅용 초미세 분말 제조 기술 3 초미세 탄소합금강 분말 적용 소결 기반 3D 적층 부품화 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 고강도·고인성·고경도·고온·고내식성의 성질을 갖는 '탄소합금강 재료의 소형 부품(금형 공구)' 대량 생산과 '대형 정밀 부품(일체형 프레임 부품, 발전 부품, 선박 부품)'을 3D 프린팅 기술로 제조하려는 산업계의 요구가 커지고 있다. 기존 Laser 기반 3D 프린팅은 항공 및 발전 부품 개발 중 소재·부품 인증 문제로 국내 산업 구조상 한계가 있다. 그러나 국내 산업에 기반을 둔 금형, 공구 및 정밀 부품 등의 분야에서는 소결 기반 3D 프린팅 기술로 연계가 용이하다. 유럽과 미국 자동차 제조사에서 소결 기반 3D 프린팅 기술이 적용된 부품을 사용하고 있으며, 점차 일반 부품 및 부품 제조 Tool에 확대·적용할 예정이다.	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 Binder Jet 및 Material Extrusion은 레이저 기반 3D 프린팅 기술과 달리, 분말 형태의 소재 위에 접착제를 직접 분사하는 방식이다. 제조 공정 중 열 균열이 발생하지 않고, 대면적 제작에 용이한 유망 분야로 부상하고 있다. 이에 따라 기존 Laser 기반 방식(PBF, DED)으로 접근하기 어려운 발전 및 수송(특히 선박) 분야의 대형 정밀 부품 제조에 적합하다. EV 및 UAM 등 신 모빌리티 분야에서 요구하는 고강도 경량 일체형 프레임, 구동 제어 부품, 모터 코어 부품 등을 금형 없이 저비용으로 생산하여 미래 시장이 원하는 맞춤형 소량·다품종 생산에 대응하기에 용이하다.	
	현재 대비 비교	<ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 Binder Jet 장비와 공정 기술에 대한 연구개발이 확대되고 있다. 그러나 해당 공정에 최적화된 탄소 합금 분말의 부재로 최적 금속 소재 설계(형상, 유동성, 입자 크기 및 분포 등) 기술 및 초미세 분말 제조 기술에 대한 연구가 필요한 상황이며, 상용화를 목적으로 한 연구개발 사례는 없다.	

국내외 연구 동향	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 국내에서 해당 품목의 기술 개발에 착수한다면, 6~7년 이내에 대부분의 상황에서 사용자의 개입이 필요 없는 수준의 실내의 도심 환경용 로봇의 자율주행 기술 확보를 기대할 수 있다.						
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 80% 수준 ※ 적용형 서비스 로봇 기술, 재난 구조 및 극한탐사 로봇 기술 분야 평균 기술 격차 3.5년(과학기술정보통신부, 2018년도 기술 수준평가, 2019)						
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 차세대 비정형 환경 자율주행 로봇 분야 기술은 해외 기업 Boston Dynamics, AMAZON 등이 주도하고 있다. 						
		<table border="1"> <tr> <td>Boston Dynamics (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 다양한 비정형 환경에서의 족형 이동을 위한 2족, 4족 보행 로봇 개발 중. 최근 4족 보행 로봇인 SPOT을 상용화하여 건설 환경 검사, 배달, 감시·정찰 등 다양한 분야에서의 활용 시도 </td> </tr> <tr> <td>Amazon (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 2019년 배달 로봇 Scout을 론칭한 이래 시범 배송 서비스 제공. 최근 COVID-19 팬데믹에 대응하여 적용 범위를 Irvine, California에서 Atlanta, Georgia와 Franklin, Tennessee 등으로 확대하는 중 </td> </tr> <tr> <td>사라고사대학교 (스페인)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 영상 기반 센서만을 이용하여 Map reuse, Relocalization 등 완전한 SLAM을 통상적인 연산 환경에서 실시간으로 수행할 수 있는 솔루션을 오픈 소스로 공개, 다양한 후속 연구에서 활용되고 있음 </td> </tr> </table>	Boston Dynamics (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 비정형 환경에서의 족형 이동을 위한 2족, 4족 보행 로봇 개발 중. 최근 4족 보행 로봇인 SPOT을 상용화하여 건설 환경 검사, 배달, 감시·정찰 등 다양한 분야에서의 활용 시도 	Amazon (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 2019년 배달 로봇 Scout을 론칭한 이래 시범 배송 서비스 제공. 최근 COVID-19 팬데믹에 대응하여 적용 범위를 Irvine, California에서 Atlanta, Georgia와 Franklin, Tennessee 등으로 확대하는 중 	사라고사대학교 (스페인)	<ul style="list-style-type: none"> • 영상 기반 센서만을 이용하여 Map reuse, Relocalization 등 완전한 SLAM을 통상적인 연산 환경에서 실시간으로 수행할 수 있는 솔루션을 오픈 소스로 공개, 다양한 후속 연구에서 활용되고 있음
		Boston Dynamics (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 비정형 환경에서의 족형 이동을 위한 2족, 4족 보행 로봇 개발 중. 최근 4족 보행 로봇인 SPOT을 상용화하여 건설 환경 검사, 배달, 감시·정찰 등 다양한 분야에서의 활용 시도 					
	Amazon (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 2019년 배달 로봇 Scout을 론칭한 이래 시범 배송 서비스 제공. 최근 COVID-19 팬데믹에 대응하여 적용 범위를 Irvine, California에서 Atlanta, Georgia와 Franklin, Tennessee 등으로 확대하는 중 						
사라고사대학교 (스페인)	<ul style="list-style-type: none"> • 영상 기반 센서만을 이용하여 Map reuse, Relocalization 등 완전한 SLAM을 통상적인 연산 환경에서 실시간으로 수행할 수 있는 솔루션을 오픈 소스로 공개, 다양한 후속 연구에서 활용되고 있음 							
<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 로보티즈, 한국과학기술원 등이 실외 자율주행 로봇 및 비정형 환경 이동 로봇 관련 연구를 추진하고 있으며, 일부 기술은 기업을 통해 상용화를 시도하고 있다. 								
국내	<table border="1"> <tr> <td>로보티즈</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 제한된 실외 환경에서 자율주행 이동 로봇을 이용한 비대면 음식 배달 서비스를 실증하고 있으나, 인식 오류 등의 교착 상태를 해결하기 위한 원격제어가 필요한 수준임 </td> </tr> <tr> <td>한국과학기술원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 비정형 지형지물 극복을 위한 보행기구 기술과 도심 환경 실내외 자율주행 로봇 기술을 실험실 수준에서 개발하고 있으며, 일부 기술은 기업과 실증을 시도하고 있음 </td> </tr> <tr> <td>한국전자기술연구원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 도심 환경에서 사계절 적용할 수 있는 자율주행 로봇 기술을 목표로 도심 환경 지형지물 극복 기구 및 목표 지점까지의 빠르고 안전한 주행제어 기술 개발 중 </td> </tr> </table>	로보티즈	<ul style="list-style-type: none"> • 제한된 실외 환경에서 자율주행 이동 로봇을 이용한 비대면 음식 배달 서비스를 실증하고 있으나, 인식 오류 등의 교착 상태를 해결하기 위한 원격제어가 필요한 수준임 	한국과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 비정형 지형지물 극복을 위한 보행기구 기술과 도심 환경 실내외 자율주행 로봇 기술을 실험실 수준에서 개발하고 있으며, 일부 기술은 기업과 실증을 시도하고 있음 	한국전자기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 도심 환경에서 사계절 적용할 수 있는 자율주행 로봇 기술을 목표로 도심 환경 지형지물 극복 기구 및 목표 지점까지의 빠르고 안전한 주행제어 기술 개발 중 	
로보티즈	<ul style="list-style-type: none"> • 제한된 실외 환경에서 자율주행 이동 로봇을 이용한 비대면 음식 배달 서비스를 실증하고 있으나, 인식 오류 등의 교착 상태를 해결하기 위한 원격제어가 필요한 수준임 							
한국과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 비정형 지형지물 극복을 위한 보행기구 기술과 도심 환경 실내외 자율주행 로봇 기술을 실험실 수준에서 개발하고 있으며, 일부 기술은 기업과 실증을 시도하고 있음 							
한국전자기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 도심 환경에서 사계절 적용할 수 있는 자율주행 로봇 기술을 목표로 도심 환경 지형지물 극복 기구 및 목표 지점까지의 빠르고 안전한 주행제어 기술 개발 중 							

한국 연구	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 소결 기반 3D 프린팅 기술은 미세 금속 분말 제조, 3D 프린팅, 고밀도 소결(MIM) 및 후가공 공정 개발이 필요하며, 부분별 요소 기술은 국내 중소·중견 기업 및 연구소에서 보유하고 있어 기술 개발 기반이 구축되어 있다. 다만 20μm 이하의 초미세 분말 제조, Binder 및 Feedstock 제조 관련 연구가 필요하다. 예상 소요 기간 국내 미세 분말 제조기업, MIM 기업 및 수요 기업(자동차, 금형-기계, 선박, 발전) 간의 유기적인 연구 개발을 통해 5~6년 이내에 고탄소 초미세 3D 프린팅용 분말 및 부품화 상용기술 확보가 가능하다. 														
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 60% 수준 														
국내외 연구 내용	해외	<ul style="list-style-type: none"> Binder Jetting 장비 개발 업체와 금속 분말 개발 업체의 협업을 통해, 금속 분말 설계 및 제조 기술을 개발하고 있다. 														
		<table border="1"> <tr> <td>Sandvik(스웨덴)</td> <td>ExOne(미국), GE(미국) 등과 협업하여, Binder Jet에 최적화된 공구강, 스테인리스강, 니켈 합금 등 금속 분말 최적화/검증/공정 개발</td> </tr> <tr> <td>GKN Powder Metallurgy(미국)</td> <td>HP(미국)와 협업하여, Binder Jet에 최적화된 분말 설계, 분말 제조 방식 개발</td> </tr> <tr> <td>GTP(미국)</td> <td>ExOne(미국)와 협업하여, Binder Jet에 최적화된 텅스텐과 텅스텐 카바이드-코발트 분말 개발</td> </tr> <tr> <td>HP(미국)</td> <td>2mx2m 대면적 금속 Binder Jetting 개발 중, 폭스바겐과 함께 자동차 부품 사업 진출 추진</td> </tr> <tr> <td>ExOne(미국)</td> <td>1mx1m 대면적 금속 Binder Jetting이 가능한 프린터 상용화</td> </tr> <tr> <td>Atmix(일본)</td> <td>5마이크로급 금속 분말에 대한 수 분사 제조 기술 확보</td> </tr> <tr> <td>Markforged(미국)</td> <td>0.5mx0.5m 대면적 Metal FDM 가능한 프린터 상용화</td> </tr> </table>	Sandvik(스웨덴)	ExOne(미국), GE(미국) 등과 협업하여, Binder Jet에 최적화된 공구강, 스테인리스강, 니켈 합금 등 금속 분말 최적화/검증/공정 개발	GKN Powder Metallurgy(미국)	HP(미국)와 협업하여, Binder Jet에 최적화된 분말 설계, 분말 제조 방식 개발	GTP(미국)	ExOne(미국)와 협업하여, Binder Jet에 최적화된 텅스텐과 텅스텐 카바이드-코발트 분말 개발	HP(미국)	2mx2m 대면적 금속 Binder Jetting 개발 중, 폭스바겐과 함께 자동차 부품 사업 진출 추진	ExOne(미국)	1mx1m 대면적 금속 Binder Jetting이 가능한 프린터 상용화	Atmix(일본)	5마이크로급 금속 분말에 대한 수 분사 제조 기술 확보	Markforged(미국)	0.5mx0.5m 대면적 Metal FDM 가능한 프린터 상용화
		Sandvik(스웨덴)	ExOne(미국), GE(미국) 등과 협업하여, Binder Jet에 최적화된 공구강, 스테인리스강, 니켈 합금 등 금속 분말 최적화/검증/공정 개발													
		GKN Powder Metallurgy(미국)	HP(미국)와 협업하여, Binder Jet에 최적화된 분말 설계, 분말 제조 방식 개발													
		GTP(미국)	ExOne(미국)와 협업하여, Binder Jet에 최적화된 텅스텐과 텅스텐 카바이드-코발트 분말 개발													
		HP(미국)	2mx2m 대면적 금속 Binder Jetting 개발 중, 폭스바겐과 함께 자동차 부품 사업 진출 추진													
		ExOne(미국)	1mx1m 대면적 금속 Binder Jetting이 가능한 프린터 상용화													
		Atmix(일본)	5마이크로급 금속 분말에 대한 수 분사 제조 기술 확보													
	Markforged(미국)	0.5mx0.5m 대면적 Metal FDM 가능한 프린터 상용화														
	<ul style="list-style-type: none"> SFS, 리프로텍 등의 중소기업, 한국생산기술연구원 등이 Sand Binder Jetting에 대한 연구를 추진하고 있으나, 금속 분야는 거의 전무한 상황이다. 															
<table border="1"> <tr> <td>SFS(중)</td> <td>1mx1m 대면적 Sand Binder Jetting이 가능한 프린터 상용화, 금속 관련 프린터는 현재 최적 바인더와 함께 개발 중</td> </tr> <tr> <td>리프로텍</td> <td>FDM 방식으로 MIM 대비 유사한 성능의 기계적 특성 발현 가능, 3D 프린터 및 관련 소재(Filament) 개발 중</td> </tr> <tr> <td>현대중공업, 한국생산기술연구원</td> <td>선박 관련 주물사 Binder Jetting 부품화 기술 연구개발 중</td> </tr> </table>	SFS(중)	1mx1m 대면적 Sand Binder Jetting이 가능한 프린터 상용화, 금속 관련 프린터는 현재 최적 바인더와 함께 개발 중	리프로텍	FDM 방식으로 MIM 대비 유사한 성능의 기계적 특성 발현 가능, 3D 프린터 및 관련 소재(Filament) 개발 중	현대중공업, 한국생산기술연구원	선박 관련 주물사 Binder Jetting 부품화 기술 연구개발 중										
SFS(중)	1mx1m 대면적 Sand Binder Jetting이 가능한 프린터 상용화, 금속 관련 프린터는 현재 최적 바인더와 함께 개발 중															
리프로텍	FDM 방식으로 MIM 대비 유사한 성능의 기계적 특성 발현 가능, 3D 프린터 및 관련 소재(Filament) 개발 중															
현대중공업, 한국생산기술연구원	선박 관련 주물사 Binder Jetting 부품화 기술 연구개발 중															



미래 소재

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
차세대 ICT	통신	5G		Beyond 5G			6G				
	디스플레이	폴더블/3D 모사		스트레처블/가상공간 홀로그램			자유곡면/혼합 현실 표시 홀로그램 (텔레프레즌스)				
미래선도품목	양자	4큐비트 양자 논리회로, 2큐비트 양자 어닐		잡음이 있는 중간 형태 양자 컴퓨팅(NISQ)			양자 오류 보정 양자 컴퓨터				
	차세대 통신용 강유전체 광 소재	100GTRx		LNOI 포토닉스 칩 (>1Tb/s)			LNOI 포토닉스 칩 (>10Tb/s)		다기능 올인원 LNOI 포토닉스 브릿지 칩		
	극한 환경용 다이아몬드 반도체 소재	주파수 대역 ~100GHz 이하					주파수 대역 100GHz 이상				
	차세대 통신용 초고주파 소재	통신 모듈 (<150 $^{\circ}$ C/<10 KGy/W밴드<0.5W)		고온·고주파 통신 모듈 (<300 $^{\circ}$ C/<1MGy/W밴드<1W)			초고온·내방사선·초고출력 통신 모듈 (>500 $^{\circ}$ C/<10MGy/W밴드<1kW) ※동작 온도/내방사선/출력				
	홀로그램용 메타 소재	가시광 대역 능동 복소 광변조 계조 표현 불가		가시광 대역 능동 복소 광변조 계조 표현 \geq 64단계 (6-bit)			가시광 대역 능동 복소 광변조 계조 표현 \geq 256단계(8-bit)				
	3D AR용 메타렌즈 소재	초박형 메타렌즈		가시광 대역 무색수차 메타렌즈			대구경 초점 가변 메타렌즈				
	미래차용 섬유형 OLED 소재	웨어러블 디바이스		유연한 섬유형 디스플레이			자동차 내장 부품(벨러, 트림, 헤드라이너 등)				
	양자 컴퓨터용 상온 동작 능동 소재	양자 게이트 (4큐비트)		양자 프로세서 모듈 (100큐비트)			양자 능동 소재 활용 양자 프로세서 (10,000큐비트급 99.99% 양자 연산 신뢰도)				
	초분광 영상용 적외선 센서 소재	실리콘 CMOS 기반 센서		단·중파장 적외선 초분광 센서			IR 초분광 카메라 적용 영상 센서				

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

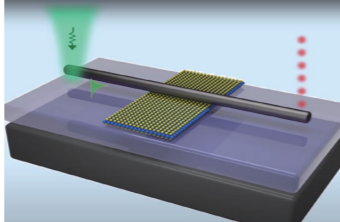
차세대 제조	소형화	유연화/초탄성화	초극대화/초극소화			
미래선도품목 나노 구조 알루미늄 합금	7XXX Al 합금 (0.7GPa)	적층 제조 나노 분산 Al (0.9GPa)	나노 구조화 Al 합금(1GPa)		수송기비용 고강도 알루미늄 합금 판재	
MEMS용 나노 복합 소재	높은 구동 전력 10MW	1MW 이하 전력 구동	100KW 이하 전력 구동		전력 구동 20KW 수준	

차세대 바이오	인간증강	약세서리/착용형	부착형/직물 일체형 기기	신체 부착 및 일체형	생체 이식/인공장기
맞춤의료	부착형	단기 이식형		장기 이식형	
소프트 웨어러블 인공근육 소재	강체 기반	소프트 기반 (변형률 30%)		소프트·임프란트 기반 (변형률 40% 이상)	
휴먼 증강용 인체 감각 모방형 전자 소재	인간 근육 대비 높은 파워 밀도 1~30배	인간 근육 대비 높은 파워 밀도: 50배		인간 근육 대비 높은 파워 밀도: 50배 ↑	
체내 주사용 생분해성 형상기억 소재	생체-감각 신호 감지	단일 감각·기능 증강		복합 감각·기능 증강, 인공 감각	
바이오 인터페이스 소재	생체-감각 신호 감지	단일 감각·기능 증강		복합 감각·기능 증강, 인공 감각	
체내 주사용 생분해성 형상기억 소재	신축성 전자 소재 (평창 면적 5배, 탄성 변형률 >0.05, 비분해성, 통신 거리 3cm)	대면적 형상기억·생분해성 소재 (작동 온도 <50°C, 평창 면적 100배, 탄성 변형률 >0.1, 작동 수명 수일~수주, 통신 거리 10cm)		초대면적/3차원 구조/다기능 형상기억 생분해성 소재 (작동 온도 <36°C, 평창 면적 1,000배, 탄성 변형률 >0.5, 작동 수명 수주~수개월, 통신 거리 50cm)	
바이오 인터페이스 소재	피부 접촉 소재 (<1month/ >30%, Biophysical)	생체 조직 내 이식 소재 및 부품 (>1year/ <10%, Biochemical) ※이식 기간, 이물 반응률, 생체 기능성		생체 조직 내 이식 부품 및 모듈 (>5years/ <1%/ Multi-functional) ※이식 기간, 이물 반응률, 생체 기능성	

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

차세대 에너지	리튬 전지	리튬 이차전지	고용량 리튬 이차전지 (기존 이차전지 성능 향상)		전고체 전지 리튬황 전지/리튬금속 전지 (고에너지 밀도 고안전성 이차전지 혁신)	
	연료 전지	탄화수소 고체 산화물 연료전지	탄화수소 고체 산화물 연료전지		암모니아 고체 산화물 연료전지 성능 향상	
베타 전지	p-(i)-n 접합 구조 기반 베타 전지 소자	3차원 p-(i)-n 구조 기반 단위 칩	적층형 베타 전지 단위 모듈	인체 삽입형 인공심장 박동기 전원 모듈		베타 전지 기반 저전력(수 W급) 전원 시스템
듀얼 이온 전지용 전지 소재	양극활 물질 용량/작동 전위 100mAh·g ⁻¹ /4.5V	양극활 물질 용량/작동 전위 200mAh·g ⁻¹ /4.7V		양극활 물질 용량/작동 전위 250mAh·g ⁻¹ /4.8V 이상		
베타 전지용 질화물 반도체 소재	출력 전력 ~수nW (질화물 소재 기준)	출력 전력 ~1μW	출력 전력 ~수십μW	출력 전력 수mW급	출력 전력 수W급	
암모니아 연료전지용 나노 촉매 소재	암모니아 연료전지 소재 및 단전지 기초 연구	암모니아 개질 및 내식성·내구성이 강한 나노 구조 촉매 전극 소재 개발		고내구성 나노 구조 촉매 소재·공정 기술		
차세대 전고체 전지 소재	에너지 밀도 ~250Wh/kg	에너지 밀도 300~350Wh/kg		에너지 밀도 >500Wh/kg		
고밀도 수소 저장용 경금속 수소화물	물리적 수소 저장	화학적 수소 저장 (고체)		화학적 수소 저장 (고체 또는 액체)		
친환경 페로브스카이트 소재	Pb 기반 PSC* 소재 * PSC: Perovskite Solar Cell	Pb-free 페로브스카이트 소재 자원 재활용(Recycling) 기술 PSC 모듈화		친환경(Pb-free, Green-solvent) PSC 효율(>30%) 향상 및 산업화		
저온형 수전해용 세라믹 소재	작동 온도 700°C형 수전해 세라믹 소재	작동 온도 350~500°C 이온 전도도 ≥5×10 ⁻³ S/cm		셀 활성 면적 50cm ² 이상 수전해용 셀		

28 차세대 통신용 강유전체 광(光) 소재

품목명	차세대 통신용 강유전체 광 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 피코초 수준의 초고속 광전변환 특성을 기반으로 Sub-THz 데이터 변환이 가능하며, 가시광에서부터 중적외선 영역까지 사용 가능한 초저손실 집적형 포토닉스 소재 ※ 기존 실리콘 포토닉스에서 불가능한 데이터 전송 속도, 광 손실, 가용 주파수 대역 문제 해결 		<p>출처: 빛의 속도로 정보를 전달하는 초고속 광전소재(기초과학연구원, 2016)</p> <p>https://www.ibs.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR_00000000511/selectBoardArticle.do?nttlId=13901&pageIndex=9&mno=sitemap_02&searchCnd=&searchWrd=</p> <p>https://www.youtube.com/watch?v=uNqZdfkTY4E</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (중기) LNOI 웨이퍼 및 초고속 LNOI 광전변환 소재 기술 2 (중기) 다기능 올인원 LNOI 포토닉스 소재·소자 플랫폼 기술 3 (장기) 6G 통신용 LNOI 기반 PIC 제조 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>트랜시버 기술은 에너지 소비와 비용을 줄이면서 데이터 속도를 테라비트급으로 높여야 하는 난제에 직면하였다. 이에 따라 LNOI, SOI, SiN, InP, 폴리머 등의 다양한 소재를 이용한 포토닉스 집적화 회로에 대한 연구가 이루어지고 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 <p>고속 데이터 통신을 위한 광전변환 소재의 세계 시장은 2019년 32조 원이며 CAGR 9.3% 적용 시 2025년 55조 원, 2030년 85조 원 규모가 될 것으로 예상된다. (Company Websites, Annual Reports, White Papers, MRFR Analysis)</p> <p>빔포밍 소자(Wi-Fi 시스템, WiMAX 시스템, Cellular 시스템, RADAR 등에 응용 가능한 5G·6G 관련 세계 시장은 2019년 6.6조 원이며, CAGR 8.4% 적용 시, 2025년 10.7조 원, 2030년 16조 원으로의 성장이 전망된다. (Grand View Research, 2018)</p>	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>차세대 통신용 강유전체 광 소재는 테라비트급 전송 용량 증대를 위한 채널 수 증가로 발생하는 포토닉스 칩의 크기와 생산 비용 증가, 에너지 효율 저하 등 기존 기술의 문제를 해결할 수 있으며, 고에너지 효율로 집적화가 가능한 LNOI 포토닉스 소재이다.</p> <p>낮은 에너지 소모와 초고속 동작 특성을 기반으로 한 저전력 테라비트급 광 통신망과 무선통신 서비스망을 연결해주는 LNOI 기반의 핵심 광소자 브릿지 기술용 소재(초대용량 데이터 송·수신 소재, 비트당 생산 비용 최소화 소재, 대용량 데이터의 정보 보안 소재, 초정밀 탐지·대용량 측정 데이터 송·수신 소재)에 적용이 가능하다.</p>	

중요성	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 <p>LNOI 기반 초저손실 집적형 포토닉스 플랫폼에 적용 시, 기존 포토닉스 플랫폼보다 단일 채널당 전송 속도가 1.4배 이상($\geq 200\text{Gbps}$) 빠르고, 에너지 소모가 1/100 이하(0.37fJ/bit)로 줄어드는 장점이 있어, 패러다임 전환의 계기가 될 것으로 전망된다.</p> <p>※ 기존 포토닉스 플랫폼: 실리콘 포토닉스 및 InP 포토닉스 기반의 집적화 연구가 진행 중이나, 데이터 전송 속도는 $\leq 140\text{Gbps}$, 에너지 소모는 $\geq 50\text{fJ/bit}$이다.</p>						
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>강유전체 나노 광전변환 소재인 LNOI(LiNbO₃-on-insulator) 웨이퍼는 100% 수입에 의존하고 있다. 관련 기술은 중국과 미국 등의 국가가 주도하고 있다. 국내 연구는 전무한 상태로 기술 개발을 위한 투자가 매우 시급하다. 본 소재·소자가 국내 기술로 자체 개발된다면 고부가가치가 보장될 것으로 예상된다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 <p>5G·6G용 테라비트급 광 트랜시버 및 다양한 통신기술을 위한 광집적 소자용으로 사용 가능한 차세대 통신용 강유전체 포토닉스 소재 기술 개발에 10~11년이 소요될 것으로 보인다.</p>						
국내 외 연구 동향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국, 중국) 대비 10% 수준 						
	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 차세대 통신(5G·6G) 분야의 LNOI 기반 테라비트 포토닉스 브릿지 플랫폼 기술은 하버드대학교, UCSD, Hyperlight, Sun Yat-sen 대학 등이 주도하고 있음 <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Hyperlight(미국)</td> <td>• 6" LNOI 웨이퍼 공정 개발, DUV 포토리소그래피</td> </tr> <tr> <td>하버드대학교(미국)</td> <td>• LNOI 기반 초고속($\geq 100\text{GHz}$) LiNbO₃ 광변조기, 다중 광 캐리어 소스 제작</td> </tr> <tr> <td>Sun Yat-sen 대학교(중국)</td> <td>• 초고속($\geq 70\text{GHz}$) LiNbO₃ 광변조기 제작</td> </tr> </tbody> </table>	Hyperlight(미국)	• 6" LNOI 웨이퍼 공정 개발, DUV 포토리소그래피	하버드대학교(미국)	• LNOI 기반 초고속($\geq 100\text{GHz}$) LiNbO ₃ 광변조기, 다중 광 캐리어 소스 제작	Sun Yat-sen 대학교(중국)	• 초고속($\geq 70\text{GHz}$) LiNbO ₃ 광변조기 제작
	Hyperlight(미국)	• 6" LNOI 웨이퍼 공정 개발, DUV 포토리소그래피						
하버드대학교(미국)	• LNOI 기반 초고속($\geq 100\text{GHz}$) LiNbO ₃ 광변조기, 다중 광 캐리어 소스 제작							
Sun Yat-sen 대학교(중국)	• 초고속($\geq 70\text{GHz}$) LiNbO ₃ 광변조기 제작							
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 ETRI, (주)파이버프로 등이 LNOI 기반 초고속 광변조기에 대한 연구를 추진하고 있으나, 개발 초기 단계로 기술 축적이 미비한 상황이다. <table border="1"> <tbody> <tr> <td>ETRI/ (주)파이버프로</td> <td>• LNOI 기반 초고속 광변조기 및 건식 식각을 통한 LiNbO₃ 채널도파로 제작 기술 개발 중</td> </tr> </tbody> </table>	ETRI/ (주)파이버프로	• LNOI 기반 초고속 광변조기 및 건식 식각을 통한 LiNbO ₃ 채널도파로 제작 기술 개발 중					
ETRI/ (주)파이버프로	• LNOI 기반 초고속 광변조기 및 건식 식각을 통한 LiNbO ₃ 채널도파로 제작 기술 개발 중							

29 극한 환경용 다이아몬드 반도체 소재

품목명	극한 환경용 다이아몬드 반도체 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 고전압, 고온, 초고속, 내방사성 소재 특성이 있는 극한환경에서 동작하는 다이아몬드 반도체 소재 ※ 10kV급 고전압, 10kW급 고전력, 100GHz급 고주파, 10MGy 내방사성 및 300°C의 극한 환경 조건에서도 신뢰성 있는 초소형·고성능 시스템을 구현 가능한 다이아몬드 소재 	<p>출처: Reprinted from M. Kasu, "Diamond Field-Effect Transistors as Microwave Power Amplifiers," NTT Techn. Rev., vol. 8, no. 8, Aug. 2010, pp. 1-5. 극한 환경용 반도체 기술 동향 (ETRI, 2018)</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (장기) 2인치 이상 다이아몬드 단결정 기판 성장 기술 2 (장기) CMOS용 친환경 다이아몬드 N, P형 도핑 기술 (N형 도핑은 난제 기술) 3 (중장기) 극한 환경 소재의 신뢰성 및 응용 기술 <p>※ 방사선 내성 평가 기술, 고방열 패키지 및 소자 응용 기술, 저온 다이아몬드 성장 기술 및 극한 환경 소재 테스트 플랫폼 구축 등</p>		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 극한 환경 반도체는 통신, 극한 환경산업, 고효율 전력산업 등 다양한 산업 분야의 신시장 창출 및 점유율 확대에 기여할 수 있다. ● 시장 규모 전망 2020년도 전력 소자 시장 규모는 320억 달러로 예상(2018 Yole)되며, RF 소자 시장 규모는 174억 달러(2019 Market & Markets), 고방열 반도체 시장 규모 64.7억 달러(2018 Profshare Market Research)로 예상된다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 기존 Si, SiC, GaN, Ga₂O₃ 등의 WBG 반도체 소재의 물성을 초월하는 다이아몬드만의 고향복전압·고에너지갭·고열전도도·고융점·고이동도 등 우수한 물성을 활용하여 기존 소자 대비 동작 전압, 전력, 주파수 등에서 몇 배 이상의 성능이 우수하며, 내방사성 특성이 있는 소자 제작이 가능하다. ● 현재 대비 비교 다이아몬드 반도체는 초소형·초고속·초고효율이 특징으로, 기존의 반도체를 다이아몬드 반도체로 교체할 수 있는 혁신성을 가진 미래 소재이다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 국내 연구소에서 30년 이상 다이아몬드 합성 연구를 진행해 왔고, 그 결과를 절삭공구 및 광학용 다결정 다이아몬드 개발에 이용하였다. 최근, 연구소와 대학 등에서 다이아몬드 소재 성장, 다이아몬드 소자 설계 기술에 대한 기초 연구를 진행하여, 다이아몬드 반도체 소재 개발에 필요한 역량을 충분히 보유하고 있다. ● 예상 소요 기간 기존의 반도체를 대체할 수 있는 다이아몬드 단결정 반도체 소재의 기술 개발에는 10~11년이 필요할 것으로 예상된다. 	

기술 수준	● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본) 대비 30% 수준																		
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 다이아몬드 고속 성장을 위해 고속 성장이 가능한 MPCVD(Microwave plasma chemical vapour deposition) 방법의 연구를 진행하고 있다. ● 다이아몬드 기판의 대면적화를 위해 모자이크 기판을 연구하고 있으며, Heteroepitaxy 방법으로 다이아몬드 기판 대형화를 연구 중이다. ● 미국과 유럽 중심으로 다이아몬드를 이용한 내방사선 소자 연구 프로젝트가 복수로 진행 중이며, 일본은 2030년 실용화를 목적으로 다이아몬드 반도체 연구를 진행하고 있다. 																	
국내외 연구 동향	해외	<table border="1"> <tr> <td>와세다대(일본)</td> <td>● H-terminated 다이아몬드를 이용한 소재 및 소자 연구 개발</td> </tr> <tr> <td>AIST(일본)</td> <td>● MPCVD법을 이용한 단결정 다이아몬드 웨이퍼 연구 선도, AIST 다이아몬드 연구 결과를 기반으로 벤처 창업(EPD)</td> </tr> <tr> <td>EPD(일본)</td> <td>● 10mmx10mm 다이아몬드 웨이퍼 개발 및 판매, 모자이크 기법을 이용하여 최대 28mmx28mm 웨이퍼 개발 성공</td> </tr> <tr> <td>sp3 Diamond(미국)</td> <td>● Diamond-on-Si 기판 위에서 GaN가 성장하는 기술 개발</td> </tr> <tr> <td>Element6(영국)</td> <td>● 세계 최고 수준의 다이아몬드 에피 단결정 성장 기술 보유</td> </tr> <tr> <td>아우크스부르크 대학교(독일)</td> <td>● MgO 등의 이종 기판상에 다이아몬드 단결정 에피를 성장시키는 방법으로 3.5인치급 웨이퍼 기판 개발</td> </tr> <tr> <td>Diamond Materials GmbH(독일)</td> <td>● CVD를 이용한 다이아몬드 공업용·광학용 기판 생산 및 판매</td> </tr> <tr> <td>Aimeil Diamond (중국)</td> <td>● CVD 방법을 이용하여 공구용 다이아몬드 생산</td> </tr> </table>	와세다대(일본)	● H-terminated 다이아몬드를 이용한 소재 및 소자 연구 개발	AIST(일본)	● MPCVD법을 이용한 단결정 다이아몬드 웨이퍼 연구 선도, AIST 다이아몬드 연구 결과를 기반으로 벤처 창업(EPD)	EPD(일본)	● 10mmx10mm 다이아몬드 웨이퍼 개발 및 판매, 모자이크 기법을 이용하여 최대 28mmx28mm 웨이퍼 개발 성공	sp3 Diamond(미국)	● Diamond-on-Si 기판 위에서 GaN가 성장하는 기술 개발	Element6(영국)	● 세계 최고 수준의 다이아몬드 에피 단결정 성장 기술 보유	아우크스부르크 대학교(독일)	● MgO 등의 이종 기판상에 다이아몬드 단결정 에피를 성장시키는 방법으로 3.5인치급 웨이퍼 기판 개발	Diamond Materials GmbH(독일)	● CVD를 이용한 다이아몬드 공업용·광학용 기판 생산 및 판매	Aimeil Diamond (중국)	● CVD 방법을 이용하여 공구용 다이아몬드 생산	
	와세다대(일본)	● H-terminated 다이아몬드를 이용한 소재 및 소자 연구 개발																	
	AIST(일본)	● MPCVD법을 이용한 단결정 다이아몬드 웨이퍼 연구 선도, AIST 다이아몬드 연구 결과를 기반으로 벤처 창업(EPD)																	
	EPD(일본)	● 10mmx10mm 다이아몬드 웨이퍼 개발 및 판매, 모자이크 기법을 이용하여 최대 28mmx28mm 웨이퍼 개발 성공																	
	sp3 Diamond(미국)	● Diamond-on-Si 기판 위에서 GaN가 성장하는 기술 개발																	
	Element6(영국)	● 세계 최고 수준의 다이아몬드 에피 단결정 성장 기술 보유																	
	아우크스부르크 대학교(독일)	● MgO 등의 이종 기판상에 다이아몬드 단결정 에피를 성장시키는 방법으로 3.5인치급 웨이퍼 기판 개발																	
	Diamond Materials GmbH(독일)	● CVD를 이용한 다이아몬드 공업용·광학용 기판 생산 및 판매																	
	Aimeil Diamond (중국)	● CVD 방법을 이용하여 공구용 다이아몬드 생산																	
	국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내의 다이아몬드 소재 관련 연구는 주로 내마모용 및 광학용 다결정 다이아몬드 소재 기술과 최근 나노 다이아몬드 기술에 대해서 국책 과제로 연구를 진행하고 있다. <table border="1"> <tr> <td>일진, 이화, 신한</td> <td>● 전 세계 기계 공업용 다이아몬드 시장 20~30% 점유</td> </tr> <tr> <td>한국산업기술대학교</td> <td>● MPCVD를 이용한 단결정 다이아몬드 에피 성장 기술 연구</td> </tr> <tr> <td>경남대학교</td> <td>● MWCVD를 이용한 다이아몬드 이종 기판 성장 기술 연구</td> </tr> <tr> <td>KIST</td> <td>● 30년 이상 다이아몬드 합성 연구 진행, 다이아몬드 CVD 성장 연구 및 합성 등록 특허 보유</td> </tr> <tr> <td>ETRI</td> <td>● 다이아몬드의 방열 특성을 이용한 Hetero-Diamond 소재 연구 및 다결정 다이아몬드를 활용한 패키징 연구 진행</td> </tr> <tr> <td>IBS</td> <td>● 화학적 방법을 이용하여 Bi-layer 그래핀을 반도체 소자 제작에 사용할 수 있는 Single layer 다이아몬드로 바꾸는 연구 진행</td> </tr> <tr> <td>KIMS</td> <td>● 저온 Diamond like carbon 코팅 기술 및 결정화 기술 연구, 나노 다이아몬드 박막 합성 응용 연구</td> </tr> </table>		일진, 이화, 신한	● 전 세계 기계 공업용 다이아몬드 시장 20~30% 점유	한국산업기술대학교	● MPCVD를 이용한 단결정 다이아몬드 에피 성장 기술 연구	경남대학교	● MWCVD를 이용한 다이아몬드 이종 기판 성장 기술 연구	KIST	● 30년 이상 다이아몬드 합성 연구 진행, 다이아몬드 CVD 성장 연구 및 합성 등록 특허 보유	ETRI	● 다이아몬드의 방열 특성을 이용한 Hetero-Diamond 소재 연구 및 다결정 다이아몬드를 활용한 패키징 연구 진행	IBS	● 화학적 방법을 이용하여 Bi-layer 그래핀을 반도체 소자 제작에 사용할 수 있는 Single layer 다이아몬드로 바꾸는 연구 진행	KIMS	● 저온 Diamond like carbon 코팅 기술 및 결정화 기술 연구, 나노 다이아몬드 박막 합성 응용 연구		
일진, 이화, 신한	● 전 세계 기계 공업용 다이아몬드 시장 20~30% 점유																		
한국산업기술대학교	● MPCVD를 이용한 단결정 다이아몬드 에피 성장 기술 연구																		
경남대학교	● MWCVD를 이용한 다이아몬드 이종 기판 성장 기술 연구																		
KIST	● 30년 이상 다이아몬드 합성 연구 진행, 다이아몬드 CVD 성장 연구 및 합성 등록 특허 보유																		
ETRI	● 다이아몬드의 방열 특성을 이용한 Hetero-Diamond 소재 연구 및 다결정 다이아몬드를 활용한 패키징 연구 진행																		
IBS	● 화학적 방법을 이용하여 Bi-layer 그래핀을 반도체 소자 제작에 사용할 수 있는 Single layer 다이아몬드로 바꾸는 연구 진행																		
KIMS	● 저온 Diamond like carbon 코팅 기술 및 결정화 기술 연구, 나노 다이아몬드 박막 합성 응용 연구																		

30 차세대 통신용 초고주파 소재(AIN HEMT 기반)

품목명	차세대 통신용 초고주파 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 6G 통신용 Tera급(100GHz 이상) 주파수를 갖는 초소형 기저국·중계기, 저전력 단말용 소자 및 부품 개발에 필요한 화합물 반도체 에피 소재 ※ Tera급 주파수 구현을 위한 Thin-barrier 에피 소재와 고방열기판 물성을 이용한 고효율·고방열·고집적 RF 부품 및 모듈 제작이 가능한 소재 		<p>출처: Gang, S. M., & In, G. P. (2013). 광전소자 및 전력소자용 AIN 반도체 단결정 소재 및 응용분야. Ceramist, 16(4), 76-83.</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 6G용(100GHz급) 고효율·고방열 에피 소재 및 소자 공정 기반 기술 (중기) 6G용(300GHz급) 고효율·고방열 에피 소재 및 소자 공정 핵심 기술 (장기) 6G용(500GHz급) 고효율·고방열·고효율 에피 소재 및 소자 공정 핵심 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 6G 이동통신은 2028년 시범 서비스 이후 2030년경 상용화될 전망이며, 선진국(미국, 유럽)을 중심으로 글로벌 표준화 및 원천 기술 개발에 선제적인 대규모 R&D 투자가 진행되고 있다. 6G의 다양한 융합 서비스(실시간 원격 수술, 자율비행차, 초지능 IoT)에 적용되는 통신용 RF 소자의 폭발적인 수요 증가 및 테라급 통신 기술 기반의 신산업 창출이 기대됨에 따라, 향후 시장성 높은 분야가 될 것으로 보인다. 시장 규모 전망 6G 이동통신 인프라 시장은 2025년에 초기 시장을 형성한 후 CAGR 70% 수준의 시장 확대를 통해 2030년 상용화 시점에 41.2억 달러 규모로의 성장이 예상된다. (시장 조사 기관: Mind Commerce, 2019년 예측) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 초고주파용 통신 소자로 사용되는 AIN HEMT 에피 소재는 방열 특성이 우수하고 초박막 구조로 되어 있다. 이에 6G 이동통신에서 요구되는 테라급 주파수 대역을 갖는 고효율·고효율 RF 소자 제작이 가능하다. 5G 이동통신에서 사용되는 GaN/SiC 에피 소재에 비하여 높은 열전도도 특성으로 방열 성능이 우수하고, 초박막 및 고효율을 위한 에피 구조가 가능하며, 테라급 RF 소자를 제작할 수 있는 미래 기술에 해당한다. 현재 대비 비교 AIN HEMT 에피 소재는 기존의 GaN/SiC 대비 테라급 주파수 구현을 위한 초박막 구조가 가능하며, 테라급 RF 소자의 경쟁기술(InP, SiGe) 대비 고효율 및 고효율이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 현재 고방열 AIN 기판 소재는 광소자(UV-LED) 개발에 적용되는 시제품 수준의 기술력이 확보되고 있으며, RF 소자로 응용하기 위한 기초 연구가 일부 진행 중이다. 6G 이동통신에 사용되는 테라급 소자 개발에 활용할 경우, RF 소자·부품 시장을 선도할 수 있는 First-Mover형 기술이 된다. 예상 소요 기간 국내에서 해당 소재에 대한 기술 개발을 착수한다면, 9~10년 이내에 테라급 AIN HEMT 에피 소재 기술을 확보할 수 있을 것이다. 	

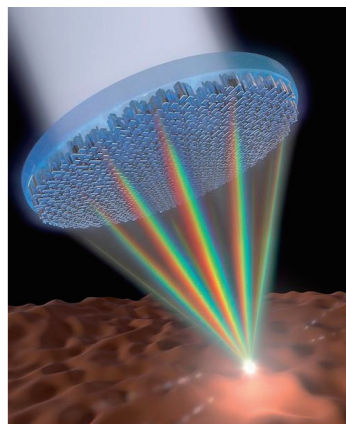
기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 40% 수준 												
국내외 연구 동향	<ul style="list-style-type: none"> 6G용 테라급 RF 소재·소자 기술은 미국(HRL, Norte Dame, Cornell, IQE 등)과 일본(Nagoya) 등의 기업 및 연구기관(연구소, 대학)에서 주도하고 있다. 군수 및 민수용 RF 전력 증폭기에 대한 고효율·고효율화에 대한 기초 연구가 진행 중이다. 질화물 반도체 기반의 테라급 RF 소자 개발에 대한 기초·선행 연구 												
	<table border="1"> <tr> <td>IQE(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 에피 소재 상용화 기술 개발 삼(사)원계 에피 소재인 InAl(Ga)N/GaN 기반 핵심 기술 개발 </td> </tr> <tr> <td>HRL(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 미세 게이트 공정 기술 개발 20nm급 T-gate 소자 설계 및 공정 기술을 이용하여 테라급 차단 주파수(f_r:454GHz) 특성 구현 </td> </tr> <tr> <td>Norte Dame(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 초박막 에피 소재 기술 개발 AIN/GaN HEMT 에피 소재 설계 및 성장 기술 </td> </tr> <tr> <td>Cornel(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 에피 소재 및 RF 소자 기술 개발 AIN/GaN/AIN 에피 구조 및 미세게이트(60nm급) 공정 기술을 활용하여 차단주파수(f_r:161GHz) 특성 구현 </td> </tr> <tr> <td>MIT(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, RF 소자 기술 개발 30nm급 미세 게이트 소자 설계 및 공정 기술 </td> </tr> <tr> <td>Nagoya(일본)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 저결함 AIN Template 기판 및 에피 성장 기술 개발 </td> </tr> </table>	IQE(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 에피 소재 상용화 기술 개발 삼(사)원계 에피 소재인 InAl(Ga)N/GaN 기반 핵심 기술 개발 	HRL(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 미세 게이트 공정 기술 개발 20nm급 T-gate 소자 설계 및 공정 기술을 이용하여 테라급 차단 주파수(f_r:454GHz) 특성 구현 	Norte Dame(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 초박막 에피 소재 기술 개발 AIN/GaN HEMT 에피 소재 설계 및 성장 기술 	Cornel(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 에피 소재 및 RF 소자 기술 개발 AIN/GaN/AIN 에피 구조 및 미세게이트(60nm급) 공정 기술을 활용하여 차단주파수(f_r:161GHz) 특성 구현 	MIT(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, RF 소자 기술 개발 30nm급 미세 게이트 소자 설계 및 공정 기술 	Nagoya(일본)	<ul style="list-style-type: none"> 저결함 AIN Template 기판 및 에피 성장 기술 개발
	IQE(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 에피 소재 상용화 기술 개발 삼(사)원계 에피 소재인 InAl(Ga)N/GaN 기반 핵심 기술 개발 											
	HRL(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 미세 게이트 공정 기술 개발 20nm급 T-gate 소자 설계 및 공정 기술을 이용하여 테라급 차단 주파수(f_r:454GHz) 특성 구현 											
	Norte Dame(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 초박막 에피 소재 기술 개발 AIN/GaN HEMT 에피 소재 설계 및 성장 기술 											
	Cornel(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, 에피 소재 및 RF 소자 기술 개발 AIN/GaN/AIN 에피 구조 및 미세게이트(60nm급) 공정 기술을 활용하여 차단주파수(f_r:161GHz) 특성 구현 											
	MIT(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Darpa project 공동 참여, RF 소자 기술 개발 30nm급 미세 게이트 소자 설계 및 공정 기술 											
Nagoya(일본)	<ul style="list-style-type: none"> 저결함 AIN Template 기판 및 에피 성장 기술 개발 												
국내	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 ETRI, 경북대학교, 한국산업기술대학교 등에서 AIN HEMT 에피 소재 기술에 대한 기초 연구를 진행 중이며, AIN Template의 경우 UV-C LED와 관련된 일부 기업에서 개발을 진행하는 상황이다. <table border="1"> <tr> <td>ETRI</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> AIN HEMT on AIN Template에 대한 연구 진행 중 미세 게이트(<100nm) 소자 설계 및 공정 기술 개발 </td> </tr> <tr> <td>경북대학교</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> AIN HEMT 에피 소재 성장에 대한 연구 진행 중 InAlN HEMT 에피 소재 설계 및 성장 기술 개발 </td> </tr> <tr> <td>한국산업기술대학교</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> AIN Template 기판 기술 개발 AlGaIn HEMT on AIN Template 에피 소재 연구 진행 중 </td> </tr> <tr> <td>(주)테스</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> AIN Template 성장용 고온 MOCVD 장비 개발 AIN Template 기판 기술 개발 </td> </tr> <tr> <td>(주)L&D전자</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> UV-C 및 HEMT용 AIN Template 기술 개발 UV-C LED 에피 소재 기술 개발 </td> </tr> </table>	ETRI	<ul style="list-style-type: none"> AIN HEMT on AIN Template에 대한 연구 진행 중 미세 게이트(<100nm) 소자 설계 및 공정 기술 개발 	경북대학교	<ul style="list-style-type: none"> AIN HEMT 에피 소재 성장에 대한 연구 진행 중 InAlN HEMT 에피 소재 설계 및 성장 기술 개발 	한국산업기술대학교	<ul style="list-style-type: none"> AIN Template 기판 기술 개발 AlGaIn HEMT on AIN Template 에피 소재 연구 진행 중 	(주)테스	<ul style="list-style-type: none"> AIN Template 성장용 고온 MOCVD 장비 개발 AIN Template 기판 기술 개발 	(주)L&D전자	<ul style="list-style-type: none"> UV-C 및 HEMT용 AIN Template 기술 개발 UV-C LED 에피 소재 기술 개발 		
ETRI	<ul style="list-style-type: none"> AIN HEMT on AIN Template에 대한 연구 진행 중 미세 게이트(<100nm) 소자 설계 및 공정 기술 개발 												
경북대학교	<ul style="list-style-type: none"> AIN HEMT 에피 소재 성장에 대한 연구 진행 중 InAlN HEMT 에피 소재 설계 및 성장 기술 개발 												
한국산업기술대학교	<ul style="list-style-type: none"> AIN Template 기판 기술 개발 AlGaIn HEMT on AIN Template 에피 소재 연구 진행 중 												
(주)테스	<ul style="list-style-type: none"> AIN Template 성장용 고온 MOCVD 장비 개발 AIN Template 기판 기술 개발 												
(주)L&D전자	<ul style="list-style-type: none"> UV-C 및 HEMT용 AIN Template 기술 개발 UV-C LED 에피 소재 기술 개발 												

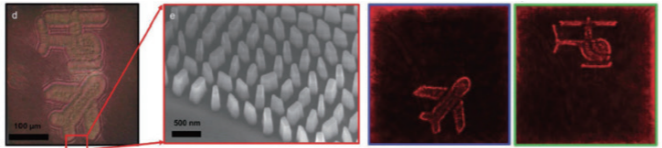
31 홀로그램용 메타 소재

품목명	홀로그램용 메타 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 능동 제어가 불가능하거나 가시광 이하 영역으로 제한적이었던 기존 메타 물질의 한계를 넘어, 실시간으로 제어 가능하며 나노 구조체로 고화질 광시야각 홀로그램을 가능하게 하는 능동 메타 소재 		<p>출처: Switchable Holographic Device Using Electrochemical Method(2018), 능동 광메타 디바이스 기술 동향(ETRI, 2018)</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (단기, 중기) 능동 광메타 소재 플랫폼 기술 개발 ※ 가시광 파장대역 능동 복소 변조 광메타 소재 및 제조 공정 핵심 기술 확보 2 (중기) 시야각(30도급) 복소 변조 홀로그램용 능동 광메타 소자 핵심 기술 ※ 30도 시야각 고화질 홀로그램용 복소 변조 능동 광메타 소자 공정 핵심 기술 확보 3 (장기) 광시야각(60도급) 복소 변조 홀로그램 패널 및 재현 시스템 기술 ※ 대면적 가시광대역 복소 변조 공간 광 변조기 패널 및 구동 기술 확보 		
주요 동향	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 디지털 홀로그램 기술 개발을 통해 자동차, 전자기기, 의료 분야에 활발히 적용되고 있으며, 자동차의 경우 HUD, 계기판, CID 적용이 시도되고 있다. ● 시장 규모 전망 홀로그램 원격 화상회의, 자동차용 홀로그램 내비게이션, 플로팅 홀로그램 등 세계 홀로그램 시장 규모는 2025년 743억 달러로 급팽창할 것으로 보인다. 이중 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시장은 2024년 54억 달러로 연평균 19.8%의 성장이 예상되며, 홀로그래픽 디스플레이 핵심 부품인 공간 광 변조기 시장은 2023년 6억 1,680억 달러에 이를 것으로 전망된다. (GIA, Marketsandmarkets, Marketresearchfuture) 메타 물질의 세계 시장은 연평균 20% 이상의 높은 성장률이 예상되며, 2028년 통신, 제조, 디스플레이 산업을 포함하여 5,800만 달러 이상의 규모로 세계 시장이 형성될 것으로 예상된다. (BCC Research) 		
	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 현재까지 알려진 광변조 소재는 복소 변조가 불가능하며, 파장 이하의 구조에서 광파의 특성을 자유자재로 바꿀 수 있는 능동 메타 소재가 유일한 대안으로 떠오르고 있다. ● 현재 대비 비교 능동 메타 기술을 이용하면 복소 변조가 가능하므로 우수한 홀로그램 화질을 구현할 수 있을 뿐만 아니라, 복잡하고 시간이 걸리는 데이터 변환이 필요 없어진다. 따라서 실시간 홀로그램 영상 전달 및 재현을 통하여 홀로그램-텔레프레젠템 서비스 구현이 가능해질 것이다. 		

중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 전시회, 광고 분야의 적용을 통해 교육과 엔터테인먼트를 제공하는 산업을 시작으로 확산되고 있으며, 자동차 분야에서는 내비게이션 분야에 기술 접목이 시작되고 있다. ● 예상 소요 기간 미래차에 적용될 3차원 고정밀 홀로그래피 기술을 개발하기 위해서는, 현재 태생적 개발 단계인 3차원 디지털 홀로그래피 기술의 시야각, 화질, 구현 면적 크기 확대 등 핵심적 기술 확보가 선제적으로 필요하며, 기술 개발에 10~11년이 소요될 것으로 예상된다. 					
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국, 독일) 대비 40% 수준 					
주요 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 메타 소재 홀로그램은 아직 적외선 파장 이상 수동형 메타 표면을 활용한 기초 연구 수준이다. ● 현재는 DMD나 LCoS, 상전이물질 기반 홀로그램 소자가 주로 연구되고 있고, 일부 수동형 메타 소재의 전극-편광 다중화 기법을 활용한 부분적인 다중 이미지 홀로그램 구현이 발표되었다. <p>영국 버밍엄대학교의 Metasurface 개념도(상)와 미국 하버드대학교의 Metasurface 개념도(하)</p>					
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>하버드대학교(미국)</td> <td>● 편광에 따라 서로 다른 이미지를 띄울 수 있는 편광 의존 투과형 광메타 홀로그램 기술 개발</td> </tr> <tr> <td>버밍엄대학교(영국)</td> <td>● 금속-유전체-금속 구조의 메타 물질을 이용해서 세계에서 가장 효율이 높은(80% 이상) 반사형 홀로그램 기술 개발</td> </tr> <tr> <td>베이징대학교(중국)</td> <td>● 실리콘 유전체 기반의 색 선택성을 가지는 수동형 메타 소재를 이용하여 컬러 홀로그램 구현</td> </tr> </tbody> </table>	하버드대학교(미국)	● 편광에 따라 서로 다른 이미지를 띄울 수 있는 편광 의존 투과형 광메타 홀로그램 기술 개발	버밍엄대학교(영국)	● 금속-유전체-금속 구조의 메타 물질을 이용해서 세계에서 가장 효율이 높은(80% 이상) 반사형 홀로그램 기술 개발	베이징대학교(중국)
하버드대학교(미국)	● 편광에 따라 서로 다른 이미지를 띄울 수 있는 편광 의존 투과형 광메타 홀로그램 기술 개발						
버밍엄대학교(영국)	● 금속-유전체-금속 구조의 메타 물질을 이용해서 세계에서 가장 효율이 높은(80% 이상) 반사형 홀로그램 기술 개발						
베이징대학교(중국)	● 실리콘 유전체 기반의 색 선택성을 가지는 수동형 메타 소재를 이용하여 컬러 홀로그램 구현						

32 3D AR용 메타렌즈 소재

품목명	3D AR용 메타렌즈 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 가시광 대역 초점 가변 능동 제어 특성의 메타렌즈를 무색수차 특성을 가진 초박형으로의 제작을 가능하게 하는 기하위상 광변조 메타렌즈 소재 ※ 기존 메타렌즈의 경우 초점 가변 기능이 부재하고, 반도체 나노 공정이 필수이다. 따라서 재현성과 양산성 있는 제작이 어려워 AR·VR 디스플레이 및 기타 이미징 산업에의 적용 확산에 한계가 있었다. ※ 또한, 주어진 메타 구조에서의 색수차 이슈로 인해 가시광 대역 활용에 제약이 있었다. 		 <p>출처: https://cns1.rc.fas.harvard.edu/single-metalens-focuses-entire-visible-spectrum-light-one-point/ http://it.chosun.com/site/data/html_dir/2018/01/05/2018010585049.html</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (중기) 무색수차 기하위상 광변조 메타렌즈 소재 및 소자 기술 (중기) 기하위상 광변조 메타렌즈 대구경화 소재 및 소자 기술 (장기) 초점 가변 능동 스위칭형 무색수차 메타렌즈 소재 및 소자 기술 (장기) 초점 가변 무색수차 메타렌즈 기반 AR 광학 모듈 (장기) 메타렌즈 기반 풀컬러 홀로그래픽 카메라용 광학 모듈 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 구글, 페이스북은 AR·VR 디스플레이의 소형화 및 시야각 향상을 위해 많은 연구를 하고 있으며, 메타렌즈를 해결책 중 하나로 생각하고 있다. 애플에서는 모바일용, AMS에서는 무인 자동차용 LiDAR 및 고성능 센서 개발을 위해 메타렌즈에 관심을 두고 투자하고 있다. 시장 규모 전망 2019년 PwC(Pricewaterhouse Coopers)는 글로벌 AR·VR 시장 규모를 2019년 464억 달러에서 2025년 4,760억 달러, 2030년 1조 5천억 달러로 성장할 것으로 전망했다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 광학 소재의 구조적 나노 패턴 효과를 이용하여 투과 또는 반사되는 광파의 위상 분포를 제어하는 초박형 초경량·자유곡면 구현 메타렌즈로, 전 가시광 대역에서 높은 효율로 무색수차 풀컬러 이미징이 초점 심도 가변되는 광학 소재 기술이다. 현재 대비 비교 현재까지의 메타렌즈는 공정과 소재의 한계로 인하여 대부분 근적외선(NIR) 대역에서 동작하는 형태로 개발되어 왔다. 	

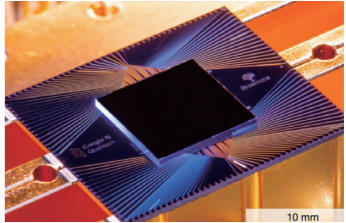
국내 외 연구 동향		국내
<ul style="list-style-type: none"> 학계 및 출연연을 중심으로 광메타 홀로그램 디스플레이 관련 기초 연구가 진행되고 있다. 액정 기반 디지털 홀로그램 기술이 연구되고 있으나, 능동형 메타 소재 기반 홀로그램 기술은 아직 수동 소자 수준이거나, 일부 부분적 능동형 홀로그램 구현 수준이다. 		
서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> 포항공과대학교, 경북대학교, 고려대학교와 공동으로 복소 홀로그램 이미지를 구현할 수 있는 수동형 광메타 소자 개발 	
KAIST	<ul style="list-style-type: none"> 전기적으로 제어되는 그래핀 소재를 이용하여 THz 영역에서 능동 구동되는 메타 소재 개발 	
포항공과대학교	<ul style="list-style-type: none"> 서울대학교와 공동으로 다결정 실리콘을 이용하여 선명도를 기존 대비 2대 더 높이면서 높은 회절 효율을 갖는 수동형 가시광 메타 표면 개발  <p>외부 자극에 서로 다른 두 홀로그램 이미지를 바꾸는 메타 표면</p>	
ETRI	<ul style="list-style-type: none"> 액정을 이용하여 1μm 픽셀피치의 공간 광 변조기를 개발하였으며, 상전이 소재인 GST를 이용하여 위상 변조 능동구동 공간 광 변조기 개발 	




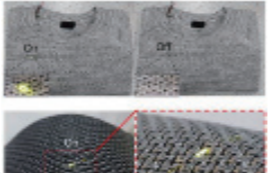
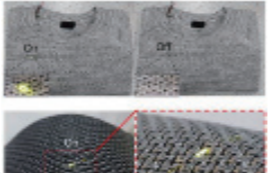
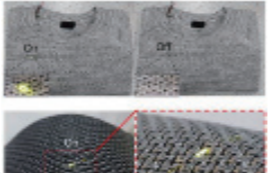
33 미래차용 섬유형 OLED 소재

품목명	미래차용 섬유형 OLED 소재	구분	소재	
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 미래차용 OLED 기반 섬유형 디스플레이 소재는 섬유 원단에 OLED 층을 구성, 섬유 자체가 발광하는 방식을 적용하여 내장 부품의 섬유 표면에 정보 표시 및 작동부 운용 등을 가능하게 하는 소재 <p>※ 내장 부품: 헤드라이너, 도어트림, 시트 등</p>	 <p>출처: 한국과학기술원 http://dongascience.donga.com/news/view/20994</p>		
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (장기) 섬유 표면 OLED 형성 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 원단을 구성하는 섬유 표면 상에 유기발광다이오드(OLED) 층을 형성하여 유연한 섬유형 디스플레이 구현 기술 ※ 기존의 Rigid 부착 방식이나 낮은 효율, 수명 등을 보완하고 발열량을 낮춘 OLED 층을 열에 취약한 섬유 표면에 직접 구현하는 섬유형 소재 기술 ※ 제직, 편직 등 섬유 집합체 공정이 가능한 OLED 섬유의 물성 확보 기술 2 (장기) OLED 적용 섬유 직조 및 성형 부품화 기술 : OLED 섬유 적용 부품화 기술 			
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>섬유형 디스플레이는 웨어러블 디바이스 시장을 타깃으로 개발되고 있다. 그 외에도 디스플레이와의 융합이 요구되는 제품이나 부품 시장에 적용이 된다. 특히, 미래차의 내장 부품에 적용할 수 있어 안전 및 인테리어 등의 부품 성능 향상도 가능하다.</p> <p>사람이 하루 중 접촉하는 표면의 70%에 섬유가 적용되고 있다. 섬유가 적용되는 모든 제품과 융합을 할 수 있어 관련 제품 및 산업에서의 폭넓은 활용성을 기대할 수 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 <p>플렉시블 디스플레이, 웨어러블 디스플레이, 자동차 내장 부품 시장의 비중이 클 것으로 예상된다. 플렉시블 OLED 디스플레이 세계 시장 규모는 2023년 39.1조 원(2019 UBI research), 웨어러블 디스플레이 시장 규모는 2024년 4.87조 원, 자율주행 자동차 시장은 2021년 3,300만 대 규모에 이를 것으로 전망된다. (IHS, 2019)</p>		
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>기존의 전도성 섬유 개발 및 LED를 이용한 개발 방향과 달리, 제품과의 융합도가 높고, 발열에 의한 섬유 내구성 문제 같은 단점을 보완할 수 있다. 직물을 구성하는 요소인 섬유에 고성능의 OLED를 제조한다는 점에서 혁신적인 성능 향상을 기대할 수 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 <p>현재 섬유 기반 디스플레이 개발 방법으로는 직물 상에 LED를 부착하거나 전자 잉크를 활용한 전자종이 방식이 이용되고 있다. 본 품목은 섬유상에 OLED 층을 형성하여 자체 발광하도록 하여, 기존 방법보다 플렉시블하다. 또한, 발열에 의한 노화 등의 문제를 해결하고 제품과의 일체화도 가능하다.</p>		
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>현재 섬유형 OLED 소재의 기본적인 원천 기술에 대한 연구가 선도적으로 진행되고 있다. 핵심 기술에 대한 선두를 확보하고 확대하기 위해서는 장기적인 관점에서의 정부 지원이 필요하다.</p>			

핵심 역량	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>메타렌즈는 유전체·금속·복굴절 소재의 구조적 나노 패턴 효과를 이용하는 방식으로 개발이 진행되고 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 <p>소재·광학적 특이성을 고려한 메타렌즈 소재 개발이 이루어져야 하므로, 소재 기술 개발에 10~11년이 필요할 것으로 예상된다.</p>					
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 30% 수준 					
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 메타렌즈를 이용한 AR 광학계 분야에 대한 기술은 구글, 페이스북, MS 등 다수의 해외 기업이 적극적으로 연구하고 있으며, 기하위상 메타렌즈에 대한 색수차 제거에 대한 연구는 ImagineOptix를 비롯한 다수의 대학 연구기관에서 주도하고 있다. <table border="1"> <tr> <td>Google, Facebook, Microsoft, ImagineOptix (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • AR 광학계 경량화 및 영상 심도 확보를 위한 수동형 메타렌즈 적용 가능성에 관해 연구 중 </td> </tr> <tr> <td>플로리다주립대 등 (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 플로리다주립대에서 기하위상 렌즈의 색수차 특성 감소를 위한 연구를 진행 중 • 다수의 연구기관에서 메타렌즈를 이용한 Super-resolution 특성 확보를 위한 연구를 진행 중 </td> </tr> </table>	Google, Facebook, Microsoft, ImagineOptix (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • AR 광학계 경량화 및 영상 심도 확보를 위한 수동형 메타렌즈 적용 가능성에 관해 연구 중 	플로리다주립대 등 (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 플로리다주립대에서 기하위상 렌즈의 색수차 특성 감소를 위한 연구를 진행 중 • 다수의 연구기관에서 메타렌즈를 이용한 Super-resolution 특성 확보를 위한 연구를 진행 중 	
	Google, Facebook, Microsoft, ImagineOptix (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • AR 광학계 경량화 및 영상 심도 확보를 위한 수동형 메타렌즈 적용 가능성에 관해 연구 중 					
	플로리다주립대 등 (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 플로리다주립대에서 기하위상 렌즈의 색수차 특성 감소를 위한 연구를 진행 중 • 다수의 연구기관에서 메타렌즈를 이용한 Super-resolution 특성 확보를 위한 연구를 진행 중 					
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 삼성종합기술원, 삼성전자, 경북대학교 등이 기하위상 메타렌즈 제작에 대한 연구를 추진하고 있으나, 무색수차 특성이나 초점 가변 기능이 있는 원천 소재 및 소자에 대한 연구는 부재한 상황이다. 색수차 특성이 있는 수동형 기하위상 렌즈를 이용한 AR 광학계 경량화 및 기능화에 대한 응용 연구는 삼성전자, LGD, 서울대학교, 경희대학교 등에서 진행하고 있다. <table border="1"> <tr> <td>삼성종합기술원, 삼성전자, LGD</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • AR 광학계 경량화를 위한 수동형 메타렌즈 적용 가능성에 대해 연구 중 </td> </tr> <tr> <td>서울대학교, 경희대학교, 세종대학교, 경북대학교 등</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 다수의 대학 연구기관에서 AR 광학계 경량화 및 기능화를 위한 수동형 메타렌즈 적용에 대해 연구 중이며, 메타렌즈의 Scale-up 가능성에 대해서도 일부 연구 중 </td> </tr> <tr> <td>ETRI</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 수동형 메타렌즈를 이용한 홀로그래픽 카메라 응용 기술에 대해 연구 중 </td> </tr> </table>	삼성종합기술원, 삼성전자, LGD	<ul style="list-style-type: none"> • AR 광학계 경량화를 위한 수동형 메타렌즈 적용 가능성에 대해 연구 중 	서울대학교, 경희대학교, 세종대학교, 경북대학교 등	<ul style="list-style-type: none"> • 다수의 대학 연구기관에서 AR 광학계 경량화 및 기능화를 위한 수동형 메타렌즈 적용에 대해 연구 중이며, 메타렌즈의 Scale-up 가능성에 대해서도 일부 연구 중 	ETRI	<ul style="list-style-type: none"> • 수동형 메타렌즈를 이용한 홀로그래픽 카메라 응용 기술에 대해 연구 중
삼성종합기술원, 삼성전자, LGD	<ul style="list-style-type: none"> • AR 광학계 경량화를 위한 수동형 메타렌즈 적용 가능성에 대해 연구 중 						
서울대학교, 경희대학교, 세종대학교, 경북대학교 등	<ul style="list-style-type: none"> • 다수의 대학 연구기관에서 AR 광학계 경량화 및 기능화를 위한 수동형 메타렌즈 적용에 대해 연구 중이며, 메타렌즈의 Scale-up 가능성에 대해서도 일부 연구 중 						
ETRI	<ul style="list-style-type: none"> • 수동형 메타렌즈를 이용한 홀로그래픽 카메라 응용 기술에 대해 연구 중 						

34 양자 컴퓨터용 상온 동작 능동 소재

품목명	양자 컴퓨터용 상온 동작 능동 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 양자 얽힘, 중첩(중첩 상태의 간섭성과 양자 얽힘 상태의 동시 상태 변환) 등과 같은 양자역학적 현상을 이용하여 양자 컴퓨팅 프로세서 개발에 적용되는 양자 소재 ※ 양자 회로를 제작할 수 있는 소재로 비가역적인 양자 계산을 수행하고, 양자비트(Quantum Bits)를 구현할 수 있는 능동적인 기능의 양자 소재 		<p>출처: ai.googleblog.com https://ai.googleblog.com/2019/10/quantum-supremacy-using-programmable.html</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 물리 양자비트 구현 양자 소재 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ (중기) 저잡음 고체 양자 프로세서 소자 제작을 위한 기판 소재 기술 ※ (중기) 양자 프로세서 소자의 재료 물성과 양자비트 성능 상관 관계 탐색 기술 ※ (장기) 양자 프로세서 소자 제작을 위한 최적 공정 기술 개발에 필요한 능동 양자 소재 2 양자 능동소재 고집적화 공정 및 확장성 구현 양자 프로세서 소자 <ul style="list-style-type: none"> ※ (장기) 양자 능동 소재로 기반 다중 양자비트의 Single-shot 양자 상태 측정 기술 ※ (장기) 양자 능동 소재 다차원 어레이 집적화 및 개별 양자비트 제어 기술 ※ (장기) 양자 능동 소재를 이용한 다중 양자비트 간 양자 얽힘 상태 확장 및 제어 기술 3 양자 능동 소재 활용 양자 프로세서 소자 개발 <ul style="list-style-type: none"> ※ (단기) 100큐비트 99% 양자 연산 신뢰도를 가지는 양자 프로세서 ※ (중기) 1000큐비트급 99.9% 양자 연산 신뢰도를 가지는 양자 프로세서 ※ (장기) 10,000큐비트급 99.99% 이상 양자연산 신뢰도를 가지는 양자 프로세서 		
미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>세계적 기술 경쟁에서 IBM, 구글, Honeywell 같은 기업을 중심으로 50큐비트 수준의 양자 컴퓨터 성능을 구현하고 있다. 확장성을 구현하는 능동 소재의 선제적 개발이 양자 컴퓨터 개발에 있어 중요한 시점이다.</p>		
	<ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 <p>Inside Quantum Technology, Quantum Computing Strategies의 조사에 의하면 양자 컴퓨터 세계 시장 규모는 2019년 기준 0.84억 달러에서 2027년 14.54억 달러로 연평균 42.6%의 고성장이 예상된다. 능동 소재 관련 시장이 양자 컴퓨터 시장의 30% 이상을 차지할 것으로 전망된다.</p>		
	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>양자 컴퓨터용 능동 소재는 양자 프로세서의 고성능화와 양자 얽힘 확장성 구현을 위한 핵심적 빌딩 블록이다. 기존 소재의 양자 상태 불안정성에 기인한 양자 프로세스 확장성과 계산 정확도의 성능 한계를 극복할 수 있는 미래 유망 기술이다.</p>		
기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 <p>위상절연체를 활용하여 상온 큐비트의 생성이 가능해진다면, 적은 큐비트로도 외부의 움직임에 방해받지 않는 기초적인 양자 연산 장치 구현이 가능하다.</p>		

해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 <p>미래차 전장 부품용 섬유형 OLED 소재는 아직 산업이 형성되지 않은 분야로, 소재의 성능 향상을 위한 연구가 진행되고 있다. 기술의 완성도 향상에 대한 사전 진행이 필요하며, 기술 개발에 10~11년이 소요될 것으로 예상된다.</p>											
	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(한국) 											
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● Vivometrics, ATL, 아디다스 등에서 웨어러블 디바이스 개발에 집중하고 있다. 디스플레이 관련 연구는 시작 단계이며, 섬유 원단이 직접 발광하는 방식의 연구가 진행 중이나 낮은 효율과 짧은 수명이 단점이다. ● 웨어러블 디바이스 관련 기술 개발이 주를 이루며, 자동차 디스플레이의 경우 디스플레이의 직접적인 적용에 집중되어 있다. 											
	<table border="1"> <tr> <td>Vivometrics (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 웨어러블 센서가 장착된 Life shirts 개발 </td> <td></td> </tr> <tr> <td>Continental (독일)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 디스플레이를 해당 부품에 직접 적용한 Invisible A-pillar 개발 중 </td> <td>  </td> </tr> </table>	Vivometrics (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 웨어러블 센서가 장착된 Life shirts 개발 		Continental (독일)	<ul style="list-style-type: none"> • 디스플레이를 해당 부품에 직접 적용한 Invisible A-pillar 개발 중 						
	Vivometrics (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 웨어러블 센서가 장착된 Life shirts 개발 										
Continental (독일)	<ul style="list-style-type: none"> • 디스플레이를 해당 부품에 직접 적용한 Invisible A-pillar 개발 중 											
<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 코오롱 글로텍, 한국과학기술대학 등이 의료 유형의 웨어러블 디스플레이를 개발하고 있지만, 대부분 Rigid 방식이다. 플렉시블 방식인 Fiber OLED에 관한 연구가 진행되고 있지만, 낮은 효율과 짧은 수명으로 실제 적용에 한계가 있다. 												
국내	<table border="1"> <tr> <td>코오롱 글로텍</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • KAIST와의 공동 연구로 직물 위에 OLED 형성 성공 </td> <td></td> </tr> <tr> <td>Shiftwear</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • E-Paper 형태의 디스플레이가 적용된 신발을 제작, 웨어러블 디스플레이 관련 연구 진행 중 </td> <td></td> </tr> <tr> <td>한국과학기술대학</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 섬유상에 유연한 OLED 층을 형성하여 웨어러블 디스플레이 구현 </td> <td>  </td> </tr> </table>	코오롱 글로텍	<ul style="list-style-type: none"> • KAIST와의 공동 연구로 직물 위에 OLED 형성 성공 		Shiftwear	<ul style="list-style-type: none"> • E-Paper 형태의 디스플레이가 적용된 신발을 제작, 웨어러블 디스플레이 관련 연구 진행 중 		한국과학기술대학	<ul style="list-style-type: none"> • 섬유상에 유연한 OLED 층을 형성하여 웨어러블 디스플레이 구현 			
	코오롱 글로텍	<ul style="list-style-type: none"> • KAIST와의 공동 연구로 직물 위에 OLED 형성 성공 										
	Shiftwear	<ul style="list-style-type: none"> • E-Paper 형태의 디스플레이가 적용된 신발을 제작, 웨어러블 디스플레이 관련 연구 진행 중 										
한국과학기술대학	<ul style="list-style-type: none"> • 섬유상에 유연한 OLED 층을 형성하여 웨어러블 디스플레이 구현 											

35 초분광 영상용 적외선 센서 소재

품목명	초분광 영상용 적외선 센서 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 화합물 반도체에 바탕을 둔 근·단·중파장 적외선(IR) 대역 검출 에피 기판 소재 ● 패브리-페로 간섭에 기초하는 적외선 대역의 마이크로 선형 가변형 광학 필터(FP-LVOF) 소재 ● 마이크로 FP-LVOF가 내재된 적외선 초분광 영상 센서 		 <p>출처: ETRI https://blog.naver.com/with_msip/221804664576</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (중기) 화합물 반도체 기반 적외선 대역 에피 기판 소재 기술 ※ 단·중·장파장 적외선 대역의 밴드갭을 갖는 벌크 화합물 반도체 기술 ※ 양자구조에 따라 밴드갭이 변하는 저차원 화합물 반도체 구조 제어 기술 2 (중기) 초분광 광학 소재 기술 ※ 모자이크 형태의 배열 필터 또는 선형 가변형 필터 제작 기술 ※ 공진층, 차단파장층 및 상·하부 반사층 최적 설계와 유전체 박막 적층 공정 기술 3 (중기) 적외선 검출기용 판독집적회로(ROIC) 기술 ※ 배열 수, 셀피치, 동작 온도, 동작 속도 기반 회로 설계 기술 4 (장기) 마이크로 필터 내재형 적외선 초분광 영상 센서 제작 기술 ※ 분광 필터를 다초점 배열의 적외선 영상 센서에 집적화하는 반도체 공정 기술 5 (장기) 초분광 센서 패키징 기술 ※ 저전력 구동 열전 냉각 소자 결합 진공 패키징 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 항공우주 및 방위 산업 피아 식별 장치, 인공위성 탑재체, 의료산업에 바이오매스 식별을 포함, 여러 분야에 활용하기 위해 전 세계가 경쟁적으로 연구개발을 진행하고 있다. 초소형 정밀가공 기술 및 인공지능 기술 등의 적극적인 기술 융합을 통해 고부가가치를 갖는 센서로의 성장이 기대된다. ● 시장 규모 전망 글로벌 초분광 이미징 시장 규모는 2017년 96.5만 달러로 확인되었으며, M&M 사 리포트에 따르면 2017년부터 2025년까지 연평균 성장률 3.8%로 성장하여 100만 달러에 이를 것으로 전망된다. 북미는 2017년 글로벌 점유율 38% 이상을 차지하며 초분광 산업을 장악했으며, 이 지역의 초분광 이미징 시스템에 대한 수요는 2025년까지 3% 이상의 연평균 복합 성장률(CAGR)로 성장할 것으로 예상된다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 기존의 적외선 스펙트럼 분석 장치(FTIR, Raman, OES 등)는 적외선 감지부와 적외선 분광기가 따로 결합된 형태이다. 객체를 분석하기 위해 시료를 채취해야 하고, 분광기는 스캔이 필요해 실시간 분석 및 현장 모니터링이 불가능하였다. 분광 적외선 영상 센서는 분광기 없이도 센서 자체로 적외선 분광 정보를 획득할 수 있으며, 실시간 이차원 영상을 구현할 수 있다. 산업 및 실시간 현장 분석, 적외선 영상에 기반한 새로운 물질 분석을 가능하게 하는 기술이다. 	

기술 현황	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 광자 및 2차원 신물질을 이용하여 상온에서 동작하는 양자 프로세서 연구는 소재 제작과 측정 기술을 중심으로 활발하게 연구되고 있다. 그러나 양질의 양자 소재 성장 및 나노 공정 기술을 활용한 고성능 양자 소재 제작 기술은 해외 의존도가 높다. ● 예상 소요 기간 양자 소재는 양자 기술을 실용화 기술로 이끄는 핵심적인 동인으로, 양질의 소재 개발이 기술 개발의 성패를 좌우하는 핵심적인 미래 기술이다. 따라서 기술 개발에 10~11년이 필요할 것으로 예측된다. 	
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 75% 수준 	
연구 방향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 초전도, 이온 트랩, 반도체 집적회로, 광집적회로를 구성하는 양자 능동 소재를 이용하여 NISQ(Noise Intermediated State Quantum Processor) 단계의 양자 볼륨 128 수준의 양자 컴퓨터가 개발되었다. ● 최근, 광자를 이용한 광집적회로에서 보존 샘플링 방식으로 양자 컴퓨팅의 우월성을 50개의 광자 큐비트로 구성된 광집적회로를 통해 상온 동작이 구현되었다. (Science 2020) 	
		Intel(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 컴퓨터에 사용될 큐비트 능동 소재로, 공정의 안정성이 높고 오류율이 상대적으로 낮은 반도체 양자점, 2D 물질 기반의 능동 양자 소재 및 소자 개발 중
		Google, IBM(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 초전도체 큐비트 방식을 적용하여 극저온에서 양자 컴퓨터 능동 소자인 조셉슨 소자를 이용하여 72큐비트를 구현함
		퍼듀대, MIT(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 다중 큐비트로 얽힘 상태인 광자를 활용하여 양자 프로세서를 구현할 수 있는 실리콘 양자 광집적회로를 개발 중이며, 양자 컴퓨터뿐만 아니라 양자 통신 양자 센서 적용 가능성을 제시함
		중국과학기술대학(중국)	<ul style="list-style-type: none"> • 50개의 단일 광자를 100개 모드의 양자 간섭계를 통해 상온에서 동작하는 광학적인 양자 컴퓨터 광집적회로를 개발, 양자 우월성을 구현함
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 원자 및 광자 플랫폼 중심으로 양자 시뮬레이터 소재 연구 진행 중 ※ 허버드 모델을 해결하기 위해 대규모 큐비트 양자 시뮬레이터 연구를 진행 중이다. (KRISS-SNU-KAIST 컨소시엄, 2019) 		
	KRISS	<ul style="list-style-type: none"> • Transmon 물리 양자비트 CNOT 이중 큐비트 게이트 구현 및 콘도 격자 모델 양자 시뮬레이션을 위한 이터븀 원자 양자 플랫폼 개발 중(2019년~) 	
	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> • Si, GaAs 반도체 양자점 물리 양자비트 분야, 이중 큐비트 구현 및 강상 관계 및 양자 위상학적 시뮬레이션을 위한 나트륨 원자 양자 플랫폼 개발 추진(2019년) 	
	ETRI	<ul style="list-style-type: none"> • 양자 컴퓨팅 시스템 소프트웨어 Stack 개발, 광집적회로 활용 양자 프로세서 및 네트워크 기반 양자 컴퓨팅 확장 기술 연구 추진(2019년, 2020년) 	
	KIST	<ul style="list-style-type: none"> • 다이아몬드 점결함 물리 양자비트 나노 구조체 제작 및 스핀 공명 측정(2019년) 	

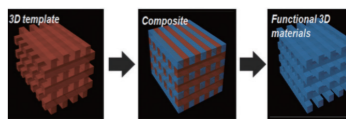
36 나노 구조 알루미늄 합금

품목명	나노 구조 알루미늄 합금	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 인장 강도 또는 항복 강도 1GPa 이상인 알루미늄 합금 소재 <ul style="list-style-type: none"> ※ 기존의 야금학적 기술로 달성할 수 없었던 1GPa 이상의 초고강도를 재료의 나노 구조화를 통해 달성 		
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (장기) 합금설계기술 : 나노 구조 제어형 알루미늄 합금 설계 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 가공경화형 향상을 위한 최적 합금원소 설계 기술 ※ 적층제조 물성 및 생산성 향상을 위한 합금원소 설계 기술 (중기) 공정 기술 (중기) : 나노 구조 제어형 적층제조 및 고에너지인자 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 응고 제어 적층 제조 나노 구조화 기술(단일 합금, 단일 공정) ※ 변형에너지 제어 나노 구조화 기술(단일 합금, 단일 공정) ※ 적층 제조, 강소성 가공 연계 및 조합 공정 설계 기술 (단일 합금, 조합 공정) (장기) 응용 기술 : Scale-up 및 고효율 기가 알루미늄 합금 생산 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 강소성 가공 Scale-up 및 대변형 균일 부가 공정 기술 ※ 적층제조 및 강소성 가공 공정 연계 연속제조 기술 		
중요성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 <ul style="list-style-type: none"> 초고강도 알루미늄 합금은 항공우주, 경량 자동차 및 미래 수송기기 분야에서 성장 가능성이 높다. Alcoa, Novelis, Constellium, Hydro 등 미국, 유럽의 거대 기업이 개발을 주도하고 있다. 중국 등의 공격적인 설비 증설로 범용 알루미늄 합금 가격이 하락 추세이다. 고난도의 기술이 요구되는 동시에 가치 창출 가능성이 높은 드론, 로봇, 전기자동차, 도심형 항공 모빌리티 등에서의 1기가급 초고강도 알루미늄 합금 시장의 성장이 예상된다. 시장 규모 전망 <ul style="list-style-type: none"> 초고강도 알루미늄 합금 시장은 2018년 기준 132억 달러에서 2023년 190억 달러로의 성장이 예상된다. (Markets&Markets) 금속 복합 소재의 세계 시장은 2019년 기준 4.4억 달러이며 2020년부터 2027년까지 약 6.4%의 성장이 예상된다. IDTechEx는 2027년 알루미늄 복합 소재의 전 세계 시장을 2.5억 달러 이상으로 전망하고 있다. 		

출처: Gibson, M. A. (2016). Segregation and embrittlement in metallic interfaces: bounds, models, and trends (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 현재 대비 비교 <ul style="list-style-type: none"> 지금까지 적외선 초분광 영상은 대형 광학계와 구동 시스템이 포함된 장치를 전용 항공기에 탑재하여 구현하였다. 필터가 내장된 초분광 영상 센서가 개발되면 실시간 영상 획득과 분석이 가능해진다.
	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 <ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 정부 출연 중심으로 일부 적외선 검출 소재 성장 및 소자 공정 기술이 확보되었고, 초분광 필터 개발을 위한 요소 기술 개발이 진행되었다. 일부 원천 기술을 확보하였으나, 아직 상용화에 필요한 기술 수준에는 못 미친다. 예상 소요 기간 <ul style="list-style-type: none"> 최근, 해외의 선도 기업은 적외선용 초분광 영상 광학계에 관한 연구 개발 및 상업화를 진행하고 있다. 따라서, 5년 이후 대등한 수준의 기술력 확보가 가능할 것으로 판단된다.
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 30% 수준
	<ul style="list-style-type: none"> 국방, 항공우주 분야에 적용되는 전략 기술로 선진 기관의 연구개발 동향 및 기술 수준에 대한 파악이 어렵다. 하지만 2000년대 초, NASA에서 최초로 보고된 바 있으며, 현재 DRS Technologies(미국), Raytheon(미국), Teledyne(미국), Lockheed Martin(미국), NASA JPL(미국), Sofradir(프랑스) 등에서 표적 탐지 및 식별 범위를 확장하기 위한 초분광 적외선 센서 개발 프로그램을 진행 중이라고 판단하고 있다.
기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> IMEC (벨기에) <ul style="list-style-type: none"> 가시광선 및 근적외선 대역 Bayer mosaic pixel형 검출기는 IMEC에서 CMOS 기반의 다양한 포맷으로 개발이 완료되었으며, 유럽과 미국 등 협력 업체에 센서를 공급하여 카메라 상용화에 성공했다. 현재 단파장, 중파장 대역으로 확장된 초분광 센서를 개발하는 중이다. Hamamatsu Photonics (일본) <ul style="list-style-type: none"> 2019년 세계 최초로 InGaAs 기반 단파장(2.55μm) 초분광용 영상 센서 상용화에 성공했다. 단 필터 어레이가 집적화된 형태는 아니며, 초분광신호 처리 기능이 영상 센서에 적용된 것으로 파악된다.
	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기업에서는 초분광 센서를 자체적으로 개발하기보다 국외에서 도입한 가시광선-근적외선 대역 초분광 영상 센서를 이용한 응용 연구 및 시스템 개발이 대부분이다. 초분광 소재 및 센서는 정부 출연 연구소에서 연구를 일부 진행하고 있다.
해외	<ul style="list-style-type: none"> 국방과학연구소 <ul style="list-style-type: none"> 국내 확보된 InGaAs 영상 센서를 기반으로 하여 회절격자 분광계를 적용한 단파장 초분광 영상 기술을 개발 중이다. 한국표준과학연구원 <ul style="list-style-type: none"> 2010년 중반부터 패브리-페롯, 플라즈모닉 분광 필터가 결합된 초분광 단 중 파장 적외선 영상 센서 기술 개발을 미공군 연구소와 공동으로 진행 중이다.
	<ul style="list-style-type: none"> 국내 <ul style="list-style-type: none"> 국방과학연구소 <ul style="list-style-type: none"> 국내 확보된 InGaAs 영상 센서를 기반으로 하여 회절격자 분광계를 적용한 단파장 초분광 영상 기술을 개발 중이다. 한국표준과학연구원 <ul style="list-style-type: none"> 2010년 중반부터 패브리-페롯, 플라즈모닉 분광 필터가 결합된 초분광 단 중 파장 적외선 영상 센서 기술 개발을 미공군 연구소와 공동으로 진행 중이다.

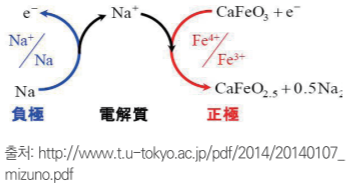
37 멤리스터용 나노 복합 소재

품목명	멤리스터용 나노 복합 소재	구분	소재								
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 두 개의 3D 정렬 금속 네트워크 사이에 이종 물질로 구성된 연속적인 박막이 경계를 짓는 신개념 나노 복합체 ※ 금속 내부에 연속적으로 정렬된 얇은 셀 형태의 이종 소재를 합침시켜 기존의 금속-세라믹 나노 복합체에서 구현할 수 없는 새로운 물성을 지닌 차세대 복합 소재 		<p>출처: 안창의, 박준용, 전석우 (2019), 3차원 나노구조화 기술을 이용한 고성능 기능성 세라믹 연구개발 동향, 세라미스트, 22(3), 230-242</p>								
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (단기) 응용별 최적 구조 제작 및 물질 전환 공정 <ul style="list-style-type: none"> ※ 멤리스터 특성 향상을 위한 최적 소재 탐색 및 발굴, 이의 물질 전환 기술 2 (중기) 소재 제작 및 응용 가능 물질 탐색 <ul style="list-style-type: none"> ※ 비평면 나노 구조 표면에 신물질 균질 박막 증착 기술 ※ 3D 인공결정립 형성 기술 4 (장기) 분야별 최적 3차원 나노 구조 디자인 및 응용 연구 <ul style="list-style-type: none"> ※ 아날로그 신호 저장과 저전력 소모를 위한 최적 구조 설계 및 제작 기술 ※ 소자 결함 제거 및 최적화 기술 5 (장기) 소재 양산 및 산업적 응용 <ul style="list-style-type: none"> ※ 뉴로모픽 소자용 원소재 양산 기술 ※ 아날로그 뉴로모픽 어레이 제작 기술 										
중요성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신성 나노 구조 기가 강도 알루미늄(Nano structured aluminum alloys with gigapascal strength)은 기존 알루미늄 합금에서 발현되는 한계 강도인 0.7GPa를 극복하고 1GPa 이상의 강도를 갖는다. 알루미늄 내부의 기지 조직(결정립 구조) 및 제2상(석출상, 분산상, 강화상 등)의 크기를 나노미터 수준으로 제어함으로써 강도가 초고강도강(Ultra high-strength steel, UHSS) 수준에 이르는 혁신적인 소재이다. ● 현재 대비 비교 기존의 고강력강, Ti-6Al-4V 합금을 대체하면서 추가적인 경량화가 가능하므로 경량 자동차, 항공우주 및 방산 부품 등 고성능 부품에 활용이 가능할 것으로 예상된다. 										
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 국내의 경우, 주로 해외 선도 기관의 고강도 알루미늄 제조 기술을 벤치마킹하는 형태로 기술 개발이 이루어져 왔으며, 일부 대학에서 강소성 가공, 급속냉각 및 복합화를 통한 1GPa급 초고강도 알루미늄 개발을 진행하고 있다. 데이터 기반 소재-공정 설계 기술의 경우는 아직 태동기 수준이다. ● 예상 소요 기간 국내에서 해당 소재의 기술 개발에 착수한다면, 10~11년 이내에 새로운 알루미늄 합금 기술을 확보할 것으로 기대된다. 										
기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 50% 수준 										
국내외 연구 현황	<ul style="list-style-type: none"> ● 차세대 기가 알루미늄 분야에 대한 기술은 미국, 호주, 유럽 등 기술 선진국을 중심으로 UCLA, 시드니대학 등에서 주도하고 있다. 2010년 이후로 Nature Comm. 등의 논문에서 적층 제조 기술과 고에너지 인가 강소성 가공 기술을 이용하여 실험실 규모에서 1GPa 이상의 강도를 갖는 알루미늄 합금이 보고되었다. 										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>해외</th> <th>UCLA(미국)</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 나노 입자를 포함한 알루미늄 분말 적층 제조를 통해 항복 강도 0.9GPa, 탄성계수 200GPa 달성 </td> </tr> <tr> <th>시드니대학(호주)</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 7075 합금을 강소성 가공하여 나노 결정립 및 서브 나노 클러스터 형성 및 구조 균질화를 통해 항복 강도 1GPa 달성 </td> </tr> <tr> <th>IFW Dresden(독일)</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • AlNiGdCo 분말을 강소성 가공하여 ~1.5GPa 달성 </td> </tr> </thead> </table>	해외	UCLA(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 나노 입자를 포함한 알루미늄 분말 적층 제조를 통해 항복 강도 0.9GPa, 탄성계수 200GPa 달성 	시드니대학(호주)	<ul style="list-style-type: none"> • 7075 합금을 강소성 가공하여 나노 결정립 및 서브 나노 클러스터 형성 및 구조 균질화를 통해 항복 강도 1GPa 달성 	IFW Dresden(독일)	<ul style="list-style-type: none"> • AlNiGdCo 분말을 강소성 가공하여 ~1.5GPa 달성 			
	해외	UCLA(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 나노 입자를 포함한 알루미늄 분말 적층 제조를 통해 항복 강도 0.9GPa, 탄성계수 200GPa 달성 								
	시드니대학(호주)	<ul style="list-style-type: none"> • 7075 합금을 강소성 가공하여 나노 결정립 및 서브 나노 클러스터 형성 및 구조 균질화를 통해 항복 강도 1GPa 달성 									
IFW Dresden(독일)	<ul style="list-style-type: none"> • AlNiGdCo 분말을 강소성 가공하여 ~1.5GPa 달성 										
<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 일부 학교와 연구소를 중심으로 알루미늄 적층 제조에 관한 연구를 추진하고 있으나, 초고강도 알루미늄 소재의 개발 연구는 미비한 상황이다. ● 과거 강소성 가공법을 이용한 고강도화 기술 개발 사례의 경우, 상용 알루미늄 합금의 강도 수준을 벗어나지 못했다. 초고강도 알루미늄 합금 개발은 7,000계 합금을 이용하여 합금 설계 및 공정 개선을 통한 고강도화 연구가 다수 진행되었으나, 최대 강도 0.7GPa 수준이 한계이다. 											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>국내</th> <th>한국재료연구원</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • AlSi10Mg 분말 제조 및 적층 공정에 대한 연구가 수행된 바 있으나, 초고강도 알루미늄 합금에 대한 연구는 전무 </td> </tr> <tr> <th>한국과학기술연구원</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • ECAR 강소성 가공법을 이용하여 고강도 벌크나노 알루미늄 합금 연구 수행 </td> </tr> <tr> <th>순천대학교</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • AlSi10Mg 분말의 적층 제조 공정 및 미세 조직에 대한 연구 수행 </td> </tr> <tr> <th>국방과학연구소</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Sc 함유 초고강도 알루미늄 합금 개발 진행, 인장 강도 0.7GPa 달성 </td> </tr> </thead> </table>	국내	한국재료연구원	<ul style="list-style-type: none"> • AlSi10Mg 분말 제조 및 적층 공정에 대한 연구가 수행된 바 있으나, 초고강도 알루미늄 합금에 대한 연구는 전무 	한국과학기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • ECAR 강소성 가공법을 이용하여 고강도 벌크나노 알루미늄 합금 연구 수행 	순천대학교	<ul style="list-style-type: none"> • AlSi10Mg 분말의 적층 제조 공정 및 미세 조직에 대한 연구 수행 	국방과학연구소	<ul style="list-style-type: none"> • Sc 함유 초고강도 알루미늄 합금 개발 진행, 인장 강도 0.7GPa 달성 		
국내	한국재료연구원	<ul style="list-style-type: none"> • AlSi10Mg 분말 제조 및 적층 공정에 대한 연구가 수행된 바 있으나, 초고강도 알루미늄 합금에 대한 연구는 전무 									
한국과학기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • ECAR 강소성 가공법을 이용하여 고강도 벌크나노 알루미늄 합금 연구 수행 										
순천대학교	<ul style="list-style-type: none"> • AlSi10Mg 분말의 적층 제조 공정 및 미세 조직에 대한 연구 수행 										
국방과학연구소	<ul style="list-style-type: none"> • Sc 함유 초고강도 알루미늄 합금 개발 진행, 인장 강도 0.7GPa 달성 										
중요성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 나노 스케일 실리콘에서 인간의 시냅스와 유사한 STDP(Spike timing dependent plasticity) 현상을 발견하면서 시냅스 기반 인공지능 분야에 대한 적용 가능성이 높아졌고, 이를 계기로 전 세계적으로 R&D가 활발히 진행되고 있다. 폰 노이만 구조를 탈피한 뇌 신경망에서 연산과 정보 저장을 동시에 진행하는 Processor-in-Memory, Spiking-Neural-Network 접근 전략이 주목받고 있다. ● 시장 규모 전망 인공지능 하드웨어 시장은 2016년 39억 달러에서 2022년 936억 달러로, 연평균 58%의 지속적인 성장이 예상된다. 이중 뉴로모픽(Neuromorphic) 칩의 핵심이라고 할 수 있는 저장 변화 메모리 기반의 뉴로모픽 소자는 2020년, COVID-19로 인한 위기에도 시장 규모가 23억 달러에 이른 것으로 추정되며, 2027년 104억 달러 규모로 성장할 것으로 예측된다. 										

3차원 정	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 기존의 저항 변화 소자의 경우, 2차원에 한정된 계면에 의존하여 소자의 스케일링 다운에 의해 광대역 저항 변화를 저하의 트레이드오프가 있다. 이를 극복하기 위해 3차원의 연속적인 세라믹 계면을 갖는 복합 소재로 계면 저항 변화 면적을 극대화 하고, 저전력에서 구동 가능한 고집적 소자 개발이 가능하다. 현재 대비 비교 불연속적이고 불규칙한 금속-세라믹 계면으로 인해 발생하는 기존 소재의 한계 및 비효율적 공정 방식을 극복하고, 미래 고부가가치 산업 분야(구조 및 반도체 소재 분야) 시장에 적용할 수 있다. 							
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 서강대학교, 한국과학기술원 등이 3D 나노 구조 제작 및 응용 연구를 추진하고 있으며, 한국과학기술원과 서울대학교, 삼성전자 등이 차세대 메모리스트 소자 개발 연구를 추진하고 있다. 하지만, 정렬된 세라믹 결정립계를 갖는 3D 나노 복합체 제작 및 3D 금속-세라믹 계면에서 발생하는 물성 특이점에 관련한 연구는 전무하며, 이를 특정 분야에 응용하는 연구는 초기 단계이다. 예상 소요 기간 국내에서 해당 소재의 기술 개발을 착수한다면, 10~11년 이내에 인공결정립 기반의 아날로그 뉴로모픽 소재 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대한다. 							
국내 외 연구 내용	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 70% 수준 							
	해외	<ul style="list-style-type: none"> 대학 및 국책 연구소를 중심으로 3D 나노 구조 소재 및 뉴로모픽 소자 기술 관련 기초 연구가 활발히 수행되고 있다. <table border="1"> <tr> <td>하노버대학교(독일)</td> <td>• 이광자 중합반응(Two-photon lithography)을 통해 3차원 나노 구조체를 제작하고 구조 다양성을 확보하여 Photonic device의 프로토타입 제시</td> </tr> <tr> <td>HRL 연구소(미국)</td> <td>• 광 리소그래피를 이용해 제작한 금속 마이크로 계층 격자의 우수한 기계적 특성 보고</td> </tr> <tr> <td>Hewlett-Packard: HP Group(미국)</td> <td>• 이론적으로만 존재했던 메모리스트 소자를 실험적으로 규명</td> </tr> <tr> <td>Intel(미국)</td> <td>• 종래의 2D 평면 적층 구조가 아닌 3차원 나노 구조를 활용한 차세대 반도체 소재 개발 연구 착수</td> </tr> </table>	하노버대학교(독일)	• 이광자 중합반응(Two-photon lithography)을 통해 3차원 나노 구조체를 제작하고 구조 다양성을 확보하여 Photonic device의 프로토타입 제시	HRL 연구소(미국)	• 광 리소그래피를 이용해 제작한 금속 마이크로 계층 격자의 우수한 기계적 특성 보고	Hewlett-Packard: HP Group(미국)	• 이론적으로만 존재했던 메모리스트 소자를 실험적으로 규명	Intel(미국)
하노버대학교(독일)	• 이광자 중합반응(Two-photon lithography)을 통해 3차원 나노 구조체를 제작하고 구조 다양성을 확보하여 Photonic device의 프로토타입 제시								
HRL 연구소(미국)	• 광 리소그래피를 이용해 제작한 금속 마이크로 계층 격자의 우수한 기계적 특성 보고								
Hewlett-Packard: HP Group(미국)	• 이론적으로만 존재했던 메모리스트 소자를 실험적으로 규명								
Intel(미국)	• 종래의 2D 평면 적층 구조가 아닌 3차원 나노 구조를 활용한 차세대 반도체 소재 개발 연구 착수								

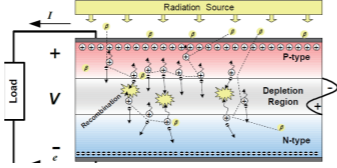
국내 외 연구 내용	해외	<ul style="list-style-type: none"> 소재·공정 관련 근본적 기술 난제로 인해 상용화에 어려움을 겪고 있다. <table border="1"> <tr> <td>3D 나노 구조 소재 관련</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Colloidal self-assembly, Direct laser writing(DLW), Direct ink writing(DIW) 등 비전통적인 방식의 3D 정렬 나노 구조 특화 제조 기술들이 개발되었으나, 양산성이 부족하여 산업적 기술로 발전하기에는 다소 무리가 있었음 2004년, 위상 마스크를 이용하여 대면적 상에서 더욱 신뢰성을 높여 3D 정렬 나노 구조를 제조할 수 있는 근접장 나노패터닝 기술 개발 지금까지 제조된 3D 정렬 나노 구조는 주로 광결정 물성 응용 연구에 활용되어 왔으며, UIUC의 Paul Braun 교수 연구팀에 의해 배터리, 슈퍼커패시터, 태양전지를 포함하는 에너지 소자의 고효율화 연구에 일부 활용됨 </td> </tr> <tr> <td>뉴로모픽 소자 기술 관련</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 1971년 L. Chua에 의해 저항 가변 메모리 Element 존재가 예측되었고, 2008년 HP 사에서 R, L, C 외에도 나노 스케일 물질에서 전계에 의한 이온, 전자 전도 현상으로부터 메모리스트 물성이 존재함을 Nature 지에 발표하면서 지능형 반도체 응용을 위한 연구가 진행됨 Michigan 대학에서 나노 스케일 실리콘에서 인간의 시냅스와 유사한 STDP(Spike timing dependent plasticity) 현상 발견. 시냅스 기반의 인공지능 분야에 대한 적용가능성이 높아짐으로써 R&D가 전 세계적으로 활발함 Massachusetts 대학에서 HfO₂ 기반 뉴로모픽 소자를 8Layer로 적층한 3차원 어레이를 구현하였고, 제작된 뉴럴 네트워크에 Kernl 프로그램을 통하여 손으로 쓴 숫자를 인식할 수 있음을 제시함 </td> </tr> </table>	3D 나노 구조 소재 관련	<ul style="list-style-type: none"> Colloidal self-assembly, Direct laser writing(DLW), Direct ink writing(DIW) 등 비전통적인 방식의 3D 정렬 나노 구조 특화 제조 기술들이 개발되었으나, 양산성이 부족하여 산업적 기술로 발전하기에는 다소 무리가 있었음 2004년, 위상 마스크를 이용하여 대면적 상에서 더욱 신뢰성을 높여 3D 정렬 나노 구조를 제조할 수 있는 근접장 나노패터닝 기술 개발 지금까지 제조된 3D 정렬 나노 구조는 주로 광결정 물성 응용 연구에 활용되어 왔으며, UIUC의 Paul Braun 교수 연구팀에 의해 배터리, 슈퍼커패시터, 태양전지를 포함하는 에너지 소자의 고효율화 연구에 일부 활용됨 	뉴로모픽 소자 기술 관련	<ul style="list-style-type: none"> 1971년 L. Chua에 의해 저항 가변 메모리 Element 존재가 예측되었고, 2008년 HP 사에서 R, L, C 외에도 나노 스케일 물질에서 전계에 의한 이온, 전자 전도 현상으로부터 메모리스트 물성이 존재함을 Nature 지에 발표하면서 지능형 반도체 응용을 위한 연구가 진행됨 Michigan 대학에서 나노 스케일 실리콘에서 인간의 시냅스와 유사한 STDP(Spike timing dependent plasticity) 현상 발견. 시냅스 기반의 인공지능 분야에 대한 적용가능성이 높아짐으로써 R&D가 전 세계적으로 활발함 Massachusetts 대학에서 HfO₂ 기반 뉴로모픽 소자를 8Layer로 적층한 3차원 어레이를 구현하였고, 제작된 뉴럴 네트워크에 Kernl 프로그램을 통하여 손으로 쓴 숫자를 인식할 수 있음을 제시함 			
	3D 나노 구조 소재 관련	<ul style="list-style-type: none"> Colloidal self-assembly, Direct laser writing(DLW), Direct ink writing(DIW) 등 비전통적인 방식의 3D 정렬 나노 구조 특화 제조 기술들이 개발되었으나, 양산성이 부족하여 산업적 기술로 발전하기에는 다소 무리가 있었음 2004년, 위상 마스크를 이용하여 대면적 상에서 더욱 신뢰성을 높여 3D 정렬 나노 구조를 제조할 수 있는 근접장 나노패터닝 기술 개발 지금까지 제조된 3D 정렬 나노 구조는 주로 광결정 물성 응용 연구에 활용되어 왔으며, UIUC의 Paul Braun 교수 연구팀에 의해 배터리, 슈퍼커패시터, 태양전지를 포함하는 에너지 소자의 고효율화 연구에 일부 활용됨 							
뉴로모픽 소자 기술 관련	<ul style="list-style-type: none"> 1971년 L. Chua에 의해 저항 가변 메모리 Element 존재가 예측되었고, 2008년 HP 사에서 R, L, C 외에도 나노 스케일 물질에서 전계에 의한 이온, 전자 전도 현상으로부터 메모리스트 물성이 존재함을 Nature 지에 발표하면서 지능형 반도체 응용을 위한 연구가 진행됨 Michigan 대학에서 나노 스케일 실리콘에서 인간의 시냅스와 유사한 STDP(Spike timing dependent plasticity) 현상 발견. 시냅스 기반의 인공지능 분야에 대한 적용가능성이 높아짐으로써 R&D가 전 세계적으로 활발함 Massachusetts 대학에서 HfO₂ 기반 뉴로모픽 소자를 8Layer로 적층한 3차원 어레이를 구현하였고, 제작된 뉴럴 네트워크에 Kernl 프로그램을 통하여 손으로 쓴 숫자를 인식할 수 있음을 제시함 								
국내	<ul style="list-style-type: none"> 국내 연구팀에 의해 3차원 나노 구조 어레이를 대면적으로 구현하는 기술이 활발히 연구되고 있으나, 이를 반도체 소자로 응용하는 연구는 아직 기초 단계이다. 뉴로모픽 소자 연구는 단위 소자 연구 단계에 있다. <table border="1"> <tr> <td>서강대학교</td> <td>• Interface lithography를 통하여 3D 나노 구조체를 제작하고, 이를 Photonic crystal, Supercapacitor 등 다양한 응용 분야에 적용</td> </tr> <tr> <td>한국과학기술원 (KAIST)</td> <td>• pV3D3 층 내부 금속 필라멘트의 크기를 원자 수준으로 얇게 조절함으로써 아날로그 방식으로 동작하는 메모리스트 소자 개발</td> </tr> <tr> <td>서울대학교</td> <td>• 고분해능 투과전자현미경(High-resolution Transmission Electron Microscope, HRTEM)을 이용하여 메모리스트 소자 내부에 이산화티타늄층에서 형성되는 전도성 필라멘트의 존재를 실험적으로 확인</td> </tr> <tr> <td>삼성전자</td> <td>• 독자적 기술인 GAA Nanosheet channel 기반의 3nm급 Gate-All-Around(GAA) FET 개발 등 3D 나노 구조 기반의 차세대 반도체 공정 기술 개발에 착수</td> </tr> </table>	서강대학교	• Interface lithography를 통하여 3D 나노 구조체를 제작하고, 이를 Photonic crystal, Supercapacitor 등 다양한 응용 분야에 적용	한국과학기술원 (KAIST)	• pV3D3 층 내부 금속 필라멘트의 크기를 원자 수준으로 얇게 조절함으로써 아날로그 방식으로 동작하는 메모리스트 소자 개발	서울대학교	• 고분해능 투과전자현미경(High-resolution Transmission Electron Microscope, HRTEM)을 이용하여 메모리스트 소자 내부에 이산화티타늄층에서 형성되는 전도성 필라멘트의 존재를 실험적으로 확인	삼성전자	• 독자적 기술인 GAA Nanosheet channel 기반의 3nm급 Gate-All-Around(GAA) FET 개발 등 3D 나노 구조 기반의 차세대 반도체 공정 기술 개발에 착수
서강대학교	• Interface lithography를 통하여 3D 나노 구조체를 제작하고, 이를 Photonic crystal, Supercapacitor 등 다양한 응용 분야에 적용								
한국과학기술원 (KAIST)	• pV3D3 층 내부 금속 필라멘트의 크기를 원자 수준으로 얇게 조절함으로써 아날로그 방식으로 동작하는 메모리스트 소자 개발								
서울대학교	• 고분해능 투과전자현미경(High-resolution Transmission Electron Microscope, HRTEM)을 이용하여 메모리스트 소자 내부에 이산화티타늄층에서 형성되는 전도성 필라멘트의 존재를 실험적으로 확인								
삼성전자	• 독자적 기술인 GAA Nanosheet channel 기반의 3nm급 Gate-All-Around(GAA) FET 개발 등 3D 나노 구조 기반의 차세대 반도체 공정 기술 개발에 착수								

38 듀얼 이온 전지용 전지 소재

품목명	듀얼 이온 전지용 전지 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 듀얼 이온 저장(Dual-ion storage)을 통해 고전압 시스템을 가능하게 하는 전지 소재 ● 400Wh kg⁻¹급 이상의 고에너지 밀도를 가지는 초장수명 듀얼 이온 전지 소재 		
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (중기) 음극 소재 개발 기술 ※ 저전압에서 양이온 활성이며, 구조적 안정성이 뛰어나고 고용량인 음극 소재 기술 2 (장기) 양극 소재 개발 기술 ※ 고전압에서 음이온 활성이며, 구조적 안정성이 뛰어나고 고용량인 양극 소재 기술 3 (장기) 고전압 전해질 기술 ※ 환원 전위 대비 5V 이상의 고전압에서 안정성이 높은 전해질 소재 기술 ※ 고안정성/이온 전도성 피막 생성용 첨가제 기술 		
향후 전망	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 차세대 응용 분야인 미래 운송수단 시장의 성장에 따라, 높은 수준의 에너지 밀도를 가진 차세대 전지인 듀얼 이온 전지 분야에 대한 연구가 증가하고 있다. 듀얼 이온 전지는 기존 리튬이온 전지의 한계로 지적받았던 제한된 출력 특성, 에너지 밀도를 극복하기 위한 대체 시스템으로 주목받고 있다. ● 시장 규모 전망 국내 시장조사기관인 SNE 리서치는 지난해 전기차 배터리 시장이 25조 원 정도였지만, 2023년에는 100조 원 가까이 급성장할 것으로 분석했다. 미국 시장조사기관인 네비건트리서치는 항공·지상·수중 무인기용 배터리 팩 시장이 2027년까지 2,570억 원 규모로 성장하리라 전망했다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 듀얼 이온 전지는 리튬 환원 전위 대비 5.2V 이상의 고전압을 통해 리튬이온 전지에 견주는 고에너지 밀도(~250Wh kg⁻¹)를 구현하며, 고용량(>200mAh g⁻¹) 양극 소재 개발 시 400Wh kg⁻¹ 이상의 획기적인 에너지 밀도를 기대할 수 있다. ● 현재 대비 비교 전기자동차 등의 운송수단에서 전지가 차지하는 비중은 약 40%이다. 듀얼 이온 전지는 비싼 리튬 산화물 기반 양극을 사용하지 않아 저렴하므로, 전기자동차의 단가를 낮출 수 있다. 	
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 듀얼 이온 전지 기술에 대한 연구는 전무후무하다. 앞으로 차세대 고에너지 밀도·고전압·고출력·장수명 듀얼 이온 전지 개발을 위해 국내 대학과 연구소, 기업의 활발한 연구개발이 필요하다. ● 예상 소요 기간 국내에서 해당 소재의 기술 개발을 착수한다면, 10~11년 이내에 듀얼 이온을 이용하는 2차 전지 소재 기술 확보를 기대할 수 있다. 		


기술 수준	기술 수준												
<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국, 중국) 대비 10% 수준 													
국내외 연구 동향	<ul style="list-style-type: none"> ● 듀얼 이온 전지 분야에 대한 기술은 해외 연구진이 주도하고 있다. 중국과학원(중국), 로렌스 버클리 국립연구소(미국), 아르곤 국립연구소(미국) 같은 국가 연구소와 ARKEMA(프랑스), RICOH(일본), PJP Eye Ltd.(일본) 등의 기업이 듀얼 이온 전지를 본격적으로 개발하고 있다. 												
	<table border="1"> <tr> <td>Chinese Academy of Science(중국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● Yongbing Tang 연구팀은 2016년 알루미늄 음극·흑연 양극을 사용한 듀얼 이온 전지를 최초로 구현, 듀얼 이온 전지의 선두그룹. 리튬이온 기반의 듀얼 이온 전지를 넘어 친환경적이고 값싼 소듐 및 칼슘 기반 듀얼 이온 전지도 개발 중 </td> </tr> <tr> <td>University of Münster(독일)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● Tobias Placke 연구팀은 듀얼 이온 전지에 이온성 액체 전해질(Ionic liquid)과 다양한 첨가제를 적용하여 음이온의 삽입과 관련된 연구를 진행하고 있으며, 수계·비수계 하이브리드 전해질을 적용한 듀얼 이온 전지를 구현함 </td> </tr> <tr> <td>Oregon State University(미국), Argonne National Lab.(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● Xiulei Ji 연구팀과 Jun Lu 연구팀은 협업을 통해 탄화수소 기반 양극 소재를 개발하고 있으며, 수계 전해질 기반 듀얼 이온 전지도 개발 중 </td> </tr> <tr> <td>Lawrence Berkeley National Lab.(프랑스), ARKEMA(프랑스)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● Jeffrey R. Long 연구팀은 ARKEMA 사와의 협업을 통해 유기 금속 골격체 양극 소재 개발 중 </td> </tr> <tr> <td>RICOH(일본)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 프린터 및 복사기 시장의 선두주자로 사업을 크게 확장하여 카메라, 프로젝터, 화상회의 장비, 의료 시장 등 다양한 개발과 연구를 지속하고 있음. 최근 차세대 에너지 저장 매체에 관심을 보이고 있으며 빠른 충·방전과 낮은 내부 저항을 지닌 듀얼 이온 전지 개발에 힘쓰고 있음 </td> </tr> <tr> <td>PJP Eye Ltd.(일본)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 친환경 모빌리티 사업, 드론 사업, 배터리 사업을 주력으로 하는 회사로, 고전압이면서도 친환경적이고 지속 가능한 듀얼 이온 전지 개발을 규슈대학과 함께 진행하고 있음 </td> </tr> </table>	Chinese Academy of Science(중국)	<ul style="list-style-type: none"> ● Yongbing Tang 연구팀은 2016년 알루미늄 음극·흑연 양극을 사용한 듀얼 이온 전지를 최초로 구현, 듀얼 이온 전지의 선두그룹. 리튬이온 기반의 듀얼 이온 전지를 넘어 친환경적이고 값싼 소듐 및 칼슘 기반 듀얼 이온 전지도 개발 중 	University of Münster(독일)	<ul style="list-style-type: none"> ● Tobias Placke 연구팀은 듀얼 이온 전지에 이온성 액체 전해질(Ionic liquid)과 다양한 첨가제를 적용하여 음이온의 삽입과 관련된 연구를 진행하고 있으며, 수계·비수계 하이브리드 전해질을 적용한 듀얼 이온 전지를 구현함 	Oregon State University(미국), Argonne National Lab.(미국)	<ul style="list-style-type: none"> ● Xiulei Ji 연구팀과 Jun Lu 연구팀은 협업을 통해 탄화수소 기반 양극 소재를 개발하고 있으며, 수계 전해질 기반 듀얼 이온 전지도 개발 중 	Lawrence Berkeley National Lab.(프랑스), ARKEMA(프랑스)	<ul style="list-style-type: none"> ● Jeffrey R. Long 연구팀은 ARKEMA 사와의 협업을 통해 유기 금속 골격체 양극 소재 개발 중 	RICOH(일본)	<ul style="list-style-type: none"> ● 프린터 및 복사기 시장의 선두주자로 사업을 크게 확장하여 카메라, 프로젝터, 화상회의 장비, 의료 시장 등 다양한 개발과 연구를 지속하고 있음. 최근 차세대 에너지 저장 매체에 관심을 보이고 있으며 빠른 충·방전과 낮은 내부 저항을 지닌 듀얼 이온 전지 개발에 힘쓰고 있음 	PJP Eye Ltd.(일본)	<ul style="list-style-type: none"> ● 친환경 모빌리티 사업, 드론 사업, 배터리 사업을 주력으로 하는 회사로, 고전압이면서도 친환경적이고 지속 가능한 듀얼 이온 전지 개발을 규슈대학과 함께 진행하고 있음
	Chinese Academy of Science(중국)	<ul style="list-style-type: none"> ● Yongbing Tang 연구팀은 2016년 알루미늄 음극·흑연 양극을 사용한 듀얼 이온 전지를 최초로 구현, 듀얼 이온 전지의 선두그룹. 리튬이온 기반의 듀얼 이온 전지를 넘어 친환경적이고 값싼 소듐 및 칼슘 기반 듀얼 이온 전지도 개발 중 											
	University of Münster(독일)	<ul style="list-style-type: none"> ● Tobias Placke 연구팀은 듀얼 이온 전지에 이온성 액체 전해질(Ionic liquid)과 다양한 첨가제를 적용하여 음이온의 삽입과 관련된 연구를 진행하고 있으며, 수계·비수계 하이브리드 전해질을 적용한 듀얼 이온 전지를 구현함 											
	Oregon State University(미국), Argonne National Lab.(미국)	<ul style="list-style-type: none"> ● Xiulei Ji 연구팀과 Jun Lu 연구팀은 협업을 통해 탄화수소 기반 양극 소재를 개발하고 있으며, 수계 전해질 기반 듀얼 이온 전지도 개발 중 											
	Lawrence Berkeley National Lab.(프랑스), ARKEMA(프랑스)	<ul style="list-style-type: none"> ● Jeffrey R. Long 연구팀은 ARKEMA 사와의 협업을 통해 유기 금속 골격체 양극 소재 개발 중 											
RICOH(일본)	<ul style="list-style-type: none"> ● 프린터 및 복사기 시장의 선두주자로 사업을 크게 확장하여 카메라, 프로젝터, 화상회의 장비, 의료 시장 등 다양한 개발과 연구를 지속하고 있음. 최근 차세대 에너지 저장 매체에 관심을 보이고 있으며 빠른 충·방전과 낮은 내부 저항을 지닌 듀얼 이온 전지 개발에 힘쓰고 있음 												
PJP Eye Ltd.(일본)	<ul style="list-style-type: none"> ● 친환경 모빌리티 사업, 드론 사업, 배터리 사업을 주력으로 하는 회사로, 고전압이면서도 친환경적이고 지속 가능한 듀얼 이온 전지 개발을 규슈대학과 함께 진행하고 있음 												
<ul style="list-style-type: none"> ● POSTECH 연구팀이 듀얼 이온 전지를 연구하고 있다. 알루미늄 음극·흑연 양극 기반 듀얼 이온 전지에서 벗어난 시스템 및 듀얼 이온 전지의 안정성을 확보하기 위한 전해질 연구와 고에너지 밀도의 장점을 살리기 위한 고용량 양극활 물질 개발에 관한 연구 사례는 없다. 													
<table border="1"> <tr> <td>POSTECH</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 듀얼 이온 전지의 리튬-알루미늄 합금 음극 소재를 개발했다. 듀얼 이온 전지에 사용되는 모든 전지 소재(금속·유기·무기 음극, 흑연·유기·무기·금속 유기 골격체 양극, 다기능 분리막, 전해질 첨가제)에 대한 연구 진행 중 </td> </tr> </table>	POSTECH	<ul style="list-style-type: none"> ● 듀얼 이온 전지의 리튬-알루미늄 합금 음극 소재를 개발했다. 듀얼 이온 전지에 사용되는 모든 전지 소재(금속·유기·무기 음극, 흑연·유기·무기·금속 유기 골격체 양극, 다기능 분리막, 전해질 첨가제)에 대한 연구 진행 중 											
POSTECH	<ul style="list-style-type: none"> ● 듀얼 이온 전지의 리튬-알루미늄 합금 음극 소재를 개발했다. 듀얼 이온 전지에 사용되는 모든 전지 소재(금속·유기·무기 음극, 흑연·유기·무기·금속 유기 골격체 양극, 다기능 분리막, 전해질 첨가제)에 대한 연구 진행 중 												

39 베타 전지용 질화물 반도체 소재

품목명	베타 전지용 질화물 반도체 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 반영구적 초소형 3차 전지인 베타 전지의 효율을 높이고, 외부 환경의 영향 없이 안정적으로 동작하는 질화물 계열 반도체 소재 		 <p>출처: https://m.etnews.com/20170615000241?obj=Tz04OjJzdGRDbGFzcy16Mjpw7czo3OjYyZWZlcmVyljtOO3M6NzoiZm9yd2FyZC17czo3Mzoid2VilHRvIG1vYmIsZSI7fQ%3D%3D</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 고효율 베타 전지용 GaN 에피 박막 구조 설계 및 최적화 기술 ※ P-(I)-N 접합 구조 설계 및 시뮬레이션 기술 (단기) 고효율 베타 전지용 소자 구조 설계 및 최적화 기술 ※ 평면 구조 베타 전지 소자 설계 및 제작 기술 ※ 3차원 구조 베타 전지 소자 설계 및 제작 기술 (중기) 방사성동위원소 박막 적용 및 차폐 기술 ※ 방사성동위원소 박막 형태 구현 및 증착 기술(Electroplating) ※ 베타 전지 Chip 설계 기술 및 차폐 소재 발굴 (중기) 베타 전지 적용 인체 삽입형 인공심장박동기 구현 ※ 베타 전지 적용 가능 인공심장박동기 IC 회로 설계 및 제작 기술 (장기) 고효율 GaN 베타 전지 기반 저·중전력급 전원 시스템 개발 ※ 대용량 베타 전지 제작 기술 		
미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 전 세계적으로 타 반도체 베타 전지에 비해 GaN 기반 베타 전지 개발 연구는 기초 연구 단계에 머물러 있다. 미국, 러시아, 중국 등에서 반도체 기반의 베타 전지 연구개발을 진행 중이다. 시장 규모 전망 2025년 약 6억 달러 규모로 예상되는 세계 마이크로 배터리 시장과 2030년 약 150억 달러 규모로 예상되는 휴대용 수소연료 전지 시장의 일부를 대체 가능할 것으로 예측한다. 		
	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 반도체 기반 베타 전지는 주변 환경의 변화에 영향을 받지 않고 외부 동력원 없이 자체적으로 전력 생산이 가능하다. 질화물 계열 반도체 소재(GaN, AlN 등)는 광대역 에너지 밴드갭 소재이므로 이론적으로 높은 출력 전압과 에너지 변환 효율을 가질 수 있으며, 장시간 방사성동위원소에 노출되는 환경에서 내방사성이 상대적으로 우수하다. 현재 대비 비교 고효율 GaN 기반 베타 전지는 μW급 저전력 전원이 필요한 초소형 전자기기에서 기존의 화학전지, 연료전지 등을 대체할 것으로 예상된다. 		

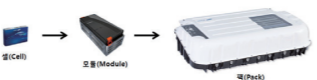
지역	구분	실현 가능성	기술 수준								
		<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 2017년 150nW급 SiC 반도체 기반 베타 전지 시제품 개발을 완료하였기에, 세계 최고 기술 대비 약 30%의 기술 수준을 보유하고 있다고 평가할 수 있다. 현재, 해당 연구 그룹에서 1μW급 시제품 개발 연구를 수행 중이다. 예상 소요 기간 국내에서 해당 소재의 기술 개발을 착수한다면 10~11년 이내에 GaN 기반의 베타 전지 소재 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 30% 수준 								
국내 외	연구 동향	<ul style="list-style-type: none"> 반도체 기반 베타 전지 분야에 대한 기술은 해외 기업 와이트트로닉스, 시티랩(미국) 등이 주도하고 있다. GaN 기반 베타 전지에 대한 연구는 대학 및 연구 기관을 중심으로 수행하고 있으나, 기초 단계이다. 									
		<table border="1"> <tr> <td>CITY LABS(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> H-3 방사성동위원소 적용 Si 기반 베타 전지 시제품 상용화 (www.citylabs.net / 전자뉴스, 베타 전지 5년 이내 상용화된다, 2017.06.15.) </td> </tr> <tr> <td>WIDETRONIX(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Ni-63 방사성동위원소 적용 SiC 기반 베타 전지 시제품 상용화 (www.widetronix.com / 전자뉴스, 베타 전지 5년 이내 상용화된다, 2017.06.15.) </td> </tr> <tr> <td>China Institute of Atomic Energy(중국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Ni-63 방사성동위원소 적용 GaN 기반 베타 전지 연구 발표 (M. Lu, et al., Energy Conversion and Management, vol. 52, pp. 1955-1958, 2011.) </td> </tr> <tr> <td>Pacific Northwest National Lab. (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> H-3 방사성동위원소 적용 GaN 기반 베타 전지 연구 발표 (2019 International Conference on Nitride Semiconductor) </td> </tr> </table>	CITY LABS(미국)	<ul style="list-style-type: none"> H-3 방사성동위원소 적용 Si 기반 베타 전지 시제품 상용화 (www.citylabs.net / 전자뉴스, 베타 전지 5년 이내 상용화된다, 2017.06.15.) 	WIDETRONIX(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Ni-63 방사성동위원소 적용 SiC 기반 베타 전지 시제품 상용화 (www.widetronix.com / 전자뉴스, 베타 전지 5년 이내 상용화된다, 2017.06.15.) 	China Institute of Atomic Energy(중국)	<ul style="list-style-type: none"> Ni-63 방사성동위원소 적용 GaN 기반 베타 전지 연구 발표 (M. Lu, et al., Energy Conversion and Management, vol. 52, pp. 1955-1958, 2011.) 	Pacific Northwest National Lab. (미국)	<ul style="list-style-type: none"> H-3 방사성동위원소 적용 GaN 기반 베타 전지 연구 발표 (2019 International Conference on Nitride Semiconductor) 	
		CITY LABS(미국)	<ul style="list-style-type: none"> H-3 방사성동위원소 적용 Si 기반 베타 전지 시제품 상용화 (www.citylabs.net / 전자뉴스, 베타 전지 5년 이내 상용화된다, 2017.06.15.) 								
		WIDETRONIX(미국)	<ul style="list-style-type: none"> Ni-63 방사성동위원소 적용 SiC 기반 베타 전지 시제품 상용화 (www.widetronix.com / 전자뉴스, 베타 전지 5년 이내 상용화된다, 2017.06.15.) 								
China Institute of Atomic Energy(중국)	<ul style="list-style-type: none"> Ni-63 방사성동위원소 적용 GaN 기반 베타 전지 연구 발표 (M. Lu, et al., Energy Conversion and Management, vol. 52, pp. 1955-1958, 2011.) 										
Pacific Northwest National Lab. (미국)	<ul style="list-style-type: none"> H-3 방사성동위원소 적용 GaN 기반 베타 전지 연구 발표 (2019 International Conference on Nitride Semiconductor) 										
<ul style="list-style-type: none"> 한국원자력연구원과 한국전자통신연구원, 대구테크노파크가 공동 연구를 통해 Ni-63 방사성동위원소 적용 SiC 기반 베타 전지 시제품을 개발했다. GaN 기반 베타 전지에 대한 연구는 현재, 한국원자력연구원에서 방사선 기술 개발 사업으로 수행하고 있다. (한국원자력연구원 보도자료, 2017.06.01.) 											
<table border="1"> <tr> <td>한국원자력연구원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Ni-63 방사성동위원소 적용 Si 및 SiC 기반 베타 전지 과제 수행(원자력연구개발 연구기반확충사업, 2005~2007) Ni-63 적용 GaN 기반 베타 전지 연구개발 과제 수행 중 </td> </tr> <tr> <td>전력연구원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> H-3 방사성동위원소 적용 베타 전지 과제 수행(2007~2009) </td> </tr> </table>	한국원자력연구원	<ul style="list-style-type: none"> Ni-63 방사성동위원소 적용 Si 및 SiC 기반 베타 전지 과제 수행(원자력연구개발 연구기반확충사업, 2005~2007) Ni-63 적용 GaN 기반 베타 전지 연구개발 과제 수행 중 	전력연구원	<ul style="list-style-type: none"> H-3 방사성동위원소 적용 베타 전지 과제 수행(2007~2009) 							
한국원자력연구원	<ul style="list-style-type: none"> Ni-63 방사성동위원소 적용 Si 및 SiC 기반 베타 전지 과제 수행(원자력연구개발 연구기반확충사업, 2005~2007) Ni-63 적용 GaN 기반 베타 전지 연구개발 과제 수행 중 										
전력연구원	<ul style="list-style-type: none"> H-3 방사성동위원소 적용 베타 전지 과제 수행(2007~2009) 										

40 암모니아 연료전지용 나노 촉매 소재

품목명	암모니아 연료전지용 나노 촉매 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 효율적 개질이 가능한 나노 구조체로써 암모니아를 연료로 적용할 수 있게 하는 연료전지 촉매 소재 ※ 기존의 고체 산화물 연료극 촉매 소재는 수소, LNG 이외의 연료 사용에 제한적으로, 암모니아 개질 및 내식성, 내구성 강한 소재 개발이 중요하다. 		 <p>출처: bloomenergy.com http://www.h2news.kr/news/article.html?no=6614 기사 인용</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 고효율·고활성 촉매 소재 기술 ※ (단기) 귀금속 촉매 기반 나노 금속 촉매 ※ (중기) 고효율 다성분계 금속 산화물 촉매 ※ (장기) 프로톤 전도성 세라믹 기반 촉매 2 고내구성 촉매 소재/공정 기술 ※ (단기) 고내구성 촉매 소재 기술 ※ (중기) 나노 구조화 공정 기술 ※ (장기) 고내구성 나노 구조 촉매 소재/공정 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 미래 수소에너지 기술에서 잉여 신재생 에너지의 저장과 활용이 핵심 기술이며, 암모니아는 에너지 단위 부피당 저장 비용이 수소보다 저렴하여 수소를 저장·공급하는 캐리어로 주목받고 있다. ● 시장 규모 전망 전 세계 고체 산화물 연료전지 시장은 연평균 13.88%로 성장하여, 2025년까지 약 11.4억 달러 규모로 성장할 것으로 전망된다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 저장된 암모니아를 수소로 개질하여 이용하는 현재의 연료전지 시스템과는 달리 직접 암모니아를 사용할 수 있는 연료전지용 촉매로, 수소 에너지 시스템의 경제성을 획기적으로 높일 수 있는 소재 기술이다. 암모니아 연료전지는 암모니아 연료를 직접 공급하여 높은 효율과 함께 공해 물질을 배출하지 않는 고효율·청정 발전 기술이다. ● 현재 대비 비교 액화 수소 및 고압 수소 대비, 이동이 수월하고 에너지 밀도가 높은 암모니아는 수소 이동·저장 매개체로 적극적인 활용이 가능하다. 	

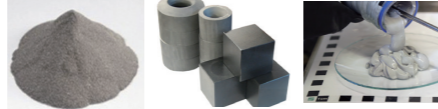
중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 세계적으로 경쟁력을 지닌 국내의 고온 연료전지용 촉매 소재·공정 기술을 바탕으로 현재 관심이 집중되고 있는 암모니아 연료전지를 위한 촉매 기술을 개발, 선점할 필요가 있다. ● 예상 소요 기간 국내에서 해당 소재의 기술 개발에 착수한다면, 10~11년 이내에 암모니아 연료전지 소재 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 						
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본, 미국) 대비 70% 수준 						
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 차세대 암모니아 연료전지 기술은 개발 초기 단계로, FuelCell Energy(미국), Bloom Energy(미국), IHI Corporation(일본), NCE Maritime Clean Tech(노르웨이)를 중심으로 원천 연구 및 초기 실증 연구가 진행 중이다. 						
		<table border="1"> <tr> <td>FuelCell Energy(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • ARPA-E 과제 “Protonic Ceramics for Energy Storage and Electricity Generation with Ammonia” 수행 중 </td> </tr> <tr> <td>IHI Corporation(일본)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 1kW급 암모니아 직접 주입 고체 산화물 연료전지 시스템 1,000시간 운전 </td> </tr> <tr> <td>NCE Maritime CleanTech (노르웨이)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • ShipFC 프로그램: 세계 최초 직접 암모니아 SOFC 시스템 개발 및 실증(April 2020~March 2025(5 years)) </td> </tr> </table>	FuelCell Energy(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • ARPA-E 과제 “Protonic Ceramics for Energy Storage and Electricity Generation with Ammonia” 수행 중 	IHI Corporation(일본)	<ul style="list-style-type: none"> • 1kW급 암모니아 직접 주입 고체 산화물 연료전지 시스템 1,000시간 운전 	NCE Maritime CleanTech (노르웨이)	<ul style="list-style-type: none"> • ShipFC 프로그램: 세계 최초 직접 암모니아 SOFC 시스템 개발 및 실증(April 2020~March 2025(5 years))
		FuelCell Energy(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • ARPA-E 과제 “Protonic Ceramics for Energy Storage and Electricity Generation with Ammonia” 수행 중 					
IHI Corporation(일본)	<ul style="list-style-type: none"> • 1kW급 암모니아 직접 주입 고체 산화물 연료전지 시스템 1,000시간 운전 							
NCE Maritime CleanTech (노르웨이)	<ul style="list-style-type: none"> • ShipFC 프로그램: 세계 최초 직접 암모니아 SOFC 시스템 개발 및 실증(April 2020~March 2025(5 years)) 							
<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 암모니아를 수소로 개질하는 연구가 진행 중이며, 암모니아 직접 주입 연료전지 분야는 기술 개발 초기 단계로 촉매·셀 분야의 기초 연구를 추진하고 있다. 								
국내	<table border="1"> <tr> <td>한국에너지기술연구원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • SOFC 단전지 기반 암모니아 직접 공급 연료전지 기초 연구 수행 중 </td> </tr> <tr> <td>KIST</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 저온 직접 암모니아 연료전지 핵심 촉매 기술 개발 중 </td> </tr> </table>	한국에너지기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • SOFC 단전지 기반 암모니아 직접 공급 연료전지 기초 연구 수행 중 	KIST	<ul style="list-style-type: none"> • 저온 직접 암모니아 연료전지 핵심 촉매 기술 개발 중 			
	한국에너지기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • SOFC 단전지 기반 암모니아 직접 공급 연료전지 기초 연구 수행 중 						
KIST	<ul style="list-style-type: none"> • 저온 직접 암모니아 연료전지 핵심 촉매 기술 개발 중 							

41 차세대 전고체 전지 소재(산화물계)

품목명	차세대 전고체 전지 소재	구분	소재/부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 폭발 및 발화 가능성을 원천적으로 차단하는 고성능 고에너지 밀도 산화물계 전고체 전지 전해질-전고체 전지 소재 ※ 공기 중 안정성이 낮고(수분과 반응 H₂S 유독가스 유출), 불안정하여 가공성 및 공정성 확보에 어려움이 있는 황화물계 전고체 전지의 문제를 해결하는 차세대 전고체 전지 전해질-전극 소재 	 <p>출처: https://www.samsungdi.co.kr/column/all/detail/54229.html</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 소재 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ (단기) 고이온 전도체 기술, 고체전지 표준물질(RM: Reference material) 기술 ※ (중기) 고에너지 밀도 전극 소재, 전기 화학 안정 소재, 계면 안정화 소재, 전해질 소재 기술 ※ (장기) 저저항 계면 소재 기술, 신속 제조 공정 소재 기술 2 공정 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ (단기) 셀 설계 기술, 공정 설계 기술 ※ (중기) 저저항 계면 형성 공정 기술, 셀-레이어 어셈블리 기술 ※ (장기) 셀 제조 표준화 기술, 양산 공정(대면적화) 기술, 불순물 관리 기술 3 측정·분석·시험 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ (단기) 소재-셀 성능 평가 기술, 소재-셀 측정-시험 표준화 기술 ※ (중기) 소재-셀 in situ 분석 기술, 소재 시뮬레이션 기술, 비파괴 결합 탐지 기술 ※ (장기) 미래 측정-분석 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 글로벌 기후 변화 대응, 탄소 중립 경제로의 전환과 맞물려 국가·사회 에너지 인프라의 전동화로의 이행(저탄소화)이 가속화될 것으로 보인다. 차량용 배터리와 충전 인프라, 신재생 에너지를 기반으로 스마트 그리드와 연계한 대용량 ESS 산업의 지속적인 성장이 전망된다. 이차전지 산업은 과점화된 경쟁 구도가 지속될 것으로 예측되며, 전고체 전지(Solid state battery) 기술이 기술 차별화의 핵심이 될 것으로 예상된다. ● 시장 규모 전망 전 세계 전고체 전지 시장 규모는 2017년 기준, 5천3백만 달러로 연평균 49% 성장하여 2025년에는 14.08억 달러에 이를 것으로 예상된다. (Allied Market Research, 2018, Solid State Battery Market by Type, Capacity, and Application) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 무기계 전고체 전지는 기존 액체계 리튬 이차전지에서의 실현이 어려운 고전압화가 가능하며, 적층형 셀 구성으로 모듈화하여 시스템 구성을 단순화하고 부피 대비 에너지 밀도를 높일 수 있다. ● 현재 대비 비교 산화물계 전고체 전지는 전지의 모든 구성 소재를 무기 재료로 변경함으로써 전지 자체로는 수백 도의 온도 조건에서도 원천적으로 발화 및 폭발이 없는 안정성을 보여줄 것으로 기대하고 있다. 	

중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 산화물계 전고체 전지 소재에 대한 연구는 소재 합성 수준에서 일부 연구기관에서 추진해 왔다. 대부분 산화물계 고체 전해질의 이온 전도도 향상에 관한 원천 연구로 진행되었으며, 산화물계 셀 구현을 위한 소재 및 공정 연구는 매우 미흡한 수준이다. ● 예상 소요 기간 국내에서 해당 소재의 기술 개발을 착수한다면, 10~11년 이내에 산화 세라믹 계열의 전고체 소재 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대한다. 							
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본, 미국) 대비 50% 수준 							
국내 외 연구 현황	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 일본이 고체 전지 특허의 60% 이상을 보유하고 있다. 산학연 공동 참여 프로젝트를 진행하고 있으며, 도요타를 중심으로 자동차, 전지, 전기-전자, 소재 등 다양한 업체가 전고체 전지 개발에 참여하고 있다. 미국은 벤처 기업을 중심으로 전고체 전지 상용화를 서두르고 있다. <table border="1"> <tr> <td>TOYOTA, Panasonic(일본)</td> <td>• 2020 도쿄 올림픽에서 ASSB를 탑재한 자동차를 공개할 예정이었으나, 현재는 2022년 상용화를 목표로 개발 중</td> </tr> <tr> <td>QuantumScape(미국)</td> <td>• LLZO 계열의 가넷형 고체 전해질 채택. 산화물과 고분자를 통해 셀을 제조하는 공정에 대한 특허 보유</td> </tr> <tr> <td>Solid energy(미국)</td> <td>• 전고체 전지 셀을 개발하고 있으며, Bulk-type 전고체 전지를 구현해 높은 용량으로 구현, 2019년 9월 전고체 생산 라인 구축·발표</td> </tr> </table>	TOYOTA, Panasonic(일본)	• 2020 도쿄 올림픽에서 ASSB를 탑재한 자동차를 공개할 예정이었으나, 현재는 2022년 상용화를 목표로 개발 중	QuantumScape(미국)	• LLZO 계열의 가넷형 고체 전해질 채택. 산화물과 고분자를 통해 셀을 제조하는 공정에 대한 특허 보유	Solid energy(미국)	• 전고체 전지 셀을 개발하고 있으며, Bulk-type 전고체 전지를 구현해 높은 용량으로 구현, 2019년 9월 전고체 생산 라인 구축·발표	
	TOYOTA, Panasonic(일본)	• 2020 도쿄 올림픽에서 ASSB를 탑재한 자동차를 공개할 예정이었으나, 현재는 2022년 상용화를 목표로 개발 중							
QuantumScape(미국)	• LLZO 계열의 가넷형 고체 전해질 채택. 산화물과 고분자를 통해 셀을 제조하는 공정에 대한 특허 보유								
Solid energy(미국)	• 전고체 전지 셀을 개발하고 있으며, Bulk-type 전고체 전지를 구현해 높은 용량으로 구현, 2019년 9월 전고체 생산 라인 구축·발표								
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 2010년 삼성전자 종합기술원에서 본격적으로 기술 개발에 착수했다. 산화물계와 황화물계 전고체 전지에 대한 통합적 기술 개발 전략 수립과 소재 및 셀에 대한 연구, 고체 전해질 이온 전도 메커니즘 측정·분석을 진행해 현재 가장 활발하게 연구개발을 추진 중이다. <table border="1"> <tr> <td>LG화학, 삼성SDI</td> <td>• 2025~2026년 상용화를 목표로 전고체 전지 개발 중</td> </tr> <tr> <td>현대자동차</td> <td>• 2025년 전고체 전지 탑재 전기차 양산 계획으로 미국 스타트업에 투자</td> </tr> <tr> <td>한국전기연구원</td> <td>• 합성 과정에서 낮은 온도인 160℃에서 소결 가능한 유리-결정질의 고체 전해질 개발</td> </tr> <tr> <td>한국생산기술연구원</td> <td>• 산화물계 전고체 전지의 에너지 밀도를 극대화해 안전하면서도 출력 성능을 높일 수 있는 '일체형 복합 양극 소재' 개발</td> </tr> </table>	LG화학, 삼성SDI	• 2025~2026년 상용화를 목표로 전고체 전지 개발 중	현대자동차	• 2025년 전고체 전지 탑재 전기차 양산 계획으로 미국 스타트업에 투자	한국전기연구원	• 합성 과정에서 낮은 온도인 160℃에서 소결 가능한 유리-결정질의 고체 전해질 개발	한국생산기술연구원	• 산화물계 전고체 전지의 에너지 밀도를 극대화해 안전하면서도 출력 성능을 높일 수 있는 '일체형 복합 양극 소재' 개발
LG화학, 삼성SDI	• 2025~2026년 상용화를 목표로 전고체 전지 개발 중								
현대자동차	• 2025년 전고체 전지 탑재 전기차 양산 계획으로 미국 스타트업에 투자								
한국전기연구원	• 합성 과정에서 낮은 온도인 160℃에서 소결 가능한 유리-결정질의 고체 전해질 개발								
한국생산기술연구원	• 산화물계 전고체 전지의 에너지 밀도를 극대화해 안전하면서도 출력 성능을 높일 수 있는 '일체형 복합 양극 소재' 개발								

42 고밀도 수소 저장용 경금속 수소화물

품목명	고밀도 수소 저장용 경금속 수소화물	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 모빌리티에 적용 가능한 가역적(재충전용) 고용량 경금속 수소화물 소재 <ul style="list-style-type: none"> ※ 고용량(10wt% 이상) 친환경 경금속 수 반응 수소 공급 소재 	 <p>수소화물 분말 (https://kr.bossgoo.com/member_uniqueti/titanium-square-bar/high-quality-40-60mesh-titanium-metal-powder-53240855.html)</p> <p>(성형체) 나노카보나 (나노카보나, '벤처국방마트' 참가 ... 첨단 탄소성형체 제조기술 과시(NewsWire, 2010 재참조: https://www.newswire.co.kr/newsRead.php?no=499754)</p> <p>(페이스트) 프라운호퍼 (수소 반응?...리튬이온전지 10배의 수소 에너지를 저장한 'POWERPASTE' 테크튜브, 2021 재참조: https://www.techtube.co.kr/news/articleView.html?dxno=257)</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (중·장기) 재생 경금속 수소화물(알루미늄 수소화물) 소재 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 다단 재생 화학 반응 공정 구성 기술 및 수소화 촉매 개발 기술 2 (중기) 경금속 수소화물 수 반응 페이스트 제조 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 경금속 수소화물 합성 기술 및 경금속 수소화물 페이스트-슬러리 시스템 기술 		
미래 전망	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>고체 수소 저장 기술은 이차전지와 액화 수소보다 높은 부피 에너지 저장 밀도를 얻을 수 있는 기술이다. 금속과 결합된 형태로, 무게 에너지의 저장 밀도가 낮다는 것이 객관적인 평가이다.</p> <p>고체 수소 저장 기술을 모빌리티에 적용하기 위해서는 무게 저장 밀도가 8wt% 이상으로 높은 경금속 수소화물 외에는 대안이 없는 것으로 판단된다.</p> ● 시장 규모 전망 <p>잉여 전력 저장 및 수소 이용 시장의 성장으로 수소 저장 시장은 2020년부터 연평균 CAGR 5.1% 성장하여, 2027년에는 186억 달러 규모에 도달할 것으로 전망하고 있다. 수소화물과 같은 재료 기반의 수소 저장 기술 분야 또한, 연평균 5.1%의 성장이 예측된다.</p> 		
	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>고용량 경금속 수소화물은 기존의 상용 금속 수소화물 대비, 약 5배 이상의 높은 무게 저장 밀도를 가져, 고체 수소 저장 기술의 한계로 지적되었던 낮은 무게 저장 밀도를 극복할 수 있는 소재이다.</p> <p>고용량 경금속 수 반응 수소 공급 시스템은 종래에 금속 수소화물의 압력-조성-온도 특성을 활용하여 수소를 저장하고 방출하는 기술에서 벗어나, 고용량 경금속 수소화물의 수 반응을 통해 기존 상용 금속 수소화물 대비 약 10배 이상의 수소를 순간적으로 생성·공급할 수 있다.</p> ● 현재 대비 비교 <p>고용량 경금속 수소화물과 고용량 경금속 수 반응 기술은 높은 부피 및 무게 저장 밀도로 오프보드 시스템뿐만 아니라 온보드 시스템 및 휴대 기기 등에 활용될 수 있으며, 미래의 대표 수소 저장 기술이 될 것이다.</p> 		


중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>재생 경금속 수소화물, 알루미늄 수소화물은 한국에너지기술연구원의 선행 연구로 난제 기술 및 극복 방안을 도출한 경험이 있다. 경금속 수소화물 수 반응 페이스트의 경우, 체계적인 연구 수행이 부족하다.</p> ● 예상 소요 기간 <p>국내에서 해당 소재의 기술 개발을 착수한다면 10~11년 이내에 경금속 수소화물 기반의 수소 저장 소재 기술을 확보할 수 있을 것이다.</p> 		
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 70% 수준 		
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 차세대 경금속 수소화물 분야에 대한 기술은 해외 기업인 General Electric, McPhy Energy가 주도하고 있다. 		
		<table border="1"> <tr> <td>McPhy Energy (프랑스)</td> <td> <p>〈Mg계 수소 저장 시스템〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2014~2016년 유럽 Ingrid project에서 마그네슘 수소화물(MgH₂)을 이용한 750kg 대용량 고체 수소 저장 시스템 개발 • 2014~2020년 실증사업 GRHYD에서 프랑스 최초 Power-to-gas(P2G)를 실증 </td> </tr> </table>	McPhy Energy (프랑스)	<p>〈Mg계 수소 저장 시스템〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2014~2016년 유럽 Ingrid project에서 마그네슘 수소화물(MgH₂)을 이용한 750kg 대용량 고체 수소 저장 시스템 개발 • 2014~2020년 실증사업 GRHYD에서 프랑스 최초 Power-to-gas(P2G)를 실증
		McPhy Energy (프랑스)	<p>〈Mg계 수소 저장 시스템〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2014~2016년 유럽 Ingrid project에서 마그네슘 수소화물(MgH₂)을 이용한 750kg 대용량 고체 수소 저장 시스템 개발 • 2014~2020년 실증사업 GRHYD에서 프랑스 최초 Power-to-gas(P2G)를 실증 	
		SRNL (미국)	<p>〈알루미늄 수소화물 제조-전기 화학 반응〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2006년부터 Savannah River National Laboratory(SRNL)의 Zidan 연구그룹은 Brookhaven National Lab.(BNL), University of Hawaii, University New Brunswick, Argonne National Lab.(ANL)과 협업하여 알루미늄 수소화물 제조를 위한 전기 화학 공정 개발 • 2013~2016년 수요 기업인 Ardica와 SRI 참여(Ardica 전기 화학 공정 및 휴대용 파워팩 개발, SRI scale-up 및 비용 분석) 	
		BNL (미국)	<p>〈알루미늄 수소화물 제조-유기 금속 반응〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2005년부터 BNL의 Graetz 연구그룹은 10년간 유기 금속 합성법을 적용한 알레인 제조 연구 진행 • BNL의 알레인 합성 공정은 수소화, 아민 치환, 분해 반응의 3단계로 구성, SRNL의 전기 화학 공정에서 생성된 Adduct의 분리에 적용 	
		Fraunhofer (독일)	<p>〈경금속 수소화물 합성 및 페이스트 제조 및 수 반응 수소 생산 시스템〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 미국과 EU에서 MgH₂ 기반 페이스트(Powerpaste)에 대한 특허 보유 • 2021년 매년 4톤의 Powerpaste를 생산할 수 있는 파일럿 공장 건설 중 	
기타	<ul style="list-style-type: none"> • 독일 Fraunhofer 외 일본(BIOCOKE Lab. Ltd., Fuji Kogyo Co. Ltd., Hokkaido University, Tohoku University), 미국/캐나다(Hatch Technology LLC, Boston University, Metallurgical Viability, Inc., HERA Hydrogen Storage Systems, Inc., NASA)에서도 유사한 연구 진행 중 			

국내외 연구 동향	국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 SAC(기업), KIST, KIMS, KIER(연구소)에서 경금속 수소화물에 대한 연구를 추진하고 있다. 앞으로 이들의 연구가 시너지를 낼 수 있도록 체계적이고 집중적인 지원이 필요하다. 	
		SAC	<ul style="list-style-type: none"> • 마그네슘 수소화물 및 물 분해 수소 생산 기술
		KIER	<p>〈재생 경금속 수소화물_알루미늄 수소화물〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 전기 화학 및 기계 화학적 방법에 의한 알레인 합성에 대한 개념 검증 선행 연구 • 경금속 수소화물 제조 및 응용 • 마그네슘 수소화물(Mg, Mg₂Ni)의 합성 및 성능 향상 등에 대한 연구
		KIST	<p>〈Alanate계 금속착수소화물 및 Borohydride계 금속착수소화물〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 금형 주조를 통한 벌크 형태의 Mg-Ni계 합금 제조
		KIMS	<p>〈Mg계 수소화물〉</p> <ul style="list-style-type: none"> • 기계적 합금화 공정, 촉매를 적용한 수소 흡·방출 특성 개선 연구

43 친환경 페로브스카이트 소재

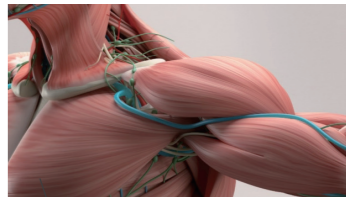
품목명	친환경(Pb-free) 페로브스카이트 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 독성이 높은 Pb 성분을 배제하고 변환 효율(>20%)이 우수하며, 친환경(Pb-free)적인 미래 에너지 소재 ※ 최근 연구개발 중인 페로브스카이트(Perovskite) 태양전지에는 중금속인 Pb(납)를 사용 중 		 <p>출처: dreamstime 재인용 출처: 인더스트리뉴스 (http://www.industrynews.co.kr) https://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=36880</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (단기) Pb-free Perovskite 태양전지용 광 흡수층 소재 및 박막 형성 기술 2 (중기·장기) Pb-free Perovskite 기반 다중 접합 태양전지 기술 3 (중기·장기) Pb-free Perovskite 신뢰성 향상 기술 		
주요 특징	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>최근 페로브스카이트(Perovskite) 태양전지는 우수한 소재 특성으로 25% 이상의 변환 효율이 보고되고 있다. 하지만, 중금속인 Pb(납) 사용으로 독성 논란 및 산업적 활용에 장애가 되고 있다. PSC(Perovskite Solar Cells) 초창기에는 실리콘 태양전지의 변환 효율에 크게 미치지 못하여 큰 주목을 받지 못했다. 하지만, 짧은 기간에 24%를 넘나드는 변환 효율을 달성하며, 상용화를 위한 글로벌 에너지 관련 산업체의 활발한 움직임이 감지되고 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 <p>2020년 태양광에 대한 투자는 2016년에 비해 18% 증가한 1,610억 달러로, 이는 세계 재생 에너지 총 투자의 57%를 차지하는 것이다. New Energy Outlook 2020에 의하면 2050년에는 태양광과 풍력이 전 세계 전력 발전량의 56%를 차지하게 된다. IRENA의 보고서에 따르면 2020년에서 2050년 사이, 전 세계 태양전지(SV) 시장의 연평균 성장률(CAGR)은 8.9%를 넘어설 것이다.</p>	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>페로브스카이트(Perovskite) 소재는 태양전지용 광 흡수층으로 주로 사용되며, 광 흡수 밴드갭 조절을 통해 투과성 및 심미적 기능을 가진 태양전지를 만들 수 있다. 페로브스카이트의 화학식은 ABX₃으로, 제조 공정이 단순해 저비용으로 생산이 가능하며, 모듈화가 용이하다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 <p>Pb(납) 기반으로 인한 소재 자체의 불안정성(Instability)과 유독성(Toxicity)으로 인한 상업화의 한계를 극복하고 고효율 태양전지를 위한 미래소재로서 소부장 산업 발전에 기여할 것으로 전망된다.</p>	

44 저온형 수전해용 세라믹 소재

품목명	저온형 수전해용 세라믹 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 500도 이하의 온도에서 작동 가능한 고온 수전해/연료 전지용 초이온(H⁺ 또는 O²⁻이온) 전도성 세라믹 소재 ※ 기존 700~850°C에서 500°C 이하로 작동 온도 저감 시, 고온 부식 및 열화로 인한 소재 선택 제한 및 내구성 저하 문제 해결 가능 ※ 온도 저감에 의해 열에너지 수급이 상대적으로 용이하여, 개발 소재 및 스택의 응용처가 다양해질 수 있다. 		 <p>출처: 한국에너지기술연구원 http://m.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=60781</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 초이온 전도성 소재 원천 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 초이온 전도성 화학적 안정성 향상을 위한 Single-atom 또는 나노 전극 촉매 개발 초이온 전도성 소재 기반 대면적 셀 소결 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 신 소결법을 도입을 통한 소결 온도 저감 연구 대면적 셀 적층 또는 모듈화를 통한 스택 제조 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 스택 효율(전기 효율, 발전 효율 등) 향상을 위한 구조 설계 및 스택 고도화 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 <p>최근 미국은 에너지국(DOE) 주도의 HydroGEN 프로젝트를 통해서 중저온에서 고이온 전도성을 갖는 전해질 개발에 집중하고 있다. 유럽에서는 GAMER 프로젝트를 통해서 중저온형 전해질 및 형태학적 접근을 통해 시스템 효율을 높이는 연구를 진행하는 중이나, TRL2-5 수준에서의 연구이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> 시장 규모 전망 <p>세계 수소 생산 시장은 2020년 이후로 연평균 약 9%대로 성장하고 있으며, 2025년에는 2,100억 달러 규모에 이를 것으로 예측된다. 전 세계의 수소 생산량은 현재 연간 6,500만 톤 규모로 추정되며, 수전해 방식은 전체의 약 18%를 차지한다.</p>	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 <p>고온 수전해 기술의 내구성 개선과 경제성 확보를 위해 작동 온도의 저감이 요구된다. 이를 위해 기존 상용화된 산소 이온 전도 전해질 소재와 비교하여 ≤500°C에서 이온 전도도 성능이 등급 혹은 그 이상의 성능을 확보할 수 있는 초이온 전도성 세라믹 전해질 소재이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> 현재 대비 비교 <p>기존의 높은 작동 온도(700~850도)로 인해 셀·스택·시스템 내 다양한 부품의 고온 내부식이 요구되었고, 이는 소재의 제한과 가격 상승의 원인이 되었다. 고온 수전해-그린 수소를 생산할 때 초이온 전도성 세라믹 소재를 이용할 경우, 별도의 여과 시스템 없이도 고순도의 수소를 생산할 수 있다.</p>	

기술 소개	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 <p>비납(Pb-free) 페로브스카이트 조성에 대한 연구가 보고되고 있으나, 기존의 납을 포함한 페로브스카이트 태양전지의 성능에 비해 현저히 낮다. 친환경 용매 사용 기술은 전하 전달층에 국한된 경우가 많으며, 친환경 페로브스카이트 결정화 기술은 아직 연구 초기 단계이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> 예상 소요 기간 <p>국내에서 해당 소재의 기술 개발을 착수한다면 10~11년 이내에 친환경 페로브스카이트 기반의 태양전지 소재 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대한다.</p>						
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준: 세계 최고 기술 보유국(일본) 대비 60% 수준 						
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> 친환경(Pb-free) 페로브스카이트 태양전지 분야에 대한 기술은 일본 규슈공업대학의 Shuzi Hayase 그룹과 중국 ShanghaiTech University의 Zhijun Ning 그룹이 주도하고 있다. 						
		<table border="1"> <tr> <td>규슈공업대학(일본)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> FASnI₃ 전구체에 Ethylammonium cation을 섞어 결정성과 구조적 안정성을 높이고, 전자 수송층으로의 전하 추출 특성을 높여 효율 13.24% 달성 </td> </tr> <tr> <td>ShanghaiTech University (중국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> FASnI₃ 전구체에 Phenethylammonium과 NH₄SCN을 첨가하여 박막 결정성을 높이고, 전자 수송층으로 기존에 사용하던 PCBM 대신 높은 LUMO Level의 Indene-C₆₀ Bisadduct(ICBA)를 적용하여 Voc를 증가시킴으로써 효율 12.4% 달성 </td> </tr> <tr> <td>Shanghai Jiao Tong University(중국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> FASnI₃ 광활성층 위에 n-propylammonium iodide(PAI)를 도포한 후 열처리하는 공정으로 자발적인 구조 형성을 통한 FASnI₃의 결정성을 높이고, 결함을 제거하여 11.22% 효율 달성에 성공했다. </td> </tr> </table>	규슈공업대학(일본)	<ul style="list-style-type: none"> FASnI₃ 전구체에 Ethylammonium cation을 섞어 결정성과 구조적 안정성을 높이고, 전자 수송층으로의 전하 추출 특성을 높여 효율 13.24% 달성 	ShanghaiTech University (중국)	<ul style="list-style-type: none"> FASnI₃ 전구체에 Phenethylammonium과 NH₄SCN을 첨가하여 박막 결정성을 높이고, 전자 수송층으로 기존에 사용하던 PCBM 대신 높은 LUMO Level의 Indene-C₆₀ Bisadduct(ICBA)를 적용하여 Voc를 증가시킴으로써 효율 12.4% 달성 	Shanghai Jiao Tong University(중국)	<ul style="list-style-type: none"> FASnI₃ 광활성층 위에 n-propylammonium iodide(PAI)를 도포한 후 열처리하는 공정으로 자발적인 구조 형성을 통한 FASnI₃의 결정성을 높이고, 결함을 제거하여 11.22% 효율 달성에 성공했다.
		규슈공업대학(일본)	<ul style="list-style-type: none"> FASnI₃ 전구체에 Ethylammonium cation을 섞어 결정성과 구조적 안정성을 높이고, 전자 수송층으로의 전하 추출 특성을 높여 효율 13.24% 달성 					
	ShanghaiTech University (중국)	<ul style="list-style-type: none"> FASnI₃ 전구체에 Phenethylammonium과 NH₄SCN을 첨가하여 박막 결정성을 높이고, 전자 수송층으로 기존에 사용하던 PCBM 대신 높은 LUMO Level의 Indene-C₆₀ Bisadduct(ICBA)를 적용하여 Voc를 증가시킴으로써 효율 12.4% 달성 						
Shanghai Jiao Tong University(중국)	<ul style="list-style-type: none"> FASnI₃ 광활성층 위에 n-propylammonium iodide(PAI)를 도포한 후 열처리하는 공정으로 자발적인 구조 형성을 통한 FASnI₃의 결정성을 높이고, 결함을 제거하여 11.22% 효율 달성에 성공했다. 							
<table border="1"> <tr> <td>단국대학교</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Thermal evaporation 공정을 통해 순차적으로 SnI₂, PEAI, MAI를 증착하여 3D 구조의 MASnI₃와 2D 구조의 PEAI₂SnI₄ 두 층으로 이루어진 흡수층을 개발하여 9.2%의 효율 달성 </td> </tr> <tr> <td>UNIST</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Sb₂S₃, SbI₃, MAI를 순차적으로 반응시켜 황과 요오드가 섞인 MASbSI₂ 박막을 개발하였으며, 이를 흡수층으로 적용하여 3.08%의 효율 성취 </td> </tr> <tr> <td>한국화학연구원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> FASnI₃에 Br를 섞어 Sn vacancy를 줄임으로써 Carrier lifetime을 향상시키고 이를 통해 효율 5.5% 달성. 또한 구조적 안정성이 높은 PEAI_{0.15}FAI_{0.70}EAI_{0.15}SnI_{1-x}Br_x 광활성층의 조성 엔지니어링을 통한 결정성 향상과 결함 감소로 9.3%의 효율에 도달 </td> </tr> </table>	단국대학교	<ul style="list-style-type: none"> Thermal evaporation 공정을 통해 순차적으로 SnI₂, PEAI, MAI를 증착하여 3D 구조의 MASnI₃와 2D 구조의 PEAI₂SnI₄ 두 층으로 이루어진 흡수층을 개발하여 9.2%의 효율 달성 	UNIST	<ul style="list-style-type: none"> Sb₂S₃, SbI₃, MAI를 순차적으로 반응시켜 황과 요오드가 섞인 MASbSI₂ 박막을 개발하였으며, 이를 흡수층으로 적용하여 3.08%의 효율 성취 	한국화학연구원	<ul style="list-style-type: none"> FASnI₃에 Br를 섞어 Sn vacancy를 줄임으로써 Carrier lifetime을 향상시키고 이를 통해 효율 5.5% 달성. 또한 구조적 안정성이 높은 PEAI_{0.15}FAI_{0.70}EAI_{0.15}SnI_{1-x}Br_x 광활성층의 조성 엔지니어링을 통한 결정성 향상과 결함 감소로 9.3%의 효율에 도달 		
단국대학교	<ul style="list-style-type: none"> Thermal evaporation 공정을 통해 순차적으로 SnI₂, PEAI, MAI를 증착하여 3D 구조의 MASnI₃와 2D 구조의 PEAI₂SnI₄ 두 층으로 이루어진 흡수층을 개발하여 9.2%의 효율 달성 							
UNIST	<ul style="list-style-type: none"> Sb₂S₃, SbI₃, MAI를 순차적으로 반응시켜 황과 요오드가 섞인 MASbSI₂ 박막을 개발하였으며, 이를 흡수층으로 적용하여 3.08%의 효율 성취 							
한국화학연구원	<ul style="list-style-type: none"> FASnI₃에 Br를 섞어 Sn vacancy를 줄임으로써 Carrier lifetime을 향상시키고 이를 통해 효율 5.5% 달성. 또한 구조적 안정성이 높은 PEAI_{0.15}FAI_{0.70}EAI_{0.15}SnI_{1-x}Br_x 광활성층의 조성 엔지니어링을 통한 결정성 향상과 결함 감소로 9.3%의 효율에 도달 							
국내	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 UNIST, 화학연구원, 단국대학교 등 여러 기관에서 Pb-free 페로브스카이트 태양전지 연구를 추진하고 있으나, 지금까지 보고된 효율은 10% 미만이다. 							

45 소프트 웨어러블 인공근육 소재

품목명	소프트 웨어러블 인공근육 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 우수한 착용감과 함께 신체의 근·골격을 바르게 유지·보호하고 신체 기능을 강화하는 소프트 로봇 인공근육 소재 		 <p>출처:어드밴스드 머티리얼즈(Advanced Materials) 혈관, 신경까지 재생되는 맞춤형 인공근육 나왔다 (서울신문, 2021 재인용) https://www.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20210219500139</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (중·장기) 높은 변형·파워가 가능한 섬유·합금 기반의 인공근육 복합 소재 설계 및 제조 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ (중기) 형상기억합금 기반 고변형 고파워 가능한 금속 소재 설계 ※ (중기) 인체와 유사한 온도 대역의 단계별 전이온도 형상기억 합금 소재 설계 ※ (중·장기) 빠른 수축·이완(응답 속도)을 위한 소재 제조 및 가공 기술 ※ (장기) 높은 변형과 정밀 제어가 가능한 소재 복합화 기술 ※ (장기) 코팅 및 계면 제어를 이용한 고강도 고탄성 유연 복합체 제조 기술 2 (장기) 인공근육 통합 설계 및 평가 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> ※ 동력 기준으로 최적 조건의 인공근육 설계 기술 3 (장기) 인공근육 소재를 이용한 응용 부품 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> ※ 변형 및 파워가 제어된 구동부 모듈 기술 ※ 외부 환경 및 감지 센서와 결합된 인공근육 모듈 기술 		
중요성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 자동차, 전기, 전자와 같은 산업에서 로봇 채택률이 높아짐은 물론, 제약, 펄프 및 제지, 식음료 같은 부문의 중소기업들도 로봇 채택이 늘어나면서 로봇 사용이 더욱 증가할 것으로 예상된다. ● 시장 규모 전망 형상기억합금을 비롯한 인공근육 소재를 이용하여 생활 보조 및 헬스케어 등의 근력 보조 및 섬세한 작업이 가능하다. 인공근육 외에도 의료, 항공·우주, 자동차, 가전 등 다양한 고부가가치 미래 기술 분야에서 응용할 수 있다. 각종 보고서에 따르면 연평균 12~15% 이상 성장할 것으로 전망된다. (2022년 약 20조 원 시장) 현재, 국내 생산은 미미한 상태(점유율 1% 미만)로 미국(NDC), 일본(Furukawa Techno Material) 등에서 대부분 수입하여 사용하고 있다. 		

구분	내용						
최요점	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 우수한 특성이 보고된 소재군(예: BZCYYb)에 국한해 선진국과의 격차를 줄이거나 신규 조성을 확보하기 위한 연구개발이 일부 대학 및 연구소에서 진행 중이다. ● 예상 소요 기간 국내에서 해당 소재의 기술 개발을 착수한다면 10~11년 이내에 수전해용 수소이온 전도성 소재 기술을 확보할 수 있을 것이다. 						
국내외 연구 동향	<p>기술 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 80% 수준 						
	<p>해외</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 차세대 초이온 전도성 소재 분야에 대한 기술은 현재 <5cm² 단위셀 수준의 500~600도 작동형 원천 소재 개발 연구가 학교와 연구소에서 주요하게 진행되고 있다. 최근에는 대형화, 실용화를 위한 연구가 미국·유럽에서 산학연 공동 프로젝트로 수행 중이다. <table border="1"> <tr> <td>Colorado School of Mines(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 500~600℃ 작동형 가역 고온 수전해/연료전지 연구 결과 (전기효율 >90%, 열화율 <0.03V/1000h) 보고 (Nat. Energy 2019) </td> </tr> <tr> <td>Northwestern University(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 고성능 촉매 전극 소재 개발을 통해 500℃에서 2ml/min·cm²에 해당하는 수소 생산율을 지닌 고온 수전해 성능 보고 (Energy Environ. Sci. 2019) </td> </tr> <tr> <td>HydroGEN project(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • NREL, LBNL, SNL, INL, LLNL, SRNL 6개 미국 국립연구소가 참여하여 초이온 전도성 고온 수전해 원천 기술 개발을 목표로 연구 중 </td> </tr> </table>	Colorado School of Mines(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 500~600℃ 작동형 가역 고온 수전해/연료전지 연구 결과 (전기효율 >90%, 열화율 <0.03V/1000h) 보고 (Nat. Energy 2019) 	Northwestern University(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 고성능 촉매 전극 소재 개발을 통해 500℃에서 2ml/min·cm²에 해당하는 수소 생산율을 지닌 고온 수전해 성능 보고 (Energy Environ. Sci. 2019) 	HydroGEN project(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • NREL, LBNL, SNL, INL, LLNL, SRNL 6개 미국 국립연구소가 참여하여 초이온 전도성 고온 수전해 원천 기술 개발을 목표로 연구 중
	Colorado School of Mines(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 500~600℃ 작동형 가역 고온 수전해/연료전지 연구 결과 (전기효율 >90%, 열화율 <0.03V/1000h) 보고 (Nat. Energy 2019) 					
	Northwestern University(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 고성능 촉매 전극 소재 개발을 통해 500℃에서 2ml/min·cm²에 해당하는 수소 생산율을 지닌 고온 수전해 성능 보고 (Energy Environ. Sci. 2019) 					
HydroGEN project(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • NREL, LBNL, SNL, INL, LLNL, SRNL 6개 미국 국립연구소가 참여하여 초이온 전도성 고온 수전해 원천 기술 개발을 목표로 연구 중 						
<p>국내</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 KIST와 UNIST, 고려대학교 등의 일부 연구소 및 대학에서 초이온 전도성 세라믹 소재에 대한 원천 연구를 추진하고 있으며, 2018년 KIST에서 세계 최초로 25cm²의 초이온 전도성 대면적 셀 제작에 성공했다. <table border="1"> <tr> <td>KIST</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • KIST는 500도에서 0.6W/cm²의 고성능을 확보한 25cm²의 대면적 평판형 초이온 전도성 연료전지 결과 보고(Nat. Energy 2018) </td> </tr> <tr> <td>UNIST</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 초이온 전도성 세라믹 기반의 저온용 요소 기술 개발 중(교육부, 2018~2023) </td> </tr> <tr> <td>고려대학교</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 암모니아 직접 주입형 초이온 세라믹 연료전지 개발 연구 수행 중 (과학기술정보통신부, 2019~2021) </td> </tr> </table>	KIST	<ul style="list-style-type: none"> • KIST는 500도에서 0.6W/cm²의 고성능을 확보한 25cm²의 대면적 평판형 초이온 전도성 연료전지 결과 보고(Nat. Energy 2018) 	UNIST	<ul style="list-style-type: none"> • 초이온 전도성 세라믹 기반의 저온용 요소 기술 개발 중(교육부, 2018~2023) 	고려대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 암모니아 직접 주입형 초이온 세라믹 연료전지 개발 연구 수행 중 (과학기술정보통신부, 2019~2021) 	
KIST	<ul style="list-style-type: none"> • KIST는 500도에서 0.6W/cm²의 고성능을 확보한 25cm²의 대면적 평판형 초이온 전도성 연료전지 결과 보고(Nat. Energy 2018) 						
UNIST	<ul style="list-style-type: none"> • 초이온 전도성 세라믹 기반의 저온용 요소 기술 개발 중(교육부, 2018~2023) 						
고려대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 암모니아 직접 주입형 초이온 세라믹 연료전지 개발 연구 수행 중 (과학기술정보통신부, 2019~2021) 						

46 휴먼 증강용 인체 감각 모방형 전자 소재

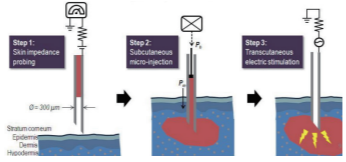
품목명	휴먼 증강용 인체 감각 모방형 전자 소재	구분	소재	
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 생체의 다양한 감각(오감, 생체 정보 등), 신경망의 모사 구조와 생체 친화, 유연·신축, 보호·치유, 자가 학습 등의 특성을 지닌 나노 전자 소재 ※ 인체 피부와 감각을 대체하면서 사용자 생체 정보, 맥락, 의도 등을 인지 또는 로봇 감각용 전자 소재 		<p>출처: DGIST, Soft Robotics https://www.thekbs.co.kr/news/articleView.html?idxno=1673</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (장기) 생체 친화 이온트로닉 소재 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 전 방향 신축과 미세 패턴 제작이 가능한 이온 전도체 소재 기술 ※ 복합 재료 기반의 생체 피부 특성 모사 소재 기술 ※ 부식 내구성과 생체 적합성을 가지는 전극-전해질 계면 제어 기술 2 (중기) 멀티 스케일 구조 기반 생체모사 다중 감각 소자 공정 기술 <ul style="list-style-type: none"> ※ 기능성 복합 재료의 미세구조 정렬 및 3차원 구조 제작 공정 기술 ※ 인체 감각 수용체를 모사할 수 있는 다층 및 구배 구조 기술 ※ 감각 소자 어레이의 대면적 3차원 집적화 기술 ※ 이온트로닉 소재 특성 평가용 촉각 및 시냅스 모사 소자 제작 평가 기술 			
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>고령화 사회와 원격 진료 시대가 도래하면서 현재까지의 생체 부착형 소자는 인체의 물성을 그대로 모사하고 나아가 높은 센싱 기능으로 인간의 감각을 극대화하는 차세대 휴먼 증강 전자 의료기기로 발전하고 있다. 이를 구현하는 데 있어 핵심인 인체 모방형 고기능성 생체 소재 연구에 미국, EU 등의 선진 연구기관과 기업이 활발한 연구와 투자를 진행하고 있다.</p> <p>인체 감각 모방형 디바이스 및 소재 기술의 핵심은 인간의 감각을 모방하고 고감도 센싱을 통해 능력을 극대화함으로써 장애를 치료하고, 나아가 인간의 한계를 극복하는 것이다. 4차 산업혁명으로 급성장하고 있는 ICT 기술과 접목되어 휴머노이드로까지 진화가 예상되며, 따라서 향후 시장성이 매우 높은 분야가 될 것으로 전망된다.</p>		
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 <p>생체 센서의 글로벌 시장 규모는 2019년 약 212억 달러에서 2024년 315억 달러(CGAR 8.3%), 전자 피부는 2020년 약 4.6억 달러에서 2025년 17.2억 달러(CGAR 38.7%), 웨어러블 소자는 2018년 약 324억 달러에서 2023년 879억 달러(CGAR 22.1%)로 성장할 것으로 예상된다.</p>		

기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>외골격 로봇과 같은 강체 기반의 로봇을 착용할 경우, 일상생활은 매우 제한적이다. 따라서 장시간 착용에도 불편함이 없는, 가벼우면서도 착용이 간편한 웨어러블 로봇을 개발하려면 부드러우면서도 강성과 내구성을 겸비한 인공근육 소재 개발이 필요하다.</p>							
	<ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 <p>전이 온도 제어, 조성 최적화, 열처리 등의 소재 기술, 코팅 및 표면 처리 기술, 빠른 응답 속도를 위한 열 관련 기술과 소재 보호를 위한 실링 기술 등 핵심 소재 기술, 복합 소자화 및 연속 대량 생산을 위한 자동화 기술 등 다양한 부분에서 파급력이 클 것이다.</p>							
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>한국기계연구원에서는 자기 무게보다 1,000배 무거운 물체를 들어 올릴 수 있는 인공근육 섬유를 제작했다. 또, 서울대학교에서는 큰 변형과 초고속 수축·이완이 가능한 마이크로 크기의 SMA를 제작했다.</p>							
	<ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 <p>빠른 가변 변형 특성을 비롯해 높은 반복 내구성, 고신뢰성, 낮은 가격, 파워 밀도, 변형 분해능, 변형률 등이 필요한 소프트 웨어러블 로봇용 고평위·고수축 인공근육 소재 기술 개발에 10~11년이 소요될 것으로 예상된다.</p>							
기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국, 일본) 대비 80% 수준 							
	<ul style="list-style-type: none"> ● 차세대 인공근육 소재 분야에 대한 기술은 MIT, 하버드대학교 등이 주도하고 있으며, 해외 기업은 Nitinol 계열의 제품 개발, 판매 중이다. 							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>MIT(미국)</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Polymer Gel/유압식 Actuator, 외골격 슈트 기반 연구 진행 </td> </tr> <tr> <th>하버드대학교(미국)</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Soft Exosuits, Soft fluidic actuator 등 다양한 연구 진행, 인공근육 제어용 시스템 개발 </td> </tr> <tr> <th>해외 기업</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Nitinol 제품 개발(형태/조성 변경: Wire/Ribbon 등) 및 판매 ※ NDC (美), Furukawa Techno Material (日) 등 $\varnothing 100\mu\text{m}$ 이하 제품 판매 </td> </tr> </thead> </table>	MIT(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • Polymer Gel/유압식 Actuator, 외골격 슈트 기반 연구 진행 	하버드대학교(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • Soft Exosuits, Soft fluidic actuator 등 다양한 연구 진행, 인공근육 제어용 시스템 개발 	해외 기업	<ul style="list-style-type: none"> • Nitinol 제품 개발(형태/조성 변경: Wire/Ribbon 등) 및 판매 ※ NDC (美), Furukawa Techno Material (日) 등 $\varnothing 100\mu\text{m}$ 이하 제품 판매 	
	MIT(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • Polymer Gel/유압식 Actuator, 외골격 슈트 기반 연구 진행 						
하버드대학교(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • Soft Exosuits, Soft fluidic actuator 등 다양한 연구 진행, 인공근육 제어용 시스템 개발 							
해외 기업	<ul style="list-style-type: none"> • Nitinol 제품 개발(형태/조성 변경: Wire/Ribbon 등) 및 판매 ※ NDC (美), Furukawa Techno Material (日) 등 $\varnothing 100\mu\text{m}$ 이하 제품 판매 							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>MIT(미국)</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Polymer Gel/유압식 Actuator, 외골격 슈트 기반 연구 진행 </td> </tr> <tr> <th>하버드대학교(미국)</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Soft Exosuits, Soft fluidic actuator 등 다양한 연구 진행, 인공근육 제어용 시스템 개발 </td> </tr> <tr> <th>해외 기업</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Nitinol 제품 개발(형태/조성 변경: Wire/Ribbon 등) 및 판매 ※ NDC (美), Furukawa Techno Material (日) 등 $\varnothing 100\mu\text{m}$ 이하 제품 판매 </td> </tr> </thead> </table>	MIT(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • Polymer Gel/유압식 Actuator, 외골격 슈트 기반 연구 진행 	하버드대학교(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • Soft Exosuits, Soft fluidic actuator 등 다양한 연구 진행, 인공근육 제어용 시스템 개발 	해외 기업	<ul style="list-style-type: none"> • Nitinol 제품 개발(형태/조성 변경: Wire/Ribbon 등) 및 판매 ※ NDC (美), Furukawa Techno Material (日) 등 $\varnothing 100\mu\text{m}$ 이하 제품 판매 		
MIT(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • Polymer Gel/유압식 Actuator, 외골격 슈트 기반 연구 진행 							
하버드대학교(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • Soft Exosuits, Soft fluidic actuator 등 다양한 연구 진행, 인공근육 제어용 시스템 개발 							
해외 기업	<ul style="list-style-type: none"> • Nitinol 제품 개발(형태/조성 변경: Wire/Ribbon 등) 및 판매 ※ NDC (美), Furukawa Techno Material (日) 등 $\varnothing 100\mu\text{m}$ 이하 제품 판매 							
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 서울대학교 등이 다양한 형상기억합금 소재 및 구조에 대한 연구를 추진하고 있으나, 대다수 수입에 의존하고 있다. 							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>서울대학교</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Nitinol (마이크로 스케일 형태 변경), 폴리머 소재(공압) 및 차세대 나노물질 (맥신) 이용 인공근육 모사 </td> </tr> <tr> <th>한국기계연구원</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • SMA 소재 가공(스프링 구조)을 통한 인공근육 모사, SMA 소재 변태 온도 제어 기술 </td> </tr> <tr> <th>(주)에스엠에이</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • $\varnothing 400\mu\text{m}$ 와이어를 제작·판매 </td> </tr> </thead> </table>	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> • Nitinol (마이크로 스케일 형태 변경), 폴리머 소재(공압) 및 차세대 나노물질 (맥신) 이용 인공근육 모사 	한국기계연구원	<ul style="list-style-type: none"> • SMA 소재 가공(스프링 구조)을 통한 인공근육 모사, SMA 소재 변태 온도 제어 기술 	(주)에스엠에이	<ul style="list-style-type: none"> • $\varnothing 400\mu\text{m}$ 와이어를 제작·판매 	
	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> • Nitinol (마이크로 스케일 형태 변경), 폴리머 소재(공압) 및 차세대 나노물질 (맥신) 이용 인공근육 모사 						
	한국기계연구원	<ul style="list-style-type: none"> • SMA 소재 가공(스프링 구조)을 통한 인공근육 모사, SMA 소재 변태 온도 제어 기술 						
(주)에스엠에이	<ul style="list-style-type: none"> • $\varnothing 400\mu\text{m}$ 와이어를 제작·판매 							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>서울대학교</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Nitinol (마이크로 스케일 형태 변경), 폴리머 소재(공압) 및 차세대 나노물질 (맥신) 이용 인공근육 모사 </td> </tr> <tr> <th>한국기계연구원</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • SMA 소재 가공(스프링 구조)을 통한 인공근육 모사, SMA 소재 변태 온도 제어 기술 </td> </tr> <tr> <th>(주)에스엠에이</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • $\varnothing 400\mu\text{m}$ 와이어를 제작·판매 </td> </tr> </thead> </table>	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> • Nitinol (마이크로 스케일 형태 변경), 폴리머 소재(공압) 및 차세대 나노물질 (맥신) 이용 인공근육 모사 	한국기계연구원	<ul style="list-style-type: none"> • SMA 소재 가공(스프링 구조)을 통한 인공근육 모사, SMA 소재 변태 온도 제어 기술 	(주)에스엠에이	<ul style="list-style-type: none"> • $\varnothing 400\mu\text{m}$ 와이어를 제작·판매 		
서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> • Nitinol (마이크로 스케일 형태 변경), 폴리머 소재(공압) 및 차세대 나노물질 (맥신) 이용 인공근육 모사 							
한국기계연구원	<ul style="list-style-type: none"> • SMA 소재 가공(스프링 구조)을 통한 인공근육 모사, SMA 소재 변태 온도 제어 기술 							
(주)에스엠에이	<ul style="list-style-type: none"> • $\varnothing 400\mu\text{m}$ 와이어를 제작·판매 							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>서울대학교</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Nitinol (마이크로 스케일 형태 변경), 폴리머 소재(공압) 및 차세대 나노물질 (맥신) 이용 인공근육 모사 </td> </tr> <tr> <th>한국기계연구원</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • SMA 소재 가공(스프링 구조)을 통한 인공근육 모사, SMA 소재 변태 온도 제어 기술 </td> </tr> <tr> <th>(주)에스엠에이</th> <td> <ul style="list-style-type: none"> • $\varnothing 400\mu\text{m}$ 와이어를 제작·판매 </td> </tr> </thead> </table>	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> • Nitinol (마이크로 스케일 형태 변경), 폴리머 소재(공압) 및 차세대 나노물질 (맥신) 이용 인공근육 모사 	한국기계연구원	<ul style="list-style-type: none"> • SMA 소재 가공(스프링 구조)을 통한 인공근육 모사, SMA 소재 변태 온도 제어 기술 	(주)에스엠에이	<ul style="list-style-type: none"> • $\varnothing 400\mu\text{m}$ 와이어를 제작·판매 		
서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> • Nitinol (마이크로 스케일 형태 변경), 폴리머 소재(공압) 및 차세대 나노물질 (맥신) 이용 인공근육 모사 							
한국기계연구원	<ul style="list-style-type: none"> • SMA 소재 가공(스프링 구조)을 통한 인공근육 모사, SMA 소재 변태 온도 제어 기술 							
(주)에스엠에이	<ul style="list-style-type: none"> • $\varnothing 400\mu\text{m}$ 와이어를 제작·판매 							

중요성	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 현재 대비 비교 현재 주로 연구 중인 전자 피부 소자들은 반도체 소자와 상용 엘라스토머의 하이브리드 구조이다. 상용 엘라스토머 특성상 착용 부작용이 발생, 개질 등을 통한 전도성 조절이나 자가 치유 기능은 부여할 수 없다. 																	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 인체 감각 모방형 생체 친화 전자 소재는 세계적으로 구현된 예가 없는 High Risk High Return 분야로, 10여 년 이상의 연구 기간이 필요한 기술이다. 국내 대학과 출연연에서 반도체 소자 기반 인체 피부 내부의 감각 수용기를 모사한 단위 소자에서 세계 최고 수준의 결과가 발표된 바 있다. 따라서 국내에 선행 연구라고 할 수 있는 관련 기초 기술과 인력 등이 이미 확보된 상태라고 판단된다. 예상 소요 기간 하이드로겔 소재의 기능성 조절 및 멀티 스케일 구조와 생체 모사 기반의 고감도 센싱 구조를 적용한 인체 감각 모방형 생체 친화 전자 소재는 세계적으로 구현된 예가 없다. 하지만, 국내 기초 연구를 기반으로 6~7년의 기간이 소요될 것으로 예상된다. 																	
국내외 연구 방향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 50% 수준 																	
	해외	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 생체모사 전자 소재의 기술은 해외 기업 Microsoft, IBM 등이 대학과의 공동 연구를 통해 주도하고 있다. <table border="1"> <tr> <td>IBM, Sematech(미국)</td> <td>CERA(Carbon Electronics for RF Application) 프로젝트에서 대학과의 공동 연구를 통하여 고성능 그래핀 소자 연구 수행</td> </tr> <tr> <td>Microsoft(미국)</td> <td>MIT Media Lab과 공동 연구를 통해 금속 재질의 타투를 피부에 붙여 주변의 스마트 기기를 제어할 수 있는 '듀오 스킨' 개발</td> </tr> <tr> <td>노스웨스턴대학교(미국)</td> <td>실리콘 박막 기반의 전자 회로와 신축성을 가진 전극을 제작하여 신생아의 몸 상태를 무선으로 측정 가능한 소프트 패치 개발</td> </tr> <tr> <td>하버드대학교(미국)</td> <td>가역적인 이온 결합 기반의 하이드로겔 제작 방법을 개발. 최대 1,700% 높은 신축성과 인장 강도를 가진 것으로 보고</td> </tr> <tr> <td>스탠퍼드대학교(미국)</td> <td>유기 반도체 재료와 자가 치유 특성을 이용해 1,300%까지 늘어날 수 있고, 100% 인장 상태에서 5.75x10⁶의 높은 게이지 팩터를 갖는 스트레인 센서 개발</td> </tr> <tr> <td>MIT(미국)</td> <td>기존 웨어러블 소재 중에 물로 세정이 가능한 초발수성 표면을 가지는 전도체 소재가 별로 없다는 점에 착안하여, 물이나 습도에 저항성을 갖게 하는 웨어러블 전도체 소재 개발</td> </tr> <tr> <td>남부 캘리포니아대학교(미국)</td> <td>P[VDF-HFP]와 [EMIM]+[TFSI]-의 복합화를 통해 제조한 전해질에 식물 잎의 표면 구조를 모방한 Cone 모양의 마이크로 구조를 도입, 고민감도의 커패시터형 전자 피부 개발</td> </tr> <tr> <td>UC 데이비스(미국)</td> <td>유체 상태의 Ionic liquid를 이용한 압력에 의해 접촉 면적의 변화에 따른 Capacitance 변화를 측정함으로써 압력을 측정하는 센서 개발</td> </tr> <tr> <td>Siemens(독일), Philips(네덜란드)</td> <td>STELLA(STretchable ELectronics for Large Area application) 프로젝트와 PLACE-It(Platform for Large Area Conformable Electronics by InTegration) 프로젝트에서 대면적 스트레처블 전자기술 개발 연구 수행</td> </tr> </table>	IBM, Sematech(미국)	CERA(Carbon Electronics for RF Application) 프로젝트에서 대학과의 공동 연구를 통하여 고성능 그래핀 소자 연구 수행	Microsoft(미국)	MIT Media Lab과 공동 연구를 통해 금속 재질의 타투를 피부에 붙여 주변의 스마트 기기를 제어할 수 있는 '듀오 스킨' 개발	노스웨스턴대학교(미국)	실리콘 박막 기반의 전자 회로와 신축성을 가진 전극을 제작하여 신생아의 몸 상태를 무선으로 측정 가능한 소프트 패치 개발	하버드대학교(미국)	가역적인 이온 결합 기반의 하이드로겔 제작 방법을 개발. 최대 1,700% 높은 신축성과 인장 강도를 가진 것으로 보고	스탠퍼드대학교(미국)	유기 반도체 재료와 자가 치유 특성을 이용해 1,300%까지 늘어날 수 있고, 100% 인장 상태에서 5.75x10 ⁶ 의 높은 게이지 팩터를 갖는 스트레인 센서 개발	MIT(미국)	기존 웨어러블 소재 중에 물로 세정이 가능한 초발수성 표면을 가지는 전도체 소재가 별로 없다는 점에 착안하여, 물이나 습도에 저항성을 갖게 하는 웨어러블 전도체 소재 개발	남부 캘리포니아대학교(미국)	P[VDF-HFP]와 [EMIM]+[TFSI]-의 복합화를 통해 제조한 전해질에 식물 잎의 표면 구조를 모방한 Cone 모양의 마이크로 구조를 도입, 고민감도의 커패시터형 전자 피부 개발	UC 데이비스(미국)	유체 상태의 Ionic liquid를 이용한 압력에 의해 접촉 면적의 변화에 따른 Capacitance 변화를 측정함으로써 압력을 측정하는 센서 개발	Siemens(독일), Philips(네덜란드)
IBM, Sematech(미국)	CERA(Carbon Electronics for RF Application) 프로젝트에서 대학과의 공동 연구를 통하여 고성능 그래핀 소자 연구 수행																		
Microsoft(미국)	MIT Media Lab과 공동 연구를 통해 금속 재질의 타투를 피부에 붙여 주변의 스마트 기기를 제어할 수 있는 '듀오 스킨' 개발																		
노스웨스턴대학교(미국)	실리콘 박막 기반의 전자 회로와 신축성을 가진 전극을 제작하여 신생아의 몸 상태를 무선으로 측정 가능한 소프트 패치 개발																		
하버드대학교(미국)	가역적인 이온 결합 기반의 하이드로겔 제작 방법을 개발. 최대 1,700% 높은 신축성과 인장 강도를 가진 것으로 보고																		
스탠퍼드대학교(미국)	유기 반도체 재료와 자가 치유 특성을 이용해 1,300%까지 늘어날 수 있고, 100% 인장 상태에서 5.75x10 ⁶ 의 높은 게이지 팩터를 갖는 스트레인 센서 개발																		
MIT(미국)	기존 웨어러블 소재 중에 물로 세정이 가능한 초발수성 표면을 가지는 전도체 소재가 별로 없다는 점에 착안하여, 물이나 습도에 저항성을 갖게 하는 웨어러블 전도체 소재 개발																		
남부 캘리포니아대학교(미국)	P[VDF-HFP]와 [EMIM]+[TFSI]-의 복합화를 통해 제조한 전해질에 식물 잎의 표면 구조를 모방한 Cone 모양의 마이크로 구조를 도입, 고민감도의 커패시터형 전자 피부 개발																		
UC 데이비스(미국)	유체 상태의 Ionic liquid를 이용한 압력에 의해 접촉 면적의 변화에 따른 Capacitance 변화를 측정함으로써 압력을 측정하는 센서 개발																		
Siemens(독일), Philips(네덜란드)	STELLA(STretchable ELectronics for Large Area application) 프로젝트와 PLACE-It(Platform for Large Area Conformable Electronics by InTegration) 프로젝트에서 대면적 스트레처블 전자기술 개발 연구 수행																		

국내외 연구 방향	해외	<table border="1"> <tr> <td>Fraunhofer(독일)</td> <td>Printing 인텔 ligent Plastic Electronics 과제 수행 중</td> </tr> <tr> <td>동경대학교(일본)</td> <td>CNT와 고무를 이용해 열과 압력을 감지할 수 있는 로봇의 인공피부(e-skin) 개발</td> </tr> <tr> <td>난양공대학교(싱가포르)</td> <td>Hosphorus 도핑 처리된 SiO₂를 증착하는 방법을 이용해 Nano granular 형태의 이온 전달층 형성 발표</td> </tr> <tr> <td>상하이대학교(중국)</td> <td>Proton 타입 전해질 소재로써 C₃N₄/키토산 개발. 키토산은 우수한 전기 이중층 특성과 생체 적합성을 지녔으나, 이온 전도 특성이 낮음</td> </tr> </table>	Fraunhofer(독일)	Printing 인텔 ligent Plastic Electronics 과제 수행 중	동경대학교(일본)	CNT와 고무를 이용해 열과 압력을 감지할 수 있는 로봇의 인공피부(e-skin) 개발	난양공대학교(싱가포르)	Hosphorus 도핑 처리된 SiO ₂ 를 증착하는 방법을 이용해 Nano granular 형태의 이온 전달층 형성 발표	상하이대학교(중국)	Proton 타입 전해질 소재로써 C ₃ N ₄ /키토산 개발. 키토산은 우수한 전기 이중층 특성과 생체 적합성을 지녔으나, 이온 전도 특성이 낮음									
	Fraunhofer(독일)	Printing 인텔 ligent Plastic Electronics 과제 수행 중																	
동경대학교(일본)	CNT와 고무를 이용해 열과 압력을 감지할 수 있는 로봇의 인공피부(e-skin) 개발																		
난양공대학교(싱가포르)	Hosphorus 도핑 처리된 SiO ₂ 를 증착하는 방법을 이용해 Nano granular 형태의 이온 전달층 형성 발표																		
상하이대학교(중국)	Proton 타입 전해질 소재로써 C ₃ N ₄ /키토산 개발. 키토산은 우수한 전기 이중층 특성과 생체 적합성을 지녔으나, 이온 전도 특성이 낮음																		
국내	<ul style="list-style-type: none"> 삼성전자 등이 일리노이대학교 어버나-삼페인캠퍼스, 하버드대학교 등과의 공동 연구를 통해 현황을 파악하거나, 일부 출연연과 대학 등이 단위 소자에 대한 연구 결과 등을 발표하고 있다. 인체 감각 모방형 전자 소재 분야에서는 원천 기술이 부족하다. <table border="1"> <tr> <td>태평양, 대응제약</td> <td>인공 조직 기술 개발은 주로 인공피부 개발에 초점이 맞추어져 있고, 키토산, 콜라겐 등을 이용한 매트릭스형 인공피부 상용화를 연구 중</td> </tr> <tr> <td>서울대학교, 한양대학교, 성균관대학교</td> <td>반도체 공정과 그래핀을 이용하여 땀으로 혈당을 감지하고, 약물 전달이 가능한 전기 화학 센서 패치 기술을 개발, 벌크형 하이드로겔 기반 스트레인·압력 센서와 이에 기반한 터치패널 기술 등을 발표</td> </tr> <tr> <td>DGIST</td> <td>스프링 구조의 고신축성 전도선, 초연성 재료의 신소재를 이용해 얇고 부드러운면서도 반창고처럼 손쉽게 붙일 수 있는 전자 피부, 배터리로 수일 동안 동작하며 심전도와 호흡수를 수집하고 이를 스마트폰으로 전송하는 패치 개발</td> </tr> <tr> <td>UNIST</td> <td>사람의 피부 표피와 진피가 서로 다른 모듈러스를 가지고 있다는 특성을 모사하여 고분자 소재 기반의 마찰 전기 촉각 센서 보고</td> </tr> <tr> <td>포항공대학교</td> <td>이온 전도체와 고연신성 Ag 복합 재료 전극을 활용하여 매트릭스 타입의 고해상도 센서 발표</td> </tr> <tr> <td>고려대학교</td> <td>이온 채널의 구조적 특성과 이온 이송에 의한 전류 발생 기전을 활용한 온도, 압력 센서 발표</td> </tr> <tr> <td>KAIST</td> <td>탄소 소재를 활용한 고분자 복합체를 이용해 외부로부터의 충격을 흡수하고 다른 형태의 위치나 크기를 촉각적으로 구분할 수 있는 인공 피부 연구 중</td> </tr> <tr> <td>재료연</td> <td>3차원 구조의 이온 전해질에 전극 세 개로부터 측정되는 전류 값을 분석하여 손가락에 골무처럼 끼울 수 있는 변형성이 높은 센서 개발</td> </tr> <tr> <td>ETRI</td> <td>나노 임프린트 기반 멀티 스케일 구조체와 반데르발스힘 그리고 하이드로겔 등을 이용한 게코도마뱀 발바닥 모사 건식 밀착 패치와 인체 땀샘 모사 구조체 개발</td> </tr> </table>	태평양, 대응제약	인공 조직 기술 개발은 주로 인공피부 개발에 초점이 맞추어져 있고, 키토산, 콜라겐 등을 이용한 매트릭스형 인공피부 상용화를 연구 중	서울대학교, 한양대학교, 성균관대학교	반도체 공정과 그래핀을 이용하여 땀으로 혈당을 감지하고, 약물 전달이 가능한 전기 화학 센서 패치 기술을 개발, 벌크형 하이드로겔 기반 스트레인·압력 센서와 이에 기반한 터치패널 기술 등을 발표	DGIST	스프링 구조의 고신축성 전도선, 초연성 재료의 신소재를 이용해 얇고 부드러운면서도 반창고처럼 손쉽게 붙일 수 있는 전자 피부, 배터리로 수일 동안 동작하며 심전도와 호흡수를 수집하고 이를 스마트폰으로 전송하는 패치 개발	UNIST	사람의 피부 표피와 진피가 서로 다른 모듈러스를 가지고 있다는 특성을 모사하여 고분자 소재 기반의 마찰 전기 촉각 센서 보고	포항공대학교	이온 전도체와 고연신성 Ag 복합 재료 전극을 활용하여 매트릭스 타입의 고해상도 센서 발표	고려대학교	이온 채널의 구조적 특성과 이온 이송에 의한 전류 발생 기전을 활용한 온도, 압력 센서 발표	KAIST	탄소 소재를 활용한 고분자 복합체를 이용해 외부로부터의 충격을 흡수하고 다른 형태의 위치나 크기를 촉각적으로 구분할 수 있는 인공 피부 연구 중	재료연	3차원 구조의 이온 전해질에 전극 세 개로부터 측정되는 전류 값을 분석하여 손가락에 골무처럼 끼울 수 있는 변형성이 높은 센서 개발	ETRI	나노 임프린트 기반 멀티 스케일 구조체와 반데르발스힘 그리고 하이드로겔 등을 이용한 게코도마뱀 발바닥 모사 건식 밀착 패치와 인체 땀샘 모사 구조체 개발
태평양, 대응제약	인공 조직 기술 개발은 주로 인공피부 개발에 초점이 맞추어져 있고, 키토산, 콜라겐 등을 이용한 매트릭스형 인공피부 상용화를 연구 중																		
서울대학교, 한양대학교, 성균관대학교	반도체 공정과 그래핀을 이용하여 땀으로 혈당을 감지하고, 약물 전달이 가능한 전기 화학 센서 패치 기술을 개발, 벌크형 하이드로겔 기반 스트레인·압력 센서와 이에 기반한 터치패널 기술 등을 발표																		
DGIST	스프링 구조의 고신축성 전도선, 초연성 재료의 신소재를 이용해 얇고 부드러운면서도 반창고처럼 손쉽게 붙일 수 있는 전자 피부, 배터리로 수일 동안 동작하며 심전도와 호흡수를 수집하고 이를 스마트폰으로 전송하는 패치 개발																		
UNIST	사람의 피부 표피와 진피가 서로 다른 모듈러스를 가지고 있다는 특성을 모사하여 고분자 소재 기반의 마찰 전기 촉각 센서 보고																		
포항공대학교	이온 전도체와 고연신성 Ag 복합 재료 전극을 활용하여 매트릭스 타입의 고해상도 센서 발표																		
고려대학교	이온 채널의 구조적 특성과 이온 이송에 의한 전류 발생 기전을 활용한 온도, 압력 센서 발표																		
KAIST	탄소 소재를 활용한 고분자 복합체를 이용해 외부로부터의 충격을 흡수하고 다른 형태의 위치나 크기를 촉각적으로 구분할 수 있는 인공 피부 연구 중																		
재료연	3차원 구조의 이온 전해질에 전극 세 개로부터 측정되는 전류 값을 분석하여 손가락에 골무처럼 끼울 수 있는 변형성이 높은 센서 개발																		
ETRI	나노 임프린트 기반 멀티 스케일 구조체와 반데르발스힘 그리고 하이드로겔 등을 이용한 게코도마뱀 발바닥 모사 건식 밀착 패치와 인체 땀샘 모사 구조체 개발																		

47 체내 주사용 생분해성 형상기억 소재

품목명	체내 주사용 생분해성 형상기억 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 주사기를 통해 삽입하고 체내에서 형태를 복원하여 가능하며, 최종적으로 생분해되는 최소 침습형 기능성 의료 소재 유연 신축성을 갖고 있으며, 형상의 변형이 자유롭고 형상을 기억할 수 있는 전자 소재 	 <p>출처: Sung, B., Kim, S.H., Lee, J.K., Lee, B.C., & Soh, K.S. (2014). Electromechanical method coupling non-invasive skin impedance probing and in vivo subcutaneous liquid microinjection: controlling the diffusion pattern of nanoparticles within living soft tissues. <i>Biomedical microdevices</i>, 16(4), 645-653.</p> <p>약물전달 및 조직재생을 위한 스마트 미세소자 시스템(프랑스 국립과학연구소) 재참조</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (장기) 생분해성 형상기억 소재 기술 ※ 삽입형 전자 소자의 구조적 변형을 기억하고 체내에서 형상을 회복하기 위한 생분해성 형상기억 기능을 갖춘 소재 개발 (장기) 생분해성 초유연 전자 소재 ※ 생분해성이 있으며 전기적 기능을 수행할 수 있는 전자 소재 개발 (중기) 주사 환경 유체 해석 및 구조 설계 ※ 주사형 삽입 과정에서 저항을 최소화하고 주사 과정에서의 마찰 등으로 인한 소재 손상을 최소화하기 위한 구조 설계 및 유체역학 해석 기술 (장기) 초박막형 유연성 체액 방수 소재 ※ 변형 복원 과정에서 손상되지 않고 소자를 체액 환경으로부터 보호할 수 있는 초박막형 유연성 방수 소재 기술 		
미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 최근, 삶의 질 개선은 세계적 화두이다. 다양한 헬스케어 산업에 관심이 집중되면서 미국, EU 등 의료 강국의 거대 기업을 중심으로 ICT 기술과 결합한 공격적인 투자와 개발이 추진되고 있다. 헬스케어 산업의 차세대 기술 동향은 부착형에서 삽입형으로 변화할 것으로 보인다. 이에 인간의 신체에 이식하거나 복용하는 형태의 의료 소자로 개발되고 있다. 향후 최소 침습과 생체 내 분해 등 인체 삽입으로 인한 고통과 부작용을 최소화하면서도 기능을 극대화할 수 있는 미래형 소자 분야의 발전이 예상된다. 거대 ICT 기업도 바이오 기술 시장을 선점하기 위해 집중 투자할 것으로 보인다. 시장 규모 전망 삽입형 의료 소자는 연평균 10% 가까운 성장 곡선을 그리고 있다. 2025년에는 약 200억 달러의 시장 규모에 도달할 것으로 예상된다. 		
	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 유연 신축형 박막 의료 소자를 주사기로 체내에 삽입하고, 체내에서 형상을 기억하여 대면적으로 복원될 수 있다. 최종적으로 생분해되어 제거할 필요가 없는 독창적이고 혁신적인 삽입형 전자 소재 기술이다. 		

기술 혁신성	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 현재 대비 비교 삽입형 의료기기는 삽입 과정과 제거 과정에서 수술이 동반되는 기술적 한계로 웨어러블 소자 대비 상대적으로 접근성이 낮은 한계점이 있다. 							
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 최근 생분해성 유기 및 무기 소재를 활용한 생체 삽입형 바이오센서의 연구개발이 활발하다. 특히, 의료 소자의 무선 통신화 및 수명 제어 기능 측면에서 상당한 수준의 기술을 확보하고 있다. 예상 소요 기간 만성질환 센서, 신경 제어 전자약, 약물 전달체 등 삽입형 의료 소자 전반에 활용되는 소재 중심의 기반 기술이며, 기술 개발에 10~11년의 기간이 소요될 것으로 예상된다. 							
기술 수준	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 50% 수준 							
	해외	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 주사형 전자 소자 분야는 해외 기업인 Verichip, Vivokey Technologies inc 등이, 생분해성 전자 소자 분야는 Northwestern University 및 Transient Electronic Inc가 주도하고 있다. <table border="1"> <tr> <td>VeriChip(미국)</td> <td>VeriChip 사는 인체 피하에 삽입할 수 있고, 약 1.2m 거리에서 데이터를 읽을 수 있는 체내 이식용 마이크로칩을 개발하여 FDA의 승인을 받음</td> </tr> <tr> <td>Vivokey Technologies Inc.(미국)</td> <td>2018년, 2mmx12mm 사이즈에 Bioglass로 캡슐화, 암호화된 인체 삽입형 NFC 트랜스폰더 'Spark' 개발</td> </tr> <tr> <td>하버드대학교(미국)</td> <td>2015년 주사로 주입이 가능한 실리콘 그물망 형태의 전극을 개발함. 소동물 실험을 통하여 심부뇌에 주입, 신호를 측정하는 데 성공</td> </tr> <tr> <td>노스웨스턴대학교(미국)</td> <td>2016년 노스웨스턴대학교 및 일리노이대학교 어바나-삼페인캠퍼스 공동 연구진이 최소 침습이 가능한 1mmx2mm 크기의 MEMS 기반 생분해성 뇌압 센서를 제작하여 소동물에서 그 성능을 검증</td> </tr> </table>	VeriChip(미국)	VeriChip 사는 인체 피하에 삽입할 수 있고, 약 1.2m 거리에서 데이터를 읽을 수 있는 체내 이식용 마이크로칩을 개발하여 FDA의 승인을 받음	Vivokey Technologies Inc.(미국)	2018년, 2mmx12mm 사이즈에 Bioglass로 캡슐화, 암호화된 인체 삽입형 NFC 트랜스폰더 'Spark' 개발	하버드대학교(미국)	2015년 주사로 주입이 가능한 실리콘 그물망 형태의 전극을 개발함. 소동물 실험을 통하여 심부뇌에 주입, 신호를 측정하는 데 성공	노스웨스턴대학교(미국)
VeriChip(미국)	VeriChip 사는 인체 피하에 삽입할 수 있고, 약 1.2m 거리에서 데이터를 읽을 수 있는 체내 이식용 마이크로칩을 개발하여 FDA의 승인을 받음								
Vivokey Technologies Inc.(미국)	2018년, 2mmx12mm 사이즈에 Bioglass로 캡슐화, 암호화된 인체 삽입형 NFC 트랜스폰더 'Spark' 개발								
하버드대학교(미국)	2015년 주사로 주입이 가능한 실리콘 그물망 형태의 전극을 개발함. 소동물 실험을 통하여 심부뇌에 주입, 신호를 측정하는 데 성공								
노스웨스턴대학교(미국)	2016년 노스웨스턴대학교 및 일리노이대학교 어바나-삼페인캠퍼스 공동 연구진이 최소 침습이 가능한 1mmx2mm 크기의 MEMS 기반 생분해성 뇌압 센서를 제작하여 소동물에서 그 성능을 검증								
연구 내역	국내	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 서울대학교, 고려대학교, KIST 등에서 생분해성 전자 소자 및 생분해성 형상기억 소재에 대한 연구를 진행하고 있다. 소재 기술을 복합화하고 삽입형 주사 소자를 개발하기 위한 종합적인 연구개발은 이뤄지지 않고 있다. <table border="1"> <tr> <td>서울대학교</td> <td>무선으로 컨트롤 가능한 생분해성 임플란트 신경 자극 디바이스 (2cmx5cm) 개발. 2019년에는 뇌에 삽입할 수 있고 무선으로 컨트롤 가능한 약물 전달 임플란트 디바이스(지름 1cm) 제작</td> </tr> <tr> <td>고려대학교</td> <td>생 흡수성 실리콘 나노 소재 및 철 촉매 입자를 활용해 뇌에서 도파민을 모니터링할 수 있는 전자 소자(3cmx4cm) 개발. 2020년에는 Crevice corrosion을 활용한 무선 생분해성 약물 전달 전자 소자(1cmx1cm) 개발</td> </tr> <tr> <td>KIST</td> <td>생분해성 고분자 블렌딩을 통해 체온에서 형상이 복원되는 형상기억 고분자를 합성하고 개발함. 또한, 뼈의 재생을 촉진하는 생분해성 합금 임플란트를 개발, 생분해 소재에 대한 기술 보유</td> </tr> </table>	서울대학교	무선으로 컨트롤 가능한 생분해성 임플란트 신경 자극 디바이스 (2cmx5cm) 개발. 2019년에는 뇌에 삽입할 수 있고 무선으로 컨트롤 가능한 약물 전달 임플란트 디바이스(지름 1cm) 제작	고려대학교	생 흡수성 실리콘 나노 소재 및 철 촉매 입자를 활용해 뇌에서 도파민을 모니터링할 수 있는 전자 소자(3cmx4cm) 개발. 2020년에는 Crevice corrosion을 활용한 무선 생분해성 약물 전달 전자 소자(1cmx1cm) 개발	KIST	생분해성 고분자 블렌딩을 통해 체온에서 형상이 복원되는 형상기억 고분자를 합성하고 개발함. 또한, 뼈의 재생을 촉진하는 생분해성 합금 임플란트를 개발, 생분해 소재에 대한 기술 보유	
	서울대학교	무선으로 컨트롤 가능한 생분해성 임플란트 신경 자극 디바이스 (2cmx5cm) 개발. 2019년에는 뇌에 삽입할 수 있고 무선으로 컨트롤 가능한 약물 전달 임플란트 디바이스(지름 1cm) 제작							
고려대학교	생 흡수성 실리콘 나노 소재 및 철 촉매 입자를 활용해 뇌에서 도파민을 모니터링할 수 있는 전자 소자(3cmx4cm) 개발. 2020년에는 Crevice corrosion을 활용한 무선 생분해성 약물 전달 전자 소자(1cmx1cm) 개발								
KIST	생분해성 고분자 블렌딩을 통해 체온에서 형상이 복원되는 형상기억 고분자를 합성하고 개발함. 또한, 뼈의 재생을 촉진하는 생분해성 합금 임플란트를 개발, 생분해 소재에 대한 기술 보유								

48 바이오 인터페이스 소재(면역 반응 제어)

품목명	바이오 인터페이스 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 체내의 극한 환경(면역 반응 등)을 장기간 견뎌야 하는 체내 이식형 기기 및 소자의 표면에 기능성을 부여할 수 있는 원천 소재 ※ 기존의 기술은 면역 반응의 완전한 제어가 불가능하여 안전성 결여와 장기간 성능 유지가 불가능하다. 		
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (중기) 표면 이형성 소재 기술 ※ 체내이식형 고분자 소재에 소량 첨가하여 표면 개질이 가능한 생체 기능성 소재 기술 2 (중기) 무-유기 하이브리드 제조 기술 ※ 대식세포의 염증 제어형 분화를 유도하는 실리카 망상 구조에 하이브리드 가능한 고분자 합성 기술 3 (중기) Immune Encapsulation 기술 ※ 체내에 적용된 기기 및 소자가 면역 반응을 유도하지 않고 안정성 유지가 가능한 표면 보호층 형성 기술 4 (장기) Actuator 기술 ※ 이식된 기기의 주위 면역 환경에 대응하여 기능의 발현 및 차단이 가능한 자율 구동 소재 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>손상된 인체 조직을 치료하기 위한 다양한 생체 소재, 바이오 디바이스, 3D 인공장기 등에 대한 개발이 활발하다. 최근, 이들 활용의 핵심 요소인, 체내 면역 반응의 거부감을 제어하여 장시간 인체 내에서 기능할 수 있는 새로운 인터페이스 소재와 표면 처리 기술에 대한 연구가 미국, EU 등의 선진 연구기관에서 활발하게 진행되고 있다.</p> <p>치료와 재건을 위한 인체 삽입형 소재나 소자에 적용되는 바이오 인터페이스 소재는 차세대 임플란트, 바이오센서, 인공장기 등 거의 모든 분야에서 활용될 수 있는 핵심 소재이다. 거대한 바이오 시장을 감안하면 기술 선점을 통해 시장을 확보하려는 바이오 강국 간의 치열한 경쟁이 예상된다.</p>	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 <p>전 세계 인체 이식형 의료기기 시장은 2023년 1,700억 달러, 연평균 성장률 7.7%의 시장 규모에 이를 것으로 보인다. 북미 시장이 가장 크며 아시아-태평양 시장도 빠르게 성장하고 있다.</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>혈액, 세포, 조직과 직접 접촉이 필요한 삽입형 디바이스 기술이 중요하며, 체내 이식 후 부작용이나 성능 저하 없이 장시간 사용이 가능한 초소형 제품 개발이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 <p>기존 의료기구나 미래에 도래할 체내 이식형 웨어러블이 가지는 기술적 한계는 감염, 혈전, 염증 같은 면역 반응 제어가 해결되어야 실현 가능하다. K-방역을 기점으로 K-메디컬을 선도할 미래 핵심기술로, 본 의료용 원천 소재 기술 개발이 필수적이다.</p>		

지역성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>생체 전극 및 계면 기술을 통한 개인 맞춤형 진단 및 치료 기술은 국내에서는 부착형(Wearable) 소자에 대한 연구가 주로 진행되고 있다. 생체 이식형 전극 및 소자에 대해서는 이를 구성하는 개별적인 요소별 기술 개발에 머물러 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 <p>본 소재 개발은 기존의 인체 이식형 의료기기의 문제를 해결할 뿐만 아니라 미래형 이식형 기기 개발을 위한 핵심 기술이며, 기술 개발에 10~11년의 기간이 소요할 것으로 예상된다.</p>						
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 70% 수준 						
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 미국이 모든 분야에서 선도하고 있으며, 일본은 원천 소재 분야에서 차별화된 기술을 개발하고 있다. 						
		<table border="1"> <tr> <td>노스웨스턴대학교(미국)</td> <td>• 초음파, 열 등 다양한 자극에 반응하는 소재 개발</td> </tr> <tr> <td>도쿄대학교(일본)</td> <td>• 온도 감응성 하이드로젤 기반 액추에이터 개발</td> </tr> <tr> <td>워싱턴대학교(미국)</td> <td>• 면역 제어형 Zwitterionic polymer 설계 및 합성 기술</td> </tr> </table>	노스웨스턴대학교(미국)	• 초음파, 열 등 다양한 자극에 반응하는 소재 개발	도쿄대학교(일본)	• 온도 감응성 하이드로젤 기반 액추에이터 개발	워싱턴대학교(미국)	• 면역 제어형 Zwitterionic polymer 설계 및 합성 기술
		노스웨스턴대학교(미국)	• 초음파, 열 등 다양한 자극에 반응하는 소재 개발					
도쿄대학교(일본)	• 온도 감응성 하이드로젤 기반 액추에이터 개발							
워싱턴대학교(미국)	• 면역 제어형 Zwitterionic polymer 설계 및 합성 기술							
<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 일부 대학 연구실에서 원천 및 응용 연구를 수행하고 있으며, 상용화 기술에 대한 움직임은 활발하지 않다. 								
국내	<table border="1"> <tr> <td>포항공과대학교</td> <td>• Self oscillating polymer 기반 하이드로젤 액추에이터 연구</td> </tr> <tr> <td>카이스트</td> <td>• 웨어러블에 적용 가능한 자극 기반 소재 개발</td> </tr> <tr> <td>KIST 생체재료센터</td> <td>• 면역 제어형 체내 이식형 센서용 원천 기술 개발</td> </tr> </table>	포항공과대학교	• Self oscillating polymer 기반 하이드로젤 액추에이터 연구	카이스트	• 웨어러블에 적용 가능한 자극 기반 소재 개발	KIST 생체재료센터	• 면역 제어형 체내 이식형 센서용 원천 기술 개발	
	포항공과대학교	• Self oscillating polymer 기반 하이드로젤 액추에이터 연구						
	카이스트	• 웨어러블에 적용 가능한 자극 기반 소재 개발						
KIST 생체재료센터	• 면역 제어형 체내 이식형 센서용 원천 기술 개발							

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

초고속통신	무선	5G	Beyond 5G		6G
	광(光)	광트랜서버 파장 대역: C 밴드	Co-packaged 모듈 파장 대역: C+L band (확장)		3D 광전 집적 파장 대역: C+L+S band (추가 확장)
	저궤도 위성	위성망, 이동망 별도 단말 사용	초공간 비직상 통신단말 검증	초공간 비직상 통신단말 실용모델	6G 위성통신 표준 기반 위성-이동 통합단말 고도화 (UAM 적용)
	보안	양자키 분배	다중 노드 간 얽힘 상태 공유		양자 메모리 활용 양자 인터넷 구현

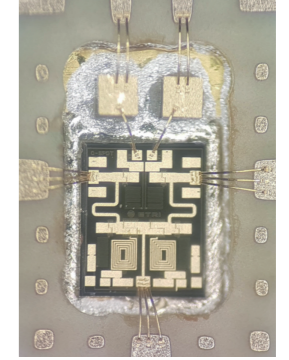
미래선도품목	6G 통신용 전력 증폭기 GaN 집적회로	주파수 대역 / 대역폭 <28GHz / ≤800MHz	주파수 대역 / 대역폭 100~300GHz / ≤40GHz	주파수 대역 / 대역폭 >300GHz / >40GHz
	테라 비트급 데이터 전송용 광통신 부품	채널 수 / 전송 용량 / 전력 소모 4 / 100Gbps / bit당 30pJ	채널 수 / 전송 용량 / 전력 소모 8 / 1.6Tbps / bit당 2pJ	채널 수 / 전송 용량 / 전력 소모 32 / 6.4Tbps / bit당 0.1pJ
	대용량 코히어런트 광통신 부품	파장당 600Gbps	파장당 1.2Tbps	파장당 2.4Tbps
	저궤도 위성통신용 통합 단말 모델	전송 속도 50Mbps급	전송 속도: 1Gbps, 기능: Dual Connectivity	전송 속도: 1Gbps 이상, 기능: Multiple Connectivity
	양자 인터넷용 양자 중계기 부품	신뢰 노드 중계기 (전송 거리 ≥50km)	양자 얽힘 네트워크 기반 중계기 (전송 거리 ≥200km)	양자 메모리 기반 양자 중계기 (전송 거리 ≥1,000km)

인공지능화	GPU 기반	NPU 기반	Neuromorphic 기반
미래선도품목	인공지능용 PIM 반도체 연산 속도: 16 전력 소모: 40	연산 속도: 400TFLOPS 전력 소모량: 60W	연산 속도: ≥400TFLOPS 전력 소모량: <60W

고정밀 센서	FMCW 기반 아날로그 레이더	디지털 레이더 (OFDM, PMCW 기반 등)	New Waveform-세밀빔 기반 지능형 디지털 레이더 (영상화, 간섭 저감 직교 sequence 및 FDM 기반 디지털 waveform 방식)
미래선도품목	고정밀 디지털 레이더 모듈 해상도: 방위각 1°, 양각 2° 주파수: 76~81GHz	해상도: 방위각 0.2°, 양각 0.5° 주파수: sub-THz	해상도: 방위각 0.05°, 양각 0.1° 주파수: sub-THz

49 6G 통신용 전력 증폭기 GaN 집적회로

품목명	6G 통신용 전력 증폭기 GaN 집적회로	구분	부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 6G 이동통신 기지국용 서브 테라헤르츠(100~300GHz) 대역 GaN 기반 화합물 반도체 전자 소자 및 전력 증폭기 집적회로(MMIC*) <p>* MMIC: Monolithic Microwave Integrated Circuit, 초고주파 집적회로</p>		
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 6G용 100GHz 대역 GaN 공정 및 GaN MMIC 전력 증폭기 기술 (중기) 6G용 200GHz 대역 GaN 공정 및 GaN MMIC 전력 증폭기 기술 (장기) 6G용 300GHz 대역 GaN 공정 및 GaN MMIC 전력 증폭기 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 5G 통신을 위한 3.5GHz 및 28GHz 대역 GaN 기반 RF 소자의 경우, 미국과 일본 기업이 글로벌 생산량의 95% 이상 점유하고 있다. GaN 기반 RF 증폭기의 경우 일본 스미토모가 전 세계 시장의 42%를 점유하고 있다. 주요 GaN 기반 RF 증폭기 개발 기업은 미국 Wolfspeed, Qorvo, MACOM, 일본 스미토모, 미쓰비시이다. (Technology and Substrates, 2019 Report, Yole Development, 2017) 시장 규모 전망 전력 증폭기를 포함한 RF 부품 시장은 2017년 150.87억 달러 규모에서 2023년 351.67억 달러 규모로 증가할 것으로 예측된다. 이 중 GaN 기반 시장은 2019년 7.4억 달러에서 2024년 20억 달러로, CAGR은 21% 수준으로의 성장이 예상된다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 에피 구조 설계 및 초미세 공정 기술을 이용한 GaN RF 소자 공정 기술 개발을 통하여 고출력 및 고집적 전력 증폭기 제작이 가능하다. 그리고 고방열 에피 소재와 고효율 전력 증폭기 설계 및 제작을 통해 서브 테라헤르츠 대역 저전력, 고성능 GaN RF 전력 증폭기 집적회로를 구현할 수 있다. 현재 대비 비교 밀리미터파 대역 GaN 공정 및 집적회로 기술에 관한 연구를 추진하고 있으나, 서브 테라헤르츠 대역 GaN 공정 기술에 대한 국내 개발 이력은 없다. 	



출처: 에트리
http://www.newsworks.co.kr/news/articleView.html?idxno=503993

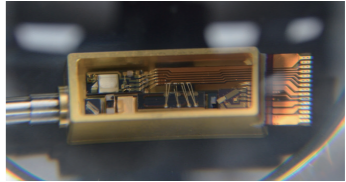
50 테라 비트급 데이터 전송용 광통신 부품

품목명	테라 비트급 데이터 전송용 광통신 부품	구분	부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> AI 데이터센터, HPC, 저지연 에지 클라우드의 초고속·대용량 데이터 전송을 위한 테라비트급 광 송·수신 부품 및 모듈 채널당 200G 광소자 칩 및 1.6T 광 송·수신 부품 및 모듈(광학 엔진, Co-Packaged Optics) 3D 나노 프린팅(Nano-Printing) 포토닉 와이어 인터커넥트 기반 저 가격 광 송·수신 부품 광신호 전송 거리에 따른 대면적 데이터센터 내부 (~2km) 및 분산형 데이터센터 간(10~40km) 통신용 광 부품 및 광 송·수신 모듈 		 <p>출처: http://www.mtnews.net/news/view.php?id=4957</p>
핵심 요소 기술		<ol style="list-style-type: none"> 채널당 200G 광소자 칩 설계 및 공정 기술 ※ 데이터센터용 800G/1.6T 광모듈에 사용되는 채널당 200G 동작용 광원 및 광검출기 에피, 설계 및 제작 기술 3D 나노 프린팅 기반 차세대 광결합 기술 ※ 다채널 광송신 및 광수신 모듈에서 광원·광 검출기 및 평면광회로 간 저손실·고수율 광결합 및 저가형 패키징 기술 테라비트급(0.8/1.6T) 광부품(TOSA, ROSA, TROSA) 기술 ※ 데이터센터용 800G/1.6T 광부품 설계/제작 및 60GHz 이상 초고주파 신호 처리 기술 	
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 멀티미디어 및 클라우드 서비스의 보급으로 급성장한 데이터센터는 AR, VR 등 초실감 서비스와 인공지능 서비스의 보편화로 그 중요성과 성장 속도가 더욱 가팔라질 것으로 예측된다. 인공지능 서비스의 증가에 따라 데이터센터는 대규모 인공지능 슈퍼컴으로 변신하고 있다. 인공지능에 특화된 고성능 컴퓨터에서도 대용량 데이터 처리와 연산을 위한 광 연결 기술 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 시장 규모 전망 전 세계 광 송·수신기 시장에서 데이터센터 통신의 비중은 2019년 52%에서 연평균 20% 수준으로 급격하게 성장해 2025년에는 68%, 121억 달러 규모에 이를 것으로 예측된다. (Yole 2020) 국내 데이터센터 시장은 2025년까지 연평균 15.9%씩 성장하여, 일본에 이어 아시아 2위권으로 부상할 것으로 전망된다. (2020, 한국데이터센터연합회) 비대면 경제의 급부상으로 네이버 1조 원, NHN 7천억 원, 카카오 4천억 원 등 대형 IT 업체의 데이터센터 구축 투자가 진행 중이다. 최근 SK그룹은 1조 9천억 원을 투입하여 세계 최고 수준의 대규모 데이터센터 구축 계획을 발표했다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 대규모 트래픽 수용을 위해 채널당 속도 증가(100G→200G) 및 집적도 향상(4채널→8채널)에 의한 1.6Tbps 광 모듈을 구현한다. 광 세기 변조 기반 채널당 200G급 광소자 기술은 변조 속도 및 전송 거리 확보에서 한계에 도전하는 기술이다. 포토닉 와이어 인터커넥트 기술은 3D 나노 프린팅 기술을 활용하여 단일 모드 광 연결이 가능한 기술이다. 기존 광 모듈에도 적용하여 패키징 비용 절감, 속도 및 수율을 향상하는 광 모듈 패키징 패러다임을 바꿀 혁신적인 Breakthrough 기술이다. 	

해외 연구 동향	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 6G 이동통신에서 요구되는 서브 테라헤르츠(sub-THz) 대역 GaN 공정 및 MMIC의 수요에 대응하는 국내 기술은 없는 상황이다. 해외 E/L(Export License) 제한 및 공급 한계의 문제점이 예상되므로, 이에 대한 정부 차원의 전략적 대응이 시급하다. 예상 소요 기간 현재 밀리미터 대역 및 W-band 대역 기술 개발이 진행 중이다. 이를 바탕으로 한 서브 테라헤르츠 대역(100~300GHz) 기술 개발은 약 5년이 소요될 것으로 예상된다. 	
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 70% 수준 	
국내 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> 서브 테라헤르츠 GaN RF 소자 분야에 대한 기술은 미국 HRL 사가 주도하고 있다. 	
		HRL (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 서브 테라헤르츠 GaN RF 화합물 소자 공정 기술은 미국 HRL, NGST, Qorvo, Wolfspeed, 유럽 OMMIC, UMS 등의 기관에서 주로 연구하고 있음. HRL은 180 GHz 대역에서 296mW/mm의 전력 밀도와 3.5%의 전력 변환 효율을 갖는 증폭기를 발표했으며, 서브 테라헤르츠 대역용 40~60nm급 GaN 소자 기술을 개발하고 있음
		미국	<ul style="list-style-type: none"> 미국은 오래전부터 GaN 기반 전자 소자 연구를 진행하여, 2003년부터 2010년까지 WBG-S-RF 프로젝트(투입 연구비 1,500억 원), 2009년부터 2014년까지 NEXT 프로그램 수행을 통해 밀리미터파 대역 GaN RF 소자 기술을 확보함. 현재 sub-THz GaN RF 소자 기술 개발 중
	유럽	<ul style="list-style-type: none"> 유럽은 KORRIGAN 프로젝트(2005~2009, 2~18GHz 주파수 대역, 투입 연구비 1,200억 원)를 통해 GaN 기반 증폭기와 스위치 MMIC를 개발. MANGA 프로젝트(Manufacturable GaN Technology, 2010~2014)를 통해 양산 기술 개발. 2018년 독일 Fraunhofer 사는 W-band(75~110GHz) 광대역 Power GaN MMIC를 발표함. OMMIC 사는 60nm급 GaN 소자 공정 기술 개발 중 	
국내	<ul style="list-style-type: none"> ETRI에서 밀리미터파 대역 GaN 공정 및 집적회로 기술을, (주)웨이비스에서 6GHz 이하 대역 GaN 양산 공정 및 소자에 관해서 연구를 추진하고 있다. 그러나 서브 테라헤르츠 대역에 관한 연구는 전무하다. 		
기업	<ul style="list-style-type: none"> 국내 GaN 소자 생산 업체인 (주)웨이비스에서는 ETRI와 150W급 S-대역 GaN 전력 증폭 소자를 개발하고 생산시설을 구축, 6GHz 이하 대역용 GaN 전력 소자 판매를 추진하는 중임 		
대학	<ul style="list-style-type: none"> 서울대학교, 홍익대학교 등에서 실험실 수준의 마이크로파 대역 GaN 소자 단위 공정을 개발하는 중이며, 경북대학교 등에서 GaN 에피 성장 기술에 관해 연구하고 있음 		
연구소	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 ETRI에서 2010년부터 자체 보유한 4인치 화합물 반도체 펌에서 독자적인 소자 설계 및 공정 기술을 활용하여 S-band~Ka-band용 GaN HEMT 소자 및 MMIC PA를 독자 개발하였고, 현재 38GHz 대역 GaN 소자 및 전력 증폭기 MMIC를 개발하는 중임 		

중요성	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 채널당 100G 기반의 400G 광 모듈은 현재 일부 해외 기업에서 시제품이 출시되고 있다. 800G 광 모듈은 구현 가능성을 검토하는, 기술 개발 초기 단계이다. 국내의 경우, 광 부품 업체에서 25G 및 100G 광 모듈의 상용화가 진행 중이나 가격 경쟁력 문제로 어려움을 겪고 있다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 데이터 전송 용량 증대를 수용하기 위해 On-Board 집적 광 부품 기술이 광 트랜시버에 적용되고 있다. ETRI에서는 400G 광 송·수신 엔진을 세계 최초로 개발하여 채널당 100G급 광원, 광 검출기, 패키징 기술 역량을 확보했다. ● 예상 소요 기간 Co-Packaged Optics 기술은 스위치 ASIC 칩과 광 송·수신 모듈(Opto-chiplet)을 동일 기판상에 배치하여 초고속 신호 전송 및 입출력 포트 수 확장이 가능한 기술로, 2025년부터 시장 진입이 예상된다. 	
국내외 연구 동향	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(일본, 미국) 대비 85% 수준 	
	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 400G 이상급 차세대 800G/1.6T 분야에 대한 광소자 및 광 부품 기술은 미국의 Lumentum, Broadcom, 일본의 스미토모, 미쓰비시, NTT 등이 주도하고 있다. 채널당 200G 광원 및 800G 광 모듈 기술은 세계적으로 초기 연구 수준이지만 MSA를 제정하는 등 활발하게 연구를 진행 중이다. (800G Pluggable MSA) 	
		기업1	<ul style="list-style-type: none"> • 미국의 Lumentum, Broadcom, II-VI, 일본의 Sumitomo, MITSUBISHI뿐만 아니라 중국의 InnoLight, 대만의 Luxnet에서도 100G 및 400G 광 송·수신 모듈을 상용화함 • 다채널 및 라인카드 당 25.6테라 이상급 차세대 CPO 기반 광 부품 기술은 해외 기업인 Intel, IBM 등이 주도
		기업2	<ul style="list-style-type: none"> • 포토닉 와이어 광결합 기술의 경우, Vanguard Automation에서 선행 연구를 수행 중이며, 포토닉 와이어 인터커넥트를 위한 3D 나노 프린팅 레진을 개발 중
연구소	<ul style="list-style-type: none"> • 독일 HHI에서 채널당 200G 이상급 광원·광 검출기 및 포토닉 와이어 인터커넥트 기반 광 모듈 관련 연구 및 개발을 진행 중(OFC 2020) 		
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 연구소를 중심으로 채널당 100G 광원 및 400G 광학 엔진 모듈을 개발하였으며, 25G 광원, TOSA·ROSA, 및 100G 광 트랜시버의 상용화가 업체를 통하여 진행 중이나 가격 경쟁력 문제로 어려움을 겪고 있다. 		
	기업	<ul style="list-style-type: none"> • 25G 광원, TOSA·ROSA 및 100G 광 트랜시버의 상용화가 오이솔루션, 코셋, 라이트론 등의 업체를 통하여 진행 중 • 포토닉 와이어 인터커넥트를 위한 3D 나노 프린팅 광 경화 레진 재료의 경우, 국내 기술이 세계의 80% 수준으로 국내 루벤틱스에이디엠이 유일하게 독일 Vanguard Automation과 함께 공동 개발 중 (한국경제신문, 2020.7.15.) 	
	대학	<ul style="list-style-type: none"> • 400G 이상급 광 모듈 연구는 진행된 사례 없음 	
	연구소	<ul style="list-style-type: none"> • 데이터 처리 속도 및 전송 용량 증대를 수용하기 위해 On-Board 집적 광 부품 기술이 상용화되고 있으며, ETRI에서는 400G 광 송·수신 엔진(TROSA) 기술 개발 	

51 대용량 코히어런트 광통신 부품

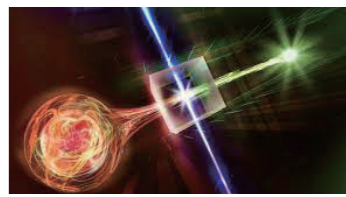
품목명	대용량 코히어런트 광통신 부품	구분	부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 파장당 1.2Tbps급 초고속 데이터 전송용 소자·부품·모듈 ※ 메트로 액세스(100~600km) 및 데이터센터 간(80~120km)의 파장당 1.2Tbps급 초고속 데이터 전송을 위한 코히어런트 광 송·수신용 소자·부품·모듈 		 <p>출처: http://www.epnc.co.kr/news/articleView.html?dxno=79097</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1. 파장당 1.2Tbps급 코히어런트 광소자·부품 기술 2. 1.2Tbps급 코히어런트 Pluggable 광트랜시버 기술(전송 거리 100km 이상) 		
미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 코히어런트 광전송 기술은 파장당 800Gbps 및 1.2Tbps 이상의 초고속 데이터 전송을 위한 독보적인 기술이다. 기존 장거리 광 전달망, 대도시 메트로망 이외에도 향후 데이터센터 간 통신(DCI), 메트로 액세스망 등으로 확장이 예상된다. ● 시장 규모 전망 글로벌 코히어런트 광통신 시장 규모는 2018년 186억 달러에서 9.4%의 연평균 성장률로 2026년 372억 달러에 이를 전망이다. (ResearchAndMarkets, 2020) 전 세계 DCI 시장은 2020년 79억 달러에서 연평균 12.1%로 급성장하여 2025년에는 140억 달러의 시장을 형성할 것으로 예측된다. (MarketsAndMarkets, 2020) 		
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 InP 화합물의 우수한 물성과 공정 기술 및 확장성이 확보된 수동(Si, SiN) 플랫폼 기술을 결합한 이종 결합 기술을 통해 파장당 1.2Tbps급 대용량 데이터 송·수신용 소자·부품·모듈 기술이 선도적으로 개발됐다. 이종 결합 기술은 복잡도가 높은 코히어런트 광소자 기술뿐 아니라 대용량 전송을 위한 다채널 집적 소자 및 다양한 광집적회로(PIC: Photonic Integrated Circuits) 기술 개발에 적용 가능하다. 이종 결합 기술에 의한 광소자 성능 향상을 통해 DSP 의존도 감소로 전력 소모가 절감되어 중장거리 전송뿐 아니라 데이터센터 및 가입자망으로 확장 기반을 마련했다. ● 현재 대비 비교 코히어런트 광소자 기술은 화합물(InP) 단일 집적 또는 실리콘 포토닉스 기술을 이용하여 개발하고 있다. 전자는 공정 난이도에 의한 수율 확보, 후자는 물성에 의한 속도 향상에 어려움이 있어, 고성능 DSP 의존도가 높다. 	
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 ETRI에서 40G/100G/200G 코히어런트 광 부품 개발 및 국내 기업에 기술 이전, 파장당 400G 이상급 코히어런트 광 수신 원천 기술을 연구 중인 상황으로, 기본적인 R&D 역량을 갖추고 있다. 2020년 국내 기업인 오이솔루션과 라이트론은 100G 코히어런트 광 트랜시버 개발에 착수했다. ● 예상 소요 기간 급증하는 데이터 용량을 수용하기 위해 파장당 1.2Tbps 코히어런트 광 트랜시버 기술은 5년 이후 시장에 진입할 것으로 예측된다. 		

52 저궤도 위성통신용 통합 단말 모뎀(위성/이동)

품목명	저궤도 위성통신용 통합 단말 모뎀	구분	부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 국제 표준 기반 저궤도 위성통신용 단말 모뎀 30,000km/hr로 이동하는 저궤도 위성을 이용하여 저지연 데이터 서비스 제공이 가능한 표준 기반 모뎀 부품 지상 이동통신망 커버리지가 미치지 않는 자율이동 비행체(UAM) 및 항공기 대상 Gbps급 데이터 서비스가 가능한 핵심 부품 	 <p>출처: ETRI http://biz.heraldcorp.com/view.php?ud=20210209000089</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 저궤도 위성 채널 환경을 반영한 알고리즘 기술 ※ 30,000km/h의 속도로 빠르게 이동하는 저궤도 군집 위성에 적용 가능한 전송 및 접속 프로토콜 기술 2 비정상 단말 모뎀 기술 ※ UAM(Urban Air Mobility), 항공기 등 고도 10km 이하의 비정상 단말 적용 가능한 저전력·고효율 위성단말 모뎀 기술 		
미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 초공간 6G 네트워크 구성을 위해서는 저궤도 위성 기반 그물망 네트워크가 필요하며, OneWeb, SpaceX 등이 글로벌 위성 네트워크를 구축하고 있다. 음영 없는 데이터 통신 수요의 충족을 위해 저궤도 위성군을 활용하는 전 지구 통신위성망 구축(스페이스 2.0)에 대한 투자를 확대했다. 스페이스X, 위성 인터넷 '스타링크' 베타 테스트(2020.8.-)가 진행 중이다. ● 시장 규모 전망 위성통신 사업은 우주 경제(Space Economy)에서 주목받는 분야 중 하나이다. 투자은행 모건스탠리는 세계 위성 산업의 규모가 2018년 3,600억 달러 수준에서 3배 증가하여 2040년에는 1.1조 달러 규모에 이를 것으로 전망했다. (Morgan Stanley, 'Space: Morgan Stanley Space Disruptor Series: OneWeb,' January 26, 2018) 해양, 산간, 오지, UAM 등 인터넷망이 보급되지 않은 지역을 포함하여 2040년 전 인구의 50%까지 보급될 경우, 2018년 322억 달러에서 5,840억 달러로 연평균 15% 성장을 전망하고 있다. (모건스탠리, 2017) 2018년 Prosche Consulting 자료에 의하면 2035년에는 약 4만 3천여 대의 UAM이 운행될 것으로 예측된다. 		
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 30,000km/hr 속도로 이동하는 저궤도 군집 통신위성 환경에서 현재의 5G 기술의 한계(100Mbps @ 고도 120m)를 극복하고, Gbps급 통신 서비스 제공을 위한 위성·이동 통합 단말 기술이다. 30,000km/hr로 이동하는 위성 기지국의 극한 도플러 효과에 강인한 신호 처리, Non-GNSS 단말에서도 25ppm의 Doppler 주파수 보상 및 1,500km/hr 속도로 이동하면서도 끊김 없는 Gbps급 서비스 제공을 목표로 한다. ● 현재 대비 비교 현재 위성망 및 지상망은 각각 DVB 및 5G 표준을 기반으로 별도 운용 중으로, 위성·이동 통합 네트워크를 위한 표준이 부재한 상황이다. 	

기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 80% 수준 									
국내 외 연구 동향	<ul style="list-style-type: none"> ● 차세대 초고속 코히어런트 광통신 분야 기술은 Cisco, Ciena, Infinera 등 해외 글로벌 기업이 주도하고 있다. 최대 60Gbaud 초고속 광소자 부품 기반의 Ciena Wave Logic AI, Acacia AC1200, Huawei H6, Nokia PSE-3 등 글로벌 선두 기업에서 코히어런트 광전송 장비를 개발 중이다. 600Gbps 광소자·부품 기술을 기반으로, 테라급(Nx600Gbps) 코히어런트 장비를 개발(Ciena, Infinera, Nokia 등, 2020년) 중이다. DCI 시장 진출을 위한 저전력 Pluggable 400ZR 목표로, 400Gbps QSFP-DD 광 트랜시버를 발표하였고(Acacia, 2020년), II-VI, Inphi, Neophotonics 등이 시제품을 개발했다. Acacia, NEL, Inphi 등에서 400ZR용 DSP를 상용화하고, II-VI, Neophotonics 등에서 광 트랜시버 업체와 협력하여 400ZR 광 트랜시버 시제품을 개발했다. 									
	<table border="1"> <tr> <th>해외</th> <th>기업</th> <th>기술 동향</th> </tr> <tr> <td>Cisco(미국)</td> <td>코히어런트 광 부품 대표기업 Acacia를 인수하여, 200G 이상의 데이터 전송 속도를 갖는 디지털 코히어런트 광 트랜시버(CFP2-DCO) 기술 확보, 600G 코히어런트 광 트랜시버 상용화 개발 완료 단계</td> </tr> <tr> <td>UCSB(미국)</td> <td>코히어런트 DCI용으로 100Tbps 용량을 수용하기 위한 주파수 안정화 코히어런트 광전송 방식의 원천 연구 수행 중</td> </tr> <tr> <td>HHI(독일)</td> <td>InP 반도체 기반의 45GHz 고속 동작의 코히어런트 광 변조기 칩을 제작하여 소자·부품을 시장에 공급 중</td> </tr> </table>	해외	기업	기술 동향	Cisco(미국)	코히어런트 광 부품 대표기업 Acacia를 인수하여, 200G 이상의 데이터 전송 속도를 갖는 디지털 코히어런트 광 트랜시버(CFP2-DCO) 기술 확보, 600G 코히어런트 광 트랜시버 상용화 개발 완료 단계	UCSB(미국)	코히어런트 DCI용으로 100Tbps 용량을 수용하기 위한 주파수 안정화 코히어런트 광전송 방식의 원천 연구 수행 중	HHI(독일)	InP 반도체 기반의 45GHz 고속 동작의 코히어런트 광 변조기 칩을 제작하여 소자·부품을 시장에 공급 중
	해외	기업	기술 동향							
	Cisco(미국)	코히어런트 광 부품 대표기업 Acacia를 인수하여, 200G 이상의 데이터 전송 속도를 갖는 디지털 코히어런트 광 트랜시버(CFP2-DCO) 기술 확보, 600G 코히어런트 광 트랜시버 상용화 개발 완료 단계								
UCSB(미국)	코히어런트 DCI용으로 100Tbps 용량을 수용하기 위한 주파수 안정화 코히어런트 광전송 방식의 원천 연구 수행 중									
HHI(독일)	InP 반도체 기반의 45GHz 고속 동작의 코히어런트 광 변조기 칩을 제작하여 소자·부품을 시장에 공급 중									
<ul style="list-style-type: none"> ● 국내에서는 코위버 기업이 코히어런트 광전송 장비를 개발하였으나, 모든 코히어런트 부품을 전량 수입에 의존하고 있다. 국내 기업은 코히어런트 수동소자 칩을 설계하는 수준으로, 능동 소자 및 모듈 기술은 전무하다. 하지만, 비 코히어런트 방식의 100G급 광 트랜시버 기술은 확보하고 있다. 국내 출연 연구소 중심으로 파장당 400Gbps급 이상의 원천 연구가 진행 중이나, 코히어런트 광 트랜시버 연구개발은 이루어지지 않고 있다. 										
<table border="1"> <tr> <th>국내</th> <th>기업</th> <th>기술 동향</th> </tr> <tr> <td>코위버</td> <td>200Gbps급 코히어런트 광 트랜시버를 수입, 이를 탑재한 광전송 장비 개발</td> </tr> <tr> <td>연세대학교</td> <td>고차 위상-세기 변조 방식의 코히어런트 광신호 신호 처리 알고리즘 연구</td> </tr> <tr> <td>한국전자통신연구원</td> <td>200G급 코히어런트 광소자 기술과 초고속 광 부품 제작 및 시험 기술 확보, 400Gbps급 이상의 코히어런트 광 수신기 소자·부품 개발 중</td> </tr> </table>	국내	기업	기술 동향	코위버	200Gbps급 코히어런트 광 트랜시버를 수입, 이를 탑재한 광전송 장비 개발	연세대학교	고차 위상-세기 변조 방식의 코히어런트 광신호 신호 처리 알고리즘 연구	한국전자통신연구원	200G급 코히어런트 광소자 기술과 초고속 광 부품 제작 및 시험 기술 확보, 400Gbps급 이상의 코히어런트 광 수신기 소자·부품 개발 중	
국내	기업	기술 동향								
코위버	200Gbps급 코히어런트 광 트랜시버를 수입, 이를 탑재한 광전송 장비 개발									
연세대학교	고차 위상-세기 변조 방식의 코히어런트 광신호 신호 처리 알고리즘 연구									
한국전자통신연구원	200G급 코히어런트 광소자 기술과 초고속 광 부품 제작 및 시험 기술 확보, 400Gbps급 이상의 코히어런트 광 수신기 소자·부품 개발 중									

53 양자 인터넷용 양자 중계기 부품

품목명	양자 인터넷용 양자 중계기 부품	구분	부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 양자 통신, 클라우드 양자 컴퓨팅, 양자 IoT 네트워크 구현을 위한 양자 정보 장거리 전송용 중계기 핵심 부품 ※ 보안성이 요구되는 데이터의 안전한 장거리 전송, 네트워크 기반 양자 컴퓨팅 서비스를 위한 양자 정보 전송, 얽힘 단일 광자 쌍생성 광원, 단일 광자 검출기, 양자 메모리 소자 및 벨 측정 양자 간섭계 소자로 구성 		출처: http://scimonitors.com/70km-EB%8B%A8%EB%B0%A9%ED%96%A5-%EC%96%91%EC%9E%90-%EB%84%A4%ED%8A%B8%C%9B%8C%ED%81%AC-%EA%B5%AC%EC%B6%95/
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (단기) 얽힘 단일 광자 쌍 생성 광원 소자 2 (중기) 양자 메모리 소자 기술 3 (단기) 단일 광자 검출기 소자 기술 4 (중기) 벨 상태 측정 양자 간섭계 소자 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 <p>양자 네트워크의 핵심 부품으로 양자 암호통신, 양자 센서, 양자 컴퓨터 등 양자 정보통신 기술을 네트워크를 통해 서비스하고, 양자 신산업을 견인하기 위해 중국, 미국, EU를 중심으로 기술 개발이 추진되고 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 시장 규모 전망 <p>2028년 양자 인터넷 시장은 14조 원으로 예상된다. 2015년도 SSD의 시장과 비슷한 정도나, 연평균 26%(SSD 17%) 수준으로 급성장하고 있어, 향후 SSD 시장을 빠른 속도로 넘어설 것으로 예상된다. (Quantum Insight 2020)</p>	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 <p>양자 인터넷 기술은 글로벌 최초 기술 개발로, 우리나라의 시장 지배력 확장이 유력한 기술 분야이다. 양자 중계기의 핵심 부품은 광집적회로 구조에서 동작 안정성 확보가 가능하여 실용화를 위한 신뢰성 및 성능 구현이 가능한, 진일보한 기술이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 현재 대비 비교 <p>점대점 방식의 양자 암호통신을 시범 서비스하기 위한 인프라 투자가 진행되고 있다. 100km 이상 양자 정보 장거리 전송이 가능한 양자 인터넷 구축을 위하여 양자 중계기의 핵심 부품 확보가 요구된다.</p>	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>실리콘, LiNbO₃, InP 기반 양자 중계기의 핵심 부품을 개발하기 위한 기반 기술을 확보하고 있으며, 양자 암호통신 시스템 기술을 선도하는 등 상당한 기술력과 인프라, 인력이 이미 확보된 상태이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 <p>국내에서 해당 소자의 기술 개발을 착수한다면, 6~7년 이내에 500km 이상 장거리 전송이 가능한 양자 중계기 소자 기술을 확보할 수 있을 것으로 보인다.</p>	


세계적 동향	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 <p>우리나라는 정치제도 위주의 DVB-S2/S2x/RCS 기반의 VSAT 시스템 기술을 보유하고 있으며, 세계 최초로 5G 상용화에 성공하여 위성·이동 통합 시스템 개발을 위한 기술력을 보유하고 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 <p>현재의 표준화 일정을 고려할 때, 3GPP NTN 표준(Rel-17/18) 기반 위성 단말은 3~5년 이내에 개발이 가능하다. 향후, 6G 표준 기반 위성·이동 통합 단말은 8~10년 이내에 실현 가능할 것으로 예상된다.</p>					
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 80% 수준 					
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 모든 유무선 통신 접속 및 네트워크를 하나의 5G로 통합하기 위한 5G 위성·지상 수직통합 무선 전송-접속기술 국제 표준화가 진행 중이다. <p>3GPP Rel.-15(~2018.09.) 및 Rel.-16(~2019.12.)까지 위성·지상 통합을 위한 NTN 기술의 Study Item 연구가 진행되었으며, Rel.-17(2020.01.~)에서 본격적인 NTN 표준 제정을 추진 중이다.</p>					
		<table border="1"> <tr> <td>Thales Alenia Space(프랑스)</td> <td>표준 기반으로 위성 모뎀 연구개발 중</td> </tr> <tr> <td>Qualcomm(미국)</td> <td>OneWeb 위성용 저궤도 위성 모뎀 개발</td> </tr> </table>	Thales Alenia Space(프랑스)	표준 기반으로 위성 모뎀 연구개발 중	Qualcomm(미국)	OneWeb 위성용 저궤도 위성 모뎀 개발	
		Thales Alenia Space(프랑스)	표준 기반으로 위성 모뎀 연구개발 중				
	Qualcomm(미국)	OneWeb 위성용 저궤도 위성 모뎀 개발					
<table border="1"> <tr> <td>Qualcomm(미국), Huawei(중국), MediaTek(대만) 등</td> <td>표준화 회의에서 5G 규격 Rel-17(220.9.) 기술로 위성과 연계하기 위한 기술을 포함(2021.12.)하기 위한 표준화 활동 중</td> </tr> </table>	Qualcomm(미국), Huawei(중국), MediaTek(대만) 등	표준화 회의에서 5G 규격 Rel-17(220.9.) 기술로 위성과 연계하기 위한 기술을 포함(2021.12.)하기 위한 표준화 활동 중					
Qualcomm(미국), Huawei(중국), MediaTek(대만) 등	표준화 회의에서 5G 규격 Rel-17(220.9.) 기술로 위성과 연계하기 위한 기술을 포함(2021.12.)하기 위한 표준화 활동 중						
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 연구를 중심으로 기존 DVB 표준 기반 핵심 기술은 보유하고 있으며, 5G 표준 기반 NTN 표준 IPR 확보를 추진 중이다. <p>위성통신 분야는 우리나라의 지리적 한계로 많은 연구가 이뤄지지 않았으나 ETRI와 산업체에서 원천 기술은 보유하고 있다.</p> <p>2019년 9월 산업부, 국토부 합동 민관 공동 UAM 산업 발전전략협의체를 발족하고, 2020년 6월 국토부에서 '한국형 도시항공교통(K-UAM) 로드맵'을 발표했다.</p> <p>한화시스템은 2023년 독자 저궤도 군집 통신위성 발사 후 시범 서비스를 개시하고, 2021년 3월 UAM을 상용화하는 계획인 '2025년 정식 서비스 개시'를 발표했다.</p>						
	<table border="1"> <tr> <td>ETRI, 삼성, LG</td> <td>표준화 회의에서 5G 규격 Rel-17(2020.9.) 기술로 위성과 연계하는 기술을 포함(2021.12.)하기 위한 표준화 추진 중</td> </tr> <tr> <td>국토부, 과기부 등</td> <td>UAM 실용화를 위한 규제 개혁과 연구개발이 진행 중이며, UAM의 Air Navigation 기술로 저궤도 위성의 필요성 부각</td> </tr> <tr> <td>한화시스템</td> <td>한화시스템은 미래 성장 동력으로 에어 모빌리티, 위성통신 등의 분야를 선정 하였으며, 2023년까지 2,000기의 저궤도 통신위성을 발사할 계획임</td> </tr> </table>	ETRI, 삼성, LG	표준화 회의에서 5G 규격 Rel-17(2020.9.) 기술로 위성과 연계하는 기술을 포함(2021.12.)하기 위한 표준화 추진 중	국토부, 과기부 등	UAM 실용화를 위한 규제 개혁과 연구개발이 진행 중이며, UAM의 Air Navigation 기술로 저궤도 위성의 필요성 부각	한화시스템	한화시스템은 미래 성장 동력으로 에어 모빌리티, 위성통신 등의 분야를 선정 하였으며, 2023년까지 2,000기의 저궤도 통신위성을 발사할 계획임
ETRI, 삼성, LG	표준화 회의에서 5G 규격 Rel-17(2020.9.) 기술로 위성과 연계하는 기술을 포함(2021.12.)하기 위한 표준화 추진 중						
국토부, 과기부 등	UAM 실용화를 위한 규제 개혁과 연구개발이 진행 중이며, UAM의 Air Navigation 기술로 저궤도 위성의 필요성 부각						
한화시스템	한화시스템은 미래 성장 동력으로 에어 모빌리티, 위성통신 등의 분야를 선정 하였으며, 2023년까지 2,000기의 저궤도 통신위성을 발사할 계획임						

54 인공지능용 PIM 반도체

품목명	인공지능용 PIM* 반도체	구분	부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 연산(프로세서)과 저장(메모리) 기능을 통합함으로써 대규모 병렬 컴퓨팅이 가능한 인공지능 전용 신개념 반도체 ※ 대규모 고속 데이터 처리의 근원적 문제인 프로세서와 메모리 간 분리된 기존 구조(폰 노이만)로부터 탈피한 혁신적인 반도체 설계 기술 * PIM: Processing-In-Memory 		 <p>출처: https://www.epnc.co.kr/news/articleView.html?idxno=103305</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> [중기] NMC(Near-Memory Computing): 프로세서와 메모리를 동일 반도체 내부에 집적하여 프로세서와 메모리 간의 데이터 기반의 PIM 반도체 설계 기술 ※ 상용 메모리(DRAM)와 시스템 반도체의 제조 공정 융합 설계 기술 [중기] 내장 메모리(In-Memory Computing) 기반의 PIM 반도체 설계 기술 		
미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 <p>병렬연산에 특화된 GPU 기반의 인공지능 연산 방법이 주류를 이루고 있다. 성능, 전력의 한계를 극복하기 위하여 범국가 차원의 PIM 인공지능 반도체 기술을 연구·개발 중이다.</p> <p>인공지능 PIM 반도체는 연산 능력과 전력 소모를 획기적으로 개선할 수 있는 미래 기술로, 현재 인공지능 연산에 필요한 고비용·초대형 시스템의 단점을 해소한다.</p> <p>PIM은 프로세서와 메모리 반도체의 핵심 기술을 융합한 반도체의 새로운 패러다임으로, 반도체 강국 사이에서 기술적 우위를 점할 수 있는 핵심 기술이다.</p> <p>우리나라는 메모리 반도체 분야의 세계 1등 국가로, 2020년 현재 전 세계적인 반도체 패권 경쟁 과정에서 인공지능 및 반도체 분야를 동시에 주도할 수 있다.</p> <p>※ 미·중 패권 경쟁의 핵심인 PIM 반도체: 미국과 중국 중심의 전 세계 기술 패권 재편 과정의 핵심은 반도체와 인공지능이며, PIM 인공지능 반도체는 기술 블록(Bloc)에서 우리가 주도할 수 있는 분야이다.</p> <p>반도체는 컴퓨터를 기반으로 현재의 디지털 정보 세계를 가능하게 한 원천 기술로써, '디지털 뉴딜' 등 디지털 사회로의 변화를 이끄는 기술이다.</p> <p>기술 블록은 반도체를 중심으로 정치·경제적인 이해가 복잡하게 얽혀있으며, 인공지능·데이터 관련 미래 기술의 발전은 반도체와 밀접한 관계에 있기 때문이다.</p> <p>거대 데이터에 대한 초고성능 인공지능 컴퓨팅을 실현하는 인공지능 반도체의 미래 기술인 인공지능 PIM 반도체는 기술 블록에서 우리의 위상을 강화하기 위한 기술이다.</p>		
	<ul style="list-style-type: none"> 시장 규모 전망 <p>2018년부터 연평균 35.5%의 성장세를 기록하며, 2025년까지 592.6억 달러 규모로 성장하리라 예상된다. (Markets And Markets, 2018)</p>		
기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 <p>급속히 증가하고 있는 인공지능 서비스가 요구하는 연산 능력에 비해 한계적인 상황에 봉착한 기존 반도체 기반 컴퓨팅을 PIM 기술로 극복할 수 있다.</p> <p>미래의 인공지능 서비스는 엑사급(1ExaFLOPS=10¹⁸FLOPS) 연산 성능을 요구할 것으로 전망하며, 현재의 기술로는 30~50MW 전력을 소비하는 거대 시스템으로만 가능하다.</p> <p>PIM 반도체로 현재의 반도체 대비 1만 배의 성능을 동일한 전력으로 실현할 수 있다.</p>		

기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 90% 수준 						
해외	<ul style="list-style-type: none"> 미국은 양자 인터넷 실현을 위해 2020년 2월, 전략 목표(From long-distance entanglement to building a nationwide quantum internet)를 수립하고, 시카고 대학을 중심으로 산학연 협력의 대형 R&D 사업을 추진 중이다. EU는 Flagship 사업으로 양자 통신 분야 중 3개의 세부 사업을 2019년부터 진행 중이다. 						
	<table border="1"> <tr> <td>델프트공과대학교 (네덜란드)</td> <td>• Full quantum internet functionality-over long distance</td> </tr> <tr> <td>ICFO (스페인)</td> <td>• Continuous variable QKD based on coherent detection</td> </tr> <tr> <td>AIT (오스트리아)</td> <td>• Affordable quantum communication for everyone</td> </tr> </table>	델프트공과대학교 (네덜란드)	• Full quantum internet functionality-over long distance	ICFO (스페인)	• Continuous variable QKD based on coherent detection	AIT (오스트리아)	• Affordable quantum communication for everyone
	델프트공과대학교 (네덜란드)	• Full quantum internet functionality-over long distance					
	ICFO (스페인)	• Continuous variable QKD based on coherent detection					
AIT (오스트리아)	• Affordable quantum communication for everyone						
국내	<ul style="list-style-type: none"> 연구소를 중심으로 1MHz 양자 광원, SKT 및 우리로가 협력하여 양자 검출기 모듈을 개발하였다. 양자 메모리 및 양자 인터페이스 소자는 미개발 상태로 기술 경쟁력 확보에 어려움을 겪고 있다. 						
	<table border="1"> <tr> <td>기업</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> SKT가 IDQ 기술을 도입하여 양자 메모리 개발을 시도하였으나 현재까지 미개발 상태 우리로에서 단일 광자 검출기 30% 검출 효율 1MHz 동작 속도 칩 개발에 성공, 관련 기술 선도 </td> </tr> <tr> <td>대학</td> <td>• KAIST, GIST, POSTECH 등에서 양자 메모리, 양자 광원, 양자 간섭계 구현, 기초 연구 진행 중</td> </tr> <tr> <td>연구소</td> <td>• 단일 광자 광원, 양자 메모리, 양자 간섭계, 단일 광자 검출기 부품 기술 개발을 위해 ETRI, KIST가 주도적으로 연구 중</td> </tr> </table>	기업	<ul style="list-style-type: none"> SKT가 IDQ 기술을 도입하여 양자 메모리 개발을 시도하였으나 현재까지 미개발 상태 우리로에서 단일 광자 검출기 30% 검출 효율 1MHz 동작 속도 칩 개발에 성공, 관련 기술 선도 	대학	• KAIST, GIST, POSTECH 등에서 양자 메모리, 양자 광원, 양자 간섭계 구현, 기초 연구 진행 중	연구소	• 단일 광자 광원, 양자 메모리, 양자 간섭계, 단일 광자 검출기 부품 기술 개발을 위해 ETRI, KIST가 주도적으로 연구 중
	기업	<ul style="list-style-type: none"> SKT가 IDQ 기술을 도입하여 양자 메모리 개발을 시도하였으나 현재까지 미개발 상태 우리로에서 단일 광자 검출기 30% 검출 효율 1MHz 동작 속도 칩 개발에 성공, 관련 기술 선도 					
	대학	• KAIST, GIST, POSTECH 등에서 양자 메모리, 양자 광원, 양자 간섭계 구현, 기초 연구 진행 중					
연구소	• 단일 광자 광원, 양자 메모리, 양자 간섭계, 단일 광자 검출기 부품 기술 개발을 위해 ETRI, KIST가 주도적으로 연구 중						

55 고정밀 디지털 레이더 모듈

품목명	고정밀 디지털 레이더 모듈	구분	부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 전파 신호를 이용하여 기상, 조도, 거리 등 센싱 환경의 한계를 극복하고 비접촉으로 실내외의 이동 물체(사람, 손동작, 드론, 차량 등)의 객체 및 행동을 인식·감지하기 위한 고속·고정밀도·저전력 레이더용 디지털 신호 처리 칩, 다중 안테나 구동 RF 칩 부품 및 모듈 ※ 차량 및 자율 무인 이동체 등에 탑재되거나 실내외 시설에 설치되어 기존 대비 10배 이상의 처리 속도와 인식 성능을 제공하는 레이더용 칩셋 및 모듈 	 <p>출처: Texas Instruments https://www.ti.com/tool/AWR2243BOOST</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 디지털 레이더용 다중 안테나(MIMO) 및 RF 칩 기술 고속·저전력 디지털 레이더용 베이스밴드 칩 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 자율주행을 위한 차량용 센서는 LiDAR 의존형에서 LiDAR와 레이더를 복합 사용하는 방식, 그리고 레이더만을 이용하여 주행하는 방식으로 발전하고 있다. 이에 따라 레이더 시장의 성장이 예상된다. 기존 레이더 칩 업체 외에도 스타트업들도 레이더 시장에 진입하고 있다. 시장 규모 전망 차량용 레이더는 운전 보조 및 자율주행 시스템이 확산됨에 따라 2019년 55억 달러(약 6.5조 원)에서 2025년 105억 달러(약 12.4조 원)로 CAGR 11% 수준의 견고한 성장이 전망된다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 차량용 레이더 칩을 국내 기술로 처음 개발하는 것이며, 방위각 해상도를 0.2도 이하로 줄여 해상도 면에서 LiDAR에 근접하는 성능을 지녔다. 해상도를 높이고 관측 시간을 줄이기 위해 다채널 동시 신호 처리가 요구된다. 이를 실현하기 위해서는 MIMO-OFDM 파형 레이더 개발이 필요하다. 해상도를 높이기 위해서는 광대역 신호 처리가 요구되며, 이를 위해서는 5GHz 대역폭 수준의 신호 처리 기술이 필요하다. 현재 대비 비교 세계적으로 차량용 레이더 중·장거리 레이더는 방위각 해상도가 1도 수준이며, 대역폭은 2GHz 이하이다. 국내에서는 칩 개발 이력이 아직 없다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 Si-CMOS, SiGe-BiCMOS 칩 개발 역량을 보유하고 있으며, 차량용 FMCW 레이더 칩 설계 관련 IP 개발 경험이 있다. 예상 소요 기간 시제품 개발에 3년, 기술 검증 및 Revision에 2년 정도의 기간이 소요될 것으로 예상된다. 	

중요성	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 현재 대비 비교 현재의 인공지능 반도체 연산 성능은 수백 테라플롭스(TFLOPS)에서 수백 W의 전력을 소비하는 수준인 반면, PIM 반도체로 반도체 칩당 10페타플롭스(1PetaFLOPS=1TFLOPS의 1,000배) 이상인 인공지능 반도체 개발 계획이다. 						
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 초기 단계의 PIM을 위한 3D 적층 고속 메모리(HBM) 기술은 삼성전자와 SK하이닉스만이 상용화한 반면, 인공지능 연산 통합 PIM은 개발 초기이다. DRAM 내부에 인공지능 연산을 위한 연산기를 집적한 기술이 발표된 바 있으나 성능이 낮다. 우리나라는 세계 최고의 메모리 기술 보유국으로, 신개념 PIM 반도체의 조기 개발에 매우 유리한 조건을 갖고 있다. 예상 소요 기간 국내 대기업과 스타트업, 연구소에서 개발한 인공지능 반도체 기술과 세계 1등 메모리 기술의 융합과 초격차 전략으로, 7년 이내 인공지능 전용 PIM 반도체 상용화를 기대할 수 있다. 						
국내 현황	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 80% 수준 						
	해외	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 AI PIM 반도체 기술은 해외 기관인 NVIDIA, 중국과학원 등에서 개발 중이다. 						
		<table border="1"> <tr> <td>NVIDIA(미국), UPMEM(프랑스)</td> <td>• DRAM 공정을 적용하여 데이터 처리 유닛을 병합한 구조로, 기존 DRAM을 대체할 수 있는 칩-모듈 시제품 생산</td> </tr> <tr> <td>캘리포니아대학교 버클리캠퍼스(미국)</td> <td>• 프로세서에 DRAM을 Embedding한 프로세서 중심 연산의 IRAM 구조 연구</td> </tr> <tr> <td>중국과학원(중국)</td> <td>• AI용 슈퍼컴 구조인 DaDianNao에 4개의 eDRAM बैं크와 신경망 처리 유닛인 NFU를 결합한 Tile 구조 발표</td> </tr> </table>	NVIDIA(미국), UPMEM(프랑스)	• DRAM 공정을 적용하여 데이터 처리 유닛을 병합한 구조로, 기존 DRAM을 대체할 수 있는 칩-모듈 시제품 생산	캘리포니아대학교 버클리캠퍼스(미국)	• 프로세서에 DRAM을 Embedding한 프로세서 중심 연산의 IRAM 구조 연구	중국과학원(중국)	• AI용 슈퍼컴 구조인 DaDianNao에 4개의 eDRAM बैं크와 신경망 처리 유닛인 NFU를 결합한 Tile 구조 발표
		NVIDIA(미국), UPMEM(프랑스)	• DRAM 공정을 적용하여 데이터 처리 유닛을 병합한 구조로, 기존 DRAM을 대체할 수 있는 칩-모듈 시제품 생산					
캘리포니아대학교 버클리캠퍼스(미국)	• 프로세서에 DRAM을 Embedding한 프로세서 중심 연산의 IRAM 구조 연구							
중국과학원(중국)	• AI용 슈퍼컴 구조인 DaDianNao에 4개의 eDRAM बैं크와 신경망 처리 유닛인 NFU를 결합한 Tile 구조 발표							
<ul style="list-style-type: none"> 삼성전자, ETRI, SKT, 퓨리오사 등이 AI 반도체에 대한 연구를 추진하고 있다. AI PIM 반도체 기술은 ETRI에서 개발하고 있으며 초기 단계이다. 								
국내	<table border="1"> <tr> <td>삼성전자, SKT, 퓨리오사</td> <td>• 모바일 및 서버용 AI 프로세서를 개발 중. 삼성전자의 경우 대학과 연계, ISP(In Storage Processing) 연구에 투자 중이나, AI PIM(DRAM 통합) 반도체 기술은 확보하지 못한 상태임</td> </tr> <tr> <td>KAIST</td> <td>• 모바일·에지용 AI 반도체를 개발하고 있으나, AI PIM 분야에 대해서는 진행된 사항이 없음</td> </tr> <tr> <td>ETRI</td> <td>• 고성능 40TFLOPS 인공지능 NPU 프로세서 반도체를 국내 최초로 개발, 확보함. 국내 인터넷 기업 및 AI 서비스 기업을 통하여 상용화에 박차를 가하는 중임. 동시에 국내 메모리 반도체 대기업과의 연계를 통하여 국내 최초의 칩당 페타플롭스급 인공지능 PIM 반도체 연구개발을 진행 중</td> </tr> </table>	삼성전자, SKT, 퓨리오사	• 모바일 및 서버용 AI 프로세서를 개발 중. 삼성전자의 경우 대학과 연계, ISP(In Storage Processing) 연구에 투자 중이나, AI PIM(DRAM 통합) 반도체 기술은 확보하지 못한 상태임	KAIST	• 모바일·에지용 AI 반도체를 개발하고 있으나, AI PIM 분야에 대해서는 진행된 사항이 없음	ETRI	• 고성능 40TFLOPS 인공지능 NPU 프로세서 반도체를 국내 최초로 개발, 확보함. 국내 인터넷 기업 및 AI 서비스 기업을 통하여 상용화에 박차를 가하는 중임. 동시에 국내 메모리 반도체 대기업과의 연계를 통하여 국내 최초의 칩당 페타플롭스급 인공지능 PIM 반도체 연구개발을 진행 중	
	삼성전자, SKT, 퓨리오사	• 모바일 및 서버용 AI 프로세서를 개발 중. 삼성전자의 경우 대학과 연계, ISP(In Storage Processing) 연구에 투자 중이나, AI PIM(DRAM 통합) 반도체 기술은 확보하지 못한 상태임						
	KAIST	• 모바일·에지용 AI 반도체를 개발하고 있으나, AI PIM 분야에 대해서는 진행된 사항이 없음						
ETRI	• 고성능 40TFLOPS 인공지능 NPU 프로세서 반도체를 국내 최초로 개발, 확보함. 국내 인터넷 기업 및 AI 서비스 기업을 통하여 상용화에 박차를 가하는 중임. 동시에 국내 메모리 반도체 대기업과의 연계를 통하여 국내 최초의 칩당 페타플롭스급 인공지능 PIM 반도체 연구개발을 진행 중							

바이오


기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35

재생 의료 고도화	유전자/세포 치료제 검증	난치성 유전/비유전 질병 치료제	개인 맞춤형 치료제 및 치료 기술
	세포 프린팅용 바이오 잉크	구조 모사 3차원 적층 및 세포 기반 적층 기술	조직 장기 구조 모방 3D, 4D 제작
	저효율 DNA 합성	초병렬적 DNA 합성	차세대 초병렬 DNA 합성
미래선도품목	유전자 치료용 핵산 및 바이러스 벡터 소재	바이러스 벡터 분리 및 정제 기술	바이러스 벡터 생산성 향상 기술
	고품질 핵산 합성 및 mRNA 생산 기술	생물 전환 반응, 제형(DDs) 기술을 통한 표적 최적화	핵산 분석 기술을 통한 환자 맞춤형 핵산 치료 기술
	인체 이식용 지지체 및 인공 장기 생체 소재	바이오 잉크 등 생체 적합 소재	생리 활성 소재 및 3차원 구조 모사 가능 소재 개발
초병렬적 DNA 합성 장비	96개 수준의 저효율 합성 장비	백만 개 이상의 올리고를 한 개의 칩으로 합성하는 화학 공정과 장비	10억 개 이상의 올리고를 한 개의 칩으로 생산하는 장비

그린 바이오	수입 사료 중심 원료 공급	한국형 친환경 소재 발굴 및 가공 기술 개발	친환경 사료 국산화 및 경제성 확보
	인공배양육	배양육 제조 기술 개발을 통한 대체육의 국산화 실현	축산물 부위별 대체 배양육 개발
미래선도품목	식물성 원소재 발굴 및 배합비 개발	단백질 성형 압축 공정 기술 대체육 조직감 구현	대체육 구현을 위한 풍미 및 조직감 표준화
	근육줄기세포 배양 및 확립	성장인자(단백질) 생산 세포주 확립 무혈청 세포 배양액 기술	부위별, 축종별 줄기세포주 배양
	세포 지지체 개발	3차원 세포 부착 고분자 지지체	배양육 대량 생산 및 생산 공정 최적화
	배합 사료 원료 미비	친환경 배합 사료 소재 발굴, 가공기술의 확보	친환경 배합 사료 국산화 및 제품 생산
조사료 농후 사료 원료 미비	국내 생산 친환경 조사료, 농후 사료 소재 발굴, 재배 기술 및 육종	비농경지 활용 친환경 사료 소재의 생산 및 제품 생산	
수입 사료에 의존	한국형 사료 급여 효과 검증 및 친환경 사료 인증제도 마련	탄소중립 한국형 사료 생산 시스템 구축	

기술 수준	● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국, 독일) 대비 80% 수준	
	해외	● 현재 사용 중인 FMCW-MIMO 레이더 핵심 칩은 Infineon, NXP, TI 등이 주도하고 있으며, ST Microelectronics(스위스), CALTERAH(중국)가 관련 칩을 상용화하여 시장에 진입 중이다.
Infineon(독일)		• 77~79GHz, 대역폭 2GHz인 FMCW MIMO 칩 상용화 완료
TI(미국)		• 차량용으로 76~81GHz 대역 3x4 FMCW MIMO 칩과 이를 Cascade로 연결한 고해상도 레이더 RFIC 상용화 완료
IMEC 연구소 (벨기에)		• OFDM 기반의 디지털 레이더 기술 개발 중 • 79GHz 대역에서 2x2 MIMO PMCW로 동작하는 레이더 칩(CMOS 28nm) 개발 사례 보유
국내	● ETRI, KAIST, 중앙대학교 등에서 디지털 레이더의 기반 연구를 진행 중이다. 차량용 레이더는 만도, 현대모비스, LG 이노텍 등에서 외산 칩 기반으로 모듈을 개발하였으나 모두 아날로그 FMCW 방식으로, 아직 디지털 레이더는 개발되지 않았다.	
	KAIST	• 물체 인식이 가능한 정밀 영상 레이더와 통신 기능을 동시에 수행할 수 있는 57~64GHz 하이브리드 빔포밍 레이더용 RF 기반 기술 연구 중
	중앙대학교	• RRC 사업을 통해 OFDM 레이더 기술을 개발 중
	ETRI	• 다양한 Waveform 기반의 고속 디지털 레이더 기술 개발 중

56 유전자 치료용 핵산 및 바이러스 벡터 소재

품목명	유전자 치료용 화학합성 핵산 및 바이러스 벡터 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 3세대 바이오 신약 개발을 위한 인공 핵산 기능성 물질 의료용 핵산 소재로서 핵산 자체가 치료 효과를 가진 △치료용 핵산 및 전달체, △조영 기술에 사용되는 소재용 핵산 포함 인공 핵산 기능성 물질 및 체내 전달 기능성 소재 (세포 내 전송 기능성 핵산, 펩타이드, 나노 소재 등) ● 유전자 치료제 용도의 바이러스 벡터 유전자를 직접 환자에게 전달하는 체내 유전자 치료의 선도 Modality CAR-T 세포 등 유전자 세포 치료제의 필수적인 핵심 소재 		출처: http://www.koreaitimes.com/news/articleView.html?dxno=99139
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (단기) 고품질 핵산 화학 합성 및 고품질 mRNA 생산 기술 2 (중기) 생물 전환 반응, 제형 (DDS) 기술 3 (장기) 의료용 핵산 설계/분석/시험 기술 4 (장기) 바이러스 벡터 핵산 소재 발굴 5 (단중기) 바이러스 벡터 생산성 향상 기술 6 (단중기) 바이러스 벡터 분리 및 정제 공정 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 유전자 유전자 세포 치료제는 생산 역량이 경쟁력의 핵심 요소이다. 미국의 유전자 치료제 경쟁력의 근간은 학계의 연구와 산업계의 시도를 지원하는 생산 시설이다. ● 시장 규모 전망 핵산 치료제는 저분자 · 고분자 의약품에 이은 3세대 바이오 의약품으로 주목받고 있다. 수요가 꾸준히 증가하여 시장 규모는 2020년 약 5조 원에서 2024년 약 36조 원으로 증가할 것으로 전망한다. 글로벌 유전자 치료제 시장 규모는 2017년 약 12억 달러에서 2028년 141억 달러(CAGR 25%) 규모로 성장할 것으로 예상된다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 최근 승인받은 짧은 RNA 기반 치료제(예: Ionis의 Spinraza, Spinal Muscular Atrophy 신약) 또는 RNA 간섭 신약(예: Anlym의 ONPATTRO, hATTR amyloidosis 신약) 등은 모두 기본 RNA 구조에 다양한 화학 구조를 도입하여 기술적 장벽 및 임상적 유용성을 만들어 낸 예시이다. 유전자가위 기술(2020 노벨화학상) 관련 Single guide RNA나 mRNA 백신 및 치료제의 등장에 따라, 기존에 비해 긴 길이의 핵산 치료제 원료를 합성할 수 있는 공정 및 인프라에 대한 수요가 등장해 새로운 기회가 창출되고 있다. ● 현재 대비 비교 생산 시설 증축 및 핵산 수식 연구를 통하여 핵산을 사용한 치료제 등의 상용화를 실현할 수 있다. 	
실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 국내의 경우 기전 연구 등의 기초 연구는 활발하나 다양한 핵산 치료제 및 바이러스 벡터, 생산 공정 등과 관련해 해외와 유사한 역량을 갖추고 있지 않다. 		

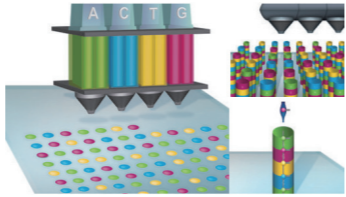
중요성	실현 가능성	예상 소요 기간																
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 예상 소요 기간 바이러스 벡터 기반 유전자 치료제 개발과 유전자 전달 및 백신, 치료용 핵산 개발은 약 10년의 기간이 소요될 것으로 예상되며, 환자 맞춤형 핵산 및 유전자 치료제는 15년 이상이 소요될 것으로 보인다. ● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 70% 수준 																
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 다국적 거대 기업에 의해 의료용 핵산 생산과 활용 연구가 동시에 진행되고 있으며, 바이러스 벡터를 활용한 치료제 연구가 활발하다. 																
		<table border="1"> <tr> <td>Genzyme(미국)</td> <td>· 치료용 융합 단백질을 AAV2를 이용, 발현시켜 종양 치료제로 임상 1상</td> </tr> <tr> <td>Oxford Biomedica(영국)</td> <td>· 최초의 Lentiviral vector를 투여한 임상연구 보고</td> </tr> <tr> <td>Danaher(미국)</td> <td>· 핵산 소재 합성, GMP 인증 기반으로 Oligonucleotide 생산 서비스 제공</td> </tr> <tr> <td>Synthego(미국)</td> <td>· 소재 합성, 크리스퍼 유전자가위의 가이드 RNA 합성 전문으로 생산 서비스 제공</td> </tr> <tr> <td>펜실베이니아대학(미국)</td> <td>· 노바티스와 제휴, CAR-T 치료제 Kymriah 공동 개발</td> </tr> <tr> <td>MIT대학(미국)</td> <td>· 소재 개발, RNAi/siRNA 전달 기술 선도, 백신 개발사 MODERNA 기술 제공, 다양한 화학 구조가 들어간 RNA 합성 연구</td> </tr> </table>	Genzyme(미국)	· 치료용 융합 단백질을 AAV2를 이용, 발현시켜 종양 치료제로 임상 1상	Oxford Biomedica(영국)	· 최초의 Lentiviral vector를 투여한 임상연구 보고	Danaher(미국)	· 핵산 소재 합성, GMP 인증 기반으로 Oligonucleotide 생산 서비스 제공	Synthego(미국)	· 소재 합성, 크리스퍼 유전자가위의 가이드 RNA 합성 전문으로 생산 서비스 제공	펜실베이니아대학(미국)	· 노바티스와 제휴, CAR-T 치료제 Kymriah 공동 개발	MIT대학(미국)	· 소재 개발, RNAi/siRNA 전달 기술 선도, 백신 개발사 MODERNA 기술 제공, 다양한 화학 구조가 들어간 RNA 합성 연구				
Genzyme(미국)	· 치료용 융합 단백질을 AAV2를 이용, 발현시켜 종양 치료제로 임상 1상																	
Oxford Biomedica(영국)	· 최초의 Lentiviral vector를 투여한 임상연구 보고																	
Danaher(미국)	· 핵산 소재 합성, GMP 인증 기반으로 Oligonucleotide 생산 서비스 제공																	
Synthego(미국)	· 소재 합성, 크리스퍼 유전자가위의 가이드 RNA 합성 전문으로 생산 서비스 제공																	
펜실베이니아대학(미국)	· 노바티스와 제휴, CAR-T 치료제 Kymriah 공동 개발																	
MIT대학(미국)	· 소재 개발, RNAi/siRNA 전달 기술 선도, 백신 개발사 MODERNA 기술 제공, 다양한 화학 구조가 들어간 RNA 합성 연구																	
	국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 의료용 핵산 활용에 대한 연구와 치료제 개발이 진행되고 있지만, 현재까지 GMP 올리고 생산 기술은 예스티팜이 유일하다. 국내 대학 및 연구소를 중심으로 한 기초 연구 성과는 우수하나, 상용화를 위한 정부의 유관 산업 생태계 지원이 절실하다. <table border="1"> <tr> <td>시드모젠</td> <td>· 바이러스 벡터 공정 개발, 바이러스 벡터 제품의 특성화 및 분석법 개발 서비스를 위한 미국 VSI와 전략적 제휴</td> </tr> <tr> <td>동아에스티팜</td> <td>· 올리고 핵산 생산 GMP 확보</td> </tr> <tr> <td>이연제약</td> <td>· 비 바이러스성 벡터(pDNA) 공장 및 바이러스성 벡터 공장 기술 제휴, 국내 벤처 뉴라클레네텍스와 AAV 유전자 치료제 공동 개발</td> </tr> <tr> <td>바이오니아</td> <td>· 소재 응용, 양이온성 고분자를 이용한 나노 입자화 RNA를 이용 특발성 폐 섬유화 치료제 개발 중</td> </tr> <tr> <td>한미약품</td> <td>· 유전자 치료제 생산을 위한 12,500ℓ 배양기 확보 등 DNA, mRNA 유전자 치료제 생산 시설 확보</td> </tr> <tr> <td>연세대학교</td> <td>· 아데노 바이러스 기반 유전자 치료제, AAV 표면 단백질 변형 관련 유도 진화 관련 기전 연구</td> </tr> <tr> <td>서울대학교</td> <td>· CRISPR/CAS 기반 유전자 치료제 연구</td> </tr> <tr> <td>가톨릭대학교</td> <td>· 바이러스 벡터 개발</td> </tr> </table>	시드모젠	· 바이러스 벡터 공정 개발, 바이러스 벡터 제품의 특성화 및 분석법 개발 서비스를 위한 미국 VSI와 전략적 제휴	동아에스티팜	· 올리고 핵산 생산 GMP 확보	이연제약	· 비 바이러스성 벡터(pDNA) 공장 및 바이러스성 벡터 공장 기술 제휴, 국내 벤처 뉴라클레네텍스와 AAV 유전자 치료제 공동 개발	바이오니아	· 소재 응용, 양이온성 고분자를 이용한 나노 입자화 RNA를 이용 특발성 폐 섬유화 치료제 개발 중	한미약품	· 유전자 치료제 생산을 위한 12,500ℓ 배양기 확보 등 DNA, mRNA 유전자 치료제 생산 시설 확보	연세대학교	· 아데노 바이러스 기반 유전자 치료제, AAV 표면 단백질 변형 관련 유도 진화 관련 기전 연구	서울대학교	· CRISPR/CAS 기반 유전자 치료제 연구	가톨릭대학교	· 바이러스 벡터 개발
시드모젠	· 바이러스 벡터 공정 개발, 바이러스 벡터 제품의 특성화 및 분석법 개발 서비스를 위한 미국 VSI와 전략적 제휴																	
동아에스티팜	· 올리고 핵산 생산 GMP 확보																	
이연제약	· 비 바이러스성 벡터(pDNA) 공장 및 바이러스성 벡터 공장 기술 제휴, 국내 벤처 뉴라클레네텍스와 AAV 유전자 치료제 공동 개발																	
바이오니아	· 소재 응용, 양이온성 고분자를 이용한 나노 입자화 RNA를 이용 특발성 폐 섬유화 치료제 개발 중																	
한미약품	· 유전자 치료제 생산을 위한 12,500ℓ 배양기 확보 등 DNA, mRNA 유전자 치료제 생산 시설 확보																	
연세대학교	· 아데노 바이러스 기반 유전자 치료제, AAV 표면 단백질 변형 관련 유도 진화 관련 기전 연구																	
서울대학교	· CRISPR/CAS 기반 유전자 치료제 연구																	
가톨릭대학교	· 바이러스 벡터 개발																	

57 인체 이식용 지지체 및 인공장기 생체 소재

품목명	인체 이식용 지지체 및 인공장기 생체 소재	구분	소재/장비
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 인공장기, 재생 의료에 사용 가능한 △바이오 프린팅(3차원 구조), △바이오리액터 등 동 분야에 활용 가능한 소재 및 장비 ※ 인체 이식에 적합한 복합 바이오 소재로서 재생, 성형, 재건 등 재생 의료 분야에서 폭넓게 활용 	 <p>출처: http://itnews.or.kr/?p=24258</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 인체조직 대체용 소재 기술 ※ 맞춤형 생체 적합 천연 고분자(세포 외 기질 성분) 소재 (중장기) 재생 미세 환경 반응성 생리 활성 소재 기술 (단기) 세포 대량 배양 및 분화 조절 기술 (단기) 생체 적합 3D 바이오 잉크 소재 및 특정 구조 모사 가능 소재 기술 (중장기) 3D 바이오 프린터, 조직·장기 배양용 바이오리액터 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 고령화 사회에 대응에 꼭 필요한 재생 의료를 담당하고 있으므로 미래 유망 분야로서 가치가 높다. 시장 규모 전망 글로벌 조직공학 치료제 시장은 2018년 100억 달러에서 2030년 1,020억 달러(CAGR 22%) 규모로의 성장을 전망하고 있다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 3D 바이오 프린팅을 이용하여 구현된 인공 조직 및 인공 장기 모델은 신약, 신개발 의료기기 등의 안전성, 유효성을 검증할 수 있는 동물 대체 모델이 될 수 있다. 따라서 개발 비용과 시간의 절감이 가능해 획기적인 중요성을 갖는다. 바이오리액터 장비 외에 생체 내 미세 환경에 반응 가능한 지능형 소재의 경우 생리 활성 인자 등의 성격이 반영되었으므로 혁신적인 성능 향상을 기대할 수 있다. 현재 대비 비교 소재 플랫폼이 구축되면 우선, 다양한 목적의 재생 치료 분야에 적용할 수 있어 파급력이 클 것이다. 또한, 목적 생리 활성 소재에 따른 이식 환경 내 치유 메커니즘을 기존과 다르게 전환할 수 있다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 줄기세포, 인공장기 등 첨단 의료 기술을 인체에 적용하기 위해 고기능성 생체 재료가 제공되어야 한다. 그럼에도 대부분의 소재는 수입에 의존하고 있어 국산화가 시급하다. 또한, 대학 및 연구소 개발 첨단 지능형 소재는 해외 시장 선점 및 고부가가치화에 기여할 수 있다. 예상 소요 기간 의료 소재 분야 1~2종의 자립화로 인공장기(인공혈관, 치아 등) 의료기기 분야에 3년 내에 적용할 수 있다. 따라서, iPSC 기반 분야에도 적용 가능한 고분자 소재, 탈세포 지지체에 대한 기술 확보가 10년 내에 가능하다. 현재 구축되어 있는 기초 기반 기술을 활용하면 1~2종의 인공장기 및 조직 모델이 도출될 수 있으며, 10년 이내에 약물 스크리닝이 가능한 플랫폼을 구현할 수 있다. 	


기술 수준	● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 70~80% 수준	
	● 미국, 일본, 유럽을 중심으로 연구가 활발히 진행되고 있다.	
해외	Johnson & Johnson(미국)	· 생체 조직 모사형 섬유 소재 세계 시장 선점
	Biotronik(독일)	· 신소재 기반 심혈 관계 스텐트 개발, 판매 중 · 대규모 임상시험을 통한 생체 적합성과 안전성에 대한 신뢰 확보
	Gore-tex(미국)	· 인공 혈관 등 연조직 대체용 PTFE 소재 전 세계 독점 공급
	하노버의과대학(독일)	· 3D 프린팅을 활용한 골조직 지지체 개발 및 임상연구 진행 중
	웨이코프레스트대학(미국)	· 다기능 생체 소재 및 3D 프린팅 전임상 실험 성공
	Harvard-Wyss Institute-NIH(미국)	· 독성 평가용 인공장기 칩 플랫폼 개발
	Helmholtz(독일)	· 신소재 스텐트 및 임플란트 개발
국내	● 국내 대학과 연구소를 중심으로 한 기초 연구 성과는 우수하나, 상용화를 위한 생체 재료와 의료 소재 대부분은 수입에 의존하고 있다. 의료용 생체 소재의 자립화와 생체 활성 물질 기반 신소재 상용화, 3D 바이오 프린터, 배양용 배지 조성물, 바이오리액터 산업화를 위해 적극적인 생태계 지원이 절실하다.	
	삼양바이오팜	· 합성 흡수성 고분자 원료(Polyglycolide) 기반 흡수성 메쉬, 봉합사 등 생산
	유엔아이	· 마그네슘 기반 골 접합용 신소재 개발
	티앤알바이오팜	· 혈관이 포함된 인공 간 조직 프린팅 기술 상용화
	서울대학교	· 줄기세포 생리 활성 물질 기반 조직 재생 바이오 소재 개발 · 신소재 세라믹 기반 골 재생 소재
	UNIST	· 초고내식 마그네슘 소재 및 3D 바이오 프린팅을 이용한 미니 간 제작
	포스텍	· 탈 세포화된 세포외 기질 기반 바이오 잉크를 이용한 다양한 조직 장기 프린팅
	한국화학연구원	· 생분해성 폴리우레탄 고분자 연구
	한국기계연구원	· In-situ 인공 피부 바이오 프린팅 장비 개발 성공

58 초병렬적 DNA 합성 장비

품목명	초병렬적 DNA 합성 장비	구분	장비
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 생물학 전 분야에 원재료로 활용되는 DNA 서열의 초병렬적 합성을 위한 자동화 장비 <p>※ 기존에는 96개의 올리고를 합성하는 수준에 머물렀으나 초병렬적 DNA 합성 장비와 합성 소재가 개발된다면 1개의 기판에서 100만 개의 올리고를 합성할 수 있다.</p>		 <p>출처: https://www.chem-agilent.com/contents.php?id=1000531</p>
핵심 요소기술	<ol style="list-style-type: none"> (중기) DNA 합성용 웨이퍼 제조 기술 (중기) DNA 합성을 위한 새로운 효소 공정과 최적화된 화학 공정 개발 (중기) 잉크젯 프린터 기반 DNA 합성 자동화 장비 개발 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 초병렬적 DNA 합성 장비는 생명 현상 데이터를 초병렬적으로 쓸 수 있는 미래 기반 기술이다. 초병렬적 DNA 합성 장비를 통해 생산하는 수많은 DNA의 활용을 통해 생명의 계보를 합성하고, DNA 기반 메모리를 생산하며, 효소엔지니어링과 고순도 항체 라이브러리에 응용하는 등 생명 산업의 먹거리를 만들 수 있는 기반 장비가 될 것이다. 시장 규모 전망 DNA 올리고 합성 시장은 2019년 43억 달러 규모에서 연평균 14%로 성장하여 2024년이면 82억 달러에 달할 것으로 전망된다. (MarketsandMarkets, 2021) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 전통적으로 사용되는 화학적 DNA 합성 기술은 96웰 방식으로 많은 양의 케미컬을 사용한다. 고비용이며, 합성 효율이 100%에 미치지 못하는 관계로 합성하고자 하는 올리고의 길이가 100bp 이하로 합성되었다. 이 때문에 미래 생명 산업에서 폭발적으로 증가하는 수많은 DNA 올리고 합성의 요구를 충족하기 어려웠다. 초병렬적 DNA 합성의 혁신 장비와 요소기술을 개발하여, 중기적으로 100만 개 이상의 올리고를 한 개의 기판을 이용해 합성하고, 장기적으로 10억 개 이상의 올리고를 생산하는 장비를 확보한다. 현재 대비 비교 현재, 글로벌 기술은 수만 개 이상의 올리고를 동시에 생산 가능한 장비를 만드는 회사가 두 곳이 있다. 반면, 우리나라는 여전히 96개 수준의 올리고 동시 합성에 머물러 있다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 초병렬 DNA 합성 장비는 개발에 수년의 기간이 소요되는, 진입 장벽이 높은 기술이다. 이미 우리나라에는 합성 화학과 반도체 웨이퍼 가공 기술, 효소 엔지니어링 기술, 올리고 합성 기술 등을 연구하는 학계와 산업계에 인프라와 인력이 확보된 상태이므로 실현 가능성이 높다. 	


중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 예상 소요 기간 국내에서 해당 장비의 기술개발을 착수한다면 4~5년 이내에 1장의 실리콘 웨이퍼에 100만 개 이상의 DNA 올리고를 합성 가능한 장비가 개발될 것으로 기대된다. 또, 2031년 정도면 10억 개 수준의 올리고를 동시에 생산할 수 있는 장비를 확보할 수 있을 것으로 보인다. 						
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 40% 수준 						
국내외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> 해당 장비를 상용화한 곳은 미국의 (주)에질런트와 (주)트위스트 바이오사이언스가 있다. 이 두 회사는 수많은 올리고를 필요로 하는 시장에 제품을 거의 독점 공급하고 있다. 하지만 해당 장비는 외부에 공개되지 않았다. 						
		<table border="1"> <tr> <td>Agilent(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 잉크젯 프린팅 방식으로 초병렬 DNA 합성 장비 구현 유리 슬라이드 기판에 수만 개의 올리고를 병렬적으로 생산하는 기술 보유 </td> </tr> <tr> <td>Twist Bioscience(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 실리콘 웨이퍼를 가공하고, 이 표면에 잉크젯 프린팅 방식으로 초병렬 DNA를 합성하는 기술 보유 실리콘 기반 DNA 합성 기술을 이용해 제약 산업, 진단 산업에 활발히 진출 </td> </tr> <tr> <td>CustomArray(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 반도체 기판을 가공해 산을 생성하고, 이를 통해 합성의 집적도를 올리는 기술 보유 1만여 개의 올리고를 반도체 공정과 핵산 화학을 통해 구현하는 장비 보유, 최근 중국회사가 인수 </td> </tr> </table>	Agilent(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 잉크젯 프린팅 방식으로 초병렬 DNA 합성 장비 구현 유리 슬라이드 기판에 수만 개의 올리고를 병렬적으로 생산하는 기술 보유 	Twist Bioscience(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 실리콘 웨이퍼를 가공하고, 이 표면에 잉크젯 프린팅 방식으로 초병렬 DNA를 합성하는 기술 보유 실리콘 기반 DNA 합성 기술을 이용해 제약 산업, 진단 산업에 활발히 진출 	CustomArray(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 반도체 기판을 가공해 산을 생성하고, 이를 통해 합성의 집적도를 올리는 기술 보유 1만여 개의 올리고를 반도체 공정과 핵산 화학을 통해 구현하는 장비 보유, 최근 중국회사가 인수
		Agilent(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 잉크젯 프린팅 방식으로 초병렬 DNA 합성 장비 구현 유리 슬라이드 기판에 수만 개의 올리고를 병렬적으로 생산하는 기술 보유 					
Twist Bioscience(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 실리콘 웨이퍼를 가공하고, 이 표면에 잉크젯 프린팅 방식으로 초병렬 DNA를 합성하는 기술 보유 실리콘 기반 DNA 합성 기술을 이용해 제약 산업, 진단 산업에 활발히 진출 							
CustomArray(미국)	<ul style="list-style-type: none"> 반도체 기판을 가공해 산을 생성하고, 이를 통해 합성의 집적도를 올리는 기술 보유 1만여 개의 올리고를 반도체 공정과 핵산 화학을 통해 구현하는 장비 보유, 최근 중국회사가 인수 							
<ul style="list-style-type: none"> 다량의 합성 올리고를 사용하고자 하는 수요는 국내에 매우 폭넓게 자리 잡고 있다. 이 올리고를 이용해서 산업과 학계의 다양한 그룹에서 제품을 생산하고 R&D를 수행하고 있다. 바이오니아, 마크로젠 등이 올리고를 96개 기반으로 생산하지만, 모두 전통적인 화학 공정을 이용한다. 학계에서는 연세대학교와 서울대학교, 포스텍, KIST, (주)셀레믹스 등에서 차세대 올리고 생산 공정과 기기를 연구하고 있다. 								
국내	<table border="1"> <tr> <td>바이오니아, 셀레믹스</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 전통적인 방식으로 올리고 합성 기술을 구현하는 장비 구축 </td> </tr> <tr> <td>연세대학교, 서울대학교, 경희대학교</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 초병렬 DNA 합성 기술 개발 중 </td> </tr> <tr> <td>포스텍, 연세대학교, KIST</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 효소 기반 올리고 합성 기술 연구 중 </td> </tr> </table>	바이오니아, 셀레믹스	<ul style="list-style-type: none"> 전통적인 방식으로 올리고 합성 기술을 구현하는 장비 구축 	연세대학교, 서울대학교, 경희대학교	<ul style="list-style-type: none"> 초병렬 DNA 합성 기술 개발 중 	포스텍, 연세대학교, KIST	<ul style="list-style-type: none"> 효소 기반 올리고 합성 기술 연구 중 	
	바이오니아, 셀레믹스	<ul style="list-style-type: none"> 전통적인 방식으로 올리고 합성 기술을 구현하는 장비 구축 						
	연세대학교, 서울대학교, 경희대학교	<ul style="list-style-type: none"> 초병렬 DNA 합성 기술 개발 중 						
포스텍, 연세대학교, KIST	<ul style="list-style-type: none"> 효소 기반 올리고 합성 기술 연구 중 							

59 대체육(肉) 원료

품목명	대체육 원료	구분	소재	
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 미역, 해조류에서 추출한 결합제, 쌀 등을 활용한 대체육 TVP(Textured Vegetable Protein) 동물성 배제 근줄기세포 맞춤형 배양액 생분해성 3차원 세포 배양 고분자 지지체 		 <p>출처: https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=17574968&memberNo=478066</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 대체육 원소재 발굴 및 배합 (중기) Extruding을 통한 대체육 조직감 형성 제조 공정 (중기) 비동물성 근줄기세포 배양액 생산 기술 (장기) 근줄기세포-지지체 복합체 배양 기술 및 종류별 대체육 구현을 위한 Flavor Formation 			
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 COVID-19의 대유행으로 세계 최대 육류가공업체(Tyson foods, JBS USA, Sithfield Foods 등)가 공장 가동을 정지하는 등 육류 공급이 불안정해지면서 육류 가격이 급등했다. 최근 잇따른 인수 공통 전염병의 발병으로 육류 소비에 대한 식량난과 식량 안보가 중요한 이슈로 떠오르며 이에 대한 해결 대안으로 배양육의 중요성이 두드러지고 있다. 대체육 분야의 대표 기업인 'Beyond Meat'의 2020년 1분기 매출은 전년 대비 141.1%가 증가했으며, 'Impossible food'는 2020년 신규 입점 유통 점포가 777개 추가되었다. 'Eat JUST'는 2020년 12월 싱가포르에서 세계 최초로 배양육 판매를 승인받았으며, 식당 '1888'에서 배양육을 이용한 3가지 닭고기 요리를 판매하기 시작했다. 		
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 시장 규모 전망 세계 대체육 시장 규모는 2018년 96.2억 달러이며, 2019년부터 연평균 9.5%씩 성장해 2025년 178억 5,860달러에 이를 것으로 전망된다. (한국농촌경제연구원, 2021 대체 축산식품 현황과 대응 과제) 기술 혁신 내용 조직화 대두단백(Texture Soybean Protein) 결정체의 배합 기술 구축이 필요하다. 배양육은 배양액, 근줄기세포 추출 및 배양 기술, 식용 가능 3차원 세포 배양 고분자 지지체 그리고 대량 생산 기술이 균형 있게 조합되어야 하기에 진입 장벽이 매우 높다. 소 태아 혈청 대체제 개발 기술은 배양육의 생산 단가 절감에 필수적인 요소이며, 동물성을 비동물성으로 바꾸는, 매우 고도의 기술이다. 현재 대비 비교 국내의 대체육(배양육) 개발은 초기 단계이다. 		
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 대체육 개발 기술은 5년 전부터 R&D가 진행되고 있으며, 아직은 진입 장벽이 높다. 국내 선도기업인 (주)지구인컴퍼니는 소재와 공정 개발을 통해 소고기, 닭고기, 돼지고기, 생선과 유사한 대체육을 구현하고 있다. 셀미트 주식회사가 배양육 개발에 필수적인 배양액, 근줄기세포 추출 및 배양 그리고 지지체 개발을 꾸준히 수행해오고 있어, 상당한 기술과 인프라, 인력이 확보된 상태이다. 		

중요성	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 예상 소요 기간 기술 역량에 따라 기술 개발에 착수한다면, 4~6년 이내에 대량 생산 설비를 갖추고 상용화된 다양한 대체(배양)육을 선보일 수 있을 것으로 기대된다. 												
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 60% 수준 												
국내외 연구 현황	해외	<ul style="list-style-type: none"> 미국, 유럽을 중심으로 대체육 개발이 활발하게 진행되고 있다. 												
		<table border="1"> <tr> <td>Beyond Meat(미국)</td> <td>• 대체육(햄버거 패티, 민스) 포물레이션 기술력 확보 및 글로벌 확장 전략을 통한 매출 증대</td> </tr> <tr> <td>Impossible Food(미국)</td> <td>• 강남콩 뿌리에서 추출한 레드 헤모글로빈 성분과 대체육 기술을 결합한 하이브리드 기술력으로 대체육 시장의 기술력 선도 중</td> </tr> <tr> <td>Memphis Meats(미국)</td> <td>• 독자적인 Immortalized cell line 보유, 줄기세포 추출 및 배양 기술 보유</td> </tr> <tr> <td>Eat JUST(싱가포르)</td> <td>• 싱가포르 식품청 판매 승인(닭 배양육), 줄기세포 추출 및 배양 기술, 대량 배양 기술(달걀, 닭 배양육), 3차원 조직배양 지지체 보유</td> </tr> <tr> <td>Aleph Farms(이스라엘)</td> <td>• 3차원 조직배양 지지체 기술, 줄기세포 배양 기술 보유</td> </tr> <tr> <td>Mosa Meat(네덜란드)</td> <td>• 근줄기세포 추출 및 배양 기술 보유, 배양액 대체 기술 연구 중</td> </tr> </table>	Beyond Meat(미국)	• 대체육(햄버거 패티, 민스) 포물레이션 기술력 확보 및 글로벌 확장 전략을 통한 매출 증대	Impossible Food(미국)	• 강남콩 뿌리에서 추출한 레드 헤모글로빈 성분과 대체육 기술을 결합한 하이브리드 기술력으로 대체육 시장의 기술력 선도 중	Memphis Meats(미국)	• 독자적인 Immortalized cell line 보유, 줄기세포 추출 및 배양 기술 보유	Eat JUST(싱가포르)	• 싱가포르 식품청 판매 승인(닭 배양육), 줄기세포 추출 및 배양 기술, 대량 배양 기술(달걀, 닭 배양육), 3차원 조직배양 지지체 보유	Aleph Farms(이스라엘)	• 3차원 조직배양 지지체 기술, 줄기세포 배양 기술 보유	Mosa Meat(네덜란드)	• 근줄기세포 추출 및 배양 기술 보유, 배양액 대체 기술 연구 중
		Beyond Meat(미국)	• 대체육(햄버거 패티, 민스) 포물레이션 기술력 확보 및 글로벌 확장 전략을 통한 매출 증대											
		Impossible Food(미국)	• 강남콩 뿌리에서 추출한 레드 헤모글로빈 성분과 대체육 기술을 결합한 하이브리드 기술력으로 대체육 시장의 기술력 선도 중											
		Memphis Meats(미국)	• 독자적인 Immortalized cell line 보유, 줄기세포 추출 및 배양 기술 보유											
		Eat JUST(싱가포르)	• 싱가포르 식품청 판매 승인(닭 배양육), 줄기세포 추출 및 배양 기술, 대량 배양 기술(달걀, 닭 배양육), 3차원 조직배양 지지체 보유											
		Aleph Farms(이스라엘)	• 3차원 조직배양 지지체 기술, 줄기세포 배양 기술 보유											
Mosa Meat(네덜란드)	• 근줄기세포 추출 및 배양 기술 보유, 배양액 대체 기술 연구 중													
<ul style="list-style-type: none"> 국내 기업은 대부분 세포 배양 지지체 기술만을 보유하고 있다. 														
<table border="1"> <tr> <td>풀무원</td> <td>• 대두단백질, 두부 찌꺼기를 활용한 스크램블, 미트볼 개발</td> </tr> <tr> <td>CJ</td> <td>• 대두단백질, 완두콩 단백질로 민스 개발 완료. 이를 토대로 떡갈비, 동그랑땡, 함박스테이크 등 HMR 20여 종 개발 진행 중</td> </tr> <tr> <td>태경농산(농심 자회사)</td> <td>• 대두단백질, 완두콩 TVP로 민스, 패티 개발 완료. 미트볼, 파스타, 함박스테이크, 떡갈비, 만두 등 HMR 27종 개발 진행 중</td> </tr> <tr> <td>지구인컴퍼니</td> <td>• 식물성 고기 분야 국내 유일의 포물레이션 기술, 프로세싱 기술 보유</td> </tr> <tr> <td>셀미트</td> <td>• 식용 원료를 이용한 3차원 조직배양 지지체 개발 기술, 동물 유래 줄기세포 배양 및 유지 기술, 소 태아 혈청 배양액 대체 기술 보유</td> </tr> <tr> <td>다나그린</td> <td>• 3차원 조직배양 지지체 보유하고 있으나, 줄기세포 추출 및 배양 기술 미비, 소 태아 혈청 대체 기술 미비</td> </tr> <tr> <td>씨워드</td> <td>• 해조류 유래 3차원 조직배양 지지체 보유하고 있으나, 줄기세포 추출 및 배양 기술과 소 태아 혈청 대체 기술 미비</td> </tr> </table>	풀무원	• 대두단백질, 두부 찌꺼기를 활용한 스크램블, 미트볼 개발	CJ	• 대두단백질, 완두콩 단백질로 민스 개발 완료. 이를 토대로 떡갈비, 동그랑땡, 함박스테이크 등 HMR 20여 종 개발 진행 중	태경농산(농심 자회사)	• 대두단백질, 완두콩 TVP로 민스, 패티 개발 완료. 미트볼, 파스타, 함박스테이크, 떡갈비, 만두 등 HMR 27종 개발 진행 중	지구인컴퍼니	• 식물성 고기 분야 국내 유일의 포물레이션 기술, 프로세싱 기술 보유	셀미트	• 식용 원료를 이용한 3차원 조직배양 지지체 개발 기술, 동물 유래 줄기세포 배양 및 유지 기술, 소 태아 혈청 배양액 대체 기술 보유	다나그린	• 3차원 조직배양 지지체 보유하고 있으나, 줄기세포 추출 및 배양 기술 미비, 소 태아 혈청 대체 기술 미비	씨워드	• 해조류 유래 3차원 조직배양 지지체 보유하고 있으나, 줄기세포 추출 및 배양 기술과 소 태아 혈청 대체 기술 미비
풀무원	• 대두단백질, 두부 찌꺼기를 활용한 스크램블, 미트볼 개발													
CJ	• 대두단백질, 완두콩 단백질로 민스 개발 완료. 이를 토대로 떡갈비, 동그랑땡, 함박스테이크 등 HMR 20여 종 개발 진행 중													
태경농산(농심 자회사)	• 대두단백질, 완두콩 TVP로 민스, 패티 개발 완료. 미트볼, 파스타, 함박스테이크, 떡갈비, 만두 등 HMR 27종 개발 진행 중													
지구인컴퍼니	• 식물성 고기 분야 국내 유일의 포물레이션 기술, 프로세싱 기술 보유													
셀미트	• 식용 원료를 이용한 3차원 조직배양 지지체 개발 기술, 동물 유래 줄기세포 배양 및 유지 기술, 소 태아 혈청 배양액 대체 기술 보유													
다나그린	• 3차원 조직배양 지지체 보유하고 있으나, 줄기세포 추출 및 배양 기술 미비, 소 태아 혈청 대체 기술 미비													
씨워드	• 해조류 유래 3차원 조직배양 지지체 보유하고 있으나, 줄기세포 추출 및 배양 기술과 소 태아 혈청 대체 기술 미비													

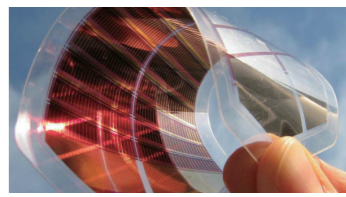
60 친환경 사료 소재

품목명	친환경 사료 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 자국 내 미 이용(저 이용) 자원을 재생 이용하여 만든 사료 ※ 친환경 사료 소재의 국산화를 통한 수입 대체 및 제품 안정성 강화  <p>출처: http://www.newsworks.co.kr/news/articleView.html?idxno=497935</p>		
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 (중기) 친환경 식물 사료 소재 개발 2 (중기) 곤충 친환경 사료 소재 개발 3 (장기) 국산 친환경 농후 및 조사료 생산 기반 구축 및 급여 효과 구명 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 미국 퓨짓소비자협동조합(Puget Consumers Co-op) 및 일본 그린코프 생협에서는 Non-GMO 사료 이용을 실천하고 있다. 세계 사료 첨가제(배합 사료 원료) 시장은 매년 약 5%의 꾸준한 성장세를 보이고 있다. 2019년 당시, 173억 달러 규모였으며, 약 85%가 북미와 유럽에 집중되어 있다. ● 시장 규모 전망 2019년 농림업 생산액 46조 8,900억 원 중, 축산업 생산액은 19조 1,257억 원으로, 40.8%를 차지한다. 생산액의 40~60%는 사료비가 차지한다. (송아지 45.7%, 비육우 42.1%, 우유 57.7%, 비육돈 54.5%, 계란 61.9%, 육계 57.8% 등) 배합 사료 원료의 95% 이상을 해외에 의존, 국제 곡물 가격과 환율 변동에 매우 민감하다. 친환경 축산 등에 관심이 높아지면서 소비자의 안전한 먹거리에 대한 관심이 증가하고 있다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 가축 사료의 국산화 및 친환경화 연구를 통한 안전한 먹거리 제공과 수출 의존도 감소에 기여하는 국내 생산 친환경 사료 소재 개발 기술이다. ● 현재 대비 비교 현재 국내 시판 중인 배합 사료는 수입에 의존하고 있어 GMO의 혼입, 잔류 농약, 독성 등의 안전성 확보에 어려움이 있다. 특히, 배합 사료의 재료 중 하절기에 투입할 수 있는 단백질원이 부족하다. 이에 소재화 연구를 통한 안정적인 공급 체계 마련이 필요하다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 한살림, 초록마을, 자연드림 등에 유기축산물 등의 생산 기반이 구축되어 있으나 사료 작물의 가격 문제로 친환경 사료 적용이 어려운 상황이다. 저가의 친환경 사료 개발을 위한 소재의 발굴부터 제품 생산까지 파이프라인화됨, 체계적인 연구를 국가 주도로 수행할 필요가 있다. ● 예상 소요 기간 사료 공급을 위한 기반 조성 및 연구가 수행되면 향후 15년 이후 상용화가 가능하다. 	

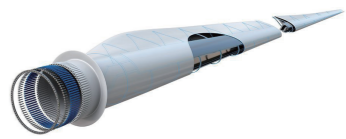
	기술 수준	● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국) 대비 40% 수준							
	국내 외 연구 동향	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 친환경 사료의 개발 및 활용이 진행되고 있으며, 초기 단계이다. <table border="1"> <tr> <td>PCC Community Market (미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 산물 중 95%가 유기농 인증(USDA Organic) • GMO 알팔파, 옥수수, 대두 또는 사탕무 등의 사료를 지양하며, Non-GMO 축산물을 생산 </td> </tr> <tr> <td>Green coop(일본)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Non-GMO 우유 생산을 실천 • 초년 도에 유질 저하로 인한 생산 농가의 큰 혼란을 해결 </td> </tr> <tr> <td>일본 학술발표 자료</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 사료 원료인 어분을 대체할 곤충 기반 단백질원을 개발하여 비교한 결과, 영양학적으로는 큰 차이가 없고 경제성은 월등히 높은 것으로 분석됨 </td> </tr> </table>	PCC Community Market (미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 산물 중 95%가 유기농 인증(USDA Organic) • GMO 알팔파, 옥수수, 대두 또는 사탕무 등의 사료를 지양하며, Non-GMO 축산물을 생산 	Green coop(일본)	<ul style="list-style-type: none"> • Non-GMO 우유 생산을 실천 • 초년 도에 유질 저하로 인한 생산 농가의 큰 혼란을 해결 	일본 학술발표 자료	<ul style="list-style-type: none"> • 사료 원료인 어분을 대체할 곤충 기반 단백질원을 개발하여 비교한 결과, 영양학적으로는 큰 차이가 없고 경제성은 월등히 높은 것으로 분석됨
PCC Community Market (미국)		<ul style="list-style-type: none"> • 산물 중 95%가 유기농 인증(USDA Organic) • GMO 알팔파, 옥수수, 대두 또는 사탕무 등의 사료를 지양하며, Non-GMO 축산물을 생산 							
Green coop(일본)		<ul style="list-style-type: none"> • Non-GMO 우유 생산을 실천 • 초년 도에 유질 저하로 인한 생산 농가의 큰 혼란을 해결 							
일본 학술발표 자료	<ul style="list-style-type: none"> • 사료 원료인 어분을 대체할 곤충 기반 단백질원을 개발하여 비교한 결과, 영양학적으로는 큰 차이가 없고 경제성은 월등히 높은 것으로 분석됨 								
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 일부 친환경 사료의 개발 활용이 진행되고 있으나, 가격 경쟁력 등 다양한 요소로 미미한 수준으로 진행되고 있다. <table border="1"> <tr> <td>한살림 등</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • '지역 순환 축산', '국산 사료 자급률 확대', '안전한 축산물 생산', '재래 가축 유전 자원 보전' 지향 </td> </tr> <tr> <td>한국원자력연구원, 전북농업기술원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 국내에서는 전량 케나프 소재를 수입해 이용. 최근 바이오 소재 및 바이오 연료용으로 이용하기 위한 연구 진행 중 </td> </tr> <tr> <td>해양수산과학기술진흥원, 국립농업과학원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 양식 어류에 이용될 곤충 기반 사료 개발은 일부 연구가 진행됨. 양돈 사료를 위한 곤충 기반 사료 연구가 진행되었으나, 단가와 가공, 최적화 등의 문제로 시장에서 활성화되지 못함 </td> </tr> <tr> <td>한국골프장사업협회</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 일반적으로 잔디 예지물은 사업장 폐기물로 분류되어 처리 비용 및 환경적인 부담이 발생하는데, 이를 재활용하여 사료 및 퇴비화할 수 있는 제도적 장치를 마련함 </td> </tr> </table>	한살림 등	<ul style="list-style-type: none"> • '지역 순환 축산', '국산 사료 자급률 확대', '안전한 축산물 생산', '재래 가축 유전 자원 보전' 지향 	한국원자력연구원, 전북농업기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 국내에서는 전량 케나프 소재를 수입해 이용. 최근 바이오 소재 및 바이오 연료용으로 이용하기 위한 연구 진행 중 	해양수산과학기술진흥원, 국립농업과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 양식 어류에 이용될 곤충 기반 사료 개발은 일부 연구가 진행됨. 양돈 사료를 위한 곤충 기반 사료 연구가 진행되었으나, 단가와 가공, 최적화 등의 문제로 시장에서 활성화되지 못함 	한국골프장사업협회	<ul style="list-style-type: none"> • 일반적으로 잔디 예지물은 사업장 폐기물로 분류되어 처리 비용 및 환경적인 부담이 발생하는데, 이를 재활용하여 사료 및 퇴비화할 수 있는 제도적 장치를 마련함
한살림 등	<ul style="list-style-type: none"> • '지역 순환 축산', '국산 사료 자급률 확대', '안전한 축산물 생산', '재래 가축 유전 자원 보전' 지향 								
한국원자력연구원, 전북농업기술원	<ul style="list-style-type: none"> • 국내에서는 전량 케나프 소재를 수입해 이용. 최근 바이오 소재 및 바이오 연료용으로 이용하기 위한 연구 진행 중 								
해양수산과학기술진흥원, 국립농업과학원	<ul style="list-style-type: none"> • 양식 어류에 이용될 곤충 기반 사료 개발은 일부 연구가 진행됨. 양돈 사료를 위한 곤충 기반 사료 연구가 진행되었으나, 단가와 가공, 최적화 등의 문제로 시장에서 활성화되지 못함 								
한국골프장사업협회	<ul style="list-style-type: none"> • 일반적으로 잔디 예지물은 사업장 폐기물로 분류되어 처리 비용 및 환경적인 부담이 발생하는데, 이를 재활용하여 사료 및 퇴비화할 수 있는 제도적 장치를 마련함 								

기술 트렌드 (미래선도품목)	현재	중기					장기				
	'21	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
고효율 재생 에너지	태양광	용액 공정 페로브스카이트	건식 공정 페로브스카이트 소재 및 탠덤 셀		건식 페로브스카이트 탠덤 모듈 및 대면적 장비 기술			건식 페로브스카이트 탠덤 대량 생산			
	풍력	일체형 블레이드	블레이드 Infusion용 열가소성 레진 / MW급 분리형 블레이드 체결 기술			분리형/리사이클링 풍력 블레이드					
	기타 소재	용매 전기방사/ Melt Blown 부직포	용매 Free melt 전기방사 열가소성 및 열경화성 수지 응용 소재		수소 전자-이차전지 분리막 소재		미래형 자동차 경량화 소재 /인체 삽입형 의료 소재				
미래선도 품목	건식공정용 페로브스카이트 소재	태양전지 셀 효율 25%	태양전지 셀 효율 30%		태양전지 셀 효율 35%						
	초대형 풍력발전용 분리형 블레이드	일체형 블레이드 68m급	분리형/리사이클링 블레이드 <100m급			분리형/리사이클링 블레이드 ≥100m급					
	고강도 복합 나노 섬유 및 공정 장비	양산 기술 미확보	직경: ≤1,000nm급 인장탄성계수: ≥100MPa			직경: ≤700nm급 인장탄성계수: ≥200MPa					
그린 수소 생산	음이온 교환막	음이온 교환막 수전해 스택			재생 에너지 연계 수전해 통합 시스템						
	고온 전해질 소재	차세대 고효율 P2G SOFC/EC 소재 /생산 기술		고효율 고내구성 고온 세라믹 전지 수소 생산-저장 실증 및 상용화 (MW class SOFC/EC 수소 생산-저장 P2G 실증)							
미래선도 품목	고 안정성 음이온 교환막 수전해 스택	음이온 교환막 (기초 원천 단계)	핵심 부품 스케일업 (유효 면적: 200cm ²)		재생 에너지 연계 고 안정성 음이온 교환막 수전해 스택 (수소 생산 밀도: 2.0A/cm ² , 셀 효율 77%)						
	초 고성능 세라믹 전해 전지	고효율 전해 전지 소재 (변환 효율: >90% 변환 성능: 2.0A/cm ² @1.3V)	차세대 세라믹 수전해 스택 (변환 효율: >90%, 변환 성능: 2.0A/cm ² @1.3V)		1MW급 수소 에너지 생산-저장용 Reversible SOFC/EC 시스템 (수소 생산량: 20Nm ³ /hour, 10kg.H/hour)						

61 건식 공정용 페로브스카이트 소재

품목명	건식 공정용 페로브스카이트 소재	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 상업용 태양전지인 페로브스카이트·실리콘 탠덤(적층형) 태양전지를 구현하기 위한 상부 셀 건식 공정에 이용되는 광 흡수층 페로브스카이트 소재 <p>※ 기존 소면적 25.5%* 효율 페로브스카이트 광 흡수층은 용액 공정으로 태양전지를 제작하기 위한 소재를 적용하고 있으며, 이를 대면적화하기 위한 건식 공정 및 장비 기술에 적용이 가능한 소재이다.</p> <p>* 단일 접합 페로브스카이트 태양전지(NREL cell efficiencies record)</p>		 <p>출처: https://www.econovill.com/news/articleView.html?idxno=500029</p>
핵심 요소 기술		<ol style="list-style-type: none"> (단기-중기) 건식공정용 소재 구현 기술 개발 (장기) 건식공정용 소재 대량 양산 및 대면적화 기술 개발 	
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 글로벌 결정질 실리콘 태양전지 제조 산업을 중심으로 기존의 상용화 설비에 지속적으로 활용할 수 있는 차세대 태양전지인 효율 30% 이상의 페로브스카이트·실리콘 탠덤 태양전지가 주목받고 있다. 과거 10년간의 경쟁에서 뒤처진 독일, 일본, 스위스, 미국 등도 시장 재진입을 위해 연구개발을 진행 중이다. 시장 규모 전망 전 세계 태양광 산업은 2021년 약 130GW 이상으로 빠르게 성장할 것으로 보인다. 국내 태양광 산업은 글로벌 태양광 제조 산업의 8%를 차지하며, 경쟁력 증대가 예상되며, 향후 글로벌 탄소중립으로 인한 보급도 확대될 전망이다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 상용화를 위한 탠덤 상부 셀용 페로브스카이트 소재 개발은 연구개발 단계이다. 특히 태양전지 상용화의 제조에서 필수적인 건식 공정용 페로브스카이트 소재 개발은 매우 미흡하다. 국내 페로브스카이트·실리콘 탠덤 태양전지 기술 개발 로드맵은 2028년까지 양산 셀 효율 30%, 2030년까지 35% 달성이다(면적: M6 사이즈 이상). 따라서 건식 공정용 페로브스카이트 소재 개발이 중요하다. 현재 대비 비교 기존 습식 공정용 소재와 이를 기반으로 한 실험실 규모의 습식 공정은 제조 라인에서 재현성 제어가 불가능하다. 따라서 탠덤 태양전지의 양산성 확보를 위한 건식 공정 구현을 위해서는 해당 공정에 최적화된 신규 소재 개발이 필수적이다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 건식 공정을 이용한 대면적 페로브스카이트 광 흡수층 결과에 대해 국내에서 보고된 바는 없다. 하지만, 글로벌 페로브스카이트 태양전지 기술을 선도하고 있으며, 반도체 원소재 및 부품 장비 기술력이 우수하여 조기 개발이 가능하다. 예상 소요 기간 건식 공정을 위한 소재·부품·장비 개발을 플래그십 형태로 진행할 경우, 5~6년이 소요될 것으로 예상된다. 	

62 초대형 풍력발전용 분리형 블레이드

품목명	초대형 풍력발전용 분리형 블레이드	구분	부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 고성능 접착 기술 및 설계·제작·신뢰성 평가 기술 확보를 통한 초대형 풍력터빈용 분리형 블레이드 	 <p>출처: https://thebluexpense.tistory.com/archive/201306?page=18</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 초대형 분리형 블레이드의 적용을 위한 고성능 접착 기술 및 복합 재료 개발 (중기) 초대형 분리형 블레이드 설계/제작 및 구조 신뢰성 평가기술 개발 (장기) 초대형 분리형 블레이드의 상용화 기술 개발 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 해의 선진 기업들 중심으로 기계적 체결 요소를 이용한 분리형 풍력 블레이드 기술이 연구개발 중이나, 아직 상용화 사례는 없다. 본 사업에서 추진하고자 하는 핵심 기술인 접착제 및 접착 기술을 이용한 분리형 블레이드는 연구개발 및 상용화 사례가 없다. 시장 규모 전망 세계 풍력 시장의 규모는 2026년에 1,600억 달러에 이를 것으로 전망된다. 세계 풍력 블레이드 시장 규모는 2025년에 130억 달러에 이를 것으로 예상된다. 분리형 블레이드는 현실적인 상용화를 달성하지 못한 기술이다. 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 해의 선진 기업의 경우, 블레이드 길이가 100m를 훨씬 넘는 초대형 풍력 블레이드를 개발하고 있다. 국내에서도 100m 길이의 블레이드를 개발하고 있다. 블레이드의 길이가 점차 길어짐에 따라 제작, 운송, 인증 시험, 조립 및 설치 등에 기술적인 한계가 나타날 것으로 보인다. 분리형 블레이드는 현실적인 상용화를 달성하지 못한 기술로, 독일과 덴마크를 중심으로 개발되고 있다. 기술적인 애로사항 해결과 관련 기술의 선제적 개발이 향후 풍력 시장을 선점하기 위한 필수 요건이다. 현재 대비 비교 현재 국내외에서 상용화가 완료된 블레이드 또는 개발 중인 초대형 블레이드는 대부분 일체형 블레이드로, 분리형 블레이드는 아직 적용된 사례가 없다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 현재 국내에서 상용화되었거나 개발 중인 블레이드는 일체형 블레이드이며, 블레이드의 설계, 제작, 인증 시험, 설치와 관련된 기술, 인력은 이미 확보되어 있다. 예상 소요 기간 분리형 블레이드 기술을 확보하기 위해 고성능 접착 기술, 설계·제작 및 구조 신뢰성 평가 기술, 상용화 기술 등을 개발하는데, 약 4~5년이 소요될 것으로 전망된다. 	

기술 수준

- 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국 대비 60% 수준

해외

- 건식 공정인 Evaporation 방법을 사용한 페로브스카이트 단일 접합 태양전지에서 세계 최고 효율 20.3%(0.1cm², 발렌시아 대학)를 달성했다.
- 건식 공정을 이용한 페로브스카이트 광 흡수층 개발은 대부분 2개의 소스를 사용한 Co-evaporation 방법이다.
- Evaporation용 페로브스카이트 소재는 연구개발 단계이며 양산화 개발이 필요하다.

Group (University)	Dual source thermal evaporation		Device structure	Active area (cm ²)	Efficiency (%)
	Organic source	Inorganic source			
Oxford	CH ₃ NH ₃ (MAI)	PbCl ₂	FTO/c-TiO ₂ /MAPbI _{3-x} Cl _x /Spiro-OMeTAD/Au	0.076	15.4
Valencia	CH ₃ NH ₃ (MAI)	PbI ₂	ITO/PEDOT:PSS/poly-TPD/MAPbI ₃ /PCBM/Au	0.065	14.8
Toledo	CH ₃ NH ₃ (MAI)	PbI ₂	ITO/C ₆₀ /MAPbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	0.08	14.9
Wuhan	CH ₃ NH ₃ (MAI)	PbI ₂	FTO/SnO ₂ /MAPbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Au	0.08	15.28
Toledo	CH ₃ NH ₃ (MAI)	PbI ₂	FTO/C ₆₀ /MAPbI ₃ /CuPc/Au	0.08	15.33
Valencia	CH ₃ NH ₃ (MAI)	PbI ₂	ITO/C ₆₀ /PhIm/C ₆₀ /MAPbI ₃ /TaTm/TaTm:F ₆ -TCNQ/Ag	0.1	20.3
Oxford	CH(NH ₂) ₂ (FAI)	PbI ₂	FTO/C ₆₀ /FAPbI ₃ /Spiro-OMeTAD/Ag	0.09	15.8

※ Co-evaporation 방법으로 제작된 페로브스카이트 태양전지

- Oxford PV는 최근 세계 최고 효율인 29.5%의 페로브스카이트·결정질 실리콘 탠덤 태양전지를 발표하였다. 유럽 투자은행 등으로부터 약 1,330억 원 규모의 투자를 유치하여 스위스 장비업체인 Meyer Burger와 합작으로 250MW급 페로브스카이트·결정질 실리콘 탠덤 태양전지 파일럿 라인을 구축 중이다. (페로브스카이트는 Evaporation 방법 적용, 상용 면적)

국내

- 국내에서는 고려대학교에서 에너지기술평가원 국책 과제를 통해 페로브스카이트 제작용 스퍼터링 공정 장비 개발을 수행했다. (스퍼터링용 페로브스카이트 타겟 사용)
- 국내 탠덤 태양전지는 서울대학교, 고려대학교, UNIST 등의 대학을 중심으로 활발한 연구개발이 이루어지고 있으며, 최근 26.7%가 보고되었다. (페로브스카이트는 용액법 적용, 0.188cm² 건식 공정 페로브스카이트를 활용한 탠덤 태양전지는 보고된 바 없다.

63 고강도 복합 나노 섬유 및 공정 장비(Solvent free)

품목명	고강도 복합 나노 섬유 및 공정 장비	구분	소재
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 고분자량을 갖는 고분자 소재를 활용하여 용매가 필요 없는 친환경 고강도 나노 섬유 	 <p>출처: https://www.chemidream.com/2580?category=450709</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (중기) 열가소성 고분자 활용 Solvent free Melt 전기방사 기술 개발 (장기) 열경화성 고분자 활용 이액형 복합 전기방사 기술 개발 (장기) 첨단 고부가가치 에너지, 항공우주, 바이오, 전자산업으로의 제품화를 위한 응용 기술 개발 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 나노 섬유는 기능적 특성으로 첨단 소재와 융합된 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 최근 고부가가치 산업으로 확대되어 높은 시너지를 창출하고 있다. 시장 규모 전망 세계 Melt 전기방사 시장의 규모는 2020년 712억 달러에서 연평균 성장률 8.8%로 2025년까지 1,100억 달러, 2030년까지 약 1,584억 달러에 이를 것으로 예상된다. (Market & Market 2020) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 잔존 유기 용매로 인하여 제한적으로만 사용되었던 고분자량 및 고물성의 소재인 이액형(PA6, PU 등) 및 단액형(PTFE, PVDF, PE 등)을 응용해 세계 최고 수준의 용융·고압 혼합 전기방사 원천 기술 개발 및 고강도 복합 나노 섬유 제조 기술을 확보할 수 있다. (지름 700nm급 이하, 인장 탄성 계수 200MPa 이상) 현재 대비 비교 고물성을 가지는 고분자량 고분자는 용매에 용융되지 않아 전기방사를 통한 나노 섬유 제조는 기초 연구 수준에 그치고 있다. 양산화를 통한 고부가가치 산업으로의 적용을 위해서는 새로운 전기방사방법이 반드시 개발되어야 한다. 	
	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 Solvent 이용 국내 나노 섬유 제조 기술은 세계 최고 수준이다. 그러나 앞으로 급성장이 예상되는 수소 산업, 항공우주 산업 및 고부가가치 의료기기 산업의 핵심 소재·부품 제조 기술의 핵심인 용융·고압 혼합 전기방사 원천 기술 확보는 일본, 미국 등에 비해 뒤처져 있다. 예상 소요 기간 해당 사업을 통하여 Solvent Free 용융·고혼합 전기방사 기반 고강도 복합 나노 섬유 제조 기술 연구를 5년 수행하고, 이후 2년 동안 중성자 차폐막 및 의료용 소재로의 상용화 추진을 통하여 고부가가치 핵심 소재·부품 제조 기술의 상용화가 가능할 것으로 기대한다. 	

국내외 연구 현황	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국 대비 90% 수준 	
	해외	<ul style="list-style-type: none"> 세계 풍력 기술은 에너지 효율 향상과 균등화 발전단가(LCOE)를 낮추기 위해 대형화와 해상화(12MW~14MW급의 해상풍력 모델 개발)를 중심으로 개발이 진행되고 있다. 초대형 블레이드는 일체형으로 개발되고 있으며, 향후 블레이드의 설계, 제작, 시험에 대한 기술적 한계를 극복하기 위해 분리형 블레이드와 관련된 기술을 개발할 것으로 전망된다. 	
		General Electric (미국)	<ul style="list-style-type: none"> 개발 모델: Haliade X-12MW(IEC-IB) 출력: 12MW(상용화 전 단계이며, 현재 14MW 모델 개발 중) 허브 높이: 260m / 로터 지름: 220m
		Vestas(덴마크)-Mitsubishi Heavy Industries(일본)	<ul style="list-style-type: none"> 개발 모델: V236-15.0 MW(IEC-S) 출력: 15MW(개발 중) 허브 높이: Site-specific / 로터 지름: 236m
	국내	<ul style="list-style-type: none"> 국내 풍력 기술 연구는 대규모 해상풍력발전단지 개발과 상용단지 적용을 위한 초대형 모델에 초점이 맞추어져 있다. 특히, 두산중공업과 유니슨을 중심으로 8MW/10MW 풍력발전 시스템이 개발되고 있으며, 향후 분리형 블레이드에 대한 니즈가 있을 것으로 기대된다. 	
		두산중공업	<ul style="list-style-type: none"> 개발 모델: DS205-8MW 출력: 8MW(개발 중) 허브 높이: 130m / 로터 지름: 205m
유니슨		<ul style="list-style-type: none"> 개발 모델: 8~10MW 모델 출력: 8~10MW(개발 중) 허브 높이: 130m / 로터 지름: 209m 	

64 고 안정성 음이온 교환막 수전해 스택

품목명	고 안정성 음이온 교환막 수전해 스택	구분	부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> ● 낮은 부하 범위에서 운전이 가능하고, 빠른 응답성이 있는 재생 에너지와의 연계에 최적화된 고안정성 하이브리드 복합막 수전해 스택 ※ 음이온 교환 유무기 하이브리드 복합막 기반 수전해 스택 	 <p>출처: https://cen.acs.org/business/Evonik-develops-membrane-hydrogen-electrolysis/98/125</p>	
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> 1 음이온 교환막 소재 개발 기술 2 전극 및 하이브리드 복합막 개발 기술 3 수전해 스택 제작 기술 		
중요성	미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> ● 글로벌 산업 동향 재생 에너지원 보급 확대에 따라 수전해 기술로 변동성이 큰 재생 전력을 안정화하고, 이용률을 높이는 Power-to-gas(P2G) 기술이 전 세계적으로 관심을 받고 있다. 특히, 재생 전력의 미 이용분을 대용량, 장주기로 저장할 수 있다는 점에서 기존의 배터리 시스템과 차별된다. ● 시장 규모 전망 세계 수전해 시장의 규모는 연평균 성장률 7.58%로, 2025년까지 약 1조 원에 이를 것으로 예상된다. 국내 수소 산업의 경우 2030 정책을 비롯한 재생 전력 보급 확대 정책에 따라, 수소 기반 에너지 저장 산업(Power to Gas, P2G)의 발전이 예상된다. (INL Market research future, Global Water Electrolysis Market Research Report 2019, Global Power-to-Gas Market, 2020) 	
	기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기술 혁신 내용 음이온 교환 하이브리드 복합막 수전해 기술의 경우 높은 차압 성능과 승온 안정성 향상으로 부하 변동에 보다 안정적으로 대응할 수 있으며, 경제성과 생산성 측면에서 강점을 지녔다. 기계적 강도가 뛰어난 다공성 지지체와 친수성 입자의 도입으로 치수 안정성, 높은 수소 투과도, 낮은 이온 전도성 등 기존의 수전해 분리막의 한계를 극복할 수 있다. ● 현재 대비 비교 기존의 PEM 수전해의 응답성 및 운전의 용이성과 알칼라인 수전해의 저렴한 소재 활용이라는 장점이 결합된 차세대 수전해 기술이다. 비귀금속계 촉매 사용으로 수전해 장치의 비용을 절감, 수전해 기술의 가격 경쟁력을 향상할 수 있다. 	

국내외 연구 현황	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국, 일본) 대비 60% 수준 	
	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 기존 Solvent 전기방사 기술은 미국에서 기술을 선점하여 고가의 장비를 판매하고 있으며, 생산 기술에 대한 관련 특허를 보유하고 있다. (Elmarco, 체코) 	
		<table border="1"> <tr> <td>DuPont(미국)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 용융 방사에 의한 나노 섬유 제조 기술로 고속 회전식 분배 • 디스크를 활용하여 나노 섬유 제조 기술 보유(열가소성 소재) </td> </tr> </table>	DuPont(미국)
	DuPont(미국)	<ul style="list-style-type: none"> • 용융 방사에 의한 나노 섬유 제조 기술로 고속 회전식 분배 • 디스크를 활용하여 나노 섬유 제조 기술 보유(열가소성 소재) 	
국내	<ul style="list-style-type: none"> ● 최근 국내에서도 Solvent를 이용한 전기방사 기술을 활용한 응용 연구가 많은 대학 및 기업 연구소에서 발표되고 있다. 주로 미세먼지 및 COVID-19 차단을 위한 마스크에 적용한 연구가 보고되고 있다. 		
	<table border="1"> <tr> <td>한국생산기술연구원</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 용융 전기방사에 의해 구현된 활성탄소 섬유 및 제조 방법 </td> </tr> </table>	한국생산기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 용융 전기방사에 의해 구현된 활성탄소 섬유 및 제조 방법
	한국생산기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> • 용융 전기방사에 의해 구현된 활성탄소 섬유 및 제조 방법 	
<table border="1"> <tr> <td>전북대학교</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 유도 가열기를 이용한 용융 전기방사 장치 </td> </tr> </table>	전북대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 유도 가열기를 이용한 용융 전기방사 장치 	
전북대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 유도 가열기를 이용한 용융 전기방사 장치 		

65 초고성능 세라믹 전해 전지

품목명	초고성능 세라믹 전해 전지	구분	소재/부품
품목 개요	<ul style="list-style-type: none"> 전력의 수소 에너지화를 위한 고효율·고내구성의 세라믹 전해 전지의 전해질·전극 소재 및 셀·스택 ※ 초고성능 전해질 기반의 차세대 세라믹 전해 전지 셀·스택 구성을 위한 전해질·전극·촉매 소재, 공정, 셀·스택 부품 		 <p>출처: https://newsis.com/view/?id=NISX20201223_001280329&clD=10812&pID=10800</p>
핵심 요소 기술	<ol style="list-style-type: none"> (단기) 전해질·전극·촉매 소재 개발 및 고성능 단전지 제조 기술 개발 (중기) 초고성능 고온 세라믹 전해 전지 셀 개발 (장기) 초고성능 세라믹 전해 전지 kW급 스택 개발 		
미래 유망성	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 산업 동향 세계적으로 각국의 수소 경제 활성화와 탄소중립 정책의 이행에 따라 그린 수소 생산 분야가 급격하게 성장하고 있다. 특히 2030년 전 세계 13조 이상의 고온 수전해(SOEC) 시장 전망에 따라 주요 핵심 소재·부품 산업의 고도화와 첨단화가 필요하다. 한화, SK, 현대차 등 국내 글로벌 기업의 ESG(환경·사회·지배 구조) 경영이 가속화됨에 따라 수소 에너지 분야의 지속적 성장과 높은 미래 가치를 확보할 것으로 보인다. 시장 규모 전망 정부의 수소 경제 활성화 및 탄소중립 정책 이행에 따라 2040년 연간 526만 톤의 수소 수요가 필요하다. 글로벌 수소 산업은 2050년, 연 2.5달러의 부가가치, 연간 70조 원의 경제 효과와 60만 명의 고용 효과를 가져오는 거대 시장이 형성될 전망이다. (맥킨지 2018, 수소로드맵 2019) 		
기술 혁신성	<ul style="list-style-type: none"> 기술 혁신 내용 음이온 기반 전도성 세라믹 소재를 사용하는 고온 수전해는 타 수전해보다 효율이 높다. 특히, 결정 구조가 제어된 고이온 전도성 세라믹 소재는 기존보다 월등히 높은 효율과 고온 작동에서 발생하는 내구성 문제를 개선할 수 있다. 고효율·고내구성의 고온 수전해 기술 구현은 상전이 열화가 없고 이온 전도성이 높은 전해질 소재 개발을 통해 가능하다. 상전이 유연 형식 구조 제어 소재나 결정 구조 제어 페로브스카이트계 소재 적용은 내구성과 성능 측면에서 진일보한 기술이다. 현재 대비 비교 결정 구조 제어 초이온 전도성 세라믹 전해질 소재는 종래의 8YSZ 코팅막 기반 셀보다 높은 내구성과 음이온 전달 특성으로 고전압·고전류 운전이 가능하다. 국내에서는 기존 SOFC 기술만 활용하고 있으며 전해질 개발 이력은 없다. 		

해외 전	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 역량 음이온 교환막 수전해 스택 기술은 현재, 원천 소재 개발 단계이나 유사한 전극 소재와 시스템을 활용하는 알칼라인 수전해 기술에 대한 연구개발이 다양한 국가 과제를 통해 수행되었다. 이를 기반으로 하여 분리막 소재에 대한 연구개발이 진행된다면 기존의 인프라를 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 예상 소요 기간 국내에서 음이온 교환 하이브리드 복합막 수전해 스택의 연구개발이 진행된다면 5년 이내에 수전해용 음이온 교환 하이브리드 복합막에 대한 소재 개발과 더불어 10년 이내에 유효 면적 200cm² 이상, 수소 생산 효율 78% 이상의 차세대 수전해 스택을 개발할 수 있을 것으로 기대한다. 					
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국, 일본, 독일) 대비 60% 수준 					
국내 외	해외	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 음이온 교환막 분야의 기술은 일본, 독일 등 해외 기업이 주도하고 있다. <table border="1"> <tr> <td>Tokuyama(일본)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 개발 중인 음이온 교환막의 이온 교환 성능은 상용화 수준에 근접하였으나, 대표적인 양이온 교환막(Nafion)에 비해 안정성이 낮음(A201, A901) </td> </tr> <tr> <td>Fuma-Tech(독일)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 불소계 음이온 교환막(Fuma sepFAB) 개발 </td> </tr> </table>	Tokuyama(일본)	<ul style="list-style-type: none"> 개발 중인 음이온 교환막의 이온 교환 성능은 상용화 수준에 근접하였으나, 대표적인 양이온 교환막(Nafion)에 비해 안정성이 낮음(A201, A901) 	Fuma-Tech(독일)	<ul style="list-style-type: none"> 불소계 음이온 교환막(Fuma sepFAB) 개발 	
	Tokuyama(일본)	<ul style="list-style-type: none"> 개발 중인 음이온 교환막의 이온 교환 성능은 상용화 수준에 근접하였으나, 대표적인 양이온 교환막(Nafion)에 비해 안정성이 낮음(A201, A901) 					
	Fuma-Tech(독일)	<ul style="list-style-type: none"> 불소계 음이온 교환막(Fuma sepFAB) 개발 					
국내	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 한화솔루션, 단국대학교, 에너지(연), 화학(연) 등이 음이온 교환막과 수전해 시스템을 개발하고 있다. 현재는 기술 개발 단계로, 원천 소재에 대한 개발이 주를 이루고 있으며, 아직 상용화 단계에는 이르지 못했다. <table border="1"> <tr> <td>에너지(연)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 고효율 음이온 교환막 기반의 수전해 셀 조립 및 성능 평가 기술 개발 수전해용 박막 복합 분리막 및 유-무기 하이브리드 나노 복합 소재 개발 </td> </tr> <tr> <td>화학(연)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 연료전지용 탄화수소계 음이온 교환막 소재 개발 (OH⁻conductivity: 77 mS/cm, 25°C) </td> </tr> <tr> <td>단국대학교</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 과불소계 음이온 교환막 소재 개발 및 성능 평가 </td> </tr> </table>	에너지(연)	<ul style="list-style-type: none"> 고효율 음이온 교환막 기반의 수전해 셀 조립 및 성능 평가 기술 개발 수전해용 박막 복합 분리막 및 유-무기 하이브리드 나노 복합 소재 개발 	화학(연)	<ul style="list-style-type: none"> 연료전지용 탄화수소계 음이온 교환막 소재 개발 (OH⁻conductivity: 77 mS/cm, 25°C) 	단국대학교	<ul style="list-style-type: none"> 과불소계 음이온 교환막 소재 개발 및 성능 평가
에너지(연)	<ul style="list-style-type: none"> 고효율 음이온 교환막 기반의 수전해 셀 조립 및 성능 평가 기술 개발 수전해용 박막 복합 분리막 및 유-무기 하이브리드 나노 복합 소재 개발 						
화학(연)	<ul style="list-style-type: none"> 연료전지용 탄화수소계 음이온 교환막 소재 개발 (OH⁻conductivity: 77 mS/cm, 25°C) 						
단국대학교	<ul style="list-style-type: none"> 과불소계 음이온 교환막 소재 개발 및 성능 평가 						

세계적 연구 동향	실현 가능성	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 기술 역량 결정 구조의 제어로 전기 화학적 특성 맞춤 설계와 고온 내구성 확보 등으로 산업 분야에 적용 가능한 실용적 전해질·전극 신소재 개발은, 기초적인 노력과 함께 새로운 세라믹 공정 생산 인프라를 적용하는 기술적 노력이 장기간 융합되어야 하므로 진입 장벽이 높다. 국내에서는 일부 대학에서 기초 단계 연구에 머물러 있다. 국내에서 연구된 고성능의 새로운 촉매 기술 개발은 세계적 수준의 논문 발표로 이어지고 있으나, 국내 세라믹 생산 공정과 그에 맞는 전해질 적용에는 기술적인 한계가 있다. 현재 국내 세라믹 전해 전지 기술은 고체 산화물 연료전지 1세대 기술을 활용하고 있다. 하지만 해외 기술 유입이 심화되고 있어, 차세대 고성능 전해 전지 기술 개발이 필요한 상황이다. ● 예상 소요 기간 해당 소재 기술을 발굴하고 첨단 생산 기술에 적용하여 셀·스택을 구현하기까지 소재와 부품별 주요 요소 기술을 분류하고, 단계적으로 추진할 경우 6~7년 이내 세계 수준의 독자적인 소재 부품 생산 기술 확보를 기대할 수 있다. 							
	기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> ● 선도국 대비 기술 수준 : 세계 최고 기술 보유국(미국, 독일) 대비 50% 수준 							
국내의 연구 내용	해외	<ul style="list-style-type: none"> ● 고온 세라믹 수전해 전지 분야에 대한 기술은 전해질 지지형 셀을 사용하는 독일의 Sunfire가 주도하고 있다. 전극 지지형이나 금속 지지형 등 차세대 고성능 세라믹 전해 전지 기술은 미국과 유럽에서 주로 개발되고 있다. ● 현재 미국의 블룸 에너지, 영국의 세레스파워 등 해외 선진 기업의 고체 산화물 연료전지·수전해 기술이 국내 시장에 유입되고 있으며, 국내 시장 독점이 가속화되고 있다. ※ 주요 제조기업: Bloom Energy(미국), Sunfire(독일), Fuel Cell Energy(미국), OxEon Energy(미국), Haldor Topsoe(덴마크), Solid Power(이탈리아) 등 							
		<table border="1"> <tr> <td>Sunfire(독일)</td> <td>• 150kW급 시스템 개발, 전해질 지지형 셀, 전류 밀도 (0.5 A/cm² @1.3V, 800°C)</td> </tr> <tr> <td>Fuel Cell Energy(미국)</td> <td>• DOE Project를 통하여 초고성능 연료극 지지형 셀 개발 (3 A/cm² @1.5V, 750°C)</td> </tr> <tr> <td>Solid Power(이탈리아)</td> <td>• 고온 세라믹 전해 스택을 10,000시간 이상 장기 운전 (열화율 0.5 %/kh @ 0.5 A/cm², 750°C)</td> </tr> </table>	Sunfire(독일)	• 150kW급 시스템 개발, 전해질 지지형 셀, 전류 밀도 (0.5 A/cm ² @1.3V, 800°C)	Fuel Cell Energy(미국)	• DOE Project를 통하여 초고성능 연료극 지지형 셀 개발 (3 A/cm ² @1.5V, 750°C)	Solid Power(이탈리아)	• 고온 세라믹 전해 스택을 10,000시간 이상 장기 운전 (열화율 0.5 %/kh @ 0.5 A/cm ² , 750°C)	
		Sunfire(독일)	• 150kW급 시스템 개발, 전해질 지지형 셀, 전류 밀도 (0.5 A/cm ² @1.3V, 800°C)						
	Fuel Cell Energy(미국)	• DOE Project를 통하여 초고성능 연료극 지지형 셀 개발 (3 A/cm ² @1.5V, 750°C)							
	Solid Power(이탈리아)	• 고온 세라믹 전해 스택을 10,000시간 이상 장기 운전 (열화율 0.5 %/kh @ 0.5 A/cm ² , 750°C)							
<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 주요 연구기관과 대학교를 중심으로 세라믹 전해 전지 개발이 진행되었으나 실험실 규모이다. 신소재 적용이 가능한 첨단 생산 공정 연동 기술과 전해질 기반 수전해 전지의 초고성능 확보를 위한 차세대 셀·스택 개발은 미흡하다. 									
국내	<table border="1"> <tr> <td>한국가스공사</td> <td>• 수소 생산 인프라 구축(저온형 수전해 실증과제 수행)</td> </tr> <tr> <td>한국세라믹기술원</td> <td>• AI 연동 전해질 지지 기반의 고성능 단위 전지 생산 기술 개발 중</td> </tr> <tr> <td>한국에너지기술연구원</td> <td>• 다부처 사업으로 '양방향 수전해 기술 개발'이 진행되었으나, 내부 저항이 높은 음극 지지체 평관형을 채용하여, 성능 향상에 한계가 있다.</td> </tr> <tr> <td>한국과학기술연구원, 포항산업과학연구원</td> <td>• 연료극 지지형 세라믹 전해 전지 셀·스택 기술 개발 중</td> </tr> </table>	한국가스공사	• 수소 생산 인프라 구축(저온형 수전해 실증과제 수행)	한국세라믹기술원	• AI 연동 전해질 지지 기반의 고성능 단위 전지 생산 기술 개발 중	한국에너지기술연구원	• 다부처 사업으로 '양방향 수전해 기술 개발'이 진행되었으나, 내부 저항이 높은 음극 지지체 평관형을 채용하여, 성능 향상에 한계가 있다.	한국과학기술연구원, 포항산업과학연구원	• 연료극 지지형 세라믹 전해 전지 셀·스택 기술 개발 중
	한국가스공사	• 수소 생산 인프라 구축(저온형 수전해 실증과제 수행)							
	한국세라믹기술원	• AI 연동 전해질 지지 기반의 고성능 단위 전지 생산 기술 개발 중							
	한국에너지기술연구원	• 다부처 사업으로 '양방향 수전해 기술 개발'이 진행되었으나, 내부 저항이 높은 음극 지지체 평관형을 채용하여, 성능 향상에 한계가 있다.							
한국과학기술연구원, 포항산업과학연구원	• 연료극 지지형 세라믹 전해 전지 셀·스택 기술 개발 중								

참여 연구진

발굴 TF 위원 명단

주관 기관	분야	이름	소속	직위	주관 기관	분야	이름	소속	직위
한국산업기술평가관리원	반도체	권기청	광운대학교	교수	한국재료연구원	미래소재	이상관	한국재료연구원	본부장
		이현권	금오공과대학	교수			하한필	KIST	본부장
		이홍	이오테크닉스	프로			엄낙웅	ETRI	연구위원
		김형준	한국과학기술원	소장			윤성철	한국화학연구원	본부장
		정봉용	한국산업기술평가관리원	세라믹PD			임창동	한국재료연구원	센터장
	디스플레이	문대규	순천향대학교	교수			송재용	한국표준과학연구원	소장
		이정익	한국전자통신연구원	부장			오승탁	서울과학기술대학교	교수
		이중찬	네페스	상무			김양도	부산대학교	교수
		이상진	한국디스플레이협회	본부장			전홍재	연세대학교	교수
		주병권	고려대학교	교수			최영진	세종대	교수
		김현재	연세대학교	교수			강남석	LG 전자	신소재 TP 리더
		이정노	한국전자기술연구원	수석			한정석	(주)코오롱	이사
		김영우	한국광기술원	본부장			김준형	SK 이노베이션	Coating Platinum 리더
	전기전자	이명현	한국세라믹기술원	본부장			이영국	한국연구재단	소재·부품 단장
		엄지용	한국자동차연구원	수석			한정우	KEIT	화학 PD
		임재홍	가천대학교	교수	김연배	IITP	PM		
		한중탁	한국전기연구원	센터장	최성호	IITP	PM		
		김경환	KCC	이사	오윤제	IITP	PM		
		윤중한	신라대학교	교수	강성원	ETRI	소장		
		이상복	재료연구소	실장	이규복	KETI	부원장		
		송준호	한국산업기술평가관리원	이차전지PD	방승찬	ETRI	소장		
	자동차	정선경	한국자동차연구원	본부장	민형석	삼성전자	수석		
		윤형준	현대자동차	팀장	이문규	서울시립대	교수		
		이민성	(주)휴비스	수석	김정현	한양대	교수		
		정정설	한국융합시험연구원	센터장	이상민	웨이비스	전무		
		송정한	한국생산기술연구원	수석	현성규	코위버	전무		
		김주현	중앙대학교	교수	유준상	오이솔루션	상무		
		이평찬	한국자동차연구원	책임	김형주	한화시스템	상무		
		윤석한	한국산업기술평가관리원	섬유PD	이진석	XMW	대표		
	기계금속	서재형	한국산업기술평가관리원	자율차PD	오정석	서울대	교수		
		오승탁	서울과학기술대학교	교수	김지훈	서울과기대	교수		
		홍현욱	창원대학교	교수	김복원	DEEPIX	대표		
		양치훈	건설기계부품연구원	본부장	백용순	ETRI	본부장		
		이창우	한국기계연구원	본부장	변우진	ETRI	본부장		
		이광석	재료연구소	부장	안광호	KETI	센터장		
		송영석	세아특수강	수석	이대훈	(주)씨젠	상무이사		
		김형섭	POSTECH	교수	김재상	이화여자대학교	교수		
	그린에너지	정우용	두산인프라코어	부장	박소라	인하대학교	교수		
		이준석	한국산업기술평가관리원	로봇PD	이상호	제주대학교	교수		
		강상규	광주과학기술원	교수	김석중	(주)톨젠	연구소장		
		윤재호	한국에너지기술연구원	단장	전진영	(주)대상	과장		
		김창희	한국에너지기술연구원	단장	박주연	(주)비타믹스	대표		
		이상일	군산대학교	교수	임용표	충남대학교	교수		
		문상진	두산퓨얼셀	박사	이대성	국립해양생물자원관	실장		
		이기학	두산중공업	책임	김선원	경상대학교	교수		
한국생명공학연구원	김경민	한국지역난방공사	책임연구원	허호길	광주과기원	교수			
	이광호	한국에너지기술평가원	원자력PD	김희택	한국화학연구원	연구원			

검토 TF 위원 명단

분야	이름	소속	직위	분야	이름	소속	직위
반도체	정종완	세종대학교	교수	그린에너지	방형준	한국에너지기술연구원	실장
	이병훈	포항공대	교수		김정훈	한국화학연구원	책임연구원
	안진호	한양대학교	교수		강상규	GIST	교수
	김용탑	SK 하이닉스	팀장		정진우	동국대학교	교수
	이세훈	한국재료연구원	책임연구원		홍근기	신성이엔지	부장
	박재근	한양대학교	교수		이해석	고려대학교	교수
	권장혁	경희대학교	교수		송승호	광운대학교	교수
	박경우	LG디스플레이	책임연구원		권이균	공주대학교	교수
디스플레이	김영우	한국광기술연구원	본부장	미래소재	강충석	중소기업기술정보진흥원	화학전자소재PM
	한철중	한국전자기술연구원	센터장		김민선	한국생산기술연구원	수석연구원
	문대규	순천향대학교	교수		정인희	금오공과대학교	교수
	김도형	포스코케미칼	상무		이현정	국민대학교	교수
전기전자	유지상	한국전자기술연구원	센터장	이상관	한국재료연구원	본부장	
	조은애	KIAST	교수	김시호	연세대학교	교수	
	이명현	한국세라믹기술원	수석연구원	백용순	ETRI	본부장	
	정경윤	KIST	단장	장항배	중앙대학교	교수	
	윤종락	삼화콘덴서	연구소장	임태범	한국전자기술연구원	본부장	
	황인욱	ETRI	선임	한상국	연세대학교	교수	
	정재경	한양대학교	교수	강승택	인천대학교	교수	
	정선경	한국자동차연구원	본부장	정연욱	성균관대학교	교수	
자동차	민경덕	서울대학교	교수	류고은	SK텔레콤	매니저	
	김병우	울산대학교	교수	바이오	심현주	전북대학교	교수
	김성주	효성기술원	팀장		박윤정	서울대학교	교수
	허건수	한양대학교	교수		김종균	유한양행	상무
오승탁	서울과학기술대학교	교수	김해영		경희대학교	교수	
기계금속	이효수	한국생산기술연구원	수석연구원	임용표	충남대학교	교수	
	이재중	한국기계연구원	연구위원				
	한승전	한국재료연구원	책임연구원				
	김대현	서울과학기술대학교	교수				
권동일	서울대학교	교수					

소재·부품·장비 미래선도품목

발행 : 2021년 7월

인쇄 : 2021년 7월

발행처 : 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원

인쇄처 : 주식회사 동진문화사(02-2269-4783)

※ 보고서의 내용에 문의사항이 있는 경우 아래로 연락주시기 바랍니다.

※ 사전 동의 없이 내용의 일부 또는 전부를 무단 전재하거나 복제하는 것을 금합니다.

과학기술정보통신부 과학기술혁신본부

과학기술정책국 성장동력기획과

- 주소 : 세종특별자치시 가름로 194(어진동)

- 담당자 : 우용익(044-202-6756)

박태영(044-202-6755)

한국과학기술기획평가원 정책기획본부

미래성장정책센터

- 주소 : 충청북도 음성군 맹동면 원중로 1339

- 담당자 : 정선민 부연구위원(smjung87@kistep.re.kr)

- 전화 : 043-750-2567