

TREND

2023년 전략 기술 동향과  
산업의 변화

1

Vol. 112  
JANUARY 2023

NEW TECHNOLOGY  
OF THE MONTH

# 이달의 신기술

올해의 산업혁신기술상

AI 기반 완벽 구현, 차별화된 자율주행 기술의  
핵심을 만든다\_ ㈜에이치엠블래무브

REPORT

반도체산업에 요구되는 온실가스 배출량 감소  
플라즈마를 이용한 배출 저감 기술 및 적용 확대



9 772288 490002 ₩6,000  
ISSN 2288-4904

COLUMN

한국 반도체산업의  
현주소 및 나아갈 방향



기술을 통한 위기 극복과 성장  
**AI 잠재력 끌어낼**  
**새로운 시각 요구**



# CONTENTS

## SPECIAL

- 04 COLUMN  
한국 반도체산업의  
현주소 및 나아갈 방향
- 10 REPORT  
반도체산업에 요구되는 온실가스 배출량 감소  
플라즈마를 이용한 배출 저감 기술 및 적용 확대
- 34 카툰  
반도체



- 36 올해의 산업혁신기술상\_ (주)에이치엘클레무브  
AEB 기능 완벽 구현,  
차별화된 자율주행 기술의 핵심을 만든다
- 40 이달의 기술  
송실대학교 산학협력단, 에이엠텔레콤(주),  
(주)에코앰파트너스, (주)이노시뮬레이션,  
(주)토룩
- 50 R&D 프로젝트\_ (재)부산테크노파크  
산학연 산업생태계 선순환을 위한  
파워반도체 클러스터



# JANUARY

- 54 R&D 기업\_큐알티(주)  
더 이상의 반도체 신뢰성 이슈는 없다
- 58 R&D 인터뷰\_정인성 작가  
격화되는 반도체 전쟁, 가야 할 길은 어디인가?
- 62 TREND  
2023년 전략 기술 동향과 산업의 변화



- 70 CLUB  
성균관대학교 CRUD
- 74 SPOT  
국립한글박물관
- 78 R&D 관련 구인 및 구직
- 80 NEWS



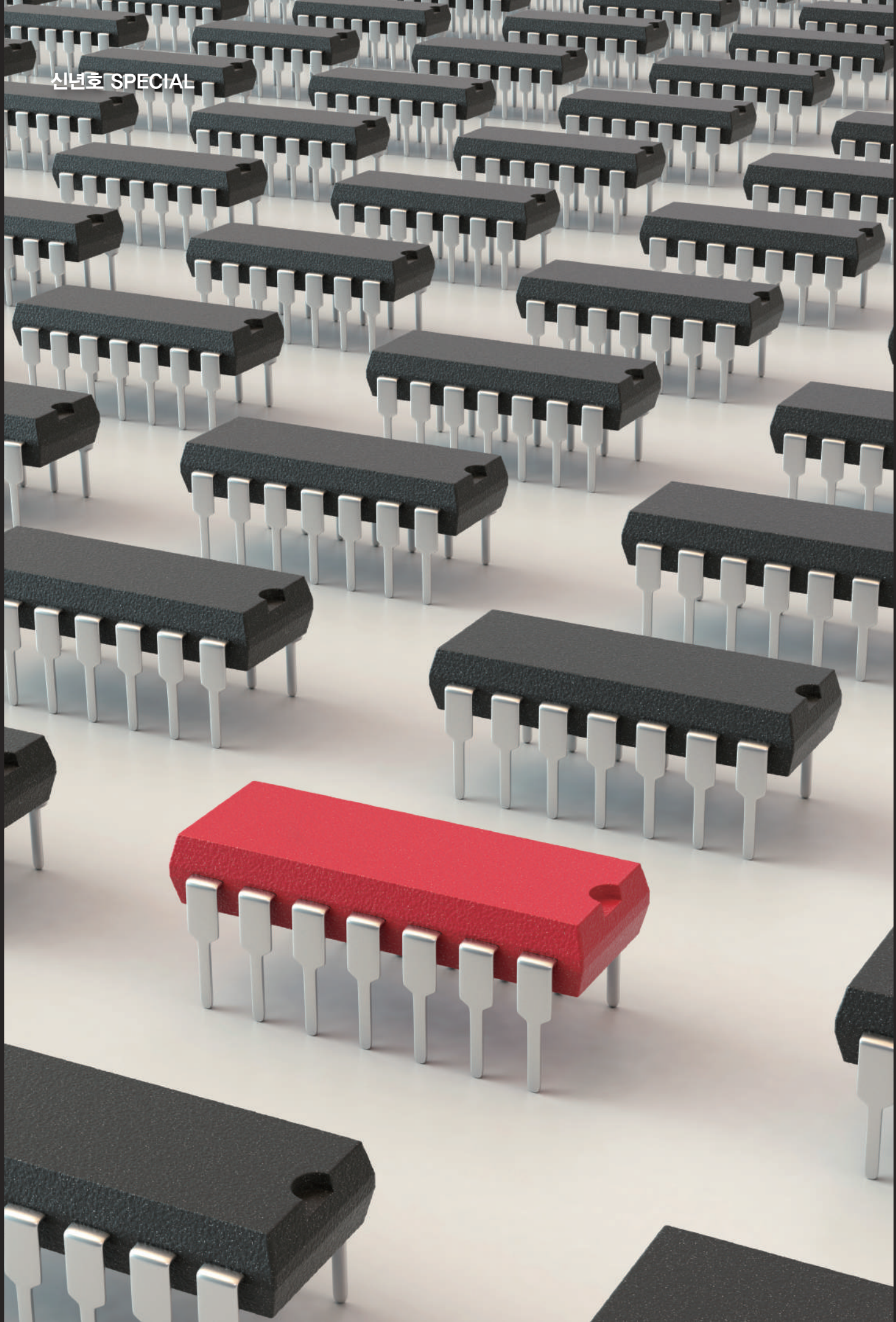
등록일자 2013년 8월 24일 발행일 2022년 12월 31일  
발행인 한국산업기술평가관리원 원장 전윤중  
발행처 한국산업기술평가관리원, 한국산업기술진흥원, 한국에너지기술평가원, 한국공학한림원  
주소 대구광역시 동구 첨단로 8길 32(신서동) 한국산업기술평가관리원  
후원 산업통상자원부  
편집위원 산업통상자원부 김종주 과장, 임태섭 서기관, 신홍섭 사무관, 이영열 사무관,  
김선영 사무관, 고운정 사무관, 김경아 주무관, 유유미 주무관  
한국산업기술평가관리원 강기원 본부장, 장종찬 단장, 이수갑 팀장  
한국산업기술진흥원 김정욱 본부장, 박천교 단장, 김진하 팀장  
한국에너지기술평가원 이성주 본부장  
한국산업기술문화재단 곽진철 부이사장  
한국공학한림원 남상욱 사무처장

편집 및 제작 한국경제매거진 (02-360-4859)  
인쇄 ㈜영남프린텍 (053-964-1700)  
구독신청 02-360-4859 /  
chojh@hankyung.com  
문의 한국산업기술평가관리원 (053-718-8251)  
잡지등록 대구동, 라00026

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



신년호 SPECIAL





# SEMICONDUCTOR

COLUMN

한국 반도체산업의  
현주소 및 나아갈 방향  
경쟁국 수준에 상응하는  
인프라 구축

REPORT

반도체산업에 요구되는 온실가스 배출량 감소  
플라즈마를 이용한  
배출 저감 기술 및 적용 확대

카툰으로 보는 반도체





**이창한**  
[한국반도체산업협회  
상근 부회장]

# 한국 반도체산업의 현주소 및 나아갈 방향

## 경쟁국 수준에 상응하는 인프라 구축

코로나 팬데믹으로 인한 비대면 수요 증가와  
지능화 기기 다양화, 자동차의 진화 등으로  
발현된 반도체 신규 수요는 공급이 도저히 따라갈  
수 없을 만큼 폭발적인 증가세를 보이고 있다.  
반도체가 없어 제품을 생산하지 못하는 기업은  
발을 동동 구르며 정부에 대책을 요구할 정도다.

## 미래 기술 혁신 주도하는 반도체

‘산업의 쌀’로 불리는 반도체는 일상생활에서 밀  
접하게 사용하는 TV, 컴퓨터, 스마트폰, 자동차  
와 같은 대부분의 전자기기에 활용된다. 더 나아  
가 지능화 산업시대에는 반도체의 중요성이 더  
욱 커지고 있으며, 미래 기술 혁신의 중심에는 반  
도체가 있다. 미래 기술사회를 대표하는 인공지  
능(AI), 로봇, 사물인터넷(IoT) 등을 실현하려면  
반도체의 지능화·고성능화·저전력화·소형화가  
필수적이다. 그야말로 반도체는 지능화 산업시  
대를 견인하는 동력 그 자체다. 반도체 없이는 어  
떤 전자제품도 만들 수 없으므로 전 산업에 걸쳐



반도체의 영향력은 더욱 확대되고 있다. 따라서  
반도체산업은 그 자체로 고부가가치임과 동시에  
자동차, 가전, 바이오, 로봇, 에너지 등 타 산업  
과의 융합과 확산을 통해 새로운 미래 먹거리를  
끊임없이 창출하고 있다.





### 안보와 경제의 핵심으로 떠오른 반도체

최근 많은 국가가 반도체산업을 국가안보 차원으로 인식하면서 반도체는 단순한 산업을 넘어 각국의 안보와 경제의 핵심이 되는 전략 자산으로 급부상하고 있다. 5G, 빅데이터 등 첨단 기술

분야에서 반도체는 미래의 경제와 군사 패권 향방을 결정하는 핵심적 요소다. 첨단 기술 주도권을 확보하는 국가는 새로운 국제질서를 지배할 수 있는 힘을 얻게 되므로 반도체를 기반으로 한 첨단 기술 패권 경쟁이 시작된 것이다. 특히 코로나 팬데믹, 자연재해로 인한 수요 급변 등의 영향으로 공급망 교란을 겪으면서 각국은 반도체 공급망의



효율성뿐만 아니라 안정성과 회복력에 집중하기 시작했다. 또한 반도체 공급망 전문화와 분업화가 심화하면서 이는 국가안보 및 산업 생태계에 큰 위협으로 대두됐다. 이에 따라 미국과 중국을 비롯한 세계 주요국은 인센티브 정책 수립과 대대적인 산업지원을 추진하며 미래 국익을 좌우할 반도체 기술 주권을 사수하는 데 집중하는 모습을 보이고 있다.

### 반도체산업 정책의 부활

반도체산업 정책이 무한경쟁 시대에 돌입했다. 미국, 중국, 일본 등은 자국 내 반도체 생산 역량을 강화하기 위해 국가의 개입을 강화하는 산업 정책으로 방향을 재정비하면서 국가 차원의 대규모 투자를 단행하고 있다. 이제는 기업 간 경쟁을 넘어 정부가 적극적인 산업 정책으로 기업 활동을



미래 핵심  
기술에 요구되는  
반도체



#### 자동차

- 초고성능 차체 제어 반도체
- 초고성능·초저전력 자율주행 지원 반도체
- 초고속·고성능 통신 네트워크 반도체



#### 가전

- 다기능 센서 융합 반도체
- 초저전력 센서 인터페이스·보안 반도체
- 초고속·초저전력 네트워크 반도체



#### 첨단기계·로봇

- 초저전력 로봇 구동용 반도체
- 초고속 로봇 충돌 방지·안전용 반도체
- 고성능 로봇 이동용 반도체



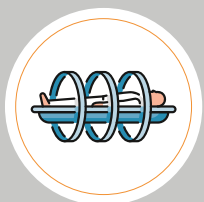
#### 에너지

- GaN 전력소자
- 고효율 SiC · 고효율 IGBT
- 파워 IC · 전력 IC

뒷받침하는 기업과 정부 연합 간 경쟁 시대로 돌입했음을 의미한다.

최근 미국이 글로벌 반도체 공급망을 재편하면서 산업 정책의 부활 신호탄을 쏘아 올렸다. 코로나 팬데믹으로 경험한 반도체 공급망의 불안정성은 미국 내 반도체 제조 능력의 중요성을 인식하게 만들었고, 이는 리쇼어링을 진행하며 자국으로 첨단 기술 제조시설을 이전해 대중국 의존도를 줄이려는 노력으로 이어졌다. 미국 내 반도체

제조 기반을 조성하고 중국과의 기술 격차 유지를 목적으로 대규모 지원금 및 투자 인센티브를 포함한 527억 달러 규모의 반도체지원법을 제정해 추진하고 있다. 중국 역시 중국제조2025를 바탕으로 2025년까지 글로벌 반도체산업을 주도하고 자국 반도체 수요의 70%를 국내 생산으로 충족한다는 목표로 IC펀드 조성, 대규모 연구개발



#### 바이오

- 초고속·초소형 바이오 반도체
- 초저전력·초소형 생체 접촉·삽입기용 반도체
- 초소형·초고성능 영상센서 신호처리 반도체

(R&D) 지원, 세제 감면 등 광범위한 지원책을 내놓고 있다. 일본은 잃어버린 반도체 주도권을 만회하려고 일본 내에서 첨단 반도체를 개발·제조할 수 있도록 해외 첨단 파운드리를 유치하고 일본 기업과의 공동 개발과 생산을 추진하는 등 경제안전보장추진법을 시행하며 정책적 지원과 자금을 아낌없이 투입하고 있다.

“미국은 전 세계 생산량의 12%에 불과했던 자국 내 반도체 생산량을 24%로 늘리기 위해 노력하고 있다. 유럽연합(EU)은 10%에서 20%로 늘리고, 중국은 자국에서 소비하는 반도체 국산화율을 15%에서 70%로 올리겠다고 천명했다. 잊혀진 과거의 메모리반도체 강국 일본도 부활을 외치고 있다. 이른바 반도체 내셔널리즘 시대의 도래다.”

우리나라도 K반도체전략, 반도체특별법 제정 등을 통해 반도체 초강대국 달성 전략을 기반으로 정책 지원을 하고 있지만 경쟁국 대비 인프라 구축, 규제 개선, 세제 감면 등 여러 면에서 지원이 부족한 것이 현실이다. 경쟁국의 대규모 투자 인센티브에 비해 보조금과 세제 지원이 부족해 반도체 국내 제조에 따른 비용상 이점이 역전될 위기에 놓여 있다. 지자체의 복잡한 인허가 절차나 과도한 규제로 인한 투자 지연 사례도 빈번하게 발생하고 있어 속도 경쟁이 생명인 반도체산업에서 이는 치명타가 아닐 수 없다. 치열한 반도체 주도권 경쟁에서 뒤처지지 않으려면 적기의 전방위적 인 지원책이 절실한 상황이다.

#### 한국 반도체산업 현주소

우리나라의 반도체 수출은 2021년 기준으로 총 수출의 약 20%를 차지하며 9년 연속 수출 1위 산업으로서의 위엄을 나타내고 있다. 또한 매년 40조~50조 원에 이르는 설비투자와 직접고용인력 20만 명을 담당하며 반도체는 우리 경제의 버팀목이자 국가 경제를 선도하고 있다.

이렇게 우리나라 경제를 책임지고 있는 반도체지만, 우리가 모든 분야에서 잘하고 있는 것은 아니다. 메모리반도체 분야에 있어서 한국은 20여 년간



D램과 낸드플래시에서 선전하며 압도적인 1위를 유지하고 있다. 삼성전자와 SK하이닉스 같은 메모리 IDM의 투자와 성장이 우리나라 반도체산업 성장을 견인했다고 해도 과언이 아니다. 다만, 대규모 장치산업인 메모리반도체는 수요 시장에 영향을 받기 때문에 경기 변동에 민감하다.

메모리반도체의 두 배 이상인 시스템반도체 시장 규모는 글로벌 반도체산업에서 시스템반도체의 중요성을 보여주는 대목이다. 시스템반도체는 특정 기능을 수행하기 위한 주문제작 방식이 일반적이기 때문에 수급이 비교적 안정적이고 가격 변동도 크지 않은 공급자 주도 방식의 산업으로 고부가가치 실현이 가능하다. 이러한 시스템반도체 분야에서 현재 우리나라의 경쟁력은 턱없이 부족한 상황이다. 팹리스 점유율은 2% 미만이며, 파운드리에서도 삼성전자가 첨단 미세 공정 기술력을 바탕으로 2위를 점유하고 있지만 1위인 대만 TSMC와의 격차는 아직 넘지 못하고 있다.




소재·부품·장비 분야에 있어서도 글로벌 경쟁력을 갖춘 국내 기업은 찾기 힘들다. 소부장은 일부 기술 난이도가 높지 않은 분야에 한해 국산화를 진행 중이나 기술 난이도가 높은 고부가가치 핵심 분야는 아직 해외 의존도가 높은 상황이다. 이렇듯 메모리반도체의 1인자를 넘어 종합 반도체 강국으로 나아가는 길은 아직도 험난해 국가적 차원의 노력이 필요한 상태다.

### 반도체 정책 지원 필요성




반도체 제조업은 대량의 설비·시설 구축이 필수적인 산업으로 대규모 선투자 후장기회수의 성격이 짙으며, 신규 팹 건설 비용뿐만 아니라 시설 운영에 투입되는 기업들의 비용 부담도 상당히 때문에 산업 육성을 위해서는 다각적인 세제 지원이 반드시 필요하다. 미국 테일러시의 삼성반도체

### 주요국 반도체 지원정책 현황




#### 미국

-  ▶ 반도체 신규 생산시설 → 건당 최대 30억 달러(약 3조5000억 원) 지원  
▶ 반도체 설비투자의 25% 세제 감면
-  ▶ 전력·용수·폐수 시에서 구축·운영 → 기업은 인프라 사용 요금만 부담
-  ▶ 국가 반도체 기술센터 설립  
첨단 테스트, 조립, 패키징 R&D 수행

#### 한국

-  ▶ 국가전략기술 세액공제 신설  
⇒ R&D: 대·중견기업 40%, 중소기업 50%  
⇒ 시설투자: 대기업 6%, 중견기업 8%
-  ▶ 전력·용수·폐수 전액 기업 부담
-  ▶ 총 5개 예타사업 추진 중  
양산형 테스트베드, 첨단 패키징 플랫폼, K센서, PIM 반도체, 대규모 인력 양성

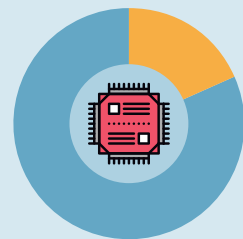
#### EU

-  ▶ 역대 10나노 이하 생산거점 확보 위해 최대 500억 유로 투자  
기업 투자금액의 20~40% 지원
-  ▶ 공급망 공동 투자와 국내 반도체 기술 활용 지원에 1450억 유로 투자 발표
-  ▶ IPCEI(EU 공통 관심 주요 프로젝트)를 통해 반도체 핵심 생산 기술 R&D 지원  
독일 정부, 100억 유로 투자 예정

### 우리나라 반도체산업 현황

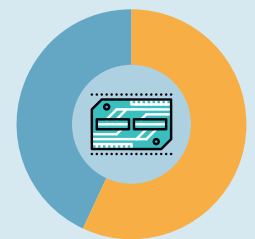
#### 반도체 세계 2위

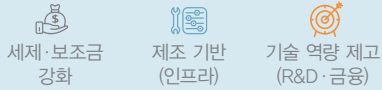
한국 점유율 **18.4%**  
(2020년 매출액 : 871억 달러)



#### 메모리 세계 1위

한국 점유율 **57%**  
(2020년 매출액 : 729억 달러)





**중국**

- ▶ 칩 생산 공정별 법인세 면제
- ▶ 장비, 원자재, 부품 수입관세 면제
- ▶ 전력·용수·폐수 시에서 구축·운영  
⇒ 기업은 인프라 사용 요금만 부담
- ▶ 국가반도체 펀드 조성: 총 55조 원  
1기 펀드(2014년): 약 21조 원(1387억 위안)  
2기 펀드(2019년): 약 34조 원(2041억 위안)

**대만**

- ▶ R&D 투자액의 15% 세액공제
- ▶ 과학단지 입주기업이 사용하는 장비, 재료 수입관세 면제
- ▶ 과학단지 입주기업에 안정적인 인프라, 수도, 전력, 통신 등 제공
- ▶ 과학단지 인재 양성 보조금 운영, 산학 간 인재 육성 및 연계 지원

**일본**

- ▶ 반도체산업 리쇼어링 지원 정책  
반도체 기업이 일본으로 회귀할 경우 보조금 지원
- ▶ 해외 파운드리 국내 유치 지원  
TSMC의 구마모토현 팹 조성 사업비 8000억 엔 중 50% 지원
- ▶ 차세대 첨단 로직반도체 개발 추진  
2022년 1000억 엔 규모 자금 조성

유치 사례에서 알 수 있듯이 미국은 반도체 기업의 대규모 투자 시 보조금은 물론 산단 구축에 필요한 도로·용수·폐수 등 기반시설을 100% 지원하고 있으며, 반도체 시설투자의 25% 세제 감면을 해주는 정책을 시행하고 있다.

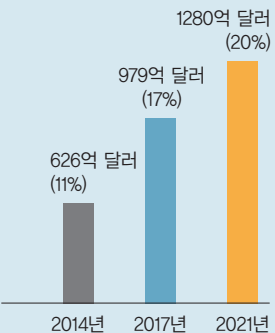
반도체는 적기 투자가 중요한 산업으로 국내 지원이 미흡할 경우 유리한 투자환경을 지닌 해외로 시설투자를 우선 고려할 가능성이 높기 때문에 국내 업체의 대규모 투자계획이 국내에서 안정적으로 추진될 수 있도록 우리나라 또한 최소 경쟁국 수준 이상의 정책적 지원이 필요하다.

먼저, 반도체 기반시설에 대한 국가·지자체의 직접 설치를 의무화하고, 반도체 기반시설 지원 시 예타 면제를 통해 신속하게 예산 집행이 이루어져야 한다. SK하이닉스의 용인클러스터가 지자체 협력이 늦어지며 착공이 지연되고 있는데, 지자체 간 신속한 인허가 협의를 유도하려면 산업단지 조성에 따른 이익을 인접 지자체와 공유할 수 있도록 지방재정법을 개정해야 한다. 또한 반도체 기술에 대한 시설투자 세액공제율도 대폭 확대하는 것이 필요하다.

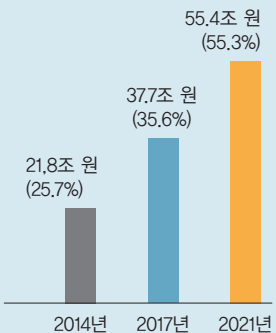
현재 우리나라의 세액공제율은 6~8%로 미국(25%) 등 경쟁국 대비 매우 낮은 수준이다. 반도체 기술이 첨단화할수록 이러한 반도체 설비·R&D 투자비용이 천문학적으로 높아지며 기업의 투자 리스크가 커지기 때문에 반도체를 특정 산업이 아닌 국가 차원의 안보자산으로 인식하고 글로벌 형평성에 근거한 파격적인 세제 지원이 필요할 것이다.

이처럼 반도체산업은 기술 개발에 막대한 자본·인력·시간이 소요되며, 글로벌 시장에서 선형 개발한 기업이 시장을 선점하는 승자 독식의 비즈니스다. 따라서 글로벌 공급망 재편 시대에 기술 주도권 확보를 위해 국가적 역량 결집이 이루어져야 할 시점이다.

국내 수출품목 1위  
(전체 수출 중 비중)



국내 설비 투자 1위  
(제조업 중 비중)





# 반도체산업에 요구되는 온실가스 배출량 감소 플라즈마를 이용한 배출 저감 기술 및 적용 확대

본 보고서에서는 대체 가스 공정 및 배출 제어에 적용되는 플라즈마 기술을 살펴보고, 당면한 기술적 과제를 해결하기 위해 진행 중인 연구개발 기법을 조명한다. 특히 고효율·고이온화를 플라즈마 발생 제어 기술, 실공정 적용을 위한 플라즈마 측정 및 모델링 연구에 초점을 맞추어 살펴본다.

✍ 박성환 [한국산업기술평가관리원  
미국(실리콘밸리) 거점 소장]  
김근수 [NRC(National Research Council  
Canada) 박사]

## 파리협정이 반도체산업에 미치는 영향

2020년 교토의정서를 대체하는 파리협정이 발효됨에 따라 전 세계 반도체산업에서도 온실가스 배출량 감소에 대한 요구가 커지고 있다. 우리나라는 지구 평균 온도 상승을 최대 2도로 제한하기 위해 2030년 온실가스 배출 전망치(BAU) 대비 37% 감축안을 발표하고 온실가스 감축 노력을 꾸준히 하고 있다. 비록 반도체 생산과 같은 산업 공정 부문이 지구

온난화에 기여하는 양은 7.9% 정도로 에너지 부문에 비해 매우 작지만, 지구온난화지수(GWP)가 높은 불화가스를 집중적으로 사용하고 있어 지구 온난화에 상당한 영향을 미치는 것으로 파악되고 있다.

특히 과불화화합물(PFCs) 가스는 반도체 공정에서 식각이나 플라즈마 화학기상증착(PECVD) 후 반응기 내부에 남아 있는 규소산화물(SiO<sub>2</sub>), 탄소 함유 산화규소, 질화규소(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) 등을 제거하는데 주로 사용되는데, PFC 가스는 GWP가 CO<sub>2</sub>(GWP 1)에 비해 월등히 높고(NF<sub>3</sub> GWP 8000) 자연 분해되는 기간

도 길어(CF<sub>4</sub> 5만 년) 큰 문제로 대두되고 있다.

따라서 현재 우리나라에서는 반도체 공정에서 PFC 가스 배출량을 줄이기 위한 노력 및 연구가 다방면에서 진행되고 있다. 먼저 높은 배출량을 가진 노후 장비 및 시설을 상대적으로 배출량이 적고 효율이 좋은 것으로 대체하고 있는 상황이다. 동시에 반도체 장비 및 가스 공급업체의 공동 참여로 GWP가 높은 PFC 가스(NF<sub>3</sub>, CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>)를 GWP가 낮은 가스(F<sub>2</sub> GWP 0)로 대체해 온난화 가스 발생을 최소화하려는 시도도 있다. 하지만 새로운 가스를 도입할 경우 화학반응



측면에서 기존 공정에 비해 많이 달라 다양한 공정 조건에 대한 매개변수적 연구를 통해 최적화하는 과정이 선행되어야 한다. 무엇보다도 PFC 가스 배출을 크게 줄이는 데 기여할 것으로 예상되는 조치는 사용 후 가스를 공정 말단에서 회수 및 분해해 감축할 수 있는 POU(Point Of Use) 시스템 적용이다. 만약 GWP가 낮은 가스를 사용하는 공정이 성공적으로 개발되고 동시에 PFC 가스 저감설비와 결합될 경우, 매우 높은 변환효율을 얻을 수 있어 PFC 가스 방출 총량을 최소화할 수 있으리라 기대된다.

PFC 가스를 사용하는 대부분의 반도체 공정은 PFC 가스로부터 반응성이 높은 불소 활성종(F 원자 또는 이온)을 가능한 한 낮은 에너지 입력에서 다량으로 생성하는 것을 목표로 하고 있는데, 이를 위해 많은 부문에서 플라즈마 기술이 활용되고 있다. 저온 플라즈마 기술을 이용하는 경우 강한 전기장에 의해 가속된 전자가 PFC 가스의 견고한 화학결합을 비교적 낮은 전력량으로 끊을 수 있어 효율적인 불소 활성종 생성이 가능하다. PFC 가스 분해를 통한 저감 기술에도 다양한 플라즈마 기술이 적용되고 있다. 특히 고온 플라즈마를 적용하는 경우 난

분해성인 PFC 가스를 높은 효율로 다른 화학종으로 신속하게 변환할 수 있다.

플라즈마를 이용해 새로운 대체 가스 공정 또는 저감 기술 개발 시 안정적인 플라즈마 발생과 이후 화학종 생성 과정을 자세히 이해하는 것이 공정 개발 및 최적화의 첫 단계라고 할 수 있겠다.

### 반도체 분야 과불화화합물 사용 현황 및 감축 전략

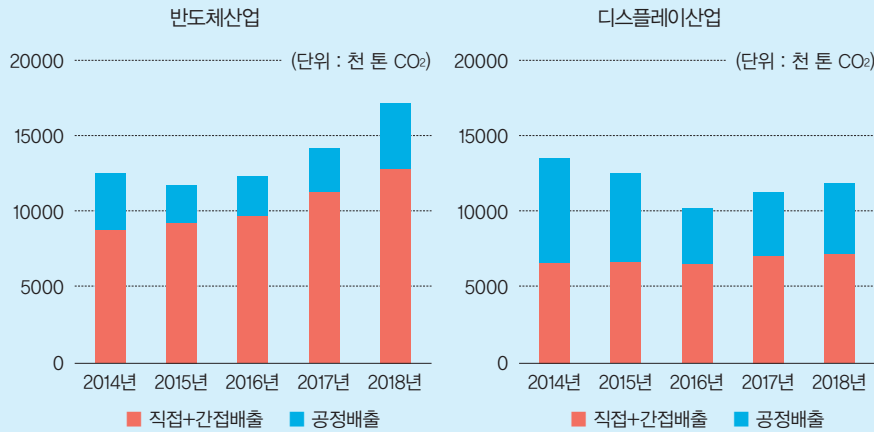
우선 반도체산업에서 과불화화합물의 용도 및 그 중요성을 살펴보면 다음과 같다. 현재 반도체산업에 주로 사용되는 주요 PFC 물질은  $NF_3$ ,  $CHF_3$ ,  $CF_4$ ,  $C_2F_6$ ,  $C_3F_8$ ,  $SF_6$  등이 있으며 다양한 제조 공정에서 광범위하게 사용되고 있다. 주로 사용되는 대표 공정은 아래와 같다.

먼저 PFC는 플라즈마 식각 공정의 식각 가스로 주로 쓰이고 있다. 식각 공정은 웨이퍼 기판 등 표면에서 불필요한 부분을 선택적으로 제거해 패터를 만드는 공정이다. 플라즈마에 의해 생성된 불소 활성종은 집적회로의 금속 및 유전체층을 깎아내 서브 마이크론 정도의 정밀도를 갖는 패터를 만들 수 있다. PFC 가스는 화학기상증착(CVD) 반응기의 신속한 화학적 세척을 위해서도 사용되고 있다. CVD 기법을 이용해 규소 및 규소 기반 유전체층( $SiO_2$ )을 기판에 증착할 때, 유사한 층이 CVD 반응기 내부벽에도 증착되게 된다. 웨이퍼가 이후 하부 공정에서 이러한 이물질에 의해 오염되지 않도록 하기 위해서는 반응기 내부를 정기적으로 세척해야 하는데 이 공정을 증착

후 반응기 세정 공정이라고 한다. 잦은 기계적 세척을 피하기 위해 반도체 공정에서는 PFC 가스를 사용한 플라즈마 세정(Plasma Cleaning) 방식을 주로 사용하고 있는데, 이는 크게 반응기 내부에서 플라즈마를 발생시켜 증착물을 제거하는 In-situ 플라즈마 세정(In-situ Plasma Cleaning)과 플라즈마를 반응기 외부에서 독립적으로 발생시켜 활성종을 반응기 내부로 주입하는 원격 플라즈마 세정(Remote Plasma Cleaning) 방식으로 나뉜다.  $SF_6$  가스는 웨이퍼 테스트 공정 단계에서 전력 소자 테스트를 위한 절연 가스로 사용되고 있다.  $SF_6$  가스는 안정도가 높은 불활성 기체로 절연 내력이 공기에 비해 2.5~3.5배 높아 사용 빈도가 많다.

PFC 가스는 식각 시 독특하고 효과적인 공정 성능을 제공하고 CVD 반응기를 세척하는 데 필요한 불소를 안전하게 공급하는 등 반도체 제조 공장에서 널리 사용되고 있다. 과거 공정별 불화가스 배출 비율은 세정 공정에서 대략 80%, 식각 공정에서 20%였으나, 최신 반도체 생산설비의 경우(300mm 웨이퍼 생산설비) 식각 공정에서 공정 단계가 느는 반면 세정 공정에서는 분해효율이 높은  $NF_3$  원격 플라즈마 세정법을 도입함에 따라 배출량(45%)이 많이 줄고 식각 공정에서 증가(55%)하는 추세다<sup>[1]</sup>.





〈그림 1〉 반도체 및 디스플레이산업의 온실가스 배출 추이<sup>[2]</sup>

현재 상기 공정에서 PFC 가스를 대체할 수 있는 효과적인 물질이 없어 반도체 산업에서는 PFC 가스가 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 하지만 높은 GWP를 갖고, 지구상에 잔존하는 시간이 길기 때문에 지구 온난화 방지를 위해서는 이를 저감하고 처리하는 기술의 개발이 반드시 필요한 상황이다<표 1>.

다음으로 PFC 가스 배출 저감 전략을 살펴보면 다음과 같다. 현재 반도체 산업에서는 PFC 가스 배출을 저감하기 위해 공정 최적화, 대체화학물질 사용, 개선된 저감 시스템 도입 등 다양한 조치를

취하고 있다. 더불어 반응하지 않고 제조 장비의 반응기를 빠져나가 대기 중으로 방출되는 PFC 가스를 분리·회수해 재 활용할 수 있는 기술에 대한 연구도 진행되고 있다.

우선 공정 최적화는 주로 CVD 반응기 세정 공정을 대상으로 이루어져 왔다. CVD 반응기 세정 공정은 반도체 공정 중 가장 큰 PFC 가스 배출원이며, 동시에 웨이퍼를 고려하지 않고 공정을 최적화할 수 있어 제품 수율에 부정적인 영향을 미치지 않는 이점이 있다. 반도체 공정에 사용되는 PFC 가스의 50% 정도가

분해되지 않고 대기 중으로 배출되므로 분해효율을 높이는 방향으로 연구가 진행됐으며, 이를 위해 NO 또는 O<sub>2</sub>를 사용해 분해효율을 높이는 방법이 현재 사용되고 있다. 더불어 종말점 감지 (Endpoint Detection) 기법을 활용해 세정 시간을 최소화함으로써 불화가스 사용량을 줄일 수 있는 연구도 진행되고 있다. 기존 연구에 따르면 공정 최적화는 최적화되지 않은 공정과 비교해 약 10~50%의 배출 감소를 가져올 수 있어 잠재적인 저비용 배출 감소 옵션이 될 수 있다. 하지만 대규모 공정 최적화 시 시간이 많이 걸리고, 지속해서 변하는 생산 환경에 신속하게 대응할 수 있는 유연성을 지원하지는 않는다는 단점이 있다. 다음으로 대체 가스 공정 개발과 관련해 살펴보면 다음과 같다. PFC 가스 대체 물질을 사용해 기존 공정을 새로운 저배출 공정으로 교체하는 것은 PFC 가스 배출을 저감할 수 있는 가장 근원적인 방법이며, 지난 몇 년 동안 상당한 발전을 이뤄낸 기술 분야다. 대체 가스 공정 개발은 GWP가 높은 가스를 GWP가 낮거나 0인 가스로 교체하는 것이 일반적으로 바람직하지만, 대부분의 플라즈마 식각 공정에서는 실현 가능하지 않는 것으로 알려져 있다. 높은 종횡비 등 플라즈마 식각 공정에 대한 요구 사항은 계속 더 엄격해지고 있으며, 특히 이방성 (Anisotropic) 식각을 보장하기 위해서는 정확한 탄소 대 불소 비율이 필요한데, 이를 만족하는 대체물질 개발에 어려움이 있다. 최근 요오드플루오로카본 (iodofluorocarbons), 수소불화탄소

Greenhouse Gases	Atmospheric Lifetime(year)	GWP100
CO <sub>2</sub>	50-200	1
CF <sub>4</sub>	50000	6500
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10000	9200
SF <sub>6</sub>	3200	23900
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	2600~7000	7000
CHF <sub>3</sub>	250~390	11700
C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	3200	8700
CH <sub>4</sub>	12	21
N <sub>2</sub> O	120	310
NF <sub>3</sub>	50~740	8000

〈표 1〉 주요 PFC 가스의 대기 잔류 시간 및 GWP100 값<sup>[3]</sup>

(Hydrofluorocarbons) 및 불포화 불화탄소와 같은 대체 식각 가스에 대한 상당한 연구가 있었지만 이러한 화학물질 중 다수는 과도한 중합, 식각 선택성 부족, 가스 주입의 어려움으로 인해 실제 제조 환경에서 가능한 대체 화학물질은 아니라고 알려져 있다.

따라서 현재 대부분의 대체 가스 공정 개발은 세정 공정에 초점이 맞추어져 있다. 과거 CVD 반응기 세정에 사용하는 주요 PFC 가스는  $C_2F_6$  가스였으나, 2000년대 초반 이후  $NF_3$  가스가  $C_2F_6$  가스를 빠르게 대체하고 있는 추세다. 특히  $NF_3$  가스를 원격 플라즈마원을 이용해 불소이온 또는 원자로 분리하고 이를 공정 반응기에 주입하는 경우,  $NF_3$  가스가 95~99% 활용 효율로 전환됐다<sup>[4]</sup>. 또한  $NF_3$ 는  $C_2F_6$ 에 비해 낮은 GWP ( $NF_3$ : 8000,  $C_2F_6$ : 9200)를 가지고 제품 양산에 미치는 영향도 크지 않으며, 현재 배출권 규제에도 포함되고 있지 않다. 따라서 현재 반도체 회사는 첨단 200mm 및 300mm CVD 장비 라인 전반에 걸쳐 반응기 세정을 위해 원격 플라즈마 기술을 채택하고 세정용 공정가스를  $NF_3$ 로 대체했다. 하지만 배출량 및 감축 효율에 대해 측정하지 않아 정확한 대체 효과는 알려져 있지 않고, 앞으로 배출권 규제에 포함될 가능성도 있어 다른 대안 물질에 대한 연구도 필요하다. 가령  $ClF_3$ 는 일본 반도체산업에서 제안해 적용되고 있으며<sup>[5]</sup>,  $F_2$  또한 잠재적인 대안으로 떠오르고 있다<sup>[6]</sup>.

더불어 포집·회수와 관련해 살펴보면 공정 중에 사용되지 않고 배출된 불화가스

를 효율적으로 포집하고, 분리·농축·정제 과정을 거쳐 고순도 불화가스로 재사용하는 경우, 저감효과가 클 수 있다. 대표적인 포집·회수 기술에는 액체질소와 같은 초저온 증류탑을 이용하는 초저온 회수 기술, 분리막을 이용하는 막분리 기술, 활성탄 또는 제올라이트와 같은 흡착제를 이용하는 흡착분리 기술 등이 있다<sup>[7]</sup>. 여러 반도체 제조업체와 가스 공급업체에서 불화가스 포집·회수 기술에 대해 평가를 수행했으나, 성공적인 불화가스 재사용은 아직 없으며, 이는 고순도 가스를 요구하는 반도체산업의 특성에 기인한다. 더욱이 이 모든 시스템(분리, 농축, 정제)을 구현하는 데 많은 비용이 드는 것으로 알려져 있다. 따라서 현재까지 중앙집중식 포집·회수 기술을 구현한 반도체 시설은 없으며, 소규모 포집·회수 시스템은 단일 불화가스 공정에 적합한 것으로 여겨진다.

마지막으로 분해처리를 살펴보면 다음과 같다. 공정 중에 사용되지 않고 배출된 불화가스를 분해해 온실가스 효과가 없는 화학종으로 변환하는 기술로 크게 연소, 열분해, 플라즈마 분해, 촉매 분해 기술 등이 사용되고 있다. 신기술 개발과 해당 시스템의 상용화로 말미암아 불화가스 배출저감 분야에 상당한 기여를 한다고 평가되는 기술이다. 대부분의 기술은 식각 및 증착 공정 모두에 적용될 수 있으며, 업계에서는 중앙집중식(EOP)보다는 공정 말단에서 배출가스를 처리하는 방식(POU)을 선호해 왔다. 주요 불화가스는 화학적 결합이 강한 난분해성 가스로 분해를 위해서는 높은 온도

조건(750~1400도)과 많은 열량 소모가 요구된다. 연소법은 배출된 불화가스를 수소 또는 천연가스 등의 연료와 혼합해 고온(1200도)에서 산화하는 방식으로 80~90% 정도의 분해효율을 보여 현재 상용화에 가장 근접한 기술이나,  $CO_2$ 와 같은 새로운 온실가스를 생성하고 유지비용이 높은 단점이 있다. 촉매 방식은 불소 화합물을 촉매를 이용해 저온(500~900도)에서 산화시키고, 산화 시 생성되는 불산(HF)은 금속 산화물계의 고형 흡착제를 사용해 분해하는 기술이다. 대량 처리가 가능하고 POU 방식이 불가능한 설비의 경우 외부에 설치해 적용할 수 있는 등 유연성이 크다는 장점이 있다. 하지만 불소 화합물 제거 효율이 낮으며, 유지보수를 위해 상당 기간 운영이 불가능한 단점도 있다. 고가의 촉매 비용도 상용화에 있어 큰 걸림돌이 되고 있다. 플라즈마 방식은 불화가스를 플라즈마에 주입, 플라즈마 기체의 고온 또는 강력한 전자 에너지를 이용해 불화 화합물을 분해하는 기술이다<sup>[8]</sup>. 열플라즈마를 사용하는 경우 플라즈마 중심부 온도가 1만 도에 이르러 1000~3000도의 고온 열분해 영역을 효율적으로 발생시킬 수 있다. 특히  $CF_4$ 와 같이 매우 높은 분해 온도(3000도 이상)를 요구하는 불소 화합물을 효과적으로 제거할 수 있다. 더불어 연소법과 달리 산소 없이







열분해 처리가 가능해 CO<sub>2</sub>와 같은 이차 온실가스 발생을 줄일 수 있다. 하지만 연소법에 비해 대량 처리가 어려워 다수의 저감장치가 필요하고, 방전전극 부식이 빨라 잦은 교체를 필요로 한다. 그리고 국내에서 상대적으로 고가의 에너지 원인 전력 사용 문제가 있어 상용화 단계에 이른 설비는 아직 보고되지 않고 있으나 문제점 개선을 통해 현장에서 사용하려는 노력은 지속적으로 이어지고 있다. 이렇듯 다양한 PFC 가스 배출 저감 노력 중 대체 가스 공정 개발과 분해 처리를 통한 저감 기술 개발에 대한 노력이 가장 활발하며, 그 핵심 기술로 플라즈마 기술을 사용하는 사례가 점차 늘고 있다. 효율적인 플라즈마 공정 개발을 위해서는 고효율·고이온화율 플라즈마 발생 제어 기술, 실공정 적용을 위한 플라즈마 진단 기술, 모델링 연구 등이 필수다.

### 대체 가스 공정 적용 플라즈마 기술

우선 대체 가스 공정 개발 동향을 살펴보자. 불소 화합물을 대체할 수 있는 화학물질 개발을 위해 수많은 연구가 수행돼 왔음에도 불소 화합물은 반도체 제조 공정에서 대체하기 어려운 독특한 화학적 특성을 갖고 있다. 또한 불화가스를 식각에 사용하는 경우, 화학물질이 웨이퍼와 실제로 접촉하기 때문에 CVD 세정

공정에 비해 물질 특성에 훨씬 더 민감해져 대안 물질을 찾고 공정을 최적화하는 과정에 추가적인 어려움도 있다. 따라서 지금은 세정 공정에서 사용되는 PFC 가스를 기후변화와 환경에 영향이 적은 가스로 대체하는 데 초점이 맞춰져 있다. 일본 반도체산업에서는 ClF<sub>3</sub>와 요오드 플루오로카본을 사용할 것을 제안했으나<sup>6)</sup>, 이들은 HF 또는 HCl과 같이 바람직하지 않은 부산물을 생성할 뿐만 아니라 ClF<sub>3</sub>의 경우 민감한 반응성 및 안전성 문제로 업계에서 받아들여지지 않았다. C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>를 대체하기 위해 CF<sub>3</sub>I를 환경친화적인 유전체 식각 물질로 사용할 가능성도 제시됐다<sup>9)</sup>. 요오드플루오로카본의 약한 C-I 결합으로 인해 이들 화합물로부터 화학적 활성종이 쉽게 만들어지고, 결과적으로는 이러한 화합물은 대기 중에 쉽게 분해돼 PFC에 비해 수명이 매우 짧고 GWP가 상대적으로 낮다. 하지만 CF<sub>3</sub>I는 햇빛이 있는 곳에서 빠르게 광분해되는 것으로 알려져 있으며, 광분해 과정의 부산물에는 COF<sub>2</sub> 및 HF가 포함돼 있다. COF<sub>2</sub>는 매우 유독한 물질이다. CVD 반응기 세정 공정에서 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>를 줄이기 위해 NF<sub>3</sub> 기반 세정 기술이 연구됐다<sup>10)</sup>. NF<sub>3</sub>는 현재 온실가스로 분류되지 않으며 활용 효율은 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>보다 훨씬 높은 이점이 있다. 특히 원격 플라즈마와 함께 세정 공정에 사용될 경우, NF<sub>3</sub>는 98% 이상의 변환 효율로 활용된다고 보고됐다<sup>4)</sup>. C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> 또한 CVD 반응기 세정에서 더 높은 활용 효율과 더 빠른 식각 속도로 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>의 잠재적인 대체가스로 연구돼 왔다<sup>11)</sup>.

이러한 다양한 시도 중 NF<sub>3</sub> 원격 플라즈마 세정은 높은 변환 효율로 지구온난화 영향을 최소화할 뿐만 아니라 세정 속도 향상 및 반응기 내부 부식 최소화에도 효과적인 것으로 밝혀졌다. 이에 현재 대부분 반도체 업계는 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 대신 NF<sub>3</sub>를 기반으로 하는 상용 CVD 반응기 세정 공정을 도입하고 있다. 하지만 환경친화성 및 높은 세정 효율에도 불구하고 NF<sub>3</sub> 원격 플라즈마 세정은 NF<sub>3</sub> 가스 생산 비용이 높아 운전비용이 많이 든다는 단점이 있다. 더불어 최근 정부가 반도체 공정에서 사용되는 NF<sub>3</sub>를 온실가스로 추가하기 위한 작업을 진행 중이어서 당장 NF<sub>3</sub>를 대체할 수 있는 물질 개발이 시급한 상황이다.

NF<sub>3</sub> 가스에 한 가지 잠재적인 대안은 불소(F<sub>2</sub>) 가스로, 가령 F<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/Ar과 같은 불소 가스 혼합물을 사용하는 경우 GWP값은 0이 된다<sup>12)</sup>. 또한 불소 가스는 열 또는 플라즈마에 분해돼 효과적으로 불소 활성종을 생성할 수 있으며, 이는 빠른 세정 속도를 제공해 SiO<sub>2</sub> 및 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 박막 세정에 매우 효과적이라고 알려져 있다. 하지만 불소 가스 세정 공정을 생산 라인에 적용할 때 잠재적인 문제는 높은 독성과 반응성이다. 따라서 생성·전달·처리하는 동안의 안전 조치는 불화 가스 세정 기술을 성공적으로 적용하는 데 매우 중요하다. C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>O 및 C<sub>3</sub>F<sub>6</sub>O와 같은 산소 함유 탄화불소 가스 또한 NF<sub>3</sub>를 대체할 수 있는 후보물질로 제시됐다. C<sub>3</sub>F<sub>6</sub>O는 대기 중에서 수명이 1년 이내로 매우 짧고, GWP값도 100으로 매우 낮아 대기 중 쉽게 분해돼 환경에

미치는 영향이  $C_2F_6$ 나  $C_4F_8$ 에 비해 상대적으로 적다. 최근 연구에 따르면  $C_3F_6O/O_2$  혼합 가스는  $SF_6$  또는  $NF_3$  대신 CVD 반응기에 증착된  $Si_3N_4$  및  $SiO_2$ 를 효율적으로 제거하는데 사용할 수 있음이 밝혀졌다<sup>[13]</sup>.

이러한 대체물질의 개발은 공정 조건 변경이 요구되므로 적합성을 결정하기 위해서는 새로운 플라즈마원 개발 또는 공정 모델링과 진단을 통한 공정 최적화 과정이 병행되어야 한다.

다음으로 플라즈마원 개발과 관련해 살펴보면 다음과 같다. 플라즈마는 보통 전자 밀도와 전자 온도에 따라 분류되며, 크게 저온 플라즈마와 같은 비평형 플라즈마(Non-equilibrium Plasma) 그리고 열플라즈마와 같은 평형 플라즈마(Equilibrium Plasma)로 나뉜다<sup>[14]</sup>. 현재 반도체산업에서 주로 사용되는 플라즈마는 비평형 플라즈마의 일종인 저온 플라즈마이며, 1980년대 중반 이후 반도체산업의 필수 기술이 됐다. 저온 플라즈마에 대한 엄격한 기준은 없으나, 반도체 공정 응용 분야의 경우 전자

온도가 수십 eV 정도인 비평형, 약이온화된 플라즈마라 정의할 수 있다. 전자 밀도는  $10^8 \sim 10^{13} cm^{-3}$ 에 이르고, 운전 압력은 수 mTorr에서 대기압까지 가능하다.

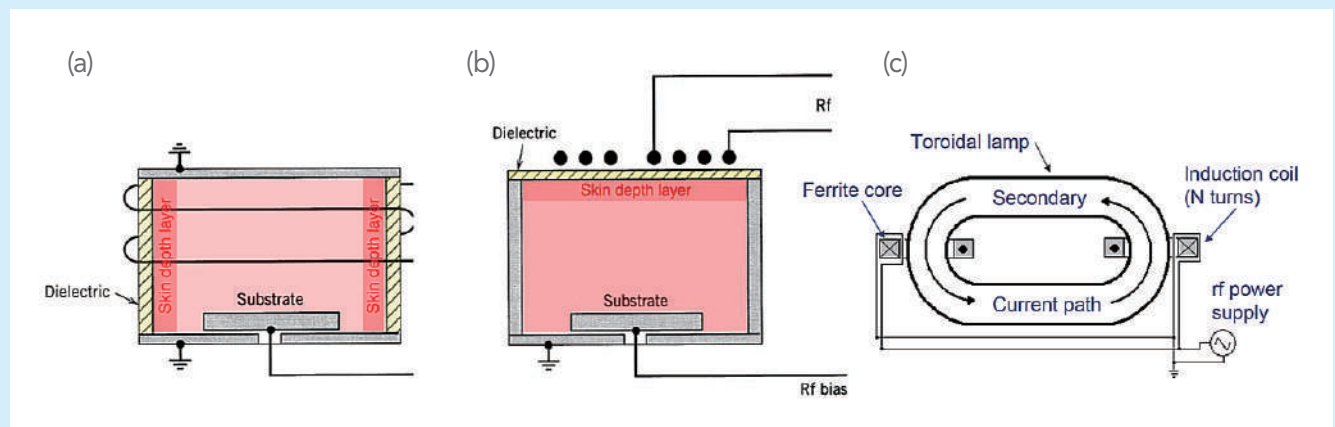
플라즈마를 발생시키고 이를 유지하려면 중성 입자를 이온화하고 여기시킬 수 있는 전력 공급이 필요하다. 반도체산업에서 널리 사용되는 저온 플라즈마원은 전력 공급 방식에 따라 크게 나선형 코일에 의해 전력이 공급되는 유도 결합 플라즈마(ICP)와 두 개의 병렬 전극 사이에서 플라즈마가 발생하는 축전 결합 플라즈마(CCP)로 나뉜다<sup>[15]</sup>.

#### 유도 결합 플라즈마원(ICP)

반도체산업에서 널리 사용되고 있는 ICP는 유전체 창 상단에 위치한 나선형 평면 코일을 통해 플라즈마에 고주파 전력을 공급하는 방법이다. 평면 코일에 인가된 고주파 전력은 반응기 내에 시간에 따라 변하는 전자기장을 생성하고, 전자는 방위각 방향으로 진동하는 전기장에

의해 앞뒤로 가속된다. 결국 가속된 전자는 중성 입자와 충돌해 이온화함으로써 플라즈마를 유지하게 된다. 전자 가속도 방향이 반응기 벽과 평행하기 때문에 벽면으로의 전자 손실은 적어 CCP보다 더 높은 플라즈마 밀도를 효율적으로 생성할 수 있다는 장점이 있다. 반도체산업에 사용되는 고주파 주파수는 일반적으로 13.56MHz이고 압력은 수십 mTorr다. 플라즈마로의 전력 전달을 반사 없이 최대화하기 위해 임피던스 매칭 네트워크(Impedance Matching Network)가 전원과 코일 사이에 사용돼 효율을 높이고 있다.

ICP에서 펄스 전력을 사용하는 경우, 주어진 평균 전력 대비 더 높은 플라즈마 밀도를 발생시킬 수 있음이 보고됐다<sup>[16]</sup>. 펄스 반복 주파수(PRF)는 보통 1~20kHz 정도이고, 듀티(Duty) 사이클은 10% 정도다. 펄스 전력을 사용하는 경우, 전력 입력이 없는 동안 전자는 재결합 및 부착 반응을 통해 반응기 벽으로 빠르게 손실되므로 이후 인가된 전력은 보다 적은 수의 전자에 분산돼 전자를



〈그림 2〉 유도 결합 플라즈마원(ICP) 종류 : (a)솔레노이드형 ; (b)나선형 ; (c)페라이트코어형<sup>[16]</sup>



효율적으로 가열함으로써 순간적으로 높은 전자 온도를 얻을 수 있다. 상승한 전자 온도는 이온화율을 높여 고밀도 플라즈마를 발생시킬 뿐만 아니라 PFC 가스와 같은 반응가스 분해에도 효율적이다. 하지만 ICP는 전자 밀도가 낮을 때에는 축전 결합이 우세한 E-모드에서 운전되고, 전자 밀도가 높은 경우에는 유도 결합이 우세한 H-모드에서 운전되므로 전력이 상승하는 구간에서 E-H 모드 전환이 일어날 수 있다. 이는 이온화 불안정성과 전자 밀도 변조의 요인이 되므로 E-H 모드 전환을 효율적으로 방지할 수 있는 기술이 필요하게 된다<sup>[17]</sup>.

#### 축전 결합 플라즈마(CCP)

CCP는 일정한 간격을 두고 평행한 두 전극 사이에서 고주파 전력을 인가해 플라즈마 방전이 발생하는 방식으로, 현재 반도체 공정에서 가장 널리 사용되고 있는 플라즈마원이다. 상대적으로 가벼운 전자만 전극에 수직으로 발생된 진동 전기

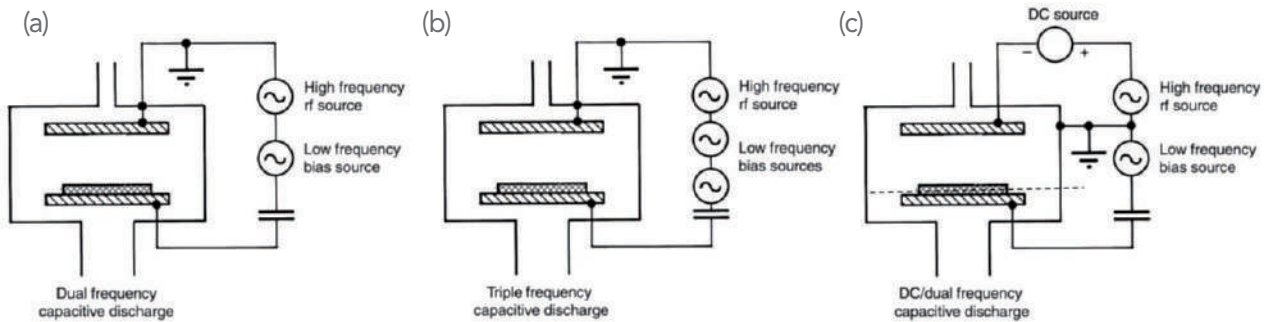
장에 의해 앞뒤로 가속돼 중성입자를 이온화시키면서 플라즈마 발생에 기여하게 된다. 반면 상대적으로 무거운 이온은 전기장으로부터 얻는 에너지가 거의 없으며, 대신 플라즈마와 전극 표면 사이에 형성된 전압에 의해 가속돼 플라즈마를 빠져나간다. CCP는 두 전극 사이에 균일한 전기장을 발생시킬 수 있어 넓은 영역에 걸쳐 균일하게 발생된 플라즈마를 제공하는 장점이 있다. 현재 이온 및 중성 활성종의 유량, 그리고 웨이퍼에 입사되는 이온 에너지와 각도 분포의 독립적인 제어를 제공하기 위해 다중 주파수 축전 결합 플라즈마(MF-CCP)가 개발돼 사용 중이다<sup>[19]</sup>.

전극으로 가속돼 빠져나온 이온이 전극 또는 웨이퍼 표면에 충돌할 때, 에너지가 충분한 경우 전극 표면에서 2차 전자 방출을 유도, CCP 이온화에 크게 기여할 수 있다. 이와 같이 CCP가 주로 2차 전자 방출을 통해 유지되는 경우, 즉 2차 전자가 대부분의 이온화 및 들뜸 반응을 일으킬 때 CCP는  $\gamma$ -모드로 운전되는 것으로 간주되며, 고밀도 플라즈마를

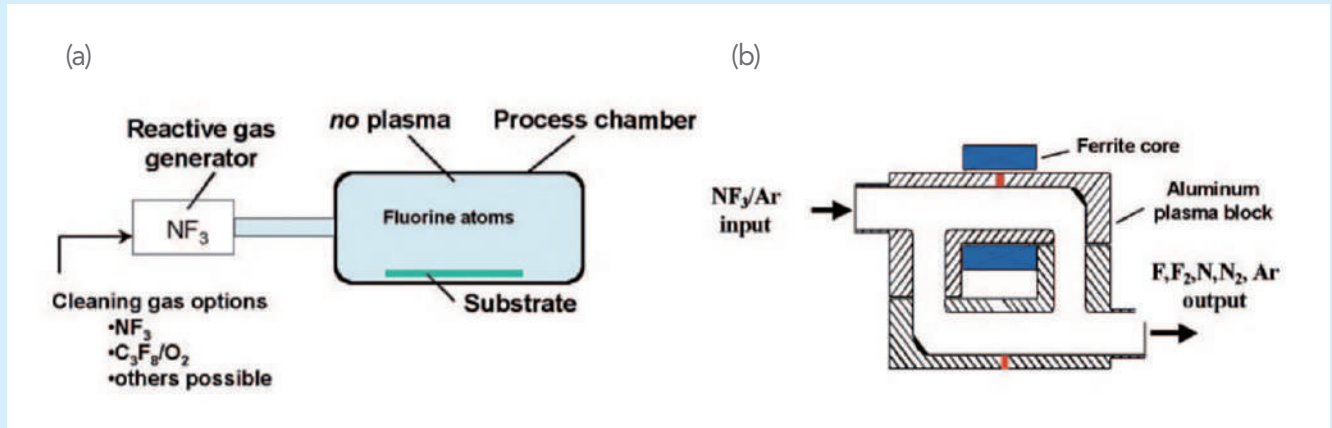
얻을 수 있다. 2차 전자 방출은 입사되는 이온 유속 및 에너지에 비례한다. CCP가  $\gamma$ -모드에서 작동하게 되면 플라즈마 밀도가 증가하게 되지만, 증착과 같은 공정에서 높은 이온 유속과 에너지로 웨이퍼나 기판에 손상을 주는 문제가 있다. 이온 유속 및 에너지를 제어하기 위해 저주파 전원을 추가로 사용하는 경우, 2차 전자 방출 효율 또한 바뀌어 전자 밀도에 영향을 미치게 된다. 따라서 두 가지 조건을 모두 만족시킬 수 있는 기술 개발이 필요하다.

#### 원격 플라즈마원(RPS)

원격 플라즈마는 플라즈마원이 시편 처리부 또는 반응기와 분리돼 있는 장비에서 발생하는 플라즈마를 일컬으며, 반도체 공정에서 주로 세정과 같은 등방성 식각 및 박막 증착을 위해 개발됐다<sup>[20]</sup>. RPS는 플라즈마 발생원이 시편으로부터 격리돼 있으므로 하전입자 재결합에 따른 하전입자의 유속이 줄고, 대부분 중성입자만 공급되게 된다. 따라서 식각 및



〈그림 3〉 다중 주파수 축전 결합 플라즈마(MF-CCP) 종류 : (a)이중 주파수 CCP ; (b)삼중 주파수 CCP ; (c)DC 바이어스 이중 주파수 CCP<sup>[18]</sup>



〈그림 4〉 원격 플라즈마원(RPS) : (a)원격 플라즈마원 개념도 ; (b)변압기 결합 토로이달 플라즈마원(TCTP)<sup>[22]</sup>

표면 처리에 필요한 화학적 활성종을 풍부하게 제공하지만 대전, 이온 충돌 및 UV·VUV선에 의해 발생할 수 있는 손상을 최소화할 수 있다<sup>[21]</sup>.

현재 대부분의 CVD 반응기 세정 기술은 진공 상태에서 RPS를 이용해 다량의 불소 활성종을 공급한 후 식각하는 방식을 채택하고 있다. RPS 세정 방식은 플라즈마 발생장치가 반응기와 분리돼 간접적으로 플라즈마를 발생시키므로 반응기 손상 없이 신속하게 세정할 수 있으며, 동시에 세정용 소스 가스(NF<sub>3</sub>) 활용률(약 99%) 또한 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 기존 In-situ 세정에 비해 PFC 가스 배출을 상당량 감소시키는 대표적인 환경친화형 공정으로 평가된다.

RPS의 경우 세정 대상이 플라즈마에 직접 노출되는 시스템이 아니므로 플라즈

마원 개발에 따른 제약이 적어 관련 연구도 활발한 편이다. 주요 요구 사항은 대용량 가스를 처리할 수 있고, 높은 해리 효율을 가지며, 다양한 불화 가스 소스를 활용할 수 있는 플라즈마원 개발이다. 더불어 CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>와 같은 PFC 가스를 사용하는 경우, 산소를 함께 사용하면 식각 효율이 높다고 알려져 산소를 주입해 방전할 수 있는 플라즈마원 개발도 중요하다. 초기 RPS 개발은 주로 마이크로웨이브 방전에 기반해 200mm CVD 반응기 세정에 성공적으로 구현됐으나, 처리할 수 있는 가스의 양에 제한이 있고 시스템 자체가 복잡하고 방대한 단점이 있다. 300mm CVD 시스템은 설치 공간이 작은 반면 많은 기체 유량을 사용할 수 있는 RPS 개발이 필요하다. 널리 사용되는 최신 RPS 기술은 변압기 결합 토로이달 플라즈마(TCTP)다. 고출력·고효율·고주파 전원장치(400kHz)와 페라이트 코어를 사용함으로써 기존 대비 100~1000배 향상된 고밀도 플라즈마를 발생시킬 수 있는 기술이다<sup>[22]</sup>. 플라즈마를 가두는 도넛 모

양의 반응기가 있고, 고주파 전력은 변압기 회로에 의해 플라즈마로 전달돼 전력은 항상 H-모드로 결합된다. TCTP의 전력 밀도는 아르곤의 경우 4.8W/cm<sup>3</sup>이고, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>의 경우 15W/cm<sup>3</sup>에 도달할 수 있다. 〈그림 4〉는 반도체산업에서 가장 널리 사용되는 TCTP 소스 개략도다.

다음으로 플라즈마원 개발에 이어 공정 모델링 기법을 살펴보면 다음과 같다. 플라즈마 모델링은 플라즈마 발생 및 이후 물질과의 반응을 예측하는 데 사용될 수 있어 실험에 비해 비용 측면에서 훨씬 효율적이며, 더 광범위한 매개변수적 연구를 수행할 수 있다. 특히 모델링은 일반적으로 실험에서 측정하기 어려운 플라즈마 기본 변수에 대한 정보를 제공해 공정 전반에 대한 이해를 도울 수 있으므로 반응기 설계 또는 공정 최적화 과정에서 널리 사용되고 있다. 최근 반도체 공정에서 플라즈마 기술이 고도화되고 새로운 설비가 지속적으로 도입되면서 업계에서는 보다 정확하고 실용적인 모델 개발에 대한 요구가 과거 어느 때보다 높다.



플라즈마 공정은 중성기체의 이온화, 생성된 하전입자와 전기장 간 상호작용, 빠른 열 및 물질 전달, 화학반응, 난류 등 매우 복잡한 물리화학적 현상을 포함하고 있다. 게다가 공정 자체는 본질적으로 원자 또는 분자들 사이에 일어나는 현상이라 정확한 계산을 위해서는 원자 수준의 접근 방식이 반드시 필요하지만, 이들 대부분 현상은 압력, 온도, 전기장과 같은 거시적 변수의 영향을 받기 때문에 연속체적 접근 방식이 필수적이다. 따라서 두 가지 접근법을 동시에 고려할 수 있는 모델 개발이 중요해지고 있다.

더불어 시간 스케일의 불일치도 플라즈마 공정 모델링에서 해결해야 할 중요한 문제다. 가령, 원자 또는 분자가 고에너지 전자에 의해 들뜨게 되는 과정은 나노초(ns) 정도로 매우 짧은 프로세스지만, 화학종 확산과 같은 현상은 수 초 정도 걸리는 비교적 긴 프로세스다. 전례 없는 컴퓨터 성능 개선에도 불구하고 플라즈마 공정의 모든 측면을 하나의 모델에 통합해 계산하는 것은 아직 매우 어렵다.

식각 또는 세정과 같은 반도체 공정에서 주로 저온 플라즈마 기술이 사용되고 있고, 반면 열분해를 통한 배출 저감 기술에는 열플라즈마와 같은 고온 플라즈마 기술이 선호되고 있다. 이 두 플라즈마는 여러 가지 측면에서 성질이 매우 달라 모델링을 위해 각자 다른 접근 방법이 개발됐으며, 여기에서는 주로 저온 플라즈마 공정 모델링에 대해 논의하고, 열플라즈마 공정에 대한 논의는 뒤에서 다룬다.

모델링 측면에서 저온 플라즈마가 갖는 주요 특징은 먼저 종마다 평균 온도가 같지 않아 플라즈마를 단일 유체로 생각할 수 없다는 것이다. 대부분 저온 플라즈마가 저압에서 발생되기 때문에 입자 간 충돌이 빈번하지 않아 전자, 이온, 중성종이 단 한 가지 온도로 기술될 수 있는 열적 평형에 이르지 못하게 된다. 더불어 이들 입자의 에너지 분포가 맥스웰(Maxwell) 분포를 갖지 않는다는 특징이 있다. 특히 전자는 플라즈마 공정에서 활성종 발생에 아주 중요한 역할을 하는데, 이때 화학반응속도(Reaction Rate)는 전자에너지 분포 함수(EEDF)에 의해 주로 결정된다. 따라서 EEDF에 대한 정확한 정보가 필요하지만, 대부분 저온 플라즈마의 경우 Non-Maxwell 분포를 갖는 경우가 많다.

현재 저온 플라즈마 공정 모델링에는 유체 모델(Fluid Model), 운동 모델(Kinetic Model), 그리고 하이브리드 모델(Hybrid Model)이 주로 사용되고 있다. 이러한 모델은 고전적인 기체운동학 및 유체 역학 이론을 하전입자를 포함하는 플라즈마 상태로 확장해 얻은 모델들이다. 이 중 탁월하게 우월한 모델은 없으며, 해석하려는 공정의 물리화학적 현상의 시공간적 스케일에 의해 주로 결정된다. 일반적으로 유체 모델은 계산 시간

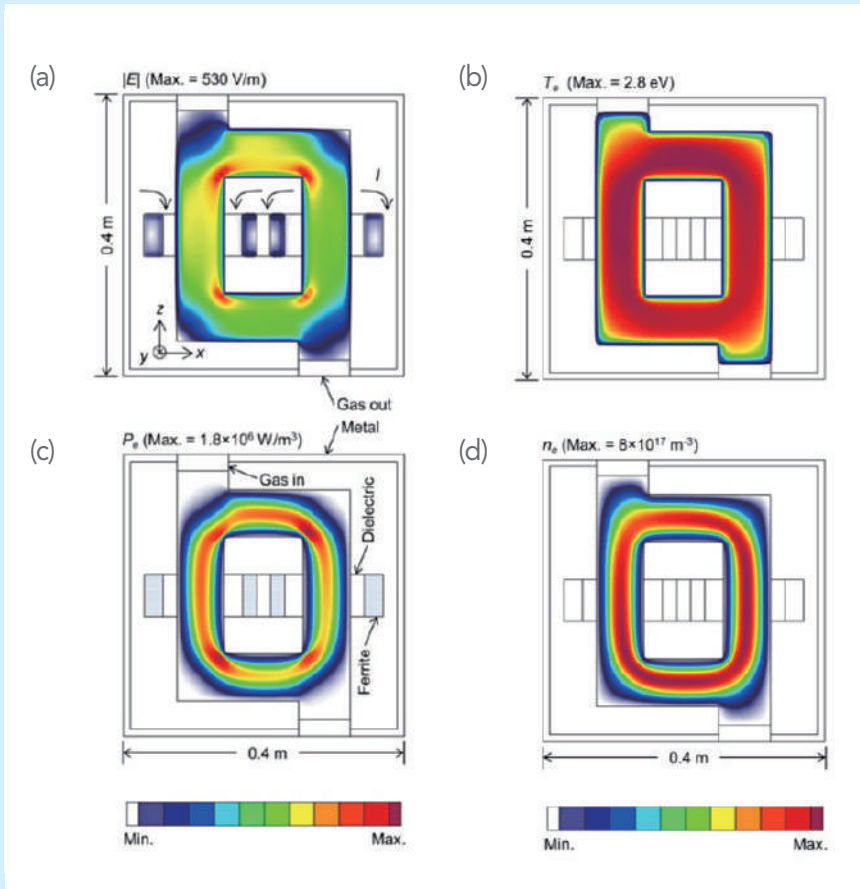
이 가장 적게 소요되는 반면, 운동 모델은 가장 높은 정확도와 신뢰도를 제공하는 것으로 알려져 있다. 각 모델에 대한 간단한 소개는 아래와 같다.

### 유체 모델(Fluid Model)

유체 모델은 플라즈마를 구성하고 있는 입자의 밀도, 평균 속도, 그리고 평균 에너지를 기반으로 플라즈마를 설명한다. 이러한 거시적 물리량은 플라즈마 내 각 종에 대한 연속 방정식, 그리고 운동량 및 에너지 보존 방정식을 풀어 얻는다. 반면 플라즈마 발생 및 하전입자 계산에 필요한 전자기장 정보는 맥스웰 또는 푸아송(Poisson) 방정식을 유체 방정식과 결합해 계산함으로써 일관되게 얻게 된다. 유체 모델에서 계산되는 변수(밀도, 에너지 및 속도)의 수는 모델에 포함된 화학종의 수에 따라 달라지며, 보통 50개 이상의 종이 고려된다. 유체 모델의 주요 장점은 계산 시간이 짧아 보다 많은 화학종을 포함할 수 있다는 것이다.

이 경우 광범위한 매개변수적 연구를 수행해 반응로 설계 및 공정 조건이 방전 특성이나 공정 결과에 미치는 영향을 신속하게 확인할 수 있다. 하지만 EEDF와 같은 정보가 유체 모델에서는 누락돼 결과가 부정확할 수 있다는 단점이 있다. 분포함수 대신 변수의 평균값만을 계산하는 유체 모델은 각 화학종의 에너지 또는 속도 분포함수를 맥스웰 분포로 가정하고 있으나, 이는 실제 플라즈마 상황과 많이 다르다.





(그림 5) 유체 모델링을 사용한 변압기 결합 토로이달 플라즈마원(TCTP) 전산 해석: (a)전기장 세기; (b)전자 온도; (c)전자에 전달된 전력; (d)전자 밀도<sup>[23]</sup>

#### 운동 모델(Kinetic Model)

운동 모델 또는 입자 모델은 실제 공정보다 더는 감소된 수의 유사 입자(Pseudo-particle)를 도입해 계산을 수행함으로써 플라즈마 내 입자의 집합적 거동을 이해하는 데 사용되는 모델링 기법이다. 운동 모델에서 유사 입자는 플라즈마 내 다양한 종의 입자그룹(유사 입자당 실제 입자 수: 105~107)을 대표하는 데 사용되는 계산 단위다. 운동 모델은 분포함수에 가정 없이 뉴턴-로렌츠(Newton-Lorentz) 및 맥스웰 방정식과 같은 제1원리 방정식을 기반으로 하기 때문에 일

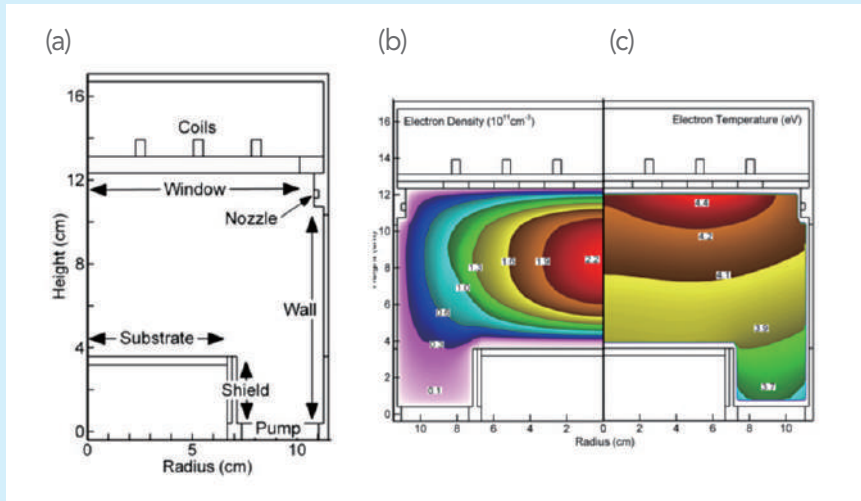
반적으로 매우 정확하고 신뢰도가 높은 결과를 제공한다고 알려져 있다. 하지만 많은 유사 입자를 직접 따라가면서 계산해야 하므로, 운동 모델은 계산 시간과 비용이 많이 드는 단점이 있다. 그래서 실제 계산에서는 계산 시간을 줄이려고 전자와 이온은 일반적으로 유사 입자로 추적되는 반면, 배후 중성 입자는 공간에 균일하게 분포돼 있다고 가정해 계산하는 경우가 많다. 계산되는 입자 수가 유사 입자를 사용함으로써 많이 감소했음에도 불구하고 이 모델링 기법은 플라즈마 공정을 잘 기술할 수 있음이 연구를 통해 밝혀졌다. 특히 Non-Maxwell

분포를 갖는 플라즈마를 연구할 때 운동 모델을 사용하면 EEDF와 같은 통계적 속성을 계산 결과로부터 얻을 수 있는 장점이 있다. 계산 시간은 추적하는 유사 입자의 수에 비례하므로, 계산 시간과 입자의 충분한 통계적 의미 사이의 균형을 맞출 수 있는 유사 입자의 수를 신중하게 선택하는 것이 중요하다. 또 다른 방법은 모델링을 위해 그래픽처리장치(GPU)와 같은 고속 계산 장치를 적용하는 것이다.

#### 하이브리드 모델(Hybrid Model)

하이브리드 모델은 유체 및 운동 모델을 조합한 모델링 기법이다. 유체 접근법과 같이 거시적 규모의 플라즈마 특성을 기술하는 모듈과 운동 모델에서와 같이 유사 입자를 사용해 플라즈마 특성을 추적하는 모듈을 결합하게 된다. 하이브리드 모델은 유체 모델의 빠른 속도와 운동 모델의 정확성을 결합함으로써 입자 모델보다 빠르게 실행될 수 있으며 유체 모델보다 더 정확하게 설명할 수 있다. 공정에서 계산해야 할 핵심 물리량에 따라 다른 종류의 하이브리드 모델들이 만들어질 수 있다. 가령 전자 에너지 분포 정보가 중요한 경우, 전자는 입자로 취급되고 이온은 유체로 간주될 수 있다. 반면, 반도체 공정에서 웨이퍼 표면에 영향을 미치는 이온 에너지 또는 각도 분포를 연구하기 위해서는 이온은 입자로 취급하고, 전자는 유체 모델링 기법을 사용해 기술될 수 있다. 하이브리드 모델에서는 거시적·미시적 물리현상이 모두 추적되기



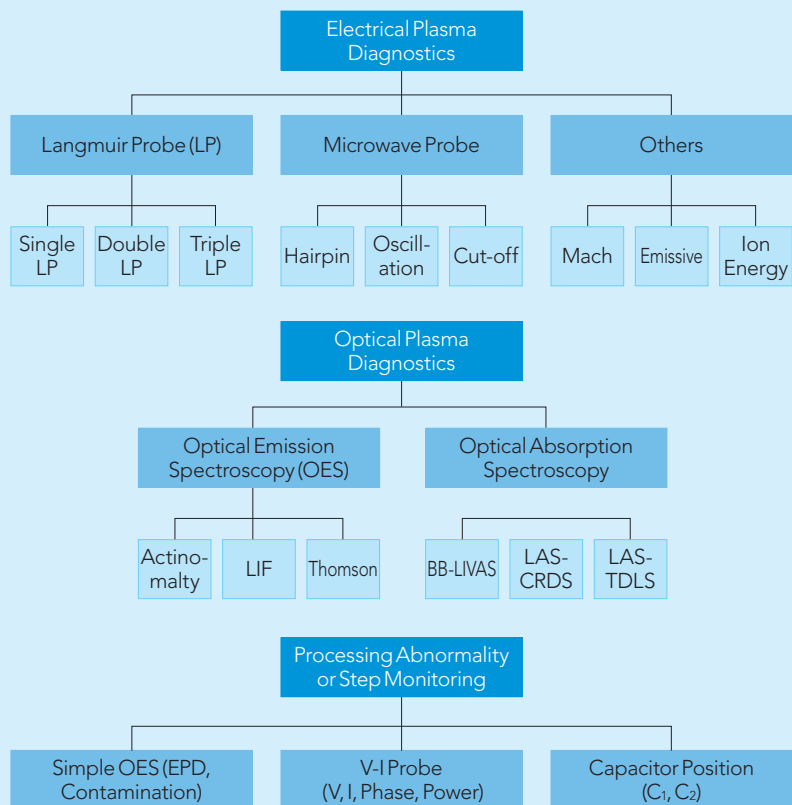


〈그림 6〉 하이브리드 모델링을 통한 유도 결합 플라즈마원(ICP) 전산 해석 : (a)계산 영역; (b)전자 밀도; (c)전자 온도<sup>[24]</sup>

때문에 적절한 시간 스케일을 선택하는데 어려움이 있다. 시간 스케일에 대한 요구 사항은 해석하려고 하는 공정의 규모에 따라 다를 수 있다. 고주파 영역에서 전자기장 진동과 같은 물리현상은 1나노초보다 짧은 시간 스케일에서 발생하나, 반응로 내부에서 기체 흐름과 같은 현상은 완료에 몇 초 이상이 걸린다. 이런 시간 스케일에서의 차이로 파생되는 문제는 종종 계산을 다른 모듈로 나누어 해결하게 된다. 각 모듈에서는 각 입자의 거동 해석에 적합한 시간 스케일로 계산이 수행되며, 이후 매개변수가 업데이트되고 시간 분할 방식으로 모듈 간에 전송된다. 계산은 수렴될 때까지 모듈 간 계층적 방식으로 계속 반복된다. 다음으로 플라즈마원 개발, 공정 모델링

기법에 이어 공정 진단 기법을 살펴보면 다음과 같다. 반도체 공정을 최적화하는 과정은 공정 조건을 끊임없이 바꾸어가

면서 방전 특성 및 공정 결과가 어떻게 영향을 받는지 지속적으로 모니터링하는 과정이다. 기존 PFC 가스를 대체할 새로운 공정을 개발하는 경우, 플라즈마 발생 기체가 바뀌게 돼 플라즈마 물성에 많은 영향을 미치게 되므로, 효율적인 최적화 방향을 제시하기 위해서는 공정 중 플라즈마 물성에 대한 심도 있는 이해가 필요하다. 일반적으로 업계에서는 플라즈마 반응기를 블랙박스화해 실험계획법에 기반한 시행착오법(Trial-and-error Method)으로 최적화하는 경우가 많다. 하지만 플라즈마 공정이 고도화되고 있고 요구되는 정밀도도 높아지고 있어 플라즈마 공정 내부에 깊은 이해와 통찰력이 없이는 최적화하는 데 한계가

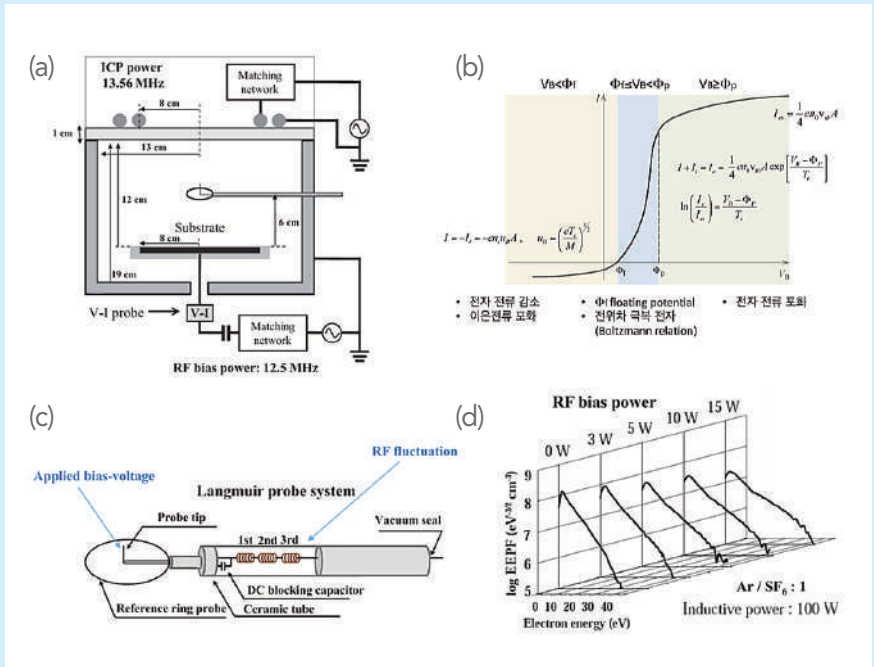


〈그림 7〉 반도체 공정에서 사용되는 플라즈마 진단 및 공정 모니터링 기법<sup>[25]</sup>

있다. 따라서 공정 이해를 높일 수 있는 진단 기법 개발 요구 또한 점차 커지고 있는 실정이다. 더불어 식각과 세정은 공정이 완료되는 시점(EPD)을 모니터링을 통해 정확하고 신속하게 결정하는 경우, 사용되는 PFC 가스량을 줄일 수 있다. 이 때문에 공정 결과에 영향을 주지 않으면서 In-situ로 모니터링할 수 있는 진단 기술 역시 필요해졌다. 반도체 공정에서 공정을 지배하고 공정 결과에 영향을 주는 핵심 플라즈마 변수는 전자 밀도, 온도, 전자 에너지 분포, 활성종 밀도 및 조성, 이온 에너지 분포 등이다. 이 변수들을 한 번에 모두 측정할 수 있는 진단 기법은 없으며, 관심 변수에 따라 다른 기법이 적용되고 있다. 현재까지 개발된 주요 진단 기술에는 랑뮤어 탐침법(Langmuir Probe Method), 광방출 분석법(OES), 사중극자 질량 분석법(QMS), 푸리에 변환 적외선 분광법(FT-IR) 등이 있다.

**랑뮤어 탐침법(Langmuir Probe Method)**

플라즈마 반응기 내 전자 밀도, 전자 온도, 전자 에너지 분포함수, 이온 밀도, 이온 포화전류 등을 측정할 수 있는 방법이며, 플라즈마 물성을 이해하는 데 큰 도움을 주는 진단 기법이다. 랑뮤어 탐침은 금속 탐침, 탐침에 가변 전압을 걸 수 있는 전원, 그리고 탐침을 통해 흐르는 전류를 측정할 수 있는 전류계로 구성돼 있다. 측정 시 탐침이 플라즈마 내부로 삽입되며, 이후 전압을 걸어 발생하는 전자 및 이온 전류를 측정하고,



〈그림 8〉 랑뮤어 탐침법을 이용한 ICP에서 전자 에너지 분포함수(EEDF) 측정 : (a)랑뮤어 탐침법 측정 실험 개략도 ; (b)랑뮤어 탐침법을 통해 측정된 V-I 곡선 ; (c)랑뮤어 탐침 구조 ; (d)다양한 입력 전력에 대해 측정된 전자 에너지 분포함수(EEDF)<sup>[25,26]</sup>

이로부터 구체적인 플라즈마 물성에 대한 정보를 얻게 된다. 가령, 전자 전류와 전자 포화 전류 곡선은 전자 온도에 대한 정보를 제공하며, 전자 밀도는 전자 포화 전류 또는 이온 포화 전류를 통해 얻을 수 있고, 전자 에너지 분포는 V-I 곡선의 1차, 2차 미분값을 통해 도출된다. 랑뮤어 탐침법은 특히 전자 에너지 분포를 측정할 수 있는 거의 유일한 방법으로 알려져 있어 플라즈마 발생 메커니즘을 이해하는 데 많은 도움을 줄 뿐만 아니라 플라즈마 모델링에서 얻은 전자 에너지 분포함수(EEDF)와 비교해 모델 검증에도 유용하게 쓰이는 기법이다. 두 개의 탐침을 사용하는 경우 전자 온도, 이온 밀도, 그리고 이온 포화전류도 측정할 수 있지만 플라즈마 내에 형성되는 하전 입자의 질량 및 이온 에너지 분

포 등은 측정이 불가능하다. 진단 시 탐침의 전류 수집 유효 면적은 탐침의 실제 표면적이 아니라 탐침 주위에 형성된 시스(Sheath)의 표면적이기 때문에 전자 밀도와 이온 밀도가 다르게 측정되는 등 오차가 발생한다. 또한 플라즈마 내에 위치한 탐침이 고에너지 하전 입자 및 광자와 충돌해 2차 전자를 방출하는 등 오차의 원인이 되기도 한다. 이외에 탐침이 플라즈마에 직접 노출됨으로써 이물질이 탐침 표면에 부착되거나 부식될 우려가 있으므로 이러한 문제를 최소화할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 가장 큰 문제점은 탐침이 반응로 내로 삽입됨으로써 플라즈마 자체에 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 따라서 랑뮤어 탐침법은 양산 공정 감시보다는 공정 개발 단계에서 많이 쓰인다.



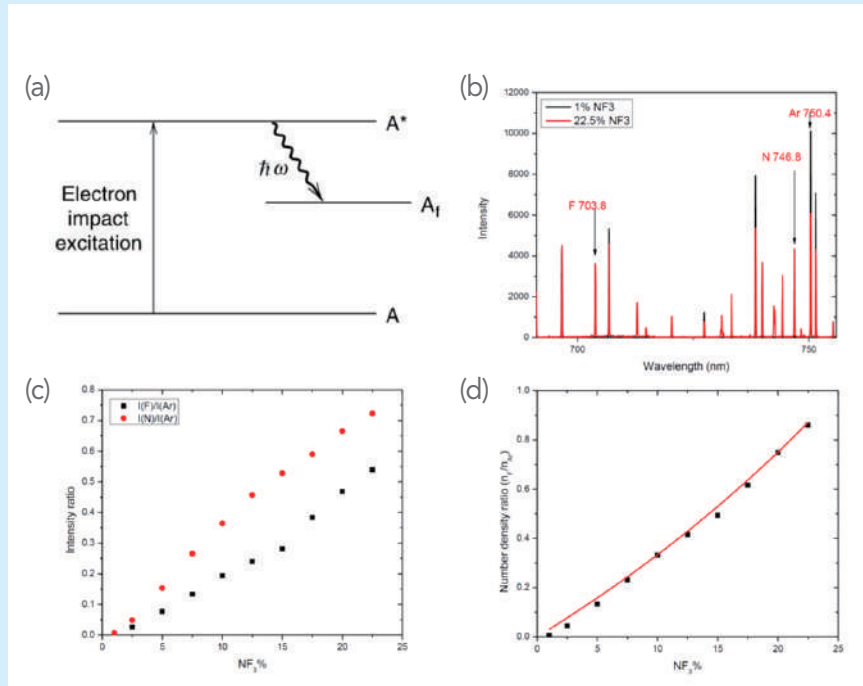
### 광방출 분석법(OES)

공정에 영향을 미치지 않고 간접적으로 실시간 모니터링할 수 있는 방법 가운데 가장 광범위하게 사용되는 진단 기법은 OES다. 플라즈마에서 생성된 고에너지 전자가 원자에 충돌할 경우, 원자 내에 속박된 전자의 에너지 준위가 상승했다가 다시 낮은 에너지 상태로 천이하면서 빛이 나오게 된다. 하전 입자에 의해 분자가 해리되거나 이후 생성된 화학적 활성종이 재결합하는 경우에도 들뜬 원자 또는 분자들이 만들어지며, 이들 또한 빛을 방출해 안정된 상태로 천이된다. 이때 방출되는 빛의 파장은 원자 또는 분자의 종류에 따라 서로 다른 값을 갖게 되므로, 플라즈마에서 방출된 빛의 파

장을 분석함으로써 플라즈마 내에 어떠한 원자 또는 분자가 존재하는지 신속하고 정확하게 알아낼 수 있다. 따라서 OES는 주로 식각 또는 세정 공정의 공정 종료 시점을 결정하는데 널리 사용되고 있다. 식각이나 세정이 이루어지는 경우 박막 또는 반응기 오염 물질이 부산물로 플라즈마 내에 존재해 OES로 감지 가능하며, 공정이 마무리돼 갈수록 부산물에서 나오는 빛의 세기가 줄게 된다. 따라서 OES를 활용하면 빛의 세기가 급격히 감소하는 시점을 찾아내 공정 종료 시점으로 사용할 수 있다. 더불어 농도를 알고 있는 원자(예: 반응기 기본 배경 가스로 사용되는 아르곤)에서 방출되는 빛의 세기와 특정 원자에서 방출되는 빛의 세기를 비교하면 그 원자의 농도에 대

한 정량적 해석도 가능하다. 가령, PFC 가스(NF<sub>3</sub>) 분해에서 생성되는 불소 원자의 방출선(703.8nm) 세기를 아르곤 방출선(750.4nm) 세기와 비교해 특정 공정 조건에서 PFC 가스 분해 효율을 측정할 수 있다.

전자 온도, 전자 밀도, 이온화율과 같은 플라즈마 물성에 대한 정보도 OES를 통해 획득할 수 있다. 열플라즈마와 같이 플라즈마가 국부적 열역학적 평형 상태(LTE)에 있는 경우, 관측된 방출선 절대 세기는 들뜬 상태(Excited-state) 수밀도(Number Density)에 대한 정보를 제공하며, 수밀도는 볼츠만(Boltzmann) 분포를 따르게 된다. 이 경우 서로 다른 두 개의 방출선 세기를 비교한 양은 볼츠만 분포를 따르며 전자 온도만의 함수가 된다. 만약 몇 개의 방출선 세기를 측정했다면, 선형 근사(Linear Fitting)를 통해 전자 온도를 구할 수 있다. 하지만 저온 플라즈마와 같이 플라즈마가 LTE 조건을 만족하지 못하는 경우, 수밀도 함수는 볼츠만 분포를 따르지 않게 되며, 방출선 세기 비교값도 전자 온도뿐만 아니라 전자 밀도의 함수가 된다. 이 경우 이론적 접근법(예: Collisional-radiative Model)을 사용해 들뜬 상태 수밀도를 구하고, 이를 측정값과 비교해 전자 온도와 전자 밀도를 구하게 된다.



〈그림 9〉 광방출 분석법(OES)을 이용한 원경 플라즈마에서 NF<sub>3</sub> 가스 분해 효율 분석 (Argon Actinometry): (a) 광방출 원리; (b) 두 가지 NF<sub>3</sub> 농도(1%, 22.5%)에 대해 측정된 광방출 스펙트럼; (c) NF<sub>3</sub> 농도에 따른 방출선 세기 비; (d) 방출선 세기 비교로부터 계산된 불소 원자 대 아르곤 원자 수밀도 비<sup>[27]</sup>



### 퓨리에 변환 적외선 분광법(FT-IR)

플라즈마 공정에서 반응으로 생성되는 화학종의 정량적 해석에 많이 사용되고 있는 기법이다. 플라즈마 반응기 또는 공정 가스 배출구에서 채취된 기체 시료에 적외선을 가하면 극성을 갖는 분자들 간에 진동과 회전 들뜸에 맞는 에너지 흡수가 일어난다. 이때 흡수 또는 투과되는 정도를 적외선 파수의 함수로 측정함으로써 특정 분자의 작용기 존재 여부를 알 수 있는데, 이런 현상을 활용한 것이 FT-IR이다. 보정된 FT-IR 기법을 사용하는 경우 화학종의 체적 농도를 측정할 수 있어 공정에서 배출된 PFC 가스의 총량으로부터 탄소배출량(MMTCE)을 계산하는 데 주로 사용된다. 더불어 공정 종료 시점 감시에도 쓰인다. 특히 CVD 반응기 세정 시 PFC 양을 줄이기 위해 원격 플라즈마원을 사용하는 경우 중요한 문제 하나는 공정 종료 시점 감지다.

원격 플라즈마는 일반적으로 세정하려고 하는 CVD 반응기 전단에 위치하기 때문에 CVD 반응기 내에는 화학종을 들뜬 상태로 만들 수 있는 고에너지 이온이나 전자가 존재하지 않는다. 즉, CVD 반응기에서 빛이 방출되지 않아 종점 검출에 OES 기법을 활용할 수 없게 되며 이 경우 FT-IR 기법이 주로 활용되고 있다. 하지만 시료를 채취하는 과정에서 활성종들이 재결합을 이룰 수 있기 때문에 반응기 내에 일어나는 화학 반응에 대한 직접적인 정보를 얻는 데 한계가 있다.

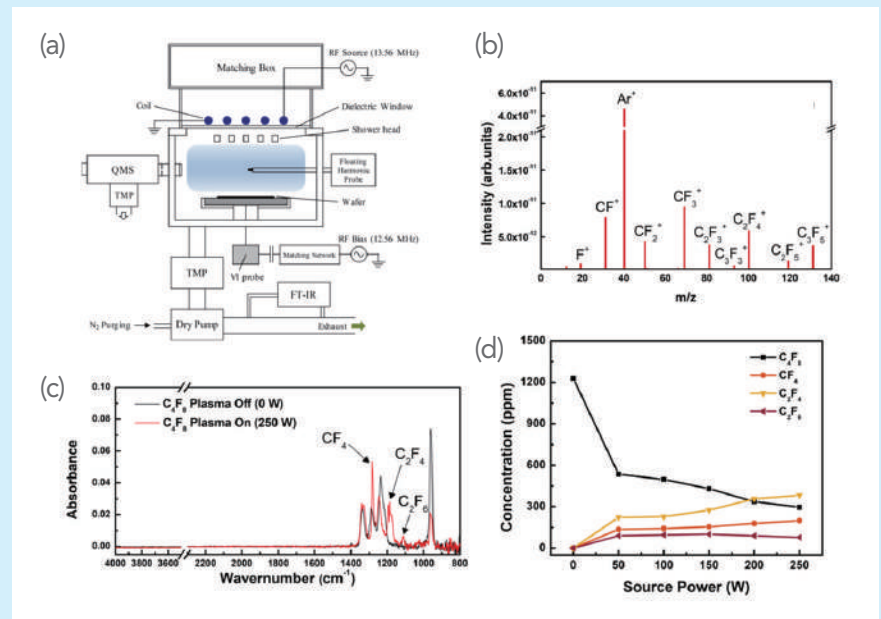
### 사중극자 질량분석기(QMS)

사중극자 질량분석기는 필라멘트를 가열해 방출된 열전자를 가속시킨 후 중성 입자와 충돌시켜 이온을 만들고, 사중극자로 이루어진 질량 필터에 직류 및 교류 전압을 인가해 특정 질량·전하비를 갖는 입자만 선택적으로 통과시켜 중성 입자 및 이온의 질량을 측정한다. 측정된 질량을 바탕으로 플라즈마 반응기 내에 존재하는 화학종을 예측하는 진단 기법이다. 저온 플라즈마에서의 가스 질량 스펙트럼은 상대적으로 간단하기 때문에 플라즈마 공정 연구나 생산 공정 제어에서 FT-IR 기법과 함께 플라즈마 반응종의 정량적 해석에 많이 사용되고 있다. 특히 불소 원소와 같은 단일 원소의 경우 FT-IR 기법으로는 측정이 불가능하므로, 반응종의 정량 해석을 위해 두 가지

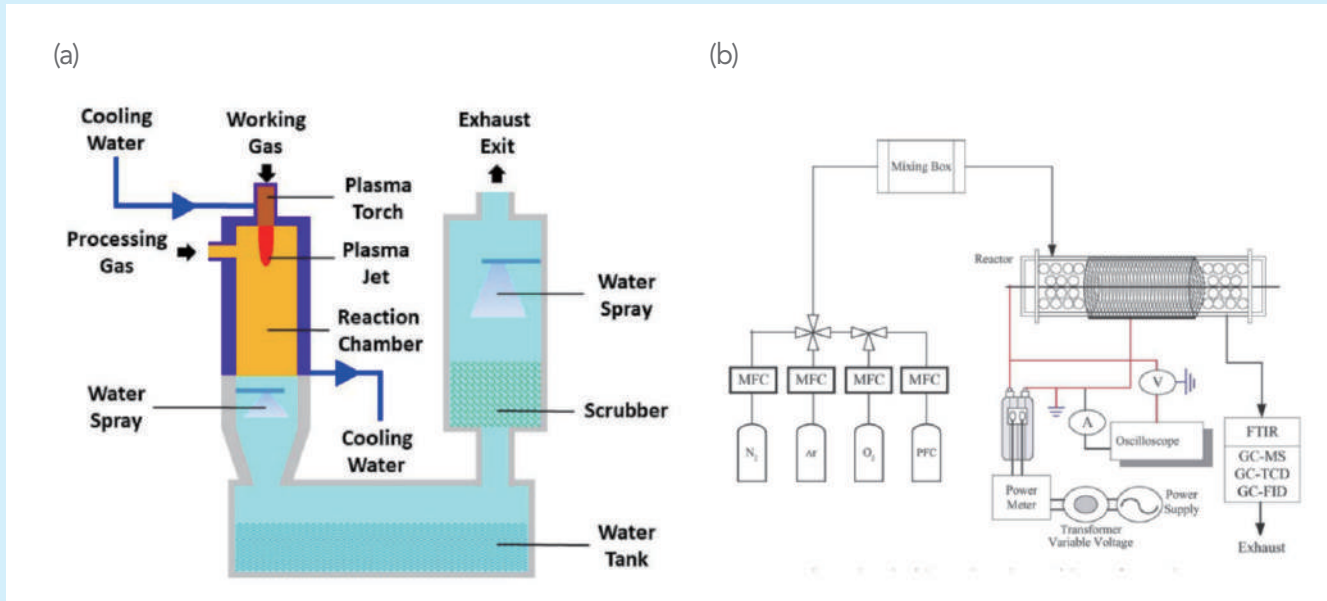
기법을 병행하는 경우가 많다. 더불어 충돌로 해리된 이온이나 활성종의 밀도, 질량 및 에너지 분포를 측정하여 플라즈마 내에서 전자와 활성종 생성에 대한 메커니즘을 밝히는 데도 사용되고 있다.

### 배출 제어 적용 플라즈마 기술

우선 플라즈마를 이용한 배출 제어 기술 동향을 살펴보면 다음과 같다. 반도체 공정에서 배출된 PFC 가스를 분해해 저감하는 분야에도 플라즈마가 핵심 기술로 확장되고 있다. PFC 가스 분해는 높은 온도와 열량이 필요해 재래식 기술로 처리하는 경우 분해효율 측면에서 한계가 있어 새로운 대체 기술의 개발이 시급한 실정이다. 이러한 다양한 노력 중 열 플라즈마 기술에 대한 관심이 집중되고 있다. 열플라즈마는 연소와 같이 화학 반응으로 생긴 열유체에서는 얻을 수 없는



(그림 10) 퓨리에 변환 적외선 분광법(FT-IR)과 사중극자 질량분석기(QMS)를 이용한 PFC 가스 분해효율 측정 실험: (a)실험 개략도; (b)QMS를 통해 측정된 질량 스펙트럼; (c)FT-IR을 통해 얻은 IR 스펙트럼; (d)FT-IR 분석을 통해 계산된 입력 전력에 따른 PFC 가스 분해효율<sup>[28]</sup>



(그림 11) 플라즈마 기반 PFC 배출 저감 기술 : (a)열플라즈마를 이용한 PFC 가스 분해 공정<sup>[29]</sup>; (b)축매와 상압 비평형 플라즈마(유전체 장벽 방전·DBD)를 이용한 PFC 가스 분해 공정<sup>[30]</sup>

초고온, 고열용량, 다량의 활성입자를 제공하며, 빠른 열 및 물질 전달 능력을 갖고 있다<sup>[14]</sup>. 따라서 PFC 가스를 신속하고 효율적으로 분해해 공정처리 단계 및 시간을 줄일 수 있는 장점이 있다. 온도 제어 및 출력 조절 또한 용이하고 다양한 기체들이 열유체로 쉽게 전환될 수 있어 열분해 공정에 많은 유연성을 제공하기도 한다. 더불어 열플라즈마는 전기를 주요 에너지원으로 사용해 발생되므로 전력이 재생에너지를 통해 공급되는 경우 탄소중립도에 기여할 수 있는 친환경적인 열원이다. 현재 열플라즈마를 이용한 PFC 열분해 공정은 대부분 POU 방식으로 그 구성은 플라즈마 발생 시스템(플라즈마 토치 및 전원공급장치), PFC 가스 주입부, 열분해 반응기, 가스 냉각부, 수조, 습식 스크러버로 이루어진다. 공정 개발에 있어 주요 관심사는 전원의 종류, 출력 규모, 발생기 구조,

사용기체 종류, 적용 환경 등에 따라 효율이 높고 오랜 수명을 가지며 안정적으로 운전이 가능한 열플라즈마 발생기 설계 제작 기술, 그리고 폐가스의 효과적인 혼합 및 부산물 제거 기술을 갖는 처리 장치의 개발이다<sup>[8]</sup>. 이를 위해 다양한 실험 및 진단, 모델링 기법 등이 개발되고 있다.

1990년대 초반부터 비평형 저온 플라즈마 기술 또한 PFC 가스 분해 연구에 적용돼 왔다. 현재 PFC 가스 분해에 사용되는 주요 비평형 저온 플라즈마에는 저압 마이크로웨이브 플라즈마, 저압 유도 결합 플라즈마, 그리고 유전체 장벽 방전(DBD) 플라즈마를 포함하는 다양한 상압 비평형 플라즈마 등이 있다. 이들은 열플라즈마에 비해 높은 전자 에너지를 얻을 수 있기 때문에 빠른 반응 속도를 제공하며, 낮은 전력 소비로 운전이 가능하지만 대용량 PFC 가스 처리에는 한

계가 있어 소규모 연구 위주로 사용되고 있다. 따라서 본 보고서는 열플라즈마 공정을 중심으로 논의하고자 한다.

다음으로 열플라즈마 발생 기술을 살펴보면 다음과 같다. 직류 또는 고주파 방전을 통해 생성된 아크에 가스를 주입하면 가스가 빠르게 가열돼 팽창하고, 이를 노즐을 통해 반응기 쪽으로 방출시키면 온·고속의 열플라즈마 제트를 얻을 수 있다. 열플라즈마 제트의 온도는 최대 1만도에 도달할 수 있고, 속도 범위는 노즐 설계에 따라 초당 수 m에서 초음속에 이를 수 있다. 식각 또는 세정 공정에 주로 사용되는 저온 플라즈마와 달리 대부분 열플라즈마는 대기압 상태에서 발생돼 입자 간 충돌이 잦으므로 전자 온도와 중성 입자의 온도가 수천 도에서 동일해지는 열적 평형 상태에 있다. 따라서 열플라즈마는 높은 에너지 및 열속은 물론이고 전자를 포함한 다양한 화학적 활성종을



풍부하게 제공한다. 이에 1960년대 중반의 초기 개발부터 열플라즈마는 금속 정련, 세라믹 스프레이 코팅, 절단, 용접, 폐기물 처리 등 다양한 분야에서 열원으로 광범하게 사용돼 왔다. 현재 PFC 가스 열분해 공정에 쓰이는 열플라즈마 발생기는 크게 직류 플라즈마 토치, 고주파 플라즈마 토치, 마이크로웨이브 플라즈마 토치가 있다.

**직류 플라즈마 토치  
(Direct-current Plasma Torch)**

직류 플라즈마 토치는 일반적으로 음극과 양극으로 구성되고, 전극 형태에 따라 막대형(Rod 타입)과 공동형(Hollow 타입), 운전방식에 따라 이송식(Transfer 타입)과 비이송식(Non-transfer 타입)으로 크게 분류할 수 있다. 막대형의 경우, 음극은 일반적으로 2% 토륨(Thoriated) 텅스텐으로 제작되며 원뿔 형태를 갖는다. 음극에서 전자는 열전자방출(Thermionic Emission) 현상에 의해 생성된다. PFC 가스 열분해 시 일반적으로 산소를 첨가제로 사용하게 되는데, 텅스텐 음극의 경우 음극에 형성된 산화물 층은 낮은 온도(~1700도)에서도 쉽게 증발해 심각한 침식을 유발한다. 따라서 텅스텐 음극의 경우 산소 함유 가스를 사용할 수 없다는 단점이 있다. 반면 하프늄 또는 지르코늄과 같은 고온 재료를 전극으로 사용

하는 경우, 산화물이 보다 더 높은 녹는점 또는 끓는점을 갖게 돼 침식이 심각하지 않으므로 산소를 포함하는 가스와 함께 사용할 수 있다.

공동형 음극은 속이 빈 원통형으로 일반적으로 고순도 무산소동(Oxygen-free Copper)으로 만들어지며, 냉각수로 냉각된다. 이 때문에 전자 방출은 열전자 방출보다는 이온 충돌에 따른 전자 방출 효과가 더 크다. 따라서 막대형 토치와 달리 공기 및 수증기를 포함한 모든 종류의 가스를 플라즈마 가스로 사용할 수 있고, 상대적으로 긴 아크 기동을 형성함으로써 넓은 영역의 플라즈마 제트를 제공한다. 따라서 막대형 토치에 비해 대용량 공정 개발에 유리하다. 하지만 음극 침식률이 막대형 토치보다 높아 잦은 전극 교체가 공정 시 중요한 문제점이며, 이를 해결하고자 음극 주위에 슬래노이드를 설치해 축 방향 자기장을 형성하고 아크를 회전시킴으로써 침식률을 낮추는 방법도 사용되고 있다.

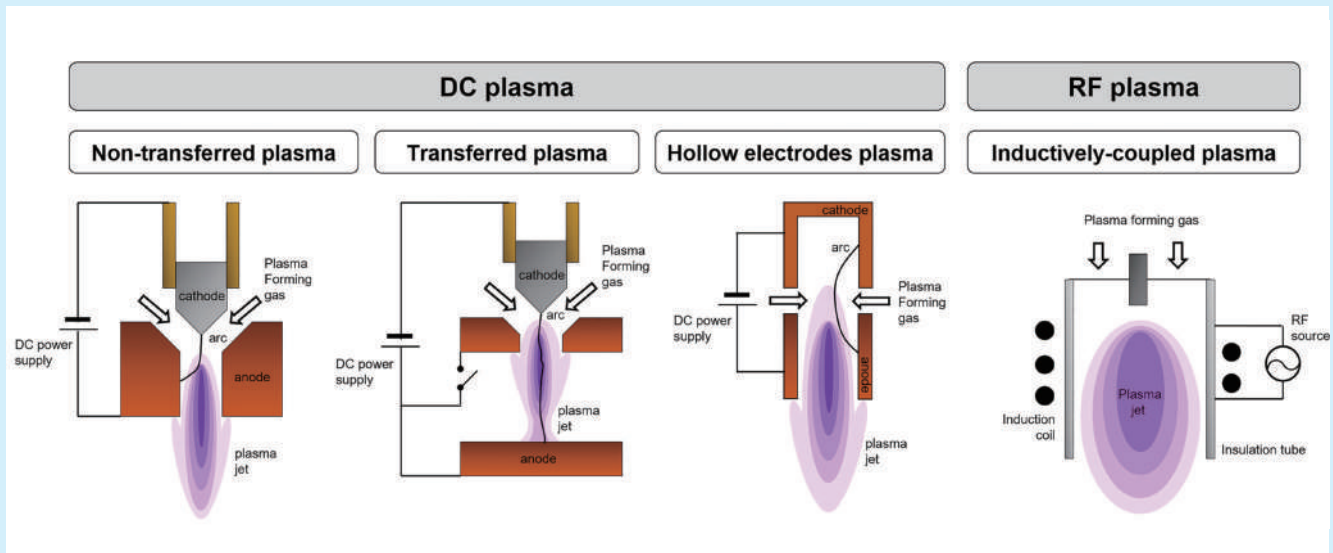
비이송식으로 운전되는 경우, 아크는 플라즈마 토치 내부에서만 존재하며 토치 외부에 형성된 플라즈마 제트에 PFC와 같은 처리 대상 가스를 분사함으로써 열분해한다. 토치 내부로 주입하는 경우, 고온 아크의 높은 열전달률로 PFC 가스 분해효율을 높일 수는 있지만, 부식성 가스가 발생하면서 전극이 손상돼 이를 해결하는 방안을 마련하는 게 시급하다. 이송식 운전은 파일럿 전극을 사용해 플라즈마 토치 내부에서 아크를 형성한 후 이를 토치 외부 전극까지 이송시켜 운전하는 방식으로, 금속 정련 및

용접·절단에 많이 사용되고 있으나 폐가스 처리 용도로는 사용되지 않는다. 직류 플라즈마 토치는 PFC 가스 열분해에 있어 몇 가지 장점이 있다. 먼저 상대적으로 작은 토치 직경은 수축된 플라즈마 제트를 발생시켜 토치 축에서 온도 및 속도를 높인다. 높은 온도는 난분해성 PFC 가스의 열분해를 촉진하며, 빠른 플라즈마 제트 속도는 반응기 내 난류를 발생시켜 플라즈마 제트와 처리 대상 가스의 혼합을 증진시킨다. 토치 효율도 70% 이상으로 70% 미만인 고주파 플라즈마 토치보다 월등히 높다. 하지만 전극 오염 및 침식에 따른 빈번한 전극 교체는 공정 효율을 심각하게 낮추는 단점이 있어 전극 수명 연장을 위한 토치의 최적 설계 연구가 절실하다.

**고주파 플라즈마 토치  
(Radio-frequency Plasma Torch)**

고주파 플라즈마 토치는 일반적으로 플라즈마를 가두는 세라믹 튜브와 고주파 전력을 공급하는 코일로 구성되며, 더 나은 열유체 제어를 위해 플라즈마 토치 끝에 노즐을 부착하는 경우도 있다. 고주파 플라즈마 토치에서 플라즈마는 ICP 저온 플라즈마와 유사한 유도 가열 방식에 따라 발생·유지된다. 반면 저온 플라즈마의 경우 평면형 코일이 주로 사용되나, 고주파 토치의 경우에는 플라즈마





〈그림 12〉 열플라즈마 발생기 종류 : 비이송식 막대형 토치(Non-transferred Rod-type Plasma Torch), 이송식 막대형 토치(Transferred Rod-type Plasma Torch), 비이송식 공동형 토치(Non-transferred Hollow Electrode Plasma Torch), 고주파 토치(Inductively Coupled Plasma Torch)<sup>[31]</sup>

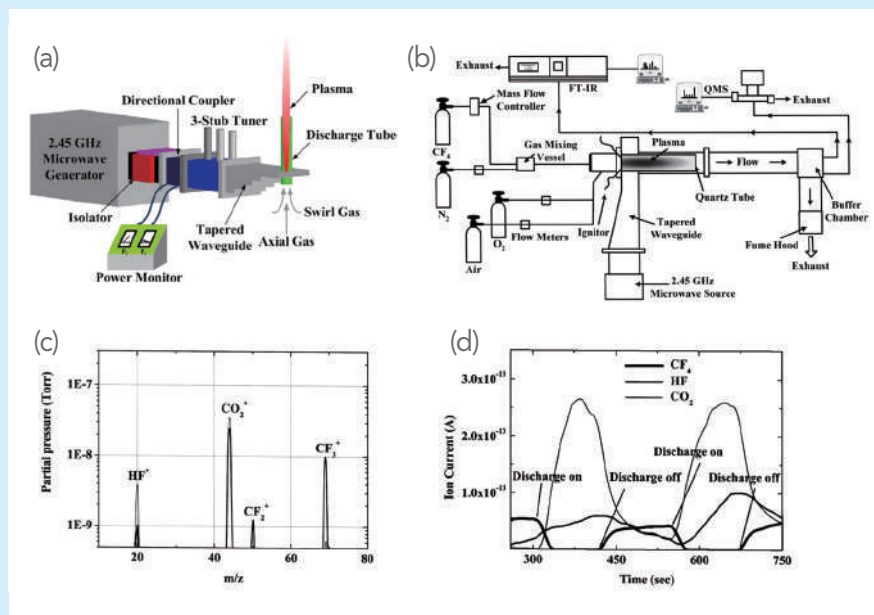
제트 발생이 용이한 솔레노이드형 코일이 사용된다. PFC 가스 열분해에 있어 고주파 토치는 직류 토치에 비해 몇 가지 장점이 있다. 먼저 전극이 따로 존재하지 않아 거의 모든 종류의 기체를 플라즈마 가스로 사용할 수 있고, 동시에 반응물을 플라즈마 내부로 주입 가능해 더 나은 열분해 효율을 얻을 수 있다. 더불어 고주파 토치는 직류 토치에 비해 더 넓은 고온 영역을 제공하는 한편 제트 속도도 낮아 반응물의 플라즈마 내 체류 시간을 증가시켜 분해효율을 높일 수 있다. 하지만 상대적으로 낮은 플라즈마 온도 및 토치 효율(70% 미만), 그리고 저비용·대용량 고주파 전원 개발은 여전히 해결해야 할 숙제로 남아 있다.

이 있지만, 고출력(>100kW)에서 운전되는 경우 에너지 결합 효율이 40% 미만으로 급격히 떨어지는 단점이 있다. 이에 무전극 운전의 장점을 살리면서 고효율에서 운전하기 위해 마이크로웨이브 플라

즈마 토치가 개발돼 PFC 가스 열분해에 적용되고 있다. 마이크로웨이브 토치에서 플라즈마는 마그네트론(Magnetron, 2.45GHz)에서 방출되는 전자기 표면파에 의해 발생 및 유지되며, 100%에 가까운

**마이크로웨이브 플라즈마 토치  
(Microwave Plasma Torch)**

무전극 형태로 운전되는 고주파 플라즈마 토치는 직류 토치에 비해 다양한 장점



〈그림 13〉 마이크로웨이브 플라즈마 토치를 이용한 CF<sub>4</sub> 분해 : (a)마이크로웨이브 플라즈마 토치 개략도; (b)마이크로웨이브 플라즈마 토치를 이용한 PFC 분해 시스템 개략도; (c)사중극자 질량분석기 분석 결과(화학종 분압); (d)사중극자 질량분석기 분석 결과(이온 전류)<sup>[32,33]</sup>

전력 전달 효율을 얻을 수 있는 것으로 알려졌다. 하지만 대형화 시 상응하는 전원공급장치의 개발이 어려운 기술적 한계가 있다.

열플라즈마 발생 기술에 이어 열플라즈마 공정 모델링 기법을 살펴보면 다음과 같다. 열플라즈마 공정은 기체 이온화에 의한 플라즈마 생성, 플라즈마와 주입 물질 간 빠른 열·물질 전달, 난류, 그리고 고온에서 화학반응을 포함하는 등 아주 복잡한 프로세스로 이뤄진다. 더불어 수천 도의 공정 온도와 반응기 축 및 반경 방향으로 형성된 급격한 온도·속도 구배로 인해 공정을 실시간 모니터링할 수 있는 적당한 진단 기법조차 많지 않다. 이러한 이유로 공정 이해를 통한 최적화 기법에는 모델링이 많이 사용되고 있다. PFC 열분해 공정에 사용되는 주요 모델링 기법은 크게 화학 평형 조성 계산, 화학 반응 모델링, 열유체 모델링 등이 있다.

#### 화학 평형 조성 계산 (Chemical Equilibrium Composition Calculation)

화학 평형 조성 계산은 플라즈마와 주입된 폐가스가 완벽히 섞여 특정 혼합 온도에 이르고, 이후 화학반응이 완전히 마무리돼 화학적 평형에 도달했다고 가정했을 때 화학적 조성을 계산하는 기법이

다. 일반적으로 깃스 에너지 최소화 알고리즘을 기반으로 계산되며, 주어진 폐가스 주입량에 대해 분해 수준 및 효율을 예측하는 데 유용하다. 더불어 난분해성 PFC 가스 분해에 적합한 공정 온도 또는 혼합 온도 도출에도 사용된다. 가령 화학적으로 매우 안정된  $CF_4$ 를 분해할 경우 3000도 이상의 고온이 필요하다고 화학 평형 조성 계산을 통해 알려졌다. 하지만 실제 공정에서 반응기 내부 온도는 한 가지 온도로 정의되지 않으며 반응물의 체류 시간도 짧아 화학적 평형 상태에 있다고 가정하기 힘들다. 특히 반응물이 열플라즈마를 통해 분해된 후 반응기 하부로 이동하면서 온도가 낮아지고 발생된 활성종이 재결합하는 현상을 적절하게 설명할 수 없는 단점이 있다.

#### 화학 반응 모델링(Chemical Kinetic Modeling)

화학 평형 조성 계산의 단점을 보완하기 위해 화학 반응 모델링 기법이 사용되고 있다. 일반적으로 화학 반응 모델링은 시간의 함수로 1차원적으로 계산되며 존재 가능한 화학종, 그리고 이들의 생성 및 소멸과 관련된 화학 반응식을 모두 포함해 계산하게 된다. 반응속도상수는 주로 온도에 의존하며, 계산에 사용되는 반응기 온도는 반응물이 반응기 하부로 내려가면서 점차 겪는 온도 변화를 고려하기 위해 시간에 따라 변하는 값으로 주어지게 된다. 초기 온도는 혼합 온도 계산을 통해 얻어지고, 이후 온도 변화는 반응기 벽으로 손실되는 열과 반응물의 체류 시간을 열량계와 연속 방정식을

이용해 각각 계산한 후 추정하게 된다. 반응기 내에서 시간에 따른 화학종의 생성 및 소멸에 대한 정보를 어느 정도 정확성을 갖고 신속하게 얻을 수 있으나, 화학종의 확산 및 난류 형성에 따른 재순환 등을 고려하지 않아 정확한 화학종 농도 계산에는 한계가 있다.

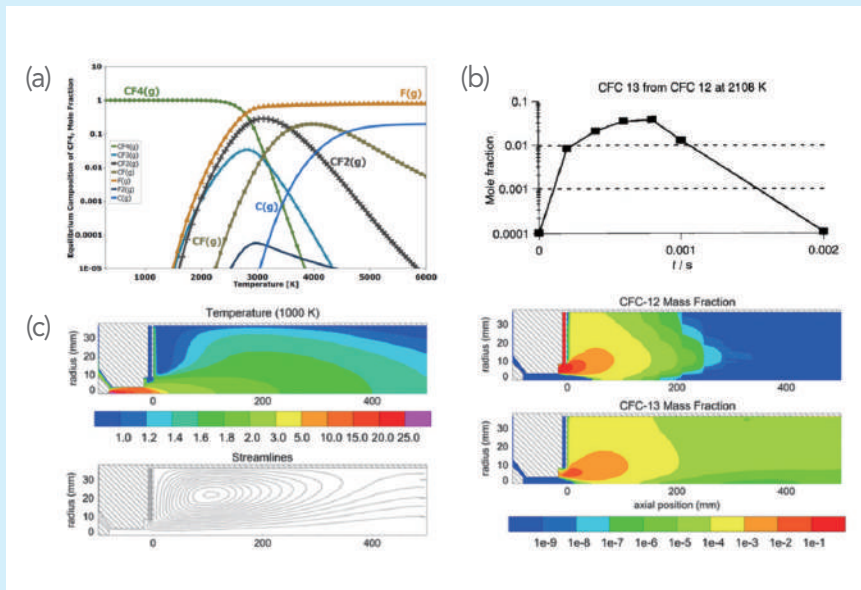
#### 열유체 모델링(Thermo-fluid Modeling)

반응기 내부에서 일어나는 화학 반응에 좀더 정확하고 완벽한 정보를 얻기 위해 2차원적 열유체 모델도 개발됐다. 이 모델은 기존 플라즈마 토치 모델에 개별 화학종의 화학 반응식을 추가한 것이며, 주로 2차원 계산 영역에서 사용된다. 열플라즈마 내 입자들(전자, 이온, 중성입자)은 잦은 충돌로 국부적 열평형을 이루고 있으며, 이때 플라즈마 온도는 한 가지 온도로 정의될 수 있어 단일 열유체로 생각할 수 있다. 따라서 기존 열유체 모델 기법을 적용할 수 있으나, 플라즈마 발생 및 유지를 모사하기 위해서는 기존 유체 방정식을 전자기식과 함께 풀어야 한다.

전형적인 열유체 모델의 경우 질량 연속식, 운동량 보존식, 에너지 보존식, 화학종 질량 보존식, 전하 연속식 그리고 난류 모델을 포함하고 있으며, 결합된 편미분 방정식을 수치적(유한체적기법·







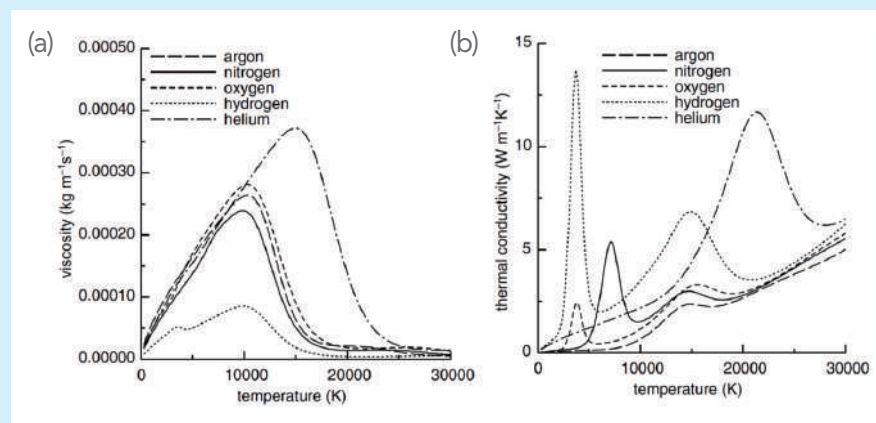
〈그림 14〉 열플라즈마를 이용한 PFC 가스 열분해 공정 모델링. 예 : (a)CF<sub>4</sub> 열분해 공정에 대한 화학 평형 조성(Chemical Equilibrium Composition) 모델링 ; (b)CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 열분해 공정에 대한 1차원 화학 반응(Chemical Kinetic) 모델링 ; (c)CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 열분해 공정에 대한 2차원 열유체(Thermo-fluid) 모델링<sup>[34]</sup>

Finite-volume Method)으로 풀어 유동 및 화학장에 대한 정보를 얻게 된다. 고온에서 화학 반응은 매우 빨라 수치적으로 발산하기 쉬우므로 계산은 보통 두 개의 개별 단계로 이루어진다. 첫 단계에서는 유체 역학 및 전자기 방정식만을 풀어 온도 및 유동장 정보를 제공하며, 이때 초기 화학종 농도는 화학 평형 조성 계산이나 1차원 화학 반응 계산을 통해 주어진다. 두 번째 단계에서는 계산된 온도 및 유동장의 화학 반응식을 계산한 후 모든 화학종에 대한 농도장 정보를 얻는다. 이때 화학 반응에 따른 엔탈피 생성 및 소멸이 일어나 온도장에 영향을 미칠 수 있지만, 일반적으로 온도가 재계산되지 않아 오차가 발생할 수 있다. 좀 더 정확하고 일관성 있는 결과를 얻기 위해 유동장과 화학장을 결합해 동시에 계산할 수는 있으나, 수렴 안정성이 낮아

이를 해결할 수 있는 수치 기법의 개발이 필요하다. 또 다른 문제는 다양한 화학종에 대한 수송(확산 계수, 점성 계수, 열전달 계수) 및 열역학적(밀도, 열용량) 계수에 대한 정보가 넓은 온도 영역(300~1만 도)에는 존재하지 않는다는 것이다. 이러한 정보는 기본 플라즈마 기체

(아르곤, 산소, 질소, 수소)에 대해서는 측정 및 통계역학적 계산을 통해 잘 알려져 있지만, PFC 가스나 이들의 부산물에 대해서 제대로 알려져 있지 않아 정확한 모델링을 위해선 이들 데이터의 확보가 시급하다.

다음으로 열플라즈마 공정 진단 기법을 살펴보면 다음과 같다. 높은 열플라즈마 온도, 그리고 반응기 내에 형성된 급격한 온도, 속도, 화학장 구배에 따른 열플라즈마 공정을 In-situ 방식으로 진단하는 데 많은 제약이 있지만, 효율적인 공정 설계·최적화와 개발된 모델 검증을 위해서는 상응하는 진단 기술의 개발이 반드시 필요하다. PFC 가스 열분해 공정에서 열플라즈마는 주로 열원으로 사용되므로, 공정 이해에 필요한 핵심 변수에는 플라즈마 밀도, 온도, 유속, 열함량, 열분해 생성물 농도 등이 있다. 저온 플라즈마와 마찬가지로 이러한 변수를 한 번에 측정할 수 있는 열플라즈마 진단 방법은 없으며, 관심 대상에 따라 사용되는 진단 기법이 달라진다. 현재 열플라즈마



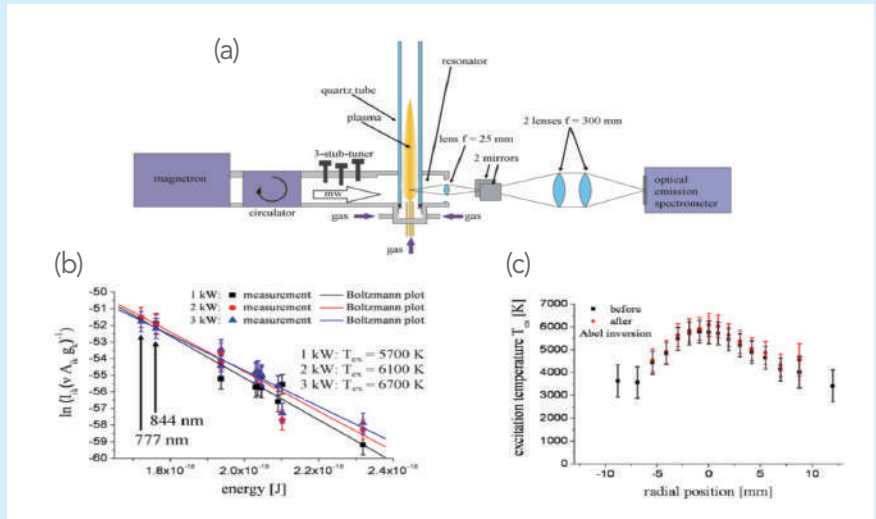
〈그림 15〉 온도에 따른 다양한 기체 물성 : (a)점성 계수 ; (b)열전달 계수. 일반적으로 기본 플라즈마 기체(아르곤, 산소, 질소, 수소, 헬륨)에 대해서는 측정 및 통계역학적 계산을 통해 잘 알려져 있지만, PFC 가스나 이들 부산물에 대해서는 잘 알려져 있지 않다.<sup>[35]</sup>

진단에 사용되는 주요 기법에는 OES, 엔탈피 탐침법(Enthalpy Probe Method), 레이저 유도 형광법(LIF), FT-IR 등이 있다.

**광방출 분석법(OES)**

저온 플라즈마 공정과 유사하게 바닥 상태에서 들뜬 입자가 다시 바닥 상태로 천이하면서 방출하는 빛을 분석해 플라즈마 온도, 밀도 등을 측정할 수 있는 진단 기법이다. 하지만 저온 플라즈마와는 달리 열플라즈마는 국부적 열역학적 평형 상태(LTE)에 있다고 가정할 수 있어 들뜬 상태 수밀도는 볼츠만 분포를 따르게 된다. 이 경우 서로 다른 두 개의 방출선 세기를 비교한 양은 전자 온도만의 함수가 되고, 몇 개의 방출선 세기를 측정 후 선형 근사를 통해 전자 온도를 구할 수 있다(볼츠만 기울기법·Boltzmann Plot Method). LTE 조건에서는 플라즈마를 구성하는 모든 입자가 같은 온도를 갖는다고 가정할 수 있어 도출된 전자 온도는 이온 또는 중성입자의 온도로 사용될 수 있다.

OES를 통해 측정된 빛의 세기는 측정된 방출선이 지나 온 시선을 따라 방출도를 적분한 양이 된다. 상대적으로 균일한 분포를 갖는 저온 플라즈마의 경우 큰 문제가 없으나 플라즈마 분포가 균일하지 않는 경우에는 반드시 국부적인 지역에서 방출된 빛의 세기만을 측정해야 한다. PFC 가스 열분해 공정이 정상 상태로 운전되는 경우, 플라즈마 물성 또는 부산물 농도는 시간에 따라 크게 변하지

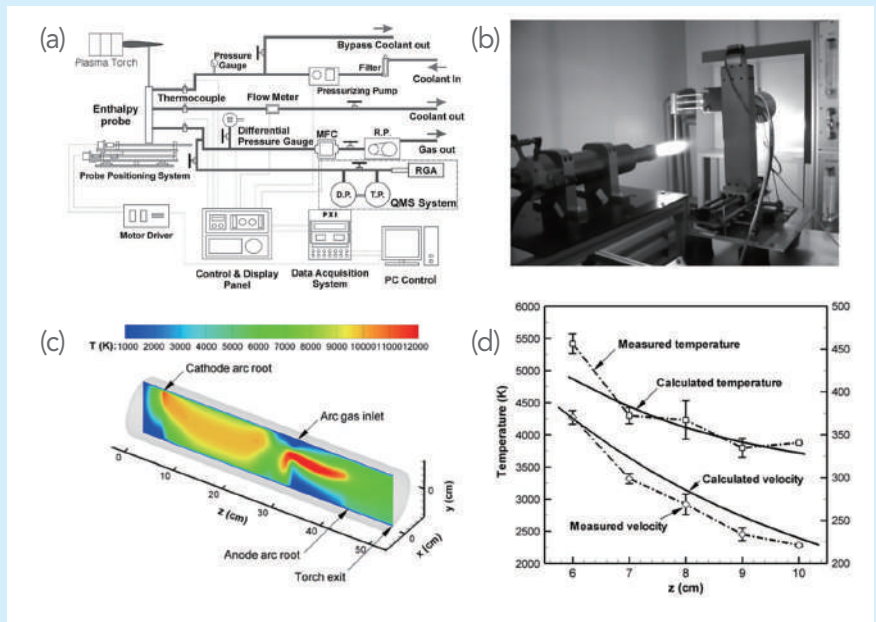


〈그림 16〉 광방출 분석법(OES)을 이용한 마이크로웨이브 플라즈마 제트 진단 : (a)OES를 이용한 마이크로웨이브 플라즈마 제트 실험 개략도; (b)볼츠만 기울기법을 이용해 계산된 플라즈마 온도; (c)OES를 이용한 플라즈마 제트 진단 시 Abel 변환의 영향<sup>[36]</sup>

는 않지만 공간적으로 구배가 큰 비균질 분포를 갖는다. 따라서 정확한 진단을 위해서는 아벨(Abel) 변환과 같은 수학적 기법을 사용해 국부적인 빛의 세기에 대한 정보를 얻는 것이 매우 중요하다.

**엔탈피 탐침법(Enthalpy Probe Method)**

엔탈피 탐침법은 냉각수가 순환되는 탐침을 플라즈마에 직접 삽입하고, 플라즈마 가스의 추출 전과 후의 냉각수 온도



〈그림 17〉 엔탈피 탐침을 이용한 공동형 열플라즈마 제트 진단 : (a)엔탈피 탐침 시스템 개략도; (b)엔탈피 탐침을 이용한 공동형 열플라즈마 제트 진단 실험 사진; (c)공동형 열플라즈마 토치 내부 3차원 모델링; (d)공동형 열플라즈마 제트 축 방향 온도 및 속도 비교<sup>[37]</sup>



단 기법이다. 따라서 엔탈피 탐침법은 플라즈마 온도, 속도, 그리고 플라즈마 기체 성분비 등을 동시에 직접 측정한다는 장점이 있지만, 탐침을 삽입함으로써 플라즈마에 섭동을 줄 수 있는 건 단점이 라 할 수 있다.

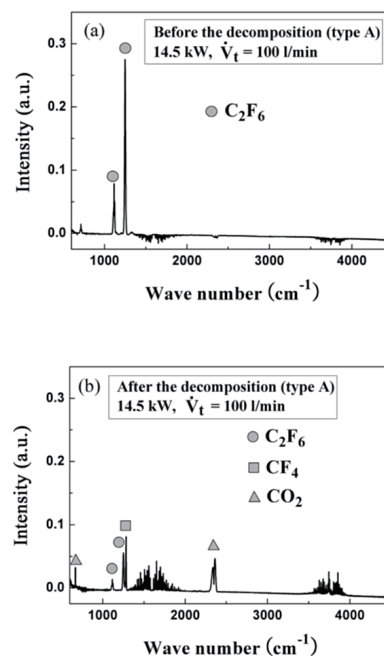
변화를 분석해 플라즈마가 갖고 있는 열 함유량과 온도를 측정할 수 있는 기법이다. 반면 탐침이 가스 비추출 모드로 동작하게 되면, 탐침 침두에 작용하는 플라즈마 정지압을 측정할 수 있어 피토크관(Pitot Tube)과 동일하게 작동하게 된다. 이 경우 베르누이(Bernoulli) 공식으로부터 플라즈마 속도를 계산할 수 있게 된다. 더불어 QMS 또는 FT-IR 장비가 추가로 장착된 경우 추출된 기체의 분석을 통해 기체 구성비 또한 측정 가능한 진

**레이저 유도 형광법(LIF)**

반응기 하부와 같이 플라즈마 온도가 높지 않아 들뜬 입자 수가 충분하지 않은 경우, OES를 적용하기가 어렵다. 이 경우 레이저를 이용해 바닥 상태 입자를 들뜨게 만든 후 들뜬 입자로부터 발생하는 방출선을 측정, 공정 상태를 해석하는 방법으로 화학적 활성종 또는 이온 밀도를 측정하는 데 사용되는 진단 기법이다.

**퓨리에 변환 적외선 분광법(FT-IR)**

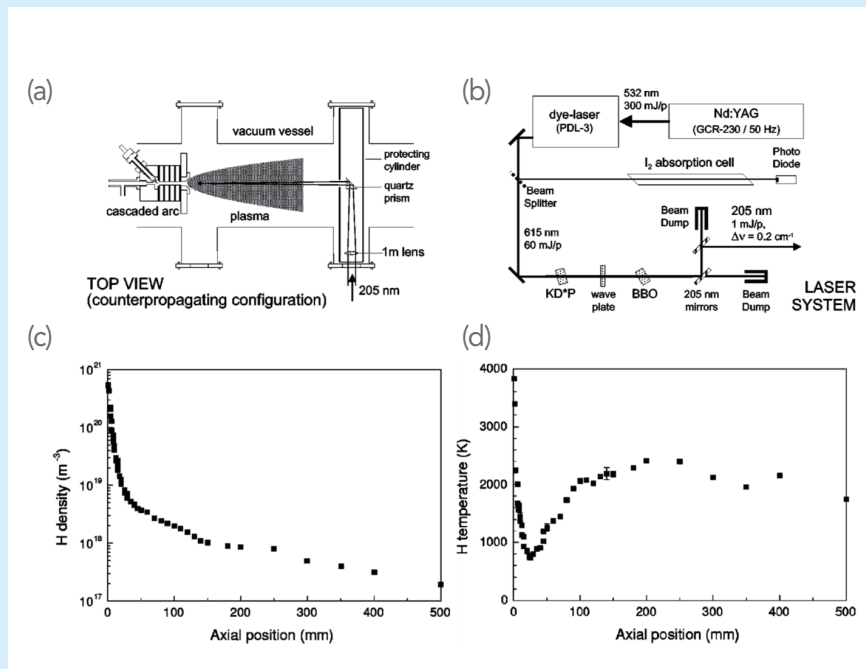
저온 플라즈마 공정과 마찬가지로 열플라즈마 공정에서도 화학 반응으로 생성되는 화학종의 정량적 해석에 많이 사용된다.



〈그림 19〉 퓨리에 변환 적외선 분광법을 이용한 PFC 가스 분해 공정 진단 : (a) 열플라즈마 처리 전 ; (b) 열플라즈마 처리 후 반응기 내부 화학종 변화<sup>[3]</sup>

**플라즈마 기술의 지속적인 연구개발 필요하다**

반도체·디스플레이산업에서 PFC 가스 와 같은 온실가스의 발생은 새로운 무역 장벽으로 등장하고 있어 배출 저감을 위한 기술 개발 및 확대가 이른 시일 안에 실현돼야 한다. 지금까지 개발된 여러 기술 가운데 환경친화적이며 효율성이 높은 플라즈마 기술이 장기적 관점에서



〈그림 18〉 레이저 유도 형광법(LIF)을 이용한 열플라즈마 제트 진단 : (a) LIF를 이용한 열플라즈마 제트 진단 실험 개략도 ; (b) LIF 시스템 개략도 ; (c) LIF를 사용해 측정된 화학종 수밀도 ; (d) LIF를 사용해 측정된 화학종 온도<sup>[38]</sup>



핵심 표준 기술로 채택될 가능성은 높아 보인다. 안정적이고 효율이 높은 플라즈마 공정을 신속하게 개발하기 위해서는 입력 에너지의 효과적인 사용을 통한 고밀도 플라즈마 생성, 그리고 원치 않는 반응 부산물의 생성을 최소화하는 처리 기술 등이 필요하다. 이 경우, 실공정 테스트와 더불어 플라즈마 및 화학종 발생을 기술할 수 있는 전산 해석, 그리고 실시간 모니터링을 통해 공정을 감시할 수 있는 진단 기술이 매우 중요해짐에 따라 관련 분야의 지속적인 연구개발이 필요하다.

현재 플라즈마를 이용한 대체 가스 공정 개발은 식각 및 증착보다는 웨이퍼 또는 기판 손상의 우려가 없는 세정 공정 개발에 초점이 맞춰져 있으며, PFC 가스 분해효율 99%가 가능한 원격 플라즈마원을 사용한 대체 공정 개발이 주를 이루고 있다. 고효율·대전력 원격 플라즈마원 개발을 위해 저주파에서 구동되고 분산된 페라이트 코어를 갖는 ICP 플라즈마원 개발이 진행되고 있다<sup>[39]</sup>.

현재 대부분의 원격 플라즈마원은 고주파 또는 마이크로웨이브 전력을 사용하는 방식으로, 효율적인 전력 전달을 위해 선 전원과 플라즈마 사이 정합 기술이 요구되는 등 부하 변동에 취약하며, 높은 압력에서 구동이 어려운 단점이 있다.

고밀도 플라즈마를 발생시키기 위해서는 높은 압력에서의 운전이 유리하다. 더불어 관련 전원 기술의 한계로 대용량 처리에도 한계가 있다. 특별한 정합 기술이 요구되지는 않고 유전체 면적을 대형화해 대용량 처리로 쉽게 확장 가능한 대기압 축전 결합식 원격 플라즈마가 좋은 대안이 될 수도 있다.

현재 한계를 뛰어넘어 초고온·고밀도에너지와 물리화학적 활성을 갖는 열플라즈마를 생성하기 위해서는 MW급 이상의 대출력회와 산화성 기체 사용이 요구되나, 이 경우 전극 수명 단축과 플라즈마 발생 자체의 안정성이 문제가 된다. 따라서 대출력에서도 오랜 전극 수명과 많은 활성종을 제공하는 열플라즈마 토치를 개발할 필요가 있다.

처리 효율을 높임과 동시에 필요한 전력을 낮추는 방안으로 PFC 가스 주입기 전단에 저압 비평형 플라즈마를 활용해 전처리하는 혼합형 공정도 연구되고 있다. 대용량 가스 처리 시 많은 전력 사용이 예상되므로 열플라즈마 발생에 사용되는 전기 에너지를 태양광 또는 지열 발전과 같은 재생 에너지로 대체하는 것도 탄소 중립 측면에서 매우 중요해질 것이다.

진단 및 모델링의 경우 다방면의 지식과 기술이 필요하므로 다학제 및 학제 간 협력이 산학연 공동연구를 통해 이루어져야 한다. 저온 플라즈마 모델링에서 하이브리드 기법은 상대적으로 짧은 시간에 높은 정확도를 가지고 플라즈마 및 화학 반응을 기술할 수 있으며, 계산 시간은 주로 추적하는 유사 입자의 수에

비례하므로 계산 시간과 입자의 충분한 통계적 의미 사이의 균형을 맞출 수 있는 유사 입자의 수를 선택하는 것이 중요하다.

열플라즈마 토치 모델은 상대적으로 잘 개발됐으나 고온에서 PFC 가스 열분해에 관한 모델링 연구는 비교적 적은 편이다. 고온에서 화학 반응이 매우 빨라 수렴 안정성이 낮을 뿐만 아니라 넓은 온도 영역에서 다양한 화학종에 대한 수송 및 열역학적 물성을 얻기가 어려워 신뢰성 있는 계산을 수행하는 데 어려움이 있다. 다양한 화학종을 대상으로 고온 물성에 대한 정보를 담고 있는 데이터베이스 구축이 시급하며, 이를 최근 급속히 발전한 인공지능(AI) 기술을 통해 추출 및 예측 가능케 하는 연구도 필요할 것이다.

모델 검증 및 공정 감시를 위한 진단 기술 개발 요구도 급증하고 있다. 이를 위해 고도화된 진단 기술이 필요하며, 특히 여러 가지 진단 기술이 통합된 콤팩트형 진단 장비의 개발이 중요하다 할 수 있다.



## 참고자료

- [1] 유동현, '산업공정부문 Non-CO<sub>2</sub> 가스의 감축 전략 연구', 에너지경제연구원, 2017.
- [2] 남상욱, '반도체·디스플레이산업의 온실가스 배출 현황과 중장기 과제', KET 산업경제, 2020.
- [3] Han, Sung-Han, Hyun-Woo Park, Tae-Hee Kim, and Dong-Wha Park. 'Large scale treatment of perfluorocompounds using a thermal plasma scrubber.' *Clean Technology* 17, no. 3 (2011): 250-258.
- [4] 문동민 외, '전기가열방식 스크러버의 NF<sub>3</sub> 제거 효율', 분석과학 19, no. 6 (2006): 535-543.
- [5] Ibuka, S. Japan' use of ClF<sub>3</sub>. In a Partnership for PFC Emissions Reduction; Semicon Southwest: Austin, TX, 1998.
- [6] Oh, C. H., S. J. Ko, D. K. Shin, and Y. Y. Jeong. 'Improving eco-efficiency via elimination of greenhouse gases from semiconductor dry cleaning processes.' In 2012 SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, pp. 257-260. IEEE, 2012.
- [7] 남승은, 박아름이, 박유인, '불화 온실가스 저감 및 분리회수 기술의 연구개발 동향', 멤브레인 23, no. 3 (2013): 189-203.
- [8] Park, Hyun-Woo, Woo Byoung Cha, and Sunghyun Uhm. 'Highly efficient thermal plasma scrubber technology for the treatment of perfluorocompounds (PFCs).' *Applied Chemistry for Engineering* 29, no. 1 (2018): 10-17.
- [9] Levy, R. A., V. B. Zaitsev, K. Aryusook, C. Ravindranath, V. Sigal, A. Misra, S. Kesari, D. Rufin, J. Sees, and L. Hall. 'Investigation of CF<sub>3</sub>I as an environmentally benign dielectric etchant.' *Journal of materials research* 13, no. 9 (1998): 2643-2648.
- [10] Mendicino, L.; Filipiak, S.; Beoock, B.; Chan, J.; Tiemessen, M.; Atherton, A.; Langan, J.; Pearce, R.; Johnson, A.; Ridgeway, R.; Maroulis, P. Evaluation of various NF<sub>3</sub> clean solutions for applied materials dielectric CVD equipment. In A Partnership for PFC Emissions Reductions; Semicon Southwest: Austin, TX, 1998
- [11] Sun, S-P, and D. Bennett. 'Reducing PFC emissions using C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>-based PECVD clean.' *Semiconductor international* 21, no. 2 (1998): 85-88.
- [12] Kang, S. C., J. Y. Hwang, N-E. Lee, K. S. Joo, and G. H. Bae. 'Evaluation of silicon oxide cleaning using F<sub>2</sub>/Ar remote plasma processing.' *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films* 23, no. 4 (2005): 911-916.
- [13] Yang, Kyung-Chae, Sung-Woo Park, and Geun-Young Yeom. 'Low global warming potential alternative gases for plasma chamber cleaning.' *Science of Advanced Materials* 8, no. 12 (2016): 2253-2259.
- [14] Boulos, Maher I. 'Thermal plasma processing.' *IEEE transactions on Plasma Science* 19, no. 6 (1991): 1078-1089.
- [15] 정진욱, 이용관, 장홍영. '반도체 공정용 플라즈마원' *The Journal of the Korean Institute of Power Electronics* 7, no.1, (2002): 21-25.
- [16] Despiau-Pujo, Emilie, Melisa Brihoum, Paul Bodart, M. Darnon, and Gilles Cunge. 'Pulsed Cl<sub>2</sub>/Ar inductively coupled plasma processing: 0D model versus experiments.' *Journal of Physics D: Applied Physics* 47, no. 45 (2014): 455201.
- [17] List, Tyler, Tianyu Ma, Priyanka Arora, Vincent M. Donnelly, and Steven Shannon. 'Complex transients in power modulated inductively-coupled chlorine plasmas.' *Plasma Sources Science and Technology* 28, no. 2 (2019): 025005.
- [18] Valery Godyak, 'Low Pressure RF Plasma Sources for Industrial Applications (ICP versus CCP).' 'Workshop on Radio Frequency Discharges, Dublin City University, August 26-27, 2011, Dublin, Ireland.
- [19] Kim, H. C., and J. K. Lee. 'Dual radio-frequency discharges: Effective frequency concept and effective frequency transition.' *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films* 23, no. 4 (2005): 651-657.
- [20] Posseme, N., V. Ah-Leung, O. Pollet, C. Arvet, and M. Garcia-Barros. 'Thin layer etching of silicon nitride: A comprehensive study of selective removal using NH<sub>3</sub>/NF<sub>3</sub> remote plasma.' *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films* 34, no. 6 (2016): 061301.
- [21] Donnelly, Vincent M., and Avinoam Kornblit. 'Plasma etching: Yesterday, today, and tomorrow.' *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films* 31, no. 5 (2013): 050825.
- [22] Chen, Xing, William Holber, Paul Loomis, Evelio Sevilano, and Shou-Qian Shao. 'Advances in remote plasma sources for cleaning 300 mm and flat panel cvd systems.' *Semiconductor Magazine* 4 (2003).
- [23] Rauf, Shahid, Ajit Balakrishna, Zhigang Chen, and Ken Collins. 'Model for a transformer-coupled toroidal plasma source.' *Journal of Applied Physics* 111, no. 2 (2012): 023306.
- [24] Kushner, Mark J. 'Hybrid modelling of low temperature plasmas for fundamental investigations and equipment design.' *Journal of Physics D: Applied Physics* 42, no. 19 (2009): 194013.
- [25] 이효창, '반도체 및 디스플레이산업 플라즈마 측정 진단 기술', *진단기술과 첨단과학* 5, no. 4 (2019): 19-27.
- [26] Lee, Hyo-Chang, Chin-Wook Chung, J. H. Kim, and D. J. Seong. 'Electron energy distribution modification by RF bias in Ar/SF<sub>6</sub> inductively coupled plasmas.' *Applied Physics Letters* 115, no. 6 (2019): 064102.
- [27] Li, Hanyang. 'N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, and NF<sub>3</sub> Dissociation in a Low Frequency, High Density Plasma Source.' Ph.D. diss., 2017.
- [28] Cha, Taehwan, Yongjae Kim, Sangin Lee, Yegeun Cho, and Heeyeop Chae. 'Low-global warming potential fluoroether compounds for plasma etching of SiO<sub>2</sub> and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> layers.' *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films* 37, no. 5 (2019): 051302.
- [29] Chau, Shiu-Wu, Yung-Tien Lin, and Shiao-Huei Chen. 'Decomposition modeling of carbon tetrafluoride with nitrogen thermal plasma.' *IEEE Transactions on Plasma Science* 47, no. 2 (2018): 1185-1195.
- [30] Chang, Moo Been, and How Ming Lee. 'Abatement of perfluorocarbons with combined plasma catalysis in atmospheric-pressure environment.' *Catalysis Today* 89, no. 1-2 (2004): 109-115.
- [31] Kim, K. S., and T. H. Kim. 'Nanofabrication by thermal plasma jets: From nanoparticles to low-dimensional nanomaterials.' *Journal of Applied Physics* 125, no. 7 (2019): 070901.
- [32] Uhm, Han S., Yong C. Hong, and Dong H. Shin. 'A microwave plasma torch and its applications.' *Plasma Sources Science and Technology* 15, no. 2 (2006): S26.
- [33] Hong, Yong C., and Han S. Uhm. 'Abatement of CF<sub>4</sub> by atmospheric-pressure microwave plasma torch.' *Physics of Plasmas* 10, no. 8 (2003): 3410-3414.
- [34] Heberlein, Joachim, and Anthony B. Murphy. 'Thermal plasma waste treatment.' *Journal of Physics D: Applied Physics* 41, no. 5 (2008): 053001.
- [35] Murphy, A. B. 'Thermal plasmas in gas mixtures.' *Journal of Physics D: Applied Physics* 34, no. 20 (2001): R151.
- [36] Leins, M., M. Walker, A. Schulz, U. Schumacher, and U. Stroth. 'Spectroscopic Investigation of a Microwave-Generated Atmospheric Pressure Plasma Torch.' *Contributions to Plasma Physics* 52, no. 7 (2012): 615-628.
- [37] Kim, Keun Su, Jin Myung Park, Sooseok Choi, Jongin Kim, and Sang Hee Hong. 'Enthalpy probe measurements and three-dimensional modelling on air plasma jets generated by a non-transferred plasma torch with hollow electrodes.' *Journal of Physics D: Applied Physics* 41, no. 6 (2008): 065201.
- [38] Boogaarts, M. G. H., S. Mazouffre, G. J. Brinkman, H. W. P. Van Der Heijden, P. Vankan, J. A. M. Van Der Mullen, D. C. Schram, and H. F. Döbele. 'Quantitative two-photon laser-induced fluorescence measurements of atomic hydrogen densities, temperatures, and velocities in an expanding thermal plasma.' *Review of scientific instruments* 73, no. 1 (2002): 73-86.
- [39] Godyak, V. A. 'Electrical and plasma parameters of ICP with high coupling efficiency.' *Plasma Sources Science and Technology* 20, no. 2 (2011): 025004.



# 글로벌 기술강국으로의 도약 “국제 기술 협력을 지원합니다”

산업통상자원부 해외기술협력거점



## KEIT 미국(실리콘밸리) 거점

담당자 박성환  
E-mail parkorea@keit.re.kr  
Tel (Office) +1-408-232-5411



## KEIT 독일(베를린) 거점

담당자 박효준  
E-mail biojun@keit.re.kr  
Tel (Office) +49-30-8891-7390



## KORIL 이스라엘 거점

담당자 최정민  
E-mail ena@koril.org  
Tel 02-6009-8253,  
(텔아비브Office) +972-54-345-1013



## KIAT 미국(워싱턴D.C) 거점

담당자 김은정  
E-mail ejkim@kiat.or.kr  
Tel : (Office) +1-703-337-0950



## KIAT 벨기에(브뤼셀) 거점

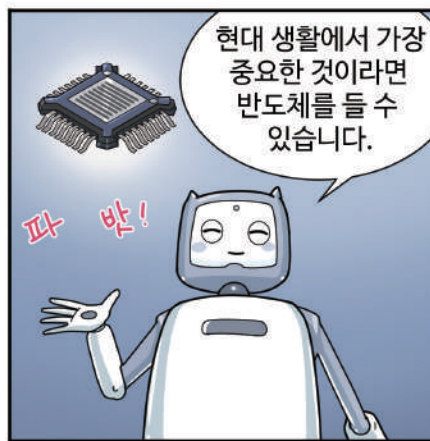
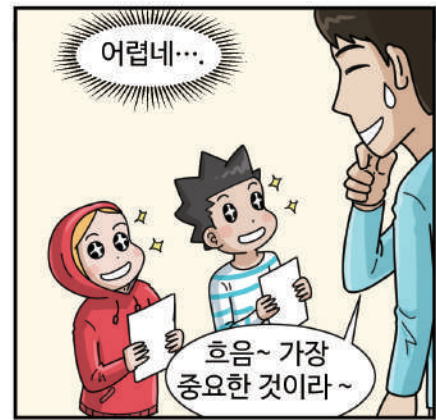
담당자 강주석  
E-mail kangjs@kiat.or.kr  
Tel (Office) +32- (0)2-431-0591



## KIAT베트남(하노이) 거점

담당자 이재민  
E-mail jmlee@kiat.or.kr  
Tel (Office) +84-24-7308-2020







반도체(半導體 : semiconductor)라는 건 기본적으로 전기가 흐르는 물질인 도체

도체

반도체

부도체

전기가 흐르지 않는 물질인 부도체란 그 사이의 성질을 띠고 있는 물질을 말하는 단어야.

가해진 전압이나 열, 빛의 파장 등에 의해 전도도가 바뀌지.

일반적으로 규소 결정에 불순물을 넣어 만들고, 주로 증폭 장치, 계산 장치 등을 구성하는 집적회로를 만드는 데 쓰이지.

제잉-

아, 완벽히 이해했어.

하나도 못했으면서!

그냥 우리가 쓰는 티비, 핸드폰, 컴퓨터, 냉장고 등 모든 곳에 꼭 필요한 전자 부품이라고 생각해.

아, 그러구나.

그래, 과제는 잘했니?

네, 삼촌이 우리 생활에서 가장 중요한 것은 반도체라고 알려 줬어요.

허허허.

그리고 더한다면 사랑이 아닐까?

네, 맞아요!

그러니 삼촌이 여자친구가 없지.

갑자기?!!





# AEB 기능 완벽 구현, 차별화된 자율주행 기술의 핵심을 만든다

유럽 등 글로벌 시장에서 신차안전도평가(NCAP)의 핵심 요소로 주목받고 있는 자동긴급제동장치(AEB)는 완벽한 자율주행에 없어서는 안 될 핵심 기술이자 자율주행자동차의 기술 경쟁력을 가늠하는 척도로 인식되고 있다. 이에 따라 AEB의 완벽한 기능 구현을 위한 보급형 중거리 레이더의 개발 및 국산화가 절실히 요구되고 있는 가운데 (주)에이치엘클레무브가 'Euro NCAP AEB 대응을 위한 중거리(150m 이상) 레이더'의 개발 및 사업화에 성공, 본격적인 자율주행차 시대를 향한 기술적 행보를 걷고 있는 국내 완성차 업체에 큰 자극제가 될 것으로 기대되고 있다.

조범진    서범세





(주)에이치엘클레무브 홈페이지 바로가기

## HL Klemove

### HL만도의 자율주행 솔루션 전문기업으로 우뚝 서다

(주)에이치엘클레무브는 (주)만도(현 HL만도) ADAS 사업 부문이 분리 독립해 2021년 12월 설립된 회사다. 자율주행 솔루션 전문기업인 에이치엘클레무브는 자율주행에 필요한 인지, 판단, 제어 등 전 영역의 요소 기술을 보유하고 있다. 핵심 부품인 인지 센서(레이더, 카메라 등) 및 연산 장치(고성능 컴퓨팅 유닛)에 대한 연구개발(R&D) 및 양산을 수행하고 있으며, 자율주행 핵심 부품

#### Euro NCAP AEB 대응을 위한 중거리(150m 이상) 레이더 개발

(주)에이치엘클레무브 윤팔주 대표이사

사 업 명	자동차산업핵심기술개발사업
제 품 명	MRR-20
개 발 기 간	2014. 12. ~ 2018. 11. (48개월)
총 정부출연금	4,615백만원
개 발 기 관	(주)에이치엘클레무브 인천광역시 연수구 하모니로 224 032-850-7078, www.hlklemove.com
참 여 연구 진	강형진, 유한열, 한운기, 한재현, 이한별, 김한식, 조현동, 허오철, 김대경, 박세훈, 양주열, 함형석 외

의 설계부터 제조까지의 역량을 확보하고 있다.

2021년 매출은 1조2000억원이며, 1800여 명(글로벌 합계)의 임직원 중 R&D 인력이 485명에 달할 정도로 R&D에 뛰어난 능력을 가진 기업이기도 하다.

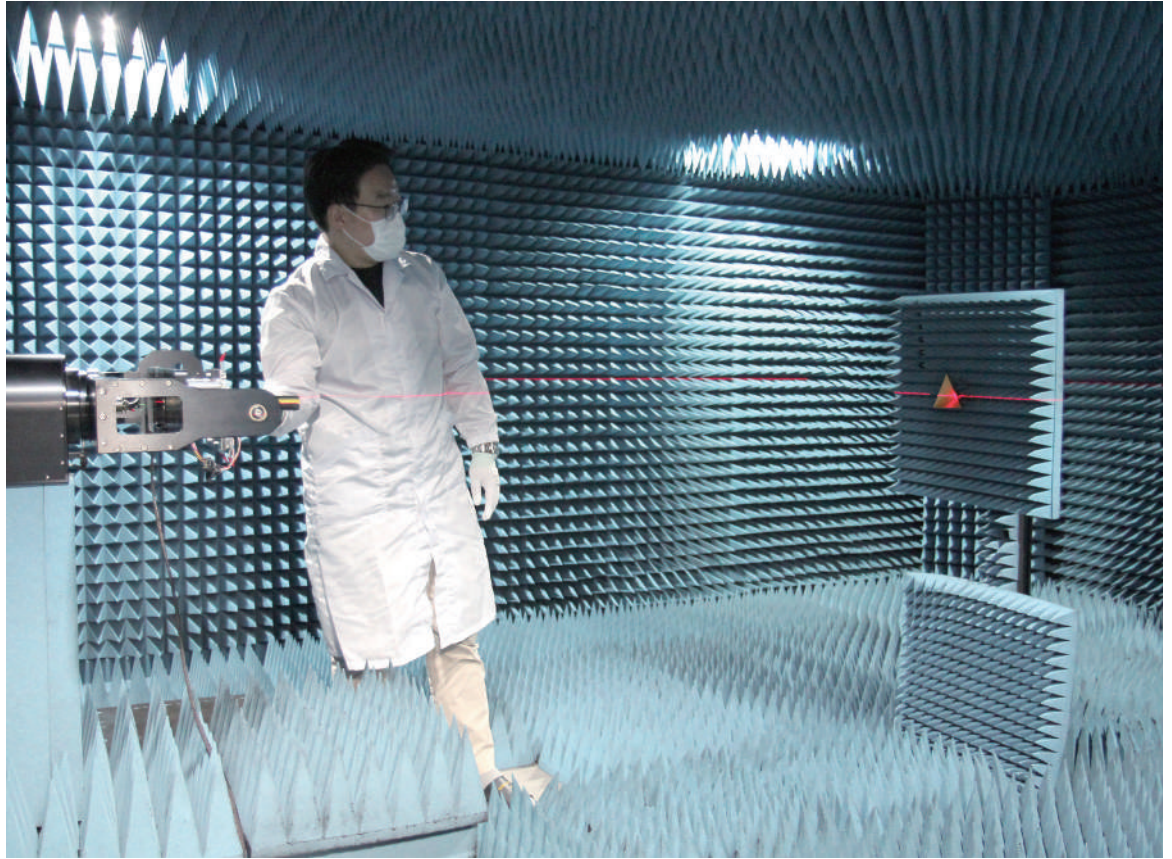
### 국내 최초 독자 보급형 중거리 레이더 개발과 사업화 성공

자율주행 주요 기술 중 인지 기술은 다양한 센서 기술로 구현된다. 카메라 센서는 감지 대상의 종류를 인식할 수 있는 유일한 센서이고, 라이다 센서는 레이더와 동일하게 감지 대상의 거리, 속도, 각도를 측정할 수 있지만 두 센서 모두 악천후 상황에서 성능 열화가 두드러지는 단점이 있다. 반면 레이더 센서는 감지 대상의 거리, 속도, 각도를 정확하게 측정할 수 있으며 전자기파를 사용하기 때문에 악천후 상황에서 성능 열화가 상대적으로 적다. 따라서 레이더 센서는 자율주행에서 사용할 수 있는 센서 중 가장 안정적인 성능을 발휘하는 필수 센서라 할 수 있다.

차량용 레이더는 운전자의 차량에 장착돼 전자기파 신호를 송수신한다. 주변 차량이나 장애물에서 반사돼 돌아온 전자기파를 수신해 두 신호 간의 시간 차 및 도플러 주파수 변화량을 계산함으로써 거리와 상대 속도를 측정한다. 차량용 레이더 센서는 주파수 변조 연속파(Frequency Modulated Continuous Wave : FMCW) 방식을

차량용 중거리 레이더 MRR-20





## How to

보급형 중거리 레이더 개발에서 가장 크게 요구되던 사양은 크기와 가격 경쟁력 확보였다. 이에 따라 중거리 레이더의 크기와 가격을 최적화하기 위해 세계 최초로 1개의 PCB를 적용하는 디자인을 채택, 개발했으나 다양한 회로를 1개의 PCB로 집적하다 보니 예상하지 못한 노이즈 문제가 발생했다. 하지만 협업을 통해 하드웨어와 소프트웨어의 모든 문제를 해결했고 이를 통해 성공적으로 양산할 수 있었다.

사용하고 있으며, 주파수를 연속적으로 송수신하면서 물체의 위치 및 상대 속도를 측정하는 방식을 사용하고 있다. 이에 따라 차량용 레이더는 자율주행차의 눈 역할을 하며, 전자기파를 활용해 도로 내 물체(차량, 보행자 외)의 유무를 판단하고 인식해 자율주행을 가능케 한다.

이와 관련해 윤팔주 대표는 “지난 10여 년간 자율주행 솔루션 사업을 영위하며 2000건 이상의 자율주행 관련 특허를 확보했다. 이를 바탕으로 2500만 건 이상 첨단운전자지원시스템(Advanced Driver Assistance System : ADAS) 제품을 공급해온 트랙레코드(Track Record)를 갖고 있다”며 “유럽연합(EU)은 NCAP 개정을 통해 AEB 기능 유무를 차량 안정성 평가의 핵심 요소로 선정했다. 이에 AEB 기능의 의무 장착이 추진되면서 핵심적인 역할을 하는 차량용 레이더의 보급화가 반드시 필요해졌다. 이런 상황에 당사는 보급형 중거리 레이더를 설계, 개발, 제조 및 양산함으로써 국내 최초로 독자 보급형 중거리 레이더 사업화에 성공했다”고 밝혔다.

## 차세대 레이더 센서 기술 및 고성능 인지 센서 기술 확보 노력

한편, 사업화 현황 및 전망에 대해 윤 대표는 “자율주행 시스템에 대한 관심과 기대가 커지면서 전세계 수많은 기업이 시장에 뛰어들고 있다. 특히 구글, 바이두, 아마존 같은 글로벌 빅테크 기업뿐만 아니라 엔비디아, 인텔과 같은 반도체 분야의 기업도 자율주행 플랫폼 개발에 열을 올리고 있다”면서 “자율주행 시스템은 인지(Perception), 판단(Decision), 제어(Control)의 핵심 기술 요소로 이루어져 있다. 당사는 이와 같은 인지, 판단, 제어의 모든 영역에 대해 요소 기술 및 핵심 제품을 개발, 양산하고 있다. 여기에 차세대 레이더, 고해상도 카메라, 고해상도 라이다와 같은 인지 관련 제품, 고성능 통합 제어기 및 자율주행 관련 소프트웨어 풀스택(Full Stack)과 같은 판단 관련 제품을 보유하고 있다. 또한 제어가 가능한 새시 ECU도 양산하는 등 자율주행의 핵심 기술 요소를 모두 확보하고 있는 회사는 당사가 유일하다. 이는 타 업체와 가장 차별화되는





## AEB

자동긴급제동장치 (Autonomous Emergency Braking), 차량 전면부에 부착한 레이더가 위험을 감지하면 운전자에게 소리나 진동을 보내 속도를 줄이도록 하는 기술로, 충돌 경고에도 운전자가 반응하지 않으면 브레이크가 작동해 자동으로 주행을 멈추게 한다.

부분이며 따라서 시장 경쟁력이 매우 높다”고 말했다.

이어 윤 대표는 “R&D 과제를 시작하기 전인 2015년은 전방 감지용 장거리 레이더가 소규모로 양산이 시작되던 시점이었다. 2016년 R&D 과제 시작을 기점으로 안테나 및 초고주파 회로 기술 등 관련 핵심 기술의 내재화를 통해 레이더 제품의 성능과 수익성을 개선했으며, 이를 통한 수주 활동으로 본격적인 사업화에 돌입했다”며 “현재는 2018년부터 시작된 보급형 중거리 레이더의 성공적인 사업화를 기반으로 완성차 업체를 대상으로 차량용 중거리 레이더 누적 생산량 700만 대

이상 달성했고, 자율주행 기술이 고도화함에 따라 향후 지속적인 매출 성장이 예상된다”고 밝혔다. 끝으로 앞으로의 계획 및 목표와 대해 윤 대표는 “당사는 2010년도부터 차량용 레이더의 선행 개발을 수행하면서 2014년 국내 최초로 국산화에 성공했다. 특히 중거리 레이더 국책과제를 통해 자율주행 선도 기술의 확보 및 양산을 성공리에 진행할 수 있었다”며 “당사는 현재 3단계와 4단계 자율주행을 위한 차세대 레이더(고성능 4D 이미징 레이더 외) 센서 기술을 개발하고 있으며 고성능 인지 센서 기술 확보에 총력을 다할 것”이라고 말했다.

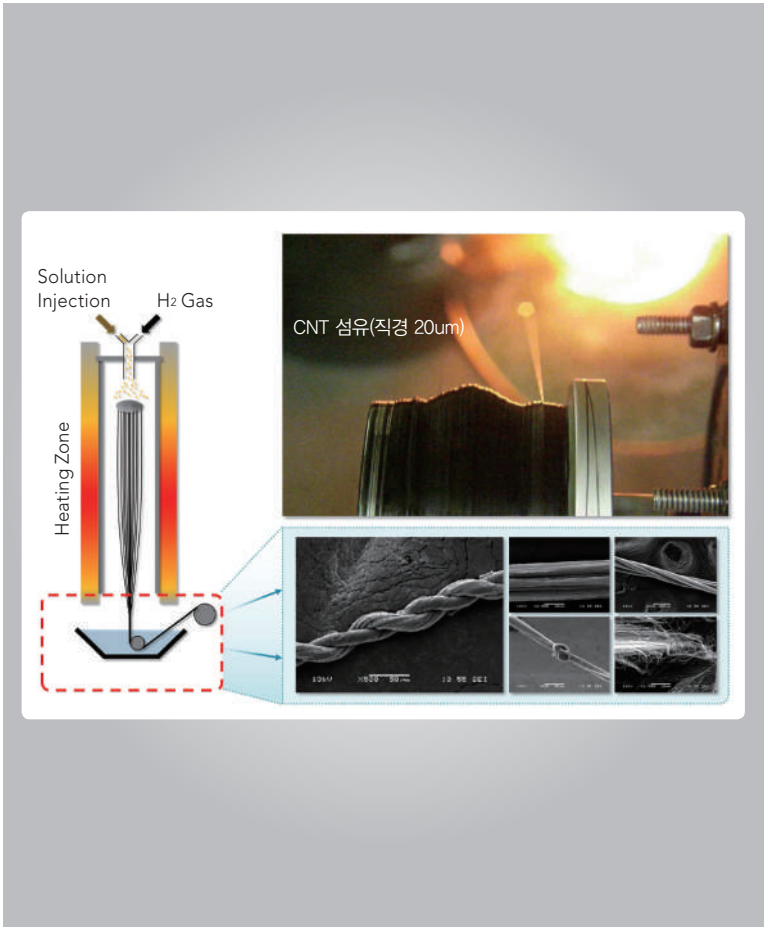
(왼쪽부터) 박세훈 책임, 조현동 팀장, 허오철 책임, 윤팔주 대표, 김대경 책임







**PROJECT** 승실대학교 산학협력단의 1 Step 합성·방사법에 의한 CNT 연속섬유 제조 기술



일반 내연기관 자동차는 무수히 많은 구리선을 포함하고 있는데, 이는 자동차 무게를 증가시키고 연료소비효율을 저하시키는 요인이다. 더구나 모터를 사용하는 전기자동차와 드론도 같은 문제에 직면하고 있다. 이에 모터의 구리선을 탄소나노튜브(CNT) 섬유로 대체할 경우 차체 및 드론의 무게 감소와 주행거리 증가 등 여러 효과를 기대할 수 있다는 판단에 따라 본 프로젝트를 추진했다.

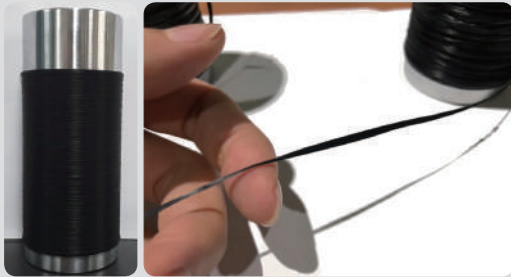
합성용액을 이송 가스과 함께 고온의 수직로에 투입해 CNT를 합성하는데, 이때 합성되는 CNT는 서로 얽혀 있는 부직포 형태의 집합체다. 이를 합성로 하단에서 꺼내어 집속시킨 후 섬유화하는 방법이 본 프로젝트에서 진행한 '1 Step 합성·방사법에 의한 CNT 연속섬유 제조 기술 개발'이다. 기존의 CNT는 분말 형태로 합성되는 반면, 본 프로젝트에서 확보한 기술은 섬유 형상으로 CNT가 합성되므로 사용 분야 및 방법에서 많은 차이가 있다. 분말형상의 CNT는 섬유나 시트 형상으로 만들려면 유기물의 접착제가 필요하다. 유기물 접착제는 전기가 통하지 않으며 열에도 약하다. 반면 본 기술은 CNT만으로 섬유 및 시트 형상이 만들어져 CNT의 우수한 특성을 그대로 활용할 수 있다.

# 모터의 구리선을 CNT 섬유로 대체하다

본 프로젝트의 핵심인 합성부터 섬유화까지의 1단계 공정으로 CNT 섬유를 제조할 수 있는 기술은 연속으로 제조된 CNT 섬유가 우주항공산업 및 국방 분야에도 활용 가능해 선진국과 어깨를 나란히 할 수 있는 기반 조성에 기여할 것으로 전망된다.

## CNT 섬유 활용에 지속적인 연구 진행하다

본 프로젝트는 송실대를 비롯한 다양한 기관이 참여했다. 우선 주관 기관인 송실대는 CNT 합성 원천 기술을 보유하고 있는데, 이를 참여 기관인 ㈜제이오에 전수해 멀티노즐의 CNT 합성로를 개발했다. 또한 합성된 CNT 섬유를 보빈에 감을 수 있도록 삼화ENG와 송실대에서 기초연구를 진행했다. CNT 연속섬유가 다른 기존 섬유와 합사가 가능하도록 하는 데에는 ㈜남텍의 기술을 활용했다.



또한 한국과학기술연구원(KIST)과 전남대는 송실대가 보유한 원천 기술을 합성 메커니즘 단계에서 세부적으로 연구해 고강도·고결정성의 CNT 섬유를 합성하는 데 기여했다. 부산대는 CNT 섬유를 연속적으로 제사할 때 CNT 섬유에 가해지는 마찰력 및 장력을 최소화할 수 있는 방사 유제 개발을 수행했으며, 이를 대량 생산용 합성로에 적용함으로써 CNT 연속섬유를 개발했다. 이외에 충남대는 고강도·고전도성의 CNT 연속섬유 후처리 공정을 개발했다.

한편, 미국에서 생산되는 CNT 제품군은 우주항공산업 및 국방 분야 등에도 사용되는 것으로 알려졌다. 연속적으로 합성된 CNT는 인공위성의 전자파 차폐재나 항공기의 외벽 보호용으로 주로 사용되며, 국방 분야에서는 전투기 등의 레이더 차폐용으로 연구 중이다. 이렇듯 CNT 섬유는 구리에 비해 수십 배 가벼우며 전도도가 매우 우수해 드론이나 전기자동차 모터의 구리선 대체재로 활발히 연구되고 있다.

현재 CNT 섬유 활용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, CNT 섬유의 합사 및 꼬임을 통해 드론의 모터에 사용 가능한지 시험하고 있다. 또한 CNT 섬유의 방검 성능에 대한 연구도 진행 중이다. CNT 연속섬유는 발열 특성도 우수해 저전력으로 구동되는 핫팩 또는 발열 조끼 열선을 CNT 섬유로 대체할 수 있는지 테스트하고 있다. 이외에도 자동차 앞 유리나 비행기 날개에 열선을 배치해 제빙(De-icing) 소재로도 쓰일 것으로 전망된다.



### 건식 방사를 통한 연속식 섬유 제조 기술

## 탄소나노튜브 섬유 제조 기술



100% CNT로 구성된 탄소나노튜브 섬유 제조 기술 보유  
합성 방사·집속·권취 및 와인딩 기술(MWCNT·TWCNT)



탄소나노튜브 섬유 응용 기술 개발  
초고압 케이블용 탄소나노튜브 섬유 : Fermi Lab  
모터 밀 자동차 하네스용 전선 : H社 공동 기술 개발



**PROJECT 에이엠텔레콤(주)의 PS-LTE 기술 기반 국가 전략통신 단말 및 IoT 기술 개발**



## 재난안전망 필수제품 ‘무전기형 재난망 단말기’

본 단말기는 우선 전국 경찰의 단말기 교체사업에 적용됐고, 이후 같은 통신 규격을 사용하는 전국의 철도와 지하철 현장인력 단말기 교체사업과 전국 소방인력의 단말기 교체사업에도 적용됐다. 또한 같은 통신 규격을 사용하는 해상망용 라우터도 추가로 개발해 전국의 선박에 설치하고 있다.

각기 다른 통신단말을 사용하다 보니 국가 재난 시 소방, 경찰, 지방자치단체 등 재난기관 간 협업이 어렵고 통일된 지휘체계를 가져갈 수 없는 상황이었다. 또한 통신단말의 유지·보수에 국가적으로도 큰 비용이 발생했다.

특히 기존 통신방식은 재난 발생 초기 단계에 신속한 대응을 위한 실시간 영상 등 다양한 멀티미디어의 정보 공유가 불가능한 데다 정부기관 단말기의 경우 해외 특정 업체에 전적으로 의존하고 있는 실정이었다.

이에 따라 한국형 재난망 단말기 개발 기획을 시작하게 됐고, 시범사업에 적극 참여함으로써 중소기업의 기술력을 인정받았다. 이후 본 사업이 지연되면서 많은 난항도 겪었으나 철도망과 해상망에 쓰일 신규 제품 개발에도 투자를 아끼지 않는 등 지속적으로 성능과 품질을 높여왔다. 국가 재난망 사업은 재난 상황에서 하나의 단말기로 전 부처와 통신할 수 있을 뿐만 아니라 모든 구조요원과 동시 통화가 가능하고, 중앙지휘소와 사진 및 동영상 등으로 현장 상황을 실시간 공유하기 위한 전용망 구축 사업이다. 에이엠텔레콤(주)은 이 전용망에 연동되는 무전기형 LTE 단말기를 신규 개발하고 이를 검증해 정부기관에 공급하는 역할을 수행했다.



## 국가 재난안전망에 기여하는 PS-LTE 국제표준 단말기

‘PS-LTE 기술 기반 국가 전략통신 단말 및 IoT 기술 개발’ 프로젝트의 성과로는 세계 최초 PS-LTE 국제표준 단말기 제품화 개발을 우선 들 수 있다. 3GPP 표준 기반 PS-LTE의 핵심 기술(그룹통신, MCPTT-Mission Critical Push to Talk)을 국가 재난안전망과 철도망, 해상망 사업 추진 일정에 따라 적기에 개발하고, 국가 전략망과의 연동시험을 통해 세계 최초로 국제 표준 기반 PS-LTE 단말의 제품화를 실현했다.

다음으로 PS-LTE용 고내구성 무전기형 플랫폼 확보도 빼놓을 수 없는 성과다. 재난 대응성을 극대화하기 위해 군사용 MIL 규격 이상의 낙하 내구성을 구현하고, 방수·방진 성능을 확보했다. 또한 세계 최고 수준의 재난망 밴드 내장 안테나인 인테나(Intena) 성능을 확보하며, 고화소 카메라와 디스플레이를 채용해 고화질 멀티미디어 기능을 구현했다.

더불어 PS-LTE용 FOTA(Firmware On The Air)와 DM(Device Management) 서버를 개발했다. 재난용 단말기의 유지 및 보수를 위해 필수적인 원격 펌웨어 업그레이드와 원격제어를 위한 PS-LTE 기반 FOTA와 DM 기능 및 서버를 개발했다. 이외에도 철도망(LTE-R), 해상망(LTE-M) 연동 단말기와 라우터를 개발했다. PS-LTE 규격을 사용하는 철도망과 해상망에서 필요한 기능을 추가로 개발하는 한편 사용 환경에 맞는 연동 기술을 개발 및 검증했다. 특히 해상망은 최대 100km 통신이 가능한 안테나를 개발하고 선박 환경에 맞는 신뢰성을 확보했다.

이렇듯 한국에서 세계 최초로 검증 완료된 국가 재난안전망, 철도망, 해상망 연동 기술과 제품을 활용해 향후 경찰·군·소방·철도·해경·일반 선박·지자체 등에 단말기와 라우터를 지속적으로 공급하는 한편 신규 제품도 개발해 나갈 예정이다. 관련 국내 시장 규모는 정부 계획을 기준으로 3년 후 약 3000억 원에 이를 것으로 예상된다. 한편 글로벌 PS-LTE 시장은 초기 단계로 PS-LTE 단말기의 정확한 수요 예측 자료를 구하기가 어려운 실정이다. 하지만 현재 8개 선진국 시장을 볼 때, 기존 재난 통신방식 가입자 수는 약 250만 명이고 이중 54%를 차지하는 미국, 영국, 캐나다의 표준이 PS-LTE로 바뀌었기 때문에 향후 글로벌 PS-LTE 수요도 크게 늘어날 것으로 전망된다.



개인용 재난망 단말기



차량용 단말기



고정용 단말기



무전기형 재난망 단말기 AP610



선박용 라우터



재난망 FOTA 서버



**PROJECT** (주)에코엔파트너스의 제품·사업장 환경안전 통합관리 서비스 시스템 개발



환경 및 안전 관련 법령이 지속적으로 제정 및 개정됨에 따라 기업이 준수해야 할 규제가 다양하고 복잡해지면서 기준 역시 점차 강화되고 있다. 실제로 위반에 따른 부과금 및 과징금, 조업정지, 사용중지, 폐쇄명령 등 행정처분 건수도 늘고 있다. 이에 따라 기업이 환경·안전 규제를 자가관리할 수 있도록 지원하는 서비스 시스템의 필요성이 대두돼 환경·안전 적법운영 자가관리 시스템을 개발하기에 이르렀다.

본 프로젝트에서 개발한 사업장 환경·안전 적법운영 자가관리 시스템은 사업장이 해당 규제와 규제별 카테고리를 선택해 사업장에 적용되는 환경·안전 적법운영 체크리스트를 생성한 후 이를 토대로 사업장의 적법운영 여부를 자가진단하면서 미이행 사항을 미리 확인하고 조치할 수 있도록 지원하는 웹(Web) 기반 시스템이다. 시스템은 크게 적법운영 진단을 위한 적법운영 프로토콜 모듈과 적법운영 지원을 위한 환경·안전 정보 검색 모듈로 구성돼 있다.

따라서 본 환경·안전 적법운영 자가관리 시스템은 대기·수질·폐기물·화학·토양 등 환경 분야 및 산업안전·위험물·소방·가스안전 등 안전 분야 규제를 적용받는 제조업 사업장에 적용할 수 있다. 분야별 규제가 적용되는 사업장에서 환경·안전 적법운영 관리를 위해 도입할 수 있고, 본사 또는 지주회사 차원에서 다수 사업장의 적법운영 현황을 관리할 목적으로 본 시스템이 이용되기도 한다. 원청기업에서 공급망 즉, 협력업체의 적법운영 관리를 위해 적용하는 것도 가능하다.

# ESG 경영의 첫 단계, 환경·안전 컴플라이언스 관리체계 구축

사업장 여건에 맞는 환경·안전 적법운영 체크리스트를 생성·진단·관리함으로써 미이행 사항을 확인할 수 있고, 공급데이터와 연계해 법령 등 최신 정보를 실시간으로 확인할 수 있다. 환경·안전 적법운영 자가관리 시스템을 도입함으로써 컴플라이언스 관리체계를 구축해 ESG 경영에도 대응할 수 있다.

## 웹(Web) 기반 환경·안전 적법운영 자가관리 시스템

본 프로젝트에서는 제조업 사업장에 주로 적용되는 환경 및 안전 관련 법령을 파악한 후 이 중 가장 보편적으로 적용되는 대기환경보전법, 물환경보전법, 폐기물관리법, 화학물질관리법 등 환경 규제 및 산업안전보건법, 위험물안전관리법, 소방시설 설치 및 관리에 관한 법률, 고압가스안전관리법 등의 안전 규제를 체크리스트화했다.

사업장 담당자의 관련 지식 수준을 고려해 자가진단 시 참고할 수 있도록 상세정보 및 관련 별표를 제공하고, 미이행 사항 조치에 활용할 수 있도록 미이행 사항 조회 기능과 관련 서식도 포함돼 있다. 또한 적법운영을 지원할 수 있도록 환경·안전 정보 검색 기능도 탑재했다.

실제로 대기업 L사, 중견기업 H사 등에 자가관리 서비스 시스템을 제공했으며, 환경오염 피해 구제를 위해 도입된 환경책임보험에 가입한 1만3000여 사업장을 대상으로 1년간 서비스를 시행했다.

향후 업종별로 특화된 환경·안전 적법운영 자가관리 시스템을 개발해 기업의 ESG 경영 도입에 따른 환경·안전 컴플라이언스 대응체계 구축을 지원할 계획이다.



### 시스템 특징

- ◆ 원스톱 적법운영 자가진단  
환경·안전 분야 규제 정보 탑재
- ◆ 환경·안전 분야 효율적 진단  
복잡한 법령 내용에서 주요 사항만 요약해 체크리스트화
- ◆ 다양한 통계 및 조회 기능 제공  
- 연도별 비교  
- 진단 시점별 비교  
- 진단 분야별, 진단 법령별 비교  
- 미이행 사항 조회
- ◆ 적법운영 진단 결과 출력 기능 제공  
미이행 사항 등을 일목요연하게 확인
- ◆ 적법운영을 위한 참고 정보 제공  
법령 개정 정보, 법령 해석례, 행정처분 사례 검색





**PROJECT** (주)이노시뮬레이션의 다기종 건설기계 중장비 훈련을 위한 가상훈련시스템 및 서비스



굴착기 시뮬레이터

다기종 중장비 시뮬레이터

다기종 건설기계 중장비 훈련을 위한 가상 훈련시스템은 산업 현장에서 사용하는 건설 기계(굴착기, 지게차, 크레인 등) 조종사가 조종 장치, 가속 페달 조작 등을 통해 야기하는 건설기계의 운동 현상을 실제 상황과 유사하게 시뮬레이션한다. 또한 현실감 있게 체험할 수 있는 영상, 음향, 모션 등 가상환경에서 훈련 상황을 기록하고 평가할 수도 있다.

항공기, 철도, 자동차 분야에서 가상훈련시스템은 매우 보편적인 기술로 활발히 적용되고 있으나, 국내에서 중장비 분야는 상대적으로 관련 기술 적용이 늦고 시장 규모가 작아 잘 시도되지 않는 분야다. 이러한 가운데 (주)이노시뮬레이션이 시장의 수요를 이끌어 내기 위해 선도적으로 기술 개발을 추진했다.

건설기계 장비는 조작이 어렵고 조작 절차 및 상황에 따른 대처가 상당히 중요하다. 상황 대처 및 조작에 실수가 발생한다면 자칫 대형 사고로 이어질 수 있고, 또한 중장비 구동 시 연료 소모가 커 일반 차량에 비해 훈련 장소의 제약이 많다. 이노시뮬레이션은 건설기계 장비 오조작으로 인한 사고를 미연에 방지하고 훈련이 필요한 고객을 위해 오랜 기간 자동차 시뮬레이터를 개발한 경험을 토대로 중장비 시뮬레이터 기술 개발을 추진했다.

**혼합현실(MR) 헤드셋 사용한 MR 시뮬레이터 개발**

본 프로젝트에서는 차량의 중방향 및 횡방향 운동 방정식을 적용해 선회 운동 시 실제 차량 주행과 같은 물리적 특성을 반영한 동역학 기술을 개발하고 중장비에서 많이 사용하는

**가상환경에서 중장비를 현실감 있게 시뮬레이션하다**

본 프로젝트에서 개발한 기술은 다기종 건설기계 교육 및 훈련이 필요한 기업, 학교, 학원 등의 시설에 적용된다. 중장비 시뮬레이터를 통해 차량 특성을 체험하고, 특수 환경에서의 대처 요령 및 운전 기능을 습득할 수 있다.

유압시스템을 물리엔진으로 구현했다. 또한 동역학 데이터를 Pitch, Roll, Heave 방향으로 움직일 수 있는 3축 모션플랫폼에 전달해 실제 중장비를 조작하는 체험도 할 수 있다. 더불어 최신 실기시험 코스를 구현해 운전기능사 면허시험장과 동일한 환경에서 실제 채점 기준에 따라 모의시험을 연습하고, 실질적인 운전능력을 정확하게 평가받을 수 있다.

또한 최신 확장현실(XR) 기술을 접목하기 위해 혼합현실(MR) 헤드셋을 사용한 MR 시뮬레이터도 개발했다. MR 헤드셋은 비용이 낮고 소형으로 시스템 구성이 가능하다는 장점이 있다. 고해상도로 표현하는 3차원 공간감과 더불어 완전한 실제 공간과 가상공간이 섞인 MR을 재현할 수 있다. MR 헤드셋을 적용한 이노시뮬레이션의 시뮬레이터는 소형 디스플레이 시스템으로 완전한 가상환경을 구축해 하드웨어를 최소화·단순화할 수 있어 시뮬레이터 크기를 획기적으로 줄일 수 있다. 간결하고 최적화된 시스템 구성은 시뮬레이터 운용을 매우 쉽게 만든다. 사용자의 의도에 따라 다른 시스템과의 연동을 빠르게 할 수 있고 시뮬레이터 구조와 성능을 자유롭게 변경할 수도 있다.

따라서 기존 시뮬레이터의 단점인 비용, 공간의 비효율성을 극복할 수 있는 MR 헤드셋 기반 시뮬레이터를 고객에게 적극적으로 제안하고 있다. 일부 MR 헤드셋이 멀미를 유발하는 문제가 있지만, 최근 관련 기술의 발전으로 고성능 MR 헤드셋이 출시됨에 따라 몰입감을 획기적으로 높인 MR 기반 훈련시스템이 점차 확대될 것으로 예상된다.



지게차 시뮬레이터  
(한국기술교육대)



지게차 시뮬레이터  
웹버전 화면(한국기술교육대)



휠로더 시뮬레이터  
(현대건설기계)



굴착기 시뮬레이터  
(한국생산기술연구원)



(주)토록  
홈페이지 바로가기



**PROJECT** (주)토록의 다양한 인터랙션 콘텐츠를 갖춘 자율행동과 학습 기반의 휴머노이드형 소셜로봇



한국은 저출산·고령화가 빠르게 진행되면서 여러 가지 사회문제에 직면해 있다. 맞벌이 가구, 한 부모 가정이 증가해 돌봄 및 교육 문제가 발생하고 있고, 사회의 디지털화가 빠르게 진전되면서 상대적으로 역량이 부족한 장·노년층이 소외되고 있는 상황이다. 이러한 사회적 현상과 맞물려 인간에게 유용한 노동력을 제공하는 로봇 중에서 인간과 사회적 관계를 맺으며 각종 서비스를 제공하는 소셜로봇에 대한 관심이 증가하고 있다.

이에 (주)토록은 일상에서 친구처럼 지내면서 교육 및 돌봄 서비스를 제공하는 소셜로봇 개발을 추진했다. 삶의 질을 높이는 데 기여할 소셜로봇은 인간과 자연스럽게 상호작용이 가능해야 한다. 따라서 본 프로젝트에서는 인지 기술, 판단 기술, 표현 기술 개발에 중점을 두었다. 로봇에 생명을 불어넣는 이 기술을 활용할 경우 로봇은 사람의 얼굴을 인지 및 기억하고 대화는 물론 자율적으로 행동할 수 있다.

### 교육, 돌봄뿐만 아니라 멘탈 케어 영역까지

본 프로젝트에서 개발한 휴머노이드 소셜로봇 '리쿠(LIKU)'는 일상에서 인간과 친구처럼 지내는 등 통합인지시스템을 갖추고 있다. 인공지능(AI) 인지기능이라고도 불리는 통합인지시스템으로 얼굴 인식, 음성 인식, 음원 분석 등 인지 기술을 융합해 주변의 상황을 깊이 이해할 수 있다. 또한 외부의 자극, 내적 욕구, 행동의 결과 등이 동기부여가 되면서 감정이나 행동으로 표출되는 통합신경망시스템(Synthesis Nervous System)을 탑재해 자율

## AI 소셜로봇 리쿠(LIKU)

자율적으로 인간과 소통할 수 있는 소셜로봇은 아동과 노인에게 발생할 수 있는 돌봄 및 교육 공백 등을 해소하기 위해 활용될 수 있다. 일상에서 말벗으로 지내면서 정신건강을 위한 힐링 프로그램, 어린이 교육 프로그램, 노인을 위한 디지털 격차해소 교육 및 안내 등을 제공한다.



인터랙션(소통)이 가능하다. 이를 통해 살아 있는 생명체처럼 감정과 욕구를 지닌 채 자율적으로 판단하고 자신의 행동을 결정할 수 있다. 이외에도 리쿠는 로봇의 모션뿐만 아니라 눈동자, 목소리 등을 활용해 다양한 감정이나 의미를 표현할 수 있다. 22개 액추에이터 동기 제어로 풍부하고 자연스러운 모션 구현이 가능하며 개성성 있는 반응을 시의적절하게 조합해 표현한다.

본 프로젝트에서 개발한 기술을 토대로 리쿠를 출시, 유아나 어린이를 위한 다양한 교육 콘텐츠와 어르신을 위한 디지털 교육 등의 서비스를 제공하고 있다. 현재 전국 180여 개 유아교육기관 및 초등학교에서 리쿠를 활용하고 있으며, 경남 마산로봇랜드에서는 리쿠가 전 시관을 안내하며 관람객에게 일대일 서비스를 제공하고 있다. 또 서울시 5개 구청에서는 어르신을 위한 디지털 격차 해소 교육에 리쿠를 활용하고 있다.

한편 고령화와 맞벌이 가구 증가 등에 따른 교육 및 돌봄 공백이 사회문제가 되고 있는 상황에서 소셜로봇의 필요성이 점차 커질 것으로 전망되는 가운데 소셜로봇이 교육, 돌봄뿐만 아니라 멘탈 케어 영역에서도 활용될 수 있도록 사업 영역 확대를 추진하고 있다.



# (재)부산테크노파크가 추진하는 R&D 프로젝트 산학연 산업생태계 선순환을 위한 파워반도체 클러스터

본 프로젝트는 차세대 신성장동력산업으로 주목받는 파워반도체 신산업 육성을 위해 150mm SiC 파워반도체 일괄공정라인을 구축하고, 이러한 인프라를 활용해 고효율 파워반도체 소자 개발을 지원함으로써 이를 국내 중소·중견기업이 활용할 수 있도록 기술 서비스 기반을 확립하는 것이다



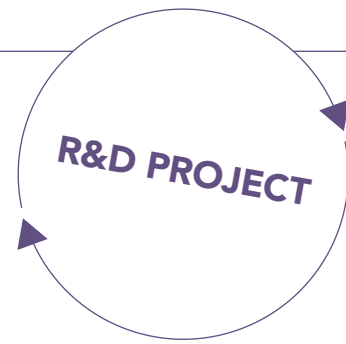
(왼쪽부터) 주승민 기술책임, 김병목 기술선임, 권영재 센터장, 이기수 기술선임, 박점철 기술책임, 김태우 기술선임



## SiC 파워반도체 연구 플랫폼 구축 사업

파워반도체는 전원 또는 배터리로부터 공급되는 전력을 응용 기기에 맞게 전력변환, 전력변압, 전력안정, 전력분배 및 전력제어 등을 수행하는 데 사용하는 반도체 및 부품이다. 또한 차세대 파워반도체란 기존 Si 기반의 반도체 소자 외에 WBG(Wide Band Gap), 물질(SiC, GaN, 인공다이아몬드) 기반의 소자로 제작하는 것으로, 열특성 향상, 속도 강화, 고전압·고전류 가능 및 스위칭 손실 최소화 등이 가능한 파워반도체를 지칭한다.





이와 관련, (재)부산테크노파크가 SiC 파워반도체 연구 플랫폼 구축 사업에서 연구개발(R&D)하고자 하는 기술은 연구 플랫폼 장비를 활용해 파워반도체 소자를 제작할 수 있는 단위·복합 공정 기술이다. 반도체 소자는 디바이스 또는 디스크리트(Discrete)라 불리며 전력변환 및 전력제어 등에 사용된다.

웨이퍼 다이에서 별도의 패키지 과정을 거쳐 제품화되며, 파워반도체 소자는 전력변환이나 전력제어를 담당하는 반도체 디바이스로 다이오드(Diode), 파워트랜지스터, 사이리스터(Thyristor) 등으로 구분된다. 파워다이오드는 역방향으로는 전류가 흐를 수 없는 구조로 돼 있으며, 다른 파워반도체와 달리 상당한 양의 전류를 이송할 수 있다. 파워트랜지스터의 하위 분류로는 바이폴라 트랜지스터(Bipolar Transistor), 파워트랜지스터, 파워MOSFET(Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor), IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 등이 포함된다.

### 파워반도체산업 경쟁력 강화를 위한 원천 기술 확보

국내 파워반도체 시장은 조선, 중전기(전력기기), 가전기, 자동차 등 파워반도체산업의 최대 수요기업을 보유하고

구분	기능 및 특징	용도
Diode(SBD, FRD 등)	정류 기능을 통해 교류를 직류로 변환	자동차, AV 기기
Transistor	증폭 기능, 스위칭 기능	산업기기, 가전기, 자동차
Bipolar Transistors	온 저항은 작지만 스위칭 속도가 느림, 높은 소비전력, 미세화가 어려움	MOSFET, IGBT로 대체 추세
MOSFETs	빠른 스위칭 속도, 낮은 소비 전력, 미세화 용이, 고주파수에 적합하지만 온 저항이 큼	박형 TV, 모터 구동, 전원의 고효율화로 용도 확대 중
IGBTs	BJT보다 스위칭 속도가 빠름, 저소비 전력, 미세화 용이, 고주파수가 적합하며 MOSFET보다 온 저항이 작음	백색가전의 인버터, 하이브리드카 등에서 고성장 전망
Thyristors(SCR, GTO 등)	특수 정류에 작용, 대용량화에 유리	용접기, 직류송전, 가전제품

파워반도체 소자의 기능과 용도

파워반도체는 전원 또는 배터리로부터 공급되는 전력을 응용 기기에 맞게 전력변환, 전력변압, 전력안정, 전력분배 및 전력제어 등을 수행하는 데 사용하는 반도체 및 부품이다.

있으나 핵심 기술 및 인프라 부족으로 국내 수요의 90% 이상을 수입에 의존하는 실정이다. 높은 기술 진입장벽, 파워반도체의 원천특허 미확보, 다품종·소량생산의 취약한 산업구조 등을 감안해 시장 기능만으로는 한계가 있어 국가적인 지원이 필요하다.

소품종·대량생산 체제의 반도체 메모리 시장, LCD, 휴대전화 시장 등과 달리 파워반도체는 다품종·소량생산 구조로 국가적 지원을 통해 산업 생태계를 구축할 때 강소기업 발전이 가능한 사업이다. 특히 기존 Si 대비 고효율·고출력·고주파 동작이 필요한 전기자동차, 신재생에너지 등 신사업, 신성장동력사업의 핵심으로 차세대 SiC 파워반도체산업의 육성으로 차세대 SiC 파워반도체산업의 육성이 초미의 과제로 대두되고 있다.

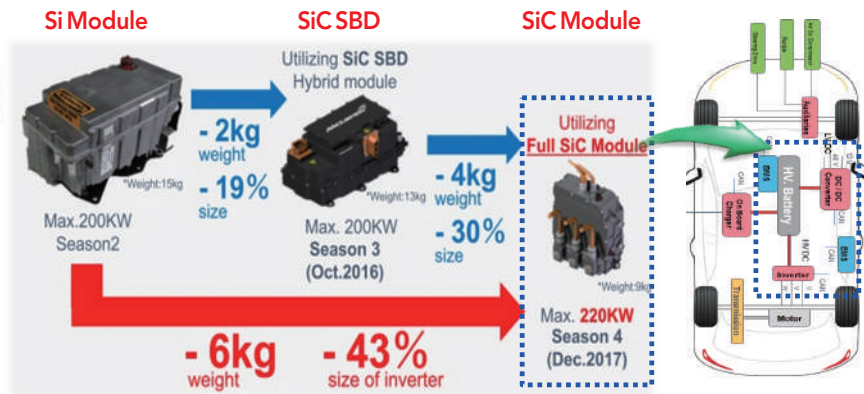
이에 부산테크노파크는 차세대 신성장



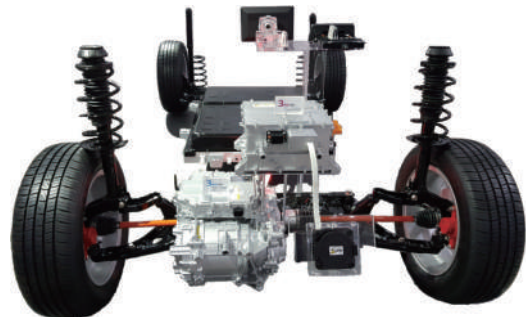
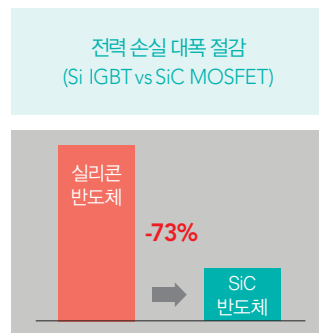
## Si 반도체와 SiC 반도체 응용 비교



4차 산업혁명으로  
에너지 절감 필요성 증가



엔진의 소형·경량화

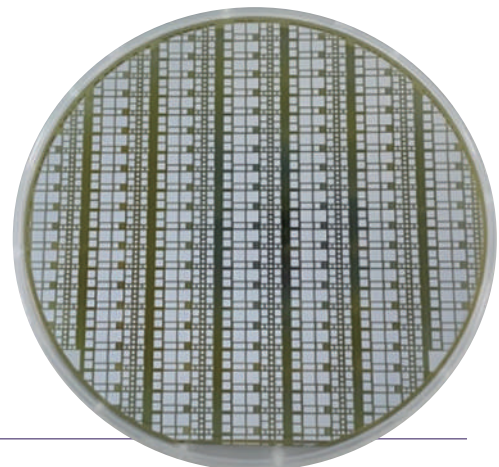
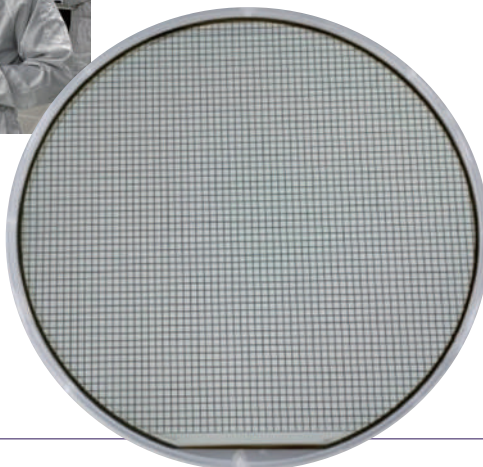


## 파워반도체상용화센터 위탁 가공



G社 1200V급 SiC SBD

F社 650V급 SiC SBD





동력으로 주목받는 파워반도체 신산업 육성을 위한 150mm SiC 파워반도체 일괄 공정 라인을 구축하고, 이러한 인프라를 활용해 고효율 파워반도체 소자 개발을 지원함으로써 이를 국내 중소·중견기업이 활용할 수 있도록 기술 서비스 기반의 확립을 추진한다. 구체적으로 차세대 SiC 파워반도체 일괄 공정 장비 구축(고온이온주입기 포함 28종)과 단위·일괄 공정 기술 개발을 통한 기술 지원 및 시제품 제작 지원 체계 구축, 국내 파워반도체 생산·연구 거점, 전문 기술인력 확보를 위해 150mm 일괄 공정 라인 구축을 추진하고 있다.

이를 위해 2017년부터 2019년까지 파워반도체 기술 기반 거점 확보 및 일괄 공정 라인 장비 구축으로 단위·일괄 공정 서비스 지원이 가능한 플랫폼 체계를 구축했다. 더불어 2020년부터 2021년까지 연구 플랫폼 구축 단계에서 확보한 기술을 바탕으로 일괄 공정 기술 개발 및 상용화 기술 개발을 통해 시제품 생산이 가능한 체계를 구축했다. 이를 토대로 2022년부터 산업 클러스터 구축을 진행하고 있다. 파워반도체 소자 제작뿐만 아니라 신뢰성 평가에 이르는 파워반도체산업 전 분야를 지원할 수 있는 체계를 2023년까지 구축할 예정이다.



### 산업혁신 창출하는 혁신 플랫폼 (재)부산테크노파크



기존에는 노동과 자본의 요소별 투입량에 따라 산업 발전이 이루어졌지만, 지금은 단순히 요소 투입만으로는 힘들고 네트워크와의 융합, 플랫폼의 역할이 중요하다. 혁신 주체 네트워크와의 협업을 통해 기술혁신이 이루어지기 때문이다. 테크노파크는 지역사회의 대학, 기업, 연구기관, 지자체 같은 산업 주체의 융합을 증개하고 연결해 산업혁신을 창출하는 혁신의 플랫폼 역할을 하는 기관이다. 산학연관의 유기적 협업 속에서 지역 실정과 특성에 맞는 산업 발전 전략과 정책을 수립하고 지역 강소기술기업을 발굴해 지원 및 육성하고 있다. 이렇듯 부산테크노파크는 부산의 혁신역량을 산업으로 전환하는 실용적 혁신 플랫폼이 돼 지역 성장을 견인할 수 있도록 노력하고 있다.

최근 부산테크노파크는 지역 내 13개 대학과 부산권 파워반도체 인재 양성을 위한 공유대학 업무협약을 체결했다. 부산권 파워반도체 공유대학이 소재, 설계, 공정, 패키징 등 10개 트랙 과정을 운영해 지역 대학생 및 기업 재직자, 고교생 등 연간 300여 명의 반도체 전문인력을 양성해 나갈 계획이다. 부산테크노파크 파워반도체상용화센터는 공유대학 실습 교육 기능 수행을 담당한다. 이번 파워반도체 공유대학과 같이 기반구축사업의 성과와 인프라를 연계해 지식산학이 모두 활용할 수 있는 후속 사업을 만들어 갈 방침이다. 아울러 10여 년 전부터 부산에 파워반도체의 씨앗을 뿌렸듯 미래지향적이고 장기적인 시각으로 지역 산업의 미래 먹거리를 기획해 나갈 예정이다.

# 더 이상의

## 초고속 5G용 시스템반도체의 고신뢰를 위한 지능형 수명평가시스템 개발, 큐알티(주)

4차 산업혁명 및 인공지능(AI) 시대의 도래로 반도체 기술, 시장, 생태계 전반의 패러다임이 변하고 있으며 선진국은 앞다퉀 시장 선점을 위해 집중적인 투자를 진행하고 있다. 이에 따라 원천 기술부터 상용화 기술까지 전주기 개발을 통해 신시장, 신산업을 창출할 수 있는 반도체 핵심 기술 개발 프로젝트의 필요성이 고조되고 있으며, 새로운 산업에 적용되는 반도체의 신뢰성 시험도 점점 늘고 있다. 이런 가운데 반도체 신뢰성 시험과 분석을 수행하고 있는 반도체 종합 분석 전문기업 큐알티(주)의 연구개발(R&D) 성과 및 능력이 주목받고 있다.

 조범진  서범세

# 반도체 신뢰성 이슈는 없다

### 국내 최고의 반도체 및 전자부품 신뢰성 분석 기업

큐알티(주)는 반도체 신뢰성을 평가하고 불량 원인을 분석해 제공하는 기술서비스 전문기업이다. 1983년 현대전자의 한 부서로 출발해 2005년 큐알티(주) 반도체로 창립되면서 하이닉스반도체 자회사로 편입됐다. 이후 2014년 5월 SK하이닉스의 자회사인 SK하이이엔지에서 계열 분리된 큐알티는 국내외 6개 사업장에서 반도체 기술평가 비즈니스를 전개해 왔다.

주요 사업 분야는 반도체 신뢰성 평가, 반도체 불량 분석, 반도체 특성 시험 서비스, 반도체 장비 보드 제작, 반도체 장비 개발 판매, 5세대(5G) 이동통신 시스템반도체

평가 장비와 소프트웨어 검출 장비 판매 등이다.

특히 큐알티는 국내 최초로 자동차용 반도체 신뢰성 분야 한국인정기구(KOLAS) 인증(AEC-Q100/101), 반도체 신뢰성 분야 KOLAS 인증(JEDEC) ISO 9001 인증을 획득한 국내 1위 전자부품 신뢰성 검증 업체이며 해외에서도 뛰어난 능력을 인정받고 있다.

직원은 약 150명으로 반도체 신뢰성 종합분석을 위해 30여 명의 전문인력이 업무를 진행하고 있고, 신뢰성 평가 장비 개발에 30여 명의 엔지니어와 10여 명의 연구위원이 힘을 쏟고 있다.

### 5G용 통신용 반도체의 신뢰성 시험장비 개발 성공

5G 이동통신 기술의 발달로 다양한 산업 분야가 서로 융합돼 새로운 가치를 발휘하고 있다. '2022 모바일 월드 콩그레스(2022 MWC)'에서도 사물인터넷(IoT)과 인공지능(AI), 빅데이터 등이 전 산업으로 확장돼 5G의 연결성이 중요해지고 있음을 보여주었다. 이러한 5G 융합 기술, 특히 자율주행, 스마트 공장, 스마트 시티 기술에서는 단기 통신 두절로도 대규모의 인명 및 재산 피해가 발생할 수 있다. 따라서 통신용 반도체의 신뢰성 확보가 매우 중요해지는 상황이다. 더욱이 최근 반도체에 새롭게 질화갈륨(GaN)을 사용하게 되면서 소자에 관한 열화분석 및 수명 예측이 크게 요구되고 있다.

이와 관련해 최영락 상무는 "통신용 반도체의 신뢰성 보증을 위한 여러 신뢰성 시험이 있다. 그중에 통신용 반도체의





수명을 보증하고 예측하기 위해 고온동작수명시험(HTOL)과 가속수명시험(ALT)이 진행되고 있고, 자동차용 반도체의 경우 수명이 10년 이상이 되도록 규정하고 있다”며 “이러한 수명 예측은

반도체에 DC 바이어스(전원)만을 인가하는 DC 방식(DC-HTOL, DC-ALT)과 실환경 모사를 위해 DC 바이어스와 더불어 RF 통신 신호를 적용하는 RF 방식(RF-HTOL, RF-ALT)이 있다. 정확한 반도체 수명 예측을 하려면 RF 방식을 사용해야 하지만, RF 신호 인가 및 측정에는 고가의 장비가 있어야 하고 신뢰성 테스트 비용이 큰 데다 복잡한 구성으로 테스트 셋업에 시간이 길 뿐만 아니라 테스트의 정확성을



(왼쪽 상단부터) 이상혁 선임, 장현섭 선임, 박진상 책임, 김정수 책임, 김진구 책임, 유종훈 책임, 이승목 책임, 예종열 책임, 권혁화 주임  
(왼쪽 하단부터) 강윤호 선임, 김지연 책임, 최영락 상무, 이소은 주임, 여화선 주임



확보하기 위해선 RF 전문가가 필요하다는 점 등에 따라 그동안 DC 방식 테스트가 주로 시행돼 왔다”고 설명했다.

이어 최 상무는 “큐알티에서는 통신의 실환경 모사를 위해 RF-HTOL 및 RF-ALT를 진행해 고객에게 더 정확한 반도체 수명을 제공하고자 노력했다. 해외 우수 반도체 제조 기업에서 RF 수명 테스트에 관한 요청은 그동안 꾸준히 있었으나 높은 테스트 비용과 긴 셋업 시간으로 인해 고객들이 실제 테스트를 진행하지 못하는 경우가 많았다”며 “따라서 기존 문제점을 개선해 고객들이 RF 수명 테스트를 쉽게 하도록 했다. 산업통상자원부의 지원을 받아 ‘초고속 5G용 시스템반도체의 고신뢰를 위한 지능형 수명평가시스템 개발’ 과제를 진행, 고가의 RF 장비를 대체하고 비전문가도 손쉽게 수명 예측을 할 수 있도록 데이터를 수집 및 분석하는 시스템을 개발하고 있다”고 밝혔다.

또한 그는 “해외에서도 소수의 업체가 유사한 기능의 제품을 선보이고 있다”며 “하드웨어는 자사에서 개발한 장비와 유사한 성능을 보이고는 있으나, 자사는 RF를 공급하는 동적 가속 장비에 있어서 국내 개발 RF 반도체를 사용함으로써 장비의 가격을 낮추고 소비자가 원하는 다양한 성능을 유연하게 제공할 수 있다. 그리고 온도와 전압을 공급하는 정적 가속 장비는 별도의 챔버 사용 없이 온도 조절이 가능하다. 전체 시스템에서 시료별로 가속인자 조절이 가능해 다양한 열화 경향 데이터를 수집할 수 있다”고 말했다.

아울러 김지연 책임연구원은 “자사가 개발에 성공한 지능형 수명평가시스템이 실시간 열화 및 고장 데이터를 수집하면 수명 예측 소프트웨어에서 열화 특성에 따라 데이터를 분류하고 고장 시간을 자동으로 확보한 후, 수명 예측 및 열화 원인 분석을 진행한다. 자체 개발 소프트웨어이기 때문에 소비자 맞춤형으로 다양한 기능을 추가 제공할 수 있다”면서 “수명 예측 소프트웨어는 신뢰성 테스트 비전문가도 손쉽게 사용할 수 있도록 수명 예측 과정의 각 단계를 자동으로 진행할 뿐만 아니라, 전문가들이 단계별 분석을 선택할 경우 맞춤 데이터를 제공한다”고 덧붙였다.

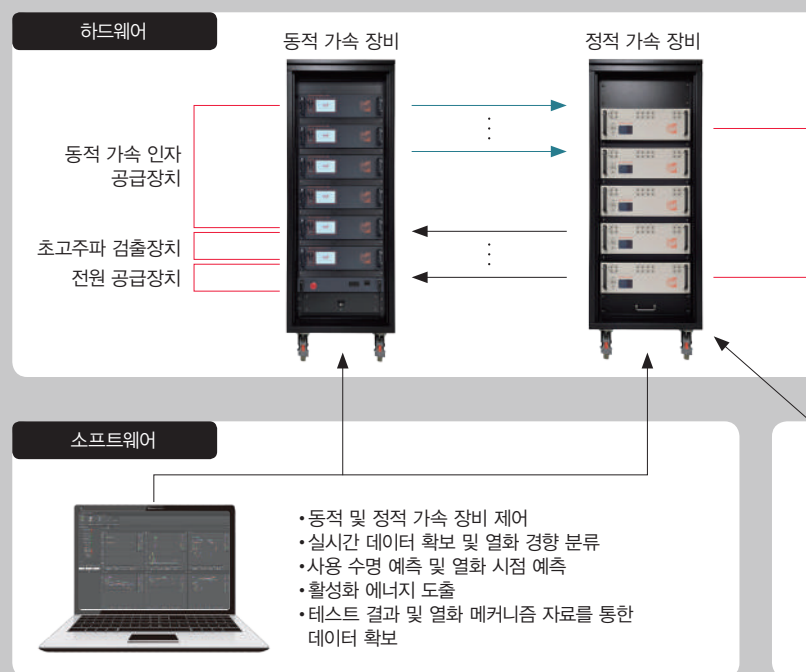
### 뛰어난 기술력 국내외 호평, 국내 반도체산업 전반에 큰 기여

큐알티의 R&D 능력과 기술력을 확인할 수 있는 또 하나의 과제가 있다. 바로 ‘중성자에 의한 반도체 소프트웨어 검출 상용화 장비 개발’이다. 대기 중 중성자에 의한 반도체 정보의 오류(소프트에러)는 급발진 또는 항공정보 오류 등 치명적인 사고와 연관돼 있다. 이러한 이유로 ISO 26262에서는 소프트웨어에 대한 평가 및 개선을 의무화하고 있다. 하지만 평가의 난이도 및 특수성으로 상용화된 장비가 없어 몇몇 해외 평가기관에 소프트웨어 평가를 의뢰한 후 결과를 피드백받는 상황이다. 이에 따라 비용 소모가 크고, 피드백이 지연될 경우 개발기관은 개발 지연에 따른 부담은 물론 첨단 기술 유출 위험까지 받는다.

이런 가운데 큐알티가 개발한 중성자에 의한 반도체 소프트웨어 검출 상용화 장비는 모듈형으로 구성되어 있으며, 메모리, 시스템 IC, 전력반도체 등 다양한 반도체 소프트웨어를 평가할 수 있어,



지능형 수명평가를 위한 시스템 구성





## R&amp;D INTERVIEW

최영락 큐알티(주) 상무, 제2연구소장

## 선도적인 기술 축적의 기회, 국책과제에서 찾아라

### -미래지향적 기술 개발, 투자, 우수인력 충원 등 장점

Q

큐알티의 R&amp;D 전략과 역량은 무엇인가?

R&D 분야에 박사급 전문인력 10여 명이 연구를 진행하고 있으며, 반도체 개발 경력 30년 이상의 전문 연구위원 5명이 자문으로 활동하고 있다. 또한 외부의 국내 신뢰성 전문가 및 장비 개발 분야 전문가들의 자문 및 협업을 꾸준히 진행해 왔고 이를 계속 확대해 나갈 계획이다. 큐알티는 국책 과제를 수행하면서 하드웨어와 소프트웨어의 인력 구성 및 협업이 안정화됐기 때문에 이를 바탕으로 신뢰성 평가 관련 장비 및 시스템 개발을 지속해서 진행할 예정이다. 또한 새로운 신뢰성 평가 기준을 만족시킬 수 있도록 국내외의 표준화 기관, 연구소 및 대학과 함께 생태계를 구축해 나가려 한다.

Q

국내 반도체 종합 분석 전문기업의 발전을 위한 전략과 대책 등이 있다면?

R&D를 진행하다 보면 기술의 필요성은 인식하면서도 시장의 요구를 앞서 나가는 기획을 진행하기가 쉽지 않다. 큐알티도 중소기업으로 현업을 수행하는 것에 인력이 집중돼 있었기 때문에 미래지향적인 기술 개발에 투자하기가 어려웠는데, 국책과제를 통해 다양한 지원을 받게 되면서 R&D 부서를 확대하고 관련 전문가를 영입해 신사업 분야 개척이 가능해졌다. 그러므로 R&D 과제를 통해 전문가들의 의견을 듣고 과제 목표 달성을 위해 연구를 진행하면서 선도적인 기술을 쌓는 기회를 잡는 데 국내 기업이 관심을 두었으면 한다.

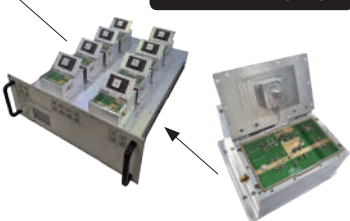
Q

앞으로의 계획 및 목표는?

3차년도 과제를 성공적으로 완료하면서 장비 상용화를 추진할 것이다. 국내외 전시회 참여로 이미 개발 완료된 장비 판매를 포함해 신뢰성 평가 서비스 홍보를 진행해 나갈 것이다. 이미 MWC2023 참가신청을 완료하고 준비 중이다. 그리고 장비를 사용한 시험 결과를 바탕으로 논문 및 보고서를 발표하고 장비 활용 방안을 홍보해 나갈 예정이며, 신뢰성 평가의 신기술을 개발해 신뢰성 관련 지식을 공유하는 데이터베이스를 구축함으로써 지식 인프라를 축적할 계획이다. 이에 따라 국가 경쟁력 증대에 기여하며 세계적인 신뢰성 검증 및 평가 업체로 거듭나도록 노력할 것이다. 특히 아직 밝힐 수는 없지만 새로운 신뢰성 평가를 위한 장비 개발을 계획하고 있다.

정적 가속 인자  
공급장치  
+  
지능형 시험 고정부  
+  
전원 공급장치

지능형 고정부(STF)



국내 반도체산업 전반에 크게 기여할 것으로 기대되고 있다. 또한 중성자의 정확한 선량을 측정할 수 있는 시스템이 내재화돼 있어 미국, 캐나다 등 특정 가속 시설에 의존하는 한계를 극복하고 국내 가속 시설에서도 소프트웨어 평가가 가능해 평가 결과의 신속한 피드백으로 개발 기간을 단축할 수 있다. 또 저비용으로 개발 제품의 소프트웨어 내구성을 신속하게 판별할 수 있게 됐다. 그 결과 큐알티는 미국 로스앨러모스 국립연구소 가속 시설의 정부 상급기관인 에너지부(DoE)와 전략적 파트너십 프로젝트를 체결했고, 캐나다 입자가속기연구소(TRIUMF)와 MOU를 맺어 전 세계 대표적인 가속 시설의 중성자 특성을 평가 분석하여 표준을 정립하는 프로젝트를 수행하고 있다. 또한 대표적인 데이터센터에서 세계 3대 반도체 제조사의 소프트웨어 특성 평가를 의뢰받아 자사 개발 장비로 비교 평가한 결과를 피드백한 것은 물론 반도체의 소프트웨어 취약성을 100um 분해능으로 분석하는 등 반도체 개발 업체에서 소프트웨어 개선을 효과적으로 수행할 수 있도록 지원하고 있다. 이에 대해 최 상무는 “큐알티에서 개발한 상용화 장비는 소프트웨어 평가의 효율을 제고할 뿐만 아니라 반도체 생태계의 중심에서 인프라 구축에 큰 기여를 하고 있고, 나아가 대한민국 가속 시설이 국제적으로 인정받도록 지원하여, 반도체 소프트웨어 품질 개선에 일조하고 있다”고 말했다.





# 격화되는 반도체 전쟁, 가야 할 길은 어디인가?

4차 산업혁명의 핵심은 정보통신기술(ICT)이다. 그리고 그 ICT가 있는 곳이면 어디라도 반도체가 있다. 세계적으로도 기술적 우위와 높은 시장 점유율을 인정받는 한국산 반도체. 하지만 급격하게 바뀌는 시장의 상황을 보면 결코 어제의 영광에 안주할 수 없다. 최근 여러 권의 관련 서적을 펴낸 반도체 엔지니어 정인성 작가를 만나 나름의 시각과 해법을 들어 보았다.

✍ 이동훈    📷 이승재

현대사회에서 반도체의 중요성을 논하는 것은 하나 마나 한 일인지도 모른다. 그리고 정말 자랑스럽게도 세계 반도체 시장의 상당 부분을 차지하는 것이 다름 아닌 한국산 반도체다. 한국은 전 세계 메모리 반도체 시장의 무려 70%를 점유하고 있다. 반도체가 수출에서 차지하는 비중도 2021년 기준 무려 20%나 된다. 하지만 언제까지나 이런 영광이 계속되리라는 보장은 없다. 세계적으로 반도체 매출은 감소세다. 기술력과 생산력 면에서 해외 경쟁사와의 격차도 좁혀지고 있다. 이러한 상황에서 우리는 어떻게 해야 할 것인가?

## ← 정인성 작가

정인성 작가는 1988년생으로, 2012년 서울대 물리학부를 졸업하고 2013년 SK하이닉스에 입사, 2021년까지 검증 분야 연구원으로 재직했다. 저서로 '반도체 제국의 미래'(2019), 'AI 혁명의 미래'(2023·공제)가 있으며, 'TSMC 반도체 제국'(원제 '器識', 대만 상업주간 지음)의 한글판 감수에 참여했다. 현재 맨드먼드 이사로 재직 중이다.

## 반도체 업계의 실상을 정확히 알리고파

그가 현재 몸담고 있는 회사는 무인 체계용 인공 지능을 만들고 있다. 그러나 그는 여기서도 늘 반도체를 염두에 두고 있다. AI도 결국 반도체가 있어야 움직일 수 있기 때문이다. 그는 그러한 부분에 대해 6~7년 전부터 관심을 가졌다. 그는 당시 하이닉스에서 반도체 완제품 제작에 필요한 시뮬레이션을 만들고 있었다. 시뮬레이션에 필요한 소프트웨어도 반도체에서 작동했다. 그런데 소프트웨어와 반도체 간에도 궁합이 있었다. 더 정확히 말하자면, 특정 소프트웨어의 실행에 가장 적합하게끔 만들어진 반도체가 있고, 그렇지 않은 반도체가 있는 것이다.

그 때문에 그는 자연스럽게 소프트웨어와 반도체의 관계에 관심을 갖게 됐다. 그 결과 특정 소프트웨어가 특정 기업(인텔 등)에서 만든 반도체만을 쓰고 있는 이유도 깨닫게 됐다. 그리고 난 후 반도체를 만드는 입장에서 벗어나 쓰는 입장, 즉 소프트웨어 개발 측 입장도 돼 봐야 더 좋은 반도체를 만들 수 있다는 생각이 들었다. 그래서 현재의 회사에 몸담게 된 것이라고 한다. 그가 반도체의 길로 뛰어들게 된 계기는 의외로 단순했다. 그가 취업하려던 2012년, 세계적인 D램 반도체 제작 회사인 일본 엘피다가 파산했다. 이로써 전 세계 D램 제작 회사는 3개만 남았는데 당시만 해도 구직자들은 반도체에는 관심이 없었다. 덕분에 하이닉스나 삼성전자 등도 요즘 보다는 경쟁률이 낮았고 대신 증권사 쪽이 더 인기가 있었다. 하지만 반도체는 글로벌 경쟁자가 많지 않고 대체불가능한 걸 만들어 낼 수 있었다. 그래서 반도체로 진로를 정했다고 한다.



그는 '반도체 제국의 미래' 'AI 혁명의 미래'(공저) 등의 서적을 집필했고, 번역서 'TSMC 반도체 제국'의 감수에도 참여했다. 그가 이렇게 활발한 저술 활동을 하게 된 것은, 사람들에게 반도체에 대한 정보를 정확히 알리고 싶어서였다. 그래서 업계 관계자가 알고 있는 '진실'을 알리고자 자신의 블로그에 이런저런 반도체 관련 글을 연재했고, 이를 본 출판사에서 그 글을 묶어 책을 내자고 제안했다. '반도체 제국의 미래'는 꽤 까다로운 내용임에도 2만 부 정도 팔리며 나름 선전했다. 그는 이 책들을 통해 반도체라는 크고 복잡한 산업에 대해 정확한 시각을 제시하고 싶었다. 그동안의 반도체산업 성장 요인을 따지고, 패권 다툼에서 승리한 기업의 장점을 분석해 보고 싶었다. 뭐가 몇 % 떨어지고 오르고, 몇 나노짜리를 만들고 못 만들기에 신경쓰기보다는 그런 큰 그림을 읽을 줄 알아야 이 산업의 추세가 보이고 앞으로의 진행 방향을 예측할 수 있다. 이는 반도체뿐만 아니라 AI산업에도 마찬가지라고 그는 강조했다.

그렇다면 그의 눈에 비친 큰 그림과 추세, 전망은 어떤 것일까.

우선 국내 반도체 기업(그의 책 제목에서 '반도체 제국'으로 표현된)의 역량이 궁금했다. 그는 정보를 저장하는 메모리반도체에 관한 한국 기업은 대체불가능의 역량을 가지고 있다고 진단했다. 그러나 반도체에는 메모리반도체만 있는 것이 아니다. 정보처리에 많이 쓰이는 일명 시스템반도체 개발의 강자는 미국 등 외국 기업이다.

반도체 기업도 수행하는 업무 분야에 따라 여러 가지고 나뉜다. 그중 반도체를 설계만 하는 곳을 팹리스(Fabless), 다른 회사의 설계를 가져와서 생산만 하는 곳을 파운드리(Foundry)라고 부른다. 한국은 세계 시스템반도체 파운



드리산업에서도 상당한 시장 점유율을 보이고 있다. 정 작가는 현재까지 한국의 성적은 매우 높다고 생각한다. 반도체는 엄청난 기술 집약적 산업이다. 한국 반도체산업의 현재는 한국 대학들이 반도체를 제대로 연구하기 전부터 기업의 훌륭한 기술자들이 산업을 준비해 끌고 온 결과물이다. 그것은 분명 대단한 성취다. 그렇다면 시장의 현황과 추세는 어떨까? 한국의 반도체 기업들은 거기에 맞춰 어떤 대비를 해야 할까?

### 한국 반도체 기업들, 글로벌 거대 소프트웨어·플랫폼 기업과 경쟁 불가피

스마트폰 등장 이전 반도체 업계의 최강자는 인텔이었다. 인텔은 컴퓨터 CPU용 반도체, 즉 범용 반도체 개발에 특화돼 있었으며 설계력(팹리스)과 생산력(파운드리)을 모두 갖추고 있었다. 전 세계를 자신들의 반도체로 도배할 수 있었다. 그러나 애플이 처음으로 스마트폰을 개발했을 때, 인텔은 애플이 원하는 스마트폰에



최적화된 반도체를 설계·생산할 수 없었다. 그래서 애플은 스마트폰에 적합한 반도체를 인텔이 아닌 다른 곳에서 찾기 시작한다. 애플은 원하던 반도체를 팹리스-파운드리 조합에서 찾아냈다. 이로써 반도체 생태계에 설계와 생산이 분리된 반도체가 늘어나고 팹리스-파운드리 생태계가 구축됐다. 원하는 칩을 만들어줄 파운드리가 속속 나타나면서 팹리스에 사람들이 몰려 창의력을 꽃피우는 시대가 된 것이다.

문제는 반도체의 생산 공정에서 발생한다. 반도체 생산의 핵심 장비인 노광기의 가격은 반도체 대란으로 인해 무섭게 폭등했다. 이 기기는 네덜란드 ASML에서 전 세계 독점생산하는 데다 만들기도 너무 힘들어 필요한 만큼 많이 만들어 줄 수도 없다. 이런 핵심 장비의 가격이 폭등하면 예전과 같은 빠른 속도로 반도체의 성능 향상과 가격 인하를 할 수 없다. 결국 반도체도 소프트웨어를 실행하기 위해 존재하는 것이다. 반도체 성능 향상이 둔화되면 소프트웨어 또는 플랫폼 기업(구글 등)이 주어진 한도 내에서 자사 소프트웨어의 성능을 100% 발휘할 수 있는 반도체 설계 개발에 적극 관여하게 된다.

실제로 구글은 유튜브 인코딩 디코딩 전용 반도체를 직접 개발해 과거의 인텔 반도체를 대체했다. 인텔 반도체는 만능 선수지만 유튜브용으로는 기능이 너무 많고 비싸며 전력 소모도 심하다. 유튜브에는 유튜브에 최적화된 반도체만 있으면 된다. 그리고 구글은 규모의 경제가 달성될 만큼 많은 반도체를 필요로 하는 큰손이다. 그러니까 자신들에게 맞는 반도체

를 직접 개발하는 편이 구글에는 여러 모로 경제적이다. 소프트웨어·플랫폼 기업들은 심지어 소프트웨어 개발력으로 반도체 개발력을 보충해 나갈 수도 있다.

한국 반도체 기업들이 직면할 문제도 바로 이런 것이다. 앞서 구글의 사례처럼 거대 소프트웨어 기업들이 필요한 반도체의 설계에 뛰어드는 판에, 우리 기업들이 그들에게 매력적인 솔루션을 주지 못한다면 시장으로부터 외면받는다. 때문에 이제는 반도체 자체의 성능만 무조건 높여서는 안 된다. 기술적으로 봐도 앞으로 10여년 후면 반도체 미세화 가격이 너무 높아져 더 이상의 미세화가 현실적으로 어려워질 수 있다. 그보다는 고객과 좋은 관계를 유지하면서 그들의 다양한 요구에 최적화된 맞춤형 제품을 적시에 내놓는 편이 더 나을 것이다. 그러려면 반도체 회사도 소프트웨어 등 전자산업의 타 분야에 대한, 더 나아가 사회의 다양한 분야에 대한 통섭적 시각을 갖추고 경쟁에 임할 필요가 있다. 기업도 그런 부분을 염두에 두고 로드맵을 짜고, 학교에서도 그런 능력을 지닌 인재를 양성해야 하는 것이다.

대만의 TSMC가 급성장하며 위협적인 경쟁 상대로 여겨지는 것도 바로 이 부분에서 뛰어난 파운드리 기업이기 때문이다. 다양한 소프트웨어 기업의 의뢰를 받아 원하는 반도체를 생산할 역량이 엄청나다. 자동차로 따지면 결합 없는 튜닝 부품을 고객의 요구에 맞춰 얼마든지 만들 수 있고, 그 부품을 모두 짜맞춰 완성차까지도 만들 수 있는 회사인 것이다. 우리에게 는 미약한 능력이다. 우리로서는 그나마 다행인 것이 TSMC는 한국이 강세를 보

이고 있는 메모리반도체에 뛰어들 기미까지는 보이지 않고 있다. 메모리반도체는 원가 경쟁이 너무 심하기 때문이다. 그리고 아무리 큰 소프트웨어·플랫폼 기업이라도 반도체를 직접 설계는 할지언정, 반도체의 직접 생산 능력까지 갖추기는 어렵다. 이런 점이야말로 한국이 가진 반도체 제조 역량과 노하우를 잘 살려 경쟁에 임할 수 있는 부분이다.

## 미래는 통섭적 시각과 굳은 각오를 가진 자에게

그는 반도체를 포함한 정보기술(IT) 분야에서 일하고자 하는 학생들에게 지금 현재의 꿈에 너무 얽매일 필요는 없다고 조언했다. 지금의 학생들이 직업전선에 뛰어 들 10년 후에는 반도체와 IT가 지금보다 덜 중요해질 수도 있는 것이다.

만약 그때도 반도체와 IT가 여전히 중요하고 본인도 그 분야에서 일하고자 한다면, 앞서도 말했듯이 통섭적이고 넓은 시각을 갖추라고 정 작가는 주문한다. 독자들에게 반드시 하고 싶은 이야기가 있느냐고 묻자 정 작가는 “지금 여러분이 있는 곳이 천국”이라고 답했다. 정 작가가 하이닉스에 근무할 때는 ‘올로’ ‘자아 실현’ 같은 말이 유행이었지만, 지금은 경기가 나빠져 예전만큼 잘 들리지 않는다. 회사가 전쟁터라면 회사 밖은 지옥이다. 나올 때 나오더라도 나가서 뭘 할지, 일이 뜻대로 안 되면 어떻게 할지 각오를 단단히 다져야 한다. 절대로 가벼운 마음으로 나오지 말고, 나가서는 원하는 방향으로 더욱 열심히 뭘 생각을 가지라고 그는 주문했다.

TREND



# 2023



## 2023년 IT 트렌드 최적화, 확장, 개척

올해도 어김없이 새해 기술 트렌드가 발표됐다.  
2022년 10월 미국 올랜도주에서 개최되는  
IT 심포지엄에서 기업들이 주목해야 할  
'2023년 주요 전략 기술 트렌드'가 공개됐다.  
핵심은 기술을 통한 위기 극복과 성장이다.

김동영 [한국개발연구원(KDI) 전문연구원]

# 2023년 전략 기술 동향과 산업의 변화.



## 2023년 전략 기술 트렌드

많은 기업이 팬데믹 이후 성장 전략을 고민하고 있지만 인플레이션의 어려움과 공급망 위기, 그리고 불황이라는 제약에 직면하고 있다. 이러한 상황에서 조직의 재무상태 개선을 위해 최고정보책임자(CIO)와 정보기술(IT) 임원들은 비용 절감을 넘어 새로운 형태의 효율적 운영을 추구해야 한다. 그리고 이를 위해서는 새로운 전략이 필요하고, 그것이 바로 디지털 전환이라는 점을 강조한다. 가트너는 올해 IT 트렌드를 최적화(Optimize)와 확장(Scale), 개척(Pioneer) 등 세 가지로 요약한다.

기업의 상황에 따라 비용을 줄이는 것이 목표일 수도 있고, 성장을 도모하거나 이윤을 늘리는 것이 미션일 수도 있다. 어떤 기업은 비즈니스 모델의 변경이 필요한 시점일 수도 있다. 어떤 상황에 놓여 있는지와 무관하게 기술이 핵심이라는 게 가트너 보고서의 골자다.

동시에 핵심 기술이 각 기업의 가치를 높이기 위해서는 전략적인 접근이 필요하다고 강조한다. 가트너의 조사 대상 최고경영자(CEO)의 94%가 팬데믹 이후 보다 빠른 디지털 전환을 원하고 있어 각각의 상황에 맞는 전략이 필요하다는 것이다. 가트너는 향후 3년간 산업에 영향을 미칠 기술 10가지를 소개하면서 이 기술을 어떤 순서로 적용하는 것이 필요한지에 대한 조언도 제공한다.

### 2023 키워드 - 최적화

최적화는 안정성을 높이는 것이 그 어느 때보다 중요해졌다는 인식을 담고 있다. 구체적으로는 데이터 중심의 의사결정이 기능마다 원활하게 이뤄지고, 인공지능(AI) 시스템이 결함 없이 운영될 수 있을 때 디지털

기술을 활용한 성장이 가능하다는 것이다. 이를 구현할 구체적인 기술 요인으로는 디지털면역시스템과 관찰 가능성, 그리고 신뢰할 수 있는 AI를 언급한다.

디지털면역시스템은 데이터를 바탕으로 운영되는 IT 시스템이 예상되는 문제를 자동으로 해결할 수 있는 체계를 의미한다. 오늘날 기업이 제공하는 디지털 서비스는 하나의 인프라다. 약간의 오류나 사고가 시스템의 불편을 넘어 기업 신뢰도 저하로 이어질 수 있는 것이다. 과거에 기술은 경영의 효율성을 높여주는 도구적 성격이 강했지만, 수익 창출의 핵심 수단이 된 오늘날 IT 시스템의 오류는 수익성에 큰 타격을 입힐 수 있다.

한편, 관찰 가능성은 문제되는 상황을 실시간으로 파악할 수 있어야 함을 의미한다. 다양한 데이터가 복잡한 기준에 의해 처리되는 오늘날 IT 환경에서 상황 변화에 따른 데이터 변화가 측정되지 않을 경우 문제 상황에 적절히 대응하지 못해 피해가 커질 수 있다. 능동적인 대응 기술이 최적화를 위한 핵심 기술로 거론되는 이유다.

## Gartner Top Strategic Technology Trends 2023

### Optimize

- 1** Digital Immune System
- 2** Applied Observability
- 3** AI Trust, Risk and Security Management (AI TRISM)

### Scale

- 4** Industry Cloud Platforms
- 5** Platform Engineering
- 6** Wireless-Value Realization

### Pioneer

- 7** Superapps
- 8** Adaptive AI
- 9** Metaverse

- 10** Sustainable Technology

Choose your business goal ↓	Sustainable Technology	AI TRISM	Wireless-Value Realization	Industry Cloud Platforms	Digital Immune System	Platform Engineering	Superapps	Adaptive AI	Applied Observability	Metaverse
	Now	0-1 year			1-2 years			2-3 years		
Create secure foundations		●	●		●	●		●		
Maximize value from data		●	●					●	●	
Protect and grow your brand	●	●			●					●
Attract and retain talent	●					●	●			●
Grow revenue	●			●			●			●
Accelerate digital			●	●	●	●			●	

〈표 1〉 Technology Trends Relate to Range of Enterprise Strategies  
출처 : Gartner, '2023 Gartner Top Strategy technology Trends'

신뢰할 수 있는 AI도 중요한 요인이다. AI는 인간의 데이터를 학습한 만큼 인간이 가진 편향성을 그대로 학습한다. 이는 AI의 신뢰성을 낮추는 요인으로 작용한다. 오늘날 거론되는 '설명 가능한 AI' 역시 같은 맥락이다. AI 활용을 늘리기 위해서는 학습 모델의 지속적인 개선이 필요하다는 지적이다.

### 2023 키워드 - 확장

확장은 언제 어디서나 기업의 서비스를 경험할 수 있도록 시스템을 갖출 때 디지털 전환을 통한 이익을 얻을 수 있다는 통찰이다. 이는 산업의 수직생태계를 강화하고, 제품 제공 속도를 획기적으로 개선할 때 구현할 수 있다. 확장을 위한 핵심 기술 요인으로 산업 클라우드 플랫폼과 플랫폼 엔지니어링, 그리고 무선 네트워크 시스템을 강조하는 이유다.

가트너는 2027년까지 기업의 50% 이상이 산업 클라우드 플랫폼을 사용할 것이라고 전망한다. 이를 통한 수직적 확장이 그 어느 때보다 중요해지기 때문이다. 즉, 특정 산업 분야에 특화된 여러 가지 자산을 한곳에 모아 적재적소에 활용할 수 있도록 해 자원 활용의 효율성을 극대화한다는 것이다. 마이크로소프트의

Azur와 아마존의 AWS가 대표적이다. 각 산업에 맞는 서비스를 묶어 관련 디지털 정보가 효율적으로 관리될 수 있는 클라우드 환경을 제공하고 있다. 이러한 영역이 의료와 제조, 금융, 농업 등으로 확대되고 있는 추세다.

플랫폼 엔지니어링 역시 자원을 효율적으로 활용한 생산성 제고를 주된 목적으로 한다. 플랫폼 엔지니어링은 개발자가 가진 문제의식과 솔루션을 기업 내 최종 사용자가 업무에 쉽게 적용해 생산성을 높일 수 있도록 내부 플랫폼을 구축하는 과정을 의미한다. 사티아 나델라 마이크로소프트 회장의 AI가 엑셀처럼 쓰일 때 기업 생산성이 높아질 것이라는 설명 역시 플랫폼 엔지니어링의 중요성과 같은 맥락이다.

한편, 무선 네트워크를 통한 확장도 언제 어디서나 기업의 가치를 제공할 수 있는 중요한 수단이다. 가트너 리서치는 향후 기업의 60%가 5개 이상의 무선 기술을 사용할 것으로 전망했다. 와이파이 기술이 단지 연결뿐만 아니라 내장된 분석 기능을 활용해 실시간 정보를 토대로 인사이트를 제공하게 된다는 것이다. 연결의 수단이 아니라 그 자체로 비즈니스에 중요한 기술이 될 수 있다는 것이다.

## 2023 키워드 - 개척

개척은 효율성 향상을 통한 확장을 넘어 새로운 영역으로 진출해 성장동력을 구축할 때 디지털 전환의 이익을 극대화할 수 있음을 의미한다. 기술을 활용한 비즈니스 모델을 전환하고, 무엇보다 새로운 가상 시장의 공략을 위한 전략을 수립해야 함을 강조한다. 가트너는 개척을 위한 핵심 요인으로 슈퍼 앱과 적응형 AI, 그리고 메타버스를 꼽는다.

슈퍼 앱은 그 자체로 비즈니스의 전환과 확장이 가능해진다. 앱이나 플랫폼 기능을 하나의 앱에 결합해 확장할 수 있도록 함으로써 플랫폼의 플랫폼을 구축하는 것이다. 쇼핑과 결제 서비스가 이뤄지고, 이를 바탕으로 재테크 서비스까지 제공하는 알리페이와 채팅 앱 위챗이 대표적이다. 특정 기능에서 출발한 하나의 앱이었지만 이후 연관된 쇼핑과 투자 등 금융 전반의 기능을 수행하면서 비즈니스 영역을 넓힐 수 있는 것이다. 이러한 개척은 인력 투입만으로는 달성할 수 없다. 소비자의 다양한 니즈를 반영해 해석해 내야 하기 때문이다.

적응형 AI가 개척을 위한 중요한 기술로 거론되는 이유다. 이는 새로운 데이터를 기반으로 모델을 지속적으로 재교육하고 학습해 초기 개발 단계에서는 예측할 수 없었던 다양한 상황에 신속하게 적응하는 기술을 의미한다. 비즈니스와 결합돼 계속해서 달라지는 소비자 니즈에 맞춘 상품을 제공할 수 있게 되고, 이러한 적응이 예상할 수 없었던 영역으로의 확장을 가능하게 만든다. 가트너는 AI를 둘러싼 기본적인 신뢰 문제가 해결된 이후에는 적응형 AI의 기술 개발 수준이 곧 기업 경쟁력이 될 것으로 전망한다.

한편, 메타버스는 공간적인 한계를 극복하고 다양한 융합이 이뤄지는 새로운 방식으로 부상하고 있다. 그 자체로 증강현실(AR), 가상현실(VR), 확장현실(XR) 등과 같이 다양한 첨단 기술로 구성돼 있고, 콘텐츠 서비스나 사용자 경험 향상에 적극 활용되면서 고객과의

입체적인 커뮤니케이션이 가능해져 비즈니스 문제 해결의 수단으로 활용될 수도 있다. 그뿐만 아니라 메타버스 환경은 게임과 교육, AR을 활용한 쇼핑 등 다양한 영역으로의 확장도 가능해 슈퍼 앱과 적응형 AI와 함께 개척의 핵심 요소로 거론된다.

## 산업의 변화

기술은 분명 우리 일상과 사회, 그리고 산업에 큰 영향을 미친다. 모든 시대를 막론하고 기술이 중요한 이유는 기술은 그 자체의 변화를 넘어 기술을 활용하는 분야의 변화를 야기하기 때문이다. 의사 손에 들린 칼과 정육점 주인에 들린 칼은 같은 기술이지만 그 쓰임이 완전히 다르다. 기술이 디지털 전환을 구현하는 요소라면, 그 결과는 산업의 변화로 나타난다. 따라서 예상가능한 산업의 변화를 함께 살펴볼 필요가 있다.

## 슈퍼 앱 경쟁 심화

인도네시아에서 많은 사람들은 '고젝' 앱 없는 생활은 상상하기 어렵다. 아침에 일어나 고젝 앱을 켜고 고푸드를 열어 아침식사를 배달 주문한다. 고젝 앱 내의 고라이드로 택시를 부르기도 하고, 고편으로 빠르게 결제한다. 고프레이에서는 영화 감상도 가능하다. 고젝 앱 하나에 20여 개가 넘는 서비스가 연결돼 있어 모든 생활이 가능하다. 인도의 '페이티엠'도 이와 유사하다. 인도의페이팔로 불리는 페이티엠은 온·오프라인 상점에서 결제는 물론 금융 서비스, 차량 호출, 음악, 세금, 티켓 예매 등 많은 서비스를 제공한다. 우리나라에서도 슈퍼 앱 경쟁은 갈수록 치열해질 것으로 전망된다. 국내 대형 인터넷 포털 기업인 네이버와 카카오가 중심이 돼 글로벌 기업의 국내 시장 진입과 유니콘 기업의 성장으로 경쟁이 불가피하다. 공인전자문서 중계 시장이 대표적이다. 지금까지 빅테크와 이동통신사가 장악하고 있던 이 시장에 많은 정보통신기술(ICT) 기업과 은행이 진출하고 있다.



각종 전자문서를 송수신할 수 있고 결제까지 가능하면 종합 플랫폼으로 시장을 선점할 수 있기 때문이다. 이미 전자문서 중계 시장에는 네이버, 카카오페이, 토스, NHN페이코, SK텔레콤, KT, 더존비즈온, KB국민은행 등 많은 사업자가 진출해 있다.

한편, 전자문서 중계 시장의 확장으로 사설 인증 시장도 주목받고 있다. 전자문서 열람을 위해서는 인증서 혹은 비밀번호가 필요하다. 빅테크나 이동통신사는 자체 인증서를 활용하는데, 이를 통해 소비자와의 접점을 강화하고 있다.

### 전면적인 클라우드 도입

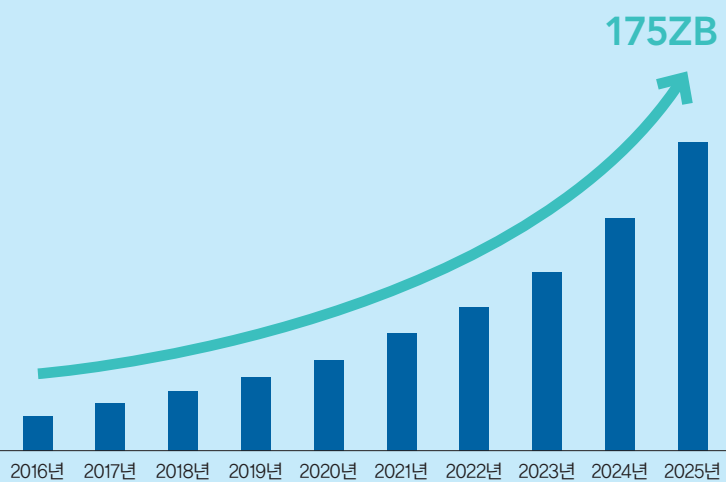
소프트웨어 기업 IDC는 전 세계 데이터 유통량이 연 61%로 성장해 2025년 175제타바이트로 증가할 것으로 예측했다. 이 가운데 94% 이상의 데이터가 클라우드에서 처리될 것으로 전망했다. 최근 클라우드는 타 기술 및 산업과 융합해 온·오프라인에서 대부분의 서비스가 클라우드화하고 있다. 특히 초창기 스타트업에 클라우드는 큰 기회 요인이다. 빅데이터 수집과 분석, 저장에 필요한 방대한 컴퓨팅 자원은 물론 AI 개발을

위한 슈퍼컴퓨터까지 클라우드로 해결이 가능하다. AI와 자율주행 분야의 성장을 위해 클라우드는 핵심 인프라로 기능한다. '데이터 시대'로 요약되는 디지털 경제는 양질의 데이터를 확보하고, AI를 통해 다양한 산업의 혁신 성장을 데이터로 리드해야 한다. 이 과정에서 언제 어디서나 데이터가 활용되려면 클라우드 도입이 필수적이다. 국가와 기업의 경쟁력 향상을 위한 전제 조건인 셈이다. 글로벌 시가총액 상위 5위 기업인 마이크로소프트와 아마존, 애플, 구글, 메타 모두 대규모 데이터와 클라우드 기반 플랫폼을 보유한 AI 기업으로 변모하는 이유다.

특히 금융권에서 본격적인 클라우드 도입이 시작될 것으로 예상된다. 컨설팅 기업 액센추어는 코로나19 팬데믹 기간 중 저비용·고효율의 장점을 가진 클라우드 서비스를 경험한 북미 은행들이 향후 2~3년 내 클라우드 업무 처리 비중을 2배 이상 늘릴 것으로 전망한다. 일반적인 금융 서비스를 더욱 빠르게 제공하는 장점이 있는 것은 물론이거니와 리스크 분석, 파생상품 개발 등 복잡한 업무를 고성능 서버를 활용해 빠르게 처리할 수 있다.

또한 클라우드는 초기 핀테크 기업의 성장을 지원한다. 인프라 구축에 드는 기간이나 비용을 크게 절감시킬 수 있다. 국내에서는 보안 규제가 완화되면서 단계적인 클라우드 전환이 이뤄지고 있다. 신한은행은 120억 원의 투자로 클라우드 기반 플랫폼을 구축하면서 banking 앱의 생활 서비스, 메타버스, AI 서비스 등을 시범운영할 계획이다. KB금융그룹 역시 클라우드 기반 플랫폼인 '클래운'을 구축해 사물인터넷(IoT)이나 머신러닝, 블록체인 등에 특화된 서비스를 선보일 예정이다.

더불어 기업들은 클라우드 플랫폼을 최소 2개 이상 사용하는 형태로 변화할 것으로 예상된다. 클라우드 컴퓨팅 초반에는 기업마다 자사에 가장 적합한 클라우드를 찾았지만 이제는 어떤 클라우드가 우리 기업의 비즈니스 요구 사항에 특화돼 서비스를 제공할지를



〈그림 1〉 전 세계 데이터 유통량 추이 예측

출처 : Data Age 2025, IDC

기준으로 클라우드를 선정한다. 이외에도 클라우드에서 특정 벤더에 종속돼 데이터 수집과 저장, 분석이 가능하다 보니 필요에 맞는 다양한 클라우드를 고를 수 있게 됐다. 이러한 변화로 기업은 데이터를 파트너와 상호 활용할 수 있어 멀티 클라우드가 주류가 될 것으로 보인다.

## 디지털 헬스케어 등장

다양한 기술 요인이 발전하고 고령화가 본격화하면서 디지털 헬스케어가 급부상할 것으로 보인다. 코로나19 팬데믹으로 그 필요성에 대한 공감도가 높아진 것도 중요한 배경적 요인이다. 기존 의료시스템은 주로 환자 치료에 초점을 맞춘 사후적 관리다. 하지만 디지털 헬스케어는 ICT 융합으로 치료는 물론 미래 질병 예측, 환자 개인에 맞는 의료 서비스를 제공할 수 있다. 많은 글로벌 ICT 플랫폼과 스타트업이 연합해 신규 서비스 출시를 통해 스마트 헬스케어 시장 선점에 나설 것으로 보인다.

전 세계 디지털 헬스케어 유니콘 기업은 약 40개로 추정된다. 아직 국내 기업은 없다. 하지만 조금씩 변화가 생겨나고 있다. 원격의료를 허용하지 않는 우리나라에서도 팬데믹 시기에는 의사와 환자 간 원격의료를 한시적으로 허용한 바 있다. 비대면 의료를 허용한 2020년 2월부터 2022년 6월까지 약 510만 건의 원격의료가 발생했다.

한편, 금융권의 헬스케어 시장 진출도 가속화할 전망이다. 미국 지역은행인 키뱅크는 헬스케어 서비스를 제공하고 있다. 키뱅크는 2016년 핀테크 기업 로렐로드를 인수하면서 헬스케어 시장에 특화된 디지털은행 ‘로렐로드 포 닥터’를 출시해 병원 등 기관 고객의 의료비 결제 서비스를 윈스톱으로 제공하고 있다.

국내에서는 보험사가 헬스케어 시장 진출에 적극적이다. 스마트 기기와 AI를 활용해 운동코치, 식단 서비스 등을 제공하는 경우가 대표적이다. AI가 술병을

인식해 알코올 도수와 칼로리 등을 계산하는 음주케어 서비스를 제공하기도 한다. 헬스케어의 확장은 그 범위가 매우 넓다. 데이터와 결합해 새로운 비즈니스를 창출할 수도 있고, 원격진료를 지원하기 위한 모빌리티 서비스와 결합할 수도 있다. 물론 이 비즈니스의 활성화를 위해서는 개인정보 보호와 활용의 균형을 유지하는 것이 필수다. 관련 규제가 지속적으로 정비되고 있어 우리나라에서도 점차 디지털 헬스케어 서비스 경쟁이 가속화할 것으로 전망된다.

## 새롭게 문제를 푸는 방법

많은 기업이 디지털 전환에 적극적이다. 동일한 개념이 아님에도 불구하고 기업의 디지털 전환은 AI를 중심으로 논의되고 있다. AI의 잠재력 때문이다. 매킨지에 따르면 2020년 글로벌 기업 중 하나 이상의 부서 혹은 제품 기능에 AI를 적용한 기업은 58%로 나타났다. 게다가 이들은 향후 3년 동안 AI에 대한 투자를 50% 이상 늘리겠다는 계획도 갖고 있다. 기업의 이러한 노력은 AI가 비즈니스는 물론 일반인의 생활양식에 이르기까지 지금까지 인류가 활용해온 어떤 기술보다 강력한 영향력을 미칠 수 있다는 예상에 기인한다.

이러한 전망은 거대한 부의 이동으로도 표현된다. 2019년 1조 달러 정도였던 AI 기업의 시가총액은 2037년 30조 달러를 넘어설 것으로 전망<sup>1)</sup>된다. 다른 전망에 따르면 2021년 글로벌 시장에서 기업들은 AI를 통해 3418억 달러의 매출을 기록했지만 2024년 5000억 달러를 돌파할 것으로 예상<sup>2)</sup>하고 있다. AI를 어떻게 활용하는가에 따라 기업의 명운이 달라질 수 있다는 주장이 점차 설득력을 얻어가는 추세다.

하지만 AI를 도입했다는 이유만으로 모든 기업이 달라지는 것은 아니다. 현재 AI를 통해 실질적인 수익을 얻는 기업은 거의 없다고 해도 과히 틀리지 않다. 아직까지 AI의 장점을 비즈니스에 효과적으로 결합한

1) ARK Investment Management, 2021.

2) International Data Corporation, 2021.

2020년(9대 기술)		2023년	
핵심 트렌드	전략 기술	핵심 트렌드	전략 기술
사람 중심 (People Centric)	① 행동인터넷(IoB)	최적화 (Optimize)	① 디지털 면역 시스템(Digital Immune System)
	② 토털 경험(Total Experience)		② 오피버빌리티 적용(Applied Observability)
	③ 개인정보 강화 컴퓨팅 (Privacy-enhancing Computing)		③ AI 신뢰도·리스크·보안 관리 (AI Trust, Risk and Security Management)
위치 독립성 (Location Independence)	④ 분산 클라우드(Distributed Cloud)	확장 (Scale)	④ 산업클라우드 플랫폼(Industry Cloud Platform)
	⑤ 어디에서나 운영(Anywhere Operation)		⑤ 플랫폼 엔지니어링(Platform Engineering)
	⑥ 사이버보안 메시(Cybersecurity Mesh)		⑥ 무선의 가치 실현(Wireless Value Realization)
회복 탄력성 (Resiliency Delivery)	⑦ 지능형 복합 비즈니스 (Intelligent Composable Business)	개척 (Pioneer)	⑦ 메타버스(Metaverse)
	⑧ 인공지능 공학(AI Engineering)		⑧ 슈퍼 앱(Super Apps)
	⑨ 초자동화(Hyper Automation)		⑨ 적응형 AI(Adaptive AI)
9가지 기술을 결합한 혁신(Combinational Innovation)		⑩ 지속가능한 기술(Sustainable Technology)	

〈표 2〉 가트너 10대 전략 기술 트렌드 비교(2022 vs 2023)

출처 : S&T GPS, 'Gartner, 2023년 주목하는 10대 전략기술 트렌드 발표', 2022.10.17

기업은 많지 않다. AI 등장 초기, 도입만으로도 이목을 끌었지만 이제는 시장이 달라졌다. 실질적인 가치, 재무적인 성과로 나타나지 않는다면 아무리 AI라도 비판받기 일쑤다. 기업들은 AI를 어떻게 노력하게 다루느냐에 따라 이익을 독차지하게 될 것이다. 이를 위해서는 머지않은 미래에 어떤 기술적 요인이 중요한지, 그리고 그 영향은 어떠한지에 대한 검토가 필요하다.

오늘날 많은 기업이 활발하게 AI를 도입하고 있지만, 유의미한 성과를 내는 기업은 드물다. 보스턴컨설팅 그룹에 따르면 AI 프로젝트를 추진한 기업 가운데 약 11%만이 유의미한 재무적 성과를 내는 데 성공했다. 90% 이상의 기업이 기대와 달리 실질적인 가치를 창출하지는 못한 것이다.

이유는 4차 산업혁명 시대의 기술을 3차 산업혁명의 방식으로 활용했기 때문이다. 기술의 패러다임이 달라지면 이를 다루는 새로운 방식의 도입이 필요하다. 새로운 기술은 데이터에 기반해 사람이 인지하지 못하는 문제를 스스로 파악한다. 이를 통해 창의적인

솔루션이 도출된다. 과거의 자동화는 인간이 만든 규칙을 그대로 따르는 시스템이었지만, AI 자동화는 스스로 최적화하는 시스템이다. 규칙을 그대로 따르기보다 이를 활용해 상황을 파악하며 디자인과 모니터링을 알아서 수행한다. 변화된 환경에 맞춰 AI 시스템이 스스로 달라지는 것이다.

한편, 과거의 방식으로 기술을 활용하다 보니 갈등도 생긴다. 2020년 MIT테크놀로지 리뷰의 조사에 따르면 AI 도입 기업의 51%는 기존 프로세스와의 마찰을 경험했다. 기존 방식에 익숙한 사람들과 새로운 프로세스 간의 갈등인 셈이다. 아무리 좋은 기술이라도 조직이 받아들일 준비가 돼 있지 않다면 제대로 활용할 수 없다. 이를 위해서는 관점부터 달라져야 한다.

2023년 새로운 전략 기술과 이로 인한 다양한 산업의 변화가 예상되지만, 이를 구현하는 것은 결국 기업과 기업 내 조직 구성원이다. AI 기술의 잠재력을 폭발시키기 위해 무엇보다 새롭게 문제를 바라보는 시각이 필요하다는 의미다. 새 술은 새 부대에 담아야 한다.



반도체산업의  
주역을 원한다면!

# 성균관대학교 CRUD



옛말에 ‘농자천하지대본(農者天下之大本)’이라 했다. 농사가 모든 것의 근본이라는 뜻이다. 그러나 농업사회가 산업사회를 거쳐 정보화 시대로 돌입한 지도 한참이 지난 현대는 ‘반도체천하지대본(半導體天下之大本)’이라고 해도 크게 틀리지 않을 것이다. 반도체야말로 정보화 시대의 쌀이나 다름없는 지위를 갖고 있기 때문이다. 원래 조선의 최고 교육기관으로 설립됐던 성균관대학교, 그 전통을 현대적인 방식으로 계승해 나가는 젊은이들이 있다.

✍ 이동훈   📷 김기남

성균관대의 반도체시스템공학과. 2006년 삼성그룹과 합작해 세운 이 학과는 세계 최고 수준의 반도체 인재 육성을 목표로 하고 있다. .

이번에 찾아가간 동아리 CRUD(크루드)는 이 학과 내의 유일한 학술 및 소프트웨어 동아리다. CRUD는 컴퓨터 소프트웨어의 기본 데이터 처리 기능인 Create(생성), Read(읽기), Update(갱신), Delete(삭제)를 묶어

1 어떤 코딩이나 오류는 있다. 그것을 머리 맞대고 해결해 나가는 것도 능력이다.  
2 CRUD의 학습 모습  
3 CRUD는 인원은 소수지만 열의가 넘친다.



02



03

서 일컫는 표현이다. 2014년 결성됐고, 홍석인 지도교수와 심은하 회장(21학번) 이하 21학번 6명, 22학번 6명 등 총 12명이 활동하고 있다. 함께 전공과목을 배우는 것은 물론 코딩을 비롯해 미래의 반도체 개발자로서 필요한 여러 가지 소양을 학습하는 것이 이곳의 목표다. 앱 개발, 코딩 문제 풀이 등의 활동을 통해 프로그래밍에 대한 학구열을 충족시킨다. 각종 콘퍼런스나 반도체 관련 외부 활동을 통해 선후배 간 친목을 다지고 후배들의 학교생활 적응도 돕고 있다.

심화 학습과 졸업 후 실무 대비를 한자리에서 CRUD의 활동은 크게 두 가지다. 학년별로 진행되는 스터디와 동아리 전원이 진행하는 전체 활동이다.



01



스터디는 일주일에 한 번 이상 시간을 정해 원하는 과목을 함께 공부하는 것이다. 대학에 들어와 처음 접하는 전공과목은 낯설고 어려울 수밖에 없다. 심지어 2020~2021년에는 코로나로 수업이 온라인으로 진행돼 과 동료 학생과 만날 기회가 없었다. 그러나 CRUD 회원은 이러한 상황에서도 스터디를 통해 어려운 전공과목을 함께 공부하고 각자 잘하는 것은 도움을 주고 힘든 부분에서는 도움을 받으며 학교생활을 잘해낼 수 있었다고 한다.

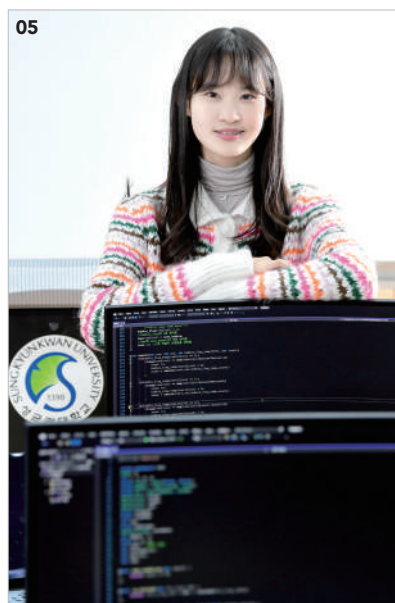
2학년이 되면 2학기에 있는 삼성전자 지원을 함께 준비한다. 자기소개서의 동료 검토와 첨삭 지도, 예상 면접 질문 공유, GSAT(삼성직무적성검사) 모의고사와 관련 스터디, 면접 준비 등을 한다. 면접 질문 예시 데이터를 직접 엑셀로 만들고 선배들과 모의면접도 진행한다.

전체 활동에서는 애플리케이션 및 게임 개발, 알고리즘과 언어 공부 등 소프트웨어 전반에 대한 것을 다룬다. 2022년 1학기에는 6명씩 두 조로 나뉘어 원하는 애플리케이션을 개발했다. 한 조는 여러 개의 미니 게임을 할 수 있는 앱을, 다른 한 조는 동아리를 소개하는 정보를 담은 앱을 만들었다. 2학기에는 책과 인터넷

4 코로나 때문에 한동안 열리지 못했던 MT 기념 사진  
5 회장 심은하 씨



사이트 등을 통해 학과에서는 배우지 않는 C++언어 개념을 공부하고, 코딩 문제 모음 사이트 '백준'에서 문제를 풀어보며 개념을 적용해 보았다. 이 C++언어를 동아리 내에서 같이 공부하는 과정에서 1학년 후배들은 선배들에게 많은 것을 배울 수 있었다. C++ 진도를 미리 공부해 문제를 풀어오고, 정규 모임에서는 모르는 부분을 질문할 수 있었다. 또한 1학년은 1학년 과목이자 C++의 기초인 C언어를 가르치는 '프로그래밍 기초와 실습' 과목을 아직 다 마치지 않았다. 그럼에도 선배들의 강의와 질의응답을 통해 학습의욕을 얻어 적극적으로 학습할 수 있었다. 이렇게 학교 수업 없이도 동아리 덕분에 C++언어까지 배울 수 있었던 것이 매우 큰 소득이라고 자평한다.



또한 C언어를 통해 체스를 구현하는 프로젝트 '퀸스 갬빗(Queen's Gambit)'도 만들었다. 6가지의 체스말 기능과 입출력, 그리고 체크메이트 함수 구현까지 파트를 나누어 팀별로 코딩을 진행했다. 이런 방식의 실시간 협업 프로젝트가 처음인 회원에게는 긴장과 설렘을 동시에 안겨주었다. 팀별로 제각각 만든 프로그램은 하나로 맞춰놓으면 원활하게 작동하기





어렵다. 충돌이 있거나 구현하는 과정에서 실수가 생기기 때문이다. 게다가 체스는 경우의 수가 엄청나게 많은 게임이다. 오류의 소지가 그만큼 크다. 이를 해결하기 위해 회원들은 서로의 아이디어를 공유하며 유기적인 피드백을 통해 이를 해결해 나갔다. 이 과정에서 문제 해결의 노하우를 터득했다. 같은 실행을 구현할 때도 한 가지 방법에만 매달리지 않고 다양한 방법을 시도해 보았다. 그중 타 코드와 가장 유기적으로 이어질 수 있으면서도 효율적인 코드를 선택해 사용하게 됐다. 그렇게 완성된 '퀵스 갬빗'은 동아리의 단결력을 높여 주었다.

이외에도 이들은 FPGA 보드를 베릴로그 언어로 코딩하고, 휴대전화용 애플리케이션을 만들어 보기도 한다. 매년 코엑스에서 열리는 반도체대전에서 전공과 관련한 폭넓은 지식과 학교 밖의 넓은 업계 모습을 배운다. 만약 회원들이 개인적으로 다양한 언어를 공부하고 싶다면 자료도 제공해 준다. 졸업반의 선배들을 만나 삼성 인턴십은 물론 졸업 후 회사 생활과 관련한 정보를 얻을 수도 있다.

6 단계 포즈를 지은 CRUD 회원들. CRUD의 앞글자인 C자를 손으로 만들어 보이고 있다. 7 퀵스 갬빗의 개념도를 그려놓고 토론 중인 회원들.



### 열정과 끈기, 팀워크와 문제 해결력 겸비한 인재 원해

이들은 올해도 신입 회원을 뽑는다. 성균관대 반도체 시스템공학과 재학생이라면 누구나 입회 신청이 가능하다. 매년 초 실시되는 동아리부원 모집 기간에 신청서를 작성하면, 면접 후 최종 선발이 이루어진다. 이들이 원하는 인재상은 우선 구체적인 목표와 계획, 열정을 겸비한 인물이다. 물론 코딩을 잘하면 좋다. 그러나 현재의 코딩 실력이 미흡하더라도 이러한 자질을 갖추고 있다면 충분히 활동할 수 있다. 또한 팀 프로젝트가 많기에 타인과 소통이 잘되는 인물을





선호한다. 견해 차이가 있더라도 해결해 나갈 수 있는 배려심과 이해심도 필요하다.

무엇보다도 코딩의 핵심은 문제 해결이다. 그러므로 주어진 문제 전반을 파악하고 구조화할 수 있는 능력, 분

석 및 정리를 하는 능력도 필수적이다. 팀 프로젝트는 큰 문제를 잘게 쪼개어 여러 문제로 구성하고 이를 각 구성원이 나누어 해결해 나가는 톱다운 방식으로 이루어지기 때문이다.

마지막으로 끈기가 필요하다. 코딩을 하면 반드시 오류가 나온다. 그럼에도 포기하지 않고 차분하게 오류를 해결해야 훌륭한 완성물을 볼 수 있다.

그 외에 독특하고 재미있는 창의적인 아이디어가 있지만, 혼자 구현하기 어려웠던 학우도 환영한다. CRUD에 오면 팀을 꾸려 함께 프로젝트로 구현해 볼 수 있기 때문이다.

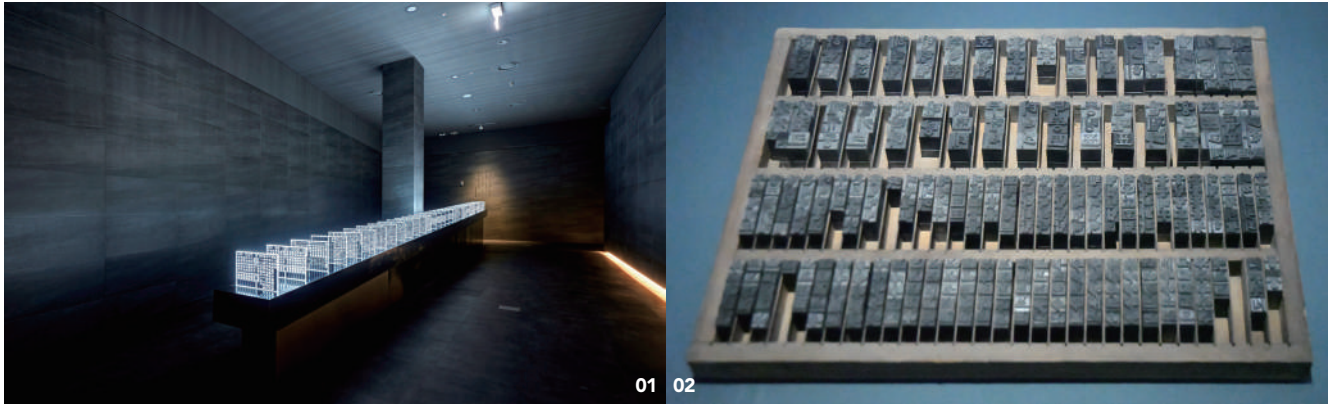
## 우리의 경쟁 상대는 MIT

CRUD는 다른 동아리에 비하면 인원이 매우 적다. 소규모라서 갖는 단점도 있지만, 코딩 분야에서만큼은 가장 최적화된 인원이라는 것이 이들의 자평이다. 인원이 적으면 회원들끼리 소통과 협력을 원활하게 하면서 프로젝트를 진행하기 쉽다. 분업이 아닌 협업이 가능하다. 앞서 언급한 '퀸스 갬빗'과 같은 팀프로젝트를

**8** 장차 반도체 산업에서 훌륭하게 활약하고자 하는 것이 회원 모두의 공통된 소망이다. 그 꿈을 이룰 때까지 도전은 멈추지 않는다.

진행하면서 이를 확실히 실감했고, 이러한 협업이 이들의 역량을 크게 성장시켜 주었다. 이러한 교훈을 바탕으로 내년에도 팀 활동을 통한 역량 증대에 중점을 둘 예정이다. 물론 회원 개인의 역량 강화를 위해 '백준'을 이용한 코딩 문제 학습도 계속된다. 이 과정에서 각자의 코드를 서로 공유하고 본인의 것과 다른 코드를 보고 배움으로써 팀워크를 증진시킬 계획이다. 2023년에는 아직 구체적인 계획은 없지만 CRUD만이 가장 잘할 수 있는 것을 찾아 야심 차게 준비해 진행할 것이다.

자신들의 경쟁자는 국내에는 없고 MIT, 하버드, 옥스퍼드 등에 있다고 자신 있게 말하는 그들. 실제로 이학과 졸업생 가운데 삼성전자를 택하지 않은 사람 중에는 마이크로소프트, 애플, 구글, 아마존 등 세계적인 IT 기업에 입사할 정도의 실력자도 많다고 한다. 그러나 CRUD 회원들은 삼성전자가 제일 좋으며 삼성전자에 뼈를 묻을 각오라고 입을 모은다. 이들이 학창 시절에 갈고닦은 기술을 바탕으로 장차 반도체 세계대전에서 건투하기를 기원한다.



# NATIONAL HANGEUL MUSEUM



※영상 및 소리가  
자동 재생되니  
공공장소에서는  
반드시 이어폰을  
착용하세요.



국립한글박물관  
소개 동영상



If there was no Hangeul, what kind of characters would we be using?

(만약 한글이 없었다면 우리는 어떤 문자를 쓰고 있었을까?)

我們可能一直在使用漢字(중국의 한자를 쓰고 있었을지도 모른다).

日本の仮名を使っていたかもしれない(일본의 가나를 쓰고 있었을지도 모른다).

이런 불편한 외국 문자보다 우리 말을 훨씬 더 정확하게 표현할 수 있는 우리 문자.

그 과학성을 알아볼 수 있는 장소를 찾아가 보자.

이동훈(과학칼럼니스트)

## 과학적 문자에 대한 근거 있는 자부심을 국립한글박물관

전 세계에는 6000여 종의 언어가 있지만 이를 기록하는 문자의 가짓수는 50개 정도에 불과하다. 우리 한민족이 사용하는 한글은 실로 위대하고 자랑스러우며 과학적인 문자다. 이는 필자가 한국인이어서 하는 이야기가 아니다. 한글은 개발자가 밝혀져 있을 정도로 나중에 개발된 문자이고, 또한 조선 초기 문맹 퇴치를 위한 국책 사업을 통해 개발된 문자다. 이 때문에 빨리 배울 수 있도록 논리적이고 실용적이다. 한글의 탁월성은 오늘날 정보화, 세계화 시대에도 빛난다. 배우기 쉬운 한글 덕분에 우리나라 사람들의 글자 해독률은 98.3%에 달한다. 세계 177개국 중 17위다. 이는 한국이 절대 빈곤 상태에서 벗어나 단기간 내에 선진국으로 도약할 수 있었던 요인 중 하나였다. 또한 한글은 중국의 한자, 일본의 가나에 비해 키보드로 입력하기가 쉽다. 한자와 가나는 우선 원하는 글자의 알파벳 발음기호부터 입력하고 나서 변환해야 한다. 그러나 한글은 바로바로 입력할 수 있다.

2014년 10월 서울 용산구에 개관한 이곳 '국립한글박물관'은 그러한 한글과 한글문화의 가치를 국내외에 알리고 확산시키기 위해 수집·조사·연구는 물론 다양한 전시·교육·행사를 국민에게 제공하고 있다. 연면적 1만1767㎡, 지하 1층, 지상 4층 규모로, 이 중 지상 2층과 3층이 전시공간

(3500㎡)으로 쓰이고 있다. 지상 1층은 한글도서관으로, 4층은 사무공간이다.

### 한글이 걸어온 길을 알리는 상설 전시

2층의 상설 전시관에서는 2022년 1월 21일부터 '훈민정음, 천년의 문자 계획'이라는 주제의 상설 전시가 열리고 있다. 한글문화의 뿌리라고 할 수 있는 '훈민정음'의 서문을 바탕으로 기획한 전시장에서는 한글이 만들어지기 이전의 문자 자료부터 현대의 한글 자료까지 191건, 1104점의 한글 문화 관련 유물을 만나볼 수 있다. 벽면과 바닥면을 동시에 활용한 실감 영상, 인터랙티브북, 투명 디스플레이 영상 등 다양한 정보통신기술(ICT) 미디어를 사용해 전시 내용을 직관적으로 전달한다.

상설 전시는 우리의 대표 문화 유산이자 한글의 뿌리라고 할 수 있는 훈민정음을 바탕으로 한글의 역사를 풀어낼 수 있도록 기획했다. '나랏말싸미 중국에 달아 문자와로 서르 사맛디 아니할새'라는 훈민정음 머리글의 첫 문장에는 새 글자를 만든 배경과 새 글자로 세종이 꿈꾼 세상이 담겨 있다. 이번 상설 전시는 이 글귀를 통시적으로 재해석해 '나라의 말이 중국과 달라'(1부) '내 이를 딱하게 여겨'(2부) '스물여덟 자를 만드니'(3부) '쉽게 익혀'(4부) '사람마다'(5부)



04

01 훈민정음 33장을 소재로 한 전시물. 02 20세기기에 만들어진 낱 한글 활자. 한글은 이미 과거부터 한자에 비해 기계화와 전자화에 적합한 문자로 두각을 드러내고 있었다. 03 박물관 전경 04 배부용 프린트물이 담긴 가구. 다양한 문자들 속에서 후발주자인 한글의 설 자리를 키울 방법에 대한 고민을 하게 한다.



‘날로 쓰에’(6부) ‘편안케 하고자 할 따름이니라’(7부) 등 총 7개의 공간으로 구성했다.

이번 전시에서는 한글박물관이 소장한 다양한 문화재급 자료와 관내외에서 새롭게 발견된 한글 자료들이 소개된다. 유가사지론(13~14세기), 선종영가집언해(1495년), 간이벽 온방언해(1578년), 곤전어필(1794년), 말모이 원고(1910년대) 등의 보물 자료를 비롯해 무예제보언해(1714년·서울시 유형문화재), 훈맹정음(1926년·국가등록문화재), 송기주 타자기(1934년·국가등록문화재) 등 다양한 등록문화재들이 나와 있다. 2021년 6월 서울 종로구 인사동에서 출토된 15세기 한글 금속활자 중 330여 점도 전시돼 있다.

조선의 22대 왕 정조가 쓴 한글 편지를 모아 둔 정조한글 편지첩과 양반 송규렴이 노비 기축이에게 쓴 한글 편지, 과부 정씨가 어사또에게 올린 한글 청원문, 조선의 마지막 공주 덕온공주의 한글 자료도 전시돼 있다. 조선의 상류층도 한글을 즐겨 사용했다는 증거다.

근현대에 들어오면, 일제강점기 발명가 최윤선이 한글 교육을 위해 만든 조선어 철자기, 현존하는 가장 오래된 한글 타자기인 송기주 타자기 등도 볼 수 있다. 한글의 기계화와 전자화의 궤적을 살펴보기에 적당하다.

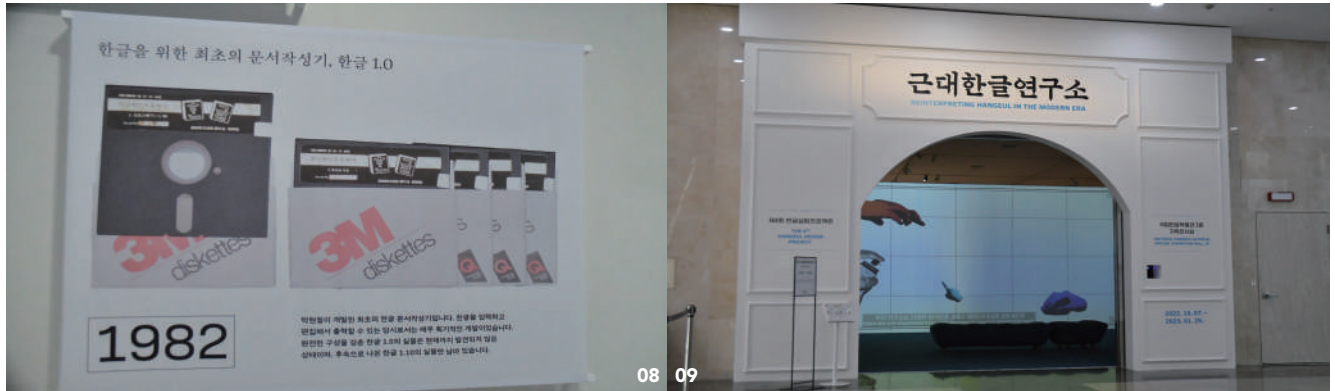


05

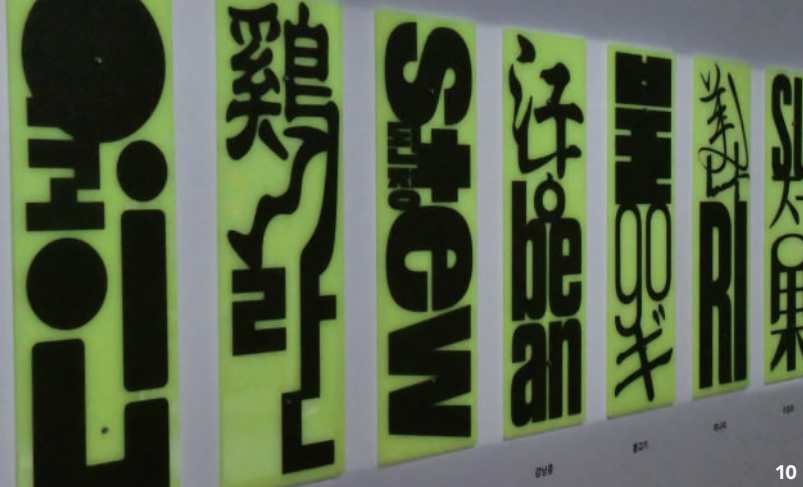
06

07

05 동국정운식 한자음을 한글로 나타낸 금속 활자. 15세기에 책을 인쇄할 때 사용된 것들이다. 2021년 6월 인사동에서 처음으로 발견됐다. 06 1934년에 발명가 송기주(1900~?)가 개발한 한글 타자기. 현존하는 가장 오래된 한글 타자기다. 07 일제강점기인 1936년 발명가 최윤선(1908~?)이 학생들의 한글 학습을 위해 만든 놀이 도구 '조선어 철자기'. 08 최초의 컴퓨터 한글 문서 작성기인 한글 1.0을 설명하는 전시물. 불과 40년 전의 것임에도 실물이 전해지지 않아 아쉽다. 09 3층에서 열리는 특별전 근대 한글 연구소의 입구. 10 유현선 작가의 'Me뉴板'. 한글 외에도 다른 문자를 알아야 하는 현실을 묘사한 것 같아 재미있다. 11 이청형 작가의 '낯설과 새로움 그리고 연결'. 1881년 외국인 선교사 리델이 편찬한 한국어 문법서 '한어문전'의 내용을 한복과 결합했다.



08 09



10 11



또한 박물관 2층 안내데스크 또는 상설전시실 입구에 비치된 QR코드를 휴대전화 카메라로 스캔하면 7개의 전시 공간별 설명과 전시실 내 주요 유물 60여 건에 대한 설명을 들 수 있다.

### 근대 한글을 미적으로 재해석한 기획 전시

3층의 기획 전시실에서는 2022년 10월 7일부터 2023년 1월 29일까지 제4회 한글실험프로젝트 ‘근대 한글 연구소’ 특별전이 열리고 있다. 한글실험프로젝트는 예술 및 산업 콘텐츠를 통해 한글의 가치를 조명하는 기획특별전이다. 국립한글박물관은 이 전시를 통해 한글디자인 창작의 장으로 박물관의 역할을 확장하고, 박물관 소장 자료를 예술 창작의 소재로 활용하며, 한글문화의 지평을 확대하고자 한다.

근대는 한글이 쓰이는 방법과 한글 문헌의 형태에 큰 변화가 일어난 시기이며, 현재 우리가 사용하는 어문 규정의 토대가 다져진 시기이기도 하다. 1894년 고종이 한글을 공식 문자로 선포한 ‘국문선포’로 인해 한글은 창제 이후 약 450년 만에 나라의 공식 문자로 인정받게 됐다. 이 같은 변화는 한글이 공식 문자로서의 역할을 할 수 있는 제도적 정리와 한글 교육에 대한 사회적 요구를 불러일으키며 한글 연구를 빠르게 발전시키는 계기가 됐다. 이후 한글 연구자들에 의해 가로쓰기, 띄어쓰기, 한글 전용 글쓰기 등 한글 사용에 관한 여러 의견이 제시됐고, 출판물 인쇄에 사용하는 한글 납활자도 활발히 생산됐으며 각종 서적에 특색 있는 한글디자인이 적용되기 시작했다.

주시경의 최초의 우리말 사전 원고 ‘말모이’와 국어 문법서 ‘말의 소리’, 지식영의 외국어 교재 ‘아학편’, 프랑스인 선교사가 편찬한 한국어 문법서 ‘한어문전’, 한글 띄어쓰기를 선구적으로 적용한 ‘독립신문’ 등 근대 한글 자료를 예술적

관점에서 재해석한 전시품들을 볼 수 있다. 4개의 연구실로 구성돼 있다. 1부 ‘동서말글연구실’에는 근대 시기 한글과 서양 언어의 소통이 반영된 ‘한어문전’ 등의 자료를 재해석한 작품을, 2부 ‘한글맵시연구실’에는 가로쓰기, 풀어쓰기 등 근대 한글 사용 방법의 변화를 작가의 시각에서 새로 표현한 작품을 전시한다. 3부 ‘우리소리실험실’에서는 근대 대중에게 큰 인기를 끌었던 판소리계 납활자본 고소설에서 영감을 받은 작품을, 4부 ‘한글출판연구실’에서는 근대 한글 출판물을 창작의 원천으로 활용한 작품을 선보인다.

제4회 한글실험프로젝트는 국립한글박물관의 전시가 종료된 후 국내외를 순회하며 한글의 문자적·미적 가치를 쉽고 직관적으로 널리 알릴 예정이다.

또한 3층에는 아이들을 위한 한글놀이터도 준비돼 있다. 자랑스러운 한글이지만 대내외적인 도전도 거세다. 워낙 후발 문자인 탓에 현재 한글을 공용 문자로 사용하는 국가는 사실상 남북한 말고는 없다. 게다가 한국인들 사이에도 한글보다는 한자와 알파벳을 더욱 아름답게 여기는 사대주의적인 사상을 가진 이들이 아직 존재한다. 그러한 도전에서 우리 한글을 더욱 아름답고 강하게 꽃피우는 방법을 모색할 수 있는 관람이 되기를 바란다.

#### 관람 안내

관람 시간	월~금, 일요일 오전 10시~오후 6시 토요일 오전 10시~오후 9시 ※입장 마감은 폐관 30분 전까지
한글놀이터(3층)	관람 시간 : 오전 10시 10분~오후 5시 40분 온라인 사전 예약 후 이용 가능(개인, 단체)
관람료	무료
휴관일	신정 당일, 설날 당일, 추석 당일 한글도서관 : 법정 공휴일(한글날 제외)
주소	서울 용산구 서빙고로 139
전화번호	02-2124-6200(단체 관람 문의 02-2124-6203)
홈페이지	www.hangeul.go.kr

## R&D 관련 구인 및 구직

# RECRUIT

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

보낼 곳 [eco\\_news@naver.com](mailto:eco_news@naver.com)  
문의 053-718-8251, '이달의 신기술' 담당 김은아 기자

 DONG YANG E.P

### 동양이엔피(dyenp.com) 연구개발(R&D) 신입사원 채용 (3in1 Board)

- ❖**담당 업무** : 3in1 Board 설계, 3in1 Board 제품 개발, 영상보드 PCB 설계 전담, 제품 신뢰성 테스트 지원, PLM 관리
- ❖**응모자격 및 우대사항** : 학사 이상(전기, 전자, 제어 전공 또는 유사 관련 학과), 전력전자공학의 SMPS Topology 이론 이수, 회로 이론 및 전공 이수, 전력용 반도체 및 소자 이론 이수, PCB CAD 활용 및 문서 작성 능력 우수자
- ❖**근무 형태** : 정규직(수습 3개월)
- ❖**근무처** : 경기 수원시 영통구
- ❖**모집 기간** : 1월 15일까지
- ❖**문의** : 031-370-6600

 환인제약

### 환인제약(whanin.com) R&D사업 인재 채용(신입·경력)

- ❖**담당 업무** : 혁신 신약 내부 R&D 프로젝트 관리, 국내외 혁신 신약 발굴 및 비즈니스 파트너링, R&D 그룹과의 교류 및 협력을 통한 오픈이노베이션 활동, 프로젝트 진행 사항 및 이슈 해결
- ❖**응모자격 및 우대사항** : 학사 이상(의학, 약학, 화학, 면역학, 생명공학, 수의학, 바이오 관련 전공자), 제약 관련 R&D 연구, 기획 및 사업 개발 경험자 우대
- ❖**근무 형태** : 정규직
- ❖**근무처** : 경기 수원시 영통구
- ❖**모집 기간** : 상시 채용
- ❖**문의** : 02-405-3033

 PANKO

### (주)판코(panko.co.kr) R&D(소재 개발) 경력사원 채용

- ❖**담당 업무** : R&D 소재 개발 및 관리 업무, 의류 R&D 및 우븐 소재 소싱, 트렌드 분석 및 시장 조사, 신규 디자인 기획(Circular-knit 메인), 신규 디자인 핸들링 및 관리, 패브릭·디자인 관련 바이어 프레젠테이션 준비 및 대응, 컬러·소재 트렌드 분석, 국내외 원단 소싱
- ❖**응모자격 및 우대사항** : 학사 이상, 해외 근무 가능자, 일어 또는 영어 가능자, 의류 관련 전공자(디자인·복장), 제조업(의류) 경험자, MS Office 등 활용 능숙자 우대
- ❖**근무 형태** : 정규직(수습 3개월)
- ❖**근무처** : 서울 강서구
- ❖**모집 기간** : 상시 채용
- ❖**문의** : 02-2210-8718

 (주)세일롱합기술공사

### (주)세일롱합기술공사(seileng.com) R&D(수자원, 방재) 모집

- ❖**담당 업무** : 연구(관리) 및 재해영향평가 수행
- ❖**응모자격 및 우대사항** : 전문대 이상 관련 학과 졸업자, 방재 관련 자격증 소지자 우대, 연구(관리) 및 재해영향평가 경력자 우대, 해외여행에 결격 사유가 없는 자, 국가유공자 및 보훈대상자 우대
- ❖**근무 형태** : 정규직(수습 기간 협의)
- ❖**근무처** : 서울 영등포구
- ❖**모집 기간** : 1월 18일까지
- ❖**문의** : 070-8622-7985

## '이달의 신기술' 신년호 독자 설문

- 1 2022년에 발행한 '이달의 신기술' 중 가장 기억에 남는 콘텐츠는?
- 2 2023년 '이달의 신기술'에서 다뤄졌으면 하는 콘텐츠(기술, 트렌드 등)는?
- 3 '이달의 신기술'에 하고 싶은 말은?

※ 독자 설문 답변은 [eco\\_news@naver.com](mailto:eco_news@naver.com)로 보내주세요.

독자 선물은 교환, 환불이 불가합니다. 주소 불명 등으로 반송 시 재발송하지 않습니다.

## 111호 정답 및 당첨자

### 섭테크

한승희, 한주연, 이소연,  
박성원



미니 가습기



# 정부24, 새로운 길을 찾다

대한민국정부 서비스, 정보를 정부24(www.gov.kr) 한 곳에서!



## 정부서비스

- 정부서비스 7만여건
- 내가받을 수 있는 서비스를 맞춤형으로 안내
- 42종의 나의 생활정보(휴면예금, 세금환급 등)

## 민원24

- 온라인 민원신청·열람·발급
- 371종 민원을 모바일로 신청
- 기관별, 분야별민원사무 5천여종 제공

## 정책·정보

- 생활에 필요한 주요정책정보
- 정부소식·기관정보
- 지자체소식·축제정보

정부24 앱으로 다운 받으세요!



Google Play



App Store



ONE ONE store

# NEWS

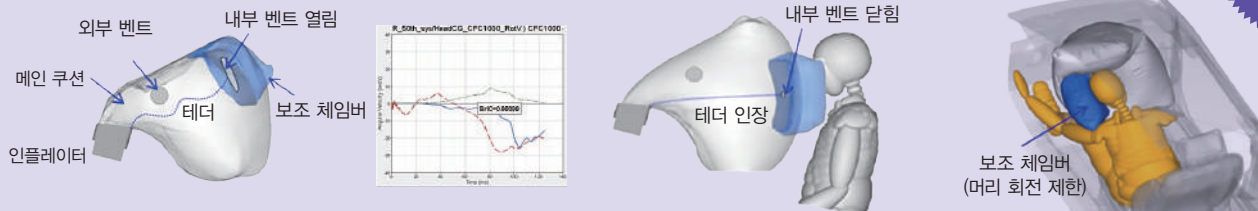
JANUARY



관심 있는 콘텐츠, 사업화에 유망하다고 생각하는 신기술을 비롯해 추가됐으면 하는 내용, 바라는 점 등이 있다면 많은 참여 바랍니다.  
[eco\\_news12@keit.re.kr](mailto:eco_news12@keit.re.kr) / 053-718-8251

## 국내 신기술·신제품 사업화 촉진의 주역들 포상

머리 회전 방지  
에어백 제조 기술



산업통상자원부 국가기술표준원은 국내 기업의 신기술 개발 의욕 고취와 인증 제품에 대한 공공기관 구매 등 판로 개척 장려를 위해 '2022 신기술실용화촉진대회'를 지난 12월 20일 더케이 서울호텔에서 개최했다. 이날 행사에서는 혁신적인 신기술 개발과 사업화에 기여하고 개발된 제품의 판로 개척을 지원한 유공자와 유공단체에 은탑산업훈장 등 48점의 포상을 수여하고, 200여 명이 참석한 가운데 신기술 실용화 및 판로 확대 우수사례를 공유했다.

이번 촉진대회에서 현대모비스(주) 문기태 수석연구원은 자동차 충돌 시 승객의 부상을 최소화할 수 있는 머리 회전 방지 에어백 제조 기술을 개발했고, 이 기술은 북미 신규 충돌 시험을 통해서도 국내 기술력의 우수성을 입증받아 은탑산업훈장을 수상했다. 이외에도 (주)디딤돌, (주)유민에스티, (주)테크로스, (주)대천 등 신기술(NET)·신제품(NEP) 인증기업 관련 유공자 14명, 유공단체 18곳이 수상의 영예를 안았다. 더불어 신기술·신제품의 수요처 역할을 해 초기 시장 마련에 공로가 큰 한국도로공사, 한국토지주택공사, 한국동서발전(주) 등 유공자 13명, 유공단체 3곳이 수상의 영예를 안았다.

국표원은 포상 수여식과 더불어 신기술·신제품 인증기업에 대한 인증서 수여식도 함께 진행했다. 올해 세 번째로 개최된 이번 수여식에서는 신기술 22개와 신제품 10개를 개발한 기업이 인증서를 교부받았다. 신기술 인증 분야에는 국내 로켓 발사체의 경쟁력 향상 및 안정적 발사 수단 확보에 기여하는 하이브리드 로켓용 파라핀계 고성능 연료 설계 및 제조 기술 등 22개 기술(주)이노스페이스 등 30개 기관이, 신제품 인증 분야에는 난치성 뇌질환 수술 환부의 위치를 측정해 수술 도구의 정확한 삽입 위치와 경로를 가이드하는 뇌수술용 입체 정위기 등 10개 제품(주)고영테크놀러지 등 10개 기관이 선정됐다.

문의처 국가기술표준원 인증산업진흥과(043-870-5581)

# SUBSCRIPTION

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



# NEW TECHNOLOGY OF THE MONTH

## JANUARY 2023

### 정기구독 안내



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



02-360-4859



50,000원 (연간)



네이버쇼핑에서 '이달의 신기술' 검색



chojh@hankyung.com



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

“국민을 위한  
따뜻한 기술개발로 국민 행복을  
만들어 가겠습니다”

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

[www.facebook.com/keitkorea](https://www.facebook.com/keitkorea)

유튜브 검색창에서 'KEIT' 검색