

2025년도  
에너지기술개발사업  
연구개발과제기획보고서

**에너지수요관리핵심기술개발**  
**- 효율혁신(1) -**

# 목 차

<b>I. 동향분석</b> .....	<b>1</b>
1. 반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발 .....	1
1.1 개요 .....	1
1.2 산업·기술 동향 .....	5
1.3 특허 동향 .....	8
1.4 표준화 동향 .....	11
1.5 정부R&D 지원현황 .....	14
1.6 시사점 .....	15
2. 웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증 .....	17
2.1 개 요 .....	17
2.2 산업·기술 동향 .....	20
2.3 특허 동향 .....	23
2.4 표준화 동향 .....	26
2.5 정부R&D 지원현황 .....	28
2.6 시사점 .....	30
3. 산업용 고정정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증 .....	32
3.1 개요 .....	32
3.2 산업·기술 동향 .....	34
3.3 특허 동향 .....	37
3.4 표준화 동향 .....	40
3.5 정부R&D 지원현황 .....	44
3.6 시사점 .....	47

# 목 차

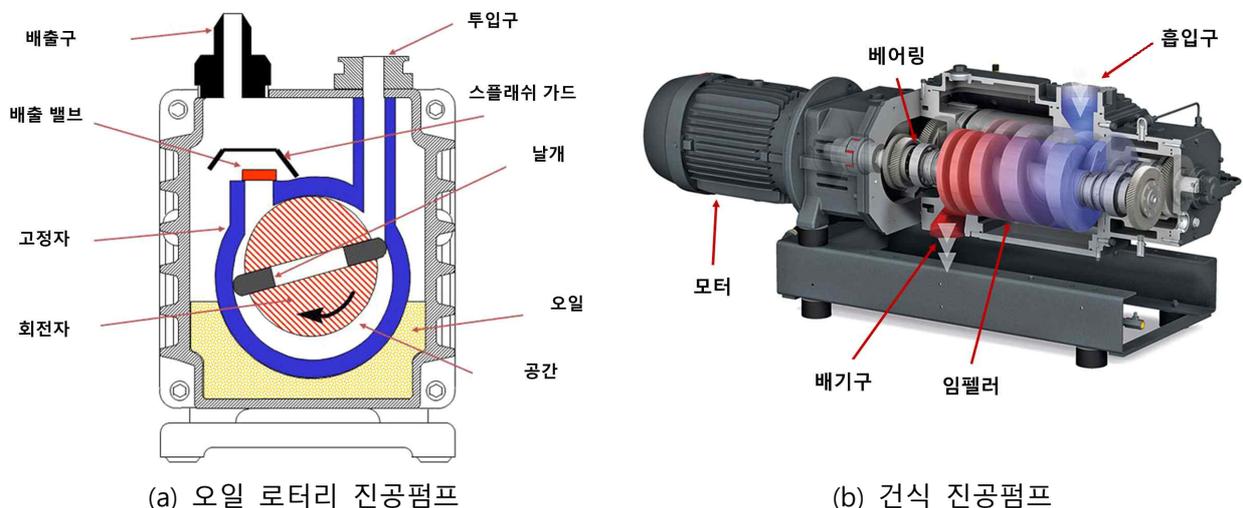
<b>II. 기획대상연구개발과제 도출 .....</b>	<b>48</b>
1. 반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발 .....	48
1.1 연구개발과제기획 방향 .....	48
1.2 개발위험 관리방안 .....	50
1.3 기획연구개발과제 품목개요서 .....	52
2. 웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증 .....	55
2.1 연구개발과제기획 방향 .....	55
2.2 개발위험 관리방안 .....	57
2.3 기획연구개발과제 품목개요서 .....	59
3. 산업용 고정정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증 .....	62
3.1 연구개발과제기획 방향 .....	62
3.2 개발위험 관리방안 .....	64
3.3 기획연구개발과제 품목개요서 .....	65

## 1. 반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발

## 1. 개요

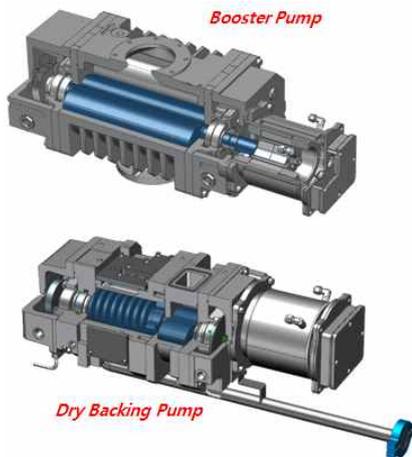
## □ 개념

- 본 과제외의 개발 대상 기술/제품은 반도체 공정 장비군에 속하는 건식 진공펌프로써 반도체 제조의 주요 공정인 증착, 식각 등에 적합하도록 회전자(로터) 형태 및 재질, 제어기 등을 개발하고자 함
- (기능) 펌프 내부의 회전자를 회전시켜 반도체 진공 공정에서 기체를 강제 이송하여 공정 챔버 내부를  $10^{-3}$  Torr 수준의 진공상태를 생성/유지하여 박막 및 패턴 형성 등 반도체 소자 제조를 위한 주요 공정 환경을 가능하게 하는 핵심 제품
- (특징) 건식 진공펌프는 일반적인 오일 회전식 펌프와 달리 기체 배기 및 진공 유지를 위해 밀봉 기능을 하는 오일을 사용하지 않아 펌프 오일의 역류 등에 의한 공정 오염의 문제점을 원천적으로 방지
- (주사용처) 반도체, 디스플레이, 태양광 패널, 화학, 의약, 식품, 금속 관련 제조공정 등 청정 진공상태 요구 공정에서 필수적으로 사용됨



[그림 1] 진공펌프 종류

- 개발 제품은 최근 반도체 제조용 장비 및 평판 디스플레이 장비 시장에서 요구하는 대용량 공정 가스 또는 부산물 처리, 내부식성 요건을 충족하면서 저소비 전력과 높은 운전 신뢰성을 만족 필요
- 개발대상 제품은 반도체 제조 장비 내 챔버(chamber)의 진공 분위기를 형성하고, 챔버로부터 유입되는 공정 가스와 부산물을 외부로 배기하는 Dry Pump(DP)와, Dry Pump의 주 공정 영역에서 배기 용량을 증가시키는 Booster Pump(BP) 등으로 구성됨



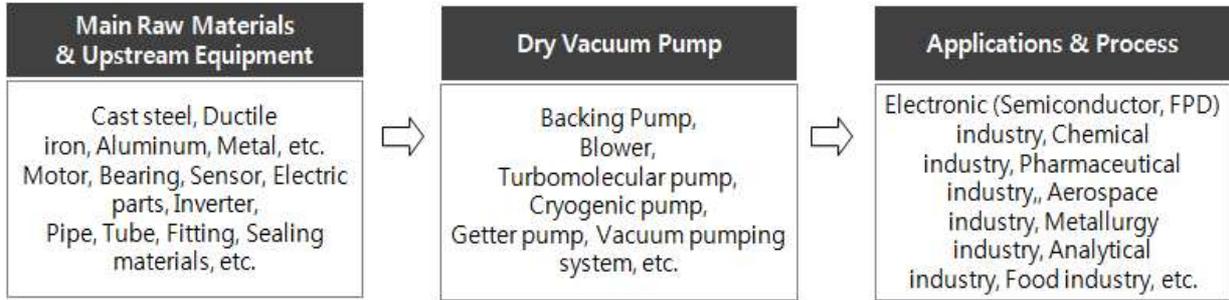
(a) 건식 진공펌프 구성



(b) 건식 진공펌프 완제품

[그림 2] 진공펌프 구성 및 완제품 예시

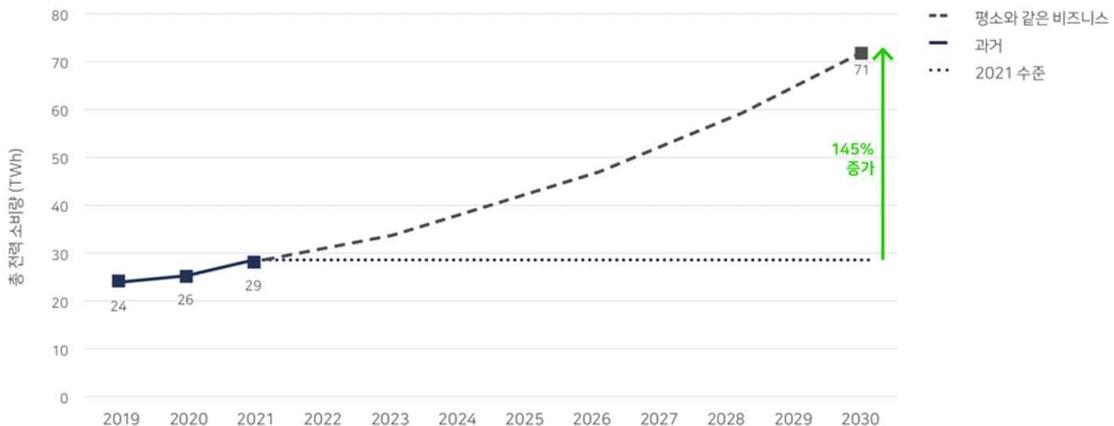
- 반도체 제조공정 중 하부층인 FSF(Facility Sub FAB)은 펌프, 칠러, 스크리버로 구성되며 이중 진공펌프는 약 44%의 에너지를 사용하며, 반도체 FAB 전체 에너지 소비량의 약 20% 수준
- 기존에는 기구물 단위에서의 무게 감소 및 압축비 조절을 통한 소비 전력 절감 위주로 기술개발 진행
- 소재/부품류의 후방 산업군으로부터 제공받은 부품을 사용하여 진공펌프 제품이 생산되며, 이를 전방 산업인 장비 및 소자 제조 산업으로 공급
- 후방 산업인 소재, 부품, 가공 업체들과 협력하여 센서, 제어기, 모터 등의 부품을 공급받아 진공펌프 완제품을 제조 후 장비사에 제공
- 최종 수요처인 삼성, SK하이닉스, 마이크론, 글로벌 파운더리 등 반도체 /디스플레이 소자 제조업체의 생산 공정에 직접 제공



[그림 3] 반도체 공정 구성 및 건식 진공펌프 공급망, 응용 분야 예시

## □ 주요이슈

- (정책적) 반도체 산업은 국내 온실가스 배출량의 5%를 차지하며, 탄소 중립 실현을 위한 장비업체에 대한 정책적 지원이 필요
- 국내 반도체 산업은 전력소비가 매우 높은 산업으로, 전력통계정보 시스템에 따르면 산업용 전력 사용량의 21.4%(53.2TWh, '20년)를 차지
- 국내 반도체 제조 부문의 전력 소비량은 2021년 28.7TWh에서 2030년 70.5TWh로 245.6% 증가할 것으로 예상



[그림 4] 한국 반도체 제조 부문의 전력 소비량 과거 데이터 및 예측치(출처: 그린피스)

- (기술적) 해외 선두 기업 대비 건식 진공펌프 구동 시 사용되는 소비 전력이 상대적으로 높아 수요기업 선택 및 경쟁력 측면에서 불리
  - 탄소중립을 위해 글로벌 업체들이 적용 중인 반도체 진공시스템의 가변 N2 공급 운영 및 고효율화 기술을 확보하여 에너지 절감 필요
  - 반도체 제조공정 중 진공펌프는 약 44%의 에너지를 사용하며, 반도체 FAB 전체 에너지 소비량의 약 20% 수준인 진공펌프의 에너지 절감 기술 확보 필요
  - 반도체 부문 제조 기술은 우리나라가 세계 최고 수준이나, 제조공정의 핵심 장비인 건식 진공펌프의 자립도는 아직 부족하여 실증을 통한 개발과 제품화를 통해 관련 국내 부품업체들의 기술 경쟁력 확보 필요
  - 핵심 부품들의 국산화 추진을 통해 최종 제품의 가격 경쟁력을 확보 하고, 관련 부품 기업들의 생태계 형성 및 기술 파급 효과창출 기대
- (시장적) 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 자율주행차, 5G 등 산업이 첨단화되면서 반도체 수요는 지속적 증가 추세
  - 글로벌 반도체 공정 건식 진공펌프 시장 규모는 24년 16억 6,620만 달러에서 30년 29억 4,568만 달러로 연 평균 성장률 9.96% 전망
  - 해외 의존도가 높은 진공펌프의 고도화 개발을 통해 수입대체 효과 및 글로벌 시장 진출 및 확대의 기반 마련 기대



Source: Secondary Information and LP Information Research Team; 2024

[그림 5] 글로벌 반도체 진공펌프 시장 규모

- (산업적) 국내외를 막론, 반도체 기업들의 탄소 중립 달성을 위한 소비 에너지 절감은 필수 사항으로 규정
  - 삼성전자는 2050년 탄소중립 달성을 위해 2030년까지 반도체 FAB 설비에너지 20% 절감 선언('22년 소비량 기준)
  - SK하이닉스의 경우, '30년까지 누적 에너지를 3,000GWh 절감하고, 공정 가스 배출량을 '20년 대비 40% 절감 선언

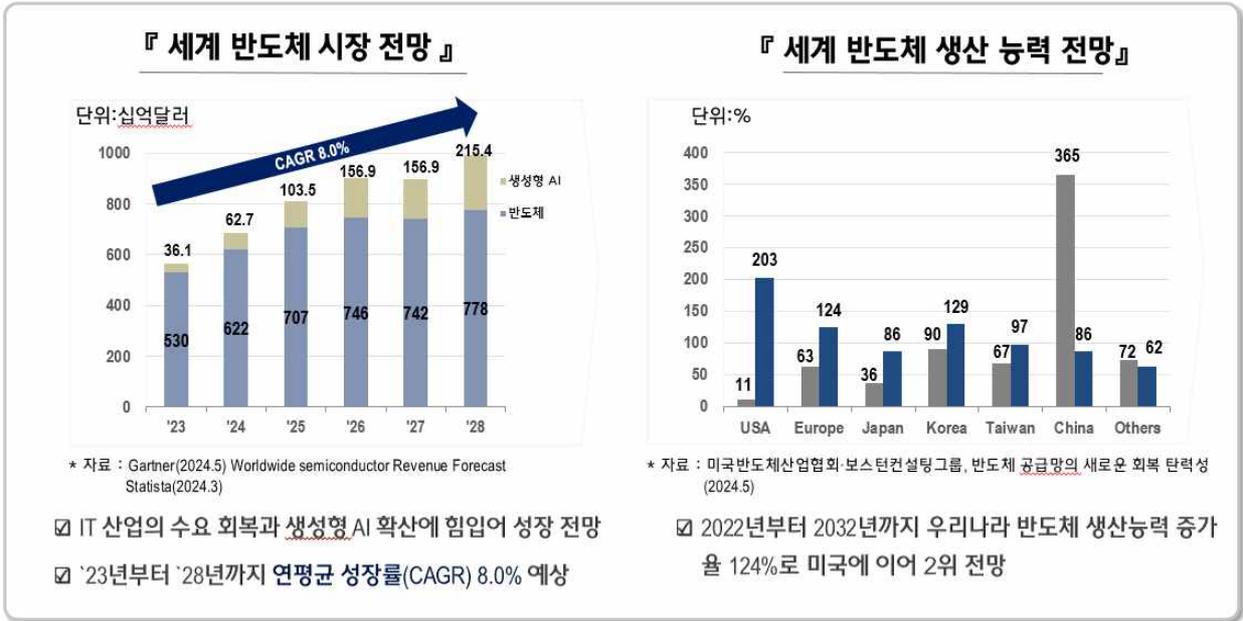
## 2. 산업·기술 동향

### □ 해외 동향

- 반도체 공정용 장비업체인 어플라이머티리얼즈(미국)와 진공펌프 제조사 에드워드(영국)는 N2 가변 공급을 통한 진공 시스템 고효율 운영 기술을 개발하여 TSMC(대만)에 납품 및 적용
  - TSMC는 신규 웨이퍼 공정에 N2 가변 공급 기술의 점진적 적용 추진
    - \* 자체 보도에 따르면 연간 32만 kWh의 전기 에너지를 절약하고 연간 6만 톤의 탄소 배출량 감축을 예상하며, 약 1500만 달러의 관련 비용을 절감할 것으로 예상
  - 선진사 진공펌프의 경우, 드라이 펌프 및 블로워 펌프에서 임펠러 로브 다단화 구성을 진행하고 있으며, 일부 양산 제품에도 적용
- 각종 규제, 환경문제 등 요구 사항에 대한 저 소비전력, 냉각수 사용량 절감, 소형화 등의 기술을 지속적 적용/개발
  - 중국 등 후발국의 기업들은 자국 내 반도체 산업 정책, 시장 창출 기회 등을 바탕으로 선진 기업들의 제품을 모방한 드라이 펌프 자체 개발을 가속화하고 일부 제품들에 대한 생산 체계 확보
  - 외국 선도 업체들은 동일 제품군이라도 소비전력 감축 및 공정별 차별화 기술의 지속적 고도화를 통해 건식 진공펌프의 최대 시장인 반도체 부문 내 입지를 유지·강화
  - 차별성을 지닌 제품군 개발, 구성 부품 수의 절감, 가격 경쟁력 확보 등을 추구하는 방향으로 기술 개발 추진 중

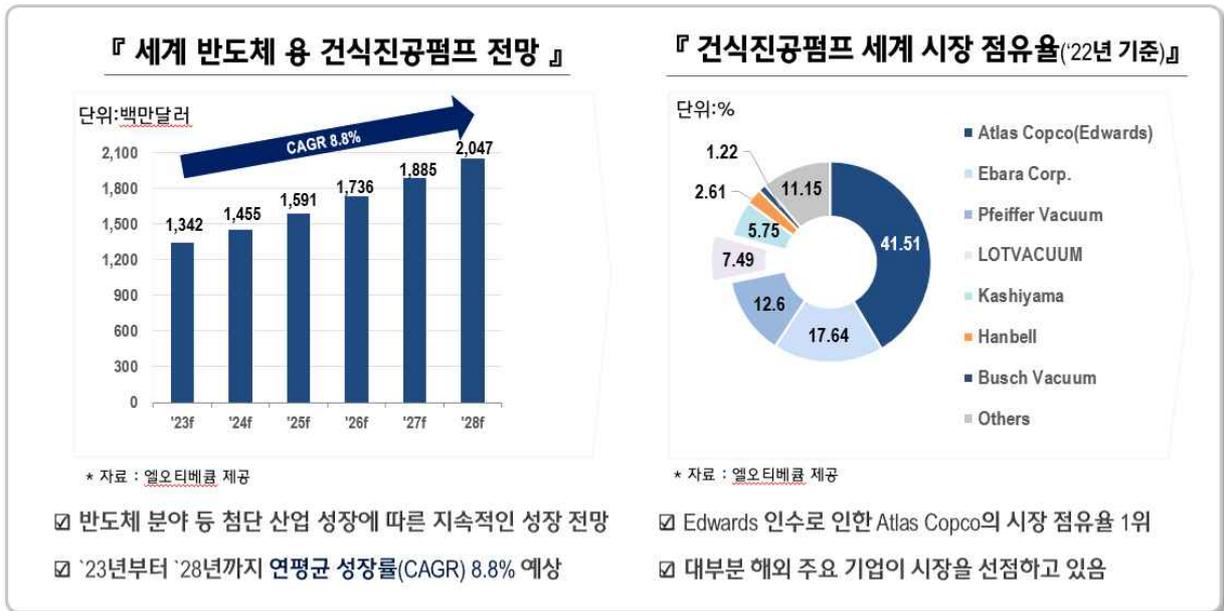
- \* 공정별 최적화 설계가 적용된 공정 맞춤형 펌프, 저 소비전력 도모, 질소 가변 제어, 진공펌프 구동 속도 제어 등과 연계할 수 있는 능동형 제품에 대한 기술 개발 등

**세계 반도체 시장 연평균 성장률 8.0% → '28년 반도체 시장 규모 2,150억 달러 이상 예상**



[그림 6] 글로벌 반도체 시장 전망

**반도체 용 건식 진공 펌프, '28년 이후 20.47억 달러 이상의 시장 형성 (전망)**



[그림 7] 글로벌 건식 진공펌프 시장 전망

## □ 국내 동향

- 일반 산업용 진공펌프 및 디스플레이, 반도체 공정용 저진공 건식 진공 펌프의 경우 일부 국내 기업에서 설계 및 개발이 가능한 수준이나, 일본 및 유럽 선도 기업들에 비해 확보된 제품군이 매우 부족한 상황
- 대다수 반도체 산업군 기업들은 '30년 혹은 '50년까지의 장기 계획으로 저탄소, 넷제로(Net-Zero)를 목표로 진행하고 있으며, 공정 내 장비군 또한 해당 계획에 따른 소비전력 감축 목표를 부여
- \* 삼성전자, SK하이닉스 등의 반도체 및 디스플레이 제조업체들은 유틸리티 절감 기술에 대한 요구 및 수요가 매우 큰 상황
- 국내 부품 기업들의 대부분은 중소기업 규모로 생산 규모, 개발/혁신, 제조 역량 등이 부족하며, 글로벌 기업들에 비해 주요 원자재 공급망이 열악하여 최종 제품의 가격 경쟁력 약화 요인으로 작용
- N2 가변 및 다양한 아이템을 적용한 진공시스템의 고효율 운영 기술 측면에서, 국내 엘오티베큘社가 개발 및 적용을 검토
- 일부 기업에서 임펠러 경량화 및 압축비 최적화를 위한 임펠러 다단화 구성 설계 및 프로파일 최적화를 진행 중

## □ 사업수행에 필요한 요소기술·제반기술

- 반도체 공정용 진공시스템의 핵심부품인 임펠러, 전기구동시스템(모터, 인버터), 질소(N2) 가변 공급 운영 기술개발 및 실증을 통한 소비에너지 20% 이상 절감 기술 확보
- N2 가변 공급 및 진공시스템 고효율 운영 기술개발
- 구동모터 직결형 고효율 진공시스템 기술개발
- 테스트베드 구축을 통한 진공시스템 기술 검증 및 에너지 절감 실증

### 3. 특허 동향

#### □ 분석대상 특허 검색 DB 및 검색범위

- 한국, 일본, 유럽, 미국의 공개/등록특허를 특허분석 대상으로, 반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발에 부합하는 특허를 추출  
- 1975년부터 2024년까지 출원 공개된 특허 총 1,023건을 분석대상으로 함
- 분석대상 특허

[표 1] 특허 분석 구간 및 범위

자료 구분	국가	검색DB	검색구간	검색범위
공개, 등록특허 (공개, 등록일 기준)	한국	Keyword	1975.01.01. ~ 2024.12.31	특허 공개 및 등록 전체문서
	일본			특허 공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

#### □ 검색식 도출

- “반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발”에 대한 핵심 키워드를 바탕으로 특허 분석을 위한 1차 키워드를 도출 후, 이를 바탕으로 해당 기술을 포함할 수 있는 검색식을 완성
- 최종 검색식

[표 2] 특허 검색식 및 검색 건수

기술	검색식	검색 건수
반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발	TI_AB_CLA:((반도체* semiconductor* 세미컨덕터* semi-conductor*) AND (질소* nitrogen* 불활성* "불 활성" 비활성* "비 활성" deactiv* non-activ* "non activ*" inert*) AND (가변* variable* 버라이어블* 베리어블*) AND (공급* suppl* 서플라이*)) OR TI_AB_CLA:((반도체* semiconductor* 세미컨덕터* semi-conductor*) AND (자성유체* ((magnet* 마그넷* 마그네* 자성* ferro*) A/1 (fluid* 플루이드* 유체*)) ferrofluid* ferro-fluid* 마그네틱플루이드*) AND (씰링* sealing* 밀봉* 실링*)) OR TI_AB_CLA:((반도체* semiconductor* 세미컨덕터* semi-conductor*) AND (질소* nitrogen* 불활성* "불 활성" 비활성* "비 활성" deactiv* non-activ* "non activ*" inert*) AND (공급* suppl* 서플라이*) AND (고효율* high-efficiency* 하이에피션시* ((high* 하이*) A/1 (Efficiency* 에피션시*)) (손실* loss* 로스* 손해*) AND (저감* reduction* decrease*)))	1,023

## □ 주요국 기술개발 활동 현황

- “반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발”과 관련성 있는 특허는 1984년부터 등장하기 시작
- 반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발과 관련하여, 전체 국가에서 이루어진 특허출원 동향을 살펴보면, 전체적으로 2000년대부터 눈에 띄게 특허출원이 증가
- 국가별로 살펴보면, 한국에서 이루어진 특허출원의 경우 1989년 특허출원이 시작된 이후 특허출원 수가 지속 증가하였으나, 2017년 까지 꾸준히 특허출원이 이루어졌으며, 2019년 이후 급격히 특허출원 증가
  - \* (유의) 특허출원 후 1년 6개월이 경과해야 공개되는 특허제도의 특성상, '23년 이후의 특허출원은 이미 이루어졌더라도 아직 공개되지 않아 특허 분석 데이터에 포함되지 않았을 수 있음
- 미국의 경우, 전체 기간에 걸쳐 특허출원의 공백기가 다소 존재하지만, 2000년 이후 꾸준히 특허출원이 이루어지고 있는 모습을 보임
- 일본의 경우, 1991년 특허출원이 시작된 후 지속적 특허출원이 이루어지고 있고, 2002년까지 급격한 증가 후 특허출원 수가 점차적으로 감소
- 유럽에서 이루어진 특허출원의 경우, 1984년 특허출원이 시작된 이후 최근까지 꾸준한 특허출원 중

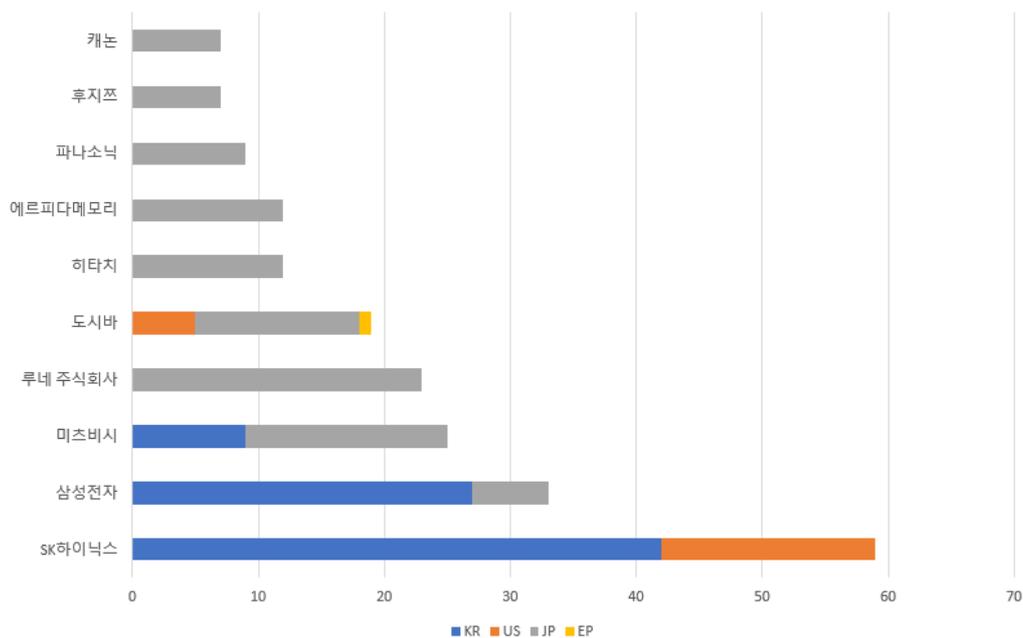


[그림 8] 국가별 연도별 출원 현황

- 반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발에 관한 국가별 특허출원 현황을 보면, 전체 특허출원 건수 1,023건 중 미국이 396건 (39%)으로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 그 다음으로 일본이 277건 (27%), 한국이 228건(22%), 유럽이 122건(12%)을 차지
- 2014년까지는 일본이 압도적으로 많은 특허출원 수를 기록했으나, 2015년 이후 한국의 특허출원 수가 타국에 비해 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 이러한 추세를 고려할 때 한국의 특허출원 비중은 점차 증가할 것으로 예상

### □ 주요 출원인의 국가별 출원현황 분석

- 주요 출원인으로 상위 10위를 선정, 이 중 상위 10위 출원인의 출원은 206건으로, 전체 1,023건의 특허출원에서 약 20%의 비중을 차지
- 상위 10위 출원인 대부분은 한국과 일본 국적의 기업들로, 이들이 이 분야의 기술개발을 주도하고 있는 것으로 파악
- \* 가장 많은 특허출원을 진행한 한국의 SK 하이닉스는 한국에서 특허출원을 진행함



[그림 9] 특허 출원인 분포

## 4. 표준화 동향

### □ 해외 동향

- 반도체 분야 공정 및 소재 등은 반도체 3대 표준화 기구인 IEC의 IEC/TC 47, JEDEC(국제반도체표준협의회기구), SEMI(국제반도체장비재료협회)에서 국제표준화를 추진 중
  - 첨단 패키징, 전력반도체 등 차세대 반도체 관련 분야에서는 IEC, JEDEC 등을 통해 활발히 국제표준화가 이루어지고 있으나, 반도체 공정용 진공 시스템에 대해 SEMI에서만 일부 국제표준이 제정
    - \* SEMI E73(Dry Pump), SEMI E74(Turbomolecular Pump) 등 반도체 공정에 활용되는 진공펌프의 종류에 따른 물리적, 전기적 규격을 제시함
- 산업에 활용되는 진공 시스템(임펠러, 펌프 등) 관련 표준은 ISO/TC 112(Vacuum Technology)에서 국제표준화를 추진하고 있으며, 진공 펌프 및 게이지 등에 대한 내용을 포함
  - 대표적으로 '진공펌프 성능 측정 표준법'에 대한 국제표준인 ISO 21360이 활용되고 있으며, Turbomolecular, NEG 등 진공펌프 종류에 따른 성능평가법을 제시함
    - \* 진공펌프에 대해 에너지 관련 부분을 제외한 base pressure, backing pump 크기, Volume flow rate를 포함한 펌프의 성능 자체에 대한 시험방법을 제시
  - 해외 선도국들은 진공 시스템 성능 관련 ISO/TC 112에서 제정된 표준들을 부합화하여 JIS, NF, BS 등으로 활용함
- 진공 시스템의 에너지 평가 및 전기 구동 시스템 관련 국제표준은 전무하며, ISO/TC 115(Pumps)에서 ASME와 공동으로 일반적인 펌프의 에너지 평가에 대한 국제표준을 제정함
  - '19년 개정된 ISO/ASME 14414 (펌프 시스템의 에너지 평가)를 일반적 펌프의 에너지 효율, 절감 등의 평가에 활용
    - \* 펌프 시스템에 공급된 에너지에 대한 흡입/배출 온도, 차압, 펌프 효율, 유량 등을 기반으로 에너지 효율을 종합적으로 평가함
  - 전기 구동 시스템의 경우, 모터 전반에 적용되는 IEC60034(Rotating electrical machines)를 전기 구동 시스템의 성능평가에 활용

- CEN(유럽표준화기구)에서는 진공펌프 관련 EN 1012를 제정하여 활용하고 있으며, 일반적인 진공펌프 시스템의 안전에 대한 규격을 제시
  - EN 1012는 진공펌프에 대한 안전 규격만을 제시하며, 시험방법 및 성능 기준에 대한 내용은 부재함

[표 3] 반도체 공정 진공 시스템 관련 표준(해외)

구 분	명 칭	개 요
ISO 21360 - Part 1 ~ 6	Standard methods for measuring vacuum-pump performance	- 진공펌프 종류에 따른 성능 측정 시험 방법을 제시 - 대표적으로 part 4 (Turbomolecular), part 6 (NEG) 등의 표준이 활용
ISO 3529 - Part 1 ~ 3	Vacuum technology - Vocabulary	- 진공 기술과 관련된 용어 제시 - 진공펌프 및 게이지 관련 내용 포함
ISO 27895	Vacuum technology - Leak test	- 진공 시스템에서 가스 흐름 또는 진공을 제어하는데 사용되는 진공 밸브의 누출 테스트 방법 제시
SEMI E73	Specification for Vacuum Pump Interfaces - Dry Pumps	- Dry pump에 대한 물리적, 전기적 규격을 제시
SEM E74	Specification for Vacuum Pump Interfaces - Turbomolecular Pumps	- Turbomolecular 펌프에 대한 물리적, 전기적 규격을 제시
EN 1012-2	Compressors and vacuum pumps - Safety requirements - Part 2: Vacuum pumps	- 진공펌프의 안전 요구사항에 관한 유럽 표준이며, 모든 진공펌프 시스템에 적용 가능
ISO/ASME 14414	Pump system energy assessment	- 펌프 시스템에 공급된 에너지에 따른 온도, 차압 등을 통해 에너지 효율 평가
IEC 60034 - Part 1 ~ 30	Rotational electrical machines	- 전기 구동 시스템(모터) 관련 전반적인 성능 평가 방법 및 기준 제시

## □ 국내 동향

- 한국산업표준(KS)에는 반도체 및 진공펌프 관련 개별 기술 표준은 제정되어 있으나, 반도체 공정 진공 시스템 및 에너지 절감에 대한 구체적 표준은 전무한 실정
  - KS 분류에서 반도체 공정 관련 항목은 없으며, 반도체 소자 분야는 KS C(전기전자) 및 KS L(요업)에서 다뤄지고 있으며, 진공 시스템 관련 개별 기술에 대한 표준은 KS B(기계)에서 표준화가 진행 중
  - \* KS B 6314, 6860은 일반적으로 활용되는 진공펌프에 대한 시험방법, 기준 등을 제시하며, 에너지 관련 내용은 부재함

- 한국반도체산업협회(KSIA) 및 한국정보통신기술협회(TTA)에서 반도체 공정 및 관련 단체표준을 일부 제정하고 있으나, 차세대 반도체 관련 분야가 대부분으로 반도체 공정 진공 시스템에 대한 표준은 부재
  - 진공 시스템을 포함한 반도체 공정의 개별 기술은 국제표준 또는 부합화된 국가표준(KS)을 활용
- 한국기계전기전자시험연구원(KTC)은 펌프 분야의 시험평가를 위해 단체표준을 제정하여 활용하고 있으며, '24년 펌프 분야 에너지 효율 관리 시험기관으로 지정
  - 일반적으로 사용되는 산업용 펌프에 대한 단체표준으로 진공 시스템 에너지 효율 관련 시험은 전무한 실정임
- 진공 시스템의 에너지 평가 및 전기 구동 시스템 관련 국가표준 및 단체표준은 부재한 상황이며 제조 기업의 규격 또는 사용 환경에 따라 평가를 진행
  - 개발 기술에 대한 신뢰성을 높이기 위해 반도체 공정 진공 시스템의 에너지 평가에 대한 성능평가 방법 및 기준에 대해 국내 상황에 맞는 국제규격 부합화 및 국내 표준화가 필요한 상황

[표 4] 반도체 공정 진공 시스템 관련 표준(국내)

구 분	명 칭	개 요
KS B ISO 3529 - Part 1 ~ 3	진공기술 - 용어 - 진공펌프 및 진공계	- 진공 기술과 관련된 용어 제시 - 진공펌프 및 게이지 관련 내용 포함
KS B 6314	기름회전 진공펌프 - 도달 진공도 시험방법	- 기름 회전 진공 펌프의 도달 진공도 시험방법 및 기준 제시
KS B 3860	루츠형 부스터 진공펌프 - 인수 시험방법	- 루츠형 부스터 진공펌프 성능 시험 항목, 절차 및 기준 제시
SPS-KTC-B6314-6319	기름 회전 진공 펌프 배기 속도 시험 방법	- 기름 회전 진공 펌프의 배기속도 시험방법 및 기준 제시
SPS-KTC-B6315-6320	증기 분사 진공 펌프 성능 시험 방법	- 증기 분사 진공펌프의 성능 시험방법 및 기준 제시

## 5. 정부R&D 지원현황

### □ 투자 동향

#### ○ 탄소중립 및 에너지 저감 관련 정책

- (2050 탄소중립 선언) '21년 11월 탄소중립 선언 이후, '2023 NDC 상향안', '2050 국가 탄소중립 시나리오' 등을 발표

\* (NDC) 국가 탄소 배출량에 대한 저감 정책으로, '18년 (727.6백만 톤) 대비 40% 저감 수준인 '30년 (436.6백만 톤) 목표 수립

- (에너지 저감) 배출가스 저감 기술 개발, 수소 생태계 구축, 전력계통 선진화 등 에너지 생산·공급 기술 혁신에 관한 정책 시행

\* 제 10차 전력수급기본계획('23.1), 수소기술 미래전략('22.11) 등

- (시장원리 기반 에너지 수요효율화 종합대책) '27년 에너지효율 선진 강국 도약을 위한 에너지 효율화 정책 ('22.6)

\* 향후 5년간 에너지소비 2.2천만 TOE 절감(산업 15.8백만 TOE 71.8%, 건물 3.7백만 TOE 16.9%, 수송 2.5백만 TOE 11.4%), 에너지원단위 25% 개선

#### ○ 반도체 산업 지원 정책

- (K-반도체 전략) 반도체 기술 고도화 및 국내 반도체 산업 경쟁력 제고를 위한 지원 정책 발표 ('21년 5월, 산업부)

\* 세계 최대 규모 반도체 공급망 클러스터 구축 및 1조 원 이상 반도체 및 설비투자 특별자금 신설, 510조 원 이상 유치 기대

- (국가첨단전략산업특별법) 반도체를 포함한 국가 주요 기술에 대한 지원 및 보호에 관한 특별법을 공포함 ('22.8월 시행)

\* 반도체 등 국가첨단전략기술에 대한 행정 절차 간소화, 규제 유연화를 지원하며, 정부 R&D 투자 확대를 통한 기술 확보 추진

- (반도체 메가 클러스터) 반도체 주도권 확보를 위해 대규모 보조금, 세액공제를 포함한 지원 정책 발표 ('24년 1월, 관계부처 합동)

\* '47년까지 622조 원의 민간 투자를 통해 경기 남부권 (용인 등)에 세계 최대 규모 반도체 생산 단지 구축을 추진

## □ 기술개발 현황

### ○ 반도체 진공펌프용 핵심부품 개발

- '13년 이후 진행된 반도체 공정시스템 과제 중 전력 소비량이 높은 진공펌프와 관련성 높은 과제는 표 5와 같음

[표 5] 반도체 공정 관련 정부 R&D 이력

과제명		수행기간	개발 수준
반도체 진공펌프용 핵심부품 개발		2020.04~ 2024.12	반도체 공정용 진공펌프 부품 단일 개발. 내구성을 강화한 재료 개발, 고정밀 가공 기술 적용, 대기 환경 적합성을 위한 실시간 성능 모니터링 및 제어 기술 구현
총 연구비	3,549 백만원		
진공펌프 구동용 영구자석 동기전동기 효율 향상		2017.05~ 2018.02	영구자석 동기전동기의 성능 개선 연구. 고속 구동을 위한 전자계 설계, 열 관리 기술 및 드라이브 제어 알고리즘 개선 등을 통해 효율성과 안정성 향상
총 연구비	26 백만원		
3,000m3/h급 스마트형 대용량 건식 진공펌프 개발		2014.06~ 2017.05	대용량 건식 진공펌프를 위한 스마트 센서 기술 연구. 실시간 데이터 수집 및 상태 감시 시스템 개발.
총 연구비	350 백만원		
에너지 절약형 대유량 터보형 드라이펌프 개발		2008.12~ 2011.10	대유량 처리가 가능한 터보형 드라이펌프의 에너지 절약형 설계 기술 개발. 공기 역학을 고려한 회전체 설계와 고효율 냉각 시스템 적용으로 에너지 소비를 최소화하고 장시간 안정적인 운전이 가능하도록 기술 구현.
총 연구비	1135 백만원		

- 반도체 공정장비 운용 기술과 관련하여, 반도체 생산량을 고려한 N2 가변 공급 기술을 적용해 유틸리티 사용량을 저감한 연구개발은 전무하며, 본 과제가 국내 최초로 시도된 연구로 사료됨

## 6. 시사점

- AI, 자율주행 등 반도체 관련 산업이 성장함에 따라 반도체 수요에 대한 필요성이 크게 대두되고 있으며, 반도체 시장 선점을 위해 세계 각국의 경쟁이 심화되고 있으며 이에 대한 대응 전략 마련 시급

\* 중국은 대규모 보조금 정책을 통해 시장 점유를 목표로 '14년 27조 7천억 원, '19년 39조 9천억 원, '24년 68조 7천억 원 투자(한국무역협회, '24)

\* 미국의 경우 '22년 Chips and Science Act를 통해 반도체 설비 지원에 390억 달러를 투자하였고, 일본과 EU 또한 대규모 투자 정책을 시행하고 있음.

□ 국내 산업용 전력 사용량의 21.4%, 탄소배출량 5%를 차지하는 반도체 산업의 탄소 배출량 저감을 고려하여 저탄소형 반도체 공정장비 개발 필요

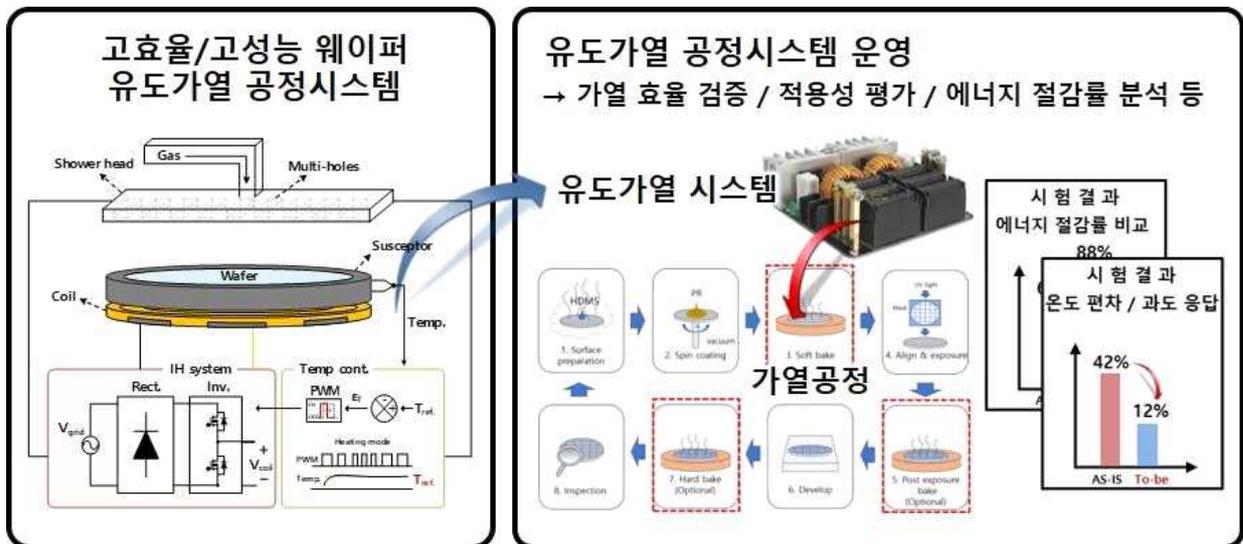
\* TSMC는 신규 웨이퍼 공정에 점진적으로 N2 가변 공급 기술을 확장 적용하고 있으며, 자체 보도에 따르면 연간 32만kWh의 전력 사용량 절감과 연간 6만 톤의 탄소 배출량 감축, 약 1,500만 달러의 비용 절감을 예상

## 2. 웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증

### 1. 개요

#### □ 개념

- 기존 웨이퍼 가열공정에 사용중인 저항 열선 방식의 발열체 매립형 히터의 단점을 극복하고 에너지 손실저감을 위하여 높은 가열 효율과 다영역 균일 온도 제어가 포함된 고효율·고성능 웨이퍼 유도가열 공정 시스템을 개발하고 실증 추진
- 기존 웨이퍼 가열방식은 60%대로 가열 효율이 매우 낮고, 목표 온도에도달하는 시간이 길며, 웨이퍼에 균일하게 히팅이 어려운 문제 상존

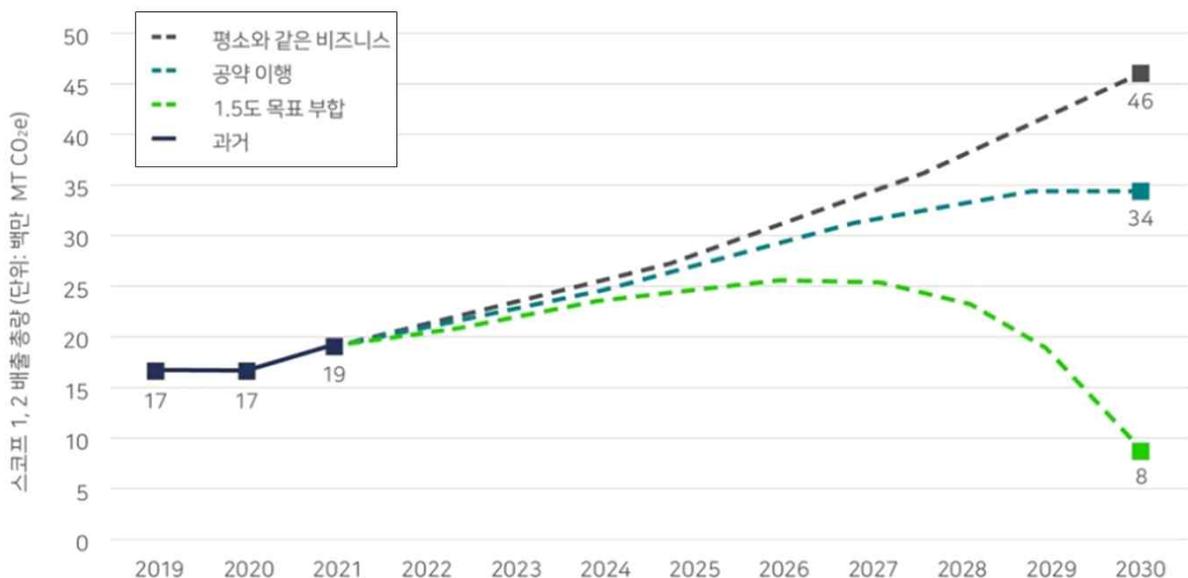


[그림 10] 웨이퍼 유도가열 공정시스템 개념도(안)

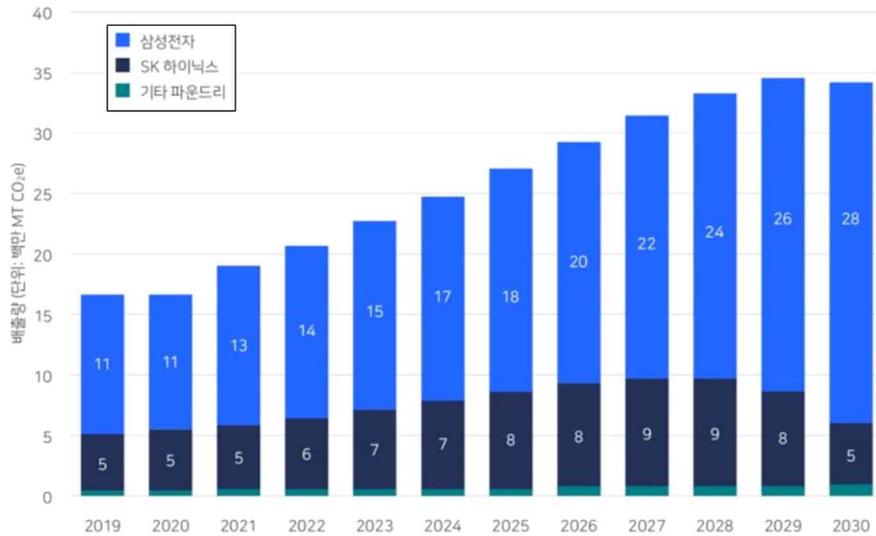
- 웨이퍼 가열공정은 반도체 제조의 핵심 공정으로, 공정 효율 향상 및 에너지 소비 저감을 위해 고효율 가열 기술 개발 필요
- 유도가열 기술은 높은 열 효율(90% 이상)과 빠른 응답 속도로 공정 시간을 대폭 단축 가능

## □ 주요이슈

- (기술적) 기존 저항 열선 방식의 발열체 매립형 히터의 단점을 극복하고 에너지 손실 저감을 위해 높은 가열 효율과 다영역 균일 온도 제어가 포함된 고효율/고성능 기술 개발 필요성 증대
- 기존 저항 열선 방식은 평균 가열 효율이 60%에 불과하여 열효율이 낮아 공정 중 에너지 손실이 크고, 균일하지 못한 가열로 인해 반도체 생산 품질에 영향을 미침
- 상용 세라믹 히터는 NGK(日)에서 95%이상 점유 중이며, 수입의존도를 낮추고 비용절감과 수급원활화를 위해 독자기술 확보 필요성 증대
- \* 해외에서 유도가열 기반 웨이퍼 공정시스템 관련 연구 진행중이며 양산품은 아직 선보이지 않은 상황
- 반도체 공정 중 웨이퍼 가열은 전체 공정의 약 25% 전력을 사용하며, 유도가열을 적용하여 에너지 25% 손실 저감을 달성하는 경우 '30년 기준 원전 0.7기 수준의 연간 2.86백만tCO2 온실가스 감축 기여 기대
- \* 한국 반도체 제조 부문 2030년도 4,600만톤 기준 및 반도체 제조 전체 공정중 웨이퍼 가열 공정 약 25% 에너지 사용 기준



[그림 11] 한국 반도체 제조 부분의 온실가스 배출량 데이터 예측치



[그림 12] 한국 반도체 제조 부분 기업별 온실가스 배출량 예측치

- (정책적) 전 세계적인 탄소중립 요구와 에너지 절감 정책에 부응하기 위한 고효율 제조 공정 기술의 필요성 증대
  - 제11차 전력수급기본계획('24)에 대응하기 위해 산업 개별 공정과 소재/기기의 지속적 초고효율화와 병행한 효율혁신 기술 개발의 필요성 증대
  - \* '36년까지 최대전력 17.7GW(기준수요의 13%), 전력소비량 105.7TWh(기준수요의 15%) 절감을 목표로 하며, 이를 달성하기 위해 에너지 소비가 많은 반도체 제조 공정의 고효율화가 필수적으로 요구됨
  - 국내 탄소중립 로드맵(2050 탄소중립 목표)에 따라 산업 전반의 에너지 절감 및 전기화 기술 적용이 강조되고 있으며, 고효율 가열 기술은 제조업 에너지 사용 최적화의 핵심 기술로 평가
  - 미국과 유럽 등 주요 국가에서는 제조 공정의 효율 개선을 위한 규제 및 지원을 강화하고 있으며, 특히 에너지 효율 기준을 만족하는 제조 공정 기술 도입 시 세제 혜택 및 인센티브를 제공
  - \* 미국 ENERGY STAR 프로그램을 통해 고효율 제조 장비 도입 시 온실가스 배출 저감과 에너지 비용 절감을 달성
- (산업적) 웨이퍼 가열공정 기술은 반도체 제조의 핵심 공정으로 에너지 효율 향상 기술을 통해 글로벌 반도체 시장에서 경쟁력 강화 가능
  - 국내 중소·중견기업이 기술 개발 및 상용화 단계에서 경쟁력을 갖추도록 지원하여 국내 반도체 산업 생태계의 지속 가능한 성장 도모

- 상용 저항 히터는 일본 NGK가 시장 점유율의 95%를 점유하고 있으며, 가열공정 히터의 국산화를 통한 수입 의존도 감소와 비용 절감
- (경제적) 반도체 시장의 지속적인 성장 대응과 에너지효율 개선 요구에 대응하기 위한 기술 확보 필요
- 기존 가열 방식 대비 유도가열 기술은 에너지 소비를 최대 30% 절감할 수 있어 공정 비용 절감 효과 상승
- 에너지 절감은 제조 원가를 낮추는 동시에, 친환경 제조 공정을 구축하여 환경 규제 강화에 대응 기여
- 고효율 가열 시스템은 제조 공정의 신뢰성과 일관성을 강화하여 생산 품질을 높이고 소비자 요구에 부응하여 반도체 시장 수익성 향상

## 2. 산업기술 동향

### □ 해외 동향

- 해외에서 유도가열 기반 웨이퍼 공정시스템 관련 연구가 진행 중이나, 양산품은 아직 개발되지 않은 상황이며, 현재까지 국내 반도체 장비 업체들은 저항 열선 방식 히팅 시스템을 대부분 수입에 의존
- (일본) 저항 열선 방식의 히터는 기술적으로 일본의 NGK社가 가장 앞서 있으며, NGK와 스미코모세라믹 등 일본 업체들이 현재 사용량의 대부분을 공급하는 독점적인 구조로서 매우 높은 단가를 형성
- \* NGK社は 유도가열 기반 웨이퍼 가열 기술 개발을 시작하였으며, 기존 기술 대비 가열 속도와 에너지 효율을 대폭 향상시키기 위해 연구를 진행 중



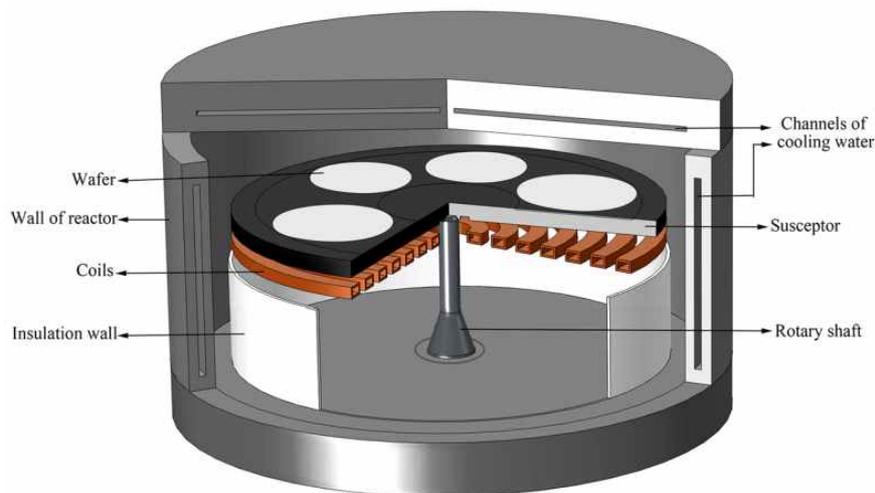
[그림 13] NGK社 세라믹 히터 제품

- (미국) HIS(Heating Induction Services)社は '21년 반도체 공정 중 히터를 기반으로 wafer 온도를 정밀하고 일정하게 유지하는 장치를 개발 및 판매중이며, 서셉터 내에서 웨이퍼의 가열 온도 표면은 +/- 3℃ 이내로 매우 높은 정밀도를 가짐



[그림 14] HIS社の 웨이퍼 가열 장비

- (인도) '16년 HEXMOTO Controls社와 함께 NMAM Institute of Technology에서 다중코일을 이용한 반도체용 wafer 유도가열 모델링 및 시뮬레이션 연구 진행



[그림 15] NMAM Institute of Technology 웨이퍼 유도가열 장치 컨셉

- (중국) '22년 반도체용 wafer 유도가열 장치 및 발열 방식 특허 출원

## □ 국내 동향

- 국내 반도체 제조 공정에서 유도가열 기술 기반 가열 공정 기술은 아직 연구된 바가 없으며, 현재 주로 저항 열선 방식의 히터 사용 중
  - 국내 반도체 제조 공정에서 주로 사용되는 저항 가열 방식은 일본 NGK 등 해외 기업에서 제조된 세라믹 히터 제품에 크게 의존 중
- 국내 유일 반도체 세라믹 히터 공급사로는 미코세라믹스社가 있으며, 주요 고객사로는 원익 IPS, 삼성전자, 하이닉스 등이 있음



[그림 16] 미코세라믹스社 세라믹 히터 제품군

- 파웰 코퍼레이션社와 한솔아이원스社 등이 세라믹 히터를 개발 중이며, 수입 제품을 대체하기 위한 기술 확보에 주력하고 있음

## □ 사업수행에 필요한 요소기술·제반기술

- 웨이퍼 가열공정의 효율성과 신뢰성을 높이기 위해서는 고효율 유도가열 시스템 설계 및 안정성 확보 기술이 필요하며 특히 소비전력 저감 기술 개발 및 성능검증 기준 마련 등 세부기술이 필요
  - 유도가열 기반 웨이퍼 공정시스템을 위한 최적 워킹 코일 기술 개발
  - 유도가열용 전력변환장치 설계 및 제어알고리즘 기술 개발
  - 웨이퍼 공정용 챔버 설계 및 서셉터(susceptor) 냉각 기술
  - 가열공정 시스템 실증운동을 통한 전기에너지 절감 검증

### 3. 특허 동향

#### □ 분석대상 특허 검색 DB 및 검색범위

- 한국, 일본, 유럽, 미국의 공개/등록특허를 특허분석 대상으로 하여, 웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증에 부합하는 특허를 추출하였고, 1975년부터 2024년까지 출원공개된 특허 총 2,702건을 분석대상으로 함

- 분석대상 특허

<표 6> 특허 분석 구간 및 범위

자료 구분	국가	검색DB	검색구간	검색범위
공개, 등록특허 (공개, 등록일 기준)	한국	Keyword	1975.01.01. ~ 2024.12.31	특허 공개 및 등록 전체문서
	일본			특허 공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

#### □ 검색식 도출

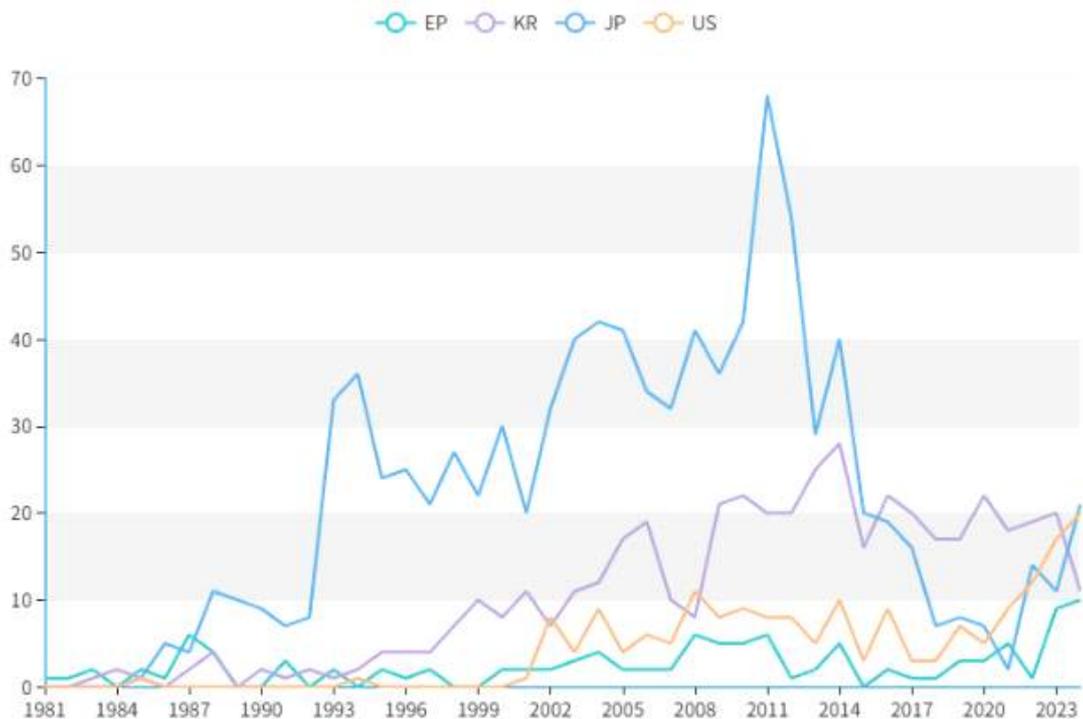
- “웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증”에 대한 핵심키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하고, 이를 바탕으로 해당 기술을 포함할 수 있는 검색식을 완성
- 최종 검색식

<표 7> 특허 검색식 및 검색 건수

기술	검색식	검색 건수
웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증	(TI_AB_CL:(웨이퍼* or wafer* or 단결정* or 반도체* or semiconductor* or 세미컨덕터* or semi-conductor* (서셉터* or 서셉터* or susceptor*) or (증착* or deposition* or 디포지션*)) AND (유도가열* or ((유도* or induc* or 인덕션* or 인듀스*) A/3 (가열* or heat* or 히티드* or 히이팅* or 히트* or 히트* or 히팅* or heating* or 히터* or 발열*)) or 유도히트* or 인듀스가열*)) OR TI_AB_CL:(웨이퍼* or wafer* or 단결정* or 반도체* or semiconductor* or 세미컨덕터* or semi-conductor* or (서셉터* or 서셉터* or susceptor*) or (증착* or deposition* or 디포지션*)) AND (유도가열* or ((유도* or induc* or 인덕션* or 인듀스*) A/3 (가열* or heat* or 히티드* or 히이팅* or 히트* or 히트* or 히팅* or heating* or 히터* or 발열*)) or 유도히트* or 인듀스가열*) AND (인버터* or inverter*)) NOT IPC:(A24*)	2,702

## □ 주요국 기술개발 활동 현황

- 웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증과 관련성 있는 특허는 1981년부터 등장하기 시작
- 웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증과 관련하여, 글로벌 특허출원 동향을 살펴보면, 전체적으로 1992년대부터 눈에 띄게 특허출원이 증가
- 국가별로 살펴보면, 한국에서 이루어진 특허출원의 경우 1982년 특허출원이 시작된 이후 특허출원 수가 미비하였으나, 2000년 이후 지속적으로 특허출원 증가 중
  - (미국) 전체 기간에 걸쳐 특허출원이 이루어지지 않은 공백기가 다소 존재하지만, 2000년 이후 꾸준하게 특허출원 중
  - (일본) 1984년 특허출원이 시작된 이후 지속적 특허출원 중이며, 2011년까지 급격한 특허출원의 증가가 있었으나, 이후 특허출원 수가 급격히 감소
  - (유럽) 1981년 특허출원이 시작된 이후 최근까지 꾸준한 특허출원 중



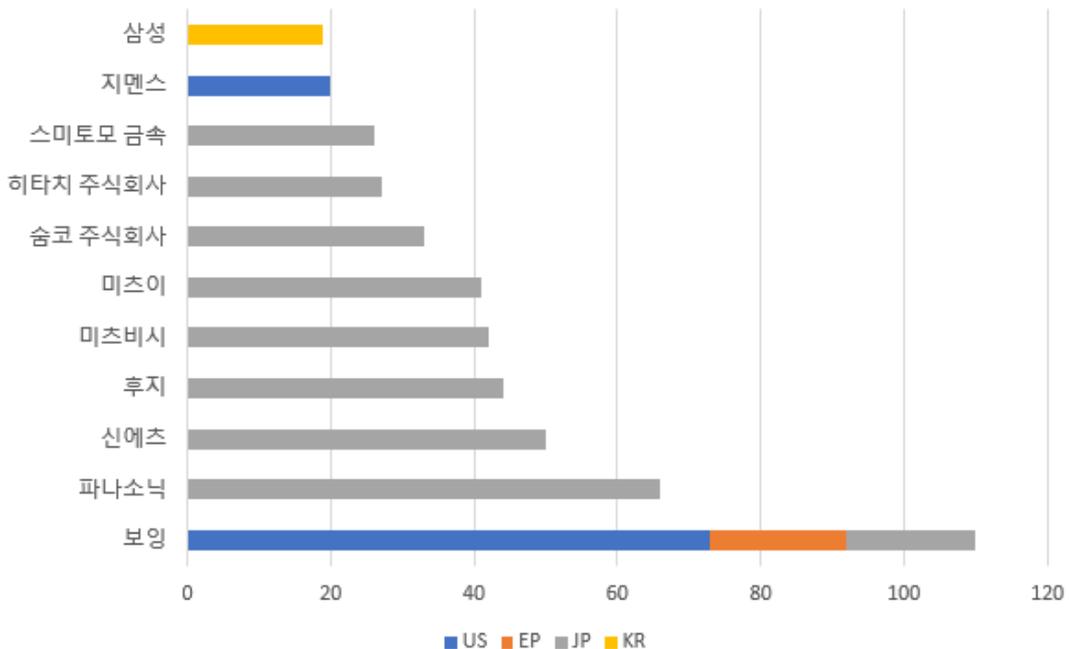
[그림 17] 국가별 연도별 출원 현황

\* (유의) 한편, 연도별 특허출원 동향 그래프에서 2023년 이후 특허출원이 감소하고 있는 것은 특허출원은 특허출원 후 1년 6개월이 경과해야만 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 특허출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않아서 특허분석 데이터 상에 포함되지 않았을 수 있음을 유의해야 함

- 웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증에 관한 국가별 특허출원 현황을 보면, 전체 특허출원 건수인 2702건 중 일본이 1116건, 41%로 가장 큰 비중을 차지하고 있고, 다음으로 미국의 특허출원이 753건, 28%, 한국의 특허출원이 485건, 18%, 유럽의 특허출원이 348건, 13%의 비중을 차지
- 2015년까지는 일본이 압도적으로 특허출원수가 많았으나, 2015년 이후 한국의 특허출원수가 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 이러한 추세에 따라, 한국의 특허출원의 비중은 점차적으로 증가할 것으로 예상

#### □ 주요 출원인의 국가별 출원현황 분석

- “웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증과 관련된 주요 출원인으로서 상위 11위의 출원인을 선정하였으며, 상위 11위까지 출원인의 특허출원은 478건이고, 이는 전체 2,702건의 특허출원에서 약 18%의 비중을 차지



[그림 18] 특허 출원인 분포

- 상위 10위의 출원인은 대부분 일본, 미국의 국적을 가지고 있는 기업이며, 이들이 반도체 공정 등 유도가열 관련 기술을 주도하고 있는 것으로 보임

## 4. 표준화 동향

### □ 해외 동향

- 반도체 웨이퍼 공정에 사용되는 유도가열 히터에 대한 국제표준화 기구는 부재하며, 개별 기술에 대해 IEC, JEDEC, SEMI 등에서 표준화를 추진
  - ISO에서는 ICS(International Classification for Standards)를 통해 히터를 표준 분야의 한 항목으로 지정하였으나, 가정용·산업용 전열 기기(방열패드, 건축용 전열기기 등)에 대한 표준만이 제정
    - \* ICS 97.100에서는 히터에 대한 표준 분야를 Electric heaters, Gas heaters 등 6가지로 분류하였으며, 유도가열 히터는 ICS에서 표준 분야로 분류되지 않음
  - ISO에서는 히터에 사용되는 주요 구성품인 발열체(금속, 세라믹)의 성능 평가 방법을 국제표준으로 제정하여 활용 중
    - \* ISO/TC 206에서 제정된 ISO 19628은 발열체로 사용되는 복합재의 비열 측정 방법 제시
- 산업용 전기가열 설비에 대해 IEC/TC 27(Industrial electroheating and electromagnetic processing)에서 국제표준화를 추진 중
  - \* 유도가열 설비에 대한 국제표준이 일부 제정되었으나 전기로에 국한되어 히터에 대한 표준 부재
    - IEC 60110, IEC 60519와 같이 유도가열에 쓰이는 구성품 및 안전 사항에 대한 국제표준이 대부분이나, 2019년 제정된 IEC 63078은 유도가열 설비의 성능평가에 대한 시험 항목, 방법 등을 제시
      - \* IEC 63078은 유도가열 설비의 가열 형태, 설계, 전원 공급 장치 사양 등이 명시, 주요 시험 항목은 전력 회로 에너지 소비량 및 제어 시스템 에너지 소비량 측정 등이 있음
    - 해외 선진국들은 유도가열 설비 관련 ISO/TC 27에서 제정된 표준들을 부합화 없이 활용하고 있음
  - 전력변환장치(PCS)는 IEC/TC 22(Power electronic systems and equipment)에서 국제표준화를 추진하고 있으나, 이차전지/태양열에 대한 표준으로 반도체 공정/히터에 활용되는 전력변환장치에 대한 표준은 부재

<표 8> 반도체 웨이퍼 공정 유도가열 히터 관련 표준(해외)

구 분	명 칭	개 요
IEC 63078	Installations for electroheating and electromagnetic processing - Test methods for induction through-heating installations	- 유도가열 설비의 성능평가에 대한 시험 항목, 방법 등을 제시 - 가열 형태, 설계, 전원 공급 장치 사양 등
IEC 60519-3	Safety in electroheat installations - Part 3: Particular requirements for induction and conduction heating and induction melting installation	- 유도 및 전도 가열과 유도 용해 설비와 같은 전기가열 설비의 안전 사항 제시
IEC 60110 - Part 1, 2	Power capacitors for induction heating installations	- 유도가열, 용해 또는 주물 장치에서 사용되는 커패시터 장치의 노화, 파괴 시험 등에 대한 요건을 제시
ASTM A1100-16	Standard Guide for Qualification and Control of Induction Heat Treating	- 유도 공정을 사용한 열처리 재료의 공정 제어 및 제품 특성 검증에 대한 내용 제시
IEC 62477 - Part 1,2	Safety requirements for power electronic converter systems and equipment	- 전력 변환 시스템 및 장비에 대한 안전 요구사항 명시 - 전압 크기에 따라 파트 분류

## □ 국내 동향

- 한국산업표준(KS)에 반도체 웨이퍼 및 히터 관련 개별 기술에 대한 표준은 일부 제정되어 있으나, 반도체 웨이퍼 공정 및 유도가열 히터에 대한 구체적인 표준은 제정되어 있지 않음
  - KS 분류상 웨이퍼의 성능평가에 대해서는 KS D(금속)에서 다루지고 있으며, KS B(기계)에서 가스히터, KS C(전기전자)에서 전기저항 트레이스 히터에 대한 표준만이 일부 제정
- 한국스마트그리드협회(KSGA)는 산업 에너지 효율 관련 기술에 대한 단체표준화를 추진하고 있으며, 2022년도에 전력변환장치에 대한 단체 표준(SPC - SGSF-025-4-1972)을 제정
  - SPS-SGSF-025-4-1972는 전기에너지저장시스템에 사용되는 전력 변환장치에 적용되며, PCS의 안전과 성능 및 계통 연계를 위한 요구 사항 및 시험방법을 제시
- 현재 유도가열 히터와 관련된 국내·외 표준은 없으며, 제품의 사양 및 성능 등을 자체적으로 평가 후 카탈로그 또는 사용 설명서를 통해 제시

- 제조 기업의 규격 또는 사용 환경에 따라 성능평가를 진행하고 있으며, 일반적으로 최대 온도, 분당 승온 속도, 전기적 특성(전력, 전압 등)을 주요 스펙으로 제시
- 개발 기술에 대한 신뢰성을 높이기 위해 반도체 웨이퍼 공정의 유도 가열 히터에 대한 성능평가 방법 및 기준에 대해 국내 상황에 맞는 국제규격 부합화 및 국내 표준화가 필요

**<표 9> 반도체 웨이퍼 공정 유도가열 히터 관련 표준(국내)**

구분	명칭	개요
KS C IEC 60519-3	전열 설비의 안정성 - 제3부: 유도 가열, 전도 가열 및 유도 용해 설비의 개별 요구사항	유도 및 전도 가열과 유도 용해 설비와 같은 전기가열 설비의 안전 사항을 다루고 있음
KS C IEC 60110-1	유도 가열 장치용 전력 커패시터 - 제1부: 일반사항	유도 가열, 용해 또는 주물 장치에서 역률 교정을 위해 사용되는 커패시터 장치와 커패시터 뱅크에 적용됨
KS C IECTS 60110-2	유도 가열 장치용 전력 커패시터 - 제2부: 노화 시험, 파괴 시험 및 내장 퓨즈 분리 요건	KS C IEC 60110-1에 따른 커패시터에 적용이 가능하며 커패시터 내부에 내장된 퓨즈의 분리와 관련한 요건과 노화, 파괴 시험에 대한 요건을 제시함
KS C IEC 62076-1	산업용 전기가열 설비 - 유도 채널로 및 유도 도가니로의 시험방법	산업용 유도 채널로 및 유도 도가니로 구성의 전기 설비에 적용되며 설비의 매개변수 및 특성을 분석하기 위한 시험방법을 제시함
KS C IEC 61922	고주파 유도 전열설비 - 발전기의 전력출력 결정에 관한 시험방법	산업용 고주파 유도 전열설비에 적용이 가능하며 전력출력 측정을 위한 시험방법을 제시함
SPS-SGSF-025-4-1972	전기에너지저장시스템용 전력변환장치 성능요구사항	전기에너지저장시스템에 사용되는 전력변환장치에 적용 PCS의 안전과 성능 및 계통 연계를 위한 요구사항 및 시험방법 제시

## 5. 정부R&D 지원현황

### □ 투자 동향

- (고효율 제조 공정 및 에너지 효율화) 탄소중립 및 녹색성장 국가전략('23)과 제11차 전력수급기본계획('24)을 통해 에너지 소비 절감과 고효율 제조 공정 구축을 위한 기술 개발에 집중 투자

- 산업 부문 수요 효율화 혁신을 위한 에너지 고효율 장비 개발, 특히 제조 공정의 효율성을 높이는 고온 열처리 기술 및 대기전력 저감 장비 지원 확대
- 산업 기자재 효율관리제도를 개편하여 효율등급제 적용 대상을 확대하고, 제조 장비의 효율성과 에너지 절감 효과를 평가하는 체계 강화
- (유지보수) 공정 장비의 신뢰성을 높이기 위해 유지보수 기술 개발에 대한 지원이 확대되고 있으며, 이를 통해 제조 장비의 안정적인 운영과 효율성 보장
- (투자) 국내 중소/대기업 등 민간 기업 중심으로 제조 공정 장비의 효율 개선 및 유지보수 기술 개발에 투자 유치가 활발
- (정부정책) 새정부 에너지정책 방향('22)
  - 시장원리 기반 에너지 수요 효율화 및 시장구조 확립을 위해 산업, 가정·건물, 수송 등 3대 부문 수요 효율화 혁신 추진
  - 산업 기자재 효율관리제도의 전면 개편 로드맵에 따라 고효율 제조 장비와 대기전력 저감 기술의 필요성 강조

## □ 기술개발 현황

- 반도체 웨이퍼 가열 공정시스템 관련 기존 기술개발은 기존 저항 열선 방식의 히터 방식으로 R&D 지원이 이루어졌음
- 웨이퍼 히터는 반도체 증착 공정에서 온도 제어와 가열 효율을 결정 짓는 핵심 요소이지만, 기존 저항 히터는 고장률이 높고 수율 저하를 초래하여 제조 공정의 효율성에 큰 걸림돌로 작용
- 기존 세라믹 히터 기반의 반도체 가열 공정 과제는 기수행된 적이 있으나 유도가열 기술 기반으로 한 반도체 가열 공정 과제는 수행된 바 없음
- 유도가열 기술은 기존 저항 히터의 한계를 극복하고 균일한 온도 분포와 에너지 효율성을 확보할 수 있는 차세대 기술로 주목받고 있으나, 기술적 구현과 상용화 사례가 전무한 상태

<표 10> 웨이퍼 가열공정 관련 지원 연구개발과제

과제명	개발기간	개발기술
고온용multi-zone 질화알루미늄(AIN) 히터개발	2014-06-01 ~ 2017-05-31	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 열선 방식의 세라믹 히터 개발</li> <li>□ 2개의 Multi-zone 온도 제품화 기술 개발</li> <li>□ 히터 패턴 설계 및 열 분포 해석</li> </ul>
650°C 이상 반도체 고온공정용 세라믹 히터 개발	2020-04-01 ~ 2024-12-31	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 히터 최대 가열 온도 650°C</li> <li>□ 반도체 초고온 공정용 저항 히터 개발</li> <li>□ 저항 히터 최적 형상 개발 및 공정 테스트 결과 분석</li> </ul>
웨이퍼 표면 온도 130°C, 웨이퍼 온도 편차 3% 이하를 만족하는 황산 세정 장비용 Chuck Module 개발	2023-05-01 ~ 2024-04-30	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 웨이퍼 표면 온도 130°C</li> <li>□ 챔버 내 실내 온도 제어 방식</li> <li>□ 웨이퍼 온도 편차 3% 이내에 목표</li> </ul>
정밀 온도 제어를 위한 멀티존히터가 포함된 정전적용세라믹 히터의 개발	2020-04-01 ~ 2024-12-31	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 멀티존용Base Plate 제작</li> <li>□ 2개의 Multi-zone 온도 제품화 기술 개발</li> <li>□ 온도 균일도 향상을 위한 열전달 해석</li> </ul>

## 6. 시사점

### □ 웨이퍼 가열 공정에서 고효율 유도가열 기술을 통한 제조 품질과 신뢰성 확보 필요

- 국내 반도체 제조 공정은 전통적인 저항 열선 방식에 의존하고 있어 낮은 에너지 효율성과 온도 제어 문제로 인해 생산 품질에 제한 요인으로 작용
  - 웨이퍼 가열 공정은 반도체 제조의 핵심 단계로, 균일한 온도 분포와 빠른 가열 속도가 생산성 향상에 중요한 역할 수행
  - 기존 기술의 한계 극복을 위해 고효율 유도가열 기술 개발 및 상용화 필수
- 유도가열 기술은 기존 방식 대비 에너지 소비를 줄이고 온도 제어의 정밀도를 높여 제조 공정의 신뢰성과 효율성을 동시에 개선 가능
  - 고장률 저감 및 에너지 절감을 위한 소비전력 저감 기술, 고효율/고밀도 전력변환장치 기술 등의 개발이 필요

□ 제조 공정의 소비전력 과다 문제 해결 및 성능검증 체계 마련 필요

- 반도체 가열 공정 장비는 가열공정 중 소비전력이 많고 대기전력이 지속 소모되며, 이에 대한 적절한 평가 기준 및 인증 체계가 미비한 상황
- 국제적인 에너지 효율 규제에 대응하기 위한 시스템 성능검증 체계를 마련하여, 수출 경쟁력을 확보하고 글로벌 시장 대응 필요

□ 2050 탄소중립 및 녹색성장 국가전략을 지원하기 위한 기술 개발 필요

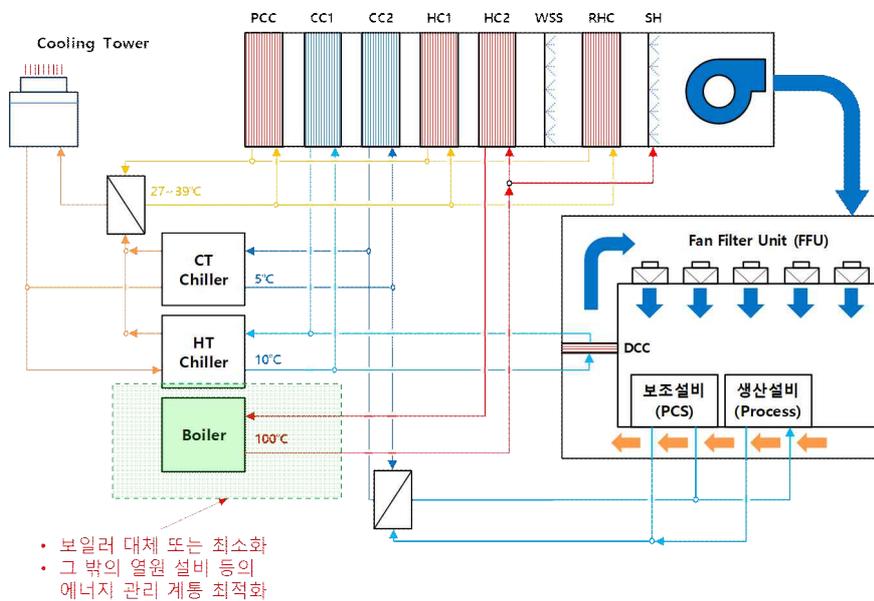
- 유도가열 기술은 제조 공정에서 발생하는 온실가스 배출을 줄이는 데 기여하며, 탄소중립 실현을 위한 핵심 기술
- 고효율 가열 공정 시스템 개발은 에너지 절약뿐만 아니라 환경 규제 대응과 지속 가능한 제조 공정 구축에 기여

### 3. 산업용 고정정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증

## 1. 개요

### □ 개념

- 반도체/디스플레이 FAB 클린룸을 위한 공기조화 및 에너지 계통에 대하여, 높은 에너지 효율의 핵심 자재와 최적 설계 및 제어 기술들을 적용하여 에너지 관리 초고효율화를 달성하고 실증 단계까지 추진



[그림 19] 반도체/디스플레이 클린룸 에너지관리 시스템 개념도(안)

### □ 주요이슈

- (기술적) 반도체 FAB 설비 에너지 소비의 40%를 차지하는 클린룸 공조 시스템의 에너지 효율 향상 기술 개발을 통해 탄소중립 달성 기여 필요
- 반도체 제조사의 생산 경제성 향상 및 경쟁력 제고를 위해서는 클린룸 공조 시스템의 효율 향상 시급
- 대규모 클린룸의 에너지 사용량 감소는 운영 비용 절감뿐만 아니라 국가적 탄소 배출 저감 목표 달성을 위한 필수적 요소

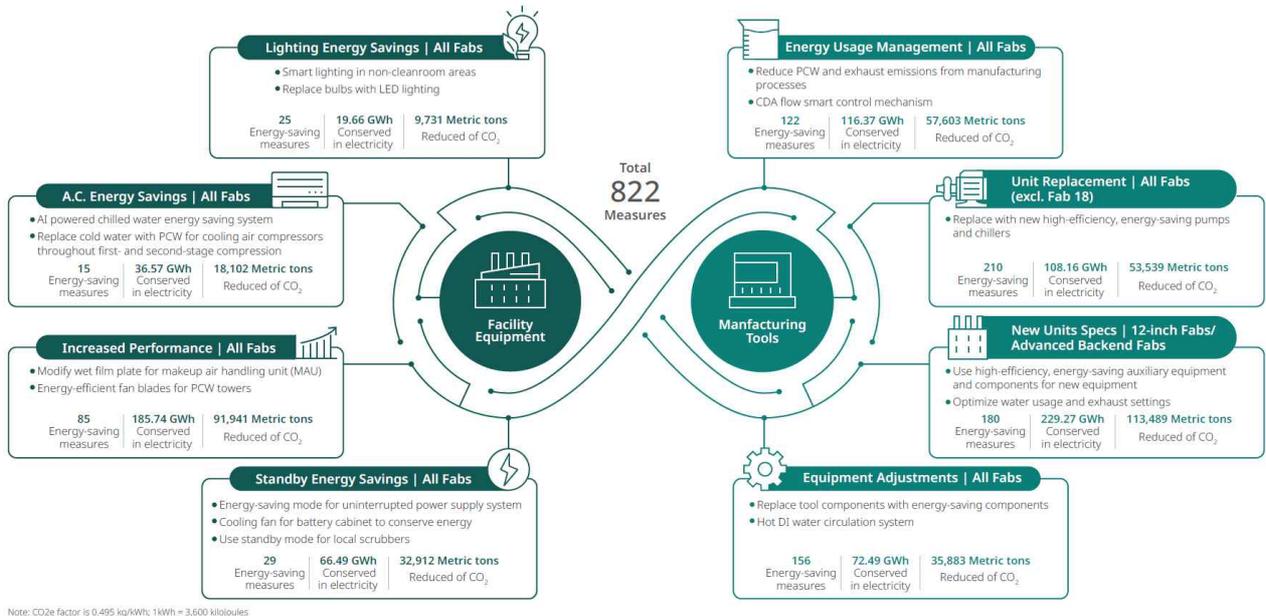
- (경제적) 글로벌 클린룸 시장 규모는 '23년 55억 달러에서 '32년 103억 달러로 연평균 6.1% 성장이 예상되며, 소모성이 아닌 설비 (Equipment) 관련 시장 규모는 '22년 기준 22억달러로 전체 클린룸 시장의 40%를 차지(Global Market Insight, '23.8)
  - 반도체 FAB설비 에너지 소비의 40%를 차지하는 클린룸 공조 에너지 사용량 절감은 반도체 부문의 경쟁력 향상에 기여
  - 클린룸 에너지 관리 탈탄소화는 산업체 RE100 달성을 위한 핵심이며, 글로벌 시장에서 기업의 신뢰도와 경쟁력을 높이고, ESG 준수를 통해 투자 유치와 고객 확보를 촉진하기 위한 필연적 요소
  - 삼성전자의 '24년 D램 시설투자액은 전년도 대비 9.2%, '25년에는 약 38% 증가 전망이며, SK하이닉스는 청주시에 신규 팹 건설 예정 (투자규모 20조 이상 예상)
  - 경기도 남부 일대에 '47년까지 622조원을 투입하여 국내 '메가 반도체 클러스터' 조성 계획이며, 국내 클린룸의 투자 활성화 및 기술력 제고를 위한 발판이 될 것으로 예상
- (정책적) 에너지 다소비 설비의 고효율화와 더불어 국가 대표산업의 에너지원 단위의 경쟁력 확보를 위한 지원 필요
  - 세계의 반도체 분야 주요 생산국 및 선진국에서는 국가 단위의 전폭적 지원을 이미 실시 중
  - (미국) CHIPS Act를 통해 520억 달러 규모의 지원금을 반도체 산업에 투입하며, 민간부문에서도 2,000억 달러 이상의 신규 반도체 프로젝트 발표('22)
    - \* 또한, 미국은 2조 2,500억 달러의 자국 내 산업 인프라 투자 계획을 발표하며, 이 중 500억 달러를 반도체 분야에 투입함을 시사('21)
  - (일본) TSMC 구마모토 제2공장의 투자금 절반가량(약 4조억 원)을 보조금으로 지원할 계획
  - (대만) 연구비의 최대 25%를 법인세에서 제외해주는 법안 입법 진행 중
  - (EU) 'European Chips Act'를 발의하여 반도체 및 응용 분야의 기술 경쟁력 강화를 위해 430억 유로를 투입할 계획

## 2. 산업·기술 동향

### □ 해외 동향

- TSMC 등 주요 반도체 제조사의 경우 2050년까지 탄소중립 달성을 목표로 삼고 있으며, 이를 위한 다양한 기후 대응 방안을 시행 중
  - 특히, 2030년까지 100% 재생 가능 에너지를 전력에 사용하고자 하는 RE100 목표를 2040년으로 앞당겨 달성할 계획
  - 또한, 에너지 절감 및 탄소 배출을 줄이기 위해 고효율 제조 프로세스와 첨단 기술을 활용해 전체 전력 소비량을 지속적 관리
- 반도체 산업 내 친환경 제조의 표준을 제시하고, 공급망 내 탄소 배출을 줄이기 위한 파트너십 구축
- (대만) TSMC는 net-zero 센터와 Zero waste 센터, Water resource 센터를 신설하고 신재생 에너지 생산 및 사용, 공정 에너지 절감 및 고효율 장비 도입, 공정 최적화, 자원 재활용 등의 에너지 절감 활동을 하고 있으며 2023년도에 822개의 에너지 절약조치를 시행하여 830 GWH의 전기를 절약했다고 발표하였음 (그림 2 참조)
- (미국) Micron은 2050년도까지 온실가스 배출량 Zero를 달성하기 위한 적극적 활동 실시 중
  - \* 산업용수의 재활용 기술을 사용하여 물 사용량 66%를 절감, 폐기물 재활용 기술을 통해 폐기물의 94%가 재활용
  - \* Micron 7개의 클린룸 건축물의 에너지 효율을 입증하는 ISO 50001:2018 인증 (에너지 경영시스템)과 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design, 친환경 건축물 인증)을 취득
- 미국의 클린룸 에너지 절감 동향
  - CHIPS and Science Act (칩스법) : 이 법안은 ESG 경영, 기술 경쟁력 강화, 관련 정책과의 연계 등을 통해 반도체 Fab의 에너지 절감을 간접적으로 유도, 칩스법의 혜택을 받으려는 반도체 기업들은 에너지 효율 향상에도 적극적으로 나서야 함

Energy Conservation Measures



[그림 20] Energy Conservation Measures

- 에너지부(DOE)의 연구 개발 지원 : DOE는 반도체 Fab의 에너지 효율 향상을 위한 연구 개발 프로젝트에 자금을 지원하고 있으며, 최근 산업 부문의 탄소 배출량 감축에 특히 집중하여 투자 중
- 환경 보호청(EPA)의 에너지 스타 프로그램 : 에너지 스타 프로그램은 에너지 효율이 높은 제품 및 시설에 인증을 부여하고 있으며, 반도체 Fab의 에너지 절감을 위한 다양한 활동을 간접적으로 지원하고 있고, 반도체 산업 전반의 에너지 효율 향상에 기여
- SEMI(국제 반도체 장비 재료 협회) : 반도체 Fab의 에너지 효율, 안전, 환경 관련 표준을 제정하고 있으며, 탄소 배출 감축을 목표로 하는 반도체 기후 컨소시엄(SCC)의 활동을 적극적으로 지원 중
- o 일본의 클린룸 에너지 절감 동향
  - 에너지 절약법(省에너지법) : 일본 정부는 에너지 절약법을 통해 기업의 에너지 효율 향상을 의무화하고 있으며, 반도체 Fab도 에너지 소비량 감축 목표를 설정하고 이를 달성하기 위해 정부에서 지원
  - 교토 의정서 목표 달성 계획 : 클린룸 에너지 효율 향상을 통한 온실 가스 배출량 감소를 추진

- 보조금 및 세제 혜택 : 일본 정부는 에너지 절약 설비 투자에 대한 보조금 지급 및 세제 혜택 제공을 통해 기업들의 자발적인 에너지 절감 노력을 지원
- JEITA(일본전자정보기술산업협회) : 일본 반도체 업계에 에너지 절감을 위한 지원을 제공하는 동시에 반도체 장비의 에너지 효율 향상을 위한 가이드라인(SEMI S23) 제정에 참여하는 등 국제적인 협력을 추진
- 중국의 클린룸 에너지 절감 동향
  - '14차 5개년 계획' 및 관련 정책 : '14차 5개년 계획'(2021~2025)은 녹색 성장 및 지속 가능한 발전을 강조하고 있으며, 반도체 산업의 에너지 절감 및 탄소 배출 감축을 위한 지침을 제시
  - 보조금 및 세제 혜택 : 중국 정부는 에너지 절약 기술 개발 및 설비 투자에 대한 보조금 지급 및 세제 혜택 제공을 통해 기업들의 자발적 에너지 절감 노력을 지원

## □ 국내 동향

- 2020년 탄소중립 계획 발표 후 이를 달성하기 위해 정부 차원의 추진 전략 및 기본계획 등이 추진 중
  - '30년까지 '18년 기준연도 배출(7억 2,760만 톤) 대비 40% 감축을 목표로 하고, 2021년 12월 UN 기후변화 협약 사무국에 계획 제출
  - '23년 4월 정부는 「탄소 중립·녹색 성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획」을 통해 국가 비전 달성을 위한 4대 전략 및 12대 과제를 제시하고, 2030 온실 가스 감축 목표 달성을 위한 부문별 감축 방향과 세부과제를 구체화
- 민간 부분에서는 반도체/디스플레이를 생산하는 대기업 중심의 투자 및 기술개발이 이루어지고 있으며 2050년 net-zero를 달성하기 위해 적극적인 투자와 기술 도입이 이루어지고 있음
  - 삼성전자는 인프라 설비에 IOT 기술을 적용하고 LNG 사용량 절감 및 반도체 제조 공정의 전력 사용량 절감을 통해 에너지 절감 진행

- SK하이닉스는 재활용 소재 사용 확대와 공정 가스 배출량 40% 감축, 스크러버 처리 효율 95% 달성, 취수량 집적도 35% 감축 등과 함께 다양한 친환경 기술 도입을 통해 온실가스 저감에 나서고 있음

○ 한국의 클린룸 에너지 절감 동향

- 정부 주도의 정책 및 지원 사업 : 산업통상자원부를 비롯한 다양한 정부 부처에서 클린룸 에너지 효율 향상을 위한 정책과 지원 사업을 추진 중
  - \* 에너지 절감 기술개발 및 보급 지원, 관련 기술 교육 및 컨설팅 제공 등을 통해 클린룸 에너지 절감을 장려, 지원하고 있음
- 정부의 지원 아래, 학계 및 연구 기관에서는 클린룸 에너지 효율을 획기적으로 향상시킬 수 있는 기술개발 추진 중
  - \* 주요 연구 분야는 클린룸 에너지 효율 향상 기술개발, 고효율 공조 시스템, 지능형 제어 시스템, 에너지 절감형 클린룸 설계 등이 있음

□ 사업수행에 필요한 요소기술·제반기술

- 반도체/디스플레이 클린룸 에너지 효율의 향상 기술 개발을 통해 외조기 및 냉난방, 가습/제습 에너지 관리 계통에 대한 최적 설계, 부하변동에 따른 에너지 절감 실증의 수행
  - 클린룸에 공급하는 공기의 고청정도를 유지하기 위한 외조기 개발
  - 클린룸 에너지 관리 계통의 최적 설계 및 제어 알고리즘 기술 개발
  - 외조기 개발품과 대조군과의 비교를 통한 실증 시험 등 테스트베드 구축을 통한 기술적 검증

### 3. 특허 동향

□ 분석대상 특허 검색 DB 및 검색범위

- 한국, 유럽, 미국 등의 공개/등록특허를 특허분석 대상으로 하여, 산업용 고청정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증에 부합하는 특허를 추출, 1975년부터 2024년까지 출원공개 특허 총 2,673건을 분석대상으로 함

○ 분석대상 특허

<표 11> 특허 분석 구간 및 범위

자료 구분	국가	검색DB	검색구간	검색범위
공개, 등록특허 (공개, 등록일 기준)	한국	Keyword	1975.01.01. ~ 2024.12.31	특허 공개 및 등록 전체문서
	일본			특허 공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

□ 검색식 도출

- “산업용 고청정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증”에 대한 핵심키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하고, 이를 바탕으로 해당 기술을 포함할 수 있는 검색식을 완성
- 최종 검색식

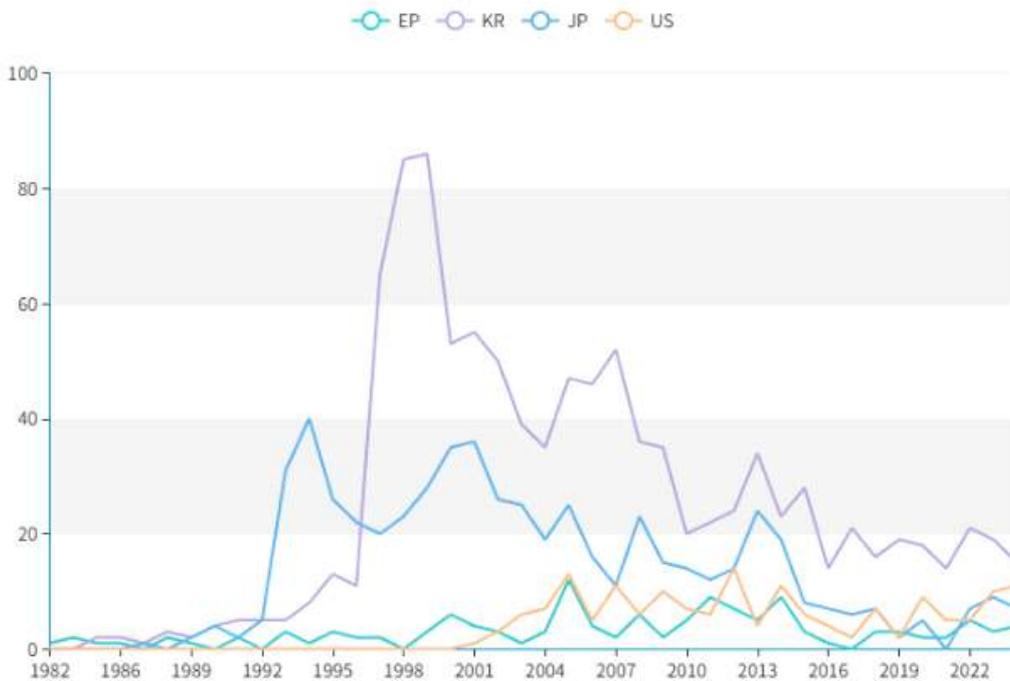
<표 12> 특허 검색식 및 검색 건수

기술	검색식	검색 건수
산업용 고청정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증	TI_AB_CL:(((반도체* semiconductor* 세미컨덕터* semi-conductor*) ((디스플레이* display*) N/2 (생산* production* produce* manufacture* 제조* 제작* making))) AND (공조* 공조기* 공조시스템* ((공조* 에어컨디셔닝* "공기 조화" 공기조화* air-conditioning* ((air* 에어*) A/1 (conditioning* 컨디셔닝*))) A/1 (장치* apparatus* device* equipment* system* 시스템*) 에어컨디셔닝시스템* 외조* 외조기* OAC* "out air conditioner")) OR TI_AB_CL:(((반도체* semiconductor* 세미컨덕터* semi-conductor*) ((디스플레이* display*) N/2 (생산* production* produce* manufacture* 제조* 제작* making))) AND (냉동기 ((냉동 freeze 프리즈) A/1 (기기 장치 device 디바이스 시스템) 냉동디바이스 냉동기기 칠러 chiller 냉각장치 냉동계 히트펌프 ((히트 heat) A/1 (펌프 pump)) 보일러 boiler 난방기 radiator))	2,673

□ 주요국 기술개발 활동 현황

- 산업용 고청정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증과 관련성 있는 특허는 1982년부터 등장하기 시작
- 산업용 고청정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증과 관련하여, 전체 국가의 특허출원 동향을 살펴보면, 전체적으로 1992~1995년대부터 눈에 띄게 특허출원이 증가

- 국가별로 살펴보면, 한국에서 이루어진 특허출원의 경우 1983년 특허출원이 시작된 이후 특허출원 수가 미비하였으나, 1996년 이후 급격하게 특허출원이 증가하였으며, 이후 점차적으로 감소 중
- (미국) 전체 기간에 걸쳐 특허출원이 이루어지지 않은 공백기가 다소 존재하지만, 2000년 이후 꾸준한 특허출원이 이루어지고 있음
- (일본) 1987년 특허출원이 시작된 이후 지속적 특허출원이 이루어지고 있고, 1992년까지 급격한 특허출원의 증가가 있었으나 이후 특허출원 수가 점차적으로 감소
- (유럽) 1982년 특허출원이 시작된 이후 최근까지 꾸준히 특허출원이 이루어지고 있음



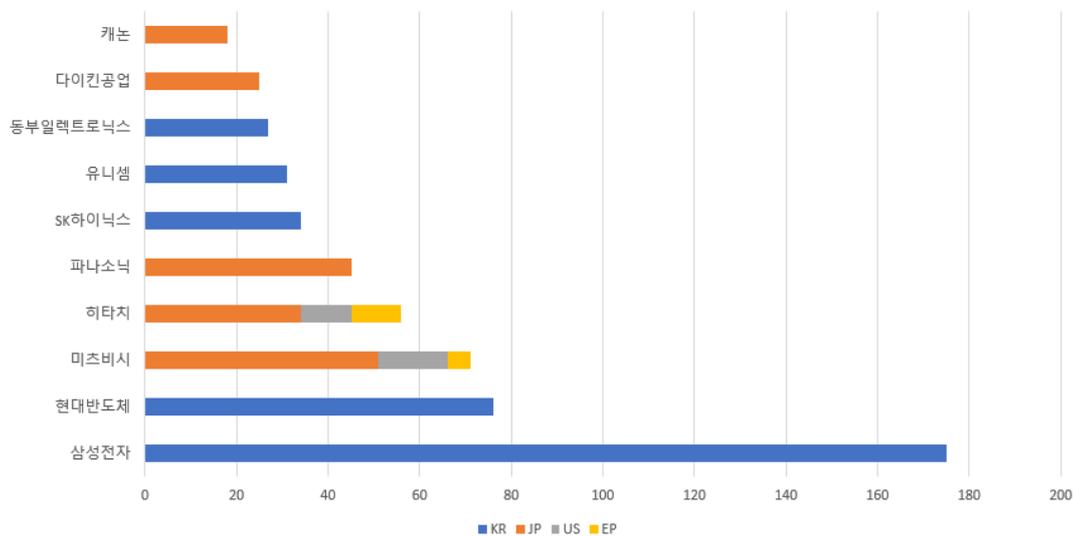
[그림 21] 국가별 연도별 출원 현황

- \* (유의) 연도별 특허출원 동향 그래프에서 2023년 이후 특허출원이 감소하고 있는 것은 특허출원은 특허출원 후 1년 6개월이 경과해야만 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 특허출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않아서 특허분석 데이터 상에 포함되지 않았을 수 있음을 유의해야 함
- 산업용 고청정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증에 관한 국가별 특허출원 현황을 보면, 전체 특허출원 건수인 2673건 중 한국의 특허출원 1103건, 41%로 가장 큰 비중을 차지

- 그 외, 일본이 631건, 24%, 미국의 특허출원이 629건, 24%, 유럽의 특허출원이 310건, 12%의 비중을 차지
- 1995년까지는 일본이 압도적으로 특허출원수가 많았으나, 이후에는 한국의 특허출원수가 타국 대비 가장 많은 비중을 차지

#### □ 주요 출원인의 국가별 출원현황 분석

- 산업용 고청정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증과 관련된 주요 출원인으로서 상위 10위의 출원인을 선정하였으며, 상위 10위까지 출원인의 특허출원은 558건이며 전체 2,673건의 특허출원에서 약 21%의 비중



[그림 22] 특허 출원인 분포

- 상위 10위의 출원인은 대부분 한국, 일본의 국적을 가지고 있는 기업이고, 이들이 산업용 고청정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증을 주도하고 있는 것으로 판단

## 4. 표준화 동향

#### □ 해외 동향

- 반도체/디스플레이 FAB을 포함한 산업용 클린룸 관련하여 현재 ISO/TC 209(Cleanrooms and associated controlled environments)에서 국제표준화를 추진

- \* 모든 산업 분야의 클린룸에 공통 활용 가능한 시험방법 및 기준을 국제표준화로 추진 중
- 산업용 클린룸에 대한 대표적 국제표준인 ISO 14644는 '04년 Part 1을 시작으로 '23년 Part 18까지 클린룸의 발전과 함께 지속적으로 제정
- \* 클린룸 관련 10개 이상의 시험 항목이 제시되며, 핵심적으로 기류속도 및 체적 시험, 차압, 필터 시스템 누출 시험 등이 포함
- Part 1에서 입자 농도에 의한 공기청정도의 ISO 등급을 제시하였으며 ISO 1 ~ ISO 9까지 9단계로 분류
- \* ISO 1은 0.1 um 이하의 입자 농도가 10 이하(1 m3 기준)로 가장 높은 등급이며, 고청정 클린룸은 ISO 3 이하 등급을 의미하며, 반도체/디스플레이 클린룸의 경우 전세계적으로 ISO 3 이하 등급을 유지
- Part 16에서는 산업용 클린룸 공정에서의 에너지 사용을 최적화하고 에너지 효율을 유지하기 위한 시스템 운용에 대한 상세 가이드라인을 제시하나, 에너지 효율 평가 및 기준에 관한 내용은 부재
- ISO, IEC 등 국제표준에 산업용 클린룸 및 공기조화의 에너지 효율 평가 방법 및 기준에 대한 국제표준은 제정된 바 없으며, 에너지 효율 관련해서는 데이터센터 표준화 기구(ISO/IEC JTC1 SC 39)에서 국제표준화가 활발히 진행 중
- 에너지 성능을 정량적으로 평가하기 위해 KPI(Key Performance Indicator)에 대한 표준(ISO/IEC 30134)을 제정하였으며, 세부적으로 PUE, ITEEsv, ITEUsv 등 8가지 평가 항목에 대한 표준을 포함
- \* 에너지 효율 관련 항목에는 PUE, REF, ITEEsv, ITEUsv, ERF 등이 있으며, PUE(에너지효율 지수)를 핵심 성능평가 항목으로 활용
- \* PUE는 전체 에너지 사용량 대비 특정 구성 요소의 에너지 사용량으로 클린룸의 공기조화 및 계통 에너지 사용 평가에도 활용 가능하다고 판단
- 미국 환경 과학 기술 협회(IEST)의 오염 제어 그룹에서는 HEPA 및 ULPA 필터, FFU 성능평가, 클린룸 설계 및 평가, 클린룸 제어 등 공기조화 계통의 다양한 표준을 제정
- IEST-RP-CC01에서는 국제표준 ISO 14644에 규정된 공기 청정도를 만족하는 필터의 성능 및 등급 제시

- 해외국가표준(JIS, DIN 등) 및 단체표준에서 클린룸 구성요소(팬, 필터 등)의 공기 청정도, 차압, 체적 등 클린룸의 환경·성능에 대한 표준화는 진행하고 있으나, 클린룸의 에너지 효율 관련 내용은 부재

<표 13> 산업용 클린룸 및 에너지 효율 관련 표준(해외)

구분	명칭	개요
ISO 14644 - Part 1 ~ 18	Cleanrooms and associated controlled environments	- 산업용 클린룸에 대한 일반적 시험 방법 및 기준을 part 별로 제시 - 대표적으로 part 1 (공기 청정도), part 3 (test method), part 7 (separative devices) 등의 표준이 활용
SEMI F21	Classification of Airborne Molecular Contaminant Levels in Clean Environment	- 반도체 제작을 위한 청정 환경에서의 공기 중 분자 오염 물질 수준을 제시
IEST-RP-CC00 1	HEPA and ULPA Filters	- 산업용 클린룸에 적용하기 위한 필터의 성능 및 구조에 대한 설명과 등급 제시
IEST-RP-CC00 6	Testing Cleanrooms	- 클린룸의 성능을 특성화하기 위한 평가 방법 제시
IEST-RP-CC01 2	Considerations in Cleanroom Design	- 클린룸 설계 시 고려해야 할 사항에 대한 권장사항 및 환경 조건 제시
JIS B 9917-8	Cleanroom and associated controlled environments-Part 8: Classification of airborne molecular contamination	- 클린룸 제어 환경에서 공기 중 분자 오염의 분류에 대한 지침을 제공함
JIS B 9917-5	Maintenance and cleaning in cleanroom operation	- 클린룸 환경의 유지보수와 청소에 관한 지침을 제공함
JIS B 9920	Cleanrooms and associated controlled environment-Part 1, 2	- 클린룸의 공기 청정도를 분류하고 측정하는 방법을 규정함

## □ 국내 동향

- 국내에서는 산업용 클린룸 관련 한국공기청정협회에서 표준화를 주로 진행하고 있으며, 국가표준(KS)은 KS I ISO 14644 등 ISO/IEC 국제 표준을 부합화하여 활용
- 클린룸 구성 요소(필터, 팬 등) 및 시험 항목에 따라 KS B, C 등에서 일부 표준화가 진행되었으나, 주로 KS I (환경)에서 공기 청정에 대한 표준화를 진행
- \* 국제표준과 동일하게 공기 청정도, 차압, 체적 등 클린룸의 환경에 대한 내용만을 제시하고 있으며, 에너지 효율 관련된 부분은 부재

- 반도체/디스플레이 FAB을 포함한 산업용 클린룸 관련 국내 표준은 한국공기청정협회의 단체표준으로만 제정되어 있으며(SPS-KACA001-0131, 0133, 0140 등), 클린룸의 운영 및 성능평가 방법, 클린룸 구성 요소에 대한 성능평가에 국한
- \* 국내 기업들은 에너지 효율 관련 해외 기업 자체 기준을 인용하고 있어 고효율 클린룸 최적화 및 기술 개발에 어려움을 겪고 있음. 이를 극복하기 위해 클린룸 에너지 효율 관련 성능평가 방법 및 기준에 대해 국내 상황에 맞는 국내 표준화가 필수적인 상황
- o 한국건설기준(KDS)에서 클린룸 설비(외조기, FFU 등)에 대한 기준을 제시하고 있으며, 대표적으로 KDS 31 65 25가 활용
- KDS 31 65 25는 클린룸의 분류, 공기조화 설계, 환경 모니터링, 시설 관리 등 클린룸을 구축하고 유지·관리하는데 필요한 다양한 기술적 사항 및 절차를 제시

<표 14> 산업용 클린룸 및 에너지 효율 관련 표준(국내)

구 분	명 칭	개 요
SPS-KACA001-0131	청정실 기술기준	- 클린룸에 대한 성능평가 운영관리, 건축물 설계 및 시공 등에 대한 규정 제시
SPS-KACA003-0133	클린룸 성능평가 시험방법	- 기류 속도, 차압 등 산업용 클린룸의 주요 성능 평가 항목 및 방법 제시
SPS-KACA010-0140	팬필터 유닛	- 청정공간에 활용되는 팬필터 유닛의 풍속, 기류 균일도, 소음, 진동 및 에너지 성능평가 방법 제시
SPS-KACA012-0142	ULPA 필터 여재 성능 시험	- 초고성능 ULPA 필터에 사용되는 여과재의 여과성능 및 물리적 특성 평가 방법 제시
KS B 6141	환기용 공기 필터 유닛	- 여과재를 사용하는 공기 필터의 성능 시험 방법 제시
KS B 6311	송풍기의 시험 및 검사 방법	- 송풍기의 유량, 압력, 추동력, 회전수, 효율 등 성능시험 방법 제시
KS B 6740	클린룸용 에어필터 성능시험 방법	- 클린룸 및 클린룸 기기에 사용하는 입자 포집용 에어필터의 성능시험 방법 제시
KS I ISO 14644 - Part 1 ~ 18	클린룸 및 제어된 환경	- 산업용 클린룸에 대한 일반적 시험 방법 및 기준을 part 별로 제시

## 5. 정부R&D 지원현황

○ 정부의 R&D 지원은 단위 요소기술, 시스템 등에 대해 주로 시행

<표 15> 산업용 클린룸 및 에너지 효율 관련 주요 정부 R&D

분류	과제명	총 연구비 (백만원)	연도	내용
HVAC	에너지 절약형 전기 클린룸 개발 (중기부)	367	2020-2024	전기클린룸 열원시스템 및 공조장치에 대한 연구과제. 전기클린룸의 빅데이터 기반 머신러닝 제어 시스템과 3D 공조 프로세스를 설계하고, 고효율 냉각탑 및 가열 장치, 수분무노즐 가습 시스템을 개발함.
필터 /FFU	반도체 클린룸 환기 시스템에서 효율적인 입자상 물질 및 에어로졸 제거를 위한 혁신적인 전기 활성 필터 매체 개발 (과기부)	137	2023-2024	전기활성 공기필터 개발에 대한 연구과제. 전기 흐름에 따라 공극 크기와 표면 전하를 조절해 부유 입자의 여과 효율을 향상하고, 오염물 제거 및 항균 성능을 갖춘 필터를 설계 및 검증함.
HVAC	산업용 클린룸 에너지 최적화를 위한 공장 에너지 관리 플랫폼(SW) 개발 (산업부)	355	2019-2022	클린룸 에너지 최적화 및 지능형 제어 기술 개발에 대한 연구과제. 상황인지 기반 공조 시스템과 사이버 물리 시스템 기술을 통해 에너지 효율성을 높이고, 공정 최적화와 온실가스 저감을 실현함.
HVAC	반도체 클린룸의 에너지 효율성 최적화를 위한 가스배관 보온용 반경화 실리콘 시트 개발 (중기부)	187	2018-2019	반도체 가스배관 보온용 반경화 실리콘 시트 개발에 대한 연구과제. 유리섬유와 반경화 실리콘의 2레이어 구조를 통해 보온 성능, 유연성, 열전도성을 극대화하여 기존 제품 대비 단가 절감과 효율성을 향상함.
HVAC	반도체/LCD 클린룸 에너지절약기술 개발 (산업부)	50	2005-2006	반도체/LCD 클린룸 에너지 절감 기술 개발에 대한 연구과제. 공조에너지소비량을 20% 이상 절감하고, 고효율 FCU, 초박형 FFU 시스템, 열회수식 에어와셔를 통해 에너지 및 온실가스 저감 목표를 달성함.
HVAC	차세대 슈퍼클린룸 공기질 관리용 공조소재 개발 (산업부)	50	2020-2024	ePTFE 멤브레인 HEPA 필터 및 다공성 흡착소재 기반 케미컬 필터 개발에 대한 연구과제. 클린룸 환경제어와 다양한 산업의 공기 및 액체 필터 소재로 적용 가능한 핵심 부품을 국산화하여 에너지 절감, 수입대체, 산업경쟁력 강화를 목표로 함.
HVAC	첨단 전자산업 클린룸을 위한 듀얼프리쿨링 방식의 냉원 시스템 개발 (과기부)	140	2017-2018	듀얼 프리쿨링 방식 냉원시스템 개발에 대한 연구과제. 클린룸 냉각 효율을 20% 이상 향상시키고 에너지 절감 및 온실가스 배출 저감을 목표로, 기존 냉각탑 활용과 고효율 설계를 통해 반도체 및 디스플레이 산업의 지속 가능성을 지원함.

기타	무선통신을 이용한 클린룸 통합 제어 시스템 개발 (중기부)	200	2017-2018	반도체 클린룸 통합제어 시스템 개발에 대한 연구과제. 무선통신 기반 FFU 제어 시스템과 센서 네트워크를 융합해 설치 제약을 해소하고, 배선 비용 절감과 효율적 환경제어를 통해 생산 수율 향상에 기여하는 시스템을 개발함.
필터 /FFU	다중 BLDC 모터운용 기반의 대형 클린룸 설비를 위한 에너지 절약형 고조파필터 및 검증 시스템 개발 (중기부)	317	2014-2016	클린룸 공조시설 고조파 필터 개발에 대한 연구과제. 30A, 50A 고조파 필터를 설계·제작하여 BLDC FFU 부하를 기반으로 성능을 검증하고, 고조파 전류 감소를 통해 에너지 절감과 시스템 효율 향상을 실현함.
필터 /FFU	에너지 절감 10% BLDC 팬모터 일체화 임펠러 제조기술을 활용한 공조 제품의 사업화 (중기부)	625	2022-2025	고효율 팬모터 생산 및 사업화에 대한 연구과제. EP 일체형 임펠러와 정밀 인서트 성형 기술을 활용한 고효율 팬모터 개발로 불량률 3% 이하 공정 데이터를 확립하고, 해외 인증 컨설팅을 통해 수출을 추진하며, 반도체 및 공조산업의 경쟁력 강화를 목표로 함.
필터 /FFU	AMCs 제거 기능의 클린룸용 케미컬 필터 개발	867	2020-2024	가스상 분자형 오염물(AMCs) 제거를 위한 케미컬 필터 개발에 대한 연구과제. 다공성 소재와 이온교환 필터 기술을 활용하여 AMCs 제거 효율을 80% 이상 달성하며, 반도체 클린룸 및 산업 환경에서의 공기 청정과 에너지 효율성을 증대시키는 필터 시스템을 설계·제작함.
필터 /FFU	e-PTFE membrane 기반 고효율·저차압 팬필터유닛(FFU, Fan Filter Unit)용 HEPA 필터 여재 개발 (중기부)	234	2023-2025	불소계 멤브레인을 활용한 HEPA/ULPA 필터 국산화 연구과제. PTFE 멤브레인 제조 및 접합 기술과 필터 최적화 설계를 통해 기존 수입 의존도를 탈피하고, 반도체·디스플레이 클린룸 등 첨단 산업의 수요에 대응하며 국내 자립화 기반을 마련함.
HVAC	공업용 클린룸을 위한 실내 수분무가습 시스템 개발 (산자부)	374	2013-2015	에너지 절약형 클린룸 개발에 대한 연구과제. 실내 수분무가습 시스템과 공조기술 고도화를 통해 에너지 소비를 절감하고 폐열을 활용하여 기존 대비 약 20만 TOE의 연간 에너지 절약과 온실가스 저감을 실현하며, 국내 클린룸 시스템의 경쟁력을 강화함.
HVAC	첨단전자산업을 위한 절전형 열원기술 개발	325	2012-2014	고온 냉수 열원시스템 기술 개발에 대한 연구과제. 첨단전자산업의 클린룸 제조공장을 위해 수분무식 가습 방식과 저온 폐열 회수 기술을 활용해 외기 부하를 줄이고 에너지 소비를 기존 대비 20% 이상 절감하며, 경제성과 효율성을 검증하는 시스템을 설계 및 실험함.
HVAC	열회수식 에어와셔 시스템 개발 (산자부)	270	2005-2008	10,000CMH급 열회수식 에어와셔 시스템 개발에 대한 연구과제. 액기비 0.5 이하, 전열회수효율 최대 65%, 암모니아 제거율 75% 이상을 목표로 설계와 제어기술을 확립하며, 클린룸 외기공조기와 연동하여 에너지 절감과 성능 향상을 실현함.

## □ 기술개발 현황

- 반도체/디스플레이 클린룸과 관련한 기술개발은 주로 필터 및 단위 요소 기술 위주로 진행되었으며 실제 공정에 적용한 기술 실증은 부족
  - 필터, 팬모터, FFU 및 외조기 내 단위 요소품목에 대한 효율 향상과 시스템 설계 등이 진행
- 반도체 수요가 매우 증가하는 시점에서 클린룸의 규모(용량)는 매우 커지며 이를 뒷받침하는 에너지 절감 기술혁신은 부족
- 탄소중립을 목표로 기업들의 ESG 경영에 따라 기업들 스스로 자구책 마련 중
- 기술개발은 클린룸에 공급하는 공조설비인 외조기와 외조기의 부하 조건을 맞추기 위한 열원설비, 클린룸 내의 순환공기를 유지하는 FFU(팬 필터 유닛) 등으로 구성
  - 외조기 개발은 외조기 전문 기업체 위주로 일정 기준의 표준화 제품을 제작하여 납품
  - 열원설비는 제조회사에서 담당하여 설계와 관리가 이루어짐
  - 필터/FFU는 공기청정협회 및 관련 기관(업체, 학교, 연구소)에서 지속적 연구를 진행 중
- 클린룸의 특성상 내부 온습도를 일정하게 유지하는 것이 매우 중요하며 이를 위해 열원에서 공급되는 냉/온수 뿐만 아니라 급기조건을 맞추기 위한 정밀한 제어가 중요
- 반도체 등의 산업에서 기술을 적용하기 위해서는 현장에서 실증이 필요 하나, 실제 공정에 개발 기술을 적용한 사례는 없음
  - 기술 검증을 위해 현존하는 기술과의 대조를 통한 데이터 분석이 필요 하며 이에 대한 확실한 데이터 확보와 분석을 통하여 신규 투자 필요

## 6. 시사점

### □ 탄소중립 실현을 위한 혁신적인 에너지 절감 기술 확보 필요

- 외조기 및 그 구성 요소, 필터/FFU, 열원설비 등에서 에너지 다소비 요소를 분석하고 개선하기 위한 기술 차별화 및 혁신 전략이 필요
- 반도체/디스플레이 등 설비가 적용되는 공장의 클린룸 용량을 고려하여 설계하는 것이 바람직
- 에너지 관리 계통 에너지 부하 및 폐열원 분석 등으로 시스템이 실제로 어떻게 작동하고 있는지에 대한 명확한 분석이 필요
- 화석연료 사용의 주요 설비인 보일러 대체를 적극적으로 고려 필요가 있음

### □ 단위 기술의 통합된 형태의 현장 검증 기술 필요

- 기술의 상용화를 위해 현장에서의 검증이 필요
- 각 요소기술별로 기술을 확보하고 이를 적용한 단위 제품이 현장에서 제대로 작동하는지 확인하는 절차가 필요
- 반도체 산업의 경우 일부의 오차가 전체 제품에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 사전 검증이 필요하며 실제 공정 또는 동일조건에서 확인할 수 있는 방법이 마련되어야 함
- 기존 제품과 비교하여 기술의 수준을 파악하고 충분한 실증 운전시간을 확보하여 수요기업에서 채택 가능하도록 실증 전략을 계획해야 함

## II.

# 기획대상연구개발과제 도출

## 1. 반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발

### □ 연구개발과제기획 기본방향

- 반도체 생산 수준을 고려한 유틸리티 가변 공급 기술개발을 위한 기획
  - 공정 주요 유틸리티 질소(N<sub>2</sub>)는 생산을 위해 다량의 탄소를 발생시켜, 저감을 위한 연구가 필요하며 TSMC의 경우 '21년 저감 기술개발 성공
  - ICT 기반 에너지관리 시스템을 적용하여 상시 정량 N<sub>2</sub> 공급을 운전 환경에 따른 가변 N<sub>2</sub> 공급으로 전환함으로써 유틸리티 에너지를 절감 및 탄소 발생량 저감을 위한 기술개발 검토
- 공정장비 주요 부품의 손실저감 및 전력소비량 개선을 위한 기획
  - 진공 시스템 주요 부품은 임펠러와 구동시스템(모터-제어기)로 구성되며, 요소별 발생하는 손실저감 등을 통해 20% 이상의 소비에너지 절감 목표
  - 구동부 내구성과 신뢰성 개선을 위해 임펠러-모터 일체형 구조를 개발하고, 손실 저감과 더불어 개발품의 내구성 개선을 위한 기술개발을 목표
- 세계 최고 수준의 실증 연구 및 상용화 개발을 통한 제품 개발
  - 생산량을 고려한 유틸리티(N<sub>2</sub> 등) 가변 공급 및 구동시스템의 운영 기술 관련 안정성과 신뢰성 확보를 위한 실증방안 마련
  - 반도체 생산기업의 수요를 반영한 실증형 테스트베드 구축 및 제품화 개발을 통한 글로벌 경쟁력을 갖춘 제품 개발을 목표

### □ 신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구 분	원천기술	혁신제품형	계
품목지정	-	135	135

□ 기획대상연구개발과제 현황

연구개발과제(품목)명	연계 수요 (도출근거)
반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정부정책               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제10차 전력수급기본계획('23.1) : 전력소비량 및 최대전력 절감 목표 달성을 위해 산업 개별공정과 소재/기기의 지속적 고효율화와 병행한 효율혁신 기술개발 추진 필요</li> <li>* '36년 기준 전력소비량 105.7TWh(기준수요의 15%), 최대전력 17.7GW(기준수요의 13%) 절감</li> <li>- 제5차 과학기술기본계획('22.12) : 에너지자립 핵심기술·주력산업 저탄소화 기술개발, 국가 목표 및 이행방안에 기반한 임무중심 연구개발 추진</li> <li>* 2030 국가 이산화탄소 감축목표에 기여하고 2050 탄소중립을 달성하기 위해, 에너지자립 핵심기술·주력산업 저탄소 기술을 확보하며, 과학적 대응체계 구축</li> <li>- 시장원리 기반 에너지 수요효율화 종합대책('22.6) : '27년 에너지효율 선진강국 도약</li> <li>* 향후 5년간 에너지소비 2.2천만 TOE 절감(산업 15.8백만 TOE 71.8%, 건물 3.7백만 TOE 16.9%, 수송 2.5백만 TOE 11.4%), 에너지원단위 25% 개선)</li> </ul> </li> </ul>

□ 사업화 연계성과 발생 가능성

연구개발과제(품목)명	지식재산권				표준 <sup>2)</sup>	인증 <sup>3)</sup>
	등록특허		소프트웨어	기타 <sup>1)</sup>		
	해외	국내				
반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술 개발	△	○	○	×	×	△

- 1) 실용신안, 디자인, 상표 등 기타 지식재산권
- 2) 국제표준, 국가표준, 단체표준의 제·개정(표준화연계형 과제는 보통 이상으로 제시 必)
- 3) 법적임의 인증(KS인증, 고효율에너지기자재인증, 신제품인증(NEP), 신기술인증(NET), 녹색인증, 제로에너지건축물인증, 소프트웨어품질(GS)인증 등)

기술분류 <sup>1)</sup>		에너지절감 분야 <sup>2)</sup>			
산업기술분류 (1순위)	국가과학기술 표준분류(1순위)	구분	업종	에너지절감 설비군	에너지원
	연구분야				
에너지다소비 동력/전기기기 기술 (600905)	유체기계 (EA0703)	산업	반도체 제조업	동력설비	전력

- 1) 연구개발계획서 작성시 해당 기술분류에 50% 이상 가중치 부여
- 2) 활용분야는 개발된 기술의 적용가능성이 가장 높고 에너지 감축효과가 가장 클 것으로 예상되는 업종의 감축 에너지원, 에너지사용 설비군을 기재

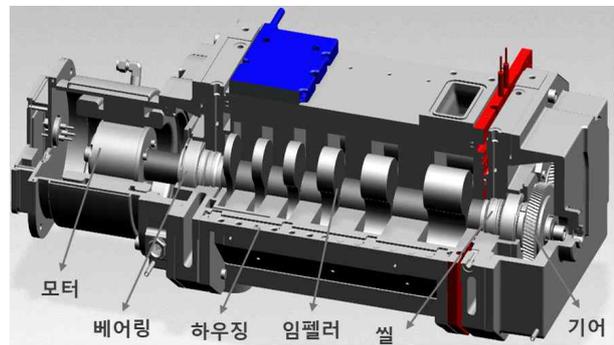
## 2. 개발위험 관리방안

### □ 기술개발 위험요인

- 반도체 진공시스템 내구성 및 생산성 개선을 위한 방안 마련 필요
  - 실제 반도체 공정 중 투입되는 부식성 가스로 인한 진공 시스템 내부 부식 방지 방안 필요
  - \* 반도체 공정 중 사용되는 일부 가스는 부식성이 높은 불산 계열이 투입
  - 모터와 임펠러의 직결 형태에 따른 구조 안정성 및 밀폐 방안 필요
  - \* 모터와 임펠러가 각각 독립적 구조로 구성됨이 아닌, 하나의 샤프트 축을 기반으로 임펠러와 진공펌프 용 모터가 직결되어 있음



(a) 범용 산업용 모터



(b) 건식 진공펌프 모터 및 적용 형상

[그림 23] 진공펌프 적용 모터 및 기구물 형상

- 시스템 및 운용 기술 실증을 위해 수요기업인 장비사와 협업 방안 마련 필요
  - \* 기술 확보 후 장기간 실증 평가를 통한 결과 데이터 확보 및 공정 영향성 분석, 평가를 위해 실질적 반도체 공정을 진행하는 수요기업 장비사와의 협업 방안 마련 필요
- N<sub>2</sub> 가변 공급 실증을 위한 가스 정밀 제어 및 공급 장치 구축과 진공 시스템의 진공도 측정을 위한 챔버 및 계측 주변장치 도입 필요

### □ 사업화 애로사항

- 국내는 N<sub>2</sub> 가변 및 다양한 아이টে를 적용한 에너지 절감에 대해 상용화 실적이 없어 내구 및 성능 기술 확보 어려움

- 반도체 제조의 Soft/Medium/Harsh 공정의 다변화에 따른 차별화된 진공펌프의 진단 기술 개발의 필요성이 대두
- 건식 진공펌프의 성능 및 신뢰성을 글로벌 표준에 맞게 검증하는 시간과 비용 소요 예상
- 반도체 적용을 위한 SEMI-S2, SEMI-S8, SEMI-F47, CE-MD, CE-EMC 조건 충족 및 수요처 조건에 따른 NRTL 인증 만족 검토 필요

#### □ 사회환경 위험요인

- 건식 진공펌프 적용 주요 핵심부품의 해외 의존도가 높아 기술 도입 과정에서 탄소 발자국 증가에 대한 가능성 발생
  - \* 향후 국내 공급망 강화를 통해 핵심부품의 국산화와 제조 역량 강화 및 해외 의존도를 감소시키며, 지역 공급망을 구축하여 국내 협력사와의 연계를 통한 생산 및 조달 체계 구성 필요
- 실증 시스템 설치·운영·유지·관리 중 발생할 수 있는 다양한 위험요소를 사전에 고려한 안전 관리 대책 마련 필요

#### □ 기술영향 검토

- 건식 진공펌프 질소 가변 시스템 및 저전력 구현을 위한 기술 개발을 통해 탄소중립 실현 가능성을 높이고, 관련 기술 분야에서 고급 인력 양성과 일자리 창출이 가능
- 건식 진공펌프는 반도체, 디스플레이, 태양광 패널, 2차 전지 등 첨단 제조업의 필수 기술로, 국내 자립도를 높이며 글로벌 경쟁력을 강화할 것으로 기대
- 2030 NDC 및 RE100 실현을 위한 건식 진공펌프 에너지 절감 및 반도체 산업군 전체의 소비전력 감축 가능

### 3. 기획연구개발과제 품목개요서

#### '25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 품목개요서 (품목지정)

관리번호	2025-수요관리-효율혁신-품목-1		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input checked="" type="checkbox"/> 실증형		에너지 효율 향상	-
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 통합 기술개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 7단계)				

#### 1. 개념 및 개발내용

##### 개념

- 반도체 공정용 진공시스템의 핵심부품인 임펠러, 전기구동시스템(모터, 인버터), 질소(N2) 가변 공급 운영 기술개발 및 실증을 통한 소비에너지 20% 이상 절감 기술 확보

\* 핵심목표 : 반도체 공정용 진공시스템 20% 이상 소비에너지 절감  
 - 진공시스템 용량 20,000L/min 이상, 100,000L/min 이상 각 1종  
 - 단위 시간 당 N2 사용량 2,400L/h 이하, 단위 배기속도 당 전력량 152Wh/m<sup>3</sup> 이하 달성



< 반도체 공정 질소 가변 공급 진공시스템 기술 개념도(안) >

## □ 개발내용

- N2 가변 공급 및 진공시스템 고효율 운영 기술개발
  - N2 사용 구간 식별을 통한 N2 사용 최소화/미사용 밸브가변 운용기술
  - 공정 조건에 따라 최적화된 진공펌프 속도 가변 기술
  - 상위 시스템과 시퀀스 확보를 위한 통신 및 프로토콜 매칭 기술
- 구동모터 직결형 고효율 진공시스템 기술개발
  - 진공도  $5 \times 10^{-3}$  torr 이하 진공 시스템 개발(2종 이상)
  - 진공환경 구동을 위한 밀폐구조의 진공펌프 소형화 구조 기술
  - 다단 임펠러 구조 등 회전체 경량화를 통한 고효율 임펠러 기술
  - 임펠러 직결형 구동모터/인버터 고효율화 기술
  - 진공환경 구동용 내화학성 모터 제조 기술
  - 기계식 유체 실링 대체 저마찰 자성유체 seal 기술
- 테스트베드 구축을 통한 진공시스템 기술 검증 및 에너지 절감 실증
  - 진공시스템의 진공도 및 기존 시스템 대비 손실 절감량 검증
  - 수요기관 실증을 통한 정량 N2 공급 진공시스템 대비 에너지 절감량 실증
- 탄소배출 감축, 간접적 경제효과 등 환경·경제적 성과 발굴 방법론 제시 및 검증

연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수  
- 진공시스템 용량(리터), 진공도(torr), 에너지절감율(%), 진공시스템 내환경 시험(2건 이상), 전기구동시스템 용량(kW), 전기구동시스템 효율(%), 실증 규모(리터), 실증 시간(h)  
\* 등 과제에서의 실증 규모는 100,000L/min 이상, 1,000hr 이상

## □ 개발위험 극복방안

- 반도체 진공시스템의 기존 시스템 대비 에너지 절감량 실증 방안 마련
  - 시스템 및 운용기술 실증을 위해 수요기업인 장비사와 협업 방안 마련 필요
  - 기존 및 개발 공정의 에너지소비 절감량 비교를 위한 산출 및 검증 방안 수립 필요
- N2 가변 공급 실증을 위한 가스 정밀 제어 및 공급 장치 구축과 진공시스템의 진공도 측정을 위한 챔버 및 계측 주변장치 도입 필요

## 2. 지원 필요성

### □ 지원 필요성

- (정책적) 국가 대표 산업인 반도체 산업은 국내 온실가스 배출량의 5%를 차지하며 탄소중립 실현을 위한 장비업체 정책적 지원 필요
  - 국내 반도체는 가장 대표적인 전력 소비 산업으로 전력통계정보시스템에 따르면 지난 2020년 기준 산업용 전력 사용량의 21.4%(5만3310.591MWh)를 차지
- (기술적) 반도체 제조공정 중 하부층인 FSF(Facility Sub FAB)는 펌프, 칠러, 스크리버로 구성되며 이중 진공펌프는 약 44%의 에너지를 사용하며, 반도체 FAB 전체 에너지 소비량의 약 20% 수준으로 진공펌프의 에너지 절감 기술 확보 필요

- 탄소중립을 위해 글로벌 업체들이 적용 중인 반도체 진공시스템의 가변 N2 공급 운영 및 고효율화 기술을 확보하여 에너지 절감 기술 구현 필요
- (시장적) 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 자율주행차, 5G 등 산업이 첨단화되면서 반도체 수요는 지속적인 증가 추세
  - 글로벌 건식 진공 펌프 시장 규모는 24년 31억 1,265만 달러에서 30년 52억 6,390만 달러로 연 평균 성장률 9.15% 전망

□ 활용분야

- AI 반도체 및 디스플레이 제조공정, 이차전지, 태양광전지, 바이오 우주, 핵융합 등 첨단 제조 산업 전반에 적용 가능

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 45개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 18억원 내외(총 정부출연금 135억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업(중소·중견기업이 연구개발기관으로 참여 필수)
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 수요기업이 연구개발기관으로 참여 필수

## 2. 웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증

### 1. 연구개발과제기획 방향

연구개발과제기획 기본방향

- 반도체 제조 공정의 핵심인 웨이퍼 가열공정의 효율 향상을 위해 고효율 /고성능 유도가열 공정시스템 개발과 실증을 통한 기술 상용화 기반 조성
- 유도가열 공정시스템 개발을 통한 전기에너지 소비 25% 이상절감과 정밀 온도 제어 및 실시간 모니터링에 의한 제조 공정의 신뢰성 개선

신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구 분	원천기술	혁신제품형	계
품목지정	-	130	130

□ 기획대상연구개발과제 현황

연구개발과제(품목)명	연계 수요 (도출근거)
웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증	<p>□ 정부정책</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시장원리 기반 에너지 수요효율화 종합대책('22.6)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- '27년 에너지효율 선진강국 도약</li> <li>* 향후 5년간 에너지소비 2.2천만 TOE 절감(산업 15.8백만 TOE 71.8%, 건물 3.7백만 TOE 16.9%, 수송 2.5백만 TOE 11.4%), 에너지원단위 25% 개선</li> </ul> </li> <li>○ 새정부 에너지정책 방향('22.7)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시장원리에 기반한 에너지 수요 효율화 및 시장구조 확립을 위해 산업, 가정·건물, 수송 등 3대 부문 수요효율화 혁신 추진</li> <li>- 에너지 신산업의 성장동력화 및 수출산업화</li> </ul> </li> <li>○ 제5차 과학기술기본계획('22.12)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지자립 핵심기술·주력산업 저탄소화 기술개발, 국가 목표 및 이행방안에 기반한 임무중심 연구개발 추진</li> <li>- (탄소중립) 2030 국가 이산화탄소 감축목표에 기여하고 2050 탄소중립을 달성하기 위해, 에너지 자립 핵심기술·주력산업 저탄소 기술을 확보하며, 과학적 대응체계 구축</li> </ul> </li> <li>○ 제11차 전력수급기본계획('24.12)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전력소비량 및 최대전력 절감 목표 달성을 위해 산업 개별공정과 소재/기기의 지속적 초고효율화와 병행한 효율혁신 기술개발 추진 필요</li> <li>* '36년 기준 전력소비량 105.7TWh(기준수요의 15%), 최대전력 17.7GW(기준수요의 13%) 절감</li> </ul> </li> <li>○ 제4차 에너지 기술개발계획('19.12)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- (산업효율) 에너지 고효율 저소비 구조 혁신을 위해 산업부문 공통기기·제품 효율 제고하고 시장경쟁력 제고</li> </ul> </li> </ul>

□ 사업화 연계성과 발생 가능성

연구개발과제(품목)명	지식재산권				표준 <sup>2)</sup>	인증 <sup>3)</sup>
	등록특허		소프트웨어	기타 <sup>1)</sup>		
	해외	국내				
웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증	△	○	○	x	x	x

- 1) 실용신안, 디자인, 상표 등 기타 지식재산권
- 2) 국제표준, 국가표준, 단체표준의 제·개정(표준화연계형 과제는 보통 이상으로 제시 必)
- 3) 법적임의 인증(KS인증, 고효율에너지기자재인증, 신제품인증(NEP), 신기술인증(NET), 녹색인증, 제로에너지건축물인증, 소프트웨어품질(GS)인증 등)

기술분류 <sup>1)</sup>		에너지절감 분야 <sup>2)</sup>			
산업기술분류 (1순위)	국가과학기술 표준분류(1순위)	구분	업종	에너지절감 설비군	에너지원
	연구분야				
열생산설비 (600902)	에너지/환경 제어설비 (EA0707)	산업	반도체 제조업	열사용 및 열이송	전력

- 1) 연구개발계획서 작성시 해당 기술분류에 50% 이상 가중치 부여
- 2) 활용분야는 개발된 기술의 적용가능성이 가장 높고 에너지 감축효과가 가장 클 것으로 예상되는 업종의 감축 에너지원, 에너지사용 설비군을 기재

## 2. 개발위험 관리방안

### □ 기술개발 위험요인

- 기술적 도전과제 및 특허 문제
  - 유도가열 기반 웨이퍼 가열 공정 기술은 국내에서 처음 시도되는 기술로, 초기 기술 개발 단계에서 실증 데이터와 모델링의 부족으로 인해 성능 예측과 공정 적용성 평가에 어려움 예상
  - 유도가열 시스템의 고온 안정성과 온도 제어 정밀도를 확보하기 위한 기술적 난제가 예상되며 글로벌 선진 특허 회피를 위한 분석 및 대체 설계 필요 예상
- 에너지소비 절감량 비교를 위한 산출방안 도출 어려움
  - 웨이퍼 가열 공정 장비의 대기전력 관리 기준 및 에너지 효율 평가 기준 등이 국내외적으로 미비하므로 기존 및 개발 공정의 에너지소비 절감량 비교를 위한 산출방안 제시 필요
- 안전사고 예방을 위한 공정 모니터링 및 고온 안정성 기술 제시

### □ 사업화 애로사항

- 시장 진입을 위한 검증
  - 반도체 제조 장비의 시장 진입은 엄격한 품질 검증과 신뢰성 시험을 통과해야 하므로 개발 초기 단계에서 투자 및 시간 소요를 가중할 수 있음

○ 고비용 구조와 실증 부담

- 웨이퍼 가열 공정 장비의 실증에는 높은 비용과 자원이 필요하며, 실증 데이터를 축적하기 위한 장기간의 테스트와 모델링 작업이 필수적

□ 기술영향 검토

- 유도가열 기반 웨이퍼 가열 공정 시스템은 에너지 효율성을 획기적으로 개선하여 반도체 제조 비용 절감과 경쟁력 강화 가능
- 기술 상용화 및 제조 공정의 친환경화를 통해 온실가스 감축 목표 달성과 글로벌 시장 진출 가능성 제고

### 3. 기획연구개발과제 품목개요서

#### '25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 품목개요서 (품목지정)

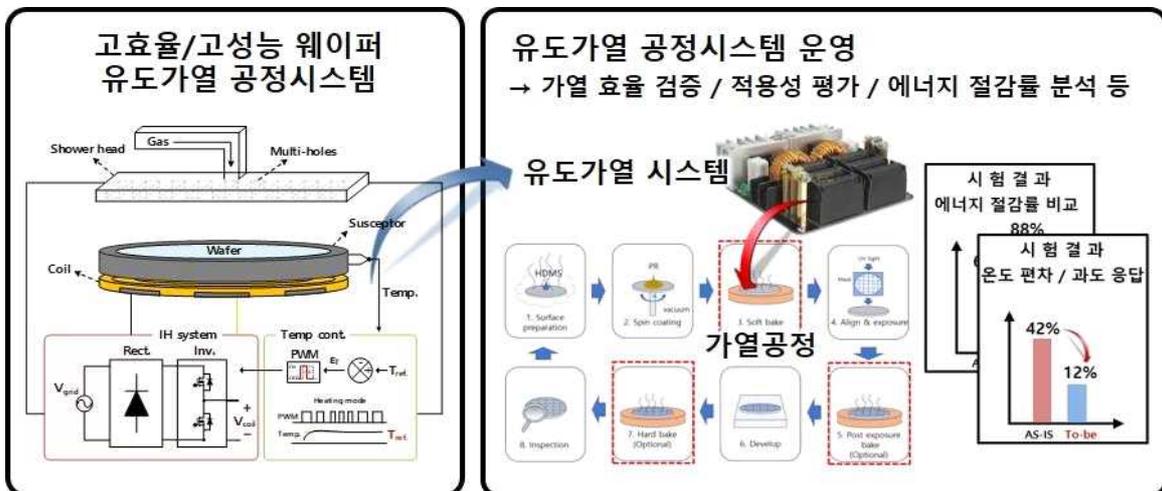
관리번호	2025-수요관리-효율혁신-품목-2		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input checked="" type="checkbox"/> 실증형		에너지효율향상	-
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	웨이퍼 가열공정 고효율 전기화 기술개발 및 실증 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 7단계)				

#### 1. 개념 및 개발내용

##### 개념

- 기존 웨이퍼 가열공정에 사용중인 저항 열선 방식의 발열체 매립형 히터의 단점을 극복하고 에너지 손실을 줄이기 위하여 높은 가열 효율과 다영역 균일 온도 제어가 포함된 고효율/고성능 웨이퍼 유도가열 공정시스템을 개발하고 실증 추진

- \* 핵심목표: 유도가열 기반 히터 온도상승비 10°C/sec.이상 @과도응답 2% 이내
- 가열공정 시스템 실증운동을 통한 전기에너지 25% 이상 절감
- 히터 소비전력 5kWh 이하, 히터 표면 온도의 편차 1% 이내, 히터 표면 온도 700°C 이상



< 웨이퍼 유도가열 공정시스템 개념도(안) >

## □ 개발내용

- 유도가열 기반 웨이퍼 공정시스템을 위한 최적 워킹 코일 기술 개발
  - 12인치 웨이퍼 가열을 위한 유도가열 워킹 코일 최적화 기술 개발
  - 초고온(히터 표면 온도 700°C 이상) 가열 적용을 위한 고온 워킹코일 설계/제작 및 동(Copper) 외부 노출 방지를 위한 세라믹 하우징 기술개발
  - 히터 표면 온도의 편차 만족(1% 이내)을 위한 멀티 코일 형상 설계/제작
- 유도가열용 전력변환장치 설계 및 제어알고리즘 기술 개발
  - 유도가열용 공진 네트워크 회로 설계 및 최적 스위칭 주파수 선정을 통한 고효율/고밀도 전력변환장치 개발
  - 히터 표면 온도상승비 10°C/sec.이상 및 목표 온도 과도응답(2% 이내) 저감 기술 개발
  - 높은 온도 균일도를 위한 멀티존(Multi-zone) 온도 제어 알고리즘 개발
  - 웨이퍼 공정 조건에 따른 가열/냉각 온도 프로파일 알고리즘 개발
    - \* 웨이퍼 공정 전후 온도 및 환경 고려 최적 가열 제어 시퀀스 설계 및 개발
- 웨이퍼 공정용 챔버 설계 및 서셉터(Susceptor) 냉각 기술
  - 공정 조건에 따른 챔버내 초당 온도 상승 및 하강 비율 최적화
  - 장시간 사용 가능한 유도가열용 서셉터 최적 설계 및 냉각 기술 개발
- 가열공정 시스템 실증운동을 통한 전기에너지 25% 이상 절감 검증 수행
  - 통합관리 공정시스템이 구축된 전력 5kW급 이상 웨이퍼 유도가열 시스템 실증
  - 웨이퍼 유도 가열 시스템 방식으로 1,000hr 이상 실증
  - 히터 소비전력 검증(5kWh 이하) 및 기존 시스템 대비 에너지 절감률 분석
  - 통합관리 공정시스템 검증 및 현장 실증을 통한 적용성 평가
  - 웨이퍼 유도가열 시스템 성능검증을 위한 표준안\* 개발
    - \* 정밀공정 유도가열시스템 전기적 시험방법
- 탄소배출 감축, 간접적 경제효과 등 환경·경제적 성과 발굴 방법론 제시 및 검증

연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수

- 가열공정 시스템 실증운동을 통한 전기에너지 절감률(%), 히터 유도가열 효율(%), 히터 표면 온도의 편차(%), 히터 표면 온도(°C), 히터 소비전력(kWh), 온도상승비(°C/sec.), 온도 과도응답(%) 등

※ 실증 기간 1,000hr 이상 필수

## □ 개발위험 극복방안

- 기존 및 개발 공정의 에너지소비 절감량 비교를 위한 산출방안 제시 필요
- 연구개발계획서에 사업 성과 관리 및 성과확산 방안 제시 필수
- 안전사고 예방을 위한 공정 모니터링 및 고온 안정성 기술 제시

## 2. 지원 필요성

### □ 지원 필요성

- **(정책적)** 제11차 전력수급기본계획('24.12)에 대응하기 위해 산업 개별공정과 소재/기기의 지속적 초고효율화와 병행한 효율혁신 기술개발 추진 필요
  - \* '36년 기준 최대전력은 17.7GW(기준수요의 13%), 전력소비량은 105.7TWh(기준수요의 15%) 절감 추진
- **(기술적)** 기존 저항 열선 방식의 발열체 매립형 히터의 단점을 극복하고 에너지 손실을 줄이기 위하여 높은 가열 효율과 다영역 균일 온도 제어가 포함된 고효율/고성능 기술 개발 필요
  - 반도체 공정 중 웨이퍼 가열은 전체 공정의 약 25% 전기에너지를 사용하며, 유도 가열을 적용하여 에너지 25% 손실 저감을 목표로 하는 경우 '30년도 기준 원전 0.7기 수준의 연간 2.86백만CO2 온실가스 감축 기여 및 6,025,000 MWh 에너지 절감 기대
  - 상용 세라믹 히터는 NGK(日)에서 95% 이상 점유 중이며, 수입의존도를 낮추고 비용절감과 수급원활화를 위해 독자기술 확보 필요
    - \* 해외에서 유도가열 기반 웨이퍼 공정시스템 관련 연구 진행중이며 양산품은 아직 선보이지 않은 상황
- **(시장적)** 반도체 시장의 지속적인 성장 대응과 에너지효율 개선 요구에 대응하기 위한 기술 확보 필요
  - 글로벌 반도체 시장은 IT 기기 발달과 AI·IoT·자율주행차의 확대에 의해 지속적인 시장 성장 전망
    - \* 반도체 산업 시장은 향후 연평균 5.4% 이상의 산업 성장이 예상(OMDIA)
  - 상용 저항 웨이퍼 히터는 고가의 부품임에도 불구하고 수명 이슈로 인한 소모품 취급

### □ 활용분야

- 반도체 공정 장비 분야, 반도체, 유도가열 응용 시스템, 내환경 챔버, 고효율 전력 변환기 등 가열이 필요한 에너지 다소비 업종에 활용

## 3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 45개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '25년 16.5억원 내외(총 정부출연금 130억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업(중소·중견기업이 연구개발기관으로 참여 필수)
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 수요기업이 연구개발기관으로 참여 필수

### 3. 산업용 고정정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증

#### 1. 연구개발과제기획 방향

연구개발과제기획 기본방향

- 에너지 다소비 산업 중 하나인 반도체/디스플레이 분야의 에너지 소비를 실질적으로 절감할 수 있는 기술 개발 과제 기획
  - 클린룸의 온·습도 조건을 일정하게 유지하기 위한 주요 설비인 외조기, 열원설비 등을 대상으로 에너지 소비량 절감에 기여할 수 있도록 개발
  - 외조기를 구성하는 요소기술인 필터, 가습 시스템에 대한 고성능, 고효율화
  - 냉난방, 제습 기술 구현 및 외기 부하 변동 제어 기술 개발
  - 에너지 관리 계통에 대한 분석과 설계, 스마트 제어 알고리즘 기술 개발
- 현장에서의 실증을 통한 기술의 검증
  - 개발된 기술을 검증하기 위하여 공정이 운영되고 있는 현장에서 실증이 이루어지도록 함
  - 기존 기술과 개발 기술을 대조, 비교 분석하여 검증

신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구 분	원천기술	혁신제품형	계
품목지정	-	150	150

□ 기획대상연구개발과제 현황

연구개발과제(품목)명	연계 수요 (도출근거)
산업용 고정정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정부정책               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제 5차 과학기술기본계획('22.12)                   <ul style="list-style-type: none"> <li>* 에너지자립 핵심기술·주력산업 저탄소화 기술개발, 국가 목표 및 이행방안에 기반한 임무중심 연구개발 추진</li> </ul> </li> <li>- 제 10차 전력수급 기본계획('23.1)                   <ul style="list-style-type: none"> <li>* (전력절감 정책목표) '36년 기준 최대전력은 17.7 GW(기준수요의 13.0%), 전력소비는 105.7 TWh(기준 수요의 15.0%) 절감 추진</li> </ul> </li> <li>- 시장원리 기반 에너지 수요효율화 종합대책('22.6)                   <ul style="list-style-type: none"> <li>* 27년 에너지효율 선진강국 도약</li> <li>* 향후 5년간 에너지 소비 2.2천만 TOE 절감(산업 15.8백만 TOE 71.8%, 건물 3.7백만 TOE 16.9%, 수송 2.5백만 TOE 11.4%), 에너지 원단위 25% 개선</li> </ul> </li> <li>- 새정부 에너지 정책 방향('22.7)                   <ul style="list-style-type: none"> <li>* 시장원리에 기반한 에너지 수요 효율화 및 시장구조 확립을 위해 산업, 가정·건물, 수송 등 3대 부문 수요효율화 혁신 추진</li> </ul> </li> <li>- 제 4차 에너지 기술개발계획                   <ul style="list-style-type: none"> <li>* 에너지 고효율 저소비 구조 혁신을 위해 산업부문 공통기기·제품 효율 및 시장경쟁력 제고</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

□ 사업화 연계성과 발생 가능성

연구개발과제(품목)명	지식재산권				표준 <sup>2)</sup>	인증 <sup>3)</sup>
	등록특허		소프트웨어	기타 <sup>1)</sup>		
	해외	국내				
산업용 고정정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증	△	○	○	×	×	△

- 1) 실용신안, 디자인, 상표 등 기타 지식재산권
- 2) 국제표준, 국가표준, 단체표준의 제·개정(표준화연계형 과제는 보통 이상으로 제시 必)
- 3) 법적임의 인증(KS인증, 고효율에너지기자재인증, 신제품인증(NEP), 신기술인증(NET), 녹색인증, 제로에너지건축물인증, 소프트웨어품질(GS)인증 등)

기술분류 <sup>1)</sup>		에너지절감 분야 <sup>2)</sup>			
산업기술분류 (1순위)	국가과학기술 표준분류(1순위) 연구분야	구분	업종	에너지절감 설비군	에너지원
열사용설비 및 공정 기술 (600903)	공기조화/ 냉동기계 (EA0701)	산업	반도체 제조업	열사용 및 열이송	전력

- 1) 연구개발계획서 작성시 해당 기술분류에 50% 이상 가중치 부여
- 2) 활용분야는 개발된 기술의 적용가능성이 가장 높고 에너지 감축효과가 가장 클것으로 예상되는 업종의 감축 에너지원, 에너지사용 설비군을 기재

## 2. 개발위험 관리방안

### □ 기술개발 위험요인

- 실증 및 상용화 과제로 수요처의 생산성, 수율 안전성을 확보해야 하며, 실증 사이트 구축 및 평가시 안전사고 예방에 특히 주의 필요
- 적용되는 요소부품, 기술 등에 국내/외 특허 회피가 필수
- 기술의 특성상 반도체 관련 규제 또는 요구사항을 고려한 계획 수립 필요

### □ 사업화 애로사항

- 클린룸 관련 기술과 장비는 수요기업의 주요 보안 사항으로 초기 및 운영 현황에 대한 데이터의 공유 필요 예상
- 클린룸 관련 설비는 대규모 설비이며 사업화를 위해 신기술이 반영된 시제품 제작 및 신뢰성 검증을 위한 실증 사이트 확보가 필요
- 외조기 적용을 위한 요소기기 개발 시 수요처에서 요구되는 수준을 만족해야 하며 장기간 검증을 통한 안정적 운영기술 확보가 중요

### □ 사회환경 위험요인

- 반도체 클린룸 및 에너지 관리 계통 시스템의 보호를 위한 안전사고 예측 및 대책 연구 포함 필요

### □ 기술영향 검토

- 연중 고청정/항온/항습을 유지해야 하는 클린룸의 에너지를 절감할 수 있는 최적 운영기술을 도출하여 탄소중립을 위한 국가정책 목표달성과 제조원가 경쟁력 확보 및 국제 경쟁력 제고

### 3. 기획연구개발과제 품목개요서

#### '25년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 품목개요서 (품목지정)

관리번호	2025-수요관리-효율혁신-품목-6		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input checked="" type="checkbox"/> 실증형		에너지 효율 향상	-
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 통합형 <input checked="" type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 샌드박스 연계형				
초격차 프로젝트	분야	에너지신산업			
	미션	건물·산업 효율 기술 세계 경쟁력 확보			
	프로젝트	저탄소 고효율 전기기반 열공급 기술(히트펌프) 개발 및 실증			
R&D 자율성트랙	<input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)				
품목명	<b>산업용 고정정 설비 초고효율화 기술개발 및 실증</b> (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 7단계)				

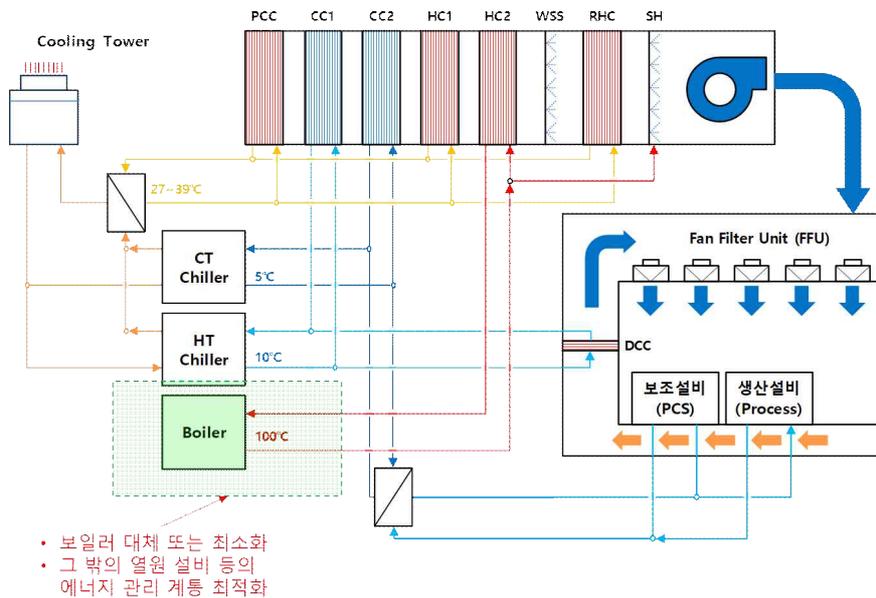
#### 1. 개념 및 개발내용

##### 개념

- 반도체/디스플레이 FAB 클린룸을 위한 공기조화 및 에너지 계통에 대하여, 높은 에너지 효율의 핵심 기자재와 최적 설계 및 제어 기술들을 적용하여 에너지 관리 초고효율화를 달성하고 실증 단계까지 추진

\* 핵심목표 : 반도체/디스플레이 FAB 클린룸을 위한 공기조화 및 계통의 에너지 사용량 절감률 20% 이상 향상[도입공기량 1,000 CMM당]

- 시스템 규모 60,000 CMH(1,000 CMM) 이상 [클린룸 순환풍량의 20% 기준]
- 청정도 ISO 등급 3 (1,000Class, 0.1 $\mu$ m) 이하
- 실증운전 누적 5,000시간 이상(하절기, 동절기, 간절기 포함)



- 보일러 대체 또는 최소화
- 그 밖의 열원 설비 등의 에너지 관리 계통 최적화

< 클린룸 에너지관리 시스템 개념도(안) >

## □ 개발내용

- 반도체/디스플레이 클린룸 에너지 효율 향상
- 외조기 및 냉난방, 가습/제습 에너지 관리 계통에 대한 최적 설계, 부하변동에 따른 에너지 절감 실증
- 클린룸 공조용 차세대 고효율 외조기 개발
  - 외조기 최적 아키텍처 개발(유로 설계 및 컴포넌트 배치)
  - 외기 부하 변동에 대응이 가능한 실시간 제어 기술 개발
  - 미활용 열(폐열) 등을 고려한 부하(냉난방, 제습) 절감 기술 개발
  - 고성능 고효율 가습 시스템 개발
  - 고성능/고청정 저차압형 필터 기술 개발
- 클린룸 에너지 관리 계통의 최적 설계 및 제어 알고리즘 기술 개발
  - 에너지 관리 계통 에너지 부하 및 발생 폐열원 분석
  - 폐열원 회수 기술 개발 및 폐열원 활용 에너지 관리 계통의 설계 최적화
  - 에너지 관리 계통의 스마트 제어 및 에너지 절감 운전 기술 개발
  - 청정도 유지 및 클린룸 순환공조 계통 설비의 고효율화 및 운전 최적화
- 테스트베드 구축을 통한 기술적 검증
  - 외조기 개발품 적용하고 대조군과의 비교를 통한 실증 시험
  - 에너지 관리 계통 설비에 대한 개선 검증 시험
  - \* 실증규모는 도입공기 1,000 CMM 이상, 클린룸 청정도 ISO 등급 3(1,000 Class, 0.1 $\mu$ m) 이하
- 탄소배출 감축, 간접적 경제효과 등 환경·경제적 성과 발굴 방법론 제시 및 검증

연구개발계획서 제출 시 다음 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수

- 실증운전 누적시간(h), 도입공기 1,000 CMM 당 에너지 소모량(kWh/1,000 CMM), 에너지 사용량 절감률(%), 시스템 실증 규모(CMH 또는 CMM), 외조기 자체 성능 지표

## □ 개발위험 극복방안

- 사업화 성과 검증을 위해 개발 제품에 대한 전후 대조 데이터 분석 필요
- 반도체 클린룸 및 에너지 관리 계통 시스템의 보호를 위한 안전사고 예측 및 대책 연구 포함 필요
- 기술의 특성상 반도체 관련 규제 또는 요구사항을 고려한 계획 수립 필요
- 연구개발계획서에 사업 성과 관리 및 성과확산 방안 제시 필수
- 클린룸에서 요구되는 청정도 관리 제시 필요

## 2. 지원 필요성

### □ 지원 필요성

- (정책적) 에너지다소비 설비의 고효율화와 더불어 국가 대표산업의 에너지원단위 경쟁력 확보를 위한 지원 필요

- 미국/대만/일본 등에서는 자국의 반도체/디스플레이 제조사에 대한 전폭적인 지원 실시 중
- (기술적) 반도체 FAB설비 에너지 소비의 40%를 차지하는 클린룸 공조 시스템의 효율 향상 개발 필요
- 반도체 제조사의 생산 경제성 향상 및 경쟁력 제고를 위해서는 클린룸 공조 시스템의 탈탄소화와 효율향상 시급
- (시장적) 세계 클린룸 시장 규모는 ‘23년 55억 달러에서 ’ 32년 103억 달러로 연평균 6.1% 성장이 예상되며, 소모성이 아닌 설비(Equipment) 관련 시장 규모는 ‘22년 기준 22억달러로 전체 클린룸 시장의 40%를 차지(Global Market Insight, ’ 23.8)
- 반도체 FAB 설비 에너지 소비의 40%를 차지하는 클린룸 공조 에너지 사용량 절감은 반도체 부문의 경쟁력 향상에 기여중
- 삼성전자 ‘24년 D램 시설투자액 전년도 대비 9.2%, ‘25년에는 약 38% 증가 전망

□ 활용분야

- 반도체/디스플레이 산업 등 대형 클린룸 인프라 수요처

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 45개월 이내
- 정부지원연구개발비 : ‘25년 22억원 내외(총 정부출연금 150억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업 (중소·중견기업이 연구개발기관으로 참여필수)
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 수요기업이 연구개발기관으로 참여 필수