기관-2023-058

반도체 초격차 기술 확보를 위한 공공Fab 기능 고도화 방안 연구

정 두 엽 외

KISTEP 한국과학기술기획평가원
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

최종보고서

보안등급
일반[√], 보안[ ]

사업명		기술혁신 아젠다 대응 R&D 투자전략 기획 연구					
기술분류	국가과학기술 표준분류	OC0305 (과학기술과정책)	100%				
	부처기술분류 (해당 시 작성)						
연구과제명	국문	반도체 초격차 기술 확보를 위한 공공Fab 기능 고도화 방안 연구					
	영문	Study on the Way of Advancing Public Fab Functions to Secure Semiconductor Super-Gap Technology					
연구책임자	성 명	정 두 엽		직 위	부연구위원		
	소속부서명	성장동력사업센터		e-mail	dooyupjung@kistep.re.kr		
	최종전공	화학공학		국가연구자번호			
연구기간	전체	2023. 5. 1. ~ 2023. 12. 31. (8개월)					
	단계 (해당 시 작성)						
당해연도 연구비		74,286 (천원)					
	총계	74,286 (천원)					
	단계 (해당 시 작성)						

위탁연구기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	기관유형
위탁연구기관						

실무담당자	성명	정 두 엽	직위	부연구위원
	소속부서명	성장동력사업센터	email	dooyupjung@kistep.re.kr
	최종전공	화학공학	국가연구자번호	

2024년 2월 29일

연구책임자: 정 두 엽 (인)

한국과학기술기획평가원장: 정 병 선 (직인)

• 연구진

- 연구책임자	정두엽 (한국과학기술기획평가원 부연구위원)
- 참여연구원	진영현 (한국과학기술기획평가원 연구위원)
	조성호 (한국과학기술기획평가원 연구위원)
	권정은 (한국과학기술기획평가원 연구위원)
	김승균 (한국과학기술기획평가원 연구위원)
	채명식 (한국과학기술기획평가원 부연구위원)
	김주일 (한국과학기술기획평가원 선임전문관리원)
	조유진 (한국과학기술기획평가원 연구원)
	조유리 (한국과학기술기획평가원 연구원)

기관-2023-058

반도체 초격차 기술 확보를 위한 공공Fab 기능 고도화 방안 연구
(연구기간 : 2023.5.1. ~ 2023.12.31)

• 발행인 : 정병선

• 발행처 : 한국과학기술기획평가원
(27740) 충청북도 음성군 맹동면 원중로 1339
Tel) 043-750-2300 Fax) 043-750-2680

• http://www.kistep.re.kr

• 인쇄 : 주식회사 동진문화사

〈 요 약 서 〉

사업명		기술혁신 아젠다 대응 R&D 투자전략 기획 연구					
기술분류	국가과학기술 표준분류	OC0305 (과학기술과정책)	100%				
	부처기술분류 (해당 시 작성)						
연구과제명		반도체 초격차 기술 확보를 위한 공공Fab 기능 고도화 방안 연구					
연구기간		2023. 5. 1. ~ 2023. 12. 31. (8개월)					
연구비		총 74,286 천원					

연구 목표 및 내용		
	최종 목표	□ (목표) 반도체 초격차 기술 확보를 위해 공공Fab 기능 고도화에 필요한 신규 투자 기술분야 발굴 및 운영요소 구성의 구체화 ○ (기술적 관점) 전국 공공Fab 특화 분야 및 현황 데이터와 반도체 기술동향을 기반하여 신규 투자 수요가 있는 기술분야연계영역 발굴 ○ (운영요소적 관점) 효과적인 기술 및 기업지원 서비스를 위해 공공Fab이 개선해야 할 운영방식·인적 구성의 특이점 발굴
	전체 내용	□ (기술적 관점-전문가 워크숍) 전국 공공Fab 현황 및 반도체 시설·장비 투자를 분석하고, 전문가 워크숍을 통해 발굴한 신규 투자 분야연계영역과 비교 ○ (현황분석) 전국 공공Fab별 특화 기술분야 및 최근 5년간('17~'21) 정부R&D 과제 조사분석 데이터 내 반도체 시설장비 투자 전수조사를 통한 이슈 발굴 ○ (투자분야연계영역 발굴) 학연Fab 전문가 집단을 대상으로 포스트잇 방법론을 활용한 워크숍을 통해 공공Fab에서 다룰 수 있는 반도체 기술 신규 투자 분야 및 연계 가능한 영역 발굴 작업 진행 □ (운영요소적 관점-사례연구) 해외 공공Fab의 운영적 특성(투자·장소·관리 주체, 부서 구성, 인력의 수준 등)에 대한 다중탐색 연구를 통해 전담 인력 확대 등 투자강화를 위한 근거 확보 ○ (가설 설정 및 검증) 성과 제고에 필요한 공공Fab 운영의 조건들을 가설로 설정하고, 발굴된 해외사례들의 운영요소 및 특징을 가설에 투입하여 만족·기각 검증

연구성과	연구보고서 1건
연구성과 활용계획 및 기대 효과	- 공공Fab의 기능별(소재·서비스)·지역별·부처별(과기부·산업부) 수요자 등 다양한 정책 고객 요구에 대응 - 반도체 초강대국 달성전략('22.07)의 후속 계획 수립에 기여

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명정보	생물자원		정보	실물
			1									

세부 정량적 연구개발성과 건수	과학적 성과			사회적 성과								기타
	논문게재	학술회의발표	보고서 원문	법령반영	정책활용	안건상정	제도개선	다른 연구에 활용	국제협력	(정책)홍보	포상·수상	
			1									

국문핵심어 (5개 이내)	반도체 기술	공공Fab	기능 고도화	해외사례	운영요소
영문핵심어 (5개 이내)	Semiconductor Technology	Public Fab	Functional Advancement	Foreign Cases	Organization Elements

요약

□ (목표) 반도체 초격차 기술 확보를 위해 공공Fab 기능 고도화에 필요한 신규 투자 기술분야 발굴 및 운영요소 구성의 구체화

○ (기술적 관점) 전국 공공Fab 특화 분야 및 현황 데이터와 반도체 기술 동향을 기반하여 신규 투자 수요가 있는 기술분야연계영역 발굴

○ (운영요소적 관점) 효과적인 기술 및 기업지원 서비스를 위해 공공Fab이 개선해야 할 운영방식·인적 구성의 특이점 발굴

□ (결과) 현황분석, 투자분야·연계영역 발굴, 가설 설정 및 검증 다중사례 연구내용에 따른 연구성과를 제시

○ (현황분석) 전국 공공Fab 특화 분야 및 최근 5년간 정부 R&D 반도체 시설·장비 투자 조사

- (공공Fab별 특화 분야 파악) 14개 국가 나노인프라 대상 특화 기술·기능 분야 조사
- (정부R&D 투자분석) 최근 5년간 기술개발/기반구축 투자 비율, 연구개발단계별, 연구수행주체별, 과학기술표준분류(중분류)별, 지역별 투자 등 전수조사 완료 및 표·그래프로 결과 제시

○ (투자분야·연계영역 발굴) 공공Fab에서 다룰 수 있는 7대 투자분야 및 3대 연계영역 발굴

- (7대 투자분야) ①공정개발·최적화, ②측정·모델링, ③이종집적, ④반도체 응용(양자, 극한환경, 전력, RF 등), ⑤MRAM, ⑥장비 국산화, ⑦신소자(SiC, GaN, GaAs)
- (3대 연계영역) ①R&D : MRAM, 신소자 / ②산업화 : 이종집적, 반도체 응용, 장비 국산화 / ③교육·인력양성 : 공정개발·최적화, 측정·모델링

○ (가설 설정 및 검증) 공공Fab이 갖춰야 할 운영요소에 대한 3대 가설을 설정하고, 5개국 공공Fab 사례를 이용하여 가설에 투입하고 검증

- (3대 가설) ①학위·교육과정과의 연계를 통한 Fab 인력 질적 수준 제고, ②시설·장비 투자 주체-설치 장소-관리 책임 연결의 정합성 확보, ③미래소재·공정 Test-bed로서의 기능 수행
- (5개국 사례) ①벨기에 IMEC, ②싱가포르 대학(NUS, NTU) 및 공공연구소(A*STAR IME) Fab을 중점 분석했으며, 이외 ③미국(NNCI, ANC), ④프랑스(MINATEC), ⑤일본(AIST) 사례도 소폭 추가

목 차

제1장 서 론 ····· 1

제1절 배경 및 필요성 ····· 1

제2절 연구목표 및 내용 ····· 3

제3절 연구 방법 ····· 8

제2장 공공Fab 국내·외 정책·투자 동향 ····· 10

제1절 서론 ····· 10

제2절 주요국 정책동향 ····· 12

제3절 주요국 공공Fab 현황 ····· 21

제4절 국내 공공Fab 구축·운영현황 ····· 31

제5절 국내 공공Fab 관련 정책 ····· 44

제6절 정부 R&D 반도체 시설·장비 투자분석 ····· 47

제7절 소결 ····· 58

제3장 공공Fab 투자 기술분야·연계영역 발굴 ····· 60

제1절 목적 및 방법 ····· 60

제2절 워크숍 개최 개요 ····· 61

제3절 워크숍 개최 결과 ····· 65

제4절 소결 ····· 74

제4장 사례연구: 해외 공공Fab 분석 ····· 76

제1절 목적 및 방법 ····· 76

제2절 사례 1: IMEC(벨기에) ····· 77

제3절 사례 2: 싱가포르 공공Fab ····· 97

제4절 소결 ····· 129

제5장 결론 ····· 132

제1절 연구내용 및 결과 ····· 132

제2절 한계와 향후 과제 ····· 136

참고문헌 ····· 137

표 목 차

〈표 1〉 반도체 관련 ICT·SW 분야 세부 기술수준평가 결과 ····· 1
〈표 2〉 선행연구와의 차별성 ····· 7
〈표 3〉 주요국 반도체 정책동향 ····· 12
〈표 4〉 해외 주요 공공Fab ····· 22
〈표 5〉 해외 주요 공공Fab의 재정, 교육, 지원 프로그램 세부내용 ····· 23
〈표 6〉 IMEC 파트너를 위한 혜택 ····· 27
〈표 7〉 IMEC 클린룸 현황 ····· 28
〈표 8〉 나노인프라 주요 현황('22년 기준) ····· 40
〈표 9〉 제5기 나노기술종합발전계획의 나노인프라 관련 주요 내용 ····· 46
〈표 10〉 국가나노기술지도의 나노인프라 관련 주요 내용 ····· 46
〈표 11〉 최근 5년간('17~'21) 지역별 반도체 시설·장비 투자현황 ····· 52
〈표 12〉 싱가포르 공공Fab 방문 인터뷰 세부 일정표 ····· 97

그 림 목 차

[그림 1] 반도체·디스플레이 R&D 지원 기간별 목표 및 세부 중점기술 ····· 2
[그림 2] 동 연구의 비전, 접근 관점, 세부 내용 ····· 4
[그림 3] 동 연구의 추진체계 ····· 9
[그림 4] 해외 나노반도체 인프라(공공Fab) 기관 ····· 22
[그림 5] 미국 NNCI 네트워크의 위치 ····· 24
[그림 6] 국내 공공Fab 구축현황 ····· 32
[그림 7] 국내 공공Fab 이용건수 추이('13~'22) ····· 39
[그림 8] 나노인프라 연계·협력 체계 강화 및 통합정보시스템 구축 ····· 41
[그림 9] 통합정보시스템 지원 프로세스 ····· 42
[그림 10] 코디네이터 제도 ····· 42
[그림 11] 통합정보시스템 사후관리 및 기대효과 ····· 43
[그림 12] 최근 5년간('17~'21) 부처별 반도체 시설·장비 투자현황 ····· 48
[그림 13] 최근 5년간('17~'21) 연구개발단계별 반도체 시설·장비 투자현황 ····· 50
[그림 14] 최근 5년간('17~'21) 연구수행주체별 반도체 시설·장비 투자현황 ··· 51
[그림 15] 최근 5년간('17~'21) 과학기술표준분류(중분류)별 반도체 시설·장비 투자현황 ····· 54
[그림 16] 최근 5년간('17~'21) 반도체 시설·장비 투자 매칭펀드 현황 ····· 55
[그림 17] 최근 5년간('17~'21) 반도체 시설·장비 투자(총연구비 기준) 비목별 현황 ····· 56
[그림 18] 워크숍 1일차 분과 구성 및 참석자 ····· 61
[그림 19] 워크숍 1일차 진행 모습 ····· 62

[그림 20] 워크숍 2일차 분과 구성 및 참석자 ····· 63
[그림 21] 워크숍 2일차 진행 모습 ····· 64
[그림 22] 『반도체 미래기술 로드맵('23.4)』 내 45개 핵심기술 연구주제 ·· 65
[그림 23] 워크숍 기술 그룹핑 결과(실리콘 1분과) ····· 68
[그림 24] 워크숍 기술 그룹핑 결과(실리콘 2분과) ····· 68
[그림 25] 워크숍 기술 그룹핑 결과(화합물 1분과) ····· 69
[그림 26] 워크숍 기술 그룹핑 결과(화합물 2분과) ····· 69
[그림 27] 워크숍 기술 그룹 간 연계방안 도출 결과(실리콘 1분과) ····· 70
[그림 28] 워크숍 기술 그룹 간 연계방안 도출 결과(실리콘 2분과) ····· 71
[그림 29] 워크숍 기술 그룹 간 연계방안 도출 결과(화합물 1분과) ····· 72
[그림 30] 워크숍 기술 그룹 간 연계방안 도출 결과(화합물 2분과) ····· 73
[그림 31] 워크숍 기술 그룹 및 연계방안 도출 결과(전 분과 종합) ····· 74
[그림 32] IMEC 현황 ····· 77
[그림 33] IMEC Campus 전경 ····· 78
[그림 34] IMEC 8대 연구개발 분야에 대한 분류 모식도 ····· 79
[그림 35] 반도체 공정 미세화를 통한 순효과 ····· 80
[그림 36] IMEC 조직 구성도 ····· 81
[그림 37] IMEC 연계 박사 학위 수여 대학 및 각각의 특화 분야 ····· 82
[그림 38] 산학 연계 거점으로써 IMEC 학위 진행의 이점 묘사 모식도 ···· 83
[그림 39] 친환경적인 반도체 생산 공정 개발을 위한 흐름도 ····· 84
[그림 40] IMEC Fab에 설치된 차세대 극자외선(EUV) 노광 장비 ····· 85
[그림 41] 녹색 수소 대량 생산을 묘사하는 모식도 ····· 86
[그림 42] IMEC 창립 이래 연간 재정 추이 ····· 87
[그림 43] IMEC 연간 재정 분포 ····· 88
[그림 44] IMEC에서의 기술 개발 이점을 묘사한 모식도 ····· 89

[그림 45] IMEC 벤처 창업 육성 프로그램인 IMEC.istart의 현황 ····· 90
[그림 46] Applied Materials-NUS 협력형 Lab 방문 및 전문가 인터뷰 · 106
[그림 47] Nanyang NanoFabrication Centre (N2FC) 방문 및 전문가 인터뷰 ····· 118
[그림 48] A*STAR 방문 및 전문가 인터뷰 ····· 126

제1장 서론

제1절 배경 및 필요성

□ 반도체 산업은 4차 산업혁명으로 대표되는 디지털 전환에 의해 새로운 수요처가 나타나면서 시장규모가 지속 확대될 것으로 전망되나, 우리나라 관련 기술수준은 후퇴 또는 정체 중

○ 특히, 우리나라의 초고집적 반도체 공정 및 장비·소재 기술수준이 최근 후퇴(2020년 기술수준평가)하는 가운데 중국의 기술수준이 빠르게 상승하는 상황으로 대응책 마련이 시급

〈표 1〉 반도체 관련 ICT·SW 분야 세부 기술수준평가 결과

세부기술명	초고집적 반도체 공정 및 장비·소재 기술			초고속·초절전형 반도체 소자 및 SoC 설계·제작 기술		
국가	2018	2020	증감	2018	2020	증감
한국	94.0	90.0	-4.0	85.0	85.0	-
중국	75.0	80.0	5.0	75.5	80.0	4.5
일본	95.0	95.0	-	86.5	85.0	-1.5
EU	95.0	95.0	-	90.0	90.0	-
미국	100.0	100.0	-	100.0	100.0	-

□ 이의 해결을 위해 정부는 12대 국가전략기술의 혁신선도 분야에 반도체·디스플레이를 선정하여 임무지향적 정책·투자지원을 집중할 계획이며, 특히 특화단지·인프라 등에 대해서도 부처별로 지원방안 구체화 의지를 명시(국가전략기술 육성 방안, '22.10)

[그림 1] 반도체·디스플레이 R&D 지원 기간별 목표 및 세부 중점기술

□ 한 가지 실행 방안으로 정부는 기존 구축·운영 중이던 6대 주요 국가 공공Fab에 2022년부터 신규 6개 기관을 추가하여 이용자 지원 기능 등을 강화할 예정(나노기술연감 2021, '22.06)

○ 12개 공공Fab 기준 총사업비 1조 833억 원(국비 5,309억 원)을 투자 중이며, 특히 최근 소부장 이슈 대응을 위해 장비 투자 규모 대폭 증가*

* 기존 6대 공공Fab 장비투자 현황 : ('19) 44억원(9대) → ('20) 614억원(37대) → ('21) 280억원(32대)

□ 이외에도 정부는 반도체 공공Fab을 통한 설계검증 및 인력양성 등 정책 계획 중

○ 기업 기증 장비로 한국형 IMEC* 구축을 통한 양산 현장급 교육환경 제공, 팹리스 - 파운드리 - 수요기업 - 정부 공동투자를 통한 상생Fab 신설 등을 추진·검토할 계획(반도체 초강대국 달성전략, '22.07)

* 벨기에 內 세계 최고의 나노 전자분야 연구기관 (약 1.3조원 규모 Fab설비 보유)

□ 공공Fab별 특화 분야 간 유사성, 미래 대비 전략적 투자 요원, 기술·기업 지원 여력의 부족으로 인해 중복 투자의 우려 및 수요자 맞춤형 서비스 제공 제한 존재

○ 국내 공공Fab(나노인프라) 구축 현황을 살펴보면 유사한 서비스 특화 분야를 보유한 Fab들이 있어 상호 명확한 역할 설정의 필요성이 존재

* (예) CMOS : 나노종기원(KAIST), 반도체공동연구소(서울대), 차세대반도체융합연구소(DGIST), 연구지원본부(UNIST)
화합물반도체 : 한국나노기술원(수원), 전북대반도체물성연구소(전주)

- 유사한 특화분야를 가진 공공Fab이 다양한 지역에 산재할 시 자연스럽게 분산투자가 이뤄지게 되며, 이는 시설·장비 투자 비용이 막대한 반도체 기술 분야의 투자성과를 감소시킬 수 있는 요인

○ 현재 국내 공공Fab 중 단독으로 반도체 집적 일괄공정* 수행 가능한 곳은 없고, 장비·자원의 통합관리와 일괄공정 연계 네트워크도 부재

* 최근 반도체 연구는 소재-소자-공정-회로설계-집적-패키징-시스템의 전주기 공정 요구

⇒ 반도체 기술변화를 고려하여 미래 연구수요에 대응하는 공공Fab별 특화 분야 확보 및 그에 따른 반도체 집적 일괄공정 수행 등을 위한 전략적 투자의 핵심으로 신규 투자분야 발굴 필요

○ 기관별 한정된 조직과 재원으로 효과적인 투자유치와 수요확보*가 어려운 상황

* 지난 5년 간 나노인프라 이용건수는 증가하였으나, 이용자수는 큰 변화가 없고 전체예산 중 자체 수입(장비공정서비스) 비중도 20% 수준에 불과

○ 공공Fab 서비스 수요자의 관점에서 Fab 존재의 필요성에는 공감대를 형성하고 있으나. 우리나라는 공공Fab을 기술개발 지원이 아닌 시설·장비 구축의 대상으로 보는 관점이 대세

⇒ 더욱 효율적인 운영과 거점 역할 수행을 위해서는 해외 공공Fab의 기술개발 지원 방식과 연구조직 형태를 분석 후 고도화하여 기술 및 기업지원 서비스 역량을 강화할 필요

□ 무엇보다도 공공Fab 기능 고도화를 위한 정책연구의 영역은 거의 수행되고 있지 않은 공백 상태*이므로, 정책 수요 대응 및 최적화된 전략 수립에 참고 가능한 연구 결과가 필요

* 해외Fab 사례 조사도 대부분 IMEC(벨기에)의 성공에만 한정되어있어 다양한 성공·실패 모델을 발굴해볼 필요

제2절 연구목표 및 내용

□ (목표) 반도체 초격차 기술 확보를 위해 공공Fab 기능 고도화에 필요한 신규 투자 기술분야 발굴 및 운영요소 구성의 구체화

[그림 2] 동 연구의 비전, 접근 관점, 세부 내용

○ (기술적 관점) 전국 공공Fab 특화 분야 및 현황 데이터와 반도체 기술동향을 기반하여 신규 투자 수요가 있는 기술분야·연계영역 발굴

○ (운영요소적 관점) 효과적인 기술 및 기업지원 서비스를 위해 공공Fab이 개선해야 할 운영방식·인적 구성의 특이점 발굴

□ (연구내용) 선행연구 조사를 통해 동 연구의 차별성을 거듭 확보한 후 전문가 워크숍 및 다중탐색 연구를 통해 반도체 공공Fab의 기술적·운영요소적 고도화 방안을 시사점으로 도출

○ (기술적 관점-전문가 워크숍) 전국 공공Fab 현황*, 공정** 및 반도체 시설·장비 투자를 분석하고, 전문가 워크숍을 통해 발굴한 신규 투자 분야·연계영역과 비교

* 나노종합기술원(대전) : Si-CMOS(무기소재), 한국나노기술원(수원) : 화합물반도체(유기소재)/시스템반도체, 나노융합기술원(포항) : 전력반도체 등(나노기술연감 2021, '22.06)

** 전공정(노광, 식각, 증착, 이온주입·열처리, 측정·분석), 후공정(조립, 패키징, 테스트) (채명식 · 여성율, 2020)

- (현황분석) 전국 공공Fab별 특화 기술분야 및 최근 5년간('17~'21) 정부R&D 과제 조사분석 데이터 내 반도체 시설·장비 투자 전수조사를 통한 이슈 발굴
- (투자분야연계영역 발굴) 학·연·Fab 전문가 집단을 대상으로 포스트잇 방법론을 활용한 워크숍을 통해 공공Fab에서 다룰 수 있는 반도체 기술 신규 투자 분야 및 연계 가능한 영역 발굴 작업 진행

○ (운영요소적 관점-사례연구) 해외 공공Fab의 운영적 특성(투자·장소·관리 주체, 부서 구성, 인력의 수준 등)에 대한 다중탐색 연구를 통해 전담 인력 확대 등 투자강화를 위한 근거 확보

- (해외사례 선정 및 탐색) 기술 및 기업지원 서비스를 통해 우수한 사업화 성과를 배출하고 있는 해외 공공Fab을 최소 5곳* 이상 선정하여 조직 구성의 형태를 전반적으로 탐색

  ※ 해외 Fab 근무 경험이 있는 국내 전문가, LinkedIn 네트워크, 필요 시 국외출장을 통한 기관 방문 등 다각도의 채널을 활용하여 다양한 신규 공공Fab 사례 발굴

  * (예) Interuniversity Microelectronics Center(벨기에), Micro and Nanotechnologies Campus(프랑스), National Nanotechnology Infrastructure Network(미국), Institute of Microelectronics(싱가포르), Nanotechnology Platform Japan(일본)

- (가설 설정 및 검증) 성과 제고에 필요한 공공Fab 운영의 조건들을 가설로 설정하고, 발굴된 해외사례들의 운영요소 및 특징을 가설에 투입하여 만족·기각 검증

○ (시사점 도출) 기술적·운영요소적 관점에서 공공Fab 기능 고도화를 위한 종합 시사점을 최종적으로 도출

□ 선행연구와의 차별성

○ (나노팹 평가지표 개발연구) 이경엽(2019)은 나노팹 프로그램 평가지표 개발을 위해 "정책적" 관점에서 평가지표를 개발한 후 계층화를 진행하고 AHP 설문 수행

- 동 연구는 반도체 공정의 “기술적”인 관점에서 접근하여 구체적인 시설·장비 현황분석 및 신규 투자 수요를 도출하고자 하므로 차별성이 있음

○ (나노기술 협력 네트워크 관련 연구) 전동환·강민형(2021)은 “R&D 협력 네트워크” 형성에 공공Fab이 거점(Hub) 역할을 수행하여 각 주체(Spoke)들에게 긍정적 영향을 미침을 밝힘

- 동 연구는 공공Fab이 형성하고 있는 네트워크가 아니라 공공Fab “자체”를 구성하고 있는 기술적·운영요소적 항목들에 관심이 있어 분석 대상 관점에서 완전히 다른 연구임

○ (공공연구기관의 기술사업화 관점 연구) 손수정 외(2015)는 공공연구기관의 기술사업화 촉진 해외 사례 분석 시 벨기에 공공Fab인 IMEC 심층분석을 진행하고 특장점을 도출

- 동 연구는 기술사업화 관점에서의 사례수집이 아닌 “반도체 공공Fab”이라는 특정 기술 분야에 한정하여 다중 탐색연구를 수행할 계획이므로 목표와 탐색 대상에서 차별성이 있음

〈표 2〉 선행연구와의 차별성

구분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	- 박사학위 논문명: 나노팹(Nano Fab) 프로그램 평가지표에 관한 연구 - 연구자: 이경엽(목원대학교) - 연구목적: 나노팹에 대한 후속투자 및 활용방안의 확대 적용을 위한 의사결정에 참고할 수 있는 평가지표 개발	- CIPP(상황-투입-과정-결과) 평가모형에 기초하여 나노팹 프로그램 평가지표 개발 - 나노팹 이용 경험자 및 관계자 그룹 대상 AHP를 통해 평가지표 간 우선순위 도출	- 수요분석, 기술지원 적절성, 필요성 인식은 연구자, 산업체, 나노팹 관계자 그룹 모두에서 1~5순위 내의 높은 중요도를 나타냄 - 산업체 그룹에서는 예산집행 및 투입 적절성이 별도로 높은 순위를 나타냄 → 고가 장비구축 및 서비스 비용 지원에 대한 높은 관심 반영
	2	- 논문명: 근접성(proximity)이 연구개발 협력 네트워크에 미치는 영향 : 나노기술을 중심으로 - 연구자: 전동환(한국나노기술원), 강민형(아주대학교) - 연구목적: 지리적 근접성을 포함한 다양한 차원의 근접성이 나노기술 연구개발 협력 네트워크에 미치는 영향을 분석	- Exponential Random Graph Model(ERGM) 방법을 사용한 네트워크 분석 시도 - NTIS 국가연구과제 중 나노 관련 과제 추출 데이터, 기관 주소 데이터(인터넷 검색, 정부부처 제공, 중소기업현황시스템) 등 활용	- 전국 6대 국가 나노인프라가 나노기술 연구개발 협력 네트워크에 미치는 긍정적 영향을 최초로 분석하는 데 성공 - 조직적 근접성은 물리적 근접성에 대해 대체 메커니즘이 있는 것으로 판단 - 조직적 근접성(과거 협력과제 수행 여부로 판단)은 오히려 협력에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타남
	3	- 연구명: 공공연구기관의 기술사업화 촉진을 위한 C&BD형 사업의 모색 - 연구자: 손수정 외(STEPI) - 연구목적: 공공연구기관의 연구성과 기반 사업화 확대를 위한 협력체 조성 방안으로 지식재산(IP) 연계 관점의 한국형 C&BD 모델 설계	- 공공연구기관의 기술사업화 의미와 가치 및 한계를 확인 - 기술사업화의 연계 모델 및 C&BD의 개념과 가치에 대한 설명 - 국내외 연계형 기술사업화 사례를 개요, 추진 경과, 애로사항 및 시사점 등의 관점에서 조사	- 일본의 반도체 프로젝트 BEANS, 벨기에의 대표적인 공공 나노Fab이자 연구소인 IMEC, 프랑스 CNRS의 PR2 등 다양한 해외 연계형 기술사업화 사례를 발굴 - 조사한 국내외 연계형 기술사업화 사례를 바탕으로 한국형 C&BD 모델의 네트워크, IP 가이드라인, 행동 가이드라인 등을 설계

제3절 연구 방법

□ 학·연·Fab 전문가 활용을 통해 기술적 관점에서 공공Fab의 신규 투자분야를 발굴하고, 효과적인 기술 및 기업지원이 가능한 공공Fab 운영요소를 도출

○ (학·연·Fab 전문가 자문 운영) 반도체 기술 및 공공Fab 분야 전문가 Pool을 확보하여 동 연구의 차별성 확보 여부 검증 및 신규 투자분야 전문가 워크숍과 해외 공공Fab 사례 자문 등 요청

※ 산·학·연 공공Fab 이용자 및 관리자를 우선적으로 활용하며, 해외사례의 경우 해외 Fab 근무 경험이 있는 국내 전문가, LinkedIn 네트워크, 국외출장 등의 채널도 활용

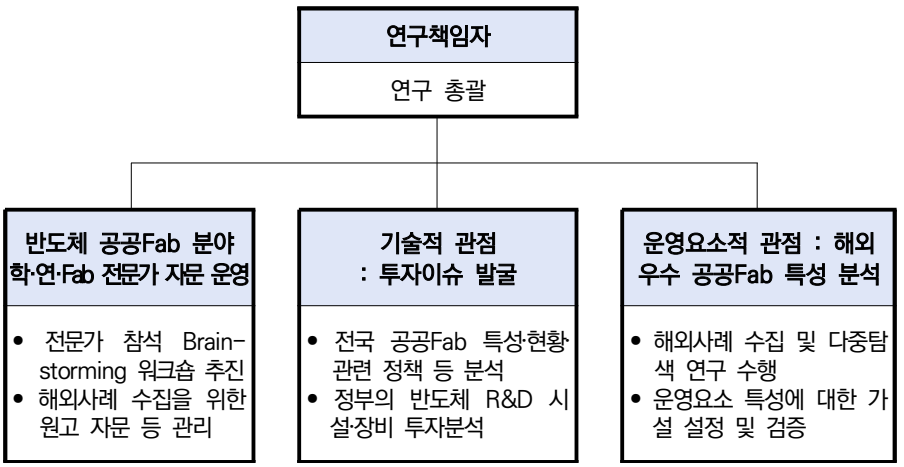
○ (기술적 관점 연구) 기존 공공Fab의 특화 분야 및 시설·장비 현황과 정부 R&D 투자 현황을 심층 분석하여 투자 이슈 발굴

○ (운영요소적 관점 연구) 전문가 자문을 통해 확보된 해외 공공Fab의 운영요소 형태 사례들을 심층 분석하여 효과적인 기술 및 기업지원 서비스 제공을 위한 공공Fab의 특성 발굴

※ 공공Fab이 갖춰야 할 운영요소적 특성을 가설 형태로 제안하고, 다중탐색 연구를 통해 수집된 근거로 이를 검증하는 형태의 연구방법론 적용

○ (연구책임자 및 연구 총괄) 위의 세 가지 세부 추진전략이 서로 연계*하여 추진될 수 있도록 연구를 관리하며, 종합 결론 도출 및 최종 시사점 발굴 시 연구를 주도

* 특히 학·연·Fab 전문가 자문 운영이 기술적 관점 연구와 운영요소적 관점 연구를 뒷받침할 수 있도록 관리



[그림 3] 동 연구의 추진체계

제2장 공공Fab 국내·외 정책·투자 동향

제1절 서론

□ 배경

○ 반도체 기술은 기업 간 경쟁에서 국가 간 경쟁으로 확대

- 반도체 산업이 향후의 반도체 전쟁에서 경쟁우위를 지키기 위해서는 정부 등 공공부문의 역할 비중 확대 예상

○ 반도체를 바라보는 관점이 경제에서 안보로 전환

- 반도체 수급 문제가 국가의 경제는 물론 안보에도 위협 요인으로 작용
- 각국 정부는 효율성보다 안정성(공급망 유지)에 중점을 둔 정책으로 선회

○ 반도체는 첨단기술 주도권 확보에 있어서 핵심 기반

- 자율주행, 5G, 인공지능, 양자컴퓨팅, 핀테크 등 첨단기술 분야의 핵심요소

○ 위와 같이, 반도체의 역할과 비중이 확대됨으로써 공공부문의 정책 대응이 매우 중요

- 따라서, 국내외 반도체 관련 동향 및 공공 Fab 정책·운영 현황을 살펴보고, 우리의 공공 Fab의 개선점 등에 대한 점검·도출 필요

□ 공공 Fab(나노인프라)

○ 나노기술은 국가적 현안인 소재·부품·장비 등 반도체 산업과 밀접하게 연계

- 정부는 나노기술(반도체 포함) 관련 연구개발 시설·장비의 공동활용 등을 위해 나노인프라를 구축·운영

○ 국내에는 나노기술을 지원하기 위한 공공 Fab인 나노인프라가 과학기술정보통신부와 산업통상자원부에 의해 구축·운영 중

- 그 대상은 국가나노인프라협의체 회원으로 가입된 14개 조직을 의미

  ※ 14개 국가 나노인프라 중 반도체를 특화분야로 한 공공 Fab은 11개이고, 나머지 기관들도 부분적으로 반도체 소재·부품·장비에 대한 공공 서비스 가능

- 2000년대 초중반 나노종합기술원과 한국나노기술원, 나노융합기술원, 전북나노기술집적센터, 광주나노기술집적센터, 나노공정기술센터가 과학기술정보통신부와 산업통상자원부(현 부처명 기준)의 기반구축 사업을 통해 설립

- 또한, 2022년에 서울대학교 반도체공동연구소, 전북대학교 반도체물성연구소 등 6개 조직이, 2023년에 한국전자통신연구원 초지능창의연구소 등 2개 조직이 나노인프라로 추가

○ 나노인프라는 「나노기술개발 촉진법」에 따라 산·학·연의 나노반도체 기술 관련 연구개발 시설·장비의 공동활용, 전문인력의 양성, 연구성과의 실용화, 기업 창업 지원 등의 기능 수행

☞ 참고 : 나노기술의 개념 및 범위

○ 범용기술(General Purpose Tech)이자 파급력이 큰 첨단기술

- 나노기술은 다양한 기술분야와 상호작용하며, 주요 제조업 전반에도 적용이 가능. 그 효과를 가늠하기 어려운 파괴력 보유(OECD STI Outlook, 2018)

  ※ 나노기술의 정의 : 나노미터(1~100nm) 크기에서 물질 제조 및 장비 조작 등을 통해 제품에 새롭거나 개선된 성능을 부여하는 기술

○ 나노기술의 성과물은 대부분 (나노)소재·부품으로 구현*되며, 반도체 기술은 대표적으로 나노 소재·공정 기술이 적용된 분야

* 나노 단위의 회로 폭 감소를 통해 高집적도 및 低소비전력 실현하는 나노소자(전자), 원자 수준에서의 구조 제어로 새로운 물성과 기능 발현할 수 있는 나노소재, 나노소재의 대량제조, 특정기능 부여 및 나노스케일 분석을 위한 나노공정·측정장비 기술

제2절 주요국 정책동향

□ 미국·일본·유럽·중국 등 주요국은 4차 산업혁명 대응 및 제조혁신을 위한 핵심 분야로 인식하고 중점 지원

〈표 3〉 주요국 반도체 정책동향

국 가	주요 내용
	➢ 바이든 행정부는 글로벌 기술패권 유지 및 미래산업의 주도권 강화를 위해 AI 및 나노반도체 등 첨단 제조업 강화 전략 제시
	➢ 중국제조 2025 등을 통해 ICT 기반의 제조업 혁신·디지털경제화, 사회 목표와 연계된 R&D 지출확대 시 반도체를 국가산업 핵심 근간 규정
	➢ Horizon 2020 등을 통해 반도체 산업의 지속적인 투자 ➢ 독일 주도의 마이크로전자 및 반도체 분야 중심의 지원 프로젝트 추진
	➢ 국가 차원의 미래 나노기술 전략계획 및 반도체 전략을 마련하여 추진 중이며 이를 통해 반도체 왕국 부활 도모
	➢ 국가 차원의 반도체 제조공정 및 칩 시스템 연구개발, 반도체 연구기관을 출범시켜 대규모 예산 투입

□ 미국

▶ 전 세계의 반도체산업 트렌드를 주도하며, 핵심 원천기술 개발 및 자국 내 제조기반 강화와 상대국에 대한 견제를 통해 반도체 패권 유지

○ 반도체 지원법(CHIPS Act of 2022)을 통하여 반도체 제조지원, 국가 반도체 기술센터 설립, 첨단 패키징, 인력양성 등에 527억불 지원 추진

- AI 및 양자컴퓨팅, 나노기술 등 미래산업 리더십 강조, NSF 기능 확대(전략기술 강화 법안 등 상용화 강조), 반도체·희토류 등 전략자원 공급망 관리 기조

- 반도체 지원법안을 통해 세액공제, R&D 확대, 인력양성, 보조금 지원 등 반도체 경쟁력 강화 정책수단 제시

○ 범부처 차원의 NNI(National Nanotechnology Initiative) 추진 및 국가 차원의 반도체 육성

- 범부처 차원에서 부처별 추진되는 나노기술 관련 연구개발에 '13년 이후부터 매년 약 15억달러 이상 투자

※ ① 나노기술 시그니처 전략 및 그랜드 챌린지, ② 기초연구, ③ 나노기술지원 응용, ④ 연구기반시설 및 도구, ⑤ 환경 및 보건안전 등 5개 분야로 구성

- 미중 무역전쟁으로 '미국 반도체산업의 장기적 우위를 위한 전략보고서'에 따라 자국 반도체 산업 지원과 함께 중국에 대한 일련의 강력한 제제 시행
- 미국의 반도체 산업 주도권을 유지하기 위해 산업계·학계·연구소 및 정부부처 간의 협력 활성화 추진
- 18년 1월 시작된 JUMP(Joint University Microelectronics Program) 프로젝트는 AI 기반의 차세대 반도체 기술개발을 목표로 추진

□ 중국

▶ 대규모 지원을 통해 기술개발·인력양성·기업지원 등 산업 전반을 육성하고, 자국 반도체 제품(소자, 장비, SW 등) 사용을 적극 장려

※ 반도체 산업 자립도 제고를 위한 기술개발, 공급망 국산화, 생산기반 확대 등을 추진하고 있으나 미국과의 기술패권 경쟁 심화로 정책 추진 난항

○ 국가과학기술혁신계획, 산업기술혁신능력, 중국제조 2025 등을 통해 나노반도체 기술을 포함한 과학기술 육성 정책 추진 중

- 나노반도체를 국가산업의 핵심 근간으로 규정, 관련 정책 개발 프로젝트에 천문학적인 정책자금의 투입과 제도 지원, 수요 창출까지 지원

○ '21년 「제14차 5개는 규획 및 2035년 장기목표 개요」 발표를 통하여 7대 전략 육성분야 중 하나로 반도체 산업 포함

- 반도체 산업 육성을 위해 설계 소프트웨어, 핵심 장비 및 소재, 첨단 메모리, 탄화규소(SiC), 질화갈륨(GaN) 기반 전력반도체 개발 추진

※ ①'20년까지 16/14nm 양산, ②세계 선두 설계기술 확보, ③세계 선두 후공정 기술 확보, ④글로벌 반도체 소재 기업육성, ⑤글로벌 반도체 장비 기업육성 추진

○ 20조원 이상의 대규모 국부펀드 조성으로 반도체 제조 및 칩 설계 분야 집중 투자, 범국가적 M&A, 핵심인력 확보 등 국가 차원의 전방위적 대응 및 투자

- 18년 이후 새로운 투자펀드(약 34조원)를 조성하여 AI·통신용 차세대 반도체를 개발을 통해 자율차 등의 두뇌 역할을 하는 시스템반도체 자급화·점유율 확대·기술력 제고 목표 설정

○ 반도체 자급률 향상을 목적으로 공급망 전 공정상에서 기술·생산 역량 향상 도모

□ 유럽

▶ EU는 유럽 반도체 법안(Chips Act)을 '규정(Regulation)' 형태로 발의('22.02.)하여 반도체 분야에 대한 투자 확대 및 역내 첨단 반도체 설계·제조 역량 강화 도모

○ 'Horizon Europe(21~27)' 통해 성장 촉진 및 경제·사회적 파급력 기대

- 목적지향의 새로운 EU 파트너쉽을 통한 혁신영역으로 Key digital and enabling technologies, 에너지, 바이오, 모빌리티 등 투자방향* 제시

* 1) EU의 과학경쟁력 향상 우수한 과학(Excellence Science) 지향, 2) 글로벌 사회 문제 해결형 도전과제 지원, 클러스터를 통한 기술·산업역량 강화, 3) 유럽 혁신생태계 개발 및 지식통합 등으로 혁신환경 구축(Innovative Europe)

- 나노기술 등 Enabling technology는 탄소전환 촉진 등 범국가적 이슈 및 산업 경쟁력 제고에 활용

○ 인공지능 반도체 기술개발 및 반도체 제조·공급역량 강화 지원

- HBP(Human Brain Project)를 통해 인공지능 반도체 기술개발 지원 ('13년 ~ '23년 총 10억 유로 투자)

○ ‘18년 프랑스, 독일, 이탈리아, 영국이 유럽의 공동 이익에 중요한 분야로 반도체를 포함시키며 IPCEI(Important of Common European Interest) on Microelectronics를 발족. 17억 유로 규모의 자금 집행

- IPCEI는 반도체 분야를 1) 전력효율 반도체, 2) 전력반도체, 3) 스마트센서, 4) 첨단 광학장비, 5) 복합소재 분야로 구분하고 있으며 첨단 반도체 기술개발을 목표로 설정

○ ‘21년 PRF(Recovery and Resilience Facility)를 통해 반도체 산업(2~3년간)에 총 1,450유로 규모 투자 추진

○ ‘22년 유럽 반도체 법안(Chips Act)을 발의하여 반도체 이니셔티브 마련, 공급망 안정화 체계 구축, 모니터링 및 위기 대응 조정체계 형성 등 추진

- 반도체 이니셔티브 : 유럽의 반도체 설계능력 강화, 누구나 이용 가능한 파일럿라인 지원, 양자칩 개발을 위한 최첨단 기술 및 엔지니어링 역량 제고, 네트워크 형성 지원, 반도체 관련 기업의 자금조달을 위한 기금 운영 및 투자 유치 등 계획
- 공급망 안정화 체계 : 반도체 제조를 위한 생산설비와 개방형 EU 제조 환경 마련
- 모니터링 및 위기대응 조정체계 : EU 집행위원회 및 회원국간 공동대응체계 강화

□ 일본

▶ 침체한 반도체 산업 부활을 위해 국가 차원의 첨단 ‘반도체전략’ 수립 및 차세대 경쟁력 확보를 위해 나노기술과 타 분야의 융합·협력 강조

○ ‘제6기 과학기술기본계획(2021~2025)’에서는 나노 영역을 주요 첨단 기술 분야로 확대하여 위상 강화하고, 타 분야와의 융합·협력 강조

- 나노기술, 재료, 디바이스를 모두 포괄하는 ‘Material 테크놀러지’라는 용어로 제안 및 ‘첨단재료를 통한 사회혁명(Material 혁명)’ 비전 제시

- 국가적 차원에서의 나노기술 역량 결집을 위한 협력거점 구축
- 세계적인 연구개발 및 오픈이노베이션 거점인 츠쿠바 이노베이션 아레나(TIA) 구축하여 산업계 가교 역할과 인재육성
- 이공계 인력 배출 축소 추세에 들어서면서 우수 나노기술 인력양성을 위해 각 대학교에서 나노기술 교육 프로그램 확대 및 국제협력 강화

○ 차세대 반도체 원천기술 개발 및 반도체 산업 부활

※ 경제산업성을 중심으로 국가차원의 '반도체전략'을 발표 후, 스가(菅義偉) 내각이 반도체 전략을'성장전략'에 반영('21.6)

- 미중 반도체 공급 갈등이 커지며 일본의 영향력이 상승, 하향세였던 반도체산업이 제조장치 및 소재분야를 바탕으로 활로 모색하며 새롭게 반도체 산업의 부활 추진
- 민관 합동의 '반도체·디지털산업 전략검토회의'를 통해 반도체 산업 경쟁력 강화 및 공급망 안정화 관점에서 국가 차원의 전략 제시
- 첨단 로직반도체 양산체제 구축, 차세대 첨단 반도체의 설계·개발 강화, 반도체 기술의 그린이노베이션, 국내 반도체 제조기반의 재생, 경제안전보장 관점에서의 국제전략 추진
- 가장 큰 약점을 세계 유망의 파운드리 부재로 인식하고 일본의 소재·장치산업의 강점과 결을 추진하여 해외 첨단 파운드리 유치전략으로 선회

○ '22년 반도체 산업 경쟁력 제고와 공급망 안정화를 위한 반도체 전략 마련

- 포스트 5G 네트워크의 보급 확산 등에 따른 디지털화 관련 반도체 산업의 육성 차원에서 차세대 첨단 로직 반도체의 설계·개발에 집중
- 반도체 기술의 그린이노베이션을 위한 파워반도체와 광전자 반도체 집중 육성
- 외국 파운드리와 협력을 위해 노후화된 반도체 생산설비 현대화 신·증설 지원

- 자국 소재·부품·장비 산업 경쟁력을 바탕으로 파운드리 기업(TSMC) 유치

□ 대만

▶ 세제 혜택과 반도체 집적단지 조성 등을 통한 국내·외 기업의 대만 내 R&D 투자와 생산 확대를 유도 및 국가반도체연구소 설립

○ '반도체 Moonshot Project' 추진을 통해 반도체 제조공정 및 칩 시스템 대규모 연구개발 추진

- 사물인터넷 등 5+2산업혁신계획*과 연동하여 반도체 제조공정, 칩 시스템 연구개발 등 유망기술** 개발 및 인재육성을 통해 글로벌 경쟁력 제고 노력

* 5(사물인터넷, 신재생에너지, 바이오메디컬, 스마트 기계, 방위)+2(신농업, 순환경제)

** 센서 관련 소자·전자회로·시스템, 차세대 메모리 설계, 인지 컴퓨팅 및 AI 칩, 사물인터넷 시스템·보안, 자율주행차·AR/VR 관련 소자·전자회로·시스템, 반도체 제조공정·재료·소자 관련 신기술

○ 국가 차원의 반도체 연구기관인 '대만반도체연구센터(Taiwan Semiconductor Research Institute, TSRI)' 설립

- 기존 국가실험연구원 산하 칩시스템설계센터(National Chip Implementation Center, CIC)와 나노소자실험실(National Nano Device Laboratories, NDL)을 합병

- 집적회로 설계, 칩 테이프 아웃(tape-out), 반도체소자 제조공정 등 종합적 R&D 및 인재육성, TSMC 등 기업 및 유관기관과의 적극적 협력

○ 파운드리 산업의 반도체 제조 경쟁력 유지를 위해 투자·지원 지속

- 반도체 산업의 제조기반 강화, 기술 및 핵심 장비·소재 경쟁력 강화, 고급 인재의 안정적 확보 등 산업 생태계 강화와 공급망 안정 노력

○ 팹리스-파운드리-디자인하우스 간 긴밀히 상호협력 체계 구축

- TSMC를 중심으로 협력하는 생태계가 자연스럽게 형성되어 있고, 아이디어만 있으면 설계-제조-테스트-양산을 한 번에 구현 가능한 플랫폼 활용 가능
- 최근, TSMC는 Open Innovation Platform을 구축하는 등 장점을 강화하여 추격하는 한국·미국 등과의 격차를 확대
- 대만 AI 칩 연맹 'AITA(AI on Chip Taiwan Alliance)' 출범, TSMC 등 56개 기업이 참여하여 대규모 반도체 허브 결성

□ 한국

▶ 민간 투자의 영역이라는 인식으로 정책적 지원에서 소외·위축되었던 반도체 분야는 정부간 경쟁으로 확대되면서 정부의 관심 및 지원 증가

○ 예타사업* 등을 중심으로 차세대 지능형반도체 신소자개발, 핵심설계 기술, 공정·장비 기술개발 중점 진행 중

* 차세대지능형반도체기술개발, PIM인공지능반도체핵심기술개발사업 등

※ 기업지원을 위해 팹리스를 선별하여 IP 활용, 시제품 제작, 설계 툴 등 패키지 지원

※ 기업 수요 맞춤형 고급인력양성, 반도체설계교육센터(IDEC)를 통한 실무인재 양성 등 핵심 기술인력 양성 지원

○ 정부 정책의 지속적 발표(수립)를 통한 반도체 육성 의지 표명

- (시스템반도체 비전과 전략, 2019) 시스템반도체 산업 육성을 위해 팹리스·파운드리·생태계·인력·설계·기술에 걸친 중점 지원전략 수립
  - 1) 팹리스 수요창출 및 성장 단계별 지원 강화, 2) 파운드리 첨단·틈새시장 동시 공략, 3) 팹리스-파운드리 상생협력 생태계 조성, 4) 민·관 합동 대규모 인력양성, 5) 차세대반도체 기술 확보 등 5대 추진과제 제시
- (인공지능 반도체 산업 발전전략, 2020) 차세대 시스템반도체 산업 성장동력인 인공지능 반도체 집중 육성계획을 수립하여 퍼스트무버형 혁신 기술·인재 확보, 혁신성장형 산업 생태계 활성화의 2개 전략 제시

- 퍼스트무버형 혁신 기술·인재 확보 전략에는 1) 인공지능 반도체 개발을 위한 설계·소자·공정 기술혁신, 2) 신개념 PIM(Processing In Memory) 반도체 기술개발, 3) 인공지능 반도체의 국가 인프라 시범 도입·실증, 4) 민·관 공동투자, 선도대학 육성을 통한 인재양성 등 추진
- 혁신성장형 산업 생태계 활성화 전략에서는 1) 수요맞춤형 인공지능 칩 시장 출시, 2) IP기업-팹리스-디자인하우스-파운드리 간 연대협력 강화를 통한 설계역량 강화 및 공정 혁신, 3) 인공지능 반도체 혁신기업 지원 펀드 조성, 4) 인공지능 반도체 혁신설계센터 신규 구축 추진

- (K-반도체 전략, 2021) 세계 최고 수준의 반도체 공급망 구축을 통한 종합반도체 강국 실현과 반도체 산업 초격차 유지 목표
  - K-반도체 벨트 조성, 인프라 지원 확대, 반도체 성장기반 강화, 반도체 위기 대응력 제고 등 4가지 전략 마련하여 기술개발·인프라 구축·인력양성·생태계 강화 뿐 아니라 세제 개편·금융 지원·규제 합리화 등 전방위 지원
  - 차세대 지능형반도체, 인공지능 반도체, 차세대 전력반도체, 첨단 센서 핵심기술 확보 및 미래차 반도체 공급망 창출과 내재화 추진

- (인공지능 반도체 산업 성장 지원대책, 2022) 인공지능 반도체 산업 전략의 후속 지원 대책으로, 1) 인공지능 반도체 강국 도약을 위한 초격차 기술력 확보, 2) 초기 시장수요 창출, 3) 산·학·연 협력 생태계 조성, 4) 전문인력 양성 등 4개 지원 방안 마련
  - 1) NPU(Neural Processing Unit), PIM 반도체, 뉴로모픽 신소자 등 인공지능 반도체 핵심원천기술 개발, 2) 민간·공공 수요연계를 통한 성능 검증 및 실증, 3) 대기업-산·학·연간 협력생태계 강화, 4) 전문인력양성 등 추진

- (반도체 초강대국 달성전략, 2022) 글로벌 기술패권 경쟁에 대응해 경제안보 핵심인 반도체 산업의 도약을 위한 민·관 합동 전략을 마련하여 산업생태계 강화 추진
  - 기업 투자지원, 민관 공동 인력양성, 시스템반도체 선도기술 확보, 소부장 생태계 구축 등 4가지 전략 마련
  - 시스템반도체 선도기술 확보를 위해 1) 차세대 반도체(전력반도체, 차량용반도체, 인공지능반도체) 기술개발, 2) 수요연계 제품개발 전 주기 지원을 통한 유망 팹리스 육성, 3) 시스템반도체 IP-팹리스-파운드리-후공정 부문별 역량 제고를 통한 생태계 강화 지원 추진

제3절 주요국 공공Fab 현황

□ 개요

▶ 차세대 나노반도체 가치사슬 선점을 위해 최첨단 시설장비 구축 및 연구개발·상용화 지원
▶ 공공성을 기반으로 정부·지자체 일정 부분 지속적 투자기조 유지
▶ 산·학·연 협력의 거점 역할 수행 및 전문인력양성 등 교육 연계 기능 구비

○ 나노반도체 인프라(공공 Fab) 구축·활용을 위한 지원 및 상용화 정책 강화 추세

- 글로벌 경기침체 및 신산업 창출 위해 주요국 대다수가 나노반도체 기술개발과 활용을 위한 인프라 구축 및 활용 지원 정책 추진 중
- 4차 산업혁명 등 급변하는 환경변화에 중추적 역할 수행하도록 산학연 맞춤형 서비스 중심으로 기능 고도화 추진
- 원천기술개발에서 상용화까지 최신 기기 및 산업적 응용 가능성 연구에 사용될 수 있는 대량 생산 공정 등의 개발은 필수적으로 공공 Fab의 중요성 증대

○ 대규모 초기비용 및 글로벌 기술패권 경쟁 우위 확보를 위한 국가 차원의 투자 확대 추세

- 2000년대 유럽 및 미국을 필두로 시작된 공공 Fab은 반도체 기술패권 경쟁과 함께 중국 등 주요국의 경쟁 추세로 80여개 국 투자로 이어짐
- 재정구조의 안정화 및 정부지원 프로그램 다각화를 통해 전문연구·산업인력양성 등 인프라 활용성 강화 추세

[그림 4] 해외 나노반도체 인프라(공공Fab) 기관

〈표 4〉 해외 주요 공공Fab

구분	NNCI (미국)	Albany Nano-fab (미국)	IMEC (벨기에)	MINATEC (프랑스)
소속	해당대학/NSF	SUNY at Albany	독립	독립
재정원천	NSF/사용료	기업/주정부	기업/주정부	정부/기업
주요 이용자	소속대학/ 외부학술연구자	입주기업/ 소속대학	기업/소속연구자	기업/소속연구자/ 지역 전문가
정부와의 관계	- NSF 재정지원 - 일부 주정부의 지원 - 일부 정부 교육사업 연계 지원	주정부의 지원 정부R&D와 연계	주정부의 지원 (초기 50%, 현재 20% 이하)	정부 및 지자체 지원(약 25%)
특징	공공성, 학술연구지원 (개방형 서비스)	입주기업에게 최선의 서비스 제공	기업수요를 선도하는 연구	최첨단 연구시설과 더불어 숙련된 연구인력 지원
시설 규모 및 인력	클린룸 : 대부분 6" 이하의 시설 인력 : 각 사이트별 수십명 이하 지원인력	클린룸 : 7,500㎡ (12" 시설) 인력 : 2,600여명 연구자(300여명 글로벌 파트너 포함)	클린룸 : 10,000㎡ (12"/8" 시설) 인력 : 4,500여명 연구자(900여개국 출신)	클린룸 : 8,000㎡ (12"/8" 시설) 인력 : 2,400여명 연구자
주요 네트워크	16개 사이트 (대학내 인프라)	장비업체, 패키지 업체의 연계촉진	IMEC 중심으로 기업을 연계	지역 기업
대학원 교육 연계	대학 내에 위치	대학 내에 위치	PhD 프로그램 운영 및 인근대학과 협력	자체 교육 프로그램 운영(컨설팅 포함)

〈표 5〉 해외 주요 공공Fab의 재정, 교육, 지원 프로그램 세부 내용

항목		내용
재정 구조 안정	운영비 지원	- 인프라 시설 운영비에 대한 정부 보조 ·NNCI : 약 30-40% 지원 ·ANC : NY 주정부 지원 ·IMEC : 약 20% 지원 ·MINATEC : 국가 지원(총 수입의 40%) - 건설비용은 주정부 및 재단 등에서 지원(NNCI, ANC, MINATEC)
	사용료 수입	- NNCI : 사용료는 경제적이나 정부지원금 수준의 사용료 수입 - ANC : 공용장비 사용료 수입 및 임대수입(입주기업) - IMEC : 기업과 R&D협력, 교육훈련 등으로 전체 수입의 약 80% 창출 - MINATEC : 기업 및 계약자금을 통해 전체 수입의 약 60% 창출
인프라 시설 내 R&D 추진 주체	대학원 수준 연구 및 교육 기능	- NNCI : 대학에 위치, 절반 이상이 해당 대학연구자로 구성 - ANC : SUNY-Albany의 나노과학기술대학과 밀접히 연계 - IMEC : 자체 Ph.D 프로그램을 보유하고 있음 - MINATEC : 산업체 및 학생연구자 상주, 연구인력(약 1,200명)
다양한 정부 지원 프로그램	연구개발 사업의 참여 및 연계	- NNCI : 코넬대는 인프라를 토대로 NSF의 나노기술연구센터, 재료연구센터 사업과 연계 - ANC : NSF·에너지부의 연구센터 지원 사업/연구 개발사업 참여 - IMEC : 유럽연합의 FP7 중 나노전자 분야에서 주도적인 역할 - MINATEC : 9개의 연구플랫폼을 구성, 지역 전문가와 융합연구
기타	교육활동 지원	- 나노기술에 대한 일반적인 교육을 위해 초중고 및 지역사회에서 수행 - 대학생/대학원생들에 대한 기술교육에 중점을 두고 있으며, 특히 NSF의 경우 독립적인 프로젝트를 통해 지원하고 있음
	홍보	- 인프라 시설 홍보를 통해 관련 기업으로부터 장비 기부 - 최신 장비의 성능을 홍보하는 목적으로 저렴한 가격에 장비 구매

□ NNCI(National Nanotechnology Coordinated Infrastructure) / 미국

○ (개요) NNCI는 중소기업 및 기관에 사용자 중심 나노인프라 활용 지원하고자 설립된 국가 네트워크 기구

- 나노 R&D 시설인프라가 대학 및 국립연구소에 편중된 상황에서, 중소기업 및 소규모 학술 기관의 활용 극대화를 위해 NSF가 2015년에 NNIN 후속으로 추진 (연 16백만달러 규모 지원)

- NNCI 네트워크는 미국내 16개 Site로 구성되어 있으며, 29개 대학 및 파트너 조직으로 구성(17개 주에 분포)

[그림 5] 미국 NNCI 네트워크의 위치

○ (기능) NNCI 각 Site의 시설은, 산학연의 학술 연구, 제품 및 프로세스 개발을 지원하며, 미국 및 전세계 학생·전문가가 액세스 가능

- NNCI의 모든 시설은 기존 또는 신생기업에 대해서도 축적된 기술 역량을 토대로 기술 혁신 및 상업화를 지원
- 최신 나노 제조 및 특성화 시설을 통해 미국 내 장비 및 전문지식에 대한 공개 액세스 제공, 2) 교육 및 봉사활동 지원을 위한 리소스를 제공, 3) 나노 기술의 사회 및 윤리적 영향을 교육(SEI)하는 프로그램 리소스 지원

○ (운영) '20년 기준 16개 사용자 시설, 제휴 파트너, 조정위원회(조정사무소)로 구성되며, 첨단 미래 기술분야 집중하에 학계 및 산업계 지원

- 분산된 사용자 시설에서 17개 주에 걸쳐 29개 대학·파트너 조직(혁신센터) 등이 참여하여 기업 및 정부 연구원에게 다양한 첨단 기술분야 전문지식 제공
- 분야별 사이트 직원으로 구성된 기술 실무그룹과 책임자 등을 지정하여 네트워크 체제 운영을 통해 사용자 중심 연구시설 운영
- 시설 사용자는 내부 및 외부 이용자의 비율이 대략, 3:1의 분포를 가지며, 외부 사용자는 학계 연구자와 산업계가 절반을 차지, 시설 사용료는 학계와 산업계에 차별*화하여 적용

* 내부·외부 학계 이용자와 외부 산업계 이용자의 시설 사용료 편차 → 적게는 1.5배, 크게는 3배 정도로 산업계 이용자 시설 사용료가 높게 책정

- 200개 이상 교육 기관, 900개 이상 중소기업, 50개 이상 정부 및 비영리 기관 및 46개 외국 기관을 포함하여 13,000명 이상 사용자가 NNCI 프로그램에 참여 (3년간 5,000명 이상의 사용자를 교육)

○ (시설) 리소그래피 및 나노스케일 분석 기술 등 다양한 시설 보유하고 있으며, 시설 규모는 거점에 따라 다르며, 1개 거점당 인력은 수명 ~ 수십명 규모

□ ANC(Albany Nanotech Complex) / 미국

○ (개요) 뉴욕 주정부 산업정책에 의해 '01년 뉴욕주립대학 Albany 캠퍼스에 설립, 규모 및 시설 측면에서 미국내 최고 수준 나노인프라 기관

- 뉴욕주*와 IBM이 주도하여 기업 지원형 시설로 출발, 주정부는 공간 제공, 관련 기업은 입주하여 연구하는 체제로 상용화 중심시설

  * 뉴욕 주정부의 전폭적 지원(운영비 전체 예산의 30%),'01년 이후 지금까지 총 140억 달러 이상 투자

○ (기능) 시제품 제작부터 시험생산 라인까지 일괄 구조로 입주한 기업들에 대한 전폭적인 지원

- 기업 및 연구시설이 하나의 기술 복합단지(Tech complex)를 형성하고 있으며, 비즈니스 성격이 강하여 지역산업의 산학협력 거점 역할 수행

○ (운영) 지역대학을 중심으로 연구조직과 인프라의 결합에 집중하여 기술주도 클러스터 형성으로 상업화와 학술연구센터로 구분하여 운영

- 기업 공간은 구분되어 독립적으로 운영되고, 대학에 소속되어 운영되나 기업 연구소와 공간 및 장비를 공유하는 운영체제이며, 교육 기능도 강조되어 대학원 교육과 직업교육을 병행 추진

- 대규모 장비회사(ASML)와 최종 제조기업(IBM)들이 필요로 하는 고가의 최신형 장비 위주로 구성되고, IBM 신규 연구조직 및 협력 관계 기업들의 연구조직 다수가 입주, 중소기업의 참여는 거의 없는 상황

※ 대표적 입주기업 : IBM, Applied Materials, Tokyo Electronics, AMD, ASML, Sony, Samsung, SEMATHEC

○ (시설) 75,000m^{2}의 시설 규모에 7,500m^2 클린룸 시설 보유 (300mm Wafer Fab)

- 현재 2,600 여명의 연구자 및 직원 근무, 300 여명의 글로벌 협력 파트너 상주, 규모·시설 측면에서 미국 내 최고 수준으로 나노반도체 기술 상용화 추진

□ IMEC(Interuniversity Microelectronics Centre) / 벨기에

○ (개요) 벨기에에 위치한 IMEC은 국제간 공동 연구, 대학 간의 협력 연구 및 반도체 관련 교육 기능을 수행하며 시험검증 서비스를 제공하여 기술혁신 선도

- 벨기에의 Flander 지방 정부의 지원으로 '84년에 Leuven시에 위치한 KUL(Katholieke Universiteit Leuven) 대학 캠퍼스내 비영리 반도체 연구소로 설계, 시제품 제작, 소량생산 등 고객사 맞춤형 기술 솔루션·서비스를 제공하고 대학, 산업체를 위한 설계 교육훈련 등 수행

※ Intel, 삼성전자, STMicro, TSMC 등 파트너십 업체가 새로운 공정과 소재연구를 진행하거나, 신규 장비 개발 과정에서 양산라인 테스트를 위해 IMEC을 활용

○ (기능) 세계 최고의 나노소자, 반도체 연구를 수행하는 기관으로 ICT, 의료, 에너지 분야 등 글로벌 협력을 통해 다양한 산업 관련 기술 솔루션 제공

- 나노 분야 기업 수요 선도기관 및 지역산업 거점, 산·학·연 거점 역할 수행 및 교육 기능도 강조
  - 전자·나노기술·정보통신시스템 설계 분야에서 기업의 수요보다 앞선 선도적 연구개발을 기획·수행
  - 기업의 요청에 따라 설계, 시제품 제작, 소량생산 등 맞춤형 기술 솔루션·서비스 제공

■ 기업·연구기관 등 파트너에게 선도기술 및 관련 지식을 이전하고, 인력양성을 위한 교육 프로그램 운영

- 반도체 관련 전 공정 연구 집중 추진, 바이오칩·바이오메디컬·차세대 에너지센서기술, 지능형 환경기술 등 다양한 나노반도체 응용분야 연구 추진

○ (운영) 정부로부터 일부 운영 예산을 지원받고 있으나, 대부분 연구 프로젝트가 IIAP*를 통해 진행되므로 다른 연구소와 다르게 저비용 구조로 운영되는 것이 특징

* IIAP(International Industrial Affiliation Program) : 대규모 연구비가 필요한 분야에 참여 기업들이 공동으로 비용을 부담하고, 각 기업의 연구원도 IMEC에 파견하여 연구과제를 국제기업간 공동 연구로 진행하는 프로그램

- 5,000명(방문과학자 포함) 규모 세계 최고 R&D 지향형 나노인프라로 현재 95개국, 600개 기업, 208개 대학의 산학연 협력 거점 역할

※ 스핀오프 기업들이 IMEC 내부 및 주변에 생성되어 지역 경제발전 기여

〈표 6〉 IMEC 파트너를 위한 혜택

분류	제공하는 혜택
인프라	• 장비·재료 공급 업체에는 12,000㎡ 규모의 12인치 공정용 클린룸, 태양광 개발라인, 바이오랩, 테스트렙 및 업무공간을 포함한 IMEC 시설 개방
인재	• 약 5,000여 명의 전문 인력 교류
생태계	• 여러 산업 분야의 대학·기업과의 협업 및 상호작용으로 창의적인 융합 기술개발 생태계 조성

- (운영체계) 대학에서 출발한 독립 연구소로 저비용으로 우수인력 확보 전략

■ 대학과 연계된 학위과정 운영, 모든 연구가 글로벌 산학연구로 추진

■ IIAP 운영방식의 국제 공동연구 추진을 통한 경쟁국 기업과의 자연스러운 인적 교류* 및 기술 교류를 통한 정보수집

* IIAP 파견연구원은 객원 연구원 자격 부여

■ 연구 성과(특허 등 산업재산권 포함)는 참여자 공동 소유 방법

○ (시설) 총 면적 24,400㎡의 사무실, 연구실(Lab.), 교육시설 및 기술 지원 공간으로 구성되었으며, 2개의 클린룸을 구축하여 첨단 제조기술 개발 연구 추진(25억 유로 300mm 반도체 파일럿라인)

〈표 7〉 IMEC 클린룸 현황

클린룸 분류	세부 구성 내역
12인치	• 총 면적 7,200m^2('16년 4,000m^2 증축), 최상의 청정도(Class 1000) 유지 • ASML 스캐너 장비를 중심으로 한 EUV 등 노광장비 • Etch, Implantation, Clean, IM 등 반도체 제조를 위한 공정 첨단 장비 비치
8인치	• 총 면적 5,200m^2 의 규모로, 후공정 제조시설을 포함

□ MINATEC(Micro and Nanotechnologies Innovation Campus) / 프랑스

○ (개요) '02년 프랑스 정부가 1.5억 유로를 투자하여 설립한 연구개발 및 상용화 중심의 나노인프라

- 안정적인 정부지원을 바탕으로 세계 최고 수준의 인프라 구성, 수요 적합형 인재양성을 통해 연구인력을 제공하는 종합연구기관

○ (기능) 프랑스 최대 나노기술 산학연 클러스터, 관련 지역내 거주하는 ICT분야 전문인력과 인프라 기관, 기업과의 연계 및 공동연구 수행

○ (운영) 연간 운영 예산은 대략 3억 유로로, 이중 60% 이상이 기업 및 계약 자금으로 편성

- 연구인력은 대략 3,000여명으로 이중 PhD 포함 2,400여명의 연구자, 600 여명의 산업체 인력으로 구성, 1,200여명의 학생도 클러스터 내에 포함

○ (시설) 8 inch 및 12 inch 용 클린룸 10,000㎡와 공정 및 분석장비 등 구축

□ AIST(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 산업기술종합연구소) / 일본

○ (개요) 통상산업성(현, 경제산업성) 산하의 전기공학연구소, 기계공학연구소 등 15개 기관이 통합하여 2001년 설립

○ (운영) 별도의 공동연구계약을 체결하지 않고, 140대 이상의 장비에 대해 오픈 서비스를 제공

- 미니멀팹기술연구조합을 설립(2010년), 0.5인치급 초소형 웨이퍼를 사용하여 반도체, MEMS 등 첨단소자를 제작하는 장비 개발 위주 프로그램 진행

- AIST 산하에 개방형 연구플랫폼인 SCR(Super Clean Room, 12인치) 구축, 반도체 장비, 공정지원 공용팹 운영

  * 12인치 ArF Immersion Scanner 등 45nm CMOS 전공정, Cu 배선공정 지원 등 공정장비 65대, 분석장비 14대 구축

□ 시사점

○ 주요 선진국은 4차 산업혁명 등 급변하는 기술 변화에 유연하게 대응하기 위한 방안으로써, 공공 Fab을 중심으로 산·학·연 맞춤형 연구가 가능한 환경을 조성해 왔으며 이를 바탕으로 핵심 나노반도체 기술 고도화 선도

○ 주요 선진국은 공공 Fab을 활용하여 나노반도체 핵심기술 연구를 통해 첨단기술 개발, 산업경쟁력 강화를 추진해 왔으며, 장기적이고 적극적인 투자유지

- 나노 수준에서 일어나는 현상을 측정·분석·제어하는 나노반도체 기술은 기반적 성격이 강하여 인프라 관점의 접근이 필요하기에, 시설을 구성하고 유지·관리를 위해서는 국가적 지원 필수

  ※ 미국은 NNCI 소속센터에 대해 NSF에서 연간 1600만불 지원하고, 전기/수도/가스 등 기본인프라는 주정부에서 지원

  ※ 세계 최고 나노인프라인 벨기에 IMEC도 지방정부 등에서 운영비 1/3 지원

○ 주요 선진국은 공공 Fab을 단순히 인프라 서비스 기관으로 국한시키지 않고, 원천기술의 연구개발은 물론 개발된 기술의 상용화까지 전주기적인 부분에서 핵심적인 역할을 수행할 수 있는 환경 조성

※ 주요 국가 공공 Fab의 경우, 처음에는 공적 자금을 받아 활동을 시작했지만, 추후 독자적인 비즈니스 모델을 수립하여 기업과의 공동 연구를 적극적으로 수행

- 주요 선진국의 공공 Fab은 핵심기술개발을 통해 스핀오프(spin off)를 적극 추진해 왔으며, 이러한 시스템을 기반으로 전문연구/산업인력을 양성

○ 재정구조의 안정화 및 정부의 지원 프로그램 다각화를 통해 국내 공공 Fab이 장기적으로 나노반도체 핵심기술을 개발을 지원할 수 있는 여건 마련 필요

- 해외 주요 기관의 경우 자립 능력이 충분히 있음에도 불구하고 중앙정부로부터 일정부분 재정지원을 받아 미래성장동력 기술 개발에 박차
- 이를 통해 장기적 관점에서의 적극적인 연구를 진행하여 핵심기술개발을 위한 선순환 구조 구축

○ 해외 기관의 경우 최첨단 인프라 시설뿐만 아니라, 대학원 수준의 연구 및 교육 기능이 인프라 시설 내부에 존재하고 있어 질 높은 연구개발이 이루어질 수 있는 기반이 마련

제4절 국내 공공Fab 구축·운영현황

□ 개요

○ 우리나라 나노인프라(공공 Fab)는 나노기술 관련 연구개발 시설·장비의 공동활용, 전문인력 양성, 연구성과의 실용화 및 기업의 창업 지원을 목적으로 구축

- 2002년 나노종합기술원을 시작으로 과학기술정보통신부와 산업통상자원부가 전국 6개 나노인프라*를 구축하고 2005년부터 서비스 지원 시작

  * 나노종합기술원, 한국나노기술원, 나노융합기술원, 전북나노기술집적센터, 광주나노기술집적센터, 나노공정기술센터

○ 우리나라의 공공 Fab은 국가나노인프라 회원기관을 의미

- 나노인프라 확대 : 2022년 6개 → 12개*, 2023년 12개 → 14개**로 확대

  ※ (2022년 확대) 서울대학교 반도체공동연구소, 전북대학교 반도체물성연구소, DGIST 차세대반도체융합연구소, UNIST 연구지원본부, 나노융합센터(밀양), 철원플라즈마산업기술연구소가 국가나노인프라협의체 회원으로 가입

  ※ (2023년 확대) ETRI 초지능창의연구소, KIST 마이크로나노팹센터가 국가나노인프라협의체 회원으로 가입

○ 한국나노기술원(수원), 철원플라즈마산업기술연구소는 독립법인, 그 외 12개 나노인프라는 母기관의 산하 조직으로 설립·운영

○ 나노소재 중심의 나노공정기술센터(대구), 플라즈마산업기술연구원(철원), 디스플레이 관련 전북나노기술집적센터 外 11개 기관은 반도체 등 소자 중심 지원

[그림 6] 국내 공공Fab 구축현황

□ 구축 경과(기존 공공Fab)

○ 나노팹센터구축사업

- 과학기술부(舊)는 나노종합기술원(종합팹, 2002년)/한국나노기술원(특화팹, 2003년) 구축

※ 공모에 의한 선정

○ 나노기술집적센터구축사업

- 산업자원부(舊)는 나노융합기술원, 전북·광주나노기술집적센터 구축(2004년)

※ 공모에 의한 선정

○ 상기 외 나노인프라

- 국가나노인프라협의체 회원기관 가입을 통한 나노인프라 역할 담당(수행)
- 회원가입 절차 : 가입신청 → 현장실사 → 이사회 의결

※ 회원가입 자격 기준 : 구축비 300억원 이상 투입 및 서비스 개시 후 1년 경과 한 시설(기관 등)

□ 국가 나노인프라간 연계활성화 추진(2010년)

○ 추진배경

- 나노기술 R&D 및 산업화 지원을 위해 '02년부터 분야별·지역별로 대형 나노인프라 시설을 구축하여 운영

  * 교과부(2개) : 나노종합팹(대전), 나노소자특화팹(수원)

  * 지경부(4개) : 나노기술집적센터(포항·전북·광주), 나노융합실용화센터(대구)

- 인프라 구축 사업이 종료(교과부 '11년, 지경부 '09년)됨에 따라, 기관 간 연계 활용 방안 및 전략적 투자 계획 필요

  ※ 각 기관의 구축사업 지원이 종료되는 시점부터 기관에 따라 운영수지에 매년 적자가 발생할 것으로 예상

○ 문제점 분석

- 폐쇄형 운영구조

  ■ 단순 분석·측정·공정을 위탁받아 수행하는 형태로 staff들의 역량 소모가 심하고, 기술컨설팅 등 고부가가치 서비스 제공 곤란

- 취약한 R&D 역량

  ■ 내부 연구조직이 신생조직이고 참여 인원이 많지 않으며, 박사급 연구원 비중이 적어 고부가가치 서비스 제공 부족

  * 제한된 기초·원천기술 R&D 사업 수행은 staff들을 연구개발자보다는 단순 operator 역할에만 머물게 하였음

- 마케팅 역량 미흡

  ■ 체계적 마케팅 활동과 미래지향적인 잠재 수요자 발굴에 한계

- 상호연계 협력의 부족

  ■ 각 기관들이 독립적 발전 경로를 취함으로써 연계 협력 체계가 부족하여 인프라 간 시너지 효과 창출 미흡

- 나노인프라 인력 운용 문제

  ■ 팹 인력 부족으로 고부가 R&D 사업 유치 및 지원에 한계를 가지며 서비스 질 저하 발생

○ 중점 추진과제

▶ 부처 간(나노인프라 기관 간) 연계 강화

- 6개 인프라 공동 협력체계 구축을 목적으로 국과위전문위원, 인프라 기관장 및 전문가, 정부를 포함한「국가나노인프라협의체」구성
  - 기관 간 정보 공유와 인프라 활성화를 위한 정책대안 연구, 나노인프라간 역할 조정 및 정부 정책과의 연계 등 수행
- 부처 합동 지원사업 발굴
  - (인력양성) 나노인프라 활용 인력양성 사업 확대 추진
  - (R&D) 공정 개발, 장비 개발, 시험/분석/측정/표준 개발을 패키지화 하여 교과부·지경부가 공동으로 투자하는 R&D 프로그램 추진

▶ 제도 개선

- 특화된 전문인력 운영 및 R&D 인력의 순차적 증원
  - (교과부) 특화 지원분야에 대한 R&D 지원인력 중심으로 단계별 증원 추진
  - (지경부) 단기 계약직에서 점진적인 “무기 계약직”으로 전환하여 안정적인 연구인력 확충 추진
- 연구 과제 추진 시 나노인프라와의 연계 유도
  - 나노 연구과제 추진 시 유사장비 구입을 자제하고 기 구축장비를 활용하도록 유도하는 등 인프라와 연구자 간의 적극적 연계 유도
- 표준 평가지표 마련
  - 6개 인프라 기관별로 상이한 인프라 운용 및 평가지표를 표준화하여 단일화하고 연계 활성화의 기틀을 마련

▶ 나노인프라 활성화(자구 노력)

- 기관별 자립화 목표 및 자립계획 수립

■ 성과활용 기간을 설정하여 기관별로 엄격한 경영성과 관리 추진

※ 기관별 특성을 반영한 단계별 자립화 목표를 설정하고, 목표 달성을 위한 자립계획 수립

- 개방형 운영체계 확립

■ 단순 분석·측정·공정 서비스에서 벗어나 수요자가 사전 장비교육을 받고 직접 장비를 사용·운용하는 개방형 운영구조의 확대

- 공공·민간 R&D 조직 유치

■ 역량있는 R&D 주체와 기업을 유치하여, 나노기술 연구 및 지식창출의 허브로 발전함으로써 취약한 R&D 역량을 개선

- 기획·마케팅 역량 강화

■ '공급자 중심'의 R&D 서비스에서 벗어나 '수요자 중심'으로 전환

▶ 나노인프라 중장기 발전전략 수립

- 나노인프라 운영성과 분석 및 인프라 맵 작성 추진

■ 인프라 구축 및 운영 성과 분석 틀을 마련하여 성과분석 실시하고 기존 인프라 및 연구장비를 망라한 지역별·기능별 맵 작성

- 장비 고도화 사업 추진(교과부) 및 자립화 기반확립(지경부)

■ (교과부) 단계별로 설정되는 성과활용기간('10년 ~ '11년)내 성과분석 결과를 바탕으로 장비고도화 등을 포함한 계획 수립

■ (지경부) 5개년 성과활용기간('10년 ~ '14년)을 두어 집적센터 자립화 기반 확립

□ 성장·확대

○ 최근 주요 기반구축사업(6대 나노인프라)_('19년 이후)

■ 시스템반도체 연계 지원 나노팹 기능고도화 공정 체계 구축('19년 ~ '22년)

■ 소관부처 : 과학기술정보통신부

■ 주요내용 : 실리콘 및 화합물분야 시스템반도체 지원을 위한 공정

및 성능평가장비를 구축하고 필요한 기술 개발 지원

- 수행기관 및 예산 : 나노종합기술원 / 400억원, 한국나노기술원 / 425억원

- 반도체 테스트베드 구축사업('19년 ~ '22년)
  - 소관부처 : 과학기술정보통신부
  - 주요내용 : 반도체 소재 R&D용 12인치 테스트베드 구축을 통한 핵심 소재 성능 테스트 지원
  - 수행기관 및 예산 : 나노종합기술원 / 450억원

- 산업혁신기반구축사업('20년 ~ '22년)
  - 소관부처 : 산업통상자원부
  - 주요내용 : 소·중견 기업이 직접 구축하기 힘든 R&D 인프라를 대학 및 공공기관에 구축하여 기업의 기술혁신 활동 지원
  - 수행기관 및 예산 : 나노융합기술원 / 137억원, 전북나노기술집적센터·나노공정기술센터 / 144억원, 광주나노기술집적센터 / 74억원

☞ 현안 : 나노인프라 장비 고도화

○ 산업부 산하 나노인프라의 경우, '10년 이후 정부의 직접적인 나노분야 사업으로 장비투자 없음 → 신공정(기술) 대응을 위한 지원 필요

※ 나노인프라 구축 후 15년 이상 경과함에 따라, 장비 감가상각 내용연수(5~10년)가 지나고 있음

※ 기술수요 변화

주요 변화		구축 당시('05)	구축 10년 후('15~)
선폭		100㎚	〈10㎚
웨이퍼 크기	Si	8인치	12인치
	화합물	2 ~ 6 인치	8인치
소재의 변화		실리콘	Glass, 유연기판
소자의 복잡도		2D	3D 집적
소자 및 공정의 다양성		CMOS, MEMS	센서, 바이오칩, 유기물을 이용한 소자, 3D 프린팅
디스플레이	기판	Glass	유연기판
	선폭	8㎛	1~3㎛

* 나노인프라 구축 시와 비교하여 기술수요 변화 발생

※ 해외 유수 나노팹의 경우(IMEC/벨, MINATEC/프 등), 시설 및 장비 고도화가 지속적으로 이루어져 기술변화 등에 선제적 대응

○ 주요 서비스 역량고도화(6대 나노인프라)

- 선행공정플랫폼기술개발사업('15 ~ '20)
  - 소관부처 : 과학기술정보통신부
  - 주요내용 : 4차 산업혁명 구현에 필요한 IoT용 센서·소자 시장수요 급증 예상에 따라, 관련 센서·소자의 핵심기능(초절전, 초소형·고집적, 고감도·고성능)이 포함된 5대 공정기술* 확보 및 개방형 공정 플랫폼기술 서비스 제공

    * 차세대 초절전 집적공정 플랫폼, 초소형 NEMS 공정플랫폼, 초미세 CMOS 공정플랫폼, 고집적·다차원 센서 공정플랫폼, 고감도·고성능·극한환경 센서용 공정플랫폼
  - 수행기관 및 예산 : 나노종합기술원, 한국나노기술원, 나노융합기술원, 인하대학교, 한양대학교 / 285억원
- 기술사업화 지원형 나노소자기술 표준공정 개발 및 시험인증 시스템 구축('19 ~ '23)
  - 소관부처 : 과학기술정보통신부
  - 주요내용 : 산·학·연 나노기술 연구개발 수요 대응을 위한 전력반도체, 디스플레이, 유연 조명 소자 제작에 필요한 표준공정 및 공인 시험인증 기술개발
  - 수행기관 및 예산 : 6대 나노인프라 / 53억원
- 초연결 미래소자용 에피소재 및 시제품 제작 지원을 위한 플랫폼 개발('19 ~ '23)
  - 소관부처 : 과학기술정보통신부
  - 주요내용 : 초연결 미래소자용 대구경 III-N, III-V 기반 고품위 에피소재 국산화 및 전자소자/광소자 시제품 제작 지원
  - 수행기관 및 예산 : 한국나노기술원 / 64억원

- 8인치 기반 차세대 집적기술향 130nm급 CMOS기술개발('23 ~ '27)
  - 소관부처 : 과학기술정보통신부
  - 주요내용 : 차세대 집적기술에 근간기술로 제공하기 위한 8인치 기반 130nm급 CMOS 기술을 개발을 통해 차세대 집적기술을 개발하고자 하는 기술수요자에게 플랫폼기술을 제공, 융·복합 반도체 관련 산업 육성
  - 수행기관 및 예산 : 나노종합기술원 / 90억원
- 200 mm Cu BEOL 기반 이종집적용 첨단패키지 선행공정 기술 개발('23 ~ '27)
  - 소관부처 : 과학기술정보통신부
  - 주요내용 : 차세대반도체 연구개발지원을 위하여 200mm Cu BEOL(Back End Of Line) 공정을 기반으로 이종집적용 3D 하이브리드본딩, 2DS 실리콘 브리지, 2DO 폴리머기반 금속재배선 선행공정 기술개발
  - 수행기관 및 예산 : 한국나노기술원 / 90억원
- 8인치 SiC 웨이퍼 기반 멀티센서 SoC 플랫폼 개발('23 ~ '27)
  - 소관부처 : 과학기술정보통신부
  - 주요내용 : 극한환경에서 구동 가능한 8인치 대구경 SiC 기반 CMOS, 센서 및 집적회로 공정플랫폼 개발
  - 수행기관 및 예산 : 나노융합기술원 / 90억원

○ 국가 나노인프라(협의체 회원기관) 확대

- (2011. 8) 6개 나노인프라*를 기반으로 국가나노인프라협의체 설립

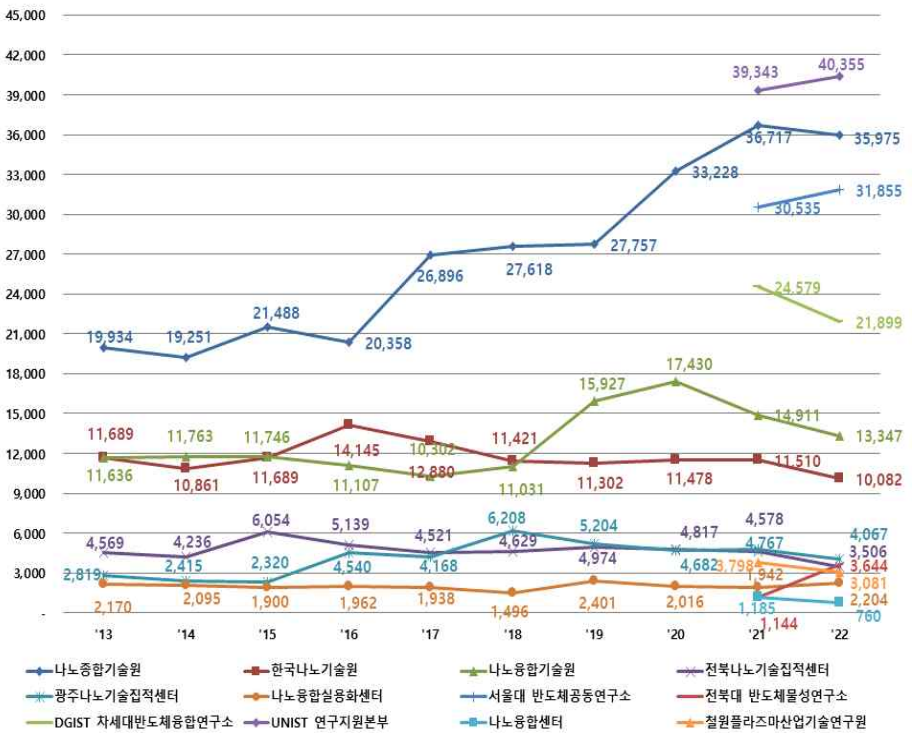
  * 나노종합기술원, 한국나노기술원, 나노융합기술원, 전북/광주나노기술집적센터, 나노공정기술센터

- (2022. 01) 나노인프라 확대(6개 → 12개)
  - 신규 나노인프라 : 서울대학교 반도체공동연구소, 전북대학교 반도체물성연구소, DGIST 차세대반도체융합연구소, UNIST 연구지원본부, 나노융합센터(밀양), 철원플라즈마산업기술연구원
- (2023. 02) 나노인프라 확대(12개 → 14개)
  - 신규 나노인프라 : ETRI ICT창의연구소, KIST 마이크로나노팹센터

○ 이용자 지원 양적 증가

- 이용건수(12개 공공팹)

(단위 : 건)



[그림 7] 국내 공공Fab 이용건수 추이('13~'22)

- 나노인프라 주요 이용 현황('22년)

〈표 8〉 나노인프라 주요 현황('22년 기준)

(단위 : 백만원, 건, 시간, 명)

소관 부처	기관명	이용 수입	이용 건수	장비 서비스 시간	이용 자수	인력 양성
과학 기술 정보 통신부	나노종합 기술원(대전)	24,224	35,975	278,680	2,719	437
	한국나노 기술원(수원)	8,911	10,082	63,327	1,765	481
	서울대학교 반도체공동연구소	1,679	31,855	48,722	3,080	1,313
	전북대학교 반도체물성연구소	145	3,644	4,974	357	287
	DGIST(대구경북과학기술원) 차세대반도체융합연구소	1,759	21,899	39,793	756	1,503
	UNIST(울산과학기술원) 연구지원본부	1,998	40,355	64,076	939	470
산업 통상 자원부	나노융합 기술원(포항)	5,287	13,347	54,609	653	4,796
	전북나노기술 집적센터	1,180	3,506	23,074	113	109
	광주나노기술 집적센터	671	4,067	20,355	251	64
	나노공정기술센터(대구)	348	2,204	130,279	251	62
	나노융합센터 (밀양)	11	760	6,170	28	107
	철원플라즈마 산업기술연구원	623	3,368	36,141	1,192	58
계		46,836	171,062	770,200	12,104	9,687

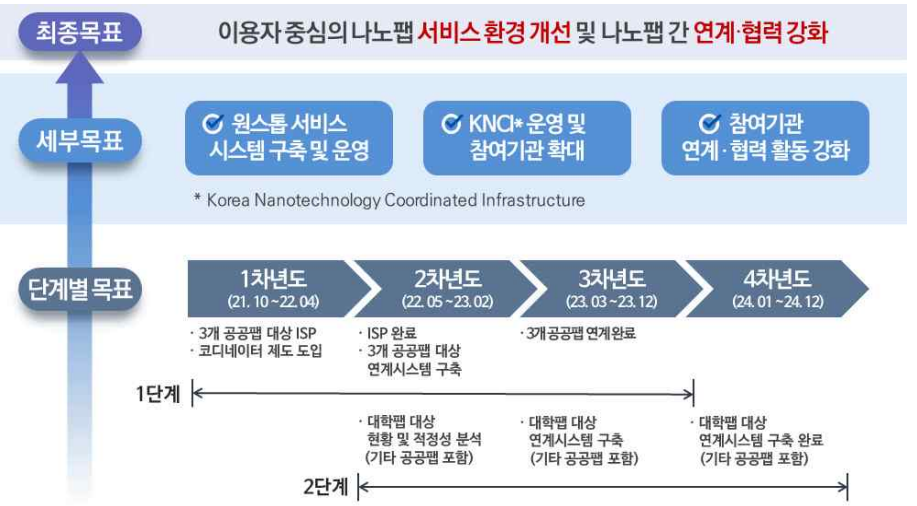
※ 인력양성의 경우, 나노인프라별 장기, 중기, 단기 프로그램을 제공

□ 이용자 지원시스템 고도화

○ 나노인프라 연계·협력 체계 강화 및 통합정보시스템 구축(과학기술정보통신부)

- 주요내용 : 이용자 중심의 원스톱 서비스 지원시스템 구축·운영 및 KNCI* 운영 활성화를 통한 나노인프라 이용환경 개선 및 연계·협력 기능 강화

* Korea Nanotechnology Coordinated Infrastructure

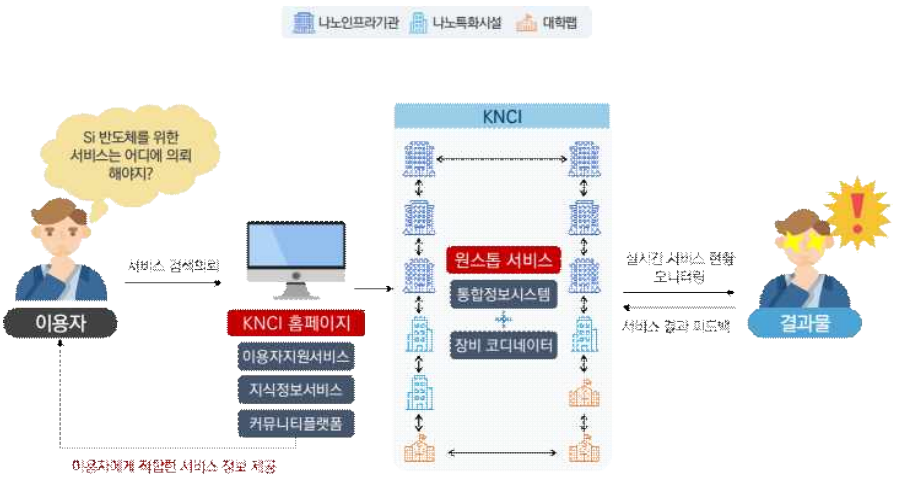


[그림 8] 나노인프라 연계·협력 체계 강화 및 통합정보시스템 구축

- (1단계 참여기관) 나노종합기술원, 한국나노기술원, 나노융합기술원
- (2단계 참여기관) 서울대학교 반도체공동연구소, DGIST 차세대반도체융합연구소, ETRI ICT창의연구소

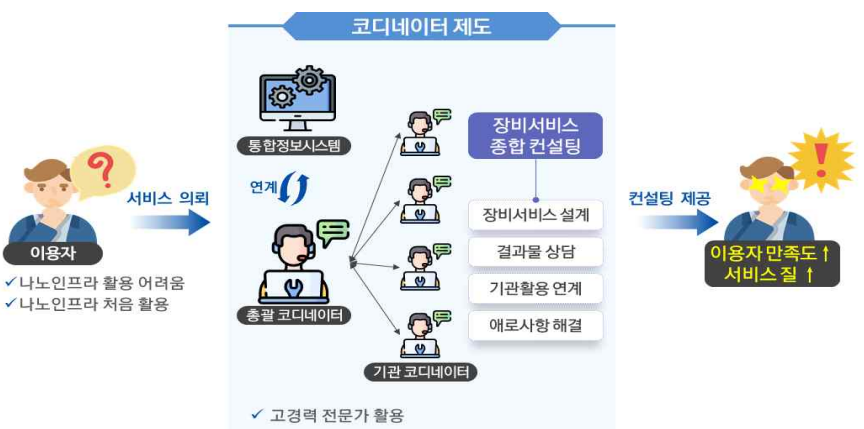
※ 반도체 일괄공정 서비스가 가능한 기관을 대상으로 통합정보시스템 구축 추진 중

- 이용자 편의성 및 접근성 향상을 위한 통합정보시스템(Virtual Fab) 구축



[그림 9] 통합정보시스템 지원 프로세스

- 코디네이터 운용 등 수요자 공정서비스 지원시스템 구축·운영

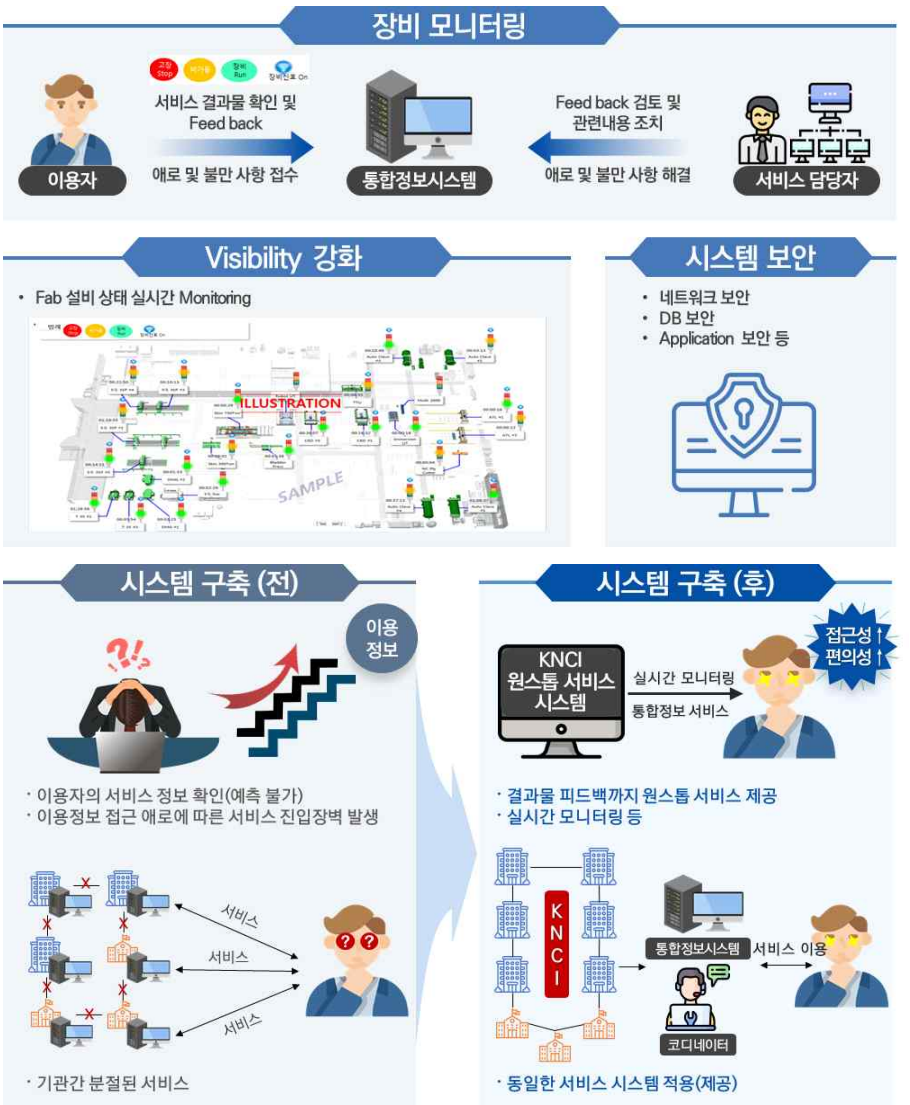


[그림 10] 코디네이터 제도

- 산재된 나노인프라 역량을 통합, 네트워크화하고 수요자 중심 원스톱 서비스 체계 구축

  ■ 참여기관 원스톱 통합정보 서비스 시스템* 구축운영으로 수요자 맞춤형 원스톱 지원 추진

  * 이용자 서비스 모니터링 시스템, 장비 및 공정기술, 관련 동향 등 나노인프라 이용자 통합지원 기능 구현



[그림 11] 통합정보시스템 사후관리 및 기대효과

- 나노인프라간 연계·협력 활동 지원, 성과관리, 수요장비(수요기술 연계) 우선순위 도출 및 이용자 만족도 향상 등을 위한 KNCI 운영 등

- 나노인프라 연계·협력 지원체계 고도화
  - ■ 나노인프라 공정기술·장비구축 로드맵 관리
  - ■ 나노인프라간 기능·역할 조정 및 상호교류 활성화

제5절 국내 공공Fab 관련 정책

□ 나노기술종합발전계획

○ 개관

- 나노기술개발촉진법 제4조(나노기술종합발전계획의 수립)와 동법 시행령 제2조(나노기술종합발전계획)에 따라 과학기술정보통신부장관이 5년마다 수립
  - ■ 동 계획은 나노기술개발촉진법에 근거하여 수립하는 나노기술 분야의 최상위 계획으로 공공 Fab(나노인프라) 관련 정책 반영
  - ■ 현행 계획은 제5기 나노기술종합발전계획(2021년 4월)으로서, 나노기술발전의 비전과 목표를 실행하기 위한 전략과 중점과제를 수립
- (수립체계) 과학기술정보통신부를 주무부처로 하는 관계부처 추진위* 및 산·학·연·관 전문가들로 구성된 기획위원회** 구성·운영

  * 관계부처 추진위 : 기획재정부, 과학기술정보통신부, 교육부, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 보건복지부, 환경부, 중소벤처기업부, 식품의약품안전처

  ** 기획위 : 6개 분과 및 총괄기획팀 등 전문가 105명 참여
- (비전 및 목표) “나노기술 혁신으로 글로벌 미래사회 선도”를 비전으로 하고, “글로벌 미래선도 나노기술 경쟁력 확보”와 “나노융합산업 글로벌 리더로의 도약”을 핵심 목표로 제시
- 제5기 나노기술종합발전계획은 1) 글로벌 선도 창의·도전 나노연구 강화, 2) 혁신성장 주도 나노융합산업 경쟁력 강화, 3) 나노팹인프라 기능 고도화, 4) 나노기술 혁신기반 확충 등 4가지 전략을 설정
  - ■ 이 중 세 번째 전략인 나노팹인프라 기능 고도화에서 나노인프라 정책 방향을 제시

○ 주요내용

- 공공 Fab 관련 나노팹인프라 기능 고도화 정책은 1) 나노팹인프라 지원체계 고도화, 2) 나노팹인프라 지원기능 고도화, 3) 나노팹인프라 혁신 및 중장기 발전전략 마련을 제시

- (나노팹인프라 지원체계 고도화) 나노인프라 참여기관 확대 및 이를 바탕으로 권역별 지원체계와 타권역간 연계 지원체계를 가동하여 전국적인 연구개발 지원

  ■ 2025년까지 국가나노인프라협의체 회원기관을 매년 2~3개씩 10개 내외의 나노인프라 추가

  ■ 권역내 나노·반도체 관련 교육·연구·산업 수요 대응을 위해 권역별 지원체계를 구축·운영하고 첨단연구·상용화 수요는 권역간 연계·협력체계를 통해 지원

- (나노팹인프라 지원기능 고도화) 반도체 테스트베드와 차세대 반도체 개발 등 시급한 현안 대응에 주력하고, 나노팹센터별 특화분야 역량 개발을 강화하여 공정 지원능력을 향상하고 기술사업화 성과를 제고

  ■ 반도체 후방산업의 기술 자립화를 위해 양산 수준의 소재·부품·장비 공공테스트베드를 구축하고 시험과 성능평가 지원

  ■ 나노팹센터별 특화 분야에 대한 상용화 기술을 지원

- (나노팹인프라 혁신 및 중장기 발전전략 마련) 노후 시설 장비 교체 및 유지관리 지속 이용자 편의성 증진 등을 통해 인프라 서비스 고품질화와 중장기 전략 마련을 통한 미래 대비

〈표 9〉 제5기 나노기술종합발전계획의 나노인프라 관련 주요 내용

중점과제	주요 내용
나노팹인프라 지원체계 고도화	▪ 한국형 나노인프라 지원체계 기반 조성 ▪ 권역별 나노인프라 지원체계 구축 ▪ 특화분야별 나노인프라 협력체계 마련
나노팹인프라 지원기능 고도화	▪ 소재·부품·장비 반도체 테스트베드 지원 강화 ▪ 차세대 반도체 개발지원 강화 ▪ 나노인프라 공정능력 및 기술사업화 강화
나노팹인프라 혁신 및 중장기 발전전략 마련	▪ 나노인프라 시설·장비 및 서비스 고도화 ▪ 글로벌 선도 국가나노인프라 발전전략 마련

□ 국가나노기술지도

○ 나노기술법 제6조(연구개발의 추진)와 동법 시행령 제5조(나노기술지도의 작성)에 따라 나노기술분야의 종합적인 기술지도를 과학기술정보통신부장관 5년마다 작성

- (비전 및 목표) “나노기술 혁신을 통한 새로운 전환”을 비전으로 하고, “Big Questions* 해결을 위한 나노기술 고도화”를 목표로 설정

  * 예시: 스마트라이프 혁명을 위한 초거대 AI반도체가 가능한가

  ▪ 현행 기술지도는 2023년 6월에 확정된 제4기 국가나노기술지도로서, 분야별 연구·산업화 지원 역량 강화를 위해 나노팹 시설·장비를 고도화하고 인프라 간 연계·협력을 확대하는 방안을 제시

〈표 10〉 국가나노기술지도의 나노인프라 관련 주요 내용

구분	내용	부처·기관
정보전자	- 범용장비 기반 양자 소자 제조 인프라 구축 및 표준공정기술 개발	과학기술정보통신부 한국나노기술원
에너지	- 차세대 이차전지(전고체 리튬전지) 기술지원 체계 구축을 통해 일괄공정구축 및 제품화 검증 지원	산업통상자원부 광주나노기술집적센터
환경	- 반도체·디스플레이 탄소중립 공정 테스트베드 기능 강화	산업통상자원부 전북나노기술집적센터
바이오	- 나노인프라 기반 바이오 융합 중심 R&BD 기술 지원	과학기술정보통신부 나노종합기술원
기반	- 나노인프라 통합정보시스템(Virtual Fab)	과학기술정보통신부 국가나노인프라협의체

제6절 정부 R&D 반도체 시설·장비 투자 분석

□ 효율적인 투자를 위해 공공Fab을 대상으로 한 투자현황 외에도 정부의 반도체 시설·장비 대상 전체 투자현황을 동시에 분석할 필요에 의해 아래와 같은 방법으로 투자현황 분석을 진행

○ 분석 대상은 최근 5년간('17~'21) 정부 R&D 과제 조사·분석 데이터 전체로 하고, 하기의 방법과 흐름에 따라 반도체 시설·장비에 투자한 과제를 필터링

- 먼저, 반도체 시설·장비와 유관하다고 판단되는 1차 후보 과제를 과학기술표준분류(7개 중분류)[1]를 기준으로 Pre-screening 진행
- 이어서 Pre-screening 진행된 1차 후보 과제 리스트를 대상으로 연구내용과 키워드 분석을 수행하여 2차 후보 과제를 필터링
- 위 분석 결과인 2차 후보 과제 중 과제의 성격을 기술개발, 기반구축으로 나누어 라벨링을 진행하고, 기반구축에 해당하는 과제만 반도체 시설·장비 투자 최종 과제로 선별

○ 위 과제 필터링 작업 방법과 흐름은 한국과학기술기획평가원 내부 연구진이 공동으로 전략 수립

- 또한, 작업 후에도 연구진 간 교차 검증 수행을 통하여 수행 추진 체계의 합리성을 확보

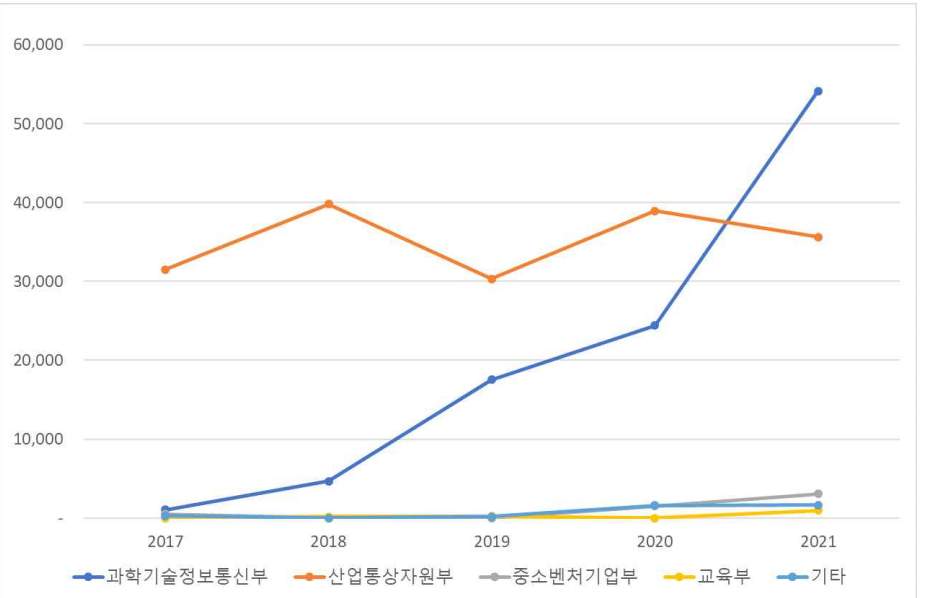
○ 분석의 결과로 부처별, 연구개발단계별, 연구수행주체별, 지역별, 과학기술표준분류(중분류)별, 매칭펀드, 비목별(총연구비 기준) 최근 5년간 투자현황을 제시

---

1) ①계측기기 , ②기타 전기 전자 , ③반도체소자 시스템 , ④반도체장비 , ⑤전기전자부품, ⑥중전기기 , ⑦측정표준 시험평가기술

□ 최근 5년간('17~'21) 반도체 시설·장비에 대한 정부 R&D 전체 투자 규모는 총 2,881억 원으로 조사되었으며, 다양한 조건에 따른 심층 분석 결과는 아래와 같음

○ 부처별 투자현황 분석 결과, 최근 5년간 총액 기준으로는 산업통상자원부(1,762억) 〉 과학기술정보통신부(1,018억) 〉 중소벤처기업부(51억) 〉 교육부(13억) 순서로 나타남



단위: 백만원

부처	2017	2018	2019	2020	2021	총합계
과학기술정보통신부	1,064	4,648	17,530	24,409	54,144	101,795
산업통상자원부	31,516	39,812	30,324	38,932	35,654	176,238
중소벤처기업부	505	-	-	1,500	3,050	5,055
교육부	-	189	210	-	939	1,338
기타	270	-	154	1,593	1,640	3,657
총합계	33,355	44,649	48,218	66,433	95,427	288,083

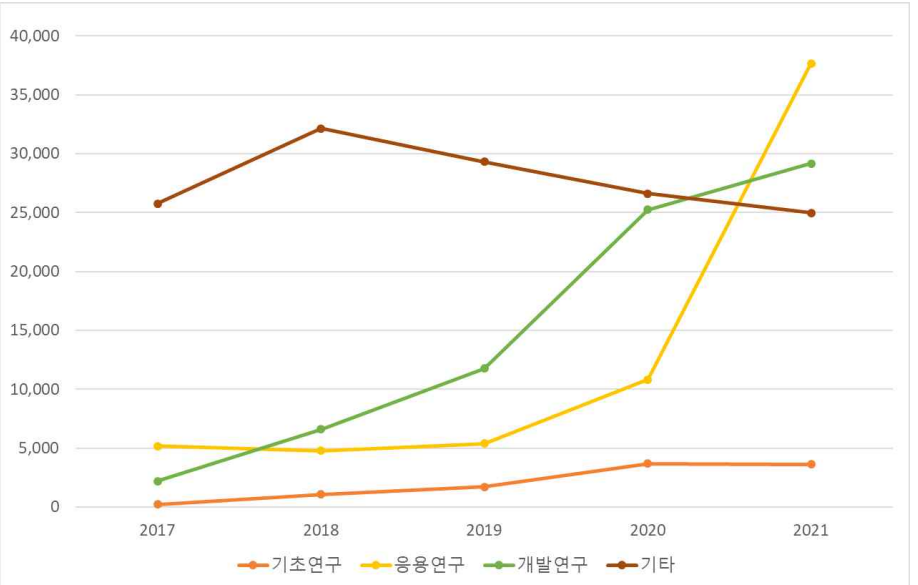
[그림 12] 최근 5년간('17~'21) 부처별 반도체 시설·장비 투자현황

- 산업통상자원부는 매년 300~400억 원의 투자 규모를 최근 5년간 꾸준히 유지하고 있어 안정적인 투자가 진행 중

- 과학기술정보통신부는 ’17년(11억) 이후 투자 규모를 지속하여 대폭 증가시켜 ’21년에는 541억 원을 기록하고 산업통상자원부의 투자 규모(357억)를 역전
- 위와 같은 과학기술정보통신부의 투자 규모 대폭 확대는 ’19년 대일 소재·부품·장비 이슈에서 비롯된 것으로 보이며, 시설·장비 투자의 대상이 소관 정부출연연구소로 확대됨에 따라 생긴 현상
- 다소 간헐적이고 상대적으로 소규모이긴 하나, 중소벤처기업부와 교육부 및 기타 부처의 투자 또한 지속 확대 중

○ 연구개발단계별 투자현황 분석 결과, 최근 5년간 총액 기준으로는 기타(1,388억) 〉 개발연구(750억) 〉 응용연구(639억) 〉 기초연구(104억) 순서로 나타남

- 시설·장비 투자와 연구개발단계와의 매칭이 모호할 수가 있어 기타 단계의 투자 규모가 총액 기준 최상위를 기록한 것으로 보임
- 그러나 이와 같은 투자현황은 ’18년을 기준으로 개선되어 기타 분야 투자 규모가 감소하고, 나머지 기초·응용·개발 연구에 연결되는 투자 규모가 증가하는 추이를 나타냄
- 이러한 개선 상황은 지속되어, ’21년에는 응용연구(377억) 〉 개발연구(292억) 〉 기타(250억) 〉 기초연구(36억) 순으로 응용·개발 연구 투자 규모가 기타를 역전하는 것으로 나타남
- 이러한 결과는 정부의 반도체 R&D 시설·장비 구축의 투자 흐름이 사업화를 앞둔 Test-bed로서의 전략에 명확히 부합하도록 개선되는 증거라고 해석할 수 있음



단위: 백만원

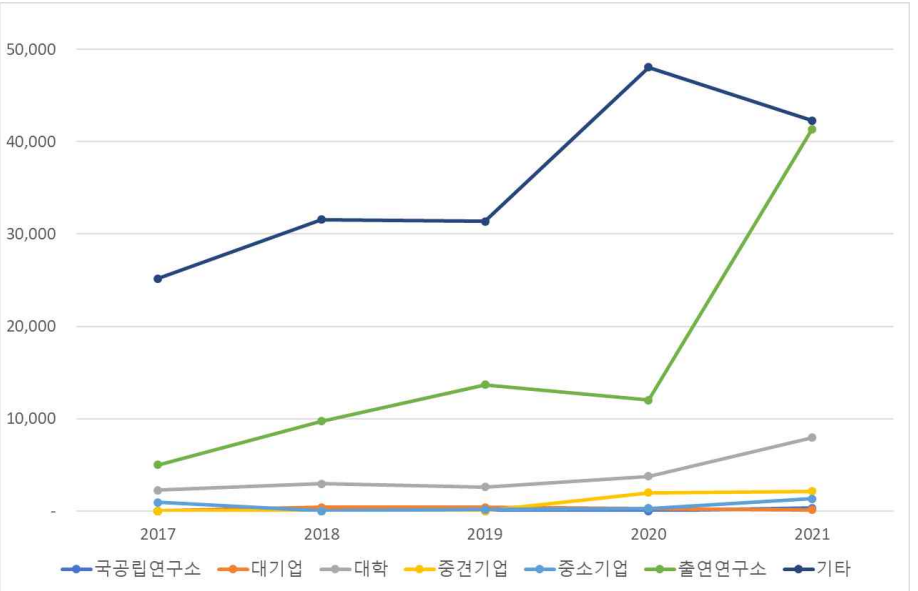
연구개발단계	2017	2018	2019	2020	2021	총합계
기초연구	218	1,090	1,727	3,701	3,634	10,370
응용연구	5,166	4,794	5,406	10,836	37,672	63,874
개발연구	2,200	6,621	11,756	25,265	29,155	74,997
기타	25,772	32,144	29,329	26,631	24,967	138,843
총합계	33,355	44,649	48,218	66,433	95,427	288,083

[그림 13] 최근 5년간('17~'21) 연구개발단계별 반도체 시설·장비 투자현황

○ 연구수행주체별 투자현황 분석 결과, 최근 5년간 총액 기준으로는 기타(1,785억) 〉 출연연구소(817억) 〉 대학(196억) 〉 중견기업(41억) 〉 중소기업(27억) 〉 대기업(12억) 〉 국공립연구소(3억) 순서로 나타남

- 기타를 대상으로 한 투자 규모가 가장 큰 이유는 현재 정부의 주요 반도체 R&D 시설·장비 투자 대상인 반도체 공공Fab이나 관련 시험인증기관들이 출연연구소, 국공립연구소 등의 카테고리에 속하지 않기 때문으로 보임

- 이어서 출연연구소에 대한 투자 규모가 매년 2위를 차지하였으며, 특히 '21년에는 전년 대비 293억 원 대폭 증액되어 기타 대상 투자 규모와 유사한 413억 원을 나타냄



단위: 백만원

연구수행주체	2017	2018	2019	2020	2021	총합계
국공립연구소	-	-	-	-	324	324
대기업	-	380	409	300	117	1,206
대학	2,246	2,972	2,615	3,781	7,943	19,557
중견기업	-	-	-	2,000	2,132	4,132
중소기업	950	-	151	292	1,323	2,715
출연연구소	4,993	9,714	13,664	12,021	41,305	81,698
기타	25,166	31,583	31,379	48,039	42,284	178,451
총합계	33,355	44,649	48,218	66,433	95,427	288,083

[그림 14] 최근 5년간('17~'21) 연구수행주체별 반도체 시설·장비 투자현황

- 이외에 대학, 기업, 국공립연구소 등을 대상으로 한 투자는 매년 100억 원 이하를 나타내며 기타, 출연연구소보다는 상대적으로 낮은 수준

- 하지만 정부의 반도체 시설·장비 투자 목적은 공공Fab, 출연연 등 거점에 하드웨어를 구축하고 대학과 기업 등 다양한 연구수행주체들이 공동 활용하는 것이므로, 현재의 투자 추이는 그 목적에 부합하는 것으로 해석할 수 있음

○ 지역별 투자현황 분석 결과, 최근 5년간 총액 기준으로 100억 원 이상의 광역시·도만 살펴보면 경기도(939억) 〉 대전광역시(548억) 〉 충청남도(264억) 〉 경상북도(228억) 〉 서울특별시(154억) 〉 경상남도(132억) 〉 부산광역시(131억) 〉 광주광역시(118억) 순서로 나타남

〈표 11〉 최근 5년간('17~'21) 지역별 반도체 시설·장비 투자현황

단위: 백만원

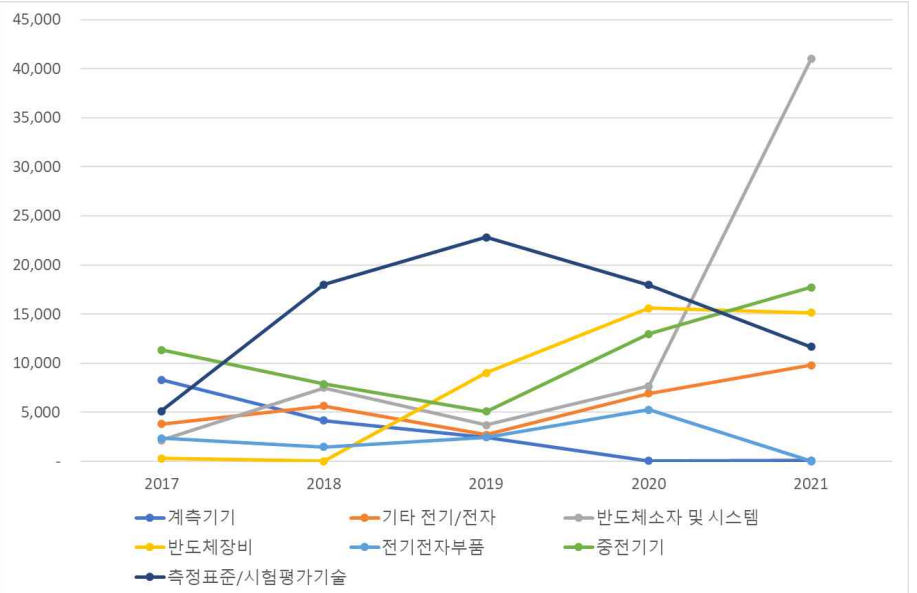
지역	2017	2018	2019	2020	2021	총합계
강원도	-	-	-	-	324	324
경기도	10,599	13,283	17,862	29,951	22,245	93,940
경상남도	-	-	3,134	4,039	6,057	13,229
경상북도	2,852	7,921	6,634	2,390	2,965	22,762
광주광역시	3,937	5,362	-	1,712	784	11,795
대구광역시	1,613	1,090	2,179	2,044	-	6,926
대전광역시	270	2,141	8,530	8,809	35,055	54,805
부산광역시	1,930	6,060	1,693	2,203	1,172	13,058
서울특별시	4,299	886	346	3,443	6,438	15,411
세종특별자치시	-	-	-	-	115	115
울산광역시	-	807	-	-	1,000	1,807
인천광역시	400	-	-	-	-	400
전라남도	7,000	380	409	300	1,580	9,669
전라북도	315	544	540	620	1,600	3,619
제주특별자치도	-	-	-	-	-	-
충청남도	141	5,310	4,888	5,758	10,343	26,440
충청북도	-	865	2,003	3,164	2,718	8,750
기타	-	-	-	2,000	3,032	5,032
총합계	33,355	44,649	48,218	66,433	95,427	288,083

- 반도체 분야 산업생태계가 활성화되어 있는 경기도, 정부출연연구소가 다수 위치하고 있는 대전광역시의 투자 규모가 순서대로 1, 2위를 나타내고 있음
- 또한 반도체 공공Fab 중 큰 규모를 나타내고 있는 한국나노기술원(경기도, 총액 1위), 나노종합기술원(대전광역시, 총액 2위), 나노융합기술원(경상북도, 총액 4위)이 속해있는 지역의 투자 규모가 상위권에 속하는 것도 특징

- 경기도에 대한 투자 규모는 '17~'20년 동안 지속 최고를 유지하며 '20년에는 300억 원까지 기록하였으나, 이후 '21년 222억 원으로 하락
- 대전광역시에 대한 투자 규모는 '17~'21년 동안 지속 성장하였으며, 특히 '21년에는 351억 원을 기록하며 본 조사 대상 연간 지역 투자 규모 중 가장 큰 값을 나타냄
- 울산광역시('18년, '21년에만 투자), 인천광역시('17년에만 투자), 강원도('21년에만 투자), 세종특별자치시('21년에만 투자)에 대한 투자는 연속성이 부족하고 미미한 수준이며, 제주특별자치도의 경우에는 투자 규모가 존재하지 않는 것으로 나타남

○ 과학기술표준분류(중분류)별 투자현황 분석 결과, 최근 5년간 총액 기준으로는 측정표준/시험평가기술(756억) 〉 반도체소자 및 시스템(620억) 〉 중전기기(550억) 〉 반도체장비(400억) 〉 기타 전기/전자(289억) 〉 계측기기(150억) 〉 전기전자부품(115억) 순서로 나타남

- 가장 높은 총액을 나타낸 측정표준/시험평가기술에 대한 투자는 '17(51억)~'19년(228억)까지 증가하다가 '19년을 기점으로 이후 '21년(117억)까지 감소하는 추이를 나타냄
- 최근 약진한 투자 분야는 반도체소자 및 시스템으로, '20년까지 80억 원 미만에서 증감을 반복하다가 '21년 410억 원으로 대폭 증가하여 '21년 최고 규모를 기록함
- 우리나라가 주요국 대비 취약하다고 알려진 반도체장비 분야에 대한 투자도 '18년까지는 미미한 수준이었으나, 이후 '19년부터 상승 추이를 나타내고 있으며 '20년 156억, '21년 151억 원 규모를 보임
- 계측기기, 전기전자부품 분야의 경우, 다른 분야에 비해 상대적으로 최근 투자 규모가 대폭 축소되었으며, '21년 기준 계측기기 분야에는 0.78억원을 투자, 전기전자부품 분야는 투자 규모가 없는 것으로 나타남



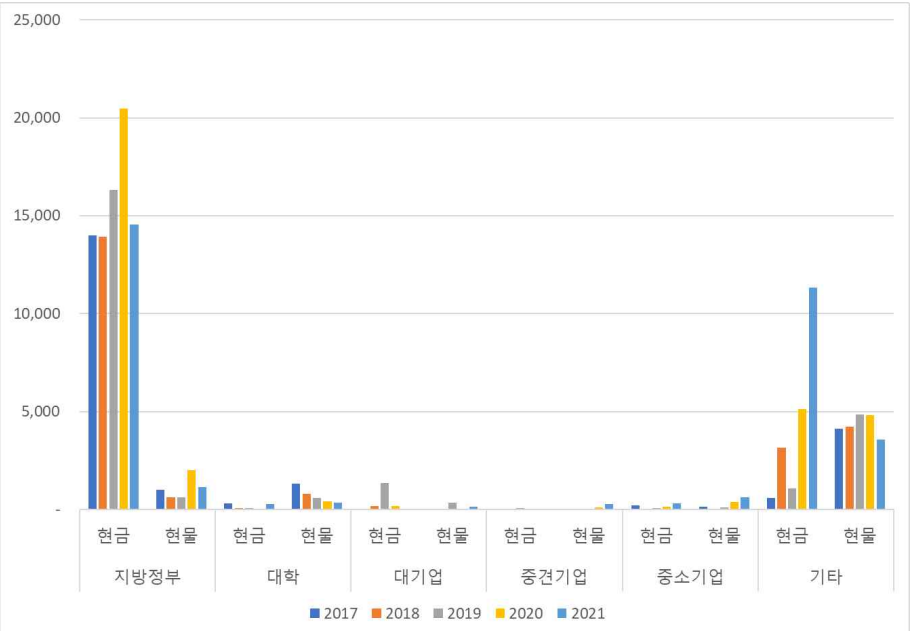
단위: 백만원

중분류	2017	2018	2019	2020	2021	총합계
계측기기	8,303	4,150	2,452	39	78	15,021
기타 전기/전자	3,822	5,654	2,699	6,923	9,803	28,901
반도체소자 및 시스템	2,130	7,506	3,696	7,675	40,990	61,997
반도체장비	291	-	9,000	15,600	15,146	40,037
전기전자부품	2,336	1,453	2,454	5,240	-	11,483
중전기기	11,343	7,891	5,075	12,986	17,743	55,037
측정표준/시험평가기술	5,131	17,995	22,842	17,971	11,668	75,607
총합계	33,355	44,649	48,218	66,433	95,427	288,083

[그림 15] 최근 5년간('17~'21) 과학기술표준분류(중분류)별 반도체 시설·장비 투자현황

□ 최근 5년간('17~'21) 반도체 시설·장비에 대한 정부 R&D 전체 투자 규모에 매칭되는 펀드 규모는 총 1,366억 원으로 나타났으며, 심층 분석 결과는 아래와 같음

○ 지방정부의 매칭 규모가 847억 원으로 총 매칭펀드 중 62.0%를 나타내며 가장 큰 규모를 차지하고 있고, 이 중 792억 원이 현금 매칭으로 전체 지방정부 매칭 중 93.6%인 대다수를 차지함



단위: 백만원

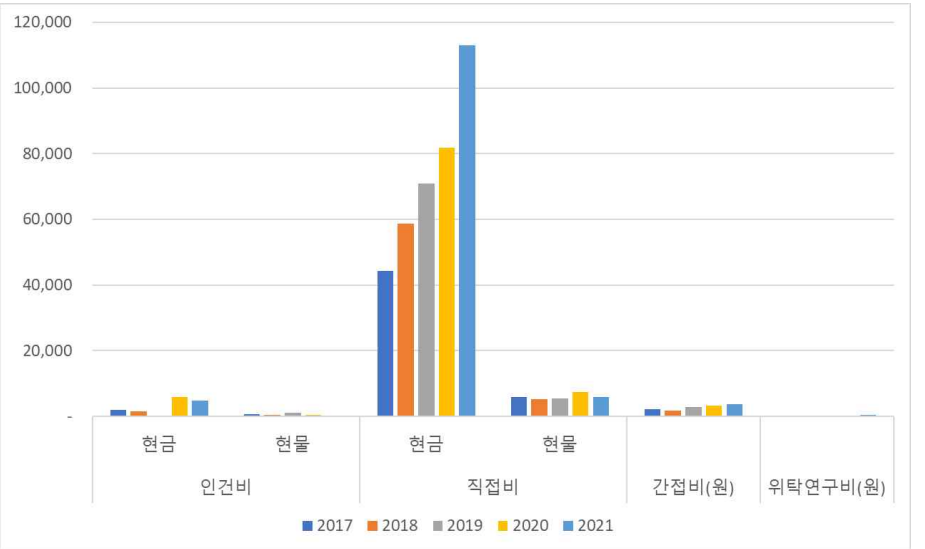
중분류		2017	2018	2019	2020	2021	총합계
지방정부	현금	13,992	13,926	16,300	20,474	14,545	79,237
	현물	1,015	640	640	2,018	1,136	5,449
대학	현금	319	76	72	15	263	744
	현물	1,320	786	581	408	335	3,431
대기업	현금	-	182	1,344	161	23	1,711
	현물	-	46	336	40	129	550
중견기업	현금	-	5	68	24	32	130
	현물	-	3	49	102	288	442
중소기업	현금	218	6	66	144	317	750
	현물	138	4	96	385	629	1,251
기타	현금	590	3,156	1,074	5,119	11,345	21,284
	현물	4,136	4,231	4,837	4,812	3,565	21,582
총합계		21,727	23,062	25,462	33,703	32,607	136,561

[그림 16] 최근 5년간('17~'21) 반도체 시설·장비 투자 매칭펀드 현황

- 지방정부에 이어서 대학(42억) 〉 대기업(23억) 〉 중소기업(20억) 〉 중견기업(6억) 순서로 매칭하였으며, 이 중 대학(82.2%), 중견기업(77.3%), 중소기업(62.5%)의 경우에는 매칭펀드 중 현물의 비율이 현금에 비해 높은 것으로 조사됨

- 대기업의 경우에는 매칭펀드 중 현물의 비율이 24.3%로 현금 매칭의 비율이 높은 것이 중소·중견기업이나 대학과 비교 시 차이점으로 나타남

□ 최근 5년간('17~'21) 반도체 시설·장비에 대한 정부 R&D 총연구비 규모(매칭펀드 포함 총연구비 기준)는 총 4,299억 원으로 나타났으며, 심층 분석 결과는 아래와 같음



단위: 백만원

중분류		2017	2018	2019	2020	2021	총합계
인건비	현금	2,013	1,453	146	5,824	4,855	14,292
	현물	731	469	1,117	437	153	2,907
직접비	현금	44,248	58,749	71,002	81,767	113,105	368,871
	현물	5,878	5,242	5,420	7,328	5,929	29,798
간접비		2,212	1,798	2,806	3,226	3,692	13,734
위탁연구비		-	-	-	-	300	300
총합계		55,082	67,711	80,492	98,582	128,034	429,902

[그림 17] 최근 5년간('17~'21) 반도체 시설장비 투자(총연구비 기준) 비목별 현황

○ 비목별 순위는 직접비(3,987억) 〉 인건비(172억) 〉 간접비(137억) 〉 위탁연구비(3억) 순서로 나타났으며, 직접비 중 현금(3,689억)의 비율이 92.5%, 인건비 중 현금(143억)의 비율이 83.1%로 나타남

- 인건비의 경우, ’19년(13억)→’20년(63억) 변화 시 대폭 증가한 부분이 특징임
- 직접비 현금의 경우, ’17년(442억)→’21년(1,131억)으로 지속 증가하였으며, 직접비 현물은 52억~74억 사이에서 투자 정체 중

제7절 소결

□ 시사점

○ 국가 반도체 전략과 공공 Fab(나노인프라) 연계·활용 강화

- 국가 반도체 발전 전략과 국가 나노인프라 활용 연계한다면 산·학·연 지원 시스템(인력·장비·노하우)의 활용이 가능하고 예산 집행의 효율성 제고 가능
  - ■ 시스템반도체 비전과 전략(2019), 인공지능 반도체 산업 발전전략(2020), K-반도체 전략(2021), 인공지능 반도체 산업 성장 지원대책(2022), 반도체 초강대국 달성전략(2022) 등에서 인프라 구축·활용을 제시하고 있으나 기존 반도체 공공 Fab과의 연계 전략 제시는 미흡

○ 정부 지원 강화

- 일정 수준의 정부(중앙, 지방)의 지원은 나노인프라의 장비 서비스 수준 유지를 위해 반드시 필요
  - ■ 해외의 경우, 운영 예산의 일정부분(30% 내외)을 지원하여 미래 기술경쟁력 확보에 투자 가능

  ※ 제조업을 선도하기 위한 나노반도체 공정 및 측정·분석 장비 등에 대한 지속적인 투자로 미래 서비스 경쟁력 확보 필요
- 우수 나노기술의 사업화 촉진을 위한 제도적인 지원시스템이 부족
  - ■ 기술력을 갖춘 유망 중소기업의 글로벌 사업화를 위한 종합적·체계적 지원이 미흡
  - ■ R&D 지원을 넘어서, 시양산 지원까지 필요
- Fab 서비스 인력의 부족으로 고부가 R&D 사업 유치 및 지원에 한계
  - ■ 우수인력 확보를 위한 제도 개선을 통해 서비스 질 향상 유도

- 대부분의 장비가 감가상각 기간이 경과(노후화)하여 노후장비 교체 및 유지보수 지원 필요

○ 연구 및 교육 지원기능 강화

- 공공 Fab은 구축 장비 수 대비 기술 인력수의 부족으로 공정 서비스에 급급하여 R&D를 위한 최소의 인력을 갖추지 못한 상황(인력 확충 필요)
  - ■ 시설 및 운영 인력과 내부 R&D 능력 부족으로 외부 기업의 사업화 등의 이용에 일정부분 한계
  - ■ 해외 나노인프라의 경우, 세계적인 수준의 내부 R&D 능력을 보유
  - ■ R&D 역량을 강화한다면, 스타트업, 중소기업 등의 사업화에 기여가 가능
- 공공 Fab의 우수한 기존 인력양성 시스템 활용하여 반도체 설계 검증 교육 등 최고급 과정 운영 및 현장중심 교육을 강화한다면 실무형 인력양성 가능

○ 공공 Fab 연계·협력을 통한 서비스 고도화

- 기존에는 각 기관들이 독립적 발전 경로를 취함으로써, 연계·협력이 부족하여 공공 Fab 간 시너지 효과 창출 미흡
  - ■ 상호협력 및 정보교류 부족, 기반기술 미흡, 주요 인력의 부재, 지식전달 체계의 부재 등
- 최근, 과학기술정보통부에서 반도체 공공 Fab 대상으로 통합정보시스템을 구축하고 기관간 연계 서비스 제공 예정(23년 말 시범서비스)
  - ■ 연계·협력 대상 Fab 확대 및 시스템 고도화를 위한 지속적인 지원이 필요
  - ■ 산업통상자원부에서도 관련 공공 Fab의 연계를 통해 기업지원 강화 가능

※ 분산된 서비스 체계로 인한 한계 극복 및 산·학·연의 양적·질적 요구 대응 등 전국 공공 Fab의 통합된 서비스 체계(통합지원) 개선 필요성 부각

제3장 공공Fab 투자 기술분야·연계영역 발굴

제1절. 목적 및 방법

□ (목적) 학·연·Fab 전문가 집단을 대상으로 포스트잇 방법론을 활용한 워크숍을 통해 공공Fab에서 다룰 수 있는 반도체 기술 신규 투자 분야 및 연계 가능한 영역 발굴 작업 진행

□ (방법) '포스트잇 방법론'을 전문가 집단에 적용한 워크숍을 진행

○ (포스트잇 방법론) 불확실성이 큰 기술 분야를 대상으로 미래 예측이나 로드맵 수립 등 기획 업무 시 전문가 집단을 대상으로 정부·민간에서 활용하고 있는 방법론임

○ (방법론 진행 과정) ①기술 신규 투자분야 브레인스토밍 → ②기술 간 그룹 구성 및 그룹명 부여 → ③중복 기술 제거 → ④그룹 간 연계 가능 영역 및 기능(R&D, 산업화, 교육·인력양성) 도출

○ (추진체계 합리성) 워크숍 진행 시 동일한 형태의 워크숍을 다른 전문가 집단을 대상으로 2세트 반복하여 연구 결과의 편향성을 방지

○ (환경 변화를 고려한 연구결과 도출 노력) 연구수행 시 활용한 정량적인 방법론은 과거-현재 간 시간적 갭(Gap)을 피할 수 없었으나, 이를 보완하기 위한 정성적인 연구도 동시에 수행

- (정량 데이터의 시간적 제약) 반도체 시설·장비 투자 전수조사 대상이었던 정부R&D 과제 조사분석 데이터는 접근 가능한 최근 5년이 '17~'21년으로 현시점과 약 2년간의 갭(Gap)이 발생함
- (정성 연구를 통한 최신동향 반영) 이러한 한계점을 보완하기 위해 전문가 워크숍, 국내·외 전문가 원고 자문, 국외 기관방문 및 인터뷰를 통한 최신 사례수집을 진행하고, 이를 연구 결과에 반영

제2절. 워크숍 개최 개요

□ 1일차 개최 개요

○ 주제(안) : 반도체 공공Fab 신규투자 기술분야 및 연계영역 발굴을 위한 전문가 집체작업

※ 결과물의 질적수준 제고를 위해 동일한 세트의 집체작업을 1, 2일차로 나누어 2회 진행

○ 일시 : 2023. 11. 27.(월) 10:00 ~ 15:30

○ 장소 : 비앤디파트너스 회의실 서울역점(용산구 한강대로 372 KDB생명타워 B2)

○ 참석자 (총 10인)

- 외부(8인) : 경북대학교 김대현 교수, 나노융합기술원 신훈규 소장, 전북대학교 최철종 교수, 포항공과대학교 정성웅 교수, 한국과학기술연구원 김형준 소장, 한국나노기술원 김종민 책임, 홍익대학교 차호영 교수, 국가나노인프라협의체 이경엽 사무국장
- KISTEP(2인) : 성장동력사업센터 정두엽 부연구위원, 조유진 연구원

○ 추진체계 : 반도체 소재 분야에 따라 외부참석자 분과 구성 후 작업토론 진행

[그림 18] 워크숍 1일차 분과 구성 및 참석자

○ 방식 : 포스트잇을 활용한 자유로운 브레인스토밍 및 분과·전체 토론을 통한 최종 결과물 도출(기업, 정부의 기술로드맵 수립 등에 활용하는 방식)

○ 진행 순서(안)

시간	내용	진행자
10:00 ~10:15	집체작업 진행방식 안내 및 참석자 소개 (15‘)	KISTEP
10:15 ~ 12:00	1부 : 반도체 공공Fab 신규투자 기술분야 발굴 (105‘)	
	1차 후보기술 발굴 (포스트잇 방식 활용, 30‘)	분과별
	기술레벨을 고려한 2차 후보기술 발굴 (분과별 토론, 30‘)	분과별
	2차 후보기술 발표 및 최종 기술분야 확정 (전체 토론, 30‘)	분과장
	1부 종합 토론 (15‘)	KISTEP
12:00 ~ 13:00	중식 (60‘)	
13:00 ~ 15:00	2부 : 최종 기술분야 및 공공Fab 기능 간 연계영역 발굴 (120‘)	
	후보 연계영역 발굴 (포스트잇 방식 활용, 30‘)	분과별
	분과 내 공공Fab 기능 간 연계영역 발굴 (분과별 토론, 35‘)	분과별
	분과 간 기술분야 연계영역 발굴 (전체 토론, 40‘)	분과장
	2부 종합 토론 (15‘)	KISTEP
15:00 ~ 15:30	종합 토론 (30‘)	KISTEP, KION

[그림 19] 워크숍 1일차 진행 모습

□ 2일차 개최 개요

○ 주제(안) : 반도체 공공Fab 신규투자 기술분야 및 연계영역 발굴을 위한 전문가 집체작업

※ 결과물의 질적수준 제고를 위해 동일한 세트의 집체작업을 1, 2일차로 나누어 2회 진행

○ 일시 : 2023. 11. 28.(화) 10:00 ~ 15:30

○ 장소 : 제이케이비즈센터 2호점(용산구 한강대로 385 2층)

○ 참석자 (총 10인)

- 외부(8인) : 나노융합기술원 강민재 책임, 나노융합기술원 백성기 부장, 나노종합기술원 이병주 책임, 울산과학기술원 신태주 교수, 차세대융합기술원 정성엽 선임, 한국나노기술원 성호근 본부장, 한국전자통신연구원 노태문 센터장, 국가나노인프라협의체 이경엽 사무국장
- KISTEP(2인) : 성장동력사업센터 정두엽 부연구위원, 조유진 연구원

○ 추진체계 : 반도체 소재 분야에 따라 외부참석자 분과 구성 후 작업토론 진행

[그림 20] 워크숍 2일차 분과 구성 및 참석자

○ 방식 : 포스트잇을 활용한 자유로운 브레인스토밍 및 분과·전체 토론을 통한 최종 결과물 도출(기업, 정부의 기술로드맵 수립 등에 활용하는 방식)

○ 진행 순서(안)

시간	내용	진행자
10:00 ~10:15	집체작업 진행방식 안내 및 참석자 소개 (15‘)	KISTEP
10:15 ~ 12:00	1부 : 반도체 공공Fab 신규투자 기술분야 발굴 (105‘)	
	1차 후보기술 발굴 (포스트잇 방식 활용, 30‘)	분과별
	기술레벨을 고려한 2차 후보기술 발굴 (분과별 토론, 30‘)	분과별
	2차 후보기술 발표 및 최종 기술분야 확정 (전체 토론, 30‘)	분과장
	1부 종합 토론 (15‘)	KISTEP
12:00 ~ 13:00	중식 (60‘)	
13:00 ~ 15:00	2부 : 최종 기술분야 및 공공Fab 기능 간 연계영역 발굴 (120‘)	
	후보 연계영역 발굴 (포스트잇 방식 활용, 30‘)	분과별
	분과 내 공공Fab 기능 간 연계영역 발굴 (분과별 토론, 35‘)	분과별
	분과 간 기술분야 연계영역 발굴 (전체 토론, 40‘)	분과장
	2부 종합 토론 (15‘)	KISTEP
15:00 ~ 15:30	종합 토론 (30‘)	KISTEP, KION

[그림 21] 워크숍 2일차 진행 모습

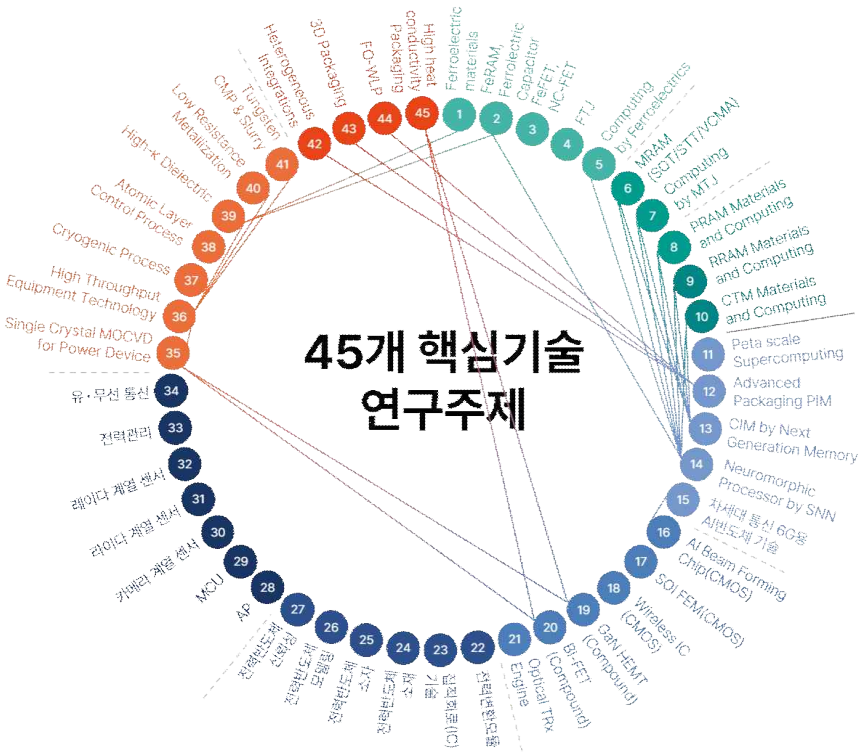
제3절. 워크숍 개최 결과

□ (기술 키워드 발굴 결과) 공공Fab에서 다룰만한 신규 기술 투자분야 키워드를 전문가 각자가 자유롭게 포스트잇에 기재하여 부착

※ 앞서 설명한 방법론 진행과정 중 '①기술 신규 투자분야 브레인스토밍'에 해당

○ 전문가들이 완전히 자유롭게 기술 키워드를 제시하는 것을 지향하고 유도하였으나, 사고의 시작을 돕는 취지로만 『반도체 미래기술 로드맵('23.4)』 내에 제시된 '45개 핵심기술 연구주제'를 키워드 발굴 시작 전 참고로 제시하였음

- 45개 핵심기술 연구주제는 소자 분야, 설계 분야, 공정 분야로 나누어서 도출되어 있음



[그림 22] 『반도체 미래기술 로드맵('23.4)』 내 45개 핵심기술 연구주제

- 또한 45개 핵심기술 연구주제는 '공공Fab에서 다룰만한'이라는 전제 조건 없이 도출된 결과이므로, 본 워크숍에서는 이 전제 조건을 여러 번 강조하여 전문가들에게 브레인스토밍 과업 수행을 요청

○ 실리콘 1분과

* MPW & PDK
* CMOS 공정
* CMP & Slurry

* CMP/RIE를 이용한 contact isolation 공정 서비스 제공

* Transistor 인자들의 특성분포 평가를 위한 test vehicle 및 process 서비스

* PR trimming 기술을 통한 패터닝 기술 제공
* 이종물질 박막 증착
* 뉴로모픽 소자 Array 공정/제작
* 30nm급 MTJ 소자 제조
* SOT-MRAM
* 반도체 응용 Test 연구
* 반도체 소자 측정분석
* LiDAR 용 SPAD

* Hybrid-devices(이종접합): Si + WBG 재료
* 이종접합
* 3D 패키징
* 3D integration DRAM 소자특성
* DRAM/NAND 3D Integration을 통한 Thin film transistor 저항 감소
* Steep Subthreshold Transistor 특성 확보

* GAA 소자 integration 및 소자특성 확보
* 차세대 금속 배선소재 공정

* Quantum Devices(재료, 센서, 시뮬레이션)
* 양자 Chip 제작 공정(양자통신용 광원 등)

* 극한 반도체
* COSMIC-Ray Technology
* 가속기를 활용한 디바이스 연구
* 반도체 재료 연구(합성)

○ 실리콘 2분과

* Cu 무전해 도금 기술
* Cu 전기 도금 기술
* 1nm 이하 ALD (High-K) 증착 기술
* High-K 프리커서 소재 평가
* 수 nm 패터닝 기술
* 공정 평가용 TEG SET 구축
* 펠리클 소재 평가
* 친환경 세정제 평가
* 이종 소재 접합(본딩) 기술
* ALD 장비 특성 평가 TEG 개발
* 장비 개발 지원
* EUV 포토레지스트 개발
* AI 반도체 공정
* 센서/소자 융합 기술
* NPU 반도체 소자
* CMP 슬러리 개발/평가
* 반도체 플랫폼 공정 다양화

* 3D 첨단패키징 지원
* EUV PR 소재 테스트 플랫폼
* 핵심 소자 기반 테스트베드
* 양자팹 지원
* 박막 공정 지원 플랫폼
* 소자의 A-to-Z 실습(교육) 플랫폼
* 박막 특성 평가 플랫폼
* 소재 평가 플랫폼
* 융합 연구 인프라(Si + 타 물질)
* 극한환경 측정(분석) 시설
* 숙박시설, 연구공간
* 미세패턴(E-beam + 광학패턴)
* 고식각장비, 저식각장비
* 양자소자 연구시설(인프라)

* 공공인프라 정보관(뱅크)
(인프라 역할 + 가능한 연구 + 연구자)

○ 화합물 1분과

* Chiplet
* 에피성장 서비스
* RF소자 및 IC
* 공용 테스트베드
* 분석 시스템
* WBG Photodetector
* 고온 열처리
* 신뢰성 측정
* 이종접합 웨이퍼 본딩
* 소량 패키지
* 에피 재성장
* 시편 공정
* 바이오소재 활용
* 고압 퍼니스
* GaN FET
* MPW
* 전력반도체 소자
* 극저온 동작 전자소자
* 광집적회로
* 광안테나
* 대면적 이종접합 기술
* UV 광원 및 검출기
* 내전압특성 전력반도체 소자
* 가스센서
* 대면적 Epitaxy
* RF 소자(5G & 6G)
* 레이다용 소자
* 빔 조향기술
* Wafer Level Package
* 레이저
* 대면적 2차원 반도체
* CMOS compatible 화합물 반도체 공정 기술
* ROIC와 접합 기술
* 질화물기반 극한 환경 센서
* 적외선 광 검출기
* 양자 Revolution
* 6G 통신용 반도체
* 이종집적
* 국방용 반도체
* RF 소자 측정
* 전력 소자 측정
* RF/전력 소자 모델링
* 특화
* 차별성
* 소자 시뮬레이션 기술
* 표면처리 공정기술
* 대면적 에피 성장기술
* 저저항 금속배선 공정기술
* 쇼트키 접합 기술
* 원자층 식각 공정기술
* 단결정 기판 제조기술
* Au-free CMOS 호환공정
* 저손상 식각 공정기술

○ 화합물 2분과

* 소자 측정 & Test
* 심해 반도체(저온, 고압)
* 우주 반도체(고온, 방사선)
* 가혹 환경 신뢰성(고온, 방사선)
* GaN 반도체 소재
* 테스트베드(단위/일괄)
* 박막&계면 분석 기술
* 공정 데이터 수집·활용(빅데이터·AI)
* 소자 모델링
* 오픈 소스 EDA(전자설계 자동화)
* Process Design Kit
* 전력반도체 IC
* 대면적 SiC Wafer EPI. Sub
* 전력반도체 설계(구조, 공정)
* SiC Dry Etch 단위공정 제공
* SiC SBD 공정 플랫폼
* u-LED 적용 Deep GaN Etch
* GaN on Si Recess 표준공정
* SiC Planar MOSFET 공정 플랫폼
* 파워 반도체 모듈 제작
* SiC Trench MOSFET 공정 플랫폼

* 국방분야 소재부품 테스트베드
* 바이오센서
* 에피(화합물 반도체 웨이퍼 성장)
* 텐덤셀, 태양전지
* SiC 차량용 반도체
* 소자 측정 및 모델링
* III-V + Si 융합형 반도체
* GaN on Si 전력용 반도체
* 전력반도체 GaO
* 양자반도체 공정

□ **(기술 그룹핑 결과) 포스트잇에 기재된 키워드들에서 각 분과별 심층 토론을 통하여 중복을 제거하고, 유사한 기술을 묶어서 그룹핑을 한 뒤 그룹명을 부여하는 과정 수행**

※ 앞서 설명한 방법론 진행과정 중 '②기술 간 그룹 구성 및 그룹명 부여 → ③중복 기술 제거' 까지 마친 결과에 해당

○ 실리콘 1분과

[그림 23] 워크숍 기술 그룹핑 결과(실리콘 1분과)

○ 실리콘 2분과

[그림 24] 워크숍 기술 그룹핑 결과(실리콘 2분과)

○ 화합물 1분과

[그림 25] 워크숍 기술 그룹핑 결과(화합물 1분과)

○ 화합물 2분과

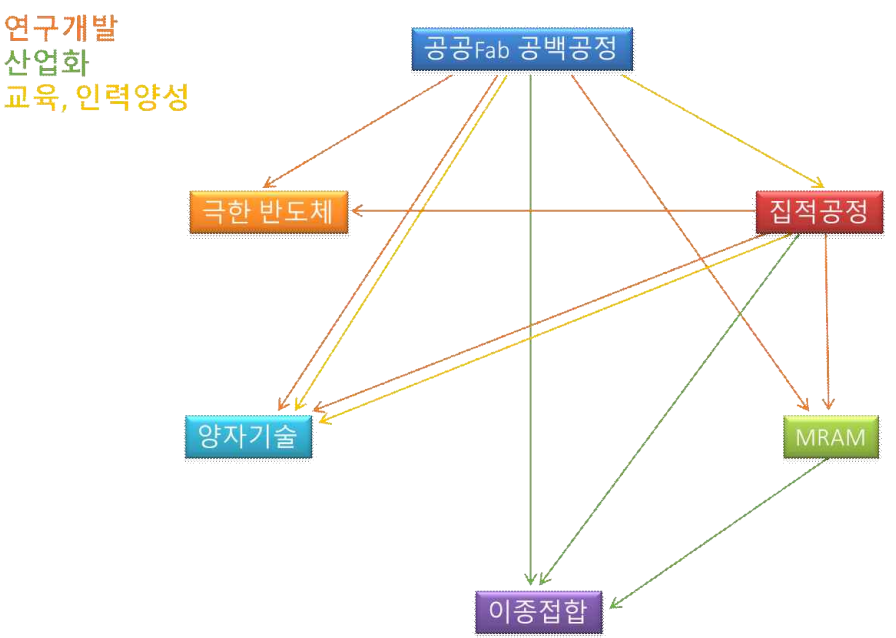
[그림 26] 워크숍 기술 그룹핑 결과(화합물 2분과)

□ (그룹 간 연계방안) 도출된 각 기술 그룹 간에 연계 가능성이 있는 그룹들을 분과별 토론을 통해 화살표로 연결하며, '화살표의 꼬리' 기술을 '화살표의 머리' 기술에 적용할 수 있다는 형태로 분과 내 전문가들이 사고할 수 있도록 유도

※ 앞서 설명한 방법론 진행과정 중 '④그룹 간 연계 가능 영역 및 기능(R&D, 산업화, 교육인력 양성) 도출'까지 마친 결과에 해당

○ (실리콘 1분과) 연계방안이 쌍방향이 아닌 단방향 화살표들로만 도출·구성된 것이 특징이며, 특히 '공공Fab 공백공정' 기술이 다른 분야에 적용될 수 있다는 점이 강조되어 대한 투자의 필요성이 높음

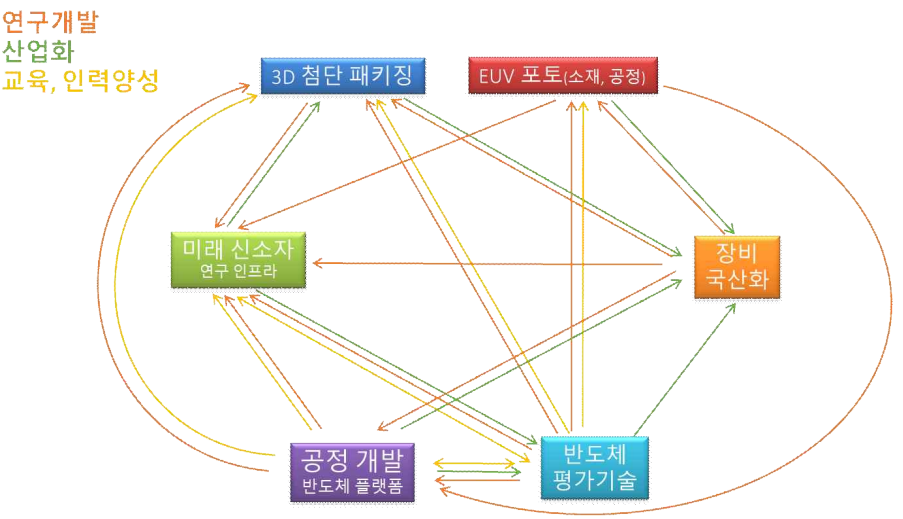
- 극한 반도체, 양자기술, 이종접합 등의 분야는 공공Fab에서 실리콘 재료 기반 반도체의 주요 적용 분야로 도출됨
- '이종접합' 분야는 공공Fab 공백공정, 집적공정, MRAM 등의 기술을 적용하여 산업화할 수 있는 유망기술 아이템으로 나타남



[그림 27] 워크숍 기술 그룹 간 연계방안 도출 결과(실리콘 1분과)

○ (실리콘 2분과) 실리콘 1분과와 비교 시 쌍방향 화살표들이 많이 나타나며, 화살표의 개수 또한 많은 것이 실리콘 2분과 연계방안 도출 결과물의 특징

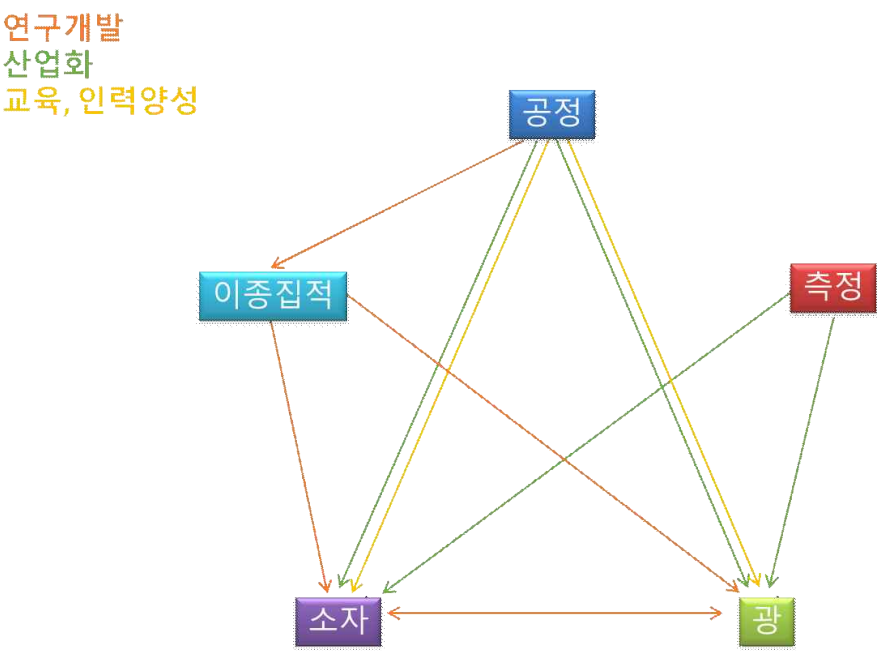
- '미래 신소자 연구 인프라' 분야는 공공Fab을 활용하여 다른 분야의 기술을 활용하기에도, 또 다른 분야에 이 기술을 적용하기에도 유망한 기술 분야인 것으로 나타남
- 다른 분과와 달리 '장비 국산화'라는 기술 키워드보다는 정책 키워드에 가까운 키워드 그룹이 등장하였으며, 이 분야는 연구개발 시 다양한 다른 분야에 파급효과를 미칠 수 있고, 다른 분야의 기술들도 장비 국산화 시 사업화 형태로 적용할 수 있다는 점이 강조되었음
- '반도체 평가기술'과 '공정 개발(반도체 플랫폼)' 키워드 그룹은 교육 및 인력양성을 통해 다른 기술 분야에서 활용될 수 있는 인재를 배출할 수 있다는 장점 또한 나타남



[그림 28] 워크숍 기술 그룹 간 연계방안 도출 결과(실리콘 2분과)

○ (화합물 1분과) 다섯 개의 기술 그룹 간 연계방안이 도출되었으나 화살표의 수가 많지 않고 주로 단방향 화살표로만 구성된 것이 특징

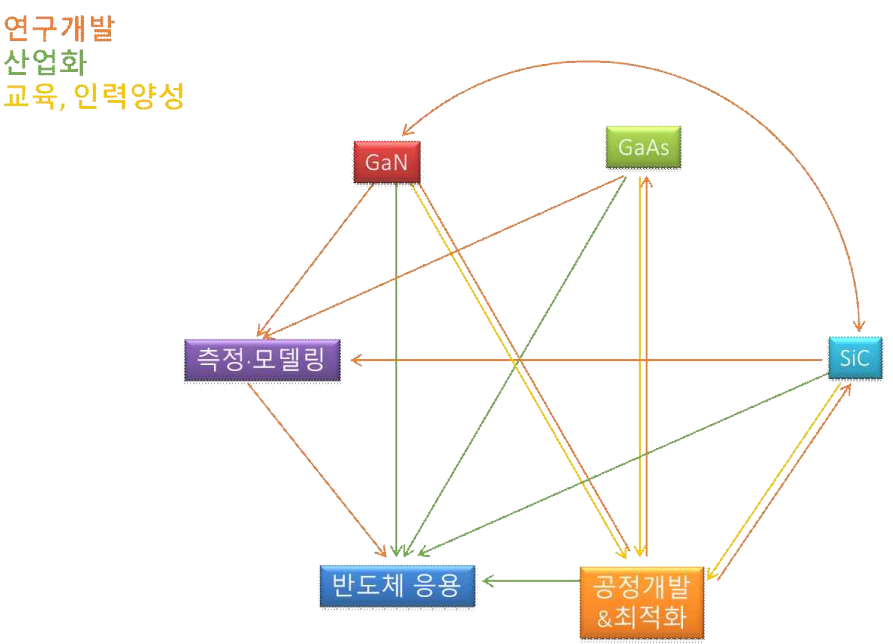
- '공정' 기술키워드 그룹은 이종집적(연구개발 관점에서), 소자, 광(산업화 및 교육, 인력양성 관점에서) 등의 키워드 그룹 분야에 활용성이 높은 기술로 나타났으며, 특히 본 결과에서 유일하게 교육 및 인력양성 분야에 적용할 수 있는 그룹으로 도출됨
- '이종집적' 분야는 산업화나 교육, 인력양성 측면보다는 연구개발 관점에서 타 기술키워드 그룹과의 연계 니즈가 있는 것으로 도출됨
- '소자' 및 '광' 그룹은 주로 다른 키워드 그룹들의 기술이 적용가능한 분야로 나타났으며, 그 방식도 연구개발, 산업화, 교육 및 인력양성 모두가 가능할 것으로 나타남
- '측정' 분야는 연결된 화살표가 가장 적은 것으로 나타났으며, 소자 및 광 분야의 산업화 시에 적용 가능한 그룹으로 도출됨



[그림 29] 워크숍 기술 그룹 간 연계방안 도출 결과(화합물 1분과)

○ (화합물 2분과) 여섯 개의 기술 그룹 간 연계방안이 도출되었으며, 화합물 1분과보다는 화살표의 수가 많아졌으나, 마찬가지로 주로 단방향 화살표로만 구성된 것이 특징

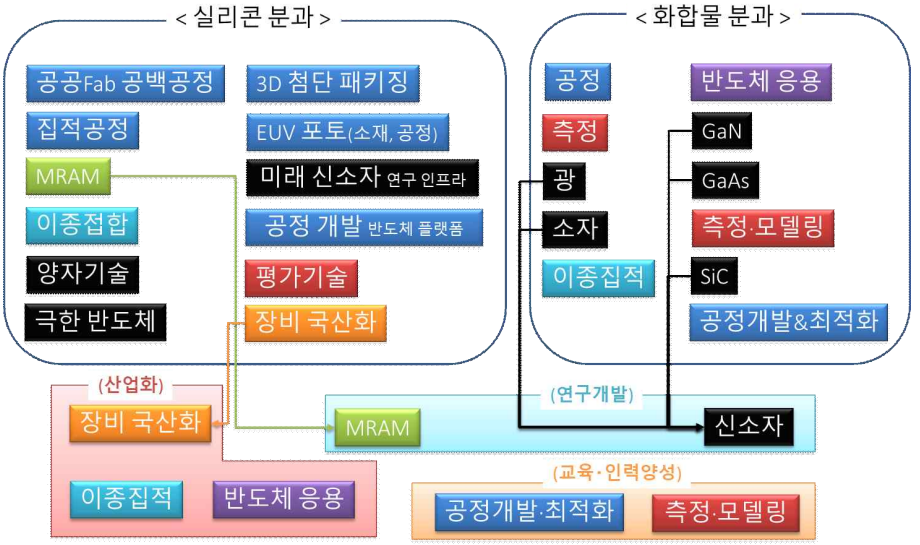
- '반도체 응용'이라는 키워드 그룹은 그룹명 자체에서도 응용을 포함하고 있듯이 다른 분야의 적용이 가능한 기술로 나타났으며, 특히 산업화에 가까운 그룹으로 나타남
- '측정 및 모델링' 분야에는 GaN, GaAs, SiC 등 다양한 화합물 반도체 소재 관련 기술을 적용할 시 연구개발 연계가 가능할 것으로 도출
- '공정개발 & 최적화' 분야에는 GaN, GaAs, SiC 등 다양한 화합물 반도체 소재 관련 기술을 적용할 시 교육 및 인력양성 측면에서 긍정적인 효과를 고려할 수 있을 것으로 나타남



[그림 30] 워크숍 기술 그룹 간 연계방안 도출 결과(화합물 2분과)

제4절. 소결

□ (연계방안 도출 결과 종합) 총 4개 전문가 분과에서 정리된 공공Fab에서 다룰만한 신규 기술 투자분야 키워드 그룹 및 주요 연계방안 도출 결과를 종합하여 정리하면 아래 그림과 같음



[그림 31] 워크숍 기술 그룹 및 연계방안 도출 결과(전 분과 종합)

○ 먼저 위 그림의 윗부분에서 〈실리콘 분과〉, 〈화합물 분과〉에서 도출된 각 기술 그룹을 정리했으며, 그룹의 색깔은 내부연구진 검토를 통하여 유사한 그룹끼리 통일하였음

○ 그 결과 총 7개의 색깔로 전체 기술 그룹을 정리할 수 있었으며, 이를 대표 키워드만 남기고 정리하면 위 그림의 아랫부분과 같이 7개의 기술 그룹을 제시할 수 있게 됨

- 공정개발 및 최적화와 관련된 기술(진한 파랑, 주로 실리콘 분과에서 도출), 미래소재 및 신소자와 관련된 기술(검정, 주로 화합물 분과)이 공공 Fab에서 다룰만한 기술로 다수 선정된 것을 알 수 있음

○ 연계방안 관점에서는 장비 국산화, 이종집적, 반도체 응용 기술의 산업화, MRAM 및 신소자 기술의 연구개발, 공정개발·최적화와 측정·모델링 기술의 교육·인력양성이 유망 방안으로 도출되었음

□ (투자분야·연계영역 발굴 결과) 위 내용을 다시 정리하자면, 공공Fab에서 다룰 수 있는 7대 투자분야 및 3대 연계영역 발굴 완료

○ (7대 투자분야) ①공정개발·최적화, ②측정·모델링, ③이종집적, ④반도체 응용(양자, 극한환경, 전력, RF 등), ⑤MRAM, ⑥장비 국산화, ⑦신소자(SiC, GaN, GaAs)

○ (3대 연계영역) ①R&D : MRAM, 신소자 / ②산업화 : 이종집적, 반도체 응용, 장비 국산화 / ③교육·인력양성 : 공정개발·최적화, 측정·모델링

□ (연구결과의 전문성 및 우수성) 대표성과인 공공Fab 7대 투자분야 및 3대 연계영역은 연구대상인 반도체 공공Fab의 관점에서 기존에 생산된 적이 없는 결과물로 독창성과 우수성을 확보하였음

○ 기존 각종 지적사항 및 안건에서 공공Fab의 특화 분야 및 연계 방안 마련이 필요하다는 지적이 있었으나, 정작 '어떤' 분야를 '어떻게' 진행할 것인지에 대한 답은 없던 상황이었기에 본 연구가 이에 대한 정보를 제공할 수 있으리라 기대됨

○ 또한 반도체 기술 및 공공Fab의 성격에 대한 이해도가 높은 기술·정책 전문가 집단을 활용하여 포스트잇 워크숍 등 적절한 방법론을 통해 연구를 추진하였으므로 전문성 또한 담보됨

제4장 사례연구: 해외 공공Fab 분석

제1절. 목적 및 방법

□ (목적) 효과적인 기술 및 기업지원 서비스를 위해 공공Fab이 개선해야 할 운영방식·인적 구성의 특이점 발굴

□ (연구수행방법) 사례연구가 적합한 연구 형태를 Robert Yin(2005)은 크게 다섯 가지로 나누어 설명했으며, 본 국외 공공Fab 다중 사례연구는 이중 '탐색적' 사례연구에 부합함

○ (탐색적 사례연구 방법론) 현실에 적용한 특정 사례를 평가할 때 결과물이 분명하게 드러나지 않을 때 결과에 영향을 주는 여러 요인을 탐색하는 연구

○ (국외 공공Fab 다중 사례연구) 상기의 방법론 설명 중 결과물이라는 것은 '공공Fab의 성공적인 운영'으로 볼 수 있으며, 결과에 영향을 주는 여러 요인이 '3대 가설'과 대응된다고 할 수 있음

- (3대 가설) ①학위·교육과정과의 연계를 통한 Fab 인력 질적 수준 제고, ②시설·장비 투자 주체-설치 장소-관리 책임 연결의 정합성 확보, ③미래소재·공정 Test-bed로서의 기능 수행
- (5개국 사례) ①벨기에 IMEC, ②싱가포르 대학(NUS, NTU) 및 공공연구소(A*STAR IME) Fab을 중점 분석했으며, 이외 ③미국(NNCI, ANC), ④프랑스(MINATEC), ⑤일본(AIST) 사례도 소폭 추가

□ (연구수행 추진체계 합리성) 특정 국외 공공Fab 사례를 확대해석하는 연구 결과 산출을 방지하고자 단일이 아닌 다중 사례연구를 수행하여 가설의 기각·검증과정에 대한 타당성 제고

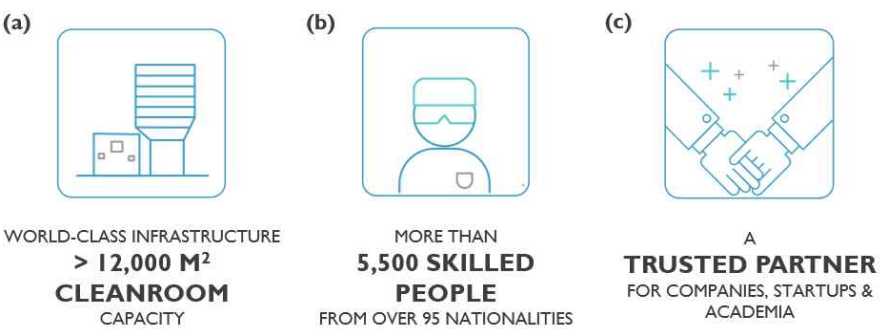
제2절. 사례 1: IMEC(벨기에)

1. 서론

IMEC은 1984년 벨기에 플란더스 지방 정부에 의해 설립된 공공 Fab을 포함한 산학 연계 연구기관으로, 반도체 연구소로서, 특별히 차세대 반도체 공정 node 개발에 있어 현재 대체불가한 위치를 점유하고 있다. 본 보고서에서는 공공 Fab으로서의 IMEC에 대한 case study를 통해 국내 공공 Fab 과의 차별점 및 향후 공공 Fab 개발에 있어서의 benchmarking point를 탐구하고자 한다.

2. IMEC 현황

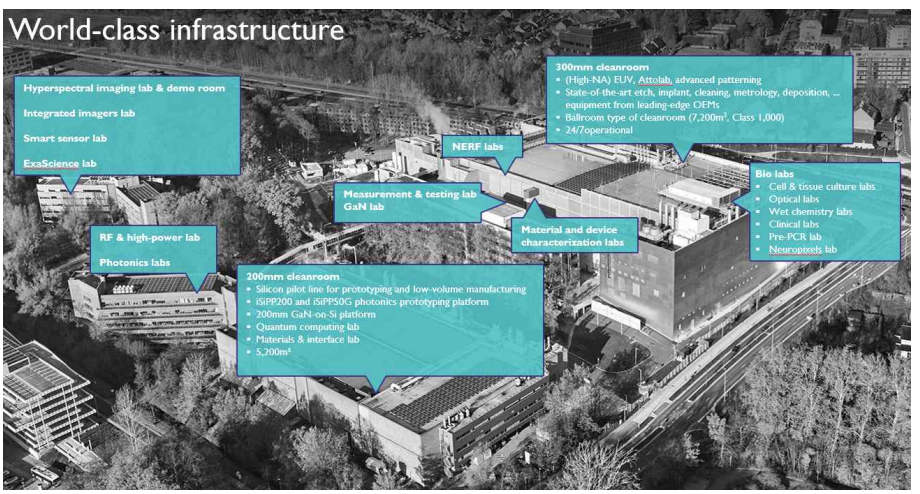
IMEC은 벨기에 루벤 (Leuven)에 위치한 본부를 중심으로 미국, 일본 등 3개 대륙에 R&D Center 및 지부를 두고 있으며, 이 중 루벤에 공공 Fab을 보유하고 있다. Clean room 은 300 mm 및 200 mm 웨이퍼를 운용할 수 있으며, 그 면적은 총 12,000 m^2 이다.



[그림 32] IMEC 현황

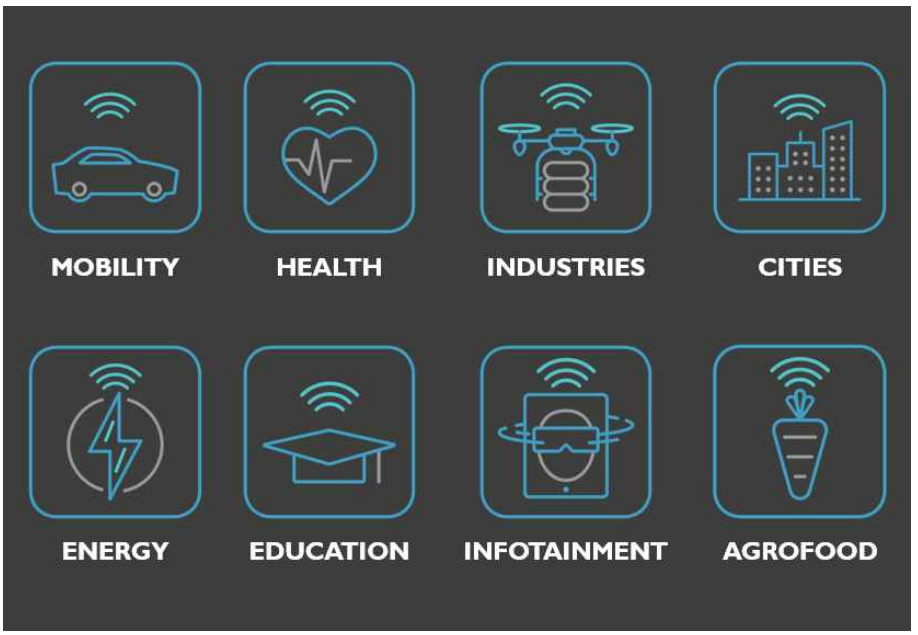
IMEC 은 차세대 반도체 전 분야 및 반도체 기술이 응용될 수 있는 타 분야(예: 생명과학 분야) 에까지 걸친 연구 개발 뿐 아니라 고객 맞춤형 설계 및 생산을 수주하고 있는데, 이는 IMEC campus 약도로부

터 이미 대략적 이해가 가능하다. IMEC은 본부 캠퍼스에 차세대 극자외선(EUV) 공정 개발을 위한 300 mm Fab, 반도체 기술을 생명과학에 응용하는 Bio labs, 불량분석을 위한 물성 및 소자 측정실(Material and device characterization labs), 집적회로를 응용한 신경과학 연구소(NERF labs), 차세대 전력 소자로 각광받고 있는 GaN 연구소(GaN lab), CMOS부터 화합물 반도체 공정이 가능한 200 mm 웨이퍼 clean room, RF & high-power lab, 컴퓨터의 연산부와 기억부를 더 빠르게 연결하기 위한 Photonics lab, 여러 파장 대역의(가시광-단파 적외선) 동시 이미징 및 분광 분석을 위한 Hyperspectral imaging lab, image sensor에 대한 종합 분석을 위한 Integrated imagers lab 등의 infrastructure를 가지고 반도체 기술이 응용이 가능한 모든 분야에 대한 연구/개발 포트폴리오를 구축하고 있다.



[그림 33] IMEC Campus 전경

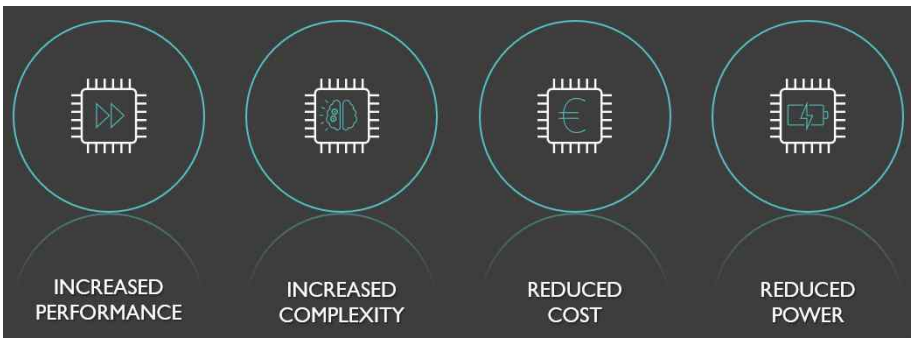
IMEC의 연구/개발 분야는 크게 Mobility (이동), Health (의료), Industries (산업), Cities (도시 계획), Energy (에너지), Education (교육), Infotainment (인포테인먼트), Agrofood (농경 및 식품) 로 분류할 수 있다.



[그림 34] IMEC 8대 연구개발 분야에 대한 분류 모식도

반도체 분야에서 IMEC의 가장 큰 역할 중 하나는 반도체 공정 roadmap을 설정하는 것으로, 사실상 IMEC의 최대 특장점이라고 할 수 있다. 이를 통해 노광 기술뿐 아니라 차세대 반도체 기술의 표준 및 여타 반도체 기술의 개발이 시도 및 정의되며, 이러한 논의 및 협력이 반도체 주요 역할자 간에 진행될 수 있는 platform을 제시한다. 현재 차세대 반도체 기술 정의 및 협력에 있어서 IMEC은 독보적 위치를 점유하고 있으며, 이를 구심점으로 그 외연을 반도체 여타 분야 및 반도체 이외 분야의 적용에까지 확장하고 있다. IMEC의 반도체 미세 공정 연구/개발 프로그램은 기술 혁신을 위해 최고의 설비 및 재료 공급업체, 종합 반도체 회사, 파운드리, 팹리스 회사, application 협력사는 물론 유수의 학계 및 연구소 등 세계 반도체 업계의 모든 주요 역할자들을 연결시키고 있다. IMEC은 개발 초기 단계에서 제조업체와 공급업체 간의 긴밀한 연구/개발 상호 작용이 가능한 협력의 장을 제공하여 기술 발전을 가속화하고 해당 협력자의 개발 기회 비용의 최소화를 가능하게 한다. 반도체 공정 미세화는 성능 향상, 직접도 증대,

비용 및 사용 전력 절감이라는 이점을 제공하며, IMEC은 CMOS 트랜지스터 밀도 고도화가 최소 향후 8~10년 동안 지속적으로 Moore의 법칙(반도체 회로의 집적도가 18개월마다 2배로 증가하는 현상)을 따를 수 있도록 노력하고 있다. 이를 위한 일환으로 차세대 patterning 연구소가 운영 중으로, 이는 ASML과의 전략적 파트너십을 통해 글로벌 반도체 생태계에 차세대 집적회로 제조를 위한 patterning 기술개발에 대해 협력사들이 참여할 수 있도록 하고 있다.

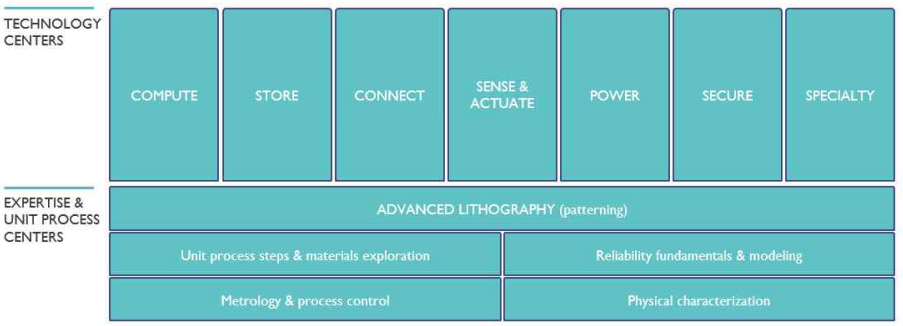


[그림 35] 반도체 공정 미세화를 통한 순효과

3. IMEC 조직/인력 구성 및 학위/교육 프로그램 현황

IMEC 조직은 개발 소자 및 공정에 따라 크게 12개의 부서(department) 로 구성되어 있다. 우선 소자 개발 우선 조직으로 Logic(Compute), 메모리(Store), 3차원 공정 및 컴퓨터의 연산 장치 및 기억 장치 매개(Connect), 센서 및 디스플레이(Sense & Actuate), 전력 반도체(Power), 양자 컴퓨팅(Secure), 특별 소자(Specialty) 부서가 존재하여 각각의 소재 개발을 맡고 있다. 이에 더해 Fab 운영 조직으로 차세대 patterning (Advanced lithography), 단위 공정 (Unit process step & materials exploration), 신뢰성 및 simulation (Reliability fundamentals & modelling), 계측 및 제조 (Metrology & process control), 그리고 파괴 분석 (Physical characterization) 부서들이 조직되어 있다. 이와 별도로 생명 과학

기술 부서가 비교적 최근에 창설되어 반도체 집적 기술의 생명과학 응용에 대한 연구가 진행되고 있다.

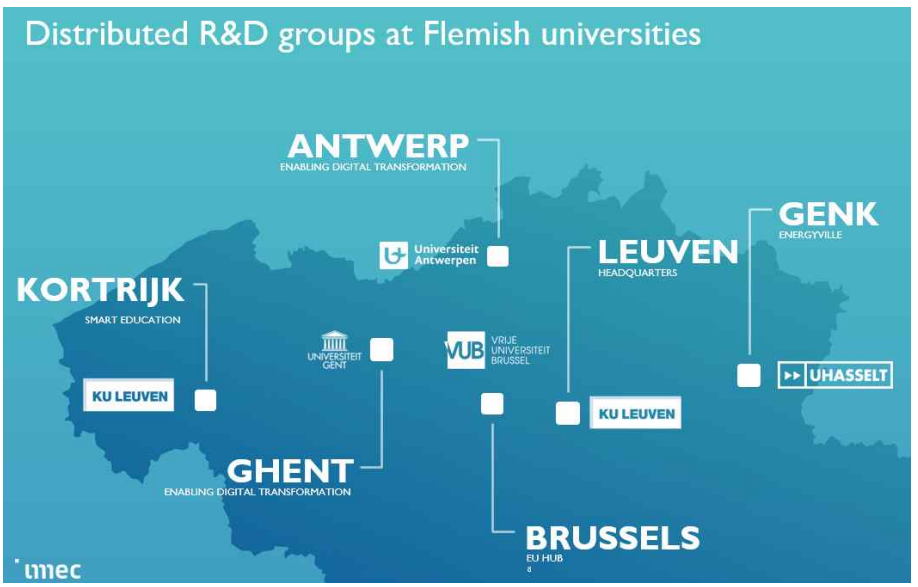


[그림 36] IMEC 조직 구성도

IMEC에는 2023년 6월 현재 5,500명 이상의 피고용인들이 95개 이상의 국가로부터 근무하고 있으며(벨기에 플란더스 지방 한정), 이에 더해 협력 회사, startup, 그리고 학교 및 연구기관으로부터의 파견자 및 방문자들이 함께 협력하고 있다. 전체 5,500명 이상의 피고용인 중 800명 이상이 박사 학위과정 학생으로, IMEC의 여러 연구/개발 프로젝트에 주요 참여자로 기여하고 있다. 주요 학위 수여자는 루벤 대학이며(KUL), 이 외에도 벨기에의 안트워프 대학(digital transformation), 헨트 대학(digital transformation), 브뤼셀 자유 대학, 그리고 하셀트 대학 (에너지)에서 각각 특화 분야에 대해서 IMEC과의 연계 프로그램으로 학위를 수여하고 있다.

이 외에도 국제적으로 공동 박사 학위 수여 프로그램이 5개 학교와 (대만 4개, 중국 1개), 공동 석사 학위 수여 과정은 2개 학교와의 (대만 1개, 스웨덴 1개) 협정이 조인되어 있다. 이외 루벤 대학(KUL)을 매개로 유럽 내 5개 대학과의 교환학생 프로그램이 협약되어 있으며, 이보다 낮은 수준의 학교 간 연계 프로그램이 (한양대 인턴십 프로그램 등의) 전세계 약 50개 대학과 체결되어 있는 상황이다. 이 중 국내 대학으로는 KAIST 및 한양대학교가 포함되어 있으며, 이에 속하지 않더라도 개별 대학 수준에서 IMEC에 mentor 지정을 통해 다양한 기

간의 인턴 프로그램 수행이 가능하다. 이 때 인턴십의 주제는 IMEC 주재 연구자 및 관리자와의 협의 하에 다양하게 선택될 수 있다. 이 중 석사 인턴십의 경우 매년 지원 가능한 프로젝트를 IMEC 차원에서 업데이트 하고 있으며, 최대 1,000유로의 생활 보조비가 IMEC에서 지급 가능하다. 단기 인턴십으로는 최대 3개월 간의 방문 연구가 가능하며, 장기 방문으로는 최대 18개월, 또한 박사 학위는 4년, 그리고 통상적으로 박사 후 과정은 2-3년의 계약 기간을 갖는다. 박사 학위 역시 IMEC 홈페이지에 listing 된 프로젝트 및 요건에 따라 지원 가능하다.

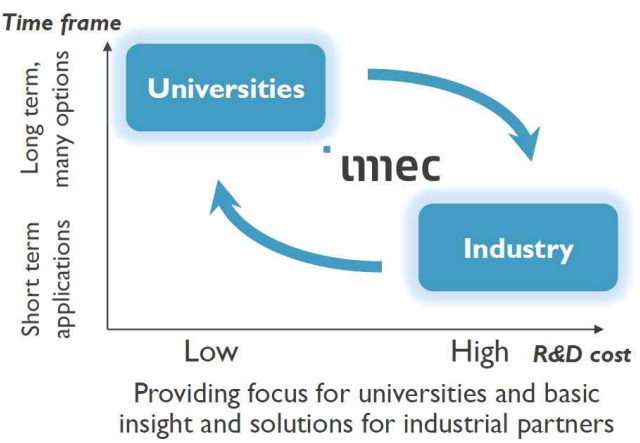


[그림 37] IMEC 연계 박사 학위 수여 대학 및 각각의 특화 분야

이외에도 50명 이상의 박사 후 연구원이 상기 5개 벨기에 대학과의 연계로 IMEC 프로젝트를 위해 연구하고 있다. 석사 교환 학생 프로그램의 경우 최소 1학기에서 최대 1학사년 동안 IMEC에서의 연구 활동이 필요하며, 등록금은 본교에 지불하도록 되어 있다. 교환 학생 프로그램은 루벤 대학의 나노공학(nanoenginerring) 석사 학위 과정을 매개로 진행된다. 이에 더해 방문 교수 프로그램을 통해 IMEC에 필요한 신규 연구 분야의 교수를 초빙하기도 하며, 이 경우 해당 교수가

IMEC 학생을 지도할 수도, 또한 해당 교수 연구실 학생을 인턴으로 IMEC에 보낼 수도 있다.

IMEC은 대표적 산학 협동 기관으로, 반도체 산업에서 위치 상 산업과 연구소 혹은 대학의 가운데에 자리매김하고 있다. 이는 연구 개발 비용은 높고 짧은 시일 내에 결과 확보가 필요한 산업체와, 연구 개발 비용은 낮지만 상대적으로 오랜 기간이 소요되며 다양한 옵션들을 시도해 볼 수 있는 대학 간의 연결점을 만들어 주는 역할을 가능하게 한다. 반도체 기술이 첨단화함에 따라 이와 같은 기초 과학과 산업계 간의 연결 고리 포착의 중요성은 증대되고 있으며, IMEC의 이러한 기술 허브로의 역할은 더 요긴해질 것으로 전망된다. IMEC이 대학과의 연계를 통해 박사 학위자에게 제공할 수 있는 이점은 기본적으로 나노전자공학에 대한 새로운 탐구 및 장기 연구 기회를 들 수 있으며, 반도체 기술 발전에 기여할 수 있는 참신한 아이디어의 조기 포착 및 선별, 그리고 IMEC Fab 및 연구실에 소속된 최첨단 장비 시설의 이용, 마지막으로 실험실 수준에서 300 mm 웨이퍼 Fab을 통해 새로운 아이디어가 실제 반도체 현장에서 어떻게 적용될 수 있는지 직접적인 테스트가 가능하다는 데에 있다. 이외에도 박사 학위 지도자로 교수뿐 아니라 실제 현업 경력이 풍부한 연구자를 만날 수 있어, 직접적인 기술 및 지식 전수 측면에서 유리한 점이 있다.

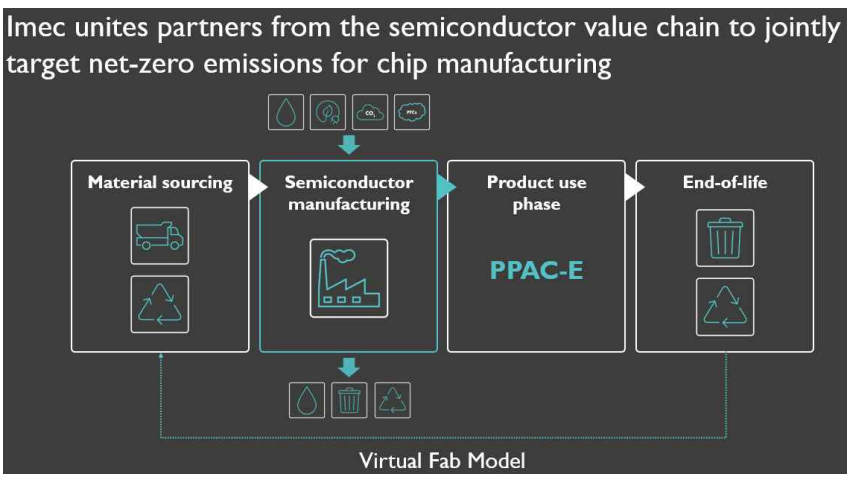


[그림 38] 산학 연계 거점으로써 IMEC 학위 진행의 이점 묘사 모식도

4. IMEC 정책 및 정부/민간 투자 동향

IMEC은 반도체 기술 세계 최고의 연구 개발 허브로, 기본적으로 업계의 판도를 바꿀 수 있는 기술 혁신을 목표로 한다. 또한 중요한 목표 중 하나로 삶의 질을 향상시키는 지능적이고 지속 가능한 해결책을 만들어 사회적 영향을 극대화하려고 노력한다. 이를 위해 실제 반도체 공정을 친환경적으로 전환하려는 프로그램이 IMEC에서 진행 중이며, intel, TSMC, 삼성 등의 주요 반도체 업체들이 해당 프로그램에 참여 중이다.

IMEC은 구체적으로 총 반도체 칩 생산 단계에서 탄소 배출을 0으로 줄이려는 목표를 설정하고 있는데, 이를 항목별로 물 소비, 전기 소비 및 온실가스 배출 최소화를 달성할 수 있는 새로운 반도체 공정을 개발 중에 있다. 이에 더해, 앞에서 언급했듯이 반도체 미세 공정 기술의 개발 자체 역시 칩의 집적도 및 에너지 사용을 줄여 이와 같은 목표 달성에 직결적으로 연관된다.

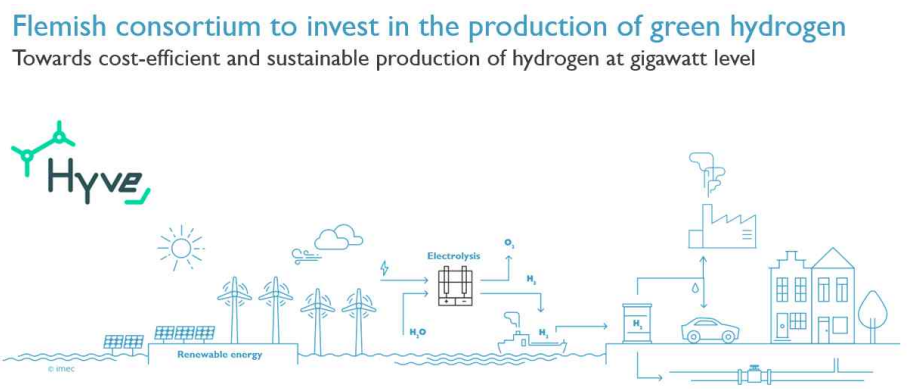


[그림 39] 친환경적인 반도체 생산 공정 개발을 위한 흐름도

[그림 40] IMEC Fab에 설치된 차세대 극자외선(EUV) 노광 장비

에너지 소비 문제는 최근 들어 cloud computing 및 smart phone 사용이 늘면서 데이터 사용량과 더 강한 상관도를 보이고 있다. 인류의 데이터 소비는 2025년에는 연간 수백 ZB (제타 바이트: 1021 Bytes)로 증가할 것으로 예상된다. 데이터 소비는 주로 Amazon, YouTube, Facebook 또는 Netflix와 같은 유명 애플리케이션을 통해 이뤄지는데, 향후 새로운 IoT (Internet of Things) 애플리케이션 역시 상당한 기여를 할 것으로 예측된다. 일례로 자율주행 (일일 4,000GB의 데이터 처리), 스마트 빌딩 (건물당 일일 275GB 이상), 스마트 시티(도시당 일일 1,000TB 이상) 등을 들 수 있다. 또한 기후 변화나 식량 부족과 같은 우리 시대의 주요 과제를 해결하기 위해 인공 지능의 사용이 증가함에 따라 연산 수요량은 앞으로 6개월마다 두 배로 증가할 것으로 예상된다. 이를 해결하기 위한 일환으로 IMEC 에서는 DNA를 정보 저장 단위로 사용하려는 노력이 진행되고 있으며, 이에 성공할 경우 앞서 언

급한 Moore의 법칙을 뛰어 넘는 집적도를 달성할 것으로 보고 있다. 이뿐 아니라 기존 Von Neumann 연산 모델보다 에너지 사용이 적은 computing 구조에 대한 연구 또한 수행하고 있는데, 이는 앞서 언급한 IMEC 주요 프로그램인 반도체 공정 미세화와 맞물려 시너지 효과를 낼 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이와 더불어 극저온 전자공학도 개발 중으로, 초전도체를 통해 전기 저항을 낮추어 에너지 손실을 줄이려는 시도가 계속되고 있다. 대량 생산 가능한 양자 컴퓨터 또한 IMEC의 주요 과제 중 하나로 이미 300 mm 웨이퍼 공정 기반의 Qubits을 제작해 보인 바 있다. 생체 신경망을 모사한 뉴로모픽 연산자도 기존 연산 방식 대비 에너지 소모를 혁신적으로 낮출 수 있을 것으로 기대하고 있으며, 이에 대한 기술 개발도 진행 중에 있다. IMEC의 또 다른 장점 중 하나는 반도체 단위 공정부터 상위 반도체 직접 및 제어 기술 전반에 대한 연구 부서가 모두 존재한다는 점인데, 이 때 개별 단위 기술이 각각 상호 보완적으로 작용하여 에너지 제어를 최적화하는 기술 package의 제안이 가능하다.

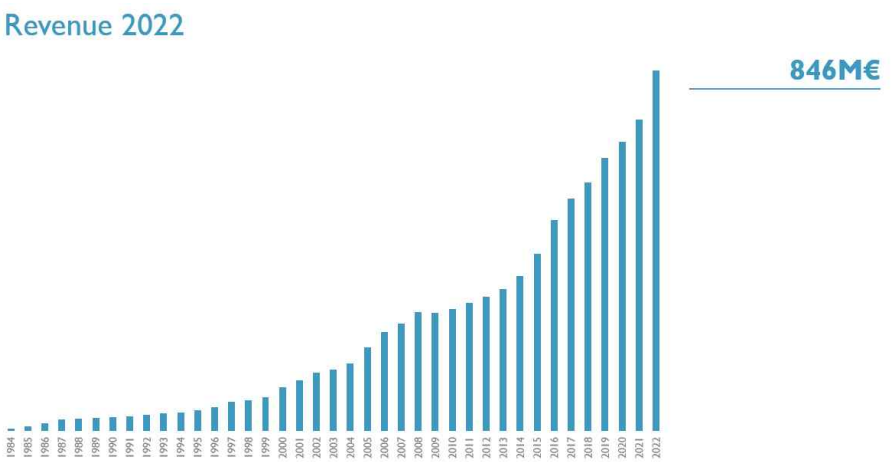


[그림 41] 녹색 수소 대량 생산을 묘사하는 모식도

원유로부터 수많은 연료와 다양한 화학물질을 생산하듯이, IMEC 에서는 녹색 에너지를 연료 및 쓸모 있는 화합물로 변환할 수 있는 기술 역시 개발 중이다. 또한 미래 에너지 생산 cycle에서 각광받고 있는 수소를 탄소 배출 없이 Gigawatt (109 W) 수준으로 대량생산해 내는

그린 수소 기술을 현지 기업과 연계 하에 연구하고 있다. GaN (Gallium Nitride) 화합물 반도체 전력 소자는 Si 대비 더 높은 에너지 효율을 보이는데, 이에 있어서도 IMEC 은 선도적인 기술을 보유하고 있다. 또한 기존 태양 전지가 모든 태양광 파장을 흡수하지 못하는 단점에 고안해, 여러 파장대의 빛을 흡수하는 태양 전지를 적층시키는 구조를 제안하여 30%의 에너지 변환 효율을 달성한 바 있다. 이에 더불어 건축물에 사용되는 창문 중 일부를 태양 전지로 치환하면 건물의 에너지 효율을 높일 수 있어 신규 건축물에 적용 중이다.

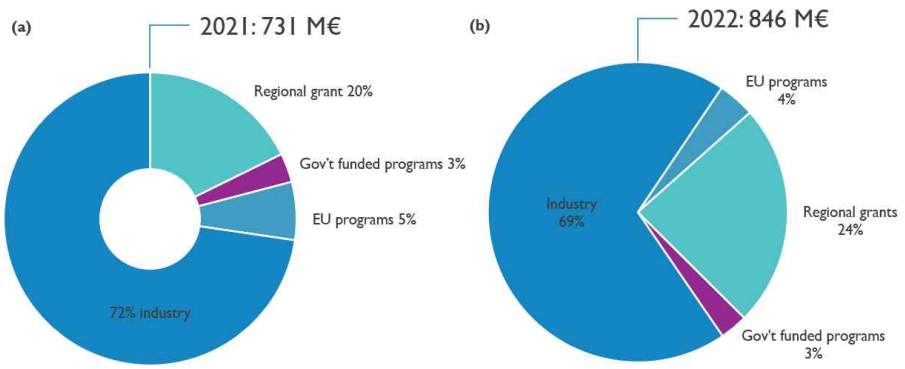
IMEC은 지속 가능한 개발과 더불어 성숙한 시민사회의 일원으로서 지역사회에 공헌하기 위해 특별히 교육 분야에 솔루션을 제공하고 있는데, 그 대표적인 사례가 “i-Learn”으로 불리는 개인화 디지털 교육 플랫폼이 현재 플란더스 지역 학교에 보급 중이다. 아울러 IMEC.academy 라는 서비스를 통해 나노전자공학 및 디지털 기술에 관한 강의를 제공하고 있다.



[그림 42] IMEC 창립 이래 연간 재정 추이

IMEC의 연간 재정은 2022년을 기준으로 8.5억 Euro (2023년 9월 8일 기준 한화 약 1조 2천억원) 로 집계되었으며, 연구소 설립 이래로 현재까지 2008년 금융위기 제외 기하급수적으로 증가하는 추세에 있다. 이 중 산업체로부터의 수입이 69%, 그 외 공공기관으로부터의 수

입이 31%로 이로부터 IMEC이 얼마나 실제 반도체 산업에서 필요로 하는 기술을 개발 중인지 확인할 수 있다. 이 중 산업체로부터의 가장 큰 수입원 중 하나는 EUV 설비에 대한 감광액 공급 업체의 사용료 지불로 알려져 있다. 2022년 수입 분포를 2021년의 그것과 비교해 보면 산업계 비중은 약 3.6% 감소했고, 반대로 공공기관으로부터의 투자는 3.6% 증가했는데, 이는 2021년 대비 (7.3억 유로, 한화 약 1조원) 늘어난 총 재정을 감안할 때 산업계 투자 감소가 아닌 유럽 및 벨기에 국가 차원의 반도체 투자가 늘어난 것으로 해석될 수 있다.

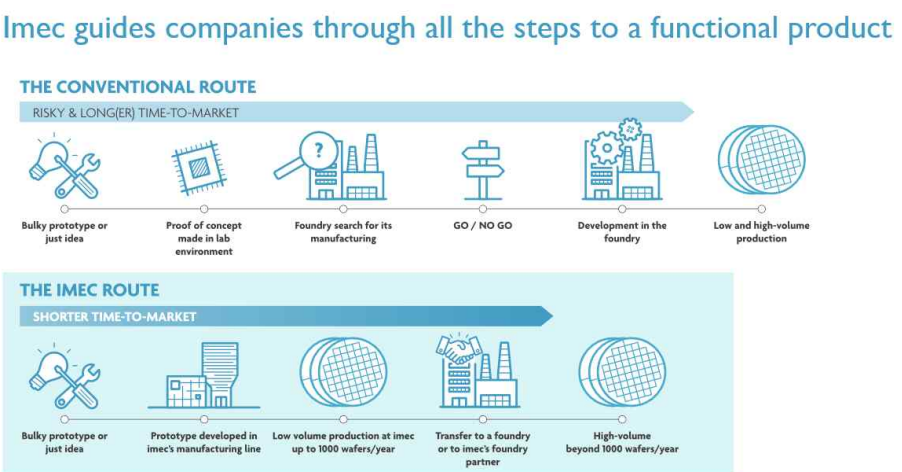


[그림 43] IMEC 연간 재정 분포

이와 같은 재정 분석을 통해 반도체 산업의 안보산업화가 유럽에서도 진행되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 반도체 경기 침체에도 불구하고 2022년 기준으로 반도체 기술 개발 투자는 산업계 및 정부 차원에서 모두 증가하여, 경기와 무관하게 혹은 오히려 역설적으로 현재 세계 업계 및 국가 차원에서 해당 기술의 개발 의지를 간접적으로 유추해 볼 수 있다.

IMEC은 이와 같은 수입을 반도체 기술 개발에 재투자 하고 있는데, 크게는 연구 투자, 개발 투자, 그리고 벤처 투자의 3단계로 나누어 생각할 수 있다. 먼저 IMEC은 세계 반도체 기술 혁신의 허브로 총체적 관점에서 연구 아이디어가 직접적으로 반도체 산업에 더 쉽게 기여할 수 있는 이점을 가지고 있고, 이를 활용하여 2012년부터 IMEC.icon 이라는 연구 project 펀딩을 실행하고 있으며 2021년까지 330 개의

프로젝트가 제안되어 131개가 승인되었고, 이에 대해 약 1억 유로 (한화 약 1430억원)의 연구 투자가 진행되었다. 이 연구 project에 381개의 지역회사 및 연구소가 연계되어 있으며, 이 중 67%가 해당 프로젝트에 최초 참여자로, 연계 기관의 중복 참여가 제한적이었으며, 이로써 과제비의 지급이 기관에 따라 비교적 균등하게 지급되었음을 알 수 있다. 개별 프로젝트의 평균 투자 금액은 210만 유로로, 이 중 기업의 비중은 평균 61%, IMEC은 39%를 차지했다.

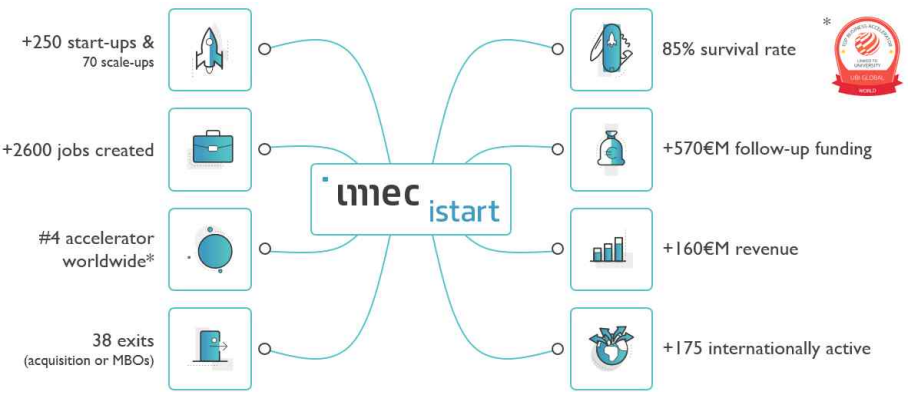


[그림 44] IMEC에서의 기술 개발 이점을 묘사한 모식도

IMEC은 이에 더해 특정 칩을 주문자 기반의 맞춤형 설계 및 생산을 하고 있으며, IMEC.IC-link라는 서비스를 통해 300개 이상의 업체 및 700개 이상의 연구 기관에게 600개 이상의 집적 회로 설계를 지원하고 있는데, 주요 고객으로는 대만의 TSMC 및 UMC 등이 있다. 또한 200 mm 웨이퍼 Fab을 통해서는 MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) 및 화합물 반도체 공정 기반의, 300 mm WF Fab을 통해서는 반도체 chip의 3차원 접합 chip의 고객 주문 소량 생산을 수행하고 있다.

마지막으로 IMEC.xpand라는 프로그램을 통해 IMEC을 통한 벤처 창업을 지원하고 있는데, 1기에서 약 1.2억 유로 (한화 약 1673 억원)의 투자가 이뤄졌던 것에 비해 2기에서는 그 투자금액이 3.7억 유로까

지 (한화 약 5290억원) 증가해 점점 더 많은 회사의 창업 지원이 이뤄지고 있다. 이러한 투자 프로그램 뿐 아니라 IMEC.istart라는 세계 4위 규모의 (유럽 기준 1위) 벤쳐 성장 플랫폼을 통해 현재까지 250개 이상의 벤처 회사를 지원했으며, 이 중 70개가 scale-up에 성공했고, 또 그 중 38개의 회사가 현재 IMEC의 재정 지원 없이 독립적으로 운영 중으로, 약 85%의 생존율을 보이고 있다. 이 중 175개 이상의 회사가 국제적인 사업을 하고 있고, 1.6억 유로 (한화 약 2288억원) 이상의 수입을 창출하고 있으며, 5.7억 유로의 (한화 약 8151 억원) 추가 투자를 달성했다. 이를 통해 도합 2,600개 이상의 일자리 창출 효과가 있었다.



[그림 45] IMEC 벤처 창업 육성 프로그램인 IMEC.istart의 현황

이렇듯 현재의 IMEC이 있게 한 요인 중의 하나는 결국 차세대 EUV 노광 장비를 운영할 수 있는 300 mm Fab의 도입에 있는데, 이를 위해 총 25억 유로 (한화 약 3.6조원) 가 투자되었다.

5. 결론 및 시사점

이와 같이 세계 최대의 반도체 기술 허브로서의 IMEC과 그 Fab의 역할에 대해 알아보았다. IMEC은 반도체 지정학적으로는 사실 대형 회사가 전무하여 피상적으로는 이러한 연구소의 설립 요건이 부족한 것으

로 보이나, 오히려 이러한 단점을 역 발상하여 반도체 주요 player 들이 배후 조종자에 대한 의심 없이 기술 컨소시엄에 참여할 수 있는 장점으로 선용한 case로 볼 수 있다. 이는 한국의 경우 유사한 기관을 설립하려 했을 때 단점으로 작용할 수 있는데, 왜냐하면 해당 기관에서 개발된 기술이 삼성이나 하이닉스 같은 대형 반도체 회사에 남용될 수 있다고 참여 반도체 업체에서 생각할 수 있기 때문이다. IMEC 성공의 시발점에는 ASML과의 깊은 동반자 관계를 통한 차세대 EUV 노광 장비의 프로토 타입 test bed로서의 확실한 입지가 있으며, 이를 마중물로 다양한 반도체 업체들이 반도체 첨단 공정 노드 개발에 참여하게 함으로써 차세대 기술 개발에 있어서 IMEC의 구심력이 강화되었다고 볼 수 있다. IMEC 인력의 국적 분포에서 볼 수 있듯이 다양한 국가로부터의 국제적 업무 분위기는 연구소의 개방성과 창의성을 높이는 데 일조하였으며, 다양한 학교와의 학위/교육 프로그램의 확립을 통해 우수 인력을 확보함과 동시에 반도체 인력 양성을 동시에 도모할 수 있었다. IMEC 은 단순히 반도체 차세대 기술 개발의 구호를 넘어 지속가능한 반도체 양산이라는 친환경 의제를 실제적으로 주요 반도체 생산 회사들과 협력하여 실천하고 있으며, 세계 최대의 반도체 기술 허브라는 이점을 통해 발생한 수익 및 기술 인프라를 연구 프로젝트 지원, 벤처 창업 등의 창구로 재투자해 이러한 기술의 구심력의 선순환 고리를 확립해 왔다. 이 뿐 아니라 지역사회의 일원으로써 특별히 플란더스 지방의 공교육 시스템의 학생 개별 맞춤형 디지털 교육 플랫폼을 제공함으로써, 벨기에 교육의 질을 높이는 데도 기여하고 있다.

이러한 IMEC의 성공 사례를 통해 한국에서의 산학연 연구소의 설립 및 운영에 대한 반면교사를 삼을 수 있으며, 단순한 모델의 copy가 아닌 국내의 특수한 업계 환경을 고려한 맞춤형 전략의 수립이 필요하다고 말할 수 있겠다. 또한 무조건 IMEC 보다 더 큰 기술 허브를 만들겠다는 다소 공허한 구호보다는, 어떤 점에서 IMEC과 협력할 수 있으며, 어떤 점에서 IMEC의 장점을 이용할 수 있는지에 대한 좀 더 실용적인 접근이 필요하지 않을까 하는 고찰을 하며, 작게나마 이 원고의 논의가 한국 반도체 생태계의 건전한 성장에 기여하기를 기대한다.

6. 현직자 서면 질의응답

▶ IMEC 사례 수집 이후 관련하여 정확한 사실 확인 및 전문가 의견을 구하고자 현직자 인터뷰(김주형, IMEC Senior Pixel Designer)를 서면으로 진행

□ IMEC이 갖추고 있는 clean room 등 Fab 공간의 등급(grade) 정도가 궁금합니다. 대부분의 공간이 yellow room에 어느정도 class를 갖춘 시설일까요?

☞ Imec의 main fab 인 300 mm fab의 경우 class 1,000을 유지하고 있으며, 200 mm fab 의 경우 전체 fab 5,200 m^2 중 1,750 m^2 를 class 1 으로 관리 중에 있습니다.

□ 반도체 공정 로드맵 설정이 IMEC의 가장 큰 역할 중 하나라고 하셨습니다. 이 로드맵 설정이 IMEC 실무자 입장에서 실제로 기관 임무 중 중요한 부분으로 체감이 되는지요? 수립 과정에서 실무자가 직접적으로 참여하고 있는지요?

☞ 네, 가장 중요한 업무 중 하나라고 할 수 있습니다. 해당 프로젝트에 가장 중요한 고객사들이 관여되어 있으며, 파트너들의 관심이 가장 큰 부분이라고 할 수 있습니다. 다만 첨단 공정 로드맵의 경우 주로 logic device와 관련이 있으므로 저의 전문 분야인 이미지 센서와는 다소 간 거리가 있습니다.

□ 12개의 부서(department)별로 활용가능한 Fab 공간이 분리되어 있는지요? 또한 자체 연구개발과 기업대상 서비스를 위한 Fab 공간이 분리되어 있는지요?

☞ 대부분의 logic 과 memory 부서 제품의 경우 300 mm Fab을 사용하고 있으며, 그 외의 부서는 특별한 경우를 제외하고는 200 mm Fab을 사용하고 있습니다. 내부 프로젝트와 고객사를 대상으로 하는 프로젝트가 라인을 구별해서 사용한다고 보기 어려우며, 이는 대부분의 아이멕 프로젝트가 고객사의 투자에 의해 이뤄지기 때문이기도 합니다.

□ 5,500여명의 피고용인들이 근무하고 있다고 알려주셨는데요. IMEC 차원에서 이들 인력의 질적 수준을 유지하기 위해 노력하고 있는 것이 있을까요(근무성적 평가 등)?

☞ Imec 내부적으로 근무성적 평가 및 이에 기반한 월급 증감 및 승진 등의 국내 기업 혹은 연구소와 유사한 인사 관리 시스템을 가지고 있습니다. 개인적으로 imec의 가장 훌륭한 인재 육성 시스템 중 하나는 내부 박사 과정을 통해 재능 있고 훌륭한 인재를 육성한 후 이 인원을 채용하는 것입니다. 박사 과정을 통해 해당 인원의 역량 및 업무 자세를 검증할 수 있으므로, imec 에서는 가장 효율적인 인사 채용 시스템이라고 볼 수 있습니다.

□ 인턴십 및 박사학위 수행의 경우, 프로젝트 주제를 IMEC이 공고 → 지원자가 제안서 작성 → 채용/입학 및 연구비지원의 흐름이라고 이해를 하면 될까요?

☞ 박사학위 과정이 open 된 경우 연구비는 이미 부서 내에서 책정이 되어 있다고 볼 수 있습니다. 그 외의 과정은 질문에 설명해 주신 것과 같습니다.

□ 감광액 공급 업체의 사용료 지불이 산업체로부터의 가장 큰 수입원 중 하나라고 알려주셨는데요. 이는 감광액 소재의 Test-bed로 IMEC Fab의 시설/장비를 활용하고, 이에 대한 사용료를 지불하는 것이라고 이해하면 될까요?

☞ 그렇습니다. 예를 들면 EUV 감광액의 개발을 위해서는 자연스레 특정 마스크를 가지고 소재사에서 개발한 감광액으로 설계한 대로, 그리고 웨이퍼 위치 별로 적은 산포를 가지고 EUV 노광 tool을 사용해야 하는데, 이 때 파트너 사로부터 사용료를 청구합니다. 차세대 EUV tool 은 현재 imec에 독점적으로 설치되어 있으므로, 이 때 높은 청구액을 요구할 수 있습니다. 이는 향후 한국 반도체 연구소에서 benchmark 할 수 있는 사업 모델이라고 생각합니다.

□ IMEC의 재원을 투자하는 분야로 자체 R&D(icon), 맞춤형 설계 및 생산(link), 창업 및 기업성장(xpand, istart) 등 총 3가지를 언급하셨는데요. 이 3가지의 정확한 금액 또는 대략적인 비율이라도 알 수 있을까요?

☞ 년도별 데이터는 구할 수 없지만, imec.icon 의 경우 2012년부터 2021년까지 약 1억 유로 (한화 약 1466 억원), Imec.xpand는 phase 2 기준 약 3.7억 유로 (한화 약 5265 억원, 기간 및 연도 확인 불가) 이며, link 에 대한 재정 데이터는 확인 불가능합니다. Imec.xpand의 phase 2에 대한 기간 역시 확인 불가하므로 비율 산출은 어렵습니다. 마지막으로 imec.istart 는 벤쳐 incubation 프로그램으로 투자 금액은 Imec.xpand 로부터 참고해야 합니다.

□ 차세대 EUV 노광장비 운영을 위한 300 mm Fab 도입에 총 25억 유로가 투자되었다고 말씀 주셨는데요. 총 25억 유로가 그럼 차세대 EUV 노광장비의 구매, 즉 하드웨어 투자에 활용되었다고 이해해도 괜찮을까요?

☞ 25억 유로는 FAB 전체 건설 비용을 의미하며, 차세대 EUV 노광장비는 ASML 로부터 구매하는 것이 아니라 상호 간 파트너십 하에 증여 받는 것으로 알고 있습니다. 매 차세대 EUV 노광 장비가 개발될 때마다 ASML 은 해당 설비를 imec에 설치하고, 노광 연계 파트너들과 해당 설비의 양산화를 위한 공동의 연구를 수행합니다.

□ Fab을 대상으로 하는 모든 투자에 있어, 활용 : 시설/장비 투자의 정확한 금액 또는 대략적인 비율이라도 알 수 있을까요? 그리고 한국 공공Fab의 경우, 초기 시설/장비 투자 외에는 활용 투자가 없는 경우가 많은데(소위 '자생'을 요구함), 이에 대한 의견을 여쭙고 싶습니다.

☞ Fab 투자 금액의 자세한 내역에 대해서는 확인이 어렵습니다. 다만 imec의 경우 많은 설비들이 imec이나 imec 콘소시엄에 들어와 있는 협력사들과의 공동 연구 개발 과제를 위해 도입되므로, 외부로부터의 지속적인 cash flow 가 있습니다. 따라서 imec Fab의 장비들은 협력 개발자의 투자에 의해 지속적으로 업데이트 되는 선순환 구조를 가지고 있습니다.

□ IMEC은 반도체 주요 player들이 배후 조종자에 대한 의심 없이 기술 컨소시엄에 참여할 수 있는 장점으로 선용한 case라고 알려주셨는데요. 이것이 정말 단순히 반도체 지정학적인 근거로만 가능한 일일지 의문이 생깁니다. 오히려 IMEC 같은 기관이 이해관계자 간 추후 분쟁을 미연에 방지할 수 있는 제도적으로 선진적인 시스템을 갖고 있는 것은 아닌지 궁금합니다.

☞ 좋은 지적이십니다. 가장 중요한 부분 중 하나는 공동 개발 프로젝트에서 나오는 지적 재산권 등의 관리이며, 사실 다른 국가, 특히 일본이나 대만 등의 국가에 비해 한국 기업이나 연구 기관, 혹은 학교의 파트너십 level 이 낮아 보이는 데에는 이러한 지적 재산권에 대한 국가별 인식 차이도 일정 역할을 하는 것으로 보입니다.

제3절. 사례 2: 싱가포르 공공Fab

1. 개요

○ 내용: 국외 대학 공공Fab 및 반도체 소자 분야 연구소 방문과 현직자 인터뷰를 통한 선도사례 및 신규 투자분야 발굴을 위한 국외 출장 업무 수행

○ 출장자: 성장동력사업센터 정두엽

○ 기간: '23. 10. 16.(월) ~ 10. 20.(금)

○ 장소: 싱가포르 A*STAR(Institute of Materials Research and Engineering), National University of Singapore, Nanyang Technology University 등

○ 목적

- 싱가포르 기업-대학 협력형 Fab 및 대학 내부 사용자 대상 Fab 방문과 운영 책임자 인터뷰를 통한 선도사례 조사
- 공공Fab 신규 투자분야(반도체 소자 기술 최신동향 및 시설·장비) 발굴을 위한 싱가포르 국립 연구소 방문과 연구원 인터뷰 추진

〈표 12〉 싱가포르 공공Fab 방문 인터뷰 세부 일정표

일 자	주요 일정	비 고
10. 16.(월)	인천 → 싱가포르	· 출국
10. 17.(화)	선도 공공Fab 방문 ① Applied Materials – NUS Advanced Materials Corporate Lab	· 기관 방문 및 인터뷰 병행
10. 18.(수)	선도 공공Fab 방문 ② Nanyang NanoFabrication Centre	〃
10. 19.(목)	국립 연구소 방문 A*STAR (Institute of Materials Research and Engineering)	〃
10. 20.(금)	싱가포르 → 인천	· 귀국

참고 싱가포르 반도체 공공Fab 관련 기관방문 사전 발송 질문지

1. What are featured points of the institute in terms of research organization?
   1-1. Any specialty in age, major, degree of all employees?
   1-2. Does the institute have any system to maintain and evaluate the quality of employees?
   1-3. Does the institute have completely separable R&D division and enterprise support service division, or not (or some more divisions)?
   1-4. Does the institute employ undergraduate or graduate students for FAB operation and education in long-term? Any related degree courses? (In South Korea, semiconductor manpower training policy is based on the extra R&D program.)

2. Does the institute have specialized technology fields of semiconductor focusing on?
   2-1. Any fields for semiconductor manufacturing process (packaging, etc.)?
   2-2. Any fields for application of semiconductor (future mobility, etc.)?
   2-3. Do retentive (or future) facilities and equipment of the institute have connectivity with the specialized fields?

3. Is the institute supported by Singapore government for operation, education, facilities and equipment? (In South Korea, most of public FABs are now forced to self-operate.)
   3-1. Any government R&D programs or projects?
   3-2. Amounts of funds (if impossible, approximate ratio) for FAB operation : education : facilities and equipment?
   3-3. Any non-funded support by the government? (tax, regulation, etc.)

4. Does the institute supports technology commercialization?
   4-1. Any departments or division to support technology commercialization (intellectual property analysis, technology transfer to enterprise, etc.)?
   4-2. How many technologies (if impossible, approximate percentage) are tried and succeeded to real commercialization?

※ 방문 기관의 대외주의 사항 및 인터뷰 대상자의 답변 가능 범위에 따라 질문·답변의 내용은 조정될 수 있음

2. 대학 공공Fab 책임자 인터뷰 1

◇ (10.17. / 1일차) 기업-대학 협력형 나노Fab 방문: NUS

○ 기관명: 싱가포르 국립대학(National University of Singapore)

○ 주소: Building E6, 5 Engineering Drive 1, Singapore 117608

○ 연구 분야: 반도체 산업용 첨단소재 시스템 및 복합재료공학

○ 면담자 1(확정) : Silvija Gradecak-Garaj 교수
- College of Design and Engineering
- Co-Director, AMAT-NUS Corporate Lab

○ 면담자 2(확정) : Richard Wong 교수
- Department of Chemistry
- Co-Director, AMAT-NUS Corporate Lab

○ 논의주제
- 기업(Applied Materials)-대학(NUS) 협력형 나노Fab 설립 배경 (양 기관이 취할 수 있는 이점 및 구체적인 협력의 이유)
- 연구조직적 관점(인력구성, 부서 조직 등)에서의 특이점
- 협력형 나노Fab의 특화 분야 및 구축된 시설·장비와의 연계성
- 협력형 나노Fab을 활용한 반도체 인력 교육·양성 현황

〈 인터뷰 주요 내용 〉

(정 : 정두엽, S : Silvija Gradecak-Garaj 교수, R : Richard Wong 교수)

정〉 안녕하세요, 먼저 협력형 Fab에 대한 소개와 투자현황에 대해 간단히 설명 부탁드립니다.

S〉 저희 Fab은 협력형 Lab의 개념이며, 기업 관점에서 미래 기술개발에 대한 의지, 대학의 지식을 활용하고자 하는 전략, 인력을 트레이닝하기 위한 방식의 실체인 것 같습니다. 그리고 협력형 Lab의 개념은 싱가포르에 매우 특화된 느낌이고, 싱가포르 정부, 대학, 기업이 R&D를 위한 투입을 하고 있습니다. 이 과정에서 정부와 기업의 비율이 어느 정도 일정하며, 대략 1:1.5 정도입니다. 정부가 1달러의 현금을 내면, 기업은 1.5달러 정도를 내는 것이죠. 이 비율을 준수하는 것이 의무는 아닙니다만, 권장되고 있습니다. 또한 싱가포르 항공, 롤스로이스 등이 참여하는 것을 포함하여 총 8~9개의 기업-대학 협력형 Lab이 있고, 기업과 대학 상호 모두 관심이 있는 분야를 연구하고 있습니다. 일반적으로 협력형 Lab 프로그램은 5년간 지원되며, 이후 양쪽에서 유익함을 느껴 필요에 따라 5년 연장되는 것도 있습니다.

R〉 조금 더 설명을 덧붙이고자 합니다. 이 협력형 Lab은 IAF-ICP (Industry Alignment Fund – Industry Collaboration Project) Grant를 통해 싱가포르 정부로부터 재정지원을 받습니다. 이 연구비는 싱가포르의 R&D 생태계의 발전에 기여하고 경제적 효과를 증진하기 위해 정부가 기업-대학을 연결하는 형태로 디자인되었고요. 지원 기간은 기본적으로 5년입니다. 사실 오늘 이 지원 기간이 끝났습니다. (웃음)

정〉 아, 그럼 Silvija 교수님께서 말씀하셨던 대로 5년 연장을 원하시는 상황이신 걸까요?

S〉 네, 그렇지만 제안서를 접수해서 기다리고 있습니다. 다른 제안서들과 과학기술적 장점, 경제적 파급효과 부분 등에서 경쟁하여 선정되어야 하는 상황입니다.

R〉 미리 주셨던 질문지에 '무엇이 기업과 대학 모두에 이점이 있는가'라는 질의가 있어서 말씀을 드리자면, 먼저 대학은 산업계가 관심을 갖고 해결하고자 하는 질문을 잘 모르는 경우가 많기 때문에, 이를 파악하여 해결해보는 것이 큰 도움이 됩니다. 그리고 기업의 경우, 이윤 창출을 추구해야 하는 조직의 특성상 기초적이고 미래를 위한 기술개발을 할 수 있는 채널이 부족한데, 협력형 Lab을 통해 이런 부분의 가려움을 조금이나마 긁어줄 수 있겠죠. 정부는 중요한 산업 분야에 공급할 수 있는 인력을 양성할 수 있고요. 10년 전만 하더라도 싱가포르는 GDP 대비 1% 정도만 R&D에 투자하고 있었으나, 이후 산업에 공급할 인력이 부족한 상황을 타개하기 위해 National Research Foundation (NRF)을 설립하여 R&D 투입을 증가시키고 방향성을 설계하는 일을 시작했습니다.

S〉 싱가포르는 2개의 주요 기금지원 기관이 있는데, NRF와 교육부(Ministry of Education)입니다. 교육부의 경우 과학기술과 공학 분야를 포함한 기초연구를 지원하고, NRF의 경우는 조금 더 응용기술에 가까운 프로그램을 지원하고 있습니다. 산업과의 연결성도 중요하며, 그래서 협력형 Lab도 NRF에서 지원하는 것입니다.

정〉 싱가포르 및 협력형 Lab에 Applied Materials가 잘 뿌리내리고 있는 이유는 무엇이 있을까요?

S〉 여러 가지 답을 드릴 수 있겠습니다만, 일단 Applied Materials는 싱가포르에서 오랜 기간 반도체 산업에서 족적을 남기며 대규모의 제조 사이트를 갖추고 있습니다. 게다가 싱가포르는 강건한 반도체 생태계를 갖추고 있습니다. 글로벌 파운드리 등을 포함하여 많은 글로벌 기업들이 생태계에 참여하고 있고요. 한 번 생태계에 정착하면 인력과 자금을 공급받는 흐름선(streamline)을 갖게 되어 계속 머물고 싶어하는 것 같습니다. 이러한 원인은 아무래도 지정학적 상황에서 찾을 수 있겠습니다만, 싱가포르 정부의 노력도 무시할 수는 없

습니다. 생명공학 분야 또한 비슷한 산업의 예로 들 수 있겠는데요. 싱가포르 정부의 노력 하에 글로벌 기업을 유인하여 생산 공장이나 본부를 유치하였고, 스타트업 활동 또한 풍부해졌지요. 정부가 이를 위한 인프라 조성에 많은 힘을 기울였으며, 반도체 산업 또한 마찬가지입니다. 협력형 Lab 참여에 있어서는 Applied Materials가 결국엔 대학의 인력을 활용할 수 있게 되는 것이 가장 큰 동인이지 않을까 싶습니다.

R〉 강조하고 싶은 것은 싱가포르 정부가 글로벌 기업을 유인하기 위해 많은 일을 잘하고 있다는 것입니다. 정부의 Economic Development Board (EDB)라는 조직을 통해 토지나 건물을 무상으로 임대하거나 완전히 귀속시켜주기도 하는 노력들을 포함해서요. 결국엔 산업의 분야에 맞게 R&D 자금을 정렬(align)해주는 작업을 정부가 하고 있는 것입니다.

정〉 네, 이제 조금 더 미세한 부분을 보도록 하죠. 지금 협력형 Lab이 위치한 나노Fab 건물과 시설장비에 대해 소개해주실 수 있으실까요?

S〉 이 건물은 싱가포르 국립대의 E6동 나노Fab이며, 3개 층의 클린룸과 시설장비로 구성되어있습니다. 모든 건물과 시설장비는 대학의 투자로 구축 및 소유되고 있기에, 질문지를 통해 설명해주셨던 한국의 공공Fab과는 다른 상황인 것 같아 강조를 드립니다. 대학 내·외부 상관없이 사용자들은 사용료를 지불하면 시설장비를 활용할 수 있고, 사용료는 수도, 전기, 가스, 시약 등 Fab 시설을 운영하는 데 쓰입니다. 정부가 아닌 대학에 의해 Fab 시설장비가 구축될 시 장점은 대학 내 교수와 연구자들이 실제 연구에 필요한 형태로 편하게 갖춰질 수 있다는 점이 되겠습니다.

정〉 기술 유출 등을 염려하여 한국 반도체 대기업의 경우는 in-house

R&D를 추진하는 경우가 많은데, 이곳에서는 기업이 정부에 비해 1.5배나 많은 자금을 대면서도 프로젝트에 참여한다는 것이 신기합니다.

S〉 확인해야 할 부분이 있는데, 기업의 투자는 시설장비 등 현물인 경우가 대부분입니다. 그리고 협력형 Lab에서 하는 프로젝트는 기업 내에서 전혀 다루지 않는 기초연구인 경우가 다수입니다. 완전히 새로운 재료를 장기간 테스트하는 과정에 우수한 교수와 학생 등 연구인력의 도움을 받을 수 있게 되는 것이죠.

R〉 한 가지 더 말씀드리면, 기업의 입장에서는 대학이 연구 공간과 인력을 제공하고 있고 정부가 R&D 자금을 대기 때문에, 새로운 기초기술을 테스트하는 장으로 활용하기에 비용적 측면에서 이익이 될 수 있으므로 참여하지 않나 싶습니다. IP와 같은 이슈들이 발생할 수는 있겠지만, 5년 정도 같이 연구를 하는 과정에서 자주 소통하다보니 이것이 자연스럽게 해결되기도 하는 것 같고요. 제 스스르도 기업을 상대하는 일이 많이 편해진 것 같습니다.

정〉 한국의 경우는 Fab의 자생을 위해서 비어있는 공간을 기업에 임대하고, 기업은 비용을 지불하고 입주하여 그곳에 본인들의 장비를 갖추어 놓고 테스트하는 경우도 있습니다. 여기도 그런 사례가 있을까요?

R〉 최근에 그런 케이스는 들어본 적이 없습니다. Applied Materials과의 협력형 Lab에서도 정부 1:1.5 기업의 투자 외에 대학의 Fab 시설장비나 인력의 투입이 현물로 1 정도의 비율이라고 볼 수 있습니다. 연구 협약 시에 이런 점이 명시되어 있기 때문에 공간 비용은 대학이 마땅히 투입해야하는 것이지 외부 사용자로부터 수익을 창출할 수 있는 구조는 아닙니다.

정〉 Head를 맡고 계신 협력형 Lab의 특화된 반도체 분야 세부기술 같은 것이 있을까요? 패키징 등 제조공정이나 미래 모빌리티 등 응용분야에 있어서 생각해보시면 도움이 될 듯 합니다. 그리고 그 기술에 부합하도록 Fab의 장비들이 구축되어있다고 할 수 있을까요?

S〉 프로젝트의 내용이 대외비다 보니 이에 대해 구체적으로 말씀드릴 순 없으나, Applied Materials는 A*STAR와 함께 패키징 공정에 집중하여 연구하는 부분이 있으며, 우리 NUS와 함께하는 연구는 새로운 재료와 새로운 공정을 개발하고 테스트하는 것입니다. 완전히 새로운 기초연구이기 때문에 기업 처지에서는 기술 유출에 대한 부분을 걱정하지 않고 협력에 참여할 수 있습니다. 그리고 말씀드렸지만 대학이 Fab을 보유하고 있으며 대학 연구진의 사용 목적에 따라 장비를 구축해왔기 때문에, 자연스럽게 부합도가 고려되었을 것이라고 생각합니다. 또한 잘 아시겠지만 반도체 공정장비들이 굉장히 민감하고 고가이기 때문에 특정 사용자가 장비를 완전 점유하여 사용해서는 안 된다고 생각하며, 오퍼레이터로부터의 기술지원을 통해 장비를 유지하고 여러 사용자가 공유할 수 있도록 운영되고 있습니다.

정〉 협력형 Lab에 고용된 인력의 수준을 유지하기 위한 제도나 평가를 하는 과정이 있나요?

R〉 화학, 시뮬레이션, 재료, 전자공학 등 다양한 백그라운드의 사람이 모여있는 조직이다보니, 이들을 같은 기준으로 바라볼 수 없으므로 협력형 Lab 전체 차원에서 세밀한 형태의 평가 시스템 같은 것은 없습니다. 연구 내용 자체의 마일스톤에 따른 평가와 연구책임자 수준에서 소속 인력에 대한 정성적 평가는 있겠지만요.

S〉 첨언하자면 협력형 Lab에는 싱가포르 국립대의 연구원과 Applied Materials의 직원이 모여있으며, 대학 연구원은 대학에서의 매년

리뷰, 직원은 기업 내부에서 평가를 하는 별도 과정이 있습니다.

정〉 마지막으로 반도체 인력을 양성하기 위해 구체적인 인력의 수를 목표로 내세운 싱가포르 정부 정책이나 인력관리 현황 같은 것을 들어보신 적이 있으신가요?

R〉 정책의 목표가 인력의 수로 설정되어 발표된 것은 들어본 적이 없습니다만, 아마 정부 차원에서 그 수를 분명히 파악하여 관리하고는 있으리라 생각합니다.

[그림 46] Applied Materials-NUS 협력형 Lab 방문 및 전문가 인터뷰

참고 IAF-ICP Grant 정보 (기업-대학 협력형 프로그램)

About the Grant

The Industry Alignment Fund – Industry Collaboration Project (IAF-ICP) supports Public Research Performers in strategic R&D collaborations with industry. The aim is to foster industry-relevant public sector R&D efforts, and Public Research Performers to collaborate with industry, with a line of sight to potential economic outcomes.

This grant is different from typical academic grants, as proposals will be assessed primarily on their potential economic impact and relevance to building up Singapore's R&D ecosystem:

1. Potential to generate product or process innovations to the industry player(s) involved (i.e. improved processes or products);
2. Potential to generate higher economic or R&D activity for industry player(s) involved (e.g. through creation of R&D jobs, increased market share, reduced costs, and improved productivity);
3. Potential to deepen tech-or-people capabilities in locally based companies (e.g. through upskilling, enhanced training, and development of new IPs);
4. Ability to uplift the ecosystem (e.g. by fostering collaborations with other locally based enterprises such as suppliers);
5. Level of the industry partner's commitment to

research and innovation in Singapore; and

6. Other relevant factors.

The duration of IAF-ICP projects should not exceed 36 months, although exception may be made for Corp Labs (up to 60 months) on a case-by-case basis.

The IAF-ICP is governed by a Strategic Oversight Committee (SOC) comprising CEO A*STAR, MD EDB, MD ESG and CEO NRF. The SOC makes decisions on all IAF-ICP policies and project approvals.

Eligibility

IAF-ICP is open to all Public Research Institutions in Singapore.

Companies are not eligible, nor will they be considered as co-applicants.

All applications are to be submitted by the Public Research Institutions – applications submitted directly by individual researchers will not be accepted.

Application Procedure

The application process is summarised below:

Please click here to download the relevant documents for your proposal submission:

1. Full Proposal Template, ICP Budget Template and Submission Checklist (please complete and submit in editable Word and Excel format)
2. Frequently Asked Questions
3. Guidelines for Demonstrating Actualisation of Industry Contributions
4. A*STAR T&Cs 2020
5. A*STAR Grant Guidelines 2020

Applications are accepted on a rolling basis throughout the year. Please submit your applications directly to the Implementing Agency at 〈IAF_ICP@hq.a-star.edu.sg〉 using the templates provided.

All submissions must be endorsed by the Research Office and the Innovation & Enterprise Office (or Technology Transfer Office) of each Institution involved in the collaboration.

Applicants may be requested to submit supporting documents and/or clarifications.

(출처 : https://www.a-star.edu.sg/Research/funding-opportunities/iaf-icp)

3. 대학 공공Fab 책임자 인터뷰 2

◇ (10.18 / 2일차) 대학 내부 사용자 지원형 Fab 방문: NTU

○ 기관명: 난양공과대학(Nanyang Technology University)

○ 주소: S1-B1c-94, 50 Nanyang Avenue, Singapore 639798

○ 주요 지원 공정: 이온 증착, E-빔 노광 후 나노 패턴 에칭 등

○ 면담자(확정) : Wang Hong 교수
- School of Electrical and Electronic Engineering
- Director, Nanyang NanoFabrication Centre (N2FC)

○ 논의주제
- 대학(NTU) 내로 Fab 시설 사용자를 한정하고 있는 이유
- 연구조직적 관점(인력구성, 부서 조직 등)에서의 특이점
- Fab의 주요 특화 지원 공정 및 구축된 시설·장비와의 연계성
- Fab을 활용한 반도체 인력 교육·양성 현황

〈 인터뷰 주요 내용 〉

(정 : 정두엽, W : Wang Hong 교수)

정〉 안녕하세요. 먼저 학력과 경력을 포함하여 간단하게 자기소개를 해주시길 요청드립니다.

W〉 네, 저는 중국 출신이고 저장대학교에서 전자공학으로 학부를 졸업했습니다. 이후 5년간 연구소에서 근무하다가 영국 입스위치 British Telecom에 방문연구원으로 갔습니다. 2년간 영국 생활을 하고 싱가포르 난양공대에 합류했습니다. 싱가포르는 1990년

대에 반도체 산업을 시작하면서 동 분야 과학자와 공학자를 리크루팅 하기 시작했고, 저도 그 시류에 따라 오게 된 것입니다. N2FC는 1997년에 시작되었고, 집적회로 엔지니어들을 양성·교육하기 위해 정부가 100% 재정 지원하여 클린룸을 구축했습니다. 대학은 4년간의 학부 기간동안 학생들을 클린룸에서 트레이닝 할 수 있었죠. 10년 정도 많은 인력을 양성했으나, 이후에는 그렇게 큰 규모로 인력양성을 진행할 필요성이 점차 낮아져서 정부 지원이 종료되었습니다. 그러나 클린룸과 장비는 남아있으므로, 이를 연구시설로 활용하기 시작했습니다. 물리학이나 생명공학 분야까지 망라하여 대학 전체 나노분야 사용자들을 대상으로 오픈되었습니다. 90% 정도는 대학 내 수요로 인해 활용되고 있으나, 팹리스 중소기업 등 산업계의 수요도 존재하는 상황입니다. 또한 A*STAR 같은 경우도 자체 장비로 내부 수요를 해결할 수 없거나 장비 고장 등이 발생하는 경우 저희 Fab을 이용하기도 합니다. 그러나 어쨌든 결론적으로 N2FC Fab은 대학 고유의 연구시설 성격입니다.

정〉 N2FC에 대한 소개까지 해주셔서 감사합니다. 그럼 N2FC에 Full-time 근무자들이 얼마나 있는지가 궁금합니다.

W〉 초기에 교육과 인력양성 목적으로 Fab이 운영될 때는 20명 정도가 시설·장비 관리·작동을 목적으로 일했습니다. 지금은 R&D 목적으로 운영되는 Fab이고 박사과정 학생들이나 연구원들이 직접 장비를 가동할 수 있습니다. 그래서 Full-time 인력을 줄여서 10명 정도 고용하고 있습니다. 3명 정도의 박사급, 더 적은 석사급과 학사급이 있으며, 일부 폴리텍 출신 연구원들도 있습니다.

정〉 원활한 Fab 운영을 위해 사용자들에게 사용료를 징수하기도 하는지요?

W〉 정부 지원이 종료된 이후에 사용료 징수는 피할 수 없는 선택이었습니다. 매년 2~300명 정도가 Fab을 이용하는데, 이들로부터 받는 사용료로 가스, 전기, 시약 등 Fab 운영 유지에 필요한 비용은 충분하여 자생력을 갖추었다고 할 수 있겠습니다. 물론, 장비에 대한 신규 투자는 제외하고를 말하는 것입니다. 증류수 기계와 같은 장비가 고장 나서 수리하는 경우나 새 장비를 구입할 때는 대학의 재정지원을 받아 사용료와 함께 활용하는 co-pay 모델을 갖고 있습니다. 사용료는 사용자들이 수주하고 있는 과제의 연구비인 경우가 많겠고요.

정〉 Fab 운영 목적으로 정부 지원금을 확보하기 위해 연구과제나 프로젝트를 수주하는 경우는 없는지요?

W〉 Fab 운영 자체가 R&D 목적이라기보다는 일상적인 오퍼레이션에 가까운 업무기 때문에, Fab과 연구과제가 연결된 경우는 없습니다. 저희 N2FC 뿐만 아니라 대학내에 물질을 측정분석하는 Characterization 센터도 있는데, 이곳 또한 저희와 마찬가지입니다.

정〉 N2FC가 아주 큰 규모의 연구시설은 아니긴 하지만, 혹시 10여명의 전일제 근무자들을 평가하는 등 인력의 수준을 유지하기 위한 과정이 있는지 궁금합니다.

W〉 평가라기보다는, 석사나 폴리텍 학사학위 소지자들을 대상으로 파트타임 대학원 등록과 수강을 독려합니다. 그래서 일반적인 학위 기간보다는 오래 걸리지만, 주간에는 Fab에서 일하고, 야간에는 course work을 할 수 있도록 합니다.

정〉 공공Fab 지원 방식, 공공Fab의 규모, 또 근무자들의 학위과정 장려와 같은 점들이 확실히 한국의 경우와는 다른 것 같습니다.

W〉 공공Fab 근무자 이외에도 글로벌 파운드리나 Applied Materials 와 같은 기업에서 근무하시는 분들도 NUS, 난양공대 등 전체 싱가포르에 있는 학교에서 파트타임 학위를 하시는 분들이 꽤 계십니다. 그리고 기업에서도 이에 대해 관심을 갖고 지원하는 것으로 알고 있습니다. 인력의 질을 업그레이드 하는 방식인 것이죠.

정〉 네, 알겠습니다. 이제 기술적인 내용으로 화제를 전환해보죠. N2FC 홈페이지에서 반도체 기술 특화분야에 대한 개념도 그림을 보고 오긴 했는데요. 이에 대해 조금 더 설명해주실 수 있으실까요? 그리고 N2FC에 갖춰진 연구시설·장비가 이 특화분야에 맞게 셋업 되어있다고 할 수 있을지요?

W〉 N2FC는 2개의 클린룸이 있습니다. 첫 번째 클린룸은 인력양성 목적으로 활용되던 곳이라 산업계에서 주로 활용되는 실리콘 기반의 셋업이 갖춰져 있습니다. 두 번째 클린룸은 주로 연구 목적으로 조성되어 화합물 반도체, 탄소나노튜브, 그래핀, 유기물 반도체 등 새로운 나노 재료를 테스트할 수 있습니다. 두 번째 클린룸이 첫 번째보다 규모는 작으나, 어떠한 재료도 활용할 수 있도록 유연하게 응용 분야에 대응하고 있습니다. 그리고 두 클린룸 모두 하루 아침에 만들어진 것이 아니며, 꾸준하게 수요에 맞는 형태로 셋업을 갖추고 변경해왔다는 점을 말씀드립니다.

정〉 네, 그럼 사용자들이 Fab을 사용하려면 어떤 과정을 거쳐야 하나요? 인터넷 시스템 같은 것을 통해 예약을 해야 하는지요?

W〉 먼저 Fab을 사용하고자 하는 학생 등 구성원을 대상으로 안전 및 장비 교육 트레이닝을 무료로 실시하고, 이후 테스트를 통과하면 홈페이지를 통해 장비 사용 예약을 할 수 있습니다. 2~3회의 무료 트레이닝 이후에도 사용자가 테스트를 통과하지 못하면, 이후

에는 유료 교육으로 전환됩니다. 또한 주로 Fab 사용료가 연구비에서 징수되기 때문에, 홈페이지 시스템이 이와 자동 연동되도록 하고 있습니다. 대부분의 장비는 사용자들이 독립적으로 사용할 수 있으나, 핵심 장비의 경우는 Fab 근무자의 감독 아래 함께 사용하도록 되어 있습니다.

W〉 한 가지 생각난 것이 있는데, NUS 내에 있는 NanoFab은 원래 A*STAR의 것이었으나, A*STAR가 새로운 시설을 외부에 셋업하면서 그 자리에 남게 되었고 이를 NUS 소관으로 전환한 것으로 알고 있습니다. A*STAR의 IME나 IMRE 같은 Department들이 이전에 NUS 내에 있었고, 다른 Department들도 난양공대를 포함하여 싱가포르 내 여러 곳에 분리되어 흩어져 있었으나, 정부가 이후 이들을 사이언스 파크 I, II, 그리고 Fusionopolis와 같은 곳에 모아 집적화하기 시작했습니다. 그 과정에서 남겨지게 된 기존 건물과 시설들이 (어차피 정부 소유 재산이므로) 정부의 디자인 하에 대학 소유로 이관되게 된 것입니다.

정〉 네, 어제 NUS Fab 책임 교수님들과 인터뷰를 진행하면서 느꼈던 점은 그분들께서 싱가포르 정부에 대해 상당한 신뢰를 보내고 있다는 것이었습니다. 특히 산업 생태계에 있어서요.

W〉 싱가포르 정부 내 Economic Development Board (EDB)라는 조직은 국외 기업들을 싱가포르로 유인하여 경제를 활성화하는 임무를 1960년대부터 수행해 오고 있습니다. SONY, PHILIPS 같은 기업들이 TV를 생산하던 것이 가장 먼저의 사례였던 것 같고요. 이후 TSMC, 글로벌 파운드리 같은 기업들도 유치된 것입니다. 이런 기업들에게 엔지니어를 충분히 공급하는 것이 필요했으며, 이 때문에 싱가포르 정부는 대학을 통해서 인력을 양성하려 했고, N2FC도 결국 그 때문에 정부의 전폭적 지원으로 출발했다고 볼 수 있겠습니다. 저도 정부의 시스템 설계가 똑똑하다고 생

각하며, 연구비 또한 연구자들을 충분히 지지해주는 것 같습니다.

W〉 싱가포르는 한국에 비해 규모가 작은 나라이기 때문에, 예컨대 R&D나 교육 등 여러 기능을 분리해서 두기가 쉽지 않다고 생각합니다. 그래서 공공연구소와 대학이 가까울 수밖에 없는 것 같고요. 겸임 교수제도나 학생 연구소 파견 등 인력 교류 또한 활발합니다. 그리고 EDB의 특정 기술산업 분야에 한정한 장학금 제도 또한 존재하며, 이러한 지원을 통해 그 분야에 인력을 머물게 하고 그 분야의 발전을 촉진할 수 있다고 생각합니다.

W〉 그리고 주로 싱가포르는 국가의 규모 유사성 때문에 홍콩과 자주 비교를 하곤 하는데요. 홍콩은 제조업을 선택하지 않고 비즈니스나 금융업 중심의 국가가 되었습니다. 이렇게 홍콩이나 미국, 영국과 같은 나라들의 경우 제조업에서 GDP가 차지하는 비중이 아마 많이 낮을 텐데요. 싱가포르의 경우는 20% 정도로 높은 것으로 알고 있습니다. 정부의 정책이 낳은 결과라고 생각하며, 덕분에 싱가포르는 2% 가량의 낮은 실업률을 보이기도 합니다.

정〉 네, 싱가포르 산업과 경제 전체에 대해 말씀을 주셔서 감사합니다. 다시 Fab과 관련된 얘기로 좀 더 집중해보죠. 정부나 대학의 자금 지원 외에 제도나 정책적으로 Fab 운영을 지원받는 수단 중에 생각나는 것이 있으실까요?

W〉 적합한 답변일지는 모르겠으나, 저의 Fab 운영 책임과 같이 행정의무가 있는 교수들의 경우 1년 150시간의 필수 강의 시간 중 25% 정도를 감면해주는 혜택이 있습니다. 그래서 저는 120시간 정도를 강의하고 있습니다. 그 외 어떤 인센티브가 있는지는 잘 떠오르지 않네요.

정〉 난양공대의 협력형 Lab에 대상 얘기를 해보고자 합니다. 싱가포르

에는 대학-기업 간 협력형 Lab이 많이 있다고 알고 있습니다. 가장 성공적인 사례로 난양공대-롤스로이스 협력형 Lab을 파악할 수 있었고요.

W〉 롤스로이스는 터보엔진을 개발하는 업체라 기계공학 섹터에 큰 협력형 Lab이 있습니다. 싱가포르는 반도체 이후 제약 등 생화학, 그리고 항공우주 산업에도 투자하기 시작했습니다. 롤스로이스는 항공우주 산업과의 관련성 때문에 협력형 Lab에 참여하게 된 것이고요. 현재 싱가포르의 롤스로이스는 1년에 100개 정도의 터보엔진을, 그러니까 3일에 1개 정도의 엔진을 조립할 수 있는 정도의 설비를 갖추었다고 들었습니다.

정〉 생화학 등 생명공학 분야에 대한 이야기는 NUS 인터뷰에서도 접했으나, 싱가포르 항공우주 산업에 대한 말씀은 처음 들어보았습니다.

W〉 싱가포르에는 싱가포르 항공사가 있으며, 비행기를 유지보수하기 위한 시설을 보잉에서 싱가포르에 설치하면서 항공우주산업이 발전하기 시작했다고 알고 있습니다. 지정학적 위치와 대부분의 국민이 영어를 사용할 줄 알아 소통의 장벽이 낮다는 점이 이런 글로벌 기업들의 제조 공장 설립을 유인하는 동인이지 않을까 싶습니다. 베트남, 말레이시아 등에 비해 인건비가 비싸다는 것이 유일한 단점입니다.

정〉 인력양성에 관한 것도 여쭤보고 싶은데요. 한국의 경우 개별 R&D 사업 지원을 통해 금액, 기간을 정하여 투입하고 인력의 수를 목표로 하여 양성하는 형태입니다. 싱가포르 정부도 이렇게 구체적인 숫자로 계획이나 마일스톤을 삼고 있는지 궁금합니다.

W〉 아마도 정부 내부적으로는 숫자에 대한 계획이 있지 않을까 싶으

나, 일단 제가 아는 것은 박사과정 150~200여 명 대상 장학생 지원 사업과 같은 형태가 있습니다.

정〉 마지막 질문입니다. 싱가포르의 글로벌 반도체 기업들은 대학과 협력하여 연구하는데 적극적인 것 같은데, 한국의 삼성이나 SK하이닉스 같은 곳들은 in-house R&D 형태에 집중하는 느낌을 받고 있습니다. 싱가포르의 경우 어떤 점이 달라서 그런 것일까요? 협력의 핵심 동인이 무엇일까요?

W〉 아마도 한국의 경우는 기술 유출에 대한 걱정이 커서 그런 것으로 알고 있고요. 싱가포르의 경우도 그 점에서 자유로울 순 없으나, 협력을 통해 개발하는 기술은 좀 더 미래지향적이고 장기적인 목표를 가진 경우, 그리고 인력 트레이닝 목적인 경우가 많습니다. 그리고 협력형 Lab에 필요한 R&D 현금을 정부가 100% 지원하는 특이점이 있습니다. 대학은 교수, 학생 등 인력만 제공하고요. 그리고 다른 분야이긴 하나 개발하려는 기술과 기업 자체가 사회문제와 연결된 경우도 있습니다. 예를 들어 싱가포르 지하철인 MRT의 신호제어가 원활치 못하여 많은 체증이 발생했던 적이 있는데요. MRT 업체와 대학을 협력형 Lab으로 묶어 이를 해결하기 위해 정부가 자금 지원을 한 적도 있으며, 실제로 문제를 해결하는 성과를 도출했습니다.

[그림 47] Nanyang NanoFabrication Centre (N2FC) 방문 및 전문가 인터뷰

4. 반도체 소자 분야 연구원 인터뷰

○ 기관명: A*STAR(Institute of Materials Research and Engineering)

○ 주소: 2 Fusionopolis Way, Innovis, #08-03, Singapore 138634

○ 연구 분야: 전자재료, 나노공정, 나노·양자 팹리스 파운드리 등

○ 면담자(확정): 권재현 박사, Senior Scientist
- Quantum Technology for Engineering, IMRE
- 前 Member of Technical Staff, GlobalFoundries
- 前 Post-Doc., Electrical and Computer Engineering, NUS

○ 면담자(추가 확정): 전현수 박사, Senior Scientist
- Institute of Microelectronics

○ 논의주제
- 연구소 내 다양한 연구조직별 반도체 연구 내용 및 연계·협업의 형태(특히, IMRE와 Institute of Microelectronics (IME) Fab 간 협력 내용)
- 연구소 내 연구조직적 관점(인력구성, 부서 조직 등)에서의 특이점
- 연구소 연구역량 및 보유 시설·장비를 활용한 기술사업화 지원 현황
- 싱가포르 반도체 기업의 연구소 시설·장비 활용 형태 및 현장 경험

〈 인터뷰 주요 내용 〉

(정 : 정두엽, 권 : 권재현 박사, 전 : 전현수 박사)

정〉 귀한 시간 내주셔서 감사합니다. 먼저 ice-breaking 목적으로 간단히 자기소개를 부탁드립니다.

권〉 KIST UST에서 석사를 하고, 잠깐 위촉연구원으로 근무했었습니다. 이어서 2008년에 싱가포르에 와서 전기전자공학 박사를 4년, 포닥을 2년 했습니다. 이후 싱가포르 글로벌파운드리에서 7년간 일하고, 올해 1월부터 A*STAR에 합류했습니다. 근무하고 있는 Department는 Quantum Technologies for Engineering (QTE) 입니다. 2D 재료 등 저차원 물질의 특성을 활용해서 큐빗을 어떻게 개발할 것인가를 연구하고 있습니다. 예전에 회사에 있을 때는 Technology Development 분야의 Device 팀에서 자성 물질을 이용한 Random Access Memory를 개발했습니다. SONY, 미국의 DARPA 등이 주요 고객(사)였습니다.

전〉 KAIST에서 플라스마 물리학으로 박사 학위를 했습니다. 졸업 후에 삼성전자 메모리사업부 DS에 근무했고, 이후 LG전자, SK 하

이닉스까지 이어서 다녔습니다. 싱가포르에 온 지, 그리고 A*STAR에 합류한 지 딱 5개월 됐습니다. A*STAR IME에서는 기업에서의 풍부한 경험을 흡수하고 싶어서 저를 뽑지 않았을까 생각합니다.

권〉 먼저 이메일로 보내주셨던 질문지를 확인하면서 궁금했던 점이 있습니다. 어떤 특화된 반도체 분야나 기술을 정책연구 테마로 삼지 않고 공공Fab이 주요 주제인 이유가 있을까요?

정〉 공공Fab 별로 특화 분야가 있습니다. 예를 들어 수원, 포항에 있는 공공Fab은 SiC, Ga 기반 등 화합물 전력반도체로 특화 분야를 셋팅하여 그에 적합한 시설·장비를 구축하고 있는 중입니다. 이렇게 각각의 Fab별로 특화도 등을 조사하는 연구를 수행할 수 있겠으나, 그보다는 전국의 공공Fab을 대상으로 종합 조정 관점에서 연계할 수 있는 방안 등을 모색하는 형태로 연구를 진행하고자 했습니다. 싱가포르 A*STAR와 IME의 명칭은 반도체 공공Fab 관련하여 우리나라 정부 안건에 소개되기도 하나, 실제 내용을 확인하기는 어려운 점이 있었습니다. 그리하여 직접 방문하여 사례 발굴 목적으로 자료 조사나 인터뷰를 진행해 봐야겠다는 생각이 들었습니다.

정〉 첫 번째 질문입니다. A*STAR(또는 내부 공공Fab) 인력의 질을 유지하기 위해, 내부적으로 평가한다거나 매년 근평 제도 등이 있는지요?

권〉 있습니다. 그저께 했습니다. 하하.

전〉 벌써 다 끝내셨어요? (웃음)

정〉 아마 자기 작성 서류가 있고, 또 동료평가 같은 것도 있을 텐데요.

권〉 여기는 동료평가는 없습니다. 제가 평소에 늘 1:1로 보고하는 매니저와 그 위에 더 높으신 분을 모시고 3명이 모여서 Goal Review 형태로 평가를 진행합니다. 저는 1월에 합류했으므로 7월 Mid-year Review 때 Goal 셋팅을 했고, 이번 평가에서는 Goal을 향해 잘한 점, 부족한 점을 점검하고 향후에 어떻게 개선·보충할지, 또 Goal 자체의 실현 가능성을 판단하여 추가 또는 삭제하는 형태로 리뷰를 했습니다.

정〉 그럼 그런 과정을 통해서 등급이나 점수 같은 것을 부여해서 직원들에게 당근과 채찍을 주는 것이 있는지요? 인센티브를 지급한다던가요.

권〉 있습니다. 최종 평가가 7등급 정도로 나누어져 있고, 하위 2등급의 경우는 급여 인상과 성과 보너스가 없고, 그 외 등급들에서도 차등 지급을 하는 것으로 알고 있습니다.

전〉 싱가포르에 와서 느낀 점은 여기의 Job Security가 한국보다 굉장히 높은 것 같습니다. 다른 조직으로 이동하거나, 동 조직 내에서 위로 올라가려고 하는 의지가 높지 않다는 얘기입니다. 조금은 공산주의 같기도 합니다만... 그래서 여기에서 일어나는 리뷰 평가의 결과에 대해 누구도 개의치 않는 느낌입니다. 사람들이 안정적인 것 같고요. '좋은 리뷰를 받기 위해 더 열심히 해야지!' 같은 부분은 희미한 사회인 것 같습니다. 오히려 이런 부분이 더 혁신적인 것 같다는 생각도 하게 되더라고요. 평가 제도 등을 도입해서 인력을 차등화한다는 것이 너무 한국적인 사고가 아닌가 싶습니다.

정〉 자체적인 평가 시스템이 있긴 하나, 이것이 인력이나 서비스, 연구의 수준을 유지하거나 향상시키는 데에 별 도움이 안 된다고 받아들이면 될까요?

전〉 그렇습니다. 또한 대전, 수원, 서울대에 있는 나노Fab에 전부 방문해보았고, 대전과는 지금도 함께 협업을 하고 있습니다만, 한국의 시설·장비나 인력의 수준이 싱가포르보다 월등히 좋습니다. 일례로 대전에서 Etching 장비는 삼성이나 SK하이닉스 양산라인에서 쓰는 것과 같은 세대의 장비를 씁니다. 기업에서 퇴직한 분들이 공공Fab에 근무하시는 경우가 많아, 지식이나 기술의 수준도 싱가포르보다 훨씬 높습니다. 반면 싱가포르는 20년도 넘은, 중고시장에서도 찾아볼 수 없는 장비를 몇십 명도 넘게 붙어서 활용합니다. 그래서 싱가포르에서 잘 안되는 실험을 아웃소싱하기 위해 실제로 한국에 웨이퍼를 보내기도 합니다. 하지만 정책 관점에서는 두 나라가 많이 다른 것 같습니다. 싱가포르 정부는 '무엇'을 할 것인가에 대한 계획을 세워서 이를 추진하는 능력이 탁월한 것 같습니다. 그를 달성하기 위해, 즉 좋은 성과를 내기 위해 결합할 자원은 수입하거나 외국을 활용하는 데도 서슴없고요. 그런데 한국은 그 '무엇'을 할지가 희미하기도 하면서 사람들이 그에 별 관심이 없다는 생각이 듭니다. 예를 들어 수원 Fab은 6인치, 8인치 전력 소자 분야에 특화되어 있는데, 이를 활용하여 무엇을 할지에 대한 관심이 별로 없습니다. 그것이 가장 결정적으로 차이가 나는 부분인 것 같습니다. 협업체계 구성이 잘된 점도 중요합니다. Applied Materials 같은 회사들과 마치 조인트 벤처처럼 협업을 진행합니다. 회사에서는 장비를 대고, A*STAR는 Fab과 사람을 대서 공유하여 같이 진행하는 겁니다.

정〉 NUS와 난양공대 인터뷰를 다녀왔는데, 그 내용과 딱 겹치는 말씀이신 것 같습니다. 사람들의 일상이 여유롭다는 내용, 협력이 활발하다는 내용 같은 부분입니다. 기업에서 유휴 장비를, 대학Fab은 공간을, 정부는 협력을 위한 자금을 지원하여 협력한다고 하고요. 모든 이해관계자들이 이익을 취할 수 있는 부분이 있어서 협력이 되는 것 같다는 말씀을 듣고 왔습니다.

전〉 반도체 기업의 지향점 자체도 다른 것 같습니다. 한국은 제조업 기반의 수익 극대화 중심이고, 여기는 제조업이 발달한 곳 아니다 보니 선도 기술개발에 대한 관심이 많습니다. 규모가 크지 않아도, 산학연 협력을 통해 예쁜 모양으로, 또 5~10년 중장기적으로 선도 기술개발을 끌고 가자는 움직임이 느껴집니다. 또한 인력 관점에서도 다릅니다. 한국은 인력을 육성하려고 하고, 그 인력 스스로는 승진을 통해서 고위직을 맡으려는 의욕, 많은 돈을 벌고자 하는 의욕, 좋은 네트워크를 만들어가려는 의욕이 있습니다. 싱가포르의 경우는 육성보다는 각 레벨에 맞는 사람을 찾아 데려와서 꽉꽉 채워두는 형태로 조직을 구성합니다. 그러다 보니 주어진 일을 열심히 하면서 직업의 본질에 충실히 하는 부분이 오히려 여기가 더 나은 것 같고요. 사회 구조, 엔지니어들이 가진 성격 등이 정책과 복합적으로 연결될 수 있지 않을까 싶습니다. 그래서 싱가포르의 공공Fab 사례를 한국이 벤치마킹한다고 해도 사회적 토대가 다른 상황에서 잘 작동할 수 있을지 의문이 있습니다.

정〉 좋은 관점이긴 하나, 이것이 한국 사회에서 순식간에 바뀌긴 어려운 문제인 것 같습니다. 수십 수백년 간 쌓여온 국민 정서적인 차이인 것 같네요. 그럼 싱가포르의 공공Fab은 일종의 Feasibility test를 위한 공간이라고 이해를 해도 될까요?

전〉 싱가포르에서 정한 4개의 기술 트리가 있고, 그 중 하나가 반도체 관련 분야라는 얘기를 들은 적이 있습니다. 이러한 계획과 자금은 정부가 100% 정하여 충당하는 것이고, 일종의 계획경제 체제라고 이해가 됩니다. 이러한 상황에서 공공성이 대체 무엇인지에 대한 고민이 필요합니다. 사적인 이익을 추구하는 주체가 없는 상황이기 때문입니다. 기본적으로 모든 사람들의 DNA에 공공성이 새겨져 있는 느낌이고, 기업 또한 국가의 계획에 참여하여 조금 도와주는 주체로 인식이 되고 있습니다.

정〉 글로벌 파운드리, Applied Materials, TSMC 같은 글로벌 기업들

도 싱가포르에 많이 들어와 있는데, 그럼 이런 기업들은 공공성과 관련하여 어떤 관점에서 바라보아야 할까요?

권〉 글로벌 파운드리에 근무하는 중에 A*STAR 측에 특별한 재료로 Magnetic Layer의 스택을 쌓는 일을 아웃소싱했던 것 외에는 교류를 했던 적이 없는 것 같습니다.

전〉 A*STAR IME 내에 기업 과제들이 따로 있긴 한데, 대규모의 사업성과 협력관계를 목적으로 하는 기술개발이라기보다는 일종의 소통 창구 수준인 것 같습니다.

정〉 말씀을 듣다보니 A*STAR라는 조직 자체에 대한 이해도 필요한 것 같습니다. 한국에는 ETRI, KIST, 재료연 등등 아주 다양한 공공연구소가 있는데요. 여기는 A*STAR 하나에 다양한 연구 기능이 들어와 있는 느낌인데, 맞는가요?

전〉 네, 식품, 의약, 반도체 등등 셀 수 없이 아주 다양한 Department, Division이 존재합니다. 각 세부 조직의 크기는 작은 편이지만, 중복이 적고 각각이 모여서 커버하고 있는 연구 분야의 스펙트럼은 굉장히 넓고 다양하다고 느끼고 있습니다. 그래서 부서나 인력 결원이 발생하면 백업이 어렵다는 게 단점입니다. 한국은 상대적으로 연구소나 조직 간에 비슷비슷한 점이 꽤 보이는 것 같고요.

정〉 조직 내에 노하우가 쌓일 수 있는 시스템이 갖춰져 있으면 좋을텐데, 아쉽네요.

전〉 그런데 그런 정서 자체가 싱가포르 내에 없는 것이죠. 다 장단점이 있는 것 같습니다. 이런 사례를 보더라도 해외 사례를 벤치마킹하실 때에는 각 국가와 한국의 특수성을 동시에 고려하여 진행할 필요가 있겠습니다. 한국 사회는 지금 공익과 사익 추구의 밸

런스가 완전히 깨져있는 느낌을 받아서요. 한국의 유능한 인력들의 유지와 후세들을 위해서라도 작은 것부터라도 사회의 공공성을 회복하기 위한 정책적 노력이 필요한 것 같습니다.

정〉 네, 잘 알겠습니다. 제가 일전에 국내 모 공공Fab의 오퍼레이터가 장비 활용 시 이슈가 발생했을 때 늦은 시간이었음에도 불구하고 사용자와 통화 후 바로 현장으로 달려가서 대응한다는 얘기를 들은 적이 있는데, 이런 사례를 공공성이 발현된 상황으로 이해할 수 있을까요?

전〉 네, 맞습니다. 그런데 이런 분들에 대한 대우 문제도 짚어볼 필요가 있습니다. 별도 과제를 수행하면서, Fab 시설·장비의 오퍼레이션도 하면서, 그런 이슈에도 대응해야 하니 그에 상응하여 충분히 객관화된 보수와 사회적 대우가 꼭 필요한 것 같습니다. 그분들이 착취의 대상은 아니니깐요.

정〉 개인의 발전이 공공의 발전이 될 수 있는 대책 마련도 필요하겠군요. 마지막으로, 혹시 IME가 특별히 관심 있고 잘하고 있는 반도체 분야의 세부 기술 분야가 있을까요?

전〉 차세대 소자 분야, 예를 들어 Metaoptics, 전력소자, 초고주파소자 등이 특화 분야인 것 같습니다. 하지만 이런 기술에 대해 관심이 없는 다른 조직 또한 잘 없는 것 같아서, 특이점이 있다고 말씀드리긴 어렵습니다. 오히려 이러한 기술 분야라는 콘텐츠를 잘 운용해나가는 방식에 특별함이 있는 것 같습니다.

정〉 네, 장시간 인터뷰에 응해주셔서 정말 감사드립니다. 말씀을 죽 이어서 들었지만 결국에는 사회적인 공공성 회복이 시급하다는 같은 결론으로 회귀하게 되는 인터뷰였던 것 같습니다. 제가 강조해주신 부분을 돌아가서 잘 정리해보도록 하겠습니다. 이상 마치도

록 하겠습니다.

[그림 48] A*STAR 방문 및 전문가 인터뷰

5. 시사점

◇ 평가가 아닌 교육을 통한 공공Fab 인력의 질적 수준 제고 필요

○ 싱가포르 공공Fab의 경우 근무자의 평가는 공공Fab이 완전히 포함되어 있는 대학이나 연구소의 기준에 따라 이루어지고, 평가(evaluation)가 아니라 리뷰(review)라는 단어로 표현되고 있음

- A*STAR에서의 리뷰 과정 또한 달성한 성과와 향후 계획에 대한 발표와 토론을 겸하고 있으며, 그 결과에 대한 근무자들의 관심이 대체로 낮은 사회적 분위기가 조성되어 있음

○ 대신 대학·대학원의 야간과정을 통해 공공Fab 근무자들의 후속 학위 취득을 적극적으로 장려하고 있으므로, 우리나라도 공공Fab이 소속된 우수 대학과의 학위 프로그램 연계를 고려하는 것이 근무자의 동기를 부여하고 질적 수준을 높일 수 있는 한 가지 방법이 될 수 있을 것임

◇ 공공Fab에서 실현될 수 있는 R&D 투자강화를 통한 선순환 체계 마련

○ 대학 및 연구소가 보유한 싱가포르의 공공Fab은 각각의 부지와 건물 내에 스스로 투자하여 시설장비를 구축 및 업그레이드하고, 관리 책임 또한 지고 있어 운영 시 다양한 이해관계자들에게 받는 영향이 적음

○ 따라서 싱가포르 정부는 Fab에서의 R&D 활동을 위한 현금 지원에 집중할 수 있으며, 우리나라의 경우에도 단순한 직접 운영비 지원보다는 Fab에서 실현될 수 있는 R&D 사업 또는 과제 투자를 강화하여 이를 통해 사용료가 지불되고 Fab의 운영비가 확보되는 선순환 체계가 마련될 필요

○ 또한 미래에 신규 공공Fab을 구축할 시, Fab의 안정적인 운영을

위해 시설·장비 투자 주체-설치 장소-관리 책임의 일치성을 사전 확보할 것을 제안

◇ 반도체용 미래소재·공정 Test-bed로서의 공공Fab 기능 강화

○ 싱가포르의 공공Fab에서는 아직 사업성을 확보하지 못하여 이해관계나 기술 유출로부터 비교적 자유로운 새로운 반도체 소재와 공정 기술이 주로 연구되고 있음

- 기업-대학 협력형 Fab 인터뷰에서 완전히 새로운 기초연구가 진행되고 있다는 점, A*STAR 인터뷰에서도 Metaoptics, 전력소자, 초고주파소자 등 차세대 반도체 소자가 특화 분야라는 점이 언급되었음

- 그러므로 기업이 관심 있는 미래기술에 대해 대학 또는 공공연구소와의 공동연구가 원활히 일어날 수 있고, 기업의 유휴 장비 현물투자를 매칭받을 수도 있으며, 특히 창출되는 IP에 대한 이슈를 R&D를 중장기적으로 수행하는 과정에서 협의를 통해 정리할 수 있음

- 정부는 이 협력의 과정에 투자하여 반도체 인력을 양성할 수 있고 경제·산업적 파급효과를 발생시킬 수 있는 이점이 있음

○ 따라서 우리 정부도 싱가포르 IAF-ICP Grant의 기업(장비 현물매칭) : 대학 또는 공공연구소(시설, 공간, 인력 매칭) : 정부(현금지원) 모델의 벤치마킹을 통해 반도체 기업이 관심 있는 미래소재·공정 Test-bed로서의 공공Fab 기능을 강화할 필요

제4절. 소결

□ (가설 검증) 제1절에서 소개한 3대 가설 및 각 가설의 내용에 부합하는 국외 공공Fab 사례(제2절, 제3절, 제2장 제3절 내용)를 연결하면 아래와 같음

○ 학위·교육과정과의 연계를 통한 Fab 인력 질적 수준 제고

- (벨기에 IMEC) 전체 5,500명 이상의 피고용인 중 800명 이상이 박사 학위 과정 학생으로 IMEC의 여러 연구 개발 프로젝트에 주요 참여자로 기여하고 있다.
- (싱가포르 NTU) 평가라기보다는, 석사나 폴리텍 학사학위 소지자들을 대상으로 파트타임 대학원 등록과 수강을 독려합니다. 그래서 일반적인 학위 기간보다는 오래 걸리지만, 주간에는 Fab에서 일하고, 야간에는 course work을 할 수 있도록 합니다.
- (미국 ANC) 기업 공간은 구분되어 독립적으로 운영되고, 대학에 소속되어 운영되나 기업 연구소와 공간 및 장비를 공유하는 운영체제이며, 교육 기능도 강조되어 대학원 교육과 직업교육을 병행 추진
- (프랑스 MINATEC) 연구인력은 대략 3,000여명으로 이중 PhD 포함 2,400여명의 연구자, 600여명의 산업체 인력으로 구성, 1,200여명의 학생도 클러스터 내에 포함

○ 시설·장비 투자 주체-설치 장소-관리 책임 연결의 정합성 확보

- (벨기에 IMEC) 2012년부터 Imec.icon이라는 연구 project 펀딩을 실행하고 있으며... 이 연구 project에 381개의 지역회사 및 연구소가 연계되어 있으며, 이 중 67% 가 해당 프로젝트에 최초 참여자로, 연계 기관의 중복 참여가 제한적이었으며...
- (벨기에 IMEC) IMEC은 1984년 벨기에 플란더스 지방 정부에 의해 설립된 공공Fab 을 포함한 산학 연계 연구기관으로, 반도체 연구소로서 특별히 차세대 반도체 공정 node 개발에 있어 현재 대체불가한 위치를 점유하고 있다.

- (싱가포르 NUS) 모든 건물과 시설장비는 대학의 투자로 구축 및 소유되고 있기에, 질문지를 통해 설명해주셨던 한국의 공공 Fab과는 다른 상황인 것 같아 강조를 드립니다... 정부가 아닌 대학에 의해 Fab 시설장비가 구축 될 시 장점은 대학 내 교수와 연구자들이 실제 연구에 필요한 형태로 편하게 갖춰질 수 있다는 점이 되겠습니다.
- (싱가포르 NTU) 증류수 기계와 같은 장비가 고장 나서 수리하는 경우나 새 장비를 구입할 때는 대학의 재정지원을 받아 사용료와 함께 활용하는 co-pay 모델을 갖고 있습니다.
- (미국 ANC) 뉴욕 주정부 산업정책에 의해 '01년 뉴욕주립대학 Albany 캠퍼스에 설립, 뉴욕 주정부의 전폭적 지원(운영비 전체 예산의 30%), '01년 이후 지금까지 총 140억 달러 이상 투자

○ 미래소재·공정 Test-bed로서의 기능 수행

- (벨기에 IMEC) 기업체에서는 연구 개발 비용이 크고 짧은 시일 내에 해당 기술을 적용하는 데 비해 대학에서는 연구 비용은 적지만 장기간 다양한 접근법으로 기술 난제를 다룰 수 있다.
- (벨기에 IMEC) 구체적으로 총 반도체 칩 생산 단계에서 탄소 배출을 0으로 줄이려는 목표를 설정하고 있는데, 이를 항목별로 물 소비, 전기 소비 및 온실가스 배출 최소화를 달성할 수 있는 새로운 반도체 공정을 개발 중에 있다.
- (싱가포르 NUS) 한 가지 더 말씀드리면, 기업의 입장에서는 대학이 연구공간과 인력을 제공하고 있고 정부가 R&D 자금을 대기 때문에, 새로운 기초기술을 테스트하는 장으로 활용하기에 비용적 측면에서 이익이 될 수 있으므로 참여하지 않나 싶습니다. IP와 같은 이슈들이 발생할 수는 있겠지만, 5년 정도 같이 연구를 하는 과정에서 자주 소통하다보니 이것이 자연스럽게 해결되기도 하는 것 같고요
- (싱가포르 NTU) 두 번째 클린룸은 주로 연구 목적으로 조성되어 화합물 반도체, 탄소나노튜브, 그래핀, 유기물 반도체 등 새로운 나노재료를 테스트 할 수 있습니다. 두 번째 클린룸이 첫 번째보다 규모

는 작으나, 어떠한 재료도 활용할 수 있도록 유연하게 응용 분야에 대응하고 있습니다. 그리고 두 클린룸 모두 하루 아침에 만들어진 것이 아니며, 꾸준하게 수요에 맞는 형태로 셋업을 갖추고 변경해왔다는 점을 말씀드립니다

- (싱가포르 A*STAR) 반도체 기업의 지향점 자체도 다른 것 같습니다. 한국은 제조업 기반의 수익 극대화 중심이고, 여기는 제조업이 발달한 곳 아니다보니 선도 기술개발에 대한 관심이 많습니다. 규모가 크지 않아도, 산학연 협력을 통해 예쁜 모양으로, 또 5~10년 중장기적으로 선도 기술개발을 끌고 가자는 움직임이 느껴집니다.

- (미국 NNCI) 분산된 사용자 시설에서 17개 주에 걸쳐 29개 대학·파트너 조직(혁신센터) 등이 참여하여 기업 및 정부 연구원에게 다양한 첨단 기술분야 전문지식 제공

※ 일본 AIST의 경우, 가설에 부합하는 사례수집 내용이 없음을 확인

□ (결론) 따라서 공공Fab이 갖춰야 할 운영요소에 대한 3대 가설에 대해, 5개국 공공Fab 사례를 이용하여 가설에 투입하고 검증까지 완료

○ '학위·교육과정과의 연계를 통한 Fab 인력 질적 수준 제고' 가설은 총 4개국(벨기에, 싱가포르, 미국, 프랑스) 공공Fab 사례에서 만족하는 것으로 나타남

○ '시설·장비 투자 주체-설치 장소-관리 책임 연결의 정합성 확보' 가설은 총 3개국(벨기에, 싱가포르, 미국) 공공Fab 사례에서 만족하는 것으로 나타남

○ '미래소재·공정 Test-bed로서의 기능 수행' 가설은 총 3개국(벨기에, 싱가포르, 미국) 공공Fab 사례에서 만족하는 것으로 나타남

제5장 결론

제1절. 연구내용 및 결과

□ (기술적 관점) 현황분석, 투자분야·연계영역 발굴 등 연구내용에 따른 연구성과를 제시하였으며, 정성적 목표를 모두 달성하였음

○ (현황분석) 전국 공공Fab 특화 분야 및 최근 5년간 정부 R&D 반도체 시설·장비 투자 조사 완료

- (공공Fab별 특화 분야 파악) 14개 국가 나노인프라 대상 특화 기술·기능 분야 조사 완료)
  - ■ 한국나노기술원(KANC) - 화합물반도체/시스템반도체, 나노종합기술원(NNFC) - Si-CMOS/테스트베드, 나노융합기술원(NINT) - 전력반도체/NEMS·MEMS센서 등

⇒ 2022년 국가나노인프라협의체 회원으로 확대 가입한 서울대학교 반도체공동연구소, 전북대학교 반도체물성연구소, DGIST 차세대반도체융합연구소, UNIST 연구지원본부는 대학Fab 이외의 특화분야 설정이 없는 상황

⇒ 2023년 국가나노인프라협의체 회원으로 확대 가입한 KIST 마이크로나노팹센터 또한 연구소 Fab 이외의 특화분야 설정이 없는 상황

- (정부R&D 투자분석) 최근 5년간 기술개발/기반구축 투자 비율, 연구개발단계별, 연구수행주체별, 과학기술표준분류(중분류)별, 지역별 투자 등 전수조사 완료 및 표·그래프로 결과 제시
  - ■ 최근 5년간 산업부는 연간 300~400억 규모에서 증감을 반복하는 가운데 과기정통부 투자 규모는 급속 증가했으며 특히 19년 소부장 이슈 이후 대폭 증가('19년 175억 → '20년 244억 → '21년 541억)

- 연구개발단계상 기타의 비중이 줄어드는 대신 응용, 개발연구에 대한 투자규모가 최근 대폭 증가하여 사업화를 앞둔 Test-bed로서의 전략성에는 부합하도록 투자 흐름이 개선되는 중

⇒ 반도체 초격차 또는 미래기술 확보를 위해 연구개발 응용, 개발연구의 규모에 비해 작은 기초연구 투자 확대의 필요성 확인 가능

- 출연연구소 및 기타(재단법인, 사단법인, TP, 각종 시험인증기관) 기관을 대상으로 투자가 집중되고 있으며, 대학의 경우에도 최근 투자규모가 증가하고 있음
- 최근 5년간 총합계 기준 상위권은 경기(939억) 〉 대전(548억) 〉 충남(264억) 순으로 집중 투자되고 있으나, 이를 제외한 14개 광역시도는 모두 160억 이하의 소규모 투자만 이루어지고 있음
- 반도체소자 및 시스템을 위한 시설장비 투자가 '21년 대폭 증가했으며, 반도체 장비에 대한 투자도 증가 → 측정표준/시험평가 기술, 계측기기를 위한 투자는 감소하고 있어 단순 시험측정 장비 위주의 투자는 지양되고 있음

⇒ 반도체 소자 및 장비 외에 부품 수준을 고려한 시설장비 R&D 과제 투자 활성화 필요

- 매칭펀드로는 지방정부의 현금 투자가 매년 150억원을 상회할 정도로 높은 비중을 차지하고 있으며, 지방정부의 현물투자, 대학의 현물투자 또한 주요 투자로 확인 가능함
- 대부분의 연구비는 직접비 중 현금 비목으로 편성되었음

○ (투자분야·연계영역 발굴) 공공Fab에서 다룰 수 있는 7대 투자분야 및 3대 연계영역 발굴 완료

- (7대 투자분야) ①공정개발·최적화, ②측정·모델링, ③이종집적, ④반도체 응용(양자, 극한환경, 전력, RF 등), ⑤MRAM, ⑥장비 국산화, ⑦신소자(SiC, GaN, GaAs)
  - 공정개발 및 최적화와 관련된 기술(주로 실리콘 분과에서 도출), 미래소재 및 신소자와 관련된 기술(주로 화합물 분과에서 도출)

이 공공 Fab에서 다룰만한 기술로 다수 선정되었음

- (3대 연계영역) ①R&D : MRAM, 신소자 / ②산업화 : 이종집적, 반도체 응용, 장비 국산화 / ③교육·인력양성 : 공정개발·최적화, 측정·모델링

□ (운영요소적 관점) 하기와 같이 가설 설정 및 검증 다중사례 연구내용에 따른 성과를 제시하였으며, 정성적 목표를 모두 달성하였음

○ (가설 설정 및 검증) 공공Fab이 갖춰야 할 운영요소에 대한 3대 가설을 설정하고, 5개국 공공Fab 사례를 이용하여 가설에 투입하고 검증까지 완료

- (3대 가설) ①학위·교육과정과의 연계를 통한 Fab 인력 질적 수준 제고, ②시설·장비 투자 주체-설치 장소-관리 책임 연결의 정합성 확보, ③미래소재·공정 Test-bed로서의 기능 수행
- (5개국 사례) ①벨기에 IMEC, ②싱가포르 대학(NUS, NTU) 및 공공연구소(A*STAR IME) Fab을 중점 분석했으며, 이외 ③미국(NNCI, ANC), ④프랑스(MINATEC), ⑤일본(AIST) 사례도 소폭 추가
  - ‘학위·교육과정과의 연계를 통한 Fab 인력 질적 수준 제고’ 가설은 총 4개국(벨기에, 싱가포르, 미국, 프랑스) 공공Fab 사례에서 만족하는 것으로 나타남
  - ‘시설·장비 투자 주체-설치 장소-관리 책임 연결의 정합성 확보’ 가설은 총 3개국(벨기에, 싱가포르, 미국) 공공Fab 사례에서 만족하는 것으로 나타남
  - ‘미래소재·공정 Test-bed로서의 기능 수행’ 가설은 총 3개국(벨기에, 싱가포르, 미국) 공공Fab 사례에서 만족하는 것으로 나타남

※ 일본 AIST의 경우, 가설에 부합하는 사례수집 내용이 없음을 확인

□ (연구결과의 전문성 및 우수성) 대표성과인 최근 5년간 반도체 시설·장비 대상 정부R&D 투자분석, 공공Fab 7대 투자분야 및 3대 연계

영역, 공공Fab이 갖춰야 할 3대 운영요소(가설)는 연구대상인 반도체 공공Fab의 관점에서 기존에 생산된 적이 없는 결과물로 독창성과 우수성을 확보하였음

○ 기존 각종 지적사항 및 안건에서 공공Fab의 특화 분야 및 연계 방안 마련이 필요하다는 지적이 있었으나, 정작 '어떤' 분야를 '어떻게' 진행할 것인지에 대한 답은 없던 상황이었기에 본 연구가 이에 대한 정보를 제공할 수 있으리라 기대됨

○ 또한 반도체 기술 및 공공Fab의 성격에 대한 이해도가 높은 기술·정책 전문가 집단을 활용하여 원고 자문, 포스트잇 워크숍 등 적절한 방법론을 통해 연구를 추진하였으므로 전문성 또한 담보됨

□ (연구결과의 활용가능성 및 기여도) 반도체 공공Fab의 특화 분야, 연계 방안, 운영지원 방식 등에 대한 구체적 실행계획을 수립하는 정책고객이 참고 자료로 활용 가능

○ 공공Fab의 기능별(소재·서비스)·지역별·부처별(과기부·산업부) 수요자 등 다양한 정책고객 요구에 효과적 대응 - 반도체 초강대국 달성전략('22.07)의 구체적 실행계획 수립에 기여

○ 발굴된 신규투자 수요 및 우수 공공Fab 조직 특성을 신규 Fab 구축사업 추진 또는 기존 공공Fab의 효율화·연계 방안 마련 시 활용하여 반도체 초격차 기술력 확보 촉진

- 실제로 정부 부처와 나노인프라협의체는 나노기술개발촉진법 개정을 통한 공공Fab 지원 기능 강화를 준비 중에 있으며, 이 과정에서 본 연구 결과가 참조·활용될 가능성이 매우 높음

제2절. 한계와 향후 과제

□ (한계) 현재 포스트잇 방법론을 활용한 워크숍에 참석한 전문가들은 학·연·Fab 소속으로만 구성되어 있어, 국내 반도체 산업 생태계를 고려했을 때 도출된 신규 투자분야 및 연계영역에 대한 산업계 전문가의 의견 또한 청취해볼 필요가 있음

○ 연구 결과 초안 정리 완료 후 화합물 반도체 기업 1곳을 현장 방문('23.12.15., 웨이브로드(주))하여 내용을 설명하고 의견과 애로사항을 청취하는 회의를 개최하는 등 동 한계점의 보완을 위해 노력하였음

○ 하지만 기업 1곳의 의견 청취로는 다양한 산업 현장의 목소리를 담기에 부족하며, 청취 내용의 정교화된 분석을 위해서는 다수의 산업계 전문가들이 참여하는 형태의 기술도출 워크숍 또는 Focus Group Interview를 후속 연구로 추진할 수 있을 것임

□ (연구결과의 차년도 연계성) 기술주권 및 공급망 위기 대응, 지역자강을 위한 정부 R&D 투자전략성 확보 등 차년도 연구주제와의 연계성을 확보할 계획

○ 내부연구진이 차년도 추진 예정인 '주력산업의 기술주권유지와 공급망리스크 완화를 위한 정부연구개발 투자전략 수립연구' 수행 시 반도체 분야를 대상으로 연구 연계추진 가능

○ 내부연구진이 차년도 추진 예정인 '지역자강을 위한 정부 R&D 투자전략성 강화 방안 연구' 수행 시 지역 시설·장비 기반구축 및 연구인프라 분야를 대상으로 연구 연계추진 가능

참고문헌

- 과학기술정책연구원, 「공공연구기관의 기술사업화 촉진을 위한 C&BD형 사업의 모색」, 2015
- 관계부처 합동, 「K-반도체 전략」, 2021
- 관계부처 합동, 「국가전략기술 육성 방안」, 2022
- 관계부처 합동, 「미래경쟁력 강화를 위한 반도체 R&D 생태계 및 인프라 확충방안」, 2021
- 관계부처 합동, 「반도체 초강대국 달성전략」, 2022
- 국가나노기술정책센터, 「나노기술연감 2021」, 2022
- 이경엽, 「나노팹(Nano Fab) 프로그램 평가지표에 관한 연구」, 박사학위 논문, 목원대학교 2019
- 전동환·강민형, 「근접성(proximity)이 연구개발 협력 네트워크에 미치는 영향 : 나노기술을 중심으로」, 기술혁신학회지 24(2), pp.23-44, 2021
- 한국과학기술기획평가원, 「2020년 기술수준평가」, 2021
- 한국과학기술기획평가원, 「기술동향브리프 - 반도체 후공정(패키징)」, 2020