

첨단반도체 R&D 협력 사례 분석: IMEC, TSRI, NSTC를 중심으로

Case Analysis on R&D Collaboration and Implications in Semiconductor Industry

민수진 (S.J. Min, sjmin@etri.re.kr) 미래전략연구실 선임연구원
최새솔 (S.S. Choi, saesol.choi@etri.re.kr) 미래전략연구실 책임연구원
전황수 (H.S. Chun, chun21@etri.re.kr) 미래전략연구실 연구전문위원
김성민 (S.M. Kim, songmin516@etri.re.kr) 미래전략연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

As the global semiconductor supply chain falters, major countries are pushing to increase their self-sufficiency in semiconductors. In accordance with these global changes, R&D cooperation is evolving in the semiconductor industry. Previously, as for the case of Interuniversity Microelectronics Center (IMEC) in Europe, many cooperation initiatives were established regardless of nationality for improving productivity through measures such as reducing the time and cost required for joint research. Recently, however, cooperation aimed at strengthening one's own industry has been prominent, such as that led by Taiwan Semiconductor Research Institute (TSRI) and the United States National Semiconductor Technology Center (NSTC). Hence, the Korean semiconductor industry also needs to respond. Internally, technology localization should be promoted by strengthening the foundation for domestic R&D cooperation, while externally, it should expand close cooperation with companies from countries leading the semiconductor industry, such as the United States, Europe, and Japan.

KEYWORDS IMEC, NSTC, R&D, R&D 협력, TSRI, 첨단반도체

I. 서론

반도체는 초거대 AI(인공지능), 산업 IoT(사물인터넷), 차세대 통신, 자율주행차 등 첨단 산업에 투입되는 필수 재화이자 전략 물자로서 국가 경쟁력의

핵심으로 부상하고 있다. 디지털 전환과 AI 혁신 가속화로 신규 시장이 확대되는 전방 산업과 소재·부품·장비 등 후방 산업에 대한 반도체 산업의 파급력이 확대되면서, 첨단 기반 산업으로서의 위상이 강화되고 있기 때문이다. 미국 조 바이든 대통령 또한

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2023.J.380403>

* 이 논문은 한국전자통신연구원 내부연구개발사업[국가전략기술 선도를 위한 ICT 미래기술 연구, 23YF1210] 수행의 일환으로 작성되었습니다.

2021년 4월 글로벌 반도체 회의에서 “이 반도체가 바로 인프라”라며, 그 중요성을 강조한 바 있다.

시장·산업 측면에서 반도체 산업은 1947년 벨연구소가 트랜지스터를 발명한 이래, 70년 이상의 역사를 갖는 성숙 산업임에도 불구하고, 향후 10년 동안 2배 이상 시장 성장이 전망될 만큼 여전히 발전하는 산업이라는 독특한 특징을 보인다[1]. 특히 우리나라는 반도체가 수출의 20% 이상을 차지하는 주력산업이자 국내 경제의 버팀목이라는 점에서 매우 중요하다.

최근에는 산업 측면을 넘어 외교·안보 및 국제 통상 측면으로 반도체의 중요성에 대한 논의가 확장되고 있다. 이는 코로나19 팬데믹과 미·중 기술패권 경쟁 등으로 반도체 산업에서 지난 수십 년에 걸쳐 세계 각 지역 간 전문적으로 분업화된 공급망과 협력 구도가 크게 변화하고 있기 때문이다. 이에 대응하기 위해 미국, 유럽, 일본, 중국 등 주요국은 반도체 기업에 대한 막대한 보조금과 세액공제, 동맹 중심 공급망과 공동연구 강화 등 모든 수단을 동원하여 자국 내 반도체 제조 및 기술 역량을 확대하고 있다. 이제 글로벌 협력의 중심은 경제 가치에서 외교·안보 가치로 이동하는 것으로 보인다.

한편 기술적 측면에서는 3nm(나노미터) 이하 첨단 반도체 R&D의 난도가 높아지면서 설계, 공정, 패키징, 소재·장비 등 기술 분야 간 연구개발 협력은 이전보다 더욱 중요해졌다. 그 이유는 첨단반도체의 성능 및 에너지 효율성 향상과 함께 초미세화 기술이 3nm 수준까지 발전하며 물리적 한계에 다다르고 있기 때문이다. 1nm 이하는 원자 수준의 제어가 필요하며, 이의 공정기술 개발 난도와 비용은 급상승한다. 이와 관련하여, 칩 성능을 효율적으로 고도화하기 위한 3D 적층, 이종집적(Chiplet) 등 첨단 패키징에 대한 기술적 관심이 증가하고 있다. 다른 한편에서는 기존 실리콘 반도체를 대체할 수 있는 신

개념 소자에 대한 연구도 진행되고 있다. 또한, 시스템 반도체 분야의 경우 폰노이만컴퓨팅 방식의 한계를 극복하기 위한 PIM(Process-in-Memory)과 데이터 병렬처리를 위한 AI 반도체 개발이 관심사가 되고 있다.

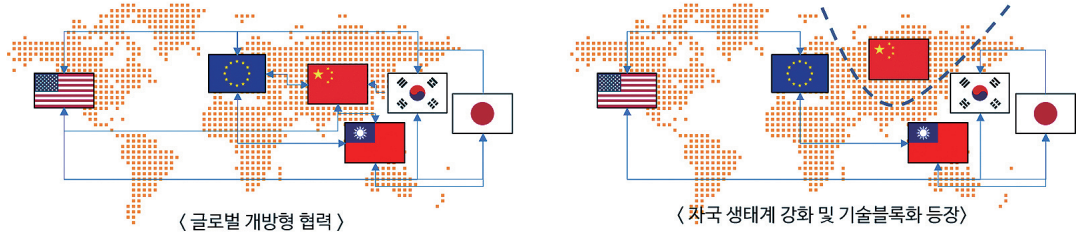
이러한 배경을 바탕으로, 본고는 지난 30년 동안 반도체 R&D 협력에서 대표적 모델로 정립되어 온 유럽의 IMEC 사례와 국내 반도체 산업의 혁신적인 발전을 이끈 대만의 TSRI 사례, 그리고 최근에 기술 패권을 둘러싼 대립 경쟁에서 주목받고 있는 미국의 NSTC 사례를 소개한다. 이를 통해 반도체 기술을 둘러싼 연구개발 협력이 어떻게 이루어지고 있는지를 살펴보고, 결론에서는 이 사례들이 주는 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

II. 첨단반도체 R&D 협력 방식의 다변화

앞서 언급한 바와 같이, 1980년대 이후 반도체 산업은 세계 각국에 걸쳐 설계, 공정, 패키징, 소재·장비 등으로 전문 분업화가 이루어져 왔다. 설계와 생산의 분리는 1987년 설립된 대만의 TSMC가 세계 최초로 위탁생산을 전문으로 하는 파운드리(Foundry) 비즈니스 모델을 제시하면서 가속화되었다. 현재 설계는 미국이 주도하고, 메모리 및 시스템 반도체 생산은 대만과 한국이, 일본은 소재·장비에서 강세를 보이고 있다[2,3].

이렇게 분업이 전문화된 첨단 산업의 경우 업계 전반의 생산성을 위해 표준과 로드맵 개발의 필요성이 크기 때문에 공동연구 등 협력을 통한 원천기술 확보가 보편적이다. 협력의 목적은 산업 전반의 기술적 진보를 목적으로 하는 사전 경쟁(Precompetitive) 단계 R&D 프로젝트에 투입되는 비용과 리스크를 분산하고, 혁신의 도입을 앞당기려는 데 있다. 또한, 이를 통해 얻은 결과는 일반적으로 참여 주체 모두

구분	기존의 글로벌 R&D 협력 방식(1990's~)	자국 중심 R&D 협력 방식의 등장(2020's~)
협력 범위	개방적인 국제협력의 보편화	자국 및 우방국 중심의 제한적 협력 강화(기술블록화)
협력 목적	경쟁 이전 단계 원천기술 공동연구 등	제한된 커뮤니티 안에서의 로드맵/표준 협력과 성과 공유
협력 결과의 활용	반도체 업계 전반의 이익(생산성, 기술고도화 등) 향상	협력 커뮤니티를 위한 이익 향상 및 기술 주도권 강화



출처 Reproduced with permission from [4], 게티이미지뱅크 이미지 사용, 무단 전재 및 재배포 금지.

그림 1 글로벌 첨단반도체 분업 구조 변화와 자국 중심 R&D 협력 방식의 등장

에게 향상된 생산성을 가져오거나, 차세대 기술로 가기 위한 초석을 다지는 등 공동의 이익을 위해 활용되기도 한다.

이를 대표적으로 보여주는 사례로, 유럽의 IMEC(Interuniversity Micro Electronics Center)과 미국의 Sematech(Semiconductor Manufacturing Technology)¹⁾는 고도의 반도체·나노 인프라 및 기술력을 바탕으로 지난 30년간 협력적 R&D를 선도해왔다. 이들은 단일 기업이 감당하기에는 위험 부담이 큰 기술을 개발하거나 이를 위한 협의체를 구성하는 방식으로 회원사 간의 R&D 플랫폼 역할을 수행하고 있다.

그러나 그림 1[4]에서 보듯이, 반도체를 둘러싼 강대국 간 기술패권 경쟁이 격화되면서 R&D 협력에 있어서도 변화가 나타나고 있다. 코로나19 및 대만 가뭄 등으로 인해 반도체 수급에 차질이 빚어지는 등 공급망 리스크를 경험한 미국이 반도체 산업의 글로벌 공급망을 자국 중심으로 재편하고 있기

때문이다. 이는 첨단반도체 생산에서 지나치게 높은 대만, 한국, 일본 등 동아시아 의존도로 인해 경제 안보 측면에서 문제가 발생할 수 있다는 판단이 들어간 것이다.

또한, 첨단반도체는 산업계에서 주도하는 상용 R&D 규모가 크기 때문에, R&D 부문에서의 이러한 변화는 공급망과 통상 부문에서 발생하는 변화와 연관이 크다. 이를 단적으로 보여주는 예가 미국 반도체지원법(CHIPS Act of 2022)에 자국 중심의 공급망 재편을 위한 보조금과 이의 지속가능성을 담보하기 위한 R&D 예산을 함께 묶어놓은 것이다.

이처럼 기존에는 개방적인 국제 협력을 통한 연구개발이 보편적이었던, 2020년대부터 우려국을 배제하는 형태의 제한적·조건적 R&D 협력이 부각되고 있다. R&D 협력의 이유가 경제적 가치와 효율성 추구에서 경제 안보로 확장된 것이다. 첨단반도체가 직면한 기술적 난제로 인해 협력 연구의 중요성은 오히려 커지고 있음에도 불구하고, 자국·동맹 중심의 기술 블록화는 피할 수 없는 시류가 되고 있다. 일례로, 시스템 반도체 제조 강국 대만은 국가의 지정학적 가치가 달린 반도체 경쟁력 우위 유지를

1) 미국 국방부가 주도하여 1987년 설립한 민관 컨소시엄으로, 미국의 반도체 산업 경쟁력을 강화하여 당시 반도체 강국인 일본의 부상에 대응하기 위해 설립되었다. 제조 공정보다는 소재와 기초과학 분야 산학 협력에 중점을 두고 있다.

위해 TSRI(Taiwan Semiconductor Research Institute)를 중심으로 자국 산업생태계 중심 R&D 협력을 강화하고 있다. 그리고 기술 블록화를 위한 미국의 최근 행보 중 주목할 만한 점도 NSTC(National Semiconductor Technology Center)를 중심으로 한 자국 중심의 강력한 반도체 R&D 생태계를 조성하려는 움직임이다.

이러한 국제 정세 변화를 고려하면, 반도체 산업의 기술 및 시장 양 측면에서 심화되고 있는 자국 우선주의는 일시적 현상이라기보다는 이후로도 지속될 가능성이 크다. 이에 다음 장에서는 첨단반도체 기술 분야에서 당분간 지속될 것으로 예상되는 3가지 유형의 R&D 협력 사례를 ① 글로벌 개방형 R&D 협력 사례(IMEC), ② 자국 산업생태계 육성 중심 R&D 협력 사례(TSRI), ③ 기술블록화를 위한 R&D 협력 사례(NSTC)로 나누어 살펴보고자 한다.

III. 첨단반도체 R&D 협력 사례 분석

1. 유럽 IMEC의 글로벌 개방형 R&D 협력

유럽은 자국 내 첨단반도체 생산 능력은 제한적인 편이지만 반도체 생산에 필수적인 극자외선(EUV: Extreme Ultraviolet) 노광장비, 마스크 정렬장치 등 첨단제조 장비 측면에서 세계적인 기술력을 보유하고 있다. 특히 네덜란드의 ASML은 EUV 노광장비를 독점 공급하고 있어 전 세계에 반도체를 납품하는 TSMC와 삼성전자 등 글로벌 기업들이 차세대 장비를 선점하기 위해 경쟁하고 있다.

IMEC은 이러한 차세대 EUV 노광장비 개발에 참여하는 동시에 장비 테스트를 전담하는 등 반도체 업계에 강력한 영향력을 가지고 있다. 또한, IMEC은 2023년에 발표한 1nm 이하 첨단반도체 로드맵을 통해 업계의 기술적 난제를 여러 반도체 업체들과 함께 극복하기 위한 R&D 방향성을 제시하는 등 기술적 리더십을 구축하고 있다.

표 1 IMEC의 산업계 협력 범위

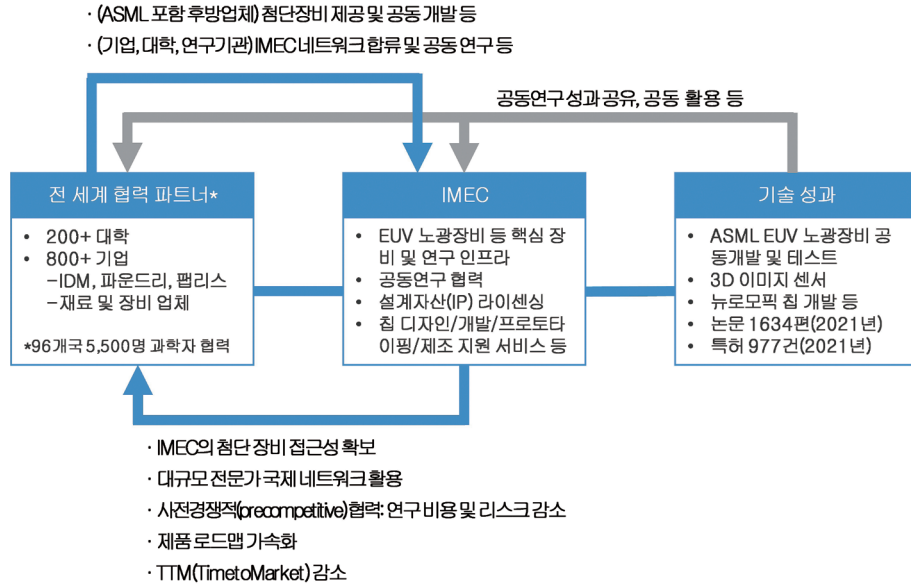
구분	협력 기업 예시
IDM	Intel, Micron, 삼성전자, SK하이닉스 등
파운드리	TSMC, 삼성전자, Global Foundries 등
팹리스	Qualcomm, Apple, Altera, Xilinx 등
장비	ASML, Lam Research, Applied Materials, ASM, Tokyo Electron 등
재료	ZEON, TOK, Nissan Chemical, LG화학, Fuji film, inpria, 동진세미켄 등

출처 Reproduced from [7].

IMEC은 이러한 기술적 리더십과 1조 3천억 원 규모의 핵심 인프라를 기반으로 인텔, 마이크론, 쉘컴, 삼성전자, SK하이닉스, TSMC를 포함한 정부, 대학, 기업 등 1,000개 이상의 파트너와 5~10년 후의 기술을 위해 협력하고 있다(표 1 참고)[5,6]. 또한, 유럽, 아시아, 북미 등 7개에 연구소를 두고 있으며, 96개국에서 온 5,500명 이상의 인력이 상주하고 있다.

IMEC에서 수행되는 공동연구의 특징은 국적과 관계없이 연회비를 내는 파트너에게 개방되어 있다는 점이다. 기업들은 단독으로 IMEC과 협력하기도 하지만, IMEC을 플랫폼으로 하여 다자간 협의체를 구성하기도 한다. 회원사들의 R&D 투자를 통해 공동연구가 수행되면, 연구 결과는 R&D 프로젝트에 참여한 회원사들에게 공유되고 공동 활용 가능성도 열려 있다. IMEC은 이러한 공동연구 및 산업계 회원사 연회비에서 예산의 70% 수준을 충당하고 있으며, 2021년 기준으로 7억 3,200만 유로(약 1조 430억 원) 수준의 매출을 올리고 있다[6].

또한, 주목할 만한 점은 IMEC이 연구개발 및 협력을 위해 특정 기업이나 국가 예산에 의존하지 않는 재정중립성을 유지한다는 점이다. 이는 특정 국가나 기업의 이해관계에 얽매이지 않고 반도체 업계 전반에 이익이 되는 방향으로 기술을 개발할 수 있게 한다. 이를 위해 IMEC은 본사가 위치한 벨기에 플랑드르 지방정부로부터 예산의 18%를 받는 부



출처 Reproduced from [5,6,8,9].

그림 2 IMEC의 글로벌 개방형 연구개발 협력 개념도

분을 제외하면, 가장 많이 내는 기업의 자금이 예산의 4%를 넘지 않는다.

IMEC은 IDM(종합반도체기업), 파운드리(위탁생산), 팹리스(설계), 장비 및 재료 공급업체, 시스템 파트너, 주요 학계 및 연구센터 등 회원사들과 경쟁 단계 이전 초기 기술을 공동으로 개발함으로써 리스크를 분산하고 개발기간을 단축할 수 있는 환경을 제공하고 있다. IMEC을 플랫폼으로 이루어지는 공동연구는 개별기업이 진행하기에 초기 연구 비용이 매우 높은 영역에서 가치사슬 전반에 걸쳐 파트너 간에 전문 지식과 연구를 공유하는 채널이기도 하다. 그림 2[5,6,8,9]에서 보듯이, 기업들은 R&D 비용 분담과 위험 최소화, 상용화까지 걸리는 기간(Time to Market) 단축 등을 통해 투자수익률을 최적화할 수 있다.

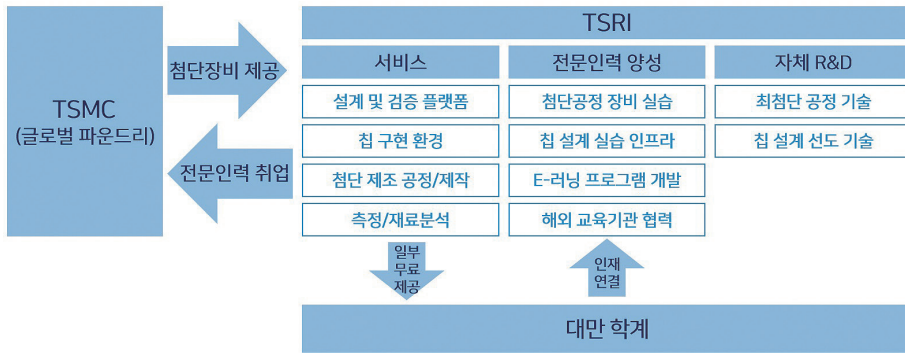
한편 반도체를 둘러싼 기정학적(技政學的) 긴장이 고조되면서 유럽에서도 EU 역내 반도체 자체 생산

역량을 확대하려는 움직임이 본격화되고 있다²⁾. 더불어 TSMC 및 인텔 공장을 유치하는 등 첨단반도체에 대한 대외의존도를 낮추려는 기조가 확대되고 있다. 이러한 환경은 앞으로 IMEC에서 이루어지는 중립적이고 개방적인 R&D 협력에 어떤 식으로든 영향을 미치게 될 것이다.

2. 대만 TSRI의 자국 산업생태계 육성 중심 R&D 협력

첨단반도체는 대만이 국가의 사활을 걸고 있는 전략 산업 분야이다. 대만은 전 세계 파운드리 시장

2) 유럽연합(EU)은 2023년 4월 'EU 반도체법(EU Chips Act)' 시행에 합의하면서, 총 430억 유로(약 62조 원) 규모의 보조금 및 투자를 통해 유럽 반도체 생산역량과 R&D를 강화하겠다는 의지를 보였다. 유럽의 세계 반도체 전체 시장 점유율은 8.5% 수준인데, 이를 20%까지 올리겠다는 목표이다.



출처 Reproduced from [10,11].

그림 3 TSRI의 대만 산업생태계 중심 연구개발 협력 개념도

의 66%(2022년 기준)를 차지하는 반도체 강국이다. 이 중 56%의 시장을 점유한 TSMC의 기술력은 대만의 국가적 외교협상력과 지정학적 가치를 좌우한다.

대만 정부는 TSMC, 대만 학계 및 국립연구소를 하나의 생태계로 연결하는 산학연 협력 플랫폼을 구축하기 위해 2019년 TSRI 설립을 추진하였다³⁾. 이를 통해 기존에 연구 분야별로 흩어져 있는 반도체 R&D 조직을 합병하고 공동연구에 친화적인 환경을 조성하였다. 이후 TSRI는 출범한 지 오래되지 않은 기관이지만 반도체 민관 협력이 활발히 이루어지는 R&D 협력 허브로 단기간에 성장하였다.

그림 3[10,11]에서 보듯이, TSRI는 반도체 공정 전반에 걸친 종합연구와 더불어 대만의 R&D 생태계 강화를 위한 서비스 및 전문인력 양성을 적극적으로 지원하고 있다. 특히 산업과 학계를 긴밀히 연계한 인재 양성이 TSRI의 주요한 특징이다. TSRI는 TSMC와 긴밀한 협력관계를 형성함으로써, 대학

연구실과 교육생들이 접근하기 어려운 고가의 반도체 관련 장비를 실습 및 연구 목적으로 제공한다. 학생들은 첨단장비를 활용해 실무적 역량을 키운 후 TSMC의 전문인력으로 채용될 기회를 얻는다. 관련하여 TSRI는 대만 학계에 최첨단 공정기술 설계, 칩 구현, 반도체 제조, 측정 서비스를 제공하며 이 중 일부는 무료로 제공하기도 한다[10].

요컨대 첨단반도체 공정 기술력에서 세계 선두를 달리는 TSMC가 첨단장비를 TSRI에 교육 및 연구 목적으로 지원하고, TSRI는 이를 기반으로 대만 학계에 대한 R&D 서비스와 교육 프로그램을 제공하는 산학연 협력이 이루어진다. 이를 통해 대만은 자국의 반도체 산업에서의 경쟁 우위 유지를 목적으로 과학기술 역량 강화와 인재 양성의 선순환 구조를 구축한 것이다.

3. 미국 NSTC의 기술블록화를 위한 R&D 협력

미국은 반도체 산업에서 매출액 기준 전 세계 상위 10개 기업 중 7개 기업(인텔, 퀄컴, 브로드컴, 마이크론, AMD, 텍사스 인스트루먼트, 애플)을 보유하고,

3) TSRI는 대만의 국립실험연구원(NARL: National Applied Research Laboratories) 산하 국제연구기관으로, 2019년 1월 국립칩설계센터(CIC: National Chip Implementation Center)와 국립나노소자연구실(NDL: National Nano Device Laboratories)을 통합하면서 출범하였다.

팹리스(반도체 설계) 시장의 약 70%를 점유하는 반도체 설계 강국이다[12]. 미국 IDM들이 비용이 많이 드는 반도체 제조 기능을 일본, 대만, 한국으로 아웃소싱하면서 미국에는 칩 디자인을, 생산은 동아시아 파운드리 업체에 맡기는 팹리스가 급증했다. 그러나 코로나19 및 대만 가뭄 등의 원인으로 미국 내 반도체 생산 및 수급에 차질이 빚어지면서, 미국 바이든 정부는 자국의 안정적인 반도체 수급과 자국 중심 기술블록화를 국가의 번영과 경제 안보 차원의 문제로 격상시켰다.

이러한 미국 정책 변화의 중심에는 2022년 8월 통과된 미국 반도체지원법(CHIPS Act)이 있다. 반도체 지원법에 의한 투자 전략은 ① 미국 반도체 제조시설에 대한 인센티브 제공을 위한 390억 달러(약 51조 8천억 원)와 더불어 ② 첨단반도체 기술 선도를 위한 R&D 지원 목적의 110억 달러(약 14조 6천억 원)를 포함한다. 이 중 110억 달러는 미국 반도체 산업을 강화하고 R&D 생태계 허브인 NSTC의 구축과 운영에 초점을 두고 있다. 이와 관련하여 미국 지나 레이몬도(Gina Raimondo) 상무부 장관은 다음과 같이 발언하였다[13].

“390억 달러의 보조금은 반도체 제조업을 미국에 다시 가져오겠지만 강력한 R&D 생태계가 있어야 그것이 유지될 수 있다. (중략) 강력한 반도체 R&D 생태계를 구축하기 위해 110억 달러를 투자할 것이다. 이 투자의 핵심은 NSTC의 설립이다.”

- 레이몬도 장관, 2023년 2월

2023년 4월 미 상무부가 발표한 「NSTC를 위한 비전과 전략」[14]에 따르면, 미국은 정부, 기업, 고객, 교육기관, 투자자 등으로 구성되는 민관 컨소시엄을 구축할 계획이다. 이 컨소시엄은 기존의 IMEC이나 Sematech과 마찬가지로 개별 기관에서

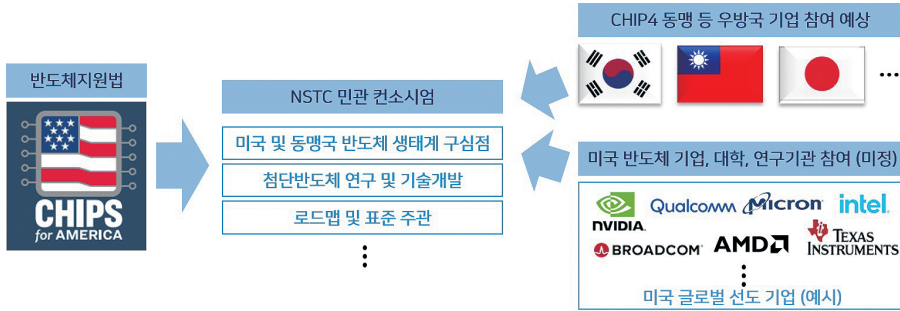
수행하기 쉽지 않은 사전경쟁 분야의 리스크를 나누고 상용화까지의 소요 시간(Time to Market)과 비용을 단축할 수 있는 장비, 자원, 시설 등을 제공할 것이다.

그러나 이번에 새롭게 출범하는 NSTC는 운영 방식과 목적에서 기존의 사례와 분명한 차이점이 존재한다. NSTC는 산업계와 수행하는 공동연구 프로젝트 중심으로 운영되기보다는 미국의 반도체 정책을 실행하는 연구개발 및 관리기관으로서의 역할을 수행하게 될 것이다[13]. 특히, NSTC는 미국이 주도하는 차세대 반도체 기술의 로드맵과 표준을 따르는 커뮤니티를 구성하고 이들에게 인센티브를 부여할 것으로 예상된다. 이렇게 되면 NSTC에 참여하지 않는 기업은 로드맵과 표준 개발 커뮤니티에서 소외될 가능성이 크다. 이는 그림 4에 나타난 바와 같이 미국 상무부에서 미국의 기술 리더십 강화를 위한 R&D 수행과 더불어 로드맵 및 미국국립표준과학원(NIST)과 연계한 표준 개발을 NSTC 주요 프로그램에 포함시켰기 때문이다.

그리고 이러한 R&D, 로드맵, 표준 개발 커뮤니티의 범위 또한 미국과 반도체 통상 및 기술적 동맹 관계를 구축한 우호국의 기업 및 연구기관에 제한될 가능성이 크다는 점에서 IMEC의 개방적인 협력과 차별화된다. 미국 상무부는 관련 문건에서 중국 등 우호국이 소유하거나 통제하는 기업은 NSTC 멤버가 될 수 없다고 명시하고 있다. 결국 NSTC의 운영 목적은 반도체 업계 전반의 기술 발전보다는 자국 또는 자국에 우호적인 파트너의 기술 주도권을 강화하는 데 강조점을 두고 있는 것으로 보인다.

이러한 목적을 실행하기 위해 NSTC는 미국 전역의 제휴 기술센터 네트워크로 구성될 것으로 보인다[14]. 그리고 미국과 동맹을 체결한 국가에서도 NSTC 기술센터를 운영할 가능성이 매우 높다.

미 상무부가 예상하는 NSTC 컨소시엄 참여 멤버



출처 Reproduced from [13].

그림 4 NSTC의 미국 및 우방국 중심 연구개발 협력 개념도

는 엔비디아, 퀄컴, AMD와 같은 팹리스 반도체 회사, 자체 칩을 설계하는 반도체 고객, 대학 및 연구기관, 파운드리 및 장치 제조업체, 장비 및 재료 공급업체 등이다. 참여 멤버는 NSTC의 연구 및 인력 프로그램, 시설, 회의, 공유 로드맵, 표준 개발 및 연구 데이터에 접근이 가능하다.

또한, NSTC는 참여 멤버가 상대적으로 낮은 비용으로 높은 수준의 기술 지원과 시설 이용이 가능하도록 다양한 물리적 및 디지털 자산을 관리하고 운영한다. ① 물리적 자산의 경우 소량의 시제품 제작 및 테스트, 교육 목적의 설계 및 프로토타이핑 등을 위한 신규 시설 구축 및 기존 시설의 인수와 제휴를 통해 확보한다. ② 디지털 자산의 경우 회원사에 설계자산(IP), 설계 프로그램 등 저비용의 안정적인 환경을 제공한다. 이는 반도체 설계 비용이 급증하고 기술이 복잡한 이기종 시스템으로 전환되는 가운데 효율적 설계 생태계가 상용화에 중요해졌기 때문이다. 또한, NSTC 프로그램에서 생성되는 비독점 데이터 수집, 공유를 통해 설계 개념에서 실증된 IP로 전환하는 데 드는 시간을 단축하고 비용을 절감한다. 특히 NSTC 자금 지원의 결과로 개발된 IP를 멤버들에게 합리적인 비용으로 제공하고 적절한 공유를 촉진하겠다는 계획이다.

NSTC의 등장이 의미하는 바는 지난 30년간 글로벌 분업화에 따라 형성된 반도체 협력 구도를 미국 중심으로 재편하고, 주도권을 강화하려는 전략이 구체적인 민관 컨소시엄 형태로 실제화된 것이라 할 수 있다. 반도체 설계와 원천기술을 좌우하는 미국이 주도하는 기술블록화 기조는 매출의 상당 부분을 중국 시장에서 창출해온 한국 기업에 강력한 압박을 주고 있다. 하지만 한편으로는 중국의 첨단 반도체 추격을 따돌리고, 반도체 기술을 선도하는 미국 및 해외 기업과의 협력을 확대할 수 있는 좋은 기회이기도 하다.

4. R&D 협력 사례별 특징 비교

지금까지 IMEC, TSRI, NSTC 사례를 통해 살펴본 유럽, 대만, 미국의 반도체 R&D 협력에서의 주요 특징을 표 2에 제시하였다.

유럽 IMEC의 경우 96개국 5천여 명이 협력하는 세계 최대 반도체 R&D 글로벌 허브로 성장하기까지 반도체 제조에 필수적인 극자외선 노광장비를 독점 공급하는 제조업체(ASML)와의 협력이 큰 역할을 한 것으로 보인다. IMEC은 자국 중심의 생태계를 구축한 미국과 대만의 사례와 달리 국제적으로

표 2 IMEC, TSRI, NSTC R&D 협력 비교

구분	IMEC (1984년 설립)	TSRI (2019년 설립)	NSTC (2023년 설립 예정)
목적	국제 공동연구	자국의 첨단 제조역량을 활용한 교육 및 연구 강화	미국 반도체 제조 생태계 및 R&D 주도권 강화
거버넌스 및 예산	벨기에 플랑드르 지방정부 18%, 이외 기업 수탁 70%	대만 국책연구기관, 정부 예산으로 운영	비영리법인, 미국 정부 110억 달러 투자
특징	특정 국가나 기업에 제한하지 않는 국제 공동연구 플랫폼(ASML 극자외선(EUV) 노광장비 포함)	자국 연구계/학계를 위한 산업계 첨단 장비 지원과 인재 양성 선순환	미래 반도체 로드맵 및 표준 선도, 반도체 설비 및 설계자산(IP) 등 공유
주된 협력 형태	산학연 국제 협력	관 주도의 산학 연계	민관 컨소시엄
주요 참여자	국적 관계없이 연회비를 납부하는 회원사	TSMC를 포함한 산학연, 교육·훈련에 참여하는 학생 및 일반인	미국 반도체법 보조금을 받는 기업(해외 포함), 미국 팹리스 업체 및 자체 칩을 설계하는 대학 및 연구기관
주요 기대 효과	선(先)경쟁 기술개발 리스크 분산 및 상용화까지의 시간 단축	산학 연계를 통한 반도체 전문인력 양성	첨단반도체 기술, 로드맵 및 표준 선도
	↓	↓	↓
협력 유형	“글로벌 개방형”	“자국 산업생태계 육성형”	“기술블록화형”
시사점	반도체 선도국 협력을 통한 첨단반도체 원천기술 확보	국내 반도체 생태계 역량 강화를 위한 구심점 필요	중국과 마찰 최소화하는 수준의 NSTC 적극 참여

개방된 협력 체계를 보여주고 있으며, 정부의 개입이 적은 자생적 생태계라는 점에서 차이가 있다.

대만 TSRI 사례는 자국 반도체 산업의 경쟁력 강화를 위해 산업, 학계, 연구 부문에서 각각 축적해온 R&D 기반을 통합하고 연계하였다는 특징이 있다. 특히 세계 최대 반도체 제조업체(파운드리)인 TSMC가 최첨단 설비를 교육 및 연구 목적으로 TSRI를 중심으로 한 연구 생태계에 제공하고, 이를 통해 TSMC에 채용되는 고급 전문인력이 양성되는 점에서 성공적인 협력의 사례로 들 수 있다. TSRI는 고가의 첨단장비를 기반으로 연구개발 협력을 활성화했다는 점에서 IMEC과 유사하지만, 자국의 산업생태계 육성에 보다 중점을 두고 있다는 점에서 차별화된다. NSTC와는 자국 중심의 협력을 강화한다는 점에서는 비슷하지만, NSTC처럼 컨소시엄 외부의 기업을 소외시킬 만큼 뚜렷한 경계선을 가지고 있지 않다.

미국 NSTC의 경우 TSRI와 마찬가지로 정부의 개입 수준이 높다는 점이 특징이다. 이는 기존에 미국이 기초·원천 연구를 통해 민간을 간접 지원하고 산업 혁신은 민간에서 주도하던 방식과는 결이 다른 행보이다. NSTC를 통해 발견할 수 있는 미국의 의도는 자국 안에서 반도체의 모든 것이 이루어지는 강력하고 새로운 생태계를 형성함으로써 다른 국가에서 이를 독점하거나 미국이 해외에 의존하는 일을 만들지 않겠다는 것이다.

특히 NSTC를 통한 R&D 협력은 기존의 원천기술 개발의 비용과 리스크 분담이라는 기대효과 이면에, 차세대 기술개발을 위한 로드맵과 표준에 참여하느냐, 못하느냐의 문제라는 관점에서 볼 필요가 있다. 아울러 NSTC에서 참여 멤버로 묶어놓은 커뮤니티 안에서는 공동으로 개발한 기술에 대한 주도권과 사용권 배분이 중요한 이슈가 될 것으로 예상된다.

IV. 결론 및 시사점

첨단반도체 분야에서의 R&D 협력은 기술 분야 간 공동연구 및 초고가의 장비 및 인프라의 대여 등을 통해 사전경쟁 단계의 기술개발 리스크를 분담하고, 상용화까지의 시간을 단축시킨다는 점에서 경제적 효용성이 크다. 이러한 효용성은 기술개발의 난도와 비례하여 증가할 것이다. R&D 협력이 가져오는 경제적 효용성은 앞서 서술한 IMEC 사례와 같은 글로벌 협력 방식이 존속할 근거가 되고 있다.

한편, 최근 부상하는 자국 및 기술블록화 중심의 R&D 협력은 경제적 효용 가치 이외에 외교 안보적 가치를 우선 고려함으로써 협력의 범위를 자국 내 산업 생태계 또는 기술 동맹국으로 제한한다는 특징이 있다.

본고에서 살펴본 3가지 협력 사례가 의미하는 바는 결국 첨단반도체를 둘러싼 기술, 시장, 정치적 환경이 변화함에 따라 R&D 협력의 목적과 방식이 다변화되고 있음을 보여준다. 국가 간 분업이 심화되어 있고 R&D 난도가 증가하는 첨단반도체 산업에서 협력은 필수이며, 우리나라의 대내외 환경 변화에 적절히 대응하기 위해서는 글로벌 협력과 국내 산업육성, 미국의 기술블록화 대응 측면을 모두 고려할 필요가 있다.

첫째, 글로벌 개방형 R&D 협력 측면: 첨단반도체 R&D 난도의 상승에 따라 협력 필요성이 더욱 증가하고 있으므로 유럽, 미국, 일본 등 반도체 선도국과의 협력을 확대할 필요가 있다. 예를 들어 장비, 소재 등 핵심 기술에 강점을 가진 해외 반도체 기업 또는 연구기관과 다국적 협력 체계를 형성하여 공동기술 개발을 추진할 수 있다. 대내적인 접근에서는 K-반도체 벨트 등 국내 반도체 클러스터에 해외의 글로벌 선도기업을 유치하여 국내 생태계 참여를 유도할 필요가 있다.

둘째, 자국 산업생태계 육성 중심 R&D 협력 측면: 미국, 유럽 등 주요국을 중심으로 반도체 생태계를 자국에 내재화하려는 움직임이 있다는 점에서, 우리나라 역시 첨단 분야 반도체 생태계 역량을 강화할 필요가 있다. TSRI 사례와 같이, 국내에서도 삼성전자 등 주요 기업과 연계하여 산학연 중심으로 R&D와 산업생태계의 유기적 결합으로 시너지를 창출하는 것은 참조할 만하다.

또한, IMEC의 사례에서도 보듯 대학 연구실, 중소기업 등의 기술검증, 연구용, 테스트베드를 위한 공공 파운드리 역할을 제공하며, 협력 프로젝트를 통해서 생태계 활성화와 개발 리스크 분산과 비용 및 시간을 줄이는 생태계 구심점을 제공할 필요가 있다. 시스템 반도체가 성장하는 현재 시점에서 대기업 IDM(삼성전자, SK하이닉스)에 대한 의존도가 높은 국내 반도체 생태계는 변화에 취약한 구조이므로 생태계 구심점을 통한 원천기술의 조기 상용화, 반도체 딥테크 스타트업의 활성화도 필요하다.

셋째, 미국의 기술블록화 대응 측면: 우리나라의 반도체 기업 경쟁력, 향후의 시장 발전 방향, 기술 패권 경쟁에서의 진영 분리 등을 고려할 때, 거대 시장을 가진 중국과의 마찰은 최소화하면서 미국이 주도하는 NSTC 프로그램에 참여하는 것은 불가피한 측면이 있다. 미국이 첨단반도체 원천기술과 IP, 장비산업 및 표준화를 주도하는 점을 고려하면 미국 팹리스 및 연구기관과 국내 파운드리, 출연(연), 주요 대학 간 밀접한 협력관계는 국내 반도체 산업의 장기적인 비전을 위해 반드시 필요하다. 이를 위해 미국에 새로운 반도체 공장을 건설하는 과정에서 삼성전자와 NSTC가 협력하여 2nm 이하 초미세 공정을 도입하고, 이를 지렛대로 활용하여 국내 기관의 NSTC 참여를 이끌어낼 수 있을 것이다. 다만 단기적으로 중국 시장에서의 어려움이 예상되므로, 중국에 대한 과도한 수출 의존도를 점진적으로 낮

추고 미국을 비롯한 새로운 시장을 개척·확대하는 등 우리나라 반도체 기업의 경쟁력 향상과 산업생태계 발전 측면에서 전략적 대응이 필요하다.

용어해설

IDM(Integrated Device Manufacturer) 반도체의 설계부터 생산, 유통까지 모두 하는 업체
팹리스(Fabless) Fabrication + less의 합성어로 반도체 생산공장 없이 설계만 하는 업체
파운드리(Foundry) 팹리스, IDM으로부터 반도체 설계를 받아 공장(Fab)에서 생산하는 업체

약어 정리

EDA	Electronic Design Automation
EUV	Extreme ultraviolet
IDM	Integrated Device Manufacturer
IMEC	Interuniversity Microelectronics Center
NIST	National Institute of Standards and Technology
NSTC	National Semiconductor Technology Center
PIM	Processing In Memory
TSRI	Taiwan Semiconductor Research Institute

참고문헌

- [1] 관계부처합동, “「K-반도체 전략」 이행을 위한 시스템반도체 중소 팹리스 지원방안,” 2021.
- [2] 권석준, “차세대 반도체 기술로의 전환 과정에서 미국 NSTC와 긴밀히 협력할 필요,” KDI 나라경제 5월 특집호, 2023.
- [3] 윤정현, “미국의 ‘Fab 4(칩4)’ 제안 의미와 한국의 전략적 고려사항,” 국가안보전략연구원, 2022.
- [4] 한국무역협회 국제무역통상연구원, “글로벌 반도체 공급망 재편에 따른 한국의 기회 및 위협요인,” 2022.
- [5] IMEC 웹사이트, <https://www.imec-int.com/en>
- [6] IMEC, “Sustainability report,” 2021.
- [7] 김태곤, “imec 연구소 이해 발표자료,” 2022.
- [8] 전자신문, “ASML-IMEC “기존 EUV 노광기로 3나노 ‘싱글 패터닝’ 구현”…반도체 업계 주목,” 2020. 3. 2.
- [9] 뉴데일리경제, “인텔도 TSMC도 확보한 ‘차세대 EUV’… 삼성도 ‘이재용 효과’ 볼까,” 2022. 6. 20.
- [10] TSRI 웹사이트, <https://www.tsri.org.tw/en/>
- [11] 서울경제, “[백상논단] 반도체 강국 대만의 비결,” 2023. 5. 15.
- [12] ZD넷코리아, “삼성전자, 반도체 매출 1위…인텔 2위,” 2023. 1. 19.
- [13] 권석준, “한국 반도체, 썰물이 되기 전에 파도에 올라타라,” 2023, <https://firenzedt.com/26439/>
- [14] NIST, “A vision and strategy for the national semiconductor technology center,” 2023. 4. 25.