

# 미국 반도체 수출 통제의 한계 고찰

• • • •

2024-11



산업기술정책 브리프 [2024-11]

미국 반도체 수출 통제의 한계 고찰

# Contents

I. 서론 .....	1
II. 중국의 대응 전략 .....	3
III. 중국의 첨단 패키징 기술(APT) 활용 .....	8
IV. 결론 및 시사점 .....	17

\* CSIS, The Double-Edged Sword of Semiconductor Export Controls: Introduction and Advanced Packaging Technologies, 2024.10에서 주요 내용을 요약 정리



## 요 약

### ■ 최근 미-중 간 지정학적 경쟁이 가속화되면서, 미국 정부는 AI를 비롯한 군사·민군 겸용 분야 리더십을 유지하기 위해 핵심유망기술(CET) 통제 조치를 확대하는 등 경제안보 전략을 대폭 변경

- 미국 정부는 장기간 유지되었던 단계적 접근법(sliding scale approach)\*에서 벗어나 미국·미 동맹국 제품에 대한 접근을 제한하여 중국의 기술 발전을 늦추기 위한 경제안보 도구로 ‘수출 통제’를 적극 활용

\* 중국과 같은 전략적 경쟁국보다 기술 격차를 유지하지만 타국의 기술 발전 제한 조치를 취하지 않는 정책 방향

- 특히 첨단 AI 시스템의 핵심 요소로서 국가 안보 영향이 큰 첨단 반도체 분야에 수출 통제 조치가 집중

- 트럼프 행정부가 중국 통신 대기업 ZTE를 대상으로 발동한 제재 조치\*는('18.4) 미국이 수출 통제를 경제 강압(economic coercion) 수단으로 수용하기 시작했음을 의미하는 전환점에 해당

\* 중국 ZTE의 대북·대이란 제재 위반과 관련한 합의사항 미이행에 따라 미국 기업과의 7년 거래 금지 조치를 시행하였으며('18.4), 이후 벌금 납부 및 보증금 예치로 이를 해제

- 이후 바이든 행정부는 우려국, 특히 중국의 첨단 반도체 공급망을 대상으로 두 차례의 반도체 수출 통제를 시행하였고, 현재도 추가 조치 수립에 대한 논의를 지속

### ■ 미국 정부의 글로벌 반도체 시장 통제 조치가 확대되자, 중국 정부와 기업이 통제 우회 등 예상치 못한 방식으로 대응하기 시작

- 중국은 미국의 수출 통제를 우회하기 위해 ▲해외 페이퍼 컴퍼니를 통한 통제 대상 기술의 제3국 수입 ▲자국 기술 거래 네트워크를 통해 반도체 기술을 금지 기관으로 우회 전달 ▲수입 기술의 최종 용도 정보 허위 제공 ▲규제 발효 전 장비 비축 등의 방식을 사용

- 그 외 중국 반도체 산업에서 미국 기업과 기술을 완전히 배제하려는 움직임도 추진되고 있으며, 수출 통제의 영향 및 자국 반도체 생태계의 취약성을 완화하기 위한 목적으로 미국 반도체 기술 의존도 저감을 위한 공급망 혁신에 착수

〈표〉 중국의 주요 수출 통제 대응 방식

기업	주요 내용
Design out (배제)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국과 미 동맹국의 반도체 기술을 중국 기업 또는 제3국의 비등한 기술로 대체하는 방식               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 중국 반도체 공급망의 미 기술 의존도에 대한 우려가 증대되면서, 현 제재의 영향을 최소화하고 향후 통제 강화에 대비하기 위해 자국 생태계에서의 미국 기술 및 공급업체 배제를 도모</li> <li>- 중국 중앙·지방 정부는 미국을 배제하는 생산라인 구축을 위해 자국 기업에 수십억 달러를 투자하고 있으며, 반도체 기업이 핵심 기술을 중국 내에서 조달하도록 압박</li> <li>- 중국 팹의 미 기술 구매가 감소함에 따라, 미국의 통제 정책에 완전히 동조하지 않는 제3국 기업에 시장 기회가 열리고 있는 상황으로 이들이 미국 업체의 공백을 메우고 있는 것으로 분석</li> <li>- 수출 통제로 인해 외국 기업이 미국 반도체 기업을 대체하는 현상이 발생할 수 있는데, 그 결과 미국 기술 기업은 R&amp;D 투자의 재원인 매출이나 주가 상승 측면에서 손해를 감수해야 하는 상황에 직면 가능</li> </ul> </li> </ul>
Design around (우회)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 반도체 공급망 내 통제 대상 기술의 전체 카테고리를 우회하는 새로운 기술 개발을 모색하는 방안               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최첨단 칩과 동일한 성능을 달성할 수 있는 새로운 대안 제품 역량 개발을 도모하는 전략으로, 미국이나 미 동맹국이 아니라 자국의 지식재산과 제조 역량에 기반한 기술을 활용하여 첨단 Si와 같은 응용분야에 필요한 역량을 확보하기 위한 목적</li> <li>- 미국 수출 통제 우회 방안을 혁신하고자 하는 인센티브가 확대되면서 중국 내 R&amp;D 활동이 강화되었는데, 이는 패키징과 같이 중국이 선도하는 산업 분야에서 반도체 기술 우위를 빠르게 달성할 수 있는 길을 열어준 것으로 평가</li> </ul> </li> </ul>

- 중국에서 Design out과 Design around 전략을 병행할 경우, 미국 정부가 수출 통제 정책을 포괄적으로 시행하더라도 중국의 첨단 반도체 기술 발전을 막는 장기적인 저해요인으로서의 실효성이 떨어질 수 있다는 우려 제기
- 미국 기업의 시장 접근과 수익을 창출을 저해하여 자국 반도체 산업과 연구개발 분야의 리더십을 장기적으로 약화시킬 가능성도 부각

■ 한편, 첨단 패키징 기술을 바탕으로 중국 정부와 기업이 첨단 칩을 대상으로 하는 미국의 수출 통제를 우회하고, 非통제 기술을 사용해 성능 향상을 모색할 수 있는 기회가 발생

- 첨단 패키징은 트랜지스터 소형화 속도 둔화에 따라 트랜지스터 밀도를 높이고 처리 능력과 효율성을 확장하는 자본 효율적인 대안
  - 첨단 패키징 설계 시 입출력(I/O)을 개선하고 대기시간을 줄이며 전력 효율성을 높이는 방식으로 칩의 구성요소와 상호 연결 부품을 배열하는 것이 특징
  - 기존 패키징과는 전혀 다른 공정과 기술을 통합하며, 전공정 단계인 기존 패키징이 다운스트림에서 진행되는 것과 달리 첨단 패키징은 업/다운스트림 제조 공정 모두에서 이루어지는 것이 상이
    - ※ 첨단 패키징 아키텍처를 구축하기 위해서는 특정 기술과 공법이 전공정 웨이퍼 제조 과정 전반에 통합되어야 하며, 이때 칩 제조업체의 산업 부가가치 비중을 높일 수 있는 기회가 창출
- 기존 반도체 패키징 분야의 탄탄한 시장 입지를 기반으로 선점 우위를 보유하고 있는 중국은 기존 패키징 설비를 활용해 첨단 패키징 생태계를 구축함으로써 미국의 수출 통제를 우회할 수 있는 기회를 확보
  - 중국은 글로벌 선도국으로서 전체 조립·테스트·패키징(ATP) 부가가치 활동의 38%를 통제하고 있으며, 자국 내 후공정위탁생산(OSAT) 기업이 칩렛과 같은 첨단 후공정 사업으로 점차 전환되는 추세
  - 첨단 패키징이 대부분 광범위하게 사용될 수 있는 장비와 재료로 구현될 수 있다는 점은 미국 규제당국의 상황을 어렵게 만드는 요인으로 작용
    - ※ 중국은 기존 패키징 설비를 활용해 첨단 패키징 생태계를 구축함으로써 미국의 수출 통제를 우회할 수 있는 기회를 확보
  - 미국의 공격적인 경제 안보 조치가 중국 반도체 혁신을 확장시키는 효과를 가져오면서 당초 보호하고자 했던 자국 산업 리더십을 저해할 가능성이 대두하고 있으며, 중국의 패키징 분야 발전은 미국 반도체 기업에게 중장기 과제로 부각
- 한편, 중국 외에도 미국 및 타 국가 역시 첨단 패키징 분야 민간 R&D 확대, 산업정책 투자를 추진하는 등 동 시장이 중대 국면에 진입
  - 대만은 TSMC 및 장비·패키징 재료 공급업체 생태계에 힘입어 현재 첨단 패키징 분야를 선도하는 것으로 평가되고 있으나, Nvidia, AMD 등 미국 팹리스 기업과의 긴밀한 시스템 설계 협력에 TSMC의 역량이 좌우
  - 후공정위탁생산(OSAT) 경쟁에서 미국 Amkor와 대만 ASE가 중국 JCET와 Tongfu 대비 첨단 패키징 기술 우위를 유지하고 있으며, 주요 OSAT 업체는 미-중 긴장 고조로 생산지를 중국에서 동남아 등 지역으로 이전하는 추세
  - ▲트랜지스터 밀도 ▲첨단 패키징 혁신과 같은 공정상의 변화 중 어떤 요인이 미래 반도체 산업의 발전 동력으로 작용하게 될지는 확실하지 않지만, 첨단 패키징 기능과 첨단 제조 장비를 통합하는 것이 미국과 미 동맹국의 반도체 리더십을 유지하는 가장 유망한 방법으로 분석

■ 미국 트럼프 2기 행정부 출범 확정 후 글로벌 무역의 불확실성이 증대되는 가운데, 차기 행정부가 과거와 같이 기관(Entity) 기반 수출 통제를 강화하는 동시에, 바이든 정부의 첨단기술 분야 포괄적 통제, 특히 분야 기반 통제를 병행할 것이라는 예상 제기

- 단기적으로 첨단 기술, 전략 물자에 초점을 맞춰 특정 우려기업에 대한 수출 통제(Entity List) 심화하는 한편, 민군 겸용 기술의 중국 국방 유입 등의 우회 가능성을 고려해 전반적인 대중 수출통제 강화 조치를 검토할 것으로 전망
  - 특히 중국의 우회 거래 및 기술 토착화를 저지하기 위해 수출 통제 범위를 저사양 반도체까지 대폭 확대하고, 동맹국·협력국의 적극적인 참여와 협력을 압박할 가능성이 높은 상황
- 미·중 무역 의존도가 높은 우리나라의 선제적 대응이 필요한 시점으로, 더욱이 AI 산업의 핵심 인프라 중 하나인 고대역폭 메모리(HBM) 수출 통제 논의가 진행되고 있는 만큼 삼성, SK 하이닉스 등 우리 업계에 미칠 영향에 촉각
  - 이에 미국 정부와의 협상에서 우리 국익을 극대화하기 위한 정부의 교섭 역량이 중요해졌으며, 해당 조치로 인한 중국 AI 반도체 시장 위축 시 우리 업계에 미칠 장기적인 영향에 대비 필요

■ 미국의 반도체 수출 통제 이후 첨단 패키징 분야가 미·중 경쟁의 전략적 요충지이자 핵심적인 혁신 동력으로 부상하는 가운데, 패키징 업계 점유율이 하락하고 있는 우리나라의 경쟁력 제고 또한 시급

- 우리나라의 글로벌 패키징 시장 점유율은 '21년 6%에서 '23년 4.3%로 감소하였고, 기준 글로벌 10대 패키징 기업 중 국내 업체가 전무한 실정('21)
  - 첨단 패키징은 대만과 미국이 주도하고, 일반 패키징은 말레이시아와 중국이 역량을 끌어올리고 있는 상황에서, 삼성전자와 SK 하이닉스가 첨단 패키징 핵심 소재·장비의 95% 이상을 해외 수입에 의존
- 현재 과기부와 산업부가 첨단 패키징 원천기술 확보 등을 위한 사업 계획을 수립한 가운데, 업계에서도 패키징 역량 제고에 노력을 기울이고 있으므로, 인력 양성, 금융, 인프라 등의 측면에서 정책적 지원이 충분히 제공될 수 있는 세부 방안 확충이 중요

【 원문정보 】

- CSIS, The Double-Edged Sword of Semiconductor Export Controls: Introduction and Advanced Packaging Technologies, 2024.10



## I. 서론

### ■ 최근 미-중 간 지정학적 경쟁이 가속화되면서, 미국 정부는 AI를 비롯한 군사·민군 겸용 분야 리더십을 유지하기 위해 핵심유망기술(CET) 통제 조치를 확대하는 등 경제안보 전략을 대폭 변경

- '수출 통제'가 미국·미 동맹국 제품에 대한 접근을 제한하여 중국의 기술 발전을 늦추기 위한 경제안보 도구로 재부상한 가운데, 첨단 AI 시스템의 핵심 요소로서 국가 안보 영향이 큰 첨단 반도체 분야에 수출 통제 조치가 집중

- 특히 트럼프 행정부가 중국 통신 대기업 ZTE를 대상으로 발동한 제재 조치는('18.4)\* 미국이 수출 통제를 경제 강압(economic coercion) 수단으로 수용하기 시작했음을 의미하는 전환점에 해당

\* 중국 ZTE의 대북·대이란 제재 위반과 관련한 합의사항 미이행에 따라 미국 기업과의 7년 거래 금지 조치를 시행하였으며('18.4), 이후 벌금 납부 및 보증금 예치로 이를 해제<sup>1)</sup>

- 이후 대중 첨단 로직·메모리 칩 분야 우위 유지 필요성을 언급한 바이든 정부 국가안보 보좌관(Jake Sullivan)의 연설은('22) 장기간 유지되었던 단계적 접근법(sliding scale approach)\*과의 결별을 시사

\* 중국과 같은 전략적 경쟁국보다 기술 격차를 유지하지만 타국의 기술 발전 제한 조치를 취하지 않는 정책 방향

- 바이든 행정부는 우려국, 특히 중국의 첨단 반도체 공급망을 대상으로 두 차례의 반도체 수출 통제를 시행하였고, 현재도 추가 조치 수립에 대한 논의를 지속

### ■ 미국 정부의 글로벌 반도체 시장 통제 조치가 확대되자, 중국 정부와 기업이 통제 우회 등 예상치 못한 방식으로 대응하기 시작

- 중국은 미국의 수출 통제를 우회하기 위해 ▲해외 페이퍼 컴퍼니를 통한 통제 대상 기술의 제3국 수입 ▲자국 기술 거래 네트워크를 통해 반도체 기술을 금지 기관으로 우회 전달 ▲수입 기술의 최종 용도 정보 허위 제공 ▲규제 발효 전 장비 비축 등의 방식을 사용

1) BBC, US lifts order against China's ZTE, 2018.07.14

- 그 외 중국 반도체 산업에서 미국 기업과 기술을 완전히 배제하려는 움직임도 추진되고 있으며, 수출 통제의 영향 및 자국 반도체 생태계의 취약성을 완화하기 위한 목적으로 미국 반도체 기술 의존도 저감을 위한 공급망 혁신에 착수

〈표 1〉 중국의 주요 수출 통제 대응 방식

기업	주요 내용
Design out (배제)	• 미국·미 동맹국의 반도체 기술을 중국 기업 또는 제3국(미국이나 중국이 아닌 국가)의 비등한 기술로 대체
Design around (우회)	• 반도체 공급망 내 통제 대상 기술의 전체 카테고리를 우회하는 새로운 기술을 개발

- 중국 배제 및 우회 전략을 병행할 경우, 미국 정부가 수출 통제 정책을 포괄적으로 시행하더라도 중국의 첨단 반도체 기술 발전을 막는 장기적인 저해요인으로서의 실효성이 떨어질 수 있다는 우려 제기
- 미국 기업의 시장 접근과 수익을 창출을 저해하여 자국 반도체 산업과 연구개발 분야의 리더십을 장기적으로 약화시킬 가능성 또한 부각

■ 이에 미국 전략국제연구센터(CSIS)는 수출 통제로 중국의 Design out 및 Design around 전략이 가속·확대되는 양상 및 미국의 경제·국가 안보를 위협하는 방식을 점검

- 중국이 첨단 칩 설계·제조 분야에서 미국과 미 동맹국을 뛰어넘기 위해 첨단 패키징 개발 역량 개발을 추진하고 있음을 지적하고, 첨단 패키징이 Design around 전략의 주요 사례로서 미중 경쟁의 균형을 바꿀 수 있음을 고찰
- ※ 이번 보고서는 첨단 패키징에 초점을 맞추고 있으나 추후 보고서 시리즈를 통해 미국 수출 통제에 대한 기타 대응 전략을 다룰 예정
- 이를 바탕으로 다자주의 확대의 중요성과 과제, 규제가 미국 기업에 미치는 부정적 영향을 완화할수 있는 방안을 점검

## II. 중국의 대응 전략

### ■ 중국의 Design out 및 Design around 전략은 미국 및 미 동맹국의 수출 통제가 자국 중요 기술 공급망을 위협하고 있으며 전략적 무역 통제 또한 갈수록 일반화되고 있다는 인식에 바탕

- (Design out) 중국 반도체 공급망의 미 기술 의존도에 대한 우려가 증대되면서, 현 제재의 영향을 최소화하고 향후 통제 강화에 대비하기 위해 자국 생태계에서의 미국 기술 및 공급업체 배제를 도모

- 중국 중앙·지방 정부는 미국을 배제하는 생산라인 구축을 위해 자국 기업에 수십억 달러를 투자하고\* 있으며, 반도체 기업이 핵심 기술을 중국 내에서 조달하도록 압박\*\*

\* 자국 기업이 반도체 제조에 필요한 설계·부품·도구를 생산할 수 있도록 지원하기 위한 목적

\*\* 해외 기술 의존성으로 인한 상업적 위험을 경계하는 제조업체의 국내 조달 의향도 높아지는 추세

- 중국 팹의 미 기술 구매가 감소함에 따라, 미국의 통제 정책에 완전히 동조하지 않는\* 제3국 기업에 시장 기회가 열리고 있는 상황으로 이들이 미국 업체의 공백을 메우고 있는 것으로 조사

\* 중국 시장 접근성 상실에 대한 우려 등으로 미 정책에 저항적

※ 주요 공급국인 네덜란드·일본과 미국 간 통제 조치에 격차가 존재하고 독일·한국·이스라엘의 경우 관련 규제가 부재한 만큼, 미 정부의 통제 확대 압력에도 실질적인 성과를 거두기 어려운 것으로 분석

- (Design around) 최첨단 칩과 동일한 성능을 달성할 수 있는 새로운 대안 제공 역량 개발을 도모하는 전략으로, 미국이나 미 동맹국이 아니라 자국의 지식재산과 제조 역량에 기반한 기술을 활용하여 첨단 Si와 같은 응용분야에 필요한 역량을 확보하기 위한 목적

- 미국 수출 통제 우회 방안을 혁신하고자 하는 인센티브가 확대되면서 중국 내 R&D 활동이 강화되었는데, 이는 패키징과 같이 중국이 선도하는 산업 분야에서 반도체 기술 우위를 빠르게 달성할 수 있는 길을 열어준 것으로 평가

※ (예) 첨단 패키징 혁신을 통해 중국 기업이 서구의 반도체 제조 장비 기술을 모방하지 않고도 최첨단 칩 역량을 달성할 수 있는 방안이 마련

- 중국 반도체 생태계의 미국 기술 의존도를 낮추고 중국 기업이 궁극적으로 반도체 공급망에서 미국 기술 역량을 능가할 수 있는 기회를 창출하는 방안으로 주목

■ **현재 미국의 수출 통제로 인해 외국 기업이 글로벌 시장의 주요 부문에서 미국 반도체 선도 기업을 대체할 수 있게 되는 의도치 않은 위험 발생**

- 첨단 민군겸용 기술에 대한 수출 통제는 상품 수출을 규제하고자 하는 시도이나, 대안이 존재할 경우 구매자가 통제 대상 상품을 자국 공급업체나 규제 강도가 낮은 국가에서 조달할 수 있게 되므로(Design out), 대체 기술이 수요 공백을 메울 때까지만 유효
  - 새로운 대체 기술 등장 시(Design around) 그에 맞춰 수출 통제 정책을 조정해야 하며 조정이 이뤄지지 않는다면 통제 조치가 통제국의 수출 수익과 글로벌 영향력을 저해하는 걸림돌로 작용할 위험 존재
- 미국이 수출 통제와 관련해 '단계적 조정(sliding scale)' 방식을 취했던 시기, 적대국과 핵심 기술 분야 격차를 지속적으로 유지하는 데 미국 기업의 글로벌 R&D 리더십이 주요 역할을 담당한 것으로 분석
  - 이후 미국 정부는 현재의 '기술 격차 극대화(maintaining as large a lead as possible)' 방식으로 전환하면서, 산업 리더십을 활용해 중국의 군사/민군 겸용 기술 발전을 억제할 수 있기를 기대하고 있으나 Design out 현상이 이 목표를 약화시킬 위험 부각\*
  - \* 궁극적으로 Design out은 미국의 기술 리더십을 위협할 수 있는 요인으로 작용 가능
  - 특히 Design out 전략으로 인해 세계 최대 반도체 시장인 중국의 반도체 조달처가 미국에서 타 지역으로 전환되면서 미국의 시장 점유율이 축소되고 중국 및 제3국 기업이 새로운 기회를 포착할 수 있다는 점에서 우려
  - 이러한 잠재적 영향은 중국 반도체 시장 자체에만 국한되지 않는데, 외국계 다국적 기업이 중국 시장에 접근하는 데 영향을 미칠 수 있는 수출 통제를 피하기 위해 미국 기술 사용을 제한하려는 움직임이 나타날 수 있기 때문
  - 즉, 수출 통제로 인해 외국 기업이 미국 반도체 기업을 대체하는 현상이 발생할 수 있으며, 그 결과 미국 기술 기업은 R&D 투자의 재원인 매출이나 주가 상승 측면에서 손해를 감수해야 하는 상황에 직면 가능
  - ※ 반도체 업계의 빠른 기술 변화 속도와 선도적 우위 유지의 중요성을 감안할 때, 반도체 기업의 R&D가 매우 핵심적인 역할을 담당하는 상황에서 투자 감소는 기업의 입지 확립에 치명적이며, R&D 손실은 반도체 공급망 내 미국 기업의 기술 리더십 상실을 의미
- 중국 반도체 공급망에서 미국의 기술이 성공적으로 제거될 경우, 미국 정부가 현재 자국 기업의 매출을 통해 확보할 수 있는 중국 장비 구매 데이터\* 접근성 또한 잃게 될 것으로 예상
  - \* 중국 인민해방군(PLA)의 군사/민군 겸용 역량에 대한 통찰력을 제공하는, 국가 안보 관점에서 유용한 자료로 해당 데이터 상실 시 미국이 정책적으로 효과적인 수단을 잃게 된다는 것을 의미

- 중국이 칩 생산 과정에서 미국의 기술 활용을 중단하게 되면, 수출 통제의 지속적인 시행·집행 여부나 새로운 통제를 도입하겠다는 위협이 경제 및 국가안보 이익에 별다른 도움을 주지 못하게 되는 상황 전개
- 수출 통제는 미국이 핵심유망기술(CETs)의 개발·활용 방식에 영향을 미칠 수 있는 표준 수립 역량\*의 일부를 포기하게 되는 것을 의미
  - \* 표준 수립 역량은 글로벌 기술 시장에서 핵심적인 이점을 제공하며, 중국 및 기타 적대국과의 전략적 경쟁에서 중요한 역할을 담당

〈표 2〉 핵심유망기술의 표준 수립 의의와 목표

표준의 중요성	표준 수립 목표	미국의 표준 수립 전략
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표준 수립은 신기술 개발과 사용에 영향을 미치는 중요한 작업에 해당</li> <li>• 견고한 표준이 수립·유지될 때 표준화된 기술을 활용하는 산업의 혁신과 기술적 무결성 또한 강화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵심유망기술(CET) 개발을 선점할 때 사용 표준을 수립할 수 있다는 이점 발생</li> <li>• 특정 표준이 광범위하게 채택될 경우, 해당 표준을 사용하는 국가가 경제적으로 막대한 편익 확보 가능                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 따라서 경제적, 국가 안보적으로 핵심유망기술 사용 표준 수립이 중요</li> <li>- 중국 또한 경쟁 기술 표준 설정을 시도하고 있는 만큼 표준 수립의 시급성이 제고</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 백악관, 「국가 핵심유망기술 표준 전략」 발표('23.5)</li> <li>- 핵심유망기술(CET) 표준 수립 측면의 리더십 확립 도모</li> </ul>

## 1. 중국 전략의 변화

- 중국 정부와 기업은 오래전부터 반도체를 포함한 핵심기술 분야의 해외 제조 의존성을 우려해 왔으며, 시진핑 주석 선출('13) 후 이러한 인식이 강화되어 「중국 제조 2025」 정책의 반도체 자립 목표에 반영
  - 특히 미국의 수출 통제 및 ZTE에 대한 트럼프 행정부의 제재 조치('18)로 인해 중국 기술 선도 기업의 사업이 좌초될 수 있다는 우려가 중국의 대미 기술 의존도 저감 움직임을 가속화
    - 미국 수출통제목록(entity list) 등재 후 Huawei의 스마트폰 사업이 수년간 와해 직전에 이르렀던 경험도 또 다른 계기로 작용하여, 해외 특히 미국 의존도 저감을 위한 자국 내 기술 공급망 재편, 새로운 수직 통합, 현지 공급업체와의 파트너십 투자를 촉발

- 이후 바이든 행정부의 반도체 수출 통제 강화조치('22.10)가 중국 및 제3국 예상보다 광범위하게 수립되면서 미국 기술에 대한 중국 반도체 산업의 의사결정 방향이 근본적으로 변화
  - 중국의 자급 목표가 광범위한 하향식 목표에서 현재·미래 미국 통제로부터 자국 반도체 산업의 미래를 지키기 위한 업계 전반의 공급망 노력으로 급격하게 전환된 것으로 분석

〈 탈미국화에 따른 중국 반도체 제조·조달 현황 〉

- ❶ 정치적 측면을 제외하면 중국 기업은 대체로 미국과 미 동맹국에서 대부분 생산되는 최첨단 반도체 장비와 기술 사용을 선호
  - 즉, 수출 통제가 추진되지 않는 일상적인 상황이라면 중국 기업이 미국의 업계 선도 기술을 계속해서 구매·활용했을 가능성이 높은 것으로 분석
- ❷ 중국은 장기적으로 미국 장비를 배제한 반도체 제조 공급망 구축을 목표로 하고 있으며, 미국 기술을 대체할 수 있는 방안 마련을 추진
  - 정부 기관 또한 해외 기술을 대체할 수 있는 기술 개발을 목표로 보조금과 R&D 프로그램을 통해 자국 반도체 공급망에 막대한 투자 단행
- ❸ 중국 반도체 산업 전반적으로 해외 공급업체의 장비가 아닌 자국산 장비를 구매하도록 촉구하는 정부 지원 캠페인이 비교적 성공적으로 진행 중
- ❹ 중국 팹과 기타 반도체 기업이 해외 의존도를 줄이고 자국 산업을 육성하기 위해 해외 업체보다 기술적으로 미흡하더라도 중국 기술을 구입하는 경우가 빈번
- ❺ 미국 기술을 대체할 국산품이 없는 경우 대중 경제 안보 정책이 온건한 국가의 기업에서 장비를 조달하고, 미국 기업으로부터 신규 장비를 구매하는 것은 최후 수단으로 간주
- ❻ 미국 수출 통제에 따라, 제3국 기업 또한 중국 반도체 공급망에서 미국 기업을 대체하기 위해 적극적으로 움직이고 있으며, 일부는 미국 규제에 제약받지 않는다는 점을 대중 판매 전략으로 활용

■ '79호 문건(Document 79)'은 중국의 디지털 공급망에서 서방 기술을 제거하기 위한 극비 전략 계획으로, 최근 중국의 정책 추세가 잘 드러난 자료로 평가

- 월스트리트 저널의 보도에 따르면, '79호 문건\*'은 해외 대체 기술의 발전 정도가 앞서 있더라도 중국 기업으로부터 기술을 조달하도록 장려하고 있는데, 설계·제조장비·패키징 등 반도체 공급망 전반적으로 이러한 변화가 발생하고 있는 것으로 확인

\* 일명 'Delete America' 또는 'Delete A'로도 알려진 동 문건은 중국의 최신 정책 경향을 명확히 드러내는 자료로, 미국 수출 통제 패키지가 발표되기('22.10.7) 몇 주 전 중국 지도부가 비공개 회람한 것으로 알려졌으며 일부 내용이 서구로 유출

- 대표적으로 반도체 제조 장비(SME) 분야에서 AMEC이나 Naura Technology Group과 같은 중국 기업이 미국 선도 업체를 제치고 주요 입찰을 수주하는 사례가 증가

- 하위 시스템, 부품 분야에서도 중국 자체적으로 극자외선 리소그래피(EUV) 광원을 개발하는 한편 화학 물질, 가스, 기타 재료의 해외 공급업체를 대체하려는 시도 추진
- 설계 및 EDA 부문의 경우 Moore Threads나 Empyrean Technology 등의 중국 스타트업이 미국 기업의 점유율을 일부 잠식하기 시작
- 반면, 미국 기업이 반도체 공급망의 핵심 부분에서 배제될 가능성은 다방면에서 점차 증가하는 추세
  - 중국 정책 입안자와 기업이 새로운 자국 내 대안 육성을 시도하면서 Design Out 조치가 중국 기업을 신장시키고 있는 것으로 분석
  - 제3국 반도체 산업에서도 이러한 움직임을 확인할 수 있으며, 미국 기업이 빠져나간 중국 내 수요 공백을 非미국 기업들이 채우기 위해 노력
- Design around 위협도 계속해서 발생하고 있는데, 중국이 혁신을 선도하고 있는 첨단 패키징과 반도체 제조 장비 부문 등은 미국의 수출 통제 규정의 영향권이 미치지 않는 분야에 해당
  - ▲(첨단 패키징) 오늘날 칩 생산 분야의 핵심 성장 기술이자 중국의 Design around 노력을 보여주는 대표적인 사례 ▲(반도체 제조 장비) 구형 리소그래피 및 에칭 도구를 사용하여 최첨단 칩을 생산하려는 새로운 시도 추진
  - 첨단 패키징과 관련 장비는 ❶ EUV 리소그래피 등의 제조 기술에 비해 기술 개발이 까다롭지 않고 미국과 미 동맹국의 독점적 우위가 덜하며 ❷ 첨단 칩 없이도 AI 대규모 언어 모델(LLM)과 같은 최첨단 애플리케이션을 구현할 잠재력을 보유
- ※ 미국의 패키징 도구 및 첨단 기판 등의 투입물을 배제하는 등 첨단 패키징의 일부 영역에서 Design Out이 발생하고 있으나, 이번 보고서는 산업에 미치는 영향을 고려하여 Design around에 초점
- 미국이 경제 안보 정책을 통해 중국 첨단 패키징 기술의 가능성에 대응해야 할 필요를 인지하고 있으나, 해당 기술을 광범위하게 통제하려는 시도가 오히려 미국 기업에 피해를 입힐 가능성이 다분
  - 패키징 부문은 Design around가 미국의 기술을 우위 위협하는 양상을 보여주는 대표적인 사례로 이에 대한 적절한 대응방안 마련이 시급

### III. 중국의 첨단 패키징 기술(APT) 활용

#### 1. 첨단 패키징 기술(APT)의 부상

■ (첨단 패키징 개요) 무어의 법칙에 따른 트랜지스터 소형화 속도가 둔화됨에 따라, 트랜지스터 밀도를 높이고 처리 능력과 효율성을 확장하는 자본 효율적인 대안으로 첨단 패키징이 부상

- 칩과 인쇄회로기판(PCB)을 연결하는 아키텍처와 재료는 PPAC(전력·성능·면적·비용)를 최적화하는 트랜지스터 아키텍처만큼 중요한 단계이나, 그동안 칩 패키지 내의 메모리와 논리 장치 간의 연결 밀도가 트랜지스터 밀도 성장보다 뒤처지며 통신 저해요인으로 작용

※ 지난 수십 년간 반도체 패키징은 칩을 다른 부품에서 분리하고 인쇄회로기판(PCB)\* 연결 상태를 유지하는 역할을 담당하였으며, 제조 공정 중 가치가 낮아 저임금 국가의 제3자 업체에 아웃소싱하는 경우가 대다수

\* 인쇄회로기판(PCB)은 칩과 다른 회로 부품 간 전력과 정보를 전송

- 첨단 패키징 설계는 입출력(I/O)을 개선하고 대기시간\*을 줄이며 전력 효율성을 높이는 방식으로 칩의 구성요소와 상호 연결 부품을 배열하는 새로운 분야에 해당

\* (latency) 컴퓨터 명령이 내려지고 데이터 전송이 시작될 때까지의 대기 시간

- 즉, 기존 패키징과는 전혀 다른 공정과 기술을 통합하며, 전공정 단계인 기존 패키징이 다운스트림에서 진행되는 것과 달리 첨단 패키징은 업/다운스트림 제조 공정 모두에서 이루어지는 것이 상이

- 기존 패키징은 반도체 후공정 위탁생산(OSAT)\* 업체에 아웃소싱되고 있는 반면, 첨단 패키징은 공정의 상당 부분을 업스트림으로 이전시키고 있는 추세

\* (outsourced semiconductor assembly and test) 패키징이 상품화되어 있는 데다 전공정 제조에 비해 이윤이 낮아 비용으로 경쟁하는 OSAT에 아웃소싱되는 것이 일반적

- 새롭고 혁신적인 공법들이 파운드리 제조 과정에서의 칩 준비 방식을 변화시키고 있는데, 최종 패키지에 칩이 원활하게 통합될 수 있도록 로직 및 메모리 팝이 상호 협력하는 것이 대표적

- 첨단 패키징 아키텍처를 구축하기 위해서는 특정 기술과 공법이 전공정 웨이퍼 제조 과정 전반에 통합되어야 하며, 이때 칩 제조업체의 산업 부가가치 비중을 높일 수 있는 기회가 창출



■ **(칩렛과 이종집적화) 칩렛(chiplet) 설계는 별개의 기능이 있는 여러 칩을 단일 패키지 단위로 통합하는 기술로, 첨단 패키징 혁신 중 특히 중요한 부분에 해당**

- 칩렛 설계를 구현하는 데 사용되는 패키징 방식(이종집적화)은 기존 패키징 방식 대비 전력 효율성과 데이터 전송 속도를 높이고 신호 품질 저하를 낮출 수 있는 잠재력 보유
  - 다양한 응용분야 제공 측면에서의 유연성이 칩렛 설계의 주요 장점이며, 시스템에서 자주 상호 작용하는 반도체 구성요소들을 보다 가깝게 배치하여 대기 시간과 전력 수요를 저감
    - ※ (예) 메모리 기능에 크게 의존하는 AI 연산의 경우 메모리 칩렛과 프로세스 코어를 가까이 배치하는 방식이 효과적인 설계 솔루션으로 입증
- 칩렛 기술 사용 시, 칩 제조에 필요한 첨단 제조 기술을 활용하지 않고도 최첨단 반도체를 장착한 것과 같은 성능을 제공하는 마이크로일렉트로닉스 시스템을 구축 가능
  - 즉, 칩렛 기술은 EUV 리소그래피와 같은 최첨단 칩 제조 장비를 통해 중국의 첨단 반도체 역량 확보를 차단하려는 현 상황에서 미 정부의 대응 과제로 대두

■ **(첨단 패키징에 대한 수출 통제) 첨단 패키징이 대부분 광범위하게 사용될 수 있는 장비와 재료로 구현될 수 있다는 점이 미국 규제당국의 상황을 어렵게 만드는 요인**

- 매 단계마다 고도로 정교한 장비가 필요한 나노미터 수준\*의 반도체 제조와 달리 첨단 패키징 공정은 일반적으로 마이크론\*\* 수준에서 측정
  - \* 10억 분의 1미터    \*\* 나노미터보다 1,000배 큰 단위
  - 첨단 패키징 반도체 제작 시 일부 특수 장비가 필요하기도 하지만 대부분의 도구는 제조 공정에 비해 기술적 전문성(technologically niche)과 개발 난이도가 낮은 편
  - 더구나 첨단 패키징 장비·재료 공급망에 중국 기업이 포함되어 있고 반도체 제조 장비(SME)나 칩 설계 분야에 비해 공급업체가 다양하므로 일방·양자·삼자 협정의 효과가 저하
- 단, 하이브리드 본딩과 첨단 기판 등은 중국이 확보하기 어려운 고급 패키징 기술이나 투입물에 해당
  - 해당 기술은 하부 칩 수준의 유사 공정 노드에서도 기존 패키징 방식보다 우수한 성능을 발휘하는 첨단 칩 패키지를 제작할 수 있도록 지원

〈 첨단 패키징 기술·재료 〉

- (hybrid bonding) 밀접하게 간격을 둔 구리 패드를 사용해 반도체 웨이퍼를 수직 연결하는 방식으로, 개별 칩 간의 연결 거리를 단축하고 칩 패키지의 성능을 극적으로 높여 기존 반도체 공정 노드를 발전시키지 않고도 연산 효율성을 향상시킴으로써 최첨단 응용 분야에 활용 가능
  - ※ TSMC, 삼성, 인텔, SK 하이닉스 등이 대표적인 하이브리드 본딩 개발 업체이며 관련 공정 대부분은 후공정위탁생산 기업이 아닌 팹에서 진행
- (advanced substrate) 칩 성능 확장 및 5G 인프라·항공우주·고성능 연산·전기차 등의 특수 응용분야 성장으로 고주파 신호, 열, 데이터 처리량 요건을 충족시킬 수 있는 반도체 수요가 증가함에 따라, 해당 성능 달성에 유용한 첨단 기판 기반의 칩 패키지 중요성이 제고
  - ※ 현재 첨단 기판 공급망은 대만, 일본, 한국이 글로벌 매출의 88%를 차지하고 있으나 중국의 투자가 증가하며 Shennan Circuits 및 Access 등의 업체 또한 점유율 확대에 매진

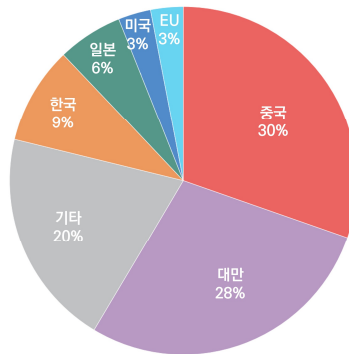
## 2. 첨단 패키징을 통한 수출 통제 우회

■ **첨단 패키징 기술을 바탕으로 중국 정부와 기업이 첨단 칩을 대상으로 하는 미국의 수출 통제를 우회하고, 非통제 기술을 사용해 성능 향상을 모색할 수 있는 핵심 기회가 발생**

- 중국 기업은 기존 반도체 패키징에서의 탄탄한 시장 입지를 기반으로 선점 우위를 일정 부분 확보한 상황
  - 글로벌 패키징 시장은 칩 설계, 제조 등의 부문보다 지리적으로 더 분산되어 있지만, 중국이 글로벌 선도국으로서 전체 조립·테스트·패키징(ATP) 부가가치 활동의 38%를 통제하고 있는 것으로 집계
  - ▲Jiangsu Changjiang Electronics Tech(JCET) ▲Tongfu Microelectronics는 중국의 대표적인 후공정위탁생산(OSAT) 기업으로, 두 회사 모두 낮은 비용으로 해외 주요 파운드리에 ATP 파트너십을 제공
- Intel, GlobalFoundries, Onsemi 등 미국 반도체 제조업체를 위한 대량 패키징 시설 또한 중국에 소재하고 있는 만큼 패키징 기술과 전문 지식이 중국 내에 광범위하게 보급되어 있을 가능성 다분
  - '21년 기준 중국은 글로벌 시설 전체의 28%에 해당하는(기업 국적 무관) 후공정위탁생산 업체용 ATP 시설 111곳과 종합반도체업체(IDM)용 시설 23곳을 보유
  - 패키징 장비 제조 점유율도 타 반도체 설비에 비해 높으며, 이를 바탕으로 다이 접착, 본딩 등 필수 도구 생산 경험을 확보

- 중국은 기존 패키징 설비를 활용해 첨단 패키징 생태계를 구축함으로써 미국의 수출 통제를 우회할 수 있는 기회를 확보
  - 지난 몇 년간 중국 후공정위탁생산 기업이 칩렛과 같은 첨단 후공정으로 사업을 점차 전환하고 있으며, 정부도 민간 부문과 협력해 첨단 패키징 연구를 지원
    - \* 중국 과학기술부는 최대 30개의 칩렛 기반 프로젝트를 대상으로 640만 달러 이상의 연구 자금을 지원하겠다는 계획 발표('23.8)
  - 지방 정부 또한 첨단 패키징 산업 지원에 동참하는 추세로, JCET와 기타 중국 패키징 기업이 위치해 있는 우시市의 경우 '칩렛 밸리' 건설에 1,400만 달러를 투자할 방침('23)

〈그림 1〉 국가별 ATP 산업 부가가치('22)



■ 첨단 패키징을 활용해 미국 수출 통제 우회를 추진하는 중국 반도체 기업으로는 Huawei, SMIC, YMTC 등이 대표적

〈표 3〉 첨단 패키징을 활용한 수출 통제 우회 조치

기업	주요 내용
Huawei	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 반도체 제조 작업과 첨단 패키징 공법 간의 통합을 모색하며 자회사 HiSilicon을 통해 패키징 장비 공급업체 JT Automation 및 웨이퍼 프로브 카드* 스타트업 MaxOne Semiconductor와 파트너십을 체결하였고, 수백 개의 관련 특허를 확보                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* (probe card) 반도체의 동작을 검사하기 위해 칩과 테스트 장비를 연결하는 장치</li> </ul> </li> <li>• Huawei와 HiSilicon은 미국의 제재를 우회하기 위한 시도로서, 여러 웨이퍼 다이를 단일 패키지로 수직 통합하는 첨단 공정 '3D 칩 적층 설계'를 활용해 혁신 단행('22)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- '19년 특허 출원 시 두 개의 칩을 부분적으로만 겹치도록 쌓는 정교한 설계 방식이 공개</li> </ul> </li> </ul>

기업	주요 내용
SMIC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중국에서 가장 발전된 파운드리 업체로, '21년부터 다른 중국 업체도 첨단 패키징을 도입해야 한다고 촉구</li> <li>• Huawei와의 협력을 통한 칩(패키징 포함) 개발이 빈번하게 추진되고 있으며, 최근에는 'Mate 60 Pro 스마트폰'용 7나노미터(nm) Kirin 9000 개발을 위해 협력</li> <li>• 최근 중국 반도체 후공정 업체 JCET가 5nm 제조 공정에 대한 패키징 역량을 보유하고 있다는 점이 확인되었는데, 이는 SMIC의 5nm 공정 양산 달성 노력과 연관되는 부분</li> </ul>
YMTC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NAND 플래시 메모리 분야 중국 상위 칩 제조업체로, 세계 최고 수준의 메모리 칩을 개발하기 위해 첨단 패키징 공정을 도입('22)             <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 로직 칩과 아키텍처가 상이한 메모리 칩은 제조 공정에서 생산된 레이어(단) 수로 측정되는데, 미국 정부가 128단 이상 NAND 칩의 중국 수출을 금지</li> </ul> </li> <li>- YMTC가 2022 NAND 공정을 통해 232단 메모리 칩을 생산하면서, 200단 이상을 달성한 최초의 기업으로 기록</li> <li>- 패키징 아키텍처 'Xtacking'는 첨단 패키징 공정의 특징인 하이브리드 본딩을 사용함으로써, 중국이 패키징을 혁신 수단으로 활용하는 데 전념하고 있음을 시사</li> <li>• 미국 Apple社가 YMTC 232단 메모리 칩을 중국 판매용 iPhone에 사용할 계획을 수립하기도 하였는데('22)*, 해당 사례는 중국의 첨단 패키징 기술이 글로벌 시장 경쟁력을 갖출 수 있는 가능성이 있다는 점을 반증             <ul style="list-style-type: none"> <li>* 미 정부의 수출 통제('22.10) 발표 직후 계획 취소</li> </ul> </li> </ul>
Sunlune	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 'Jasminer X4'는 DRAM-to-logic 하이브리드 본딩*을 활용한 암호화폐 채굴 칩으로, 그동안 이론에 그쳤던 비모놀리식** 설계를 실제 구현한 이종 집적화 사례에 해당             <ul style="list-style-type: none"> <li>* 메모리 칩에 첨단 로직 칩을 쌓아 성능을 높이고 에너지 수요를 저감</li> <li>** 여러 유형의 칩을 결합하는 패키징을 의미</li> </ul> </li> <li>- 이는 DRAM-to-logic 하이브리드 본딩이 상업적으로 사용될 수 있고, 중국 기업이 미국의 수출 통제를 우회하여 고성능 칩을 제조할 능력을 보유하고 있음을 나타내는 이종집적화 애플리케이션으로서 유의미</li> </ul>

- 미국의 수출 통제가 Design around 전략을 촉진하고 첨단 패키징을 통한 중국의 반도체 기술 한계 확장 추세를 촉발했을 수 있다는 점에서 YMTC와 Jasminer 사례를 통해 미국 규제 당국의 경각심 고조 필요
  - 중국 기업은 미국 '단계적 조정(sliding scale)' 시대의 최첨단 기술 모방 전략에서 벗어나 수출 통제 규정을 우회하는 신기술을 발명해야 하는 상황에 직면하게 되었으며, 이렇게 상업적 목표가 모방에서 혁신으로 암묵적으로 전환된 것은 미-중 경쟁의 잠재적 대전환을 의미

- 중국이 칩렛 생태계에 대규모 투자를 단행했음에도 실제 제품으로 구현된 칩렛 설계가 미미하고 대량 생산이 여전한 장벽으로 남아\* 있긴 하지만, 1~3년 후 중국 기업이 이종집적화 공정을 광범위하게 도입하게 될 것이라는 일부 전문가 의견도 존재
  - ※ 다른 반도체 제조 공정과 마찬가지로 높은 생산 수율 달성이 주요 과제
- 중국 기업과 정부는 미국 수출 통제 우회 방법으로서 첨단 패키징(특히 칩렛)의 가능성을 광범위하게 강조하고 있는데, 패키징 분야에서 선점 우위가 없는 미국을 빠르게 따라잡거나 추월할 수 있는 위치를 확보한 것으로 평가
- 즉, 미국의 공격적인 경제 안보 조치가 중국 반도체 혁신을 확장시키는 효과\*를 가져오면서 당초 보호하고자 했던 자국 산업 리더십을 저해할 가능성이 대두하고 있으며, 중국의 패키징 분야 발전은 미국 반도체 기업에게 중장기 과제로 부각
  - \* 미국의 수출 통제로 인해 중국 기업이 의도치 않게 글로벌 반도체 시장 경쟁의 균형을 위협하는 새로운 기술 개발에 박차를 가하는 효과 발생

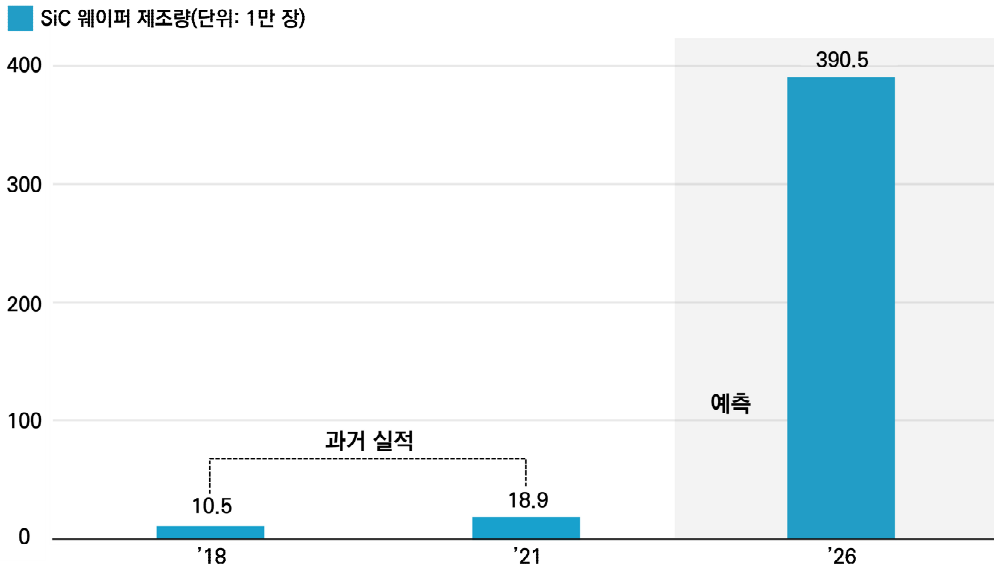
### 3. 첨단 패키징에서의 미국 기업 배제

- 미국 기업이 중국 첨단 패키징 시장에서 ‘배제(Design Out)’되고 있다는 증거는 우회(Design around) 혁신의 증거에 비하면 제한적인데, 장비·설계와 같은 반도체 산업 부문 대비 첨단 패키징 공급망에서 미국 기업이 차지하는 비중이 적기 때문
  - 그 중 미국 기업 배제 추세가 가장 잘 드러나는 대표적 사례는 첨단 기판, 특히 카바이드(SiC) 웨이퍼 기판\* 분야라 할 수 있는데, SiC 기판은 수출 통제의 직접적인 영향을 받지 않지만 중국이 미국산 반도체 투입물을 배제할 경우 첨단 칩 외 분야에 어떤 영향을 미치는지 예증
    - \* 전기차용 와이드 밴드갭 전력 전자 반도체를 구성
  - Wolfspeed, Coherent 등의 미국 기업과 일본 SiCrystal이 현재 글로벌 SiC 웨이퍼 시장에서 지배적인 점유율을 차지하고 있으며, 자동차 산업에서 SiC 웨이퍼의 중요성이 확대됨에 따라\* 중국이 미국 및 제3국 기업의 핵심 시장으로 부상
    - ※ 노스캐롤라이나 소재 Wolfspeed는 '21년 기준 시장의 60% 이상을 점유한 가운데, 업계 핵심 기술 혁신에 해당하는 8인치 웨이퍼로의 전환을 시도
    - \* 전기차 인버터에 쓰이는 SiC 기반 칩은 실리콘 웨이퍼에 비해 성능이 뛰어나 자동차 산업에서의 중요성이 점차 확대
  - 중국 또한 「14차 5개년 계획」을 통해 SiC에 대한 정부 지원 계획을 제시하는 등 수년간 SiC 시장 확대를 모색하는 가운데 최근 관련 움직임이 가속화

※ 중국 과학원을 비롯한 주요 대학과의 공공-민간 연구 파트너십 개발에 주력한 결과 SiC 특히 출원 분야 선도국으로 자리매김하였고, BYD, Nio와 같은 전기차 대기업의 대규모 민간 자본 투자를 통해 TanKeBlue, SiCC, Sanan 등의 신진 기업의 성장이 촉진

- 반도체 연구 기업 Yole Group에 따르면, 중국 내 SiC 웨이퍼 생산량이 '21년 18만 장에서 '26년 390만 장으로 대폭 증가 예상

〈그림 2〉 '18~'26 중국의 SiC 웨이퍼 제조량 실적 및 전망(단위 1만 장)



- 지금까지는 미국 기업이 SiC 시장 점유율에서 크게 앞서 있었지만, 정부 지원에 힘입은 중국 경쟁업체의 부상이 향후 과제로 작용할 전망
  - 특히 중국은 전기차 제조 부문 및 SiC 기반 패키지의 전력 전자 시스템 통합 분야의 선도국 이점을 보유하고 있는 만큼, 자국 내 탄탄한 수요와 기술 지식을 통해 중국 SiC 기판 공급업체와의 혁신적인 파트너십이 뒷받침될 것으로 예상
- 이러한 Design Out 사례는 중국이 미국과 미 동맹국의 반도체 기술을 대체하기 위해 '총체적 공급망(whole-of-supply-chain)' 접근방식을 취하고 있음을 보여주는 예시로, '22.10월 수출 통제 이후 더욱 가속화

## 4. 글로벌 첨단 패키징 현황

### ■ 패키징 혁신을 우선시하여 주요 성과를 거둔 중국 외에도 미국 및 타 국가 역시 유사한 노력\*을 추진하는 등 반도체 첨단 패키징 시장이 중요한 국면에 진입

\* 칩렛, 첨단 기판 등에 초점을 맞춘 민간 부문 R&D 확대, 미국의 「반도체·과학법」과 같은 산업정책 투자 등

- 중국이 ▲전기차·태양광 패널 등 와이드 밴드갭 반도체용 다운스트림 애플리케이션 제조 분야 리더십 ▲대규모 일반 패키징 역량 등의 강점을 보유하고 있음에도, 첨단 패키징 개발에 필요한 모든 분야를 주도하는 것은 아니며 장기 리더십도 보장되지 않은 상황
- 대만의 경우 TSMC의 선도적 CoWoS\* 제품과 장비·패키징 재료 공급업체 생태계에 힘입어 현재 첨단 패키징 분야를 선도하는 것으로 평가되고 있으나, 업체 역량은 Nvidia, AMD 등 미국 팹리스 기업과의 긴밀한 시스템 설계 협력에 좌우
  - \* 'CoW(Chip-on-Wafer)'와 'WoS(Wafer-on-Substrate)'로 구성된 2.5D 및 3D 패키징 기술
  - ※ Nvidia의 Hopper H200, AMD의 Ryzen-16 코어 패키지가 각각 핵심 시장을 선도
- 후공정위탁생산(OSAT) 경쟁에서 미국 Amkor와 대만 ASE가 중국 JCET와 Tongfu 대비 첨단 패키징 기술 우위를 유지하고 있으며, 주요 OSAT 업체는 미-중 긴장 고조로 생산지를 중국에서 동남아 등 지역으로 이전하는 추세
- 그럼에도 최근 중국 첨단 패키징의 발전 양상을 경시하지 않아야 하며, 미국의 수출 규제가 중국 첨단 패키지 생태계의 혁신 속도를 앞당겼다는 점에 대해 중국과 해외 전문가들 간 광범위한 공담대가 형성되어 있다는 점에 유의 필요
  - 중국이 '22.10월 이전부터 첨단 패키징 분야가 미국을 추월할 수 있는 기회임을 인식해 막대한 규모의 투자를 단행해 왔고, 다른 반도체 생태계와 달리 패키징 분야에서는 중국과 미국이 비슷한 '출발선'에서 시작하고 있다는 점이 중요
  - 장기적으로 한 국가의 패키징 산업 리더십 확보 여부는 후공정위탁생산(OSAT) 기업, 종합반도체업체(IDM), 설계업체, 전자설계자동화(EDA) 기업, 파운드리, OEM 등 광범위한 기업 간의 효과적 협력에 크게 좌우될 전망
  - 따라서 중국이 미국의 통제에 대응하여 자국 반도체 및 전자제품 제조 생태계 전반의 협력을 강화하고 있다는 사실은 또다른 이점으로 작용할 가능성이 높은 편

- ▲트랜지스터 밀도 ▲첨단 패키징 혁신과 같은 공정 상의 변화 중 어떤 요인이 미래 반도체 산업의 발전 동력으로 작용하게 될지는 아직까지 불분명한 상태
  - 미국과 미 동맹국이 통제하고 있는 EUV 리소그래피 등의 분야가 계속해서 PPAC\* 개선에 중요한 역할을 담당할 가능성이 높는데, 이는 자국 내 대안 개발에 어려움을 겪는 중국 대비 미국 기업이 해당 기술 역량을 바탕으로 칩 경쟁 전반의 이점을 확보할 수 있음을 의미
    - \* 전력, 성능, 면적, 비용
  - 그럼에도 첨단 패키징 기능과 첨단 제조 장비를 통합하는 것이 미국과 미 동맹국의 반도체 리더십을 유지하는 가장 유망한 방법에 해당하며, 미국은 반도체 산업의 타 영역에서 우위를 유지하고 있더라도 중국이 첨단 패키징 분야 리더십을 확보하도록 용인할 수 없는 상황에 직면



## IV. 결론 및 시사점

### ■ 반도체 수출 통제에 대한 미국의 새로운 접근 방식은 단순히 적대국과의 격차를 유지하는 수준을 넘어 기술 우위를 최대한 확대하려는 시도에 해당

- 다만 수출 통제 전략으로 인해 Design out, Design around 등 다양한 중국측 대응방안이 촉발되었는데, 두 전략 모두 장기적으로 미국 칩 생태계에 심각한 영향을 미칠 수 있는 가능성 보유
  - 특히 첨단 패키징은 중국의 반도체 업계가 공급망 부문의 기존 이점을 활용하여 미국과 미 동맹국의 칩 제조 기술을 사용하지 않고도 혁신에서 앞서 나갈 수 있는 기회 제공
- 현재 첨단 패키징 기술에 초점을 맞춘 새로운 수출 통제가 검토 중인 것으로 알려져 있으나, 칩 제조장비 대비 낮은 산업 진입 장벽, 광범위하게 분산되어 있는 글로벌 공급망, 중국 내 기존 시설과 노하우 등으로 인해 해당 조치의 효과가 크지 않을 것으로 예상
  - 실제로 수출 통제가 중국 경쟁업체에 제약을 가하기 보다 첨단 패키징 분야 성장을 모색하는 미국 기업에 더 큰 타격을 입힐 가능성이 있는 만큼, '보호'보다 경제 안보 '촉진'이 중국 패키징 기술 발전에 대한 대응 방안으로서 효과적일 수 있다는 의견 부각
- 통상적으로 패키징 부문은 낮은 이윤과 노동 집약도로 인해 미국의 투자 대상으로서 선호도가 낮았으나, 관련 부가가치가 증가하고 공장 자동화가 확장되면서 상황이 반전
  - 「반도체·과학법」에 따른 국가 첨단 패키징 제조 프로그램(NAPMP)\*은 미국 내 패키징 산업 성장을 위한 정부 조치로, 칩렛 등 5개 패키징 R&D 분야에 16억 달러 투입 예정
    - \* (National Advanced Packaging Manufacturing Program) 미국 내 경쟁력 있는 첨단 패키징 생태계 구축을 위해 국립표준기술연구소(NIST)가 주관하는 정부 이니셔티브
  - 패키징 기술의 온소어링이 증가한다고 해서 미국이 패키징 분야의 핵심 초크포인트를 통제할 수 있게 되는 것은 아니지만, 이를 통해 자국 및 동맹국 기업이 중국의 우수 기술로 대체될 위험성은 완화 가능
    - ※ 그 외 중국 기업이 첨단 패키징 분야 글로벌 프로토콜과 기술 표준 설정을 주도함으로써 미래 패키징 리더십을 공고화하지 못하도록 방지하는 효과도 기대
- 중국 첨단 패키징 업계의 주요 목표는 첨단 칩 및 관련 제조 장비에 대한 미국의 통제를 우회하는 것으로, 실제 일정 성과를 도출한 것으로 분석

- 중국은 칩렛 등에 대한 투자를 통해 과거 최첨단 리소그래피 장비와 투입물을 사용해야만 가능했던 수준의 처리 능력과 가격 경쟁력 등을 갖춘 다양한 전자 시스템을 근시일내 구현할 수 있을 것으로 예상
  - ※ 패키징 분야 핵심 선도국이 아닌 미국은 중국의 부상을 효과적으로 저지하지 못하는 상황에 직면
- 이와 관련해 광범위한 수준의 정책 전환으로서 이전 '단계적 조정(sliding scale)' 방식으로 회귀하는 방안은 정치적 실행 가능성이 낮고 이미 자국 산업계에 가해진 피해를 되돌릴 가능성이 낮다는 점에서 실효성이 부족
- 중국 미국과 미 동맹국이 경제 안보 규정을 강화하기 전부터 이미 기술적 자립을 위한 조치를 추진해 왔으며, 지난 2년간의 미 수출 통제가 이러한 움직임을 한층 강화시키는 요인으로 작용
- 수출 통제로 인해 중국 첨단 패키징 분야의 자체 개발 역량이 제고되었다는 사실보다 중국 업계와 정부가 미국의 첨단 필수 품목은 언제든지 통제될 수 있어 신뢰하기 어렵다는 인식을 갖게 되었다는 점이 중요
  - ※ 미국이 경제와 국가 안보를 융합시키면서 최첨단 핵심 상품에 대한 통제 가능성이 확대되고 있으며, 이는 중국 구매자들의 선호도를 저하시키는 결과로 연결
- 핵심유망기술(CET) 관련 항목의 통제를 완화하여 정책 공백을 조정하는 방안은 중국의 Design out 및 Design around 조치를 되돌리기에는 너무 늦고 효과적이지 않을 것으로 예상
- 미국 정부는 Design out 및 Design around으로 자국 업계가 직면하게 될 불가피한 손실\*을 보전하기 위해 ▲협력국·동맹국과의 협력 강화를 통한 국가 주도적 투자 조율 ▲제조 확대 ▲공동 R&D 프로젝트 추진 등의 조치를 추진 가능
  - \* (예) 중국의 첨단 패키징 개발이 미 자본 장비와 칩 구매 감소를 야기
  - ※ 수출 통제가 미국 기업에 미치는 영향 완화 방안은 추후 보고서에서 논의 예정
- 미국 기업이 중국에서 상실한 상업적 기회를 만회할 수 있도록 지원하고 글로벌 시장 접근성을 확대하는 적극적인 무역 정책 수립 또한 유의미한 방안으로 기대

■ 미국 트럼프 2기 행정부 출범 확정 후 글로벌 무역의 불확실성이 증대되는 가운데, 차기 행정부가 과거와 같이 기관(Entity) 기반 수출 통제를 강화하는 동시에, 바이든 정부의 첨단기술 분야 포괄적 통제, 특히 분야 기반 통제를 병행할 것이라는 예상 제기<sup>2)</sup>

2) 무역안보관리원, 무역안보 Brief 미 대선 이후 미국 수출통제 정책의 전망, 2024.10.

- 단기적으로 첨단 기술, 전략 물자에 초점을 맞춰 특정 우려키업에 대한 수출 통제를(Entity List) 심화하는 한편, 민군 겸용 기술의 중국 국방 유입 등의 우회 가능성을 고려해 전반적인 대중 수출통제 강화 조치를 검토할 것으로 전망
  - 특히 중국의 우회 거래 및 기술 토착화를 저지하기 위해 수출 통제 범위를 저사양 반도체까지 대폭 확대하고, 동맹국·협력국의 적극적인 참여와 협력을 압박할 가능성이 높은 상황
- 미·중 무역 의존도가 높은 우리나라의 선제적 대응이 필요한 시점으로, 더욱이 AI 산업의 핵심 인프라 중 하나인 고대역폭 메모리(HBM) 수출 통제 논의가 진행되고<sup>3)</sup> 있는 만큼 삼성, SK 하이닉스 등 우리 업계에 미칠 영향에 촉각
  - ※ '24 한미 경제안보회의에서 미국 측은 HBM 시장을 주도하고 있는 삼성, SK 하이닉스에 대중 수출 통제 동참을 촉구하였으며, 한국 정부와 협의 진행 예상
  - 이에 미국 정부와의 협상에서 우리 국익을 극대화하기 위한 정부의 교섭 역량이 중요해졌으며<sup>4)</sup>, 해당 조치로 인한 중국 AI 반도체 시장 위축 시 우리 업계에 미칠 장기적인 영향에 대비 필요
  - 세부적으로는 수출 통제 대응을 위한 산업부 내 인력 및 무역 안보 투자 확대를 통해 정부의 대응 역량을 제고하는 방향이 실효적일 것으로 예상<sup>5)</sup>
  - ※ 우리 정부의 수출 통제 관련 인원은 미국 554명, 일본 170명에 비해 적은 34명에 불과

■ 한편, 미국의 반도체 수출 통제 이후 첨단 패키징 분야가 미·중 경쟁의 전략적 요충지이자 핵심적인 혁신 동력으로 부상하는 가운데, 패키징 업계 점유율이 하락하고 있는 우리나라의 경쟁력 제고가 시급<sup>6)</sup>

- 우리나라의 글로벌 패키징 시장 점유율은 '21년 6%에서 '23년 4.3%로 감소하였고, 기준 글로벌 10대 패키징 기업 중 국내 업체가 전무한 실정('21)
  - 첨단 패키징은 대만과 미국이 주도하고, 일반 패키징은 말레이시아와 중국이 역량을 끌어올리고 있는 상황에서, 삼성전자와 SK 하이닉스가 첨단 패키징 핵심 소재·장비의 95% 이상을 해외 수입에 의존
  - ※ 대만 TSMC가 첨단 패키징·테스트 투자 및 생태계 구축 노력에 힘입어 파운드리 시장을 선도할 수 있는 것으로 분석되는 반면, 우리나라의 첨단 패키징 기술 수준은 대만에 비해 약 10년 뒤쳐진 것으로 평가<sup>7)</sup>

3) TrendForce, U.S. Urges South Korea to Tighten Chip Export Controls to China, 2024.9.13

4) 연합뉴스, 美 '중국 겨냥' 차세대반도체 수출통제, 韓 영향은 '미미', 2024.9.6

5) 한경, 美 '글로벌 수출통제 전쟁' 막 올랐는데...한국 '선택 기로에', 2024.10.3

6) 중앙일보, '패키징 혁명' 흐름 타려면 반도체 생태계부터 살려야, 2024.9.4

7) ZDNet Korea, 대만이 싸늘이 한 반도체 후공정 산업...한국은 10년 뒤쳐져, 2023.2.22

- 현재 과기부 및 산업부가 첨단 패키징 원천기술 확보 등을 위한 사업 계획을 수립한 가운데, 업계 자체적으로도 패키징 역량 제고에 노력을 기울이고 있으므로\*, 인력 양성, 금융, 인프라 등의 측면에서 정책적 지원이 충분히 제공될 수 있는 세부 방안 확충이 중요

※ ▲(과기부) 「반도체 미래기술 로드맵」을 기반으로 3D 적층, 고효율·미세피치 패키징, 초미세기판 등 첨단 패키징 원천기술\* 확보에 '24년부터 5년간 1,000억 이상을 투입해 R&D, 인력 양성, 국제 협력 사업 추진 예정<sup>8)</sup> ▲(산업부) 패키징 산업 경쟁력 강화를 목표로 3개 사업, 7개 전략과제에 '25~'31년까지 2,744억원의 사업비를 투입하고, 그 중 기술선도형 첨단패키징 기술개발사업을 통해 첨단 패키징 기술 개발을 진행할 계획<sup>9)</sup>

\* (예) 삼성전자는 패키징 경쟁력 강화를 위해 조직 개편, 인력 확보를 추진하고 미국 텍사스 패키징 R&D 센터 구축 등 투자를 확대<sup>10)</sup>

---

8) 동아일보, “5년간 1000억 투입”...정부, 반도체 첨단 패키징 기술 본격 육성, 2023.11.30

9) 전자신문, [반도체 한계를 넘다] “첨단 패키징 경쟁력 확보”...2744억 투입 R&D 내년 가동, 2024.10.17

10) 머니투데이, 한국 4% vs 대만 46% ...삼성-TSMC 가른 '패키징 생태계', 2024.9.2

# 산업기술정책 브리프 발간현황

## 2024년

호수	제목	발간연월
2024-01	영국 배터리 전략	2024.01
2024-02	수소의 현실적 한계와 대응 정책 고찰	2024.02
2024-03	일본 바이오 산업 과제와 정책 대응 방향 고찰	2024.03
2024-04	디지털 배터리 여권 시행에 따른 기회와 과제 고찰	2024.04
2024-05	미국 반도체 산업 인력 정책 제언	2024.05
2024-06	일본 자동차 산업의 모빌리티 DX 전략	2024.06
2024-07	일본 통합혁신전략 2024	2024.07
2024-08	글로벌 생성형 AI 특허 현황	2024.08
2024-09	중국 전기차 및 배터리 산업의 혁신 현황	2024.09
2024-10	ASPI 핵심 기술 연구 성과 모니터링	2024.10
2024-11	미국 반도체 수출 통제의 한계 고찰	2024.11

## 2023년

호수	제목	발간연월
2023-01	미국 바이오제조 증진을 위한 정책 권고	2023.01
2023-02	중국 산업 디지털화·친환경화 통합 발전 제언	2023.02
2023-03	유럽 넷제로 시대를 위한 그린딜 산업계획	2023.03
2023-04	EU 전략기술 공급망 분석 및 재료 수요 예측	2023.04
2023-05	미국 국가반도체기술센터(NSTC)의 비전과 전략	2023.05
2023-06	주요국 반도체 정책과 미 의회 역할 검토	2023.06
2023-07	글로벌 자율주행 정책 및 산업 동향	2023.07
2023-08	글로벌 핵심 광물 시장 동향	2023.08
2023-09	글로벌 원자력 보급 과제와 대응 조치 고찰	2023.09
2023-10	중국 기술 정책 현황 및 미국의 대응 방향	2023.10
2023-11	EU 우주, 방위 및 관련 민간 산업의 미래 핵심 기술 분석	2023.11
2023-12	미국 핵심·신흥기술 수출통제 조치 고찰	2023.12

## ■ 2022년

호수	제목	발간연월
2022-01	OECD, 국경을 초월한 정부 혁신 달성의 주요 내용과 시사점	2022.01
2022-02	2022 글로벌 에너지 의제	2022.02
2022-03	일본 에너지 기반 산업의 녹색전환(GX) 방향성	2022.03
2022-04	2050 미래 우주 공간 활용: 영국 국가우주전략의 새로운 기회와 위협	2022.04
2022-05	영국 에너지 안보 전략	2022.05
2022-06	유럽 청정에너지 전환에 따른 금속 수요 전망 및 대응	2022.06
2022-07	주요국 제조업 디지털화 정책 추진 현황	2022.07
2022-08	인도-태평양 지역의 수소 개발 비전과 주요 정책 동향	2022.08
2022-09	중국 CCUS 실증·보급 현황 및 정책제언	2022.09
2022-10	미국 에너지부 산업 탈탄소화 로드맵	2022.10
2022-11	미국 첨단제조 국가 전략	2022.11
2022-12	글로벌 인재 이동 동향 및 시사점	2022.12

## ■ 2021년

호수	제목	발간연월
2021-01	유럽 녹색산업정책을 위한 제언	2021.01
2021-02	글로벌 디지털 경제에 대응하는 미국의 대전략 제언	2021.03
2021-03	기후 주도 무역 아젠다를 위한 제언	2021.04
2021-04	중국 14.5규획과 전략적 신흥산업 육성계획의 주요 내용 및 시사점	2021.05
2021-05	산업단지의 순환경제 도입 현황 및 전망	2021.06
2021-06	유럽 그린딜에서의 인공지능 역할과 시사점	2021.07
2021-07	미국 공급망 100일 검토 보고서의 주요 내용 및 시사점 ① : 반도체 및 배터리	2021.07
2021-08	미국 공급망 100일 검토 보고서의 주요 내용 및 시사점 ② : 핵심 광물·소재 및 의약품	2021.08
2021-09	유럽 첨단기술 동향 및 차세대 신흥기술 확산 전망 고찰	2021.10
2021-10	OECD의 지속가능개발목표(SDG) 달성을 위한 산업정책의 주요 내용 및 시사점	2021.11
2021-11	IEA 글로벌 수소리뷰 2021의 주요 내용 및 시사점	2021.12
2021-12	CX2030 가상현실에 의한 '30년 커뮤니케이션 전환	2021.12

## ■ 2020년

호수	제목	발간연월
2020-01	주요국의 연구개발 전략 분석 : 유럽연합(EU)·영국·독일·프랑스	2020.01
2020-02	일본, 제 11차 과학기술예측조사를 통해 본 '과학기술 발전에 따른 사회의 미래상'	2020.02
2020-03	자율주행 기술에 관한 미국의 리더십 확보 전략 : AV 4.0	2020.04
2020-04	주요국 규제 사례를 통해 본 혁신 친화적 규제 접근방식의 주요 내용과 시사점	2020.04
2020-05	코로나19 위기에 대응한 OECD의 분야별 정책 권고 주요 내용	2020.06
2020-06	혁신 창출 환경 및 주요 산업별 혁신 변화의 추이와 전망	2020.07
2020-07	영국의 넷제로(Net-Zero) 경제로의 전환을 위한인력 정책 방향 제언	2020.08
2020-08	EU·독일·호주 수소전략의 주요 내용 및 시사점	2020.08
2020-09	최근 미국과 중국 AI 정책동향 및 시사점	2020.09
2020-10	연구개발·혁신 파이낸싱 동향과 정책 과제	2020.10
2020-11	글로벌 반도체 산업 동향과 미국의 국가 간 공조를 통한 산업 발전 방안 제언	2020.11
2020-12	디지털 시대의 혁신 활성화를 위한 정책	2020.12

## ■ 2019년

호수	제목	발간연월
2019-01	「미국 혁신 촉진을 위한 투자수익 이니셔티브」 독서 초안	2019.01
2019-02	주요국 연구자금 지원기관 조직설계 및 거버넌스	2019.02
2019-03	중국의 인공지능 정책과 연구개발 동향	2019.03
2019-04	독일의 포괄적인 AI 생태계 조성 전략	2019.05
2019-05	일본의 인공지능(AI) 정책 동향	2019.05
2019-06	OECD 국가의 디지털 혁신 정책 현황	2019.06
2019-07	중국 : 산업 및 혁신강국으로의 도전과 전망	2019.07
2019-08	영국의 전기자동차 스마트 충전기 보급방안	2019.08
2019-09	Horizon Europe(2021-2027)의 산업혁신 프레임워크	2019.09
2019-10	AI 산업 및 국가별 정책 동향	2019.11
2019-11	주요국의 R&D 예산 및 투자 전략(I):미국의 NITRD와 EU의 다년도 지출예산(안)을 중심으로	2019.12
2019-12	주요국의 R&D 예산과 투자 전략(II):R&D 및 기업지원 예산을 중심으로	2019.12
2019-13	주요국의 R&D 전략과 예산배분 시스템, 기술분야별 연구개발 전망	2019.12
2019-14	주요국의 연구개발 전략분석 :미국·일본·중국·인도	2019.12

※ 발간물은 KIAT홈페이지([www.kiat.or.kr](http://www.kiat.or.kr))를 통해 열람 가능





**kiat** 산업기술정책 브리프  
KIAT Industrial Technology Policy Brief

---

발행일	2024년 11월
발행처	한국산업기술진흥원 산업기술정책단 기술동향조사실
발행인	민병주 원장
기획/진행	문희수 실장, 정희상 연구원
주소	서울시 강남구 테헤란로 305 한국기술센터 4층 산업기술정책단 기술동향조사실 02-6009-3593 www.kiat.or.kr

---

※ 본 자료에 수록된 내용은 한국산업기술진흥원의 공식견해가 아님을 밝힙니다.

※ 본 자료의 내용은 무단 전재할 수 없으며, 인용할 경우 반드시 원문출처를 명시하여야 합니다.

# 미국 반도체 수출 통제의 한계 고찰