

# 미국 반도체 수출통제 확대조치의 영향과 시사점

김혁중 세계지역연구센터 미주팀 부연구위원 (hjkim@kiep.go.kr, 044-414-1166)

연원호 무역통상안보실 경제안보팀장 (whyeon@kiep.go.kr, 044-414-1022)



## 차 례

1. 개요
2. 미국 반도체 수출통제 확대조치의 주요 내용
3. 영향 및 시사점

## 주요 내용

- ▶ 미국 산업안보국(BIS: Bureau of Industry and Security)은 기존의 대중국 반도체 수출통제 조치(2022. 10. 7.)를 확대 보완하는 새로운 조치를 발표함(2023. 10. 17.).
  - 기존 수출통제의 주요 구성 요소였던 ① 첨단 반도체 제조 관련 품목과 ② 첨단 컴퓨팅 관련 반도체 제재가 모두 확대되었으며, 이와 함께 ③ Entity List에 13개 AI 반도체 중국기업을 추가함.
- ▶ BIS의 이번 조치는 제재 범위를 넓히고 기존 수출통제를 우회하려던 중국의 시도를 차단하려는 것이 핵심 목적임.
  - ① 반도체 제조장비 관련 새로운 종류의 반도체 제조장비들을 통제 대상에 추가하였으며 ② 첨단 컴퓨팅 및 슈퍼컴퓨터 관련 반도체 분야에서는 '양방향 교신속도 기준'을 삭제하고 '성능 밀도(performance density)'라는 개념을 새롭게 제시하여 수출통제 대상 반도체의 범위를 대폭 확대함과 동시에 사전허가제를 도입함.
- ▶ 한미 정부는 기존의 VEU(Validated End-User) 프로그램 및 리스트 업데이트를 통해 당분간 우리 기업의 중국 내 반도체 생산에 큰 차질이 없도록 조치함.
  - 그러나 VEU를 통한 예외 인정은 기본적으로 미(美) BIS의 기존 수출통제 조치(2022. 10. 7.)에 국한된 것이며, 이외의 EUV 노광장비와 같은 핵심 장비에 대한 대중국 수출통제는 예외 없이 지속 적용된다는 점에서 문제가 완전히 해결된 것은 아님.
- ▶ 이번 조치로 인해 중국의 반도체 제조장비 및 AI 반도체 국산화 노력이 가속화될 것이라는 점과 미국의 AI 반도체 분야 대중국 견제기조가 대폭 강화되었다는 점에서 우리 기업의 선제적인 대비가 필요함.
  - 중국 반도체 제조장비의 부상은 각 분야에서 독과점적 지위를 구축하고 있는 미국·네덜란드·일본과 비교할 때 중국 장비업체와 보다 가까운 경쟁 관계에 있는 한국 반도체 제조장비 기업에 더 위협이 될 수 있음.
  - 미국이 중국의 우회로를 차단하기 위해 실질 성능을 기준으로 반도체 수출통제를 추진한다는 점에서 고성능 AI 연산에 필요한 HBM 반도체에 대한 미국의 경계심에도 주의를 기울여야 함.

## 1. 개요

■ 미국 산업안보국(BIS: Bureau of Industry and Security)은 기존 대중국 반도체 수출통제(2022.10.7.)<sup>1)</sup>에 대한 확대보완 조치를 발표함(2023.10.17.).

- 이번 조치에서는 기존 수출통제의 주요 구성 요소였던 ① 첨단 반도체 제조 관련 품목과 ② 첨단 컴퓨팅 관련 반도체 제재가 모두 확대되었으며, 이와 함께 ③ Entity List에 13개 AI 반도체 중국기업이 추가되었음.
- ① 첨단 반도체 제조 관련 품목과 ② 첨단 컴퓨팅 관련 반도체에 대한 조치들은 의견 수렴 과정을 거쳐 2023년 11월 17일부터 시행될 예정이며, ③ Entity List 확대에 관한 내용은 즉시 시행됨(2023. 10. 17.).

■ [배경] 기존 수출통제에 대해 중국은 관련 해당 조치를 우회하려는 시도를 다양하게 해왔으며, 결과적으로 기존 수출통제 조치가 중국 반도체 산업 경쟁력 및 AI 연구 수준 제고를 제한하는 데 한계가 있었다는 인식이 존재했음.

- 중국은 ① 클라우드 서비스 이용<sup>2)</sup> ② 업계가 수출통제 조치에 대응해 출시한 수출통제선 이하 등급의 반도체 사용<sup>3)</sup> ③ 감시망 밖의 반도체 제조기지 구축<sup>4)</sup> ④ 반도체 자급화 촉진<sup>5)</sup> 등을 통해 대응해오고 있었음.

■ [핵심 내용] BIS의 이번 확대조치는 제재 범위를 넓히고 기존 수출통제를 우회하려던 시도를 차단하는 것이 핵심 목적임.

- 반도체 제조장비와 첨단 컴퓨팅 반도체에 대한 통제 범위가 상당히 확대되었음.
- 지나 러먼도 미 상무부 장관은 “오늘(2023. 10. 17.)의 업데이트된 규정이 수출통제의 유효성을 강화하고 우리의 규제에 대한 우회로를 차단할 것이다”라고 평가하며, 확대조치의 주목적이 기존 수출통제의 한계를 보완하는 데 있음을 밝힘.<sup>6)</sup>

■ 이에 본고에서는 ① 첨단 반도체 제조장비와 ② 첨단 컴퓨팅 관련 반도체 수출통제의 핵심 내용을 소개하고, ③ 업계에 미칠 수 있는 영향을 분석하고자 함.

- 반도체 제조장비 측면에서는 새롭게 추가된 반도체 제조장비에 대해 살펴보고, 중국 내 반도체 제조 관련 통제에서 변경된 사항을 파악하고자 함.

1) Federal Register(2022. 10. 7.), “Implementation of Additional Export Controls: Certain Advanced Computing and Semiconductor Manufacturing Items; Supercomputer and Semiconductor End Use; Entity List Modification” 87 FR 62186.

2) Financial Times(2023. 3. 9.), “Chinese AI groups use cloud services to evade US chip export controls”(최종 검색일: 2023. 10. 22.).

3) Reuters(2022. 11. 8.), “Exclusive: Nvidia offers new advanced chip for China that meets U.S. export controls”(최종 검색일: 2022. 11. 8.).

4) Bloomberg(2023. 8. 23.), “Huawei Building Secret Network for Chips, Trade Group Warns”(최종검색일: 2023. 10. 22.).

5) 중국은 약 400억 달러 규모의 빅펀드 3기 출범을 앞두고 있으며, 이를 통해 반도체 제조장비 측면에 집중할 것으로 보도됨. Reuters(2023. 9. 5.), “Exclusive: China to launch \$40 billion state fund to boost chip industry”(최종 검색일: 2023. 10. 22.).

6) BIS 보도자료(2023. 10. 17.), “Commerce Strengthens Restrictions on Advanced Computing Semiconductors, Semiconductor Manufacturing Equipment, and Supercomputing Items to Countries of Concern.”

- 첨단 컴퓨팅 및 슈퍼컴퓨터 부문에서는 확장된 첨단 컴퓨팅 반도체 범위에 대해 살펴보고, 이와 관련된 첨단 컴퓨팅 신고제도에 대해 살펴보고자 함.

## 2. 미국 반도체 수출통제 확대조치의 주요 내용

### 가. 첨단 반도체 제조 관련 품목

■ **[요약]** 첨단 반도체 제조시설에 대한 잠정 최종 규정(interim final rule)의 주요 내용은 다음과 같음.

- 새로운 종류의 반도체 제조장비들이 통제 대상에 추가되고, 적용 대상 국가를 확대함.
- ‘미국인’의 지원 행위에 대한 적용 대상 국가는 확대하되 제한 사항을 일부 조정함.

#### 1) 새롭게 추가되는 반도체 제조장비

■ **[웨이퍼]** 진공 및 불활성 가스 환경에서 실리콘(및 탄소 도핑된 것), 실리콘게르마늄(및 탄소 도핑된 것)을 적층 성장(epitaxial growth)시키는 장비가 새로 추가됨.

- 적층 성장은 실리콘 위에 규칙적으로 배열된 결정질 구조를 갖춘 층을 성장시켜 전자의 이동을 원활하게 돕는 과정으로 고성능, 고품질 트랜지스터 제조에 필요하며,<sup>7)</sup> 새로 추가된 품목은 반도체 제조 과정상 진공 및 불활성 가스 환경에서 순수하고 제어된 환경의 적층 성장 공정을 진행할 수 있도록 돕는 역할을 하고 있음.<sup>8)</sup>

■ **[식각]** 이번 확대조치에서는 첨단 반도체 제조에 필수적인 새로운 종류의 식각<sup>9)</sup>장비가 대거 등장함.

- 식각장비(3B001.c)는 비(非)바세나르 협약국에서도 생산되는 관계로 2015년 통제 대상에서 삭제됐지만, 이번 확대조치에서 추가된 원자 단위의 세밀한 식각장비(atomic layer etching)는 바세나르 협약국에서만 생산하므로 이번 확대조치에 새로 추가됨.<sup>10)</sup>
  - 추가된 등방성(isotropic) 건식 식각장비(3B001.c.1.a)는 측면 식각(lateral etching)에 필요하며, 특히 SiGe:Si 선택비 100:1 이상의 고수준 장비는 GAAFET(Gate-All-Around Field Effect Transistor)를 비롯한 3D 구조의 차세대 소자를 만드는 데 필요함.
  - 위와 같은 이유로 고수준의 비등방성(anisotropic) 식각장비(3B001.c.1.b)도 추가됨.
  - 높은 SiGe:Si 선택비를 갖춘 습식 식각장비(wet chemical processing; 3B001.c.2)는 첨단 기술 공정의 반도체 제조에 필요함.

7) 진종문(2021. 9. 14.), 「[반도체 특강] 초순수 위에 극초순수를 쌓다, 에피택시(Epitaxy) 기술」, SK하이닉스 뉴스룸.

8) BIS(2023. 10. 25.), “Export Controls on Semiconductor Manufacturing Items,” Federal Register 88 FR 73424 p. 73438.

9) 식각이란 웨이퍼에서 원하지 않는 부분을 선택적으로 제거하는 공정임.

10) BIS(2023. 10. 25.), “Export Controls on Semiconductor Manufacturing Items,” Federal Register 88 FR 73424 p. 73438.

■ **[증착]** BIS는 기존 수출통제에서 추가했던 증착<sup>11)</sup>장비(3B090)를 반도체 제조장비(3B001.d)로 옮겨 확대 개편했으며, 모두 첨단 반도체 제조에 필요한 장비들임.

- 증착장비(3B001.d)는 과거 기술 진보와 함께 미국 외 국가에서 생산되기 때문에 통제 대상에서 빠져있었지만, 이번 확대조치에서는 지난 수출통제에서 추가했던 3B090을 확대 개편하는 방향으로 등장함.<sup>12)</sup>
  - 지난 수출통제에는 코발트, 텅스텐, 질화티타늄(TiN), 질화텅스텐(WN), 구리 등을 증착하는 다양한 증착 장비와 3D 구조의 디램, 낸드나 FinFET, GAAFET와 같은 소자를 생산할 때 필수적인 ALD(Atomic Layer Deposition) 장비가 추가된 바 있음.
- 이번 확대조치에는 지난 수출통제에 없었던 새로운 증착장비 품목들이 대거 추가됨.
  - 해당 품목들은 식각 선택비 개선(d.5), 결합 및 불순물 최소화(d.9, d.11), 전류 저항 최소화(d.10, d.12, d.13, d.15), 안정성 강화(d.14)를 통해 첨단 반도체 제조에 필수적인 장비라고 할 수 있음.<sup>13)</sup>

■ **[노광]** 이번 확대조치에서는 미세공정의 핵심인 노광장비(3B001.f)에 대한 통제가 강화됨.

- 웨이퍼에 회로도를 인쇄(lithography)하는 노광장비에 대한 수출통제가 대폭 강화되었음.
  - 기존에는 193nm ‘미만’의 파장을 가진 광원(EUV)을 사용하거나 특정 해상도 조건을 만족하는 장비를 통제했으나, 이번 확대조치는 193nm ‘이상’의 파장을 가진 광원(DUV)을 사용하는 노광장비를 명시적으로 수출통제 대상에 포함한 것이 특징임.
- BIS는 특정 노광장비에 최소허용기준(de minimis rule) 0%를 적용함으로써 통제 대상 범위를 확대함.
  - 최소허용기준이란 만약 수출품이 미국이 아닌 다른 국가에서 생산된 것이라면, 미국산 통제 품목(수출 허가가 필요한 미국산 품목)의 가치가 전체의 몇 퍼센트를 초과해야 수출통제를 적용할지 판별하는 기준을 의미함.<sup>14)</sup>
  - 이번 확대조치에서는 파장 193nm 이하, 해상도를 의미하는 MRF가 45nm 이하, 정확도를 의미하는 ‘최대 전용 척 오버레이(maximum dedicated chuck overlay)’<sup>15)</sup>가 1.5nm를 초과하고 2.4nm 이하인 장비(3B001.f.1.b.2.b)에는 최소허용기준(De minimis rule) 0%를 적용함.<sup>16)</sup>
  - ※ 단 미국 기준 외산 제품(예: 네덜란드, 일본의 노광장비)을 생산하는 국가가 미국 ECCN(수출통제관리번호) 3B001.f.1.b.2.b에 준하는 수출통제를 운영하고 있다면 BIS는 해당 최소허용기준 0% 제한을 적용하지 않음.
  - ※ 해당 장비와 관련해 BIS는 일본이 ArF-i(ArF-wet) 노광장비를 비롯한 기타 첨단 반도체 제조장비에 대한 수출통제를 2023년 7월 23일부터 시행 중이라고 각주를 통해 밝히고 있음.

11) 증착이란 웨이퍼에 새로운 막을 형성하거나 금속을 부착시키는 등의 공정을 의미함.

12) BIS(2023. 10. 25.), “Export Controls on Semiconductor Manufacturing Items,” Federal Register 88 FR 73424 p. 73438.

13) *Ibid.*, pp. 73438-73440의 내용을 바탕으로 저자 정리함.

14) 예를 들어 미국산 FPGA(3A001.a.7에 해당)가 600달러이고, 해당 품목이 6,000달러의 독일산 수증착음기에 포함되어 중국으로 수출된다면, 미국산 품목의 가치 10%가 중국에 대한 최소허용기준인 25%에 미달해 해당 사례는 미국 수출관리규정 적용 대상이 아님. 해당 예제는 BIS(2019. 11. 5.), “De minimis Rules and Guideline”에서 차용했음을 밝힘.

15) 기존에 노출된 회로도에 새로운 패턴을 그리기 위해서는 서로 다른 패턴을 정교하게 정렬할 수 있어야 하는데 전용 척 오버레이는 이에 대한 정확도를 의미함.

16) 노광장비에서 세계시장을 선도하고 있는 네덜란드는 이와 대동소이한 수출통제 규정을 시행해 미국 주도의 수출통제에 동참한 바 있으나, 네덜란드 규정은 최대 전용 척 오버레이가 1.5nm 이하인 장비에만 적용하는 것이 특징임. STAATSCOURANT(2023. 6. 23), “Regeling van de Minister voor Buitenlandse Handel en Ontwikkelingssamenwerking van 23 juni 2023, nr. MinBuza.2023.15246-27 houdende invoering van een vergunningplicht voor de uitvoer van geavanceerde productieapparatuur voor halfgeleiders die niet zijn genoemd in bijlage I van Verordening 2021/821 (Regeling geavanceerde productieapparatuur voor halfgeleiders).”

- ASML은 네덜란드 수출통제(2023.9.1.)가 ArF-i 노광기인 NXT:2000i 이후 모델에만 적용된다는 입장을 발표했지만,<sup>17)</sup> 이번 조치로 인해 NXT:2000i 바로 아래 단계인 NXT:1980i도 영향을 받을 가능성이 있음.

표 1. ASML의 노광기 목록과 수출통제와의 관련성

분류	제품명	제원			비고
		해상도 (nm)	전용 척 오버레이 (nm)	웨이퍼 처리량 (시간당)	
EUV	TWINSKAN NXE:3600D	13		≥160	중국 내 수출 금지
	TWINSKAN NXE:3400C	13	≤1.4	≥135	
ArF-i	NXT:2100i	≤38	≤0.9	295	네덜란드의 2023. 9. 1. 조치로 수출 허가 필요
	NXT:2050i	≤38		295	
	NXT:2000i	≤38		275	
	NXT:1980i	≤38	≤1.6	≥275	미국 확대조치 영향권임(f.1.b.2.b)
	NXT:1965Ci	≤38	≤2.5	≥250	수출통제 대상 아님

주: ArF-i 이상의 장비를 열거함. 본고 작성 시점(2023. 10. 24.) 기준으로 ASML이나 BIS는 공식적으로 NXT:1980i가 수출통제 대상이라고 밝힌 바 없음.

자료: ASML의 제품 소개 글을 华泰证券(2023. 10. 18.), 「美国半导体出口限制新规解读」를 통해 재인용함.

■ **[EUV 관련 품목 및 장비]** 이번 확대조치에는 첨단 반도체 제작의 핵심인 EUV 노광 공정을 뒷받침하기 위한 품목과 장비들이 대거 추가됨.

- **[EUV 마스크]** EUV 마스크란 EUV 빛을 선택적으로 반사하는 거울을 통해 웨이퍼에 회로도를 인쇄할 수 있도록 돕는 필수 소재로, 해당 소재가 없다면 EUV 노광 공정 진행이 불가능함.
  - 해당 소재의 중요성을 고려해 BIS는 EUV 마스크 제작장비(3B001.k)를 수출통제 품목에 추가함.
- **[EUV 펠리클]** EUV 펠리클이란 EUV 마스크를 오염으로부터 보호하는 소재로,<sup>18)</sup> EUV를 사용한 노광 공정에서 원가절감과 수율 향상을 위해 필수적임.
  - 해당 소재의 중요성을 고려해 BIS는 EUV 펠리클(3B001.l)과 EUV 펠리클 제작장비(3B001.m)를 수출통제 품목에 추가함.
- **[EUV 트랙]** 트랙이란 노광 공정의 핵심인 빛에 반응하는 소재(포토레지스트)를 해당 공정 앞뒤에서 웨이퍼에 바르고(도포) 굳히는(경화) 작업 등을 수행하는 장비인데, 노광기와 마찬가지로 해당 장비 없이는 노광 공정 진행이 불가능하며, 이번 확대조치에서 EUV 트랙(3B001.n)이 새로 등장하였음.

■ **[기타 장비]** 이번 확대조치에는 △첨단 공정에서 중요성이 강조되는 어닐링 장비(3B001.o)<sup>19)20)</sup>와 △반도체 제작 과정에서 불순물을 제거하는 세척 공정에 사용되는 장비도 수출통제 품목에 추가됨.

17) ASML(2023. 6. 30.), "Statement regarding Dutch government's export control regulations announcement"(최종 검색일: 2023. 10. 24.).

18) 해당 품목은 소재로 볼 수도 있으나 BIS의 상무통제리스트(CCL)는 이를 '장비'로 분류하고 있음에 유의해야 함. 일반적으로 해당 품목을 소재로 본다는 점에서 본 고는 소재로 칭하고 있음.

19) 어닐링은 반도체 제작 과정에서 훼손될 수 있는 웨이퍼를 회복시키는 과정임. 진중문(2021. 9. 14.), 「[반도체 특강] 웨이퍼를 담금질하다: 파괴를 복원하는 어닐링(Annealing)」, SK하이닉스 뉴스룸.

20) BIS(2023. 10. 25.), "Export Controls on Semiconductor Manufacturing Items," Federal Register 88 FR 73424 p. 73440.

■ **[사전허가 필요 대상국 확대]** 이 밖에도 통제 사유에 따른 사전허가 대상 수출국 범위가 확대됨.

- 통제 대상 품목은 어느 국가에 수출되느냐에 따라 허가 대상 여부가 달라질 수 있는데, 이러한 사전허가를 받아야 하는 국가는 BIS가 해당 품목을 통제하는 사유(지역 안정, 국가안보 등)에 달려 있음.
- BIS가 이번 수출통제에서 새롭게 선보인 신규 품목들(3B001.a.4, c, d, f.1.b, k에서 p)에 대한 사전허가 요건은 모두 마카오를 비롯해 ‘미국 수출관리규정 740부 부록 1’에 따른 미국 무기 embargo국(D:5)<sup>21)</sup>에 수출하거나 이전할 때 적용됨.

**2) 미국인의 중국 반도체 제조시설에 대한 지원 행위 제한**

■ 광범위하게 정의된 ‘미국인’의 지원은 중국의 반도체 제조시설 운영을 위한 필수 요소라고 할 수 있음.

- **[목적]** 반도체 제조장비 수출통제가 신규 장비에 대한 접근을 차단하기 위함이라면, ‘미국인’의 지원 제한 조치는 이미 사용하는 장비의 유지 보수를 어렵게 만드는 통제방식이라고 볼 수 있음.
- **[정의]** ‘미국인’이란, ① 미국 시민권자(citizen), 미국 영주권자(permanent resident alien), 보호 대상자(8 U.S.C, 1324b(a)(3)에 따름) ② 미국법에 따라 조직된 법인(juridical person)과 해외 지사(foreign branch) ③ 미국에 있는 사람(any person in the U.S.)<sup>22)</sup>을 의미하는 광범위한 개념임.<sup>23)</sup>

■ BIS는 이번 확대조치에서 미국인의 중국 반도체 제조시설에 대한 지원 행위에 대한 각종 정의를 구체화하고, 제한 사항 일부를 조정함.

- 기존과 마찬가지로 중국에 있는 ‘첨단 공정 집적회로’<sup>24)</sup> 제조시설에 대한 미국인의 지원<sup>25)</sup>에는 허가가 필요하며, 수출관리규정 적용 대상이 아니더라도 이번 수출통제에서 새롭게 추가된 장비(표 2 참고) 요건을 만족하는 품목과 관련된 지원 행위에도 허가가 필요함.
- 또한 BIS는 기존의 질의응답 자료<sup>26)</sup>에서 밝힌 바와 같이 후공정(조립, 검사 및 패키징 등)과 관련된 지원 행위에 대해서는 미국인의 지원 행위에 대한 통제 대상에서 제외할 것을 명문화함.
- 자연 미국인<sup>27)</sup>이 미국이나 국가그룹 A:5(대한민국 포함)와 A:6에 본사를 두면서 마카오나 미국 무기 embargo국(D:5 국가군; 중국 포함)이 지배(majority-owned)하지 않는 기업(company)을 대신해 고용되거나(employed) 일할(working) 경우는 통제 대상에서 배제함.

21) 중국, 러시아를 포함하는 23개국을 의미함. BIS(2022. 9. 15.), 「수출관리규정(EAR) 740부 부록 1」.

22) ‘사람(person)’이라는 단어는 일반적으로 수출통제에서 미국 시민권자를 비롯한 자연인(natural person), 기업(firm), 정부(government), 정부부처(government department), 정부 위원회(government commission), 노동조합(labor union), 공제 및 사회 조직(fraternal or social organization) 및 기타 비영리 조직을 의미함. 미국 수출관리규정 772부 “Definition of Terms,” p. 32.

23) 미국 수출관리규정(EAR) 772부 “Definition of Terms,” p. 44.

24) ‘첨단 공정 집적회로’는 (A) 비평면 트랜지스터 구조를 갖추거나 16/14nm ‘생산’ ‘기술 공정’을 갖는 로직 반도체 (B) 낸드 128단 이상 (C) 디램 선폭(half-pitch) 기준 18nm 이하의 ‘생산’ ‘기술 공정’을 갖는 반도체를 의미하며, 용어 자체는 이번 확대조치에서 새로 등장했으나 기존 수출통제와 비교할 때 의미는 일맥상통함.

25) 배송(shipping), 전송(transmitting), 국경 내 이전(transferring)하거나 이를 원활하게 하는(facilitating) 행위, 서비스 제공(설치 포함) 행위에는 모두 허가가 필요함. 미국 수출관리규정 744.6(c) “Restrictions on specific activities of “U.S. persons.”

26) BIS(2023. 1. 25.), “FAQs for Interim Final Rule - Implementation of Additional Export Controls: Certain Advanced Computing and Semiconductor Manufacturing Items; Supercomputer and Semiconductor End Use; Entity List Modification.”

27) 자연 ‘미국인’이란 해당 조치 원문에서 Natural ‘U.S. person’이라고 쓰고 있으며 이는 법인이 아닌 개인인 미국 시민권자, 미국 영주권자(permanent resident alien), 보호 대상자(8 U.S.C, 1324b(a)(3)에 따름), 미국에 있는 사람을 뜻하는 것으로 해석할 수 있음.

- 해당 배제조치가 없다면, 법인 소속이 아닌 자연 미국인조차도 개인적으로 미국 무기 엠바고국과 마카오 기업이 아닌 미국에 우호적인 A:5 혹은 A:6 국가에 소속된 기업이나 단체를 위해 일하는 것이 어려울 수 있음.
- BIS는 해당 배제조치를 통해 미국인을 미국 동맹국 정부가 고용해 적절한 통제를 유지하거나 수립하는 활동에 활용할 때 발생할 수 있는 행정 부담을 덜어주는 취지에서 예외 경로를 열어두었다고 밝힘.<sup>28)</sup>

표 2. 확대조치에서 추가된 반도체 장비(ECCN 3B001)

대분류		신규 품목
코드	해당 공정	
<b>ECCN 3B001(전공정 장비)</b>		
a	적층 성장	· [a.4] 실리콘(Si), 실리콘게르마늄(SiGe), 혹은 이를 탄소로 도핑하는 적층 성장장비
b	이온주입	· [개정] 반도체 웨이퍼 가공(wafer fabrication)용으로 한정
c	식각	· [c.1] 건식 식각장비(등방성 및 비등방성 포함) · [c.2] 습식 식각장비: SiGe:Si 선택비가 100:1 이상
d	증착	· 기존 수출통제(22. 10. 7.)에서 추가된 장비(3B090)의 문구 수정 후 일부 품목은 ALD 장비에 한정해 3B001에 편입(d.1, d.2, d.3, d.4, d.6, d.7, d.8) · [d.5] 탄소 경화 마스크 증착장비 · [d.9] 공간적(spatial) ALD 장비 · [d.10] 플라즈마를 활용한(plasma enhanced) 저불소텅스텐(LFW) 막(film) 증착장비 · [d.11, d.12] 진공 및 불활성 가스 환경에서 금속을 증착하는 장비 · [d.13] 루테튬(Ru) 증착장비 · [d.14, d.16] 실리콘 및 탄소 함유 막 제조를 위해 원격 생산된 라디칼로 증착하는 장비 · [d.15] 금속 사이에 비어있는 공간 없이(void free) Low-k 유전층(dielectric layer)을 증착하는 장비
e	웨이퍼 핸들링	· 변화 없음
f	노광	· [f.1.a] 파장 193nm 미만의 광원을 사용하는 장치(이전 수출통제와 동일) · [f.1.b] 파장 193nm 이하의 광원을 사용하면서, [f.1.b.1] MRF(Minimum Resolvable Feature size)가 45nm 이하이고 [f.1.b.2] 다음 중 어떤 것이라도 만족시키는 장비 [f.1.b.2.a] 최대 척 오버레이(dedicated chuck overlay)가 1.5nm 이하 [f.1.b.2.b] 최대 척 오버레이가 1.5nm 초과, 2.4nm 이하 *f.1.b.2.b에 대해서는 최소허용기준 0% 적용
g	마스크와 레티클	· 변화 없음
h	다층 마스크	
i	템플릿	
j	마스크(EUV)	
k	마스크 제작	
l	펠리클	· [l] EUV 펠리클
m	펠리클 제작	· [m] EUV 펠리클 제작장비
n	EUV 트랙	· [n] EUV 노광을 위해 포토레지스트를 코팅(coating), 증착(depositing), 베이킹(baking), 경화(develop)하는 장비
o	어닐링	· 진공 상태(0.01 Pa 이하)에서 작동하는 어닐링 장비
p	세척	· [p.1] 중합체 잔여물(polymeric residue) 및 산화구리(copper oxide) 제거장비 · [p.2] 표면 개질 건조(surface modification drying) 기능을 갖춘 단일 웨이퍼 세척장비 · [p.3] 건식 표면 산화물 제거 사전 세척 또는 건식 표면 오염 제거를 위해 설계된 장비
<b>ECCN 3B002(검사장비)</b>		
c	EUV 마스크	· [c] EUV 마스크 검사장비(확대조치 전에 있던 3B002.c는 3B002.b로 변경)

자료: BIS(2023. 10. 25.), "Export Controls on Semiconductor Manufacturing Items," Federal Register 88 FR 73424 토대로 정리함.

28) BIS(2023. 10. 25.), "Export Controls on Semiconductor Manufacturing Items," Federal Register 88 FR 73424, p. 73443.



## 나. 첨단 컴퓨팅 반도체

- **[요약]** 첨단 컴퓨팅 및 슈퍼컴퓨터 관련 반도체 분야에서는 기존 수출통제의 양방향 교신 속도 기준을 삭제하고 '성능 밀도(performance density)'라는 개념을 새롭게 제시하여 수출통제 대상 반도체의 범위를 대폭 확대함과 동시에 첨단 컴퓨팅 신고제도를 도입함.

### 1) 첨단 컴퓨팅 반도체 범위 확대

- 이번 조치에서 통제 범위가 확대된 첨단 컴퓨팅 반도체(3A090; 혹은 'AI 반도체')는 AI 연구를 획기적으로 도울 수 있는 반도체라고 볼 수 있음.

- BIS는 AI 훈련에 사용되는 첨단 컴퓨팅 칩(3A090)에 대한 통제를 위해 이번 개정조치를 단행했으며,<sup>29)</sup> 실제로 이에 해당하는 반도체는 시장에서 'AI 반도체'라 불리면서 AI 모형의 훈련(training)과 이를 통한 추론(inference)에 널리 사용되고 있음.

- BIS는 이번 확대조치를 통해 기존 수출통제에서 모호하게 정의된 부분을 구체화함.

- 기존 수출통제는 용어의 정의(예: 'operation,' 'bidirectional transfer rate')가 모호해 해석에 어려운 점이 많았으며, BIS가 이에 대한 다수의 의견을 받아들여 여러 용어의 정의를 구체화함.
  - BIS는 이번 확대조치에서 각 연산부가 곱·결합 연산(Mac)을 이론적으로 1초에 몇 번 수행할 수 있는지를 바탕으로 반도체 능력을 평가하기로 했지만, 이러한 이론적 성능은 제조사 외에는 알기 어렵다는 문제가 있음.
  - 따라서 BIS는 제조사가 주장하는 여러 비트 길이에서의 '전체 연산 성능' 값을 구해보고 이 값들의 최댓값을 바탕으로 3A090에 해당하는지 판별할 수 있다고 밝히고 있음.<sup>30)</sup>
  - 다만 이는 기존 수출통제에서도 성능 기준에 해당하는지 판별할 때 흔히 사용했던 방식으로, 이번 확대조치는 이에 대한 근거를 마련한 것으로 보임.

- 양방향 교신 속도 조건을 삭제하고, 새로운 종류의 반도체를 통제 대상에 추가한 이번 확대조치로 인해 통제 대상 범위가 대폭 확대되었음.

- 기존 수출통제의 '양방향 교신 속도 600Gb/s' 조건은 수출통제 대상 범위를 좁히는 역할을 했는데, 이번 확대조치에서 삭제되어 앞으로 수많은 연산 가속기가 수출통제 대상이 될 것으로 보임.
  - 양방향 교신 속도는 여러 개의 집적회로가 데이터를 주고받을 수 있는 속도를 의미하는데, 데이터센터에서 사용되는 최고 사양의 그래픽카드들의 양방향 교신 속도가 높은 것에 착안해 BIS가 기존 수출통제에서 해당 조건을 제시하고 수출통제의 파급효과가 필요 이상으로 커지지 않도록 조절한 것으로 보임.
  - 하지만 이번 확대조치에서는 해당 양방향 교신 속도 조건이 삭제되어 통제 대상이 확대되었음.

29) BIS(2023. 10. 17.), "Implementation of Additional Export Controls: Certain Advanced Computing Items; Supercomputer and Semiconductor End Use; Updates and Corrections," Federal Register 88 FR 73458, p. 73473.

30) *Ibid.*, p. 73503, ECCN 3a090에 대한 Technical Note 2에서 해당 내용을 설명하고 있음.

- BIS는 이번 확대조치가 미칠 파급력을 우려해 3A090a.1을 제외한 3A090 내 품목은 만약 ‘데이터센터에서 사용하기 위해 설계, 마케팅’되지 않았다면 제재 대상에서 제외하기로 한 것으로 보임.
- 하지만, ‘데이터센터에서 사용하기 위해 설계, 마케팅’되었다는 구절은 해석하기 나름으로 향후 데이터센터 용도의 반도체를 판별하는 기준을 명확하게 정의해야 하는 과제가 남아 있음.

표 3. 확대조치에서의 첨단 컴퓨팅 칩의 개편 내용(ECCN 3A090)

	기존 수출통제(2022. 10. 7.)	확대조치(2023. 10. 17.)
적용 대상	① 휘발성 메모리를 제외한 집적회로 간 양방향 교신 속도(bidirectional transfer rate)가 600Gb/s 이상이면 서 (and) ② 연산당 비트길이 × 조 단위로 환산한 초당 연산횟수가 4,800 이상	삭제(통제 범위 확대)
		<b>[3A090.a]</b> ‘하이엔드 첨단 컴퓨팅 칩’ [a.1] ‘전체 연산 성능’이 4800이거나 (or) [a.2] ‘전체 연산 성능’이 1600 이상이면 서 (and) “성능 밀도”가 5.92 이상
		<b>[3A090.b]</b> ‘로우엔드 첨단 컴퓨팅 칩’ [b.1] ‘전체 연산 성능’이 2400 이상, 4800 미만 이면서 (and) ‘성능 밀도’가 1.6 이상, 5.92 미만이거나 (or) [b.2] ‘전체 연산 성능’이 1600 이상이면 서 (and) ‘성능 밀도’가 3.2 이상, 5.92 미만인 경우
	<b>[예외]</b> ‘데이터센터에서 사용하기 위해 설계(design)되거나 마케팅되지(marketed)’ 않았고, ‘전체 연산 성능’이 4800 미만이라면 3A090에서 제외함.	
	<b>[정의]</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MacTOPS: 곱·결합 연산(multiply-accumulate computation)<sup>31)</sup>이 이론적으로 최대로 가능한 숫자를 조(<math>10^{12}</math>) 단위로 환산</li> <li>• 연산비트길이: 곱·결합 연산의 곱셈 연산 시 투입 변수(input)의 최대 비트 길이</li> <li>• ‘전체 연산 성능’: 집적회로의 모든 연산부(all processing units)에 걸쳐 계산한 <math>2 \times \text{Mac TOPS} \times \text{연산비트길이}</math>의 값임.</li> <li>• ‘성능 밀도’: 위의 ‘전체 연산 성능’를 ‘다이 면적’으로 나눈 값임. ‘다이’는 로직 다이를 의미하며 비평면 트랜지스터 구조를 가진 기술 공정으로 생산한 것에 한정함.</li> <li>• ‘전체 연산 성능’은 제조사가 주장하는 TOPS 값에 비트 길이를 곱한 것임. 다양한 비트 길이와 TOPS가 있다면 이를 모두 곱해본 뒤 최댓값으로 가정</li> </ul>	

주: BIS는 공식적으로 이번 확대조치에서 ‘3A090.a’와 ‘3A090.b’에 대한 이름을 제시하지 않았으며, 표에 제시한 이름은 저자가 임의로 부여한 것임에 유의.

자료: BIS(2023. 10. 25.), “Implementation of Additional Export Controls: Certain Advanced Computing Items; Super computer and Semiconductor End Use; Updates and Corrections,” Federal Register 88 FR 73458 토대로 정리함.

- 이번 확대조치에서는 저성능 반도체 여러 개를 묶어 고성능 반도체를 대신하는 방식으로 수출통제를 우회할 수 없도록 다양한 조치를 도입함.
- [기존 수출통제의 문제] 기존 수출통제를 우회하는 한 가지 방법으로 수출통제 대상인 고성능 반도체 대신 수출통제 대상이 아닌 저성능 그래픽카드 여러 개를 병렬로 사용할 수 있었음.
  - 알고리즘을 완전히 병렬화할 수 있다면 오히려 여러 개의 저성능 칩을 병렬로 사용하는 것이 한 개의 고성능 칩을 사용하는 것보다 더 효율적일 수 있으며, 대부분의 AI 연구는 대규모 행렬 연산을 반복적으로 수행한다는 점에서 이러한 경우에 부합할 수 있음.
- [로우엔드 첨단 컴퓨팅 칩 신설] BIS는 성능이 낮은 반도체를 위한 항목을 따로 신설(3A090.b)함.
  - 해당 반도체는 데이터센터에서 낮은 가격으로 대여해 알고리즘을 테스트하거나 가벼운 AI 연구에 필요한 연산을 하기에 적절한데, BIS는 해당 반도체도 병렬로 여러 개를 모으면 충분히 미국 국가안보에 위협이 될 만한 AI 연구를 할 수 있다고 판단한 것으로 보임.
- [성능 밀도] BIS는 ‘전체 연산 성능’을 반도체 다이 면적으로 나눈 ‘성능 밀도(Performance Density)’라는 개념을 새롭게 제시해 제재의 유효성을 높이려 하고 있음.
  - 같은 세대의 첨단 컴퓨팅 반도체라고 가정할 때, 고성능 반도체와 비슷한 밀도로 트랜지스터를 집적하는 대신 다이 면적을 줄이는 방식으로 저성능 반도체를 만들 경우, 비록 연산 성능은 낮지만 전력 사용량도 함께 줄일 수 있는 이점이 있음.
  - 따라서 BIS는 반도체의 전체적인 연산 성능을 다이 면적으로 나눈 값을 통해 반도체의 ‘실질적인 성능’을 가늠해보고자 하는 것으로 판단됨.
  - BIS는 이러한 점에 착안해 [표 4]와 같이 3A090.a(‘하이엔드 첨단 컴퓨팅 칩’)와 3A090.b(‘로우엔드 첨단 컴퓨팅 칩’) 내에서도 성능 밀도에 따라 적용되는 반도체 범위를 확대한 것을 알 수 있음.

표 4. 반도체 성능별 수출통제 해당 여부

전체 연산 성능(TPP) Total Processing Performance	성능 밀도		
	1.6 이상, 3.2 미만	3.2 이상, 5.92 미만	5.92 이상
1600 ≤ TPP < 2400		b.2 예: Nvidia A40 <sup>32)</sup>	a.2 예: Nvidia L4 <sup>33)</sup>
2400 ≤ TPP < 4800	b.1 예: Nvidia L40 <sup>34)</sup>		
4800 ≤ TPP	a.1(성능 밀도와는 무관) 예: Nvidia A100 <sup>35)</sup>		

주: 1) 노란 음영의 a.1은 데이터센터용이 아니어도 수출통제 대상임. 그 외는 데이터센터용이 아니라면 3A090에서 제외함.

2) 표에서 예시로 드는 그래픽카드가 수출통제에 해당할 수 있는 사유는 개별 그래픽카드에 대한 각주를 참고하기 바라며, 이는 모두 BIS나 엔비디아가 수출통제에 해당한다고 공식 인정하지 않았다는 점에 유의해야 함.

자료: BIS(2023. 10. 25.), “Implementation of Additional Export Controls: Certain Advanced Computing Items; Supercomputer and Semiconductor End Use; Updates and Corrections” 토대로 정리함.

31) 곱·결합 연산(Mac)이란 두 숫자를 곱하고 한 숫자를 더하는( $D = A \times B + C$ ) 것임.

32) A40은 ‘전체 연산 성능’이 2395.2(=149.7TOPS×16비트)로 1600 이상이며 ‘성능 밀도’는 3.81(=2395.2/628mm<sup>2</sup>)로 3.2 이상, 5.92 미만이라는 점에서 b.2에 해당할 수 있음. 엔비디아, “Datasheet: NVIDIA A40”을 바탕으로 ‘전체 연산 성능’을 계산했으며, 다이 사이즈는 E2E Cloud(2023. 8. 28.), “NVIDIA L4 vs. A40: Which GPU Better Suits Your Requirement?” <https://www.e2enetworks.com/blog/nvidia-l4-vs-a40-which-gpu-better-suits-your-requirement#:~:text=The%20NVIDIA%20L4%2C%20based%20on,PCIe%204.0%20x16%20bus%20interface>(최종 검색일: 2023. 10. 23.)를 참고함.

- 기존 수출통제에서 지역 안정(RS: Regional Stability)을 이유로 중국과 마카오에 적용되던 ‘허가 요구’ 조건이 이번 확대조치로 인해 D:1(국가안보 우려국), D:4(미사일 기술 우려국), D:5(미국 무기 엠바고국)로 확대됨.<sup>36)</sup>

## 2) 첨단 컴퓨팅 신고제도

- BIS는 첨단 컴퓨팅 신고제(NAC: Notified Advanced Computing)를 통해 정보 수집과 함께 ‘데이터센터에서 사용되지 않을 반도체에도 제재로 인한 불필요한 파급효과가 발생하는 것’을 방지하고자 함.

- [대상] ‘하이엔드 첨단 컴퓨팅 칩(3A090.a)’은 데이터센터용이 아닌 경우만 NAC 대상이며, ‘로우엔드 첨단 컴퓨팅 칩’은 일단 모두 허용될 여지를 주고 있음.
  - [3A090.a.1] 데이터센터 용도가 아니라면, NAC를 신청할 수 있음.
  - [3A090.a.2] 데이터센터 용도가 아니라면, ‘전체 연산 성능’이 4800 미만이라는 점에서 애초에 통제 대상 반도체인 3A090에 속하지 않음.
  - [3A090.b.1, 3A090.b.2] 데이터센터용이 아니라면 수출통제 대상이 아니며, 만약 데이터센터용이더라도 NAC를 신청해볼 수 있음.

## 3. 영향 및 시사점

### 가. 통제 대상 반도체 확대로 인한 중국 AI 산업 성장의 둔화

- [통제 대상 확대] 양방향 교신 속도 조건을 삭제하고 새로운 종류의 반도체를 통제 대상에 추가한 이번 확대조치로 인해 통제 대상 범위가 대폭 확대되었음.
  - [수출통제 우회용 반도체] 엔비디아가 중국시장용으로 출시했던 A800은 널리 알려진 바와 같이 연산 성능은 큰 변화 없이 양방향 교신 속도를 대폭 낮춤으로써 수출통제를 우회했던 반도체로, 이번 확대조치를 통해 수출통제 대상이 될 것으로 보임.
  - [기타 연산 가속기] △양방향 교신 속도가 높지 않고 연산 성능에만 차증했던 독립형 연산 가속기나 △데이터센터용이 아니더라도 AI 연구의 적용을 돕는 고성능 연산 가속기는 새롭게 수출통제 대상이 될 수 있음.

33) L4는 ‘전체 연산 성능’이  $3872(=120\text{TOPS} \times 32\text{비트})$ 로 1600 이상이며, ‘성능 밀도’는  $13.1(=3872/295\text{mm}^2)$ 로 5.92 이상이라는 점에서 a.2에 해당할 수 있음. 엔비디아, “Datasheet: NVIDIA L4 Tensor Core GPU”를 바탕으로 ‘전체 연산 성능’을 계산했으며, 다이 사이즈는 E2E Cloud(2023. 8. 28.), “NVIDIA L4 vs. A40: Which GPU Better Suits Your Requirement?” <https://www.e2enetworks.com/blog/nvidia-l4-vs-a40-which-gpu-better-suits-your-requirement#:~:text=The%20NVIDIA%20L4%2C%20based%20on,PCIe%204.0%20x16%20bus%20interface>(최종 검색일: 2023.10.23.)를 참고함.

34) L40은 ‘전체 연산 성능’이  $2895.8(=181.05\text{TOPS} \times 16\text{비트})$ 로 2400 이상, 4800미만이며 ‘성능 밀도’는  $4.76(=2896.8/609\text{mm}^2)$ 으로 1.6 이상, 5.92 미만이라는 점에서 b.1에 해당할 수 있음. 엔비디아, “Datasheet: NVIDIA A40”을 바탕으로 ‘전체 연산 성능’을 계산했으며, 다이 사이즈는 PNY, “NVIDIA L40,” <https://www.pny.com/nvidia-l40>(최종 검색일: 2023. 10. 23.)을 참고함.

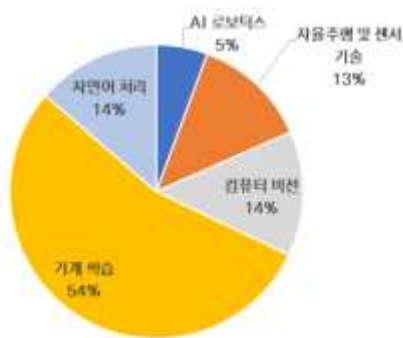
35) A100은 ‘전체 연산 성능’이  $4992(=156\text{TOPS} \times 32\text{비트})$ 로 4800 이상이라는 점에서 a.1에 해당함. 엔비디아(2020. 6.), “Datasheet: NVIDIA A100.”  
36) 단, 미국의 우방국이라 할 수 있는 A:5 및 A:6 국가군이 목적지일 때는 통제 대상에서 제외함.

- 세레브라스(Cerebras) WSE-2와 같이 거대한 단일 칩으로 구성되어 연산 성능 극대화에 초점을 맞춘 제품을 예로 들 수 있음.
- 삼바노바(Sambanova)의 SN30은 16비트 688TOPS의 성능으로<sup>37)</sup> 11008(=688TOPS×16비트)에 해당하는 ‘전체 연산 성능’ 값을 가져 3A090.a.1에 해당하는 4800을 한참 상회함.
- [자동차용 ‘AI 반도체’] 최근에는 엔비디아의 Thor와 같이 자동차용 SoC가 운전자 보조 시스템(ADAS)과 인포테인먼트를 지원하기 위해 2,000TFLOPS 이상의 성능을 보유하는 사례가 있는데,<sup>38)</sup> 만약 해당 사례에서 ‘연산비트길이’가 4비트를 넘어가기만 해도 수출통제 대상임.
- 이외에도 반드시 데이터센터에만 사용되지 않더라도 AI 연구에 활용되는 다양한 종류의 반도체가 수출통제 대상에 새롭게 편입될 것으로 보임.

■ [중국 AI 산업 성장의 둔화] 이번 수출통제 확대조치는 빠르게 성장하고 있는 중국의 AI 산업에 막대한 타격을 가할 수 있음.

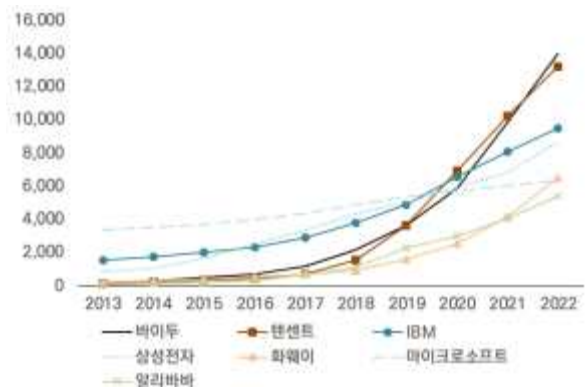
- 중국정부는 자국이 2030년에 AI 이론, 기술 및 응용이 세계 최고 수준에 도달하는 것을 목표로 하는 「차세대 인공지능 발전 계획(新一代人工智能发展规划)」을 발표(2017.7.20.)한 바 있으며, 일부 중국기업은 [그림 2]와 같이 기계 학습과 AI 관련 특허 소유 건수가 글로벌 기업에 뒤지지 않는 수준임.
- 수출통제 대상인 ‘AI 반도체’가 거대한 데이터센터에서 기계 학습을 통한 AI 모형의 훈련을 위해 쓰인다는 점과 중국의 AI 산업에서 기계 학습 분야가 차지하는 비중이 높은 것으로 미루어 보아(그림 1 참고), 이번 수출통제 확대조치는 중국의 새로운 AI 모형 개발을 위한 동력 상실을 초래하고, 중국의 AI 산업 규모도 위축시킬 가능성이 있음.

그림 1. 중국 AI 시장의 구성



주: 2022년 기준임.  
자료: Statista(2023. 11. 1.), “Artificial Intelligence - China” (최종 검색일: 2023. 11. 1.).

그림 2. 주요 기업별 기계 학습·AI 관련 특허군 현황



주: ‘특허군(patent family)’이란 중복계산을 방지하기 위해 특정 특허 출원과 관계된 모든 특허 및 특허 출원을 의미함. 시점별로 활성화된(active) ‘특허군’을 취함함.  
자료: LexisNexis PatentSight의 자료를 Statista(2023. 4), “Largest patent owners in machine learning and artificial intelligence (AI) worldwide from 2013 to 2022, by number of active patent families”를 통해 재인용함.

37) The Next Platform (2022.9.17.) 「Sambanova doubles up chip to chase AI foundation models」 (최종검색일: 2023.11.2.)  
38) 엔비디아(2022. 9. 20.), “NVIDIA DRIVE Thor Strikes AI Performance Balance, Uniting AV and Cockpit on a Single Computer,” <https://blogs.nvidia.com/blog/2022/09/20/drive-thor/> (최종 검색일: 2023. 10. 23.).

## 나. 중국의 반도체 자금 가속화

■ **[반도체 제조장비 지급회]** 이번 확대조치로 인해 중국은 반도체 제조에 상당한 어려움을 겪을 것으로 보여 반도체 제조 장비 지급화를 적극적으로 추진할 것으로 보임.

- 신규 반도체 제조장비가 수출통제 품목에 추가되었고, 노광기에 대한 최소허용기준이 0%로 낮아진 사실은 중국의 반도체 제조 경쟁력 향상을 위한 걸림돌이 될 수 있음.
- 이러한 상황에서 중국은 반도체 제조업체들의 약점인 제조장비 경쟁력 향상을 위해 약 400억 달러 규모의 3기 빅펀드를 곧 출시할 예정임.<sup>39)</sup>

■ **[장기적인 측면]** 해외 기업을 통한 AI 반도체 위탁생산이 차단되어 '거대한 중국시장을 자국 기업이 독점할 수 있는 기회가 열렸다'고 해석할 경우, 중국 반도체 제조사 측면에서는 장기적인 성장동력을 확보할 기회를 얻었다고도 볼 수 있음.

- AI 반도체에 대한 중국의 접근이 차단되어 이를 위탁생산할 수 있는 기업은 중국의 SMIC밖에 남지 않았다는 점에서 SMIC는 무주공산이 될 수 있는 중국 AI 시장을 손쉽게 독점할 기회를 얻었다고도 볼 수 있음.

■ **[AI 반도체 측면]** 이번 확대조치로 인해 미국을 비롯한 국가의 팹리스 업계가 중국에 진출하지 못한다면, 오히려 중국 팹리스 업계의 경쟁력이 더욱 강화될 우려가 있음.

- 중국 업계는 이미 수출통제에서 규정하는 첨단 컴퓨팅 반도체를 여럿 발표한 사례가 있음.<sup>40)</sup>
  - 화웨이의 Ascend 910(8비트 기준 640TOPS), 알리바바의 Hanguang 800(8비트 기준 825TOPS), 비런 테크놀로지의 BR100(8비트 기준 2048TOPS) 등은 공개된 스펙으로만 판단했을 때 모두 3A090.a.1의 조건을 만족함.
  - 바이두의 Kunlun 2세대(8비트 기준 512TOPS)는 3A090.a.1에는 미달할 수 있으나 다이 사이즈가 충분히 작다면 수출통제 대상 반도체인 3A090.a.2나 3A090.b.1이 될 수 있음.
- SMIC가 7nm 기술 노드 수준의 반도체를 제조한 전례가 있으며, 앞서 언급한 중국의 AI 반도체는 통상 7~12nm 수준에서 제작된다는 점에서 모두 중국에서 자체적으로 제조될 가능성이 있음.
- 글로벌 팹리스 업계의 대중국 AI 반도체 판매를 거의 차단한 이번 확대조치로 인해 장기적으로 중국 팹리스 업계의 경쟁력 향상을 위한 자국 시장 확보의 기회가 열린 것으로도 볼 수 있음.

39) Reuters(2023. 10. 23.), "Exclusive: China to launch \$40 billion state fund to boost chip industry(최종 검색일: 2023. 10. 23.).

40) 중국 AI 반도체 설계사의 반도체 성능과 목록은 채명식, 이호윤(2023), 「2023 인공지능 반도체」, KISTEP 브리프 65, p. 19를 참고함.

## 다. AI 반도체 및 연구에 미치는 영향

■ **[변형 반도체 등장]** 이번 수출통제로 인해 기업들은 제재를 우회할 수 있는 변형된 성능을 가진 다양한 AI 반도체를 개발함으로써 시장에 비효율성이 초래될 가능성이 있음.

- 이미 기존 수출통제(22. 10. 7.) 직후 엔비디아는 해당 조치를 우회하는 중국시장용 그래픽카드인 A800을 출시한 바 있음.
- 이번 수출통제는 Mac 연산력을 기반으로 반도체 성능을 평가하는데, 세부 용도에 따라 Mac이 아닌 여타 종류의 연산력이 강조되는 형태의 반도체가 등장할 수 있음.
  - Mac 연산은 대규모 행렬 연산이 동반된 AI 연구에서 사용하는 가장 기본적인 연산 방식임.
  - 하지만 이 외에도 다양한 종류의 연산(인공신경망의 활성화 함수를 계산하는 등)이 함께 필요하기 때문에 이를 한 데 묶음으로써 한 모형을 계산하는 데 드는 실질적인 시간은 줄이면서 수출통제는 우회하는 반도체가 등장할 수 있음.
- 이 외에도 반도체의 다이 사이즈를 크게 줄여 연산 밀도는 유지하면서 연산 성능만 대폭 낮춘 형태의 반도체를 개발해 수출통제를 우회할 가능성도 있음.
  - 엔비디아는 자동차용 반도체 Thor를 출시하면서 첫 고객 중 하나로 중국 자동차 제조사 지커(Zeekr)를 맞이한 바 있음.<sup>41)</sup>
  - 해당 반도체를 공급하기 위해 엔비디아는 Thor의 다이를 나누어 연산 성능은 낮춘 뒤 3A090.a.2에 해당하는 반도체를 제작하고 데이터센터용이 아님을 어필하는 방식으로 조달 경로를 바꿀 수도 있음.

■ **[투명성 감소]** 이번 확대조치 후에는 간접적인 방식으로 성능을 추론할 수 있도록 기업의 마케팅 전략이 변경되어 소비자가 제품 정보를 온전히 알기 어려워질 수 있음.

- 대부분의 반도체 설계사는 초당 연산 가능한 횟수 공개를 통해 연산 성능을 홍보해왔음.
- 이번 확대조치에서는 ‘Mac 연산’을 기반으로 성능을 추론할 수 있게 하는 제도적 장치를 마련했는데, 이러한 장치는 기업이 초당 연산 가능 횟수를 공개해야 성능 추론이 가능하다는 점에서 향후 기업들은 제품 정보를 온전히 공개하는 것에 소극적일 수 있음.
- 따라서 기업들이 연산력을 직접적으로 드러내기보다는 어떤 AI 모형에 필요한 연산을 특정 조건에서 몇 시간 안에 할 수 있다는 등의 간접적인 정보를 바탕으로 제품을 홍보하게 될 가능성이 큼.
- 이러한 현상으로 인해 소비자가 제품 투명성 감소로 원하는 연구 수요에 맞는 제품을 찾는 데 어려움을 겪게 될 가능성이 있음.

41) 엔비디아(2022. 9. 20.), “NVIDIA Unveils DRIVE Thor — Centralized Car Computer Unifying Cluster, Infotainment, Automated Driving, and Parking in a Single, Cost-Saving System.”

- **[로직 반도체의 파편화]** 중국은 자체 AI 프레임워크 개발을 앞당겨 자국 시장에 특화된 형태의 반도체 개발을 지속할 것이며, 중국시장을 포기할 수 없는 다수의 글로벌 반도체 설계사도 이러한 흐름에 동참할 가능성이 있음.
- 중국 입장에서는 엔비디아의 CUDA와 같은 세계적인 반도체 설계사의 프레임워크 및 제품 활용이 어려워짐에 따라 자체 AI 프레임워크 개발을 통해 대응해야 할 것으로 보임.
- 또한 세계적인 반도체 설계사 입장에서는 거대한 중국시장을 완전히 배제할 수 없기 때문에 수출통제선에 저촉되지 않는 선에서 중국 업계에서 필요한 AI 기초 연구·자동차·제조업 지능화·금융·바이오 분야에 대한 특화 반도체를 별도 출시해야 할 것으로 보임.
- 앞서 언급한 수출통제로 인한 변형 반도체의 생산과 세부 수요에 특화된 반도체 생산 흐름과 맞물려 이번 확대조치는 로직 반도체 시장의 파편화를 더욱 부추길 수 있음.

## 라. 우리 기업에 미치는 영향

- **[반도체 제조]** 미국정부는 중국에서 반도체 제조 공장을 운영하는 한국 기업들을 ‘검증된 최종 사용자(VEU: Validated End-User)’로 재지정함으로써 중국 반도체 공장에 대한 미국산 장비 수출통제를 무기한 유예해줌.
- 미국정부는 2007년 VEU 프로그램을 도입하였으며, 2020년 미 상무부가 발표한 VEU 리스트에 따르면 삼성전자, SK하이닉스, 그리고 인텔의 다렌 공장 등이 ‘검증된 최종 사용자’로 이미 등재된 바 있음.
- 이번 한미 정부간 합의 내용은 기존의 VEU 프로그램 및 리스트 업데이트를 통해 당분간 우리 기업들의 중국 내 반도체 생산에 큰 차질이 없도록 하는 것임.
- 그러나 VEU를 통한 예외 인정은 기본적으로 美 BIS의 기존 수출통제 조치에 국한된 것이며, 이외의 EUV 노광장비와 같은 핵심 장비에 대한 대중국 수출통제는 예외 없이 지속 적용된다는 점에서 문제가 완전히 해결된 것은 아님.
- **[반도체 제조장비]** 중국 입장에서는 반도체 제조장비에 관한 기술 수준 향상이 시급한 것으로 보이며, 이는 향후 우리나라 반도체 장비사의 성장에 위협이 될 수 있는 만큼 선제적인 대비가 필요함.
- 중국의 약점으로 지적받았던 반도체 제조장비 분야는 중국정부의 지원을 통해 국산화율이 상승하고 있으며, 중국의 NAURA(베이팡화창), ACM 리서치 등도 식각이나 증착 분야에서 빠르게 기술력을 확보하며 경쟁력을 제고하고 있음.<sup>42)</sup>
- 중국 반도체 제조장비의 부상은 미국·네덜란드·일본이 갖고 있는 독과점적 지위에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 보임.
- 하지만, 중국의 반도체 제조장비 자급화는 중국 장비와 보다 가까운 경쟁관계에 있는 한국 반도체 제조장비 기업에 더 위협이 될 수 있음.

42) 오종혁(2023. 6. 27.), 「중국의 반도체 국산화 추진 현황과 시사점」, KIEP 세계경제 포커스 23-20.



■ 미국이 중국의 우회로를 차단하기 위해 실질 성능을 기준으로 반도체 수출통제를 추진한다는 점에서 고성능 AI 연산에 필요한 HBM 반도체에 대한 미국의 경계심에도 주의가 필요함.

- 이번 조치 중에는 BIS가 500억 개 이상의 트랜지스터를 가지면서 HBM(High-Bandwidth Memory)을 갖춘 집적회로, 컴퓨터, 전자기기,<sup>43)</sup> 부품 등의 수출에 주의가 필요하다는 내용이 포함됨.
- 이는 병렬 연산을 뒷받침하기 위해 데이터 전달 속도가 빠른 HBM이 AI 반도체 등에 보편적으로 사용되는 상황을 고려해 BIS가 주의 사항을 작성한 것으로 볼 수 있음.
- HBM이 포함된다는 사실만으로 수출통제 대상이 되는 것은 아니지만, HBM 분야에서 세계시장을 선도하고 있는 우리나라의 입장에서는 HBM에 대한 미국의 우려를 주의 깊게 지켜볼 필요가 있음.

■ 한국 메모리 업계는 AI 반도체 제작에 필수 요소라고 할 수 있는 HBM 분야를 선도하고 있다는 점에서 이번 수출통제 조치로 인해 중국 AI 반도체 시장이 위축된다면 제한적인 영향을 받을 수 있음.

- △HBM은 빠르게 성장 중인 분야지만, 아직은 전체 메모리 시장에서 차지하는 비중이 작고<sup>44)</sup> △중국시장 용 AI 반도체 역시 전체 시장의 일부에 해당된다는 점에서 한국 메모리 업계가 겪을 부정적 영향은 제한적일 것으로 보임.
- 다만 중국의 자체적인 HBM 개발 움직임<sup>45)</sup> 등은 단기적으로는 우리 업계에 큰 위협이 되지 않더라도 중장기적 시각에서는 경계해야 할 것으로 보임. **KIEP**

43) 대표적인 예로 540억 개의 트랜지스터를 가지면서 HBM2를 탑재한 A100을 들 수 있음. 엔비디아(2020. 5. 14.), "NVIDIA Ampere Architecture In-Depth"(최종 검색일: 2023. 11. 2.).

44) 중앙일보(2023. 7. 16.), 「생산량은 1%인데 가격은 10%…삼성·SK하이닉스, HBM서 '한판」(최종 검색일: 2023. 10. 23.).

45) Digitimes(2023. 9. 1.), "China reportedly pursuing high bandwidth memory self-sufficiency"(최종 검색일: 2023. 10. 23.).