

반도체, 배터리 중심 첨단전략산업 현황 분석 및 전략 연구

2024년 4월

산업통상자원부
김태우

목차

국외훈련 개요	6
훈련기관 개요	7
1. 서론	
1.1. 연구 배경	9
1.2. 연구 방향	10
2. 반도체	
2.1. 반도체의 이해	11
2.1.1. 메모리 반도체와 시스템 반도체	12
2.1.2. AI 반도체	14
2.2. 반도체 발전 역사	16
2.2.1. Von Neumann 아키텍처	16
2.2.2. Magnetic Core Memory	16
2.2.3. 트랜지스터	17
2.2.4. 메모리 계층 구조	17
2.3. 반도체 시장 및 산업 성장	19
2.3.1. 세계 반도체 시장 규모	19
2.3.2. AI 등 미래 반도체 시장	22
2.4. 반도체 산업 밸류체인	25
2.4.1. 밸류체인	25
2.4.2. 국가별 밸류체인 특징	25
2.5. 주요국 반도체 경쟁력 비교	28
2.5.1. 메모리 반도체	28
2.5.2. 시스템 반도체	30
2.5.3. 반도체 생산능력	32
2.5.4. 중국의 반도체 제조경쟁력	34
2.6. 미국, 중국 반도체 산업 정책	35

2.6.1. 미국	35
2.6.1.1. 반도체 수출통제	36
2.6.1.2. 반도체 공급망 조사 보고서	38
2.6.1.3. 미 상무부, 반도체 공급망 강화 정책제언	40
2.6.1.4. 산업 보조금 정책	43
2.6.1.5. 첨단반도체, 다자협력체 중심 대중 규제 강화 ...	46
2.6.1.6. 미국의 반도체 동맹 ‘Fab 4’	47
2.6.1.7. 미국 내 레거시 반도체 규제 필요성 대두	48
2.6.2. 중국	49
2.6.2.1. 금융 지원	50
2.6.2.2. 인력 양성	51
2.6.2.3. 중국의 장비 및 첨단반도체 국산화 현황	52
2.6.3. 평가 및 전망	54

3. 배터리

3.1. 배터리의 이해	57
3.1.1. 삼원계 배터리 구성 요소	57
3.1.2. 배터리 성능과 전기차 성능 연관성	58
3.2. 배터리 시장 및 산업 성장	61
3.2.1. 환경규제 본격화 및 자국산업 보호 강화	62
3.2.2. 신규 시장 진입자 확대	63
3.3. 배터리 산업 밸류체인	63
3.3.1. Upstream: 리튬, 니켈, 코발트 등 원자재 확보	64
3.3.2. Midstream: 원자재 세정, 정제, 핵심소재 및 셀 제조	65
3.3.2.1. 원자재 세정 및 정제	65
3.3.2.2. 배터리 셀 4대 핵심소재	66
3.3.2.3. 배터리 셀 제조	67
3.3.3. Downstream: 배터리 패키징 및 최종재 제조	68
3.3.4. End of Life: 폐기	68
3.4. 밸류체인별 기업 경쟁구도	70
3.4.1. 원자재 확보	70

3.4.2. 제련	71
3.4.3. 배터리 핵심소재 및 셀 제조	72
3.4.4. 배터리 패키징	75
3.4.5. 테슬라의 배터리 내재화 계획 및 현황	76
3.4.6. 전고체 배터리 전망	77
3.5. 미국 배터리 산업 정책	78
3.5.1. 미국	78
3.5.1.1. 배터리 공급망 조사 보고서	79
3.5.1.2. 미 에너지부, 배터리 공급망 강화 정책제언	80
3.5.1.3. 전기차 보조금(세액공제)	81
3.5.1.4. 전기차 전환명령, 기업평균연비제도	83
3.5.2. 평가 및 전망	84
4. 정책 시사점	
4.1. 반도체	86
4.2. 배터리	89
5. 반도체, 배터리 국내산업 전략	
5.1. 우리 반도체 산업 정책 현황	92
5.2. 반도체 전략	93
5.2.1. 유망 소자 및 개별기업, 수요산업 특성을 고려한 전략	93
5.2.2. 인재 양성 제도 개편	94
5.2.3. 경제안보 고려한 전략적 포지셔닝	95
5.3. 우리 배터리 산업 정책 현황	97
5.4. 배터리 전략	98
5.4.1. 중국의 공급망 전략자산화 대비 전략	98
5.4.2. 미국 IRA 보조금 정책 대응	100
참고	101

표 목차

- [표 2-1] 반도체 분류
- [표 2-2] 메모리 반도체와 시스템 반도체 특징 비교
- [표 2-3] 공정 단계별 부가가치 측면의 각국 시장점유율 현황(2020년)
- [표 2-4] 파운드리 양산 및 개발 현황(2023년 말 기준)
- [표 2-5] 중국 메모리 및 파운드리 분야 기술격차(2022년)
- [표 2-6] 미 상무부 Entity List에 등재된 중국 주요 반도체 기업
- [표 2-7] 미 상무부, 대중국 반도체 수출통제
- [표 2-8] 미 상무부, 반도체 공급망 요소별 자체 진단
- [표 2-9] 미 상무부, 반도체 공급망 강화 정책제언
- [표 2-10] Division A 주요 내용
- [표 2-11] 주요 반도체 기업의 미국 제조생산 투자 계획(2024.3월 기준)
- [표 2-12] 전 세계 반도체 팹 투자 규모
- [표 3-1] 배터리 셀 유형별 특징
- [표 3-2] 미 에너지부, 배터리 공급망 요소별 자체 진단
- [표 3-3] 미 에너지부, 배터리 공급망 강화 정책제언
- [표 3-4] 미국 IRA Section 13401 주요 내용
- [표 5-1] 배터리 핵심광물 및 가공·제련 주요국

그림 목차

- [그림 2-1] 기존 반도체와 AI 반도체 및 AI 반도체 발전전망
- [그림 2-2] 2001-2022년 국가별 전체 반도체 시장점유율 추이
- [그림 2-3] 2022년 세계 시스템 반도체 주요 소자별·국가별 비중
- [그림 2-4] 2022년 국가별 시스템 반도체 점유율 및 TSMC·삼성 공정별 매출액 비교
- [그림 2-5] 글로벌 반도체 밸류체인 단계별 주요 담당 국가
- [그림 2-6] 반도체 세대별 공정에 적용되는 노광장비
- [그림 2-7] 파운드리에서 3D 트랜지스터 구조 발전방향
- [그림 2-8] 주요국 반도체 생산능력 분포(2022년 기준)
- [그림 2-9] 미국 TVC의 단계별 확장과 주요 협의체
- [그림 3-1] 5대 배터리의 성능 상대적 비교
- [그림 3-2] 전 세계 전기차 및 전기차 배터리 수요 전망
- [그림 3-3] 글로벌 배터리 소재 및 4대 핵심소재 시장 전망
- [그림 3-4] 배터리 산업 밸류체인
- [그림 3-5] 사용후 배터리 재사용·재활용 절차 및 재활용 시장 전망
- [그림 3-6] 2016년, 2021년 배터리 셀 제조 Top 10 기업별 시장점유율

국외훈련 개요

1. 훈련국가 : 미국
2. 훈련기관 : Texas A&M University
The Bush School of Government & Public Service,
3. 훈련분야 : 산업 · 경제
4. 훈련기간 : 1년 10개월(2022. 08. 01. - 2024. 05 31.)

훈련기관 개요

1. 기관명 : Texas A&M University
The Bush School of Government & Public Service
2. 주소 및 연락처
 - 주소 : Allen Building TAMU 4220 1004, George Bush Dr W,
College Station, TX 77845
 - 연락처 : +1 (979) 862-3469
3. 설립목적
 - “공공 서비스는 고귀한 소명(public service is a noble calling)” 이라는 George H. W. Bush 전 대통령 철학을 바탕으로 1997년 설립
 - 엄격한 원칙을 견지하면서 사회 전반에 걸쳐 공공 서비스의 가치를 실현할 수 있는 리더 양성
4. 조직
 - Bush School 본교는 College Station, TX에 소재하고, 2021년 Washington DC에 분교를 개설하여 석사학위 프로그램 운영 중
5. 학위 과정
 - College Station 캠퍼스 : 공공서비스 및 행정학(Public Service and Administration), 국제 관계학(International Affairs), 국제 정책학(International Policy)의 3개 석사학위 과정 운영

- 공공서비스 및 행정학 과정(MPSA) 내 3개 Track을 운영 중이며, 이 중 1개 트랙을 선택하여 트랙별 집중 훈련(Policy Analysis, Public Management, Non-profit Management)

- 트랙과 별도로 Concentration 분야 선택 가능

- * Concentration 분야(총 8개) : Analytical Methods(AM), Cybersecurity Policy and Management(CPM), Education Policy and Management(EDPM), Energy, Environment, and Technology Policy and Management(EETPM), Health Policy and Management(HPM), International Nongovernmental Organizations(INGO), National Defense and Homeland Security(NDHS), State and Local Government Policy and Management(SLGPM)

- Washington DC 캠퍼스 : 국제 정책학(International Policy), 국가 안보 및 정보학(National Security & Intelligence) 석사학위 과정 운영

6. 행정학 석사과정 개요

- 미국 건국이념, 연방 정부 설립 및 행정학 발전사, 행정학 이론, 미시경제학, 재정학, 정량분석(통계학), 비영리 섹터 이론 등 공공 정책에 필요한 기본 이론부터 주요 분야 행정소송, 보건의료, 환경, 에너지, 국가 안보 등 미국 사회가 직면한 다양한 이슈 연구

- 졸업 이수학점 총 48학점

- 트랙 무관 전체 필수 7개 과목(21학점)

- 트랙별 필수 2개 과목(6학점)

- Concentration 또는 개인별(Concentration 미선택) 7개 과목(21학점)

1. 서론

1.1. 연구 배경

미국, 중국을 필두로 한 주요국 산업 정책은 경제적 효율성과 자유 무역주의 중심에서 자국 경제에 대한 안보 리스크를 최소화하고 국익을 최우선시하는 자국 우선주의와 보호무역주의로 자리잡았다. 미국은 공급망 재편 및 강화 목표하에, On-shoring 및 Near-shoring 정책을 추진하면서 첨단기술 분야를 중심으로 대중국 수출통제와 효과적인 중국 견제를 위한 동맹국의 참여를 강조하고 있고, 이는 지역별 또는 동맹국 중심으로 공급망 내재화 또는 블록화될 것임으로 시사한다. 미·중 패권 경쟁 시대에서 ‘경제안보’는 단순히 국가 안보를 지키는 차원을 넘어, 세계 경제질서에서 국가의 패권적 지위를 결정하는 핵심 국익으로 자리잡았다. 미국의 공급망 정책은 통신 및 IT 제품을 비롯하여 군사 무기 생산의 필수소재인 반도체 및 핵심광물, 그리고 전기화 시대를 대비한 배터리 분야를 중심으로 전개되고 있다. 이들 분야는 중국에 대한 수입의존도가 높아 경제적 상호의존성을 토대로 전략자산화할 경우, 공급망의 안정성이 크게 위협받고 경제적 타격을 입을 수 있는 분야로서 미국이 집중 관리대상에 포함하고 있다. 또한, 그동안 중국이 전략 산업에 대한 막대한 산업 보조금 지원을 통해 오늘날 국제 시장에서 경쟁력을 확보하게 된 상황을 더 이상 좌시하지 않겠다는 의도로, 미국은 첨단기술 분야의 대중국 기술이전을 차단하는 수출통제를 강화하면서 동시에, 첨단기술 및 친환경 산업에 대해 대규모 산업 보조금 정책을 공격적으로 추진하고 있다.

우리는 미국, 중국 모두의 무역의존도가 높은 상황에서 미국, 중국 모두의 차별적 조치를 피하거나 견뎌내야 하고, 패권경쟁에서 뒤처지지 않기 위해 경쟁국보다 빠르게 첨단기술과 제조 기반을 확보함으로써 초격차를 확보해야 하며, 미국 중심으로 구축되는 동맹국 협력에 참여하면서도 중국 시장을 관리해야 하는 매우 복잡한 방정식을 풀어야 한다. 이는 우리 산업 정책도 대내적 경쟁력을 높이며 동시에 대외

적으로 전략적 정교함을 높이는 방향으로 조정되어야 함을 의미한다.

1.2. 연구 방향

본 보고서는 미국, 중국의 산업 정책, 반도체, 배터리 분야 우리 위치와 경쟁력을 분석하고 기존 우리 전략에 대한 면밀한 검토를 토대로 보완 방향을 모색하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, 반도체와 배터리 분야의 기술적인 이해를 시작으로 산업 특성 및 밸류체인과 국가별 기업별 경쟁력 및 전망을 살펴본다. 아울러, 미국, 중국의 산업 정책을 분석하고, 양국 간 패권경쟁이 불러올 향후 시장지배력의 지형변화와 공급망 내재화 또는 블록화 방향을 예상한다. 마지막으로, 우리 공급망의 취약성 및 경쟁우위, 글로벌 시장에서 우리의 역할 등을 토대로 반도체와 배터리 우리 전략의 보완 방향을 도출한다.

2. 반도체

미국 노동통계국에 따르면 2022년 미국의 반도체 수출액은 754억 달러에 달해 항공, 정제 석유 및 석유에 이어 4번째로 큰 미국 수출 품목이다. (Bureau of Labor Statistics 2023) 한국에서도 반도체는 2022년 한국 전체 수출의 18.9%를 차지하는 1위 수출 품목이다. 반도체는 수출과 무역에서 차지하는 비중이 높을 뿐만 아니라 스마트폰, 노트북, 자동차, 가전제품 등 일상 제품 생산은 물론 항공우주, 군사 장비 등 중요 산업의 핵심 제품 생산에 필수적이며 미국과 중국 간 기술 패권 경쟁의 대표 품목이다. 이 장에서는 반도체 산업의 패권 구조와 향후 경쟁 구도 변화를 예측하는 데 필요한 기본적인 내용을 분석한다.

2.1. 반도체의 이해

반도체는 메모리 반도체, 시스템 반도체부터 시작하여 기능 및 특성에 따라 다양하게 분류된다. 반도체 산업과 정책, 그리고 국가별 전략과 방향 등을 이해하기에 앞서 반도체를 분류하고, 각 반도체에 대한 역할과 특징에 대한 이해가 우선이다.

< [표 2-1] 반도체 분류 >

분류			기능 및 특성	품목(예)
메모리 반도체			데이터 저장	D램, 낸드플래시
비메모리 반도체	시스템 반도체	마이크로 컴포넌트	PC 및 응용기기 두뇌 역할	마이크로프로세서, 마이크로컨트롤러
		로직 IC	논리회로 구성, 제품의 특정 부분 제어	AP, DDI
		아날로그 IC	아날로그 신호, 디지털 신호 상호 간 변환	전력반도체
	광개별 소자	개별 소자	개별 부품으로 단순 기능 수행	트랜지스터
		센서	정보 습득, 변환, 증폭 (빛, 물리적 신호 → 전기 신호)	이미지센서

출처: 산업연구원

2.1.1. 메모리 반도체와 시스템 반도체

반도체는 기능과 특성에 따라 크게 메모리 반도체와 시스템 반도체(비메모리 반도체)로 구분된다. 메모리 반도체는 정보를 저장하고 기억하는 기능을, 시스템 반도체는 추론, 연산 등 정보를 원하는 목적에 맞게 처리하는 기능을 구현한다. 사람으로 치면, 메모리 반도체는 기억 능력이고, 시스템 반도체는 계산 능력이다.

메모리 반도체는 램(RAM, Random Access Memory)과 롬(ROM, Read Only Memory)으로 나뉜다. 램은 모듈에 정보가 한시적으로 저장되고, 컴퓨터가 재시작 혹은 종료될 때 삭제되는 휘발성 메모리다. 램은 저장 방식에 따라 D램(Dynamic RAM)과 S램(Static RAM)으로 구분된다. D램은 저장된 정보를 시간의 흐름에 따라 지우면서 주기억는 컴퓨터 중앙처리장치로 프로그램이 실행되는 동안 프로그램에 필요한 설명이나 자료를 빠른 속도로 제공해 준다. D램은 단시간 내 주기억으로 정보를 재충전시켜 기억이 유지되게 하는 역할을 하므로 컴퓨터의 기억소자에 많이 사용된다 (재충전 과정이 있어 dynamic 용어가 사용된다.) D램은 용량이 크고 데이터를 빠른 속도로 처리하는 장점이 있어, 컴퓨터 메인 메모리, 스마트폰, 그래픽 메모리 등에 많이 적용된다. S램은 전원이 공급되는 동안 데이터를 삭제하지 않고 유지하는 반도체다 (전원이 켜져 있는 동안 기록된 데이터가 지워지지 않기 때문에 Static이라는 용어가 붙여졌다.) 데이터 처리 속도가 빠르나, 회로가 복잡해 소자집적도가 낮고, 제조 비용도 상대적으로 높아 대용량 생산에 비경제적이다. 보통 그래픽 카드를 포함한 소용량 메모리에 사용된다.

롬(ROM)은 비휘발성 메모리로 직접 지우지 않는 한, 전력 공급이 안 되더라도 정보가 사라지지 않는다. 보통 은행 ATM 기기의 IC 카드에 사용된다. 롬은 다양한 메모리가 있지만 그중 가장 많이 사용되는 것은 플래시 메모리(Flash Memory)이다. 플래시 메모리는 데이터를 영구적으로 보존하는 롬의 성능과 데이터를 고속으로 사용하고 지우는

램의 장점을 동시에 갖고 있어, 스마트폰, IoT, 빅데이터 등에 사용된다. 전력 소모가 적고 충격과 온도 및 압력에 대한 내구성이 강해 SSD(Solid State Drive, 보조기억장치)에도 사용된다.

시스템 반도체는 정보를 처리하는 기능을 하며, 연산 기능을 하는 전자제품에 필수적으로 탑재된다. 시스템 반도체 산업은 1980년대 후반 분업화되면서 설계전문 팹리스와 위탁생산 전문 파운드리로 나뉘어졌다. 팹리스는 fabrication과 less를 합성한 말로, 설계 전문 회사를 말하며, 파운드리는 팹리스가 주문한 반도체를 전문적으로 생산하는 회사를 말한다. 파운드리는 직접 설계한 고객으로부터 위탁받아 제품을 대신 생산한다. 애플, 테슬라, 구글 등의 기업들은 팹리스이고, 파운드리 분야는 1987년 TSMC가 시장에 나서면서 대만이 세계 시장을 장악하고 있다. 대다수 기업들이 자사 제품에 맞는 반도체를 설계하고 TSMC나 삼성전자에 반도체 생산을 맡기는 구조다. 삼성전자는 파운드리 시장점유율 면에서 현재 TSMC에 이어 세계 2위이다. 반도체가 미세화될수록 발열량이 감소하여 스마트폰 전체 성능이 향상되고 디바이스 크기도 줄일 수 있다는 점에서 소자 미세화는 중요한 기술이다. 현재 파운드리 중 10nm 미만 미세공정 기술력을 양산할 수 있는 수준으로 확보한 기업은 삼성전자와 TSMC 두 개 기업으로 알려져 있다.

< [표 2-2] 메모리 반도체와 시스템 반도체 특징 비교 >

구분	메모리 반도체	시스템 반도체
기능	정보 저장	정보 처리
생산방식	일괄 설계-양산 (소품종 대량생산)	설계-양산 분리 (다품종 상대적 소량생산)
기술	미세공정, 하드웨어 양산능력	제품창출력, 소프트웨어 설계능력
경쟁력	선행기술, 자본력, 시설규모, 투자규모	우수 고급인력 지식 IP

출처 : 과학기술정보통신부, “국가전략기술 분야 검토자료집” (2022.7월)

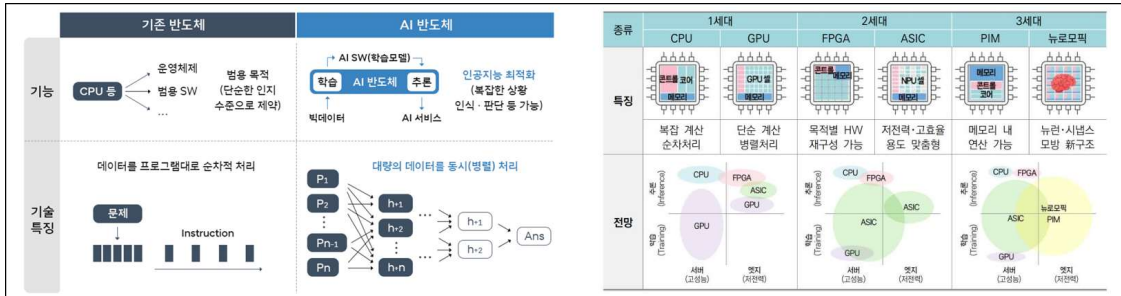
메모리 반도체와 시스템 반도체는 기능, 생산방식, 기술, 경쟁구도 등 많은 면에서 상당히 다르다. 메모리 반도체 시장은 표준 제품 중심의 범용 양산의 특성을 보이는 반면, 시스템 반도체는 통신, 자동차 등 기업별 용도별 제품의 특성을 구현하고 생산하는 다품종 시장이다. 생산방식 관련, 메모리 반도체는 소품종 대량생산 구조인 반면, 시스템 반도체는 8천여 종의 다양한 제품으로 구성된 다품종 맞춤형 제품이다. 이에 따라, 메모리 반도체는 한 기업이 설계부터 생산까지 담당하는 종합반도체기업(IDM:; Integrated Device Manufacturer) 중심의 생산이 효율적이며, 시스템 반도체는 수요자 주문형 생산방식으로 팹리스와 파운드리로 분업이 일반적이다.

2.1.2. AI 반도체

AI 반도체는 각종 AI 서비스를 구현하는 데 필요한 대규모 연산을 초고속, 높은 전력 효율로 수행하는 발전된 형태의 시스템 반도체로서 연산 효율성에 고도로 특화된 반도체다. AI 반도체는 학습 데이터를 단 시간에 받아들이고 처리하면서 AI의 핵심 두뇌 역할을 한다. 현재까지 기본적인 AI 기능 구현에 있어 이 핵심 두뇌 역할은 CPU와 GPU가 담당했는데, 다만 이 둘은 처리할 수 있는 성능은 구비했지만 AI용으로 개발된 것이 아니다 보니 AI 연산 외의 부분에 성능이 낭비되고, 전력이나 비용 소모와 같은 비효율성이 발생했던 점이 한계였다. 기존 반도체는 데이터를 순차적으로 처리했다면 AI 반도체는 AI 최적화된 병렬 처리를 통해 기존 반도체 대비 약 10,000배의 AI 연산 전력 효율 구현이 가능하다. 여기서, CPU는 컴퓨터의 입력, 출력, 명령어 처리 등을 다루는 컴퓨터의 두뇌이며, 데이터를 순차적으로 직렬 처리한다. 한편, GPU는 CPU의 대안으로서 3D 게임 같은 고사양 그래픽 처리를 위해 개발되었으며 데이터를 병렬 처리하기 때문에 CPU보다 연산 속도가 빨라 AI 반도체 중 하나로 자리잡았다. 그러나, AI 모델의 흐름이 초거대 모델로 변화하면서 1개의 GPU로 처리가 불가능해지고 학습에 필요한 시간이 기하급수적으로 늘어나면서 AI 반도체의 필요성이 증가하고 있다. AI 반도체는 딥러닝과 같이 AI 알고리즘에 최적화된 프로세스

를 진행하며 오늘날 AI 반도체는 Neutral Processing Unit(NPU)라고 부르기도 한다.

< [그림 2-1] 기존 반도체와 AI 반도체 및 AI 반도체 발전전망 >



출처 : 과학기술정보통신부, “인공지능 반도체 산업 발전전략” (2020)

AI 반도체는 1세대(CPU, GPU 등), 2세대(NPU), 3세대(뉴로모픽, PIM)으로 구분되며, CPU, GPU, FPGA, ASIC 등의 다양한 하드웨어로 구성 가능하다. FPGA(Field Programmable Gate Array)는 칩 내부의 하드웨어를 목적에 따라 재프로그래밍이 가능해 유연성이 높은 것이 특징이고, ASIC(Application Specific Integrated Circuit)은 특정 목적에 맞춰 제작된 주문형 반도체로 고효율이 특징이다. ASIC 형태로는 주로 글로벌 IT 기업에서 개발하고 있다. Neuromorphic 반도체는 사람의 뇌에 존재하는 신경세포(뉴런)와 연결고리(시냅스) 구조를 모방했다. 성능과 효율성은 앞선 반도체보다 뛰어나지만 범용성이 낮고 아직은 개발 중인 차세대 AI 반도체다.

AI 발전과 함께 AI 반도체 시장을 선점하기 위해 전통적인 반도체 기업인 퀄컴, 인텔, Nvidia뿐만 아니라, 구글, 아마존, 애플, 테슬라 등 빅테크 기업들도 AI 개발에 투자를 확대하고 있다. AI에 사용하는 반도체 중 범용성이 높은 CPU, GPU 분야는 기술 성숙 단계이고, 최적화된 저전력, 고효율의 ASIC 중심으로 시장이 성장하고 있다. 향후 AI 반도체는 데이터 센터 등 고성능 서버에 활용 가능한 반도체에서 자동차, 스마트폰 등 디바이스에 탑재되는 용도로, 즉 학습용(학습과정 연산 가속화)에서 추론용(빠른 추론)의 기능이 업그레이드되는 방향으로 시장이 성장할 것으로 전망된다.

2.2. 반도체 발전 역사

2.2.1. Von Neumann 아키텍처

오늘날 사용되는 CPU, 메모리, 프로그램 구조를 갖는 방식의 컴퓨터 아이디어가 처음 제시된 것은, 1945년 Von Neumann이 맨해튼 프로젝트에 참여할 당시 ‘전자계산기의 이론 설계 서론’ 논문에서였다. 그로부터 7년 뒤 Von Neumann은 케임브리지 대학교의 의뢰를 받아 세계 최초의 프로그램 내장 방식 컴퓨터 EDSAC를 제작하였고,(이를 Von Neumann 아키텍처, 즉, CPU, 메모리, 프로그램 구조를 갖는 컴퓨터라고 부른다.) 이 컴퓨터는 컴퓨터에 다른 작업을 시킬 때 굳이 전선(하드웨어)의 재배치 없이 프로그램(소프트웨어)만 교체하면 되는 엄청난 편의성 때문에 현재까지 대부분의 컴퓨터들이 Von Neumann 구조를 채택하고 있다. 다만, 클라우드 컴퓨팅과 같이 네트워킹이 필요한 구조는 네트워크가 하드웨어 속성 중 하나이므로, 외부로는 Von Neumann 구조를 따르지 못한다. Von Neumann 아키텍처가 구현되려면, 연산과 제어를 담당하는 로직 회로, 데이터와 소프트웨어 등을 저장하는 메모리가 필수 구성요소이다.

2.2.2. Magnetic Core Memory

메모리는 정보를 2진수로 바꾸어 0과 1의 조합으로 기록하여 보관하는 저장장치로서, 두 가지 안정된 상태를 전기적으로 기록하고, 읽고, 또 필요 없는 데이터를 지워서 다시 사용할 수 있다. 메모리가 처음부터 반도체 칩과 같은 형태로 개발되었던 것은 아니다. 1945년 Von Neumann 구조가 제안되었을 당시 메모리는 반도체 소자가 아닌 진공관 소자를 사용했고, 이후에도 수은 지연 메모리(Mercury Delay Line Memory), 자기 드럼 메모리(Magnetic Drum Memory)와 같이 수은이나 자성 물질을 활용한 형태의 메모리가 활용되었다. 그러다가 1951년 중국계 미국인 An Wang은 작은 ferrite 자성체로 된 고리에 케이블이 통

과하는 모양의 격자 구조를 만들어 메모리, 자기 코어 메모리(Magnetic Core Memory)를 개발했는데, 이는 전기 케이블에 전류를 흘려 자기 유도를 발생시키고, 코어의 자기장을 통해 데이터를 저장하는 원리, 즉 선택된 코어에 전류를 흘려 특정 방향으로 자기장을 형성하여 상태를 변경하는 방식으로 0 또는 1을 표현하며, 데이터를 읽기 위해서는 선택된 코어 주위에 전류를 흘려 현재의 자기장 상태를 감지하는 방식이었다. 이는 과거 다른 형태의 메모리에 비해 내구성이 뛰어나고, 소비 전력이 적었으며, 자성체 고리 코어를 많이 만들어 넣을수록 용량을 높일 수 있, 초기 형태의 가장 보편적인 램(RAM)으로서 발전되었다.

2.2.3. 트랜지스터

반도체 소자 메모리는 1961년 Texas Instruments(TI)에서 미국 공군에서 사용할 안정된 메모리를 만들기 위한 목적으로 처음 개발되었다. 1960년대는 냉전 시대로서 군수 산업과 우주 산업이 기술 강국의 척도였기 때문에, 일반 가전이나 전자 시장에서는 팔 수 없을 정도의 높은 가격의 제품도 충분히 활용되면서 기술의 급격한 발전이 이루어졌다. 초기 메모리는 BJT(Bipolar Junction Transistor) 트랜지스터로, 집적회로 형태는 아니었기 때문에, 소형화에 어려움이 있었으나, 이후 TI가 집적회로(IC, Integrated Circuit)를 개발하면서 소자 미세화가 가능해졌고, 1970년대부터 가격경쟁력 측면에서 반도체 소자 메모리는 자기 코어 메모리를 앞서게 되었다. 집적회로는 많은 전자회로 소자가 하나의 기판 위 또는 기판 자체에 분리 불가능한 상태로 결합되어 있는 소형의 복합적 전자소자 또는 시스템이다. 즉, 하나의 작은 반도체 소자에 트랜지스터, 다이오드, 저항, 커패시터 등 복잡한 전자부품들을 정밀하게 만들어 전자회로를 구성하여 집어 넣은 것이다.

2.2.4. 메모리 계층 구조

Von Neumann 구조의 컴퓨팅 시스템에 사용되는 메모리는 주메모리와 보조저장장치로 구분되어 발전되었다. CPU에서 직접 데이터를 불

리 쓰고 속도가 빠른 주메모리와 장기적으로 데이터 저장을 위해 속도는 느리지만, 저렴하고 저장 용량이 큰 보조저장장치로 구분되었다. Von Neumann 구조에서 산술과 제어를 담당하는 CPU와 데이터와 프로그램을 저장하는 메모리는 독립적이다. CPU가 구동하려면 프로그램과 데이터를 메모리로부터 가져와야 한다. CPU의 처리속도가 빨라지고, 처리량이 많아질수록 CPU와 메모리가 연결되는 통로는 병목 현상이 발생하게 되는데, 이 현상은 데이터 사용 빈도와 접근 시간에 따라 메모리를 세분화해 관리하는 계층구조(Memory Hierarchy)를 통해 완화되게 되었다. 이는 컴퓨터 시스템에서 데이터와 명령어를 저장하고 접근하는데 사용되는 여러 종류의 메모리를 계층 구조화하여 데이터 처리 속도와 용량, 비용 등을 최적화한 것이다.

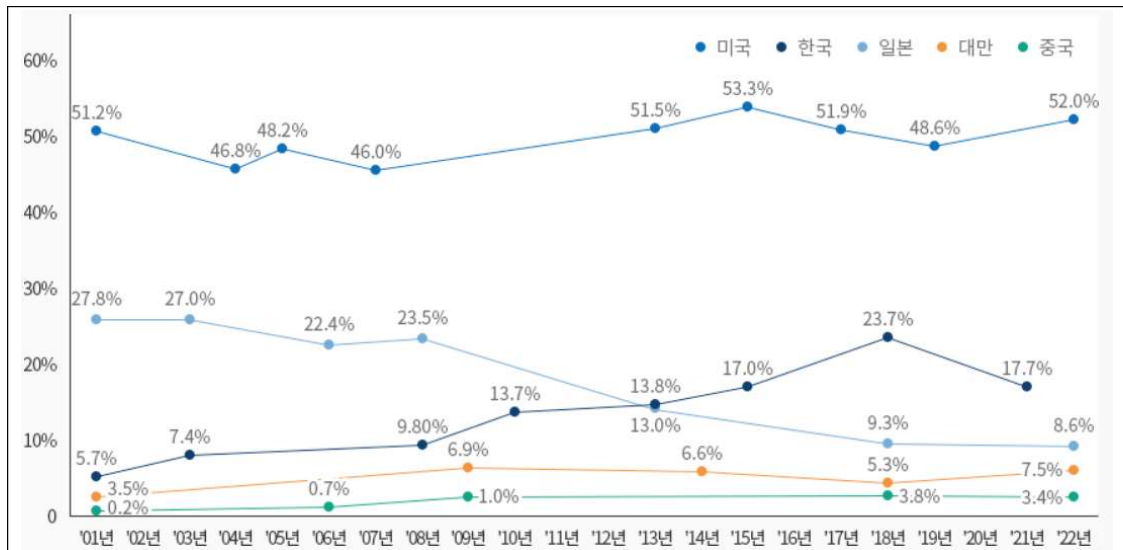
2.3. 반도체 시장 및 산업 성장

2.3.1. 세계 반도체 시장 규모

세계 반도체 시장 규모는 2022년 기준 총 6,000억 달러 수준으로, 이중 메모리 반도체 비중이 23.88%, 비메모리 반도체(시스템 반도체)가 76.12%이다. (Gartner 2023) 이 통계는 비메모리 소자 주요 기업 매출액 기준으로 집계한 통계를 기준으로 한다.

메모리 시장규모는 2021년 1,247.8억 달러, 2022년 1,363.2억 달러이며, 2029년 3,602.2억 달러로 성장하여 연평균 14.9%의 성장률을 보일 것으로 전망된다. 지역별로는 아시아 태평양, 즉 중국, 한국, 일본 시장이 2021년 53.9%를 점유하면서 최대 시장을 차지했다. 한국의 글로벌 반도체 시장점유율을 2022년 기준 17.7%로, 2013년 이후 10년간 글로벌 2위 자리를 유지하고 있다. (OMDIA 2023) 특히 우리는 전 세계 메모리 반도체 시장의 60% 이상을 차지하고 있으며, D램 70.5%, 낸드는 52.6%를 점유하고 있다.

< [그림 2-2] 2001-2022년 국가별 전체 반도체 시장점유율 추이 >



출처: OMDIA 2023

코로나19 팬데믹으로 디지털화가 가속화되면서 메모리 반도체는 세계적으로 전례 없는 수요 폭증을 경험했다. 팬데믹의 영향으로 공급망이 사실상 중단되는 상태를 경험했다. 갑작스러운 봉쇄 조치로 인해 각국의 제조공장은 섯다운되었고, 실리콘과 같은 원자재 공급망도 여러 국가에서 봉쇄 조치되었다. 반도체는 대부분의 재료가 중국에서 생산되기 때문에 중국 물류가 매우 중요한데, 중국은 코로나 발생지이자, 내부 봉쇄 조치를 매우 강하게 제한하여 반도체 공급망에 큰 혼란을 초래했다.

이와 더불어, 개도국 중심으로 인공지능 및 자동화가 촉진되고, 상업용 및 개인용 디바이스의 발전으로 고급 메모리 반도체 수요가 급증했던 추이도 반도체 쏠티지를 더욱 가속화시켰다. 또한, 모빌리티 및 운송수단이 스마트화되고 솔루션 형태로 비즈니스가 확장됨에 따라, 차량용 인포테인먼트, 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS), 자율주행차 및 멀티 카메라 비전과 같은 첨단 자동차에 탑재되는 반도체 수요가 5배에서 10배 이상으로 증가하였고, 이는 단순 반도체 갯수 뿐만 아니라 고용량 메모리에 대한 수요가 증가하면서 메모리 반도체의 역할이 모빌리티 산업에 매우 중요한 요인으로 부상하였다.

시스템 반도체 시장점유율은 미국이 54.5%(2,486억 달러)로 1위, 2위는 유럽 11.8%(539억 달러), 3위 대만 10.3%(470억 달러), 4위 일본 (9.2%, 421억 달러), 5위 중국(6.5%, 299억 달러)이며, 한국은 6위로 3.3%, 151억 달러 수준의 매출 규모를 보이고 있다. (Gartner 2023) 메모리 반도체 시장에서 한국은 D램 및 낸드 시장점유율이 각 70.5%, 5.6%로 선두를 위치하고 있는데 반해, 시스템 반도체 분야는 경쟁국 대비 하위 수준이다. 시스템 반도체는 제품이 하나하나 모두 다르며, 제품별로 셀 수도 없이 많은 종류의 소자가 존재하므로 소자별 기업별 분석이 보다 의미있다. 현재 글로벌 시스템 반도체 강자들은 고객 제품, 즉 시스템 요구 실현을 위해 개발 단계부터 오랜 기간 협력을 거듭해 왔기 때문에 상대적으로 정형화된 접근(속도, 수율 등)만으로는 시장 공략에 한계가 있으며, 장기간에 걸친 목표 대상 분야(도메인) 실

력 배양과 네트워크가 필요한 분야이다. 모바일 및 일부 데스크탑 분야에서 AP 등 SoC를 중심으로 고집적화 경쟁이 치열하며, 자동차, 항공우주, 정밀로봇, 통신인프라 등의 분야에서는 요구 성능 및 신뢰성 기준 역시 중요하듯이 분야별로 경쟁력 요인도 상당한 차이가 있다.

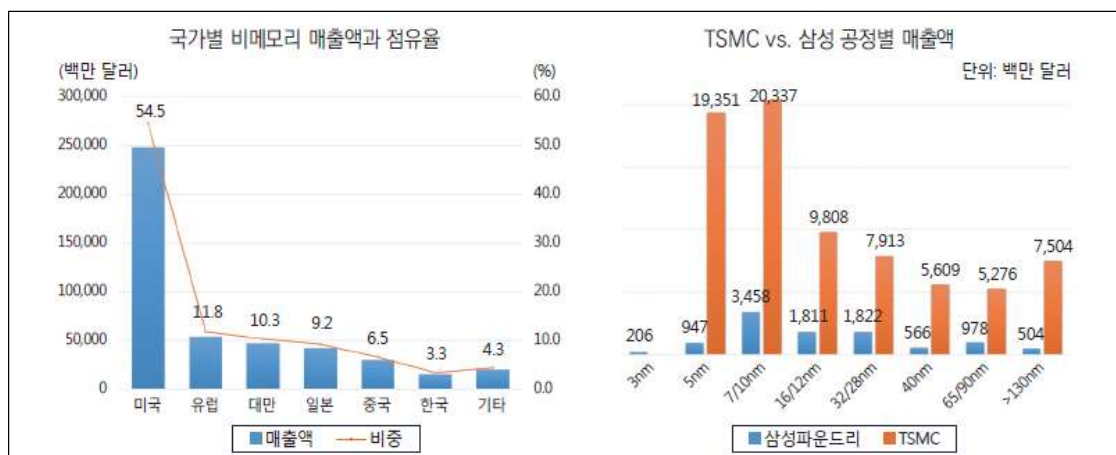
< [그림 2-3] 2022년 세계 시스템 반도체 주요 소자별 · 국가별 비중 >

소자 구분		비고		1위	2위	3위	4위	5위
비메모리 (전체)	규모(백만 달러)	456,387	기업명	인텔	퀄컴	브로드컴	AMD	T. I.
	비중(%)	100	매출액	58,055	34,780	23,834	23,620	18,844
	기업 수(개사)	176	비중	12.7	7.6	5.2	5.2	4.1
AP	규모(백만 달러)	77,648	기업명	퀄컴	애플	미디어텍	AMD	삼성전자
	비중(%)	17.0	매출액	21,640	16,812	11,068	4,329	3,118
	기업 수(개사)	49	비중	27.9	21.7	14.2	5.6	4.0
CPU	규모(백만 달러)	64,725	기업명	인텔	AMD	마벨	Hygon	NXP
	비중(%)	14.2	매출액	47,759	12,388	1,069	682	559
	기업 수(개사)	15	비중	73.8	19.1	1.7	1.1	0.9
MCU	규모(백만 달러)	26,936	기업명	레너사스	STMicro	NXP	마이크로칩	인피니온
	비중(%)	5.9	매출액	4,574	4,550	4,460	3,783	3,304
	기업 수(개사)	36	비중	17.0	16.9	16.6	14.0	12.3
GPU	규모(백만 달러)	14,963	기업명	엔비디아	AMD	인텔		
	비중(%)	3.3	매출액	12,588	1,983	251		
	기업 수(개사)	3	비중	84.1	13.3	1.7		
FPGA PLD	규모(백만 달러)	8,293	기업명	AMD	인텔	Lattice	마이크로칩	유니그룹
	비중(%)	1.8	매출액	4,486	2,296	539	463	110
	기업 수(개사)	9	비중	54.1	27.7	6.5	5.6	1.3
DDIC	규모(백만 달러)	8,990	기업명	삼성전자	LX세미콘	노바텍	Raydium	하이맥스
	비중(%)	2.0	매출액	1,938	1,512	1,460	747	708
	기업 수(개사)	24	비중	21.6	16.8	16.2	8.3	7.9
통신	유선	규모(백만 달러)	기업명	브로드컴	마벨	리얼텍	인텔	마이크로칩
		비중(%)	매출액	12,835	4,115	1,785	1,474	1,176
		기업 수(개사)	비중	36.7	11.8	5.1	4.2	3.4
무선 BT, WiFi RF, NFC...	규모(백만 달러)	42,017	기업명	퀄컴	브로드컴	미디어텍	Skyworks	Qorvo
	비중(%)	9.2	매출액	9,486	4,858	3,534	3,461	2,586
	기업 수(개사)	66	비중	22.6	11.6	8.4	8.2	6.2
광학센서 & 광전자	규모(백만 달러)	38,634	기업명	소니	삼성전자	amsOSRAM	옵티비전	STMicro
	비중(%)	8.47	매출액	8,827	3,642	2,573	1,903	1,687
	기업 수(개사)	60	비중	22.8	9.4	6.7	4.9	4.4
CMOS 이미지센서	규모(백만 달러)	18,189	기업명	소니	삼성전자	옵티비전	ONsemi	갤럭시코어
	비중(%)	4.0	매출액	8,678	3,244	1,903	1,199	779
	기업 수(개사)	18	비중	46.7	17.4	10.2	6.4	4.2
아날로그	규모(백만 달러)	37,503	기업명	T. I.	ADI	Mondithic	ONsemi	STMicro
	비중(%)	8.2	매출액	10,039	8,994	1,436	1,426	998
	기업 수(개사)	64	비중	26.8	24.0	3.8	3.8	2.7
전압조정 레퍼런스	규모(백만 달러)	19,953	기업명	T. I.	ADI	Mondithic	ONsemi	STMicro
	비중(%)	4.4	매출액	4,426	3,242	1,332	1,162	695
	기업 수(개사)	59	비중	22.2	16.2	6.7	5.8	3.5
전력제어(PMIC)	규모(백만 달러)	18,439	기업명	퀄컴	T. I.	미디어텍	레너사스	STMicro
	비중(%)	4.0	매출액	2,695	2,655	1,993	1,374	1,193
	기업 수(개사)	50	비중	14.6	14.4	10.8	7.5	6.5
이산형	규모(백만 달러)	33,477	기업명	인피니온	ONsemi	STMicro	넥스페리아	Vishay
	비중(%)	7.34	매출액	4,814	3,276	2,441	1,899	1,492
	기업 수(개사)	58	비중	14.4	9.8	7.3	5.7	4.5
비광학센서(관성, 지문...)	규모(백만 달러)	12,605	기업명	보쉬	인피니온	TDK	고어텍	STMicro
	비중(%)	2.76	매출액	1,533	1,149	1,149	954	910
	기업 수(개사)	52	비중	12.2	9.1	9.1	7.6	7.2

출처 : Gartner, "Market Share: Semiconductor Foundry by End Market" (2023.3월)

파운드리 부문에서 삼성전자는 TSMC에 이어 시장점유율 2위지만, 대부분의 공정에서 TSMC와 매출액의 상당한 격차가 있다. 대표적으로 2022년 기준 5nm 공정 매출액은 TSMC 매출액이 삼성파운드리와 약 20배 수준이다. (Gartner 2023)

< [그림 2-4] 2022년 국가별 시스템 반도체 점유율 및 TSMC·삼성 공정별 매출액 비교 >



출처 : Gartner, “Market Share: Semiconductor Foundry by End Market” (2023.3월)

2.3.2. AI 등 미래 반도체 시장

반도체 산업은 PC와 스마트폰이 등장하며 큰 폭으로 성장했으며, 최근 프리미엄 스마트폰, 데이터 센터가 확대되면서 전방 산업 고도화에 필수재가 되었다. 특히 스마트폰에서 대용량 데이터의 신속 처리가 요구되면서 보다 집적화된 반도체에 대한 수요 증가는 반도체 산업의 성장을 견인하고 있다. 현재는 스마트폰 시장을 선점한 기업이 반도체 산업을 좌우하지만, 향후 반도체가 IoT, D&A(Data & Analytics), AI 등과 결합하기 위해 AI 반도체와 같이 고도화된 새로운 종류의 반도체가 등장하면서, 웨어러블 디바이스 등 폭넓은 사물에 접목되는 플랫폼 형태로 발전할 것이다. 아울러 자율주행차 시대가 도래하면서 반도체 업계에서는 차량용 반도체에도 주목하고 있다. 즉, 산업 전반이 디지털화, 전동화, 고도화되면서 반도체 생태계는 더욱 세분화·전문화되고, 반도체 산업의 지형도도 빠르게 변할 것으로 예상된다. (경희권 2022)

중국의 경제 성장, 미국의 대중 무역수지 적자로 시작된 미·중 무역분쟁이 반도체를 중심으로 한 기술패권 경쟁으로 이어졌고, 이는 주요 신흥 기술 및 첨단 기술 분야에서 더욱 가속화될 것으로 보인다. 중국은 특히 AI 굴기를 통한 군사 지능화를 추진하고 있고, 민간과 군이 함께 발전 가능한 첨단기술인 5G, AI, 빅데이터, 로봇, 항공우주, 양자컴퓨팅 등의 기술은 군사적 우위를 점할 수 있다는 점에서 매우 중요한 기술로 간주된다. 중국은 13차 5개년 계획을 통해 AI 기반 산업발전 계획을 제시했으며, AI 자율 비행 기능을 장착한 6세대 스텔스 전투기 실전 배치를 계획 중이다. 중국은 군민융합을 통해 첨단기술을 군사적 활용을 목적으로 발전시켜 나가고 있고, 이러한 중국의 첨단기술 굴기는 경제를 넘어 안보적 차원에서 미국의 위협의식을 키우고 있다. AI 능력은 AI 반도체 성능에 의존하기 때문에 궁극적으로 AI 반도체의 기술 경쟁이 미·중 패권경쟁의 핵심으로 부상할 것으로 예상된다.

Gartner는 AI 반도체 시장이 2020년 153억 달러에서 2027년 1,194억 달러로 성장할 것으로 전망하였다. 현재 AI 반도체 시장은 Nvidia가 90% 이상 차지하며 독점하고 있다. 최근 ChatGPT를 시작으로 AI 서비스가 출현하면서 AI 반도체를 생산하는 NVIDIA의 주가는 1년 만에 240%, 5년 만에 1,800% 폭발 성장하면서 아마존과 구글을 제치고 시가총액 순위 4위에 올라섰다. (Gartner 2023) 전문가들은 현재 대부분의 AI 소프트웨어가 Nvidia 반도체를 기반으로 개발되었기 때문에 최소한 향후 5년 간은 Nvidia가 75-90% 시장점유율을 유지할 것이고, AI 소프트웨어와 반도체 생태계도 Nvidia를 중심으로 돌아갈 것이라고 전망하였다. (Fitch 2024)

Nvidia 외에도 많은 빅테크 기업들이 AI 반도체 개발에 한창이다. 마이크로소프트는 2019년부터 ‘아테나’ 라는 프로젝트를 통해 AI 반도체를 자체 개발해왔고, 2023년 말 ‘مایا 100’, ‘코발트100’ 이라는 자체 AI 반도체를 발표했다. (Andrew 2023) 아마존은 오픈AI 출신 개발자가 창업한 AI 스타트업 엔트로픽에 50억 달러를 투자했다. ChatGPT를 개발한 오픈AI는 7조 달러를 투자하여 AI 반도체 개발, 직

접 생산을 포함해 AI 생태계를 만들어가겠다는 계획을 수립하고 있다. (CBInsights 2023)

기존 반도체 기업들도 AI 반도체 분야 Nvidia와 협력하고 있다. Nvidia의 AI 반도체를 생산하려면 TSMC의 첨단패키징 공정 ‘Chip on Wafer on Substrate(CoWoS)’가 필요하며, 현재 HBM(High Bandwidth Memory) 시장의 50% 가량을 차지하고 있는 SK하이닉스도 Nvidia에 HBM을 공급하고 있다. SK하이닉스는 HBM 개발 단계부터 Nvidia와 협력해왔으며 HBM3에 이어 HBM3E도 Nvidia에 독점 공급하고 있다. (유지한 2024)

2.4. 반도체 산업 밸류체인

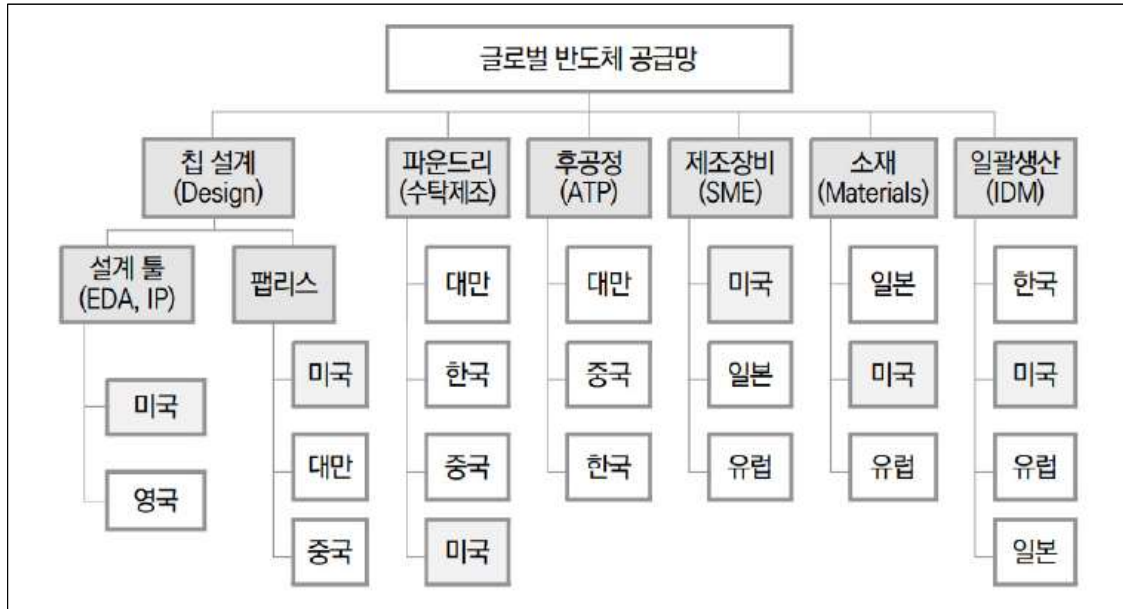
2.4.1. 밸류체인

반도체 산업 밸류체인은 R&D·설계, 조달, 생산, 수요로 구성된다. 반도체 R&D는 회로 설계 단계에서 제품 R&D와 제조공정 R&D가 동시에 진행되며, 제조단계의 R&D도 큰 비중을 차지한다. 설계는 반도체 설계를 위한 블록 설계와 칩 회로 설계가 있다. 반도체 산업 밸류체인에서 조달은 반도체를 생산하는데 필요한 소재와 장비를 조달하는 것으로 반도체 제조 공정별로 특화된 장비와 소재를 조달한다. 반도체는 생산공정 과정에서도 R&D가 동시에 이루어지므로 제조에 필요한 장비와 소재 조달 과정에서 각 기업들과 긴밀한 협조가 중요하다. 생산은 잉곳을 가공한 웨이퍼를 투입하여 반도체의 특성을 갖도록 가공하는 전공정과 이를 마친 웨이퍼를 패키징하고 검사하는 후공정으로 구성된다. 후공정 중 패키징은 가공이 완료된 웨이퍼(반도체 칩)를 절단후 데이터 입력, 출력 단자를 외부와 연결하는 작업으로 반도체 칩을 물리적으로 보호하고 배선 및 전력 공급을 위해 필요한 작업이다. 검사는 생산 공정이 끝난 웨이퍼를 대상으로 웨이퍼 검사와 포장까지 완료된 칩에 대한 포장 검사가 있다. 메모리 반도체와 시스템 반도체는 시장 특성이 다소 다른데, 메모리 반도체는 표준 제품을 제공하고 공급자가 제한되어 있지 않아 상대적으로 소비자 주도형 시장을 형성하고 있고, 시스템 반도체는 특정 용도의 제품을 주문 생산하기 때문에 공급자 주도형 시장이다.

2.4.2. 국가별 밸류체인 특징

반도체 R&D 및 설계는 미국 기업이 세계 시장을 선점하고 있으며 이에 따라 이들 기업의 최근 3년간 평균 매출액 및 영업이익률은 매우 높은 수준을 나타내고 있다. (CEST 2021) 메모리 반도체는 제품 특성상 IDM 기업이 R&D 설계도 수행하고 있으므로 규모가 큰 반면 기업 수가 적은 것이 특징이며, 영업 이익은 양호한 것으로 나타난다.

< [그림 2-5] 글로벌 반도체 밸류체인 단계별 주요 담당 국가 >



출처 : 대외경제정책연구원, “미중반도체 패권경쟁과 글로벌 공급망 재편” (2021)

생산은 반도체 생산 설비에는 막대한 투자가 필요하므로 반도체 밸류체인 중 기업 수가 가장 적은 분야이다. 특히 메모리 반도체는 한국과 미국 기업이 주도하고 있으며, 영업이익은 양호한 상황이다. 시스템 반도체는 메모리 반도체에 비해 많은 기업이 생산하고 있으며, 특히 대만 기업이 세계 시장을 주도하고 있다. 반도체 생산은 막대한 설비투자가 필요하므로 현재 높은 수익에도 불구하고 참여 기업이 적은 상황이지만, 최근 각 국가가 반도체 제조 관련 다양한 지원 정책을 발표하고 있으므로 향후 변화를 예의주시해야 하는 상황이다.

반도체를 생산하는 데 필요한 소재는 메모리 반도체용과 시스템 반도체용의 구분이 되지 않으며 일본, 미국 기업이 세계 시장을 주도하고 있다. 현재 시장에서 유통되고 있는 반도체는 주원료가 실리콘 웨이퍼이며, 이를 가공하여 메모리 반도체와 시스템 반도체를 생산하고 있다. 미국은 초기에 반도체를 개발하는 과정에서 소재 및 장비 분야가 함께 발달하였고, 일본은 반도체 제조 분야보다 소재 분야가 더욱 발달했다.

반도체 제조 장비 역시 소재와 마찬가지로 메모리 반도체와 시스템 반도체용으로 구분되지 않는다. 반도체 제조 장비 역시 미국과 일본 기업이 두각을 나타내고 있는데, 최근 고가의 EUV(extreme ultraviolet; 극자외선) 장비는 네덜란드의 ASML이 독점 공급하고 있다. 반도체 제조 기술이 발달하면서 제조 장비 역시 최첨단 기술이 적용되고 가격이 비싸지고 있어서 기술력과 자금력이 부족한 한국 기업은 미국과 일본 기업에 비해 경쟁 열위에 있다.

국가별 기업 부가가치로 본 글로벌 반도체 시장은 아래와 같이 미국(39%), 한국(16%), 일본(14%), 대만(12%) 순으로 미국이 압도적 우위에 있다. 다만, 기업 부가가치 지표는 해당 국가의 반도체 수요에 대응한 안정적 공급환경을 설명하지는 못한다.

< [표 2-3] 공정 단계별 부가가치 측면의 각국 시장점유율 현황(2020년) >

반도체 공정	분야	부문 가치	글로벌 시장 점유율(%)						
			미국	한국	일본	대만	유럽	중국	기타
총부가가치			39%	16%	14%	12%	11%	6%	2%
칩 설계	EDA	1.5%	96%	<1%	3%	0%	0%	<1%	0%
	Core IP	0.9%	52%	0%	0%	1%	43%	2%	2%
위탁 제조	Wafers	2.5%	0%	10%	56%	16%	14%	4%	0%
	Fab tools	14.9%	44%	2%	29%	<1%	23%	1%	1%
	ATP tools	2.4%	23%	9%	44%	3%	6%	9%	7%
	Design	29.8%	47%	19%	10%	6%	10%	5%	3%
생산	Fab	38.4%	33%	22%	10%	19%	8%	7%	1%
후공정	ATP	9.6%	28%	13%	7%	29%	5%	14%	4%

출처 : CEST, “The Semiconductor Supply Chain” (2021. 7)

2.5. 주요국 반도체 경쟁력 비교

2.5.1. 메모리 반도체

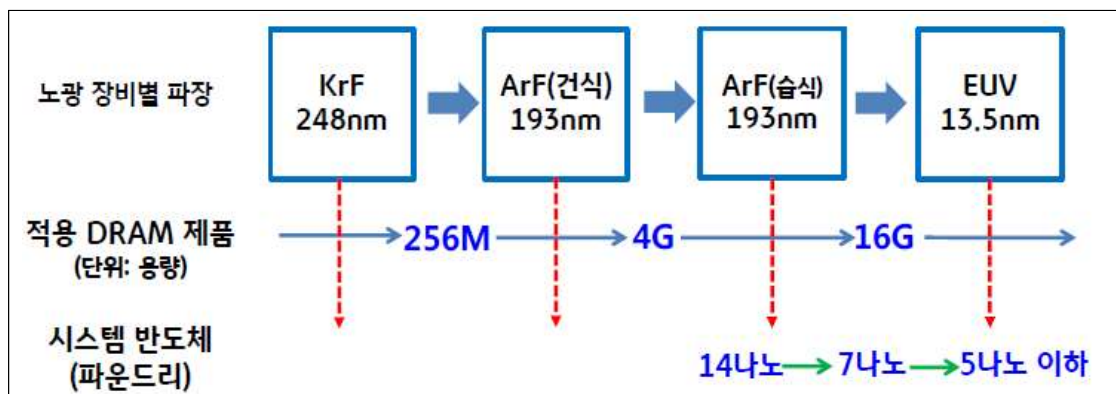
메모리 반도체는 대량 생산 투자에 필요한 자본력, 미세공정 기술 등을 통한 가격경쟁력이 가장 중요한 부분이다. 앞서 언급했던 것처럼, 초미세공정 선점을 통한 소자 집적도 향상은 D램 성능을 제고하고 수익성 향상과 직결되는 기술이다. 과거 D램 시장에 다수 업체가 진입하면서 치킨게임 양상을 보였으나, 현재는 삼성전자, SK하이닉스, 마이크론 등 3개 업체 과점화로 무리한 공급능력 확장보다는 수익성 향상에 역량을 집중하는 추세이다. 중국 업체들은 미국의 대중 제재, 선도 기업과 기술격차 등으로 자국 시장 중심으로 사업 중이며, 특히 이들은 저사양 D램에 집중하고, 데이터 센터 서버용 침단메모리 분야는 공급하지 못하고 있다.

2016년부터 미세공정 기술 난이도가 급상승하면서 회로 선폭을 좁히기가 점점 어려워지며 집적도 증가율이 둔화되는 추세이다. 이에, 그동안 삼성전자의 D램 집적도가 상위그룹 내 경쟁업체 대비 5-20% 정도 앞선 것으로 평가되었으나, 공정난이도 상승으로 10nm급 초미세공정 분야부터 기술격차가 감소할 것으로 예상된다. 따라서 D램 일부를 대체할 수 있는 새로운 유형의 메모리 반도체가 2025년 이후 시장에 적용될 가능성이 커지며, 기존 메모리 업체 간 선점 경쟁이 치열하다. (심경석 2022) 미세공정이 더 진행될 때 D램 구조상 발생하는 성능 저하를 극복할 솔루션이 학계나 산업계에서 아직 제시되지 못한 것이 사실이다. D램 구조상 한계는 D램은 데이터를 저장하는 커패시터와 데이터를 제어하는 트랜지스터로 구성되는데, 커패시터 크기를 줄이기 어려워지면서 충분한 양의 데이터 저장에 난점이 있다. 삼성전자는 D램 미세공정이 10nm 급으로 좁혀진 이후, 1세대, 2세대, 3세대까지 세계 최초 양산기록을 세웠고, 낸드플래시는 2013년 24단 3D 제품을 최초 공개하며 3D 낸드플래시의 새로운 시장을 열었다. 그러나 최근 상황은 다르다. 마이크론은 2021년 세계 최초로 10나노미터 4세대 D램 양산을

시작했고, 2020년 11월에는 176단 낸드플래시를 삼성전자보다 먼저 선보이기도 했다. SK하이닉스는 2022년 6월 세계 최초로 4세대 HBM(HBM3)를 양산하기 시작했다. HBM은 여러 개의 D램을 수직으로 연결하여 기존 D램 제품 대비 데이터 처리 속도를 높인 고성능 메모리다. 특히, 미국 오픈AI가 2022년 말 ChatGPT를 공개하면서 HBM 수요가 급증하기 시작했다. 시장조사업체 옴디아에 따르면, 삼성전자의 세계 D램 점유율은 2016년 46.6%에서 2020년 41.7%로 감소했다. 같은 기간 SK하이닉스는 25.6%에서 29.4%로, 마이크론은 20.4%에서 23.5%로 증가했다. (OMDIA 2023)

장비확보도 중요한 경쟁력이다. 웨이퍼에 회로패턴을 새기는 제조 공정인 노광(lithography)에서 초미세공정에 대응하기 위해 EUV(극자외선)를 사용하는 노광장비가 매우 중요한데, 10nm급 D램과 5nm 이하 파운드리 공정의 핵심 장비인 EUV 장비 확보와 EUV 공정 적용 횟수가 초미세화와 공정비용 경쟁에서 중요하다. 특히, EUV 장비를 조기에 선점하지 않으면 수율과 양산능력 확대와 같은 기술 노하우를 선제적으로 축적하기 어렵기 때문에 첨단 노광장비 확보 및 운영 능력이 매우 중요한 요인이 되고 있다. EUV 장비는 ASML에서 독점적으로 생산하고 있으며, 연간 40대 내외로 제작되기 때문에 첨단반도체 제조 업체간 장비확보 경쟁이 매우 치열하다. 현재는 파운드리 TSMC가 가장 많은 장비를 확보했으며, 삼성전자가 보유 수량 2위이다. (심경석 2022)

< [그림 2-6] 반도체 세대별 공정에 적용되는 노광장비 >

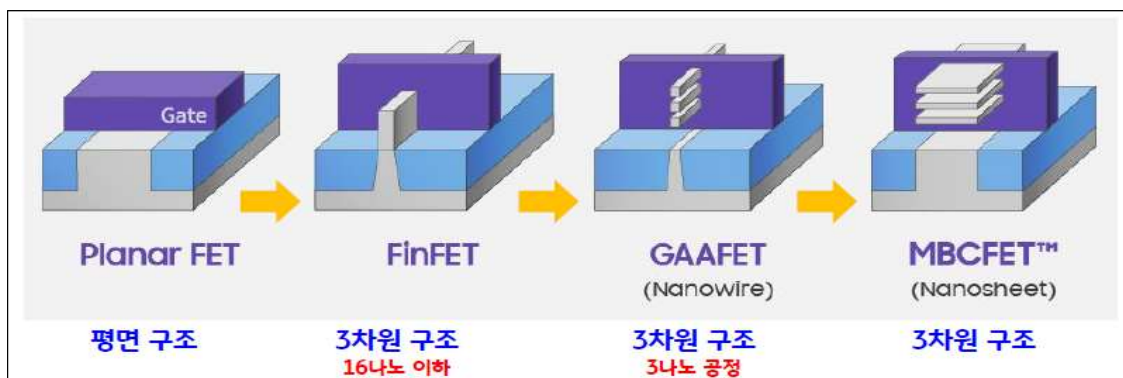


출처 : 삼성전자

2.5.2. 시스템 반도체

시스템 반도체 산업에서 팹리스는 수요자 요구대로 정확하고 빠르게 설계하는 설계 인력이 핵심이며, 파운드리에는 팹리스의 다양한 반도체 사양에 대응할 수 있는 생산공정 능력, 반도체 기능을 안정적으로 구현해내는 신뢰성, 가격경쟁력 등이 경쟁력의 핵심 요인이다. 특히, 파운드리에서 미세공정 능력과 높은 수율은 핵심 기술경쟁력이다. 미세공정 제공 능력은 저전력 고성능 칩 제작이 가능한데, 고성능 제품을 개발하는 대형 팹리스 유치에 유리하고, 팹리스는 특히 파운드리와 생산 웨이퍼 매수 당으로 계약을 하기 때문에, 웨이퍼당 양품의 칩 생산 비율인 수율이 높은 파운드리가 비용 측면에서 경쟁력이 높은 것이다. 향후 파운드리 기술 경쟁은 EUV 공정 및 3D 구조 도입으로 진행될 것으로 예상된다. 평면 구조 반도체는 회로 선폴이 초미세화되었을 때 원하는 성능을 구현하기 어렵기 때문에, 3D 구조로 이를 극복하는 것이다. 그리고, 3D 구조 기술은 EUV 기반에서 개발되기 때문에 파운드리 기술적 진입장벽은 더욱 높아질 것이다. 따라서, 향후 2nm 급을 선점하려는 TSMC와 삼성전자의 경쟁이 치열해질 것으로 예상된다. (경희권 2023)

< [그림 2-7] 파운드리에서 3D 트랜지스터 구조 발전방향 >



출처 : 삼성전자

팹리스 분야는 PC 및 스마트폰의 개발국이자 군사, 우주항공 분야의 초기 기술 축적을 토대로 성장했던 미국이 글로벌 시장 대부분을

독점하고 있고, AI 반도체 분야도 AI 및 빅테크 기업 경쟁을 기반으로 미국이 선점해 나가고 있다. 미국 기업들은 CPU, AP 등 범용 프로세서, 유무선 통신 및 GPU, FPGA(Field Programmable Gate Arrays) 등의 기술뿐만 아니라, 특수 목적 기능 향상을 위한 전용 MCU 및 이산형 소자 분야도 리드하고 있다. 통상적으로 제품 혹은 시스템 개발 초기 단계에는 범용 프로세서 및 FPGA 소자를 적용하며, 데이터가 축적되고 시스템이 최적화되면서 전용 MCU 등을 개발 적용했으며, AI 서비스의 등장으로 GPU와 같은 AI 반도체 개발 경쟁이 치열하다.

첨단반도체 외 범용반도체 분야 관련해서는, 독일 등 유럽 국가들은 자동차 및 산업용 로봇 등 수요 산업용 임베디드 시스템 관련 소자, 즉 MCU 및 이산형과 전력제어 및 광학, 비광학 센서류에 강점이 있다. 일본의 경우, 시스템 반도체는 유럽과 비슷하게 자동차, 정밀 기계 등 특정 수요에 맞춘 MCU, 이산형 반도체뿐만 아니라, CMOS 이미지센서와 정밀 통신소자 등 자체 및 범용 수요가 있는 분야에도 상당한 경쟁우위에 있다. 대만은 스마트폰, 태블릿, PC 등 시장이 큰 소자군에 특히 강점을 지니고 있는데, 이는 중국의 폭넓은 제조업 포트폴리오와 산업 수요를 기반으로 한다.

< [표 2-4] 파운드리 양산 및 개발 현황(2023년 말 기준) >

공정 노드	개발 및 양산 현황 / 계획	용도
2nm 미만	- TSMC, 삼성전자 2025년 이후 양산 계획 - IBM, 시제품 개발 인텔과 협력	최신 서버, 슈퍼 컴퓨터, 스마트폰, 자율주행차 프로세서, 그래픽 카드 등
3nm	- 삼성전자 2022년 6월, 3nm 양산개시 발표 - TSMC 2022년 하반기 양산 발표	
5-7nm	- TSMC, 삼성전자 양산	
10-28nm	- TSMC, 삼성전자, 인텔 등 다수 기업 양산	스마트폰, 랩탑, 게임, PC 프로세서 등
28-45nm	- TSMC, 삼성전자, UMC, SMIC 등 다수 기업 양산	무선통신 기기, 중계기, IT기기 등
55-90nm	- DB하이텍, UMC, SMIC, Tower jazz, 매그나칩 등 중하위권 다수 기업	차량용 MCU, 디스플레이 구동칩, 전력관리칩, 센서 등
90nm 이상		

출처 : 언론보도, 기업발표 등 관련자료 종합

파운드리 분야는 다수의 기업들이 투자비 부담으로 7nm 이하의 공정 투자를 포기하면서 첨단파운드리 시장은 TSMC, 삼성전자와 최근 합류한 인텔의 3자 구도로 재편되었다. 삼성전자는 2022년 6월 말, 3nm 공정 양산을 발표했고, TSMC는 2022년 하반기부터 3nm 공정 양산 중이다. 인텔은 2021년 3월 파운드리 사업 진출을 선언하고, 7nm 공정 개발에 돌입하였다. 인텔은 TSMC, 삼성전자와는 기술 격차를 보이지만, 미국 내 대규모 제조 기반 구축과 미국 CHIPS Act와 파격적인 미국 정부 지원 등에 힘입어 기술 격차를 줄이는데 주력하고 있다.

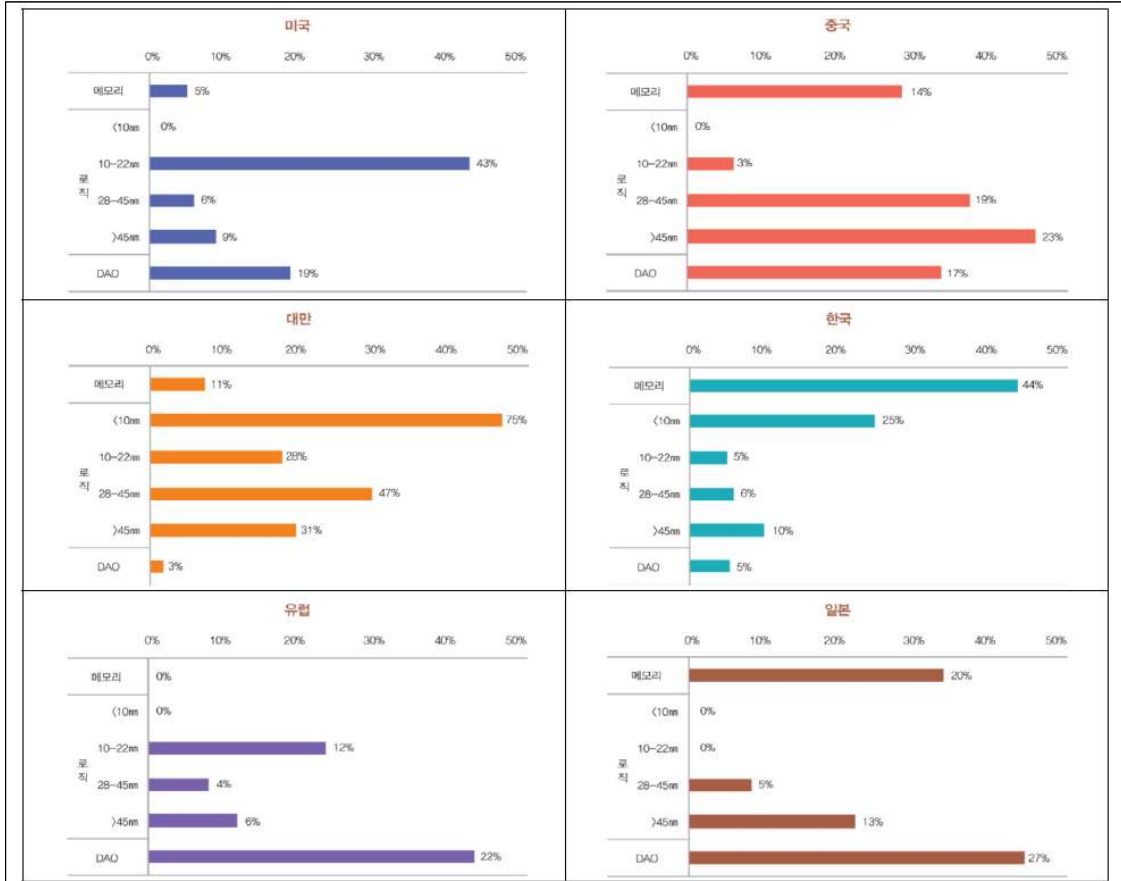
2.5.3. 반도체 생산능력

현재 국가별 반도체 생산량은 대만, 한국, 일본, 미국, 중국 순이다. 특히, 중국과 외교적 지위 분쟁 중인 대만은 반도체 제조 분야 세계 최고의 선두 주자이다. TSMC는 전 세계 반도체의 약 50%를 단독 제조하고 있으며, 특히 자사 제품에 탑재되는 반도체를 생산하는 삼성전자, 인텔과 달리 TSMC는 애플, AMD, Nvidia, Qualcomm 등 많은 IT, 전자회사에 반도체를 공급한다. 대만의 반도체 산업은 강력한 End-to-End 반도체 공급망의 이점을 바탕으로, 초기 IP 구축 및 회로 설계부터 최종제품 제조, 제조 및 테스트까지 반도체 제조 공정의 전 사이클을 총체적으로 처리하는 수천 개의 반도체 관련 회사들이 있다. 또한, 대만에는 최첨단 제조 시설과 설비들이 많이 있으며, 이 중 일부는 세계 어디서도 제조할 수 없는 최고 수준의 반도체를 생산할 수 있는 기반이다. 이러한 특성으로 인해, 대만 반도체 산업은 제품에 반도체가 필요하지만 자금이 부족하거나, 10억 달러 이상의 비용이 드는 자체 제조공장이 필요한 기업에게 최선의 선택이다.

삼성전자는 세계에서 가장 큰 단일 반도체 제조업체 중 하나이다. 삼성전자는 자사 제품에 탑재되는 반도체를 만드는 종합반도체기업(Integrated Devices Manufacturer)이며, 다른 업체 제품에 사용되는 반도체도 생산하는 파운드리이다. 일본에는 100개 이상의 반도체 제조공

장이 있으며, 이들 대부분은 일본, 미국, 대만 기업 소유이다.

< [그림 2-8] 주요국 반도체 생산능력 분포(2022년 기준) >



출처 : 김영우, “반도체 투자전쟁: 글로벌 패권경쟁이 가져올 거대한 기회”

미국은 2021년 기준, 세계 반도체 생산능력의 약 12%를 차지한다. 이는 대만, 중국과 같은 국가들이 반도체 생산능력을 공격적으로 늘려왔던 지난 수십 년과 비교할 때 생산능력이 현저히 낮은 것이다. 그러나, 생산능력은 부족하지만 미국의 반도체 산업은 상당한 수익성을 유지하고 있는데, 미국반도체산업협회(SIA)에 따르면, 2021년 미국 반도체 수출은 미국 경제에 620억 달러를 기여했으며, 이는 정제유, 항공기, 원유, 천연가스 부문에 이어 많은 수출액이다. 미국이 수출하는 반도체의 대부분은 다시 완성된 가전제품 등 완성품의 형태로 미국으로 다시 공급된다. 미국은 2021년에는 세계 생산능력의 12%에 불과했지만, 미국이 소유하거나 운영하는 기업은 전체 반도체 시장점유율의 46.3%를

차지한다. (Semiconductor Industry Association 2022) 이는 미국 기업이 일본 등 다른 국가에서 반도체 제조공장을 소유 및 운영하고 있다는 것을 의미한다. 이는 생산능력 기준으로는 해당 국가의 생산능력에 포함되지만, 이익은 미국 경제로 귀속되기 때문에 미국 경제에 기여하는 반도체 산업은 훨씬 크다고 볼 수 있다.

2.5.4. 중국의 반도체 제조경쟁력

대외경제정책연구원에 따르면, 중국의 반도체 제조경쟁력은 글로벌 선두기업과 낸드플래시 2년, D램 5년, 파운드리(로직반도체) 5년 정도의 기술격차가 있으며, CPU, D램, 낸드플래시 국산화율도 아직 한 자리 수에 불과하다 (2021년 기준) 2022년 미국반도체산업협회(SIA)에 따르면, 반도체 산업 밸류체인별 부가가치로 보면 중국은 설계 분야 (Design, EDA)와 제조 장비의 비중이 매우 낮은 편이다. (Ravi 2022)

< [표 2-5] 중국 메모리 및 파운드리 분야 기술격차(2022년) >

분야		삼성전자	SK하이닉스	마이크론	YMTC	격차
낸드플래시	양산	236단 8세대	176단	232단	128단 6세대	2년
	차세대	9세대	238단	200단 후반	232단	
		삼성전자	SK하이닉스	마이크론	CXMT	
D램	양산	4세대	4세대	4세대	1세대 19nm	5년
	차세대	5세대	5세대	5세대	2세대 17nm	
		삼성전자	TSMC	UMC	SMIC	
파운드리 (로직반도체)	양산	3nm	3nm	22nm	14nm	5년
	차세대	2nm	2nm	14nm	7nm	

출처 : 대신증권, “미국의 대중 반도체 제조시설 수출통제에 따른 중국의 장비 수입변화 분석” (2023)

2.6. 미국, 중국 반도체 산업 정책

1970-1980년대는 세계 반도체 시장을 미국과 유럽, 일본이 주도했으나, 1990년대 이후부터 대만과 한국이 빠르게 성장하여 시장주도권을 확보하기 시작했다. 1980년대 후반부터 미국과 유럽은 상대적으로 부가가치가 낮은 파운드리에 대만과 아시아에 의존하고, 고부가가치인 팹리스에 집중하는 전략을 채택했다. 일본은 전통적으로 강점을 가졌던 반도체 핵심 소재와 장비를 신흥 제조국에 공급하는데 주력하였다. 그러나, 코로나 팬데믹에 의한 차량용 반도체 쏠티지 등 공급망 리스크가 가져오는 경제 전반의 부정적 영향을 경험하면서, 미국과 일본, 유럽 등도 공급망 재검토하고, 반도체 전략을 수정하고 있다.

2.6.1. 미국

미국의 반도체 산업 정책은 미·중 패권경쟁에서 출발한다. 반도체가 항공우주, 첨단무기 개발 및 사이버 안보 등 안보 분야에서도 핵심부품이라는 점에서 반도체 기술과 공급망 확보가 패권경쟁의 성패를 결정하는 핵심이 되었다. 미국의 대중국 반도체 견제는, 중국이 2010년대부터 반도체 산업을 강력하게 지원하면서 시작되었다. 중국은 전 세계에서 가장 큰 반도체 시장이나, 대부분 수입에 의존하고 있어 무역수지 적자가 빠르게 증가하면서 본격적으로 반도체 산업을 육성하기 시작한 것이다 (당초 중국의 산업구조 변화로 인해 원유 수입이 압도적이었으나, 2013년부터 반도체가 수입 1위 품목으로 등극하였다.) 중국은 반도체 자립을 위해 2014년 “국가 반도체산업 발전 가이드라인”, 2015년 “중국 제조 2025”를 발표하였다. 미국 산업계는 중국이 세계 반도체 시장을 잠식할 것이라는 위기감을 갖고 미국 정부에 강력한 대응을 촉구하였고, 2010년대 초반부터 미국 중서부에 저가로 대규모로 집중 설치된 화웨이 통신장비를 통한 군사 정보 및 기업 데이터 유출 등 사이버 보안 문제 제기과 맞물려 미국의 대중 반도체 산업 견제가 본격적으로 시작하게 된 것이다.

바이든 행정부의 대중국 견제 정책은 ▲군사적 용도로 사용할 수 있는 첨단기술(범용기술)을 보호해야 하며, 이를 위해 핵심 품목 및 분야에서 탄력적인 공급망을 확보, ▲국내 산업 원천에 투자하여 핵심 분야 관련 미국 내 생산 및 성장 역량을 확충, ▲첨단기술 및 핵심 분야에서의 치열한 경쟁이 갈등이나 대립으로 치닫지 않도록 관리하는 것을 핵심으로 한다. 마지막 파트는 바이든 행정부의 대중국 기조가 “competitive coexistence”, 즉 중국과의 완전한 산업적 디커플링이 불가능하다는 것을 인지하고, 대중 견제를 첨단기술 및 핵심분야에 집중하여 중국발 위협 요인을 제거하는 디리스크잉에 초점을 두는 것이다. (민정훈 2023) 2022년 4월 Jake Sullivan 백악관 국가안보보좌관은 강연에서 “우리는 중국으로부터 디커플링이 아니라 디리스크잉을 추구한다. 우리는 중국과의 무역을 차단하고 있지 않다”고 강조한 바 있다. 궁극적으로는 중국의 성장을 지연 혹은 억제시켜 미국의 경쟁 우위를 유지하는 것이며, 이를 위해 첨단기술 및 핵심 분야 공급망 재편을 가속화하고, 민주적 가치와 정치 시스템을 둘러싼 대립으로 확대하여 민주주의 동맹국들의 참여를 정당화, 강조하고 있다.

2.6.1.1. 반도체 수출통제

미국 정부는 2018년 ‘수출통제개혁법(Export Control Reform Act, ECRA)’을 제정하여 수출통제에 대한 행정부의 권한을 대폭 강화하고 수출통제 대상 기술과 품목 확대 및 관리를 더욱 엄격화하였다. 의회는 대통령에게 수출통제 관련 권한 일체를 영구적으로 위임하여 수출통제에 대한 미국 행정부의 권한을 강화하고, ‘신흥·기반 기술(emerging and foundational technologies, EFT)’ 분야로 통제대상을 확대하고 수출 허가를 더욱 엄격하게 운영하도록 하였다. (Shivakumar 2023)

2019년 5월 트럼프 전 대통령은 미국 기업들이 국가 안보를 위협하는 외국산 장비를 사용하지 못하게 하는 내용의 “정보통신 기술·서비스 공급망 확보” 행정명령에 서명하였고, 서명 직후 상무부

는 화웨이를 포함한 68개 계열사 등을 정부 허가 없이 미국 기업과 거래할 수 없는 Entity List에 포함시켰다. 이어, 2020년 12월 상무부는 SMIC를 Entity List에 포함하여 자국 기업들이 반도체 제조 장비와 소재를 자유롭게 팔지 못하도록 하고, 국방부도 Entity List를 추가하여 SMIC의 자본 흐름을 통제하기 시작했다. 상무부 Entity List에 포함된 기업에 대해서는 미국 기업뿐만 아니라 외국 기업에도 수출 금지를 요구했는데, 특히 2021년 7월 미국 정부는 네덜란드 정부에 세계에서 유일하게 ASML이 생산하고 있는 첨단반도체 생산에 필수적인 EUV 노광장비의 중국 수출 제한을 요청하고, 네덜란드가 이를 수용하였다.

< [표 2-6] 미 상무부 Entity List에 등재된 중국 주요 반도체 기업 >

등재연도	기업명	구분	기업 내용
2019	HiSilicon(화웨이)	팹리스	2019년 중국 팹리스 1위, 글로벌 4위
2020	SMIC	파운드리	중국 파운드리 1위
2021	H3C	팹리스	UNI 그룹 자회사, 통신 칩 설계
2022	YMTC	메모리 IDM	중국 낸드 1위
	Cambricon	팹리스	중국 AI 반도체 기업
	SMEE	장비	중국 노광장비 1위

출처 : Department of Commerce

상무부는 2022년 10월 ‘수출관리규정(Export Administration Regulations, EAR)’을 개정하여 반도체 장비 대중 수출통제를 강화하였다. 중국에 대한 수출통제 대상 목록에 고성능 컴퓨터 칩과 이를 포함하는 컴퓨터, 전자조립체 및 구성품, 소프트웨어와 기술, 반도체 제조와 관련된 특정 품목 및 이와 관련된 소프트웨어와 기술을 추가하였다. 또한, 기존 Entity List FDPR(해외직접생산품규칙)를 확대하여 고성능 컴퓨팅 FDPR과 슈퍼컴퓨터 FDPR을 신설, 이들 품목에 대한 중국으로의 우회 수출을 원천적으로 차단하였다. 이외에도 중국 내 위치한 반도체 제조시설에서의 집적회로(IC) 개발 및 생산에 사용하는 최종용

도(end-use)에 대한 통제를 신설하고, 기업의 실태 조사시 외국 정부의 협조가 부족하여 최종용도에 관한 확인이 적시에 완료되지 않을 경우 Entity List에 등재하도록 하여 우려거래기관 관리를 강화하였다.

< [표 2-7] 미 상무부, 대중국 반도체 수출통제 >

구분		미국 수출통제	중국 기술력 현황
장비	로직 반도체	16/14nm 이하	SMIC 14nm
	낸드	128단 이상	창장메모리 128단
	D램	18nm 이하	창신메모리 19nm
Hige-end CPU/GPU	고연산·AI 트레이닝 서버용 GPU	Nvidia GPU: A100(7nm), H100(4nm)	국산 고성능 GPU 상용화 낮은 수준
		AMD AI: MI250(6nm)	

출처 : Department of Commerce

2.6.1.2. 반도체 공급망 조사 보고서

코로나19 팬데믹 이전 반도체 업계와 전문가들 사이에 2017-2018년 반도체 초호황기 이후 반도체 산업이 불황기에 접어든다는 의견이 지배적이었고, 2018년부터 미·중 무역분쟁이 본격화되면서, 세계 경기 둔화를 우려한 반도체 기업들은 대부분 반도체 생산의 감산을 결정하고 투자를 지연시켰다. 미국의 마이크론은 2019년 3월 낸드 플래시와 D램의 생산량을 각각 5% 줄이겠다고 발표했고, 일본 르네사스는 2019년 3월 생산량을 10% 감소하기 위해 국내외 생산공장 14개 중 13개 공장은 전체 가동이 아닌 부분 가동 및 생산 중단을 병행하였다. 그러나, 코로나19 팬데믹으로 디지털화의 가속화, 자동차 등 수요산업의 빠른 회복으로 산업별 수요 예측이 실패하면서 전 세계적으로 반도체 솟티지 현상이 발생하였다. 특히, 반도체 주요 수요산업인 자동차 산업은, 2020년 상반기까지 세계 완성차 판매량이 감소세를 보이자 글로벌 자동차 기업들도 생산 감축을 결정하고, 차량용 반도체 공급기업이 서버나 PC 등 다른 수요처에 대응하면서 차량용 반도체 부족 문

제가 가속화되었다. 차량용 반도체 생산기업은 급히 생산을 늘려 수요 증가에 대응하려 했지만, 반도체 제조공정 특성상 즉각적인 설비 전환 등의 대응이 어렵고, 다른 수요처 역시 반도체 수요 증가가 발생하여 수급 불일치 현상이 가중되었다.

게다가 반도체 쏫티지 시기에, 대만 가뭄에 따라 2020년부터 2021년 상반기까지 물 공급이 원활하지 않게 되면서 TSMC를 비롯한 대만의 파운드리 공장 가동률이 저하되었고, 2021년 2월 미국 텍사스 주의 한파로 전력 공급이 끊기면서 삼성전자 오스틴 공장, NXP, 인피니온 등 반도체 생산기업들이 약 한 달간 공장을 가동하지 못했다. 또한, 차량용 반도체 생산 세계 3위 기업인 일본 르네사스는 2021년 2월 지진과 3월 화재, 2022년 지진 영향으로 각 1개월 이상의 생산 차질이 발생하면서 차량용 반도체 부족이 심화되었던 계기가 되었다.

2021년 2월, 대통령 행정명령 14017 “America’s Supply Chain”에 의거하여 연방 각 소관 부처는 반도체, 배터리, 의약품, 희토류 등 4대 전략 품목에 대해 공급망 조사 보고서를 100일간 작성하였고, 같은 해 6월 백악관은 4대 전략 품목 미국 내 공급망 진단 결과와 경쟁력 확보를 위한 정책제언을 담은 결과보고서를 발표했다. 이 보고서는 반도체를 국가 안보에 필수적인 전략 품목이자 첨단산업의 주도권을 결정하는 핵심 기반이라고 평가했다. 미국은 팹리스 경쟁력은 월등하나, 첨단기술(leading edge) 및 범용기술(mature node) 반도체 제조 기반은 한국, 대만 등 아시아에 비해 열세로 취약하다고 평가했다. 또한, 중국은 WTO 규범을 넘어서는 막대한 보조금을 통해 반도체 산업을 육성하고 있으며, 일본, 한국, 대만 등 기존 반도체 공급망 내 주요국 역시 반도체 지원 정책을 통해 자체 제조 기반을 확대하고 있다고 진단했다. 제조 부문 열세가 ATP(조립, 테스트, 패키징) 및 소재 등 공급망 전반의 약화를 초래했다고 분석하면서, 미국 내 첨단 제조 기반을 반드시 강화해야 한다고 평가하였다. (The White House 2021)

< [표 2-8] 미 상무부, 반도체 공급망 요소별 자체 진단 >

공급망 구분	현안 및 진단
디자인 Design	<ul style="list-style-type: none"> - 종합반도체 및 팹리스 기업 중심으로 경쟁력 높은 편 - 설계 지식재산(IP), 소프트웨어(EDA) 부문 선도중 - 다만, 중국에 대한 높은 매출 의존도와 외국인 인재에 대한 의존은 위협 요인으로 인식
제조 Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> - 가장 취약한 섹터로 진단 - 미국 내 반도체 제조 기반이 총체적 열세 - 첨단반도체(Leading Edge Logic Chips)는 대만, 한국, 저기술 반도체(Mature Node Chips)는 중국에 의존중 - 제조 기반 부재로 ATP, 소재, 장비 등 반도체 제조와 관련된 부문이 제조 과정에서 기술, 지식 축적 기회를 상실
후공정 ATP and Advanced Packaging	<ul style="list-style-type: none"> - 취약 섹터로 진단 - 중국이 대규모 투자와 단가 조정으로 시장을 왜곡중 - 패키징을 위한 핵심 중간재인 인쇄회로기판의 미국 내 제조 기반이 매우 취약 - 내수(국방)로는 국내 ATP 분야 발전 및 유지하기 곤란
소재 Materials	<ul style="list-style-type: none"> - 취약 섹터로 진단 - 초고순도 폴리실리콘, 웨이퍼, 포토마스크, 포토레지스트 등 핵심소재 경쟁력이 일본 및 유럽에 비해 취약 - 가스 및 습식 화학소재 분야 미국 경쟁력은 높은 편
제조장비 Manufacturing Equipment	<ul style="list-style-type: none"> - 전공정 제조장비 경쟁력은 우수 - 다만, 첨단 노광 장비는 네덜란드 및 일본에 의존 - 미국 장비 업체들의 아시아(대만, 한국, 중국 등)에 대한 매출 의존도는 문제로 지적

출처 : Department of Commerce 결과보고서 토대로 산업연구원 정리

2.6.1.3. 미 상무부, 반도체 공급망 강화 정책제언

앞서 상무부의 반도체 공급망 조사 결과보고서와 같이, 미국은 (1) 디자인(팹리스), (2) 제조(파운드리), (3) 후공정(조립, 테스트, 패키징), (4) 소재, (5) 제조 장비 분야 전반적으로 미국 내 자체 공급여력이 불충분하다고 평가하며, 특히 제조 부문을 가장 취약한 섹터로 진단했

다. 상무부는 CHIPS and Science Act 내용을 포함하여, 자국 내 반도체 제조 기반 확보를 위해 대규모 지원금과 투자 인센티브를 포함한 7대 정책과제를 제안하였다.

< [표 2-9] 미 상무부, 반도체 공급망 강화 정책제언 >

정책과제	세부 과제
<p>① 국내 투자 촉진 및 업계와의 긴밀한 소통·협력</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 상무부 소집 권한과 타 부처 협의기구를 적극 활용하여 생산자-수요자 간 정보교류 확대 - 동맹 및 파트너 국가의 기업과 협력 강화 → 공정한 반도체 분배 및 해외 주요 기업 유치 확대 - 시나리오별 대응 체계를 구축하여 공급망 현안 대응 강화
<p>② CHIPS Act 예산 신속 집행으로 기술경쟁력 우위 확보</p>	<ul style="list-style-type: none"> - CHIPS Act에 명시된 500억 달러 지원금의 신속 편성·집행으로 국내 제조시설 신규 건설 및 증설 지원 - 국가반도체기술센터(NSTC) 설립 등 차세대 반도체 기술 확보를 위한 연구개발 지원 확대 - 수출통제, FDI 스크리닝, 지식재산 보호 등 공급망 안정성 확보를 위해 다자간펀드(Multilateral Fund)를 조성
<p>③ 국내 반도체 제조생태계 강화</p>	<ul style="list-style-type: none"> - American Jobs Plan 행정명령에 의거하여 반도체 공장에 필요한 기반시설(전력, 용수 등) 확충 - 소부장 중소기업 자금 지원 - 국방, 안보 관련 시험 역량 강화
<p>④ 중소기업 지원으로 혁신 역량 강화</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 반도체 관련 스타트업 및 소기업 금융 지원을 위해 중소기업혁신연구프로그램(Small Business Innovation Research, SBIR), 중소기업기술이전프로그램(Small Business Technology Transfer, STTR) 활용 - 기술사업화 및 스케일업 지원 - 중소기업청(SBA) 및 수출입은행을 통한 중소기업 금융 지원
<p>⑤ 반도체 인력 양성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 노동부 고용훈련청(ETA) 프로그램을 활용하여 직업훈련 강화 - 비자(VISA) 개혁을 통한 해외인재 유치, 과학·기술·공학·수학(Science·Technology·Engineering·Mathematics, STEM) 교육 강화

<p>⑥ 공급망 회복성 확보를 위해 동맹국과 협력</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 동맹 권역에 제조시설 입지 - 공동 연구개발 추진 및 공동 대처 역량 강화 - 다자간, 양자간 전략 대화
<p>⑦ 기술 보호</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 공급망 취약성 대처를 위해 수출통제 유지·강화 - 요주의 국가(Countries of Concern)에 대한 첨단장비 수출통제를 동맹국과 연계 추진 - 외국인투자심의위원회(CFIUS) 기능 유지·강화

출처 : Department of Commerce 결과보고서 토대로 산업연구원 정리

우선적으로 CHIPS Act를 신속히 집행하여 미국 내 제조시설 신설 및 증설을 지원하고, 국가반도체기술센터(NSTC) 설립 등을 통해 차세대 기술의 선제적 확보를 지원하고, 미국 내 반도체 생태계 강화를 위해 전력, 물 등 반도체 제조 기반 인프라를 확충하며, 소재, 부품, 장비 중소기업을 위한 자금 지원, 고용비자(H1B) 쿼터 확대 등 VISA 개혁을 통해 해외 우수인력을 유치하겠다고 했다. 또한, 동맹국과의 협력을 강화하는 한편, 수출통제 및 외국인투자심의위원회(CFIUS) 기능을 강화하여 기술 유출 방지에 최선을 다해야 한다고 권고하였다.

미국반도체산업협회(SIA) John Neuffer 회장은 결과보고서 발표 이후, 바이든 행정부의 공급망 전략 수립과 반도체 육성 노력을 전적으로 지지한다고 밝히면서, 1990년대 미국의 반도체 생산량은 전 세계의 37%에 달했으나 현재는 12% 수준으로 급감했다며, 미국의 생산기반 낙후를 반도체 공급망의 최대 취약점으로 지적했다. 그러나, 만약 미국 정부가 반도체 산업 보호를 위해 배타적 정책을 앞세우고 글로벌 산업과의 성급한 디커플링을 추구할 경우 업계 전반에 막대한 비용과 비효율 발생을 초래할 것이므로, CHIPS Act에 근거하여 미국 정부는 서둘러 국내 반도체 생산 기반 확충에 투자함과 동시에, 국제 협력을 통해 건전한 글로벌 밸류체인 구축을 선도해야 한다고 주장했다. (Ravi 2021)

2.6.1.4. 산업 보조금 정책

바이든 행정부의 대표적인 산업 보조금 정책인 CHIPS Act(CHIPS and Science Act)와 IRA 법(Inflation Reduction Act)은 첨단기술 및 전략산업 분야인 반도체 및 전기차 산업의 대대적 육성을 위한 입법화 조치들이다. 2022년 8월 제정 및 시행된 CHIPS Act는 미국의 핵심 미래기술 산업의 경쟁력 강화를 위해 총 2,800억 달러의 예산을 투입할 계획을 포함하며, 이 중 527억 달러는 반도체 제조역량 강화 및 R&D에 책정되어 있다. IRA 법도 2022년 8월 제정과 함께 즉시 발효되었는데, 친환경 경제로의 전환 및 인플레이션 감축 효과의 도모를 위해 총 7,730억 달러를 투입하며, 이 중 4,330억 달러는 친환경 에너지 산업 육성, 청정연료 자동차 산업 지원 및 기후변화 대응에 투입한다. 이들 산업 보조금은 다양한 규제 조치와 함께 도입되어 있어 미국의 핵심기술 유출 방지 및 우려대상기관(FEOC: Foreign Entity of Concern)으로의 보조금 혜택 이전을 차단하고 있다.

CHIPS Act은 3개 Division, 7개 Title과 260개 이상의 Section으로 구성되었으며, 반도체 산업 지원과 관련된 부분은 A, B Division이다. (참고로 C Division은 2022년 대법원 보안자금법 예산 지원 관련) 먼저, A Division은 반도체 제조, R&D, 공공 무선 공급망 혁신에 782억 달러의 예산을 지원한다. 이를 위해, 먼저 상무부 주관으로 500억 달러 규모로 ‘CHIPS for America Fund’를 조성하는데, 이는 반도체 제조시설 신설, 확장 또는 현대화, 반도체 기업에 직접 대출 또는 대출보증 60억 달러 등을 포함해 총 390억 달러의 제조시설 보조금을 포함하며, 110억 달러 규모의 반도체 R&D 보조금도 포함하고 있다. R&D 보조금은 국가반도체기술센터(NSTC) 창설, 국가기술표준원(NIST) 지원, 산학연 기술협력 등을 내용으로 한다. 이와 별도로, CHIPS for America Defense Fund(국방부 주관, 20억 달러), CHIPS for America International Technology and Innovation Fund(상무부, 국방부 주관, 5억 달러), 그리고 CHIPS for America Workforce & Education Fund(국립과학재단 주관, 2억 달러)를 포함해 총 4개 기금을 조성한다.

< [표 2-10] Division A 주요 내용 >

항목	담당 부처	세부 내용	지원액 (억불)
제조	상무부	- 반도체 제조·조립·R&D용 시설 건설·확장·현대화 지원	390
R&D	상무부	- 국립반도체기술센터의 첨단반도체 제조 연구개발 관련 사업 지원	110
안보	국방부	- 신기술·인력 강화 예산 지원	20
보안, 통신	국무부, 국제개발처, 수출입은행, 국제개발금융공사	- 국제 정보통신 기술 보안, 반도체 공급망, 안전한 통신기술 개발	5
직업 훈련	국립과학재단	- 반도체 인력난 해결, 인력 양성	2
소 계		527	
공공 무선 공급망	상무부, 국토안보부, 국가정보국장	- 소프트웨어 무선기술 사업 지원	15
소 계		15	
세액 공제	상무부	- 반도체 공장 시설·장비 25% 투자 세액 공제	240
소 계		240	
총 계		782	

출처 : Department of Commerce 바탕으로 정리

산업 보조금 이외에도 시설장비 투자세액 공제, 무선공급망 기금, 가드레일 조항도 포함한다. 먼저, 투자세액 공제 조항은 2022년 12월 31일 이후 가동이 시작됐거나, 2027년 1월 1일 이전에 건설된 공장, 반도체 제조 장비 구매, 시설투자에 대해 25%의 세액공제를 제공한다. 이는 해외 주요국의 자국 내 기업에 지원하는 보조금으로 발생하는 비용 차이(약 40%)를 일부 극복할 수 있도록 지원하는 내용이다. 아울러, 상무부 주관으로 15억 달러 규모의 Public Wireless Supply Chain Innovation Fund를 조성하여 오픈 아키텍처, 소프트웨어 기반 무선 기술, 모바일 광대역 시장에서 혁신 기술을 개발하기 위해 정보통신국

(NTIA), 국립표준기술연구소(NIST), 국토안보부, 국가정보국에 자금을 지원한다. 가드레일 조항은 보조금을 지원받은 기업에 대한 상무부의 반도체 산업 감시, 관리 역량을 확대하는 것으로, (1) 보조금을 활용하여 자사주를 매입하거나, 주주 배당금 지급을 금지했으며, (2) 보조금 수혜 기업은 향후 10년간 우려국 내에 첨단반도체 시설을 짓거나 증설하는 것을 금지하였다.

B Division은 반도체 산업 관련 크게 4가지를 포함한다. 첫 번째는 상무부 주관 국립과학재단(NSF) 산하 기술혁신국의 활동 지원에 총 810억 달러를 투입, 국립과학재단 산하 기술혁신국(TIP)를 설립하여 의회가 선정한 10개 미래 전략기술을 개발에 집중한다. 10개 기술은 (1) 인공지능, 머신러닝 등 첨단 소프트웨어, (2) 고성능 컴퓨터, 반도체, (3) 쿼텀 컴퓨팅, (4) 로봇, 자동화, 첨단 제조업, (5) 자연재해 예방 대응, (6) 첨단 통신, (7) 바이오, 의료, (8) 사이버 보안, 데이터 관리, (9) 친환경 미래에너지, 배터리, (10) 첨단소재이다. 여기에서 연구개발의 투명성 확보를 위해 연구기관이 중국, 러시아, 북한, 이란의 지원을 받는 경우, NSP 자금지원을 철회한다고 명시하였다. 또한, 인공지능, 마이크로일렉트로닉스, 사이버 보안 관련 인력개발 장학금 지원과 교육 시설 확대에 총 130억 달러를 투자하여 인력 양성을 지원한다. 이 장학금은 5년내 연방정부 의무 복무를 조건으로 한 대학원 장학금으로 3천개 이상 신설을 목표로 한다.

두 번째는 상무부 주관으로 regional technology hub 구축에 110억 달러를 투입한다. 미국 혁신역량 강화를 위해 20개 지역에 기술 허브를 구축하고, 지역 간 경제 격차 해소를 위한 RECOMPETE Pilot 프로그램도 10억 달러 규모로 지원한다. 세 번째는 국가기술표준원(NIST) 활동을 상무부 주관으로 지원하여, 총 90억 달러를 투입한다. 이는 퀀텀, 인공지능, 사이버 보안, 반도체 관련 기술표준을 정립하고, 공급망 데이터베이스 구축 등도 포함한다. 마지막으로, 에너지부 주관으로 기초과학, 에너지 혁신 분야 연구개발에 총 679억 달러를 지원한다.

2.6.1.5. 첨단반도체, 다자협력체 중심 대중 규제 강화

앞서 언급했듯이, CHIPS Act 내 정부 펀딩 지원에는 조건이 있는데, 이러한 가드레일 조항은 미국 반도체 산업 육성을 위한 기금이 중국의 첨단기술 부문으로 흘러가는 것을 규제하기 위함이다. 즉, 기금을 받은 어떤 기업도 향후 10년간 중국과 다른 우려 국가의 반도체 제조능력 향상과 관련될 수 있는 거래를 하지 않아야 하며, 또한 미국의 안보 우려를 야기할 수 있는 기관들과 기술 라이선싱을 하지 않아야 한다. 2023년 3월에 미국 상무부는 가드레일과 관련한 추가 가이드선을 제시하여 첨단시설 확장 관련 주요 거래에 대한 규제 기준을 제시했다. 여기서 주요 거래는 10만 달러 이상의 거래와 생산능력 설비 5% 이상의 경우로, 소규모의 생산능력 확대까지 규제대상에 포함한 것이다. 또한, 메모리 반도체의 기술 문턱에 대한 수출통제를 강화하여 128단 이상의 낸드 메모리 반도체와 18나노미터 이하의 D램 수출을 사실상 금지시켰다.

미국의 이러한 산업 정책은 반도체와 같은 첨단기술 분야 새로운 국가 간 정치·경제적 지형을 구성하려는 노력으로 이어지는데, Fab 4, 쿼드, 미국-EU 무역기술위원회(TTC), 그리고 인도태평양 경제 프레임워크(IPEF)이 바로 그것이다. 미국은 동맹과 파트너 국가들에게 영향을 미치게 될 반도체 생산능력을 위한 정책 지원과 함께 첨단기술 수출통제를 관련 국가들과 어떻게 조율하면서 추진할 것인지 고려하고 있다. (윤정현 2022) 특히, 최근 출범한 IPEF는 14개국이 참여한 새로운 다자 경제협의체인데, 무역, 공급망, 탄소중립과 인프라, 그리고 반부패와 투명성의 4개 분야로 구성되어 있다. IPEF는 동맹과 파트너 국가들 사이에 안전한 공급망의 양식이 될 수 있으며, 이는 중국과의 전략적 경쟁을 위해 관련 국가들과 공급망 협력을 보다 긴밀하고 강하게 추진해야 한다는 배경이라고 볼 수 있다.

< [표 2-11] 주요 반도체 기업의 미국 제조생산 투자 계획(2024.3월 기준) >

기업	지역	투자 규모	유형	일정(잠정)
TSMC	애리조나 피닉스	120억 불	5나노 기술	-2024년까지
		230-250억 불	3나노 기술	향후 10-15년
		200억 불	2나노 공장	논의중
삼성전자	텍사스 오스틴	170억 불	제조공장 신설	2023년 3분기-
인텔	애리조나 첸들러	200억 불	2개 제조공장	미정
글로벌파운드 리스	뉴욕	14억 불	12-90나노 생산	2022년중
SK하이닉스	인디애나 (미정)	40억 불	첨단반도체 패키징	미정

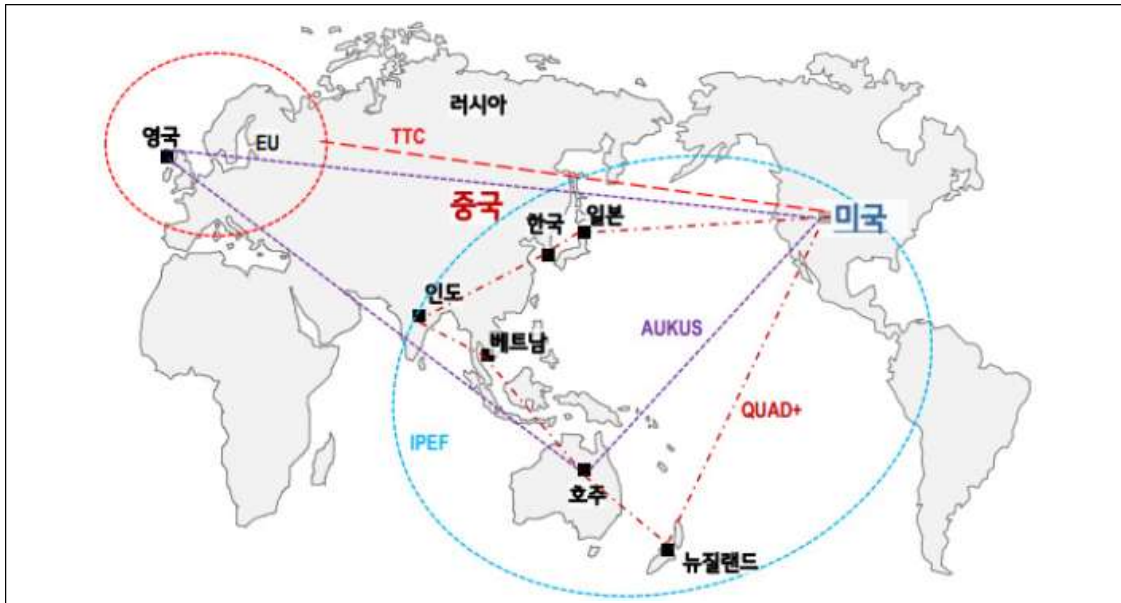
출처: 언론보도 종합

2.6.1.6. 미국의 반도체 동맹 ‘Fab 4’

Fab 4 동맹은 반도체 칩 전체가 아닌 제조(fabrication)에 초점을 두며, 적대세력을 명시적으로 상정하는 배타적 동맹이라기보다는 미국, 한국, 일본, 대만 4개국이 협력하여 반도체 제조 공급망의 안정화에 방점을 둔 긴밀한 협력체이다. 그러나, 미국의 궁극적 목표는 중국이 세계적인 반도체 설계 역량과 제조 역량을 동시에 확보하는 것을 허용할 수 없다는 것이며, Fab 4를 통해 중국이 저기술 저부가가치 부품 생산에 머물거나 반도체 공급망에서 영향력을 행사할 수 없도록 만드는 것이다. 이에 미국은 메모리 반도체와 시스템 반도체 대부분을 생산하는 삼성전자, TSMC가 중국의 위협에 직간접적으로 노출되어 있어 국가안보 차원에서도 미국 내 반도체 생산시설 구축이 불가피하다는 입장을 견지해왔다. Fab 4의 기본 전략은 미국, 일본, 한국, 대만으로 구성된 Fab 4 반도체 공급망으로 재편 시, 미국은 자국의 강점인 설계, 제조 장비 뿐만 아니라 메모리 반도체(한국), 파운드리·후공정(대만), 웨이퍼(일본)의 역량을 결합하여 전 부문에서 우위를 확보하고 중국을 성공적으로 배제하겠다는 것이다. 미국은 반도체 산업의 높은 상호의존적 특성상, 국내 공급망 구축의 한계를 인식하고, 동맹 및 유사국가들

과 양자 및 다자협의를 확장함으로써 중국을 배제한 ‘신뢰할 수 있는 공급망(TVC: Trusted Value Chain)’의 완성을 추구하고, Fab 4는 이러한 구상의 가시화된 형태라고 할 수 있다. (윤정현 2022)

< [그림 2-9] 미국 TVC의 단계별 확장과 주요 협의체 >



출처 : 윤정현, “미국의 Fab 4 제안 의미와 한국의 전략적 고려사항” (2022)

미국은 미국 내 자체 공급망(DVC: Domestic Value Chain) → 일본, 한국, EU 등 양자간 공급망 협력 → 역내 공급망(RVC: Regional Value Chain)을 비롯하여 IPEF, 쿼드, D-10 등 다자협력 플랫폼으로 이어지는 전략을 구상하고 있다. 공급망 안정과 회복력에 방점을 둔 자체 공급망과 동맹 및 유사국가들과의 경제적 협력과 동시에 쿼드, AUKUS, IPEF 등 안보·지역협의체와도 긴밀한 공조를 취하는 것이다.

2.6.1.7. 미국 내 레거시 반도체 규제 필요성 대두

미국의 수출통제는 첨단반도체 중심으로 시행되고 있어, 레거시 반도체(첨단 제조공정이 적용되는 않는, 일반적으로 28nm 이상의 반도체를 지칭한다.)로 불리는 범용 반도체는 통제 대상에서 빠져있다. 그러나, 보조금 등 중국 정부의 산업 보조금과 지원을 토대로 중국 기업들의 투자가 급증하고, 중국산 반도체의 미국 유입이 확대되면서, 의회

와 행정부는 중국산 레거시 반도체 규제 필요성을 제기하고 있다. 미 하원의 중국전략경쟁특위는 2023년 12월, 대중 정책 보고서를 발표하고, 의회 차원에서 상무부에 중국산 레거시 반도체에 대한 관세 부과를 권고하였다. 2023년 12월, 상무부는 미국 내 방산, 자동차, 통신 등 자국 기업들의 중국산 레거시 반도체 사용현황 조사계획을 발표했고, 2024년 1월 5일 의회는 상무부와 USTR에 중국산 레거시 반도체 유입에 대한 대책 마련을 요구하였다.

2021년 국방수권법(National Defense Authorization Act)은 상무부에 국방 관련 반도체 산업기반 평가를 지시하였고, 상무부는 2023년 12월 미국기업들의 중국산 레거시 반도체 사용·조달 현황 등에 대한 평가보고서를 발표하였다. 이는 미국 기업들의 레거시 반도체 공급망을 확인하여 글로벌 공급망 강화, 공정한 경쟁 환경 촉진, 중국에 의한 국가안보 위협을 축소함을 목적으로 하고 있다. 상무부는 이번 조사를 기반으로 향후 레거시 반도체 공급망 구축을 위한 조치 계획이라고 밝혔다. 반도체 제조시설 구축·현대화 세제혜택 대상에 레거시 반도체도 포함하였으며, 중국산 레거시 반도체가 지난 10년 간 중국 정부로부터 약 1,500억 달러의 보조금을 지원받으면서 가격경쟁력을 확보해 온 것에 대응하기 위해 관세 또는 수출통제 대상 확대 등의 조치를 할 수 있음을 구체적으로 언급하였다. 따라서 지금까지 대중국 제재는 첨단반도체 및 장비 중심으로 진행되어 왔지만, 앞으로 28nm 이상의 레거시 반도체 분야로 제재가 확대될 수 있을 것으로 전망된다.

2.6.2. 중국

중국 정부는 2000년 처음으로 반도체 산업 발전정책을 발표하고, 제조 산업에 세제혜택 및 핵심 R&D 투자를 시작했다. 그러나, 산업 초기에는 정부 주도의 막대한 투자에도 불구하고 반도체 공정의 복잡성, 특허장벽, 밸류체인 간 또는 수요산업과의 연계가 필요한 특성상 국산화 계획의 진전이 더뎠으며, 반도체 수요의 상당 부분을 수입에 의존하였다. 중국 정부는 기술과 제조 자립을 위해 2014년 “국가 집적회

로 산업 발전 추진 강요”에서 반도체를 전략산업으로 규정하고, 2015년 “제조 2025”에서 2030년까지 75%의 국산화 목표를 제시하였으나, 이후 미·중 분쟁이 촉발되고 미국의 대중 견제가 본격화되면서 이 계획을 조정하였다. 2021년 발표한 “14차 5개년 계획”에서는 반도체를 국가안보 및 발전의 핵심영역으로 규정하고, 병목 지점으로 꼽히는 EDA, 소재, 첨단 메모리 등과 차세대 전력 반도체에 해당하는 SiC(실리콘 카바이드 반도체), GaN(질화갈륨 반도체) 등의 성장을 강조하였다. (오종혁 2023)

2.6.2.1. 금융 지원

중국 정부는 반도체 국산화를 위해 2014년부터 반도체 산업기금을 운용 중이다. 반도체 산업기금 1기(2014-2019년, 총 투자규모 1,387억 위안)는 반도체 생산능력 확대에 중점을 두고, 총 23개 기업의 70개 프로젝트에 투자하였다. 분야별로는 제조 67%, 설계 17%, 후공정 10%, 장비 및 소재가 6%를 차지하였다. 그러나, 지방 정부가 주도하는 일부 프로젝트는 기금운용사의 부패와 공무원의 투자관리 미흡으로 실패하였다. 대표적으로 2017년 11월 HSMC이 계획했던 1,280억 위안 규모의 팹 건설 프로젝트는 허위로 밝혀졌다. 반도체 산업기금 2기(2019년-)는 소재, 부품, 장비 국산화를 지원하도록 투자 방향이 조정되고, 투자 금액도 2,041억 위안으로 1기 대비 약 68% 증액되었다.

중국은 반도체, AI 등 혁신기업에 자금 조달을 위해 2018년 상하이 커창반(STAR Market)을 개설하였다. 이는 주식발행 등록제로 운영되는데, 상장 조건에 대해 거래소에서 적격 여부를 심사하고 증감위에서 심의하는 허가제에 비해 규정에 까다롭지 않아 반도체 기업 자금 조달에 주요 창구로 성장하였다. 2019-2021년 상장된 51개 반도체 기업 중 43개 기업이 커창반을 통해 대규모 자금을 조달하였고, 이후에도 반도체 기업들이 다수 상장되어 대규모 자금을 조달하고 있다.

중국 국가발전개혁위원회는 반도체 기업에 대한 기업 소득세 면

제, 수입관세 면제 등의 세제 혜택을 지원 중인데, 2023년에는 세제 혜택 지원조건이 보다 세분화되었다. 2023년 기준 (1) 28, 65, 130nm 이하 로직 및 메모리 반도체 제조 기업, (2) 0.25 μ m 이하 특수공정 반도체 기업, (3) 0.5 μ m 이하 화합물 반도체 및 후공정 기업, (4) 소재 및 부품 (포토리지스트, 박막 플레이트, 감광액, 8인치 이상의 웨이퍼 등) 제조 기업 또는 이와 관련된 프로젝트가 세제혜택 대상이 되었다. 설계 분야는 (1) 고성능 프로세서 및 FPGA, (2) 메모리 반도체, (3) 스마트 센서, (4) 공업, 통신, 자동차 및 안전 반도체, (5) EDA, IP(설계자산) 및 설계 서비스가 해당되었고, 소프트웨어 분야는 (1) 기초분야(OS, DB 등), (2) R&D용(CAD, CAE 등), (3) 생산제어용(MES, MOM 등), (4) 신형 기술용(분산형 컴퓨팅, 데이터 분석 등), (5) 보안용(시스템 보안, 데이터 보안 등), (6) 중점 산업용(정부기관, 국방, 에너지 등), (7) 경영관리(ERP, SCM, CRM 등), (8) 클라우드 서비스(IaaS, PaaS 용), (9) 임베디드(통신설비, 자동차 전자 등)까지 총 9개 분야에 대해 지원 중이다.

2.6.2.2. 인력 양성

중국은 반도체 분야 고급인재에 대한 높은 해외의존도를 완화하고, 수급 불일치로 나타나는 반도체 인력문제를 해결하기 위해 산학연계를 통한 실무형 인재 양성에 집중하고 있다. “중국 집적회로 산업 인재 발전 보고(2020-2021년)”에 따르면, 2020년 중국의 반도체 산업 종사자 수는 전년동기 대비 5.7% 증가한 54만 1,000명이다. 분야별로는 설계 19만 6,000명, 제조 18만 2,000명, 후공정 16만 2,200명이다. 산업 초기단계 때는 반도체 공정 노하우 등을 암묵적으로 확보하기 위해 기술 트렌드와 공정 이해도가 높은 고급인력을 해외에서 조달해왔고, 자국 내 반도체 인력양성을 위해 주요 대학에 반도체 전공학과를 설치하여 실무형 인재 양성에 노력하고 있다. 그러나, 중국은 여전히 인력 부족을 겪고 있는데, 중국반도체산업협회에 따르면, 반도체 관련 전공자 21만 명 중 13.8%만이 업계에 종사하고 있으며, 2024년에는 반도체 업계에 약 23만 명이 부족할 것으로 전망하였다.

중국 정부는 이를 개선하기 위해 대학의 반도체 교육과정을 개편하고, 기술과 산업 혁신을 주도할 인재를 위해 산학간 협력을 강화하고 있다. 정밀기술 분야 인력 수요 리스트를 구축하고, 학과 교육에서도 현장 수요를 반영할 수 있도록 업계 전문가를 교수진으로 영입하고 있다.

2.6.2.3. 중국의 장비 및 첨단반도체 국산화 현황

중국은 반도체 장비 대부분을 해외 기업에 의존해왔으나, 로컬 파운드리 기업들이 국산화 투자를 늘리면서 2022년 반도체 장비 국산화율이 크게 증가하였다. 국제반도체산업협회(SEMI)에 따르면, 2012 - 2022년 중국 반도체 장비 시장은 연평균 27%씩 성장하였으며, 2022년 중국 반도체 장비 국산화율은 35%로 전년대비 14%p 증가하였다. 전공정 분야별로는 세정, 열처리, 식각, CMP의 국산화율을 30% 수준을 기록했으나, 노광장비, 이온주입 장비는 % 수준으로 아직 낮은 수준이다. 한편, 후공정 분야에서는 해외 기업과의 기술격차가 크지 않을 것으로 중국은 자체 분석하고 있다. (오종혁 2023)

첨단반도체 생산에 필수적인 노광장비는 중국 반도체 장비 산업에서 가장 취약한 분야이자 국산화율도 가장 낮은 분야이다. 중국은 노광장비 대부분을 ASML, 일본의 니콘, 캐논 등에 의존하고 있다. 중국 업체 중에는 유일하게 노광장비를 생산하는 상하이 마이크론전자(SMEE)가 있지만, 이 장비는 가장 최신의 ASML 제품 대비 15년, 니콘사 대비 12년 정도의 격차가 존재하는 것으로 분석되고 있다. 그러나, 중국의 노광장비 국산화 노력은 계속되고 있으며, 28nm 노드에 대응하는 노광장비 개발을 위해 ASML 등과 기술 협력을 하고 있는 것으로 알려져 있다.

반도체 주요 제조공정에 해당하는 식각, 박막, 증착은 미국과 일본 기업이 중국에서 높은 시장점유율을 기록하고 있으나, 최근 국산화율 증가로 Naura, AMEC 등 로컬기업이 빠르게 부상하고 있다. Naura

는 중국 최대 반도체 장비기업으로 식각, 박막, 증착, 열처리, 세정 공정 등에 필요한 모든 장비를 생산하고 있으며, SMIC와 YMTC, 화흥반도체 등 대부분을 로컬업체에 납품하고 있다. AMEC는 식각 분야에서 중국 기업 가운데 가장 우수한 기술력을 보유하고 있으며, 2019년 6월에 5nm급 CCP 장비를 TSMC에 납품한 바 있고, 삼성전자, SK하이닉스 등에도 납품 중인 것으로 알려져 있다.

첨단반도체 설계 분야에서 SMIC, 화흥반도체 등 중국 기업들은 일정 수준의 공정 고도화를 달성했으나, 미국 등 주요국 반도체 장비 수출통제로 사실상 10nm 이하의 초미세공정 전환을 통한 첨단반도체 제조는 어려워진 상황인 것으로 파악되고 있다. 다만, 중국에서 설계한 반도체라도 수출통제 요건에 저촉되지 않는다면 제3국 위탁생산이 가능하다는 점에서 반도체 제조나 제조장비와 같이 첨단기술에 대한 접근이 원천적으로 차단되지는 않았다고 볼 수 있다. 따라서 미국의 대중국 반도체 제재 수위가 상대적으로 높지 않은 팹리스 분야에 투자가 집중되고 있다. (김혁중 2023) 2019-2020년 벤처 캐피털 투자는 366% 증가했는데, 이 중 70%가 팹리스에 집중되었다. 또한, EDA와 핵심 IP를 확보하기 위해 중국 반도체 산업기금도 약 1억 2,500만 달러가 투자되었다. 화웨이는 반도체 설계 관련 중국 내에서 2020년 1만 건, 2021년 1만 2천여 건의 특허를 출원하였고, 여기에는 3D 스티킹을 통한 패키징 및 EUV 관련 특허도 포함되어 있어, 미국의 제재에도 불구하고 기술경쟁력을 확보해 나가고 있는 것으로 보인다. (Kharpal 2023)

이밖에 알리바바와 Bytedance, 텐센트 등은 수출규제 대상에 해당하는 미국 Nvidia, AMD 등의 반도체 구매가 어려워지면서 대안 차원에서 RIC-V와 같은 오픈소스 설계 기술을 채택한 AI 반도체 설계를 시작하였다. (Gross 2022) Nvidia의 Jensen Huang CEO는 “중국에는 많은 GPU 스타트업이 있으며, 중국이 미국으로부터 반도체를 구매할 수 없다면 스스로 만들어 적용해 나갈 것” 이라고 평가한 바 있다. (Goswami 2023)

2.6.3. 평가 및 전망

미국을 포함한 주요국의 대중국 수출통제 조치는 첨단반도체의 중국 유입을 막고, 중국 내 반도체 생산비용을 증가시켜 중국의 반도체 국산화를 지연시키는 효과를 내고 있고, 이는 단기적으로 효과가 있을 것으로 예상된다. 중국 반도체 장비업체가 보유한 기술 수준은 아직까지 높지 않고, 특히 미세공정에 필수적인 노광장비의 국산화율이 높지 않기 때문이다. 첨단반도체 기술도 단기간 기술력 상승이 쉽지 않을 것으로 보인다. 중국 대표의 D램 제조업체 YMTC가 2022년 12월 미국 상무부 Entity List에 등재되면서 장비 조달과 상품 수출이 어려워지고 있다는 점은 대표적 사례이다. (Trendforce 2022) 따라서 중국은 기술 인력 확보, 기업 인수 등을 통한 방법으로 기술 노하우를 확보할 것으로 예상된다. (최진백 2023)

파운드리 부문은 미국의 수출통제 조치의 효과가 아직까지는 크게 나타나고 있지 않는 것으로 분석되고 있다. 2019년 미국 수출통제 조치 이후에도 화웨이는 전반적인 실적 성장세를 보이고 있다. 중국 최대 반도체 제조업체 SMIC는 화웨이가 설계한 반도체를 양산하기 위해 상하이에 새로운 반도체 생산라인을 건설 중에 있다. (2024년 2월 기준) SMIC는 기존 미국 및 네덜란드산 장비를 활용하여 소형화된 5nm 반도체를 생산할 계획이며, 해당 생산라인에서는 화웨이의 반도체 회사 HiSilicon이 설계하고 새로운 프리미엄 스마트폰에 탑재될 Kirin 반도체를 생산할 예정이라고 알려져 있다. 5nm 칩은 최첨단 3nm 칩보다 한 세대 뒤쳐진 것이나, SMIC의 생산라인 구축 계획은 미국의 수출통제에도 불구하고, 중국 반도체 산업이 당분간 유지될 수 있다는 것으로 보여주는 것이기도 하다.

중국은 국유자본이 투입된 기업들 중심으로 28nm 노드 이상의 레거시 반도체 제조 기술과 노하우가 빠르게 축적되고 있으며, 향후에도 상당 기간 기술 자립에 대한 중국 정부 지원이 계속될 것으로 보여 중장기적으로 중국 반도체 장비 시장내 로컬기업 비중이 커질 것으로 전

망된다. 과거부터 중국 반도체 업체인 SMIC, 화흥반도체, YMTC, Naura, AMEC 등은 반도체 산업 보조금을 통해 단기간 내에 성장해왔고, 현재 건설 중인 중국 내 25곳에서의 파운드리 프로젝트가 완료된 후 로컬 장비 기업 수요는 증가할 것으로 보인다. (조은교 2021)

그러나, 미국의 대중 첨단반도체 규제가 지속되고, 지정학적 요인과 각국의 반도체지원법 등 공급망 변화 요인이 작동하면서 향후 3년 뒤부터 반도체 팹 지형은 빠르게 바뀌어 나갈 것으로 전망된다. 지난해까지만 해도 전 세계에서 압도적으로 많은 반도체 생산 투자를 일궈낸 중국은 2년 뒤부터 하락세에 접어드는 반면, 미국과 일본, 유럽, 동남아 등에는 투자가 최대 2배 이상 증가할 것으로 예상된다. 2024년 2월 국제반도체장비재료협회(SEMI)에 따르면, 중국의 반도체 팹 투자 규모는 2023년 470억 달러에서 2026년 374억 달러로 20% 가량 줄어들 것으로 예상되며, 이는 전 세계 주요국 중 반도체 팹 투자가 줄어드는 유일한 국가이다. (최지희 2024)

< [표 2-12] 전 세계 반도체 팹 투자 규모(단위: 억 달러) >

	미국	중국	대만	한국	일본	유럽·중동	동남아
2023년	203	470	265	228	64	86	36
2026년	353	374	316	342	132	164	64

출처 : 국제반도체장비재료협회(2024년)

미국은 글로벌 반도체 공급망의 새로운 허브로 부상할 것으로 보인다. 2023년 미국에 203억 달러가 투자되었으나, 2026년 73% 증가하여 중국과 비슷한 규모 353억 달러로 성장할 것으로 예상된다. 한국은 같은 기간 228억 달러에서 324억 달러로 50% 가량 증가하며, 대만은 265억 달러에서 316억 달러로 약 19% 증가할 것으로 예상된다. 2026년 반도체 팹 투자 증가율이 가장 큰 국가는 일본이다. 2023년 64억 달러에서 2026년 132억 달러로 급증할 것으로 보이며, 유럽·중동 지역에 투입되는 팹 투자 금액도 86억 달러에서 164억 달러로 90% 증가할 것으로 관측된다. 중국과 대만 사이의 지정학적 리스크를 줄이기 위한

대안 생산지로 부상하면서 말레이시아, 싱가포르, 베트남 등 동남아시아에도 글로벌 반도체 팹 투자가 크게 늘고 있다. 동남아에 투입된 투자 금액은 2022년 36억 달러에서 2026년 64억 달러로 77% 증가할 것으로 예상된다.

3. 배터리

3.1. 배터리의 이해

3.1.1. 삼원계 배터리 구성 요소

리튬이온 배터리는 리튬 이온이 양극재와 음극재 사이를 이동하는 화학적 반응을 통해 전기를 생성한다. 양극 소재로 사용되는 리튬은 단독으로 사용하기엔 불안정한 특성을 보이므로, 다른 금속 원소들과 결합한 형태인 리튬금속산화물로 존재한다. 양극재로 주로 쓰이는 리튬코발트산화물(LCO)을 기본으로 니켈과 다른 원소가 더해져, 즉 양극재에 총 세 가지 원소가 들어가는데 이를 삼원계 배터리라고 한다.

배터리의 4대 소재는 양극재, 음극재, 전해질, 그리고 분리막이다. 배터리 생산 단가에서 4대 소재 비중은 61% 수준이다. (2021년 기준) 소재별로는 양극재가 37%, 음극재 13%, 분리막 15%, 전해액 13% 기타 22%(동막, 알박, 모듈 등)을 차지한다.

양극재는 리튬이온 배터리에서 리튬이 들어가는 공간이다. 리튬은 전자를 잃고 양이온이 되려는 경향이 강해서 양극 소재로 적합하다. 단, 리튬은 원소 상태로는 불안정하기 때문에 리튬과 산소가 결합된 리튬 산화물 형태로 양극에 사용된다. 양극재는 배터리 성능 중에서도 용량과 전압과 관련되는데, 양극재의 리튬 비중이 높을수록 배터리 용량이 커지고, 배터리 전압은 양극의 전위차에 의해 결정되므로 양극의 구조에 따른 전위값이 전압에 영향을 미친다. 최근에는 고성능 양극재 수요가 증가하면서 NCA(니켈 - 코발트 - 알루미늄), NCMA(니켈 - 코발트 - 망간 - 알루미늄) 등 다양한 양극재가 개발되고 있다.

음극은 양극에서 나온 리튬이온을 저장, 방출함으로써 전기를 발생시키는 역할을 한다. 충전 시에는 음극에 리튬이온을 저장하고, 방전 시에는 리튬이온을 전해액을 통해 양극으로 이동시킨다. 리튬이온과

분리된 전자는 도선을 따라 이동하면서 전기가 발생한다. 음극 활물질은 원활한 이온전도율, 리튬 이온을 많이 저장할 수 있는 대용량과 큰 출력, 긴 수명, 구조적 안정성, 낮은 전자 화학반응성, 저렴한 가격 등이 중요한 요소이다.

전해질은 배터리 내부의 양극과 음극 사이에서 리튬 이온이 원활히 이동하도록 도와주는 매개체이다. 분리막은 양극과 음극의 물리적 접촉을 차단하는 역할을 하는데, 분리막에는 미세한 구멍들이 있어 리튬 이온들은 원활히 이동할 수 있도록 되어 있다.

3.1.2. 배터리 성능과 전기차 성능 연관성

배터리 성능은 크게 용량, 에너지 밀도, 안정성, 수명, 가격경쟁력 5가지 기준으로 판단한다. 용량은 전기차 주행거리, 에너지 밀도는 전기차 출력, 안정성은 배터리 화재 등 사고 제어 능력, 수명은 배터리 사용기간, 가격경쟁력은 배터리 가격과 밀접한 연관이 있다. 양극재, 음극재, 전해질, 분리막을 어떻게 구성하고 조합하는지에 따라 배터리 성능이 좌우된다. 이중 특히, 양극재가 배터리 성능에 가장 큰 영향을 미친다. 양극재는 리튬과 금속성분 조합으로 구성되는데, 이 조합에 따라 배터리의 에너지 밀도가 결정된다. 니켈은 에너지 밀도, 망간과 코발트는 안정성, 알루미늄은 출력 특성과 연관된다.

현재까지 양극재를 구성하는 물질은 4가지이며, 이를 조합해 배터리가 5종류가 현재 상용 보급되고 있다. 니켈, 코발트, 알루미늄, 망간을 활용해 NCA, NCM, LMO, LCO, LFP와 같은 배터리를 만들어 낸다.

먼저, NCA(니켈 코발트 알루미늄) 배터리의 가장 큰 장점은 배터리 밀도가 높다는 것이다. 또한 알루미늄을 사용해 출력을 높임으로서 배터리 효율성을 높이는 모델이다. 국내는 삼성SDI가 NCA 배터리를 주력 생산하고 있고, 테슬라 모델S에 들어가는 배터리이다. 니켈 함량이 통상 80% 이상이므로 상대적으로 높은 에너지 밀도를 달성할 수 있는

장점이 있지만, 반면 니켈의 큰 약점이 순간적인 강한 에너지를 내지만 그만큼 불안정하여 리스크가 있다. 따라서 망간 코발트 함량이 더욱 적은 NCA 배터리는 안정성 측면에서 리스크가 있다고 평가된다.

NCM(니켈 코발트 망간) 배터리는 NCA 배터리와 마찬가지로 니켈 계열의 삼원계 배터리 모델이다. 최근 LG화학, SK이노베이션의 NCM811 모델, 즉 니켈, 코발트, 망간 비율이 각각 80%, 10%, 10%인 모델은 니켈 함량을 높여 에너지 밀도 측면에서 효율성을 높이는 모델이다. NCA 배터리와 비교했을 때 NCM 배터리도 니켈 비중이 높아 안정성 측면에서는 여전히 리스크가 있으며, 다만 배터리 수명 측면에서는 NCM 배터리가 NCA보다 더 길다는 장점이 있다.

LFP(리튬 인산철) 배터리는 니켈이 들어가지 않는 이원계 배터리 모델로서 중국 배터리 업체들이 주력하고 있는 모델이다. 니켈이 안 들어가기 때문에 안정성 측면에서 우수하다. 또한, 코발트를 사용하지 않으므로 상대적으로 가격경쟁력도 우수한 장점이 있다. 코발트는 자원이 희소하고 수급 불안정성이 커서 가격 변동성이 존재한다는 특성이 있다. 하지만, 상대적으로 에너지 밀도가 낮아 주행거리가 짧다. 이러한 밀도 문제를 해결하기 위해 부피를 크게 만들기도 하는데, 이는 무게 증가로 이어져 주행 효율이 떨어지는 문제를 야기시킨다.

LCO(리튬 코발트산화물) 배터리는 리튬 배터리의 원조격으로 현재에도 대부분의 배터리 모델로서 활용된다. 에너지 밀도가 높고, 배터리 수명도 길다는 장점이 있다. 하지만 역시 코발트에 대한 문제점이 존재하는데, 코발트만을 사용하여 구성하므로 코발트 수급에 대한 변동성 리스크가 존재하며, 가장 큰 단점은 충방전을 할수록 화학적 부반응으로 인해 효율이 최대 50%까지 감소한다는 점이다. 따라서 점차 니켈 함유량을 높인 배터리를 통해 가격과 에너지 효율성을 모두 잡으려는 트렌드로 나아가는 중이다.

LMO(리튬 망간 옥사이드) 배터리는 LCO에서 코발트를 망간으로

바꾼 양극재이다. 망간은 코발트에 비해 가격이 훨씬 저렴하며, 망간 광산은 지역별로 골고루 분포하고 있어 수급이 상대적으로 안정적이다. LMO는 LFP와 장단점이 비슷하다. 가격 경쟁력과 안정성 측면은 우수한 반면, 에너지 밀도가 낮다. LFP는 중국 전기차, 배터리 시장에서 높은 점유율을 보이지만, LCO는 전기차 배터리 시장에서 사용이 저조하다.

< [그림 3-1] 5대 배터리의 성능 상대적 비교 >

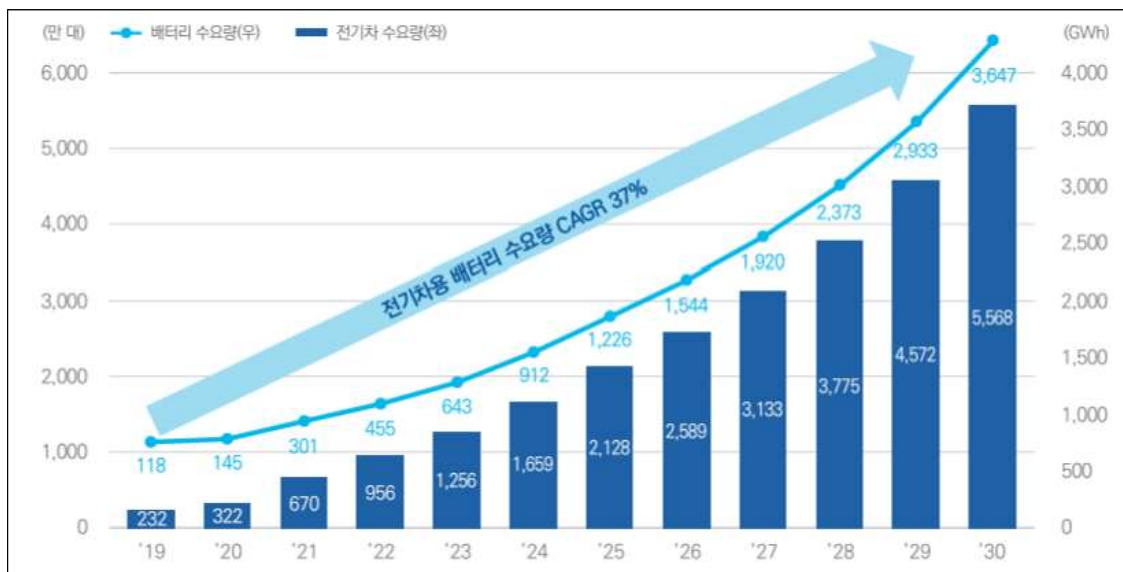
항목	LCO	NCM	NCA	LMO	LFP
분자식	LiCoO ₂	Li(Ni,Co,Mn)O ₂	Li(Ni,Co,Al)O ₂	LiMn ₂ O ₄	LiFePO ₄
구조	층상 (layered)	층상 (layered)	층상 (layered)	스피넬 (spinel)	올리빈 (olivine)
안정성	2	3	1	2	4
비용	3	3	2	3	3
수명	2	3	3	2	4
밀도	4	4	4	3	2
용도	소형	소형, 중대형	소형, 중대형	중대형	중대형

출처 : LG에너지솔루션

3.2. 배터리 시장 및 산업 성장

SNE 리서치(2023년)에 따르면, 2022년 글로벌 배터리 수요는 455GWh, 2030년에는 전기차 배터리 수요의 폭발적 성장에 힘입어 3,646GWh에 이를 것으로 전망하였다. 배터리는 전기차 외에도 에너지 저장장치(ESS), 스마트폰, 인공위성, 태양광 전지 등 충방전이 필요한 다양한 분야에서 광범위하게 적용되나, 배터리 수요 산업에서 전기차 배터리 비중이 2020년 65%에서 2030년 89%로 확대되어 전기차가 배터리의 시장성을 주도하고, 배터리의 성능과 경쟁력이 곧 전기차 시장의 성장성을 결정할 것으로 예상하였다. (SNE리서치 2023) 특히, 기후위기가 단기간 내 해결되지 않는 문제임을 고려할 때, 전동화 경향성이 사회 전반에서 강화될 것이므로 배터리 산업의 패권을 쥐는 국가가 향후 국제사회에서 강력한 경쟁우위를 가지게 될 것은 자명한 일이다.

< [그림 3-2] 전 세계 전기차 및 전기차 배터리 수요 전망 >

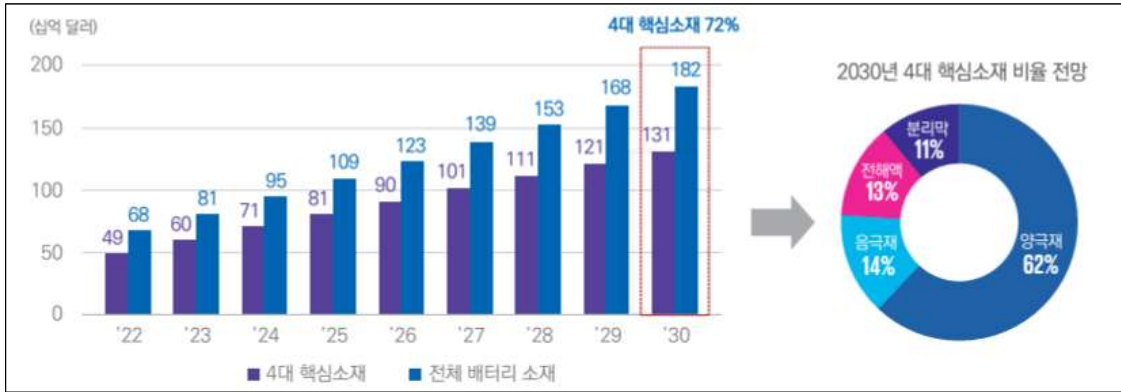


출처 : SNE 리서치

전 세계 배터리 소재시장을 보면, 2030년 1,820억 달러에 달할 것으로 예상되는 가운데, 4대 핵심소재 시장이 1,310억 달러의 규모를 형성하며 전체 소재 시장의 약 72%를 차지할 것으로 전망된다. 따라서 배터리 소재 시장은 4대 핵심소재 중심으로 확대될 것이며, 이 중에서도

양극재가 62%로 절반 이상 차지할 것으로 전망된다. (SNE리서치 2023)

< [그림 3-3] 글로벌 배터리 소재 및 4대 핵심소재 시장 전망 >



출처 : SNE 리서치

3.2.1. 환경규제 본격화 및 자국산업 보호 강화

CO₂ 배출량, 기업평균연비 등 자동차에 대한 글로벌 국가들의 환경규제가 가속화되고 있다. EU는 EURO6 정책을 통해 신차의 CO₂ 발생량을 제한하고 있으며, 최근 CO₂ 배출량 기준치 및 벌금을 모두 강화(CO₂ 배출량 기준치 130 → 95g/km, 벌금 15g/km 초과시 5 → 95유로)하면서 완성차 업체들의 전기차 생산을 강하게 압박하고 있다. 미국도 캘리포니아 등 11개 주에서 ZEV Mandatory 제도를 운영하고, 기업평균연비제도(CAFE, Corporate Average Fuel Economy Standards)를 시행중이며, 트럼프 행정부 시절 연비규제가 일시적으로 완화되었으나, 바이든 행정부 들어 다시 연비규제가 강화되고, 전기차 연방 보조금 확대, 관용차의 전기차 전환 등 전기차 보급 정책을 시행하고 있다. 중국은 완성차 업체의 기업평균연비(CAFC: Company Average Fuel Consumption)와 친환경 차량 생산 현황을 검토하여 기업당 +와 -의 점수를 부여하는 제도를 통해 전기차 생산을 장려하고 있다. 중국 정부는 2020년 10월 “신에너지자동차 로드맵 2.” 0을 통해 2035년 이후 하이브리드를 제외한 내연기관차 판매 금지를 선언하였다.

배터리 산업은 한국, 중국, 일본에 집중되는 경향을 보이고, 코로

나19 팬데믹으로 공급망 강화 이슈가 경제안보 이슈로 부상하면서, 미국, 중국 등은 자국 산업을 보호하고 배터리 공급망을 강화하기 위한 정책을 추진하고 있다. 바이든 행정부의 IRA 법은 미국에서 생산되지 않은 배터리와 북미에서 조립되지 않은 전기차는 연방 보조금 지급대상에서 제외하고 있다.

3.2.2. 신규 시장 진입자 확대

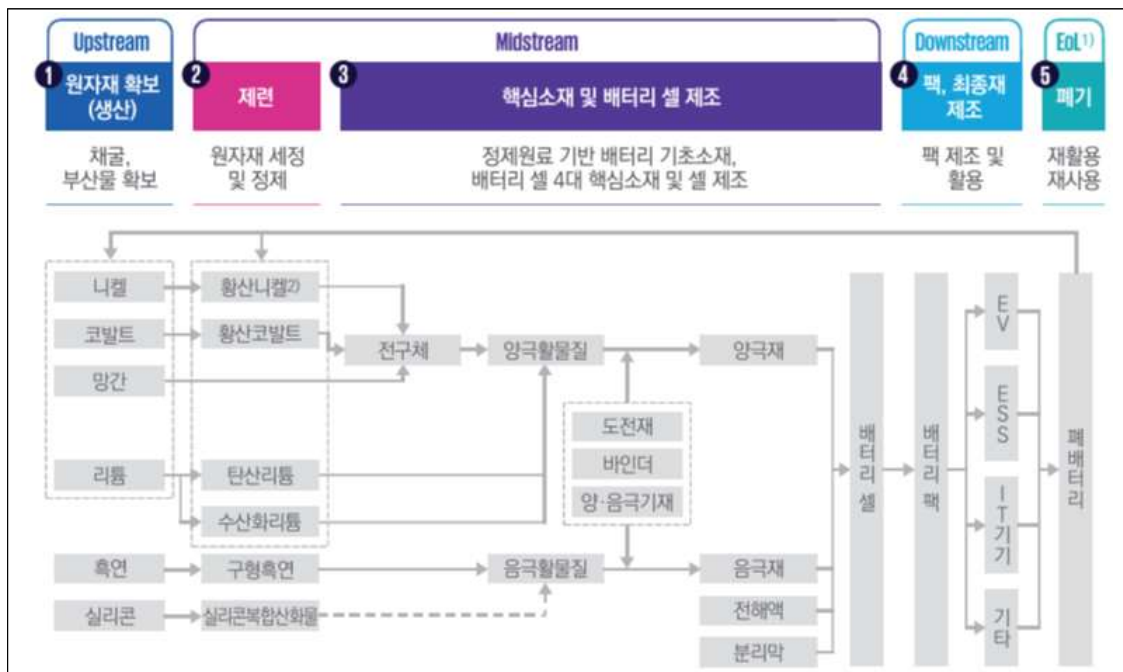
완성차 업체들이 전기차 플랫폼을 구축하면서 배터리 전문업체들과 합작 투자하거나, 합작사를 설립하는 시도가 늘어나고 있다. 그러나 완성차 업체들의 배터리 자체 생산 목표와는 다르게, 단기간 단독적인 사업화는 어려울 것으로 보인다. 이는 이미 양산 체계를 갖춘 배터리 제조사에 비해 단가 면에서 불리하며, 기술적 난이도와 대규모 설비자금이 소요되므로 신규 진입이 어렵다는 산업 특성, 그리고 배터리 제조사와 완성차 업체 간의 경쟁구도 등 복합적 요인 때문이다. (김나래 2023) 그러나, 테슬라의 경우, 파나소닉과 Giga Factory를 설립하고 지속적으로 배터리 공장을 증설하고 있으며, 이뿐만 아니라 미국 배터리 업체인 Maxwell, 미국 배터리 장비업체 Hibar Systems, 독일 배터리 조립업체인 ATW 오토메이션을 인수하면서 배터리 사업을 확대하고 있다. 폭스바겐도 스웨덴 배터리 업체인 Northvolt와 협력하면서 Northvolt 지분 20%를 취득하면서 배터리 생산을 내재화할 계획이다.

3.3. 배터리 산업 밸류체인

배터리 산업의 경쟁력을 분석하기에 앞서 글로벌 기업들이 밸류체인 내에 어디에 위치하는지 파악해야 한다. 배터리 산업의 밸류체인은 크게 업스트림, 미드스트림, 다운스트림 및 폐기 단계로 구분된다. 업스트림은 리튬, 니켈, 코발트 등 배터리 제조에 필요한 핵심 원자재를 확보하는 단계다. 원자재를 생산하기 위해 광산이나 염호에서 채굴, 채취하거나 특정 물질의 제조 과정에서 광물 추출이 가능한 부산물을 모은다. 미드스트림은 크게 원자재 제련(세정 및 정제), 핵심소재 및 셀 제

조로 구성된다. 원광물이나 사용후 배터리를 통해 확보한 희유금속들을 정제하여 고순도 원료를 생산한다. 이러한 원료를 기반으로 배터리 소재를 만들고 소재를 토대로 배터리 셀을 제조한다. 제조된 배터리 셀을 모듈화, 패키징하는 작업은 다운스트림으로 분류된다. 배터리의 최종 수요처의 요구에 따라 최종재의 형태가 달라진다. 수명이 다한 배터리는 폐기 단계에서 배터리 셀을 기존과는 다른 목적으로 재사용되거나, 희유금속을 추출하기 위한 재활용 작업을 거치게 된다.

< [그림 3-4] 배터리 산업 밸류체인 >



출처: 김나래, “배터리 생태계 경쟁 역학 구도로 보는 미래 배터리 산업” (2023)

3.3.1. Upstream: 리튬, 니켈, 코발트 등 원자재 확보

리튬은 주로 경암형 광산에서 채광, 파분쇄, 분리, 선광 등의 작업을 거쳐 확보되거나 염호에서 염수를 건조하여 산출된다. 경제성있는 리튬은 대부분 칠레, 호주, 아르헨티나, 중국에 매장되어 있다. 배터리 주요 원자재 공급 동향을 살펴보면, 2020년 기준, 세계 1위 리튬 매장국은 칠레(43.8%, 920만 톤)이며, 생산량 기준으로는 호주(전 세계 생산량 8.2만 톤 중 48.7% 차지)가 최대이다. 리튬은 특정 지역에 매장이

편중되어 있고, 일부 국가들이 자국 이익을 극대화하기 위해 보유 자원을 전략적으로 이용하면서 수급 불균형이 발생하고 있다. 따라서 리튬을 안정적으로 확보하기 위한 경쟁이 치열하며, 중장기적으로 수요 대비 생산량도 부족하여 가격 상승 등 공급 불안정 리스크가 있다.

니켈은 크게 황화광(Sulfide Ore)과 산화광(Laterite Ore)로 나뉘며, 황화광 40%, 산화광 60% 비율로 존재한다. 니켈 함량이 높은 황화광은 러시아, 캐나다, 호주, 중국 간쑤성이 대표적이며, 산화광은 주로 인도네시아, 브라질 등 열대지역에 분포한다. 2020년 기준 인도네시아가 니켈의 최대 보유국이자 생산국이다. 인도네시아는 자국 광산업의 부가가치 제고를 위해 니켈 원광 수출을 2020년 1월부터 금지하면서 자국내 투자유치를 활성화하고 있다. (구청모 2022)

코발트는 주로 구리, 니켈 광산에서 부산물로 생산된다. 전 세계 코발트의 약 70%가 콩고민주공화국에서 생산되어 사실상 과점 시장이다. 콩고는 전 세계 코발트 수출량의 약 95%를 차지하는데 대부분 중국으로 수출하고 있다. 중국의 세계 코발트 수입량의 90% 정도를 차지할만큼 최대 수입국인데, 이는 콩고의 코발트 광산에 대규모로 투자하여 광산의 약 70%를 보유하며 지배력을 행사하고 있기 때문이다. 코발트는 리튬, 니켈에 비해 시장 규모가 작지만, 배터리 핵심 광물로서 수요가 증가할 것으로 전망된다. 다만, 채굴 및 제련 과정에서 다수의 환경오염 물질이 배출되어 글로벌 환경이슈로 부각되고 있으며, 배터리 성능향상 및 가격경쟁력 등의 영향으로 대체 광물이 발견되면 배터리 내 코발트 비중이 급격히 줄어들 수도 있다. (김연규 2022)

3.3.2. Midstream: 원자재 세정, 정제, 핵심소재 및 셀 제조

3.3.2.1. 원자재 세정 및 정제

핵심 원자재를 확보하고 나면 본격적으로 정제원료를 기반으로 배터리 기초소재를 만들고, 이를 토대로 배터리 셀을 제조하는 미드스

트림 단계에서 접어든다. 미드스트림에서는 고순도의 정제원료를 경제성있게 산출하는 것이 핵심인데, 이는 최종재의 성능, 수명, 안정성에 직결된다. 우선, 리튬, 니켈, 코발트 등은 원광 형태로 추출되어 고순도화하는 작업인 제련(Refining)을 거쳐 배터리용 정제원료로 전환된다. 리튬은 산출처에 따라 제련방식이 다른데, 광산 채굴의 경우 가열, 여과 등의 추가적인 세부 가공을 거치며, 염호에서 추출한 경우 염수 증발 및 가공을 통해 탄산리튬, 수산화리튬 등으로 변환된다. 현재 중국은 리튬 가공시설의 대다수를 보유하여 전 세계 리튬 제련 시장의 약 70%를 차지하고 있다. 중국은 리튬 외에도 황산코발트 등 전 세계 제련 코발트(순도 99.8% 이상)의 64% 정도를 공급하면서 광물 제련 시장을 장악하고 있다. 이는 중국 정부가 전략적 비축물자의 공급망 확보를 위해 중국 내 광산 개발과 함께 호주, 콩고민주공화국 등에 투자를 했기 때문이다. 니켈의 경우, 건식 및 습식 제련을 통해 니켈화합물로 가공되며 최종제품 순도에 따라 Class 1(순도 99.8% 이상), Class 2(순도 99.8% 미만)으로 구분된다. 이중 Class 1 니켈이 배터리용으로 주로 사용된다.

3.3.2.2. 배터리 셀 4대 핵심소재

정제원료를 기반으로 기초소재가 완성되면 본격적으로 배터리 셀을 구성하는 4대 핵심소재인 양극재, 음극재, 전해액, 분리막을 생산하는 단계이다. 양극재는 리튬 코발트 산화물을 기본으로 니켈과 다른 금속 원소가 더해져 만들어진다. 양극재에 쓰이는 금속의 종류와 비율에 따라 배터리 용량이나 전압 등 주요 성능이 달라지는데 NCA(니켈·코발트·알루미늄), NCM(니켈·코발트·망간), NCMA(니켈·코발트·망간·알루미늄), LFP(리튬·철·인) 등 다양한 양극재가 사용되고 있다.

음극재에는 구조적으로 안정성을 갖추고 화학 반응이 낮은 흑연이 사용되는데, 리튬이온의 저장과 방출 과정이 반복될수록 흑연의 구조가 변화하며 저장할 수 있는 이온의 양이 줄어들어 배터리 수명이

감소한다. 음극재가 배터리의 수명을 결정하는 만큼 용량이 크고 충전 속도를 증가시킬 수 있는 실리콘 음극재와 같은 차세대 음극재 개발이 활발하게 진행되고 있다.

분리막은 미세한 구멍을 통해 리튬이온의 이동을 돕고 양극과 음극의 물리적 접촉을 차단하는 역할을 한다. 이에 따라 분리막은 우수한 전기절연성과 열 안정성이 뒷받침되어야 한다. 분리막의 소재로는 폴리에틸렌과 폴리프로필렌이 주로 쓰이고 있으며, 최근 배터리 소형화, 경량화, 고용량화를 위해 두께가 얇은 분리막 연구가 진행되고 있다.

마지막으로 전해질은 리튬이온의 원활한 이동을 위해 이온 전도도가 높고 화학적으로 안전성이 뛰어난 액체 형태의 전해질이 주로 사용되고 있어 일반적으로 전해액이라고 부른다. 최근에는 배터리 성능 향상을 위해 에너지 밀도를 높일 수 있는 고체 전해질인 전고체 연구도 활발히 진행되고 있다.

3.3.2.3. 배터리 셀 제조

원자재 제련부터 핵심소재까지 완성되면, 미드스트림의 최종 제품인 배터리 셀 제조로 넘어간다. 배터리 셀은 리튬이온 배터리의 기본 단위로 양극, 음극, 분리막, 전해액 등을 케이스에 조립한 것으로, 케이스 형태에 따라 크게 각형, 원통형, 파우치형으로 나뉘는데, 각각 에너지 밀도, 생산공정 및 난이도가 상이하다. 전기차용 배터리로는 각형 배터리가 가장 많이 사용되며, 이는 알루미늄 캔 케이스로 쌓여있어 외부 충격에 강해 내구성이 뛰어나다. 다만, 조립공정에서 롤 휴지 형태처럼 극판을 감는 와인딩 방식이 사용되면서 내부 공간활용 측면에서 불리하여 상대적으로 에너지 밀도가 낮다.

원통형 배터리는 금속 재질의 원기둥 모양으로 대부분의 제조사들이 표준화된 규격에 맞는 설비를 갖추고 있어 대량 생산이 용이하고,

생산 공정 역시 와인딩 방식으로 비교적 쉽다. 그러나, 다른 형태에 비해 용량이 상대적으로 작고, 여러 개의 배터리를 다발로 묶어야 하기 때문에 배터리 시스템을 구축하는데 비용이 높다.

파우치형 배터리는 원통형이나 각형처럼 와인딩 방식이 아닌 층층히 쌓는 스택킹 방식으로 만들어지는데, 생산 공정이 다소 복잡하여 높은 기술력을 요구하기 때문에 생산 비용은 높은 편이나, 배터리 셀을 빈틈없이 채울수 있어 에너지 밀도 측면에서는 장점이다.

< [표 3-1] 배터리 셀 유형별 특징 >

구분	각형 배터리	원통형 배터리	파우치형 배터리
장점	내구성	생산 공정	에너지 밀도 다양한 디자인
단점	에너지 밀도 무게	전기차용 배터리 구축시 고비용	생산 공정 생산 비용

3.3.3. Downstream: 배터리 팩킹 및 최종재 제조

배터리 셀이 제조되면 최종재에 맞게 모듈화하는 팩킹 공정을 거치는데, 이것이 배터리 제조의 마지막 단계이다. 먼저 여러개의 배터리 셀을 연결하여 모듈 케이스에 고정시켜 조립하고, 모듈을 배터리 팩에 넣고 추가적인 장치를 붙여 연결하면 팩이 완성된다. 최종적으로 배터리는 가장 작은 기본단위인 셀, 셀들을 일정하게 모아둔 모듈, 그리고 최종 형태인 팩으로 구성된다.

3.3.4. End of Life: 폐기

배터리 산업 밸류체인 of 마지막은 배터리 사용 완료 후 상태와 목적에 따라 재사용(Re-use) 또는 재활용(Re-cycle)하는 폐기 단계이다. 먼저 재사용은 주로 전기차용 중대형 배터리를 수거하여 배터리의 잔존수명 및 안전성 검사 등의 과정을 통해 일정 등급 이상의 사용후 배터리를 선별하여 ESS, UPS(무정전전원장치) 등의 용도로 다시 사용하

는 것을 의미한다. 재사용이 불가능한 배터리는 분해, 용해 등의 공정을 통해 코발트, 니켈과 같이 배터리에 쓰이는 원재료 추출이 가능하다. 이를 다시 양극재 생산 단계에 투입하여 새로운 배터리를 만드는 데 재활용되고 있다.

이처럼 사용후 배터리를 기존 용도가 아닌 다른 용도로 재사용하거나 사용후 배터리 내 금속을 추출하여 신규 배터리 제조에 활용하면서 배터리 산업 밸류체인은 생산부터 소비, 폐기에 이르기까지의 선순환 체계가 구축되고 있다. 특히, 전기차 확산에 따라 사용후 배터리 발생량은 증가할 수밖에 없으므로 사용후 배터리 활용 산업은 주목받고 있다. 더욱이, 리튬, 코발트, 니켈 등의 핵심 원재료 가격이 증가하고 공급망 확보 경쟁이 강화되면서 재활용 산업이 더욱 부상하는 중이다. 향후 글로벌 전기차 사용후 배터리의 재활용 시장 규모는 2025년 약 300억 달러에서 지속적으로 성장하여 2040년에는 1,740억 달러를 상회할 것으로 전망되고 있다. (SNE리서치 2023)

< [그림 3-5] 사용후 배터리 재사용·재활용 절차 및 재활용 시장 전망 >



출처 : SNE 리서치

3.4. 밸류체인별 기업 경쟁구도

3.4.1. 원자재 확보

업스트림 단계에서 나타나는 경쟁 구도는 전통 광산 기업과 배터리 광물 특화 업체 간 광물 확보 경쟁이다. 다만, 새로운 광산이나 염호를 확보하고 광물을 채굴, 채취하여 상용화할 수 있게 만드는 데 시간이 오래 걸리기 때문에 경쟁 강도는 미드스트림이나 다운스트림보다 약하다. 우선, 전통 광산 기업으로는 앵글로 아메리칸, BHP 그룹, 리오턴토, 발리(Vale), 글렌코어를 들 수 있다. 구리, 백금족 원소 등 다양한 광물을 전 세계 각지에서 채굴하며 광산업을 영위해 온 이 기업들은 배터리 핵심 광물 채굴에도 적극적으로 나서기 시작했다. BHP 그룹은 향후 30년 동안 필요한 니켈의 양은 과거 30년 동안 사용되었던 니켈의 양에 4배에 달할 것으로 보고 화석연료 중심의 비즈니스 구조에서 니켈을 비롯한 금속 원자재 사업을 확대하고 있는 가운데 2022년 8월에 니켈 매장 지대를 찾는 탐사 프로젝트를 진행한다고 밝혔다. (김나래 2023)

한편, 배터리 핵심 광물인 리튬, 코발트, 니켈의 경우 이를 주력으로 채굴하는 특화 기업들이 있다. 특히 리튬 채굴 분야에서 특화 기업들의 움직임이 두드러지는데, 상위 6개 리튬 생산 전문 업체가 전 세계 리튬 생산량의 57%를 점유하고 있다. 이들은 Albemarle, SQM, Tianqi Lithium, Allkem, Ganfeng Lithium, Pilbara Minerals다. 리튬 생산 전문 업체들은 향후 리튬 수요가 증대될 것에 대비하여 생산능력을 확대하고 있다. 코발트는 전통 광산 기업과 전문 기업이 혼재한다. 전통 광산 기업이자 전 세계 코발트 생산량 1위 업체인 Glencore, 코발트 특화 업체인 ChinaMolybdenum 등이 있다. 니켈은 리튬, 코발트보다 전통 광산 기업의 영향력이 더 높다.

배터리 소재 및 셀 제조사들은 원자재 확보 노력에 더욱 집중하고 있다. 전 세계 배터리 소재 및 셀 제조 분야에서 높은 점유율을 차지

하는 중국 배터리 업체들을 살펴보면, 기존 중국 내수 시장 중심에서 유럽 등 해외 시장으로 확대하면서 리튬 확보에 더욱 속도를 내고 있다. 2022년 5월 CATL은 리튬 광산 기업인 Tianqi Lithium과 ‘전략적 협력 협의’를 체결하고, 자원 개발부터 배터리 생산까지 배터리 밸류체인 전반에서 양사가 연구개발, 투자, 공급망 협력 등 다양한 방면에서 과거보다 더욱 강화된 협업 관계를 구축하였다. CATL와 Tianqi Lithium 외에도, 중국 BYD는 Chengxin Lithium과 ‘전략적 협력 협의’를 체결, BYD가 Chengxin Lithium의 리튬 공급 조건에서 타 회사 대비 우선 구매 조건을 가지게 되었다. 또한 이들은 광산자원을 공동으로 찾고 합작하여 개발하는 데에도 합의했다.

3.4.2. 제련

리튬 제련 시장은 광물에 집중하여 광물 채취부터 제련까지 수직 통합된 기업과 광물 채취보다는 제련 기술에 특화된 기업이 경쟁하고 있다. 탄산리튬과 수산화리튬 생산 업체들을 보면, 염분 호수나 광산에서 리튬을 추출하며 업스트림부터 미드스트림까지 밸류체인을 연결한 기업들이 대표적이다. 예를 들어, 간펑리튬은 장시성 닝도에 리튬 광산을 보유할 뿐만 아니라 호주와 아일랜드에서도 광산을 운영 중이며 아르헨티나에 염호를, 멕시코에 점토 채굴장을 가지고 있는 리튬 채굴 업체다. 이와 동시에 중국, 호주, 아일랜드 등 각국에서 채취한 리튬을 제련하는 공장 4곳을 중국에서 운영하는 제련 업체이기도 하다. 미국의 알버말도 리튬 광산과 염호를 보유하면서 탄산리튬, 수산화리튬 제조 설비를 갖추고 있다.

코발트 제련 시장을 보면 콩고민주공화국이 아닌 중국이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 중국은 전 세계 제련(정련) 코발트 시장의 약 64%를 차지한다. 즉, 콩고민주공화국에서 채굴한 코발트를 중국으로 가지고 와서 중국 내 코발트 제련 전문기업이 배터리를 코발트로 가공하는 것이다. 2021년 기업별 제련(정련) 코발트 생산량 전망치를 기준으로 볼 때, 중국의 제련 코발트 생산량이 Umicore(중국 내 생산량 제

외), JRV(Jervois Mining), 글렌코어 등에 비해 월등히 많은 것을 알 수 있다. 코발트 제련 시장은 리튬과는 달리 채굴과 제련의 수직 통합 기업보다는 제련을 전문으로 하는 기업들의 과급력이 더 높다. 이와 같은 상황에서 코발트 제련 전문 기업 간 코발트 원자재 확보 및 판로 개척을 위한 경쟁이 일어나고 있다. Umicore는 세계 최대 코발트 채굴 기업인 Glencore와 계약을 체결하여, Glencore가 보유하고 있는 코발트 광산인 KCC와 Mutanda에서 채굴된 코발트를 Umicore의 제련소로 공급받기로 했다.

니켈 제련 시장에서 주목해야 하는 황산니켈 시장은 리튬과 마찬가지로 채굴과 제련을 수직 통합한 기업과 제련 기술에 특화된 기업이 혼재하며 경쟁한다. 황산니켈 시장의 주요 기업군을 살펴보면, 중국의 Jinchuan Group, 러시아의 Norilsk Nickel, 일본의 Sumitomo Metal Mining이 밸류체인 상 수직 통합을 이룬 기업으로 볼 수 있다. Jinchuan Group은 파푸아뉴기니의 Ramu 프로젝트에 참여하는 등 업스트림 사업을 영위하고 있는 기업인 동시에, 연간 생산량 17만 톤 상당의 황산니켈 생산능력을 보유하고 있는 기업으로 전 세계 황산니켈 시장에서 상위권을 점유하는 회사다.

3.4.3. 배터리 핵심소재 및 셀 제조

배터리 4대 핵심소재는 양극재, 음극재, 전해액, 분리막이다. 양극재는 배터리 성능(주행거리)을 결정하고, 음극재는 배터리 수명과 안정성에 중요하다. 전해액은 양극과 음극의 리튬이온 이동통로를 제공하면서 배터리 수명과 셀 특성을 향상시킨다. 분리막은 배터리 안전성 확보에 필수적이다. 각 소재가 배터리에서 핵심적인 역할을 하는 만큼, 이를 전문적으로 연구개발 및 생산하는 기업들도 각 시장별로 촘촘하게 구성되어 있다. 배터리 셀 제조사는 하나의 핵심소재에 대해서 다수 기업으로부터 조달하기 때문에 핵심소재 개발 및 제조 기업 간 경쟁은 활발한 편이다.

SNE리서치(2020년)에 의하면, 양극재 시장점유율 기준 1위 기업은 벨기에 Umicore이고, 그 뒤를 일본의 Nichia와 Sumitomo이 잇고 있으며, LG화학, L&F, ECOPRO BM, 포스코케미칼도 상위권에 자리하고 있다. 중국 기업은 Ronbay, 샴턴텅스텐(XTC) 등이 두각을 내고 있다. 이러한 양극재 제조사들은 자사의 양극재를 배터리 셀 제조사에 납품하기 위한 경쟁이 치열하다. 예를 들어 LG에너지솔루션에 양극재를 납품하는 기업은 LG화학, 포스코케미칼, L&F, Nichia, Umicore 등이 있는데, 이를 보면 동일한 고객에 다양한 기업들이 납품하는 구조이기 때문에 경쟁이 필연적이다. 다만, 배터리 산업에 대한 국가별 정책(IRA 법안 등), 배터리 수요 증가에 따른 배터리 소재 확보 필요성이 점차 제고되고 있다는 점 등 여러 요인에 의해서 배터리 소재 제조사가 배터리 셀 제조사에 비해 월등히 차이 나는 경쟁력 우위 또는 열위를 점하는 것으로 보이진 않는다.

음극재 시장의 경우, 주로 중국 업체들이 두드러지는데, 중국의 주요 음극재 기업으로는 BTR, Zichen, ShanShan, Kaijin 등이 있으며 이들 중국 업체들의 전 세계 음극재 시장점유율은 70%에 육박한다. 일본 음극재 기업으로는 Hitachi와 Mitsubishi Chemical이 있다. 배터리 셀 제조사들은 음극재를 다수의 회사에서 공급받고 있으므로 음극재 기업 간 경쟁도 필연적이다. 예를 들어, 삼성SDI의 경우 포스코 케미칼을 비롯하여 일본의 Hitachi와 Mitsubishi Chemical, 중국의 BTR, Zichen 등 다수 기업으로부터 음극재를 공급받고 있다. 또한 중국의 배터리 셀 제조사이자 글로벌 시장 점유율이 가장 높은 CATL도 BTR, Zichen, XFH 등 다수 기업에서 음극재를 공급받고 있다.

분리막 시장은 한국, 중국과 일본 기업들이 시장을 선도하고 있다. 중국 기업 SEMCORP은 최근 몇 년간 M&A를 통해 분리막 생산능력을 빠르게 확장해 오면서, 2022년 연간 생산능력을 약 45~50억 m²로 넓히는 등 분리막 시장에 적극적으로 대응하고 있다. 일본의 Asahi Kasei와 Toray, 중국의 Senior, 그리고 SK아이이테크놀로지 등도 시장점유율 선두권을 달리고 있다. 특히 SK아이이테크놀로지는 LG에너지솔루션, 삼

성SDI, SK온, 파나소닉, CATL 등 배터리 셀 제조 분야 선두 기업에 공급되는 Tier-1 습식 분리막 생산능력 점유율에서 2020년 기준 26.5%를 차지하는 것으로 나타났다.

전해액 시장은 중국 기업을 중심으로 시장이 형성되어 있다. Tinci, GTHR, Capchem 등이 글로벌 시장점유율 상위 업체들이다. 이에 더해 일본의 Mitsubishi Chemical도 시장 선도 기업이다. 우리나라의 경우, Enchem이 주목받고 있다. Enchem의 전해액 생산능력은 2022년 9.5만 톤, 2023년 25.5만 톤, 2024년 74.5만 톤으로 증가할 전망이다. 이는 유통 기간이 짧은 전해액의 특성상 현지화가 필수적이므로 미국, 유럽 등에 생산능력을 확보할 예정이기 때문이다. 전해액 제조사 역시 배터리 셀 제조사와 일대일 독점 계약이 아니기 때문에 전해액 제조사 간 경쟁이 나타난다.

흔히 배터리 시장이라고 할 때, 대체로 배터리 셀 제조 시장을 지칭한다. 배터리 시장은 친환경화의 흐름을 타고 전기차 시장이 급성장하면서 함께 성장해왔으며, 미래 성장성을 본 주요 국가들은 배터리 시장에 대해 국가적 차원의 지원을 아끼지 않으면서 시장에서 경쟁우위를 차지하기 위한 노력을 보여왔다. 이러한 결과를 단적으로 볼 수 있는 것이 상위 10대 기업의 구성과 시장점유율이다. 2021년과 2016년의 시장점유율 상위 10대 기업을 비교해보면 구성 기업과 순위의 변동이 꽤 크다. 아직 한국, 중국, 일본을 중심으로 글로벌 기업들이 시장을 주도하고 있지만 유럽의 Northvolt 등 새로운 업체들도 반격을 준비하고 있다. 또한 배터리와 배터리를 구성하는 핵심소재들이 전략적 물자로 인식되기 시작하면서 미국 역시 중국에 대한 의존성을 낮추기 위해 광물부터 배터리 최종재 제조까지 미국 및 미국의 우방을 중심으로 한 공급망을 구축하기 위해 노력 중이므로 배터리 셀 제조 시장의 경쟁은 향후 더욱 치열해질 것으로 보인다. (김나래 2023)

< [그림 3-6] 2016년, 2021년 배터리 셀 제조 Top 10 기업별 시장점유율 >



출처: SNE리서치 자료 토대로 삼성KPMG 재구성

3.4.4. 배터리 패키징

배터리 셀 제조사들의 치열한 경쟁은 완성차 제조사와 합작기업을 설립하는 양태로 발전하고 있다. 완성차 제조사는 전기차 시장이 급성장하면서 전기차를 안정적으로 생산하기 위해 배터리의 원활한 수급부터 해결해야 함을 깨닫고 다양한 배터리 셀 제조사와 장기계약을 맺거나 지분투자를 통한 합작법인을 설립하면서 파트너십을 공고히 하기 위한 노력에 분주하다. 이러한 장기 파트너십은 배터리 셀 제조사 입장에서 필요한 것으로, 경쟁이 치열한 배터리 셀 제조 시장에서 타사 대비 경쟁력을 확보하기 위해서는 안정적인 판매채널 확보가 필수적이다. 특히, 일정 규모 이상의 판매량을 확보하는 것은 배터리 원재료 수급 시 협상력을 강화한다는 점에서 더욱 중요하다. 파나소닉은 테슬라와 합작공장을 오랜 기간 운영해왔으나 최근에는 테슬라의 의존도를 낮추고자 고객사 다변화를 꾀하고 있다. 2020년 4월에 토요타 자동차와 Prime Planet Energy & Solutions을 설립하여 배터리 생산, 전고체 배터리 및 차세대 배터리 연구개발에 협력하고 있다. CATL은 지

리자동차와 CATL-Geely Power Battery를 설립했으며 중국 쓰촨성 이빈(Yibin) 지역에 6단계에 걸친 투자를 토대로 배터리 공장을 건설하고 있으며 2021년 6월부터 배터리를 생산 중이다. CATL은 추가적으로 투자하여 생산 역량을 확대해 나간다는 방침이다. Northvolt는 2022년 2월, 볼보자동차와 스웨덴 예테보리 지역에 배터리 합작공장을 건설할 계획이며, 이 공장은 2023년에 착공하여 2025년에 완공 예정, 연간 최대 50GWh 규모의 배터리 생산이 목표다.

LG에너지솔루션은 GM과 합작법인 Ultium Cells을 설립하고, 2022년 11월 미국 오하이오주에 위치한 Ultium Cells 1공장에서 배터리 양산을 시작했다. Ultium Cells 2공장은 테네시주에 위치하며 2023년부터 배터리 양산 중, 3공장은 미시간주에 건설 중이다. LG에너지솔루션은 GM 외에도 Stellantis와 NextStar Energy를 캐나다에 설립하여 배터리 공장을 건설할 예정이고, 혼다와 미국 내 합작공장을 지어 2025년부터 배터리를 양산할 계획이다. 삼성SDI는 Stellantis와 함께 북미 시장을 공략한다. 미국 인디애나주에 최초로 연 23GWh 규모의 배터리 합작공장을 짓고 향후 생산량 규모를 확대하여 최대 33GWh 규모로 만들고, 2025년에 가동하는 것이 목표다.

3.4.5. 테슬라의 배터리 내재화 계획 및 현황

테슬라는 배터리 생산 완전 내재화를 목표로 하고 있다. 테슬라는 배터리 제조 기술 확보, 생산역량 확대, 배터리 원료 직접 조달을 통해 내재화를 완성시킬 계획이다. 먼저, 테슬라는 배터리 제조 기술을 보유한 업체들을 인수하고, 생산기술 고도화도 진행 중이다. 2019년 배터리 셀 제조업체인 Maxwell Technology를, 2021년에는 실리콘 음극재를 사용한 고에너지 밀도 리튬이온 배터리 기술을 보유한 SilLion을 인수했다. 2020년 9월 Battery Day 때 자사의 배터리 전략으로서 원가 절감 및 주행거리 향상에 초점을 맞출 것이라고 발표했고, 2021년 1월 자체 개발한 신형 배터리 셀 생산라인을 공개했다. 2022년 1월에는 미국 니켈 공급업체 Talon Metals과 공급계약을 체결, 2022년 3월에는 독일

Giga Berlin 공장을 가동, 2022년 4월 텍사스 Giga Texas 공장을 가동하기 시작했다. 테슬라는 생산역량 고도화 노력도 진행 중인데, 2021년 캘리포니아 Fremont 공장 근처에 있는 자체 생산 4680 배터리 셀 시험 생산 라인을 공개했다. 이 배터리 셀은 원가 절감을 통한 전기차 가격 경쟁력을 확보할 수 있다는 점에서 중요하다. 또한, Giga Texas 공장은 배터리부터 완성차까지 일괄 생산이 가능한 라인인데, 극도로 효율성을 높여 배터리 셀 후방 밸류체인부터 완성차 생산까지 수직 통합 공정을 구축하고 있다. 배터리 셀은 수율이 중요하고, 수율은 오랜 공정 기술 노하우가 축적되면서 향상되기 때문에 테슬라의 내재화 계획이 단기간 성공하는데 도전적이지만, 이 계획이 성공한다면 테슬라는 완성차 업체 최초로 배터리 내재화에 성공한 게임체인저가 될 것이다.

3.4.6. 전고체 배터리 전망

차세대 배터리로서 한창 연구 중인 배터리는 전고체 배터리, 리튬-황 배터리, 리튬-메탈 배터리, 리튬-에어 배터리, 나트륨 이온 배터리, 마그네슘 이온 배터리 등 다양하다. 이중 업계는 가장 유력한 대안으로서 전고체 배터리를 꼽는데, 전고체 배터리는 리튬이온의 이동 경로인 전해질을 액체가 아닌 고체로 사용하는 배터리를 말한다. 고체 전해질을 사용하면 화재 위험성, 전해질 누수나 폭발 위험성이 크게 감소하므로 리튬 배터리의 단점을 정확하게 보완하게 된다. 또한 전고체 배터리는 리튬 배터리 대비 에너지 밀도가 높아 고출력이 가능하고, 사용가능 온도 범위가 넓다는 점도 장점으로 꼽힌다. 전고체 배터리 연구는 현재 일본이 가장 앞서고 있는데, 일본은 2009년부터 전고체 배터리 개발 프로젝트인 RISING 프로젝트를 진행하고 있고, 2018년에는 완성차 기업과 배터리 기업, 소재기업이 참여하는 전고체 배터리 개발 프로젝트에도 착수하였다. 2022년 7월 니혼게이자이신문의 조사에 따르면, 전고체 배터리 특허 건수 글로벌 10위 기업 중 6개가 일본 기업이었으며, 특히 토요타는 1,331건의 특허를 보유한 것으로 나타났다. (성호철 2022)

3.5. 미국 배터리 산업 정책

2017년 미국 트럼프 정부 출범후 ‘슈퍼 301조’ 를 통해 시작되었던 미·중 무역분쟁이 첨단 기술 산업을 중심으로 한 기술패권 경쟁으로 심화되면서, 2022년 8월 미국 바이든 행정부는 취임 이후 지속적으로 추진되고 있던 ‘더 나은 재건(BBB, Build Back Better)’ 법안을 보완한 IRA 법을 발효했다. 바이든 행정부는 취임 직후부터 미국 내 투자와 생산을 확대하고 미국을 중심으로 한 글로벌 공급망을 재구축하고자 반도체, 전기차용 고성능 배터리, 의약품, 희토류의 공급망을 검토했다. 그 결과 IRA 법안이 도출되었는데 배터리 산업은 전기차 세액공제 조건 개정 사항이 담긴 IRA 법 Section 13401과 관련이 있다. (박진수 2022) 한편, 중국은 ‘중국제조 2025’ 와 같은 정책을 통해 전 세계에 대한 중국의 영향력을 확대시키고자 한다. 2015년부터 시행 중인 중국제조 2025는 중국의 혁신역량과 경쟁력을 바탕으로 개발도상국형 제조업 형태를 탈피하고, 세계를 선도하는 제조 강국을 만들자는 비전을 담고 있다. 이에 ‘에너지절약 및 신에너지자동차’ 를 포함한 10개 제조업 분야를 선별하여 집중 육성하고 있다. ‘에너지 절약 및 신에너지 자동차’ 에 배터리가 포함되며, 이 정책을 통해 급성장한 중국 배터리 기업으로 CATL이 대표적이다. (조은교 2023)

3.5.1. 미국

배터리 시장의 성장은 전기차 수요가 견인하게 될 것이고, 글로벌 전기차 시장은 중국과 유럽 대비 전기차 보급률이 아직 낮은 미국이 당분간 주도할 것으로 전망된다. 미국은 IRA 법을 통해 신재생에너지, 전기차 산업의 성장을 지원하고, 전기차 전체 밸류체인에서 중국, 러시아 등 우려국가를 배제함으로써 글로벌 완성차, 배터리, 소재 기업들의 미국 투자를 유도하고 있다. 특히, IRA는 첨단 제조 생산 크레딧 프로그램을 통해 현지에서 배터리 셀, 모듈, 핵심재료를 생산하는 기업에게 일정 금액의 크레딧을 제공하고 있어 미국에 생산기지를 구축한 기업들의 미국 투자비 절감도 커질 것으로 예상된다.

3.5.1.1. 배터리 공급망 조사 보고서

대통령 행정명령 14017에 따른 반도체, 배터리, 의약품 및 희토류에 대한 미국 내 공급망 조사에 따른 배터리 부문의 결과는 다음과 같다. 보고서는 배터리를 양질의 일자리를 창출하는 유망산업이자 기후변화 대응을 위한 핵심 수단으로 인식하였다. 향후 폭발적 성장이 예상되는 대용량 배터리 수요에도 불구하고, 미국의 자체 공급망은 취약하다고 평가하였다. 현재, 중국과 EU 등이 국가적 차원에서 산업 정책을 강화하고 있고, 특히 중국은 대규모 보조금 및 경쟁제한 조치로 시장가격을 왜곡하고 있다고 지적했다. 다만, 연방정부 차원의 체계적인 정책이 시행되면 충분히 글로벌 배터리 시장에서 미국이 경쟁우위를 확보할 수 있을 것으로 분석하였다. (이준 2021)

미국은 배터리 공급망을 (1) 원료 생산(채굴), (2) 원료 정제 및 가공, (3) 소재 제조 및 셀 조립, (4) 패키징, (5) 재활용 및 재사용으로 구분하고, 배터리 공급망 전반적으로 자체 생산기반이 부족하다고 평가하고, 특히 밸류체인 업스트림 영역이 가장 취약한 분야라고 평가하였다.

< [표 3-2] 미 에너지부, 배터리 공급망 요소별 자체 진단 >

공급망 구분	현안 및 진단
원료 생산 Raw Materials Production	<ul style="list-style-type: none"> - 취약 섹터로 진단 - 원료중 양극재 핵심원료인 니켈, 리튬 및 코발트에 주목 - 재활용, 대체소재 등으로는 현재 폭증하는 원료 수요를 충당하기 어려운 바, 결국 핵심원료 생산 증대가 중요 - 국내 생산이 경제성을 갖추도록 새로운 노동환경 기준의 적용 필요 - 동맹국과 협력을 통해 수급을 다각화하고, 환경노동 관련 글로벌 스탠더드 정립 필요
원료 정제·가공	<ul style="list-style-type: none"> - 가장 취약한 섹터로 진단

<p align="center">Materials Refinement and Processing</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 현재에도 정제 및 가공시설 부족으로 미국 내에서 채굴한 원료를 수출하고 있다고 평가 - 재활용과 더불어 정제, 가공 역량을 확보하는 것이 결국 공급망을 강화하는 것으로 인식 - 중국이 현재 배터리 공급망에서 우위를 갖는 것도 이 부분에 기인한다고 평가
<p align="center">소재 제조 및 셀 조립 Manufacturing Materials and Cell Fabrication</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 글로벌 공급역량 중 미국은 현재 10% 이하 점유율 기록 - 반면, 중국은 글로벌 공급역량의 75% 이상을 차지 - 수요 부족이 민간의 투자를 주저하게 하는 요인인데, 현재 글로벌 배터리 수요에서 미국 비중은 12% 수준 - 셀 제조 및 패키징에 대한 연방정부 지원 확대가 민간의 투자 촉진에 도움이 된다고 평가
<p align="center">패키징 Pack Fabrication</p>	
<p align="center">재활용 · 재사용 Recycle and Reuse</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 아직까지 재활용, 재사용 부문은 발전 초기단계 - 핵심원료의 추가적인 원천으로서 새로운 원료 채굴 수요 상쇄에 기여 - 적절한 정책과 투자로 글로벌 배터리 공급망에서 미국이 경쟁력 있는 위상 확보 가능

출처 : Department of Energy 결과보고서 토대로 산업연구원 정리

3.5.1.2. 미 에너지부, 배터리 공급망 강화 정책제언

에너지부는 공급망 실태조사 이후, 강력한 수요 촉진 정책을 토대로 미국 내 배터리 공급망에 대한 민간 투자와 참여를 확대하는 4대 정책과제를 제안하였다. 운송 및 유틸리티 분야에서 공공부문의 구매력을 활용하여 미국산 배터리 수요를 창출하는 한편, 에너지 배출 기준 강화 등을 통해 전기동력으로 전환을 유도한다. 또한, 광물 맞춤형 투자, 환경·근로조건 현대화 및 재활용 촉진으로 배터리 핵심원료 공급망을 보강한다. 그리고, 보조금, 융자 및 세액공제 등을 통해 배터리 제조 부문의 민간 투자를 유인하고, 인적 자원에 대한 투자 확대를 미국 내 배터리 산업생태계를 보강한다.

< [표 3-3] 미 에너지부, 배터리 공급망 강화 정책제언 >

정책과제	세부 과제
① 미국에서 제조된 배터리에 대한 수요 촉진	<ul style="list-style-type: none"> - 공공분야 운용차량 및 통학, 통근버스를 전기화 - 충전인프라 확대, 에너지효율 및 배출기준 강화 - 투자세액 공제에 에너지저장장치(ESS) 포함 - 재생에너지 및 ESS 지원을 위해 송전규정 개정
② 배터리 핵심원료 공급역량 확대	<ul style="list-style-type: none"> - 리튬의 국내 생산 및 정제를 지원 - 니켈과 코발트의 재활용 촉진 - 동맹국 협력을 통해 니켈 제련시설에 투자하여 공급선 확보 - 환경기준을 현대화하고, 근로조건 개선
③ 소재, 셀, 팩 생산 촉진	<ul style="list-style-type: none"> - 배터리 분야 민간투자 확대를 위해 연방 보조금 신설 - 투자 촉진을 위해 에너지부의 ‘Advanced Technology Vehicle Management Loan’ 프로그램 활용 - 세액공제 제도를 활성화하여 중소 셀 제조 및 소재 가공업체 지원 - 연방 재정이 투입된 보조금, R&D 등에 미국 내 제조 책임 강화
④ 인력 및 혁신에 대한 투자를 통한 배터리 산업생태계 강화	<ul style="list-style-type: none"> - 차세대 배터리 및 전기차 산업 인력양성 투자 확대 - 배터리 제조 인력 양성 - 공급망 취약성 해소를 위한 R&D 투자 확대 - 대용량 배터리 ‘Manufacturing USA Institute’ 설립

출처 : Department of Energy 결과보고서 토대로 산업연구원 정리

3.5.1.3. 전기차 보조금(세액공제)

IRA 법은 2023년 1월 1일부터 적용되는 전기차 보조금 정책을 포함하고 있다. 보조금 지급액은 대당 최대 7,500달러이며, 지급요건은 전기차 및 배터리 제조 및 역내 비중요건 등을 복잡하게 기술하고 있다. 전기차 세액공제 지급요건을 기술한 IRA Section 13401 주요 내용은 다음과 같다.

< [표 3-4] 미국 IRA Section 13401 주요 내용 >

구분	내용	적용 시기
전기차 최종조립 조건	- 북미(미국, 캐나다, 멕시코 3개국) 지역에서 전기차 최종 조립 필수	발효 즉시 (2022. 8. 16~)
배터리 부품 조건	- 전기차 탑재 배터리 제조에 사용된 주요 부품은 50% 이상(2023년 기준) 북미에서 제조 또는 조립된 경우, \$3,750 상당 세액공제 혜택 * 주요 부품: 셀, 모듈, 전극활물질(양극재, 음극재, 음극기판), 전기적 활물질(솔벤트, 첨가제, 전해질) * 비중 변화: 2024년 1월 1일 전까지 50% → 2024-25년 60% → 2026년 60% → 2027년 이후 80%	세부 규칙안 공지후 (2023년 3월~)
배터리 핵심 광물 조건	- 단, 미국과 FTA를 체결하지 않은 국가에서 추출한 광물이라도 FTA 체결국에서 가공하여 50% 이상의 부가가치를 창출한 경우, FTA 체결국의 생산물로 간주하여 세액공제 가능	

먼저, 보조금 지원방식은 소비자가 전기차 구매시 세액공제 방식으로 보조금을 지원하나, 전기차 배터리에 사용되는 양극재, 음극재, 리튬, 니켈 등 핵심부품과 소재, 그리고 광물의 원산지 요건을 강화했다. 즉, 보조금은 최대 7,500달러인데, 이 구성을 절반씩 3,750달러로 두파트로 나뉘고, 첫 번째 파트인 원료/재활용 파트에서 미국에서 추출하거나 미국과 FTA를 체결한 국가에서 추출 및 가공하고 북미에서 리사이클링한 원료에 한하여 3,750달러를 지급, 두 번째 부품 파트에서는 양극재, 음극재, 분리막, 전해질, 셀, 모듈을 포함하고, 북미 지역 내 생산 및 조립한 부품일 경우 나머지 3,750달러를 지급한다고 규정하였다. 우려대상기관(FEOC: Foreign Entiry of Concern)에서 생산한 부품은 보조금 지원대상에서 제외한다. 여기서 FEOC란, 중국, 러시아, 이란, 북한이 소유, 통제, 지시하는 법인을 말한다. 이러한 연방 보조금은 2032년까지 전기차 구매시 신차는 최대 7,500달러, 중고차는 최대 4,000달러의 세액 공제 혜택을 지원하며, 연소득 55,000달러 이하 소비자에 한

하여 지급한다. 또한, 기존과 달리 연간 전기차 누적 판매량 20만대 이상 기업에게도 보조금을 지급하여, 테슬라, GM, 포드 등 미국 기업들의 전기차가 보조금 대상에서 제외되지 않도록 하였다.

2023년 4월, 미국 정부는 IRA 법 세부 지침에 따라 최대 7,500달러의 보조금을 지급하는 16개 전기차 대상 차종(하위모델 포함 22개)을 발표했다. 금번 새로 강화되는 보조금 지급요건은 과거 북미산 조립요건에 더하여 북미에서 제조, 조립한 배터리 부품을 50% 이상 사용해야 하고,(3,750달러), 미국이나 FTA 국가에서 채굴, 가공한 핵심광물의 40% 이상 사용(3,750달러)해야한다는 요건을 추가하였다.

현대기아차의 경우 앨라배마 공장에서 조립되는 GV70의 경우 세부요건 발표 이전에는 보조금 지급대상이었지만, 개정된 요건은 충족하지 못해 보조금 대상에서 제외됐다. 현재 GV70에 사용되는 배터리는 중국산이다. 현대기아차는 조지아주에 2025년 완공 예정인 전기차 및 배터리 합작공장 완공을 가속화하는 한편, 앨라배마 공장에서 조립 중인 GV70 배터리를 북미산으로 대체하는 방안도 검토 중인 것으로 알려졌다. 이밖에도 북미에서 생산하여 보조금 대상이었던 닛산을 비롯해 일부 미국산 전기차도 배터리 요건을 충족시키지 못해 보조금 명단에 빠지게 되었다.

3.5.1.4. 전기차 전환명령, 기업평균연비제도

IRA 법뿐만 아니라, 바이든 대통령은 2021년 8월 전기차 활성화를 위해 2030년까지 미국 신규 자동차의 50%를 전기차로 전환하도록 하는 행정명령을 발표하고, 글로벌 완성차 업체들은 2023년부터 미국 시장내 전기차 신차 출시를 확대하고 있다.

또한, 미국은 2032년까지 신차 판매량의 67%를 전기차로 규제하겠다는 획기적인 비전을 제시했는데, 즉 전기차 보급을 강제하기 위해 차량이 배출하는 온실가스 및 오염물질 기준을 대폭 강화하고, 전기차

배터리 성능의 70% 이상을 차량 운행 8년 뒤에도 유지하도록 하는 등 배터리 최소성능 기준을 도입했다.

3.5.2. 평가 및 전망

IRA 법에서 알 수 있듯이, 미국은 청정에너지 설치를 확산하고, 산업경쟁력을 강화하며, 중국이 지배하는 공급망에 대한 과도한 의존을 줄이기 위해 전기차 배터리 및 필수 광물의 공급망을 확보하는 것이 미국의 정책 우선순위가 되었다. 미국이 복잡하게 구성한 전기차 세액 공제 정책, 그리고 On-shoring 및 Near-shoring 조항은 미국 내 투자를 촉진시키는 역할을 분명히 하고 있다. CSIS는 IRA 법과 On-shoring 및 Near-shoring 정책으로 인해 향후 10년간 미국 배터리 산업에 910억 달러 이상 투자될 것으로 예상하였다. (Nakano 2023) 또한, 기업평균연비 제도 및 배출허용기준을 통한 전기차 확대 정책은 각국의 배터리, 소재 기업들에게 시장 창출 측면에서 중요한 의미가 있다. 특히, IRA 법으로 중국 기업들의 미국 시장 접근성이 크게 하락한 가운데, IRA 규정을 충족하고, 투자 여건이 양호하며, 북미 진출에 경험이 있는 기업들 중심으로 미국 시장의 성장을 견인할 것으로 예상된다.

그러나, 이러한 정책으로 중국이 지배하는 배터리 시장에서 미국이 공급망을 강력하게 구축할 수 있을지에 대해서는 아직 불확실하다는 평가가 많다. (강구상 2022) 이는 미국 내 투자가 얼마나 완고하게 추진이 될지, 유럽연합이 자체 전기차 배터리 공급망에 제공할 수 있는 지원 수준이 어느 정도일지 확실하게 예단하기 어렵기 때문이다. 아울러, 중국도 분명 자국의 전기차 배터리 공급망 확보와 전기차 밸류체인 강화에 주력하고 있다. 국제에너지기구(IEA)에 따르면, 중국은 2030년까지 발표된 전기차 배터리 부품 제조능력 확장계획의 대부분을 차지하며, 여기에는 코발트(95%), 리튬(95%), 니켈(60%)가 포함되어 있다. 전기차 배터리 공급망 확장을 위한 중국의 노력은 비단 국내에만 국한되지 않는다. 중국은 세계 배터리 공장으로 거듭나기 위해 세계적으로 투자를 확대하고 있다. 중국에서 두 번째로 큰 리튬 화학 생산업

체인 Tianqi Lithium은 호주에서 수산화리튬 프로젝트가 장시성에서 상업 생산을 시작했다고 밝혔다. 2019년 발표된 CATL의 독일 배터리 공장은 현재 건설 중이며, 유럽에는 이를 포함해 최소 8개의 중국 배터리 프로젝트가 진행 중이다. 2031년까지 중국 기업은 유럽에서 322GWh의 생산능력을 확보하여 유럽 배터리 공급망을 장악할 것으로 예상된다. 그러나, 대조적으로 미국 기업의 생산능력은 유럽에서 5위 수준이 될 가능성이 높은 상황이다.

아울러, 미국 자동차 제조업체들이 여전히 중국과의 협력에 관심이 있다는 점도 중요하다. 2022년 중국은 전 세계 전기차 판매량의 약 60%를 차지할 정도로 세계 최대 전기차 시장이다. 중국은 현재 가격경쟁력을 가진 배터리 대부분을 공급하고 있다. 미국 자동차 제조사들은 LG에너지솔루션, SK이노베이션 등 한국 기업들과 배터리 공급계약을 체결했음에도 불구하고 중국 업체와의 협력도 필요성을 인정하고 있다. 상하이의 테슬라 공장은 CATL이 제조, 조립한 전기차 배터리를 조달받아 전기차를 생산하는데, 이 공장은 북미 이외의 시장에 전기차를 수출하는 최대의 수출 허브이다.

미국의 전기차 확산 정책이 정권에 따라 속도가 조절될 수 있다는 점도 불확실성을 높이는 요인이다. 현재 차기 미국 대통령 선거를 앞두고, 트럼프 전 대통령의 재집권 가능성이 커지면서 미국의 전기차 정책 기조 변화 가능성도 커지고 있다. 트럼프 전 대통령은 바이든 행정부의 IRA 법과 급격한 전기차 전환에 여러 차례 부정적인 입장을 내바 있다. 트럼프와 트럼프 행정부의 전직 관료들은 “IRA 법은 재생에너지 개발 업체와 특수 이익 단체에 수천억 달러의 보조금을 지급하는 것”이라며, “이미 지급된 보조금을 제외한 모든 자금 지원을 폐지하는 것을 지지한다” 라고 밝혔다. (Salzman 2024)

4. 정책 시사점

4.1. 반도체

미국의 반도체 공급망 재편, 산업 보조금 및 수출통제 조치는 우리에게 분명 기존 문법과 다른 복잡한 솔루션을 요구한다. 먼저, 미국은 반도체 공급망 조사에서 미국의 첨단반도체 수급이 특정 국가에 과도하게 편중된 점을 위협요인으로 진단하였다. 미국은 팹리스 부문을 장악하고 있지만, 7nm 이하 첨단반도체 제조 기반이 부족한 상황에서 한국-대만-일본의 협업이 주축이 되는 동북아 공급망이 와해될 경우 심각한 경제적 타격을 입을 수 있다는 판단이 있다. 미국은 On-shoring 및 Near-shoring 정책을 통해 안정적인 공급망 확보를 목표로 하고 있다. 동시에 미국 기업들의 제조시설 투자도 적극적으로 지원하여 소재, 장비, 부품, 그리고 인력양성과 연구개발 등 중장기 관점에서 미국 내 공급망을 강화하는 정책을 병행 추진 중이다. 이미 TSMC는 애리조나주에 5nm 이하 공정의 최신 Fab을 350억 달러 규모로 건설 중이며, 삼성전자도 텍사스주에 180억 달러의 추가 투자를 통해 파운드리를 증설하고 있다.

중국은 반도체 국산화에 막대한 산업 보조금을 투입하고 있고, 국유 자본이 투입된 기업들 중심으로 28nm 이상 레거시 반도체 기술과 노후가 빠르게 축적되고 있다. 그러나, 미국의 대중 견제 조치, 그리고 이에 동참하는 일본, 네덜란드 등의 수출통제 조치는 단기적으로 첨단반도체의 중국 유입을 막고 있고 중국의 첨단반도체 생산을 지연시키면서 중국의 반도체 국산화 계획을 지연시키는 효과를 낼 것이다. 아울러, 중국에 대한 외국인 직접투자도 미국의 수출통제와 반도체 공급망 재편 정책 이후 하향 추세를 보인다. 기존 중국에 큰 투자를 해왔던 종합반도체기업이 중국 대신 독일, 아일랜드, 이탈리아 등 유럽과 말레이시아, 베트남 등 동남아시아로 향한 사례도 이미 있고, 앞으로도 미국이 현재 수준의 통제를 유지하는 한 중국에 외국 기업의 직접 투자는 쉽지 않으리라고 예상된다. 중국은 미국과 미국의 수출통제에 동

참하는 국가들에 대해 마찬가지로 희토류 등 반도체 생산에 필수적인 소재 수출통제로 맞대응하고 있다. 나아가, 첨단반도체 기술 노하우를 단기간에 확보하기 위한 막대한 투자, 기업들의 기술 인력 확보 및 기업 인수 등의 방법을 더욱 공격적으로 추진할 것으로 예상되며, 우리 핵심기술 노하우들이 중국으로 쉽게 유출되지 않기 위한 제도적 보완이 필요하다.

미국은 특정 국가나 기업에 핵심제품 및 소재가 과도하게 편중된 것을 위협요인으로 인식하고 있으므로 메모리 반도체 부문에서 삼성전자와 SK하이닉스, 그리고 파운드리 및 OSAT 부문에서 TSMC의 독주를 일정 부분 제동할 가능성도 있다. 이에 미국은 자국 기업들의 시장점유율 제고를 위한 지원을 하면서, 동시에 대체 공급원 확보를 위해 1986년 제1차 미일 반도체 협정 이후 종합반도체 제조 부문에서 장기간 소외되었던 핵심 동맹국 일본의 글로벌 밸류체인 상 입지를 강화할 가능성이 있다. 일례로 일본 르네사스 기업은 중국과 달리 2019년 미국 IDT(Integrated Device Technology) 인수합병에 이어 최근 약 59억 달러를 투자하여 영국 다이얼로그 반도체 기업을 인수하였다. 미국 정부는 지금까지 메모리 반도체 부문에서 한국 기업들에 대한 경계심을 공개적으로 표출된 바는 없으나, 마이크론 등 미국 기업들과 직접적으로 경합할 가능성이 점차 현실화되고 있고, 미국 기업들 내에서도 파운드리와 과도한 TSMC 의존을 비판하는 목소리가 나오고 있다.

미국의 반도체 공장을 건설하는 우리 기업이 연방 정부의 산업 보조금 수령액도 중요하다. 현재 CHIPS Act 보조금 지급대상으로 확정된 기업은 영국 방산업체 BAE시스템스, 미국 반도체 업체인 마이크로칩 테크놀로지, 글로벌파운드리스 등 3곳이며, 2024년 3월 블룸버그 보도에 따르면, 인텔이 네 번째 보조금 수혜기업이 될 것이다. 인텔은 미국 내 첨단반도체 투자규모를 1,000억 달러까지 확대할 것이라고 밝힌 바 있다. 블룸버그 소식통에 따르면, 삼성전자의 텍사스 오스틴 신규공장은 60억 달러 수준의 보조금을 받을 것으로 보도했지만, 미국의 세입을 외국인 투자기업에게도 충분한 수준의 보조금을 지급할 것인가에

대한 미국 내 정치 이슈는 우리가 직면한 여전한 불확실성이다. IRA 법은 해외생산 전기차에 보조금을 지급하지 않았고, 이러한 미국의 정책결정 이후는 돌이키기 어렵다는 점도 우리는 경험적으로 잘 알고 있다. 미국은 글로벌 반도체 업체들을 미국으로 끌어들이며 공급망을 재편하겠다는 유인책을 제시하면서도, 보조금 차별 지급과 같은 동맹국의 긴장을 유발하는 미국 우선주의적 조치는 분명 내부 모순이다. 그러나, ‘납세자의 돈을 어떻게 쓸 것인가’와 같은 미국 우선주의 문제는 차기 대선을 결정지을 수도 있는 미국 정치권의 뜨거운 감자로서, 우리가 대응해야 할 분명한 리스크다.

글로벌 반도체 산업이 미국의 공급망 재편 전략 등으로 보호주의 블록화되면서 우리는 미국 내 한국 기업의 진출 기회 확대, 대중국 기술 봉쇄에 따른 중국 기업과의 격차 유지, 원천기술을 보유한 미국과 첨단반도체 설계, 장비 등의 접근성 측면에서 기회요인으로 작용하고 있지만, 중국과 더 멀어지는 점에서 위협요인도 상당한 것이 사실이다. 중국으로서는 Fab 4와 미국 중심의 다자 협의체에 참여하는 우리에게 대해 우려나 반발 조치를 단행할 가능성이 있다. 특히, 중국은 Fab 4 협의체가 그간 미국의 수출통제 조치와는 달리 중국의 반도체 굴기에 결정적인 타격을 가할 수 있는 중대 사안으로 인식하고 있다. 시스템 반도체 경쟁력을 보유한 중국은 세계 5, 6위 파운드리인 SMIC, 화홍반도체를 보유하고 있으나, 기술력과 점유율이 취약한 메모리 반도체 분야는 당장 한국 기업의 대체가 어려운 상황이기 때문이다. 중국은 반도체 원자재 공급망을 레버리지로 삼아 중국에 배타적인 공급망에 참여하는 기업들에 대해 수출통제 압박을 단행할 가능성이 있다. 중국은 세계 최대 희토류 생산국으로, 리튬, 니켈, 코발트, 망간, 마그네슘 등 반도체의 필수소재를 공급하고 있으며, 한국은 대중 수입 비중이 75% 이상인 소재들이 수백여 종에 달한다. 또한, 우리는 중국 내 반도체 주요 생산기반을 보유하고 있고 시장의존도도 중국, 홍콩에 60%에 달하고 있어 중국의 제재나 불이익이 현실화될 경우, 우리 경제에 미치는 영향이 적지 않을 것으로 예상된다.

4.2. 배터리

전기차 및 배터리 분야에서 중국은 특히 핵심소재, 제조 기술 측면에서 급부상하였다. 전 세계 전기차 판매 1위는 중국 BYD로 테슬라를 제쳤고, 3, 5위도 각각 상하이자동차, 지리자동차가 기록하면서 중국 전기차 기업이 10위권에 4개나 진입하였다. 미국은 그간 주로 원천기술, 핵심기술을 개발하고 필요한 경우 해외 위탁생산으로 통해 전기차와 배터리를 제조해왔는데, 이러한 과정에서 미국이 세계 제조업에서 점유하는 비중이 2008년 17%로 중국과 비슷한 수준이었으나, 2021년에는 미국은 15% 이하로 떨어진 반면, 중국은 31%로 대폭 증가하였다. 이는 단순히 미·중 양국 간 제조업 격차만 벌어진 것이 아니라 중국은 스마트폰, 디스플레이, 전기차, 배터리 등 첨단 제조업 분야에서 중국이 충분한 경쟁력을 갖추었다는 것을 의미한다.

미국의 전기차 및 배터리 분야 대중 견제 강도는 소재나 장비의 중국 유입을 직접적으로 통제하는 반도체 분야보다는 낮지만, 공급망 재편, 산업 보조금 정책은 동일한 기조로 강력하게 추진되고 있다. 전기차 보조금은 배터리 부품과 핵심광물 두 분야로 구분하여 지급하는데, 배터리 부품 보조금은 북미에서 제조·조립한 부품을 사용해야 하며, (부품 비율 2023년 50% → 2029년 100%) 배터리 핵심광물 보조금은 미국 또는 미국 FTA 협정국에서 채굴·가공한 핵심광물을 사용해야 수령 가능하다 (핵심광물 비중 2023년 40% 이상 → 2027년 80% 이상) 또한, 가드레일 조항으로서, 해외우려기관(FEOC)에서 추출·가공·재활용한 광물, 제조 조립한 부품이 들어간 배터리를 탑재한 전기차는 보조금에서 제외된다. CATL은 보조금 수령 요건을 충족하기 위해 북미에 포드와 합작기업을 설립을 추진하고 있고, 우리 기업들도 중국 배터리 및 소재 기업들과 합작기업 설립 관련 논의를 다수 진행 중이다. 가드레일 조항에 따르면, 합작기업 중에서 중국측 지분이 25% 이상인 경우 FEOC로 간주되어 보조금 대상에서 제외되므로, 합작기업 설립시 지분 조정은 북미 시장 개척에 중요한 요소이다.

2023년 4월 발표된 미국의 전기차 보조금 지급 차종에 따르면, 기존 40종에서 16종으로 축소되었고, 현대차, 기아차의 차종은 보조금 대상에서 제외되었다. 한편, 2024년 1월 발표된 미국 에너지부의 보조금 지급 차종을 보면, 한국산 배터리를 사용하는 차량의 절반가량인 15종은 보조금 지급대상에 포함됐지만, 중국산 배터리를 장착한 차량은 모두 제외되었다. 즉, 이는 미국 시장에서 우리 배터리 기업들이 반사이익을 누리는 기회요인으로 작용한다. 한국의 주요 배터리 기업들은 이미 미국의 완성차 기업들이나 미국에 진출한 다른 나라의 완성차 기업들과 합작투자를 추진하고 있다. 중국을 배제한 상태에서 진행되는 합작투자는 향후 미국 시장에서 판매되는 상당수의 전기차에 한국 기업들이 배터리를 공급하는 것을 보장한다. 단 배터리 부품, 셀 및 팩 제조가 미국 내에서 이뤄져야 하기 때문에, 생산의 파급효과와 부가가치가 모두 한국으로 귀속되지 않는다는 구조적 한계도 있다. 또한, 중국산 광물자원에 대한 의존도를 낮춰야 하는 상황, 그리고 중국 정부의 갈륨, 게르마늄, 구상흑연 등 소재 수출통제 조치로 인한 핵심소재 확보의 어려움은 우리가 직면한 위협요인이다. 한국의 전기차 완성차 기업들이 미국 판매를 위한 생산공장을 미국에 건설하는 것도 마찬가지로 제한적이거나 긍정적인 효과가 기대된다. 단 한국에서 생산하는 양극활물질, 음극활물질 등이 소재로 분류되어서 한국에서 생산하더라도 IRA 법 혜택을 볼 수 있다는 점은 상기 단점을 완화하는 부분이다.

배터리 산업의 공급망은 향후 미국, 유럽, 중국 등 주요 수요처를 중심으로 블록화 가능성이 높다. 이러한 가운데 미국은 한국, 일본 등 동맹국 기업들의 참여를 유인한 IRA 법을 통해 소재-배터리 전지 및 팩-최종제품-폐기 단계의 생산공정에 대한 자국 내 공급망을 구축하는 중이다. 미국에 대한 배터리 분야 외국인직접투자는 2021년부터 빠르게 증가하였다. 이러한 투자의 주체는 대부분이 아시아인데, 중국 기업의 투자도 2022년부터 급증하고 있다. 중국 기업의 투자 대상국이 과거에는 아시아와 서유럽 중심이었으나 2022년부터 북미의 비중이 급증하고 있다. 바이든 행정부 출범 이후 서유럽발 투자의 비중도 커졌다. 한편 이러한 외국인 직접투자보다 미국 기업의 자국 내 투자가 훨씬 더 활

발하며, 이러한 투자는 전통 있는 미국 자동차 기업들이 위치한 미시간, 오하이오, 인디애나 등 Manufacturing Belt 지역에 집중되었고, 한국 자동차 기업이 전기차를 생산하고 있는 조지아 등 동남부 지역도 상당한 비중을 차지한다.

그런데 현 배터리 밸류체인의 경쟁구도, 환경 관련 규제, 정치환경, 문화 등의 제약으로 인해 배터리 공급망의 양 끝단, 특히 핵심 원자재 가공에서 중국의 의존도를 현저하게 줄이는 것은 현재로서는 현실성이 높지 않은 것이 사실이다. 배터리의 경우 공급망의 첫 단계인 채굴을 제외한 모든 단계에서 중국이 압도적인 선두를 차지하고 있다. 채굴 단계에서도 채굴국에서 이루어지는 채굴의 상당 부분을 현지에 진출한 중국 기업이 수행한다. 리튬-이온 배터리의 핵심광물 채굴 지역은 콩고민주공화국(코발트), 인도네시아(니켈), 호주(리튬), 칠레(리튬) 등 소수이다. 중국 기업들은 이러한 핵심 광물의 가공 과정에서 압도적인 비중을 차지한다. 단, 칠레의 경우 자국에서 채굴된 리튬을 가공 전 상태로 수출하기보다는 대부분 자국에서 가공한 후 수출한다. 이처럼 전기차 핵심 광물의 채굴과 가공에서 중국의 비중이 압도적인 데 반해, 자원 부국인 미국은 비중이 미미하다. 여기에는 엄격한 환경법과 환경단체의 반발이 주요 원인으로 꼽힌다. 특히 이는 친환경을 전면에 내걸고 있는 바이든 행정부의 방향과도 충돌한다.

5. 반도체, 배터리 국내산업 전략

5.1. 우리 반도체 산업 정책 현황

우리는 2022년 8월 시행된 “국가첨단전략산업특별법” 과 2022년 3월 세액공제 관련 “조세특례제한법” 개정안 통과 등 제도 정비와 함께 반도체, 디스플레이, 배터리, 바이오 등 4개 분야 정책과제를 구체화해나가고 있다. 2023년 5월 ‘첨단전략산업 5개년 계획’ 을 확정하였으며, 이는 2027년까지 반도체를 포함한 첨단전략산업 분야에 550조 원 이상 투자를 목표로 첨단전략산업단지 조성, 규제 혁파, 인재 양성 등 업종별 맞춤형 지원을 골자로 하고 있다. 규제 혁파 관련, 지자체 규제로 인해 착공이 지연되고 있는 용인 등 특화단지 지정 시 첨단전략산업위원회의 인허가 요청 후 60일 내 미처리 시 처리 간주하는 인허가 타임아웃제를 2023년 7월부터 시행한다. R&D 관련, 2032년까지 4대 분야에 4조 6,000억 원을 투입, 이 중 반도체 3조 2,000억 원을 투입하고,(디스플레이에는 9,500억 원, 배터리는 1,500억 원, 바이오는 3,000억 원 투입) 미국 NSTC, 일본 LSTC에 이어 한국에 ASTC(첨단반도체기술센터)를 설립한다. 인력 양성 관련하여, 3개 반도체 특성화대학원을 선정하고, 3개 기관(성균관대, KAIST, UNIST)에 5년간(2023-2027) 총 450억 원을 지원한다.

이러한 양적 확대 및 질적 고도화 정책이 국내산업 기반을 다지고 자립률을 높이는 데 매우 중요하지만, 현재 경제안보 지형과 미국의 공급망 재편 및 대중국 견제 기조 등을 고려할 때, 보다 정교한 개선이 필요하며, 우리 산업에 대한 정확한 분석, 글로벌 반도체 산업구조 특성과 전망, 그리고 경제안보 국제 정세를 이해하여 정밀도를 높이는 전략이 필요하다. 특히, 고도의 기술력과 부가가치가 높은 시스템 반도체 분야는 2022년 삼성전자 매출액 112억 달러로 14위, SK하이닉스는 8억 9,000만 달러로 56위 수준으로 매우 약한 바,(Gartner 2023) 시스템 반도체 등 첨단반도체 분야의 전략에 집중해야 한다.

5.2. 반도체 전략

앞선 반도체 시장과 산업에 대한 인식을 토대로, 정부의 기존 전략과 정책에 더할 부분 중심으로 기술하고자 한다.

5.2.1. 유망 소자 및 개별기업, 수요산업 특성을 고려한 전략

미국의 대중 수출통제와 공급망 재편 정책으로 미국과 동맹 및 파트너 국가들의 팹 투자가 미국 및 동맹국으로, 그리고 중국을 벗어난 동남아 등 대안 지역으로 이동하면서 투자 지형이 크게 바뀌고 있다. 이에, 2025년 이후에는 글로벌 분업 구조의 대전환기가 도래하고, 첨단 반도체 장비 확보 및 글로벌 수출통제와 경제안보 지형 변화에 얼마나 잘 대응하느냐에 따라 주요 기업의 경쟁력이 결정될 것으로 예상된다. 특히, 미국, 대만, 일본, 유럽, 중국 등 글로벌 반도체 밸류체인을 구성하는 주요국들이 천문학적인 시설 및 R&D에 투자하고, 산업 보조금을 지원하고 있어, 이 전환기에 도태될 경우 선도국가로 도약할 다음 기회는 확보하기 어렵다는 것이 정세이다.

먼저, 국내 기업의 개발역량, 수요산업의 성장성, 그리고 해외진출 가능성을 개별 기업 단위로 정밀히 검토해야 한다. 아무리 많은 자본을 투입하더라도 경쟁우위를 확보하기 어렵거나, 향후 수요산업이나 시장성장성과 연관산업 파급력 측면에서 투입 대비 효과가 보장되지 않은 분야가 있기 때문이다. 또한, 굵직한 대기업들은 AP, CIS 등 연간 2-3억 대 이상의 수요 시장이 이미 확보되어 있는 반면, 전체적인 경제지표에는 영향이 적지만 개발역량이 있는 중소·중견기업들이 존재하며 이들에게는 차별화된 전략이 필요하다. 예를 들어, 과거 2000년대 초반 200여 개에 달했던 국내 1세대 팹리스 중 실패한 기업들이 있는데 이들은 대기업으로 납품하는 주요 매출원이 상실된 후 지속적인 투자에 실패하였다. 최근 부상하는 AI 반도체에서도 유사한 상황이 발생할 가능성이 있어 이들에게는 안정적인 매출원 확보와 자금 지원이 매우 중요하다. 또한, ChatGPT는 현재 한국의 AI 반도체 기업들의 도메

인을 기반으로 하고 있으나, 점차 우리 기반이 아닌 트랜스포머로 전환되는 추세이며, 빠른 변화에 대응하는 우수 개발인력을 유치하고, 해외판로 확보가 필요한 기업들도 분명 존재한다. 현재 시장에서 확보할 수 있는 많은 시장조사기관의 자료는 거시적인 분석과 전달력을 높이기 위한 자료의 시각화와 정보요약에 집중되어 있고, 개별기업의 상세 제품군과 경쟁우위 분석 정보는 찾기 어려운 상황이다. 이는 정부 정책의 정밀도를 높이고, 기업들의 전략 수립에 있어 필수적인 내용으로 이러한 정밀연구에 대한 투자도 필요하다.

반도체 기업의 성장은 수요산업의 영향이 절대적이다. 현재 글로벌 시스템 반도체 기업들은 PC, 스마트폰 시장을 선점한 것이 성장의 핵심이었다. 인텔은 과거 스마트폰 프로세서 시장을 과소평가한 반면, TSMC는 아이폰 AP, 안드로이드 스마트폰 AP를 제조함으로써 오늘날 글로벌 Top 파운드리가 되었다. 전 세계 제조업의 거시적 미시적 트렌드를 선제적으로 분석하고, 분야별 선도기업 동향, 국제정치 및 각국의 규제동향 등을 정밀하게 파악하는 것이 필요하며, 이는 수요산업의 미래와 경쟁구도 전망의 정확도를 높이고, 동시에 벤처투자 및 정책금융 지원이 활성화되면서 기업들이 시장을 선점하는 초석이 될 것이다. 이러한 분석은 전통적·비전통적, 공식적·비공식적 소스와 네트워크로부터 파편적으로 정보를 수집하고 분석하는 종합 시스템이 필요한 바, 상당한 수준의 인력과 자금 및 합리적인 거버넌스가 필요할 것으로 예상된다.

5.2.2. 인재 양성 제도 개편

반도체 특성화대학원 및 학과, 관련 교직원 충원도 필요하고 중요한 정책이다. 그러나, 지금과 같이 뛰어난 이공계 인재들이 의학, 약학 분야에 진학하고, 문과 인재들도 경영학, 회계학과 같이 전문직이나 취업에 유리한 학과를 선호한다면, 내실이 떨어지는 인력 정책이라고 할 수 있다. 학생들의 학과 선택은 단순 장래성 뿐만 아니라, 서울 및 수도권권 거주, 결혼과 출산, 문화적 차원의 더 복잡한 문제임을 인식하고,

인재들이 국내 반도체 업계에 자발적으로 유입될 수 있도록 강력한 인센티브 시스템이 마련되어야 한다. 그리고 인센티브 시스템은 졸업 후에도 우리 반도체 업계에서 종사하는 방향으로 설계되어야 한다.

단순히 계약학과 대상학교를 확대하고, 반도체과를 인증해주는 현행 제도 범위 내의 운영이 아니라, 국내 반도체 기업에 입사하는 조건으로 반도체 산업이 입지한 지역(분당, 동탄, 평택, 수원, 대전, 경북 등)의 거주지를 저리 제공하거나 세법상 혜택을 제공하고, 정주여건을 개선하며, 장기근속 유인책과 같은 파격적인 인센티브가 필요하다. 또한, 대학 차원에서 학생들이 1학년 때부터 첨단전략산업 분야에 종사하고 연구하는 것에 대한 관심을 높일 수 있도록, 지원과 격려하는 문화도 중요하다. 대만이나 중국의 해외 우수인력 유치에 위한 세법상 혜택, 미국의 외국인 전문 비자 정책도 반도체 산업 특혜 수준으로 강력하게 추진되어야 한다.

교육 내용의 측면에서도 전향적인 개편이 필요하다. 반도체 산업은 한 국가나 모든 분야를 관장하거나 관리하기 어려워 글로벌 밸류체인이 형성될 정도로 복잡하다. PC, 스마트폰 소자 외에 아날로그 분야의 미국이나 유럽 기업들의 소자 주력 시장인 자동차, 산업용 기계, 우주항공 분야는 반도체 지식만으로는 접근하기 어렵다. 극한의 내구성을 구현하고 인증을 획득해야 하는 차량용 반도체는 물리, 전자, 화학 등 기초 및 응용기술이 체화된 수많은 인력들을 필요로 하며, 반도체 전공인력들이 수요산업에도 진출할 수 있도록 수요산업 분야 교육과정을 연계하거나 새로운 융합형 교육과정을 개발해야 한다.

5.2.3. 경제안보 고려한 전략적 포지셔닝

미국이 희망하는 반도체 공급망의 탈중국화와 완전한 재편은 단기적으로 현실성이 떨어지고 상당기간 현재 공급망 구조와 병존할 가능성이 높은 것이 사실이나, 반도체 분야의 동맹국 및 파트너 국가들과의 협력은 더 이상 미룰 수 없는 사활적 실천과제가 된 것 또한 사실

이다. 미국은 동맹국들에게 반도체 동맹에 참여를 강요하고 있는 한편, 인텔 등 자국 기업에게 유리한 보조금 지원이나 제도를 운영할 리스크는 여전히 높은 것이 사실이다. 따라서 우리는 Fab 4를 포함한 다자협력체에 참여하되, 미국 기업과의 차별을 방지하고 대미 협상력을 높이기 위한 품목을 확보해야 한다. 즉, 북한의 군사적 위협이나 중국이나 외부 세력의 공급망 교란, 제재 위협이 가해질 때, 우리 반도체 산업을 넘어 전 세계 경제에 도전이 될 수 있는, 단시간 내 대체 불가능한 반도체 상위 품목이 필요하다. 메모리 반도체의 경우, 한국은 D램, 낸드 등 압도적인 시장점유율과 경쟁력을 기반으로 현재의 공급망 지배력을 유지하는 것이 미국과 Fab 4의 경제안보에 유리하다는 것이 인정된 것과 같은 예이다. (윤정현 2022) 이는 시스템 반도체 투자도 중요하지만, 경제안보적 관점에서 메모리 반도체 분야, 특히 초미세공정에서 초격차 전략을 유지해야 하는 중요한 이유이다. 그리고 이러한 품목은 우리기업의 미국 내 생산시설 투자가 불가피한 상황에서도, 국내 생산기반을 지켜나가야 하며, 이는 결국 국내 생태계 강화를 위한 중장기 인력 양성 전략과도 직결된다.

우리는 메모리 반도체 생산능력, 세계 최고 수준의 종합반도체기업과 산업생태계를 보유하고 있지만, 패키징, 소재·부품·장비 분야는 기술 및 제조 역량이 부족하고, 우수한 인재 확보도 녹록지 않은 상황이다. 이 분야들은 단기간 내 기술역량과 생태계를 구축하기 어려워 대외의존이 불가피하므로, 향후 공급망 교란 등 경제안보 위협에 대비한 수단으로 활용해야 한다. 2019년 일본의 반도체 소재 수출금지 조치나 최근 미국의 대중국 수출통제와 같이 이들 국가는 핵심적인 첨단 기술이나 군사적으로 활용 가능성이 높은 분야로 타켓 분야는 좁히되 확실히 타격하는 접근법을 채택하고 있다. 따라서 우리는 우선 반도체 산업에서 당장 전략적으로 민감한 품목과 우선통제 대상 범위 밖의 품목들을 구분하고, 후자 관련 품목이나 제재의 유예가 있는 부문, 미국이 주도하는 공급망 재편 정책, Fab 4로 대표되는 핵심 파트너십 간 협력, 아세안 등 역내 RVC, 미국의 우리기업 차별성 등을 고려한 생산 및 투자 전략을 고민해야 한다.

5.3. 우리 배터리 산업 정책 현황

우리 정부는 2023년 4월 “이차전지 산업경쟁력 강화 국가전략”을 발표하고, 리튬배터리 한계를 극복할 전고체 배터리를 세계 최초 상용화하고, 향후 5년간 배터리 양극재 국내 생산능력 4배(38만→158만 톤), 장비 수출액을 3배 이상(11억 → 35억 달러) 확대 목표를 제시하였다. 우선, 차세대 배터리 초격차 확보를 위해 LG에너지솔루션, 삼성SDI, SK온 등 배터리 3사는 전고체 배터리 시제품 생산공장을 국내 구축하고, 정부는 전고체 배터리, 리튬메탈 배터리, 리튬황 배터리 등 유망 배터리 개발을 위한 대규모 R&D를 지원한다. 현재 전고체 배터리 관련 3사가 밝힌 목표는, LG에너지솔루션은 2026년 고분자계, 2030년 황화물계 전고체 배터리 상용화, 삼성SDI는 2027년 황화물계 전고체 배터리 양산, SK온은 2020년대 후반 전고체 배터리 상용화이다.

또한, 정부는 기업의 핵심광물 등 해외자원개발에 투자를 촉진하기 위해 광업권·조광권 취득을 위한 해외자원개발 투자 세액공제를 투자·출자액의 3%에 해당하는 규모로 2024년부터 도입한다. 자원개발 및 핵심광물 정·제련에 필요한 자금도 정책금융 등을 통해 지원한다.

전기차 배터리는 공급망 첫 단계인 채굴을 제외한 모든 단계에서 중국이 압도적인 지배력을 행사하고 있다. 채굴 단계에서도 채굴국에서 수행되는 채굴의 상당 부분을 현지 중국 기업이 수행한다. 핵심원료 채굴, 가공단계부터 고려한다면, 각 국가에서 사용되는 전기차 배터리는 중국 의존이 매우 높다고 할 수 있다. 또한, 배터리 셀, 모듈, 패키징 분야도 중국 기업들이 배터리 산업의 상당한 비중을 차지하고 있으며, 최대 수요산업인 전기차도 중국이 세계 최대 시장이라, 중국을 견제하거나 단기간 내 중국 의존을 완전히 탈피하는 것은 불가능하다는 것을 미국도 인지하고 있다. 중국 의존도를 줄이기 위한 미국의 공급망 정책을 기회로 삼아 해외시장 진출을 가속화하고, 경제안보 관점에서 핵심광물 및 소재·부품 안정적 확보 전략에 집중해야 한다.

5.4. 배터리 전략

차세대 배터리 기술 확보, 경쟁우위 초격차, 소재·부품 산업생태계 강화 등의 기존 전략은 각국 공통의 최우선 전략이다. 여기서는 자원 민족주의와 자국 우선주의, 그리고 자국 산업기반 마련과 발전을 위해 국제규범을 과감히 무시하는 산업 정책을 강행하는 국제 정세를 고려하여 배터리 전략을 보장 기술하고자 한다.

5.4.1. 중국의 공급망 전략자산화 대비 전략

미국의 대중국 핵심광물 및 소재에 대한 중국 의존도를 단기간 내에 축소하기는 어려우나, 장기적 관점에서는 미·중 간 배터리 셀 제조 및 전기차 분야 공급망 블록화가 진행될 것으로 예상된다. 후방산업인 핵심광물 분야에서 미국이 추진하는 IRA, IPEF 등을 통한 공급망 재편에 대응하여 중국은 동남아시아 국가로 진출을 확대하고 있다. 중국은 사드사태, 한한령, 중-호주 무역분쟁 등을 통해 알 수 있듯이, 합의보다는 차별과 강제에 의존하는 모습을 보이며, 타국가를 철저히 배제하고 자국 중심의 이익을 추구해왔다. 시진핑 3기 정책 기조가 강대강임을 감안하면, 앞으로 이러한 경향은 지속될 것으로 예상되며, 이는 향후 중국이 공급망 경쟁우위를 바탕으로 레버리지를 행사할 수 있는 즉, 공급망을 전략자산화할 리스크가 있음을 시사한다. 즉, 역내 핵심 공급망 다변화 전략이 필요하다. (강구상 2022)

핵심광물 공급망 다변화를 위해서는 단기적으로 (1) 수입선 다변화를 위해 자원보유국과 전략적 협력을 확대하고, (2) 국내 및 해외자원 개발 투자 확대, (3) 리사이클링 산업 육성을 통해 안정적인 공급선을 확보해야 한다. 먼저, 핵심광물의 부존량 및 생산량, 우리의 국가별 수입현황을 고려하여 광종별 전략국가를 선정하고, 해당 국가와 ODA 사업이나 상생협력 프로그램을 추진하여 자원보유국과 협력적 파트너십을 강화해야 한다. 또한, 호주, 캐나다 등 투자환경이 양호한 지역은

민간이 자율적으로 진출하도록 유도하되, 중남미, 아프리카 등 고위험 국가에 대해서는 정부 차원에서 자원협력위원회, ODA 등 정부 간 협력을 강화하면서 민관 공동 진출방안을 검토할 필요가 있다.

< [표 5-1] 배터리 핵심광물 및 가공·제련 주요국 >

이차전지 핵심광물				
	IPEF 참여국 ⁹⁶⁾	미국과 FTA 체결국 ⁹⁷⁾	MSP 참여국 ⁹⁸⁾	기타
니켈	인도네시아, 필리핀, 호주, 캐나다	호주, 캐나다, 과테말라	호주, 캐나다	뉴칼레도니아, 브라질, 러시아, 쿠바
코발트	호주, 캐나다, 필리핀	호주, 캐나다	호주, 캐나다	민주콩고, 러시아, 아르헨티나, 쿠바, 뉴기니, 마다가스카르, 중국
리튬	호주	호주, 칠레	호주	중국, 아르헨티나, 브라질, 짐바브웨, 포르투갈
망간	호주, 말레이시아, 인도	호주	호주	남아공, 가봉, 우크라이나, 중국, 가나, 코트디부아르, 브라질
이차전지 가공·제련				
	IPEF 참여국	미국과 FTA 체결국	MSP 참여국	기타
니켈	인도네시아, 일본, 한국	한국, 캐나다, 호주	호주, 노르웨이, 핀란드	중국, 뉴칼레도니아, 핀란드, 러시아
코발트	일본	캐나다	호주, 노르웨이, 핀란드, 벨기에	중국
리튬	미국, 호주, 일본	호주	호주, 일본, 미국	중국, 아르헨티나
망간	호주, 한국, 싱가포르	호주, 한국, 싱가포르	한국, 호주, 일본, 미국, 프랑스, 영국	중국, 우크라이나, 남아공, 스위스, 브라질

출처 : USGS, 언론보도 토대로 산업연구원 정리

핵심광물 생산국, 가공·제련 참여국과 양자·다자 간 협력도 중요하다. 특히, IPEF, 핵심광물 안보파트너십(MSP) 등 새로운 글로벌 공급망 구축 협의체에 참여하여 자원보유국과 네트워크를 강화해야 한다. 해외광물 투자는 시간과 비용이 많이 소요되므로, 단기적으로는 핵심광물 생산국과의 투자 협력이 더 실효성이 높을 수 있다. 특히, 블록화되는 시장에서 우리 배터리의 시장지배력을 높이기 위해서는 우리가 참여하는 공급망 협의체와 FTA 등 경제협의체를 활용할 필요가 있다. IPEF 참여국과 미국과 FTA 체결국에는 호주, 말레이시아, 인도, 칠레, 캐나다, 싱가포르, 일본 등이 있으며, 우리는 미국, 유럽, 동남아 등의 전기차 시장에 진출하기 위한 입지조건 등을 고려하여 협력해야 한다.

5.4.2. 미국 IRA 보조금 정책 대응

IRA 법은 미국 또는 미국과 FTA를 체결한 국가에서 채굴 또는 가공된 광물을 일정비율 이상 사용한 배터리에 한하여 전기차 보조금을 지원하기 때문에, 핵심광물 원광 확보 뿐만 아니라 정·제련 등의 가공 프로젝트도 중요하다. 중국 의존도를 줄이고, 미국 보조금 규정을 활용하기 위해 우리는 중국을 대체할 수 있는 공급망 배터리 제조기반을 국내에 완성해야 한다. 제련·가공·리사이클링까지 전 단계가 가능해야 하며, 이를 위해서는 제련, 가공 부문 외국인투자를 적극적으로 유치해야 한다. 최근 우리나라 외국인 직접투자 동향을 보면, 미국 기업의 비중이 증가하고 있으며 M&A보다 그린필드 투자금액이 확대되고 있다.

우리가 80% 이상 중국에서 수입하는 양극재, 음극재는 IRA 법에서 부품이 아닌 소재로 취급하므로 중국과의 소재 분야 협력은 전략적으로 해나가야 한다. 최근 중국 통바이의 자회사 재세능원, 화유코발트 등은 우리나라에 양극재 기업을 설립하였다. 이들 기업은 우리나라의 NCM 양극재 분야에서 협력을 확대해 가고 있다. 중국 기업들은 현재 LFP 기반으로 생산하고 있어 중국 소재기업 입장에서 우리 기업은 큰 고객이 된다. 미국 시장 진출이 어려워진 중국 소재기업 입장에서 우리를 생산기지로 활용해야 하는 유인이 생기며, 이러한 기회를 활용하여 중국 기업과 합작 형태로 유럽 및 동남아 시장을 공략하는 방안도 가능하다. 다만, 미국 시장에 진출하려면 한-중 합작기업의 경우 중국측 지분이 25% 이상인 경우 보조금 대상에서 제외되므로 합작기업의 지분 조정이 중요한 부분이 될 것이다.

참고

1. 국외 학술자료, 정부 및 기관

“Analyzing OpenAI’s Investment Strategy | CB Insights.” 2023. CB Insights Research.

<https://www.cbinsights.com/research/openai-investment-strategy/>.

Arnold & Porter. 2022. “CHIPS Act Guardrails: Congressional Efforts to Limit Investment in China” (July 22, 2022)

Batra, Gaurav et al. 2018. Artificial-Intelligence Hardware: New Opportunities for Semiconductor Companies Artificial Intelligence Is Opening the Best Opportunities for Semiconductor Companies in Decades. How Can They Capture This Value?

BCC Publishing. 2023. “Global Memory Chip Market Share & Industry Growth Analysis.” www.bccresearch.com.

Bureau of Labor Statistics. 2023. “Recent Price Trends in the Semiconductor Industry : U.S. Bureau of Labor Statistics.”

www.bls.gov.

<https://www.bls.gov/mxp/publications/industry-pamphlets/semiconductor-industry-facts.htm>.

Bureau of Industry and Security. 2023. “Commerce Department Announces Industrial Base Survey of American Semiconductor Supply Chain.” U.S. Department of Commerce.

CEST. 2021. “The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness” (2021. 7).

CSIS, “Semiconductors and National Defense: What Are the Stakes?” , (June 8, 2022),

Khan, S. M., Mann, A., & Peterson, D. 2021. The semiconductor supply chain: Assessing national competitiveness. Center for Security and Emerging Technology, 8(8), 1-98.

Department of Commerce. 2023. ASSESSMENT of the STATUS of the MICROELECTRONICS INDUSTRIAL BASE in the UNITED STATES a STUDY CONDUCTED under SECTION 705 of the DEFENSE PRODUCTION ACT of 1950, as AMENDED.

<https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/technology-evaluation/3402-section-9904-report-final-20231221/file>.

Kreps, Sarah, Richard Clark, and Adi Rao. 2022. “A Holistic Approach to Strengthening the Semiconductor Supply Chain.” Brookings.

“Memory Devices Market Size, Share, Growth | Forecast [2029].” 2022. www.fortunebusinessinsights.com.

Nakano, Jane, and Chen Huang. 2023. “U.S. Push to Secure EV Battery Supply Chains and the Role of China.” www.csis.org.

Ravi, Sarah. 2021. “Semiconductor Industry Leaders Urge President Biden to Prioritize Funding for Semiconductor Manufacturing, Research.” Semiconductor Industry Association.
<https://www.semiconductors.org/semiconductor-industry-leaders-urge-president-biden-to-prioritize-funding-for-semiconductor-manufacturing-research/>.

Ravi, Sarah. 2022. “2021 State of the U.S. Semiconductor Industry.” Semiconductor Industry Association.
<https://www.semiconductors.org/state-of-the-us-semiconductor-industry>.

Shivakumar, Sujai, Charles Wessner, and Hideki Uno. 2023. “Toward a New Multilateral Export Control Regime.” www.csis.org.

The White House. 2021. BUILDING RESILIENT SUPPLY CHAINS, REVITALIZING AMERICAN MANUFACTURING, and FOSTERING BROAD-BASED GROWTH 100-Day Reviews under Executive Order 14017.

———. 2021b. “President Biden Announces Steps to Drive American Leadership Forward on Clean Cars and Trucks.” The White House.
<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/08/05/fact-sheet-president-biden-announces-steps-to-drive-american-leadership-forward-on-clean-cars-and-trucks/>.

———. 2022. “FACT SHEET: CHIPS and Science Act Will Lower Costs, Create Jobs, Strengthen Supply Chains, and Counter China.” The White House.

2. 국외 언론

Eun-Young Jeong. 2021. “Why the Chip Shortage Is so Hard to Overcome.” Wall Street Journal.

Fitch, Asa. 2024. “How a Shifting AI Chip Market Will Shape Nvidia’s Future.” WSJ.

Goswami, Rohan. 2023. “Nvidia CEO: U.S. Chipmakers at Least a

Decade Away from China Supply Chain Independence.” CNBC.
<https://www.cnbc.com/2023/11/29/nvidia-ceo-chipmakers-a-decade-away-from-china-independence.html>.

Gross, Anna. 2022. “China Enlists Alibaba and Tencent in Fight against US Chip Sanctions.” Financial Times.

Hawkins, Mackenzie. 2024. “Bloomberg - Are You a Robot?”
www.bloomberg.com.

Kharpal, Arjun. 2023. “Huawei Reportedly Says It Has Developed Domestic Chip Design Tools despite U.S. Sanctions.” CNBC.

Liakos, Chris. 2024. “Huawei’s Offices in France Raided by Financial Prosecutors | CNN Business.” CNN. (March 29, 2024).

Andrew E. Freedman. 2023. “Microsoft Building Its Own AI Chip on TSMC’s 5nm Process.” Tom’s Hardware.
<https://www.tomshardware.com/news/microsoft-athena-ai-chip-tsmc>
(April 2, 2024).

Salzman, Avi. 2024. “Trump Is Taking Aim at Biden’s Climate Law. Which Stocks Could Dodge the Bullet.” www.barrons.com.
<https://www.barrons.com/amp/articles/trump-climate-repeal-stocks-8507e68c> (April 2, 2024).

TrendForce. 2022. “Press Center - YMTC Could Abandon Market for 3D NAND Flash by 2024 Following US Government’s Decision to Place It on Entity List, Says TrendForce | TrendForce - Market Research, Price Trend of DRAM, NAND Flash, LEDs, TFT-LCD and Green Energy, PV.” TrendForce.

3. 국내 학술자료, 연구기관

강구상, 김종혁, 권혁주, 박은빈, & 고종완. (2022). 바이든 행정부의 글로벌 공급망 재편 정책과 시사점: 반도체 및 배터리 산업을 중심으로. [KIEP] 연구보고서, 1-249.

경희권. (2022). 미국 ‘반도체와 과학법’의 정책적 시사점. i-KIET 산업경제이슈, (141).

경희권, & 이준. (2021). 바이든 반도체 공급망 조사 행정명령의 함의와 한국의 대응방향. 월간 KIET 산업경제, 270, 7-23.

경희권, & 김상훈. (2023). 세계 비메모리반도체 시장 지형과 정책 시사점. 월간 KIET 산업경제, 299, 19-28.

경희권, 김상훈, 최민철, & 남상욱. (2023). 시스템반도체 산업의 글로벌 지형 및 정책 방안 연구. 정책자료, 1-175.

경희권, 정은미, 이준, 김경유, 김종기, 최윤희, ... & 권오성. (2022). 글로벌 산업지형 변화에 대응한 전략산업 발전 방안. 연구보고서, 1-392.

구청모. (2022). 중국 핵심광물 공급망 현황과 향후 전망. 전문가세미나 발제자료, 산업연구원.

김나래, 정미주, & 엄이슬. (2023). 배터리 생태계 경쟁 역학 구도로 보는 미래 배터리 산업. 삼성KPMG 경제연구원.

김연규. (2022). 바이든 정부의 배터리 공급망 재편과 미·중 코발트 확보 경쟁. 중국전문가포럼(CSF).

김혁중, 오종혁, 권혁주, & 정유원. (2023). 미국의 대중 반도체 제조시설 수출통제에 따른 중국의 장비 수입 변화 분석. [KIEP] 오늘의 세계경제, 1-19.

민정훈. (2023). 바이든 행정부의 대 (對) 중국 ‘더리스킹 (derisking)’ 의 의미와 함의. IFANS FOCUS (국문), 2023(22), 1-5.

박진수. (2022). IRA 통과에 따른 국내 이차전지 업종 영향, 신영증권.

신유리. (2021. 09). 전기차용 이차전지의 시장 트렌드 및 기술 개발 동향. KDB미래전략연구소.

심경석. (2022. 07. 27). 반도체 산업 구도 변화와 경쟁력 분석. KB금융지주 경영연구소.

윤정현. (2022). 미국의 'Fab 4 (칩 4)' 제안 의미와 한국의 전략적 고려사항.

오종혁. (2023). 중국의 반도체 국산화 추진 현황과 시사점. [KIEP] 세계경제 포커스, 1-16.

유현정. (2021). 미중 글로벌 공급망 경쟁의 전략적 함의. INSS 전략보고, (152).

이준, 경희권, 이성경, & 이고은. (2021). 미국의 반도체·배터리 공급망 조사 보고서의 주요 내용과 시사점. i-KIET 산업경제이슈, (115), 7.

이효영. (2023). 글로벌 공급망 재편 시대 주요국의 통상정책과 시사점. 정책연구시리즈, 2023(19), 1-45.

조동희, 문성만, & 윤여준. (2023). 미국의 공급망 재편 정책에 대한 기업의 대응 및 시사점. [KIEP] 연구보고서, 23(3), 1-185.

조은교. (2021). 미국의 반도체 공급망 제재에 대응하는 중국의 전략과 시사점. 월간 KIET 산업경제, 272, 53-64.

조은교, & 심우중. (2023). 중국 이차전지산업의 공급망 강화 전략과 시사점. 월간 KIET 산업경제, 293, 40-49.

최진백. (2023). 미중 간 반도체 경쟁의 전략적 의미와 전망. 주요국제문제분석, 2023(39), 1-35.

Jeong, Y. M., & Jo, W. I. (2010). 리튬이온이차전지 기술 동향과 미래 전망. Ceramist, 13(5), 7-14.

4. 국내 언론

성호철. 2022. “차세대 배터리戰 ...특히 1~3위 일본이 싹쓸이, 삼성·LG는?” 조선일보.
https://www.chosun.com/economy/int_economy/2022/07/07/5ZRCBHSXSFHFXGQS6SCCADADFY/ (April 2, 2024).

유지한. 2024. “하이닉스, 엔비디아에 5세대 HBM 반도체 세계 처음으로 공급.” 조선일보.
https://www.chosun.com/economy/tech_it/2024/03/20/Y2V4UMDQO5B6JFY S45NMOQYYXI/ (April 2, 2024).

최지희. 2024. “2년 뒤 세계 반도체 팹 지형 바뀐다... 中 지고 미국·유럽·일본·동남아 부상.” 조선비즈.
<https://biz.chosun.com/it-science/ict/2024/02/10/UTQYHO3BNJATJBBMXDGLM4KNL4/> (April 2, 2024).