

# 애플의 반도체 내재화 전략

## Apple's Semiconductor Internalization Strategy

전황수 (H.S. Chun, chun21@etri.re.kr) 미래전략연구실 연구전문위원  
김성민 (S.M. Kim, songmin516@etri.re.kr) 미래전략연구실 책임연구원/실장

### ABSTRACT

The outbreak of the novel coronavirus disease in 2020 caused a global semiconductor supply shortage and disruption in the production of devices such as iPhones owing to China's quarantine lockdown. Thus, Apple is diversifying its production bases from China to countries like India and Vietnam. The company is also accelerating semiconductor development to guarantee a stable supply, reduce design costs, and customize semiconductors with high quality and outstanding specifications for their products to outperform devices that use general-purpose semiconductors. Following the mobile application processor, Apple is releasing world-class semiconductors, such as the M1 and M2 chips that play the role of central processing units.

**KEYWORDS** AP, apple, broadcom, chip, COVID-19, CPU, ecosystem, fables, foundry, intel, ipad, iphone, ipod, M1, M2, Mac PC, modem, qualcomm, smartphone, SoC, TSMC

## 1. 서론

반도체는 제품의 품질을 좌우하기 때문에 중요성이 점점 커지고 있다. 자동차뿐만 아니라 스마트폰 등 모바일 디바이스에서도 원하는 성능 구현을 위해 반도체 탑재가 증가하고 있다.

애플은 아이폰, 아이패드, Mac PC, 맥북 등의 모바일 디바이스 제품을 출시하고 있어 반도체의 세계 최대 수요처이며, 삼성전자와 TSMC의 최대 거래선이다.

그동안 애플은 제품에 필요한 반도체를 주로 인텔의 설계에 의존했으나 최근에는 독자적으로 자사의 반도체를 직접 설계하고 생산은 파운드리인 대만의 TSMC에 위탁하고 있다.

특히 2020년 발발한 코로나바이러스19 영향으로 반도체 공급난이 초래되고, 중국의 방역 봉쇄로 아이폰 등 제품 생산이 차질을 빚자, 애플은 생산기지를 중국 일변도에서 인도, 베트남 등으로 다변화하고 있다.

안정적인 반도체 공급과 설계 경비 절감, 범용 반

\* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2023.J.380310>

\* 이 논문은 [23ZR1460, ICT 국가기술전략 정책연구] 과제 수행의 일환으로 작성되었음.



도체보다 자사 제품에서 원하는 뛰어난 품질과 고 사양의 맞춤형 반도체가 필요해 반도체 내재화에 박차를 가하고 있다. 모바일 AP(Application Processor)에 이어 M1, M2 등 세계 최고 수준의 반도체를 내놓고 있다.

본고에서는 애플의 반도체 내재화 전략과 개발 동향, 빅테크기업 및 팹리스·스마트폰 업체에 미친 영향 등을 분석하고 시사점을 도출하고자 한다.

## II. 애플의 반도체 내재화 전략

### 1. 내재화 목표

#### 가. 공급망 다변화

애플은 공급망 리스크를 피하기 위해 필요한 부품 생산을 복수 업체에 위탁하는 등 촘촘한 부품 공급망을 구축하기로 유명하다.

코로나바이러스19로 촉발된 반도체 공급 부족 현상이 자동차, PC용 반도체에 이어, 스마트폰용 반도체까지 확산되었다. 아이폰에 사용되는 안테나, 통신칩, 파워 IC 등 아날로그 반도체와 카메라 모듈이 베트남 등 동남아시아 소재 공장들이 코로나바이러스19 감염에 따른 봉쇄로 차질을 빚자 애플은 2021년 아이폰 생산량을 1,000만 대 감산하였다[1]. 또 아이폰 시리즈를 전량 생산하던 폭스콘 정저우 공장이 코로나 방역으로 폐쇄되어 생산에 차질을 빚었다.

애플은 미·중 갈등 고조와 코로나바이러스19 방역 통제 등에 따른 위험을 회피하고 안정적인 공급망 확보를 위해 반도체 자체 개발을 가속화하고, 생산기지를 중국 일변도에서 벗어나 인도, 베트남 등으로 다변화하고 있다.

아이폰 생산은 폭스콘 외에 대만 페가트론(Pegatron), 중국 럭스셰어(Luxshare)를 추가하고, 세계 2위 시장인 인도 공략을 강화하고 있다. 아이폰14 플러스는 대만업체 페가트론의 인도공장에서 80%를 생

산하고, 럭스셰어 중국공장에서 20%를 생산한다 [2]. 중국의 고어텍(Goertec)은 베트남공장에서 애플의 에어팟을 생산하고 있다[3].

애플은 반도체의 안정적인 공급을 위해 모바일 AP에 이어, 인텔의 CPU를 자체 개발한 M1, M2칩으로 대체하였다. 앞으로 퀄컴으로 공급받고 있는 5G 셀룰러 모뎀칩과 브로드컴으로부터 조달하고 있는 통신용 반도체도 자체 개발한 칩으로 교체할 예정이다. 한편 TSMC가 위탁생산하고 있는 반도체를 2024년부터 가동할 TSMC 애리조나 공장에서 납품받을 계획이다[4].

#### 나. 차별화된 경쟁력 확보 및 생태계 구축

애플이 모바일 AP 등 반도체를 자체 설계해 자사 제품에 탑재하는 이유는 삼성전자뿐만 아니라 화웨이, 샤오미, 오포, 비보 등 경쟁업체들이 저렴한 가격을 앞세워 기존의 중저가폰뿐만 아니라 프리미엄 폰에도 도전해 제품 차별화가 필요하기 때문이다.

애플은 이들 업체에 대응하기 위해 자사 프리미엄폰 성능을 높이고, 특화된 기능을 부각시키기 위해 자체 제작한 시스템반도체를 장착하고 있다. 중국 업체들의 스마트폰이 전력 소모와 발열이 많은 범용 AP와 반도체를 사용하는 것과 달리 애플은 빠른 연산과 적은 전력을 소모하는 AP와 CPU 등 시스템 반도체를 탑재하고 있다.

애플은 자사 디바이스들에 특화된 반도체 칩을 모두 자체 개발하였고, 이들 칩은 전력 소비, 발열, 배터리 효율, AI 연산에서 월등한 성능을 보였다. 현재 세계 반도체 설계 1위 기업은 애플이라 할 정도로 압도적인 기술력을 과시하고 있다. 깃벤치5(Geekbench5)의 성능 테스트 결과 갤럭시 S23 울트라라는 싱글코어 1,489점, 멀티코어 4,584점으로 아이폰 14프로의 1,874점, 5,384점에 비해 각각 27%, 18% 뒤진 것으로 나타났다[5].

애플은 매년 반도체 신제품을 발표하고 신형 아이폰에 탑재했다가, 그다음 해에는 저가형에 탑재하는 전략을 구사하고 있다. 소비자들은 1년만 지나면 저렴한 가격으로 탁월한 반도체 칩 성능을 구매하는 셈이다. 2021년 출시한 아이폰 13에 탑재했던 A15 바이오닉 반도체 칩을 2022년 아이폰 저가모델 SE3에 장착했다. 가격은 64GB 메모리 기준 420달러이며 5G 서비스가 가능하다. 아이패드 5세대 모델은 2021년 아이패드 프로에 탑재되었던 M1칩이 장착되었다.

그동안 인텔 CPU가 탑재된 구형 모델인 맥북과 맥미니에서는 아이폰용으로 만들어진 애플 앱스토어 앱을 다운로드 받을 수 없었는데, M1칩이 탑재된 신형 컴퓨터로는 가능하다. 이러한 연결구조를 통해 스마트폰, 태블릿PC, PC, 노트북 등 여러 제품의 판매가 계속 증가하는 선순환 구조가 정책되는 애플 생태계가 완성되었다[6]. 이는 반도체를 자체 설계하고 하드웨어와 소프트웨어 경쟁력을 모두 구비한 애플만이 가능한 사업전략이다[7].

#### 다. 비용 절감 및 이익 극대화

스마트폰, 아이패드, 맥북 등 모바일기기에 다량의 반도체가 탑재되는데 고급 제품일수록 성능 향상을 위해 반도체 장착개수가 늘어나고 단가가 높아진다.

시장조사기관 가트너(Gartner)에 따르면 2022년 세계 반도체 10대 고객으로 1위는 애플로 670억 5,600만 달러로 11.1%를 점유하였고, 2위는 삼성전자로 460억 6,500만 달러로 7.7%를 점유하였고, 3위는 레노버로 210억 3,100만 달러로 3.5%를 점유하였다. 4위부터는 델, 샤오미, 화웨이, HP, 소니, 홍하이(팹스콘)의 순이다[8].

표 1에서 보듯이 애플은 TSMC와 삼성전자의 최대 매출선이다[9]. AP 등 시스템반도체 생산을

표 1 삼성전자와 TSMC의 주요 매출선

| 순위 | 삼성전자              | TSMC       |
|----|-------------------|------------|
| 1  | 애플                | 애플(25.9%)  |
| 2  | 베스트바이             | 미디어텍(5.8%) |
| 3  | 도이치텔레콤            | AMD(4.4%)  |
| 4  | 버라이즌              | 퀄컴(3.9%)   |
| 5  | AVP일렉트로닉스<br>(홍콩) | 브로드컴(3.8%) |
| 6  | -                 | 엔비디아(2.8%) |

출처 Reproduced from [9,10].

TSMC에 전량 의존해 TSMC 매출의 23%를 차지하고, 스마트폰 및 PC용 D램과 아이폰용 낸드플래시, 소형 OLED 디스플레이 등을 삼성전자에서 구입한다[10].

또한 인텔 매출의 10%, 퀄컴 매출의 11%, 브로드컴 등 팹리스업체의 최대 고객으로 자리 잡고 있다[11].

애플은 자체 설계 및 TSMC를 통한 위탁생산으로 인텔, 퀄컴, 브로드컴 등에 지불하는 반도체 설계 비용을 크게 절감할 수 있었다. 또 과거에는 인텔 등 기존의 반도체 업체의 제품 출시에 따라 자사 신제품을 만들었기 때문에 최적의 출시 타이밍을 놓쳤으나, 이제는 자체 부품을 제작해 단일 이익구조로 제품 가격 및 출시를 스스로 결정할 수 있게 되었다.

삼성전자는 자사의 모바일 제품에 엑시노스를 탑재해왔으나 엑시노스2200이 탑재된 갤럭시 S22 시리즈가 발열, 성능 저하 등의 논란을 일으켜 비판을 받아왔다. 그래서 갤럭시 S23 시리즈에 퀄컴의 스냅드래곤을 전량 탑재하는데, 퀄컴의 모바일 AP 구매로 인해 판매가가 15만 원 상승하였다. 삼성전자가 2022년 3분기 퀄컴, 미디어텍 등으로부터 구매한 모바일 AP 비용은 8조 1,423억 원으로 전년 동기 4조 1,032억 원 대비 약 2배 증가했다[5].

애플은 자체 개발한 반도체 탑재 및 부품 공유

로 프리미엄폰을 집중 공략해 2022년 글로벌 스마트폰 출하량의 15%를 점유했으나, 스마트폰 매출액의 48%, 이익의 85%를 차지하는 등 사상 최대 매출과 영업이익을 기록했다. 삼성전자와 비교하면 2022년 4분기 아이폰에서 650억 7,800만 달러 매출과 195억 달러 영업이익을 기록한 반면, 삼성전자 갤럭시는 203억 달러 매출에, 13억6천만 달러 영업이익으로 아이폰 매출의 1/3, 영업이익은 1/14에 불과하다[12].

## 2. 내재화 전략

### 가. R&D 투자

애플이 자체적으로 반도체를 개발할 수 있는 것은 막대한 연구개발 투자에 기인한다. 애플은 2021년 219억 달러를 R&D에 투자했는데, 2016년 100억 달러에 비해 2배 이상 증가했다. 삼성전자의 2021년 R&D 비용도 22조 6,000억 원이나, D램 반도체 외에도 파운드리, 통신장비, 생활가전 등의 다양한 분야에 배분하기 때문에 반도체 설계 분야에서 애플과 상대가 되지 않는다. 애플은 제품 생산을

전량 외부에 위탁하지만, 부품을 개발하는 연구인력을 2만 명 보유하고 있어, 1,500명에 불과한 삼성전자의 부품 R&D 인력보다 10배 이상 많다[13].

### 나. 인수합병(M&A)

기업을 인수하면 대상 기업이 보유하고 있는 우수인력, 특허, 노하우, 유통채널 등 다양한 자원을 단기에 획득할 수 있고, 급변하는 기술시장 환경에서 신속하게 우위를 확보하며 신규시장에 진입하거나 시장지배력을 증대시킬 수 있게 해준다.

애플은 독자적으로 시스템반도체 칩 개발을 시작하면서 관련 업체를 인수하고 최고전문가를 영입하며 다수의 지식재산권(IP)도 확보했다[14]. 표 2에서 보듯이 2008년 팔라앨토 세미컨덕터(P.A. Semi)를 2억 7,800만 달러에 인수했고, 2011년 플래시메모리 업체 아노비트(Anobit)를 5억 달러에 인수했다. 2019년에는 인텔의 모뎀칩 사업부를 10억 달러에 인수해 2,200명의 개발인력과 17,000개 이상 IP를 확보했다.

영국 반도체 설계기업 ARM 기반(아키텍처)을 활용해 반도체 설계 및 제조의 분업이 가능해졌다.

표 2 애플의 반도체 관련 업체 M&A 현황

| 연도   | 업체                      | 내용  |
|------|-------------------------|---|
| 1999 | Raycer Graphics         | 3D 그래픽스칩 개발업체, 전문인력흡수                                       |
| 2002 | Zayante                 | FireWire(고속직렬인터페이스) 칩 및 SW 업체로 1,300만 달러에 인수                |
| 2008 | Pala Alto Semiconductor | 저전력 설계 팹리스업체로 2억 7,800만 달러에 인수                              |
| 2010 | Intrinsity              | A4칩 프로세서 디자인업체로 인수해 아이패드용칩 성능 강화                            |
| 2011 | Anobit Technologies     | 플래시메모리 스타트업으로 5억 달러에 인수해 자사 제품 플래시메모리와 엔지니어 확보              |
| 2012 | AuthenTec               | 지문센서 개발업체로 3억 5,600만 달러에 인수, 결제서비스 '애플페이' 개발에 활용            |
| 2013 | PrimeSense              | 3D 동작인식센서 개발업체로 3억 5천만 달러에 인수해 애플 기기에 내장된 얼굴 인식 '페이스ID'에 적용 |
| 2013 | PassifP                 | 실리콘밸리 소재 무선칩 개발업체로 블루투스 기술 등 소형단말기 적용 저전력반도체                |
| 2018 | Dialog Semiconductor    | 전력반도체업체로 6억 달러에 인수하고, 전원관리 사업을 반도체사업으로 확대하며 기술팀 확보          |
| 2019 | Intel 모뎀칩 사업부           | 10억 달러에 인수해 2,200명의 전문인력과 17,000개 IP 확보해 5G 모뎀 개발           |

애플은 최적화된 칩을 직접 설계하고 파운드리인 TSMC가 제조를 담당한다. 아이폰과 아이패드에서 ARM 설계를 바탕으로 한 AP를 만들어 사용한다 [2].

ARM은 스마트폰의 두뇌로 모바일용으로 쓰이는 AP칩 전 세계 공급의 90% 이상을 장악하고 있다. ARM 코어를 활용해 칩을 직접 설계하면 각 기업에 맞는 제품을 최적화해 개발할 수 있다.

애플이 ARM 설계 기반으로 제작한 AP를 아이폰이나 아이패드에 탑재해 성능이 향상되는 효과를 보았다. ARM 아키텍처의 성능이 인텔 X86에 근접했고, 칩을 제조할 TSMC의 공정능력이 인텔 공정을 능가하자 자체 반도체 개발에 자신감을 갖게 되었다[15].

### III. 애플의 반도체 개발 동향

1984년 애플에 대한 CPU 공급사는 모토로라였으나, 애플의 요구사항을 만족시키지 못하자 1994년 IBM이 애플의 파트너가 된다. 그러나 인텔의 제품 성능이 IBM을 능가하자 2006년 애플은 IBM 대신 인텔을 파트너로 선택한다.

애플은 2006년부터 2020년까지 16년 동안 인텔로부터 X86 계열 CPU를 공급받았다. 그러나 인텔은 애플이 원하는 성능을 충족시키지 못했고, 애플이 인텔보다 뛰어난 고효율 저전력 CPU를 제작하면서 2020년 인텔 대신에 자사 제품을 탑재하기 시작했다.

표 3에서 보듯이 애플은 2012년부터 시스템 반도체 칩의 자체 개발을 시작했으며, 2018년에는 셀룰러 모뎀을 설계하기 시작했다. 2020년에는 Mac 제품용 M1 칩을 공개하고 자체 설계한 CPU를 Mac PC에 탑재했다. 2022년에는 성능이 더 뛰어난 칩 M2를 공개했다.

표 3 애플의 반도체 개발 연혁

| 연도   | 내용   |
|------|--|
| 1977 | • 세계 최초 PC '애플 2' 출시<br>• MOS테크놀로지와 시너텍 CPU 장착                           |
| 1984 | • 모토로라, 애플 PC에 68000 계열 CPU 공급   |
| 1994 | • IBM이 모토로라 대신 CPU '파워 PC 프로세서' 공급                                       |
| 2006 | • 인텔이 IBM 대체해 X86 계열 CPU 공급  |
| 2012 | • 시스템 반도체 칩 자체 개발 개시   |
| 2013 | • 아키텍처 기반 모바일 A7 프로세서 탑재 아이폰 5S 출시                                       |
| 2014 | • TSMC, 삼성전자 대신해 애플에 A8 프로세서(AP) 공급                                      |
| 2018 | • 셀룰러 모뎀 자체 설계 개시  |
| 2020 | • 9월 Mac 제품용 M1칩 공개<br>• 11월 인텔과 결별하고 자체 설계 CPU M1칩 Mac PC에 탑재           |
| 2021 | • 4월 아이패드 프로 M1칩 탑재<br>• 아이폰13 A15 바이오닉칩 탑재                              |
| 2022 | • 6월 M2칩 공개<br>• 7월 M2 탑재 13.6인치 맥북에어와 13인치 맥북 프로 출시                     |
| 2023 | • 1월 차세대 실리콘 칩 'M2 프로'·'M2 맥스' 공개, M2 칩 탑재 '맥북프로14·16', '맥 미니' 공개        |
| 2024 | • 아이폰 시리즈에 자체 개발한 5G 모뎀 탑재 계획<br>• TSMC 애리조나 공장에서 생산한 반도체 납품 예정          |
| 2025 | • 원천에 반도체 종합연구소 개소 예정<br>• 브로드컴의 와이파이와 블루투스 연결 통신 반도체를 자체 개발 통신칩으로 변경 예정 |

#### 1. 모바일 AP

애플의 반도체 내재화 전략은 스마트폰에서 시작되었다. 기존 타사 제품으로는 차세대 기기의 성능 강화와 전력 성능비를 최고로 끌어올리는 데 한계가 있다고 판단했다. 완제품 성능을 극대화하기 위해 최적화된 맞춤형 부품을 직접 만들겠다는 목적에서 아이폰의 두뇌 역할을 하는 애플리케이션 프로세서(AP) A 시리즈를 자체 개발했다.

애플은 영국의 ARM 설계 기반으로 자체 설계한 AP 'A' 시리즈를 아이폰 시리즈에 탑재하였는데, 성능은 세계 최고 수준으로 인정받았다. 2013년 가

을 64비트 아키텍처 기반 A7 프로세서가 탑재된 아이폰 5S를 출시하였는데, 성능이 뛰어나 안드로이드 모바일 칩을 제조하던 퀄컴을 충격에 빠뜨렸다[16]. 아이폰12에 장착한 A14 바이오닉 프로세서는 TSMC의 최신 나노공정에서 생산된다. 전력효율과 성능이 기존 제품에 비해 20~30% 향상됐다[15].

애플은 프리미엄 아이폰에만 탑재되던 고성능 AP를 저가형 아이폰SE에 심는 차별화를 시도했다. 새로운 AP 개발에 필요한 비용과 시간을 절감하면서 생산 증대에 따른 원가절감 효과를 얻기 위한 조치이다[17].

## 2. M1칩

애플은 2020년 9월 자체 개발한 Mac 제품용 칩 ‘M1’을 공개했다. 2020년 11월에는 M1을 탑재한 맥북프로와 맥북에어를 출시하며 탈인텔에 본격적인 시동을 걸었다. M1칩은 아이폰12에 탑재된 AP인 ‘A14’칩을 개량해 만들었는데, CPU 중 처음으로 M1칩 탑재 맥북은 인텔 제품을 탑재한 맥북에 비해 배터리 사용시간이 2배 늘어났다.

2020년 11월 M1을 탑재한 맥북프로, 맥북에어를 추가해 원활한 노트북 구동이 가능하다는 것을 증명했다. 2021년에는 그래픽 성능을 대폭 개선한 M1 프로·맥스를, 2022년 3월에는 M1 울트라를 공개하여 고성능 칩셋에서도 독립을 과시하였다.

2021년 4월 공개한 아이패드 프로에는 M1칩이 탑재되었는데, 컴퓨터 구동에 필요한 중앙처리장치(CPU)와 그래픽처리장치(GPU), 인공지능(AI) 연산을 수행하는 뉴럴엔진, D램 등을 한데 통합해 성능은 물론 전력효율도 최상급이다. M1칩에 최적화된 신형 운영체제 ‘빅서(Big Sur)’를 적용해 사용자의 체감속도도 대폭 개선했다. CPU 성능은 최대 50%, GPU 성능은 40% 빨라졌고, 저전력 탑재로 배터리

도 온종일 사용할 수 있게 됐다[18].

## 3. M2칩

2022년 6월 7일 애플은 WWDC(세계 개발자 컨퍼런스)에서 자체 개발한 반도체 ‘M2’를 공개했다. M2는 M1에 비해 CPU 속도가 18% 개선됐고, GPU 성능은 35% 향상됐다. M2는 TSMC의 5나노 공정에서 생산되고 200억 개의 트랜지스터로 구성됐다. 12세대 인텔 코어 탑재 노트북용 프로세서의 18%에 해당하는 전력을 사용하지만 성능은 87%로 전력효율도 좋아졌다. 애플은 2022년 7월 M2를 탑재한 13.6인치 맥북에어와 13인치 맥북프로를 출시했다.

## 4. 5G 모뎀과 통신용 칩

표 4와 같이 애플은 M1칩, M2칩 개발에 이어 자체 5G 통신칩인 모뎀을 개발하고 있다. 모뎀칩은 무선 환경에서 무선 환경에서의 음성과 데이터를 송수신하는 데 필요한 핵심 반도체 칩으로 인터넷으로 모든 사물이 연결되는 IoT와 자율주행차 시대에는 더욱 중요하다. 애플은 2017년 퀄컴과의 특허분쟁을 계기로 2018년부터 셀룰러 모뎀을 자체 설계하기 시작했다. 2019년 인텔의 모뎀 사업부를 10억 달러에 인수하고 2,200명의 개발인력과 17,000여 지식재산권을 확보했다.

애플이 퀄컴의 기술력을 따라잡는 모뎀칩을 자체 개발하면 통신칩 시장도 재편될 수 있다. 5G 스마트폰인 아이폰12 시리즈에는 퀄컴의 모뎀칩이 탑재됐다. 애플은 2024년 말이나 2025년에 퀄컴 칩을 자체 설계 칩으로 교체하는 것을 목표로 삼고 있다.

그러나 애플의 5G 모뎀 개발은 단기간에 이뤄지기 어려운데, M1칩 같은 PC 프로세서를 개발하는데 5~10년이 소요되었고, 5G 모뎀은 전력소모가 심

표 4 애플이 개발한 반도체 칩

| 구분 | 내용   |
|----|--|
| M1 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2020년 9월 컴퓨터 CPU인 M1칩 공개               <ul style="list-style-type: none"> <li>-아이폰12에 탑재된 AP인 'A14' 칩을 개량해 만들었는데 CPU 중 처음으로 TSMC의 5나노 미세공정 적용</li> <li>-5나노는 7나노보다 성능은 10% 개선되고 전력효율은 20% 높음</li> </ul> </li> <li>• 컴퓨터 구동에 필요한 CPU와 GPU, AI 연산 수행하는 뉴럴엔진, D램 등을 통합</li> <li>• 2020년 11월 M1 탑재 맥북프로와 맥북에어 출시               <ul style="list-style-type: none"> <li>-M1칩에 최적화된 신형 운영체제 '빅서(Big Sur)'를 적용해 사용자의 체감속도 대폭 개선</li> <li>-M1칩은 속도와 효율성이 균형을 이뤘고, M1 탑재 맥북은 인텔 제품 탑재 맥북에 비해 속도 2.5배, 전력효율 25%, 그래픽 성능 3.5배, 배터리 사용시간 2배 증가</li> </ul> </li> <li>• 2022년 4월 M1 탑재 아이패드 프로 출시               <ul style="list-style-type: none"> <li>-아이패드 USB-C 단자가 썬더볼트4와 USB4로 업그레이드돼 전송속도를 끌어올리면서 외장 저장장치 등 제한까지 없앴</li> <li>-고성능 케이블이나 외장하드를 아이패드에 연결해 쓸 수 있고, 6K 이상의 고화질 디스플레이까지 연결해 멀티 태스킹이 용이</li> </ul> </li> </ul> |
| M2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2022년 6월 7일 공개               <ul style="list-style-type: none"> <li>-M2는 M1에 비해 CPU 속도가 18% 개선됐고, GPU 성능은 35% 향상</li> <li>-TSMC의 5나노 공정에서 생산되고 200억 개의 트랜지스터로 구성</li> </ul> </li> <li>• 2022년 7월 M2 탑재한 13.6인치 맥북에어와 13인치 맥북프로 출시               <ul style="list-style-type: none"> <li>-12세대 인텔 코어 탑재 노트북용 프로세서의 18%에 해당하는 전력 사용하지만 성능은 87% 수준으로 전력 효율도 크게 향상</li> </ul> </li> </ul>  |

해 발열, 배터리 사용시간 등 고려할 부분이 많아 시간과 기술이 더 필요하기 때문이다. 퀄컴의 모뎀칩 기술은 경쟁사보다 몇 년 앞서 있기 때문에 애플이 퀄컴 모뎀칩을 자체 칩으로 전환하려면 예상보다 긴 시간이 소요될 전망이다[6].

그리고 브로드컴으로부터 공급받고 있는 와이파이와 블루투스를 연결하는 통신 반도체를 2025년 자체 설계 칩으로 대체할 예정이다. 이를 위해 애플은 현재 통신용 칩을 개발 중이고, 또 셀룰러 모뎀과 와이파이, 블루투스 기능을 하나로 결합한 칩을 개발해 자체 설계 칩 비중을 높이려 하고 있다.

## IV. 반도체 내재화 전략이 끼친 영향

### 1. 빅테크 기업들의 반도체 개발

애플의 성공적인 반도체 자체 개발에 자극을 받아 구글, 아마존, 마이크로소프트(MS), 메타 등 빅테크 기업들도 독자적인 반도체 개발에 뛰어들고 있다. 자체 칩 개발은 칩 공급사에 지급하던 수익을 내

재화하고 서비스 효율과 성능을 최적화해 제품의 경쟁력을 높일 수 있다.

표 5와 같이 구글은 모바일 AP를 개발 중인데, 2022년 하반기 출시한 스마트폰 '픽셀7'에 자체 개발한 차세대 칩인 '텐서(Tensor)'를 탑재했다. 텐서는 구글과 삼성LSI가 공동개발해 삼성파운드리에서 5나노 공정으로 생산된다[19]. 차세대 스마트폰 픽셀 8에 탑재될 AP는 삼성전자 파운드리에서 3나노 공정으로 생산될 예정이다[20]. 또 인공지능 기술을 활용한 서비스 수요가 급증하자 데이터 분석과 딥러닝을 위한 TPU(Tensor Processing Unit) 1세대를 출시한 이후 ASIC 형식 인공지능 반도체를 직접 개발하고 있다. 2022년 6월에는 차세대 CPU인 Z시스템 칩을 개발하기 위해 IBM의 전문가를 아키텍처 책임자로 영입했다[21]. 구글은 2022년 7월 반도체업체인 SkyWater Technology(SKYTO)와 함께 SkyWater의 미네소타공장에서 제작되는 칩을 설계하는 오픈소스 플랫폼을 확대한다고 발표했다. 미 국방부는 이 플랫폼 개발 이니셔티브가 다양한 효용을 가

표 5 미 빅테크기업들의 반도체 개발 현황

| 업체        | 내용   |
|-----------|--|
| 구글        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2022년 자체 개발한 '구글 텐서' 칩을 자사 스마트폰 '픽셀7'에 장착해 퀄컴 의존도 탈피</li> <li>• 스마트폰 '픽셀8'에 탑재될 AP는 삼성전자 파운드리에서 3나노 공정으로 생산 예정</li> <li>• ASIC 형식의 AI 반도체 개발 중</li> </ul> |
| MS        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 서버, 서피스 PC용 칩 개발 중</li> <li>-태블릿PC인 서피스의 서버용 반도체 개발을 위해 AMD, 퀄컴, 엔비디아 등에서 개발자 대거 영입</li> <li>-애저 클라우드 컴퓨팅 서비스를 구동하는 서버용 칩을 독자 개발하려는 노력 가속화</li> </ul>     |
| 메타 (페이스북) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• VR 기기 오쿨러스용 칩 개발 중</li> <li>-성능 높이기 위해 무게 가볍게 하고, 처리속도 높이며, 전력 소비량 낮추기 위해 칩 자체 설계</li> </ul>  |
| 아마존       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 독자 개발 CPU '그래비톤' 등 자율주행에 필요한 칩 역량 확보</li> <li>• 컴퓨팅 처리를 위한 엔비디아의 칩을 자체 칩 '인퍼런시아'로 대체</li> </ul>   |

져오기 때문에 1,500만 달러를 지원하기로 하였다 [22].

마이크로소프트(MS)는 2021년 10월 프로세스와 저장장치, 그래픽, 오디오, 비디오, 모뎀 등 각종 반도체를 단일 칩에 집약한 SoC 개발을 위한 전문가를 AMD, 퀄컴, 엔비디아 등에서 대거 영입했다. 2022년 1월 애플에서 반도체 설계 핵심 인재를 영입해 애저 클라우드 컴퓨팅 서비스를 구동하는 서버용 칩을 독자 개발하고 있다.

메타(구 페이스북)는 가상현실(VR) 기기 오쿨러스 디바이스를 위해 자체 칩을 개발하고 있다. 오쿨러스의 성능을 높이기 위해서는 무게를 더 가볍게 하고 처리속도를 높이며 전력 소비량을 낮추기 위해 자체 칩 개발을 결정했다.

아마존은 서버용 반도체 '그래비톤(Graviton)'을 직접 제작해 2018년부터 사용하고 있다. 또 2015년 인수한 반도체 개발업체 안나푸르나랩스 팀을 통해 네트워크 스위칭용 칩을 개발 중이다. 자체 네트워크 칩을 활용해 아마존 클라우드 서비스(AWS) 성능

개선에 목표를 두고 있다[23]. 자체 칩을 사용하면 현재 칩을 공급하는 브로드컴에 대한 의존도를 줄일 수 있다[24].

애플을 비롯해 빅테크기업들의 칩셋 자립이 가속화되고 있으며, PC와 노트북의 CPU는 인텔, 모바일 AP는 퀄컴이라는 기존의 공식이 무너지면서 인텔과 퀄컴의 영향력이 약화되고 있다.

## 2. 팜리스·스마트폰 업체에 미친 영향

표 6과 같이 퀄컴은 과거 CDMA 원천기술 보유 업체로 아이폰 판매 시마다 특허료를 요구했고 애플은 특허소송으로 맞대응했다. 애플은 2019년 소송을 취하했는데 퀄컴의 5G 모뎀 칩 없이는 삼성전자와 스마트폰 경쟁이 어려웠기 때문이다. 퀄컴은 2021년 1월 애플의 A 시리즈 AP를 설계한 인력이 2019년 창업한 누비아를 14억 달러에 인수했다. 퀄컴은 모바일 AP로부터 PC용 시스템온칩, 인포테인먼트 및 운전자 지원 시스템용 SoC 등의 자사 제품군에 누비아 기술을 접목해 자체 AP인 스냅드래곤을 강화하고 나아가 노트북, 서버용 CPU까지 라인업을 확대할 계획이다. 최근 출시한 모바일용 칩인 스냅드래곤8 2세대는 경쟁자인 애플 A16 바이오닉 칩을 따라잡은 것으로 평가된다. 상당한 연산 능력이 필요한 레이트레이싱도 애플보다 모바일 영역에 먼저 가져왔다[25].

인텔은 2020년 애플이 노트북에 사용되는 인텔 반도체 대신 자체 개발한 칩을 탑재하면서 매출의 10%를 차지하던 최대 고객을 잃었다. 또 오랜 고객이었던 구글, 아마존, 마이크로소프트(MS) 등 빅테크 기업들이 독자적으로 반도체 개발에 뛰어들고 있어 가장 큰 타격을 받고 있다. 2021년 3월 CEO로 취임한 팻 싱어는 애리조나주에 200억 달러를 투자해 생산공장 2곳을 건설하고 파운드리 서비스를 시



표 6 팹리스·스마트폰업체들의 대응 동향

| 업체   | 내용   |
|------|--|
| 퀄컴   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2019년 애플에서 AP 개발을 맡았던 전문가들 설립한 팹리스 누비아 인수               <ul style="list-style-type: none"> <li>-모바일 AP로부터 PC용 SoC, 인포테인먼트 및 운전자 지원 시스템용 SoC 등에 누비아 기술 접목해 스냅드래곤 강화하고 노트북, 서버용 CPU까지 라인업 확대 예정</li> </ul> </li> <li>• 2023년 PC용 스냅드래곤 출시 예정</li> </ul>   |
| 인텔   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 매출의 10%를 차지하는 최대 고객인 애플의 칩 개발로 큰 타격               <ul style="list-style-type: none"> <li>-구글, 아마존 마이크로소프트, 메타의 반도체 자체 개발로 타격</li> </ul> </li> <li>• 프로세서 시장의 경쟁력을 강화하기 위해 애플 반도체 임원 영입하고 디자인 엔지니어링 확충</li> <li>• 빅테크기업들 팹리스 반도체 설계 강화로 생산 위탁해주는 파운드리 사업을 시작하고 신규로 공장 건설               <ul style="list-style-type: none"> <li>-22나노 공정으로 시작하고 7나노로 업그레이드 예정</li> </ul> </li> </ul> |
| 삼성전자 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 발열 등 문제해결을 위해 갤럭시 S23에 자사 AP 엑시노스 2200 대신 퀄컴 스냅드래곤 장착</li> <li>• 폴더블폰과 2억 화소 카메라 탑재한 갤럭시 S23 출시로 대응</li> <li>• 자체 개발 AP 엑시노스 1380-1330을 중저가형 스마트폰 장착</li> <li>• 2025년 목표로 갤럭시 전용 AP 개발을 위해 전문가 영입, 조직 정비</li> </ul>   |
| 화웨이  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 자회사인 팹리스 하이실리콘을 통해 반도체 설계하고 새로 설립한 계열사 파운드리인 PXW를 통해 반도체 직접 생산 도모</li> <li>• 미국의 제재로 첨단 반도체 생산에 필요한 네덜란드 ASML의 EUV 장비 도입이 좌절되자 독자적으로 개발 진행하고 특허 출원</li> </ul>   |
| 샤오미  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2014년 반도체 자체 개발 추진               <ul style="list-style-type: none"> <li>-34개 반도체 기업 지분 취득</li> </ul> </li> <li>• 2021년 초 처음으로 자체 개발한 카메라 칩셋 '서지 C1' 이미지 시그널 프로세서(ISP) 탑재한 폴더블폰 '미믹스폴드' 공개</li> <li>• 2021년 12월 상하이에 쉬안지에 테크놀로지 설립해 IC칩 설계</li> </ul>  |

작한다고 선언했다. 처음에는 22나노 공정으로 시작하고 향후 7나노로 업그레이드할 예정이다[26].

삼성전자는 발열 문제 등으로 갤럭시 S23에 엑시노스 대신 퀄컴의 AP 스냅드래곤을 장착하고, 저가폰에는 미디어텍의 AP를 탑재함에 따라 모바일 AP 시장 점유율이 하락했다. 카운터포인트 리서치에 따르면 2022년 3분기 세계 스마트폰 AP 시장 점유율은 미디어텍 35%, 퀄컴 31%, 애플 16%, 유니SOC 10%, 삼성전자 7%의 순이다. 스마트폰은 폴더블폰 출시와 2억 화소 카메라를 장착한 갤럭시 S23 출시로 대응하고 있다. 삼성전자 시스템LSI사업부는 2023년 2월 자체 모바일 AP인 엑시노스 1380-1330을 공개했는데, 5나노 공정을 통해 제작됐다. 엑시노스 1380은 프리미엄 제품에 준하는 높은 사양을 갖추어 갤럭시 A54 5G와 갤럭시 M54 5G를 비롯한 중급형 스마트폰에 탑재하고, 하위버전인 엑시노스

1330은 갤럭시 A14 등 저가형 제품에 장착할 예정이다[27].

또 2025년 애플을 넘어서는 갤럭시 전용 AP 상용화 목표를 세우고, 애플의 자체 칩 설계를 맡았던 전문가를 영입했으며, 2022년 12월 모바일경험(MX)사업부와 시스템LSI사업부가 공동으로 태스크포스를 구성했다[28].

화웨이는 통신장비 세계 1위, 스마트폰 2위까지 올랐던 중국의 디바이스 기업이다. 2019년 5월 트럼프 행정부는 화웨이를 주요 반도체 부품 '수출 통제 명단'에 올렸다. 2022년 12월 바이든 행정부는 화웨이에 반도체를 공급한 메모리 기업 YMTC 등 36개 중국 기업을 수출 통제 대상에 포함시켰다. 또 2023년 1월 말 화웨이에 인텔·퀄컴 등 미 기업들의 부품 공급을 차단하는 방안을 추진 중이다[29]. 화웨이는 미국의 제재에 맞서 반도체를 자체 개발하

고 있는데, 파운드리 계열사 평신웨이IC제조(PXW)는 2023년 상반기 생산을 목표로 건설 중이며, 28나노급 반도체부터 제조할 계획이다. 자회사인 팹리스 하이실리콘이 반도체 설계를 하고 파운드리인 PXW가 생산을 맡는 공급자족 체제를 구축하고 있다[30]. 또 네덜란드 ASML 극자외선(EUV) 장비를 확보하지 못하자 2022년 12월 EUV 리소그래피 관련 기술 특허를 신청하였다[31].

중국의 스마트폰 업체인 샤오미는 반도체 공급 대란으로 2021년 스마트폰 출하량을 1,000만 대 이상 감산해 글로벌 출하량은 삼성전자와 애플에 이어 3위로 내려앉았다.

샤오미는 2014년부터 반도체 자체 개발을 추진했고, 2019년부터 2021년 3월까지 반도체 관련 기업 34곳 지분을 구입하거나 지분율을 높여 왔다. 2021년 12월 상하이에 쉬안지에 테크놀로지를 설립해 IC 설계 서비스와 칩을 개발하고 있다[32]. 샤오미는 2021년 초 처음으로 자체 개발한 카메라 칩셋인 ‘서지 CI’ 이미지 시그널 프로세서(ISP)를 탑재한 첫 번째 폴더블 스마트폰인 ‘미 믹스 폴드’를 공개했다[33].

## V. 결론 및 시사점

애플은 하드웨어와 소프트웨어 기술의 융합을 통해 아이폰, 아이패드, 아이팟, Mac PC, 맥북, 애플워치 등의 신제품을 출시해 산업 혁신을 주도해왔다. 운영체제(OS), 소프트웨어, 시스템반도체부터 서비스, 앱 장터인 아이튠스까지 독자 개발하고 자체 생태계를 구축해 세계 최고 IT 기업으로 우뚝 섰다.

2000년 애플 CTO로 취임한 공급망 전문가인 팀 쿡(Tim Cook)은 아이폰, 아이패드, Mac PC, 맥북, 에어팟의 제품 종류를 4, 5가지로 단순화하고, 생산을 폭스콘 등 외부업체에 전량 아웃소싱해 재고를 대폭 줄이고 비용을 절감했다. 팀 쿡은 2011년 8월 스

티브 잡스에 이어 CEO로 취임한 이후 새로운 혁신 제품을 출시하기보다는 반도체 등 부품을 자체 개발해 탑재하여 제품 성능을 획기적으로 개선하고, 다수 부품을 공유해 이익을 극대화하는 정책을 전개하였다[34].

인텔의 설계에 의존했던 모바일 AP를 내재화했고, CPU 역할을 수행하는 M1, M2칩을 개발했다. AP와 M1, M2칩을 아이폰, 아이패드, 맥북에 공유했다. 그 결과 매출과 영업이익이 급증하면서 2020년 8월 사우디아라비아 석유기업 아람코를 제치고 세계 주식시장 시총 1위 기업으로 올라섰다[35].

반면, 삼성전자는 스마트폰 제품도 S시리즈, A시리즈 등 수십 종에 이르고, AP도 가격대에 따라 자체 개발한 ‘엑시노스’부터 퀄컴, 미디어텍 등의 칩셋을 탑재해 비용이 많이 소요되어 이익 증가에 한계를 보였다.

애플의 모바일 AP는 퀄컴의 스냅드래곤이나 삼성의 엑시노스에 비해 성능은 훨씬 뛰어나고, 전력 소모도 적어, 기술 격차는 더욱 벌어졌다[13].

애플의 반도체 내재화 성공에 마이크로소프트(MS), 아마존, 메타 등 빅테크 업체들도 반도체를 직접 개발하고 있다. 이로 인해 인텔, 퀄컴, 브로드컴 등 설계 전문기업인 팹리스들의 시장지배력은 약화되는 반면, TSMC, 삼성전자, UMC 등 파운드리 업체는 물량이 증가해 설비를 증설하고 있다[24].

애플 등 빅테크 기업들의 반도체 자체 개발에 대해 퀄컴은 애플의 AP를 설계했던 전문가들이 설립한 누비아를 인수해 자체 AP인 스냅드래곤을 강화하고 노트북, 서버용 CPU까지 라인업을 확대할 계획이다. 인텔은 파운드리 부문에 새로 진출해 신규 공장을 건설하고 있다. 삼성전자는 2025년 목표로 애플에 대항할 새로운 AP를 개발 중이고, 자체 모바일 AP인 엑시노스 1380·1330을 개발해 중저가 폰에 탑재할 방침이다. 스마트폰업체인 화웨이와

샤오미는 미국의 제재에 맞서 반도체를 자체 개발하고 있다.

애플이 반도체를 자체 설계할 수 있었던 요인은 막대한 R&D 투자와 전문인력 확보가 뒷받침하였다. 또 다수의 반도체 관련 인수합병(M&A)을 통해 고급인력과 지식재산권(IP)을 확보하면서 기술력을 축적했다. 그리고 영국의 ARM의 반도체 기반(아키텍처)을 잘 활용해 반도체 설계에 적용했다.

애플의 사례에서 보듯이 스마트폰 등 디바이스 업체가 반도체를 성공적으로 내재화하기 위해서는 이를 대체할 막대한 수요가 있어야 한다. 또 치밀한 계획 하에 장기간 전문인력 양성, 인수합병을 통한 기술력 축적, 지식재산권 확보, 제품 간 반도체 공유가 필요하다[36]. 삼성전자가 애플과 프리미엄폰에서 경쟁하기 위해서는 애플이 자체 개발한 칩을 탑재해 제품 경쟁력을 강화하고, 이익을 증대했듯이 애플을 능가하는 프로세서 기술에 더 투자해야 한다[37].

**용어해설**

**AP(Application Processor)** 스마트폰·디지털TV 등에 사용되는 비메모리 반도체로 일반 컴퓨터의 중앙처리장치(CPU)와 같은 역할을 수행

**CPU(Central Processing Unit)** 컴퓨터의 정중앙에서 프로그램 명령어를 실행하는 일을 담당하며 제어장치, 연산장치, 레지스터 등으로 구성

**모뎀(Modem)** 컴퓨터 디지털신호를 전화로 보내도록 아날로그 신호로 바꿔 전송하고, 아날로그신호를 받아 디지털신호로 바꿔 주는 변복조장치

**약어 정리**

|      |  |
|------|--|
| GPU  | Graphics Processing Unit                   |
| IDM  | Integrated Device Manufacturer             |
| TSMC | Taiwan Semiconductor Manufacturing Company |

**참고문헌**

[1] 동아일보, "애플도 못 버틴 '반도체 대란'…삼성·LG에 '날벼락',"

2021. 10. 14.

[2] 서울신문, "페이스북도 반도체 회사 된다?... 자체 칩 개발 나선 빅테크 기업들," 2021. 4. 2.

[3] K BENCH, "애플 에어팟 프로 생산 늘리기 위해 공급업체 추가," 2020. 1. 3.

[4] 동아일보, "애플 미국산 반도체 쓴다," 2022. 10. 17.

[5] iClarified, "Apple captured 85% of global smartphone profits last year, its highest share ever," 2023. 2. 3.

[6] 매일경제신문, "미국 시총 1위 애플은 얼마나 더 성장할까...자체 반도체칩으로 애플 생태계 확장," 2023. 1. 7.

[7] 바삭한 경제, "삼성전자는 애플에 반도체 1위 자리마저 내주게 될까," 2022. 8. 30.

[8] 뉴시스, "10대 반도체 고객사, 지난해 칩 구매액 7.6% ↓...삼성·소니만 늘어," 2023. 2. 7.

[9] 매일경제신문, "AVP 일렉트로닉스?...삼성 5대 매출처 자리 꿰찬 中 기업, 뭐하는 회사길래," 2021. 8. 23.

[10] 조선일보, "삼성, 세계 최대 美 고객 확보, TSMC 따라잡을 기회," 2022. 5. 24.

[11] BusinessKorea, "Samsung electronics to supply NAND flashes for iphones," 2022. 11. 23.

[12] 시사저널, "삼성전자, 갤럭시 AP 전략 바꿨다...엑시노스 위축에 비용부담 ↑," 2021. 11. 25.

[13] 한국경제신문, "삼성은 없고 애플엔 있는 4가지...난공불락 '애플월드'의 탄생," 2022. 5. 22.

[14] 한국경제신문, "116개 기업 사들인 애플, 인재·신기술 집어 삼켰다," 2022. 5. 4.

[15] 한국경제신문, "커지는 애플의 반도체 야심," 2022. 6. 28.

[16] 린더 카니, 팀 쿡, "애플의 미래를 설계하는 조용한 천재," 다산북스, 2019, p. 214.

[17] 머니투데이방송, "'애플 실리콘' 나비효과...찝찝매는 공급사들," 2023. 1. 22.

[18] 연합뉴스, "아이패드에 자체설계한 M1칩 넣은 애플," 2021. 4. 22.

[19] KBENCH, "구글 '픽셀 7 프로' 제조원가 분석해보니...삼성전자 부품 50% 이상 탑재," 2023. 2. 9.

[20] Business Korea, "Samsung electronics to produce google's 3-nm mobile chips," 2022. 8. 31.

[21] The Stack, "Google poaches chip guru from IBM to lead its 'next-gen' CPU," 2022. 6. 8, <https://thestack.technology>

[22] Reuters, "Google and U.S. chip maker Sky Water expand open source chip design platform," 2022. 7. 29.

[23] AWS Silicon Innovation Day, "Take a look at inside the lab where AWS makes custom chips," 2022. 8. 22, <https://www.aboutamazon.com>

[24] Sourcingengine, "Why so many tech companies want to develop their own semiconductors," 2021. 6. 14,

- <https://www.sourcengine.com>
- [25] CNBC, "Tech giants are rushing to develop their own chips here's why," 2021. 9. 7.
- [26] ZDNet Korea, "인텔·AMD 격전, 흔들리는 애플...퀄컴 독자 행보 주목," 2023. 1. 1.
- [27] 한국경제신문, "삼성, 가성비 AP로 중저가폰 시장 정조준," 2023. 2. 25.
- [28] 서울경제신문, "삼성 모바일, 애플 출신 반도체 전문가 영입," 2023. 1. 14.
- [29] 아시아경제신문, "중 숨통죄는 미, 화웨이 수출 전면금지," 2023. 1. 31.
- [30] 한국경제신문, "美 제재 피해...화웨이, 반도체 직접 만든다," 2022. 10. 6.
- [31] 조선일보, "중 화웨이 반도체 꿈의 장비 EUV 개발 도전장," 2022. 12. 28.
- [32] TechM, "중국군과 연관성 의혹 해소한 샤오미, 반도체 투자 '박차'," 2021. 4. 13.
- [33] 디지털타임스, "샤오미 자체칩 개발사 설립, 중국 반도체 굴기 속도낸다," 2021. 12. 21.
- [34] 린더 카니, 팀콕, "애플의 미래를 설계하는 조용한 천재," 다산북스, 2019, p. 129.
- [35] Financial Times, "Apple's move into chip making put its supply chain, bet in focus," 2023. 1. 13.
- [36] 한국경제신문, "'GPU, 게임 넘어 쏘 산업에 쓰일 것'...젠슨 황의 선견지명," 2023. 2. 13.
- [37] 임형규, 양향자, "히든 히어로즈," 디케, 2023. 1, p. 150.