

< CHIP 3주차 선각 레포트 >

- ArmSoC의 발열 억제 메커니즘

KJ-8-301-05 김재현

1. 서론

현대의 전자기기 설계는 고성능과 저전력을 동시에 만족시켜야 하는 과제를 안고 있다. 모바일 기기, IoT 디바이스, 임베디드 시스템 등 다양한 분야에서 요구되는 이러한 특성은 기존의 분리형 하드웨어 설계 방식으로는 한계에 도달하고 있으며, 이에 따라 시스템 온 칩(System-on-Chip, SoC) 구조가 각광받고 있다. SoC는 CPU, GPU, 메모리 컨트롤러, 인터페이스 장치 등을 하나의 칩에 통합하여 성능과 전력 효율을 동시에 추구한다. 그중에서도 ARM 아키텍처를 기반으로 한 ArmSoC는 발열 측면에서 특히 강한 내성을 보여주고 있으며, 본 보고서에서는 그 기술적·구조적 배경을 중심으로 발열 억제 메커니즘을 분석하고자 한다.

2. Arm 아키텍처의 저전력 특성

ArmSoC의 저발열 특성은 우선적으로 ARM 아키텍처 자체의 전력 효율성에서 기인한다. ARM은 RISC(Reduced Instruction Set Computer) 기반의 명령어 집합을 사용하여, 복잡한 연산을 단순화하고, 적은 수의 클럭 사이클로 명령을 처리할 수 있도록 설계되었다. 이는 동일 작업을 수행할 때 필요한 전력 소비량이 감소하고, 결과적으로 발열도 줄어드는 구조이다.

특히 ARM의 big.LITTLE 아키텍처는 고성능 코어(big)와 저전력 코어(LITTLE)를 동시에 탑재하여, 작업 부하에 따라 동적으로 코어를 선택할 수 있도록 한다. 예를 들어 고부하 작업에는 big 코어를, 백그라운드 처리나 대기 상태에서는 LITTLE 코어를 사용함으로써 시스템 전체의 에너지 소비를 최적화하고 발열을 억제한다. 이는 x86 기반 고성능 프로세서들이 일관되게 높은 발열을 보이는 것과의 중요한 차별점이다.

3. SoC 구조의 열 확산 이점

ArmSoC는 단순히 CPU뿐 아니라 다양한 시스템 구성 요소를 하나의 칩에 통합한 구조를 갖는다. 이러한 고집적화는 단순히 부품 간 통신 속도를 높이는 데 그치지 않고, 전력 소모 및 발열 제어 측면에서도 유리하게 작용한다. 그 이유는 다음과 같다.

- **배선 길이의 감소:** 구성 요소들이 물리적으로 가까이 위치함에 따라 배선의 길이가 짧아지고, 이는 신호 전달 시 발생하는 전력 손실과 저항에 의한 열 발생을 줄인다.
- **열 확산 경로의 최적화:** 단일 다이(die) 내에서 열원이 분산되기 때문에 특정 영역에 집중되는 hotspot이 줄어들고, 전체적으로 균일한 열 분산이 가능하다.

또한 최신 ArmSoC 제품은 5nm 이하의 첨단 공정 기술로 제조되며, 이는 누설 전류를 감소시키고 전력 효율을 극대화한다. 미세 공정은 트랜지스터 크기를 줄여 더 낮은 전압에서도 동작 가능하게 하며, 이는 곧 발열 억제로 이어진다.

4. 지능형 전력 관리 메커니즘

ArmSoC의 발열 억제에는 소프트웨어적 제어 기술 또한 큰 역할을 한다. 대표적인 예로 DVFS(Dynamic Voltage and Frequency Scaling)는 시스템의 실시간 연산 요구에 따라 CPU의 전압과 클럭 주파수를 동적으로 조절한다. 고성능이 필요한 순간에는 높은 주파수로, 그렇지 않을 경우에는 낮은 주파수로 동작함으로써 발열을 최소화한다.

또한 ARM SoC 설계에는 PMU(Power Management Unit)가 통합되어 있으며, 이 유닛은 전체 SoC 내 각 부품의 전력 소비 상태를 실시간으로 모니터링하고, 필요에 따라 해당 부품의 전력을 차단하거나 재할당한다. 일부 SoC에서는 온도 센서를 내장하여, 일정 임계 온도 이상 상승할 경우 클럭을 낮추거나 부품을 비활성화하는 열 스로틀링(throttling) 기능도 활용된다.

5. 실제 적용 사례 및 비교 분석

ArmSoC의 발열 억제 기술은 다양한 실제 제품에서 검증되었다. 예를 들어 Apple의 M 시리즈 칩셋(M1, M2 등)은 ARM 아키텍처 기반의 SoC로, 팬이 없는 노트북에서도 고성능을 안정적으로 유지하며, 발열도 효율적으로 제어되는 것으로 평가된다. 또 다른 예로는 라즈베리 파이(Raspberry

Pi) 시리즈가 있으며, 이 역시 별도의 팬 없이도 대부분의 작업을 수행할 수 있을 정도로 발열 억제력이 뛰어나다.

동일 작업 부하에서 Intel의 x86 SoC나 일반적인 고성능 데스크탑 CPU와 비교할 경우, ArmSoC는 평균적으로 약 30~50% 낮은 전력 소비를 보이고 있으며, 열 설계 전력(TDP) 또한 현저히 낮은 수준이다. 이로 인해 팬리스 디자인이 가능하고, 냉각 솔루션에 대한 부담이 줄어든다.

6. 결론

ArmSoC가 발열에 강한 이유는 단순히 CPU의 전력 효율성에 그치지 않는다. 하드웨어 설계, 공정 기술, 전력 관리 기법 등 다양한 요소가 복합적으로 작용하여 전력 소비를 억제하고, 이에 따라 발열도 줄어든다. RISC 기반 명령어, big.LITTLE 아키텍처, 고집적 SoC 설계, DVFS 및 PMU 기반의 스마트 전력 분배 구조 등은 모두 이러한 목표를 위한 핵심 설계 요소이다.

모바일 기기, IoT, 자율주행차, 엣지 디바이스 등 다양한 분야에서의 ArmSoC 활용이 증가함에 따라, 향후에도 저전력 및 발열 억제를 위한 기술은 지속적으로 발전할 것이며, ArmSoC는 그 중심에서 핵심 역할을 하게 될 것이다.

참고문헌

1. Texas Instruments, "Thermal Design Guide for DSP and ARM Application Processors", SPRABI3B, 2017.
2. Daniel Suárez et al., "Comprehensive analysis of energy efficiency and performance of ARM and RISC-V SoCs", The Journal of Supercomputing, 2024.
3. Semiconductor Engineering, "Intelligent Power Allocation", 2017.
4. Imec, "Navigating thermal challenges in advanced systems on chip", 2025.
5. ARM Community, "MediaTek MT8135 SoC - Heterogeneous big.LITTLE Processing for Mainstream".