

# SOC 센서 발열 분석을 통한 시스템 발열 제어 기법

김지현<sup>○</sup> 정성우

고려대학교 컴퓨터정보통신대학원  
koreacie@show.co.kr, swchung@korea.ac.kr

## Thermal Analysis of SOC Sensor

Ji-Hyun Kim<sup>○</sup> Sung-Woo Chung

Graduate School of Computer and Information Technology, Korea University, Seoul, Korea

### 요 약

최근 카메라 센서는 ISP(Image Signal Processor)를 별도로 사용하지 않고 SOC(System on Chip)방식으로 설계를 하여 소형화를 추구하고 있지만, High Resolution의 카메라가 개발 요구되어지면서 센서 Pixel 및 스위칭 트랜지스터의 집적화가 심화되고 있다. 이러한 고집적화는 카메라 센서 내 발열 관리에 대한 관심을 높여주고 있다. 본 논문에서는 우선 SOC 센서가 ISP를 탑재한 센서이므로 프로세서 발열 관리 기법에 대해 먼저 소개를 한 후, SOC 방식 센서를 대상으로 열이 발생하는 관련 조건을 확인 검사하고, 분석한 결과를 보인다. 또한 이러한 분석 결과를 토대로 발열을 제어 할 수 있는 방법으로 DAC(Digital Analog Converter)를 사용하여 센서 내 사용되는 전류 증폭을 최소화 한 설계 방식에 대해 분석해 보았으며, 전류 증폭을 최소화한 결과 최대 PCLK(Pixel Clock)에서도 열화에 따른 Noise(Hot Pixel)를 개선시킬 수 있었다.

### 1. 서 론

최근 휴대용 단말 및 가전제품, 자동차등에 소형화 CMOS(Complementary metal oxide semiconductor) 카메라가 많이 사용되고 있고, HD 화질급 동영상 촬영을 많이 요구함에 따라 High Frequency Clock을 사용하는 제품이 많아지고 있다. 이에 따라 CMOS카메라 내 발열을 낮추기 위한 연구가 많이 진행되고 있다.

오늘날 이와 같은 센서 및 마이크로프로세서에서 디자인 이슈 및 여러 가지 이유로 인해 발열 문제가 특히 대두가 되고 있는데, 이러한 발열은 프로세서 설계 시 크나큰 문제로 직면하고 있다. 프로세서의 발열량은 일반적으로 프로세서의 전력 소모량과 넓이, 두 가지 요소가 중요하게 작용한다. 전력 소모량이 많을수록, 칩의 영역이 작을수록 프로세서의 온도가 높아진다. 즉 프로세서 기술이 발전하면서, 전압 스케일링(Voltage scaling)으로 인해 전력 소모량은 줄어들고 있지만, 트랜지스터의 크기는 더욱 줄어들었기 때문에 칩의 크기가 작아지면서 온도 문제가 심각해 졌다. [1]

센서 및 프로세서에서 온도가 중요한 이유는 프로세서의 신뢰성에 직결되는 요소이기 때문이다.[2] 온도가 과도하게 높아지게 되면 최악의 경우 프로세서가 타버릴 가능성도 있다. 이렇게 온도가 높아 졌을 때 ISP(Image Signal Processor) 까지 내장된 SOC 센서에서 특히 문제가 되고 있는 것은 열화에 따른 Noise(Hot

Pixel)가 심화되는 것이며, 이 문제가 오래 지속 될 경우 Pixel 자체가 회복 불가능한 불량 화소가 발생되어 버릴 수 있어 신뢰성에 직결적인 요소가 된다. 발열에 영향을 주는 요인의 첫 번째는 고집적 설계에 의한 센서의 소형화 일 것이다. 현재 CMOS카메라 Pixel의 집적도는 1.4um X 1.4um까지 소형화 되고 있으며, High Resolution으로 개발되면서 보다 고밀도 설계가 요구되어 지고 있다. 위에서 설명한 것처럼 CMOS카메라의 발열에 영향을 끼치는 요인에 고집적화가 있겠지만, 또 다른 요인은 구동에 필요한 High Frequency Clock이며, 최근 HD 화질급 동영상 저장에 필요한 30 Frame을 구성하기 위해서는 보다 높은 내부 Frequency Clock을 요구하고 있다.

이에 CMOS 카메라 내 발열에 대한 전반적인 보완책이 필요하며, 본 논문에서는 Frequency Clock에 해당되는 PCLK(Pixel Clock)별 SOC센서 내 발열 특성을 분석하고 이에 대한 발열 감쇄 방식으로 DAC를 사용한 전류 컨트롤 방식을 사용하여 개선하는 방법을 분석해 본다.

### 2. 프로세서 발열 관리 기법

SOC센서는 자체 ISP(Image Signal Processor)를 탑재한 센서이므로 일반적인 프로세서 발열 관리 기법

[1]에 대해 소개 후 SOC 센서 내 발열 특성을 살펴보고자 한다.

최근까지 프로세서 발열 문제를 해결하기 위해 많은 기법들이 제안 되어 왔고, 이에 따른 분류로서 크게 정적 기법과 동적 기법으로 분류할 수 있다. 정적 기법은 프로세서 디자인 시 온도를 고려한 설계를 하는 것이며, 동적기법은 프로세서 런타임에 온도를 감지하여, 이에 맞는 온도 관리 기법을 적용하는 것을 말한다. 세부적으로 분류하면 그림 1과 같으며, 간단히 이 분류 항목에 대해 설명하면 프로세서 구조개선은 프로세서 디자인 시에 구조를 발열에 강하게 설계하는 기법이다. 두 번째로 플래너 플래닝 방법은 프로세서 구조 개선처럼 디자인 시에 결정하는 것인데 주 관점을 발열이 심한 기능 유닛들을 가깝게 배치하지 않는 것을 주 관심으로 보며, 세 번째로 컴파일러 기반 기법은 컴파일 시 코드 최적화를 통해 온도 최적화를 하는 기법이다. 네 번째로 하드웨어 기반은 프로세서 전력 소모를 줄이게 저전력 모드를 사용하는 기법을 말한다. 여기서 하드웨어 기법은 프로세서를 쉬게 하는 것, CLOCK 주파수를 낮추는 것, 또는 명령어 처리 대역폭을 줄이는 방법을 사용하는데 그만큼 성능 저하를 야기 시킨다.[3] 마지막으로 소프트웨어 기반 기법은 프로세스 혹은 태스크 스케줄링 기법등을 사용해 소프트웨어 레벨에서 프로세서 온도 관리를 하는 것을 말한다. 본 논문에서 최종 해결하려고 하는 방법은 하드웨어 기반에 해당된다고 볼 수 있지만, 성능 저하를 최소화하기 위해 DAC를 사용하여 전류를 소프트웨어적으로 컨트롤 할 수 있는 부분은 상이하다고 할 수 있을 것이다.

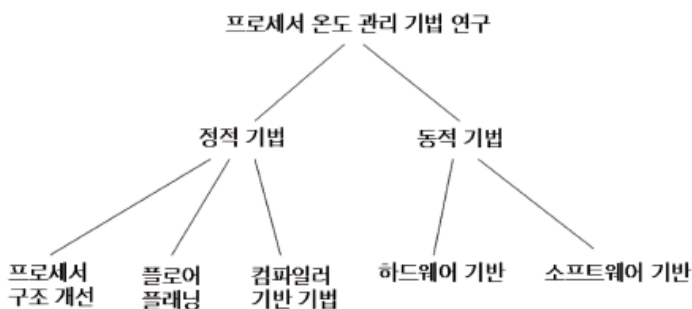


그림 1 온도 관리 기법의 분류[1]

같이 크게 광원을 받아들이는 센서부와, Image Signal Processing을 담당하는 컨트롤 부, 마지막으로 Interface 처리를 담당하는 인터페이스 부로 나눌 수 있다. 여기서 발열에 특히 관계되는 부분이 한 Pixel에 대한 기준 Clock을 발생시키는 센서부내 PLL부분과 컨트롤부의 마이크로컨트롤러 부분이다.

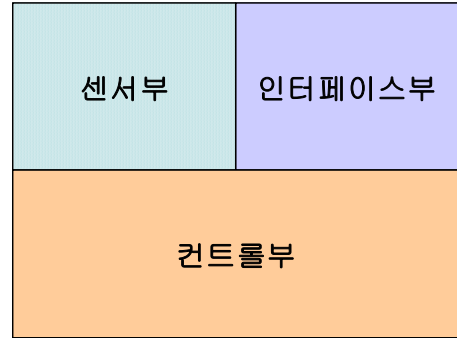


그림 2 SOC센서 구성

그림 3을 보면 PCLK에 대한 발열 특성을 볼 수 있다. 본 실험은 PCLK이 64MHz, 80MHz, 96MHz일 때 온도 상승 및 하강에 대한 연속 발열 온도를 측정 한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 단, 본 실험 시 각 PCLK에서 지속 동작을 했을 경우 최대 온도에서 변화 없이 CMOS센서 내 최대 온도가 계속 유지되고 있었기 때문에 최대 온도 도달 시 부터는 동작을 중지 시키고 초기 온도로 돌아올 때까지의 매 5초별 온도를 측정하였다. 이에 따른 센서 내 발열은 그림 3에서 확인 되듯이 PCLK이 높을수록 온도 상승의 기울기가 높아지게 되는 것을 알 수 있으며, PCLK에 비례해서 온도 상승도 가파르게 이루어지는 것을 알 수 있다. 온도 하강 시에도 상승 시와 마찬가지로 기울기가 다르게 나타나지만, 일정 초기 온도에 도달하기까지 시간은 PCLK이 높을수록 더 느려지는 것을 알 수 있다. 특히 뜨거움을 느낄 수 있는 50도 이상에 도달되는 상승 기울기는 PCLK이 높아질수록 더욱 짧은 시간 내에 도달 되므로 그만큼 SOC센서 내 열화가 나타나는데 도달되는 시간이 짧아짐을 알 수 있다.

### 3. SOC 센서 발열 특성

#### 3.1 Frequency별 발열 특성

CMOS 카메라 센서 중 SOC센서의 구성은 그림 2와

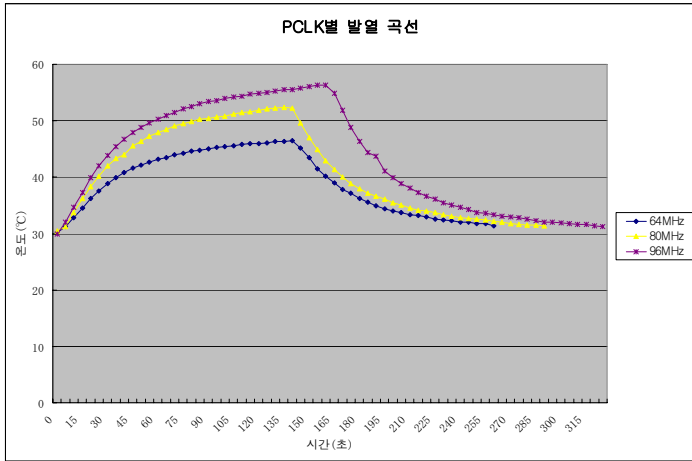


그림 3 PCLK별 발열 특성 그래프

### 3.2 DAC를 이용한 전류 제한 기법 사용한 발열 특성

위의 3.1에서 알아보았던 PCLK만을 사용하여 발열을 낮출 경우 기 동적 기법의 하드웨어 기반 방법에서 우려되었던 성능 저하를 야기 시킨다. 본 논문에서 실험한 SOC센서 내에서는 이러한 성능 저하로써 하나의 이미지를 채우는 속도인 fps(frame per second)가 현저히 떨어지게 되며, Max fps를 사용하기 위해서는 또 다른 발열을 낮추는 방법이 필요하게 된다.

$$P \propto V^2 \times f \quad (1)$$

$P = Power$

$V = Voltage$

$f = Frequency$

위의 식 (1)에서 보이듯이 발열은 전압의 제곱에 비례하고 주파수에 비례하게 된다. 하지만, SOC 카메라 내에서는 일정 전압을 전원으로 사용하게 됨으로 전압 컨트롤에 의한 방법은 사용할 수가 없게 된다. 이에 옴의 법칙을 사용하여 다시 식 (2)와 같이 정리할 수 있다.

$$P \propto (i \times r)^2 \times f \quad (2)$$

$i = Current$

$r = Resistance$

이에 DAC를 사용하여 전류 컨트롤 방식을 사용하고 자 한다. 여기서 DAC를 사용하는 목적은 원하는 일정 전류를 레지스터로 셋팅하기 위한 목적이다. 본 논문에서 실험한 3M Pixel 카메라 센서에서는 50도에 도달되는 시점부터 열화에 따른 Noise(Hot Pixel)가 심화되는 현상이 발생 되고 있었으며, 그에 따라 화질의 Color Noise가 온도에 비례해 심화 되고 있었다. 이에 CMOS 카메라 화질에 영향이 미치지 않는 범위 즉, CMOS카메라 Color Gain 증폭에 사용되는 Gain 증폭 한도 내에서

전류 증폭 한도를 레지스터로 설정하고자 한다. 본 실험에서는 50도가 넘지 않는 범위 내에서 전류를 컨트롤하기 위해 전류 증폭에 해당되는 DAC관련 레지스터를 조절하였다.

이와 관련 전류 증폭 회로인 BJT COMMON EMITTER 회로를 구성하면 그림 4와 같이 구성할 수 있다. 여기서 BJT COMMON EMITTER 회로의 NPN 트랜지스터 BASE-EMITTER간 순방향 바이어스를 활용하여 BASE와 EMITTER 단자 사이의 전압 변화에 따라 COLLECTOR와 EMITTER 단자 사이를 흐르는 전류가 변화하게 된다. 이 때 BASE단자에 연결된 작은 신호가 COLLECTOR와 EMITTER단자 사이의 인가전압에 따라 변화되게 되므로 증폭이 되게 된다.

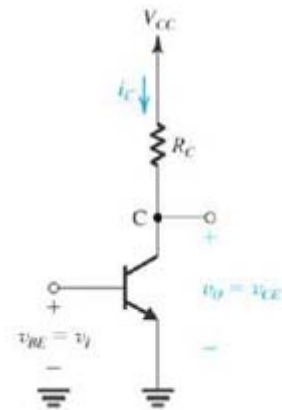


그림 4 BJT COMMON EMITTER 회로

그림 4에서 Vcc에 그림 5와 같은 DAC 출력 전원을 연결하게 되면, DAC를 통한 전류 증폭 회로를 구성할 수 있게 된다. 그림 5에서 각각의 스위치는 레지스터 셋팅을 통해 제어가 가능하며, 이와 관련 그림 4의 Vcc에 연결 시 원하는 GAIN값을 조절 할 수 있게 된다.

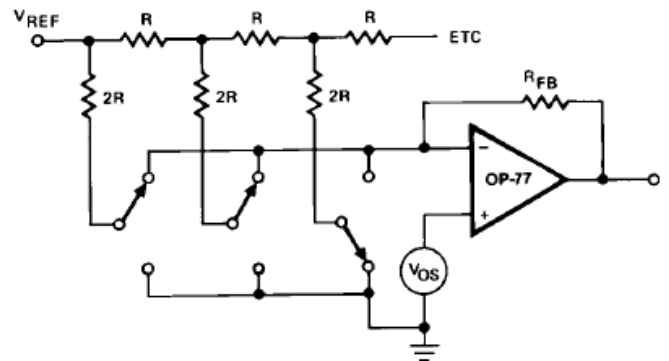


그림 5 DAC 전압 제어기

이처럼 DAC를 사용하여 레지스터 셋팅을 통해 센서 내 사용되는 전류 증폭 한도를 설정 적용했을 경우 그림 6과 같이 발열을 낮출 수 있게 되며, 이 실험 또한 그림 3의 실험에서와 마찬가지로 PCLK이 64MHz, 80MHz,

96MHz일 때 온도 상승 및 하강에 대한 연속 발열 온도를 측정된 결과를 그래프로 나타내었다. 단, 본 실험에서도 각 PCLK에서 지속 동작을 했을 경우 최대 온도에서 변화 없이 CMOS센서 내 최대 온도가 계속 유지되고 있었기 때문에 최대 온도 도달 시 부터는 동작을 중지시키고 초기 온도로 돌아올 때까지의 매 5초별 온도를 측정하였다. 여기서 사용하는 전류 증폭은 SOC센서 내 동작 전류와 Color Gain 증폭에 사용되는 전류, 센서부의 PLL(Phase Lock Loop) 전류 등에 사용된다.

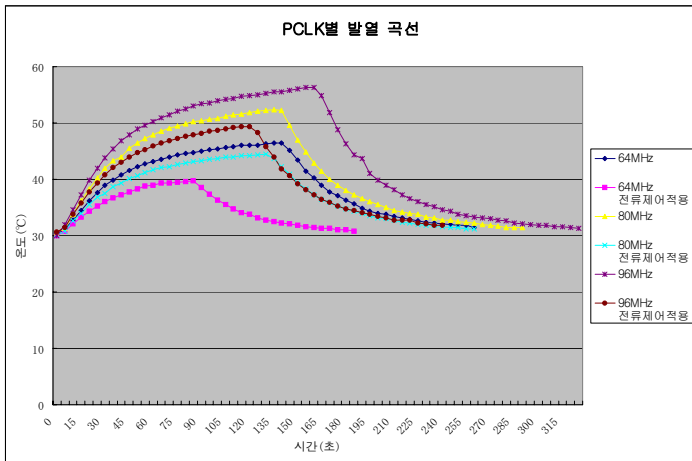


그림 6 전류 제어를 적용한 PCLK별 발열 특성

#### 4. 결 론

본 논문에서는 고속데이터를 요하는 SOC센서 내 Frequency에 따른 발열 현상 분석과 전류 컨트롤 방식을 사용하여 발열을 감쇄 시키는 방법에 대해 분석 하였다. SOC센서 및 프로세서의 성능을 높이기 위해 Frequency를 높일 수밖에 없지만, 이에 따라 발열 문제 또한 중요하므로 DAC(Digital Analog Converter)를 사용하여 전류 증폭을 열화(Hot Pixel)가 발생되지 않는 50도 이하로 컨트롤 해 발열을 줄이는 방법을 사용하였다. 이러한 발열 분석 및 해법을 통해 SOC센서 및 프로세서의 신뢰성 향상과 성능 확보를 높여 고집적 SOC프로세서의 발열 해법을 얻을 수 있을 것이다.

앞으로 더욱 High Frequency Clock을 필요로 하는 빠르고, 집적도가 높은 고해상도 SOC 센서 및 프로세서를 설계하기 위해서는 설계 초기부터 본 논문에서 제시한 바와 같은 발열 관련 대책을 더욱 정밀하게 세워야 이에 따른 Noise 및 성능 저하를 줄일 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [ 1 ] J. Kong and Sung Woo Chung, "Recent Thermal Management Techniques for Microprocessors" 정보과학회지 27권 11호, 72-79쪽, 2009년 11월.
- [ 2 ] K. Skadron, M. R. Stan, W. Huang, S. Velusamy, K. Sankaranarayanan, and D. Tarjan, 2003. Temperature-Aware Microarchitecture. In Proceedings of International Symposium on Computer Architecture (ISCA '03), 2003.
- [3] D. Brooks, M. Martonosi, "Dynamic Thermal Management for High-Performance Microprocessors," In Proceedings of International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA '01), 2001.