

# 무선 센서 네트워크에서 플래시 장치를 활용한 에너지 효율적 저장

박정규\*, 김재호<sup>o</sup>

## Energy-Efficient Storage with Flash Device in Wireless Sensor Networks

Jung Kyu Park\*, Jaeho Kim<sup>o</sup>

### 요약

본 논문에서는 WSN 환경에서 플래시 장치를 사용할 때 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 방법을 제안한다. 전형적인 플래시 장치는 높은 대기 에너지로 인해 에너지가 제한된 WSN에서 비효율적인 에너지 소모 저장 매체라는 단점을 가지고 있다. 플래시 장치를 WSN 환경에서 에너지 효율적으로 사용하기 가장 쉬운 방법은 유휴 상태일 때 플래시 장치를 끄는 것이다. 이와 관련하여 우리는 비휘발성 및 바이트 주소 지정 기능을 제공하는 새로운 메모리 기술인 NVRAM (Nonvolatile RAM)을 활용하여 높은 대기 에너지 소모 그리고 시작 지연시간을 제거함으로써 간단하지만 이상적인 접근 방식을 현실적으로 제안한다. 특히 NVRAM을 메타 데이터 저장소의 확장으로 사용하여 FTL 메타 데이터 검색 프로세스를 제거하여 앞의 두 가지 장애 요소를 해결 하고자 한다. 실험을 통해 제안하는 방법이 기존 저장장치 비해 약 1.087% 에너지 만을 사용함을 알 수 있었다.

**Key Words** : Flash memory, NVRAM, Sensor storage, Energy efficiency, Wireless sensor networks (WSNs)

### ABSTRACT

In this paper, we propose a method for efficient use of energy when using flash device in WSN environment. Typical Flash devices have a drawback to be an energy efficient storage media in the energy-constrained WSNs due to the high standby energy. An energy efficient approach to deploy Flash devices into WSNs is simply turning the Flash device off whenever idle. In this regard, we make the simple but ideal approach realistic by removing these two obstacles by exploiting nonvolatile RAM (NVRAM), which is an emerging memory technology that provides both non-volatility and byte-addressability. Specifically, we make use of NVRAM as an extension of metadata storage to remove the FTL metadata scanning process that mainly incurs the two obstacles. Through the implementation and evaluation in a real system environment, we verify that significant energy savings without sacrificing I/O performance are feasible in WSNs by turning off the Flash device exploiting NVRAM whenever it becomes idle. Experimental results show that the proposed method consumes only about 1.087% energy compared to the conventional storage device.

\* First Author : Seoul Women's University Department of Digital Media Design and Applications, smartjkipark@swu.ac.kr, 정희원

<sup>o</sup> Corresponding Author : UNIST School of Electrical and Computer Engineering, jh.kim@unist.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2017-02-041, Received February 15, 2017; Revised April 14, 2017; Accepted May 17, 2017

## I. 서 론

무선 센서 네트워크 (WSNs)에서는 로컬 비휘발성 저장 장치로 플래시 메모리를 사용하는 것에 관심이 기울어지고 있다. 플래시 메모리는 저전력, 소형 및 충격 방지 기능과 같은 많은 특징을 가지고 있기 때문이다<sup>1)</sup>. 이런 이유로 현재 사용 가능한 모든 센서 노드의 대부분은 보드 내부에 저장 장치로 플래시 메모리를 갖추고 있다. 또한 SD 및 MMC 카드와 같은 플래시 메모리 기반의 이동식 저장 장치 (이후 플래시 장치라고 함)는 무선 센서 네트워크에서 새로운 저장 장치로 고려되고 있다<sup>2,3)</sup>.

플래시 메모리는 물리적인 장점으로 인해 휴대용 디지털 장치 및 센서 노드에서 널리 사용되고 있다. 그러나 플래시 메모리 관련 시스템 소프트웨어 개발자 입장에서는 플래시 메모리의 물리적인 제약 사항으로 인해 순수 플래시 메모리를 사용하는 것이 부담이 될 수 있다<sup>4,5)</sup>. 플래시 메모리는 인플레이스 업데이트(in-place-update, 제자리 갱신)를 지원하지 않고, 제한된 수의 삭제 작업을 실행 한 후 플래시 메모리 블록이 마모되는 단점을 가지고 있다. 이러한 제한은 플래시 파일 시스템 및 FTL (Flash Translation Layer)과 같은 추가 시스템 소프트웨어 계층의 도움으로 해결이 가능하다<sup>4,11,12)</sup>. 그러나 센서 노드 개발자가 플래시 메모리 칩 차제를 제한된 센서 노드에 사용하기 위해서는 추가 소프트웨어 계층을 개발해야 한다<sup>6)</sup>.

순수 플래시 메모리 대신 플래시 저장 장치를 사용하는 것이 플래시 메모리의 한계를 고려하지 않고 플래시 메모리의 장점을 즐길 수 있는 솔루션이 될 수 있다<sup>3)</sup>. 플래시 장치는 내부적으로 플래시 메모리의 제약 조건을 숨기는 소프트웨어 계층인 FTL을 포함하고 있기 때문에 플래시 장치를 사용하는 센서 노드는 플래시 메모리의 한계에 관심을 가질 필요가 없다. 그러나 에너지 효율성의 관점에서 플래시 장치는 에너지가 제한된 무선 센서 네트워크에서 도입하기 어려울 수 있다. 플래시 장치에서 시스템 소프트웨어인 FTL을 구동하기 위해서 마이크로 컨트롤러와 SRAM은 플래시 메모리와 함께 장착된다. 이러한 추가 구성 요소는 I/O 유휴 상태에 관계없이 지속적으로 전력을 소비하므로 플래시 장치는 순수 플래시 메모리에 비해 무시할 수 없는 대기 에너지를 소비한다<sup>2,13)</sup>.

무선 네트워크 환경에서 플래시 장치를 도입할 때 에너지 효율성을 제공할 수 있는 가장 쉬운 방법은 플래시 장치를 사용하지 않을 때 장치를 끄는 것이다.

그러나 현재 플래시 디바이스는 긴 시동 지연뿐만 아니라 높은 시동 에너지를 소비하기 때문에 이 단순하지만 이상적인 접근법은 현실적인 솔루션이 될 수 없다.

이와 관련하여 비휘발성 및 바이트 주소 지정 기능을 제공하는 새로운 메모리 기술인 NVRAM (Nonvolatile RAM)을 사용하여 이러한 두 가지 문제를 제거할 수 있기 때문에 단순하지만 이상적인 접근 방식을 현실적으로 만들 수 있다. 본 논문에서는 NVRAM을 활용하여 플래시 장치가 유휴 상태일 때 장치를 끄므로 해서 무선 네트워크 환경에서 I/O 성능을 희생하지 않고도 상당한 에너지를 절감할 수 있는 방법을 제안한다.

이 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성하였다. 다음 II 장에서는 플래시 디바이스를 무선 네트워크에서 에너지 효율적인 스토리지로 사용할 수 있는 방법을 소개한다. III 장에서는 먼저 소프트웨어 구현과 하드웨어 설정에 대해 설명하고 실험 결과에 대해 논의한다. IV 장에서는 이 연구와 관련된 이전 연구를 설명한다. 마지막으로, V 장에서는 향후 연구를 위한 요약과 방향으로 결론을 맺는다.

## II. 무선 네트워크 환경에서 플래시 장치의 효율적인 에너지 관리

플래시 장치는 유휴 상태에서도 내부 장치의 관리를 위해 무시할 수 없는 대기 전력을 소비한다. 무선 네트워크 환경에서 플래시 장치를 도입할 때 에너지 효율성을 제공하는 가장 쉬운 방법은 I/O 요청이 없을 때 플래시 장치를 끄는 것이다. 그림 1은 플래시 장치에서 낭비되는 유휴 전력을 절약하는 방법을 설명하고 있다. I/O 요청이 없을 때 상당히 많은 유휴 전원을 소비하는 플래시 장치는 그림 1(a)와 같이 전원을 꺼야 한다. 센서 노드에서 I/O 요청이 있을 때 대부분의 저장 장치는 유휴 상태에 있을 수 있다. 센서 노드에서 I/O 발생하면 그림 1(b)와 같이 플래시 장치는 바로 전원이 켜지고 즉시 I/O 요청을 처리해 주어야 한다. 그림 1(c)와 같이 센서 노드에서 I/O 요청이 완료된 후 플래시 장치의 전원을 바로 끄게 된다.

그림 1에 제시된 방법이 무선 센서 네트워크에서 유휴 에너지 효율을 극대화 할 수 있다고 해도 두 가지 문제를 해결해야 한다. 첫 번째 문제는 현재 플래시 장치가 시동 과정에서 상당한 에너지 소비를 필요로 한다는 것이다. 예로 히타치 MMC의 경우 카드가 처음 시작될 때 1,130 $\mu$ J의 에너지를 사용한다. 이것은 2,000 바이트 쓰기 또는 20,000 바이트의 읽기를

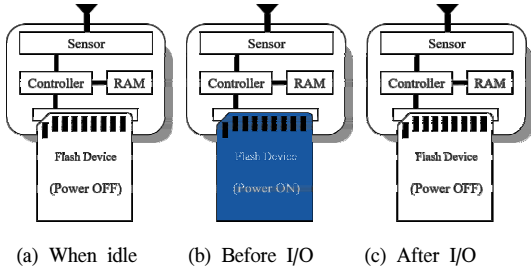
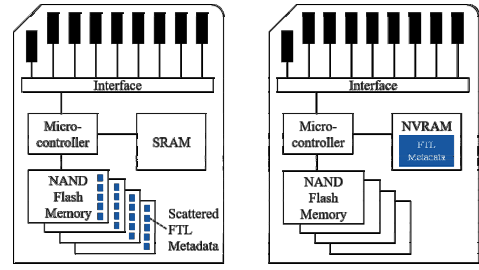


그림 1. 제안하는 센서 노드의 블록 다이어그램  
Fig. 1. Block diagram of the proposed sensor node

할 수 있는 에너지를 의미한다<sup>[2]</sup>. 두 번째 문제는 현재 플래시 장치가 장착된 장비가 처음 켜졌을 때 플래시 장치의 시작 지연시간이 크다는 것이다. 예로 FTL이 빠른 초기화를 위해서 최적화 되어 있다고 해도 16GB 플래시 장치의 시작 시간이 최소 2.621 초가 측정되었다<sup>[6]</sup>.

플래시 장치의 전원이 켜지면 일반 FTL은 플래시 메모리의 모든 페이지 또는 블록을 스캔하여 플래시 메모리 여러 곳에 흩어져 있는 메타 데이터를 수집해야 한다. 이 작업을 통해서 FTL은 주소 매핑 테이블과 여유 공간을 위한 FTL 메타 데이터 정보를 작성할 수 있다<sup>[7]</sup>. 이와 같은 FTL 메타 데이터 검색 작업은 플래시 메모리에서 아주 많은 페이지 읽기 작업을 발생시킨다. 페이지 읽기 작업으로 인해 추가 시작 에너지가 필요하게 되고 시작 시간이 지연된다. 이 관찰 결과로 볼 때 플래시 장치를 켜고 끌 때 데이터가 이상이 없도록 검색 작업은 삭제되거나 최소한으로 줄여야 한다.

검색 프로세스를 단순화하는 데는 여러 가지 방법이 있을 수 있지만 본 논문에서는 NVRAM (Nonvolatile RAM)을 사용하여 시간과 에너지를 많이 소비하는 작업을 완전히 제거하는 방법을 제안한다. PCM, FeRAM 및 MRAM과 같은 NVRAM은 비휘발성 및 비트 주소 지정 기능을 제공하는 차세대 메모리 기술이다. 최근에는 임베디드 시스템 분야의 여러 연구에서 NVRAM을 사용하여 I/O 성능을 향상시키는 방법이 진행되고 있다. 본 연구에서는 FTL 메타 데이터 검색 작업을 제거하기 위해 NVRAM을 메타 데이터 저장소로 사용하고자 한다. 특히, 그림 2와 같이 FTL 메타 데이터 정보를 플래시 메모리에 유지하는 대신 NVRAM 한곳에 저장한다. 그림 2(a)는 일반적인 플래시 장치는 내부에서 메타 FTL 데이터를 플래시 메모리 여러 곳에 나누어 저장하는 것을 표시한다. 그림 2(b)는 NVRAM에 FTL 메타 데이터를 모아서 저장하는 모습을 표시하고 있다. 그림 2(b)



(a) Typical (b) Before I/O After I/O

그림 2. 플래시 장치 내부 (a) 일반 플래시 장치 (b) NVRAM을 사용하는 플래시 장치  
Fig. 2. Internals of Flash devices (a) before and (b) making use of NVRAM

와 같이 FTL 메타 데이터 정보를 NVRAM에 저장하여 플래시 장치 시작시 FTL 메타 데이터를 취합하는 추가 시작 에너지 및 시작 지연 시간을 제거할 수 있다.

### III. 실험평가

제안하는 방법의 타당성 조사를 위해 FTL 메타 데이터 검색 작업을 하지 않는 FTL을 리눅스에서 구현하고 실제 환경에 평가 하였다. 평가는 에너지와 초기 지연시간 측면에서 수행하였다. 그런 다음 무선 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율성을 위해 플래시 장치를 켜고 끌 때 영향을 추정하였다.

#### 3.1 구현 및 실험 환경

추가 시작 에너지 및 긴 시작 시간을 필요로 하지 않는 플래시 장치의 실현 가능성을 보여주기 위해 모든 FTL 메타 데이터를 NVRAM 에 유지 및 관리하는 FTL을 리눅스 커널 2.6.21에 구현 하였다. 이후 설명을 쉽게 하기 위해 구현한 FTL을 MiNV-FTL (Metadata in NVram FTL) 으로 부른다. MiNV-FTL을 구현하기 위해 이전에 제안되었던 일반적인 Log-mapped FTL (Log-FTL)을 먼저 구현 하였다<sup>[7]</sup>. 그 다음 NVRAM에 있는 Log-FTL 메타 데이터를 위한 메모리 데이터 구조를 할당하는 MiNV-FTL을 구현 하였다.

실험을 위해서 두 FTL 모두 NVRAM 유형 인 FeRAM이 장착 된 실제 임베디드 시스템 개발 보드에 적용하였다. 모든 평가에서 FTL은 32MB의 NAND 플래시 메모리 파티션을 마운트 하였고, 최대 NVRAM 사용량은 17.5KB 이다. 이때 NVRAM의 사용량은 마운트된 플래시 메모리 용량에 비례한다.



그림 3. 에너지 측정을 위한 임베디드 보드  
Fig. 3. Embedded board for energy measuring

NVRAM은 물리적 메모리 주소 공간에 표시되며 메모리 매핑 주소 지정을 통해 CPU에서 직접 접근할 수 있다.

### 3.2 에너지 측정

그림 3과 같이 에너지 측정을 위해서 PXA255 엑스스케일 프로세서를 장착한 임베디드 보드를 제작하였다. 보드는 비휘발성 메모리인 FeRAM 64MB를 장착할 수 있으나 본 실험에는 32MB만 장착하여 사용하였다. 실험을 위해서 보드에 리눅스를 포팅하였고 장치를 켜고/끄 수(on/off) 있는 프로그램을 구현하였다. on/off 프로세스는 리눅스에 있는 STR (Suspend-To-Ram) 기능을 활용하였다. 리눅스는 ACPI (Advanced Configuration and Power Interface) S3 상태를 사용하고 있다. 또한 실제 에너지 소비효율을 측정하기 위해서 각 보드에 소비/대기전력 측정기인 HPM-300A을 연결하여 장치가 켜지고 꺼질 때 소비 전력을 측정하였다.

### 3.3 결과

모든 실험은 플래시 장치의 시작 에너지 및 시간 지연에 대한 FTL 메타 데이터 검색 작업의 효과를 확인하기 위해 실행하였다. 이를 위해 MiNV-FTL과 Log-FTL의 시작 에너지와 시간 지연을 비교 하였다. 실험에서는 플래시 장치 시작 과정을 위한 FTL 초기화에 중점을 두고 있다. 그 이유는 FTL의 초기 작업이 플래시 장치의 전체 시작 과정(시간과 에너지)에 영향을 주기 때문이다<sup>6,8)</sup>. 실험 결과는 표 1에 요약하였다.

표 1에 요약한 것과 같이 MiNV-FTL은 플래시 메모리의 시작 과정에서 추가 에너지를 요구하지 않는다. 그러나 Log-FTL는 플래시 메모리 시작 과정에서 약 3,496μJ의 에너지를 사용한다. 표 1의 에너지는 수

표 1. 플래시 장치의 시작 에너지와 시간 지연  
Table 1. Start-up energy and time delay of Flash devices

	Log-FTL	MiNV-FTL
Number of read operations	8,830	0
Energy consumption (μJ)	3,496	0
Time delay	1,370	63

식 (1)을 사용하여 계산하였다.

$$E_{startup} = N_{r-startup} \times E_r \quad (1)$$

시작 에너지 ( $E_{startup}$ )가 FTL 메타 데이터 검색 과정의 읽기 작업에 의해 영향을 받는다. 수식 (1)은 플래시 장치를 시작할 때 발행 된 읽기 작업 수 ( $N_{r-start}$ )만 고려한다. 본 논문에서는 읽기 ( $E_r$ ), 쓰기 ( $E_w$ ) 및 소거 ( $E_e$ ) 동작에 의해 소비되는 에너지를 각각 0.396 μJ, 6.6μJ 및 66μJ로 구성하였다<sup>9)</sup>. 시간 지연 관점에서, MiNV-FTL은 전원이 꺼진 상태에서 63ms 이내에 서비스 할 수 있었고 Log-FTL은 플래시 메모리에서 FTL 메타 데이터를 스캔하는 데 약 1,370ms가 필요하다는 것을 관찰하였다. 이 결과를 통해 MiNV-FTL을 기반으로 한 플래시 장치는 시작을 위한 추가 에너지가 거의 또는 전혀 필요 없음을 알 수 있다. 또한 유휴 상태 일 때마다 플래시 장치를 꺼도 응답 시간 측면에서 I/O 성능을 희생하지 않는다. 그 이유는 NVRAM이 장착 된 플래시 장치는 전원이 꺼진 상태에서 I/O 요청이 발생해도 수십 밀리 초 이내에 서비스가 가능하기 때문이다.

MiNV-FTL을 사용하는 플래시 디바이스를 도입하고 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 위해 유휴 플래시 장치를 끄는 효과를 검증하기 위해 실험을 수행하였다. 또한 무선 센서 네트워크 환경에서 데이터 로깅을 고려하는 실험을 하였다. 센서 노드는 주변에서 측정된 데이터를 128Bps (Bytes/s)의 속도로 수집한다. 512Bytes의 측정된 데이터를 RAM에 버퍼링할 때 센서 노드는 데이터를 Log-FTL 또는 MiNV-FTL로 관리되는 플래시 메모리로 플러시 한다. 앞의 가정으로 10분 동안 실험 했을 때 읽기, 쓰기 및 삭제를 측정하였다. 측정된 내용을 기반으로 에너지 소비를 예측할 수 있다. 에너지 소비는 다음 수식을 사용하여 계산할 수 있다.

$$E_{active} = N_r \times E_r + N_w \times E_w + N_e \times E_e \quad (2)$$

$$E_{idle} = T_{idle} \times P_{idle} \quad (3)$$

$$E_{total} = E_{startup} \times N_{startup} + E_{active} \times E_{idle} \quad (4)$$

수식 1~3에서  $E_{startup}$ ,  $E_{active}$  및  $E_{idle}$ 은 각각 플래시 장치가 시작, 활성 및 유휴 상태 일 때 소비되는 에너지를 나타내고  $E_{total}$ 은 실험 중에 소비 된 총 에너지를 의미한다. 수식 3에서  $T_{idle}$  및  $P_{idle}$ 은 각각 실험하는 동안의 유휴 시간과 유휴 파워 소모를 의미한다.

표 2는 실험 중에 플래시 장치가 소비한 에너지를 표시하고 있다. 표 2에서 Log-FTL-ON은 Log-FTL을 기반으로 한 플래시 장치가 유휴 상태와 관계없이 항상 전원이 켜져 있음을 나타낸다. Log-FTL-OFF 및 MiNV-FTL-OFF는 각각 Log-FTL 및 MiNV-FTL을 기반으로 하고 각 플래시 장치가 유휴 상태가 될 때마다 전원이 꺼지고 필요할 때 전원이 켜지는 것을 의미한다. Log-FTL-ON을 사용하는 플래시 장치의 유휴 전력 (Pidle)은 Mathur et al.의 논문에서 측정 된 MMC 카드 대기 전류 인  $3.3V \times 84\mu A$ 에서  $277.2\mu W$ 로 구성하였다.<sup>[2]</sup>

표 2에서 MiNV-FTL-OFF는 활성 I/O 시간 (0.174136 초) 동안 활성 유효 전력 ( $33,000\mu W$ ) 만 소모한다. MiNV-FTL-OFF와 비교하여 Log-FTL-ON 및 Log-FTL-OFF는 각각 추가 유휴 에너지와 시작 에너지를 소비하는 것을 알 수 있다. Log-FTL-ON은 유휴 기간 동안 유휴 전력을 소모하므로 활성 에너지에 비해 유휴 상태 일 때 약 29 배 더 많은 에너지를 소비한다. Log-FTL-OFF는 600 초의 실험 동안 초당 4 회 속도로 플래시 장치의 전원을 켜고 끄기 때문에 플래시 장치 시작에 상당한 추가 에너지가 필요하다. 이 결과로부터 유휴 시 MiNV-FTL을 기반으로 하는 플래시 장치를 끄면 무선 센서 노드의 유휴 에너지 낭비를 최소화 할 수 있을 것임을 할 수 있다. 특히, MiNV-FTL-OFF는 Log-FTL-ON 비해서 3.351%, Log-FTL-OFF에 비해서 1.087% 만의 에너지의 소비한다.

표 2. 플래시 장치가 활성화, 유휴, 시작 되었을 때 에너지 소비량  
Table 2. Energy consumed by Flash devices when active, idle, and started up (unit:  $\mu J$ )

	Log-FTL-ON	Log-FTL-OFF	MiNV-FTL-OFF
Active	5,766	5,766	5,766
Idle	166,272	0	0
Start-up	0	524.502	0
Total	172.038	530,268	5,766

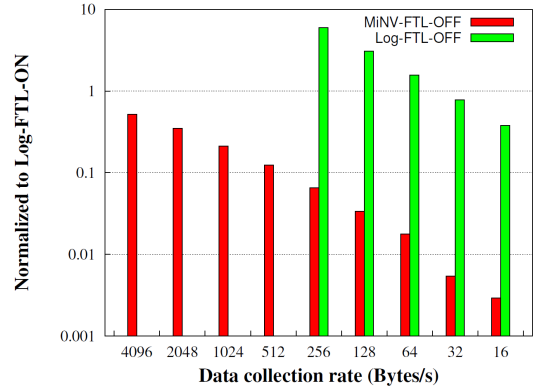


그림 4. 무선 센서 네트워크 환경에서 데이터 수집 비율에 따른 플래시 메모리의 에너지 소비량  
Fig. 4. Energy consumed by Flash devices for the various data collection rates in WSNs

데이터 수집 속도를 4,096Bps에서 16Bps 까지 변화를 주면서 앞과 같은 실험을 수행하였다. 실험을 통해 유휴 시간의 기간과 I/O 요청 빈도가 MiNV-FTL-OFF의 에너지 절감에 미치는 영향을 조사하였다. 그림 3은 플래시 장치를 켜는 때 전체 에너지 절감 효과를 보여 준다. x 축은 데이터 수집 속도를 나타내고 y 축은 Log-FTL-ON에 대한 에너지 소비를 표준화 한 것이다.

그림 4는 데이터 수집 속도가 감소함에 따라 Log-FTL-OFF에 비해서 MiNV FTL-OFF의 에너지 효율이 증가 함을 표시한다. 플래시 장치의 시작 작업의 수가 감소함에 따라 Log-FTL-OFF의 에너지 효율이 높아진다. 데이터를 측정하는 노드의 대부분 시간이 유휴 상태가 되면 Log-FTL-OFF에 비해 MiNV-FTL-OFF의 에너지 절감 효과가 낮아질 수 있다. 그러나 각 유휴 시간이 시작 시간 지연보다 짧아지면 Log-FTL-OFF가 실행 불가능함을 알 수 있다. 데이터 수집 속도가 256Bps보다 클 때 Log-FTL-OFF는 전원이 꺼진 상태에서 I/O 요청을 처리할 없을 정도로 I/O 요청이 자주 발행하게 된다. 그래서 그림 4에서 데이터 수집 속도가 256Bps보다 높을 때 Log-FTL-OFF의 결과를 제외하였다. 이 실험을 통해 I/O 요청이 자주 발생하지만 플래시 장치가 대부분 유휴 상태 인 무선 네트워크 환경에서 우리가 제안하는 방법이 유용함을 알 수 있었다.

#### IV. 관련 연구

무선 센서 네트워크 환경에서 스토리지 에너지를 보존하는 많은 연구가 이루어졌다<sup>[2,12,14]</sup>. 특히,

Mathur et al.은 무선 센서 네트워크 환경에서 초 저전력 데이터 스토리지에 적합한 플래시 미디어에 대해서 연구하였다<sup>[2]</sup>. Nath는 플래시 메모리 인식 압축 알고리즘을 사용하는 FlashLogger라는 에너지 효율적인 센서 데이터 로깅 시스템을 제안하였다<sup>[10]</sup>. 그러나 앞의 연구들은 무선 센서 네트워크 환경에서 대기 전력을 줄이고자 하는 우리의 연구와 명확히 다르다.

NVRAM 활용하는 것을 플래시 장치의 시작 시간을 단축시키는 새로운 아이디어는 아니다. Doh 등이 제안한 MiNVFS NVRAM에 모든 파일 시스템 메타데이터를 유지하면서 파일 데이터를 플래시 메모리에 저장한다<sup>[11]</sup>. Yoon et al.은 플래시 메모리와 NVRAM으로 구성된 카멜레온 SSD (Solid State Disk)를 제안한다<sup>[6]</sup>. 이 작업에서는 시동 시간을 늘리기 보다는 시동 과정에서 추가 에너지 절감에 중점을 두고 있다. 또한 우리는 플래시 장치를 무선 네트워크 환경에서 에너지 효율적인 저장 매체로 고려하고 있기 때문에 이전 연구와 차별화 하고 있다.

## V. 결 론

본 연구는 플래시 장치가 유휴 상태일 때 전원을 차단하여 무선 네트워크 환경에서 에너지 효율성을 향상시키고자 하였다. 이러한 목표를 달성하기 위해 센서 노드에 저장 장치로 플래시 장치를 사용하는 것을 가정하고 센서 노드의 전체 에너지 절감 위해 플래시 장치를 효율적으로 켜고 끄는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법을 구현하기 위해 비휘발성 RAM을 활용하여 플래시 장치의 FTL을 구현하였다. 이 FTL을 사용하여 추가 시작 에너지와 시간 지연 없이 플래시 장치를 켜고/끄 수 있었다. 또한 실제 임베디드 시스템 환경에서 구현 및 평가를 통해 무선 센서 네트워크에서 플래시 장치로 낭비되는 유휴 에너지를 최소화 하는 것이 가능하다는 것을 검증하였다.

## References

[1] G. Lawton, "Improved flash memory grows in popularity," *J. IEEE Computer*, vol. 39, no. 1, pp. 16-18, Jan. 2006.

[2] G. Mathur, P. Desnoyers, D. Ganesan, and P. Shenoy, "Ultra-low power data storage for sensor networks," *J. ACM Trans. Sensor Networks (TOSN)*, vol. 5, no. 4, Nov. 2009.

[3] T. Istomin, A. L. Murphy, G. P. Picco, and U.

Raza, "Data Prediction + Synchronous Transmissions = Ultra-low power wireless sensor networks," in *Proc. 14th Int. Conf. Embedded Networked Sensor Syst.*, pp. 83-95, CA, USA, Nov. 2016.

- [4] E. Gal and S. Toledo, "Algorithms and data structures for flash memories," *J. ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 37, no. 2, pp. 138-163, Jun. 2005.
- [5] N. Tsiftes, A. Dunkels, Z. He, and T. Voigt, "Enabling large-scale storage in sensor networks with the coffee file system," in *Proc. IPSN*, pp. 349-360, San Francisco, USA, Apr. 2009.
- [6] J. H. Yoon, E. H. Nam, Y. J. Seong, H. Kim, B. S. Kim, S. L. Min, and Y. Cho, "Chameleon: A high performance Flash/FRAM hybrid solid state disk architecture," *J. IEEE Computer Architecture Lett.*, vol. 7, no. 1, pp. 17-20, May 2008.
- [7] J. Kim, J. M. Kim, S. H. Noh, S. L. Min, and Y. Cho, "A space-efficient flash translation layer for compact flash systems," *J. IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 48, no. 2, pp. 366-375, May 2002.
- [8] SanDisk, *Secure Digital Card Product Manual*, Rev. 2.2, 2004.
- [9] Samsung NAND Flash Memory Datasheet (K9F1208U0M), Retrieved Sept. 30, 2016, from [http://www.reinerziegler.de/ique/ds\\_k9f1208u0m.pdf](http://www.reinerziegler.de/ique/ds_k9f1208u0m.pdf).
- [10] S. Nath, "Energy efficient sensor data logging with amnesic flash storage," in *Proc. IPSN*, pp. 157-168, San Francisco, USA, Apr. 2009.
- [11] I. H. Doh, J. Choi, D. Lee, and S. H. Noh, "Exploiting non-volatile RAM to enhance flash file system performance," in *Proc. 7th ACM & IEEE Int. Conf. Embedded Softw.*, pp. 164-173, Salzburg, Austria, Sept. 2007.
- [12] H. Li and S. Hwang, "An efficient page-level mapping algorithm for handling write requests in the flash translation layer by exploiting temporal locality," *J. KICS*, vol. 41, no. 12, pp. 1167-1176, Dec. 2016.
- [13] S. Hong and C. Lin, "Design of a



multi-protocol gateway system based on low power wireless communications,” *J. KICS*, vol. 40, no. 10, pp. 2006-1013, Oct. 2015.

- [14] J. Hong, J. Kwon, M. Kwon, and H. Park, “Compressed sensing based low power data transmission systems in mobile sensor networks,” *J. KICS*, vol. 41, no. 11, pp. 1589-1597, Nov. 2016.

**김 재 호 (Jaeho Kim)**



2009년 2월 : 서울시립대학교  
컴퓨터공학과 석사 졸업  
2015년 2월 : 서울시립대학교  
컴퓨터공학과 박사 졸업  
2015년 10월~현재 : UNIST  
전자컴퓨터공학부

<관심분야> 스토리지 시스템, 운영체제, 컴퓨터구조

**박 정 규 (Jung Kyu Park)**



2002년 2월 : 홍익대학교 컴퓨  
터공학과 석사 졸업  
2013년 8월 : 홍익대학교 컴퓨  
터공학과 박사 졸업  
2017년 3월~현재 : 서울여자대  
학교 디지털미디어 학과

<관심분야> 운영체제, 임베디드 시스템, 로보틱스