

SLC/MLC 혼합 플래시 메모리를 이용한 하이브리드 하드디스크 설계

(Designing Hybrid HDD using SLC/MLC combined Flash Memory)

홍 성 철 † 신 동 군 ††

(Seongcheol Hong) (Dongkun Shin)

요 약 최근 플래시 메모리 기반 비휘발성 캐시가 저장 장치의 성능과 전력 소모 측면에서 효과적인 해법으로 떠오르고 있다. 비휘발성 캐시로 저장장치의 성능을 향상시키고 전력 소모를 줄이기 위해, 가격이 싸고 용량이 큰 multi-level-cell (MLC) 플래시 메모리를 사용하는 것이 좋다. 그러나 MLC 플래시 메모리의 수명은 single-level-cell (SLC) 플래시 메모리보다 훨씬 짧기 때문에 전체 저장장치의 수명이 짧아질 수 있다. 이러한 약점을 최소화하기 위해 SLC 플래시 메모리와 MLC 플래시 메모리를 결합한 형태의 비휘발성 캐시를 고려해볼 수 있다. 본 논문에서는 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리를 버퍼로 사용하는 새로운 하이브리드 하드디스크 구조를 제안한다.

키워드 : SLC/MLC 혼합 플래시 메모리, 하이브리드 하드디스크

Abstract Recently, flash memory-based non-volatile cache (NVC) is emerging as an effective solution to enhance both I/O performance and energy consumption

· 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(No. 2010-0010387)

· 이 논문은 제36회 추계학술발표회에서 'SLC/MLC 혼합 플래시 메모리를 이용한 하이브리드 하드디스크 설계'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 성균관대학교 정보통신공학부
adonis0101@skku.edu

†† 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수
dongkun@skku.edu

논문접수 : 2009년 12월 24일

심사완료 : 2010년 3월 30일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제7호(2010.7)

of storage systems. To get significant performance and energy gains by NVC, it would be better to use multi-level-cell (MLC) flash memories since it can provide a large capacity of NVC with low cost. However, the number of available program/erase cycles of MLC flash memory is smaller than that of single-level-cell (SLC) flash memory limiting the lifespan of NVC. To overcome such a limitation, SLC/MLC combined flash memory is a promising solution for NVC. In this paper, we propose an effective management scheme for heterogeneous SLC and MLC regions of the combined flash memory.

Key words : SLC/MLC combined flash memory, Hybrid Hard Disk

1. 서 론

낸드 플래시 메모리는 좋은 이동성, 적은 전력소모, 빠른 랜덤 액세스 성능 때문에 여러 가전제품에서 널리 쓰이고 있다. 최근에는 여러 개의 낸드 플래시 메모리를 내장하고 있는 SSD(Solid State Disk)가 등장하여 하드디스크(HDD)를 대체할 새로운 보조저장장치로 부상하고 있다. 그러나 SSD는 HDD보다 가격이 수십 배 비싸며 아직은 대용량 제품을 만들기가 힘든 문제점이 있다. 또한, SSD의 성능이 많이 개선되었지만 랜덤 쓰기 요청의 경우에 좋은 성능을 보이지 못하는 경우가 많다.

이러한 HDD와 낸드 플래시 메모리의 상호 보완적인 특징들은 이 두 장치를 결합한 하이브리드 하드디스크 개발의 모티브가 되었다. 일반적인 하이브리드 하드디스크는 하드디스크와 낸드 플래시 메모리, 디램이 결합된 형태이다. 낸드 플래시 메모리를 하드디스크의 비휘발성 버퍼로 사용함으로써 랜덤 접근 속도를 향상시키고, 테이터를 플래시 버퍼에 기록하는 동안은 하드디스크를 저전력 모드로 동작시킬 수 있기 때문에 하드디스크의 전력소모를 크게 감소시킬 수 있다.

낸드 플래시 메모리에는 SLC와 MLC의 두 가지 타입이 있다. SLC 플래시 메모리는 빠르고 수명이 긴 반면 가격이 비싸고, MLC 플래시 메모리는 상대적으로 느리고 수명이 짧지만 용량이 커지기 때문에 가격이 싸다. 만약에 하이브리드 하드디스크에 SLC를 사용한다면, 같은 가격의 MLC를 사용했을 때보다 메모리 자체의 속도는 조금 더 빨라지지만 버퍼의 용량이 작아지기 때문에 하드디스크에 더 자주 접근하게 되어 응답 시간과 전력 소모가 각각 늘어나게 될 것이다. 반면에 MLC를 사용한다면, 응답시간과 전력소모 측면에서는 유리하지만 하이브리드 하드디스크의 수명이 짧아질 수 있다.

이러한 SLC와 MLC 낸드 플래시 메모리의 약점을 최소화하기 위해 SLC 플래시 메모리와 MLC 플래시 메모리를 결합한 형태의 비휘발성 캐시를 고려해볼 수 있

다. 이러한 구성은 별도의 SLC 칩과 MLC 칩을 이용하여 구성할 수도 있고, 하나의 플래시 칩에서 각 블록을 SLC 또는 MLC로 설정하여 구성할 수도 있다. 이와 같은 플래시 메모리 칩에서는 SLC와 MLC 두 영역의 크기에 따라 전체 플래시 메모리의 용량이 바뀐다.

본 논문에서는 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리를 버퍼로 사용하는 새로운 하이브리드 하드디스크 구조를 제안한다. 그리고 제안한 구조에서 SLC와 MLC의 비율 변화에 따라 성능, 수명, 전력 소모가 어떤 변화를 보이는 지 조사하여 최적의 SLC/MLC 비율을 선택할 수 있는 기준을 제시한다. 또한 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리를 사용하는 하이브리드 하드디스크에서 생각해 볼 수 있는 다른 데이터 관리 정책들을 열거하고, 제안한 아키텍처의 정책이 성능, 수명, 전력 소모 면에서 다른 기법에 비해 우수하다는 것을 보인다.

2. 관련 연구

2.1 하이브리드 하드디스크

최근에 낸드 플래시 메모리를 하드디스크의 캐시처럼 사용하는 기법에 관한 많은 연구들이 진행되어 왔다[1,2]. 인텔의 터보 메모리[1]는 메인 보드에 플래시 메모리를 탑재하여 일반 하드디스크의 캐시처럼 사용하는 기술이다. 보드 내부의 플래시 메모리에 부팅 시 메모리로 복사되는 코드나 자주 접근되는 데이터를 저장하여 시스템의 성능을 향상시키고, 전력 효율을 높여준다.

Kim[2]은 데이터 고정 기법을 사용하는 하이브리드 하드디스크를 제안하였다. 이것은 플래시 메모리를 고정 구역, 비고정 구역으로 나누어 자주 사용되는 데이터 블록들을 고정 구역에 넣음으로써 낸드 플래시 메모리에 더 오래 머물게 한다. 이 방법으로 기존의 하드디스크에 비해 소비 전력을 줄이고, 입출력 성능을 향상시킨다.

위에서 설명한 기존 연구들은 모두 하드디스크의 외부 혹은 내부에 한 가지 타입의 플래시 메모리를 두어 디스크의 캐시처럼 사용한다. 반면에 본 논문은 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리를 디스크의 캐시로 사용한다는 차이점이 있다.

2.2 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리

Park[3]은 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리를 위한 FTL을 제시하였다. 자주 접근되는 핫 데이터(hot data)는 SLC영역에, 자주 접근되지 않는 콜드 데이터(cold data)는 MLC영역에 저장하여 효과적으로 SLC/MLC 혼합 플래시 메모리를 관리하고자 했다. 또한 Im[4]은 SLC영역은 로그 블록으로, MLC영역은 데이터 블록으로 사용하는 새로운 FTL을 제안하였다.

앞서 설명한 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리 관리기법들은 플래시 메모리만 사용하는 저장장치의 관

점인 반면, 본 논문은 하드디스크의 캐시로서 디스크로의 접근을 최대한 줄이는 것에 초점을 맞추고 있다. 즉, SLC를 핫, MLC를 콜드 영역으로 구분하기 보다는 SLC를 MLC보다 상위의 캐시로 사용하여, 데이터가 플래시 메모리에 더 오래 머물 수 있도록 한다. 또한 SLC와 MLC의 비율 변화가 성능, 수명, 전력소모 등에 미치는 영향을 고려한다.

3. SLC/MLC 혼합 하이브리드 하드디스크의 구조

그림 1은 제안하는 하이브리드 하드디스크의 전체 구조를 나타낸다. 먼저 호스트 인터페이스에서 입출력 요청이 하이브리드 하드디스크의 컨트롤러로 전달된다. 컨트롤러는 디램, 플래시 메모리, 하드디스크 등 모든 장치들을 제어하고, 해당 논리 블록 주소(LBA, Logical Block Address)에 대한 요청이 실제로 어디로 전달되어야 할지를 결정한다.

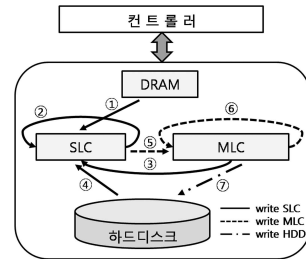


그림 1 하이브리드 하드디스크의 구조 및 데이터 이동

읽기 요청이 발생하면, 컨트롤러는 요청된 블록이 어느 장치에 있는지 알아내기 위해 디램, 플래시 메모리, 하드디스크의 순서로 검색한다. 만일 디램에서는 miss가 발생하고 해당 데이터가 SLC에 있으면 컨트롤러는 해당 블록을 디램으로 복사하며, MLC나 하드디스크에 있는 경우에는 시간적 지역성(temporal locality)을 고려하여 디램뿐만 아니라 SLC에도 복사해 둔다.

쓰기 요청이 발생하면, 데이터는 우선 디램에 기록되었다가 백그라운드로 플래시 메모리의 SLC 영역에 기록된다. 그림 1의 화살표와 번호는 제안한 하이브리드 하드디스크 내부의 데이터 이동을 나타낸 것이다.

- ① DRAM에서 SLC로 플러시
- ② SLC 내부 이동: 만일 SLC영역이 90% 이상 채워지면 가비지 컬렉션을 하는 데, 무효 페이지가 많은 경우, 오래된 유효페이지를 SLC 영역의 다른 곳으로 보낸다.
- ③ MLC에서 SLC로 이동: MLC에서 hit가 발생한 경우에 해당 블록을 SLC에 기록한다. 이는 시간적 지역성 즉, 곧 다시 접근될 가능성을 고려하여 해당 블록이

- 플래시 메모리에 더 오래 머물도록 하기 위한 것이다.
- ④ HDD에서 SLC로 복사: 읽고자 하는 블록이 하드디스크에 있는 경우, 해당 블록을 SLC에 복사한다. 이 또한 ③과 같은 이유로 시간적 지역성을 고려한 것이다.
 - ⑤ SLC에서 MLC로 이동: 가비지 컬렉션 시, 무효 페이지가 적어 빈 공간을 확보하기 어려우면, 접근된 지 오래된 콜드 데이터를 MLC로 보낸다.
 - ⑥ MLC 내부 이동: 만일 MLC영역이 90% 이상 채워지면 가비지 컬렉션을 하는 데, 무효 페이지가 많은 경우, 오래된 유효페이지를 MLC 영역의 다른 곳으로 보낸다.
 - ⑦ MLC에서 HDD로 플래시: 가비지 컬렉션 시, 무효 페이지가 적어 빈 공간확보가 어려우면, 접근된 지 오래된 콜드 데이터를 HDD로 보낸다.

4. SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리의 관리 기법

SLC영역과 MLC영역은 서클러 버퍼로 동작한다. 각 영역은 시작 지점(S_s, M_s), 현재 지점(S_c, M_c), 핫 지점(S_H, M_H), 끝 지점(S_E, M_E)의 네 개의 지점이 있다.

먼저 시작 지점이 있으면, 끝 지점은 10%의 여유 공간을 남기고 지정된다. 이것은 가비지 컬렉션을 위한 여유 공간이다. 데이터 블록들은 시작 지점부터 현재 지점까지 저장되어 있고, 새로운 데이터가 들어오면 현재 지점에 저장된다. 현재 지점은 각 SLC와 MLC에 데이터가 저장되면서 끝 지점 쪽으로 이동한다. 만일 현재 지점이 끝 지점에 닿으면, 가비지 컬렉션을 통해서 빈 공간을 확보하게 된다.

핫 지점은 가비지 컬렉션과 관련되는 데, 시작 지점과 끝 지점 사이를 3:7(SLC) 혹은 4:6(MLC)으로 나누는 지점으로 설정된다. 시작 지점 쪽에 가까운 데이터는 이미 새로운 업데이트가 일어나 무효화(invalidate)됐을 가능성이 높다. 또한 현재 지점에 가까운 데이터는 최근에 접근되었을 뿐 아니라 자주 접근될 가능성이 높다. 즉, 시작 지점으로부터 핫 지점까지가 콜드 구역, 핫 지점으로부터 끝 지점까지가 핫 구역으로 설정된다. 그리고 가비지 컬렉션 시에 콜드 구역 내의 유효한 데이터들을 이동(그림 1의 ②, ⑤, ⑥, ⑦)시키고 콜드 구역 내의 모든 플래시 메모리 블록을 삭제하여 새로운 데이터를 기록할 공간으로 활용한다.

MLC 영역의 콜드 구역 비율이 SLC 영역의 콜드 구역보다 더 큰 이유는 SLC의 데이터를 MLC로 이동시키는 비용보다 MLC의 데이터를 HDD로 이동시키는 비용이 훨씬 클 뿐만 아니라 스핀 다운 상태인 HDD를 스핀 업 상태로 변환하는 추가적인 비용까지 들 수 있기 때문이다. 그러므로, HDD를 스핀 업 시켜야 하는

상황에서 가급적 데이터를 많이 보내도록 MLC의 콜드 구역 비율을 더 크게 설정한다.

4.1 SLC영역의 가비지 컬렉션

그림 2의 (a)와 (b)는 SLC에서 가비지 컬렉션 과정을 보여준다. 콜드 영역의 모든 페이지 중에 무효화된 페이지가 70% 이상이면 가비지 컬렉션을 통해서 빈 공간을 많이 확보할 수 있으므로, 유효 페이지를 SLC의 끝 지점과 시작 지점 사이의 빈 공간으로 이동시키며(그림 2의 (a)), 무효화된 페이지가 70% 이하이면 위와 같은 방법으로는 빈 공간을 충분히 확보하기 어려우므로 유효 페이지를 MLC영역의 현재 지점이 가리키는 블록으로 이동시켜 빈 공간을 확보한다(그림 2의 (b)).

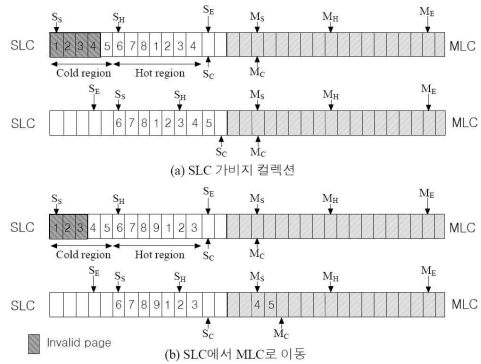


그림 2 가비지 컬렉션, 플래시 정책

4.2 MLC 영역의 가비지 컬렉션

MLC에서 가비지 컬렉션 과정도 SLC와 비슷하다. 콜드 영역의 전체 페이지 중에 무효화된 페이지가 50% 이상이면 유효 페이지를 MLC의 빈 공간으로 이동시키며, 무효화된 페이지가 50% 이하이면 유효 페이지를 HDD로 이동시켜 빈 공간을 확보한다.

앞서 말한 SLC와 MLC 영역의 핫 지점 설정 기준이 다른 이유가 어쩔 수 없이 HDD에 접근해야 하는 상황이 발생했을 때를 가정한 것이라면, SLC와 MLC 영역의 가비지 컬렉션 기준이 다른 이유는 되도록 HDD에 접근하지 못하도록 하려는 것이다. MLC는 상대적으로 가비지 컬렉션이 일어나기 쉽도록 낮은 기준 값을 두어 가급적 자체적으로 빈 공간을 확보하고, HDD에 데이터를 기록하는 것을 줄인다.

5. 실험

새롭게 제안하는 하이브리드 하드디스크의 성능을 평가하기 위해 트레이스-드리븐 시뮬레이터를 만들어 실험을 수행하였다. 디램의 용량은 512KB로 설정했으며, 플래시 메모리의 용량은 SLC로만 사용하면 512MB,

MLC로만 사용하면 1GB가 되도록 설정했다. 또한 하드 디스크는 삼성 HM080H1 제품을 모델링하였고, 일정 시간 동안 접근이 없으면, 하드디스크가 스핀 다운 하여 idle 혹은 standby 상태가 되도록 하였다. 실험에 사용한 트레이스는 Financial1, bonnie++의 두 가지이다. Financial1 트레이스는 웹 사이트에 공개된 트레이스[5]이고, bonnie++ 트레이스는 동명의 디스크 성능 벤치마크 프로그램을 사용하여 얻었다.

수행한 실험들은 다음과 같다. 먼저 SLC와 MLC의 비율 변화에 따른 평균 읽기 응답 시간, 수명, 전력 소모를 측정하였다. 이를 통해 응답 시간, 수명, 전력 소모 측면에서 가장 좋은 성능을 내는 SLC/MLC 비율을 찾았다. 그리고 제한한 하이브리드 하드디스크 관리 정책을 평가하기 위해 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리를 사용하는 하이브리드 하드디스크로 생각할 수 있는 다른 관리 정책들 간에 성능, 수명, 전력소모를 비교하였다.

5.1 응답 시간에 관한 실험

그림 3은 응답시간, 수명, 전력 소모에 대한 측정값을 SLC 용량을 가장 작게 했을 때(16MB)를 기준으로 상대적인 수치로 변환하여 한 그래프에 나타낸 것이다.

그림 3의 읽기 응답시간을 보면, 두 트레이스에서 공통적으로 SLC의 비율이 늘어남에 따라 성능이 떨어진다. 이는 SLC의 비율이 늘어날수록 플래시 메모리 용량이 줄어들어 플래시의 hit rate이 떨어지기 때문이다.

5.2 수명에 관한 실험

반면에 수명의 경우 응답 시간과는 전혀 다른 결과를 보인다. 먼저 SLC영역의 수명은 셀 당 50000번, MLC 영역의 수명은 셀 당 10000번 지웠다다 쓸 수 있다고 가정하였다. 플래시를 서클러 버퍼처럼 관리하기 때문에 수명을 다음과 같이 모델링 할 수 있다.

전체 영역을 SLC로 설정했을 때의 용량을 B라고 하고, 전체 영역에서 SLC의 비율을 r, 해당 트레이스가 수행될 때 가비지 컬렉션을 포함하여 SLC에 일어나는 쓰기의 총 량을 W_{SLC} , 해당 trace가 수행될 때 MLC에 일어나는 쓰기의 총 량을 W_{MLC} 라고 하면, SLC와 MLC의 수명(A_{SLC} , A_{MLC})은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_{SLC} = \frac{50000 \times B \times r}{W_{SLC}}$$

$$A_{MLC} = \frac{10000 \times 2B \times (1-r)}{W_{MLC}}$$

A_{SLC} , A_{MLC} 의 의미는 flash의 수명이 다할 때까지 해당 트레이스를 쓸 수 있는 횟수이다. 그런데 A_{SLC} 와 A_{MLC} 가 항상 같을 수는 없다. 둘 중 한 쪽의 수명이 다해 남은 영역으로 물리는 write의 총 량을 W_{remain} 라고 하면, 한 쪽의 수명이 먼저 다하는 경우를 고려한 플래시 메모리의 수명(A_{Flash})은 다음과 같이 구할 수 있다.

MLC의 수명이 먼저 다한 경우는

$$A_{Flash} = \frac{50000 \times B \times r - A_{MLC} \times W_{SLC}}{W_{remain}} + A_{MLC}$$

이고, SLC의 수명이 먼저 다한 경우는

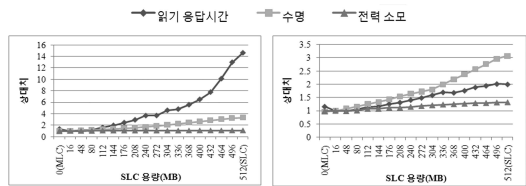
$$A_{Flash} = \frac{10000 \times 2B \times (1-r) - A_{SLC} \times W_{MLC}}{W_{remain}} + A_{SLC}$$

이다.

그림 3의 수명을 보면, SLC의 비율이 클수록 수명도 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 물론 SLC의 수명이 MLC의 수명보다 훨씬 길기 때문이다.

5.3 전력 소모에 관한 실험

그림 3의 전력 소모를 보면, 공통적으로 MLC 비율이 클수록 전력 소모가 줄어드는 경향을 보인다. 각 트레이스 별로 6.3%에서 17.4%의 차이를 보이는데, 응답 시간의 변화 이유와 같이 플래시 메모리의 용량이 줄어들수록 하드디스크 접근 횟수가 늘어나기 때문이다. 그러므로 전력 소모를 줄이기 위해서는 MLC의 비율을 최대한 늘려 플래시 메모리 용량을 키워야 한다.



(a) Financial1

(b) bonnie++

그림 3 트레이스 별 상대적인 평균 읽기 응답 시간, 수명, 전력소모

5.4 다른 정책들 과의 성능, 수명, 파워 비교

그림 4는 우리가 제한한 정책의 성능을 비교하기 위해 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리를 사용하는 하이브리드 하드디스크로 생각할 수 있는 다른 정책들을 정리한 것이다.

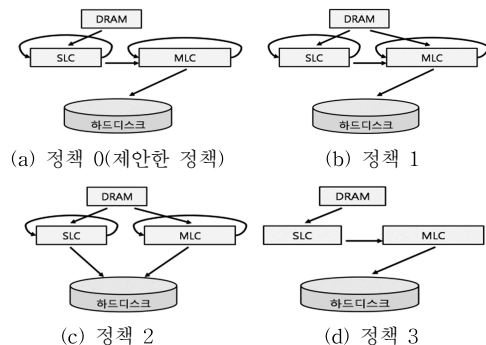


그림 4 제한한 하이브리드 하드디스크의 다른 정책들

- 1) 정책 0은 우리가 제안한 정책이다.
- 2) 정책 1에서는 SLC와 MLC에 핫 데이터와 콜드 데이터를 구분하여 쓴다. 요청이 64섹터 이상 연속이면 콜드 데이터로 가정하여 바로 MLC에, 64섹터 보다 적으면 핫 데이터라고 가정하여 SLC에 적는다.
- 3) 정책 2에서는 정책 1과 같이 요청들을 연속성에 따라 각각 SLC와 MLC에 쓰되, 둘을 분리하여 사용한다. 만일 SLC의 무효 페이지가 기준 값보다 적으면, 콜드 영역을 MLC에 보내지 않고 HDD에 플러시한다.
- 4) 정책 3은 정책 0에서 각 영역의 가비지 컬렉션을 뺀 정책이다. SLC, MLC 영역에서 가비지 컬렉션이 발생하면, 무조건 MLC, HDD로 플러시한다.

5.4.1 응답 시간

그림 5의 (a), (b)에서 응답시간을 측정된 결과를 보면, SLC와 MLC를 따로 사용하는 정책 2가 최악의 성능을 보이고, 본 논문에서 제안한 정책이 나머지 정책들 보다 근소한 차이로 더 좋게 나타났다.

정책 2의 성능이 가장 나쁜 이유는 SLC와 MLC가 모두 HDD에 플러시하기 때문에 HDD에 접근하는 빈도가 늘어나기 때문이다. 두 번째로 나쁜 성능을 보이는 정책 3의 실험 결과는 데이터를 내부에 다시 적는 것이 HDD로 접근하는 상황을 더 줄일 수 있다는 것을 보여 준다. 또한 정책 1의 결과로 SLC와 MLC를 핫, 콜드 영역으로 나누어 사용하는 기존 정책이 하이브리드 하드디스크에서는 효과가 덜하다는 것을 알 수 있다.

5.4.2 수명

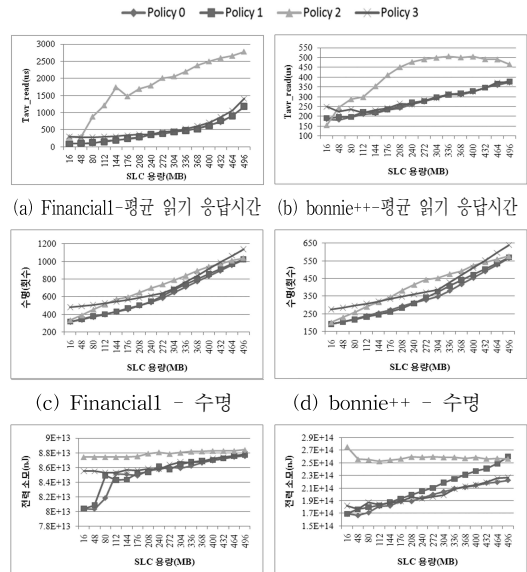
그림 5의 (c), (d)에서 볼 수 있듯이 우리가 제안한 정책은 데이터를 플래시메모리에 최대한 오래 머물도록 하는 것에 초점을 맞추고 있어 가비지 컬렉션을 하기 때문에 수명이 비교적 짧다. 정책 2는 SLC에서 MLC로 이동하는 정책이 없기 때문에, 정책 3은 가비지 컬렉션 시 내부에 다시 적는 정책이 없기 때문에 그만큼 쓰기의 양이 줄어 수명이 비교적 길다.

5.4.3 전력 소모

그림 5의 (e), (f)가 나타내는 전력 소모 측정 실험 결과는 응답속도와 같이 본 논문에서 제안한 정책이 모든 트레이스에서 가장 좋은 편이다. 앞서 설명한 이유로 인해 HDD로의 접근이 많아지는 정책 2가 가장 전력 소모가 많고, 나머지 정책들 간에 큰 차이는 없다.

6. 결론

우리는 이 논문을 통해 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리를 사용하는 새로운 하이브리드 하드디스크 구조와 적절한 정책을 제안하였다. 그리고 시뮬레이터를 이용하여 SLC, MLC의 비율 변화에 따른 응답시간, 수명, 전력소모를 측정하였으며, 우리의 정책을 다른 정책



(a) Financial1-평균 읽기 응답시간 (b) bonnie++-평균 읽기 응답시간
(c) Financial1 - 수명 (d) bonnie++ - 수명
(e) Financial1 - 전력 소모 (f) bonnie++ - 전력 소모

그림 5 트레이스 - 정책 별 성능 비교

과 비교하여 성능, 전력소모 측면에서 좋은 정책임을 검증하였다.

하이브리드 하드디스크에서 플래시 메모리의 용량을 최대한 크게 하여 성능, 전력 소모 상의 이익을 보면서 일정 수준 이상의 수명을 갖기 위해서는 SLC와 MLC를 결합한 플래시 메모리를 사용하는 것이 좋다. 또한 우리의 실험을 통해 사용자의 요구사항과 워크로드에 따라 최적의 응답시간, 수명, 전력소모를 갖는 SLC와 MLC 비율을 찾아낼 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Intel, Turbo Memory, <http://www.intel.com/support/chipsets/itm/>
- [2] Y.-J. Kim et al, "I/O Performance Optimization Techniques for Hybrid Hard Disk-Based Mobile Consumer Devices," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol.53, no.4, pp.1469-1476, 2007.
- [3] S.-H. Park et al, "A Mixed Flash Translation Layer Structure for SLC-MLC Combined Flash Memory System," *International Workshop on Storage and I/O Virtualization, Performance, Energy, Evaluation and Dependability*, 2008.
- [4] S. Im and D. Shin, "Storage Architecture and Software Support for SLC/MLC Combined Flash Memory," *Proc. of 24th ACM Symposium on Applied Computing*, 2009.
- [5] University of Massachusetts Trace Repository, <http://traces.cs.umass.edu/index.php/Storage/Storage>