

특집
07

대용량 저장 서버에서 디스크 소모 전력 감소 기법에 관한 연구 동향

목 차

1. 서 론
2. 디스크의 저전력 모드
3. 디스크 소모 전력 감소 기법
4. 동적 온도 관리 기법
5. 결 론

송민석 · 김만종 · 양아론
(인하대학교)

1. 서 론¹⁾

최근 기후 변화와 고유가로 인하여, IT 부문의 에너지 절감이 중요한 이슈로 대두되었으며, 이를 반영하듯 가트너에서 2008년 10대 전략 기술 가운데 첫 번째로 '그린 IT'를 선정하였다[17]. 특히 인터넷의 발달과 더불어, 웹 서버, e-commerce 등과 같은 네트워크 서비스가 크게 활성화되고, IT 기기들은 확산됨과 더불어 서버의 상시 가동으로 서버에서의 전력 소모가 급격하게 증가하였다. 예를 들면, 500W급 서버 1대의 월평균 전력 사용량은 360kwh로 가구당 월평균 전력사용량의 1.6배에 다다른다[17]. 따라서 서버를 관리하는 데이터 센터 (IDC)에서의 전력 소모가 급격히 증가되었다. 예를 들면, 2006년 미국의 전체 데이터센터는 약 610억 Kilowatt-hour (kwh)를 소비했고, 이것은 미국 전체 소비 전력의 1.5%에 해당하는 전력 소비로써, 에너지 비용으로 따지면 4.5조원에 달하고, 미국 전체의 모든 컬러 텔레비전에서 소모되는 전기량보다 많고, 현재와 같은 추세라면 2011년에 1,000억 kwh를 넘어서고, 총 에너지 비용이 7.4조에 육박

할 것으로 예측된다[12].

최근 저장되는 데이터의 종류가 과거의 텍스트 위주의 데이터에서 비디오, 오디오 등의 대용량 및 고대역폭의 멀티미디어 데이터로 바뀌고 있으므로 저장 장치의 크기가 매년 60%씩 증가하고 있다[1,21]. 이와 같은 경향을 반영하듯, 세계 최대 웹 포털 업체인 구글사의 CEO인 Eric Schmidt는 "데이터 센터는 한 도시만큼 전력을 사용할 수 있기 때문에, 현재 구글 컴퓨터 엔지니어에게 가장 중요한 관심은 성능이 아니라 전력 소모를 줄이는 것이다."라고 언급하기도 하였다[5].

위와 같이, 서버에서의 전력 소모 감소가 큰 관심을 끌기 시작한 이유는 정리하면 다음과 같다. 첫째, 저장하는 데이터의 양이 증가하고, 서버의 성능이 향상됨에 따라서, 데이터 저장 서버를 유지하는 데 드는 비용이 크게 증가하고 있다. 현재 대부분의 서버의 전력 밀도 (power density)는 150-200 W/ft² 으로 추정되며, 서버의 성능 향상으로 조만간 200-300 W/ft² 에 달

1) 본 연구는 한국과학재단 기초연구사업(2009-0065248)의 지원으로 수행되었음

할 것으로 예측되며, 현재 에너지로 인한 비용은 이득 (revenue) 의 23%에서 50%까지로 추정되고 있다[1,4]. 이와 같이 증가하고 있는 전력 수요는, 서비스 공급자들에게 있어서 심각한 경제적 문제를 초래한다. 예를 들면, 중간 크기인 30,000ft²의 데이터 센터는 15MW를 필요로 하는데, 이는 연간 \$13,000,000의 비용에 해당한다. 특히 고밀도의 폼팩터를 갖는 블레이드 서버의 등장으로 전력 소모가 크게 증가되어, 에너지 가격은 매년 25%씩 증가하는 것으로 추정되며, 2010년경이면 전력 요금이 서버 가격을 추월하게 될 것으로 예측된다[2,4,5].

둘째, 전력 소모로 야기되는 열은 서버의 신뢰성에 큰 영향을 끼친다. 순간 전력 소모가 임계점에 다다르게 되면, 정전 사고가 발생할 수 있으며, 이는 온라인 서비스 중단과 같은 막대한 손해를 기업에게 입히게 된다[7]. 또한 서버를 이루는 하드웨어의 신뢰성은 주변에서 생성되는 열에 크게 영향을 받으므로, 발생한 열은 시스템 오동작의 원인이 될 수 있다. 예를 들면, 주변 온도가 15°C 상승하면, 디스크의 고장률 (failure rate)을 2배 증가시키는 것으로 알려져 있다 [2,4,5]. 특히 높은 온도로 인한 온라인 서비스 중단과 같은 막대한 피해를 방지하기 위해서 에어컨이나 팬과 같은 냉열 장치를 사용하는데, 이는 가격이 매우 비싸고, 또한 냉열 장치 자체를 돌리는데 필요한 전력이 전체 전력비용의 42%로 추정된다[2,4,5]. 또한 추가적인 서버 구입 시, 냉열 장치를 재구입하고 재배치해야 되는 문제가 있기 때문에, 서버의 확장성 (scalability) 측면에도 큰 문제를 야기한다.

셋째, 데이터 센터에서 높은 전력을 생산하고 전송하는데 요구되는 환경적인 문제도 고려해야 한다. 특히 IT로 인한 에너지 소모 및 CO₂ 배출은 환경보존에 큰 영향을 끼친다.

서버 구성 요소 중에 디스크와 같은 저장장치 가 전력 소모에 큰 부분을 차지한다. 최근 분석

에 의하면, 디스크가 전체 서버 전기 비용의 27%를 차지한다고 조사되고 있다[1,2,4,5]. 시스템에 따라서는 디스크 배열이 차지하는 전기 비용이 나머지 구성요소가 차지하는 비용을 초과한다고 분석되었다. 예를 들면, EMC Symmetrix 3000 의 경우 디스크가 전체 에너지 소모의 86%를 차지한다[4]. 또한 Dell Power Edge6650 벤치마크 시스템의 경우는 디스크가 전체 전력의 71%을 소모한다[5]. 특히 최근에는 점차 많은 데이터를 저장하기 위해서 고성능 디스크를 사용하고, 데이터 백업을 위해서 테이프 대신에 디스크를 사용하는 추세이므로, 저장 장치에서 전력 소모를 줄이는 것이 서버 운용 비용을 줄이는 데 있어서 매우 중요하다.

저전력 시스템에 관한 연구는 주로 휴대폰과 같은 임베디드 시스템 분야에서 크게 활성화되었으며, 저전력 저장 서버에 관한 연구는 위에서 언급한 문제점 때문에 관심을 끌기 시작하여, 해외의 대학 및 기업 연구소를 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 저장서버에서 디스크에서 소모되는 전력 감소 기법에 대한 연구 동향에 대해 기술하고자 한다. 2장에서 디스크의 저전력 모드에 관해 언급하고, 3장에서는 저장장치에서 전력 감소를 위해 기존에 제안된 기법들에 대해 살펴본다. 4장에서는 저장장치에서 발생하는 온도에 관한 이슈에 대해서 살펴보고, 5장에서 결론 및 향후 연구 전망을 예측하면서 본 논문을 마친다.

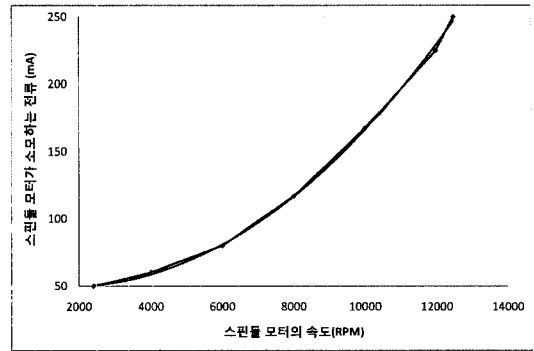
2. 디스크의 저전력 모드

전력 소비를 줄이기 위해, 디스크는 디스크의 상태에 따라 여러 가지 전력 소비 모드를 포함하는 다중 전력 모드 (multiple power modes)를 가진다. 활성 모드에서는, 플래터들(platters)이 회전하고 있으며 헤드는 데이터를 판독하거나 기록하고 있다. 검색 모드에서는, 헤드가 검색하고 있으며, 아이들 모드에서는, 디스크가 전속력으로

로 회전하지만, 디스크 요구에 대한 처리는 없다. 저전력 또는 대기 모드에서는, 디스크가 회전을 완전히 정지하고 다른 어떤 모드들에서보다 훨씬 적은 에너지를 소비한다[2,4,5].

디스크 에너지 소비를 줄이기 위해 흔히 사용되는 방법은, 디스크를 잠시 동안의 아이들 상태를 거친 후 대기 모드로 전이시키는 것이다. 이를 위해, 성능에 영향을 미치지 않으면서 가능할 때마다 디스크들을 저전력 모드로 스위칭 하는 방법을 대부분 사용한다. 이들 스킴들은 주로 디스크가 대기 모드에 있는 주기를 늘리는 것을 목적으로 하는데, 이렇게 늘어난 주기동안 디스크는 대기 모드에 있게 된다. 그러나 대기 모드로부터 활성 모드로 되돌리기 위해서는 디스크를 회전시켜야만 하기 때문에, 수에서 수십 초가 걸리고, 많은 에너지가 소모된다. 따라서, 디스크를 대기 모드로 전이시킴으로써 절약되는 에너지가 디스크를 다시 회전시키는데 필요로 하는 에너지보다 더 클 필요가 있다. 이 때 다시 회전시키는 에너지 비용을 정당화시키는 최단의 아이들 주기를 손익분기 시간 (break-even time)이라고 부른다. 그러나, 서버의 부하 특성을 분석하면, 아이들 주기가 짧으므로, 디스크를 대기 모드로 전환시키는 것이 쉽지 않다[2].

플래터를 회전시키는 스피들 모터(spindle motor), 헤드를 움직이게 하는 액추에이터(actuator), 데이터 전송에 포함되는 전기 구성요소들 및 기타 회로 등이 디스크에 포함된다. 일반적으로 스피들 모터는 전체 아이들-모드 전력 소비의 약 80%를 책임지고 있으므로, 디스크 전력 소비를 모델링하는데 스피들 모터는 특히 중요하다[2,15]. 아이들 모드에서 스피들 모터 소모되는 전력은 (그림 1)의 소니 멀티모드 디스크에서와 같이 디스크 회전 속도에 선형적(linear) 이거나 이차원적인(quadratic) 관계를 갖는다[2,15]. 본 논문에서 언급하는 디스크 저전력 모드는 대기 모드와 저속 모드를 포함한다.



(그림 1) 스피들 회전속도와 소모 전류와의 관계

이와 같은 특성을 이용하여, Gurumurthi 등은 회전하는 동안 속도를 변화시킬 수 있는 동적 다중 속도 디스크 모델을 제안하였다[2,15]. 이와 같은 다중 속도 디스크를 사용하면, 집중된 서버 작업부하 (intense server workloads) 하에서도 디스크 회전을 멈추게 하지 않으므로, 대폭 전력 소비를 줄일 수 있다[2,15]. 현재 연속적인 범위의 속도를 갖는 다중 속도 디스크는 상용화되지 않았지만, 이산 스피드의 집합을 지원하는 다중 속도 디스크는 소니, 히타치 등 여러 디스크 제조업체에서 상용화되었으며[8,9], 최근에 넥산(Nexsan) 저장 서버의 경우와 같이 일반 상용 저장 서버에서도 사용되기 시작하였다[24].

3. 저장 장치 전력 감소 기법에 관한 연구 기법

저장 서버의 전력 관리는 다음의 측면에서 어렵다[6]. (1) 서버는 일반적으로 최대 부하(peak load)를 가정하고 설계되고, 가능한 높은 성능의 디스크로써 시스템을 구성하므로, 전력 소모는 크다. (2) 대용량 및 고대역폭의 데이터를 처리하기 위해서, 디스크 배열 또는 클러스터링 기법을 사용한다. (3) 갑작스러운 과부하 상태를 극복하기 위해서 필요 이상의 전력을 공급받는다.

위와 같은 문제점을 극복하면서, 디스크 소모

전력을 줄이기 위해서 기존의 연구에서는 (1) 부하 (workload)를 재배치하거나, (2) 효율적인 캐싱 기법을 제안하거나, (3) 다중 속도 디스크의 특징을 활용한다. 본 장에서는 이에 대해서 설명한다.

3.1 부하 재배치

부하 재배치 방법의 기본적인 아이디어는 데이터 요청을 특정 디스크로 집중하게 하고, 나머지 디스크를 대기 모드로 전환한다. 이와 같은 방법을 사용하는 대표적인 기법에는 Massive Array of Idle Disks (MAID) [11]와 Popular Data Concentration (PDC) [13]이 있다. MAID는 수백 수천 개의 테이프로 구성된 테이프의 백업 아카이브들을 대체하기 위해 제안되었으며, 일반적으로 많은 아카이브 디스크들 중에 한 번에 적은 수의 디스크만 접근한다는 특성을 활용한다. 일부 디스크를 캐쉬 디스크로 구성하며, 필요한 데이터를 캐쉬 디스크로 복사하여, 남은 디스크들은 대기 모드로 전환시키는 방법이다. 캐쉬 디스크에 복사할 파일을 결정하기 위해서 LRU(Least Recently Used) 방법을 사용하였으며, 캐쉬 디스크에 저장된 파일이 수정되었을 경우에는 이를 원본이 저장된 디스크에도 반영하도록 하였다.

이에 비해 PDC 기법은 특정 파일에 사용자 요청이 집중된다는 성질을 활용하여, 인기가 많은 파일들은 특정 디스크로 이동시키고, 나머지 디스크들을 저전력 모드로 전환한다. 따라서, 디스크의 부하는 특정디스크들로 집중되게 되고, 다른 디스크들은 저전력 모드에 가능한 오랫동안 있게 된다.

PDC와 MAID는 데이터의 이동을 통해서 특정 디스크에 작업 부하를 집중시키고, 디스크들이 대기 모드에 있는 시간을 늘린다는 점과 요청이 적은 파일들의 접근시간이 느려지는 점이 유사하나, PDC는 파일의 인기도에 의존하고,

MAID는 데이터를 일시적으로 특정 장소에 복제한다는 것이 다르다.

단일 속도 디스크와 2 종류의 회전속도를 지원하는 다중 속도 디스크에서 PDC와 MAID의 에너지 소모를 시뮬레이션을 통해 분석한 결과는 다음과 같다[6]. (1) 단일 속도 디스크는 서버의 부하가 아주 적을 때만 해당 방법들이 에너지를 절약 할 수 있음을 보였다. (2) 두 가지 속도를 지원하는 디스크를 사용하는 경우 해당 방법들이 기존의 방법보다 최대 30%에서 40%까지 에너지를 절약 할 수 있음을 보였다. (3) MAID의 성능은 캐시 디스크의 수에 크게 의존하는데 비해서, PDC의 경우 인기 데이터를 이동시키는 시간이 길어지면 에너지 감소 효과가 미미하다[6].

또 하나의 부하 재배치 방법은 디스크 배열에 저장된 패리티 및 복제 데이터와 같은 중복 데이터를 활용하는 것이다[15,21]. 기본적인 아이디어는 디스크 부하가 낮을 경우 중복 데이터가 저장된 디스크를 대기 모드로 전환시킨다. RAID 1과 같이 복제 기법을 사용하는 경우에는 읽기 요청은 원본 디스크로만 가게 함으로써, 복제 디스크는 대기 모드로 전환시키며, 데이터의 일관성을 유지하기 위해서 쓰기 요청은 모든 디스크로 가도록 한다. RAID 5와 같이 패리티가 사용되는 경우에는, 대기 모드로 전환한 디스크에 데이터 요청이 가는 경우, 해당 디스크를 활성모드로 전환시키지 않고, 동적으로 XOR 연산을 수행해서 대기 모드로 전환한 디스크에 저장된 데이터를 복구한다[21].

3.2 캐싱 기법

디스크 에너지 소모량을 줄이는 또 하나의 방법은 메모리 캐싱 기법을 활용하는 것이다. 2장에서 언급한 바, 연속적인 디스크 요청의 간격은 손익분기 시간보다 커야한다. 따라서 디스크로 향하는 요청들을 인위적으로 집중적으로

(bursty) 만들게 되면, 디스크가 대기 상태에 머무는 시간을 증가된다[4].

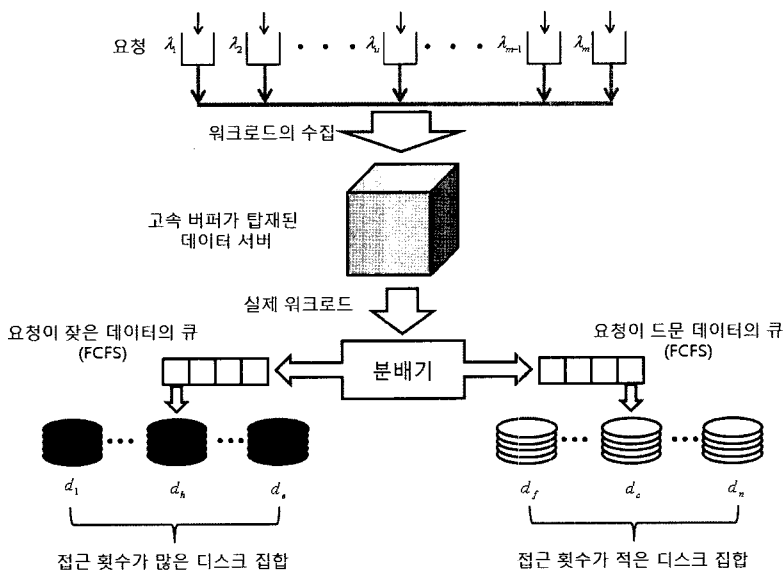
Zhu 등은 기존에 디스크 접근 회수를 최소화시키는 Belady 의 알고리즘이 디스크 에너지를 최소화하는 데에 최적이지 않음을 증명하고, 오프라인에서 에너지를 최소화하는 캐싱 알고리즘을 제안하였다[4]. 그러나 이 알고리즘은 미래의 디스크 요청의 패턴을 미리 알고 있다고 가정하였으므로, 실제 시스템에 적용하기가 어렵다. 따라서 에너지를 줄이는 2개 (PA-LRU와 PB-LRU)의 온라인 캐싱 기법을 제안하였다 [4]. PA-LRU 기법은 메모리 캐쉬에 저장된 블록에 대해서 교체 시에 추가되는 디스크 에너지를 계산하고, 이를 바탕으로 교체할 블록을 결정한다. 이에 비해, PB-LRU는 캐쉬를 각 디스크의 개수만큼의 파티션으로 분할하고, 전체 디스크에서 소모되는 전력을 최소화하는 방향으로 파티션의 크기를 결정한다. 파티션의 크기 결정은 다중 배낭 문제 (multiple-choice knapsack problem) 으로 변환되며, 최적의 파티션 크기에 맞도록, 각 디스크에서 퇴출 (evict) 할 블록은 LRU 방식으

로 결정한다. 이를 위해 일정한 주기를 가지고, 매 주기마다 한 번씩 파티션의 크기를 결정하고, 각각의 파티션에서 LRU 방식을 적용한다.

3.3 다중 속도 디스크의 활용

2장에서 언급한 바와 같이, 다중 속도 디스크는 저장 서버에서 디스크 소모 전력을 줄이는데 효과적으로 사용될 수 있다. 이를 활용해서 몇 가지 디스크 전력 감소 기법에 대한 연구가 진행되었다. 주된 아이디어는 성능 요구 조건을 만족시키면서, 가능한 많은 디스크를 저속 모드에서 동작시키도록 하는 것이다. 이와 같은 방법을 사용하는 대표적인 디스크 배열 구조로는 Hibernator 구조 [5]와 SEA (Striping-based Energy Aware) 구조 [10]가 있다.

Hibernator 는 디스크 부하가 변화함에 따라 회전 속도를 바꾼다. 기본적으로, 시스템 부하가 낮은 경우, 저속 레벨을 선택하며, 과부하에 대해서는 고속 레벨을 선택한다. 다중티어 레이아웃 (multi-tier layout) 구조를 선택하여, 각 티어는 동일한 속도로 회전하는 디스크들의 집합



(그림 2) SEA 구조

으로 구성하게 하고, 디스크의 부하를 모니터링 하며, 관찰 결과에 따라서, 사용자 요청 응답시간을 만족시키면서 각 티어에서 소모되는 에너지 총합을 최소화하도록 각 디스크의 회전 속도를 선택한다.

단일 속도 디스크에서 대기모드에서 활성모드로 전환하는 데 걸리는 시간보다는 작지만 회전 속도 변화 역시 수초의 시간을 필요로 한다. 또한 낮은 속도 전환은 디스크 신뢰도에 영향을 끼칠 수 있다. 그러므로 Hibernator 구조에서는 디스크 회전 속도 전환 횟수를 가능한 줄이기 위해 회전 속도 선택 알고리즘을 비교적 긴 특정 주기마다 수행한다. 또한 회전 속도 선택 알고리즘만을 적용해서는 큰 에너지 감소 효과를 볼 수 없으므로, 회전 속도 선택 알고리즘을 통해서 최적의 디스크 배치를 추출해내고, 이를 위해 디스크 로드를 모니터링해서 파일들을 여러 티어들간에 이동시키므로, 가능한 많은 티어의 디스크들이 저속으로 동작하도록 지원한다[5].

이에 비해서, SEA 구조는 모든 고객의 요청을 모아서, 고속의 버퍼를 포함한 고성능 데이터 서버로 보내고, 가능한 많은 요청들을 데이터 서버에서 처리하고, 일부의 요청들만 디스크에서 처리한다. (그림 2)는 이와 같은 SEA의 구조를 보여 준다[10]. 디스크들의 접근 횟수가 많고 적음에 따라서, 두 개의 존(zone)으로 분할하고, 접근 횟수가 많은 디스크 집합은 고속으로, 접근 횟수가 적은 디스크들은 저속으로 디스크를 동작시킨다. 이를 위해 파일의 인기도에 따라 존을 할당하는 알고리즘을 적용한다.

4. 디스크 동적 온도 관리 기법

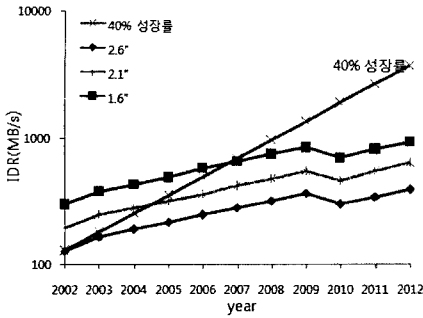
디스크에서 발생하는 열은, 디스크 스택과 액츄에이터(actuator)에 손상을 입힘으로써 오프 트랙 에러(off-track error)를 발생시키고, 스핀들 모터(spindle motor)와 보이스코일 모터(voice-coil motor)에 사용되는 윤활제를 빠르게

소진시킴으로써 디스크 헤드의 파손을 야기할 수 있다[3,16,19,20].

일반적으로 디스크 드라이브 성능은 용량(capacity), 내부 전송 속도 (Internal Data Rate: IDR) 그리고 탐색 시간 (seek time)으로 표현된다. 이 중 내부 전송 속도는 디스크 회전 속도와 디스크 가장 바깥 존 (outermost zone)의 트랙당 섹터 수에 비례한다. 따라서 내부 전송 속도를 향상시키기 위해서는 디스크 회전속도를 증가시키고, 용량을 크게 하기 위해서는 플래터를 크게 만드는 것이 유리하다. 그러나 이러한 일련의 방법들은 디스크에 많은 열을 발생시키므로, 디스크의 온도를 낮추는 것이 최근 중요한 문제로써 대두되었다[3,16].

디스크에서 발열량은 대략 플래터의 개수에 비례하고, 디스크 회전속도의 2.8 제곱에 비례하며, 플래터 지름의 4.8 제곱에 비례한다고 알려져 있다. 따라서 디스크 발열량을 줄이기 위해서는 디스크 회전 속도를 감소시키거나, 플래터의 크기를 줄이는 것이 유리하나, 이는 내부 전송 속도를 떨어뜨리며, 용량을 감소시키므로, 성능 요구 조건을 만족시킬 수 없다는 문제점이 있다 [3,16].

이와 같이 디스크 성능은 발열량과 밀접한 연관이 있음에도 불구하고, 하드 디스크 업체에서는 매년 내부 전송 속도를 40%가량 상승시키는 것을 목표로 다양한 기법들을 개발해 왔다. 지금까지는 이러한 개발 방법을 적용하더라도 일반적으로 알려진 디스크의 온도 임계치인 45.22 °C를 밑돌았기 때문에 디스크의 신뢰도에 문제가 없었다. 그러나, 더 이상의 내부 전송 속도 및 용량의 증가는 디스크 온도 임계치를 넘게 하는 것으로 예측된다. 예를 들면, 그림 3은 플래터의 개수는 1개인 2.6, 2.1, 1.8 인치의 세가지 플래터 크기를 갖는 디스크에서 45.22 °C미만으로 동작시키기 위한 내부 전송 속도의 매년 증가량을 보여 준다[16].



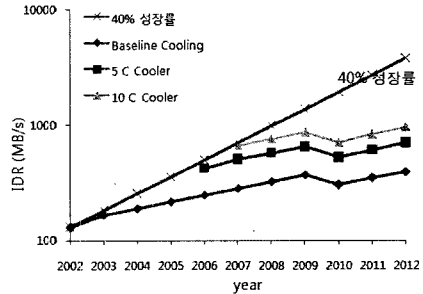
(그림 3) 온도 임계치를 고려한 내부 전송 속도의 증가율

(그림 3)에서 보듯이, 디스크 온도를 유지하기 위해서 내부 전송속도 증가율은 각 디스크 업체가 목표로 하는 40% 상승률에 미치지 못한다. 따라서 디스크 드라이브 제작사들은 디스크 설계 시에 다음과 같이 용량, 내부 전송 속도, 온도 세 가지 특성을 동시에 고려해야 한다[16].

- ① 디스크 용량을 증가시키기 위해서는 기존과 동일한 크기의 플래터를 사용해야 하나, 이는 또한 온도를 증가시키므로, 디스크 회전 속도를 줄임으로써, 온도를 낮춘다.
- ② 디스크의 내부 전송속도를 향상시키기 위해서 디스크 회전 속도를 증가시켜야 하나, 이 방법은 온도를 증가시키므로, 디스크 용량이 감소함에도 불구하고, 온도를 낮추기 위해서 플래터의 크기를 작게 제작한다.
- ③ 플래터의 크기를 작게 제작함으로써 야기되는 디스크 용량 감소를 극복하기 위해서, 플래터를 더 추가한다. 이로 인해 디스크 발열량이 증가하나, 플래터 지름을 크게함으로써 증가되는 발열량에 비해서 작으므로, 비교적 효과적으로 용량을 증가시킬 수 있다.

디스크 온도 변화는 주변 온도에 민감하게 반응한다. 따라서 좋은 쿨링 장비를 써서, 주변 온도를 떨어뜨릴 수 있다. (그림 4)는 주변 온도가 5°C 또는 10°C 떨어졌을 경우, 디스크에서 45.2°C미만으로 동작시키기 위한 내부 전송 속도를 보여 주며, 외부 온도를 떨어뜨림으로써, 디스크

의 성능을 향상시킬 수 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 디스크 주변 온도를 제어하는 것은 어렵고, 쿨링 장비를 구축하는 데 드는 비용이 크기 때문에 소프트웨어적 동적 온도 관리 기법이 요구된다[16].



(그림 4) 쿨링 장비 장착 시에 내부 전송 속도 증가율

소프트웨어적 동적 온도 관리 기법에서는 현재의 디스크 온도를 고려하여, 동적으로 탐색 시간이나 회전 속도를 조절하는 방법과, 온도가 임계치에 다다랐을 경우, 동적으로 성능을 낮추는 스로틀링 (throttling) 방법이 있다[3].

디스크 온도에 영향을 끼치는 조절 가능한 디스크 구성 요소로는 보이스코일 모터와 스피드 모터가 있으며, 보이스코일 모터를 끄거나, 디스크 회전 속도를 낮추면 주변 온도를 낮출 수 있다. 디스크 탐색은 헤드 가속 (acceleration) 구간, 정속 (coast) 구간, 감속 (deceleration) 구간으로 분할되며, 가속 및 감속 구간에는 보이스코일 모터를 켜야 하며, 정속 구간 및 디스크 탐색이 없는 경우는 보이스코일 모터를 일반적으로 끈다. 따라서 보이스코일 모터에서 발생하는 열을 줄이기 위해서는 디스크 탐색 횟수를 줄이는 것이 유리하며, 스피들 모터에서 발생하는 열을 줄이기 위해서는 디스크 회전속도를 낮추는 것이 유리하다. 이와 같은 특징을 활용하며, 동적 온도 관리 기법에서는 디스크의 한계 온도와 현재 온도를 비교하고, 현재 온도가 한계 온도에 가까워질 때, 디스크 회전 속도와 탐색 횟수를 줄인다[3,19].

5. 결론 및 향후 전망

최근 데이터 센터에서 전력 감소가 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 특히 디스크 소모 전력이 전체 전력 소모에 많은 부분을 차지하고 있는 것을 고려해서, 여러 연구그룹에서 디스크에서 에너지 감소 방법에 관한 연구를 진행되었다. 본 논문에서는 디스크의 저전력 모드에 대해서 살펴보고, 디스크 전력 감소 기법을 부하 재배치, 캐싱, 다중 속도 디스크의 활용 측면에서 살펴보았다. 또한 많은 전력 소모로 야기되는 디스크에서의 온도 상승에 대해서 언급하고, 소프트웨어적 온도 관리 기법에 대해서 기술하였다.

본 논문에서 언급한 방법 외에도 최근 다중 속도 디스크, 플래시 메모리, 비휘발성 메모리(NVRAM)와 같은 기술을 저장 서버에 사용하였을 때의 디스크 에너지 감소 기법에 관한 연구가 진행되기 시작하였으며, 이에 대한 활발한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 아울러, 기존 연구들에서는 일반 웹서버와 저장 서버만을 고려하여 연구가 진행되었는데, 최근 다양한 응용 서비스가 있음을 고려할 때, 각종 응용 서버에서 전력 감소 기법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] B. Moore, "Taking the Data Center Power and Cooling Challenge", Energy User News, 27 Aug. 2002.
- [2] S. Gurumurthi, "Power Management of Enterprise Storage Systems", PhD thesis, Pennsylvania State University, 2005.
- [3] Y. Kim, S. Gurumurthi, A. Sivasubramaniam, "Understanding the Performance-Temperature Interactions in Disk I/O of Server Workloads," Proceedings of the ISCA, pp. 179-189, 2006.
- [4] Q. Zhu and Y. Zhou, "Power Aware Storage Cache Management," IEEE Transactions on Computers, Vol. 54, No. 5, pp. 587-602, 2005.
- [5] Q. Zhu, Z. Chen, L. Tan, Y. Zhou, K. Keeton and J. Wilkes, "Hibernator: Helping Disk Arrays Sleep Through the Winter," ACM Operating Systems Review, Vol. 39, No. 5, pp. 177-190, 2005.
- [6] R. Bianchini and R. Rajamony, "Power and Energy Management for Server Systems," IEEE Computer, Vol. 37, No. 11, pp. 68-74, 2004.
- [7] V. Sharma, A. Thomas, T. Abdelzaher and K. Skadron, "Power-Aware QoS Management in Web Servers," Proceedings of the IEEE RTSS, pp. 63-72, 2003.
- [8] "Hitachi Power and Acoustic Management - Quietly Cool," In Hitachi Whitepaper, 2004.
- [9] H. Yada et al., "Head Positioning Servo and Data Channel for HDDs with Multiple Spindle Speeds," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 5, pp. 2213-2215, 2000.
- [10] T. Xie, "SEA: A Striping-based Energy-aware Strategy for Data Placement in RAID-Structured Storage Systems," IEEE Transactions on Computers, Vol. 57, No. 6, pp. 748-761, June 2008
- [11] D. Colarelli and D. Grunwald, "Massively Arrays of Idle Disks for Storage Devices," Proceedings of the ACM Supercomputing, pp. 1-11, 2002.
- [12] J. Chase and R. Doyle, "Balance of Power: Energy Management for Server Clusters," Proceedings of the USENIX HotOS, 2001.

[13] E. Pinheiro and R. Bianchini "Energy Conservation Techniques for Disk Array-Based Servers" Proceedings of the ACM Supercomputing, pp. 68-78, 2004.

[14] E. Pinheiro, R. Bianchini and C. Dubnický "Exploiting Redundancy To Conserve Energy in Storage Systems," ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Vol. 34, No. 1 pp. 15-26, 2006

[15] S. Gurumurthi, A. Sivasubramaniam, M. Kandemir and H. Franke, "Reducing Disk Power Consumption in Servers with DPRM," IEEE Computer, Vol. 36 No. 12, pp. 59-66, 2003.

[16] S. Gurumurthi and A. Sivasubramaniam, "Thermal Issues in Disk Drive Design: Challenges and Possible Solutions," ACM Transactions on Storage, Vol. 2, No. 1 pp. 41-73, 2006.

[17] 박상현 "저탄소 녹색성장을 위한 주요국 그린 IT 정책 추진 동향과 시사점," IT 이슈&트렌드 08-07, 한국정보사회진흥원, 2008

[18] <http://www.nexsan.com/sataboy/automaid.php>.

[19] Y. Kim, J. Choi, S. Gurumurthi and A. Sivasubramaniam, "Managing Thermal Emergencies in Disk-Based Storage Systems," Journal of Electronic Packaging, Vol. 130, No. 4, 2008.

[20] S. Gurumurthi "The Need for Temperature-Aware Storage Systems," Proceedings of the Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, pages 387-394, May 2006.

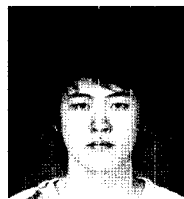
[21] J. Wang, X. Yao and H. Zhu, "Exploiting In-Memory and On-Disk Redundancy to Conserve Energy in Storage Systems," IEEE Transactions on Computers, Vol. 57, No. 6, pp. 733-747, 2008.

저자약력



송민석

1996년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
 1998년 서울대학교 컴퓨터공학부 석사
 2004년 서울대학교 전기컴퓨터공학부박사
 2005년~현재 인하대학교 컴퓨터정보공학부 조교수
 관심분야 : 실시간시스템, 임베디드시스템, 멀티미디어시스템
 이 메 일 : mssong@inha.ac.kr



김만중

2009년 인하대학교 컴퓨터공학부 컴퓨터공학 학사
 2009년~현재 인하대학교 컴퓨터정보공학 석사과정
 관심분야 : 임베디드시스템, 임베디드소프트웨어
 이 메 일 : kmjlove130@hanmail.net



양아론

2008년 인하대학교 컴퓨터공학부 컴퓨터공학 학사
 2008년~현재 인하대학교 컴퓨터정보공학 석사과정
 관심분야 : 임베디드시스템, 임베디드소프트웨어
 이 메 일 : yar1017@gmail.com