

제6장 보조저장장치

6.1 하드 디스크

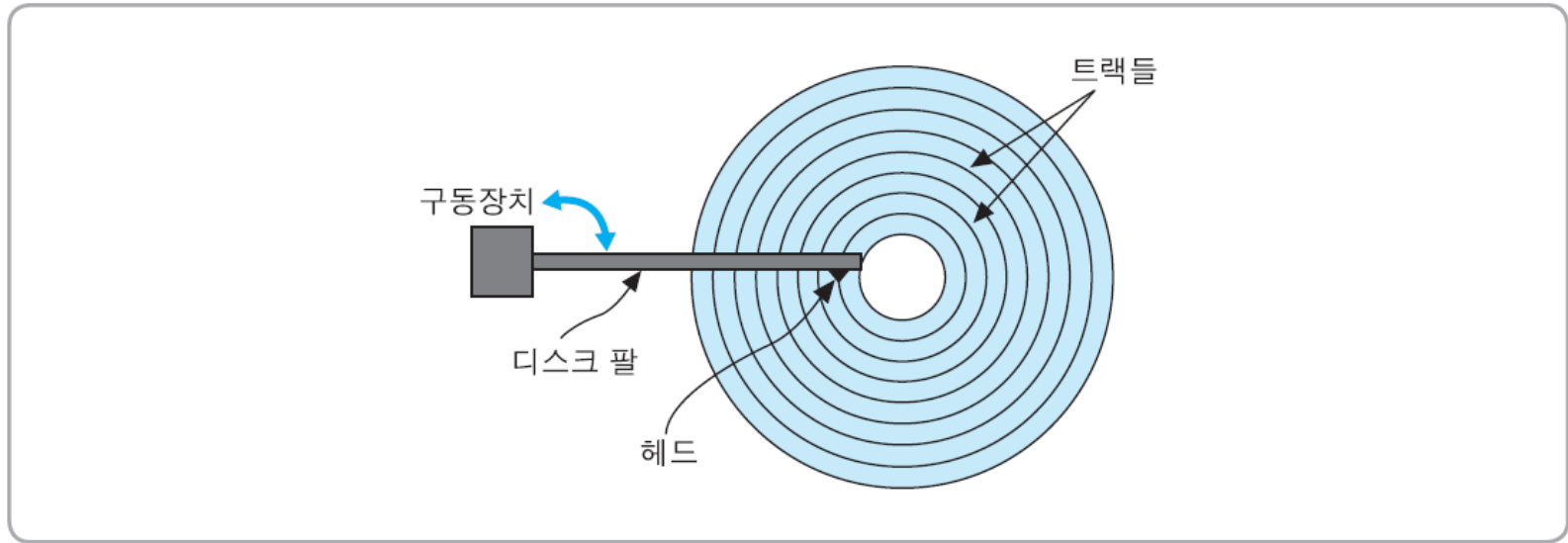
6.2 RAID

6.3 플래시 메모리와 SSD

6.1 하드 디스크(hard disk)

- 자화될 수 있는 물질로 코팅된 플라스틱이나 금속을 이용한 원형 평판으로 만들어진 저장장치 : 자기 디스크(magnetic disk), 혹은 단순히 디스크라고도 부름
- 주요 구성 요소들
 - 원형 평판(circular platter) : 실제 정보가 저장되는 장소로서, 다수의 트랙(track)들로 구성
 - 헤드(head) : 전도성 코일을 통하여 표면을 자화(magnetize) 시킴으로써 데이터를 저장하는 장치
 - 디스크 팔(disk arm) : 헤드를 이동시키는 장치
 - 구동장치(actuator) : 원형 평판 회전 및 디스크 팔 구동을 위한 모터(motor)

□ 디스크 표면과 헤드

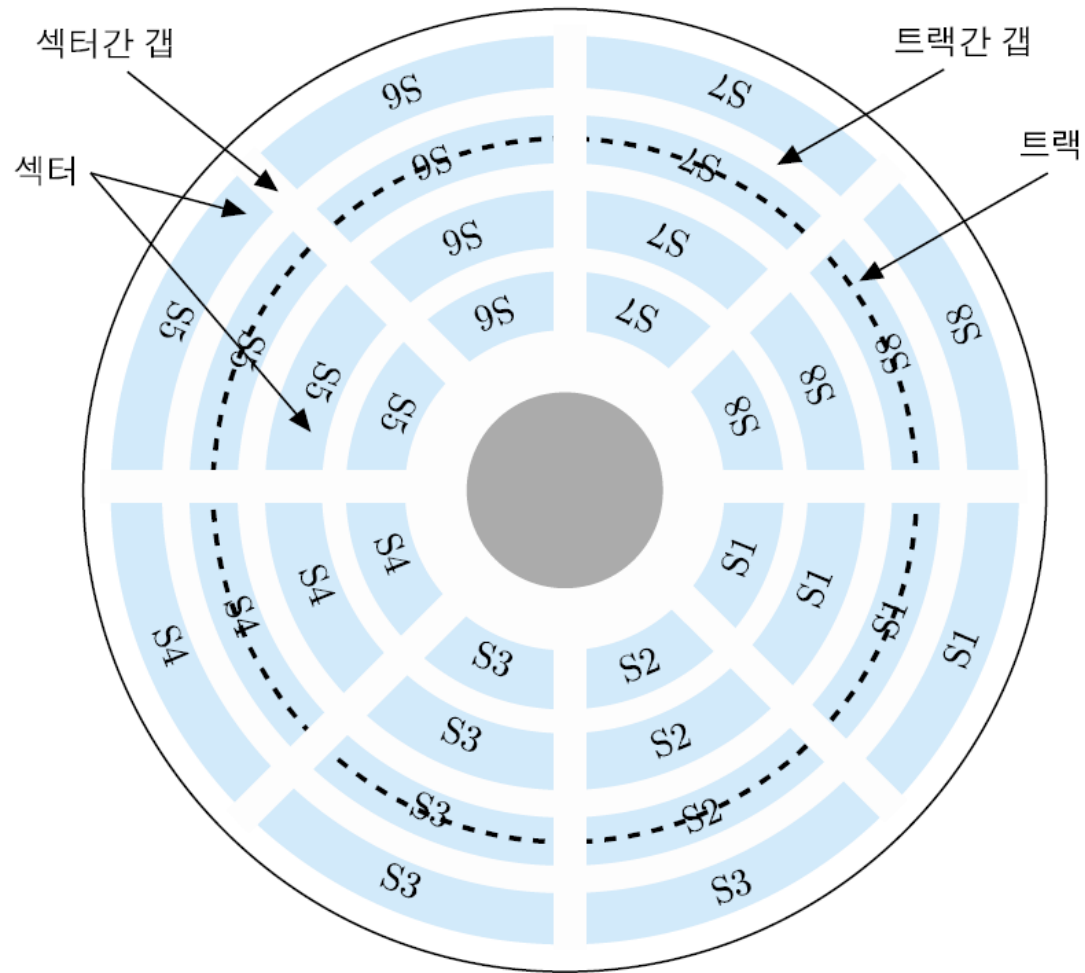


- **디스크 쓰기:** 헤드의 코일에 전류가 흐를 때 발생하는 자기장 (magnetic field)을 이용하여 데이터를 저장하는 동작
- **디스크 읽기:** 자기장이 존재하는 위치에 헤드가 지나갈 때 코일에 유기되는 전기를 감지하여 데이터를 인출하는 동작

6.1.1 디스크의 구조

- ❑ **섹터(sector)** : 디스크에 한 번에 쓰거나 읽는 데이터 크기의 최소 단위
- ❑ **섹터간 갭(inter-sector gap)** : 섹터들을 구분하기 위한 간격 (gap)
- ❑ **트랙간 갭(inter-track gap)** : 헤드가 잘못 정렬되거나 자장의 간섭 때문에 발생하는 오류를 방지하기 위한 트랙들 사이의 간격
- ❑ 초기 디스크의 경우, 표면당 트랙의 수 = 500~2000 개, 트랙당 섹터의 수 = 32 개 (최근 트랙 및 섹터 수가 크게 증가)

디스크 표면의 세부 구조



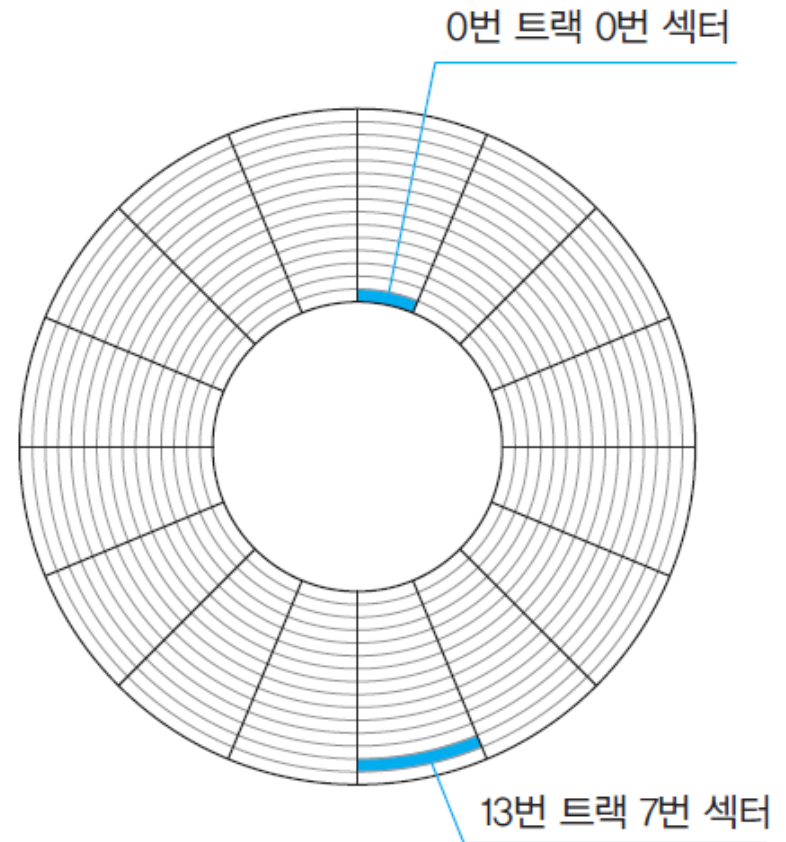
등각속도 (Constant Angular Velocity: CAV) 방식

- 디스크가 일정한 속도로 회전하는 상태에서 트랙의 위치에 상관없이 데이터를 동일한 비율로 액세스하는 방식

[장점] 구동장치 간단

[단점] 저장 공간 낭비

(바깥쪽 트랙이 안쪽 트랙보다 더 길지만, 저장 밀도가 낮아서 저장되는 데이터 양은 동일)



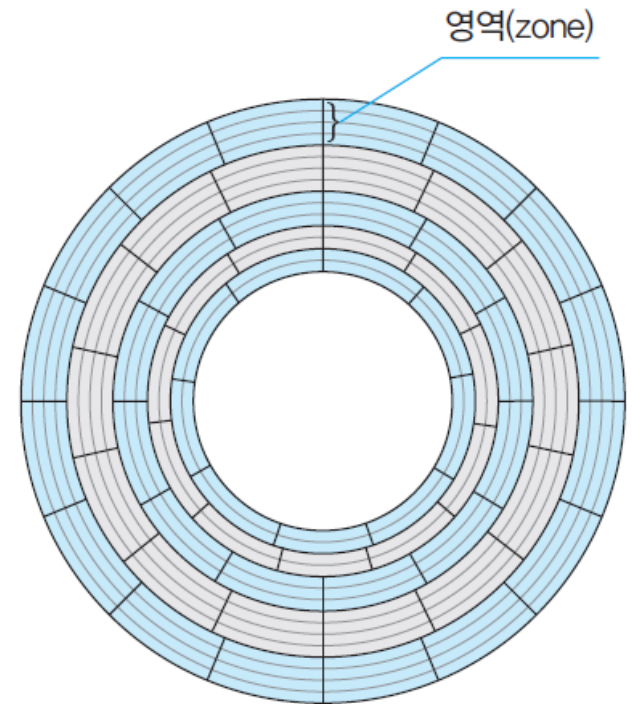
(a) CAV 방식

다중 영역 기록(Multiple Zone Recording: MZR) 방식

- ❑ 디스크 표면이 여러 개의 동심원 영역들(concentric zones)로 나누어지며, 같은 영역에 속한 트랙들의 저장 밀도는 동일
- ❑ 디스크 전체적으로 저장 밀도를 거의 같도록 조정
 - 바깥쪽 트랙들에 더 많은 데이터 저장 가능
 - 각 트랙이 더 많은 섹터들로 분할

[예]

- * 15개 트랙들이 5개 영역들로 분할
 - 안쪽 두 영역들: 각 트랙이 9개 혹은 11개 섹터
 - 다음 영역: 세 트랙이 각각 14 혹은 15개 섹터
 - 바깥쪽 두 영역은 각 네 트랙씩,
각 트랙은 14 혹은 16개 섹터



(b) MZR 방식

□ MZR 방식의 장단점

[장점] 디스크 전체 용량 증가

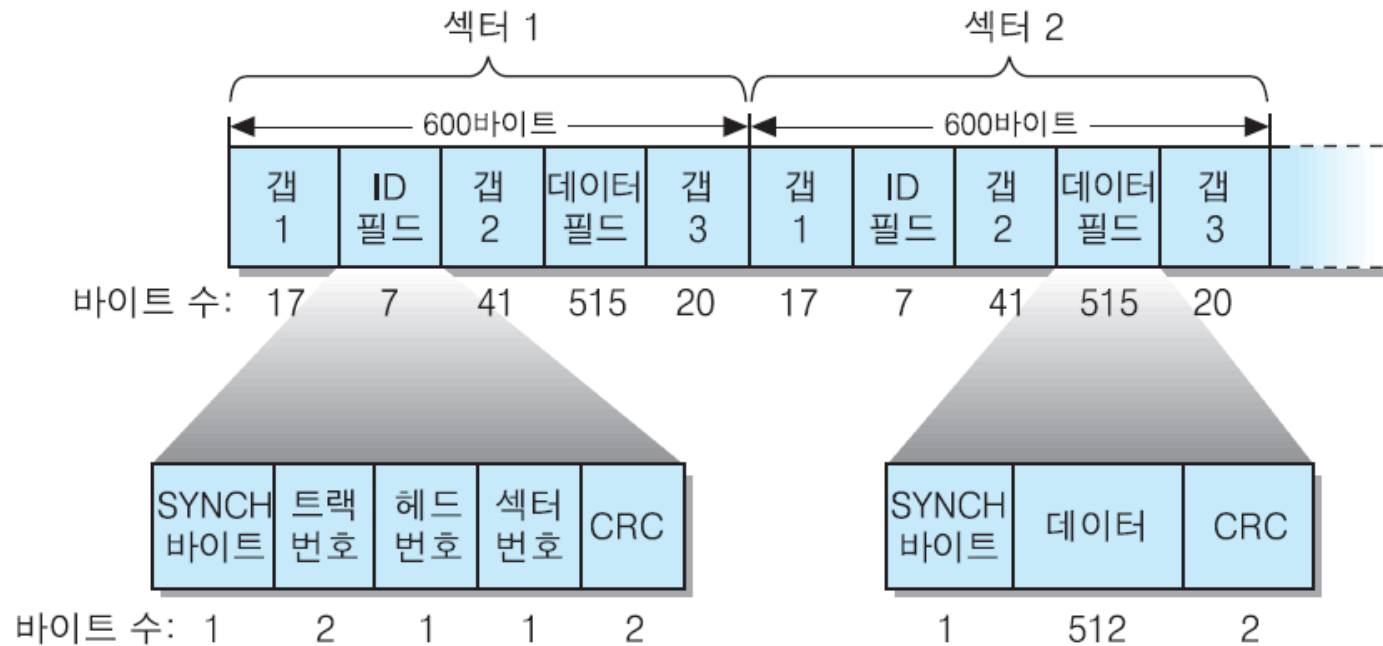
[단점]

- 트랙 위치에 따라 회전속도가 조정되어야 하므로 제어 회로가 더 복잡
- 영역에 따라 읽기 및 쓰기 시간에 미세한 차이 발생

디스크 형식화 작업 (disk formatting)

- 디스크의 구성을 검사하고, 그에 관한 정보와 트랙의 시작점, 섹터의 시작과 끝을 구분하기 위한 제어 정보 등을 디스크상의 특정 위치에 저장하는 과정
- **트랙 형식의 예**
 - 섹터 크기 = 600 바이트 (512바이트 데이터 + 제어 정보)
 - 제어 정보(ID 필드) : 섹터를 구분하는 데 필요한 식별자 또는 주소
 - SYNCH 바이트, 트랙 번호, 헤드 번호, 섹터 번호, 오류 검출 코드(CRC)

트랙 형식의 예



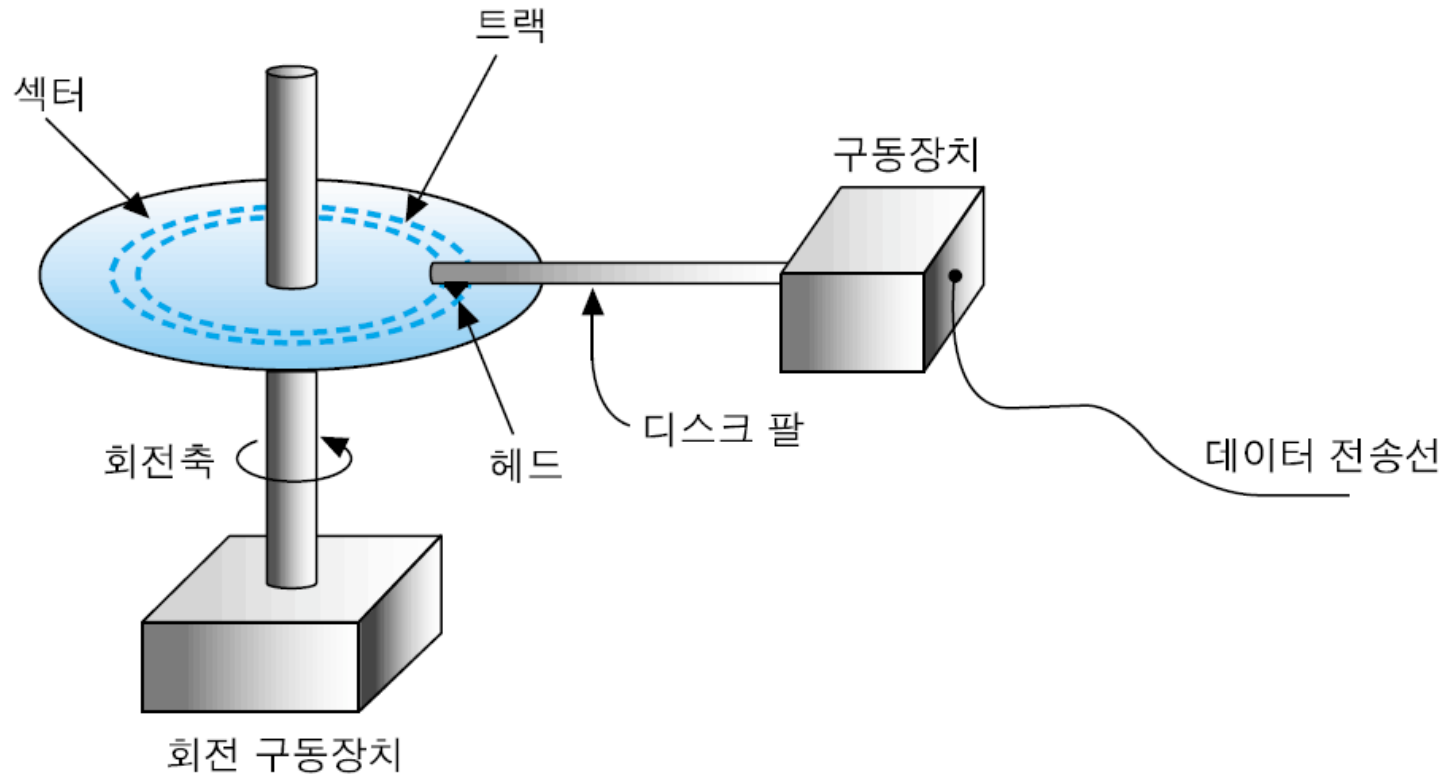
❑ CRC (Cyclic Redundancy Check)

- 디스크로부터 데이터를 읽거나 데이터 통신 과정에서 발생하는 오류를 검출하기 위하여 순환 2진 부호를 사용하는 방식
- 송신 측에서 데이터를 블록 단위로 나누고, 각 블록 뒤에 2진 다항식의 특수 계산에 의해 얻어진 순환 부호를 여분으로 붙여서 저장 후 송신
- 수신 측에서도 동일한 계산을 수행하여 동일한 순환 부호가 얻어지는지를 확인함으로써 전송 오류의 유무를 검사
- 패리티 비트를 이용하는 방법보다 정교하여 오류 검출 능력이 뛰어남
- 저장장치(하드 디스크, CD-ROM, DVD) 및 각종 통신 프로토콜에서 사용

디스크 드라이브(disk drive)

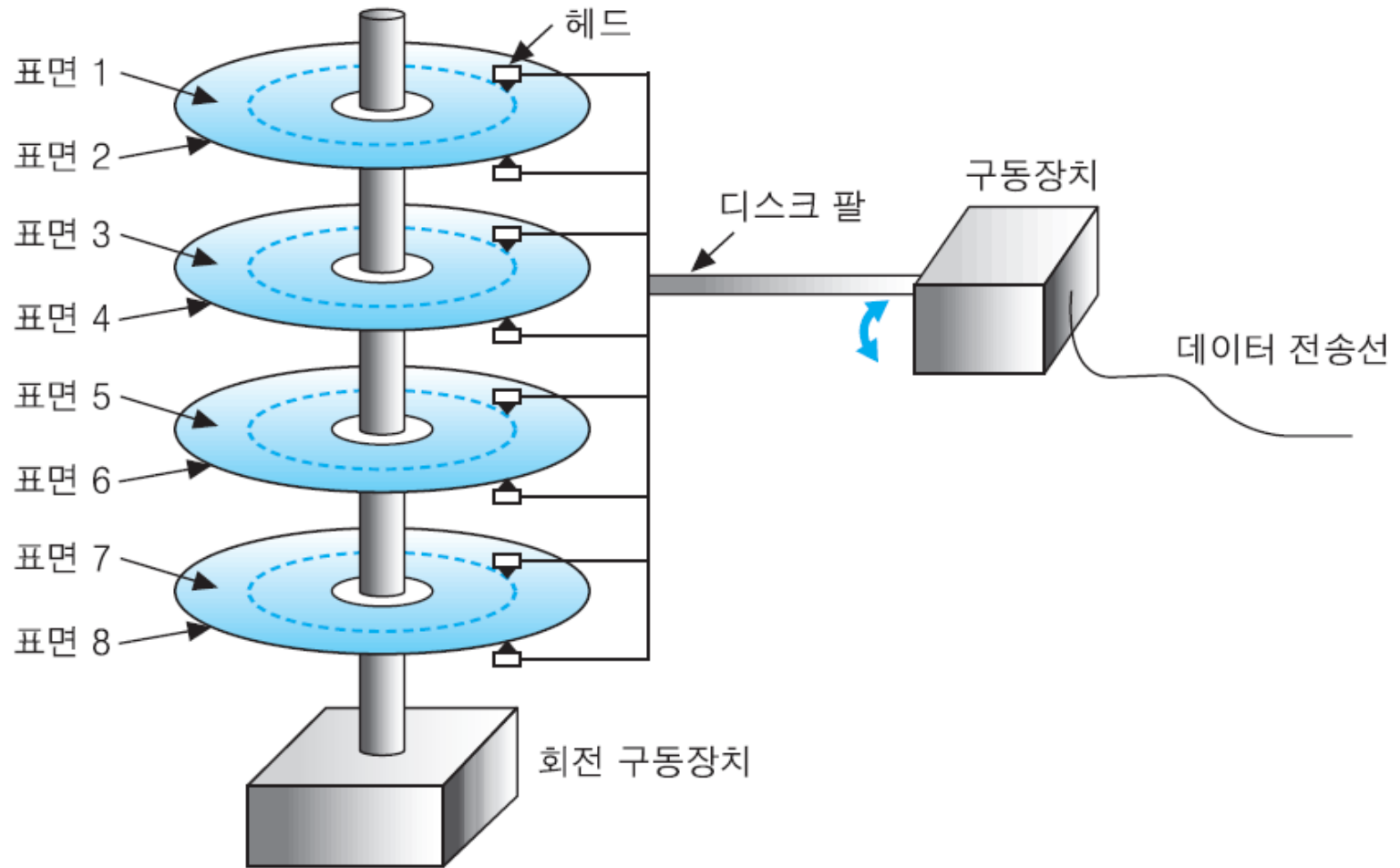
- 디스크, 헤드가 부착된 디스크 팔, 구동장치, 디스크를 회전시키는 축(spindle), 데이터 전송을 위한 전자 회로 등을 포함한 전체 패키지
- 디스크 면 수에 따른 분류 : 양면 디스크(double-sided disk)
단면 디스크(single-sided disk)
- 실린더(cylinder) : 다중 평판 디스크 드라이브에서 서로 다른 디스크 표면에 있지만 같은 반경에 위치하고 있어, 디스크 팔을 움직이지 않고도 동시에 액세스할 수 있는 트랙들의 집합

단일-평판 디스크 드라이브의 내부 구조



(a) 단일-평판 디스크 드라이브

다중-평판 디스크 드라이브의 내부 구조



(b) 다중-평판 디스크 드라이브

6.1.2 디스크 액세스 시간

❑ 디스크 액세스(읽기/쓰기) 동작의 순서

- ① 헤드를 해당 트랙으로 이동
- ② 원하는 섹터가 헤드 아래로 회전되어 올 때까지 대기
- ③ 데이터를 전송

❑ 디스크 액세스 시간(disk access time)

디스크 액세스 시간 = 탐색 시간 + 회전 지연 시간 + 데이터 전송 시간

탐색 시간(seek time) : ①번에 걸리는 시간

회전 지연 시간(rotational latency time) : ②번에 걸리는 시간

데이터 전송 시간(data transfer time) : ③번에 걸리는 시간 및 디스크
제어기(disk controller)에서 소요되는 시간

□ 회전지연시간: 디스크의 회전속도에 따라 결정

[예] 회전축의 속도 = 7200 rpm(rotations per minute)인 경우,
초당 120바퀴 회전 → 한 바퀴 회전에는 1/120sec(8.33ms)

– 회전지연시간 = 0 ~ 8.33ms

– 평균 회전지연 = 4.17ms (1/2 바퀴 회전에 걸리는 시간)

□ 디스크 회전축 속도 : 5400 rpm, 7200 rpm 주로 사용

[참고] 10000 rpm 이상의 구동장치 기술도 개발되었으나, 높은 발열
량에 대한 냉각의 어려움으로 사용 제한

예제 6-1

어떤 디스크의 평균 탐색 시간이 7ms, 전송률이 600[MByte/s]이고, 회전축의 속도가 5400rpm, 그리고 제어기의 지연시간은 0.1ms라고 가정한다. 섹터의 크기가 512 바이트인 경우에, 한 섹터를 읽거나 쓰는 데 걸리는 평균 액세스 시간(T_a)을 구하라.

풀이

평균 회전 지연시간 = $\{1/(5400/60)\} \times 0.5 \text{바퀴} \doteq 5.5 \text{ms}$

$$T_a = 7 \text{ms} + 5.5 \text{ms} + (0.5 \text{KByte} \div 600 \text{MByte/s}) + 0.1 \text{ms} \doteq 12.6 \text{ms}$$

최신 디스크들의 특성 및 성능 파라미터들

표 6-1 디스크들의 특성 및 성능 파라미터들의 비교[HGS18]

파라미터	Cinemastar Z5K500	Travelstar Z5K1	Ultrastar HC530
용량	500GBytes	1TBytes	14TBytes
회전 속도	5400rpm	5400rpm	7200rpm
회전지연(평균)	5.5ms	5.5ms	4.16ms
탐색시간(평균)	15ms	11ms	7.5ms
저장 밀도	630Gbits/in ²	1060Gbits/in ²	904Gbits/in ²
데이터 전송률	600MBytes/s	600MBytes/s	600MBytes/s
디스크 크기	2.5"	2.5"	3.5"

6.2 RAID(Redundant Array of Inexpensive Disks)

6.2.1 RAID 출현의 배경

- 한 개의 대형 디스크를 사용하는 것보다, 크기가 작은 여러 개의 디스크들을 서로 연결하여 하나의 큰 용량을 가진 **디스크 배열(disk array)**을 구성하면, 보다 더 저렴한 가격으로 더 큰 용량을 가진 디스크 서버 시스템의 구성 가능

[추가적인 장점]

- 데이터 분산 저장에 의한 동시 액세스(concurrent access) 가능
- 병렬 데이터 채널에 의한 데이터 전송 속도 향상

[문제점] 고장 가능성 증가 (MTTF 단축)

기본 기술: 디스크 인터리빙 (disk interleaving)

- ❑ 데이터 블록들을 여러 개의 디스크들로 이루어진 디스크 배열(disk array)에 분산 저장하는 기술
- ❑ 균등 분산 저장을 위하여 라운드-로빈(round-robin) 방식 사용

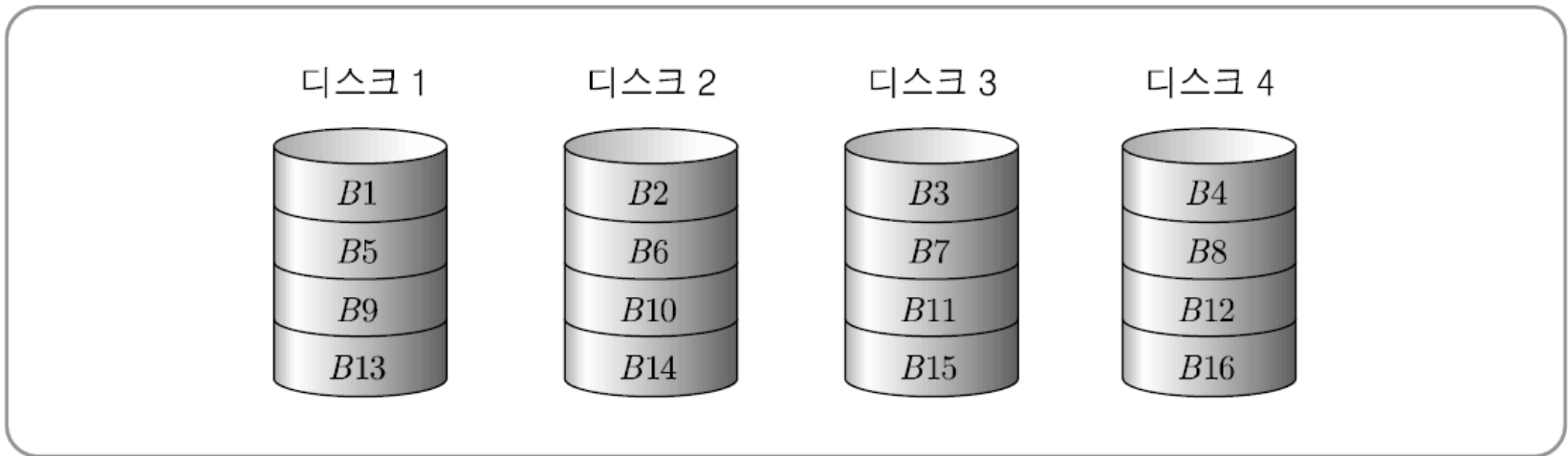


그림 6-6 디스크 인터리빙을 이용한 분산 저장

디스크와 디스크 배열의 특성 비교

표 6-2 대형 디스크, 소형 디스크 및 디스크 배열의 특성 비교³⁾ [CHE90]

특성 \ 모델	IBM 3390(10.5 ")	IBM 0061(3.5 ")	디스크 배열 (IBM 0061 70개)
용량	23GByte	320MByte	23GByte
크기	97ft ³	0.1ft ³	11ft ³
전력 소모량	3KW	11W	1KW
데이터 전송률	15MB/sec	1.5MB/sec	120MB/sec
I/O 처리률	600IOs/sec	55IOs/sec	3900IOs/sec
가격	\$200,000	\$2,000	\$150,000
MTTF	250000시간	50000시간	?

- * 위의 표는 RAID를 처음 제안한 U.C. Berkeley 대학의 연구팀이 제시한 것으로서,
그 당시의 디스크들에 대한 규격 및 가격 등을 기준으로 작성되었음

디스크 배열의 단점

- 디스크 배열의 주요 단점 : MTTF(Mean Time To Failure)의 단축

$$\text{MTTF} = \frac{\text{단일 디스크의 MTTF}}{\text{배열 내 디스크들의 수}}$$

[예] MTTF = 30000 시간인 디스크 100개를 이용한 디스크 배열의

$$\text{MTTF} = 30000/100 = 300 \text{ 시간으로 단축}$$

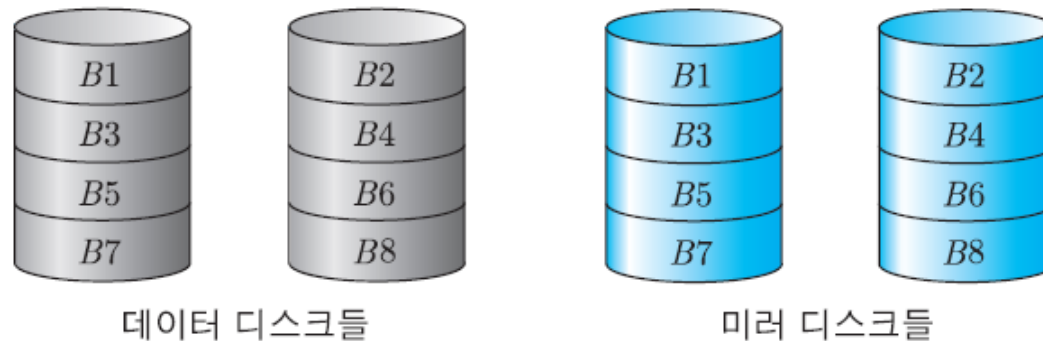
RAID 제안

- 디스크 배열의 결함허용도(fault-tolerance)를 높이기 위하여 RAID가 제안됨
 - **핵심 기술** : 검사 디스크(check disk)들을 이용하여 오류 검출 및 복구(error detection and recovery)기능 추가
 - **디스크 결함 발생시의 복구 절차** (아래의 모든 절차들이 시스템의 정상적 동작이 유지되고 있는 상태에서 진행)
 - ① 해당 디스크 사용 중단 및 시스템으로부터 분리 (디스크 용량 축소)
 - ② 검사 디스크에 저장된 정보를 이용하여 원래의 데이터 복구
 - ③ 결함 수리 후 디스크 재설치
 - ④ 시스템 재구성 (원래의 디스크 용량 회복)

6.2.2 RAID의 종류

1) RAID-1

- ❑ **디스크 미러링(disk mirroring)** 방식 이용 : 데이터 디스크에 저장된 모든 데이터들은 짝(pair)을 이루고 있는 미러 디스크의 같은 위치에 복사



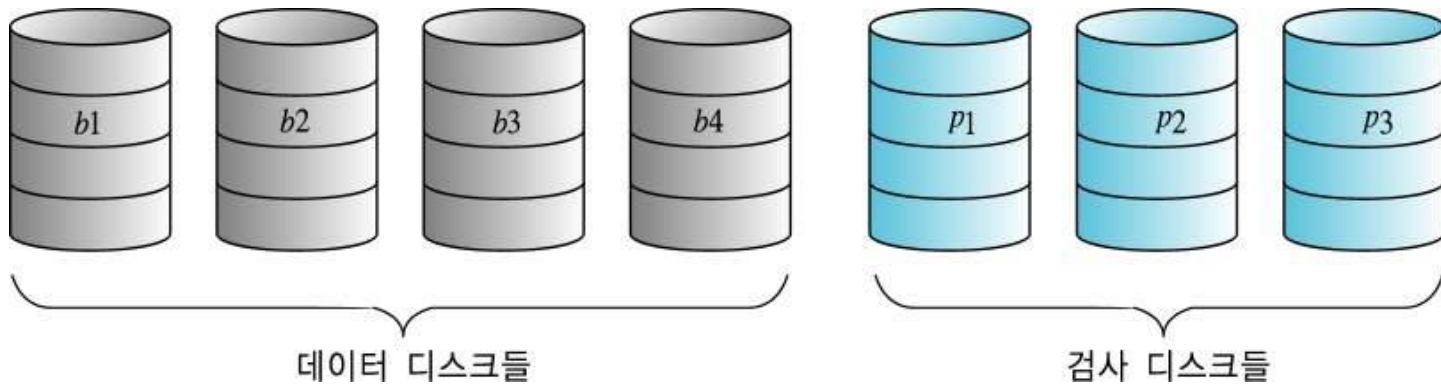
[장점] 거의 완전한 결함허용도(fault tolerance) 제공

[단점] 가격이 높다

[주요 용도] 높은 신뢰도를 요구하는 결함허용시스템에 주로 사용
시스템 소프트웨어 혹은 중요한 데이터 파일 저장에 사용

2) RAID-2

- 비트-단위 인터리빙 방식 사용 : 데이터를 각 디스크에 비트 단위로 분산 저장
- 해밍 코드(Hamming code)를 이용한 오류 검출 및 정정



[단점] 필요한 검사 디스크들의 수가 많아서 가격이 비싸다

[주요 용도] 오류가 많이 발생하는 환경에서 사용

RAID-2 (계속)

□ 필요한 검사 디스크 수를 구하는 식 :

$$2^C - 1 \geq G + C$$

단, G : 데이터 디스크의 수

C : 필요한 검사 디스크들의 수

[예] $G = 8$ 인 경우 : 검사 디스크 수 (C) = 4, 오버헤드 = 50 %

$G = 16$ 인 경우 : 검사디스크 수 (C) = 5, 오버헤드 = 31 %

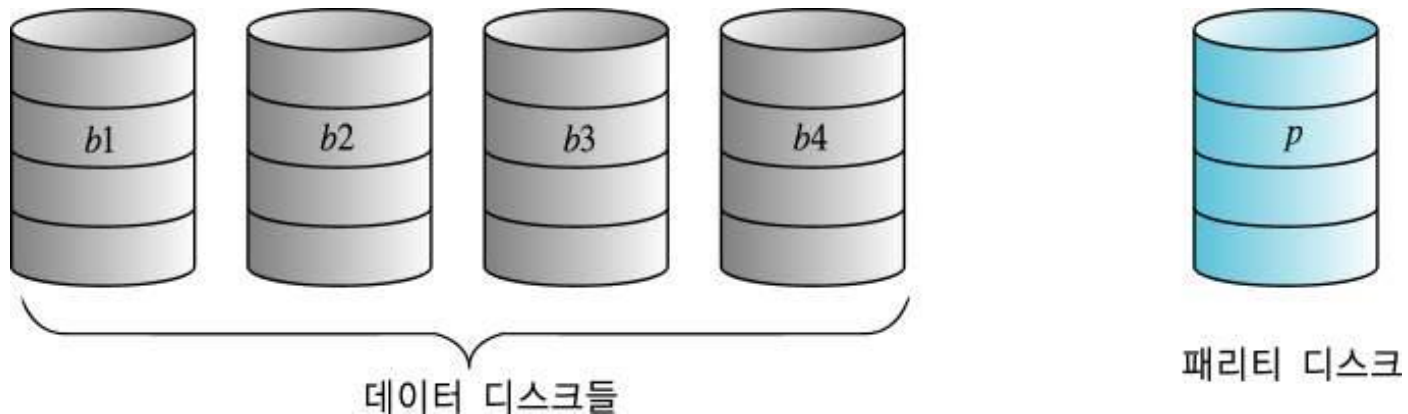
3) RAID-3

❑ 패리티 방식을 이용한 오류 검출 및 정정 방식 사용

▪ 패리티 비트 : $p = b1 \oplus b2 \oplus b3 \oplus b4$

❑ 디스크에 결함이 발생한 경우의 데이터 복구 방법:

[예] $b2$ 가 저장된 디스크 결함 발생시: $b2 = p \oplus b1 \oplus b3 \oplus b4$

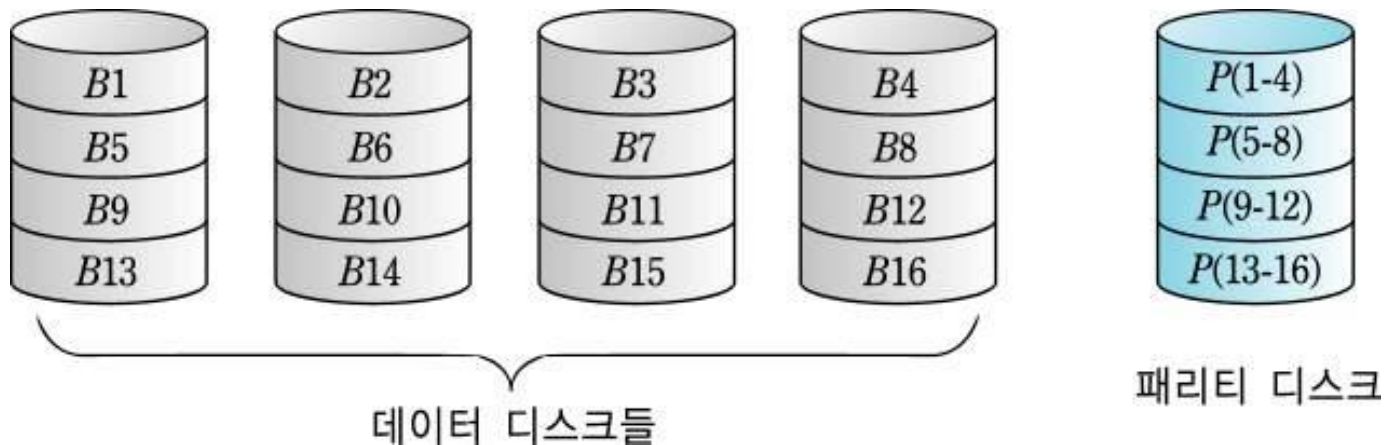


[장점] 병렬 데이터 읽기/쓰기 가능 → 디스크 액세스 속도 향상

[단점] 쓰기 동작 때마다 패리티 비트 갱신 필요 → 시간 지연 발생

4) RAID-4

- ❑ 블록-단위 인터리빙 방식 사용
- ❑ 데이터 디스크들의 동일한 위치에 있는 블록들에 대한 패리티 블록을 패리티 디스크에 저장



[문제점] 매 쓰기 동작을 위해 패리티 디스크를 두 번씩
액세스 → 병목 현상 발생

RAID-4 (계속)

❑ 데이터 블록의 쓰기(갱신) 과정

- 두 번째 디스크에 저장된 블록 $B2$ 를 $B2'$ 로 갱신하는 경우
- 새로운 패리티 블록 $P' = B1 \oplus B2' \oplus B3 \oplus B4$
 - 세 번의 디스크 읽기($B1$, $B3$ 및 $B4$ 읽기)와 두 번의 디스크 쓰기(새로운 데이터 및 패리티 쓰기) 동작들이 필요 → 성능 저하
 - 디스크 액세스 횟수의 최소화 방법

$$\begin{aligned} P' &= B1 \oplus B2' \oplus B3 \oplus B4 \oplus (B2 \oplus B2) \\ &= (B1 \oplus B2 \oplus B3 \oplus B4) \oplus B2 \oplus B2' \\ &= P \oplus B2 \oplus B2' \end{aligned}$$

즉, 디스크 수에 상관없이, 한 블록 갱신에 네 번의 디스크 액세스만 필요

- 원래 데이터 읽기, 원래 패리티 읽기, (새로운 패리티 계산), 새로운 데이터 쓰기, 새로운 패리티 쓰기

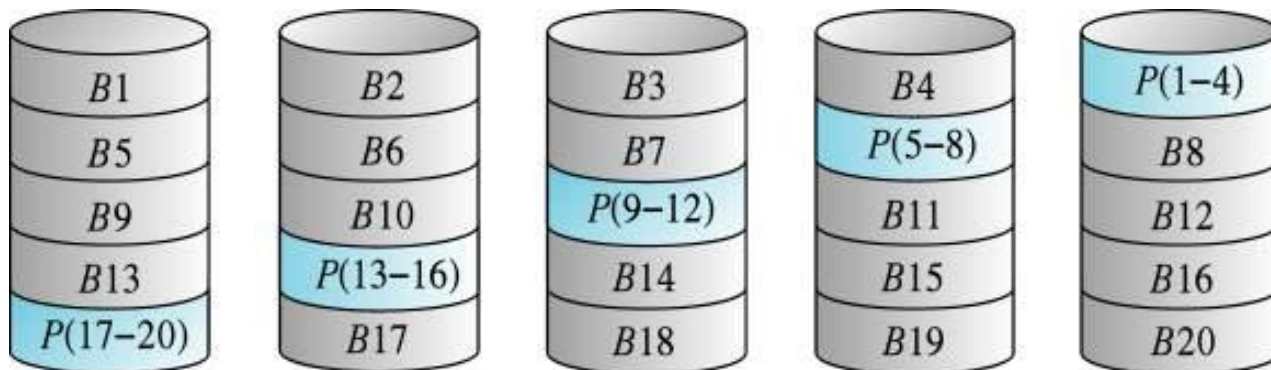
5) RAID-5

- RAID-4의 문제점을 보완하기 위하여 패리티 블록들을 라운드-로빈(round-robin) 방식으로 분산 저장

[장점] 패리티 디스크에 대한 병목 현상 해소

쓰기 동작들의 병렬 수행 가능

- 데이터 디스크들의 수가 G 개일 때, 최대 $(G+1)/2$ 개의 쓰기 동작들의 병렬 수행 가능



RAID-5 (계속)

[문제점] 작은 쓰기 문제(small write problem) 존재:

- 어느 한 블록만 갱신하는 '작은 쓰기(small write)'의 경우에 네 번의 디스크 액세스가 필요하기 때문에 성능이 저하됨.

<비교> 큰 쓰기(large write: 디스크 수보다 더 많은 블록들로 이루어진 파일을 한꺼번에 저장 혹은 갱신)의 경우에는 패리티 블록을 미리 계산하여, 새로운 데이터 및 패리티 블록을 한번씩만 쓰면 됨.

□ RAID-1과 RAID-5의 비교

- RAID-1 : 읽기와 작은 쓰기가 많은 환경에 적합
- RAID-5 : 용량과 비용을 중요시하는 응용이나 큰 쓰기 요구가 많은 환경에 적합
- 가격 대 성능비 측면에서 RAID-5가 더 우수

6.3 플래시 메모리와 SSD

□ 주기억장치-보조저장장치 간 정보 전송의 필요성

- 시스템 초기화(부팅) 과정에서 OS 프로그램을 주기억장치로 적재
- 응용 프로그램이 처음 수행될 때는 디스크로부터 주기억장치로 적재
- 새로이 생성되거나 수정된 데이터는 보조저장장치에 영구 저장
- 주기억장치 공간이 부족한 경우에는 적재되어 있는 블록을 보조저장장치로 내보내고(swap-out), 새로운 블록을 읽어와서 그 공간에 적재(swap-in)

❑ 주기억장치와 보조저장장치 간의 속도 격차 증가

➔ 보조저장장치의 성능 향상 필요

❑ 기계장치가 포함된 디스크 드라이브의 성능 한계

❑ SSD(Solid-State Drive) 출현

- 비휘발성 반도체 기억장치들을 이용한 대용량 보조저장장치
(다수의 플래시 메모리들을 배열로 구성한 패키지)
- 속도 및 신뢰도 향상
- 디스크와는 다른 읽기/쓰기 특성을 가지기 때문에 별도 관리 필요
- 상대적 고가 및 낮은 내구성(데이터 갱신 횟수 제한)

6.3.1 플래시 메모리

□ 플래시 메모리의 출현 ➔ 비휘발성 반도체 기억장치 분야 활성화 계기

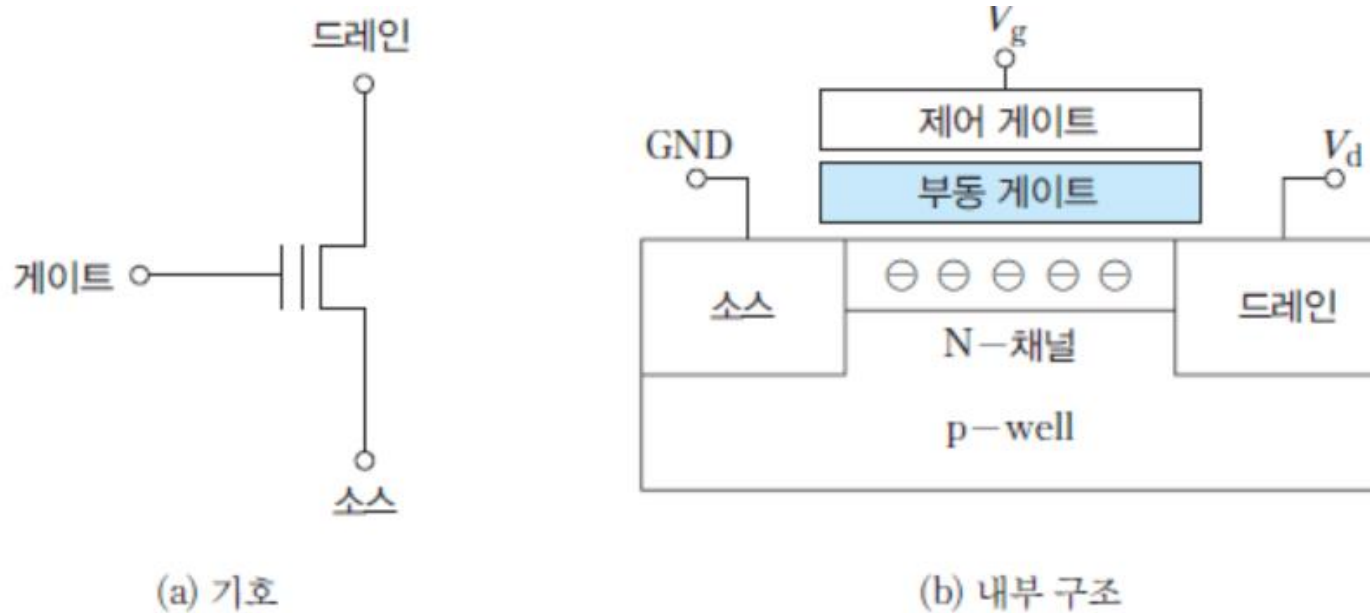
- 높은 저장 밀도: 한 비트 저장에 한 개의 트랜지스터 사용
[비교] EEPROM: 비트 당 두 개의 트랜지스터 사용
- 낮은 전력소모량, 높은 신뢰성, 속도 향상

□ 동작 원리

- 메모리 셀(기억 소자) 구현: NMOS 트랜지스터 사용
- 구조적 특징: 두 개의 게이트 (일반 NMOS는 한 개)
 - 제어 게이트(control gate): 일반 트랜지스터의 게이트와 동일
 - 부동 게이트(floating gate): 정보 저장의 핵심적 역할 수행

동작원리 (계속)

- 메모리 셀의 기호 및 내부 구조



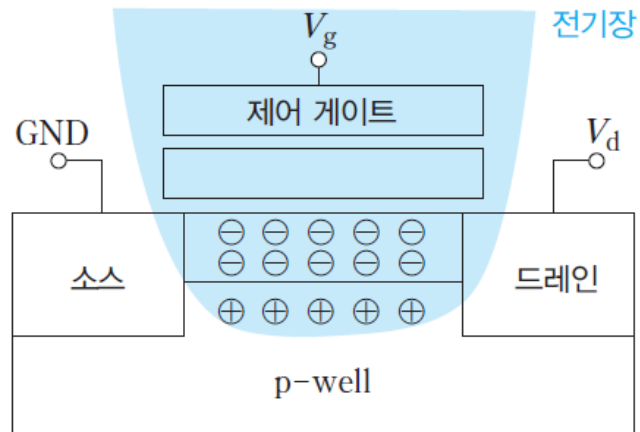
- 부동 게이트** : 절연체인 산화막(SiO_2)로 둘러싸여 전자들이 쉽게 들어오거나 나가지 못하며, 초기에는 비어있는(empty) 상태 = ('1' 저장 상태)

- **프로그래밍(쓰기) 동작**: 제어 게이트로 고전압(예: +12V) 인가 시, 강력한 전기장 발생으로 N-채널의 전자들이 부동 게이트로 진입(터널링 효과로 인한 터널 주입 발생) → '0' 쓰기
 - '0' 저장 : $V_g = +12V$ 인가
 - '1' 저장 : $V_g = 0$
- **삭제(erase) 동작**: p층(p-well)에 고전압(V_p) 인가 시, 부동 게이트에 갇힌 전자들이 N-채널로 빠져 나옴 (터널 릴리스 현상)
 - 셀에 저장된 값 → 원래 값('1')으로 변경

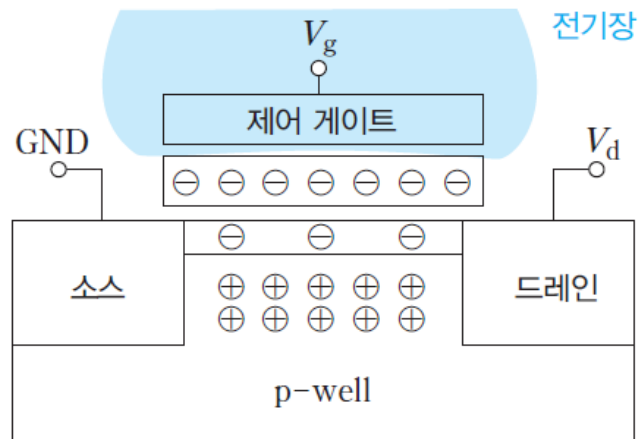
■ 읽기 동작

- 드레인 전압(V_d : 5V) 인가 → N-채널을 통하여 전자 흐름 발생
- 게이트 전압(V_g : 5V) 인가 → 전기장 발생
- 저장된 데이터 = '1' (부동 게이트가 빈 상태) 경우
→ N-채널 확장 (그림 6-13(a))
→ 많은 전류가 흘러 트랜지스터가 'ON' 상태 : '1' 읽음
- 저장된 데이터 = '0' (부동 게이트가 채워진 상태) 경우
→ N-채널 유지 (그림 6-13(b))
→ 매우 적은 전류가 흘러 트랜지스터는 'OFF' 상태 : '0' 읽음

메모리 셀의 읽기 동작 원리



(a) 부동 게이트가 비어 있는 상태('1'이 저장된 상태)



(b) 부동 게이트가 채워진 상태('0'이 저장된 상태)

플래시 메모리의 셀 배열 조직

□ NOR형 플래시 메모리

- 메모리 셀 배열(memory cell array)이 NMOS 트랜지스터들의 **병렬 접속**으로 구성 (**그림 6-14(a)**) : 전원(V_{cc})이 비트 라인(BL)을 통하여 모든 트랜지스터들의 드레인으로 직접 공급되며, 트랜지스터들의 소스는 접지(GND)로 접속
 - ➔ 각 트랜지스터의 독립적 스위칭 동작 가능 (셀 단위 액세스 가능)

□ NAND형 플래시 메모리

- 메모리 셀 배열이 NMOS 트랜지스터들의 **직렬 접속**으로 구성 (**그림 6-14(b)**) : 전원(V_{cc})이 첫 번째 트랜지스터의 드레인으로만 접속되고, 소스가 다음 트랜지스터의 드레인으로 접속되며, 마지막 트랜지스터의 소스만 접지
 - ➔ 트랜지스터의 독립적 스위칭 동작 불가능 (셀 단위 액세스 **불가능**)

NOR형 플래시 메모리의 읽기 동작 원리

- 셀 배열의 트랜지스터(TR)에 '0'이 저장된 상태에서 해당 단어 선(WL)으로 $V_g = +5V$ 인가 :

(TR: OFF) \rightarrow BL = +5V 유지

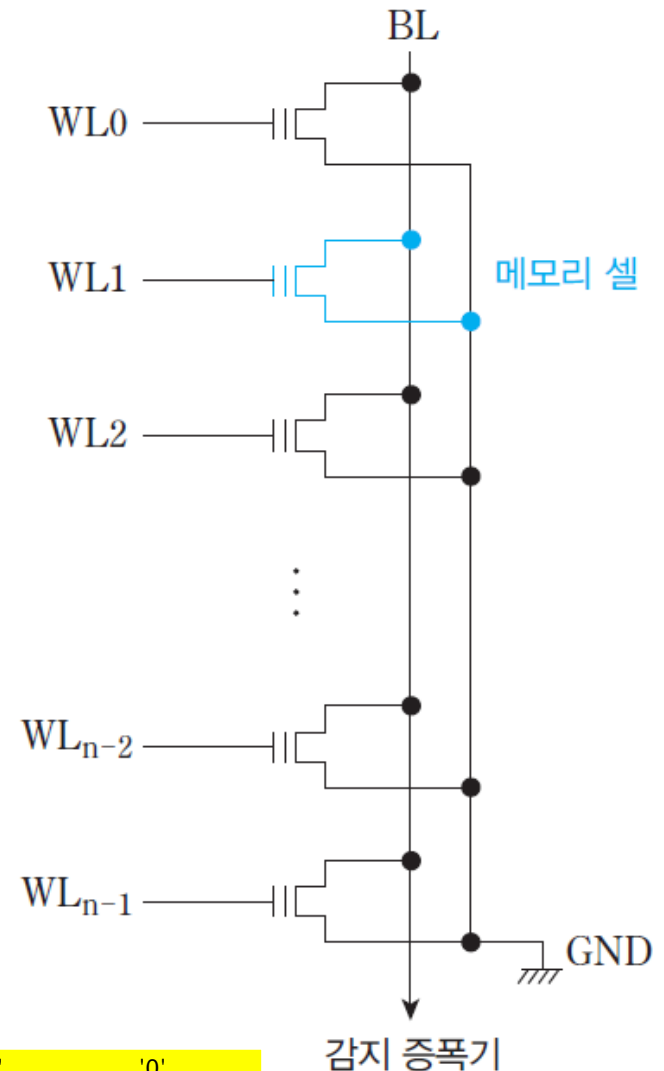
- 셀 배열의 어느 TR(들)에든 '1'이 저장된 상태에서 $V_g = +5V$ 인가 :

(TR: ON) \rightarrow BL = 0V

\rightarrow “NOR 연산”

- (BL=0V) \rightarrow 감지 증폭기(sensor amp)의 스위칭 동작에 의해, 최종 출력 = '1', [(BL=+5V) \rightarrow '0' 출력]

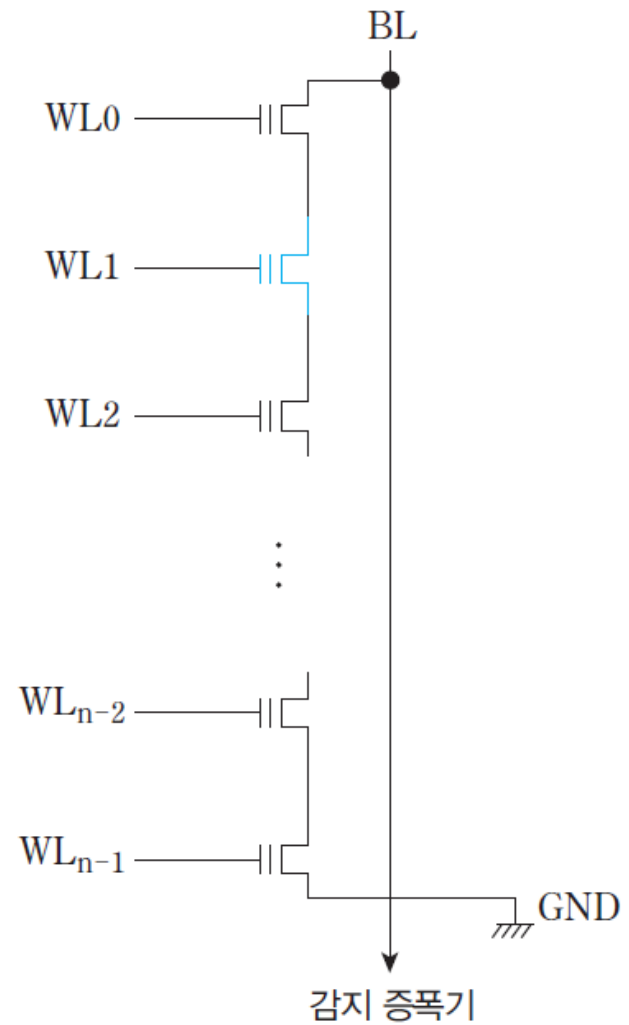
- 셀(비트) 단위 읽기 가능



- > NOR '1' '0'

NAND형 플래시 메모리의 읽기 동작 원리

- ‘1’ 저장 상태에서, (TR: ON)을 위한 문턱 전압(threshold voltage: V_{th}) = $-3V$
 - ‘0’ 저장 상태에서는 $V_{th} = +1V$
 - 초기 상태: 모든 WL(V_g)= $+5V$ (TR=ON)
 - 어느 한 셀의 읽기: 해당 $V_g = 0V$ 인가
 - ‘1’이 저장된 상태라면, $V_g > V_{th}$:
(TR=ON) \rightarrow BL=0V [‘1’]
 - ‘0’이 저장된 상태라면, $V_g < V_{th}$:
(TR=OFF) \rightarrow BL= $+5V$ [‘0’]
- ➔ “NAND 연산”
- [최종 출력]은 센서증폭기에 의해 반전



'1' '0'
 - > NAND

NOR형 및 NAND형 플래시의 비교

□ NOR형

- 셀(비트) 단위 읽기/쓰기 가능 : 프로그램 코드 저장, 작은 데이터 수시 인출 및 변경 응용에 적합
- 셀 당 접속 선의 수 = 3개 → 낮은 저장 밀도(칩 당 저장용량 감소)
- 주요 용도: PC-BIOS 저장장치, PDA/스마트폰 OS 저장장치, 등

□ NAND형

- 셀(비트) 단위 읽기/쓰기 불가능 (페이지 단위만 가능)
- 셀 당 접속 선의 수 = (2개)
→ 높은 저장 밀도 : 대용량 저장장치로 적합
- 주요 용도: 백업 저장장치, SSD, 등

NAND형 플래시 메모리의 내부 조직 및 특성

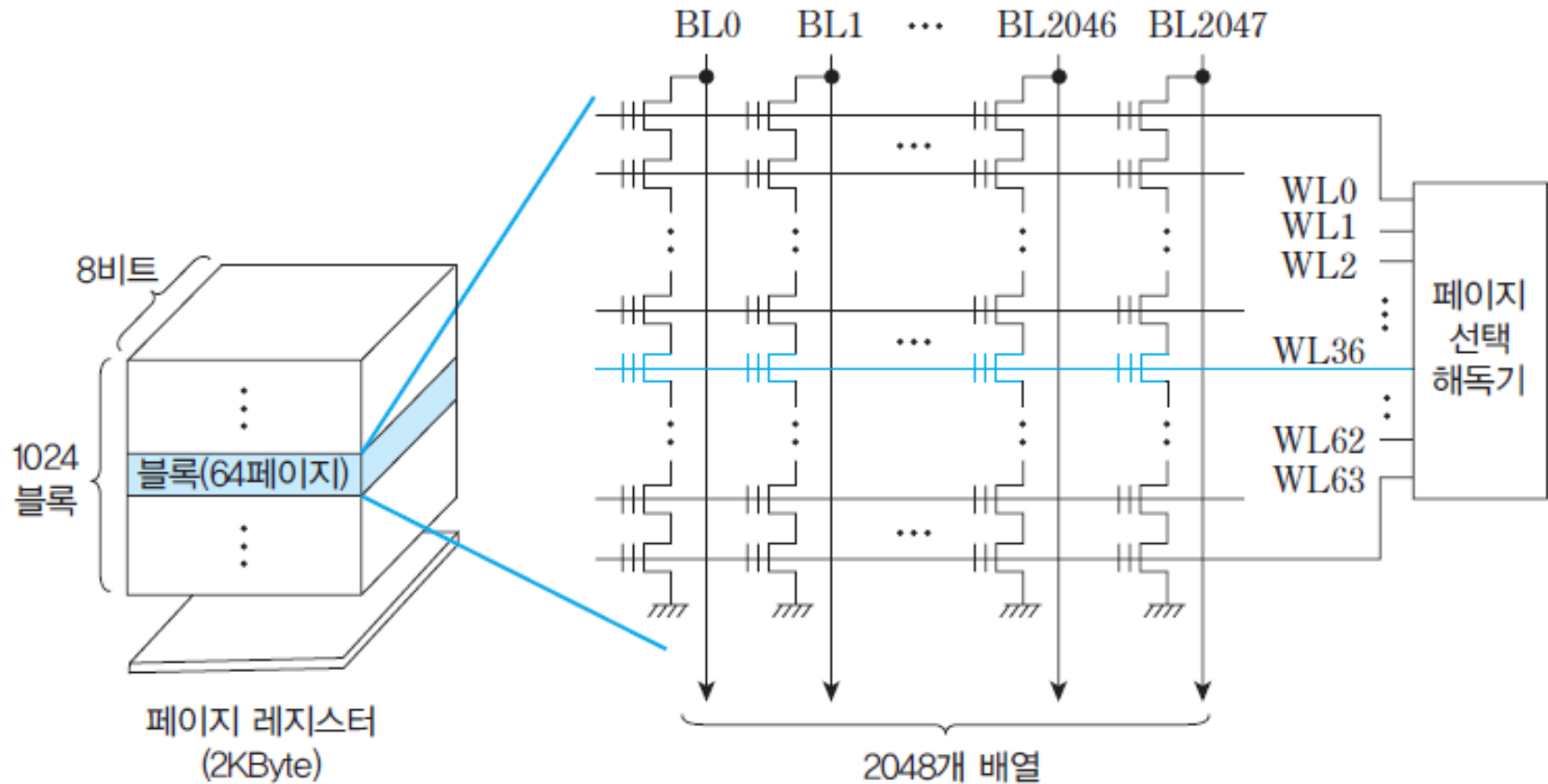
- 블록(block)들로 구성되며, 각 블록은 다수의 페이지(page)들로 구성
 - 페이지 크기: 2Kbyte, 4Kbyte, 16Kbyte, 64Kbyte, 등
 - [비교] 디스크: 읽기/쓰기/전송의 기본 단위인 섹터 = 0.5Kbyte
- 읽기, 쓰기 및 전송: 페이지 단위
- 삭제: 블록 단위

내부 조직(계속)

[예] 1Gbit 플래시 메모리의 내부 조직

- 페이지: x 방향으로 2048개의 셀들로 구성되고, z 방향으로 8개씩의 셀로 이루어짐 → 16 Kbits (2 Kbyte)
- 블록: 64개의 페이지들로 구성 → 1 Mbit(128 Kbyte)
- 메모리 모듈: 1024개의 블록들이 y 방향으로 쌓여 이루어짐
→ 전체 용량 = 1 Gbit (128 Mbyte)

1Gbit NAND 플래시 메모리의 내부 조직



□ 읽기 동작

- 페이지 선택 해독기(page select decoder)의 64개 출력들 중 활성화된 한 출력이 2048개 셀들의 게이트로 인가(페이지 선택)
- z 방향의 8개 배열들에 대하여 동시에 수행(byte 단위)
- 해당 페이지의 모든 데이터(2048 x 8비트)가 인출되어 페이지 레지스터(page register)로 적재된 후, 버스를 통하여 CPU로 전송
- 페이지 단위로 읽기 수행 → 바이트 단위 동작이 가능한 NOR형에 비해 읽기 시간이 더 길어짐

□ 칩의 용량

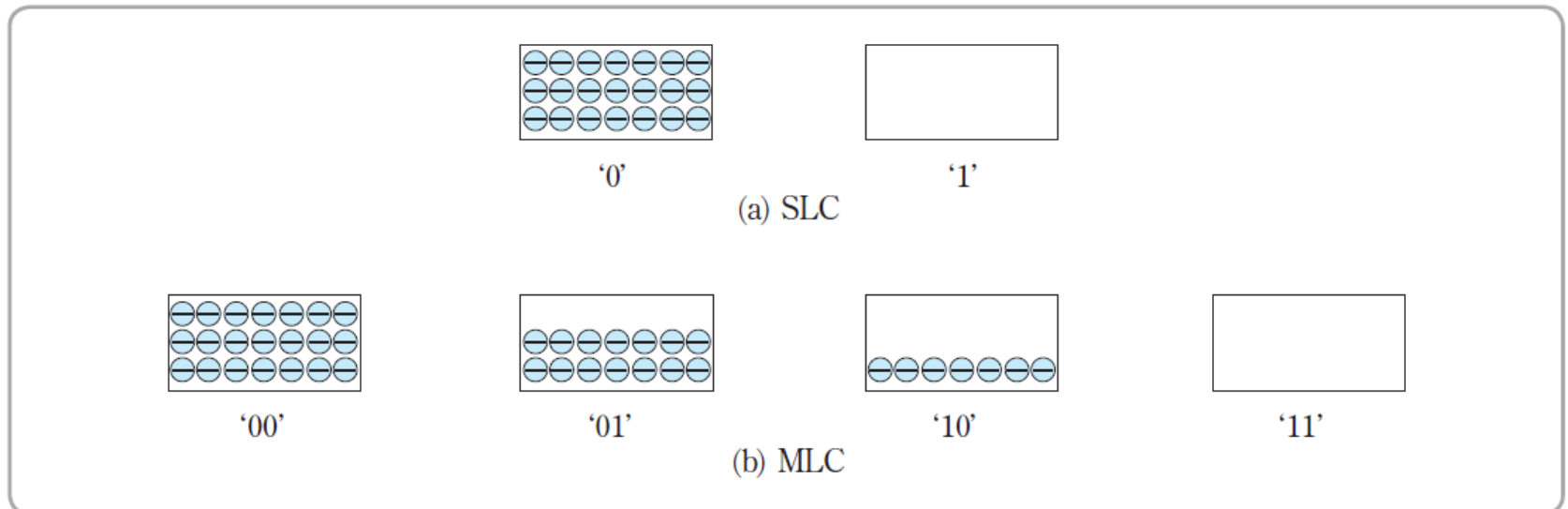
- $\{(2048 \times 8\text{비트}) \times 64\text{페이지}\} \times 1024\text{블록} = 1\text{Gbit} = 128\text{Mbyte}$
- 오류 검출 및 정정을 위한 ECC(error correction code) 추가 시,
페이지 당 64byte ECC 정보가 데이터와 함께 저장됨
→ 페이지 당 (2K+64)byte, 블록 당 (128K+4K)byte 저장

□ 내부 조직 유형

- 블록 당 페이지 수: 32개, 64개, 128개, 등
- 페이지 크기: 2Kbyte, 4Kbyte, 16Kbyte, 64Kbyte, 등
- 액세스 및 전송의 기본 단위인 페이지의 크기가 일정하지 않고,
하드 디스크의 섹터 크기와 다르며, 삭제는 블록 단위로만 가능

SLC, MLC 및 TLC

- 부동 게이트로 들어가는 전자들의 수를 조정하여 각 셀에 저장되는 상태의 수를 증가
 - SLC(single-level cell): 두 가지 상태를 가짐으로써 한 비트를 저장하는 셀
 - MLC(multi-level cell): 셀의 상태를 4가지(00,01,10,11)로 구분
➔ 메모리 셀 당 2비트씩 저장



- TLC(triple-level cell): 셀의 상태를 8가지(000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111)로 구분 ➔ 셀 당 3비트씩 저장

□ MLC 및 TLC의 문제점

- 전자 수 조절을 위한 세밀한 작업 필요
- 데이터 구분의 어려움으로 인한 액세스 속도 저하
- 오류 발생 빈도 증가
- 수명 단축

표 6-3 SLC, MLC 및 TLC의 특성 비교

특성 / 종류	SLC	MLC	TLC
셀 당 비트 수	1	2	3
읽기 시간	25 μ s	50 μ s	75 μ s
쓰기 시간	200~300 μ s	600~900 μ s	900~1,300 μ s
삭제 시간	1.5ms	3ms	4.5ms
재기록 가능 횟수	100,000	3,000~10,000	1,000

3차원 수직구조 VNAND 플래시 메모리 기술

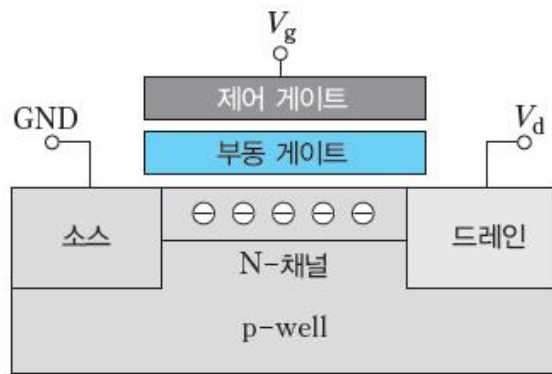
□ 3D V-NAND 제조 공정

[1단계]

- P-well 부분을 원통형으로 제조
- 부동 게이트를 p-well 원통 주위를 둘러싸도록 제조
- 제어 게이트도 부동 게이트 주위를 둘러싸도록 제조
→ 3차원 구조의 셀 구성 (그림 6-17(b))

[2단계]

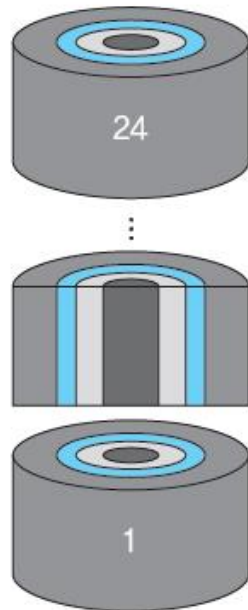
- 셀들을 수직 적층 구조로 쌓아 올림 (그림 6-17(c))
- 다수의 실리콘 다이(die)들을 부착시키고, 많은 수의 미세 크기 홀(hole)들을 뚫고, 셀들을 수직 방향으로 적층 (그림 6-17(d))



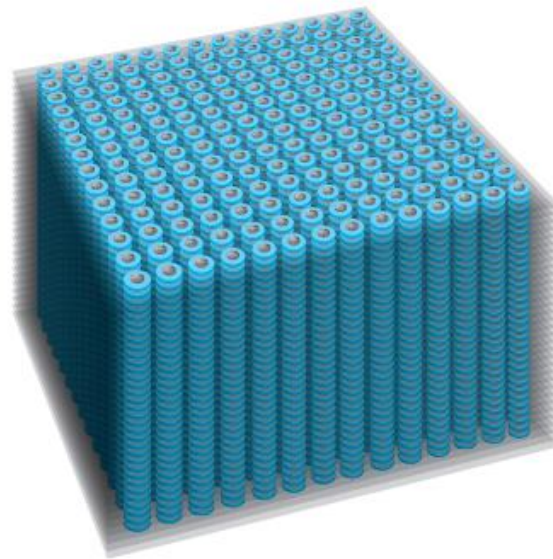
(a) 2차원 셀의 구조



(b) 3차원 셀의 구조



(c) 수직 24적층 구조



(d) 3D V-NAND 플래시 구조

□ 3D V-NAND 플래시의 동향

- 수 억 개의 홀을 뚫고 각 층마다 전극을 연결하는 에칭(etching) 기술 및 수직 셀을 만드는 게이트 패턴(gate pattern) 기술과 같은 첨단 반도체 공정기술 필요
- 32단, 64단, 96단의 초정밀 적층기술 개발로 용량이 계속 증가 중

□ 특징

- 부동 게이트 공간의 확장으로, 많은 수의 전자 주입 가능
→ 전자 수를 기준으로 데이터 구분이 용이해져 오류 감소
- 부동 게이트 내의 전자 수를 16 등급으로 구분하여 4-비트 데이터를 저장하는 QLC(quadruple-level cell) 제조 가능
→ 테라 비트(tera bit)급의 칩 출현

6.3.2 SSD(Solid-State Drive)

- ❑ 기계적 장치가 포함된 하드 디스크 드라이브(HDD)를 대체하기 위해 개발된 대용량 비휘발성 반도체 저장장치
- ❑ 구성요소: 저장밀도가 높은 NAND형 플래시 메모리
- ❑ 다수의 플래시 메모리들을 배열로 구성하여 패키징
- ❑ 장점: 높은 안정성 및 신뢰도
- ❑ 결점: 저장용량 대비 가격이 HDD에 비해 다소 높음

SSD의 내부 조직(그림 6-18 참조)

- 플래시 메모리 칩

- PCB 앞면과 뒷면에 각각 4개의 64층 QLC 플래시 장착
- 인터리빙 방식으로 데이터 분산 저장, 병렬 입출력 채널 구성
→ 동시 액세스 및 병렬 데이터 전송 지원

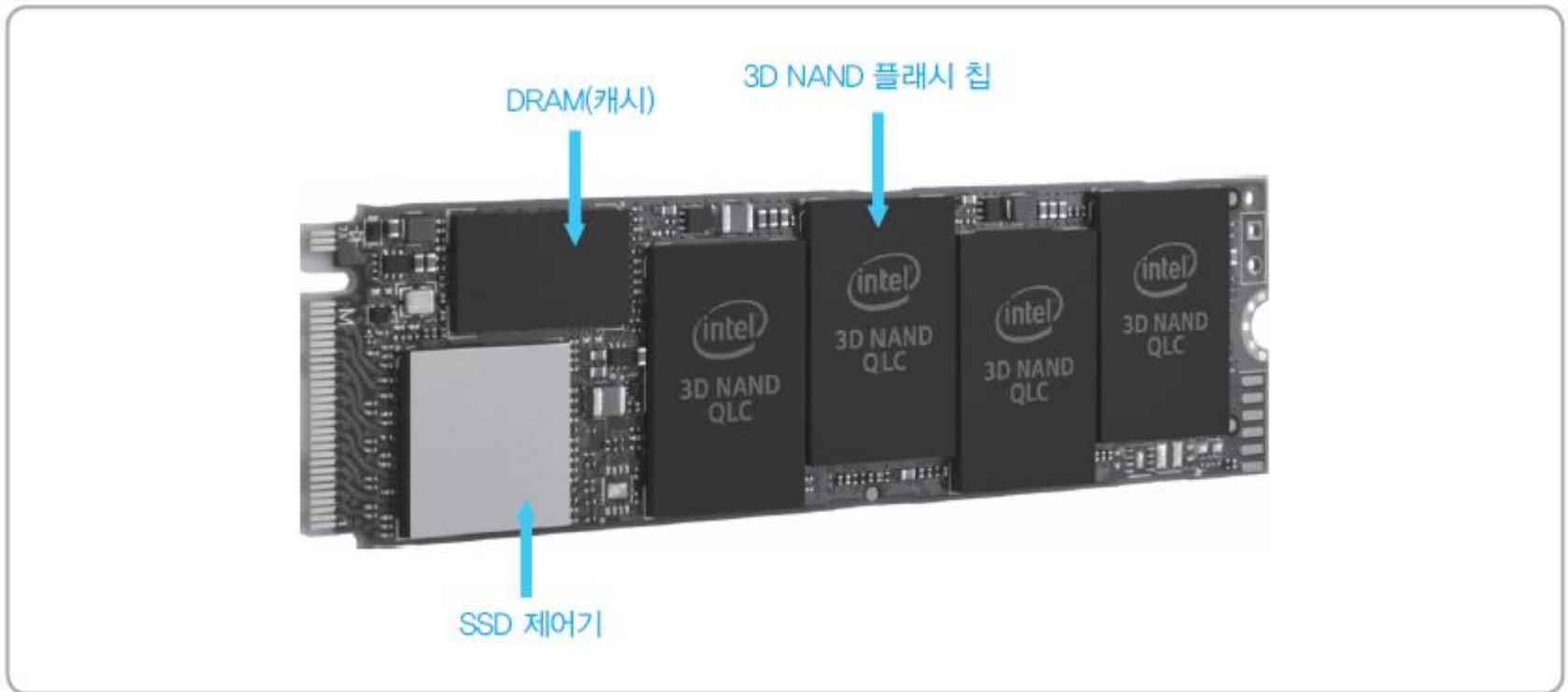
- SSD 제어기(controller)

- 데이터 저장과 인출, 칩 관리, 주소 변환 등과 같은 핵심적 기능 수행
- 펌웨어 수준의 프로그램을 수행하는 프로세서로 구현

- DRAM: 컴퓨터와 플래시 메모리 사이의 데이터 버퍼

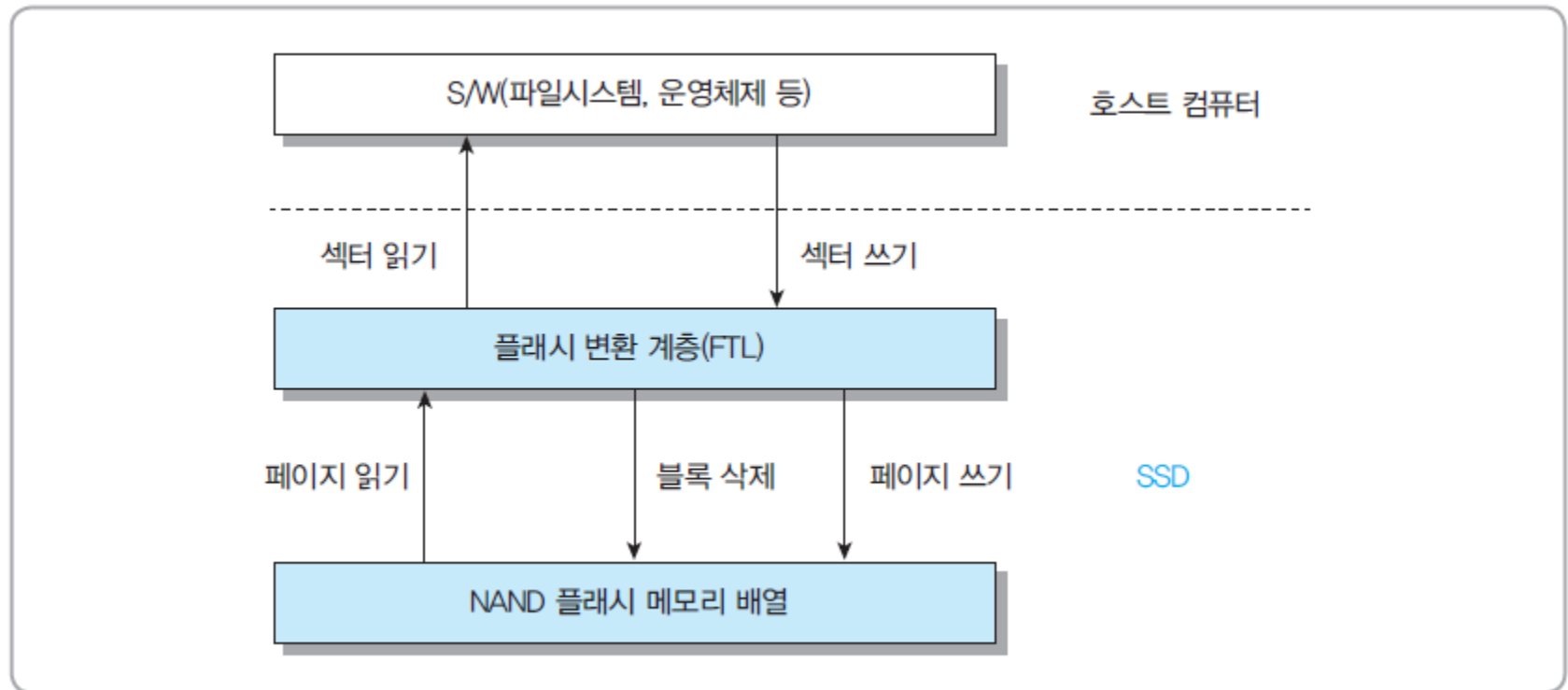
- 외부 인터페이스: SATA, PCIe 등을 이용한 직렬 전송

❑ 사례: Intel SSD 660p 계열 제품의 PCB 전면 (그림 6-18)



FTL(Flash Translation Layer)

- ❑ 기존의 파일시스템과 OS로 하여금 SSD를 HDD와 같은 방법으로 사용할 수 있도록 지원하는 **미들웨어(middleware)**
- ❑ SSD 제어가 수행



- FTL은 페이지 주소와 섹터 주소간의 매핑(mapping) 기능 외에도, SSD의 성능 향상을 위하여 아래의 기능들을 수행
 - 마모 평준화(wear leveling)
 - 쓰레기 수집(garbage collection)
 - 초과 대비공간(over-provisioning; 오버-프로비저닝)

마모 평준화(wear leveling)

□ 필요성

- 플래시 메모리의 셀 수명(재기록 반복횟수: program/erase cycle) 한계
- MLC 및 TLC에서 그 문제는 더욱 심각
- 삭제 및 쓰기 동작들이 일부 블록이나 페이지들에 집중될 경우, 전체 SSD 수명 단축

□ 해결책: 마모 평준화

- 모든 페이지들이 고르게 사용되도록 저장 위치 조정
- 각 페이지의 사용 횟수를 기록하여 쓰기 동작 시 참고
- 기록 횟수가 적은 페이지 우선 사용

쓰레기 수집(garbage collection)

□ 필요성

- 삭제 동작이 블록 단위로만 가능
- 페이지 수정 시, 마모 평준화 정책에 따라 다른 위치에 새로운 내용을 쓰고, 원래 페이지는 삭제 필요(페이지 단위는 삭제 불가)

□ 해결책

- 페이지 내용은 수정되었지만 삭제하지 못한 원래 페이지는 **쓰레기(garbage)**로 표시
- 쓰레기로 표시된 페이지가 많이 축적된 블록을 한꺼번에 삭제: **쓰레기 수집** (삭제 전에 유효 페이지는 다른 블록으로 미리 이동)

□ 쓰레기 수집의 예 (그림 6-20)

- (a) 페이지 A, B, C, D가 블록 X에 저장된 상태
- (b) 새로운 페이지 E, F, G, H 저장하고,
기존 페이지들은 A', B', C', D'로 수정하려 함
→ 덮쓰기(overwrite)가 되지 않으므로, 다른 위치에 저장
→ 기존 페이지들은 무효 상태 : 쓰레기(garbage)
- (c) 블록 X에 있는 유효 페이지들을 다른 블록 Y로 이동(복사) 후,
블록 X 전체를 삭제 = 쓰레기 수집 과정

블록 X	A	B	C
	D		

블록 Y			

(a)

블록 X	A	B	C
	D	E	F
	G	H	A'
	B'	C'	D'

블록 Y			

(b)

블록 X			

블록 Y			
		E	F
	G	H	A'
	B'	C'	D'

(c)

그림 6-20 쓰레기 수집 과정의 예

□ TRIM 명령

- OS가 수행하는 명령으로서, SSD에게 무효 페이지들을 SSD 제어기에게 통보해줌으로써 쓰레기 수집의 효율을 높여 SSD의 성능을 향상시켜주는 보조 기능
- 삭제 횟수를 최소화시켜주는 효과도 있음

초과 대비공간(over-provisioning: 오버-프로비저닝)

□ 필요성

- 마모 평준화의 효율을 높이기 위해서는 (수정된 페이지와 쓰레기 페이지의 일시적 중복 저장을 위한) 추가적 저장 공간 필요

□ 해결책

- SSD 내부에 여분의 저장 공간 제공

□ 사례

- Intel DC 3500 SSD : 120 GByte + 8 GByte(초과 대비공간)
- 삼성전자 840 계열의 MZ-7TD250B SSD : 250 GByte + 6 GByte(초과 대비공간)

마모 평준화는 SSD의 수명 연장을 위한 매우 중요한 기술이지만, 남아있는 저장 공간이 적다면 그 효과가 줄어든다. 즉, 여유 공간이 어느 정도는 있어야 평준화 작업과 쓰레기 수집이 효율적으로 이루어질 수 있다. 따라서 SSD 제품들은 출시될 때부터 내부에 여분의 저장 공간을 제공하여 그 목적으로 사용될 수 있게 해준다. 예를 들어, Intel DC S3500 계열의 SSD들 중에서 가용 용량이 120GByte인 제품의 경우에 그 용량보다 큰 128GByte를 제공하여, 그 중의 일부인 8GByte를 평준화 작업에 대비한 공간으로 사용하도록 지원해주는 것이다. 또 다른 예로서, 삼성전자 840 계열 제품들 중에서 250GByte 용량의 MZ-7TD250B는 6GByte의 평준화 대비용량을 제공하고 있다. 그와 같이 제품 출시 때부터 가용 용량 외에 마모 평준화 작업에 대비하여 추가적인 공간을 제공하는 것을 **초과 대비공간(over-provisioning: 오버-프로비저닝이라고도 함)**이라고 부른다.

기본문제

6.1 아래의 디스크 드라이브 구성요소들 중에서 탐색 시간과 관계가 없는 것은?

- 가. 디스크 팔 나. 헤드
다. 트랙 라. 회전축

6.2 다중-평판 디스크 드라이브에서 동일한 반경에 위치한 트랙들의 집합을 무엇이라 부르는가?

- 가. 실린더 나. RAID
다. 원체스터 디스크 라. 패리티 블록

6.3 회전 속도가 7200rpm인 디스크의 최대 회전지연 시간은 얼마인가?

- 가. 36ms 나. 16.6ms
 다. 8.33ms 라. 4.17ms

6.4 등각속도(CAV) 방식의 특징이 아닌 것은?

- 가. 모든 트랙의 저장 밀도가 같다.
나. 회전 구동장치가 간단하다.
다. 디스크 평판이 일정한 속도로 회전한다.
라. 디스크 저장 공간이 비효율적으로 사용된다.

6.5 다중영역기록(MZR) 방식을 사용하는 디스크의 특징으로 틀린 것은?

- 가. 디스크 상의 트랙들이 여러 개의 영역으로 나누어진다.
나. 같은 영역에 속한 트랙들에는 같은 수의 비트들이 저장된다.
다. 트랙이 속한 영역에 상관없이 데이터 읽기 시간이 동일하다.
라. 디스크 저장 공간이 효율적으로 사용된다.

- 6.6 다음 중에서 디스크 배열을 구성함으로써 얻을 수 있는 이점이 아닌 것은?
 가. 여러 블록들을 동시에 액세스할 수 있다.
 나. 저장 용량이 증가된다.
 다. 데이터 전송률이 높아진다.
☒ 라. 신뢰도가 높아진다.
- 6.7 MTTF = 2000시간인 디스크들을 8개 접속하여 구성한 디스크 배열의 MTTF는 얼마가 되는가?
 가. 200시간
☒ 나. 250시간
 다. 400시간
 라. 1600시간
- 6.8 다음 중에서 디스크 미러링 방식을 사용하는 RAID-1의 특징이 아닌 것은?
 가. 병렬 읽기가 가능하다.
 나. 신뢰도가 높다.
☒ 다. 쓰기 속도가 두 배이다.
 라. 비용이 많이 든다.
- 6.9 다음 중에서 오류 검출을 위하여 해밍 코드를 이용하는 것은?
 가. RAID-1
☒ 나. RAID-2
 다. RAID-3
 라. RAID-5
- 6.10 RAID-5는 RAID-4의 어떤 문제점을 보완하기 위하여 개발되었는가?
 가. 비용이 많이 든다.
 나. 병렬 액세스가 불가능하다.
 다. 쓰기 동작의 시간이 길다.
☒ 라. 패리티 디스크가 성능 병목이 된다.
- 6.11 플래시 메모리 셀의 데이터 저장 동작에서 가장 중요한 기능을 수행하는 내부 요소는 어느 것인가?
 가. 제어 게이트
 나. 드레인
☒ 다. 부동 게이트
 라. N-채널
- 6.12 아래의 플래시 메모리의 유형들 중에서 OS 프로그램 저장에 적합한 것은?
 가. AND형 플래시
☒ 나. NOR형 플래시
 다. EEPROM
 라. NAND형 플래시

- 6.13 아래의 플래시 메모리의 유형들 중에서 대용량 저장장치로 적합한 것은?
 가. AND형 플래시
 나. EEPROM
 다. NOR형 플래시
☒ 라. NAND형 플래시
- 6.14 아래의 설명 중에서 플래시 메모리의 특성이 아닌 것을 찾으라.
 가. EEPROM보다 저장 밀도가 더 높다.
☒ 나. 한 비트를 저장하는 데 두 개의 트랜지스터가 사용된다.
 다. 삭제는 블록 단위, 쓰기는 페이지 단위로 이루어진다.
 라. SSD의 구성 요소로 사용된다.
- 6.15 플래시 메모리 중에서 TLC(triple-level cell)는 하나의 셀에 몇 가지 값들을 저장할 수 있는가?
 가. 2
 나. 4
☒ 다. 8
 라. 16
- 6.16 QLC(quadruple-level cell) 방식을 사용하는 플래시 메모리는 각 셀에 몇 비트씩을 저장할 수 있는가?
 가. 2
☒ 나. 4
 다. 3
 라. 8
- 6.17 아래 중에서 SSD의 수명을 연장시키기 위한 기술은 어느 것인가?
☒ 가. 마모 평준화
 나. 쓰레기 수집
 다. 주소 매핑
 라. 수직 적층
- 6.18 SSD의 구성요소인 플래시 메모리는 블록 단위의 삭제만 가능하기 때문에 쓰레기 수집(garbage collection) 과정이 필요하다. 이 과정의 효율을 높이기 위한 운영체제(OS) 차원의 지원에 해당하는 것은?
 가. 주소 매핑
 나. 오버-프로비저닝
☒ 다. TRIM
 라. 미러링

연습문제

6.1 어떤 하드 디스크 드라이브가 5개의 원형 평판들로 이루어져 있으며, 이들은 양면에 데이터 저장에 가능하다. 각 표면 당 트랙의 수가 10만개, 트랙당 섹터의 수는 500개이며, 섹터 당 512바이트씩 저장된다. 이 디스크 드라이브의 저장 용량은 몇 GByte가 되는가?

6.2 규격이 다음과 같은 하드 디스크에 대하여 아래 물음에 답하라.

표면당 트랙 수=4800
트랙당 섹터 수=200
섹터당 데이터 필드의 길이=512바이트
트랙당 탐색 시간=0.0024ms
회전 속도=7200rpm
데이터 전송률=100[MBytes/sec]

- (1) 디스크의 표면 당 저장 용량은 몇 MByte인가?
- (2) 디스크 헤드가 3250번째 트랙에 위치하고 있을 때, 450번째 트랙의 한 섹터에 대한 액세스 요구가 도착하였다. 탐색 시간은 몇 ms가 걸리는가? 단, 출발과 정지 시점에서의 비선형적 요인은 무시하고, 탐색 시간은 이동 거리에 정비례한다고 가정하라.
- (3) 헤드가 해당 트랙에 도달한 순간에 원하는 섹터는 정반대 편을 통과하고 있었다고 가정한다면, 회전지연시간은 몇 ms가 되는가?
- (4) (3)번 동작에 의해 검색된 섹터의 데이터를 전송하는 데 걸리는 시간을 구하라. 단, 디스크 제어기의 동작 시간은 무시한다.
- (5) 그 섹터를 액세스하는 데 걸리는 전체 시간을 구하라.

6.3 6.2번과 같은 디스크 표면이 양면으로 구성된 평판들을 8개 이용하여 디스크 드라이브를 구성하였다. 실린더(cylinder)당 저장 용량을 구하라.

- 6.4 디스크에서는 등각속도(CAV) 방식을 사용하므로 트랙의 위치에 따라 데이터 저장 밀도가 서로 다르다. 이 방식의 장점과 단점을 각각 설명하라.
- 6.5 다중 영역 기록(MZR) 방식을 사용하는 디스크의 간략화 된 사례인 그림 6-3(b)에서 각 섹터에 0.5KByte의 데이터가 저장되는 경우에, 이 디스크 표면의 저장 용량을 구하라.
- 6.6 20개의 디스크들을 이용하여 디스크 배열을 구성하였다. 만약 각 디스크의 MTTF가 10000 시간이라면, 디스크 배열의 MTTF는 어떤 값이 되는지 구하라.
- 6.7 RAID-1의 가장 중요한 장점과 단점을 각각 한 가지씩 들라.
- 6.8 RAID-3은 RAID-2의 어떠한 점을 개선하기 위하여 제안되었는가?
- 6.9 RAID-5는 RAID-4의 어떠한 점을 개선하기 위하여 제안되었는가?
- 6.10 RAID-5에서는 각 쓰기(write) 동작을 위하여 네 번의 디스크 액세스 동작들이 필요하다. 그 이유를 설명하라.
- 6.11 RAID-5에서 어느 한 디스크에 결함이 발생한 경우에 어떤 방법으로 그 디스크의 원래 내용을 복구할 수 있는가?
- 6.12 그림 6-15와 같은 구조를 가진 플래시 메모리에서 블록 당 페이지 수는 128개, 블록의 수는 2048개로 각각 늘어난 경우에, 플래시 메모리의 전체 용량을 구하라.
- 6.13 플래시 메모리의 제조 방식에 따른 유형들 중에서 TLC는 SLC 및 MLC에 비하여 저장 용량이 늘어나지만, 읽기와 쓰기 속도가 현저히 저하된다. 그 주요 이유를 설명하라.

6.14 플래시 메모리의 유형들 중에서 셀 당 3비트씩 저장하는 TLC 방식에서는 부동 게이트에 주입되는 전자 수의 차이를 구분하는 데 어려움을 가지고 있었다. 그러나 3차원 VNAND에서는 그보다 더 많은 4비트씩 저장할 수 있는 QLC 방식이 구현되었다. 어떤 점이 개선되어 그것이 가능해졌는가?

6.15 SSD의 제어기에 의해 수행되는 미들웨어인 FTL의 주요 역할은 무엇인가?

6.16 SSD의 수명을 연장시키기 위한 기술인 마모 평준화(wear leveling)에 대하여 설명하고, 초과 대비공간(over-provisioning) 기법과의 상관관계를 설명하라.

6.17 SSD에서 TRIM 명령이란 무엇인가? 그림 6-20과 연관시켜 설명하라.

* Computer Architecture

CHAPTER

07

시스템 버스, I/O 및 인터럽트

CONTENTS

7.1 시스템 버스

7.2 버스 중재

7.3 I/O 장치의 접속

7.4 인터럽트를 이용한 I/O

7.5 DMA를 이용한 I/O

제6장

6.1 $100,000\text{트랙} \times 500\text{섹터/트랙} \times 0.5\text{KByte} \times 10\text{면} = 250\text{ GBytes}$

6.2

(1) $4800 \times 200 \times 512\text{byte} = 480\text{ MBytes}$

(2) $0.0024\text{ms} \times (3250 - 450) = 6.72\text{ ms}$

(3) 한 바퀴 회전하는데 8.33ms이 걸리므로 정반대편이면 약 4.165ms가 걸린다.

(4) $\frac{0.5\text{Kbyte}}{100\text{Mbyte/sec}} = 0.005\text{ ms}$

(5) $6.72\text{ms} + 4.165\text{ms} + 0.005 = 10.89\text{ ms}$

6.3 $16 \times 200 \times 512\text{Bytes} = 1600\text{KBytes}$

6.4

장점: 트랙 당 저장되는 데이터 비트들의 수가 모두 같게 되므로 읽기/쓰기 장치(구동장치)의 설계가 쉬워진다.

단점: 바깥쪽 트랙의 저장 밀도가 낮아지게 되므로 디스크의 저장 공간이 낭비된다.

6.5 $\{(9 \times 2) + (11 \times 2) + (12 \times 3) + (14 \times 4) + (16 \times 4)\} \times 0.5\text{Kbyte} = 98\text{KByte}$

6.6 디스크 배열의 MTTF = 단일 디스크의 MTTF / 배열 내 디스크들의 수
= $10000\text{시간} / 20 = 500\text{시간}$

6.7 RAID-1: (장점) 신뢰도가 높다
(단점) 가격이 높다

6.8 RAID-3은 RAID-2의 오류가 발생한 비트의 위치를 검출하기 위해 많은 수의 검사 디스크를 사용하면서 발생하는 낭비를 줄이기 위해 한 개의 패리티 비트만을 추가하여 제안되었다.

6.9 RAID-5는 RAID-4의 어떤 디스크에든 데이터 블록을 쓸 때마다 패리티 디스크가 반드시 두 번씩 액세스 되어야 하기 때문에 발생하는 디스크 병목현상(전체적으로 성능 저하)을 개선하기 위하여 패리티 블록이 여러 디스크에 라운드-로빈 방식으로 위치하는 형태로 제안되었다.

6.10 수정된 값과 새로운 패리티 블록의 값을 저장하기 위한 두 번의 액세스와 새로운 패리티 블록의 값을 구하기 위해 필요한 수정 전의 데이터 블록과 패리티 블록의 자료를 읽어 오는데 두 번의 액세스가 필요하므로, 모두 네 번의 디스크 액세스 동작이 필요하게 된다.

6.11 결함이 발생한 디스크 블록의 비트는 나머지 디스크 비트들 간에 exclusive-OR 연산을

수행하여 구할 수 있다.

6.12 {2048 x 8비트} x 128페이지} x 2048블록 = 4Gbits = 512MByte

6.13 전자 수의 조정을 위한 세밀한 작업이 필요하며, 데이터의 구분도 모호하기 때문

6.14 3차원 VNAND에서는 부동 게이트가 원통형으로 만들어지기 때문에 전자들을 넣을 수 있는 공간이 확대되어, 전자들의 개수 차이를 이용한 데이터 구분이 용이해짐.

6.15 플래시 메모리의 블록과 페이지를 HDD와 같은 섹터 구조로 논리적으로 변환해줌으로써 기존 OS들이 SSD를 HDD와 같은 방법으로 액세스할 수 있게 해준다. 그 외에도, 마모 평준화 및 쓰레기 수집(garbage collection) 등의 기능을 수행한다.

6.16 마모평준화 기술은 SSD의 모든 페이지들이 고르게 사용되도록 하기 위하여 각 페이지의 재기록 횟수를 기록하고, 쓰기 작업 때마다 그 정보를 참고하여 주소 변환 기능을 수행한다. 즉, 적게 사용된 페이지들을 우선적으로 사용하도록 쓰기 작업을 진행한다.

마모 평준화는 SSD의 수명 연장을 위한 매우 중요한 기술이지만, 남아있는 저장 공간이 적다면 그 효과가 줄어든다. 즉, 여유 공간이 있어야 평준화 작업 중에 임시 저장 공간으로 사용할 수 있어서, 마모 평준화 작업이 효율적으로 이루어질 수 있다. 따라서 SSD 제품들은 출시될 때부터 내부에 여분의 저장 공간을 제공하여 그 목적으로 사용될 수 있게 해주는데, 그 기법을 초과 대비용량(over-provisioning)이라고 부른다.

6.17 TRIM 명령: OS로 하여금 SSD 제어기에 삭제될 수 있는 페이지들을 통보해줌으로써 쓰레기 수집의 효율을 높여주기 위한 명령으로서, 그림 6-20의 경우에 블록 A, B, C, D가 삭제될 페이지이기 때문에 이동(복사)할 필요가 없다는 사실을 OS에게 통보해준다.