

## Chapter 02

# 컴퓨터의 구조와 성능 향상

# Contents

---

- 01** 컴퓨터의 기본 구성
- 02** CPU와 메모리
- 03** 컴퓨터 성능 향상 기술
- 04** 병렬 처리
- 05** [심화학습] 무어의 법칙과 암달의 법칙

# 학습목표

---

- 컴퓨터를 구성하는 하드웨어의 특성을 이해한다.
- CPU와 메모리의 구성 및 동작 방식을 이해한다.
- 컴퓨터의 성능을 향상하는 기술을 알아본다.
- 병렬 처리의 개념을 이해하고 병렬 처리 기법을 알아본다.

# 1-1 하드웨어의 구성

## ■ 컴퓨터의 구성

- 필수장치 : 중앙처리장치, 메인메모리(대부분의 작업이 이루어 짐)
- 주변장치 : 입력장치, 출력장치, 저장장치



그림 2-1 컴퓨터를 구성하는 장치

# 1-1 하드웨어의 구성

## ■ 용어 통일

- 메인메모리 → 메모리
- 보조저장장치 → 저장장치
- 중앙처리장치 → CPU

## ■ CPU와 메모리

- CPU : 명령어를 해석하여 실행하는 장치로 인간으로 치면 두뇌에 해당
- 메모리
  - 작업에 필요한 프로그램과 데이터를 저장하는 장소
  - 바이트 단위로 분할되어 있으며 분할 공간마다 주소로 구분

## ■ 입출력장치

- 입력장치 : 외부의 데이터를 컴퓨터에 입력하는 장치
- 출력장치 : 컴퓨터에서 처리한 결과를 사용자가 원하는 형태로 출력하는 장치

# 1-1 하드웨어의 구성

## ■ 저장장치

- 메모리보다 느리지만 저렴하고 용량이 큼
- 전원의 온·오프와 상관없이 데이터를 영구적으로 저장
- 느린 저장장치를 사용하는 이유는 저장 용량에 비해 가격이 싸기 때문
- 종류
  - 자성을 이용하는 장치 : 카세트테이프, 플로피디스크, 하드디스크 등
  - 레이저를 이용하는 장치 : CD, DVD, 블루레이디스크 등
  - 메모리를 이용하는 장치 : USB 드라이버, SD 카드, SSD 등



(a) 자성을 이용하는 장치



(b) 레이저를 이용하는 장치



(c) 메모리를 이용하는 장치

그림 2-2 다양한 저장장치

# 1-1 하드웨어의 구성

## ■ 메인보드

- CPU와 메모리 등 다양한 부품을 연결하는 커다란 판
- 버스는 데이터가 지나다니는 통로
- 그래픽카드, 사운드카드, 랜카드 등이 기본으로 장착되어 있기도 하고, 성능을 향상하기 위해 따로 장착하기도 함

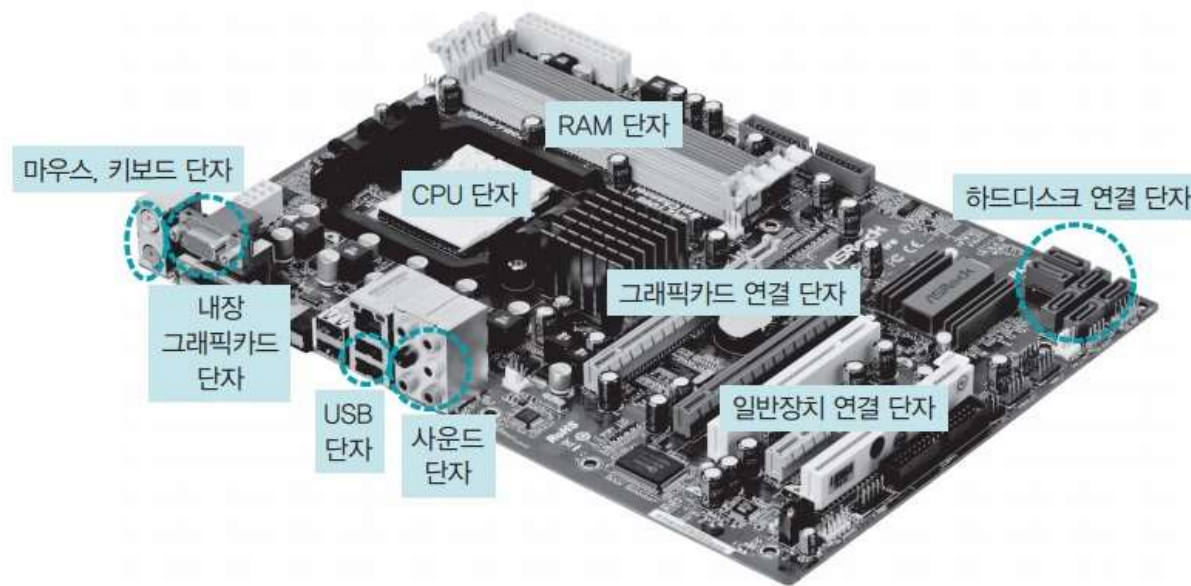


그림 2-3 메인보드

# 1-2 폰노이만 구조

## ■ 폰노이만 구조

- CPU, 메모리, 입출력장치, 저장장치가 버스로 연결되어 있는 구조

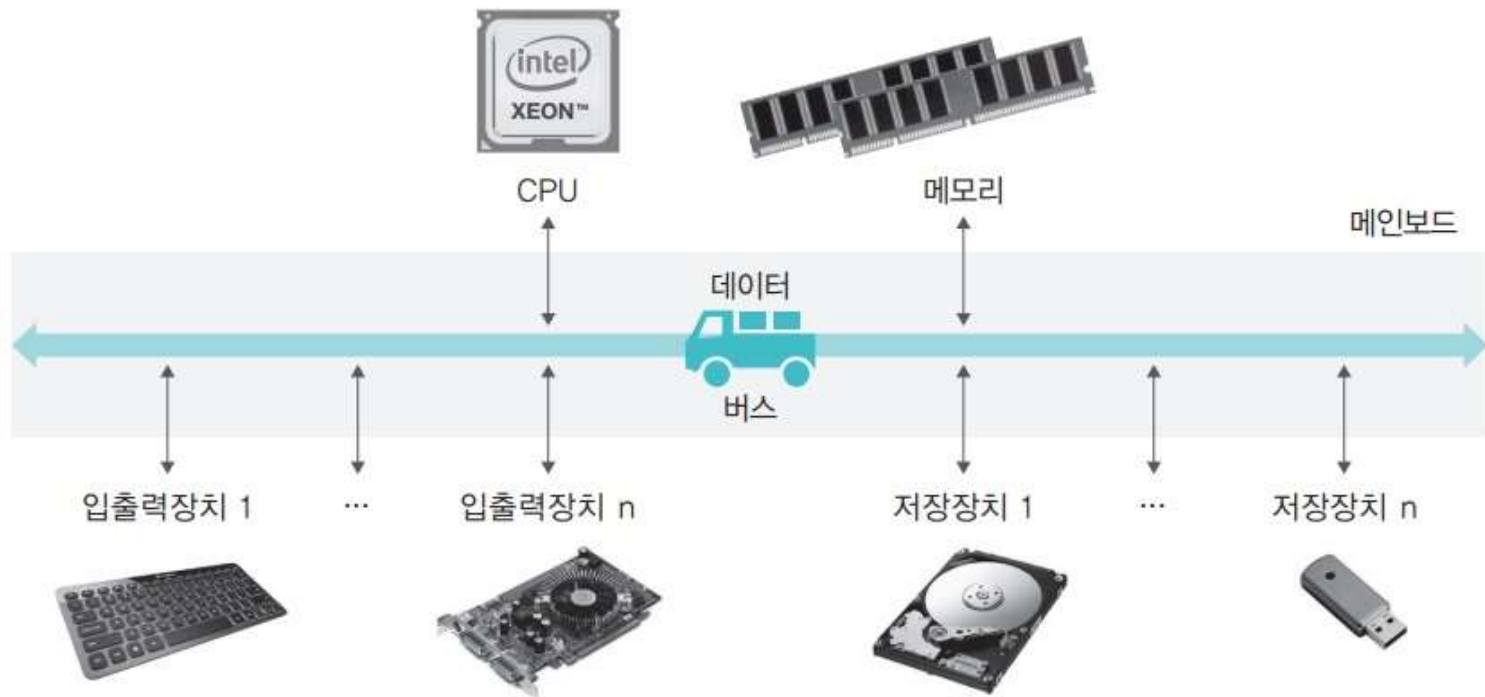


그림 2-4 폰노이만 구조



## 1-2 폰노이만 구조

### ■ 폰노이만 구조

- 이러한 특징으로 인하여 메인 메모리가 유일한 작업 공간이며, 메모리 관리가 중요한 이슈임

#### 정의 2-1 폰노이만 구조

모든 프로그램은 메모리에 올라와야 실행할 수 있다.

# 1-3 요리사 모형

## ■ 요리사 모형

- 운영체제의 여러 가지 현상에 대한 이해를 돕기 위한 것
- 요리사 → CPU, 도마 → 메모리, 보관 창고 → 저장장치에 비유



그림 2-5 요리사 모형

## 1-3 요리사 모형

### ■ 폰노이만 구조와 요리사 모형

- 요리사(CPU)가 요리를 하려면 보관 창고(저장장치)에 있는 재료를 도마(메모리)로 가져와야 함
- 주방에서는 도마(메모리)가 핵심적인 작업 공간이고 보관 창고(저장장치)는 보조적인 공간임

표 2-1 요리사 모형과 운영체제 작업의 비교

요리사 모형	운영체제 작업
요리 방법 결정	프로세스 관리
도마 정리	메모리 관리
보관 창고 정리	저장장치 관리

## 1-3 요리사 모형

### ■ 메인 메모리가 작으면 컴퓨터가 느려지는 이유

- 메인 메모리를 도마라 생각해보면, 도마가 크면 재료를 모두 가져다 놓고 요리할 수 있지만 도마가 작으면 재료를 모두 가져올 수 없음
- 도마가 작으면 재료 하나를 다듬어 보관 창고에 가져다 놓은 뒤 다른 재료를 가져와야 하므로 재료를 손질하는 시간보다 보관 창고로 옮기는 시간이 많이 걸려 작업 속도가 떨어짐



그림 2-6 도마의 크기와 작업 속도

## 1-4 하드웨어 사양 관련 용어

### ■ 클록clock

- 컴퓨터에서 일정한 박자를 만들어 내는 거
- CPU의 속도와 관련된 단위
- 클록이 일정 간격으로 틱tick을 만들면 거기에 맞추어 CPU 안의 모든 구성 부품이 작업함
- 틱은 펄스pulse 또는 클록 틱clock tick이라고도 부름

# 1-4 하드웨어 사양 관련 용어

## ■ 헤르츠(Hz)

- 클럭틱이 발생하는 속도를 나타내는 단위
- 1초에 클럭틱이 한 번이면 1Hz, 1,000번이면 1kHz(1,000Hz)
- 3.4GHz는 1초에 클럭틱이 3,400,000,000( $3.4 \times 10^9$ )번 발생하여 CPU가 1초에 약 34억 번의 연산(작업)을 할 수 있음을 의미

표 2-2 하드웨어 사양의 예

부품	사양
CPU	인텔 코어 i7(4코어, 3.4GHz, 캐시 4MB)
메인보드	FSB 1,333MHz
메모리	DDR3 SDRAM 4GB(1,333MHz)
그래픽카드	라데온 8500(1GB)
하드디스크(HDD)	1TB, 7200rpm, 32MB
광학디스크(ODD)	DVD 레코더(DVD: 22X, CD-R: 48X)

# 1-4 하드웨어 사양 관련 용어

## ■ 시스템 버스

- 메모리와 주변장치를 연결하는 버스로 FSB<sup>Front-Side Bus</sup>, 즉 전면 버스라고 함

## ■ CPU 내부 버스

- CPU 내부에 있는 장치를 연결하는 버스로 BSB<sup>Back Side Bus</sup>, 즉 후면 버스라고 함

## ■ CPU와 메모리의 속도

- CPU는 CPU 내부 버스(BSB)의 속도로 작동하고 메모리는 시스템 버스(FSB)의 속도로 작동
- 두 버스의 속도 차이로 인하여 작업이 지연되며, 이 문제를 캐쉬(cache)로 해결

## 2-1 CPU의 구성과 동작

### ■ 산술논리 연산장치

- 데이터의 덧셈, 뺄셈, 곱셈, 나눗셈 같은 산술 연산과 AND, OR 같은 논리 연산을 수행

### ■ 제어장치

- CPU에서 작업을 지시

### ■ 레지스터

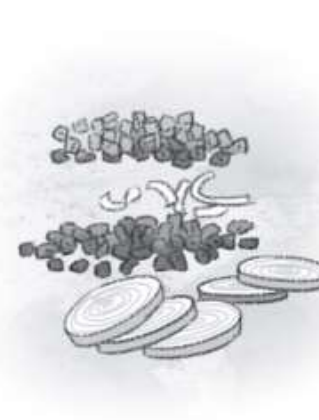
- CPU 내에 데이터를 임시로 보관



요리: 산술논리 연산장치



작업 지시: 제어장치



재료 임시 보관: 레지스터

그림 2-7 CPU의 구성 요소



## 2-1 CPU의 구성과 동작

### ■ CPU의 명령어 처리 과정

```
int D2=2, D3=3, sum;
```

```
sum=D2+D3;
```

- 위 코드를 어셈블리어로 바꾸면 다음과 같음

#### 소스코드 2-2 어셈블리어로 변환한 덧셈 프로그램

```
01 LOAD mem(100), register 2;  
02 LOAD mem(120), register 3;  
03 ADD register 5, register 2, register 3;  
04 MOVE register 5, mem(160);
```

- 01행 : 메모리의 100번지(D2)에 있는 값을 레지스터 2로 가져온다.
- 02행 : 메모리의 120번지(D3)에 있는 값을 레지스터 3으로 가져온다.
- 03행 : 레지스터 2와 레지스터 3에 저장된 값을 더한 결과를 레지스터 5에 넣는다.
- 04행 : 레지스터 5의 값을 메모리의 160번지(sum)로 옮긴다.

## 2-1 CPU의 구성과 동작

### ■ CPU의 명령어 처리 과정

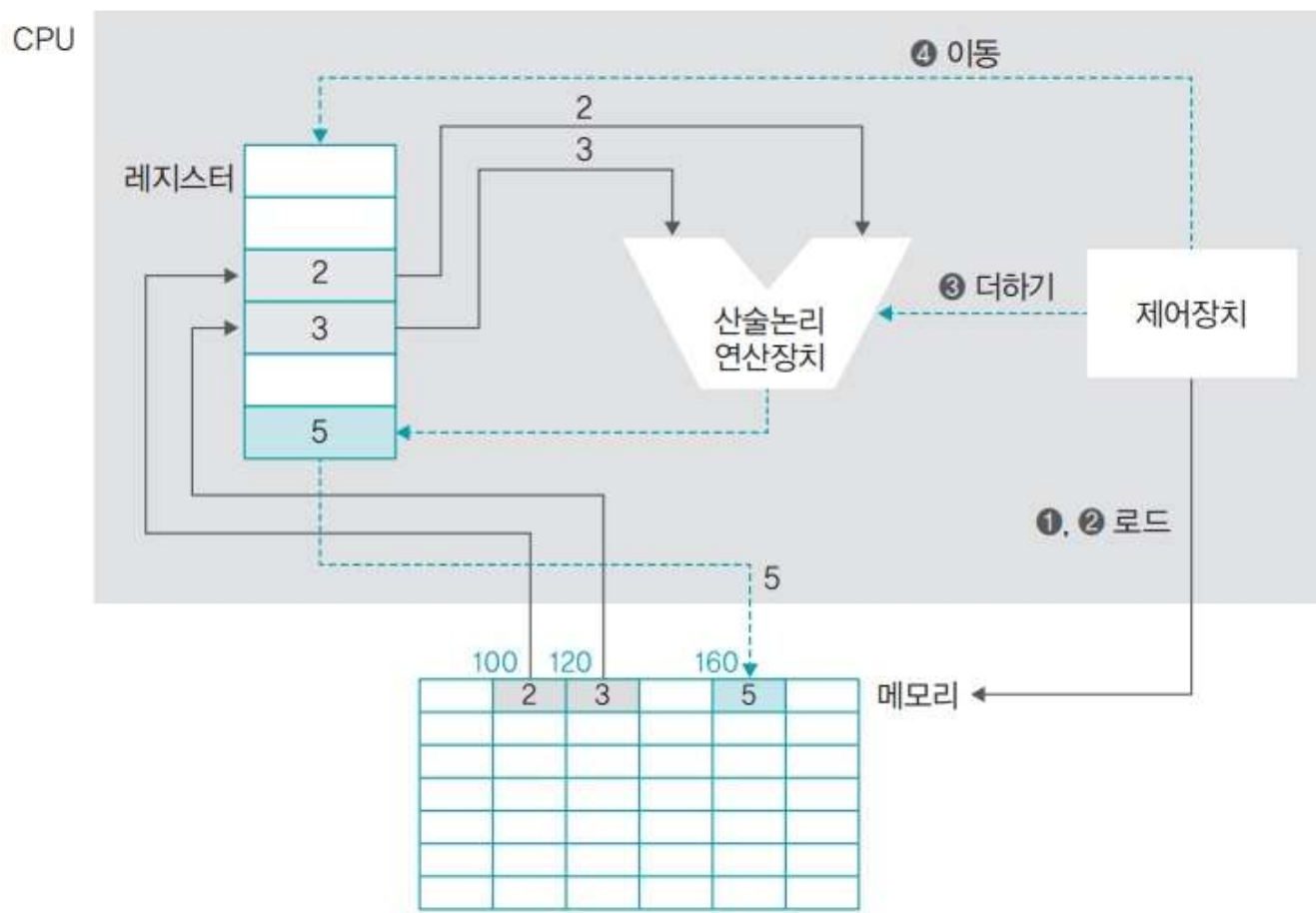


그림 2-8 CPU의 명령어 처리 과정

## 2-1 CPU의 구성과 동작

표 2-3 주요 레지스터의 종류와 특징

레지스터		특징
사용자 가시 레지스터	데이터 레지스터(DR)	CPU가 명령어를 처리하는 데 필요한 일반 데이터를 임시로 저장하는 범용 레지스터이다.
	주소 레지스터(AR)	데이터 또는 명령어가 저장된 메모리의 주소를 저장한다.
사용자 불가시 레지스터	프로그램 카운터(PC)	다음에 실행할 명령어의 위치 정보(코드의 행 번호, 메모리 주소)를 저장한다.
	명령어 레지스터(IR)	현재 실행 중인 명령어를 저장한다.
	메모리 주소 레지스터(MAR)	메모리 관리자가 접근해야 할 메모리의 주소를 저장한다.
	메모리 버퍼 레지스터(MBR)	메모리 관리자가 메모리에서 가져온 데이터를 임시로 저장한다.
	프로그램 상태 레지스터(PSR)	연산 결과(양수, 음수 등)를 저장한다.

## 2-1 CPU의 구성과 동작

### ■ 'LOAD mem(100), register 2;'의 실행 과정

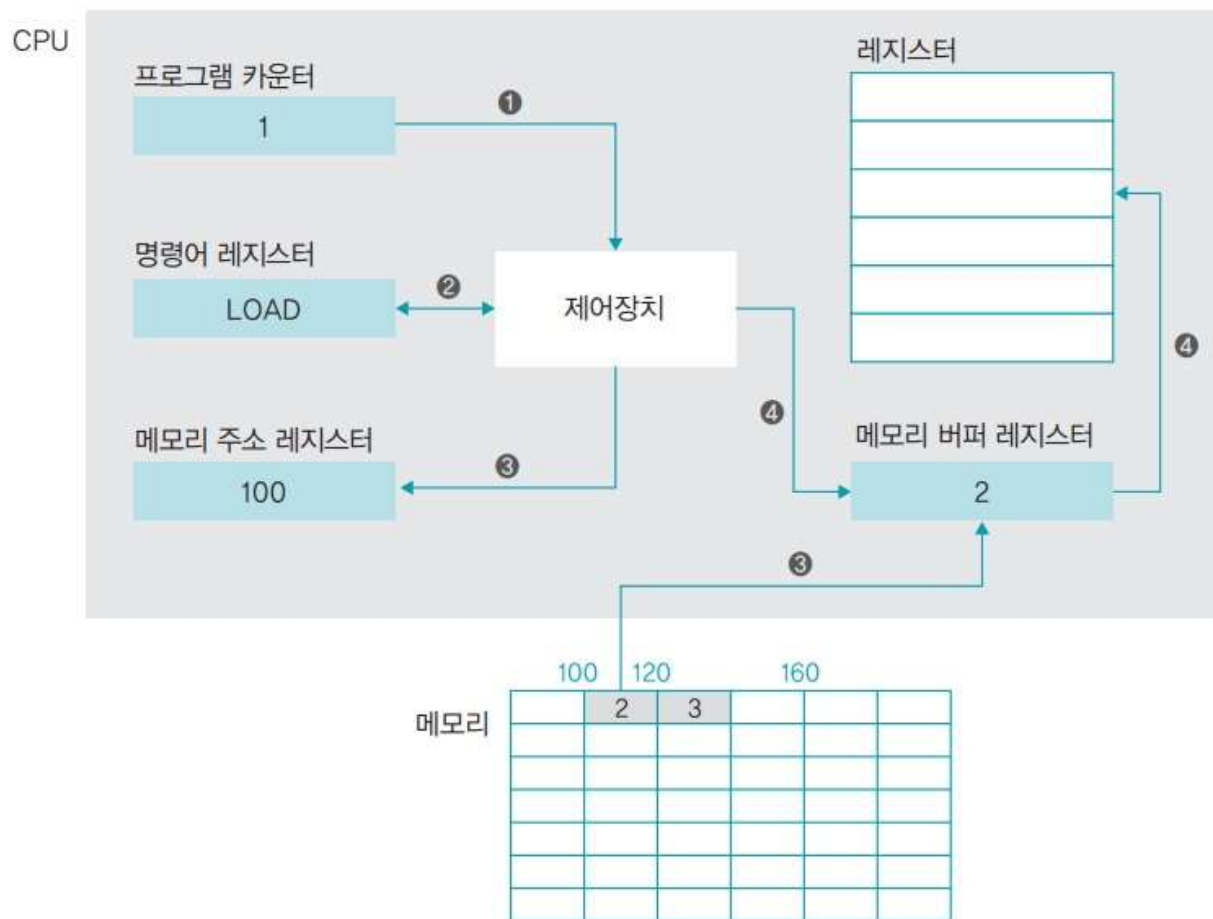


그림 2-9 'LOAD mem(100), register 2;'의 실행 과정

## 2-1 CPU의 구성과 동작

### ■ 프로그램 상태 레지스터의 역할

- 연산 결과가 양수인지, 음수인지, 0이 아닌지, 자리 올림이 있는지 등 프로그램의 상태를 저장

소스코드 2-3    분기 조건이 있는 프로그램

```
01  if(D2 - D3 > 0)
02      goto 100;
03  else
04      goto 200;
```

- D2-D3의 결과를 임시로 저장하고 있다가 음수인지 양수인지를 제어 장치에 알려주어 다음에 몇 번 행으로 이동할지를 결정

## 2-1 CPU의 구성과 동작

### 버스의 종류

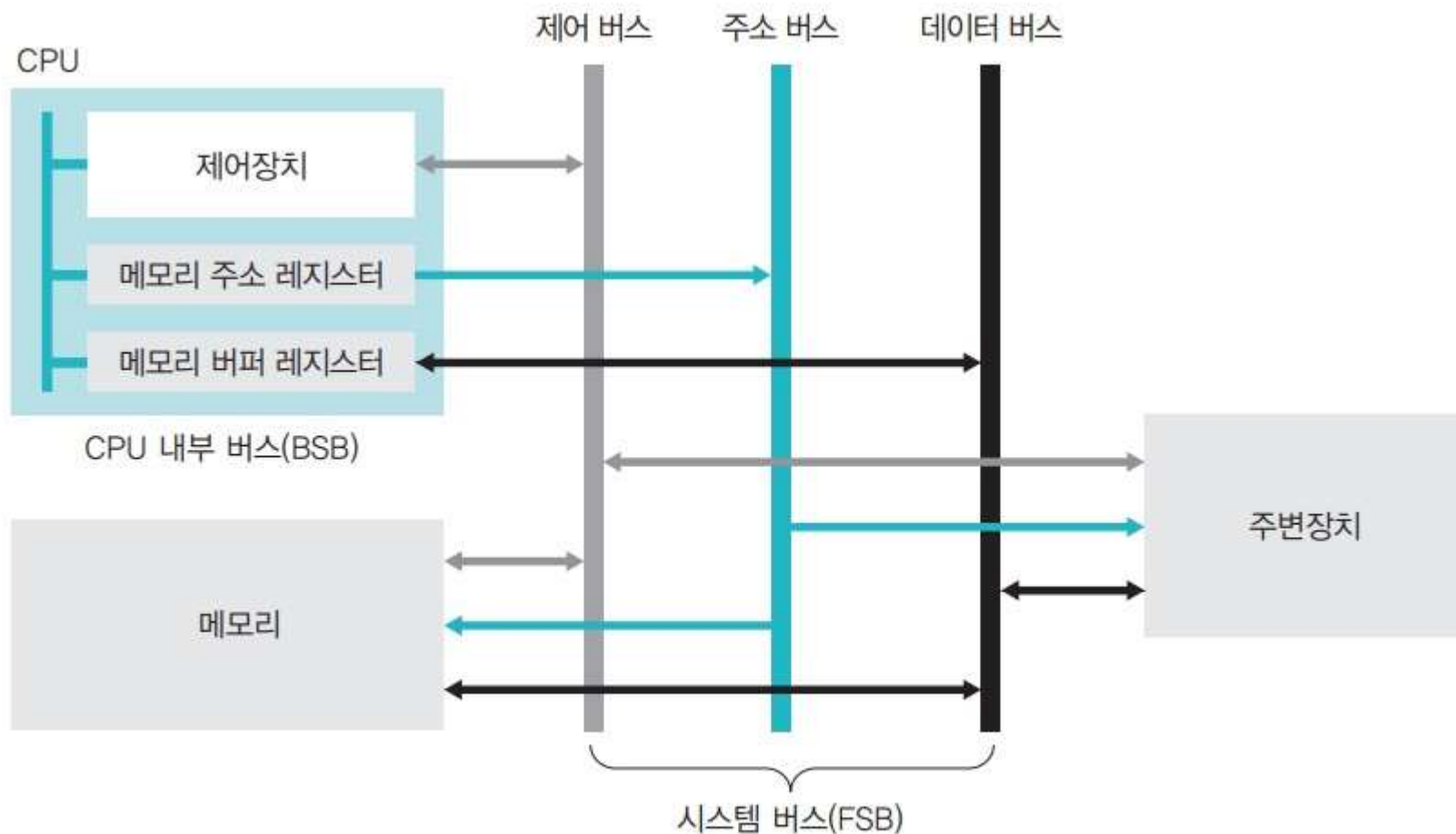


그림 2-10 버스의 종류와 구조

## 2-1 CPU의 구성과 동작

표 2-4 버스의 종류와 특징

버스	특징
제어 버스	제어장치와 연결된 버스로, CPU가 메모리와 주변장치에 제어 신호를 보내기 위해 사용한다. 메모리와 주변장치에서도 작업이 완료되거나 오류가 발생하면 제어 신호를 보내기 때문에 양방향이다.
주소 버스	메모리 주소 레지스터와 연결된 버스로, 메모리나 주변장치에 데이터를 읽거나 쓸 때 위치 정보를 보내기 위해 사용하며 단방향이다.
데이터 버스	메모리 버퍼 레지스터와 연결된 버스로, 데이터의 이동이 양방향으로 이루어진다.

## 2-1 CPU의 구성과 동작

### ■ 버스의 대역폭

- 한 번에 전달할 수 있는 데이터의 최대 크기
- CPU가 한 번에 처리할 수 있는 데이터의 크기와 같음
- CPU가 한 번에 처리할 수 있는 최대 데이터 크기를 워드(word)라 부름
- 32bit CPU는 메모리에서 데이터를 읽거나 쓸 때 한 번에 최대 32bit를 처리할 수 있으며, 이 경우 레지스터의 크기도 32bit, 버스의 대역폭도 32bit
- 버스의 대역폭, 레지스터의 크기, 메모리에 한 번에 저장할 수 있는 데이터의 크기는 항상 같음



## 2-2 메모리의 종류와 부팅

### ■ 메모리의 종류



그림 2-11 메모리의 종류

## 2-2 메모리의 종류와 부팅

### ■ 휘발성 메모리

- DRAM<sup>Dynamic RAM</sup>
  - 저장된 0과 1의 데이터가 일정 시간이 지나면 사라지므로 일정 시간마다 다시 재생시켜야 함
- SRAM<sup>Static RAM</sup>
  - 전력이 공급되는 동안에는 데이터를 보관할 수 있어 재생할 필요가 없음
- SDRAM<sup>Synchronous Dynamic Random Access Memory</sup>
  - 클록틱(펄스)이 발생할 때마다 데이터를 저장하는 동기 DRAM

### ■ 비휘발성 메모리

- 플래시 메모리<sup>flash memory</sup>
  - 디지털카메라, MP3 플레이어, USB 드라이버같이 전력이 없어도 데이터를 보관하는 저장장치
- SSD
  - 가격이 비싸지만 빠른 데이터 접근 속도, 저전력, 내구성 때문에 많이 사용

## 2-2 메모리의 종류와 부팅

### ■ 롬의 종류

- 마스크 롬mask ROM
  - 데이터를 지우거나 쓸 수 없음
- PROMProgrammable ROM
  - 전용 기계를 이용하여 데이터를 한 번만 저장할 수 있음
- EPROMErasable Programmable ROM
  - 데이터를 여러 번 쓰고 지울 수 있음

## 2-2 메모리의 종류와 부팅

### ■ 메모리 보호의 필요성

- 현대의 운영체제는 시분할 기법을 사용하여 여러 프로그램을 동시에 실행하므로 사용자 영역이 여러 개의 작업 공간으로 나뉘어 있음
- 메모리가 보호되지 않으면 어떤 작업이 다른 작업의 영역을 침범하여 프로그램을 파괴하거나 데이터를 지울 수도 있으며, 최악의 경우 운영체제 영역을 침범하면 시스템이 멈출 수도 있음

## 2-2 메모리의 종류와 부팅

### ■ 메모리 보호 방법

- ❶ 작업의 메모리 시작 주소를 경계 레지스터에 저장 후 작업
- ❷ 작업이 차지하고 있는 메모리의 크기, 즉 마지막 주소까지의 차이를 한계 레지스터에 저장
- ❸ 사용자의 작업이 진행되는 동안 이 두 레지스터의 주소 범위를 벗어나는지 하드웨어적으로 점검
- ❹ 두 레지스터의 값을 벗어 나면 메모리 오류와 관련된 인터럽트가 발생
- ❺ 메모리 영역을 벗어나서 발생한 인터럽트의 경우 운영체제가 해당 프로그램을 강제 종료



그림 2-13 메모리 보호



## 3-1 버퍼

### ■ 버퍼

- 속도에 차이가 있는 두 장치 사이에서 그 차이를 완화하는 역할을 하는 장치
- 일정량의 데이터를 모아 옮김으로써 속도의 차이를 완화

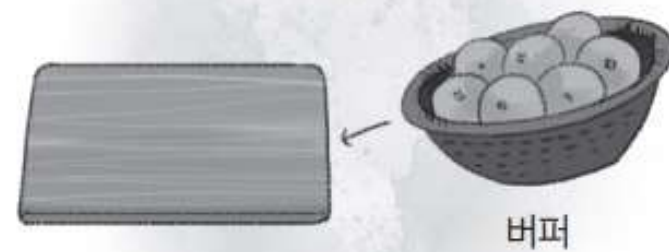
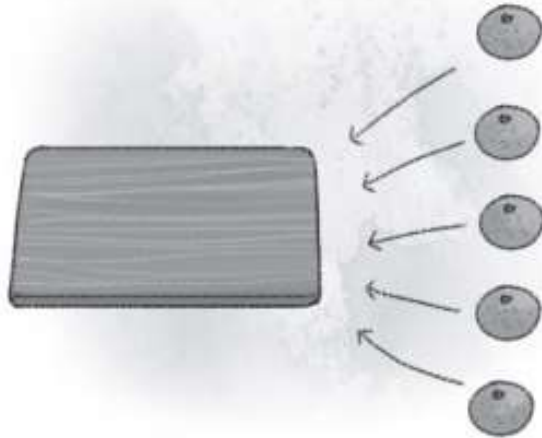


그림 2-15 버퍼의 개념

## 3-1 버퍼

### 스풀

- CPU와 입출력장치가 독립적으로 동작하도록 고안된 소프트웨어적인 버퍼
- [예] 스풀러
  - 인쇄할 내용을 순차적으로 출력하는 소프트웨어로 출력 명령을 내린 프로그램과 독립적으로 동작
  - 인쇄물이 완료될 때까지 다른 인쇄물이 끼어들 수 없으므로 프로그램 간에 배타적임



그림 2-16 스풀러의 동작 원리



## 3-2 캐시

### ■ 캐시

- 메모리와 CPU 간의 속도 차이를 완화하기 위해 메모리의 데이터를 미리 가져와 저장해두는 임시 장소
- 필요한 데이터를 모아 한꺼번에 전달하는 버퍼의 일종으로 CPU가 앞으로 사용할 것으로 예상되는 데이터를 미리 가져다놓음
- CPU는 메모리에 접근해야 할 때 캐시를 먼저 방문하여 원하는 데이터가 있는지 찾아봄

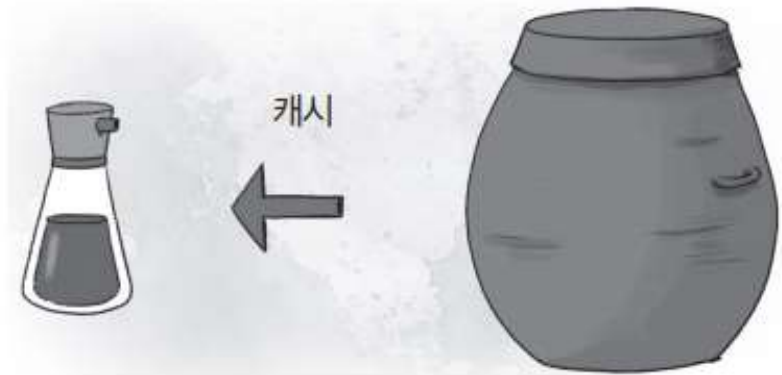


그림 2-17 캐시의 개념

## 3-2 캐시

### ■ 캐시의 구조

- 캐시 히트<sup>cache hit</sup> : 캐시에서 원하는 데이터를 찾는 것으로, 그 데이터를 바로 사용
- 캐시 미스<sup>cache miss</sup> : 원하는 데이터가 캐시에 없으면 메모리로 가서 데이터를 찾음
- 캐시 적중률<sup>cache hit ratio</sup>
  - 캐시 히트가 되는 비율로, 일반적인 컴퓨터의 캐시 적중률은 약 90%

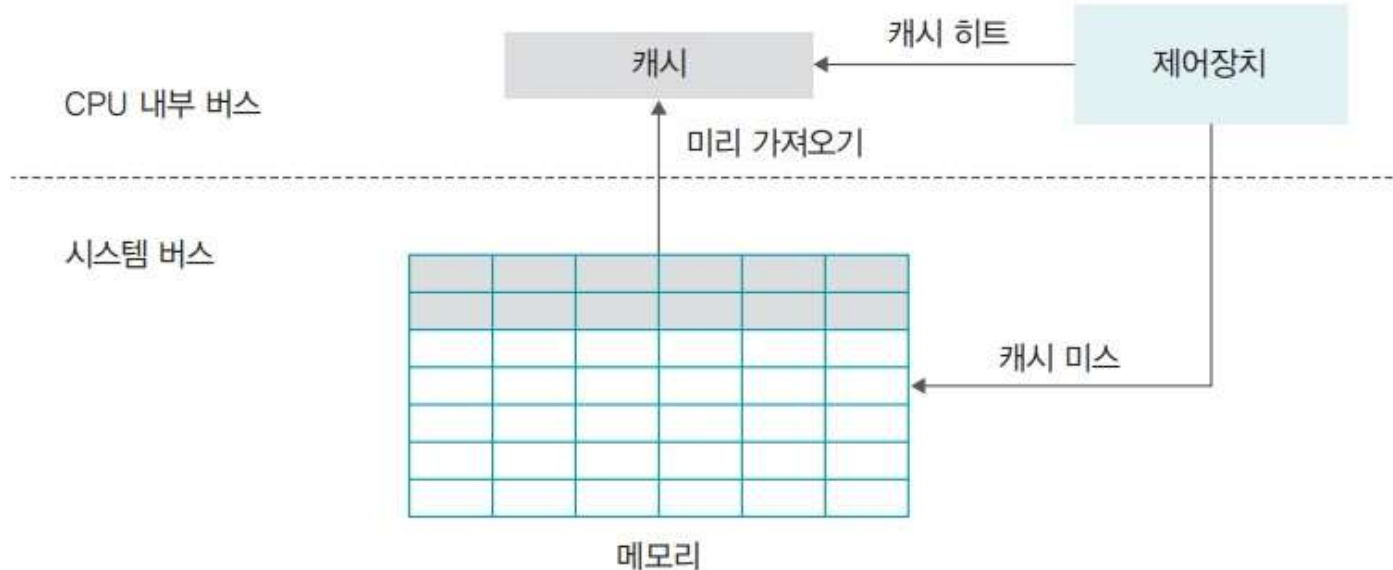


그림 2-18 캐시의 구조

## 3-2 캐시

### ■ 즉시 쓰기|write through

- 캐시에 있는 데이터가 변경되면 이를 즉시 메모리에 반영하는 방식
- 메모리와의 빈번한 데이터 전송으로 인해 성능이 느려짐
- 메모리의 최신 값이 항상 유지되기 때문에 급작스러운 정전에도 데이터를 잃어버리지 않음

### ■ 지연 쓰기|write back

- 캐시에 있는 데이터가 변경되면 이를 즉시 메모리에 반영하는 것이 아니라 변경된 내용을 모아서 주기적으로 반영하는 방식
- 카피백|copy back이라고도 함
- 메모리와의 데이터 전송 횟수가 줄어들어 시스템의 성능을 향상할 수 있음
- 메모리와 캐시된 데이터 사이의 불일치가 발생할 수도 있음

## 3-2 캐시

### L1 캐시와 L2 캐시

- 캐시는 명령어와 데이터의 구분 없이 모든 자료를 가져오는 일반 캐시, 명령어와 데이터를 구분하여 가져오는 특수 캐시로 구분
- 일반 캐시
  - 메모리와 연결되기 때문에 L2(Level 2) 캐시라고 부름
- 특수 캐시
  - CPU 레지스터에 직접 연결되기 때문에 L1(Level 1) 캐시라고 부름

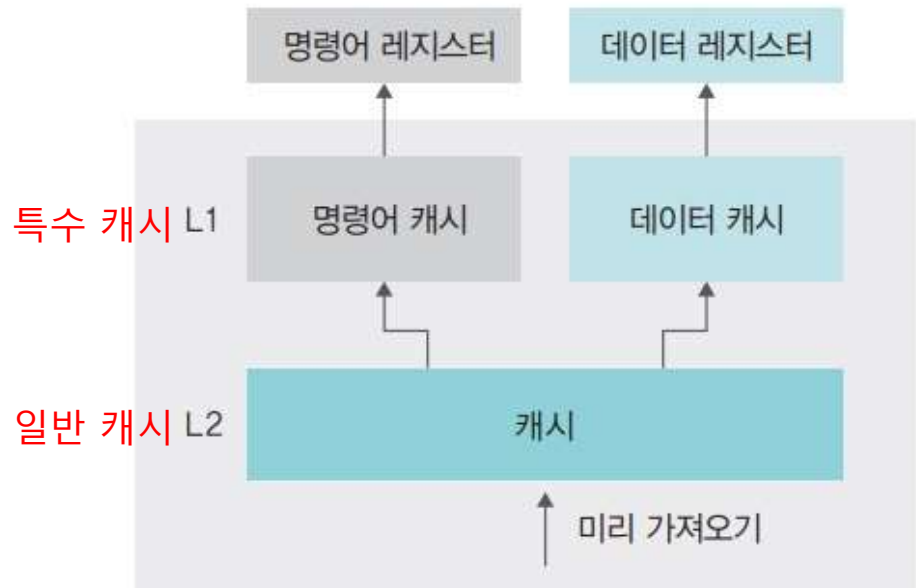


그림 2-19 레벨별 캐시의 구조

## 3-3 저장장치의 계층 구조

### ■ 저장장치의 계층 구조

- 개념
  - 속도가 빠르고 값이 비싼 저장장치를 CPU 가까운 쪽에 두고, 값이 싸고 용량이 큰 저장장치를 반대쪽에 배치하여 적당한 가격으로 빠른 속도와 큰 용량을 동시에 얻는 방법
- 이점
  - CPU와 가까운 쪽에 레지스터나 캐시를 배치하여 CPU가 작업을 빨리 진행할 수 있음
  - 메모리에서 작업한 내용을 하드디스크와 같이 저렴하고 용량이 큰 저장장치에 영구적으로 저장할 수 있음

## 3-3 저장장치의 계층 구조

### ■ 저장장치의 계층 구조

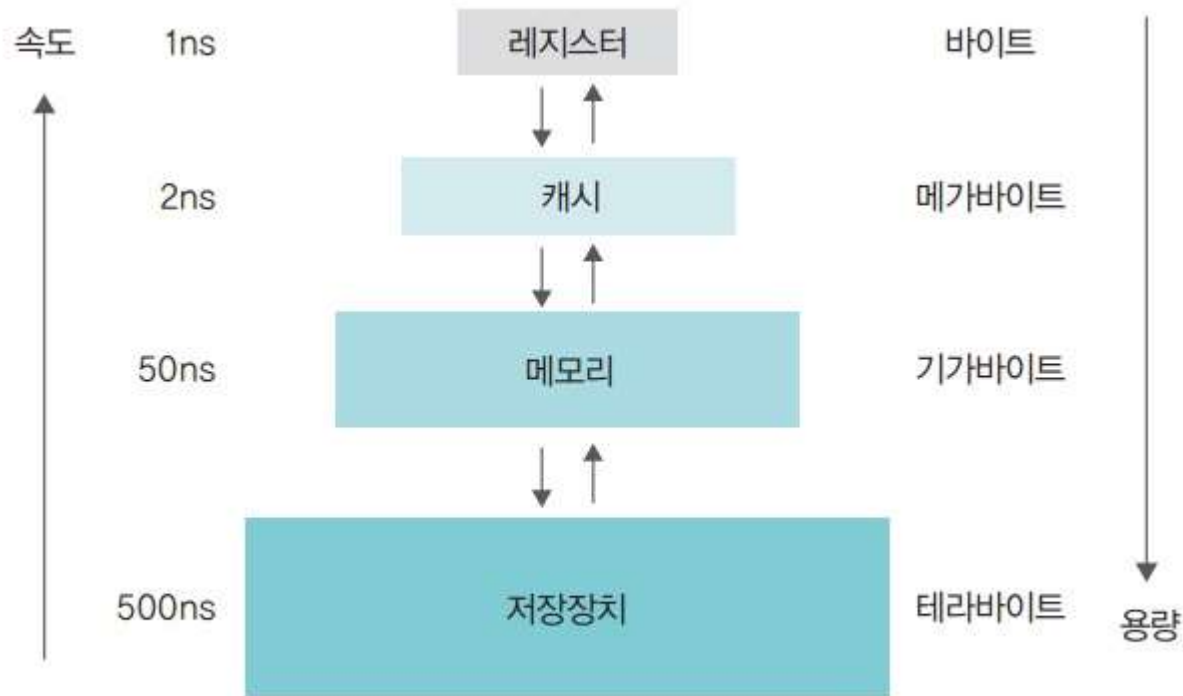


그림 2-20 저장장치의 계층 구조

## 3-4 인터럽트

### ■ 폴링 방식 polling

- CPU가 직접 입출력장치에서 데이터를 가져오거나 내보내는 방식
- CPU가 입출력장치의 상태를 주기적으로 검사하여 일정한 조건을 만족할 때 데이터를 처리
- CPU가 명령어 해석과 실행이라는 본래 역할 외에 모든 입출력까지 관여해야 하므로 작업 효율이 떨어짐



그림 2-21 CPU가 주변장치를 직접 관리하는 폴링 방식

## 3-4 인터럽트

### ■ 인터럽트 방식 interrupt

- 입출력 관리자가 대신 입출력을 해주는 방식 > 주방보조를 두는 방식
- 요리사는 주방보조에게 필요한 재료를 준비, 자신은 요리
- CPU의 작업과 저장장치의 데이터 이동을 독립적으로 운영함으로써 시스템의 효율을 높임
- 데이터의 입출력이 이루어지는 동안 CPU가 다른 작업을 할 수 있음



그림 2-22 입출력 관리자에게 데이터 전송을 지시하는 인터럽트 방식



## 3-4 인터럽트

### ■ 인터럽트

- 입출력 관리자가 CPU에 보내는 완료 신호

### ■ 인터럽트 번호

- 많은 주변장치 중 어떤 것의 작업이 끝났는지를 CPU에 알려주기 위해 사용하는 번호
- 윈도우 운영체제에서는 IRQ라 부름

### ■ 인터럽트 벡터

- 여러 개의 입출력 작업을 한꺼번에 처리하기 위해 여러 개의 인터럽트를 하나의 배열로 만든 것

## 3-4 인터럽트

### ■ 인터럽트 방식의 동작 과정

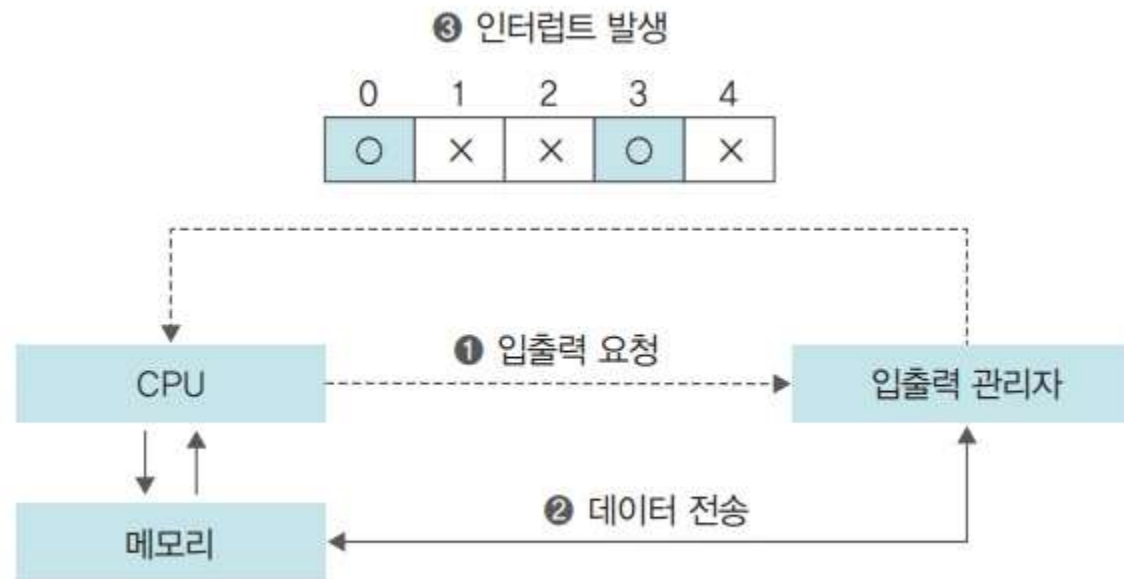


그림 2-23 인터럽트 처리 과정

- ① CPU가 입출력 관리자에게 입출력 명령을 보낸다.
- ② 입출력 관리자는 명령받은 데이터를 메모리에 가져다놓거나 메모리에 있는 데이터를 저장장치로 옮긴다.
- ③ 데이터 전송이 완료되면 입출력 관리자는 완료 신호를 CPU에 보낸다.

## 3-4 인터럽트

### ■ 직접 메모리 접근 Direct Memory Access, DMA

- 입출력 관리자가 CPU의 허락 없이 메모리에 접근할 수 있는 권한
- 메모리는 CPU의 작업 공간이지만, 데이터 전송을 지시받은 입출력 관리자는 직접 메모리 접근 권한이 있어야만 작업을 처리할 수 있음

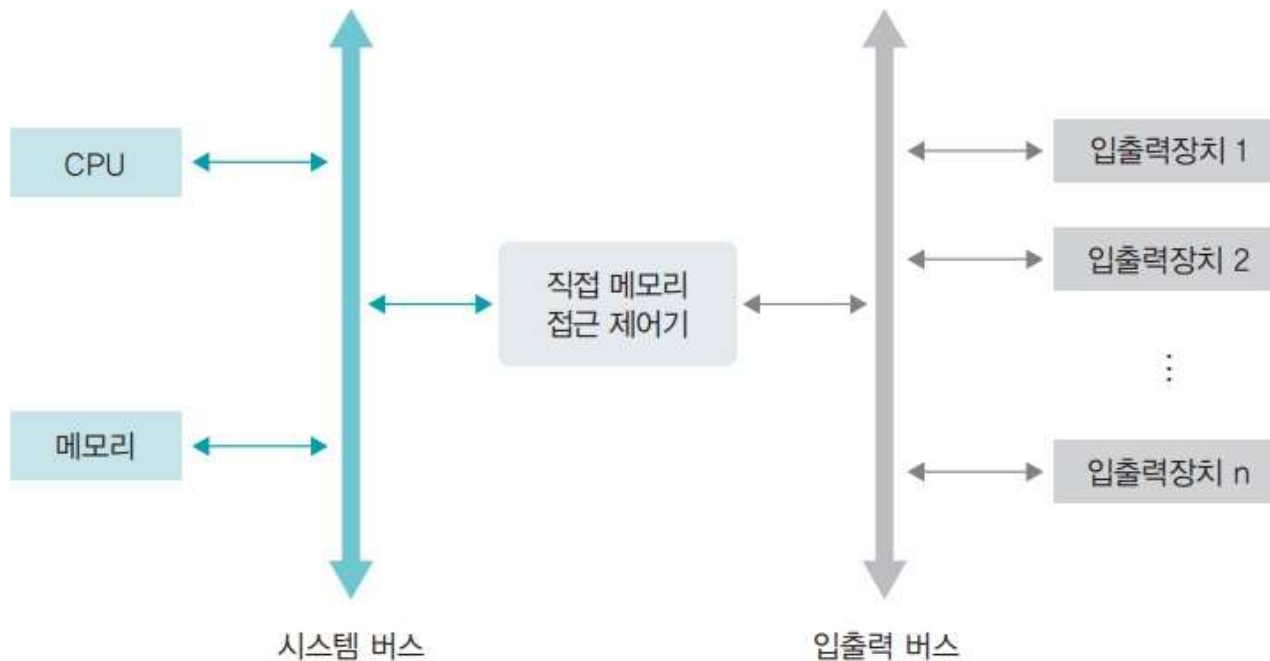


그림 2-24 직접 메모리 접근 제어기의 구조

## 3-4 인터럽트

### ■ 메모리 매핑 입출력 Memory Mapped I/O, MMIO

- 메모리의 일정 공간을 입출력에 할당하는 기법

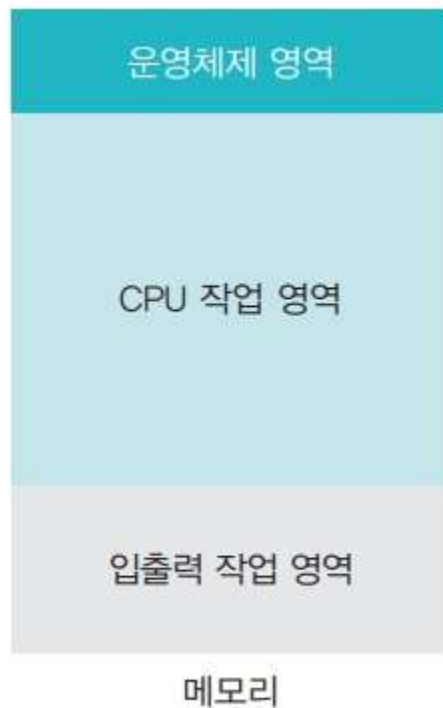


그림 2-25 메모리 매핑 입출력

## 3-4 인터럽트

### ■ 사이클 훔치기

- CPU와 직접 메모리 접근이 동시에 메모리에 접근하면 보통 CPU가 메모리 사용 권한을 양보
- CPU의 작업 속도보다 입출력장치의 속도가 느리기 때문에 직접 메모리 접근에 양보하는 것으로, 이러한 상황을 사이클 훔치기라고 함

## 4-1 병렬 처리의 개념

### ■ 병렬 처리 parallel processing

- 동시에 여러 개의 명령을 처리하여 작업의 능률을 올리는 방식

### ■ 볶음밥 조리 예

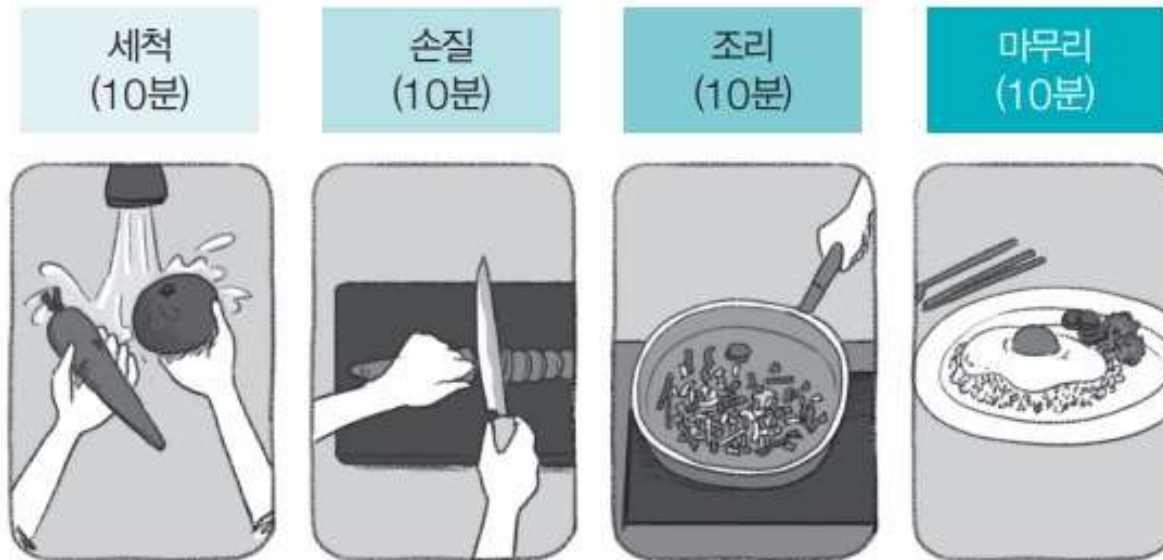


그림 2-26 볶음밥 조리 과정

## 4-1 병렬 처리의 개념

### ■ 볶음밥 조리의 병렬 처리



그림 2-27 볶음밥 조리의 병렬 처리

### ■ 파이프라인 기법

- 하나의 코어에 여러 개의 스레드<sup>thread</sup>를 이용하는 방식

## 4-1 병렬 처리의 개념

### ■ 슈퍼스칼라 기법

- 듀얼코어 CPU를 이용해  
2개의 작업을 동시에 처리  
하는 방식

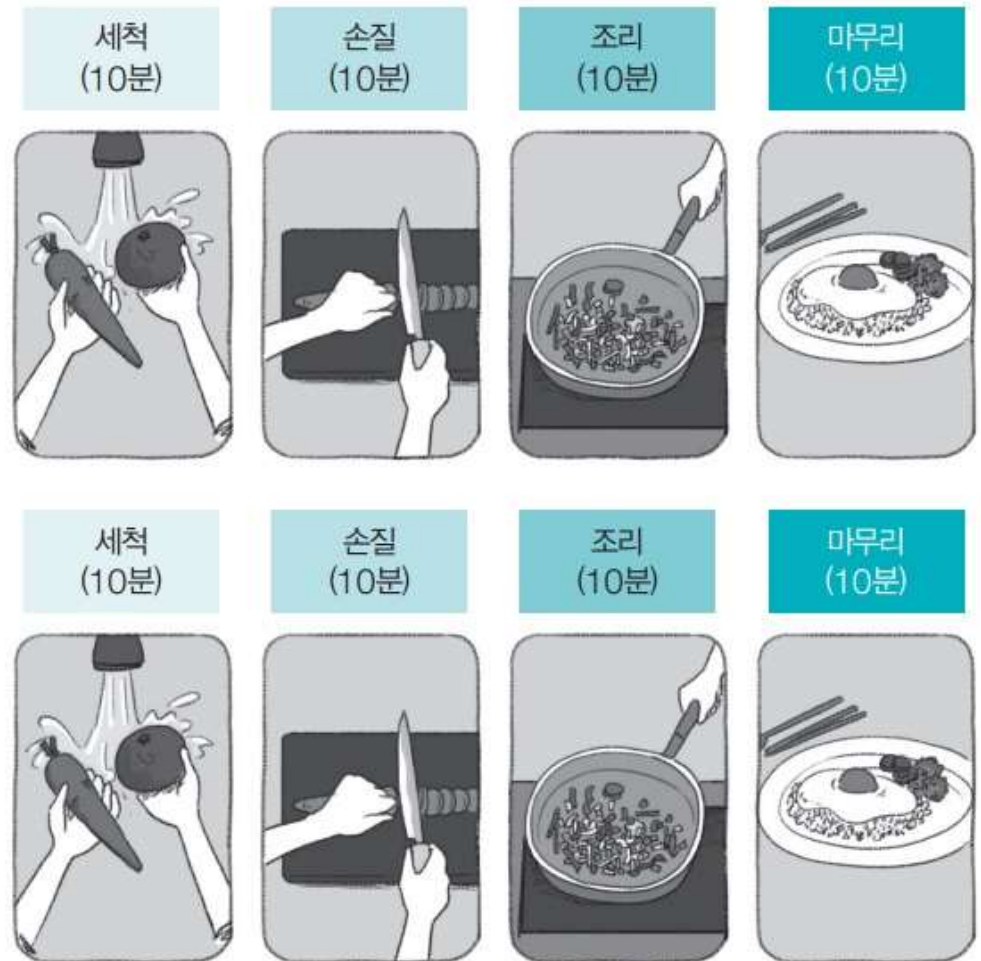


그림 2-28 조리 시설이 2개인 경우의 병렬 처리



## 4-2 병렬 처리 시 고려 사항

### ■ 상호 의존성이 없어야 병렬 처리가 가능

- 각 명령이 서로 독립적이고 앞의 결과가 뒤의 명령에 영향을 미치지 않아야 함

### ■ 각 단계의 시간을 일정하게 맞춰야 병렬 처리가 원만하게 이루어짐

- 오랜 시간이 걸리는 작업 때문에 진행이 전반적으로 밀려서 전체 작업 시간이 늘어나므로 단계별 시간의 차이가 크면 병렬 처리의 효과가 떨어짐

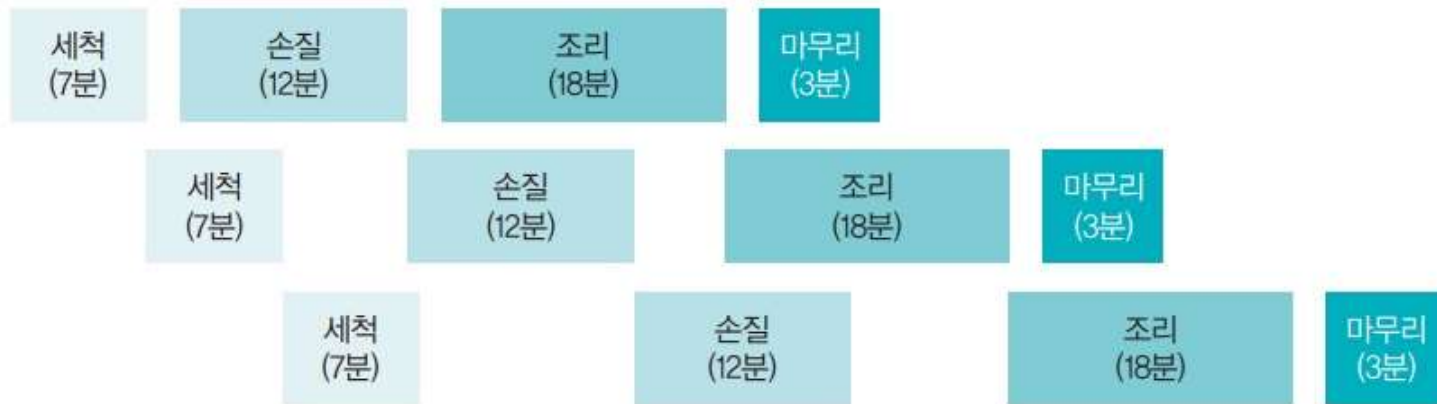


그림 2-29 단계별 시간이 다른 경우의 병렬 처리

## 4-2 병렬 처리 시 고려 사항

### ■ 전체 작업 시간을 몇 단계로 나눌지 잘 따져보아야 함

- 병렬 처리의 깊이 N은 동시에 처리할 수 있는 작업의 개수를 의미
- 이론적으로는 N이 커질수록 동시에 작업할 수 있는 작업의 개수가 많아져서 성능이 높아지지만, 작업을 너무 많이 나누면 각 단계마다 작업을 이동하고 새로운 작업을 불러오는 데 시간이 너무 많이 걸려서 오히려 성능이 떨어짐



그림 2-30 병렬 처리의 깊이가 2인 경우

## 4-3 병렬 처리 기법

### ■ CPU에서 명령어가 실행되는 과정

- ❶ 명령어 패치(IF) : 다음에 실행할 명령어를 명령어 레지스터에 저장
- ❷ 명령어 해석(ID) : 명령어 해석
- ❸ 실행(EX) : 해석한 결과를 토대로 명령어 실행
- ❹ 쓰기(WB) : 실행된 결과를 메모리에 저장

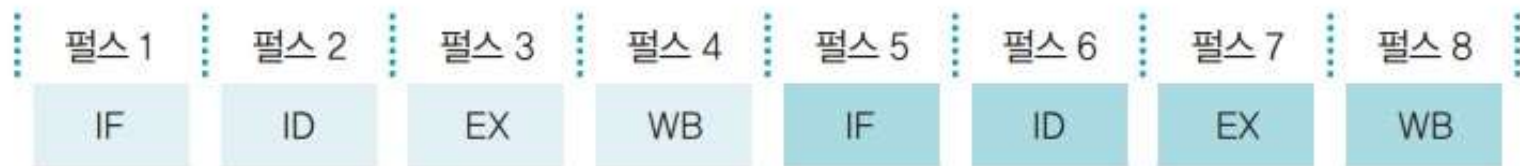


그림 2-31 명령어 처리 단계

## 4-3 병렬 처리 기법

### ■ 파이프라인 기법

- CPU의 사용을 극대화하기 위해 명령을 겹쳐서 실행하는 방법

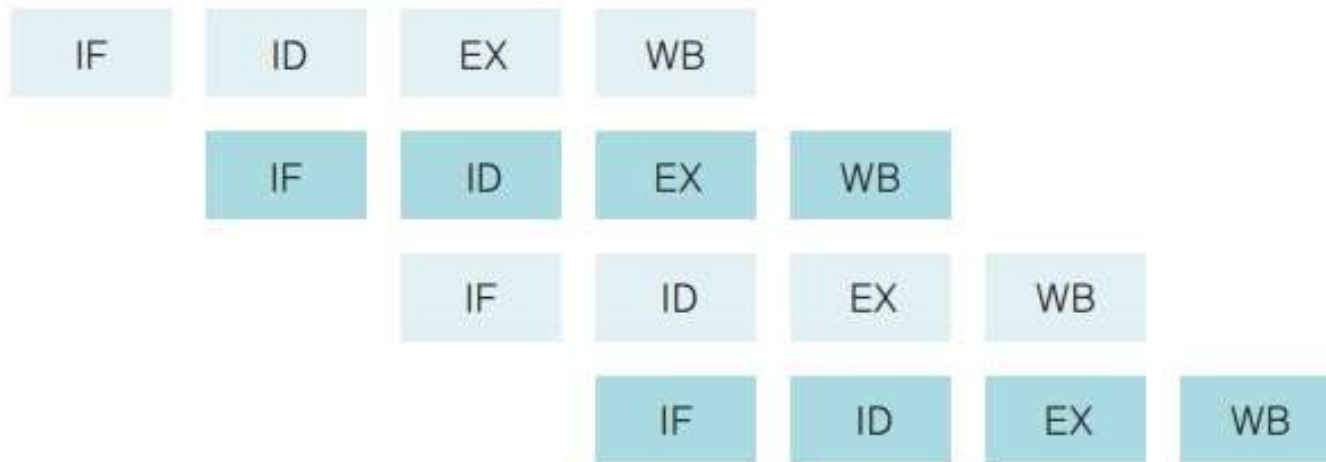


그림 2-32 파이프라인 기법의 동작 과정

## 4-3 병렬 처리 기법

### ■ 파이프라인의 위험

- 데이터 위험 Data hazard
  - 데이터의 의존성 때문에 발생하는 문제
  - 데이터 A를 필요로 하는 두 번째 명령어는 앞의 명령어가 끝날 때까지 동시에 실행되어서는 안 됨
  - 데이터 위험은 파이프라인의 명령어 단계를 지연하여 해결

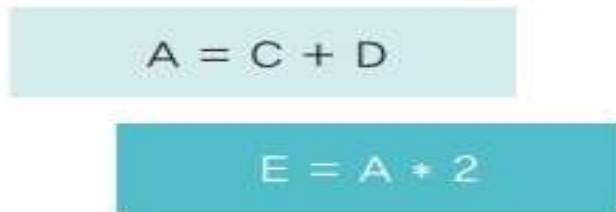


그림 2-33 데이터 위험의 예

## 4-3 병렬 처리 기법

### ■ 파이프라인의 위험

- 제어 위험 control hazard
  - 프로그램 카운터 값을 갑자기 변화시켜 발생하는 위험
  - 첫 명령어를 실행하고 보니 goto 문이어서 다음 문장이 아니라 다른 문장으로 이동하게 되면 현재 동시에 처리되고 있는 명령어들이 쓸모없어짐
  - 제어 위험은 분기 예측이나 분기 지연 방법으로 해결

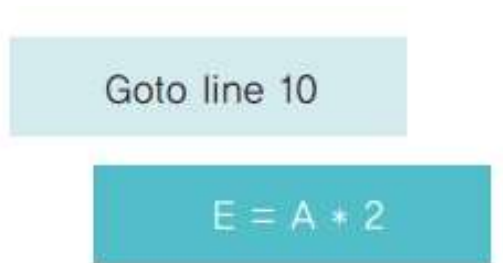


그림 2-34 제어 위험의 예

## 4-3 병렬 처리 기법

### ■ 파이프라인의 위험

- 구조 위험 structural hazard
  - 서로 다른 명령어가 같은 자원에 접근하려 할 때 발생하는 문제
  - 명령어 A가 레지스터 RX를 사용하고 있는데 병렬 처리되는 명령어 B도 레지스터 RX를 사용해야 한다면 서로 충돌
  - 구조 위험은 해결하기 어렵다고 알려져 있음

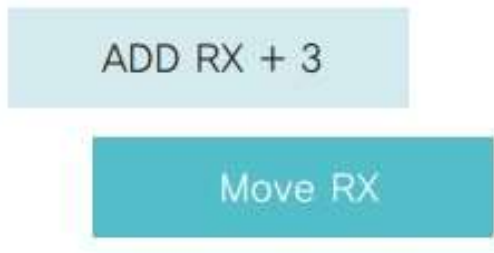


그림 2-35 구조 위험의 예



Thank You

---