Report 1

학 번	32202546
성 명	안지성
담당교수	최종무 교수님
제 출 일	2021.9.17

[CSAPP 1.1~1.7 내용 요약]

서론

컴퓨터 시스템은 응용 프로그램들을 실행시키기 위해서 함께 작동하는 하드웨어와 시스템 소프트웨어로 구성된다. 시스템의 특정한 구현은 시간이 지남에 따라 변화하지만, 기초적인 개념들은 그렇지 않다. 모든 컴퓨터 시스템에는 유사한 기능을 수행하는 유사한 하드웨어 및 소프트웨어 구성 요소가 있다. 구성 요소들이 어떻게 작동하고 프로그램의 정확성과 성능에 어떤 영향을 미치는지 이해하자. 기초적인 컴퓨터 시스템과 그것이 여러분의 응용 프로그램에 미치는 영향을 이해하자.

1.1 정보는 비트와 컨텍스트(문맥)로 이루어진다 (Information is Bits + Context)

[hello.c]

```
#include <stdio.h>

int main()
{
        printf("hello, world₩n");
        return 0;
}
```

hello 프로그램은 프로그래머가 편집기로 소스코드를 작성하고 hello.c라는 텍스트 파일로 저장하여 만들어졌다. 소스 프로그램은 0 또는 1의 값을 가지는 비트(bit)들의 연속이며, 바이트(byte)라는 8비트 덩어리로 구성된다. 각 바이트는 텍스트 문자들을 표현한다.

컴퓨터 시스템에서 텍스트 문자는 아스키(ASCII) 표준을 이용해서 표현하는데, 각 문자를 바이트 길이 정수 값으로 나타낸다. 위의 hello.c 코드를 아스키 값으로 나타내면 다음과 같다.

#	i	n	c	l	u	d	e	<sp>	<	s	t	d	i	o	.
35	105	110	99	108	117	100	101	32	60	115	116	100	105	111	46

h	>	\n	\n	i	n	t	<sp>	m	a	i	n	(	)	\n	{
104	62	10	10	105	110	116	32	109	97	105	110	40	41	10	123

\n	<sp>	<sp>	<sp>	<sp>	p	r	i	n	t	f	(	"	h	e	l
10	32	32	32	32	112	114	105	110	116	102	40	34	104	101	108

l	o	,	<sp>	w	o	r	l	d	\	n	"	)	;	\n	}
108	111	44	32	119	111	114	108	100	92	110	34	41	59	10	125

위에서 보듯이 아스키 문자들로만 이루어진 파일들은 텍스트 파일이라 칭하고, 다른 모든 파일들은 바이너리 파일이라고 한다. 모든 시스템 내부의 정보(디스크 파일, 메모리상의 프로그램, 데이터, 네트워크를 통해 전송되는 데이터)는 비트 묶음으로 표현된다.
여기서 이들을 보는 컨텍스트가 유일하게 서로 다른 객체들을 구분해준다.
예를 들어, 다른 컨텍스트에서 동일한 비트들은 정수, 부동 소수점, 문자열 또는 컴퓨터 명령으로 다른 기능을 나타낼 수 있다.

프로그래머로서, 우리는 숫자의 기계적인 표현을 이해할 필요가 있다.

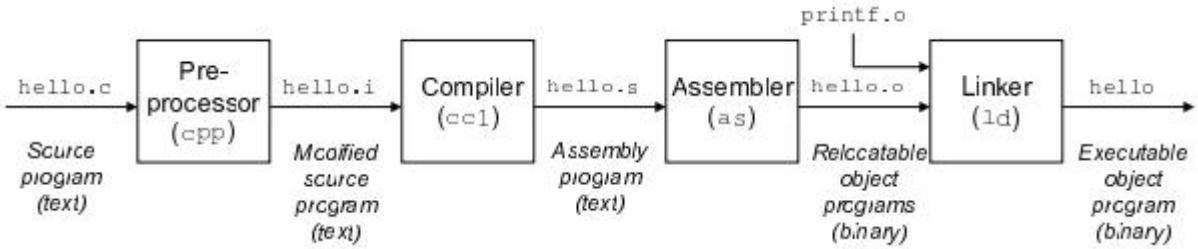
1.2 프로그램은 다른 프로그램에 의해 다른 형태로 번역된다 (Programs are Translated by Other Programs into Different Forms)

hello 프로그램은 사람이 바로 이해하고 읽을 수 있는 high-level C 언어로 작성되었다. 하지만 hello.c를 실행시키려면 각 문장들은 다른 프로그램들에 의해 low-level 기계어 인스트럭션들로 번역되어야 한다. 이 인스트럭션들은 실행가능 목적 프로그램이라고 하는 형태로 합쳐져 바이너리 디스크 파일로 저장된다.

컴파일러 드라이버는 유닉스 시스템에서 다음과 같이 소스파일에서 오브젝트 파일로 번역한다.

```
unix>  gcc  -o  hello  hello.c
```

GCC 컴파일러 드라이버는 소스파일 hello.c를 읽어 실행파일인 hello로 번역한다. 번역은 4개의 단계를 거쳐 실행되는데 이 4단계를 실행하는 프로그램(전처리기, 컴파일러, 어셈블러, 링커)을 합쳐서 컴파일 시스템이라고 부른다.



- **전처리 단계 :** 전처리기(cpp)는 본래의 C 프로그램을 #문자로 시작하는 명령에 따라 수정한다. 예를 들어, #include<stdio.h>는 전처리기에게 헤더파일 stdio.h를 프로그램 문장에 직접 삽입하라고 지시한다. 그 결과 .i로 끝나는 새로운 C 프로그램이 생성된다.

- **컴파일 단계 :** 컴파일러(cc1)는 전처리 단계에서 생성된 텍스트 파일 hello.i를 텍스트파일을 어셈블리어가 포함된 텍스트 파일인 hello.s로 번역한다. 어셈블리 언어는 서로 다른 high-level 언어와 컴파일러에 대하여 공통된 출력 언어를 제공하기 때문에 유용하다.

- **어셈블리 단계 :** 어셈블러(as)가 컴파일 단계에서 생성된 hello.s를 기계어 인스트럭션으로 번역하고, 이들을 재배치가능 목적프로그램 형태로 묶어 hello.o라는 목적파일에 그 결과를 저장한다. 이 파일은 17바이트를 포함하는 바이너리 파일이다.

- **링크 단계 :** hello 프로그램이 C 컴파일러에서 제공하는 printf 함수를 호출한다. printf 함수는 이미 컴파일된 별도의 목적파일인 printf.o에 들어있으며, 이 파일은 hello.o 파일과 결합되어야 한다. 링커 프로그램(ld)이 이 단계를 수행하며, 결과적으로 수행 가능한 파일 객체를 생성하게 된다.

1.3 컴파일 시스템이 어떻게 동작하는지 이해하는 것은 중요하다 (It Pays to Understand How Compilation Systems Work)

컴파일 시스템은 어떻게 동작하는가?

- 프로그램 성능 최적화하기 : C 프로그램 작성 시 기계어 수준 코드에 대한 기본적인 이해를 할 필요가 있으며, 컴파일러가 어떻게 C 문장들을 기계어 코드로 번역하는지 알 필요가 있다.

- 링크 에러 이해하기 : 가장 당혹스러운 프로그래밍 에러는 링커의 동작과 관련되어 있으며, 큰 규모의 소프트웨어 시스템을 빌드할 경우 더욱 그렇다.

- 보안 약점 피하기 : 오랫동안 버퍼 오버플로우 취약성이 인터넷과 네트워크상의 보안 약점의 주요 원인으로 설명되었다. 이것은 프로그래머들이 신뢰할 수 없는 곳에서 획득한 데이터의 양과 형태를 주의 깊게 제한해야 할 필요를 거의 인식하지 못하기 때문에 생겨난다.

1.4 프로세서는 메모리에 저장된 인스트럭션을 읽고 해석한다

(Processors Read and Interpret Instructions Stored in Memory)

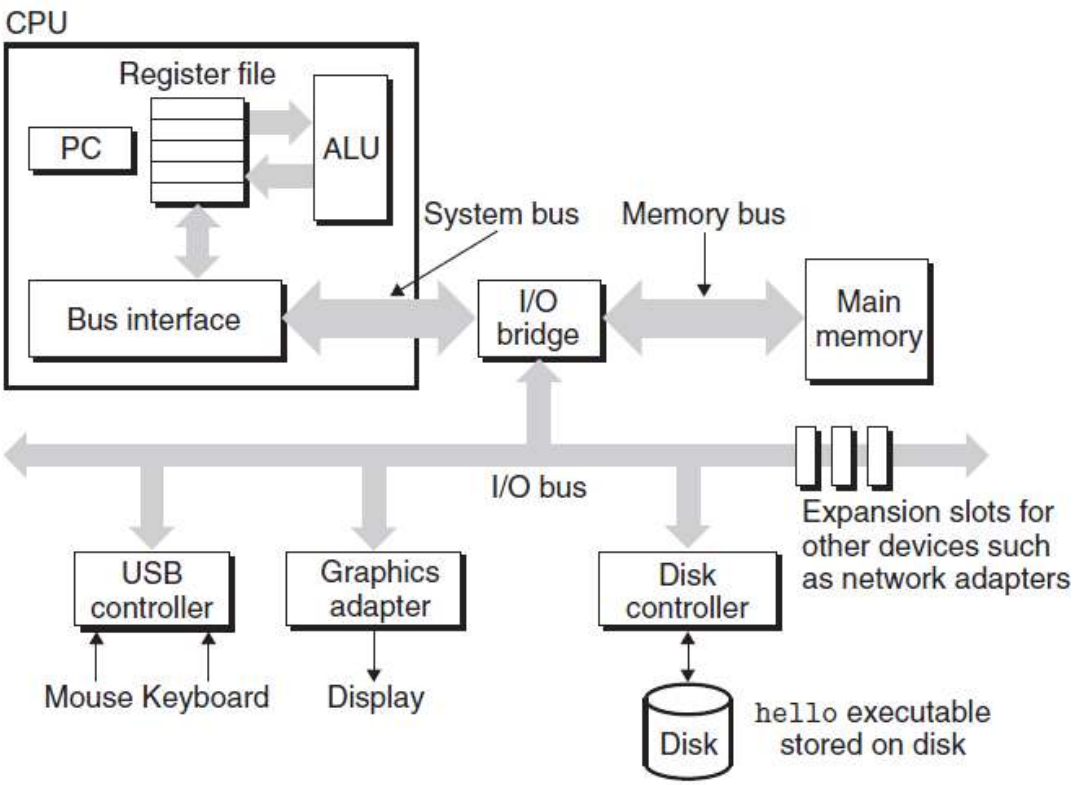
hello.c 소스 프로그램은 컴파일 시스템에 의해 hello라는 실행 가능한 목적파일로 번역되어 디스크에 저장되었다. 이 실행파일을 유닉스 시스템에서 실행하기 위해서 쉘(shell)이라는 응용프로그램에 그 이름을 입력한다.

```
linux>  ./hello
hello,  world
linux>
```

쉘은 커맨드라인 인터프리터로 프롬프트를 출력하고 명령어 라인을 입력 받아 실행한다. hello 프로그램은 메시지를 화면에 출력하고 종료한다. 쉘은 프롬프트를 출력해 주고 다음 입력 명령어 라인을 기다린다.

1.4.1 시스템의 하드웨어 조직
(Hardware Organization of a System)

hello 프로그램을 실행할 때 무슨 일이 일어나는지 설명하기 위해서는 아래와 같은 전형적인 시스템에서의 하드웨어 조직을 이해해야 한다.



- **버스(Buses)** : 시스템 내부를 관통하는 전기적 배선군이며, 컴포넌트들 간에 바이트 정보들을 전송한다. 버스는 일반적으로 워드(word)라고 하는 고정 크기의 바이트 단위로 데이터를 전송하도록 설계된다. 대부분의 컴퓨터들은 4바이트 또는 8바이트 워드 크기를 갖는다.

- **입출력 장치** ; 시스템과 외부세계와의 연결을 담당한다. 입력용 키보드와 마우스, 출력용 디스플레이, 저장을 위한 디스크 드라이브 등이 있다. 각 입출력 장치는 입출력 버스와 컨트롤러나 어댑터를 통해 연결된다. 이 두 장치의 차이는 패키징에 있다.

- **메인 메모리** ; 프로세서가 프로그램을 실행하는 동안 데이터와 프로그램을 모두 저장하는 임시 저장장치다. 메인 메모리는 물리적으로 DRAM 칩들로 구성되어 있다.

- **프로세서** : 메인 메모리에 저장된 인스트럭션들을 실행하는 엔진이다. 프로세서의 중심에는 워

드 크기의 저장장치인 PC가 있다. 시스템에 전원이 끊어질 때까지 프로세서는 PC가 가리키는 곳의 인스트럭션을 반복적으로 실행하고 PC값이 다음 인스트럭션의 위치를 가리키도록 업데이트 한다. CPU가 실행하는 단순한 작업의 예로는 적재(Load), 저장(Store), 작업(Operate), 점프(Jump)가 있다.

1.4.2 hello 프로그램의 실행 (Running the hello Program)

처음에 쉘 프로그램은 자신의 인스트럭션을 실행하면서 사용자가 명령을 입력하기를 기다린다. 사용자가 “./hello"를 입력하면 쉘은 각각의 문자를 레지스터에 읽어 들인 후, 메모리에 저장한다. 엔터키를 누르면 쉘은 명령 입력을 끝마쳤다는 것을 알게된다. 그러면 쉘은 실행파일 hello를 디스크에서 메인 메모리로 로딩한다. 데이터 부분은 최종적으로 출력되는 문자 스트링인 "hello, world₩n”을 포함한다. 데이터는 DMA(직접 메모리 접근)를 이용하여 프로세서를 거치지 않고 디스크에서 메인 메모리로 직접 이동한다.

hello 목적파일의 코드와 데이터가 메모리에 적재된 후, 프로세서는 hello 프로그램의 main 루틴의 기계어 인스트럭션을 실행하기 시작한다. 이 인스트럭션들은 “hello, world₩n" 스트링을 메모리로부터 레지스터 파일로 복사한다. 거기로부터 디스플레이 장치로 전송하여 화면에 글자들이 표시된다.

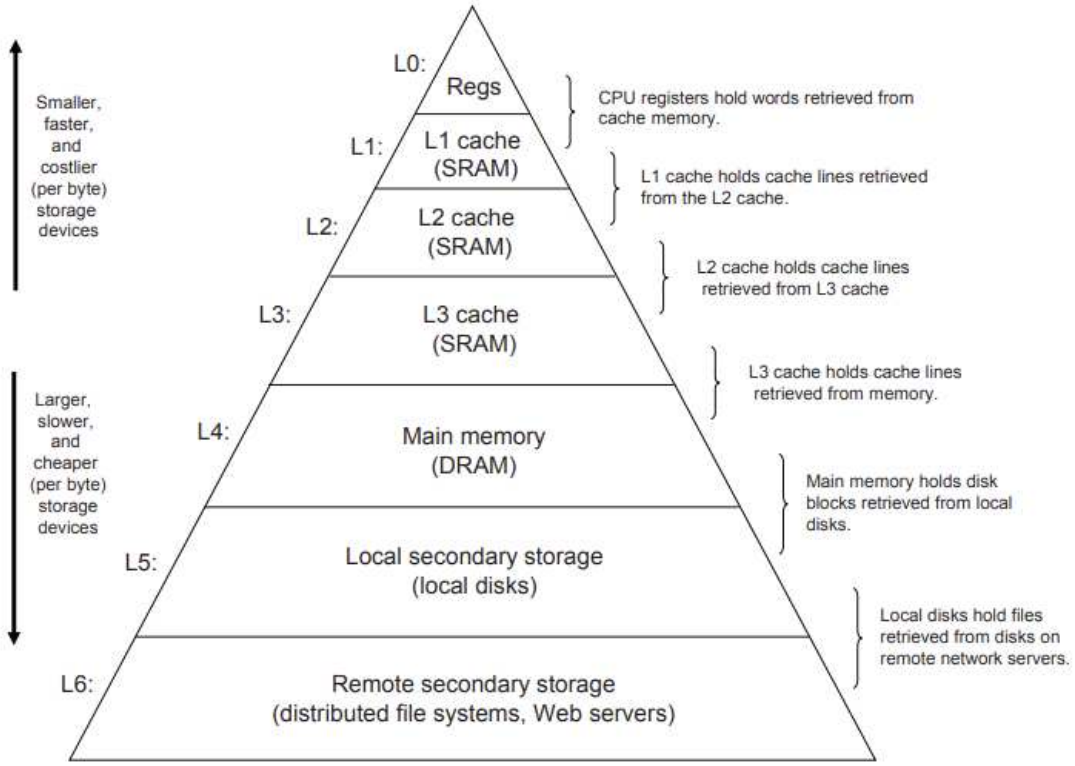
1.5 캐시 메모리 (Caches Matter)

위의 내용에서 알아보았듯, 시스템은 정보를 한 장소에서 다른 장소로 이동시키는 데 많은 과정을 거쳐야하고, 그에 따른 많은시간을 소비한다. 프로그램이 메인 메모리로 복사되어 로딩 되는데, 프로그래머의 관점에서 이 복사물의 대부분은 프로그램의 실제 작업 수행을 느리게 하는 오버헤드이다. 따라서 시스템 설계자의 주요 목표는 이러한 복사 작업을 최대한 빨리 실행하게 하는 것이다. 그러나 물리적으로, 저장장치는 클수록 속도가 느리고, 속도가 빠를수록 제작비용이 많이 들게 된다. 일반적인 레지스터 파일은 메인 메모리에 수백 바이트의 정보만 저장한다. 반면 프로세서는 메모리보다 거의 100배 빠른 속도로 레지스터 파일에서 데이터를 읽을 수 있다. 이러한 프로세서-메모리 격차를 해결하기 위해서 시스템 설계자는 캐시 메모리라고 하는 작고 빠른 저장장치를 고안하였다.

캐시 메모리는 크기와 속도에 따라 구분되는데, 예를 들면 L2 캐시 메모리는 수십만에서 수백만 바이트의 대용량 캐시가 특수 버스를 통해 프로세서에 연결된다. 캐시는 정적 램(static random access memory)으로 알려진 하드웨어 기술로 구현된다. 캐싱의 핵심적인 부분은 프로그램이 로컬 지역의 데이터와 코드에 접근하려는 경향을 이용하여 시스템이 매우 크고 빠른 메모리의 효과를 모두 얻을 수 있게 되었다는 것이다. 자주 액세스하는 데이터를 보관하도록 캐시를 설정하면, 경향성과 로컬데이터를 이용하여 빠르게 메모리 작업을 수행할 수 있다.

1.6 저장 장치는 계층 구조를 형성한다 (Storage Devices Form a Hierarchy)

실제로 모든 컴퓨터 시스템의 저장 장치는 다음 그림과 유사한 메모리 계층 구조로 구성된다.



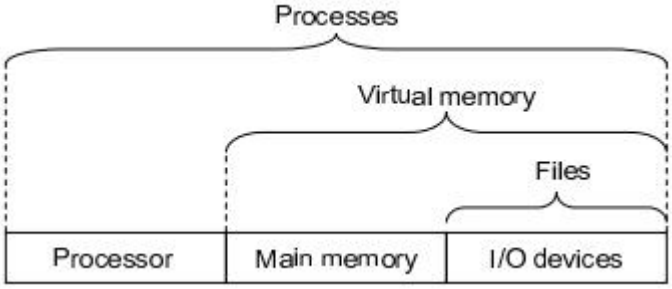
위층에서 아래층으로 이동함에 따라 수행속도가 느리고, 크기가 커지며, 비용이 적게 든다. 계층구조의 꼭대기에 위치한 L0층은 레지스터 파일이 차지한다. L1층에서 L3층은 1.5에서 보았던 캐시 메모리이며, L4층은 메인 메모리가 차지한다. 이러한 메모리 계층 구조의 주요 개념이라 하면, 한 층의 스토리지는 차상위 층의 스토리지를 위한 캐시 역할을 한다는 것이다.

1.7 운영체제는 하드웨어를 관리 한다
(The Operating System Manages the Hardware)

우리는 운영체제를 응용 프로그램과 하드웨어 사이에서 작동하는 소프트웨어 계층이라고 생각할 수 있겠지만, 응용 프로그램에서 하드웨어를 조작하려는 모든 시도는 운영 체제를 거쳐야 한다. 운영 체제 시스템에는 두가지 핵심적인 목적이 있다.

1. 어플리케이션에 의한 하드웨어의 오용으로부터 보호한다
2. 매우 복잡하거나 low-level의 하드웨어 장치들을 조작하기 위한 단순하고 균일한 메커니즘을 제공한다.

운영 체제는 다음 그림과 같이 추상화 된 프로세스, 가상 메모리, 파일들을 통해 두 가지 목표를 모두 달성한다.



1.7.1 프로세스(Processes)

프로세스는 실행 중인 프로그램에 대한 운영체제의 추상화다. 대부분 프로세스들은 동일한 시스템에서 동시에 실행될 수 있으며, 각 프로세스는 하드웨어를 배타적으로 사용하는 것처럼 느낀다. 여기서 동시에 라는 말은 한 프로세스의 인스트럭션들이 다른 프로세스의 인스트럭션들과 섞인다는 것을 뜻한다. 대부분 시스템에서 프로세스를 실행할 CPU의 숫자보다 더 많은 프로세스들이 존재한다. 과거에는 한 번에 한 개의 프로그램만 실행할 수 있었지만, 요즘의 멀티코어 프로세서들은 여러 개의 프로그램을 동시에 실행할 수 있다.

운영체제는 문맥 전환이라는 방법을 사용해 교차실행을 수행한다. 또한 운영체제는 프로세스가 실행하는 데 필요한 모든 상태정보의 변화를 추적한다. 이 컨텍스트라고 부르는 상태정보는 PC, 레지스터 파일, 메인 메모리의 현재 값을 포함한다.

hello 프로그램을 실행하라는 명령을 받으면, 쉘은 시스템 콜이라는 특수 함수를 호출하여 운영체제로 제어권을 넘겨준다. 운영체제는 쉘의 컨텍스트를 저장하고 새로운 hello 프로세스와 컨텍스트를 생성한다. 그 뒤 제어권을 새 hello 프로세스로 넘겨준다.

프로세스 추상화를 구현하기 위해서는 저수준의 하드웨어와 운영체제 소프트웨어가 함께 긴밀하게 협력해야 한다.

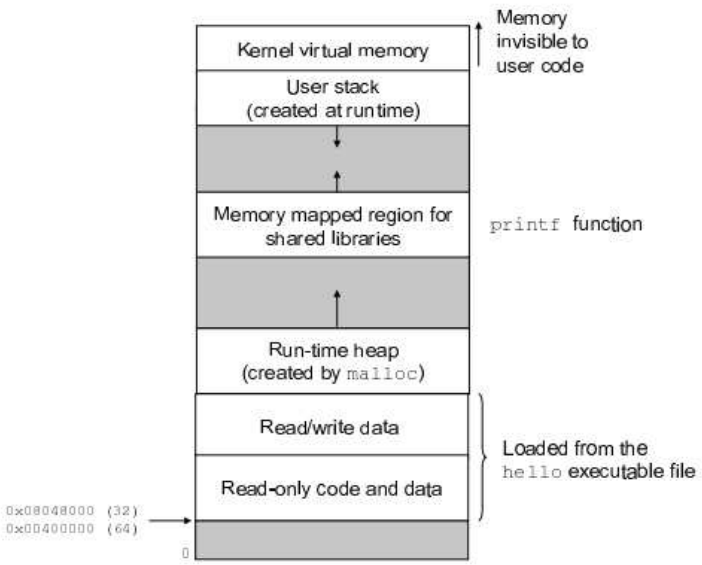
1.7.2 쓰레드(Threads)

프로세스가 한 개의 제어흐름을 갖는 것처럼 보이지만, 최근의 시스템에서는 프로세스가 실제로 쓰레드라고 하는 다수의 실행 유닛으로 구성되어 있다. 각각의 쓰레드는 해당 프로세스의 컨텍스트에서 실행되며 같은 코드와 전역 데이터를 공유한다.

1.7.3 가상메모리(Virtual Memory)

가상메모리는 각 프로세스들이 메인 메모리 전체를 독점적으로 사용하고 있는 것 같은 환상을 주는 추상화이다. 각각의 프로세스는 가상주소 공간이라고 하는 균일한 메모리의 모습을 갖는다. 이 주소공간의 하위 영역에는 사용자 프로세스의 코드와 데이터를 저장한다.

아래의 그림은 리눅스 프로세스들의 가상주소 공간을 나타낸 것이다. 그림에서 위쪽으로 갈수록 주소가 증가한다.



- **프로그램 코드와 데이터 :** 코드는 모든 프로세스들이 같은 고정 주소에서 시작한다. 코드와 데이터 영역은 실행 가능 목적파일인 hello로부터 직접 초기화된다.

- **힙(Heap) :** 코드와 데이터 영역 다음으로 런타임 힙이 따라온다. 힙은 프로세스가 실행되면서 C 표준함수인 malloc이나 free를 호출하면서 런타임에 동적으로 그 크기가 늘었다 줄었다 한다.

- **공유 라이브러리 :** 주소공간의 중간 부근에 공유 라이브러리의 코드와 데이터를 저장하는 영역이 있다.

- **스택(Stack) :** 사용자 가상메모리 공간의 맨 위에 컴파일러가 함수 호출을 구현하기 위해 사용하는 사용자 스택이 위치한다. 힙처럼 사용자 스택은 프로그램이 실행되는 동안에 늘어났다 줄어들었다 한다. 스택은 함수 호출 시 커지고, 함수 리턴 시 줄어든다.

- **커널 가상메모리 :** 주소공간의 맨 윗부분은 커널을 위해 예약되어 있다. 응용프로그램들은 이 영역의 내용을 읽거나 쓰는 것이 금지되어 있고, 커널 코드 내부에 정의된 함수를 직접 호출하는 것도 금지되어 있다. 그러나 이러한 작업을 수행하기 위해서는 커널을 호출해야 한다.

1.7.4 파일(Files)

파일은 연속된 바이트들이라고 보면 된다. 디스크, 키보드, 디스플레이, 네트워크까지 포함하는 모든 입출력 장치는 파일로 모델링한다. 시스템의 모든 입출력은 유닉스 I/O라는 시스템 콜들을 이용하여 파일을 읽고 쓰는 형태로 이루어진다.

[시스템 프로그래밍을 통해 얻어갈 점]

소프트웨어학과에서 이번학기를 포함하여 총 4학기를 다니고 있는 학생으로서 이번 시스템 프로그래밍 수업은 큰 의미를 가진다. 지금까지 소프트웨어학과에서는 프로그래밍 언어를 이용한 코딩 능력을 기르는 수업과 IT배경지식 이론들만 공부하다가 하드웨어와 직접적으로 연관이 있는 수업을 이번에 처음 접하게 되었다.

이전부터 데스크탑 컴퓨터도 직접 조립해보았고 바이오스(BIOS) 펌웨어 프로그램에 접속하여 각 부품들의 실제 동작과 데이터들의 흐름을 보고 몇 가지 설정들을 만져보면서 각기 다른 하드웨어 부품들이 어떤 관계를 가지고 서로 연결되어 있는지 기초적인 지식은 알고 있었지만 시스템 상에서 서로 어떤 방식으로 연결되어 있고 돌아가는지 상세히는 알 수 없었다.

하드웨어와 그리고 소프트웨어가 돌아가기 위한 내부 시스템에 대한 기본적인 개념들은 알고 있었지만 평소에 큰 관심을 가지지는 못하였는데 이번에 수업을 3주 동안 들어보면서 단순히 프로그래머는 코딩만 하는 것이 아니라 하드웨어의 뇌에 직접 명령 프로그램들을 집어넣고 집어넣은 명령들을 하드웨어가 잘 이행하도록 시스템이 구성되어 있는지도 헤아리는 것이 덕목이라고 생각했다. 하드웨어와 내부의 시스템들이 프로그래머가 짠 프로그램과 밀접한 관계가 있으므로(하드웨어와 시스템의 중요성이 크다) 앞으로는 더욱 신경을 쓰면서 함께 지식을 쌓아나가야 한다고 생각했다.

시스템 프로그래밍을 배우면서, 시스템 상에서 코드가 실행되는 과정들을 명확히 이해함으로써 단순히 코드상의 에러를 찾아보며 해결하는 것에 그치는 것이 아닌 시스템 상에서 발생하는 에러들을 잘 이해하고 원만히 해결할 수 있는 능력과 정신을 기르고 싶다.