KWANGWOON UNIVERSITY

2024년 2학기 **운영체제실습** 12주차

File System

System Software Laboratory
School of Computer and Information Engineering
Kwangwoon Univ.

Contents

- 파일 시스템의 개요
- 파일 시스템 관련 자료 구조

- proc 파일 시스템
- flexible array member (참고자료)

- 실습

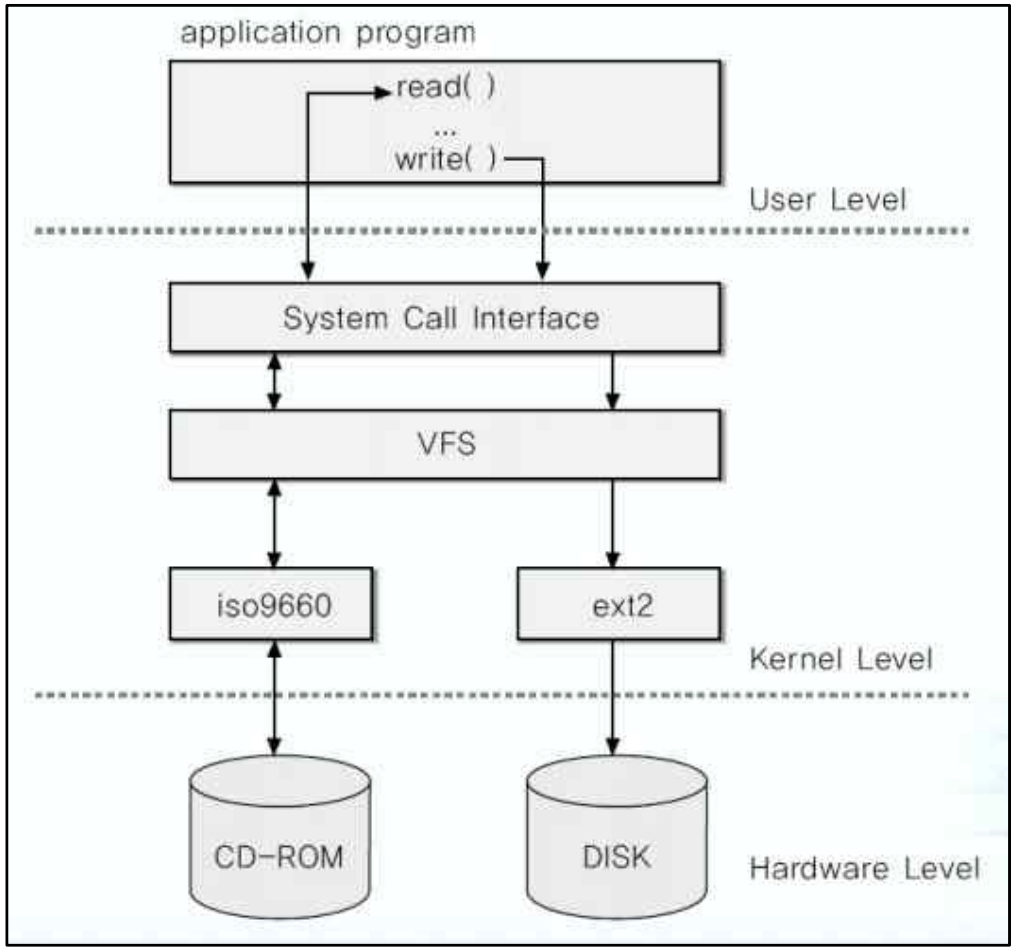
파일 시스템의 개요

- **파일**
  - 디스크와 같은 물리적인 저장 매체에 저장되는 프로그램
  - 데이터 정보에 대한 논리적인 저장 단위

- **파일시스템**
  - 파일을 어떻게 관리할 것인가에 대한 정책
    - e.g. ext2, ext3, ext4, NTFS, …
  - 데이터를 특정 구조체에 담는 계층적인 저장소
  - 네임스페이스(name space)라는 전역 계층 구조의 특정 지점에 마운트(mount)됨

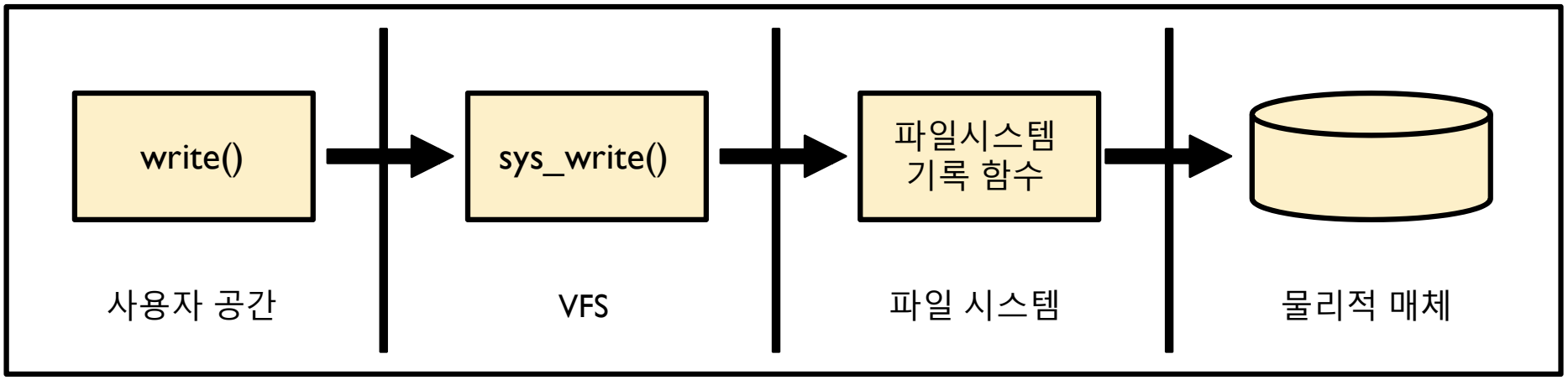
파일 시스템의 개요

- **가상 파일 시스템 (VFS, Virtual File System)**
  - 다양한 파일 시스템을 일관된 형태로 인식할 수 있도록 하는 기법



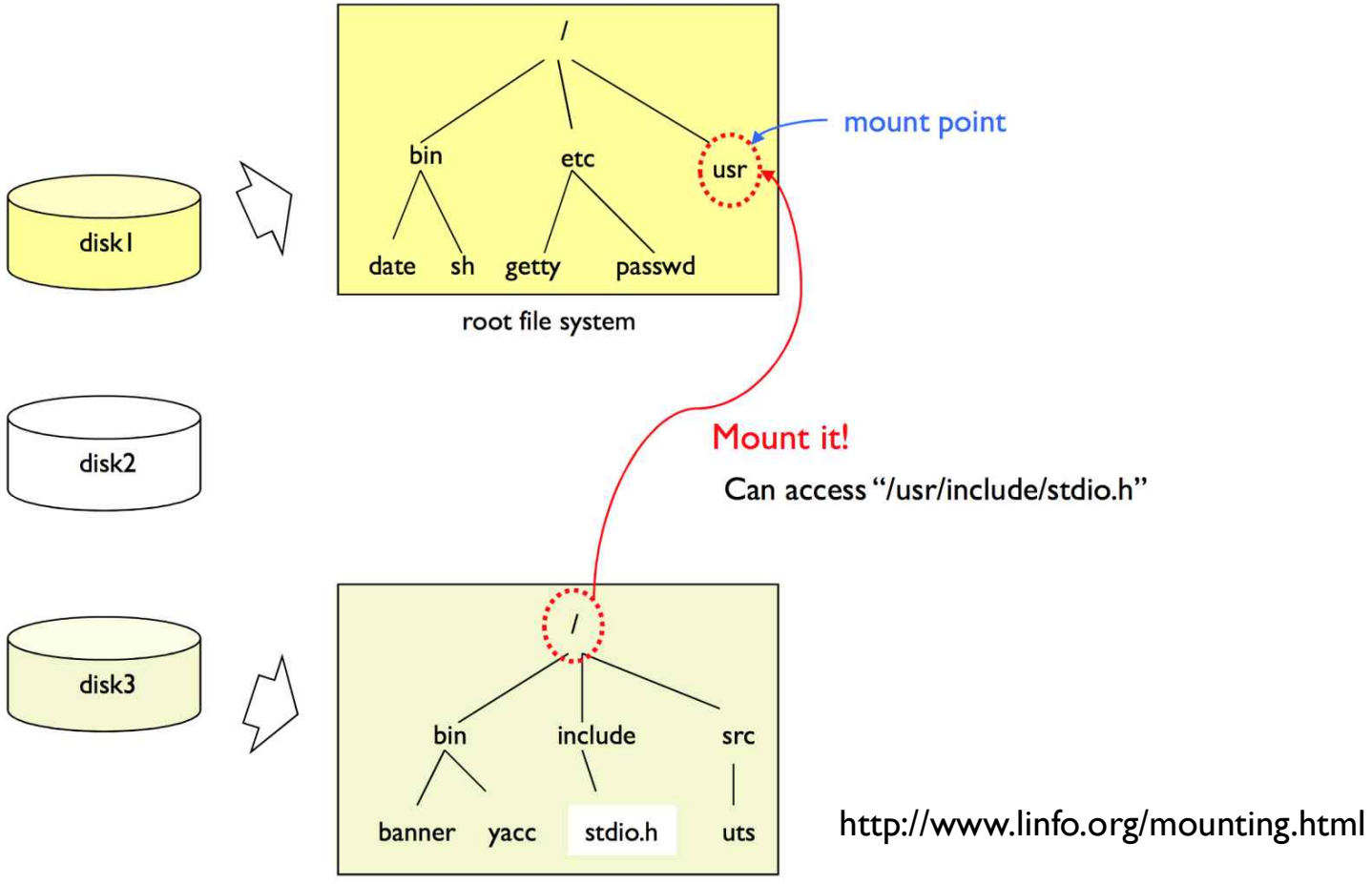
파일 시스템의 개요

- **가상 파일 시스템 (VFS, Virtual File System)**
  - 예) 물리적인 매체에 write()를 행한 경우
  - VFS가 파일시스템의 일반적인 기능과 동작을 나타내는 공통 파일 모델 제공



파일 시스템의 개요

- **마운트 (Mount)**
  - 마운팅은 현재 접근 가능한 파일시스템에 추가적인 파일시스템을 붙이는 작업

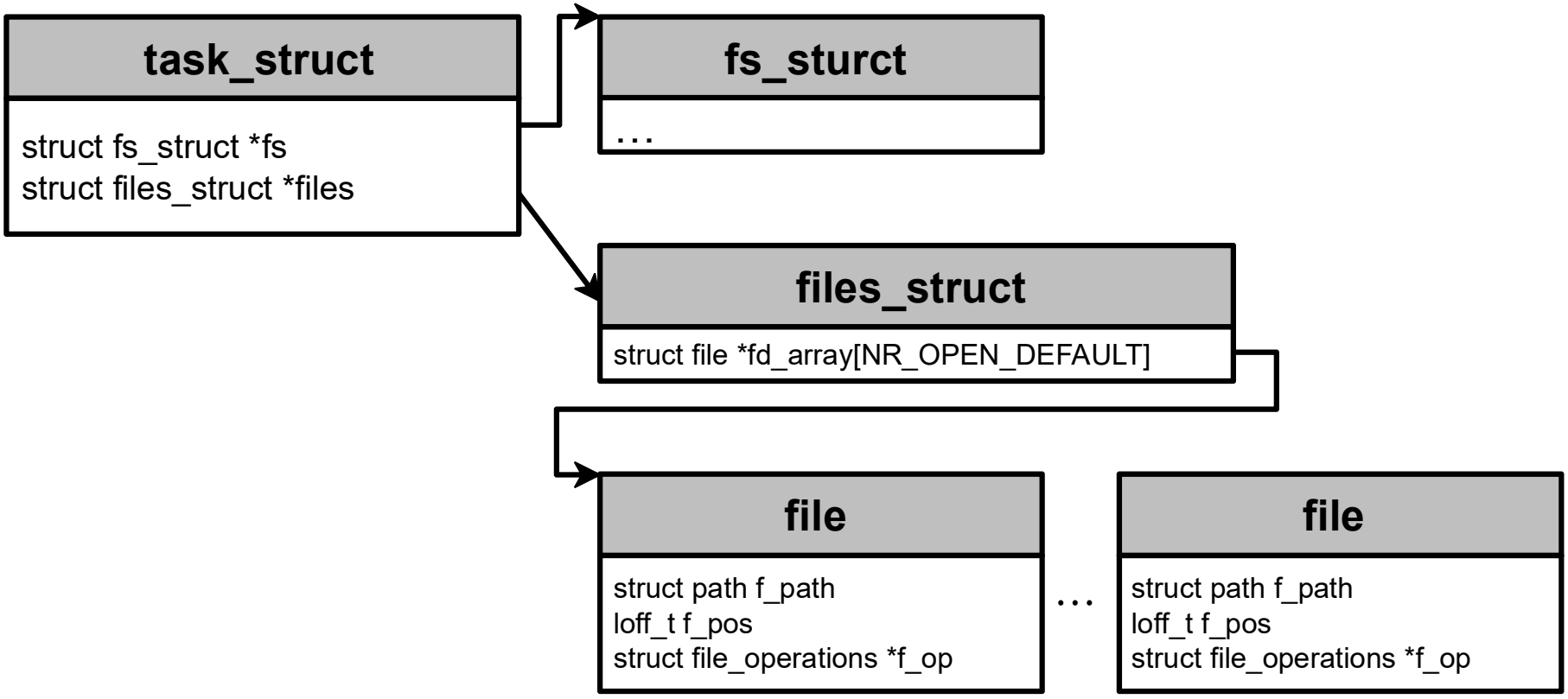


http://www.linfo.org/mounting.html

VFS 객체와 자료구조

- **VFS는 객체지향적**
  - VFS 객체의 4가지 유형
    - 슈퍼블록(super block) 객체
      - 파일시스템을 기술하는 정보를 저장
    - 아이노드(i-node) 객체
      - 커널이 파일이나 디렉토리를 관리하는데 필요한 모든 정보를 가짐
    - 덴트리(dentry) 객체
      - 파일을 포함한 경로 상의 모든 항목
    - 파일(file) 객체
      - 열린 파일은 메모리 상에 나타낸 것

파일 시스템 관련 자료 구조



파일 시스템 관련 자료 구조

- **struct task_struct**
  - struct fs_struct *fs
    - 현재 프로세스가 사용되고 있는 프로세스의 수, 루트 디렉토리, 현재 작업 디렉토리와 같은 정보를 담고 있음
  - struct files_struct *files
    - 프로세스가 사용중인 파일과 파일 디스크립터에 대한 정보 등을 담음

- **struct files_struct**
  - 열려 있는 파일을 관리하기 위한 테이블
  - struct file *fd_array[NR_OPEN_DEFAULT]

파일 시스템 관련 자료 구조

- **struct file**
  - f_path
    - path 구조체
    - struct vfsmount *mnt
      - 마운트 정보
    - struct dentry *dentry
      - 이 구조체 내의 d_inode변수가 inode를 가리킴
  - f_pos
  - 현재 파일에서 읽거나 쓸 위치를 나타냄
    - 파일이 처음 열리면 0으로 설정
    - 읽기 또는 쓰기 연산이 수행됨에 따라 위치 이동
  - f_op
    - file_operations 자료구조를 가리키는 포인터
      - read/write 등의 함수들이 어떤 작업을 수행해야 하는지 함수에 대한 포인터들로 구성

proc 파일 시스템

- **저장장치 대신 메모리 상에 위치하는 파일 시스템**
  - 커널이 직접 관리
  - 시스템의 정보나 커널 및 현재 실행 중인 태스크의 여러 정보 포함
  - e.g.
    - /proc/meminfo : 메모리 사용의 세부사항
    - /proc/cpuinfo : 현재 CPU의 정보들(클럭, 지원 명령어 등)
    - /proc/version : 커널 버전($ uname 을 통해 확인 가능)
    - /proc/devices : 설정되어 있는 장치의 목록
    - /proc/dma : DMA채널과 관련된 정보
    - /proc/filesystems : 설정된 파일시스템의 목록
    - /proc/kmsg : 커널이 출력하는 메시지($ dmesg 를 통해 확인가능)
    - /proc/modules : 현재 사용 중인 커널 모듈 목록 ($ lsmod 를 통해 확인가능)
    - /proc/net : 네트워크 프로토콜들의 상태 정보
    - /proc/stat : 시스템의 상태에 관련된 정보
    - /proc/self : 현재 실행중인 프로세스에 관한 정보 (/proc/(PID)의 링크)

proc 파일 시스템

- **저장장치 대신 메모리 상에 위치하는 파일 시스템**
  - e.g. (cont'd)
    - /proc/PID (ex. /proc/1/)
      - 해당 PID의 태스크의 관련 정보를 담고 있음
      - cmdline : 명령행 옵션
      - cwd : 작업 디렉토리 링크
      - exe : 태스크를 실행시킨 명령어 링크
      - fd : 파일 디스크립터 목록을 가지는 디렉토리
      - maps : 태스크의 메모리 맵
      - mem : 태스크가 사용 중인 메모리
      - root : 태스크의 루트 디렉토리
      - stat : 태스크의 상태
      - statm : 태스크의 메모리 상태
      - status : 태스크의 각종 정보 및 메모리 정보

```
sslab@oslab:~$ ls /proc/1
attr            coredump_filter  gid_map    mountinfo          oom_score      schedstat  status
autogroup       cpuset           io         mounts             oom_score_adj  sessionid  syscall
auxv            cwd              latency    mountstats         pagemap        setgroups  task
cgroup          environ          limits     net                personality    smaps      uid_map
clear_refs      exe              loginuid   ns                 projid_map     stack      wchan
cmdline         fd               maps       numa_maps          root           stat
comm            fdinfo           mem        oom_adj sched      statm
sslab@oslab:~$
```

proc 파일 시스템

- **디렉토리 생성 함수**
  - proc_mkdir()

```
struct proc_dir_entry *proc_mkdir ( const char *name, struct proc_dir_entry *parent)
```

    - name : 생성할 디렉토리 이름
    - parent : 디렉토리가 생성 될 부모 디렉토리 (NULL일 때 /proc)

  - proc_dir_entry 구조체
    - 생성된 디렉토리에 관련된 정보를 가지는 구조체
    - include/linux/proc_fs.h

  - 디렉토리 생성 과정
    - proc_dir_entry 구조체의 변수 선언 후 proc_mkdir() 함수로 디렉토리 생성
    - e.g. /proc 하위에 exam 디렉토리 생성

```
struct proc_dir_entry *proc_dir = NULL;
proc_dir = proc_mkdir("exam", NULL);
```

proc 파일 시스템

- **파일 생성 함수**
  - proc_mkdir()

```
struct proc_dir_entry *proc_create(const char *name, umode_t mode,
                                   struct proc_dir_entry *parent,
                                   const struct file_operations *proc_fops);
```

    - name : proc 파일 이름
    - mode : 생성할 파일의 접근권한
    - parent : 생성될 파일이 위치할 디렉토리 , NULL → proc 폴더에 생성
    - proc_fops : 생성될 파일의 file operations

  - e.g. exam 디렉토리 내에 file이라는 파일을 생성

```
static const struct file_operations my_proc_fops = {
…
};

struct proc_dir_entry *proc_fp = NULL;
proc_fp = create_proc_entry("file", 0644, proc_dir, &my_proc_fops );
```

proc 파일 시스템

- **파일 또는 디렉토리 제거 함수**
  - remove_proc_entry()

```
void remove_proc_entry (const char *name, struct proc_dir_entry *parent)
```

    - name : proc 파일 이름
    - parent : 생성될 파일이 위치할 디렉토리
      - /proc 폴더에 생성할 시 NULL 삽입

  - e.g. 생성한 디렉토리 exam과 파일 file을 제거

```
struct proc_dir_entry *proc_fp = NULL;
proc_fp = remove_proc_entry("file", proc_dir);
```

proc 파일 시스템

- **읽기/쓰기 함수**
  - 해당 함수 구현 후 proc_dir_entry 구조체에 있는 read_proc, write_proc 함수 포인터에 대입
  - e.g. 생성한 exam 디렉토리 내의 file에 데이터 읽고 쓰기

```
static const struct file_operations my_proc_fops = {
.owner = THIS_MODULE
.read = my_read_operations,
.write = my_write_operations,
};
```

  - 해당 함수의 원형

```
ssize_t (*read) (struct file *, char __user *, size_t, loff_t *);
ssize_t (*write) (struct file *, const char __user *, size_t, loff_t *);
```

    - struct file * : current file
    - char __user * : data for getting from user space
    - size_t : size of data for getting from user space
    - loff_t : offset when processing a file

proc 파일 시스템

- **읽기 함수**
  - 사용자 영역의 태스크로부터 요청이 들어오면 커널 메모리 영역에서 데이터를 읽어와 적정 포맷으로 변경한 후 태스크로 되돌려 줌

- **쓰기 함수**
  - 사용자 영역의 태스크로부터 데이터를 받아 커널에게 넘겨줌
  - 통상적으로 copy_from_user() 함수를 이용

- **proc 파일 시스템에서의 데이터는 커널 메모리 상에 저장**

실습

- **모듈을 이용하여 proc 파일시스템에 "proc_학번" 디렉토리(i.e. proc_학번)를 생성하고, B파일을 생성해 보자.**
  - "B" 파일
    - Permission : 소유자, 그룹, 일반 유저 모두가 읽기/쓰기 가능
    - Output : B파일의 맨 뒤에는 jiffies가 출력

실습

- **코드** (oslab_proc.c)

```
1  #include <linux/syscalls.h>
2  #include <linux/proc_fs.h>
3  #include <linux/string.h> /* strlen() */
4  #include <linux/uaccess.h> /* copy_to_user(), copy_from_user() */
5  #include <linux/jiffies.h> /* get_jiffies_64() */
6
7  struct proc_dir_entry *oslab_fp_dir;
8  struct proc_dir_entry *oslab_fp_B;
9
10 char oslab_buffer[500];
11
12 int oslab_is_processed = 0;
13
14 int oslab_open(struct inode *inode, struct file *file)
15 {
16     oslab_is_processed = 0;
17     return 0;
18 }
```

- Line 7 : for “proc_2019123456” proc directory
- Line 8 : for “proc_2019123456/B” proc file
- Line 10 : 사용자에게 입력 받은 데이터 저장
- Line 14 ~ 18 : “/proc/proc_2019123456/B” 파일을 열 때 마다 수행
  - 즉, 해당 파일에 대해 open() 시스템 콜을 요청할 때 마다 수행
- Line 12, 16 : 연산 종료 지시자 (추후 설명)

실습

- **코드** (oslab_proc.c)

```
20 ssize_t oslab_read(struct file *f, char __user *data_usr, size_t len, loff_t *off)
21 {
22     char buf[512] = {'\0', };
23     ssize_t len_written;
24
25     if(oslab_is_processed) return 0;
26
27     sprintf(buf, "%s%llu", oslab_buffer, get_jiffies_64());
28     len_written = strlen(buf)+1;
29     copy_to_user(data_usr, buf, len_written);
30
31     oslab_is_processed++;
32
33     return len_written;
34 }
```

- Line 20~34 : “/proc/proc_2019123456/B” 파일에 읽기 연산을 요청할 때 마다 수행
  - 즉, 해당 파일에 대해 read() 시스템 콜을 요청할 때 마다 수행하는 연산
- Line 22 : jiffies 시간 값을 덧붙여서 호스트에게 반환할 데이터를 만들 임시 공간
- Line 27 : “buf”에 사용자가 입력한 데이터에 jiffies를 덧붙임
- Line 28 : 응용 프로그램에게 반환해주어야 하는 “읽은 데이터의 byte 크기”
  - 문자열 관련 함수(strlen(), …)는 linux/string.h 를 include한 후 커널에서도 사용 가능 (line 3)
- Line 29 : 사용자 영역(data_usr)에 커널 내 데이터(buf)를 len_written만큼 복사
- Line 25, 31 : 연산 종료 지시자 (추후 설명)

실습

- **코드** (oslab_proc.c)

```
36 ssize_t oslab_write(struct file *f, const char __user *data_usr, size_t len, loff_t *off)
37 {
38     ssize_t len_copied;
39
40
41
42     len_copied = len;
43     copy_from_user(oslab_buffer, data_usr, len_copied);
44
45
46
47     return len_copied;
48 }
```

- Line 36~48 : “/proc/proc_2019123456/B” 파일에 쓰기 연산을 요청할 때 마다 수행
  - 즉, 해당 파일에 대해 write() 시스템 콜을 요청할 때 마다 수행하는 연산
- Line 42 : 응용 프로그램에게 반환해주어야 하는 “쓴 데이터의 byte 크기”
  - 응용 프로그램이 쓰도록 요청한 데이터 크기(len)를 모두 기록
- Line 29 : 사용자 영역 데이터를 커널 공간(oslab_buffer)으로 len_copied 만큼 복사
- Line 40, 45 : 연산 종료 지시자 (추후 설명)

실습

- **코드** (oslab_proc.c)

```
50 const struct file_operations oslab_ops = {
51     .owner = THIS_MODULE,
52     .open = oslab_open,
53     .read = oslab_read,
54     .write = oslab_write,
55 };
56
57 int __init oslab_init(void)
58 {
59     oslab_fp_dir = proc_mkdir("proc_2019123456", NULL);
60     oslab_fp_B = proc_create("B", 0666, oslab_fp_dir, &oslab_ops);
61
62     return 0;
63 }
64
65 void __exit oslab_exit(void)
66 {
67     remove_proc_entry("B", oslab_fp_dir);
68     remove_proc_entry("proc_2019123456", NULL);
69 }
70
71 module_init(oslab_init);
72 module_exit(oslab_exit);
73 MODULE_LICENSE("GPL");
```

- Line 50~55 : “proc_2019123456/B” 파일에 시스템 콜 요청 시 실제 호출되는 함수 지정
- Line 59 : 모듈 적재 시, /proc/proc_2019123456 디렉토리 생성
- Line 60 : 모듈 적재 시, /proc/proc_2019123456/B 파일 생성
- Line 67~68 : 모듈 해제 시, 파일 → 디렉토리 순서대로 제거 (순서에 유의)

실습

- **코드** (oslab_proc.c)
  - "oslab_is_processed" : 연산이 종료되었는지 알려주기 위한 지시자

```
20 ssize_t oslab_read(struct file *f, char __user *data_usr, size_t len, loff_t *off)
21 {
22     char buf[512] = {'\0', };
23     ssize_t len_written;
24
25     if(oslab_is_processed) return 0;
```

/* Operations… */

```
31     oslab_is_processed++;
32
33     return len_written;
34 }
```

  - 읽기, 를 위한 시스템 콜에서 0을 반환하는 것은 다음의 의미를 가짐
    - 파일에 더 이상 읽을 데이터가 없음
  - 응용 프로그램에서 read()를 완료될 때 까지 반복 요청하는 경우가 있음
    - e.g. 데이터가 존재하는 한 계속 읽을 때, …
    - 반복 요청 시, 더 이상 읽을/쓸 데이터가 없다는 것을 알려주어야 함
      - 각 시스템 콜에서 0을 반환함으로써 이를 응용 프로그램에 전달 (line 25)
      - 즉, proc 파일 열 때 0으로 초기화 및 연산 최초 수행 시 값을 증가시킴(line 31)

실습

- **실행 결과 예시**
  - 컴파일

```
sslab@ubuntu:~/proc$ make
make -C /lib/modules/4.19.67-OSLAB-ASSISTANT/build SUBDIRS=/home/sslab/proc modules
make[1]: Entering directory '/usr/src/linux-4.19.67'
  CC [M]  /home/sslab/proc/oslab_proc.o
  Building modules, stage 2.
  MODPOST 1 modules
  CC      /home/sslab/proc/oslab_proc.mod.o
  LD [M]  /home/sslab/proc/oslab_proc.ko
make[1]: Leaving directory '/usr/src/linux-4.19.67'
```

  - 모듈 적재 및 테스트

```
sslab@ubuntu:~/proc$ sudo insmod oslab_proc.ko
sslab@ubuntu:~/proc$ cat /proc/proc_2019123456/B
4298157960sslab@ubuntu:~/proc$ cat /proc/proc_2019123456/B
4298158188sslab@ubuntu:~/proc$
sslab@ubuntu:~/proc$
sslab@ubuntu:~/proc$ echo "OSLAB!" > /proc/proc_2019123456/B
sslab@ubuntu:~/proc$ cat /proc/proc_2019123456/B
OSLAB!
4298167516sslab@ubuntu:~/proc$
```

  - 모듈 해제 및 테스트

```
sslab@ubuntu:~/proc$ sudo rmmod oslab_proc
sslab@ubuntu:~/proc$ cat /proc/proc_2019123456/B
cat: /proc/proc_2019123456/B: No such file or directory
sslab@ubuntu:~/proc$
```