

REPORT



제목: 운영체제 과제 lab3_filesystem

과목명 : 운영체제

담당교수: 최종무 교수님

이름: 최지윤

학번: 32194747

제출일: 2020.05.28

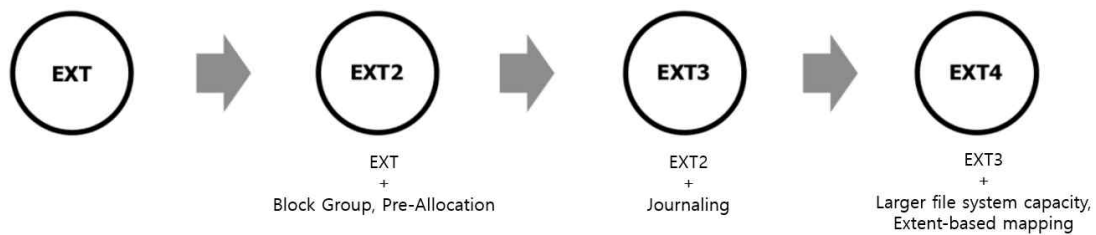


단국대학교
Dankook University

1. Lab3 과제 개요

EXT File System

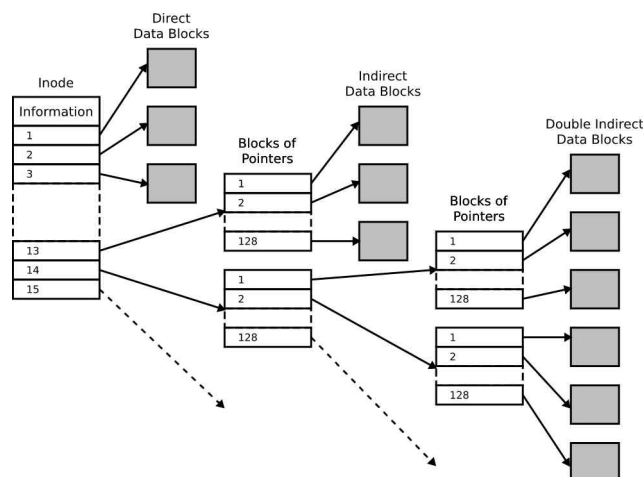
EXT(Extend) File System은 리눅스용 파일 시스템 중 하나로 Minix File System을 개선하기 위해 만들어진 파일 시스템이다. EXT File System은 Ext를 시초로 분리 접근, 아이노드 수정 등을 지원하지 않는 EXT의 단점을 보완한 EXT2, EXT2에 journaling 개념을 추가한 EXT3, EXT3에서 Block Mapping 방식이 아닌 extents 트리를 이용하여 파일을 관리하는 EXT4 순서로 등장했다.



EXT2 File System

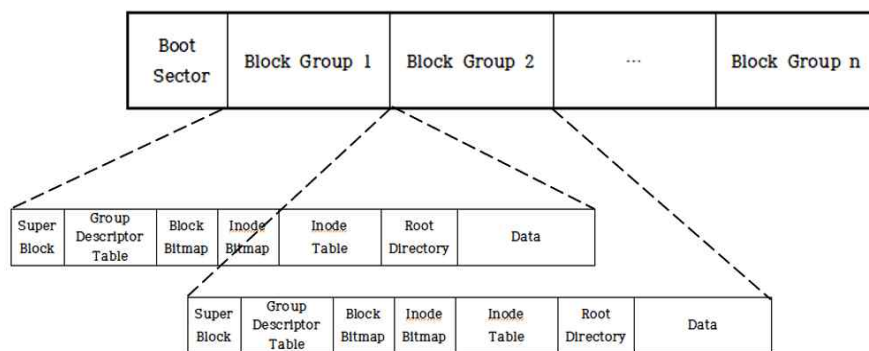
EXT2 File System에서 ext2 공간은 블록으로 나뉘어 있다. 이 블록은 블록 그룹으로 나뉘는데, 이는 유닉스 파일 시스템의 실린더 그룹과 비슷하다. 일반적으로 거대한 파일 시스템에 수천개의 블록이 있다. 주어진 파일의 데이터는 가능한 한 하나의 블록 그룹 내에 포함되어 있다. 이것은 외부 단편화를 줄이고 연속된 대량의 데이터를 읽을 때 디스크 탐색을 최소화시킨다.

모든 파일이나 디렉터리는 아이노드로 관리한다. 모든 파일이나 디렉터리에는 각각 하나의 Inode가 할당되어 있고, 이 Inode는 크기, 권한, 소유권, 그리고 파일이나 디렉터리의 디스크 위치에 대한 데이터를 포함한다. 각 블록 그룹을 위한 Ext2 Inode는 Inode가 할당되었는지를 확인할 수 있는 Inode Bitmap과 함께 Inode Table에 저장되게 된다. Inode 구조의 예시는 다음과 같다.



각각의 디렉터리는 디렉터리 엔트리 목록이다. 각 디렉터리 엔트리는 파일명 하나와 아이노드 번호 하나가 연관되어 있으며, 이는 inode 번호, 파일명의 길이, 그리고 파일명을 나타내는 실제 텍스트로 구성되어 있다. 새 파일이나 디렉터리가 만들어지면, ext2 파일 시스템은 어디에 데이터를 저장해야 하는지 반드시 결정해야 한다. 만약 디스크가 대부분 비어있다면, 데이터는 거의 어디든지 저장될 수 있다. 그러나 데이터가 다른 관련 데이터와 같이 클러스터된 경우, 찾는 시간을 최소화되고 성능은 최대화된다.

EXT2 File System은 Boot Sector와 여러 개의 Block Group으로 구성되어 있다. Boot Sector는 Boot Sector와 여러 개의 Block Group으로 구성되어 있으며, 인접한 트랙들을 한 개의 Block Group으로 묶어 관리한다. 이때, Directory와 같이 논리적으로 연관성이 있는 Data를 한 Block Group에 저장한다. EXT2 File System의 형태 및 구조는 다음과 같다.



- Super Block

EXT2 파일 시스템에서 사용되는 전반적인 주요 정보들을 가지고있는 영역이다. 예를 들어, Block count, Inode count, Blocks per group, Block Group count 등의 데이터들이 Super Block에 기록된다.

- Group Descriptor Table

각 Block Group에 대한 Description을 나열한 테이블로, 해당 파일 시스템 내의 모든 Block Group에 대한 정보를 기록한다. Group Descriptor Table에 저장되는 주요 데이터는 Block Bitmap / Inode Bitmap / Inode Table의 시작 블록 주소, 그룹 내에 비어있는 block / inode / directory 수 등이다.

- Block Bitmap

해당 Block이 할당되었는지 표시하는 비트맵으로, 테이블의 크기가 일정하지 않아 그 위치도 상황에 따라 달라진다. 따라서 Group Descriptor의 정보에 Block Bitmap의 위치가 포함되어 있다.

- Inode Bitmap

해당 Inode number가 할당되었는지 표시하는 비트맵으로, Block Bitmap과 마찬가지로 1개의 Inode는 1개의 Bit에 대응되어 해당 블록 그룹이 관리하는 모든 Inode의 사용 현황을 나타낼 수 있다.

- Inode Table

해당 Block Group에 할당된 Inode들을 나열한 테이블이다. Inode Table 내 첫 번째 블록의 번호를 Group Descriptor Table에 저장하며, 각 Inode의 크기는 256byte이다. 이때, Inode는 12개의 Direct Pointer와 3개의 Indirect Pointer로 구성되어 있다.

- Root Directory

Root와 관련된 정보가 담겨있고, Root Directory부터 시작되어 Block을 찾아간다. Root Directory의 Inode 번호는 2번이다.

- Data

파일 혹은 디렉터리가 저장되는 공간이다.

Lab3 문제 정의

Lab3의 목표는 EXT2 File System을 이용하여 학번 끝 세자리에 해당하는 파일을 찾아가는 것이다. 세 개의 블록으로 구성된 파일에서 하나의 블록을 추가하여 총 네 개의 블록을 찾는다. 나의 학번은 32194747 이기 때문에 7번 디렉터리 안에 있는 47번 파일을 찾아야 한다. 이때, 참고로 EXT2의 Metadata를 읽을 때는 보여지는 데이터를 바이트별로 반대로 읽어야 한다. 크게 다음과 같은 순서로 Ramdisk 속 나의 학번에 해당하는 파일을 찾아낼 수 있다.

- 1) install ramdisk as a module
- 2) mkfs & mount (파일 시스템 포맷 후 mnt에 마운트)
- 3) Directory 생성
- 4) Super Block 영역 분석
- 5) Group Descriptor Table 영역 분석
- 6) Inode Table 영역 분석
- 7) Data 영역 분석
- 8) 파일 찾기

정상적으로 나의 학번에 해당하는 파일을 찾았다면, 보너스 문제로 EXT2 File System에서 Mount, Lookup 시 “os_ext2 : 최지운 OS Lab3”라는 문구를 출력시켜야 한다.

2. Lab3 분석 내용 및 결과

1) install ramdisk as a module

- 모든 파일이 있는지 확인(ls) 후 sudo su로 root 권한으로 변경 -> make -> ramdisk.ko 파일 확인

```
oslab@oslab-DKU:~/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem$ sudo su
[sudo] password for oslab:
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# make
make -C /lib/modules/5.8.0-53-generic/build M=/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem modules
make[1]: Entering directory '/usr/src/linux-headers-5.8.0-53-generic'
make[1]: Leaving directory '/usr/src/linux-headers-5.8.0-53-generic'
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# ls
apd          Makefile      Module.symvers  ramdisk.ko      ramdisk.mod.o
append.c     mnt           os_ext2         ramdisk.mod     ramdisk.o
create.sh    modules.order ramdisk.c       ramdisk.mod.c
```

- 모듈 적재 후 확인 후 mnt 디렉토리 생성

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# insmod ramdisk.ko
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# lsmod | grep ramdisk
ramdisk          16384  0
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# mkdir mnt
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# ls
append.c  Makefile  modules.order  os_ext2  ramdisk.ko  ramdisk.mod.c  ramdisk.o
create.sh  mnt       Module.symvers  ramdisk.c  ramdisk.mod  ramdisk.mod.o
```

2) mkfs & mount (파일 시스템 포맷 후 mnt에 마운트)

- mkfs.ext2 /dev/ramdisk -> mount /dev/ramdisk ./mnt

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# mkfs.ext2 /dev/ramdisk
mkfs2fs 1.45.5 (07-Jan-2020)
Creating filesystem with 131072 4k blocks and 32768 inodes
Filesystem UUID: 05f6584e-cfab-46a3-af11-20b684914515
Superblock backups stored on blocks:
    32768, 98304

Allocating group tables: done
Writing inode tables: done
Writing superblocks and filesystem accounting information: done

root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# mount /dev/ramdisk ./mnt
```

- df -h로 확인

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# df -h
Filesystem      Size  Used Avail Use% Mounted on
udev            1.9G     0   1.9G   0% /dev
tmpfs           394M    1.4M  393M   1% /run
/dev/sda5       9.3G   7.7G   1.2G  87% /
tmpfs           2.0G     0   2.0G   0% /dev/shm
tmpfs           5.0M   4.0K   5.0M   1% /run/lock
tmpfs           2.0G     0   2.0G   0% /sys/fs/cgroup
/dev/loop1      56M    56M     0 100% /snap/core18/1997
/dev/loop2     219M   219M     0 100% /snap/gnome-3-34-1804/66
/dev/loop3      65M    65M     0 100% /snap/gtk-common-themes/1514
/dev/loop4      66M    66M     0 100% /snap/gtk-common-themes/1515
/dev/loop5      52M    52M     0 100% /snap/snap-store/518
/dev/loop7      33M    33M     0 100% /snap/snapd/11588
/dev/sda1       511M   4.0K   511M   1% /boot/efi
tmpfs           394M   44K   394M   1% /run/user/1000
/dev/sr0        59M    59M     0 100% /media/oslab/VBox_GAs_6.1.18
/dev/loop8      56M    56M     0 100% /snap/core18/2066
/dev/loop0      33M    33M     0 100% /snap/snapd/11841
/dev/ramdisk    504M   396K   478M   1% /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/mnt
```

- 스크립트 실행(./create.sh) 후 mnt에 0~9번 디렉터리가 생성된 것 확인

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# ./create.sh
create files ...
done
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# ls mnt
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 lost+found
```

- 디렉터리 안에 0~99번 파일이 생성된 것 확인

```
root@oslab-DKU: /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# ls mnt/0
```

- 찾아야 할 파일에 한 블록 추가 (4개의 블록으로)

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# ls -l mnt/7/47
-rw-r--r-- 1 root root 8199 5월 24 23:31 mnt/7/47
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# ./apd mnt/7/47 13 7/47-13
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# ls -l mnt/7/47
-rw-r--r-- 1 root root 49160 5월 25 00:12 mnt/7/47
```

4) Super Block 영역 분석

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x100 -s 0x400 /dev/randisk
00000400: 00800000 00000200 99190000 8ff70100 .....
00000410: f57f0000 00000000 02000000 02000000 .....
00000420: 00800000 00800000 00200000 feb7ab60 .....
00000430: feb7ab60 0100ffff 53ef0000 01000000 .....S.....
00000440: ebb7ab60 00000000 00000000 01000000 .....
00000450: 00000000 0b000000 00010000 38000000 .....8...
00000460: 02000000 03000000 05f6584e cfa46a3 .....XN..F.
00000470: af1120b6 84914515 00000000 00000000 .....E.....
00000480: 00000000 00000000 2f686fd6 652f6f73 ...../home/os
00000490: 6c61622f 4465736b 746f702f 32303231 lab/Desktop/2021
000004a0: 5f444b55 5f4f532f 32303231 5f444b55 _DKU_OS/2021_DKU
000004b0: 5f4f532f 6c616233 5f66696c 65737973 _OS/lab3_filesys
000004c0: 74656d2f 6d6e7400 00000000 00001f00 tem/mnt.....
000004d0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000004e0: 00000000 00000000 00000000 0e6d4224 .....mB$
000004f0: bb374359 bc07d1d1 84cc2122 01000000 .....7CY.....!"
```

- Inode count : 0x8000
- Block count : 0x20000
- Log block size : 0x2
- Blocks per group : 0x8000
- Inodes per group ; 0x2000
- Block group number : 0x0

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15		
0x0000	Inode count				Block count				Reserved Block count				Free Block count					
0x0010	Free Inode count				First Data Block				Log Block Size				Log Fragmentation Size					
0x0020	Block Per Group				Fragmentation Per Group				Inode Per Group				Modified Time					
0x0030	Write Time				Mount count		Maximum Mount count		Magic Signature		Filesystem State		Errors		Minor Version			
0x0040	Last Consistency Check Time				Check Interval				Creator OS				Major Version					
0x0050	UID		GID		First Inode				Inode Size		Block Group Number		Compatible Feature Flags					
0x0060	Incompatible Feature Flags				Read-Only Feature Flags				UUID/File System (ID)									
0x0070	UUID/File System ID)								Volume Name									
0x0080	Volume Name								Last Mounted									
0x0090	Last Mounted								Last Mounted									
0x00A0	Last Mounted								Last Mounted									
0x00B0	Last Mounted								Last Mounted									
0x00C0	Last Mounted								Compression Algorithms				PS		PDB		Padding	
0x00D0	Journal Inode Number								Journal Device				Last Orphan				Hash Seed	
0x00E0	Journal Inode Number								Journal Device				Last Orphan				Hash Seed	
0x00F0	Default Mount Option								Hash Seed				Hash Ver.		Padding			

5) Group Descriptor Table 영역 분석

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x100 -s 0x1000 /dev/ramdisk
00001000: 21000000 22000000 23000000 d77d2b1f 1...#....}+.
00001010: 04000400 00000000 00000000 00000000 .....
00001020: 21800000 22800000 23800000 dd7dd11e 1...#....}..
00001030: 03000400 00000000 00000000 00000000 .....
00001040: 00000100 01000100 02000100 3a72361f .....:r6.
00001050: 02000400 00000000 00000000 00000000 .....
00001060: 21800100 22800100 23800100 dd7dd11e 1...#....}..
00001070: 03000400 00000000 00000000 00000000 .....
00001080: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00001090: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010a0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010b0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010c0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010d0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010e0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010f0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

- Group 0

block bitmap : 0x21 블록부터 시작

Inode bitmap : 0x22 블록부터 시작

Inode table : 0x23 블록부터 시작

(이때 단위는 블록(4KB)임을 감안해야함)

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0a	0b	0c	0d	0e	0f		
00	block bitmap				Inode bitmap				Inode table				free blk cont		frree ino cnt			
10	used dir cnt		padding		reserved(padding)													

- inode가 속한 그룹 : $(\text{inode number} - 1) / \text{inode per group}$ 번 Block Group

- Root inode number : 2번

- Super Block 영역을 분석했을 때 inode per group : 0x2000

root's block group : $(2 - 1) / 0x2000 = 0$

root's index : $(2 - 1) \% 0x2000 = 1$

-> 0번 Block Group Inode Table의 1번째에 위치함.

6) Inode Table 영역 분석

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x1000 -s 0x23000 /dev/ramdisk
00023000: 00000000 00000000 ebb7ab60 ebb7ab60 .....
00023010: ebb7ab60 00000000 00000000 00000000 .....
00023020: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023030: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023040: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023050: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023060: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023070: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023080: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023090: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000230a0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000230b0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000230c0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000230d0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000230e0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000230f0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023100: ed410000 00100000 d5b8ab60 cbb8ab60 .A.....
00023110: cbb8ab60 00000000 00000d00 00000000 ..#.....
00023120: 00000000 0a000000 23020000 00000000 .....#.....
00023130: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023140: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023150: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023160: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023170: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00023180: 20000000 c411e8c5 c411e8c5 c8d1d389 .....
00023190: ebb7ab60 00000000 00000000 00000000 .....
000231a0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000231b0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000231c0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000231d0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000231e0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000231f0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

- inode의 크기 : 0x100byte
- Root가 속한 Block Group: 0번, Index: 1
- 0번 Block Group의 Inode Table의 0x100 부터가 Root Inode
- mode : 0x41ed = drwxr-xr-x
- block pointer 0 : 0x223

7) Data 영역 분석

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x1000 -s 0x223000 /dev/ramdisk
00223000: 02000000 0c000102 2e000000 02000000 .....
00223010: 0c000202 2e2e0000 0b000000 14000a02 .....
00223020: 6c6f7374 2b666f75 6e640000 01400000 lost+found...@..
00223030: 0c000102 30000000 01200000 0c000102 .....0.....
00223040: 31000000 01600000 0c000102 32000000 1.....2...
00223050: 0c000000 0c000102 33000000 71000000 .....3...q...
00223060: 0c000102 34000000 66600000 0c000102 .....4...f'....
00223070: 35000000 66200000 0c000102 36000000 5...f.....6...
00223080: 66400000 0c000102 37000000 cb600000 f@.....7.....
00223090: 0c000102 38000000 cb200000 680f0102 ....8....h...
002230a0: 39000000 00000000 00000000 00000000 9.....
002230b0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

7번 Directory

- inode number : 0x4066
- 속한 Block Group : $(0x4066 - 1) / 2000 = 2$ 번 Block Group
- Inode Table Index : $(0x4066 - 1) \% 2000 = 65$
- > 7번 directory의 Inode는 2번 Block Group의 Inode Table에서 65번째에 위치함.

7) 파일 찾기

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x100 -s 0x1000 /dev/ramdisk
00001000: 21000000 22000000 23000000 d77d2b1f !...".#....}+.
00001010: 04000400 00000000 00000000 00000000 .....
00001020: 21800000 22800000 23800000 dd7dd11e !...".#....}..
00001030: 03000400 00000000 00000000 00000000 .....
00001040: 00000100 01000100 02000100 3a72361f .....:r6.
00001050: 02000400 00000000 00000000 00000000 .....
00001060: 21800100 22800100 23800100 dd7dd11e !...".#....}..
00001070: 03000400 00000000 00000000 00000000 .....
00001080: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
00001090: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010a0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010b0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010c0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010d0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010e0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
000010f0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

- 2번째 Block Group의 Inode Table을 찾음 -> 0x100020

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x100 -s 0x10008500 /dev/ramdisk
10008500: ed410000 00100000 6efaac60 6efaac60 .A.....n..
10008510: 6efaac60 00000000 00000200 00000000 n..
10008520: 00000000 65000000 09020100 00000000 ...e.....
10008530: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
10008540: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
10008550: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
10008560: 00000000 b6773efa 00000000 00000000 ....w>.....
10008570: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
10008580: 20000000 2c79a8b1 2c79a8b1 d452b4b0 ...y...y...R..
10008590: 6efaac60 d452b4b0 00000000 00000000 n...R.....
100085a0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
100085b0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
100085c0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
100085d0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
100085e0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
100085f0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

- 2번 Block Group의 Inode Table에서 65번째이므로 $0x100020 + 65 = 0x100085$ 분석

- 3행 3열 Block Pointer : 0x102090

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x300 -s 0x10209000 /dev/ramdisk
10209000: 66400000 0c000102 2e000000 02000000 f@.....
10209010: 0c000202 2e2e0000 67400000 0c000101 .....g@....
10209020: 30000000 68400000 0c000101 31000000 0...h@.....1...
10209030: 69400000 0c000101 32000000 6a400000 i@.....2...j@..
10209040: 0c000101 33000000 6b400000 0c000101 .....3...k@....
10209050: 34000000 6c400000 0c000101 35000000 4...l@.....5...
10209060: 6d400000 0c000101 36000000 6e400000 m@.....6...n@..
10209070: 0c000101 37000000 6f400000 0c000101 .....7...o@....
10209080: 38000000 70400000 0c000101 39000000 8...p@.....9...
10209090: 71400000 0c000201 31300000 72400000 q@.....10...r@..
102090a0: 0c000201 31310000 73400000 0c000201 .....11...s@....
102090b0: 31320000 74400000 0c000201 31330000 12..t@.....13..
102090c0: 75400000 0c000201 31340000 76400000 u@.....14...v@..
102090d0: 0c000201 31350000 77400000 0c000201 .....15...w@....
102090e0: 31360000 78400000 0c000201 31370000 16..x@.....17...
102090f0: 79400000 0c000201 31380000 7a400000 y@.....18...z@..
10209100: 0c000201 31390000 7b400000 0c000201 .....19...{@.....
10209110: 32300000 7c400000 0c000201 32310000 20...|@.....21..
10209120: 7d400000 0c000201 32320000 7e400000 }@.....22...~@..
10209130: 0c000201 32330000 7f400000 0c000201 .....23...@.....
10209140: 32340000 80400000 0c000201 32350000 24...@.....25..
10209150: 81400000 0c000201 32360000 82400000 .@.....26...@..
10209160: 0c000201 32370000 83400000 0c000201 .....27...@.....
10209170: 32380000 84400000 0c000201 32390000 28...@.....29..
10209180: 85400000 0c000201 33300000 86400000 .@.....30...@..
10209190: 0c000201 33310000 87400000 0c000201 .....31...@.....
102091a0: 33320000 88400000 0c000201 33330000 32...@.....33..
102091b0: 89400000 0c000201 33340000 8a400000 .@.....34...@..
102091c0: 0c000201 33350000 8b400000 0c000201 .....35...@.....
102091d0: 33360000 8c400000 0c000201 33370000 36...@.....37..
102091e0: 8d400000 0c000201 33380000 8e400000 .@.....38...@..
102091f0: 0c000201 33390000 8f400000 0c000201 .....39...@.....
10209200: 34300000 90400000 0c000201 34310000 40...@.....41..
10209210: 91400000 0c000201 34320000 92400000 .@.....42...@..
10209220: 0c000201 34330000 93400000 0c000201 .....43...@.....
10209230: 34340000 94400000 0c000201 34350000 44...@.....45..
10209240: 95400000 0c000201 34360000 96400000 .@.....46...@..
10209250: 0c000201 34370000 97400000 0c000201 .....47...@.....
10209260: 34380000 98400000 0c000201 34390000 48...@.....49..
```

47번 File

- inode number : 0x4096
- 속한 Block Group : $(0x4096 - 1) / 2000 = 2$ 번 Block Group
- Inode Table Index : $(0x4096 - 1) \% 2000 = 95$
- > 47번 File의 Inode는 2번 Block Group의 Inode Table에서 95번째에 위치함.

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x100 -s 0x1000b500 /dev/ramdisk
1000b500: a4810000 08c00000 6efaac60 aafbac60 .....n...`...
1000b510: aafbac60 00000000 00000100 28000000 .....(....
1000b520: 00000000 01000000 eb060100 8f0d0100 .....
1000b530: f30d0100 00000000 00000000 00000000 .....
1000b540: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
1000b550: 00000000 00000000 0c020100 00000000 .....
1000b560: 00000000 adcb7c5d 00000000 00000000 .....].....
1000b570: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
1000b580: 20000000 fca148ba fca148ba d452b4b0 .....H...H..R..
1000b590: 6efaac60 d452b4b0 00000000 00000000 n...`..R.....
1000b5a0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
1000b5b0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
1000b5c0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
1000b5d0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
1000b5e0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
1000b5f0: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

- 2번 Block Group의 Inode Table에서 95번째이므로 $0x100020 + 95 = 0x1000b5$ 분석
- 3행 3열, 3행 4열, 4행 1열, 6행 3열 Block Pointer : 0x0106eb, 0x010d8f, 0x010df3, 0x01020c

파일 탐색 결과

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x100 -s 0x106eb000 /dev/ramdisk
106eb000: 372f3437 2d310a00 00000000 00000000 7/47-1.....
106eb010: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
106eb020: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
106eb030: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x100 -s 0x10d8f000 /dev/ramdisk
10d8f000: 372f3437 2d320a00 00000000 00000000 7/47-2.....
10d8f010: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
10d8f020: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
10d8f030: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x100 -s 0x10df3000 /dev/ramdisk
10df3000: 372f3437 2d330a00 00000000 00000000 7/47-3.....
10df3010: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
10df3020: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
10df3030: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x100 -s 0x1020c000 /dev/ramdisk
1020c000: b80f0100 00000000 00000000 00000000 .....
1020c010: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
1020c020: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
1020c030: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

- 7/47-13 블록은 Single Indirect Block이므로 해당 block pointer 0x010fb8로 탐색

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# xxd -g 4 -l 0x100 -s 0x10fb8000 /dev/ramdisk
10fb8000: 372f3437 2d31330a 00000000 00000000 7/47-13.....
10fb8010: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
10fb8020: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
10fb8030: 00000000 00000000 00000000 00000000 .....
```

EXT2 File System 실습 Bonus

1) 이전 실습의 mnt 정리

- umount /dev/radmi와 rmmod ramdisk 이후 lsmod | grep ramdisk로 확인

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# umount /dev/ramdisk
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# rmmod ramdisk
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# lsmod | grep ramdisk
```

2) 모듈 적재

- insmod ramdisk.ko 후 lsmod | grep ramdisk로 모듈 적재 확인

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# insmod ramdisk.ko
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# lsmod | grep ramdisk
ramdisk                16384  0
```

3) os_ext2 디렉터리로 이동 후 파일 확인

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# cd os_ext2
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2# ls
acl.c  acl.h  balloc.c  dir.c  ext2.h  file.c  ialloc.c  inode.c  ioctl.c  Kconfig  Makefile  namei.c  sup
er.c  symlink.c  xattr.c  xattr.h  xattr_security.c  xattr_trusted.c  xattr_user.c
```

4) 소스코드 수정

```
static struct dentry *ext2_mount(struct file_system_type *fs_type,
                                int flags, const char *dev_name, void *data)
{
    printk(KERN_ERR "os_ext2 : Choi Jiyun OS Lab3"); //print os_ext2 : Your Name OS Lab3
    return mount_bdev(fs_type, flags, dev_name, data, ext2_fill_super);
}
```

5) 수정 후 make

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2# make
make -C /lib/modules/5.8.0-53-generic/build M=/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2 modules
make[1]: Entering directory '/usr/src/linux-headers-5.8.0-53-generic'
CC [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/balloc.o
CC [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/dir.o
CC [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/file.o
CC [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/ialloc.o
CC [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/inode.o
CC [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/ioctl.o
CC [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/namei.o
CC [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/super.o
CC [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/symlink.o
LD [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/os_ext2.o
MODPOST /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/Module.symvers
CC [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/os_ext2.mod.o
LD [M] /home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2/os_ext2.ko
make[1]: Leaving directory '/usr/src/linux-headers-5.8.0-53-generic'
```

6) 모듈 적재

- insmod os_ext.ko 후 lsmod | grep os_ext2로 모듈 적재 확인
- 이전 디렉터리로 이동 (cd ..)

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2# insmod os_ext2.ko
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2# lsmod | grep os_ext2
os_ext2                73728  0
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem/os_ext2# cd ..
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# ls
apd  append.c  create.sh  Makefile  mnt  modules.order  Module.symvers  os_ext2  ramdisk.c  ramdisk.ko
ramdisk.mod  ramdisk.mod.c  ramdisk.mod.o  ramdisk.o
```

7) ext2로 포맷 후 os_ext2로 마운트

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# mkfs.ext2 /dev/ramdisk
mkfs2fs 1.45.5 (07-Jan-2020)
Creating filesystem with 131072 4k blocks and 32768 inodes
Filesystem UUID: 309749d1-f622-4cf5-83ef-47f468783769
Superblock backups stored on blocks:
    32768, 98304

Allocating group tables: done
Writing inode tables: done
Writing superblocks and filesystem accounting information: done

root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# mount -t os_ext2 /dev/ramdisk ./mnt
```

8) dmesg | grep os_ext2로 출력 확인

- “os_ext2 : 이름 OS Lab3” 문구 확인

```
root@oslab-DKU:/home/oslab/Desktop/2021_DKU_OS/2021_DKU_OS/lab3_filesystem# dmesg | grep os_ext2
[ 940.358673] os_ext2 : Choi Jiyun OS Lab3
```

3. 논의

과제를 처음 확인 했을 때, Ext2 File System 안에서 나의 학번에 해당하는 파일을 찾아낸다는 아이디어 자체가 흥미로웠다. 이전의 Lab1, Lab2와는 달리 직접 코딩하는 부분이 없고 Ext2 File System의 구조를 잘 파악하고 따라가기만 하면 결과를 도출해낼 수 있는 과제라 생각되어 쉽게 접근할 수 있었다. 처음에는 무작정 깃허브에 올라와 있는 Lab3 PDF를 따라했다. 하지만 따라하다보니 잘 이해가 되지 않는 부분들이 생겼다. 예를 들면, Data 영역 분석 과정에서 내 학번(7)에 해당하는 디렉터리의 inode number가 0x4066인 것은 대충 PPT를 보니 알겠는데 왜 0x4066이 inode number가 되는 것인지 이해하진 못했다. 이는 Ext2 File System 구조에 대한 이해가 부족하기 때문이라는 판단을 내렸다. 따라서, 진행중이던 과제는 잠시 접고 Ext2 File System이 어떠한 구조로 이루어져 있으며, 내가 찾고자 하는 데이터를 어떻게 접근해야 하는지 등에 대한 공부를 시작했다. 그렇게 Ext2 File System의 레이아웃에 해당하는 Super Block, Group Descriptor Table, Bitmap, Inode Table, Data에 대한 전반적인 이해가 깔리니 과제가 한층 수월해졌다. PPT에서 보여지는 과정을 그대로 따라가되 그 내용과 원리를 알고 있으니 너무 즐거웠다. 다만, 정보들이 Little Endian으로 저장되어 있어 Metadata를 읽을 때는 바이트 반대로 읽어주야하는 점과 모두 16진수로 표현되어 있다는 점으로 인해 계산 등의 과정에서 조금 익숙하지 않다고 느껴졌다. 그래도 천천히 손으로 써가며 진행하다보니 어느새 결과에 다달았다. 또, 열심히 나의 학번을 찾아가던 중 2번째 Block Group의 Inode Table을 찾아야 하는 과정에서 조금 멈칫했었다. 2번째 Block Group에 해당하는 주소를 찾지 못했기 때문이다. 하지만 주변 친구들의 도움과 PDF를 정독하는 과정을 통해 금방 극복할 수 있었다.

보너스 문제는 본 과제 내용보다 훨씬 쉬웠다. 우선 PPT에 소개되고 있는 과정을 그대로 따라가다가 소스코드를 수정하는 부분에서만 내가 직접 고민해보면 되었다. 맨 처음에는 내가 소스코드를 쭉 보고 적절하게 수정해야하기 때문에 걱정이 앞섰다. 코드를 수정하기 위해선 코드의 내용을 다 이해해야 할 것 같았다. 하지만 소스코드 길이 자체도 너무 길고 어느 부분에 손을 대야할지 조금 막막했다. 그렇게 소스코드를 천천히 내려보며 읽어보았다. 코드만 봐서는 무슨 기능을 하는지 잘 이해가 안되었지만 그래도 한번 읽어라도 보자라는 마음으로 읽었다. 그러던 중 눈에 띄는 주석을 발견했다. 보너스 과제의 내용과 연관되어 있었다. print "os_ext2 : Your Name OS Lab3"라는 주석이 있었고 그 옆에는 printf 함수와 함께 빈 " "가 있었다. 나는 단번에 이 printf 함수 속 큰 따옴표 안에 내가 출력하고 싶은 출력문을 넣으면 완성이라는 것을 깨달았다. 나처럼 장황한 코드를 보며 막막해하고 있을 학생들을 위해 교수님과 조교님들이 작은 선물처럼 배려를 해주신 것 같아 너무 행복했다. 그렇게 수정된 소스코드로 make한 후 무들 적재와 os_ext2로 마운트하는 과정을 거쳐 출력해보았더니 진짜로 ext2 마운트 시 나의 이름이 출력되는 것을 보고 신기해했다. 사실 신기한 것보다 과제를 무탈하게 끝마쳤다는 기쁨이 아주 조금 더 크긴 했다.,

Lab3 File System 과제를 통해 무엇보다 File System(Ext2)에 대한 전반적인 지식을 얻을 수 있었다. 이론으로만 배우는 것보다 더 쉽고 빠르게 내 머릿속으로 다가온 것 같다. 그리고 과제 내용 자체가 굉장히 흥미롭다 보니까 더더욱 그렇게 느껴졌다. 과제를 통해 얻게

된 파일 시스템의 구조 등의 이해는 시험 공부를 하는 데에도, 앞으로 OS를 공부하는 데에도 큰 도움이 될 것 같고 까먹기는 쉽지 않을 것 같다. 또, 앞으로 FS에 대한 공부를 심화적으로 하고 싶다는 마음이 든다. 운영체제 과제는 언제나 그렇지만 할 때에는 너무 모르겠고 힘들기도 하지만 완료하고 나면 배우게 되는 것도 많고 보람과 흥미를 느끼게 되는 것 같다.