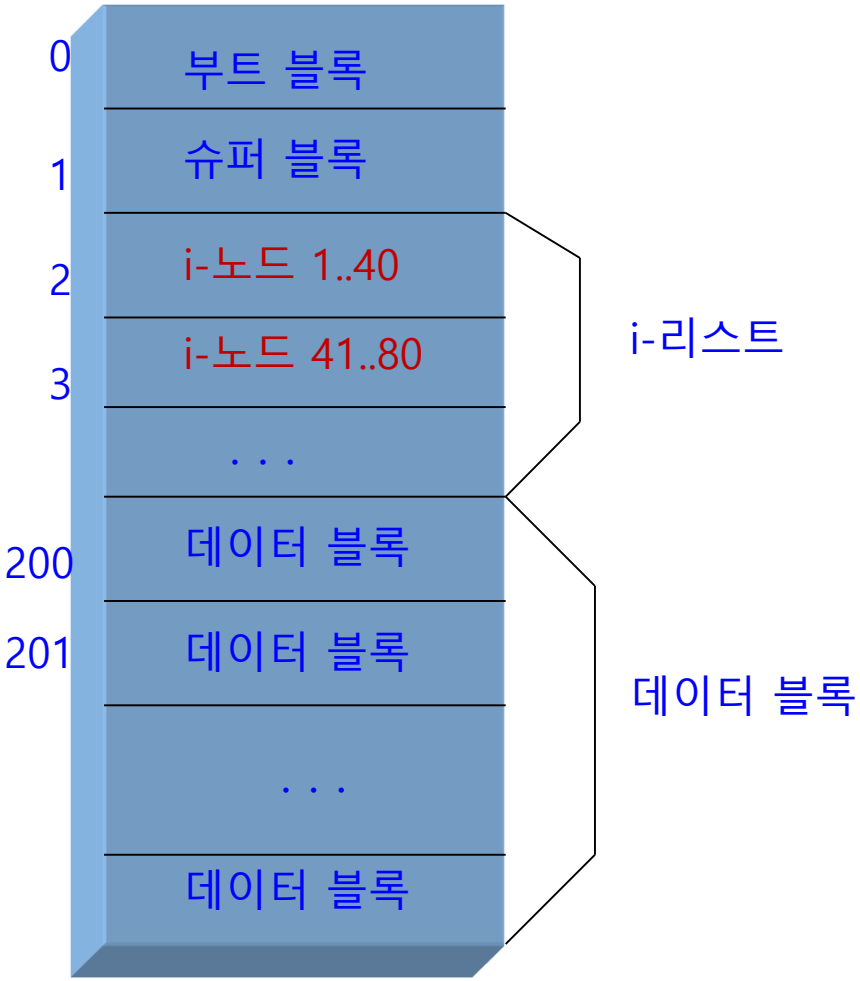
6장 파일 시스템

6.1 파일 시스템 구현

리눅스 파일 시스템 구조

- 유닉스 파일 시스템의 전체적인 구조
  - 그림 6.1과 같이 부트 블록, 슈퍼 블록, i-리스트, 데이터 블록으로 구성
- ext 파일 시스템
  - 리눅스는 유닉스 파일 시스템을 확장한 ext 파일 시스템 사용
- 현재 리눅스에서 사용되는 ext4 파일 시스템
  - 1EB(엑사바이트, 1EB=1024 × 1024TB) 이상의 볼륨과
  - 16TB 이상의 파일을 지원한다.

파일 시스템 구조



- 현재 리눅스에서 사용되고 있는 ext4 파일 시스템은 이 보다 복잡한 구조이며
- 이 그림은 파일 시스템의 이해를 위해 단순화하여 표시한 것임.

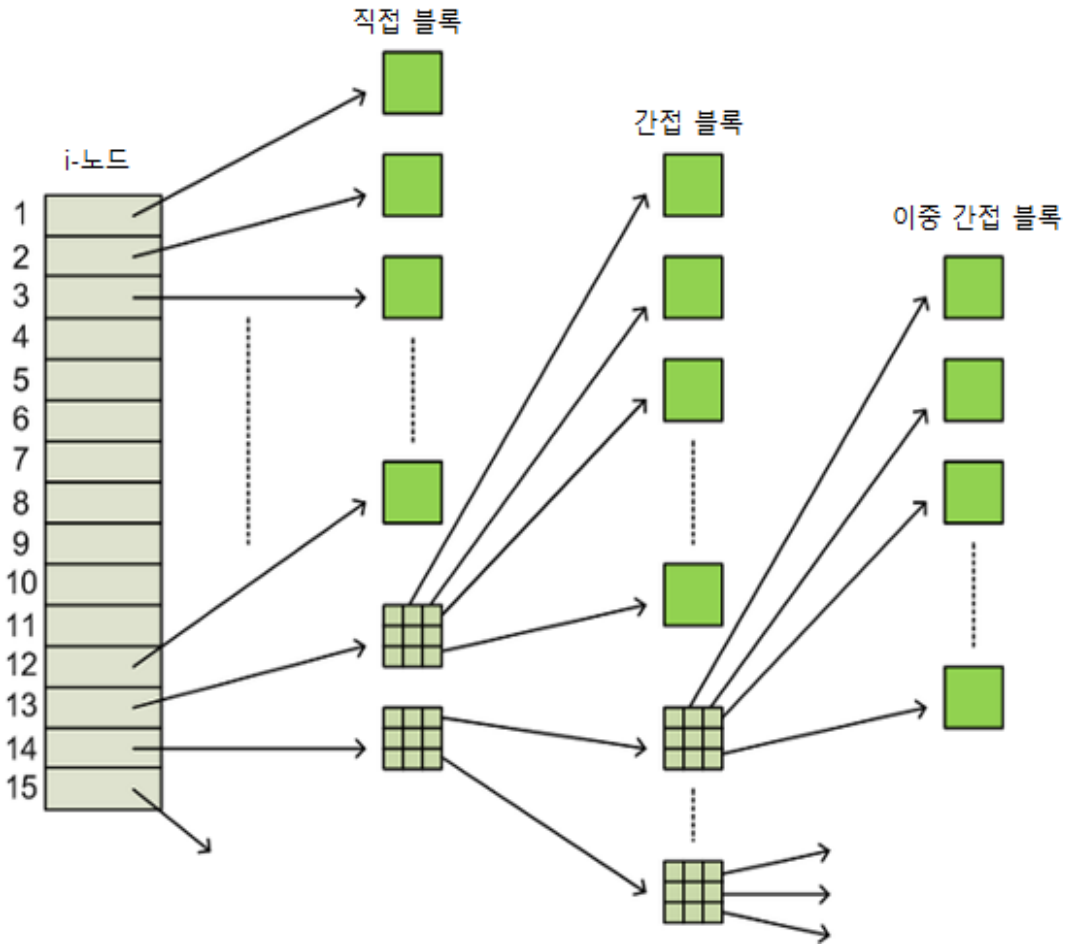
파일 시스템 구조

- 부트 블록(Boot block)
  - 파일 시스템 시작부에 위치하고 보통 첫 번째 섹터를 차지
  - 부트스트랩 코드가 저장되는 블록
- 슈퍼 블록(Super block)
  - 전체 파일 시스템에 대한 정보를 저장
    - 총 블록 수, 사용 가능한 i-노드 개수, 사용 가능한 블록 비트 맵, 블록의 크기, 사용 중인 블록 수, 사용 가능한 블록 수 등
- i-리스트(i-list)
  - 각 파일을 나타내는 모든 i-노드들의 리스트
  - 한 블록은 약 40개 정도의 i-노드를 포함
- 데이터 블록(Data block)
  - 파일의 내용(데이터)을 저장하기 위한 블록들

i-노드(i-node)

- 한 파일은 하나의 i-노드를 갖는다.
- 파일에 대한 모든 정보를 가지고 있음
  - 파일 타입: 일반 파일, 디렉터리, 블록 장치, 문자 장치 등
  - 파일 크기
  - 접근권한
  - 파일 소유자 및 그룹
  - 접근 및 갱신 시간
  - 데이터 블록에 대한 포인터(주소) 등

i-노드와 블록 포인터



i-노드와 블록 포인터

- 데이터 블록에 대한 포인터
  - 파일의 내용을 저장하기 위해 할당된 데이터 블록의 주소
- 하나의 i-노드 내의 블록 포인터
  - 직접 블록 포인터 12개
  - 간접 블록 포인터 1개
  - 이중 간접 블록 포인터 1개
  - 삼중 간접 블록 포인터 1개
- 최대 몇 개의 데이터 블록을 가리킬 수 있을까?

6.2 파일 입출력 구현

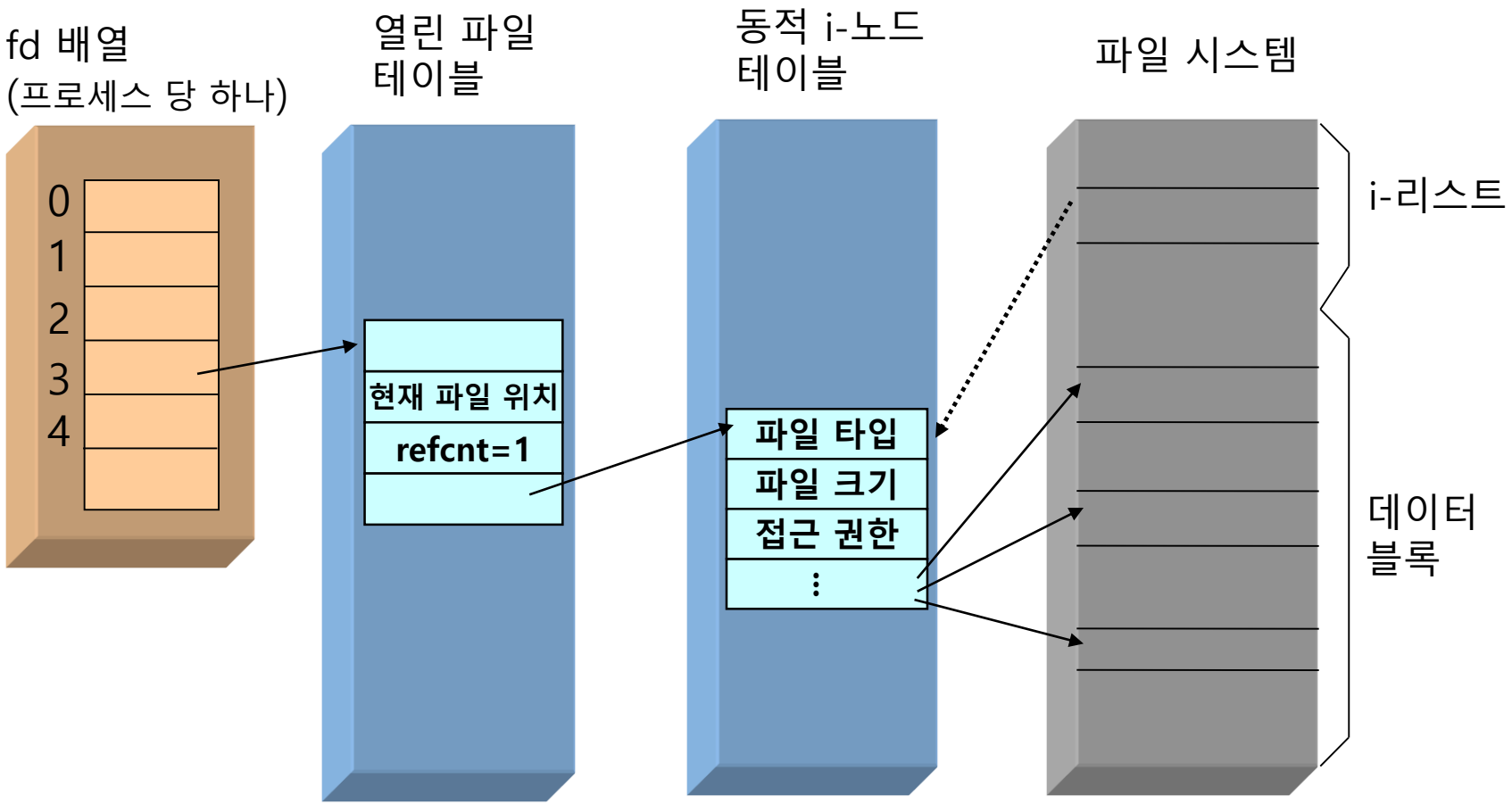
파일 열기 및 파일 입출력 구현

- 파일 열기 open()
  - 시스템은 커널 내에 파일을 사용할 준비를 한다.

- 파일 입출력 구현을 위한 커널 내 자료구조
  - 파일 디스크립터 배열(Fd array)
  - 열린 파일 테이블(Open File Table)
  - 동적 i-노드 테이블(Active i-node table)

파일을 위한 커널 자료 구조

- fd = open("file", O_RDONLY);



파일 디스크립터 배열(Fd Array)

- 프로세스 당 하나씩 갖는다.
- 파일 디스크립터 배열
  - 열린 파일 테이블의 엔트리를 가리킨다.
- 파일 디스크립터
  - 파일 디스크립터 배열의 인덱스
  - 열린 파일을 나타내는 번호

열린 파일 테이블(Open File Table)

- 파일 테이블 (file table)
  - 커널 자료구조
  - 열려진 모든 파일 목록
  - 열려진 파일 → 파일 테이블의 항목

- 파일 테이블 항목 (file table entry)
  - 파일 상태 플래그
    (read, write, append, sync, nonblocking,…)
  - 파일의 현재 위치(current file offset)
  - i-node에 대한 포인터

동적 i-노드 테이블(Active i-node table)

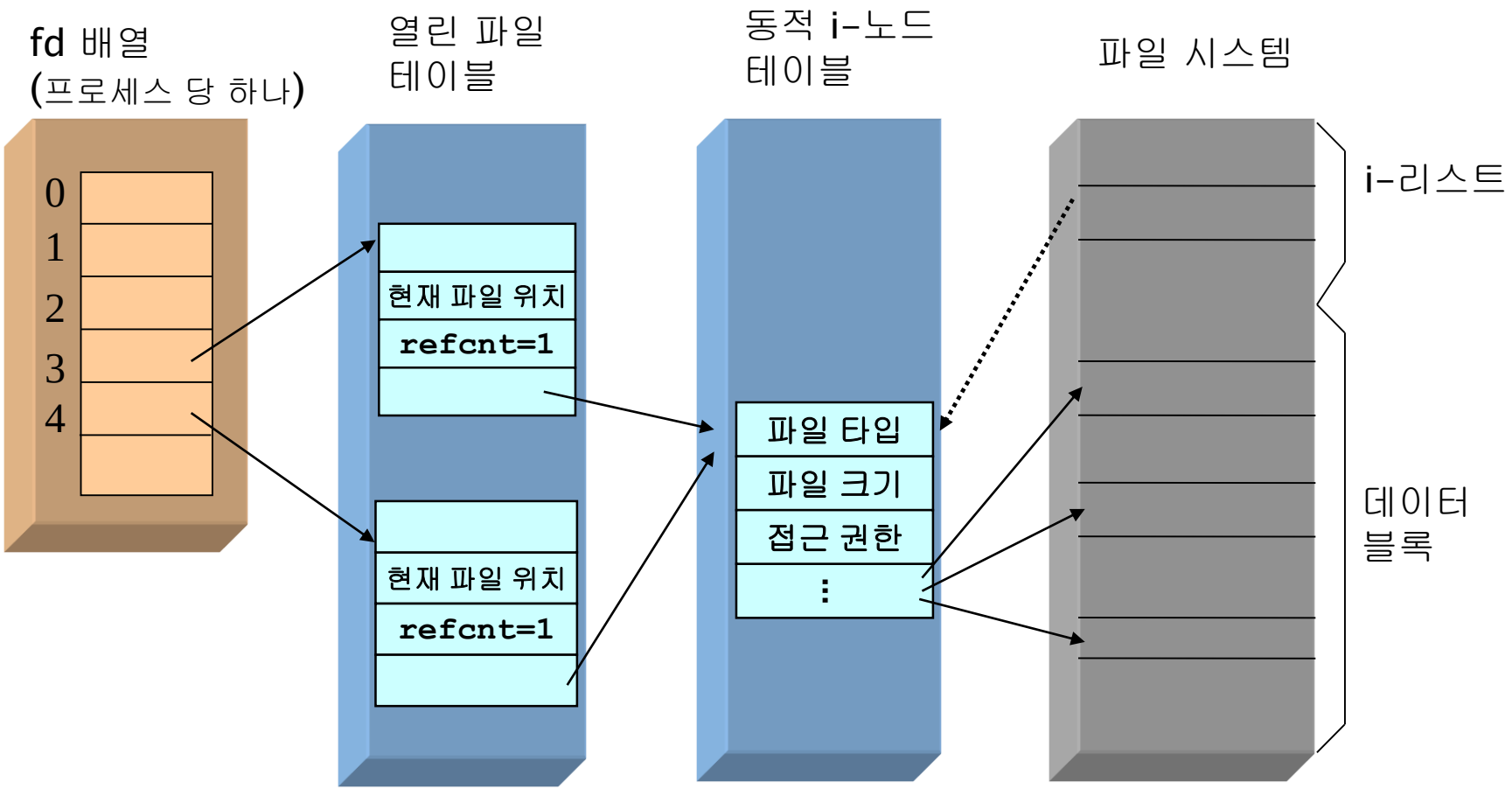
- 동적 i-노드 테이블
  - 커널 내의 자료 구조
  - Open 된 파일들의 i-node를 저장하는 테이블

- i-노드
  - 하드 디스크에 저장되어 있는 파일에 대한 자료구조
  - 한 파일에 하나의 i-node
  - 하나의 파일에 대한 정보 저장
    - 소유자, 크기
    - 파일이 위치한 장치
    - 파일 내용 디스크 블럭에 대한 포인터

- i-node table vs. i-node

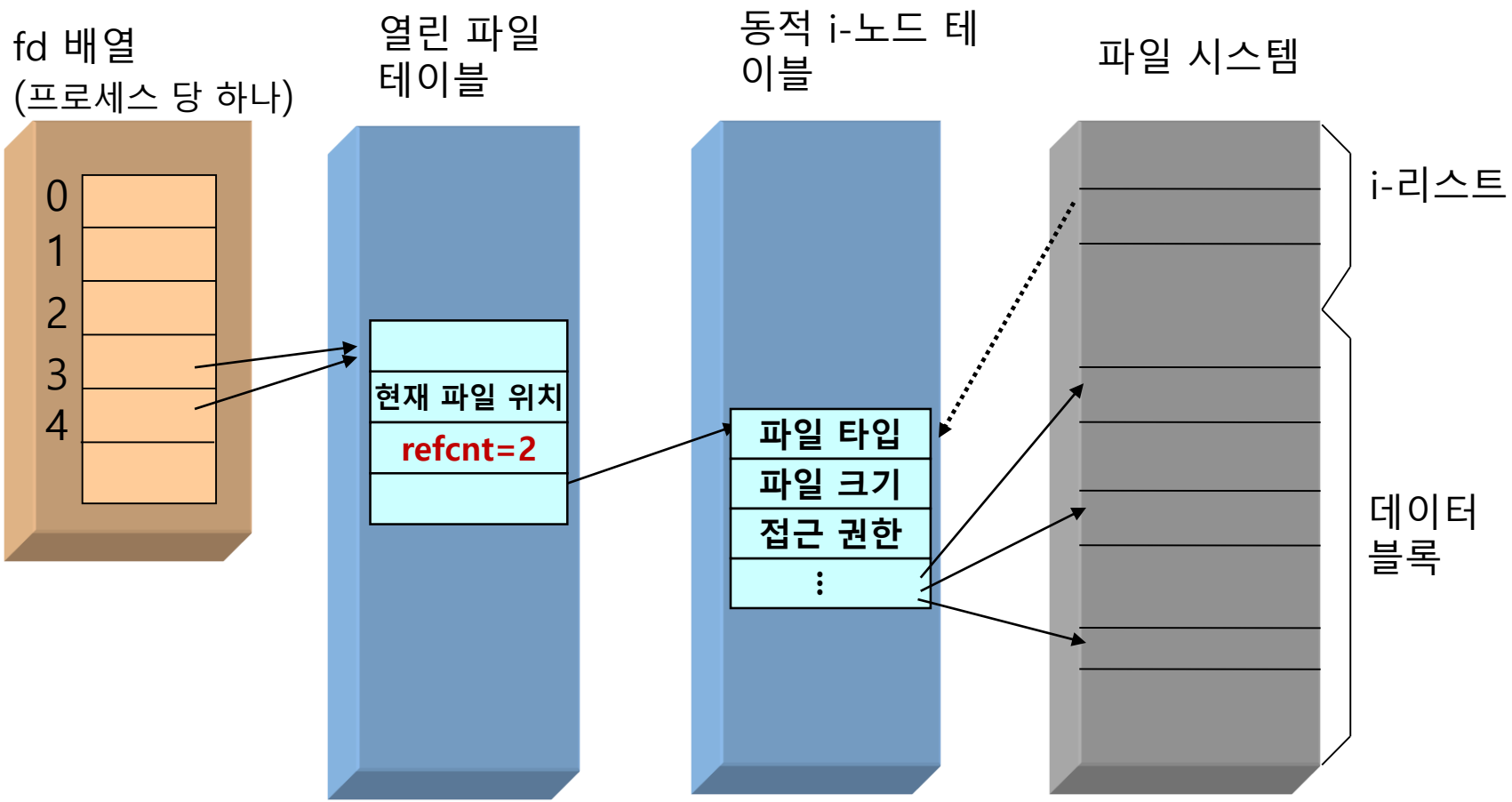
한 파일을 두 번 열기 구현

- fd = open("file", O_RDONLY); //두 번 open



dup() 시스템 호출 구현

- fd = dup(3); 혹은 fd = dup2(3,4);



6.3 파일 상태 정보

파일 상태(file status)

- 파일 상태
  - 파일에 대한 모든 정보
  - 블록수, 파일 타입, 사용 권한, 링크수, 파일 소유자의 사용자 ID,
  - 그룹 ID, 파일 크기, 최종 수정 시간 등

- 예

```
$ ls -l hello.c
   4      -rw-r--r-- 1    chang chang   617      11월 17 15:53 hello.c
```

블록수 | 접근권한 | 링크수 | 사용자ID | 그룹ID | 파일 크기 | 최종 수정 시간 | 파일이름

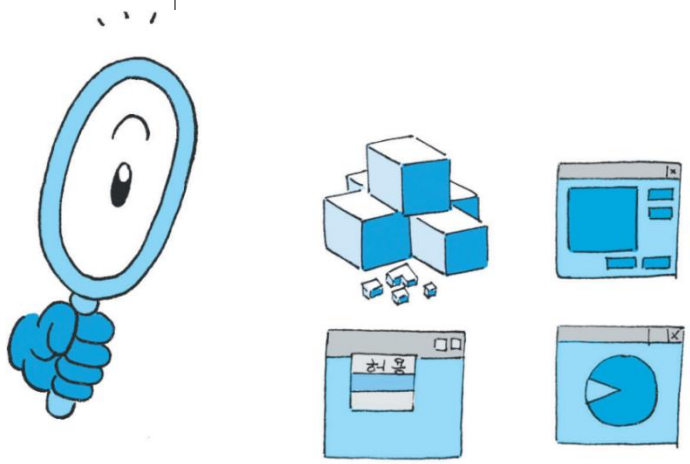
파일 타입

상태 정보: stat()

- 파일 하나당 하나의 i-노드가 있으며
- i-노드 내에 파일에 대한 모든 상태 정보가 저장되어 있다.

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
int stat (const char *filename, struct stat *buf);
int fstat (int fd, struct stat *buf);
int lstat (const char *filename, struct stat *buf);
```

파일의 상태 정보를 가져와서 stat 구조체 buf에 저장한다. 성공하면 0, 실패하면 -1을 리턴한다.



stat 구조체

```
struct stat {
    mode_t st_mode;        // 파일 타입과 접근권한
    ino_t st_ino;          // i-노드 번호
    dev_t st_dev;          // 장치 번호
    dev_t st_rdev;         // 특수 파일 장치 번호
    nlink_t st_nlink;      // 링크 수
    uid_t st_uid;          // 소유자의 사용자 ID
    gid_t st_gid;          // 소유자의 그룹 ID
    off_t st_size;         // 파일 크기
    time_t st_atime;       // 최종 접근 시간
    time_t st_mtime;       // 최종 수정 시간
    time_t st_ctime;       // 최종 상태 변경 시간
    long st_blksize;       // 최적 블록 크기
    long st_blocks;        // 파일의 블록수
};
```

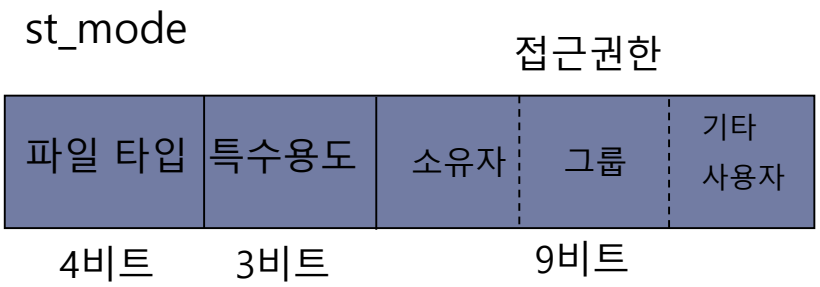
파일 타입

파일 타입	설명
일반 파일	데이터를 갖고 있는 텍스트 파일 또는 이진 화일
디렉터리 파일	파일의 이름들과 파일 정보에 대한 포인터를 포함하는 파일
문자 장치 파일	문자 단위로 데이터를 전송하는 장치를 나타내는 파일
블록 장치 파일	블록 단위로 데이터를 전송하는 장치를 나타내는 파일
FIFO 파일	프로세스 간 통신에 사용되는 파일로 이름 있는 파이프
소켓	네트워크를 통한 프로세스 간 통신에 사용되는 파일
심볼릭 링크	다른 파일을 가리키는 포인터 역할을 하는 파일

파일 타입 검사 함수

- 파일 타입을 검사하기 위한 매크로 함수

파일 타입	파일 타입을 검사하는 매크로 함수
일반 파일	S_ISREG()
디렉터리 파일	S_ISDIR()
문자 장치 파일	S_ISCHR()
블록 장치 파일	S_ISBLK()
FIFO 파일	S_ISFIFO()
소켓	S_ISSOCK()
심볼릭 링크	S_ISLNK()



파일 타입 출력: ftype.c

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
/* 파일 타입을 검사한다. */
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    struct stat buf;
    for (i = 1; i < argc; i++) {
        printf("%s: ", argv[i]);
        if (lstat(argv[i], &buf) < 0) {
            perror("lstat()");
            continue;
        }
```

ftype.c

```
        if (S_ISREG(buf.st_mode))
            printf("%s ₩n", "일반 파일");
        if (S_ISDIR(buf.st_mode))
            printf("%s ₩n", "디렉터리");
        if (S_ISCHR(buf.st_mode))
            printf("%s ₩n", "문자 장치 파일");
        if (S_ISBLK(buf.st_mode))
            printf("%s ₩n", "블록 장치 파일");
        if (S_ISFIFO(buf.st_mode))
            printf("%s ₩n", "FIFO 파일");
        if (S_ISLNK(buf.st_mode))
            printf("%s ₩n", "심볼릭 링크");
        if (S_ISSOCK(buf.st_mode))
            printf("%s ₩n", "소켓");
    }
    exit(0);
}
```

파일 접근권한(File Permissions)

- 각 파일에 대한 권한 관리
  - 각 파일마다 접근권한이 있다.
  - 소유자(owner)/그룹(group)/기타(others)로 구분해서 관리한다.
- 파일에 대한 권한
  - 읽기 r
  - 쓰기 w
  - 실행 x
- 파일의 접근권한 가져오기
  - stat() 시스템 호출
- 파일의 접근권한 변경하기
  - chmod() 시스템 호출

chmod(), fchmod()

```
#include <sys/stat.h>
#include <sys/types.h>
int  chmod (const char *path, mode_t mode );
int  fchmod (int fd, mode_t mode );
```

- 파일의 접근권한(access permission)을 변경한다
- 리턴 값
  - 성공하면 0, 실패하면 -1
- *mode*
  - 8진수 접근권한
  - 예: 0644

접근권한 변경: fchmod.c

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/* 파일 접근권한을 변경한다. */
main(int argc, char *argv[])
{
    long strtol( );
    int newmode;
    newmode = (int) strtol(argv[1], (char **) NULL, 8);
    if (chmod(argv[2], newmode) == -1) {
        perror(argv[2]);
        exit(1);
    }
    exit(0);
}
```

```
$ fchmod 664 you.txt
$ ls –asl you.txt
4 -rw-rw-r-- 1 chang chang 518 4월  8  19:06 you.txt
```

접근 및 수정 시간 변경: utime()

```
#include <sys/types.h>
#include <utime.h>
int utime (const char *filename, const struct utimbuf *times );
```

- 파일의 최종 접근 시간과 최종 변경 시간을 조정한다.
- *times*가 NULL 이면, 현재시간으로 설정된다.
- 리턴 값
  - 성공하면 0, 실패하면 -1
- UNIX 명령어 touch 참고

접근 및 수정 시간 변경: utime()

```
struct utimbuf {
      time_t  actime;      /* access time */
      time_t  modtime;     /* modification time */
}
```

- 각 필드는 1970-1-1 00:00 부터 현재까지의 경과 시간을 초로 환산한 값

접근 및 수정 시간 변경: touch.c

```
#include <utime.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    if (argc < 2) {
        fprintf(stderr, "사용법:  touch file1 ₩n");
        exit(-1);
    }
    utime(argv[1], NULL);
}
```

접근 및 수정 시간 복사: cptime.c

```
#include <sys/types.h>        #include <sys/stat.h>        #include <sys/time.h>
#include <utime.h>            #include <stdio.h>           #include <stdlib.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    struct stat buf;        // 파일 상태 저장을 위한 변수
    struct utimbuf time;

    if (argc < 3) {
        fprintf(stderr, "사용법: cptime file1 file2₩n");
        exit(1);
    }

    if (stat(argv[1], &buf) <0) { // 상태 가져오기
        perror("stat()");
        exit(-1);
    }

    time.actime = buf.st_atime;
    time.modtime = buf.st_mtime;

    if (utime(argv[2], &time))    // 접근, 수정 시간 복사
        perror("utime");
    else exit(0);
}
```

접근 및 수정 시간 복사

```
$ ls –asl a.c b.c
4 -rw-rw-r--. 1 chang chang 0 3월 18 12:13 a.c
4 -rw-rw-r--. 1 chang chang 5 3월 18 13:30 b.c

$ cptime a.c b.c
$ ls –asl a.c b.c
4 -rw-rw-r--. 1 chang chang 0 3월 18 12:13 a.c
4 -rw-rw-r--. 1 chang chang 5 3월 18 12:13 b.c
```

파일 소유자 변경 chown()

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
int   chown (const char *path, uid_t owner, gid_t group );
int   fchown (int filedes, uid_t owner, gid_t group );
int   lchown (const char *path, uid_t owner, gid_t group );
```

- 파일의 user ID와 group ID를 변경한다.

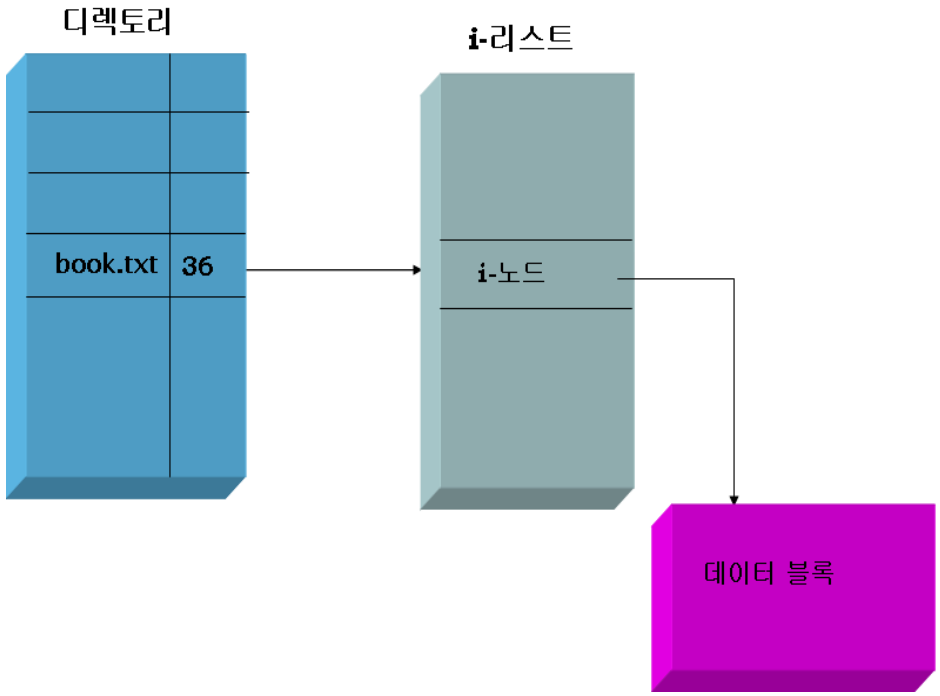
- 리턴
  - 성공하면 0, 실패하면 -1
- lchown()은 심볼릭 링크 자체를 변경한다
- super-user만 변환 가능

6.4 디렉터리

디렉터리 구현

- 디렉터리 내에는 무엇이 저장되어 있을까?
- 디렉터리 엔트리

```
#include <dirent.h>
struct dirent {
    ino_t d_ino; // i-노드 번호
    char d_name[NAME_MAX + 1];
    // 파일 이름
}
```



디렉터리 리스트

- opendir()
  - 디렉터리 열기 함수
  - DIR 포인터(열린 디렉터리를 가리키는 포인터) 리턴

- readdir()
  - 디렉터리 읽기 함수

```
#include <sys/types.h>
#include <dirent.h>
DIR *opendir (const char *path);
```

path 디렉터리를 열고 성공하면 DIR 구조체 포인터를, 실패하면 NULL을 리턴

```
struct dirent *readdir(DIR *dp);
```

한 번에 디렉터리 엔트리를 하나씩 읽어서 리턴한다.

디렉터리 리스트: list1.c

```
1 #include <sys/types.h>
2 #include <sys/stat.h>
3 #include <dirent.h>
4 #include <stdio.h>
5 #include <stdlib.h>
6
7 /* 디렉터리 내의 파일 이름들을 리스트한다. */
8 int main(int argc, char **argv)
9 {
10    DIR *dp;
11    char *dir;
12    struct dirent *d;
13    struct stat st;
14    char path[BUFSIZ+1];
15
```

디렉터리 리스트: list1.c

```
16   if (argc == 1)
17       dir = "."; // 현재 디렉터리를 대상으로
18   else dir = argv[1];
19
20   if ((dp = opendir(dir)) == NULL) // 디렉터리 열기
21       perror(dir);
22
23   while ((d = readdir(dp)) != NULL) // 각 디렉터리 엔트리에 대해
24       printf("%s %lu ₩n", d->d_name, d->d_ino); // 파일 이름, i-노드 번호 출력
25
26   closedir(dp);
27   exit(0);
28 }
```

디렉터리 리스트

$ list1 .

list1.c 12059349

.. 12059625

list1 12059357

. 12059348

파일 이름과 크기 출력

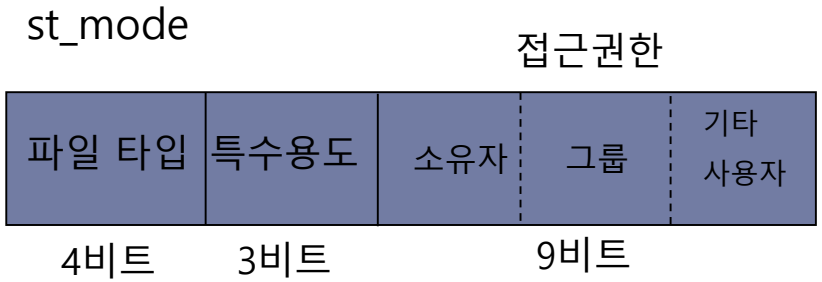
- 디렉터리 내에 있는 파일 이름과 그 파일의 크기(블록의 수)를 출력하도록 확장

```
while ((d = readdir(dp)) != NULL) {                    //디렉터리 내의 각 파일
    sprintf(path, "%s/%s", dir, d->d_name);            // 파일경로명 만들기
    if (lstat(path, &st) < 0)                          // 파일 상태 정보 가져오기
        perror(path);
    printf("%5d %s", st->st_size, d->name);            // 블록 수, 파일 이름 출력
    putchar('₩n');
}
```

st_mode

- lstat() 시스템 호출
  - 파일 타입과 접근권한 정보는 st->st_mode 필드에 함께 저장됨.

- st_mode 필드
  - 4비트: 파일 타입
  - 3비트: 특수용도
  - 9비트: 접근권한
    - 3비트: 파일 소유자의 접근권한
    - 3비트: 그룹의 접근권한
    - 3비트: 기타 사용자의 접근권한



디렉터리 리스트

- list2.c
  - ls –l 명령어처럼 파일의 모든 상태 정보를 프린트

- 프로그램 구성
  - main() 메인 프로그램
  - printStat() 파일 상태 정보 프린트
  - type() 파일 타입 리턴
  - perm() 파일 접근권한 리턴

list2.c

```
 1 #include <sys/types.h>
 2 #include <sys/stat.h>
 …
 9 #include <string.h>
10
11 char type(mode_t);
12 char *perm(mode_t);
13 void printStat(char*, char*, struct stat*);
14
15 /* 디렉터리 내용을 자세히 리스트한다. */
16 int main(int argc, char **argv)
17 {
18     DIR *dp;
19     char *dir;
20     struct stat st;
21     struct dirent *d;
22     char path[BUFSIZ+1];
```

list2.c

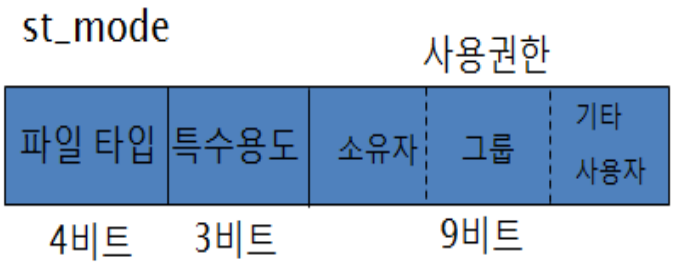
```
24      if (argc == 1)
25          dir = ".";
26      else dir = argv[1];
27
28      if ((dp = opendir(dir)) == NULL) // 디렉터리 열기
29          perror(dir);
30
31      while ((d = readdir(dp)) != NULL) { // 디렉터리의 각 파일에 대해
32          sprintf(path, "%s/%s", dir, d->d_name); // 파일경로명 만들기
33          if (lstat(path, &st) < 0) // 파일 상태 정보 가져오기
34              perror(path);
35          else
36              printStat(path, d->d_name, &st); // 상태 정보 출력
37      }
38
39      closedir(dp);
40      exit(0);
41  }
```

list2.c

```
43 /* 파일 상태 정보를 출력 */
44 void printStat(char *pathname, char *file, struct stat *st)
45 {
46      printf("%5d ", st->st_blocks);
47      printf("%c%s ", type(st->st_mode), perm(st->st_mode));
48      printf("%3d ", st->st_nlink);
49      printf("%s %s ", getpwuid(st->st_uid)->pw_name,
                  getgrgid(st->st_gid)->gr_name);
50      printf("%9d ", st->st_size);
51      printf("%.12s ", ctime(&st->st_mtime)+4);
52      printf("%s₩n", file);
53 }
```

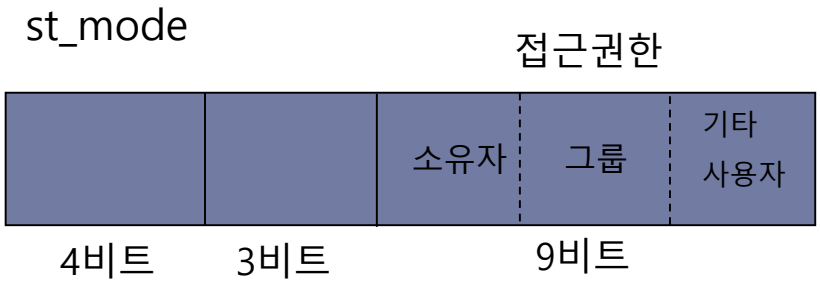
list2.c

```
55 /* 파일 타입을 반환 */
56 char type(mode_t mode)
57 {
58     if (S_ISREG(mode))
59         return('-');
60     if (S_ISDIR(mode))
61         return('d');
62     if (S_ISCHR(mode))
63         return('c');
64     if (S_ISBLK(mode))
65         return('b');
66     if (S_ISLNK(mode))
67         return('l');
68     if (S_ISFIFO(mode))
69         return('p');
70     if (S_ISSOCK(mode))
71         return('s');
72 }
```



list2.c

```
74 /* 파일 접근권한을 반환 */
75 char* perm(mode_t mode)
76 {
77     static char perms[10];
78     strcpy(perms, "---------");
79
80     for (int i=0; i < 3; i++) {
81         if (mode & (S_IRUSR >> i*3))
82             perms[i*3] = 'r';
83         if (mode & (S_IWUSR >> i*3))
84             perms[i*3+1] = 'w';
85         if (mode & (S_IXUSR >> i*3))
86             perms[i*3+2] = 'x';
87     }
88     return(perms);
89 }
```




```
#define S_IRUSR 00400
#define S_IWUSR 00200
#define S_IXUSR 00100
```

디렉터리 리스트: 예

```
$ list2 .
 8 drwxrwxr-x  2 chang chang 4096  Dec 21 13:43 .
 8 drwxrwxr-x 16 chang chang 4096  Aug 30 18:55 ..
 8 -rw-r--r--   1 chang chang  781  Mar 21 17:13 list1.c
 8 -rw-r--r--   1 chang chang 2178  Mar 28 14:25 list2.c
24 -rwxrwxr-x  1 chang chang 8775  Mar 21 17:14 list1
32 -rwxrwxr-x  1 chang chang 13376 Dec 21 13:43 list2
...
```

디렉터리 생성

- mkdir() 시스템 호출
  - path가 나타내는 새로운 디렉터리를 만든다.
  - "." 와 ".." 파일은 자동적으로 만들어진다

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
int mkdir (const char *path, mode_t mode );
```

새로운 디렉터리 만들기에 성공하면 0, 실패하면 -1을 리턴한다.

디렉터리 삭제

- rmdir() 시스템 호출
  - path가 나타내는 디렉터리가 비어 있으면 삭제한다.

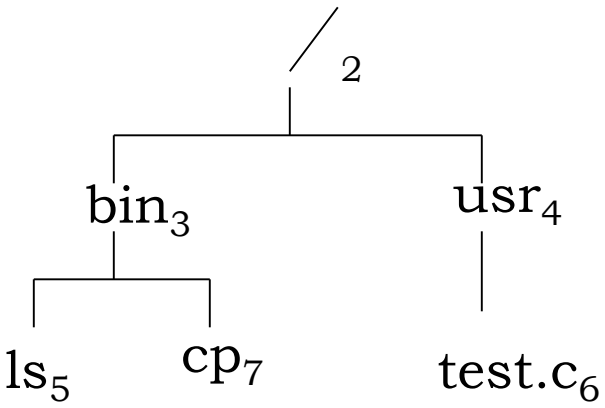
```
#include <unistd.h>
int rmdir (const char *path);
디렉터리가 비어 있으면 삭제한다. 성공하면 0, 실패하면 -1을 리턴
```

디렉터리 구현

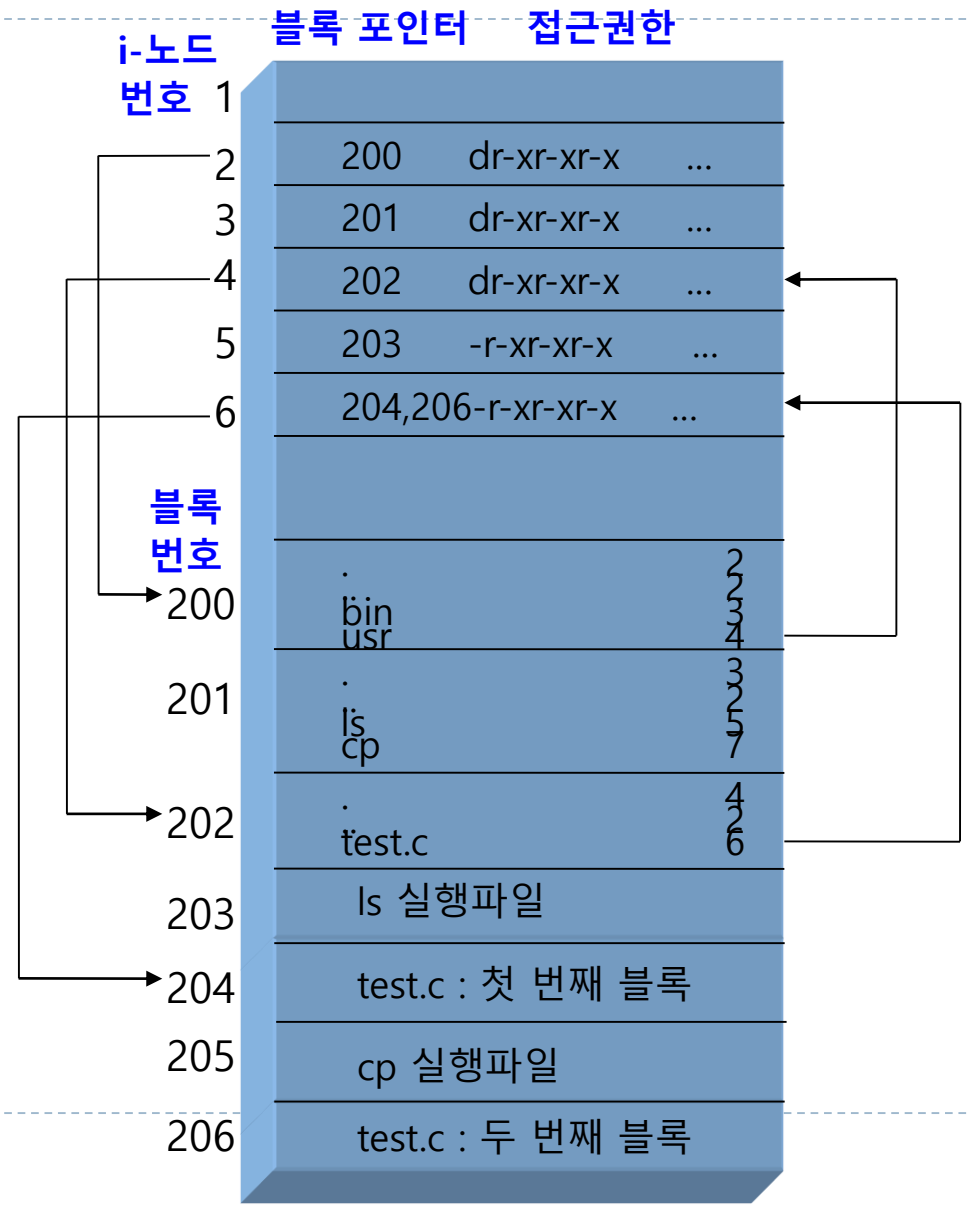
- 그림 5.1의 파일 시스템 구조를 보자.
  - 디렉터리를 위한 구조는 따로 없다.

- 파일 시스템 내에서 디렉터리를 어떻게 구현할 수 있을까?
  - 디렉터리도 일종의 파일로 다른 파일처럼 구현된다.
  - 디렉터리도 다른 파일처럼 하나의 i-노드로 표현된다.
  - 디렉터리의 내용은 디렉터리 엔트리(파일이름, i-노드 번호)

디렉토리 구현



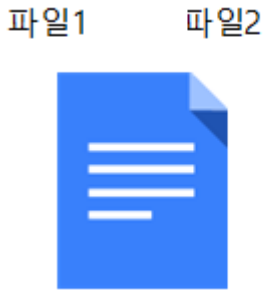
/usr/test.c



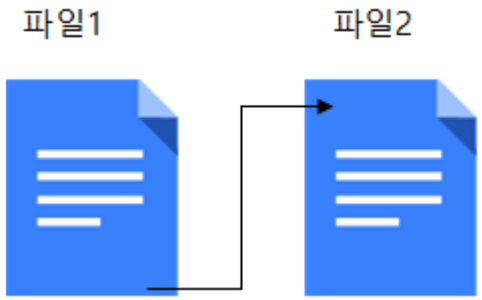
6.5 링크

하드 링크 vs 심볼릭 링크

- 하드 링크(hard link)
  - 지금까지 살펴본 링크
  - 파일 시스템 내의 i-노드를 가리키므로
  - 같은 파일 시스템 내에서만 사용될 수 있다



- 심볼릭 링크(symbolic link)
  - 소프트 링크(soft link)
  - 실제 파일의 경로명 저장하고 있는 링크
  - 파일에 대한 간접적인 포인터 역할을 한다.
  - 다른 파일 시스템에 있는 파일도 링크할 수 있다.



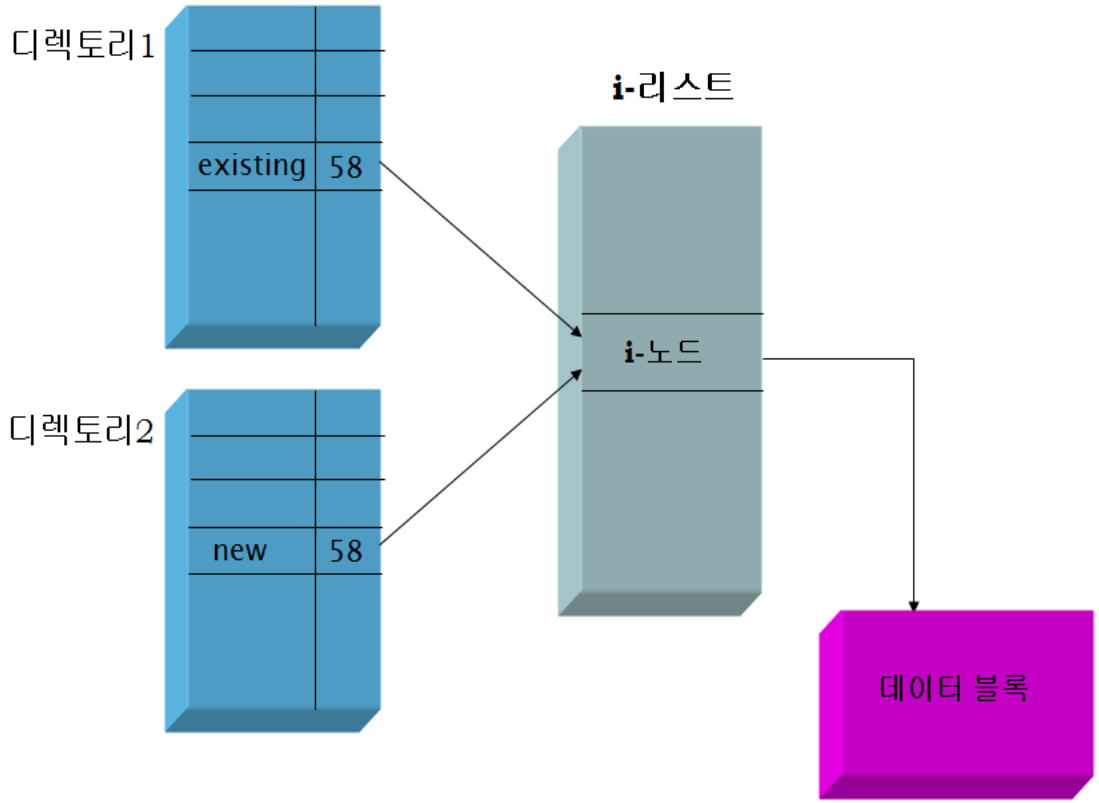
링크

- 링크는 기존 파일에 대한 또 다른 이름으로
- 하드 링크와 심볼릭(소프트) 링크가 있다.

```
#include <unistd.h>
int link(char *existing, char *new);
int unlink(char *path);
```

링크의 구현

- link() 시스템 호출
  - 기존 파일 existing에 대한 새로운 이름 new 즉 링크를 만든다.



link.c

```
#include <unistd.h>
int main(int argc, char *argv[ ])
{
   if (link(argv[1], argv[2]) == -1) {
      exit(1);
   }
   exit(0);
}
```

unlink.c

```
#include <unistd.h>
main(int argc, char *argv[ ])
{
   int unlink( );
   if (unlink(argv[1]) == -1 {
      perror(argv[1]);
      exit(1);
   }
   exit(0);
}
```

심볼릭 링크

int symlink (const char *actualpath, const char *sympath);

심볼릭 링크를 만드는데 성공하면 0, 실패하면 -1을 리턴한다.

```
#include <unistd.h>
int main(int argc, char *argv[ ])
{
    if (symlink(argv[1], argv[2]) == -1) {
        exit(1);
    }
    exit(0);
}
```

```
$ slink /usr/bin/gcc cc
$ ls -l cc
2 lrwxrwxrwx 1 chang chang 7 4월 8 19:58 cc -> /usr/bin/gcc
```

심볼릭 링크 내용

#include <unistd.h>

int readlink (const char *path, char *buf, size_t bufsize);

path 심볼릭 링크의 실제 내용을 읽어서 buf에 저장한다.

성공하면 buf에 저장한 바이트 수를 반환하며 실패하면 –1을 반환한다.

심볼릭 링크 내용 확인: rlink.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
int main(int argc, char *argv[ ])
{
    char buffer[1024];
    int nread;
    nread = readlink(argv[1], buffer, 1024);
    if (nread > 0) {
        write(1, buffer, nread);
        exit(0);
    } else {
        fprintf(stderr, "오류 : 해당 링크 없음₩n");
        exit(1);
    }
}
```

```
$ rlink cc
/usr/bin/gcc
```

핵심 개념

- 표준 유닉스 파일 시스템은 부트 블록, 슈퍼 블록, i-리스트, 데이터 블록 부분으로 구성된다
- 파일 입출력 구현을 위해서 커널 내에 파일 디스크립터 배열, 파일 테이블, 동적 i-노드 테이블 등의 자료구조를 사용한다.
- 파일 하나당 하나의 i-노드가 있으며 i-노드 내에 파일에 대한 모든 상태 정보가 저장되어 있다.
- 디렉터리는 일련의 디렉터리 엔트리들을 포함하고 각 디렉터리 엔트리는 파일 이름과 그 파일의 i-노드 번호로 구성된다.
- 링크는 기존 파일에 대한 또 다른 이름으로 하드 링크와 심볼릭(소프트) 링크가 있다.