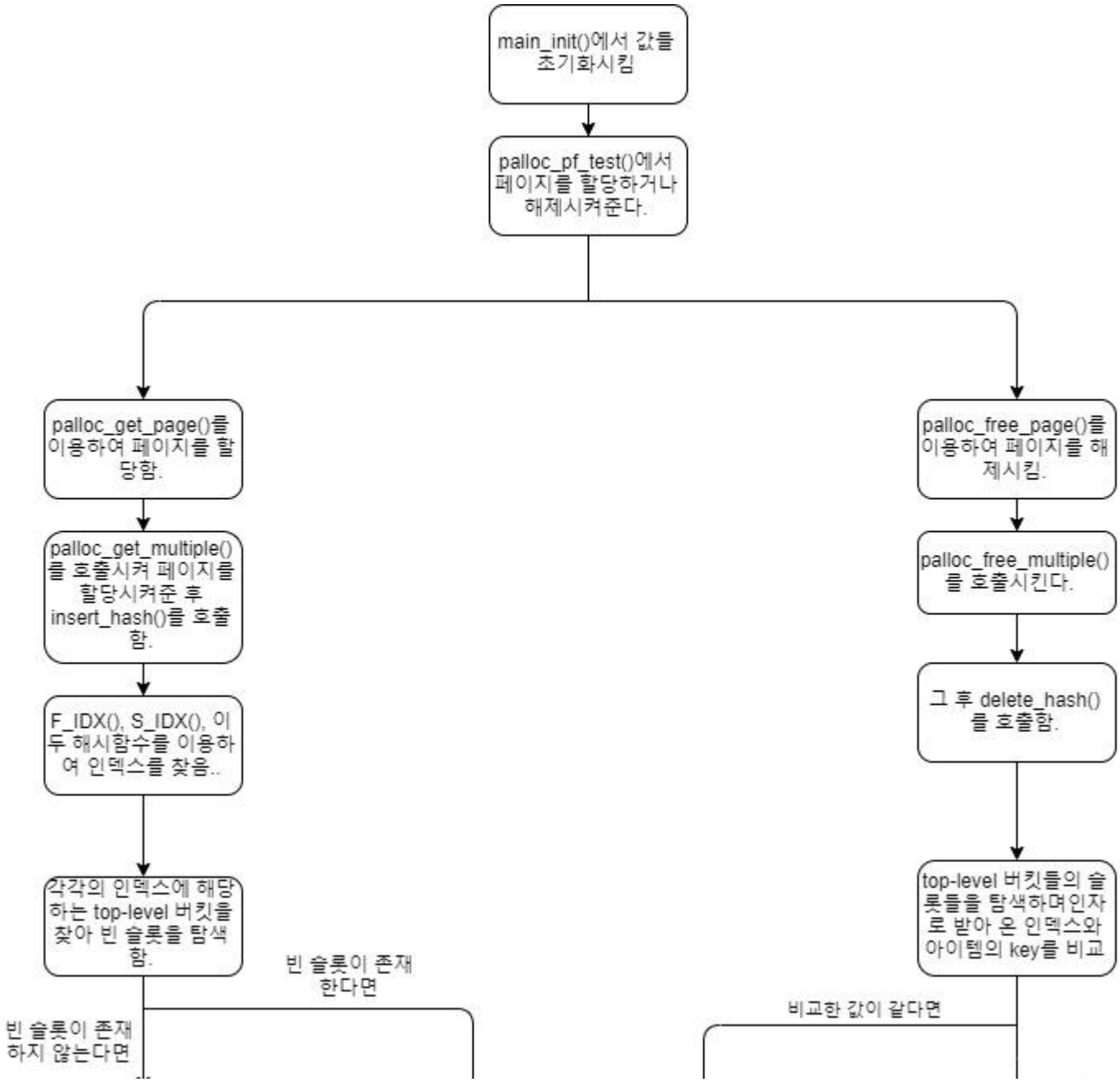
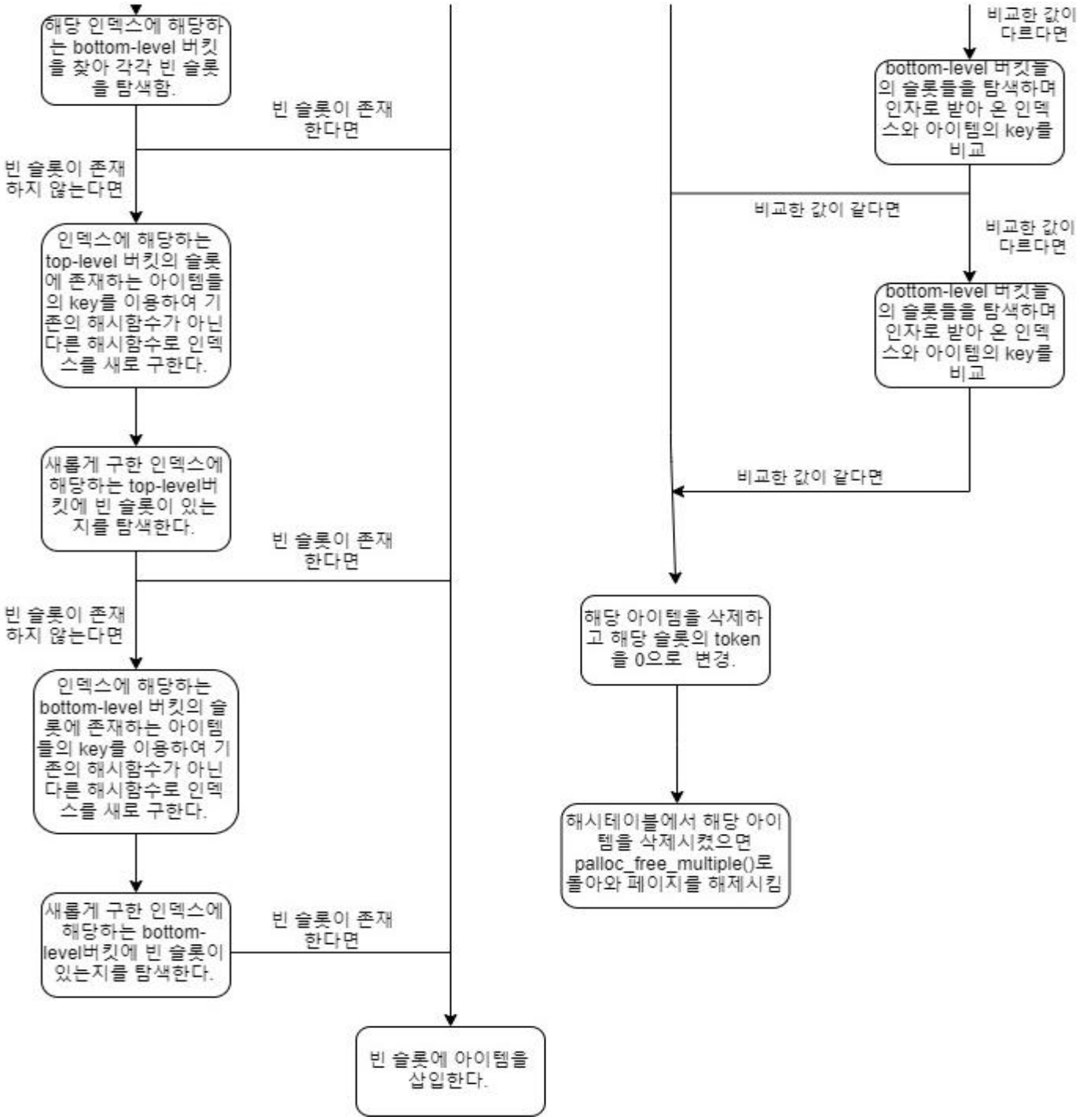
전자정보공학부 20160433 김민정

1. 개요

-가상메모리란 프로그램이 실행되기 위해서는 주기억장치로 들어가야 하는데, 실행될 프로그램이 주기억장치보다 크거나 여러 개인 경우에는 주기억장치 공간의 부족으로 인해 프로그램이 제대로 실행되지 못할 수 있다. 그래서 당장 실행에 필요한 부분만 주기억장치에 저장하고, 나머지는 보조기억장치에 두고 동작하도록 하여 이런 문제를 해결할 수 있는데, 이런 개념을 가상 메모리라 하며 운영체제에서 지원한다. 이러한 가상메모리에서 어떻게 Page Allocator를 이해해본다. 그리고 level hash의 삽입과 삭제, 이동기능을 구현한 다음, 이를 이용하여 역테이블페이지를 구현해본다.

2.상세설계

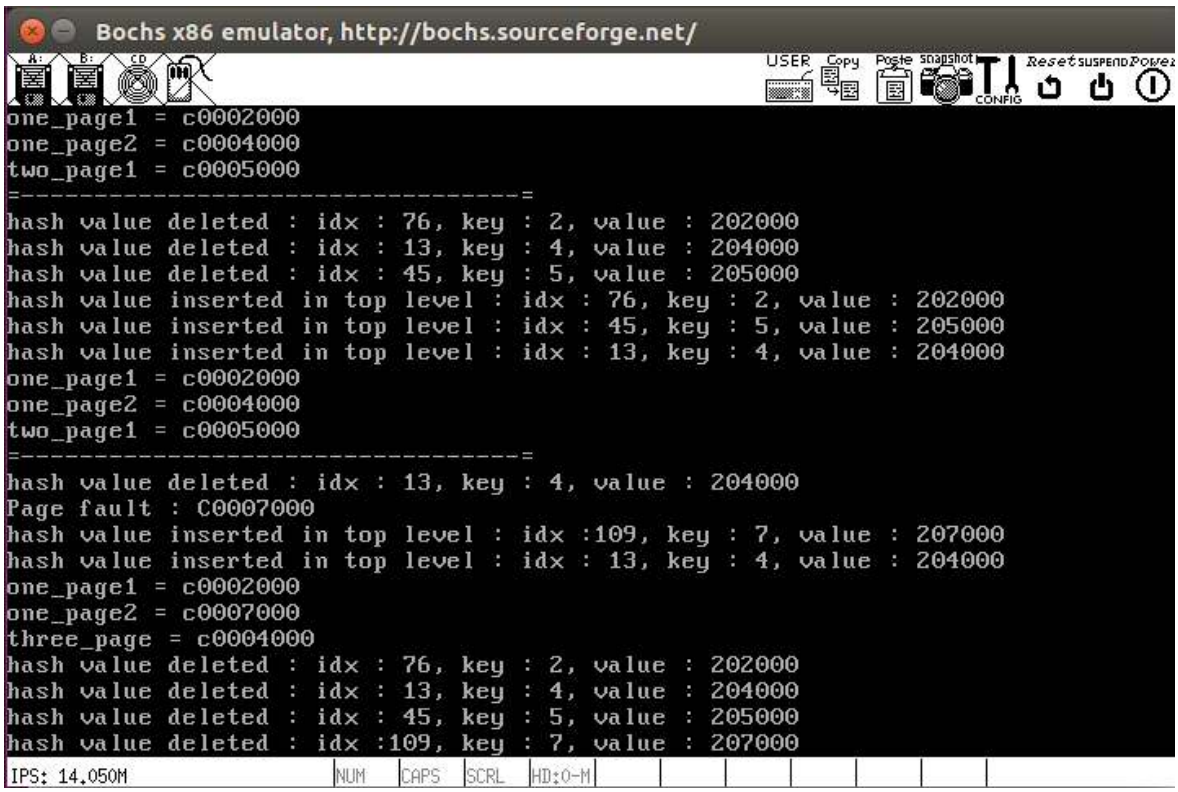




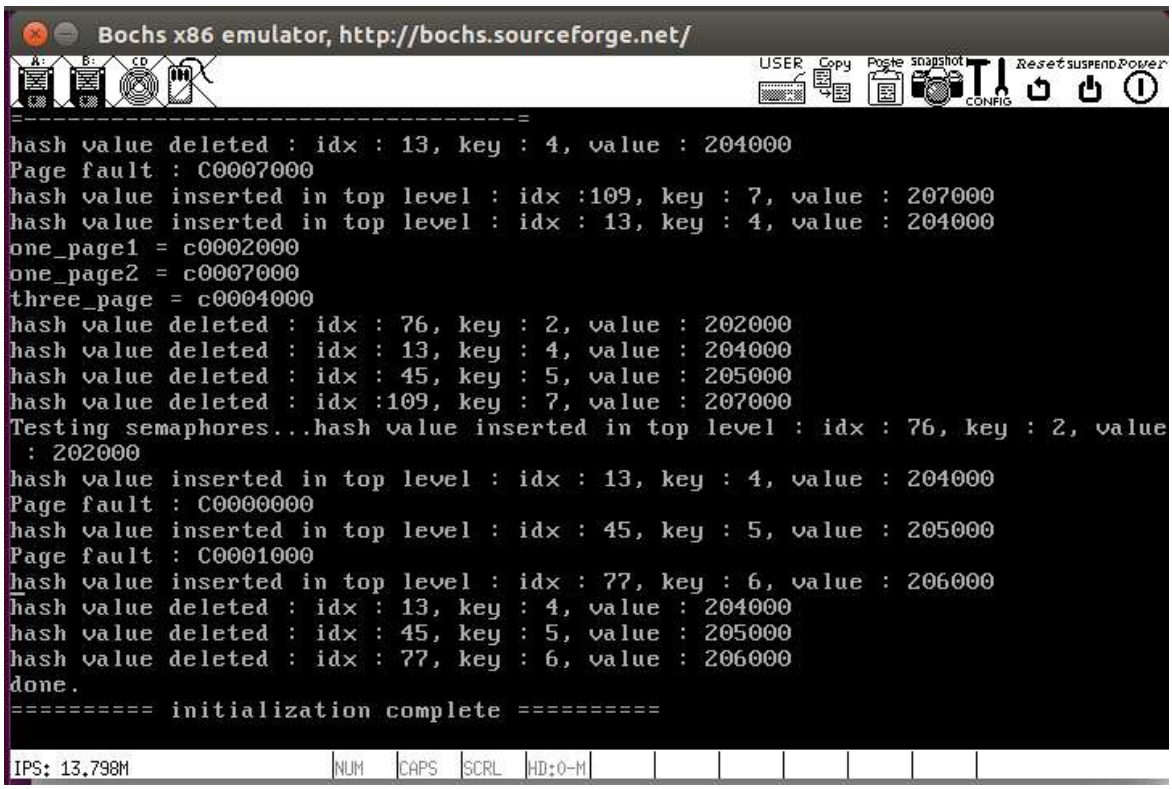
- void init_hash_table(void); //해시테이블을 초기화하는 함수이다.
- void insert_hash(int idx, uint32_t addr); //해시테이블에 아이템을 삽입하는 함수이다. 삽입하려는 버킷이 모두 가득 차 있으면 해당 버킷의 아이템들을 이동시켜 빈 슬롯을 만든 후 그 곳에 아이템을 삽입한다.
- void delete_hash(int idx, uint32_t addr); //해시테이블에서 아이템을 삭제하는 함수이다.
- uint32_t *palloc_get_multiple (size_t page_cnt); //페이지를 할당하는 함수이다. 이 함수에서 페이지를 할당 한 후 해시테이블에 해당 정보를 삽입한다.
- void palloc_free_multiple (void *pages, size_t page_cnt); //페이지를 해제하는 함수이다. 이 함수에서는 해시테이블에서 아이템을 삭제한 후 해당 페이지를 해제한다.

3. 실행결과

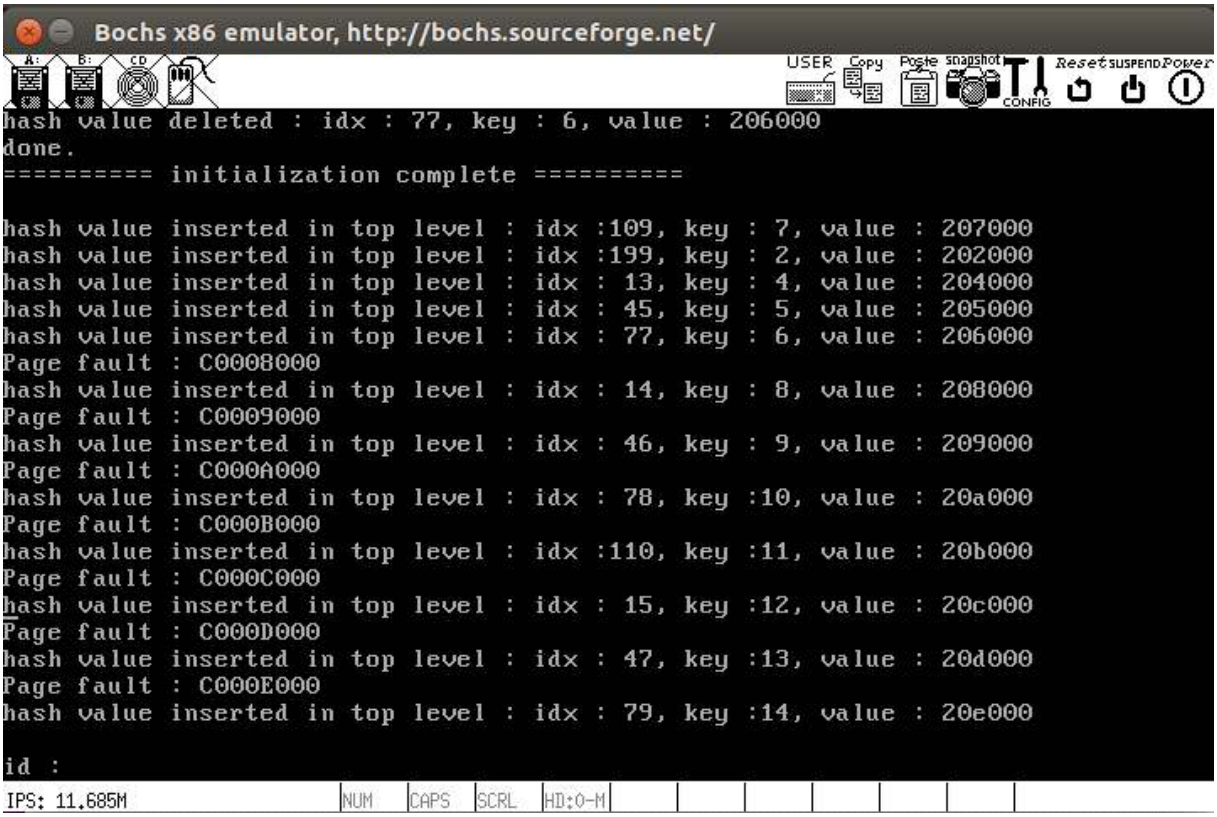
1) Inverted Page Table 구현 직후 실행결과



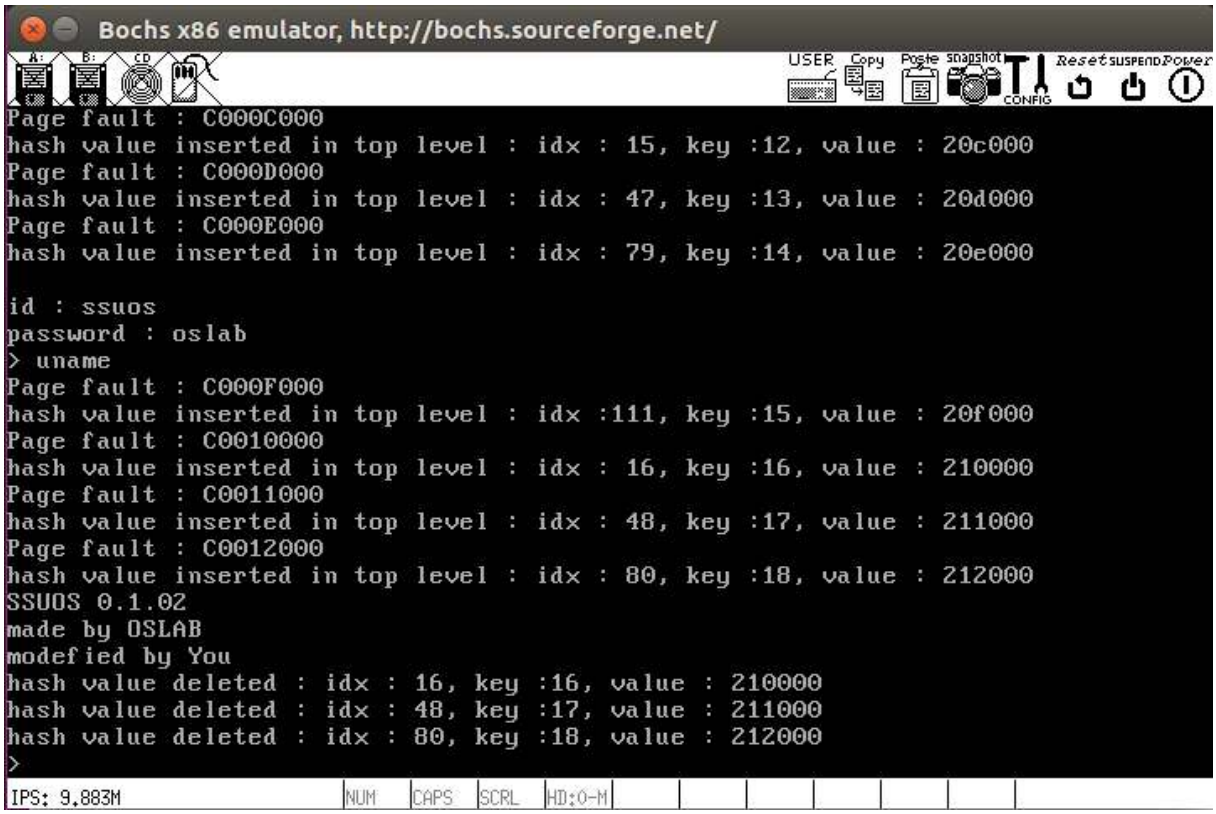
2) main_init()에서 첫 번째 while(1)문 제거 후 실행결과



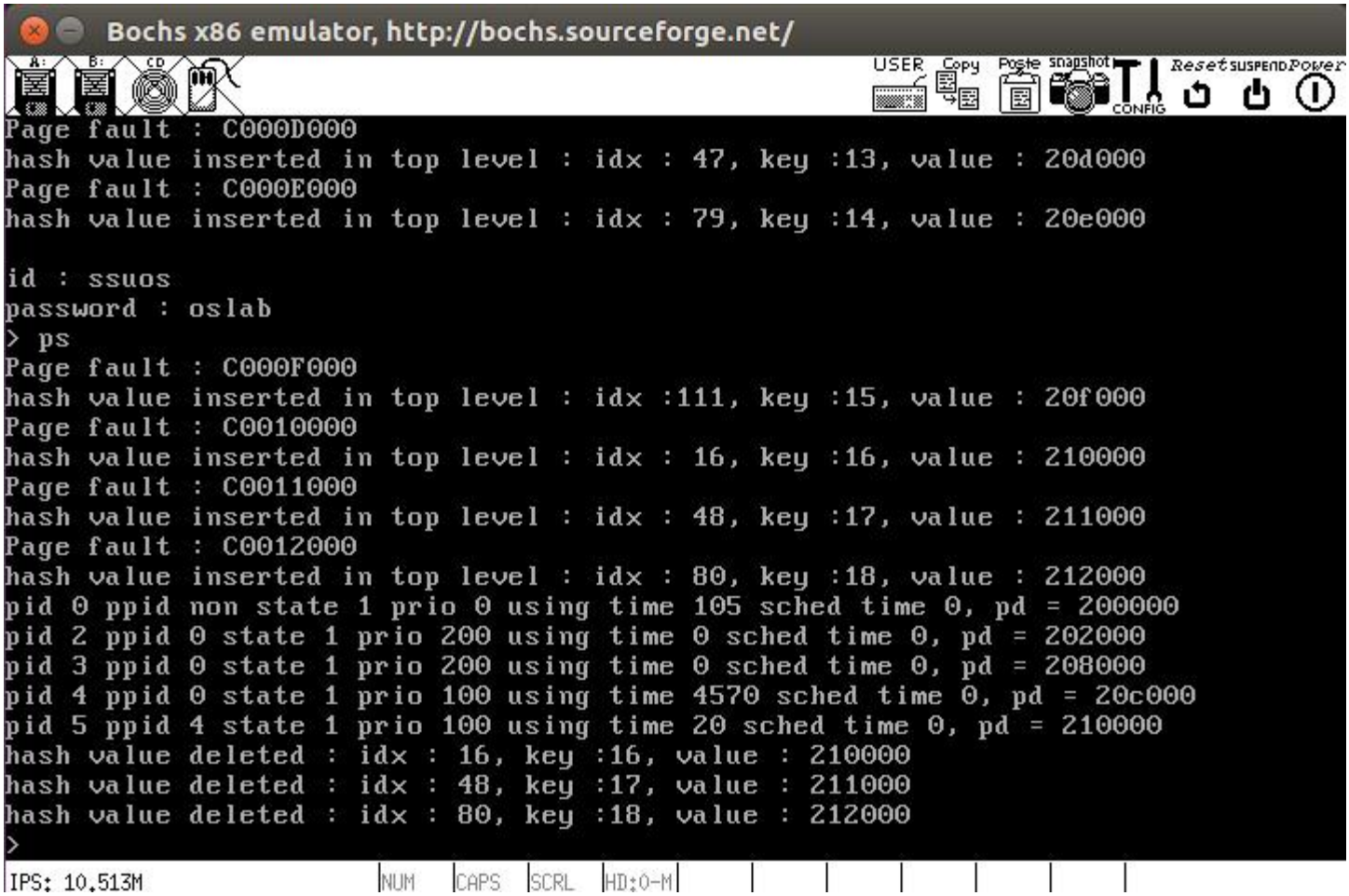
3) main_init()에서 두 번째 while(1)문 제거 후 실행결과



4) while(1)문 제거 및 id, password 입력 후 uname 커맨드 입력 결과



5) while(1)문 제거 및 id, password 입력 후 ps 커맨드 입력 결과



4. 소스코드

-hashing.h

```
#ifndef __HASHING_H__
#define __HASHING_H__

#include <stdlib.h>
#include <stdint.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <ctype.h>
#include <type.h>
#include <proc/proc.h>
#include <ssulib.h>

#define SLOT_NUM 4                                  // The number of slots in a bucket
#define CAPACITY 256                                // level hash table capacity

typedef struct entry{
    uint32_t key;
    uint32_t value;
} entry;

typedef struct level_bucket
{
    uint8_t token[SLOT_NUM];
    entry slot[SLOT_NUM];
} level_bucket;

typedef struct level_hash {
    level_bucket top_buckets[CAPACITY];
    level_bucket bottom_buckets[CAPACITY / 2];
} level_hash;

level_hash hash_table;

void init_hash_table(void);
uint32_t F_IDX(uint32_t addr, uint32_t capacity);       // Get first index to use at table
uint32_t S_IDX(uint32_t addr, uint32_t capacity);       // Get second index to use at table
void insert_hash(int idx, uint32_t addr); //해시테이블에서 아이템을 삽입하는 함수를 선언했다.
void delete_hash(int idx, uint32_t addr); //해시테이블에서 아이템을 삭제하는 함수를 선언했다.

#endif
```

-hashing.c

1) init_hash_table() 수정

```
void init_hash_table(void)//해시테이블의 값들을 초기화시켜주는 함수
{
	for(int i=0;i<CAPACITY;i++){
		if(i/2==0){
			for(int j=0;j<SLOT_NUM;j++){
				hash_table.bottom_buckets[i/2].token[j]=0;  //bottom_level 버킷들의 각 슬롯의 token을 0으로 초기화
				hash_table.bottom_buckets[i/2].slot[j].key=0;  //bottom_level 버킷들의 각 슬롯의 key을 0으로 초기화
				hash_table.bottom_buckets[i/2].slot[j].value=0; //bottom_level 버킷들의 각 슬롯의 value를 0으로 초기화
			}
		}
		for(int j=0;j<SLOT_NUM;j++){
			hash_table.top_buckets[i].token[j] = 0; //top_level 버킷들의 각 슬롯의 token을 0으로 초기화
			hash_table.top_buckets[i].slot[j].key = 0; //top_level 버킷들의 각 슬롯의 key을 0으로 초기화
			hash_table.top_buckets[i].slot[j].value = 0; //top_level 버킷들의 각 슬롯의 value를 0으로 초기화
		}
	}
}
```

2) insert_hash() 추가

```
void insert_hash(int idx, uint32_t addr){

	uint32_t Fpos, Spos;
	int tmpPos;
	int check=0;
	Fpos = F_IDX(RH_TO_VH(addr), CAPACITY);
	Spos = S_IDX(RH_TO_VH(addr), CAPACITY);
	//첫번째 해시함수와 두번째 해시함수의 인덱스에 해당하는 top-level 버킷들의 슬롯을 각각 번갈아 확인하며 빈 슬롯을 찾는다.
	for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){
		if(hash_table.top_buckets[Fpos].token[i]==0){ //빈 슬롯이 있다면 아이템을 삽입한다.
			hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key=idx;
			hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value = addr;
			hash_table.top_buckets[Fpos].token[i]=1;
			printk("hash value inserted in top level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n",Fpos,hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key,hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value);
			check=1;
			break;
		}
```

```
		else if(hash_table.top_buckets[Spos].token[i]==0){ //빈 슬롯이 있다면 아이템을 삽입한다.
			hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key=idx;
			hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value = addr;
			hash_table.top_buckets[Spos].token[i]=1;
			printk("hash value inserted in top level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n",Spos,hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key,hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value);
			check=1;
			break;
		}
	}


	if(!check){//top-level 버킷들을 다 탐색했는데 빈 슬롯이 없을 때는
		for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){// 첫번째 해시함수와 두번째 해시함수의 인덱스에 해당하는 bottom-level 버킷들의 슬롯을 각각 번갈아 확인하며 빈 슬롯을 찾는다.
			if(hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].token[i]==0){
				hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key=idx;
				hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value = addr;
				hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].token[i]=1;
				printk("hash value inserted in bottom level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n",Fpos/2,hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key,hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value);
				check=1;
				break;
			}

			else if(hash_table.bottom_buckets[Spos/2].token[i]==0){
				hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key=idx;
				hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value = addr;
				hash_table.bottom_buckets[Spos/2].token[i]=1;
				printk("hash value inserted in bottom level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n",Spos/2,hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key,hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value);
				check=1;
				break;
			}
		}
	}

	//top-level과 bottom-level의 버킷들에 빈 슬롯이 없을 때는 이미 삽입된 아이템 중 하나를 다른 Top-level/bottom-level로 이동 후 아이템 삽입한다.

	if(!check){//toplevel(Fpos) 버킷아이템 중 하나를 다른 toplevel 버킷으로 이동 후 아이템을 삽입한다.
		for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){
			//toplevel(Fpos)안에 있는 아이템들이 F_IDX해시함수를 쓴 결과라고 가정하고 S_IDX해시함수를
```

이용해서 새로운 인덱스를 구해본다.
tmpPos = S_IDX(RH_TO_VH(hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value),CAPACITY);//S_IDX해시함수를 이용해서 새로운 인덱스 구하고
if(tmpPos == Fpos)//현재 인덱스와 새롭게 구한 인덱스가 같다면 이동이 안되므로 다른 슬롯으로 넘어간다.
continue;
for(int j=0;j<SLOT_NUM;j++){ //그 인덱스의 top-level버킷에 빈 슬롯이 있는지 탐색한다.
if(hash_table.top_buckets[tmpPos].token[j]==0){ //빈 슬롯이 있다면

hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].key=hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key;
hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].value = hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value;
hash_table.top_buckets[tmpPos].token[j]=1;//아이템이동성공
printk("hash value inserted in the another top level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n",tmpPos,hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].key,hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].value);

//비어진 기존슬롯에 아이템을 삽입한다.
hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key=idx;
hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value = addr;
hash_table.top_buckets[Fpos].token[i]=1;
printk("hash value inserted in top level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n",Fpos,hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key,hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value);
return;
}
}

}

//새로운 인덱스의 top-level버킷에 빈 슬롯이 존재하지 않았다면
for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){

//toplevel(Fpos)안에 있는 아이템들이 S_IDX해시함수를 쓴 결과라고 가정하고 F_IDX해시함수를 이용해서 새로운 인덱스를 구해본다.
tmpPos = F_IDX(RH_TO_VH(hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value),CAPACITY);//새로운 인덱스 구하고

if(tmpPos == Fpos)//현재 인덱스와 새롭게 구한 인덱스가 같다면 이동이 안되므로 다른 슬롯으로 넘어간다.
continue;
for(int j=0;j<SLOT_NUM;j++){ //그 인덱스의 top-level버킷에 빈 슬롯이 있는지 탐색한다.
if(hash_table.top_buckets[tmpPos].token[j]==0){//빈 슬롯이 있다면 아이템을 이동한

다.

```
hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].key=hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key;
                                        hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].value =
hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value;
                                        hash_table.top_buckets[tmpPos].token[j]=1;//아이템이동성공
                                        printk("hash value inserted in the another top level : idx :%3d, key
:%2d, value
:%7x\n",tmpPos,hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].key,hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].value);

                                        //비어진 기존슬롯에 아이템을 삽입한다.
                                        hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key=idx;
                                        hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value = addr;
                                        hash_table.top_buckets[Fpos].token[i]=1;
                                        printk("hash value inserted in top level : idx :%3d, key :%2d, value
:%7x\n",Fpos,hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key,hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value);
                                        //check_m=1;
                                        return;
                                }

                        }
                }

                //toplevel(Spos) 버킷아이템 중 하나를 다른 toplevel 버킷으로 이동 후 아이템을 삽입한다.
                for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){
                        //toplevel(Spos)안에 있는 아이템들이 F_IDX해시함수를 쓴 결과라고 가정하고 S_IDX해시함수를
이용해서 새로운 인덱스를 구해본다.
                        tmpPos = S_IDX(RH_TO_VH(hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value),CAPACITY);//새로
운 인덱스 구하고
                        if(tmpPos == Spos)//현재 인덱스와 새롭게 구한 인덱스가 같다면 이동이 안되므로 다른 슬롯으
로 넘어간다.
                                continue;
                        for(int j=0;j<SLOT_NUM;j++){ //그 인덱스의 top-level버킷에 빈 슬롯이 있는지 탐색한다.
                                if(hash_table.top_buckets[tmpPos].token[j]==0){//빈 슬롯이 있다면 아이템을 이동한
다.

hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].key=hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key;
                                        hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].value =
hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value;
                                        hash_table.top_buckets[tmpPos].token[j]=1;//아이템이동성공
                                        printk("hash value inserted in the another top level : idx :%3d, key
:%2d, value
:%7x\n",tmpPos,hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].key,hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].value);
```

```
                                        //비어진 기존슬롯에 아이템을 삽입한다.
                                        hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key=idx;
                                        hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value = addr;
                                        hash_table.top_buckets[Spos].token[i]=1;
                                        printk("hash value inserted in top level : idx :%3d, key :%2d, value
:%7x\n",Spos,hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key,hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value);
                                        return;
                                }
                        }

                }

                //새로운 인덱스의 top-level버킷에 빈 슬롯이 존재하지 않았다면
                for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){

                        //toplevel(Spos)안에 있는 아이템들이 S_IDX해시함수를 쓴 결과라고 가정하고 F_IDX해시함수를
이용해서 인덱스를 구한다.
                        tmpPos  =  F_IDX(RH_TO_VH(hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value),CAPACITY);//새로
운 인덱스 구하고

                        if(tmpPos==Spos)//현재 인덱스와 새롭게 구한 인덱스가 같다면 이동이 안되므로 다른 슬롯으로
넘어간다.
                                continue;
                        for(int j=0;j<SLOT_NUM;j++){ //그 인덱스의 top-level버킷에 빈 슬롯이 있는지 탐색한다.
                                if(hash_table.top_buckets[tmpPos].token[j]==0){//빈 슬롯이 있다면 아이템을 이동한
다.

hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].key=hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key;
                                        hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].value                    =
hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value;
                                        hash_table.top_buckets[tmpPos].token[j]=1;//아이템이동성공
                                        printk("hash value inserted in the another top level : idx :%3d, key
:%2d,                                                                                                   value
:%7x\n",tmpPos,hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].key,hash_table.top_buckets[tmpPos].slot[j].value);

                                        //비어진 기존슬롯에 아이템을 삽입한다.
                                        hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key=idx;
                                        hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value = addr;
                                        hash_table.top_buckets[Spos].token[i]=1;
                                        printk("hash value inserted in top level : idx :%3d, key :%2d, value
:%7x\n",Spos,hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key,hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value);
                                        return;
                                }
                        }
```

```
		}
		//bottomlevel(Fpos/2) 버킷아이템 중 하나를 다른 toplevel 버킷으로 이동 후 아이템을 삽입한다.
		for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){
			//bottomlevel(Fpos/2)안에 있는 아이템들이 F_IDX해시함수를 쓴 결과라고 가정하고 S_IDX해시함수를 이용해서 새로운 인덱스를 구한다.
			tmpPos = S_IDX(RH_TO_VH(hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value),CAPACITY);//새로운 인덱스 구하고
			if((tmpPos/2) == (Fpos/2))//현재 인덱스와 새롭게 구한 인덱스가 같다면 이동이 안되므로 다른 슬롯으로 넘어간다.
				continue;
			for(int j=0;j<SLOT_NUM;j++){ //그 인덱스의 bottom-level버킷에 빈 슬롯이 있는지 탐색한다.
				if(hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].token[j]==0){//빈 슬롯이 있다면 아이템을 이동한다.

hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].key=hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key;
					hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].value = hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value;
					hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].token[j]=1;//아이템이동성공
					printk("hash value inserted in the another bottom level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n",tmpPos/2,hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].key,hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].value);

					//비어진 기존슬롯에 아이템을 삽입한다.
					hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key=idx;
					hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value = addr;
					hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].token[i]=1;
					printk("hash value inserted in bottom level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n", Fpos/2, hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key,hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value);
					return;
				}
			}
		}

		//새로운 인덱스의 bottom-level버킷에 빈 슬롯이 존재하지 않았다면
		for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){
			//bottomlevel(Fpos/2)안에 있는 아이템들이 S_IDX해시함수를 쓴 결과라고 가정하고 F_IDX해시함수를 이용해서 인덱스를 구한다.
			tmpPos = F_IDX(RH_TO_VH(hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value),CAPACITY);//새로운 인덱스 구하고
			if((tmpPos/2)==(Fpos/2))//현재 인덱스와 새롭게 구한 인덱스가 같다면 이동이 안되므로 다른 슬롯으로 넘어간다.
				continue;
			for(int j=0;j<SLOT_NUM;j++){ //그 인덱스의 bottom-level버킷에 빈 슬롯이 있는지 탐색한다.
```

```
                        if(hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].token[j]==0){ //빈 슬롯이 있다면 아이템을 이동한다.

hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].key=hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key;
                            hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].value = hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value;
                            hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].token[j]=1;//아이템이동성공
                            printk("hash value inserted in the another bottom level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n",tmpPos/2,hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].key,hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].value);

                            //비어진 기존슬롯에 아이템을 삽입한다.
                            hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key=idx;
                            hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value = addr;
                            hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].token[i]=1;
                            printk("hash value inserted in bottom level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n", Fpos/2, hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key,hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value);
                            return;
                        }
                    }
                }

                //bottomlevel(Spos/2) 버킷아이템 중 하나를 다른 toplevel 버킷으로 이동 후 아이템을 삽입한다.
                for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){
                    //bottomlevel(Spos)안에 있는 아이템들이 F_IDX해시함수를 쓴 결과라고 가정하고 S_IDX해시함수를 이용해서 인덱스를 구한다.
                    tmpPos = S_IDX(RH_TO_VH(hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value),CAPACITY);//새로운 인덱스 구하고
                    if((tmpPos/2)==(Spos/2))//현재 인덱스와 새롭게 구한 인덱스가 같다면 이동이 안되므로 다른 슬롯으로 넘어간다.
                        continue;
                    for(int j=0;j<SLOT_NUM;j++){ //그 인덱스의 bottom-level버킷에 빈 슬롯이 있는지 탐색한다.
                        if(hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].token[j]==0){ //빈 슬롯이 있다면 아이템을 이동한다.

hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].key=hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key;
                            hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].value = hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value;
                            hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].token[j]=1;//아이템이동성공
                            printk("hash value inserted in the another bottom level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n",tmpPos/2,hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].key,hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].value);
```

```
                                        //비어진 기존슬롯에 아이템을 삽입한다.
                                        hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key=idx;
                                        hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value = addr;
                                        hash_table.bottom_buckets[Spos/2].token[i]=1;
                                        printk("hash value inserted in bottom level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n", Spos/2, hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key,hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value);
                                        return;
                                }
                        }
                }

                //새로운 인덱스의 bottom-level버킷에 빈 슬롯이 존재하지 않았다면
                for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){
                        //bottomlevel(Spos/2)안에 있는 아이템들이 S_IDX해시함수를 쓴 결과라고 가정하고 F_IDX해시함수를 이용해서 인덱스를 구한다.
                        tmpPos = F_IDX(RH_TO_VH(hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value),CAPACITY);//새로운 인덱스 구하고
                        if((tmpPos/2)==(Spos/2))//현재 인덱스와 새롭게 구한 인덱스가 같다면 이동이 안되므로 다른 슬롯으로 넘어간다.
                                continue;
                        for(int j=0;j<SLOT_NUM;j++){ //그 인덱스의 bottom-level버킷에 빈 슬롯이 있는지 탐색한다.
                                if(hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].token[j]==0){  //빈 슬롯이 있다면 아이템을 이동한다.

hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].key=hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key;
                                        hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].value = hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value;
                                        hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].token[j]=1;//아이템이동성공
                                        printk("hash value inserted in the another bottom level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n",tmpPos/2,hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].key,hash_table.bottom_buckets[tmpPos/2].slot[j].value);

                                        //비어진 기존슬롯에 아이템을 삽입한다.
                                        hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key=idx;
                                        hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value = addr;
                                        hash_table.bottom_buckets[Spos/2].token[i]=1;
                                        printk("hash value inserted in bottom level : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n", Spos/2, hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key,hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value);
                                        return;
                                }
                        }
                }
```

```
        }
}
```

3) delete_hash() 추가

```
void delete_hash(int idx, uint32_t addr){
        //삭제 연산 시 해시 함수에 대응하는 위치의 top level 버킷 2개와 top level 버킷에 대응하는 각각의 bottom level 버킷, 총 4개의 버킷을 탐색하여 아이템을 찾아 삭제
        uint32_t Fpos, Spos;
        int check=0;
        Fpos = F_IDX(RH_TO_VH(addr), CAPACITY);
        Spos = S_IDX(RH_TO_VH(addr), CAPACITY);

        for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){
                //인덱스가 Fpos인 top-level버킷을 탐색하며 인자로 받은 인덱스와 각각의 슬롯의 key값이 같은지 확인한다.
                if(hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key==idx){//같다면 해당 아이템을 삭제한다.
                        printk("hash value deleted : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n", Fpos,hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key,hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value);
                        hash_table.top_buckets[Fpos].token[i]=0;
                        hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].key=0;
                        hash_table.top_buckets[Fpos].slot[i].value=0;
                        check = 1;
                        break;
                }
                //인덱스가 Spos인 top-level버킷을 탐색하며 인자로 받은 인덱스와 각각의 슬롯의 key값이 같은지 확인한다.
                else if(hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key==idx){//같다면 해당 아이템을 삭제한다.
                        printk("hash value deleted : idx :%3d, key :%2d, value :%7x\n", Spos,hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key,hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value);
                        hash_table.top_buckets[Spos].token[i]=0;
                        hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].key=0;
                        hash_table.top_buckets[Spos].slot[i].value=0;
                        check = 1;
                        break;
                }
        }

        if(!check){//top-level 버킷에는 찾고자하는 아이템이 존재하지 않을 때
                for(int i=0;i<SLOT_NUM;i++){
                        //인덱스가 Fpos/2인 bottom-level버킷을 탐색하며 인자로 받은 인덱스와 각각의 슬롯의 key값이 같은지 확인한다.
                        if(hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key==idx){//같다면 해당 아이템을 삭제한다.
                                printk("hash value deleted : idx :%3d, key :%2d, value
```

```
:%7x\n",Fpos/2,hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key, hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value);
                                hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].token[i]=0;
                                hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].key=0;
                                hash_table.bottom_buckets[Fpos/2].slot[i].value=0;
                                check = 1;
                                break;
                        }
                        //인덱스가 Spos/2인 bottom-level버킷을 탐색하며 인자로 받은 인덱스와 각각의 슬롯의 key값
이 같은지 확인한다.
                        else if(hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key==idx){//같다면 해당 아이템을 삭제한다.
                                printk("hash value deleted : idx :%3d, key :%2d, value
:%7x\n",Spos/2,hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key, hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value);
                                hash_table.bottom_buckets[Spos/2].token[i]=0;
                                hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].key=0;
                                hash_table.bottom_buckets[Spos/2].slot[i].value=0;
                                check = 1;
                                break;
                        }
                }
        }
}
```

-palloc.c
4) palloc_get_multiple() 수정

```
/* Obtains and returns a group of PAGE_CNT contiguous free pages.
*/
uint32_t *palloc_get_multiple (size_t page_cnt)
{
        void *pages = NULL;
        struct khpage *khpage = freelist.list;
        struct khpage *prepage = freelist.list;
        size_t page_idx;

        if (page_cnt == 0)
                return NULL;

        while(khpage != NULL){
                if(khpage->nalloc == page_cnt){
                        page_idx = ((uint32_t)khpage - (uint32_t)khpage_list)/sizeof(struct khpage);
                        pages = (void*)(VKERNEL_HEAP_START + page_idx * PAGE_SIZE);

                        if(prepage == khpage){
                                freelist.list = khpage->next;
                                freelist.nfree--;
```

```
                        break;
                }else{
                        prepage->next = khpage->next;
                        freelist.nfree--;
                        break;
                }

        }
        prepage = khpage;
        khpage = khpage->next;
    }

    if(pages == NULL){
        pages = (void*)(VKERNEL_HEAP_START + page_alloc_index * PAGE_SIZE);
        page_idx = page_alloc_index;
        page_alloc_index += page_cnt;
    }


    if (pages != NULL)
    {
        memset (pages, 0, PAGE_SIZE * page_cnt);
    }


    //page_idx가 page index == key
    //page의 실제주소는 VH_TO_RH(pages)

    insert_hash(page_idx, VH_TO_RH(pages)); //hash table에 아이템을 삽입하는 함수 추가

    return (uint32_t*)pages;
}
```

5) palloc_free_multiple() 수정

```
/* Frees the PAGE_CNT pages starting at PAGES. */
void palloc_free_multiple (void *pages, size_t page_cnt)
{
    struct khpage *khpage = freelist.list;
    size_t page_idx = (((uint32_t)pages - VKERNEL_HEAP_START) / PAGE_SIZE);


    if (pages == NULL || page_cnt == 0)
        return;
```

```
        delete_hash(page_idx, VH_TO_RH(pages)); //해시테이블에서 아이템을 삭제하는 함수 추가

        if(khpage == NULL){

                freelist.list = khpage_list + page_idx;
                freelist.list->nalloc = page_cnt;
                freelist.list->next = NULL;
        }
        else{

                while(khpage->next != NULL){
                        khpage = khpage->next;
                }

                khpage->next = khpage_list + page_idx;
                khpage->next->nalloc = page_cnt;
                khpage->next->next = NULL;
        }

        freelist.nfree++;
}
```