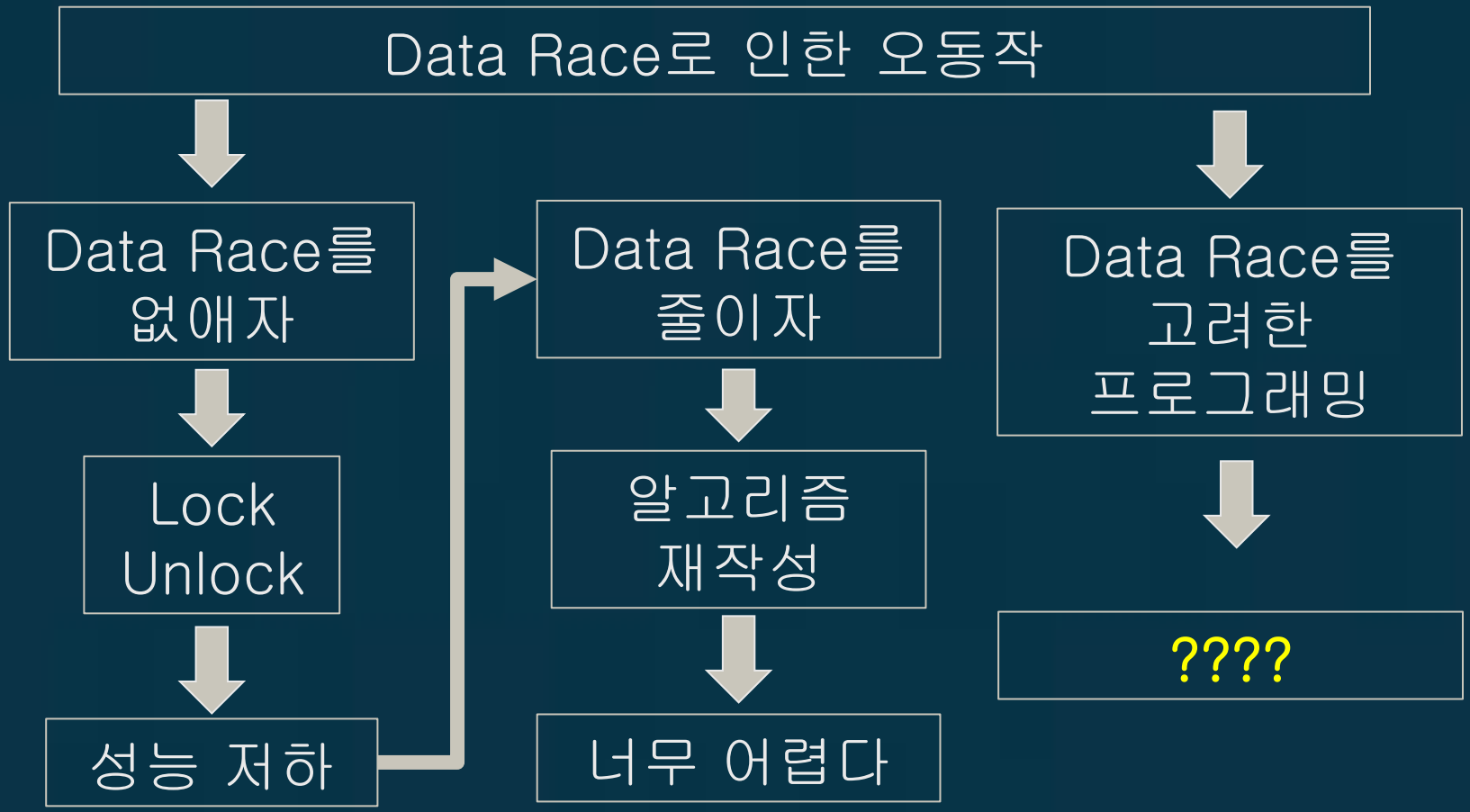
2. 프로그래밍

멀티쓰레드 프로그래밍

정내훈

정리

- 멀티쓰레드 프로그래밍



목차

- Data Race 길들이기??
  - 컴파일러
  - CPU
- Non-Blocking 프로그래밍
- 이론 시간 + CAS

컴파일러

- 질문 : Data Race가 있는 줄 알고 있고, Data Race때문에 어떤 실행결과가 나올지 알고 있으면 문제를 피할 수 있도록 프로그래밍 할 수 있지 않을까?
  - Data Race라 해도 전혀 엉뚱한 값이 나오지 않고, 나올 수 있는 값들이 예측 가능하다.
  - Lock을 추가해서 Data Race를 없애는 일을 하지 않으니 성능도 좋지 않겠는가?
- 해보자.

컴파일러

- 다음 멀티쓰레드 프로그램에 어떠한 문제점이 있을까?

```
bool g_ready = false;
int g_data = 0;

void Receiver()
{
   while (false == g_ready);
   std::cout << "I got " << g_data << std::endl;
}
```

```
void Sender()
{
   cin >> g_data;
   g_ready = true;
}
```

컴파일러

- 실습 #11
  - 실행 후 결과 값을 확인해 보시오.
    - <주의> 10번 정도 실행해 보시오.

```
bool g_ready = false;
int g_data = 0;

void Receiver()
{
   while (false == g_ready);
   std::cout << "I got " << g_data << std::endl;
}
```

```
void Sender()
{
   cin >> g_data;
   g_ready = true;
}
```

컴파일러

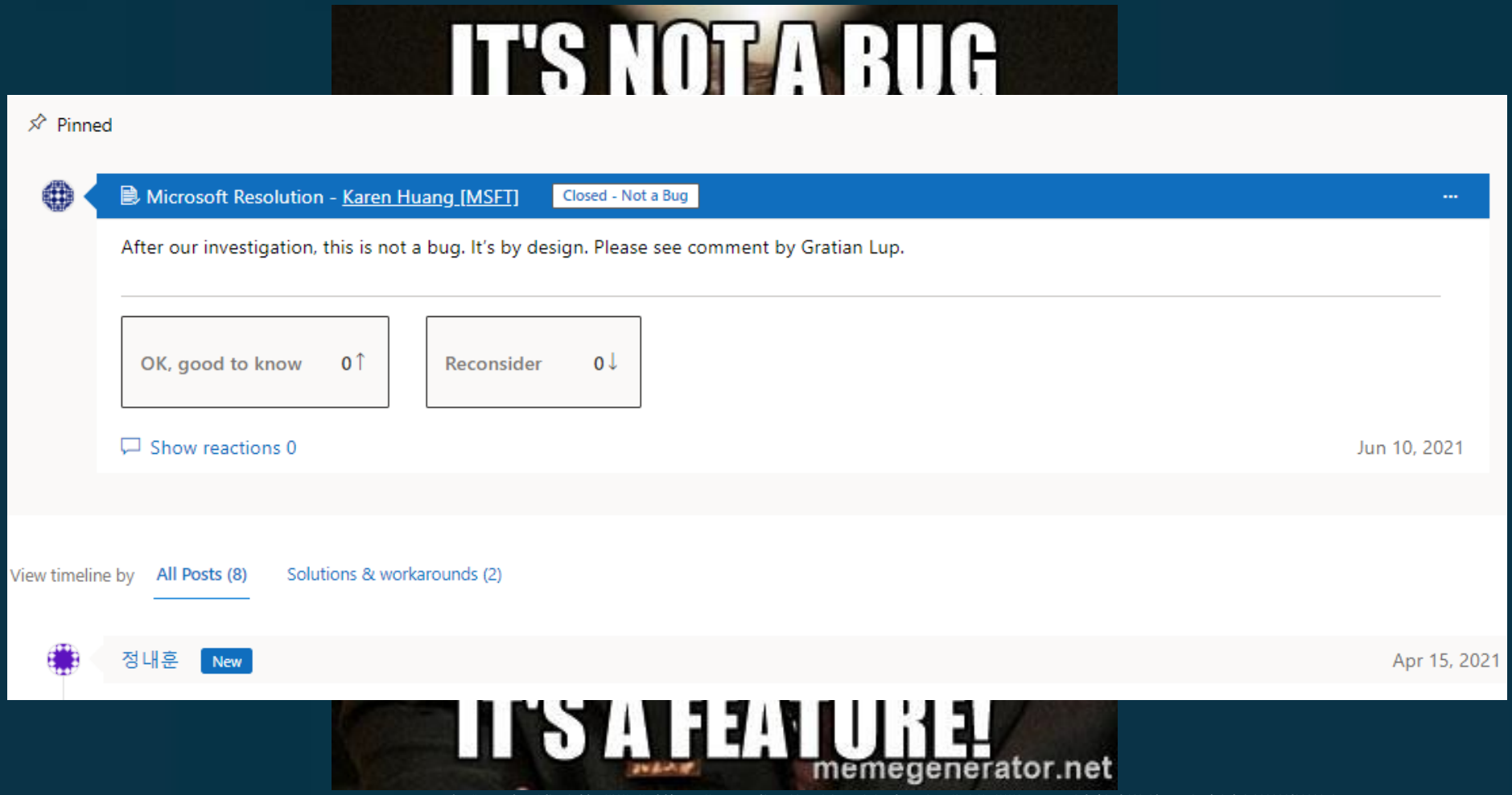
- 컴파일 결과

```
void Receiver()
{
    while (false == g_ready);
    std::cout << "I got " << g_data << std::endl;
}
```

```
--- C:¥depot¥Projects¥Lecture¥MP¥sync_test¥sync_test¥sync.cpp ----------------
    while (false == g_ready);
    std::cout << "I got " << g_data << std::endl;
00631010  mov         ecx,dword ptr [__imp_std::cout (0633068h)]
00631016  push        offset std::endl<char,std::char_traits<char> > (06314A0h)
0063101B  push        dword ptr [g_data (06353F8h)]
00631021  call        std::operator<<<std::char_traits<char> > (0631280h)
00631026  mov         ecx,eax
00631028  call        dword ptr [__imp_std::basic_ostream<char,std::char_traits<char> >::operator<< (0633038h)]
0063102E  mov         ecx,eax
00631030  call        dword ptr [__imp_std::basic_ostream<char,std::char_traits<char> >::operator<< (0633034h)]
}
00631036  ret
```

컴파일러

- Visual Studio의 사기?



컴파일러

```cpp
#include <iostream>
bool g_ready = false;
int main()
{
    while (false == g_ready);
    std::cout << "ERROR!₩n";
}
```

- 파란만장한 역사
  - Visual Studio v16.8.2 까지
    - 무한 루프
    - 원인 : g_ready의 변경값을 받지 않음
  - Visual Studio v16.9.1 부터
    - 불안정한 결과
    - 원인 : while loop 자체를 없애 버림
    - 버그 레포트 결과 : not a bug, 다른 컴파일러도 마찬가지 ㅋㅋㅋ.

컴파일러

- 컴파일러의 사기를 피하는 방법
  - lock/unlock을 사용한다.
  - volatile을 사용하면 된다.
    - 반드시 메모리를 읽고 쓴다.
    - 변수를 레지스터에 할당하지 않는다.
    - 읽고 쓰는 순서를 지킨다.
  - 참 쉽죠?
  - “어셈블리를 모르면 Visual Studio의 사기를 알 수 없다” …

컴파일러

- 실습 #12
  - volatile을 추가한 후 실행하라. 결과는?

```
volatile bool g_ready = false;
volatile int g_data = 0;

void Receiver()
{
   while (false == g_ready);
   std::cout << "I got " << g_data << std::endl;
}
```

```
void Sender()
{
   cin >> g_data;
   g_ready = true;
}
```

고생길

- 정말 쉬운가???

```
struct Qnode {
    volatile int data;
    volatile Qnode*  next;
};

void ThreadFunc1()
{
    ...
    while ( qnode->next == NULL ) { }
    my_data = qnode->next->data;
    ...
}
```

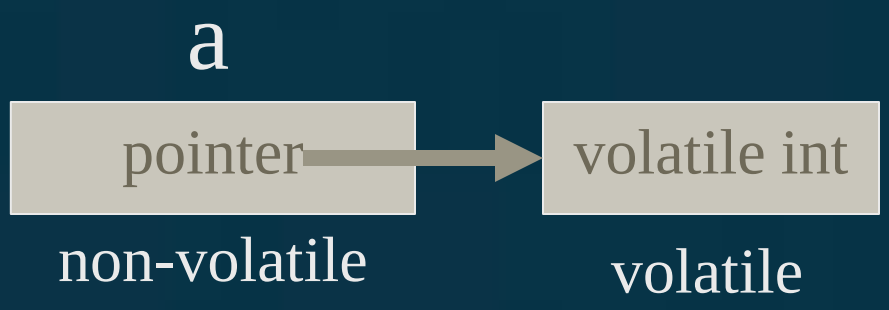
무엇이 문제일까??

고생길

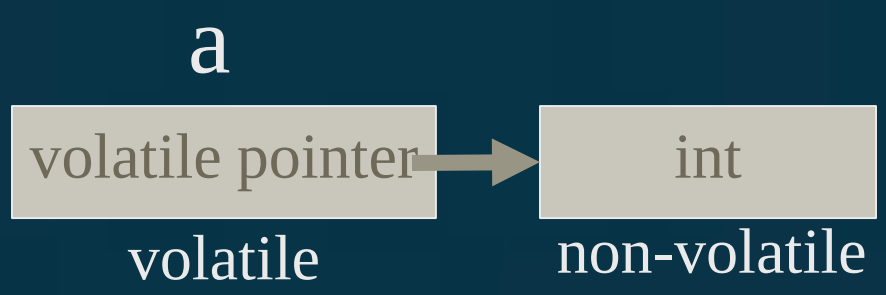
- volatile의 사용법
  - volatile int * a;
    - *a = 1; // volatile 적용, 프로그램 그대로 컴파일
    - a = b; // 컴파일러의 최적화 대상
  - int * volatile a;
    - *a = 1; // 컴파일러의 최적화 대상
    - a = b; // volatile 적용, 프로그램 그대로 컴파일

고생길

- volatile의 사용법
  - volatile int * a;



  - int * volatile a;



컴파일러

- Volatile 위치 오류의 예

```
volatile Qnode*  next;
```

```
Qnode * volatile next;
```

```
void UnLock() {
            Qnode *qnode;
            qnode = myNode;
            if (qnode->next == NULL) {
                        LONG long_qnode = reinterpret_cast<LONG>(qnode);
                        volatile LONG *long_tail = reinterpret_cast<volatile LONG*>(&tail);
                        if ( CAS(long_tail, NULL, long_qnode) ) return;
                        while ( qnode->next == NULL ) { }
            }
            qnode->next->locked = false;
            qnode->next = NULL;
}
```

```
011F1089  mov         eax,dword ptr [esi+4]
011F108C  lea         esp,[esp]
011F1090  cmp         eax,ebx
011F1092  je          ThreadFunc+90h (11F1090h)
```

```
01191090  mov         eax,dword ptr [esi+4]
01191093  test        eax,eax
01191095  je          ThreadFunc+90h (1191090h)
```

컴파일러

- 정리
  - 여러 개의 쓰레드가 공유하는 변수는 volatile을 사용 해야 한다.
  - volatile을 사용하면 컴파일러는 프로그래머가 지시한 대로 메모리에 접근한다.
    - Volatile이 없으면 컴파일러는 싱글쓰레드를 기준으로 프로그램을 최적화 한다
  - (지금은 SKIP) 하지만, CPU는 volatile을 모른다…

목차

- 병렬 프로그램 작성시 주의점
  - 컴파일러
  - CPU
    - 상호배제의 구현
    - 메모리 일관성 문제
- Non-Blocking 프로그래밍
- 이론 시간 + CAS

상호배제

- 멀티 스레드 프로그램에서의 문제는 하나의 자원을 여러 스레드에서 동시에 사용해서 생기는 경우가 대부분
- 해결책
  - 공유 자원을 업데이트 하는 부분은 한번에 하나의 스레드에서만 실행할 수 있도록 하자
  - 이것을 상호배제(mutual exclusion)라 부른다.

상호배제

- 임계영역
  - Critical Section
  - 프로그램중 상호배제로 보호받고 있는 구간
  - 오직 하나의 스레드만 실행할 수 있음.
- 임계영역 구현
  - Lock & Unlock을 사용해서 Lock과 Unlock사이에 임계영역을 둔다.
  - Lock은 다른 스레드가 Lock을 통과했고 Unlock을 하기 전이라면 Unlock을 실행할 때 까지 프로그램의 실행을 멈춘다.

상호배제

- 실제로 구현해 보자
  - C++11의 라이브러리를 사용하지 않고.
  - **최대한 단순하고 가볍게**
- Lock & Unlock의 구현
  - 공유 메모리를 통해서 구현한다.
  - 여러 가지 알고리즘이 있다.
    - 피터슨, 데커, 빵집…

상호배제

- 피터슨 알고리즘
  - 2개의 쓰레드사이의 Lock과 Unlock을 구현하는 알고리즘
  - 매개 변수로 쓰레드 아이디를 전달 받으며 값은 0과 1이라고 가정
  - 운영체제 시간에 배움, 유명한 알고리즘

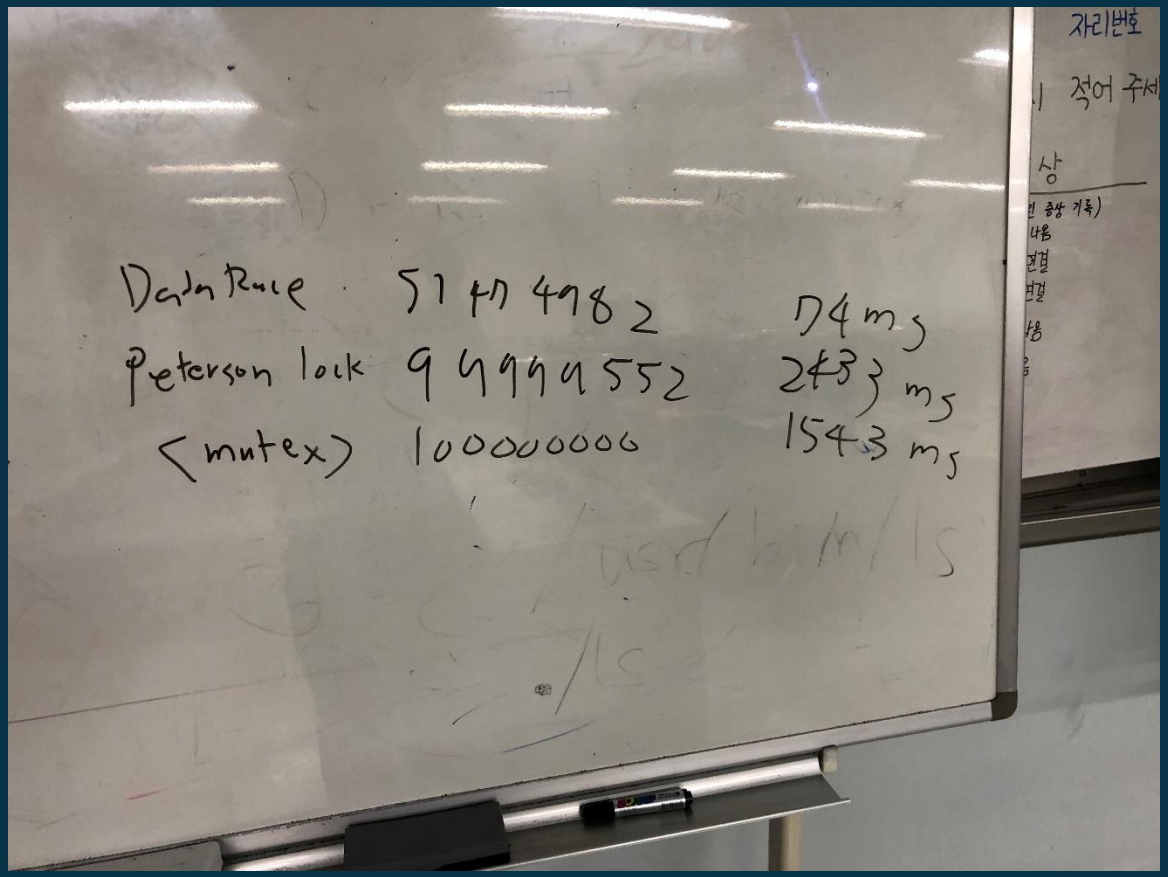
```
volatile int victim = 0;
volatile bool flag[2] = {false, false};

Lock(int myID)
{
        int other = 1 - myID;
        flag[myID] = true;
        victim = myID;
        while(flag[other] && victim == myID) {}
}
Unlock (int myID)
{
        flag[myID] = false;
}
```

상호배제

- 실습 #13
  - 앞 페이지의 피터슨 알고리즘을 사용하여 2개의 쓰레드로 1억 만들기를 구현하라.
  - 실습 #8의 with lock 버전과 속도 비교를 하라.
  - lock()이 없는 버전과 속도비교를 하라.

상호배제

- 실습 #13


Data Race 51477482 74ms
Peterson lock 94994552 2433 ms
<mutex> 100000000 1543 ms

상호배제

```
#include <iostream>
#include <thread>
using namespace std;

volatile int victim = 0;
volatile bool flag[2] = { false, false };
volatile int sum;

void Lock(int myID)
{
    int other = 1 - myID;
    flag[myID] = true;
    victim = myID;
    while (flag[other] && victim == myID) {}
}

void Unlock(int myID)
{
    flag[myID] = false;
}
```

```
void thread_func(int thid)
{
    for (auto i = 0; i < 25000000; ++i) {
        Lock(thid);
        sum = sum + 2;
        Unlock(thid);
    }
}

int main()
{
    thread t1 = thread{ thread_func, 0 };
    thread t2 = thread{ thread_func, 1 };
    t1.join();
    t2.join();
    cout << "Sum = " << sum << "₩n";
}
```

상호배제

- 피터슨 알고리즘의 문제
  - 빈번한 메모리 참조로 인한 성능 문제
  - 실제 컴퓨터에서 오동작을 일으킴
    - 원인은 ?? => 다음장에서
- 해결책?
  - C++11의 mutex 라이브러리를 사용
    - 여러 가지 편리한 기능
    - 오버헤드로 인한 성능문제

상호배제

- N개의 쓰레드에서의 동기화 구현
  - 빵집 알고리즘 : 교재 2.6 절

```
1  class Bakery implements Lock {
2    boolean[] flag;
3    Label[] label;
4    public Bakery (int n) {
5      flag  = new boolean[n];
6      label = new Label[n];
7      for (int i = 0; i < n; i++) {
8         flag[i] = false; label[i] = 0;
9      }
10   }
11   public void lock() {
12     int i = ThreadID.get();
13     flag[i] = true;
14     label[i] = max(label[0], ...,label[n-1]) + 1;
15     while ((∃k != i)(flag[k] && (label[k],k) << (label[i],i))) {};
16   }
17   public void unlock() {
18     flag[ThreadID.get()] = false;
19   }
20 }
```

Figure 2.9 The Bakery lock algorithm.

상호배제

- 숙제 #1 :
  - 앞 페이지의 빵집 알고리즘을 C++로 구현하시오
    - Volatile을 사용해서 공유메모리 컴파일 최적화를 막으시오
  - 벤치마크 프로그램으로 천만 만들기 프로그램을 사용하시오.
    - 실습 #7의 프로그램을 사용
    - 피터슨 알고리즘과 마찬가지로 천만이 나오지 않을 수 있음.
  - 쓰레드 1, 2, 4, 8개 일 때의 실행 시간을 측정하시오.
    - Release모드에서 실행
  - 아무것도 사용하지 않을 때/ <mutex>사용할 때/빵집 알고리즘을 사용할 때 결과 값과 속도를 비교 하시오.
  - Volatile을 atomic으로 변경 후 결과값과 속도를 비교 하시오
  - 제출물
    - .cpp 파일
    - 실행속도 비교표 (no Lock, mutex 사용, 빵집 알고리즘)
    - CPU의 종류 (모델명, 코어 개수, 클럭)

정리

- 멀티쓰레드에서 프로그램의 이상 동작
  - <mutex>를 사용하지 않을 경우
  - C 언어 자체의 문제
  - 컴파일러의 최적화도 문제 있음
  - volatile로 해결
- <mutex>를 사용할 경우의 성능 저하
  - Custom하게 만든 simple한 lock도 성능상의 문제가 있음.
  - 결국은 멀티쓰레드 프로그래밍을 포기해야???