

REPORT

11팀 PA2

KU 건국대학교
KONKUK UNIV.

과제명 : 캐시 교체 알고리즘 구현 및 성능 비교 분석

201611226 임 창규

201611218 이 기현

201613179 김 연이

201714154 오 병현

제출일 : 2019 . 12 . 13



1. 문제 정의

사용자로부터 임의의 데이터 세트 (양의 정수)를 입력 받아 LRU, FIFO, LFU, RDM 캐시 교체 알고리즘을 수행한 결과를 비교 분석한다. 입력 데이터의 개수와 세트 당 슬롯의 개수는 사용자로부터 입력받으며 각 알고리즘은 독립된 함수로 적중률을 반환한다. 교체 알고리즘 별 결과는 입력 패턴, 데이터 개수, 슬롯 개수를 기준으로 적중률 및 수행시간을 비교 분석한다.

2. 알고리즘 별 주요 함수 및 변수

0. 주요변수

- int dataNum: 사용자로부터 입력 받은 데이터 개수를 저장할 변수.
- int slotNum: 사용자로부터 입력 받은 슬롯 개수를 저장할 변수
- int* data: 사용자로부터 입력 받은 데이터를 저장할 int형 포인터 배열
- int* slot: 요청(입력 받은 데이터) 에 따라 주기억장치로부터 데이터를 가져와 적재하거나 데이터를 전달할 캐시 슬롯
- int* count: LRU, LFU 등의 알고리즘에서 우선순위를 결정하고자 사용하는 배열
- int* countOrder: LFU와 NEW에서 빈도수가 같을 경우 우선순위를 결정하기 위해 사용하는 배열

1. cacheAlg() 생성자

데이터 개수 dataNum 과 슬롯 개수 slotNum 을 사용자로부터 입력 받아 변수들을 동적할당하는 함수이다. 데이터들을 저장하는 int형 배열 data를 dataNum 개 만큼 동적할당한 후 데이터를 저장하고, slot, count, countOrder를 slotNum 개 만큼 동적할당한다.

2. ~cacheAlg() 소멸자

동적 할당된 변수들을 소멸시키는 함수이다.

3. int getEmptySlotNum()

slot의 원소들을 검사해 슬롯이 비었을 경우(slot[i]<0) 1씩 증가시킨 변수 int negCount=0; 을 반환한다. 즉, 빈 슬롯의 개수를 세 반환하는 함수이다.

4.int getMaxDataIndex()

우선순위를 정하기 위해 만든 배열 count에서 가장 큰 값을 갖는 인덱스를 반환한다.

5. double CacheAlg::LRU()

slot변수는 여러 교체 알고리즘 함수가 같은 slot을 공유하므로 함수 실행 시 -1로 초기화를 한다. 마찬가지로 count 를 -1로 초기화 시키고 data의 요소들을 nowData에 받아와 슬롯과 비교하는 반복문을 돌린다. slot이 하나라도 비어있을 때와 꼭 차있을 때의 알고리즘이 차이가 있으므로 getEmptySlotNum() 를 통해 slot의 full 여부를 확인한다. 빈슬롯이 있고 적중했을 경우 적중횟수와 모든 슬롯의 count값을 1 증가시킨 후 적중한 슬롯의 count에 0을 대입하고 반복문을 나간다. 빈슬롯이 있고 적중하지 못했을 경우 (data의 마지막 원소에 도달했으나 미스인 경우) nowData를 count가 처음으로 음수를 갖는 slot에 적재한다. 빈슬롯이 없고 now_data가 적중할 경우 동일하게 모든 슬롯의 count 를 1 증가시킨 후 적중 슬롯의 count에 0을 대입한다. slot이 모두 차있을 때 적중하지 않았다면 getMaxDataIndex()에 해당하는 slot에 nowData를 적재하고 모든 count를 1증가시킨 후 count[getMaxDataIndex()]을 0으로 다시 초기화한다. 알고리즘 내에서 적중할 때마다 1씩 증가시킨 hit 변수를 반복문이 종료됐을 때 dataNum으로 나누어 적중률을 구해 반환한다.

6. double CacheAlg::FIFO()

slot과 count를 -1로 초기화한다. LRU에서와 같이 empty_slot_count() 함수로 slot의 full 여부를 검사함과 동시에 조건들을 검사한다. empty_slot_count() > 0 (slot이 한 개라도 비워져있고) 이고 적중하면 hit이 증가한다. empty_slot_count() > 0 이고 적중하지 않았다면 now_data를 slot에 적재 후 count에 len-i 을 대입한다. empty_slot_count() < 0 (slot이 가득 차 있고) 이고 적중하면 hit이 증가한다. 적중하지 않았다면 now_data 적재 후 모든 count값 1증가 후 count[max_index()]에 1을 대입한다. 알고리즘이 종료하면 마찬가지로 hit를 data의 길이로 나누어 적중률을 계산한다. 그리고 계산 후 완료된 slot을 반환한다.

7. double CacheAlg::LFU()

slot과 count와 count2를 -1로 초기화한다. 여기서 count2는 적재된 데이터가 얼마나 오래동안 slot에서 자리를 차지하고 있었는가를 기록하는 새로운 변수이다. 한 개라도 비어있는 slot이 있고 now_data와 적중했다면 hit 증가 후 해당 count도 1증가시킨다. 한 개 이상 비어있고 적중하지 않았다면 slot에 now_data를 적재하고 해당 count에 1을 대입한다. 그리고 count2에 len-i 를 대입한다. 슬롯이 모두 차있고 적중했다면 hit 증가, count 증가한다. 모두 차있고 적중하지 않았다면 count에서 가장 작은 값을 먼저 찾는다. 만약 그 최소값에 해당하는 index가 하나 뿐이라면 바로 now_data를 적재한다. 그런데 최소값을 가지는 index가 2개 이상이라면 count2 를 확인하여 count2값이 가장 큰 데

터(slot을 가장 오래 차지하고 있던 블록)에 해당하는 바로 그 자리에 now_data를 적재한다. 새로 들어온 데이터는 나이가 어리므로 count2에 1을 대입하고 나머지 모든 count2들을 1씩 증가시켜 한 살씩 더먹는다. 알고리즘이 종료하면 마찬가지로 hit를 data의 길이로 나누어 적중률을 계산하고 완료된 slot을 반환한다.

8. double CacheAlg::RDM()

slot을 -1로 초기화한다. 슬롯이 비어있고 적중하면 hit 증가 후 break;, 비어있고 적중하지 않았다면 해당 slot에 now_data를 적재한다. 슬롯이 모두 차있고 적중했다면 hit이 증가하고, 모두 차있고 적중하지 않았다면 random 으로 임의의 slot 하나를 선택후 now_data를 적재한다. 마찬가지로 적중률을 저장하고 결과slot 문자열을 반환한다.

9. show*()

LRU, FIFO, LFU, RDM 의 각 입력값들과 결과캐시, 적중률 및 실행시간을 출력한다.

3. 새롭게 제안한 기법

MFU(Most Frequently Used) 알고리즘

블록교체가 자주 일어나는 것을 다양한 블록이 높은 분산율을 가졌다는 의미로 해석하여 참조되었던 횟수가 높은 블록이 바로 다음에 사용될 확률이 낮을 거라는 가정에 근거한 방법이다.

기법

- LFU와 반대로 참조되었던 횟수(사용 빈도)가 가장 많은 블록을 교체하는 방식. 즉, 각 슬롯마다 카운터가 존재하여 카운터가 가장 높은 블록이 교체됨.
- 빈도수가 같을 경우는 FIFO 방식과 동일

4. 교체 알고리즘 별 성능 비교 분석

- 알고리즘 수행 시간

| 입 력 1 | |
|-------|------|
| 데이터 수 | 11 개 |
| 슬롯 수 | 2 개 |

| | |
|-----|-----------------------|
| 데이터 | 0 1 2 4 2 3 7 2 1 3 1 |
|-----|-----------------------|

- LRU

```

LRU-----
캐시내부 : | 0 -1 | | 0 1 | | 2 1 | | 2 4 | | 2 4 | | 2 3 | | 7 3 | | 7 2 | | 1 2 | | 1 3 | | 1 3 |
결과캐시 : | 1 3 |      적중률 : 0.181818      실행시간 : 8.3049ms
-----

```

- FIFO

```

FIFO-----
캐시내부 : | 0 | | 0 1 | | 1 2 | | 2 4 | | 2 4 | | 4 3 | | 3 7 | | 7 2 | | 2 1 | | 1 3 | | 1 3 |
결과캐시 : | 1 3 |      적중률 : 0.181818      실행시간 : 6.8903ms
-----

```

- LFU

```

LFU-----
캐시내부 : | 0 -1 | | 0 1 | | 2 1 | | 2 4 | | 2 4 | | 2 3 | | 2 7 | | 2 7 | | 2 1 | | 2 3 | | 2 1 |
결과캐시 : | 2 1 |      적중률 : 0.181818      실행시간 : 5.3456ms
-----

```

- RDM

```

RDM-----
캐시내부 : | 0 -1 | | 0 1 | | 0 2 | | 0 4 | | 0 2 | | 0 3 | | 7 3 | | 2 3 | | 1 3 | | 1 3 | | 1 3 |
결과캐시 : | 1 3 |      적중률 : 0.181818      실행시간 : 7.3351ms
-----

```

- NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 0 -1 | | 0 1 | | 2 1 | | 2 4 | | 2 4 | | 3 4 | | 3 7 | | 2 7 | | 2 1 | | 3 1 | | 3 1 |
결과캐시 : | 3 1 |      적중률 : 0.181818      실행시간 : 6.3087ms
-----

```

| 입 력 2 | | | | | | | | | | | |
|-------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| 데이터 수 | 12 개 | | | | | | | | | | |
| 슬롯 수 | 4 개 | | | | | | | | | | |
| 데이터 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 4 | 5 | 4 | 7 | 4 1 |

- LRU

```

LRU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 | | 1 2 -1 -1 | | 1 2 -1 -1 | | 1 2 -1 -1 | | 1 2 3 -1 | | 1
2 3 -1 | | 1 2 3 4 | | 1 5 3 4 | | 1 5 3 4 | | 1 5 7 4 | | 1 5 7 4 | | 1 5 7 4 |
결과캐시 : | 1 5 7 4 |      적중률 : 0.5      실행시간 : 17.449ms
-----

```

- FIFO

```

FIFO-----
캐시내부 : | 1 || 1 2 || 1 2 || 1 2 || 1 2 3 || 1 2 3 || 1 2 3 4 || 2 3 4 5 ||
2 3 4 5 || 3 4 5 7 || 3 4 5 7 || 4 5 7 1 |
결과캐시 : | 4 5 7 1 | 적중률 : 0.416667 실행시간 : 6.4728ms

```

- LFU

```

LFU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 3 -1 || 1
2 3 -1 || 1 2 3 4 || 1 2 5 4 || 1 2 5 4 || 1 2 7 4 || 1 2 7 4 || 1 2 7 4 |
결과캐시 : | 1 2 7 4 | 적중률 : 0.5 실행시간 : 8.8487ms

```

- RDM

```

RDM-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 3 -1 || 1
2 3 -1 || 1 2 3 4 || 1 2 5 4 || 1 2 5 4 || 1 2 5 7 || 1 4 5 7 || 1 4 5 7 |
결과캐시 : | 1 4 5 7 | 적중률 : 0.416667 실행시간 : 11.8313ms

```

- NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 3 -1 || 1
2 3 -1 || 1 2 3 4 || 5 2 3 4 || 5 2 3 4 || 5 7 3 4 || 5 7 3 4 || 5 7 3 1 |
결과캐시 : | 5 7 3 1 | 적중률 : 0.416667 실행시간 : 8.736ms

```

| 입 력 3 | |
|-------|-------------------------|
| 데이터 수 | 12 개 |
| 슬롯 수 | 4 개 |
| 데이터 | 2 8 7 4 6 1 2 4 2 1 3 5 |

- LRU

```

LRU-----
캐시내부 : | 2 -1 -1 -1 | | 2 8 -1 -1 | | 2 8 7 -1 | | 2 8 7 4 | | 6 8 7 4 | | 6 1 7 4 | | 6 1 2 4 |
| 6 1 2 4 | | 6 1 2 4 | | 6 1 2 4 | | 3 1 2 4 | | 3 1 2 5 |
결과캐시 : | 3 1 2 5 | 적중률 : 0.25 실행시간 : 11.2824ms

```

- FIFO

```

FIFO-----
캐시내부 : | 2 || 2 8 || 2 8 7 || 2 8 7 4 || 8 7 4 6 || 7 4 6 1 || 4 6 1 2 || 4 6 1 2 || 4 6
1 2 || 4 6 1 2 || 6 1 2 3 || 1 2 3 5 |
결과캐시 : | 1 2 3 5 | 적중률 : 0.25 실행시간 : 7.5424ms

```

- LFU

```
LFU-----
캐시내부 : | 2 -1 -1 -1 || 2 8 -1 -1 || 2 8 7 -1 || 2 8 7 4 || 6 8 7 4 || 6 1 7 4 || 6 1 2 4
|| 6 1 2 4 || 6 1 2 4 || 6 1 2 4 || 3 1 2 4 || 5 1 2 4 |
결과캐시 : | 5 1 2 4 |   적중률 : 0.25   실행시간 : 9.0821ms
-----
```

- RDM

```
RDM-----
캐시내부 : | 2 -1 -1 -1 || 2 8 -1 -1 || 2 8 7 -1 || 2 8 7 4 || 6 8 7 4 || 1 8 7 4 || 1 2 7 4
|| 1 2 7 4 || 1 2 7 4 || 1 2 7 4 || 1 2 7 3 || 1 2 5 3 |
결과캐시 : | 1 2 5 3 |   적중률 : 0.25   실행시간 : 11.0789ms
-----
```

- NEW

```
NEW-----
캐시내부 : | 2 -1 -1 -1 || 2 8 -1 -1 || 2 8 7 -1 || 2 8 7 4 || 6 8 7 4 || 6 1 7 4 || 6 1 2 4
|| 6 1 2 4 || 6 1 2 4 || 6 1 2 4 || 6 1 2 3 || 6 5 2 3 |
결과캐시 : | 6 5 2 3 |   적중률 : 0.25   실행시간 : 9.5884ms
-----
```

| 입 력 4 | |
|-------|---|
| 데이터 수 | 20 개 |
| 슬롯 수 | 5 개 |
| 데이터 | 2 3 4 2 6 4 5 2 1 3 2 6 1 4 2 3 1 2 4 5 |

- LRU

```
LRU-----
캐시내부 : | 2 -1 -1 -1 -1 | | 2 3 -1 -1 -1 | | 2 3 4 -1 -1 | | 2 3 4 -1 -1 | | 2 3 4 6
-1 | | 2 3 4 6 -1 | | 2 3 4 6 5 | | 2 3 4 6 5 | | 2 1 4 6 5 | | 2 1 4 3 5 | | 2 1 4 3 5
| | 2 1 6 3 5 | | 2 1 6 3 5 | | 2 1 6 3 4 | | 2 1 6 3 4 | | 2 1 6 3 4 | | 2 1 6 3 4 | |
2 1 6 3 4 | | 2 1 6 3 4 | | 2 1 5 3 4 |
결과캐시 : | 2 1 5 3 4 |   적중률 : 0.5   실행시간 : 17.8767ms
-----
```

- FIFO

```
FIFO-----
캐시내부 : | 2 || 2 3 || 2 3 4 || 2 3 4 || 2 3 4 6 || 2 3 4 6 || 2 3 4 6 5 || 2 3
4 6 5 || 3 4 6 5 1 || 3 4 6 5 1 || 4 6 5 1 2 || 4 6 5 1 2 || 4 6 5 1 2 || 4 6 5 1
2 || 4 6 5 1 2 || 6 5 1 2 3 || 6 5 1 2 3 || 6 5 1 2 3 || 5 1 2 3 4 || 5 1 2 3 4 |
결과캐시 : | 5 1 2 3 4 |   적중률 : 0.55   실행시간 : 13.4593ms
-----
```

- LFU

```

LFU-----
캐시내부 : | 2 -1 -1 -1 -1 || 2 3 -1 -1 -1 || 2 3 4 -1 -1 || 2 3 4 -1 -1 || 2 3 4
6 -1 || 2 3 4 6 -1 || 2 3 4 6 5 || 2 3 4 6 5 || 2 1 4 6 5 || 2 1 4 3 5 || 2 1 4 3
5 || 2 1 4 3 6 || 2 1 4 3 6 || 2 1 4 3 6 || 2 1 4 3 6 || 2 1 4 3 6 || 2 1 4 3 6 ||
2 1 4 3 6 || 2 1 4 3 6 || 2 1 4 3 5 |
결과캐시 : | 2 1 4 3 5 |          적중률 : 0.55   실행시간 : 15.9821ms

```

- RDM

```

RDM-----
캐시내부 : | 2 -1 -1 -1 -1 || 2 3 -1 -1 -1 || 2 3 4 -1 -1 || 2 3 4 -1 -1 || 2 3 4
6 -1 || 2 3 4 6 -1 || 2 3 4 6 5 || 2 3 4 6 5 || 2 3 4 6 1 || 2 3 4 6 1 || 2 3 4 6
1 || 2 3 4 6 1 || 2 3 4 6 1 || 2 3 4 6 1 || 2 3 4 6 1 || 2 3 4 6 1 || 2 3 4 6 1 ||
2 3 4 6 1 || 2 3 4 6 1 || 2 3 4 6 5 |
결과캐시 : | 2 3 4 6 5 |          적중률 : 0.65   실행시간 : 18.7574ms

```

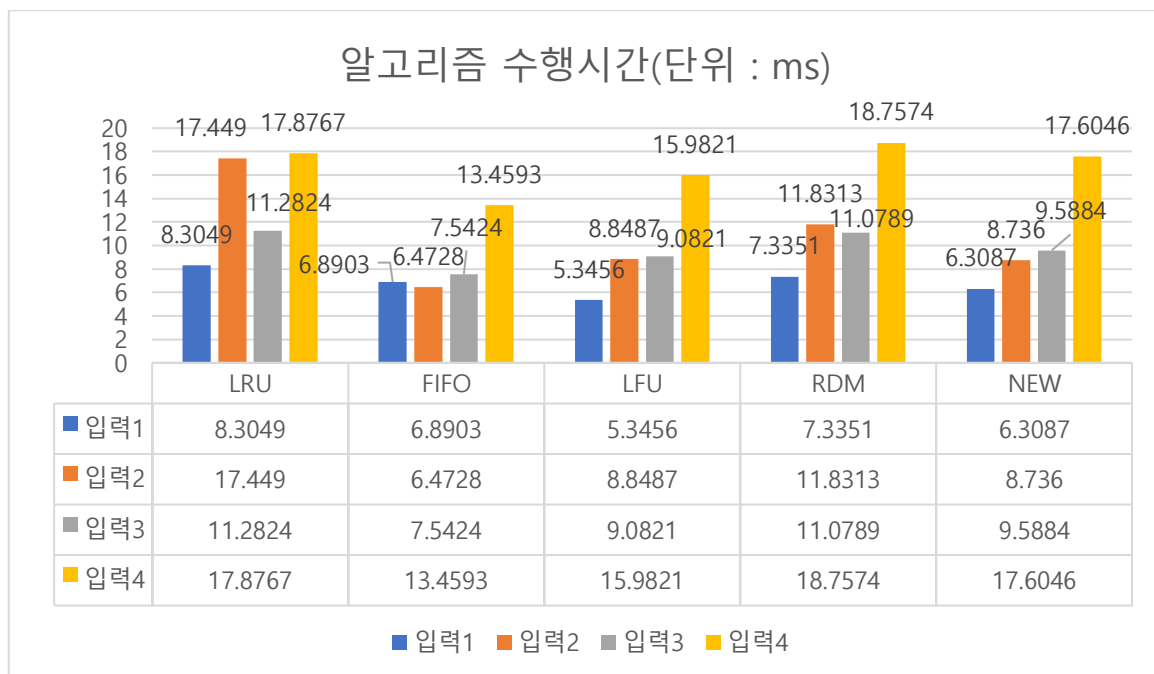
- NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 2 -1 -1 -1 -1 || 2 3 -1 -1 -1 || 2 3 4 -1 -1 || 2 3 4 -1 -1 || 2 3 4
6 -1 || 2 3 4 6 -1 || 2 3 4 6 5 || 2 3 4 6 5 || 1 3 4 6 5 || 1 3 4 6 5 || 1 2 4 6
5 || 1 2 4 6 5 || 1 2 4 6 5 || 1 2 4 6 5 || 1 2 4 6 5 || 1 2 3 6 5 || 1 2 3 6 5 ||
1 2 3 6 5 || 4 2 3 6 5 || 4 2 3 6 5 |
결과캐시 : | 4 2 3 6 5 |          적중률 : 0.55   실행시간 : 17.6046ms

```

- 결과 분석 -



: 알고리즘 수행시간은 대략적으로 데이터 수에 비례한다는 것을 확인할 수 있으며, 같은 입력안에서는 대체적으로 LRU가 가장 높은 수행시간이 걸리는 것을 볼 수 있다. 그리고 같은 데이터, 슬롯 개수 하에서 실행한 입력2, 입력3에서 LRU 적중률은

입력2>입력3인 반면 LRU 수행시간은 입력2<입력3 이다. 또한 FIFO에서도 적중률과 수행시간에 있어서 두 입력간에 대소관계가 반대인 것으로 보아 적중률과 수행시간 간에는 크게 관련이 없다는 것을 확인하였다.

- 입력 패턴에 따른 적중률 비교

| 입 력 1 | |
|-------|--|
| 데이터 수 | 20 개 |
| 슬롯 수 | 4 개 |
| 데이터 | (1~5 랜덤생성) 1 3 5 3 4 1 1 2 4 5 3 1 3 4 2 5 1 3 2 4 |

- LRU

```
LRU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 | | 1 3 -1 -1 | | 1 3 5 -1 | | 1 3 5 -1 | | 1 3 5 4 | | 1 3
5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 2 4 | | 1 3 2 4 | | 1 5 2 4 | | 3 5 2 4 | | 3 5 1 4 | | 3 5
1 4 | | 3 5 1 4 | | 3 2 1 4 | | 3 2 5 4 | | 1 2 5 4 | | 1 2 5 3 | | 1 2 5 3 | | 1 2
4 3 |
결과캐시 : | 1 2 4 3 | 적중률 : 0.35 실행시간 : 14.841ms
-----
```

- FIFO

```
FIFO-----
캐시내부 : | 1 | | 1 3 | | 1 3 5 | | 1 3 5 | | 1 3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 3
5 4 2 | | 3 5 4 2 | | 3 5 4 2 | | 3 5 4 2 | | 5 4 2 1 | | 4 2 1 3 | | 4 2 1 3 | | 4
2 1 3 | | 2 1 3 5 | | 2 1 3 5 | | 2 1 3 5 | | 2 1 3 5 | | 1 3 5 4 |
결과캐시 : | 1 3 5 4 | 적중률 : 0.55 실행시간 : 12.0226ms
-----
```

- LFU

```
LFU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 | | 1 3 -1 -1 | | 1 3 5 -1 | | 1 3 5 -1 | | 1 3 5 4 | | 1
3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 2 4 | | 1 3 2 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1
3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 2 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 2 4 | | 1
3 2 4 |
결과캐시 : | 1 3 2 4 | 적중률 : 0.55 실행시간 : 12.8906ms
-----
```

- RDM

```
RDM-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 | | 1 3 -1 -1 | | 1 3 5 -1 | | 1 3 5 -1 | | 1 3 5 4 | | 1
3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 2 4 | | 1 3 2 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1
3 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 2 5 4 | | 1 2 5 4 | | 1 2 5 4 | | 1 3 5 4 | | 1 2 5 4 | | 1
2 5 4 |
결과캐시 : | 1 2 5 4 | 적중률 : 0.55 실행시간 : 16.0858ms
-----
```

- NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 || 1 3 -1 -1 || 1 3 5 -1 || 1 3 5 -1 || 1 3 5 4 || 1
3 5 4 || 1 3 5 4 || 2 3 5 4 || 2 3 5 4 || 2 3 5 4 || 2 3 5 4 || 2 1 5 4 || 2
1 3 4 || 2 1 3 4 || 2 1 3 4 || 2 1 3 5 || 2 1 3 5 || 2 1 3 5 || 2 1 3 5 || 4
1 3 5 |
결과캐시 : | 4 1 3 5 |   적중률 : 0.55   실행시간 : 13.3664ms
-----

```

| 입 력 2 | |
|-------|--|
| 데이터 수 | 20 개 |
| 슬롯 수 | 5 개 |
| 데이터 | (1~9 랜덤생성) 8 4 7 3 2 3 1 7 5 4 4 9 2 6 8 1 6 7 2 6 |

- LRU

```

LRU-----
캐시내부 : | 8 -1 -1 -1 -1 | | 8 4 -1 -1 -1 | | 8 4 7 -1 -1 | | 8 4 7 3 -1 | | 8 4 7
3 2 | | 8 4 7 3 2 | | 1 4 7 3 2 | | 1 4 7 3 2 | | 1 5 7 3 2 | | 1 5 7 3 4 | | 1 5 7
3 4 | | 1 5 7 9 4 | | 2 5 7 9 4 | | 2 5 6 9 4 | | 2 8 6 9 4 | | 2 8 6 9 1 | | 2 8 6 9
1 | | 2 8 6 7 1 | | 2 8 6 7 1 | | 2 8 6 7 1 |
결과캐시 : | 2 8 6 7 1 |   적중률 : 0.3   실행시간 : 24.7965ms
-----

```

- FIFO

```

FIFO-----
캐시내부 : | 8 || 8 4 || 8 4 7 || 8 4 7 3 || 8 4 7 3 2 || 8 4 7 3 2 || 4 7 3 2
1 || 4 7 3 2 1 || 7 3 2 1 5 || 3 2 1 5 4 || 3 2 1 5 4 || 2 1 5 4 9 || 2 1 5 4 9
|| 1 5 4 9 6 || 5 4 9 6 8 || 4 9 6 8 1 || 4 9 6 8 1 || 9 6 8 1 7 || 6 8 1 7 2
|| 6 8 1 7 2 |
결과캐시 : | 6 8 1 7 2 |   적중률 : 0.3   실행시간 : 18.1504ms
-----

```

- LFU

```

LFU-----
캐시내부 : | 8 -1 -1 -1 -1 || 8 4 -1 -1 -1 || 8 4 7 -1 -1 || 8 4 7 3 -1 || 8 4
7 3 2 || 8 4 7 3 2 || 1 4 7 3 2 || 1 4 7 3 2 || 1 5 7 3 2 || 1 5 7 3 4 || 1 5 7
3 4 || 9 5 7 3 4 || 9 2 7 3 4 || 6 2 7 3 4 || 6 8 7 3 4 || 1 8 7 3 4 || 1 6 7
3 4 || 1 6 7 3 4 || 2 6 7 3 4 || 2 6 7 3 4 |
결과캐시 : | 2 6 7 3 4 |   적중률 : 0.25   실행시간 : 20.57ms
-----

```

- RDM

```

RDM-----
캐시내부 : | 8 -1 -1 -1 -1 || 8 4 -1 -1 -1 || 8 4 7 -1 -1 || 8 4 7 3 -1 || 8 4
7 3 2 || 8 4 7 3 2 || 8 4 7 3 1 || 8 4 7 3 1 || 8 4 5 3 1 || 8 4 5 3 1 || 8 4 5
3 1 || 8 9 5 3 1 || 8 9 2 3 1 || 8 6 2 3 1 || 8 6 2 3 1 || 8 6 2 3 1 || 8 6 2
3 1 || 8 6 2 7 1 || 8 6 2 7 1 || 8 6 2 7 1 |
결과캐시 : | 8 6 2 7 1 |          적중률 : 0.45   실행시간 : 22.3221ms

```

- NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 8 -1 -1 -1 -1 || 8 4 -1 -1 -1 || 8 4 7 -1 -1 || 8 4 7 3 -1 || 8 4
7 3 2 || 8 4 7 3 2 || 8 4 7 1 2 || 8 4 7 1 2 || 8 4 5 1 2 || 8 4 5 1 2 || 8 4 5
1 2 || 8 9 5 1 2 || 8 9 5 1 2 || 8 9 5 1 6 || 8 9 5 1 6 || 8 9 5 1 6 || 8 9 5
1 6 || 7 9 5 1 6 || 7 9 5 2 6 || 7 9 5 2 6 |
결과캐시 : | 7 9 5 2 6 |          적중률 : 0.45   실행시간 : 21.9516ms

```

| 입 력 3 | |
|-------|---|
| 데이터 수 | 20 개 |
| 슬롯 수 | 4 개 |
| 데이터 | 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 |

- LRU

```

LRU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 -1 | | 1 2 -1 -1 -1 | | 1 2 3 -1 -1 | | 1 2 3 4 -1 | | 5 2 3 4 | | 5 1
3 4 | | 5 1 2 4 | | 5 1 2 3 | | 4 1 2 3 | | 4 5 2 3 | | 4 5 1 3 | | 4 5 1 2 | | 3 5
1 2 | | 3 4 1 2 | | 3 4 5 2 | | 3 4 5 1 | | 2 4 5 1 | | 2 3 5 1 | | 2 3 4 1 | | 2 3
4 5 |
결과캐시 : | 2 3 4 5 |   적중률 : 0       실행시간 : 14.7868ms

```

- FIFO

```

FIFO-----
캐시내부 : | 1 | | 1 2 | | 1 2 3 | | 1 2 3 4 | | 2 3 4 5 | | 3 4 5 1 | | 4 5 1 2 | |
5 1 2 3 | | 1 2 3 4 | | 2 3 4 5 | | 3 4 5 1 | | 4 5 1 2 | | 5 1 2 3 | | 1 2 3 4 | |
2 3 4 5 | | 3 4 5 1 | | 4 5 1 2 | | 5 1 2 3 | | 1 2 3 4 | | 2 3 4 5 |
결과캐시 : | 2 3 4 5 |   적중률 : 0       실행시간 : 11.0563ms

```

- LFU

```

LFU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 -1 || 1 2 3 -1 -1 || 1 2 3 4 -1 || 5 2 3 4 || 5 1
3 4 || 5 1 2 4 || 5 1 2 3 || 4 1 2 3 || 4 5 2 3 || 4 5 1 3 || 4 5 1 2 || 3 5
1 2 || 3 4 1 2 || 3 4 5 2 || 3 4 5 1 || 2 4 5 1 || 2 3 5 1 || 2 3 4 1 || 2 3
4 5 |
결과캐시 : | 2 3 4 5 |   적중률 : 0       실행시간 : 13.0845ms

```

- RDM

```

RDM-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 3 -1 || 1 2 3 4 || 1 2 5 4 || 1 2
5 4 || 1 2 5 4 || 3 2 5 4 || 3 2 5 4 || 3 2 5 4 || 1 2 5 4 || 1 2 5 4 || 1 2
5 3 || 1 4 5 3 || 1 4 5 3 || 1 4 5 3 || 1 4 2 3 || 1 4 2 3 || 1 4 2 3 || 5 4
2 3 |
결과캐시 : | 5 4 2 3 |   적중률 : 0.45   실행시간 : 16.5909ms
-----

```

- NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 3 -1 || 1 2 3 4 || 5 2 3 4 || 5 1
3 4 || 5 1 2 4 || 5 1 2 3 || 4 1 2 3 || 4 5 2 3 || 4 5 1 3 || 4 5 1 2 || 3 5
1 2 || 3 4 1 2 || 3 4 5 2 || 3 4 5 1 || 2 4 5 1 || 2 3 5 1 || 2 3 4 1 || 2 3
4 5 |
결과캐시 : | 2 3 4 5 |   적중률 : 0   실행시간 : 12.0082ms
-----

```

| 입 력 4 | |
|-------|---|
| 데이터 수 | 20 개 |
| 슬롯 수 | 4 개 |
| 데이터 | 1 2 7 8 7 8 7 8 4 1 2 7 8 7 8 7 8 4 1 2 |

- LRU

```

LRU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 | | 1 2 -1 -1 | | 1 2 7 -1 | | 1 2 7 8 | | 1 2 7 8 | | 1 2
7 8 | | 1 2 7 8 | | 1 2 7 8 | | 4 2 7 8 | | 4 1 7 8 | | 4 1 2 8 | | 4 1 2 7 | | 8 1
2 7 | | 8 1 2 7 | | 8 1 2 7 | | 8 1 2 7 | | 8 1 2 7 | | 8 4 2 7 | | 8 4 1 7 | | 8 4
1 2 |
결과캐시 : | 8 4 1 2 |   적중률 : 0.4   실행시간 : 22.3719ms
-----

```

- FIFO

```

FIFO-----
캐시내부 : | 1 | | 1 2 | | 1 2 7 | | 1 2 7 8 | | 1 2 7 8 | | 1 2 7 8 | | 1 2 7 8 | |
1 2 7 8 | | 2 7 8 4 | | 7 8 4 1 | | 8 4 1 2 | | 4 1 2 7 | | 1 2 7 8 | | 1 2 7 8 | |
1 2 7 8 | | 1 2 7 8 | | 1 2 7 8 | | 2 7 8 4 | | 7 8 4 1 | | 8 4 1 2 | |
결과캐시 : | 8 4 1 2 |   적중률 : 0.4   실행시간 : 14.2652ms
-----

```

- LFU

```

LFU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 7 -1 || 1 2 7 8 || 1 2 7 8 || 1 2
7 8 || 1 2 7 8 || 1 2 7 8 || 4 2 7 8 || 4 1 7 8 || 2 1 7 8 || 2 1 7 8 || 2 1
7 8 || 2 1 7 8 || 2 1 7 8 || 2 1 7 8 || 2 1 7 8 || 2 4 7 8 || 1 4 7 8 || 1 2
7 8 |
결과캐시 : | 1 2 7 8 |   적중률 : 0.5   실행시간 : 15.368ms

```

- RDM

```

RDM-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 7 -1 || 1 2 7 8 || 1 2 7 8 || 1 2
7 8 || 1 2 7 8 || 1 2 7 8 || 1 2 4 8 || 1 2 4 8 || 1 2 4 8 || 7 2 4 8 || 7 2
4 8 || 7 2 4 8 || 7 2 4 8 || 7 2 4 8 || 7 2 4 8 || 7 2 4 8 || 7 2 4 1 || 7 2
4 1 |
결과캐시 : | 7 2 4 1 |   적중률 : 0.65   실행시간 : 18.9672ms

```

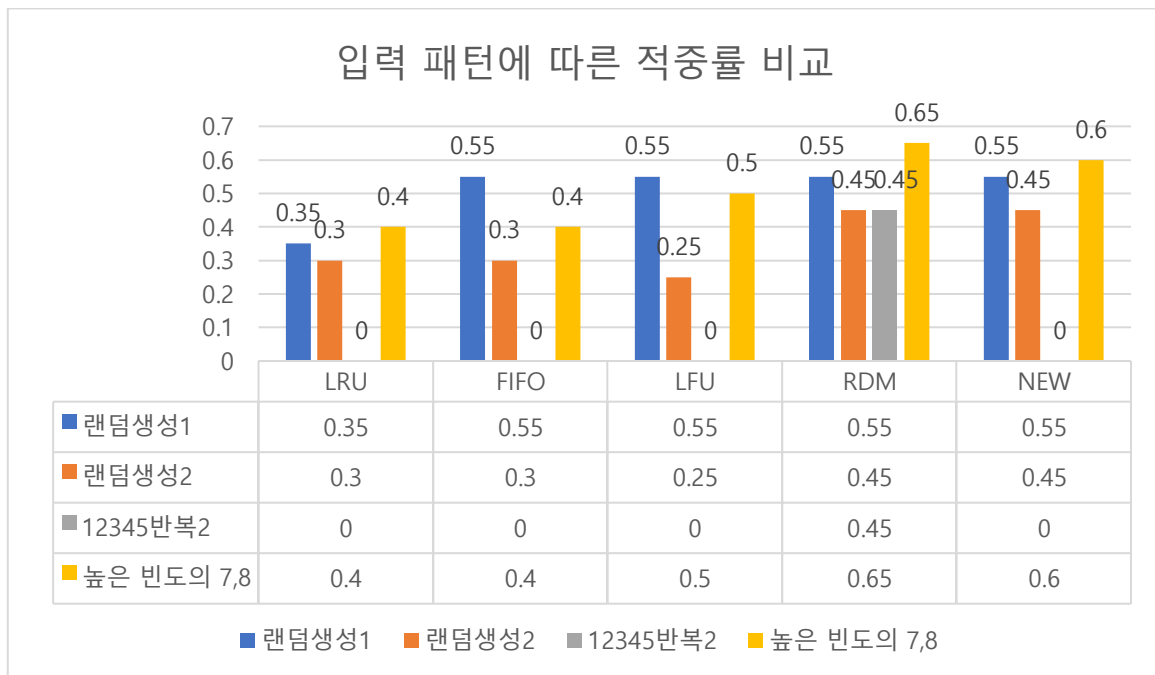
- NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 || 1 2 7 -1 || 1 2 7 8 || 1 2 7 8 || 1 2
7 8 || 1 2 7 8 || 1 2 7 8 || 1 2 4 8 || 1 2 4 8 || 1 2 4 8 || 1 2 4 7 || 8 2
4 7 || 8 2 4 7 || 8 2 4 7 || 8 2 4 7 || 8 2 4 7 || 8 2 4 7 || 8 2 4 1 || 8 2
4 1 |
결과캐시 : | 8 2 4 1 |   적중률 : 0.6   실행시간 : 15.5361ms

```

- 결과 분석-



: 먼저 데이터 값을 랜덤으로 생성한 경우, 각 알고리즘 별로 큰 차이가 없다는 것을 확인할 수 있으며, 각 입력 데이터가 어떤 알고리즘에 유리하게 들어오는지에 따라

적중률이 다양하다. 또다른 패턴으로 12345를 반복해서 20개를 입력한 경우, RDM 이외의 알고리즘에서는 적중률이 0을 기록했다. 이는 슬롯이 4개 이기 때문에, LRU에서는 방금 교체가 된 블록이 바로 다음에 호출이 되면서 적중을 못하게 되기 때문이며, FIFO에서도 마찬가지로 방금전에 가장 오래되어서 사라진 블록이 바로 다음에 호출이 되면서 적중을 피해가기 때문이다. LFU나 NEW도 모든 카운터가 동일하기 때문에 FIFO와 같은 방식이다. 마지막으로 입력 데이터에서 특정 블록(7,8)의 빈도수가 높은 경우, LRU와 FIFO의 적중률이 낮은 이유는 반복되는 형태의 입력패턴에서 바로 다음에 호출될 블록이 바로 직전에 교체되어 사라지기 때문이다. 그리고 특정데이터(7,8)가 반복되는 입력 데이터 이기 때문에 카운터가 높은 값을 교체하는 MFU가 적중률이 낮을거라 예상했던 것과 반대로 오히려 MFU가 LFU보다 적중률이 높게 나온 것을 볼 수 있다.

- 데이터 개수에 따른 적중률 비교 (데이터 슬롯 4개)

1. 입력 데이터(0~19 사이의 수 10개 랜덤 생성): 1 7 14 0 9 4 18 18 2 4

>>LRU

```
LRU
캐시내부 :
| 1 |   | 1 7 | | 1 7 14 |   | 1 7 14 0 |   | 9 7 14 0 |
| 9 4 14 0 |   | 9 4 18 0 |   | 9 4 18 0 |   | 9 4 18 2 |   | 9 4 18 2 |
결과캐시 : | 9 4 18 2 |   적중률 : 0.2   실행시간 : 6.1055ms
```

>>RDM

```
RDM
캐시내부 : | 1 |   | 1 7 | | 1 7 14 |   | 1 7 14 0 |   | 1 7 9 0 |
| 1 7 4 0 |   | 18 7 4 0 |   | 18 7 4 0 |   | 2 7 4 0 |   | 2 7 4 0 |
결과캐시 : | 2 7 4 0 |   적중률 : 0.2   실행시간 : 4.6816ms
```

>>FIFO

```
FIFO
캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 7 14 0 9 | | 14 0 9 4 | | 0 9 4 18 |
| 0 9 4 18 | | 9 4 18 2 | | 9 4 18 2 |
결과캐시 : | 9 4 18 2 |   적중률 : 0.2   실행시간 : 2.8774ms
```

>>LFU

```
LFU
캐시내부 : | 1 |   | 1 7 | | 1 7 14 |   | 1 7 14 0 |   | 9 7 14 0 |
| 9 4 14 0 |   | 9 4 18 0 |   | 9 4 18 0 |   | 9 4 18 2 |   | 9 4 18 2 |
결과캐시 : | 9 4 18 2 |   적중률 : 0.2   실행시간 : 3.2293ms
```

>>NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 9 7 14 0 |
| 9 4 14 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 2 0 | | 9 4 2 0 |
결과캐시 : | 9 4 2 0 |   적중률 : 0.2   실행시간 : 4.0002ms
-----

```

2. 입력 데이터(0~19 사이의 수 40개 랜덤 생성)

: 1 7 14 0 9 4 18 18 2 4 5 5 1 7 1 11 15 2 7 16 11 4 2 13 12 2 1 16 18 15 7 6 11 18 9 12
7 19 15 14

>>LRU

```

LRU-----
캐시내부 :
| 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 9 7 14 0 |
| 9 4 14 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 2 | | 9 4 18 2 |
| 5 4 18 2 | | 5 4 18 2 | | 5 4 1 2 | | 5 4 1 7 | | 5 4 1 7 |
| 5 11 1 7 | | 15 11 1 7 | | 15 11 1 2 | | 15 11 7 2 | | 15 16 7 2 |
| 11 16 7 2 | | 11 16 7 4 | | 11 16 2 4 | | 11 13 2 4 | | 12 13 2 4 |
| 12 13 2 4 | | 12 13 2 1 | | 12 16 2 1 | | 18 16 2 1 | | 18 16 15 1 |
| 18 16 15 7 | | 18 6 15 7 | | 11 6 15 7 | | 11 6 18 7 | | 11 6 18 9 |
| 11 12 18 9 | | 7 12 18 9 | | 7 12 19 9 | | 7 12 19 15 | | 7 14 19 15 |
결과캐시 : | 7 14 19 15 |   적중률 : 0.125   실행시간 : 16.7509ms
-----

```

>>RDM

```

RDM-----
캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 1 9 14 0 |
| 1 4 14 0 | | 1 4 18 0 | | 1 4 18 0 | | 2 4 18 0 | | 2 4 18 0 |
| 2 5 18 0 | | 2 5 18 0 | | 2 5 18 1 | | 2 5 18 7 | | 2 5 18 1 |
| 2 11 18 1 | | 2 11 15 1 | | 2 11 15 1 | | 2 11 7 1 | | 2 11 7 16 |
| 2 11 7 16 | | 2 11 4 16 | | 2 11 4 16 | | 2 11 4 13 | | 2 12 4 13 |
| 2 12 4 13 | | 2 12 4 1 | | 2 12 16 1 | | 18 12 16 1 | | 18 12 15 1 |
| 18 12 15 7 | | 18 6 15 7 | | 18 11 15 7 | | 18 11 15 7 | | 9 11 15 7 |
| 9 11 15 12 | | 7 11 15 12 | | 7 11 15 19 | | 7 11 15 19 | | 14 11 15 19 |
결과캐시 : | 14 11 15 19 |   적중률 : 0.225   실행시간 : 13.8415ms
-----

```

>>FIFO

```

FIFO-----
캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 7 14 0 9 | | 14 0 9 4 | | 0 9 4 18 |
| 0 9 4 18 | | 9 4 18 2 | | 9 4 18 2 | | 4 18 2 5 | | 4 18 2 5 | | 18 2 5 1 | | 2 5 1 7 |
| 2 5 1 7 | | 5 1 7 11 | | 1 7 11 15 | | 7 11 15 2 | | 7 11 15 2 | | 11 15 2 16 | | 11 1
5 2 16 | | 15 2 16 4 | | 15 2 16 4 | | 2 16 4 13 | | 16 4 13 12 | | 4 13 12 2 | | 13 12
2 1 | | 12 2 1 16 | | 2 1 16 18 | | 1 16 18 15 | | 16 18 15 7 | | 18 15 7 6 | | 15 7 6 1
1 | | 7 6 11 18 | | 6 11 18 9 | | 11 18 9 12 | | 18 9 12 7 | | 9 12 7 19 | | 12 7 19 15
| | 7 19 15 14 |
결과캐시 : | 7 19 15 14 |   적중률 : 0.175   실행시간 : 13.5232ms
-----

```

>>LFU

```

LFU
-----
캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 9 7 14 0 |
| 9 4 14 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 2 | | 9 4 18 2 |
| 5 4 18 2 | | 5 4 18 2 | | 5 4 18 1 | | 5 4 18 7 | | 5 4 18 1 |
| 5 4 18 11 | | 5 4 18 15 | | 5 4 18 2 | | 5 4 18 7 | | 5 4 18 16 |
| 5 4 18 11 | | 5 4 18 11 | | 5 4 18 2 | | 5 4 18 13 | | 5 4 18 12 |
| 5 4 18 2 | | 5 4 18 1 | | 5 4 18 16 | | 5 4 18 16 | | 5 4 18 15 |
| 5 4 18 7 | | 5 4 18 6 | | 5 4 18 11 | | 5 4 18 11 | | 5 4 18 9 |
| 5 4 18 12 | | 5 4 18 7 | | 5 4 18 19 | | 5 4 18 15 | | 5 4 18 14 |
-----
결과캐시 : | 5 4 18 14 | | | | | |
적중률 : 0.15 | 실행시간 : 18.835ms
-----

```

>>NEW

```

NEW
-----
캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 9 7 14 0 |
| 9 4 14 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 2 0 | | 9 4 2 0 |
| 9 5 2 0 | | 9 5 2 0 | | 9 1 2 0 | | 9 1 2 7 | | 9 1 2 7 |
| 9 11 2 7 | | 15 11 2 7 | | 15 11 2 7 | | 15 11 2 7 | | 15 11 16 7 |
| 15 11 16 7 | | 15 11 16 4 | | 15 2 16 4 | | 13 2 16 4 | | 13 2 12 4 |
| 13 2 12 4 | | 13 1 12 4 | | 13 1 12 16 | | 18 1 12 16 | | 18 1 15 16 |
| 18 7 15 16 | | 18 7 15 6 | | 11 7 15 6 | | 11 7 18 6 | | 11 9 18 6 |
| 11 9 18 12 | | 7 9 18 12 | | 7 9 19 12 | | 7 15 19 12 | | 7 15 19 14 |
-----
결과캐시 : | 7 15 19 14 | | | | | |
적중률 : 0.2 | 실행시간 : 18.974ms
-----

```

3. 입력 데이터(0~19 사이의 수 100개 랜덤 생성)

: 1 7 14 0 9 4 18 18 2 4 5 5 1 7 1 11 15 2 7 16 11 4 2 13 12 2 1 16 18 15 7 6 11 18 9 12
7 19 15 14 3 11 2 13 13 4 1 11 13 8 7 4 2 17 17 19 3 1 9 18 16 15 10 2 8 6 0 2 4 8 6 5
10 9 10 10 6 1 13 8 9 3 4 14 16 0 6 16 11 8 4 19 6 3 17 18 18 2 9 1

>> LRU

```

LRU
-----
캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 9 7 14 0 |
| 9 4 14 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 2 | | 9 4 18 2 |
| 5 4 18 2 | | 5 4 18 2 | | 5 4 1 2 | | 5 4 1 7 | | 5 4 1 7 |
| 5 11 1 7 | | 15 11 1 7 | | 15 11 1 2 | | 15 11 7 2 | | 15 16 7 2 |
| 11 16 7 2 | | 11 16 7 4 | | 11 16 2 4 | | 11 13 2 4 | | 12 13 2 4 |
| 12 13 2 4 | | 12 13 2 1 | | 12 16 2 1 | | 18 16 2 1 | | 18 16 15 1 |
| 18 16 15 7 | | 18 6 15 7 | | 11 6 15 7 | | 11 6 18 7 | | 11 6 18 9 |
| 11 12 18 9 | | 7 12 18 9 | | 7 12 19 9 | | 7 12 19 15 | | 7 14 19 15 |
| 3 14 19 15 | | 3 14 11 15 | | 3 14 11 2 | | 3 13 11 2 | | 3 13 11 2 |
| 4 13 11 2 | | 4 13 1 2 | | 4 13 1 11 | | 4 13 1 11 | | 8 13 1 11 |
| 8 13 7 11 | | 8 13 7 4 | | 8 2 7 4 | | 17 2 7 4 | | 17 2 7 4 |
| 17 2 19 4 | | 17 2 19 3 | | 17 1 19 3 | | 9 1 19 3 | | 9 1 18 3 |
| 9 1 18 16 | | 9 15 18 16 | | 10 15 18 16 | | 10 15 2 16 | | 10 15 2 8 |
| 10 6 2 8 | | 0 6 2 8 | | 0 6 2 8 | | 0 6 2 4 | | 0 8 2 4 |
| 6 8 2 4 | | 6 8 5 4 | | 6 8 5 10 | | 6 9 5 10 | | 6 9 5 10 |
| 6 9 5 10 | | 6 9 5 10 | | 6 9 1 10 | | 6 13 1 10 | | 6 13 1 8 |
| 9 13 1 8 | | 9 13 3 8 | | 9 4 3 8 | | 9 4 3 14 | | 16 4 3 14 |
| 16 4 0 14 | | 16 6 0 14 | | 16 6 0 14 | | 16 6 0 11 | | 16 6 8 11 |
| 16 4 8 11 | | 19 4 8 11 | | 19 4 8 6 | | 19 4 3 6 | | 19 17 3 6 |
| 18 17 3 6 | | 18 17 3 6 | | 18 17 3 2 | | 18 17 9 2 | | 18 1 9 2 |
-----
결과캐시 : | 18 1 9 2 | | | | | |
적중률 : 0.14 | 실행시간 : 31.9556ms
-----

```

>> RDM


```

캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 1 7 9 0 |
| 1 7 4 0 | | 1 7 4 18 | | 1 7 4 18 | | 1 7 2 18 | | 4 7 2 18 |
| 4 5 2 18 | | 4 5 2 18 | | 1 5 2 18 | | 1 5 2 7 | | 1 5 2 7 |
| 11 5 2 7 | | 11 5 2 15 | | 11 5 2 15 | | 11 7 2 15 | | 11 7 2 16 |
| 11 7 2 16 | | 11 7 2 4 | | 11 7 2 4 | | 11 7 13 4 | | 11 7 13 12 |
| 11 7 2 12 | | 1 7 2 12 | | 1 16 2 12 | | 1 18 2 12 | | 15 18 2 12 |
| 15 18 2 7 | | 6 18 2 7 | | 6 18 11 7 | | 6 18 11 7 | | 6 18 11 9 |
| 6 12 11 9 | | 6 7 11 9 | | 19 7 11 9 | | 19 7 11 15 | | 14 7 11 15 |
| 14 3 11 15 | | 14 3 11 15 | | 2 3 11 15 | | 2 3 11 13 | | 2 3 11 13 |
| 4 3 11 13 | | 4 3 1 13 | | 4 3 1 11 | | 4 3 1 13 | | 4 3 1 8 |
| 4 3 7 8 | | 4 3 7 8 | | 4 3 7 2 | | 4 3 17 2 | | 4 3 17 2 |
| 4 3 19 2 | | 4 3 19 2 | | 4 3 19 1 | | 9 3 19 1 | | 9 3 18 1 |
| 9 16 18 1 | | 9 15 18 1 | | 10 15 18 1 | | 2 15 18 1 | | 2 8 18 1 |
| 2 8 6 1 | | 0 8 6 1 | | 0 2 6 1 | | 4 2 6 1 | | 4 2 6 8 |
| 4 2 6 8 | | 4 2 5 8 | | 4 2 10 8 | | 4 2 9 8 | | 4 10 9 8 |
| 4 10 9 8 | | 4 10 6 8 | | 4 1 6 8 | | 4 1 6 13 | | 8 1 6 13 |
| 8 1 6 9 | | 3 1 6 9 | | 3 1 6 4 | | 3 1 6 14 | | 3 1 6 16 |
| 0 1 6 16 | | 0 1 6 16 | | 0 1 6 16 | | 0 11 6 16 | | 0 11 8 16 |
| 0 11 8 4 | | 0 11 19 4 | | 0 6 19 4 | | 0 6 3 4 | | 0 6 17 4 |
| 0 6 18 4 | | 0 6 18 4 | | 0 6 2 4 | | 0 6 2 9 | | 0 6 2 1 |

결과캐시 : | 0 6 2 1 | 적중률 : 0.17 실행시간 : 43.4372ms

```

>> FIFO

```

캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 7 14 0 9 | | 14 0 9 4 | | 0 9 4 18 | | 0 9 4 18 | | 9 4 18 2 | |
9 4 18 2 | | 4 18 2 5 | | 4 18 2 5 | | 18 2 5 1 | | 2 5 1 7 | | 2 5 1 7 | | 5 1 7 11 | | 1 7 11 15 | | 7 11 15 2 | |
7 11 15 2 | | 11 15 2 16 | | 11 15 2 16 | | 15 2 16 4 | | 15 2 16 4 | | 2 16 4 13 | | 16 4 13 12 | | 4 13 12 2 | |
13 12 2 1 | | 12 2 1 16 | | 2 1 16 18 | | 1 16 18 15 | | 16 18 15 7 | | 18 15 7 6 | | 15 7 6 11 | | 7 6 11 18 | |
6 11 18 9 | | 11 18 9 12 | | 18 9 12 7 | | 9 12 7 19 | | 12 7 19 15 | | 7 19 15 14 | | 19 15 14 3 | | 15 14 3 11 | |
14 3 11 2 | | 3 11 2 13 | | 3 11 2 13 | | 11 2 13 4 | | 2 13 4 1 | | 13 4 1 11 | | 13 4 1 11 | | 4 1 11 8 | | 1 1
1 8 7 | | 11 8 7 4 | | 8 7 4 2 | | 7 4 2 17 | | 7 4 2 17 | | 4 2 17 19 | | 2 17 19 3 | | 17 19 3 1 | | 19 3 1 9 | |
3 1 9 18 | | 1 9 18 16 | | 9 18 16 15 | | 18 16 15 10 | | 16 15 10 2 | | 15 10 2 8 | | 10 2 8 6 | | 2 8 6 0 | | 2 8
6 0 | | 8 6 0 4 | | 8 6 0 4 | | 8 6 0 4 | | 6 0 4 5 | | 0 4 5 10 | | 4 5 10 9 | | 4 5 10 9 | | 4 5 10 9 | | 5 10 9
6 | | 10 9 6 1 | | 9 6 1 13 | | 6 1 13 8 | | 1 13 8 9 | | 13 8 9 3 | | 8 9 3 4 | | 9 3 4 14 | | 3 4 14 16 | | 4 14 1
6 0 | | 14 16 0 6 | | 14 16 0 6 | | 16 0 6 11 | | 0 6 11 8 | | 6 11 8 4 | | 11 8 4 19 | | 8 4 19 6 | | 4 19 6 3 | |
19 6 3 17 | | 6 3 17 18 | | 6 3 17 18 | | 3 17 18 2 | | 17 18 2 9 | | 18 2 9 1 | |

결과캐시 : | 18 2 9 1 | 적중률 : 0.17 실행시간 : 34.675ms

```

>> RFU

```

캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 9 7 14 0 |
| 9 4 14 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 2 | | 9 4 18 2 |
| 5 4 18 2 | | 5 4 18 2 | | 5 4 18 1 | | 5 4 18 7 | | 5 4 18 1 |
| 5 4 18 11 | | 5 4 18 15 | | 5 4 18 2 | | 5 4 18 7 | | 5 4 18 16 |
| 5 4 18 11 | | 5 4 18 11 | | 5 4 18 2 | | 5 4 18 13 | | 5 4 18 12 |
| 5 4 18 2 | | 5 4 18 1 | | 5 4 18 16 | | 5 4 18 16 | | 5 4 18 15 |
| 5 4 18 7 | | 5 4 18 6 | | 5 4 18 11 | | 5 4 18 11 | | 5 4 18 9 |
| 5 4 18 12 | | 5 4 18 7 | | 5 4 18 19 | | 5 4 18 15 | | 5 4 18 14 |
| 5 4 18 3 | | 5 4 18 11 | | 5 4 18 2 | | 5 4 18 13 | | 5 4 18 13 |
| 5 4 18 13 | | 1 4 18 13 | | 11 4 18 13 | | 11 4 18 13 | | 8 4 18 13 |
| 7 4 18 13 | | 7 4 18 13 | | 2 4 18 13 | | 17 4 18 13 | | 17 4 18 13 |
| 19 4 18 13 | | 3 4 18 13 | | 1 4 18 13 | | 9 4 18 13 | | 9 4 18 13 |
| 16 4 18 13 | | 15 4 18 13 | | 10 4 18 13 | | 2 4 18 13 | | 8 4 18 13 |
| 6 4 18 13 | | 0 4 18 13 | | 2 4 18 13 | | 2 4 18 13 | | 8 4 18 13 |
| 6 4 18 13 | | 5 4 18 13 | | 10 4 18 13 | | 9 4 18 13 | | 10 4 18 13 |
| 10 4 18 13 | | 6 4 18 13 | | 1 4 18 13 | | 1 4 18 13 | | 8 4 18 13 |
| 9 4 18 13 | | 3 4 18 13 | | 3 4 18 13 | | 14 4 18 13 | | 16 4 18 13 |
| 0 4 18 13 | | 6 4 18 13 | | 16 4 18 13 | | 11 4 18 13 | | 8 4 18 13 |
| 8 4 18 13 | | 19 4 18 13 | | 6 4 18 13 | | 3 4 18 13 | | 17 4 18 13 |
| 17 4 18 13 | | 17 4 18 13 | | 2 4 18 13 | | 9 4 18 13 | | 1 4 18 13 |

결과캐시 : | 1 4 18 13 | 적중률 : 0.19 실행시간 : 45.5296ms

```

>> NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 1 | | 1 7 | | 1 7 14 | | 1 7 14 0 | | 9 7 14 0 |
| 9 4 14 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 18 0 | | 9 4 2 0 | | 9 4 2 0 |
| 9 5 2 0 | | 9 5 2 0 | | 9 1 2 0 | | 9 1 2 7 | | 9 1 2 7 |
| 9 11 2 7 | | 15 11 2 7 | | 15 11 2 7 | | 15 11 2 7 | | 15 11 16 7 |
| 15 11 16 7 | | 15 11 16 4 | | 15 2 16 4 | | 13 2 16 4 | | 13 2 12 4 |
| 13 2 12 4 | | 13 1 12 4 | | 13 1 12 16 | | 18 1 12 16 | | 18 1 15 16 |
| 18 7 15 16 | | 18 7 15 6 | | 11 7 15 6 | | 11 7 18 6 | | 11 9 18 6 |
| 11 9 18 12 | | 7 9 18 12 | | 7 9 19 12 | | 7 15 19 12 | | 7 15 19 14 |
| 3 15 19 14 | | 3 15 11 14 | | 3 2 11 14 | | 3 2 11 13 | | 3 2 11 13 |
| 3 2 11 4 | | 1 2 11 4 | | 1 2 11 4 | | 1 2 13 4 | | 1 8 13 4 |
| 1 8 13 7 | | 4 8 13 7 | | 4 8 2 7 | | 4 17 2 7 | | 4 17 2 7 |
| 4 19 2 7 | | 4 19 2 3 | | 1 19 2 3 | | 1 19 9 3 | | 1 18 9 3 |
| 1 18 9 16 | | 15 18 9 16 | | 15 18 10 16 | | 15 2 10 16 | | 15 2 10 8 |
| 6 2 10 8 | | 6 2 0 8 | | 6 2 0 8 | | 6 4 0 8 | | 6 4 0 8 |
| 6 4 0 8 | | 6 4 0 5 | | 10 4 0 5 | | 10 4 9 5 | | 10 4 9 5 |
| 10 4 9 5 | | 6 4 9 5 | | 6 1 9 5 | | 6 1 9 13 | | 6 1 8 13 |
| 9 1 8 13 | | 9 3 8 13 | | 9 3 8 4 | | 9 3 14 4 | | 16 3 14 4 |
| 16 0 14 4 | | 16 0 14 6 | | 16 0 14 6 | | 11 0 14 6 | | 11 0 8 6 |
| 11 4 8 6 | | 11 4 8 19 | | 6 4 8 19 | | 6 4 3 19 | | 6 17 3 19 |
| 6 17 3 18 | | 6 17 3 18 | | 6 17 3 2 | | 9 17 3 2 | | 9 17 1 2 |
결과캐시 : | 9 17 1 2 | | | | | | | |
적중률 : 0.18 실행시간 : 43.1469ms
-----

```

4. 입력 데이터(0~19 사이의 수 1000개 랜덤 생성_1)

>> LRU

```

결과캐시 : | 7 10 17 15 | | | | | | | |
적중률 : 0.19 실행시간 : 739.865ms
-----
RDM-----

```

>> RDM

```

결과캐시 : | 7 13 17 10 | | | | | | | |
적중률 : 0.184 실행시간 : 761.872ms
-----
FIFO-----

```

>> FIFO

```

결과캐시 : | 6 10 15 7 | | | | | | | |
적중률 : 0.194 실행시간 : 688.842ms
-----
LIFO-----

```

>> LFU

```

결과캐시 : | 1 13 3 7 | | | | | | | |
적중률 : 0.181 실행시간 : 742.977ms
-----
NEW-----

```

>> NEW

```

결과캐시 : | 8 6 15 7 | | | | | | | |
적중률 : 0.191 실행시간 : 787ms
-----

```

5. 입력 데이터(0~19 사이의 수 1000개 랜덤 생성_2)

>> LRU

```
결과캐시 : | 11 12 7 9 |      적중률 : 0.207   실행시간 : 4139.54ms
-----
```

>> RDM

```
결과캐시 : | 9 12 11 3 |      적중률 : 0.205   실행시간 : 3355.41ms
-----
```

>> FIFO

```
결과캐시 : | 12 0 11 9 |      적중률 : 0.21    실행시간 : 1294.6ms
-----
```

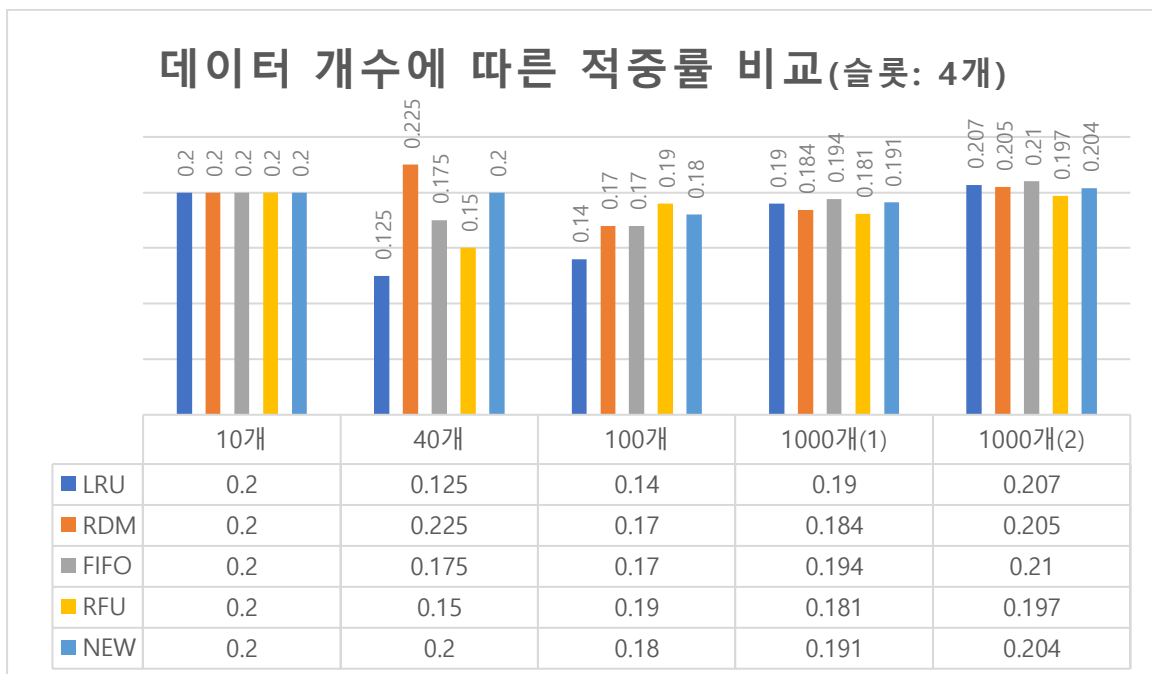
>> LFU

```
결과캐시 : | 16 19 1 9 |      적중률 : 0.197   실행시간 : 4299.01ms
-----
```

>> NEW

```
결과캐시 : | 12 9 11 0 |      적중률 : 0.204   실행시간 : 3683.84ms
-----
```

6. 결과 분석



: 데이터를 0-19 사이의 정수를 랜덤 생성한 만큼 특정 패턴으로 데이터를 넣는 것보다는 크게 유의미한 부분을 찾기 힘들다. RDM 알고리즘을 보면 적중률이 10 개에서 0.2, 40 개에서 0.225, 100 개에서 0.17 로 큰 변화 폭을 보이다 한 곳으로 가까워 지는데, 데이터 개수가 많을 경우 0.19~0.20 에 근접하는 모습을 보인다. 이는 RDM 은 교체될

슬롯 위치를 랜덤하게 골라 교체하기 때문에 데이터가 많을수록 일정한 값에 가까워지는 것이라고 해석할 수 있다. 다른 알고리즘들을 데이터 개수 별로 모아 봤을 때, 데이터가 10 개 일 때는 0.2 로 동일하다가 40, 100 개에서 알고리즘 별로 적중률이 차이가 나고, 데이터가 많아질수록 서로 비슷해지는 것을 볼 수 있다. 이는 데이터가 0-19 사이의 랜덤 생성된 정수이고 슬롯 개수가 4 개 이므로 데이터 개수가 적을수록 데이터가 어떻게 랜덤 생성되느냐에 따라 적중률이 변하는 것을 알 수 있다. 예를 들어 데이터 10 개 일 때의 데이터는 '1 7 14 0 9 4 18 18 2 4' 인데, 데이터 세트만 두고 봤을 때 18 과 4 외에는 중복이 없는 것을 알 수 있다. 따라서 빈도수에 큰 변화가 없어지기 때문에 18 이 적중하기 전까지 LFU 와 NEW, LRU, FIFO 는 같은 개수 변화를 보이게 되며, RDM 은 교체 슬롯을 랜덤으로 정해 교체하지만 18 과 4 외의 중복된 수는 없으며, 18 은 연달아 호출되므로 이전에 적재된 4 가 재호출 시 이미 교체된 상태가 아니라면 다른 알고리즘들과 같은 적중률을 보이게 된다.

: 실행 시간은 대체적으로 FIFO 가 빠른 것을 볼 수 있으며, 이는 데이터가 많을수록 두드러지게 보인다. 그 이유는 FIFO 는 지원되는 자료구조 큐를 사용하며, 다른 알고리즘과는 달리 배열을 통한 count 계산이 필요치 않기 때문이다.

- 슬롯 개수에 따른 적중률 비교

| 입 력 1 | |
|-------|-------------------------------|
| 데이터 수 | 15 개 |
| 슬롯 수 | 2 개 |
| 데이터 | 1 2 2 1 3 1 4 5 4 7 4 1 5 7 2 |

- LRU

```

LRU-----
캐시내부 : | 1 -1 | | 1 2 | | 1 2 | | 1 2 | | 1 3 | | 1 3 | | 1 4 | | 5 4 | | 5 4 | | 7
4 | | 7 4 | | 1 4 | | 1 5 | | 7 5 | | 7 2 |
결과캐시 : | 7 2 |          적중률 : 0.333333          실행시간 : 8.7459ms
  
```

- FIFO

```

FIFO-----
캐시내부 : | 1 | | 1 2 | | 1 2 | | 1 2 | | 2 3 | | 3 1 | | 1 4 | | 4 5 | | 4 5 | | 5 7
| | 7 4 | | 4 1 | | 1 5 | | 5 7 | | 7 2 |
결과캐시 : | 7 2 |          적중률 : 0.2          실행시간 : 5.6274ms
  
```

- LFU

```

LFU-----
캐시내부 : | 1 -1 || 1 2 || 1 2 || 1 2 || 3 2 || 1 2 || 4 2 || 5 2 || 4 2 ||
7 2 || 4 2 || 1 2 || 5 2 || 7 2 || 7 2 |
결과캐시 : | 7 2 |      적중률 : 0.2      실행시간 : 5.9607ms
-----

```

- RDM

```

RDM-----
캐시내부 : | 1 -1 || 1 2 || 1 2 || 1 2 || 1 3 || 1 3 || 4 3 || 5 3 || 5 4 ||
7 4 || 7 4 || 7 1 || 7 5 || 7 5 || 2 5 |
결과캐시 : | 2 5 |      적중률 : 0.333333      실행시간 : 9.6195ms
-----

```

- NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 1 -1 || 1 2 || 1 2 || 1 2 || 3 2 || 3 1 || 4 1 || 4 5 || 4 5 ||
7 5 || 7 4 || 1 4 || 1 5 || 7 5 || 7 2 |
결과캐시 : | 7 2 |      적중률 : 0.2      실행시간 : 6.2559ms
-----

```

| 입 력 2 | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| 데이터 수 | 15 개 | | | | | | | | | | | | | |
| 슬롯 수 | 3 개 | | | | | | | | | | | | | |
| 데이터 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 4 | 5 | 4 | 7 | 4 | 1 | 5 | 7 2 |

- LRU

```

LRU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 | | 1 2 -1 | | 1 2 -1 | | 1 2 -1 | | 1 2 3 | | 1 2 3 | | 1
4 3 | | 1 4 5 | | 1 4 5 | | 7 4 5 | | 7 4 5 | | 7 4 1 | | 5 4 1 | | 5 7 1 | | 5
7 2 |
결과캐시 : | 5 7 2 |      적중률 : 0.333333      실행시간 : 11.7523ms
-----

```

- FIFO

```

FIFO-----
캐시내부 : | 1 | | 1 2 | | 1 2 | | 1 2 | | 1 2 3 | | 1 2 3 | | 2 3 4 | | 3 4 5
| | 3 4 5 | | 4 5 7 | | 4 5 7 | | 5 7 1 | | 5 7 1 | | 5 7 1 | | 7 1 2 |
결과캐시 : | 7 1 2 |      적중률 : 0.466667      실행시간 : 8.0068ms
-----

```

- LFU

```

LFU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 || 1 2 -1 || 1 2 -1 || 1 2 -1 || 1 2 3 || 1 2 3 ||
1 2 4 || 1 2 5 || 1 2 4 || 1 2 7 || 1 2 4 || 1 2 4 || 1 2 5 || 1 2 7 ||
1 2 7 |
결과캐시 : | 1 2 7 |   적중률 : 0.333333   실행시간 : 9.0573ms
-----

```

- RDM

```

RDM-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 || 1 2 -1 || 1 2 -1 || 1 2 -1 || 1 2 3 || 1 2 3 ||
1 4 3 || 1 4 5 || 1 4 5 || 7 4 5 || 7 4 5 || 7 1 5 || 7 1 5 || 7 1 5 ||
7 1 2 |
결과캐시 : | 7 1 2 |   적중률 : 0.466667   실행시간 : 11.6679ms
-----

```

- NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 || 1 2 -1 || 1 2 -1 || 1 2 -1 || 1 2 3 || 1 2 3 ||
4 2 3 || 4 5 3 || 4 5 3 || 7 5 3 || 7 5 4 || 7 1 4 || 5 1 4 || 5 1 7 ||
5 2 7 |
결과캐시 : | 5 2 7 |   적중률 : 0.266667   실행시간 : 9.0145ms
-----

```

| 입 력 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 데이터 수 | 15 개 | | | | | | | | | | | | | | |
| 슬롯 수 | 5 개 | | | | | | | | | | | | | | |
| 데이터 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 4 | 5 | 4 | 7 | 4 | 1 | 5 | 7 | 2 |

- LRU

```

LRU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 -1 | | 1 2 -1 -1 -1 | | 1 2 -1 -1 -1 | | 1 2 -1 -1 -1 |
| 1 2 3 -1 -1 | | 1 2 3 -1 -1 | | 1 2 3 4 -1 | | 1 2 3 4 5 | | 1 2 3 4 5 | | 1 7 3
4 5 | | 1 7 3 4 5 | | 1 7 3 4 5 | | 1 7 3 4 5 | | 1 7 3 4 5 | | 1 7 2 4 5 |
결과캐시 : | 1 7 2 4 5 |   적중률 : 0.533333   실행시간 : 15.7671ms
-----

```

- FIFO

```

FIFO-----
캐시내부 : | 1 | | 1 2 | | 1 2 | | 1 2 | | 1 2 3 | | 1 2 3 | | 1 2 3 4 | | 1 2 3 4
5 | | 1 2 3 4 5 | | 2 3 4 5 7 | | 2 3 4 5 7 | | 3 4 5 7 1 | | 3 4 5 7 1 | | 3 4 5
7 1 | | 4 5 7 1 2 |
결과캐시 : | 4 5 7 1 2 |   적중률 : 0.466667   실행시간 : 10.7321ms
-----

```

- LFU

```

LFU-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 -1 |
| 1 2 3 -1 -1 || 1 2 3 -1 -1 || 1 2 3 4 -1 || 1 2 3 4 5 || 1 2 3 4 5 || 1 2
7 4 5 || 1 2 7 4 5 || 1 2 7 4 5 || 1 2 7 4 5 || 1 2 7 4 5 || 1 2 7 4 5 |
결과캐시 : | 1 2 7 4 5 |          적중률 : 0.6      실행시간 : 13.0488ms
  
```

- RDM

```

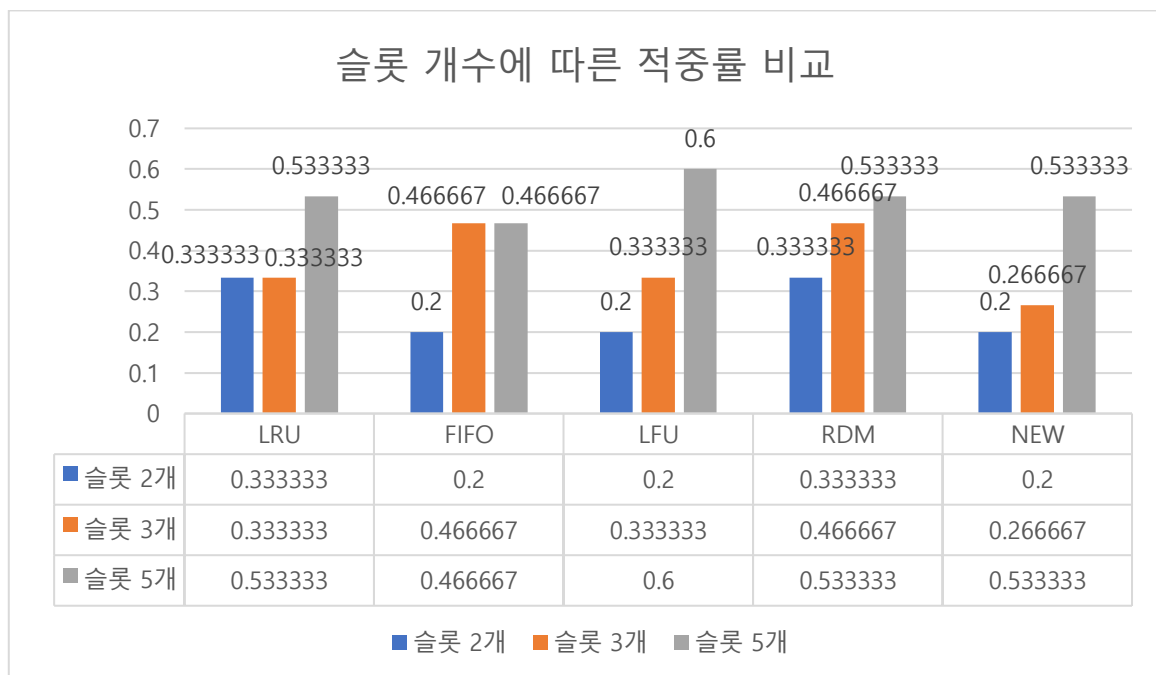
RDM-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 -1 |
| 1 2 3 -1 -1 || 1 2 3 -1 -1 || 1 2 3 4 -1 || 1 2 3 4 5 || 1 2 3 4 5 || 1 2
3 4 7 || 1 2 3 4 7 || 1 2 3 4 7 || 5 2 3 4 7 || 5 2 3 4 7 || 5 2 3 4 7 |
결과캐시 : | 5 2 3 4 7 |          적중률 : 0.533333   실행시간 : 16.5798ms
  
```

- NEW

```

NEW-----
캐시내부 : | 1 -1 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 -1 || 1 2 -1 -1 -1 |
| 1 2 3 -1 -1 || 1 2 3 -1 -1 || 1 2 3 4 -1 || 1 2 3 4 5 || 1 2 3 4 5 || 7 2
3 4 5 || 7 2 3 4 5 || 7 2 3 1 5 || 7 2 3 1 5 || 7 2 3 1 5 || 7 2 3 1 5 |
결과캐시 : | 7 2 3 1 5 |          적중률 : 0.533333   실행시간 : 13.9973ms
  
```

- 결과 분석 -



: 슬롯 개수를 증가시켰을 때의 효과를 정확히 확인하기 위해서 같은 데이터 수, 같

은 데이터 하에서 비교를 했으며, 슬롯 개수가 증가함에 따라 평균적으로 적중률이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 입력 데이터에 따라 특정 알고리즘에서는 슬롯 개수가 증가해도 같은 같은 적중률을 보이기도 하는데, 절대 작아지지는 않는다.

5. 기여도

| 팀원 | 담당부분 | 기여도 |
|---------------|---------|------|
| 201611226 임창규 | 알고리즘 구현 | 100% |
| 201611218 이기현 | 알고리즘 구현 | 100% |
| 201613179 김연이 | 보고서 작성 | 100% |
| 201714154 오병현 | 보고서 작성 | 100% |