CSE2010 자료구조론

Week 6: Queue

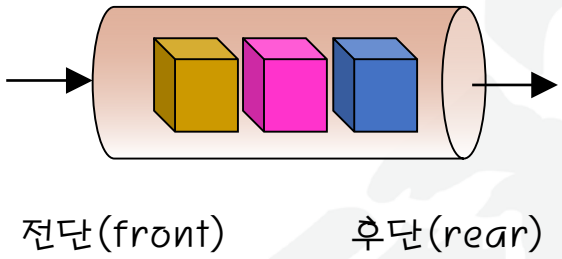
ICT융합학부 조용우

큐(queue)란?

- 큐: 먼저 들어온 데이터가 먼저 나가는 자료구조
  - 선입선출(FIFO: First-In First-Out)

큐 ADT

- 삽입과 삭제는 FIFO순서를 따름
- 삽입은 큐의 후단(rear)에서, 삭제는 전단(front)에서 이루어짐

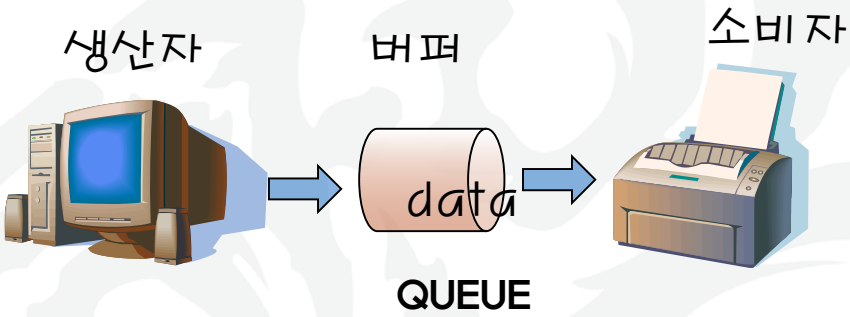


·객체: n개의 element형으로 구성된 요소들의 순서있는 모임
·연산:

- **create()** ::= 큐를 생성한다.
- **init(q)** ::= 큐를 초기화한다.
- **is_empty(q)** ::= 큐가 비어있는지를 검사한다.
- **is_full(q)** ::= 큐가 가득 찼는가를 검사한다.
- **enqueue(q, e)** ::= 큐의 뒤에 요소를 추가한다.
- **dequeue(q)** ::= 큐의 앞에 있는 요소를 반환한 다음 삭제한다.
- **peek(q)** ::= 큐에서 삭제하지 않고 앞에 있는 요소를 반환한다.

큐의 응용

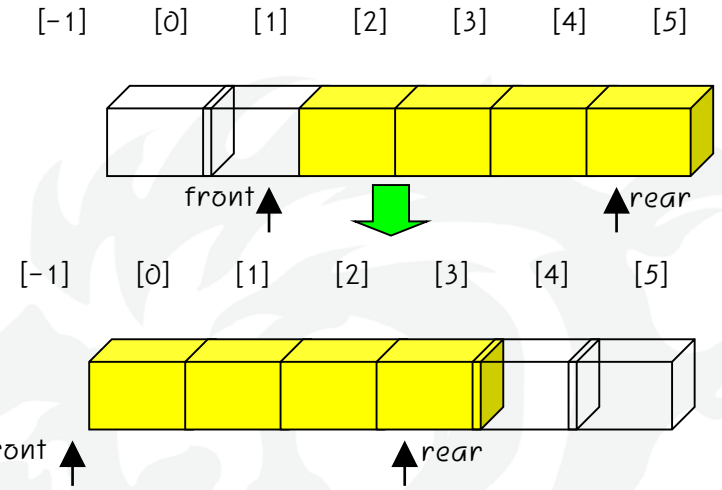
- 직접적인 응용
  - 시뮬레이션의 대기열(공항에서의 비행기들, 은행에서의 대기열)
  - 통신에서의 데이터 패킷들의 모델링에 이용
  - 프린터와 컴퓨터 사이의 버퍼링



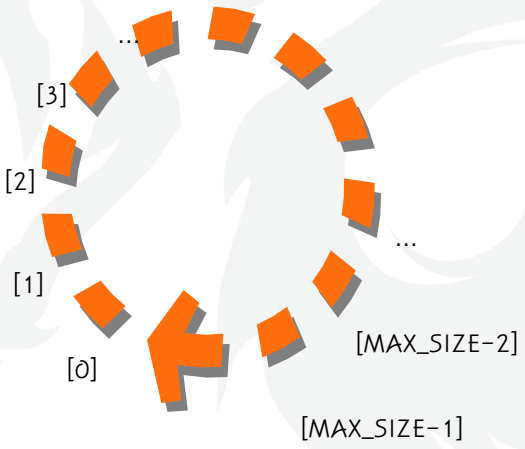
- 간접적인 응용
  - 스택과 마찬가지로 프로그래머의 도구
  - 많은 알고리즘에서 사용됨

배열을 이용한 큐

- 선형큐: 배열을 선형으로 사용하여 큐를 구현
  - 삽입을 계속하기 위해서는 요소들을 이동시켜야 함
  - 문제점이 많아 사용되지 않음

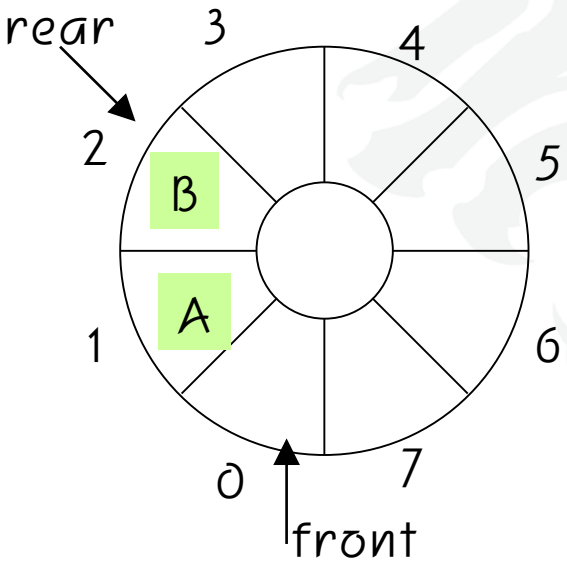


- 원형큐: 배열을 원형으로 사용하여 큐를 구현
  - Front와 rear값이 배열의 끝인 [MAX_QUEUE_SIZE-1]에 도달하면 다음에 증가되는 값은 0이 되도록 구현
  - 개념상 원형일뿐, 실제로 원형 모양의 배열은 아님



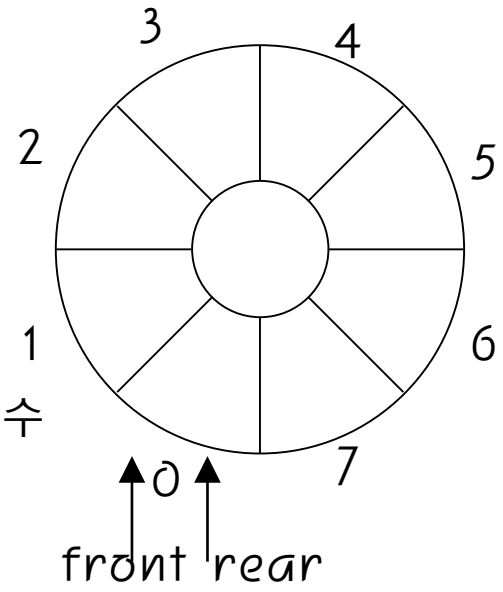
원형 큐의 구조

- 큐의 전단과 후단을 관리하기 위한 2개의 변수 필요
  - front: 첫번째 요소 하나 앞의 인덱스, 삭제와 관련된 변수
  - rear: 마지막 요소의 인덱스, 삽입과 관련된 변수
  - 초기값은 0임(-1 아님)

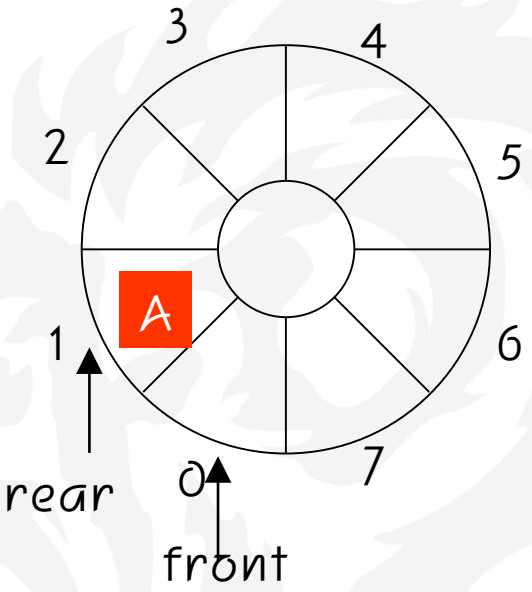


원형 큐 동작(1)

front와 rear 변수
초기값은 0

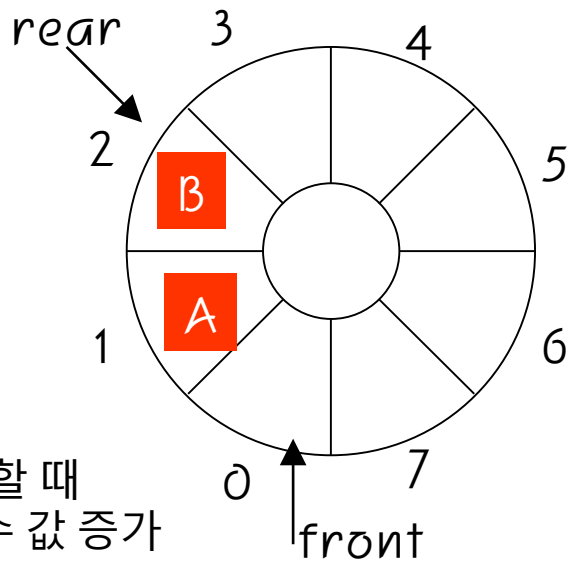


(a) 초기상태



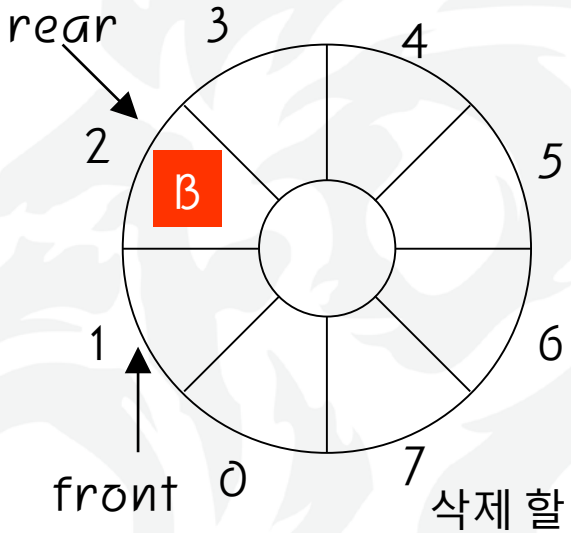
(b) A 삽입

원형 큐 동작(2)



삽입을 할 때
rear 변수 값 증가

(c) B 삽입

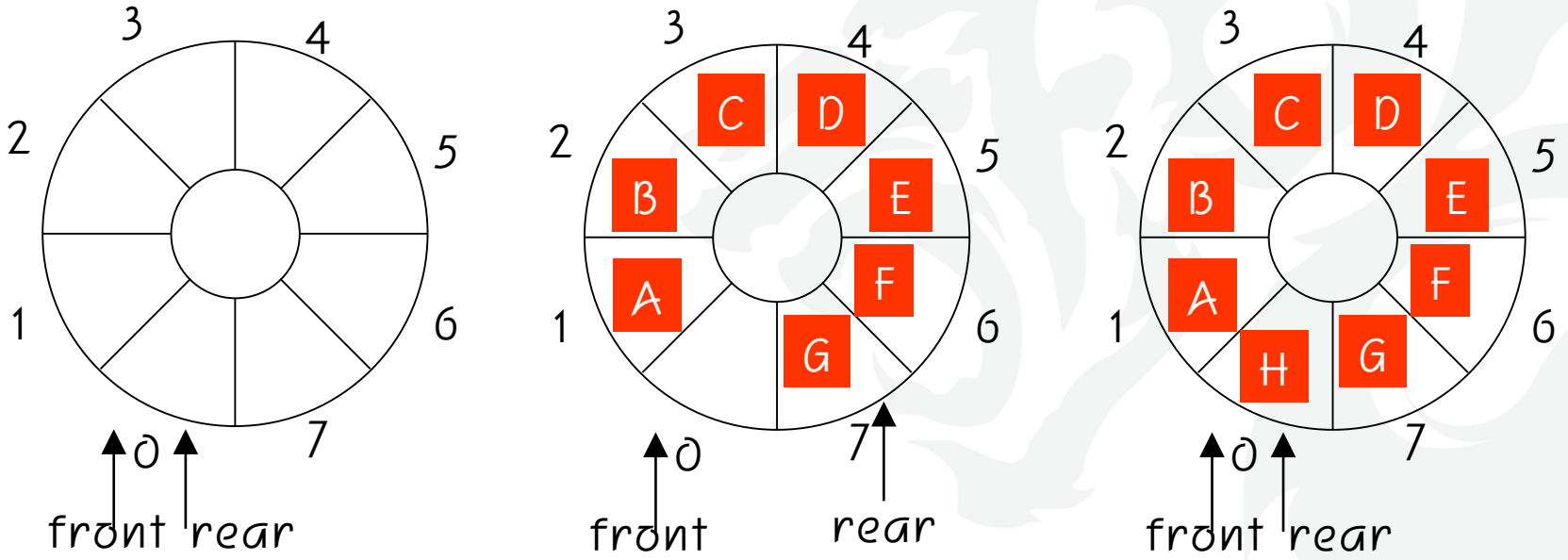


삭제 할 때
front 변수 값 증가

(d) A 삭제

원형 큐의 공백 & 포화 상태

- 공백상태: front == rear (front변수와 rear 변수 값이 같으면)
- 포화상태: front % MAX_QUEUE_SIZE==(rear+1) % MAX_QUE_SIZE
- 공백상태와 포화상태를 구별하기 위하여 하나의 공간은 항상 비움



(a) 공백상태 (b) 포화상태 (c) 오류상태

원형 큐의 삽입 & 삭제 알고리즘

- 나머지(mod) 연산을 사용하여 인덱스를 원형으로 회전시킴
  - front <- (front+1) mod MAX_QUEUE_SIZE;
  - rear <- (rear+1) mod MAX_QUEUE_SIZE;

```
원형 큐에서의 삽입 알고리즘
enqueue(Q, x)

rear ← (rear+1) mod MAX_QUEUE_SIZE;
Q[rear] ← x;

원형 큐에서의 삭제 알고리즘
dequeue(Q)

front ← (front+1) mod MAX_QUEUE_SIZE;
return Q[front];
```

원형 큐의 구현(1)

- Preliminary
  - 나머지(mod) 연산자 : %
  - front: 첫 번째 요소로부터 시계 방향으로 하나 앞에 위치함 삭제시 먼저 front를 증가시키고 그 위치에서 데이터를 꺼내와야 함
  - rear: 마지막 요소. 삽입시 무조건 rear를 하나 증가시키고, 증가된 위치에 데이터를 넣어야 함
  - 공백상태 검출: front == rear
  - 포화상태 검출: front == (rear+1)%MAX_QUEUE_SIZE

원형 큐의 구현(2)

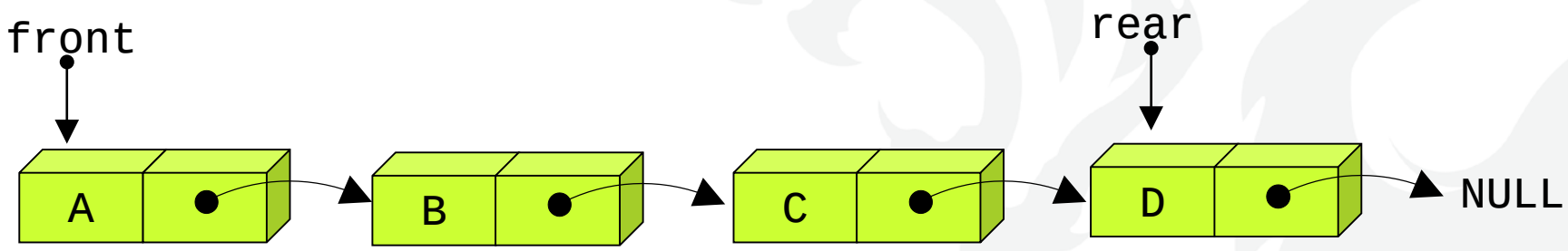
```
#define MAX_QUEUE_SIZE 100
typedef int element;
typedef struct {
    element  queue[MAX_QUEUE_SIZE];
    int front, rear;
} QueueType;
// 초기화 함수
Void init(QueueType *q)
{
     q→front = q→rear = 0;
}
// 공백 상태 검출 함수
int is_empty(QueueType *q)
{
     return (q->front == q->rear);
}
// 포화 상태 검출 함수
int is_full(QueueType *q)
{
     return ((q->rear+1)%MAX_QUEUE_SIZE == q->front);
}
```

원형 큐의 구현(3)

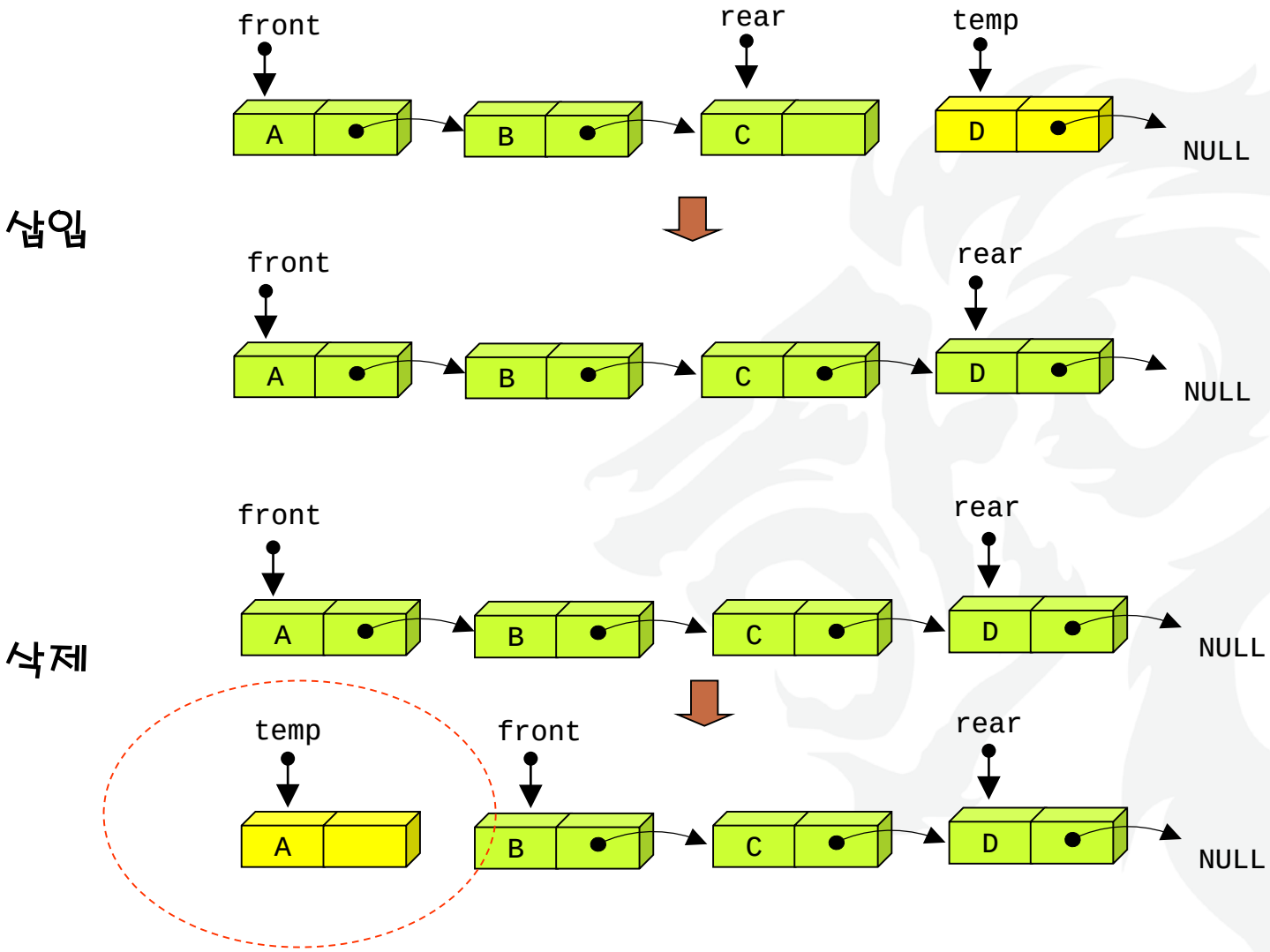
```
// 삽입 함수
void enqueue(QueueType *q, element item)
{
     if( is_full(q) )
          error("큐가 포화상태입니다");
     q->rear = (q->rear+1) % MAX_QUEUE_SIZE;
     q->queue[q->rear] = item;
}
// 삭제 함수
element dequeue(QueueType *q)
{
     if( is_empty(q) )
          error("큐가 공백상태입니다");
     q->front = (q->front+1) % MAX_QUEUE_SIZE;
     return q->queue[q->front];
}
// 피크 함수
element peek(QueueType *q)
{
     if( is_empty(q) )
          error("큐가 공백상태입니다");
     return q->front[(q->front+1) % MAX_QUEUE_SIZE];
}
```

연결리스트로 구현된 큐

- 연결된 큐(linked queue): 연결리스트로 구현된 큐
  - front 포인터는 삭제와 관련되며 rear 포인터는 삽입
  - front는 연결 리스트의 맨 앞에 있는 요소를 가리키며, rear 포인터는 맨 뒤에 있는 요소를 가리킴
  - 큐에 요소가 없는 경우에는 front와 rear는 NULL



연결된 큐에서의 삽입과 삭제



연결된 큐 구현(1)

```
typedef int element;       //요소의 타입
typedef struct QueueNode { // 큐의 노드의 타입
          element item;
          struct QueueNode *link;
         } QueueNode;

typedef struct {          //큐 ADT 구현
       QueueNode *front, *rear;
      } QueueType;
```

연결된 큐 구현(2)

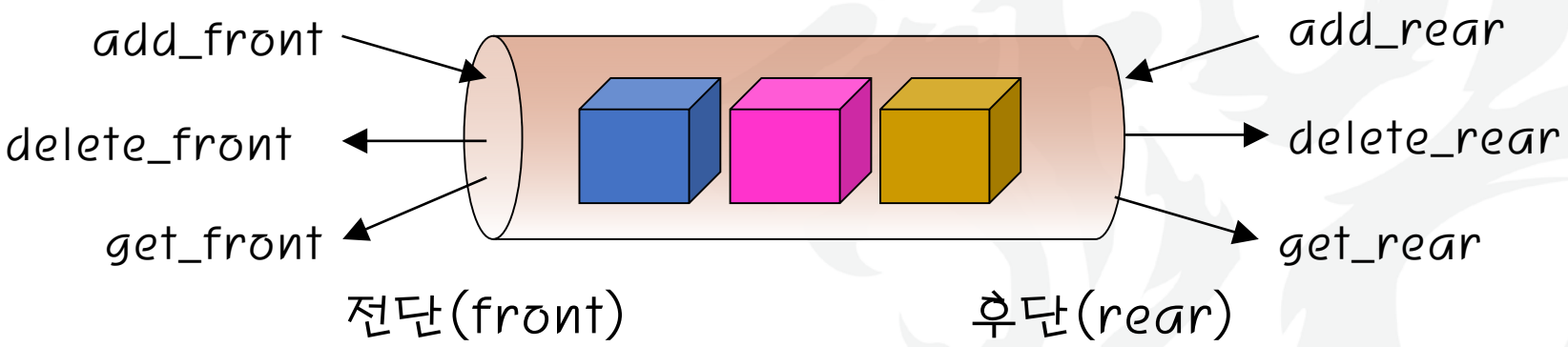
```
// 삽입 함수
void enqueue(QueueType *q, element item)
{
      QueueNode *temp = (QueueNode *)malloc(sizeof(QueueNode));
      if(temp == NULL)
        error("메모리를 할당할 수 없습니다.");
      else {
            temp → item = item;   //데이터 저장
            temp → link = NULL;   // 링크 필드를 NULL로 설정
            if(is_empty(q)){
                 q → front = temp;
                 q → rear = temp;
             }
            else {
                 q → rear → link = temp; //순서 중요!!
                 q → rear = temp;
             }
      }
}
```

연결된 큐 구현(3)

```
// 삭제 함수
void dequeue(QueueType *q)
{
      QueueNode *temp = q → front;
      element item;
      if(is_empty(q))
           error("큐가 비어있습니다.");
      else {
           item = temp → item; // 데이터를 꺼냄
           q → front = q → front → link; //front를 다음 노드를
                                          //가리키도록 한다.
           if(q→front ==NULL)             //공백상태면
               q → rear = NULL;
           free(temp);                    //노드 메모리 해제
           return item;                   //데이터 반환
      }
}
```

덱(deque)

- 덱(deque)은 double-ended queue의 줄임말로 큐의 전단(front)와 후단(rear)에서 모두 삽입과 삭제가 가능한 큐
  - 덱은 스택과 큐의 연산을 모두 가지고 있음



덱(deque) ADT

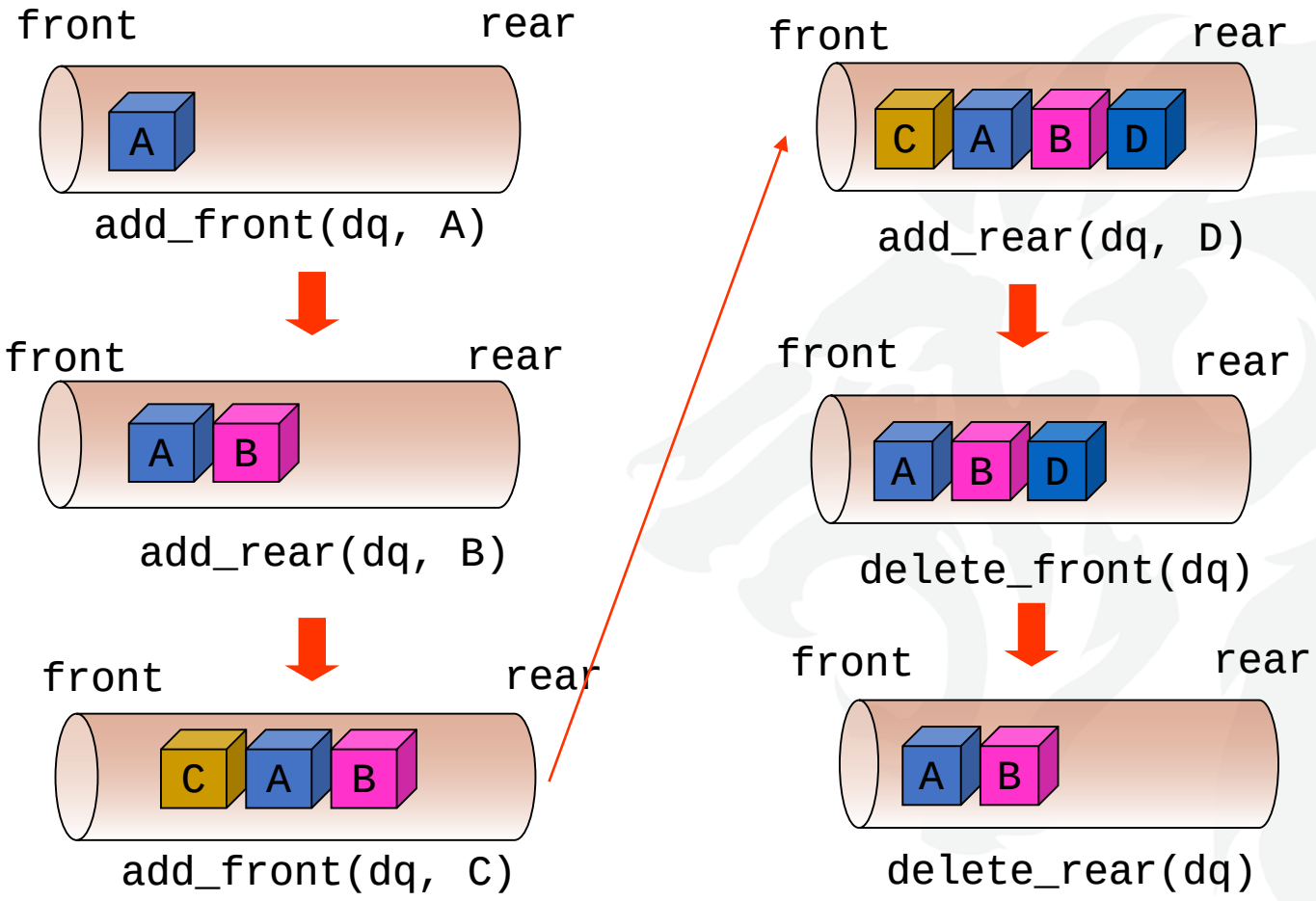
·객체: n개의 element형으로 구성된 요소들의 순서있는 모임

·연산:

- create() ::= 덱을 생성
- init(dq) ::= 덱을 초기화
- is_empty(dq) ::= 덱이 공백상태인지를 검사
- is_full(dq) ::= 덱이 포화상태인지를 검사
- add_front(dq, e) ::= 덱의 앞에 요소를 추가
- add_rear(dq, e) ::= 덱의 뒤에 요소를 추가
- delete_front(dq) ::= 덱의 앞에 있는 요소를 반환한 다음 삭제
- delete_rear(dq) ::= 덱의 뒤에 있는 요소를 반환한 다음 삭제
- get_front(q) ::= 덱의 앞에서 삭제하지 않고 앞에 있는 요소를 반환
- get_rear(q) ::= 덱의 뒤에서 삭제하지 않고 뒤에 있는 요소를 반환

- 덱의 삽입 연산을 push_front와 push_back이라 하기도 함
- 덱의 삭제 연산은 pop_front, pop_back으로 불리기도 함

덱(deque) 연산 예


front
rear
A
add_front(dq, A)
front
rear
A
B
add_rear(dq, B)
front
rear
C
A
B
add_front(dq, C)
front
rear
C
A
B
D
add_rear(dq, D)
front
rear
A
B
D
delete_front(dq)
front
rear
A
B
delete_rear(dq)

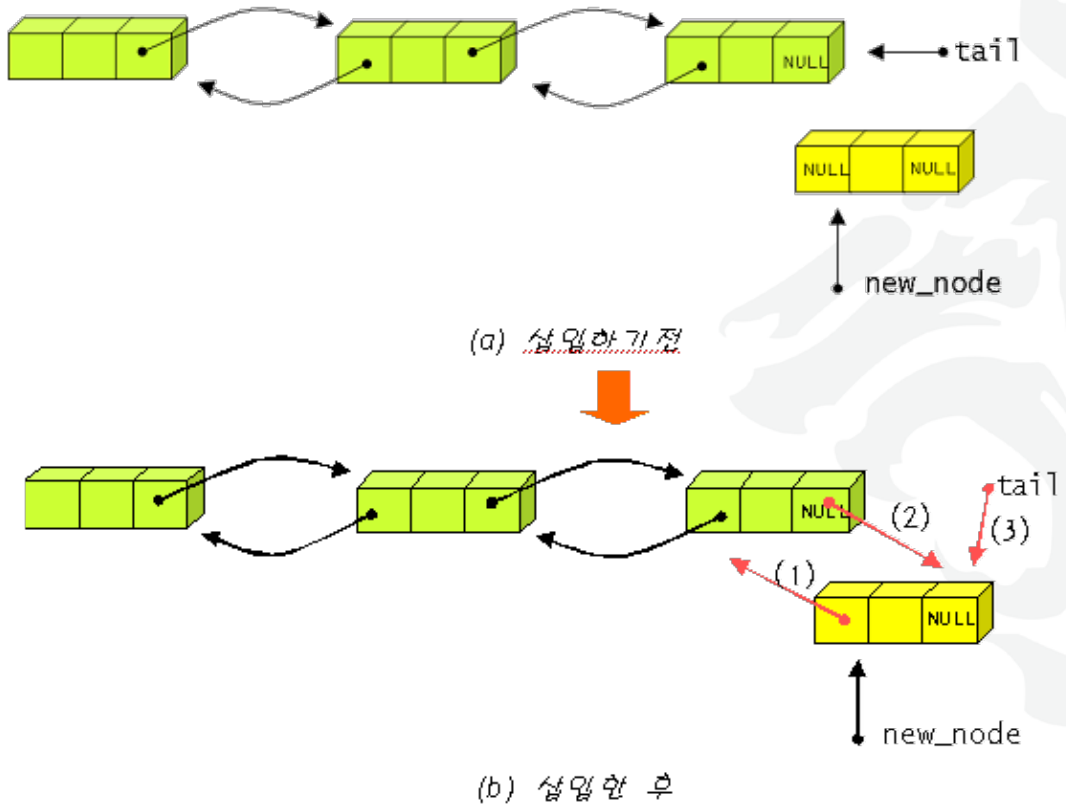
덱(deque) 구현

- 양쪽에서 삽입, 삭제가 가능하여야 하므로 일반적으로 이중 연결 리스트 사용

```
typedef int element;                    // 요소의 타입


typedef struct DlistNode {          // 노드의 타입
     element data;
     struct DlistNode *llink;
     struct DlistNode *rlink;
} DlistNode;


typedef struct DequeType {          // 덱의 타입
     DlistNode *head;
     DlistNode *tail;
} DequeType;
```

덱(deque) 삽입 연산(1)

- 연결리스트의 연산과 유사
- 헤드포인터 대신 head와 tail 포인터 사용



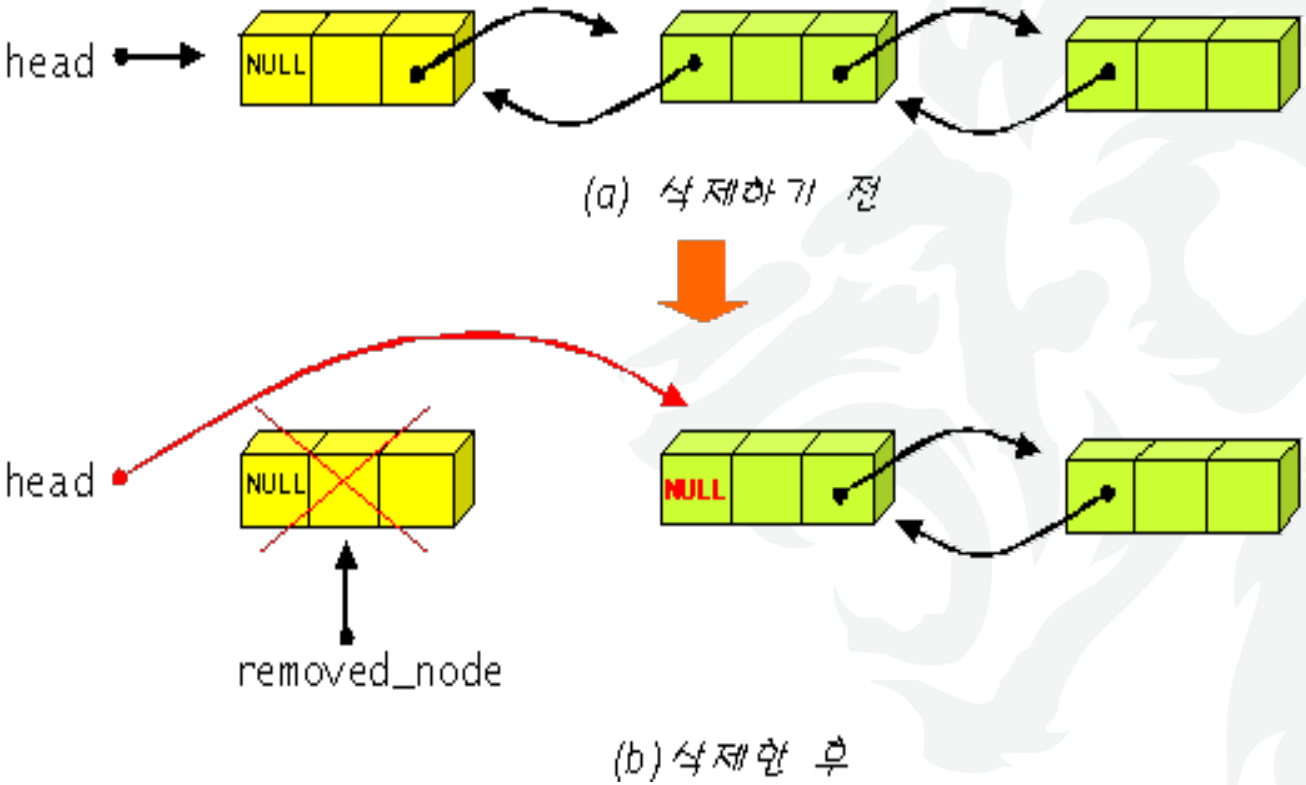
덱(deque) 삽입 연산(2)

```
// 덱에서의 삽입 연산

void add_rear(DequeType *dq, element item)
{
  DlistNode *new_node =  create_node(dq->tail, item, NULL);
  if( is_empty(dq))
     dq->head = new_node;
  else
     dq->tail->rlink = new_node;
  dq->tail = new_node;
}
```

덱(deque) 삽입 연산(3)

```
//덱에서의 삽입 연산
void add_front(DequeType *dq, element item)
{
  DlistNode *new_node = create_node(NULL, item, dq->head);

  if( is_empty(dq))
    dq->tail = new_node;
  else
    dq->head->llink = new_node;
  dq->head = new_node;
}
```

덱(deque) 삭제 연산(1)



덱(deque) 삭제 연산(2)

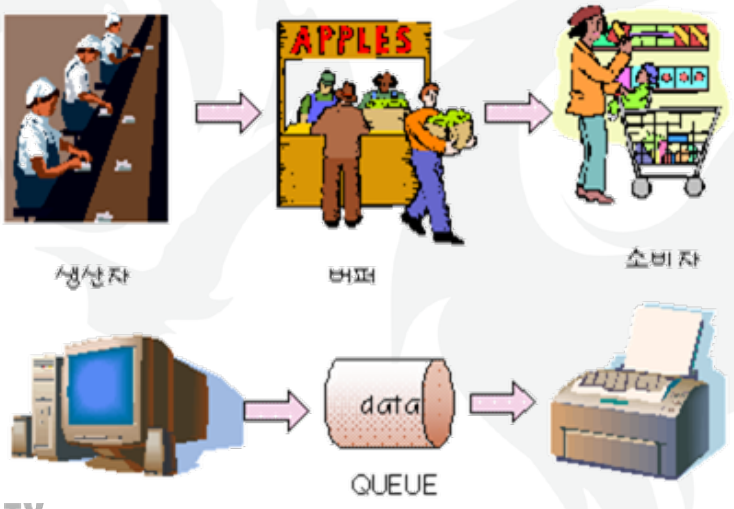
```
// 전단에서의 삭제
element delete_front(DequeType *dq)
{
    element item;
    DlistNode *removed_node;

    if (is_empty(dq))  error("공백 덱에서 삭제");
    else {
        removed_node = dq->head;   // 삭제할 노드
        item = removed_node->data; // 데이터 추출
        dq->head = dq->head->rlink; // 헤드 포인터 변경
        free(removed_node); // 메모리 공간 반납
        if (dq->head == NULL)   // 공백상태이면
            dq->tail = NULL;
        else    // 공백상태가 아니면
            dq->head->llink=NULL;
    }
    return item;
}
```

덱(deque) 삭제 연산(3)

```
// 후단에서의 삭제
element delete_rear(DequeType *dq)
{
    element item;
    DlistNode *removed_node;

    if (is_empty(dq))  error("공백 덱에서 삭제");
    else {
        removed_node = dq->tail;   // 삭제할 노드
        item = removed_node->data; // 데이터 추출
        dq->tail = dq->tail->llink; // 테일 포인터 변경
        free(removed_node); // 메모리 공간 반납
        if (dq->tail == NULL)   // 공백상태이면
            dq->head = NULL;
        else    // 공백상태가 아니면
            dq->tail->rlink=NULL;
    }
    return item;
}
```

큐의 응용: 버퍼

- 서로 다른 속도로 실행되는 두 프로세스 간의 상호 작용을 조화시키는 버퍼 역할을 할 수 있음
  - CPU와 프린터 사이의 프린팅 버퍼, 또는 CPU와 키보드 사이의 키보드 버퍼 등
- 대개 데이터를 생산하는 생산자 프로세스가 있고 데이터를 소비하는 소비자 프로세스가 있으며 이 사이에 큐로 구성되는 버퍼가 존재



생산자-소비자 프로세스 알고리즘 예(1)

```
QueueType buffer;

/* 생산자 프로세스 */
producer()
{
    while(1){
        데이터 생산;
        while( lock(buffer) != SUCCESS ) ;
        if( !is_full(buffer) ){
            enqueue(buffer, 데이터);
        }
        unlock(buffer);
    }
}
```

생산자-소비자 프로세스 알고리즘 예(2)

```
/* 소비자 프로세스 */
consumer()
{
    while(1){
        while( lock(buffer) != SUCCESS )  ;
        if( !is_empty(buffer) ){
            데이터 = dequeue(buffer);
            데이터 소비;
        }
        unlock(buffer);
    }
}
```

큐의 응용: 시뮬레이션

- 큐는 큐잉이론에 따라 시스템의 특성을 시뮬레이션하여 분석하는 데 이용될 수 있음
- 큐잉모델은 고객에 대한 서비스를 수행하는 서버와 서비스를 받는 고객들로 이루어짐
  - 예: 은행에서 고객이 들어와서 서비스를 받고 나가는 과정을 시뮬레이션
    - 고객들이 기다리는 평균시간을 계산

은행 시뮬레이션 알고리즘

- 시뮬레이션은 하나의 반복 루프
- 현재 시각을 나타내는 clock이라는 변수를 하나 증가
- is_customer_arrived 함수가 호출되면, is_customer_arrived 함수는 랜덤 숫자를 생성하여 시뮬레이션 파라미터 변수인 arrival_prov와 비교하여 작으면 새로운 고객이 들어왔다고 판단
- 고객의 아이디, 도착시간, 서비스 시간 등의 정보를 만들어 구조체에 복사하고 이 구조체를 파라미터로 하여 큐의 삽입 함수 enqueue()를 호출
- 고객이 필요로 하는 서비스 시간은 역시 랜덤숫자를 이용하여 생성
- 지금 서비스하고 있는 고객이 끝났는지를 검사. 만약 service_time이 0이 아니면 어떤 고객이 지금 서비스를 받고 있는 중임을 의미
- clock이 하나 증가했으므로 service_time을 하나 감소
- 만약 service_time이 0이면 현재 서비스받는 고객이 없다는 것을 의미. 따라서 큐에서 고객 구조체를 하나 꺼내어 서비스를 시작

은행 시뮬레이션 프로그램(1)

```
typedef struct
  int id;
  int arrival_time;
  int service_time;
 element;

typedef struct
  element  queue[MAX_QUEUE_SIZE];
  int  front, rear;
 QueueType;
QueueType queue;
```

은행 시뮬레이션 프로그램(2)

```
// 0에서 1사이의 실수 난수 생성 함수
double random()
{
  return rand()/(double)RAND_MAX;
}

// 시뮬레이션에 필요한 여러가지 상태 변수
int duration=10; // 시뮬레이션 시간
double arrival_prob=0.7; // 하나의 시간 단위에 도착하는 평균 고객의 수
int max_serv_time=5; // 하나의 고객에 대한 최대 서비스 시간
int clock;

// 시뮬레이션의 결과
int customers;       // 전체고객수
int served_customers;  // 서비스받은 고객수
int waited_time;  // 고객들이 기다린 시간
```

은행 시뮬레이션 프로그램(3)

```
// 랜덤 숫자를 생성하여 고객이 도착했는지 도착하지 않았는지를 판단
int is_customer_arrived()
{
  if( random() < arrival_prob )
    return TRUE;
  else return FALSE;
}
// 새로 도착한 고객을 큐에 삽입
void insert_customer(int arrival_time)
{
  element customer;

  customer.id = customers++;
  customer.arrival_time = arrival_time;
  customer.service_time=(int)(max_serv_time*random()) + 1;
  enqueue(&queue, customer);
  printf("고객 %d이 %d분에 들어옵니다. 서비스시간은 %d분입니다.",
        customer.id, customer.arrival_time, customer.service_time);
}
```

은행 시뮬레이션 프로그램(4)

```
// 큐에서 기다리는 고객을 꺼내어 고객의 서비스 시간을 반환한다.
int remove_customer()
{
  element customer;
  int service_time=0;

  if (is_empty(&queue)) return 0;
  customer = dequeue(&queue);
  service_time = customer.service_time-1;
  served_customers++;
  waited_time += clock - customer.arrival_time;
  printf("고객 %d이 %d분에 서비스를 시작합니다.
       대기시간은 %d분이었습니다." ,
          customer.id, clock, clock - customer.arrival_time);
  return service_time;
}
```

은행 시뮬레이션 프로그램(5)

```
// 통계치를 출력한다.
print_stat()
{
  printf("서비스받은 고객수 = %d",
                  served_customers);
  printf("전체 대기 시간 = %d분", waited_time);
  printf("1인당 평균 대기 시간 = %f분",
            (double)waited_time/served_customers);
  printf("아직 대기중인 고객수 = %d",
           customers-served_customers);
}
```

은행 시뮬레이션 프로그램(6)

```
// 시뮬레이션 프로그램
void main()
{
  int service_time=0;

  clock=0;
  while(clock < duration){
    clock++;
    printf("현재시각=%d\n",clock);
    if (is_customer_arrived()) {
      insert_customer(clock);
    }
    if (service_time > 0)
      service_time--;
    else {
      service_time = remove_customer();
    }
  }
  print_stat();
}
```

```
현재시각=1
고객 0이 1분에 들어옵니다. 서비스시간은 3분입니다.
고객 0이 1분에 서비스를 시작합니다. 대기시간은 0분이었습니다.
현재시각=2
고객 1이 2분에 들어옵니다. 서비스시간은 5분입니다.
현재시각=3
고객 2이 3분에 들어옵니다. 서비스시간은 3분입니다.
현재시각=4
고객 3이 4분에 들어옵니다. 서비스시간은 5분입니다.
고객 1이 4분에 서비스를 시작합니다. 대기시간은 2분이었습니다.
현재시각=5
현재시각=6
현재시각=7
고객 4이 7분에 들어옵니다. 서비스시간은 5분입니다.
현재시각=8
현재시각=9
고객 5이 9분에 들어옵니다. 서비스시간은 2분입니다.
고객 2이 9분에 서비스를 시작합니다. 대기시간은 6분이었습니다.
현재시각=10
고객 6이 10분에 들어옵니다. 서비스시간은 1분입니다.
서비스받은 고객수 = 3
전체 대기 시간 = 8분
1인당 평균 대기 시간 = 2.666667분
아직 대기중인 고객수 = 4
```

Week 6: Queue