CHAPTER 14

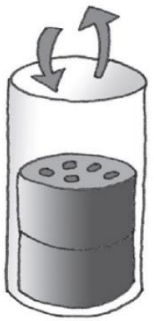
큐 구현 및 응용

학습 목표

- 큐 자료구조의 개념을 스택과 비교하여 알아본다.
- 큐의 특징과 연산 방법을 알아본다.
- 순차 자료구조와 연결 자료구조를 이용해 큐를 구현해 본다.
- 큐를 확장한 자료구조인 데크의 특징과 연산 방법을 알아본다.
- 큐를 응용하는 방법을 알아본다.

큐의 이해 : 큐의 개념과 구조

- 큐(Queue)
  - 스택과 비슷한 삽입과 삭제의 위치가 제한되어있는 유한 순서 리스트
  - 큐는 뒤에서는 삽입만 하고, 앞에서는 삭제만 할 수 있는 구조
    - 삽입한 순서대로 원소가 나열되어 가장 먼저 삽입(**F**irst-**I**n)한 원소는 맨 앞에 있다가 가장 먼저 삭제(**F**irst-**O**ut)됨
      ☞ **선입선출 구조** (**FIFO**, First-In-First-Out)



(a) 스택의 구조

(b) 큐의 구조

그림 6-1 스택과 큐의 구조 비교 예

큐의 이해 : 큐의 개념과 구조

- FIFO 구조의 예

그림 6-2 FIFO 구조의 예 : 꼬리잡기 놀이의 머리와 꼬리

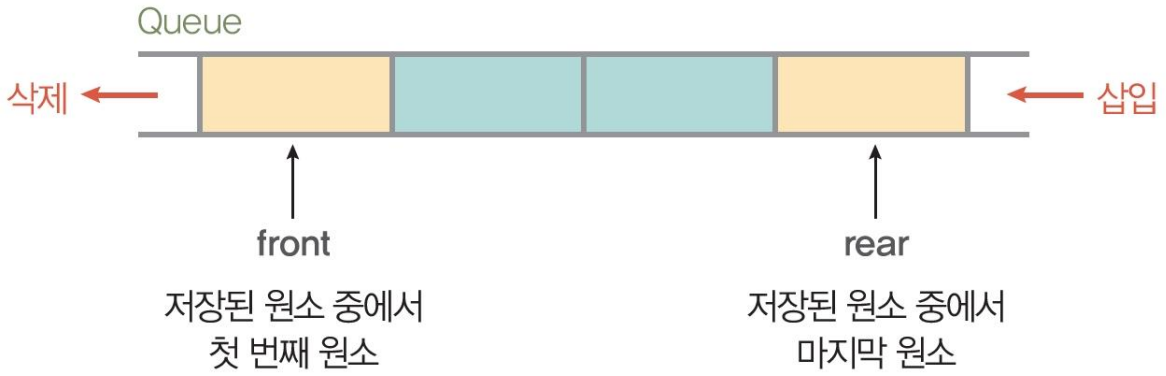


그림 6-3 큐의 FIFO 구조

큐의 이해 : 큐의 개념과 구조

- 큐의 연산
  - 삽입 : **enQueue**
  - 삭제 : **deQueue**

- 스택과 큐의 연산 비교

표 6-1 스택과 큐에서의 삽입과 삭제 연산 비교

항목 / 자료구조	삽입 연산		삭제 연산	
	연산자	삽입 위치	연산자	삭제 위치
스택	push	top	pop	top
큐	enQueue	rear	deQueue	front

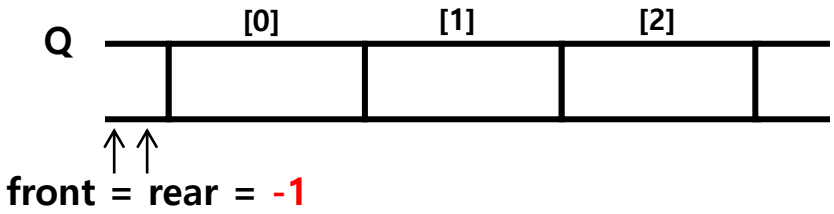
큐의 이해 : 큐의 추상 자료형

ADT 6-1 큐의 추상 자료형

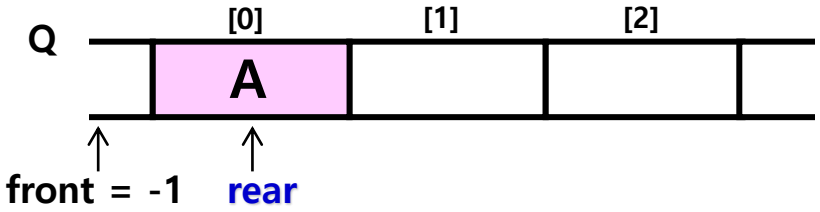
```
ADT Queue
데이터 : 0개 이상의 원소를 가진 유한 순서 리스트
연산 : Q ∈ Queue; item ∈ Element;

    // 공백 큐를 생성하는 연산
    createQueue() ::= create an empty Q;

    // 큐가 공백 상태인지 검사하는 연산
    isQueueEmpty(Q) ::= if (Q is empty) then return true
                  else return false;

    // 큐의 rear에 원소를 삽입하는 연산
    enQueue(Q, item) ::= insert item at the rear of Q;

    // 큐의 front에 있는 원소를 삭제하는 연산
    deQueue(Q) ::= if (isQueueEmpty(Q)) then return error
                  else { delete and return the front item Q };

    // 큐의 front에 있는 원소를 반환하는 연산
    peek(Q) ::= if (isQueueEmpty(Q)) then return error
                else { return the front item of the Q };
End Queue
```

큐의 이해

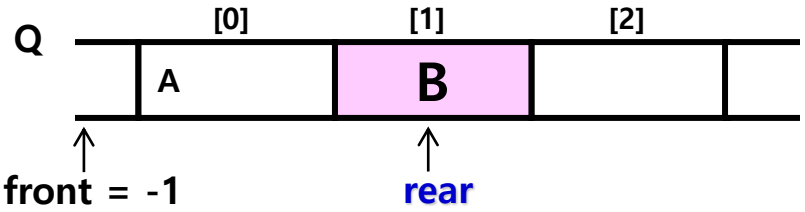
- 큐의 연산 과정
  - ❶ 공백 큐 생성 : createQueue();



  - ❷ 원소 A 삽입 : enQueue(Q, A);

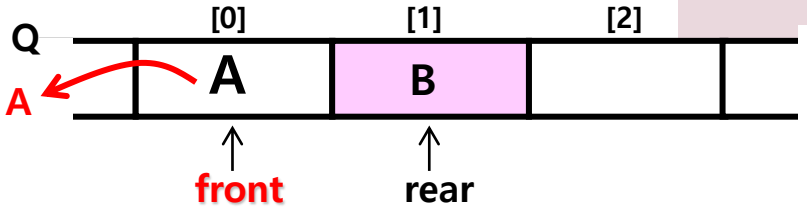


  - ❸ 원소 B 삽입 : enQueue(Q, B);

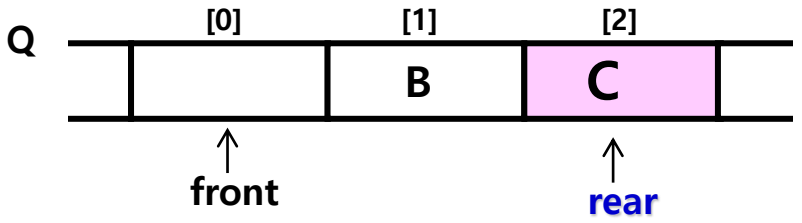


큐의 이해

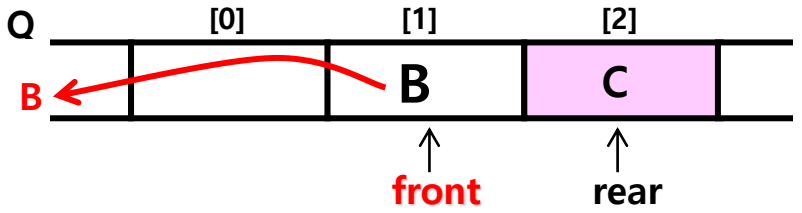
- ❹ 원소 삭제 : deQueue(Q);



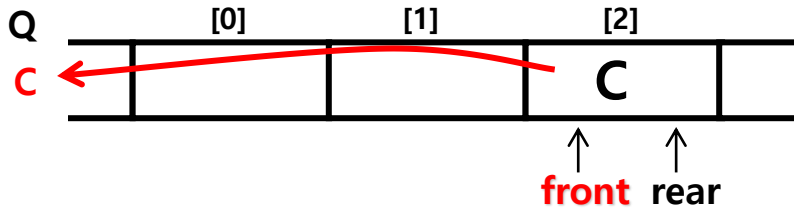
- ❺ 원소 C 삽입 : enQueue(Q, C);



- ❻ 원소 삭제 : deQueue(Q);



- ❼ 원소 삭제 : deQueue(Q);



큐의 구현 : 순차 자료구조를 이용한 큐의 구현

- 순차 큐
  - 1차원 배열을 이용한 큐
    - 큐의 크기 = 배열의 크기
    - 변수 front : 저장된 첫 번째 원소의 인덱스 저장
    - 변수 rear : 저장된 마지막 원소의 인덱스 저장
  - 상태 표현
    - 초기 상태 : front = rear = -1
    - 공백 상태 : front = rear
    - 포화 상태 : rear = n-1 (n : 배열의 크기, n-1 : 배열의 마지막 인덱스)

큐의 구현 : 순차 자료구조를 이용한 큐의 구현

- 초기 공백 큐 생성 알고리즘
  - 크기가 n인 1차원 배열 생성
  - front와 rear를 -1로 초기화

알고리즘 6-1 공백 순차 큐 생성

```
createQueue()
    Q[n];
    front ← -1;
    rear ← -1;
end createQueue()
```

큐의 구현 : 순차 자료구조를 이용한 큐의 구현

- 공백 큐 검사 알고리즘과 포화상태 검사 알고리즘
  - 공백 상태 : front = rear
  - 포화 상태 : rear = n-1 (n : 배열의 크기, n-1 : 배열의 마지막 인덱스)

알고리즘 6-2 순차 큐의 공백 상태 검사

```
isQueueEmpty(Q)
    if (front == rear) then return true;
    else return false;
end isQueueEmpty()
```

알고리즘 6-3 순차 큐의 포화 상태 검사

```
isQueueFull(Q)
    if (rear == n - 1) then return true;
    else return false;
end isQueueFull()
```

큐의 구현 : 순차 자료구조를 이용한 큐의 구현

- 큐의 삽입 알고리즘

알고리즘 6-4 순차 큐의 원소 삽입

```
enQueue(Q, item)
    if (isQueueFull(Q)) then Queue_Full();      // 포화 상태이면 삽입 연산 중단
    else {
        ❶ rear ← rear + 1;
        ❷ Q[rear] ← item;
    }
end enQueue()
```

  - 마지막 원소의 뒤에 삽입해야 하므로
    - ① 마지막 원소의 인덱스를 저장한 **rear**의 값을 하나 증가시켜 **삽입할 자리 준비**
    - ② 수정한 rear값에 해당하는 배열원소 Q[rear]에 item을 저장

큐의 구현 : 순차 자료구조를 이용한 큐의 구현

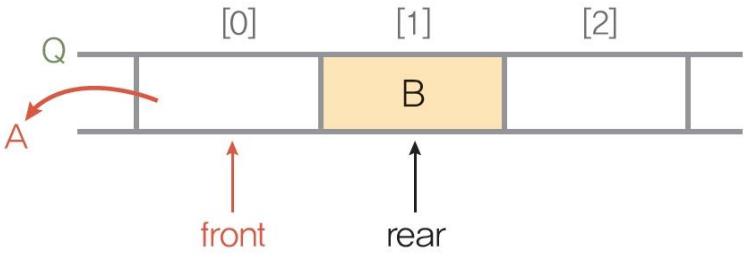
- 큐의 삭제 알고리즘

알고리즘 6-5 순차 큐의 원소 삭제

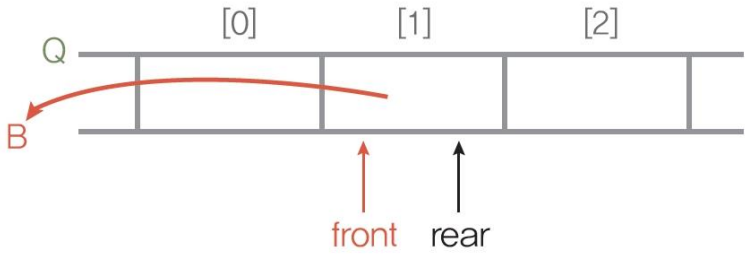
```
deQueue(Q)
    if (isQueueEmpty(Q)) then Queue_Empty();      // 공백 상태이면 삭제 연산 중단
    else {
        ❶ front ← front + 1;
        ❷ return Q[front];
    }
end deQueue()
```

  - 가장 앞에 있는 원소를 삭제해야 하므로
    - ① **front**의 위치를 한자리 뒤로 이동하여 큐에 남아있는 첫 번째 원소의 위치로 이동하여 **삭제할 자리 준비**
    - ② front 자리의 원소를 삭제하여 반환

큐의 구현 : 순차 자료구조를 이용한 큐의 구현



(a) 첫 번째 deQueue( ) 연산 후 상태



(b) 두 번째 deQueue( ) 연산 후 상태

그림 6-4 deQueue( ) 연산 후 상태

큐의 구현 :순차 자료구조를 이용한 큐의 구현

- 큐의 검색 알고리즘

알고리즘 6-6 순차 큐의 원소 검색

```
peekQ(Q)
    if (isQueueEmpty(Q)) then Queue_Empty();
    else return Q[front + 1];
end peekQ()
```

  - 가장 앞에 있는 원소를 검색하여 반환하는 연산
    ① 현재 **front**의 한자리 뒤(front+1)에 있는 원소, 즉 큐에 있는 첫 번째 원소를 반환

큐의 구현 :순차 자료구조를 이용한 큐의 구현

- 순차 자료구조를 이용해 순차 큐 구현하기 :

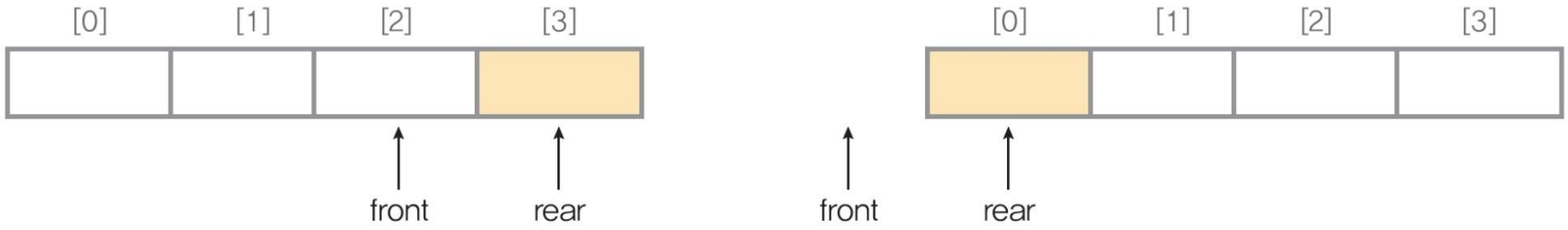
- 실행 결과

```
***** 순차 큐 연산 *****

삽입 A》 Queue : [ A ]
삽입 B》 Queue : [ A B ]
삽입 C》 Queue : [ A B C ] peek item : A

삭제 》 Queue : [ B C ]        삭제 데이터 : A
삭제 》 Queue : [ C ]          삭제 데이터 : B
삭제 》 Queue : [ ]            삭제 데이터 : C
삽입 D》 Queue : [ D ]
삽입 E》 Queue is full!
         Queue : [ D ]
```

큐의 구현 : 원형 큐의 구현

- 순차 큐의 잘못된 포화상태 인식
  - 큐에서 삽입과 삭제를 반복하면서 그림(a)와 같은 상태일 경우, 앞부분에 빈자리가 있지만 rear=n-1 상태이므로 포화상태로 인식하고 더 이상의 삽입을 수행하지 않는다.

- 순차 큐의 잘못된 포화상태 인식의 해결 방법-1
  - 저장된 원소들을 배열의 앞부분으로 이동시키기
    - 순차자료에서의 이동 작업은 연산이 복잡하여 효율성이 떨어짐



(a) 포화 상태로 잘못 인식하는 경우

(b) 큐의 원소들을 앞으로 이동하여 해결

그림 6-5 순차 큐의 잘못된 포화 상태 문제와 해결 방법

큐의 구현 : 원형 큐의 구현

- 순차 큐의 잘못된 포화상태 인식의 해결 방법-2
  - 1차원 배열을 사용하면서 논리적으로 배열의 처음과 끝이 연결되어 있다고 가정하고 사용 ⇒ **원형 큐**
  - 원형 큐의 논리적 구조

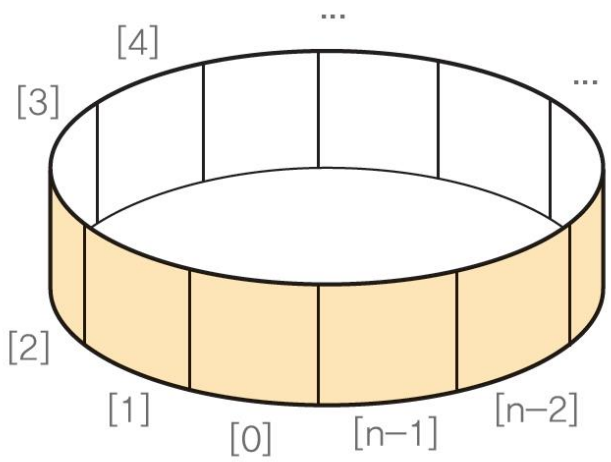


그림 6-6 원형 큐의 논리적 구조

큐의 구현 : 원형 큐의 구현

- 원형 큐의 구조
  - 초기 공백 상태 : front = rear = 0
  - front와 rear의 위치가 배열의 마지막 인덱스 n-1에서 논리적인 다음 자리인 인덱스 0번으로 이동하기 위해서 나머지연산자 mod를 사용
    - 3 ÷ 4 = 0 …**3** (몫=0, 나머지=3)
    - 3 **mod** 4 = **3**

표 6-2 순차 큐와 원형 큐의 비교

종류	삽입 위치	삭제 위치
순차 큐	rear = rear + 1	front = front +1
원형 큐	rear = (rear+1) mod n	front = (front+1) mod n

  - 사용조건) 공백 상태와 포화 상태 구분을 쉽게 하기 위해서 front가 있는 자리는 사용하지 않고 항상 빈자리로 둠

큐의 구현 : 원형 큐의 구현

- 초기 공백 원형 큐 생성 알고리즘
  - 크기가 n인 1차원 배열 생성
  - front와 rear를 0 으로 초기화

알고리즘 6-7 공백 원형 큐 생성

```
createQueue()
    cQ[n];
    front ← 0;
    rear ← 0;
end createQueue()
```

큐의 구현 : 원형 큐의 구현

- 원형 큐의 공백상태 검사 알고리즘과 포화상태 검사 알고리즘

알고리즘 6-8 원형 큐의 공백 상태 검사

```
isCQueueEmpty(cQ)
    if (front == rear) then return true;
    else return false;
end isCQueueEmpty()
```

알고리즘 6-9 원형 큐의 포화 상태 검사

```
isCQueueFull(cQ)
    if (((rear + 1) mod n) == front) then return true;
    else return false;
end isCQueueFull()
```

표 6-3 원형 큐의 상태에 따른 front와 rear의 관계

구분	조건
공백 상태	front == rear
포화 상태	(rear+1) mod n == front

큐의 구현 : 원형 큐의 구현

- 원형 큐의 삽입 알고리즘
  - ① rear의 값을 조정하여 삽입할 자리를 준비 : rear ← (rear+1) mod n;
  - ② 준비한 자리 cQ[rear]에 원소 item을 삽입

알고리즘 6-10 원형 큐의 원소 삽입

```
enCQueue(cQ, item)
    if (isCQueueFull(cQ)) then Queue_Full(); // 포화 상태이면 삽입 연산 중단
    else {
        ❶ rear ←(rear + 1) mod n;
        ❷ cQ[rear] ←item;
}
end enCQueue()
```

큐의 구현 : 원형 큐의 구현

- 원형 큐의 삭제 알고리즘
  - ① front의 값을 조정하여 삭제할 자리를 준비
  - ② 준비한 자리에 있는 원소 cQ[front]를 삭제하여 반환

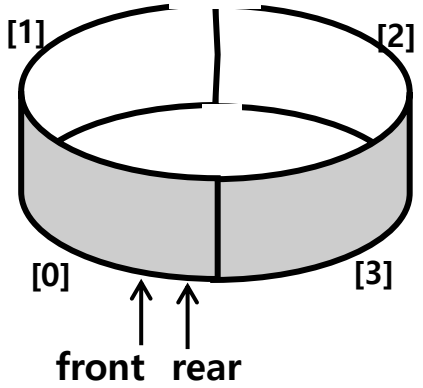
알고리즘 6-11 원형 큐의 원소 삭제

```
deCQueue(cQ)
    if (isCQueueEmpty(cQ)) then Queue_Empty();  // 공백 상태이면 삭제 연산 중단
    else {
        ❶ front ← (front + 1) mod n;
        ❷ return cQ[front];
}
end deCQueue()
```

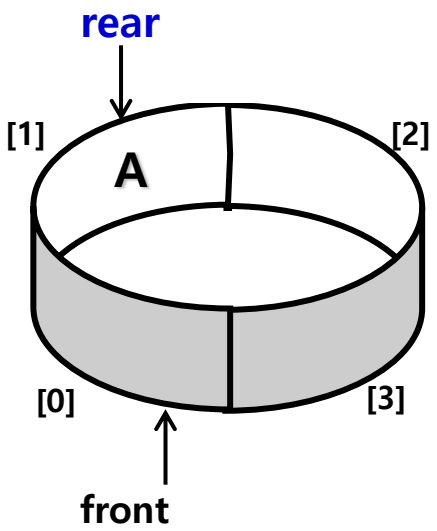
큐의 구현 : 원형 큐의 구현

- 크기가 4인 원형 큐에서 큐를 생성하고 삽입·삭제하는 연산 과정

❶ 공백 원형 큐 생성 : createQueue();

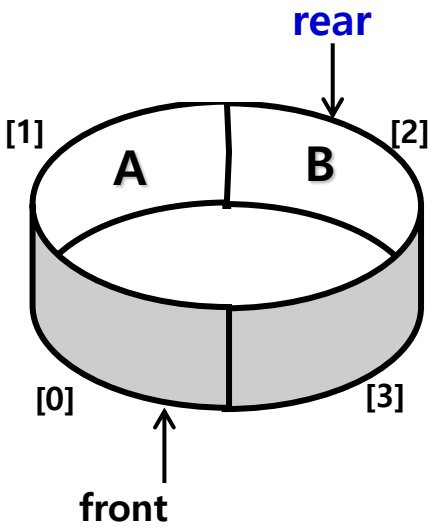


❷ 원소 A 삽입 : enQueue(cQ, A);

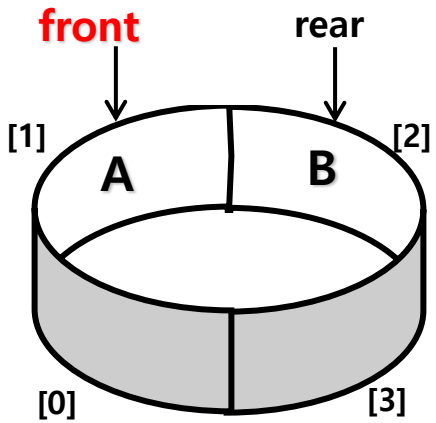


큐의 구현 : 원형 큐의 구현

❸ 원소 B 삽입 : enQueue(cQ, B);

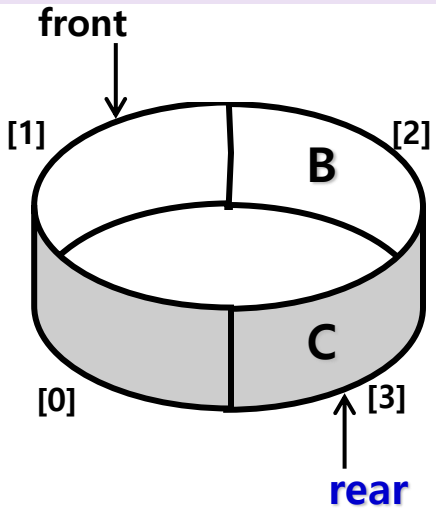


❹ 원소 삭제 : deQueue(cQ);
(삭제 데이터 : A)

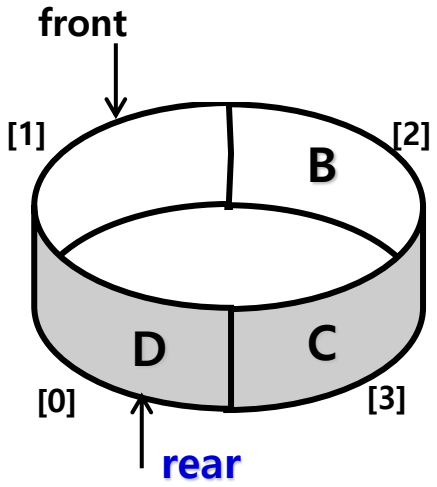


큐의 구현 : 원형 큐의 구현

❺ 원소 C 삽입 : enQueue(cQ, C);



❻ 원소 D 삽입 : enQueue(cQ, D);



큐의 구현 : 원형 큐의 구현

- 순차 자료구조를 이용해 원형 큐 구현하기 :

- 실행 결과

```
***** 원형 큐 연산 *****

삽입 A〉〉 Circular Queue : [ A ]
삽입 B〉〉 Circular Queue : [ A B ]
삽입 C〉〉 Circular Queue : [ A B C ] peek item : A

삭제 〉〉 Circular Queue : [ B C ]      삭제 데이터 : A
삭제 〉〉 Circular Queue : [ C ]        삭제 데이터 : B
삭제 〉〉 Circular Queue : [ ]          삭제 데이터 : C
삽입 D〉〉 Circular Queue : [ D ]
삽입 E〉〉 Circular Queue : [ D E ]
```

큐의 구현 : 연결 자료구조를 이용한 큐의 구현

- 연결 큐
  - 단순 연결 리스트를 이용한 큐
    - 큐의 원소 : 단순 연결 리스트의 노드
    - 큐의 원소의 순서 : 노드의 링크 포인터로 연결
    - 변수 front : 첫 번째 노드를 가리키는 포인터 변수
    - 변수 rear : 마지막 노드를 가리키는 포인터 변수
  - 상태 표현
    - 초기 상태와 공백 상태 : front = rear = null
  - 연결 큐의 구조

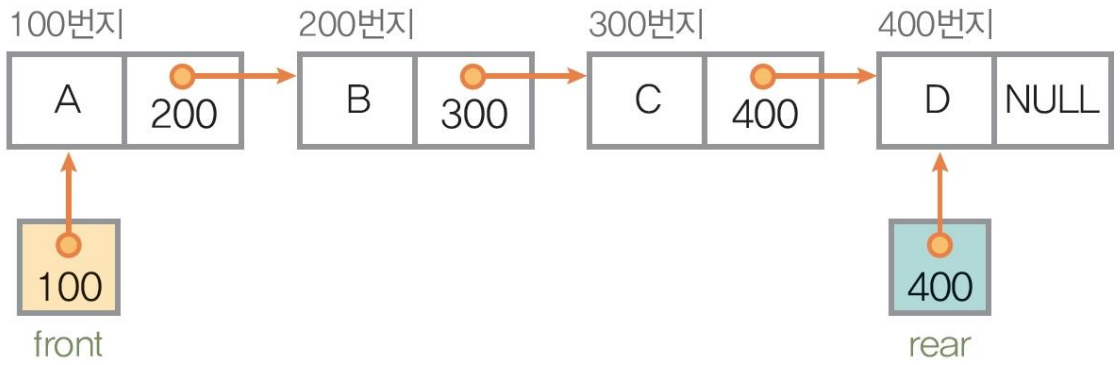


그림 6-7 연결 큐의 구조

큐의 구현 : 연결 자료구조를 이용한 큐의 구현

- 공백 연결 큐 생성 알고리즘
  - 초기화 : front = rear = null

알고리즘 6-12 공백 연결 큐 생성

```
createLinkedQueue()
    front ← NULL;
    rear ← NULL;
end createLinkedQueue()
```

- 연결 큐의 공백 상태 검사 알고리즘
  - 공백 상태 : front = rear = null

알고리즘 6-13 연결 큐의 공백 상태 검사

```
isLQEmpty(LQ)
    if (front == NULL) then return true;
    else return false;
end isLQEmpty()
```

큐의 구현 : 연결 자료구조를 이용한 큐의 구현

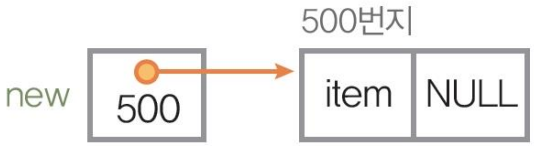
- 연결 큐의 삽입 알고리즘

알고리즘 6-14 연결 큐의 원소 삽입

```
enLQueue(LQ, item)
    ❶ { new ← getNode();
        new.data ← item;
        new.link ← NULL;
    ❷ { if (front == NULL) then {
            rear ← new;
            front ← new;
        }
    ❸ { else {
            rear.link ← new;
            rear ← new;
        }
end enLQueue()
```

큐의 구현 : 연결 자료구조를 이용한 큐의 구현

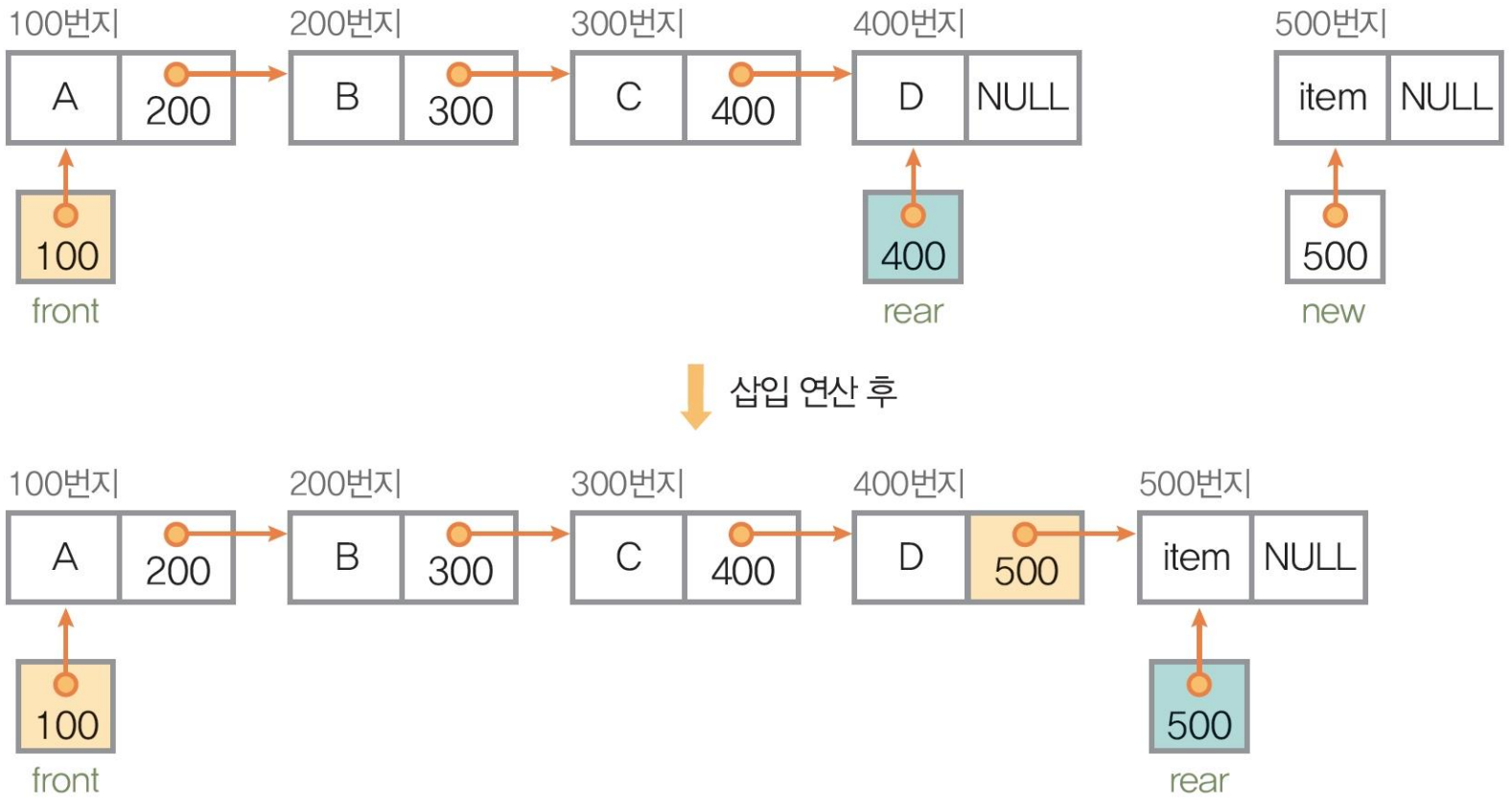
❶ 삽입할 새 노드를 생성하여 데이터 필드에 item을 저장. 삽입할 새 노드는 연결 큐의 마지막 노드가 되어야 하므로 링크 필드에 NULL을 저장



❷ 새 노드를 삽입하기 전에 연결 큐가 공백인지 아닌지를 검사. 연결 큐가 공백인 경우에는 삽입할 새 노드가 큐의 첫 번째 노드이자 마지막 노드이므로 포인터 front와 rear가 모두 새 노드를 가리키도록 설정

큐의 구현 : 연결 자료구조를 이용한 큐의 구현

❸ 큐가 공백이 아닌 경우, 즉 노드가 있는 경우에는 현재 큐의 마지막 노드의 뒤에 새 노드를 삽입하고 마지막 노드를 가리키는 rear가 삽입한 새 노드를 가리키도록 설정



큐의 구현 : 연결 자료구조를 이용한 큐의 구현

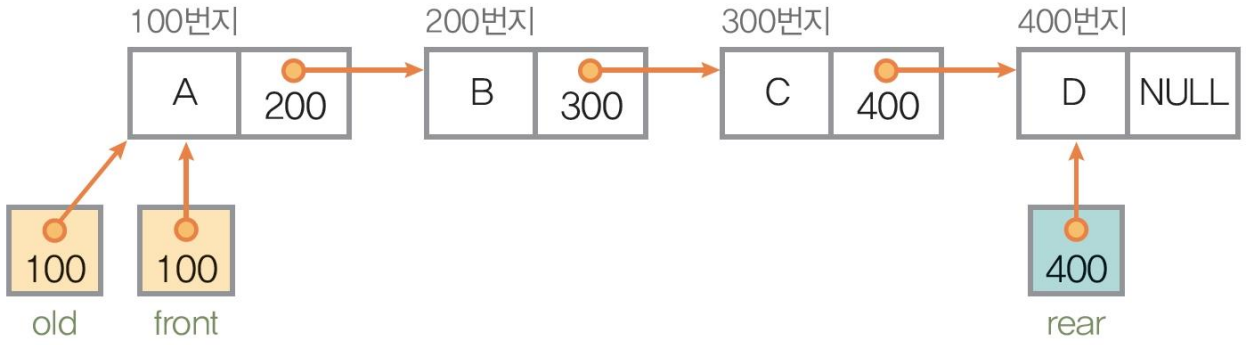
- 연결 큐의 원소 삭제 알고리즘

알고리즘 6-15 연결 큐의 원소 삭제

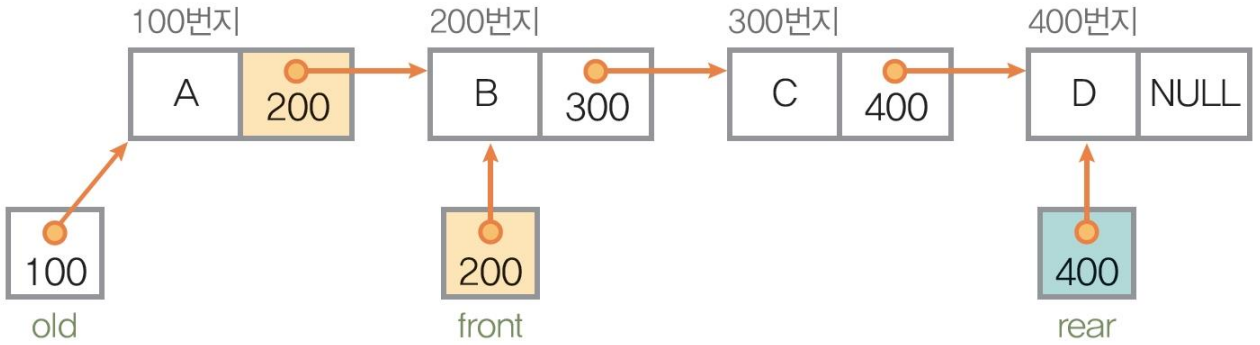
```
deLQueue(LQ)
    if (isLQEmpty(LQ)) then Queue_Empty();
    else {
        ❶ old ←front;
          item ← front.data;
        ❷ front ← front.link;
        ❸ if (isLQEmpty(LQ)) then rear ← NULL;
        ❹ returnNode(old);
          return item;
    }
end deLQueue()
```

큐의 구현 : 연결 자료구조를 이용한 큐의 구현

❶ 삭제 연산에서 삭제할 노드는 큐의 첫 번째 노드로, 포인터 front가 가리키고 있는 노드. Front가 가리키는 노드를 포인터 old가 가리키게 하여 삭제할 노드로 지정

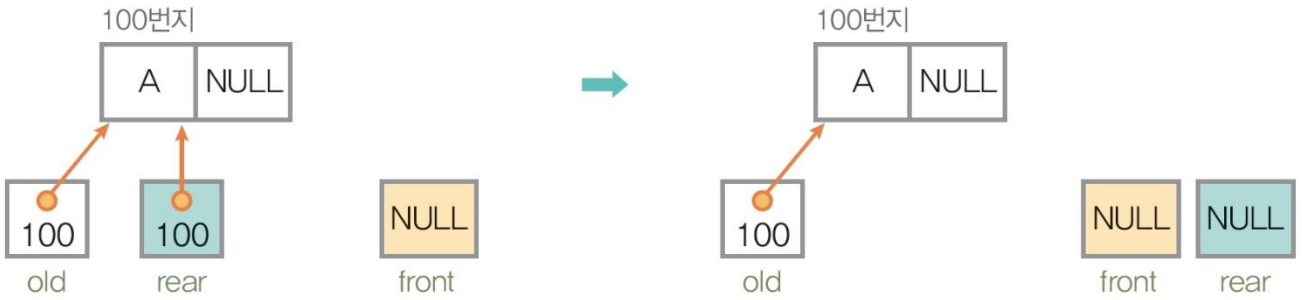


❷ 삭제 연산 후에는 현재 front 노드 다음 노드(front.link)가 front 노드가 되어야 하므로 포인터 front를 재설정

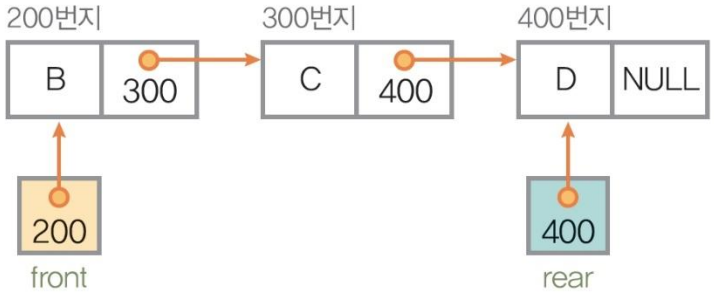


큐의 구현 : 연결 자료구조를 이용한 큐의 구현

❸ 현재 큐에 노드가 하나뿐이어서 재설정한 front가 NULL이 되는 경우에는 삭제 연산 후에 공백 큐가 되므로 포인터 rear를 NULL로 설정



❹ 포인터 old가 가리키고 있는 노드를 삭제하여 메모리 공간을 시스템에 반환(returnNode())



큐의 구현 : 연결 자료구조를 이용한 큐의 구현

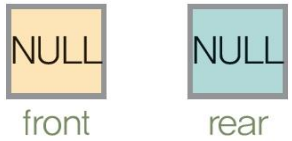
- 연결 큐의 원소 검색 알고리즘
  - 연결 큐의 첫 번째 노드, 즉 front 노드의 데이터 필드 값을 반환

알고리즘 6-16 연결 큐의 원소 검색

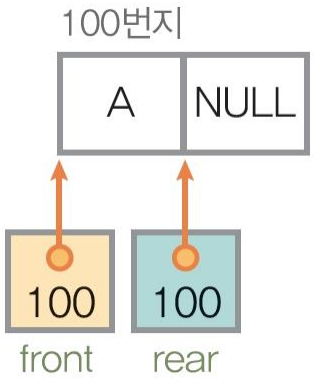
```
peekLQ(LQ)
    if (isLQEmpty(LQ)) then Queue_Empty()
    else return (front.data);
end peekLQ()
```

큐의 구현 : 연결자료구조를 이용한 큐의 구현

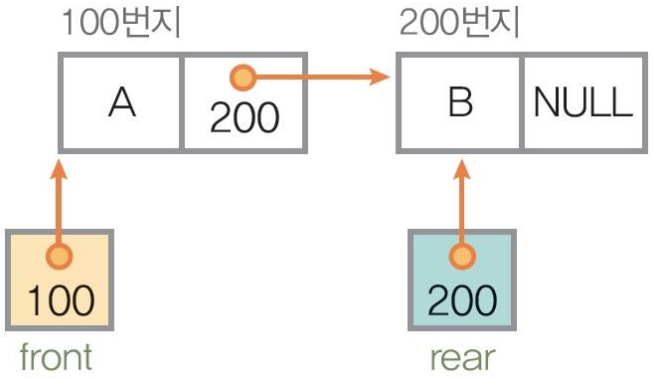
- 연결 큐에서의 연산 과정
  - ❶ 공백 연결 큐 생성 : createLinkedQueue();



❷ 원소 A 삽입 : enLQueue(LQ, A);

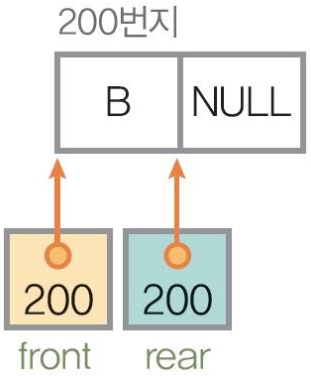


❸ 원소 B 삽입 : enLQueue(LQ, B);

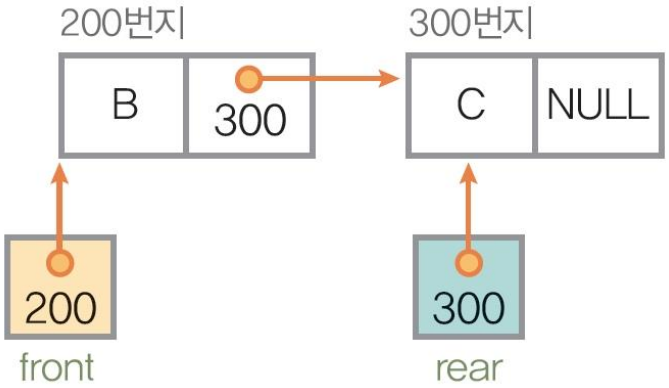


큐의 구현 : 연결자료구조를 이용한 큐의 구현

❹ 원소 삭제 : deLQueue(LQ);

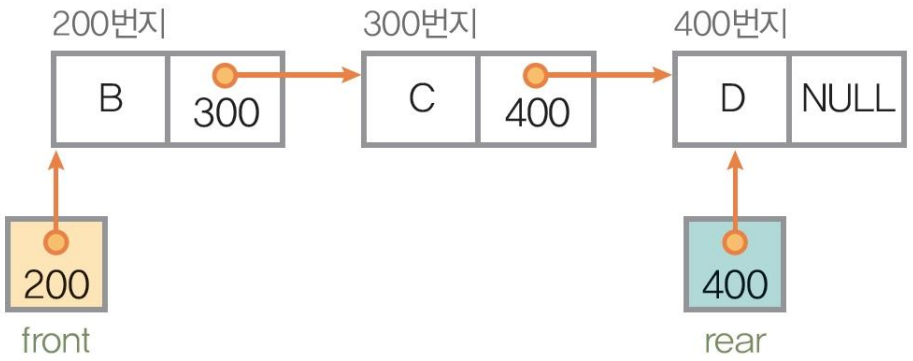


❺ 원소 C 삽입 : enLQueue(LQ, C);

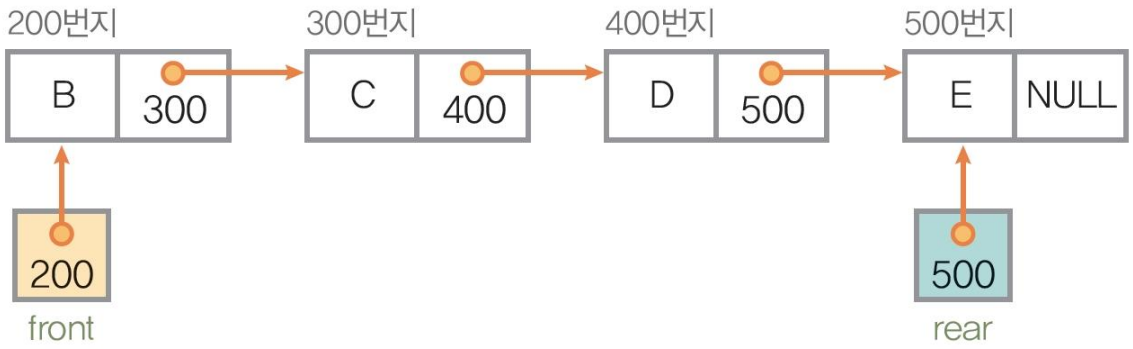


큐의 구현 : 연결자료구조를 이용한 큐의 구현

❻ 원소 D 삽입 : enLQueue(LQ, D);



❼ 원소 E 삽입 : enLQueue(LQ, E);



큐의 구현 : 연결자료구조를 이용한 큐의 구현

- 연결 자료구조를 이용해 연결 큐 구현하기 :

- 실행 결과

```
***** 연결 큐 연산 *****

삽입 A》 Linked Queue : [ A ]
삽입 B》 Linked Queue : [ A B ]
삽입 C》 Linked Queue : [ A B C ]      peek item : A

삭제 》 Linked Queue : [ B C ]         삭제 데이터 : A
삭제 》 Linked Queue : [ C ]           삭제 데이터 : B
삭제 》 Linked Queue : [ ]             삭제 데이터 : C
삽입 D》 Linked Queue : [ D ]
삽입 E》 Linked Queue : [ D E ]
```

데크

- 데크Deque : double-ended queue
  - 큐 두 개 중 하나를 좌우로 뒤집어서 붙인 구조, 큐의 양쪽 끝에서 삽입 연산과 삭제 연산을 수행할 수 있도록 확장한 자료구조

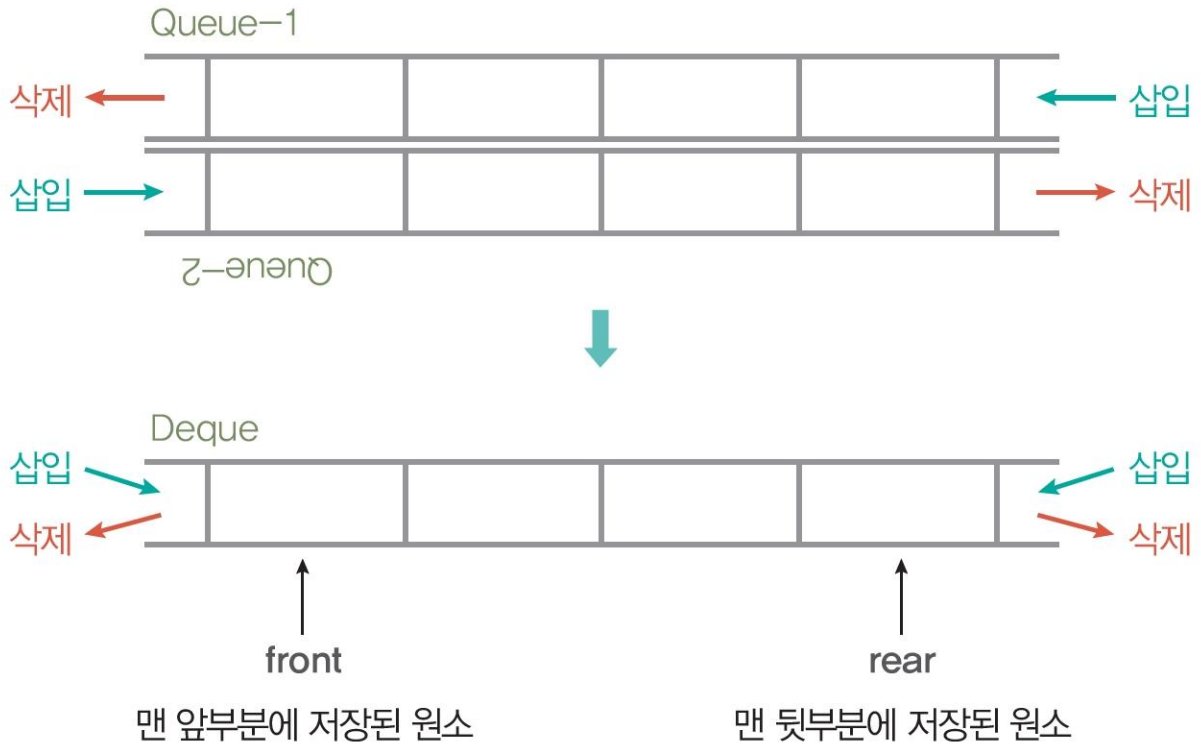


그림 6-8 데크의 구조

데크

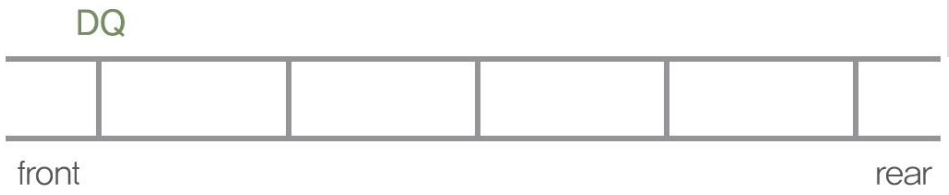
ADT 6-2 데크의 추상 자료형

```
ADT deque
데이터 : 0개 이상의 원소를 가진 유한 순서 리스트
연산 :
    DQ ∈ deque; item ∈ Element;

    // 공백 데크를 생성하는 연산
    createDeque() ::= create an empty DQ;

    // 데크가 공백 상태인지 검사하는 연산
    isDeQEmpty(DQ) ::= if (DQ is empty) then return true
                       else return false;

    // 데크의 front 앞에 item(원소)을 삽입하는 연산
    insertFront(DQ, item) ::= insert item at the front of DQ;

    // 데크의 rear 뒤에 item(원소)을 삽입하는 연산
    insertRear(DQ, item) ::= insert item at the rear of DQ;

    // 데크의 front에 있는 item(원소)을 삭제하는 연산
    deleteFront(DQ) ::= if (isDeQEmpty(DQ)) then return NULL
                        else { delete and return the front item of DQ };

    // 데크의 rear에 있는 item(원소)을 삭제하는 연산
    deleteRear(DQ) ::= if (isDeQEmpty(DQ)) then return NULL
                       else { delete and return the rear item of DQ };

    // 데크의 front에 있는 item(원소)을 반환하는 연산
    getFront(DQ) ::= if (isDeQEmpty(DQ)) then return NULL
                     else { return the front item of the DQ };

    // 데크의 rear에 있는 item(원소)을 반환하는 연산
    getRear(DQ) ::= if (isDeQEmpty(DQ)) then return NULL
                    else { return the rear item of the DQ };
End deque
```

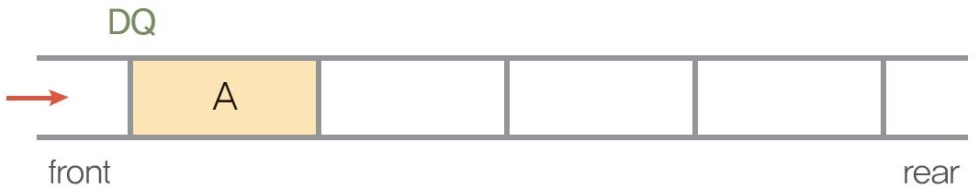
데크

- 데크의 연산 과정

❶ createDeque();

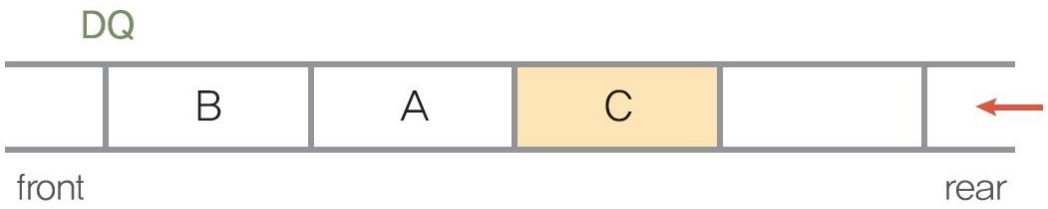


❷ insertFront(DQ, 'A');



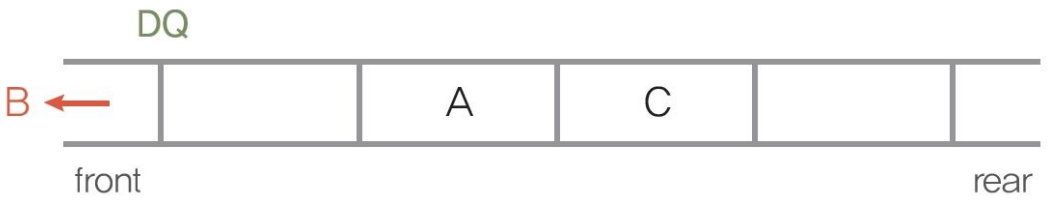
❸ insertFront(DQ, 'B');

❹ insertRear(DQ, 'C');

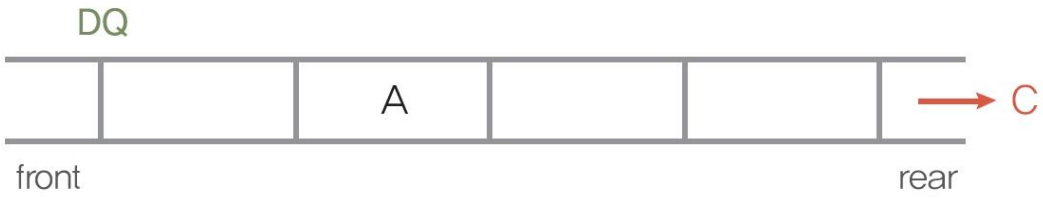


데크

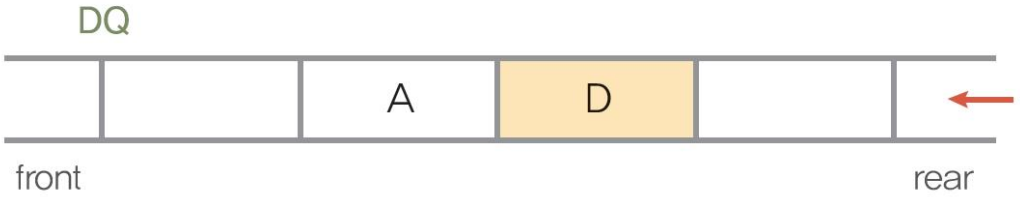
❺ deleteFront(DQ);



❻ deleteRear(DQ);



❼ insertRear(DQ, 'D');



❽ insertFront(DQ, 'E');

데크

❾ insertFront(DQ, 'F');

- 데크의 구현
  - 양쪽 끝에서 삽입/삭제 연산을 수행하면서 크기 변화와 저장된 원소의 순서 변화가 많으므로 순차 자료구조는 비효율적임
  - 양방향으로 연산이 가능한 이중 연결 리스트를 사용

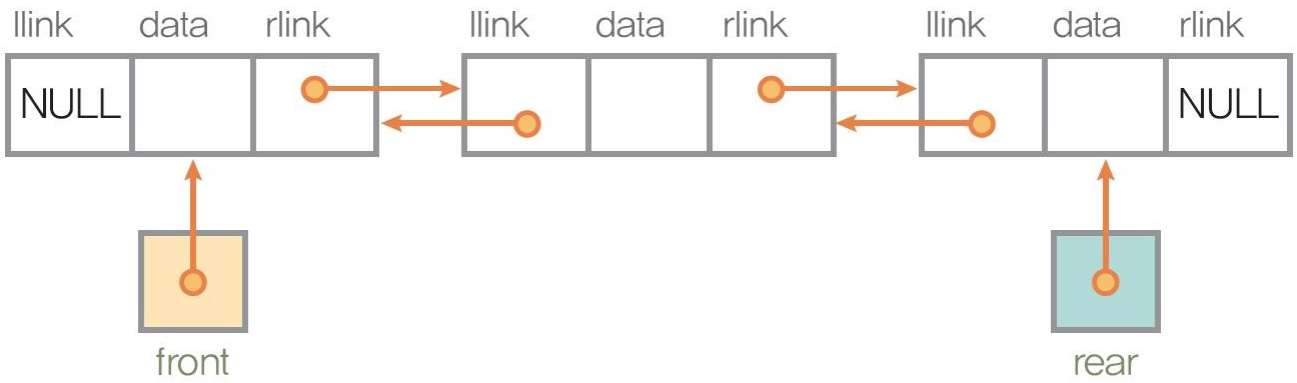


그림 6-9 데크의 이중 연결 리스트 구조

데크

- 이중 연결 리스트를 이용해 데크 구현하기 :

- 실행 결과

```
***** 데크 연산 *****

front 삽입 A》 DeQue : [ A ]
front 삽입 B》 DeQue : [ B A ]
rear  삽입 C》 DeQue : [ B A C ]
front 삭제  》 DeQue : [ A C ]      삭제 데이터 : B
rear  삭제  》 DeQue : [ A ]        삭제 데이터 : C
rear  삽입 D》 DeQue : [ A D ]
front 삽입 E》 DeQue : [ E A D ]
front 삽입 F》 DeQue : [ F E A D ]
peek Front item : F
peek Rear item : D
```

큐의 응용 : 운영체제의 작업 큐

- 운영체제의 작업 큐
  - 프린터 버퍼 큐Printer Buffer Queue
    - CPU에서 프린터로 보낸 데이터 순서대로(선입선출) 프린터에서 출력하기 위해서 선입선출 구조의 큐 사용
  - 스케줄링 큐Scheduling Queue
    - CPU 사용을 요청한 프로세서들의 순서를 스케줄링 하기 위해서 큐를 사용

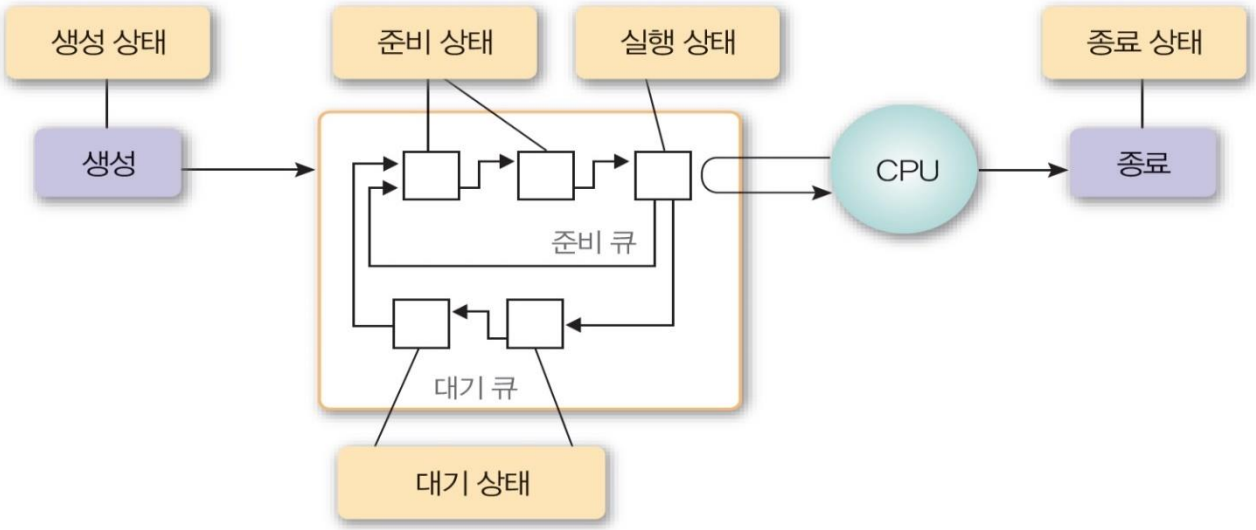


그림 6-10 프로세스 스케줄링 큐

큐의 응용 : 시뮬레이션에서의 큐잉 시스템

- 시뮬레이션에서의 큐잉 시스템
  - 시뮬레이션을 위한 수학적 모델링에서 대기행렬과 대기시간 등을 모델링 하기 위해서 큐잉 이론(Queue theory) 사용

질문 및 정리