

자료구조(Data Structures)

4장. 리스트

담당 교수 : 조 미경

이번 장에서 학습할 내용



- * 리스트란?
- * 배열로 리스트 구현
- * 연결리스트로 리스트 구현
- * 연결리스트 종류
- * 연결리스트 응용: 다항식 구현

리스트란?

- 리스트(list), 선형리스트(linear list): 순서를 가진 항목들의 모임
 - ▶ 집합: 항목간의 순서의 개념이 없음

$$L = (item_0, item_1, \dots, item_{n-1})$$

- 리스트의 예
 - 요일: (일요일, 월요일, ..., 토요일)
 - 한글 자음의 모임: (ㄱ, ㄴ, ..., ㅎ)
 - 카드: (Ace, 2, 3, ..., King)
 - 핸드폰의 문자 메시지 리스트



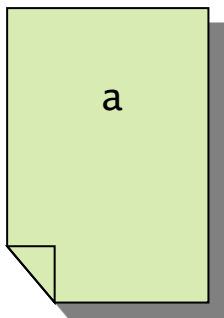
리스트의 연산

- 새로운 항목을 리스트의 끝, 처음, 중간에 추가한다.
- 기존의 항목을 리스트의 임의의 위치에서 삭제한다.
- 모든 항목을 삭제한다.
- 기존의 항목을 대체한다.
- 리스트가 특정한 항목을 가지고 있는지를 살핀다.
- 리스트의 특정위치의 항목을 반환한다.
- 리스트 안의 항목의 개수를 센다.
- 리스트가 비었는지, 꽉 찼는지를 체크한다.
- 리스트 안의 모든 항목을 표시한다.

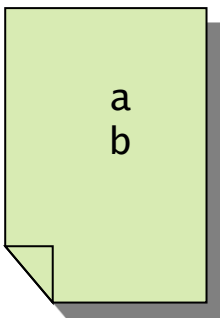
리스트 ADT

- 객체: n개의 element형으로 구성된 순서 있는 모임
- 연산:
 - 1) `add_last(list, item)` ::= 맨 끝에 요소를 추가한다.
 - 2) `add_first(list, item)` ::= 맨 끝에 요소를 추가한다.
 - 3) `add(list, pos, item)` ::= pos 위치에 요소를 추가한다.
 - 4) `delete(list, pos)` ::= pos 위치의 요소를 제거한다.
 - 5) `clear(list)` ::= 리스트의 모든 요소를 제거한다.
 - 6) `replace(list, pos, item)` ::= pos 위치의 요소를 item로 바꾼다.
 - 7) `is_in_list(list, item)` ::= item이 리스트 안에 있는지를 검사한다.
 - 8) `get_entry(list, pos)` ::= pos 위치의 요소를 반환한다.
 - 9) `get_length(list)` ::= 리스트의 길이를 구한다.
 - 10) `is_empty(list)` ::= 리스트가 비었는지를 검사한다.
 - 11) `is_full(list)` ::= 리스트가 꽉 찼는지를 검사한다.
 - 12) `display(list)` ::= 리스트의 모든 요소를 표시한다.

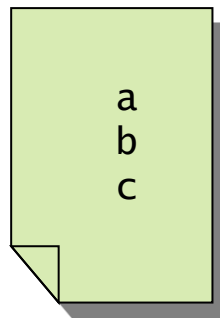
리스트 ADT 사용 예 #1



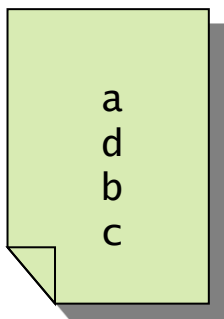
`add_last(list1,a)`



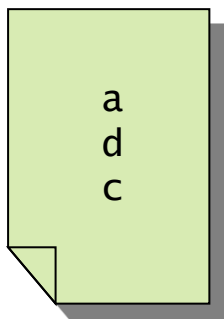
`add_last(list1,b)`



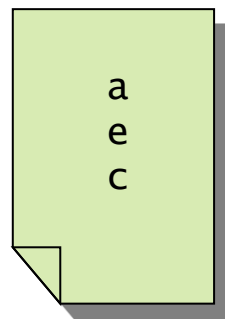
`add(list1,2,c)`



`add(list1,1,d)`



`delete(list1,2)`



`replace(list1,1,e)`

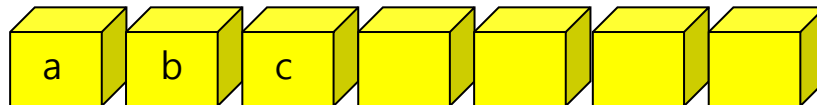
리스트 ADT 사용 예 #2

```
main()
{
    int i, n;
    // list2를 생성한다: 구현방법에 따라 약간씩 다름
    ListType list2;
    add_last (&list2,"마요네즈"); // 리스트의 포인터를 전달
    add_last (&list2,"빵");
    add_last (&list2,"치즈");
    add_last (&list2,"우유");
    display(&list2);
    n = get_length(&list2);
    printf("쇼핑해야 할 항목 수는 %d입니다.\n", n);
    for(i=0;i<n;i++)
        printf("%d항목은 %s입니다.", i,get_entry(&list2,i));
}
```

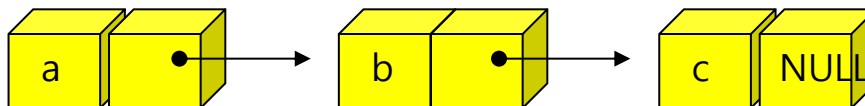
리스트 구현 방법

리스트 ADT

배열을 이용한 구현



연결리스트를 이용한 구현



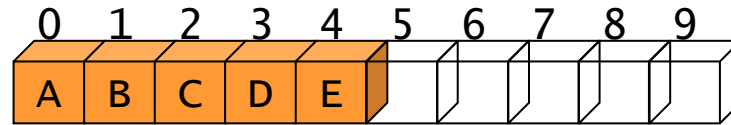
리스트 구현 방법

- 배열을 이용하는 방법
 - ▶ 구현이 간단
 - ▶ 삽입, 삭제 시 오버헤드
 - ▶ 항목의 개수 제한
- 연결리스트를 이용하는 방법
 - ▶ 구현이 복잡
 - ▶ 삽입, 삭제가 효율적
 - ▶ 크기가 제한되지 않음

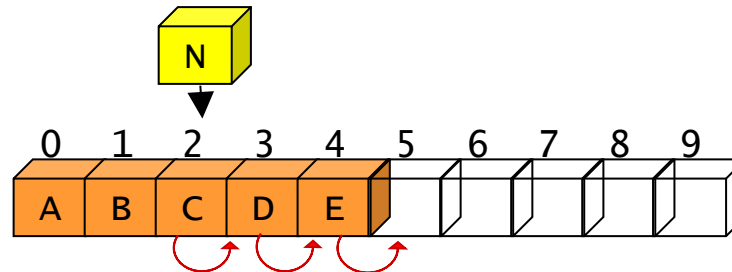
배열로 구현된 리스트

- 1차원 배열에 항목들을 순서대로 저장

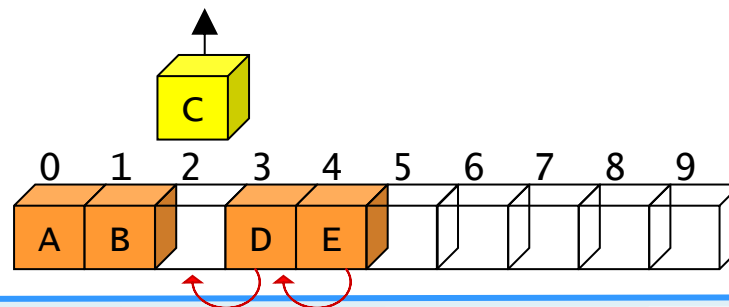
▶ $L=(A, B, C, D, E)$



- 삽입연산: 삽입위치 다음의 항목들을 이동하여야 함.



- 삭제연산: 삭제위치 다음의 항목들을 이동하여야 함



ArrayListType의 구현

- 항목들의 타입은 element로 정의
- list라는 1차원 배열에 항목들을 차례대로 저장
- length에 항목의 개수 저장

```
typedef int element;
typedef struct {
    element list[MAX_LIST_SIZE];    // 배열 정의
    int length;                    // 현재 배열에 저장된 항목들의 개수
} ArrayListType;
```

```
// 리스트 초기화
void init(ArrayListType *L)
{
    L->length = 0;
}
```

ArrayListType의 구현

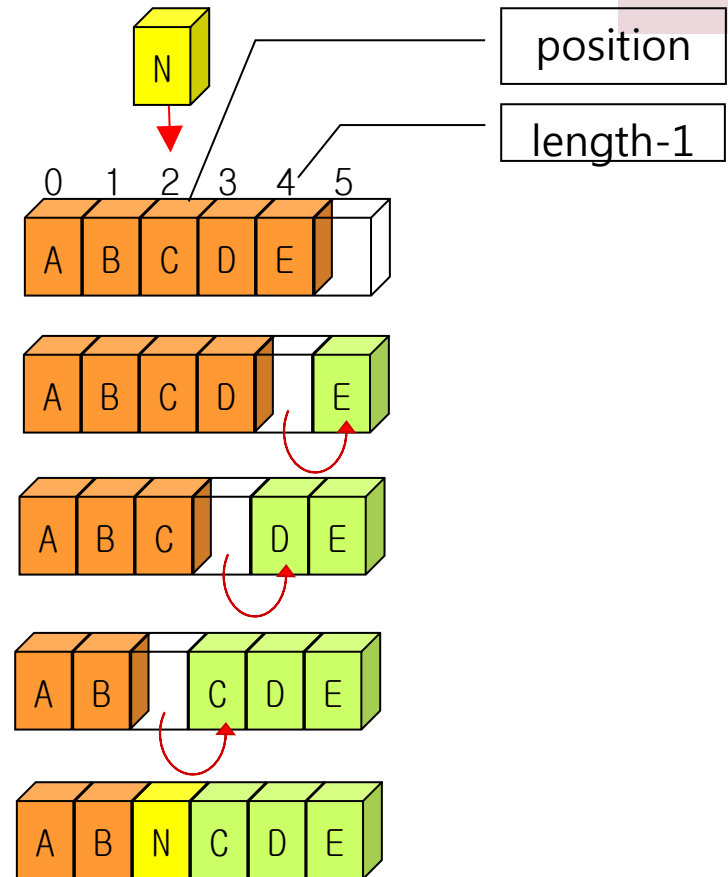
- is_empty 연산과 is_full 연산의 구현

```
// 리스트가 비어 있으면 1을 반환
// 그렇지 않으면 0을 반환
int is_empty(ArrayListType *L)
{
    return L->length == 0;
}

// 리스트가 가득 차 있으면 1을 반환
// 그렇지 않으면 0을 반환
int is_full(ArrayListType *L)
{
    return L->length == MAX_LIST_SIZE;
}
```

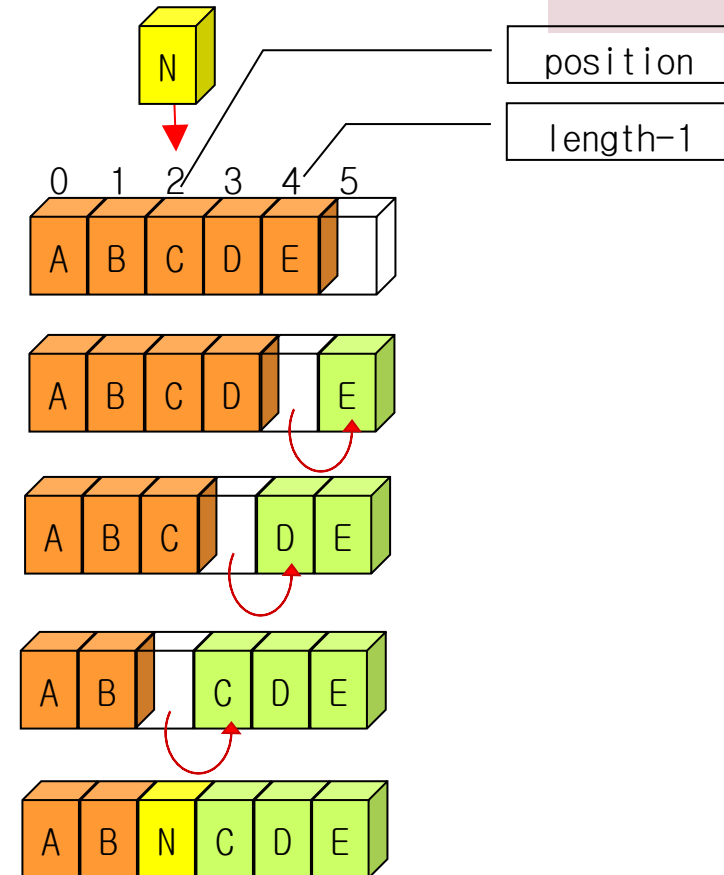
ArrayListType의 삽입 연산

1. `add` 함수는 먼저 배열이 포화 상태인지를 검사하고 삽입 위치가 적합한 범위에 있는지를 검사한다.
2. 삽입 위치 다음에 있는 자료들을 한 칸씩 뒤로 이동한다..



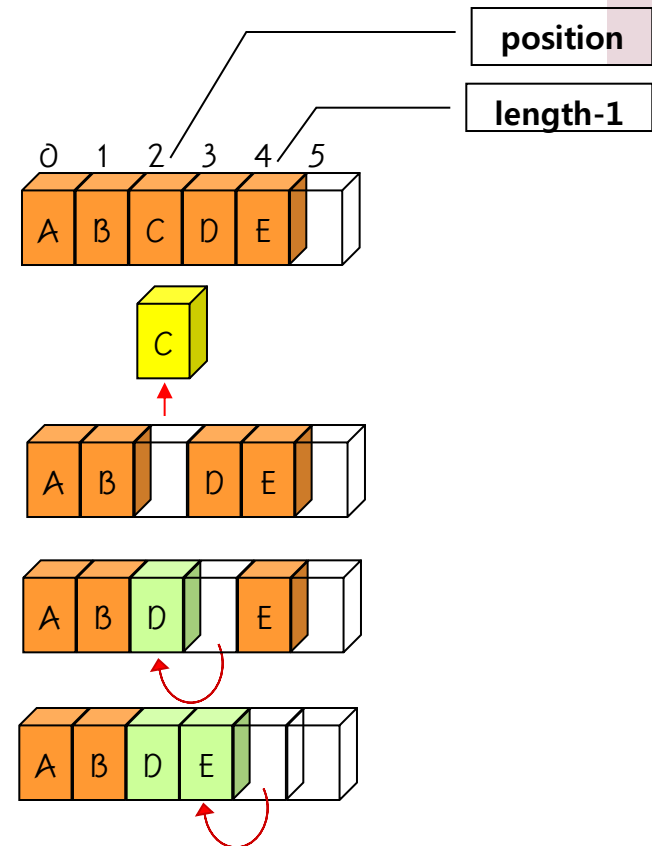
ArrayListType의 삽입 연산

```
// position: 삽입하고자 하는 위치
// item: 삽입하고자 하는 자료
void add(ArrayListType *L, int position,
          element item)
{
    if( !is_full(L) && (position >= 0)    &&
        (position < L->length) )
    {
        int i;
        for(i=(L->length-1); i>=position;i--)
            L->list[i+1] = L->list[i]; //오른쪽으로 이동
        L->list[position] = item;
        L->length++;
    }
}
```



ArrayListType의 삭제 연산

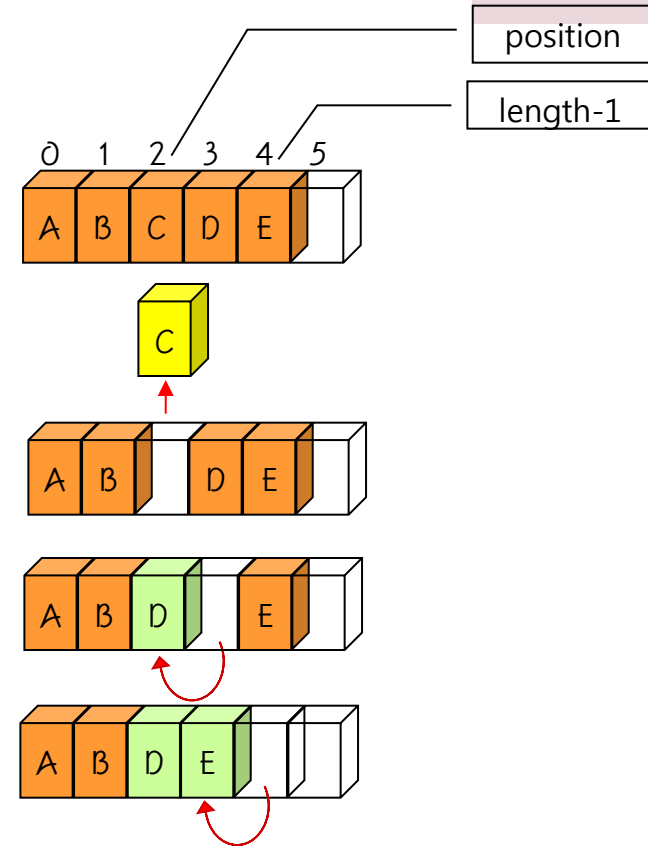
1. 삭제 위치를 검사한다.
2. 삭제위치부터 맨 끝까지의 자료를 한 칸씩 앞으로 옮긴다.



ArrayListType의 삭제 연산

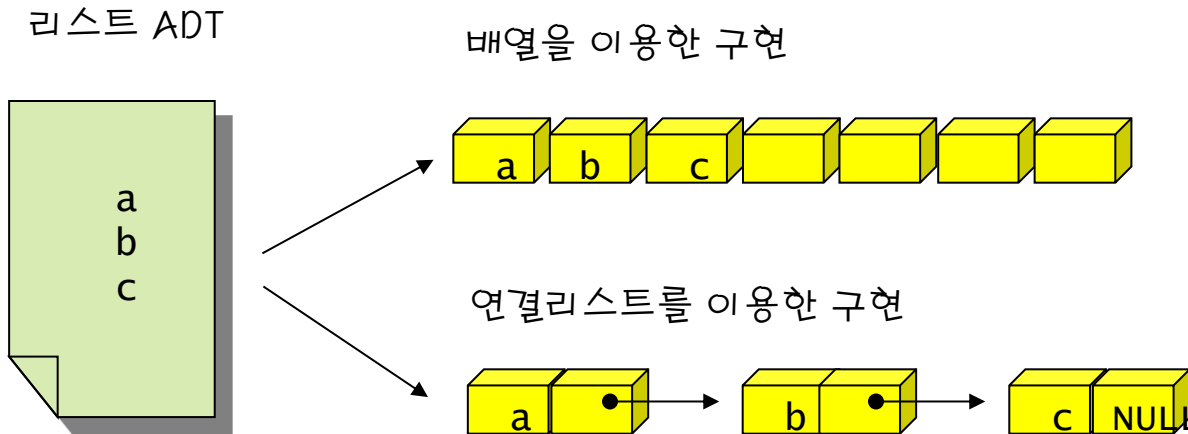
```
// position: 삭제하고자 하는 위치
// 반환값: 삭제되는 자료
element delete(ArrayListType *L, int position)
{
    int i;
    element item;

    if( position < 0 || position > L->length )
        error("위치 오류");
    item = L->list[position];
    for(i=position; i<(L->length-1); i++)
        L->list[i] = L->list[i+1]; //왼쪽으로 이동
    L->length--;
    return item;
}
```



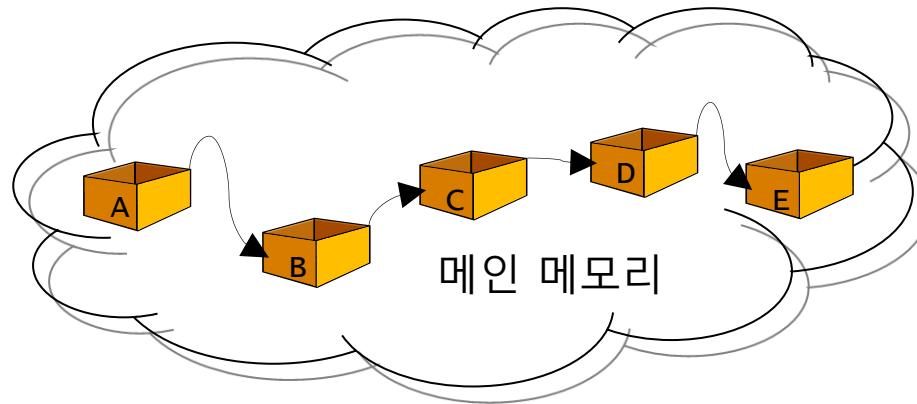
연결 리스트

- 리스트 표현의 2가지 방법
 - ▶ 순차 표현: 배열을 이용한 리스트 표현
 - ▶ 연결된 표현: 연결 리스트를 사용한 리스트 표현, 하나의 노드가 데이터와 링크로 구성되어 있고 링크가 노드들을 연결한다.



연결된 표현

- 리스트의 항목들을 노드(node)라고 하는 곳에 분산하여 저장
- 다음 항목을 가리키는 주소도 같이 저장
- 노드 (node) : <항목, 주소> 쌍
- 노드는 데이터 필드와 링크 필드로 구성
 - ▶ 데이터 필드 - 리스트의 원소, 즉 데이터 값을 저장하는 곳
 - ▶ 링크 필드 - 다른 노드의 주소 값을 저장하는 장소 (포인터)
- 메모리 안에서의 노드의 물리적 순서가 리스트의 논리적 순서와 일치할 필요 없음



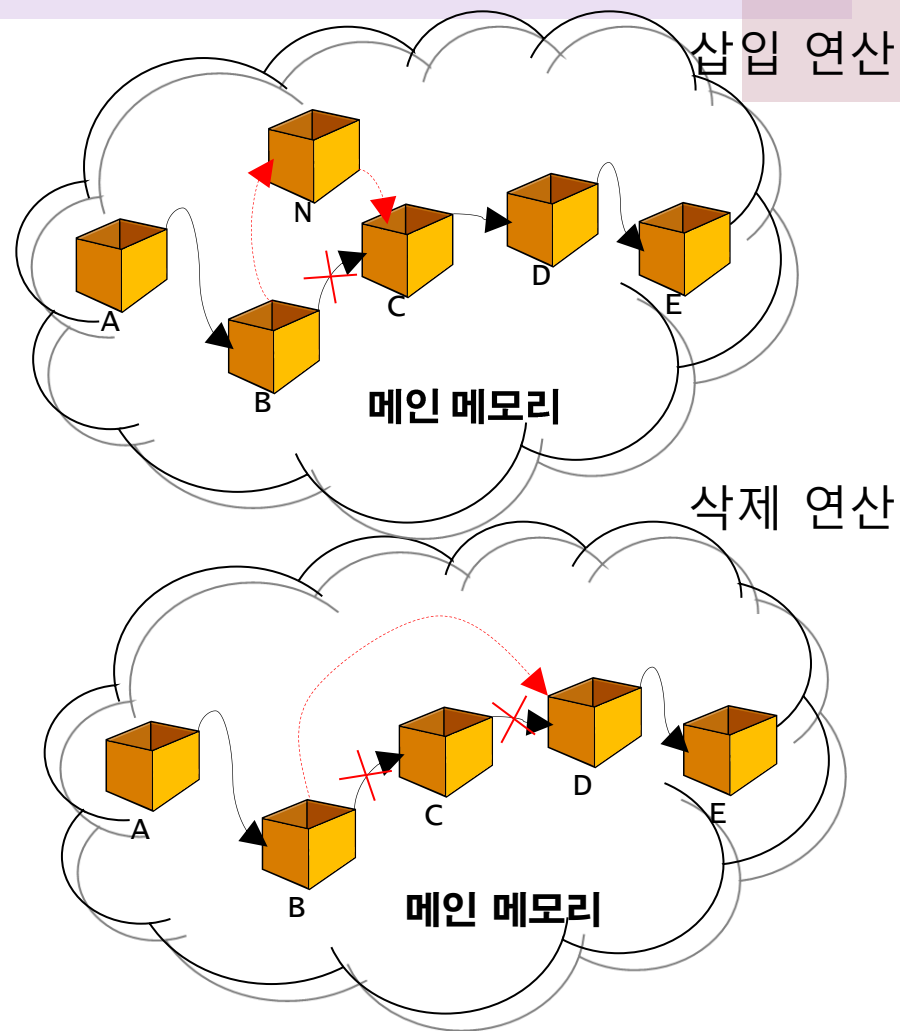
연결된 표현의 장단점

장점

- ▶ 삽입, 삭제가 보다 용이하다.
- ▶ 연속된 메모리 공간이 필요없다.
- ▶ 크기 제한이 없다

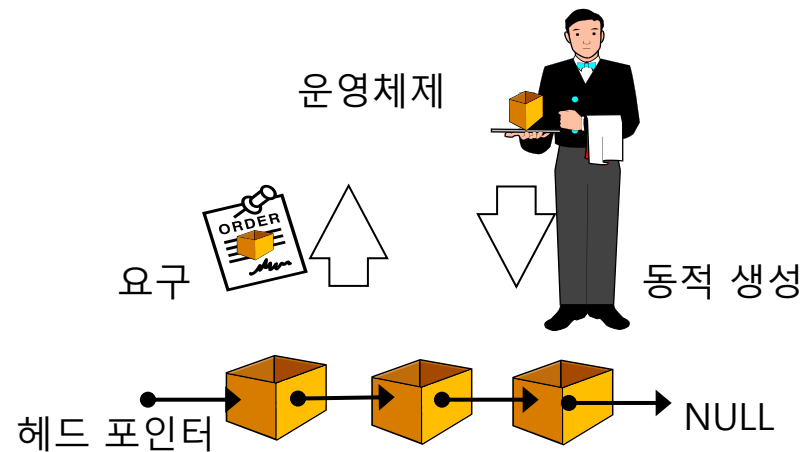
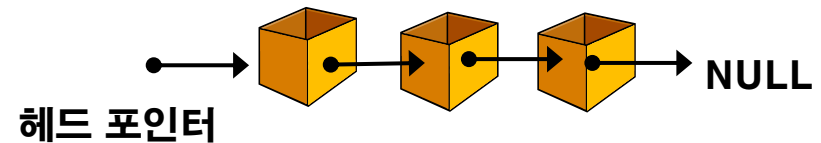
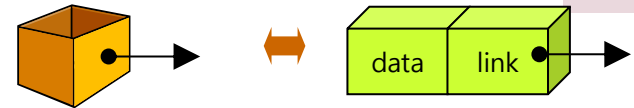
단점

- ▶ 구현이 어렵다.
- ▶ 오류가 발생하기 쉽다.

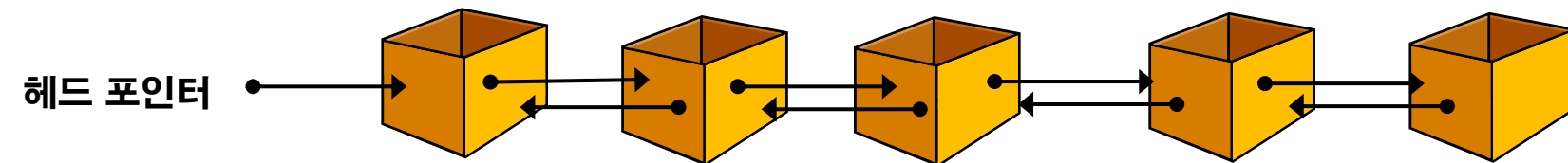
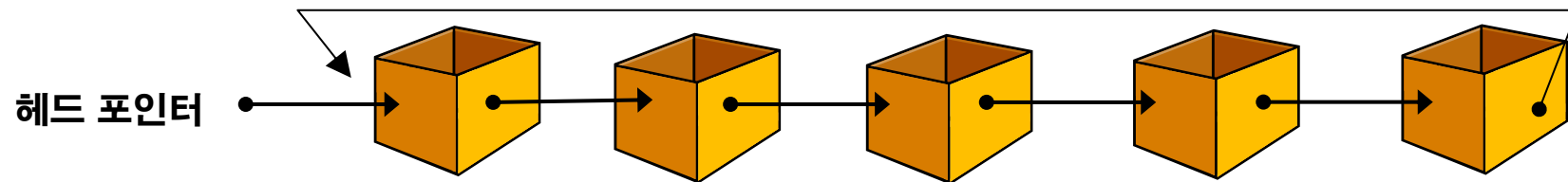
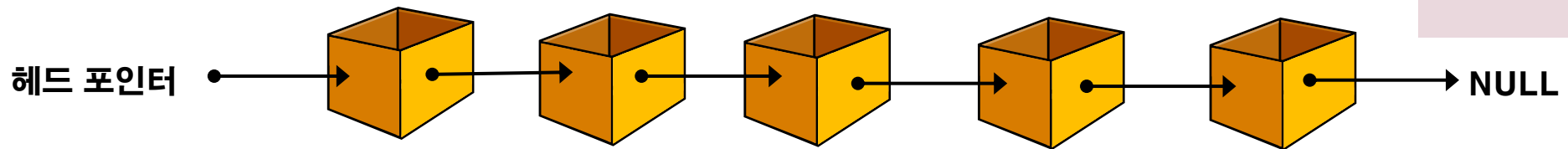


연결 리스트의 구조

- 노드 = 데이터 필드 + 링크 필드
- 헤드 포인터(head pointer): 리스트의 첫번째 노드를 가리키는 변수
- 노드의 생성: 필요할 때마다 동적 메모리 생성 이용하여 노드를 생성

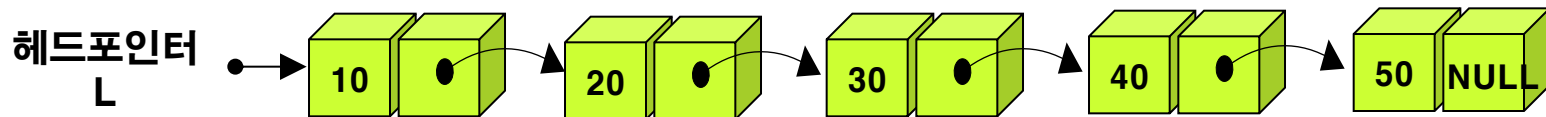


연결 리스트의 종류

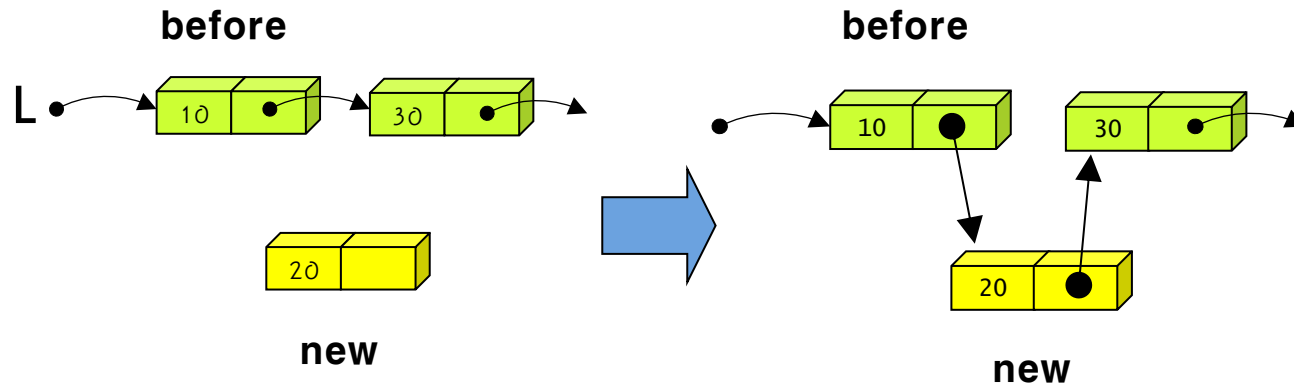


단순 연결 리스트

- 하나의 링크 필드를 이용하여 연결
- 마지막 노드의 링크값은 NULL



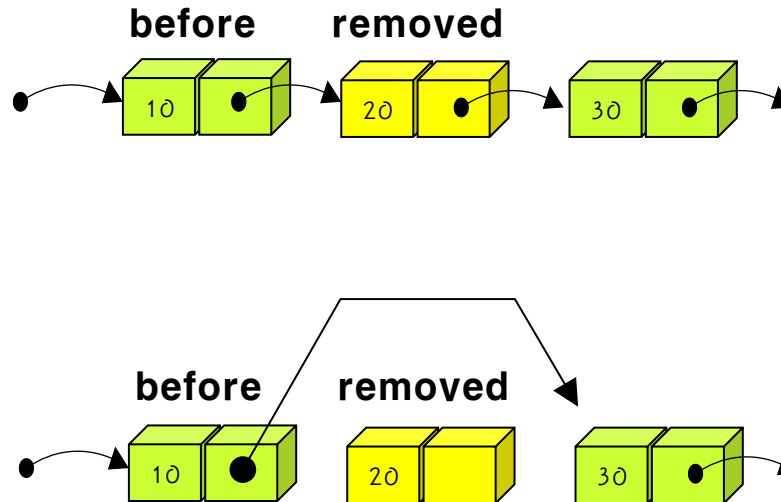
단순 연결 리스트(삽입연산)



```
insert_node(L, before, new)
```

```
if L = NULL
then L ← new
else new.link ← before.link
      before.link ← new
```

단순연결리스트(삭제연산)



```
remove_node(L, before, removed)
```

```
if L ≠ NULL  
  then before.link ← removed.link  
        destroy(removed)
```

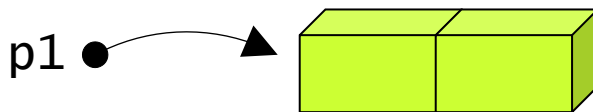

단순 연결 리스트의 구현

- 데이터 필드: 구조체로 정의
- 링크 필드: 포인터 사용

```
typedef int element;  
typedef struct ListNode {  
    element data;  
    struct ListNode *link;  
} ListNode;
```

- 노드의 생성: 동적 메모리 생성 라이브러리 malloc 함수이용

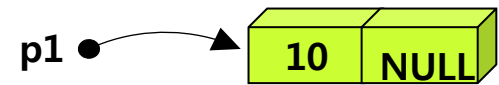
```
ListNode *p1;  
p1 = (ListNode *)malloc(sizeof(ListNode));
```



단순 연결 리스트의 구현

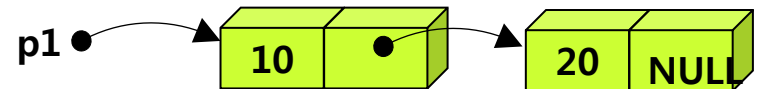
- 데이터 필드와 링크 필드 설정

```
p1->data = 10;  
p1->link = NULL;
```



- 두번째 노드 생성과 첫 번째 노드와의 연결

```
ListNode *p2;  
p2 = (ListNode *)malloc(sizeof(ListNode));  
p2->data = 20;  
p2->link = NULL;  
p1->link = p2;
```



단순 연결 리스트의 삽입연산

- 삽입 함수의 프로토타입

```
void insert_node(ListNode **phead, ListNode *p, ListNode *new_node)
```

- phead: 헤드 포인터 head에 대한 포인터
- p: 삽입될 위치의 선행노드를 가리키는 포인터, 이 노드 다음에 삽입된다.
- new_node: 새로운 노드를 가리키는 포인터

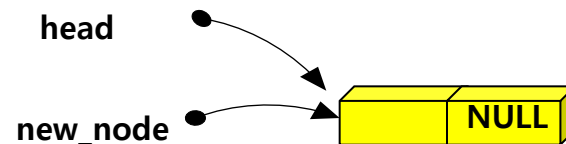
▶ 헤드포인터가 함수 안에서 변경되므로 헤드포인터의 포인터 필요

- 삽입의 3가지 경우

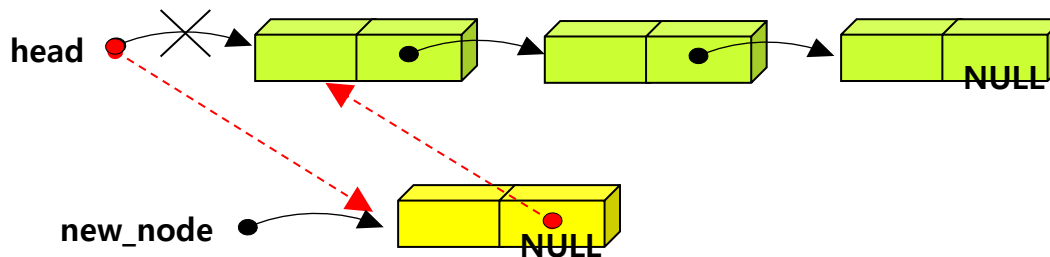
- head가 NULL인 경우: 공백 리스트에 삽입
- p가 NULL인 경우: 리스트의 맨 처음에 삽입
- 일반적인 경우: 리스트의 중간에 삽입

삽입연산

(1) head가 NULL인 경우: head가 NULL이라면 현재 삽입하려는 노드가 첫 번째 노드가 된다. 따라서 head의 값만 변경하면 된다..

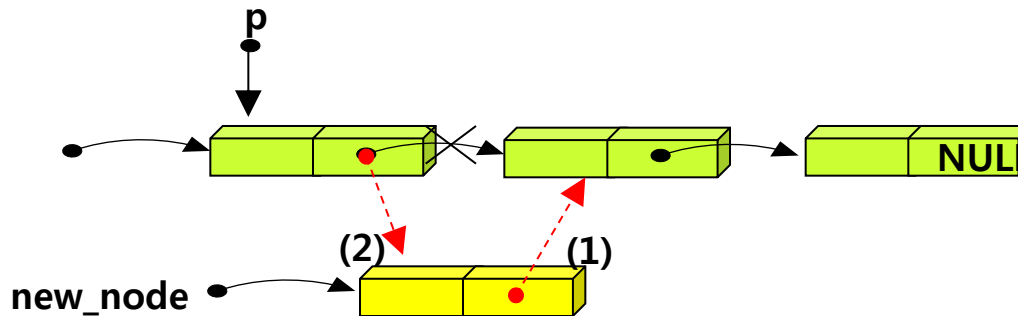


(2) p가 NULL인 경우: 새로운 노드를 리스트의 맨앞에 삽입한다.



삽입연산

(3) head와 p가 NULL이 아닌 경우: 가장 일반적인 경우이다.
new_node의 link에 p->link값을 복사한 다음,
p->link가 new_node를 가리키도록 한다.



삽입연산의 코드

```
// phead: 리스트의 헤드 포인터의 포인터
// p : 선행 노드
// new_node : 삽입될 노드
void insert_node(ListNode **phead, ListNode *p, ListNode *new_node)
{
    if( *phead == NULL ){           // 공백리스트인 경우
        new_node->link = NULL;
        *phead = new_node;
    }
    else if( p == NULL ){ // p가 NULL이면 첫번째 노드로 삽입
        new_node->link = *phead;
        *phead = new_node;
    }
    else {                          // p 다음에 삽입
        new_node->link = p->link;
        p->link = new_node;
    }
}
```

삭제 연산

- 삭제함수의 프로토타입

//phead: 헤드 포인터 head의 포인터

//p: 삭제될 노드의 선행 노드를 가리키는 포인터

//removed: 삭제될 노드를 가리키는 포인터

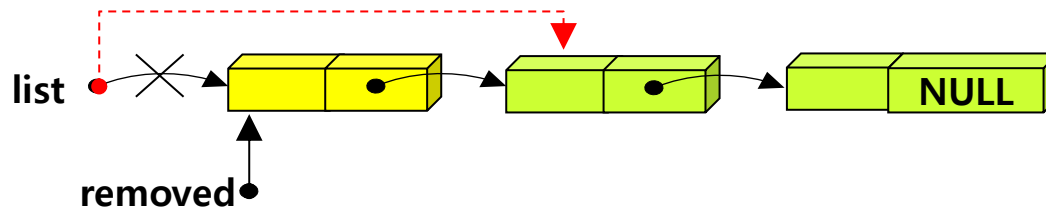
void remove_node(ListNode **phead, ListNode *p, ListNode *removed)

- 삭제의 2가지 경우

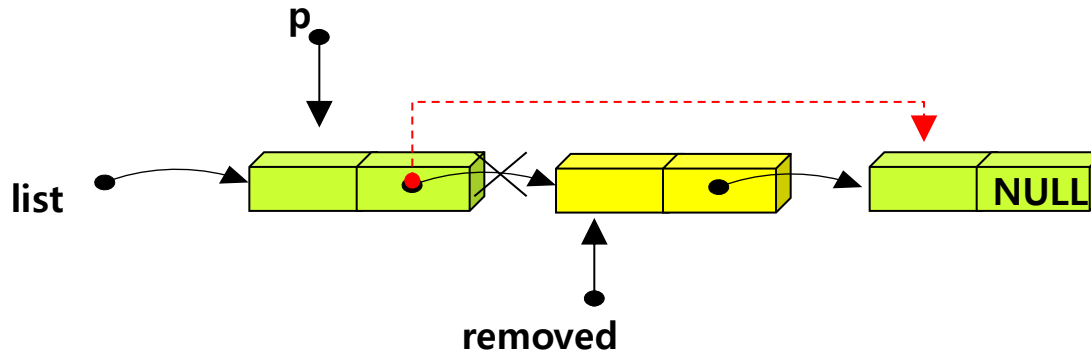
- ▶ p가 NULL인 경우: 맨 앞의 노드를 삭제
- ▶ p가 NULL이 아닌 경우: 중간 노드를 삭제

삭제 연산

- p가 NULL인 경우: 연결 리스트의 첫 번째 노드를 삭제한다. 헤드 포인터 변경



- p가 NULL이 아닌 경우: removed 앞의 노드인 p의 링크가 removed 다음 노드를 가리키도록 변경



삭제 연산 코드

```
// phead : 헤드 포인터에 대한 포인터
// p: 삭제될 노드의 선행 노드
// removed: 삭제될 노드
void remove_node(ListNode **phead, ListNode *p, ListNode *removed)
{
    if( p == NULL )
        *phead = (*phead)->link;
    else
        p->link = removed->link;
    free(removed);
}
```

방문 연산 코드

- 방문 연산: 리스트 상의 노드를 순차적으로 방문
- 반복과 순환기법을 모두 사용가능
- 반복 버전

```
void display(ListNode *head)
{
    ListNode *p=head;
    while( p != NULL ){
        printf("%d->", p->data);
        p = p->link;
    }
    printf("\n");
}
```

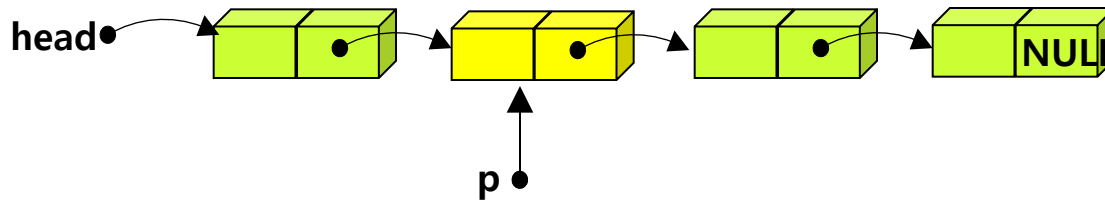
방문 연산 코드

- 순환 버전

```
void display_recur( ListNode *head )
{
    ListNode *p=head;
    if( p != NULL ){
        printf("%d->", p->data);
        display_recur(p->link);
    }
}
```

탐색 연산 코드

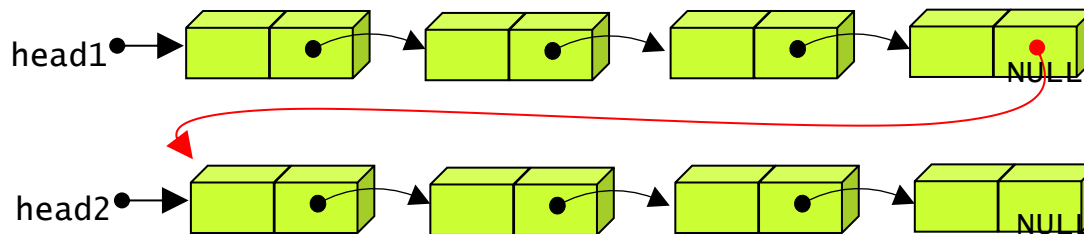
- 탐색 연산: 특정한 데이터값을 갖는 노드를 찾는 연산



```
ListNode *search(ListNode *head, int x)
{
    ListNode *p;
    p = head;
    while( p != NULL ){
        if( p->data == x ) return p; // 탐색 성공
        p = p->link;
    }
    return p; // 탐색 실패일 경우 NULL 반환
}
```

합병 연산 코드

- 합병 연산: 2개의 리스트를 합하는 연산



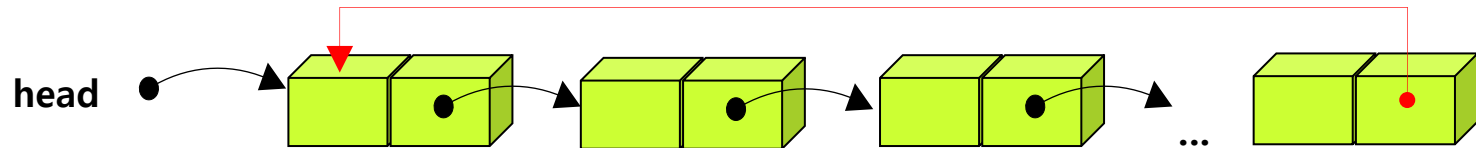
```

ListNode *concat(ListNode *head1, ListNode *head2)
{
    ListNode *p;
    if( head1 == NULL ) return head2;
    else if( head2 == NULL ) return head1;
    else {
        p = head1;
        while( p->link != NULL )
            p = p->link;
        p->link = head2;
        return head1;
    }
}

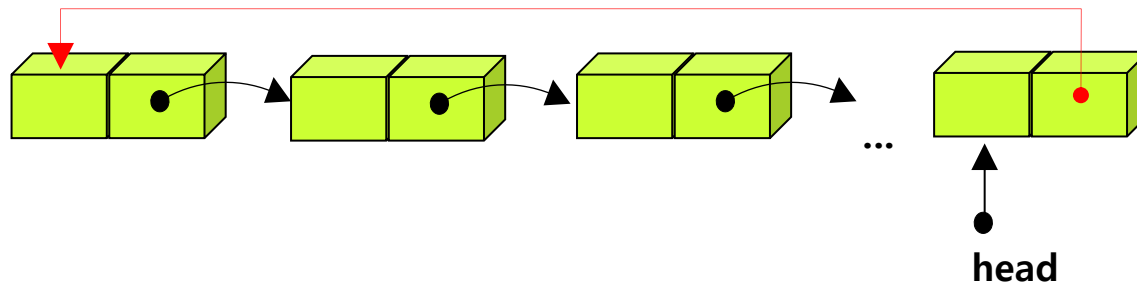
```

원형 연결 리스트

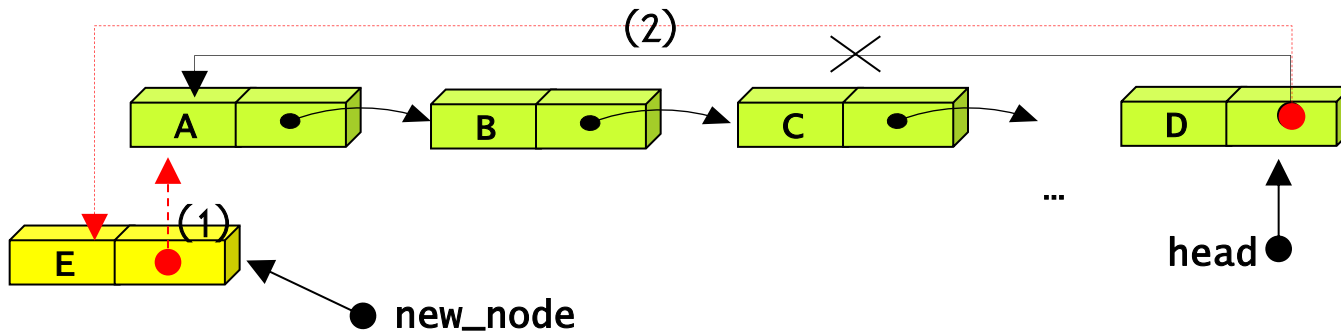
- 마지막 노드의 링크가 첫 번째 노드를 가리키는 리스트
- 한 노드에서 다른 모든 노드로의 접근이 가능



- 보통 헤드포인터가 마지막 노드를 가리키게끔 구성하면 리스트의 처음이나 마지막에 노드를 삽입하는 연산이 단순 연결 리스트에 비하여 용이

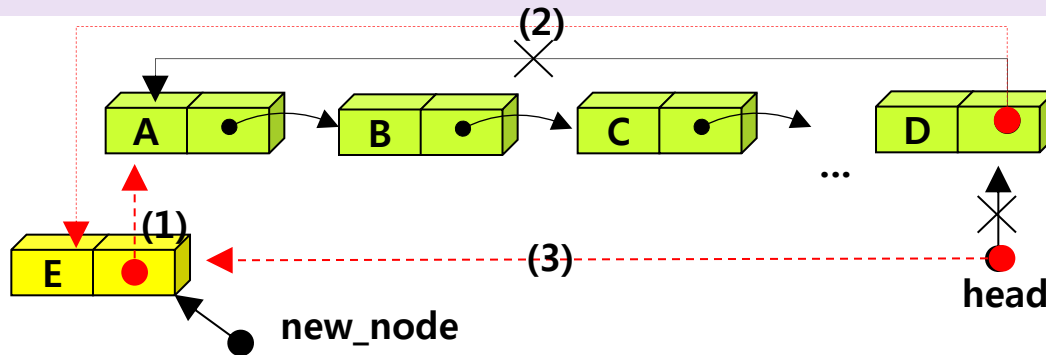


리스트의 처음에 삽입



```
// phead: 리스트의 헤드 포인터의 포인터
// new_node: 삽입될 노드
void insert_first(ListNode **phead, ListNode *new_node)
{
    if( *phead == NULL ){
        *phead = new_node;
        new_node->link = new_node;
    }
    else {
        new_node->link = (*phead)->link;
        (*phead)->link = new_node;
    }
}
```

리스트의 끝에 삽입

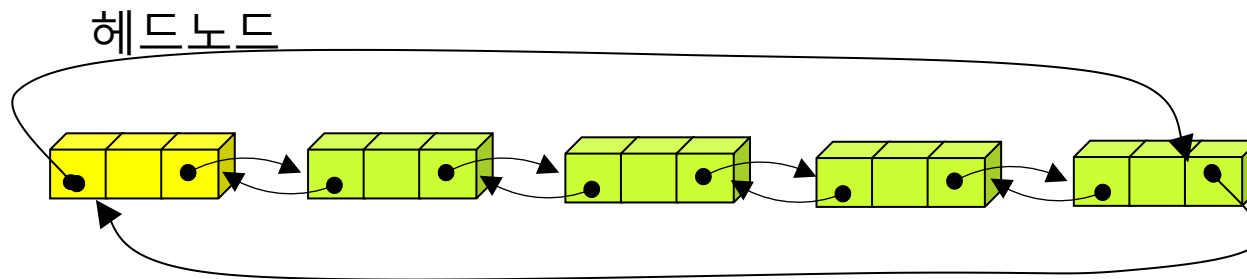


```
// phead: 리스트의 헤드 포인터의 포인터
// new_node: 삽입될 노드
void insert_last(ListNode **phead, ListNode *new_node)
{
    if( *phead == NULL ){
        *phead = new_node;
        new_node->link = new_node;
    }
    else {
        new_node->link = (*phead)->link;
        (*phead)->link = new_node;
        *phead = new_node;
    }
}
```


이중 연결 리스트

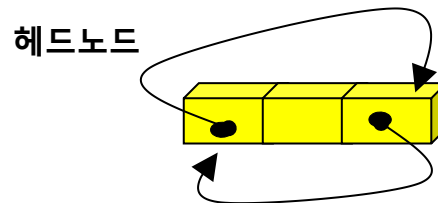
- 단순 연결 리스트의 문제점: 선행 노드를 찾기가 힘들다
- 삽입이나 삭제 시에는 반드시 선행 노드가 필요
- 이중 연결 리스트: 하나의 노드가 선행 노드와 후속 노드에 대한 두 개의 링크를 가지는 리스트
- 링크가 양방향이므로 양방향으로 검색이 가능
- 단점은 공간을 많이 차지하고 코드가 복잡
- 실제 사용되는 이중연결 리스트의 형태

헤드노드 + 이중연결 리스트 + 원형연결 리스트



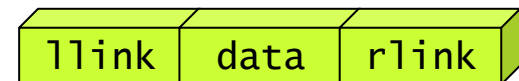
헤드노드

- 헤드노드(head node): 데이터를 가지지 않고 단지 삽입, 삭제 코드를 간단하게 할 목적으로 만들어진 노드
 - ▶ 헤드 포인터와의 구별 필요
 - ▶ 공백상태에서는 헤드 노드만 존재

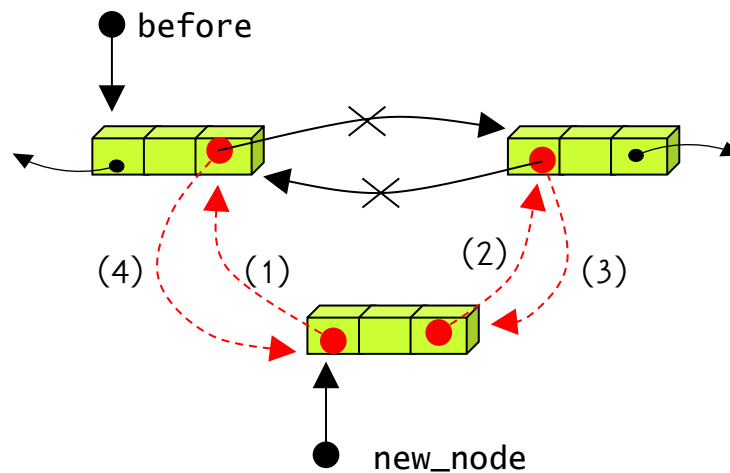


- 이중연결리스트에서의 노드의 구조

```
typedef int element;
typedef struct DlistNode {
    element data;
    struct DlistNode *llink;
    struct DlistNode *rlink;
} DlistNode;
```

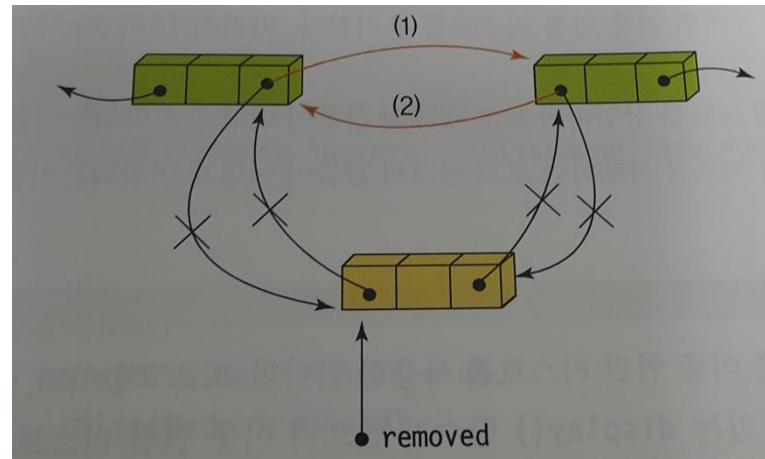


삽입연산



```
// 노드 new_node를 노드 before의 오른쪽에 삽입한다.
void dininsert_node(DListNode *before, DListNode *new_node)
{
    new_node->llink = before;           (1)
    new_node->rlink = before->rlink;    (2)
    before->rlink->llink = new_node;    (3)
    before->rlink = new_node;          (4)
}
```

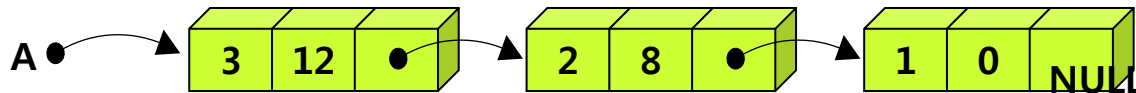
삭제연산



```
// 노드 removed를 삭제 한다.
void dremove_node(DListNode *phead_node, DListNode *removed)
{
    if( removed == phead_node ) return;
    removed->llink->rlink = removed->rlink; //(1)
    removed->rlink->llink = removed->llink; //(2)
    free(removed);
}
```

연결리스트의 응용: 다항식

- 다항식을 컴퓨터로 처리하기 위한 자료구조
 - ▶ 다항식의 덧셈, 뺄셈...
- 하나의 다항식을 하나의 연결리스트로 표현
 - ▶ $A=3x^{12}+2x^8+1$



```

typedef struct ListNode {
    int coef;
    int expon;
    struct ListNode *link;
} ListNode;

ListNode *A, *B;
  
```

다항식의 덧셈 구현

- 2개의 다항식을 더하는 덧셈 연산을 구현
 - ▶ $A=3x^{12}+2x^8+1$, $B=8x^{12}-3x^{10}+10x^6$ 이면
 $A+B=11x^{12}-3x^{10}+2x^8+10x^6+1$
- 다항식 A와 B의 항들을 따라 순회하면서 각 항들을 더한다.

① $p.\text{expon} == q.\text{expon}$:

두 계수를 더해서 0이 아니면 새로운 항을 만들어 결과 다항식 C에 추가한다. 그리고 p와 q는 모두 다음 항으로 이동한다.

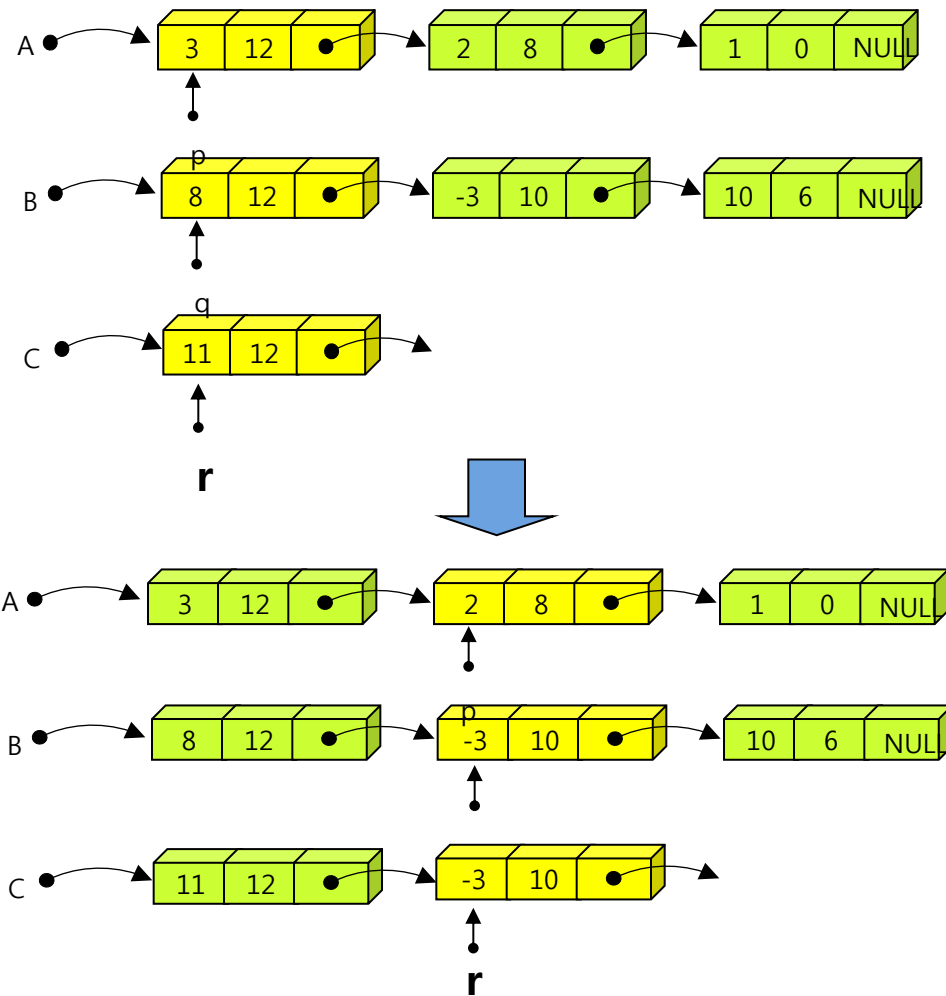
② $p.\text{expon} < q.\text{expon}$:

q가 지시하는 항을 새로운 항으로 복사하여 결과 다항식 C에 추가한다. 그리고 q만 다음 항으로 이동한다.

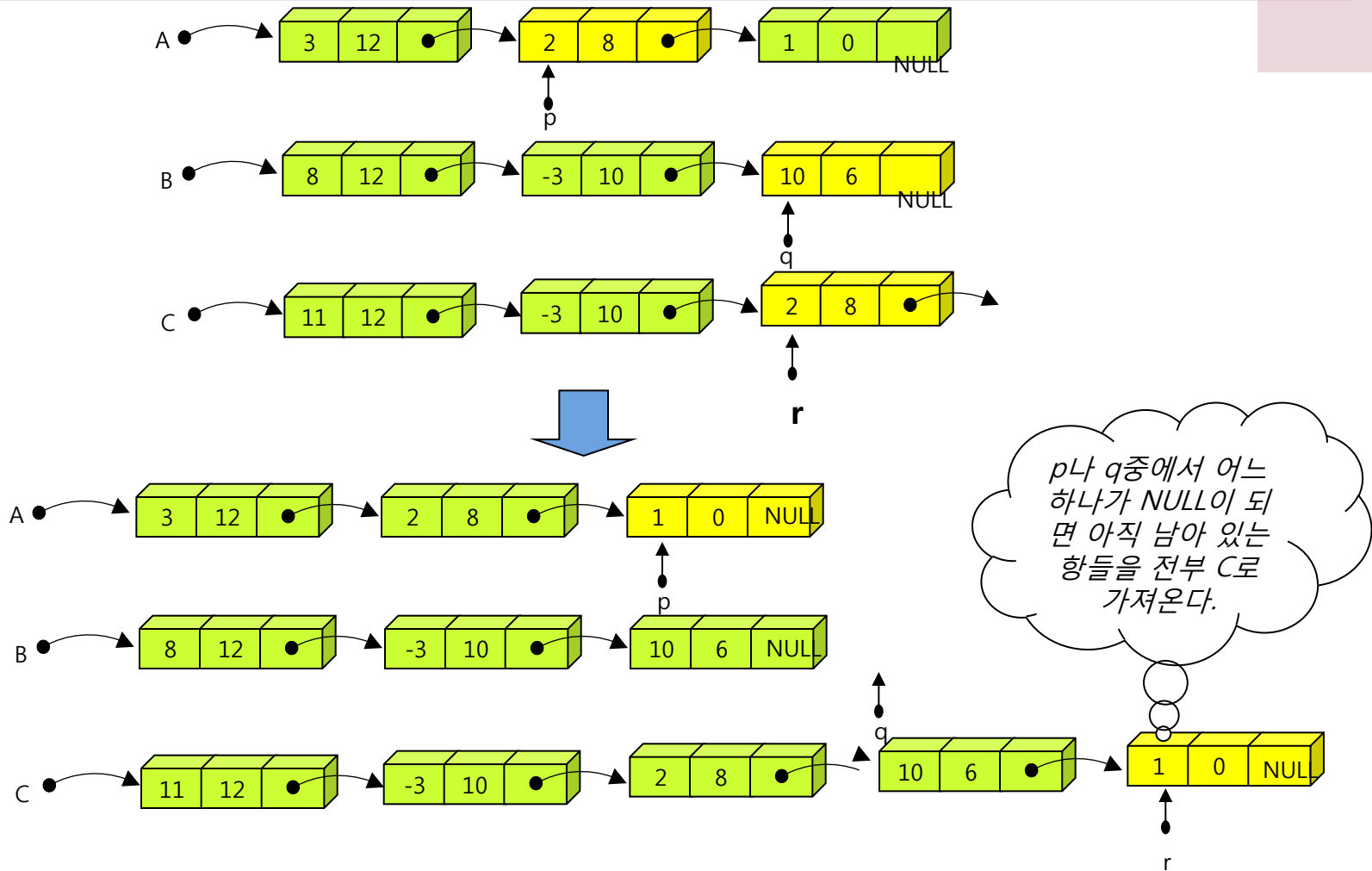
③ $p.\text{expon} > q.\text{expon}$:

p가 지시하는 항을 새로운 항으로 복사하여 결과 다항식 C에 추가한다. 그리고 p만 다음 항으로 이동한다.

다항식의 덧셈



다항식의 덧셈



다항식 프로그램

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
// 연결 리스트의 노드의 구조
typedef struct ListNode {
    int coef;
    int expon;
    struct ListNode *link;
} ListNode;
// 연결 리스트 헤더
typedef struct ListHeader {
    int length;
    ListNode *head;
    ListNode *tail;
} ListHeader;
```

다항식 프로그램

```
// 초기화 함수
void init(ListHeader *plist){
    plist->length = 0;
    plist->head = plist->tail = NULL;
}
// plist는 연결 리스트의 헤더를 가리키는 포인터, coef는 계수, expon는 지수
void insert_node_last(ListHeader *plist, int coef, int expon) {
    ListNode *temp = (ListNode *)malloc(sizeof(ListNode));
    if( temp == NULL ) error("메모리 할당 에러");
    temp->coef=coef;
    temp->expon=expon;
    temp->link=NULL;
    if( plist->tail == NULL ){
        plist->head = plist->tail = temp;
    }
    else {
        plist->tail->link = temp;
        plist->tail = temp;
    }
    plist->length++;
}
```

다항식 프로그램

```
// list3 = list1 + list2
void poly_add(ListHeader *plist1, ListHeader *plist2, ListHeader *plist3 ) {
    ListNode *a = plist1->head;
    ListNode *b = plist2->head;
    int sum;
    while(a && b){
        if( a->expon == b->expon ){ // a의 차수 > b의 차수
            sum = a->coef + b->coef;
            if( sum != 0 ) insert_node_last(plist3, sum, a->expon);
            a=a->link; b=b->link;
        }
        else if( a->expon > b->expon ){ // a의 차수 == b의 차수
            insert_node_last(plist3, a->coef, a->expon);
            a=a->link;
        }
        else { // a의 차수 < b의 차수
            insert_node_last(plist3, b->coef, b->expon);
            b=b->link;
        }
    }
}
```

다항식 프로그램

```
// a나 b중의 하나가 먼저 끝나게 되면 남아있는 항들을 모두
// 결과 다항식으로 복사
for( ; a != NULL; a=a->link)
insert_node_last(plist3, a->coef, a->expon);
for( ; b != NULL; b=b->link)
insert_node_last(plist3, b->coef, b->expon);
}

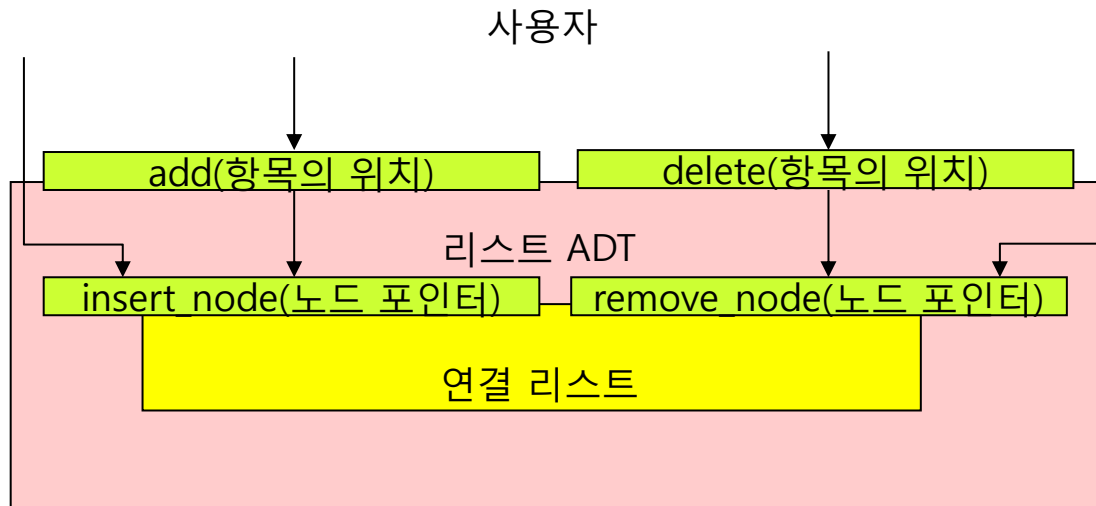
void poly_print(ListHeader *plist)
{
    ListNode *p=plist->head;
    for(;p;p=p->link){
        printf("%d %dw\n", p->coef, p->expon);
    }
}
```

다항식 프로그램

```
void main() {  
    ListHeader list1, list2, list3;  
  
    // 연결 리스트의 초기화  
    init(&list1);  
    init(&list2);  
    init(&list3);  
    // 다항식 1을 생성  
    insert_node_last(&list1, 3,12);  
    insert_node_last(&list1, 2,8);  
    insert_node_last(&list1, 1,0);  
    // 다항식 2를 생성  
    insert_node_last(&list2, 8,12);  
    insert_node_last(&list2, -3,10);  
    insert_node_last(&list2, 10,6);  
    // 다항식 3 = 다항식 1 + 다항식 2  
    poly_add(&list1, &list2, &list3);  
    poly_print(&list3);  
}
```

연결리스트를 이용한 리스트 ADT의 구현

- 리스트 ADT의 연산(delete,add)을 연결리스트를 이용하여 구현
- 리스트 ADT의 add, delete 연산의 파라미터는 위치
 - ▶ 예를 들어, 위치가 2이면 두 번째 노드에서 add, delete가 이루어짐
- 연결리스트의 insert_node, remove_node의 파라미터는 노드 포인터
 - ▶ 예를들면, 포인터가 가리키는 노드에서 insert, remove작업이 이루어짐
- 상황에 따라 연산을 적절하게 선택하여야 함



리스트 ADT의 구현

```
typedef struct {  
    ListNode *head; // 헤드 포인터  
    int length;      // 노드의 개수  
} ListType;  
  
ListType list1;
```

첫 번째 노드를 가리키는 헤드 포인터

연결 리스트내의 존재하는 노드의 개수

리스트 ADT의 생성

is_empty(), get_length() 연산의 구현

```
int is_empty(ListType *list)
{
    if( list->head == NULL ) return 1;
    else return 0;
}
```

```
// 리스트의 항목의 개수를 반환한다.
int get_length(ListType *list)
{
    return list->length;
}
```


add() 연산의 구현

- 새로운 데이터를 임의의 위치에 삽입
- 항목의 위치를 노드 포인터로 변환해주는 함수 `get_node_at()` 필요

```
// 리스트안에서 pos 위치의 노드를 반환한다.  
ListNode *get_node_at(ListType *list, int pos)  
{  
    int i;  
    ListNode *tmp_node = list->head;  
    if( pos < 0 ) return NULL;  
    for (i=0; i<pos; i++)  
        tmp_node = tmp_node->link;  
    return tmp_node;  
}
```

add 연산의 구현

- 새로운 데이터를 임의의 위치에 삽입
- 항목의 위치를 노드 포인터로 변환해주는 함수 get_node_at 필요

```
// 주어진 위치에 데이터를 삽입한다.  
void add(ListType *list, int position, element data)  
{  
    ListNode *p;  
    if ((position >= 0) && (position <= list->length)){  
        ListNode*node= (ListNode *)malloc(sizeof(ListNode));  
        if( node == NULL ) error("메모리 할당에러");  
        node->data = data;  
        p = get_node_at(list, position-1);  
        insert_node(&(list->head), p, node);  
        list->length++;  
    }  
}
```

delete() 연산의 구현

- 임의의 위치의 데이터를 삭제
- 항목의 위치를 노드 포인터로 변환해주는 함수 `get_node_at()`이 필요

```
// 주어진 위치의 데이터를 삭제한다.  
void delete(ListType *list, int pos)  
{  
    if (!is_empty(list) && (pos >= 0) && (pos < list->length)) {  
        ListNode *p = get_node_at(list, pos-1);  
        remove_node(&(list->head),p,(p!=NULL)?p->link:NULL);  
        list->length--;  
    }  
}
```

get_entry() 연산의 구현

```
element get_entry(ListType *list, int pos)
{
    ListNode *p;
    if( pos >= list->length ) error("위치 오류");
    p = get_node_at(list, pos);
    return p->data;
}
```

display() 연산의 구현

```
// 버퍼의 내용을 출력한다.  
void display(ListType *list)  
{  
    int i;  
    ListNode *node=list->head;  
    printf("( ");  
    for(i=0;i<list->length;i++){  
        printf("%d ",node->data);  
        node = node->link;  
    }  
    printf(" )\n");  
}
```

Is_in_list() 연산의 구현

```
// 데이터 값이 s인 노드를 찾는다.  
int is_in_list(ListType *list, element item) {  
    ListNode *p;  
    p = list->head;    // 헤드 포인터에서부터 시작한다.  
    while( (p != NULL) ){  
        // 노드의 데이터가 item이면  
        if( p->data == item )  
            break;  
        p = p->link;  
    }  
    if( p == NULL) return FALSE;  
    else return TRUE;  
}
```

전체 프로그램

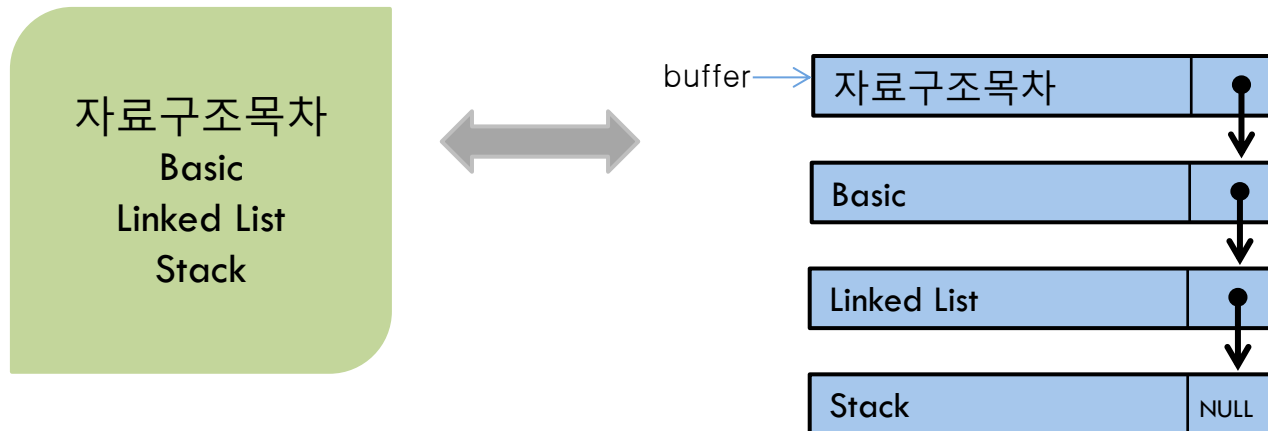
```
int main()
{
    ListType list1;
    init(&list1);
    add(&list1, 0, 20);
    add_last(&list1, 30);
    add_first(&list1, 10);
    add_last(&list1, 40);
    display(&list1);
}
```

연습문제 1

- A라는 공백 상태의 리스트가 있다고 가정하자. 이 리스트에 대하여 다음과 같은 연산들이 적용된 후의 리스트의 내용을 그려라.
 - ▶ `add_first(A, "first");`
 - ▶ `add(A, 1, "second");`
 - ▶ `add_last(A, "third");`
 - ▶ `add(A,2,"fourth");`
 - ▶ `add(A, 4, "fifth");`
 - ▶ `delete(A,2);`
 - ▶ `delete(A,2);`
 - ▶ `Replace(A, 1, "sixth");`

도전 문제-라인에디터

- 라인단위로 텍스트를 입력하거나 삭제할 수 있는 단순한 에디터
- 라인 단위로 이루어지므로 커서를 사용하지 않는다.
- 입력되는 라인의 개수가 정해지지 않았으므로 연결리스트 사용
- 삽입
 - ▶ 라인의 번호와 라인 내용을 입력 받아 삽입
- 삭제
 - ▶ 삭제하고자 하는 라인 번호를 입력 받아 삭제



도전 문제-정렬리스트

- 배열을 이용하여 숫자들을 입력 받아 항상 정렬된 상태로 유지하는 리스트 SortedList를 구현하여 보라. 다음의 연산들을 구현하면 된다.

객체: n개의 element형으로 구성된 순서 있는 모임

연산:

`add(list, item)` ::= 정렬된 리스트에 `item`을 추가한다.

`delete(list, item)` ::= 정렬된 리스트에서 `item`을 제거한다.

`clear(list)` ::= 리스트의 모든 요소를 제거한다.

`is_in_length(list, item)` ::= `item`이 리스트 안에 있는지를 검사한다.

`get_length(list)` ::= 리스트의 길이를 구한다.

`is_empty(list)` ::= 리스트가 비었는지 검사한다.

`is_fully(list)` ::= 리스트가 꽉 찼는지를 검사한다.

`display(list)` ::= 리스트의 모든 요소를 표시한다.