CSE2010 자료구조론

Week 4: List

ICT융합학부 조용우

리스트(List)의 정의

- 리스트(list), 선형 리스트(linear list): 순서를 가진 항목들의 모임
  - Cf. 집합, 항목간의 순서의 개념이 없음
- 리스트의 예
  - 요일: (일요일, 월요일, ..., 토요일)
  - 한글 자음의 모임: (ㄱ,ㄴ,...,ㅎ)
  - 카드: (Ace, 2,3,...,King)
  - 핸드폰의 문자 메시지 리스트

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

리스트(List) 연산 나열

- 새로운 항목을 리스트의 끝, 처음, 중간에 추가
- 기존의 항목을 리스트의 임의의 위치에서 삭제
- 모든 항목을 삭제
- 기존의 항목을 대치
- 리스트가 특정한 항목을 가지고 있는지를 살핌
- 리스트의 특정위치 항목을 반환
- 리스트 안의 항목 개수를 셈
- 리스트가 비었는지, 꽉 찼는지를 체크
- 리스트 안의 모든 항목을 표시

리스트 ADT

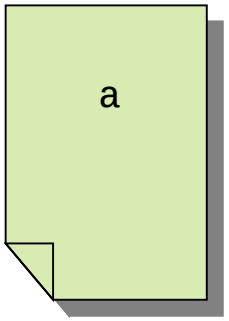
·객체:

n개의 element형으로 구성된 순서있는 모임

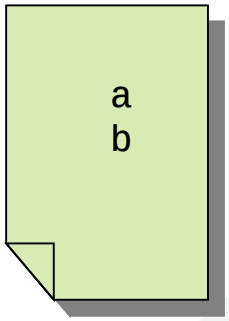
·연산:

- add_last(list, item) ::= 맨끝에 요소를 추가한다.
- add_first(list, item) ::= 맨끝에 요소를 추가한다.
- add(list, pos, item) ::= pos 위치에 요소를 추가한다.
- delete(list, pos) ::= pos 위치의 요소를 제거한다.
- clear(list) ::= 리스트의 모든 요소를 제거한다.
- replace(list, pos, item) ::= pos 위치의 요소를 item로 바꾼다.
- is_in_list(list, item) ::= item이 리스트안에 있는지를 검사한다.
- get_entry(list, pos) ::= pos 위치의 요소를 반환한다.
- get_length(list) ::= 리스트의 길이를 구한다.
- is_empty(list) ::= 리스트가 비었는지를 검사한다.
- is_full(list) ::= 리스트가 꽉찼는지를 검사한다.
- display(list) ::= 리스트의 모든 요소를 표시한다.

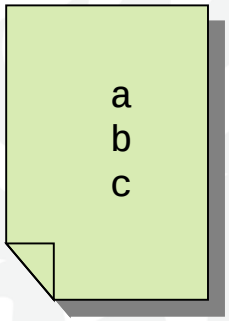
리스트 ADT 사용 예 #1



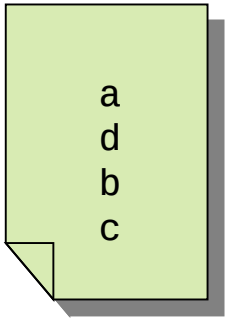
addLast(list1,a)



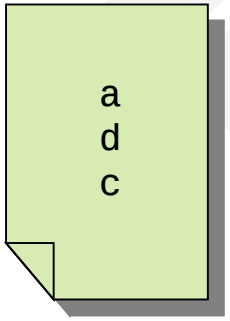
addLast(list1,b)



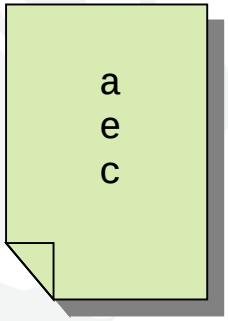
addLast(list1,c)



add(list1,1,d)



delete(list1,2)



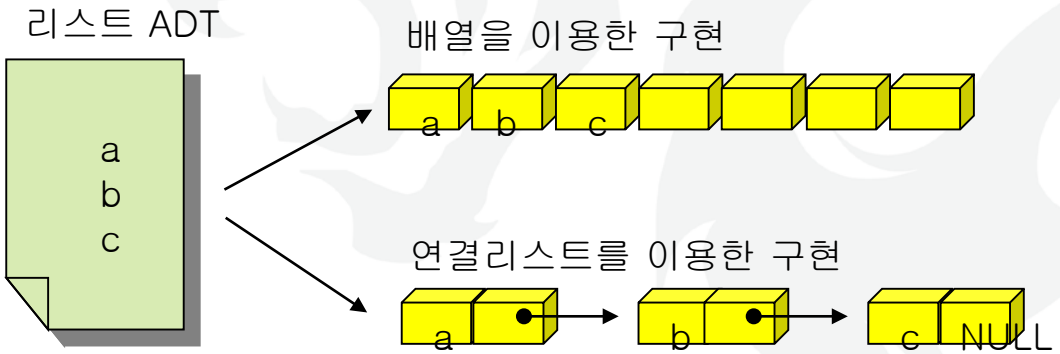
replace(list1,1,e)

리스트 ADT 사용 예 #2

```
main()
{
        int i, n;

        // list2를 생성한다: 구현방법에 따라 약간씩 다름
        ListType list2;
        add_last (&list2,"마요네즈");   // 리스트의 포인트를 전달
        add_last(&list2,"빵");
        add_last(&list2,"치즈");
        add_last(&list2,"우유");
        n = get_length(&list2);
        printf("쇼핑해야할 항목수는 %d입니다.\n", n);
        for(i=0;i<n;i++)
          printf("%d항목은 %s입니다.i°, i, get_entry(&list2,i));
}
```

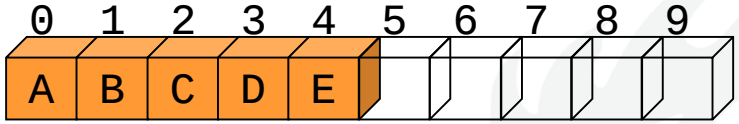
리스트 구현 방법

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

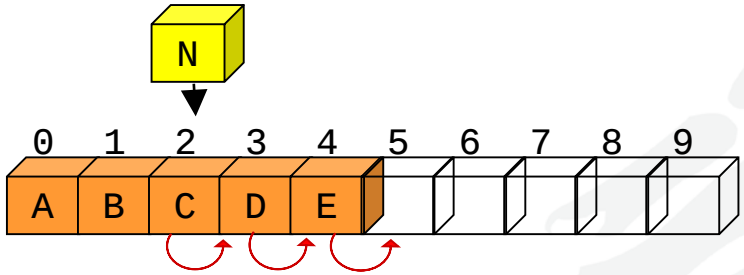


배열로 구현된 리스트

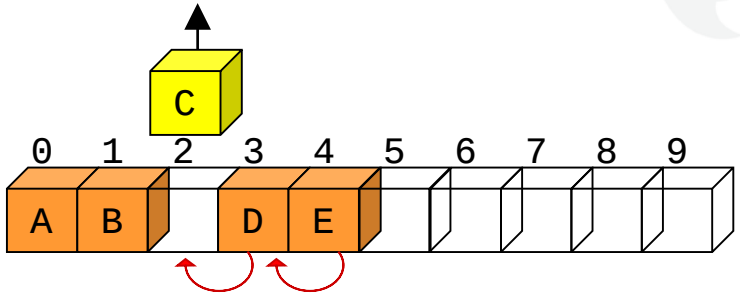
- 1차원 배열에 항목들을 순서대로 저장
  - L=(A, B, C, D, E)



- 삽입연산: 삽입위치 다음의 항목들을 이동해야 함



- 삭제연산: 삭제위치 다음의 항목들을 이동해야 함



ArrayListType 정의

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

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

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

ArrayListType 구현: is_empty, is_full

- is_empty와 is_full 함수의 구현

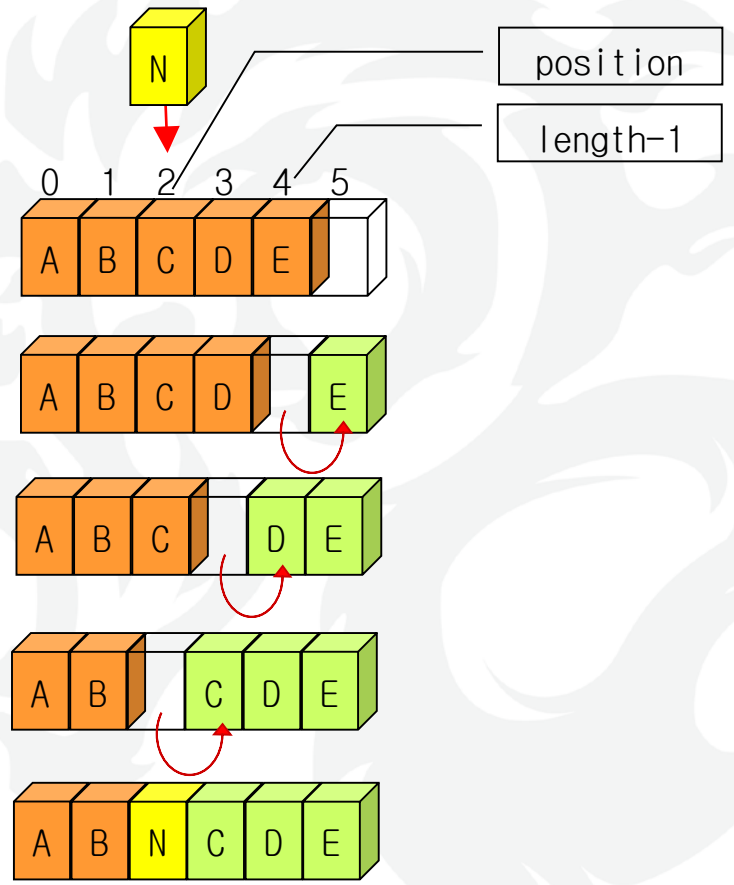
```
// 리스트가 비어 있으면(즉 length가 0이면) 1을 반환
// 그렇지 않으면 0을 반환
int is_empty(ArrayListType *L)
{
        return L->length == 0;
}
// 리스트가 가득 차 있으면 1을 반환
// 그렇지 않으면 0을 반환
int is_full(ArrayListType *L)
{
        return L->length == MAX_LIST_SIZE;
}
```

(참고) == 연산자의 결과 : 거짓(0), 참(1)

ArrayListType 구현: add

- add 함수 구현
  - 먼저 배열이 포화상태인지를 검사하고 삽입 위치가 적합한 범위에 있는지를 검사
  - 삽입 위치 다음에 있는 자료들을 한칸씩 뒤로 이동

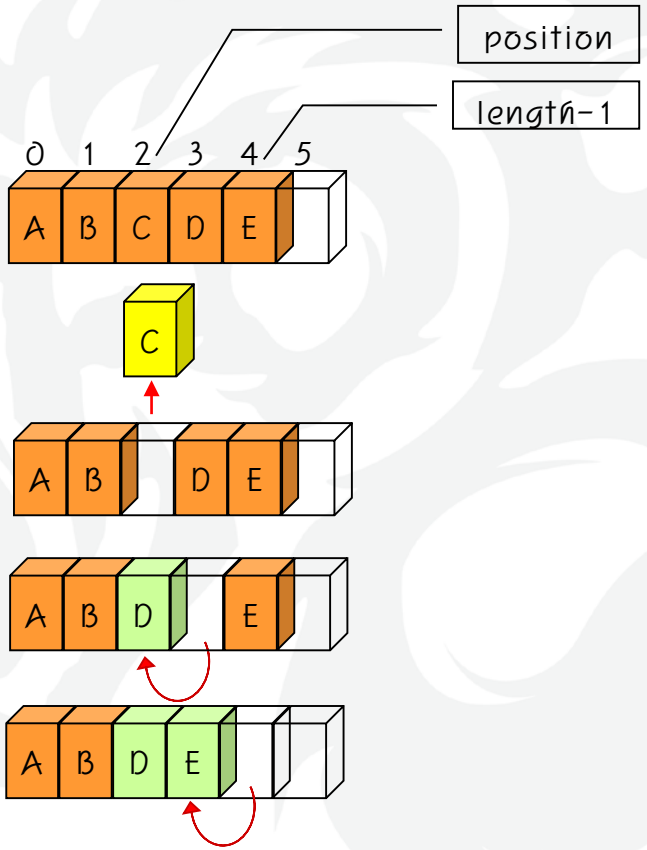
```
// position: 삽입하고자 하는 위치
// item: 삽입하고자 하는 자료
void add(ArrayListType *L, int position, element item)
{
 if( !is_full(L) && (position >= 0) && (position <= L->length) )
 {
    int i;
    for(i=(L->length-1); i>=position;i--)
        L->list[i+1] = L->list[i];
    L->list[position] = item;
   L->length++;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



ArrayListType 구현: delete

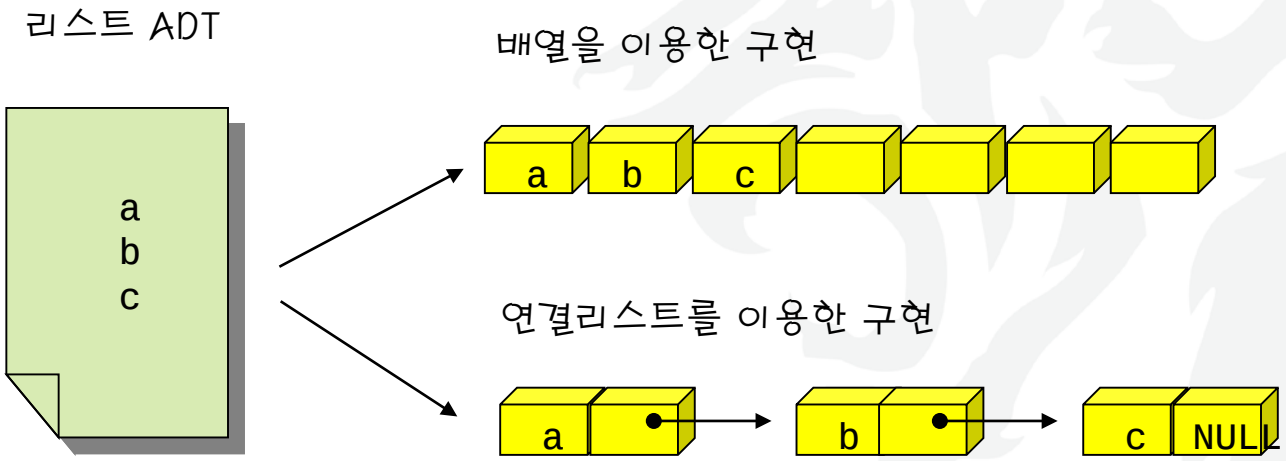
- delete 함수 구현
  - 삭제 위치를 검사
  - 삭제위치부터 맨끝까지의 자료를 한칸씩 앞으로 옮김

```
// 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];
        L->length--;
        return item;
}
```



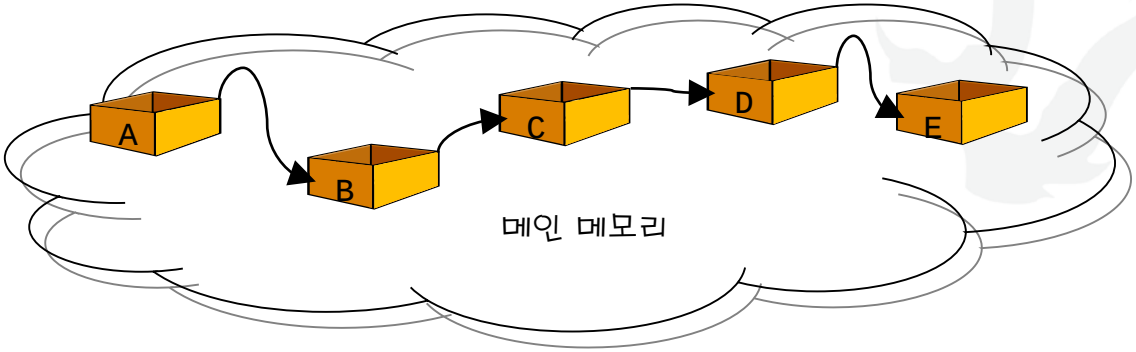
연결 리스트(Linked List)

- 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 연결



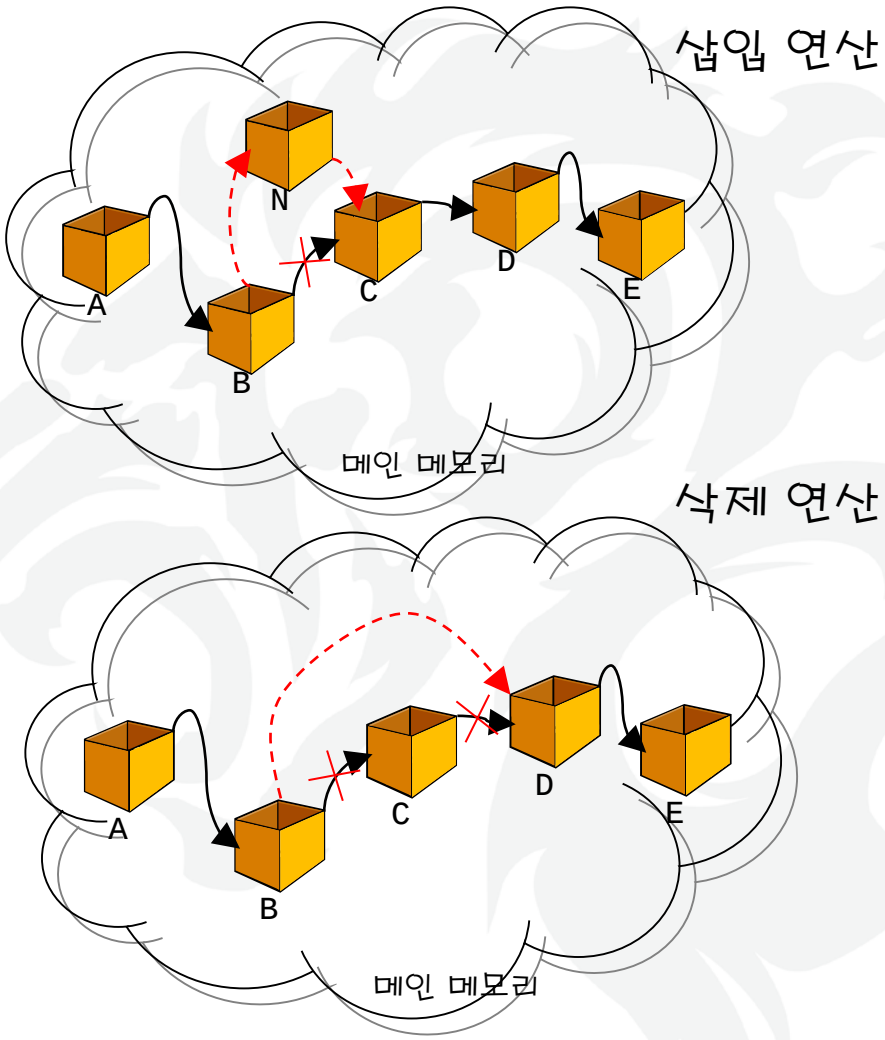
연결된 표현(Linked Representation)

- 연결된 표현
  - 데이터와 링크로 구성됨
  - 다양한 동적구조(리스트, 스택, 큐, 트리, 그래프 등)에서 활용됨
  - 리스트의 항목들을 노드(node)라고 하는 곳에 분산하여 저장
  - 다음 항목을 가리키는 주소도 같이 저장
- 노드(node) : <항목, 주소> 쌍
  - 노드는 데이타 필드와 링크 필드로 구성
  - 데이타 필드: 리스트의 원소, 즉 데이타 값을 저장하는 곳
  - 링크 필드: 다른 노드의 주소값을 저장하는 장소(포인터)
- 메모리안에서의 노드의 물리적 순서가 리스트의 논리적 순서와 일치할 필요 없음



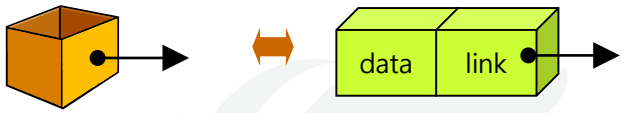
연결된 표현의 장단점

- 장점
  - 삽입, 삭제가 용이
  - 연속된 메모리 공간이 필요 없음
  - 크기 제한이 없음
- 단점
  - 구현이 상대적으로 어려움
  - 오류가 발생하기 쉬움

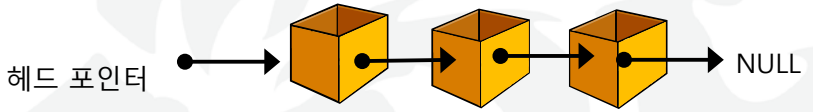


연결 리스트의 구조

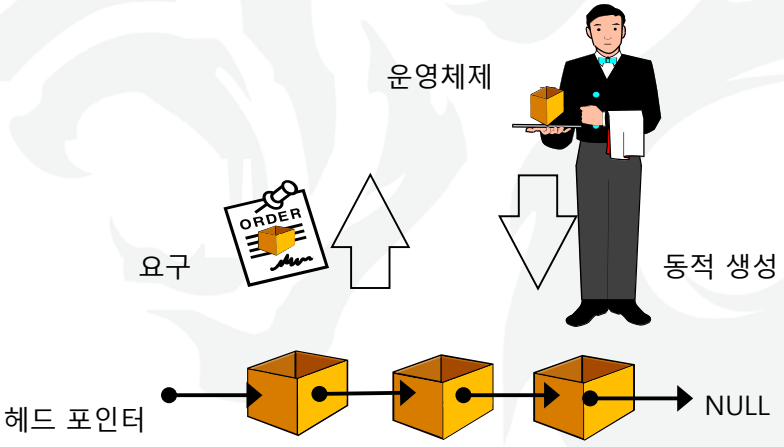
- 노드 = 데이터 필드 + 링크 필드



- 헤드 포인터(head pointer)
  - 리스트의 첫 번째 노드를 가리키는 변수

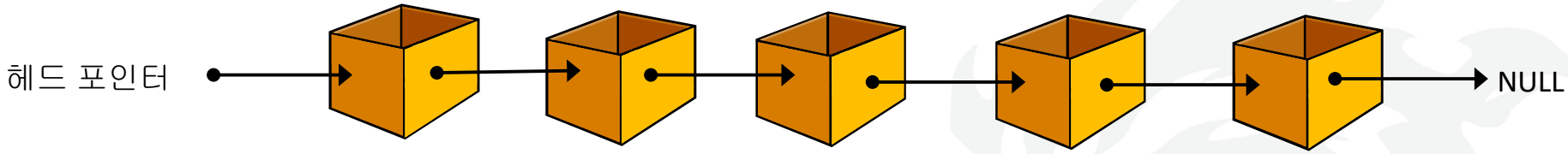


- 노드의 생성
  - 필요시 동적으로 메모리 생성함



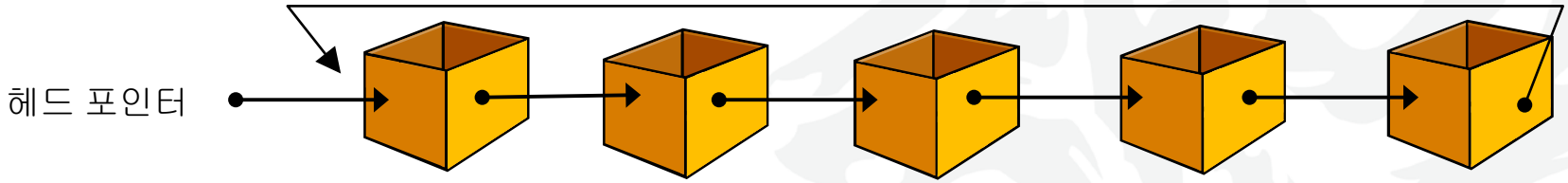
연결 리스트의 종류

- 단순 연결 리스트



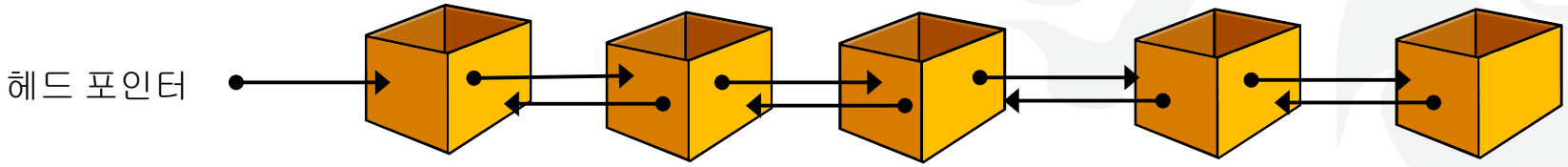
단순 연결 리스트(singly linked list)

- 원형 연결 리스트



원형 연결 리스트(circular linked list)

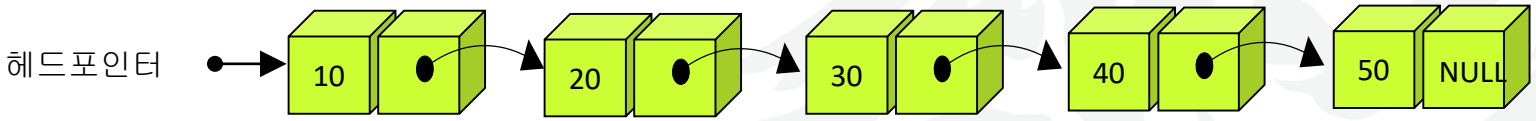
- 이중 연결 리스트



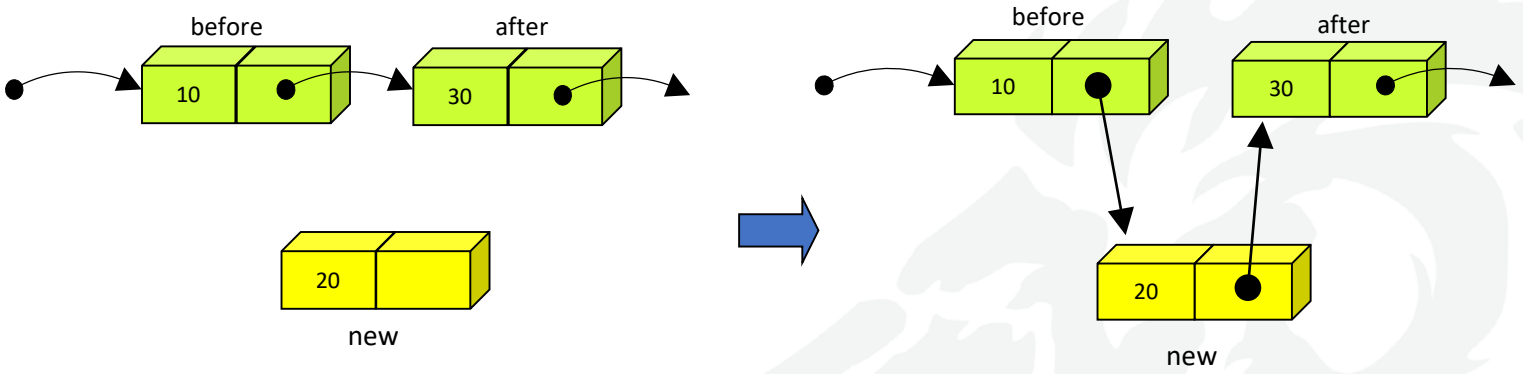
이중 연결 리스트(doubly linked list)

단순 연결 리스트

- 하나의 링크 필드를 이용하여 연결
- 마지막 노드의 링크값은 'NULL'

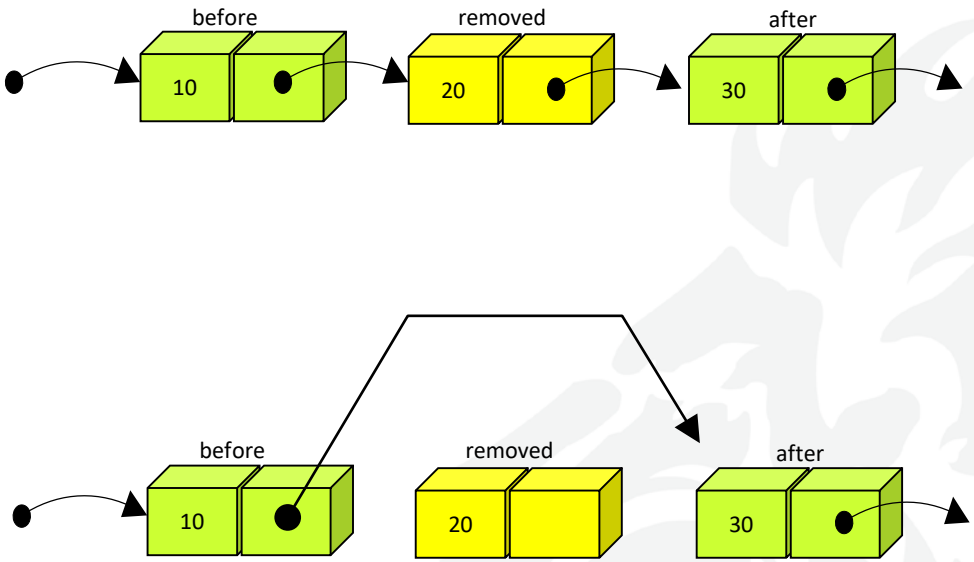


단순 연결 리스트: 삽입 연산




```
insert_node(L, before, new)

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

단순 연결 리스트: 삭제 연산




```
remove_node(L, before, removed)

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

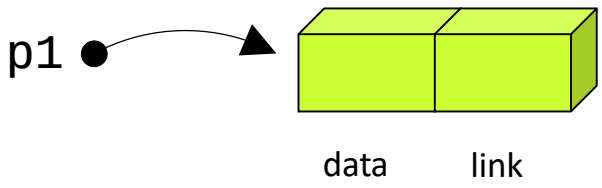
단순 연결 리스트 구현: 노드 생성

- 노드: 구조체로 정의
  - 데이터 필드 + 링크 필드(포인터 사용)

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

- 노드의 생성
  - 동적 메모리 할당

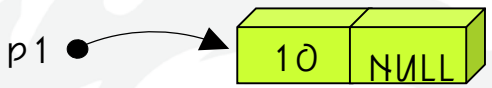
```
ListNode *p1;
p1 = (ListNode *)malloc(sizeof(ListNode));
```



단순 연결 리스트 구현: 노드 연결

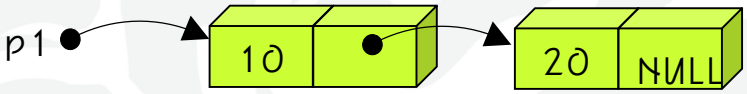
- 데이터 필드와 링크 필드 설정

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



- 두번째 노드 생성 및 첫번째 노드와의 연결

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



- 헤드 포인터(head pointer)
  - 연결 리스트의 맨 첫번째 노드를 카리키는 포인터

단순 연결 리스트 구현: 삽입 연산(1)

- 삽입 함수의 프로토타입

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

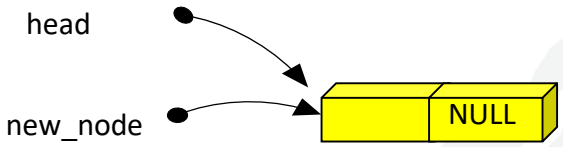
phead: 헤드 포인터 head에 대한 포인터
p: 삽입될 위치의 선행 노드를 가리키는 포인터, 이 노드 다음에 삽입된다.
new_node: 새로운 노드를 가리키는 포인터

* 헤드포인터가 함수 안에서 변경되므로 헤드포인터의 포인터 필요

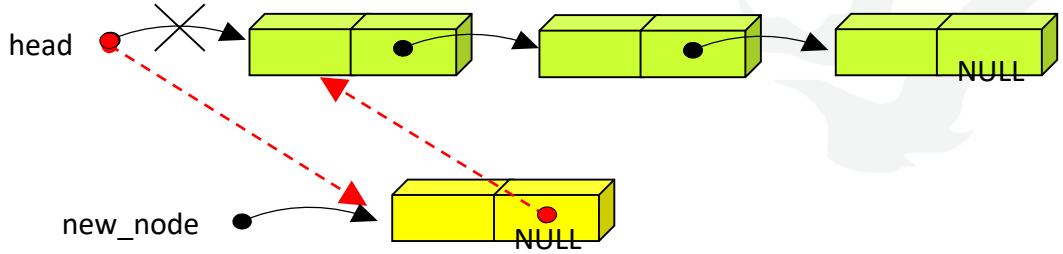
- 삽입의 3가지 경우
  - (1) head가 NULL인 경우: 공백 리스트에 삽입
  - (2) p가 NULL인 경우: 리스트의 맨처음에 삽입
  - (3) 일반적인 경우: 리스트의 중간에 삽입

단순 연결 리스트 구현: 삽입 연산(2)

- (1) head가 NULL인 경우
  - head가 NULL이라면 현재 삽입하려는 노드가 첫 번째 노드가 됨
  - 따라서 head의 값만 변경

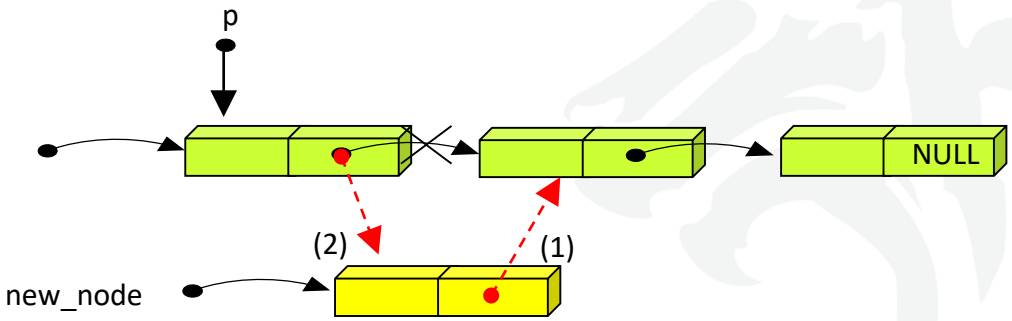


- (2) p가 NULL인 경우
  - 새로운 노드를 리스트의 맨 앞에 삽입



단순 연결 리스트 구현: 삽입 연산(3)

- (3) head와 p가 NULL이 아닌 경우
  - 가장 일반적인 경우
  - new_node의 link에 p->link값을 복사한 다음에 p->link가 new_node를 가리킴



단순 연결 리스트 구현: 삽입 연산 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;
        }
}
```

단순 연결 리스트 구현: 삭제 연산(1)

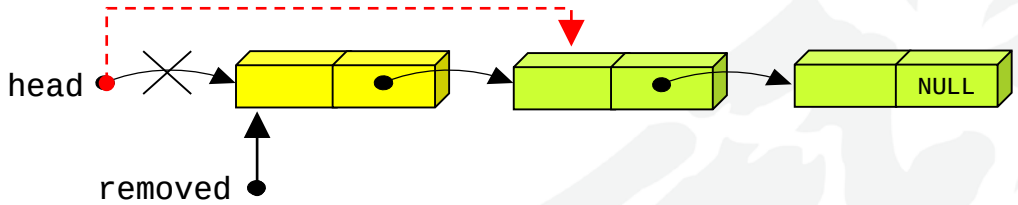
- 삭제 함수의 프로토타입

```
//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)
```

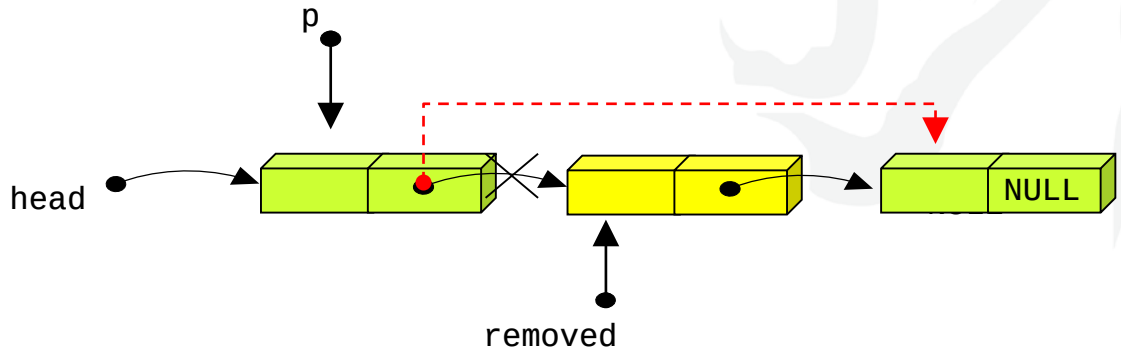
- 삭제의 3가지 경우
  - (1) p가 NULL인 경우: 맨 앞의 노드를 삭제
  - (2) p가 NULL이 아닌 경우: 중간 노드를 삭제

단순 연결 리스트 구현: 삭제 연산(2)

- (1) p가 NULL인 경우
  - 연결 리스트의 첫 번째 노드를 삭제함
  - 헤드포인터 변경



- (2) p가 NULL이 아닌 경우
  - removed 앞의 노드인 p의 링크가 removed 다음 노드를 가리킴



단순 연결 리스트 구현: 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);
}
```

단순 연결 리스트 구현: 방문 연산 코드

- 방문 연산
  - 리스트 상의 노드를 순차적으로 방문
  - 반복과 순환기법을 모두 사용가능

[반복]

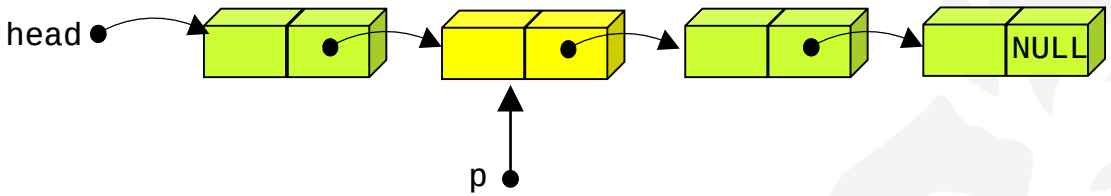
```
void display(ListNode *head)
{
    ListNode *p=head;
    while( p != NULL ){
        printf("%d->", p->data);
        p = p->link;
    }
    printf("\n");
}
```

[순환]

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

단순 연결 리스트 구현: 탐색 연산 코드

- 탐색 연산
  - 특정한 데이터 값을 갖는 노드를 찾는 연산

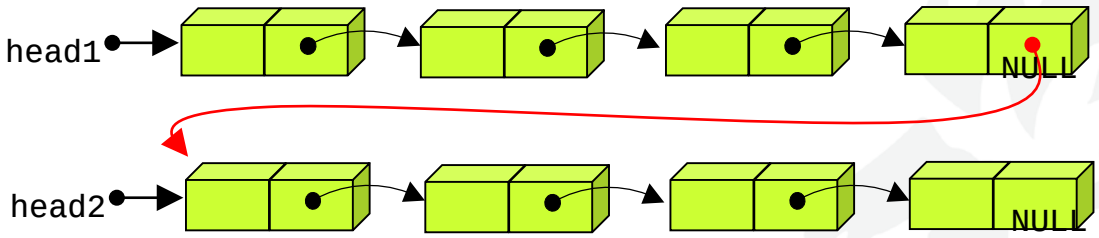



```
ListNode *search(ListNode *head, int x)
{
        ListNode *p;
        p = head;
        while( p != NULL ){
                if( p->data == x ) return p;  // 탐색 성공
                p = p->link;
        }
        return p;  // 탐색 실패일 경우 NULL 반환
}
```

* 포인터 p가 첫번째 노드를 가리키도록 하고, 순서대로 링크를 따라가면서 노드 데이터와 비교

단순 연결 리스트 구현: 합병 연산 코드

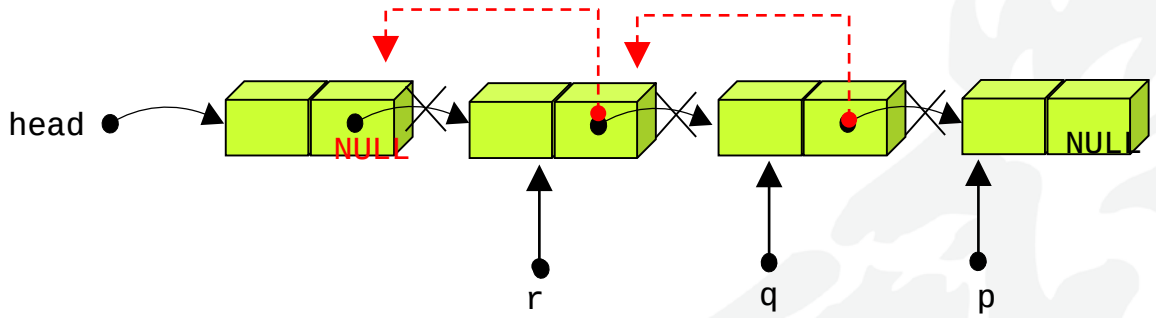
- 합병 연산
  - 2개의 리스트를 합하는 연산




```
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;
     }
}
```

단순 연결 리스트 구현: 역순 연산 코드

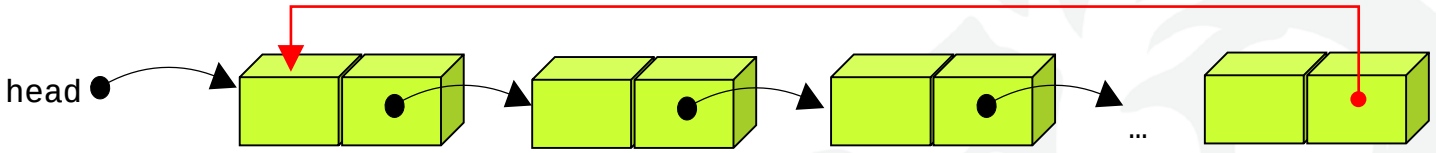
- 역순 연산
  - 리스트의 노드들을 역순으로 만드는 연산



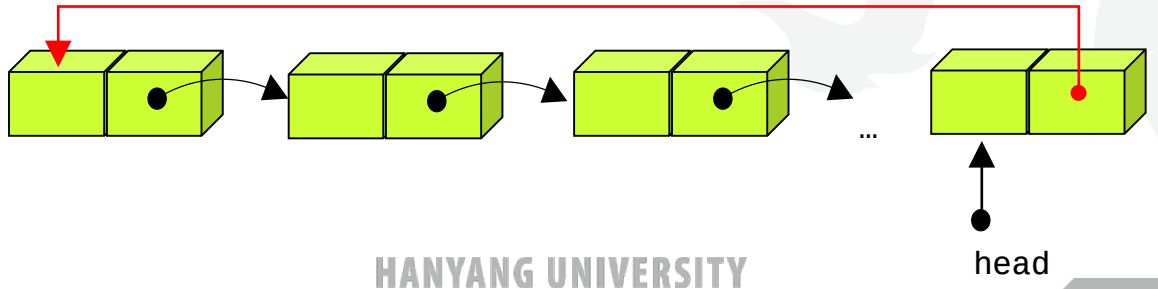

```
ListNode *reverse(ListNode *head)
{
  // 순회 포인터로 p, q, r을 사용
  ListNode *p, *q, *r;
  p = head;       // p는 아직 처리되지 않은 노드
  q = NULL;       // q는 역순으로 만들 노드
  while (p != NULL){
     r = q;  // r은 역순으로 된 노드.   r은 q, q는 p를 차례로 따라간다.
     q = p;
     p = p->link;
     q->link =r;     // q의 링크 방향을 바꾼다.
   }
   return q;     // q는 역순으로 된 리스트의 헤드 포인터
}
```

원형 연결 리스트

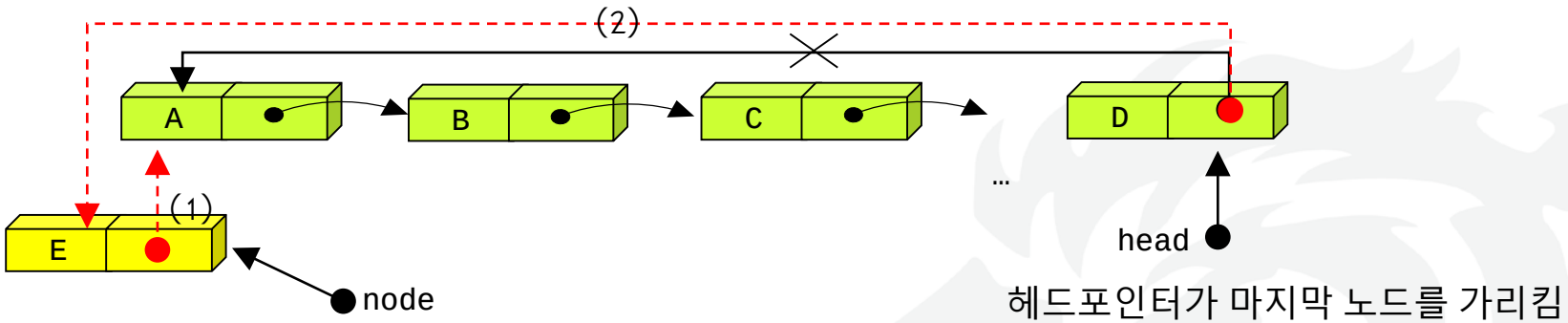
- 원형 연결 리스트
  - 마지막 노드의 링크가 첫 번째 노드를 가리키는 리스트
  - 마지막 노드의 링크 필드가 NULL이 아니고, 첫번째 노드를 가리킴



  - 한 노드에서 다른 모든 노드로의 접근이 가능
  - 삽입/삭제 연산이 단순연결리스트보다 용이함
    - cf) 단순연결리스트에서 삽입/삭제시 항상 선행 노드의 포인터가 필요함
  - 보통 헤드포인터가 마지막 노드를 가리키게끔 구성하면, 리스트 끝 또는 앞에 노드를 삽입하는 연산이 단순 연결 리스트에 비하여 용이함



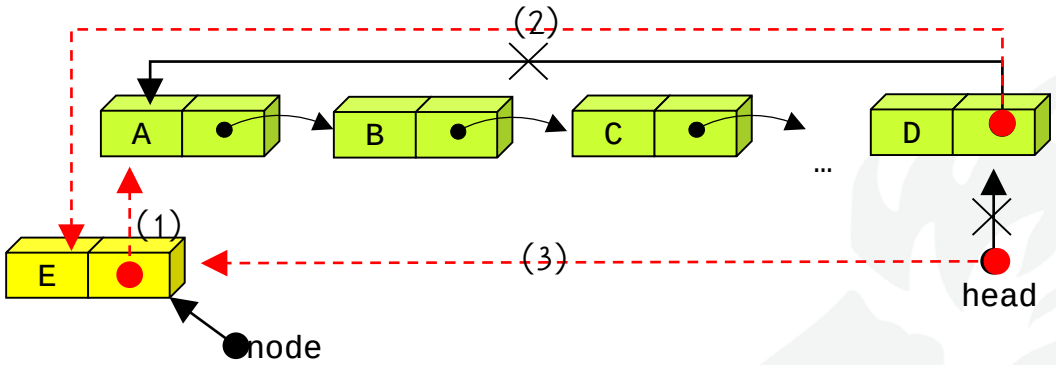
원형 연결 리스트: 리스트 처음에 삽입



헤드포인터가 마지막 노드를 가리킴

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

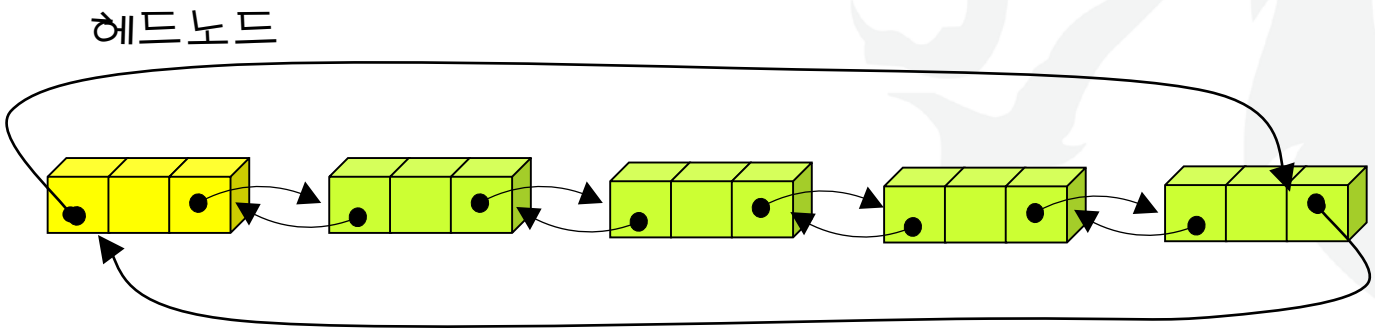
원형 연결 리스트: 리스트 끝에 삽입




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

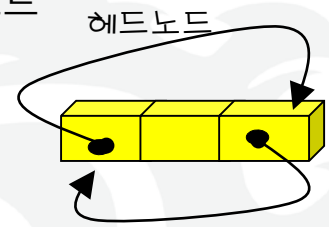
이중 연결 리스트

- 단순 연결 리스트의 문제점
  - 선행 노드를 찾기가 어려움
  - 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
  - 단점: 공간을 많이 차지하고 코드가 복잡
- 실제 사용되는 이중연결 리스트의 형태
  - **헤드노드+ 이중연결 리스트+ 원형연결 리스트**

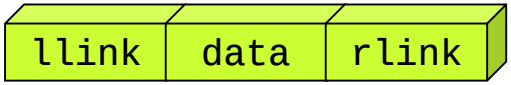


이중 연결 리스트: 헤드노드

- 헤드 노드(head node)
  - 데이터를 갖지 않고, 단지 삽입, 삭제 코드를 간단하게 할 목적으로 만들어진 노드
  - 헤드 포인터와의 구별 필요
    - 헤드 포인터는 첫번째 노드를 가리키는 포인터
  - 공백상태에서는 헤드 노드만 존재



- 이중연결리스트에서의 노드의 구조
  - (왼쪽 링크 필드, 데이터 필드, 오른쪽 링크 필드)

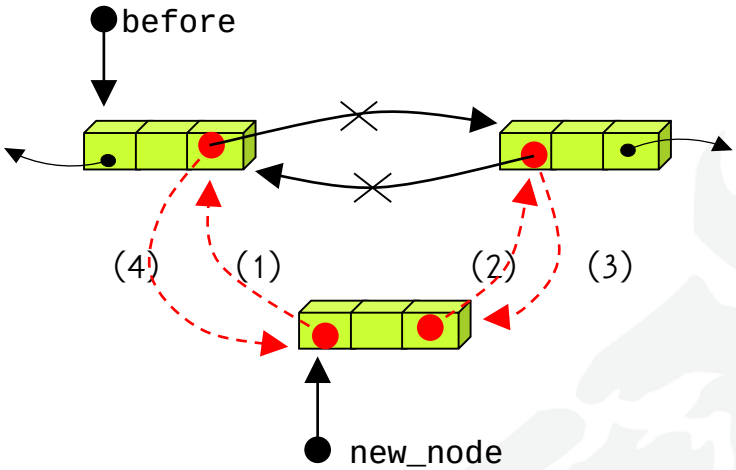



```
typedef int element;
typedef struct DlistNode {
    element data;
    struct DlistNode *llink;
    struct DlistNode *rlink;
} DlistNode;
```

  - 임의의 노드를 가리키는 포인터를 p라고 할 때,

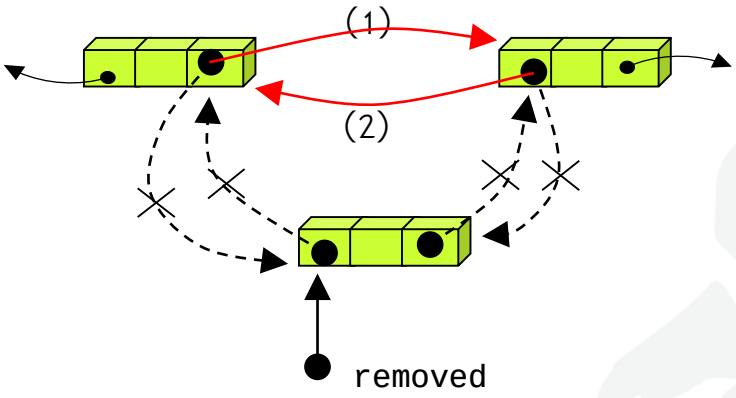
    항상, p == p -> llink -> rlink == p ->rlink->llink 관계 성립

이중 연결 리스트: 삽입 연산




```
// 노드 new_node를 노드 before의 오른쪽에 삽입한다.
void dinsert_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)
}
```

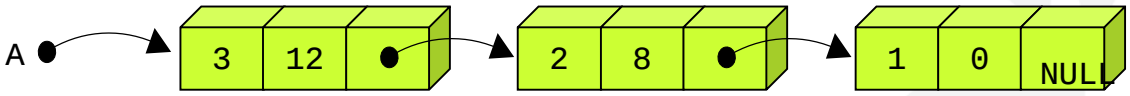
이중 연결 리스트: 삭제 연산




```
// 노드 removed를 삭제
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

- 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(1)

- 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 더함

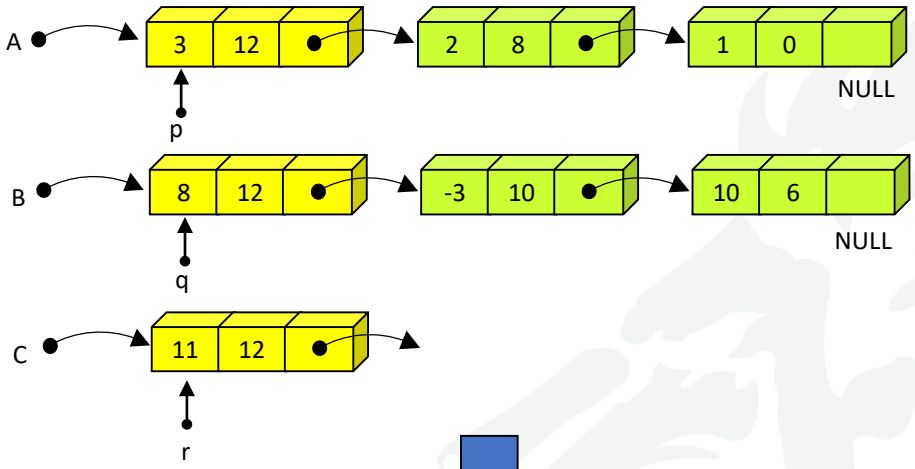
① p.expon == q.expon :
두 계수를 더해서 0이 아니면 새로운 항을 만들어 결과 다항식 C에 추가한다.
그리고 p와 q는 모두 다음 항으로 이동한다.

② p.expon < q.expon :
q가 지시하는 항을 새로운 항으로 복사하여 결과 다항식 C에 추가한다.
그리고 q만 다음 항으로 이동한다.

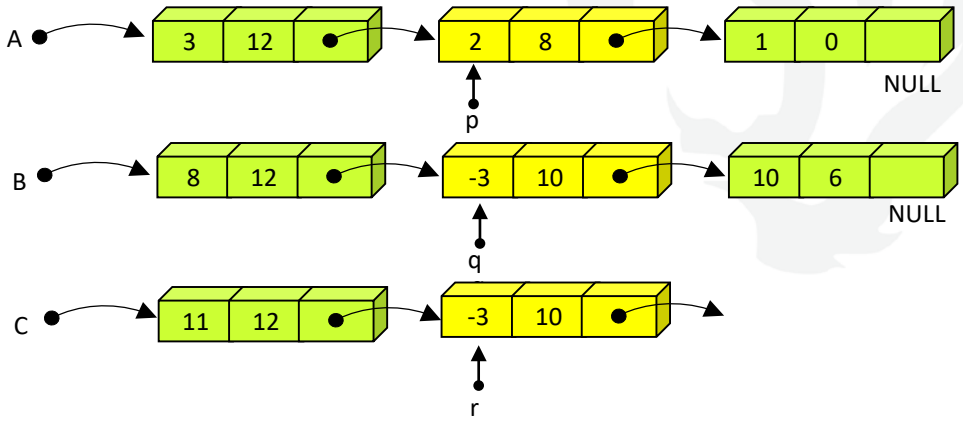
③ p.expon > q.expon :
p가 지시하는 항을 새로운 항으로 복사하여 결과 다항식 C에 추가한다.
그리고 p만 다음 항으로 이동한다.

다항식의 덧셈(2)

① p.expon == q.expon

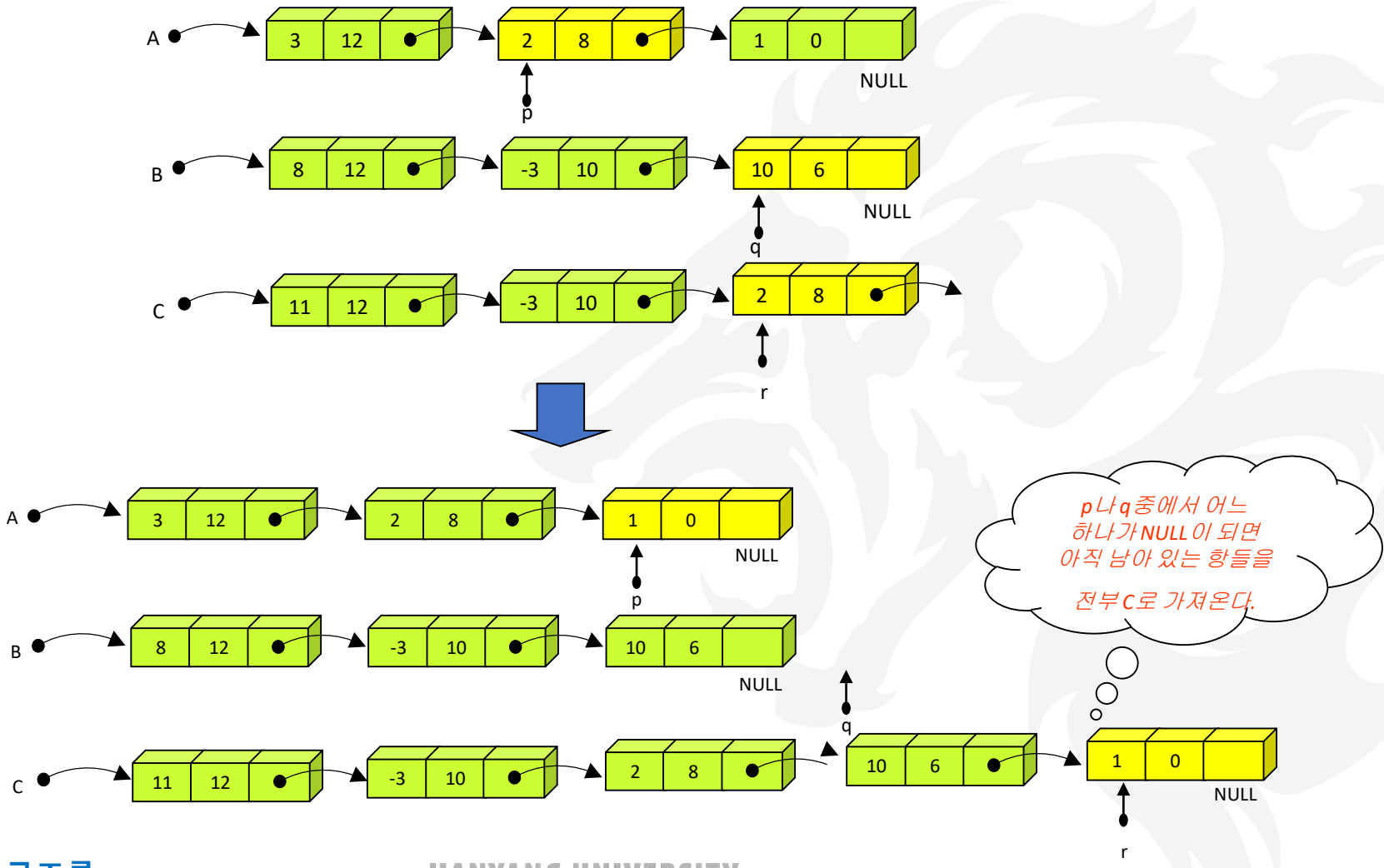


② p.expon < q.expon



다항식의 덧셈(3)

③ p.expon > q.expon



다항식 구현 코드(1)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

// 연결 리스트의 노드의 구조
typedef struct ListNode {
        int coef;
        int expon;
        struct ListNode *link;
} ListNode;

// 연결 리스트 헤더 노드 구조
typedef struct ListHeader {
        int length;
        ListNode *head;
        ListNode *tail;
} ListHeader;
```

다항식 구현 코드(2)

```
// 초기화 함수
void init(ListHeader *plist)
{
        plist->length = 0;
        plist->head = plist->tail = NULL;
}
// plist는 연결 리스트의 헤더를 가리키는 포인터, coef는 계수, expon는 지수
// 새로운 노드를 만들어서 다항식의 마지막에 추가
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 구현 코드(3)

```
// 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 구현 코드(4)

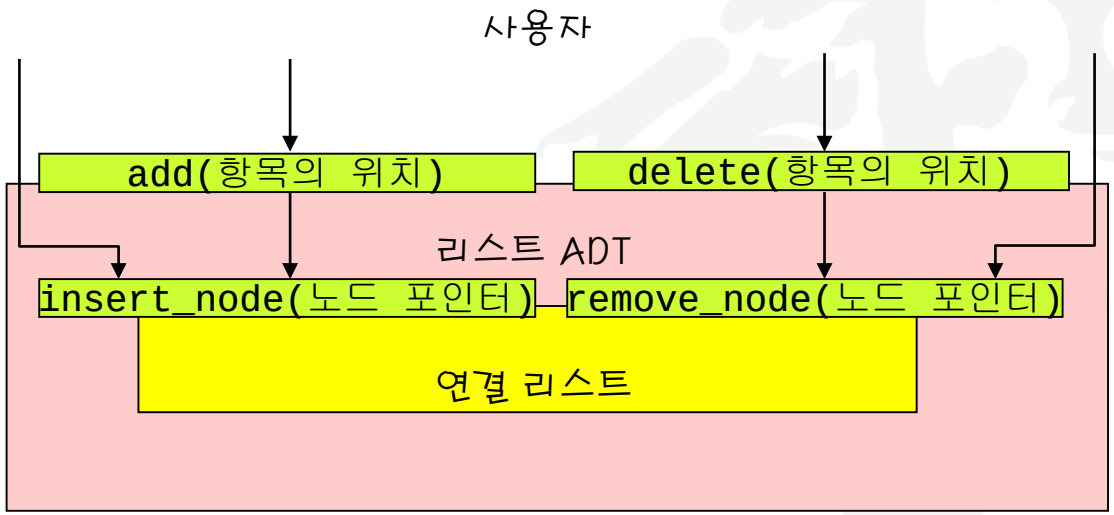
```
// a나 b중의 하나가 먼저 끝나게 되면 남아있는 항들을 모두 결과 다항식으로 복사
        for (; a != NULL; a = a->link)
                insert_node_last(plist3, a->coef, a->expon);
        for (; b != NULL; b = b->link)
                insert_node_last(plist3, b->coef, b->expon);
}
//
void poly_print(ListHeader *plist)
{
        ListNode *p = plist->head;
        for (; p; p = p->link) {
                printf("%d %d\n", p->coef, p->expon);
        }
}
```

다항식 구현 코드(5)

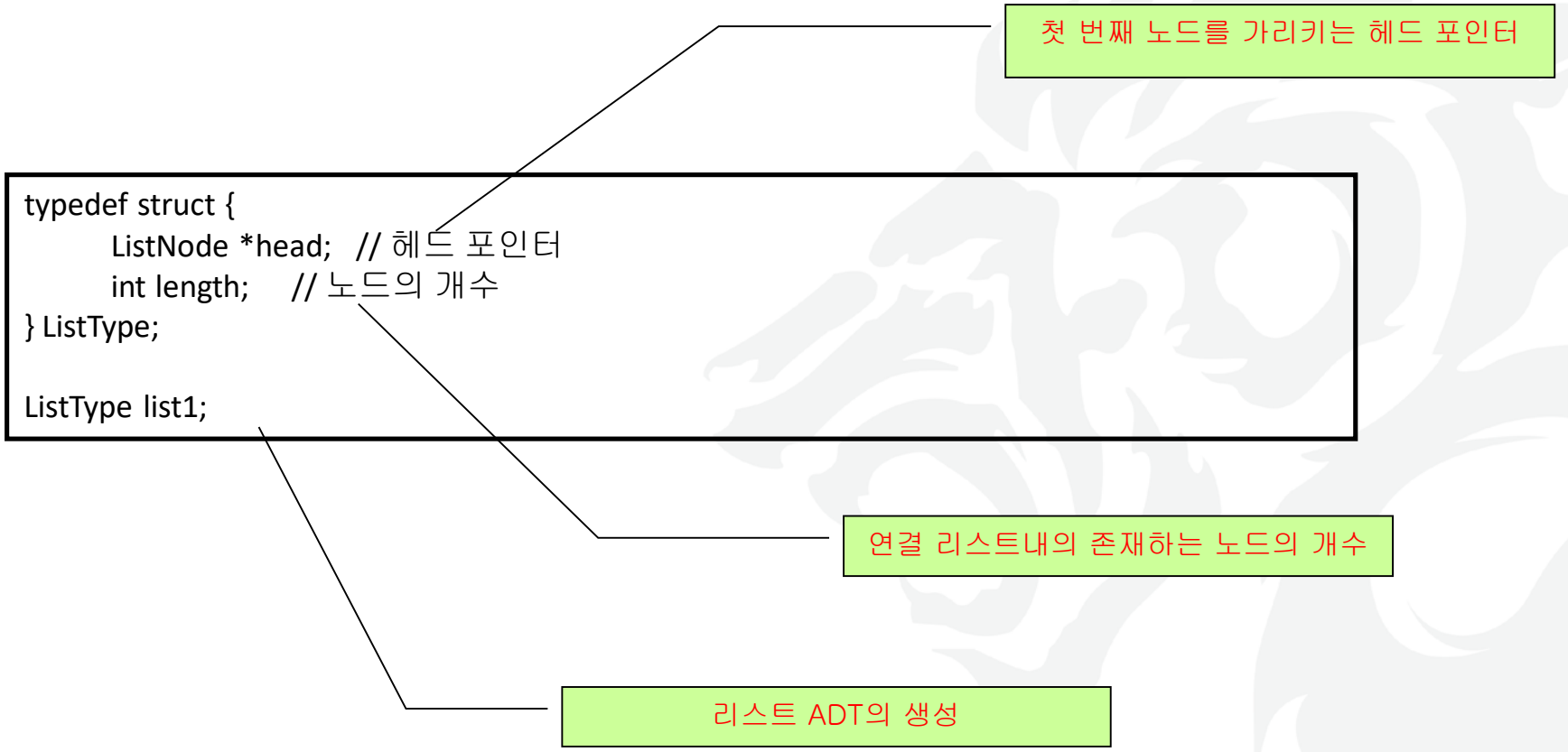
```
void main()
{
	ListHeader list1, list2, list3;

	// 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 ADT 구현

- 리스트 ADT의 연산을 연결리스트를 이용하여 구현
  - 리스트 ADT의 add, delete 연산의 파라미터는 항목의 위치
  - 연결리스트의 insert_node, remove_node의 파리미터는 노드 포인터



리스트 ADT 구현


첫 번째 노드를 가리키는 헤드 포인터
typedef struct {
ListNode *head; // 헤드 포인터
int length; // 노드의 개수
} ListType;
ListType list1;
연결 리스트내의 존재하는 노드의 개수
리스트 ADT의 생성

리스트 ADT 구현: is_empty & get_length

- is_empty()

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

- get_length()

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

리스트 ADT 구현: add (1)

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

```
// 리스트 안에서 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;
}
```

리스트 ADT 구현: add (2)

- add()
  - 새로운 데이터를 임의의 위치에 삽입

```
// 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 할당 에러");
   node->data = data;
   p = get_node_at(list, position-1);
   insert_node(&(list->head), p, node);
   list->length++;
 }
}
```

리스트 ADT 구현: add (3)

- add_last나 add_first는 add 함수를 이용하여 쉽게 구현 가능함

```
void add_last(ListType *list, element data)
{
    add(list, get_length(list), data);
}
```

```
void add_first(ListType *list, element data)
{
    add(list, 0, data);
}
```

리스트 ADT 구현: delete

- delete()
  - 임의의 위치의 데이터를 삭제

```
// 주어진 위치의 데이터를 삭제
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--;
      }
}
```

리스트 ADT 구현: get_entry

- get_entry()

```
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;
}
```

리스트 ADT 구현: display

- display()

```
// 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");
}
```

리스트 ADT 구현: is_in_list

- is_in_list()
  - 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;
}
```

리스트 ADT 구현: main

```
int main()
{
    ListType list1;
    init(&list1);
    add(&list1, 0, 20);
    add_last(&list1, 30);
    add_first(&list1, 10);
    add_last(&list1, 40);
    // list1 = (10, 20, 30, 40)
    display(&list1);
    // list1 = (10, 20, 30)
    delete(&list1, 3);
    display(&list1);
    // list1 = (20, 30)
    delete(&list1, 0);
    display(&list1);
        printf("%s\n", is_in_list(&list1, 20)==TRUE ? “성공": "실패");
    printf("%d\n", get_entry(&list1, 0));
}
```

Week 4: List