

## 6장 연결 리스트 |





## □ 일상생활에서의 리스트

- 오늘 해야 할 일: (청소, 쇼핑, 영화관람)
- 버킷 리스트: (세계여행하기, 새로운 언어 배우기, 마라톤 뛰기)
- 요일들: (일요일, 월요일, ... ,토요일)
- 카드 한 벌의 값: (Ace, 2, 3,..., King)

| My To-Do List            |      |
|--------------------------|------|
| Date                     | Item |
| <input type="checkbox"/> |      |
| <input type="checkbox"/> |      |
| <input type="checkbox"/> |      |
| <input type="checkbox"/> |      |
| <input type="checkbox"/> |      |
| <input type="checkbox"/> |      |
| <input type="checkbox"/> |      |
| <input type="checkbox"/> |      |
| <input type="checkbox"/> |      |
| <input type="checkbox"/> |      |

| Bucket List   |
|---------------|
| • 유럽가기        |
| • 오토바이 타기     |
| • 에버레스트 등반    |
| • 유화 그리기      |
| • 발레 배우기      |
| • 테니스 대회 우승하기 |
| • 사자 기르기      |
| • 스카이 다이빙     |





# 리스트의 기본 연산

$L = ( \text{item}_0, \text{item}_1, \text{item}_2, \dots, \text{item}_{n-1} )$

- 리스트에 새로운 항목을 추가한다(삽입 연산).
- 리스트에서 항목을 삭제한다(삭제 연산).
- 리스트에서 특정한 항목을 찾는다(탐색 연산).



- 객체:  $n$ 개의 **element**형으로 구성된 순서 있는 모임
- 연산:

`insert(list, pos, item)` ::= `pos` 위치에 요소를 추가한다.

`insert_last(list, item)` ::= 맨 끝에 요소를 추가한다.

`insert_first(list, item)` ::= 맨 처음에 요소를 추가한다.

`delete(list, pos)` ::= `pos` 위치의 요소를 제거한다.

`clear(list)` ::= 리스트의 모든 요소를 제거한다.

`get_entry(list, pos)` ::= `pos` 위치의 요소를 반환한다.

`get_length(list)` ::= 리스트의 길이를 구한다.

`is_empty(list)` ::= 리스트가 비었는지를 검사한다.

`is_full(list)` ::= 리스트가 꽉 찼는지를 검사한다.

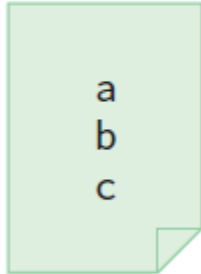
`print_list(list)` ::= 리스트의 모든 요소를 표시한다.



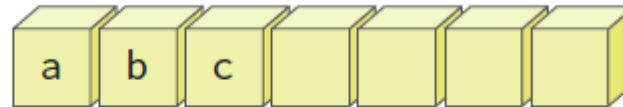


# 리스트 구현 방법

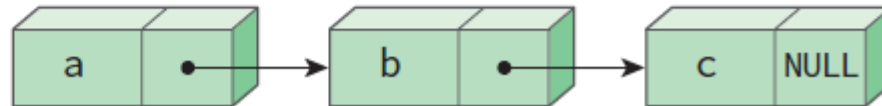
리스트 ADT



배열을 이용한 구현



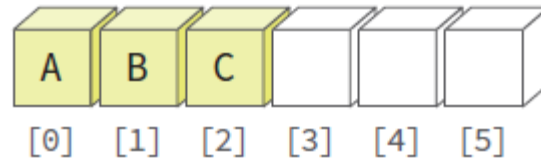
연결리스트를 이용한 구현





# 배열로 구현된 리스트

- 배열을 이용하여 리스트를 구현하면 순차적인 메모리 공간이 할당되므로, 이것을 리스트의 순차적 표현 (sequential representation)이라고 한다.





# ArrayListType의 구현

```
#define MAX_LIST_SIZE 100 // 리스트의 최대크기

typedef int element; // 항목의 정의

typedef struct {
    element array[MAX_LIST_SIZE]; // 배열 정의
    int size; // 현재 리스트에 저장된 항목들의 개수
} ArrayListType;
```





# ArrayListType의 구현

```
// 오류 처리 함수
void error(char *message)
{
    fprintf(stderr, "%s\n", message);
    exit(1);
}
// 리스트 초기화 함수
void init(ArrayListType *L)
{
    L->size = 0;
}
// 리스트가 비어 있으면 1을 반환
// 그렇지 않으면 0을 반환
int is_empty(ArrayListType *L)
{
    return L->size == 0;
}
// 리스트가 가득 차 있으면 1을 반환
// 그렇지 않으면 0을 반환
int is_full(ArrayListType *L)
{
    return L->size == MAX_LIST_SIZE;
}
```







# ArrayListType의 구현

```
element get_entry(ArrayListType *L, int pos)
{
    if (pos < 0 || pos >= L->size)
        error("위치 오류");
    return L->array[pos];
}
// 리스트 출력
void print_list(ArrayListType *L)
{
    int i;
    for (i = 0; i < L->size; i++)
        printf("%d->", L->array[i]);
    printf("\n");
}
```





# ArrayListType의 구현

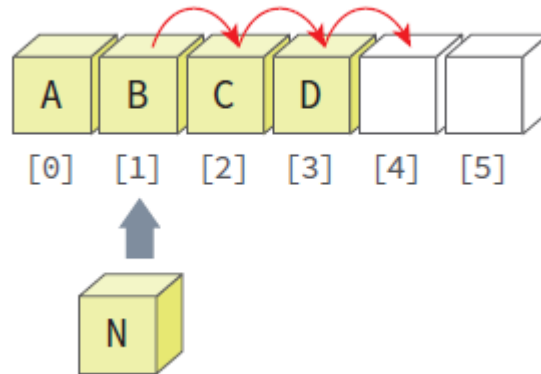
```
void insert_last(ArrayListType *L, element item)
{
    if( L->size >= MAX_LIST_SIZE ) {
        error("리스트 오버플로우");
    }
    L->array[L->size++] = item;
}
```





# ArrayListType의 구현

```
void insert(ArrayListType *L, int pos, element item)
{
    if (!is_full(L) && (pos >= 0) && (pos <= L->size)) {
        for (int i = (L->size - 1); i >= pos; i--)
            L->array[i + 1] = L->array[i];
        L->array[pos] = item;
        L->size++;
    }
}
```

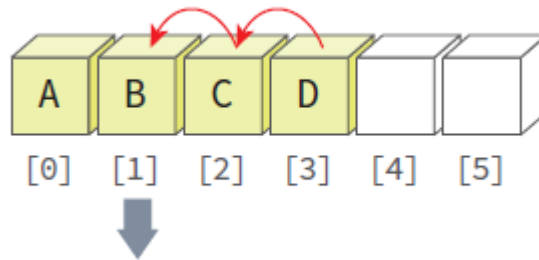




# ArrayListType의 구현

```
element delete(ArrayListType *L, int pos)
{
    element item;

    if (pos < 0 || pos >= L->size)
        error("위치 오류");
    item = L->array[pos];
    for (int i = pos; i < (L->size - 1); i++)
        L->array[i] = L->array[i + 1];
    L->size--;
    return item;
}
```





# ArrayListType의 구현

```
int main(void)
{
    // ArrayListType를 정적으로 생성하고 ArrayListType를
    // 가리키는 포인터를 함수의 매개변수로 전달한다.
    ArrayListType list;

    init(&list);
    insert(&list, 0, 10);    print_list(&list);    // 0번째 위치에 10 추가
    insert(&list, 0, 20);    print_list(&list);    // 0번째 위치에 20 추가
    insert(&list, 0, 30);    print_list(&list);    // 0번째 위치에 30 추가
    insert_last(&list, 40);  print_list(&list);    // 맨 끝에 40 추가
    delete(&list, 0);        print_list(&list);    // 0번째 항목 삭제
    return 0;
}
```

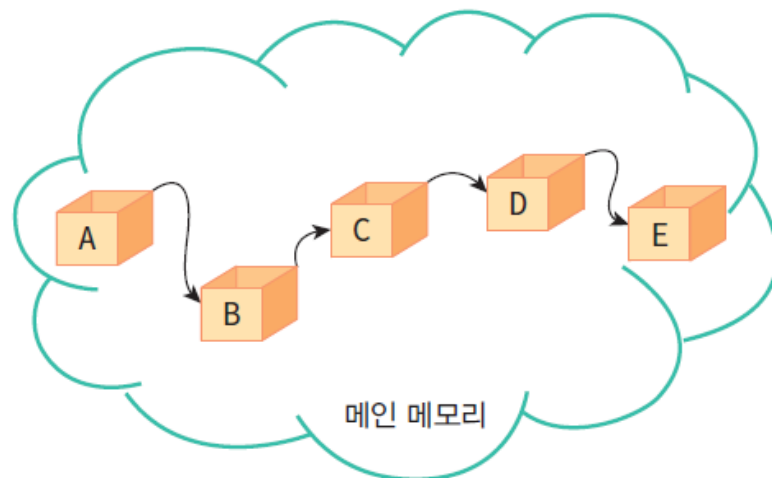




10->  
20->10->  
30->20->10->  
30->20->10->40->  
20->10->40->

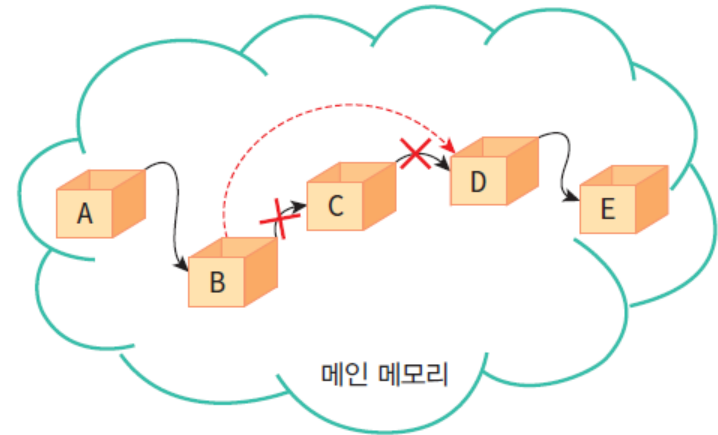
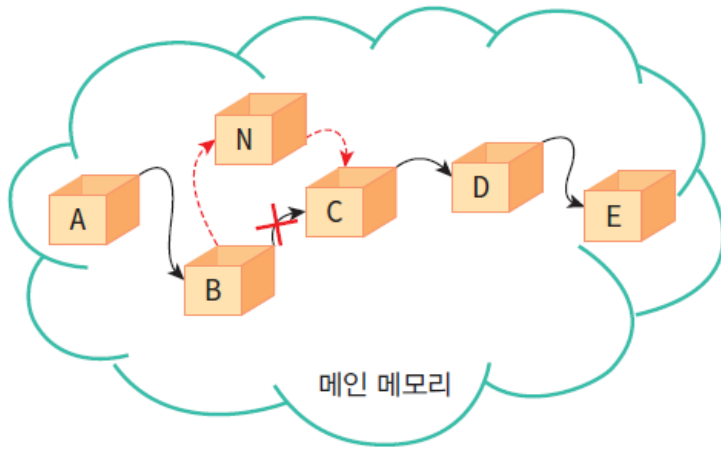


- 리스트의 항목들을 노드(node)라고 하는 곳에 분산하여 저장
- 노드는 데이터 필드와 링크 필드로 구성
  - ▣ 데이터 필드 - 리스트의 원소, 즉 데이터 값을 저장하는 곳
  - ▣ 링크 필드 - 다른 노드의 주소값을 저장하는 장소 (포인터)





# 삽입과 삭제







# 연결된 표현의 장단점

## □ 장점

- ▣ 삼입, 삭제가 보다 용이하다.
- ▣ 연속된 메모리 공간이 필요 없다.
- ▣ 크기 제한이 없다

## □ 단점

- ▣ 구현이 어렵다.
- ▣ 오류가 발생하기 쉽다.





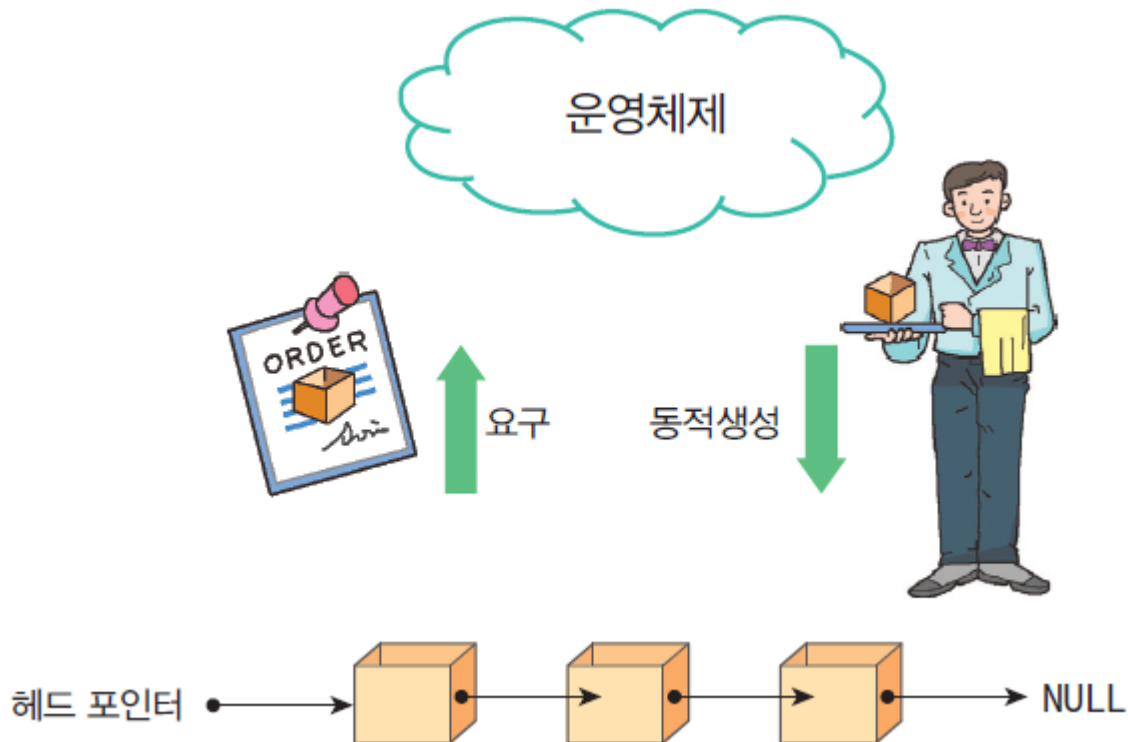
# 노드의 구조

□ 노드 = 데이터 필드 + 링크 필드



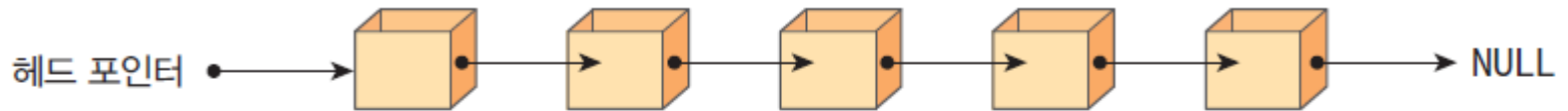


# 헤드 포인터와 노드의 생성

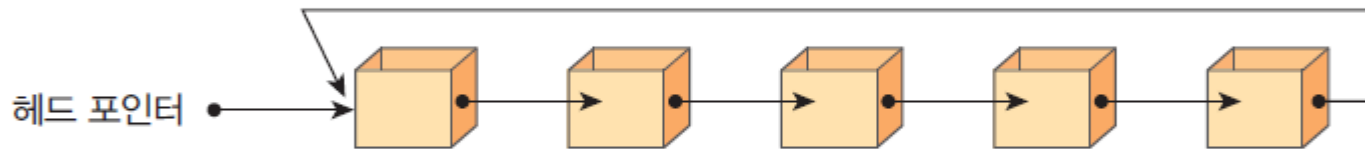




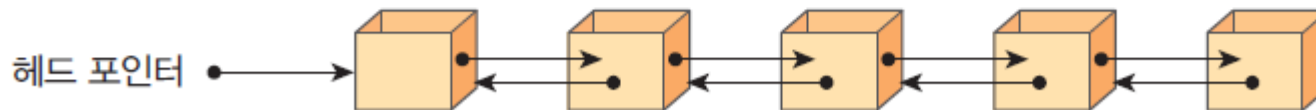
# 연결 리스트의 종류



단순 연결 리스트



원형 연결 리스트



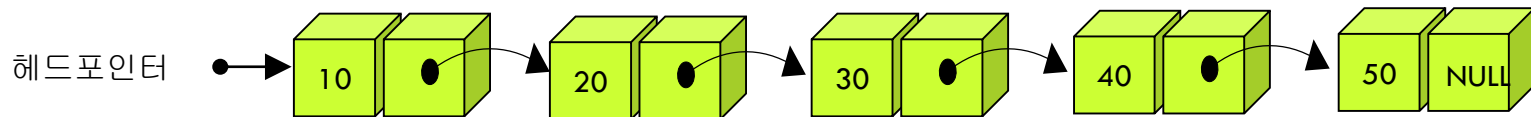
이중 연결 리스트





# 단순 연결 리스트

- 하나의 링크 필드를 이용하여 연결
- 마지막 노드의 링크 값은 NULL

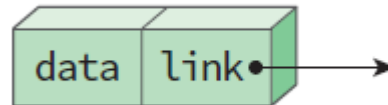




# 노드의 정의

```
typedef int element;
```

```
typedef struct ListNode {           // 노드 타입을 구조체로 정의한다.  
    element data;  
    struct ListNode *link;  
} ListNode;
```





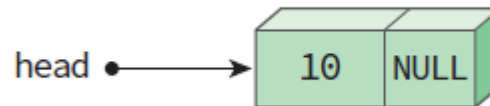
# 리스트의 생성

```
ListNode *head = NULL;
```

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

```
head->data = 10;
```

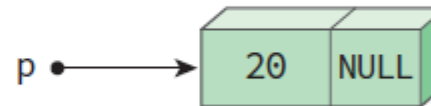
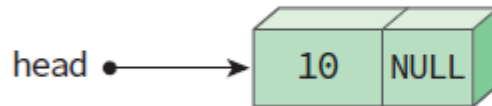
```
head->link = NULL;
```





# 2번째 노드 생성

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

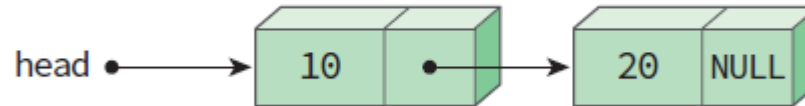
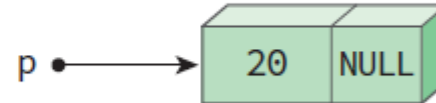
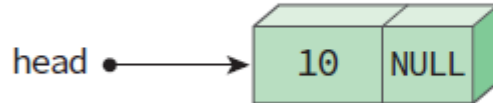






# 노드의 연결

```
head->link = p;
```





# 다산 연결 리스트의 연산

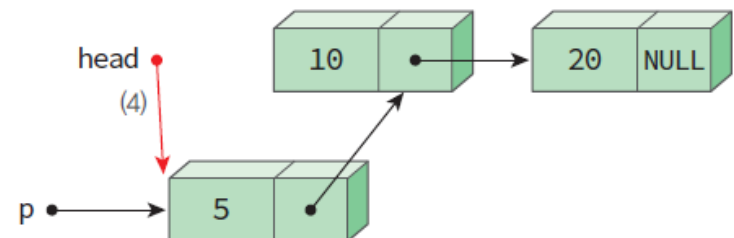
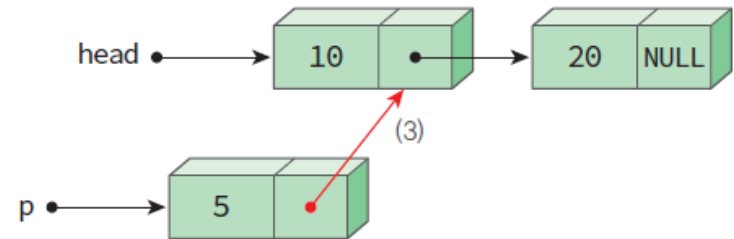
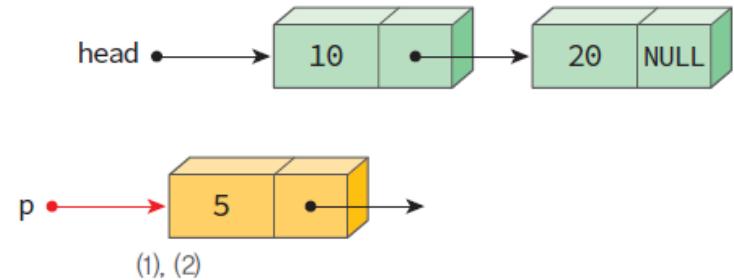
- `insert_first()`: 리스트의 시작 부분에 항목을 삽입하는 함수
- `insert()`: 리스트의 중간 부분에 항목을 삽입하는 함수
- `delete_first()`: 리스트의 첫 번째 항목을 삭제하는 함수
- `delete()`: 리스트의 중간 항목을 삭제하는 함수(도전 문제)
- `print_list()`: 리스트를 방문하여 모든 항목을 출력하는 함수





# 다산 연결 리스트 (삽입연산)

```
ListNode* insert_first(ListNode *head, int value)
{
    ListNode *p =
        (ListNode *)malloc(sizeof(ListNode)); // (1)
    p->data = value;
        // (2)
    p->link = head;
        // (3)
    head = p; // (4)
    return head;
}
```

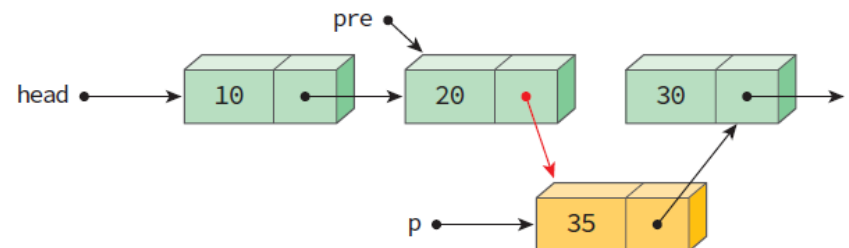
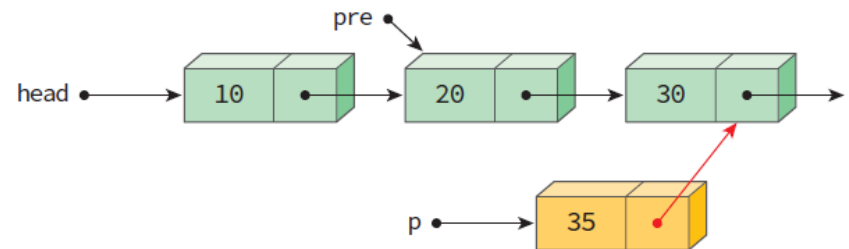
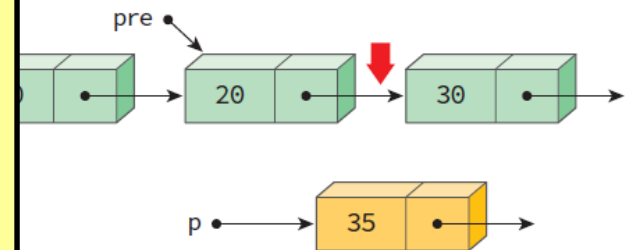




# 다산 연결 리스트 (삽입연산)

// 노드 pre 뒤에 새로운 노드 삽입

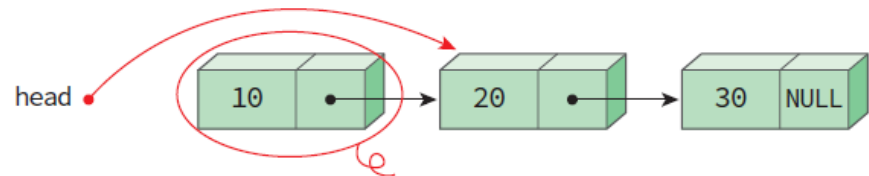
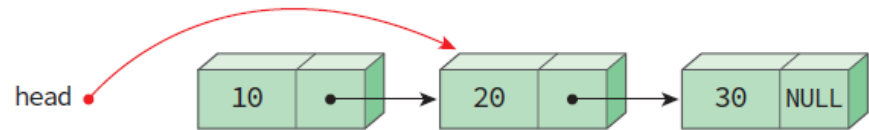
```
ListNode* insert(ListNode *head, ListNode *pre, element value)
{
    ListNode *p = (ListNode *)malloc(sizeof(ListNode));
    //(1)
    p->data = value;
    p->link = pre->link;    //(2)
    pre->link = p;          //(3)
    return head;            //(4)
}                            //(5)
```





# 다산 연결 리스트 (삭제연산)

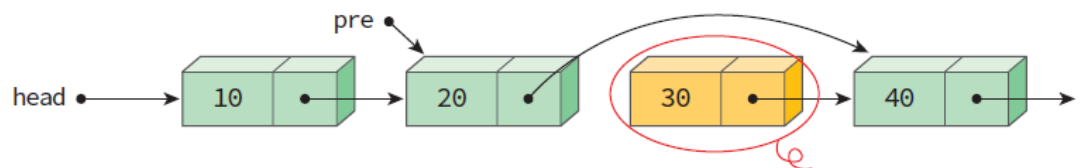
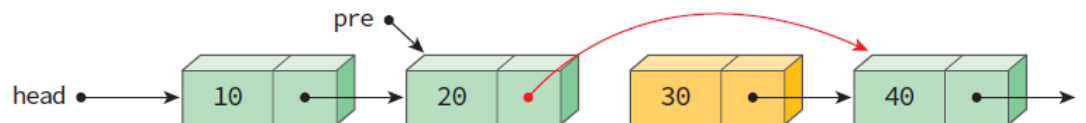
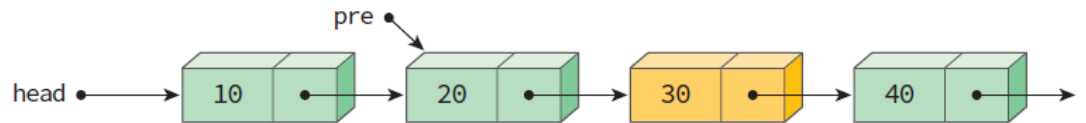
```
ListNode* delete_first(ListNode *head)
{
    ListNode *removed;
    if (head == NULL) return NULL;
    removed = head;    // (1)
    head = removed->link;    // (2)
    free(removed);
    return head;
}
```





# 다중 연결 리스트 (삭제연산)

```
// pre가 가리키는 노드의 다음 노드를 삭제한다.  
ListNode* delete(ListNode *head, ListNode *pre)  
{  
    ListNode *removed;  
    removed = pre->link;  
    pre->link = removed->link;           // (2)  
    free(removed);                       // (3)  
    return head;                         // (4)  
}
```





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





# 테스트 프로그램

```
// 테스트 프로그램
int main(void)
{
    ListNode *head = NULL;

    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        head = insert_first(head, i);
        print_list(head);
    }
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        head = delete_first(head);
        print_list(head);
    }
    return 0;
}
```







```
0->NULL
1->0->NULL
2->1->0->NULL
3->2->1->0->NULL
4->3->2->1->0->NULL
3->2->1->0->NULL
2->1->0->NULL
1->0->NULL
0->NULL
NULL
```





# Lab: 단어들을 저장하고 있는 연결리스트

```
APPLE->NULL  
KIWI->APPLE->NULL  
BANANA->KIWI->APPLE->NULL
```





# Solution

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

typedef struct {
    char name[100];
} element;

typedef struct ListNode {    // 노드 타입
    element data;
    struct ListNode *link;
} ListNode;

// 오류 처리 함수
void error(char *message)
{
    fprintf(stderr, "%s\n", message);
    exit(1);
}
```





# Solution

```
ListNode* insert_first(ListNode *head, element value)
{
    ListNode *p = (ListNode *)malloc(sizeof(ListNode));           //(1)
    p->data = value;                                                //(2)
    p->link = head;        // 헤드 포인터의 값을 복사    //(3)
    head = p; // 헤드 포인터 변경                        //(4)
    return head;
}

void print_list(ListNode *head)
{
    for (ListNode *p = head; p != NULL; p = p->link)
        printf("%s->", p->data.name);
    printf("NULL \n");
}
```





# Solution

```
// 테스트 프로그램
int main(void)
{
    ListNode *head = NULL;
    element data;

    strcpy(data.name, "APPLE");
    head = insert_first(head, data);
    print_list(head);

    strcpy(data.name, "KIWI");
    head = insert_first(head, data);
    print_list(head);

    strcpy(data.name, "BANANA");
    head = insert_first(head, data);
    print_list(head);
    return 0;
}
```





# Lab: 특정한 값을 탐색하는 함수

10->NULL

20->10->NULL

30->20->10->NULL

리스트에서 30을 찾았습니다.





```
ListNode* search_list(ListNode *head, element x)
{
    ListNode *p = head;

    while (p != NULL) {
        if (p->data == x) return p;
        p = p->link;
    }
    return NULL;          // 탐색 실패
}

// 테스트 프로그램
int main(void)
{
    ListNode *head = NULL;

    head = insert_first(head, 10);
    print_list(head);
    head = insert_first(head, 20);
    print_list(head);
    head = insert_first(head, 30);
    print_list(head);
    if (search_list(head, 30) != NULL)
        printf("리스트에서 30을 찾았습니다. \n");
    else
        printf("리스트에서 30을 찾지 못했습니다. \n");
    return 0;
}
```



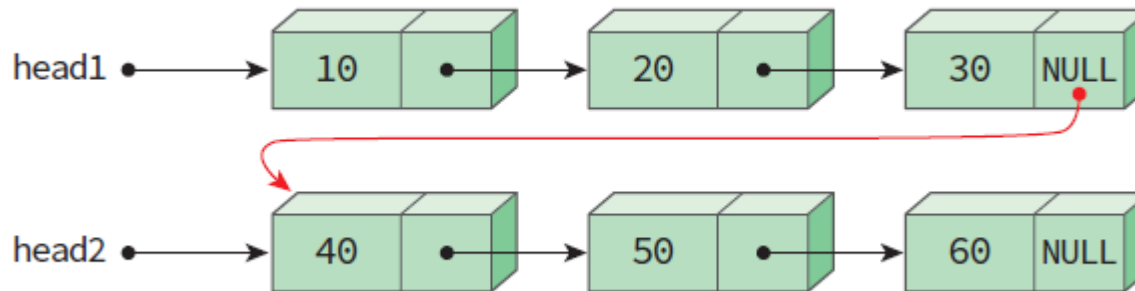


# Lab: 2개의 리스트를 합하는 함수

30->20->10->NULL

50->40->NULL

30->20->10->50->40->NULL







# Solution

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

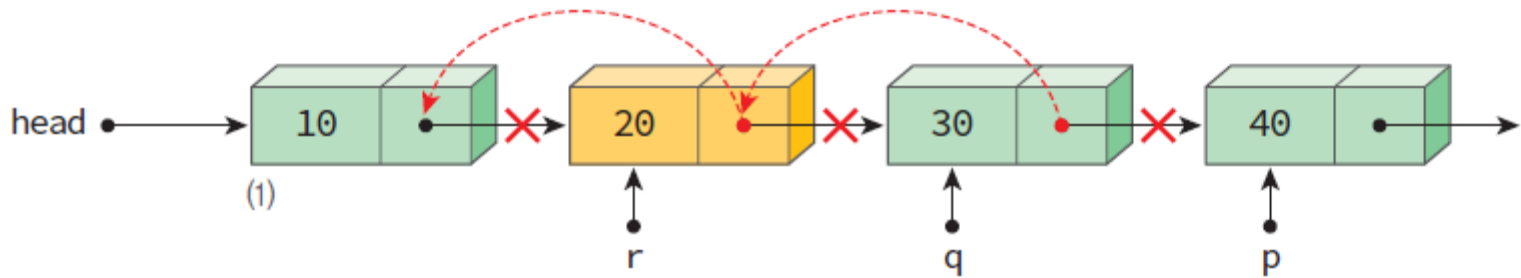




# Lab: 리스트를 역순으로 만드는 연산

30->20->10->NULL

10->20->30->NULL





# Solution

```
ListNode* reverse(ListNode *head)
{
    // 순회 포인터로 p, q, r을 사용
    ListNode *p, *q, *r;

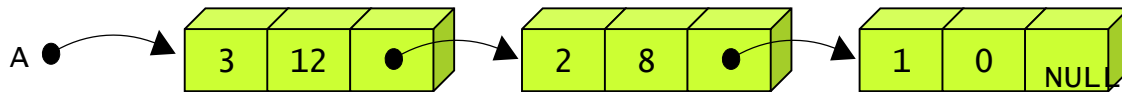
    p = head;        // p는 역순으로 만들 리스트
    q = NULL;        // q는 역순으로 만들 노드
    while (p != NULL) {
        r = q;        // r은 역순으로 된 리스트.
                     // r은 q, q는 p를 차례로 따라간다.
        q = p;
        p = p->link;
        q->link = r;   // q의 링크 방향을 바꾼다.
    }
    return q;
}
```





# 연결리스트의 응용: 다항식

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

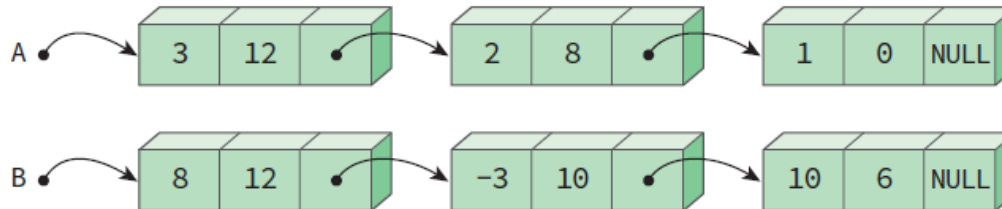




# 연결리스트의 응용: 다항식

```
typedef struct ListNode {          // 노드 타입
    int coef;
    int expon;
    struct ListNode *link;
} ListNode;
```

예를 들면 다항식  $A(x) = 3x^{12} + 2x^8 + 1$ 과  $B(x) = 8x^{12} - 3x^{10} + 10x^6$ 은 다음과 같이 표현된다.





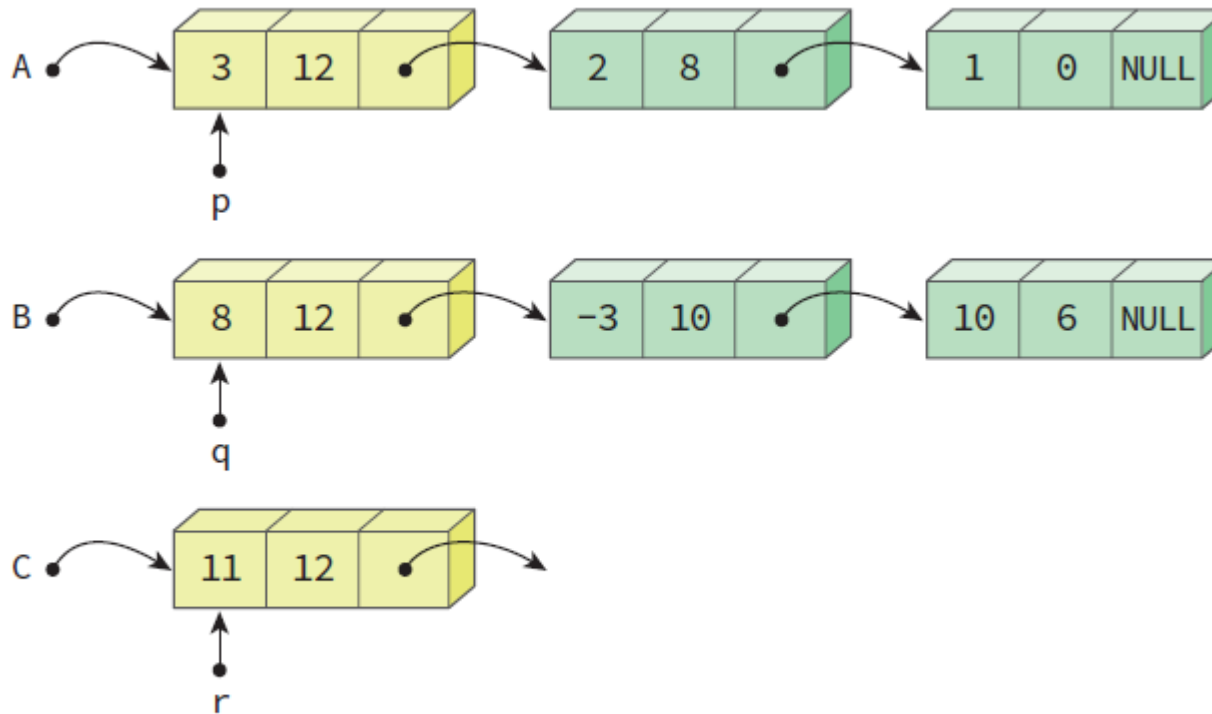
# 다항식의 덧셈 구현

- 2개의 다항식을 더하는 덧셈 연산을 구현
- $A=3x^{12}+2x^8+1$ ,  $B=8x^{12}-3x^{10}+10x^6$ 이면
- $A+B=11x^{12}-3x^{10}+2x^8+10x^6+1$



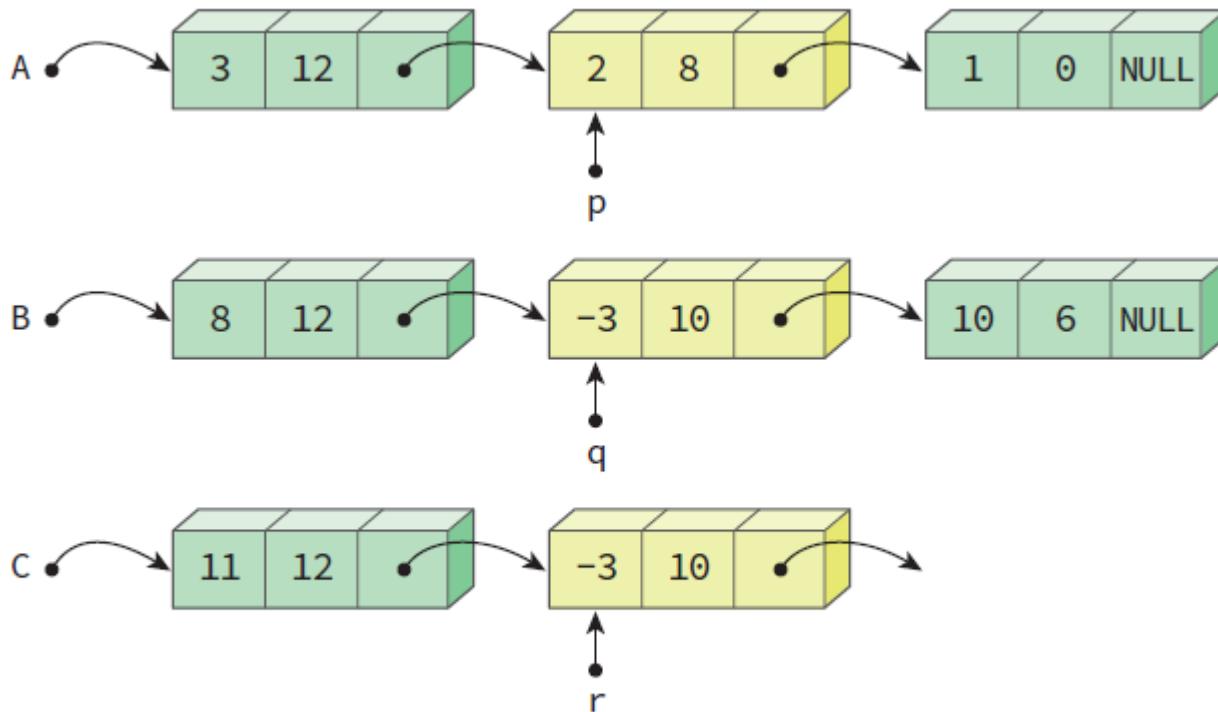


# 다항식의 덧셈



(a) p와 q가 가리키는 항들의 지수가 같으면 계수를 더한다.





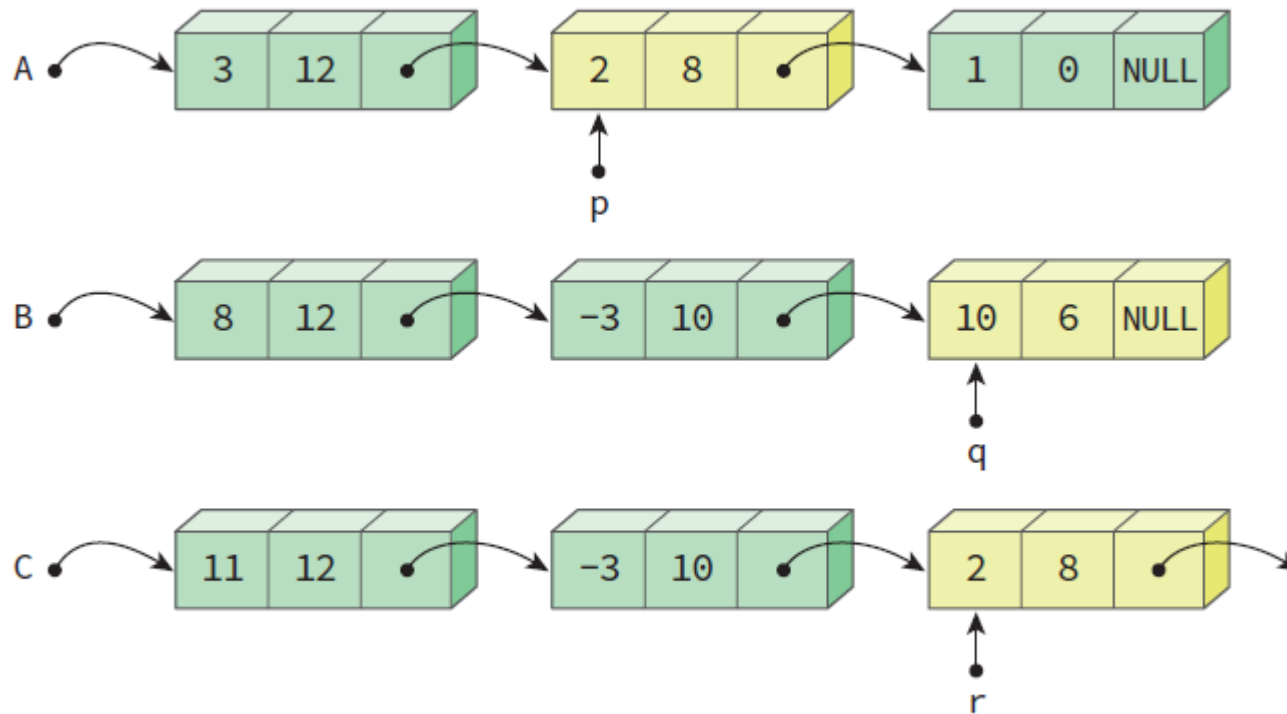
(b)  $q$ 가 가리키는 항의 지수가 높으면 그대로  $C$ 로 옮긴다.







# 다항식의 덧셈

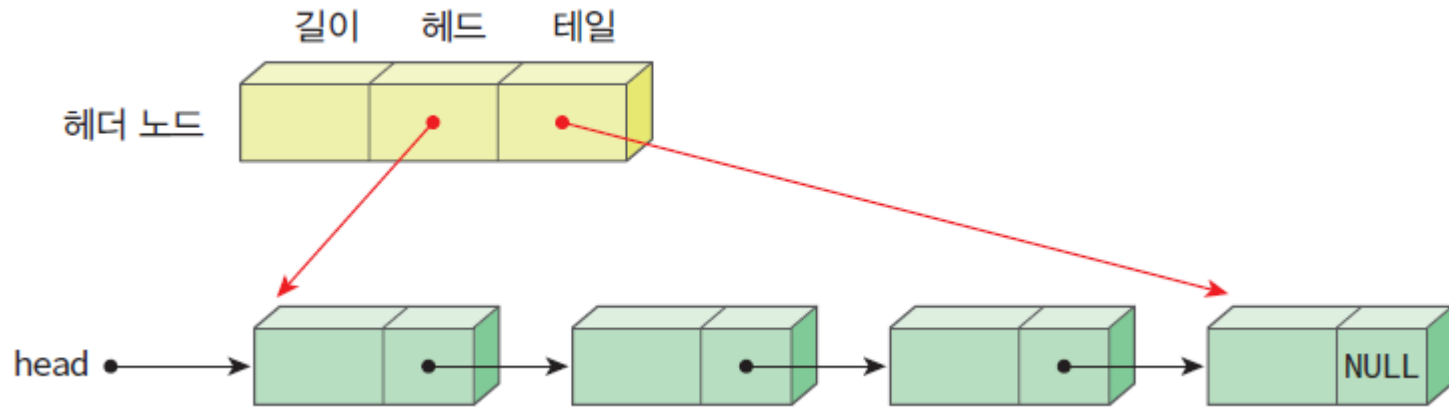


(c) p가 가리키는 항의 지수가 높으면 그대로 C로 옮긴다.





# 헤더 노드의 개념





# 다항식 프로그램

```
typedef struct ListNode { // 노드 타입
    int coef;
    int expon;
    struct ListNode *link;
} ListNode;

// 연결 리스트 헤더
typedef struct ListType { // 리스트 헤더 타입
    int size;
    ListNode *head;
    ListNode *tail;
} ListType;

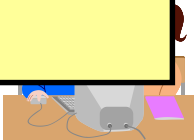
// 오류 함수
void error(char *message)
{
    fprintf(stderr, "%s\n", message);
    exit(1);
}
```





```
// 리스트 헤더 생성 함수
ListType* create()
{
    ListType *plist = (ListType *)malloc(sizeof(ListType));
    plist->size = 0;
    plist->head = plist->tail = NULL;
    return plist;
}

// plist는 연결 리스트의 헤더를 가리키는 포인터, coef는 계수,
// expon는 지수
void insert_last(ListType* 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->size++;
}
```





```
// list3 = list1 + list2
void poly_add(ListType* plist1, ListType* plist2, ListType* 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_last(plist3, sum, a->expon);
            a = a->link; b = b->link;
        }
        else if (a->expon > b->expon) { // a의 차수 == b의 차수
            insert_last(plist3, a->coef, a->expon);
            a = a->link;
        }
        else { // a의 차수 < b의 차수
            insert_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_last(plist3, a->coef, a->expon);
for (; b != NULL; b = b->link)
    insert_last(plist3, b->coef, b->expon);
}
//
//
void poly_print(ListType* plist)
{
    ListNode* p = plist->head;

    printf("polynomial = ");
    for (; p; p = p->link) {
        printf("%d^%d + ", p->coef, p->expon);
    }
    printf("\n");
}
```





```
//
int main(void)
{
    ListType *list1, *list2, *list3;

    // 연결 리스트 헤더 생성
    list1 = create();
    list2 = create();
    list3 = create();

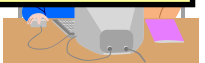
    // 다항식 1을 생성
    insert_last(list1, 3, 12);
    insert_last(list1, 2, 8);
    insert_last(list1, 1, 0);

    // 다항식 2를 생성
    insert_last(list2, 8, 12);
    insert_last(list2, -3, 10);
    insert_last(list2, 10, 6);

    poly_print(list1);
    poly_print(list2);

    // 다항식 3 = 다항식 1 + 다항식 2
    poly_add(list1, list2, list3);
    poly_print(list3);

    free(list1); free(list2); free(list3);
}
```





polynomial = 3^12 + 2^8 + 1^0 +  
polynomial = 8^12 + -3^10 + 10^6 +  
polynomial = 11^12 + -3^10 + 2^8 + 10^6 + 1^0 +

