

Linked List

Jin Hyun Kim
Fall, 2019

In this Topic

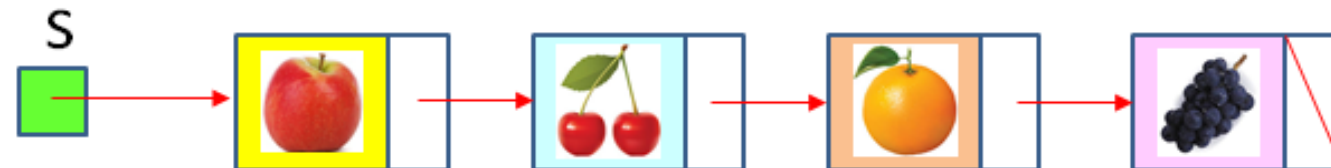
- List
- Single Linked List
- Doubled Linked List
- Circular Linked List

List

- 일반적인 리스트(List)는 일련의 동일한 타입의 항목(item)들
 - 실생활의 예: 학생 명단, 시험 성적, 서점의 신간 서적, 상점의 판매 품목, 실시간 급상승 검색어, 버킷 리스트 등
- 일반적인 리스트의 구현:
 - 1차원 파이썬 리스트(list)
 - 단순연결리스트
 - 이중연결리스트
 - 원형연결리스트

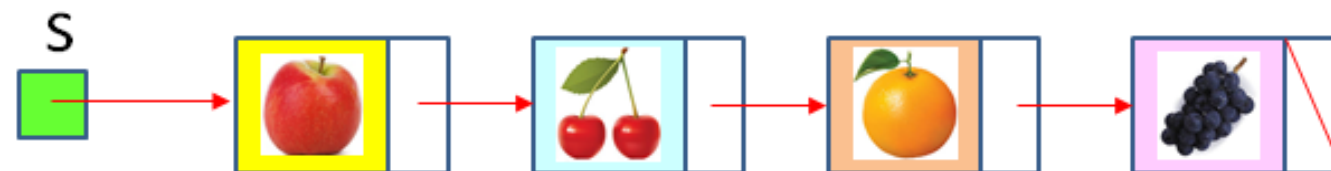
단순연결리스트

- 단순연결리스트(Singly Linked List)는 동적 메모리 할당을 이용해 리스트를 구현하는 가장 간단한 형태의 자료구조
- 동적 메모리 할당을 받아 노드(node)를 저장하고, 노드는 레퍼런스를 이용하여 다음 노드를 가리키도록 만들어 노드들을 한 줄로 연결 시킴



단순연결리스트

- 연결리스트에서는 삽입이나 삭제 시 항목들의 이동이 필요 없음
- 연결리스트에서는 항목을 탐색하려면 항상 첫 노드부터 원하는 노드를 찾을 때까지 차례로 방문하는 순차탐색(Sequential Search)해야 함



단순연결리스트

- size()
- is_empty()
- insert_front(item)
- insert_after(item, p)
- delete_front()
- delete_after(p)
- search(target)
- print_list()

SList Usage

```
01 from slist import SList
02 if __name__ == '__main__':
03     s = SList()
04     s.insert_front('orange')
05     s.insert_front('apple')
06     s.insert_after('cherry', s.head.next)
07     s.insert_front('pear')
08     s.print_list()
09     print('cherry는 %d번째' % s.search('cherry'))
10     print('kiwi는', s.search('kiwi'))
11     print('배 다음 노드 삭제 후:\t\t', end='')
12     s.delete_after(s.head)
13     s.print_list()
14     print('첫 노드 삭제 후:\t\t', end='')
15     s.delete_front()
16     s.print_list()
17     print('첫 노드로 망고, 딸기 삽입 후:\t', end='')
18     s.insert_front('mango')
19     s.insert_front('strawberry')
20     s.print_list()
21     s.delete_after(s.head.next.next)
22     print('오렌지 다음 노드 삭제 후:\t', end='')
23     s.print_list()
```

slist.py에서 SList를 import

이 파이썬 파일(모듈)이 메인이면

단순연결리스트
생성

예전의 삽입 삭제 탐색 연산 수행

SList

```

01 class SList:
02     class Node:
03         def __init__(self, item, link):
04             self.item = item
05             self.next = link
06
07     def __init__(self):
08         self.head = None
09         self.size = 0
10
11     def size(self): return self.size
12     def is_empty(self): return self.size == 0
13
14     def insert_front(self, item):
15         if self.is_empty():
16             self.head = self.Node(item, None)
17         else:
18             self.head = self.Node(item, self.head)
19         self.size += 1
20

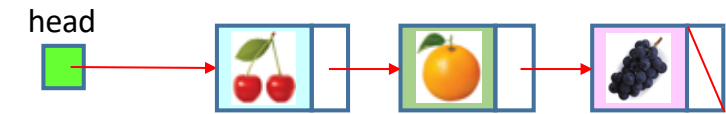
```

노드 생성자
항목과 다음 노드 레퍼런스

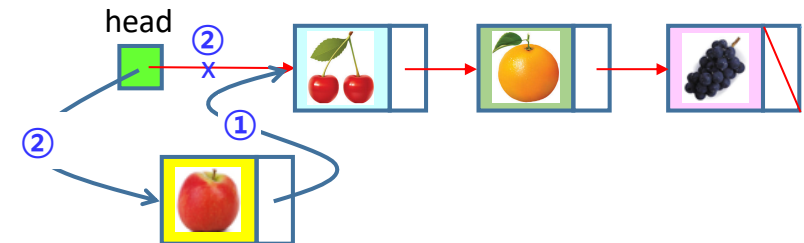
단순연결리스트 생성자
head와 항목 수(size)로 구성

empty인 경우

head가 새
노드 참조



(a) 새 노드 삽입 전



18 self.head = self.Node(item, self.head)

2



1

(b) 새 노드 삽입 후

[그림 2-2] insert_front() 함수

SList

```
21 def insert_after(self, item, p):
22     p.next = SList.Node(item, p.next)
23     self.size += 1
```

새 노드가 p 다음
노드가 됨

```
25 def delete_front(self):
26     if self.is_empty():
27         raise EmptyError('Underflow')
28     else:
29         self.head = self.head.next
30         self.size -= 1
```

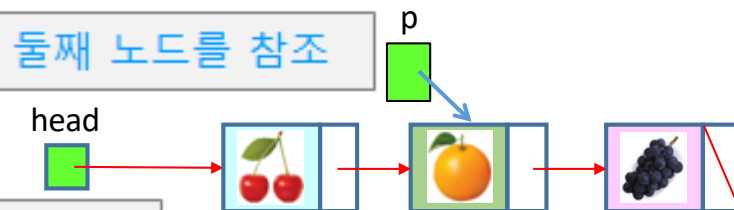
empty인 경우 에러 처리

head가 둘째 노드를 참조

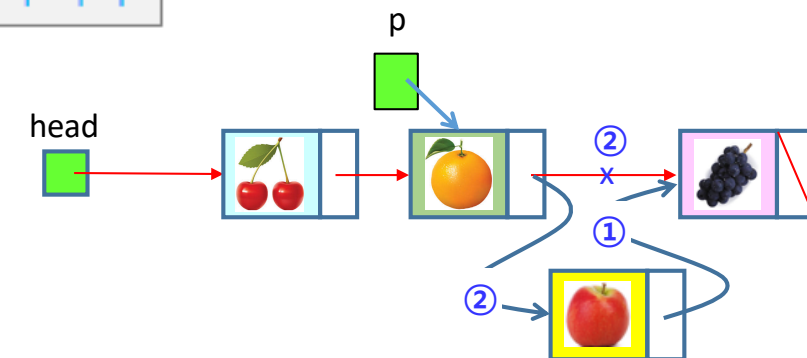
```
32 def delete_after(self, p):
33     if self.is_empty():
34         raise EmptyError('Underflow')
35     t = p.next
36     p.next = t.next
37     self.size -= 1
```

empty인 경우 에러 처리

p 다음 노드를 건너뛰어 연결



(a) 새 노드 삽입 전



22 p.next = SList.Node(item, p.next)

2



1

(b) 새 노드 삽입 후

[그림 2-3] insert_after() 함수

SList

```
21 def insert_after(self, item, p):
22     p.next = SList.Node(item, p.next)
23     self.size += 1
```

새 노드가 p 다음
노드가 됨

```
25 def delete_front(self):
26     if self.is_empty():
27         raise EmptyError('Underflow')
28     else:
29         self.head = self.head.next
30         self.size -= 1
```

empty인 경우 에러 처리

head가 둘째 노드를 참조

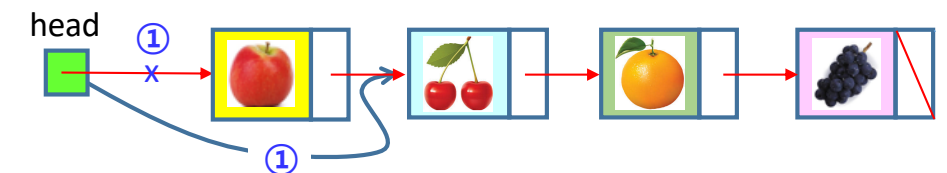
```
32 def delete_after(self, p):
33     if self.is_empty():
34         raise EmptyError('Underflow')
35     t = p.next
36     p.next = t.next
37     self.size -= 1
```

empty인 경우 에러 처리

p 다음 노드를 건너뛰어 연결



(a) 첫 노드 삭제 전



```
29 self.head = self.head.next
```

(b) 첫 노드 삭제 후

[그림 2-4] delete_front() 함수

SList

```

21 def insert_after(self, item, p):
22     p.next = SList.Node(item, p.next)
23     self.size += 1

```

새 노드가 p 다음
노드가 됨

```

25 def delete_front(self):
26     if self.is_empty():
27         raise EmptyError('Underflow')
28     else:
29         self.head = self.head.next
30         self.size -= 1

```

empty인 경우 에러 처리

head가 둘째 노드를 참조

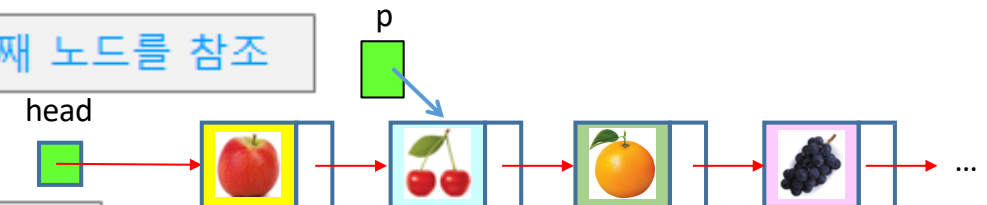
```

32 def delete_after(self, p):
33     if self.is_empty():
34         raise EmptyError('Underflow')
35     t = p.next
36     p.next = t.next
37     self.size -= 1

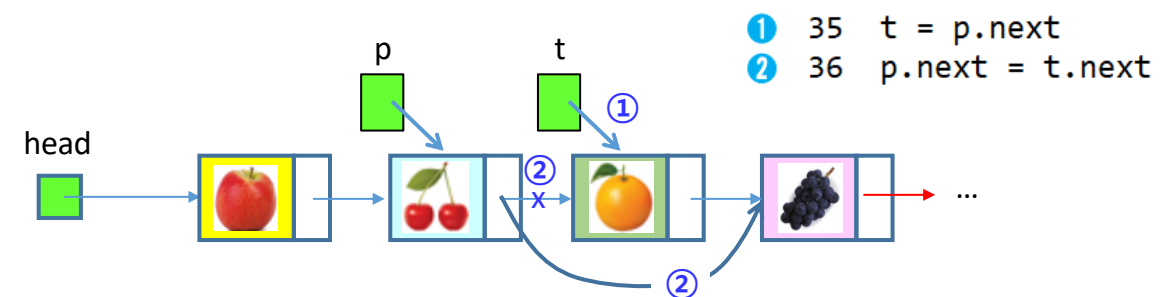
```

empty인 경우 에러 처리

p 다음 노드를 건너뛰어 연결



(a) 노드 삭제 전



(b) 노드 삭제 후

[그림 2-5] delete_after() 함수

SList

```
39 def search(self, target):
40     p = self.head
41     for k in range(self.size):
42         if target == p.item: return k
43         p = p.next
44     return None
45
46 def print_list(self):
47     p = self.head
48     while p:
49         if p.next != None:
50             print(p.item, ' -> ', end='')
51         else:
52             print(p.item)
53         p = p.next
54
55 class EmptyError(Exception):
56     pass
```

head로부터 순차탐색

탐색 성공

탐색 실패

노드들을 순차탐색

underflow 시 에러 처리

수행복잡도분석

- `search()`는 탐색을 위해 연결리스트의 노드들을 첫 노드부터 순차적으로 방문해야 하므로 $O(N)$ 시간 소요
- 삽입이나 삭제 연산은 각각 $O(1)$ 개의 레퍼런스만을 갱신하므로 $O(1)$ 시간 소요
- 단, `insert_after()`나 `delete_after()`의 경우에 특정 노드 `p`의 레퍼런스가 주어지지 않으면 `head`로부터 `p`를 찾기 위해 `search()`를 수행해야 하므로 $O(N)$ 시간 소요

이중연결리스트

- 이중연결리스트(Doubly Linked List)는 각 노드가 두 개의 레퍼런스를 가지고 각각 이전 노드와 다음 노드를 가리키는 연결리스트



- 단순연결리스트는 삽입이나 삭제할 때 반드시 이전 노드를 가리키는 레퍼런스를 추가로 알아내야 하고, 역방향으로 노드들을 탐색할 수 없음
- 이중연결리스트는 단순연결리스트의 이러한 단점을 보완하나, 각 노드마다 추가로 한 개의 레퍼런스를 추가로 저장해야 한다는 단점을 가짐

Exercise

- $A = [1, 2, 4, 5, 7, 9, 19, 100]$ 같은 리스트를 입력으로 리스트를 구현하라.
- 특정 요소가 리스트에 있는지 확인하는 function을 작성하라.

```
def isin(self, n):
```

```
....
```

DList

- `is_empty()`
- `insert_before(p, item)`
- `insert_after(p, item)`
- `delete(x)`
- `print_list()`

DList Usage

```
01 from dlist import DList
02 if __name__ == '__main__':
03     s = DList()
04     s.insert_after(s.head, 'apple')
05     s.insert_before(s.tail, 'orange')
06     s.insert_before(s.tail, 'cherry')
07     s.insert_after(s.head.next, 'pear')
08     s.print_list()
09     print('마지막 노드 삭제 후:\t', end='')
10     s.delete(s.tail.prev)
11     s.print_list()
12     print('맨 끝에 포도 삽입 후:\t', end='')
13     s.insert_before(s.tail, 'grape')
14     s.print_list()
15     print('첫 노드 삭제 후:\t', end='')
16     s.delete(s.head.next)
17     s.print_list()
18     print('첫 노드 삭제 후:\t', end='')
19     s.delete(s.head.next)
20     s.print_list()
21     print('첫 노드 삭제 후:\t', end='')
22     s.delete(s.head.next)
23     s.print_list()
24     print('첫 노드 삭제 후:\t', end='')
25     s.delete(s.head.next)
26     s.print_list()
```

이중연결리스트 생성

dlist.py에서 DList를 import

이 파이썬 파일(모듈)이 메인이면

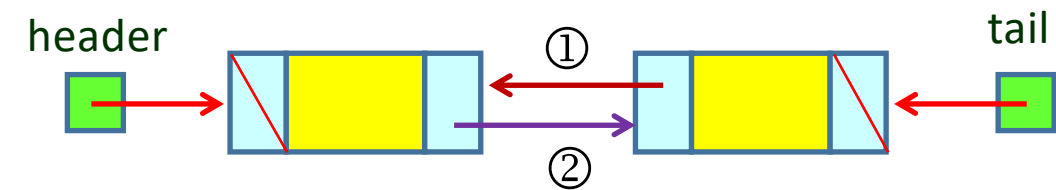
일련의 삽입 삭제 탐색 연산 수행

DList

```
01 class DList:
02     class Node:
03         def __init__(self, item, prev, link):
04             self.item = item
05             self.prev = prev
06             self.next = link
07
08     def __init__(self):
09         self.head = self.Node(None, None, None)
10         self.tail = self.Node(None, self.head, None)
11         self.head.next = self.tail
12         self.size = 0
13
14     def size(self): return self.size
15     def is_empty(self): return self.size == 0
16
```

노드 생성자
항목과 앞뒤 노드 레퍼런스

이중연결리스트 생성자
head와 tail, 항목 수(size)로 구성



[그림 2-8] DList 객체 생성

DList

```
17 def insert_before(self, p, item):
18     t = p.prev
19     n = self.Node(item, t, p)
20     p.prev = n
21     t.next = n
22     self.size += 1
23
24 def insert_after(self, p, item):
25     t = p.next
26     n = self.Node(item, p, t)
27     t.prev = n
28     p.next = n
29     self.size += 1
30
31 def delete(self, x):
32     f = x.prev
33     r = x.next
34     f.next = r
35     r.prev = f
36     self.size -= 1
37     return x.item
38
```

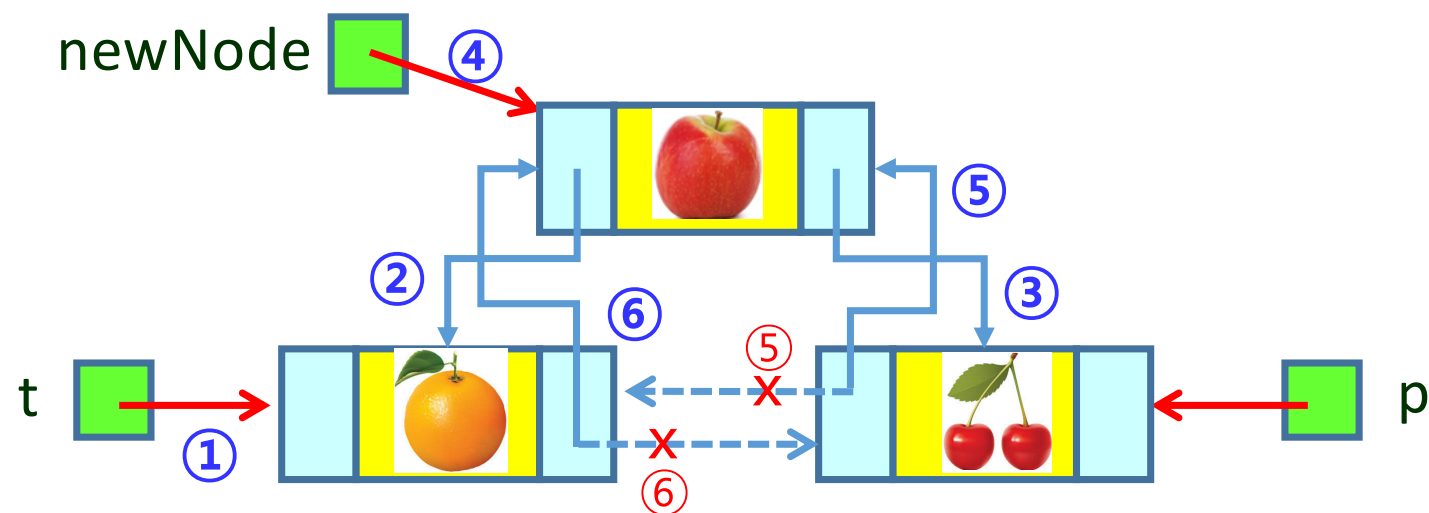
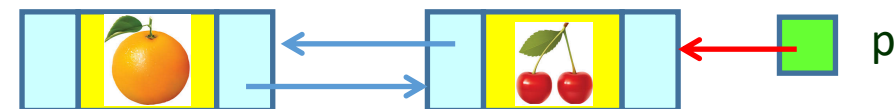
새 노드와 앞뒤
노드 연결

새 노드 생성하여
n이 참조

x를 건너 띄고 x의 앞뒤
노드를 직접 연결

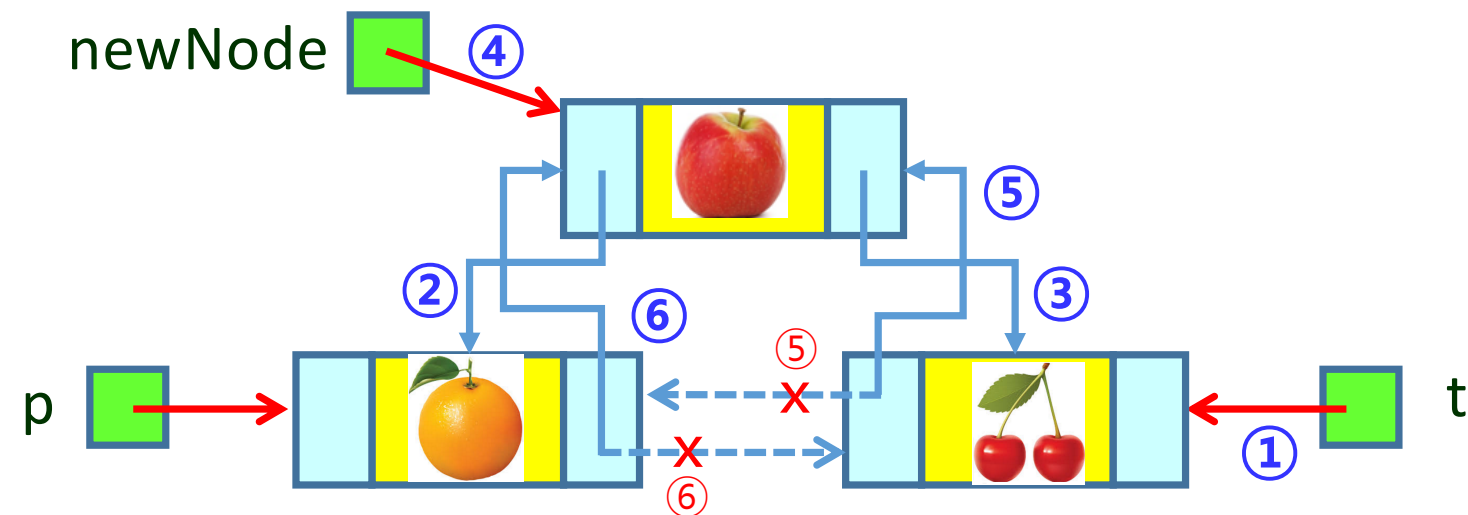
DList: insert_before()

```
18 t = p._prev
19 n = self._Node(item, t, p)
20 p._prev = n
21 t._next = n
```



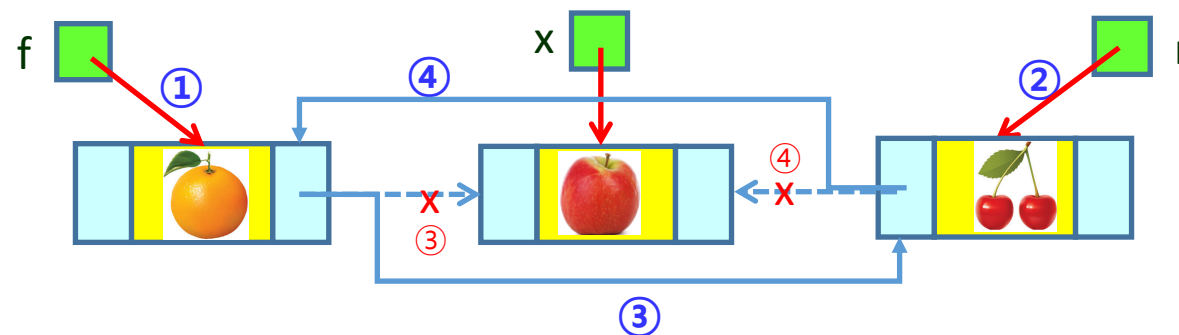
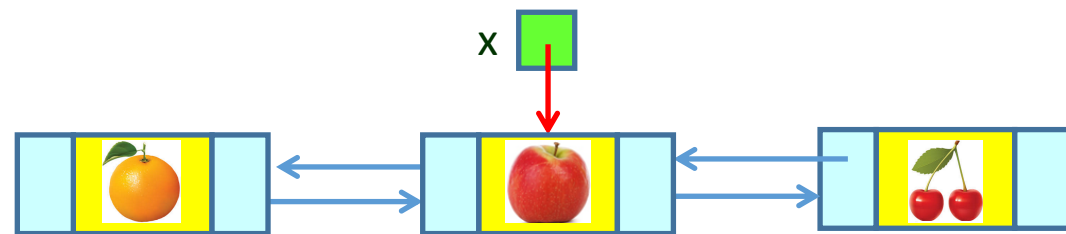
DList: insert_after

```
25 t = p._next
26 n = self._Node(item, p, t)
27 t._prev = n
28 p._next = n
```



DList: delete()

- ① 32 `f = x.prev`
- ② 33 `r = x.next`
- ③ 34 `f.next = r`
- ④ 35 `r.prev = f`



DList

```
39 def print_list(self):
40     if self.is_empty():
41         print('리스트 비어있음')
42     else:
43         p = self.head.next
44         while p != self.tail:
45             if p.next != self.tail:
46                 print(p.item, ' <=> ', end='')
47             else:
48                 print(p.item)
49             p = p.next
50
51 class EmptyError(Exception):
52     pass
```

노드들을 차례로 방문하기 위해

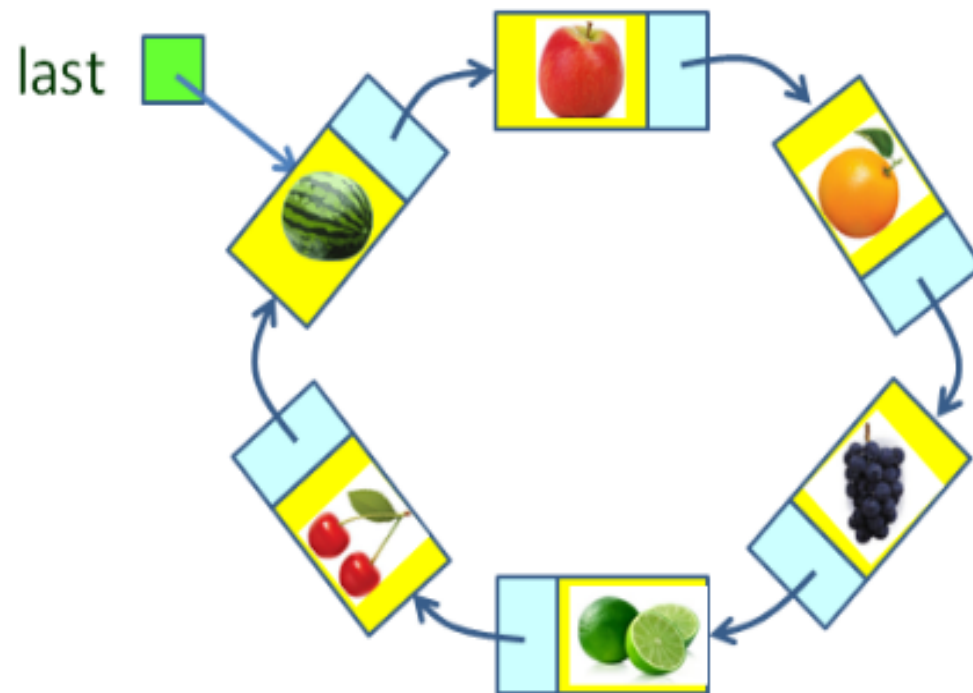
underflow 시 에러 처리

수행복잡도분석

- `search()`는 탐색을 위해 연결리스트의 노드들을 첫 노드부터 순차적으로 방문해야 하므로 $O(N)$ 시간 소요
- 삽입이나 삭제 연산은 각각 $O(1)$ 개의 레퍼런스만을 갱신하므로 $O(1)$ 시간 소요
- 단, `insert_after()`나 `delete_after()`의 경우에 특정 노드 `p`의 레퍼런스가 주어지지 않으면 `head`로부터 `p`를 찾기 위해 `search()`를 수행해야 하므로 $O(N)$ 시간 소요

원형연결리스트

- 원형연결리스트(Circular Linked List)는 마지막 노드가 첫 노드와 연결된 단순연결리스트
- 원형연결리스트에서는 마지막 노드의 레퍼런스가 저장된 last가 단순연결리스트의 head와 같은 역할



원형연결리스트

- 마지막 노드와 첫 노드를 $O(1)$ 시간에 방문할 수 있는 장점
- 리스트가 empty가 아니면 어떤 노드도 None 레퍼런스를 가지고 있지 않으므로 프로그램에서 None 조건을 검사하지 않아도 되는 장점
- 원형연결리스트에서는 반대 방향으로 노드들을 방문하기 쉽지 않으며, 무한 루프가 발생할 수 있음에 유의할 필요

CList

- insert(item)
- first()
- delet()
- print_list()

CList Usage

```
01 from clist import CList
02 if __name__ == '__main__':
03     s = CList()
04     s.insert('pear')
05     s.insert('cherry')
06     s.insert('orange')
07     s.insert('apple')
08     s.print_list()
09     print('s의 길이 =', s.no_items())
10     print('s의 첫 항목:', s.first())
11     s.delete()
12     print('첫 노드 삭제 후: ', end='')
13     s.print_list()
14     print('s의 길이 =', s.no_items())
15     print('s의 첫 항목:', s.first())
16     s.delete()
17     print('첫 노드 삭제 후: ', end='')
18     s.print_list()
19     s.delete()
20     print('첫 노드 삭제 후: ', end='')
21     s.print_list()
22     s.delete()
23     print('첫 노드 삭제 후: ', end='')
24     s.print_list()
```

clist.py에서 CList를 import

이 파이썬 파일(모듈)이 메인이면

원형 연결리스트 생성

이런의 삽입 삭제 탐색 연산 수행

CList

```
01 class CList:
02     class _Node:
03         def __init__(self, item, link):
04             self.item = item
05             self.next = link
06
07     def __init__(self):
08         self.last = None
09         self.size = 0
10
11     def no_items(self): return self.size
12     def is_empty(self): return self.size == 0
13
14     def insert(self, item):
15         n = self._Node(item, None)
16         if self.is_empty():
17             n.next = n
18             self.last = n
19         else:
20             n.next = self.last.next
21             self.last.next = n
22         self.size += 1
23
```

노드 생성자
항목과 다음 노드 레퍼런스

원형연결리스트 생성자
last와 항목 수(size)로 구성

새 노드 생성하여
n이 참조

새 노드는 자신을 참조하고
last가 새 노드 참조

새 노드는 첫 노드를 참조하고
last가 참조하는 노드와 새 노드 연결


CList

```
24 def first(self):
25     if self.is_empty():
26         raise EmptyError('Underflow')
27     f = self.last.next
28     return f.item
29
30 def delete(self):
31     if self.is_empty():
32         raise EmptyError('Underflow')
33     x = self.last.next
34     if self.size == 1:
35         self.last = None
36     else:
37         self.last.next = x.next
38     self.size -= 1
39     return x.item
40
```

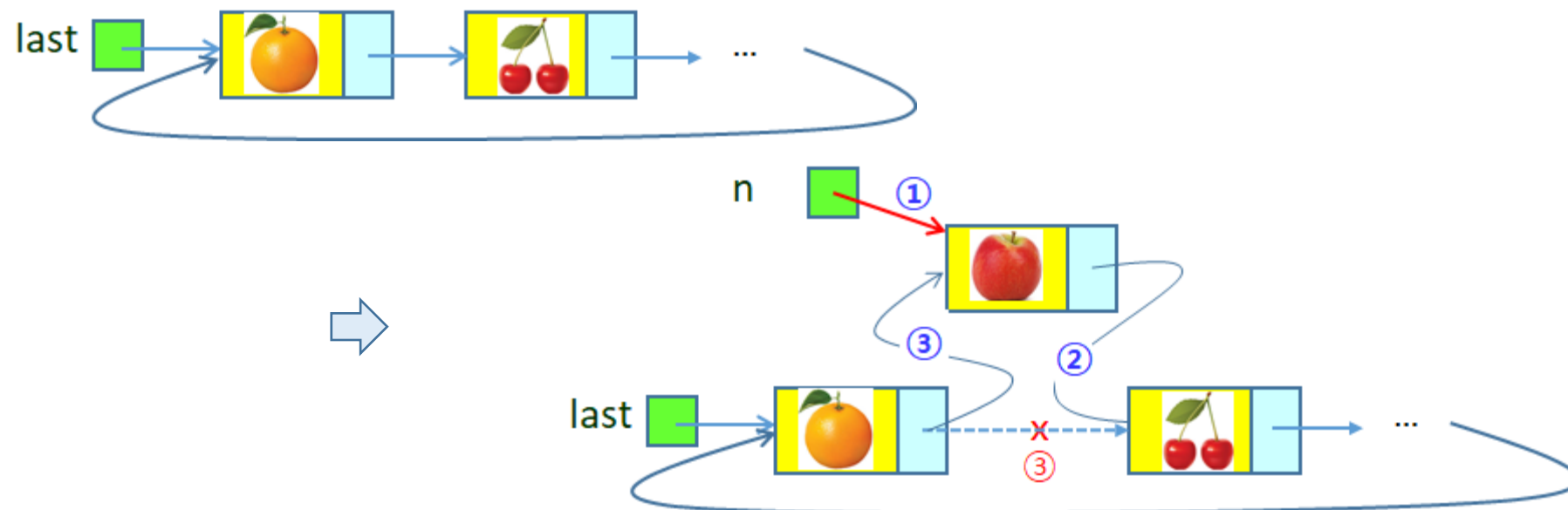
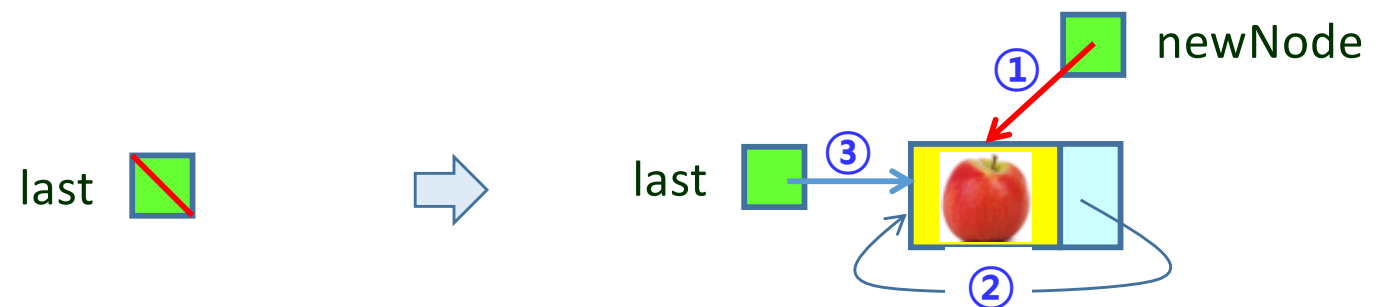
empty 리스트가 됨

last가 참조하는 노드가 두 번째 노드를 연결

CList:: insert(item)

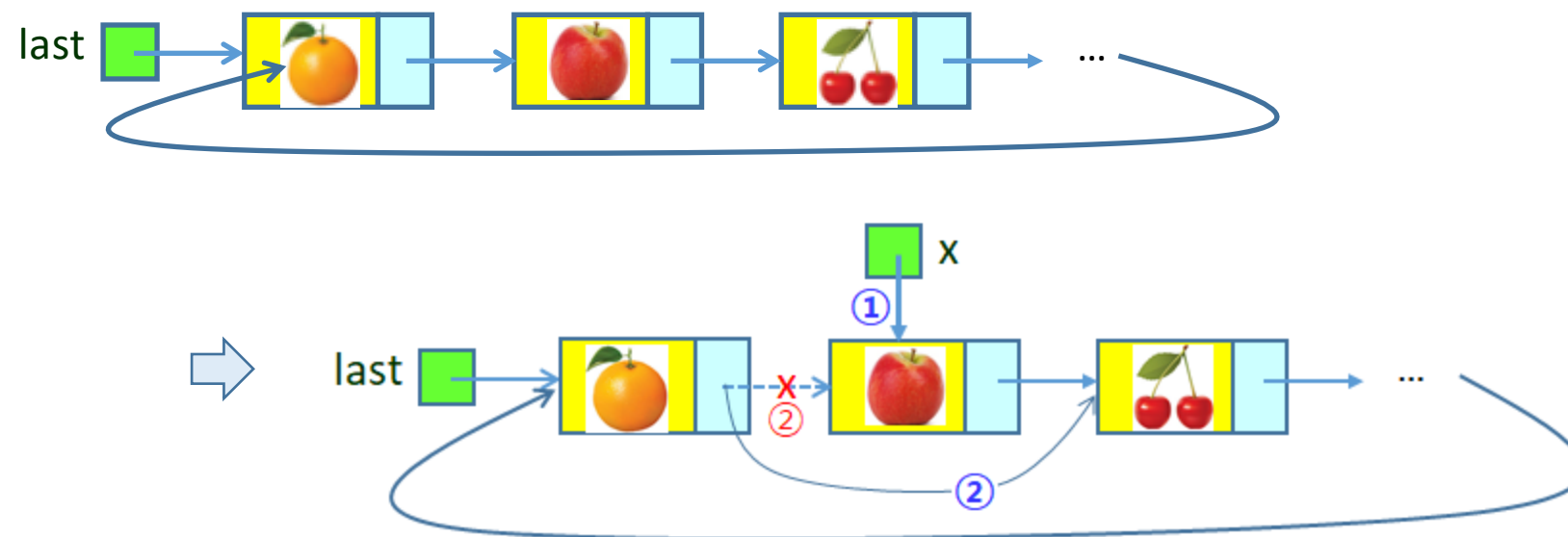
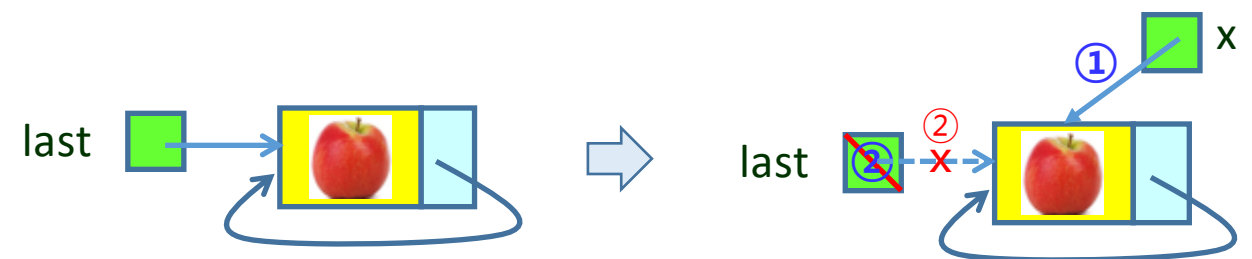


```
15 n = self.Node(item, None)
16 if self.is_empty():
17     n.next = n
18     self.last = n
19 else:
20     n.next = self.last.next
21     self.last.next = n
```



CList:: delete()

```
33 x = self.last.next  
34 if self.size == 1:  
35     self.last = None  
36 else:  
37     self.last.next = x.next
```



응용

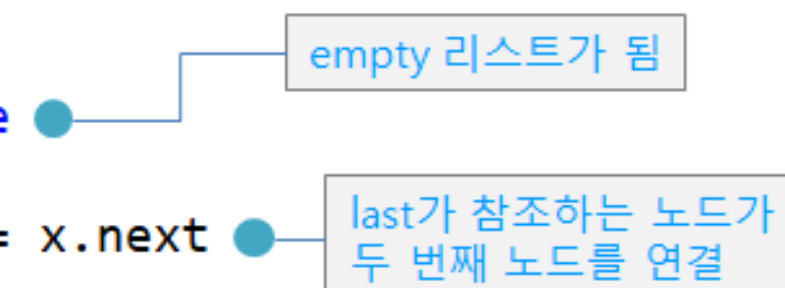
- 여러 사람이 차례로 돌아가며 하는 게임을 구현하는데 적합한 자료 구조
- 많은 사용자들이 동시에 사용하는 컴퓨터에서 CPU 시간을 분할하여 작업들에 할당하는 운영체제에 사용
- 이항힙(Binomial Heap)이나 피보나치힙(Fibonacci Heap)과 같은 우선순위큐를 구현하는 데에도 원형연결리스트가 부분적으로 사용

수행복잡도분석

- 원형연결리스트에서 삽입이나 삭제 연산 각각 상수 개의 레퍼런스를 갱신하므로 $O(1)$ 시간에 수행
- 탐색 연산: last로부터 노드들을 순차적으로 탐색해야 하므로 $O(N)$ 소요

List

```
24 def first(self):
25     if self.is_empty():
26         raise EmptyError('Underflow')
27     f = self.last.next
28     return f.item
29
30 def delete(self):
31     if self.is_empty():
32         raise EmptyError('Underflow')
33     x = self.last.next
34     if self.size == 1:
35         self.last = None
36     else:
37         self.last.next = x.next
38     self.size -= 1
39     return x.item
40
```



empty 리스트가 됨

last가 참조하는 노드가
두 번째 노드를 연결

Next Topic

- Stack and Queue