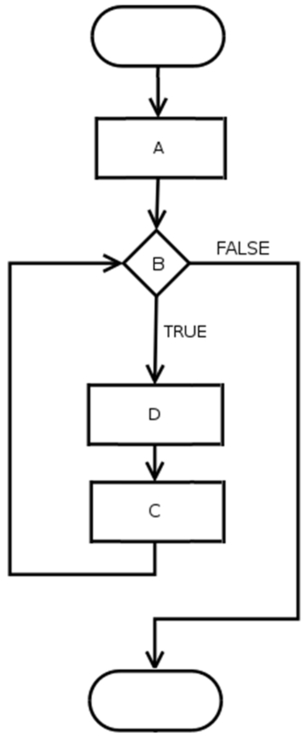
자료구조 & 알고리즘

```
for(A;B;C)
  D;
```

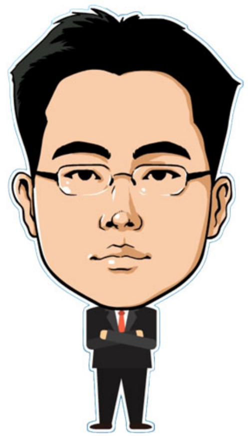


알고리즘
(Algorithms)

Seo, Doo-Ok

Clickseo.com

clickseo@gmail.com



백문이불여일타(百聞而不如一打)

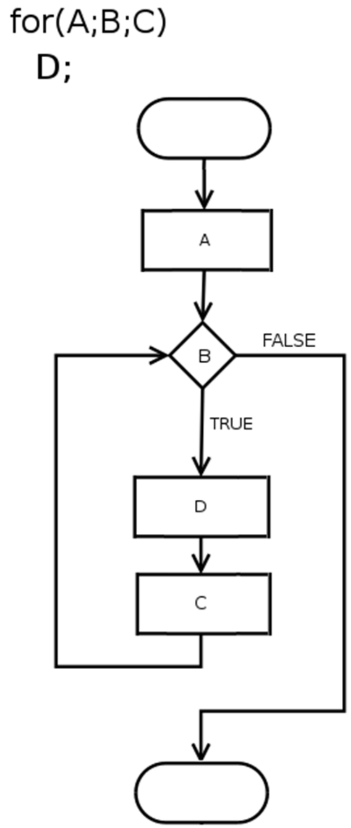
목 차

- 그래프 알고리즘
- 탐욕 알고리즘
- 동적 프로그래밍
- 고급 알고리즘 설계와 분석

그래프 알고리즘

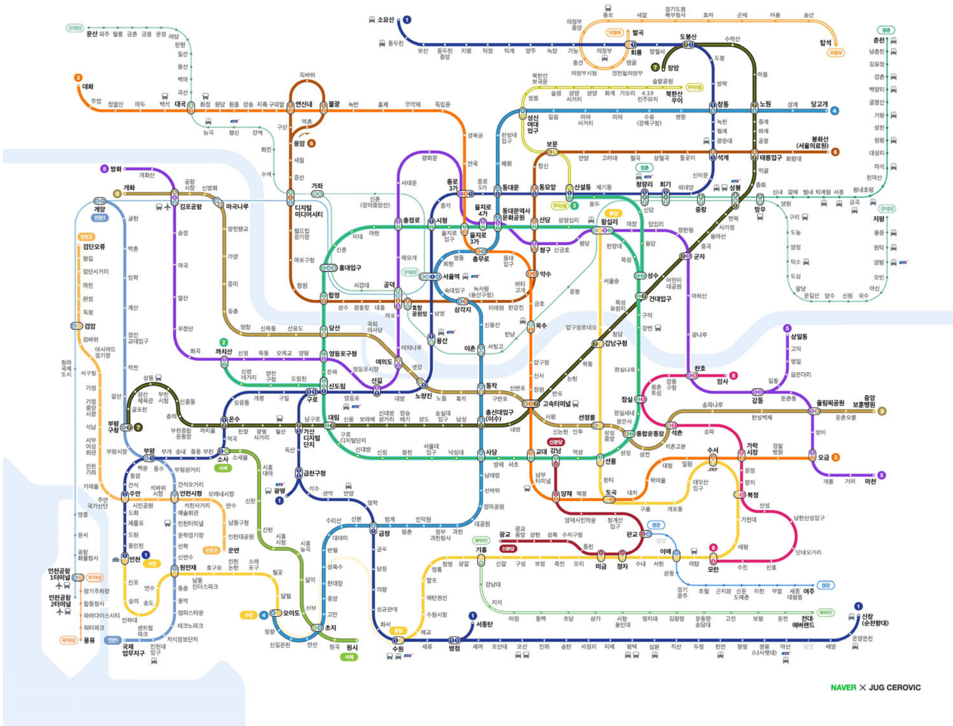
- **그래프 알고리즘**
  - 그래프의 이해: 그래프 표현과 순회
  - 최소 신장 트리
  - 최단 경로
- 탐욕 알고리즘
- 동적 프로그래밍
- 고급 알고리즘 설계와 분석

백문이불여일타(百聞而不如一打)



그래프 이해 (1/3)

- **그래프(Graph)**
  - 연결되어 있는 원소 간의 관계를 표현하는 자료구조
    - **그래프의 예:** 인맥 지도, 수도 배관 배수 시스템, 물질의 분자 구조

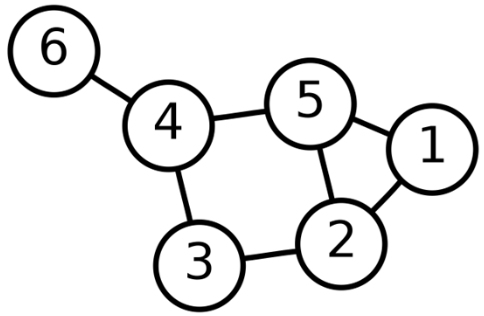


그래프 이해 (2/3)

● 그래프 정의

❍ 그래프 G는 집합(Set) 두 개로 구성

- 정점(Vertex 또는 Node)
- 간선(Edge)



$$G = (V, E)$$

– V 는 그래프에 있는 정점들의 집합을 의미한다(대상: 대상물, 개념 등).

– E 는 정점을 연결하는 간선들의 집합을 의미한다(대상들 간의 관계).

그래프의 이해 (3/3)

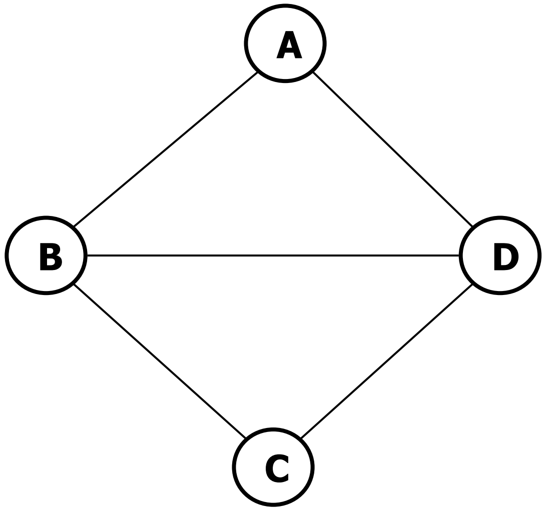
- **그래프 종류**
  - 무향 그래프(Undirected Graph)
    - 두 정점을 연결하는 간선에 방향성이 없는 그래프
  - 유향 그래프(Directed Graph)
    - 두 정점을 연결하는 간선에 방향성이 있는 그래프
  - 가중치 그래프(Weight Graph)
    - 두 정점을 연결하는 간선에 가중치가 할당된 그래프
      - 가중치는 두 정점 사이의 거리 또는 지나는 시간이 될 수도 있다.
      - 또한 음수인 경우도 존재한다.
  - 완전 그래프(Complete Graph)
    - 모든 정점들 사이에 1:1로 직접 연결된 간선을 지닌 그래프
  - 부분 그래프(Subgraph)
    - 원래의 그래프에서 일부의 정점이나 간선을 제외하여 만든 그래프
      - 부분 그래프는 원래의 그래프에 없는 정점이나 간선을 포함하지 않는다.
  - 트리(Tree): 순환이 없는 연결된 그래프

그래프 표현: 인접 행렬 (1/3)

- **인접 행렬**(Adjacent Matrix)
  - 순차 자료구조를 이용하는 2차원 배열의 방법
    - 그래프의 두 정점을 연결한 간선의 유무를 행렬로 저장
      - N 개의 정점을 가진 그래프: **N x N 정방 행렬**
      - 행렬의 행과 열: 그래프의 정점
      - 행렬 값: **두 정점이 인접되어 있으면 1, 인접되어 있지 않으면 0**
  - 무향 그래프의 인접 행렬
    - 행 i 의 합 = 열 i 의 합 = 정점 i 의 차수
  - 유향 그래프의 인접 행렬
    - 행 i 의 합 = 정점 i 의 진출 차수
    - 열 i 의 합 = 정점 i 의 진입 차수

그래프 표현: 인접 행렬 (2/3)

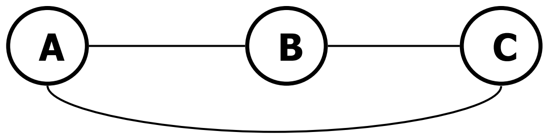
- **인접 행렬:** 2차원 배열



[그래프 G1]

	A	B	C	D
A	0	1	0	1
B	1	0	1	1
C	0	1	0	1
D	1	1	1	0

정점 B의 차수: 3 = 1+0+1+1

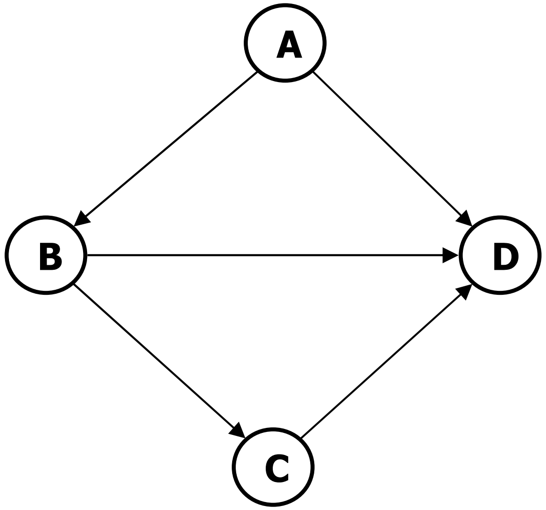


[그래프 G2]

	A	B	C
A	0	1	1
B	1	0	1
C	1	1	0

그래프 표현: 인접 행렬 (3/3)

- **인접 행렬:** 2차원 배열

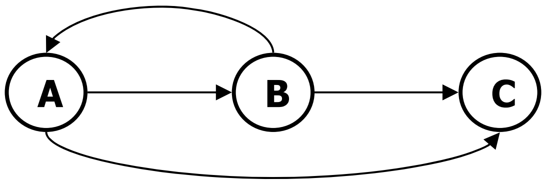


[그래프 G3]

	A	B	C	D
A	0	1	0	1
B	0	0	1	1
C	0	0	0	1
D	0	0	0	0

정점 B 의 진출 차수: 2 = 0+0+1+1

정점 B 의 진입 차수: 1 = 1+0+0+0



[그래프 G4]

	A	B	C
A	0	1	1
B	1	0	1
C	0	0	0

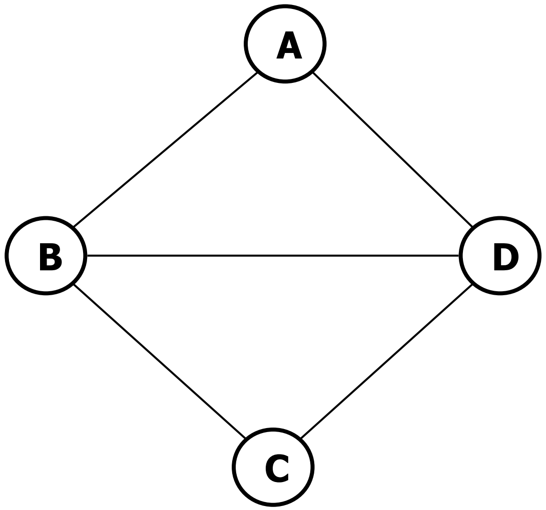
그래프 표현: 인접 리스트 (1/3)

- **인접 리스트**(Adjacent List)
  - 각 정점에 대한 인접 정점들을 연결하여 만든 단순 연결 리스트
  - 정점의 헤드 노드
    - 정점에 대한 리스트의 시작을 표현
  - 인접 리스트의 각 노드
    - 정점을 저장하는 필드와 다음 인접 정점을 연결하는 링크 필드로 구성
  - 각 정점의 차수만큼 노드를 연결
    - 리스트 내의 노드들은 인접 정점에 대해서 오름 차순으로 연결

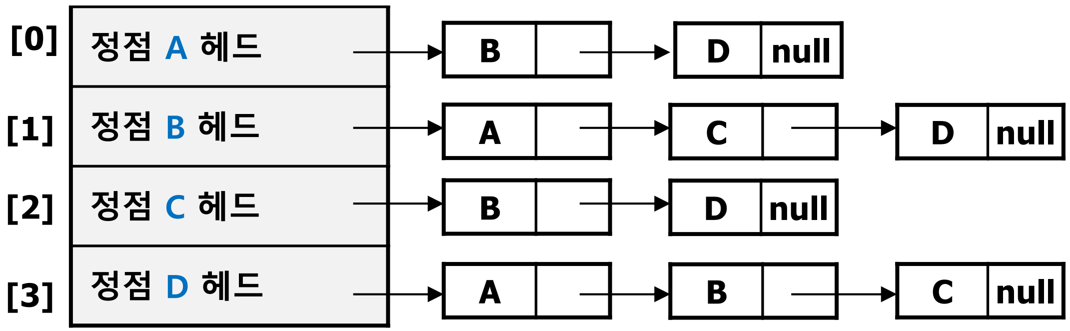
그래프 표현: 인접 리스트 (2/3)

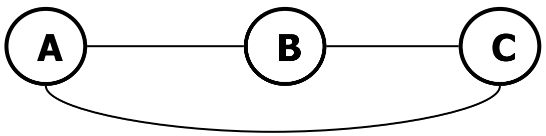
- **인접 리스트:** 무향 그래프

n 개의 정점(V)과 e 개의 간선(E)을 가진 무향 그래프
헤드 노드의 배열 크기: n
연결하는 노드의 총 수: 2e
각 정점의 헤드에 연결된 노드의 수: 정점의 차수

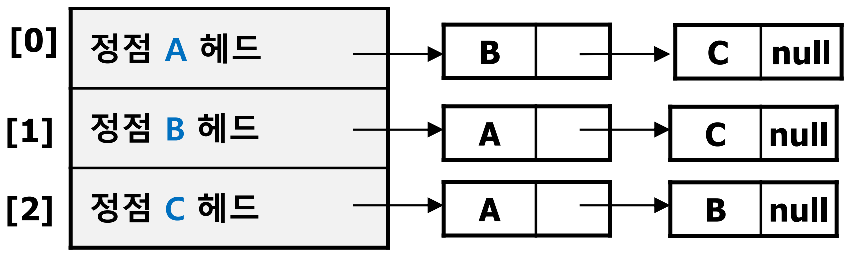


[그래프 G1]





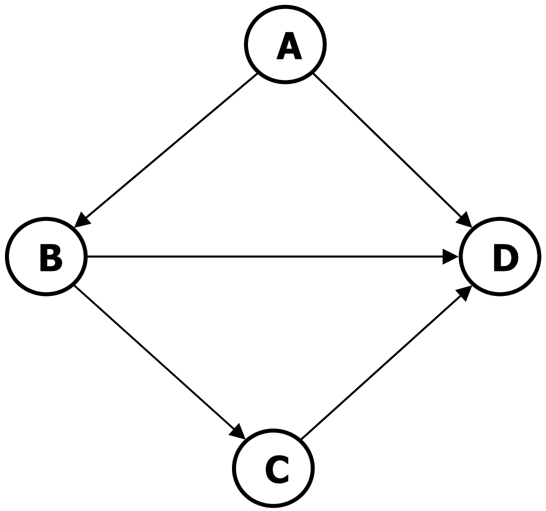
[그래프 G2]



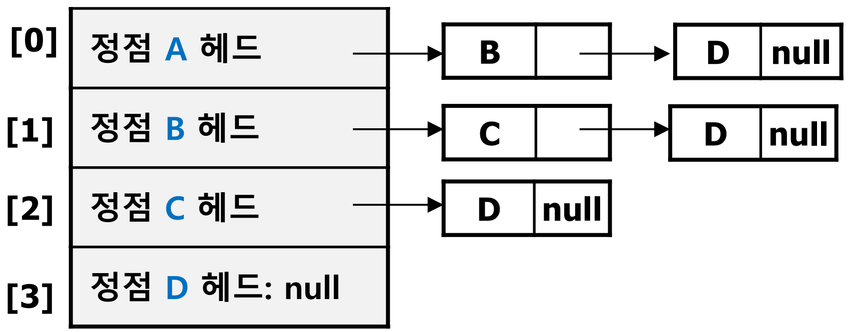
그래프 표현: 인접 리스트 (3/3)

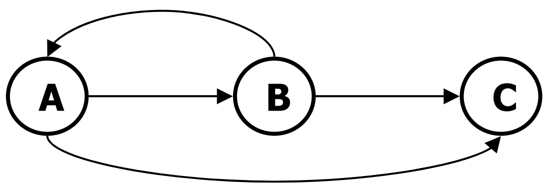
- **인접 리스트:** 유향 그래프

n 개의 정점(V)과 e 개의 간선(E)을 가진 유향 그래프
헤드 노드의 배열 크기: n
연결하는 노드의 총 수: e
각 정점의 헤드에 연결된 노드의 수: 정점의 진출 차수

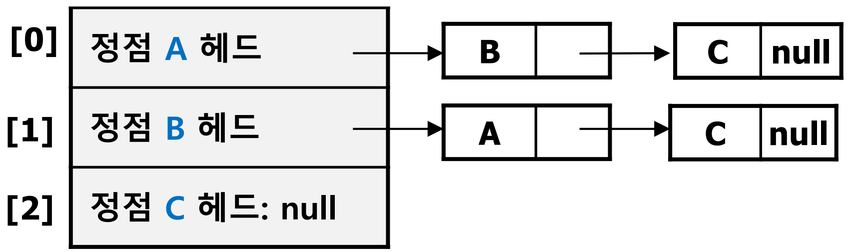


[그래프 G3]





[그래프 G4]

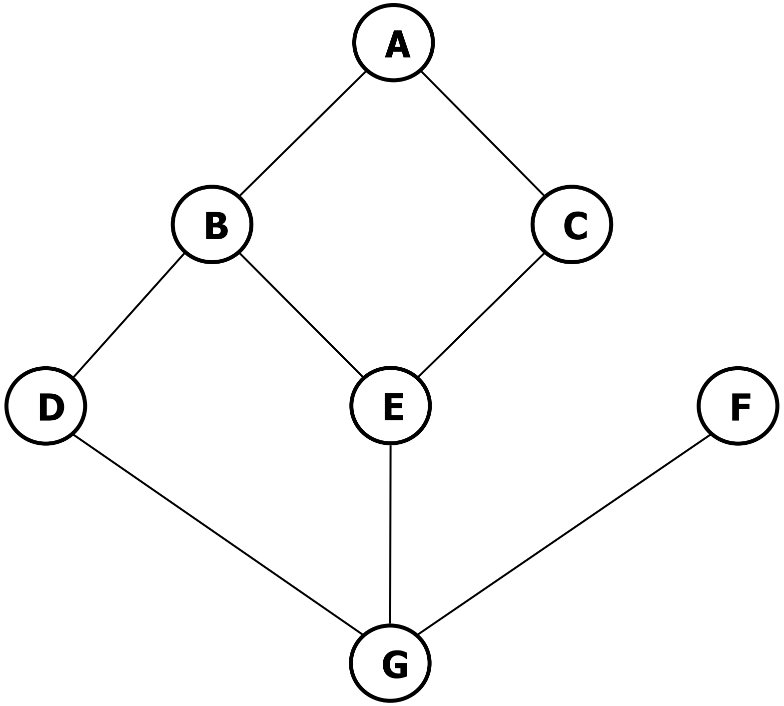


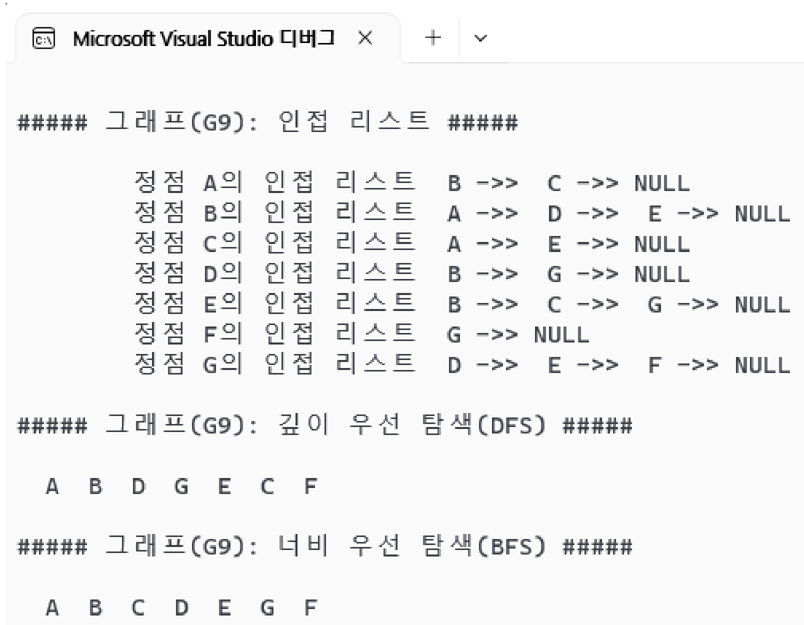
그래프 순회 (1/2)

- **그래프 순회(Graph Traversal)**
  - 그래프 탐색(Graph Search)
    - 하나의 정점에서 시작하여 그래프에 있는 모든 정점을 한번씩 방문한다.
  - 그래프 순회의 두 가지 방법
    - 깊이 우선 탐색(DFS, Depth First Search)
    - 너비 우선 탐색(BFS, Breadth First Search)

그래프 순회 (2/2)

- **그래프 순회:** 구현 및 동작과정





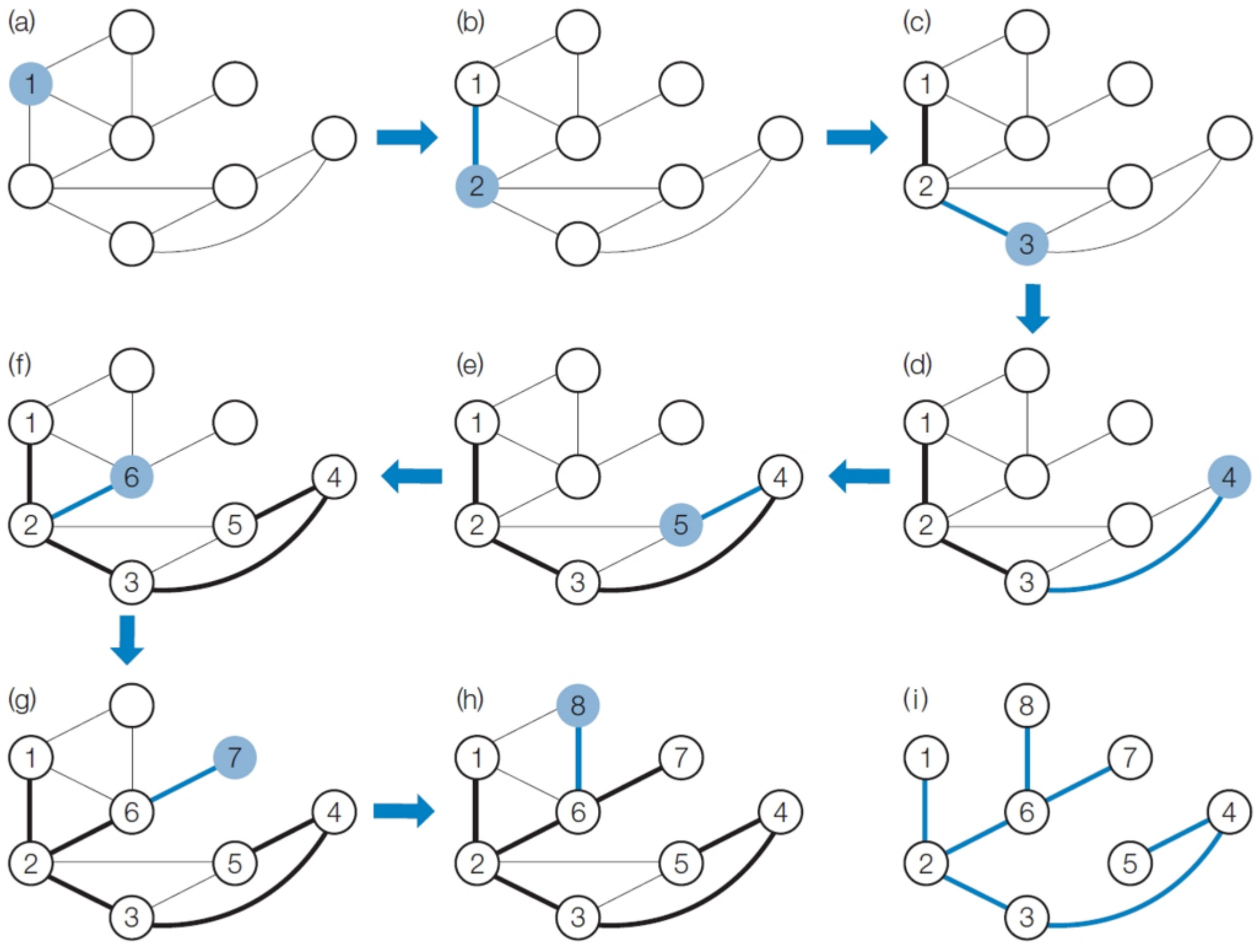
Microsoft Visual Studio 디버그

```
##### 그래프(G9): 인접 리스트 #####

        정점 A의 인접 리스트  B ->>  C ->> NULL
        정점 B의 인접 리스트  A ->>  D ->>  E ->> NULL
        정점 C의 인접 리스트  A ->>  E ->> NULL
        정점 D의 인접 리스트  B ->>  G ->> NULL
        정점 E의 인접 리스트  B ->>  C ->>  G ->> NULL
        정점 F의 인접 리스트  G ->> NULL
        정점 G의 인접 리스트  D ->>  E ->>  F ->> NULL

##### 그래프(G9): 깊이 우선 탐색(DFS) #####

  A  B  D  G  E  C  F

##### 그래프(G9): 너비 우선 탐색(BFS) #####

  A  B  C  D  E  G  F
```

[그래프 G9 와 그래프 순회(DFS, BFS)]

그래프 순회: 깊이 우선 탐색

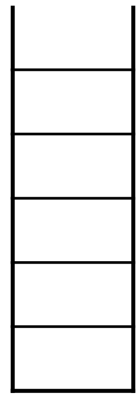
- **깊이 우선 탐색:** 동작 과정



정점 방문 여부: T/F

A	B	C	D	E	F	G	H
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
F	F	F	F	F	F	F	F

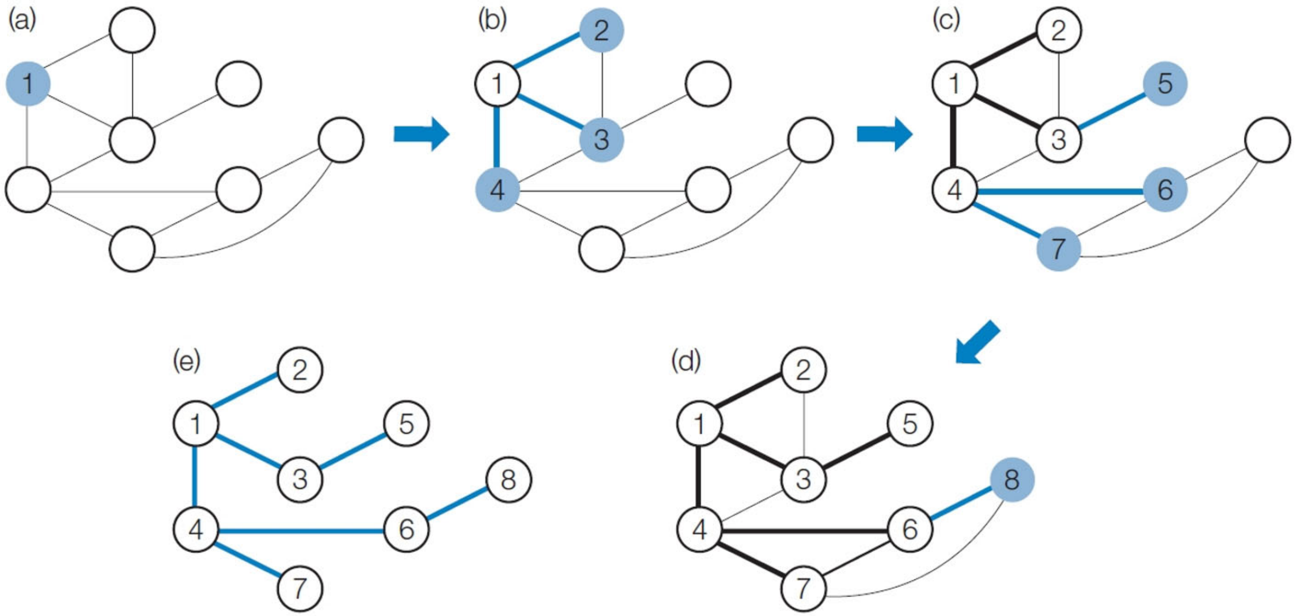
Visited



Stack

그래프 순회: 너비 우선 탐색

- **너비 우선 탐색:** 동작 과정



정점 방문 여부: T/F

A	B	C	D	E	F	G	H
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
F	F	F	F	F	F	F	F

Visited

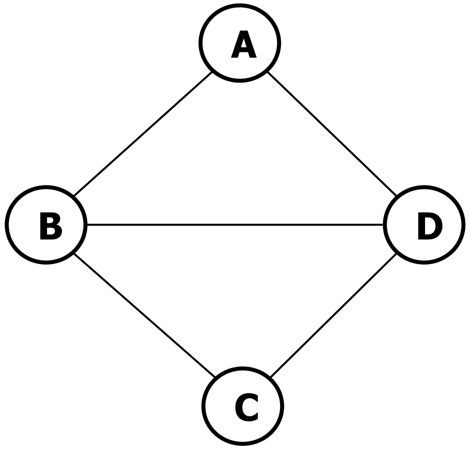
Queue

그래프 알고리즘

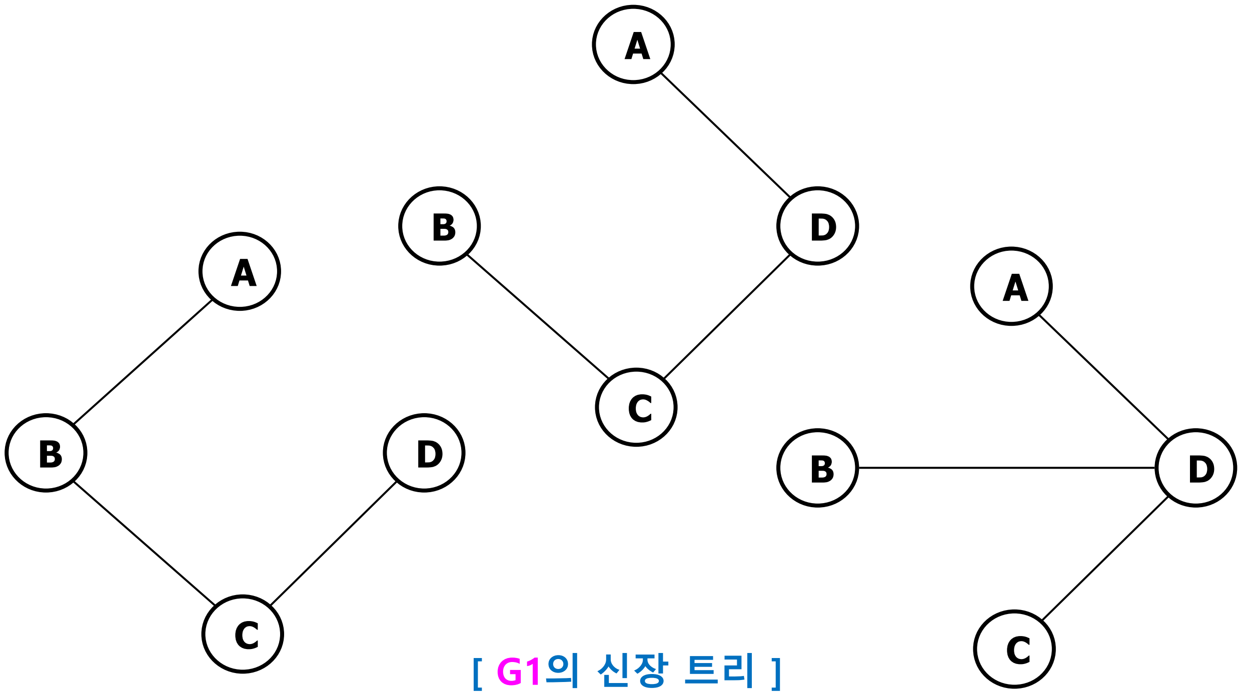
최소 신장 트리

신장 트리 (1/3)

- **신장 트리(Spanning Tree)**
  - N 개의 정점으로 이루어진 무향 그래프 G 에서 N 개의 모든 정점과 N-1 개의 간선으로 만들어진 트리
    - 그래프의 관점에서 트리는 사이클이 없는 단순 연결 그래프



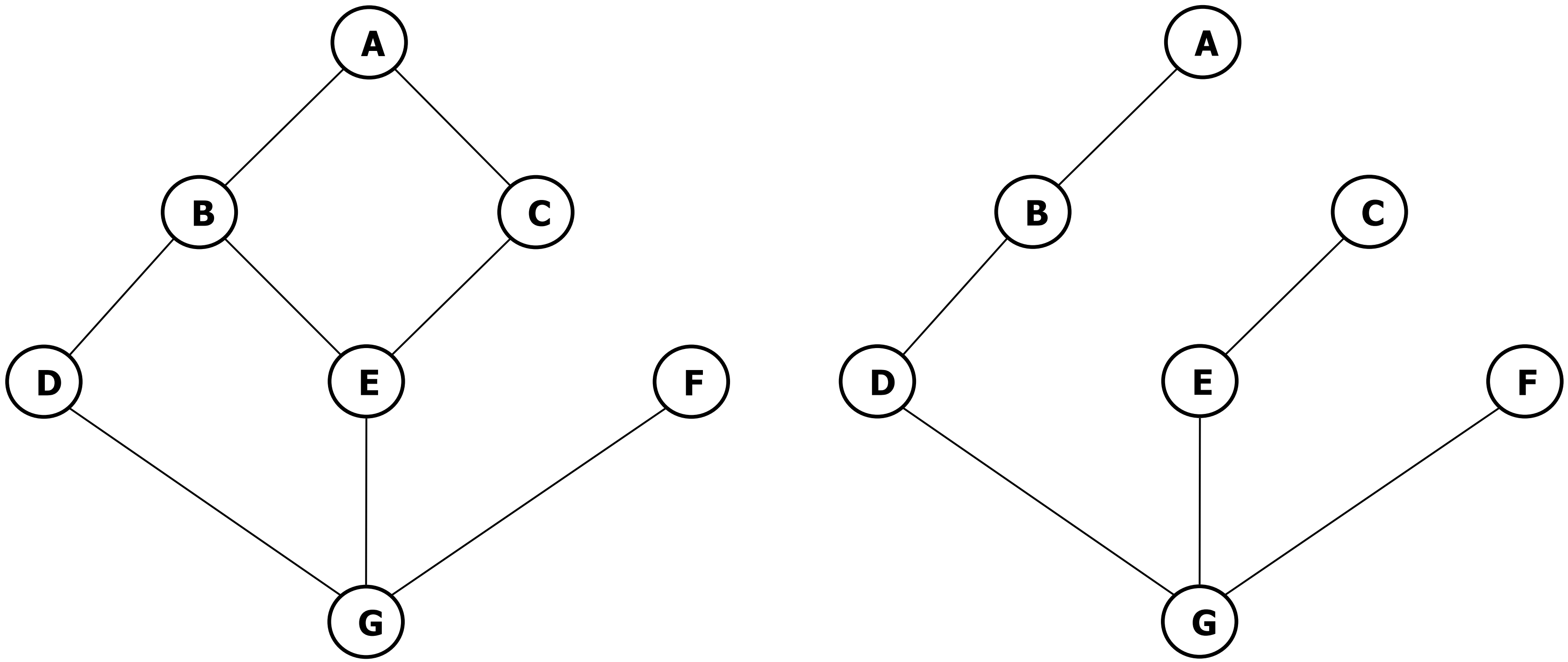
[그래프 G1]



[G1의 신장 트리]

신장 트리 (2/3)

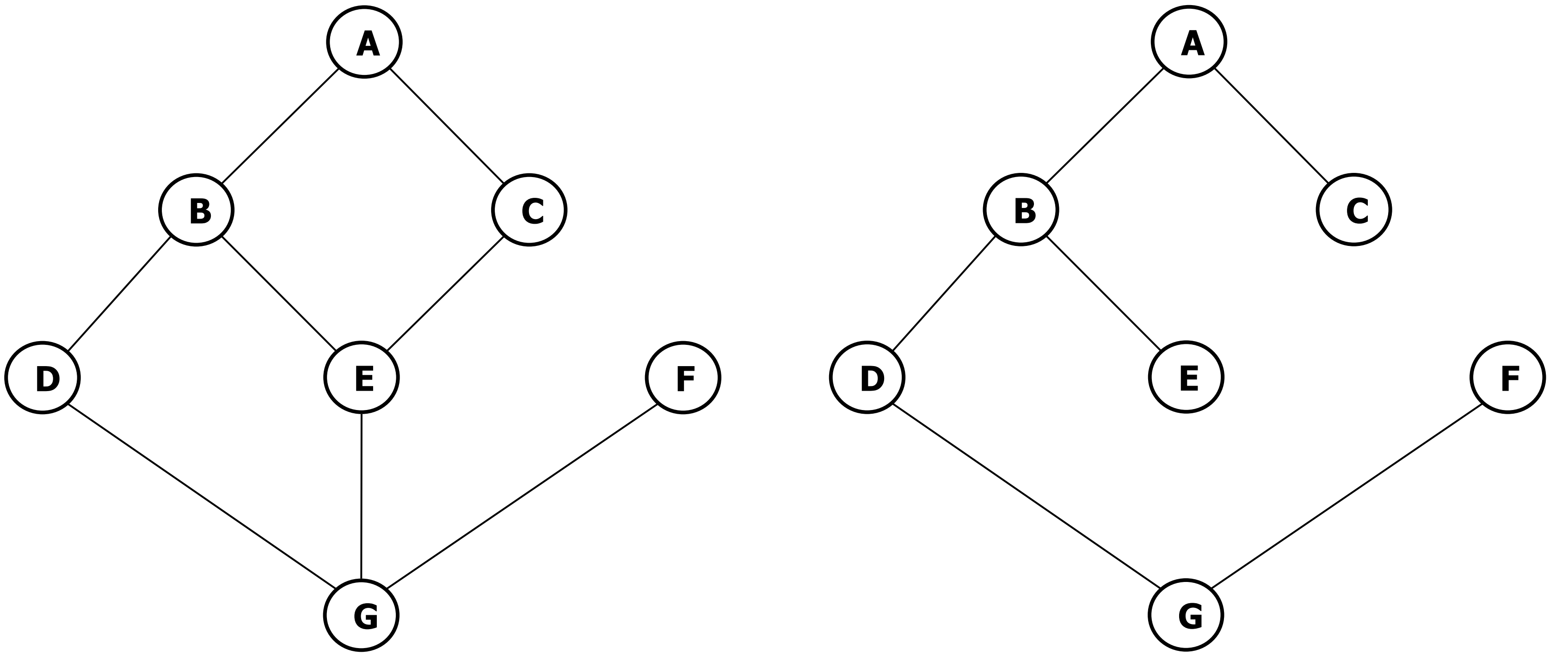
- **신장 트리:** 깊이 우선 신장 트리
  - 깊이 우선 신장 트리(Depth First Spanning Tree)
    - 깊이 우선 탐색을 이용하여 생성된 신장 트리



[그래프 G9 와 깊이 우선 신장 트리]

신장 트리 (3/3)

- **신장 트리:** 너비 우선 신장 트리
  - 너비 우선 신장 트리(Breadth First Spanning Tree)
    - 너비 우선 탐색을 이용하여 생성된 신장 트리



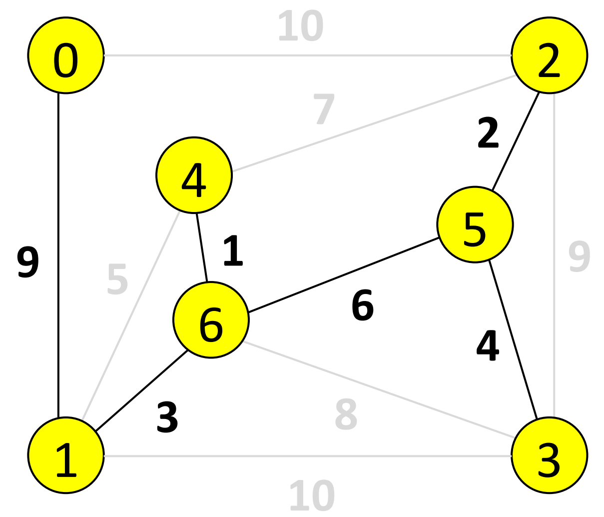
[그래프 G9와 너비 우선 신장 트리]

최소 신장 트리

- **최소 신장 트리**(Minimum Spanning Tree)
  - 무향 가중치 그래프에서 신장 트리를 구성하는 간선들의 가중치 합이 최소인 신장 트리
    - 신장 트리의 비용(Cost of a Spanning Tree)
      - 신장 트리를 구성하는 간선 가중치의 합
      - 최소 신장 트리: 비용을 최소로 하는 신장 트리
    - 가중치 그래프의 간선에 주어진 가중치
      - 비용이나 거리, 시간을 의미하는 값
  - 최소 신장 트리 생성 알고리즘
    - Kruskal 알고리즘
    - Prim 알고리즘

최소 신장 트리: Kruskal 알고리즘 (1/2)

- **Kruskal 알고리즘:** 동작 과정

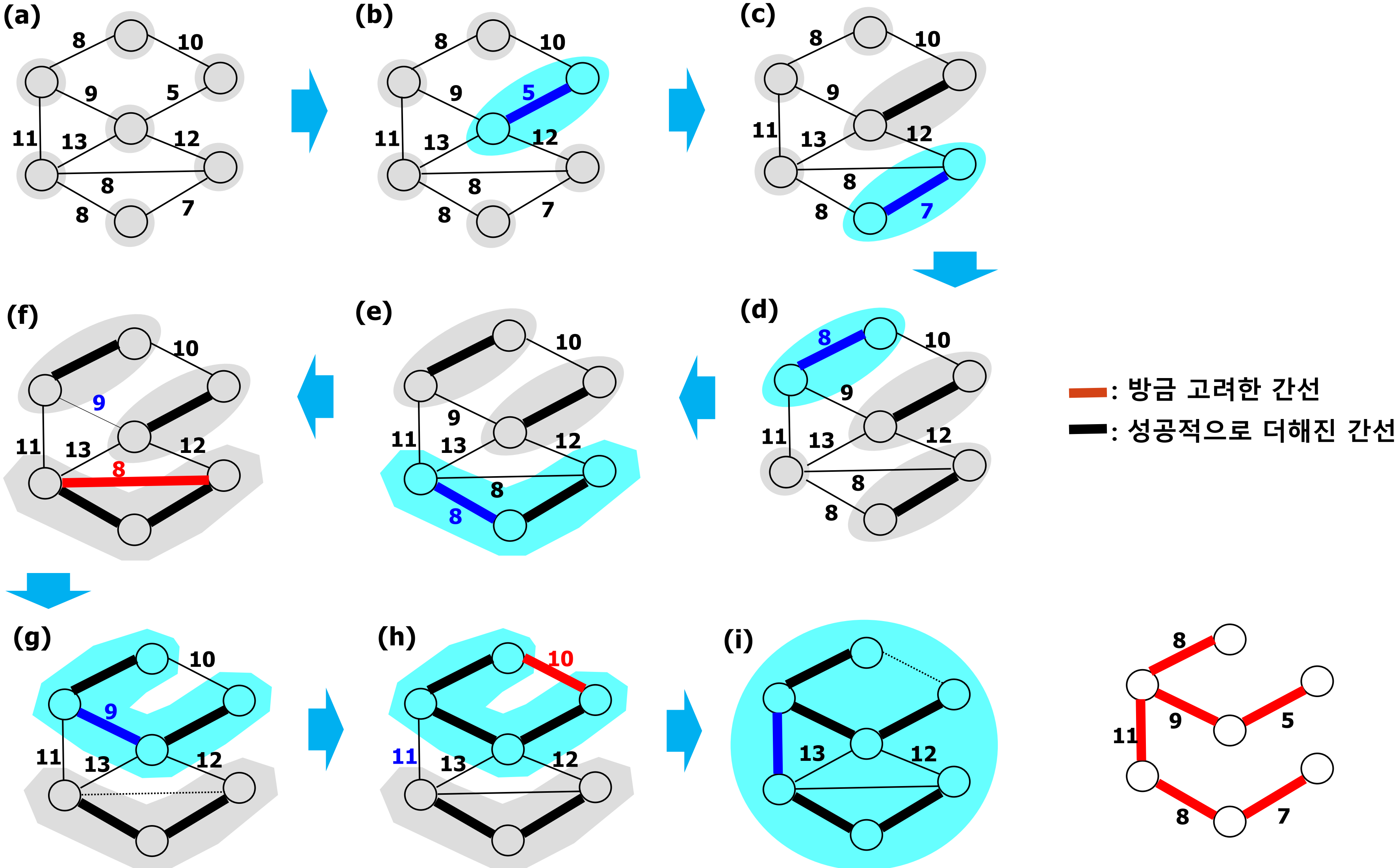


(0, 1)	9
(0, 2)	10
(1, 3)	10
(1, 4)	5
(1, 6)	3
(2, 3)	9
(2, 4)	7
(2, 5)	2
(3, 5)	4
(3, 6)	8
(4, 6)	1
(5, 6)	6

정렬된 L

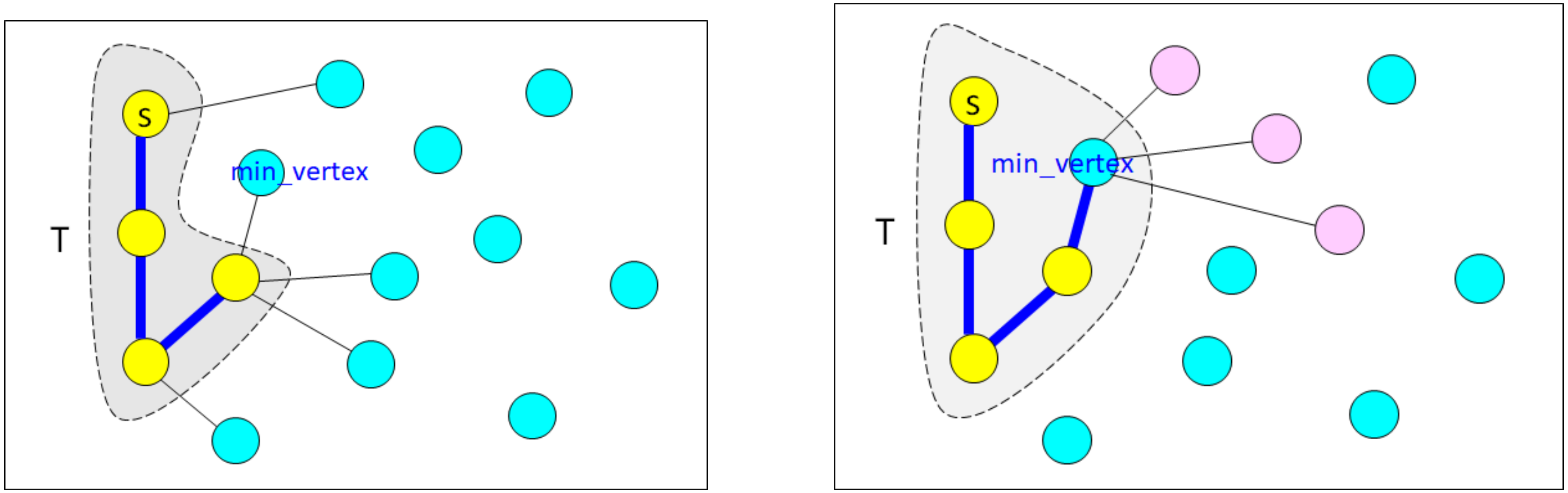
(4, 6)	1
(2, 5)	2
(1, 6)	3
(3, 5)	4
~~(1, 4)~~	~~5~~
(5, 6)	6
~~(2, 4)~~	~~7~~
~~(3, 6)~~	~~8~~
(0, 1)	9
~~(2, 3)~~	~~9~~
~~(0, 2)~~	~~10~~
(1, 3)	10

최소 신장 트리: Kruskal 알고리즘 (2/2)



최소 신장 트리: Prim 알고리즘 (1/3)

- **Prim 알고리즘:** 동작 과정



(a) (b)

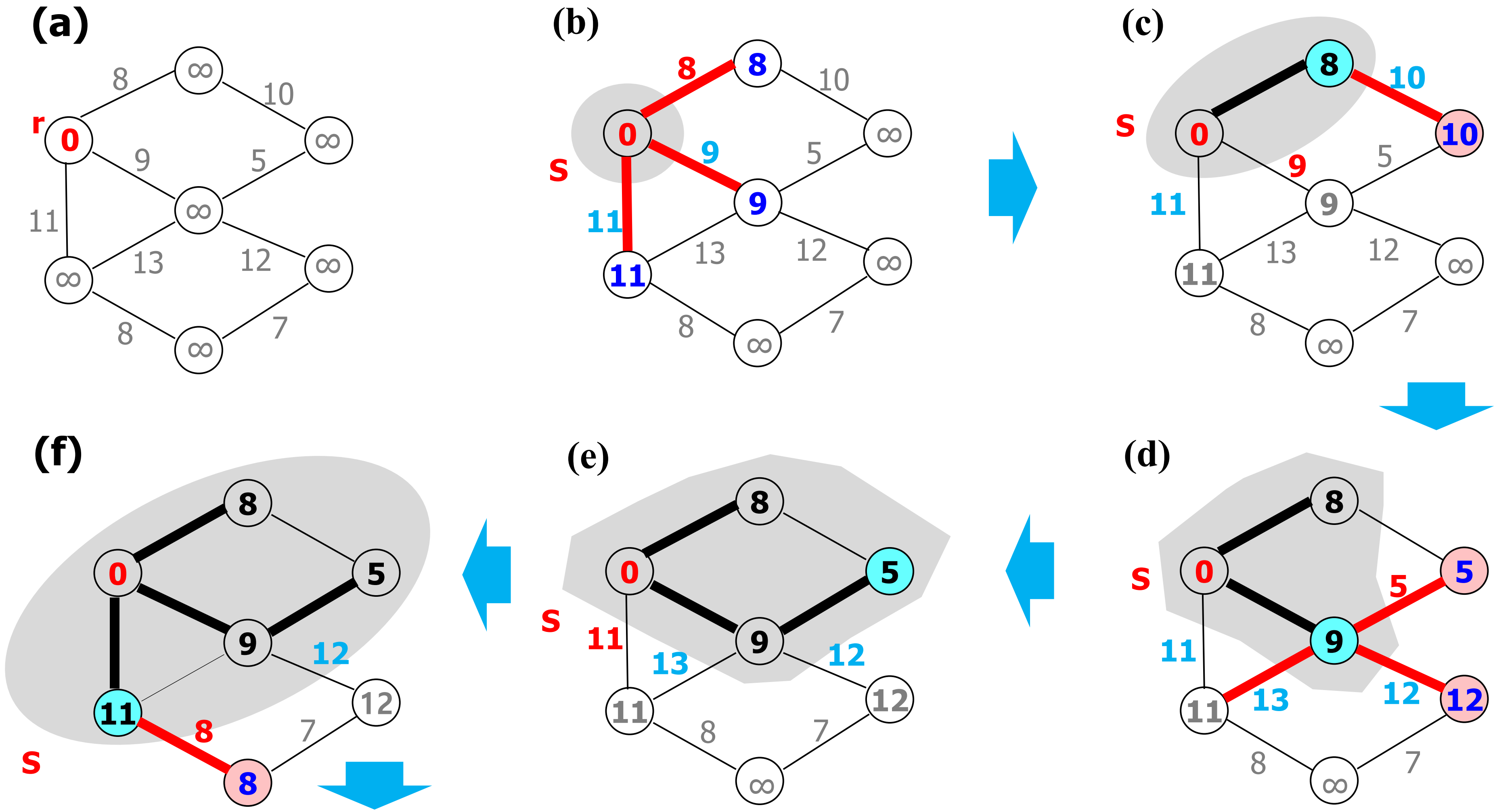
- (a) 트리에 가장 가까운 정점 **minVertex** 를 찾아...
  - 트리 밖에 있는 정점들의 **D** 의 원소들 중에서 최솟값을 찾아...
- (b) 트리에 추가한 후, 정점 **minVertex**에 인접하면서 트리에 속하지 않은 각 정점의 **D** 원소가 이전 값보다 작으면 갱신

: 방금 S 에 포함된 정점

최소 신장 트리: Prim 알고리즘 (2/3)

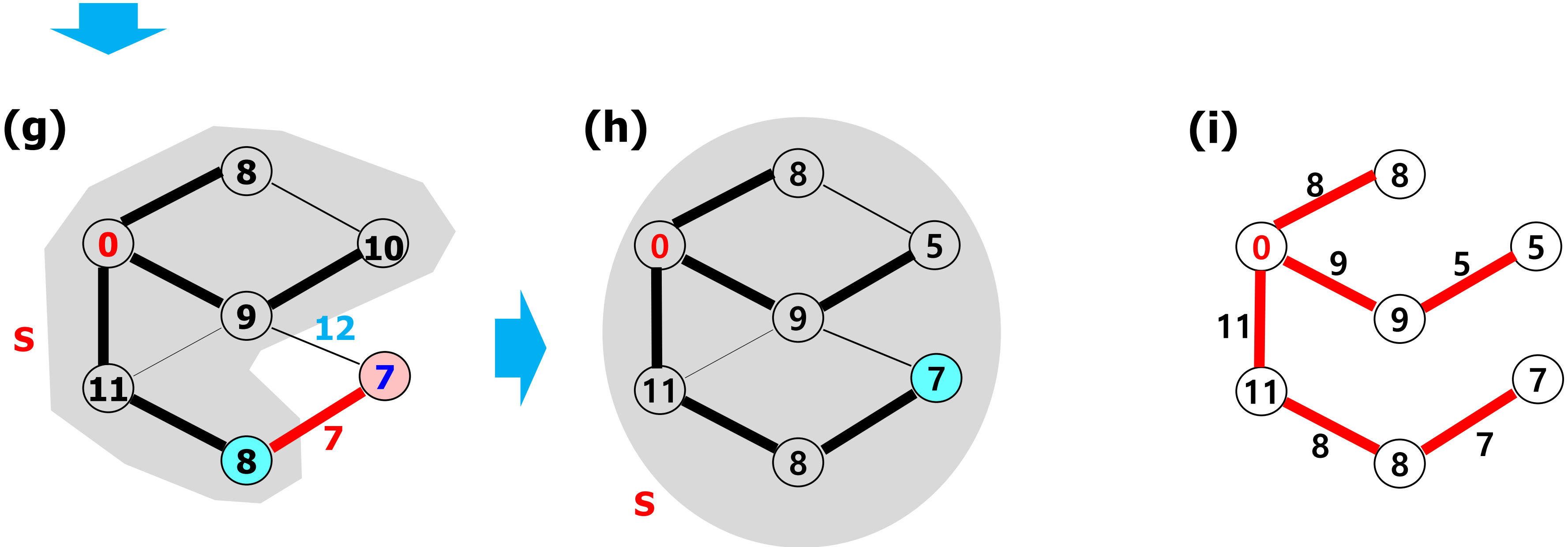
: 방금 이완이 일어난 정점

- **Prim 알고리즘:** 동작 과정



최소 신장 트리: Prim 알고리즘 (3/3)

- **Prim 알고리즘:** 동작 과정



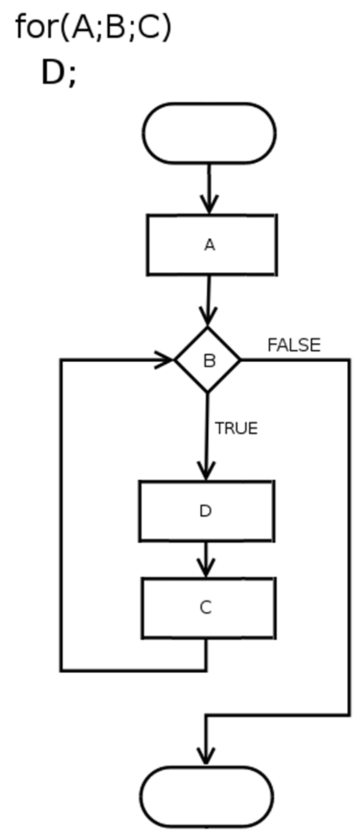
: 방금 S 에 포함된 정점

: 방금 이완이 일어난 정점

탐욕 알고리즘

백문이불여일타(百聞而不如一打)

- 그래프 알고리즘
- **탐욕 알고리즘**
  - 최적해
- 동적 프로그래밍
- 고급 알고리즘 설계와 분석



탐욕 알고리즘

- **탐욕 알고리즘**(Greedy Algorithms)
  - 눈앞의 이익만 취하고 보는 알고리즘
    - 현재 시점에 가장 이득이 되어 보이는 해를 선택하는 행위를 반복한다.
    - 대부분 최적해와의 거리가 멀다(드물게 최적해가 보장되는 경우도 있다).

```
do {
        우선 가장 좋아 보이는 선택을 한다.
} until (해 구성 완료)
```

```
// 탐욕 알고리즘의 전형적인 구조
Greedy(C)          // C : 원소들의 총집합
{
        S ← ∅;
        while (C ≠ ∅ and S 는 아직 온전한 해가 아님) {
                x ← C 에서 가장 좋아 보이는 원소;
                집합 C 에서 x 제거;     // C ← C-{x}
                if (S 에 x 를 더해도 됨) then S ← S ∪ {x};
        }
        if (S가 온전한 해임) then return S;
        else return "no solution!";
}
```

탐욕 알고리즘: 최적해 (1/4)

- **최적해가 보장되는 예:** 회의실 배정 문제
  - **회의실 배정 문제**
    - 회사에 회의실이 1개 있다.
    - 여러 부서에서 회의실을 사용하므로 미리 신청을 받아 스케줄링을 한다.
      - 회의 시작 시간과 종료 시간을 명시하여 신청한다.
    - 목표: 겹치는 회의가 없게 하면서 가장 많은 수의 회의를 소화할 수 있도록 한다.
    - 탐욕스러운(Greedy) 아이디어들
      - 소요 시간이 가장 짧은 회의순으로 배정
      - 시작 시간이 가장 이른 회의순으로 배정
      - 종료 시간이 가장 이른 회의순으로 배정

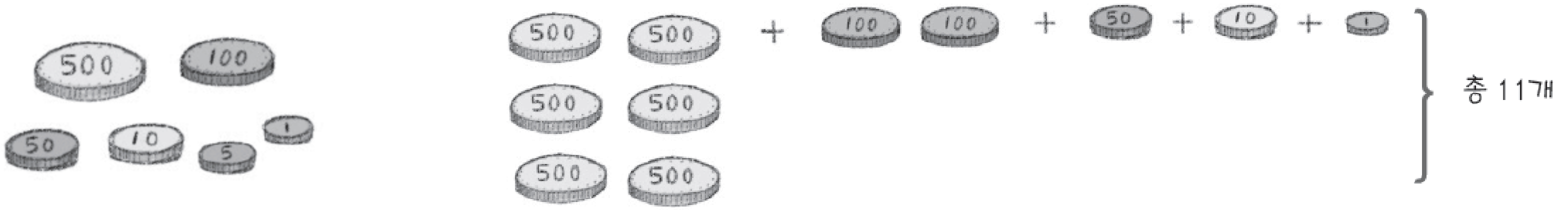
이것 만이 최적해를 보장한다.

    - 예: 8개의 회의가 신청된 상황
      - **(3, 5)**, (1, 6), **(6, 7)**, (5, 9), **(8, 13)**, (7, 14), (12, 18), **(16, 20)**

탐욕 알고리즘: 최적해 (2/4)

- **최적해가 보장되지 않는 예:** 동전 바꾸기
  - **동전 바꾸기:** 최적해를 보장하는 예

동전의 액면 3,256원 만들기 동전 바꾸기



이렇게 동전의 액면이 모두 바로 아래 액면의 배수가 되면
그리디 알고리즘으로 최적해가 보장된다

탐욕 알고리즘: 최적해 (3/4)

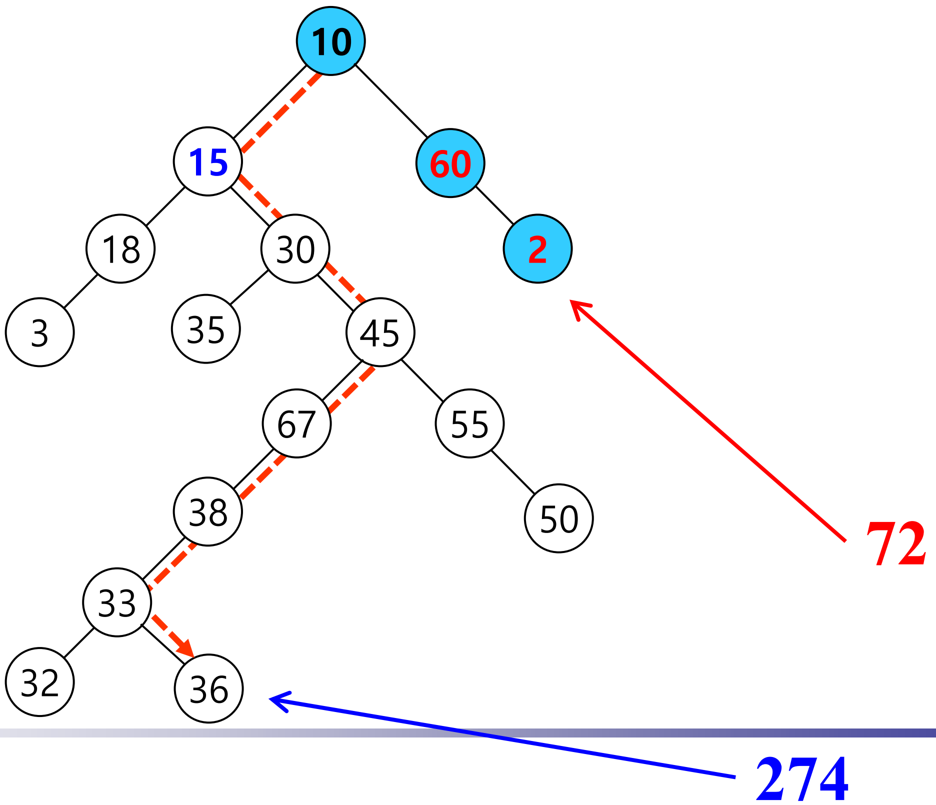
- **최적해가 보장되지 않는 예:** 동전 바꾸기
  - **동전 바꾸기:** 최적해를 보장하지 않는 예

동전 액면이 바로 아래 액면의 배수가 되지 않으면,
탐욕 알고리즘으로 최적해가 보장되지 않는다.

탐욕 알고리즘: 최적해 (4/4)

- **최적해가 보장되지 않는 예:** 이진 트리의 최적 합 경로 찾기
  - 이진 트리의 최적 합 경로 찾기
    - 루트부터 시작해 왼쪽으로 분기할지 오른쪽으로 분기할지를 매 단계마다 결정한다.
      - 임의의 노드에 이르면 그제서야 그 노드의 자식에 할당된 가중치가 공개된다.
      - 이렇게 내려가다 단말 노드를 만나면 끝난다.

탐욕 알고리즘이 실패한 예

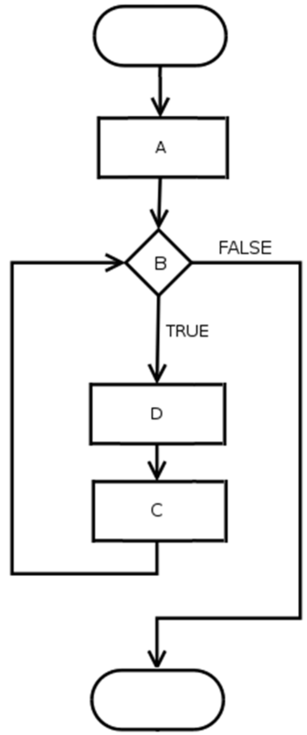


동적 프로그래밍

백문이불여일타(百聞而不如一打)

- 그래프 알고리즘
- 탐욕 알고리즘
- **동적 프로그래밍**
  - 행렬 경로
  - 최단 경로
- 고급 알고리즘 설계와 분석

for(A;B;C)
  D;



동적 프로그래밍 (1/5)

- **재귀적 해법**
  - 큰 문제에 닮음 꼴의 작은 문제가 깃든다.
  - 잘 쓰면 보약, 잘못 쓰면 맹독
    - 관계중심으로 파악함으로써 문제를 간명하게 볼 수 있다.
    - 재귀적 해법을 사용하면 심한 중복 호출이 일어나는 경우가 있다.
  - 재귀적 해법이 바람직한 예
    - 계승(factorial) 구하기
    - 퀵 정렬, 병합 정렬 등의 정렬 알고리즘
    - 그래프의 깊이 우선 탐색(DFS, Depth First Search)
  - 재귀적 해법이 치명적인 예
    - 피보나치 수 구하기
    - 행렬 곱셈 최적순서 구하기

동적 프로그래밍 (2/5)

- **동적 프로그래밍의 적용 조건**
  - 최적 부분 구조(Optimal Substructure)
    - 큰 문제의 해답에 그보다 작은 문제의 해답이 포함되어 있다.
      - 최적 부분 구조를 가진 문제의 경우에는 재귀 호출을 이용하여 문제를 풀 수 있다.
  - 재귀 호출 시 중복(overlapping recursive calls)
    - 재귀적으로 구현했을 때 중복 호출로 심각한 비효율이 발생한다.

동적 프로그래밍이 그 해결책 !!!

- 위의 두 성질이 있는 문제에 대해 적절한 저장 방법으로 중복 호출의 비효율을 제거한 것을 동적 프로그래밍이라고 한다.

동적 프로그래밍 (3/5)

- **피보나치 수열**
  - 피보나치(Fibonacci)
    - 1,200년 경에 활동한 이탈리아 수학자

"아주 간단한 문제지만...

동적 프로그래밍의 동기와 구현이 다 포함되어 있다."

"토끼 한 마리가 매년 새끼 한 마리를 낳는다.
새끼는 한 달 후부터 새끼를 낳기 시작한다.
최초 토끼 한 마리가 있다고 하면...
한 달 후에 토끼는 두 마리가 되고 두 달 후에는 세 마리가 되고..."

```
// 피보나치 수열: 재귀적 용법
Fibonacci(num)
{
        if (num = 1 or num = 2)
                then  return  1;
        else
                return (Fibonacci(num - 1) + Fibonacci(num - 2));
}
```

$$f_n = f_{n-1} + f_{n-2} (n \geq 3)$$

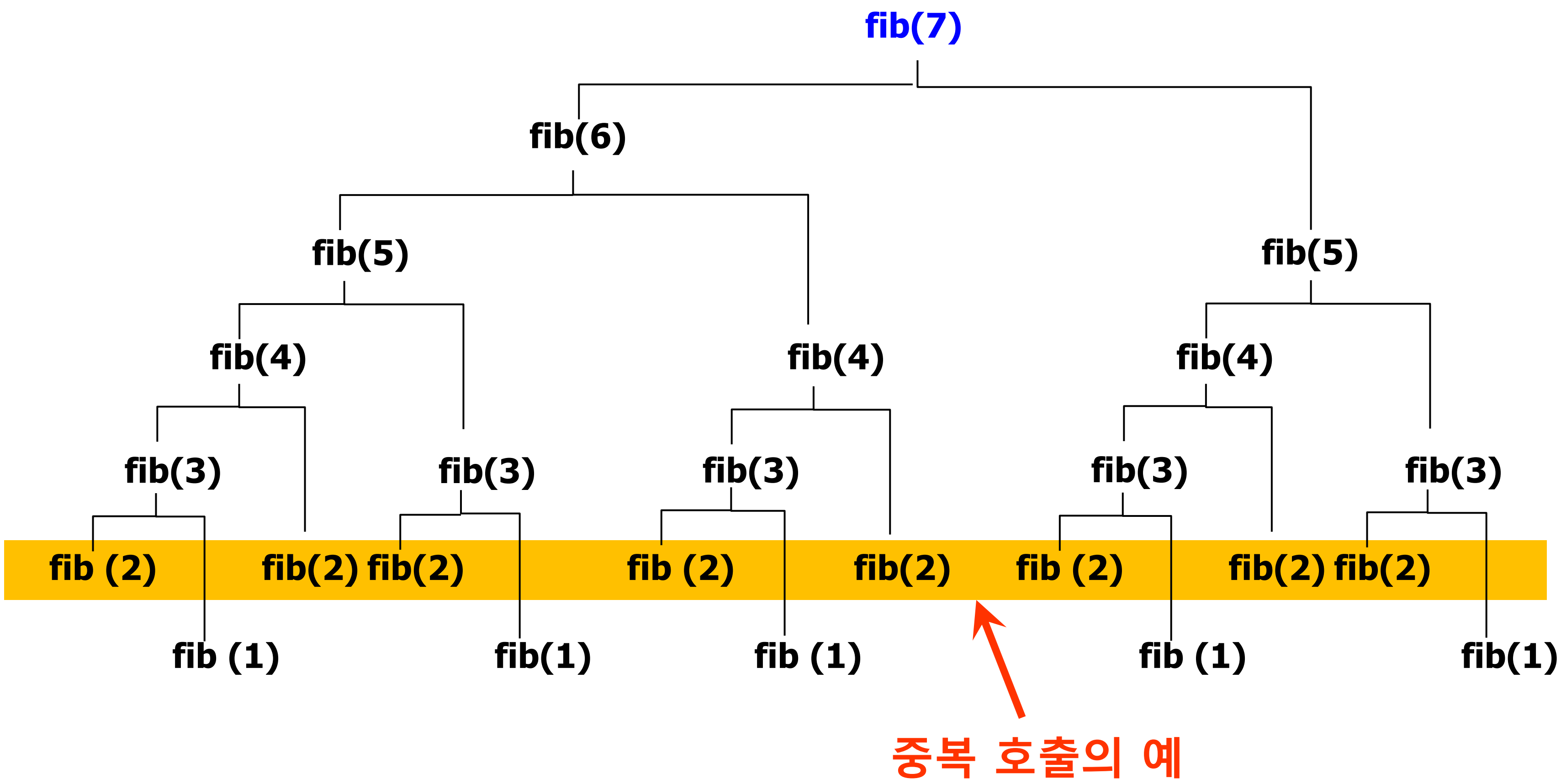
$$f_1 = f_2 = 1 (n = 1,2)$$

"엄청난 중복 호출이 존재한다."

--> 재귀적 알고리즘은 지수함수에 비례하는 시간이 든다.

동적 프로그래밍 (4/5)

- **피보나치 수열:** 재귀적 용법
  - 문제점: 중복 호출!!!



동적 프로그래밍 (5/5)

- **피보나치 수열:** 동적 프로그래밍 알고리즘

```
Fibonacci(n)
{
        f[1] ← f[2] ← 1;

        for i ← 3 to n
                f[i] ← f[i - 1] + f[i - 2];

        return f[n];
}
```

fibo

1	1	?	?	?	?	?

$\Theta(n)$

```
Fibonacci(n)
{
        first ← second ← 1;
        for i ← 3 to n
                res ← first + second;
        return res;
}
```

동적 프로그래밍

행렬 경로

동적 프로그래밍: 행렬 경로 (1/5)

행렬 경로

- 양수 원소들로 구성된 N * N 행렬
  - 행렬의 좌 상단에서 시작하여 우 하단까지 이동한다.
  - 방문한 칸에 있는 수들을 더한 값이 최소화(최대화) 되도록 한다.
  - 이동 방법(제약 조건)
    - 오른쪽이나 아래쪽으로만 이동할 수 있다.
    - 왼쪽, 위쪽, 대각선 이동은 허용하지 않는다.

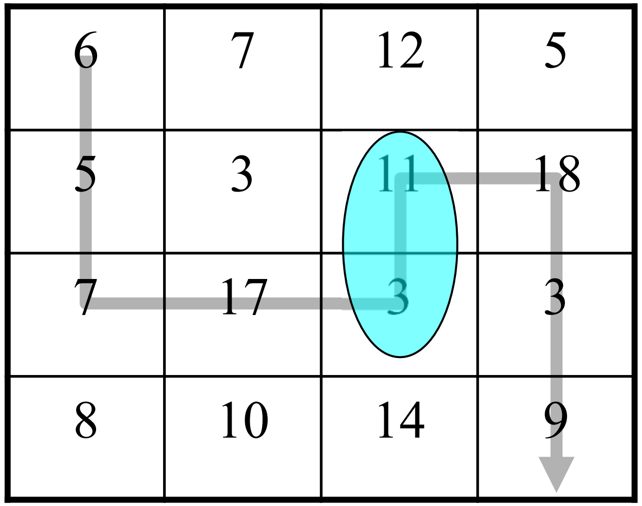
- 유효한 이동

6	7	12	5
5	3	11	18
7	17	3	3
8	10	14	9

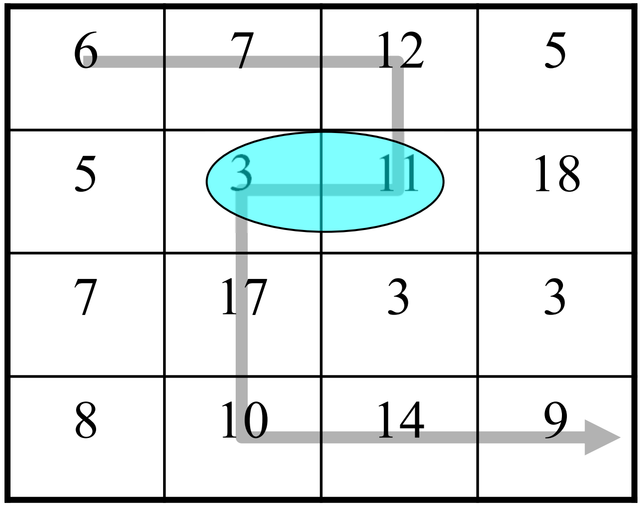
6	7	12	5
5	3	11	18
7	17	3	3
8	10	14	9

● 행렬 경로

- ❍ 불법 이동의 예



불법 이동 (상향)



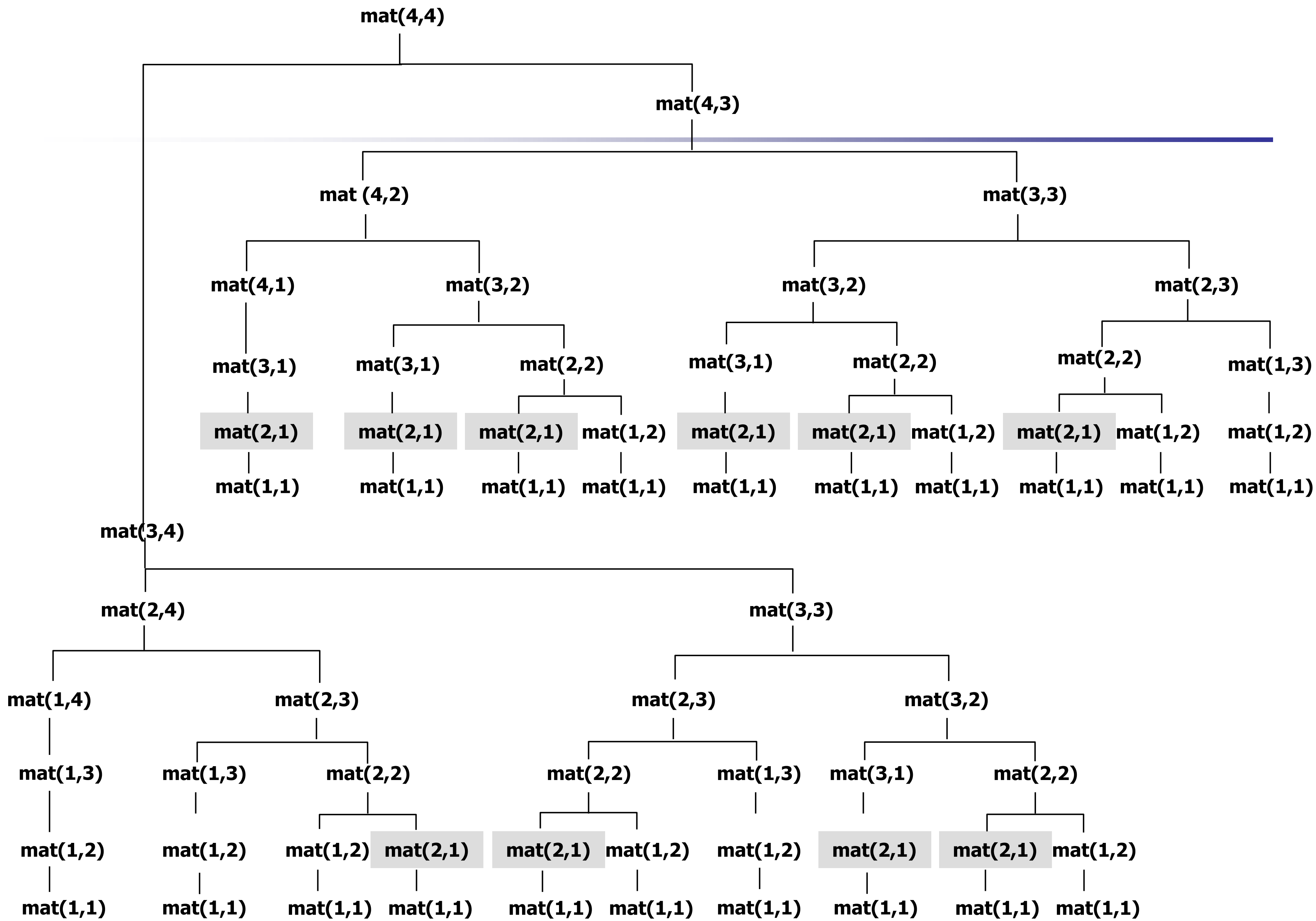
불법 이동 (좌향)

동적 프로그래밍: 행렬 경로 (3/5)

- **행렬 경로:** 재귀적 용법
  - 시간 복잡도: O(n * n) = $O(n^2)$
    - 행렬의 크기가 커질수록 중복 호출이 매우 큰 횟수로 발생

6	7	12	5
5	3	11	18
7	17	3	3
8	10	14	9

```
matrixPath(i, j)
// (i, j)에 이르는 최고 점수
{
        if (i = 0 or j = 0) then
                return 0;
        else
                return ( mij  + ( max(matrixPath(i-1, j), matrixPath(i, j-1)) ) );
}
```


mat(4,4)
mat(4,3)
mat (4,2)
mat(3,3)
mat(4,1)
mat(3,2)
mat(3,2)
mat(2,3)
mat(3,1)
mat(3,1)
mat(2,2)
mat(3,1)
mat(2,2)
mat(2,2)
mat(1,3)
mat(2,1)
mat(2,1)
mat(2,1)
mat(1,2)
mat(2,1)
mat(2,1)
mat(1,2)
mat(2,1)
mat(1,2)
mat(1,2)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(3,4)
mat(2,4)
mat(3,3)
mat(1,4)
mat(2,3)
mat(2,3)
mat(3,2)
mat(1,3)
mat(1,3)
mat(2,2)
mat(2,2)
mat(1,3)
mat(3,1)
mat(2,2)
mat(1,2)
mat(1,2)
mat(1,2)
mat(2,1)
mat(2,1)
mat(1,2)
mat(1,2)
mat(2,1)
mat(2,1)
mat(1,2)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)
mat(1,1)

동적 프로그래밍: 행렬 경로 (5/5)

- **행렬 경로:** 동적 프로그래밍

```
matrixPath(n)
// (n, n)에 이르는 최고 점수
// Cij -- 원소(1,1)에서(i, j)에 이르는 최댓값
{
        for i ← 0 to n
                c[i, 0] ← 0;
        for j ← 1 to n
                c[0, j] ← 0;
        for i ← 1 to n
                for j ← 1 to n
                        c[i, j] ← mij + max(c[i-1, j], c[i, j-1]);
        return c[n, n];
}
```

6	7	12	5
5	3	11	18
7	17	3	3
8	10	14	9

$\Theta(n^2)$

동적 프로그래밍

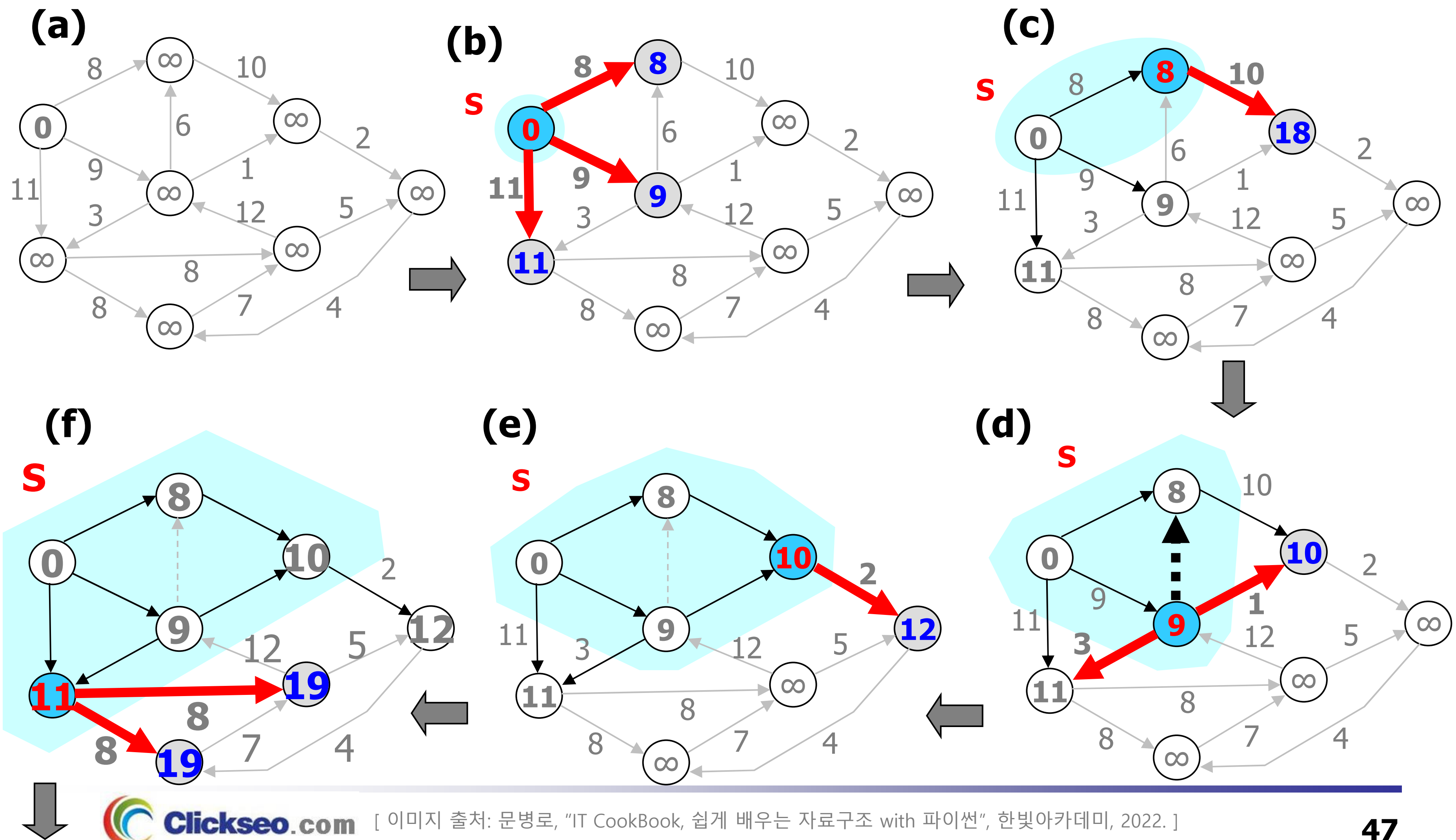
최단 경로

최단 경로

- **최단 경로(Shortest Paths)**
  - 조건: 간선의 가중치가 있는 유향 그래프
    - 무향 그래프는 각 간선에 대해 양쪽으로 유향 간선이 있는 그래프로 생각.
      - 즉, 무향 간선 (u, v)는 유향 간선 (u, v)와 (v, u)를 의미한다고 가정하면 된다.
  - 두 정점 사이의 최단경로
    - 두 정점 사이의 경로들 중 간선의 가중치 합이 최소인 경로
      - 간선 가중치의 합이 음인 싸이클이 있으면 문제가 정의되지 않는다.
  - 단일 시작점 최단경로
    - 단일 시작점으로부터 각 정점에 이르는 최단경로를 구한다.
    - Dijkstra 알고리즘: 음의 가중치를 허용하지 않는 최단 경로
    - Bellman-Ford 알고리즘: 음의 가중치를 허용하는 최단 경로
    - 순환이 없는 유향 그래프(DAG)의 최단 경로
  - 모든 쌍 최단경로
    - 모든 정점 쌍 사이의 최단경로를 모두 구한다.
    - Floyd-Warshall 알고리즘

최단 경로: Dijkstra 알고리즘 (1/3)

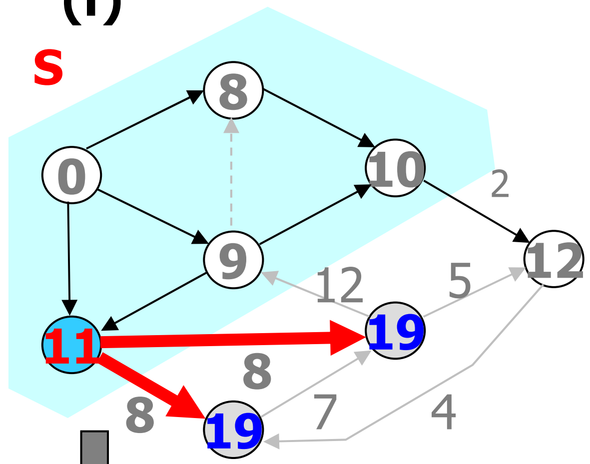
- **Dijkstra 알고리즘:** 동작 과정 #1



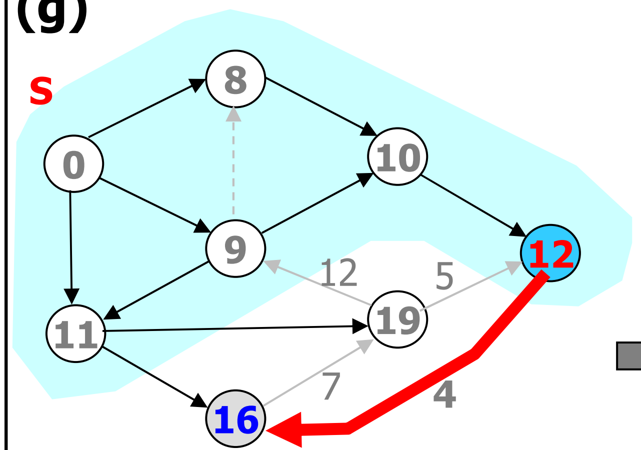
최단 경로: Dijkstra 알고리즘 (2/3)

- **Dijkstra 알고리즘:** 동작 과정 #2

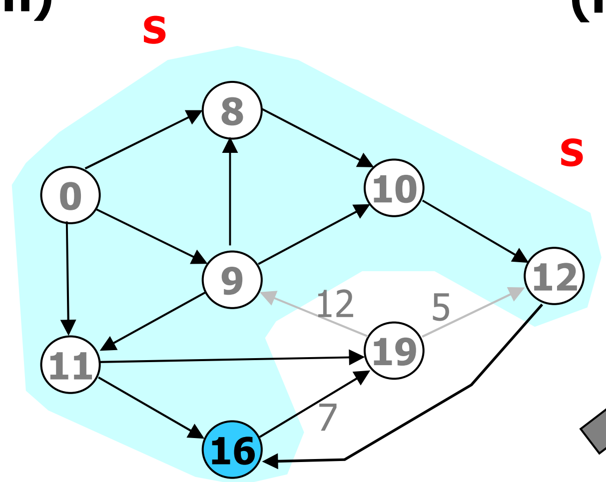
(f)



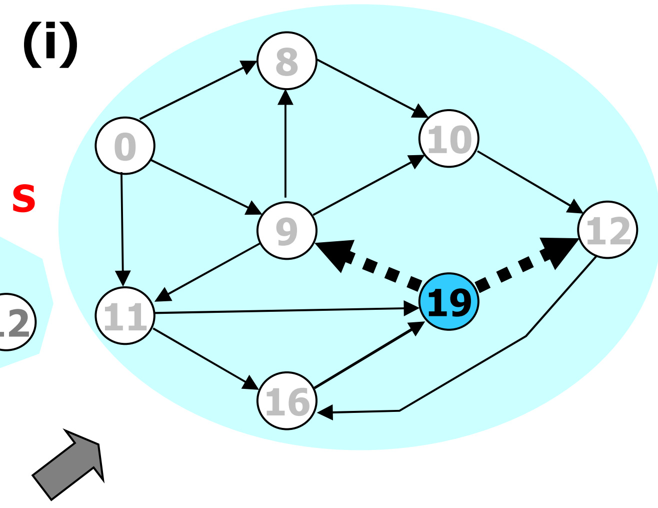
(g)

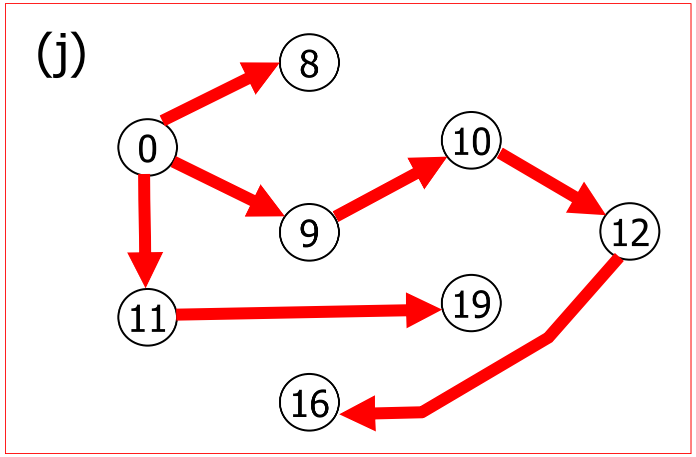


(h)



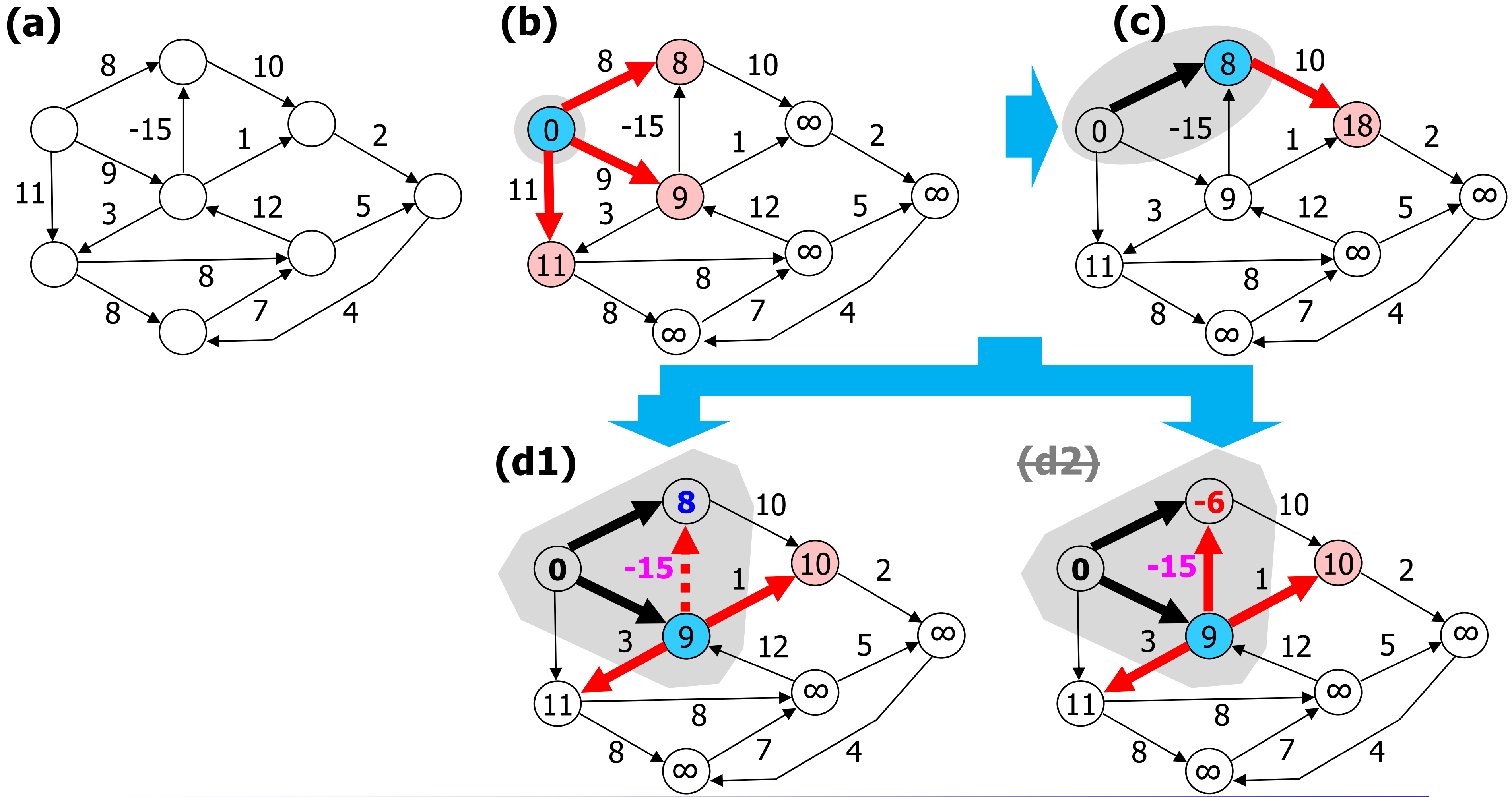
(i)





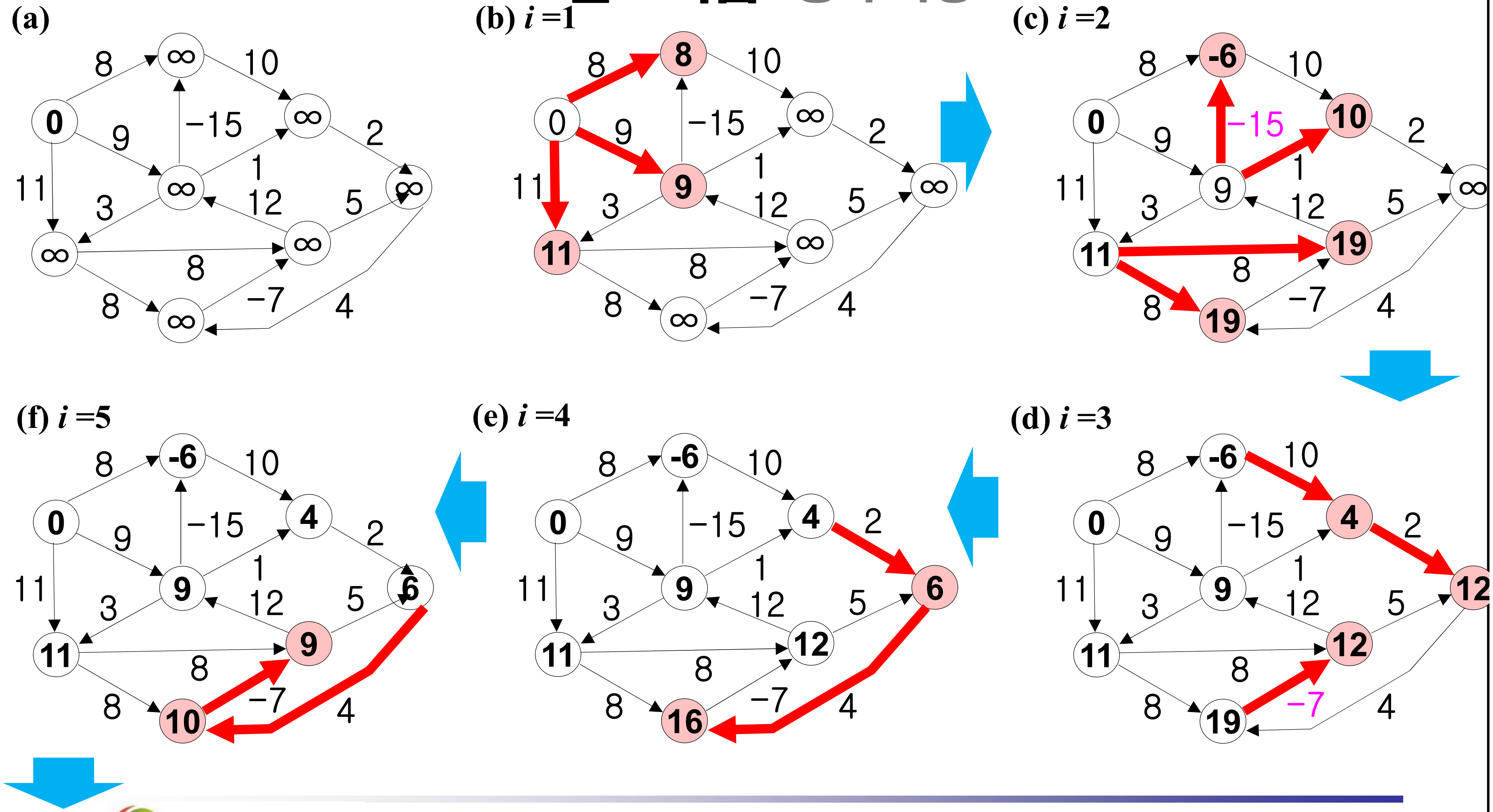
최단 경로: Dijkstra 알고리즘 (3/3)

- **Dijkstra 알고리즘:** 알고리즘이 작동하지 않는 예



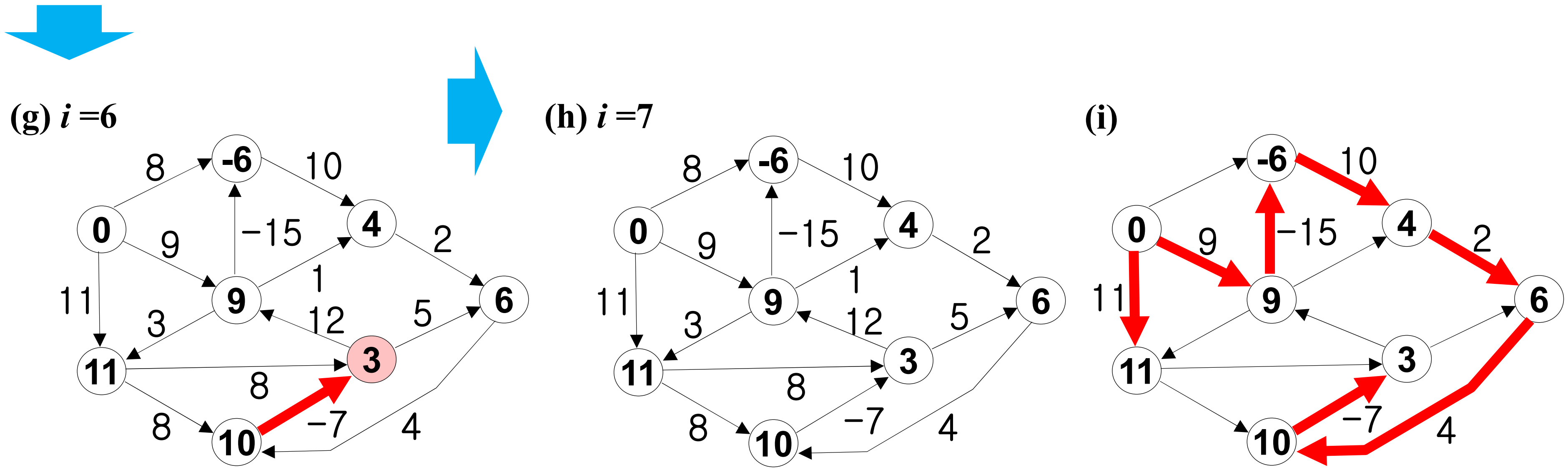
최단 경로: Bellman-Ford 알고리즘 (1/4)

- **Bellman-Ford 알고리즘:** 동작 과정 #1



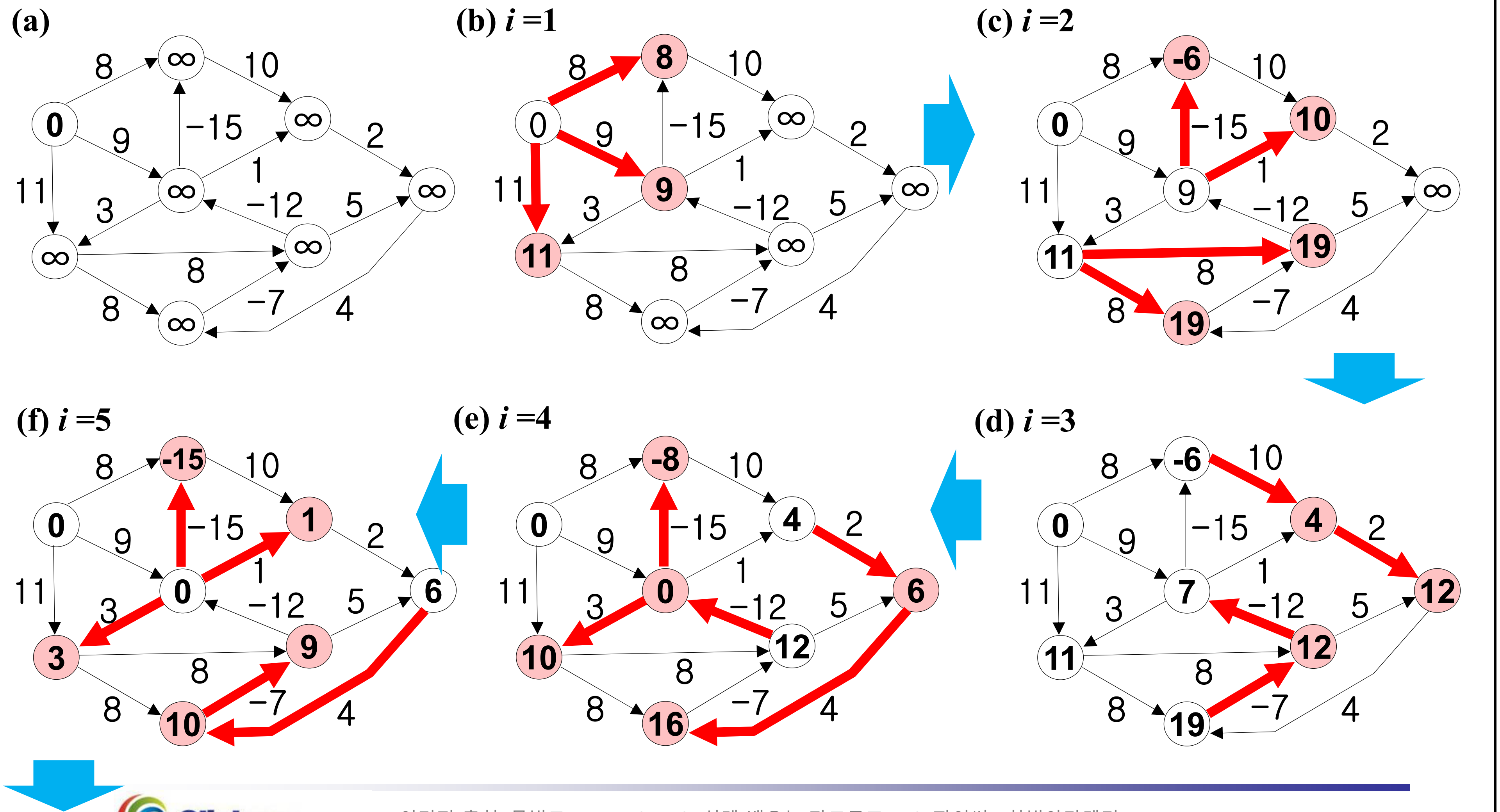
최단 경로: Bellman-Ford 알고리즘 (2/4)

- **Bellman-Ford 알고리즘:** 동작 과정 #2



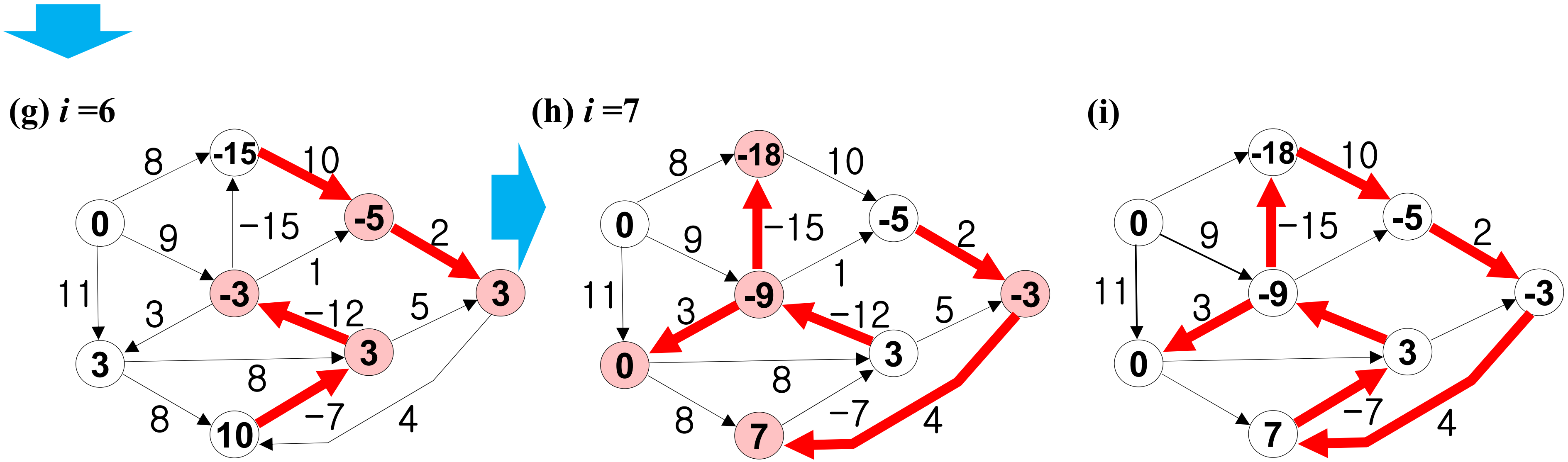
최단 경로: Bellman-Ford 알고리즘 (3/4)

- **Bellman-Ford 알고리즘:** 음의 싸이클이 있는 경우 #1



최단 경로: Bellman-Ford 알고리즘 (4/4)

- **Bellman-Ford 알고리즘:** 음의 싸이클이 있는 경우 #2



참고문헌

[1] "IT CookBook, 쉽게 배우는 자료구조 with 파이썬", 문병로, 한빛아카데미, 2022.

[2] 주우석, "IT CookBook, C · C++ 로 배우는 자료구조론", 한빛아카데미, 2019.

[3] 문병로, "IT CookBook, 쉽게 배우는 알고리즘: 관계 중심의 사고법"(개정판), 개정판, 한빛아카데미, 2018.

[4] "이것이 취업을 위한 코딩 테스트다 with 파이썬", 나동빈, 한빛미디어, 2020.

[5] "코딩 테스트를 위한 자료 구조와 알고리즘 with C++", John Carey 외 2인, 황선규 역, 길벗, 2020.

[6] "SW Expert Academy", SAMSUNG, 2024 of viewing the site, https://swexpertacademy.com/.

[7] "BAEKJOON", (BOJ) BaekJoon Online Judge, 2024 of viewing the site, https://www.acmicpc.net/.

[8] "programmers", grepp, 2024 of viewing the site, https://programmers.co.kr/.