

# 트리 2

최백준 [choi@startlink.io](mailto:choi@startlink.io)

---

# LCA

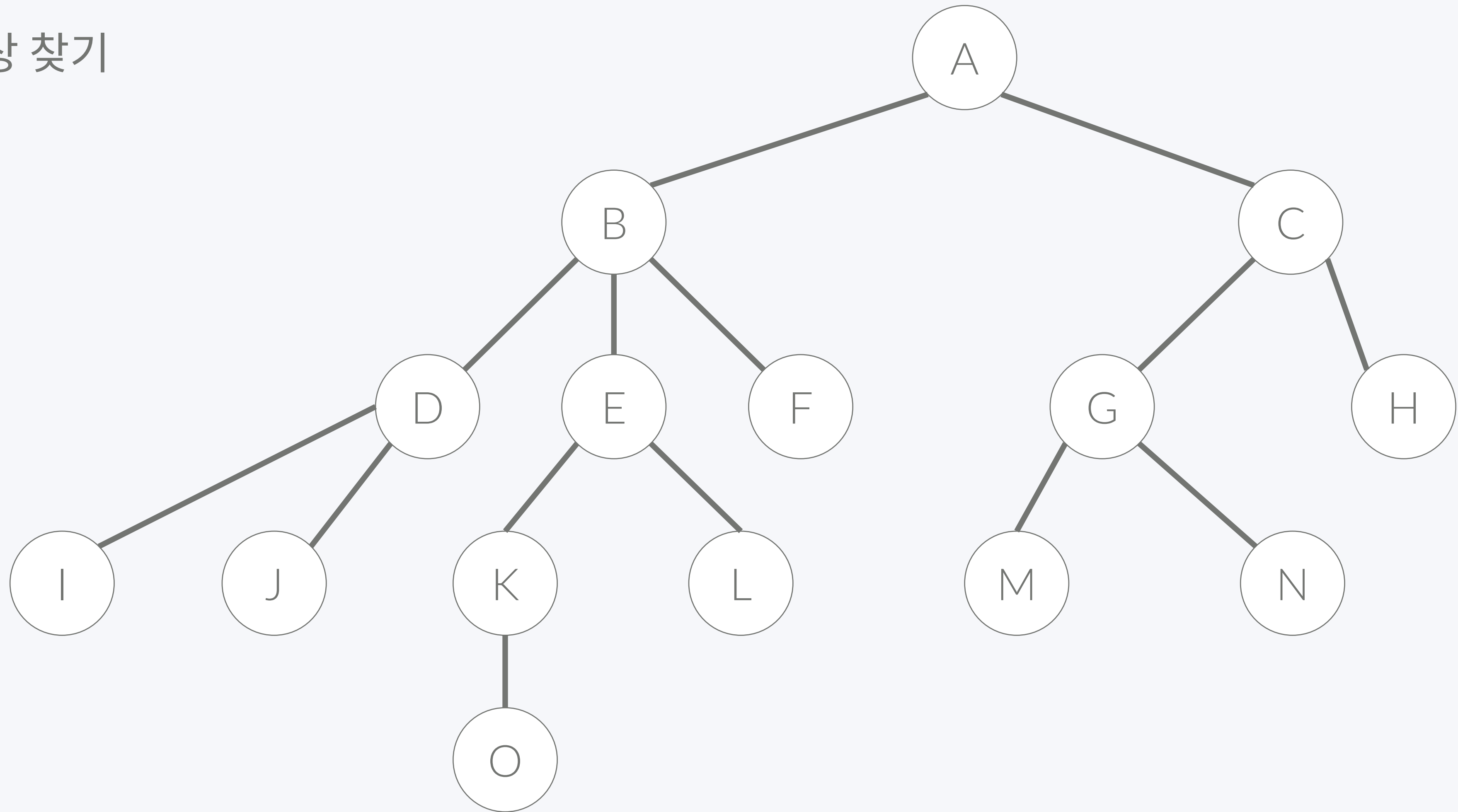
---

# 가장 가까운 공통 조상 찾기

3

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 조상 찾기

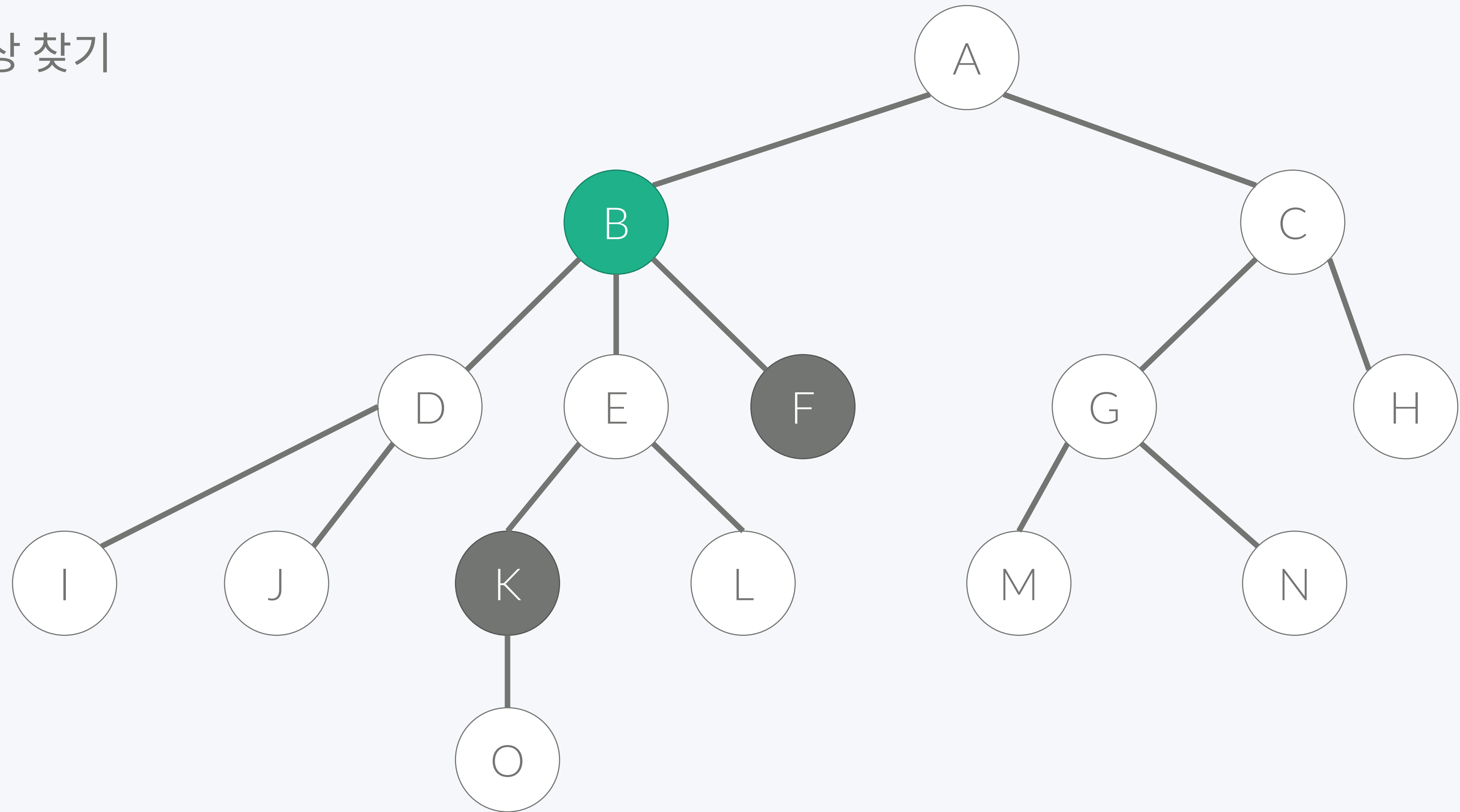


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

4

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 조상 찾기

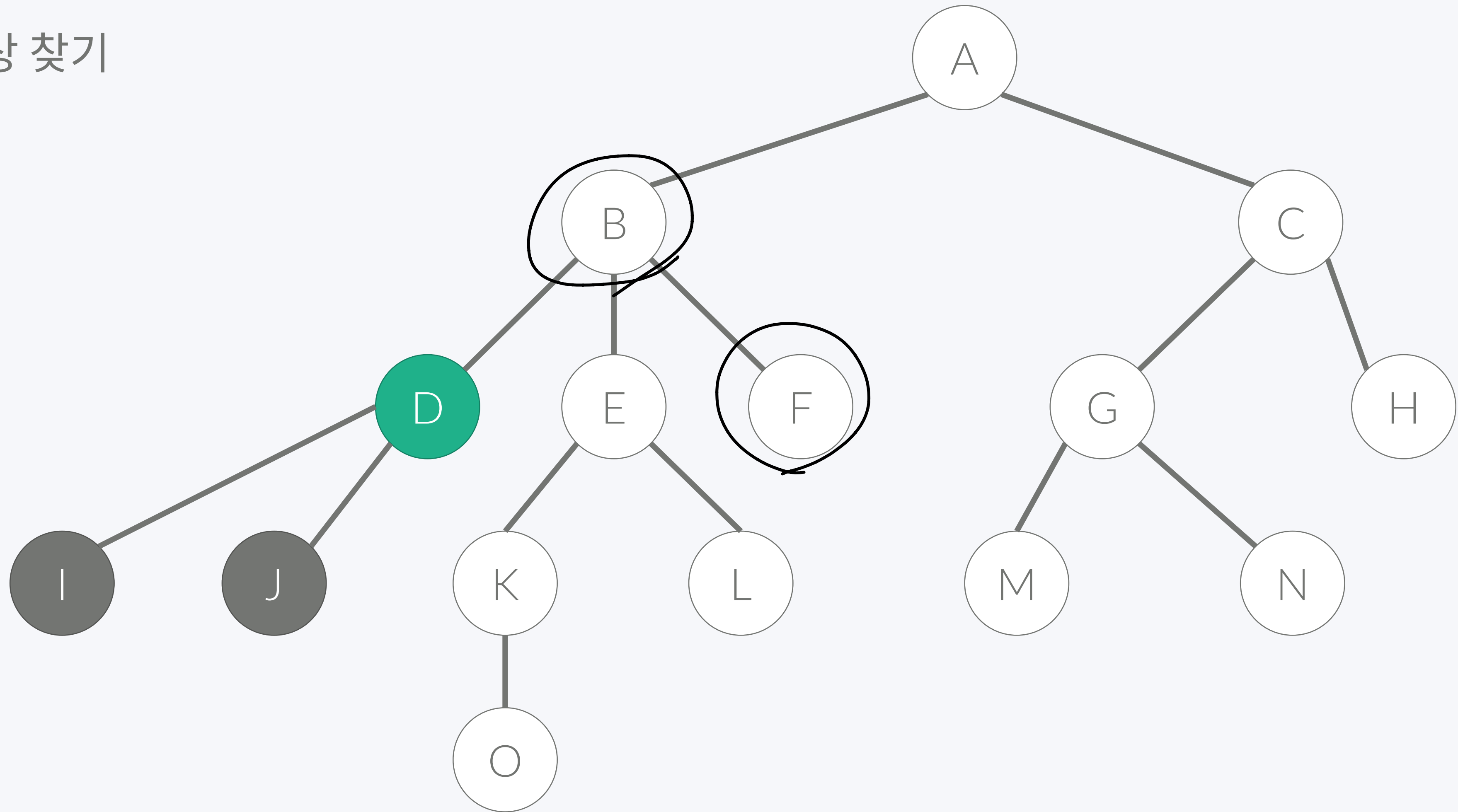


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

5

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 조상 찾기

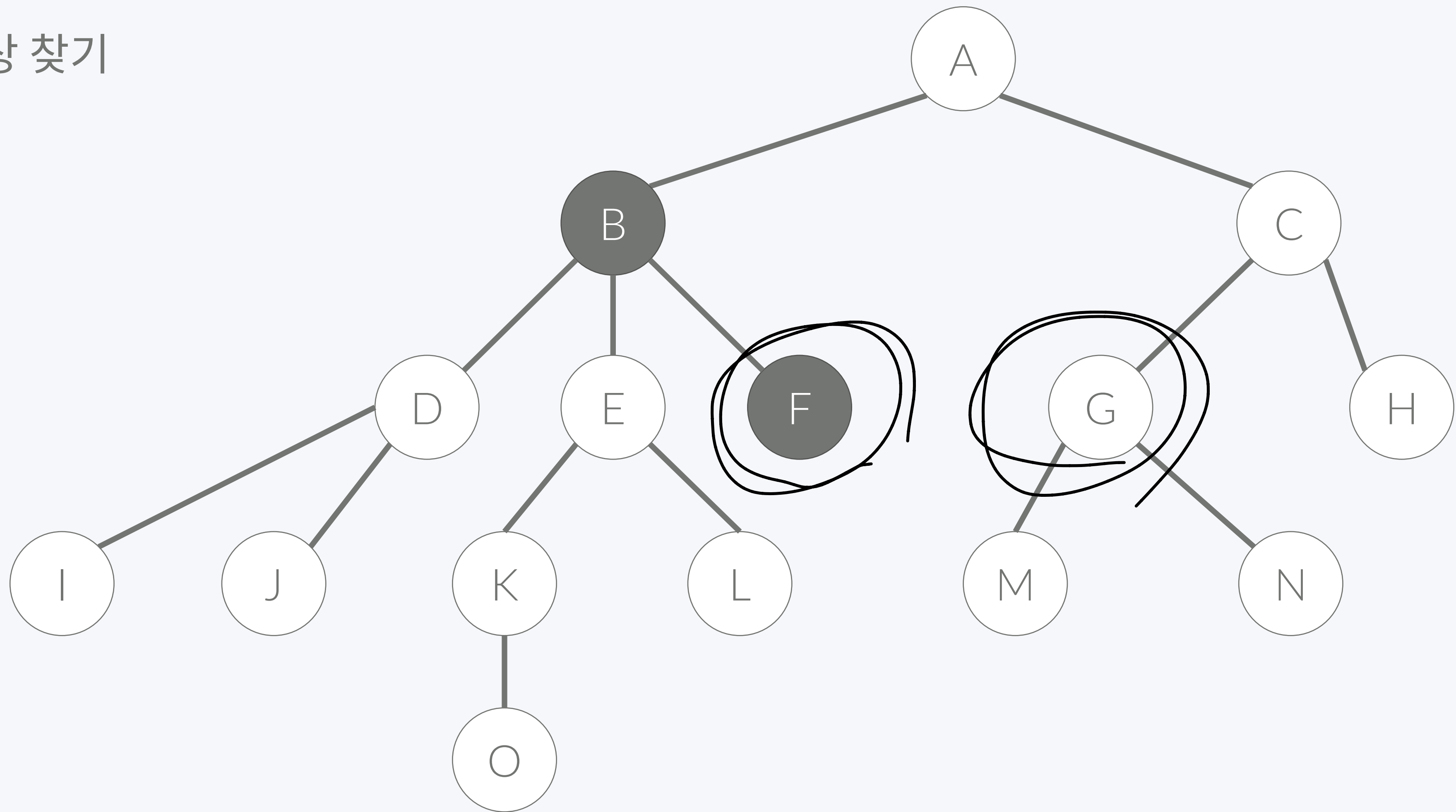


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

6

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 조상 찾기

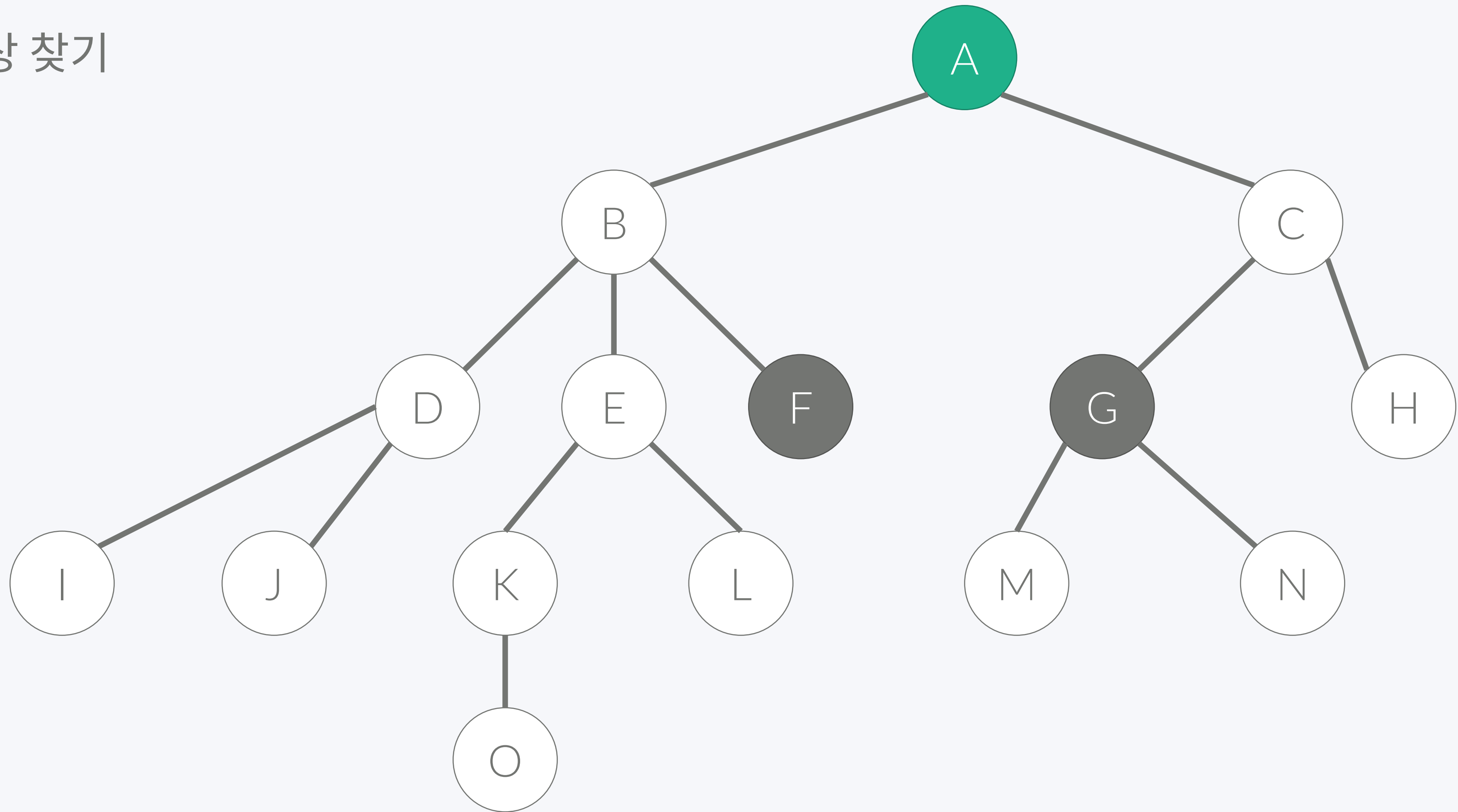


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

7

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 조상 찾기

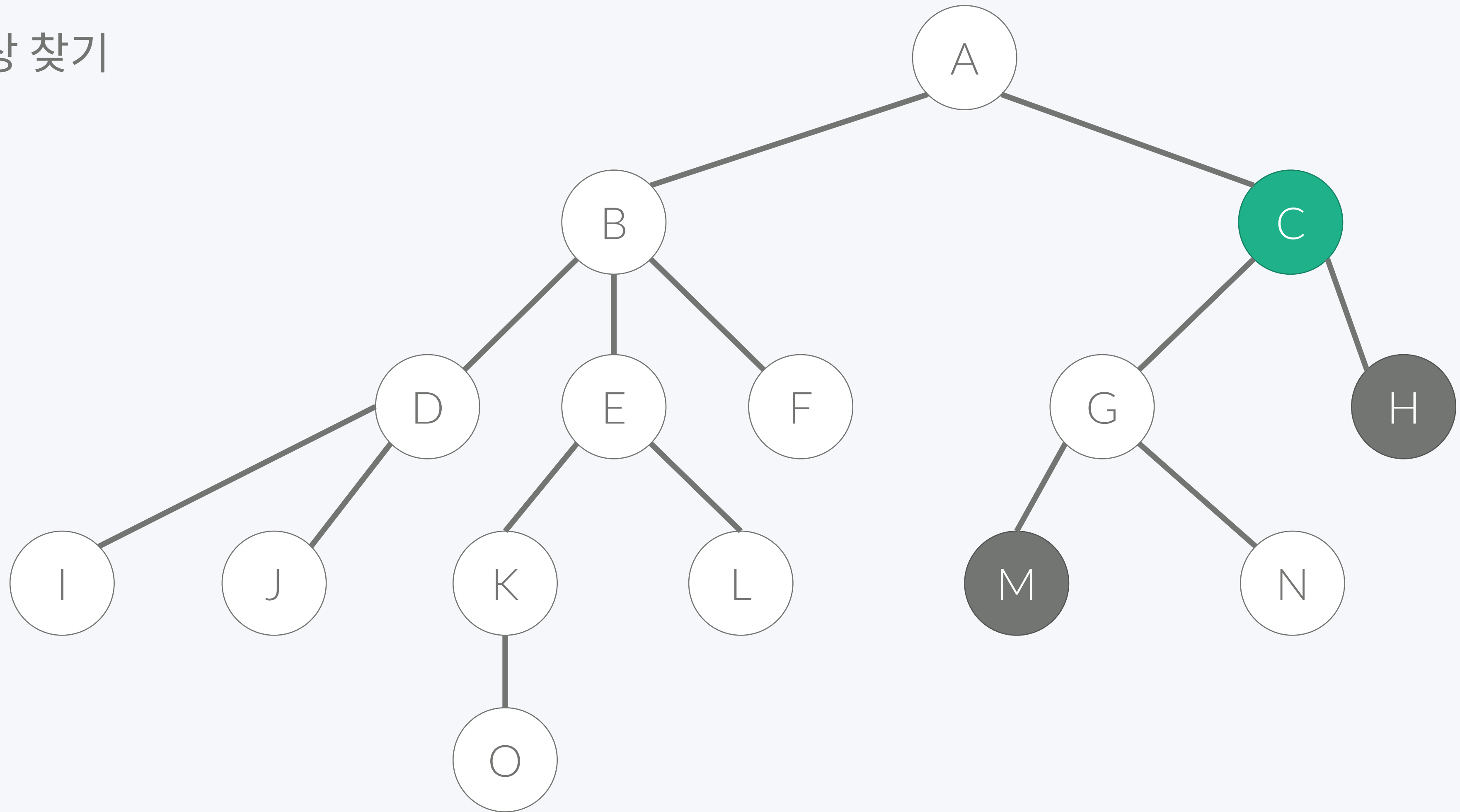


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

8

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 조상 찾기

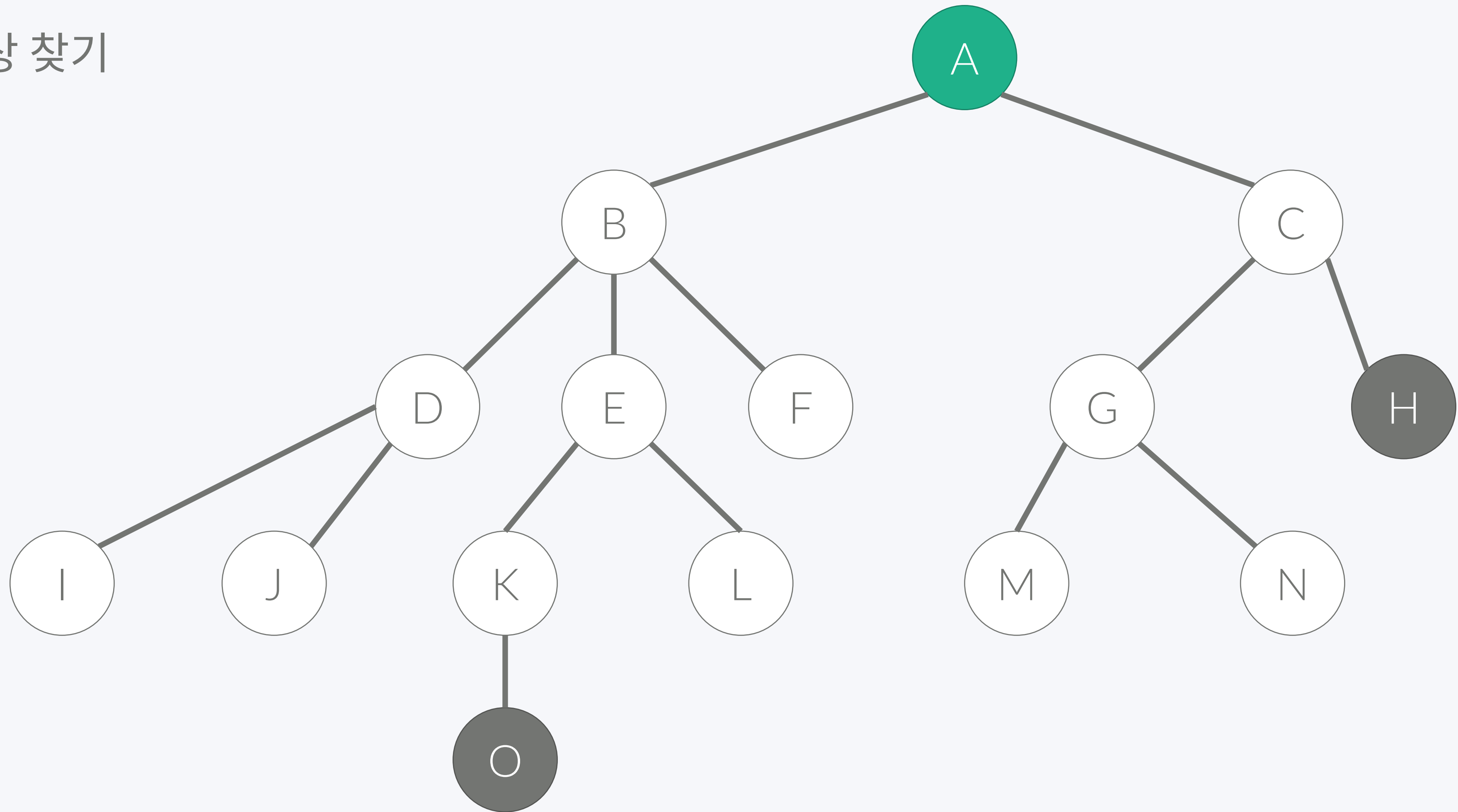




# 가장 가까운 공통 조상 찾기

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 조상 찾기



# 가장 가까운 공통 조상 찾기

10

LCA (Lowest Common Ancestor)

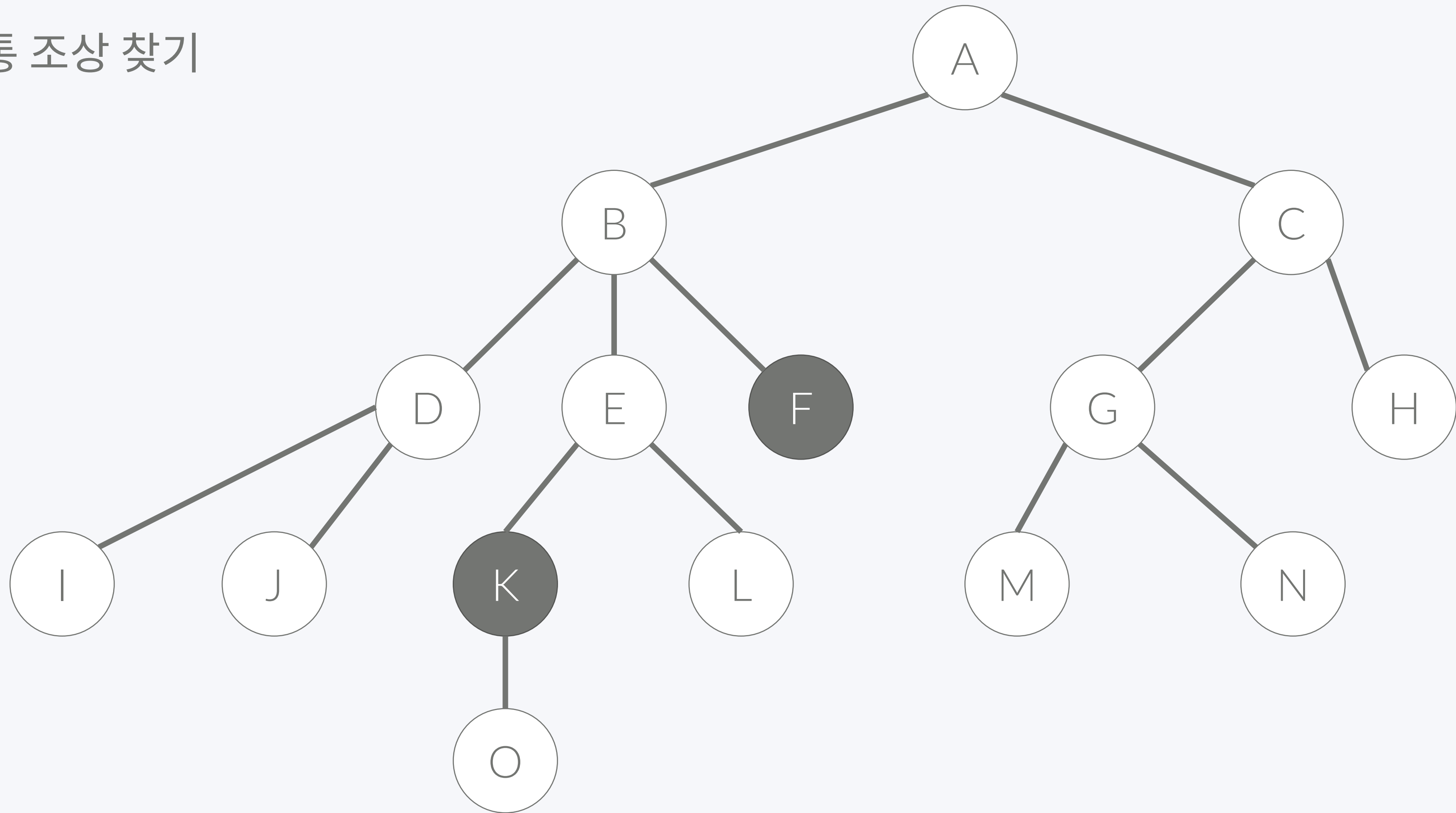
- $x$ 와  $y$ 의 LCA 구하기
- 두 노드의 레벨이 다르면
- 레벨이 같을 때까지 레벨이 큰 것을 한 칸 씩 위로 올린다
- 두 노드의 레벨이 같아졌으면
- 같은 노드가 될 때까지 한 칸씩 위로 올린다.

# 가장 가까운 공통 조상 찾기

11

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 공통 조상 찾기

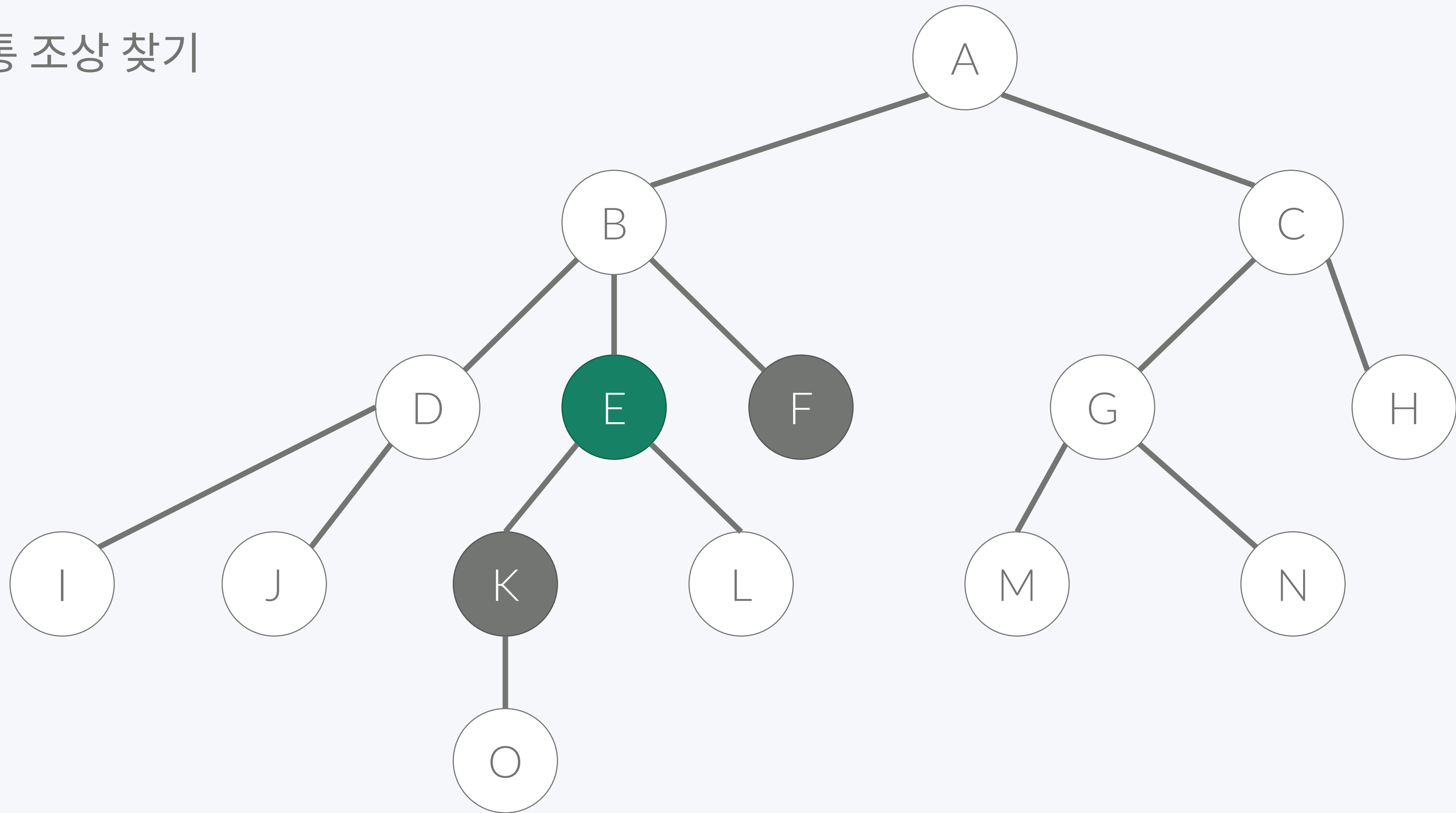


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

12

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 공통 조상 찾기

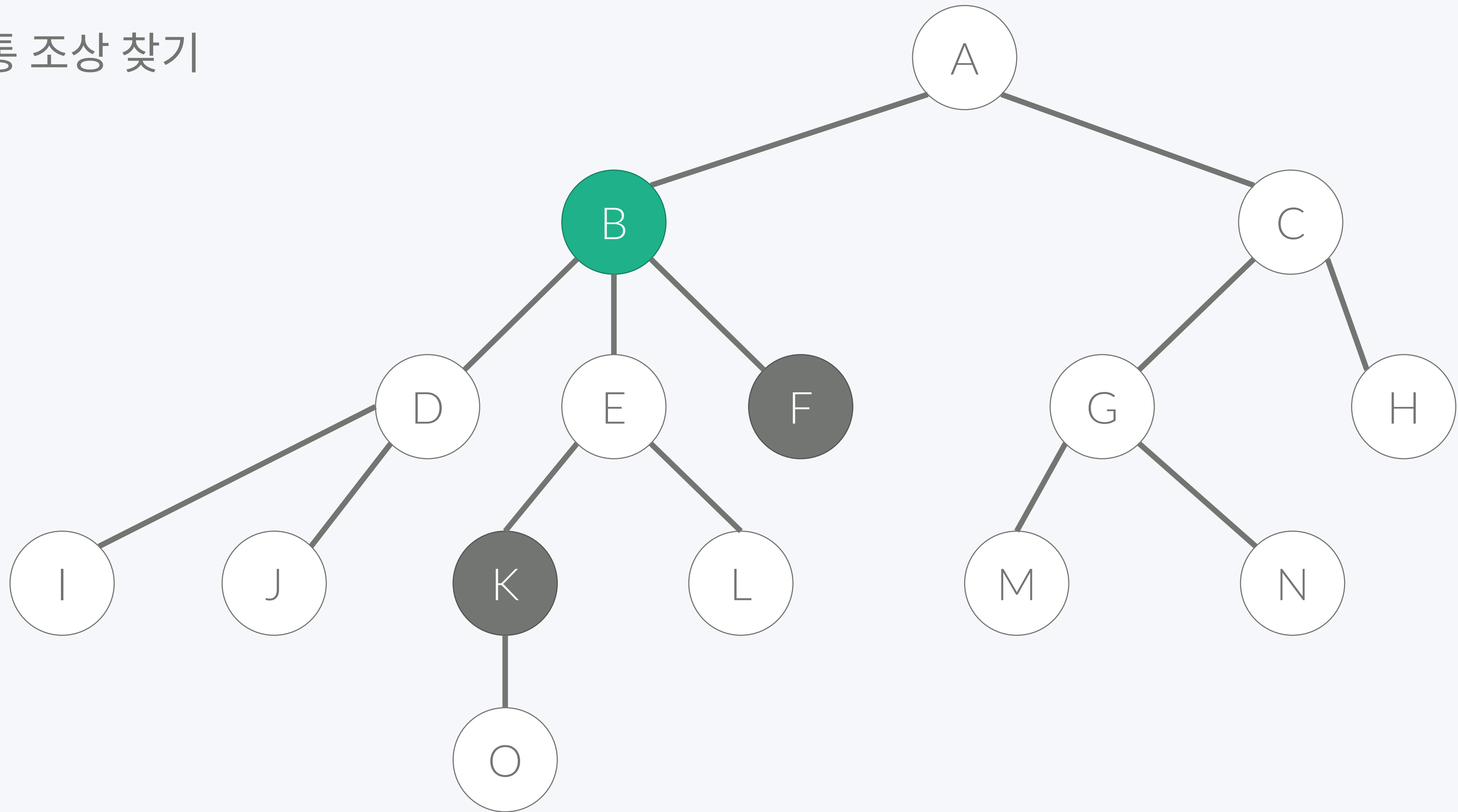


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

13

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 공통 조상 찾기

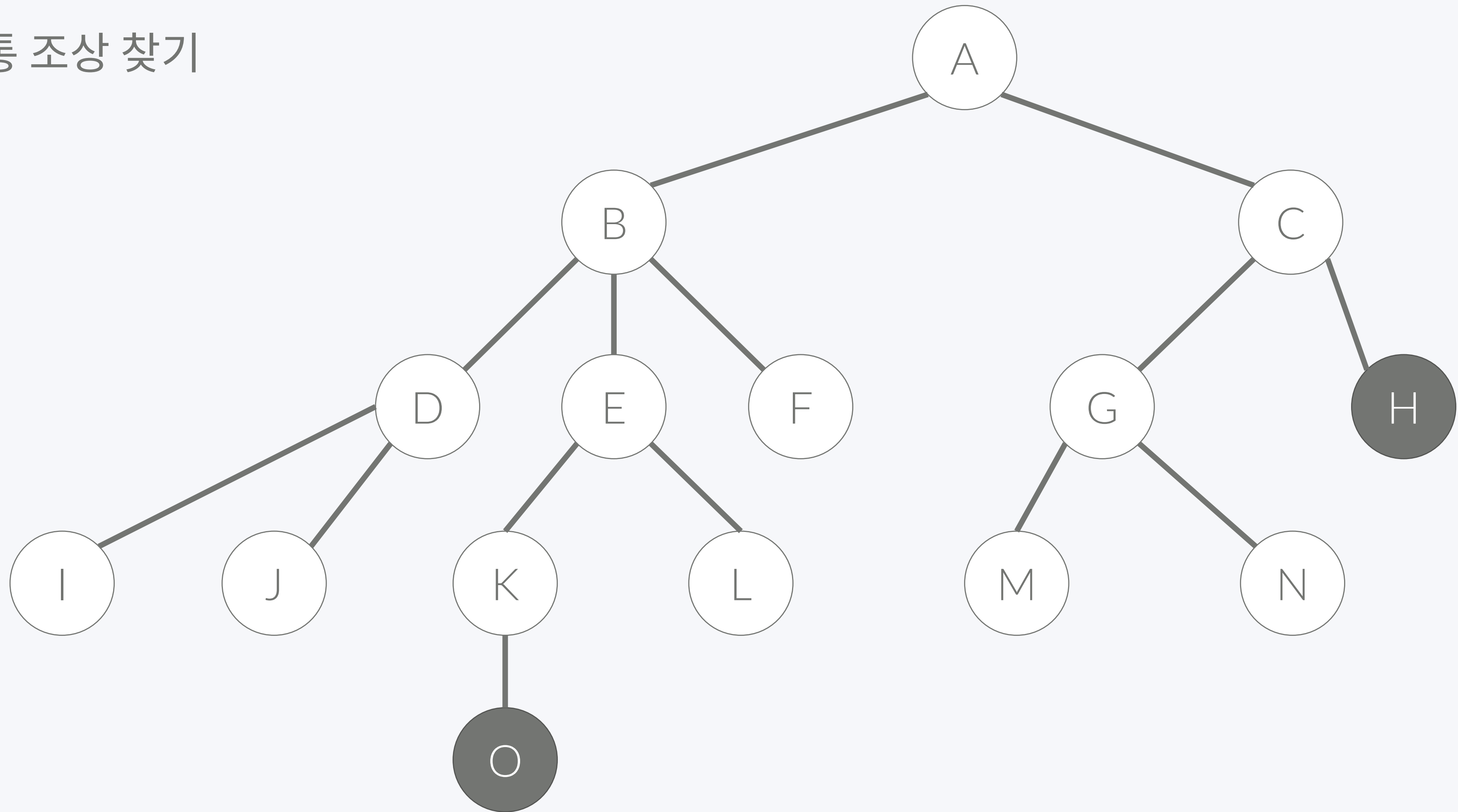


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

14

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 공통 조상 찾기

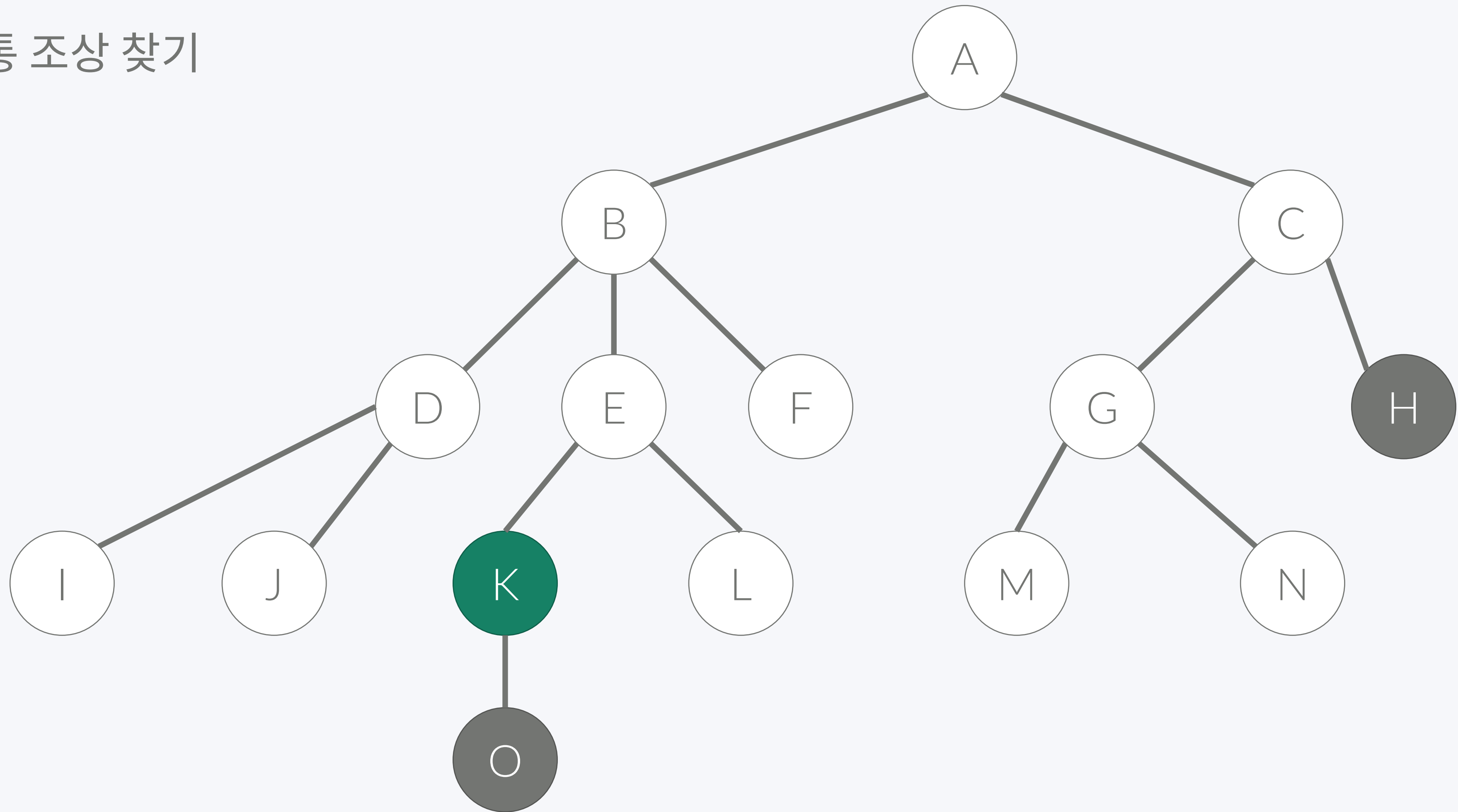


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

15

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 공통 조상 찾기

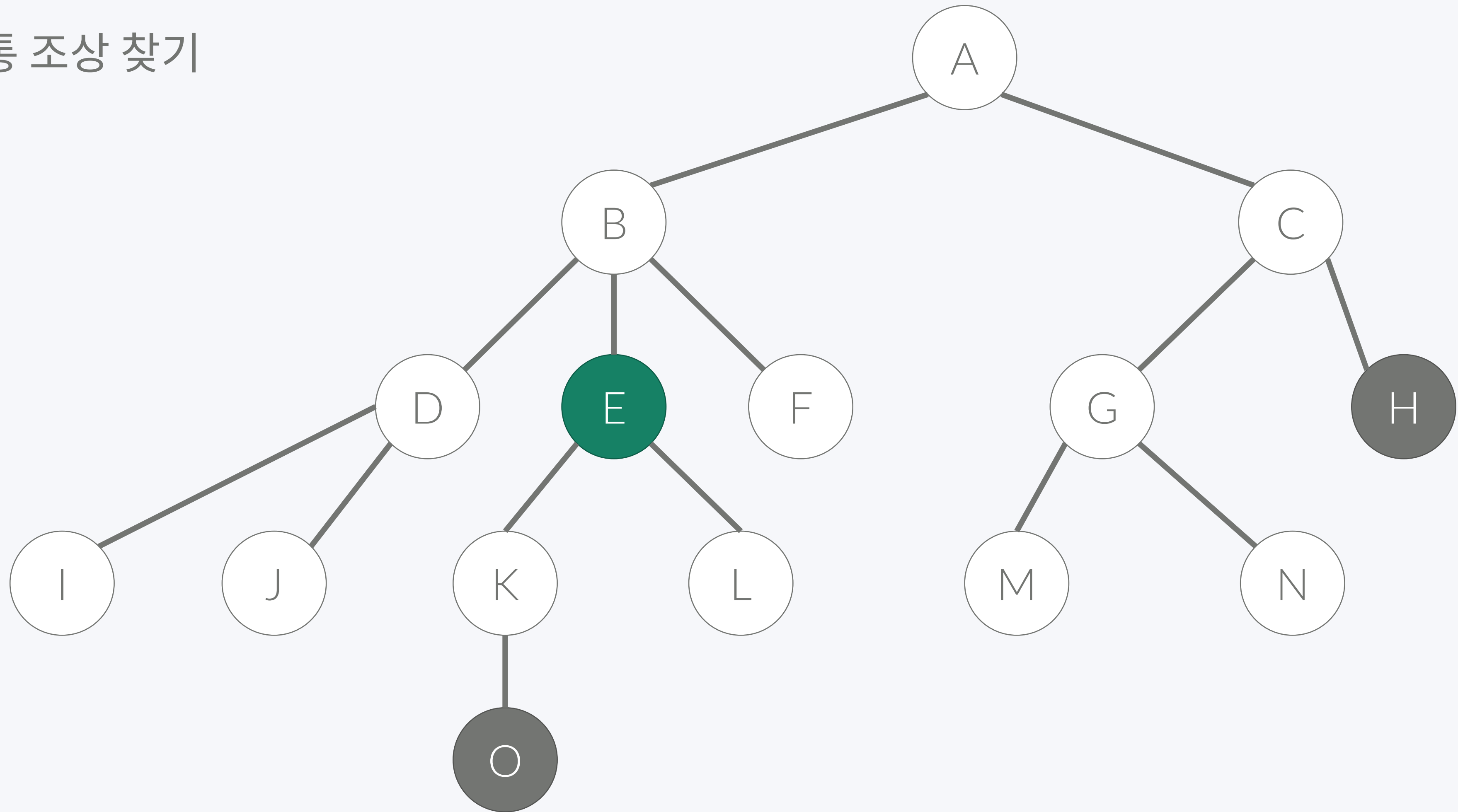


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

16

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 공통 조상 찾기



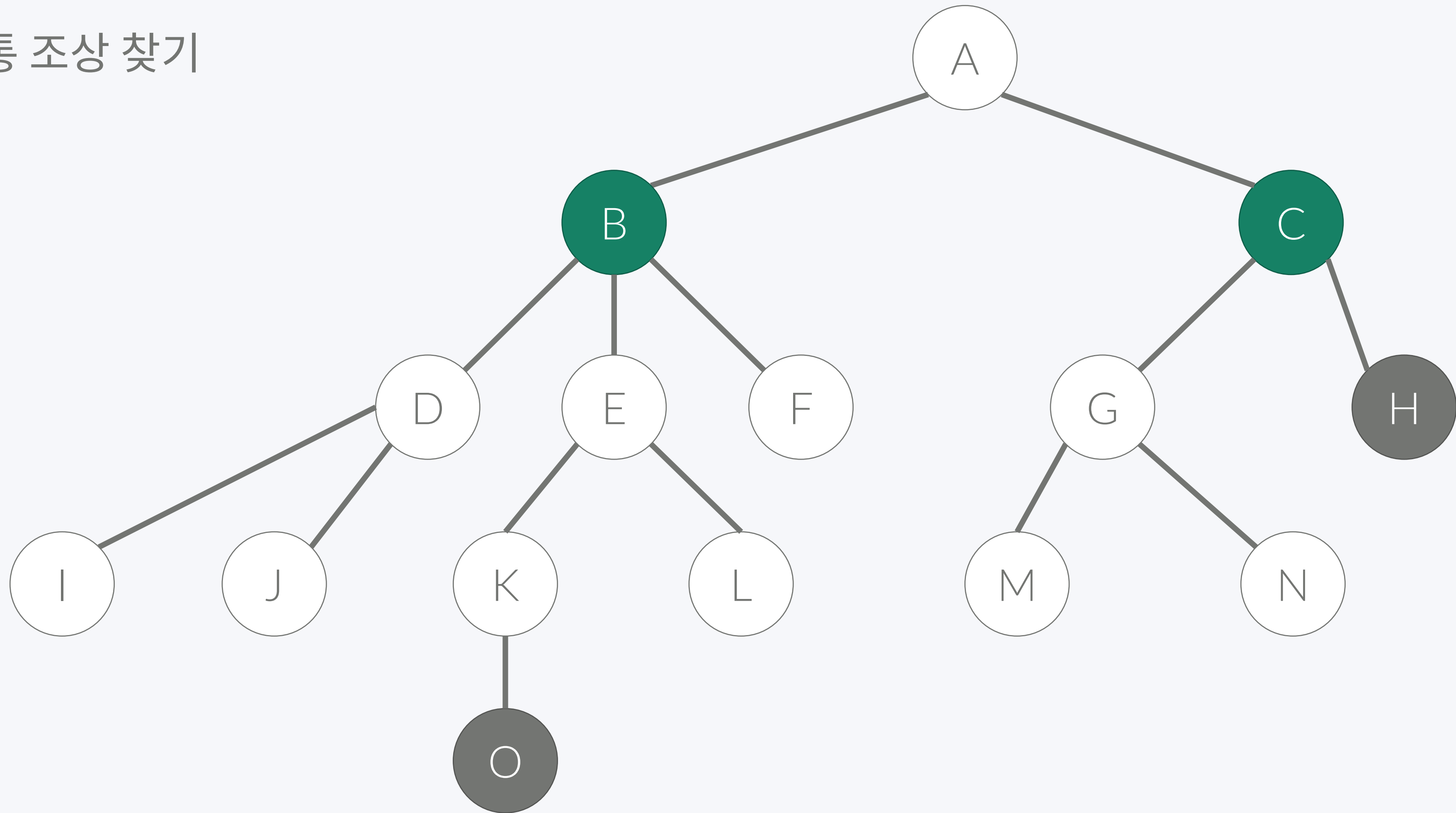


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

17

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 공통 조상 찾기



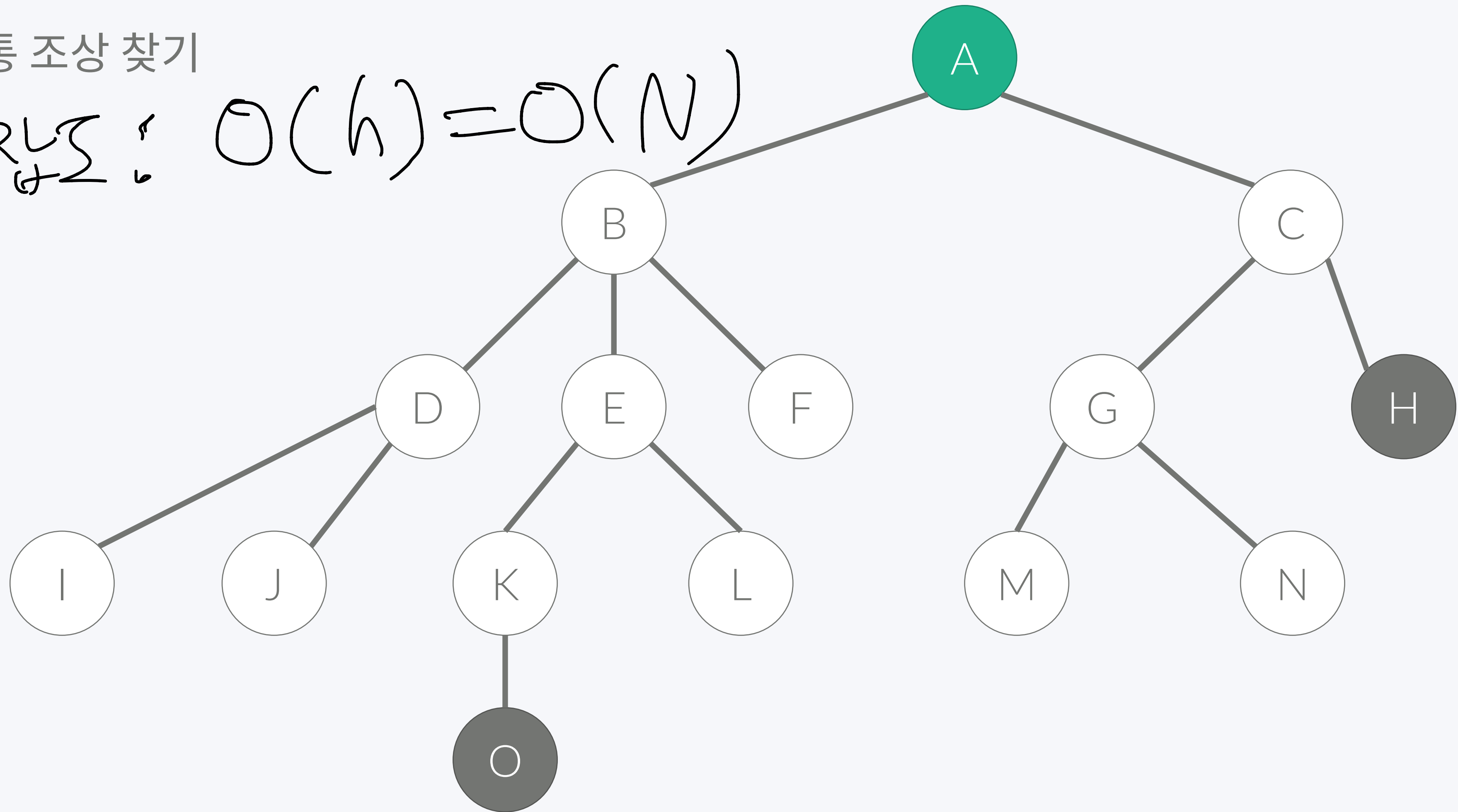
# 가장 가까운 공통 조상 찾기

18

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 공통 조상 찾기

시간복잡도:  $O(h) = O(N)$



# LCA

<https://www.acmicpc.net/problem/11437>

- C/C++: <https://gist.github.com/Baekjoon/36771f645013977cfeb1>
- Java: <https://gist.github.com/Baekjoon/09b029f637354a4a3582>

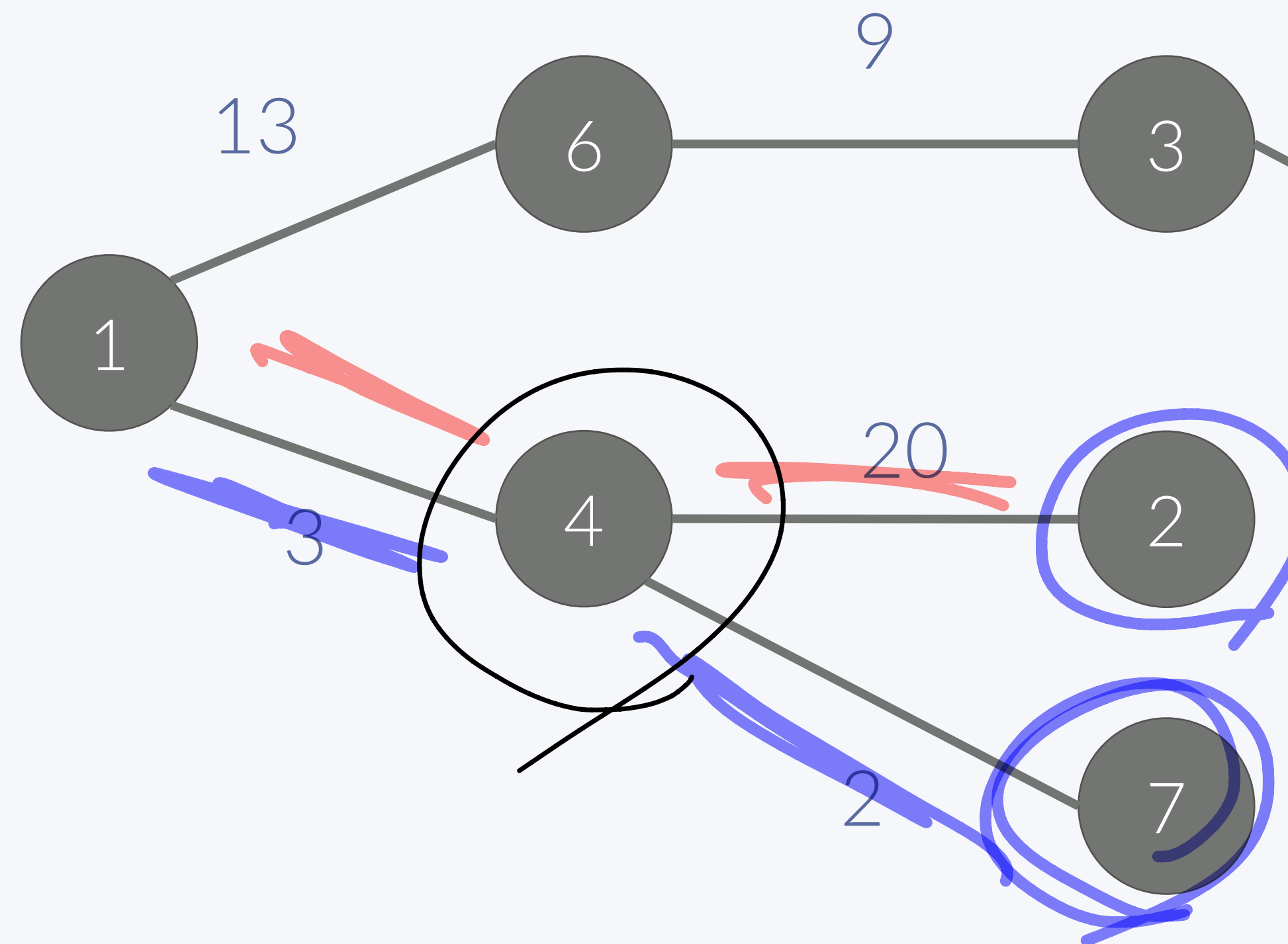
# 정점들의 거리

<https://www.acmicpc.net/problem/1761>

- $N(2 \leq N \leq 40,000)$ 개의 정점으로 이루어진 트리가 주어지고  $M(M \leq 10,000)$ 개의 두 노드 쌍을 입력받을 때 두 노드 사이의 거리 구하기

$$\text{dist}[u] = \text{루트} \rightarrow u \text{ 거리}$$

20



$$\text{dist}[u] + \text{dist}[v] - 2 \times \text{dist}[\text{LCA}(u, v)]$$

$$O(\log N)$$

# 정점들의 거리

<https://www.acmicpc.net/problem/1761>

- 트리에서는 모든 정점 쌍 사이의 경로가 1개만 존재하기 때문에
- 어떤 정점  $x$ 에서  $y$ 로 가는 경로가 곧 최단거리가 된다.
- 거리를 구하는데 필요한 시간:  $O(N)$
- 총 쿼리의 개수:  $M$ 개
- 시간 복잡도:  $O(MN)$

# 정점들의 거리

<https://www.acmicpc.net/problem/1761>

- 또 다른 방법
- $\text{dist}[i]$  = 루트에서  $i$ 까지의 거리
- 라고 정의하면
- $u$ 와  $v$ 사이의 거리는  $\text{dist}[u] + \text{dist}[v] - \text{dist}[\text{lca}(u,v)]$ 로 구할 수 있다

# 정점들의 거리

<https://www.acmicpc.net/problem/1761>

- 소스 1: <http://boj.kr/b7b38062d95e49259995ee7ed329222a>
- 소스 2: <http://boj.kr/6abca9ce66c84fa1882d99f20ba3a2da>

# 가장 가까운 공통 조상 찾기

LCA (Lowest Common Ancestor)

$$\lg N \quad 2^{\bar{s}} = 2^{\bar{s}_1} + 2^{\bar{s}_2} \quad 24$$

- 이 방법은 최악의 경우에 시간복잡도가  $O(N)$  이다.

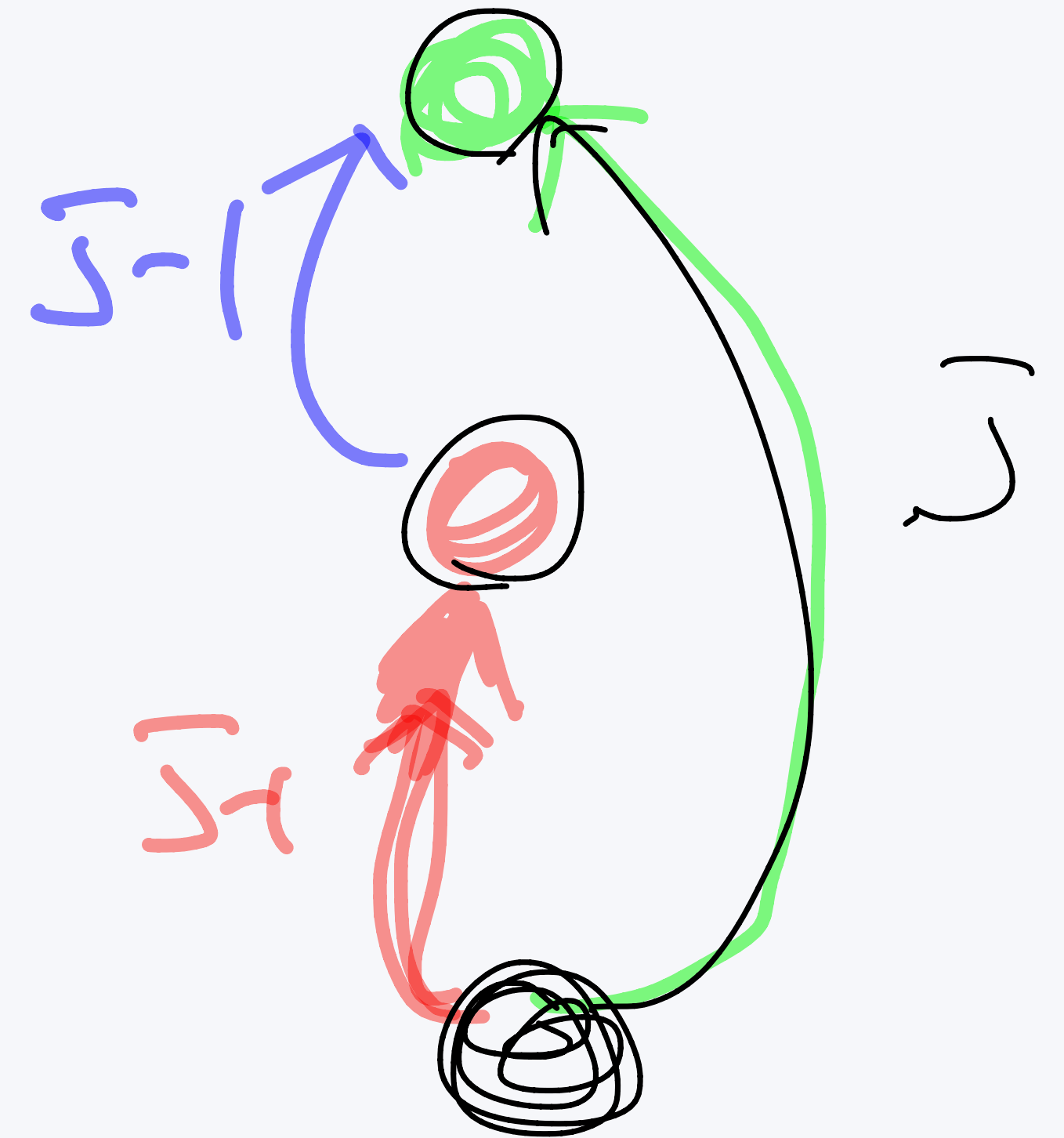
- Dynamic Programming을 이용해서

- $O(\lg N)$  만에 구할 수 있다.

$DP[i][u]$  = 노드  $u$  의  $2^i$  번째 조상

$DP[i][u] = u$ 의 parent

$$DP[i][u] = DP[DP[i-1][u]][i-1]$$





# 가장 가까운 공통 조상 찾기

LCA (Lowest Common Ancestor)

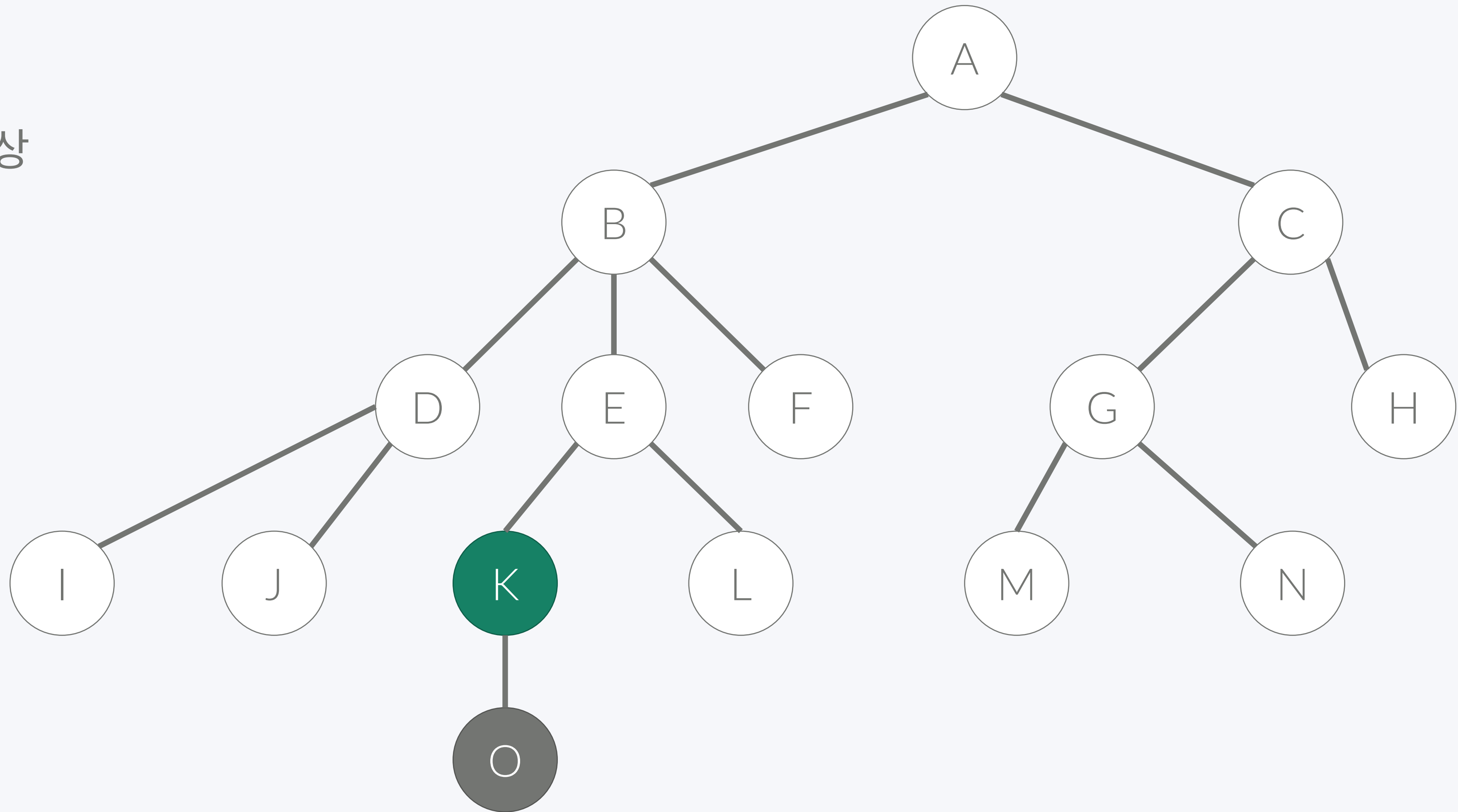
- $P[i][j]$  = 노드  $i$ 의  $2^j$ 번째 조상
- $P[i][0] = \text{Parent}[i]$
- $P[i][j] = P[P[i][j-1]][j-1]$

# 가장 가까운 공통 조상 찾기

26

LCA (Lowest Common Ancestor)

- $j = 0$
- $2^0 = 1$ 번째 조상

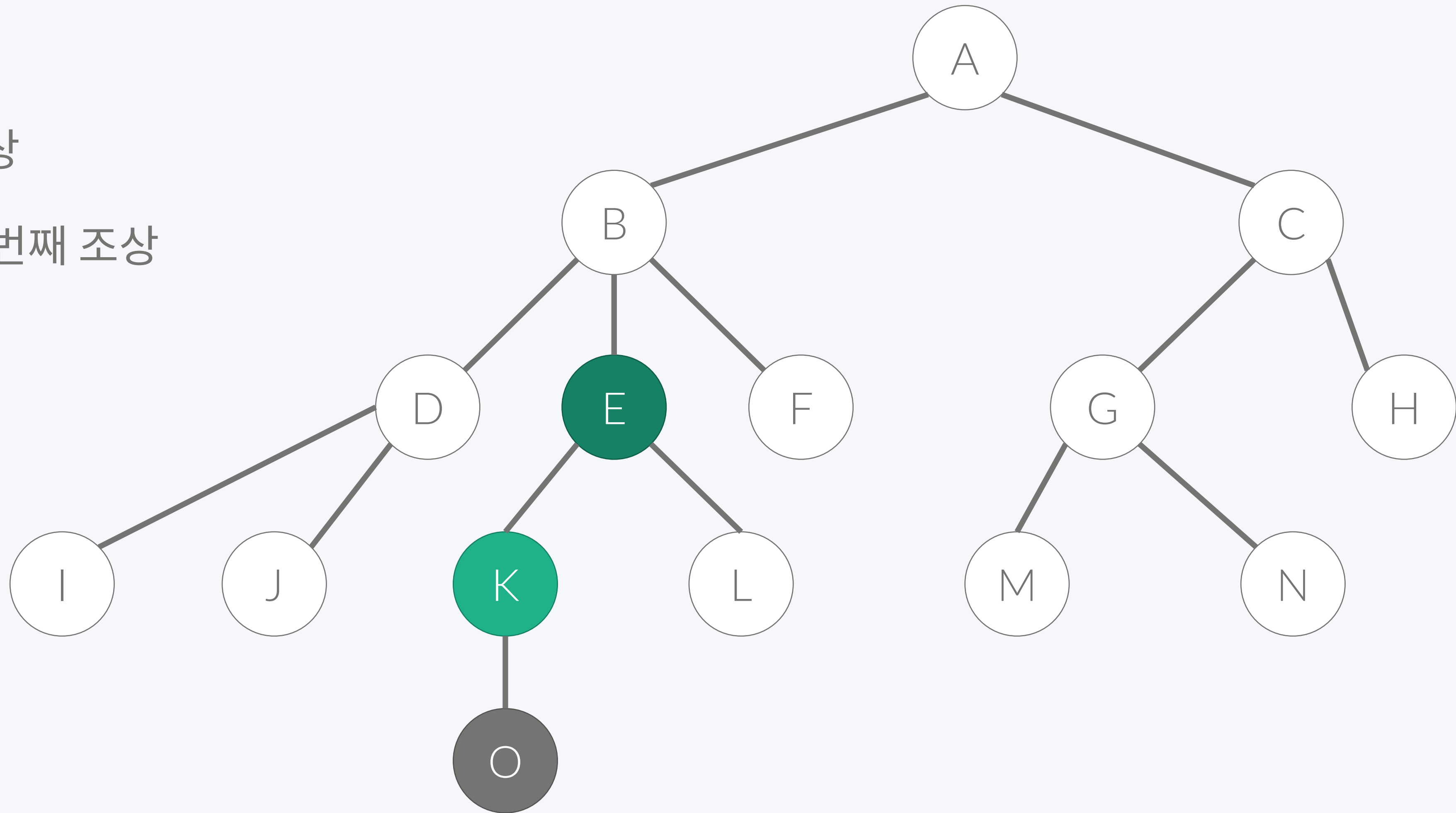


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

27

LCA (Lowest Common Ancestor)

- $j = 1$
- $2^1 = 2$ 번째 조상
- 1번째 조상의 1번째 조상

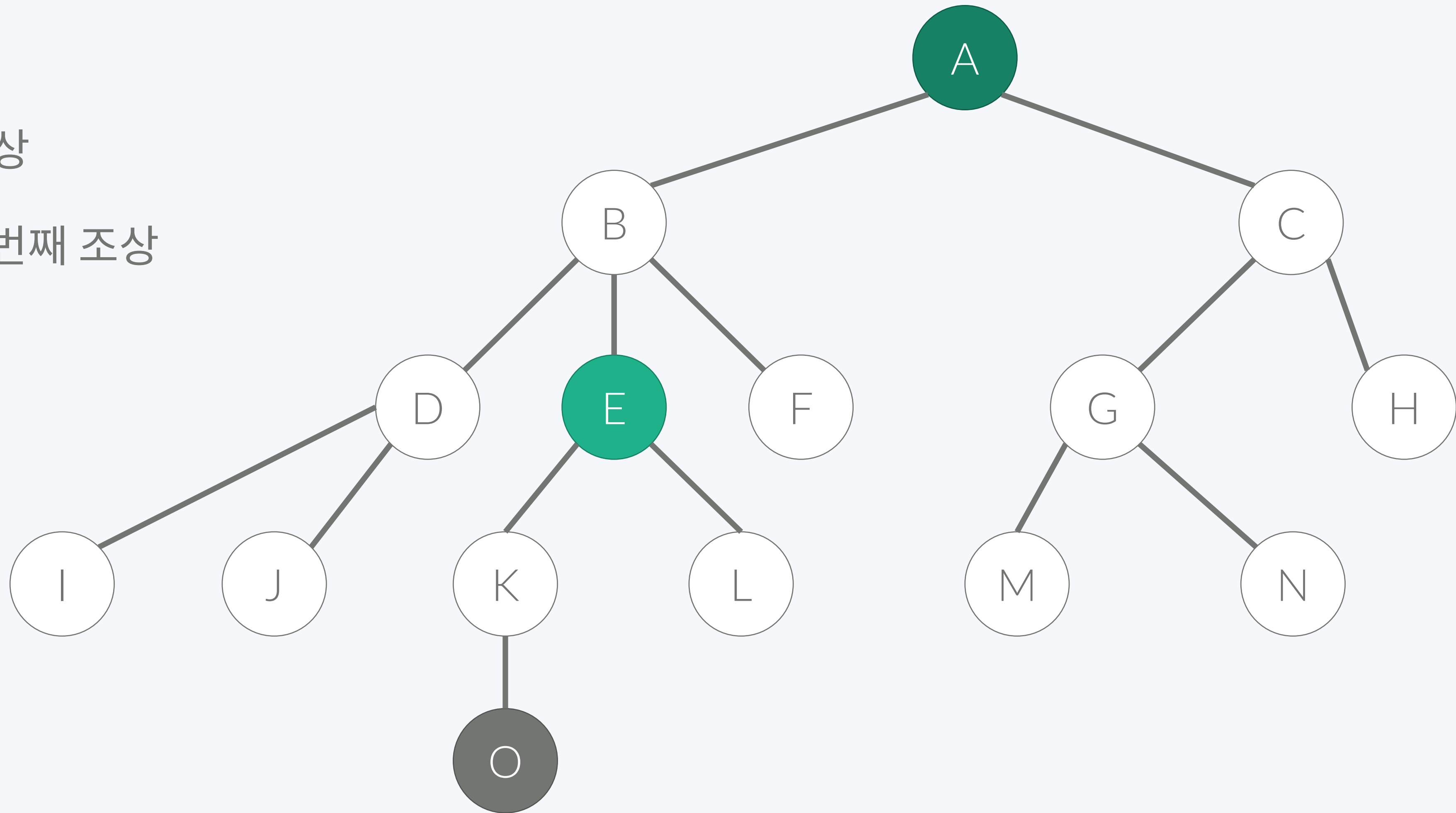


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

28

LCA (Lowest Common Ancestor)

- $j = 2$
- $2^2 = 4$ 번째 조상
- 2번째 조상의 2번째 조상



# 가장 가까운 공통 조상 찾기

LCA (Lowest Common Ancestor)

```
for (int i=1; i<=n; i++) {  
    p[i][0] = parent[i];  
}
```

# 가장 가까운 공통 조상 찾기

LCA (Lowest Common Ancestor)

```
for (int j=1; (1<<j) < n; j++) {  
    for (int i=1; i<=n; i++) {  
        if (p[i][j-1] != 0) {  
            p[i][j] = p[p[i][j-1]][j-1];  
        }  
    }  
}
```

# 가장 가까운 공통 조상 찾기

LCA (Lowest Common Ancestor)

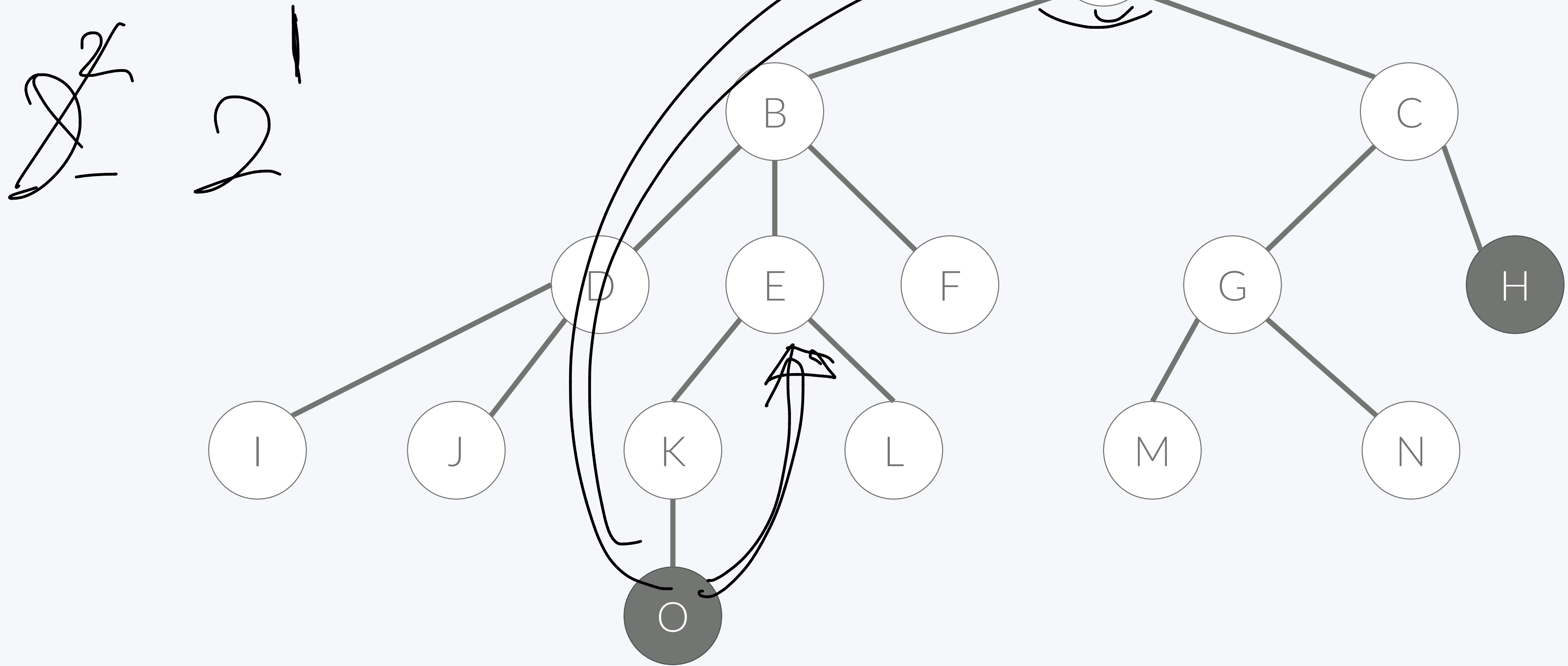
- $x$ 와  $y$ 의 LCA 구하기
- 두 노드의 레벨이 다르면
- 레벨이 같을 때까지 레벨이 큰 것을  $2^k$ 칸 씩 위로 올린다
- 두 노드의 레벨이 같아졌으면
- 같은 노드가 되지 않을 때까지  $2^k$  칸씩 위로 올린다.
- 그 다음 마지막으로 1 칸 올린다.

# 가장 가까운 공통 조상 찾기

32

LCA (Lowest Common Ancestor)

- 가장 가까운 공통 조상 찾기



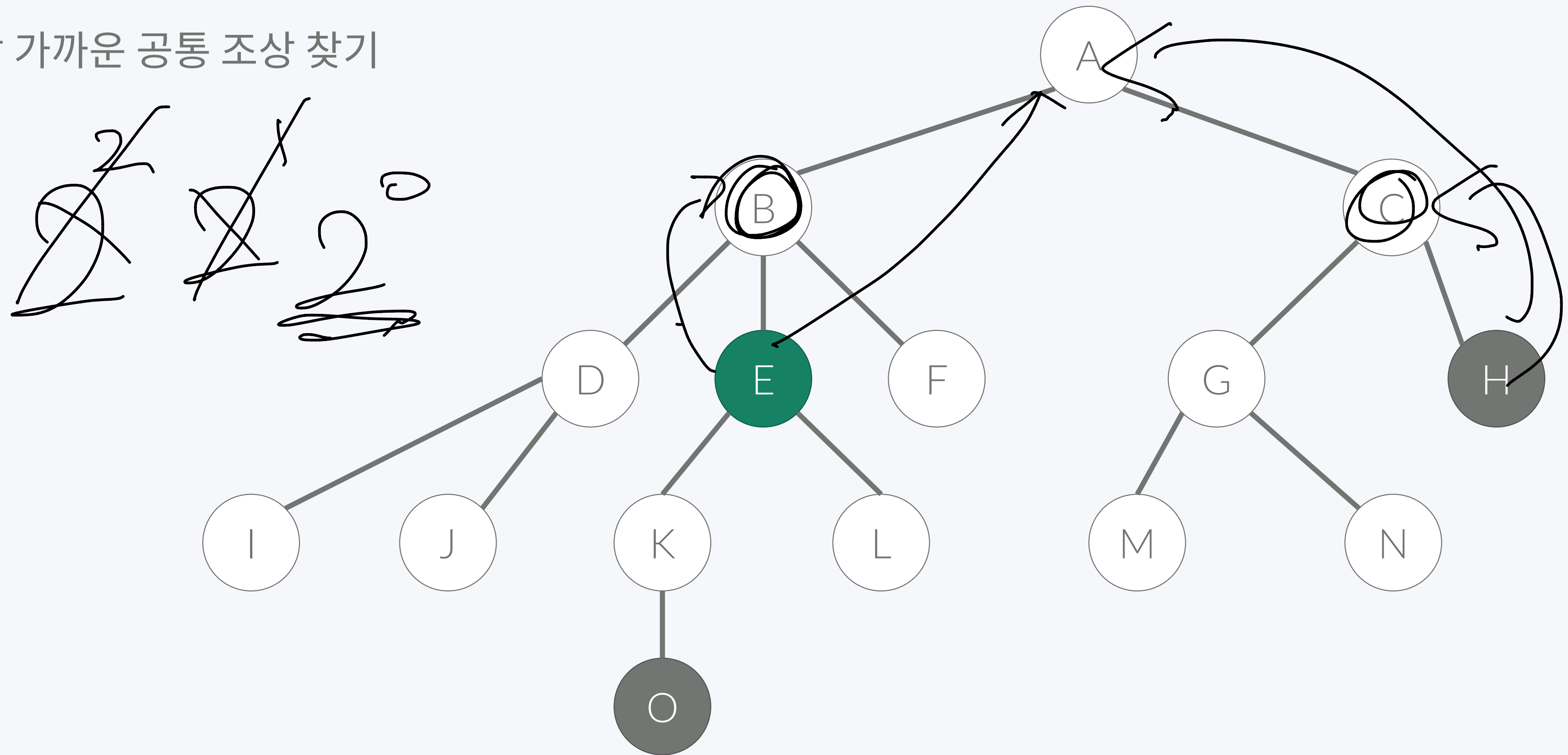


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

33

LCA (Lowest Common Ancestor)

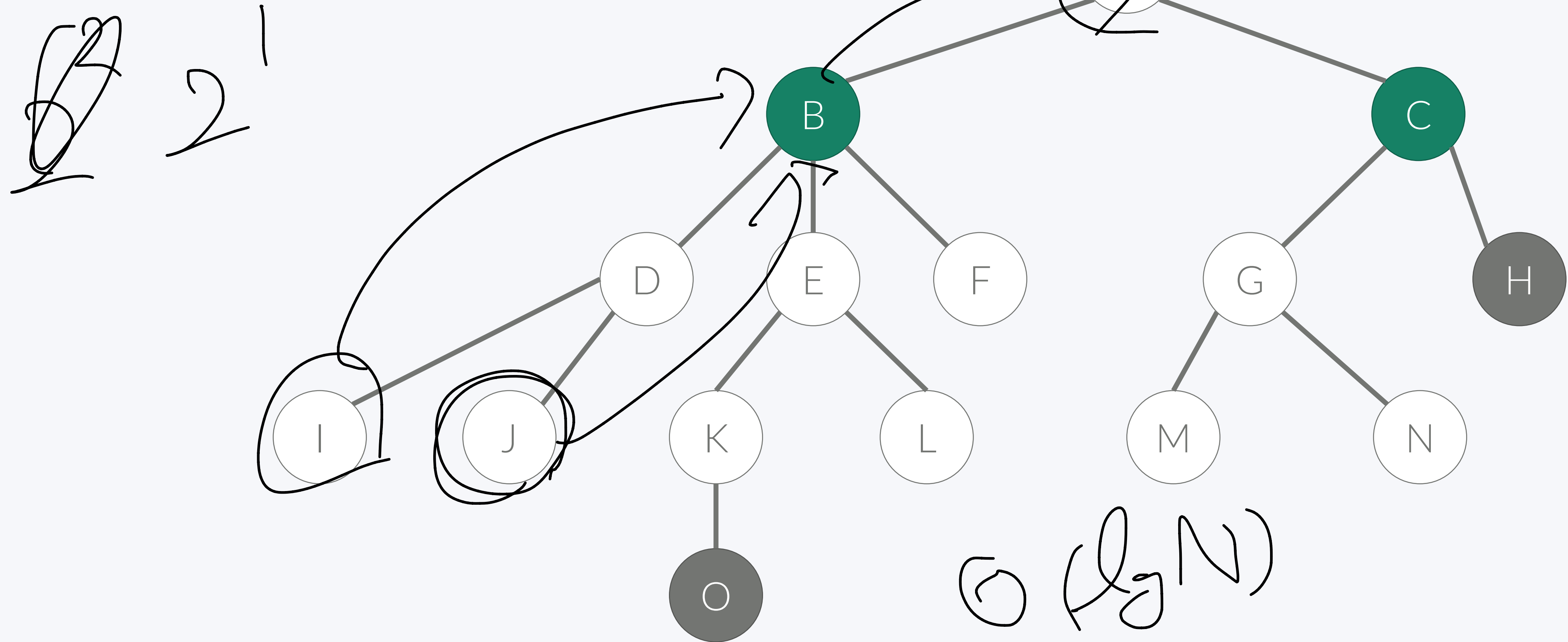
- 가장 가까운 공통 조상 찾기



# 가장 가까운 공통 조상 찾기

# LCA (Lowest Common Ancestor)

- ## • 가장 가까운 공통 조상 찾기



# LCA 2

<https://www.acmicpc.net/problem/11438>

- 소스: <http://boj.kr/ffd8307287c7457292c76e29971fe529>

# 도로 네트워크

<https://www.acmicpc.net/problem/3176>

- $N$ 개의 도시와 그 도시를 연결하는  $N-1$ 개의 도로로 이루어진 도로 네트워크가 있다.
- 모든 도시의 쌍에는 그 도시를 연결하는 유일한 경로가 있고, 각 도로의 길이는 입력으로 주어진다.
- 총  $K$ 개의 도시 쌍이 주어진다. 이 때, 두 도시를 연결하는 경로 상에서 가장 짧은 도로의 길이와 가장 긴 도로의 길이를 구하는 프로그램을 작성하시오.

# 도로 네트워크

<https://www.acmicpc.net/problem/3176>

- LCA를 구하는 문제인데
- 배열을 2개 더 만들어야 한다.
- $P[i][j] = i$ 의  $2^j$ 번째 parent
- $len\_min[i][j] = i$ 의  $2^j$ 번째 parent까지 올라가면서 만나는 모든 도로 중 가장 짧은 것의 길이
- $len\_max[i][j] = i$ 의  $2^j$ 번째 parent까지 올라가면서 만나는 모든 도로 중 가장 긴 것의 길이

# 도로 네트워크

<https://www.acmicpc.net/problem/3176>

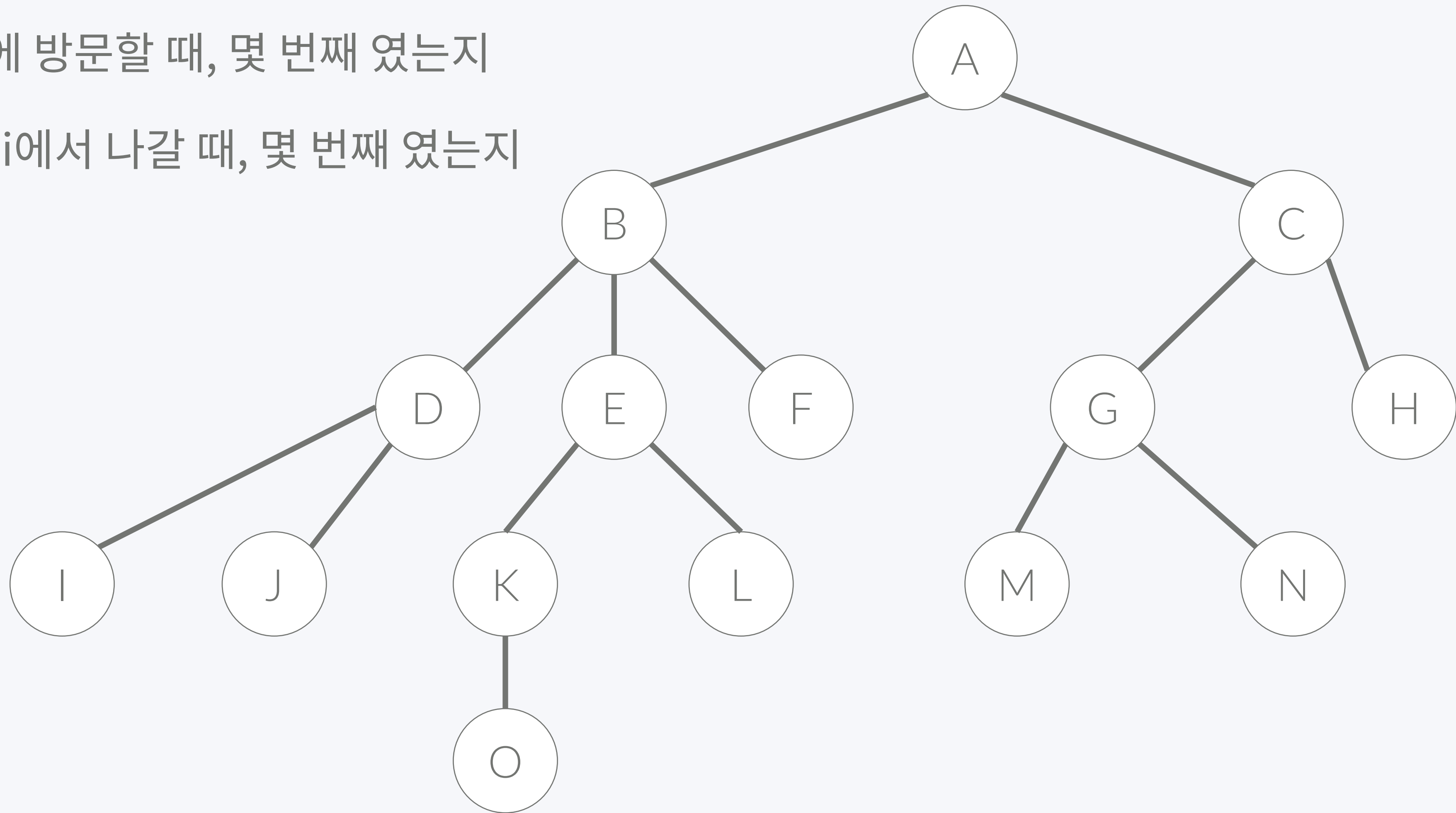
- 소스: <http://boj.kr/e09bdfb1fdb2498aa80b8aefb20ff85e>

# 가장 가까운 공통 조상 찾기

39

LCA (Lowest Common Ancestor)

- $tin[i]$  = dfs로  $i$ 에 방문할 때, 몇 번째였는지
- $tout[i]$  = dfs로  $i$ 에서 나갈 때, 몇 번째였는지

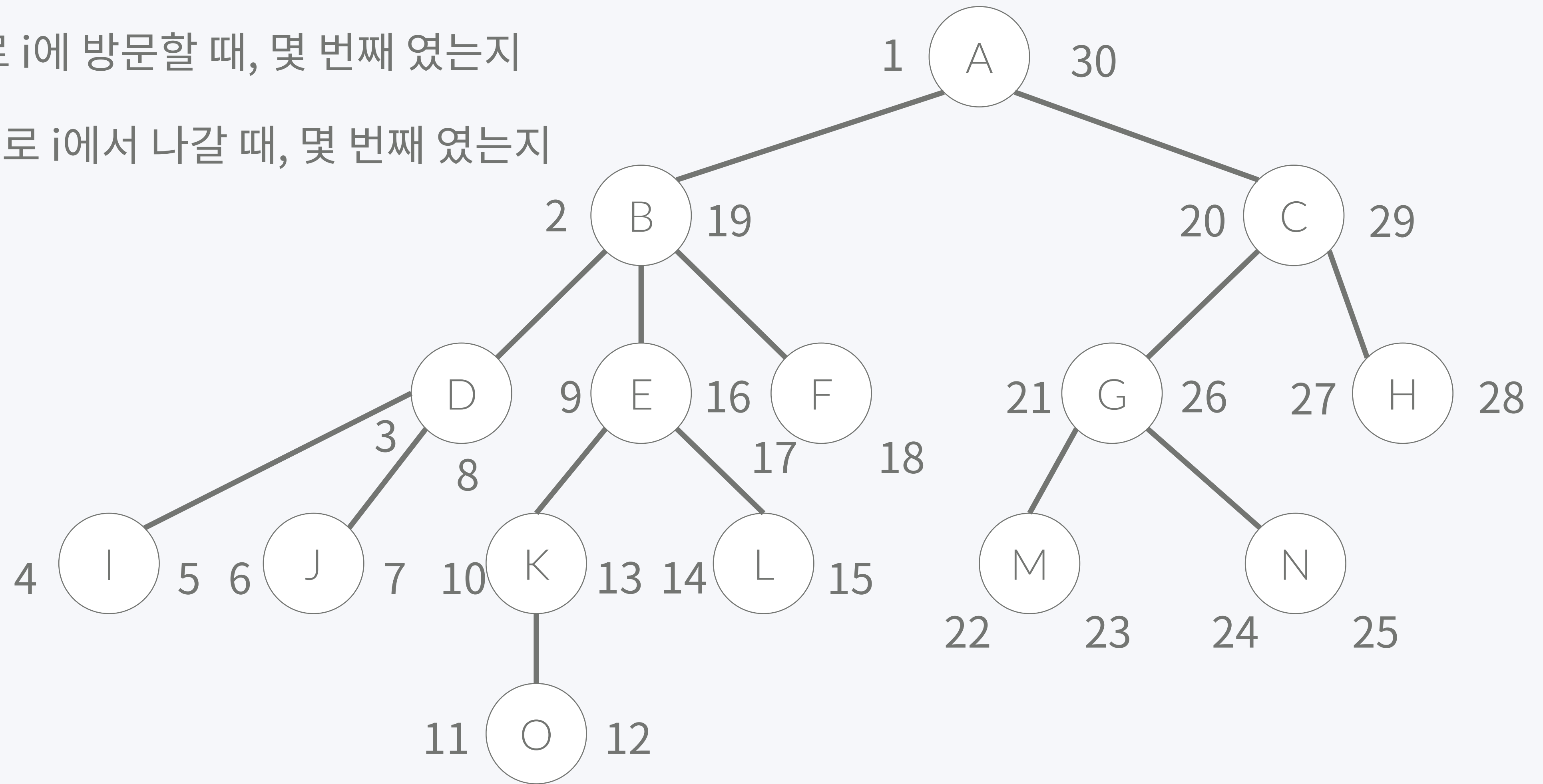


# 가장 가까운 공통 조상 찾기

40

LCA (Lowest Common Ancestor)

- $tin[i]$  = dfs로  $i$ 에 방문할 때, 몇 번째였는지
- $tout[i]$  = dfs로  $i$ 에서 나갈 때, 몇 번째였는지





# 가장 가까운 공통 조상 찾기

LCA (Lowest Common Ancestor)

```
void dfs(int v, int parent) {
    tin[v] = ++timer;
    p[v][0] = parent;
    for (int i=1; i<=l; i++) {
        p[v][i] = p[p[v][i-1]][i-1];
    }
    for (int to : a[v]) {
        if (to != parent) {
            dfs(to, v);
        }
    }
    tout[v] = ++timer;
}
```

# 가장 가까운 공통 조상 찾기

LCA (Lowest Common Ancestor)

```
bool upper(int u, int v) {  
    return (tin[u] <= tin[v] && tout[u] >= tout[v]);  
}
```

# 가장 가까운 공통 조상 찾기

LCA (Lowest Common Ancestor)

```
int lca(int u, int v) {  
    if (upper(u, v)) return u;  
    if (upper(v, u)) return v;  
    for (int i=l; i>=0; i--) {  
        if (!upper(p[u][i], v)) {  
            u = p[u][i];  
        }  
    }  
    return p[u][0];  
}
```

# LCA 2

<https://www.acmicpc.net/problem/11438>

- 소스: <http://boj.kr/4b302659f25c47b6a41c3085305b4a24>

# LCA와 쿼리

<https://www.acmicpc.net/problem/15480>

- N개의 정점으로 이루어진 트리가 주어졌을 때, 쿼리 M개를 수행하는 문제
- 쿼리  $r\ u\ v$ : 트리의 루트가  $r$ 이라고 했을 때,  $u$ 와  $v$ 의 LCA를 구한다.

# LCA와 쿼리

<https://www.acmicpc.net/problem/15480>

- $LCA(x, y)$  = 루트가 1일 때,  $x$ 와  $y$ 의 LCA

# LCA와 쿼리

<https://www.acmicpc.net/problem/15480>

- $LCA(x, y)$  = 루트가 1일 때,  $x$ 와  $y$ 의 LCA
- 쿼리  $r\ u\ v$ : 트리의 루트가  $r$ 이라고 했을 때,  $u$ 와  $v$ 의 LCA를 구한다.
- 쿼리의 정답은  $r, u, v, LCA(u, v), LCA(r, u), LCA(r, v)$  중 하나이다.

# LCA와 쿼리

<https://www.acmicpc.net/problem/15480>

- $LCA(x, y)$  = 루트가 1일 때,  $x$ 와  $y$ 의 LCA
- 쿼리  $r\ u\ v$ : 트리의 루트가  $r$ 이라고 했을 때,  $u$ 와  $v$ 의 LCA를 구한다.
- 쿼리의 정답은  $r, u, v, LCA(u, v), LCA(r, u), LCA(r, v)$  중 하나이다.
- 트리의 루트가  $r$ 이라고 했을 때,  $u$ 와  $v$ 의 LCA가  $x$ 라면
- $x$ 는  $\text{dist}(x, u) + \text{dist}(x, v) + \text{dist}(x, r)$ 이 가장 작은 값을 가지는 정점이다



# LCA와 쿼리

<https://www.acmicpc.net/problem/15480>

- 소스: <http://boj.kr/47a466b402b8412bb5e518a534578df6>