

## Team Note of Junho0219

Kim Junho

Compiled on January 31, 2026

## Contents

## 1 Data Structure

- 1.1 DSU Potential . . . . .
- 1.2 Fenwick . . . . .
- 1.3 Mergesort Tree . . . . .
- 1.4 Segtree . . . . .

## 2 Graph

- 2.1 Bimatch . . . . .
- 2.2 Hopcroft Karp . . . . .
- 2.3 Cycle Counting . . . . .
- 2.4 Dinic . . . . .
- 2.5 Euler Circuit . . . . .
- 2.6 PEO . . . . .

## 3 Math

- 3.1 XOR Basis . . . . .

## 4 Misc

- 4.1 Random . . . . .
- 4.2 Time . . . . .
- 4.3 Debug . . . . .

## 1 Data Structure

## 1.1 DSU Potential

```
template <typename T>
class DisjointSet {
private:
    vector<int> parent;
    vector<T> weight;

    int find(int a) {
        if (parent[a] == a) return a;
        find(parent[a]); // calculate weight[parent[a]]
        weight[a] += weight[parent[a]];
        return parent[a] = find(parent[a]);
    }

public:
    DisjointSet(int n) : parent(n + 1), weight(n + 1) {
        iota(parent.begin(), parent.end(), 0);
    }

    void merge(int a, int b, T w) { // b = a + w
        int ra = find(a);
        int rb = find(b);

        if (ra > rb) {
            swap(ra, rb);
            swap(a, b);
            w *= -1;
        }

        weight[rb] = weight[a] + w - weight[b];
        parent[rb] = ra;
    }

    bool isConnected(int a, int b) {
        return find(a) == find(b);
    }

    T getDiff(int a, int b) {
        return weight[b] - weight[a];
    }
};

// !isConnected(a, b)라면 a와 b를 비교할 수 없음.
// getDiff쓰기 전에 isConnected(a, b)인지 확인하고 써야 됨
```

## 1.2 Fenwick

```
template <typename T, int D>
struct FenwickTree {
    vector<FenwickTree<T, D - 1>> tree;

    template <typename... Args>
    FenwickTree(int n, Args... args) : tree(n + 1,
        FenwickTree<T, D - 1>(args...)) {}

    template <typename... Args>
    void update(int pos, Args... args) {
        for (; pos < tree.size(); pos += (pos & -pos))
            tree[pos].update(args...);
    }

    template <typename... Args>
    T sum(int r, Args... args) const {
        T res = 0;
        for (; r; r -= (r & -r)) res += tree[r].query(args...);
        return res;
    }

    template <typename... Args>
    T query(int l, int r, Args... args) const {
        return sum(r, args...) - sum(l - 1, args...);
    }
};

template <typename T>
struct FenwickTree<T, 0> {
    T val = 0;
    void update(T v) { val += v; }
    T query() const { return val; }
};

// ex) 3D fenwick
// FenwickTree<int, 3> fw(n, m, k);
// fw.update(x, y, z, add); // O(logN logM logK)
// fw.query(x1, x2, y1, y2, z1, z2); // O(logN logM logK)

1.3 Mergesort Tree
template <typename T>
class MergesortTree {
private:
    int n;
    vector<vector<T>> tree;

    int count(const vector<T> &v, int k) {
        // ex)
        // return upper_bound(v.begin(), v.end(), k) -
        // v.begin();
    }

    void init(const vector<T> &v, int node, int s, int e) {
        if (s == e) {
            tree[node].push_back(v[s]);
            return;
        }

        int m = s + e >> 1;
        init(v, node * 2, s, m);
        init(v, node * 2 + 1, m + 1, e);
        tree[node].resize(tree[node * 2].size() + tree[node *
            2 + 1].size());
        merge(tree[node * 2].begin(), tree[node * 2].end(),
            tree[node * 2 + 1].begin(), tree[node * 2 + 1].end(),
            tree[node].begin());
    }

    int query(int node, int s, int e, int l, int r, int k) {
        if (l <= s && e <= r) return count(tree[node], k);
        if (r < s || e < l) return 0;
    }
};
```

```

    int m = s + e >> 1;
    return query(node * 2, s, m, l, r, k) + query(node * 2
+ 1, m + 1, e, l, r, k);
}

public:
    MergesortTree(const vector<T> &v) : n(v.size()), tree(4 *
v.size()) {
        init(v, 1, 0, n - 1);
    }

    int query(int l, int r, int k) { // 1-based
        return query(1, 0, n - 1, l - 1, r - 1, k);
    }
};

// time, space O(N*logN)
1.4 Segtree
template<typename T, T (*op)(const T&, const T&), T (*e)()>
class SegmentTree {
private:
    int n, sz, log;
    vector<T> tree;

    static int pow2GE(int n) { assert(n); return 1 << 32 -
__builtin_clz(n) - !(n & ~n); }

public:
    SegmentTree() = default;
    SegmentTree(int n) : SegmentTree(vector<T>(n, e())) {}
    SegmentTree(const vector<T> &v) : n(v.size()) { // vector
v는 0-based로 넘겨주지만 이후 update, query 등은 1-based로
하게 됨에 주의
        sz = pow2GE(n);
        tree = vector<T>(sz << 1, e());
        for (int i = 0; i < n; i++) tree[sz + i] = v[i];
        for (int i = sz - 1; i >= 1; i--) tree[i] = op(tree[i
<< 1], tree[i << 1 | 1]);
    }

    void updateChange(int i, T val) { // 1-based
        assert(1 <= i && i <= n);
        tree[--i | sz] = val;
        while (i >= 1) tree[i] = op(tree[i << 1], tree[i << 1
| 1]);
    }

    void updateAdd(int i, T val) { // 1-based
        assert(1 <= i && i <= n);
        --i | sz;
        tree[i] = op(tree[i], val);
        while (i >= 1) tree[i] = op(tree[i << 1], tree[i << 1
| 1]);
    }

    T get(int i) const { // 1-based
        assert(1 <= i && i <= n);
        return tree[--i | sz];
    }

    T query(int l, int r) const { // 1-based // [l:r]
        assert(1 <= l && l <= r && r <= n);
        T resL = e(), resR = e();
        for (--l | sz, --r | sz; l <= r; l >= 1, r >= 1) {
            if (l & 1) resL = op(resL, tree[l++]);
            if (~r & 1) resR = op(tree[r--], resR);
        }
        return op(resL, resR);
    }

    int findRightMost(int l, const function<bool(T)> &f) const
{ // f([l:r]) = true인 최대의 r을 찾음, l과 r 둘 다
1-based // 만족하는 r이 없다면 1-리턴
        assert(1 <= l && l <= n);
        int node = (1 - 1) | sz;
        T acc = e();

        node >= __builtin_ctz(node); // node[l, r]에서 1은
그대로 두고 r만 최대한 오른쪽으로 이동
        while (f(op(acc, tree[node]))) {

```

```

            acc = op(acc, tree[node++]); // f(node[l, r])
만족하므로 node+1[r+1, ...]로 이동
            if (!(node & (node - 1))) return n; // node가
2^k꼴 -> 이전의 node-1=2^k-1[l,r=n]꼴
            node >= __builtin_ctz(node);
        }

        while (node < sz) {
            node <= 1; // node[l, r] -> node*2[l, m]
            if (f(op(acc, tree[node]))) acc = op(acc,
tree[node++]); // [m + 1, r]
        }
        return node ^ sz; // f(node)=false인 상황 -> node-1
리턴해야 해야 되서 (node - 1 - sz) -> 1-based로 (node
- sz)
    }

    int findKthSmallest(int l, T k) const { // query([l, r])
>= k인 최소의 r 찾음, l과 r 둘 다 1-based // 즉, l에서부터
오른쪽으로 k번째 지점 찾는거
        assert(k >= 0);
        return query(l, n) < k ? -1 : findRightMost(l, [&](T
sum) { return sum < k; }) + 1;
    }

    int findLeftMost(int r, const function<bool(T)> &f) const
{ // f([l:r]) = true인 최소의 l을 찾음, l과 r 둘 다
1-based // 만족하는 l이 없다면 r+1리턴
        assert(1 <= r && r <= n);
        int node = (r - 1) | sz;
        T acc = e();

        node = max(1, node >= __builtin_ctz(~node)); //
node[l, r]에서 r은 그대로 두고 l만 최대한 왼쪽으로
이동, 최대한 이동한 게 루트여야 되므로 0이 되면 1로
바꿔줌
        while (f(op(tree[node], acc))) {
            acc = op(tree[node--], acc); // f(node[l, r])
만족하므로 node-1[... , l-1]로 이동
            if (!(node + 1 & node)) return n; // node가
2^k-1꼴 -> 이전의 node+1=2^k[l=1,r]꼴이었던 거
            node = max(1, node >= __builtin_ctz(~node));
        }

        while (node < sz) {
            node = node << 1 | 1; // node[l, r] ->
node*2+1[m+1,r]
            if (f(op(tree[node], acc))) acc = op(tree[node--],
acc); // [l, m]
        }
        return node + 2 - sz; // f(node)=false인 상황 ->
node+1 리턴해야 해야 되서 (node + 1 - sz) -> 1-based로
(node + 2 - sz)
    }

    int findKthLargest(int r, T k) const { // query([l, r]) >=
k인 최대의 l 찾음, l과 r 둘 다 1-based // 즉, r에서부터
왼쪽으로 k번째 지점 찾는거
        assert(k >= 0);
        return query(1, r) < k ? -1 : findLeftMost(r, [&](T
sum) { return sum < k; }) - 1;
    }
};

/*
findLeftMost(l, f)은 만족하는 r 없는 경우 l-1 리턴
findRightMost(r, f)은 만족하는 l 없는 경우 r+1 리턴
findKthSmallest, findKthLargest은 만족하는 값이 없는 경우 -1
리턴

// ex) 합 세그
int op(const int &a, const int &b) { return a + b; }
int e() { return 0; }
SegmentTree<int, sum, zero> seg(v);
*/
2 Graph
2.1 Bimatch
// addEdge(l, r) : adj[l].push_back(r); // 0<=l<n1, 0<=r<n2
tuple<int, vector<int>, vector<int>> > bimatch(int n1, int n2,
const vector<vector<int>> &adj) { // 0(VE) // 0-based

```

```

vector<int> matchL(n1, -1), matchR(n2, -1), checkedR(n2, 0);
}
auto dfs = [&](auto &&dfs, int l, int trueValue) -> bool {
    for (auto r : adj[l]) if (checkedR[r] != trueValue) {
        checkedR[r] = trueValue;
        if (!matchR[r] || dfs(dfs, matchR[r], trueValue)) {
            matchL[l] = r;
            matchR[r] = l;
            return true;
        }
    }
    return false;
};
int res = 0;
for (int i = 0; i < adj.size(); i++) res += dfs(dfs, i, i + 1);
return {res, matchL, matchR};
}
pair<vector<int>, vector<int>> getMVC(int n1, int n2, const
vector<vector<int>> &adj, const vector<int> &matchL, const
vector<int> &matchR) { // O(V+E) // 0-based
    vector<bool> visitedL(n1), visitedR(n2);
    auto dfs = [&](auto &&dfs, int l) -> void {
        visitedL[l] = true;
        for (auto r : adj[l]) if (~matchR[r] && !visitedR[r]
            && !visitedL[matchR[r]]) {
            visitedR[r] = true;
            dfs(dfs, matchR[r]);
        }
    };
    for (int l = 0; l < n1; l++) if (!matchL[l]) dfs(dfs, l);
    vector<int> mvcL, mvcR;
    for (int l = 0; l < n1; l++) if (!visitedL[l])
        mvcL.push_back(l);
    for (int r = 0; r < n2; r++) if (visitedR[r])
        mvcR.push_back(r);
    return {mvcL, mvcR};
}
// Maximum Independent Set = V - mvc
// König's theorem: 이분그래프에서 최대매칭=|mvc|
// misL = L - mvcL, misR = R - mvcR
// antichain은 v_in이 misL이고 && v_out이 misR인 v들을 모으면
됨
2.2 Hopcroft Karp
tuple<int, vector<int>, vector<int>> bimatch(int n1, int n2,
const vector<vector<int>> &adj) { // O(E sqrt(V)) // 0-based
    vector<int> matchL(n1, -1), matchR(n2, -1), lvl(n1),
    ptr(n1);
    auto bfs = [&]() -> bool {
        queue<int> q;
        for (int l = 0; l < n1; l++) {
            if (!matchL[l]) {
                lvl[l] = 0;
                q.push(l);
            }
            else lvl[l] = -1;
        }
        bool flag = false;
        while (!q.empty()) {
            int l = q.front();
            q.pop();
            for (auto r : adj[l]) {
                if (!matchR[r]) flag = true; // return true;
                하면 안 됨 (lvl배열 전부 계산하기 전에
                return하면 안되니까)
                else if (!lvl[matchR[r]]) {
                    lvl[matchR[r]] = lvl[l] + 1;
                    q.push(matchR[r]);
                }
            }
        }
        return flag;
    };
    auto dfs = [&](auto &&dfs, int l) -> bool {
        for (int &i = ptr[l]; i < adj[l].size(); i++) {
            int r = adj[l][i];
            if (!matchR[r] || lvl[matchR[r]] == lvl[l] + 1 &&
                dfs(dfs, matchR[r])) {
                matchL[l] = r;
                matchR[r] = l;
            }
        }
    };
}

```

```

        return true;
    }
    return false;
};
int res = 0;
while (bfs()) {
    fill(ptr.begin(), ptr.end(), 0);
    for (int l = 0; l < n1; l++) res += (!matchL[l] &&
        dfs(dfs, l));
}
return {res, matchL, matchR};
}
2.3 Cycle Counting
void getC3(const vector<vector<int>> &adj) { //
sum_E{min(deg(u), deg(v))} = O(m sqrt(m))
    vector<vector<int>> dag(adj.size());
    for (int u = 0; u < adj.size(); u++) {
        for (auto v : adj[u]) {
            if (adj[u].size() < adj[v].size() ||
                (adj[u].size() == adj[v].size() && u < v))
                dag[u].push_back(v);
        }
    } // dag에서 차수는 전부 O(sqrt(m)) 이하
    vector<int> mark(adj.size());
    for (int i = 0; i < adj.size(); i++) {
        for (auto j : adj[i]) mark[j] = i;
        for (auto j : dag[i]) {
            for (auto k : dag[j]) {
                if (mark[k] == i) cout << i << " " << j << " "
                    << k << "\n";
            }
        }
    }
}
int getC4(const vector<vector<int>> &adj, int MOD) {
    auto cmp = [&](int u, int v) { // u < v
        return adj[u].size() < adj[v].size() || (adj[u].size()
            == adj[v].size() && u < v);
    };
    vector<vector<int>> dag(adj.size());
    for (int u = 0; u < adj.size(); u++) {
        for (auto v : adj[u]) if (cmp(u, v))
            dag[u].push_back(v);
    }
    int res = 0;
    vector<int> cnt(adj.size());
    for (int i = 0; i < adj.size(); i++) {
        for (auto j : adj[i]) {
            for (auto k : dag[j]) if (cmp(i, k)) {
                res += cnt[k];
                if (res >= MOD) res -= MOD;
                ++cnt[k];
            }
        }
        for (auto j : adj[i]) {
            for (auto k : dag[j]) if (cmp(i, k)) cnt[k] = 0;
        }
    }
    return res;
}
// C3에선 rank(i)<rank(j)<rank(k)이므로 dag->dag순 탐색
// C4에선 rank(j)<rank(j')<rank(k) && rank(i)<rank(k) 일뿐 i랑
j간의 대소관계는 모두 고려해야하므로 adj->dag순 탐색
2.4 Dinic
template <typename F>
struct Dinic {
    struct Edge {
        int to, rev;
        F c, oc;
        F flow() { return max(oc - c, F(0)); }
    };
    vector<int> lvl, ptr, q;
    vector<vector<Edge>> &adj;
    Dinic(int n) : lvl(n), ptr(n), q(n), adj(n) {} // 0-based
    void addEdge(int a, int b, F c, F rcap = 0) { // 양방향이면
        rcap=c로 호출
        if (a == b) return; // self-loop는 최대유량에 영향 X
        adj[a].push_back({b, adj[b].size(), c, c});
        adj[b].push_back({a, adj[a].size() - 1, rcap, rcap});
    }
}

```

```

F dfs(int cur, int t, F mn) {
    if (cur == t || !mn) return mn;
    for (int &i = ptr[cur]; i < adj[cur].size(); i++) {
        auto &e = adj[cur][i];
        if (lvl[e.to] != lvl[cur] + 1) continue;
        if (F f = dfs(e.to, t, min(mn, e.c))) {
            e.c -= f, adj[e.to][e.rev].c += f;
            return f;
        }
    }
    return 0;
}

template <bool scaling=false> F maxFlow(int s, int t) { //
    0(V^2 E) // max(cap)이 큰 경우 scaling=true가 빠름
    F res = 0; q[0] = s;
    for (int i = scaling ? 0 : 30; i < 31; i++) do {
        lvl = ptr = vector<int>(q.size());
        int qs = 0, qe = lvl[s] = 1;
        while (qs < qe && !lvl[t]) {
            int cur = q[qs++];
            for (Edge &e : adj[cur]) if (!lvl[e.to] && e.c >> (30
                - i)) {
                q[qe++] = e.to, lvl[e.to] = lvl[cur] + 1;
            }
        }
        while (F f = dfs(s, t, numeric_limits<F>::max())) res +=
            f;
    } while (lvl[t]);
    return res;
}

bool leftOfMinCut(int a) { return lvl[a] != 0; } //
min-cut에서 source 집합에 속하는지
};
// vector<pair<int, int> ref;
// ref.emplace_back(u, graph.adj[u].size()); graph.addEdge(u,
v);
// auto [u, idx] = ref[i]; cout << graph.adj[u][idx].flow() <<
"\n";
// 0(min(Ef, V^2 E)), all cap = 1: 0(min(V^{2/3}, E^{1/2})E)
// dinic with scaling 0(VE log(max_cap))
// 근데 보통 그냥 dinic이 더 빠름, 오히려 max_cap이 클 때
// dinic with scaling이 좋음
// 무한간선 많은 경우 proxysource -> source로 K 용량의 간선을
두고 계산하면 애초에 최대유량이 K만큼으로 제한되므로
오버플로우 방지 가능
// 정점분할 시 양방향이라면 addEdge(out(a), in(b), c),
addEdge(out(b), in(a), c)
// 정점분할 시 maxFlow(out(s), in(t))

```

## 2.5 Euler Circuit

// 양방향 그래프

```

struct Edge { int to, rev, cnt; };
pair<bool, vector<int>> getCircuit(vector<vector<Edge>> adj,
int start) { // adj비워져도 괜찮으면 참조 사용 // 0(V+E)
    int E = 0;
    for (auto &r : adj) for (auto edge : r) E += edge.cnt;
    E >>= 1;
    vector<int> res;
    auto dfs = [&](auto &&dfs, int cur) -> void {
        while (!adj[cur].empty()) {
            auto &edge = adj[cur].back();
            if (edge.cnt == 0) adj[cur].pop_back();
            else {
                --edge.cnt;
                --adj[edge.to][edge.rev].cnt;
                dfs(dfs, edge.to);
            }
        }
        res.push_back(cur);
    };
    dfs(dfs, start);
    bool possible = (res.size() == E + 1 && res[0] ==
res.back());
    return {possible, res};
}

// 단방향 그래프
pair<bool, vector<int>> getCircuit(vector<vector<pair<int,
int>> > adj, int start) { // adj비워져도 괜찮으면 참조 사용
// 0(V+E)
    int E = 0;
    for (auto &r : adj) for (auto [next, cnt] : r) E += cnt;

```

```

vector<int> res;
auto dfs = [&](auto &&dfs, int cur) -> void {
    while (!adj[cur].empty()) {
        auto &[next, cnt] = adj[cur].back();
        int tmp = next; // dangling 방지
        if (--cnt == 0) adj[cur].pop_back();
        dfs(dfs, tmp);
    }
    res.push_back(cur);
};
dfs(dfs, start);
reverse(res.begin(), res.end());
bool possible = (res.size() == E + 1 && res[0] ==
res.back());
return {possible, res};
}

// 오일러 회로는 모든 간선을 지나는 게 목표지, 모든 정점을
지나는 게 목표가 아님
// 따라서 간선들끼리만 연결되어있으면 가능하고, start는 간선과
연결되어 있는 정점 아무거나 가능

// 오일러 경로는 홀수 차수 정점이 2개 or 0개여야 가능.
// 만약 2개라면 해당정점들을 cnt=1인 간선으로 잇고 회로를 찾은
뒤 해당간선만 제거하면 됨

// 경로 구하고 싶으면 indg < outdeg인 지점을 start로 호출하면
됨, 이 경우 res[0] != res.back()이 됨

```

## 2.6 PEO

```

pair<bool, vector<int>> getPEO(int n, const
vector<vector<int>>& adj) { // 0(V+E) // 1-based
    vector<int> label(n + 1), order;
    vector<bool> visited(n + 1, false);
    vector<vector<int>> buckets(n + 1);
    for (int i = 1; i <= n; i++) buckets[0].push_back(i);
    int mx = 0;
    while (order.size() < n) { // mcs
        while (buckets[mx].empty()) --mx;
        int cur = buckets[mx].back();
        buckets[mx].pop_back();
        if (visited[cur]) continue;
        visited[cur] = true;
        order.push_back(cur);
        for (auto next : adj[cur]) if (!visited[next]) {
            buckets[++label[next]].push_back(next);
            mx = max(mx, label[next]);
        }
    }
    reverse(order.begin(), order.end());
    // check peo
    vector<int> pos(n + 1), parent(n + 1, -1);
    for (int i = 0; i < n; i++) pos[order[i]] = i;
    vector<vector<int>> chd(n + 1);
    for (int u = 1; u <= n; u++) {
        int mn = n + 1, w = -1;
        for (auto v : adj[u]) if (pos[v] > pos[u] && mn >
pos[v]) mn = pos[v], w = v;
        if (~w) {
            parent[u] = w;
            chd[w].push_back(u);
        }
    }
    vector<int> tag(n + 1);
    for (auto u : order) {
        tag[u] = u;
        for (auto v : adj[u]) tag[v] = u;
        for (auto v : chd[u]) {
            for (auto w : adj[v]) {
                if (pos[w] > pos[v] && w != u) {
                    if (tag[w] != u) return {false, order};
                }
            }
        }
    }
    return {true, order};
} // {isChordal, peo} // chordal: 길이 4이상의 모든 simple
cycle이 chord를 포함

```

## 3 Math

### 3.1 XOR Basis

```

template <typename T>
vector<T> getXorBasis(const vector<T> &v) {

```

```
vector<T> basis;
for (auto e : v) {
    for (auto b : basis) e = min(e, e ^ b);
    if (e) basis.push_back(e);
}
sort(basis.rbegin(), basis.rend());
return basis;
}
// T max_xor_sum = 0;
// for (auto b : getXorBasis(v)) max_xor_sum =
max(max_xor_sum, max_xor_sum ^ b);
```

## 4 Misc

### 4.1 Random

```
mt19937 rng;
shuffle(v.begin(), v.end(), rng); // O(N)
uniform_int_distribution<int> dist(a, b); // a<=x<=b
uniform_real_distribution<double> dist(a, b); // a<=x<b
x = dist(rng);
```

### 4.2 Time

```
clock_t sttime = clock();
while(double(clock() - sttime) / CLOCKS_PER_SEC < 0.95) { //
code }
```

### 4.3 Debug

```
g++ -std=c++17 -O0 -g -fsanitize=undefined
-fno-omit-frame-pointer main.cpp -o main
# -fsanitize=address
```