



**해상풍력단지 조성을
위한 물류전략**

2017. 06. 02

군산대학교 고현정

CONTENTS

1

서론

2

해상풍력단지 조성

3

수리적 모델

4

적용사례

5

결론

해상풍력단지 조성에 집중

- 지구온난화 대처
- 신재생에너지 개발

해상기상
환경변화에
민감

해상풍력
터빈 대형화

높은
단지조성
비용

**물류전략 수립
필요성**

해상풍력단지 조성 절차

- 설치 방식 : 항만에서 해상터빈, 구조물 등을 선적하여 해 선박을 이용하여 해상풍력단지로 이동하여 설치
- 최적 설치 : 수리적 모형 개발



1. 서론

선행연구 고찰

초기 연구 단계 수준



2. 단지 조성

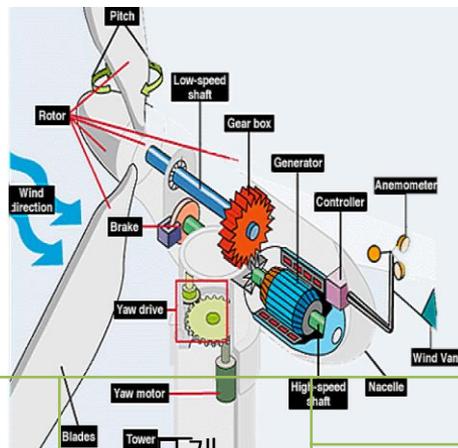
해상풍력터빈 구성

해상풍력터빈의 대형화



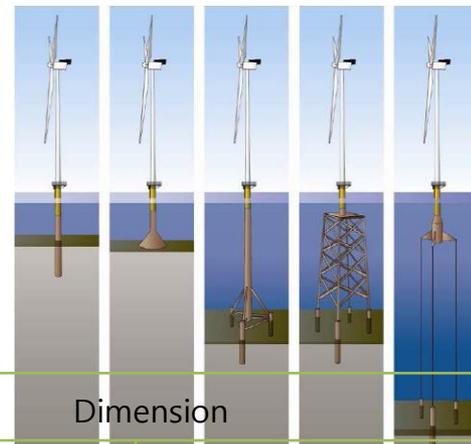
구분

(5.5MW/1기당)



무게

(ton)



Dimension

크기

(H x W x L ; m)

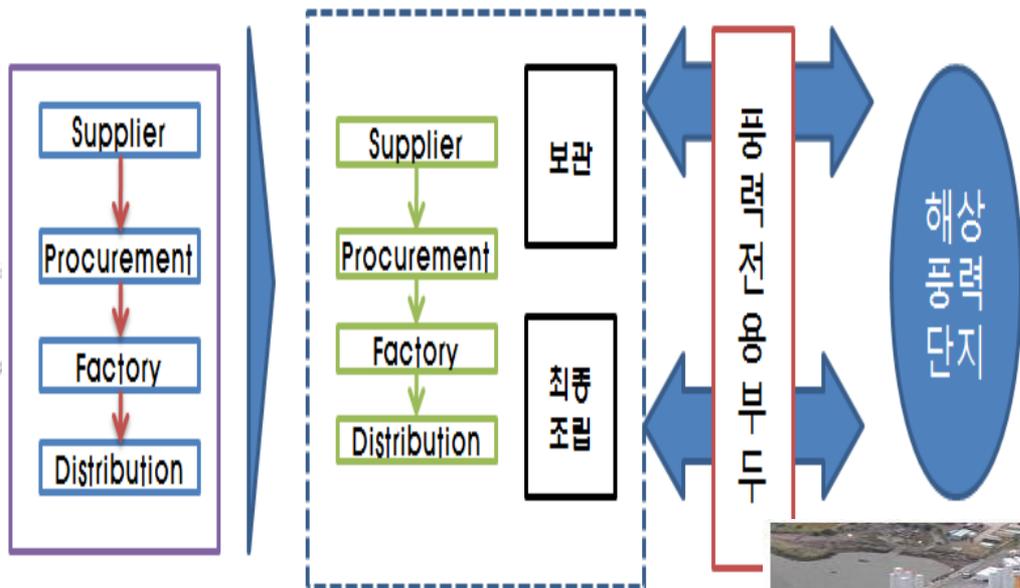
직경x길이(m)

| 발전기 | 구분 | 무게 (ton) | 크기 (H x W x L ; m) | 직경x길이(m) |
|-------|----------|----------|--------------------|----------|
| | | | | |
| 발전기 | 너셀 | 250 | 8 x 7 x 15 | |
| | 타워(총) | 400 | | 6 x 90 |
| | 블레이드 | 60 | 4 x 5 x 62 | |
| | 허브 | 60 | | 6 x 6 |
| 해양구조물 | 하부구조물(총) | 680 | | |
| | Pile | 160 | | |
| | 합계 | 1,610 | | |

2. 단지 조성 전용 항만

중량물 전용터미널, 넓은 보관장소 등

<배후단지>



Supply Logistics

Site Logistics



2. 단지 조성 설치 선박

┌ Jack-up vessel, WIV(Wind farm vessel) 등



해상기상여건에 민감

- 블레이드 조립: 바람이 거의 없는 상태에서 작업
- 해상풍력단지 경제성에 영향

| 구분 | 육상 | 해상 |
|---------|--------|--------|
| 풍력터빈 | 65~75% | 30~50% |
| 전력망 | 10% | 15~30% |
| 토목작업 | 5% | 15~25% |
| 설치 및 운송 | 2% | 5~30% |
| 기타 | 5% | 8% |

3. 수리 모형 MILP

가정

- 항만에서 선박을 이용하여 해상풍력단지로 이동한 후 하부 구조물, 파일, 케이블, 상부구조물의 설치 순으로 작업
- 소요되는 시간은 항만에서의 선적시간, 항만-풍력단지의 왕복 운송시간, 해상에서의 설치시간으로 구분
- 선박은 3가지 형태(전용선, 바지선, 케이블선)가 사용
- 해상여건은 좋음, 중간, 나쁨으로 3가지로 설정

3. 수리 모형 MILP

결정변수

$varSub_{vt}$: 기간 t 의 선박 v 에 의한 하부구조물 설치 개수

$varPile_{vt}$: 기간 t 의 선박 v 에 의한 파일 설치 개수

$varCable_{vt}$: 기간 t 의 선박 v 에 의한 케이블 설치 개수

$varTop_{vt}$: 기간 t 의 선박 v 에 의한 상부구조물 설치 개수

$binY_t$: 기간 t 에 프로젝트가 진행 중이면 1, 아니면 0인 이진 결정변수

$tourX_{vt}^k$: 기간 t 의 해상터빈시스템 설치를 위한 선박 v 의 운항 횟수

3. 수리 모형 MILP

수리적 모델

목적함수: Minimize :

$$\sum_{t \in T} \sum_{v \in V} \text{fixedCost}_t \cdot Y_t + \text{oprCost}_{vt} \cdot \text{tour}X_{vt}^{S,P,C,T} \quad (1)$$

제약식:

$$\sum_{t=1}^t \sum_{v \in V} \text{varPile}_{vt} \leq \text{varSub}_{vt}, t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^t \sum_{v \in V} \text{varCable}_{vt} \leq \text{varPile}_{vt}, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^t \sum_{v \in V} \text{varTop}_{vt} \leq \text{varCable}_{vt}, t \in T \quad (4)$$

3. 수리 모형 MILP

수리적 모델

제약식:

$$\sum_{t \in T} \sum_{v \in V} varTop_{vt} = N, t \in T, v \in V \quad (5)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{v \in V} varCalbe_{vt} = N, t \in T, v \in V \quad (6)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{v \in V} varPile_{vt} = N, t \in T, v \in V \quad (7)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{v \in V} varSub_{vt} = N, t \in T, v \in V \quad (8)$$

3. 수리 모형 MILP

수리적 모델

제약식:

$$\sum_{v \in V} (varSub_{vt} + varPile_{vt} + varCable_{vt} + varTop_{vt}) \leq 4 \cdot N \cdot binY_t, \quad t \in T \quad (9)$$

$$\frac{varSub_{vt}}{vslCap_{vt}^S} + \frac{varPile_{vt}}{vslCap_{vt}^P} + \frac{varCable_{vt}}{vslCap_{vt}^C} + \frac{varTop_{vt}}{vslCap_{vt}^T} \leq tourX_{vt}^{S,P,C,T}, \quad t \in T, v \in V \quad (10)$$

3. 수리 모형 MILP

수리적 모델

제약식:

$$\text{varTop}_{vt} \cdot (\text{load}T_v^T + \text{inst}T_v^T) + \text{tour}X_{vt}^T \cdot 2 \cdot \text{trns}T_v \leq \text{unit}T \cdot \text{weaCon}_t^G, \quad v \in V, t \in T \quad (11)$$

$$\sum_{v \in V} [\text{varSub}_{vt} \cdot (\text{load}T_v^S + \text{inst}T_v^S) + \text{varPile}_{vt} \cdot (\text{load}T_v^P + \text{inst}T_v^P) + \text{varTop}_{vt} \cdot (\text{load}T_v^T + \text{inst}T_v^T) + \text{varCable}_{vt} \cdot (\text{load}T_v^C + \text{inst}T_v^C)] + \sum_{v \in V} 2 \cdot \text{trns}T_v (\text{tour}X_{vt}^S + \text{tour}X_{vt}^P + \text{tour}X_{vt}^C + \text{tour}X_{vt}^T) \leq \text{unit}T \cdot (\text{weaCon}_t^G + \text{weaCon}_t^M), \quad t \in T \quad (12)$$

4. 적용사례

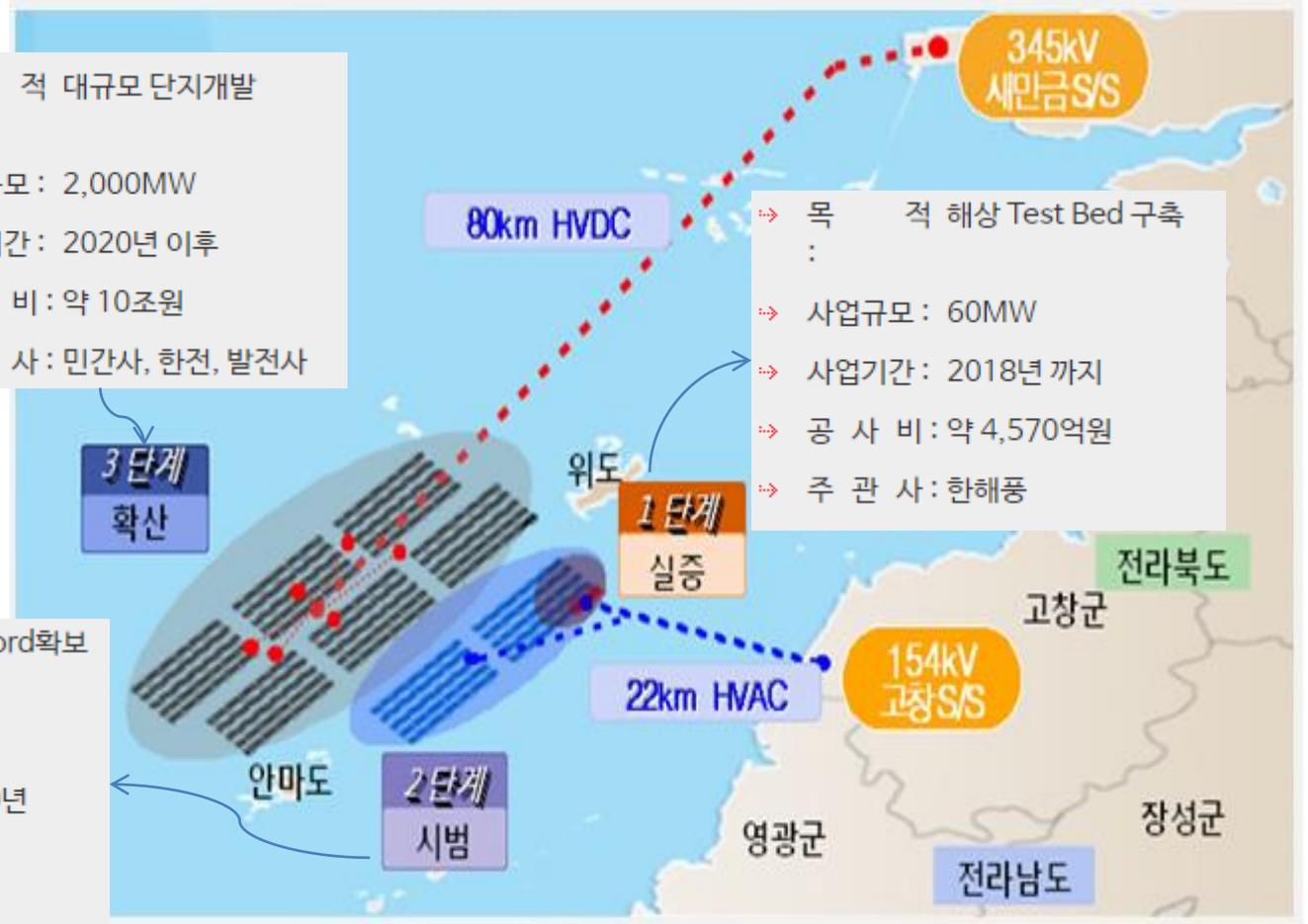
서남해안 2.5GW 해상풍력단지

단계별로 추진

- 목적 대규모 단지개발
- 사업규모 : 2,000MW
- 사업기간 : 2020년 이후
- 공사비 : 약 10조원
- 주관사 : 민간사, 한전, 발전사

- 목적 해상 Test Bed 구축
- 사업규모 : 60MW
- 사업기간 : 2018년 까지
- 공사비 : 약 4,570억원
- 주관사 : 한해풍

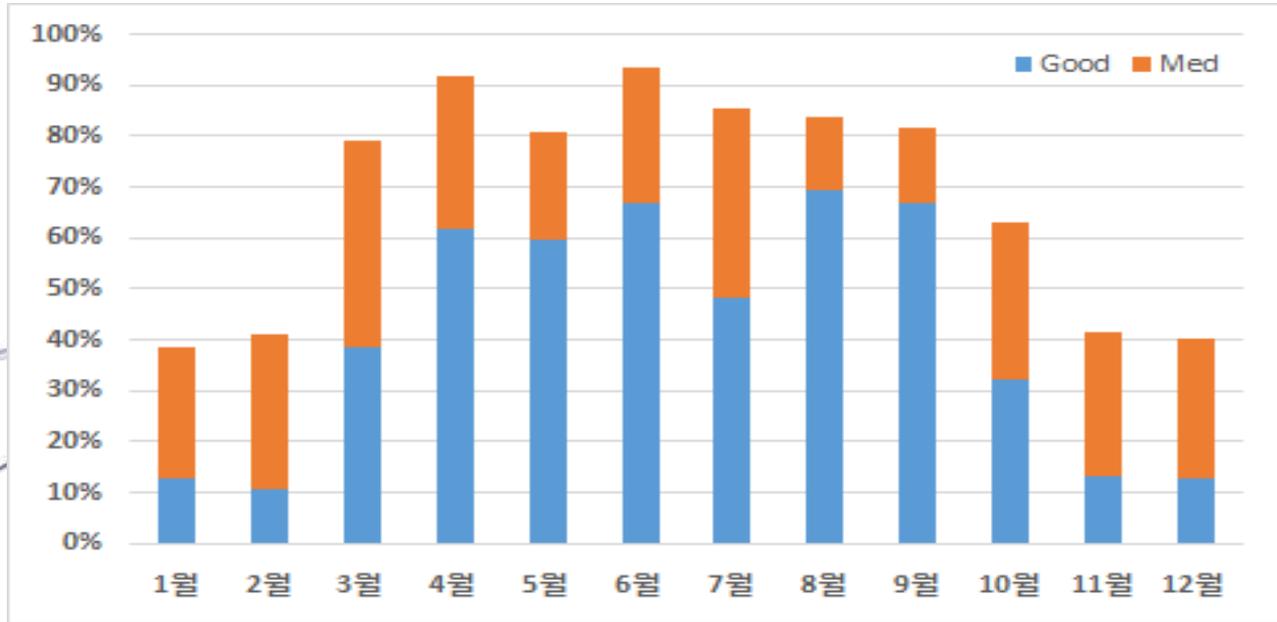
- 목적 TrackRecord확보
- 사업규모 : 400MW
- 사업기간 : '18년~'20년
- 공사비 : 약 2조원
- 주관사 : 한해풍



4. 적용사례

서남해안 2.5GW 해상풍력단지

해상 기상 : 해상 Buoy 자료(부안), 11m/s, 125m



| 지점 | 일시 | 풍속 (m/s) | 풍향 (deg) | GUST 풍속 (m/s) | 최대파고 (m) | 유의파고 (m) | 평균파고 (m) |
|-------|-----------------|----------|----------|---------------|----------|----------|----------|
| 22186 | 2016-01-01 1:00 | 3.4 | 325 | 5.8 | 1.8 | 0.9 | 0.6 |
| 22186 | 2016-01-01 2:00 | 3.1 | 315 | 5.2 | 1.4 | 0.8 | 0.5 |
| 22186 | 2016-01-01 3:00 | 2.9 | 303 | 5.9 | 1.4 | 0.8 | 0.6 |
| 22186 | 2016-01-01 4:00 | 3 | 314 | 4.9 | 1.2 | 0.8 | 0.6 |
| 22186 | 2016-01-01 5:00 | 2.1 | 334 | 4.4 | 1.3 | 0.8 | 0.5 |
| 22186 | 2016-01-01 6:00 | 4.1 | 286 | 6.4 | 1 | 0.7 | 0.5 |
| 22186 | 2016-01-01 7:00 | 2.9 | 324 | 5.5 | 1.2 | 0.7 | 0.5 |
| 22186 | 2016-01-01 8:00 | 2.5 | 297 | 4.2 | 1.1 | 0.7 | 0.5 |

자료 : 기상청 자료

4. 적용사례

서남해안 2.5GW 해상풍력단지

입력 데이터

작업 소요시간

| 작업 | 소요 시간(hour) | |
|-------|-------------|----|
| | 선적 | 2 |
| 하부구조물 | 설치 | 24 |
| | 선적 | 1 |
| 파일 | 설치 | 15 |
| | 선적 | 1 |
| 케이블 | 설치 | 17 |
| | 선적 | 2 |
| 상부구조물 | 설치 | 24 |

1항차 작업량

| 작업 | 전용선 | 바지선 | 케이블선 |
|-------|-----|-----|------|
| 하부구조물 | 3기 | N/A | N/A |
| 파일 | 5기 | 5기 | N/A |
| 케이블 | N/A | N/A | 5기 |
| 상부구조물 | 5기 | N/A | N/A |

해상기상 조건

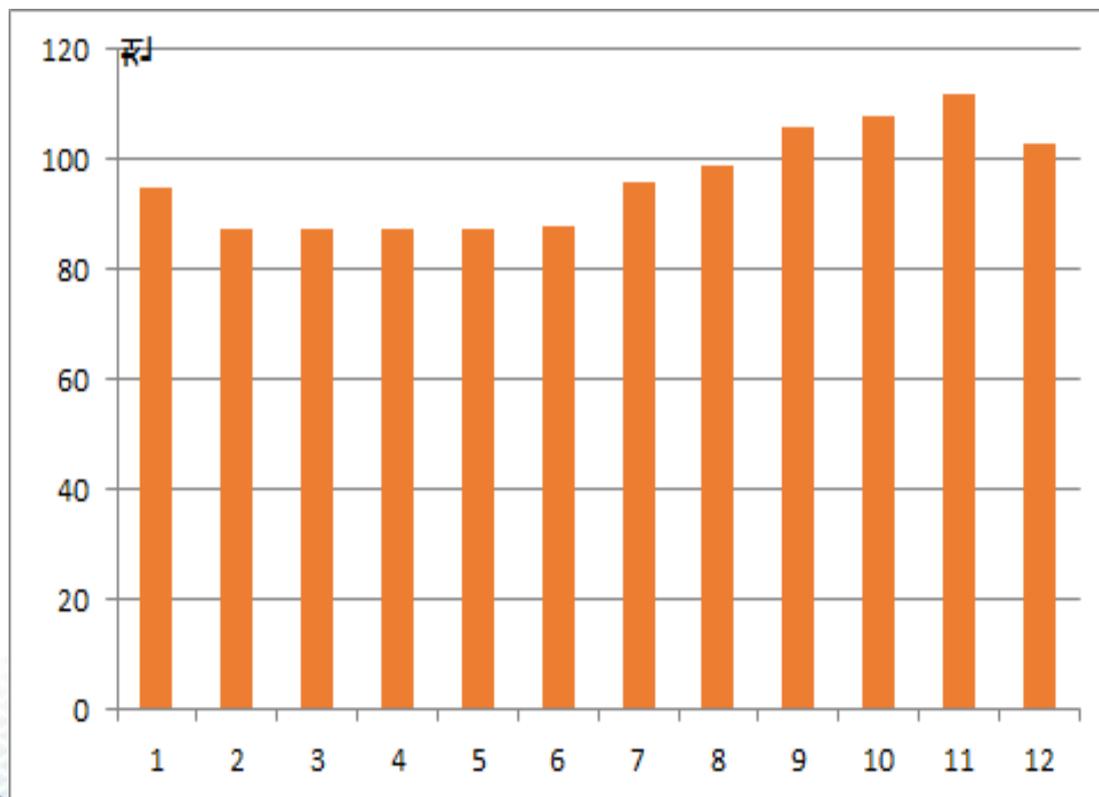
| 구분 | 조건 | |
|------------|--------|--------|
| | 풍속 | 파고 |
| 좋은(Good) | ≤8m/s | ≤0.75m |
| 중간(Medium) | ≤11m/s | ≤1.25m |

4. 적용사례

서남해안 2.5GW 해상풍력단지

최적 작업 전략

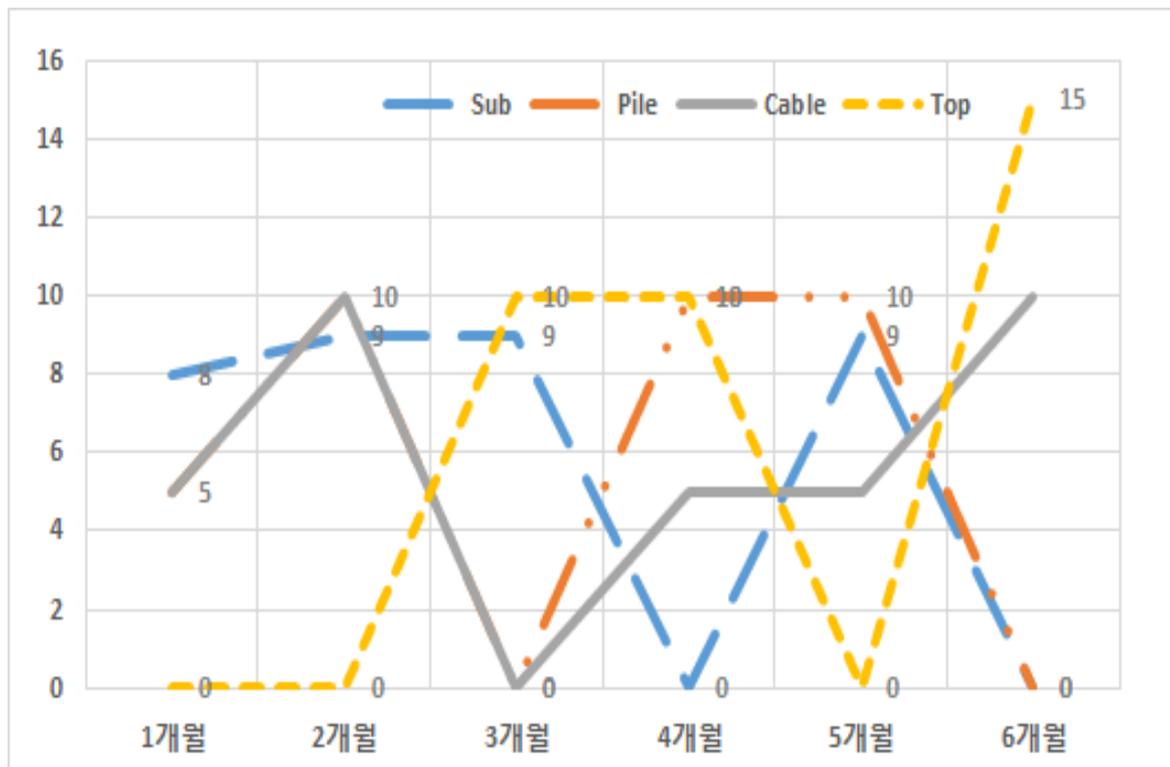
작업 시점별 조성비용 추이



4. 적용사례

서남해안 2.5GW 해상풍력단지

최적 작업 전략



5. 결론

서남해안 2.5GW 해상풍력단지

작업 전략

- 겨울을 피하여 작업을 집중





감사합니다.