

# 해상풍력단지의 효율적인 유지보수를 위한 최적 비용 산출 연구

구희석\*·김인철\*·김만복\*\*·최만수\*\*\*

## Research on optimal cost calculation for efficient maintenance of offshore wind farms

Hui-Seok Gu\*, In-Cheol Kim\*, Man-Bok Kim\*\* and Man-Soo Choi\*\*\*

*Key Words* : Offshore wind platform (해상풍력 플랫폼), Monitoring system (모니터링시스템), Operation and maintenance (운영 및 유지보수), Failure rate (고장률), Availability (가용률), Operation and maintenance costs(운영 및 유지보수 비용)

### ABSTRACT

This paper aims to perform optimal operation and maintenance with an integrated monitoring system for offshore wind platforms. Based on the wind direction and wind speed data of existing wind farms, a monitoring system was established along with weather and weather data to maximize the operational efficiency of wind farms. Compared to wind power on land, offshore wind power is difficult to maintain due to weather, logistics and geographical limitations. Therefore, economic analysis of actual operation and maintenance is essential for large-scale offshore wind farms. In this paper, the availability of offshore wind farms was analyzed by using personnel resources, parts inventory, Crew Transfer Vessel (CTV) and Specialized service Operation Vessel (SOV) etc. before the actual operation and maintenance of wind farms. A comparative analysis was conducted to determine the optimum operating efficiency and economical maintenance costs.

### 기호설명

$A_{time}$  : time availability percentage  
 $T_a$  : the length of the period for analysis in hours  
 $N_{wt}$  : number of wind turbines  
 $DT_{event}$  : downtime for a maintenance event in hours during the period for analysis (preventive or corrective)

$A_{yield}$  : yield availability percentage  
 $E_{100\%}$  : energy production at 100% time availability  
 $E_{LOSS_{event}}$  : production loss for a maintenance event  
 $A_i$  : Availability rate for component i  
 $A_s$  : Availability rate according to serial connection of the system  
 $A_p$  : Availability rate according to the parallel connection of the system

### 1. 서론

지구온난화로 폭염, 폭설, 태풍, 산불 등 이상기후 현상이 세계 곳곳에서 나타나고 있다. 이는 높은 화석 연료 비중과 제조업 중심의 산업구조를 가진 우리나라도 최근 30년 사이 평균 온도가 1.4 °C 상승하면서 온난화 경향이 더욱 심해지고 있다[1]. 이러한 환경문제

\* (재)녹색에너지연구원, 풍력해양연구실  
\*\* (재)녹색에너지연구원, 풍력해양연구실  
\*\*\* (재)녹색에너지연구원, 풍력해양연구실 (교신저자)  
E-mail : mschoi@gei.re.kr  
DOI : <https://www.doi.org/10.33519/kwea.2023.14.3.007>  
Received : May 30, 2023, Revised July 24, 2023  
Accepted : September 18, 2023

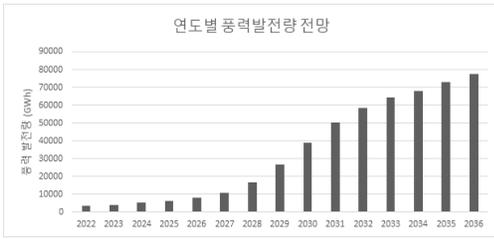


Fig. 1 New and renewable energy generation forecast by year

를 해결하고자 탄소배출을 줄이기 위한 방법으로 신재생에너지의 활용성이 대두되고 있다. 전 세계적으로 온실가스 배출량을 줄이고 재생에너지 비중을 높이는 방향으로 에너지 전환 정책을 추진하고 있다[2-3]. 제 10차 전력수급기본계획의 연도별 신재생에너지 발전량의 전망으로 매년 증가하고 있음을, Fig. 1에서 확인할 수 있다[4]. 이처럼 정부는 재생에너지 3020 이행계획에 따라 재생에너지 누적 설비용량은 64[GW]까지 늘리며, 태양광과 풍력과 같은 청정에너지로 설비용량의 95 % 이상을 공급하고자 한다[5-6].

진동 및 소음에 따른 문제로 인근 주민들의 피해와 함께, 설치면적의 제한이 있는 육상풍력과 달리 해상풍력은 해수면으로부터 멀어질수록 비교적 안정적인 에너지 발전할 수 있으며, 육상이 아닌 해상에 설치함에 따라 소음 및 진동에 대한 주민들의 피해를 줄일 수 있는 장점이 있어 최근의 풍력단지 구축은 해상풍력으로 연구 및 구축이 진행중이다[7-8]. 하지만 해상풍력은 해양의 환경에 따라 파고, 풍속 등의 영향으로 유지보수를 위한 접근이 어려우며, 터빈의 고장률이 육상풍력에 비해 높다는 단점이 있다. 향후 전라남도 신안에서 세계 최대규모 8.2[GW] 해상풍력 발전단지를 구축하고자 함에 따라 안정적인 운영과 효율적인 유지보수 관리 및 출력변동에 대한 계통의 안정화, 차단 시스템의 확보 등이 필요한 상황이다[9-12].

이에 향후 신안의 대규모 해상풍력 단지 운영을 위해 풍력발전기의 설비 구성에 따라 고장률과 가용율, 비용 등을 고려한 운영 및 유지보수전략과 효율적 운영 계획을 수립하고자 한다.

이에, 본 논문에서는 기존 목포신항만 운영을 통한 항만 물류관리 운영 시스템과 기상 및 해상풍력의 출력예측 소프트웨어를 탑재한 통합관제 모니터링 시스템을 구축하여 효율적인 운영 및 유지관리를 수행하고자 한다. 효율적인 운영 및 유지보수를 위한 전략수립

을 위해 ECN O&M Tool을 활용하였으며, 이는 항구의 거리에 따른 접근성과 예방 및 상태감시정비 등을 고려 후 고장률을 낮추며, 장비의 신뢰성을 확보하고자 시나리오별로 구분하여 대규모 해상풍력의 운영과 관리를 위한 가동률 및 손실량 등을 비교 및 분석하고자 한다.

## 2. 해상풍력 플랫폼 단지운영을 위한 모니터링 시스템 구축

### 2.1 해상풍력 플랫폼의 가용률 및 고장률

가용률은 풍력발전단지의 가동 중지에도 따른 시간과 에너지 손실을 통해 정의되어진다.

시간에 대한 가용률은 실제 가용시간과 식 (1)에 의해 산출된 가용시간을 기반으로 그 두 값의 차이를 비율로 정의하여 표현이 가능하다.

에너지에 대한 가용률 또한 앞서 시간에 대한 가용률과 같이 실제 발전량과 산출된 생산가능한 발전량의 차이를 비율로하여 가용률을 표현하며, 적용된 산출식은 식 (2)에서 확인할 수 있다. 또한 해상풍력 발전단지의 효율적인 운영을 위해선 설비 용량에 대한 최적화 방안이 도출되어야한다. 단지의 가용률은 가용인원과 운영 장비의 수, 재고량에 따라 가용률 산출이 가능하며, 가용률(A)에 대하여 시간과 에너지의 관계는 다음 식 (1)과 식 (2)를 적용하였다.

$$A_{time} = \left( 1 - \frac{1}{T_a \cdot N_{wt}} \cdot \sum_{i_{count}}^{N_{count}} DT_{i_{count}} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

$$A_{yield} = \left( 1 - \frac{1}{E_{100\%}} \cdot \sum_{i_{count}}^{N_{count}} E_{Loss_{i_{count}}} \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

풍력시스템은 설비의 운영에 따라 직렬 혹은 병렬로 연결된다. 풍력시스템의 O&M을 위해 시스템 전체의 고장률을 산정해야한다. 고장률(Failure Rate) 산출을 위해 가용률(Availability)을 이용하며, 이때 가용률은 식 (3)과 같다. 또한 풍력시스템의 병렬 혹은 직렬연결에 따른 가용률은 각각 식(4)와 식(5)과 같다[14]. Table 2와 같이 Tower, blades, hub 등 각각의 구성요소 값에 따라 식 (4)와 식 (5)을 이용하여 풍력발전기에 대한 고장률을 구할 수 있다[15].

$$A_i = 1 - FR(i) \quad (3)$$

$$A_s = A_{A_1} \times A_{B_1} \times \dots \times A_n = \prod_{i=1}^n A_i \quad (4)$$

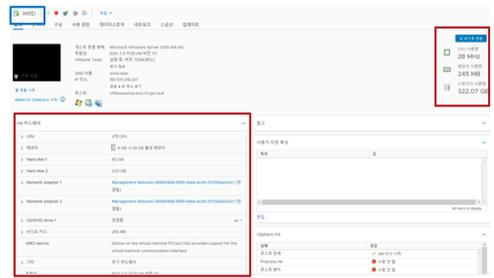
$$A_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i) \quad (5)$$

Table 2 Wind turbine components and failure rates

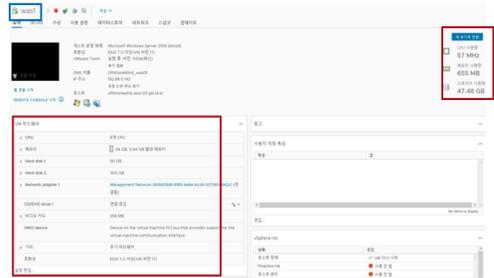
Division	Failure rate	Division	Failure rate
Tower	0.144	Gearbox	0.179
Rotor blades	0.174	Generator	0.15
Rotor hub	0.138	Yaw system	0.013
Rotor bearings	0.01	Pitch system	0.013
Main shaft	0.043	Power converter	0.068
Main frame	0.011	Transformer	0.14
Main housing	0.012	Brake system	0.013

## 2.2 통합관제 모니터링 시스템의 인터페이스 구축

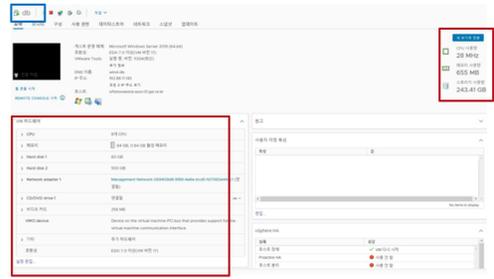
해상풍력 자동화 시스템 및 플랫폼 구축에 따른 모니터링 시스템의 연계에 앞서, 기상 및 출력 예측 시스템에 대한 알고리즘과 가용률 최적화 계산을 위한 운영 장비수, 재고량에 따른 가용률 산출을 적용하였고, 이를 기반으로 인터페이스를 구축하였다. 향후 운영 및 유지보수를 위한 정비 시뮬레이션 개발, 부품에 따른 물류 준비 해상풍력발전단지 가용률 최적화. 상태 진단 모니터링의 알고리즘 등을 추가 적용할 예정으로 기상 및 출력 예측 시스템 연계과 플랫폼의 운영을 위한 최적화를 구현하고자 한다. 통합관제 모니터링 운영을 위한 소프트웨어의 현재 운용중인 VM(Virtual Machine)은 15개이다. 3개의 서버 시스템을 활용하여 용량 현황을 실시간으로 체크한 뒤 서버들간의 데이터를 분산할 수 있다. 주요 VM은 WEB(Web Sever), WAS(Web Application Server), DB(Data Base) 등 기능을 수행하며 모두 정상동작함을 Fig. 2에서 확인 할 수 있다.



(a) WEB(Web Server)



(b) WAS(Web Application Server)



(c) DB(Data Base)

Fig. 2 Operation of major VM functions

## 2.3 통합관제 모니터링과 기상 및 출력 예측 시스템

Fig. 3은 통합관제 모니터링 시스템을 구축한 구성도이다. 모니터링 시스템의 구성은 운영서버, DB, 원격통신 시스템, 소프트웨어, 기상 및 출력예측 소프트웨어, 인터페이스를 연계하고자 한다. 관제센터에서 측정 및 수집된 데이터는 스토리지를 통해 VM을 확장하면서 모니터링을 수행한다. 또한 사용자는 Web 혹은 App(Application)을 통해 해상풍력 전용항만 시스템의 관제센터에 수집된 데이터를 확인할 수 있으며, 이는 곧 공공시스템이나 기타 외부서버에 공유 및 모니터링이 가능한 구조이다. 구축 체계는 인터넷망을 연결하여 공인 IP(Internet Protocol)를 부여하며, 방화벽을 거쳐 L4스위치, HCI서버, 가상서버, 기상수집 서버 순으

로 통신이 이루어진다. vCenter와 VxRail Manager로 가상 서버를 관리하고, VM확장으로 가상 서버를 생성하거나 확대하여 사용할 수 있다.

해상풍력발전기의 O&M 작업을 포함한 작업의 통제를 위해 통합관제 모니터링 시스템 구축은 해양환경 조건과 연계가 필요하다. 보다 안정적인 운영 및 유지보수와 운영을 위해 최대 풍속 12 m/s이상, 최대 파고 4.8 m 이상의 경우, 항구 밖에서의 운항이 불가능함을 예측함으로써 악천후가 예보되면 항구로 돌아가야하는 시스템으로 구성하였다. 해양환경조건의 경우 Table 1에서 확인할 수 있다[13].



Fig. 3 Configuration of the final operation server system

Table 1 Marine environmental conditions

Division	Marine environmental conditions		
	Max wind speed (m/s)	Max wave height (m)	Weather condition indicator
No work (port stand-by)	> 12	> 4.8	very bad
Movement	< 12	< 4.8	bad
Sea freight fastening	< 12	< 4.8	bad
Substructure installation	< 11	< 3.5	medium
Tower installation	< 6.5	< 2.5	good
Nacelle installation	< 6.5	< 2.5	good
Rotorcraft installation	< 5	< 2	very food

### 3. 해상풍력 플랫폼 운영 및 유지보수

Fig. 4는 유지보수의 종류를 나타낸다. 고장이 발생한 직후 가동이 정지된 상태에서 즉각 대응 및 조치를 하기위한 대처로 가능한 빠른 조치가 필요시 되지만, 해상에 설치되는 풍력단지의 기상조건과 작업의 종류에 따라 소요되는 시간이 늘어남에 따라 결과적으로 가동정지 시간만큼 발전에 대한 손실이 발생한다.

예방의 경우, 설비의 고장 발생을 사전에 방지하고자 함을 목적으로 설비 기기들의 수명과 정해진 정비시기 등 주기적인 유지보수와 설비 기기들의 현재 상태에 따른 예상되는 현상에 대한 상태기반의 유지보수로 나뉜다. 일반적으로 풍력 설비별 파손빈도와 이에 따른 가동 정지시간의 관계는 Fig. 5에서 확인할 수 있다[16-17].

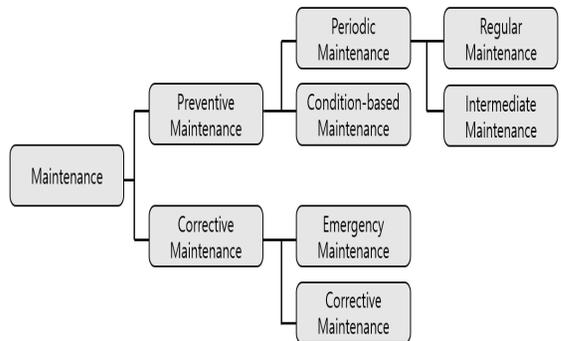


Fig. 4 Maintenance types of offshore wind power platforms

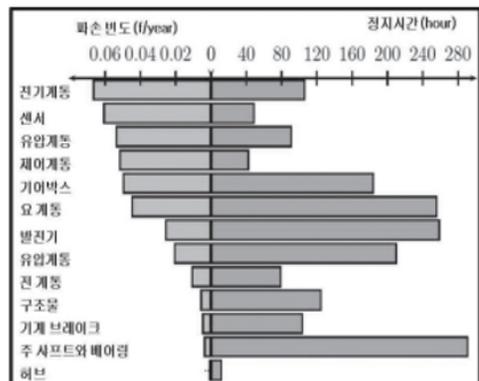


Fig. 5 Relationship between breakage frequency and operation stop according to breakage part

## 4. ECN O&M Tool 시뮬레이션

### 4.1 100 MW 시뮬레이션

Fig. 6~7은 100 MW의 단지 운영에 대한 최적 비용 산출을 위해 가용인원은 6~15명, CTV((Crew Transfer Vessel)는 1~3척, 장비의 재고는 기본재고를 선정하여 비용을 산출된 그래프이다. ECN Tool 프로그램을 사용하여 인원수, CTV, 장비에 따른 총 손실비용과 1 kWh 당 비용을 분석하였다.

Fig. 6의 경우, CTV 3척과 기본재고로 적용하며, 가용인원을 6~15명까지 변수로 두어 산출된 그래프이다. 가용인원이 6명부터 15명까지 총 손실비용이 가장 낮을 때 508,235 k€였으며, 가장 높은 비용은 553,578 k€이다. 또한, 풍력단지의 kWh당 비용의 경우 가장 낮을 때 9.69 €/kWh이며, 가장 높을 때 10.69 €/kWh로 확인되었다. 운영 및 유지보수의 최적 인원선정과 적절한 유지보수 비용 산출을 위해 인원 변화에 따른 비용의 변화를 Table 3과 같이 나타냈었다.

그 결과, 가용인원 12명의 시점에서 손실비용의 변화는 8,065 k€로 변화율이 낮았으며, 이때의 kWh당 비용의 변화량의 경우 0.176 €/kWh로 가장 낮은 변화율을 확인할 수 있다.

Fig. 7의 경우, 가용인원과 CTV 변화에 따른 손실 비용을 나타내는 그래프이다. 앞서 비교한 결과를 바탕으로, 가용인원은 10명과 12명을 기준으로 CTV 수에 따른 총 손실비용을 분석하였고 이는 Table 4와 같다. 가용인원이 12명일 때, CTV 수에 따른 총 손실비용은 각각 535,203 k€, 518,248 k€, 501,818 k€이다. 이때, CTV의 수가 3척에서 2척으로 감소할 경우 손실비용의 변화량은 16,955 k€였으며, 2척에서 1척로 감소할 경우 16,430 k€임을 확인할 수 있다. 가용인원이 10명일 때, CTV 수에 따른 총 손실비용은 각각 527,137 k€, 518,213 k€, 497,578 k€이다. 이때, CTV 수가 3척에서 2척로 감소할 경우 손실비용의 변화량은 8,924 k€였으며, 2척에서 1척로 감소할 경우, 20,635 k€임을 확인할 수 있다.

결과적으로, 100 MW 기준으로 앞서 비교한 결과를 바탕으로 운영 및 유지보수 비용절감을 위해 최적의 가용인원은 12명이며, CTV는 2척일 때 효율성을 기대할 수 있다.

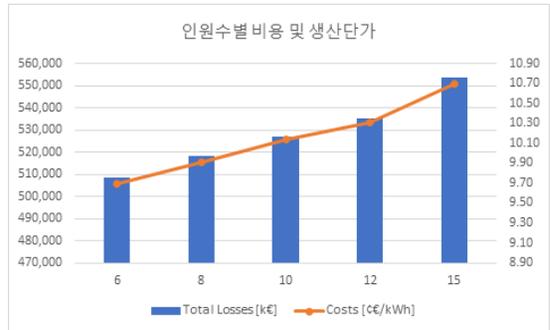


Fig. 6 Expenditures due to headcount increase

Table 3 [100 MW] Change in total losses due to change in personnel

Division	Total losses (k€)	Cost (€/kWh)	change in Total loseese (k€)
6	508,235	9.69	9,918
8	518,153	9.91	8,984
10	527,137	10.13	8,065
12	535,203	10.31	18,376
15	553,578	10.69	

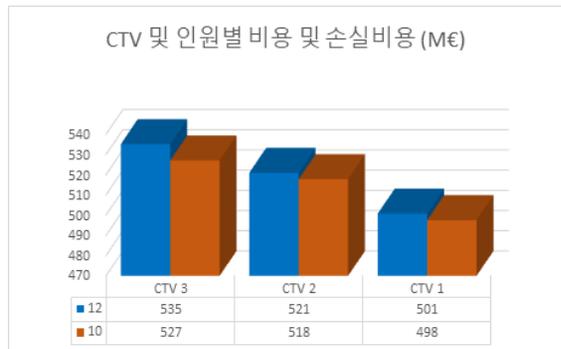


Fig. 7 Cost according to personnel and CTV

Table 4 [100 MW] Cost change according to personnel and CTV change

Division	Total losses (k€)	change in Total loseese (k€)
Personnel 12	3	16,955
	2	16,430
	1	8,924
Personnel 10	3	20,635
	2	
	1	

### 4.2 400 MW 시뮬레이션

Fig. 8~9는 400 MW의 단지 운영에 대한 최적 비용 산출을 위해 100 MW의 최적비용 산출과 같은 방법을 적용하였다. 가용인원은 15~38명, CTV는 1~4척, 장비의 재고는 기본재고를 선정하여 비용을 산출된 그래프이다.

Fig. 8의 경우, CTV 3척과 기본재고를 적용하며, 가용인원은 15~38명을 변수로 두어 산출된 그래프이다. 이때의 가용인원의 변화에 따른 측정값은 Table 5에서 확인할 수 있다. 총 손실비용이 가장 낮을 때 1,068,644 k€이며, 가장 높은 비용은 1,174,091 k€이다. 또한 풍력단지의 kWh당 비용의 경우 가장 낮을 때 3.67 €€/kWh였으며, 가장 높을 때 4.22 €€/kWh로 확인되었다. 400 MW의 단지운영을 위한 최적 가용인원 비교 결과, 17명 시점에서 손실비용의 변화량은 -2.333 k€로 감소하였으며, 이때의 kWh당 비용의 변화량 또한 0.01 €€/kWh로 가장 낮은 변화율을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 앞서 산출된 가용인원 15명을 기준으로 17명과 비교하여 CTV 변화에 따른 총 손실비용을 분석하였고, 이는 Table 6에서 확인할 수 있다. 가용인원이 15명일 때, CTV 수에 따른 총 손실비용은 각각 1,089,149 k€, 1,068,644 k€, 1,056,709 k€, 1,033,747 k€임을 확인할 수 있다. 이때의 손실비용의 변화량은 CTV 감소에 따라 각각 20,505 k€, 11,934 k€, 22,963 k€로 측정되었다. 가용인원이 17명일 때, CTV 수에 따른 총 손실비용은 각각 1,096,075 k€, 1,066,311 k€, 1,061,591 k€, 1,049,159 k€임을 확인할 수 있다. 이때의 손실비용 변화량은 각각 29,764 k€, 4,720 k€, 12,432 k€로 측정되었다.

결과적으로, 400 MW 기준으로 앞서 비교한 결과를

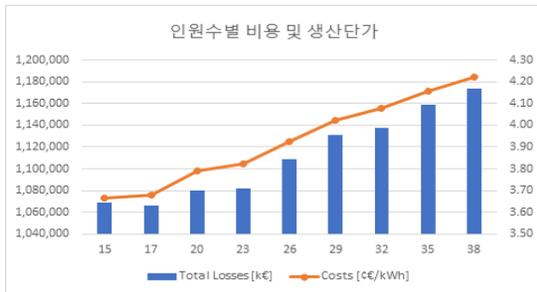


Fig. 8 Expenditures due to headcount increase

바탕으로 가용인원은 17명, CTV는 2척일 때 총 손실비용의 절감을 기대할 수 있으며, 운영 및 유지보수 효율성을 기대할 수 있다.

Table 5 [400 MW] Change in total losses due to change in personnel

Division	Total losses (k€)	Cost (€€/kWh)	change in Total loseese (k€)
15	1,068,644	3.67	-2.333
17	1,066,311	3.68	14,129
20	1,080,440	3.79	1,678
23	1,082,117	3.89	26,944
26	1,109,061	3.93	22,099
29	1,131,160	4.02	6,403
32	1,137,563	4.08	21,191
35	1,158,754	4.16	15,337
38	1,174,091	4.22	

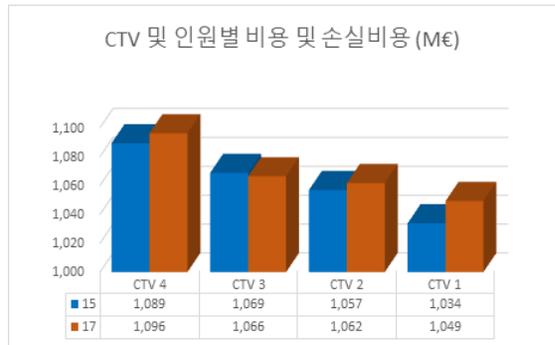


Fig. 9 Cost according to personnel and CTV

Table 6 [400 MW] Cost change according to personnel and CTV change

Division				Total losses (k€)	change in Total loseese (k€)
Personnel	15	CTV	4	1,089,149	20,505
			3	1,068,644	11,934
			2	1,056,709	22,963
			1	1,033,747	
Personnel	17	CTV	4	1,096,075	29,764
			3	1,066,311	4,720
			2	1,061,591	12,432
			1	1,049,159	

## 5. 결론

본 논문에서는 향후 해상풍력 플랫폼 구축에 따른 모니터링 시스템의 연계와 기상 및 출력 예측 시스템을 활용하여 플랫폼의 운영 및 유지보수의 최적화와 효율화를 높이고자 한다. 플랫폼의 효율적인 운영과 유지보수를 위해 해양환경 조건을 기준으로 출력 예측 시스템을 통해 인터페이스를 구현하였고, 구현된 시스템을 통해 향후 운영 및 유지보수를 위한 출력값, 운영, 유지관리 등 스케줄링을 수행하고자한다.

이에 실제 모니터링 설비의 운영에 앞서 ECN O&M Tool 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 100 MW와 400 MW를 기준으로 운영과 유지보수에 대한 가용인원 및 CTV의 최적값 산출을 위해 손실비용 기준으로 비교분석을 수행하였다.

100 MW와 400 MW 각각의 경우, CTV는 3척을 고정하며, 재고는 기본재고를 적용하고 가용인원을 변수하여 비교한 결과, 100 MW 일 때 가용인원은 12명, 400 MW 일 때 가용인원은 17명 적절한 인원임을 확인하였다.

또한 CTV와 가용인원 모두 변수로 비교한 결과 100 MW의 경우, 가용인원이 12명이고 CTV 2척일 때 손실비용을 최소화 하여 효율성을 증대시킬 수 있다. 또한 400MW의 경우, 가용인원이 17명이고 CTV 2척일 때 손실비용을 최소화 할 수 있음을 확인하였다.

향후 해상풍력 플랫폼의 통합 모니터링 시스템을 적용한 실제 비용산출의 경우, 본 연구에서 산출된 최적 가용인원과 CTV 등을 고려하여 실운영을 통한 효율적인 유지보수 체계를 구축 할 수 있다고 사료된다.

## 후기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20203010020020)

## 참고문헌

[1] Korea 2050 Carbon Neutral Strategy, 2020, p. 14.  
 [2] Jeong Min Seong and Seo Sang Soo, Jo Byuk Keun and Kim Seul Ki., 2023, "A Review on the P2G System Integration as an Essential Strategy

of the Energy Transition toward Carbon-neutral Korea" Korea Electrotechnology Research Institute., Vol. 72, No. 3.

[3] Sang-Chul Park., 2020, "A Study on Characteristics and Strategies of the United Kingdom's Energy Transition Policy", Vol. 25, No. 1, p. 39-77.  
 [4] The 10th Basic Plan for Electricity Supply and Demand (in Korea), 2023.  
 [5] Renewable Energy 3020 Policy(in Korea), 2017,  
 [6] Tae-Hun, Lim., Hye-Seon, Lee., Jea-Hoon Jung., You-Rim Choi., Sang-Hwa Han., Yong-Ha Kim., 2020, "The Calculation of Renewable Thermal Limit Capacity Considering Optimal Operation of District Heating and Cooling Facility" p. 28-36.  
 [7] Sang-Bum Park., Won-Hee Lee., Myung-Jin Bae., 2017, "Study on the relieve of Low Frequency Noise of Wind Generators", Vol. 7, No. 9, p. 251-258.  
 [8] Hae-Mi Lee., Jun-Ho Maeng., 2022, "A Study on Implications and Improvement Plans for the Developing Consultation Guidelines for the Environmental Assessment of Offshore Wind Power Development Projects", Vol. 31, No. 6, p. 449-464.  
 [9] Jeollanam-do., 2020, "Shinan offshore wind power generation complex development focus"  
 [10] Min-Su Park., Yeong-Han Chun., Sung-Hyun Byun., Jeong-Jae Yang., 2014. "On UFR Settings Considering Wind Power Fluctuation In Jeju Island" The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 63, No. 4, p. 445-450.  
 [11] Jin-Hong Ahn., Eel-Hwan Kim., 2020, "Analysis of fault current in offshore wind farm according to the grid connection method", Journal of IKEEE, Vol. 24, No. 3, p. 691-698.  
 [12] Ho-San Myung., Hyung-Chyul Kim., Nam-Ho Kang., Yeong-Hwan Kim and Se-Ho Kim. 2018 "Analysis of the Load Contribution of Wind Power and Photovoltaic Power to Power System in Jeju", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 38, No. 1, p. 13-24.  
 [13] Michael, L., Karimi. H. R., "Approach of a Port

- Inventory Control System for Offshore Installation of Wind Turbines” The Proceedings of The Twenty-second(2012) International Offshore and Polar Engineering Conference. Rhodes, Greece, 06/17~06/22.
- [14] Dinmohammadi, Fateme and Mahmood Shafiee. “A Fuzzy-FMEA risk assessment approach for offshore wind turbines” International Journal of Prognostics and Health Management, No. 1, 2020.
- [15] Gyu-Hyoung Kim and Jun-Min Cha., 2021, “Calculating the Failure Rate of the Wind Power System”, KIEE conference.
- [16] Besnard, F., 2009, “On optimal maintenance management for wind power systems” (Doctoral dissertation, KTH).
- [17] Rademakers, L. W. M. M. and Braam, H and, Obdam, T. S and vd Pieterman, R. P., 2009, “Operation and maintenance cost estimation (OMCE) to estimate the future O&M costs of offshore wind farms”, European Offshore Wind 2009 Conference. Vol. 1, p. 14-16.