

## 해상풍력발전시스템 타워서비스리프트 설계 및 구조해석

최영도<sup>†</sup> · 손성우<sup>1</sup> · 장호철<sup>2</sup> · 최낙준<sup>3</sup>

(원고접수일 : 2011년 9월 30일, 원고수정일 : 2011년 11월 1일, 심사완료일 : 2011년 11월 8일)

### Design and Structure Analysis of a Tower Service Lift for Offshore Wind Power System

Young-Do Choi<sup>†</sup> · Sung-Woo Son<sup>1</sup> · Ho-Choul Jang<sup>2</sup> · Nak-Joon Choi<sup>3</sup>

**요약** : 본 연구 결과는 해상풍력발전시스템 타워 내부에 설치하는 서비스리프트의 설계 및 구조해석에 대한 내용이며, 공학적 설계법 및 수치해석에 의한 구조해석을 통하여 서비스리프트의 안정성 및 신뢰성을 확인하였다. 설계의 주된 내용은 설계 허용한계 이내에서 만족스러운 성능으로 지상으로부터 타워상부의 해상풍력터빈 너셀까지 작업자와 수리보수용 장비를 안전하게 수송할 수 있는 충분한 능력을 확보하는 것이다. 구조해석을 통하여 서비스리프트 캐빈 및 안전장치의 총변형량과 등가응력에 대해서 검토하여 설계 시 적용한 안전율의 타당성을 검토하였다.

**주제어** : 해상풍력발전시스템, 타워서비스리프트, 설계, 구조해석, 외부하중

**Abstract**: The purpose of this study is to establish a design method of tower service lift for offshore wind power system, as well as to conduct structure analysis of the service lift system. The service lift system will be built in the internal area of tower of the offshore wind power system. Design and structure analysis for the tower service lift system are conducted to clarify the stability and reliability of the system. Main objective of the design is to secure sufficient capability of transportation of workers and equipment with satisfactory performance within the designed tolerance limit. Total deformation and equivalent stress of the lift system by external load are examined using the results of structure analysis.

**Key words**: Offshore wind power system, Tower service lift, Design, Structure analysis, External load

## 1. 서 론

해상풍력발전시스템은 해상의 바람이 가진 운동 에너지를 기계적 회전에너지로 변환하여 발전기에서 전력을 생산하는 시스템이다[1-3]. 에너지원이 자연계의 무한한 바람이므로 발전에 따른 대기오염이나 수질오염 등 환경에 대한 영향이 극히 적으며 온실가스 등을 배출하지 않으므로 기후변화협약 등에 능동적으로 대처 할 수 있는 발전 기술로써 환경문제가 대두되고 있는 현대시대에 각광

받고 있는 발전시스템이며 그 수요 또한 증가추세에 있다.

최근에는 양호한 풍향 자원을 가진 육상풍력발전 미개발 지점의 부족 및 민원 증가 등의 이유로 해상풍력발전에 대한 관심과 수요가 급격하게 증가하고 있는 추세이며, 유럽에서는 이미 대단위의 해상풍력단지가 설치되어 운용되고 있다[4].

한편 풍력발전기는 20년 이상의 운전수명과 극한하중 및 피로하중을 받기 때문에 정기 검사, 오

<sup>†</sup> 교신저자(목포대학교 기계공학과, E-mail: ydchoi@mokpo.ac.kr, Tel: 061-450-2419)

1 목포대학교 대학원

2 한국고벨(주)

3 (주)디엔디이

일과 필터 교환, 센서의 교정, 브레이크 패드와 씨일과 같은 소모품 교환 등의 보수 작업으로 원활한 작동을 유지해야 하므로, 지상으로부터 고소에 설치되어 접근이 용이하지 않은 이러한 정비·보수 대상 풍력발전기 요소부품에 대하여 작업자와 보수용 장비들을 안전하게 운반할 수 있는 전용 서비스리프트가 필요하다.

또한 해상풍력발전단지의 증가 및 풍력발전기의 대형화에 따라 2MW급 이상의 풍력발전기의 경우 지상으로부터 타워상부의 풍력터빈 너셀까지의 양정이 매우 높아졌기 때문에, 작업자가 기존의 사다리를 이용할 경우에 비해서 고소에 접근이 용이하고 효율적인 정비, 보수, 유지 및 관리를 하기 위하여 풍력발전기 1기당 1기의 서비스리프트가 필요하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 대형화 추세 of 해상풍력발전기의 유지보수를 위해서 필수적인 타워서비스리프트의 설계를 수행하였으며, 수치구조해석을 통하여 설계법의 신뢰성을 검토하였다.

## 2. 타워서비스리프트 설계사양

Figure 1은 풍력발전기 타워 내부의 구조에 대한 개략도를 보이고 있으며, 유지보수용 서비스리프트 및 사다리가 설치되어 있다[5]. 저양정의 타워 높이에서는 사다리를 이용해서 작업자가 상부 너셀까지 올라갈 수도 있으나, 출력 2MW 이상의 대형 풍력발전기의 경우 지상에서 타워 상부 너셀까지의 높이가 75 m 이상이고, 작업용 도구 등을 상부 목적지까지 운반하기에는 서비스리프트가 필수적으로 요구되고 있다.

한편 Figure 2는 풍력발전기용 서비스리프트의 각 부품별 리스트 일례를 보이고 있다[6]. 서비스리프트의 설계에서 가장 중요한 사항으로는 운전 중 작업자의 안전이 가장 우선적으로 고려되어야 하며, 비상시에 작업자가 임의의 위치에서 신속하고 안전하게 서비스리프트의 운전 조장이 가능하여야 한다는 점이다. 따라서 서비스리프트의 구조적 안정성, 안전장치의 확보, 조장의 편리성 등이 우선적으로 고려되어야 한다.

Table 1은 본 연구에서 서비스리프트 설계 시

고려되어야 할 중요 사양을 나타내고 있으며, 작업자 1명과 보수용 도구를 탑재했을 경우에 요구되는 와이어 최소과단강도, 모터 구동토크, 최대 인양 속도, 안전장치부 안전율 등에 대한 정격운전시에 요구되는 설계값을 나타내고 있다. 서비스리프트의 운전시 안정성 확보 및 하중 분산을 위하여 4개의 와이어를 캐빈의 상부 각 모서리 부분에 배치하는 구조로 설계하였다.

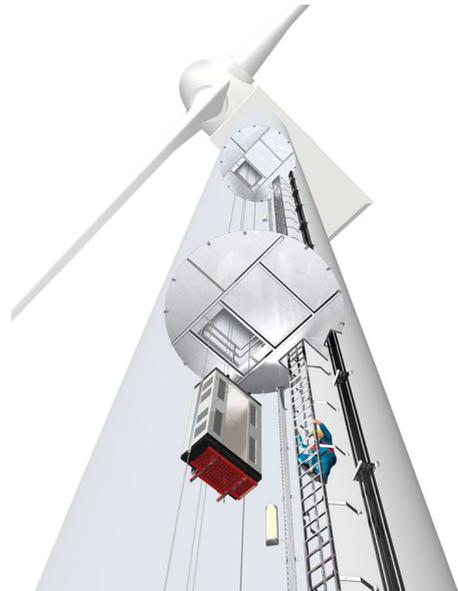


Figure 1: Schematic view of internal structure of wind power system and service lift.

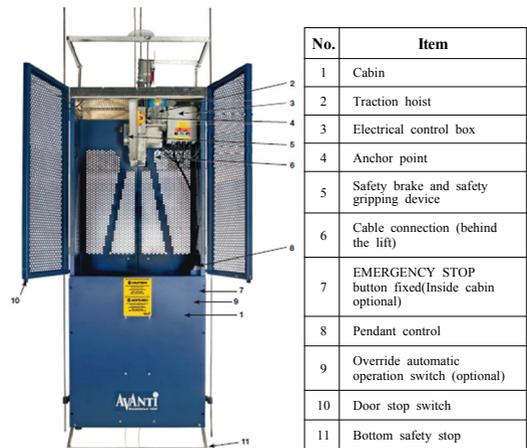


Figure 2: Tower service lift structure and item list.

**Table 1:** Main specifications of service lift design.

Wire Min. braking strength	[Ton]	1.99
Motor drive torque	[kg·m]	1.21
Max. lifting speed	[m/min]	18
Safety factor of safety brake		2.0
Number of lifting wire line		4

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 설계

##### 3.1.1 고양정 와이어 호이스트 설계

일반적인 엘리베이터의 경우 사용량이 많고 인원 수송의 목적으로 제조되기 때문에 상, 하 이동 시 발생 되는 엘리베이터 케이지 하중 및 승차 인원의 총무게에 따른 전력 소모를 줄이기 위하여 카운터웨이트(무게 중심 추)를 설치하여 운용을 하고 있으며, 이러한 카운터 웨이트는 유동인원이 많은 경우 소요되는 에너지를 줄이기 위하여 고안된 장치의 일부로서 장작 시키는 공간(space)이 필요하다.

또한, 카운터웨이트는 상, 하 이동 시 전용 레일 및 가이드가 필요하기 때문에 풍력발전기의 설치 시 시공 비용면에서 상대적으로 큰 부담이 되기 때문에 사용 빈도가 많지 않은 유지보수용 서비스리프트의 경우 카운터웨이트의 설치는 전체 설치비용을 고려할 경우 부담이 되는 요인이 될 수 있다.

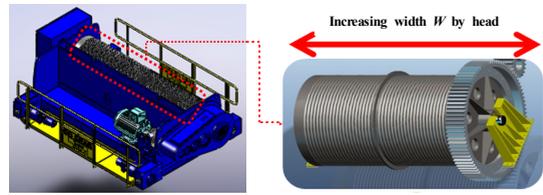
따라서 본 연구에서는 카운터웨이트를 설치하지 않고, 구조적으로 간단하면서 탑승 안전성이 확보될 수 있는 설계에 주안점을 두었다.

Figure 3은 일반적인 하중 인양용 와이어 호이스트를 보이고 있으며, 와이어 드럼에는 와이어의 권선 횟수에 따라 와이어를 안내하는 홈을 내어 와이어의 소손을 줄일 수 있도록 하였다. 그러나, 고양정의 호이스트에 장착되면 와이어가 감기는 권선의 횟수가 많아져서 사용하고자 하는 호이스트의 드럼 폭이 커지는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 고양정의 호이스트에서는 와이어 드럼 가공 시 가공비용이 많이 들어가기 때문에 초기설치 시 투자비용이 많이 들어가고, 풍력발전기의 상부에 설치 시 공간에 제한을 받게 된다.

그리고 일반적인 하중 인양용 전동식 원치의 경

우 구조가 간편하고 고양정 사용 시 공간 및 직접비가 적게 들어가는 반면 와이어로프가 하중을 들고 상·하 작동을 할 때 일정하게 감기지 못하여 와이어로프의 꼬임·적층 불량으로 인하여 소손될 문제가 발생되어 이를 사용한 리프트의 정비 활동 시 와이어 단락에 의한 추락 사고가 일어날 확률이 높아질 수 있다.

Table 2는 호이스트의 구동방식에 따른 드럼 폭, 와이어 소손, 와이어 드럼 수납방식 등에 대해서 분석한 내용이며, 본 연구에서는 Figure 4에 보이는 바와 같이 이중 와이어 호이스트(double wire

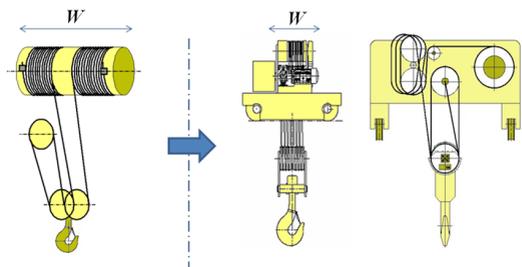


(a) general wire hoist (b) drum width by head

**Figure 3:** Schematic view of an industrial wire hoist and increasing drum width by lift head.

**Table 2:** Hoist structure and winding methods.

Hoist structure	Drum width $W$ by head	Wire damage	Winding method
Wire hoist	Proportion	low	drum
Chain hoist	Inverse proportion	high	chain grooved
Wire winch	Inverse proportion	high	multi-layered
Double wire hoist	Inverse proportion	low	double winding



(a) wire hoist (b) double wire hoist

**Figure 4:** Schematic view of hoist wire winding methods and drum width.

hoist) 방식을 채용하였으며, 이러한 방식의 호이스트는 고양정에서도 와이어 드럼의 폭이 넓지 않으며, 와이어 소손이 거의 없는 장점이 있다.

Figure 5는 이중 와이어 호이스트 방식을 기반으로 하여 대형 해상풍력발전기 타워에 설치할 수 있도록 개발한 서비스리프트 호이스트의 개략도를 보이고 있다. 타워리프트 구동부의 설치위치로서는 캐빈의 상부에 안전을 고려한 경계면을 두고 설계하였다. 체결의 편리성 및 자체중량의 감소를 위한 앵글형의 부재를 볼트 체결하는 방법으로 설계하였으며, 2.2kW 출력의 4pole 방식의 모터를 사용한 4개의 와이어의 견인을 통해 상승·하강하는 방식이다.

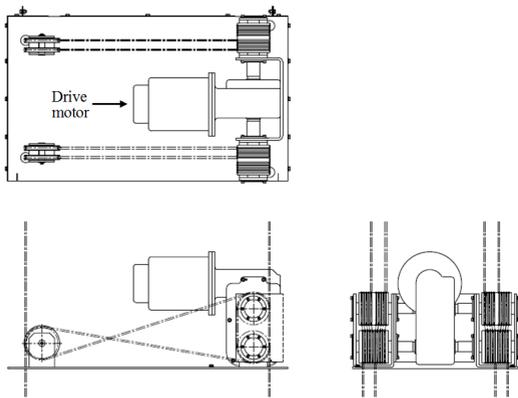


Figure 5: Design of service lift hoist.

한편 타워리프트의 호이스트 구동부에 대한 정격하중 시의 사양을 결정해야 하며, 호이스트 구동 모터의 회전수  $n$ 은 다음의 식 (1)로 결정하였다.

$$n = 120 \times \frac{f}{p} \times (1 - s) \tag{1}$$

여기서  $f$ ,  $p$ ,  $s$ 는 각각 주파수, 모터의 극수, 모터의 slip율을 나타낸다. 그리고, 호이스트 인양속도의 계산값  $V_c$ 는 식 (2)로 결정하였다.

$$V_c = \frac{n \times \pi \times D}{i_w \times i_r} \tag{2}$$

여기서  $D$ ,  $i_w$ ,  $i_r$ 은 각각 와이어드럼 직경, 와이어 로프 감속비, 호이스트 감속기 감속비를 나타낸다. 호이스트 구동모터의 계산용량  $P_c$ 는 다음의 식 (3)으로 결정하였다.

$$P_c = \frac{(Q+q) \times V}{6120 \times \eta} \tag{3}$$

여기서  $Q$ ,  $q$ ,  $V$ ,  $\eta$ 는 각각 정격하중, Load block 하중, 정격인양속도, 기계효율을 나타낸다.

이상의 호이스트 구동부 설계식으로부터 호이스트 정격 운전 시의 구동모터의 회전수는  $1770 \text{ min}^{-1}$ , 호이스트 인양속도는  $17 \text{ m/min}$ , 호이스트 구동모터의 용량은  $2.2\text{kW}$ 로 결정하였다.

### 3.1.2 제어시스템 설계

호이스트 구동부의 제어시스템에 대한 설계는 Figure 6과 같으며, 터치패널 스크린을 이용하여 간편하게 제어회로부의 운전모드를 설정하며, PLC를 이용하여 이상유무 판단 및 서비스리프트의 전체적인 제어를 수행한다. 또한, 인버터와의 양방향 통신이 가능하도록 설계하였으며, 인버터의 벡터제어에 의하여 호이스트 모터를 구동하게 하였다.

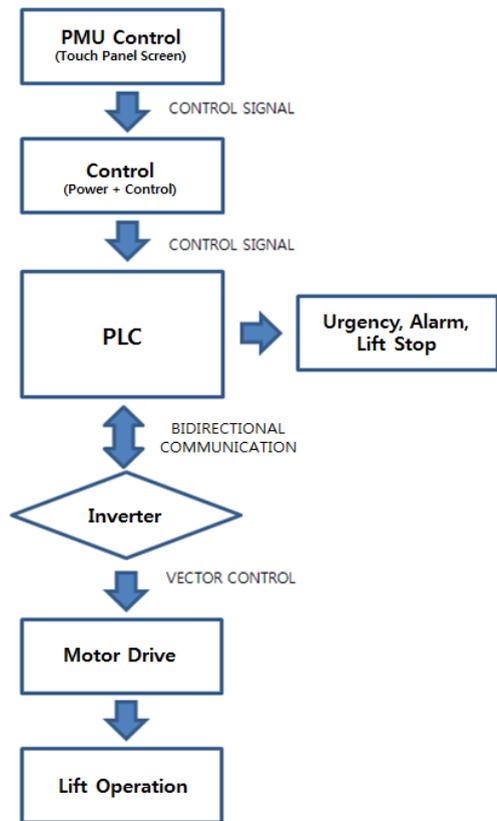


Figure 6: Flow chart of service lift control system.

3.1.3 캐빈 설계

캐빈은 서비스리프트의 전체 구조를 지지하고 작업자와 보수용 도구를 탑재하여 외부와 격리된 상태에서 상하 이동을 하게 된다. 따라서 캐빈의 설계에서는 구조적 안정성이 확보되어야 하고, 가벼운 재질을 사용하여 서비스리프트 전체 하중에서 차지하는 비율을 작게 하여 호이스트 구동부의 부하를 줄여야 한다.

Figure 7은 해상풍력발전기 타워 서비스리프트의 구동부와 캐빈의 어셈블리 모델을 보이고 있으며, 전체 크기는 1000 mm × 680 mm × 2575 mm를 기준으로 설계하였다. 상부는 호이스트 구동부이며 서비스리프트 상승 하강용 전동장치가 설치되어 있다. 또한, 캐빈 상부 4각 모서리 내측에 와이어 휠 및 드럼을 통과하는 4개의 와이어가 캐빈의 상부로 연결되어 있다.

또한 4각 모서리부를 지지하는 철제 앵글은 구조적 강도를 확보할 수 있는 재질을 사용하였으며, 양 측벽, 전방 벽면, 후방 벽면은 알루미늄 재질의 판재 사용과 펀칭에 의한 무게 감소를 통하여 캐빈의 전체 자중을 줄이도록 하였다.

캐빈의 구조 강도 설계는 기본 형상에 대한 사용 재료의 면압에 의한 강도와 전단에 의한 강도에 대하여 항복응력 범위 내에서 구조적으로 안정함을 확인하고 재료 및 형상을 결정하였다.

3.1.4 안전브레이크시스템 설계

본 연구에서 적용한 타워리프트 안전장치는 전자기 코일로 구동하는 전자기방식의 브레이크를 채용하였으며, Figure 8에 보이고 있다. 작동방식은 전자코일을 이용한 전자기 작동방식으로 설계하였으며, 안전장치에 전류가 차단될 시 제동스프링의 힘으로 발생하는 로드를 이용하여 브레이크 드럼과 라이닝의 마찰에 의해 제동되도록 개념설계를 진행하였다. 또한, 일반적으로 모터의 구동 중 발생하는 작동불량 및 모터 과부하를 감시 하고자 PMU, PLC, 인버터를 함께 사용하여 상호 통신을 하도록 하였다.

3.2 구조해석

3.2.1 캐빈모델 구조해석

구조해석을 통한 설계의 검증 평가 및 설계 보

완을 위하여 본 연구에서는 상용해석프로그램인 ANSYS[7]를 활용하였으며, 설계도면으로부터 CAD를 이용하여 3차원 모델링을 수행하고, 모델링된 수치해석 모델에 대하여 3차원 계산격자를 작성한 후 해석모델에 대한 경계조건을 설정하여 수치해석을 수행하였다.

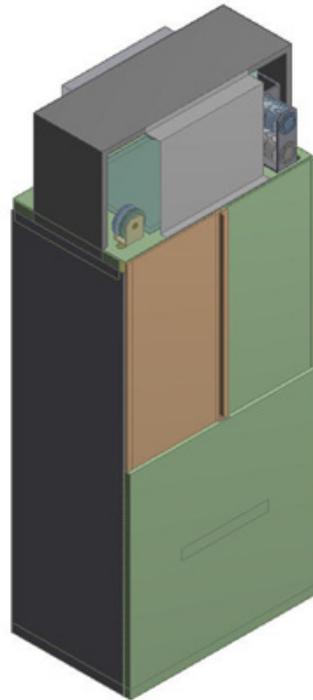


Figure 7: Aerial view of service lift cabin by 3-D modeling.

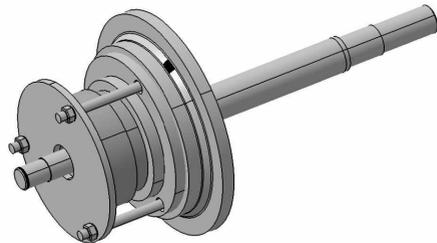


Figure 8: Design of safety brake system.

Figure 9는 본 연구에서 설계한 서비스리프트 캐빈의 해석모델에 대한 구조해석을 수행한 결과를 보이고 있다. 구조해석 결과에 의하면 응력집중부위는 상부의 구동부와 하부의 중심 부분에서 발생

한다. 그리고, 등가응력은 138.1MPa이며 안전율은 1.81이다. 따라서, 항복강도 250MPa기준 내에 만족하므로 구조적으로 안전하다고 판단된다.

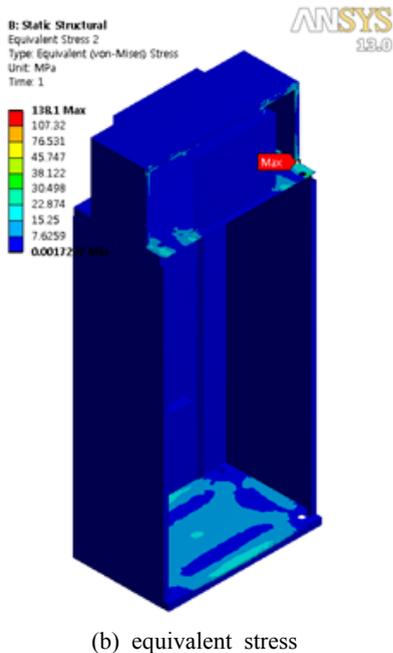
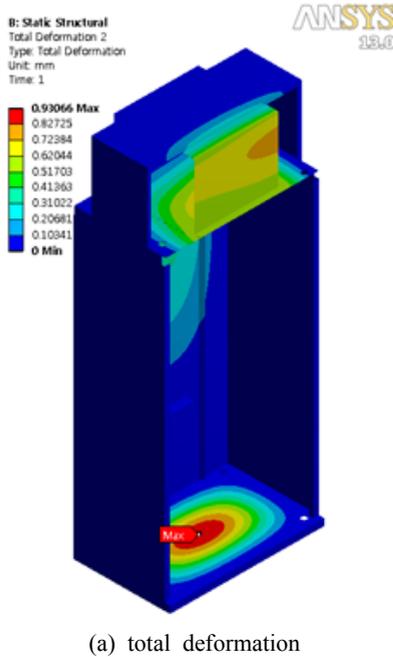
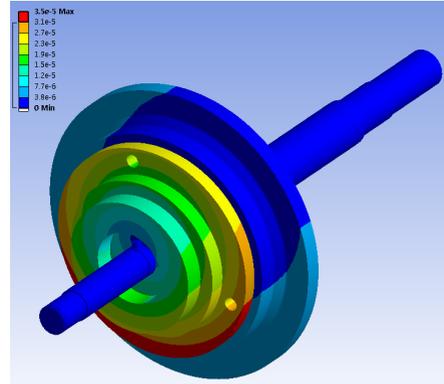
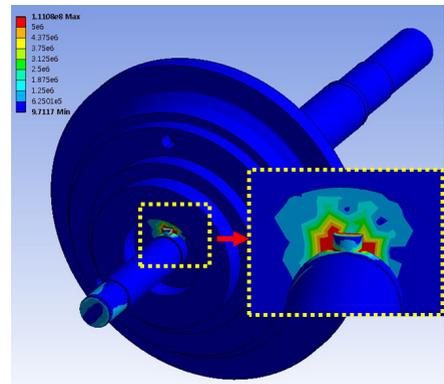


Figure 9: Structure analysis on the total deformation and equivalent stress of service lift cabin.



(a) total deformation



(b) equivalent stress

Figure 10: Stress analysis on the safety brake system for the evaluation of stability

### 3.2.2 안전브레이크시스템 구조해석

서비스리프트 운전 시 발생할 수 있는 비상사태 시에 호이스트 구동부의 모터 회전부에 대하여 안전 브레이크 시스템을 설치하여 위급상황에 대처할 수 있도록 하였다.

Figure 10은 이러한 안전브레이크시스템에 대한 형상개념설계에 대하여 3차원 모델링 및 해석격자를 작성하여 경계조건 적용에 의한 구조해석을 수행한 결과를 보이고 있다. 안전브레이크시스템의 정격 토크를 24 N·m로 두어 설계를 진행하였고, 구조해석에 의한 전체 드럼에 걸리는 응력 중 평균기 부분에서 최대응력이 걸리며, 그 값은 111Mpa을 나타낸다. 해당재질의 항복응력이 250Mpa이므로, 안전율은 2.25가 되기 때문에 안전하다고 판단된다.

3.3 시제품 제작 및 성능시험

서비스리프트에 대한 설계 및 구조해석을 통하여 구조적인 안정성을 검토한 후 시제품을 제작하였으며, Figure 11은 성능시험을 위해 최종 조립된 시제품을 보이고 있다.

성능시험에 대한 국내의 규정 및 법규 등이 아직 완비되지 않았기 때문에 자체 점검사항을 Table 3과 같이 주요항목을 정하여 성능시험을 수행하였다. 성능시험은 높이 19m의 대형 캔트릭크레인에 와이어를 체결하여 작업자 1명을 포함한 정격하중에 해당하는 외부하중을 시제품 캐빈에 탑재하여 상하 운전을 하였다.

검토사항으로는 정격하중에서 서비스리프트의 상승 및 하강 속도, 외력에 의한 흔들림 및 안정화 시간, 안전장치의 작동여부 등에 대해서 상세히 검토하였으며, Table 3의 결과로부터 구조적으로 안전함과 제어시스템의 작동에 이상이 없음을 확인하였다.



Figure 11: Prototype tower service lift system and performance test.

Table 3: Field test results of prototype service lift.

Division	Unit	Rated value	Test result
Total weight	kg	500	
Max. lifting speed	m/min	18	15
Sway control (stabilization)	sec.	3.0	2.0
Safety brake operation	-	operated (immediate response)	

4. 결 론

본 연구는 대형 해상풍력발전시스템 타워 내부에 설치하는 서비스리프트에 대하여 수행한 설계 및 구조해석 결과에 대한 내용이며, 공학적 설계법 및 수치해석에 의한 구조해석을 통하여 서비스리프트의 안정성 및 신뢰성을 확인하였다. 서비스리프트의 각 구성 부품에 대한 설계를 수행하였으며, 수치구조해석에 의한 설계값의 타당성을 검토하고 설계보완 과정을 통하여 구조적 안정성을 확보하였다.

기본설계로부터 도출된 각 부품의 항복응력값에 대하여 수치해석에 총변형량 및 등가응력을 비교한 결과 설계값이 허용응력 범위 이내에 존재하여 만족스러운 설계 결과임을 확인하였다.

따라서 본 연구에서 제안된 서비스리프트의 설계법을 적용할 경우 설계 허용한계 이내에서 만족스러운 성능으로 지상으로부터 타워상부의 해상풍력터빈 너셀까지 작업자와 수리보수용 장비를 안전하게 수송할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국산업단지공단 산업집적지 경쟁력강화사업으로 시행한 생산기술사업화 지원사업의 기술개발 결과임.

참고문헌

[1] 황병선, 최신 풍력터빈의 이해, 도서출판 아진, 2009

[2] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins and E. Bossanyi, Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons, Ltd, 2001.

[3] E. Hau, Wind Turbines-Fundamentals, Technologies, Application, Economics, 2nd Edition, Springer, 2006.

[4] 한국에너지기술평가원, 그린에너지 전략 로드맵 [풍력], 2009.

[5] Hailo-Werk Rudolf Loh GmbH & Co. KG, Ladder Technology and Tower Equipment for Wind Turbines, [http://www.hailo-professional.de/upload/professional/aktuell/de\\_Hailo\\_Katalog\\_](http://www.hailo-professional.de/upload/professional/aktuell/de_Hailo_Katalog_)

Steigtechnik\_Windkraft.pdf/, 2011

- [6] Avanti Wind Systems A/S, User's Manual and Installation Manual Model SHARK, [http://www.avanti-online.com/static/media/lib/files/45540006\\_en\\_ul4th\\_r01\\_web\\_20110608\\_011128.pdf](http://www.avanti-online.com/static/media/lib/files/45540006_en_ul4th_r01_web_20110608_011128.pdf), 2011.
- [7] ANSYS Inc., "ANSYS documentation", Ver. 13, <http://www.ansys.com>, 2011.

## 저 자 소 개



### 최영도(崔永都)

1970년 6월생, 1996년 한국해양대학교 기계공학과 졸업, 2003년 요코하마국립대학 대학원 박사과정수료(공학박사), 1996년~1998년 대우중공업(주) 사원, 2003년~2006년 요코하마국립대학 대학원 공학연구원 조수, 2009년~현재 목포대학교 기계공학과 조교수, 관심분야 :

야 : 풍력발전, 소수력발전, 해양에너지, 유체기계.



### 손성우(孫聖雨)

1981년 11월생, 2008년 목포대학교 기계공학과 졸업(공학사), 2010년 목포대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 2010~현재 목포대학교 대학원 기계공학과 박사과정, 관심분야: 풍력발전, 소수력발전, 유체기계



### 장호철(張虎鐵)

1952년 11월생, 1979년 조선대학교 금속공학과 졸업(공학사), 1979-1990년 금호타이어 서울 당산대리점 대표, 1997-2003년 크린지아고소각로 대표이사, 2004-2007년 반도건설(주) 대표이사, 2008년~현재 한국고벨(주) 목포공장 지점장, 관심분야: 고효율 호이스트,

풍력발전, 신재생에너지.



### 최낙준(崔洛俊)

1971년 4월생, 1997년 부산대학교 정밀기계공학과 졸업(공학사), 1999년 KAIST 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 2011년 부산대학교 기계공학부 박사 수료, 1999년-2001년 삼성SDI(주) 대리, 2003년-2004년 한진산업(주) 과장, 2008

년~현재 (주)디엔디이 부장, 관심분야 : 풍력발전, 신재생에너지, CFD