

## 헬리콥터 고정용 안전장치 구조 안전성 평가

이명수\* · 서광철\*\* · 박주신\*\*\*\*

\* 조선대학교 선박해양공학과 교수, \*\* 목포해양대학교 조선해양공학과 교수, \*\*\* 삼성중공업 조선해양연구소 파트장

## Structural Safety Assessment of Tie-down for Securing Helicopter

Myung Su Yi\* · Kwang-Chul Seo\*\* · Joo Shin Park\*\*\*\*

\* Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chosun University, Gwangju 61452, Korea

\*\* Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

\*\*\* Part leader, Ship and Offshore Research Institute, Samsung Heavy Industries Co., Ltd, Geoje 53261, Korea

**요 약** : 국제유가가 배럴당 85달러에서 하반기에는 최대 100달러까지 오를 것으로 예상하여 세계 시장에서 해양플랜트 발주가 늘어날 가능성이 크다. 해양플랜트의 주요 특징 중 한 가지는 탑사이드에 대형 헬리덱이 위치하며 경량화 및 내부식성을 위하여 알루미늄 합금을 구조의 기본 재료로 사용하고 있다. 선주사는 긴급 상황 발생 시 신속한 인명 대피를 위하여 헬리콥터 크기를 대형화하는 추세이고, 헬리콥터를 데크에 안정적으로 고박할 수 있는 장치의 안전사용하중도 증가가 필요하다. 알루미늄 재료의 특성상 용접에 의한 구조 강도 저하가 크기 때문에, 고정 장치는 데크에 매립하여 볼트로 고정하는 방식으로 설계가 필요하다. 본 연구에서는 대형 헬리덱(직경=28m)에 사용이 가능한 헬리콥터 고정 장치를 개발하기 위하여 알루미늄 합금 6082-T6를 적용한 모델을 개발하였다. 개발된 고정 장치는 실제 고박에 사용하는 하중 조건을 만족하도록 비선형구조 강도 계산을 통하여 검증하였다. 45도 경사각을 갖는 하중 조건은 국부적인 소성 붕괴로 인하여 90도 조건에 비해 낮은 최종강도를 나타냈다. 최종 모델에 대한 비선형 구조 붕괴 거동은 강도 실험과 경향이 유사하게 나타났다. 본 연구에서 도출한 주요 내용은 유사 알루미늄 기자의 구조 강도 검토 시 참고 문헌이 될 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 해양플랜트, 헬리덱, 고정 장치, 헬리콥터, 구조 강도, 알루미늄 합금

**Abstract** : International oil prices are expected to increase from \$85 a barrel this year to up to \$100 a barrel in the second half of the year; this is likely to increase orders for offshore plants in the global market. One main characteristic of offshore plants is that a large helideck is located on the top side, and aluminum alloys are used as the basic material of the structure for weight reduction and corrosion resistance. Shipowners are increasing the size of helicopters to quickly evacuate lives in the event of an emergency, and the safety use load of devices that can stably secure helicopters to the deck is also required to increase. Owing to the nature of the aluminum material, the structural strength caused by welding is greatly reduced; therefore, the fixing device must be designed by embedding it in the deck and fixing it with bolts. In this study, a model applying aluminum alloy 6082-T6 was developed to develop a helicopter fastening device that can be used for large helidecks (diameter = 28 m). The developed item was verified through nonlinear structural strength calculation to satisfy the load used for the actual fastening condition. The load condition with a 45° showed a lower ultimate strength than the 90° case owing to local plastic collapse. The nonlinear structural collapse behavior showed a result similar to that of the experimental test. The main contents derived from this study are considered to be reference materials when evaluating the structural strength of similar aluminum equipment.

**Key Words** : Offshore plant, Helideck, Tie-down, Helicopter, Structural strength, Aluminium alloys

## 1. 서 론

최근 친환경 에너지원 개발붐과 함께 해양플랜트 시장에

진입을 위해서 각 조선사와 엔지니어링 업체들은 발주처와 함께 가능성 있는 프로젝트의 개수를 증가 시켜가고 있다. 해양프로젝트는 화물을 운송하는 상선 프로젝트와 달리 유전 혹은 가스전이 결정되면 이동 없이 계류설비에 의해서 안전한 채굴 및 생산을 할 수 있어야 한다. 특히 긴급한 상

\* First Author : true413@chosun.ac.kr, 062-230-7182

† Corresponding Author : scv7076@nate.com, 055-630-9613

## 헬리콥터 고정용 안전장치 구조 안전성 평가

황에 물자의 이동, 상주 인원의 이동 시 헬리콥터의 이/착륙이 가능한 헬리데크 설비를 필수적으로 갖추고 있다. 헬리콥터를 안전하게 운용하기 위해서는 프로젝트 사전에 운용하고자 하는 국가의 민간항공 기관의 심사를 받아야 한다. 따라서 헬리콥터 운용에 대한 검토를 사전에 하지 못하면 헬리콥터 운용도 어려워질 위험성도 커지게 된다. 아래 Fig. 1은 해상에서 운용 중인 플랫폼의 가장자리에 설치된 알루미늄 헬리데크를 나타내고 있으며, 공간의 활용과 헬리콥터 이/착륙 시 주변 구조물과의 간섭을 회피하기 위하여 모서리에 돌출되어 설치되는 게 일반적이다. 알루미늄 헬리데크는 기본적으로 구조 부재와 안전장치로 구분할 수 있다. 구조 부재로는 데크, 하부 거더, 수직 기둥, 브래킷 그리고 부재를 연결하는 피스로 구성된다. 헬리콥터를 운용하는데 사용되는 안전장치는 야간에 사용되는 유도등, 화재 시 소화설비, 헬리콥터의 비운용 시 고박을 시키는 장치(Tie-down)로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 안전장치 중 한 가지인 고박장치에 대해서 가장 최신의 국제 기준에서 제시하는 안전사항을 만족하면서 구조 강도에 대한 안전성을 검증하는 것이 목적이다. 기자재에 대한 구조 강도 평가의 세부 사항이 정해지지 않은 현실에서 수치해석과 구조강도 실험을 병행하여 방법론에 대한 신뢰성을 확보하였으며, 연구에서 수행한 주요 결과들을 기반으로 하여 유사 기자재의 구조 안전성 검증에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.



Fig. 1. Typical aluminium helideck (www.aluminium-offshore.com).

본 연구와 관련된 기존의 선행연구를 아래와 같이 요약하였다.

Vaghefi et al.(2013)은 해상구조물에서 사용하고 있는 헬리데크에 헬리콥터의 불시착 조건에 의해서 발생 가능한 국부적인 소성화 현상에 대해서, 비선형구조해석을 통하여 검토하였다. 대표적인 빔 요소를 사용하는 프로그램인 SACS의 full plastic collapse module을 이용하였다. 해석대상 모델은 맥시코만에 투입 예정인 고정식 자켓 상부 구조물이며 헬리콥

터의 불시착에 따른 하중은 수직과 수평 하중으로 고려하였다(Civil Aviation Authority, 2023). 헬리데크 하부 빔 구조는 격자형으로 구성되어 있고, 헬리콥터의 불시착 위치를 총 8가지로 고려한 최종강도 해석을 수행하였고, 최종강도 시점에서의 하중 계수를 수치상으로 계산하였다. 최소 하중 계수는 1.5이고 최대는 2.34로 확인되었으며, 참고 문헌(Civil Aviation Authority, 2023)에서 요구하는 3.25보다는 작은 값이었다. 저자는 기존 선형해석 시 사용하는 하중 계수가 보수적이며, 발생할 수 있는 조건별로 차이가 많은 특성을 제대로 반영하지 못하고 있다는 점을 주장하였고, 하중 조건별 비선형해석을 통한 하중 계수 재조정이 필요하다고 권고하였다.

Park et al.(2014)는 유조선에서 주로 사용하는 스틸 헬리데크 모델을 대상으로 헬리콥터의 착륙 지점을 네 부분으로 나누었고, 헬리데크를 구성하는 판과 보강재, 하부 거더, 기둥 그리고 트러스 매개변수로 하여 시리즈해석을 수행하였다. 재료의 항복 응력을 증가시킬수록 요구되는 두께와 보강재의 폭을 넓힐 수 있지만, 선급 규정에서 최소 두께와 최소폭을 지정하고 있어서 최적화 적용이 불가능하였다. 헬리데크 하부 구조를 평가하는데 사용되는 빔 전용 해석 프로그램인 Nauticus Hull(DNV, 2020)과 MSC Nastran의 결과를 비교하였으며, 빔 프로그램에서 결과를 보수적으로 예측하였으나, 모두 선급의 허용 기준보다는 작았다. 여러 가지 매개변수를 변화한 최적화를 통하여 초기 모델 중량 대비 24%를 감소하였다. 헬리콥터 설계에 사용되는 하중은 다양하며, 선박의 운동 때문에 전달되는 관성력을 고려하지 않아서 부재별 최적화가 종합적으로 검토되지 않는 부분이 있다.

Koo et al.(2014)은 적업리그에서 사용되고 있는 대형 알루미늄 헬리데크를 대상으로 Eurocode 9를 이용하여 상부 알루미늄 구조를 설계 및 구조 강도 검증하고, 하부 스틸 구조는 유한요소해석 프로그램인 MSC Nastran을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 상부 구조물인 알루미늄 헬리데크는 별도의 구조해석에 의한 검증은 요구하지 않지만, 연구에서는 선형구조해석 및 소성을 고려한 최종강도 해석을 수행하여 국부 붕괴를 방지할 수 있는 구조 강도 평가 기준이 필요함을 주장하였다.

Park and Seo(2017)은 Eurocode 9를 적용한 알루미늄 헬리데크 구조 설계 및 구조 안전성 평가 관련 연구를 수행하였다. 유한요소해석 모델링을 이용하는 경우 요소의 분할 크기에 따라서 응력 변화가 크게 발생하며, 이러한 효과를 검증하기 위해서는 비선형해석을 통해서 요소 분할 크기에 대한 보정 계수가 필요함을 제안하였다. 기존 Eurocode 9에서는 허용응력 기반의 평가법이었고, 유효 폭 개념이 적용되지 않았지만, 실용적이고 합리적인 평가 솔루션을 제공하기 위

하여 변형 기준을 추가로 제시하였다. 제안된 새로운 평가법의 결과와 선형 및 비선형 수치해석과 비교하여 제안된 평가 절차의 활용성을 검증하였다.

Agboifoh Emmanuel et al.(2019)은 헬리덱 구조를 갖는 윈양 항해 선박 모델 정보를 이용하여, 헬리콥터 착륙에 의한 데크의 구조 안전성을 수치해석적인 방법과 Hughes(2005)의 경험적 모델에 기반을 둔 국부 강성행렬 계산을 통하여 평가하였다. 헬리콥터의 하중 특성이 집중하중의 영향이 크기 때문에 헬리덱 착륙 지점에서 최대 응력이 발생하였다. 해양 빙 구조물 해석에 사용되는 STAAD.Pro(2023)와 강성행렬을 구하기 위해 MATLAB 프로그램을 이용한 응력과 변위 결과는 검토에 사용된 ABS 선급의 허용 기준보다 작아서 만족하였다.

선행연구에서는 헬리콥터 불시착 조건에서의 구조 강도 평가 그리고 여러 가지 변수를 변경한 구조 최적화에 관한 연구가 대부분을 차지하였다. 일부의 연구는 현존하는 국제코드의 개선 사항을 발굴하여 제시하였다. 본 연구 대상 모델인 고정 장치의 구조 안전성 평가 관련해서는 유사 결과가 없으며 수치해석과 인장하중 실험과의 비교를 통한 결과 검증이 차별화 되는 부분이다.

## 2. 해석 기반 구조 안전성 평가

### 2.1 해석 모델 및 평가 방법

일반적으로 헬리덱은 헬리콥터의 안전한 이/착륙을 위하여 해양플랜트의 모서리부에 설치되며, 야간에는 유도등이 작동하고 화재 발생 시 자동으로 열원을 탐지하여 소화할 수 있는 설비를 갖추고 있다. 헬리덱 위에 있는 헬리콥터를 고정하기 위해서 데크 중심을 기준으로 3m, 5m 그리고 7m 반경 내에서 6개의 고정 장치를 균등하게 배치하도록 권고(CAP437, 2023)하고 있으며, Fig. 2와 같다.

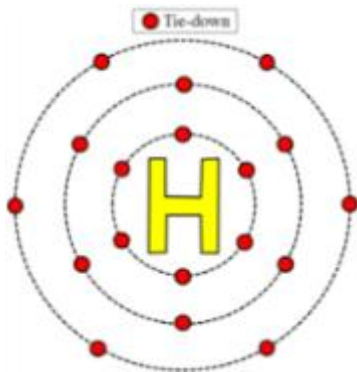


Fig. 2. Example of suitable tie-down configuration (Civil Aviation Authority, 2023).

헬리콥터가 운용하지 않는 상황에서 악천후 조건에서도 헬리콥터를 안전하게 고정할 수 있도록 구조 강도를 요구하고 있으며, 해상조건에 의한 관성력도 고려해야 한다.

기계와 조선, 해양 분야의 구조해석이 가능한 상용프로그램인 MSC Patran/Nastran(MSC Software, 2012)을 사용하였다. 헬리덱 고정 장치는 8개의 절점을 갖는 3차원 솔리드 요소를 이용하였고, 자유도는 회전구속이 없는 변위 X, Y 그리고 Z를 갖는다. 이 요소는 소성, 대변형, 요소의 과단 거동 그리고 강성 응력과 크리프(Creep)에 대한 해석이 가능하다. 가장 작은 요소의 크기는 5mm이고, 최대 30mm로 구성하여 형상 및 하중에 대한 변위 응답이 잘 표현되도록 Fig. 3과 같이 만들었다. 사용된 유한요소모델은 국부적인 응력집중 현상 및 항복 이후 응력 변화의 관측이 가능하다. 해석 모델은 143,664개의 노드와 29,712개의 요소로 만들어졌다. 헬리콥터 고정 장치는 규칙(Civil Aviation Authority, 2023)에서 언급하고 있는 허용하중을 만족해야 하므로 재료의 선정 및 형상 설계에 상당한 제약조건을 극복해야 한다. 헬리덱 위 작업자들과 헬리콥터 이/착륙 시 간섭이 발생하지 않도록 데크 위 돌출 허용 높이는 16mm로 제한을 두고 있는 조건도 설계 시 필수적으로 고려가 되어야 한다. 본 연구에서 개발하는 고정 장치는 기존 알루미늄 데크와 접촉 시 부식이 발생하지 않는 조건을 기본적으로 만족해야 하므로, 고정 장치의 상면 덮개 부는 같은 6082-T6를 적용하고, 헬리콥터 고박 시 사용되는 ring eye는 SUS316으로 선정하였으며 상세한 재료의 물성 값은 Table 1과 2와 같다.

Table 1. Material properties of tie-down body  
(<http://www.engineeringtoolbox.com>)

AL-6082-T6	Specification
Elastic Modulus	75,500MPa
Poisson's ratio	0.33
Yield strength	260MPa
Tensile ultimate strength	310MPa
Tensile Strain at break	10%

Table 2. Material properties of ring eye  
(<http://www.engineeringtoolbox.com>)

AISI SUS316	Specification
Elastic Modulus	193,000MPa
Poisson's ratio	0.3
Yield strength	205MPa
Tensile ultimate strength	520MPa
Tensile Strain at break	40%

## 헬리콥터 고정용 안전장치 구조 안전성 평가

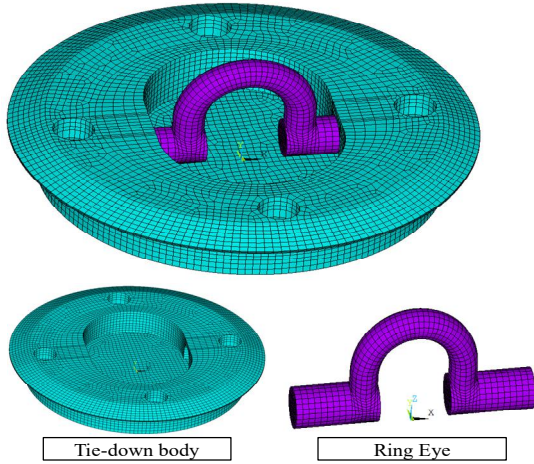


Fig. 3. Helicopter tie-down modeling.

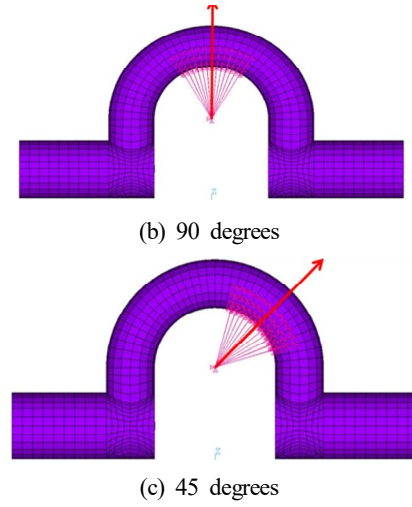


Fig. 5. Load condition.

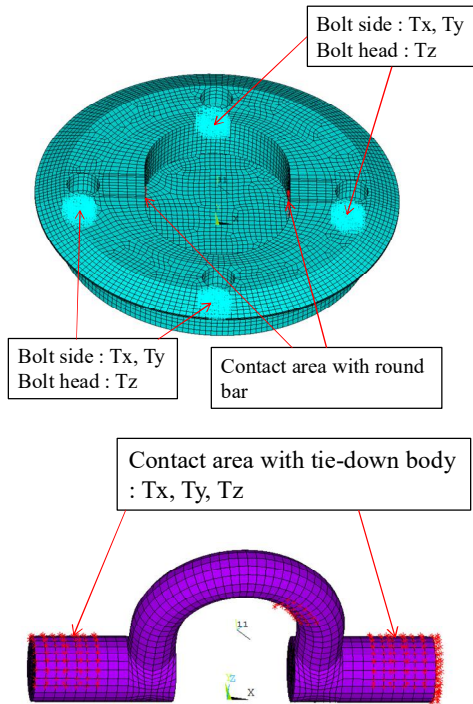
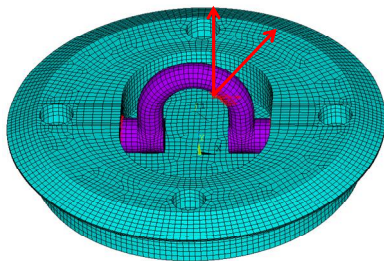


Fig. 4. Boundary condition.



(a) load direction

### 2.2 해석 경계조건 및 하중 조건

헬리콥터 고정 장치는 총 4개의 볼트가 체결되어 구속되며 볼트와 상면의 접촉부는 수직방향 변위( $T_z$ ) 그리고 볼트 측면부는 수평 방향 변위( $T_x, T_y$ )를 Fig. 4와 같이 구속하였다. Ring eye와 고정 장치의 연결부는 1mm의 공차를 포함하는 효과를 고려하기 위하여 만나는 표면에는 세 가지 방향의 변위를 구속하는 선형 갭요소를 사용하였다. 이 요소는 마찰효과를 고려할 수 없고, 접촉면의 어떠한 관통도 허용되지 않는다. 선형 갭을 잘 활용하면 구조물 접촉 부위에 전달되는 하중을 실제와 가깝게 묘사할 수 있다. 고정 장치의 하중 방향은 헬리콥터의 크기에 따라서 변화하겠지만 45도에서 90도 사이에서 결정되며 상세 하중 방향은 Fig. 5와 같다. 최종강도를 확인하기 위하여 하중은 최대 100kN을 적용하였다.

### 2.3 비선형 붕괴 거동 해석결과

비선형해석을 수행하기 위해서는 반복계산이 필요하고 적용된 하중을 여러 단계로 나누어서 적용한다. 강성행렬을 생성하는 방법은 수정 뉴튼-랩슨(Modified Newton-Raphson)을 사용하였다. 이 방법은 주어진 하중에서 한번만 강성행렬을 계산한 후 계산된 값을 사용하여 반복계산을 수행하여 빠른 시간내에 해를 찾을 수 있는 장점이 있다. 반복계산에서의 해의 수렴여부를 판단하기 위하여 하중과 변위량에 대한 오차 범위를 1과 0.001 이내로 설정하였고, 수치해석에서 구한 해의 정확도를 결정하기 위해서, 각 반복 계산에서 구한 변위의 증가나 내력과 외력의 차이가 허용오차보다 작은 조건에서만 수렴한 것으로 판단하였다.

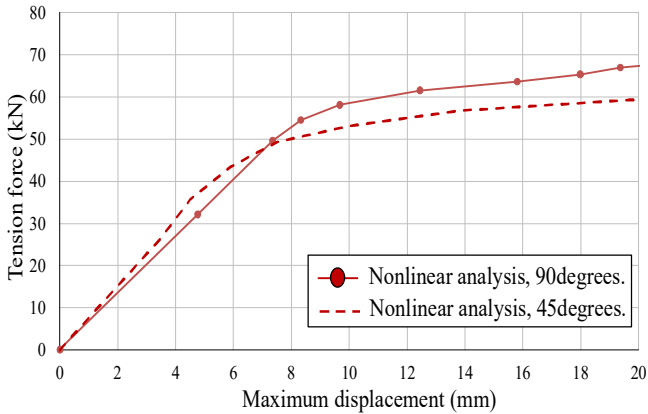


Fig. 6. A comparison of load-carrying capacity curve according to load conditions.

Ring eye와 체결되는 새클이 45도 방향으로 인장 하중이 작용할 경우 35kN 지점에서 초기항복이 발생하며, 고정 장치의 덮개와 ring eye가 만나는 곳을 Fig. 7-(a)에서 보여주고 있다. 초기항복 이후의 면내 강성 기울기 변화가 발생하며, ring eye에 항복 영역이 넓어지면서 최종강도는 59kN에서 수렴하는 결과를 Fig. 6에 나타내고 있다. 90도 인장 하중 조건에서는 초기항복이 50kN에서 발생하며, 그 이후 면내 강성 감소가 발생하면서 최종강도는 70kN 수준으로 수렴하고 있다. 하중 방향이 45도에서는 ring eye 하중 적용된 국부 부위에서 전단면 항복에 의한 구조 붕괴 거동으로 Fig. 8-(a)와 같다. 그러나 90도 조건에서는 하중 작용 위치를 중심으로 ring eye의 좌/우에서 대칭적인 응력 분담 효과가 발생하여 더 높은 최종강도를 나타내며, Fig. 8-(b)와 같다. 이러한 효과는 추후 헬리콥터 사양이 결정되면, 회전각이 조절되는 새클을 갖추어 경사각을 45도 이상으로 할 수 있는 조치를 한다면 좀 더 안전하게 고박 장치를 운용할 수 있다는 것을 나타내고 있다.

최종강도에서 모델 전체의 변형 형상과 변위 결과를 Fig. 9에 나타내고 있다. Ring eye 하중 작용 부위에서 최대 변위가 발생하며, 45도 결과가 더 큰 변위를 유발하였다.

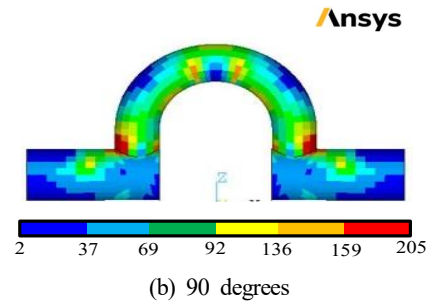
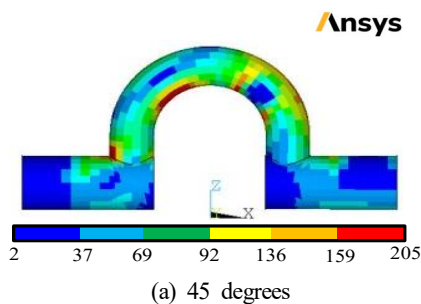


Fig. 7. A comparison of von-Mises stress contour at the initial yielding point (unit : MPa).

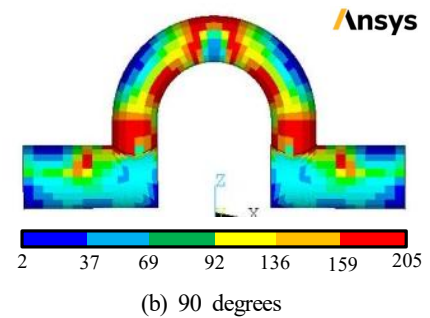
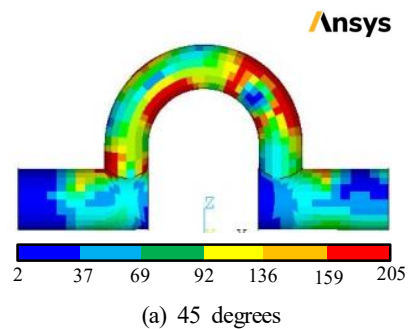
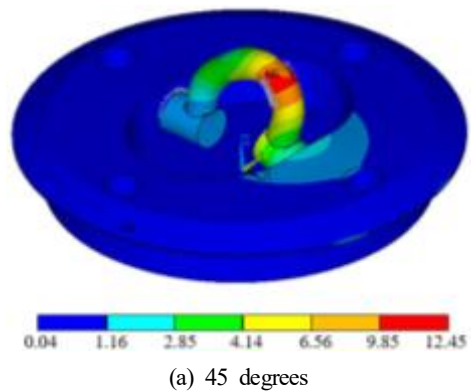


Fig. 8. A comparison of von-Mises stress contour at the ultimate strength point (unit : MPa).



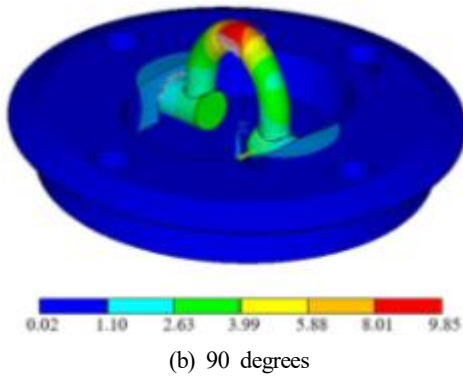


Fig. 9. A comparison of maximum displacement contour at the ultimate strength point (unit : mm).

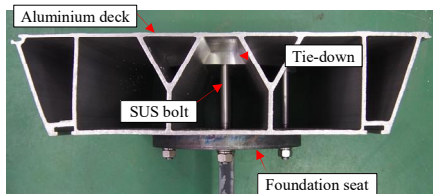
### 3. 구조 강도 실험

#### 3.1 실험 절차 및 방법

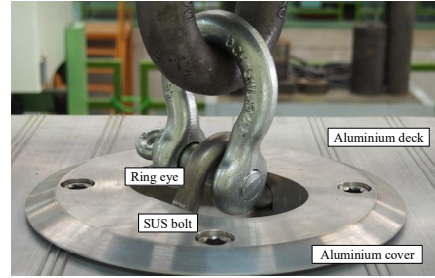
수치해석 방법에 따라 검토된 헬리콥터 고정 장치의 구조 안전성을 검증하기 위하여, 실험 장치에서 구현하기 쉬운 90도 인장 하중 작용 조건에 대한 실험을 수행하였고, Fig. 10-(a) 배치와 같다. 알루미늄 헬리데크를 구성하는 한 개의 판넬에 고정 장치를 매립하고, 수직방향으로는 볼트로 체결 구성하여 Fig. 10-(b), (c)에 나타내고 있다. 이는 실제에도 하부에 거더 플랜지에 볼트가 체결되는 효과를 구현하였으며, 알루미늄 판넬의 길이 방향과 폭 방향은 자유 단으로 별도의 구속 조건은 부여하지 않았다.



(a) experimental test facility



(b) aluminium deck and tie-down



(c) ring eye and tie-down

Fig. 10. Experimental test configuration.

마이크로컴퓨터 제어 유압 만능 시험기는 실린더 언더그라운드 마운트 메인 프레임 구조로 구성되어 있다. 이 장비는 강재의 인장 및 굽힘 실험에 널리 사용되고 있다. 실험의 정확성은 판독 값의 0.5% 이내이다. 시편을 고정하는 방법은 유압 클램핑을 이용하고, 피스톤의 최대 이동속도는 분당 60mm이다.

#### 3.2 실험 결과 및 분석

헬리콥터 고정 장치의 최종강도 거동과 ring eye의 파단까지를 실험적으로 구현하기 위하여 비선형해석에서 참고한 최대 하중 100kN 까지를 제어하는 것으로 계획을 수립하고 진행하였다. 구조해석은 45도와 90도 하중 조건에 대해서 수행하였고, 실험은 90도 에서의 결과를 Fig. 11에 비교하였다.

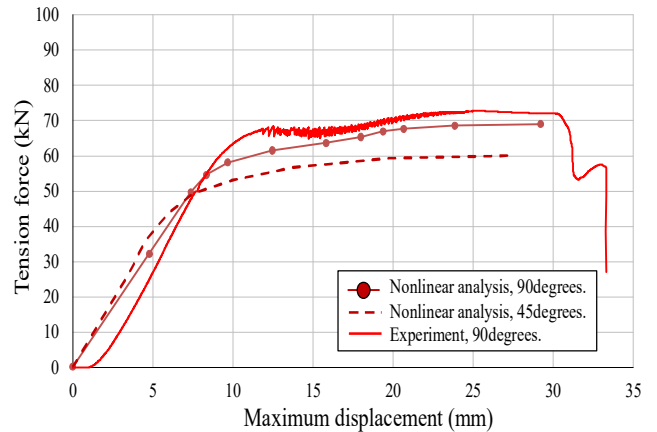


Fig. 11. A comparison results of between experiment and numerical simulation according to load conditions.

실험의 경우 하중 재하 초반부에 Ring eye 공차에 의해 미끄러지는 구간(Slip range)이 존재하고, 안정화 되면서 하중 증가에 따른 변위 증가 경향이 해석 결과와 유사하게 나타난다. 전반적으로 실험 결과가 해석결과에 비해서 높은 최종강도를 나타내며 최대 변위 30mm에서부터 실험체의 파단

이 시작되고 있다. 최종강도 차이는 해석에서 고려한 재료의 물성치와 시험편과의 차이에서 발생한 것으로 판단된다. 실험 하중 72kN이 작용하면 고정 장치 상면 접촉부에서 Fig. 12와 같은 파단이 발생한다. 이 하중 재하 시점부터 ring eye가 고정 장치 상면부에 국부적인 응력 집중이 발생하여 파단이 되는 거동을 보인다. 고정 장치의 안전사용하중을 증가시켜야할 경우 이 부위의 두께를 증가시키는 방안을 제안한다.

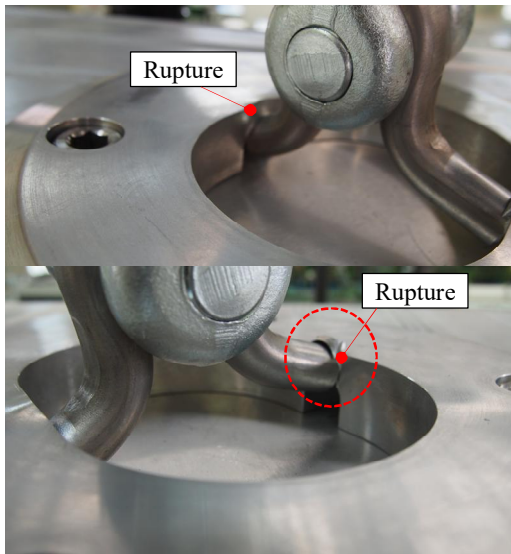


Fig. 12. Rupture of the tie-down surface at the ultimate load of 72kN (experimental test).

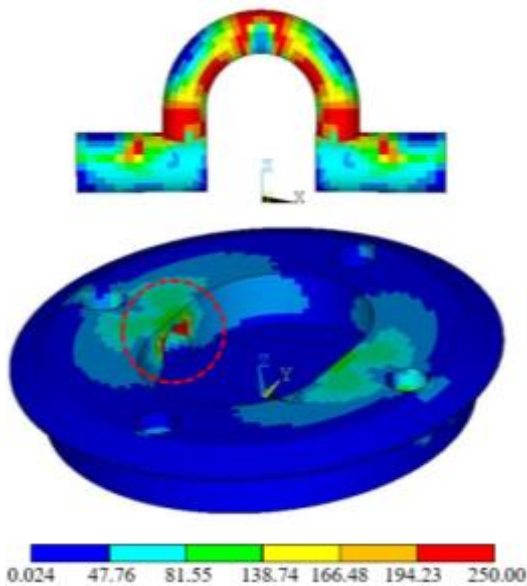


Fig. 13. Rupture of the tie-down surface at the ultimate load of 72kN (nonlinear analysis, unit : MPa).

앞서 언급한 고정 장치 상면부 파단관련 최종강도에서의 응력 분포 결과를 Fig. 13에 나타내고 있다. Ring eye와 접촉되는 부위가 재료의 항복응력인 250MPa에 도달했으며, 고정 장치의 다른 부위는 대체적으로 응력 수준이 낮음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구논문에서는 해양플랜트, 시추 및 저장 설비에서 필수적으로 사용하는 알루미늄 헬리덱에 사용 가능한 매립형 고정 장치를 개발하기 위하여 다양한 분야에 대해서 검토를 수행하였다. 알루미늄 데크와 고정 장치 본체는 합금 6082-T6 기반이고, ring eye와 고정용 볼트는 SUS316으로 선정하였다. 특히, SUS316은 알루미늄 재료와 이종재료 마찰에 의한 부식이 없으며, 내부식성 성능도 우수하다. 헬리콥터 고정 장치에 대한 상세 검토 연구에 대해서는 조사하지 못하였으며, 본 연구에서 제시하고 있는 비선형 최종강도 거동 기반의 구조 안전성 평가와 구조 강도 실험 검증 절차는 개발품의 신뢰성을 확보하는 데 도움이 되었다고 판단된다.

- 헬리콥터 크기와 데크 내 위치에 따라서 고박하는 각도는 변경되며, ring eye의 구조 강도 안전성을 높이기 위해서는 45도보다 큰 각도에서 배치가 될 수 있도록 조치하는 게 필요하다.
- 고정 장치의 두께를 변경하면 72kN 이상에서도 파단이 발생하지 않을 가능성이 크나, 데크 돌출 높이에 관한 규정으로 개선안이 필요하다. 매립되는 높이를 낮게 할수록 알루미늄 데크 구조에 미치는 영향을 자세히 검토하여 결정되어야 한다.
- 고정 장치의 안전사용하중은 CAP437 허용 기준인 50kN 보다 크게 나타나지만, 45도 조건에서는 초기항복이 발생한다. 실제 고박에서는 복수개의 고정 줄이 문제없이 고박되어 있다는 시나리오로 계산 조건의 현실화가 필요하다.
- 인장 하중 실험에 의한 최종강도 거동과 비선형구조 시뮬레이션의 추세는 유사하였다. 실험에서 초기 하중이 작용하고 ring eye가 첫 번째 접촉이 생기기 전까지는 미끄러짐 현상이 발생하였다.

향후 연구과제로서는 복잡한 모델링을 하지 않고 ring eye와 tie-down 부재의 안전사용하중을 계산할 수 있는 평가식의 개발이 필요하다. 평가식에서는 본 연구에서 확인된 초기항복, 국부적인 소성, 전단면 항복 현상에 대한 영향을 고려하도록 해야 한다. 이러한 연구를 위하여 본 연구에서는 기초적인 구조성능 검토 및 비선형해석 절차에 대해서 검토하였다.

## 사 사

This results was supported by “Regional Innovation Strategy (RIS)” through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE) (2021RIS-004).

---

Received : 2023. 05. 02.

Revised : 2023. 06. 02. (1st)

: 2023. 06. 20. (2nd)

Accepted : 2023. 06. 27.

## References

- [1] Agboifoh Emmanuel, Ibiba Emmanuel Douglas and Daniel Tamunodukobipi(2019), Structural Design Analysis of Helideck for an Existing Ocean Going Vessel, Americal Journal of Engineering Research, Vol. 8, Issue 5, pp. 365-377.
- [2] Civil Aviation Authority(2023), Chapter 3 - Helicopter landing areas-Physical characteristics, Helicopter tie-down points, pp. 67-68.
- [3] DNV(2020), Nauticus class products, Hull Structural Design, Class Notation-B.
- [4] Hughes, O. F.(2005), Ship Structural Design-A Rationally Based Optimization Approach, The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- [5] Koo, J. B., J. S. Park, Y. S. Ha, K. B. Jang, and Y. S. Suh(2014). Nonlinear Structural Response Analysis for Aluminum Helideck. Proceedings of the Twenty-fourth International Ocean and PolarEngineering Conference (pp. 977-984). Busan, Korea: International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE).
- [6] MSC Software(2012), Patran 2012 User’s Guide, Chapter 6, Material modeling, pp. 125-136.
- [7] Park, D. H., Y. J. Park, J. S. Park J. H. Kim, B. C. Kwon, and J. M. Lee(2014), Parametric Study for Helideck Design using Finite Element Analysis, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 28, Issue 5, pp. 411-422.
- [8] Park, J. S. and J. K. Seo(2017), Deformation-Based Design Method of Aluminium Helideck for EUROCODE 9, Journal of Applied Mechanical Engineering, Vol. 6, Issue 2, pp. 1-6.
- [9] STAAD-3D(2023), Bentley Software, Structural Analysis and Design Software, Offshore Structural Analysis, pp. 125-136.
- [10] Vaghefi, M., Hassan Bagheri and S. R. Mohebpour(2013), Nonlinear Analysis of Offshore Helidecks Due to the Helicopter Emergency Landing Loads, Middle-East Journal of Scientific Research, Vol. 13, pp. 1351-1358.