

## 해양플랜트용 알루미늄 헬리데크의 구조 건전성 평가방법

최 주 형 한국조선해양기자재연구원 시뮬레이션응용연구센터 책임연구원 | e-mail : jhchoi@komeri.re.kr

이 글에서는 해양플랜트 탑사이드(Topside)에 설치되는 알루미늄 헬리데크의 구조 건전성 평가 관련 이해를 돕기 위하여 알루미늄 헬리데크의 일반적인 특성 및 파손 평가 모델, 이론 및 Eurocode 9 코드체크 방법에 대하여 서술하고자 한다.

일반적으로 해양플랜트 탑사이드에는 헬리데크(Helideck), 플레어시스템(Flare system), 데릭(Derrick), 크레인(Crane) 등의 다양한 협소한 공간에 장비가 설치된다. 그 중에서도 특히 해양플랜트의 물자 수송 및 인명 구조 등을 위한 헬리콥터가 이착륙되는 헬리데크는 선종 및 해양플랜트의 크기, 목적에 따라 형상 및 무게가 모두 다르지만 일반적으로 약 200톤 이상의 고중량을 차지하고 있다.

최근 해양플랜트 탑사이드(Topside)는 길어진 수명주기와 더 높은 구조건전성 확보가 요구되고 있으나, 그에 반하여 해양플랜트 자체의 원가 절감을 위하여 경량화가 진행되고 있으며, 그에 발맞춰 국내의 해양플랜트 관련 기업 또한 제품의 경량화를 진행하고 있다. 하지만, 이전부터 진행된 경량화로 인하여 헬리데크의 구조 최적화를 통한 방법은 이미 한계에 도달한 상태이며, 최근에는 현재 상태에서 더 경량화된 제품의 제작을 위하여 원재료의 변경을 시도하고 있다.

일반적으로 헬리데크는 스틸(Steel) 계열의 재료로 제작되었으나, 최근에는 경량화에 적합한 알루미늄(Aluminum) 계열의 부재로 제작되고 있으며, 알루미늄은 스틸에 비하여 밀도가 약 3배 낮으며, 강도는 스틸의 약 3분의 2 수준으로 경량화를 위하여 최근 가장 적합한

재질로 적용되고 있다. 알루미늄 재질은 헬리데크뿐만 아니라 해양플랜트에 설치되는 빔 구조물인 데릭(Derrick), 플레어 시스템(Flare system) 등도 알루미늄 계열의 부재로 제작될 것으로 예상된다.

하지만 해양플랜트 빔(Beam) 구조물은 알루미늄 구조물로 제작 시 기본설계는 어느 정도 가능하지만 상세설계, 안전성 평가, 진동, 피로 등의 구조강도 평가에 대한 어려움을 겪고 있으며, 신뢰성을 확보한 상용 프로그램 또한 개발되어 있지 않아 국내 엔지니어링 기술로는 안전성 확보에 대한 선급 및 선주의 승인을 획득하기 어려운 실정이다.

해양플랜트용 알루미늄 구조물은 유럽 내 통합코드인 유로코드(Eurocode)를 사용하여 구조건전성을 평가한다. 본래 본 규정은 유럽 내에서 사용되는 건설규정이지만 최근 전세계적으로 사용되고 있으며, 해양플랜트 구조물 평가분야 특히 알루미늄 구조물에 대한 구조건전성 평가 분야에서 주로 쓰이고 있다. 알루미늄 구조건전성 평가에 사용되는 규정은 'Eurocode 9 : Design of aluminum structures - Part 1-1 : General structural rules' 이며 본 규정 이외에도 DNV, AISC, API 등의 다양한 규정을 혼용하여 사용하고 있다. 일반적으로 적용되는 규정의 리스트는 선주 및 선급과 협의하여 적용된다.

해양플랜트용 알루미늄 헬리데크는 선주 및 선급과 결정한 기본하중 규정, 하중 조합 규정, 마지막으로 구조 건전성 평가 규정을 적용하며 최종적으로 알루미늄 헬리데크의 설계 및 구조 건전성 검증이 가능하다.

## 알루미늄 헬리데크 구조건전성 검증 규정 및 모델

해양플랜트용 헬리데크의 구조 건전성을 판단하기 위하여 다양한 규정이 적용되고 있다. 일반적으로 평가에 사용되는 규정은 CAP 437-Offshore Helicopter

Landing Area - Guidance on Standards, DNV-OS-E401 Helicopter decks, ICAO Heliport Manual, API RP 2L - Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Heliports for Fixed Offshore Platforms, AISC LRFD - Steel construction manual, Eurocode9 : Design of aluminum structures 등 다양한 규정이 있다. 위의 규정에는 크게 세 가지의 내용으로 구성되어 있다. 첫째는 헬리데크에 작용하는 하중에 대한 규정, 둘째는 작용하는 하중에 대한 다양한 경우의 시나리오를 구성하여 하중 조합 및 계수를 적용하는 규정, 마지막으로

표 1 헬리데크 규정별 주요하중 정리

		CAP437	DNV OS E401	API RP 2L	ICAO	Eurocode 9
Wind	Velocity	25 m/s	30 m/s 55 m/s	-	-	-
	Vertical	-	2.0 ~ 0.0	-	-	+ 0.2 - 1.3
	Horizontal	1.0	0.75 ~ 1.6	1.0	-	0.75 ~ 1.6
Helicopter Lading	Normal	-	2.0	-	-	-
	Emergency	3.25	3.0	-	3.25	-
	Impact	1.95	-	1.5	-	-
	Lateral	0.5	0.2 0.5	-	0.5	-
	Area	-	Wheel area	-	-	-
Tie down load	-	50 kN or 0.6 x MTOW	-	-	-	
Live Load (kN/m <sup>2</sup> )	2.0	-	2.0	-	-	



그림 1 해양플랜트용 알루미늄 헬리데크(네덜란드, Bayard 사)

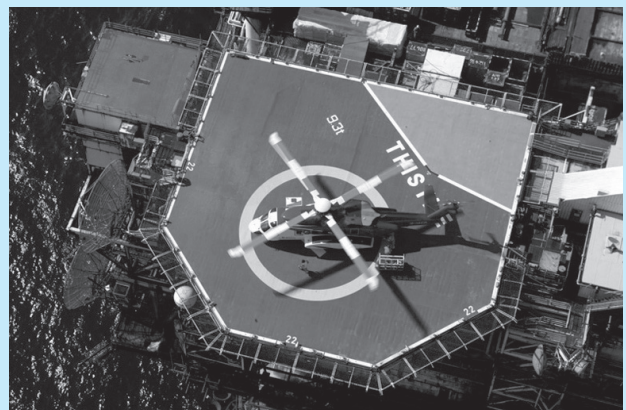


그림 2 해양플랜트용 스틸 헬리데크(스페인, Helitecnica 사)

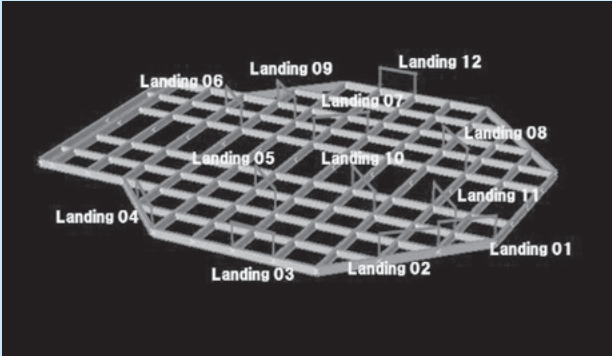


그림 3 헬리콥터 착륙 하중

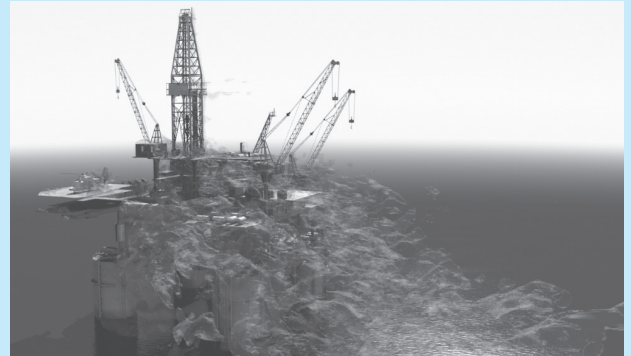


그림 4 헬리데크 바람 하중



그림 5 헬리데크 슬래밍 하중



그림 6 헬리데크 눈 하중

본 하중조합을 적용한 각 재료의 해석결과를 판단하는 규정으로 나누어진다. 아래 표에는 헬리데크 규정별 주요 하중에 대한 정리를 나타내었다.

헬리데크에 적용되는 주요하중은 아래 그림에 나타내었으며, 자중, 헬리콥터 착륙 하중, 바람, 슬래밍, 눈 등의 하중이 적용된다. 헬리데크의 구조 건전성은 시뮬레이션 흐름도에 따라 적용을 위한 다양한 규정 선정 후 기본 하중을 적용하며, 하중조합 규정에 맞도록 시나리오 선정 및 하중에 맞는 계수를 적용하여 하중조합을 구성한 후 상용화 프로그램을 적용하여 시뮬레이션을 진행한다. 진행 후 각각의 빔 구조

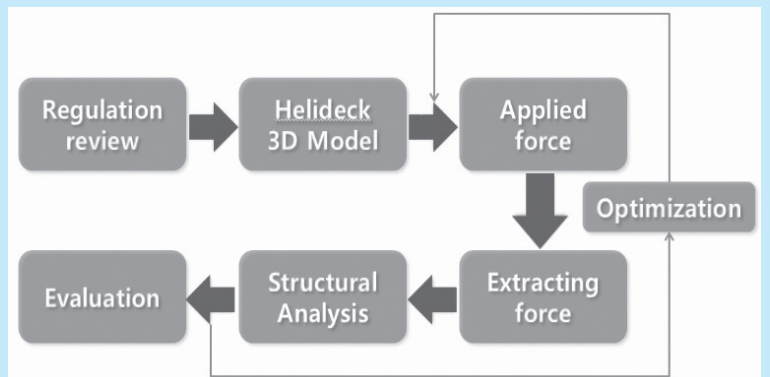


그림 7 알루미늄 헬리데크 시뮬레이션 흐름도

물에 작용하는 하중을 추출한다. 최종적으로 자체 제작된 프로그램을 바탕으로 구조 건전성 검증을 진행한다.

## 알루미늄 헬리덱 구조 건전성 검증 이론 및 평가

해양플랜트용 헬리덱의 구조 건전성은 인장, 압축, 굽힘, 전단, 비틀림, 좌굴의 각각 하중에 의한 구조물의 안전성 평가 그리고 전단 & 비틀림, 굽힘 & 전단, 굽힘 & 인장, 압축의 조합하중에 대한 구조물의 안전성 평가가 진행된다. 본 평가 방법은 알루미늄 코드체크 규정인 Eurocode9 내에 제시되어 있는 평가방법이며, 본 이론은 일반 구조식에 경험식에 의한 계수를 적용한 형태로 이루어져 있음을 알 수 있으며, 실제 구조물이 견딜 수 있는 최대의 하중을 산출하고 실제 작용하는 하중을 나누어 본 결과가 1.0 미만인 결과가 산출될 경우 구조물이 안전하다고 판단하는 코드체크를 진행한다.

상세한 구조 이론은 식 (1) ~ (17)에 정리하여 나타내었다. 상세한 이론의 설명은 각 이론식 아래에 자세하게 설명하였다. 본 구조 건전성 검증 이론 중 (17)에 제시된 굽힘 & 인장, 압축의 조합 하중에 의한 결과에 일반적으로 가장 높은 응력결과가 발생하며, 국부적으로 전단 및 좌굴에 의한 문제가 발생하는 경우도 있다.

- 인장

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1, 0 \quad (1)$$

$$N_{o,Rd} = A_g f_o / \gamma_{M1} \quad (2)$$

여기서,  $A_g$ 는 gross section( $mm^2$ ),  $f_o$ 는 0.2% proof stress(MPa),  $\gamma_{M1}$ 은 Material factor를 의미한다.

- 압축

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1, 0 \quad (3)$$

$$N_{o,Rd} = A_g f_o / \gamma_{M1} \quad (4)$$

여기서, 각 값들은 인장과 동일하게 적용되며, 인장과 압축은 하중의 양의 값과 음의 값의 차이가 있을 뿐 그

식이 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

- 굽힘

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1, 0 \quad (5)$$

$$M_{Rd} = W_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (6)$$

여기서,  $W_{net}$ 는 탄성단면계수( $mm^4$ ),  $f_u$ 는 ultimate tensile stress(MPa),  $\gamma_{M2}$ 는 Material factor를 의미한다.

- 전단

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1, 0 \quad (7)$$

$$V_{Rd} = A_V f_o / \sqrt{3} \gamma_{M1} \quad (8)$$

여기서,  $A_V$ 는 Shear area이며, 그 외에 나머지 값들은 위에 나열한 항목과 동일하다.

- 비틀림

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1, 0 \quad (9)$$

$$T_{Rd} = W_{T,pl} f_o / \sqrt{3} \gamma_{M1} \quad (10)$$

여기서,  $W_{T,pl}$ 는 소성단면계수( $mm^4$ )를 의미하며, 그 외의 값들은 다른 위의 항목과 동일하다.

- 좌굴

$$\left( \frac{N_{Ed}}{X_y W_X N_{Rd}} \right)^{\zeta_{wc}} + \frac{M_{y,Ed}}{w_0 M_{y,Rd}} \leq 1, 0 \quad (11)$$

$$\left( \frac{N_{Ed}}{X_y W_X N_{Rd}} \right)^{\eta_c} + \left( \frac{M_{z,Ed}}{w_0 M_{z,Rd}} \right)^{\zeta_{wc}} \leq 1, 0 \quad (12)$$

여기서, 좌굴은 y, z 각 방향으로 검토하며, 다양한 factor 등이 적용되어 높은 안전율을 확보하고 있다.



```

***** Section data Input *****
- Height (mm) = 430
- Width (mm) = 180
- Flange thickness (mm) = 11.5
- Web thickness (mm) = 50

***** Load data Input *****
- Fx (kN) = -401.53
- Fy (kN) = -0.53
- Fz (kN) = 90.3
- Mx (kNm) = 0.0
- My (kNm) = 174.51
- Mz (kNm) = -1.57

```

그림 8 알루미늄 헬리데크 입력 데이터

```

***** Eurocode 9 - Code check result *****

*** 1. Compression ***
- Code check result = 0.07
- Evaluation = 'OK'

*** 2. Bending ***
2-1. Bending moment(In a net section)
- Code check result = 0.33
- Evaluation = 'OK'

2-2. Bending moment
- Code check result = 0.34
- Evaluation = 'OK'

2-3. Bending moment(At each cross section)
- Code check result = 0.25
- Evaluation = 'OK'

*** 3. Shear ***
- Code check result = 0.03
- Evaluation = 'OK'

*** 4. Torsion ***
- Code check result = 0.0
- Evaluation = 'OK'

```

그림 9 알루미늄 헬리데크 평가 결과 (1)

- 전단 & 비틀림

$$\frac{V_{Ed}}{V_{T,Rd}} \leq 1, 0 \quad (13)$$

$$V_{T,Rd} = 1 - \sqrt{\frac{\tau_{t,Ed}\sqrt{3}}{1.25f_o/\gamma_{M1}}} V_{Rd} \quad (14)$$

- 굽힘 & 전단

$$\frac{M_{Ed}}{M_{V,Rd}} \leq 1, 0 \quad (15)$$

$$M_{V,Rd} = t_f b_f (h - t_f) \frac{f_o}{\gamma_{M1}} + \frac{t_w h_w^2}{4} \frac{f_o v}{\gamma_{M1}} \quad (16)$$

- 굽힘 & 인장, 압축

$$\left(\frac{N_{Ed}}{w_o N_{Rd}}\right)^{\xi_0} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{w_o M_{y,Rd}}\right)^{\gamma_0} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{w_o M_{z,Rd}}\right)^{\xi_0} \leq 1, 0 \quad (17)$$

```

*** 5. Buckling ***
5-1. Flexural Buckling
5-1-1. For major axis(y-axis) bending
- Code check result = 0.45
- Evaluation = 'OK'

5-1-2. For minor axis(z-axis) bending
- Code check result = 0.15
- Evaluation = 'OK'

5-2. Lateral & torsional Buckling
- Code check result = 0.4
- Evaluation = 'OK'

*** 6. Combined shear force and torsional ***
- Code check result = 0.03
- Evaluation = 'OK'

*** 7. Bending and shear ***
- Code check result = 0.66
- Evaluation = 'OK'

*** 8. Bending and Axial ***
*** 8-1. Bending(y) and Axial ***
- Code check result = 0.51
- Evaluation = 'OK'

*** 8-2. Bending(y & z) and Axial ***
- Code check result = 0.53
- Evaluation = 'OK'

```

그림 10 알루미늄 헬리데크 평가 결과 (2)

식 (1) ~ (17)을 기초로 자체 제작된 프로그램은 그림 8의 입력 데이터인 단면 정보와 구조물에 작용하는 최대하중을 입력하면 아래 그림에서 각각의 하중 및 조합 하중에 의한 구조 건전성 평가 결과를 출력하는 프로그램을 이용하여 구조물의 건전성을 평가한다.

## 맺음말

해양플랜트용 탑사이드 경량화를 위하여 제작되는 알루미늄 헬리데크의 구조 건전성을 판단하기 위한 규정 및 이론, 평가 방법에 대하여 Eurocode9 규정의 적용 절차와 적용 결과를 기술하였다. 현재 국내에서 선급 및 선주의 신뢰성 확보를 위한 알루미늄 구조물의 엔지니어링 기술을 보유하지 못한 상태에서 본 연구 결과를 통하여 각 하중 및 조합에 대하여 평가에 대한 이론을 파악하고 시뮬레이션에 의하여 구조 건전성에 대한 신뢰성을 획득할 수 있었다. 본 규정에 의한 평가 방법 및 절차, 구조건전성 평가 프로그램을 적용한다면 앞으로도 제작될 알루미늄 구조물의 구조 건전성 평가에 유용한 도구로 활용할 수 있다.