유전 알고리즘 및 AISC 표준 단면을 사용한 경량화 헬리덱 구조 최적설계

심 기 찬¹ · 김 병 모² · 김 찬 영¹ · 하 승 현^{3*}

¹한국해양대학교 해양공학과 석사과정, ²한국해양대학교 해양과학기술융합학과 박사과정, ³한국해양대학교 해양공학과 부교수

Structural Design Optimization of Lightweight Offshore Helidecks Using a Genetic Algorithm and AISC Standard Sections

Kichan Sim¹, Byungmo Kim², Chanyeong Kim¹ and Seung-Hyun Ha^{3*}

¹Graduate Student, Department of Ocean Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

²Graduate Student, Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

³Associate Professor, Department of Ocean Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

Abstract

A helideck is one of the essential structures in offshore platforms for the transportation of goods and operating personnel between land and offshore sites. As such, it should be carefully designed and installed for the safety of the offshore platform. In this study, a structural design optimization method for a lightweight offshore helideck is developed based on a genetic algorithm and an attainable design set concept. A helideck consists of several types of structural members such as plates, girders, stiffeners, trusses, and support elements, and the dimensions of these members are typically pre-defined by manufacturers. Therefore, design sets are defined by collecting the standard section data for these members from the American Institute of Steel Construction (AISC), and integer section labels are assigned as design variables in the genetic algorithm. The objective is to minimize the total weight of the offshore helideck while satisfying the maximum allowable stress criterion under various loading conditions including self-weight, wind direction, landing position, and landing condition. In addition, the unity check process is also utilized for additional verification of structural safety against buckling failure of the helideck.

Keywords : offshore helideck, AISC standard sections, genetic algorithm, unity check, safety evaluation

1. 서 론

헬리덱은 물자 및 운용 인원을 선박 또는 해양플랜트로 운송하기 위해 필수적으로 설치되어야 하는 시설로서 헬리패드(helipad), 수직 타입(vertical-type) 또는 캔틸레버 타입(cantilever-type) 등 몇 가지 유형의 구조로 설계될 수 있다. 일반적으로 헬리덱은 헬리콥터의 이착륙을 용이하게 하기 위해 구조물 상부에 설치된다. 그러나 일반 상선과는 달리 해양 플랫폼은 탑사이드에 다양하고 복잡한 설비를 갖추고 있는 경우가 많기 때문에, Fig. 1과 같은 캔틸레버 타입의 헬리덱을

주로 사용한다. 캔틸레버 타입 헬리덱은 플랫폼 공간을 이용하는데 효율적일 뿐 아니라, 헬리콥터와 시설과의 충돌을 미연에 방지하는 효과도 있다.

캔틸레버 타입 헬리덱은 갑판 상부의 바깥쪽에 위치하고 있기 때문에 무게가 무거울수록 플랫폼의 안정성이 나빠질 수 있다. 또한 외팔보 형태이므로 자중이 커질수록 고정단에서의 굽힘 모멘트 및 응력이 증가하는 원인이 되어 구조적 안전성에 영향을 줄 수 있다. 따라서 캔틸레버형 헬리덱은 가벼울수록 경제적이며, 해양플랜트 및 헬리덱 자체의 구조적 안전성에 있어도 유익하다.

* Corresponding author:

Tel: +82-51-410-5246; E-mail: shha@kmou.ac.kr

Received September 20 2019; Revised September 27 2019;

Accepted September 28 2019

©2019 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Fig. 1 Cantilever-type helideck

이러한 측면에서 지금까지 여러 선행 연구가 진행되어 왔다. Jung 등(2017)은 위상 최적설계(topology optimization)를 적용하여 최적의 트러스 격자 구조를 설계하고 매개 변수 연구를 통하여 부재 단면의 개별 크기를 결정함으로써 경량화 헬리덱을 설계하였다. 그 후, Kim 등(2018)은 다양한 상황에서 착륙 위치와 풍향의 조합을 바꿔가며 경량화 헬리덱 디자인의 동적 안정성을 평가하였다. 그러나 단면의 개별 치수가 독립적으로 최적화된 경우, 이에 부합하는 강재 부재를 시중에서 구매하기가 쉽지 않다. 또한 최대 허용응력 기준만을 고려한 최적설계는 보수적인 설계를 선호하는 해양구조물 시장에서 설득력이 떨어질 수 있다. 위와 같은 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 허용응력비 검사(unity check)를 추가적인 제약조건으로 최적화 과정에 포함하였다. 또한 헬리덱의 제작 가능성을 향상시키기 위해 다양한 AISC 표준 단면들(AISC, 2017)로 구성된 설계 집합 내에서 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 적용하여 중량 최소화를 목적으로 최적설계를 수행하였다.

2. 헬리덱 모델링 및 설계하중

2.1 헬리덱 모델링

Jung 등(2017)은 Fig. 2와 같이 플레이트(plate), 보강재(stiffeners), 거더(girders), 트러스(trusses), 그리고 서포트(supports)로 구성된 캔틸레버 타입의 헬리덱 초기 모델을 설계하였다. 이 중에서 경량화된 트러스 배치는 부피 제약조건 20% 아래에서 컴플라이언스(compliance) 최소화를 목적으로 위상 최적설계를 적용하여 설계하였으며, 초기 모델과 최적화 모델은 Fig. 3에 각각 나타나 있다. 헬리덱은 팔각형 플레이트가 사용되었고, 트러스와 서포트의 단면은 I 형 단면, 거더와 보강재의 단면은 각각 T형 및 L형으로 설계되었다.

Fig. 2 Helideck member group(Jung *et al.*, 2017)

Fig. 3 Initial and optimized helideck models (Jung *et al.*, 2017)

2.2 설계하중 조건

헬리덱의 설계하중에는 착륙하중, 적설하중, 갑판 침입하중 등 여러 가지 환경 요인이 있다. 그 중에서 헬리콥터 착륙하중은 헬기의 총 중량이 작은 면적에 집중되기 때문에 매우 큰 국소적인 압력을 일으킨다. 따라서 본 연구에서는 착륙하중을 우선적으로 고려하여 설계하였다. 헬기 착륙 조건은 일반 착륙과 비상 착륙의 두 가지 착륙 조건으로 나눌 수 있다(DNV, 2001). 각 착륙 조건에서의 허용응력(σ_A)은 아래의 식 (1)에 의해 결정된다.

$$\sigma_A = \eta \sigma_Y \quad (1)$$

여기에서 사용 계수(η)는 일반 착륙 경우는 0.67이며, 비상 착륙의 경우 1이다. 본 연구에서는 355MPa의 항복응력(σ_Y)을 가지는 고장력 구조용 강재인 HT-36을 사용하였다.

설계 착륙하중은 헬리콥터의 최대 이륙 중량(maximum take-off weight, MTOW)에 하중 계수를 곱하여 계산된다. 가장 무거운 상업용 헬리콥터로 알려진 EH-101 헬기의 MTOW는 약 14.6톤이다. 하중 계수에 관해서는, DNV-OS-E401(DNV, 2001), CAA의 CAP437(CAA, 2013) 등 여러 기관의 규정에

따라 동적하중 계수와 구조응답 계수 두 가지 요소를 고려할 수 있다. 본 연구에서는 보수적인 설계를 위해 위의 두 가지를 식 (2)와 같이 함께 적용했다.

$$F_L = C_s \times C_d \times g \times MTOW \quad (2)$$

여기서, F_L 은 설계착륙하중, C_s 는 구조 응답 계수, C_d 는 동적하중 계수, 그리고 g 는 중력 가속도이다. 본 연구에서는 설계하중 영역인 타이어 표면적(A_L)을 $0.08\text{m}^2(0.4\text{m} \times 0.2\text{m})$ 의 직사각형으로 모델링(Jung *et al.*, 2017)하여 식 (3)에 의해 압력하중을 산출하였다.

$$P_L = \frac{F_L}{A_L} = \frac{C_s \times C_d \times g \times MTOW}{A_L} \quad (3)$$

한편, 헬리콥터 착륙 시 착륙하중과 함께 풍하중을 고려해야 한다(DNV, 2001). 풍하중(P_W)은 Fig. 4와 같이 플레이트 전역의 연직 정압으로 보고 아래의 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. DNV-OS-E401에 따르면, 최대 풍속은 헬리콥터 착륙 시 30m/s로 제한되어 있으며, 압력 계수(C_p)는 leading edge ($C_p=2$)에서 trailing edge($C_p=0$)까지 선형적으로 변화한다. 밀도(ρ)는 공기의 밀도값인 1.225kg/m^3 가 사용되었다.

$$P_W = \frac{1}{2} C_p \rho V^2 \quad (4)$$

Fig. 4 Wind load on Helideck plate

3. 헬리덱 최적화

3.1 착륙하중과 풍하중

여러 착륙 상황에서의 구조적 안전성을 확보하기 위해서 착륙 하중과 풍하중의 다양한 조합을 고려해야 한다. 헬리덱의 좌우 대칭성을 고려하여 Fig. 5와 같이 9개의 착륙하중과 5개의 풍하중을 조합하여 매 최적설계 단계마다 총 45개의 하중조건을 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 위와 같은 계산시간

소요를 줄이기 위해서 14개의 하중 조건, 즉 9개의 착륙 조건 및 5개의 풍하중 조건을 별도로 해석한 후 선형 중첩법을 사용하여 모든 조합에 대한 응력을 계산하였다.

Fig. 5 Landing load and wind load

3.2 허용응력비 검사

본 연구에서는 DNV-OS-E401에서 제공하는 허용응력 기준 이외에 미국 강구조 협회(american institute of steel construction, AISC)의 허용응력 설계법(allowable stress design, ASD)을 참고하여 구조 안전성에 대해 보다 보수적인 지표인 허용응력비 검사(AISC, 1989)를 최적설계 과정에 추가적으로 고려하였다.

허용응력비 계산에서 사용되는 부재력을 구하기 위해서 유한요소 모델의 선(line) 요소들의 응력값 중 가장 큰 값을 부재의 응력으로 사용하였는데, 주로 부재의 양 끝에서 가장 큰 응력 값이 도출되었다. 각 부재는 최적화 과정에서 식 (5a)~(5c)와 같이 축 방향 및 굽힘 성분($UC1$), 전단 성분($UC2$), 그리고 좌굴 성분($UC3$)에 대한 허용응력비가 평가된다. 구조적 안전성을 보장하기 위해 위의 세 가지 중 가장 큰 값인 임계 허용응력비(critical unity ratio, UC_{max})가 1 보다 작아야 한다.

$$UC1(combine \ unity \ ratio) = \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} \quad (5a)$$

$$UC2(shear \ unity \ ratio) = \max\left(\frac{f_{vy}}{F_{vy}}, \frac{f_{vz}}{F_{vz}}\right) \quad (5b)$$

$$UC3(buckling \ unity \ ratio) = \max\left(\frac{f_a}{F_{ey}}, \frac{f_a}{F_{ez}}\right) \quad (5c)$$

여기서, f_a , f_{by} , f_{bz} , f_{vy} , f_{vz} 는 각각 실제 발생하는 축 응력,

y 축 및 z 축 방향 굽힘 응력과 전단 응력이며, F_a , F_{by} , F_{bz} , F_{vy} , F_{vz} , F_{ey} , F_{ez} 는 각각 허용 축 응력, y 축 및 z 축 방향 허용 굽힘 응력, 허용 전단 응력 및 오일러 허용 좌굴 응력이다.

3.3 강도 제약 조건

DNV-OS-E401에는 헬리테크 플레이트의 두께와 보강재의 단면 계수에 대한 강도 요구 사항이 있다. 강판의 최소 두께 t 는 식 (6)과 같이, 그리고 보강재의 최소 단면 계수 Z 는 식 (7)과 같이 요구된다(DNV, 2001).

$$t \geq \frac{62.4k_{pl}k_a\sqrt{k_wbsP_L}}{\sqrt{m\sigma_Y}} \quad (6)$$

$$Z \geq \frac{1.34 \times 10^6 k_z l a b P_L}{n \sigma_Y} \quad (7)$$

여기서, $k_{pl}=1$, $k_a=1.1-(s/4l)$, $k_w=1.3-4.2/((a/s)+1.8)^2$, $m=38/((b/s)^2-1.7(b/s)+6.5)$ 이다. a 와 b 는 설계 착륙하중 영역의 각 변의 길이이고 s 는 보강재의 간격, l 는 보강재의 길이이다. 또한 식 (7)에서 $k_z=1.15-0.025(b/s)$, $n=r/((a/l)^2-4.7(a/l)+6.5)$ 이고, 여기서 $r=29$, $k_z=1$ 을 사용하였다.

3.4 AISC 표준 단면

본 연구에서는 캔틸레버 타입 헬리테크의 각 구조 부재 단면이 AISC 표준 단면들 중에서만 얻어질 수 있도록 설계되었다. 따라서 최적화된 디자인은 상용 부재들만으로 구성되어 구조부재 조달 및 조립이 수월하고 총 건설비용도 저감할 수 있다. 먼저 AISC 상용 단면 정보를 Table 1~3과 같이 헬리테크를 구성하는 부재의 단면 형상별로 분류하였다. 각 단면 형상별로 구분된 AISC 상용 단면 정보를 단면적의 오름차순으로 정렬한 후 정수 단면 번호(integer section ID)를 부여하였다. 본 연구에서 사용된 상용 단면 번호의 수는 거더에 사용되는 T 단면의 경우 325개, 그리고 트러스 및 서포트에 사용되는 I 단면의 경우 351개이다. 보강재에 사용되는 L 단면의 경우에는 원래 총 137개 중 식 (7)의 조건을 만족하는 단면만을 추린 15개가 사용되었다. 설계 변수는 총 4개로 각 구조 부재 그룹(girders, stiffeners, trusses, supports)과 대응한다.

본 연구에서 설계 변수는 정수로 이루어진 단면 번호이기 때문에 민감도 기반이 아닌 유전 알고리즘을 이용하여 최적설계를 수행하였다. 나열된 유전자(gene)들로 구성된 염색체(chro-

mosome)들 간의 진화연산을 통해 최적해를 탐색하는 유전 알고리즘은 Holland(1975)에 의해 처음 제안된 이후 다양한 분야에 널리 응용되어 왔으며, 구조 최적설계 분야에서도 활발히 적용되어 왔다(Deb *et al.*, 2001; Balling *et al.*, 2006; Rahami *et al.*, 2008). 헬리테크를 구성하는 각 부재 그룹의 단면 번호는 유전자에 대응하고, 그들의 조합이 염색체로서 헬리테크 설계를 표현하므로 유전 알고리즘에 용이하게 적용할 수 있다.

Table 1 AISC T-shaped standard sections

	Design variable	AISC commercial cross-sectional size(m)			
	Section ID	b	d	t1	t2
	1	0.0508	0.0752	0.0033	0.0025
	...	...			
	325	0.4724	0.5486	0.1151	0.0767

Table 2 AISC L-shaped standard sections

	Design variable	AISC commercial cross-sectional size(m)			
	Section ID	b	d	t1	t2
	1	0.2032	0.2032	0.0159	0.0159
	...	...			
	15	0.3048	0.3048	0.0351	0.0351

Table 3 AISC I-shaped standard sections

	Design variable	AISC commercial cross-sectional size(m)			
	Section ID	b	d	t1	t2
	1	0.0572	0.0762	0.0033	0.0023
	...	...			
	351	0.4724	1.0947	0.1151	0.0767

3.5 최적화 문제 정식화

설계 변수는 기본적으로 거더, 보강재, 트러스 및 서포트의 단면 치수를 나타내는 4개의 염색체로 배열되어 있다. 최적설계 정식화는 다음의 식 (8)과 같이 제약조건 내에서의 헬리테크의 무게(W) 최소화로 정의된다.

$$\text{Find } S = \{S_1, S_2, S_3, S_4\} \quad (8)$$

$$\text{Minimize } W$$

$$\text{Subject to } \sigma < \sigma_A$$

$$UC_{\max} < 1$$

$$1 \leq S_1 \leq 325$$

$$1 \leq S_2 \leq 15$$

$$1 \leq S_3, S_4 \leq 351$$

$$S_1, S_2, S_3, S_4 = integer$$

위의 최적설계 정식화를 바탕으로 캔틸레버 타입 헬리데크의 최적설계가 Fig. 6과 같이 진행된다. 초기 집단이 생성되고 상용 구조 해석 프로그램인 ANSYS Mechanical APDL에 입력되면, 정수 단면 번호에 따른 단면 치수로 유한요소모델이 수정된다. 그 후, 구조해석을 수행하고 선형 중첩법을 이용해 모든 하중조건에서 허용응력 조건을 검토한다. 허용응력 조건을 만족하지 않는 경우 목적 함수에 페널티를 가하고, 허용응력 조건을 만족하게 되면 허용응력비 검사에 필요한 데이터를 수집하여 출력한다. In-house code로 임계 허용응력비를 계산하여 1을 넘는 부재가 존재하면 앞서와 동일한 페널티를 부여한다. 위의 허용응력 조건, 허용응력비 조건을 모두 만족하면 해당 설계의 무게를 목적 함수로 출력한다.

Fig. 6 Helideck optimization flow chart

매 세대(generation)마다 모든 개체의 목적 함수 값을 모두 검토한 후, 목적 함수 값을 바탕으로 적합도 평가(fitness assignment)를 수행한다. 다음으로 선택(selection), 교차(crossover), 변이(mutation), 대체(replace) 등의 진화연산(genetic operation)을 통해 다음 세대 염색체 집단을 생성한다. 위 과정은 설정한 세대 수(generation limit)를 만족할 때까지 반복 수행된다.

3.6 부재 그룹 세분화

캔틸레버 타입 헬리데크의 설계 변수는 헬리데크를 구성하는 부재 그룹과 대응하고, 각 부재 그룹 내의 모든 부재들은

같은 단면 치수를 가진다. 초기에는 거더, 보강재, 트러스, 서포트의 네 부재 그룹에 대해 4개의 설계 변수를 설정하여 최적화를 수행하였다(4-DV 모델).

한편, 보다 효율적으로 최적설계를 수행하기 위해 부재 그룹을 세분화하여 설계 변수의 개수를 늘림으로써 경량화의 효과를 높였다. Fig. 7과 같이 트러스 부재 그룹을 수평, 수직, 대각 부재 그룹(TRS_H, TRS_V, TRS_D)으로 세분화하였고, 서포트 부재 그룹을 좌우 대칭성을 고려한 5쌍의 그룹(SPT1, SPT2, SPT3, SPT4, SPT5)으로 세분화하였다(10-DV 모델). 이로써 설계 변수는 4개에서 10개로 증가하고, 헬리데크를 더 다양한 단면 조합으로 나타낼 수 있다.

Fig. 7 Categorization of (a) truss, (b) support group

4. 최적화 결과

앞서 언급한 두 가지 모델(4-DV 모델, 10-DV 모델)의 최적설계를 수행하였다. 개체의 수(population size)와 세대 제한은 4-DV 모델의 경우 300, 30으로 설정하였고, 10-DV 모델의 경우 400, 40으로 설정하였다. 두 모델 모두 Fig. 8과 같이 진화를 거치면서 수렴하였음을 확인하였다. 두 모델의 초기 질량은 상용 단면 중 가장 단면적이 큰 단면들로 이루어진 모델로 약 1,550톤이다. 세대를 거치면서 Fig. 9와 같이 각 부재 그룹의 질량이 감소하였다. 10-DV 모델의 총 거더 무게는 4-DV 모델에 비해 약 20톤 증가하였지만 트러스와 서포트에서 그 이상 감소하여 전체 무게가 더 낮음을 확인할 수 있다.

(a) 4-DV model

(b) 10-DV model

Fig. 8 Convergence history

(a) 4-DV model

(b) 10-DV model

Fig. 9 Mass reduction for each members from the largest AISC section

Table 4와 같이 최적설계된 4-DV 모델의 경우, Fig. 5의 착륙 위치 9번, 풍향 4번에서 282MPa로 가장 큰 등가 응력 (equivalent stress)이 발생하였고, 착륙 위치 4번, 풍향 3번에서 0.9789로 최대 임계 허용응력비가 발생하여 두 제약조

Table 4 Optimized result for 4-DV model

Member group	AISC Label	b(m)	d(m)	t1(m)	t2(m)
Girder	WT15X58	0.2667	0.3810	0.0216	0.0144
Stiffener	L8X8X5/8	0.2032	0.2032	0.0159	0.0159
Truss	HP12X89	0.3124	0.3124	0.0174	0.0174
Support	W36X256	0.3099	0.9500	0.0439	0.0244

건을 모두 만족하였다. 최대 등가 응력과 허용응력비가 서로 다른 하중 조건에서 발생하였으며, 이는 허용응력과는 달리 허용응력비 산출 시 부재의 단면 형상, 너비, 폭, 두께, 세장비 등 특성에 따라 식 (5a)~(5c)의 허용응력이 계산되기 때문이라고 할 수 있다.

Table 5의 10-DV 모델의 경우, Fig. 5의 착륙 위치 4번, 풍향 3번에서 최대인 288MPa의 등가응력 및 0.9673의 임계 허용응력비 값이 계산되었다. 그러나 Fig. 10을 보면 각 제약 조건이 최대인 부재 위치와 전반적인 제약조건 분포가 다르다. 때문에 허용응력 조건과 허용응력비 조건을 모두 고려하는 것이 필요함을 알 수 있다. 또한, 허용응력 제약조건만 고려한 선행 연구의 최대 응력값 351MPa과 비교하면 본 연구의 최적설계 모델이 좀 더 구조적으로 안전하게 설계되었음을 확인할 수 있다.

Table 5 Optimized result for 10-DV model

Member group	AISC Label	b(m)	d(m)	t1(m)	t2(m)
Girder	WT15X95.5	0.3810	0.3886	0.0302	0.0180
Stiffener	L8X8X5/8	0.2032	0.2032	0.0159	0.0159
TRS_H	W14X53	0.2047	0.3531	0.0168	0.0095
TRS_V	W14X61	0.2540	0.3531	0.0164	0.0094
TRS_D	W14X68	0.2540	0.3556	0.0183	0.0105
SPT1	W36X247	0.4191	0.9322	0.0343	0.0203
SPT2	HP12X63	0.3073	0.3023	0.0131	0.0131
SPT3	S18X54.7	0.1524	0.4572	0.0176	0.0117
SPT4	W8X24	0.1651	0.2014	0.0102	0.0062
SPT5	W36X330	0.4216	0.9576	0.0470	0.0259

Fig. 10 Equivalent stress and unity check ratio distributions for 10-DV model

Table 6에서 선행 연구 모델(Ref.)과 4-DV 모델, 10-DV 모델의 무게를 비교해 보았을 때, 플레이트 무게는 세 모델에서 모두 식 (6)의 최소 무게로 동일하지만, 4-DV 모델에서 265.1톤으로 약 10여 톤 경량화되었으며, 10-DV 모델에서 부재 그룹 세분화를 통해 약 17.3톤의 추가 감량을 달성하여, 선행 연구 대비 약 30톤의 재료를 절감한 247.8톤의 헬리덱 설계물을 얻어낼 수 있었다.

Table 6 Weight comparison results

Weight(ton)	Ref.	4-DV	10-DV
Plate	62.0	62.0	62.0
Girders	34.7	31.5	51.7
Stiffeners	37.3	33.8	33.8
Trusses	71.0	80.7	61.8
Supports	71.2	57.1	38.5
Total	276.2	265.1	247.8

5. 결 론

본 논문에서는 헬리덱 최적설계의 제작 가능성을 높이기 위해 실제 현장에 공급되는 상용 단면을 설계 변수로 사용한 최적설계를 수행하였다. AISC 상용 단면을 형상별로 분류한 후 단면적 순으로 정수 번호를 부여하여 설계 변수로 사용함으로써 유전 알고리즘에 적합한 최적화 문제로 정식화하였으며, 자중, 풍하중 및 착륙하중이 고려된 비상착륙조건에서 허용응력 조건, 허용응력비 조건, 설계강도 기준을 적용하여 경량화된 헬리덱 최적설계를 도출하였다.

최적화를 통해 선행 연구와 동일한 부재그룹에 대해 약 10여 톤의 무게를 줄였고, 부재 세분화를 통해 추가적인 경량화를 도모하여 약 30톤의 재료를 절감한 헬리덱 설계를 얻을 수 있었다. 결과적으로 강재의 수급이 용이하며, 허용응력비를 만족하여 구조적으로 보다 안전한 헬리덱 설계를 제시하였다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2018R1D1A1B07040517).

References

- American Institute of Steel Construction (AISC) Inc.** (1989) *Allowable Stress Design and Plastic Design*, 9th edition.
- American Institute of Steel Construction (AISC) Inc.** (2017) *AISC Shapes Database v15.0*, AISC Steel Construction Manual, 15th edition.
- American Petroleum Institute (API)** (1996) *Recommended Practice for Planning Designing, and Constructing Heliports for Fixed Offshore Platforms*, 4th edition.
- ANSYS Inc.** (2017) *ANSYS Mechanical APDL Command Reference*, Release 18.2.
- Balling, R.J., Briggs, R.R., Gilman, K.** (2006) Multiple Optimum Size/Shape/Topology Designs for Skeletal Structures Using a Genetic Algorithm, *J. Struct. Eng.*, 132(7), pp.1158~1165.
- Civil Aviation Authority (CAA)** (2013) *Standards for Offshore Helicopter Landing Areas*, CAP-437.
- Deb, K., Gulati, S.** (2001) Design of Truss-structures for Minimum Weight Using Genetic Algorithms, *Finite Elem. Anal. & Des.*, 37(5), pp.447~465.
- Det Norske Veritas (DNV)** (2001) *Helicopter Decks*, DNV-OS-E401.
- Holland, J.H.** (1975) *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, The MIT Press, Cambridge, pp.217.
- International Civil Aviation Organization (ICAO)** (1995) *Helipport Manual*, 3rd edition. Doc9261-AN/903.
- Jung, T.-W., Kim, B.-M., Ha, S.-H.** (2017) A Study on Lightweight Design of Cantilever-type Helideck Using Topology Optimization, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 30(5), pp.453~460.
- Kim, B.-M., Leem, J.-J., Ha, S.-H.** (2018) Safety Evaluation of a Cantilever-type Helideck under Nonlinear Buckling, *J. Korean Soc. Mar. Eng.*, 42(3), pp.203~209.
- Mathworks Inc.** (2004) *Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox for Use with Matlab*, p.222.
- Rahami, H., Kaveh, A., Gholipour, Y.** (2008) Sizing, Geometry and Topology Optimization of Trusses via Force Method and Genetic Algorithm, *Eng. Struct.*, 30(9), pp.2360~2369.

요 지

본 논문에서는 AISC 표준 단면을 설계 변수로 하는 캔틸레버 타입 헬리덱 모델의 유전 알고리즘 최적설계를 소개한다. AISC 표준 단면을 단면 형상별로 분류하고 단면적 순으로 정렬한 후 정수 단면 번호를 부여하여 설계 변수로 최적설계를 수행하였다. 이 과정을 통하여 이산화된 설계 변수를 가지는 최적설계 문제를 해결하기 위해 유전 알고리즘을 적용하였다. 또한, 제약조건으로 허용응력 및 허용응력비 검사 조건을 모두 고려하여 구조물의 구조 안정성을 고려한 설계를 수행하였다. 최적설계 과정중 매 반복계산 마다 수행되는 구조해석 시간을 단축시키기 위해 선형 중첩법을 사용하였고, 이를 통해 구조 해석 시간을 약 75% 감소시킬 수 있었다. 또한 헬리덱 최적설계의 경량 효과를 높이기 위해 부재 그룹 세분화를 하였고, 그 결과를 선행 연구 모델, 기존의 부재 그룹 모델과 비교하였다. 그 결과 선행연구 대비 약 30톤의 부재를 절감할 수 있었으며, 구조적으로도 보다 안전한 헬리덱 설계를 얻을 수 있었다.

핵심용어 : 헬리덱, AISC 표준 단면, 유전 알고리즘, 허용응력비 검사, 구조 안전성 평가