

하이브리드 구조설계 시스템을 이용한 선박블록 탑재용 리그구조 고찰

함주혁* · 김동진*

*한라대학교 컴퓨터응용설계학과

Consideration of the Lifting Lug Structure using the Hybrid Structural Design System

Juh-Hyeok Ham* and Dong-Jin Kim*

*Department of Computer-aided Engineering, Halla University, Wonju, Korea

KEY WORDS: Lifting lug 탑재용 리그, Shackles pin 셔클 핀, Structural analysis 구조해석, Lug strength 리그 강도, Optimum structural design 최적 구조설계, Hybrid structural design system 하이브리드 구조설계시스템

ABSTRACT: In the view of the importance of material reduction due to the jump in oil and steel prices, an optimized structural system for lifting lugs was developed. Such a system is needed hundreds of thousands of times a year. A direct design process was added to this developed optimized system to increase the design efficiency and provide a way of directly inserting a designer's decisions into the design system process. In order to verify the system efficiency and convenience, several new prototype lug shapes were suggested using the developed system. From these research results, it was found that the slope of the main plate of the lug structure has a tendency to move from about 45 degrees to about 60 degrees and the design weight was reduced from an initial value of about 32kg_f to about 15~19kg_f after the redesign. Based on these initial research results, an efficient reduction in steel weight was expected considering the enormous consumption of lug structures per year. Additionally, a more detail structural analysis through local strength evaluations will be performed to verify the efficiency of the optimum structural design for a lug structure.

1. 서 론

선박블록 탑재를 위한 선박탑재용 리그는 한국의 많은 선박 수출량 덕분에 한해에도 수십만 개가 넘게 소요되고 있고 최근 오일 상승과 더불어 철강 재료비의 상승이 선박 수출 또한 엄청난 생산원가의 부담으로 작용하고 있다.

본 연구에서는 철강가격의 폭등에 따라 여태껏 인건비 등을 포함한 비용의 관점에서 고려하던 구조설계가 다시 자재절감의 효과가 선박원가에 미치는 영향이 커짐에 따라 가능한 경량설계를 할 수 있는 관점에서 비교적 보편적으로 설계자의 입장에서 용이하게 사용될 수 있는 하이브리드 구조설계 시스템을 선보여 보다 바람직한 리그형상 개발에 주력하고자 한다.

일반적 구조합리화 연구(김희현과 김정제, 1998)는 일반 설계자들이 최적화 이론에 대한 이해부족과 적용경험의 부족으로 개발시스템을 이용한 바람직한 개선된 구조결과를 제시하기 힘들고 최적화의 기법상의 난점과 이해부족에 따른 적용성의 한계가 많이 들어나고 있다. 따라서 본 연구에서는 일차적으로 많은 복잡성을 보이지 않으나 많이 사용되고 구조개선의 여지가 충분하다고 사료되는 리그구조를 대상으로 보다 최적화된 리그형상을 제시하면서 동시에 강도 점검 및 설계변화와 강도의 적

합성을 동시에 한 시스템에서 수행 할 수 있는 하이브리드 구조설계 시스템을 구축하고 시스템의 편리성과 효용성 입증을 위해 본 시스템을 통한 새로운 몇가지 프로토타입 형상을 제시하였다.

마지막으로 이들 설계 결과에 대해 차후 구조해석을 통한 국부적 설계변경을 통해 바람직한 리그 최종 형상 및 치수가 제시될 것으로 사료되면서 이의 개발에 따른 초기 개발 효과를 제시하였고 개발 시스템의 효용성을 예측하였다.

2. 선박 탑재용 리그 구조

선박 탑재용 리그 형상은 하중방향, 리그구조 및 부착형태에 따라 크게 3종류 즉, 일반적인 대칭형상인 D형, 비대칭형인 T형 그리고 후판에 주판을 일부 겹쳐 사용하는 형태인 L형으로 구분된다. 그 중에서 본 연구에서는 일차적으로 D형 리그 중 35톤의 선체블록을 최대 안전하중으로 하는 D-35 리그에 기초하여 설계형상을 개발하고자 한다. 이 D-35 리그는 Fig. 1에서 보는 바와 같은 3가지 구조 즉 주면 내 하중을 감당하는 리그본체와 면의 하중을 감당하는 브래킷 그리고 리그 셔클이 부착되는 구멍 주변을 보강하는 링 이중판으로 구성된다.

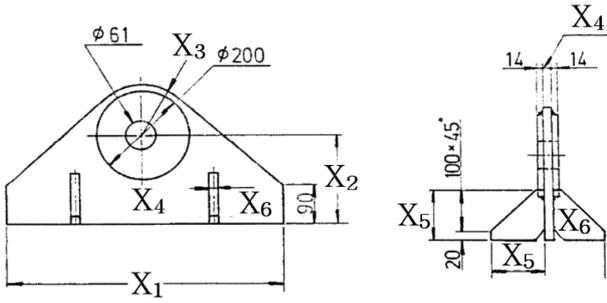


Fig. 1 D-35 Lifting lug plan

3. 하이브리드 구조설계시스템

앞 절에서 언급된 탑재용 리그의 구조설계 형상 연구를 위하여 사용한 하이브리드 구조설계 시스템은 기존의 최적설계단계(함주혁, 1997; 2001)와는 달리 강도검토단계가 맞물려져 설계자가 직접 구조최적화와 구조설계 변경을 순서에 구애받지 않고 복합/독립 혹은 상호 보완적으로 운영될 수 있게 최적화모듈과 강도 및 설계검토 모듈이 연계 운영되는 시스템이다. 본 절에서는 이 하이브리드 시스템 구축의 개요를 소개한다.

3.1 최적화 설계 모듈

본 연구에서는 GRG(Generalized reduced gradient) 알고리즘(Lasdon and Waren, 1978)을 사용하였으며 최적화를 위한 정식화의 내용은 다음과 같다.

$$\text{Min. } g_p(X) \tag{1}$$

$$\text{s.t. } g_{lb_i} \leq g_i(X) \leq g_{ub_i}$$

$$x_{lb_j} \leq x_j \leq x_{ub_j}$$

여기서,

$$I : 1, \dots, m, i \neq p$$

$$j : 1, \dots, n$$

X : 함수 g_1, \dots, g_m 의 n 개 변수 x_1, \dots, x_n 에 대한 벡터

3.2 리그 구조 정식화

목적함수의 정식화는 다음과 같다.

$$g_p(X) = g_m(X) + g_{db}(X) + g_b(X) \tag{2}$$

여기서,

$$g_m(X) = 7.85(V_{rec} + V_{tr} - V_{tip})/1000.$$

$$V_{rec} = 9X_1X_4$$

$$V_{tr} = 0.25X_1^2X_4 \tan\theta$$

$$V_{tip} = X_4((X_3 + 1.5)^2 \tan\theta - (x_3 + 1.5)^2\theta)$$

$$g_{db}(X) = 2 \cdot 7.85 \cdot \pi X_6((X_3 + 0.5)^2 - (0.5D_h)^2)/1000.$$

$$g_b(X) = 7.85 \cdot X_7(2(X_5 + 5.5)^2 - 24)$$

그리고, 제약조건은 다음 식들과 같이 정식화하였다.

$$g_1(X) = A_{s1} - p/(0.25\sigma_0) \geq 0$$

$$g_2(X) = X_2 - X_3 - 6 \geq 0$$

$$g_3(X) = X_1 - 2(X_3 + 1.5) \geq 0$$

$$g_4(X) = X_4 + 2T_c - p/(0.9\sigma_0 D_h) \geq 0$$

$$g_5(X) = X_4 - (6pD_h)/(0.6\sigma_0 X_1^2) \geq 0$$

$$g_6(X) = X_4 - (p/(0.25\sigma_0 X_1)) \geq 0$$

$$g_7(X) = X_7(6pD_h)/(0.6\sigma_0 X_5^2) \geq 0$$

$$g_8(X) = X_2 - X_5 \geq 0$$

$$g_9(X) = X_1 - (2X_3 + 3) \geq 0$$

$$g_{10}(X) = X_4 = \text{const.}$$

여기서,

$$A_{s1} = 2(X_3 + 1.5 - 0.5D_h)X_4 + 4(X_3 - 0.5D_h)X_6 \geq 0$$

s_0 : 항복응력(kgf/cm²)

p : 리그 설계하중(kgf)

D_h : 셔클핀 구멍 지름(cm)

T_c : 이중판두께(cm)

그리고 X_1 에서 X_6 까지 설계변수 6개의 설명은 Fig. 1에 나타내었으며(단, X_4, X_6 는 두께임) 기존 설계치에 대한 값은 Table 1과 같다.

Table 1 Initial design value of D-35 lug structure

Variable	X_1 (cm)	X_2 (cm)	X_3 (cm)	X_4 (cm)	X_5 (cm)	X_6 (cm)	Weight (kgf)
Value	60	15	11.5	2	12	2	31.9

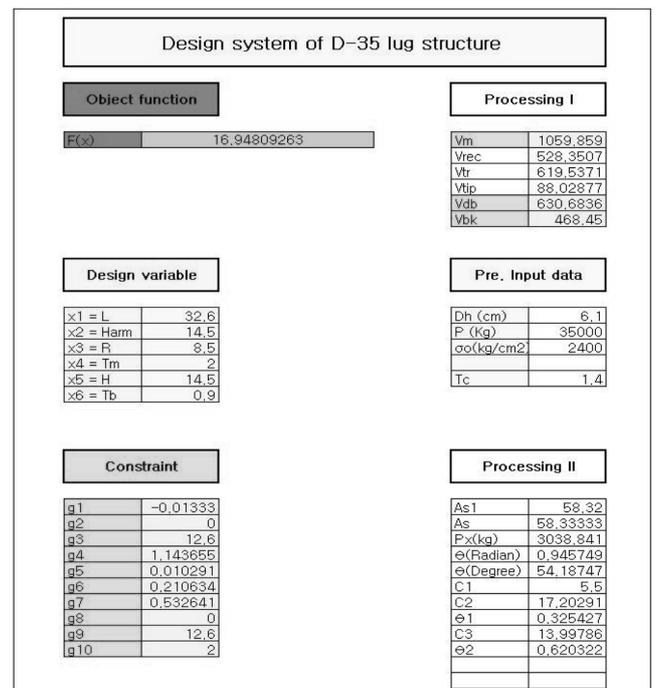


Fig. 2 Fundamental design system of D-35 lug structure

3.3 강도 및 설계 검토 모듈

상기 언급한 내용을 토대로 D-35 러그의 구조형상설계를 손쉽게 추정 할 수 있는 시스템을 개인용 컴퓨터 윈도우 환경 하에서 비주얼 프로그래밍을 이용하여 간단한 입력으로 선박블록 탑재용 D-35 러그의 개선된 치수를 손쉽게 도출할 수 있는 GUI시스템을 구축(함주혁, 2008)하였고, 그 예를 Fig. 2에 제시하였다.

시스템의 좌측은 얻고자 하는 6개의 설계변수와 10개의 제약조건이 설정되어있으며 오른쪽 중간표는 초기입력에 필요한 자료이고 아래와 위의 두 표는 수행과정 상 오류나 점검을 위한 중간 계산과정을 볼 수 있게 하였다.

본 시스템을 활용하면 초기단계에서의 경쟁력 있는 러그형상 설계나 파라메트릭 연구에 좋은 지침이 도출 될 수 있을 것으로 사료된다.

상기의 전통적인 최적 구조설계시스템으로 각 구축된 복잡한 목적함수와 설계변수 및 제약조건외 변동 상황과 상관 관계를 설계자 입장에서는 블랙박스로 간주되어 구조설계의 설계 감각적 판단과 직접 결부되기 어렵다.

따라서, Fig. 3과 같은 강도 및 설계 검토를 위한 설계 판단 화면을 최적화 시스템 하단에 추가하여 최적화 과정에 각 검토 강도별 구조 설계치와 최소 설계치 그리고 안전계수 등을 설계 과정에서 제시해 주어 바람직한 설계 방향으로의 최적화 수행을 돕고 구조설계자가 구조설계 감각을 가지고 다양한 단계별 최적구조설계를 단계별로 수행할 수 있는 하이브리드 설계 형태를 취하였다.

본 러그 논문에서 사용된 강도 및 설계 검토를 위한 설계 판단 화면을 구체적으로 살펴보면 각 검토 강도별 구조 설계치와 최소 설계치 그리고 안전계수는 그 첫 번째로 핀홀 두께의 인장력에 대한 현재 설계치 응력과 안전계수 그리고 필요최소면적과 설계면적을 제시해주고 있고 두 번째는 러그구멍 주변의 전단력에 대해 받는 응력과 안전계수 그리고 필요최소 전단면적과 설계면적을 제시해준다. 세 번째로는 러그주판의 굽힘강도로 굽힘응력과 안전계수 그리고 최소주판의 길이와 설계된 길이를 제시해 준다. 네번째는 러그주판의 전단강성으로 응력과 안전계수 그리고 최소주판의 길이와 설계된 길이를 제시해주며 마지막으로 사이드 브라켓의 굽힘강도로 굽힘응력과 안전계수 그리고 최소 높이와 설계 높이를 제시해 주면서 최적설계를 설계 판단 화면을 기초로 구조설계 관점을 유지하면서 전체 혹은 필요 변수만을 대상으로 최적화 단계를 반복할 수 있다.

그 간략한 시스템 사용 예를 다음 절에 추가하면서 설계 결과를 제시하였다.

Hybrid design window for D-35 lifting lug									
Pin hole Thk		Top round shear		Lug length(b)		Lug length(s)		Side bkt height	
stress	s.f	stress	s.f	stress	s.f	stress	s.f	stress	s.f
1195.36	1.81	600.14	1.00	1432.59	1.01	536.81	1.12	1397.17	1.09
Bearing area		Shear area		Lug length		Lug length		Side bkt height	
Min.	Design	Min.	Design	Min.	Design	Min.	Design	Min.	Design
2.66	4.80	58.33	58.32	32.52	32.60	29.17	32.60	14.28	14.50

Fig. 3 Intermediate design evaluation system of D-35 lug structure (Hybrid design window)

4. 러그 형상 설계

상기 설명한 하이브리드 개발 시스템을 이용하여 보다 바람직한 러그 형상 설계를 시도하여 보았으며 그 단계별 개발 내역을 수순에 따라 언급하였다.

4.1 러그설계 시스템 가동 및 제약 조건 추가

구축된 시스템을 통하여 새로운 러그형태를 살펴보고 보다 바람직한 구조형상을 제시하여보았다.

일차적으로 기존 실적자료를 근간으로 새로운 설계를 위한 입력치수로 가정하여 입력을 시켰다. 그 결과 8개의 기본 제약조건을 잘 만족시키면서 약 32kg의 중량을 유지하고 있다. 본 자료를 근간으로 시스템 가동 결과 러그 형상의 근간을 무너뜨리는 형상이 제시되어 최소한의 3가지 제약조건을 추가하였다. 즉 러그주판의 길이의 최소와 두께에 대한 최대한계, 주판 최소 길이의 지정과 주판두께의 일정화가 필요하여 추가적으로 제약조건을 시스템에 추가 설정하였다.

가장 이상적인 형상은 하나일 수도 있으나 러그 하부구조의 치수 및 설계자의 취향 및 생산성문제 등 설계 현장의 다양한 경우를 고려하여 다음과 같은 설계결과를 도출하였다.

- Proto. 1 완전 자유설계 결과
- Proto. 2 주판 30두께 하의 설계 결과
- Proto. 3 주판 30두께와 실적 브라켓 적용한 설계 결과
- Proto. 4 주판 25두께 하의 설계 결과
- Proto. 5 주판 25두께와 실적 브라켓 적용한 설계 결과
- Proto. 6 주판 20두께 하의 설계 결과
- Proto. 7 주판 20두께와 실적 브라켓 적용한 설계 결과

4.2 형상 설계 결과 제시

상기 언급된 단계에 따른 몇 가지 설계 결과를 동시에 도출하였고 그 결과를 요약하면 Table 2와 같다.

5. 기본 강도 검토

5.1 간이식을 통한 강도 검토

앞서 자세한 강도 점검에 대한 자세한 내역을 제시한 바 없어 간략히 설계 강도평가 식을 소개한다.

Table 2 Proto types of D-35 lug structure (unit: cm)

Variable	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
Proto. 1	23.5	13	6.85	3.5	12.8	1.4	1
Proto. 2	26	13.5	7.5	3	12.8	1.4	1.1
Proto. 3	26	13.5	7.5	3	12	1.4	2
Proto. 4	28.5	13.9	7.9	2.5	13.9	1.4	1
Proto. 5	28.5	13.9	7.9	2.5	12	1.4	2
Proto. 6	32.6	14.5	8.5	2	14.5	1.4	0.9
Proto. 7	32.6	14.5	8.5	2	12	1.4	2

먼저, 대형 조선소에서 주로 사용되는 방법에 준하여 리그하부가 탑재블록에 완전히 부착된 것으로 가정하여 설계식의 간편성을 추구하였으며 최소허용 리그두께 계산은 덧판(Doubler) 두께를 고정한 상태에서 덧판을 포함한 리그구멍 주변의 인장력에 대한 설계 강도 식을 리그두께 X_4 의 함수로 정리하여 도출된 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$X_4 \geq \frac{p}{0.9\sigma_0 D_h} \quad (3)$$

리그구멍 주변 구조의 전단강도를 확보하기 위한 최소 허용면적의 계산은 식 (4)를 이용하였다. 면적계산에는 덧판의 면적을 공히 유효한 것으로 산입하였다.

$$A_s \geq \frac{p}{1/4 \sigma_0} \quad (4)$$

여기서, A_s : 리그구멍 주변 전단면적

리그길이 X_1 의 계산은 핀 구멍 높이가 주어진다면 리그두께 X_4 를 이용하여 리그하단부의 굽힘과 전단강도를 각각 확인하는 설계 식으로부터 다음의 두 식을 얻을 수 있다.

$$X_1 \geq \sqrt{\frac{6pX_2}{0.6\sigma_0 X_4}} \quad (5)$$

$$X_1 \geq \frac{p}{0.25\sigma_0 X_4} \quad (6)$$

등변 삼각 브래킷의 한 변 길이 X_5 계산은 브래킷 두께 X_6 를 입력 자료로 하여 식 (7)로부터 계산된다. 그러나 이 식은 한 변

만이 수직으로 부착되어 있을 때의 식으로 실제의 경우는 양쪽에 나란하게 브래킷으로 부착되어 있을 뿐만이 아니라 한쪽이 없어도 리그본체와 T자형의 형상만으로 구성되므로 물리적 이치에 어긋나나 오직 한쪽 브래킷 구조만으로 지지된다는 안전측의 설계지침으로 생각하고 적용한다.

$$X_5 \geq \sqrt{\frac{6p_x X_2}{0.6\sigma_0 X_6}} \quad (7)$$

여기서, p_x : 면외하중 성분(면외 최대 10도까지 허용)

상기 식들을 이용하여 리그 형상이 결정되면 리그 하단부의 용접 각장의 적정치는 다음의 식 (8)로 그 적정성을 판단할 수 있다.

$$W \geq \frac{f_a}{F} \quad (8)$$

여기서, f_a : 용접단면의 작용응력

$$= \frac{p \sin \theta}{2X_4 X_1} + \frac{p \cos \theta H}{X_1^2 / 3}$$

F : 용접허용응력

이들 설계 식을 통해 얻어진 구조형상에 대한 강도 확보 상황을 요약하면 Table 3과 같다.

5.2 구조해석을 통한 강도 검토

실제 유한요소법에 의한 구조해석은 국부적인 응력집중 등 국부적 엄밀 계산을 위해 필수 적이나 본 내용에서는 고려치 않고 추가적인 연구 결과를 통해 제시 보완 예정이며 본 내용

Table 3 Strength check for initial design of D-35 lifting lug

(unit: kgf/cm²)

Pin hole Thk		Top round shear		Lug length (B)		Lug length (S)		Side bkt height	
Stress	s.f.	Stress	s.f.	Stress	s.f.	Stress	s.f.	Stress	s.f.
1195.36	1.81	390.97	1.53	437.50	3.29	291.67	2.06	949.64	1.52
910.75	2.37	599.52	1.00	1412.40	1.02	425.53	1.41	1446.71	1.00
989.26	2.18	577.37	1.04	1397.93	1.03	448.72	1.34	1365.78	1.05
989.26	2.18	577.37	1.04	1397.93	1.03	448.72	1.34	854.67	1.68
1082.59	2.00	594.13	1.01	1437.49	1.00	491.23	1.22	1311.73	1.10
1082.59	2.00	594.13	1.01	1437.49	1.00	491.23	1.22	880.00	1.64
1195.36	1.81	600.14	1.00	1432.59	1.01	536.81	1.12	1397.17	1.03
1195.36	1.81	600.14	1.00	1432.59	1.01	536.81	1.12	917.98	1.57
Bearing area (cm ²)		Shear area (cm ²)		Lug length (cm)		Leg length (cm)		Side bkt height (cm)	
Min.	Design	Min.	Design	Min.	Design	Min.	Design	Min.	Design
2.66	4.80	58.33	89.52	33.07	60.00	29.17	60.00	9.74	12.00
2.66	6.30	58.33	58.38	23.27	23.50	16.67	23.50	12.83	12.80
2.66	5.80	58.33	60.62	25.62	26.00	19.44	26.00	12.47	12.80
2.66	5.80	58.33	60.62	25.62	26.00	19.44	26.00	9.24	12.00
2.66	5.30	58.33	58.91	28.48	28.50	23.33	28.50	13.27	13.90
2.66	5.30	58.33	58.91	28.48	28.50	23.33	28.50	9.38	12.00
2.66	4.80	58.33	58.32	32.52	32.60	29.17	32.60	14.28	14.50
2.66	4.80	58.33	58.32	32.52	32.60	29.17	32.60	9.58	12.00

에서는 생략한다.

6. 설계 결과 효과 분석

6.1 트로토 타입 형상 제시 및 적용 방법

기하학적 형상을 제시하면 프로토 설계형상의 첫 번째와 일곱 번째의 것은 각각 Fig. 4와 Fig. 5와 같다.

본 연구 결과로부터 러그 주판의 기울기가 Fig. 1에서 볼 수 있었던 전통적인 45도 각도가 Fig. 4와 5와 같이 60도 부근으로 이동하였음을 역시 파악 할 수 있다.

6.2 구조 개발 효과

초기 실적치의 중량이 약 32kg인데 반해 약 15~19kg의 범위로 설계중량이 경감되어(참조 Table 4) 초기 중량의 약 47%에서 60% 정도로 재설계되었음을 확인 할 수 있다. 따라서 년 간 엄청난 양의 탑재용 러그가 소요됨을 감안할 때 유가와 함께 동반 상승한 고가의 강제비용에 대한 효과적인 절감도 예측된다.

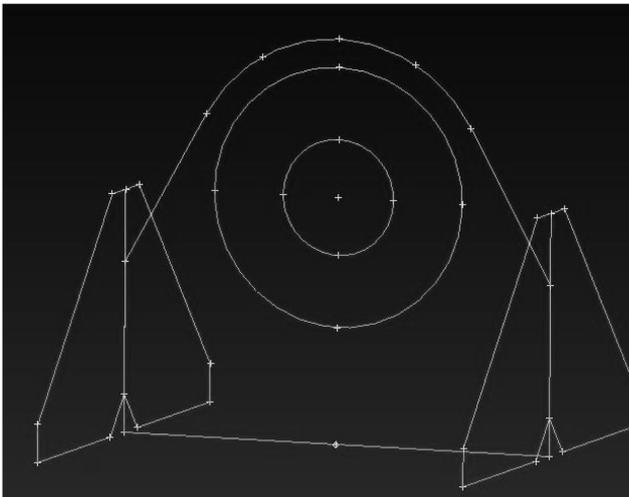


Fig. 4 Proto type 1 of D-35 lifting lug

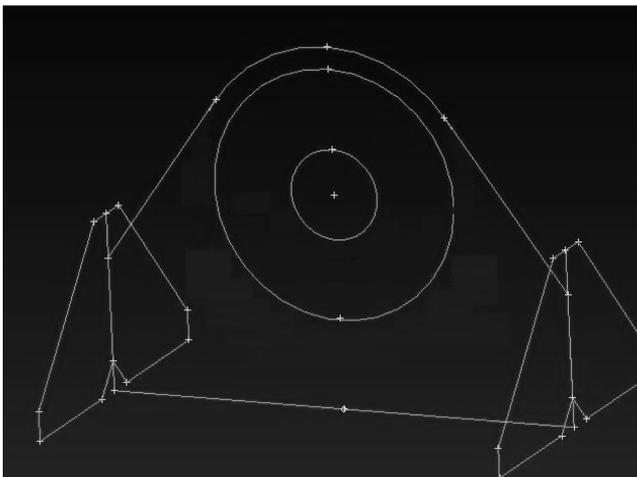


Fig. 5 Proto type 7 of D-35 lifting lug

Table 4 Proto types of D-35 lug structure (unit: kg)

Variable type	Weight
Proto. 1	15.2
Proto. 2	16.4
Proto. 3	18.6
Proto. 4	16.6
Proto. 5	18.6
Proto. 6	16.9
Proto. 7	19

7. 결 론

국내 굴지의 조선소에서 사용되고 있는 35톤 러그(D-35)의 구조설계에 대한 치수의 적합성을 검토하고 다양한 다른 구조 설계를 제시하였다.

(1) 선박블록 탑재용 러그 구조 설계 과정을 정식화하고 최적 설계 시스템을 구축하였다.

(2) 구조 설계 최적화의 원활한 흐름을 위해 최적화 과정에 각 검토 강도별 구조 설계치와 최소 설계치 그리고 안전계수 등을 설계과정에서 제시해 주어 바람직한 설계 방향으로의 최적화 수행을 돕고 구조설계자가 구조설계 감각을 가지고 다양한 단계별 최적구조설계를 단계별로 수행할 수 있게 설계 지원 시스템 원도를 추가시켜 최적설계를 하이브리드 개념의 구조설계 체제를 제시하였다.

(3) 본 구축 시스템을 사용하여 보다 경쟁력 있는 다양한 구조설계 결과를 제안하였다.

(4) 이 제안된 연구 결과로부터 러그 주판의 기울기가 전통적인 45도 각도가 60도 부근으로 이동하였음을 알 수 있었다.

(5) 또한, 초기 실적치의 중량이 약 32kg인데 반해 약 15~19kg의 범위로 설계중량이 경감되어 초기 중량의 약 47%에서 60% 정도로 재설계되었음을 확인 할 수 있다.

(6) 이러한 기초 연구 결과에 근거하여, 년 간 엄청난 양의 탑재용 러그가 소요됨을 감안할 때, 유가와 함께 동반 상승한 고가의 강제비용에 대한 효과적인 절감도 예측된다.

(7) 본 초기 구조설계연구 결과에 대한 상세한 구조해석을 통한 국부적 강도분석을 통한 설계확인 작업과 국부적 보안을 통해 결과의 효용성을 입증할 계획이다.

참 고 문 헌

함주혁 (2001). "탑재용 러그 구조의 설계 시스템 개발", 대한조선학회논문집, 제38권, 제1호, pp 86-98.

김외현, 김정제 (1998). "합리적인 선박구조설계를 위한 선체중강도의 신뢰성해석", 한국해양공학회지, 제12권, 제4호, pp 8-15.

함주혁 (1997). "선박블록 탑재용 러그구조의 설계합리화를 위한 연구", 한국해양공학회지, 제11권, 제4호, pp 249-262.

함주혁 (2008). “고속 경구조선 알루미늄 판부재의 구조강도 고찰”, 한국해양공학회지, 제22권, 제2호, pp 91-98.

Lasdon, L.S. and Waren, A.D. (1978). Generalized Reduced Gradient Software for Linearly and Nonlinearly Constrained Problems. in : Greenberg, H.J. (Ed.) Design

and Implementation of Optimization Software., Sijthoff and Noordhoff, Holland, pp 335-362.

2008년 9월 19일 원고 접수

2008년 12월 22일 최종 수정본 채택