

# 선박블록 탑재용 리그구조의 파라메트릭 설계 고찰

함주혁\*

\*한라대학교 컴퓨터응용설계학과

## Parametric Design Considerations for Lifting Lug Structure on Ship Block

Juh-Hyeok Ham\*

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

**KEY WORDS:** Lifting lug 탑재용 리그, Shackle pin 셔클 핀, Lug strength 리그 강도, Optimum structural design 최적 구조설계, Parametric design study 파라메트릭 설계 연구

**ABSTRACT:** In view of the importance of material reduction because of the jump in oil and steel prices, structural design studies for lifting lugs were performed. Hundreds of thousands of such lifting lug structures are needed every year for ship construction. A direct design study was reviewed using the developed design 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 understand the design efficiency and convenience of a lug structure, parametric studies for prototype lug shapes were performed using the developed design system. From these design studies, various patterns of design parameters for the lug structure according to changes in the main plate length were examined. Based on these parametric study results, design guides were developed for more efficiently suggesting structural data for enormous lug structures. Additionally, a more detailed 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

대형선박의 조립을 위한 대형 강철블록들은 이동을 위해 각종 크레인을 이용하여 안벽이나 도크에 탑재되어 용접에 의한 단계별 조립으로 완성되어진다. 이를 위한 각 대형선박 블록 탑재에서 크레인과 대형블록을 연결시키는 선박탑재용 리그는 한국의 많은 선박수출량 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 설계할 수 있는 설계 가이드를 제시하고자 한다.

일반적 구조합리화 연구(김외현과 김정제, 1998)는 일반 설계자들이 최적화 이론에 대한 이해부족과 적용경험의 부족으로 개발시스템을 이용한 바람직한 개선된 구조결과를 제시하기 힘들고 최적화 기법상의 난점과 이해부족에 따른 적용성의 한계가 많이 들어나고 있다. 따라서 본 연구에서는 일차적으로 많은 복잡성을 보이지 않으나 많이 사용되고 구조개선의 여지가 충

분하다고 사료되는 리그구조를 대상으로 보다 최적화된 리그형상을 제시하면서 동시에 강도 점검 및 설계변화와 강도의 적합성을 동시에 한 시스템에서 수행 할 수 있는 하리브리드 구조설계 시스템을 구축한 바(함주혁과 김동진, 2009) 있고 이 개발 시스템을 이용하여 파라메트릭 설계를 수행하였으며 그 결과를 이용하여 각 설계변수들의 영향을 검토해보았다.

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 주된 면내 하중을 감당하는 리그본체와 면외 하중을 감당하는 브래킷 그리고 리그 셔클이 부착되는 구멍 주변을 보강하는 링 이중판으로 구성된다.

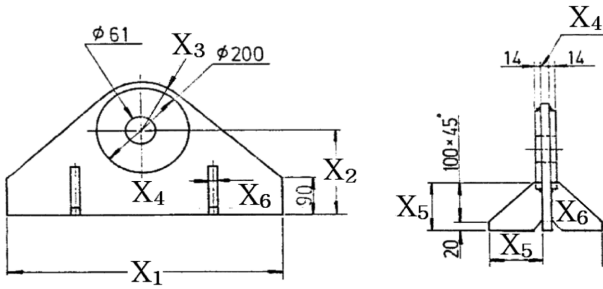


Fig. 1 D-35 Lifting lug plan

### 3. 하이브리드 구조설계시스템

앞 절에서 언급된 탑재용 러그의 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.

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

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

$$\text{s.t. } x_{lb_j} \leq x_j \leq x_{ub_j}$$

여기서,

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

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

$X$ : 함수  $g_{l_1}, \dots, g_m$ 의  $n$ 개 변수  $x_1, \dots, x_n$ 에 대한 벡터

#### 3.2 러그 구조 정식화

목적함수의 정식화는 다음과 같다.

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

여기서,

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

$$V_{rec} = 9X_1X_4$$

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

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

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

$$g_{bk}(X) = 7.85X_7(2(X_5 + 5.5)^2 - 24)$$

그리고 제약조건은 다음 식들과 같이 정식화하였다.

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

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

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

$$g_4(X) = X_4 + 2T_c - p/(0.9\sigma_0D_h) \geq 0$$

$$g_5(X) = X_4 - (6pD_h)/(0.6\sigma_0X_1^2) \geq 0$$

$$g_6(X) = X_4 - (p/(0.25\sigma_0X_1)) \geq 0$$

$$g_7(X) = X_7(6pD_h)/(0.6\sigma_0X_5^2) \geq 0$$

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

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

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

여기서,

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

$\sigma_0$ : 항복응력(kgf/cm<sup>2</sup>)

$p$ : 러그 설계하중(kgf)

$D_h$ : 셔클 핀 구멍 지름(cm)

$T_c$ : 이중판 두께(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 다음 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

#### 3.3 강도 및 설계 검토 모듈

상기의 언급 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 GUI 시스템을 구축(함주혁, 2008)하였고, 그 예를 Fig. 2에 제시하였다.

시스템의 좌측은 연고자 하는 6개의 설계변수와 10개의 제약조건이 설정되어있으며 오른쪽 중간 표는 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 구축된 복잡한 목적함수와 설계변수 및 제약조건의 변동 상황과 상관관계를 설계자 입장에서는 블랙박스로 간주되어 구조설계의 설계 감각적

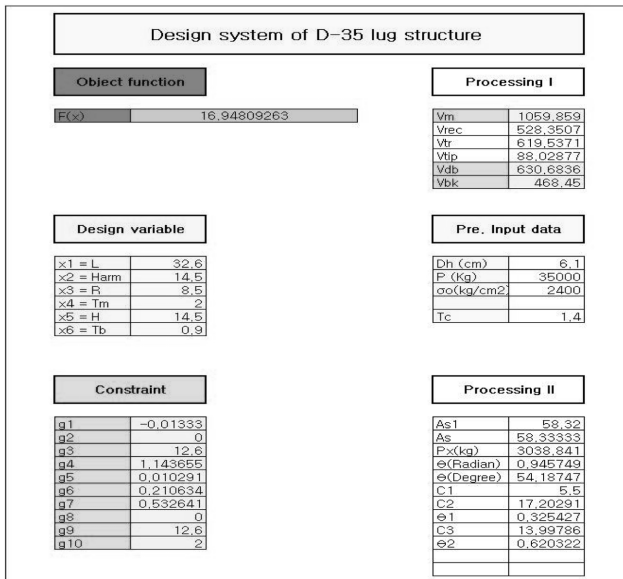


Fig. 2 Fundamental design system of D-35 lug structure

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.

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	1.03
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)

본 리그 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 구멍 두께의 인장력에 대한 현재 설계치 응력과 안전계수 그리고 필요최소면적과 설계면적을 제시해주고 있고 두 번째는 리그구멍 주변의 전단력에 대해 받는 응력과 안전계수 그리고 필요최소 전단면적과 설계면적을 제시해준다. 세 번째로는 리그주판의 굽힘 강도로 굽힘 응력과 안전계수 그리고 최소주판의 길이와 설계된 길이를 제시해 준다. 네 번째는 리그주판의 전단강성으로 응력과 안전계수 그리고 최소주판의 길이와 설계된 길이를 제시해주며 마지막으로 사이드 브라켓의 굽힘 강도로 굽힘 응력과 안전계수 그리고 최소 높이와 설계 높이를 제시해 주면서 최적설계를 설계 판단화면을 기초로 구조설계 관점을 유지하면

서 전체 혹은 필요 변수만을 대상으로 최적화 단계를 반복할 수 있다.

#### 4. 리그 형상 설계

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

##### 4.1 리그설계 시스템 가동 및 제약 조건 추가

구축된 시스템을 통하여 새로운 리그형태를 살펴보고 보다 바람직한 구조형상을 제시하여보았다.

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

##### 4.2 형상 설계 결과 제시

상기에서 설명한 설계시스템을 기초로 리그의 중심적 형상인 리그 주판의 길이를 변화시켜 가면서 중량에 유리한 형상을 도출하여 보았다. 리그주판의 길이 범위를 20 ~ 120 cm 로 하고 간격을 10으로 하여 11 가지 설계 결과를 동시에 도출하였고 그 결과를 요약하면 Table 2와 같다.

Table 2 Proto types of D-35 lug structure

Proto no.	$X_1$ (cm)	$X_2$ (cm)	$X_3$ (cm)	$X_4$ (cm)	$X_5$ (cm)	$X_6$ (cm)	Weight (kgf)
1	20	12.160	6.16	4.43	17.21	0.52	13.85
2	30	14.11	8.11	2.29	21.68	0.38	16.20
3	40	15.39	9.39	1.46	17.76	0.60	18.02
4	50	15.96	9.96	1.17	16.53	0.74	19.02
5	60	16.40	10.40	0.97	15.72	0.84	19.95
6	70	16.73	10.73	0.83	15.26	0.91	20.68
7	80	17.00	11.00	0.73	14.97	0.96	21.34
8	90	17.23	11.23	0.65	14.77	1.00	21.90
9	100	17.41	11.41	0.58	14.56	1.04	22.25
10	110	17.57	11.57	0.53	14.49	1.06	22.68
11	120	17.70	11.70	0.49	14.37	1.09	23.00

#### 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.

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 향으로 정리하여 도출된 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$X_4 \geq \frac{p}{0.9\sigma_0 D_h} \tag{3}$$

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

$$A_s \geq \frac{p}{1/4 \sigma_0} \tag{4}$$

여기서,  $A_s$  : 리그구멍 주변 전단면적  
 리그길이  $X_1$ 의 계산은 핀 구멍 높이가 주어진다면 리그두께  $X_4$ 를 이용하여 리그하단부의 굽힘과 전단강도를 각각 확인하

는 설계 식으로부터 다음의 두 식을 얻을 수 있다.

$$X_1 \geq \sqrt{\frac{6pX_2}{0.6\sigma_0 X_4}} \tag{5}$$

$$X_1 \geq \frac{p}{0.25\sigma_0 X_4} \tag{6}$$

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

$$X_5 \geq \sqrt{\frac{6p_x X_2}{0.6\sigma_0 X_6}} \tag{7}$$

여기서,  $p_x$  : 면외 하중 성분(면외 최대 10도까지 허용)

**Table 3** Strength check for initial design of D-35 lifting lug (unit: kgf/cm<sup>2</sup>)

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.
793.60	2.72	600.75	1.00	1441.08	1.00	395.03	1.52	1439.55	1.00
1127.25	1.92	599.51	1.00	1437.70	1.00	509.46	1.18	1440.40	1.00
1346.88	1.60	599.35	1.00	1383.52	1.04	599.32	1.00	1440.25	1.00
1445.27	1.49	599.57	1.00	1145.85	1.26	598.29	1.00	1439.18	1.00
1521.94	1.42	600.04	1.00	986.25	1.46	601.37	1.00	1440.52	1.10
1580.63	1.37	600.89	1.00	863.86	1.67	602.41	1.00	1439.48	1.00
1625.41	1.33	600.17	1.00	764.13	1.88	599.32	1.00	1440.77	1.00
1663.10	1.30	599.40	1.00	687.24	2.10	598.29	1.00	1440.07	1.00
1697.55	1.27	600.82	1.00	630.36	2.28	603.45	1.00	1439.90	1.00
1723.03	1.25	600.00	1.00	575.35	2.50	600.34	1.00	1439.42	1.00
1746.05	1.24	600.00	1.00	531.12	2.71	600.00	1.00	011440.581	1.00
Bearing area (cm <sup>2</sup> )		Shear area (cm <sup>2</sup> )		Lug length (cm)		Leg length (cm)		Side bkt height (cm)	
Min.	Design	Min.	Design	Min.	Design	Min.	Design	Min.	Design
2.66	7.23	58.33	58.26	20.01	20.00	13.17	20.00	17.21	17.21
2.66	5.09	58.33	58.38	29.98	30.00	25.47	30.00	21.68	21.68
2.66	4.26	58.33	58.40	39.21	40.00	39.95	40.00	18.02	18.02
2.66	3.97	58.33	58.38	44.60	50.00	49.86	50.00	16.53	16.53
2.66	3.77	58.33	58.33	49.66	60.00	60.14	60.00	15.72	15.72
2.66	3.63	58.33	58.33	54.22	70.00	70.28	70.00	15.26	15.26
2.66	3.53	58.33	58.33	58.28	80.00	79.91	80.00	14.97	14.97
2.66	3.45	58.33	58.39	62.17	90.00	89.74	90.00	14.77	14.77
2.66	3.38	58.33	58.33	66.16	100.00	100.57	100.00	14.56	14.56
2.66	3.33	58.33	58.33	69.53	110.00	110.06	110.00	14.49	14.49
2.66	3.29	58.33	58.33	72.88	120.0	120.0	120.0	14.37	14.37

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

$$W \geq \frac{f_a}{F} \tag{8}$$

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 필수적이거나 본 내용에서는 고려치 않고 추가적인 연구 결과를 통해 제시하고 보완할 예정이며 본 내용에서는 생략한다.

## 6. 리그 설계 파라메타 분석

### 6.1 파라메트릭 분석 자료 제시

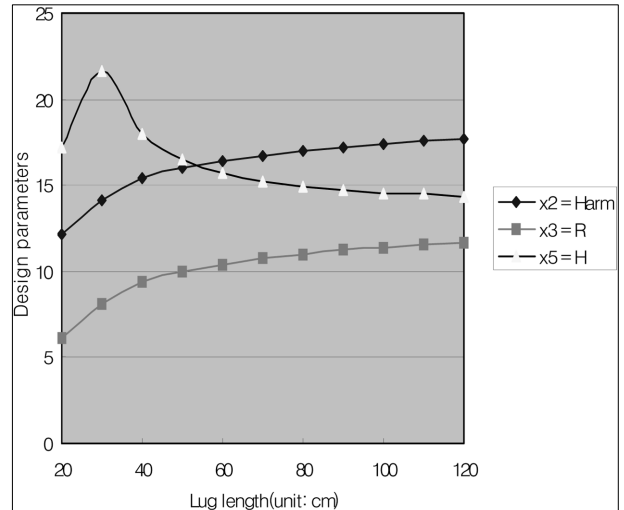
각종 설계 파라메타를 검토하기 위해 Table 4와 같은 자료를 준비하고 각종 파라메타를 분석하여 리그 설계자가 리그구조의 설계 감각을 극대화 시키고자 한다.

**Table 4** Parametric study of D-35 lug structure

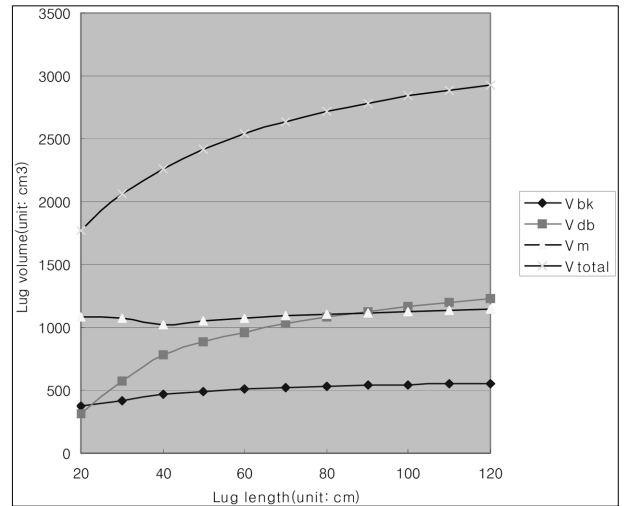
$X_1$ (cm)	$X_2$ (cm)	$X_3$ (cm)	$X_4$ (cm)	$X_5$ (cm)	$X_6$ (cm)	$\theta$	Vbk	Vdb	Vm	Weight (kgf)
20	12.16	6.16	4.43	17.21	0.52	64	371	308	1085	13.85
30	14.11	8.11	2.29	21.68	0.38	56	417	570	1075	16.20
40	15.39	9.39	1.46	17.76	0.60	48	466	777	1015	18.02
50	15.96	9.96	1.17	16.53	0.74	41	490	880	1048	19.02
60	16.40	10.40	0.97	15.72	0.84	36	507	962	1072	19.95
70	16.73	10.73	0.83	15.26	0.91	32	520	1028	1091	20.68
80	17.00	11.00	0.73	14.97	0.96	29	529	1082	1106	21.34
90	17.23	11.23	0.65	14.77	1.00	26	538	1127	1119	21.90
100	17.41	11.41	0.58	14.56	1.04	24	545	1166	1129	22.25
110	17.57	11.57	0.53	14.49	1.06	22	551	1199	1138	22.68
120	17.70	11.70	0.49	14.37	1.09	20	555	1228	1146	23.00

### 6.2 각종 파라메타 분석

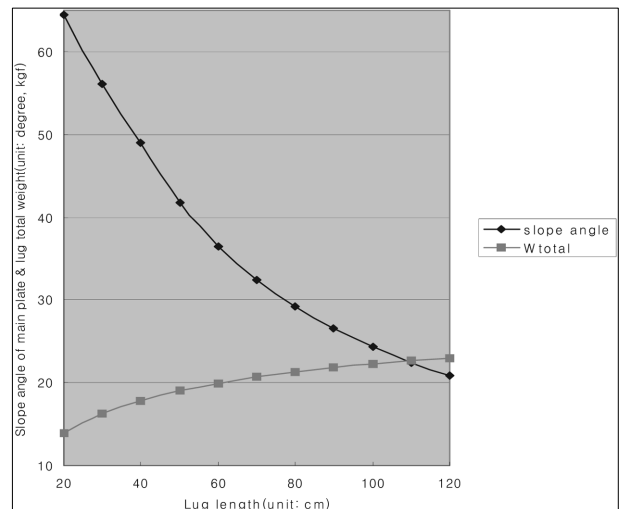
Fig. 4에서는 리그 길이변화에 따른 핀 구멍의 높이, 이중판 반경 그리고 브래킷 높이의 변화를 살펴보았다. 핀 구멍의 높이 및 이중판 반경의 경우 공히 리그길이의 증가와 더불어 일정한 간격을 유지하며 증가하나 브래킷 높이의 변화는 리그길이가 짧은 일부를 제외하곤 대체적으로 점차 감소하는 경향을 보인다. 리그길이가 짧은 영역의 브래킷 높이의 일반적인 추세 이탈



**Fig. 4** Parametric study of lug design according to the change of lug length



**Fig. 5** Volume variation according to the change of lug length



**Fig. 6** Variation of edge slope angle and lug total weight according to the change of lug length

은 브래킷 높이가 높게 나오려는 경향이 있어 핀구멍 중심의 높이를 초과하지 않게 제약조건을 부과한 영향이다.

Fig. 5에서는 러그 길이변화에 따른 러그본판체적, 브래킷체적, 이중판 체적 그리고 이들 세가지의 합인 총체적을 제시하였다. 러그길이의 증가에 따라 덧판의 체적 증가현상이 상대적으로 뚜렷하다.

러그본판은 매우 짧은 러그길이범위를 제외하고는 러그 길이 증가와 더불어 서서히 체적이 증가하며 브래킷의 체적은 큰 변화가 없어 전체적인 러그체적의 변화는 이중판 체적의 변화와 일정한 간격을 두고 유사한 변화패턴을 보인다. 총 러그 체적은 1591~2585cm<sup>3</sup> 정도로 이를 중량으로 환산하면 12.5~20.3kgf 정도로 기존설계중량이 32.5kgf이므로 구조해석을 통한 국부적인 강도점검이 되지 않은 초기추정치 이지만 평균 50%를 상회하는 중량감소가 예상된다.

Fig. 6에서는 러그길이의 증가에 따른 러그주판의 기울기와 러그중중량의 변화를 나타내었다. 러그길이의 증가에 따라 급격한 비선형적인 각도감소의 현상을 보이고 있으며 중량감소를 위해서는 최대한 기울기를 키우는 주판형상이 중량면에서 유리함을 파악할 수 있다.

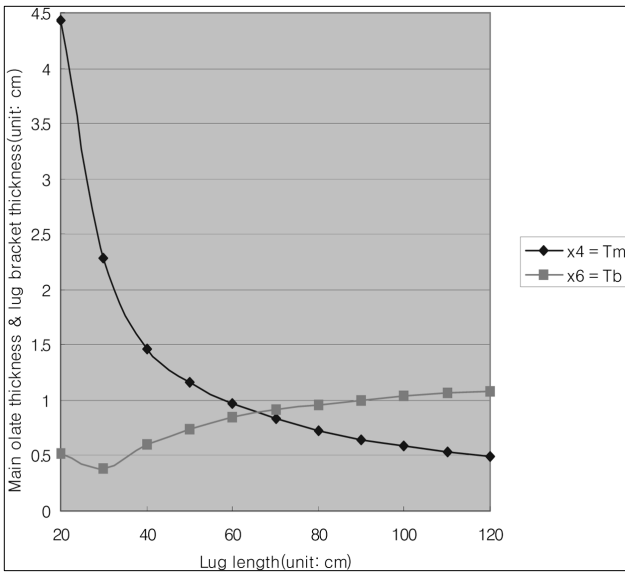


Fig. 7 Variation of lug thickness and bracket thickness according to the change of lug length

Fig. 7에서는 러그 길이변화에 따른 러그주판의 두께와 브래킷 두께의 변화를 제시하였다. 러그길이가 짧은 구간(20~50cm)에서는 급격한 두께의 감소를 보이며 그 외의 구간에서는 러그 길이의 증가에 따라 상대적으로 서서히 감소한다. 반면에 주판 길이 증가에 따른 브래킷 두께의 변화는 상대적으로 약하나 반대의 경향을 띠고 있다. 따라서 변화의 경향이 심한 주판두께의 입장에서 볼 때, 앞선 그림에서 주판의 길이가 긴 쪽이 러그전체 중량에 유리하므로 가능한 러그길이가 짧고 주판의 두께가 두꺼운 쪽이 국부좌굴강도의 고려도 필요 없이 최소중량설계에 바람직함을 파악할 수 있다. 러그 주판길이가 짧은 영역의 러

그 브래킷 두께의 경향 이탈은 앞서 언급한 바와 같이 러그주판에 돌출되지 않게 설계하려는 브래킷 높이의 제약조건 부과에 의한 것이다.

### 7. 결 론

선박블록 탑재용 러그구조의 설계 고찰을 위해 국내 굴지의 조선소에서 사용되고 있는 다양한 러그 중 가장 많이 사용되고 대표성이 있는 35톤 러그(D-35)의 구조를 대상으로 다음의 연구를 수행하였다.

(1) 다양한 설계 결과를 표로 정리하고 각 설계변수의 변화에 따른 영향들을 그래프로 정리하여 러그구조설계의 경향을 파악하였다. 즉, 러그길이의 증가에 따른 핀 구멍의 높이, 이중판 반경, 덧판, 러그본판, 브래킷 높이와 체적, 러그 경사각, 러그주판의 두께 그리고 브래킷 두께의 설계 변화를 살펴보았다.

먼저, 핀 구멍의 높이 및 이중판 반경의 경우 러그길이의 증가에 따라,공히 일정한 간격을 유지하며 증가하고, 덧판의 경우는 체적 증가현상이 상대적으로 뚜렷하며, 러그본판의 경우는 매우 짧은 러그길이 범위를 제외하고는 서서히 체적이 증가하는 경향을 보인다.

반면에 러그길이의 증가에 따른 브래킷 높이의 변화는 러그 길이가 짧은 일부를 제외하곤 대체적으로 점차 감소하는 경향을 보이며, 브래킷의 체적은 큰 변화가 없고 전체적인 러그체적의 변화는 이중판 체적의 변화와 일정한 간격을 두고 유사한 변화 패턴을 보이며, 러그 경사각은 급격한 비선형적인 경사각의 감소 현상을 보이고 있으며 중량감소를 위해서는 최대한 기울기를 키우는 주판형상이 중량 면에서 유리함을 파악할 수 있다.

마지막으로 러그주판의 두께와 브래킷 두께의 변화를 살펴본 결과, 러그길이의 증가에 따라 러그길이가 짧은 구간(20~50cm)에서는 급격한 두께의 감소를 보이며 그 외의 구간에서는 상대적으로 서서히 감소한다. 반면에 브래킷 두께의 변화는 상대적으로 적으나 러그주판의 두께의 경우와 반대의 경향을 띠고 있다.

따라서 변화의 경향이 심한 주판두께의 입장에서 볼 때, 주판의 길이가 긴 쪽이 러그 전체 중량에 유리하므로 가능한 러그 길이가 짧고 주판의 두께가 두꺼운 쪽이 국부좌굴강도의 고려도 필요 없이 최소중량설계에 바람직함을 파악할 수 있다.

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

### 참 고 문 헌

함주혁 (2001). "탑재용 러그 구조의 설계 시스템 개발", 대한조선학회논문집, 제38권 제1호, pp 86-98.  
 김희현, 김정제 (1998). "합리적인 선박구조설계를 위한 선체중강도의 신뢰성해석", 한국해양공학회지, 제12권, 제4호, pp 8-15.  
 함주혁, 김동진 (2009). "하이브리드 구조설계 시스템을 이용한 선박블록 탑재용 러그구조의 고찰", 한국해양공학회지, 제

23권, 제2호, pp 104-109.

함주혁 (1997). "선박블록 탑재용 리그구조의 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.) Designand Implementation of Optimization Software, Sijthoff and Noordhoff, Holland, pp 335-362.

---

2010년 10월 25일 원고 접수

2011년 3월 2일 심사 완료

2011년 4월 22일 게재 확정