

## 탑재용 러그 구조의 설계 시스템 개발

함주혁\*

### Development of the Design System for the Lifting Lug Structure

Juh-Hyeok Ham\*

#### 요 약

대형 강선의 선박건조 및 조립에 필수적인 블록 이송용 및 탑재용 러그가 국내 소요량이 연간 수십만개 정도이며 이들이 대형 선박블록에 부착되었다가 탑재 후 제거되어지고 있으나 이러한 기존의 러그 형상이 실제 하중에 비해 비합리적으로 설정되는 경우가 많아 이에 대한 적정설계의 개념으로 시스템화가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 각 러그의 강도 혹은 안전율을 파악을 한 다거나 적정 러그 구조 치수를 손쉽게 설계할 수 있는 설계시스템을 개인용 컴퓨터의 윈도우 환경 하에 개발하였다. 이를 위해 현재 대형 조선소에서 가장 많이 쓰이는 블록 탑재용 러그인 D형을 대상으로 러그 구조의 초기설계를 목적으로 간편하게 설계를 할 수 있는 탑재용 러그 구조의 설계 시스템의 GUI(Graphic User's Interface)를 구축하였고, 최적설계 및 파라메트릭 설계 그리고 강도평가의 3가지 부시스템을 개발하여 시스템에 장착하였으며 설계의 한 예를 제시하고 효율성을 입증하였다. 앞으로 이 개발 시스템을 이용하여 설계 담당자들이 개인용 컴퓨터의 윈도우 상에서 러그 구조설계를 효율적으로 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

#### Abstract

Due to the rapid growth of ship building industry and the increment of ship construction in Korea, several hundred thousand of lifting lugs per year, have been installed at the lifting positions of ship block and removed after finishing their function, therefore, appropriate design system for the strength check or the optimal design of each lug structure has been required in order to increase the capability of efficient design.

In this study, the design system of D-type lifting lug structure which is most popular and useful in shipyards, was developed for the purpose of initial design of lug structure.

접수일자: 2000년 8월 23 일, 승인일자: 2001년 1월 19일

\*정회원, 한라대학교 기계공학부 조선공학전공 조교수 (E-mail: jhham@hit.halla.ac.kr)

Developed system layout and graphic user interface for this design system based on the C++ language were explained step by step.

Through the illustration of one example of D-type lug designs, the efficiency of this design system was proved.

Therefore, more efficient performance of practical lug structural design will be expected on the windows of personal computer using this design system.

## 1. 서 언

우리 나라가 조선산업의 발달로 선박 건조량이 세계적 수준으로, 드디어 93년 이후 6년만에 다시 조선 수주 세계 1위의 위치를 확보하였다(한국조선공업협동조합, 1999). 이에 따라 대형 강선의 선박건조 및 조립에 필수적인 블록 이송용 및 탑재용 러그의 소비량도 대단하여 국내의 각 대형 조선소에서 연간 약 수십 만개가 소요된다(현대중공업, 1994).

이들 수많은 블록 탑재용 러그가 대형 블록에 부착되었다가 탑재 후 제거되어지고 있으나 이들 러그를 단순히 몇 개의 종류 및 형태별 몇 단계로만 구분하여 사용되고 있으며 기존의 러그 형상이 실제 하중에 비해 비합리적으로 설정되어 있는 경우가 많아 이에 대한 적정설계의 개념이 도입될 필요가 있다고 생각되어 사용자가 손쉽게 탑재용 러그를 설계할 수 있는 설계시스템을 구축하고자 한다.

이들 시스템의 구축 환경은 대용량의 워크스테이션을 사용할 수도 있으나(함주혁, 김울년, 1997) 워크스테이션에 버금가는 성능과 보편성을 한층 확보하고 있는 개인용 컴퓨터가 바람직한 것으로 사료되어 이에 시스템을 구축하였다.

선박구조와 관련하여 최적설계연구는 국내외적으로 많은 연구가 수행된바 있으나 국내에서는 1980년경 선박구조관련 설계가 싹트기 시작하여(신중계, 1980) 선체중앙부를 대상으로 많은 연구(나승수 외, 1985)(장창두 외, 1992)가 수행된 바 있으며 최적설계기법의 다양화 노력(김희현 외, 1992)(김기성 외, 1993)도 계속되었다.

본 연구는 생산 및 건조 단계에서 필연적이라 사료되는 탑재용 러그 구조의 설계를 최적화 단계, 파라메트릭 설계 및 설계강도단계 등을 적절히 서로 보완 및 검토될 수 있는 패키지 형태로 전산화하고 상호 비교 계산을 통한 최적의 설계방법을 찾을 수 있게 하였다.

이를 위해 본 개발 시스템에는 현재 대형 조선소에서 가장 많이 쓰이는 블록 탑재용 러그인 D형을 일차적 대상으로 삼고 현재 현업에서 사용되고 있는 관련 러그의 설계 기준(함주혁 외, 1992-5)(Ham, 1997-8)을 정립한 결과를 기초로 가장 최적치의 설계변수를 결정해 주는 최적설계 단계와 비교적 최적치에 가까우면서 각 설계변수의 영향 등을 파악할 수 있는 파라메트릭 설계 단계 그리고 정해진 설계치나 앞선 단계에서 도출된 설계결과의 적합성 검토 및 보완을 위한 강도 검토단계의 총 3가지 설계단계인 부시스템들을 하나의 시스템으로 구축하여 서로간의 보완점이 검토되는 환경을 조성하였으며 이를 이용한 러그 설계 및 강도 검토의 일 예를 제시하였다.

앞으로 이 개발 시스템을 이용하여 설계 담당들이 개인용 컴퓨터의 윈도우 상에서 러그 구조설계를 효율적으로 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 러그 설계 시스템 개요

본 시스템은 설계자 혹은 사용자가 지정하는 하중을 이용한 러그의 적정설계를 수행하기 위해 개발된 시스템으로 개인용 컴퓨터 상에서 빠른 시간 내에 설계 및 강도검토를 초기설계 단계에서 제시

해 준다. 이와 관련된 탑재용 러그 설계 시스템의 구성 개요를 본 절에서 다루어 본다. 설계 시스템은 개인용 컴퓨터 상에서 일반 설계자들이 손쉽게 다룰 수 있게 하기 위해 window상에서 C++로 구축하였다(Nathan Gurewich, Ori Gurewich, 1997). 윈도우용의 GUI(Graphic User's Interface)는 본 시스템의 입력 파일을 구축하기 위한 진처리 프로세서로 사용되었으며 해석 및 결과를 위한 시스템 프로세서와 교신된다.

본 시스템은 윈도우 파일 매니저에서 Lug.exe를 두 번 클릭하거나 Fig.1에서 제시된 바와 같이 폴더 창에 준비된 설계 시스템 아이콘을 두 번 클릭하여 시작된다.

이 결과 Fig.2와 같은 러그 설계시스템의 표제 화면이 나타나고 본 시스템에 필요한 각 버튼이 준비되어 있다.

본 시스템의 표제화면의 좌상측에 준비된 작은 아이콘을 클릭하면 Fig.3과 같이 팝업메뉴가 나타난다. 그 중 맨 아래쪽의 메뉴를 클릭하면 본 시스템의 정보를 제시하는 대화상자가 Fig.4와 같이 나타나며 여기서 시스템의 사용 권리 및 버전 정보들을 구체적으로 표시할 수 있다. 본 시스템은 프로토타입으로 버전 1.0로 정하였다.

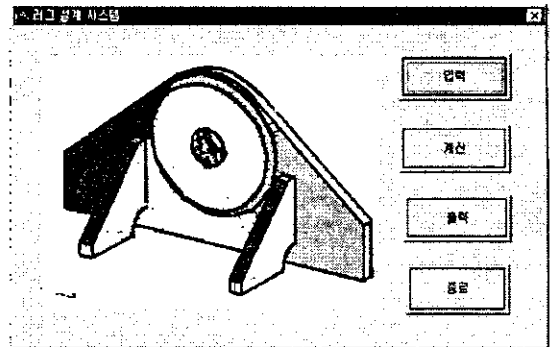


Fig.2 Main window for the lug design system

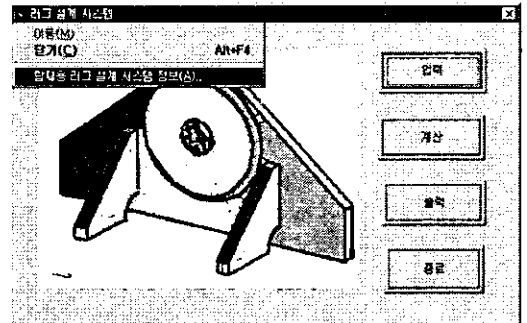


Fig.3 Pop-up menu on the main window



Fig.1 Folder window for the design system icon

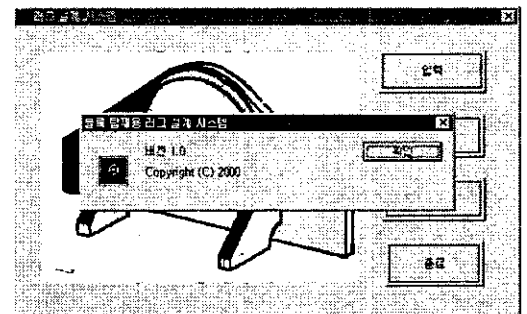


Fig.4 Dialogue box for the system information

다시 표제화면으로 돌아가서, 화면 좌측에 준비된 버튼 중 맨 위에 위치한 입력버튼의 클릭은 러그 설계 및 강도 검토를 위한 입력자료의 작성환경으로 이동하기 위한 것이며 입력버튼 아래의 계산 버튼은 입력자료의 준비가 완료된 상태에서 시

시스템의 주 프로그램을 자동 수행시키기 위한 환경으로 이동하기 위한 것이다. 또한 계산버튼 아래에 준비된 출력버튼은 계산버튼을 이용하여 자동 계산된 설계 및 검토관련 결과를 보여주는 단계로 진입하게되며 맨 아래쪽의 종료 버튼은 시스템을 탈출하는 버튼이다.

### 3. GUI 구축 개요

본 설계시스템은 주 표제화면을 시작으로 주 표제 화면에 설치된 버튼을 클릭해서 각종 부 표제 화면이 생성되는 형식으로 C++언어를 사용하여 화면 하부의 호출되는 사용자 정의 대화상자(Dialog based)를 클래스화하여 개체(m\_dlg)를 생성하고 이전의 대화상자에 필요한 개수만큼의 푸시버튼을 설치하고 버튼의 BN\_CLICKED에 이벤트 코드를 연결하여 m\_dlg 대화상자를 모달 대화상자로 띄우는 방식을 채택하였다. (예: m\_dlg.DoModal();)

대화상자의 캡션은 한글 주석을 달아 대화상자 좌측 상단에 표시하여 해당 대화상자의 기능 및 특성을 손쉽게 설계자가 파악할 수 있게 하였다.

시스템을 호출할 때 준비된 main frame 아이콘은 Fig.5와 같이 32 x 32 픽셀 표준형을 사용하여 아이콘 그림을 리그형상으로 구성하였다. 개인용 컴퓨터의 윈도우 시스템에 기본으로 장착된 그림판으로 준비한 각종 Bitmap 파일을 시스템 구축 공간으로 전송(import)시켜 관련된 주 표제 화면과 부화면의 대화상자에 연결(load)하여 주

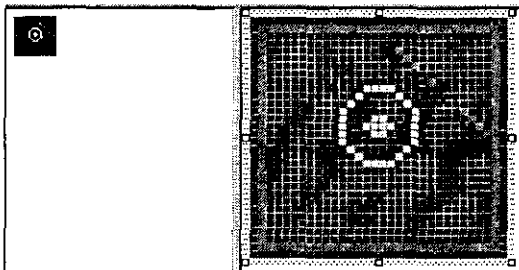


Fig.5 32 x 32 standard pixel for main frame icon

대화상자의 표제 그래픽으로 혹은 각종 입력의 설명을 위한 보조 그림으로 활용하였다. 사용한 bitmap은 3개로, 그 첫번째는 본 시스템의 주 표제용으로 Fig.2와 Fig.3의 주 표제화면 상에 제시하여 시스템의 얼굴이 되게 하였고 나머지 두개는 파라메트릭 설계용 입력화면 및 강도검토용의 입력자료를 취득하기 위한 그래픽 설명용으로 사용되었고 이 내용의 상세는 다음 절에 소개하였다.

#### 3.1 입력단계

Fig.2의 주 표제화면용 대화상자의 첫 번째 버튼을 클릭하여 나타나는 입력 대화상자를 Fig.6에 제시하였다.



Fig.6 Dialogue box for input

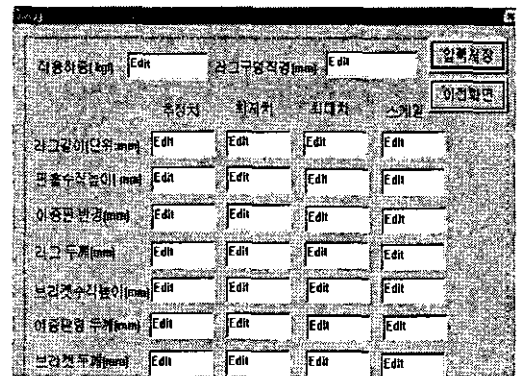


Fig.7 Input dialogue box for lug optimum design

본 입력용 대화상자의 첫 번째 버튼은 러그 최적설계를 위한 단계로 이를 클릭하여 나타나는 설계용 입력자료 항목은 Fig.7에서 보는 바와 같이 명확한 입력항목은 작용하중(P)과름(DH)의 두가지이며 러그길이, 핀홀 수직높이, 이중판 반경, 러그두께, 브래킷 수직높이, 이중판 링두께 및 브래킷 두께(Tb)의 7가지 값은 최적설계의 탐색을 위한 초기치와 최대 및 최소의 설계구간 그리고 최적 계산의 효율을 위한 계산 스케일의 정보를 입력한다. 마지막의 스케일을 값을 넣지 않으면 1로 자동 계산된다.

본 입력용 대화상자의 두번째 버튼은 러그 설계를 위한 단계로 이를 클릭하여 나타나는 설계용 입력자료 항목은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 단순히 작용하중(P), 핀구멍지름(DH), 덧판두께(TC) 그리고 브래킷 두께(Tb)만을 입력자료로 하고 있다. 즉 사용하중과 현재 소유하고 있는 판두께의 정도 등의 간편한 몇가지 입력만을 이용하여 적합한 설계를 선정하기 위한 입력단계이다.

세 번째 버튼은 이미 앞선 단계를 통해 설계되었거나 모든 치수와 두께가 주어진 러그에 대한 강도 검토를 위한 단계로 형상 및 치수의 모든 정보가 입력될 수 있게 Fig.9에 제시되었다.

앞서 간략히 살펴본 최적 설계용, 파라메트릭 설계용 및 강도검토용의 3가지 입력 대화상자들은 각각의 대화상자에 에디트 상자를 설치하고 각 에디트 상자의 주변에 정적 텍스트 컨트롤을 이용하여 입력치에 대한 보조설명을 제시하였다. 참고로 최적설계용 입력 대화상자의 에디트 상자 개체 ID는 IDC\_VAR0\_EDIT1 부터 IDC\_VAR0\_EDIT30까지의 30개의 ID 명을, 파라메트릭 설계용 입력 대화상자의 에디트 상자 개체 ID는 IDC\_VAR1\_EDIT1부터 IDC\_VAR4\_EDIT1까지 4개의 ID 명을, 그리고 강도 검토용 입력대화상자에 설치한 10개의 에디트 상자에 개체의 ID 명은 IDC\_VAR1\_EDIT2부터 IDC\_VAR10\_EDIT2까지 10개를 사용하였다. 이들 30, 4 그리고 10 개의 각각의 에디트상자의 내용을 읽기 위해 변수를 물리게 되는데 그 형태는 개체명의 형식을 빌어 m\_Var1Edit1 식의 형태를 취하였

다. 그리고 각 입력용 대화상자의 한쪽에 준비된 입력저장버튼을 클릭하면 파일로 저장(직렬화)되게 하였다.

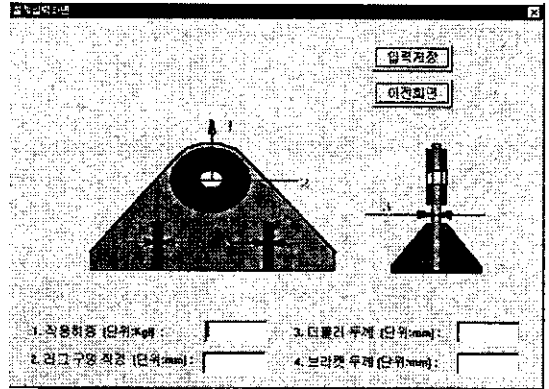


Fig.8 Input dialogue box for lug parametric design

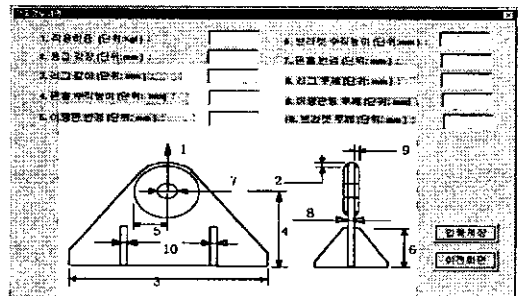


Fig. 9 Input dialogue box for the lug strength check

3.2 설계 및 설계 검토를 위한 계산 수행 단계

앞서 선보인 Fig.2의 주 표제화면 위에서 두 번째 버튼을 클릭하여 나타나는 러그 설계 및 강도 검토용 계산을 위한 대화상자를 Fig.10에 표시하였다. 왼쪽 두 버튼은 러그 설계용 그리고 아랫쪽 버튼은 러그 강도 검토용이다.

파일 직렬화에 의해 입력 대화상자로부터 생성된 data를 기존의 다른 소프트웨어로 독립적으로 처리하기 위해 필터 프로그램을 작성하여 고유의

data 값을 추출한 후 설계 및 강도 계산 대화상자에서 계산 수행 버튼에 눌러 계산 프로그램과 함께 수행된다. 계산 프로그램은 포트란 프로그램으로 수행버튼에 눌러서 자동 실행되게 하였다.



Fig.10 Dialogur box for lug design and strength check

3.3 출력단계

본 시스템의 주 표제화면의 3번째 버튼을 클릭하여 나타나는 출력 대화상자의 예를 Fig.11에 나타내었다.

여기서 대화상자의 위에서 첫번째 버튼을 클릭하여 Fig.12와 같은 최적설계 결과 화면으로부터 설계의 탐색과정과 최적치 상세를 파악 할 수 있다.

두 번째 버튼을 클릭하면 Fig.13과 같은 파라메트릭 설계 결과화면으로부터 설계변수의 변화에 따른 각종 정보를 획득 할 수 있다.

단순한 입력을 통해 계산을 수행한 결과 나타나는 상기의 설계결과 화면을 살펴보면 최적의 한 값만을 제공해 주는 것이 아니라 러그 길이별 비교적 최적에 가까운 상황을 제공해 주어 설계자의 선택권을 충분히 고려함과 동시에 러그길이 변화에 따른 구멍높이, 덧판의 반지름, 러그두께, 브래킷높이 및 브래킷 경사각등의 최적 결과의 변화 양상을 한 눈에 파악할 수 있어 설계개념의 파악이 쉽고 양호한 최적치수를 얻을 수 있다.

Fig.11의 설계결과 대화상자의 위에서 세번째 버튼을 클릭하여 나타나는 설계 검토용 결과화면을

Fig.14에 나타내었다. 본 결과 자료로부터 각 부분평균 발생 응력과 안전율 그리고 최소 면적과 두께 등을 실제 값과 비교하면서 제시해주어 실제 강도 상황을 한 눈에 파악 할 수 있을 뿐만이 아니라 이를 근거로 새로운 설계를 반복함으로써 보다 설계자가 원하는 결과를 얻어낼 수 있다

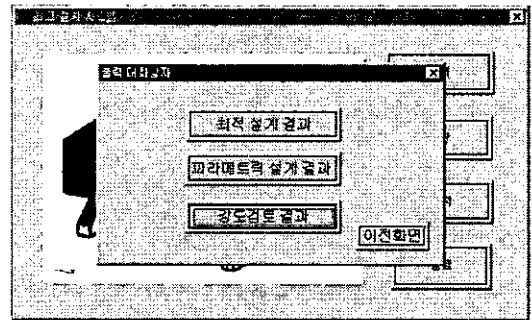


Fig.11 Dialog box for output

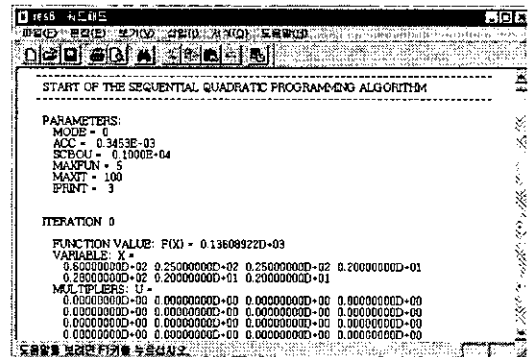


Fig.12 Output data for lug optimum design

L	ARMI	R	TH	H	THETA	MLUC	WBR	WDB	MTOTAL
13	11.00	5.00	9.50	2.70	98.00	10.19	12.56	73.24	95.99
14	11.00	5.00	8.20	2.70	79.10	11.49	12.56	73.24	97.29
15	11.00	5.00	7.15	2.70	71.00	10.04	12.56	73.24	98.64
16	11.00	5.00	6.30	2.70	66.06	10.25	12.56	73.24	98.05
17	11.00	5.00	5.60	2.70	61.35	9.72	12.56	73.24	95.52
18	11.00	5.00	5.00	2.70	57.36	9.21	12.56	73.24	95.02
19	11.00	5.00	4.45	2.70	53.92	8.67	12.56	73.24	94.48
20	11.00	5.00	4.05	2.70	50.91	8.32	12.56	73.24	94.12
21	11.00	5.00	3.65	2.70	48.24	7.89	12.56	73.24	93.69
22	11.00	5.00	3.25	2.70	45.85	7.59	12.56	73.24	93.40
23	11.00	5.00	3.05	2.70	43.78	7.23	12.56	73.24	93.04
24	11.00	5.00	2.80	2.70	41.76	6.94	12.56	73.24	92.74
25	11.00	5.00	2.60	2.70	39.99	6.71	12.56	73.24	92.52

Fig.13 Output data for lug parametric design

L	R	T <sub>H</sub>	T <sub>C</sub>	THETA	MUG	MIN	WID	WTDIM
48.28.00	10.00	2.00	12.00	91.23	18.24	8.76	4.26	33.97

PIN HOLE		TOP ROUND		SHDR		LUG LENGTH		LEG LENGTH		SIDE BRK HEIGH	
STRESS	S.F.	STRESS	S.F.	STRESS	S.F.	STRESS	S.F.	STRESS	S.F.	STRESS	S.F.
1195.26	1.01	645.92	1.29	582.33	2.47	519.91	1.50	1260.10	1.14		

BEARING AREA		SHEAR AREA		LUG LENGTH		LEG LENGTH		SIDE BRK SIZE	
MIN	DESIGN	MIN	DESIGN	MIN	DESIGN	MIN	DESIGN	MIN	DESIGN
2.66	4.00	59.33	75.12	20.19	00.00	0.65	1.00	11.25	12.00

Fig.14 Output data for lug strength check

4. 탑재용 러그 설계식의 정식화

기존의 러그 형상이 실제 하중에 비해 크게 설정되어 있어 이에 대한 적정설계의 개념이 도입될 필요가 있음에 따라 기존 사용되고 있는 러그의 설계 기준(함주혁 외, 1992-5)을 살펴보고 이를 기초로 한 설계 시스템을 완성하기 위하여 보다 바람직한 설계식을 다음과 같이 제시하였다.

덧판(doubler)을 러그 주판(main plate)에 용접하기 위해 덧판두께의 1.5배 만큼 바깥 방향으로 러그주판이 둥글게 설치된다고 가정한다. 따라서 러그주판의 두께는 아래에 제시된 Fig.15와 같이, 그 기하학적 형상으로부터 식(1)과 같이 정의될 수 있다.

$$T_{LUG} = \frac{[A_s - 4(R - 0.5D_H)T_C]}{2[R + f_1T_C - 0.5D_H]} \quad (1)$$

- 여기서,  $A_s$  : 핀구멍 주위의 전단면적
- $R$  : 덧판반경
- $D_H$  : 러그구멍 직경
- $T_C$  : 덧판두께
- $f_1$  : 용접 마진 factor

러그판 하부는 2차 사용을 위해 필요 최소한의 치수 만큼 러그판 길이를 유지하면서 올라오며 그 이상은 덧판(doubler)의 반지름 보다 덧판이 용

접될 수 있는 만큼 큰 반지름을 가지는 동심원의 점선과 만나는 직선으로 러그 외곽이 이루어지며 러그 외곽선은 90도를 넘지 못한다고 가정한다. 이러한 2차 사용 조건과 러그의 형상 정의로부터 식(2)와 같은 조건식을 제시할 수 있다.

$$H_{ARM} \geq R + 6 \quad (2)$$

$$L \geq 2(R + 1.5T_C)$$

여기서,

$H_{ARM}$  : 러그하단에서 핀구멍 중심까지의 거리

$L$  : 러그하단 길이

브래킷은 양쪽에 나란히 두개씩 총 4개가 그리고 덧판도 양쪽에 두개가 부착되며 용접부는 충분한 연결강도를 가진다고 가정한다. 브래킷의 높이는 러그강도 계산치를 유지하는 높이의 직각 이등변 삼각형으로 하며 덧판(doubler)과 교차되지 않고 러그의 수직 높이 보다 클 경우 러그판의 양

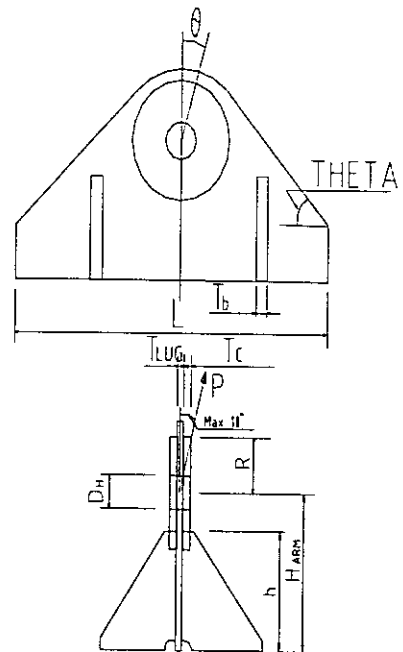


Fig.15 Configuration of D-35 lifting lug structure

쪽으로 삼각판 두개가 결합된 한판으로 부착한다.

본 러그 강도 해석에서 항복응력은 2400 kg/cm<sup>2</sup>으로 취하고 러그판의 면내하중만 고려하는 것이 아니라 러그판의 면외 최대 10도까지 로 우프에 의한 하중작용을 허용하며 이에 따른 적정 브라켓을 설계한다.

다음은 러그판, 브라켓, 러그구멍 및 용접각장 등에 받는 인장, 전단, 굽힘 및 이들의 조합하중에 대한 재료역학적 강도식으로 현재 현장의 러그 설계시 실제 설계에 계속 적용해왔던 식들을 조건식 형태로 표시하면 다음과 같다. 먼저, 최소 허용 러그두께 계산은 덧판(doubler) 두께를 입력 자료로 고정된 상태에서 덧판을 포함한 러그구멍 주변의 인장력에 대한 설계강도식을 러그두께의 함수로 정리하여 도출된 식(3)을 이용하여 계산한다.

$$T_{LUG} \geq \frac{P}{0.9\sigma_y D_h} \quad (3)$$

여기서,  $T_{LUG}$  : 러그판 두께  
 $P$  : 작용하중  
 $\sigma_0$  : 항복응력  
 $D_h$  : 러그구멍 직경

러그구멍 주변 구조의 전단강도를 확보하기 위한 최소 허용면적의 계산은 식(4)를 이용하였다. 면적계산에는 덧판과 러그판의 면적이 공히 유효한 것으로 산입되었다.

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

여기서,  $A_s$  : 러그구멍 주변 전단면적  
 $P$  : 작용하중

러그 길이 계산은 판구멍 높이가 주어진다면 러그두께( $T_{LUG}$ )를 이용하여 러그 하단부의 굽힘과 전단강도를 확인하는 설계식으로 부터 다음의 두 제약 조건식을 얻을 수 있다.

$$L_{LUG} \geq \sqrt{\frac{6PH_{ARM}}{0.6\sigma_y T_{LUG}}} \quad (5)$$

$$L_{LUG} \geq \frac{P}{0.25\sigma_y T_{LUG}} \quad (6)$$

여기서,  $L_{LUG}$  : 러그길이  
 $H_{ARM}$  : 러그구멍의 높이  
 $P$  : 작용하중  
 $T_{LUG}$  : 러그두께  
 $\sigma_y$  : 항복응력

등변 삼각 브라켓의 한변 길이 계산은 브라켓 두께를 입력 자료로 하여 식(7)로부터 계산된다. 그러나 이 식은 한 변만이 수직으로 부착되어 있을 때의 식으로 실제의 경우는 양쪽에 나란하게 브라켓이 부착되어 있을 뿐만이 아니라 한쪽이 없어도 러그 본체와 T자형의 형상으로 구성되므로 물리적 이치에 어긋나나 오직 한쪽 브라켓 구조만에 의해 지탱된다는 경험적 안전 측의 설계지침이라 생각하고 적용하여 본다.

$$h \geq \sqrt{\frac{6 P_x H_{ARM}}{0.6\sigma_y T_b}} \quad (7)$$

여기서,  $h$  : 브라켓 길이  
 $H_{ARM}$  : 러그 구멍의 높이  
 $P$  : 작용하중  
 $T_b$  : 브라켓 두께  
 $\sigma_y$  : 항복 응력

상기 식들을 이용하여 러그 형상이 결정되면 러그 하단부의 용접 각장의 적정치는 다음 식(8)과 (9)로 그 적정성을 판단할 수 있다.

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

여기서,  $f_a$  : 용접단면 작용응력

$$= \frac{P \sin \theta}{2(T_{LUG} L)} + \frac{P \cos \theta H}{L^2/3} \quad (9)$$

$F$  : 용접허용응력



5. 탑재용 러그의 최적 설계법 개요 및 정식화

기존의 러그 형상이 실제 하중에 비해 크게 설정되어 있어 이에 대한 적정설계의 개념이 도입될 필요가 있음에 따라 기존 사용되고 있는 러그의 설계 기준(함주혁 외, 1992-5)을 살펴보고 이를 기초로 한 최적설계를 수행하여 주프로그램의 첫 번째 버전에 장착하였다.

러그 설계를 위한 각종 파라메타의 분석을 통하여 최소중량을 목적함수로 한 최적설계 프로그램을 작성하였다. 최적설계 풀이는 일반적인 비선형 최적화 문제를 풀기 위해 여러 가지 최적화기법들(신종계, 1980)(장창두, 1992)(김기성, 1993)이 존재하고 계속 신기법들(양영순 외, 1994)이 연구되고 있다. 그러나 대부분의 최적화 기법에는 많은 파라메타가 포함되어있어 문제의 성격에 따라 효율적인 방법이 결정된다고 보며 최신의 기법이 최선의 방법은 아니라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 축차적 이차 프로그래밍 기법(Schittkowski, 1986)을 사용하였으며 그 최적화를 위한 정식화의 내용은 다음과 같다.

일반적으로 최적화문제의 형태는 각종 등식 및 부등식 제약조건 함수,  $g_j(x)$ 를 만족하는 목적함수  $f(x)$ 를 최소화하는 문제로 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \min f(x) & \quad (10) \\ \text{s.t. } g_j(x) &= 0, \text{ for } j=1, \dots, m_d \\ g_j(x) &\geq 0, \text{ for } j=m_d+1, \dots, m \\ x_1 &\leq x \leq x_u \end{aligned}$$

Lagrangian 2차 근사를 사용하고 제약조건들을 선형화시킨 다음 관계의 부프로그램을 이용하여 반복적 계산을 계속한다.

$$\begin{aligned} \min \frac{1}{2} d^T B_k d + \nabla f(x_k)^T d & \quad (11) \\ \text{s.t.} \\ \nabla g_j(x_k)^T d + g_j(x_k) &= 0, \quad j=1, \dots, m_d \\ \nabla g_j(x_k)^T d + g_j(x_k) &= 0, \quad j=m_d+1, \dots, m \end{aligned}$$

$$x_1 - x_k \leq d \leq x_u - x_k$$

여기서,  $B_k$ 는 positive definite Hessian 근사치이며  $x_k$ 는 현재 반복 계산 중인 변수이다. 부 프로그램의 해를  $d_k$ 라고 하면 새로운 점  $x_{k+1}$ 을 찾기 위해 다음의 관계를 이용한다.

$$X_{k+1} = X_k + \lambda D_k, \quad \lambda \in (0, 1) \quad (12)$$

이들 비선형 최적화 이론에 적용시킨 목적함수와 제약조건의 정식화는 다음과 같다.

먼저 목적함수  $f(x)$ 의 정식화는 다음식과 같다.

$$f(x) = 7.85 (V_m + V_{db} + V_{bk}) / 1000. \quad (13)$$

여기서,

$$\begin{aligned} V_m &= V_{rec} + V_{tr} - V_{tip} \\ V_{rec} &= x_4(9x_1 - \pi(0.5D_h)^2) \\ V_{tr} &= 0.25 x_1^2 x_4 \tan \theta \\ V_{tip} &= x_4((x_3 + 1.5)^2 \tan \theta - (x_3 + 1.5)^2 \theta) \\ V_{db} &= 2\pi x_6((x_3 + 0.5)^2 - (0.5D_h)^2) \\ V_{bk} &= x_7(2(x_5 + 5.5)^2 - 16 - 3.5^2 \pi) \end{aligned}$$

또한 사용된 제약조건들은 다음과 같이 표현하였다.

$$\begin{aligned} g_1(x) &= A_{s1} - A_s \geq 0 \\ g_2(x) &= x_3 + 6 - x_2 \geq 0 \\ g_3(x) &= x_1 - 2(x_3 + 1.5) \geq 0 \\ g_4(x) &= x_4 - p / (0.9\sigma_0 D_h) \geq 0 \quad (14) \\ g_5(x) &= x_4 - (6pD_h) / (0.6\sigma_0 x_1^2) \geq 0 \\ g_6(x) &= x_4 - p / (0.25\sigma_0 x_1) \geq 0 \\ g_7(x) &= x_7 - (6pD_h) / (0.6\sigma_0 x_5^2) \geq 0 \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned} A_{s1} &= 2(x_3 + 1.5 - 0.5D_h)x_4 + 4(x_3 - 0.5D_h)x_6 \\ A_s &= p / (0.25\sigma_0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= L & x_2 &= H_{ARM} \\
 x_3 &= R & x_4 &= T_m \\
 x_5 &= H & x_6 &= T_C \\
 x_7 &= T_B
 \end{aligned}$$

이상에서 언급된 정식화의 수순에 따라 작용하중 35,000kgf와 핀홀지름 61mm를 주어진 입력으로 삼고 각 설계변수 7개 ( $x_1$ 에서  $x_7$ 까지)의 탐색영역의 최대 및 최소구간이 Fig. 7의 입력화면을 이용하여 주어진 상태에서 최적설계를 수행한 결과 41번의 탐색을 통하여 최적의 결과를 얻고 이를 수학적인 복잡한 수치에서 정수개념의 수치로 변경하여 시스템의 3번째 단계인 강도점검 단계를 거쳐 Table 1과 같은 설계결과를 얻었으며 여기서의 길이, 무게 및 기울기의 단위는 각각 cm, kgf 및 degree로 소수점 이하는 반올림한 수치이다. 총중량 약 13kgf로 설계되었다.

최적화 과정을 거친 이상의 결과는 다음의 파라메트릭 설계과정으로부터 얻은 결과와 함께 다음 절에서 비교 검토하여 보았다.

**Table 1** Optimum design result of lug structure

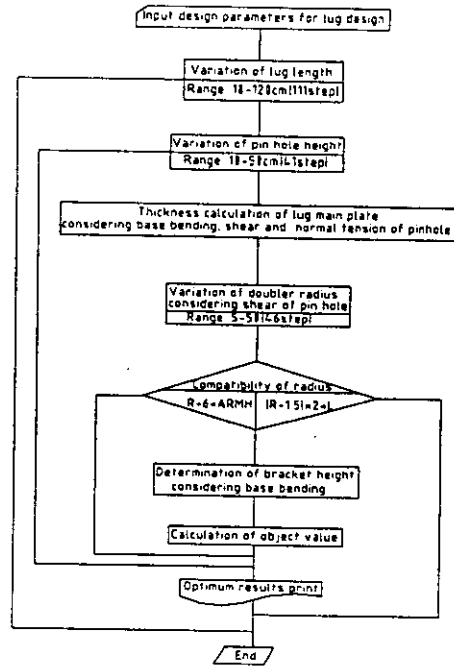
L	H <sub>ARM</sub>	R	T <sub>m</sub>	H	$\theta$	W <sub>LUG</sub>	W <sub>BR</sub>	W <sub>DB</sub>	W <sub>TOTAL</sub>
21	10	5	3	16	46	6	3	4	13

### 6. 탑재용 러그의 파라메트릭 설계 개요

본 파라메트릭 설계법은 최적화 프로그램과는 완전히 독립적인 러그 설계프로그램으로 최적화 프로그램에서 사용한 총 7개의 변수 중 파라메트릭 설계 횟수를 줄이기 위해  $T_C$ 와  $T_B$ 를 입력치로 사용하고 Fig. 16 흐름도에 따른 파라메트릭 설계 결과로부터 5개의 변수가 결정된다.

#### 6.1 파라메트릭 설계 개요

본 파라메트릭 설계프로그램은 작용하중(P),



**Fig. 16** Flow chart of parametric study for lug structural design

핀구멍지름(Dh), 덧판두께(TC) 그리고 브래킷 두께(Tb)만을 입력자료로 하여 러그주판의 길이(L) 범위인 10-120cm의 1cm 간격으로 비교적 최적에 가까운 러그구조를 제공해 주어 설계자의 선택권을 충분히 고려함과 동시에 러그길이 변화에 따른 구멍높이, 덧판의 반지름, 러그두께, 브래킷높이 및 브래킷 경사각등의 최적 결과의 변화 양상을 한 눈에 파악할 수 있어 설계개념의 파악이 쉽고 양호한 최적에 가까운치수를 얻을 수 있다.

핀의 구멍은 핀크기와 셔클간의 관계에 있어서 설계변수에서 제외하고 일정한 입력치로 고정시켰다. 대신에 러그본체의 밑단에서의 핀구멍까지의 높이는 10-50cm범위에서 1cm씩 변화시켜가면서 상기에 소개한 설계식들을 모두 고려하면서 41개의 설계치 중에서 중량이 최소인 설계값을 기억하여 출력한다.

덧판의 반경은 5-50cm 범위에서 1cm간격으로

탐색하여 러그 본체판과의 합이 작을수록에 대한 허용 전단면적이 될 수 있게 증가시켜 준다.

핀구멍의 높이는 덧판 반지름과 6cm의 합보다 작지 못하게 제한하여 덧판을 재사용할 수 있고 하부의 러그본체에서의 절단 간격을 유지시켰으며 러그의 길이를 러그단부경사가 90도 이상되지 못하게 하였다.

브래킷은 10도 경사에 대한 횡방향 하중성분에 대해 브래킷만으로 충분히 견딜 수 있는 평균강도를 유지할 수 있게 설계하였다.

덧판 바깥 주판의 돌출 높이는 덧판 두께의 1.5배로 잡아 설계를 하고 전단강도 평가에 사용되나 현장의 설계적용에서는 무시된 상태로 1.5cm로 적용하고 있어 설계프로그램에서는 같은 값(1.5cm)으로 사용하였다. 본 내용과 관련된 프로그램의 흐름도를 Fig.16에 제시하였다.

6.2 설계 파라메타 분석

4절에서 언급한 러그설계의 수학적 표현과 파라메트릭 설계 개요를 이용하여 파라메트릭 설계를 수행하고 한 러그설계의 예에 대한 각 러그길이별 설계결과를 Table 1(다음 페이지 참조)에 제시하였다. 여기서의 길이, 중량 및 각도단위는 각각 cm, kgf 및 degree이며 소수점 이하를 반올림하여 나타내었다. 이들 파라메트릭 설계로 도출된 결과는 도표를 이용하여 분석하여 설계경향 연구에 활용할 수 있으며 같은 설계하중(35,000kgf)과 핀홀지름(61mm)에 대한 러그 몇가지 예를 도표화 하여 보았다.

Fig.17에서는 러그 길이변화에 따른 핀구멍의 높이, 덧판반경 그리고 브래킷 높이의 변화를 살펴보았다. 세가지 파라메타 공히 러그길이 증가와 더불어 점차 증가하는 경향을 보이나 브래킷의 높이의 변화는 미진하다. 러그길이의 변화에 따라 덧판반경과 핀구멍의 높이의 증가 경향은 일정한 간격을 두고 거의 유사하다.

Fig.18에서는 러그길이의 변화에 따른 러그자체, 브래킷, 덧판 및 총중량의 변화를 제시하였다. 러그길이의 증가에 따라 덧판의 중량증가 현상이

매우 뚜렷하나 러그본체는 매우 짧은 러그길이 범위인 20-40cm범위에서 급격한 중량의 감소를 보이며 그외의 범위에서는 서서히 증가함을 알 수

Table 2 Parametric design results of lug structure

L	HARK	R	T <sub>o</sub>	H	θ	W <sub>LUG</sub>	W <sub>BK</sub>	W <sub>DP</sub>	W <sub>TOTAL</sub>
20	13	7	5	9	74	10	6	3	19
30	15	8	2	10	58	9	7	4	20
40	16	10	2	10	52	8	7	6	21
50	16	10	1	10	42	8	7	6	21
60	17	11	1	10	39	9	7	8	24
70	17	11	1	10	33	9	7	8	24
80	17	11	1	10	29	9	7	8	24
90	18	12	1	11	28	9	7	9	26
100	18	12	1	11	26	9	7	9	26
110	18	12	1	12	23	9	7	9	26
120	18	12	1	11	21	9	7	9	26

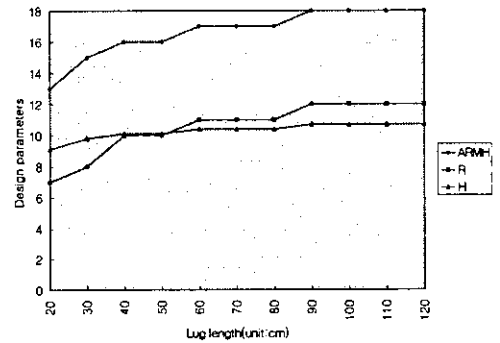


Fig.17 Parametric study of lug design according to the change of lug length

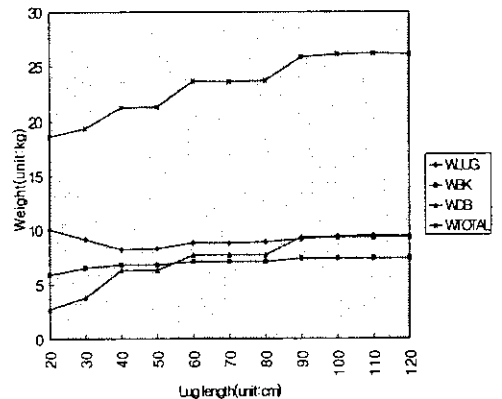


Fig.18 Weight variation according to the change of lug length

있다. 브래킷 중량은 리그길이의 증가에 따라 전 구간에 걸쳐 서서히 증가함을 볼 수 있으나 그 증가량은 미소하다. 총 중량은 각 리그길이 별로 19 - 26 kgf로 추정되며 기존 조선소의 설계 중량은 33 kgf 정도로 구조해석을 통한 국부적 보강이 되지 않은 초기 추정치이지만 평균 약 30 %의 중량 감소가 예상된다. 또한 앞절에서 최적화 과정을 통한 연구결과는 13 kgf 정도를 보이고 있어 약 60%의 중량 감소가 예상되고 있으므로 본 연구결과에 대한 상세한 구조해석을 통한 국부보강 및 생산측면에서의 설계자의 추가 고려사항을 가미하여도 상당한 효과가 있을 것으로 예상된다.

Fig.19에서는 리그길이의 증가에 따른 리그주판의 경계역 기울기의 변화를 나타내었다. 리그길이의 변화에 따라 비선형적으로 각도의 감소현상을 보이고 있는 것이 바람직함을 본 연구에서 알 수 있다.

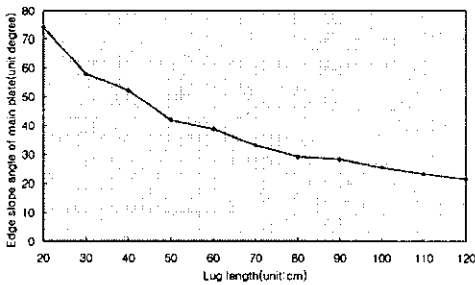


Fig.19 Variation of edge slope angle according to the variation of lug length

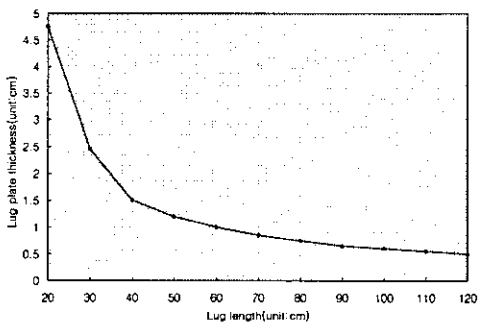


Fig.20 Variation of lug thickness according to the change of lug length

Fig.20에서는 리그길이 변화에 따른 리그 주판의 두께변화양상을 살펴보았다. 리그길이가 짧은 구간(20-50cm)에서는 급격한 두께의 감소를 보이며 그외의 구간에서는 리그길이의 증가에 따라 서서히 감소한다. 단 이러한 상당한 두께 감소구간에서는 큰 전단이나 압축영역에서 특별히 국부적 좌굴강도에 신경을 써야할 것 같다.

## 6. 결 론

수많은 탑재용 리그가 제작되고 있으나 기존의 리그 형상이 실제하중에 비해 크게 설정되거나 보다 합리적이고 효율적인 설계방법 혹은 적정설계의 개념이 도입될 필요가 있음에 따라 탑재용 리그 구조의 설계를 손쉽게 할 수 있는 설계시스템을 개인용 컴퓨터의 윈도우 상에 대형 조선소에서 가장 많이 사용되는 D형 리그를 대상으로 구축하였다. 이와 관련된 시스템 개요, C++를 이용한 GUI 구축의 상세와 시스템을 단계별로 소개하여 보았다.

본 개발 시스템에 적용할 리그설계 기준들을 정리하여보고 이를 기초로 시스템 내부에 3가지의 부시스템을 구축하였다.

그 첫째는 주어진 제약조건 하에서 가장 최적의 설계치를 제시해 주는 최적설계단계이며 두번째는 최적치에 가까운 시리즈 해석 결과를 제시해 주어 각종 설계변수의 영향을 파악할 수도 있는 파라메트릭 설계단계 그리고 마지막으로 앞선 두 단계를 거쳐 생성된 설계결과 혹은 기존 설계된 결과나 임의 치수와 두께로 리그 형상을 주면 이에 대한 강도평가를 제시해 주는 강도평가 단계를 시스템에 장착시켜 적절히 서로 보완 및 검토될 수 있는 패키지 형태로 전산화하고 상호 비교 계산을 통한 최적의 설계방법을 찾을 수 있게 하였으며 이들 적용 이론을 정리하였다.

또한 실제 설계적용의 한 예로 D형 리그구조에 대해 작용하중 35,000 kgf와 핀홀지름 61mm로 주어진 상태에서 최적설계과 파라메트릭 설계를 수행하여 그 결과를 분석한 결과 파라메트릭 설계 연구에서는 총 중량이 각 리그길이 별로 19 - 26

kgf로 추정되며 기존 조선소의 설계 중량은 33 kgf 정도로 구조해석을 통한 국부적 보강이 되지 않은 초기 추정치이지만 평균 약 30%의 중량 감소가 예상된다. 또한 최적화 과정을 통한 연구결과는 총 중량이 13 kgf 정도를 보이고 있어 약 60 %의 중량 감소가 예상되고 있으므로 본 연구 결과에 대한 상세한 구조해석을 통한 국부보강 및 생산측면에서의 설계자의 추가 고려사항을 가미하여도 상당한 효과가 있을 것으로 예상된다.

따라서, 본 개발 시스템을 이용하여 임의 형상의 러그설계 및 설계된 러그의 강도 평가들을 보다 효율적이고 손쉽게 수행할 수 있다고 생각된다.

앞으로의 확장 개선 방향으로는 여기서 다른 특정 형상(D형)에 대해 작업한 설계시스템을 근간으로 그 형태를 다양하게 추가하고 본 시스템을 통해 분석된 이들 설계 결과에 대해 설계 형상의 자동 CAD 연결로 실제 형상을 확인하는 작업 및 전용 구조해석 시스템을 이용한 구조해석 수행을 위한 전처리 파일의 자동 생성 및 비용 최적화 등의 모듈을 추가시켜 시스템의 완벽성을 이루고자 한다.

#### 참 고 문 헌

- 김기성, 엄항섭, 1993 "다목적함수의 최적설계기법", 대한조선학회 논문집, 제30권, 제2호.
- 김의현, 박종우, 조상래, 1992 "선체구조의 정적재설계 기법", 대한조선학회 논문집, 제29권 2호.
- 김판영, 김수현, 함주혁, "탑재용 러그구조의 강도 검토", 선박해양연구소 기술보고서 HMRI-95-05-R078, 1995년 5월.
- 나승수, 민계식, 엄항섭, 1985 "유한요소법에 의한 유조선 중앙부의 최소 중량 설계", 대한조선학회지, 제22권 3호.
- 신상범, "Lifting Lug의 형상개선 및 적정설계", 현대중공업 산업기계연구소 기술보고서, BC420 65, Apr., 1994.
- 신중계, 1980 "최적화 기법을 이용한 선체 중앙단면의 최소 중량 설계", 대한조선학회지, 제17권.
- 양영순 외, 1994 "유전적 알고리즘에 의한 선체구조물의 이산적 최적설계", 대한조선학회 논문집, 제31권 4호.
- 장창두, 나승수, 1992 "선체구조해석 및 설계를 위한 일반화 경사 처짐법 개발에 관한 연구", 대한조선학회 논문집, 제29권 제4호.
- 한국조선공업협동조합, "대형조선업계 '99년 선박수주 세계1위 전망", 조선조합회보, 제 60호(통권 115호), 1999. 12. 31(금), pp 14-15.
- 함주혁, 김을년, 1997 "선박 판부재의 개선된 좌굴평가 시스템의 개발", 대한조선학회 논문집, 제 34권 제3호, pp.53-60.
- 함주혁, 정관용, 1994 "탑재용 러그구조의 형상별 강도 검토", 선박해양연구소 기술보고서 HMRI-94-01-R017
- 함주혁, 정관용, 1992 "125,000 m<sup>3</sup> LNG 운반선의 탱크 탑재를 위한 탑재 시스템 강도검토", 선박 해양 연구소 기술 보고서 HMRI-92-03-R036.
- 현대중공업, 1994 "탑재용 러그의 최적 치수 개선", 선체설계 기술개발 보고서.
- Microsoft Corporation, 2000 "Visual Studio Developing for the Enterprise", Microsoft Visual Studio Version 6.0.
- Microsoft Corporation, 2000 "Microsoft Visual C++6.0, Enterprise Edition", Development System.
- Schittkowski, K. 1986, "On the convergence of a sequential quadratic programming method with an augmented Lagrangian line search function", Mathematik Operations for schung and Statistik, Serie Optimization, 14, pp. 197-216.
- J. H. Ham, 1997 "Basic Study on the Lifting Lug Design of Ship Block", The Eleventh Technical Exchange and Advisory Meeting on Strength and Vibration of Ship and Offshore Structures.
- J. H. Ham, 1998 "The Basic Structural Design Guides on the Lifting Lug of Ship Block", The Proceedings of The International Society of Offshore and Polar Engineers.