한국해양공학회 2000년도 춘계학술대회 논문집 PP. 189~194

탑재용 러그 구조의 설계 시스템 개발

함주혁
한라대학교 기계공학부

Development of the Design System for the Lifting Lug Structure

Juh-Hyeok Ham
School of Mechanical Engineering, Halla University, Wonju 220-712, Korea

KEY WORDS: Lifting lug 탑재용 러그, Design system 설계 시스템, Lug structural design 러그 구조 설계, Lug strength check 러그 강도 검토, Optimum design 최적설계

ABSTRACT: Due to the rapid growth of ship building industry and 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 strength check or optimal design of each lug structure has been required in order to increase the capability of efficient design.
In this study, 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. Developed system layout and graphic user interface for this design system based on the C++ language were explained step by step.
Using this design system, more efficient performance of lug structural design will be expected on the windows of personal computer.

1. 서 론

우리 나라가 조선산업의 발달로 선박 건조량이 세계적 수준으로 드디어 93년 이후 6년만에 다시 조선 수주 세계 1위의 위치를 넘나들고 있다(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 단계로 구분하여 사용되고 있다. 이러한 기존의 러그 형상이 실제 하중에 비해 비합리적으로 설정되어 있는 경우가 많아 이에 대한 적정설계의 개념이 도입될 필요가 있음에 따라 일차적으로 기존 사용되고 있는 러그의 설계 기준(함주혁 외, 1992-5)을 살펴보고 이를 기초로 한 최적설계 혹은 강도검토에 편이성 및 간편성을 부여할 수 있는 방법을 강구하여 보았다. 이를 위해 본 연구에서는 각 러그의 강도 혹은 안전율을 파악을 한다거나 특정 경우의 적정 러그 구조 치수를 손쉽게 설계하는데 도움을 주는 설계시스템의 개발에 중점을 둔다. 따라서, 현재 대형 조선소에서 가장 많이 쓰이는 블록 탑재용 러그인 D형을 대상으로 러그 구조의 초기 설계를 목적으로 간편하게 설계를 할 수 있는 탑재용 러그 구조의 설계 시스템을 구축하여 보았고 이들 시스템의 개요, 개

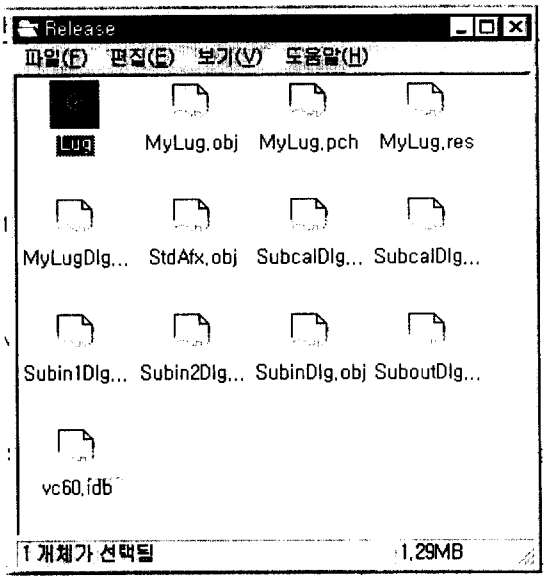


Fig. 1 Folder window for the design system icon

2. 러그 설계 시스템 개요

본 시스템은 지정된 값의 하중을 받는 러그의 적정설계를 설계자가 손쉽게 하기 위해 개발된 시스템으로 개인용 컴퓨터 상에서 빠른 시간 내에 설계 및 강도검토를 초기 설계 단계에서 수행하는데 효과적이다. 따라서 이와 관련된 탑재용 러그 설계 시스템의 구성 개요를 간략히 살펴

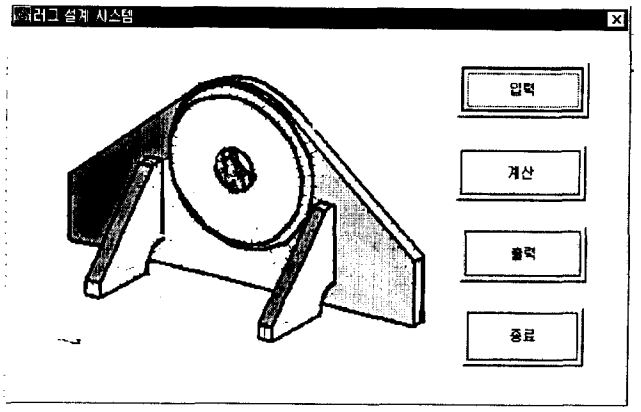


Fig. 2 Main window for the lug design system

본다. 설계 시스템은 개인용 컴퓨터 상에서 일반 설계자들이 손쉽게 다룰 수 있게 하기 위해 window상에 C++로 구축하였다(Nathan Gurewich, Ori Gurewich, 1997). 윈도우용의 GUI(Graphic User's Interface)는 본 시스템의 입력파일을 구축하기 위한 전처리 프로세서로 사용되었으며 해석 및 결과를 위한 시스템 프로세서와 교신된다.

본 시스템은 윈도우 파일 메니저에서 Lug.exe를 두 번 클릭하거나 폴더 창에 준비된 설계 시스템 아이콘(Fig. 1 참조)을 두 번 클릭하여 시작된다. 이 결과 Fig. 2와 같은 러그 설계시스템의 표제화면이 나타나고 본 시스템에 필요한 각 버튼이 준비되어 있다. 본 시스템의 윈도우 왼쪽 구석 상단에 준비된 작은 아이콘을 클릭하면 Fig. 3과 같이 팝업메뉴가 나타나고 맨 아래쪽의 메뉴를 클릭하면 본 시스템의 정보를 제시하는 대화상자가 Fig. 4와 같이 나타나며 여기서 시스템의 사용 권리 및 버전 정보들을 구체적으로 표시할 수 있다. 입력버튼에서는 러그 설계 및 강도 검토를 위한 입력자료의 작성환경으로 이동되며 계산 버튼은 입력된 자료를 이용하여 시스템의 주 프로그램을 자동 수행시킨다. 출력버튼은 자동 계산된 설계관련 결과를 보여주는 단계로 진입하게되며 맨 아래쪽의 종료 버튼은 시스템을 탈출하는 버튼이다. 본 시스템은 프로토 타입으로 버전 1.0로 정하였다.

3. 개발환경 및 구축 GUI 소개

본 설계시스템은 주 표제화면을 시작으로 주 표제 화면에 설치된 버튼을 클릭해서 각종 부 표제화면이 생성되는 형식으

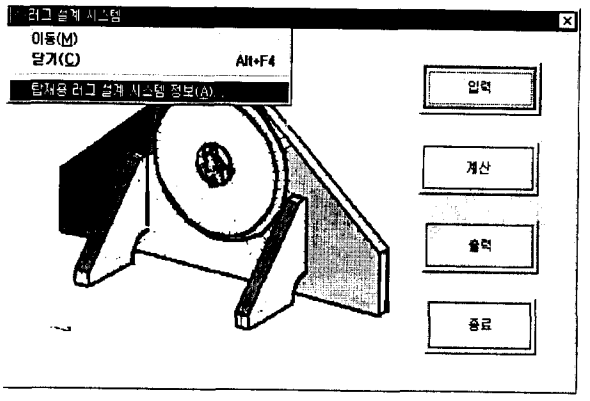


Fig. 3 Pop-up menu on the main window

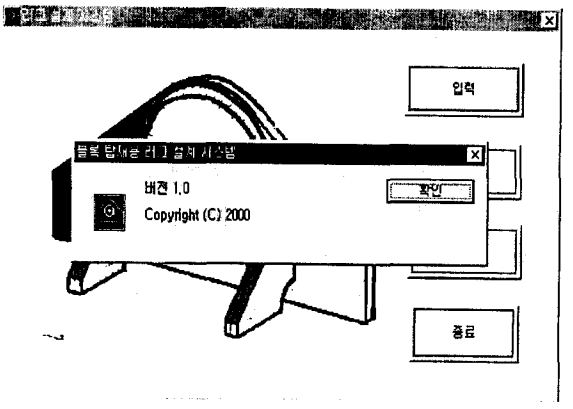


Fig. 4 Dialogue box for the system information

로 C++ 언어를 사용하여 화면 하부의 호출되는 사용자 정의 대화상자(Dialog based)를 클래스화하여 개체(m_dlg)를 생성하고 이전의 대화상자에 필요 갯수 만큼의 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 좌측상단에 표시하여 해당 대화상자의 기능 및 특성을 손쉽게 설계자가 파악할 수 있게 하였다. 본 시스템을 호출할 때 준비된

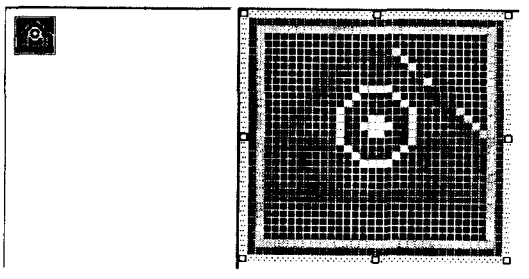


Fig. 5 32 x 32 standard pixel for main frame icon

main frame 아이콘은 32 x 32 픽셀 표준형을 사용하여 Fig. 5와 같이 그림을 러그형상으로 만들어 사용하였다. 그림판으로 준비한 각종 Bitmap 파일을 작업공간으로 import시켜 관련된 주 표제화면과 부화면의 대화상자에 로드하여 주 대화상자의 표제 그래픽으로 혹은 각종 입력의 설명을 위한 보조 그림으로 활용하였다. 사용한 bitmap은 3가지로 본 시스템의 주 표제용으로 Fig. 2-3의 주 표제화면 상에 제시하여 시스템의 얼굴이 되게 하였고 입력화면의 설계용 및 강도검토용의 입력자료를 취득하기 위한 그래픽 설명용으로 사용되었고 이의 내용을 다음절에 언급한다.

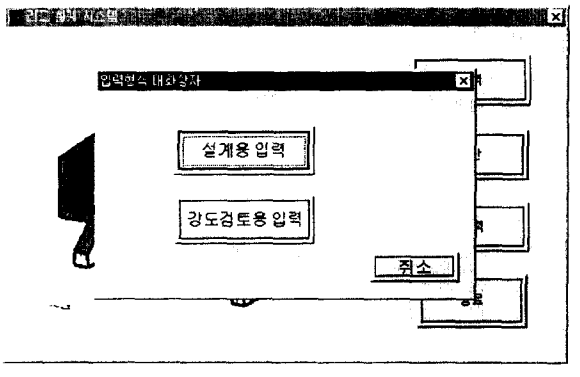


Fig. 6 Dialogue box for input

3.1 입력단계

설계용 및 초기 강도검토용의 입력 대화상자에 에디트 상자를 설치하고 각 에디트 상자의 주변에 정적 텍스트 컨트롤로 입력치에 대한 보조설명을 제시해준다. 참고로 설계용 입력 대화상자의 에디트 상자 개체 ID는 IDC_VAR1_EDIT1부터 IDC_VAR4_EDIT1까지 4개의 ID 명을 사용했고 초기강도 검토용 입력대화상자에 설치한 10개의 에디트 상자에 개체의 ID

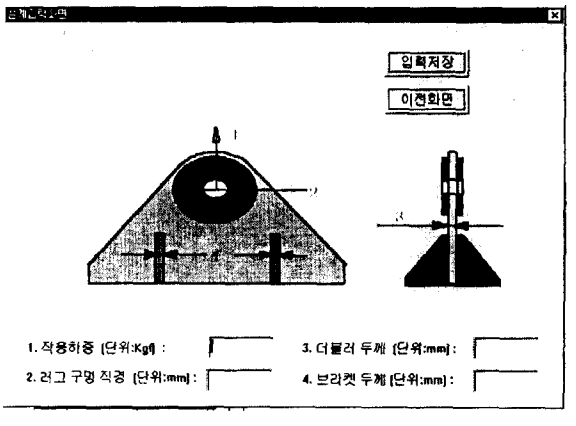


Fig. 7 Dialogue box for lug design

명은 IDC_VAR1_EDIT2부터 IDC_VAR10_EDIT2까지 10개를 사용하였다. 이들 4개와 10개의 에디트상자의 내용을 읽기 위해

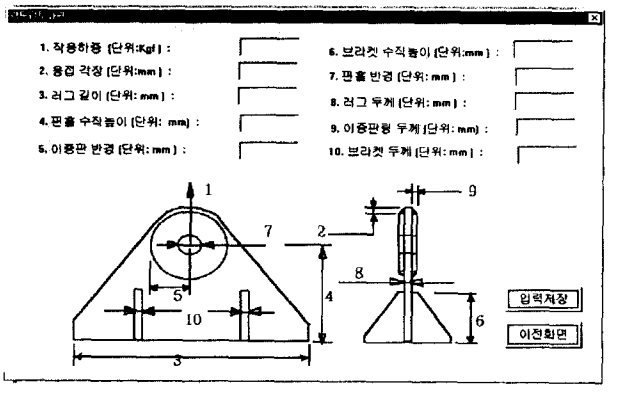


Fig. 8 Input dialogue box for the lug strength check

변수를 물리게 되는데 그 형태는 개체명의 형식을 빌어 m_VarIEditI 식의 형태를 취하였다. 그리고 각 입력용 대화상자의 한쪽에 준비된 입력저장버튼을 클릭하면 파일로 저장(직렬화)되게 하였다. Fig. 2의 주 표제화면용 대화상자의 첫 번째 버튼을 클릭하여 나타나는 입력 대화상자를 Fig. 6에 제시하였다.

본 입력용 대화상자의 첫 번째 버튼은 러그 설계를 위한 단계로 이를 클릭하여 나타나는 설계용 입력자료 항목은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 단순히 작용하중(P), 핀구멍지름(D_H), 덧판두께(T_C) 그리고 브래킷 두께(T_b)만을 입력자료로 하고 있다. 즉 사용하중과 현재 소유하고 있는 판두께의 정도 등의 간편한 몇가지 입력만을 이용하여 적합한 설계를 선정하기 위한 입력단계이다. 두 번째 버튼은 이미 설계되었거나 모든 치수와 두께가 주어진 러그에 대한 강도 검토를 위한 단계로 형상 및 치수의 모든 정보가 입력될 수 있게 Fig. 8에 제시되었다.

3.2 설계 및 설계 검토를 위한 계산 수행 단계

주 표제화면의 위에서 두 번째 버튼을 클릭하여 나타나는 러그 설계 및 강도 검토용 계산을 위한 대화상자를

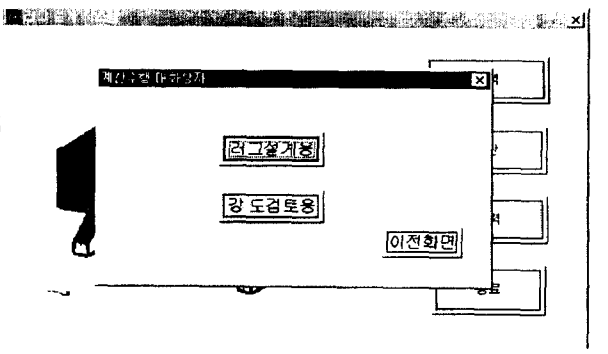


Fig. 9 Dialogur box for lug design and strength check

Fig. 9에 표시하였다. 윗쪽 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 값만을 추출한 후 설계 및 강도 계산 대화상자에서 계산 수행 버튼에 물려 계산 프로그램과 함께 수행된다. 계산 프로그램은 포트란 프로그램으로 수행버튼에 물려서 자동 실행되게 하였다.

3.3 출력단계

본 시스템의 주 표제화면의 3번째 버튼을 클릭하여 나타나는 출력 대화상자의 예를 Fig. 10에 나타내었다.
여기서 대화상자 좌측의 첫 번째 버튼을 클릭하여을 Fig. 11과 같은 설계 결과 화면으로부터 설계의 상세를 파악

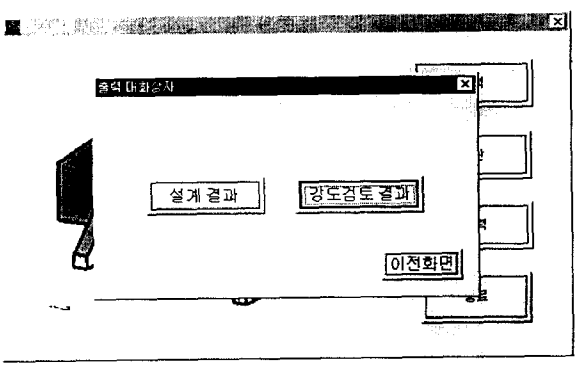
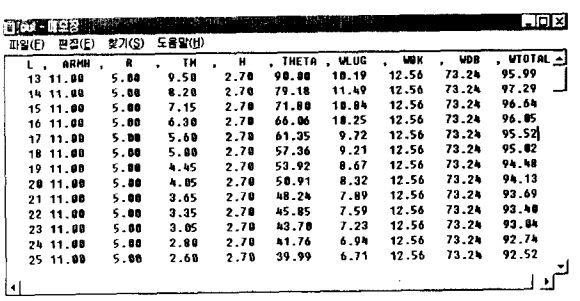


Fig. 10 Dialogue box for output


파일(F) 편집(E) 찾기(S) 도움말(H)

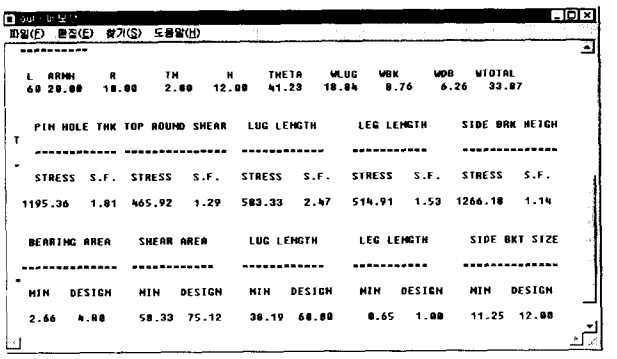
L	ARMH	R	TH	H	THETA	WLUG	WBK	WDB	WTOTAL
13	11.00	5.00	9.50	2.70	90.00	10.19	12.56	73.24	95.99
14	11.00	5.00	8.20	2.70	79.18	11.49	12.56	73.24	97.29
15	11.00	5.00	7.15	2.70	71.00	10.84	12.56	73.24	96.64
16	11.00	5.00	6.30	2.70	66.06	10.25	12.56	73.24	96.05
17	11.00	5.00	5.60	2.70	61.35	9.72	12.56	73.24	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	94.13
21	11.00	5.00	3.65	2.70	48.24	7.89	12.56	73.24	93.69
22	11.00	5.00	3.35	2.70	45.85	7.59	12.56	73.24	93.40
23	11.00	5.00	3.05	2.70	43.70	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 11 Output data for lug design

할 수 있다.

단순한 입력을 통해 계산을 수행한 결과 나타나는 상기의 설계결과 화면을 살펴보면 최적의 한 값만을 제공해 주는 것이 아니라 러그 길이별 최적 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. 10의 계산용 대화상자의 오른쪽 버튼을 클릭하여


파일(F) 편집(E) 찾기(S) 도움말(H)

L	ARMH	R	TH	H	THETA	WLUG	WBK	WDB	WTOTAL
60	20.00	10.00	2.00	12.00	41.23	10.04	8.76	6.26	33.07

PIN HOLE THK		TOP ROUND SHEAR		LUG LENGTH		LEG LENGTH		SIDE BRK HEIGH	
STRESS	S.F.	STRESS	S.F.	STRESS	S.F.	STRESS	S.F.	STRESS	S.F.
1195.36	1.81	465.92	1.29	583.33	2.47	514.91	1.53	1266.18	1.14

BEARING AREA		SHEAR AREA		LUG LENGTH		LEG LENGTH		SIDE BKT SIZE	
MIN	DESIGN	MIN	DESIGN	MIN	DESIGN	MIN	DESIGN	MIN	DESIGN
2.66	4.00	58.33	75.12	38.19	68.00	0.65	1.00	11.25	12.00

Fig 12 Output data fot lug strength check

나타나는 설계 검토용 결과화면을 Fig. 12에 나타내었다. 본 결과 자료로부터 각 부분평균 발생 응력과 안전율 그리고 최소 면적 과 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.

4. 계산용 주 프로그램의 기본 이론

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 버튼에 장착하였고 두 번째 버튼에는 기존 설계된 결과나 임의 치수와 두께로 러그 형상을 주면 이에 대한 강도평가를 제시해 주는 자동 계산단계이다. 이들 상기 두 프로그램에 근거한 개략적인 설계이론은 다음과 같다. 먼저 러그 설계를 위한 각종 파라메타를 분석하여 보고 러그의 수학적 모델을 작성하여 최소중량을 목적함수로 한 최적설계 프로그램을 작성하였다. 본 작업을 통하여 러그구조의 경량화를 살펴보기 위해 러그판 폭, 러그판 높이, 브래킷 높이(등변으로 가정한 상태에서)의 변화에 따른 용접장의 길이, 무게 및 응력치의 변화 관계를 손쉽게 파악 할 수 있다.

덧판(doubler)을 러그 주판(main plate)에 용접하기 위해 두께의 1.5배 만큼 바깥 방향으로 러그주판이 둥글게 설치된다고 가정한다. 따라서 러그주판의 두께는 Fig. 13과 같이, 그 기하학적 형상으로부터 식(1)과 같이 정의될 수 있다.

$$T_{LUG} = \frac{[A_S - 4(R - 0.5D_H)T_C]}{2[R + f_1 * T_C - 0.5D_H]} \qquad (1)$$

여기서, A_S : 핀구멍 주위의 전단면적

R : 덧판반경

D_H : 러그구멍 직경

T_C : 덧판두께

f_1 : 용접 마진 factor

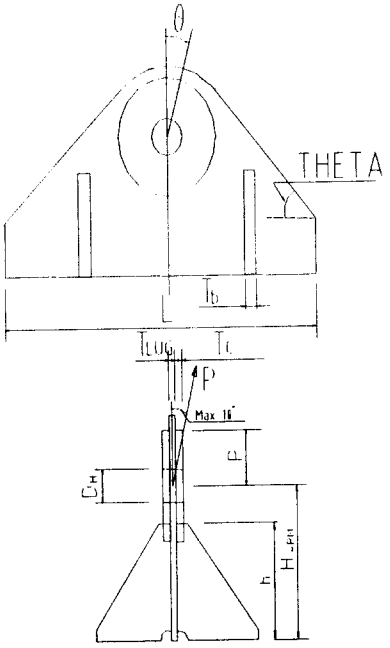


Fig. 13 Configuration of D-35 lifting lug structure

러그판 하부는 2차 사용을 위해 필요 최소한의 치수 만큼 러그판 길이를 유지하면서 올라오며 그 이상은 덧판(doubler)의 반지름 보다 덧판이 용접될 수 있는 만큼 큰 반지름을 가지는 동심원의 점선과 만나는 직선으로 러그 외곽이 이루어지며 러그외곽선은 90도를 넘지 못한다. 이러한 2차 사용 조건과 러그의 형상 정의로부터 식(2)와 같은 적합 조건식이 성립된다.

$$H_{ARM} \geq R+6$$

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

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 양쪽으로 삼각판 두개가 결합된 한판으로 부착한다. 본 러그 강도 해석에서 항복응력은 2400 kg/cm^{2}으로 취하고 러그판의 면내하중만 고려하는 것이 아니라 러그판의 면외 최대 10도까지 로우프에 의한 하중작용을 허용하며 이에 따른 적정 브라켓을 설계하며 하중의 작용점인 핀구멍의 높이를 10-50cm 범위에서 결정된다.

다음은 러그판, 브라켓, 러그구멍 및 용접각장등에 받는 인장, 전단, 굽힘 및 이들의 조합하중에 대한 재료역학적 강도식으로 현재 현장의 러그설계시 실제 설계에 계속 적용해왔던 식들을 최적화의 제약조건 형태로 표시하면 다음과 같다. 먼저, 최소 허용 러그두께 계산은 덧판(doubler) 두께를 입력자료로 고정한 상태에서 덧판을 포함한 러그구멍주변의 인장력에 대한 설계강도식을 러그두께의 항으로 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

σ_y : 항복응력

D_H : 러그구멍 직경

러그구멍 주변 구조의 전단강도를 확보하기 위한 최소 허용 면적의 계산은 식(4)를 이용하였다. 면적계산에는 덧판과 러그판의 면적이 공히 유효한 것으로 산입되었다. 최적화 계산과정에서 덧판의 반경을 5-50cm 범위내에서 설계치를 산정한다.

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

여기서, A_s : 러그판 두께

P : 작용하중

러그 길이 계산은 핀구멍 높이의 각 변화치에 따른 값과 이를 이용하여 얻어진 러그두께(T_{LUG})를 이용하여 러그 하단부의 굽힘과 전단강도를 확인하는 설계식으로부터 다음의 두 제약조건식을 얻을 수 있다.

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

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

여기서, L_{LUG} : 러그길이

H : 러그구멍의 높이

P : 작용하중

T_{LUG} : 러그두께

σ_y : 항복응력

등변 삼각 브래킷의 한변 길이 계산은 브래킷 두께를 입력 자료로 하여 식(7)로부터 산정된다. 그러나 이 식은 한 변만이 수직으로 부착되어 있을 때의 식으로 실제의 경우는 양쪽에 나란하게 브래킷이 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.

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

여기서, h : 브래킷 길이

H_{ARM} : 러그 구멍의 높이

P : 작용하중

T_b : 브래킷 두께

σ_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.

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

여기서, f_a : 용접단면 작용응력

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

F : 용접허용응력

5. 결 론

탑재용 러그 구조의 설계를 손쉽게 할 수 있는 설계시스템을 개인용 컴퓨터의 윈도우 상에 대형 조선소에서 가장 많이 사용되는 D형 러그를 대상으로 구축하였다.

기존의 러그 형상이 실제하중에 비해 크게 설정되어 있어 이에 대한 적정설계의 개념이 도입될 필요가 있음에 따라 러그의 설계 기준을 검토해 보고 이를 기초로 한 최적설계를 수행하거나 기존 설계된 결과나 임의 치수와 두께로 러그 형상을 주면 이에 대한 강도평가를 제시해 주는 자동 계산단계를 시스템화시켰고 이 적용 이론을 간략히 정리하였다,

본 시스템을 이용하여 임의 형상의 러그설계 및 설계된 러그의 강도 평가들을 수행할 수 있다. 이와 관련된 시스템 개요, C++를 이용한 GUI 구축의 상세와 시스템을 단계별로 소개하여 보았다.

앞으로의 확장 개선 방향으로는 여기서 다룬 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 등을 추가시켜 시스템의 완벽성을 이루고자 한다.

본 시스템을 이용하여 설계자들이 효율적인 설계작업이 수행될 것으로 판단된다.

후 기

본 시스템은 현장의 설계 단계를 직접 적용할 수 있게 반영한 것으로 현업 사용을 널리 홍보하고자 하오니 이를 이용하거나 관련 시스템의 개발에 관심이 있는 관련 설계 부서는 저자에게 전자메일로 문의(jhham@hit.halla.ac.kr, 한라대 함주혁 교수) 바랍니다.

참 고 문 헌

한국조선공업협동조합, "대형조선업계 '99년 선박수주 세계1위 전망", 조선조합회보, 제 60호(통권115호), 1999. 12. 31(금), pp 14-15

현대중공업, "탑재용 러그의 최적 치수 개선", 선체설계 기술개발 보고서, 1994. 12

함주혁, 정관용 "탑재용 러그구조의 형상별 강도 검토", 선박해양연구소 기술보고서 HMRI-94- 01-R017, 1994년 1월.

김판영, 김수현, 함주혁, "탑재용 러그구조의 강도 검토", 선박해양연구소 기술보고서 HMRI-95- 05-R078, 1995년 5월.

함주혁, 정관용, "125,000 m^3 LNG운반선의 탱크 탑재를 위한 탑재시스템 강도검토", 선박해양연구소 기술보고서 HMRI-92-03-R036, 1992년 3월.

신상범, "Lifting Lug의 형상개선 및 적정설계", 현대중공업 산업기계연구소 기술보고서, BC42065, Apr., 1994.

井口信洋, "鎔接構造設計入門", 産業圖書(株), 昭和 55年.

佐藤邦彦, "鎔接構造要覽", 黑木出版社, 1988. 3.

Microsoft Corporation, "Visual Studio Developing for the Enterprise", Microsoft Visual Studio Version 6.0.

Microsoft Corporation, "Microsoft Visual C++ 6.0, Enterprise Edition", Development System.