

유조선 화물창내 대형 브라켓 치수 최적화 연구

신상훈^{†*}, 이종환*, 김도현**, 권진철**

현대중공업 선박해양연구소*
현대중공업 조선사업본부 구조설계부**

A Study on Size Optimization of the Big Bracket in the Cargo Hold of Crude Oil Tanker

Jong Hwan Lee^{†*}, Sang Hoon Shin*, Doehyun Kim** and Jin Chil Kwon**

Hyundai Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.*
Hull Initial Design Department, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.**

Abstract

Optimum design of the big brackets is performed through iterated 3-D FE analyses to meet the permissible limits of stress, which consumes an excessive amount of calculation time. Therefore, this study has been prepared to determine rapidly and accurately an optimum size and scantling of the big brackets at the initial design stage. The generalized slope deflection method (GSDM) based on the span point concept is applied to enhance the efficiency of iterated structural analyses. The accuracy and applicability of the present method is verified by comparing with a detail 3-D FE analysis of web frame structures. As an optimization technique, evolution strategies (ES) are applied using discrete design variables for practical design.

※Keywords: optimum design, big bracket, generalized sloped deflection method, evolution strategies

1. 서 론

유조선 화물창의 주요치수는 실적선의 경험을 바탕으로 선급규정과 구조해석을 이용해 결정하는 것이 일반적이다. 화물창내의 대형 브라켓에 대해 구조해석을 이용하여 최적 치수를 결정할 때, 현

실정은 몇 가지 브라켓의 형상에 대해 주위 구조 부재의 치수를 변경하면서 여러 번 구조해석을 수행하여 강재 물량이 최소가 되는 주요치수를 선택해야 하므로 많은 시간이 소요 된다. 본 연구는 짧은 시간 내에 쉽고 합리적으로 대형 브라켓의 크기를 결정할 수 있는 프로그램을 개발하기 위함이다. 최근, 주위 구조 부재의 강재량을 증가시키더라도 대형 브라켓을 제거하려는 연구(김만수 등 2003)가 진행되고 있고, 비교적 작은 선박에는 실

† 주저자, E-mail: sshoon@hhi.co.kr

Tel: 052-230-3067

제 적용되고 있다. 그러나, 큰 선박에 적용하기에는 늘어나는 강재량이 너무 크기 때문에 최근의 강재가격 상승을 고려할 때 대형 브라켓을 제거하기보다는 합리적인 크기의 선택이 더 경제적이라고 판단된다.

본 연구에서는 많은 구조해석을 간이 해석모델로 대체하여 계산시간을 대폭 감소시켰으며, 치수 선택을 최적화 과정을 통해 탐색하도록 하였다. 브라켓이 붙은 보의 span point 계산은 쉽게 근사시키는 방법으로서 Yamaguchi(1958) 등이 제안한 실험식을 사용하였고, 2차원 횡부재를 지지하고 있는 종부재의 스프링계수는 DNV의 Classification Notes No. 31.3를 참조하여 결정하였다. 하중조건으로는 관심 부위에 비교적 높은 응력을 발생시키는 대표적인 하중조건인 abreast empty 조건과 port side tank empty 조건을 선택하였고, 최적화 기법은 전체 최소점 탐색에 탁월한 진화전략 기법을 적용하였다. 계산결과 간이 해석 모델은 3차원 상세 구조해석 모델과 오차가 적음을 확인하였으며, 이를 바탕으로 개발된 최적화 프로그램은 쉽고 비교적 정확하게 최적의 대형 브라켓 치수를 산정할 수 있었고, 4척의 실적 유조선에 적용한 결과, 웨브 프레임당 약 0.7~1.7 ton의 강재 절감이 가능함을 확인하였다.

2. 간이해석모델

장창두/나승수(2000)는 유조선 화물창의 횡강도 해석을 수행하기 위해 Type별로 간이 해석모델을 개발하였으며, 그 중 Type 2(중앙에 한개의 종격벽을 갖는 형태)의 모델을 참조하여 브라켓 크기 제어 문제에 적용하였다.

Fig. 1은 2차원 보요소를 사용하는 중형유조선 중앙부 횡단면의 간이 해석모델이다. 절점의 수는 22개이며, 요소 수는 23개이다. 계산시간의 절감을 위해 bandwidth를 최소화 하도록 numbering 하였다.

2차원 횡부재를 지지하고 있는 종부재의 스프링계수는 DNV의 Classification Notes No. 31.3를 참조하여 결정하였고, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

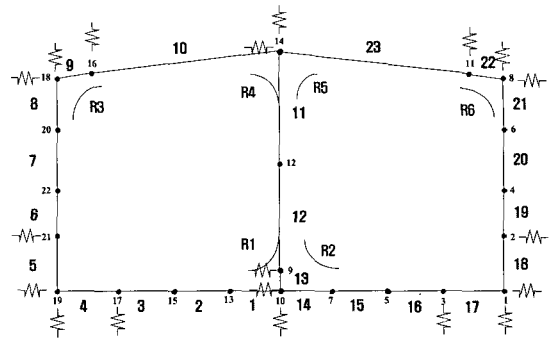


Fig. 1 Analysis model

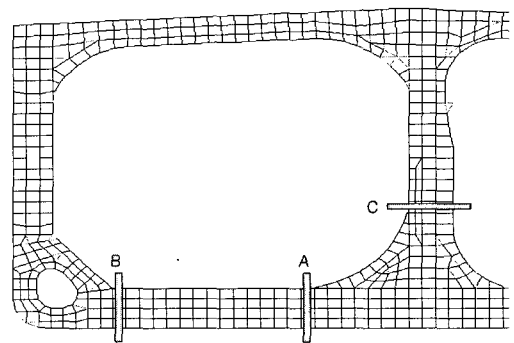


Fig. 2 Inspection region

$$k = \frac{E}{\frac{(n+1)l^3}{384I} + \frac{2.6(n+1)l}{8A_s}} \quad (1)$$

여기서,

- E : Young's modulus
- l : Hold length
- E : Young's modulus
- n : No. of web frames
- I : 2nd moment of the section
- A_s : Shear area of the section

3. 관심 부위 및 하중조건

3.1 관심 부위

대형 브라켓의 형상에 영향을 주는 영역은 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 영역 A, B, C이다.

브라켓의 크기가 줄어들면 이들 영역의 전단 응력이 증가하여 웨브의 두께가 증가하게 된다. 따라서, 브라켓과 웨브의 중량을 최소화하는 브라켓

의 크기는 영역 A, B, C의 전단 및 굽힘 응력에 큰 영향을 받는다.

3.2 하중조건

대형 브라켓 주위 부재에 영향을 주는 하중조건은 sea going condition인 abreast empty 조건과 port side tank empty 조건으로 Fig. 3과 Fig. 4에 입체적으로 나타내었다.

Fig. 2에 나타낸 영역 A와 C에 가장 큰 영향을 끼치는 하중조건은 port side tank empty 조건(이하 LC2)이며, 영역 B에 가장 큰 영향을 끼치는 하중조건은 abreast empty 조건(이하 LC1)이다.

4. 최적화 기법

개발된 프로그램에 사용한 최적화 기법은 진화 전략(evolution strategies) 기법으로 이 기법은 Rechenberg(1973)에 의해 처음 도입되었고, 후에 Schwefel(1975, 1981)에 의해 더욱 발전, 체계화 되었다. 이 기법은 적자 생존과 자연 도태의 원리를 기초로 한 알고리즘인 genetic algorithm(GA)과 유사하나, 돌연변이(mutation)가 보조 연산자가 아닌 주 연산자로 사용되며, 가우시안(gaussian) 무작위 함수가 사용되는 특징이 있다.

이 기법은 크게 플러스(plus) 전략과 콤마(comma) 전략으로 구분되며, 두 전략의 가장 큰 차이점은 선택(selection) 단계에 부모 개체의 참여 여부이다. 플러스 전략은 부모 개체와 자식 개체 모두가 선택 단계에 참여하고, 콤마 전략에서는 부모 개체가 자식 개체를 형성한 후에 사라져 버리므로 시간에 따라 최적점이 움직이는 문제에 적합하다. 일반적으로 플러스 전략이 많이 쓰이고 있다. 플러스 전략은 (1+1), ($\mu+1$) ($\mu+\lambda$) 방법이 많이 사용되고 있으며, 본 연구에서는 전체 최소점 탐색 확률을 높이기 위해 ($\mu+\lambda$) 방법을 도입하였다.(신상훈 등 2002) ($\mu+\lambda$) 방법은 정규분포의 표준편차 값인 step size(σ) 크기를 각 개체의 유전 정보의 일부로 간주하여 재결합(recombination)과 돌연변이(mutation) 과정에 포함시키게 되어 인위적인 크기의 조절이 필요 없다는 특징이 있으나, 가장 큰 단점은 알고리즘의 특

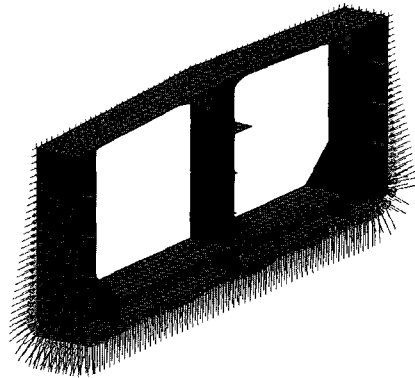


Fig. 3 Abreast empty condition (LC1)

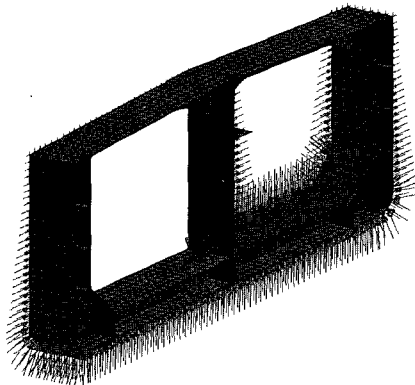


Fig. 4 Port side tank empty condition (LC2)

징상 시간이 많이 소요된다는 것이다. 이 방법은 1회 해석 시 많은 시간이 소요는 구조물의 최적설계에는 적합하지 않으며 간이해석모델의 최적설계에는 큰 효과를 준다.

4.1 목적함수

대형 브라켓을 포함하여 center line vertical web, double bottom floor의 중량의 합을 최소화하는 것이 문제의 목적이다.

$$\text{Minimize } f = \text{weight (center line vertical web, double bottom floor, bracket)}$$

4.2 설계변수

본 연구에 적용한 설계변수는 Fig. 5에 나타내었으며 다음과 같이 5가지로 설정하였다.

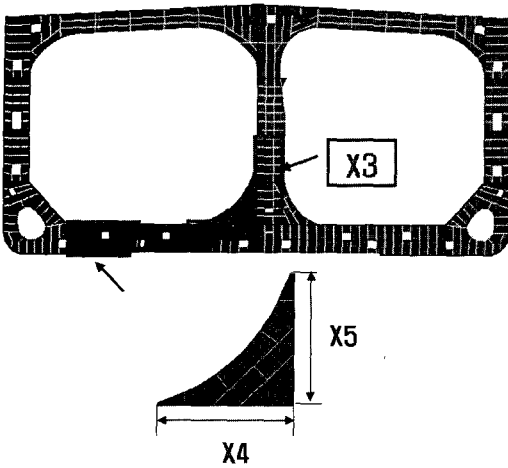


Fig. 5 Design variables

- 중앙부 double bottom floor 두께 : X1
- Hopper girder 주위의 floor 두께 : X2
- 중앙부 vertical web 두께 : X3
- 대형브라켓 폭 : X4
- 대형브라켓 높이 : X5

4.3 제한조건

Fig. 2에 나타난 관심 부위(A, B, C)에서의 허용 전단응력 및 좌굴강도를 제한조건으로 사용하였다.

- i) 허용응력 (DNV Rule Part 3.1.13)
 - Center line vertical web : $90f_1$
 - Double bottom floor : $100f_1$
 - 여기서, f_1 은 재료상수
- ii) 좌굴강도 (DNV Rule Part 3.1.14)
 - Uni-axial compression
 - Shear
 - Bi-axial compression

5. 프로그램 검증

프로그램 안에서 수행되어지는 구조해석의 신뢰성을 검증하기 위해 목적함수에 가장 큰 영향을 주는 관심 부위(A, B, C)에서의 전단응력을 비교

Table 1 Shear stress for each case

Bracket size	Load case	Region	3-D FEM (MPa)	2-D Beam (MPa)	Error rate (%)
6000R	LC1	A	135.0	138.5	2.6
		B	183.3	177.8	3.0
		C	10.3	5.1	50.5
	LC2	A	153.0	149.7	2.2
		B	166.0	166.6	0.4
		C	140.3	136.1	3.0
7500R	LC1	A	99.7	102.3	2.6
		B	178.5	175.3	1.8
		C	10.1	5.8	42.6
	LC2	A	119.8	117.5	1.9
		B	158.5	160.1	1.0
		C	108.8	108.0	0.7

하였다. 대상선종은 165K급 유조선으로서 최적화 기법을 적용하기 전에 3-D FEM의 구조해석 결과와 프로그램의 결과를 비교하여 그 적용 가능성을 검증하기 위함이다.

6000R 및 7500R 크기의 브라켓을 적용하여 두 가지 하중조건에서의 전단응력을 비교하여 그 결과를 Table 1에 나타내었다.

영역 A와 C에 가장 큰 영향을 끼치는 경우는 LC2이며, 영역 B에 가장 큰 영향을 끼치는 경우는 LC1이다. 3-D FEM의 결과를 기준으로 비교했을 때 LC1에서 영역 C의 오차를 제외하면 모든 경우의 오차가 약 3% 이내에 들어온다는 사실을 알 수 있으며, 영역 C에서의 오차는 적은 값에 대한 차이여서 정확도 평가에 영향이 적다고 할 수 있다.

Table 1의 결과로부터 2차원 요소의 직접 계산을 통해서도 3차원 구조해석 효과를 얻을 수 있다고 사료된다.

6. 최적화 결과

프로그램은 크게 두 가지 부분으로 구성되어 있다. 최적화 부분과 응력해석 부분이며, 최적화 부분은 진화 전략 알고리즘으로, 응력해석 부분은 GSDM(일반화된 경사처침법, 장창두/나승수 1992)으로 구성되었다. GSDM은 진화 전략 알고리즘에

Table 2 Review of weight reduction

Design variables	105K		165K	
	실적선	최적화 결과	실적선	최적화 결과
X1	15.0	16.5	19.0	16.0
X2	21.0	18.5	22.0	21.0
X3	15.0	16.5	17.0	13.0
X4	4300	3000	4750	5400
X5	4310	3000	4660	5400
Weight reduction (ton/frame)	0.70		1.68	
Weight reduction (ton/ship)	19.60		47.04	

서 초기 부모 개체의 목적함수를 계산할 때와 세대수가 증가함에 따라 자식 개체를 생성하여 목적함수 값을 계산할 때 호출되어진다. GSDM에서 계산된 결과들이 제한조건을 위배했을 경우는 벌칙(penalty)이 부과 되어 적합성을 떨어뜨림으로써 그 방향으로의 탐색을 방해하는 역할을 해준다.

세대수를 반복하여 터미네이트 조건을 만족하면 최종 최적해를 제공해준다.

중량절감 효과를 검토하기 위해 105K와 165K 급 실적선에 적용하였고, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 105K의 경우 브라켓의 최적 크기는 실적선에 비해 더 작아지는 것이 20톤 정도의 강재 절감효과가 있음을 알 수 있고, 165K의 경우는 최적 크기가 실적선에 비해 더 커지는 것이 47톤 정도의 절감효과가 있음을 알 수 있다.

이 프로그램은 중앙에 종격벽이 한 개인 유조선에만 적용할 수 있으나, 향후 종격벽이 두개인 VLCC 선형으로 확장할 계획이다.

7. 결 론

대형 브라켓 형상과 주위 부재 치수를 설계자가 짧은 시간 안에 합리적으로 결정 할 수 있도록 프로그램을 구성한 바, 그 주된 결론은 다음과 같다.

첫째, 유조선 횡강도 부재를 span point 개념을 도입한 2차원 보요소로 치환한 결과 실 구조물을

유사하게 유추함을 알 수 있었다.

둘째, 실적선에 적용한 결과, 척당 약 20~40 ton의 강재 절감이 가능함을 확인하였다.

셋째, 실적선과 주요치수가 상이한 선박의 초기 설계에 더욱 유용하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 김만수, 서인성, 오석진 2003 "The Study of the Elimination of the Big Bracket in the Cargo Holds of Crude Oil Tanker", TEAM2003 Conference Proceedings
- 신상훈, 장창두, 송하철 2002 "다목적함수 최적화 기법을 이용한 유조선의 최적구조설계," 한국전산구조공학회 논문집, 제15권, 제4호
- 장창두, 나승수 1992 "선체 구조 해석 및 설계를 위한 일반화 경사(傾斜) 처짐법 개발에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제29권 제4호
- 장창두, 나승수 2000 "이중 선각 유조선의 최적 구조 설계 시스템 개발," 대한조선학회 논문집, 제37권 제1호
- Rechenberg, I. 1973 Evolutionsstrategie: Optimierung Technischer Systeme nach Prinzipien der Biologischen Evolution, Frommann-Holzboog Verlag, Stuttgart
- Schwefel, H. P. 1975 Evolutionsstrategie und Numerische Optimierung Dissertation, Technische Universität Berlin
- Schwefel, H. P. 1981 Numerical Optimization of Computer Models, Wiley, Chichester
- Yamaguchi, I. 1958 "On the Tests of Fixed Beam with Brackets", SNAJ., vol.103



< 신 상 훈 >



< 이 종 환 >



< 김도현 >



< 권진철 >