대 한 조 선 학 회 논 문 집
제40권 제4호 2003년 8월

Journal of the Society of Naval Architects of Korea
Vol. 40, No. 4, pp. 53-58, August 2003

상하부 스툴을 고려한 파형 격벽 최적 설계에 관한 연구

신상훈†*, 남성길**

현대중공업 선박해양연구소*, 현대중공업 구조설계부**

A Study on Optimum Structural Design of the Corrugated Bulkhead Considering Stools

Sang-Hoon Shin* and Sung-Kil Nam**

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

Abstract

Design of the corrugated watertight bulkhead for a bulk carrier is principally determined by the permissible limit of Classification requirements. As the weight of upper and lower stool has considerable portion of the total weight of the transverse bulkhead, optimum design including the stool geometry and size will play an important role on economic shipbuilding. The purpose of this study is focused on the minimization of steel weight using the design variables, which are the shape and the size of the corrugation as well as the upper and lower stools. Discrete variables are used as design variables for the practical design. In this study, the evolution strategies (ES), which can highly improve the possibility of reaching the global minimum point, are selected as an optimization method. Usefulness of this study is verified by comparison with the proven type ship design. As objective function, total weight of the transverse bulkhead including the upper and lower stools is used.

※Keywords: corrugated bulkhead(파형 격벽), upper and lower stool(상하부 스툴), discrete variables(이산화 변수), evolution strategies(진화 전략)

1. 서론

살물선, 정유 운반선, 화학제품 운반선의 횡격벽은 주로 파형 격벽을 사용하고 있다. 정유 운반선이나 화학제품 운반선은 횡방향 뿐만 아니라 종방향에 대해서도 파형 격벽 구조를 갖는 특징이 있다. 특히, 화학제품 운반선의 경우 재질이 일반강 뿐만 아니라, SUS, CLAD 등으로 구성되어 있어서 중량 절감의 효과는 경제성에 크게 기여할 것으로 사료된다. 파형 격벽의 중량 절감 설계를

접수일: 2003년 6월 3일, 승인일: 2003년 7월 4일
†주저자, E-mail: sshoon@hhi.co.kr
Tel: 052-230-3067

위해 가장 기본적인 살물선의 파형 격벽 최소 중량 설계를 시도하고, 그 유용성이 검증되면 정유 운반선 및 화학제품 운반선으로 확장하고자 한다.

살물선의 파형 격벽은 수밀 격벽(watertight bulkhead)과 디프탱크 격벽(deep tank bulkhead)으로 구분되며, 본 연구에서는 수밀 격벽의 최소 중량 설계를 수행하였다. 파형 격벽의 상하부는 상부 스툴(stool)과 하부 스툴로 선각에 연결되는데, 상하부 스툴도 격벽의 상당 부분을 차지하고 있다. 실적선 데이터를 분석해 보면 상하부 스툴과 파형 격벽 부분의 중량비가 선박의 크기에 따라 약간의 차이는 있으나 대략 일대일 정도를 유지하고 있다. 일반적인 살물선의 수밀 격벽 설계는 각 선급 규정과 IACS 규정을 만족해야 하는데 파형의 모양과 상하부 스툴의 높이에 따라 치수가 결정되며 전체 격벽의 중량에 영향을 주게 된다. 따라서 파형 격벽 설계에 있어서 상하부 스툴의 영향을 고려하는 것이 바람직할 것이다.

파형 격벽 최적 설계에 관한 연구로 염재선(1990)과 장창두/나승수(2000)는 격벽 중앙부 파형의 한 피치(pitch)를 떼어내어 일반화된 경사 처짐법을 적용하여 직접탐색법의 일종인 Hooke and Jeeves 방법으로 최적 설계를 수행한 바 있으며, 임상전(1984) 등은 상하부 스툴을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우를 구분하여 Flexible Tolerance Method(FTM)를 이용해 수행한 바 있으나, 설계보다는 최적화 기법에 초점을 두고 있다. 본 연구의 목적은 파형 격벽의 설계에 상하부 스툴을 고려한 방법을 정립하고 그 효과를 검토하여 실선 설계에 적용하기 위함이다.

현장에서 사용할 수 있도록 설계변수는 이산화 변수를 채택하였으며, 초기치에 따른 변화가 작고, 전체 최적점 탐색에 탁월한 진화 전략(evolution strategies) 최적화 기법을 적용하였다. 목적함수는 상하부 스툴을 포함한 전체 횡격벽의 중량이며, 이미 건조된 실적이 있는 표준선과 비교하여 그 유용성을 검증하였다.

2. 진화 전략(Evolution Strategies) 기법

단일 개체 탐색법과 다 개체 탐색법을 모두 수행할 수 있는 탐색 방법으로서, 단일 목적함수 최적화 문제와 다목적함수 최적화 문제에 모두 적합한 최적화 기법이다.

진화 전략은 Rechenberg(1973)에 의해 처음 도입되었고, 후에 Schwefel(1975, 1981)에 의해 더욱 발전, 체계화되었다. 이 기법은 적자 생존과 자연 도태의 원리를 기초로 한 알고리듬인 genetic algorithm (GA)과 금속공학에서 금속 구조의 안정화 과정을 모사한 simulated annealing (SA)과 유사한 면을 내포하고 있다.

이 기법은 크게 플러스(plus) 전략과 콤마(comma) 전략으로 구분되며, 두 전략의 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), (μ+1) (μ+λ) 방법이 많이 사용되고 있으며, 본 연구에서는 전체 최소점 탐색 확률을 높이기 위해 (μ+λ) 방법을 도입하였다. (신상훈 등 2002)

3. 파형 격벽의 최소 중량 설계

3.1 목적함수

파형 격벽 전체의 중량을 목적함수로 설정하였다. 중량 함수를 구하는 방법은 Fig.1과 같이 파형 격벽의 경계를 이루는 주요 종부재의 위치를 모두 선체 중앙부의 선저를 원점으로 하는 직선으로 나타내어 상하부 스툴 높이에 따라서 만나는 점들을 구해 각 부분별로 면적을 구하게 된다. 각 함수를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$F1(y) = hcamb \times (y - B/2)/(y1 - B/2) + D$$

$$F2(y) = (z2 - z3) \times (y - B/2)/(y2 - B/2) + z3$$

$$F3(y) = B/2 + (y5 - B/2) \times (z - z4)/(hdb - z4)$$

$$Node1 = (y2 - B/2) \times (D + hcamb - X5 - z3)/(z2 - z3) + B/2$$

$$Node2 = (y5 - B/2) \times (z4 - (X2 + hdb))/(z4 - hdb) + B/2$$

여기서, D : 선체의 깊이(depth)

B : 선체의 폭(breadth)

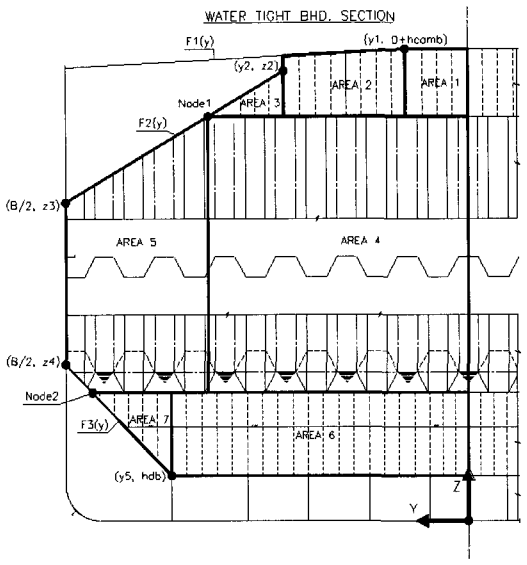

Fig. 1 Model for estimation of objective function

$y1$: 갑판의 경사점(knuckle point)
$y2$, $z2$: topside의 strake point
$y5$: 호퍼(hopper) 거어더 위치
$z3$: topside wing tank까지의 높이
$z4$: 호퍼 tank 높이
$hcamb$: 캠버(camber)의 크기
hdb : 이중 선저의 높이

목적함수를 구하는데 있어서 상부 스툴 밑면(bottom)의 두께와 하부 스툴 윗면(top)의 두께는 파형의 두께와 같다고 가정하였다. 하부 스툴 윗면의 두께는 일반적으로 파형의 두께와 같지만 상부 스툴 밑면의 두께는 다른 경우도 있다. 그러나 전체 중량에서 이 가정의 영향은 적으므로 무시할 수 있다.

위에서의 수식과 같이 Area 1~3, 6, 7은 그 해당 부분의 두께만 정해지면 쉽게 중량을 구할 수 있다. 하지만 Area 4, 5는 설계변수의 값에 따라 구성되는 모양이 달라지기 때문에 각 피치(pitch)에서 파형의 플랜지와 파형 사판의 위치를 구해야만 한다. 파형의 모양은 Fig. 2와 같이 해당 면에 짝수개가 들어가느냐 홀수개가 들어가느냐에 따라서 그 값이 달라진다. 왜냐하면, 하부 스툴 윗

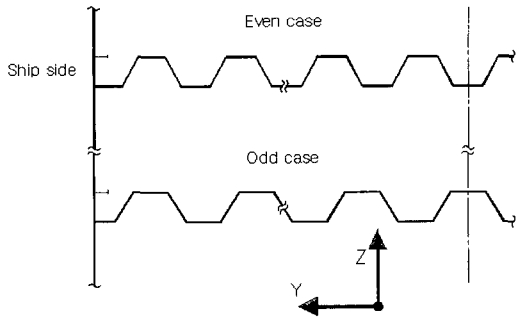

Fig. 2 Shape of corrugation according to the number of pitch

면이 경사져 있으므로 홀짝에 따라 그 모양이 뒤집어져 중량에 영향을 미치기 때문이다. 또한 y점의 좌표값이 Node1점을 넘어갈 때와 Node2점을 넘어갈 때를 구분하여 파형의 중량을 구해야만 한다. 또한 호퍼 상부(hopper top)와 만날 때는 오각형 형태가 되므로 본 연구에서는 이를 모두 고려하였다.

각 부분의 두께는 각 설계변수에 따른 종속 변수로 정의하였기 때문에 설계변수에 따라서 자동적으로 이산화된 값으로 계산이 된다. 계산식은 수밀 격벽에 대해서 IACS 규정에 따라 설계되고 있기 때문에 그 규정에 의해서 파형의 두께와 상부 스툴의 두께, 하부 스툴의 윗부분이 계산이 되고 나머지 계산이 되지 않는 부분은 각 선급 규정에 따르도록 하였다.

상하부 스툴의 2차 부재를 고려하기 위해 실적선 자료를 바탕으로 조사한 결과 판 부재의 중량에 비례한다고 가정하여도 오차가 매우 적었으며, 하부 스툴의 이음선(seam line) 유무에 대해서는 표준 판 폭을 기준으로 나눌 수 있도록 하였다.

3.2 설계변수

설계 변수로는 Fig. 3에 나타난 8개의 변수중 상하부 스툴의 높이(X2, X5)와 파형 부분의 파형 깊이(X1), 파형 판의 너비(X7)와 파형 사판의 수평 투영길이(X8)등 총 5개를 설계 변수로 설정하였으며, 이러한 치수들에 따른 파형 부분, 상하부 스툴의 두께는 종속 변수로 설정하였다. 또한 하

부 스툴의 하부 폭(X4)및 상부 스툴의 상부 폭(X6)은 설계자가 결정하는 임의의 값을 사용하였다. 각각의 변수들은 모두 설계에 적용할 수 있도록 이산화된 값을 사용하였다.

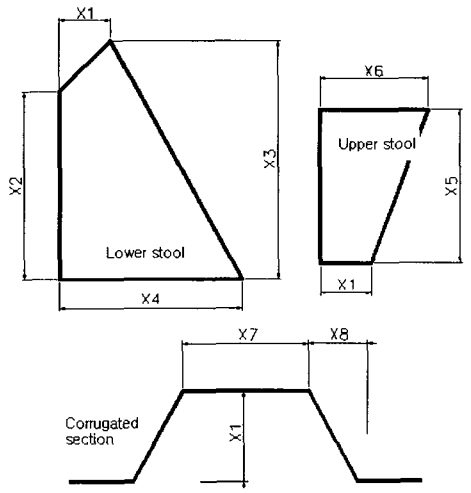

Fig. 3 Design variables

여기서, X1 : 파형의 깊이
X2 : 하부 스툴의 높이
X3 : X2 + X1
X4 : 하부 스툴의 하부 폭
X5 : 상부 스툴의 높이
X6 : 상부 스툴의 상부 폭
X7 : 파형의 플랜지(flange) 폭
X8 : 파형 사판의 투영된 길이

3.3 제한조건

선급 규정 및 작업 여건을 고려하여 적용한 제한조건은 다음과 같다.

g(1)=Dalpha-55.
g(2)=taual-tauact
g(3)=taucr-tauact
g(4)=X2-3×X1
g(5)=u3-X1-X2
g(6)=X5-2×X1
g(7)=5.9-X5
g(8)=5.9-X3
g(9)=14.-leng
g(10)=Tbhd-Tchk
g(11)=chk1-1.
g(12)=1.-TBHD/25.

여기서, Dalpha : 파형의 각도 (Deg.)
taual : 허용 전단력 (MPa)
tauact : 실 전단력 (MPa)
u3 : MIN(5.9, z4-hdb-0.3) (m)
X3 : 하부 스툴 경사판의 높이 (m)
leng = 파형 길이 (m)
TBHD = 파형 부분의 두께 (mm)
Chk1 = 파형이 외판과 만날 때의 길이 (m)
Tchk = Chk1의 두께 (mm)

위의 조건들은 IACS 규정에 의한 조건, 기하학적인 적합 조건, 제작상의 조건으로 나눌 수 있다. IACS 규정에 의한 조건은 g(1), g(2), g(3), g(4), g(6)이고 기하학적인 적합 조건은 g(5), g(10), g(11), 제작상의 조건들은 g(9), g(12)이며 나머지 g(7), g(8)은 AWWF 규정에 의한 조건들이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 실적선과의 비교

살물선의 경우엔 선박의 크기에 따라 크게 파나막스(Panamax)급과 케이프사이즈(Capesize)급으로 나눌 수 있으며 각각의 표준선들이 정해져 있다. 비교한 파나막스급 살물선은 선급이 DNV이고, 케이프사이즈급은 LR이다. 수밀 격벽을 구성하는 판부재의 재질도 최적화 결과에 영향을 주기 때문에 표준선의 재질을 그대로 사용하였다. 하부 스툴의 하부 폭(X4)과 상부 스툴의 상부 폭(X6)은 표준선의 값과 동일하게 하였고, Table1에 그 결과를 정리하였다.

최적화 결과를 보면 파형의 깊이는 실적선의 값에 비해 5 mm 작은 값을 주었는데 다른 설계변수들의 값들에 비해 그 차가 적음을 알 수 있다. 하부 스툴의 높이는 대체적으로 80~90 mm정도 높아지는 경향을 나타내는데 이는 이음선이 있는 하부 스툴의 하부쪽의 요구치가 작아서 나타나는 경향으로 파악된다.

Table1 Comparison of calculated results

Design variable	Capesize		Panamax	
	Existing ship	Optimum result	Existing ship	Optimum result
X1	1100	1095	950	945
X2	4400	4480	3000	3090
X5	3600	3680	2670	2360
X7	1100	995	980	880
X8	600	575	570	530
Tbhd	19^{AH}	18^{AH}	18	17
Weight	**257.6**	**250.5**	**139.8**	**136.4**
ratio	-	97.2%	-	97.6%

피치는 작아져서 전체적으로 횡단면에 들어가는 피치수가 2개씩 늘어나지만 파형판의 두께가 1 mm씩 줄어들고 이에 따라 하부 스툴의 윗부분의 두께도 1 mm씩 줄어들어 전체적으로는 중량이 감소하게 된다. Table 1과 같은 치수를 적용할 경우 실적선 대비 약 2~3%정도의 중량 절감 효과가 예상된다.

4.2 설계변수의 영향 검토

각 설계변수가 중량에 미치는 영향을 검토하기 위해 설계변수 중 어느 하나만을 변수로 하고 나머지 설계변수들을 고정시켜 그 결과를 Fig. 4 ~ Fig. 7과 같이 나타내었다. 그림에 나타낸 값은 파나막스급 살물선의 실적 중량을 1로 나타내었을 때, 변수 값에 따른 파형 격벽의 중량 변화를 나타낸다.

상부 스툴의 경우에는 높이에 따라서 중량에 미치는 영향이 거의 없으며 하부 스툴의 경우는 높이의 증가에 따라 두께가 달라져 계단 형태로 나타나게 된다. 중량에 미치는 영향은 설계변수 중 파형의 깊이(X1)가 가장 크므로 수밀 파형 격벽 설계 시 가장 중요하고 신중하게 결정해야 할 변수가 파형의 깊이라는 사실을 의미하며, 스툴의 경우는 그 영향이 크지 않음을 확인하였다.

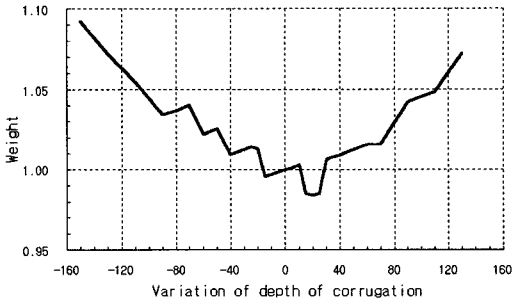

Fig. 4 Effect of depth of corrugation

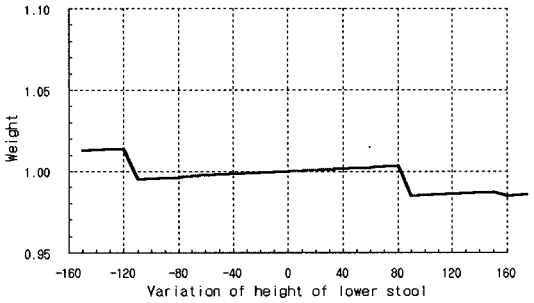

Fig. 5 Effect of height of lower stool

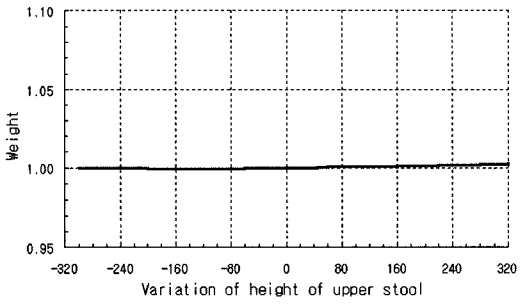

Fig. 6 Effect of height of upper stool

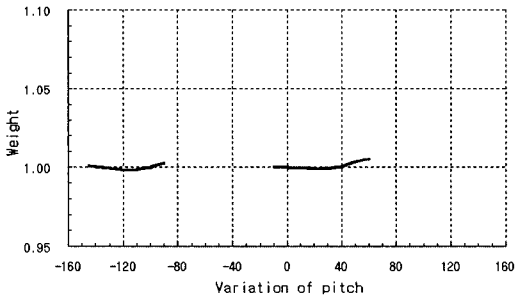

Fig. 7 Effect of pitch of corrugation

5. 결 론

본 연구는 상하부 스툴을 고려한 파형 격벽의 최적 설계를 전체 최적점 탐색 확률이 높은 진화 전략 기법을 통해 수행한 바 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

파형 격벽 설계 시 가장 중요하고 신중하게 결정해야 할 설계변수는 파형의 깊이임을 알 수 있으며 스툴의 경우는 그 영향이 크지 않음을 확인하였다.

최적화 된 결과는 실적선에 비해 피치가 작아져 전체적으로 횡단면에 들어가는 피치수가 2개씩 늘어나지만 파형판의 두께가 감소하는 경향을 알 수 있었으며 실적선 대비 약 2~3%정도의 중량 절감 효과가 예상된다.

개발된 시스템은 살물선을 대상으로 하며, 점차 대상 선종을 정유운반선 및 화학제품 운반선으로 확대해 나갈 계획이며 특히, 화학제품 운반선의 파형 격벽은 고가의 재료로 구성되어 있어서 중량 절감의 효과는 경제성에 크게 기여할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 임상전, 김기화, 양영순 1987 "FTM을 이용한 파형격벽의 최적구조설계," 대한조선학회 논문집, 제24권 제4호, pp. 45-52
- 염재선 1990 "일반화된 경사 처짐법을 이용한 Corrugated Bulkhead의 최소 중량 설계," 서울대학교 석사학위 논문
- 장창두, 나승수 2000 "이중 선각 유조선의 최적 구조 설계 시스템 개발," 대한조선학회 논문집, 제37권 제1호, pp. 118-126
- 남성길, 이종환, 신상훈, 김화수 2002 "스툴형상을 고려한 살물선의 수밀 격벽 최적 설계," 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 336-340
- 신상훈, 장창두, 송하철 2002 "다목적함수 최적화 기법을 이용한 유조선의 최적구조설계," 한국전산구조공학회 논문집, 제15권, 제4호, pp. 591-598
- 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 Universitet Berline
- Schwefel, H. P. 1981 "Numerical Optimization of Computer Models," Wiley Chichester

< 신 상 훈 >

< 남 성 길 >