

유한요소해석과 다구찌법을 이용한 구명정 진수장치 설계인자 결정에 관한 연구

최주형[†] · 안정철¹ · 김정환¹ · 유찬욱¹ · 최영삼²

(원고접수일 : 2010년 5월 3일, 원고수정일 : 2010년 5월 25일, 심사완료일 : 2010년 5월 27일)

A study to determine the design parameters of Lifeboat Davit by Using FEM and Taguchi Method

Joo-Hyoung Choi[†] · Jung-Chul An¹ · Jeong-Hwan Kim¹ · Chan-Uk Ryu¹ · Young-Sam Choi²

요 약 : 구명정 진수장치는 크게 main frame, main arm, upper arm, support bar로 구성되어 있다. 본 논문에서는 upper arm의 굽힘 강성에 영향을 주는 인자로 plate 두께와 arm 단면의 가로 세로 길이를 설계 인자로 설정하며, 이들 인자에 대한 영향력을 분석하고자 하였다. 설계 인자에 대한 영향력 분석을 위해 실험계획법의 일종인 다구찌법과 함께 수치해석적인 방법을 이용하였으며, 각 설계인자간의 영향력 분석을 통해 실질적으로 산업에 도움을 주고자하였다.

주제어 : 진수장치, 구명정, 설계인자, 유한요소법, 다구찌법

Abstract: Lifeboat davit is composed of main frame, main arm, upper arm and support bar. In this paper, design parameters that affect the bending stiffness were set as plate thickness, width and height of upper arm. To analyze the influence of parameter factors, FEM and Taguchi Method were used. This paper will help substantially in many industries.

Key words: Davit Liftboat, Design Parameters, FEM, Taguchi Method

1. 서 론

선박의 구명정 진수장치는 선박의 비상탈출 시 반드시 필요한 장비로써 1974년 SOLAS(Safety of Life at Sea)협약의 제 3장에서 강제요건으로 적용되어 오고 있다. 구명설비의 요건이 날로 복잡, 다양해지고 구명설비의 종류도 다양해짐에 따라 국제해사기구(IMO)는 SOLAS, 1974 협약에서 분리하여 별도의 LSA code(Life Saving Appliances code, 국제구명설비 코드)를 발효하여 지금까지 구명설비의 국제적인 기준을 제공하고 있다. 구명정 및 진수장치는 85m 이상의 선박에

대하여 모든 승무원을 수용할 수 있는 수량의 구명정을 설치하도록 법적으로 강제화 되어 있으며, 2007년 5월 이후부터 제조되는 bulk carrier 선박에 대해서는 자유낙하식 구명정(Free Fall Type)의 설치가 의무화됨에 따라 앞으로 구명정 수요가 더욱 더 증가할 전망이다.

현재 선박에 탑재된 진수장치는 선박의 좌우현에 설치하는 중력식(Gravity Type)과 선미부에 설치하는 자유낙하식(Free Fall) 진수장치의 2가지 형태가 일반적이나, 본 논문에서는 최근 활발히 개발되어지고 있는 반중력식(Semi Gravity type)

[†] 교신저자((재)한국조선기자재연구원, E-mail: Jhchoi@komeri.re.kr, Tel: 051-400-5069)

1 (재)한국조선기자재연구원

2 바다중공업(주)

의 진수장치에 대한 연구를 수행하였다.

구명정 진수장치의 경우 크게 mian frame, main arm, upper arm, support bar로 4가지의 부품으로 구성되어지게 된다. 본 논문에서는 구명정과 직접적으로 연결되는 upper arm부에 대한 설계인자에 대한 영향도 분석을 통해 LSA code에 만족되는 최적 구명정 진수장치형상을 찾고자한다.

2. 구명정 진수장치 설계 방안

구명정 진수장치의 설계에 있어 가장 큰 특징 중의 하나는 구명정의 형태에 의해 진수장치의 기본적인 설계가 결정된다는 것이다. 다시 말하면 구명정이 결정되게 되면, main arm, upper arm의 구조가 결정되게 되고, 진수시 각도까지 결정이 되는 것이다. 따라서 기본적인 main arm, upper arm의 구조와 진수시 각도를 그대로 유지한 채, 구명정 진수장치의 최적설계가 가능하고 최적설계를 위한 설계인자는 무엇인가가 주요 관심사가 된다.

본 논문에서는 구명정 진수장치의 기본적인 구조를 그대로 유지한 채, 설계 변경이 가능한 인자로서 구조물의 굽힘강성에 영향을 주는 인자를 채택하였다.

또한 이들 인자에 대한 영향력을 분석하기 위해 실험계획법의 일종으로 적은 수의 실험을 통해 많은 수의 의사결정을 하기 위한 효과적인 방법인 다구찌법을 이용하여 검토하였으며, 수치해석적인 방법인 유한요소법을 이용하여 설계인자 분석에 대한 시간 및 비용을 절감하였다.

2.1 다구찌법

다구찌법은 실험계획법의 일종으로 적은 수의 실험을 통하여 많은 수의 의사결정을 하기 위한 효과적인 방법이다. 이 기법은 직교배열표(orthogonal array)라고 하는 수학적인 도구를 이용하며, signal to noise(S/N) ratio라고 하는 기법을 이용하여 실험결과에 유의한 영향을 미치는 인자를 파악하고, 최적조건을 구하는 기법이다.

다음 Table 1은 직교배열과 완전요인실험(general full factorial design)의 실험횟수를

비교한 표이다. 표에서는 보는 바와 같이 완전요인 실험의 횟수는 기하급수적으로 늘어나 현실적으로 실험을 할 수 없다. 직교배열표는 사용방법이 아주 간단하여 기계적인 조작으로 이론을 잘 모르고도 직교배열법의 실험을 실시 할 수 있다. 또한 실험 데이터로부터의 요인변동의 계산이 용이하고 분산 분석표 작성과 분석이 수월하며 적은 실험 횟수로 많은 인자의 실험이 가능하다는 장점으로 현재 널리 사용되고 있다.

Table 1: Comparison of orthogonal arrays with general full factorial design

2 level			3 level		
Factor	Table of orthogonal	General full factorial design	Factor	Table of orthogonal	General full factorial design
3	4	8	4	9	81
7	8	128	13	27	1594323
11	12	2048	40	81	∞
15	16	32768			
19	20	524288			

Table 2: Tables of orthogonal array

No.	Inner array			Outer array		SN
	A	B	C	N1	N2	
1	1	1	1	①	⑤	㉠
2	1	2	2	②	⑥	㉡
3	2	1	2	③	⑦	㉢
4	2	2	1	④	⑧	㉣

$$L_m(A^n) \tag{1}$$

A : 수준계

m : 실험의 크기

n : 배치가능한 최대 인자 수

다구찌법은 최대 n개의 A수준 인자를 배치하고 m회의 실험으로 각 인자의 유의성과 최적조건

등을 찾아가는 것이다. Table 2는 직교 배열표 중 가장 기본적인 형태인 $L_4(2^3)$ 를 나타낸 것이다. 내측배열에는 제어인자를 배치하고 외측배열에는 비제어인자들로 이루어진다. N1과 N2의 값은 실험으로 얻어진 결과이고, SN비는 각각의 특성에 맞는 SN비를 계산하여 분석을 통해 최적 조건을 설정하는 역할을 한다.

3. 구멍정 진수장치의 형상 설계를 위한 영향도 평가

3.1 설계 변수 정의

설계 변수 즉, 인자(factors)는 실험자가 수준을 변경할 수 있고, 변경정도에 따라서 특성치에 영향을 미치는 인자이다. 구멍정 진수장치에 대한 형상 최적설계를 위해 본 논문에서는 굽힘강성에 많은 영향을 미치는 upper arm의 주요 plate의 두께와 arm 단면의 가로 세로 길이를 설계 인자로 설정하였다. 다음 Figure 2, 3, 4는 각 설계인자를 나타낸 그림이다.

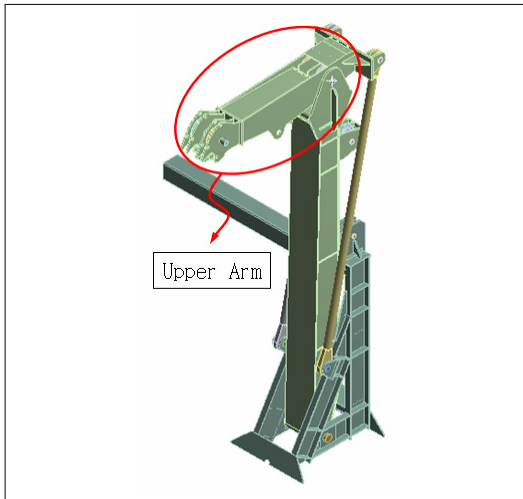


Figure 1: Upper Arm of Lifeboat Davit

각 설계인자에 대한 수준의 기준은 upper arm의 재료무게(재료비)를 기준으로 $\pm 15\%$ 같은 무게가 되도록 설정하였으며, 두께는 기초값을 기준으로 $\pm 15\%$, upper arm 단면의 가로 길이는 $\pm 33\%$, 세로 길이는 $\pm 24\%$ 로 설정하여, 3인자 3수

준계의 직교배열표인 $L_9(3^4)$ 형을 사용하여 총 9가지의 경우에 대한 평가를 통해 구멍정 진수장치에 대한 최적형상 결정할 수 있게 된다. 본 논문의 목적 성능으로는 진수장치의 upper arm에 발생하는 최대처짐량으로 정하였으며, 처짐량은 설계인자의 변화에 따른 수치해석 결과를 응력에 비해 비교적 정확하게 정량적인 값으로 도출이 가능하다는 장점이 있다.

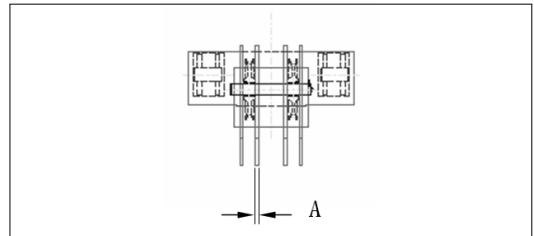


Figure 2: Thickness of Plate(factor A)

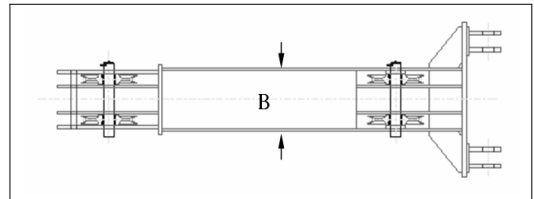


Figure 3: Width of Upper Arm(factor B)

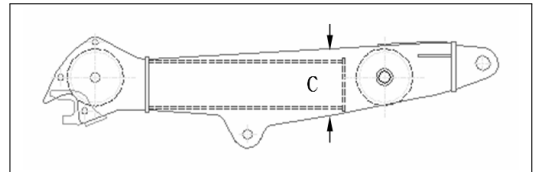


Figure 4: Height of Upper Arm(factor C)

Table 3: Design Variable and Level

Variable \ Level	0	1	2
Thickness of Plate (A)	-15%	15mm	+15%
Width of Upper Arm (B)	-33%	470mm	+33%
Height of Upper Arm (C)	-24%	400mm	+24%

Table 4: Layout of $L_9(3^4)$ arrays

No.	Inner array				Test Condition
	A	B	C	-	
1	0	0	0	0	(0, 0, 0)
2	0	1	1	1	(0, 1, 1)
3	0	2	2	2	(0, 2, 2)
4	1	0	2	1	(1, 0, 2)
5	1	1	0	2	(1, 1, 0)
6	1	2	1	0	(1, 2, 1)
7	2	0	1	2	(2, 0, 1)
8	2	1	2	0	(2, 1, 2)
9	2	2	0	1	(2, 2, 0)

Table 3과 4는 $L_9(3^4)$ 의 수준과 직교배열표 실험조건을 나타내고 있다.

3.2 수치해석 경계 조건

Figure 5는 구멍정 진수장치의 최적형상설계를 위한 수치해석 경계 조건을 나타내고 있다. [A]는 구멍정에 대한 무게, 즉 진수장치의 설계 하중(85kN)이 되며, [B]는 main arm과 연결되는 부위이고, [C]는 support bar과 연결되는 부위이다. 본 수치해석에서는 설계하중으로 인한 끝단의 처짐량을 보는 것이 목적이므로 해석의 효율성을 위해 [B], [C]를 모두 fixed support 경계조건으로 부여하여 해석을 수행하였으며, 접촉조건 역시 bonded 조건을 부여하여 수치해석의 효율성을 높였다.

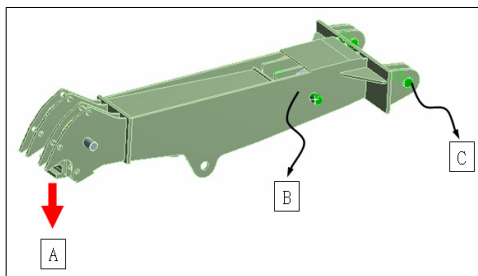


Figure 5: Boundary Condition of Upper Arm

3.3 SN비 분석 및 영향도 평가

목적함수로는 수치해석 결과시 발생하는 upper

arm 최대 처짐량으로 결정하였기 때문에, 이는 작을수록 좋으므로 식 (2)의 다구찌법 망소특성인 손실함수를 적용하여 SN비를 비교하여 최적의 수준을 예측하였다.

$$SN = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad \text{식(2)}$$

여기서, y는 해석의 결과 값, n은 해석횟수를 나타낸 것이다.

Table 5는 upper arm에 발생하는 처짐에 대한 유한요소 해석 결과 및 다구찌법 적용 결과를 나타낸 것이다. 그리고 Figure 6, 7, 8은 각 설계인자에 대한 수준별 요인 영향도를 나타내고 있다.

Table 5: SN ratio for Maximum Equivalent Stress

No.	Test Condition	Deformation	SN ratio
1	(0, 0, 0)	11.26	-21.03
2	(0, 1, 1)	8.00	-18.06
3	(0, 2, 2)	5.31	-14.50
4	(1, 0, 2)	4.95	-13.89
5	(1, 1, 0)	7.64	-17.66
6	(1, 2, 1)	5.44	-14.71
7	(2, 0, 1)	6.08	-15.68
8	(2, 1, 2)	4.03	-12.11
9	(2, 2, 0)	6.23	-15.89

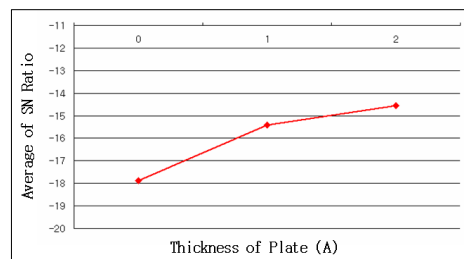


Figure 6: Average SN ratio of A

영향도 분석결과 upper arm 단면의 가로길이(B)가 가장 낮은 영향도를 나타내고 있고, 판의 두께(A)와 upper arm 단면의 세로길이(C) 두 가지 모두 비슷한 정도로 높은 영향도를 나타내고 있다.

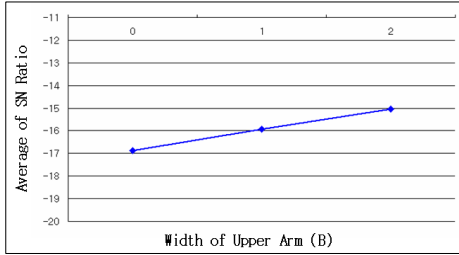


Figure 7: Average SN ratio of B

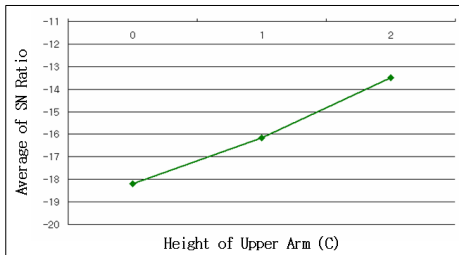


Figure 8: Average SN ratio of C

즉, upper arm에 대한 강도를 증가시키기 위해서는 설계인자 B보다는 A, C를 증가시키는 편이 효율적이라는 것을 의미한다.

그리고 각 설계 인자의 수준별 영향도를 볼 때, Figure 6(판의 두께)은 수준이 0에서 1로 증가할 때, 영향도(기울기)가 크며, 1에서 2로 증가할 때는 기울기가 완만하여 영향도가 적은 것을 알 수 있다. Figure 7(arm의 가로 길이)은 0에서 2까지 수준이 대체적으로 모두 완만하며, Figure 8 (arm 세로길이)은 1수준에서 2수준까지의 기울기가 0에서 1까지의 기울기보다 크므로 영향도가 더 크다는 것을 알 수 있다.

따라서, 재료무게, 즉 재료비의 증가 없이 upper arm의 강성을 증가시킬 수 있는 방법은 각 설계 인자에 대한 수준을 (1, 0, 2)로 하면 기준 (1, 1, 1)보다 강성이 증가할 것이라는 것을 알 수 있다.

다음 Table 6과 Figure 9와 10은 설계 인자 A, B, C의 수준 (1, 1, 1), (1, 0, 2)의 결과를 비교한 것이다.

Table 6: SN ratio for Maximum Equivalent Stress

No.	Test Condition	Deformation	SN ratio
1	(1, 1, 1)	5.52	-14.84
2	(1, 0, 2)	4.95	-13.89

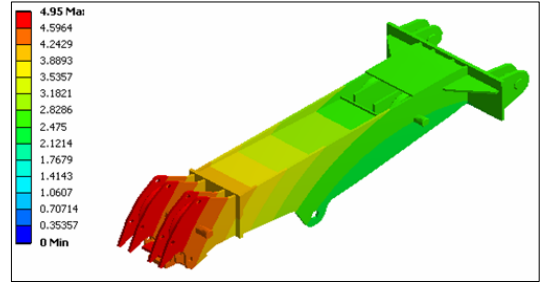


Figure 9: Total Deformation of Test Condition (1,1,1)

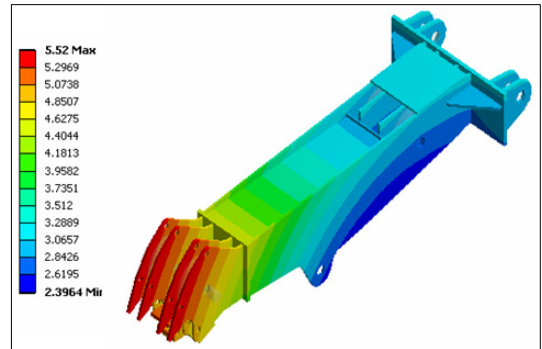


Figure 10: Total Deformation of Test Condition (1,0,2)

기존 구멍정 진수장치의 upper arm의 경우 약 5.52mm의 처짐량이 발생하였으며, arm 단면 가로 길이(B)를 기존 길이 대비 33% 줄이고, 세로 길이(C)를 24% 늘린 경우 약 4.95mm의 처짐이 발생하는 것을 알 수 있다.

이는 같은 제작비를 들여 제작이 가능하다는 점으로 볼 때 기존 대비 약 11.5%의 강성이 증가하였다는 것을 나타내는 수치이다.

4. 결 론

본 논문을 통해 구멍정 진수장치에 대해 설계방안으로서 유한요소법과 다구찌법을 활용하여 수치적으로 진수장치 형상설계에 필요한 영향도 및 설계인자를 결정하는 방법을 제안하였다.

본 논문의 결론은 다음과 같다.

1. 구멍정 진수장치의 설계인자로서 가장 기본적인 arm의 판 두께, 가로 길이, 세로 길이로 정하였으며, 이 인자들의 분석을 통해 구멍정 진수장치 설계의 방향을 제시함.

2. 설계수준을 재료무게(재료비)를 기준으로 설정함으로써, 실질적으로 산업에 적용이 가능하며, 많은 도움이 될 것으로 판단됨.

3. 기존 구멍정 진수장치의 upper arm 단면 가로 길이를 기존 길이 대비 33% 줄이고, 세로길이를 24% 늘린 경우(Test Condition (1,0,2)) 기존과 같은 제작비로 강성을 11.5% 향상시킬 수 있음.

후 기

본 연구는 지식경제 기술혁신사업으로 수행된 산업원천기술개발사업의 연구결과임.



최영삼(崔永三)

1989년 경남대학교 전기공학과(공학사), 1989년 - 1993년 코리아타코마 조선공업(주), 1993년 - 2003년 (주)한진중공업, 2003년 - 2005년 STX 조선주식회사, 2005년 - 2008년 현대라이프보트(주), 2009년 - 현재 바다중공업(주)(기술연구소장). 관심분야: 기계공학, 수치해석, FEM, 구조, 피로, 진동, 충격, 열

저 자 소 개



최주형(崔朱滢)

1995년 인제대학교 기계공학과(공학사), 1997년 동아대학교 기계공학과(공학석사), 2007년 부산대학교 기계설계과(공학박사), 2007년 - 2008년 (주)디엔디이(과장), 2008년 - 현재 (재)한국조선기자재연구원(팀장). 관심분야: 기계공학, 수치해석, FEM, 구조, 피로, 진동, 충격, 열



안정철(安淨哲)

2007년 국립경상대학교 기계항공공학과(공학사), 2009년 부산대학교 기계공학과(공학석사), 2009년 - 현재 부산대학교 조선해양공학과(박사과정), 2009년 - 현재 (재)한국조선기자재연구원(연구원). 관심분야: 기계공학, 수치해석, FEM, 구조, 피로, 진동, 충격, 열.



김정환(金貞煥)

1998년 부경대학교 기계공학과(공학사), 2000년 부경대학교 기계공학과(공학석사), 2003년 한국해양대학교 기계공학과(공학박사), 2001년 - 2002년 TF-TECH(대표), 2003년 - 2004년 동진해운 부설 아이아이티 기술연구소(신진연구원), 2004년 - 현재 (재)한국조선기자재연구원(본부장). 관심분야: 기계공학, 수치해석, CFD, 유동, 열, 시험



유찬욱(柳燦旭)

1994년 부경대학교 기계공학과(공학사), 2002년 부경대학교 기계공학과(공학석사), 2007년 한국해양대학교 기계공학과(공학박사), 2004년 - 현재 (재)한국조선기자재연구원(선임연구원). 관심분야: 기계공학, 수치해석, FEM, 구조, 피로, 진동, 충격, 열.