유한요소법을 이용한 클로즈드 초크의 구조검증 및 표준화에 대한 연구

정재욱¹·이병훈^{1,†}

부산대학교 기계공학부 기계기술연구원¹

Strength Analysis and Standardization for Closed Chocks by Using the Finite Elements Method

Jae-Wook Jung¹·Byung Hoon Lee^{1,†}

School of Mechanical Engineering, RIMT, Pusan National University¹

Abstract

Mooring fittings mean various devices and fittings to safely fasten vessels to quays, jetties and sea-floating buoys, etc. They include mooring winches, capstans, chocks, fairleads, guide rollers, bollards, and bitts. Not only the seats and reinforced parts for the installation of fittings but also ropes and chains for mooring and chain stoppers can be also considered. Because of damages to mooring fittings during mooring directly related to large-scale accidents such as the drifting of vessels, mooring fittings with strength appropriate for the physical features of the vessels must be installed. The reinforcement of the vessels on which the mooring fittings are installed must be designed to withstand the loads transferred from the fittings as well. Also mooring fittings with efficient strength should be required because damaged ships lead to sea pollution such as oil or fuel oil spillage. This study has been performed by the Finite Element Method for two aspects of closed chocks which are divided into structure-supporting shapes and working load. In the case of structure-supporting shapes, they have been performed in the field of sheet and bulwark. As for working load, it has been analyzed according to working load direction such as chock's side and below. At first, strength analysis for unique closed chocks has been carried out by using the Finite Element Method, they are applied for the situation when vessels pass by the panama canal. And then the experiment has been done to verify the analyzed date obtained by FEM. The experimental results were found to be similar to the numerical results with up to 16% difference. On the basis of the results obtained, standardization has been carried out by the Finite Element Method for various sizes of closed chocks.

Keywords : Mooring(계류), Chock(초크), Standardization(표준화), FEM(유한요소법)

1. 서 론

1.1 연구배경

선박계류장치(mooring and towing fittings)는 해상 또는 해안에서 선박을 안전하게 묶어 두기 위한 모든 기기 및 장비들을 의미한다. 이러한 선박계류장치는 선박의 종류에 관계없이 모든 선박에 설치되어 있는 필수 구조물로서 조류력, 풍하중, 파랑하중 등 해상의 다양한 조건들을 견뎌야 한다.

선박계류장치의 구성물은 계류 윈치(winch)와 같은 기기류와 초크(chock), 페어리드(fairlead), 가이드 롤러(guide roller), 볼라드(bollard), 비트(bitt) 등과 같은 피팅(fitting)류 및 그 피팅들이 설치된 부분의 시트(seat)와 선체 보강부를 포함하며 계류에 사용되는 로프(rope), 체인(chain) 및 체인을 선박에 고정하는 체인

고정 장치 등을 포함한다.

선박계류장치는 반드시 그 선박의 크기에 적합한 강도를 갖도록 설치되어야 하고, 또한 그 하부 선체 보강도 선박계류장치로부터 전해 오는 하중에 충분히 견디도록 설계되어야 한다. 강도가 검증되지 않은 선박계류장치 사용 시, 대형사고의 유발 또는 선박 손상에 의한 내부에 실린 화물유, 연료유 등의 유출로 인하여 해양오염의 우려가 있기 때문에 특히 충분한 강도가 요구된다. 그럼에도 불구하고, 그동안 관련 선박계류장치의 선정 및 적용 기준이 없거나 서로 다르다. 왜냐하면 선박계류장치의 종류가 매우 다양하고 또한 선박의 크기에 따라 다양한 크기의 계류장치를 적용해야 하므로 모든 종류 및 크기 별로 설계 및 강도를 검증하는 것은 매우 방대한 작업이기 때문이다. 또한, 현재 국내 각 조선소 간 계류 장치에 대한 설계 기준도 다르고, 또한 동일한 아이템에 대하여 서로 다른 적용 기준을 가지고 있는 실정이다. 선박

계류장치의 표준화가 이루어지면, 조선소에서는 통일화된 규격으로 발주함으로써 어느 동종업체에서도 구매가 가능하게 되며, 기자재 업체는 공정 및 생산성이 향상된다.

1.2 연구동향

선박계류장치 표준화의 필요성이 제기되어 주요 조선소는 2003년도부터 민간 협의회를 구성하여 약 5년여에 걸쳐 선박에 적용되는 계류장치에 대한 표준화작업의 토대를 마련하였고(Cha, 2009; Oh, 2009), 오창민 등은 볼라드 형의 계류장치에 대한 비선형 강도해석을 수행하였다(Oh, et al., 2006). 하지만, 선박계류장치의 주를 이루고 있는 클로즈드 초크에 대한 표준화 연구는 전무한 상황이다.

최근 지식경제부 기술표준원의 표준기술력향상사업의 일환으로 조선기자재연구원이 주관하여 국내 대형 조선사에서 선박계류장치 위원회를 구성하여 선박계류장치에 대한 표준화 작업을 수행하였다(OCIMF, 1997; KOMERI, 2008). 선박계류장치 위원회에서는 각 조선소 별로 다양한 모델에 대해 선종에 따른 표준화 대상 모델을 선정하였고, 각 대상별로 표준화 연구가 활발하게 진행되고 있다.

1.3 연구목적 및 내용

연구 대상은 선박계류장치 중 가장 많이 사용되고 있는 클로즈드 초크(closed chock)이다.

클로즈드 초크는 2가지로 분류할 수 있는데, 로프가 통과하는 초크를 지지해주는 구조물인 시트를 포함하는 형태의 시트 타입과 초크를 둘러싸고 있는 불워크(bulwark)를 포함하는 불워크 타입으로 분류한다.

초크류는 주로 주강으로 만들어지며, 시트와 불워크는 강판을 가공하여 만들어진다. 대부분의 구성품은 국제석유회사해사평의회의 규정을 만족해야한다(OCIMF, 1997).

선박계류장치 위원회에서는 각 타입별로 치수가 다른 10종의 표준화 대상을 선정하였고, 본 연구에서는 총 20종에 대한 강도 해석을 수행하여, 표준화 대상의 적합성을 검증하였다. 또한 1종에 대해 강도 실험을 실시하여, 강도 해석치와의 관계를 살펴보고자 한다.

최종 연구 목표는 유한요소법을 이용하여 선박계류장치 중 가장 일반적으로 많이 사용되고 있는 클로즈드 초크에 대한 강도해석을 수행하여 표준화를 하는 것이다.

2. 표준화 모델

2.1 표준화 모델 선정

본 논문에서는 선박계류장치 중에서 가장 많이 사용되는 클로즈드 초크에 대해 연구하였다. 클로즈드 초크의 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 클로즈드 초크는 세 가지로 분류할 수 있는데, 하나

는 로프가 통과하는 초크를 지지해주는 구조물인 시트를 포함하는 형태의 시트 타입(Fig. 1(a))과 초크를 둘러싸고 있는 불워크(bulwark)를 포함하는 불워크 타입(Fig. 1(b)) 및 하나의 시트에 두 개의 초크가 결합된 더블 초크 타입으로 분류한다.

(a) Closed chock for seat type

(b) Closed chock for bulwark type

Fig. 1 Geometry of closed chock

Table 1에 구조검증을 수행하기 위한 대상을 나타내었다. 선박계류장치 위원회에서는 운하 통과 시 요구되는 치수, 선박의장수 및 선종을 고려하여 각 타입별로 치수가 다른 10종의 표준화 대상을 선정하였고(KOMERI, 2008), 본 연구에서는 총 50종에 대한 강도 해석을 수행하여 표준화 대상의 적합성을 검증하였다.

Table 1 Analysis target for standardization

No.	Nominal size	Target SWL [ton]	Ship type	Remark
1	310 × 260 × 358	46	2,500 TEU container	Panamax
2	360 × 260 × 358	68	4,200 TEU container	Panamax
3	400 × 250 × 358	70	5,500 TEU container	Aframax
4	450 × 250 × 358			
5	500 × 250 × 358			
6	400 × 250 × 428	86	8,000 ~ 9000 TEU container	Suezmax
7	450 × 250 × 428			
8	500 × 250 × 428			
9	500 × 400 × 428			
10	500 × 400 × 525	115	12,600 TEU container	VLCC

또한 1종에 대해 강도 실험을 실시하여 강도 해석 결과값과의 관계를 살펴보았다.

2.2 표준화 모델 종류

2.2.1 시트 타입 클로즈드 초크

표준화 작업을 위해서 Fig. 2에 10종의 시트 타입에 대한 초크 도면을 나타내었고 Table 2에 치수를 표기하였다. Fig. 3에는 10종의 초크에 대응하는 시트의 도면을 나타내었고, Table 3에 시트에 대한 치수를 표기하였다. 각 Table에 표기된 치수는 선박계류장치 위원회에서 선정된 치수이다. 본 연구에서는 두께 요소를 변수로 채택하여, 목표 강도에 미치지 못하는 경우에 적합한 두께를 적용할 수 있도록 파라메트릭 해석을 수행하였다.

Fig. 2 Drawing of closed chocks for seat type (Refer to Fig. 1(a))

Table 2 Dimensions of closed chocks for seat type

No.	Nominal size (L × H × B)	L1	L2	L3	L4	L5	D	H1	H2	H3	R	R1	R2	R3	R4	R5	K	T
1	310 × 260 × 358	199	105	310	708	652	38	639	541	199	130	329	231	140	142	195	15	32
2	360 × 260 × 358	200	130	360	760	704	40	640	542	200	130	330	232	138	140	192	15	34
3	400 × 250 × 381	202	150	400	804	750	44	632	535	202	125	327	230	134	136	185	20	36
4	450 × 250 × 381	203	175	450	856	802	46	633	537	203	125	328	232	132	134	182	20	38
5	500 × 250 × 381	204	200	500	908	854	48	634	539	204	125	329	234	130	132	180	20	40
6	400 × 250 × 428	242	150	400	884	820	50	707	638	241	125	367	297	164	166	176	25	40
7	450 × 250 × 428	242	175	450	934	870	50	707	638	241	125	367	297	164	166	176	25	40
8	500 × 250 × 428	242	200	500	984	920	50	707	638	241	125	367	297	164	166	176	25	40
9	500 × 400 × 428	242	200	500	984	920	50	857	788	241	125	442	372	164	166	176	25	40
10	500 × 400 × 525	289	200	500	1078	1013	50	953	809	288	200	489	347	212	214	298	20	40

Fig. 3 Drawing of seats for seat type (Refer to Fig. 1(a))

Table 3 Dimensions of seats for seat type

No.	Nominal size	L	L1	L2	B	Seat plate thickness	
						T	T1
1	310 × 260 × 358	738	168	342	420	15	18
2	360 × 260 × 358	790	168	394	420	18	24
3	400 × 250 × 381	850	130.5	511	446	18	24
4	450 × 250 × 381	900	131	560	446	18	24
5	500 × 250 × 381	950	131	610	446	18	24
6	400 × 250 × 428	950	139	588	493	20	30
7	450 × 250 × 428	950	139	588	493	20	30
8	500 × 250 × 428	1000	139	638	493	20	30
9	500 × 400 × 428	1000	139	638	493	20	30
10	500 × 400 × 525	1098	165	692	590	22	32

2.2.2 불워크 타입 클로즈드 초크

Fig. 4에 10종의 불워크 타입에 대한 초크 도면을 나타내었고 Table 4에 치수를 표기하였다. Fig. 5에는 10종의 초크에 해당하는 불워크의 도면을 나타내었고, Table 5에 불워크에 대한 치수를 표기하였다. 각 Table에 표기된 치수는 선박계류장치 위원회에서 선정된 치수이다. 본 연구에서는 두께 요소를 변수로 채택하여, 목표 강도에 미치지 못하는 경우에 적합한 두께를 적용할 수 있도록 파라메트릭 해석을 수행하였다.

Fig. 4 Drawing of closed chocks for bulwark type (Refer to Fig. 1(b))

Table 4 Dimensions of closed chocks for seat type

unit : mm															
No.	Nominal size (L × H × B)	L1	L2	L3	D	H1	H2	H3	R	R1	R2	R3	R4	R5	T
1	310 × 260 × 358	212	735	652	38	212	684	462	130	342	231	148	140	195	32
2	360 × 260 × 358	214	788	704	40	214	688	464	130	311	232	146	138	192	34
3	400 × 250 × 381	216	832	750	44	216	682	460	125	341	230	144	134	185	36
4	450 × 250 × 381	218	886	802	46	218	686	464	125	343	232	142	132	182	38
5	500 × 250 × 381	220	940	854	48	220	690	468	125	345	234	140	130	180	40
6	400 × 250 × 428	256	912	820	50	256	762	594	125	381	297	166	164	176	40
7	450 × 250 × 428	256	962	870	50	256	762	594	125	297	297	166	164	176	40
8	500 × 250 × 428	256	1012	920	50	256	762	594	125	297	297	166	164	176	40
9	500 × 400 × 428	256	1012	920	50	256	912	744	125	372	372	166	164	176	40
10	500 × 400 × 525	304	1108	1013	50	304	1008	690	200	504	347	214	212	298	40

Fig. 5 Drawing of closed chocks for bulwark type (Refer to Fig. 1(b))

Table 5 Dimensions of bulwarks for bulwark type

unit : mm					
No.	Nominal size	A	B	R	T
1	310 × 260 × 358	688	739	344	15
2	360 × 260 × 358	692	792	313	15
3	400 × 250 × 381	688	838	344	22
4	450 × 250 × 381	688	888	344	22
5	500 × 250 × 381	688	938	344	22
6	400 × 250 × 428	736	886	368	24
7	450 × 250 × 428	736	936	368	24
8	500 × 250 × 428	736	986	368	24
9	500 × 400 × 428	886	986	443	24
10	500 × 400 × 525	982	1082	491	26

3. 유한요소해석 및 강도평가실험

3.1 클로즈드 초크의 유한요소해석

2절에서 언급한 바와 같이 클로즈드 초크는 시트 타입과 불워크 타입 및 더블 초크 타입으로 구분할 수 있으며, 총 50종의 클로즈드 초크에 대한 유한요소해석을 수행하여 표준화 대상의 적합성을 검증하였다. 유한요소모델에 사용된 요소의 종류는 파라메트릭 해석에서 두께 변화를 용이하게 하기 위해 선급 규정에 따라 Shell을 적용하였고, 요소의 크기는 Shell 두께의 3배를 적용하였다.

3.1.1 재료 물성치

초크와 시트는 각각 SCW480, SS400 ($C \leq 0.23\%$)으로 제작되었고 이들 재료의 기계적 성질은 Table 6과 같다.

Table 6 Material properties for closed chock

Application	Chock	Seat / Bulwark
Material	SCW480	SS400
Elastic modulus [GPa]	206	206
Poisson ratio	0.3	0.3
Yield stress [MPa]	275	235
Ultimate stress [MPa]	480	400

3.1.2 하중 및 경계 조건

가. 하중 조건

Table 1에 치수별 목표 안전사용하중(Safety Working Load, SWL)을 나타내었으며, 해석 결과와 비교하였다. 하중 조건은 로프가 Fig. 6과 같이 작용하는 경우 중에서 하중 조건1(LC 1)과 2(LC 2)의 경우로 해석하였다.

Fig. 6(a)에 하중 조건 1(LC1)의 경우를 나타내었다. 로프가 초크를 통하여 180° 꺾이는 경우의 하중을 고려 ($\theta = 20^\circ$)하였고, 국제석유회사해사평의회 로프 안내방향 규정을 적용하였다.

Fig. 6(b)에 하중 조건 2(LC2)의 경우를 나타내었다. 로프가 초크를 통하여 선외 하방 90°, 선내 하방 30° 꺾이는 경우의 하중을 고려하였고, 국제석유회사해사평의회 로프 안내방향 규정을 적용하였다. 두 가지 해석 모두에서 적용되어지는 P는 로프에 가해지는 계류 하중 또는 예인 하중을 의미한다.

Fig. 6 Loading cases

설계하중은 식(1)과 같이 허용응력(allowable stress)과 / 수치 계산응력(calculated stress)을 사용하여 계산하였다. 여기서 허용응력은 항복응력의 1.06배이며, 설계하중(design load)은 SWL의 1.25배로 적용하였다. 이는 안전 사용 하중을 적용하여 계산응력이 재료의 항복응력의 85% ($= 1.06 / 1.25$)를 넘지 않도록 하였다(IACS, 2004, 2011; ISO 3913, 1977; JIS F 2001-1995, 1995; KS V 4011, 2009).

로프에 의하여 초크에 전달되는 힘은 초크와의 마찰을 고려하여 평가해야 하나 안전 측의 고려로서 마찰 없이 직접 연결된 구조로 간주하여 다음과 같이 고려하였다.

로프에 단위하중 1 N을 적용하였으며 로프에 의하여 초크에 전달되는 힘은 직접하중 계산을 통해 얻은 값을 적용하였다. 각 노드에 걸리는 하중을 Fig. 7에 나타내었고, 아래의 비례식에 의해 설계하중 값을 도출하였다.

$$\text{설계하중}(\text{ton}) = \text{단위하중}(1 \text{ N}) * \text{허용응력} / (\text{해석결과} * 1000) \quad (1)$$

Fig. 7 The method of calculation for load

유한요소해석에서 로프에 가해지는 하중은 단위하중을 적용하여, $P_1 = 1[N]$ 이다. 유한요소모델에서 각각의 절점에 가해지는 하중을 $p_1, p_2, \dots, p_6$ 이라고 하면 힘의 평형조건에서 다음식 (2)와 같다.

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_4 + \vec{p}_5 + \vec{p}_6 \quad (2)$$

즉 유한요소 모델에서 절점의 좌표값이 주어지면 벡터계산법에 의해 각 절점에 가해지는 힘을 계산할 수 있다.

하중 조건 1의 경우 유한요소모델에 적용된 힘의 위치와 크기를 Fig. 8과 Table 7에 나타내었다. Fig. 8(a)에서 각 절점별로 힘이 적용되는 방향을 확인할 수 있다. Fig. 8(b)에서는 힘이 적용되는 각 절점의 번호를 나타내었고, 각 절점에 적용한 힘을 Table 7에 나타내었다.

(a) Force direction at node

(b) Node number applied load

Fig. 8 Applied load condition

Table 7 Nodal coordinates and forces in Load Case 1

Node	X	Y	Z	F [N]
6340	0.102679	0.303539	0	0.320435
6339	0.296966	0.30753	0	0.427508
6337	0.262382	0.143121	0	0.298878
6325	0.261218	0.060577	0	0.26815
6341	0.301804	-0.01454	0	0.302154
6549	0.342321	-0.08966	0	0.353869
6375	0.208547	-0.14822	0	0.255852
6377	0.338734	-0.40694	0	0.529472
6378	0.018438	-0.13453	0	0.135788

* Nominal size : 360 × 260 × 358

나. 변위 경계 조건

Fig. 9에 변위 경계 조건을 나타내었다. Fig. 9의 표시부를 6 자유도 (Degree Of Freedom, DOF)에 해당하는 X, Y, Z 좌표의 변위 D_x, D_y, D_z 와 회전 R_x, R_y, R_z 에 대하여 고정하였다.

Figs. 9(a) ~ (b)에 각 타입별 클로즈드 초크가 단독으로 사용되었을 때의 변위 경계조건을 나타내었고, Figs. 9(c) ~ (d)에 클로즈드 초크가 시트 혹은 볼워크에 결합되었을 때의 변위 경계조건을 나타내었다. 기본적으로 선체와 결합되는 부위를 고정하였고, 용접부의 강도는 충분한 것으로 가정하였다.

(a) Seat type closed chock

(b) Bulwark type closed chock

(c) Closed chock with seat

(d) Closed chock with bulwark

Fig. 9 Boundary conditions for displacement

3.1.3 파라메트릭 해석

가. 시트타입

유한요소법을 이용하여 시트 타입 초크의 선정된 설계 변수에 대한 파라메트릭 해석을 수행하여 강도해석을 수행하였다. 목표 SWL을 만족하기 위해서 다양한 형상 변경 방법이 시도될 수 있으며, 여기서는 두께의 변수를 적용하여, 설계 최적화 방법을 시도하였다.

시트 타입의 10종류 중 Table 1에서 두 번째에 해당하는 360 × 260 × 358에 대해 해석을 수행하였으며, 나머지 사이즈에 대해서도 동일한 방법으로 파라메트릭 해석을 수행하였다.

시트 타입 초크의 파라메트릭 해석을 수행하기 위한 설계 변수는 초크의 두께(T_c)와 시트 두께(T), 시트 플레이트 전면부 두께(T_1)로 선정하였으며 Fig. 10에 나타내었다. Table 8과 같이 설계변수를 설정하여, 두께를 2[mm] 단위로 증가 또는 감소시켜 해석을 수행하였다.

Fig. 10 Design variables of seat type for parametric analysis

하중 적용 시 초크와 시트의 영향도를 분석하기 위해 초크 단독, 초크와 싱글 시트, 초크와 더블 시트의 세 가지 경우로 해석을 수행하였으며 하중 조건은 측면 방향 하중(LC 1), 아래 방향 하중(LC 2)으로 각각 수행하였다. Table 9에 시트 타입의 해석 조건을 나타내었다.

초크 및 시트의 기본 모델은 현재 대형 조선소에서 사용하고 있는 치수를 참고해서 사용하였으며 목표 SWL은 68[ton]이다. 기본 모델과 초크 및 시트의 두께 변화에 따라 4가지 경우의 유한요소해석을 수행하였으며 해석 경우를 Table 10에 나타내었다.

Table 8 Design variables of seat type

Design variable	Symbol
Thickness of choke	T_c
Thickness of seat	T
Thickness of front plate	T_1

Table 9 Analysis conditions for seat type

Alternative	Analysis condition
Alt. 1	Chock only
Alt. 2	Chock + Single seat
Alt. 3	Chocks + Double seats

Table 10 Analysis cases for seat type

Case	Chock	Seat	Plate
	T_c [mm]	T [mm]	T_1 [mm]
1	34	16	24
2	34	18	24
3	32	18	24
4	34	18	22

나. 불워크 타입

불워크 타입의 10종류 중, Table 1에서 여덟 번째에 해당하는 500 × 250 × 428에 대해서 해석을 수행하였으며, 나머지 사이즈에 대해서도 동일한 방법으로 파라메트릭 해석을 수행하였다.

불워크 타입 초크의 파라메트릭 해석을 수행하기 위한 설계 변수는 초크의 두께(T_c)와 브라켓 두께(T_b)로 선정하였으며 Fig. 11에 나타내었다. 설계 변수를 Table 11에 나타내었으며 두께를 2[mm] 단위로 증가 또는 감소시켜 해석을 수행하였다.

Fig. 11 Design variables of bulwark type for parametric analysis

Table 11 Design variables of bulwark type

Design variable	Symbol
Thickness of choke	T_c
Thickness of bracket	T_b

하중 적용 시 초크와 시트의 영향도를 분석하기 위해 초크 단독, 초크와 결합된 불워크의 두 가지 경우로 해석을 수행하였으며 하중 조건은 측면 방향 하중(LC 1), 하방 방향 하중(LC 2)으로 각각 수행하였다. Table 12에 시트 불워크의 해석 조건을 나타내었다.

Table 12 Analysis conditions for bulwark type

Alternative	Analysis condition
Alt. 1	Chock only
Alt. 2	Chock + Bulwark

초크 및 불워크의 기본 모델은 현재 대형 조선소에서 사용하고 있는 치수를 사용하였으며 목표 SWL은 86[ton]이다. 기본 모델과 초크 및 브라켓의 두께 변화에 따라 3가지 경우의 유한요소해석을 수행하였으며 해석 경우를 Table 13에 나타내었다.

Table 13 Analysis cases for bulwark type

Case	Chock	Bracket
	T_c	T_b
1	40	22
2	40	24
3	38	24

3.2 클로즈드 초크의 강도시험

클로즈드 초크 50종의 표준화 모델 중 한 가지 경우에 대하여, 유한요소해석 결과의 검증을 위하여 강도시험을 수행하였다. 실험 대상은 Table 1에 나와 있는 시트 타입 초크 2번이며, 실험 장치는 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12(a)와 같이 인장 시험이 가능하도록 장치를 구성하였고, Fig. 12(b)와 같이 스트레인 게이지와 측정 장비를 설치하였다. 로프는 Fig. 13에서 보는 것과 같이 로프의 한쪽 끝은 고정되어 있고 다른 쪽 끝에서 인장하중을 0에서 205 ton까지 가해서 실험을 하였다. 하중을 순차적으로 증가시키면서 스트레인 게이지를 초크 및 시트 각 부위에 설치하여 변형량을 측정하였다.

Fig. 13 Applied load

(a) Equipment for strength test

(b) Data receiving equipment

(c) Locations of strain gauges

Fig. 12 Equipment for test

Fig. 12(c)에 초크 및 시트 부위의 스트레인 게이지 설치 부위를 나타내었다. 취약 부위로 예상되는 22개소의 위치에 설치하여, 각 부위의 변형량 데이터를 추출하였다.

4. 결과 분석

4.1 클로즈드 초크의 평가

4.1.1 클로즈드 초크의 유한요소해석 결과

가. 설계하중 계산

클로즈드 초크 및 시트의 SWL 계산을 위한 허용응력은 재료의 항복응력의 1.06배로 설정하였다. 따라서 초크의 허용응력은 291.5 MPa, 시트 및 불워크의 허용응력은 249.1 MPa로 설정하였다.

나. 유한요소해석 결과

초크만 단독으로 유한요소해석을 한 결과(Alt. 1)를 Table 14과 Fig. 14에 나타내었으며 초크와 시트를 같이 포함한 해석 결과(Alt. 2)는 Table 15와 Fig. 15에 나타내었다. 초크만 단독으로 해석한 경우 유한요소해석에서 최대 응력은 2.90×10^{-4} MPa이며 SWL은 계산식에 의해 $[(291.5 \text{ MPa}) \times (1 \text{ N})] / [(2.90 \times 10^{-4} \text{ MPa}) \times 1.25] = 804,137 \text{ N} = 82.05 \text{ ton}$ 이 된다. 이것은 목표 SWL 68 ton보다 크므로 허용치 내에 들었다고 할 수 있다.

초크와 시트를 같이 포함한 해석의 경우 초크의 최대 응력은 2.84×10^{-4} MPa, 시트는 3.11×10^{-4} MPa로 나타났다. 동일한 방법으로 계산된 SWL은 각각 73.44 ton과 70.36 ton이 되어 목표 SWL 68 ton보다 크므로 허용치 내의 값을 가진다.

초크 단독으로 해석을 수행한 경우에서, Fig. 14는 Table 14에 대응하는 결과값을 요소별로 도식화한 것으로서 각 하중조건별로 외부에 노출된 취약부위를 표현해 주고 있다. 초크 단독으로 해석한 경우에 로프에 접하는 면의 중심 주위에 가장 큰 응력이 분포함을 확인할 수 있다.

Fig. 14 Result of FE analysis for Alt. 1 at closed chock

Table 14 Result of FE analysis for Alt. 1

Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]	SWL [ton]	Target SWL [ton]
	Chock	Chock	
LC 1	2.90	82.05	68

시트와 결합된 초크의 해석을 수행한 경우에서, Fig. 15는 Table 15에 대응하는 결과값을 요소별로 도식화한 것으로서 각 하중조건별로 외부에 노출된 취약부위를 표현해 주고 있다. 로프에 접하는 면의 중심 주위, 초크와 시트가 용접되는 부위, 시트가 선체에 용접되는 부위에 가장 큰 응력이 분포함을 확인할 수 있다.

Table 15 Result of FE analysis for Alt. 2

Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]		SWL [ton]		Target SWL [ton]
	Chock	Seat	Chock	Seat	
LC 1	3.24	2.89	73.44	70.36	68

Fig. 15 Result of FE analysis for Alt. 2 at closed chock

4.1.2 클로즈드 초크의 강도평가실험 결과

강도 평가 실험 결과 클로즈드 초크($360 \times 260 \times 358$) 및 시트의 측정 위치에서 실험장치의 모니터링 시스템에서 획득한 하중과 응력을 Table 16에 나타내었다. 표에 표시된 응력은 실험에서 추출된 스트레인 값을 영률(Young's modulus)을 고려하여 계산하였다. 구해진 응력값을 0점 조정을 고려하여, Fig. 16과 같이 그래프에 나타내었고, CH9에서 max. stress 값이 발생하였다. 시트 또는 불워크 재료의 인장 항복응력이 235 MPa 수준에 해당하는 하중 값은 약 96 ton으로 측정되었고, Table 17과 같이 해석 결과값과 비교하였다.

Table 16 Results of test for closed chock and seat

Unit : MPa

Force (ton)	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	CH 6	CH 8	CH 9	CH 10	CH 11	CH 12	CH 13	CH 14	CH 15	CH 17	CH 18	CH 19	CH 20	CH 21	CH 22
0.00	-1.65	-1.65	-1.03	2.27	0.82	-2.06	-4.12	5.82	1.44	5.63	2.95	-14.63	-2.27	-2.06	0.00	-7.83	-6.18	3.50	-5.77	-1.65
10.04	-0.62	-0.62	0.00	14.63	9.27	4.46	-1.65	28.63	15.45	15.38	7.00	-21.63	-9.06	-9.68	-1.03	-12.77	-14.21	-6.39	-12.57	-6.39
20.00	1.03	1.24	1.85	28.43	18.13	11.33	2.27	50.26	31.52	26.37	11.74	-28.43	-15.04	-16.27	-8.45	-23.48	-26.99	-18.13	-23.07	-14.21
29.64	2.47	2.88	3.50	41.41	26.57	17.72	5.77	69.83	46.90	37.08	16.07	-35.02	-21.22	-22.87	-24.93	-34.61	-38.93	-27.81	-33.17	-22.25
39.55	3.91	4.53	5.56	55.41	35.43	24.93	9.68	91.05	63.45	50.26	21.01	-42.02	-27.60	-29.87	-44.63	-46.56	-50.74	-35.91	-42.64	-30.49
50.00	5.77	7.00	7.83	71.34	45.59	32.96	14.21	117.15	81.16	65.30	26.78	-49.44	-33.99	-37.08	-62.83	-59.12	-62.62	-38.52	-51.71	-39.35
58.62	7.21	8.65	9.48	86.73	54.38	39.55	17.92	139.67	96.20	84.46	31.52	-57.20	-39.41	-43.05	-77.04	-67.84	-70.04	-39.55	-58.50	-46.35
62.14	8.24	9.89	10.92	99.50	62.42	45.94	21.63	159.44	107.64	98.57	34.81	-61.80	-42.02	-45.94	-84.05	-71.28	-73.34	-41.20	-63.24	-49.44
70.94	10.09	11.95	12.77	111.45	68.19	50.47	24.93	170.98	120.99	126.35	38.93	-75.74	-47.17	-51.91	-93.73	-78.69	-80.13	-39.96	-74.37	-58.50
79.92	11.95	14.21	14.83	126.69	78.69	57.68	30.49	194.67	139.87	150.17	43.88	-90.23	-53.56	-59.12	-106.09	-88.58	-88.17	-46.76	-90.43	-62.01
88.48	14.21	16.89	17.51	143.79	90.64	65.51	36.05	217.74	160.27	178.19	48.62	-109.18	-60.15	-66.61	-120.85	-96.06	-96.34	-52.12	-108.97	-64.68
100.18	17.10	19.98	20.81	164.80	105.27	76.63	43.05	245.76	184.78	203.46	55.28	-127.45	-68.46	-76.08	-138.64	-105.88	-107.12	-60.15	-126.48	-71.07
109.29	20.19	23.69	24.10	185.19	119.69	84.46	52.12	268.42	208.40	216.16	61.18	-152.37	-75.19	-83.84	-153.47	-111.65	-112.48	-59.53	-145.64	-74.37
120.36	22.87	26.99	26.99	205.38	134.93	93.32	59.74	291.90	235.15	228.76	67.26	-172.01	-83.22	-92.91	-169.95	-119.07	-120.92	-64.89	-163.15	-81.78
130.36	25.34	30.08	29.87	226.26	149.14	100.80	67.84	310.85	260.38	239.58	72.31	-195.91	-91.05	-101.76	-184.78	-123.19	-129.37	-56.44	-182.52	-88.58
140.14	28.22	33.37	32.96	251.11	163.15	108.97	73.34	326.78	290.53	254.41	77.87	-222.34	-99.77	-111.86	-201.06	-128.75	-138.43	-62.01	-201.06	-96.00
150.40	30.69	36.46	35.23	271.85	175.17	116.46	77.59	336.60	311.47	266.56	81.99	-237.52	-108.15	-122.36	-215.06	-136.78	-145.02	-67.77	-215.89	-101.56
159.69	34.40	40.79	39.76	304.88	198.79	128.75	85.28	344.02	330.42	291.28	90.13	-272.33	-118.55	-134.52	-262.44	-144.61	-151.82	-65.71	-244.32	-104.44
170.36	37.49	44.50	43.05	333.51	228.04	141.11	92.49	351.23	330.42	313.33	95.86	-299.25	-130.19	-148.05	-305.91	-156.15	-161.50	-72.10	-273.36	-111.86
180.45	40.58	48.20	46.35	368.12	264.71	153.26	97.03	361.94	330.42	328.16	101.49	-329.81	-142.83	-163.91	-352.88	-167.89	-169.54	-76.84	-307.56	-123.81
190.58	44.50	52.94	50.47	408.70	304.88	165.83	105.27	369.13	330.42	345.26	107.74	-369.56	-155.02	-179.74	-395.31	-181.49	-172.42	-78.90	-346.70	-136.37
200.36	49.23	58.71	55.21	465.15	366.47	180.87	115.77	450.11	330.42	361.26	114.95	-409.46	-170.98	-201.12	-442.28	-209.71	-181.07	-83.64	-401.08	-138.43

Fig. 16 Force-stress curves of closed chock and seat

Table 17에 동일 모델에 대한 유한요소해석 결과와 강도시험 결과를 비교하였다. 강도평가시험의 경우 96 ton이 측정되었다.

해석결과 70.36 ton을 설계하중 요소 1.25와 허용응력요소 1.06을 감안하면, 해석을 통하여 안전율을 고려하지 않고 얻을 수 있는 실제 값은 82.78 ton이 된다. 이는 강도시험평가 결과인 96 ton은 실제 해석 수치인 82.78 ton의 약 1.16배에 해당하는 수치다. 두 가지 경우를 종합해 볼 때, 강도시험과 유한요소해석

결과, 초크의 허용응력 설계 관점에서 볼 때 합리적이라 판단 된다.

Table 17 Comparison between FEM analysis and strength test

Case	FEM analysis [ton]	Tensile test [ton]	Error [%]
Seat type (360 × 260 × 358)	82.78	96	16

4.2 클로즈드 초크 표준화 강도해석 결과

4.2.1 시트타입

가. 해석 조건

Table 18와 같이 세 가지 경우로 나누어 해석을 수행하였다. Alt. 1은 초크 단독으로 적용된 경우, Alt. 2는 하나의 초크와 시트가 결합된 경우 그리고, Alt. 3은 두 개의 초크와 시트가 결합된 경우이다. 세 가지 해석 경우 이외에, 우선 선체의 형상을 고려하여 해석을 수행하였다. Table 19 및 Fig. 17의 해석 결과, 선체에 걸리는 응력이 상대적으로 낮게 확인되므로 선체는 고려하지 않고 Alt. 1 ~ 3의 해석을 수행하였다.

나. 해석 결과

시트 타입에 대한 유한요소해석 결과를 Tables 20 ~ 22에 나타내었다. Tables 20 ~ 22에서 확인하는 바와 같이 3가지 경우, 10종 모두에서 목표 SWL을 초과하는 결과값이 나왔다.

Table 18 Analysis conditions for seat type

Alternative	Analysis condition
Alt. 1	Chock only
Alt. 2	Chock + Single seat
Alt. 3	Chocks + Double seats

Table 19 Result of FE analysis with hull

Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]		SWL [ton]		Target SWL [ton]
	Chock	Hull	Chock	Hull	
LC 1	2.85	1.69	83.49	120.32	46
LC 2	3.49	2.13	68.18	95.47	

* Nominal size : 310 × 260 × 358

Fig. 17 Result of FE analysis with hull (LC 1)

Alt. 1의 결과는 Table 20과 같다. 초크 단독으로 해석을 수행하여 얻은 결과 SWL은 각 공칭치수별 목표 SWL을 만족하며, 표

준화 대상으로 선정된 10종은 해석결과 범위 내에서 적절하다고 판단된다.

Table 20 Results of FE analysis for Alt. 1

Nominal size	Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]	SWL [ton]	Target SWL
		Chock	Chock	[ton]
310 $\times$ 260 $\times$ 358	LC 1	3.19	74.52	46
	LC 2	3.25	73.14	
360 $\times$ 260 $\times$ 358	LC 1	2.90	82.05	68
	LC 2	2.36	100.73	
400 $\times$ 250 $\times$ 381	LC 1	3.10	76.68	70
	LC 2	2.17	109.55	
450 $\times$ 250 $\times$ 381	LC 1	2.81	84.60	70
	LC 2	2.05	115.96	
500 $\times$ 250 $\times$ 381	LC 1	2.69	88.37	70
	LC 2	2.21	107.56	
400 $\times$ 250 $\times$ 428	LC 1	2.26	105.18	86
	LC 2	2.43	97.83	
450 $\times$ 250 $\times$ 428	LC 1	2.28	104.26	86
	LC 2	2.19	108.55	
500 $\times$ 250 $\times$ 428	LC 1	2.26	105.18	86
	LC 2	2.01	118.27	
500 $\times$ 400 $\times$ 428	LC 1	2.24	106.12	86
	LC 2	2.00	118.86	
500 $\times$ 400 $\times$ 525	LC 1	1.71	139.02	115
	LC 2	1.59	149.51	

Alt. 2의 결과는 Table 21과 같다. 시트가 결합된 초크를 해석하여 얻은 결과 SWL은 각 공칭치수별 목표 SWL을 만족하며, 표준화 대상으로 선정된 10종은 해석결과 범위 내에서 적절하다고 판단된다.

Table 21 Results of FE analysis for Alt. 2

Nominal size	Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]		SWL [ton]		Target SWL [ton]
		Chock	Seat	Chock	Seat	
310 × 260 × 358	LC 1	3.48	4.07	68.38	49.96	46
	LC 2	3.56	1.97	66.84	103.22	
360 × 260 × 358	LC 1	3.24	2.89	73.44	70.36	68
	LC 2	2.89	1.49	82.34	136.47	
400 × 250 × 381	LC 1	3.30	2.82	72.04	72.04	70
	LC 2	2.32	2.00	102.46	101.57	
450 × 250 × 381	LC 1	3.03	2.81	78.45	72.29	70
	LC 2	2.22	1.55	107.08	131.06	
500 × 250 × 381	LC 1	2.89	2.58	82.25	78.74	70
	LC 2	2.31	1.87	102.91	108.63	
400 × 250 × 428	LC 1	2.43	2.22	97.83	91.50	86
	LC 2	2.53	1.07	93.96	189.85	
450 × 250 × 428	LC 1	2.44	1.95	97.42	104.17	86
	LC 2	2.26	1.22	105.18	166.51	
500 × 250 × 428	LC 1	2.43	1.86	97.83	109.21	86
	LC 2	2.05	1.26	115.96	161.22	
500 × 400 × 428	LC 1	2.34	2.17	101.59	93.61	86
	LC 2	2.10	1.32	113.20	153.89	
500 × 400 × 525	LC 1	1.77	1.62	134.30	125.39	115
	LC 2	1.68	1.01	141.50	201.13	

Alt. 3의 결과는 Table 22와 같다. 두 개의 초크와 결합된 시트를 해석하여 얻은 결과 SWL은 각 공칭치수별 목표 SWL을 만족하며, 표준화 대상으로 선정된 10종은 해석결과 범위 내에서 적절하다고 판단된다.

Table 22 Results of FE analysis for Alt. 3

Nominal size	Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]		SWL [ton]		Target SWL [ton]
		Chock	Seat	Chock	Seat	
310 × 260 × 358	LC 1	3.54	4.24	67.22	47.96	46
	LC 2	3.42	2.14	69.58	95.02	
360 × 260 × 358	LC 1	3.20	2.87	74.36	70.85	68
	LC 2	2.92	1.48	81.49	137.40	
400 × 250 × 381	LC 1	3.30	2.89	72.04	70.29	70
	LC 2	2.29	1.57	103.81	129.39	
450 × 250 × 381	LC 1	3.05	2.82	77.94	72.04	70
	LC 2	2.22	1.56	107.08	130.22	
500 × 250 × 381	LC 1	2.91	2.60	81.69	78.13	70
	LC 2	2.32	1.77	102.46	114.77	
400 × 250 × 428	LC 1	2.46	2.24	96.63	90.69	86
	LC 2	2.53	1.10	93.96	184.67	
450 × 250 × 428	LC 1	2.46	1.95	96.63	104.17	86
	LC 2	2.26	1.24	105.18	163.82	
500 × 250 × 428	LC 1	2.49	2.09	95.47	97.20	86
	LC 2	2.09	1.58	113.74	128.57	
500 × 400 × 428	LC 1	2.34	2.23	101.59	91.09	86
	LC 2	2.10	1.33	113.20	152.74	
500 × 400 × 525	LC 1	1.72	1.72	138.21	118.10	115
	LC 2	1.66	1.10	143.20	184.67	

4.2.2 불워크 타입

가. 해석 조건

Table 23과 같이 두가지 경우로 나누어 해석을 수행하였다. Alt. 4는 초크 단독으로 적용된 경우, Alt. 5는 초크와 불워크가 결합된 경우이다.

나. 해석 결과

불워크 타입에 대한 유한요소해석 결과를 Tables 24 ~ 25에 나타내었다. Tables 24 ~ 25에서 확인하는 바와 같이 2가지 경우, 10종 모두에서 목표 SWL을 초과하여 만족한 결과가 나왔다.

Table 23 Analysis conditions for bulwark type

Alternative	Analysis conditions
Alt. 4	Chock
Alt. 5	Chock + Bulwark

Alt. 4의 결과는 Table 24와 같다. 초크 단독으로 해석을 수행한 결과 SWL은 각 공칭치수별 목표 SWL을 만족하며, 표준화 대상으로 선정된 10종은 해석결과 범위 내에서 적절하다고 판단된다.

Table 24 Results of FE analysis for Alt. 4

Nominal size	Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]		SWL [ton]		Target SWL [ton]
		Chock	Bulwark	Chock	Bulwark	
310 × 260 × 358	LC 1	2.37		100.30		46
	LC 2	1.98		120.06		
360 × 260 × 358	LC 1	2.18		109.04		68
	LC 2	1.88		126.45		
400 × 250 × 381	LC 1	2.86		83.20		70
	LC 2	2.85		83.49		
450 × 250 × 381	LC 1	2.89		82.34		70
	LC 2	2.72		87.48		
500 × 250 × 381	LC 1	2.86		83.20		70
	LC 2	2.77		85.91		
400 × 250 × 428	LC 1	2.12		112.24		86
	LC 2	2.15		110.68		
450 × 250 × 428	LC 1	2.12		112.24		86
	LC 2	2.15		110.68		
500 × 250 × 428	LC 1	2.12		112.24		86
	LC 2	2.15		110.68		
500 × 400 × 428	LC 1	2.10		113.31		86
	LC 2	2.16		110.17		
500 × 400 × 525	LC 1	1.63		145.99		115
	LC 2	1.55		153.52		

Alt. 5의 결과는 Table 25와 같다. 불워크가 결합된 초크를 해석하여 얻은 결과 SWL은 각 공칭치수별 목표 SWL을 만족하며, 표준화 대상으로 선정된 10종은 해석결과 범위 내에서 적절하다고 판단된다.

Table 25 Results of FE analysis for Alt. 5

Nominal size	Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]		SWL [ton]		Target SWL [ton]
		Chock	Bulwark	Chock	Bulwark	
310 × 260 × 358	LC 1	3.20	2.76	74.36	73.68	46
	LC 2	2.27	2.63	104.83	77.32	
360 × 260 × 358	LC 1	2.86	2.54	83.20	80.06	68
	LC 2	2.07	2.53	114.96	80.37	
400 × 250 × 381	LC 1	3.36	2.72	70.82	74.76	70
	LC 2	2.83	2.05	84.08	99.19	
450 × 250 × 381	LC 1	3.11	2.68	76.51	75.88	70
	LC 2	2.60	2.06	91.52	98.71	
500 × 250 × 381	LC 1	3.22	2.50	73.90	81.34	70
	LC 2	2.63	1.96	90.48	103.75	
400 × 250 × 428	LC 1	2.61	1.98	91.17	102.70	86
	LC 2	2.20	2.13	108.16	95.47	
450 × 250 × 428	LC 1	2.61	1.94	91.17	104.82	86
	LC 2	2.19	2.35	108.66	86.53	
500 × 250 × 428	LC 1	2.56	1.93	92.95	105.36	86
	LC 2	2.13	2.06	111.72	98.71	
500 × 400 × 428	LC 1	2.52	2.00	94.43	101.67	86
	LC 2	2.23	2.13	106.71	95.47	
500 × 400 × 525	LC 1	1.89	1.60	125.90	127.09	115
	LC 2	1.38	1.71	172.43	118.92	

4.3 파라메트릭 해석 결과

4.3.1 시트 타입

시트 타입 초크 (nominal size: 360 × 260 × 358)의 설계 변수인 초크의 두께와 시트의 두께, 시트 플레이트 전면부 두께에 따라 파라메트릭 해석을 수행하였다. 해석 결과를 초크 단독, 초크와 싱글 시트, 더블 초크와 더블 시트의 경우로 나누어 Tables 26 ~ 28에 각각 나타내었다.

Table 26 Results of parametric analysis for chock only

Case	Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]	SWL [ton]	Target SWL [ton]
		Chock	Chock	
1	LC 1	3.03	78.45	68
	LC 2	2.64	90.04	
2	LC 1	2.90	82.05	68
	LC 2	2.36	100.73	
3	LC 1	3.29	72.25	68
	LC 2	2.98	79.77	
4	LC 1	3.03	78.45	68
	LC 2	2.74	86.76	

Table 27 Results of parametric analysis for one chock and single seat

Case	Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]		SWL [ton]		Target SWL [ton]
		Chock	Seat	Chock	Seat	
1	LC 1	3.25	3.28	73.22	62.00	68
	LC 2	2.89	1.62	82.34	125.52	
2	LC 1	3.24	2.89	73.44	70.36	68
	LC 2	2.89	1.49	82.34	136.47	
3	LC 1	3.50	2.91	67.99	69.88	68
	LC 2	3.24	1.56	73.44	130.35	
4	LC 1	3.25	2.91	73.22	69.88	68
	LC 2	3.00	1.60	79.32	127.09	

Table 28 Results of parametric analysis for two chocks and double seats

Case	Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]		SWL [ton]		Target SWL [ton]
		Chock	Seat	Chock	Seat	
1	LC 1	3.21	2.96	74.13	68.70	68
	LC 2	2.92	1.52	81.49	133.78	
2	LC 1	3.20	2.87	74.36	70.85	68
	LC 2	2.92	1.48	81.49	137.40	
3	LC 1	3.41	2.88	69.78	70.61	68
	LC 2	3.15	1.53	75.54	132.91	
4	LC 1	3.42	3.10	69.58	65.60	68
	LC 2	3.16	1.62	75.30	125.52	

Case 1의 해석 결과를 Tables 26 ~ 28에 나타내었다. 초크 단독일 경우와 초크와 더블 시트인 경우에는 목표 SWL을 만족하

지만 초크와 싱글 시트인 경우 시트의 계산된 SWL값은 62.0[ton]으로 목표 SWL인 68.0에 미치지 못하였다.

Case 2에서는 Case 1의 해석 결과를 바탕으로 시트의 두께를 2[mm]증가시켜 해석을 수행하였으며, 모든 경우에 목표 SWL을 만족하였다.

Case 3의 경우 Case 2의 해석 결과를 바탕으로 초크의 두께를 2[mm] 감소시켜 해석을 수행하였으며, 초크와 싱글 시트의 경우 계산된 최소 SWL값은 67.99[ton]으로 목표 SWL인 68.0[ton]에 미치지 못하였다.

Case 4의 경우 Case 2의 해석 결과를 바탕으로 초크의 두께를 2[mm] 감소시켜 해석을 수행하였으며, 초크와 싱글 시트의 경우 시트 전방 플레이트의 계산된 최소 SWL값은 65.60[ton]으로 목표 SWL인 68.0[ton]에 미치지 못하였다.

따라서 Case 2가 모든 경우에 목표 SWL을 만족하였으므로, 이를 최종 치수로 선정하였으며 Table 29에 나타내었다.

Table 29 Final dimensions of seat type chock

Case	Chock	Seat	Plate
	T_c [mm]	T [mm]	T_1 [mm]
2	34	18	24

4.3.2 불워크 타입

불워크 타입 초크(nominal size : 500 × 250 × 428)의 설계 변수인 초크의 두께와 브라켓의 두께에 따라 파라메트릭 해석을 수행하였으며 해석 결과를 초크 단독, 초크와 불워크의 경우로 나누어 Tables 30 ~ 31에 나타내었다.

Table 30 Results of parametric analysis for chock only

Case	Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]	SWL [ton]	Target SWL [ton]
		Chock	Chock	
1	LC 1	2.12	112.24	86
	LC 2	2.15	110.68	
2	LC 1	2.12	112.24	86
	LC 2	2.15	110.68	
3	LC 1	2.37	100.40	86
	LC 2	2.41	98.74	

Table 31 Results of parametric analysis for chock and bulwark

Case	Load condition	Von-Mises stress [$\times 10^{-4}$ MPa]		SWL [ton]		Target SWL [ton]
		Chock	Bulwark	Chock	Bulwark	
1	LC 1	2.61	2.40	91.17	84.73	86
	LC 2	2.15	2.41	110.68	84.38	
2	LC 1	2.56	1.93	92.38	105.36	86
	LC 2	2.13	2.06	111.72	98.71	
3	LC 1	2.88	2.07	82.62	98.24	86
	LC 2	2.40	2.12	99.15	95.92	

Case 1의 해석 결과를 Tables 30 ~ 31에 나타내었다. 초크 단독일 경우와 초크와 불워크인 경우에는 목표 SWL을 만족하지 만 초크와 불워크인 경우 초크와 시트의 계산된 SWL값은 84.73[ton], 84.38[ton]로 목표 SWL인 86[ton]에 미치지 못하였다.

Case 2에서는 Case 1의 해석 결과를 바탕으로 시트의 두께를 2[mm]증가시켜 해석을 수행하였으며, 모든 경우에 목표 SWL을 만족하였다.

Case 3의 경우 Case 2의 해석 결과를 바탕으로 초크의 두께를 2[mm] 감소시켜 해석을 수행하였으며, 초크와 불워크의 경우 초크의 계산된 최소 SWL값은 82.62[ton]으로 목표 SWL인 86[ton]에 미치지 못하였다.

따라서, Case 2가 모든 경우에 목표 SWL을 만족하였으므로, 이를 최종 치수로 선정하였으며 Table 32에 나타내었다.

결론적으로 본 파라메트릭 방법을 통해 Tables 2 ~ 5의 치수가 결정되었고, 4장의 해석 결과를 통해 각 치수별 해석 대상들이 목표 SWL을 만족함을 확인하였다.

Table 32 Final dimensions of bulwark type chock

Case	Chock	Plate
	T_c [mm]	T_b [mm]
2	40	24

5. 결 론

본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 선박계류장치 중 가장 일반적으로 많이 사용되고 있는 클로즈드 형에 대한 강도 해석을 수행하여 표준화 작업을 수행하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 클로즈드 초크의 유한요소법을 이용한 강도 해석을 수행하였고 이를 검증하기 위해 실제 강도 실험의 결과와 비교하였다. 유한요소해석과 실험 결과는 약 16%의 오차를 보이며 비교적 잘 일치하였다.

2. 유한요소해석을 통해 얻어지는 취약 부위에 대한 정보를 바탕으로 강도 실험을 수행한다면, 오차를 줄일 수 있고, 더욱 정확한 결과값을 얻을 수 있으리라 판단된다.

3. 클로즈드 초크 구조 부재의 두께와 강도 사이의 영향을 분석하기 위해 파라메트릭 해석에 따른 SWL의 적용이 적절한 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과를 바탕으로 나머지 다양한 크기의 클로즈드 초크에 대해서도 유한요소해석을 수행하여 표준화 대상에 대한 검증 작업을 실시하였다.

4. 클로즈드 초크의 표준화 작업을 통해 대형 및 중소 조선사들에게 표준을 제공하여 선박의 표류, 선체의 손상으로 인한 선박유의 유출 등 대형사고 방지를 위한 기초 자료를 제시하였다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- Cha, J.H., 2009. Improvement Directions of Ship Equipment Standards. *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(2), pp.10-16.
- IACS., 2004. *Shipboard fittings and supporting hull structures associated with towing and mooring on conventional vessels (IACS UR A2)*.
- IACS., 2011. *Common structural rules for bulk carriers*.
- ISO 3913., 1977. *Shipbuilding - Welded Steel Bollards*. 1st Ed.
- JIS F 2001-1995., 1995. *Bollards*.
- KOMERI., 2008. *Mooring Fitting SWL Standard (Dry Cargo Ship) Summary*.
- KOMERI., 2008. *Mooring Fitting SWL Standard (Dry Cargo Ship) Final Report*.
- KS V 4011., 2009. *Seats for closed chocks*.
- OCIMF., 1997. *Mooring Equipment Guidelines*. 2nd Ed.
- Oh, J.R., 2009. Global Standard for Ship Mooring Equipment. *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(2), pp.17-20.
- Oh, C.M. Choung, J.M. & Cho, S.R., 2006. Ultimate Strength Assessment of Bollard and Its Foundation Considering Production Costs. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(5), pp.604-610.

정재욱

이병훈