

생산성을 고려한 볼라드 및 볼라드 지지 구조의 최종강도 평가

오창민^{†*}, 정준모^{*}, 조상래^{**}

현대중공업(주)^{*}, 울산대학교 조선해양공학부^{**}

Ultimate Strength Assessment of Bollard and Its Foundation Considering Production Costs

Chang-Min Oh^{†*}, Joonmo Choung^{*} and Sang-Rai Cho^{**}

Hyundai Heavy Industries Co.,LTD^{*}

School of Naval Architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan^{**}

Abstract

Common structural rules of JBP(Joint Bulker Project) and JTP(Joint Tanker Project), which will come into effect in 2006, invoke the necessity of the ultimate limit state(ULS) design for ship structures. Even though the many applications of ULS analysis have been performed for ship structures, there have few studies carried out for deck machineries and their supporting structures. Recently four major Korean shipbuilders(DSME, HHI, HHIC, SHI) jointly developed and proposed a new design standards for mooring fittings and also proposed the SWL (Safety Working Load) obtained based on the first yield criterion. In this study, various ultimate strength analyses were performed for bollards and their foundation structures whose yield strengths were quantified by the research consortium. Prior to performing the ultimate strength analyses, the numerical calculation method was substantiated with the test results provided in the joint work report. Based upon the results of this study, it can be concluded that the reinforcements to increase the yield strength are not always resulted in the enhancement of the ultimate strength. Furthermore, the additional production costs for the reinforcements can not be rewarded by the ultimate strength. Therefore, another alternative arrangements should be developed in the view point of ultimate strength.

※Keywords: Mooring fitting(계류장치), Bollard(볼라드), Ultimate strength(최종강도), Yield strength(항복강도), SWL(Safety Working Load, 안전작업하중)

접수일: 2006년 5월 12일, 승인일: 2006년 9월 13일

†교신저자: crow@hhi.co.kr, 052-230-3629

1. 서론

최근 국제선급연합(IACS)에서는 이중선체유조선(IACS 2004b) 과 산적화물선(IACS 2004a)에 관한 공동구조규칙을 제정하고 이를 적용하고 있다. 이 규칙은 이전의 것과 많은 차이를 보이고 있는데 대표적인 것이 구조물의 최종강도를 기준으로 설계를 수행하는 것이다. 하지만 아직은 종강도 등 주요 강도 부재에만 최종강도 기준을 적용하고 있고, 국부구조물의 구조설계는 여전히 항복강도를 기준으로 설계를 하고 있다.

본 연구에서는 국부구조물의 구조설계도 최종강도를 기준으로 수행하기 위한 예비 연구로 선박의 계류장치의 하나인 볼라드와 이의 지지 구조에 대한 항복강도와 최종강도를 비교하고 항복강도를 기준으로 수행한 설계 결과의 유효성을 검토하고자 한다.

계류장치(Mooring fitting)는 조류력, 풍하중, 파랑하중 등으로부터 선박을 안벽에 고박하기 위하여 선박에 설치되는 의장품이다.

따라서 계류장치는 종류나 크기에 관계없이 모든 선박에 설치되는 필수적인 선체 구조물이다. 계류장치는 계류 로프, 윈치, 초크, 볼라드, 비트 등 상당히 다양한 품목이 있으므로 각 품목에 대한 정량적인 강도평가를 위해서는 우선 계류 장치에 작용하는 하중(계류력)을 추정해야 한다. 통상적으로 기본설계 단계에서 선박에 작용하는 각종 유체력 계산을 통하여 각 선급에서 제시하는 의장수가 결정되고 이로부터 선체의 각 부분에 작용하는 계류력이 결정된다. 각 조선소의 경우 설계 또는 해석의 편의를 위해 계류장치와 선체구조의 강도를 별도로 평가하는 것이 일반적이다. 그러나 계류장치가 선체구조와의 상호 작용으로 인한 구조의 실제 거동특성을 파악하는 것도 중요하다.

국내 주요 조선 4 사(대우조선해양, 삼성중공업, 한진중공업, 현대중공업)는 2003 년도부터 소위원회를 구성하여 약 2 년여에 걸쳐 탱커선에 적용되는 대부분의 계류장치와 그 지지구조물에 대한 설계 및 SWL 표준화 작업을 수행한 바 있다.

소위원회의 연구결과에 의하면 계류장치와 선체를 합리적인 크기의 유한요소로 모델링하고 구조해석을 수행하여 재료의 항복강도(의장품의 허용응력은 인장강도의 67%)를 허용응력으로 간주한 선체의 SWL 을 제안하였다(MOORING FITTING 사양 및 SWL 표준화 소위원회 2003).

본 연구에서는 상기 소위원회에서 발간한 “ MOORING FITTING 사양 및 SWL 표준화 ” 보고서에 제시된 볼라드와 지지 구조에 대하여 비선형 최종강도 해석을 수행하여 구조물이 견딜 수 있는 최대 하중을 산정하며, 보고서에 제시된 항복강도 기준의 SWL 과 비교 검토한다. 그리고 항복강도 기준 SWL 을 만족하기 위해 보강된 볼라드 하부의 선체구조와 초기 선체구조에 대한 강도대비 건조비를 평가하여 구조물의 효율성을 검토하고자 한다.

2. 볼라드의 일반

2.1 계류력 산정

볼라드에 작용하는 하중은 실선에 적용할 로프(Actual rope)의 MBL (Minimum Breaking Load) 또는 MBL 에 적절한 안전계수를 적용한 하중으로 간주된다. 그러나 선주의 요구사항 등으로 인하여 실제 사용할 로프의 강도는 의장수로부터 결정된 로프의 강도보다 상대적으로 크기 때문에 의장수로부터 결정된 MBL 을 설계하중으로 사용하는 것이 타당하다. OCIMF(Oil Companies International Marine Forum)(1997) 및 IACS(International Association of Classification Societies) UR(Unified Requirements) A2(Mooring and Anchoring)(2004c)는 실제 사용 로프 MBL 의 2 배를 SWL 로 사용할 것을 요구하고 있다. 그러나 IMO(International Marine Organization) MSC (Maritime Safety Committee) 80 차 결의안을 통하여 결정된 새로운 SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) 규정(2007 년 발효 예정)은 의장수에 근거한 하중의 1.25 배를 설계하중으로 적용 할 것을 명시하고 있다. 따라서 선박용 계류장치의

SWL 로서 SOLAS 규정에 따른 하중을 강도 평가에 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

2.2 볼라드 형상

각 조선소는 JIS(Japan Industrial Standards)형(JIS 2001)과 DIN(Deutsche Industric Normen)형(DIN 2001)의 볼라드를 모두 표준으로 적용하고 있지만, Fig. 1 에 보는 바와 같이 DIN형 볼라드의 중량이 JIS 형에 비하여 가벼운 편이고, 구조가 단순하기 때문에 각 조선소는 DIN 형의 볼라드를 주로 사용하고 있다.

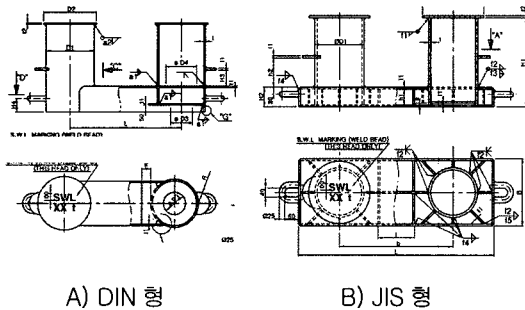


Fig. 1 Type of bollard

2.3 재질

볼라드는 강판을 말아서 제작하는데 강판의 재질은 SS400(C<=0.21%, 항복점=235MPa 이상, 탄성계수=207GPa, 프와송비=0.3)이다(한국산업규격 1998).

3. 구조해석 모델

본 연구에서는 별도의 구조해석 모델을 생성하지 않고 “MOORING FITTING 사양 및 SWL 표준화” 에서 제시된 해석모델을 그대로 적용하였다.

볼라드의 배치 방향에 따라 종방향과 횡방향 두 가지로 구분되었다(Fig. 2 참조). 적용된 선종은 유조선이었으며 크기(DWT)에 따라 75K, 150K, 300K 로 분류되었다. 선체 하부 보강 방법에 따라 초기모델과 개선모델로 구분되었다(Table 1 참조).

모델의 범위는 횡방향 프레임 3 개, 종보강재 5-6 개 정도이고, 사용된 요소는 2 차원 판 요소이며, 각 모델은 9000-12000 여 개의 요소로 구성되었으며 요소의 크기는 100mm 를 기준으로 하였다(Fig. 3 참조).

선체 구조의 재질은 연강(Mild steel, 항복응력=235MPa)과 고장력강(High Tensile Steel, 항복응력=315MPa)이 사용되었고, 탄성 계수는 207GPa, 프와송비는 0.3 이 적용되었다. 정수 굽힘모멘트와 부식 여유는 고려하지 않았다.

Fig. 4 에서 보는 바와 같이 갑판의 경계선에 대하여 모든 병진 변위는 구속하고 회전 변위는 구속하지 않았다.

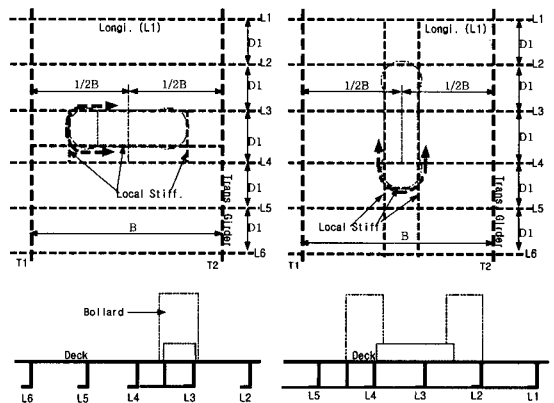


Fig. 2 Typical hull structure for bollard

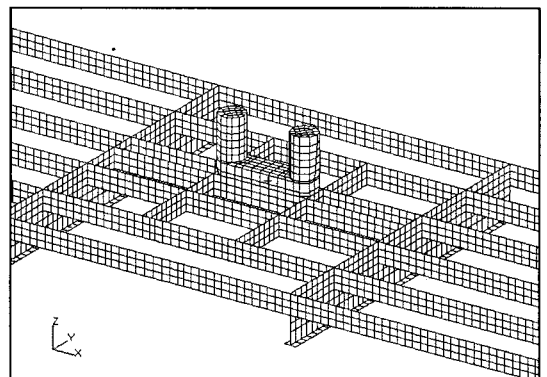


Fig. 3 Analysis model

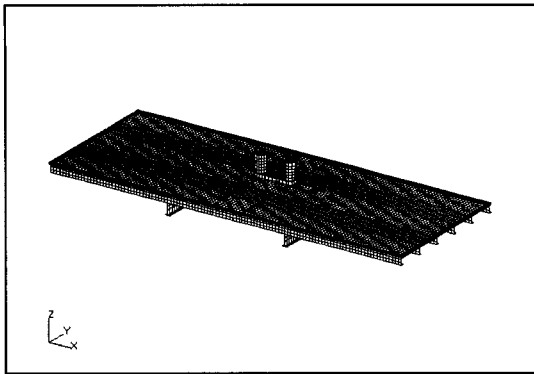
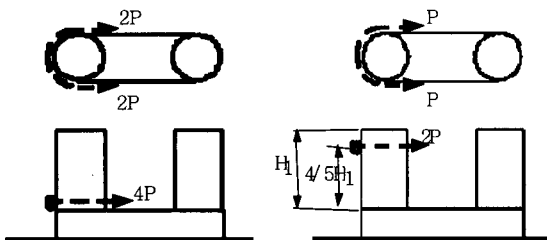


Fig. 4 Boundary condition of analysis model

Table 1 Scantling of hull structure

| Vessel Dimension | 75K COT | 150K COT | 300K COT |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Dk plate | 15.5/AH32 | 16.5/AH32 | 18.0/AH32 |
| T-Girder | 600X10+ 150X16(T) | 800X12+ 150X16(T) | 800X12+ 200X16(T) |
| Dk Longi. | 250X90 X12/16 AH32 | 300X90 X13/17 AH32 | 350X100 X12/17 AH32 |
| Local Stiff (Before Alt.) | 200X12 F.B | 250X14 F.B | 300X14 F.B |
| Local Stiff (After Alt.) | 250X90 X12/16 AH32 | 300X90 X13/17 AH32 | 350X100 X12/17 AH32 |
| Longi. Stiff. space | 850 | 880 | 1180 |
| Tran. Frame space | 3800 | 4800 | 5700 |



a) For shear strength calculation b) For bending strength calculation

Fig. 5 Load application

ISO 3913(1977) 및 JIS F2001-1995 (1995)에서는 전단응력을 평가하기 위하여 2 개의 로프가 8 자갈이 되는 경우(Fig.5(a) 참조)와 굽힘응력을 평가하기 위하여 1 개의 로프가 8 자갈이 되는 경우(Fig.5(b) 참조)를 명시하고 있다. 표준화 보고서에서와 마찬가지로 본 연구에서는 구조적 변형이 심각할 것으로 예측되는 Fig.5(b)의 경우에 대한 하중만을 고려하였다.

그리고 발생하는 응력의 대부분이 인장응력이기 때문에 초기변형이 전체 구조물에 미치는 영향이 작다고 판단하여 최종강도 해석에서는 고려하지 않았다.

유한 요소 해석을 위한 전후 처리기로서 MSC.Patran(MSC SOFTWARE 2004)을 사용하였고, Abaqus/Standard(ABAQUS 2004)를 이용하여 최종강도 해석을 수행하였다.

4. 해석 결과

4.1 해석결과와 검증

본 연구에서 사용한 해석 방법의 신뢰성을 검증하기 위하여 MOORING FITTING SWL 표준화 소위원회에서 2003 년 실시한 호칭크기 450 DIN 형 볼라드의 인장강도 시험(Fig. 6) 결과와 비선형 해석 결과를 비교하였다.



Fig. 6 Layout of tensile strength test for 450DM bollard

Fig. 7 에서 ANALYSIS1 및 ANALYSIS2 는 각각 공칭항복응력 및 실재료 인장시험결과를 적용한 경우를 의미한다. 재료의 항복응력으로 공칭항복응력을 사용한 ANALYSIS1 의 최종 강도는 시험결과와 비교적 큰 편차를 보이는 것으로 나타났지만 재료 인장시험결과와 항복응력을 사용한 ANALYSIS2 의 경우 시험 결과와 비교적 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 ANALYSIS2 의 초기 강성이 시험에 비하여 크게 나타났다. 이는 실험할 때 인장시험기, 셔클, 로프 등의 유격으로 인하여 초기 강성이 작게 나타나는 것으로 추정된다. 또한 시험 대상 블라드의 하부 구조는 완전 고정인 것이 아닌 점도 원인으로 볼 수 있다. 따라서 전반적으로 본 연구에서 실시된 비선형 최종강도 해석은 적절하다고 판단된다.

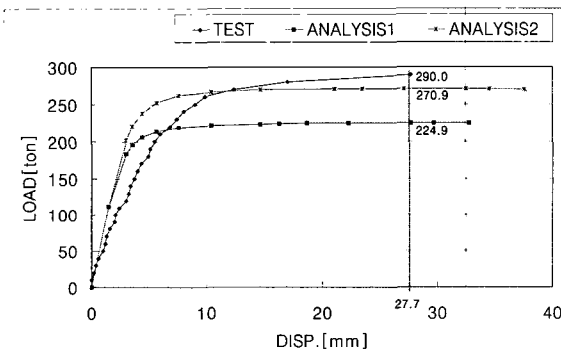


Fig. 7 Comparison of non-linear analysis results of 450DM bollard with test results

4.2 최종강도 평가

블라드를 포함한 지지구조는 Table 2 에서 보는 바와 같이 최종강도가 항복강도의 2-4 배 이상의 값을 가지는 것을 알 수 있다. 단, 강도의 직접 비교를 위하여 안전계수는 고려하지 않았다.

블라드만 해석한 경우 Table 3 에서 보는 바와 같이 최종강도가 항복강도의 2.5 배 이상의 값을 가지는 것을 알 수 있다.

호칭경 350, 450, 550 블라드를 포함한 지지 구조에 대한 변위와 반력의 관계를 Fig. 8 에 나타내었다. 이는 각각의 선종과 배치에 대한

보강전/후 구조해석결과를 의미한다. 보강구조의 강도를 초기모델의 강도로 나눈 값을 강도비라 정의할 때 항복강도비와 최종강도비를 살펴보면

Table 2 Comparison of yield strength and ultimate strength (in case of bollard and its foundation structure)

| Bollard size | Ship size | Case | P _y [tonf] | | P _u [tonf] | | P _u /P _y | |
|--------------|-----------|------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|--------------------------------|-------|
| | | | Long. | Tran. | Long. | Tran. | Long. | Tran. |
| 350DM | 75K | Org. | 25.7 | 28.5 | 122.1 | 107.2 | 4.75 | 3.76 |
| | | COT | Alt. | 44.1 | 59.6 | 131.2 | 137.4 | 2.98 |
| | 150K | Org. | 32.1 | 36.0 | 130.6 | 119.9 | 4.07 | 3.33 |
| | | COT | Alt. | 51.6 | 65.3 | 136.7 | 138.5 | 2.65 |
| 450DM | 75K | Org. | 28.6 | 37.9 | 152.8 | 162.3 | 5.34 | 4.28 |
| | | COT | Alt. | 67.5 | 62.6 | 175.3 | 183.3 | 2.60 |
| | 150K | Org. | 35.9 | 46.9 | 169.6 | 175.4 | 4.72 | 3.74 |
| | | COT | Alt. | 65.7 | 70.3 | 190.3 | 196.9 | 2.90 |
| 550DM | 150K | Org. | 48.1 | 58.4 | 236.3 | 241.1 | 4.91 | 4.13 |
| | | COT | Alt. | 85.6 | 94.7 | 270.3 | 278.6 | 3.16 |
| | 300K | Org. | 51.3 | 52.0 | 246.1 | 236.7 | 4.80 | 4.55 |
| | | COT | Alt. | 86.6 | 84.7 | 275.2 | 273.5 | 3.18 |

Table 3 Comparison of yield strength and ultimate strength of bollard only

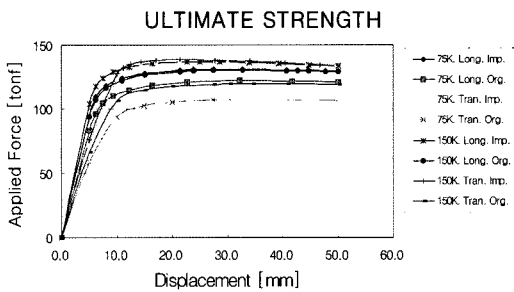
| Bollard size | P _y [tonf] | P _u [tonf] | P _u /P _y |
|--------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 350DM | 53.1 | 139.5 | 2.63 |
| 450DM | 90.4 | 224.9 | 2.49 |
| 550DM | 137.6 | 350.3 | 2.54 |

Table 4 Comparison of strengths after and before alternation of bollard foundation structures

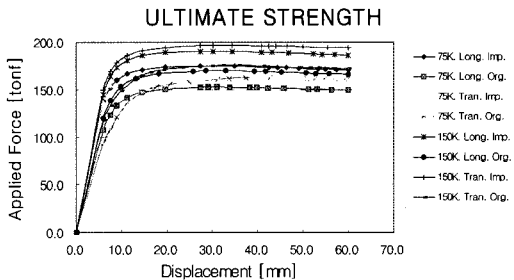
| Bollard size | Ship size | Alt./Org. (P _y) | | Alt./Org. (P _u) | |
|--------------|-----------|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| | | Longl. | Trans. | Longl. | Trans. |
| 350DM | 75K COT | 1.72 | 2.09 | 1.07 | 1.28 |
| | 150K COT | 1.61 | 1.81 | 1.05 | 1.16 |
| 450DM | 75K COT | 2.36 | 1.65 | 1.15 | 1.13 |
| | 150K COT | 1.83 | 1.50 | 1.12 | 1.12 |
| 550DM | 150K COT | 1.78 | 1.62 | 1.14 | 1.16 |
| | 300K COT | 1.69 | 1.63 | 1.12 | 1.16 |

Table 4 에서 보는 바와 같이 항복강도를 기준으로 볼 때 개선전/후의 강도 변화가 크다. 그러나 최종강도 측면에서 볼 때 개선전/후 강도 변화가 상대적으로 작음을 확인할 수 있다.

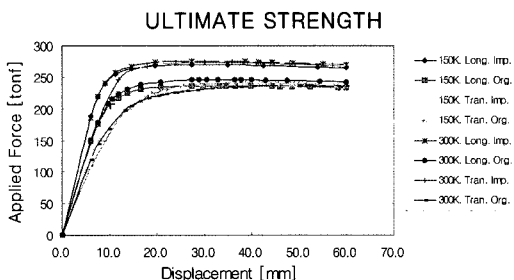
즉 최종강도의 관점에서 현재의 보강방법은 크게 효과적이지 않음을 의미한다. 해석결과의 자세한 내용은 오창민(2005)에 수록되어 있다.



(a) 350DM bollard and its foundation structure



(b) 450DM bollard and its foundation structure



(c) 550DM bollard and its foundation structure

Fig. 8 Ultimate strength of bollard and its foundation structure

4.3 생산비 평가

볼라드 지지 구조 보강전/후의 강재사용량과 생산비의 경우 Table 5 에서 보는 바와 같이 보강전/후의 모델에 대하여 생산비와 강재 사용량을 비교하여 보면 강재 사용량은 1.3 배 이상, 생산비는 1.2 배 이상이 소요된다는 것을 확인할 수 있다. 생산비는 강재 가격과 생산 공수로 이루어져 있으며, 현대중공업에서 사용중인 기준을 따라 산출하였다.

Table 5 Comparison of weight and cost after and before alteration of bollard foundation structures

| Bollard size | Ship size | Alt./Org. (WEIGHT) | | Alt./Org. (COST) | |
|--------------|-----------|--------------------|--------|------------------|--------|
| | | Longl. | Trans. | Longl. | Trans. |
| 350DM | 75K COT | 2.06 | 2.08 | 1.92 | 1.50 |
| | 150K COT | 1.82 | 1.71 | 1.77 | 1.39 |
| 450DM | 75K COT | 1.73 | 1.81 | 1.61 | 1.42 |
| | 150K COT | 2.98 | 1.49 | 2.38 | 1.28 |
| 550DM | 150K COT | 2.29 | 1.49 | 2.01 | 1.28 |
| | 300K COT | 2.15 | 1.36 | 1.97 | 1.22 |

5. 결론

본 연구에서는 선체 종강도 뿐만 아니라 국부 구조물에서도 항복강도 기준이 아닌 최종 강도를 고려한 설계가 필요함을 확인하기 위하여 볼라드 및 이를 지지하는 하부 구조를 대상으로 구조물의 비선형 최종강도 해석을 수행하였으며 이를 통해 다음의 사실을 알 수 있었다.

첫째, Table 2, 3 에서 보는 바와 같이 볼라드와 이를 지지하는 하부 구조는 최초 항복점(P_y) 도달 후에도 아주 많은 잉여강도를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 이로 인해 최종강도(P_U)는 항복강도의 2-4 배 이상의 값을 가진다.

둘째, Table 4 에서 보는 바와 같이 항복강도를 기준으로 판단할 때 볼라드 지지 구조의 보강후 모델은 초기 모델에 비하여 1.5 배 이상의 강도를 가지는 것을 알 수 있다. 하지만, 최종강도를

기준으로 보면 보강전/후 모델 강도 차이가 크지 않음을 확인할 수 있다.

셋째, Table 5 에서 보는 바와 같이 블라드 지지 구조 보강전/후의 모델에 대하여 생산비와 강재 사용량을 비교하여 보면 강재 사용량은 1.3 배 이상, 생산비는 1.2 배 이상이 소요되지만 최종강도 측면에서는 강재와 생산비를 추가로 투입하여도 보강효과를 기대하기는 힘들다. 이는 항복강도 개념의 설계에서 최종강도 개념의 설계로 변경한다면 생산비와 강재 사용량에 대한 개념 뿐만 아니라 보강방법에 대한 개념 또한 바뀌어야 한다는 것을 뜻한다.

위와 같은 사실을 기준으로 최종강도 개념을 고려한 블라드와 그 지지 구조의 표준화로 변경한다면 다음과 같은 방법을 제시할 수 있다.

첫째, 현재 항복강도를 기준으로 설정된 SWL 을 최종강도를 기준으로 설정하여 현재 표준화된 구조의 SWL 을 새로이 정립한다.

둘째, 현재의 SWL 을 가지도록 생산자 측면에서 강재 사용량과 생산비를 고려한 새로운 블라드 및 지지 구조를 제안한다.

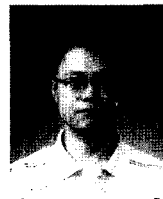
본 연구에서는 강도의 직접 비교를 위하여 최종강도에 대한 안전계수를 고려하지 않았다. 최종강도 평가에 의한 설계가 이루어지기 위해서는 무엇보다도 현실적인 안전계수 선정이 중요할 것으로 판단된다. 그러기 위해서는 선주, 선급 및 조선소 모두가 납득할 수 있는 안전계수를 결정하기 위하여 최종강도에 대한 많은 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- MOORING FITTING 사양 및 SWL 표준화 소위원회, 2003, MOORING FITTING 사양 및 SWL 표준화 보고서, Group E : BOLLARD,

한국조선공업협회.

- 오창민, 2005, 블라드와 지지 구조의 최종강도 평가, 울산대학교 자동차선박기술대학원 공학 석사학위논문.
- 한국산업규격, 1998, 일반 구조용 압연 강재 (KS D 3503:1998).
- ABAQUS, 2004, ABAQUS/STANDARD User Manual.
- Deutsche Industrie Normen(DIN), 2001, DIN.
- IACS, 2004a, Common Structural Rules for Bulk Carriers.
- IACS, 2004b, Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers.
- IACS, 2004c, Shipboard fittings and supporting hull structures associated with towing and mooring on conventional vessels(IACS UR A2).
- ISO, 1977, Shipbuilding-Welded Steel Bollards (ISO 3913-1977), First Edition.
- Japanese Industrial Standards(JIS), 1995, JIS F2001-1995.
- Japanese Industrial Standards(JIS), 2001, JIS F.
- MSC SOFTWARE, 2004, MSC Reference Manual.
- Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), 1997, Mooring Equipment Guidelines Second-Edition.



< 오 창 민 >



< 정 준 모 >



< 조 상 래 >