

Lifting lug의 설계 절차 및 강도해석 방법에 대한 고찰

서순기^{1,†} · 김경래¹ · 엄성섭¹ · 서용석¹
티엠에스¹

Design and strength analysis of lifting lugs

Sunkee Seo^{1,†} · Kyungrae Kim¹ · Sungsub Eom¹ · Yongseok Seo¹
Total Marine Services¹

Abstract

This paper presents methods for design and strength analysis of lifting lugs utilized in assembling, erection, and turning over of ship structures. Lifting lugs are designed in accordance with ASME BTH-1-2008; Design of Below-the-Hook Lifting Devices. Experimental tests for fillet welded joints were conducted to design weld size of lifting lugs and under-structures. The nonlinear finite element method, using MSC/Marc software, is employed for limit state assessment of lifting lugs in static loading conditions. The analysis considers nonlinearities in material properties and contact between lifting lug and pin.

Keywords : Lifting lug(리프팅 러그), Nonlinear finite element analysis(비선형 유한요소해석), ASME BTH-1

1. 서론

리프팅 러그는 선박의 건조과정에서 블록의 이동, 반전(turn over) 등에 사용되며, 소모성 자재이기 때문에 매우 많은 양이 사용된다. 따라서 원가절감을 위한 중량감소가 중요하다. 하지만 리프팅 러그가 파단 되었을 때는 안전 및 비용적으로 큰 문제가 발생하기 때문에 설계에 있어 각별한 주의가 요구된다.

리프팅 러그에 관한 안전기준은 FEM 1.001(1998)과 ASME BTH-1(2008) 등에 제시되어 있다. 그 중 BTH-1 기준의 경우 2008년 개정되어 최근 관련 연구결과들을 반영하고 있으며, 비교적 강도 평가 기준을 상세히 기술하고 있어 본 연구에서는 BTH-1을 바탕으로 설계를 수행하였다.

2. 리프팅 러그의 설계

ASME BTH-1는 일반적인 리프팅 장비에 대하여 허용응력 기반의 정적 하중 설계 기준에서 Design Category에 따른 안전율을 제시하고 있다. Design Category A는 하중의 크기와 변화가 예측 가능하고 사용환경이 비교적 가혹하지 않은 경우에 해당되며, Design Category B는 하중의 크기 및 변화를 예측하기 어렵고 사용환경이 가혹한 경우에 적용된다. 조선소에서 사용되는 리프팅 러그는 충격, 면외 굽힘 등의 가혹한 조건등에서 사용되기 때문에 본 연구에서는 Design Category B를 적용하였다. Design Category B에 따라 리프팅 러그와 같은 연결 부재에는 재료의 인장강도를 기반으로 3.6의 안전계수가 적용된다. 그리고 피로 설

계 관점에서 기대 수명에 따른 Service Class를 적용하고 있으나, 반복 하중 횟수 2 만회 미만에 대해서는 Service Class 0가 적용되어 피로 하중을 고려하지 않는다.

2.1 러그 판의 강도 평가

Duerr(2006)은 러그 판의 파손 모드를 Fig. 1과 같이 정의 하

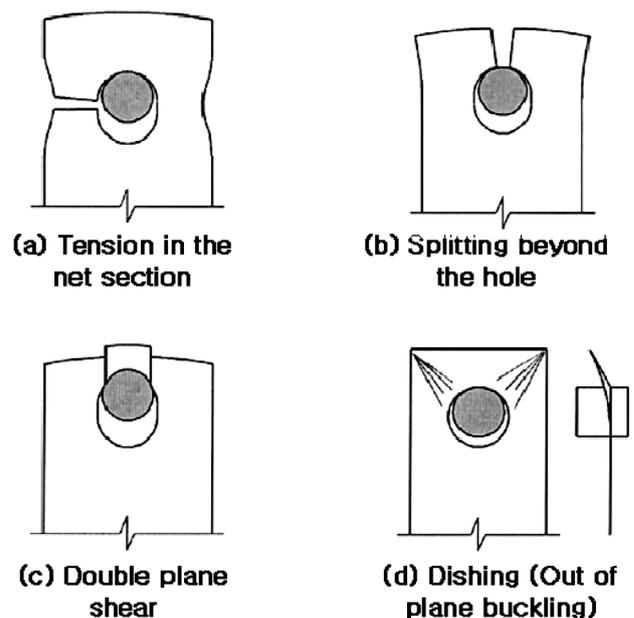


Fig. 1 Plate failure modes (Duerr, 2006)

[†] 교신저자 : skseo@tms2010.com, 070-4034-7147

고 있으며, ASME BTH-1 역시 해당 연구내용을 바탕으로 강도평가 방법을 제시하고 있다.

러그 홀과 핀 사이에 작용하는 지지응력(bearing stress)은 러그 판의 강도에 직접적인 영향을 미치는 것은 아니나, 홀의 변형 및 마모 등을 방지하기 위해 접촉면의 투영면적을 바탕으로 한 지지응력이 허용응력 이하를 만족하도록 설계되어야 한다.

러그 판의 핀 홀의 직경과 샤클 핀 직경의 차이가 클수록 러그 판의 강도는 감소하며, 핀 홀의 직경이 핀 직경의 110% 이상이 되면 강도 감소 계수(strength reduction factor)가 적용되어야 한다.

2.2 브라켓의 강도 평가

리프팅 러그의 설계 기준에서 면외 방향의 하중을 야기하는 사용은 제한된다. 하지만 조선소 작업환경의 특성상 사용을 배제할 수 없기 때문에 브라켓을 통하여 강도를 보강하는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 리프팅 러그의 면외방향 사용 15° 조건에서 브라켓의 강도를 평가하였다.

브라켓의 종·횡단면에 대하여 각각 평가하였으며, 면에 수직인 하중과 굽힘 하중의 조합조건에서 수행하였다.

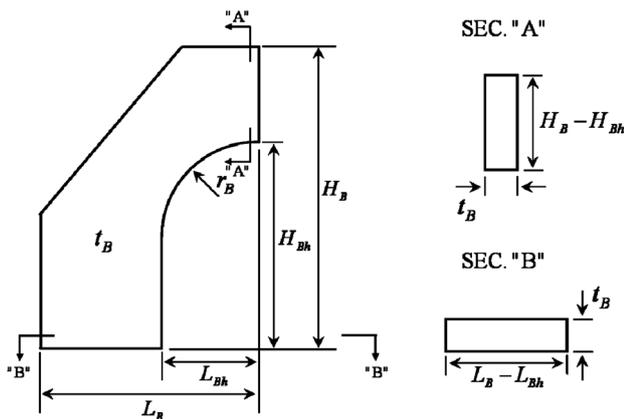


Fig. 2 Lug bracket

2.3 용접 부위의 강도 평가

리프팅 러그는 대상블록에 필렛 용접으로 접합된다. 필렛 용접의 강도는 용접 길이와 용접 단면의 유효각목이 이루는 유효 단면적을 바탕으로 전단하중에 대한 강도로서 평가된다(AWS, 2007). 이때 허용응력은 용입 재료의 인장강도를 바탕으로 하는데, 일반적으로 50킬로급 고장력강용 플렉스 코어드 아크 용접 재료를 사용한다. 재료 물성은 항복응력 520 MPa, 인장강도 580 MPa를 가진다. 리프팅 러그의 재료로 사용되는 선급용 강재의 재료 물성(항복응력 235 MPa, 인장강도 400 MPa - SM 400 기준)에 비하여 우수하기 때문에 용접 부위의 유효각목을 통한 유효단면적으로 필렛 용접부의 강도를 평가하는 것은 적합하지 않을 수 있다.

위와 같은 문제로 본 연구에서는 용접 각장 별 단위 용접길이에 대한 용접 강도 산정을 위한 실험을 수행하였다. 개략적인 시

험 조건은 Fig. 3과 같다. 대상은 하부 선각의 용접 부위와 리프팅 러그 용접 부위이다.

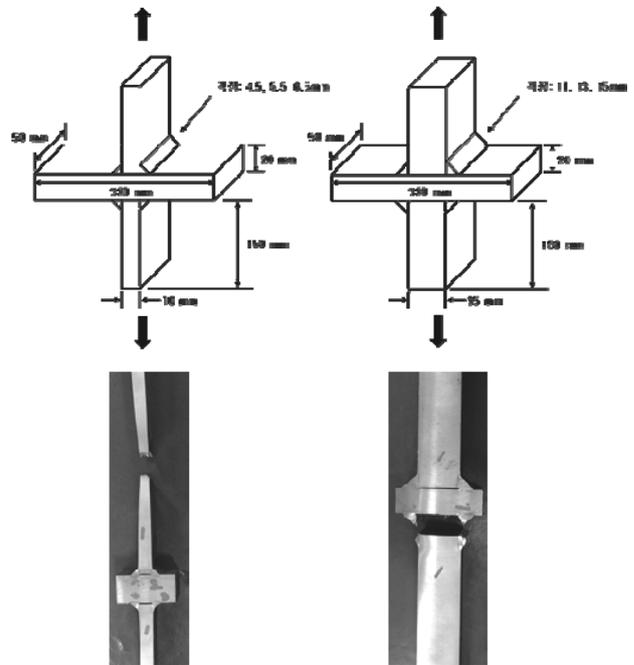


Fig. 3 Fillet welding strength test specimens

모재 두께 10 mm 시험편의 강도 시험에서는 3종류의 시험편 모두 모재에서 파단이 발생하였으며, 모재 두께 35 mm 시험편의 강도 시험에서는 용접 각장 11 mm 기준 약 50 ton 하중에서 파단이 발생하였다.

시험 내용을 바탕으로 이중 필렛 용접(double fillet welds) 기준에서 모재 두께 10 mm에서는 4.5mm 크기 이상의 용접 각장은 모재의 강도를 만족 시키며, 모재 두께 35 mm에서는 각장 11 mm 기준 용접 길이 10 mm 당 약 10 ton의 하중을 견디는 것을 확인하였다.

3. 리프팅 러그의 강도 해석

리프팅 러그는 러그의 홀을 통해 핀으로부터 하중을 전달 받기 때문에 강도 해석을 위해서는 접촉(contact), 국부적인 응력 집중에 의한 재료의 소성화 등이 고려되어야 한다. 선행 된 연구결과(Ham 1997, Kim 2003)에서도 해당부분을 고려한 리프팅 러그의 강도 해석이 수행되었다.

하지만 이렇게 접촉 및 재료의 경화 현상을 반영하여 해석을 수행 할 경우 해석 결과의 평가에 있어 기존 허용응력을 기반으로 한 방법의 적용에 어려움이 따른다. 핀과 접촉 되는 부분과 홀 인근에서는 국부적인 응력 집중으로 인해 재료의 소성화가 진행되기 때문이다. 만약 허용응력을 재료의 항복강도를 기준으로 한다면, 어느 정도의 소성범위를 인정해 주는지가 해석결과에 대한 안전성 평가에 영향을 미치게 될 것이다.

본 연구에서는 정적 하중 상태에서의 한계 상태(limit state)를 예측하여 위와 같은 문제를 해결하고자 하였다.

3.1 강도 해석 모델

앞서 기술한 리프팅 설계 관련 사항을 바탕으로 100톤 용량의 A-type 러그를 설계하였으며, 강도 해석용 모델은 Fig. 4와 같다.

러그 홀의 보강을 위해 부착되는 덧판을 가장자리에 필렛 용접을 통해 주판에 접합되기 때문에 용접 비드 모델의 절점 공유를 통해 주판과 연결하였다. 사클의 핀 역시 변형체로 고려하였으며, 리프팅 러그와의 접촉 조건을 적용하였다. 접촉 조건에서 마찰은 고려하지 않았다.

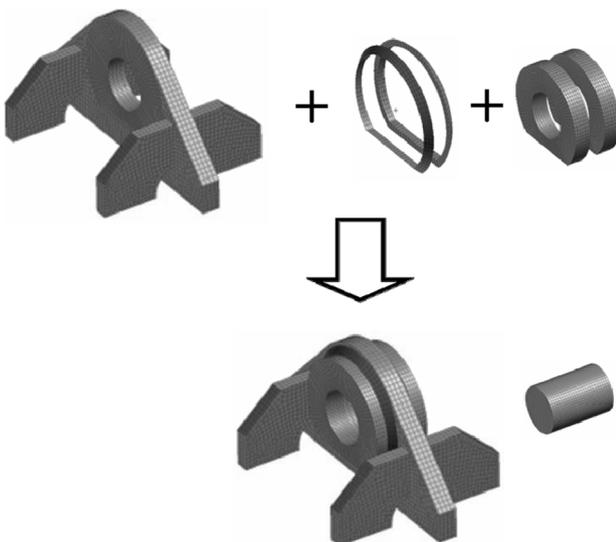


Fig. 4 Lifting lug and pin model

해석에 사용된 재료 경화 모델은 Fig. 5와 같다. 러그 판과 용접 비드의 재료 물성을 달리 적용하였으며, 용접 비드와 모재의 열영향부에서의 물성 변화는 해석에 반영하지 않았다.

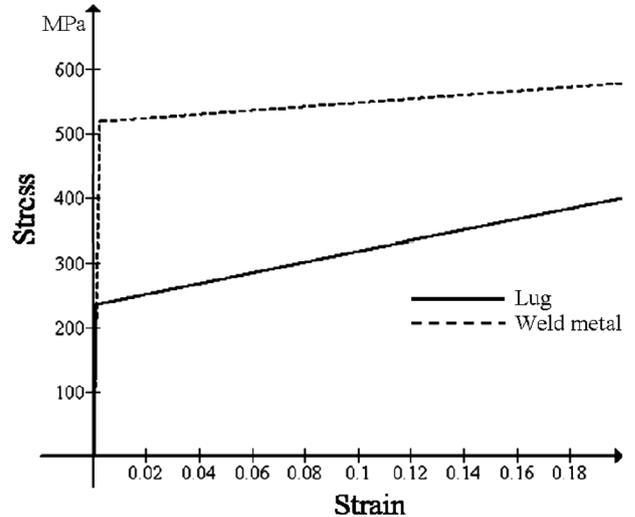


Fig. 5 Stress-strain model for lug and weld metal

3.2 강도 해석 결과

리프팅 러그 수직방향으로 핀의 변위를 증가시며 핀에 작용하는 반력을 계산하였다.

핀이 리프팅러그에 접촉되는 시점의 변위를 0로 하여 핀의 변위에 따른 반력 및 리프팅 러그의 등가응력분포는 Fig. 6과 같다. 핀 접촉 부분과 홀 가장자리에서 소성화가 진행되어 최종적으로는 홀 상부 전 영역이 소성화되었다. 절점의 공유가 끊어지는 파괴 모델 등은 적용되지 않았으며, 핀과의 접촉 후 3.3 mm 변위

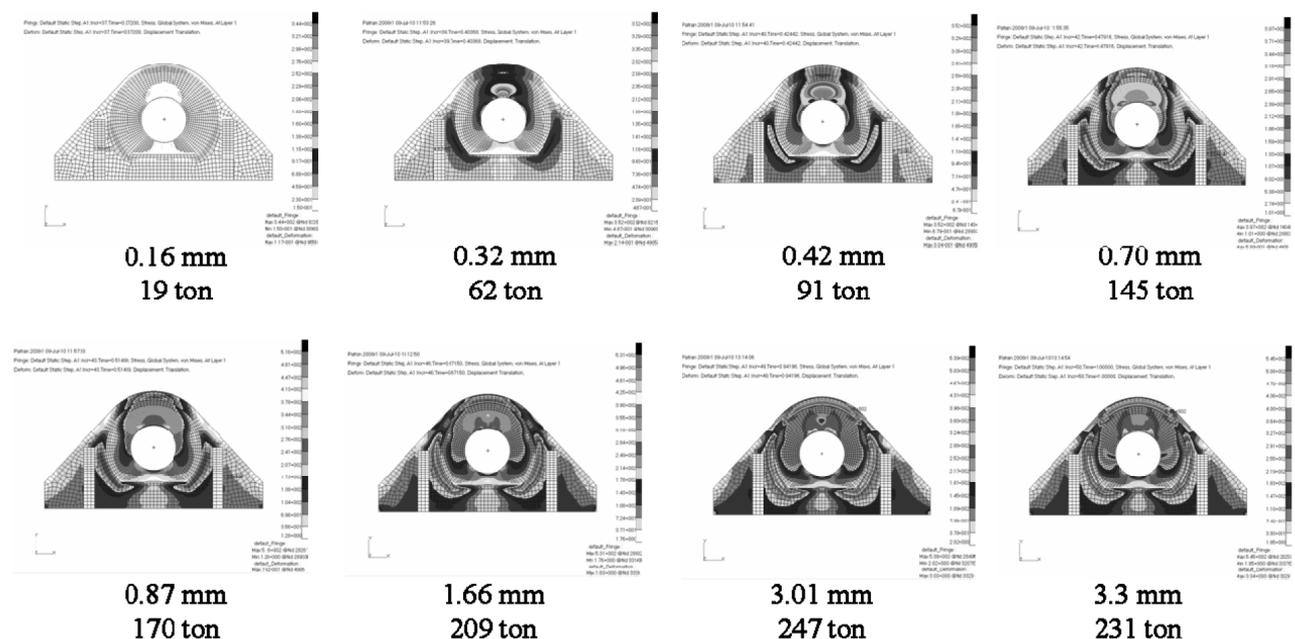


Fig. 6 Equivalent stress distribution

까지의 결과를 나타내었다.

계산 된 반력을 통하여 예측한 A-100 리프팅 러그의 하중-변위 곡선은 Fig. 7과 같다.

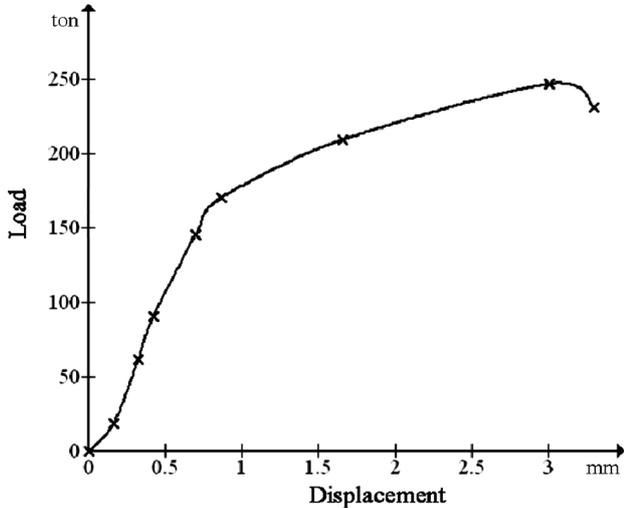


Fig. 7 Load-displacement relationship for lifting lug (A-100)

4. 결론

ASME BTH-1을 기준으로 리프팅 러그를 설계 후 기존 리프팅 러그와 비교하였을 때 기존 리프팅 러그가 판 두께에 비해 길이를 크게 산정하고 있는 것을 확인하였다. 러그 홀 부위의 강도 증가를 위해서는 판의 길이보다 두께를 증가시키는 것이 유리하였으며, A-100 리프팅 러그의 설계로 기존 설계 방법에 비해 중량을 감소시킬 수 있었다. ASME BTH-1은 리프팅 러그 등의 설계와 관련한 미국 산업 표준으로도 사용되고 있기 때문에 건조상의 소모재 목적 이외의 의장품 설계에 있어서도 좋은 방법이 될 것으로 예상된다.

핀과 리프팅 러그의 접촉 및 재료 경화를 고려한 해석을 통하여 리프팅 러그의 한계상태를 예측하였다. 수행된 해석은 강도 시험이 수행 될 수 없는 대용량의 리프팅 러그 설계에 적용 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- Kim, S.I., 2003, Design for Raising the Rate of Recovering use of Lifting Lug, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 40(4), pp.59-65.
- Ham, J.H., 1997, A Study for Rationalization of Lifting Lug Design on Ship Block, *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 11(4), pp.249-261.
- American Society of mechanical Engineers, 2008, *BTH-1: Design of Below-the-Hook Lifting Devices*
- American Welding Society, 2007, *Welding Handbook*, Vol. 1
- Duerr, D., 2006, Pinned Connection Strength and Behavior, *Journal of Structural Engineering*, 132(2), pp.182-194
- The European Federation of Materials Handling(FEM), 1998, *Rules for the Design of Hoisting Appliances*.

