

리프팅 러그 재사용율 제고를 위한 설계

김상일^{†*}

로이드선급협회 울산지부^{*}

Design for Raising the Rate of Recovering use of Lifting Lug

Sang-Il Kim^{*}

Ulsan Office, Lloyd's Register of Shipping^{*}

Abstract

With the fast growth of shipbuilding industry, in recent years several hundreds of thousands of lifting lugs for a year have been used. This paper is aimed at maximizing the recovering use of lifting lugs. In this study, we have evaluated the structural strength for present and modified lifting lugs under in-plane and out-of-plane load conditions. For this purpose, the equivalent stresses have been calculated by nonlinear elasto-plastic analysis using the finite element program ABAQUS. At the same time, the contact conditions between lifting lug and shackle pin are also considered.

※Keyword : 재사용(Recovering use), 구조 강도(Structural strength), 등가응력(Equivalent stress), 비선형 탄소성해석(Nonlinear elasto-plastic analysis), 접촉조건(Contact condition)

1. 서론

선박건조공정에 있어서 선체 블록의 운반 및 반전(turn-over)은 필수적인 공정이 되고 있으며, 이 공정을 수행하는 데는 블록에 부착되어 하중을 분담하는 역할을 하는 몇 가지 형태의 리프팅 러그가 필요하다. 최근에는 블록의 대형화로 인해 대형 구조물의 운반 및 반전 등의 공정이 많으므로, handling 기술이 건조 시간의 단축 및 생산성 향상에 매우 중요하다. 만일 탑재 단계에 이른 블록

이 리프팅 러그의 파단으로 인해 손상된다면 안전과 공정상에 있어서 큰 손실이 된다. 따라서 리프팅 러그는 작업 성격에 따라 매우 안정적이고 견고한 구조로 설계되어야 한다. 하지만 선박건조에서 소요되는 러그의 수량은 매우 많으며 리프팅 러그의 제작, 설치, 해체 등의 제비용이 많이 소요되므로, 충분한 강도를 지니면서 단순화, 경량화를 통해 원가 절감을 해야만 하는 현실적인 난제가 있다.

최근에 사용 중인 리프팅 러그의 설계조건이 변경되었는데, 그 내용은 리프팅 러그에 대한 side force의 최대 작용각(러그와 리프팅 와이어 사이의 각도)이 30°에서 20°로 줄어들었다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 이의 내용에 근거하여 기존

접수일: 2003년 5월 21일, 승인일: 2003년 7월 14일

†주저자, E-mail : sikim703088@empal.com

Tel : 052-233-9445

에 사용하던 리프팅 러그의 설계 변경을 추진하였고, 재사용 횟수의 증가를 고려하여 강도 계산법으로 리프팅 러그의 규격을 결정하였다(김영표 등 1993). 리프팅 러그의 두께는 잔재 사용 등을 고려하여 실 제작에서는 설계 두께보다 두꺼워지는 경향이 있으므로 요구 두께에 근접하게 설정하였으며, 제작 원가의 감소를 위해 러그 본체 판의 두께를 증가시켜 덧판(doubler)과 bracket의 수를 최소화하였다. 이를 기준으로 유한요소법을 이용한 탄소성해석을 수행하여 기존의 리프팅 러그와 개선된 리프팅 러그에 대한 강도를 검토하였다.

일반적으로 리프팅 러그는 러그 구멍 주변에 강성을 증대시키기 위한 목적으로 덧판이 설치되고, 러그 구멍 내부에는 shackle pin과 접촉되어 접촉력에 의해 하중이 전달되므로 shackle pin 과 러그 구멍의 기하학적, 재료적 특성에 좌우되는 매우 복잡한 상관관계를 보인다. 따라서 정확한 구조해석을 위해서는 고전적인 수치 계산이나 러그 본체의 하중 감당 능력의 상당한 부분을 담당하고 있는 덧판을 생략하는 2차원 구조해석 방법으로는 정확한 강도 평가를 기대하기가 어렵기 때문에 비선형 탄소성해석이 필요하게 된다(안정희 등 1997, 함주혁 1997/2001).

본 연구에서는 리프팅 러그 중에서 특히 연간 사용 점유율의 거의 대부분을 차지하고 있는 A-type과 B-type의 러그를 대상으로 범용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 기하학적, 재료적인 비선형항을 포함한 비선형 탄소성해석을 수행하였다.

2. 리프팅 러그의 설계조건

일반적으로 리프팅 러그는 러그 구멍 주변에 강도를 증대시키기 위한 목적으로 덧판이 설치되고, 러그 구멍 내부에는 shackle pin과 접촉되어 접촉력에 의해 하중이 전달된다. 러그 본체 판의 두께는 shackle pin의 직경과 side force의 최대 작용각의 크기에 의해 결정되는데, 본 논문에서는 두께 방향으로 작용하는 side force를 기존 모델에서는 30°를 적용하였으나 개선 모델에서는 20°를 적용하여 최종적인 두께를 결정하였다. Side

force의 작용각에 따른 bracket을 최소화하기 위해 10~50 ton까지의 A-type 러그의 경우에는 side force 5°까지 bracket이 없는 구조로 설계하였으며, 그 이상의 각도에서는 bracket을 기존의 모델과 동일하게 양면으로 4개를 배치하였다. B-type 러그의 경우에는 bracket을 목 부분에만 양면으로 시공하였고, 러그 밑 부분의 bracket은 삭제하였다. B-type 러그 본체의 형상은 구조해석을 통해 전체 강도에 기여하는 정도가 미미한 응력이 거의 없는 부분은 경사를 주어 러그 밑 부분의 규격을 최소화하여 경량화하였다.

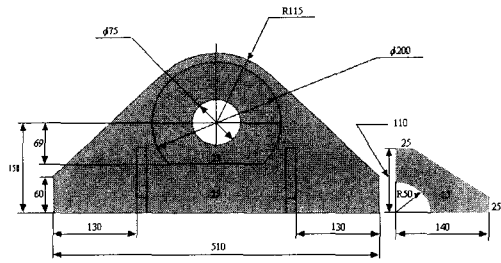
리프팅 러그의 높이는 재사용 횟수 증가를 목적으로 덧판의 규격 및 용접 작업성을 고려하여 절단량을 20mm로 설정하였으며, 여기서 언급되지 않은 대부분의 기준은 리프팅 러그 설계 보고서에 따라 검토되었다.

일반적인 연강의 경우 허용인장응력으로서 인장계수 4를 고려하여 극한강도의 1/4인 1025 kgf/cm²을 취하였고, 허용전단응력은 허용인장응력의 60%인 615 kgf/cm²을 취하였다.

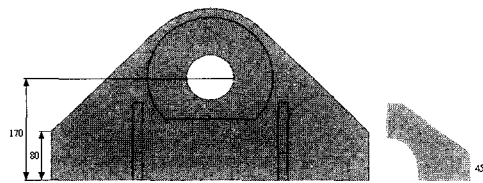
3. 리프팅 러그의 강도 해석

3.1 해석 모델

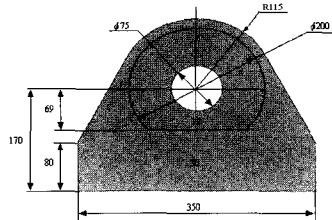
대상 모델은 현재 사용 빈도가 가장 많은 30 ton과 50 ton 기준 A-type과 B-type의 리프팅 러그를 채택하였으며, 대상 모델의 차원은 Fig. 1과 2에 보여진 바와 같다. Fig. 3은 대상 모델 중에서 기존의 HB-A50과 HB-B50 리프팅 러그의 유한요소모델을 보여 주고 있는데, Fig. 3에서 알 수 있듯이 러그 본체에 대해서는 절점당 u_x , u_y , u_z 자유도를 가지는 3차원 고체 요소를 사용하였으며, shackle pin은 rigid surface로 모델링하였다(Fig. 4 참조). 또한 mesh 형상은 응력 집중과 접촉이 예상되는 부분은 세밀하게 분할하고, 전 모델에 걸쳐 육면체 요소로 분할함으로써 해의 정도를 높이고자 하였다.



(a) present HB-A50 lug

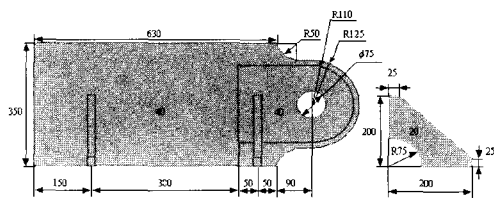


(b) modified HB-A50 lug

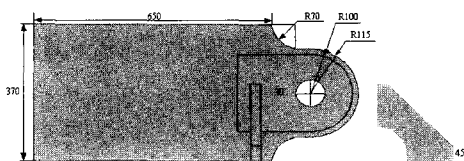


(c) modified HB-A30 lug

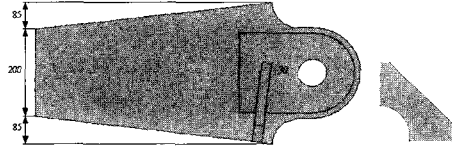
Fig. 1 Dimension of A-type lifting lug model



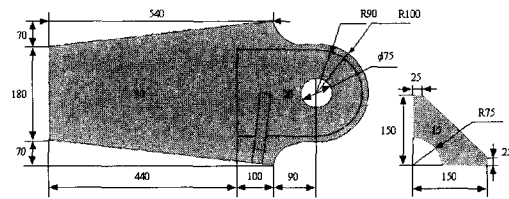
(a) present HB-B50 lug



(b) modified HB-B50 lug(I)

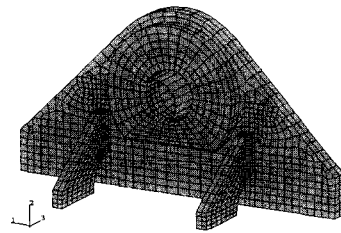


(c) modified HB-B50 lug(II)

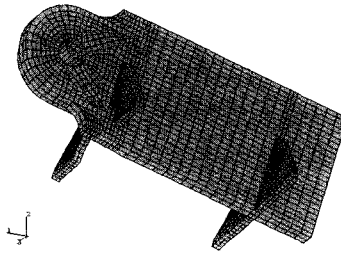


(d) modified HB-B30 lug

Fig. 2 Dimension of B-type lifting lug model



(a) present HB-A50 lug



(b) present HB-B50 lug

Fig. 3 Finite element model for lifting lug

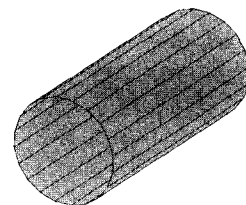


Fig. 4 Shackle pin model using the rigid surface

3.2 재료 특성치

리프팅 러그에 사용되는 재료는 일반적인 연강을 기준으로 하였고, 용착금속의 특성도 모재와 동일하다고 가정하였다. 본 해석에서 이용된 재료 특성치(material property)의 입력 값은 다음과 같다[3].

- (1) Ultimate Tensile Stress (σ_u)
: 4100 kgf/cm²
- (2) Yield Stress (σ_y) : 2500 kgf/cm²
- (3) Elastic Modulus (E): 2.1×10^6 kgf/cm²
- (4) Poisson's Ratio (ν) : 0.3

Fig. 5는 비선형 탄소성해석시에 사용된 연강에 대한 변형도 경화 모델(strain hardening model)을 보여주고 있으며, 리프팅 러그 본체와 shackle pin 사이의 마찰은 없는 것으로 가정하였다.

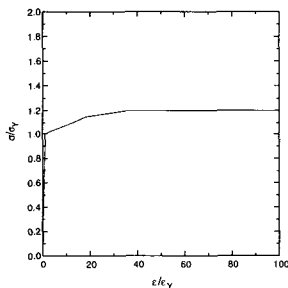


Fig. 5 Strain hardening model for mild steel

3.3 하중과 경계조건

리프팅 러그는 다양한 구조물에 부착되고 크레인(crane)으로 이송되기 때문에, 러그 하부에 부착되는 구조물의 배치 및 치수에 큰 영향을 받게 된다. 따라서 새로운 러그 구조 개발을 위해서는 다양한 하부 구조의 체계적인 변화에 따른 경도를 통해 보다 완벽한 강도 점검이 수반되어야 하지만, 본 논문에서는 경계조건으로 극한의 상태를 가정하여 단순히 러그 하부의 모든 절점의 자유도를 구속하였다. 즉, 강체와 같이 매우 큰 강성의 물체에 매달린 상태로 평가하였다.

실제 선체 블록의 반전 시에는 매 순간마다 작용하는 하중의 방향이 달라지게 되나, 본 해석에

서는 각각의 리프팅 러그에 대한 side force의 작용각을 20°로 하였고, 또한 B-type 러그에 대해서는 반전 시의 각도를 73°로 하였다. 이의 선정 이유는 이 때가 러그 본체 판의 용접부 끝단부에 최대 응력 집중을 일으키는 원인이 되기 때문이다.

3.4 러그 구멍 주위의 강도 평가

Fig. 6은 50 ton의 면내하중 작용 하에서의 기존의 HB-A50 리프팅 러그의 등가응력 분포를 보여 주고 있는데, 러그 구멍 상부에 걸린 응력이 최대 2560 kgf/cm²으로 항복응력에 달한 소성 영역이 발생하였음을 알 수 있다. 이 소성 영역은 러그 본체 판 뿐만이 아니라 덧판에도 형성되었고, 러그 구멍 주위에 형성된 소성 영역 및 등가응력 분포 양상은 덧판부와 거의 유사하다. 즉, shackle pin과 접촉되는 부위의 러그 본체 판의 두께 방향으로부터 덧판 외곽까지는 평행한 소성 영역과 등가응력 분포가 형성되었다. 그러나 소성 영역은 러그 전체적으로 볼 때 국부적인 부분에 형성되기 때문에, 기존의 HB-A50 리프팅 러그는 면내하중 작용 하에서는 강도 측면에서 문제가 없는 것으로 볼 수 있다.

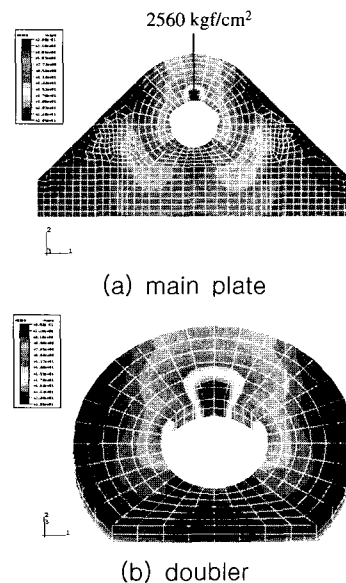


Fig. 6 Equivalent stress distribution for present HB-A50 lifting lug under in-plane load condition

3.5 개선된 HB-A50, A30 리프팅 러그의 강도 평가

Fig. 7과 8은 50 ton의 면내하중과 이에 기인한 side force 20°의 면외하중이 동시에 작용하는 조건 하에서의 HB-A50 리프팅 러그의 기존 모델과 개선된 모델의 등가응력 분포를 보여 주고 있으며, Table 1은 side force에 의한 응력 집중부인 rib bracket의 상부와 rib bracket의 용접부 끝단부에서 발생하는 최대 등가응력의 크기를 보여 주고 있는데, Fig. 7, 8과 Table 1에서 알 수 있는 바와 같이, HB-A50 리프팅 러그의 개선된 모델은 기존 모델에 비해서 강도 측면에서 불리하지 않다는 사실을 알 수 있으며, 이는 A-type 리프팅 러그의 사용 횟수를 현재의 3회에서 4회로 증가시켜도 문제가 되지 않는 것으로 볼 수 있다.

Fig. 9는 30 ton의 면내하중과 이에 기인한 side force 5°의 면외하중이 동시에 작용하는 조건 하에서의 HB-A30 리프팅 러그의 bracket이 없는 개선된 모델의 등가응력 분포를 보여 주고 있으며, Table 1은 응력 집중부인 러그 구멍 상부와 러그 본체 판의 용접부 중앙부에서 발생하는 최대 등가응력의 크기를 보여 주고 있다. Fig. 9와 Table 1에서 알 수 있듯이 HB-A30 리프팅 러그의 개선된 모델은 side force 5°의 하중조건에서 충분한 강도를 갖고 있다.

Table 1 Maximum Equivalent stress for HB-A50, A30 lifting lug

Lug Type	von-Mises Stress of Local Position (kgf/cm ²)			
	Top of BKT	End of BKT	Upper Hole	Lower Part of Lug
Present HB-A50 Lug	2635	1119		
Modified HB-A50 Lug	2638	1579		
Modified HB-A30 Lug			1756	1119

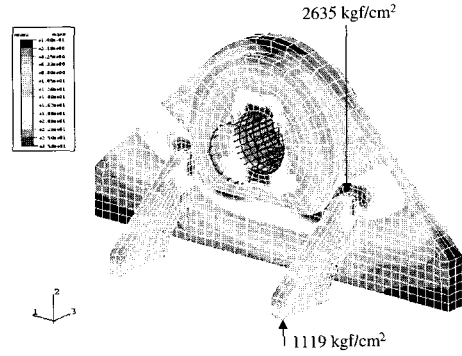


Fig. 7 Equivalent stress distribution for present HB-A50 lifting lug

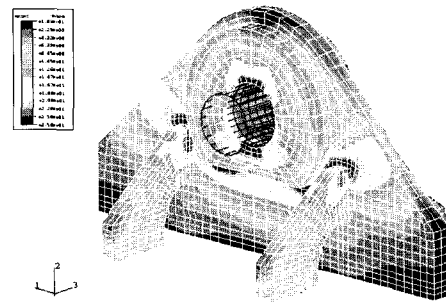


Fig. 8 Equivalent stress distribution for modified HB-A50 lifting lug

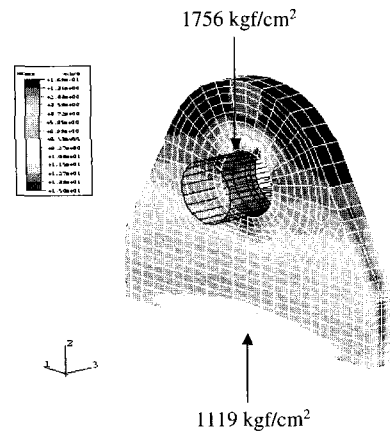


Fig. 9 Equivalent stress distribution for modified HB-A30 lifting lug

3.6 개선된 HB-B50, B30 리프팅 러그의 강도 평가

HB-B50, B30 리프팅 러그의 개선된 모델에서는 리프팅 러그의 전체 강도에 기여하는 정도가 미미한 러그 본체 판 뒤쪽의 bracket 및 러그 본체 판 일부를 제거하였다. Fig. 10, 11과 12는 50 ton의 면내하중과 이에 기인한 side force 20°의 면외하중이 동시에 작용하는 조건 하에서의 HB-B50 리프팅 러그의 기존 모델과 개선된 모델의 등가응력 분포를 보여 주고 있고, Fig. 13은 30 ton의 면내하중과 이에 기인한 side force 20°의 면외하중이 동시에 작용하는 조건 하에서의 HB-B30 리프팅 러그의 개선된 모델의 등가응력 분포를 보여 주고 있으며, Table 2는 응력 집중부인 rib bracket부와 러그 본체 판의 용접부 끝단부에서 발생하는 최대 등가응력의 크기를 보여 주고 있다. Fig. 10, 11, 12, 13과 Table 2에서 알 수 있듯이 HB-B50, B30 리프팅 러그의 개선된 모델 또한 기존 모델에 비해서 강도 측면에서 불리하지 않다는 사실을 알 수 있으며, 이는 B-type 리프팅 러그의 사용 횟수를 현재의 2회에서 4회로 증가시켜도 무방하다는 것을 의미한다. 따라서 B-type 리프팅 러그의 개선된 모델은 기존 모델과 동일한 강도를 갖고 있다고 볼 수 있으며, 강재 절감 측면에 있어서도 상당히 유리하다는 사실을 확인할 수 있다.

Table 2 Maximum Equivalent stress for HB-B50, B30 lifting lug

Lug Type	von-Mises Stress of Local Position (kgf/cm ²)	
	Top of BKT	End of a Weld of Main Lug Plate
Present HB-B50 Lug	1875	2529
Modified HB-B50 Lug(I)	1858	2515
Modified HB-B50 Lug(II)	1871	2410
Modified HB-B30 Lug	2340	2474

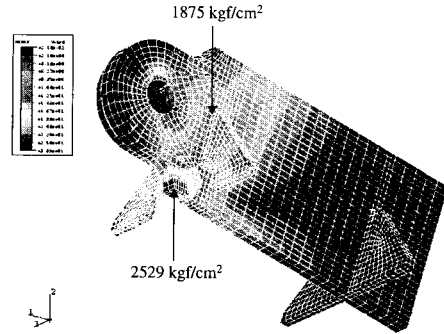


Fig. 10 Equivalent stress distribution for present HB-B50 lifting lug

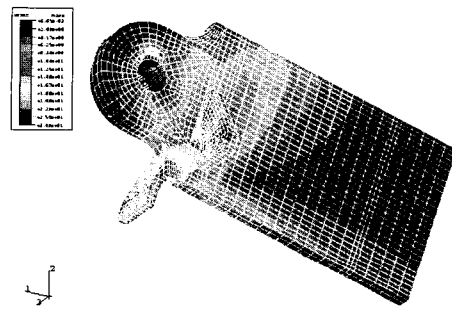


Fig. 11 Equivalent stress distribution for modified HB-B50 lifting lug(I)

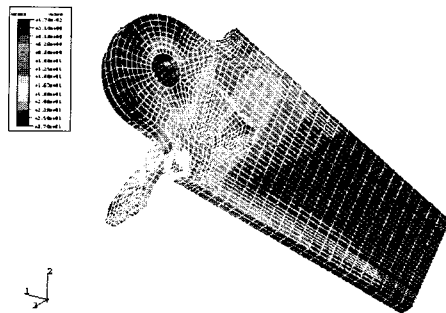


Fig. 12 Equivalent stress distribution for modified HB-B50 lifting lug(II)

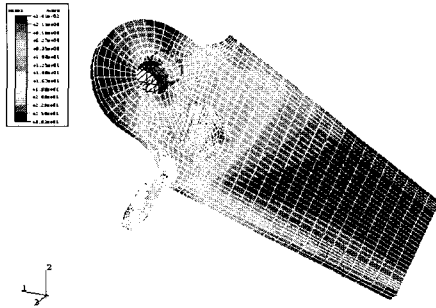


Fig. 13 Equivalent stress distribution for modified HB-B30 lifting lug

4. 결론

기존의 리프팅 러그를 기준으로 사용 횟수 증가 및 경량화를 위한 리프팅 러그 설계는 강도 계산식을 이용하여 러그의 구조를 설계하였다. 이를 기준으로 유한요소법에 의한 구조해석을 통해 개선된 모델이 기존 모델에 비해서 강도 측면에서 문제가 되지 않는다는 사실을 알 수 있었다. 본 연구로부터 얻은 주요 결론은 아래와 같다.

1. 재사용 횟수 증가를 위한 개선된 리프팅 러그는 기존의 리프팅 러그에 비해서 강도 측면에서 전혀 불리하지 않으므로 안전하다고 볼 수 있다.
2. HB-A20~HB-A40 러그는 덧판을 2개에서 1개로 줄였으며, HB-A10~HB-A50 러그는 side force 5°까지는 bracket없이 설계하였다.
3. B-type 리프팅 러그는 본체 판 뒷 부분의 불필요한 부분에 대해서는 경사를 두어 규격을 경량화하였으며, 또한 강도에 기여하는 정도가 미미한 러그 끝단부에 부착되는 bracket은 없애는 것으로 설계하였다.

4. 두께가 80mm인 HB-B50, HB-B60 러그는 실 제작시 두께가 규정보다 증가되어, shackle pin 체결 시 문제가 발생하는 사례를 보완하고자 덧판의 두께를 40mm에서 30mm로 최적화하여 shackle pin 체결 작업을 용이하게 하였다.

참 고 문 헌

- 김영표, 배영수, 1993, Lug 구조설계(II), 대우중공업 선박해양기술연구소 기술 보고서
- 안정희, 차민수, 1997, 블록 탑재용 개선 Lug 모델에 대한 강도 해석, 대한조선학회 춘계 학술대회 논문집, pp.375-381
- 함주혁, 1997, 선박 블록 탑재용 러그 구조의 설계 합리화를 위한 연구, 한국해양공학회 논문집, 제11권, 제4호, pp.249-261
- 함주혁, 2001, 탑재용 러그 구조의 설계 시스템 개발, 대한조선학회논문집, 제38권, 제1호, pp.86-98



< 김 상 일 >