

블록 리프팅 시 Hopper Tank부 균열 발생 가능성 검토를 위한 구조해석

김상일*

*로이드선급협회 아시아 울산지부

Block Lifting Analysis to Examine the Cause of Cracking in the Hopper Top Plate

SANG-IL KIM*

*Ulsan Office, Lloyd's Register Asia, Ulsan, Korea

KEY WORDS: Block Lifting 블록 리프팅, Fractured Surface 파단면, Structural Strength 구조강도, Equivalent Stress 등가응력, Goliath Crane 골리앗 크레인

ABSTRACT: With the fast growth of the shipbuilding industry, the number of lifting lugs used every year has reached onehundred. This paper is aimed at examining the cause of cracking in the hopper top plate, due to block lifting. First of all, we have investigated the fracture surface in the occurrence position of the crack of the hopper top plate, using the scanning electron microscope. In this study, we have evaluated the structural strength for COT super block under present lifting conditions. For this purpose, the equivalent stresses have been calculated by linear elastic analysis, using the finite element program ABAQUS.

1. 서 론

선박건조공정에 있어서 선체 블록의 운반 및 반전(turn-over)은 필수적인 공정이 되고 있으며, 이 공정을 수행하는 데는 블록에 부착되어 하중을 부담하는 역할을 하는 몇 가지 형태의 리프팅 러그가 필요하다.

일반적으로 리프팅 러그의 부착부 주위에는 용접으로 인한 응력집중 현상으로 인해 균열 발생 가능성이 항상 존재한다. 특히 VLCC, COT 선종의 hopper top plate의 끝단부에 부착되는 리프팅 러그는 조립 단계, 선탭재(pre-erection) 단계, 탑재 단계 3회에 걸쳐 사용되기 때문에, 리프팅 러그 부착부 근방에는 리프팅 작업에 따른 응력 및 인근 용접부의 용접 잔류응력 등과 같은 응력집중 현상이 복합적으로 발생되어 선박 구조의 어느 부위보다도 균열 발생 가능성이 매우 높다.

건조 중인 COT 선종의 hopper top plate의 리프팅 러그 주변의 모재부에서 크랙(crack)이 발생하여, 이에 대한 정확한 발생 원인 및 대책 수립을 위해 실제 균열 발생부 관찰과 해당 부분의 응력 해석을 범용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 수행하였다(ABAQUS User's Manual, 2003).

이를 통해서 균열 발생 원인과 리프팅 작업에 따른 리프팅 러그 부착부 주위의 균열 발생 가능성을 검토하였고, 그 대안에 대해서도 논의하였다.

2. 균열 원인 검토

2.1 미세 조직 및 파단면 조사

건조 중인 COT 선종의 hopper top plate의 리프팅 러그 주변 모재부의 균열 발생부는 Fig. 1과 2에 보여진 바와 같으며, 모재의 재질은 선급 강제 A Grade의 연강이다.

Fig. 3은 선급 강제 A Grade의 미세 조직 사진으로 압연 방향으로 pearlite band를 관찰할 수 있으며, pearlite와 ferrite의 2상 혼합 조직을 이루는 전형적인 압연 강제 조직 형태를 보여 주고 있다. Fig. 3에서 알 수 있듯이, 미세 조직상의 특이한 사항은 없다.

균열부의 파단면 관찰을 위해 우선 초음파 세척기를 사용하여 녹을 충분히 제거하였다. Fig. 4는 균열부의 파단면 상태를 보여주고 있는데, 균열의 진행은 a에서 b로 방향성이 있는 파면 양상을 보이고 있다.

Fig. 5는 주사 전자 현미경(SEM : scanning electron microscope)을 이용한 파단면 관찰 사진을 보여주고 있는데, 해당 균열은 전형적인 취성 파괴의 벽계 파면 양상을 보이고 있다.

2.2 검토 결과

해당 강제 균열부에 대한 파단면 검토 결과로 볼 때, 해당 균열은 전형적인 취성 파괴의 벽계 파면이고 이러한 취성 파괴의 특징으로는 초기 파단부에 모재의 불연속부, 용접부 표면의 노치(notch), 응력 집중부 등과 같은 초기 결함부가 존재한

제1저자 김상일 연락처: 울산광역시 동구 동울산 우체국사서함 27 052-233-9445 sang-il.kim@lr.org

다는 것이며, 이러한 초기 결함부가 존재한 상태에서 블록 리프팅 작업으로 인한 인장력 작용으로 초기 결함부에서의 균열이 순간적으로 전파되어진 것으로 추정된다.

따라서 초기 결함부가 존재하지 않는 정상적인 리프팅 조건 하에서의 블록 리프팅 작업 시에 hopper top plate의 4개의 러그 부착 부위에서 나타나는 응력 수준이 크랙 발생 및 진전의 원인이 될 만한 수준인지를 알아보기 위해, COT 선종의 super block을 해석 대상으로 선정하여 리프팅 해석을 수행하였다.

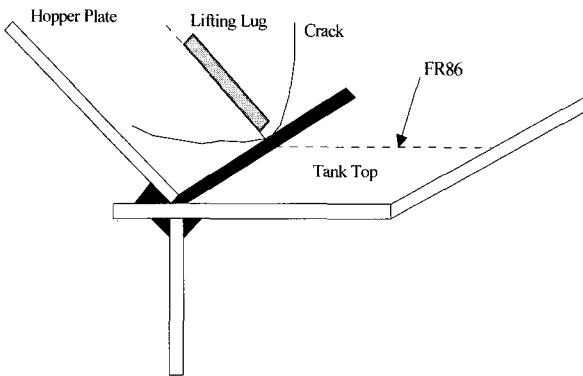


Fig. 1 Cracking in the hopper top plate

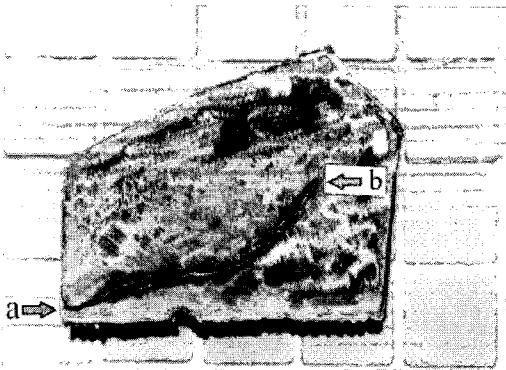


Fig. 2 Crack damage configuration



Fig. 3 Micro-structure of hopper top plate

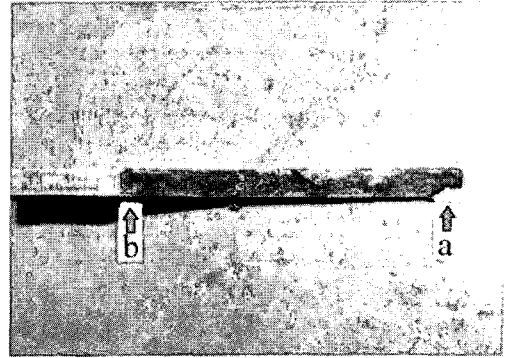


Fig. 4 Fractured surface in the occurrence position of crack

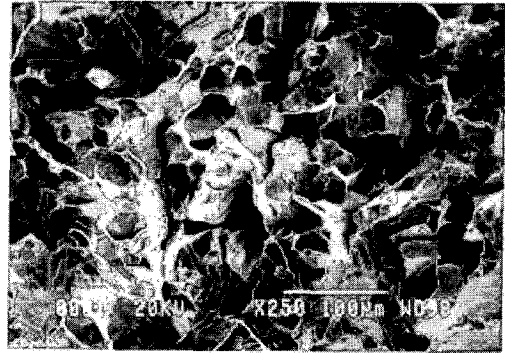


Fig. 5 Configuration of fractured surface using the SEM

3. 구조해석

3.1 해석 모델

Hopper top plate에 부착된 리프팅 러그는 조립 단계, 선탐재 단계, 탐재 단계 3회에 걸쳐서 사용되는데, 리프팅 와이어 (lifting wire)에 최대 하중이 걸리는 탐재 단계의 리프팅 조건을 대상으로 하여 COT 선종의 super block을 해석 대상으로 선정하였으며, 해석 모델은 설계 도면을 근거로 Fig. 6에 보여진 바와 같이 모델링하였다. 본 해석에서 이용된 Material Property의 입력 값은 다음과 같다.

- (1) Elastic Modulus : 21,000 kgf/mm²
- (2) Poisson's Ratio : 0.3
- (3) Density : 7.85×10⁻⁶ kg/mm³

3.2 리프팅 조건

콜리앗 크레인(Goliath crane)으로 리프팅 작업 시 3개의 trolley가 블록을 안전하게 리프팅하려면 리프팅되는 블록의 무게 중심점을 기준으로 trolley의 위치 선정과 리프팅 와이어에 걸리는 하중들을 고루 분산시킬 수 있는 러그의 배치가 우선적으로 이루어져야 한다. 본 해석 모델에서의 러그의 배치는 리프팅 러그 배치 도면을 근거로 모델링하였다(Fig. 6 참조).

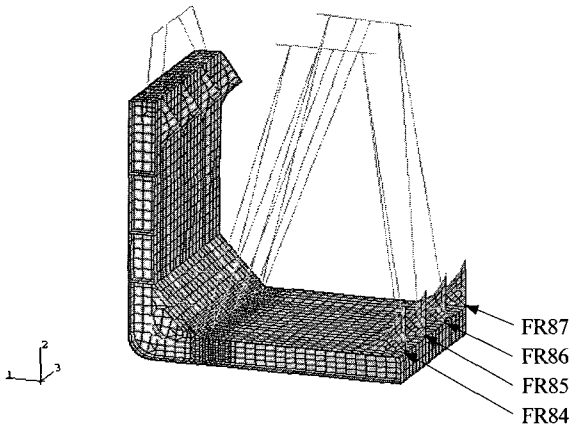


Fig. 6 Finite element model of COT super block

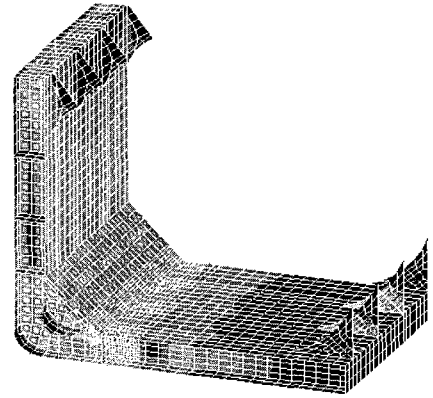
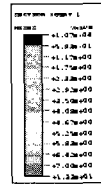


Fig. 7 Lifting simulation results of COT super block

3.3 모델링 방법

선각 자체, 보강재 그리고 이를 들어 올리는 리프팅 러그와 리프팅 와이어, trolley들을 모델링하는 방법은 다음과 같다.

- (1) 선각 모델링 시에는 크랙 발생 지점인 hopper top plate의 리프팅 러그 주변부만을 Fine Mesh하였다.
- (2) Logitudinal stiffener와 리프팅 러그는 특정 area와 moment of inertia를 갖는 beam 요소로 모델링하였다.
- (3) Web frame 상의 secondary stiffener와 리프팅 빔(lifting beam)은 특정 area를 갖는 truss 요소로 모델링하였다.
- (4) 리프팅 와이어는 직경 50mm의 truss 요소로 모델링하였다.
- (5) 경계조건으로는 crane에 부착된 trolley 부위의 절점들을 구속시키고, 하중으로는 블록에 수직 방향으로 중력가속도 g를 작용시킨다. 참고로 해석 모델에서 해당 블록의 자중은 420ton으로 추출되었으며, 실제 리프팅 시의 자중은 412.7ton이었다.

3.4 해석 결과

Fig. 7, 8, 9와 Table 1은 COT 선종의 super block의 리프팅 해석 결과를 보여 주고 있는데, hopper top plate의 4개의 리프팅 러그 부착 지점에서 응력 집중 현상은 발생되지만, 크랙 발생 지점(FR86)이 리프팅 시의 최대 응력 발생 지점(FR87)과 일치하지는 않았다. 또한, 리프팅 작업 시에 러그 부착 부위에서 발생하는 4.2 ~ 5.8kgf/mm²의 응력 수준은 모재의 항복 응력의 1/4에도 못 미치는 수준이며, 용접부 및 열영향부의 항복응력 수준이 어느 정도 감소한다 하더라도 리프팅 러그 부착 부위에서의 응력 수준은 크랙 발생 및 진전의 원인이 될 만한 수준은 아니라고 여겨진다. 따라서 러그 부착 위치에 좌우되어 크랙이 발생했다고 보기는 어렵다고 생각된다.

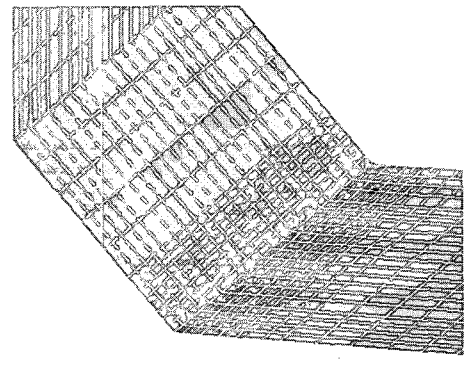
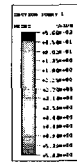


Fig. 8 Detail stress contour at hopper plate

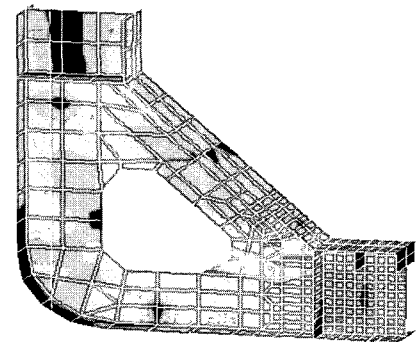
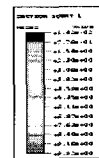


Fig. 9 Detail stress contour at FR86 section

Table 1 Lifting simulation results of COT super block

Position of FR Section	FR84	FR85	FR86	FR87
Value of von Mises Stress (kgf/mm ²)	4.244	5.571	5.546	5.825

4. 결 론

실제 균열 발생부 관찰 및 해당 부분의 유한요소해석을 통해서 균열 발생 원인과 리프팅 작업에 따른 리프팅 러그 부착부 주위의 균열 발생 가능성을 검토한 결과, 아래와 같은 몇 가지 결론을 이끌어 낼 수 있었다.

- (1) Hopper top plate의 리프팅 러그 주변의 모재부에서의 크랙

발생 원인 규명을 위한 리프팅 해석 결과, 반전(turn-over) 등 충격하중이 가해지지 않는 정상적인 리프팅 조건 하에서는 리프팅 러그 부착 위치 선정의 잘못됨에 따른 응력 집중으로 인하여 크랙이 발생한 것은 아니라고 사료된다.

(2) 해당 강제 균열부에 대한 파단면 검토 결과로 볼 때, 해당 균열은 전형적인 취성 파괴의 벽계 파면이고 이러한 취성 파괴의 특징으로는 초기 파단부에 모재의 불연속부, 용접부 표면의 노치(notch), 응력 집중부 등과 같은 초기 결함부가 존재한다는 것이며, 이러한 초기 결함부가 존재한 상태에서 블록 리프팅 작업으로 인한 인장력 작용으로 초기 결함부에서의 균열이 순간적으로 전파되어진 것으로 추정된다.

(3) 실제로 크랙의 발생 지점이 용접부에 매우 가깝기 때문에,

향후에는 용접으로 인한 초기 결함(용접잔류응력과 초기처짐)과 동적하중 등을 고려한 해석을 수행하여 크랙의 발생에 영향을 미친 인자들에 대해서 연구할 예정이며, 이의 결과를 토대로 최적의 리프팅 러그 설치 부위를 결정할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

ABAQUS User's Manual (2003).

2005년 12월 26일 원고 접수

2006년 1월 25일 최종 수정본 채택