

2,600 TEU Container Vessel 의 Fresh Water Tank 구조손상 사례 고찰

신성광**, 안형준*, 최의걸*, 고명섭*, 임효관*

STX 조선(주)

Consideration of Structural Damage of Fresh Water Tank for 2,600TEU Container Vessel

Sung-Kwang Shin**, Hyung-Joon Ahn*, Eui-keol Choi*, Myeong-Seob Koh*
and Hyo-Kwan Leem*

STX Shipbuilding Co.,Ltd.

Abstract

Many tanks such as a fresh water tank, an aft peak tank and oil tanks are arranged in the engine room and aft part areas of the ship. By added mass effect of the fluid inside the tanks, the natural frequency will be changed according to filling height of the tank. For this reason, there is possibility of occurrence of excessive vibration by resonance between natural frequencies of local structure and excitation frequencies of the propeller or main engine. Therefore, calculation of natural frequencies is required for structure for many types of tank which are contacting with water or oil to consider added mass effect for anti-resonance design at design stage.

In this study, a case of structure damage on the fresh water tank for 2600TEU container vessel is introduced. In addition, natural frequency analysis and vibration measurement have been performed to investigate vibration characteristics for excessive vibration control.

※Keywords: anti-vibration(방진), resonance (공진)

1. 서론

일반적으로 선박 진동의 주요 기진원인 주기관과 프로펠러가 위치하고 있는 선미부의 진동은

구조의 복잡성, 선체거더 진동과의 연성효과등이 복합적으로 작용하여 매우 복잡한 진동현상을 보이고 있다. 최근에는 구조 경량화, 기관 출력의 고마력화 추세로 진동 문제점이 더욱 자주 거론되고 있다. 특히, 선박의 선미부와 기관실에는 운항상 필요한 Fresh water tank, Aft peak tank 및 각종 Oil tank 들이 배치되어 있으며, 근처에 선박 진동

*주저자, E-mail : skshin@stxship.co.kr

Tel : 055-545-1207

주요 기진원인 주기관과 추진기도 위치하고 있다. 그러므로 선미부와 기관실에 위치한 각종 Tank 는 접수/접유에 의한 부가수 질량 효과로 Filling height 증감에 따라 고유진동수가 변화하며, 이로 인해 주기관 및 프로펠러 기진진동수와의 공진에 의한 과도한 진동 발생 가능성이 항상 존재하고 있다. 건조 후 접수/접유 Tank 에 과도한 진동이 발생하면 진동을 제어하기 위한 용접 및 도장작업에 많은 제약을 받게 되므로 방진대책 수립이 어렵다. 상기 이유로 설계단계에서 유체와 접하고 있는 각종 Tank 의 국부구조는 고유진동해석을 통해 신뢰성 있는 방진설계가 요구되고 있다.

본 고찰에서는 STX 조선(주)에서 건조 후 인도한 2600 TEU Container vessel 에서 발생한 Fresh water tank 의 구조손상 사례를 소개하고, 고유진동해석 및 실선 진동계측을 수행하여 원인 분석 및 표준선 방진대책을 수립하였다

2. 손상부위

Fresh water tank 의 Bottom 구조배치는 Longitudinal system 이며, Web floor 간격은 3,200 mm 로 설계하였다.

균열은 Fig.1 에서와 같이 Steering gear room 에 위치한 우현(Stb' d)쪽 Fresh water tank 의 Bottom Plate 두 곳에서 발생하였으며, 균열 현상은 Fig.2 에 나타난 바와 같이 Fresh water tank 의 Bottom plate 와 Inner L/BHD 그리고 하부에 배치된 10,200 Off C.L girder 가 교차하는 Fillet 용접부위 Notch 에서 시작되어 종 방향으로 약 500~1000 mm 까지 진행되었다.

3. 손상원인 추정

손상원인 규명을 위해 선주와 함께 승선하여 운항 중 육안검사와 진동계측을 실시 하였으며, 선상에서 STX 조선(주)가 보유한 선체 보강판 고유진동해석 프로그램(VAPS)을 이용하여 손상부위 구조에 대한 고유진동해석도 수행하였다.

육안검사 결과 Fresh water tank 내부가 Empty condition 인 경우에는 진동응답이 상당히 미약한

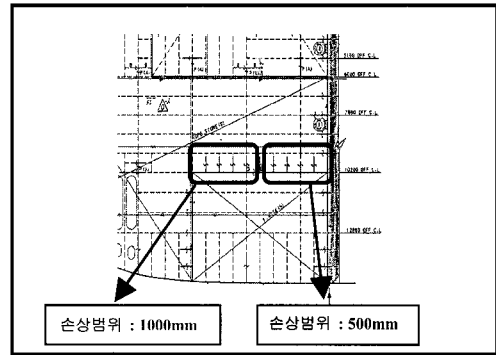


Fig. 1 Schematic crack positions of F.W.TK(S)

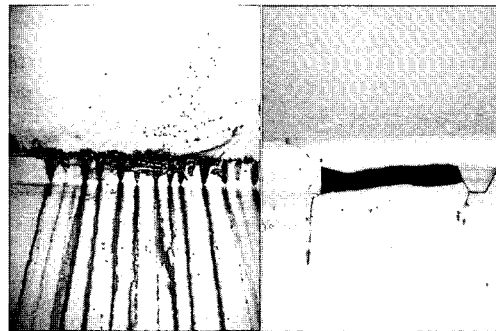


Fig. 2 Photograph of crack point

수준이었으나, Fresh water 가 Filling 된 후 Bottom 보강판에 과도한 진동이 발생하였다. 진동양상은 Fig. 5 에 나타난 1 차 Mode shape 결과와 유사하게 발생하였다.

진동계측은 NCR (Normal Continuous Rating) 에서 수행하였으며, 진동응답은 Table 2 와 Fig. 3, 4 에 나타난 바와 같이 최대 진동 계측값은 우현(Stb' d) 방향이 190.4 mm/s(Peak)이며, 좌현(Port) 방향이 78.2 mm/s(Peak)로 상당히 높은 진동응답을 보였다. 계측된 Peak 주파수 7.25 Hz 와 11.5 Hz 는 Table 1 에 나타난 바와 같이 87.9 RPM 에서 프로펠러 날개수 1 차 기진진동수(7.33 Hz)와 주기관 8 차 기진진동수(11.72 Hz)에 해당되는 것을 알 수 있다. 우현과 좌현에서 Peak 주파수가 상이한 원인은 진동계측시 Fresh water 의 Filling height 차이에 의한 고유진동수 변화, 구조물의 비대칭 및 우현 방향

에 있는 Bottom plate 균열에 따른 경계조건 변화의 영향이라고 판단된다.

따라서 육안검사와 진동계측결과를 종합하여 분석하면 Bottom Plate 구조손상은 프로펠러 날개수 1 차 성분과 주기관 8 차 성분 기진력에 의한 공진으로 과도한 진동이 발생하여 10,200 Off C.L girder 와 Bottom plate 교차지점인 Fillet 용접선 Notch 에서 피로균열이 진행된 것으로 추정된다.

3.1. 진동계측

Table 1 Main excitation frequencies

No	기진원	기진 주파수
1	Propeller - No. of Blade : 5 EA - 회전수 : 87.9 RPM at NCR	1 st : 7.33 Hz 2 nd : 14.65 Hz
2	Main Engine - Type : MAN B&W 8S70 MC-C - No. of Cylinder : 8 EA - 출력 : 30,380 BHPx87.9 RPM at NCR	8 th : 11.72 Hz

Table 2 The result of vibration measurement

No.	Point	Dir.	Peak Freq. (Hz)	Velocity (mm/s,RMS)
1	Bottom Plate of F.W.TK(S) (at Filling Ration 80%)	Vert.	7.25	134.6 (190.4 mm/s, Peak)
2	Bottom Plate of F.W.TK(P) (at Filling Ration 70%)	Vert.	11.5	55.3 (78.2 mm/s, Peak)

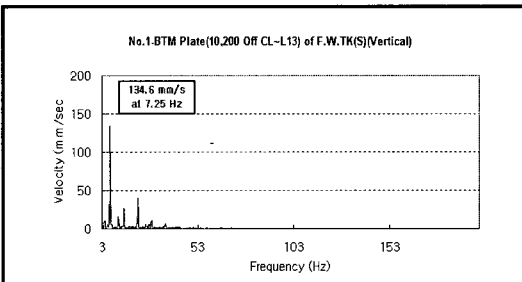


Fig. 3 Vibratory response of bottom plate (Stb'd)

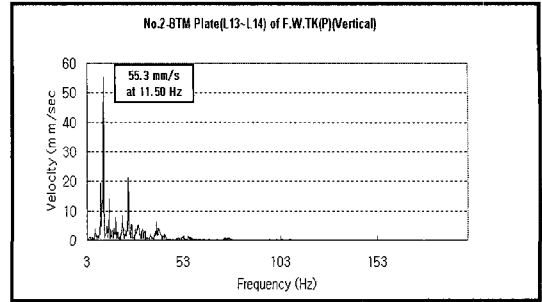


Fig. 4 Vibratory response of bottom plate (Port)

3.2. 고유진동수 계산

STX 조선(주)이 보유한 선체 보강판 고유진동 해석 전용 프로그램인 VAPS 를 이용하여 공기 및 접수상태에서 손상부위 보강판의 고유진동수 해석을 수행하였다. 손상부위 보강판의 고유진동수는 Table 3 에 나타난 바와 같이 공기상태(Empty condition)에서는 1st Mode 고유진동수가 34.57 Hz 로서, GL 선급이 제시하는 Limiting 값인 16.68 Hz [91RPM(MCR)에서 프로펠러 날개수 2 차 X 1.1 (10% Margin)]를 초과하므로 주요 기진 진동수와 공진을 회피하고 있다. 그러나 일면 접수상태에서는 1st Mode 고유진동수가 11.21 Hz 로서 공기상태 고유진동수에 비해 약 67.6% 정도 감소되어 나타나며, 일면 접수상태에서 1st 와 3rd Mode 의 고유진동수는 주요 기진 진동수인 주기관 8 차 성분(11.72 Hz) 및 프로펠러 날개수 2 차 성분(14.65 Hz)과 근접하고 있다. 따라서 공진을 회피할 목적으로 Fig. 9 (a),(b)와 같이 Longitudinal 의 중간위치에 Transverse web 를 설치하여 강성증가에 의한 고유진동수 상승을 유도 하였다. 구조보강 후 계산된 고유진동수는 Table 4 에 1st Mode Shape 는 Fig. 6 에 각각 나타내었다. 공기 및 일면 접수상태에서 계산된 직교 보강판의 고유진동수는 GL 선급의 제시값을 초과하고 있다.

또한, 동일한 구조보강 방안에 대해 해석범위를 확장한 모델을 사용해서 NASTRAN 으로 고유진동 해석을 수행하였다. 접수 진동해석은 VMM (Virtual mass method)을 알고리즘은 Lanczos 방법을 사용 하였다. NASTRAN 으로 계산된 일면 접수상태의 고유진동수는 Fig. 7(a),(b),(c) 에 나타내었다.

Table 3 Natural frequencies before structural reinforcement

(Unit : Hz)

Mode No.	Condition		GL Limiting
	In Air	1-Side Fluid	
1	34.57	11.21	16.68
2	39.23	12.73	
3	43.68	14.17	

Table 4 Natural frequencies after structural reinforcement

(Unit : Hz)

Mode No.	Condition		GL Limiting
	In Air	1-Side Fluid	
1	56.62	20.62	16.68
2	59.67	21.73	
3	78.68	28.65	

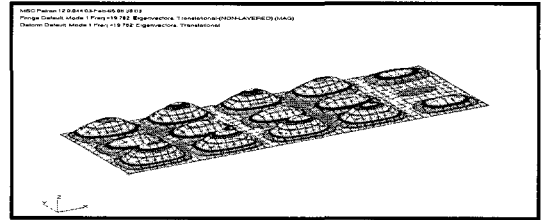


Fig.7(a) 1 차 Mode Shape : 19.782 Hz

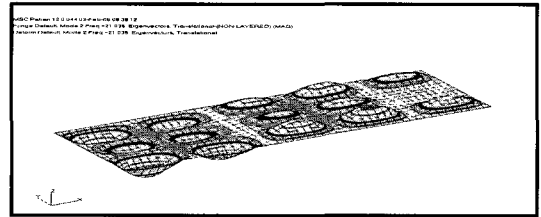


Fig. 7(b) 2 차 Mode Shape : 21.035 Hz

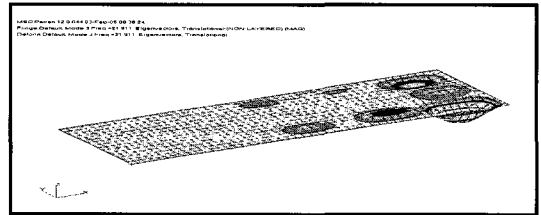


Fig. 7(c) 3 차 Mode Shape : 21.911 Hz

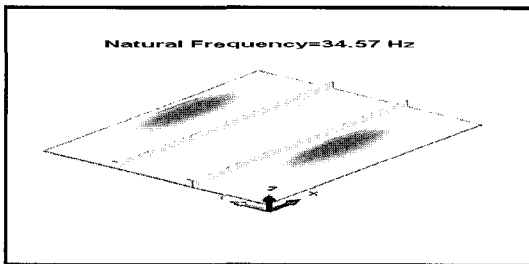


Fig. 5 1st Mode shape before structural reinforcement

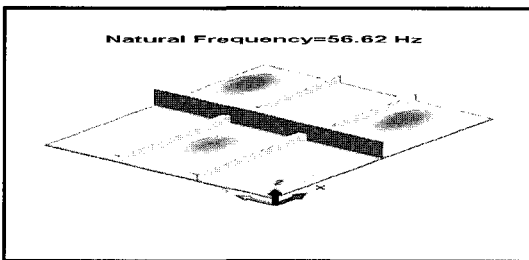


Fig. 6 1st Mode shape after structural reinforcement

NASTRAN 에 의한 일면 점수상태의 고유진동 수도 GL 선급의 Limiting 값을 초과하여 나타나고 있으므로 주요 기진 진동수와 공진은 발생하지 않을 것으로 예측되었다.

4. 손상부위 Repair 및 진동제어

4.1. 손상부위 Repair 방안

손상부위 구조배치는 Fig. 8(a),(b)에 나타난 바와 같이 Bottom plate 가 관통되고 10,200 Off C.L girder 와 Inner L/BHD Plate 가 Fillet 용접되어 있으며, 균열은 용접선 끝단 Plate 에서 진행되었다. 그러므로 Bottom Plate 의 Renew 작업이 필수적이었으며, 이를 위한 선행작업으로 Fig. 8(b)에 나타난 Inner L/BHD Plate 의 적절한 제거

도 요구되었다. Renew 부위는 집중응력으로 인한 피로 강도를 증가시키기 위해 Fig. 8(a),(b)와 같이 Plate thickness 를 12t 로 증가시키고, Fig. 9(a),(b)와 같이 Bracket 을 추가 하였다.

4.2. 진동제어 방안

과도한 진동문제에 대한 방진대책으로는 기진력을 감소시키거나, 구조보강으로 보강판의 고유진동수를 이동하여 공진을 회피하는 방법이 있다. 기진력 측면에서는 프로펠러 날개의 갯수를 바꾸어 기진 진동수를 옮기거나, Skew 가 큰 날개를 사용하여 기진력의 크기를 줄이는 방법이 있으나, 이 방법은 초기설계 단계에서는 가능하지만 건조 후 인도된 선박에서 국부 진동문제로 적용하기에는 현실성이 없다고 하겠다.

따라서 일면 접수상태에서 보강판의 고유진동수를 GL 선급 제시 값 (16.68 Hz) 이상으로 이동시켜 주요 기진진동수와 공진을 회피하고자 Fig. 9 (a),(b)와 같이 Transverse web 를 설치하는 구조보강을 채택하였다. 구조보강 후 계산된 고유진동수는 Table. 4 와 Fig. 6,7(a),(b),(c)에 나타내었다.

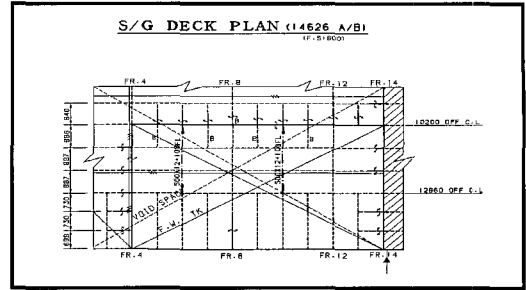


Fig. 9(a) Reinforcement for vibration control

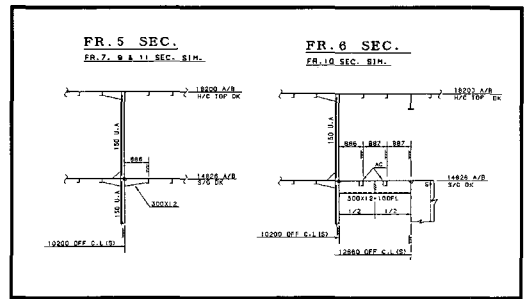


Fig. 9(b) Reinforcement for vibration control

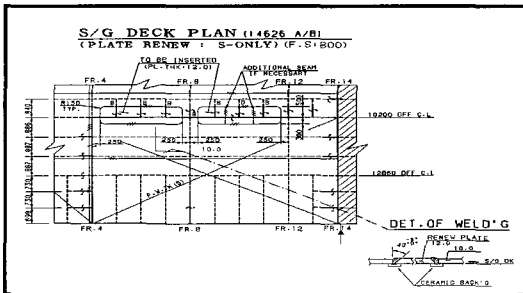


Fig. 8(a) Deck plan for repair

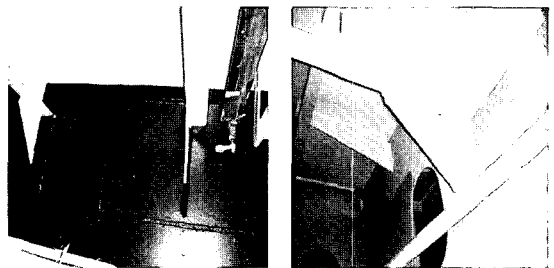


Fig. 10 Photograph after reinforcement

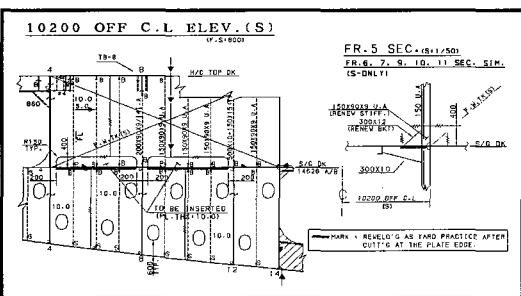


Fig. 8(b) Elevation for repair

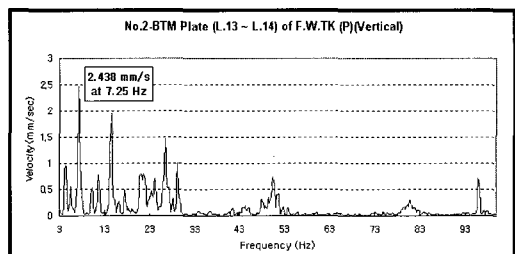


Fig. 11 Vibratory response after reinforcement

4.3. 진동제어 결과

손상부위 Repair 및 구조 보강 후 작업 결과는

Fig.10 에 나타내었다. 구조 보강 후 계측조건을 보강 전 상태와 동일하게 하여 진동 계측을 수행 하였으며, Fig.11 에 나타난 바와 같이 Peak 주파수는 프로펠러 날개수 1 차 성분인 7.25 에서 나타나고 있으나, 최대 진동응답 2.438 mm/s 로 상당히 양호한 결과를 얻었다.

5. 결론

본 사례 고찰을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 유체와 접하고 있는 선미부에 위치한 Tank 의 국부구조는 유체질량효과를 고려하여 고유진동 해석을 수행해야 하며, 대상 구조의 고유진동수는 GL 선급에서 제시하고 있는 권고 값 에 따라 MCR 에서 프로펠러 날개수 2 차 기진 진동수 이상으로 설계하여 주요 기진 진동수와 공진을 회피하여야 한다.

2) 선미부와 Engine Room 에 위치한 각종 접수 및 Oil Tank 에 과도한 진동이 발생하게 되면 이를 제어하기 위한 용접 및 도장작업에 있어 상당한 제약을 받기 때문에 사후 방진대책 수립이 어렵다. 그러므로 초기설계단계에서 철저한 방진대책을 수립하여야 한다.

3) 본 고찰 고유진동수 계산 사례에서 알 수 있듯이 일면 접수상태에서 고유진동수가 공기상태에 비하여 약 68% 정도 크게 감소하고 있었다. 접수 상태에서 보강판의 고유진동수가 크게 감소되면 상용 회전수에서 주요 기진 진동수와 공진할 가능성이 매우 높게 나타난다. 이 경우 공진회피를 위한 방진설계 개념은 보강판 구조부재의 강성을 상당히 증가시켜 고유진동수를 상승시켜야 한다. 따라서 방진설계를 고려한 Fresh water Tank 의 보강판 부재는 각 선급 Rule requirements 에 의해 결정되는 Size 와 비교하여 많은 강성 증가가 요구되므로 구조부재의 최소 Size 및 설계 개념은 아래와 같이 권장하고자 한다.

- Plate Thickness : 12.0 mm 이상
- 보강재 Size : 200 I.A 이상
- 각 Bulkhead 에 Horizontal Stringer 설치

참 고 문 헌

- 한상보 외 3 명, 1996, "원환판의 전수진동 해석에 대한 실험적 연구" 한국소음진동공학회 추계 학술대회 논문집, pp.431~437
- Dean B., 1985. " Documentation for the virtual mass capability", MSC Technical Note.
- Yuktaka Y. 외 3 명, 1998, " Vibration Analysis of a Water Tank Structure" 서부조선학회 96 회 강연집, pp. 181~192
- 최수현 외 2 명, 2002, " 사각형 탱크 구조의 접수 진동 특성에 관한 연구", 한국소음진동공학회 논문집 제 12 권 3 호, pp. 195~203
- 배성용 , 2003, " 접수탱크 구조물의 진동특성에 관한 연구", 대한조선학회 논문집 제 40 권 6 호, pp. 80~87
- 조대승 외 3 명, 2004, " 선박 국부 보강판의 고유진동해석 프로그램 개발(II)", STX 조선-ASERC 산학연구 보고서



< 신 성 광 >



< 안 형 준 >



< 최 의 걸 >



< 고 명 섭 >



< 임 효 관 >