대형 여객선의 쾌적한 레져공간 확보 및 최적 방진설계

Comfortable leisure space and prevention of vibration for large passenger ship

엄재광† ·권혁*·박주현*·한성용**

J. K. Eom, H. Kwun, J. H. Park, S.Y. Han

Key Words : passenger ship(여객선), vibration (진동), finite element method(유한요소법)

ABSTRACT

Habitability is one of the most important points when a passenger ship is cruising. In particular, anti-vibration design should be considered preferentially to offer passenger a comfort cabin and leisure space. But, a passenger ship is different from a general commercial ship in the view point of the structural arrangement. It is restricted within narrow limits to reinforce wide panels and local structures of a passenger ship because of its interior design. Moreover, the allowable vibratory limits for a passenger ship are much lower than those of a commercial ship. In this study are introduced the procedure of the vibration analysis, the structural improvement method for prevention of vibration and the results of vibration measurement during exciter test and sea trials.

1. 서 론

해상 운송수단의 발달과 경제적인 안정은 선박을 단순한 운송수단이 아닌 쾌적한 여행과 여가를 즐기는 수단으로 많은 사람들이 관심을 갖게 하였다. 특히, 단순히 승객 운송 목적뿐만 아니라 승선기간 동안 쾌적한 선실에서의 휴식, 쇼핑, 수영 등의 안락한 승선 생활을 원하는 승객수가 증가하게 되었다. 이에 따라, 여객 운항사들은 이러한 승객들의 기호를 만족시키는 한편 승객의 안락함을 최고로 함으로서 영업이익을 높이는 목적을 달성하기 위하여 새롭게 건조하는 여객선에 대하여 기존의 여객선보다 훨씬 낮은 진동을 건조 계약조건으로 제시하여 만족시켜 줄 것을 조선소에 요구하고 있다. 이러한 여객선은 주로 미국, 유럽과 지중해를 중심으로 해상무역이 활발한 지역의 화물운송과 접목되어 화물차량의 이동과 승객운송을 함께 할 수 있는 카페리 형태의 다목적으로 운항되고 있다.[1)]

여객선은 승객의 휴식공간 및 선실등의 쾌적성이 중요하며, 이러한 쾌적성을 높이기 위하여 진동 및 소음을 최소화 하는 것이 필요하다. 그러나, 고속회전 추진축계가 장착되는 여객선은 상대적으로 높은 주파수의 큰 기진력을 발생시키고, 선박의 무게중심 높이 및 자중의 제한이 방진설계를 더욱 어렵게 한다. 또한, 선실과 승객의 휴식공간 하부는 대형 트레일러가 이동 및 적재되는 장소이므로 차량이동시의 방해 및 안전을 저해하는 보강구조를 배치할 수 없고, 트레일러 갑판 공간의 상부에 위치한 거주구는 충분한 지지구조를 갖기 어렵다.

이러한 여객선의 진동관점에서의 단점을 극복하기 위하여 초기설계단계에서부터 진동특성이 비교적 상세히 검토되어야 한다. 그 이유는 거주구 내의 많은 대형 패널들의 진동 특성을 가장 효과적으로 제어할 수 있는 거주구 내의 격벽 및 기둥 설치를 결정하여야 하기 때문이다.

본 논문에서는 1000 여명의 승선인원과 대형 차량 갑판을 갖는 대형여객선의 전선진동특성 파악을 위한 3 차원 유한요소 해석 결과와 주선체의 특성 그리고 해상시운전시 성공적인 방진설계 결과를 확인하는 과정을 진동특성 중심으로 소개하고자 한다.

2. 선박의 주요 제원

2.1 선박의 제원

본 논문의 대상 선박의 주요 제원 및 기진력의 특성은 각각 아래 Table 1 과 Table 2 와 같다.

† 책임저자; 삼성중공업 조선해양연구소 진동소음연구
E-mail : jeakwang.eom@samsung.com
Tel : (055) 630-4739, Fax : (055) 630-8061

* 삼성중공업 조선해양연구소 진동소음연구

** 삼성중공업 조선해양연구소

Table 1. 선박의 주요 제원

Kind and type	Ro - Ro Ferry
LOA(m)	185.7
LBP(m)	172
Breath moulded(m)	28.4
Depth moulded(m)	15.7
Draught(full load,m)	6.75

Table 2. 주요 기진원의 특성

main engine	
Built year	2004
Kind and type	Man B&W 8L 48/60B
Power, kW	9,600
Speed, rpm	500
Propeller	
Number and type	2, CPP
No. of blades	4
Diameters(m)	5.4
Major excitation frequency (Hz)	4th : 9 Hz 8th : 18 Hz

본 대상 선박의 추진기 운전 방법은 회전수를 135rpm 으로 고정하고 프로펠러의 피치를 조절하여 출력을 조절하거나 RPM 과 피치가 같이 변하면서 출력을 조절하는 두가지 방식을 모두 갖는다.

2.2 진동허용기준

본 선박의 진동 및 소음허용기준은 LR PCAC (Passenger and Crew Accommodation Comfort)를 따른다. 진동에 대한 허용기준은 표 2.3 과 같다. 진동값은 overall frequency weighed rms (1~80Hz)로 평가하게 되어 있으며, 진동허용기준은 공실의 경우 2.5mm/s, open recreation deck 의 경우 3.0mm/s 로 매우 낮다.

LR PCAC에서는 진동계측 전 선급과 선주가 동의하는 최소 4 개 지점에서 속도를 1 knot에서 1 knot 간격으로 85% MCR까지 증가시켜 진동 및 소음 응답을 확인 후 진동계측조건을 결정하여, 계측을 실시하도록 규정되어 있다.[2)] 주요 계측 결과는 4 장에서 소개하도록 한다.

Table 3. LR PCAC 진동 허용 기준

Location		1 to 80 Hz overall frequency weighted r.m.s velocity mm/s		
		Acceptance Numeral		
		1	2	3
Passenger cabins	Standard	1,8	2,1	2,4
	Superior	1,5	1,8	2,1
Public spaces		2,0	2,5	3,0
Open recreation decks		2,5	3,0	3,5

NOTE
0,5 mm/s exceedance allowed in the aft body directly above the propellers.

3. 진동해석 및 방진설계

3.1 초기설계 및 방진조치

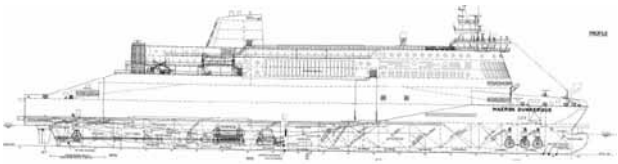


그림 3.1 여객선 측면도

본선은 3 개층 트레일러 및 차량 갑판과, 2 개층의 공실, 2 개층의 선실로 구성되어 있다. 공실영역에 대한 배치도는 그림 3.2 와 같다.

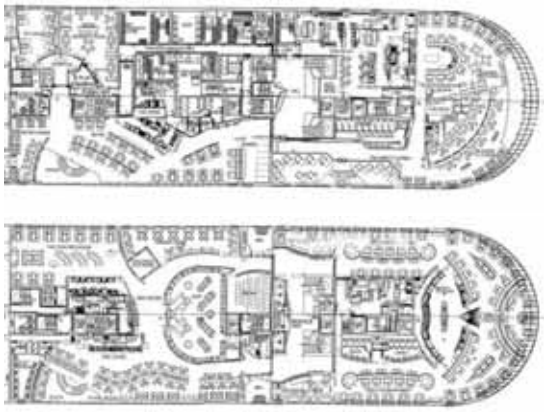


그림 3.2 공실영역 배치도

공실영역의 경우, 하부가 트레일러 갑판으로 구조적으로 하부지지가 취약한 부분에 대한 격벽 및 기둥배치의 조기의 적절한 결정이 요구된다. 객실은 일반선과 다르게 unit cabin이 설치되었으며, 부가물을 포함한 설계 질량분포는 100 kg/m^{2}이다. 그 대략적인 구조의 특징은 그림 3.3 에 제시된 유한요소모델로부터 알 수 있듯이 거주구 및 공실하부에 트레일러 갑판이 있고 이들의 회전 구간이 설정되어 있어서 지지구조가 거의 없음을 알 수 있다. 공실영역에 대한 질량분포는 40~60 kg/m^{2}이다.

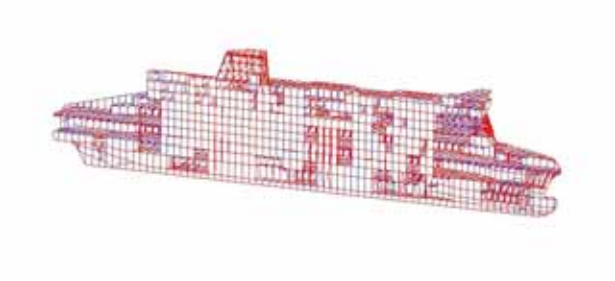


그림 3.3 3-D 유한 요소모델

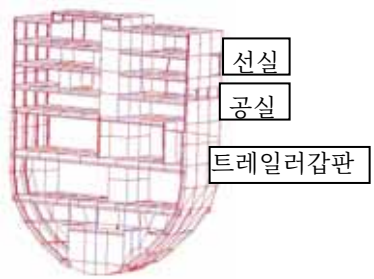


그림 3.4 선수 객실부 단면형상 (해석모델 일부)

초기 전선상세진동해석을 통하여 프로펠러 1 차 기진주파수(9Hz) 주변에 진동모우드를 분석하고, 강제진동해석을 통하여 진동응답을 구하였다. 한 예로 공실구역인 open recreation 영역에 그림 3.5 와 같은 진동 모우드를 가지는 진동문제가 예상되어 국부적인 진동보강이 이루어졌다. 그림 3.6 와 같은 국부적인 격벽 및 기둥과 거더의 재배치를 수행하여 기진주파수와 공진이 예상되는 고유모우드의 고유진동수를 변경시켰다. 거더의 크기 증가 방법은 공간상의 제한으로 적용이 어려울 뿐 아니라 대형 패널에 대하여는 효과가 적었다.

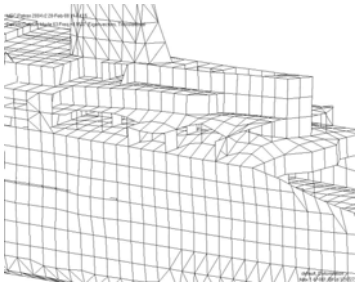
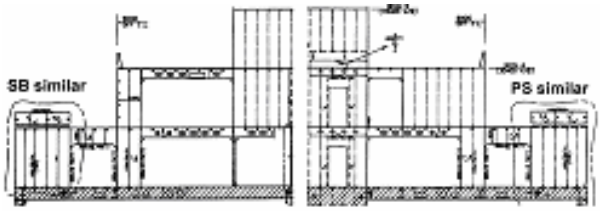
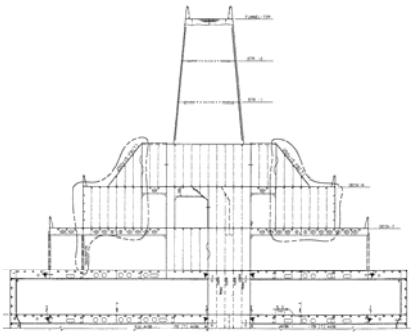


그림 3.5 공진 mode

그림 3.7 에서는 보강전 후의 진동해석응답을 나타내었다. 고유진동수 및 진동응답이 허용기준을 만족하도록 제어되었음을 확인할 수 있다.



a) 공실 주변 국부 격벽 설치



b) 선실 주변 국부 격벽 설치

그림 3.6 국부 보강

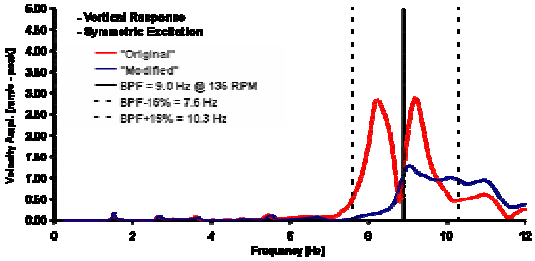


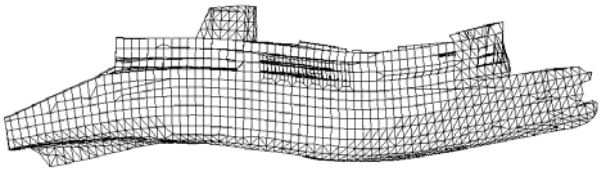
그림 3.7 진동해석 비교

이외 bisto, restaurant 등 공실 구역, 선실 및 트레일러 갑판에 대한 진동모드 분석 및 강제진동해석을 통하여 추가 격벽 및 기둥을 설치하는 등 초기 진동해석을 통한 최적 방진설계를 수행하였다.

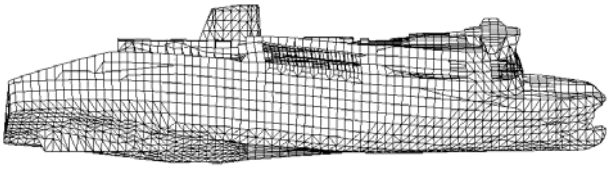
3.2 전선진동해석

전선 3-D 모델을 통하여 전선진동해석을 수행하고 진동문제를 확인하였다. 그림 3.7 는 본선 전선 기본 모우드를 나타낸다.

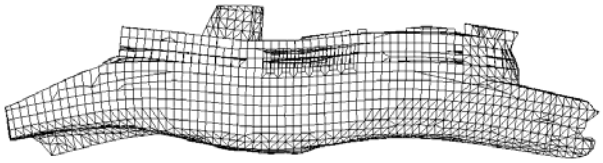
a) 선체 상하방향 2 절 모우드



b)선체 상하방향 3 절 모우드



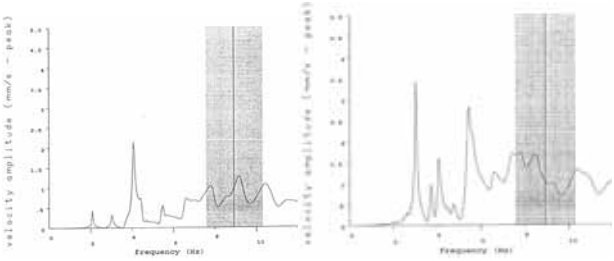
c) 선체 회전방향 1 절 모우드



d) 선체 상하방향 4 절 모우드

그림 3.8 전선진동 기본 모우드

진동응답은 그림 3.9 에서 보는 바와 같이 운항영역 내에서 2.0mm/s 이내로 양호함을 확인하였다.



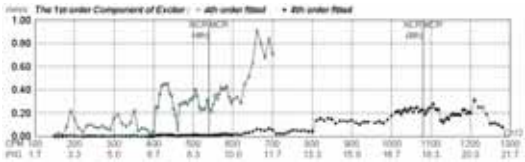
a) Transom b) N.B.D Fore end

그림 3.9 주선체 강제진동 상하방향 응답 곡선

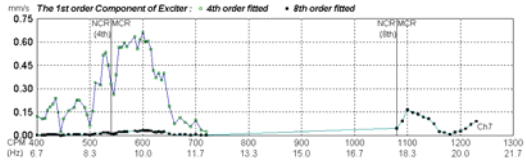
4. 진동계측 결과

4.1 가진기 시험

진수후 실내 장식이 완료되지 직전 단계에서 여객선용으로 개발된 고속 가진기로 프로펠러 날개수 1 차 성분과 2 차 성분에 대한 진동문제는 없는 것으로 확인되었고, 날개수 1 차 및 2 차 성분의 추정된 기진력에 대하여 fig 4.1 과 같이 주요 위치에서의 진동량이 추정되었다.



a) hull girder vibration level

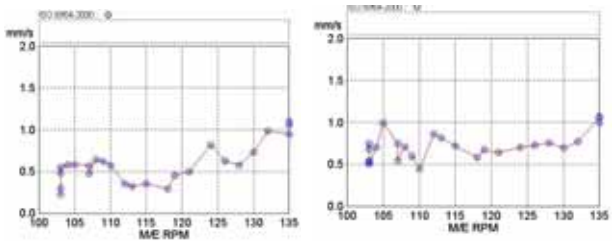


b) 공실 갑판(대형 패널) 진동

그림 4.1 가진기 시험의 주요 계측 결과

4.2 시운전 진동계측 결과

선박의 최종 점검단계인 시운전 중 전선진동계측 및 국부진동계측을 수행하였다. 전선진동계측을 위하여 37 개의 진동센서를 이용하였으며, PCAC 국부진동계측 전단계인 속도별 진동값을 확인하기 위한 진동센서 4 개를 포함하고 있다. 그림 4.2 는 각 속도에 해당하는 주기관 RPM 별로 재분석된 결과이다.

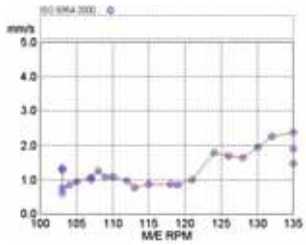


a) 공실갑판 (중앙부) b) 공실갑판 (선수부)

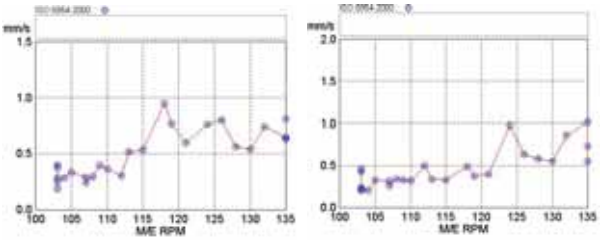
그림 4.2 PCAC 를 위한 전선진동계측 지점 응답곡선

그래프의 진동값은 overall frequency weighted r.m.s 값으로 그림 4.2 에서 보는 바와 같이 135rpm 에서 진동레벨이 약 1 mm/s 로 가장 높게 계측 되었음을 확인할 수 있다. 이에 PCAC 의 규정에 따라 85% MCR (135 rpm) 에서 국부진동을 계측하였다.

그림 4.3 은 주선체 진동 및 공실구역을 측정한 결과이다. 주선체의 경우 약 2.5mm/s, 공실 구역의 경우 약 1.0mm/s 로 진동레벨이 매우 양호함을 확인할 수 있었다.



a) 주선체 진동 (transom 상하방향)



b) 공실구역 (대형 패널) 진동레벨(상하방향)

그림 4.3 주선체 및 공실구역 전선진동 응답 곡선

그림 4.4 에는 PCAC 를 위한 85% MCR 조건에서 주요 위치에서의 계측결과이다. 선실은 1.0 ~ 1.5 mm/s, 공실은 1.2 ~ 1.6 mm/s 수준으로 PCAC 에서 요구하는 진동허용치를 모두 만족하였다.

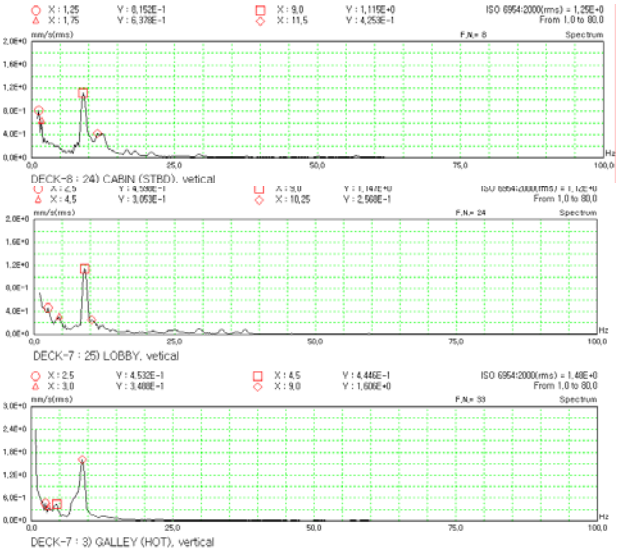


그림 4.4 주요 구역 국부진동계측 응답곡선

5. 결 론

여객선의 승객 쾌적도 향상을 위한 진동해석, 방진설계 및 계측을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 여객선의 경우 내부 인테리어를 고려하기 위하여 초기부터 방진설계를 위한 구조배치를 수행하는 것이 중요하다.
2) 대형 판넬들은 주선체와 연성된 진동 모우드를 갖게 되므로 국부진동해석 시부터 상세진동해석시 까지 지속적인 관심하에 면밀히 진동 특성이 검토되어야 한다.
3) 구조 설계시 가능하면 주선체로부터의 지지구조 간격이 넓은 패널을 피하도록 하고, 부득이한 경우에는 내부에 국부적이라도 격벽을 설치하는 것이 유리한 것으로 판단된다.
4) 고속 가진기를 이용한 진동계측 및 시운전 중 진동계측을 통하여 승객이 쾌적도를 높일 수 있는 방진설계 되었음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

(1) 엄재광,한성용, 2002, “대형여객선의 진동과 방진대책”, 한국소음진동공학회지, 한국진동소음공학회, p35~43.
(2) LR, 2004, “ Provisioal Rules : Passenger and crew accommodation comfort”
(3) 엄재광,한성용,권혁,이주헌,2001,”대형 Ro-Ro Ferry 의 진동 해석 및 방진 설계”, 추계학술대회논문집,한국소음진동공학회,p1050~1054.
(4) 박주현,오정한,엄재광,박노준,2006,”여객선에서의 진동과 Atrium stairway”, 대한조선학회지, 대한조선공학회
(5) 한국선급,”선박 진동/소음 제어 지침”.1991.
(6) DNV, ”Vibration Control in Ships”,1985.