

# 대형여객선의 진동과 방진대책

엄재광\* · 한성용

(삼성중공업(주) 조선플랜트 연구소)

## 1. 머리말

해상 운송수단의 발달과 경제적인 안정은 선박을 단순한 운송수단이 아닌 쾌적한 여행과 여가를 즐기는 수단으로 많은 사람들이 관심을 갖게 되었다. 특히 여객선은 단순히 바다를 통하여 이동하는 목적뿐만 아니라 승선기간 동안 쾌적한 선실에서의 휴식, 쇼핑, 식사, 수영 등의 안락한 승선 생활을 원하는 승객의 수가 증가하게 됨에 따라 여객 운항사들은 이러한 승객들의 기호를 만족시키는 한편 승객의 안락함을 최고로 함으로써 영업이익을 높이는 목적을 달성하기 위하여 새롭게 건조하는 여객선에 대하여 기존의 여객선보다 훨씬 낮은 진동상태를 보장하도록 엄격한 건조계약조건을 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 다목적 대형여객선(ro-ro ferry)이 요구되었다. 여기서 소개하는 대형 호화여객선은 이

탈리아에서 그리스로 왕복 운항하며 1250명의 승객이 탈 수 있는 여객선 선실 및 휴식, 수영장, 영화관 및 레크레이션 공간이 구비되어 있으며 아래층에는 200대 이상의 트레일러 차량과 캠핑용의 차량갑판을 구비하고 있다. 세계적으로 유명한 크루즈인 퀴엘자베스호가 승객 1,700명, 크리스탈하모니가 960명의 승객이 여행할 수 있음을 고려하면 삼성에서 건조한 3척의 여객선은 각각 세계에서 손꼽히는 규모의 호화여객선이며 수려한 지중해 경치와 어울려 매일 운항 시마다 1,000여명의 관광객이 삼성의 여객선 진동, 소음 제어기술을 높게 평가하고 홍보하고 있는 셈이다.

본 글에서 소개하는 대형 고속여객선의 방진 설계 시 우선 고려해야 할 사항은 선실과 승객의 휴식공간 하부는 대형 트레일러가 이동 및 적재되는 장소이므로 차량이동시의 방해 및 안전을 저해하는 보강 구조를 배치할 수 없다는 사실이다. 트레일러 갑판 공간은 상부에 위치한 거주구에 충분한 지지구조를 설치하기 어려우므로 여객의 대형 휴식공간은 약한 지지구조를 갖는 대형 패널 형태로 진동에 취약한 구조로서 방진설계 및 조치의 어려움을 안고 있다. 이러한

\* E-mail : ejk@smasung.co.kr

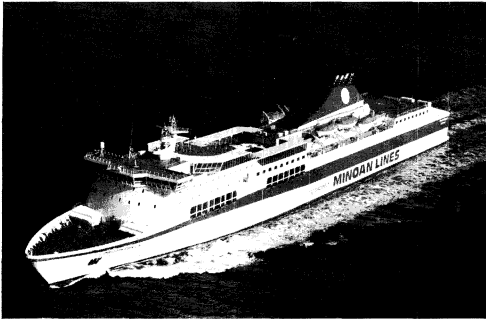


그림 1 대형여객선의 취항광경

여객선의 대형 패널 구조의 진동은 상선에서는 찾아보기 어려운 제약요소로서 카페리 형태의 여객선에서 빈번하게 발생하는 문제이다.

그리고 여객선에서 요구되는 진동허용기준은 상선에 비하여 1/2 이하의 낮은 허용기준이 적용되고 있다. 또한, 시속 30 노트 이상의 고속 대형 페리로서 일반 상선에 비하여는 추진기가 고속으로 회전 할뿐만 아니라 축의 길이가 상대적으로 긴 추진 축계가 장착되므로 별도의 검토와 배치가 요구되며 상선에 비하여 높은 주파수에서 큰 기진력을 발생시킨다. 이러한 방진설계 및 조치는 선박의 영업용 재화중량, 안정성 및 복원성과 관련된 전체중심 높이의 한계에 의하여 제한될 수밖에 없는 상황이다.

이러한 고속 대형 페리의 방진설계는 일

반 상선의 경우와는 다르게 초기설계 단계에서부터 진동 특성을 파악하고 대비하는 지혜가 필요하다. 그 이유는 거주구 내의 많은 수의 넓은 패널들의 진동 특성을 가장 효과적으로 제어할 수 있는 거주구 내의 격벽과 기동들의 설치 여부 및 위치 결정이 초기에 적절하게 배치됨으로서 선실 및 구조가 확정된 후 추가적인 조치를 최소화 할 수 있다. 장비 및 구조배치가 설계초기에 확정되지 않으면 승객들의 휴식공간 및 오락 시설 그리고 유사시 대피공간 등에 영향을 주게되고 아늑하고 쾌적한 분위기 연출이 요구되는 인테리어 디자인에 영향을 주게 되므로 재배치가 제한되는 경우도 고려하여야 한다. 거주구 내의 실내 장식은 여객선의 화려함과 쾌적도를 만족시키는 중요한 설계이므로 방진 조치시 우선적으로 고려하여야

합 사항이다.

이러한 넓은 갑판패널들의 조함으로 구성된 여객선의 진동 특성을 파악하고 방진조치를 취하는 방법으로는 국부진동해석과 전선진동해석을 수행하여야 한다. 국부적인 대형 갑판패널은 주변구조들과 연결되어 있어 각 구역별로의 개별적인 국부 진동 해석만으로는 만족스러운 방진조치를 기대하기는 어렵다. 따라서 각 갑판의 주요 패널의 진동 거동이 반영된 전선진동해석을 수행하면서 배 전체적으로 진동이 낮게 제어될 수 있도록 시스템적인 진동해석 및 진동제어 전략이 요구된다고 할 수 있다. 물론, 거주구 전체에 사용된 관재의 두께, 보강재의 최소 크기 및 최대 간격 등은 국부적인 진동 해석을 통하여 결정된 것이다.

본 글에서는 고속 대형 여객선의 특징인 거주구의 넓은 갑판패널들의 진동 제어 및 3차원 진동해석과 제어과정을 중심으로 소개하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 선박의 주요 제원

최근 삼성에서 건조하여 인도한 대형 여객선의 제원과 주요 기진원의 특성은 각각 아래 표 1, 2와 같다.

본 글에서 소개하는 여객선의 추진방식은 입정한 회전수를 유지하는 축에 가변피치 프로펠러가 장착되어 피치를 조정함으로써 추력을 조절하는 방법이 채택되었다.

### 2.2 진동 해석 및 방진 설계

(1) 초기 거주구의 고유진동해석과 방진 설계 구조적으로 하부지지가 취약한 부분에 대

표 1 선박의 주요 제원

LOA	212.0 m
LBP	198.0 m
Breadth moulded	25.0 m
Depth moulded	15.25 m
Draught at full load	6.6 m
Displacement at full load	18,456 tons
Dead Weight at full load	6,200 tons
- passenger & crew	- 1250P
- Trailer(15.5 m)	- 116 Unit
- Car	- 100 Unit

표 2 주요 기진원의 특성

Main engines	
Built year	2000
Kind and type	Wärtsilä 12V46C
Power	12600 kw
Speed	500 rpm
Propellers	
Number and type	2, CPP
No. of blades	4 EA
Diameters	4.6 m
Mean pitch ratio	1.46
Expanded area ratio	0.76
Propeller RPM at MCR	154 rpm

한 격벽 및 기동 배치는 설계초기에 검토 및 결정이 요구되어 선수 거주구에 대한 상세한 진동 해석을 수행하였다. 객실은 일반 선과는 다르게 규격화된 선실(unit cabin)이 설치되어 있으며, 내장재를 포함한 갑판상부의 부가물 질량을 고려하였다. 거주구 구역의 구조의 해석 모델은 그림 2에 나타낸 바와 같다. 구조의 특징은 그림 3, 4와 같

## 특 집 선박진동

이 거주주 하부에 트레일러 갑판은 차량이 통구간으로 지지구조가 배치될 수 없음을 알 수 있다. 식당, 카페 등의 휴식공간은 관련 장식과 비품 그리고 칸막이 등의 무게를

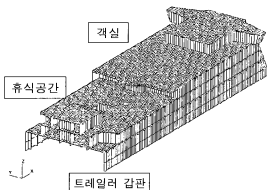


그림 2 선수 거주주의 유한요소모델

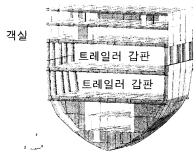
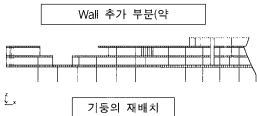


그림 3 선수 객실부의 단면 형상(모델일부)



(선수 거주주 하부 중간의 유일한 지지구조)  
그림 4 1600 OFF CL(P) 종단면(해석모델)

고려하여 설계 질량을 구하는 방법을 취하였다.

선수선실과 여객휴식공간에 대한 상세 국부진동해석결과 진동이 예상되는 위치에 대하여 그림 4와 같이 부분적인 격벽 및 기둥을 추가하고 재배치를 수행하여 날개수 가진주파수인 10.26 Hz와 공진이 예상되는 갑판 패널의 고유모드와 고유진동수를 변화시켰다. 갑판보강부재인 거더의 크기는 공간상 제한되고 강성과 함께 질량이 증가하여 넓은 갑판패널에 대하여는 효과적이지 못하였다.

7.48 Hz



7.93 Hz



9.34 Hz



10.47 Hz



10.69 Hz



그림 5 거주주의 보강 전 고유진동해석 결과

보강전의 고유진동해석 결과로서 고유진동모드와 고유진동수별 그림 5에 나타내었고, 보강후의 고유진동해석 결과 진동모드와 고유진동수는 그림 6과 같다. 이러한 과정은 초기 진동해석을 통한 1차적인 방진 설계로서 상세설계 단계에서는 국부판넬 진동해석과 3차원 전선 진동해석과정에서 검토되었다.

(2) 국부 판넬의 진동해석

상세 구조의 설계 시 모든 갑판구조의 국부진동해석을 수행하고, 각 부분에 해당하는 주요 기진원인 프로펠러, 선미 및 선수 스퀀러에 대하여 공진 회피설계를 실시하였다. 이에 각 탱크구역에 대하여는 접수효과를 고려하였다. 상세한 진동해석은 삼성중공업(주)에서 자체 개발한 갑판구조의 국부패널해석

7.70 Hz



9.34 Hz



11.09 Hz



11.23 Hz



그림 6 거주구의 보강후 고유진동해석 결과

\*\*\* CRITICAL FREQUENCY \*\*\* 23.4 HZ  
 PLATE: FRAMESPACING = 600.0 MM THICKNESS = 9.0 MM  
 STIFFENER: WEB 125.0 x 10.0, FLANGE 75.0 x 10.0,  
 CRIT. LENGTH (MM)  
 CONDITION ADDED MASS (KG/M^2) STIFFENER LENGTH

A-IN AIR:	0.00	3872.7
A-IN AIR:	20.00	3955.1
A-IN AIR:	40.00	3515.9
A-IN AIR:	80.00	3331.3
B-ONE SIDE FLUID:	0.00	2258.4
B-ONE SIDE FLUID:	20.00	2248.2
B-ONE SIDE FLUID:	40.00	2237.2
B-ONE SIDE FLUID:	80.00	2215.9
C-BOTH SIDES FLUID:	0.00	1983.7

(a) 갑판 패널구조의 임계길이 계산 예

**Calculation of Critical Length** X

Steel	Stiff. DB	Exit
<b>Target Frequency:</b> 23.4 Hz		
Plate Thickness: 9 mm		
Frame Spacing: 700 mm		
Added Mass: 0 Kg/mm <sup>2</sup>		
<b>Data of Stiffener</b>		
Thickness of Flange: 14 mm		
Breadth of Flange: 90 mm		
Thickness of Web: 9 mm		
Height of Web: 186 mm		
No. of Support Stiffeners: 0		
<b>Status of Fluid Contact</b>		
<input type="radio"/> Non-Contact <input checked="" type="radio"/> One Side <input type="radio"/> Both Sides		<input type="radio"/> Sea Water <input checked="" type="radio"/> Fresh Water <input type="radio"/> Oil
<b>Results of Critical Length</b>		
Calculation	Plate Field	3287.0 mm
	Stiffener Field	2890.0 mm

(b) SSPAN에 추가된 critical length 계산 가능  
 그림 7 판재와 보강재의 임계길이 계산 예

## 특 집 선박진동

전용 프로그램인 SSPAN을 이용하였다. 모든 갑판패널들에 대한 진동해석 및 평가들 효율적으로 수행하기 위하여 목표 고유진동수에 대한 판재와 보강재의 임계길이 개념을 도입하였다. 국부 갑판패널에 대하여 임계길이 적용한 예는 그림 7에 예시하였다.

### (3) 전체선박 진동해석

여객선의 선실 구조의 대형 패널, 차량갑판의 대형 패널과 종량물 그리고 여객선 전체를 구성하고 있는 외관 구조 등을 고려한 3차원 진동해석은 여객선의 진동을 설계과정에서 정도 있게 확인 및 조치하는데 필수적인 과정으로 요구된다.

선수 거주구의 초기 상세 진동해석과 넓은 패널들의 진동 모드들이 국부진동해석시의 모드뿐만 아니라 주 선체 진동 모드들과 연성되어 좀더 복잡하게 나타났다.

3차원 전체선박진동해석모델은 그림 8에 나타내었으며 선실의 거주구 진동해석 결과 그림 9에 보인 것과 같이 상하방향으로 지배적인 진동 모드가 나타났다. 또한 여객휴식공간의 하부 역시 차량 갑판이므로 지지 구조를 설치하기가 곤란하였다. 공간을 활용하여 작은 격벽을 설치하고 상하연속을 고려하여 기둥을 배치하는 방진설계를 수행한

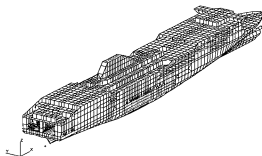


그림 8 3차원 전체선박 진동해석 모델

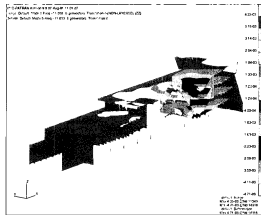
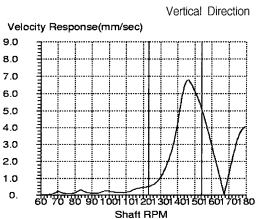
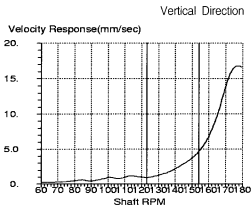


그림 9 전체선박 진동해석시 진동모드



(a) 방진조치전의 응답곡선



(b) 방진조치 후의 응답곡선

그림 10 선미 휴식공간의 방진조치 전후비교

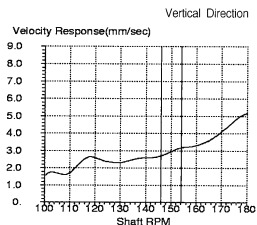


그림 11 객실의 방진조치 후 응답곡선 예

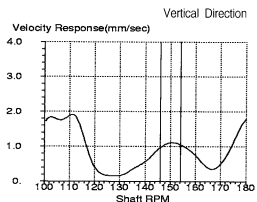


그림 12 여객선 선실의 진동응답곡선 예

후 응답계산을 수행하였다. 그림 10에 휴식 공간의 방진조치 전후의 응답곡선을 비교하였으며, 객실의 진동응답을 그림 11, 12에 일례로 나타내었다.

### 2.3 가진기 시험

가진기 시험은 설계단계에서 진동해석 및 방진조치를 시운전전에 확인하는 과정으로 복잡한 모드를 갖는 여객선에서는 필수적인 시험이다. 그림 13에 나타낸 가진기 사진은 당사가 여객선 건조를 위해 특별히 제작한

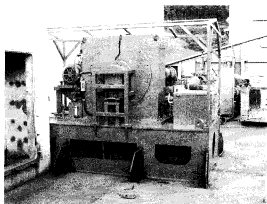


그림 13 여객선 전용 가진기 사진

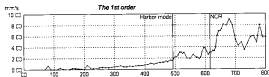
여객선 전용 가진시험 장치이다.

시운전시 진동이 발생하는 경우 고급 인테리어가 설치되어 있는 여객선의 내부를 보강하는 것은 많은 시간과 경비가 소요되므로 진수 후 실내 장식작업이 완료되기 직전 단계에서 가진기 시험을 수행함으로써 필요한 보강작업을 결정하고 마무리 짓는 것이 필요하다. 상선용 가진기는 15 Hz 이하의 범위에 대하여 시험을 수행하지만, 여객선용으로 개발된 가진기는 25 Hz 이상의 범위에 대하여 가진시험을 할 수 있도록 되어 있다. 가진기 시험결과 주요 위치에 대한 응답측정결과는 그림 14에 나타내었다. 여객선의 선실 및 휴식공간의 진동은 모든 위치에 대해서 허용기준을 만족할 것으로 판단되었다.

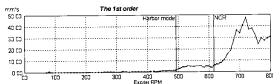
### 2.4 해상시운전 중 진동계측

해상 시운전 중 진동계측은 조선소에서 선박을 건조 후 각종 성능시험을 수행하는 기간 또는 항해 중에 정규운항조건에서 수행하는 것으로서 해상조건은 ISO-4867에 따르면 일반적으로 파고 1 m 이하(sea state

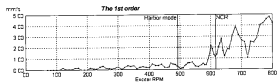
## 특 집 선박진동



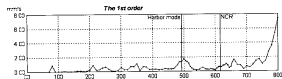
(a) 거주구 뒤쪽의 주선체 진동



(b) 선미휴식공간



(c) 선수 공실



(d) 선수 선실

그림 14 가진기 시험 측정 결과 평가

3)에서 측정하는 것으로 제안되어 있다. 이러한 조건에서 측정할 수 없는 경우 항해 중에 진동측정 및 평가가 요구된다.

당사에서 시운전기간동안 일기변화로 인하여 해상은 높은 파고의 파도가 낮은 해상에서 측정할 수 없었으므로 선미부 프로펠러 주변의 압력변화가 급격하게 발생되어 잔잔한 해상에서 일어나는 진동보다 높은 경향으로 나타나는 경우를 경험하였다.

이러한 경향을 선주에게 확인시키기 위하여 해상조건이 쉽게 유지되는 실제 항해구

표 3 해상조건에 따른 진동측정값 비교

위 치	시운전	항해중
수영장	5.5 mm/s	3.1 mm/s
식 당	5.0 mm/s	3.1 mm/s
휴게실공간	7.1 mm/s	4.1 mm/s

역에서 진동계측을 수행하게 되었다. 항해 중 계측시의 파고는 1.5 m 이하로 양호한 편이었다. 해상조건에 따른 계측 결과들을 비교하여 보면 아래 표 3과 같으며 명기되지 않은 장소는 진동이 2 mm/s 이하이므로 별도로 기록하지 않았다.

결국 실제 운항조건에서 계측을 통하여 여객선의 모든 구역에서의 허용기준을 만족하는 것으로 확인되었다. 이러한 해상 조건에 따른 진동량의 변화는 넓은 패널과 지지구조가 주선체와 견고하게 연결되지 못한 패널들에서 뚜렷하게 나타났다.

### 3. 맺음말

승객 1,250명 이상의 대형 여객선의 진동 해석 및 방진 설계 과정과 진동 계측 및 확인 과정을 통하여 다음과 같은 결론과 개선 사항을 배울 수 있었다.

(1) 대형 여객선의 방진설계는 초기설계시의 주요배치부터 상세 설계시 넓은 갑판 패널들의 국부진동해석에 의한 개선 그리고 3차원 전선 모델에 의한 주선체와 대형 갑판 패널과 연성된 진동해석을 통하여 주요 기진원에 대한 진동응답 특성을 검토하고 효과적으로 조치하는 과정의 수행이 필수적이라고 사료된다. 특히 상선과는 달리 관류부서 및 실무자들의 공통된 개선의지와 관심



이 저진동의 쾌적한 여객선을 완성하는 길이라고 사료된다.

(2) 구조 배치 설계시 주 선체로부터의 지지구조 간격을 우선 고려하고 넓은 갑판 패널이 공진하지 않도록 개선하는 노력이 필요하다고 판단된다.

(3) 국부적인 진동모드가 다수 나타나는 많은 여객선에 있어서 진동해석의 정확도는 구조배치 뿐 아니라 중량의 분포에 의하여 오차가 증가될 가능성이 많으므로 선체구조가 완성된 안벽조건에서 가진기 시험을 수행함으로 의장작업이 완료되기 전에 마무리 방진 조치가 필요하다.

(4) 해상 시운전 중 진동계측은 해상 조건에 비교적 큰 영향을 받게된다. 진동값의 평가를 위해서는 객관적인 기준이 정립되어 있지 않으므로 ISO 4867에 제시된 조건을 맞추는 것이 현실적으로 필요하다고 사료된다.

(5) 이러한 대형 여객선의 방진설계 및 시운전 진동계측과정을 통하여 또 다른 고려사항으로서의 긴 축계 시스템을 갖고 있으므로 프로펠러 축의 1차 회전수 성분의 가진력이 주선체의 비틀림 진동 또는 상하 진동 모드와 공진 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

(6) 국내 조선소에서 고부가 호화여객선을 경쟁력 있게 건조하기 위하여는 관련 의장

작업을 할 수 있는 국내업체의 적극적인 발굴이 필요하고 여객선용 기자재업체가 육성되어 여객선 건조 및 인테리어 디자인 기술력의 중요한 부분을 분담하는 여건이 조성되어 수입 의존도를 줄이고 국산기술에 의한 경쟁력 있는 체제로 전환할 필요가 있다고 사료된다.

## 참 고 문 헌

(1) 업체광, 한성용, 권혁, 이주현, 2001, "대형 Ro-Ro Ferry의 진동해석 및 방진설계," 한국소음진동공학회 추계학술대회는문집, pp. 1050~1054.

(2) 권혁, 한성용, 업체광, 2001, "1000인승 대형 Ro-Ro Ferry의 축계 Whirling 진동해석 및 계측 분석," 한국소음진동공학회 춘계학술대회는문집, pp. 143~148.

(3) ISO 4867-1984 (E), Code for the Measurement and Reporting of Shipboard Vibration Data.

(4) 한국선급, 1991, "선박 진동/소음 제어 지침".

(5) BV, 1987, "Building and Operation of Vibration-Free Propulsion Plants and Ships".

(6) DNV, 1985, "Vibration Control in Ships".