

# 부유식 석유 저장 하역 선박(FSO)의 소음 특성 및 제어 Noise Characteristic and Control of FSO

이장우\* · 김동해\*

Jang-Woo Lee and Dong-Hae Kim

**Key Words** : FSO(부유식 석유 저장 하역 선박), Noise Prediction(소음해석), Noise Control(소음제어)

### ABSTRACT

본 논문은 부유식 석유 저장 하역 선박(FSO)의 소음 특성 및 해석 기법에 관한 것이다. FSO의 선실 소음 수준은 일반 상선과는 달리 선실 내부에 있는 소음원 이외에도 topside에 있는 각종 소음원들의 영향을 크게 받는다. 따라서, topside에 있는 각종 소음원들이 선실의 소음수준에 미치는 영향을 정확히 평가하는 것이 중요하다. 일반적으로 FSO의 소음해석은 옥외 및 선실 소음 해석으로 구분하여 수행한다. 본 논문에서는 topside에 있는 각종 소음원들의 공기음 전파 특성 해석은 ISO 9613에 근거한 프로그램을 이용하였고, 고체음 전파 특성은 파워 흐름 해석법을 이용하였다. 또한 선실 소음 해석은 통계적 에너지 해석법(SEA)을 이용하였으며, 해석 결과로부터 높은 소음 수준이 우려되는 구역에 대한 방음 대책을 제시하였다. 위의 선실 소음 해석 결과는 향후 FSO의 topside에 있는 각종 소음원들에 의한 선실의 소음 해석 기법 정립에 기여할 것으로 기대된다.

### 1. 서 론

부유식 석유 저장 하역 선박(FSO)은 일반 상선과는 달리 석유의 저장 및 하역을 위한 각종 기계 설비들이 topside에 설치되어 높은 수준의 소음을 유발하고 선실의 소음 수준에 많은 영향을 미친다. 이와 같은 FSO의 선실 소음 발생 특성에도 불구하고, 대상 FSO의 소음 허용치는 일반 상선과 같은 엄격한 수준이므로 설계 단계에서 소음 제어를 위한 적절한 방음 대책이 강구되어야 한다. 일반 상선에서는 선체 내부에 있는 주요한 소음원만을 고려하면 되지만, 대상 FSO와 같이 선실과 각종 기계 설비들이 상갑판 위에 H형 보로 지지된 경우에는 그 소음 특성을 규명하기 위해서 기존의 방법과는 다른 해석적 방법이 적용되어야 한다. 소음 해석을 위한 방법으로는 경험식을 이용하는 방법[1]과 통계적 에너지 해석법(Statistical Energy Analysis, SEA)[2]이 사용되고 있으며, 다양한 설계상의 변화를 고려할 수 있다는 점에서 통계적 에너지 해석법이 많이 사용되고 있다.

본 논문에서는 topside에 있는 각종 소음원들이 선실의 소음 수준에 미치는 영향을 고려하는 방법을 제시하고, 대상 FSO의 소음 해석을 실시하였다. 이를 위해 topside에 있는 각종 소음원들의 공기음 전파 특성은 ISO 9613에 근거한 프로그램인 ENPro[3]를 이용하였고, H형 보를 통해 선실로 전달되는 고체음의 전파 특성은 파워 흐름 해석법(Power Flow Analysis, PFA)[4]으로 검토하였다. 또한 선실의 소음 해석은 통계적 에너지 해석법을 이용하였다. 해석 결과 주요한 소음원의 소음 전달을 차단하기 위한 적절한 방법과 소음 허용치를 초과하는 구역에 대한 방음 대책을 제시하였다. 해석 대상 FSO의 주요 제원은 Table. 1과 같다.

Table. 1 Principal dimensions of FSO

Length O.A	about 298.0 m
Length B.P	about 293.6 m
Breadth MLD	62.0 m
Depth MLD	32.2 m
Draft MLD	22.0 m

### 2. 옥외 소음 해석 및 결과

FSO의 topside에는 석유의 저장과 하역을 위한 각종 기

\* 현대중공업(주) 선박해양연구소  
E-mail : spram@shinbiro.com  
Tel : (052)230-7401, Fax : (052) 230-5495

계 장비들의 작동으로 인하여, 장비 표면에서부터 방사되는 공기음과 장비를 지지하는 하부 구조인 H형 보를 통해 선실로 전달되는 고체음이 발생한다. 따라서 공기음 성분만을 고려하여 topside의 소음 수준을 계산하고, 선실에 미치는 영향을 검토하였다.

### 2.1 옥외 소음 해석 방법

옥외 소음 해석을 위한 모델은 hull 구조와 topside위의 각종 소음원을 그리고 building들이 포함되도록 하였다. Fig. 1은 FSO의 옥외 소음 해석을 위한 모델을 보여준다.

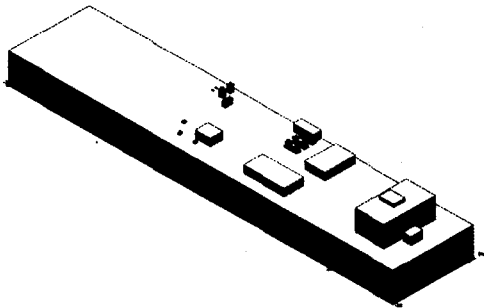


Fig. 1 The ENPro model for outdoor noise prediction

소음 해석에 사용된 소음원은 계측된 값이 있을 경우에는 계측값을 이용하였고, 계측값이 없을 경우에는 참고 문헌[5]으로부터 소음 수준을 추정하였다. 적용된 소음원의 공기음 수준은 음향 출력 수준을 이용함을 기본으로 하였으며, 음향 출력 수준을 알 수 없을 경우에는 소음원 주위틀 둘러싸는 가상 면적을 고려하여 음향 출력 수준을 추정하였다. 해석 결과에 중요한 영향을 미치는 흡음률과 투과 손실은 계측이 가능한 경우에는 계측값을 사용하였고, 다층 구조로 이루어져 계측이 어려운 경우에는 참고 문헌을 토대로 추정하였다. 옥외 소음 해석은 소음 수준이 가장 높을 것으로 예상되는 electrical load 조건에서 수행되었다.

### 2.1 옥외 소음 해석 결과 및 평가

대상 FSO의 옥외 소음 해석 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) FSO의 topside에서 예측된 소음 수준은 대략 75 ~ 90 dB(A) 정도이고 터빈 발전기가 위치한 부근에서는 소음 수준이 다소 높은 것으로 예측되었지만, topside에서의 과도한 소음 문제는 발생하지 않을 것으로 기대된다.(Fig. 2 참조)
- 2) 선실 바로 앞에서 예측된 소음 수준은 대략 70 ~ 75 dB(A) 정도이다(Fig. 3 참조). 해석 결과로부터 선실의 aft. wall을 통해 투과되는 음압 레벨을 식 (1)을 이용하

여 수치적으로 계산하였다.

$$SPL = SPL_0 - TL - 10 \log_{10}(A/S_0) \quad (1)$$

여기서  $SPL_0$ 는 해당 선실 바로 앞의 음압 레벨,  $TL$ 은 aft. wall의 투과손실,  $A$ 는 선실의 흡음력,  $S_0$ 는 투과면적이다.

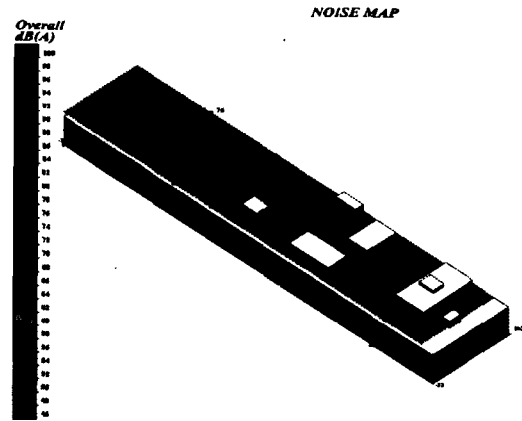


Fig. 2 The predicted noise level at the height of level 1 deck + 1.5 m

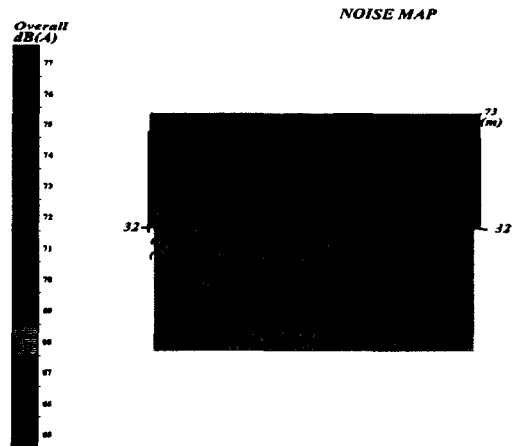


Fig. 3 The predicted noise level in front of the aft wall of accommodation

### 3. 고체 전달음의 고려

Topside에 있는 소음원의 고체음 전달 특성은 파워 흐름 해석법을 이용하여 규명하였다. 파워 흐름 해석법은 유한요

소법과는 달리 에너지 지배 방정식을 기반으로 하여 중고주파 영역의 소음 특성을 해석하는 강력한 수단으로, 당 연구소에서 보유한 프로그램을 이용하여 전달 특성을 파악하였다. 각종 기계 설비들이 위치한 seat 및 선실은 Fig. 4와 같이 상갑판 위에 여러개의 H형 보로 지지되어 있으므로, 기계 설비들이 작동시에 발생하는 고체음이 선실의 소음 수준에 미치는 영향을 파악해야 한다.

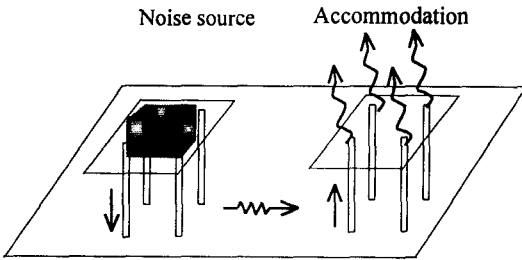


Fig. 4 The transmission of structureborne noise

Fig. 5는 H형 보로 지지된 seat 위에서 작동중인 임의의 가진원에 의해서 발생한 고체음이 H형 보를 통해 상갑판으로 전달되는 특성을 보여준다. Fig. 5에서부터 판 요소와 보 요소가 서로 연성된 구조물의 경우에는 보를 통해서 전달되는 고체음의 수준은 무시할 수 있을 정도로 작다는 것을 알 수 있다.

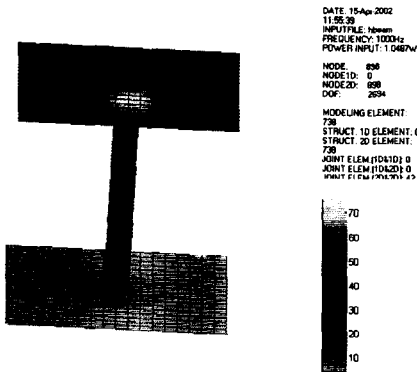


Fig. 5 PFA analysis of plate-H type beam junction

Topside의 소음원들과 선실의 실제 위치를 모델링하여 파워 흐름 해석법으로 고체음의 전달 특성을 해석한 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6의 해석 결과는 Fig. 5의 해석 결과와 비교하여 고체음이 다소 많이 전달되는 특성을 보이나, 이것은 지지하는 H형 보의 숫자가 많은 것에 기인한 것으로 판단된다. Fig. 5 ~ Fig. 6의 파워 흐름 해석법에 의한 결과로부터 H형 보를 통해서 전달되는 고체음 수준은 무시할

수 있다는 것을 확인하였다. 그러므로 대상 FSO의 소음 해석에서는 topside에서 선실의 aft. wall을 통해 투과되는 소음만을 고려하였다.

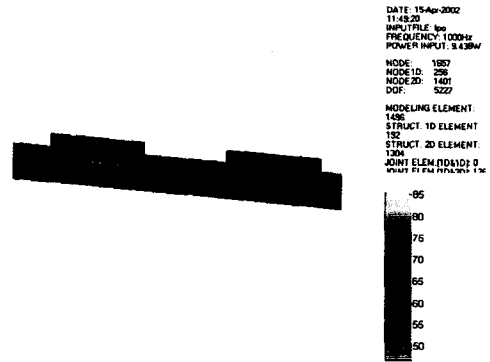


Fig. 6 PFA analysis of topside

#### 4. 선실 소음 해석 및 결과

FSO의 선실 소음 해석은 선실내에 위치한 각종 기계 설비에 의해서 발생하는 공기음과 고체음 성분, 공기 조화 장치인 HVAC에 의한 공기음 성분 그리고 topside에 위치한 소음원으로부터 선실로 투과되는 공기음 성분들을 모두 고려해야 한다. 건조 후에는 소음 문제 발생시 적절한 방음 대책을 세우기가 어려우므로, 설계 단계에서 상세한 선실 소음 해석을 통해 소음 허용치를 초과할 것으로 예상되는 선실에 대한 적절한 방음 대책을 수립하는 것이 중요하다.

##### 4.1 선실 소음 해석

선실 소음 해석을 위한 모델은 당사에서 구조 해석을 수행할 때 전처리기로 사용되는 MSC/PATRAN을 이용하였으며, 실제의 형상이 잘 표현되도록 선실내의 모든 판 요소와 음장 요소를 포함하였다. Fig. 7은 대상 FSO의 선실 SEA 모델을 보여준다. 모델의 요소수는 판 요소가 747개이고, 음장 요소가 203개이다.

선실 소음 해석에 사용된 공기음의 소음 수준은 옥외 소음 해석과 동일한 방법이 적용되었고, 고체음에 대한 소음 수준은 제공된 계측값이 있을 경우에는 계측값을 이용하였고, 계측값이 없을 경우에는 참고문헌으로부터 추정하였다. 흡음률과 투과 손실도 옥외 소음 해석시와 동일한 방법을 적용하였으며 topside에서 선실로 전달되어지는 고체음은 파워 흐름 해석법의 결과에 따라 무시하였으나, 선실의 aft. wall과 접한 선실들의 소음 수준은 옥외 소음 계산 결과로부터 얻어진 투과 소음을 고려하였다. 그리고 선실의 최종적인 소음 수준은 HVAC 시스템에 의한 각 선실별 소음 예측값과 통계적 에너지 해석법에서 계산한 예측값을 합산하여 계산하였다.

선실 소음 해석 조건은 옥외 소음 해석시와 동일한 electrical load 조건에서 수행되었다.

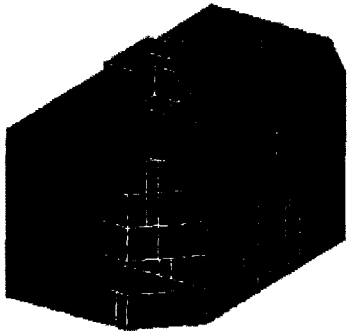


Fig. 7 The SEA model of FSO

#### 4.2 선실 소음 해석 결과 및 제어 대책

선실 소음 해석 결과, aft. wall에 접한 일부 선실과 Level 1, 2 deck의 일부 선실들을 제외하고는 규정된 소음 허용치를 모두 만족하였다. Fig. 8은 Level 2 deck의 소음 해석 결과의 일부를 보여준다.

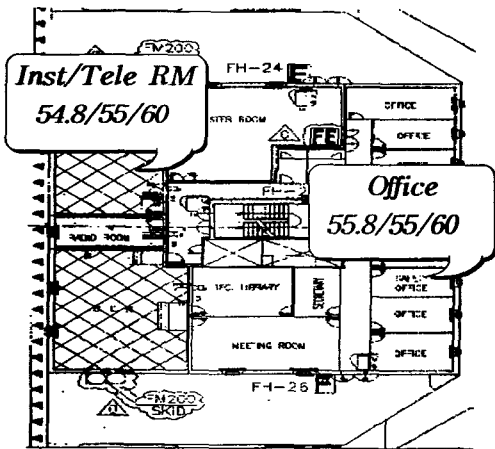


Fig. 8 The predicted noise level 2 deck (Level 2 deck) (Predicted/Base/Grace)

Aft. wall에 접한 일부 선실의 소음 수준이 높는데, 이것은 topside에 위치한 각종 기계 설비의 공기음 중 aft. wall을 투과한 성분에 기인하며, Level 2 deck의 일부 선실들은 바로 아래 Level 1 deck의 mechanical room에 설치된 chiller unit의 공기음 성분에 의해서 지배적인 영향을 받음을 확인하였다. 따라서, topside로부터 투과되는 소음을 감소시키기 위하여 투과 손실값을 증가시키는 방법이 제안되었

고, Level 2 deck에 위치한 office의 소음을 감소시키기 위해서는 chiller unit를 enclosure시키고, mechanical room 상부 갑판에 floating floor를 설치함으로써 공기음 및 고체음의 전달을 저감시키는 방법이 제안되었다. Table. 2는 floating floor 설치 후에 Level 2 deck의 office에서의 소음 예측치를 보여준다.

Table. 2 The noise levels after countermeasure(dB(A))

비고 Room	공기음	고체음	HVAC	Total	조치전
Office	43	43.5	36	47	55.8

대상 FSO가 현재 건조중인 단계이므로, 향후 시운전시 소음 해석 결과의 정확성을 판단하고, 해석 결과와 차이가 발생하는 원인을 규명할 예정이다.

#### 5. 결론

당사에서 수주하여 건조중인 FSO의 옥외 소음 해석과 고체음 전달 특성 해석 그리고 선실 소음 해석을 통해서 소음 특성을 검토해 보았다. 소음 해석 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) Topside에서의 과도한 소음 문제는 예상되지 않는다.
- 2) Topside에서 H형 보를 통해 선실로 전달되는 고체음 수준은 무시할 수 있다.
- 3) 선실 소음 해석 결과 규정치를 초과하는 구역에 대한 적절한 소음 저감 대책을 제시하였고, 해석 결과 소음 허용치를 만족할 것으로 예상되었다.
- 4) 대상 FSO에 적용된 해석 기법은 향후 유사선의 소음 해석에 기여할 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] 한국 선급, "선박 진동소음 제어 지침", 1997
- [2] 주원호, 김영현, 배종국, "통계적 에너지 해석법에 의한 선박 소음 해석 프로그램 개발", Proceedings of the 12th Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, Knazawa, 1998
- [3] ENPro 3.0 Technical Manual
- [4] 서성훈, 홍석윤의 "파워흐름해석 프로그램을 이용한 2,300 TEU 컨테이너선의 중고주파 대역 진동해석", 한국소음진동공학회 2001년도 추계학술대회 논문집
- [5] SNAME, "Design guide for shipboard airborne noise control", T&R Bulletin No. 3-37, SNAME, 1983