

## 부유식 석유생산·저장·하역선박의 소음해석

### A Noise Prediction of Floating, Production, Storage and Offloading (FPSO)

°김영현\*, 김동해\*

Young-Hyun Kim and Dong-Hae Kim

Key Words : FPSO(부유식 석유생산·저장·하역선박), Noise Prediction(소음 예측), Statistical Energy Analysis(통계적 에너지 해석법), Absorption Coefficient(흡음율), Transmission Loss(투과 손실)

#### ABSTRACT

Recently, the demand for the Floating, Production Storage, and Offloading facility (FPSO) which has some economic and technical advantages, has increased in offshore oil production areas. The basic characteristics of a 343,000 DWT class FPSO which is being built in Hyundai Heavy Industries and shall be installed in offshore Angola, is almost same as that of oil carriers. However, she do not have self-propulsion system, but has additional facilities for oil production and positioning system. Main noise source contributing to the cabin noise of the accommodation, are classified into the machine in the engine room and the deckhouse, HVAC system, and the topside equipments. In general, the noise regulation for the offshore structure is much severer than that of the common commercial ships and the maximum acceptable sound pressure level of cabins is specified in 45dB(A). This paper describes the procedure of noise analysis along with its results. Noise analysis has been carried out for the case of emergency diesel generator running condition and the case of normal production condition and the results has been compared with the measurement results of the first case. Based on the results, proper countermeasures to reduce excessive noise level has been applied considering the characteristics of sources and receiver spaces and can be satisfied the specifications at all spaces.

#### 1. 서론

최근 관련 기술의 발달로 인하여 심해 유전 개발이 활발히 진행되고 있다. 심해 유전 개발에 사용되는 구조물은 일정한 해역에 장기간 계류하여 바람, 조류 및 파도와 같은 환경 하중을 받아야 하기 때문에 기존의 고정식 구조물을 이용할 경우에는 여러 가지 경제적·기술적 문제점에 직면하게

된다. 따라서, 이러한 문제점을 극복하기 위한 많은 연구가 수행되어 부유식 석유 생산·저장·하역선박(Floating, Production, Storage and Offloading; FPSO), 반잠수형 구조물, TLP 등과 같은 다양한 구조물들이 고안되었으며, 이 중 FPSO는 여러 가지 경제적인 이점으로 인하여 최근 해양 유전 개발에 널리 사용되고 있다.

당사에서 건조하고 있는 FPSO는 아프리카 앙골라 연안에 설치될 34만3천톤급으로서 Fig.1에 보인 개략도에서 알 수 있듯이 일반 상선과는 달리 프

\* 현대중공업(주) 선박해양연구소

로펠러와 엔진 등의 추진장치가 없는 대신 기관실 자리에 원유생산에 필요한 각종 제어장치가 설치되고 선체 상부에는 원유생산과 정제에 필요한 여러 가지 설비가 설치되어 일반상선에 비해 많은 인원이 거주하게된다. 대상선에 적용되는 소음 규제치는 일반적인 해양 구조물의 소음 규제치와 마찬가지로 상당히 엄격한 수준인 45dB(A)이다.

일반적으로 선박의 저소음화를 위해 사용하는 방법은 선박 건조 후에 규제치를 초과하는 곳에 방음재 부착이나 차단벽 설치 등을 생각할 수 있으나, 이러한 방법은 과도한 설치비를 요구하거나, 때에 따라서는 원하는 효과를 얻기 어려울 수도 있다. 그러므로, 효과적인 방음 대책은 설계 단계에서 상세한 소음해석을 수행하여 그 해석 결과를 토대로 적절한 위치에 필요한 저소음 대책을 적용하는 것이다. 이러한 이유로 당사에서는 소음해석에 많이 사용되고 있는 통계적 에너지 해석법(Statistical Energy Analysis, SEA)을 이용한 프로그램을 개발하여 사용하고 있다

본 연구에서는 대상선의 소음해석에 대한 내용을 다루었다. 소음해석은 당사에서 개발한 소음해석 프로그램을 이용하였으며 소음해석 결과를 토대로 FPSO가 입금될 선급(BV, Bureau Veritas)과 협의하여 여러 가지 조치를 적용하였다.

소음해석은 FPSO가 일반적인 작업을 수행하는 조건인 Normal Loading Condition과 석유생산 설비는 작동하지 않고 비상발전기가 작동하는 조건

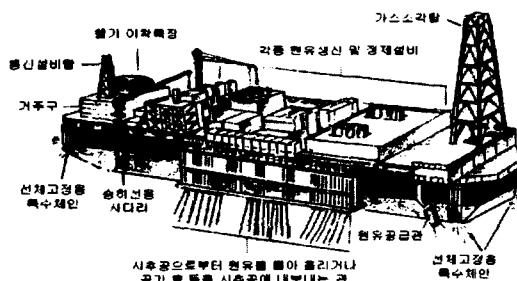


Fig. 1 General diagram of FPSO

Table 1 Primary particulars of FPSO

Principal dimension	FPSO
Length O.A.	abt. 300.0 m
Length W.L.	abt. 299.0 m
Breadth mld	59.6 m
Depth mld	30.5 m
Draft (design) mld	22.77 m

인 Onboard Loading Condition의 두 가지 상태에 대하여 수행되었으며 이 중, Onboard Loading Condition에 대해서는 계측을 수행하여 해석결과와 비교하였다. 대상선의 주요제원은 Table 1에 제시하였다.

## 2. 소음 해석

FPSO의 소음 해석은 일반 상선과는 달리 선체 상부에 원유의 생산과 정제에 필요한 여러 가지 설비들이 설치되어 거주구에 많은 영향을 미치므로 선체 상부의 설비들로부터 발생하는 소음을 반드시 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 일반 상선의 소음해석에서 고려하는 선실 및 기관실에 설치되는 발전기, 펌프 등의 기계 설비와 선실의 공기 조화를 위한 HVAC 시스템 외에 선체 상부에 설치된 설비도 소음원으로 고려하여 소음해석을 수행한 후 각각의 소음원에 의한 소음 기여분을 고려하여 최종 소음을 계산하였다. 각각의 소음원에 의한 소음 해석 과정은 아래에 다시 설명하였다.

### 2.1 선체내의 기계 설비류에 의한 소음

선체내의 기계 설비라 함은 선체 내부에 설치되는 발전기, 펌프, 모터와 각종 팬 등을 의미한다. 기계 설비에서는 표면에서 방사되는 공기음과 지지구조로 전달되는 고체음이 발생되어 선체와 거주구로 전파된다. 이 두 소음원은 최종 과정에서는 공기음의 형태로 감지되나, 공기음의 경우는 소음원이 설치된 장소와 인접한 위치에서 소음을 유발시키는 반면에 고체음은 소음원으로부터 멀리 떨어진 곳까지 전달되어 소음을 유발시키는 특성을 가지고 있다. 이와 같이 선체내의 기계 설비류에 의한 소음은 복잡한 과정을 통하여 발생되어 해석을 통하여 발생될 소음을 예측한다는 것은 상당히 어려운 일이다. 그러나 최근에는 통계적 에너지 해석법(Statistical Energy Analysis; SEA)과 같은 방법을 이용하여 만족할 만한 값을 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 통계적 에너지 해석법을 이용하여 선체내 기계 설비류에 의한 소음을 해석하였다.

소음 해석을 위하여 준비된 모델은 기관실, 거주구, 선수, 선미 등과 같이 대상선의 모든 구조를 포함하며 당사에서 구조 해석을 수행할 때 전처리

기로 사용하는 AIT/IRIS를 이용하여 판 요소 이외에도 입체 요소를 이용하여 음장 요소를 포함하여 모델링하였다. 모든 요소의 생성은 기본적으로 실제 선박의 형상을 잘 표현할 수 있도록 생성되었으며 통계적 에너지 해석법에서 요구하는 충분한 모드수를 갖도록 생성하였다. 작성된 소음 해석 모델은 Fig. 2와 같다.

소음 해석에 사용된 소음원은 계측된 값이 있을 경우에는 계측값을 이용하였으며 계측값이 없을 경우에는 참고문헌[1][2]으로부터 소음 수준을 추정하여 사용하였다.

공기음에 대한 소음원은 음향출력수준을 사용하는 것을 기본으로 하였고 만약 소음원의 음향출력수준을 알 수 없을 경우에는 소음원의 음압수준을 사용하여 소음원 주위를 둘러싸는 면적을 고려하여 음향출력수준을 추정하였다. 고체음에 대한 소음원은 지지구조를 고려하였으며 실제 소음원의 바닥 면적과 작성된 판 요소의 면적비를 고려하여 사용하였다.

소음 해석의 결과에 중요한 영향을 미치는 인자인 흡음율과 투과 손실 값은 제작 업체에서 제공한 값을 주로 사용하였으며 다층 구조로 이루어져서 값을 알 수 없을 경우에는 계측이 가능한 경우에는 계측한 값을 사용하였고 계측이 어려울 경우에는 참고서적[3]을 토대로 값을 추정하여 사용하였다.

## 2.2 HVAC에 의한 소음

공기조화장치인 HVAC에 의한 선실의 소음은 송풍기에서 발생하는 소음, 덕트내 공기흐름의 불균일성에서 기인하는 난류소음 그리고 덕트 내부의 소음이 경계면을 투과하여 덕트 경로내에 위치하는 격실의 소음원으로 작용하여 발생한다. 이 중에서 본 연구에는 덕트 내부의 소음이 경계면을 투과하는 경우는 무시하고 나머지 경우만 고려하였다.

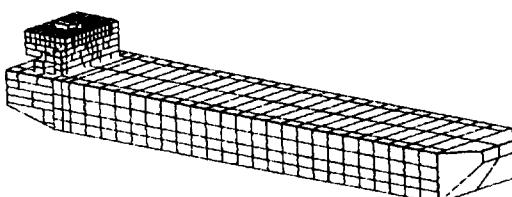


Fig. 2 SEA model for FPSO

일반적으로 HVAC에 의한 소음은 송풍기에서 발생하는 파워로부터 덕트를 통과하면서 생기는 손실을 추정하여 계산하나 본 연구의 대상선의 경우는 HVAC 시스템을 공급하는 업체에서 각 선실 천장에 부착된 디퓨저에서의 음향출력수준을 제공하였기 때문에 HVAC에 의한 소음해석을 따로 수행하지 않고 제공받은 값을 사용하여 식 (1)로부터 각 선실의 소음을 계산하였다.

$$SPL = PWL - 10 \log R + 6 \quad (1)$$

여기서,  $SPL$ 은 음압수준,  $PWL$ 은 음향출력수준,  $R$ 은 실상수이다.

## 2.3 선체 상부에 설치되는 장비들에 의한 소음

대상선에는 원유생산설비와 정체설비 등이 선체 상부에 설치된다. 이 장치들이 작동하면 장비 표면으로부터 방사되는 공기음과 하부구조를 통하여 전달되는 고체음이 발생된다. 이 두 소음원 중에서 본 연구에서는 주 관심 부분인 거주구와 장비가 설치되는 위치를 고려하여 고체음은 무시하고 공기음만 고려하였다. 선체 상부에 설치되는 장비들을 모두 해석에 고려하는 것이 이상적이나 실제 해석에서는 장비의 공기음 수준을 파악한 후에 비교적 큰 소음을 발생시키는 장비만 고려하였다. 대상선에 설치될 장비 중에서 소음이 우려가 되는 장비는 선수부에 설치되는 가스소각탑과 선박의 중앙부에 설치되는 발전기이다. 따라서 해석에는 이 두 장비만 고려하였으며, 각 선실에서의 소음은 선주측에서 제공한 거주구 바깥에서의 소음수준을 사용하여 계산하였다.

거주구 바깥 소음으로부터 선실에 미치는 소음은 주로 공통경계면을 통하여 선실로 전달된다고 가정하여 선실내의 소음을 식 (2)를 이용하여 계산하였다.

$$SPL = SPL_s - TL + 10 \log \frac{A}{R} \quad (2)$$

여기서,  $SPL$ 은 음압수준,  $SPL_s$ 은 거주구 바깥의 소음,  $TL$ 은 공통경계면의 투과손실,  $A$ 는 공통경계면의 면적,  $R$ 은 실상수이다.

식 (2)를 보면 선실에 미치는 소음은 공통경계면의 투과손실의 크기에 지배적인 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 대상선에는 거주구 외부 벽에 투과손실을 키우기 위하여 많은 조치를 취하여 결과적으로 높은 차음 성능을 가지는 내장판과

흡음재, 공기층 그리고 강벽 등으로 이루어진 다층 구조로 구성되어 있었다. 이와 같이 다층 구조로 이루어진 벽의 투과손실은 추정하기 어려웠으므로 대상 격벽의 투과손실을 외부에 의뢰하여 계측하려고 하였으나 잔향설의 한계로 인하여 계측이 불가능하여 추정값을 사용하였다. 투과손실의 추정은 Table 2에 보인 경우에 대하여 수행되었으며 그 결과는 Fig. 3에 나타냈다.

Table 2 Specification of test case

Name	Specification
Case 1	steel + ceramic wool + air gap + lining panel
Case 1(m)	steel + ceramic wool + air gap + lining panel + air gap + lining panel
Case 2	steel + mineral wool + air gap + mineral wool + ceiling panel
Case 2(m)	steel + steel + mineral wool + air gap + mineral wool + ceiling panel
Reference	steel + air gap + lining panel

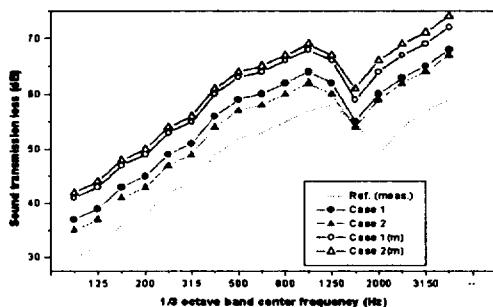


Fig. 3 Results of test case

### 3. 실선 계측

실선 계측은 대상선의 선체만 건조된 상태이므로 해석에 사용된 두 가지 상태 중에서 비상발전기가 작동하는 상태에서 수행되었다. 따라서 Onboard 상태에서 SEA를 이용하여 계산한 선체 내부 기기류에 의한 소음과 HVAC에 의한 소음 결과를 합한 값과 계측결과를 비교하였다. 대표적인 위치에서의 계측값과 해석값을 비교한 것을 Fig. 4에 나타냈다. 해석결과와 계측결과를 비교해 보면 대체로 양호한 결과를 주고 있으나 일부 영

역에서는 많은 차이를 보이기도 했다. 이것은 소음 해석에 고려한 상태와 계측시의 상태가 다르거나 또는 해석에 사용된 소음원 수준, 내부손실계수, 투과손실 등의 값이 잘못되었기 때문인 것으로 판단된다.

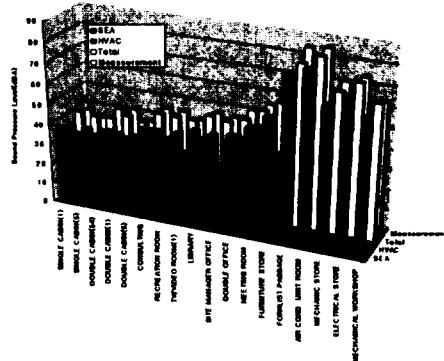


Fig. 4 Comparison of sound pressure levels

### 4. 결론

상기에 설명한 소음해석 방법을 이용하여 FPSO에 대한 소음 해석을 수행하였다. 소음 해석 결과는 계약된 소음 허용치와 비교할 때 만족할 만한 수준이었다. 현재 대상 선박에 설비 설치가 진행중이라 Normal 상태의 계측을 수행하지 못하였다. 따라서 소음 해석의 정확성을 판단하기는 이르나 과거의 경험으로부터 크게 차이 나지는 않을 것으로 예상하고 있다. 그러나, 소음 해석 과정에 사용된 투과 손실, 흡음율 등 계산결과에 상당한 영향을 미치는 인자들에 대한 정보의 부족으로 인하여 추정한 값을 많이 사용한 것은 소음 해석의 정확도를 떨어뜨리는 요인이 될 수 있다. 그러므로 향후과제로서 이런 값들을 정확히 산정하는 방법을 확보할 예정이다.

### 참고문헌

- (1) SNAME, "Design guide for shipboard airborne noise control", T&R Bulletin No. 3-37, SNAME, 1983.
- (2) 한국선급, "선박 진동소음 제어지침", 1997.
- (3) Leo L. Beranek, "Noise and vibration control engineering", John Wiley & Sons, Inc, 1992.