

부유식 석유생산/저장/하역 선박(FPSO)의 소음예측 및 저감 A Noise Control of a Floating, Production, Storage and Offloading (FPSO)

김동해* · 고경은**

Dong-Hae Kim and Kyung-Eun Ko

Key Words : Noise control(소음제어), FPSO, noise prediction(소음예측).

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 36,800 DWT class FPSO was built in Hyundai Heavy Industries and will be installed in Offshore Angola. She dose not have self-propulsion system, but has additional facilities for oil production and positioning system. Main noise sources are contributing to the cabin noise of the accommodation are classified into three classes such as the machinery in the engine room and the deckhouse, HVAC system, and the topside equipments. In general, the noise regulation for the offshore structure is severer than that of the cargo ship and acceptable noise limit of cabin is specified as 45 dB(A).

This paper describes the procedure of noise analysis, the countermeasures of noise control, and the measurement results of the quay trial. In order to minimize the noise levels, careful attention have to be paid by the special committee of experts from the initial design stage to the delivery. Proper countermeasures, considering the characteristics of sources and receiver spaces, were applied from the noise prediction and various experiment results. Finally, this ship was successfully delivered with excellent noise properties. The technology to minimize the noise levels for FPSO has been established throughout the construction of this ship.

1. 서 론

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 환경하중을 받아야 하기 때문에 기존의 고정식 구조물을 이용할 경우에는 여러 가지 경제적·기술적 문제점에 직면하게 된다. 따라서 이러한 문제점들을 극복하기 위한 많은 연구가 수행되어 부유식 석유 생산/저장/하역 선박 (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.

Fig. 1의 개략도에서 보는 바와 같이 일반 상선과 달리 엔진과 프로펠러와 같은 추진 장치가 없는 대신 원유 생산과 정제에 필요한 각종 설비와 제어장치가 설치되며 많은 작업자가 필요하므로 거주구가 크다. 보통 수개월간 승선해야하고 육상에서보다 높은 소음 환경 속에서 생활해야하는 특수한 작업환경이지만 선실에서의 최대 허용 소음수준은 일반 상선에 비하여 상당히 낮은 수준인 45 dB(A)를 요구하고 있어 설계와 건조시에 소음 저감을 위한 상당한 노력이 요구된다.

본 연구에서는 최근에 당사에서 건조한 FPSO에 대하여 각 설계단계별 소음 예측 및 제어대책에 대하여 기술하였다. 상세 소음 해석과 소음원에 대한 계측결과를 이용하여 적절한 소음저감 대책을 적용할 수 있었다.

* 현대중공업 선박해양연구소 동역학연구실
E-mail : dhk@hhi.co.kr
Tel : (052) 230-5538, Fax : (052) 230-5435

** 현대중공업 선박해양연구소 동역학연구실

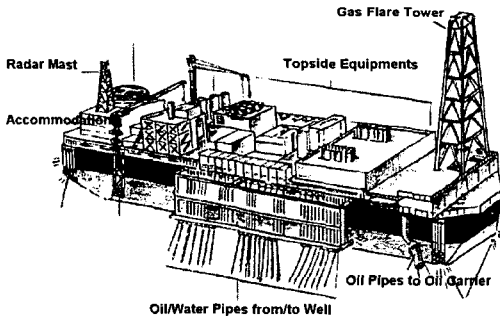


Fig. 1 Outline drawing of FPSO

2. 대상 FPSO 선의 소음 특성

대상선은 서아프리카의 앙골라의 해저 유전에 설치될 예정으로 주요 제원은 Table 1과 같으며 일반적인 대형 유조선과 유사한 크기이지만 원유생산과 정제에 필요한 각종 설비가 상부구역(Topside)에 설치되어 있다.

Table 1 Main Particulars

Length O.A.	abt. 285.0 m
Breadth MLD	63.3 m
Depth MLD	32.3 m
Draft MLD	24.45 m

FPSO 선은 소음원, 소음전달 및 수음실의 특성에 따라 거주구역, 기관실 및 선체 상부구역으로 나눌 수 있으며, Fig. 2에 주요 소음원의 공기음/고체음이 어떻게 각 구역에 전달되는지를 보여주고 있으며 실선은 영향이 큰 것을 점선은 영향이 적은 것을 의미한다.

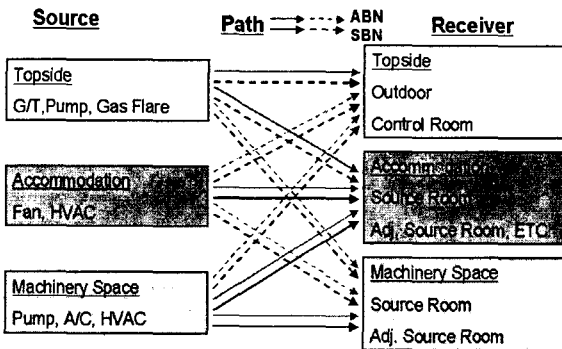


Fig. 2 Noise transmission of FPSO

그림에서 보는 바와 같이, 선체 상부구역의 주요 소음원은 가스터빈, 펌프 및 가스소각설비 등의 공기음이고

고체음의 영향은 적어서, 선체 상부구역의 작업 구역, 통행로 등 옥외 지역은 공기음이 직접, 회절 및 반사로, 제어실과 거주구역은 공기음이 투과하여 전파되고 있으며 기관실 내부의 소음수준에는 영향이 거의 없다. 거주구역의 주요 소음원은 팬과 HVAC 덕트 시스템의 공기음과 고체음이며, 거주구역의 소음수준에 영향을 미치고 있으며 다른 구역의 소음수준에 대한 기여도는 매우 낮다. 거주구 바로 아래 위치한 기관실구역의 주요 소음원은 펌프, 공기압축기 및 HVAC 장비의 공기음과 고체음이 주요 소음원이며, 기관실 구역과 거주구역의 소음수준에 영향을 미치게 된다. 그러나 선체 상부구역에는 어느 정도 전달되지만 소음수준이 상대적으로 높아 기여도는 낮다.

3. 단계별 소음 예측 및 방음 대책

일반적으로 FPSO 선은 거주구와 기관실을 포함한 선체를 조립하는 1단계와 선체 상부구역에 각종 설비를 설치하는 2단계로 나누어 건조된다. 대상선의 경우에는 당사에서는 1단계만 건조하였지만 선체 상부구역에 설치되는 설비에 의한 소음의 영향도 고려하여 초기 설계, 상세 설계 및 건조 단계에 따라 다양한 소음 예측과 적절한 방음대책을 실시하였으며 단계별 활동내용을 Table 2에 보인다.

Table 2 Noise control activities at each design stage

단계	단계별 활동 내용
기본설계	- 소음 Spec. 및 저소음 장비 선정 - 소음을 고려한 선실 배치/구조도면 검토 - 초기 소음 예측 및 방음 대책 수립
상세설계 및 건조	- 상세 소음 해석 및 방음 대책 수립 - 각 장비의 shop test 결과 검토 - 시운전시 소음 계측 방안 수립
안벽 시운전	- 각 장비의 소음원 수준 계측 - 각 선실의 소음 기여도 계측 - 상세 소음 재해석 및 방음 대책 검토

3.1 초기 소음 예측

초기 소음 예측을 위하여 실적 및 경험을 바탕으로 유사선 조사, 건조사양서 및 도면 검토를 수행하였으며 장비의 설치 위치를 고려하여 장비의 허용소음수준을 정하고 선실 배치 및 구조도면을 검토하였다. 다른 FPSO 실적선과 비교하면 거주구의 소음수준의 경우 Hydro Power Unit(HPU)가 거주구 아래의 기관실이 아니고 선수에 있는 기관실에 설치되어 유리하고 거주구 상부의 Roof deck에 HVAC 장비가 설치되어 불리할 것으로 예측되지만 초기설계단계에서는 판단하기 어려우므로 상세해석을 통하여 방음설계 여부를 판단

하기로 하였다.

선체 상부구역 장비에 의한 거주구역 앞단에서의 소음 수준과 유사한 구조의 공통격벽에 대한 투과손실 실적자료를 고려하여 거주구역의 소음수준을 예측한 결과 대상선의 공통격벽에 대한 방음성능은 충분한 것으로 판단되었다. 또한 Roof deck 바로 아래의 선실의 경우, 선체 상부구역 장비의 공기전파음과 함께 HVAC 장비의 공기 및 고체전파음의 영향으로 소음문제가 예상되므로 천정구조와 HVAC 장비에 대한 방음대책이 필요한 것으로 판단되었다.

장비별 방음 대책 점검을 위하여 주요 검토 대상 장비에 대한 탄성지지 여부를 검토하여 디젤발전기, HPU, HVAC 장비 등에 탄성지지를 설치하기로 하였다.

3.2 상세 소음 예측

초기 소음 예측을 통하여 거주구역의 일부 선실에서 허용치에 근접하거나 초과할 가능성이 있으므로 통계적 에너지 해석법(Statistical Energy Analysis, SEA)에 근거한 NPSEA[1] 프로그램을 사용하여 상세 소음 해석을 수행하였다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 MSC/PATRAN[2]의 판요소와 음향요소를 이용하여 실제 선박의 형상을 잘 표현할 수 있도록 하였으며 작성된 소음 해석 모델은 요소수 778개와 747개의 절점으로 구성되어 있다. 앞의 2 장에서 언급한 바와 같이 선체 상부구역의 장비와 선수에 위치한 기관실 구역의 장비는 거주구역의 소음수준에 영향을 거의 미치지 않으므로 해석 모델에서 제외하였다. 소음 해석에 사용된 소음원은 계측된 값이 있을 경우에는 계측된 값을 이용하였으며 없을 경우에는 참고 문헌[3]으로부터 소음 수준을 추정하여 사용하였다.

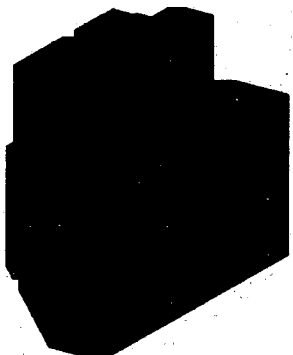


Fig. 3 SEA model

HVAC시스템에 의한 선실의 소음은, 장비자체의 고체음에 의한 영향은 통계적 에너지 해석법에 포함

시키고 공기음에 의한 영향은 Roof deck의 소음 수준 분포를 계산한 다음 바로 아래의 각 선실에 대한 영향을 예측한다. 그리고 HVAC 덕트를 통하여 각 선실에 전달되는 소음은 송풍기에서 발생한 소음과 덕트 내 공기흐름의 불균일성에 기인한 난류소음이 고려되며, 덕트의 경계면을 통과하는 소음의 경우 대부분의 선실에서 천정위에 덕트가 설치되므로 영향이 작아 무시할 수 있다.

각 선실의 최종 소음 수준은, 선실 천장에 부착된 diffuser에서의 음향출력수준을 HVAC 공급업체에서 제공받아 선실내부의 흡음률을 고려하여 각 선실의 소음수준을 계산하고, 통계적 에너지 해석법에 의해 얻어진 선실 소음수준과 함께 선체 상부구역에 설치되는 장비에 의한 영향도 고려하여 계산하였으며 Fig. 4에 예측된 최종 소음 수준 분포를 보이고 있다.

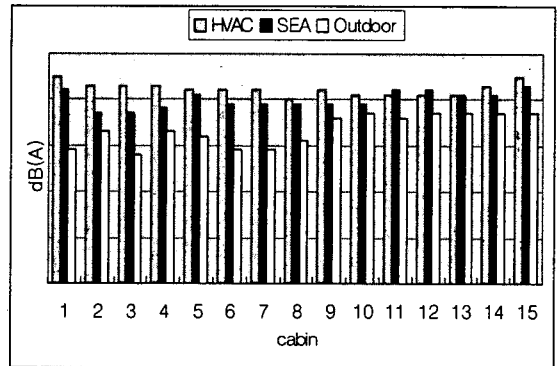


Fig. 4 Predicted noise levels of cabins

그림에서 보는 바와 같이 낮은 위치의 선실에서는 기관실의 장비에 의한 공기음과 고체음이, Roof deck의 바로 아래 선실의 경우 HVAC 장비의 공기음과 고체음이, 거주구 앞단에 위치한 선실의 경우 선체 상부에 위치한 장비의 영향이, 그리고 대부분의 선실에서 HVAC 시스템에 의한 소음의 영향이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 일부 선실의 경우 소음문제가 우려되어 주요 소음원인 HVAC 장비의 고체음을 충분히 차단할 수 있는 탄성지지 및 HVAC 시스템 끝단의 소음을 줄일 수 있게 silencer 설치 등의 방음 대책을 강구하였다.

또한 기관실에 설치되어 있는 각 장비에 의한 기관실 및 장비실 내의 소음수준의 분포를 ENPRO[4]를 이용하여 계산하였으며 Fig. 5에 3rd deck의 예측 결과를 보인다.



Fig. 5 Predicted noise distribution of 3rd deck

3.3 안벽 계측을 고려한 소음 예측

거주구와 기관실을 포함한 선체 및 상부구역의 장비를 제외한 모든 장비의 설치가 완료된 후 소음문제 발생여부를 사전에 점검하기 위하여 안벽에서 시운전을 실시하고 소음계측을 실시하였다. 각 장비에 대한 공기음과 교체음 소음수준 및 선실 소음수준에 대한 기여도 계측과 각 선실의 음향 특성 계측 결과를 고려하여 선체 상부구역의 장비가 탑재된 이후의 최종 소음 수준을 예측하였으며 소음문제 발생 우려가 있는 일부 선실에 대하여 적절한 방음대책을 적용하여 성공적으로 선박을 인도할 수 있었다.

대부분 장비의 공기음 수준의 경우 예측과 계측결과가 비교적 잘 일치하고 있으나, Fig. 6에서 보는 바와 같이 참고 문헌[3]에 의한 펌프의 소음원 수준 예측결과와 안벽시운전 계측 결과를 비교하면 문헌[3]에 의한 예측이 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 다른 장비의 경우도 약간의 차이는 나지만 유사한 경향을 보이고 있음을 계측을 통하여 확인할 수 있었다. 향후 건조되는 선박에 대해서는 실측 자료에 근거한 소음원의 추정식을 개발하여 적용해야 할 것으로 생각된다.

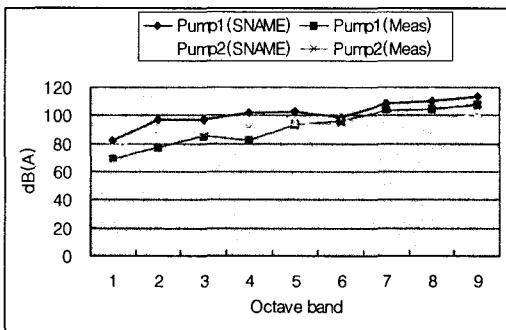


Fig. 6 Comparison between prediction and measurement source levels of typical pumps

4. 결론

이상으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 초기 예측, 상세 예측 및 안벽 계측을 고려한 소음 예측을 통하여 기본설계 단계에서부터 인도 후까지 각 단계별로 발생하는 소음문제를 사전에 예측하고 적절한 방음 대책을 적용하여 성공적으로 인도할 수 있었다.

(2) 소음원 수준의 경우 공기음은 예측결과와 계측결과가 서로 비교적 잘 일치하고 있으나 교체음의 경우 예측 결과가 높은 경향이 있으므로 실측 자료에 근거한 소음원의 추정식을 개발하여 적용해야 할 것으로 생각된다.

(3) 향후 유사선에 대한 방음 대책 수립에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) Young-Hyun Kim, Jong-Gug Bae, et al., "Development of Computer Program for the Shipboard Noise Analysis Using Statistical Energy Analysis", Proceedings of the Twelfth Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, Knazawa, 6-9, Jul. 1998, pp. 373-380.
- (2) MSC/PATRAN Manual
- (3) SNAME, "Design guide for shipboard airborne noise control", T&R Bulletin No. 3-37, SNAME, 1983
- (4) B&K, ENPRO (Environment Noise Prediction and Design Software) User's Manual Version 3.0, 2000