

수송기계의 소음진동 저감

선박과 해양구조물의 소음 예측 및 제어 기술

김 동 해*

(현대중공업 선박해양연구소)

1. 머리말

최근 환경소음에 대한 관심이 높아지고 있으며 작업장과 거주지역에서의 높은 소음은 노출시간과 소음수준에 따라 건강, 의사소통 및 안전에 관한 문제와 안락성 측면에서 사회문제가 되고 있다. 선박과 해양구조물에서는 수주 또는 수개월간 작업해야 하고 육상에서 보다 높은 소음환경 속에서 생활해야 하는 특수한 작업환경으로 소음제어를 위한 노력이 활발히 이루어지고 있다.

특히, 최근 국내에서는 준 여객선급인 ROPAX선(RO-RO passenger ferry)과 함께 유가의 급등에 따라 심해 유전 개발에 사용되는 해양구조물, 특히 FPSO(floating, production, storage, and offloading facility)와 같은 고부가가치선을 많이 수주하여 건조하고 있다. 그러나 이러한 선박과 해양구조물은 기존의 선박에 비해 낮은 소음수준을 요구하고 있어 허용치를 만족시키기 위해서는 상당한 노력이 요구되고 있다.

저소음 선박과 해양구조물의 건조를 위한 노력은 초기 설계단계부터 이루어지기 시작하여 상세 설계, 건조 단계 및 시운전 단계에 이르는 모든 설계 건조과정에서 이루어져야 한다. 초기 소음예측은 물론 탑재 장비의 선택으로부터 시작하여 건조단계에서는 정밀 시공이 이루어지도록 노력할 필요가 있다. 이는 사소한 시공 오류가 전체적인 소음 수준을 결정지을 수 있기 때문이다. 건조 후에 소음문제가 발생하게 되면 촉박한 인도 시기에 맞추기 위하여 적절한 소음저감대책을 세우기

가 어려워 과도한 제어대책으로 건조비를 상승시키거나 때에 따라서는 효과가 미비하여 추가 제어대책이 필요하게 된다.

따라서 선박과 해양구조물의 저소음화를 위해서는 중량, 공간 및 경제성 등을 고려하여 소음원, 전달경로, 수음실 각각에 대한 적절한 제어대책을 적용하여야 하며 초기 설계단계에서부터 정확한 소음해석을 통하여 효과적인 방음 대책을 결정해야 한다.

여기에서는 우선 선박과 해양구조물의 일반적인 소음 특성과 주요 소음원 및 예측과 평가 방법을 검토하고 소음 예측기법과 선박과 해양구조물에서의 소음 제어 기법에 대하여 설명을 하기로 한다.

2. 선박과 해양구조물의 소음 특성

선박과 해양구조물에 있어서 소음문제는 선원의 청력보호, 생활공간의 안락성 보장 및 작업능률의 향상에 있어 중요한 것으로 건조 계약시 이에 관한 사항을 명문화하고 있다. 1970년대 후반을 기점으로 유럽을 중심으로 한 조선기술 선진국과 국제해사기구(IMO) 등에서는 선박의 거주구 및 기관실에서의 소음 규제치를 설정하여 적용하고 있으며 최근에는 선급에서도 소음에 대한 규정을 제정하여 선주와 제작사에 적용을 권고하고 있다. 해양 구조물에 적용되는 소음 규제조항의 국제 표준은 영국의 DOE(department of energy) 규정으로 볼 수 있으며, 특히 주요 석유회사에서는 독자적인 규제조항을 가지고 있어 같은 해양구조물에서도 차이가 나는

경우가 많다. 이러한 소음 규제에 대처하고 거주성 및 작업성이 좋은 선박과 해양구조물을 설계하기 위해서는 소음원의 성질, 소음의 전파특성을 인지하고 예측, 실측 또는 과거 실적 등으로부터 소음수준을 파악하여 소음 저감 방법 및 대책을 세워야 한다.

선박의 주요 소음원은 선박의 운항에 필수적인 프로펠러와 주기/보기를 비롯한 선내 기계장치, 바람 및 파도 등을 들 수 있다. 바람이나 파도로 인한 소음은 기상과 해상상태에 따른 것으로 옥외 갑판에서는 문제가 될 수 있으나, 선박의 전반적인 소음수준에는 큰 영향을 주지 못한다. 따라서 선박의 주요 소음원은 주기관, 발전기, 프로펠러, 배기관, 펌프, 공기 압축기, 보일러, 송풍기, 공기 조화 장치, 기관실 통풍장치, 갑판 기기류 등이 있다. 일반적으로 디젤 기관과 같은 왕복동 기관은 연소음과 작동기구 및 과급기에서 발생하는 소음이 있고 하부지지구조를 통하여 전달되는 진동도 매우 커 터빈 등의 회전기계에 비해 큰 소음원이 된다. 소음의 수준과 소음원의 크기와는 다르지만 주기관은 일반적으로 소음 수준이 높고 소음을 방사하는 면적도 넓어 음향 출력수준이 높다.

소음원으로부터 발생한 소음은 공기와 고체의 전파 경로를 따라 선내 각부에 전달된다. 선박에 있어서 일반적인 전파경로는, 기관실내의 음장의 경우 공기음은 기관실로부터 상갑판, E/C(engine casing)를 투과 또는 덕트를 통하여 거주구에 전달되고 계단, 복도를 통하여 각 선실로 전달된다. 한편 고체음은 이중저 등의 기기의 지지구조를 통하여 선체 외판, 격벽, 각 갑판, 벽과 천정의 철판 및 보강재로 전달되어 각 선실의 내장재로 전달된다. 또 기기의 진동이 덕트와 파이프 등을 통하여 전달되고 이들이 지지되어 있는 벽을 진동시켜 고체음을 전파하는 경로도 있다.

거주구와 외부소음의 경우에는 기관실의 경우와 소음원으로부터 전파되는 경로는 다르지만 유사하게 고려할 수 있다. 공기음과 고체음은 저감되면서 선내로 전파하지만 선체의 경우 내부감쇠가 적은 강판 구조로 이루어져 있어 공기음에 비해 고체음은 저감시키기 어려워 생각보다 멀리 잘 전파된다. 그래서 선박소음에서는 고체음이 차지하는 비중이 크다는 것을 주의할 필요가 있다.

해양구조물에서는 일반적으로, 그림 1의 FPSO 개략

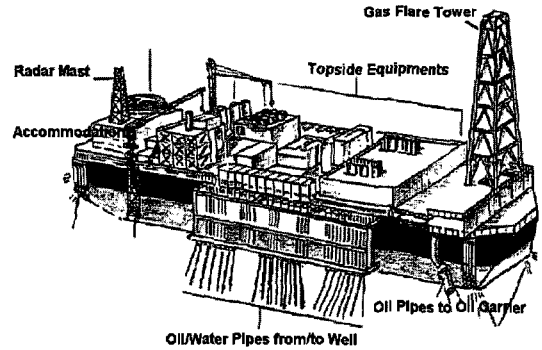


그림 1 FPSO의 개략도

도에서 보는 바와 같이 일반 상선과 달리 엔진과 프로펠러와 같은 추진 장치가 없는 대신 해상에서 직접 원유를 생산하여 정제하고 저장한 후에 유조선에 하역을 할 수 있는 각종 설비와 제어장치가 설치되며 많은 작업자가 필요하므로 거주구가 크다. 일반적인 대형 유조선과 유사한 크기로 topside에 원유 생산과 정제에 필요한 가스터빈, 펌프, 가스 소각 설비 등 소음수준이 높은 장비들이 설치되어 있다.

Topside의 주요 소음원은 가스터빈, 펌프 및 가스 소각 설비 등의 공기음과 고체음이다. 공기음의 경우, topside의 옥외구역은 직접, 회절 및 반사로 소음이 전달되고 있으며 거주구역과 제어실은 공기음이 투과하여 전달되고, 기관실 구역은 거의 전달되지 않는다. 고체음의 경우, topside의 옥외구역은 구조물과 장비, 파이프 등에 전달되어 방사되지만 공기음에 의한 영향이 더 크게 나타나고 있으며 거주구역, 제어실 및 기관실은 장비의 지지구조가 상갑판 위에 트러스 구조로 이루어져 고체음의 전달손실이 크게 되어 영향이 거의 없다.

3. 소음 예측 및 평가

선박으로부터 주변 지역으로 방사되는 소음의 예측에 대한 규정으로는 ISO 2922가 있으며, 선박자체의 공기음의 예측에 관한 규정으로는 ISO 2923과 IMO A.488(XII)이 있다. 또한 선교 현측을 포함하는 청취구역에 대해서는 IMO A.343(IX)도 만족하여야 한다. IMO 규정이 다른 규정의 기본이 되고 있으며, ISO 2923 규정은 거의 차이가 없다. 한국 산업 규격은 선박의 거주구

표 1 선박과 해양구조물의 소음 규제치 비교

규제 대상 격실		선박	해양 구조물
청력손상	- 상주 기계실(8시간/일)	90	85-90
	- 청력 보호구 착용	85-90	80
경고음 감지	- 경계 근무 장소	65-70	65-70
의사소통	- 제어실	70-80	55-60
	- 사무실	60-70	45-55
	- 통신실	60-65	45-55
휴식공간	- 선실	55-70	45
	- 식당/오락실	60-74	50-55

와 기관부 소음 레벨 측정 방법으로 나누어 규정되어 있다. 이외에도 장비 자체의 고체음 측정방법을 규정한 ISO 9611, 패널의 공기음 투과손실 계측에 대한 ISO 140-3 등이 사용되고 있다.

소음 평가는 소음에 대한 인간의 직접적, 간접적 영향에 대한 자극과 반응의 관계에 기본을 두고 있으며, 소음에 대한 인간의 주관적인 가치 판단을 하는 것을 의미한다. 소음을 수량적으로 나타내기 위한 평가척도는 소음수준, 지속시간과 지역특성 등에 따라 다르게 된다. 평가척도로는 dB(A)가 가장 많이 사용되고 있으며 IMO에 따르면 허용치를 초과하는 경우에 ISO의 소음 평가지수 NR(noise rating)을 이용하도록 되어 있으며 NR 값이 dB(A) 수준보다 5가 적을 경우 규제치를 만족하는 것으로 간주하고 있다. 소음에 노출되는 시간에 대한 영향을 고려하기 위하여 등가 소음수준 (Leq)도 사용되고 있으며 IMO과는 달리 ISO 2923에서는 10초간의 Leq 사용을 권고하고 있다. 회화 방해 관점에서의 평가척도로는 AI(articulation index) 와 SIL(speech interference level)이 사용되고 있으며 군함에서는 SIL이 많이 사용되고 있다. DNV에서는 comfort class, ABS에서는 선원들에는 habitability를 승객들에는 comfort, BV에서는 comfort rating number, GL에서는 여객선을 위한 harmony criteria number 등 dB(A)의 계측값을 이용한 평가척도를 개발하여 발표하고 있다.

또한 장비자체의 공기음 소음평가 척도로는 아직까지는 dB(A)의 사용이 많지만 장비자체의 특성을 정확히 나타낼 수 있는 음향출력 수준으로 바뀌어 가고 있

는 추세이다. 군함 등의 군사목적의 선박에 대한 장비 자체의 고체음 소음평가 척도로는 가속도와 속도 수준이 사용되고 있다. 일반상선에 대해서도 적용하기 위한 규정을 제정하려는 움직임이 있으며 일반상선에 군함에 적용하는 규정을 바로 적용하기에는 어려운 점이 많으므로 이에 대한 대비가 필요하다. 일반적으로 대형상선의 경우에는 장비의 정상 작동여부에 대한 규정만 하여도 충분하므로 고체전파음이나 수중방사소음관점에서 제안된 규정을 적용하는 것은 무리가 있는 것으로 판단된다.

소음차폐지수란 선실과 선실 혹은 복도사이에 설치된 패널의 공기음 전달손실 성능과 관련된 평가지표를 말하며 계측된 투과손실 TL을 사용하여 ISO 717-1과 KS F 2862에 제시된 방법을 적용하여 단일지수를 산정한다. ASTM 규정은 125 Hz에서 4000 Hz까지 계측한 투과손실을 사용하여 소음 전달 등급 (STC: sound transmission class)을 산정하는데 양 규정은 거의 비슷한 결과를 얻는다. 패널의 소음차폐 성능평가방법에는 이 밖에도 충격소음차폐지수가 있으며 표준 경량 충격원과 표준 중량 충격원에 의한 방법이 있다.

선박과 해양 구조물에 적용되는 규제조항은 청력손상, 경고음의 미감지로 인한 위험, 의사소통의 어려움, 휴식 및 수면의 방해의 영향으로부터 승무원을 보호하고자 하는 의도에서 제정되고 있으며 각 격실은 그 성격에 따라 해당 격실의 소음 상한선을 정하였다.

선박 혹은 해양구조물의 각 격실은 그 성격에 따라 앞에서 열거한 영향의 중요도에 입각하여 해당 격실의 소음레벨 상한선을 정하였으므로 표 1에서 보는 바와 같이 각국의 규제치는 서로 비슷한 값을 보이고 있다. 그러나 해양구조물의 경우가 선박에 비하여 더욱 엄격한 것이 일반적인 경향으로서 특히 의사소통과 휴식이 중요시되는 사무실과 선실에서는 약 15 dB(A)이상의 차이가 있음을 알 수 있다.

4. 소음 예측

각 선실내의 소음을 저감시키기 위하여 여러 가지 대책을 적용할 때 대책 전후의 소음수준을 추정 평가할 필요가 있다. 일반적으로 종래의 실적 및 경험으로 소음분포를 가정하고 음향학식을 이용하여 선실

내의 소음수준을 추정하는 경우가 많지만 정확한 소음 분포를 가정하기 어려운 경우에는 대책의 결과가 부족하거나 넘치는 경우가 있다. 실적이 거의 없는 선박, 새로운 선박과 해양구조물에 적용할 때, 또 선실 주위 각 면에서의 소음 기여분이 최대인가를 판정하거나, 대책을 적용했을 경우에 정도 높은 소음 예측이 필요하며 통계적 에너지 해석 방법(statistical energy analysis, SEA)과 같은 방법이 많이 사용되고 있다. 그러나 실용화하기에는 여러 가지 문제점이 포함되어 있다. 각종 소음원의 크기, 선박에 사용된 재료의 내부손실률, 흡음률 등의 음향특성을 실선계측 등에 의해 수집하여 신뢰성 있는 자료를 축적시켜야 정확한 소음예측을 수행할 수 있다.

선박과 해양구조물의 격실 소음예측은 소음원 수준 추정, 전달손실 해석과 격실의 확산음장 음압수준 계산의 순서로 이루어진다. 예측은 일반적으로 중심주파수 31.5 Hz부터 8000 Hz까지 옥타브 밴드별로 수행하고 있다.

소음원 수준은 장비제작자의 자료와 기존의 유사 장비류에 대한 계측값으로부터 추출한 경험식을 이용하여 밴드별 음향출력수준과 장비가 구조물 혹은 지지구조와 연결되는 지점에서의 가속도/속도 수준을 사용한다. 고체전달 소음원 수준의 경우에는 장비하부의 연결부 처리방법 즉 탄성지지대 사용여부, 지지구조의 강성에 대한 고려가 경험식의 형태로 이용되고 있다.

공기전달소음의 전달손실 해석은 단순히 구역부재의 차음손실량을 계산 혹은 추정하여 사용할 수 있다. 그러나 선박과 해양구조물의 경우에는 고체음의 전달에 의해 지배되므로 고체전달 소음해석은 매우 중요한 위치를 점하고 있다. 현재 사용되고 있는 예측방법으로는, 과거의 실적이 근거한 경험식과 해석적 방법에 기초한 Nilsson의 도파관 이론(wave guide theory)과 Lyon이 제시한 통계적 에너지 해석법(SEA) 등이 있다. 특히, SEA는 유한요소법의 적용이 곤란한 일반구조물의 랜덤 고차진동과 소음해석에 각광을 받고 있는 해석기법으로서 최근에는 선박소음분야에서 고체전달소음해석에 활발히 적용되고 있다.

소음해석의 마지막 단계에서는 선박과 해양구조물의 각종 소음원으로부터 선체구조를 매체로 선실로 전달된 고체전달소음과 공기전달소음을 합성하고 실음

향학 이론에 의거 음압수준을 구한다. 이때, 선실의 흡음특성, 내장재의 음향방사 특성 등의 추정시 선박과 육상건물의 시공방법의 차이에서 오는 특수성을 고려하여야 한다.

그림 2에서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 선박과 해양구조물의 실내소음과 옥외소음에 대한 예측 방법을 보여주고 있으며 그림 3에서는 ROPAX선에 대한 실내 소음 예측결과를, 그림 4에서는 FPSO topside에 대한 외부소음 예측결과를 보여주고 있다.

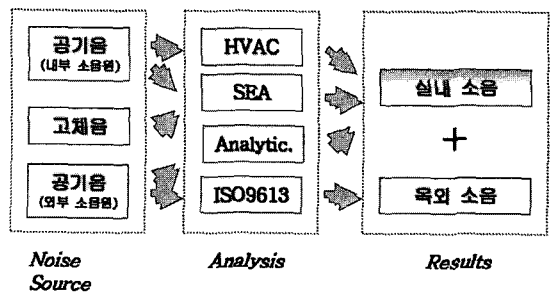


그림 2 실내소음과 옥외소음 예측 방법

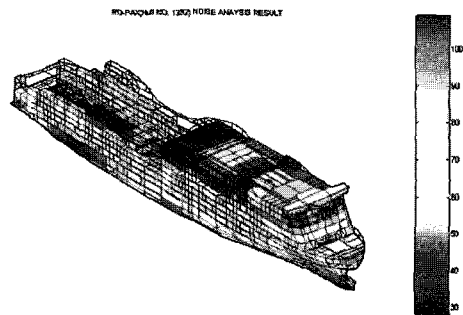


그림 3 ROPAX선의 실내소음 예측 결과

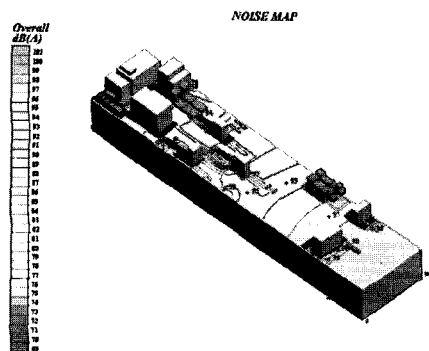


그림 4 FPSO topside에 대한 소음 예측 결과

5. 소음 제어

저소음 선박과 해양구조물의 건조를 위해서는 초기 개념설계에서부터 인도에 이르는 건조과정 전체단계에 걸쳐 소음제어를 위한 노력이 요구된다. 일단 건조가 완료된 후 문제가 발생하여 이를 해결하려면 막대한 추가 경비가 소요될 뿐 아니라 기술적으로도 어려움이 뒤따르게 된다. 소음제어를 위해 거쳐야 할 단계는 첫째 초기설계가 완료된 후 전반적인 소음예측과 필요시 격실 배치 등 적절한 방음처리의 선택, 둘째 국부적인 방음처리의 선택과 효과 검토, 셋째 방음 이외의 설계인자에 대한 효과 검토, 넷째 건조단계에서의 방음처리의 시공, 효과 확인 및 문제 발생시 추가 방음처리, 다섯째 시운전 계측 및 설계자료 축적을 위한 기록 등으로 요약될 수 있다. 이 장의 주요 부분은 한국선급(KR)의 선박진동소음제어지침, 일본해사 협회(NKK)의 선박소음방지지침 및 noise control in ships의 자료를 참고하여 작성하였다.

소음을 저감시키는 방법에는 소음이 전파될 때 자연적으로 감소하는 현상을 잘 활용하는 것을 고려할 수 있다. 거주구와 선체의 갑판을 불연속으로 하는 등 구조를 변경하는 구조상의 대책이 있고, 기관실과 거주구를 분리형으로 하는 것이 좋다. 거주구 하부와 E/C 주위에 locker, 복도 등을 설치하여 음원과 거실과의 배치관계를 변경하는 배치상의 대책이 있다.

또 소음원, 전파경로 및 수음실 각각에 대해서는 공기음은 차음 및 흡음, 고체음은 구조내의 감쇠 및 진동차단 등의 방법을 적용한다. 구체적으로는, 소음원에 대해서는 공기음에 대하여 방음벽과 소음기를 설치하고, 고체음은 방진고무에 의한 기기의 탄성지지 등의 대책을 행한다. 전파경로에 대해서는, 공기음은 기관실로부터 거주구로 통하는 통로를 이중으로하고 계단을 밀폐 공간으로 하고 문을 설치한다. 덕트내면에 유리섬유나 암면 등의 흡음재를 부착한다. 고체음은 기관실내의 판에 내부감쇠가 큰 진동제를 부착하는 방법이 있으며 소형선의 경우에는 거주구 전체를 탄성지지하는 방법도 있다. 수음실에 대해서는, 공기음은 갑판, 벽과 천정의 패널을 차음성능과 흡음성능이 좋은 재료 및 구조를 사용하고 카펫트를 설치하는 대책이 있다. 고체음은 내장재와 취부강재 사이에 탄성재를 삽입하고 갑판, 벽과

천정을 고체음을 차단시키는 구조로 하는 등의 대책이 있다.

이들 대책중에서 가장 효과적인 것은 소음원에 대한 대책이지만 소음원에 대한 대책은 주기관과 같이 대형의 경우 현재 기술로는 탄성지지가 실현 불가능한 경우도 있어 대책을 적용하기에는 한계가 있다. 또한 전파경로에 대한 대책은 거주구 전체를 탄성지지하는 예가 있지만 일반적으로는 어려운 방법이다.

소음대책을 검토하기 위해서는 대상으로 하는 장소의 목표 소음수준을 선정하고 다음으로 그 장소에 어떤 소음수준의 소음원이 어떤 전파경로를 통하여 어떤 면이 가장 그 장소의 소음수준에 기여하는가를 추정하여 기여도가 가장 큰 것에 대하여 대책을 제일 먼저 적용하는 것이 중요하다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 방음 설계 방법은 설계시에 배치상, 구조상의 대책 및 거주구 각 선실에서의 수음실 대책이 추가되고 소음원과 전파경로에 대책을 병행하는 경우가 많다. 또한 고체음을 차단하기 위하여 사용하는 방진고무는 방화구조로서 특성이 큰 제약을 받으므로 재료의 선정에 주의가 필요하다.

선박과 해양구조물에서 소음대책을 고려하는 경우, 사전에 설계단계에서 선실의 배치, 소음원 이외의 기기의 배치, E/C의 형상, 연들의 배치 및 형상, 기관실 출입구의 배치 등을 충분히 검토하는 것이 필요하다. 예를 들면, 기관실에 인접한 선실 벽을 방음구조로 하는 것보다 기관실을 배치하지 않는 것이 효과적이어서 대책에 드는 비용, 공수절감이 된다.

소음원 대책은 일반적으로 실시하기 어려운 경우가 많지만 광범위한 선실에 방음대책을 적용하는 것에 비해 효율적이나 엄밀한 의미에서 보면 조선소 독자적으로 수행이 가능한 소음원 대책은 저소음원 장비의 구입뿐이다. 이와 같은 이유는 예를 들어, 저소음 디젤기관 경우 연소과정, 밸브의 구동, 엔진과 오일 팬의 진동, 과급기의 소음 등이 종합적으로 디젤기관 자체의 설계와 제작과정에 반영되어야 하기 때문이다. 따라서 여기에서는 소음원 장비의 설치와 관련된 제반 방음처리 대책을 소음원 대책으로 간주하여 기술하였다. 주요 대책은 음원기기를 저소음형으로 하는 방법, 기기의 취부방법 변경, 기기 격리시키거나 기기의 배치를 변경하는 방법 등을 적용한다.

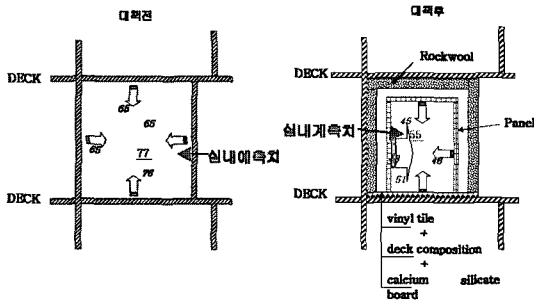


그림 5 선실의 방음대책

전파경로 대책은 소음이 음원으로부터 수음실까지 전파하는 과정에 대하여 적용하는 것으로서, 되도록 음원 가까운 위치에서 적용하는 것이 효과적이지만, 선박에서의 소음의 전파 과정은 일반적으로 복잡하기 때문에 배치상의 대책에 앞서 주요 전파 경로를 최소화하고 이들을 파악하여야 한다. 공기음의 대책에는 흡음재료를 이용하여 음에너지를 감쇠시키는 방법(흡음처리)과 차음재료를 이용하여 음에너지를 반사시켜 투과되는 음을 적게 하는 방법(차음)의 두 가지 방법이 있다. 고체음 대책으로는, 제진재나 관성질량을 부착하여 진동에너지 감쇠시키는 방법, 방진지지, 탄성계수, 선체의 불연속 구조부에 의한 진동에너지 차단하는 방법, 구조의 강성 강화에 의한 진동진폭의 억제하는 방법 등이 있다.

수음실에 대한 대책은 시공이 쉽고 선실에서도 많이 사용되고 있다. 수음실에서는 주로 소음의 차단과 흡수에 의한 대책이 행해지고, 구체적으로는 내장재의 투과 손실의 증가, 뜬바닥 구조에 의한 진동전달의 저감, 흡음재와 카펫 등 실내 장식물에 의한 흡음률의 증가시키는 방법이 있다. 내장재는 천정 및 벽의 강판에서 방사되는 음을 차단하는데 유효하고, 강판에 압면, 유리섬유 등의 흡음재를 내장재와의 사이에 적당한 간격을 설치하면 효과적이지만 통상의 구조에는 내장재가 강판에 지지되어 고체음이 전달되고 있다. 고체음의 영향이 큰 벽, 천정에는 방음지지에 의한 고체음 차단구조를 채용한다. 보통 내장재는 단판으로 이루어져 있지만 고체음이 큰 벽에는 이중 내장재로 하고 사이에 흡음재를 삽입한다. 그림 5에는 강벽, 갑판, 천정으로부터의 방사

되는 소음을 줄이기 위한 방음대책을 적용한 결과를 보인다.

6. 맺음말

이상과 같이 선박과 해양구조물의 소음에 대한 특징, 예측, 계측, 평가 및 제어방법을 살펴보았다. 저소음 선박과 해양구조물의 건조를 위해서는 초기 개념설계에 서부터 인도에 이르는 건조과정 전체단계에 걸쳐 소음 제어를 위한 노력이 필요하다.

소음원, 전파경로 및 수음실 각각에 대해서는 공기음은 차음 및 흡음, 고체음은 구조내의 감쇠 및 진동차단 등의 방법을 적용해야 하며 동일한 유형의 선박이라도 선주의 요구에 따라 탑재장비, 선실의 위치 등 소음에 영향을 주는 설계 인자가 달라질 수 있기 때문에 선실 배치가 가장 중요하며 설계단계에서부터 정확한 소음 예측이 필요하다.

소음에 대한 규제치가 점점 더 강화되고 있는 추세이므로 각 기관에서의 활동을 예의 주시할 필요가 있으며 저소음 선박과 해양구조물의 설계 및 건조 기술 개발을 위하여 꾸준히 노력해야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- (1) 김동해, 2003, "선박과 해양구조물에 대한 소음계측 및 평가에 대한 각 기관의 규정", 현대중공업 기보, Vol. 23, No. 2.
- (2) 한국선급, 1990, "선박 진동 소음 제어지침", 1997.
- (3) Brubakk, E., 1990, "Noise and Vibration Criteria for Ships and Offshore Constructions", ICMES 90.
- (4) Lyon, R. H., 1975, Statistical Energy Analysis of Dynamic System: Theory and Applications, MIT Press.
- (5) Nilsson, A. C., 1977, "Attenuation of Structure-borne Sound in Super-structures on Ships", J. of sound and Vibration, Vol. 55, No. 1.
- (6) NKK, 1982, 선박소음방지지침.
- (7) NTNF, 1975, Noise Control in Ships.