

## 대형 컨테이너운반선의 공조 소음 해석사례

권종현<sup>+</sup>, 김문수<sup>\*</sup>, 조대승<sup>\*\*</sup>, 김병희<sup>\*\*</sup>

㈜한진중공업 기술연구소<sup>\*</sup>  
부산대 조선해양공학과<sup>\*\*</sup>

### Noise Analysis of Large Container Carrier Vessel on HVAC Noise

Jong-hyun Kwon<sup>+</sup>, Mun-su Kim<sup>\*</sup>, Dae-Seung Cho<sup>\*\*</sup> and Byung-Hee Kim<sup>\*\*</sup>

Hanjin Heavy Industries & Construction Co., LTD. Technical Research Institute<sup>\*</sup>  
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

In this paper, we introduce prediction program of HVAC system, HJNOVAC Version 2.0. The developed program adopts both the authentic empirical method suggested by NEBB and acoustic power balancing method. The program provides intuitive pre- and post-processor using modern GUI function to help efficient modeling and evaluation of cabin and HVAC component noises. To verify the accuracy and convenience of the program, we carry out noise prediction of HVAC system for 8,100 TEU Container Carrier and measure the noise levels of cabins during sea trial.

※Keywords : Acoustic power balancing (음향 파워 평형), HVAC system (공조시스템),

#### 1. 서론

상선에 있어서 소음문제는 승조원의 근무환경 개선과 건강 관리관점에서 국제해사기구(IMO)에서 각 격실과 작업실에 대해서 소음제한치를 제정하여 널리 사용되고 있다. 최근에는 IMO 뿐만 아니라 국가 기구나 선급에서 자체의 규제치를 제정하여 자국의 선박에 적용하고 있는 실정이다. 그 규제치는 IMO 규정보다 일부 격실이나 작업실에서 약 5dB(A) 정도 엄격한 수준이며, 일부 국가에서는 선실 구획 패널의 소음 차폐지수에 대해서

실험 측정치 또는 실선 측정결과를 요구하고 있다. 일부 국가 기구는 소음 예측보고서를 요구하므로, 이에 따라 설계단계에서 소음해석을 수행해야 한다. 선박 소음원인 주기관, 발전기, 프로펠러, 펌프, 공기조화 시스템 등에서 발생한 소음은 공기음과 고체음의 형태로 선내 각 격실로 전달된다. 공기음은 공기를 매개체로 전달되는 소음이며, 선체 벽과 바닥 등의 구조물을 매개체로 진동의 형태로 전달되는 소음을 고체음이라 한다. 컨테이너선의 소음해석은 크게 간이해석과 상세해석으로 나눌 수 있다. 간이 소음해석은 기본 설계단계에서 Bridge Wing 이나 노천 Swimming Pool 에 대

한 공기음 해석이 수행되며, 주기관의 배기관이나 발전기의 배기관에서 발생하는 소음원 수준산정과 전달 감소치를 계산하여 최종 수용점에서 소음수준을 해석하는 것이다. 이 해석 결과로써 배기관의 형상이나 배기관내에 흡음기 설치 여부와 흡음기의 감응량을 결정하는 자료로 사용된다. 최근이고출력 주기관이나 발전기가 사용됨에 따라 과급기(Turbo charger)의 용량이나 회전수가 증가하여 배기관의 소음원 수준이 증가하고 있다.

기관실 흡배기용 팬의 소음수준이 약 110dB(A)이므로 팬룸의 간이 소음 해석이 요구된다. 이 해석의 결과로써 팬룸의 내장재의 선택과 팬의 자체 소음저감 장치의 설치 여부를 결정할 수 있으며, 최근에 대용량의 팬이 요구됨에 따라 모터의 회전수가 증가하여 팬의 소음수준이 약 3dB(A) 정도 증가하였다. 거주구 배치상의 한계로 팬룸에 격실이 인접해 있는 경우에는 추가로 상세 소음해석이 요구된다.

상세 소음해석은 상세 설계단계에서 수행하는 해석으로 기관실에 설치된 주기관, 발전기, 공기압축기, 프로펠러 등에서 발생하는 공기음과 고체음 즉 기계음에 대해서 소음원 산정과 전파경로 저감수준 계산과 최종 격실에서의 소음수준을 해석하는 것이다. 그리고 공기 조화 시스템의 팬과 공조기의 구동에서 발생하는 1 차 소음과 댐퍼(Damper), 엘보우(Elbow), 분기관(Junction) 확산기(Diffuser) 등의 각종 배관 요소를 통과할 때 발생하는 2 차 소음으로 인하여 격실에서 발생하는 소음에 대한 공조소음 해석이 있다.

본 논문의 해석 대상은 8,100TEU 급 컨테이너선이며, 상세 설계단계에서 각 선실과 작업실에 대해서는 SEA (Statistical Energy Analysis) 프로그램을 이용하여 고체음과 공기음 해석을 수행하였다. 공기 조화 시스템에서 발생하는 소음은 미국의 NEBB (National Environmental Balancing Bureau)의 방법과 음향 파워 평형방법을 적용한 HJNOVAC 을 이용하여 선실 소음해석을 수행하였다. 그리고 해상시운전에서 계측한 소음수준을 해석결과와 비교 검토하였으며, 개발된 공조 소음해석 프로그램인 HJNOVAC 에 대해 자세히 소개한다.

## 2. SEA 해석에 의한 기계음 소음해석

모델링의 편이성을 위하여 진동해석을 위한 FEM 요소를 이용하였으며, 일부 요소는 SEA 해석에 맞게 요소를 만들어 사용하였다. 선체 구조와 격실을 모델링하기 위해서 5,409 개의 판요소와 521 개의 음장요소가 사용되었다. 다음 Fig.1 과 Fig.2 는 격실과 작업실의 고체음과 공기음 수준을 해석한 결과이다.

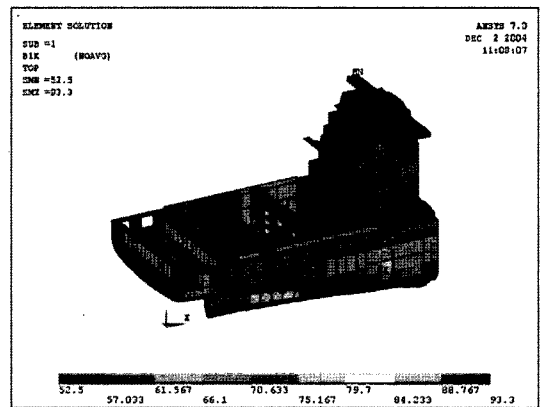


Fig. 1 Results of structureborn noise at 1000Hz

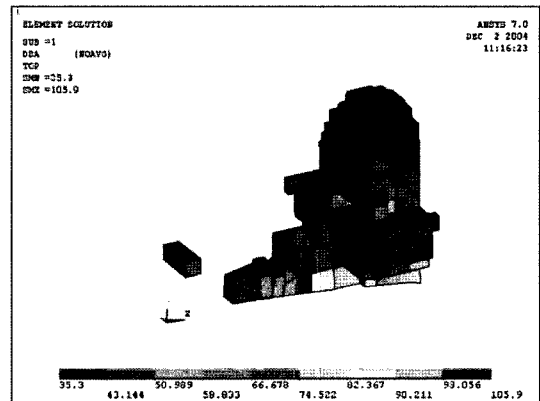


Fig. 2 Results of airborne noise at dB(A)

## 3. HJNOVAC 에 의한 공조 소음해석

공조 소음해석을 수행하기 전에 기개발된 HJNOVAC 의 해석이론과 구성 등을 아래에 서술한다.

### 3.1 공조 소음 예측 프로그램

#### 3.1.1 공조 소음해석 이론

음향파워 평형방법은 배관 각 요소에서의 음향 파워의 연속성을 이용하여 배관 내부 음장 해석을 수행하는 방법으로서 배관 요소의 음향 파워 전달, 반사 및 2 차 소음 유발 특성에 대한 정확한 파라미터가 적용될 경우 파동 효과가 적은 고차모드 주파수 영역에서 공조 시스템 소음을 정도 높게 해석할 수 있는 방법이다.

경험식에 의한 공조 시스템 소음해석은 팬과 같은 1 차 소음원으로부터 발생한 소음이 배관 경로를 따라 전달될 때 각 배관 요소에서의 감쇠 및 공기 유동으로 인한 2 차 발생소음을 고려하여 소음해석을 수행하는 방법이다. 이 방법은 공기의 공급 경로를 따라 순차적으로 배관의 음향특성치를 고려하기 때문에 댐퍼, 엘보우, 분기관, 확산기 등의 2 차 소음 발생원으로부터 공급 흐름 방향에 역행하여 전달되는 소음 효과를 고려하기 어렵고, 새로운 배치 또는 형상을 갖는 배관 시스템에 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 그러나, 경험식에 의한 방법은 비교적 해석이 용이하고, 대부분의 배관 요소들에 대한 음향 특성치 자료들이 제작사 및 공신력 있는 기관들에 의해 제공되고 있어 공조 시스템의 소음예측에 현재 가장 널리 적용되고 있고 있다.

#### 3.1.2 격실 소음해석 이론

공조 시스템 소음은 공기 공급구인 확산기와 배관 내부의 소음이 배관 벽을 투과하여 방사되는 Break-out 소음이 천정부를 투과하여 격실에 전달된다. 확산기와 배관 Break-out 소음으로 인한 격실내 임의 지점에서의 음압레벨을 확산음장이론에 의거하여 다음과 같이 산정하였다.

(1) 확산기

$$L_{p1} = L_{wd} + 10 \log \left\{ \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right\}$$

(2) 배관 Break-out 소음

$$L_{p2} = L_{wr} + 10 \log \left( \frac{1}{\pi r L} + \frac{4}{R} \right) - TL_c$$

여기서,  $L_{wd}$ 는 확산기 토출부에서의 음향파워레벨,

$L_{wr}$ 은 break-out 소음의 음향파워레벨,  $r$ 은 소음원으로부터 수음점까지의 거리(m),  $R$ 은 실정수,  $L$ 은 해당 격실의 천정부를 통과하는 배관 길이(m),  $TL_c$ 은 격실 천정부 재료와 시공 방법에 따른 투과손실(dB)이다.

하나의 격실에 다수의 확산기 또는 배관 Break-out 소음의 전달 경로가 있는 경우의 격실 음압레벨은 각각의 전달 경로에 대해서 계산된 음압레벨을 대수 합하여 계산할 수 있다.

#### 3.1.3 프로그램 구성

개발된 프로그램은 음향파워 평형방법 또는 NEBB 에서 제시한 경험식 방법을 적용할 수 있는 소음예측 프로그램, 통합 환경 제공과 GUI 를 활용하여 공조 시스템과 격실의 모델링, 자료 입력 및 계산 결과 확인을 위한 전·후처리 프로그램과 배관 재료의 흡음률과 투과손실 자료관리를 위한 데이터베이스 프로그램 등으로 구성되어 있다.

개발된 프로그램의 전체적인 소음예측 순서도는 Fig.3에 나타내었다. 프로그램의 화면 구성은 Fig.4 와 같으며, HJNOVAC 프로그램의 각 창들에 대한 기능은 다음과 같다.

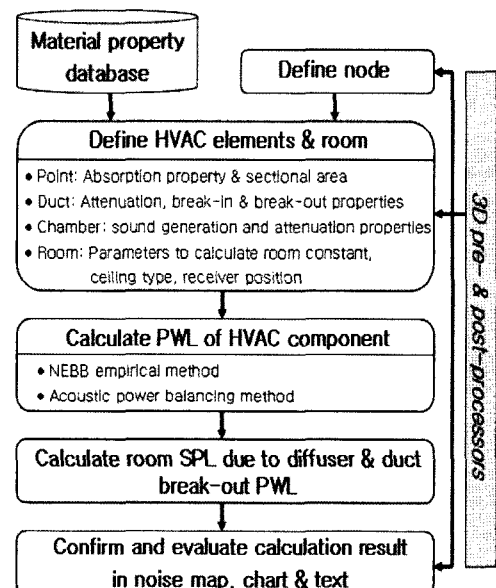


Fig. 3 Flow chart of program

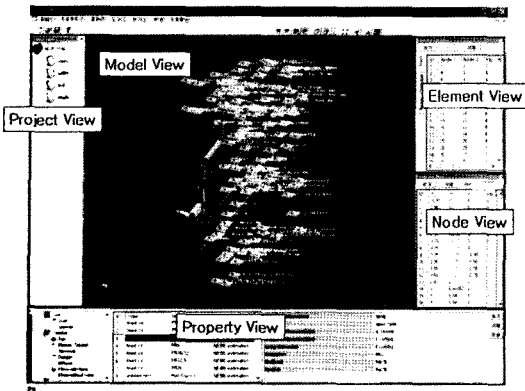


Fig. 4 Arrangement of HJNOVAC program

- (1) Model View
- (2) Project View
- (3) Node List View
- (4) Element List View
- (5) Property View

공조 시스템 모델상에 소음해석 결과를 문자로 나타내는 소음 맵 형태의 결과는 계산 방법, 주파수 가중함수 종류, 음향출력레벨 또는 음압레벨, 옥타브 밴드 또는 총합 레벨을 선택할 수 있는 대화창이 호출된다. 상기 대화창에서 나타낼 물리량을 선택하면 Fig.5에 보인 바와 같이 공조 시스템 모델의 각 결합점(Node)과 격실(Room)에서의 결과 값이 Model View에 표시된다. 그리고 최종적으로 격실의 소음수준은 Fig.6과 같은 막대 그래프로 표시된다.

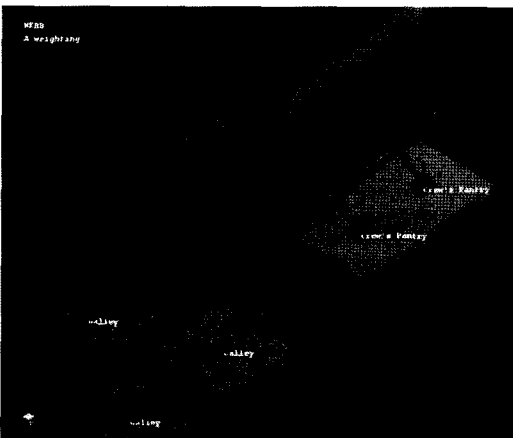


Fig. 5 Example of noise map

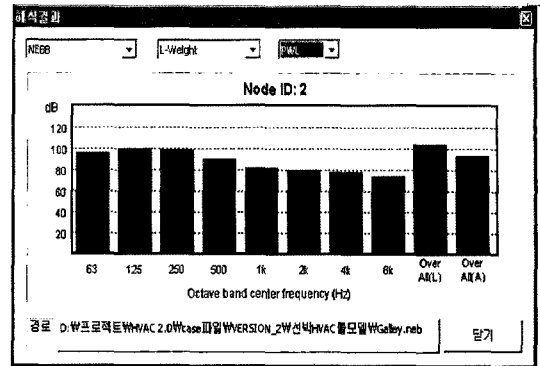


Fig. 6 Example of noise level at each room

### 3.2 공조 소음해석 결과

8,100TEU의 거주구, Galley, ECR(Engine Control Room)은 각각 독립적인 공조 시스템을 가지고 있기 때문에 모듈별로 나누어서 공조 소음 해석을 수행하였다. Fig. 7, 8, 9는 각각 거주구, Galley, ECR 모델링 결과를 보여주고 있다. Fig.10은 공조 소음해석 결과를 보여주고 있다.

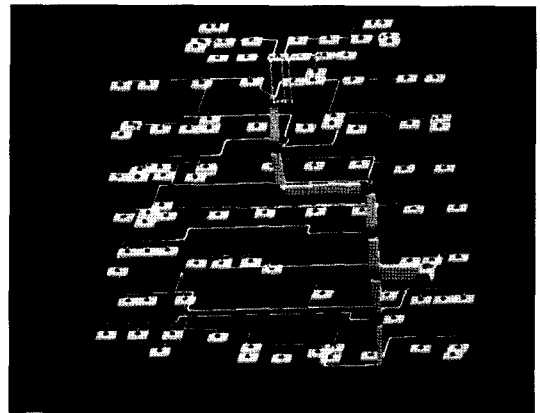


Fig. 7 Model of accomomation

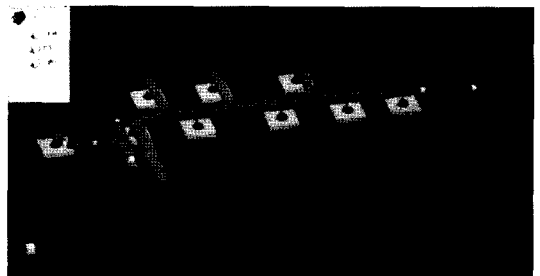


Fig. 8 Model of galley



에 HJNOVAC 을 적용하여 프로그램의 정도를 검증하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- 한국 선급, 1997, 선박 진동소음 제어지침.
- Fisher, R.W., Burroughs, C.B. and Nelson, D.L., 1983, Design Guide for Shipboard Airborne Noise Control, SNAME TR3-37.
- 해사기술연구소, 1990, “ 선내 소음예측 프로그램 개발 ”, BSI1747-1262D.
- 西村正治, 林泰道, 北川和夫, 1991, “ 音響パワーバランスに基づいたダクト騒音豫測法の開発 ”, 三菱重工技報, Vol. 28 No. 3.
- 조대승 등, 2001, “ 음향파워 평형방법을 이용한 HVAC 시스템 소음예측 ”, 한국소음진동공학회 2001 년도 추계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 1306 ~ 1312.
- National Environmental Balancing Bureau, 1994, Sound and Vibration Design and Analysis, Maryrand.
- ASHRAE, 1987, Sound and Vibration Control, ASHRAE Systems and Applications Handbook.
- ASHRAE, 1967, Sound Control, ASHRAE Guide and Data Book, Ch. 14.
- Reynolds, D.D., 1981, Engineering Principles of Acoustics - Noise and Vibration Control, Allyn and Bacon.
- 조대승 등, 2004, “ 공조시스템 유기 격실 소음 예측 프로그램 개발 ”, 한국소음진동공학회 2004 년도 추계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회
- 권중현, 2004, “ Report of noise analysis on 8,100 TEU class container carrier ”, HHIC-0018-130



< 권 중 현 >



< 김 문 수 >