한국소음진동공학회 2011년 추계학술대회논문집, pp.519~524

선내 격실 소음 추정 자동화 프로그램 개발

Development of Automated Program for Noise Prediction in Shipboard Compartments

오영근† · 박근효* · 류성선** · 강태욱*** · 이동현****

Young-Keun Oh, Keun-Hyo Park, Seong-Sun Ryu, Tae-Wook Kang and Dong Hyun Lee

Key Words : 공조 시스템(HVAC system), 음 에너지(Sound energy), 흡음률(Absorption coefficient) 확산음장이론(Diffuse sound field theory), 플레넘 챔버(Plenum chamber)

ABSTRACT

The aim of this study is to develop an automated program for noise prediction in shipboard compartments, for this purpose of calculating noise levels accurately and quickly. The program calculates sound power level at HVAC components based on the empirical method suggested by NEBB and utilizing the manufacturer's test data. The program developed uses the GUI functions to help in efficient modeling and calculation. To verify the reliability of developed program, the predicted data was compared with the measured data in shipboard compartments. As a result, the average difference between predicted and measured data is ±3dB.

기 호 설 명

L_p : 음압레벨 [dB, dB(A)]
L_w : 음향파워레벨 [dB, dB(A)]
Q : 지향계수
r : 측정 거리 [m]
R : 룸 실정수 [m^2]
K_w : 송풍기의 기준 음향파워레벨 [dB]
q : 송풍기의 풍량 (L/s)
q_1 : 송풍기의 기준 풍량 (0.47 L/s)
p : 송풍기의 전압 (Pa)
p_1 : 송풍기의 기준 압력 (249 Pa)
C : 수정 계수

† 교신저자; 정회원, 하이에어코리아(주)
E-mail : ykoh@hiairkorea.co.kr
Tel : (055) 304-5088, Fax : (055) 346-3511
* 하이에어코리아(주) 기술연구소
** 하이에어코리아(주) 기술연구소
*** 하이에어코리아(주) 기술연구소
****(주)큐버솔루션

1. 서 론

최근 국내 조선 사업은 준 여객선급인 ROPAX (RO-RO passenger ferry)와 함께 유가의 급등에 따른 심해 유전 개발에 사용되는 해양구조물, 특히 FPSO (Floating, production, storage and offloading facility)와 Drillship과 같은 고부가가치선박의 수주가 많은 비중을 차지하고 있다. 선박 건조 시 중요시 여기는 사안 중 하나인 소음 문제는 선원과 승객의 청력 보호, 생활공간의 안락성 보장 및 작업 능률 향상에 있어 중요한 요소로 판단되고 있다. 건조 기술의 발달은 건조 시간을 단축시켜 조선소와 협력업체의 빠른 대응을 요구하고 있다. 특히 설계 초기 단계에서 HVAC 소음을 빠른 시간 내에 예측하여 설계 시간 단축과 더불어 건조 이후 소음 문제를 사전 예방할 수 있다. 선박에서 격실 내의 주 소음원은 공조 시스템에서 발생하는 소음으로 송풍기에서 발생한 소음이 덕트를 통해 최종 수음점으로 전달되게 된다. 기존의 공조 시스템의 소음 저감 대책은 설계자의 경험과 수 계산에 의해 이루어져 왔으며, Text 기반의 User Interface 형태의 프로그램

으로 이용이 까다로우며 계산상 시간이 많이 소요되어 빠른 대응을 요구하는 현실에 적합하지 않다.

본 연구는 HVAC 소음 해석을 설계자가 간편하고 빠르게 대응하기 위하여 2차원 GUI 기능을 이용한 모델링(Modeling) 지원과 모델링 시간 단축을 위해 CAD로 작업한 도면을 DXF 파일로 전환 후 읽어 들일 수 있게 하여 보다 빠른 시간에 소음 해석을 수행할 수 있도록 하였다.

2. 선내 격실 소음 추정

2.1 공조 시스템을 통한 소음 전달 및 예측

'소음원-전달 경로-수음점'이라는 3단계를 거치면서 발생되는 음 에너지(Sound energy)의 전달 형태는 다음과 같이 구분할 수 있다.

(1) 송풍기로부터 발생한 음 에너지의 전달 (Air-borne noise)

(2) 덕트 시스템(Duct system)을 지나면서 발생하는 유동에 의한 음 에너지

(3) 고체전달소음 (Structureborne noise)

(4) 천장을 지나는 덕트와 격실 사이에 영향을 주는 Breakout & breakin noise

(5) 터미널 유닛(Terminal Unit)에서 실내의 수음자에게 전달되는 음 에너지

개발된 프로그램은 송풍기에서 발생한 음 에너지와 유동에 의해 발생되는 음 에너지만을 고려하여 격실 내 소음을 해석하였으며, 덕트 Breakout & Breakin noise를 고려하여 덕트와 격실 사이의 음장 해석을 수행할 수 있도록 하였다.

국내외에서 공조 시스템 소음 해석을 위해 사용되고 있는 방법으로는 통계적 에너지 해석법(SEA)[1][2], 파동 음향학, 경험적 방법, 음향학적 평형방법, 음향파워평형방법(PBM)[3]을 이용한 해석 방법이 제시되고 있다. 이러한 선박 소음 해석 프로그램들은 국내에 소개된 이래 꾸준히 이용되고 있으나 예측과 실측 사이의 오차를 줄이기 위한 노력은 상대적으로 미진하였다.

본 연구에서는 미국 공조협회에서 제시한 NEBB (National Environmental Balancing Bureau)[4] 경험식을 이용하여 2D 기반의 격실 소음 추정 프로그램을 개발하였다.

NEBB 경험식은 1차 소음원인 송풍기를 기점으로 최종 격실에 도달하기까지 연결된 공조시스템(Fan, Elbow, Branch, Chamber, Silencer, Terminal Unit)들의 음향파워레벨과 감음량 등을 평가하는 유용한 자료를 제공하고 있다.

2.2 격실 소음 예측 Feedback 방식

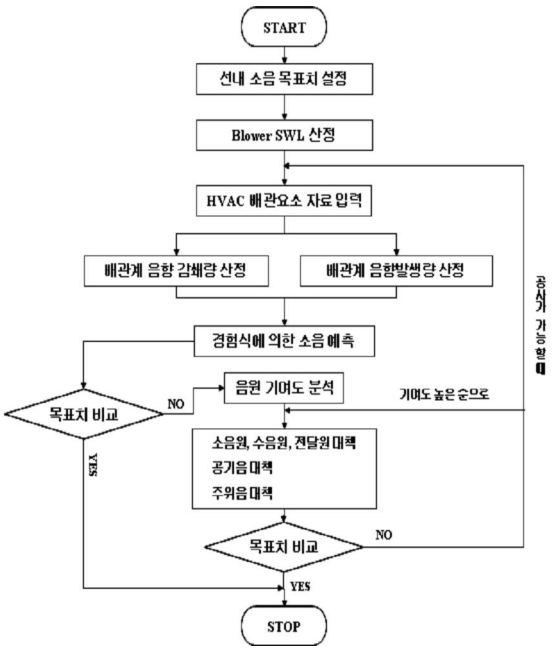


Figure 1 Flow chart of noise calculation for HVAC system

기본 설계를 마친 도면을 참고로 하여 소음 추정 프로그램에 모델링을 하고, 송풍기의 음향파워레벨을 입력한다. 공조 시스템의 전달 경로를 지나면서 터미널 유닛까지 도달한 음향파워레벨은 다음의 확산음장이론(Diffuse sound field theory) 식을 적용하여 최종 음압레벨로 산정한다.

$$L_p = L_w + 10\log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) \qquad (1)$$

지향 계수, 측정 거리, 룸 실정수에 따라 최종 격실에서의 음압레벨이 결정되어진다. 이러한 과정을 통해 격실에서 기준을 초과할 경우, 소음기

(Silencer) 적용, 덕트 배열(Duct Arrange) 수정, 터미널 유닛 변경 등 해결 방안을 마련하고 있다.

3. 선내 격실 소음 추정 프로그램

3.1 프로그램 개발 환경

격실 소음 추정을 위한 개발에 사용된 프로그램 Tool은 CodeGer Delphi for Microsoft Windows 2007, 개발 OS는 Window XP Pro이고, Client 환경은 Windows XP이다. 네트워크 데이터베이스를 활용할 수 있도록 사내 MSSQL DB를 이용하여 모든 기본 자료를 동시에 여러 명이 접속하여 사용할 수 있도록 하였다.

3.2 모델링 구성 요소

격실 소음 추정을 위한 공조 시스템 구성 요소들은 아래에 나열된 요소들을 이용하여 모델링하였다. 각각 요소들에 대한 수식은 NEBB 경험식을 이용하였고, 제작사 제품(송풍기, 터미널 유닛)은 제작사 제공 데이터 및 실제 측정 데이터를 입력하여 사용할 수 있도록 하였다.

(1) 송풍기(Fan)

공조 시스템의 1차 소음원으로 덕트 라인의 시작점은 송풍기 요소로 지정된다. 송풍기의 음향파워 레벨은 제작사에서 제공하고 있는 자료를 입력하고, 제작사의 Data가 없는 경우에는 다음의 식으로 계산하여 사용할 수 있도록 하였다.

$$L_w = K_w + 10\log\left(\frac{q}{q_1}\right) + 20\log\left(\frac{p}{p_1}\right) + C \quad (2)$$

(2) 덕트(Duct)

노드(Node)와 노드로 구성된 직선 요소로서 덕트 요소의 속성에는 사이즈(가로, 세로), 길이를 부여할 수 있다.

(3) 댐퍼(Damper)

기본적으로 덕트의 중간에 설치되어 유량을 조절하기 때문에 사이즈는 덕트 사이즈가 그대로 반영되나 변경이 가능하다. 블레이드(Blade)의 각도에 따라 압력의 변화가 많으므로 압력 수치를 지정할 수 있도록 하였다. 1차 소음원인 송풍기 외에 2차 기인 소음원으로 가장 높은 기여도를 보이고 있다.

(4) 엘보우(Elbow)

선박의 덕트에는 사각, 원형 엘보우로 구성되어 있다. 엘보우 내부에 흡음재 적용 여부를 선택하여 사용할 수 있도록 설계하였다.

(5) 분기관(Branch)

덕트의 형상에 따라 90도 Branch Takeoff , X-Junction 형태를 고려하여 설계하였다.

(6) 플레넘 챔버(Plenum chamber)

플레넘 챔버는 보통 송풍기의 토출부(Discharge section)이나 메인 덕트에 위치하게 된다. 플레넘 챔버 내부에 흡음재를 부착함으로써, 흡음 효과를 얻는 구실을 하고 있다. 흡음재에 대한 정확한 흡음률을 측정하기에는 한계가 있으므로, Figure 2에서 보는 바와 같이 각 단면에 사용되는 흡음재의 흡음률은 문헌에 나오는 내용을 참고하여 입력할 수 있도록 하였다.

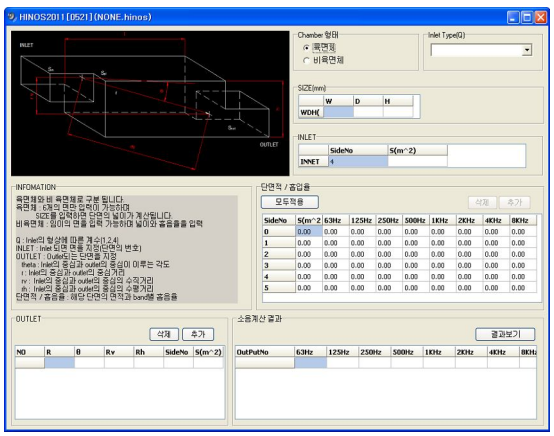


Figure 2. Property window of plenum chamber

(7) 소음기(Silencer)

덕트의 형상에 따라 사각, 원형, 스플리터(Splitter) 타입으로 적용할 수 있다. 사각과 원형의 경우에는 흡음재의 두께별로 삽입 손실 레벨이 적용되어 있으며, 스플리터 타입의 경우에는 배플(Baffle)의 두께와 길이에 따라 삽입 손실 레벨이 적용되어 있다.

(8) 터미널 유닛(Terminal unit)

공조 시스템에서 사용되고 있는 터미널 유닛은 흡음재가 부착된 제품과 일반적으로 널리 사용되는 Grill 등이 있다. 터미널 유닛은 제작사 제작사의 데이터를 사용하고 데이터가 없는 경우에는 NEBB, 플라크우드社[5]의 경험식을 사용하였다.

터미널 유닛에 대한 정보는 Figure 3과 같이 테스트를 통한 실험값을 입력할 수 있도록 하였다.

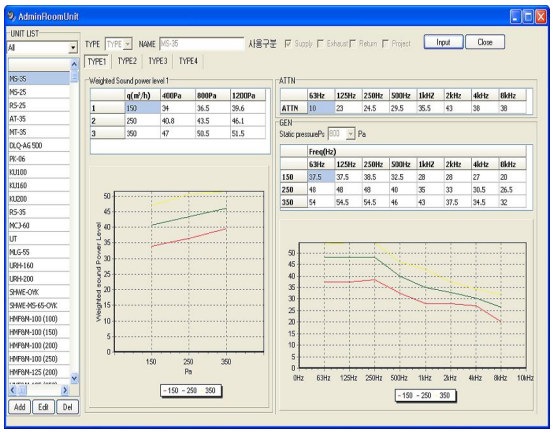


Figure 3. Administration of terminal unit

또한 모델링에서는 Figure 4에서와 같이 터미널 유닛에 대한 정보를 기입하는데, 프로그램에 입력된 제작사 데이터를 사용하거나 사용자에 의해 필요한 데이터를 입력할 수 있도록 하였다.

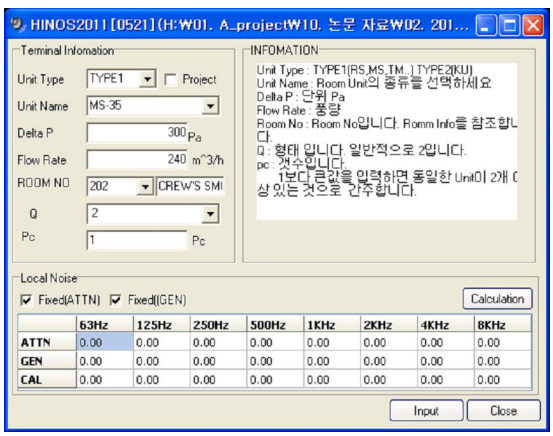


Figure 4. Property window of terminal unit

(9) 흡음률(Absorption coefficients)

격실 내의 예상 흡음률은 다음의 표를 이용하였다.

Table 1. Table of absorption coefficients

번호	$\overline{\alpha}$	구 분
1	0.05	Live Room
2	0.10	Medium Live Room
3	0.15	Normal Room
4	0.25	Midium Dead Room
5	0.40	Dead Room

3.3 프로그램 모델링

개발된 프로그램은 2차원 GUI 기능을 이용해서 공조 시스템 구성 요소를 모델링하고 소음 계산 결과를 확인할 수 있는 기능을 제공한다. 개발된 프로그램의 메인 화면은 Figure 5에 나타내었다.

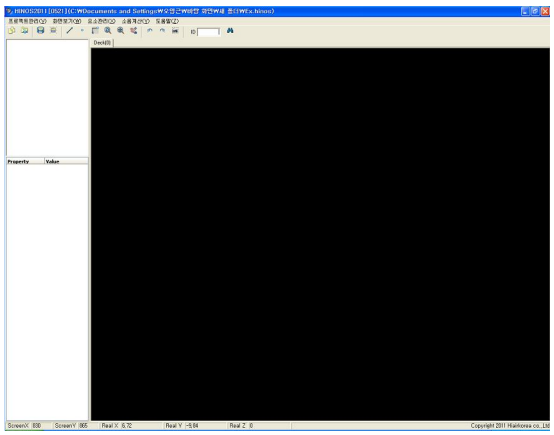


Figure 5. Main window of prediction program

격실 소음 추정 프로그램에서는 두 가지 모델링 방법을 구현하게 하였다. 첫째는 CAD로 작성된 도면을 DXF 파일로 저장 후 키워드 파싱을 통해 도면 정보를 읽어 오는 방법으로 Figure 6에 나타내었다. 사용자에 의한 수정 및 보완이 필요하면 별도의 수정 작업을 할 수 있도록 하였다.

둘째는 직접 수작업으로 공조 시스템 구성 라인 작업을 통해 각각의 노드를 형성하는 하는 방법이다. 그룹핑(Grouping)이 잘된 DXF 파일을 이용하게 되면 시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 수작업은 사용자가 공조 시스템의 구성을 이해하며 작업을 하

게 되므로 전체적인 도면의 이해도를 높일 수 있다.

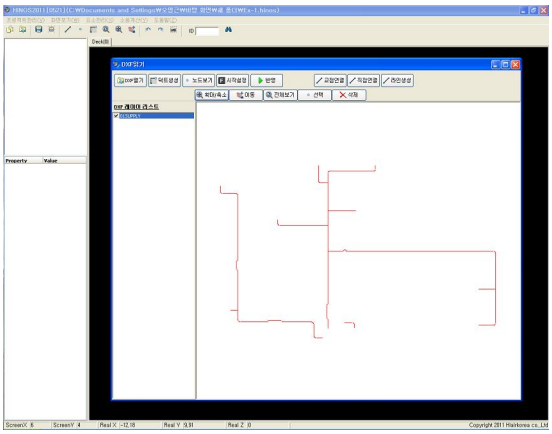


Figure 6. Window of Input dxf file

3.4 프로그램 검증

격실 소음 추정 프로그램을 검증하기 위하여 실선에서 소음 측정을 하였고, 해당 선종을 모델링을 통해 소음 예측을 실시하였다. 소음 측정은 HVAC 자체의 소음만을 평가하기 위하여 HVAC 외의 모든 장비는 작동하지 않는 조건에서 수행하였다. 2차원 GUI 기능을 구현하므로 한 화면에 여러 개의 Deck로 구성된 모델을 표현할 수 없는 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Deck 추가 기능을 통해서 n개의 Deck를 구현하고 Deck 사이의 공유된 Node를 연결하여 전체적인 공조 시스템을 구현할 수 있도록 하였다.

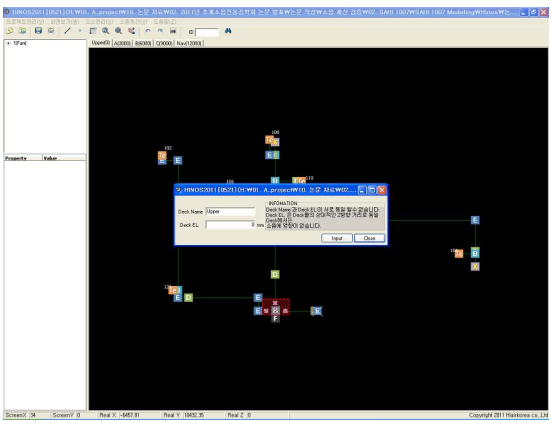
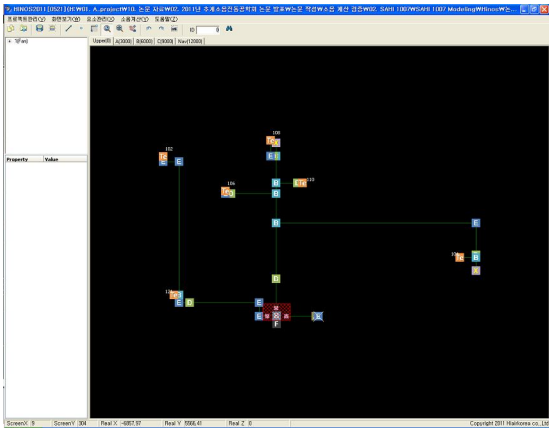
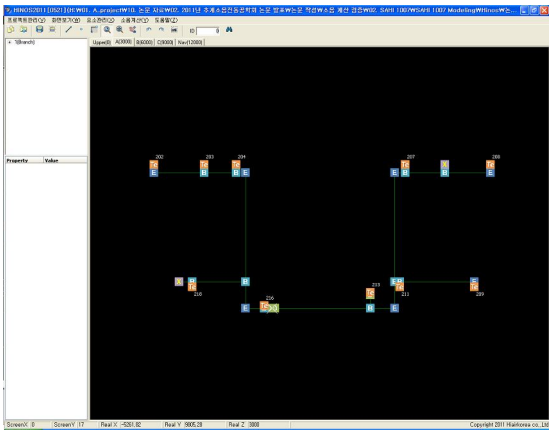


Figure 7. Addition Window of Deck

검증에 사용된 선종은 12,300 DWT Heavy Duty Cargo Carrier Cargo Vessel이다. 총 5개의 Deck로 구성되어 있고, 검증 예시는 2개의 Deck를 표기하였다.



(a) A-Deck



(b) B-Deck

Figure 8. Modeling of HVAC system

Table 2는 프로그램을 이용한 예측과 실선 측정값을 비교한 결과를 보여주고 있다. 전체적으로 ±3dB 내외의 오차를 확인할 수 있다. 오차의 원인으로는 공조 시스템 커미셔닝(Commissioning) 작업 단계에서 인력에 의해 조절되는 댐퍼의 압력 강하 수치가 프로그램에 적용한 수치와 상이한 것으로 판단된다. 또한 수음점에서의 잔향 시간에 대한 정확한 자료가 적용되지 않았기 때문에 오차가 발생한 것으로 판단된다.

Table 2. Comparison of Prediction and Measurement

No.	Room Name	SPL, dB(A)		Diff.
		Prediction	Measurement	
A-deck				
102	Hospital	48	47	1
104	Officer's laundry	76	73	3
108	Changing room	75	72	3
110	Dry Provision room	77	75	2
121	Tally office	51	49	2
B-deck				
203	Crew's mess room	53	52	1
207	Officer's mess room	50	50	0
209	Seaman	49	47	2
211	Cook	49	47	2
213	Store	73	75	-2
216	Oiler	48	46	2
218	Gymnasium	51	49	2

4. 결 론

본 연구에서는 NEBB 경험식과 제작사의 데이터를 통하여 격실 내 소음을 예측하는 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 검증 작업을 통하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) CAD DXF 파일의 이용은 기존 프로그램에 비해 모델링 시간의 단축을 할 수 있어 설계 초기에 빠른 대응이 가능하다.

(2) 소음 예측의 정확도를 향상시키기 위하여 개발된 프로그램은 당사 제품(Fan, Terminal Unit, Silencer)에 대한 설계와 실측 결과를 바탕으로 만든 데이터베이스를 적용하여 예측 오차를 줄였다.

(3) 추가적으로 2차 기인 소음원과 격실 잔향시간의 차이로 인한 오차를 줄일 수 있도록 지속적인 제품의 실험과 격실 내의 잔향 시간 측정을 통해 데이터를 구축함으로써 프로그램의 정확도를 높이는 방안이 요구된다.

(4) 향후 프로그램의 완성도를 높이기 위하여 좀 더 다양한 선종(FPSO, Drillship, LNG Ship 등)을 선택하여 예측과 실측을 통해 프로그램 정확도를 높이는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

(1) J. Ødegaard Jensen, "Calculation of structureborne noise transmission in ship using the 'statistical energy analysis' approach", Proc. of ISSA 1976.

(2) Jae-Seung Kim, Hyun-Ju Kang, Hyun-Sil Kim, Sang-Ryul Kim, 2000, "On the Accuracy of Shipboard Noise Prediction Using SEA", Proceedings of the KSNRE Annual Spring Conference, pp.849~854.

(3) Byung-Hee Kim, Dae-Seung Cho and Jong-Hyun Kwon, 2004, "Development of Cabin Noise Prediction Program Induced by HVAC System", Proceedings of the KSNRE Annual Autumn Conference, pp.554~558.

(4) National Environmental Balancing Bureau, Maryland, 1994, "Sound and Vibration Design and Analysis".

(5) Fläkt Woods, Ian Sharland, 1972, "Practical Guide to Noise Control".