다수의 출구를 가진 선박용 대형 저소음 룸유닛 개발

Development of Shipboard Large-sized Low-noise Room Unit with Multiple Outlets

김 상 렬†·김 현 실*·이 성 현*·박 근 효**

SangRyul Kim, Hyun-Sil Kim, Sung-Hyun Lee and Keun Hyo Park

(2012년 3월 21일 접수 ; 2012년 4월 20일 심사완료)

Key Words : Room Unit(룸유닛), Insertion Loss(삽입손실), Flow Noise(유동소음), Damper(댐퍼), HVAC Element(HVAC요소)

ABSTRACT

In this paper, the acoustic performance of a shipboard large-sized room unit is studied. The room unit is a kind of rectangular absorptive chamber with a partition whose surface absorptive material with fabric skin is attached to. The room unit has one inlet and three outlets. At the inlet, a plane damper is installed to control the flow rate. The acoustic performance of a prototype room unit is measured using a HVAC mock-up. It is shown that its insertion loss is comparable with that of a commercially-used room unit but the developed room unit generates flow noise higher than the other one. The major source of flow noise is analyzed by NADS-R, the noise analysis program for room unit. Cone-shaped dampers are proposed to be used as the damper of a room unit to reduce flow noise. It is shown that the cone-shaped damper decrease flow noise remarkably.

1. 서 론

크루즈선과 같은 고부가가치선의 경우 저소음화된 장비가 탑재될 뿐만 아니라, 선박내부의 방음/방진 대책이 적용되기 때문에 선실 소음의 대부분은 HVAC에 기인한다. 따라서 낮은 선실소음 요구조건을^(1,2) 만족시키기 위한 HVAC 소음 저감조치들이 매우 중요하게 진행되어 왔다^(3~7). 최근에는 저소음 FAN, 고성능 소음기 개발과 더불어 HVAC 덕

트라인의 맨 끝단에 위치한 룸유닛의 저소음화가 이슈화되고 있다^(8,9).

또한 선박의 고급화에 따라 개별 선실의 HVAC 유량을 자동적으로 조절할 수 있는 룸유닛 기능이 요구되고 있으며, 대형 공간이나 다수의 선실을 하나의 유닛으로 관리할 수 있도록 다수의 출구를 가진 룸유닛이 필요하게 되었다.

룸유닛의 저소음화 설계는 룸유닛의 삽입손실 향상과 더불어 유동소음(내부 유동에 의한 유체기인 소음) 저감에 초점이 맞춰져 이뤄지고 있는데, 삽입손실은 압력강하량과 연관되어 있어 특정값 이하의 압력강하가 요구되는 HVAC 요소의 특성상 룸유닛의 삽입손실을 무한정 증가시킬 수 없다. 따라서 선박에서 요구되는 적절한 압력강하량 이하로 유지한 상태에서 삽입손실 증가를 얻을 수 있는 설계가 필요하다. 또한 유동소음은 내부 유동속도가 증가함에 따라 커지기 때문에^(3,4) 대용량 룸유닛의 경우 유량

† 교신저자; 정회원, 한국기계연구원 시스템다이내믹스 연구실 음향소음팀
E-mail : srkim@kimm.re.kr

Tel : (042)868-7466, Fax : (042)868-7440
* 정회원, 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실

** 하이에어코리아 기술연구소

이 논문의 일부는 2012년 춘계 소음진동 학술대회에서 발표되었음.

증가에 의한 유동소음이 증가할 수 있으므로 이를 저감할 수 있는 설계가 필요하다.

이 연구에서는 다수의 출구를 가진 저소음 대용량 룸유닛 개발을 목적으로 주요 내부요소들을 설계하고, 소음성능을 측정/평가하고자 한다. 개발품 소음성능의 적절성을 확인하기 위하여 현재 사용되고 있는 해외제품과 비교 평가를 수행하고자 한다.

Fig. 1 Schematic of a room unit with 3 outlets

(a)

(b)

Fig. 2 HVAC mock-up for the performance test of room unit: (a) the installed room unit and (b) fan system of HVAC mock-up

2. 다출구 룸유닛의 기본구조 및 성능

2.1 대상 룸유닛의 기본구조

먼저 이 연구의 대상체로 하나의 입구와 3개의 출구를 가진 룸유닛을 고려하였다. 대상 룸유닛은 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 입구에 유량조절을 위한 평면 댐퍼와 공기 온도 조절을 위한 내부코일이 설치되어 있으며, 내부표면에는 스킨재가 부착된 25 mm 두께의 흡음재가 부착되어 있다.

2.2 룸유닛의 기본 성능

사전 연구를⁽⁹⁾ 통하여 대상 룸유닛 기본구조의 삽입손실은 해외 제품과 유사한 수준임을 확인할 수 있었다. 실제 기본구조에 대한 시제품을 제작한 후 HVAC mock-up을⁽⁸⁾ 이용하여 삽입손실과 대상 룸유닛의 최대 유량인 1050 m³/h, 900 m³/h, 그리고 600 m³/h의 유량이 흐를 때 잔향실내에서의 유동소음을 측정하였는데, Fig. 2는 HVAC mock-up의 잔향실(체적: 87.7 m³) 천정에 설치된 대상 룸유닛과 유동발생을 위한 FAN 시스템을 보여주고 있다. Fig. 2(a)에서 알 수 있듯이 룸유닛의 3개 출구는 모두 잔향실 내부로 연결하였으며, 잔향실 천정에는 룸유닛 출구와 동일한 단면의 토출구를 뚫어 잔향실 내부로 들어온 유체가 빠져나가도록 하였다. 또한 잔향실 토출구에는 각각 소음기를 설치하여 외부로 부터의 소음이 유입되는 것을 차단하였다.

Fig. 3은 룸유닛의 삽입손실을 해외제품과 비교하여 나타낸 것이다. 여기서 비교된 해외제품은 대상

Fig. 3 Insertion loss of room units: the room unit A represents the prototype in Fig. 1 and the room unit B is a commercial one in Fig. 4

Fig. 4 Schematic of a room unit used commercially in cruise ships

Fig. 5 Flow noise of room units: the room unit A represents the prototype in Fig.1 and the room unit B is a commercial one in Fig. 4

룸유닛과 유사 사양의 제품으로 그 구조는 Fig. 4와 같다. Fig. 3에서 두 룸유닛의 삽입손실은 매우 유사한 것을 볼 수 있다.

반면, 두 룸유닛의 유동소음을 보여주고 있는 Fig. 5에서 대상 룸유닛(그림에서 room unit A)의 유동소음이 63 Hz 이하의 저주파수 영역과 1000 ~ 4000 Hz 주파수영역에서 해외제품(그림에서 room unit B)에 비하여 높은 것을 확인할 수 있다. 이러한 대상 룸유닛의 유동소음 성능개선을 위하여 유동소음 저감을 위한 내부요소 변경을 수행하였다.

3. 다출구 룸유닛의 저소음 설계

3.1 유동소음에 대한 주요 소음원 파악

유동소음에 대한 주요 소음원을 파악하기 위하여 대상 룸유닛 기본구조의 유동소음에 대한 단순 성능 해석을 수행하였다. 이 성능해석에는 기존의 HVAC 소음해석방법을 이용하였으며, 이를 위하여 룸유닛 내부구조를 기존의 HVAC요소(댐퍼, 챔버, 직관 등)의 조합으로 모델링하여 표현하였다⁽¹⁰⁾. Fig. 6은 해석에 사용된 근사모델을 보여주고 있다. 이 단순 해석 결과가 실제 유동소음레벨을 정밀하게 보여주기에는 어려움이 있으나, 각 내부 요소별 상대적인 유동소음의 크기 비교로는 의미있는 결과를 나타낼 수 있다. Fig. 7은 주요 요소의 유동소음 해석결과를 비교한 것이다. 그림에서 댐퍼(Fig. 6에서 첫 번째 요소)에서의 유동소음이 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

이를 보다 정확하게 확인하기 위하여 유동해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여 룸유닛내부의 유동장을 해석하였다. Fig. 8은 해석된 내부 유속 분포를 보여주고 있으며, 그림에서 댐퍼부근에서 가장 큰 유속을 확인할 수 있다. 이로부터 댐퍼 전단면에서 유속증가에 따른 유동소음 증가가 발생할 수 있음을 유추할 수 있다.

3.2 유동소음 저감을 위한 댐퍼 형상 설계

댐퍼 전단면에서의 유동소음에 저감을 위한 댐퍼의 형상설계를 수행하였다. 댐퍼 전단면은 다양한 형상을 고려할 수 있으나, 실제 제품으로의 제작성을 고려하여 Fig. 9에 나타나있는 2가지 형상을 최종 후보로 선정하였으며, 최적의 댐퍼를 찾기 위하여

각 형상에 대해 4가지 길이(Fig. 9에서 D)의 시제품을 제작한 후 유동소음을 측정 비교하였다. Fig. 10은

Fig. 6 Simple model of the room unit for noise performance simulation

Fig. 7 Comparison of flow noise between inner elements of the room unit

Fig. 8 Velocity distribution in the room unit

각 형상의 댐퍼 시제품이 룸유닛 내부에 설치된 예를 보여주고 있다.

Fig. 11은 각 형상의 댐퍼 시제품을 룸유닛에 설치한 후 측정한 유동소음과 기존 댐퍼가 설치되었을 경우 유동소음과의 차이를 보여주고 있다. Fig. 11(a)에서 구형 댐퍼 $D = 50$ mm인 경우(그림에서 S50) 기존 댐퍼가 설치된 경우보다 오히려 증가(그림에서 양수값)한 것을 볼 수 있으며, 이후 댐퍼 길이가 길어짐에 따라 주파수에 따라 차이는 있으나 대체적으로 유동소음이 점차 감소하다가 $D = 80$ mm(S80의 경우)의 경우 다시 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 11(b)의 원뿔형 댐퍼에서도 확인할 수 있으며, 원뿔형 댐퍼의 경우 대체적

Fig. 9 Two types of damper shape designed for flow noise reduction

(a) Sphere-shaped damper

(b) Cone-shaped damper

Fig. 10 Installation of each type of damper

으로 원형 댐퍼에 비하여 유동소음의 저감정도가 큰 것을 볼 수 있다.

최종적으로 원뿔형 $D=70\text{ mm}$ (Fig. 11에서 C70)인 경우 기존 댐퍼에 비하여 유동소음이 약 2 dB(A) 감소함을 확인하였다. Fig. 12는 C70 댐퍼가 룸유닛에 부착되었을 경우의 유동소음을 해외제품과 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 63 Hz 이하의 저주파수 영역과 8 kHz 를 제외하고는 모든 주파수에서 유동소음이 해외제품에 비하여 낮은 것을 볼 수 있다. 8 kHz 의 측정값은 측정 당시의 배경소음과 비슷한 수준의 레벨로 더 낮은 수준의 측정이 불가하여 발생한 것으로 판단되나, 63 Hz 이하의 저주파수 영역의 경우는 정확한 원인을 밝히지 못하였다. 그러나 C70 댐퍼가 부착된 룸유닛의 경우 해외제품에 비해 최대 유량인 $1050\text{ m}^3/\text{h}$ 에서 2 dB(A) , 가장 많이

사용되는 $600\text{ m}^3/\text{h}$ 에서는 5 dB(A) 낮은 유동소음을 확인할 수 있다.

(a) Sphere-shaped damper

(b) Cone-shaped damper

Fig. 11 Difference of flow noise level between each new damper and original damper. SXX and CXX represent sphere-shaped and cone-shaped damper of XX mm length respectively

(a) $1050\text{ m}^3/\text{h}$

(b) $900\text{ m}^3/\text{h}$

(c) $600\text{ m}^3/\text{h}$

Fig. 12 Flow noise reduction of the room unit where a C70 type damper is installed: the room unit A represents the prototype with C70 type damper and the room unit B is a commercial one in Fig. 4

4. 결 론

이 연구에서는 다수의 출구를 가진 저소음 대용량 룸유닛 개발을 목적으로 룸유닛 내부요소들을 설계하고, 제작된 룸유닛에 대하여 소음성능을 측정/평가하였다. 기존 룸유닛은 현재 널리 사용되고 있는 해외제품과 삽입손실은 동등하나 유동소음이 더 큰 특성을 보이고 있기 때문에 유동소음 저감을 위한 룸유닛 저소음화 설계를 수행하였다.

유동소음에 대한 해석을 통해 룸유닛 내부요소 중 댐퍼가 유동소음의 가장 큰 소음원임을 확인하였고 댐퍼에 의한 유동소음을 저감하기 위하여 댐퍼 전단면의 형상 변경을 수행하였다.

원형과 원뿔형 댐퍼에 대한 유동소음을 측정하고 결과 원뿔형 댐퍼가 더 낮은 유동소음을 보였으며, 댐퍼길이에 따라 유동소음도 변화하였다. 낮은 유동소음을 얻기 위한 최적의 댐퍼길이가 존재함을 확인하였고, 이 논문에서는 70 mm 원뿔형 댐퍼의 경우 최대 5 dB(A)의 유동소음 저감을 얻을 수 있음을 확인하였다.

후 기

이 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업 “차세대 고부가가치선박의 저진동·소음 기술개발”과제의 연구결과의 일부이며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) DNV, Rules for Ships, 1995, Part 5 Chapter 12 Comport Class, Section 2.
- (2) NORSOK Standard S-002 Rev.4:2004, Working Environment, Annex A.

(3) Bevirt, W. D., et al., 1994, Sound and Vibration; Design and Analysis, NEBB.

(4) Munjal, M. L., 1987, Acoustics of Ducts and Mufflers, John Wiley & Sons.

(5) Hong, J.-M., Choi, T.-M., Kim, B.-H., Cho, D.-S. and Kim, D.-H., 2001, Prediction of HVAC System Noise by Acoustic Power Balancing Method, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 1306~1312.

(6) Kim, S. R., Kim, H.-S. and Kim, B.-K., 2008, Experimental Discussion on Noise Characteristics of Shipboard HVAC Elements, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 610~611.

(7) Kim, S. R., Kim, H.-S., Kim, J.-S., Kim, B.-K. and Lee, S.-H., 2010, Evaluation of Noise Reduction Performance of HVAC System for Ships, J. of the Acoustid Society of Korea, Vol. 29, No. 8, pp. 497~503.

(8) Kim, S. R., Kim, H.-S., Kim, J.-S., Kim, B.-K. and Lee, S.-H., 2011, Measurement of Noise Characteristics of Shipboard Room Units Using HVAC Mock-up, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 594~595.

(9) Kim, S. R., Kim, H.-S., Kim, J.-S., Kim, B.-K. and Lee, S.-H., 2011, Measurement of Noise Characteristics of Shipboard Room Units with Multiple Outlets, Proceedings of the Acoustic Society of Korea Annual Spring Conference, Vol. 30, No. 1, pp. 63~66.

(10) Kim, S. R., Lee, S.-H., Kim, H.-S., Kim, J.-S. and Kim, B.-K., 2011, Chamber Modeling for Estimating the Performance of Shipboard Large-sized Room Unit, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 525~526.