

선박용 HVAC 시스템의 소음저감성능 평가

Evaluation of Noise Reduction Performance of HVAC System for Ships

김 상 렬*, 김 현 실*, 김 재 승*, 김 봉 기*, 이 성 현*

(Sang-Ryul Kim*, Hyun-Sil kim*, Jae-Seung Kim*, Bong-Ki Kim*, Sung-Hyun Lee*)

*한국기계연구원 음향소음팀

(접수일자: 2010년 9월 7일; 채택일자: 2010년 11월 23일)

본 논문은 여객선용 HVAC 시스템 mock-up을 구축하여 HVAC 요소의 성능평가를 수행한 결과를 다루었다. 측정은 룸 유니트(Room Unit), 소음기 등 6가지 종류에 대해 이루어졌으며 여러 유량에 대해 삽입손실을 측정하였다. 소음기 직경이 작고 유량이 클수록 유동소음이 커져서 소음저감효과를 방해하지만, 직경이 커질수록 유동소음의 효과는 작아지고 삽입손실은 최대 25 dB까지 나타남을 확인하였다. 디퓨저 형태의 룸 유니트는 대체로 삽입손실이 0 - 10 dB 이지만 노즐 형태는 삽입손실이 최대 -15 dB 까지 소음이 커질 수 있음을 확인하였다. 또한 덕트 배열에 따라 최대 2 dB 까지 실내소음이 차이날 수 있음을 보였으며 각 룸 유니트에 동일한 유량이 배출하도록 조절하는 것이 보다 낮은 소음레벨을 얻을 수 있음을 확인하였다.

핵심용어: HVAC, 룸 유니트(Room Unit), 소음기, 삽입손실, mock-up

투고분야: 소음 및 공력음향분야 (10.2)

In this paper, evaluation of noise reduction performance of HVAC system for ships by means of HVAC mock-up system is presented. Test is done for six different types of HVAC elements including room unit, silencer, etc. It is found that when diameter of silencer is small and air flow is large, flow noise degrades insertion loss. However, as diameter of silencer becomes larger, the effect of flow noise becomes smaller, and insertion loss up to 25 dB is measured. It is observed that insertion loss of diffuser type room unit is usually between zero and 10 dB, whereas that of the nozzle type room unit can be down to -15 dB. In addition, it is shown that changing duct arrangement can reduce cabin noise by up to 2 dB, and providing same air flow to each room unit is crucial for generating less noise.

Keywords: HVAC, Room Unit, Silencer, Insertion Loss, Mock-Up

ASK subject classification: Noise and Aeroacoustics (10.2)

I. 서론

호화여객선은 거주공간의 안락성과 편의성이 매우 중요하기 때문에 실내소음은 일반 상선보다 더 낮은 레벨이 요구된다 [1-2]. 선박안락성등급(Comfort Rating Number)에 따른 여객선과 상선의 객실별 소음레벨 [1]에 의하면 동일한 안락성등급이라 하더라도 여객선 객실은 일반상선의 객실에 비해 최대 10 dB 더 낮은 소음레벨이 요구된다. 크루즈선 객실의 경우 실내소음은 44 dB (A)까지 요구되고 있으며 석유시추선과 같은 고부가가치선은 40 dB (A)까지 요구되고 있다.

여객선 객실은 엔진실과 같은 고소음지역으로부터 멀리 떨어져 있기 때문에 엔진이나 발전기, 각종 펌프류 등의 영향은 작아지고 HVAC 소음이 객실 소음의 주소음원으로 작용한다. 특히 크루즈와 같은 호화여객선의 경우 소음차단 성능이 높은 내장재들이 사용되기 때문에 객실 소음에 대한 HVAC의 영향은 더욱 커지게 된다. 따라서 호화여객선에서 낮은 객실소음을 유지하기 위해서는 HVAC의 저소음화가 반드시 필요하며, 이를 위한 저소음 HVAC 설계기술은 가장 중요한 핵심기술이다.

선박용 HVAC 시스템 소음해석의 정확성은 덕트, 소음기 등과 같이 시스템을 구성하는 주요 요소의 성능예측의 신빙성에 의해 좌우되는데 경험식을 이용한 성능예측방법 [3,4]이 알려져 있다. 경험식 외에 국부적으로 해석적인 방법을 접합하여 사용자가 쓰기 쉽도록 프로그램화한

사례 [5,6]도 있다. 기존 경험식의 정확도가 의문시되거나 이용할 수 없는 경우도 종종 발생하는데 예를 들어 여객선 객실에 설치되는 룸 유니트 (Room Unit)의 소음 저감성능은 참고할 만한 자료가 거의 없는 실정이다. 따라서 개발하고자 하는 HVAC 시스템 요소에 대해 측정 [7]을 통해 소음저감성능을 확보하는 것이 가장 확실한 방법이며 선박 배기구용 대형소음기 (silencer)의 성능시험을 위해 전용 시험설비를 구축하여 평가한 사례도 보고된 바 있다 [8]. 최근 국내 조선업계에서는 크루즈선 건조가 차세대 조선산업의 고부가가치 산업으로 크게 주목받고 있으며 HVAC 소음저감연구의 중요성도 점점 커지고 있다.

본 논문은 크루즈선과 같은 호화여객선용 저소음 HVAC 시스템 설계와 관련하여 HVAC 요소의 성능평가 시스템 (Mock-up) 구축과 이를 이용하여 6개 종류의 HVAC 요소에 대해 측정된 결과를 기술하였다.

II. HVAC 목업 (Mock-up)

그림 1에 HVAC 목업의 구성도를 보였다. 팬 (fan)에서 발생한 소음이 직경 250 mm 원형 덕트를 거쳐 엘보우 (Elbow), 리듀서 (Reducer) 등을 거쳐 최종적으로 직경 80 mm와 100 mm 관으로 분리되어 잔향실로 토출되도록 설계하였다. 소음기 (silencer), 룸 유니트 (room unit) 등과 같은 HVAC 요소에 대해 KS A ISO 7235 [9]에 따라 성능계측을 하였는데 성능지표로는 식 (1)과 같이 정의되는 삽입손실 (Insertion Loss)을 측정하였다. 즉, HVAC 요소가 없는 경우 (그림 2)와 설치된 경우 (그림 3)에 대해 격실에 해당하는 잔향실 (체적: 125 m³)내의 소음레벨 SPL의 차로 성능을 평가하였다.

KS A ISO 7235 [9]는 덕트형 소음기의 삽입손실 측정에 관한 규격이지만 덕트 중간에 설치되는 댐퍼나 룸 유니트 등 다른 HVAC 요소에 대해서도 같은 개념을 적용하여 삽입손실을 평가할 수 있다.

$$IL = SPL_{\text{without element}} - SPL_{\text{with element}} \quad (1)$$

소음원으로 팬 (fan)과 스피커를 선택적으로 사용할 수 있도록 하였으며 덕트는 원형 스파이럴 (spiral) 형태로 외부소음투과와 덕트 자체진동을 줄이기 위해 외부를 압면으로 처리한 덕트 (pre-insulated duct)를 사용하였다.

측정은 엘보우 2종, 댐퍼 2종, T-브랜치 및 T-연결 (junction) 2종, 룸 유니트 6종, 소음기 6종에 대해 이루

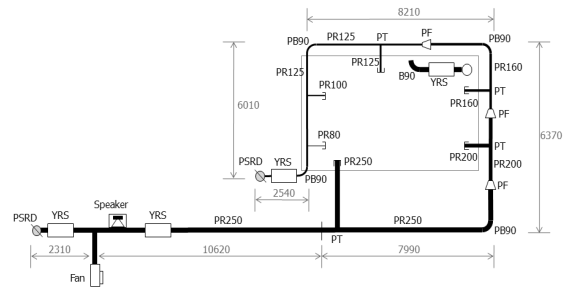


그림 1. HVAC 목업 배치
Fig. 1. HVAC mock-up layout.

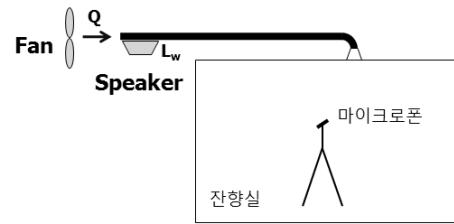


그림 2. HVAC 요소가 설치 안된 경우의 음압 (SPL)
Fig. 2. SPL without HVAC element.

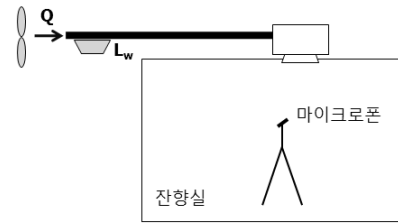


그림 3. HVAC 요소가 설치된 경우의 음압 (SPL)
Fig. 3. SPL with HVAC element.

Type	L	B	PR	Weight (Kg)
80/10	1020	182	80	5.0
100/10	1020	208	100	6.0
125/10	1020	250	125	6.0
160/10	1020	250	160	8.0
200/10	1020	308	200	9.0
250/10	1020	410	250	11.3

그림 4. 소음기 크기
Fig. 4. Silencer size.

표 1. 측정대상 HVAC 요소와 모델
Table 1. Test HVAC elements and models.

HVAC 요소	모델 또는 직경
Elbow	φ 80, 100
Damper	φ 80, 100
T-junction	φ 80, 100
T-branch	φ 80, 100
Room Unit	MS25C01, MS35C01, RS25C01, RS35C01, MS25-P00, MS35-P00
Silencer	φ 80, 100, 125, 160, 200, 250

어졌으며 유량은 100 CMH 부터 350 CMH까지 변화하였는데 소음기의 경우는 최대 800 CMH까지 측정하였다. HVAC 요소와 모델 또는 크기를 표 1에 나타냈으며 그림 4에는 소음기의 크기를 나타냈다.

III. 삽입손실 측정결과

그림 5에 직경 80 mm 덕트에 대해 팬의 rpm을 변화시키며 잔향실에서 측정한 음향파워의 주파수별 변화를 보였고 그림 6에는 직경 100 mm 덕트에 대해 유량변화에 따른 소음레벨의 변화를 보였는데 1000 Hz 이하에서는 대체로 음향파워가 log (유량)에 비례하는 것을 알 수 있다.

그림 7에는 직경 100 mm 엘보우의 삽입손실을 보였는데 유량과 무관하게 거의 삽입손실은 제로에 가까운 것을 보여준다. 그림 8에는 댐퍼 내부를 보였고 그림 9에는 직경 80 mm 댐퍼에 대해 50%만 개방한 경우 삽입손실을 나타냈다. 댐퍼가 일부만 개방되면 공기의 흐름을 방해하여 유동소음이 발생한다. 따라서 삽입손실은 마이너스

가 되는데 30 dB에 이르는 소음이 발생함을 알 수 있으며 댐퍼를 100% 개방하면 직관과 같은 상황이 된다. 스피커만 가동한 경우는 유량이 있는 경우와 전혀 다른 결과를 얻을 수 있다.

그림 10과 11에는 T-접합과 T-브랜치 덕트의 배열사진을 보였으며 그림 12와 13에는 직경 100 mm T-접합 덕트와 직경 80 mm T-브랜치 덕트의 삽입손실을 나타

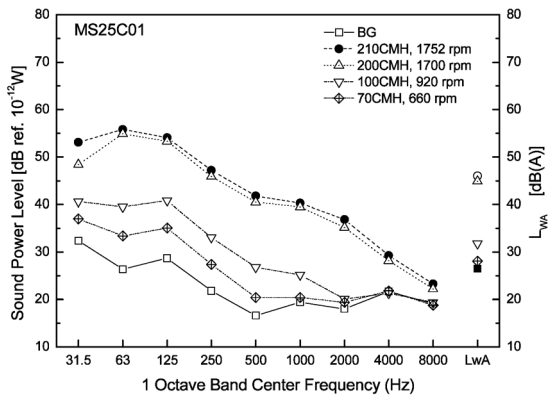


그림 5. 음향파워레벨 vs. 주파수
Fig. 5. Sound power level vs. frequency.

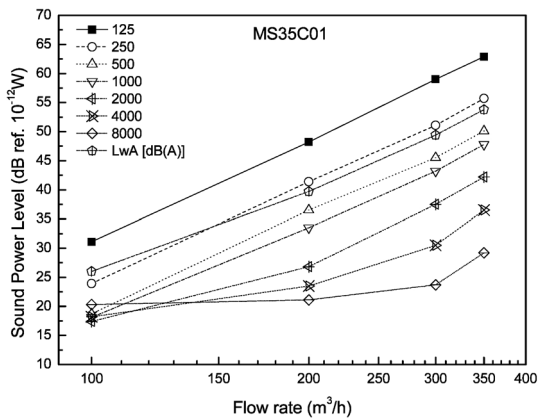


그림 6. 음향파워레벨 vs. 유량
Fig. 6. Sound power level vs. flow rate.

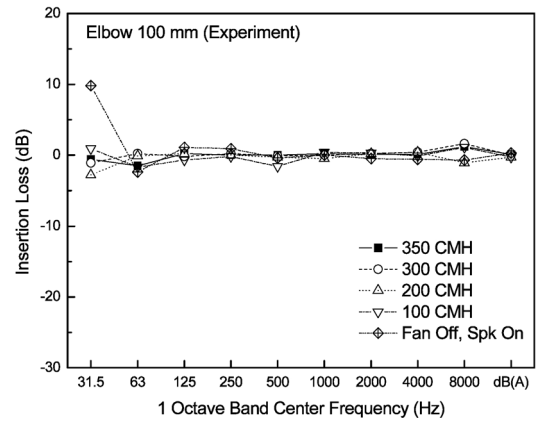


그림 7. 엘보우 (직경 100 mm)의 삽입손실
Fig. 7. IL of the elbow (ϕ 100 mm).

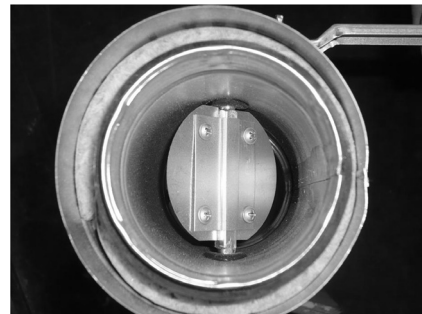


그림 8. 댐퍼내부
Fig. 8. Inside view of the damper.

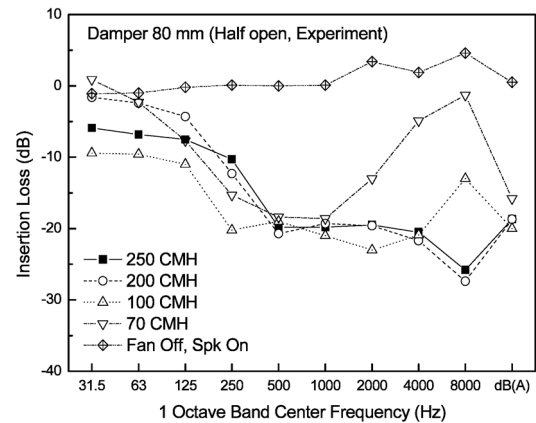


그림 9. 50% 개방시 댐퍼의 삽입손실 (ϕ 80 mm)
Fig. 9. IL of the 50% opened damper (ϕ 80 mm).

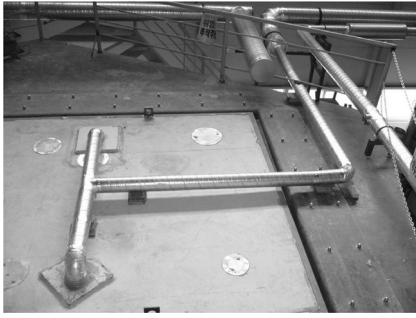


그림 10. T-접합 (junction) 덕트 (ϕ 100 mm)
Fig. 10. T-junction duct (ϕ 100 mm).

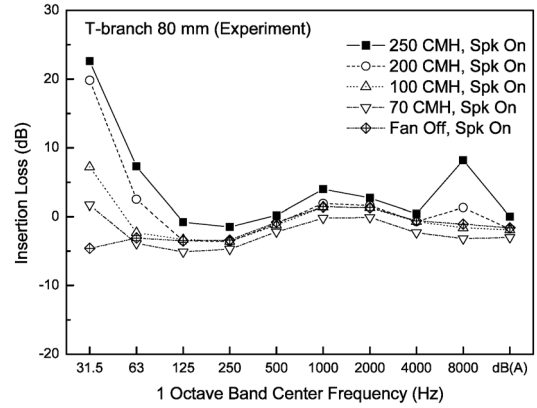


그림 13. T-브랜치 덕트 (ϕ 80 mm)의 삽입손실
Fig. 13. IL of T-branch duct (ϕ 80 mm).

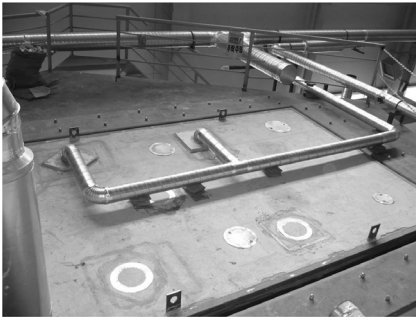


그림 11. T-브랜치 덕트 (ϕ 80 mm)
Fig. 11. T-branch duct (ϕ 80 mm).

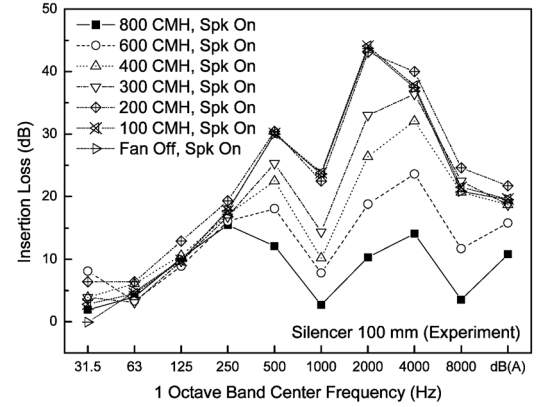


그림 14. ϕ 100 mm 소음기의 삽입손실
Fig. 14. IL of ϕ 100 mm silencer.

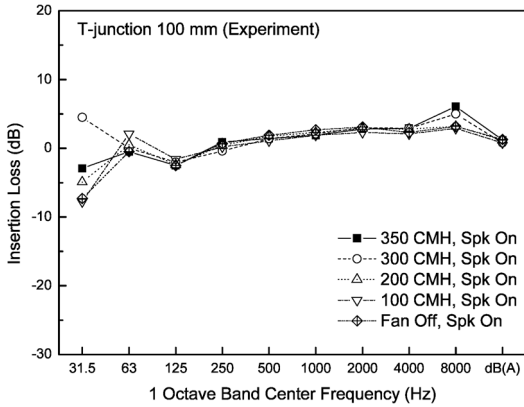


그림 12. T-접합 덕트 (ϕ 100 mm)의 삽입손실
Fig. 12. IL of T-junction duct (ϕ 100 mm).

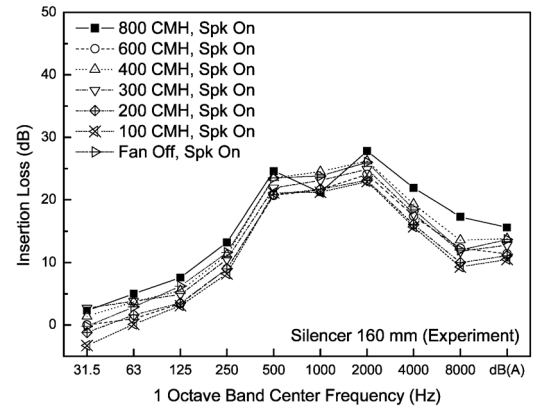


그림 15. ϕ 160 mm 소음기의 삽입손실
Fig. 15. IL of ϕ 160 mm silencer.

났다. T-브랜치 덕트는 전체 유량이 동일하도록 조절하였다.

그림 14-16은 ϕ 100 mm, 160 mm, 250 mm의 소음기에 대해 유량을 변화시켜 가며 측정한 주파수별 삽입손실을 나타냈다. 직경이 작은 경우 (ϕ 100 mm) 그림 14에서 보면 유량이 작으면 삽입손실은 최대 45 dB에 이르나 유량이 커질수록 유동소음이 점점 커져 800 CMH에서는 제로에서 10 dB 사이로 떨어지는 것을 알 수 있다. 소음기의 직경이 커질수록 내부 공기 흐름에 대한 저항이 작아져서

유동소음은 점차 감소한다. 반면, 직경이 커질수록 소음기의 삽입손실은 유량과 무관하게 같은 레벨을 보인다. 팬은 켜고 스피커만 가동한 경우 소음기의 삽입손실은 유량이 가장 작은 경우와 유사함을 알 수 있다.

그림 17에는 룸 유닛 (모델: MS35-C01)의 사진을 보

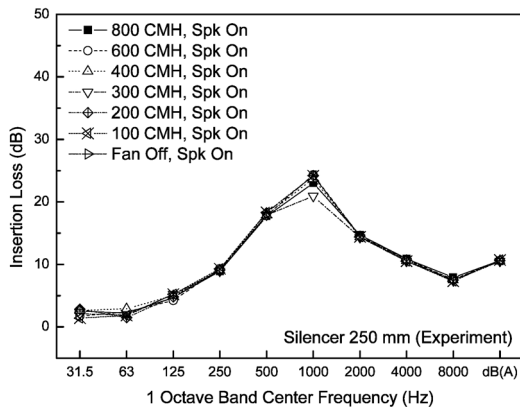


그림 16. ϕ 250 mm 소음기의 삽입손실
Fig. 16. IL of ϕ 250 mm silencer.

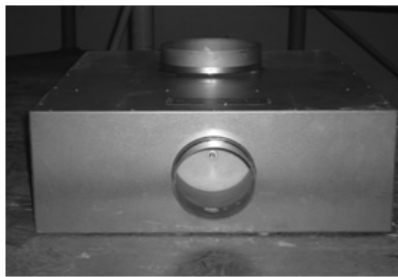


그림 17. 룸 유니트 모델 MS35-C01
Fig. 17. Room unit model MS35-C01.

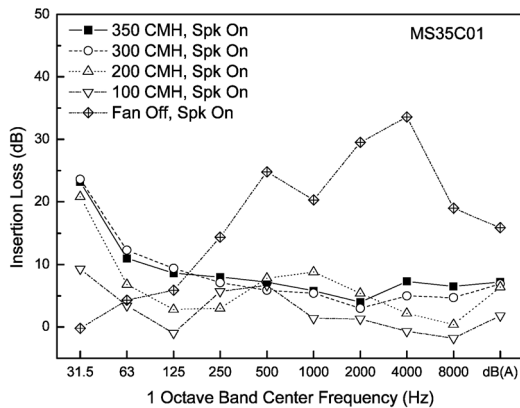


그림 18. 룸 유니트 모델 MS35-C01의 삽입손실
Fig. 18. IL of room unit model MS35-C01.

었는데 가장 기본적인 모델로 내부에는 댐퍼가 달려있어서 유량을 조절할 수 있으며 또한 흡음재가 설치되어 있어서 소음감소효과를 보이는데 본 논문에서는 댐퍼를 모두 열고 측정하였다. 3가지 종류의 룸 유니트에 대한 삽입손실 측정결과를 그림 18-20에 나타냈는데 기본 모델 (MS-C type), 난방용 열선이 있는 모델 (RS-C type), 출구가 노즐로 된 모델 (MS-P type)을 측정하였다. 앞의 두 모델 (MS-C, RS-C type)은 출구가 디퓨저 형태로 되

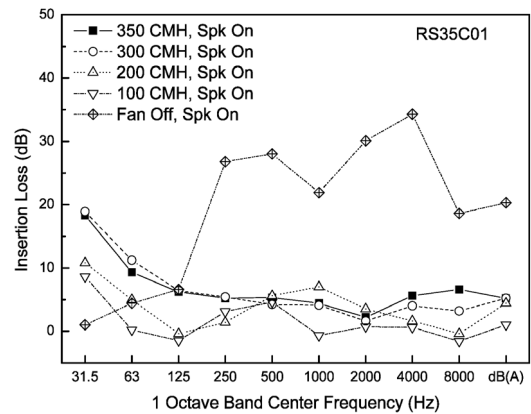


그림 19. 룸 유니트 모델 RS35-C01의 삽입손실
Fig. 19. IL of room unit model RS35-C01.

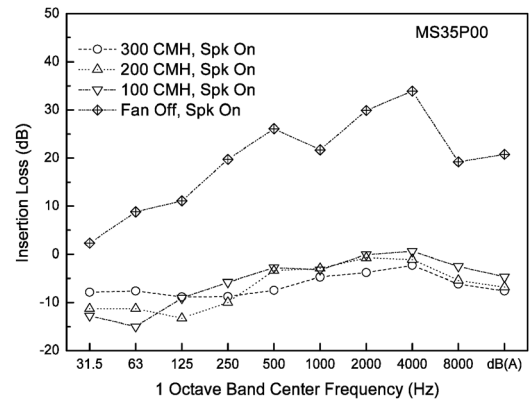


그림 20. 룸 유니트 모델 MS35-P00의 삽입손실
Fig. 20. IL of room unit model MS35-P00.

어 있는데 대체로 유량과 무관하게 삽입손실은 0 ~ 10 dB의 수준을 보여주고 있다 (그림 18, 19). 반면, 출구가 노즐인 모델 (그림 20)은 삽입손실이 최소 -15 dB 수준으로 오히려 소음이 더 커지는데 이는 노즐을 통과하면서 유동소음이 발생하기 때문이다. 그림 18-20에서 보면 팬을 끄고 스피커만 키고 측정할 경우는 세 모델 모두 30 dB를 초과하는 높은 삽입손실을 보이는데 이는 유량이 있는 실제 경우에 비해 매우 과장된 값을 알 수 있다.

IV. 덕트배열에 따른 HVAC 소음변화

대부분의 경우 객실에는 여러 개의 룸 유니트가 설치되며 이에 따라 덕트도 여러 개가 설치된다. HVAC 덕트 배열 (layout)에 따른 소음레벨 변화를 관찰하기 위하여 MS35-C01 룸 유니트 2개를 이용한 4가지 종류의 배열에 대하여 HVAC 소음을 측정하였다. 그림 21은 각 배열의 모양을 보여주고 있으며, 측정결과는 그림 22와 23에

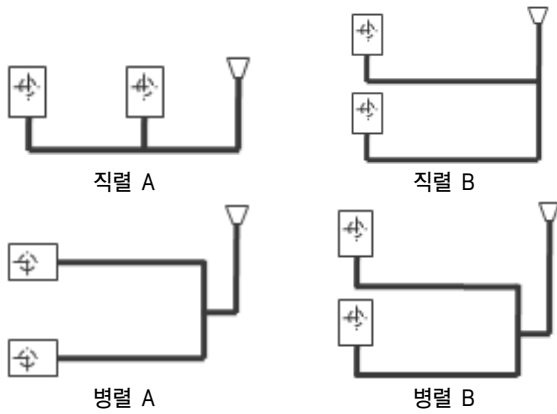


그림 21. HVAC 덕트 배열
Fig. 21. HVAC duct layout.

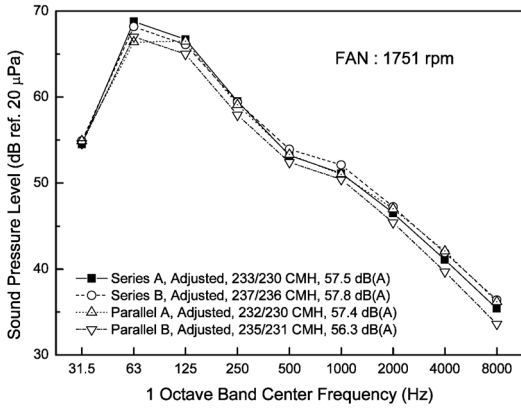


그림 22. 룸 유닛의 토출유량이 동일한 경우 실내 음압
Fig. 22. SPL when air volume is same for all room units.

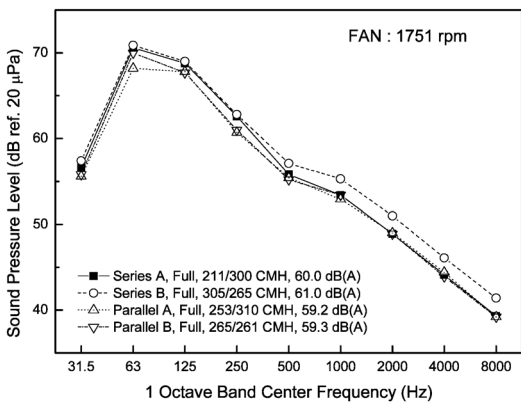


그림 23. 룸 유닛의 댐퍼를 100 % 개방한 경우 실내 음압
Fig. 23. SPL when damper in all room units are 100% open.

나타냈다. 룸 유닛 토출 유량을 같게 하는 경우와 댐퍼를 최대로 연 상태가 약간 다른데 두 경우 모두 직렬 B 배치가 가장 불리하고 병렬 B가 가장 유리함을 보여준다. 유량을 동일하게 한 경우가 그렇지 않은 경우보다 더 조용하며 덕트 배치에 따라 최대 2 dB의 소음차이가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 근본적으로 큰 용량의 대형 룸 유니

트 1개를 사용하는 것보다는 작은 용량의 소형 룸 유니트를 여러 개 사용하여 유속을 줄이는 것이 중요하다.

V. 결론

HVAC 목업을 설계/제작하여 크루즈선 객실용으로 개발하고자 하는 주요 HVAC 요소 6개 종류에 대해 삽입손실을 측정하였다. 유량별 소음측정결과를 제시하였으며 스피커를 소음원으로 사용한 결과와 비교하였다. 스피커는 유량이 가장 작은 결과에 해당하지만 룸 유니트의 경우에는 유량이 있는 경우에 비해 삽입손실이 지나치게 과장되는 결과를 얻었는데 HVAC 요소의 성능평가시 스피커를 사용한 결과는 실용적으로 거의 의미가 없음을 보여준다. 본 논문에서 측정한 객실용 소용량 룸 유니트는 대체로 삽입손실이 10 dB 이내이지만 노즐 형태는 오히려 소음이 15 dB 까지 커질 수 있음을 확인하였다. 또한 소음기도 직경이 작은 경우 내부 공기유동에 큰 저항을 야기하므로 유동소음으로 인해 오히려 소음이 커질 수도 있음을 알 수 있었다.

엘보우나 T-접합, T-branch 등 일반적인 형태는 기존의 경험식을 활용할 수도 있지만, 댐퍼, 소음기, 룸 유니트 등과 같이 특정 구조와 형상을 갖는 HVAC 요소에 대해서는 목업을 구축하여 직접 성능평가를 수행하는 것이 가장 확실한 방법이다. 본 논문에서는 덕트 배열에 따라 최대 2 dB 까지 실내소음이 차이날 수 있음을 보였으며 주어진 팬 용량에 대해 각 룸 유니트에 동일한 유량이 배출하도록 조절하는 것이 보다 낮은 소음레벨을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 차세대 고부가가치선박의 기반 기술사업결과의 일부이며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. DNV, *Rules for Ships, Part 5 Chapter 12, Comfort Class, Section 2*, 1995.
2. NORSOK Standard S-002 Rev.4, *Working environment, Annex A*, 2004.
3. National Environmental Balancing Bureau (NEBB), *Sound and Vibration Design and Analysis*, 1994.
4. R. W. Fisher, C. B. Burroughs and D. L. Nelson, *Design Guide for Shipboard Airborne Noise Control*, T&R Bulletin 3-37, SNAME, 1983.

5. 홍진무, 최태목, 김병희, 조대승, 김동해, "음향파워 평형방법을 이용한 HVAC 시스템 소음예측," *한국소음진동공학회 2001년도 추계학술대회논문집*, 1306-1312쪽, 2001.
6. 이철원, 김노성, 최수현, "GUI Modeling을 기반으로 한 선박의 HVAC System 소음 해석," *한국소음진동공학회 2001년도 추계 학술대회논문집*, 1300-1305쪽, 2001.
7. 김상렬, 김현실, 김재승, 김봉기, 이성현, "선박용 HVAC 성능평가," *한국음향학회 2010년도 춘계학술대회논문집*, 240-243쪽, 2010.
8. 김봉기, 김상렬, 김현실, 신민철, "선박용 소음기 성능시험 및 평가," *한국소음진동공학회논문집* 제18권 제12호, 1237-1242쪽, 2008.
9. KS A ISO 7235, 음향-덕트형 소음기의 삽입손실, *기류소음 및 전압손실 측정방법*, 2004.

저자 약력

• **김 상 렬 (Sang-Ryul Kim)**

한국음향학회지 제28권 제1호 참조

• **김 현 실 (Hyun-Sil kim)**

한국음향학회지 제28권 제1호 참조

• **김 재 승 (Jae-Seung Kim)**

한국음향학회지 제28권 제1호 참조

• **김 봉 기 (Bong-Ki Kim)**

한국음향학회지 제28권 제1호 참조

• **이 성 현 (Sung-Hyun Lee)**

1999년 2월: KAIST 기계공학과 학사

2001년 2월: KAIST 기계공학과 석사

2006년 2월: KAIST 기계공학과 박사

2006년 3월 ~ 2009년 11월: 삼성물산 건설부문

2010년 1월 ~ 현재: 한국기계연구원 선임연구원