

셸터시스템 복합소음분석 및 소음예측수식 유도

Multiple Noise Analysis and Derivation of Noise Prediction Equations for Shelter System

조재상[†] · 이석규^{*} · 백인기^{*} · 김상현^{*} · 이증^{*} · 최지호^{*}

Jae-sang Cho, Sock-kyu Lee, In-gi Baek, Sang-hyun Kim, Jeung Lee and Ji-ho Choi

(Received June 29, 2016 ; Revised August 26, 2016 ; Accepted August 26, 2016)

Key Words : Multiple Noise(복합소음), Shelter System(셸터시스템), Actran Analysis(Actran 해석)

ABSTRACT

Design of shelter system requires consideration of noise at operators' positions, because noise can injure person's health. That is why studies which analyze and predict noise at operator's positions is essential. To analyze noise sources of shelter system, this study measured noise of each equipment and obtained new equations by comparing the measured noise data and the equation which is relation noise and distance. The new equations predict noise level at operators' positions. Actran analysis is performed to obtain noise level at operators' positions too. At last, the noise level at operators' positions measured in real shelter system is compared with the noise level predicted the new equations and Actran analysis.

기 호 설 명

L_A : 위치 A에서의 소음 크기 [dB(A)]

r_A : 소음원으로부터 위치 A까지의 이격거리

1. 서 론

셸터시스템은 특정 임무를 수행하기 위해 다양한 장비가 탑재된다. 대부분의 경우 서버장비, 전원공급장치, 냉난방기가 탑재된다. 셸터시스템은 임무수행을 위한 성능을 갖는 동시에 임무를 수행하는 운영자를 고려한 설계도 필요하다. 긴 시간 임무를 수행하는 경우 셸터시스템 내부에서의 소음은 운영자에게 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다.

소음은 사람의 건강을 위해 고려해야할 주요 사항 중 하나이다. 소음은 어른과 아이 모두의 짜증과 수면, 인지능력에 강한 영향을 준다⁽¹⁾. 한 연구에서는 군용항공기지 주변에서 항공기 소음에 노출된 주민들의 불안, 우울과 청력의 소음 노출정도와의 연관성에 대해 분석하였다⁽²⁾. 그 결과 소음 노출수준이 높은 경우에 불안과 우울에 대한 위험도가 증가하였다. 위와 같은 이유로 셸터시스템 설계에서 소음에 대한 고려가 필요하고, 이를 위해 셸터시스템 내부 운용자위치에서의 소음을 분석하고 예측하는 연구가 필요하다.

소음 분석에 관한 연구는 다양한 분야에서 수행되어 왔다. Park 등⁽³⁾의 연구에서는 다입력/단일 출력계의 기여도분석을 이용하여 EPB(electric parking brake) 작동 시 차량 실내로 전달되는 소음의 특성 분석 및 소음원을 규명하였다. Lee 등⁽⁴⁾의 연구에서

[†] Corresponding Author; Member, LIG NEX1
E-mail : jaesang.cho@lignex1.com
^{*} LIG NEX1

[‡] Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

는 도로에 사용되는 일반 콘크리트 블록과 기층용 콘크리트 블록의 흡음효과 시험을 수행하여 소음 저감효과를 분석하였다. Cho 등⁽⁵⁾의 연구에서는 다목적 공연장을 대상으로 Raynoise V3.1을 이용한 실내음향 시뮬레이션을 수행하여 당초 설계안의 문제점 분석과 개선안을 제시하였다. Kim 등⁽⁶⁾의 연구에서는 가로변 주동의 배치 및 형태에 따른 공동주택의 교통소음도 변화를 파악하기 위해 특정 공동주택 단지를 선정하고 현장측정과 Canda-A를 이용한 시뮬레이션 결과를 상호 비교하였다. Kim 등⁽⁷⁾의 연구에서는 선박의 주요 장비에서 발생하는 공기소음이 수중 방사소음에 미치는 영향을 규명하기 위해 해석적으로 장비 공기소음의 기여도를 예측하고 실제 측정결과와 비교, 분석하였다. Chung 등⁽⁸⁾의 연구에서는 CAMRAD-II를 이용한 해석을 통해 블레이드의 소음크기를 비교하였다. Noh 등⁽⁹⁾의 연구에서는 고속철도 차량에서 소음을 측정하여 실내소음 특성을 도출하였다.

앞에서 언급한 연구들은 수식, 해석을 통해 소음의 크기를 예측하거나 직접 소음을 측정하여 그 특성을 파악하였다. 이 논문에서는 수식, 해석을 통해 셸터시스템 내부 운용자의 위치에서 소음의 크기를 예측하고 셸터시스템 제작 후 직접 소음을 측정하여 예측한 소음의 크기와 비교, 분석 하였다. 수식을 통한 소음예측은 Kim 등⁽¹⁰⁾의 논문을 참고하여 수행하였다.

2. 본 론

2.1 수식을 이용한 복합소음 산출

(1) 구성품 소음 측정

셸터시스템의 복합소음을 계산하기 위해서는 우선 각 구성품의 소음을 측정해야한다. 이 논문에서 분석한 셸터시스템은 Fig. 1과 같이 냉난방기, 랙조립체, 콘솔 등의 구성품을 갖는다. 구성품 중 소음원을 나열하면 Table 1과 같다. 9가지의 소음원 중 소음의 크기가 큰 워크스테이션, 환풍기, 냉난방장치의 소음을 측정하였다. 소음측정은 ‘TES 1352H’ 소음계로 수행하였고, A-weighting을 사용하여 측정하였다. 소음측정기의 마이크는 소음을 측정하는 장비를 향하도록 조절하였다.

워크스테이션의 소음은 워크스테이션 단독으로

발생하는 소음과 랙조립체에 장착된 경우의 소음을 제품 정면의 중간높이에서 이격거리를 변경해가며 측정하였다. 워크스테이션 단독 소음을 측정할 때에는 책상위에 워크스테이션을 올려두고 소음을 측정

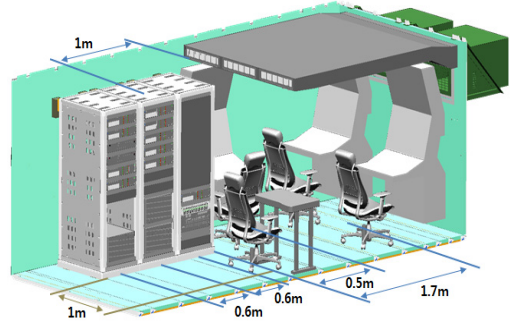


Fig. 1 Layout of shelter system

Table 1 Noise sources of shelter system

Components	Rack			Ventilator	Air duct
	#1	#2	#3		
Workstation	5 EA	2 EA	-	-	-
VME rack	2 EA	-	-	-	-
UPS	1 EA	-	-	-	-
Data recorder	-	1 EA	-	-	-
Backbone switch	-	1 EA	-	-	-
Server unit	-	-	3 EA	-	-
Data processor	-	-	4 EA	-	-
Fan	-	-	-	4 EA	-
Air conditioner	-	-	-	-	2 EA

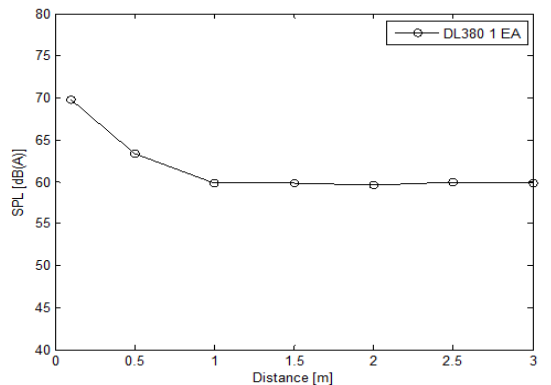


Fig. 2 Noise level measured in front of workstation 1 EA

하였다. 워크스테이션이 발생시킬 수 있는 최대 소음을 측정하기 위해 소음측정 시 모의부하를 인가하였다. 워크스테이션 단독의 소음 결과는 Fig. 2, 랙조립체에 장착된 경우의 소음 결과는 Fig. 3이다.

환풍기의 소음은 이 논문의 셸터시스템과 유사한 크기와 구조를 갖는 셸터내에 장착된 환풍기를 대상으로 최대 RPM으로 작동하는 상황에서 측정하였다. 소음측정기의 마이크 위치는 환풍기의 중앙에 맞추어 측정하였다. 환풍기 소음 결과는 Fig. 4이다.

냉난방장치의 소음은 기계적 장착조건을 유사하게 반영하여 1조에 대해 소음을 측정하였다. 온도 설정 노브는 제조사 추천 수준인 냉방 50% 지점에서 풍향 세기 ‘강’, ‘약’ 두 가지 경우, 에어덕트를 적용 시에는 풍향 세기 ‘강’의 경우에 대해 소음을 측정하였다. 소음측정 시 소음측정기의 마이크는

냉난방장치의 중앙에 위치시켰다. 냉난방장치의 소음 결과는 Fig. 5이다.

(2) 소음 계산식 보정 및 측정결과 분석

이격거리에 대한 소음 계산식은 식 (1)과 같다.

$$L_{p2} = L_{p1} + 10\log_{10}\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \text{ dB} \tag{1}$$

위 식을 워크스테이션의 소음을 측정된 결과에 적용을 하면 실험결과와 일치하지 않는다. 실험 결과와의 일치를 위해 ‘log’항 앞에 계수를 붙여 소음 계산식을 수정하면 실험결과와 일치하는 수식을 얻을 수 있다. 최적의 계수를 얻기 위해 0.05부터 0.05씩 계수를 증가시킨 수식을 실제 측정결과와 편차의 RMS(root mean square)를 계산하고 RMS값이 가장 작은 계수를 수식에 사용하였다. 워크스테이션 단독으로 측정하였을 때와 랙조립체에 워크스테이션 한 개를 장착한 경우는 식 (2)와 같다.

$$L_{p2} = L_{p1} + 0.4 \left[10\log_{10}\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \right] \text{ dB} \tag{2}$$

랙조립체에 워크스테이션 두 개 또는 세 개 장착한 경우는 식 (3)과 같이 계산식을 수정하였다.

$$L_{p2} = L_{p1} + 0.5 \left[10\log_{10}\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \right] \text{ dB} \tag{3}$$

환풍기의 경우도 식을 수정하면 식 (4)와 같다.

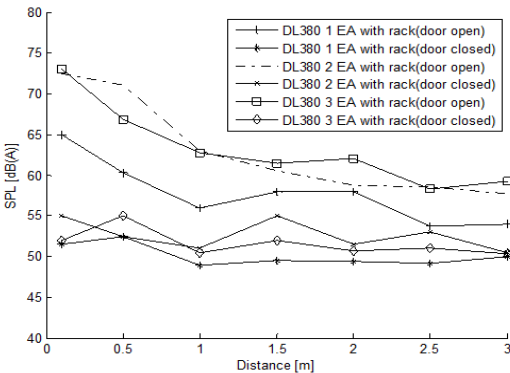


Fig. 3 Noise level measured in front of rack including workstation

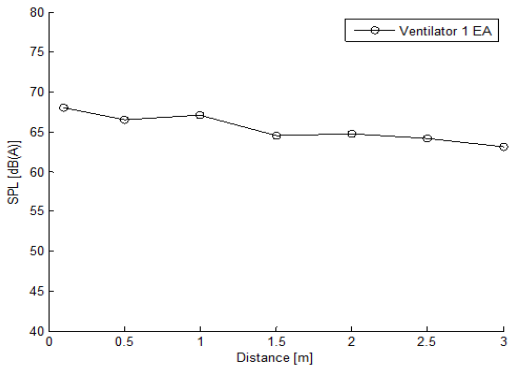


Fig. 4 Noise level measured in front of ventilator

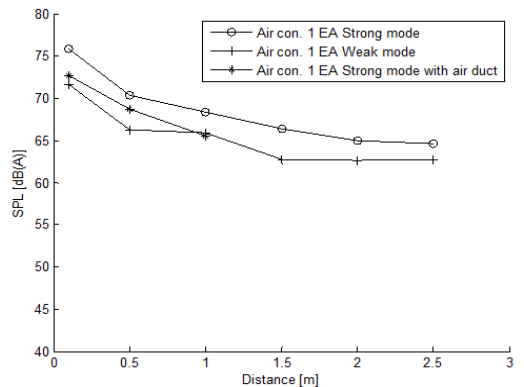


Fig. 5 Noise level measured in front of air conditioner

$$L_{p2} = L_{p1} + 0.2 \left[10 \log_{10} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \text{dB} \quad (4)$$

냉난방장치의 경우 ‘강’ 모드일 때는 식 (5), ‘약’ 모드와 에어덕트를 적용한 경우에는 식 (6)과 같이 수정하였다.

$$L_{p2} = L_{p1} + 0.4 \left[10 \log_{10} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \text{dB} \quad (5)$$

$$L_{p2} = L_{p1} + 0.35 \left[10 \log_{10} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \text{dB} \quad (6)$$

수정한 수식을 구성품 소음 측정 결과와 비교한 결과가 Figs. 6 ~ 12이다.

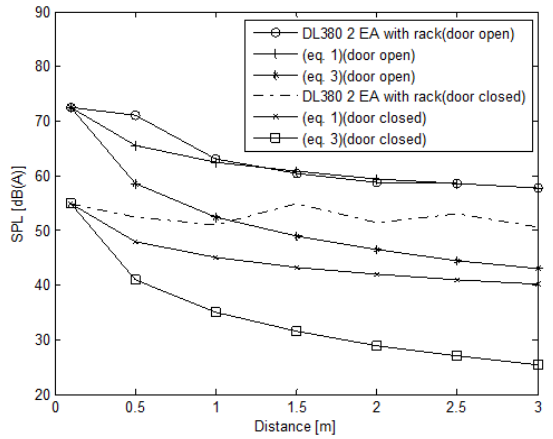


Fig. 8 Comparison noise level with equation in the case of rack including workstation 2 EA

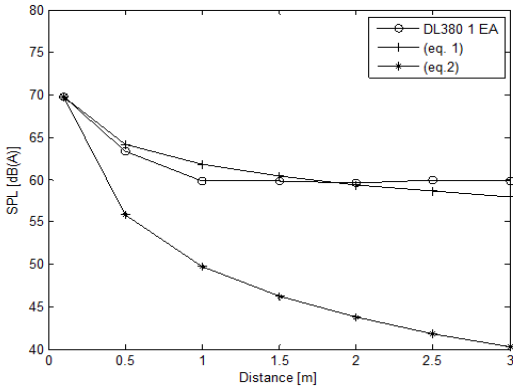


Fig. 6 Comparison noise level with equation in the case of workstation 1 EA

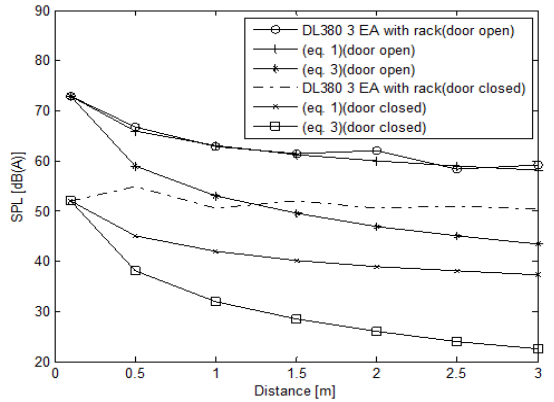


Fig. 9 Comparison noise level with equation in the case of rack including workstation 3 EA

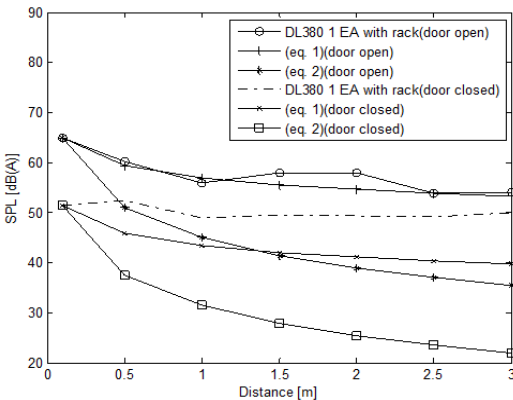


Fig. 7 Comparison noise level with equation in the case of rack including workstation 1 EA

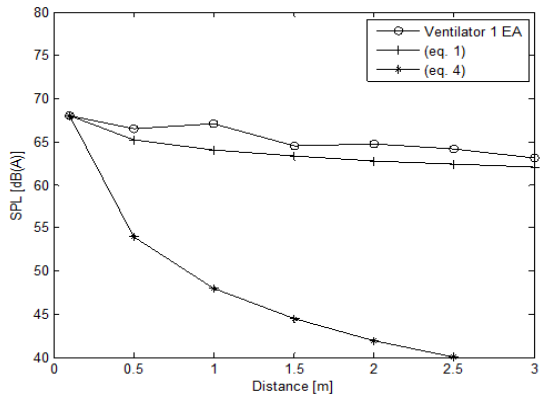


Fig. 10 Comparison noise level with equation in the case of ventilator

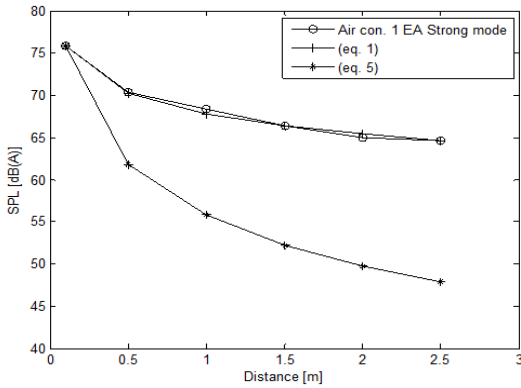


Fig. 11 Comparison noise level with equation in the case of air conditioner ‘Strong’ mode

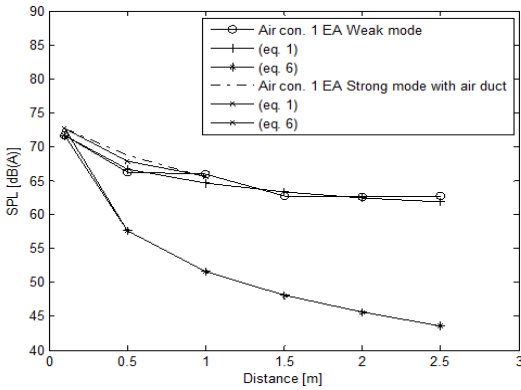


Fig. 12 Comparison noise level with equation in the case of air conditioner ‘Weak’ mode with airt duct

Fig. 6을 보면 이격거리에 대한 소음 계산식인 식 (1)의 결과는 측정결과에 비해 낮은 소음 값을 산출한다. 식 (1)은 소음이 구면파의 형태로 전파할 때를 가정하여 도출된 수식이지만, 실제 소음이 전파할 때 주변 장애물에 의해 구면파의 형태로 고르게 전파하지 못해 발생한 현상이라고 추측된다. 실험결과와의 일치를 위해 보정한 식 (2)의 결과는 실험결과와 비슷한 값을 보이지만, 0.5 m에서 1.5 m까지는 실험결과보다 낮은 값을 2 m 이상의 거리에서는 실험결과보다 높은 소음 결과를 산출한다.

Fig. 7에서도 식 (1)의 결과는 랙조립체의 문을 열었을 경우와 닫았을 경우 모두 측정결과에 비해 낮은 소음 값을 산출한다. 식 (2)의 결과는 문을 열었을 경우에 2 m의 이격거리에서 3.41 dB(A)의 차이를

보이고, 문을 닫았을 경우에는 최대 10.32 dB(A)의 차이를 보였다. 문을 닫았을 경우 문에 반사되는 소음이 영향을 주었기 때문에 문을 열었을 경우에 비해서 식 (2)와 의 차이가 크다고 추측된다.

Fig. 8과 Fig. 9에서도 식 (1)의 결과는 측정결과에 비해 낮은 소음 값을 산출한다. 문을 열었을 경우에 식 (3)이 산출한 결과는 경우에는 워크스테이션 2대, 3대 모두 측정결과와 5.5 dB(A) 이하의 차이를 보였다. 문을 닫았을 경우에는 Fig. 7에서와 같이 문을 열었을 경우에 비해 측정결과와 차이가 크고, 최대 13.1 dB(A)의 차이를 보인다. 이는 닫힌 문에 반사된 소음에 의한 영향이라고 추측된다.

환풍기의 소음측정결과인 Fig. 10에서도 식 (1)은 측정결과에 비해 낮은 값을 산출한다. 보정식인 식 (4)의 경우는 최대 3.1 dB(A)의 차이를 보인다.

냉난방기의 소음측정결과인 Fig. 11과 Fig. 12에서도 식 (1)은 측정결과에 비해 낮은 값을 산출하고, 식 (5), 식 (6)이 산출한 값은 1.3 dB(A) 이하의 차이를 보인다.

(3) 복합소음 예측

앞에서 수정한 수식과 각 소음원의 소음 크기를 이용하면 셸터시스템 운용자 위치에서의 복합소음을 예측할 수 있다.

Table 2는 셸터시스템 내부 소음원들의 소음 크기를 측정한 결과이다. 워크스테이션, VME랙, UPS, data recorder, backbone switch, server unit, data processor는 모두 랙조립체에 장착된 상태에서 문을 닫고 소음을 측정하였다. Table 2의 소음원들은 주요 소음원별로 분류하자면 랙조립체 #1, 랙조립체 #2, 랙조립체 #3, 환풍기, 냉난방기이다. 주요 소음원의 소음을 계산하면 아래와 같고 그 위치는 Fig. 13에 표시되어 있다. PPC, SPC, SOC, MC table은 소음 값을 예측할 운용자의 위치이고, 냉난방기 에어컨, 랙조립체 #1, 랙조립체 #2, 랙조립체 #3, 환풍기는 주요 소음원이다. 실제 사용된 단위는 [dB(A)]이지만 표기의 편의를 위해 [dB]로 표기하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{랙조립체1} \\
 & = (51.5 \text{ dB} + 51.5 \text{ dB} + 51.5 \text{ dB} + \\
 & \quad 51.5 \text{ dB} + 51.5 \text{ dB}) + (52.0 \text{ dB} + 52.0 \text{ dB}) + \\
 & \quad + 45.0 \text{ dB} \\
 & = 60.2 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

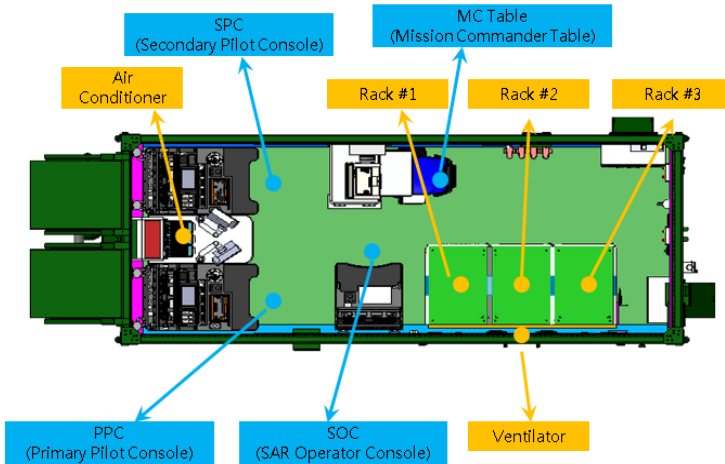


Fig. 13 Locations of noise source and measurement

Table 2 Noise level of components(rack's door closed)

Components	Rack			Ventilaotr	Air duct
	#1	#2	#3		
Workstation (1 EA)	51.8	51.8	-	-	-
VME rack (1 EA)	52.0	-	-	-	-
UPS (1 EA)	45.0	-	-	-	-
Data recorder (1 EA)	-	45.0	-	-	-
Backbone switch (1 EA)	-	52.0	-	-	-
Server unit (1 EA)	-	-	52.0	-	-
Data processor (1 EA)	-	-	45.0	-	-
Fan (1 EA)	-	-	-	68.0	-
Air conditioner (1 EA)	-	-	-	-	65.5

Table 3 Distance between noise source and operators' position

Noise source		Operators' position			
		PPC	SPC	SOC	MC
Noise source	Rack #1	2.9 m	3.1 m	2.1 m	1.9 m
	Rack #2	2.3 m	2.6 m	1.5 m	1.5 m
	Rack #3	1.7 m	2.0 m	1.0 m	1.3 m
	Ventilator	2.3 m	2.9 m	1.8 m	2.1 m
	Air conditioner	1.3 m	1.3 m	1.9 m	2.5 m

Table 4 Multiple noise level predicted by Eqs. (3), (4), (6)

Prediction by Eqs. (3), (4), (6)	Operators' position [dB(A)]			
	PPC	SPC	SOC	MC
Prediction by Eqs. (3), (4), (6)	71.3	71.1	71.1	70.6

위 수식을 통해 얻은 각 소음원의 소음 크기와, 식 (3), (4), (6), 그리고 Table 3의 소음원에서 운전자 위치까지의 이격거리를 이용하면 운전자 위치에서의 복합소음을 계산할 수 있고, 그 결과는 Table 4이다. Table 4의 결과는 각 장비의 이격거리에 따른 소음측정으로부터 얻은 수식을 이용한 결과이고, 이 수식에서는 다른 물체의 반사를 고려하지 않았다. 실제 쉘터시스템에서는 반사, 흡음의 효과가 있어 실제 소음의 크기와 Table 4의 결과는 다를 수 있다.

2.2 Actran 해석 결과 및 설계 변경

복합소음 분석을 위해 Actran을 이용하여 Fig. 14

랙조립체2

$$= (51.5 \text{ dB} + 51.5 \text{ dB}) + 45.0 \text{ dB} + 52.0 \text{ dB} = 56.7 \text{ dB}$$

랙조립체3

$$= (52.0 \text{ dB} + 52.0 \text{ dB} + 52.0 \text{ dB}) + (45.0 \text{ dB} + 45.0 \text{ dB} + 45.0 \text{ dB} + 45.0 \text{ dB}) = 57.8 \text{ dB}$$

환풍기(4EA)

$$= 68.0 \text{ dB} + 68.0 \text{ dB} + 68.0 \text{ dB} + 68.0 \text{ dB} = 74.0 \text{ dB}$$

냉난방기(2EA)

$$= 72.7 \text{ dB} + 72.7 \text{ dB} = 75.7 \text{ dB}$$

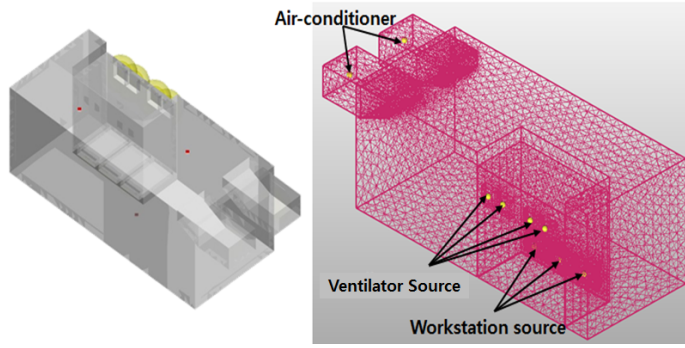


Fig. 14 Noise analysis model in Actran

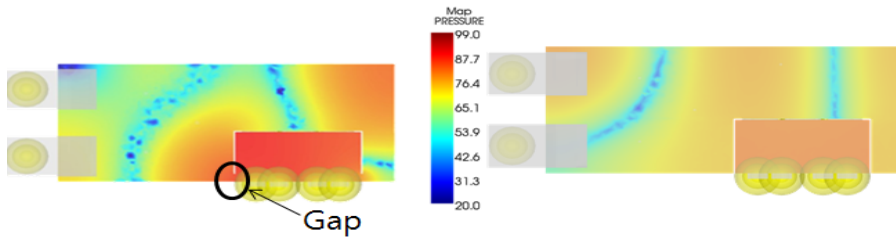


Fig. 15 Noise analysis result in Actran

와 같은 해석 모델을 구축하였다. 주요 소음원인 난방기, 환풍기, 워크스테이션은 점으로 설정하고, 그 밖의 경계조건은 반사작용만 적용하였다.

Fig. 15는 소음해석결과이다. Fig. 15의 좌측은 초기 쉘터시스템의 소음해석결과이다. 원으로 표시한 부분은 랙조립체와 벽 사이의 틈이다. 소음해석결과 이 틈을 통해 환풍기와 랙조립체 내부의 소음이 쉘터 전체로 퍼져나온다. 이렇게 퍼져나온 소음은 운전자 위치의 소음을 증가시키는 원인으로 작용할 수 있기에, 설계를 변경하여 랙조립체와 벽 사이의 틈을 막았다. 이 경우에 대한 해석결과가 Fig. 15의 우측 그림이다. 그림을 보면 쉘터시스템 내부 소음 수준이 전반적으로 낮아졌다.

2.3 실험결과와 비교

개별적으로 측정된 소음원들의 소음과 쉘터시스템을 제작 후 내부에서 측정된 소음의 특성을 비교하기 위해 주파수에 따른 SPL값을 Figs. 16 ~ 19와 같이 표현하였다.

워크스테이션 3대가 장착된 문 열린 랙조립체의 소음측정결과인 Fig. 16을 보면 200 Hz 이하의 주파수에서는 제작 후에 측정된 소음크기가 더 작다.

200 Hz에서 800 Hz까지는 두 소음의 크기가 비슷하다가, 800 Hz부터 6000 Hz까지는 제작 후 측정된 소음의 크기가 더 크다. NC 곡선과 비교를 해보면 제작 후 측정 결과에서 600 Hz에서 1000 Hz까지 NC-70보다 높은 소음측정 값을 보인다. NC-70 곡선은 간헐적인 통화 또는 1.50 m 범위의 간헐적인 대화가 가능한 소음조건이다⁽¹¹⁾. 일부 주파수 영역에서만 NC-70 곡선보다 높은 소음값을 갖기 때문에 쉘터시스템 내부에서의 간헐적인 대화에 큰 영향이 없으리라 추측된다.

Fig. 17을 보면 800 Hz까지의 소음 크기는 제작 전/후가 비슷하다. 800 Hz이상의 영역에서는 제작 후 측정된 소음의 크기가 10 dB(A) 이상 작다. 제작 후 소음측정결과를 NC 곡선과 비교해보면 모든 주파수 영역에서 소음의 크기가 NC-60 곡선보다 작다. 이는 쉘터시스템 내부에서 잦은 대화에 문제가 없다는 의미이다.

Fig. 18을 보면 200 Hz 이하의 주파수 영역에서 제작 후 측정된 소음의 크기가 제작 전 측정된 소음보다 8 dB(A) 이상씩 작다. 200 Hz 이상 1000 Hz 이하의 영역에서는 두 소음의 크기가 비슷하다가, 1000 Hz 이상 5000 Hz 이상에서는 제작 후 측정된

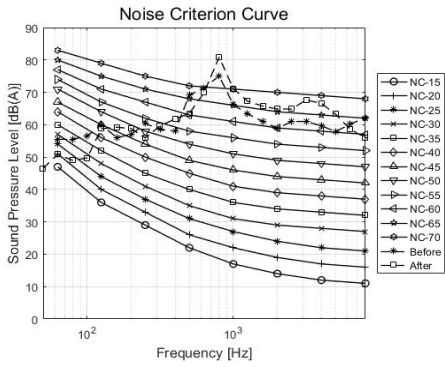


Fig. 16 Measured noise level of rack including workstation in the case of before and after production (door open)

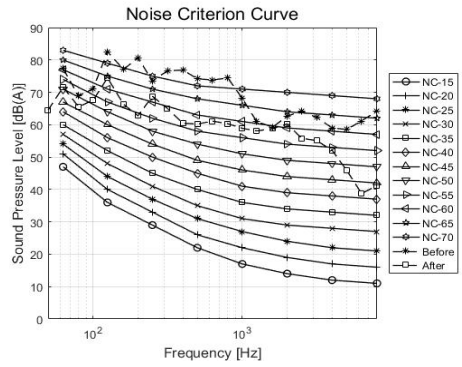


Fig. 19 Measured noise level of air conditioner 'Strong' mode in the case of before and after production

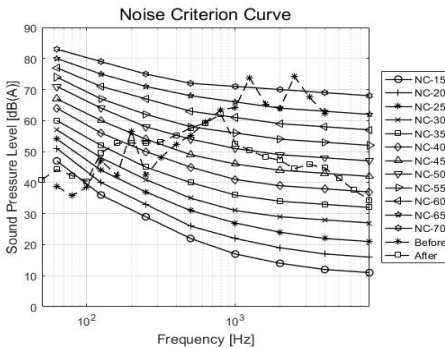


Fig. 17 Measured noise level of rack including workstation in the case of before and after production (door closed)

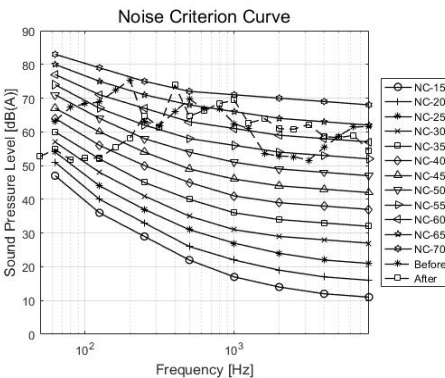


Fig. 18 Measured noise level of ventilator in the case of before and after production

소음의 크기가 제작 전 측정된 소음의 크기보다 크다. 제작 후 측정된 소음의 크기를 NC 곡선과 비교

Table 5 Multiple noise level of operators' position

	Position [dB(A)]			
	PPC	SPC	SOC	MC
Prediction by equation	71.3	71.1	71.1	70.6
Prediction by Actran	65.5	67.0	66.8	67.7
Measurement	67.5	66.8	67.1	66.8

하면 400 Hz만 제외하고 모든 영역에서 NC-70 곡선보다 소음의 크기가 작다. 이를 통해 간헐적인 대화에 어려움이 없음을 추측할 수 있다.

Fig. 19의 경우에는 제작 후 측정된 소음의 크기가 모든 주파수 영역에서 제작 전에 측정된 소음의 크기보다 작다. NC 곡선과 비교하면, 쉘터시스템 제작 후 측정된 소음의 크기는 모든 주파수 영역에서 NC-70보다 작아, 간헐적인 대화가 있어 어려움이 없다고 추측할 수 있다.

Figs. 16 ~ 19의 쉘터시스템 제작 전/후 소음측정 결과를 보면 소음의 크기가 다르다. 이는 각 소음원이 쉘터시스템 내부에 장착되어 주변 환경이 달라졌기 때문에 발생한 현상이다.

쉘터시스템 운용자의 위치에서 측정된 소음을 수식을 통해 구한 소음, Actran 해석을 이용해 구한 소음을 Table 5에 비교하였다. 세 가지 결과를 비교해보면 수식을 통한 예측이 실제 측정 결과보다 모든 위치에서 4 dB 정도 높은 값을 보인다. 이는 수식에서 반사와 흡음에 대한 효과를 고려하지 못해 발생한 현상이다. Actran 해석 결과는 실제 측정 결과와 모든 위치에서 2 dB내의 차이를 갖는다. 이는

해석에서 고려하지 못한 흡음에 대한 효과가 원인으로 추측된다.

3. 결 론

이 논문에서는 쉘터시스템의 복합소음을 예측하고 실험한 내용에 대해 기술하였다. 주요 소음원을 식별하고, 각 소음원의 소음 크기를 실험을 통해 측정하였다. 측정된 결과와 이격거리에 따른 소음 크기에 대한 수식을 이용하여 쉘터시스템 운전자 위치에서의 복합소음을 예측하는 방법도 기술하였다. 비교를 위해 Actran을 이용한 음향해석을 수행하여 운전자의 위치에서 복합소음을 구하였다. 쉘터시스템의 제작 후에는 각 운전자 위치에서 직접 측정된 소음과 수식으로 구한 소음, Actran 해석을 통해 구한 소음을 비교하였다. 비교 결과 수식을 통해 구한 소음은 실제 측정 결과에 비해 4 dB 정도 높은 값을 보였고, Actran 해석 결과는 2 dB 내의 편차를 보였다. 수식에서는 반사와 흡음에 영향을 고려하지 못하였지만, Actran에서는 반사현상을 고려하였기 때문에 상대적으로 실제 측정 결과와 유사한 결과를 보였다고 추측된다.

이 논문의 쉘터시스템 내부 운전자 위치에서의 복합소음을 예측한 방법은 다른 쉘터시스템 설계 시 소음을 예측하는데 활용될 수 있다.

References

(1) Stansfeld, S. A., Matheson, M. P., 2003, Noise Pollution: Non-auditory Effects on Health, *British Medical Bulletin*, Vol. 68, No. 1, pp. 243~257.

(2) Jeong, Y. R., Park, J. B., Min, K. B., Lee, C., Kil, H. G., Lee, W. W. and Lee, K. J., 2012, The Effects of Aircraft Noise Exposure upon Hearing Loss, Anxiety, and Depression on Subjects Residing Adjacent to a Military Airbase, *The Korean Society of Occupational and Environment*, Vol. 24, No. 1, pp. 40~51.

(3) Park, G. D., Seo, B. J., Yang, I. H., Jeong, J. E., Oh, J. E. and Lee, J. Y., 2012, Noise Source Identification of Electric Parking Brake by Using Noise Contribution Analysis and Identifying Resonance of Vehicle System, *The Korean Society of Automotive*

Engineers, Vol. 20, No. 3, pp. 119~125.

(4) Lee, K. H. and Park, W. J., 2012, Noise Reduction Characteristic of Total Quiet Pavement System, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 14, No. 1, pp. 25~34.

(5) Cho, C. G. and Kim, J. J., 2012, Improvement of Noise and Acoustic Environment in Multipurpose Auditorium Adjacent to Noise and Vibration Source, *Journal of the Korean Society of Living Environmental System*, Vol. 19, No. 6, pp. 738~745.

(6) Kim, D. K. and Lee, S. H., 2012, Site Plan for Apartment Complex Adjacent Traffic Road to Reduce Traffic Noise Impact, *Journal of the Urban Design Institute of Korea*, Vol. 13, No. 1, pp. 5~18.

(7) Kim, H. S., Kim, J. S., Kim, B. K., Kim, S. R. and Lee, S. H., 2011, Effect of Airbone Noise from Ship Machinery on Underwater Noise, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 48, No. 6, pp. 569~574.

(8) Chung, K. H., Kang, H. J., Kim, D. H., Yun, C. Y., Kim, S. H., Park, K. H. and Lee, S. G., 2013, Comparisons of Rotor Performance and Noise between Candidate Light Civil Helicopters, *Journal of the Korean Society of Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 41, No. 9, pp. 726~733.

(9) Noh, H. M., Choi, S. H., Kim, S. W. and Hong, S. Y., 2013, A Study on Interior Noise Characteristics of High-speed Trains, *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 16, No. 1, pp. 14~19.

(10) Kim S. H., Lee, B. H., Lee, J. and Kang, D. S., 2014, Multiple Noise Analysis of the Inside Equipments in Shelter System, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 25, No. 4, pp. 60~65.

(11) Departments and Agencies of Department of Defense, 1997, MIL-STD-1474D Noise Limits.



Jae-sang Cho is a research engineer at Mechanical Engineering R&D Lab, LIG Nex1. He received M.S. degree from Sogang University. His research interests are shock/vibration and noise.