

기계실에서 발생하는 설비소음의 예측에 관한 연구

유 희 중, 정 은 정*, 김 재 수†
원광대학교 건축공학과 대학원, *원광대학교 건축학부

A Study on the Prediction of Building Equipment Noise Generates at Machine Room

Hee-Jong You, Eun-Jung Jung*, Jae-Soo Kim†
Graduate School, Division of Architecture, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea
*Division of Architecture, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

(Received September 12, 2006; revision received May 23, 2007)

ABSTRACT: Recently, in accordance with the buildings are becoming to large-sizes, high-stories, the large scaled facilities and equipments in machine room are quite demanding, and the generated noise volume according to this situation is on increasing. Since such noise is becoming to the object of a serious civil appeal, it is the real situation that a reduction countermeasure against the machine room equipment noise is keenly necessitated. On such viewpoint, this study has recorded, measured the noises which were generated from each individual as same as the whole equipped machines and tools, on the object of the dormitory machine rooms of the 3 colleges that having mutually different peculiarities, then after grasping their characters and acoustic powers, this research has verified its prediction possibility and the authenticity by comparison the estimated numerical value with the actually measured numerical value through the acoustic simulation. After grasping the prediction possibility in such way, by utilization of the sound absorption material in the machinery room, from the stage of design, the soundproof measures for the noise reduction at machine room could be regulated effectively, and it is also considered that such data would be utilized as the fundamental material for an establishment of the measure for sound insulation.

Key words: Equipment noise(설비소음), Acoustic simulation(음향시뮬레이션)

기 호 설 명

PWL : 음향과워레벨
 SPL : 음압레벨
 Q : 지향계수
 r : 음원으로부터의 거리 [m]
 R : 실정수
 S_i : 면의 넓이

α_i : 각 재료의 흡음률
 $\bar{\alpha}$: 평균흡음률
 $\sum S_i \alpha_i$: 실내 총 흡음력

1. 서 론

최근 쾌적한 주거환경을 추구하려는 욕구가 증대되면서 기계실에서 발생하는 설비소음은 쾌적한 주거환경을 해치는 주요한 요인으로 그 심각성이 점차 증대되고 있는 실정이다. 이러한 설비

† Corresponding author

Tel.: +82-63-857-6712; fax.:

E-mail address: soundpro@wku.ac.kr

소음은 공기음 및 고체음^(3,4)의 복합적인 형태로 주거공간에 전달되어 거주자의 쾌적한 생활환경을 침해하는 경우가 많아 심각한 민원의 대상이 되고 있다. 특히 기숙사의 경우 정온한 주거환경이 요구되는 특성⁽⁷⁾으로 인해 기계실 설비소음의 방지, 또는 저감대책이 절실히 필요한 실정이나 이에 대한 연구 및 자료가 부족하여 효율적인 차음대책 수립이 매우 어려운 실정이다.^(5,6)

이러한 관점에서 본 연구에서는 서로 다른 특성을 가진 3개 대학 기숙사의 기계실을 대상으로 설비기로부터 발생하는 소음을 측정하여 그 특성을 파악하였으며, 이렇게 파악된 기계실 설비소음의 특성을 토대로 음향시뮬레이션을 이용하여 예측치와 실측치를 비교하여 예측 가능성 및 신뢰성을 검토해 보았다. 이렇게 예측 가능성을 파악한 뒤 기계실의 마감재료를 변경하여 설계단계에서부터 기계실의 소음을 저감할 수 있는 방법을 검토하였다. 향후 이러한 자료가 축적된다면 실측치와 예측치의 타당성 있는 오차범위를 제시할 수 있으며 이를 토대로 보다 정확한 기계실에서 발생하는 설비소음을 저감할 수 있는 기초적인 자료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 설비소음의 측정방법

2.1 기계실 및 설비기기의 제원

기계실의 설비소음 특성은 대상 기계실의 규모, 평면형태, 체적, 실내표면과 마감재료 등에 영향

Table 1 Specification/Dimension of machine room, measurement-object

Classification	J-University	W-University	H-University
Bottom floor space(m ²)	366	351	368
Cubic volume(m ³)	2,196	2,106	1,987.2
Length(m)	30	25.6	43.5
width(m)	18.8	12.9	15
Ceiling Height(m)	6	6	5.4

을 크게 받는다. 설비소음 특성을 위한 측정 대상은 1000 m³ 이상의 체적을 가지고 있고 설비기가 배치되어 있는 J·W·H 대학 3곳의 기숙사 기계실을 선정하였다. Table 1은 측정대상 기숙사 기계실의 제원을 나타낸 것이다.

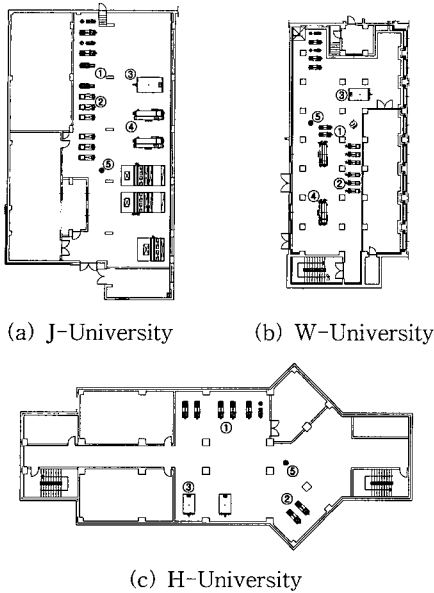
측정 대상 주요 설비기기는 급수펌프, 온수순환 펌프, 급탕보일러, 냉온수유닛으로 구분할 수 있다. 측정대상 설비기기의 개요는 Table 2와 같다.

2.2 측정방법 및 기기 구성도

각종 설비기로부터 발생하는 소음을 측정하기 위하여, 설비기기를 정상적으로 하나씩 가동한 상태와 동시에 가동한 상태에서 음압레벨을 각각 측정하였다. 음압레벨은 KS B 6360(펌프의 음압레벨 측정방법)에 의거하여 기계실내에 설치되어 있는 설비기로부터 1.5m 떨어진 지점에서 측정하였으며, 동시 가동시에는 Fig. 1의 ⑤번 위치

Table 2 Outline of equipped machinery & tool, measurement-object

Classification	Equipment	Specification	Form
J-University	Water-feed pump	666 LPM, 10×3 HP	Booster method
	Hot water circulation pump	1,810 LPM, 25 HP	Multi-stage volute
	Direct heating hot water boiler	1,000,000 kcal/h	Vacuum hot water type
	Cold, Hot water unit	455,400 kcal/h	Direct heating system
W-University	Water-feed pump	500 LPM, 25 HP	Multi-stage volute
	Hot water circulation pump	1,600 LPM, 25 HP	Side-ingalation volute
	Direct heating hot water boiler	800,000 kcal/h	Vacuum hot water type
	Cold, Hot water unit	360,000 kcal/h	Absorption
H-University	Water-feed pump	1,760 LPM, 15 HP	Multi-stage volute
	Hot water circulation pump	1,760 LPM, 20 HP	Single-stage volute
	Direct heating hot water boiler	700,000 kcal/h	Flue tube-smoke system



- ① Water-Feed Pump ② Hot water Circulation Pump
- ③ Direct Heating Hot Water Boiler
- ④ Cold, Hot Water Unit ⑤ Sound-Receiving Point

Fig. 1 Plane form of each college dormitory machine room, and location of machinery tool & position of sound-receiving point.

에서 음압레벨을 측정하였다. 측정 대상 기계실의 평면형태와 설비기기의 위치는 Fig. 1과 같다. 측정방법은 Fig. 2와 같이 소음계를 통해 들어오는 신호를 DAT(Digital Audio Tape Recorder)로



- Sound level meter(B&K Type 2236)
- DAT(Sony TCD-D10)
- Real-time frequency analyzer(01dB사, Symphonie)
- Sound level calibrator(B&K Type 4231)
- Tripod · Notebook

Fig. 2 Composition of measuring machinery & tool.

현장에서 각 설비기기 정면 180°내에서 1.5m 떨어진 지점에서 좌,우 양끝과 정면의 세 개의 측정점을 선택하여 30초씩 측정하였으며, 녹음된 신호를 실험실에서 01 dB사의 Symphonie로 주파수 분석하였다.

본 연구에서 분석에 사용된 주파수 범위는 20 Hz~8kHz까지 1/3옥타브 밴드 중심 주파수별로 30초간 측정 및 분석하였으며 동시에 전 대역 음압레벨도 dB(A)값으로 측정 및 분석하였다.

3. 설비소음의 주파수별 특성

다음은 각 대학 기숙사의 기계실에서 측정한 급수펌프, 온수순환펌프, 급탕보일러, 냉온수유티의 기기별로 분석된 세 측정점의 평균값의 음압레벨을 1/1옥타브밴드로 환산한 값이다.

Fig. 3은 각 대학 기숙사 기계실 내부 설비기기

Table 3 Character of plumbing noise of each college dormitory machine room

Classification	Equipment	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB(A)
J-University	Water-feed pump	58.2	57.1	64.0	61.3	63.7	62.7	60.6	55.6	70.7
	Hot water circulation pump	56.0	65.1	66.0	64.9	65.2	62.6	57.0	50.0	69.4
	Direct heating hot water boiler	72.9	72.8	71.7	72.7	73.1	75.2	67.9	66.8	84.6
	Cold, Hot water unit	73.8	70.5	72.7	72.5	72.3	71.6	69.2	61.1	77.7
	Same time operation	77.8	81.2	75.8	70.9	69.5	69.3	66.4	58.5	76.0
W-University	Water-feed pump	51.1	62.1	63.9	68.4	74.8	69.2	62.2	53.5	76.8
	Hot water circulation pump	55.9	64.3	65.2	67.7	66.2	65.9	57.8	51.0	74.0
	Direct heating hot water boiler	73.9	78.6	78.7	74.2	74.2	73.1	71.1	65.5	80.1
	Cold, Hot water unit	72.8	73.6	69.8	69.0	72.9	70.8	66.5	60.5	77.0
	Same time operation	74.9	76.1	74.3	69.9	73.6	69.8	66.0	57.8	77.2
H-University	Water-feed pump	63.5	61.4	70.2	69.8	67.4	60.7	55.3	47.1	71.2
	Hot water circulation pump	59.5	60.2	67.9	65.2	66.1	58.4	52.9	46.2	68.8
	Direct heating hot water boiler	75.3	74.2	71.5	71.0	72.1	71.8	69.5	63.1	77.5
	Same time operation	68.6	74.1	71.8	68.7	69.8	66.6	62.9	55.3	73.8

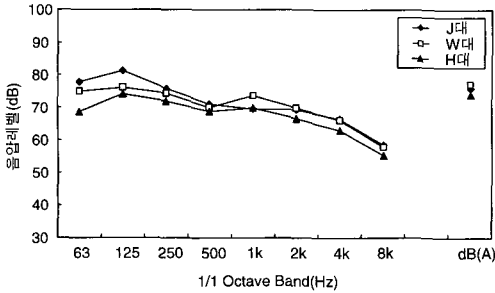
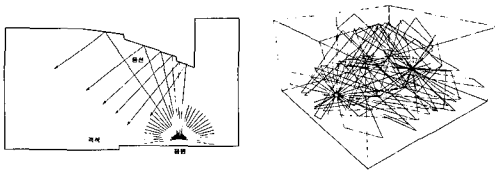


Fig. 3 Sound pressure level according to each colleges' equipped machinery & tool.



(a) Illustration of Ray-Tracing method (b) Reflecting sound line of image model method

Fig. 4 Concept of Ray-Tracing method and Image model method.

를 동시 가동했을 때의 가동에 따른 설비소음을 측정하여 음압레벨(SPL)을 비교·분석한 것이다.⁽⁸⁾

4. 음향시뮬레이션을 이용한 설비소음 예측

4.1 시뮬레이션의 개요⁽²⁾

연구대상 기숙사의 음압분포 예측분석은 음선추적법(Ray-tracing Method)과 허상법(Image model Method)에 의한 3차원 음향시뮬레이션을 이용하였으며 사용프로그램은 ODEON 4.21이다. 음향 시뮬레이션에서 측정조건은 실제 측정과 동일한 온·습도를 입력하였으며 확산방법은 Lambert Method, 음원은 점음원으로 무지향성이며, Impulse Response 길이는 2000ms, Transition order는 3으로 설정하였다.

음선추적법은 폐공간내를 전파하는 음의 상태를 재현하기 위한 기하학적인 방법의 하나로써 음원위치에 무지향성의 점음원을 설정하고 전공간에 등입체각이 되도록 다수의 음선을 방사시킨 후, 음선의 반사이력을 시간, 에너지, 입사방향에 대해 순차적으로 추적해 나가는 계산법이고, 허상법은 음이 폐공간내를 기하학적인 경면반사를

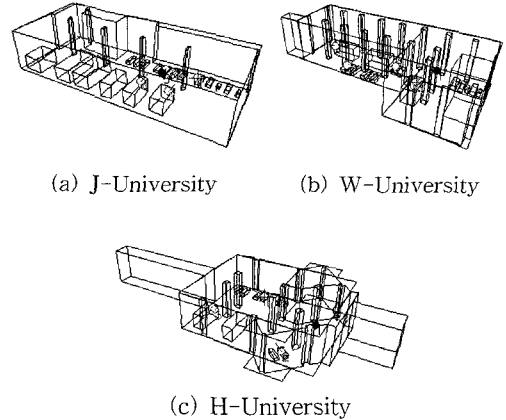


Fig. 5 Modeling of object space using AutoCAD.

반복하면서 전파된다는 원리를 이용하고 있다.

소음감쇠특성에 많은 영향을 미치는 초기반사음에 대해서는 정확한 반사음을 얻을 수 있는 허상법을 이용하였으며, 그 이후의 반사에 대해서는 음선법을 이용하여 허상법이 가지고 있는 복잡한 알고리즘을 단축하여 빠른 시뮬레이션이 가능하도록 했다.

4.2 시뮬레이션을 위한 입력요소

다음 Fig. 5는 음향시뮬레이션을 수행하기 위해 AutoCAD를 이용하여 대상 기계실을 3차원으로 모델링한 것이다. 음원은 각 설비기기로써 Fig. 5의 빨간색이 수음점은 파란색이다.

시뮬레이션에 적용되는 기계실 설비소음의 음원으로는 기계실의 급수펌프, 온수순환펌프, 급탕보일러, 냉온수유닛으로 구분할 수 있다. 기계실에서 측정된 Table 3의 데이터를 바탕으로 음원의 음향파워레벨(PWL)⁽¹⁾을 구하면 Table 4와 같다.

시뮬레이션을 위한 기숙사 기계실 내부의 마감재료별 흡음률⁽¹⁾은 Table 5와 같다.

$$PWL = SPL - 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

Q : 지향계수 = 2, r : 1.5m

4.3 설비소음의 예측

4.3.1 음향시뮬레이션에 의한 음압레벨분포

Fig. 6은 음향시뮬레이션을 의한 기계실내의 음

Table 4 Plumbing noise of each college dormitory machine room, PWL⁽¹⁰⁾

Classification	Equipment	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
J-University	Water-Feed Pump	70.1	68.9	75.8	73.2	75.6	74.6	72.4	67.4
	Hot water Circulation Pump	67.8	76.9	77.9	76.7	77.1	74.5	68.8	61.8
	Direct Heating Hot Water Boiler	84.7	84.6	83.5	84.5	84.9	87.0	79.7	78.6
	Cold, Hot Water Unit	85.6	82.3	84.5	84.3	84.1	83.5	81.0	72.9
W-University	Water-Feed Pump	62.9	74.0	75.7	80.2	86.6	81.0	74.1	65.4
	Hot water Circulation Pump	67.7	76.2	77.1	79.6	78.0	77.8	69.6	62.8
	Direct Heating Hot Water Boiler	85.7	90.5	90.5	86.0	87.0	85.0	82.9	77.3
	Cold, Hot Water Unit	84.6	85.4	81.6	80.9	84.8	82.7	78.3	72.3
H-University	Water-Feed Pump	75.4	73.2	82.0	81.6	79.2	72.5	67.2	59.0
	Hot water Circulation Pump	71.4	72.0	79.8	77.0	78.0	70.2	64.8	58.1
	Direct Heating Hot Water Boiler	87.2	86.1	83.3	82.8	83.9	83.6	81.3	74.9

Table 5 Sound-Absorption Rate of Finishing Material

Classification	material		frequency(Hz)					
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
J-University	Bottom floor	Stain-Paint	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
	wall	Water-Paint	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
	ceiling	Rock wool spout painting	0.13	0.35	0.85	0.90	0.88	0.75
W-University	Bottom floor	Stain-Paint	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
	wall	Water-Paint	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
	ceiling	Rock wool sound-absorbing board	0.20	0.10	0.40	0.70	0.80	0.80
H-University	Bottom floor	Epoxy-paint	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02
	wall	Water-Paint	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
	ceiling	Clinker Con'c	0.10	0.20	0.40	0.60	0.50	0.60

압레벨 분포를 나타낸 것이다.⁽⁹⁾

4.3.2 실측치·예측치의 비교

Fig. 6의 결과를 바탕으로 설비기기를 동시에 가동시킨 실측치와 음향시뮬레이션에 의한 예측치의 음압레벨을 비교분석한 결과는 다음과 같다.

그림을 보면 J대의 경우 실측치·예측치 모두 125 Hz에서 피크치를 보이고 있으며 고음역으로 갈수록 감소하고 있다. W대는 실측치·예측치 모두 500 Hz에서 급격히 감소하였고, 고음역으로 갈수록 감소하고 있다. H대는 실측치·예측치 모두 125 Hz에서 피크를 보이고 있으며 중음역에서 거의 일정하다가 고음역에서 감소하고 있다. 또한 전 주파수대역의 주파수패턴도 유사하게 나타났다.

청감보정 한 dB(A)값의 경우 실측치와 예측치가 모두 1 dB(A) 이하로 나타나 상당히 신뢰성

있는 예측치를 제공하고 있음을 알 수 있다.

4.4 음향시뮬레이션을 이용한 설비소음 저감예측

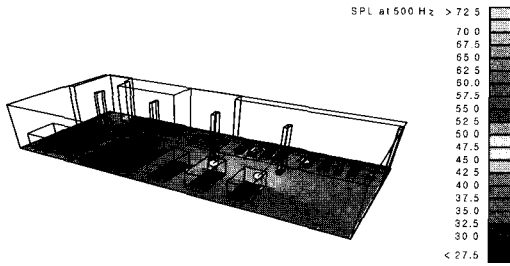
기계실에서 발생하는 설비소음을 줄이기 위해서는 다음식에서 실정수(R)를 크게하여 잔향음 성분인 $\frac{4}{R}$ 을 줄여야 한다.⁽¹⁾

$$SPL = PWL + 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

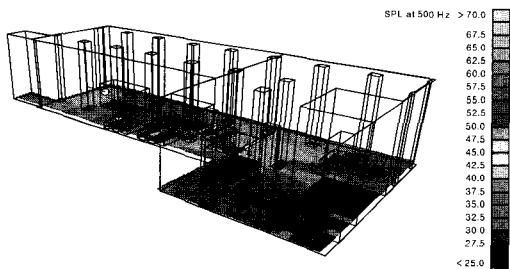
$$R(\text{실정수}) = \frac{S\bar{\alpha}}{(1-\bar{\alpha})}, \quad \bar{\alpha}(\text{평균흡음률}) = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i}$$

Q : 지향계수 = 2

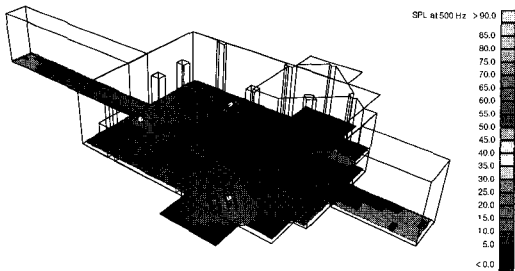
앞서 음향시뮬레이션에 의한 설비소음의 예측치는 실측치와 거의 유사하여 그 예측 가능성이



(a) J-University



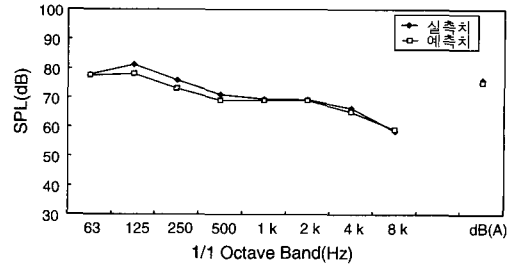
(b) W-University



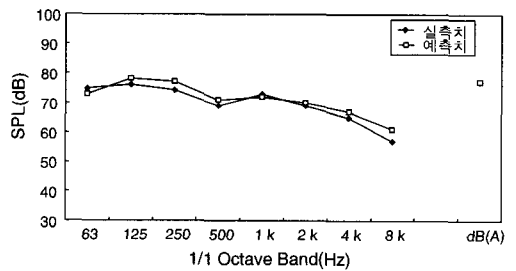
(c) H-University

Fig. 6 Distribution of sound pressure level of each machine room (dB(A)).

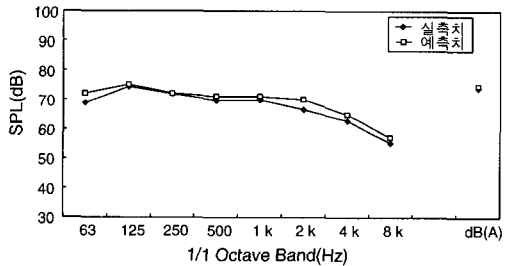
매우 높음을 확인하였다. 기계실에서 발생하는 설비소음을 저감하기 위해서는 기계실의 마감재료를 흡음성이 높은 재료로 변경하는 방법이 일반적이거나 이러한 경우 어느 정도 설비소음이 저감되는지를 파악하기가 매우 어렵다. 또한 이론식을 이용한 계산의 경우 많은 시간이 소요될 뿐



(a) J-University



(b) W-University



(c) H-University

Fig. 7 Comparison estimated numerical value with surveyed numerical value of sound pressure level.

만 아니라 정확도도 떨어지며 흡음재료를 변경해야 할 경우 처음부터 다시 계산해야 하는 번거로움을 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 예측의 신뢰성이 높은 음향시뮬레이션을 이용하여 설비소음의 저감 정도를 예측해 보고자 한다. 이를 위해 3개 기숙사의

Table 6 Sound-Absorbing ratio of rock wool sound-absorbing board

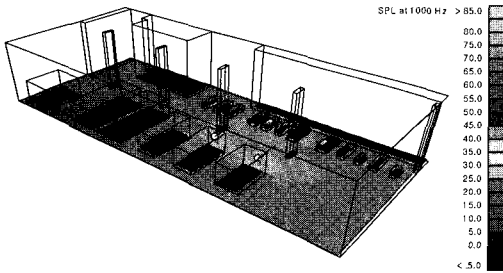
Classification	material	frequency(Hz)					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
wall	before	Water-Paint					
	after	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
	Rock wool sound-absorbing board	0.20	0.10	0.40	0.70	0.80	0.80

Table 7 Change of room constant(R)

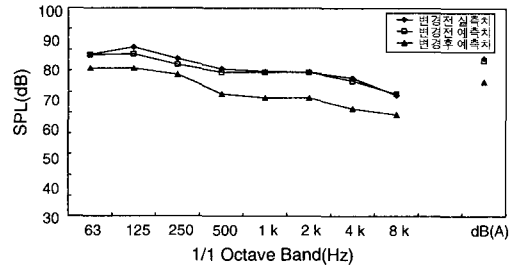
Classification	frequency(Hz)		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
	before	after						
J대	before		59.3	153.9	445.1	479.2	465.4	408.8
	after		180.4	216.9	917.4	1617.9	1878.2	1667.4
W대	before		60.2	33.8	127.5	225.8	262.7	283.0
	after		204.2	94.8	502.4	1325.2	1827.6	1880.8
H대	before		47.9	88.1	171.7	266.1	219.7	270.8
	after		196.2	158.6	576.5	1351.9	1492.3	1634.6

기계실의 벽체 마감재료를 ‘수성페인트’에서 ‘암면흡음보드’로 변경했을 경우 설비소음을 예측하

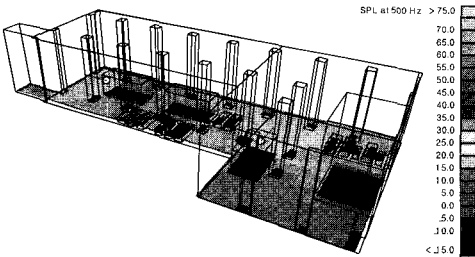
였다. 3개 기숙사 기계실의 경우 모두 천장을 제외한 바닥과 벽이 흡음률이 낮은 마감재로 마감



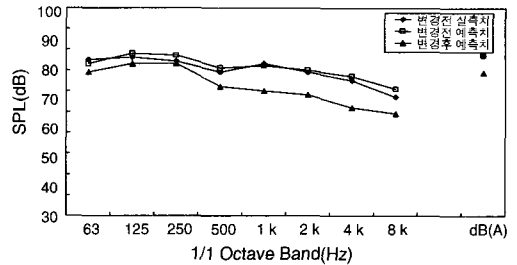
(a) J-University



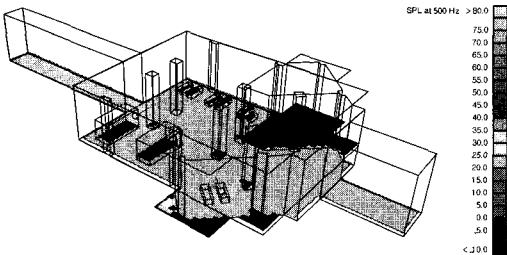
(a) J-University



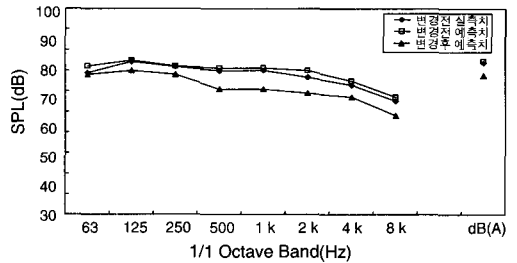
(b) W-University



(b) W-University



(c) H-University



(c) H-University

Fig. 8 Distribution of sound pressure level after change of finishing material (dB(A)).

Fig. 9 Measured value and comparison with estimated numerical value at before & after change of finishing material.

되어 있는데, 기계실 특성상 바닥의 경우 흡음재로 대체할 수 없기 때문에 벽체의 마감재료만 변경하였다.

4.4.1 마감재료 변경 전·후의 실정수 변화

벽체의 마감재료가 “수성페인트”일때와 “암면흡음보드”로 변경후의 실정수는 다음과 같다.

Table 7에서 보면 J대의 경우 500 Hz의 변경 전·후 실정수의 차이가 다른 대역에 비해 가장 큰 것으로 나타났고, 4000 Hz에서 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 바닥면과 천정면의 마감재료에 따른 흡음특성으로 사료된다. 또한 “암면흡음보드”의 흡음률이 500 Hz 이상의 대역에서 높아 3개의 대역 기속사 모두 500 Hz 이상에서 실정수가 급격히 높아지는 것으로 나타났다. 또한 벽체면을 제외한 바닥이나 천정의 흡음률에 의해 변경전·후의 실정수의 패턴이 다른 것으로 나타났다.

4.4.2 음압레벨 분포 예측

다음 Fig. 8은 음향시뮬레이션에 의한 벽체 마감재료 변경 후 기계실내의 음압레벨 분포를 나타낸 것이다.

4.4.3 기계실내 설비소음 저감 정도 비교

다음 Fig. 9는 기계실에서 측정된 실측치와 시뮬레이션을 통한 마감재료 변경전·후의 예측치를 비교한 것이다.

그림을 보면 3개 대학 기계실 벽체 마감을 ‘암면흡음보드’로 변경했을 경우 기계실내 설비 소음 레벨이 약 6~10 dB(A)감소하였다. 또한 변경전 예측치와의 음압레벨 값의 차는 500 Hz에서 증가하여 고음역으로 갈수록 증가하고 있는데 이는 암면흡음보드의 흡음률이 저주파수대역보다는 500 Hz 이상의 대역에서 높기 때문으로 사료된다.

따라서 설계단계에서부터 음향시뮬레이션에 의한 기계실내 설비소음의 저감 정도를 예측할 수 있으며 이러한 자료를 토대로 마감재료의 선정 및 마감부위의 결정 등을 효율적으로 할 수 있리라 사료된다.

5. 결 론

본 연구는 3개 대학 기속사 기계실을 대상으로

현장측정과 음향시뮬레이션을 통해 설비소음의 예측 가능성을 파악하고자 하였으며, 이를 토대로 기계실내 설비소음 저감방안에 대한 사전 예측 방법을 검토하고자 한 연구이다. 본 연구를 통한 결과는 다음과 같다.

(1) 기계실에서 발생하는 설비기기의 소음레벨과 주파수 패턴은 제원이나 형식에 따라 차이를 보이고 있다. 따라서 음향시뮬레이션에 의한 설비소음 예측시 각 설비기기에서 발생하는 음향파워레벨(PWL)을 정확히 산정하는 것이 가장 중요한 변수라고 할 수 있다.

(2) 현장측정에 의한 실측치와 음향시뮬레이션에 의한 예측치를 비교한 결과 소음레벨은 1 dB(A) 이하의 차이를 보이고 있으며 주파수 패턴도 비슷하게 나타나 상당히 신뢰성 있는 예측치를 제공함을 알 수 있다.

(3) 음향시뮬레이션을 통해 기계실의 벽체마감을 수성페인트에서 암면흡음보드로 변경한 경우 소음레벨이 약 6~10 dB(A)감소하였으며, 주파수별 음압레벨 값도 암면흡음보드의 특성상 500 Hz 이상에서 많은 감쇠가 이루어짐을 알 수 있다. 따라서 음향시뮬레이션을 이용하여 설계단계에서부터 설비소음 저감을 위한 방음대책을 효과적으로 조절할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 이런 자료들이 축적된다면 설계 단계에서부터 기계실 설비소음을 정확하게 예측할 수 있을 것으로 사료되며 이를 토대로 효율적인 방음 및 차음대책을 수립할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Kim, J. S., 2004, Architectural acoustic design (Revised Edition), Sejin Co., p. 24, p. 82.
2. Kim, J. S. and Yang, M. S., 2001, Methodology for Architectural Acoustic.
3. Watson. F. R., 1948, Acoustics of buildings, John Wiley & Sons. Inc.
4. James, P. C., 1994, Handbook of environmental acoustics, Van Nostrand Reinhold.
5. Leslie, L. D., 1972, Environmental acoustics, McGRAW-Hill Book Company.
6. Cyril, M. H., 1982, Handbook of noise control, McGRAW-Hill Book Company, 1979.
7. Lewis, H. B., Industrial noise control, Marcel

- Dekker, Inc.
8. Park, J.H., Han, K.Y., Seo, J.S. and Kim, J.S., 2004, Study on prediction of machine room equipment noise by acoustic simulation, Korea Residence Society, Autumn Conference for Science Presentation.
 9. Park, J.H. and Kim, J.S., 2003, Study on character of equipment noise generating at machine room college dormitory, Architectural Institute of Korea, Autumn Science Presentation Conference.
 10. Park, J.H. and Kim, J.S., 2004, An experiment study on the propagation and attenuation of plumbing noise at the machine room of the dormitory, Architectural Institute of Korea, 2004.