

## 음향시뮬레이션에 의한 기계실 설비소음의 예측에 관한 연구

### A Study on the Prediction of Plumbing Noise in the Machine Room Using Acoustic Simulation

박정호\*                      한경연\*                      서정석\*                      김재수\*\*  
Park, Jung-Ho    Han, Kyeong-Yeon    Seo, Jung-Seok    Kim, Jae-Soo

#### Abstract

According to the improvements of the education and the cultural level, the noise pollutions which have been occupying a major portion of civil petitions about environment is gradually aggravating. Especially, the plumbing noises which took place at machine room of dormitory are the compositive shapes of an air-borne sounds and a solid-borne sounds. So it has been causing to injure the comfortable residential environment of residents that it is propagated in a residential space. Judging from this point of view, this study grasped the propagation and the properties of attenuation about four varieties's plumbing noise which took place at machine room to understand that it cause influences to a residential space. In this point, we understand the peculiar features by measuring noise, which was generated from equipment in machine rooms of three dormitories having different features. On the basis of these features, we examine all predictability and reliability in comparing the predictive value with the measurable one, using architectural acoustic simulation.

키워드 : 기계실, 설비소음

Keywords : Machine Room, Plumbing Noise

#### I. 서론

최근 쾌적한 주거환경을 추구하려는 욕구가 증대되면서 기계실에서 발생하는 설비소음은 쾌적한 주거환경을 해치는 주요한 요인으로 그 심각성이 점차 증대되고 있는 실정이다. 이러한 설비소음은 공기음 및 고체음의 복합적인 형태

로 주거공간에 전달되어 거주자의 쾌적한 생활 환경을 침해하는 경우가 많아 심각한 민원의 대상이 되고 있다. 따라서 기계실 설비소음의 방지, 또는 저감대책이 절실히 필요한 실정이나 이에 대한 연구 및 자료가 부족하여 효율적인 차음대책 수립이 매우 어려운 실정이다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 서로 다른 특성을 가진 3개 대학 기숙사의 기계실을 대상으로 설비기기로부터 발생하는 소음을 측정하여 그 특성을 파악하였으며, 이렇게 파악된 기

\* 정회원, 원광대학교 건축학부 석사과정  
\*\* 정회원, 원광대학교 건축학부 부교수, 공학박사

계실 설비소음의 특성을 토대로 음향시뮬레이션을 이용하여 예측치와 실측치를 비교하여 예측 가능성 및 신뢰성을 검토해 보았다. 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

## II. 기계실 설비소음의 측정

### 2.1 측정대상 기계실의 제원

기계실의 설비소음 특성은 대상 기계실의 규모, 평면형태, 체적, 실내표면과 마감재료 등에 영향을 크게 받는다. 설비소음 특성을 위한 측정대상은 1,000 m<sup>3</sup> 이상의 체적을 가지고 있고 설비기기가 집중되어 있는 J·W·H대학 3곳의 기숙사 기계실을 선정하였다. 대상 기계실의 실내 마감재료를 보면 바닥은 스테인페인트, 역폭시페인트 마감으로, 벽은 몰탈 위 수성페인트 마감으로, 천장은 암면뽀칠, 암면흡음보드, Clinker Con'c로 마감 되어있다.

측정대상 3대학 기숙사 기계실의 제원은 표1.과 같다.

측정 대상 주요 설비기기는 급수펌프, 온수순환펌프, 급탕보일러, 냉온수유닛으로 구분 할 수 있다.

측정대상 설비기기의 개요는 표 2.와 같다.

표1 측정대상 기계실의 제원

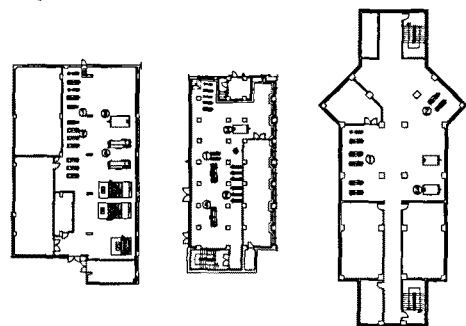
구분	J대	W대	H대	
바닥면적(m <sup>2</sup> )	366	351	368	
체적(m <sup>3</sup> )	2,196	2,106	1,987.2	
길이(m)	30	25.6	43.5	
폭(m)	18.8	12.9	15	
천정고(m)	6	6	5.4	
마감재료	바닥	스테인페인트	스테인페인트	역폭시페인트
	벽	수성페인트	수성페인트	수성페인트
	천장	암면뽀칠	암면흡음보드	Clinker Con'c

표2. 측정대상 설비기기의 개요

구분	설비기기	제원	형식
J대	급수펌프	666LPM, 10×3HP	부수터방식
	온수순환펌프	1,810LPM, 25HP	단단볼류트
	급탕보일러	1,000,000kcal/h	진공온수식
	냉온수유닛	455,400kcal/h	직화식
W대	급수펌프	500LPM, 25HP	다단볼류트
	온수순환펌프	1,600LPM, 25HP	편흡입볼류트
	급탕보일러	800,000kcal/h	진공온수식
	냉온수유닛	360,000kcal/h	흡수식
H대	급수펌프	1,760LPM, 15HP	다단볼류트
	온수순환펌프	1,760LPM, 20HP	단단볼류트
	급탕보일러	700,000kcal/h	노통연관식

### 2.2 음압레벨 측정방법 및 기기 구성도

각종설비기로부터 발생하는 소음을 측정하기 위하여, 설비기기를 정상적으로 가동한 상태에서 음압레벨을 각각 측정하였다. 음압레벨은 KS B 6360(펌프의 음압레벨 측정방법)에 의거하여 기계실내에 설치되어 있는 설비기로부터 1.5m 떨어진 지점에서 음압레벨을 측정하였다. 측정 대상 기계실의 평면형태와 설비기기의 위치는 그림 1 과 같다. 측정방법은 그림2 와 같이 소음계를 통해 들어오는 신호를 DAT(Digital Audio Tape Recorder)로 현장에서 녹음하였으며, 녹음된 신호를 실험실에서 01dB사의 Symphonie로 주파수 분석하였다.



①급수펌프 ②온수순환펌프 ③급탕보일러 ④냉온수유닛  
(a) J대 (b) W대 (c) H대

그림1 대상 기계실의 평면형태와 기기의 위치

측정기기 구성 및 배열은 그림2.와 같다.

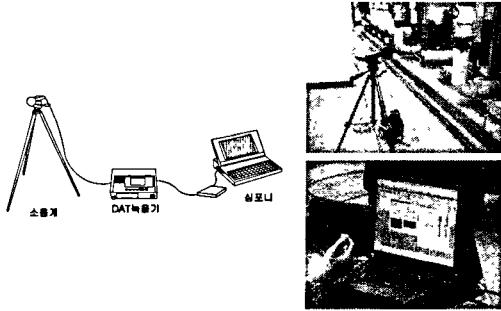


그림2 측정기기 구성 및 사진

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

### 2.3 측정결과 및 분석

각 대학 기숙사의 기계실에서 측정한 급수펌프, 온수순환펌프, 급탕보일러, 냉온수유닛 가동에 따른 설비소음을 측정하여 음압레벨(SPL)을 비교·분석하였다. 또 이 결과를 바탕으로 각 대학 기계실 설비기기의 1/1 Octave Band와 음향 파워레벨(PWL)을 산출하였다.

#### 2.3.1 J대 설비기기의 음압레벨

J대의 설비기기 가동에 따른 음압레벨을 파악해 보면 그림3.과 같다.

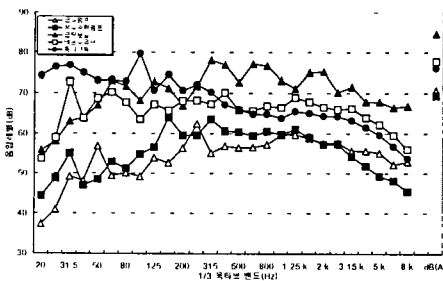


그림3 J대의 설비기기 가동에 따른 음압레벨

그림에서 기계실에서에서 측정한 설비기기 가동에 따른 소음레벨은 급수펌프 70.7dB(A), 온수순환펌프 69.4dB(A), 급탕보일러 84.6dB(A), 냉온수유닛 77.7dB(A)로 나타나 급탕보일러

의 소음레벨이 가장 높게 나타났다. 또한 각 기기의 음압레벨의 경우 급수펌프는 250Hz대역에서 피크를 보이다가 고음역으로 갈수록 음압레벨이 감소하고 있고, 냉온수유닛은 31.5Hz에서 피크치를 보이고 있으며 중음역에 약간 불규칙한 패턴을 보이다가 고음역에서 감소하고 있다.

표3 J대 기숙사 기계실 내부 기기별 PWL

기기명	구분	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB(A)
급수펌프	1/1 Octave Band	58.2	57.1	64.0	61.3	63.7	62.7	60.6	55.6	70.7
	음향파워레벨(PWL)	70.1	68.9	75.8	73.2	75.6	74.6	72.4	67.4	82.5
온수순환 펌프	1/1 Octave Band	56.0	65.1	66.0	64.9	65.2	62.6	57.0	50.0	69.4
	음향파워레벨(PWL)	67.8	76.9	77.9	76.7	77.1	74.5	68.8	61.8	81.2
급탕 보일러	1/1 Octave Band	72.9	72.8	71.7	72.7	73.1	75.2	67.9	66.8	84.6
	음향파워레벨(PWL)	84.7	84.6	83.5	84.5	84.9	87.0	79.7	78.6	96.4
냉온수 유닛	1/1 Octave Band	73.8	70.5	72.7	72.5	72.3	71.6	69.2	61.1	77.7
	음향파워레벨(PWL)	85.6	82.3	84.5	84.3	84.1	83.5	81.0	72.9	89.5
동시가동	1/1 Octave Band	77.8	81.2	75.8	70.9	69.5	69.3	66.4	58.5	76.0

표3.은 그림3.을 바탕으로 하여 각 설비기기 와 설비기기를 동시에 가동하였을 때의 1/1 Octave Band와 PWL를 산출한 표이다.

#### 2.3.2 W대 설비기기의 음압레벨

그림은 W대의 설비기기 가동에 따른 음압레벨을 파악해본 결과이다.

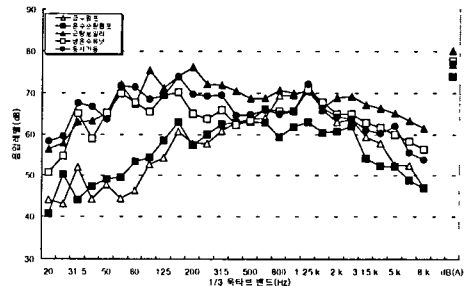


그림4. W대의 설비기기 가동에 따른 음압레벨

그림에서 기계실 내부에서 측정한 설비기기 가동에 따른 소음레벨은 급수펌프 76.8dB(A), 온수순환펌프 74.0dB(A), 급탕 보일러 80.1dB(A), 냉온수유닛 77.7dB(A)로 나타났으며, 급탕 보일러의 소음레벨이 가장 큰 것으로 나타났다. 온수순환펌프의 음압레벨이 저주파수대역은 낮고 200Hz ~ 1.25Hz대역에서 일정하다가 고음역으로 갈수록 감소하는 것으로 나타났다.

표4 W대 기숙사 기계실 내부 기기별 PWL

기기명	구분	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB(A)
나수펌프	1/1 Octave Band	511	621	639	684	748	692	622	535	76.8
	음향파위레벨(PWL)	62.9	74.0	75.7	80.2	86.6	81.0	74.1	65.4	88.6
온수순환 펌프	1/1 Octave Band	55.9	64.3	65.2	67.7	66.2	65.9	57.8	51.0	74.0
	음향파위레벨(PWL)	67.7	76.2	77.1	79.6	78.0	77.8	69.6	62.8	85.8
급탕 보일러	1/1 Octave Band	73.9	78.6	78.7	74.2	75.1	73.1	71.1	65.5	80.1
	음향파위레벨(PWL)	85.7	90.5	90.5	86.0	87.0	85.0	82.9	77.3	91.9
냉온수 유닛	1/1 Octave Band	73.8	70.5	72.7	72.5	72.3	71.6	69.2	61.1	77.7
	음향파위레벨(PWL)	85.6	82.3	84.5	84.3	84.1	83.5	81.0	72.9	89.5
동시가동	1/1 Octave Band	77.8	81.2	75.8	70.9	69.5	69.3	66.4	58.5	77.0

표4.는 그림4.를 바탕으로 하여 각 설비기기 와 설비기기를 동시에 가동하였을 때의 1/1 Octave Band와 PWL를 산출한 표이다.

2.3.3 H대 설비기기의 음압레벨

H대의 설비기기 가동에 따른 음압레벨을 파악해 보면 그림과 같다

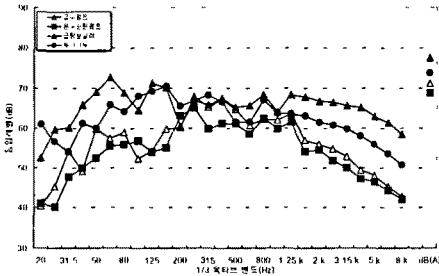


그림5 H대의 설비기기 가동에 따른 음압레벨

그림에서 기숙사 기계실에서 측정된 설비기기 가동에 따른 소음레벨은 급수펌프 71.2dB(A), 온수순환펌프 68.8dB(A), 급탕보일러 77.5 dB(A)로 나타나, 용량이 큰 J대의 급탕보일러가 가장 높게 나타났다. 음압레벨은 3개 설비기기 모두 250Hz~1.25kHz 불규칙하게 일정한 패턴을 보이고 고음역에서 감소하고 있다.

표5 H대 기숙사 기계실 내부 기기별 PWL

기기명	구분	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB(A)
급수펌프	1/1 Octave Band	63.5	61.4	70.2	69.8	67.4	60.7	55.3	47.1	71.2
	음향파위레벨(PWL)	75.4	73.2	82.0	81.6	79.2	72.5	67.2	59.0	83.0
온수순환 펌프	1/1 Octave Band	59.5	60.2	67.9	65.2	66.1	58.4	52.9	46.2	68.8
	음향파위레벨(PWL)	71.4	72.0	79.8	77.0	78.0	70.2	64.8	58.1	80.6
급탕 보일러	1/1 Octave Band	75.3	74.2	71.5	71.0	72.1	71.8	69.5	63.1	77.5
	음향파위레벨(PWL)	87.2	86.1	83.3	82.8	83.9	83.6	81.3	74.9	89.3
동시가동	1/1 Octave Band	68.6	74.1	71.8	68.7	69.8	66.6	62.9	55.3	73.8

표5.는 그림5.를 바탕으로 하여 각 설비기기 와 설비기기를 동시에 가동하였을 때의 1/1 Octave Band와 PWL를 산출한 표이다.

III. 음향시뮬레이션에 의한 기계실 설비소음의 예측

4.1 모델링

기숙사의 음압분포 예측분석은 음선추적법 (Ray-tracing Method)과 허상법(Image Model Method)에 의한 3차원 음향시뮬레이션을 이용하였으며 사용프로그램은 ODEON 4.21이다 소음 감쇠특성에 많은 영향을 미치는 초기반사음에 대해서는 정확한 반사음을 얻을 수 있는 허상법을 사용하였으며, 그 이후의 반사에 대해서는 음선법을 이용하여 허상법이 가지고 있는 복잡한 알고리즘을 단축하여 빠른 시뮬레이션이 가능하도록 했다. 음원으로는 기계실의 급수펌프, 온수 순환펌프, 급탕보일러, 냉온수유닛으로 구분할 수 있으며, 현장 측정된 데이터를 바탕으로 음원의 음향파위레벨(PWL)을 구하였다.

다음 그림은 음향시뮬레이션을 수행하기 위해 AutoCAD를 이용하여 3차원으로 모델링한 것이다.

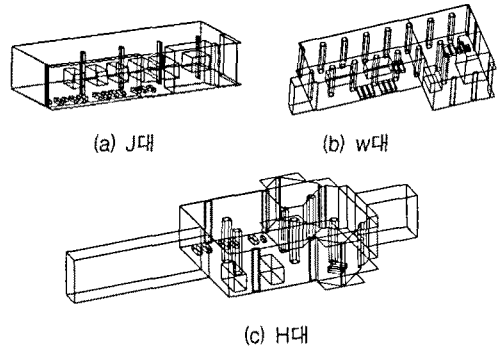


그림6 AutoCAD를 이용한 대상공간의 모델링

표6은 기숙사 내부 마감재료와 주파수별 흡음률자료이다.

표6 주파수별 마감재료 및 흡음률 데이터

구분	주파수 (Hz)		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
	재료							
J대	바닥	스테인패인트	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05
	벽	수성페인트	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
	천장	암면방진	0.13	0.35	0.85	0.9	0.88	0.75
W대	바닥	스테인패인트	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05
	벽	수성페인트	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
	천장	암면흡음보드	0.20	0.10	0.40	0.70	0.80	0.80
H대	바닥	액폭시페인트	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02
	벽	수성페인트	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
	천장	Clinker Con'c	0.10	0.20	0.40	0.60	0.50	0.60

각 대학 기숙사 기계실별로 음향시뮬레이션을 이용한 음선추적법(Ray-tracing Method)은 그림과 같다.

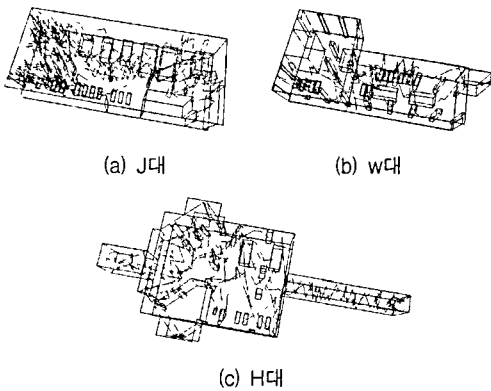
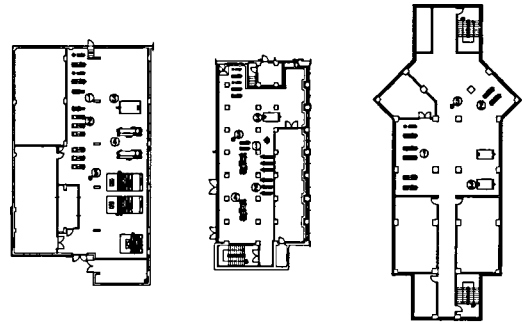


그림7. 음선추적법에 의한 시뮬레이션

#### 4.2 설비소음의 예측

각 대학 기숙사 기계실의 음향시뮬레이션을 실행하여 얻어진 예측치를 현장측정결과 얻어진 실측치와 비교·분석하였다. 급수펌프, 온수순환펌프, 급탕보일러, 냉온수유닛을 음원으로 하였으며, 수음점의 위치는 예측치와 실측치 결과를 비교하기 위해 실제 현장측정 때와 동일한 곳으로 하였으며 수음점의 위치는 그림과 같다.



①급수펌프 ②온수순환펌프 ③급탕보일러 ④냉온수유닛 ⑤수음점  
(a) J대 (b) W대 (c) H대  
그림8 각 대학 기숙사 기계실 수음점의 위치

#### 4.2.1 J대의 음압레벨의 실측치·예측치

다음은 표3에서 산출해 낸 각 설비기기의 음향파워레벨(PWL)을 프로그램에 입력한 후 음향시뮬레이션을 이용하여 기계실내의 dB(A)의 음압레벨 분포를 파악해 보면 그림과 같다.

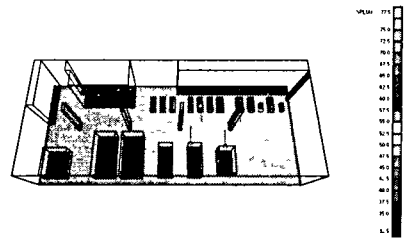


그림9 음압레벨 분포(dB(A))

이러한 결과를 바탕으로 설비기기를 동시에 가동시킨 실측치와 음향시뮬레이션에 의한 예측치의 음압레벨을 비교한 결과는 그림과 같다.

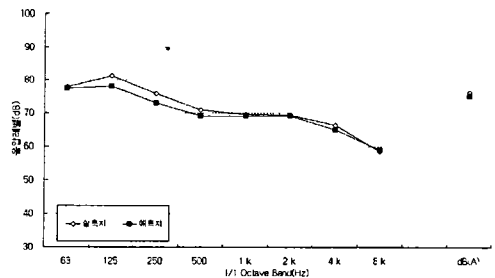


그림10. 음압레벨의 실측·예측치의 비교

그림에서 보면 실측치가 76dB(A), 예측치는 75dB(A)로 예측치가 1dB(A)높게 나타났다. 음

압레벨은 실측치·예측치 모두 125Hz에서 피크치를 보이고 있으며 고음역으로 갈수록 감소하는 패턴을 보이고 있다. 음압레벨은 8kHz를 제외하고는 전 주파수 대역에서 실측치가 예측치보다 약간 높게 나타났으며 주파수 패턴도 비슷하게 나타나 음향시뮬레이션을 통해 상당히 신뢰성 있는 예측치를 얻을 수 있었다

#### 4.2.2 W대의 음압레벨의 실측치·예측치

표4.에서 산출해 낸 각 설비기기의 음향파워레벨(PWL)를 프로그램에 입력한 후 음향시뮬레이션을 이용하여 기계실내의 dB(A)의 음압레벨 분포를 파악해 보면 그림과 같다.

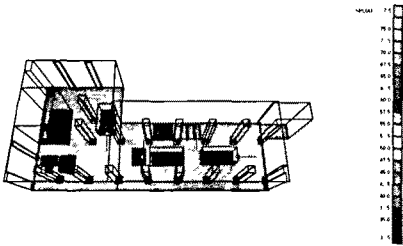


그림11 음압레벨 분포(dB(A))

이러한 결과를 바탕으로 실측치와 예측치의 음압레벨을 비교한 결과는 그림과 같다.

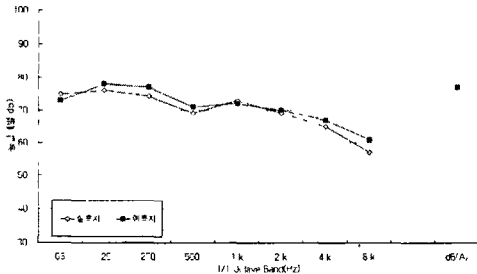


그림12. 음압레벨의 실측·예측치의 비교

그림에서 보면 실측치와 예측치 모두 소음레벨이 77dB(A)로 나타났다. 음압레벨은 실측치·예측치 모두 500Hz에서 급격히 감소하였고, 고음역으로 갈수록 감소하고 있다. 음압레벨은 63Hz와 1kHz를 제외하고는 전체적으로 전 주파수대역에서 예측치가 1~2dB 높게 나타났으며 주파수패턴도 유사하게 나타나 음향시뮬레

이션을 통해 상당히 신뢰성 있는 예측치를 얻을 수 있었다.

#### 4.2.3 H대의 음압레벨의 실측치·예측치

표5.에서 산출해 낸 각 설비기기의 음향파워레벨(PWL)를 프로그램에 입력한 후 음향시뮬레이션을 이용하여 기계실내의 dB(A)의 음압레벨 분포를 파악해 보면 그림과 같다.

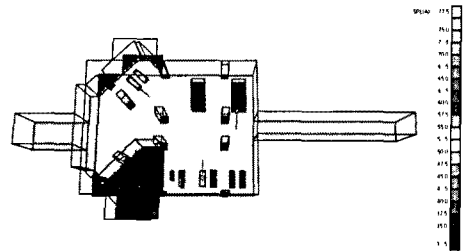


그림13. 음압레벨 분포(dB(A))

이러한 결과를 바탕으로 실측치와 예측치의 음압레벨을 비교한 결과는 그림과 같다.

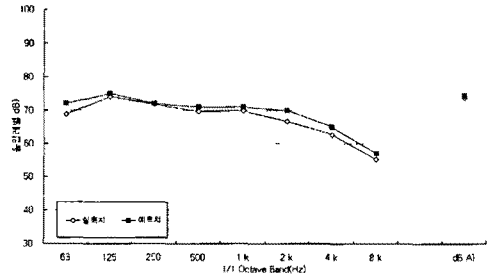


그림14. 음압레벨의 실측·예측치의 비교

그림에서 보면 실측치가 73.8dB(A), 예측치는 74.5dB(A)로 예측치의 소음레벨이 0.7dB(A)높게 나타났다 음압레벨은 실측·예측치 모두 125Hz에서 피크를 보이고 있으며 중음역서 거의 일정하다가 고음역에서 감소하고 있다. 음압레벨은 전 대역에서 예측치가 실측치보다 높게 나타났으나 주파수 패턴은 거의 비슷하게 나타나 음향시뮬레이션을 통해 상당히 신뢰성 있는 예측치를 얻을 수 있었다.

## IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 3개 대학 기숙사 기계실을 대상으로 현장측정과 음향시뮬레이션을 통해 소음특성을 파악하고 음향시뮬레이션에 대한 신뢰성을 검토하고자 하였으며, 본 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 기계실에서 발생하는 설비기기의 소음레벨과 주파수패턴은 제원이나 형식에 따라 상당한 차이를 보이고 있었다. 따라서 음향시뮬레이션에 의한 설비소음 예측시 각 설비기기에서 발생하는 음향파워레벨(PWL)을 정확히 산정하는 것이 가장 중요한 만큼 이에 대한 자료의 확보가 예측시 가장 중요한 변수라고 할 수 있다.

2. 현장측정에 의한 실측치와 음향시뮬레이션에 의한 예측치를 비교한 결과 소음레벨은 1dB(A)이하의 차이를 보이고 있으며 주파수패턴도 비슷하게 나타나 상당히 신뢰성 있는 예측치를 제공함을 알 수 있다. 따라서 음향시뮬레이션을 이용한 설비소음의 예측이 가능하며 그 신뢰성이 매우 높음을 알 수 있다.

3. 3개 대학 기계실 모두 천장을 제외한 바닥과 벽이 흡음률이 낮은 재료로 마감되어 있는데, 벽체의 마감율 흡음률이 높은 재료로 선택한 경우 기계실의 소음레벨을 훨씬 저감시킬 수 있으리라 사료되며, 향후 이런 자료들이 축적된다면 설계 단계에서부터 기계실 설비소음을 정확하게 예측할 수 있을 것이며 이를 토대로 효율적인 방음 및 차음대책을 수립할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 김재수 ; 이론과 실무를 겸비한 급배수 위생설비, 세진사, 2004.7(개정판)
2. 김재수 ; 이론과 실무를 겸비한 공기조화설비, 세진사, 2003.2
3. 박정호 ; “대학 기숙사의 기계실에서 발생하는 설비소음의 특성에 관한 연구” , 대한건축학회 추계학술발표대회, 2003
4. 박정호 ; “대학기숙사 기계실에서 발생하는 설비소음의 전달특성에 관한 실험적 연구” 2004.
5. 김명준 ; “공동주택 설비장비의 소음진동실태조사” , 한국소음진동공학회 소음진동학술대회, 2000.
6. 김홍식 ; “공동주택 기계실 설비장비의 방진설계 및 시공” , 한국소음진동공학회, 1999.12