

## 건축 설비기기 소음의 특성 및 평가에 관한 연구

변운섭, 최 둘, 김재수<sup>†</sup>  
원광대학교 건축공학과

### A Study on the Evaluation and Characteristics of Architectural Facility-equipment Noise in Building

Woon-Seob Byun, Dool Choi, Jae-Soo Kim<sup>†</sup>  
*Dept. of Architectural Engineering, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea*

*(Received March 18, 2009; revision received September 5, 2009)*

**ABSTRACT:** On account of the technological development, intelligent building is on increasing where the artificial regulation on indoor environment is possible, thence the concern about those facilities such as water-supply facility, water-heater and drainage facility has becomes higher. However, due to diversification and complicated system of the facility-equipments, the noise generating from such facility equipment is gradually becoming a problem, and since especially equipment noises arising at the machine room frequently infringe into the resident's pleasant living environment with the complex types of an air-borne sound and a structure-borne sound, it is becoming the civil complaint. On such viewpoint, this Study ever observed the characteristics of noise generating from various facility-equipments in the building, and intended to evaluate the facility-noises by use of the valuation index such as PSIL, N, NC, NR. As result of, the facilities noise which happens in the machine room makes normal conversation very difficult due to high sound pressure level. Based on such data, this study is willing to present it as an essential material for establishment an efficient measure against the facility-noises arising at machine room hereafter.

**Key words:** Facility-equipment(설비기기), Artificial regulation(인위적인 조절), Air-borne sound (공기음), Structure-borne sound(고체음)

#### 1. 서 론

1980년대의 산업화, 도시화로 인한 도시의 건물은 급격하게 고층화, 대형화 되었으며, 생활수준의 향상으로 쾌적한 실내 환경조성 및 주거의 질에 대한 요구가 증가되었다. 또한 과학의 발달로 인해 인위적인 실내의 환경조절이 가능해진 Intelligent Building이 증가하여 급수설비, 급탕설비 및 배수

시설 등과 같은 설비 부분의 관심이 높아지게 되었다. 그러나 이러한 설비기기로 인해 발생하는 소음공해는 환경민원의 대부분을 차지할 정도로 점차 그 심각성이 증대되고 있으며, 특히 기계실에서 발생하는 설비소음은 공기음 및 고체음의 복합적인 형태로 거주자의 쾌적한 생활환경을 침해하는 경우가 많아 민원의 대상이 되고 있다. 따라서 기계실의 설비소음의 저감대책이 절실히 필요한 실정이나, 이에 대한 연구 및 자료가 부족하여 방음대책 수립 시 많은 어려움을 겪고 있다.<sup>(1)</sup>

이러한 관점에서 본 연구에서는 건물 내 각종 설비기기로부터 발생하는 소음을 대상으로 하여

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-63-850-6712; fax: +82-63-843-0782

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

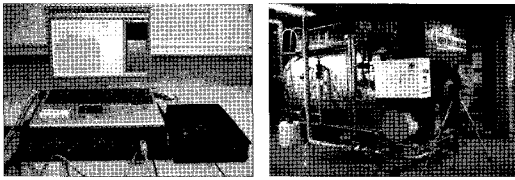


Fig. 1 Measuring equipment and its arrangement.

그 특성을 살펴보았으며, PSIL, N, NC, NR 등의 평가지수로 설비소음을 평가하고자 하였다.<sup>(2~4)</sup>

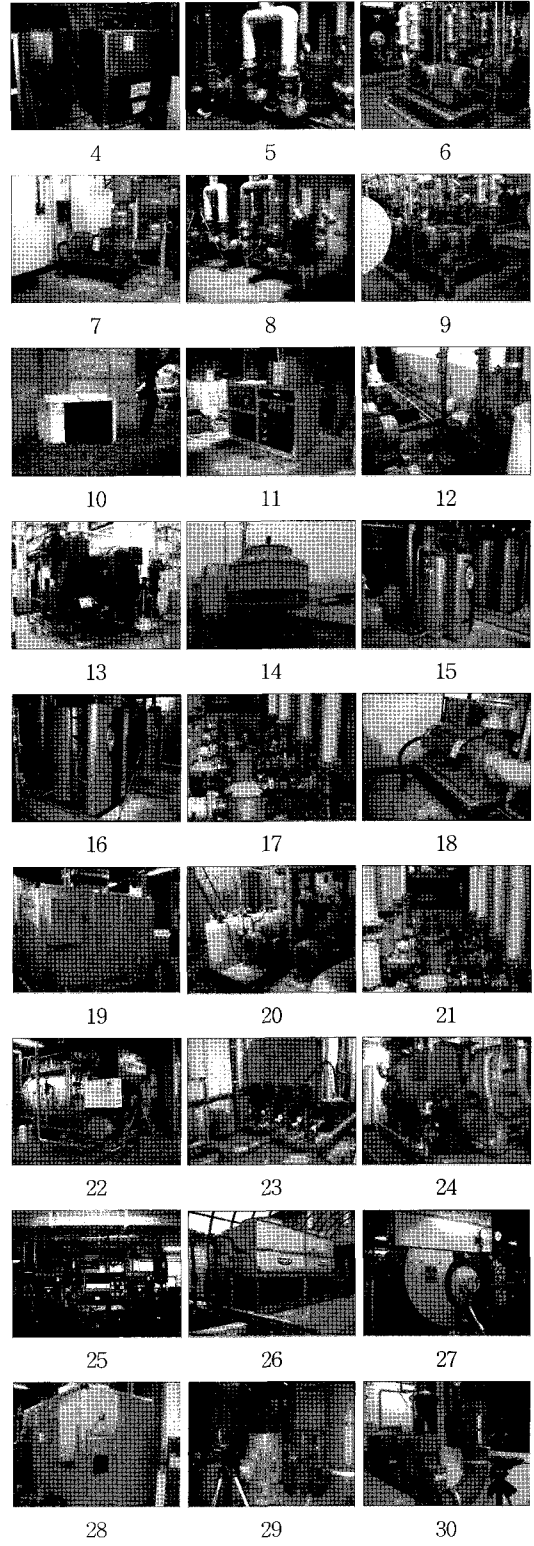
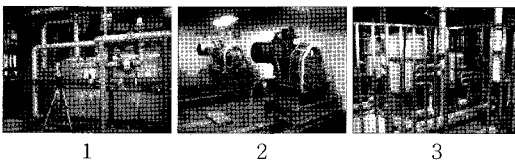
## 2. 측정방법 및 개요

### 2.1 측정방법

설비기로부터 발생하는 소음을 측정하기 위하여 설비기기를 정상적으로 가동한 상태에서 음압 레벨을 KS B 6360(폼프, 모터로 1.0m 이격된 거리에서 측정하도록 하고 있으며, 주파수 범위도 50 Hz 이상으로 제시)에 의거하여 측정하였다. 측정 시 소음계의 위치는 지면으로부터 1.2m의 높이에 설치하였으며, 기계실의 형태와 크기 및 마감재료의 조건에 따라 영향을 받지 않도록 설비기로부터 1.5m 이격시켜 잔향음에 의한 영향이 최소화된 자유음장에서 30초 간 측정하였다. 측정방법은 Fig. 1과 같이 소음계를 통해 들어오는 신호를 DAT (Digital Audio Tape Recorder)로 현장에서 녹음하였으며, 녹음된 신호를 실험실에서 B&K사의 Pulse Multi Analyzer System을 이용하여 분석하였다.<sup>(2~4)</sup> 측정기기 구성 및 배열은 Fig. 1과 같다. 본 연구의 분석에 사용된 주파수범위는 31.5~8kHz까지의 1/1옥타브밴드로 10초 간 3회 측정한 평균값을 이용하여 분석하였다.

### 2.2 측정대상 설비기기의 개요

측정 대상 주요 설비기기는 32가지이며 음압레벨 순으로 표기하였으며, 대상 32가지 설비기기의 모습 및 제원은 Fig. 2와 Table 1과 같다.



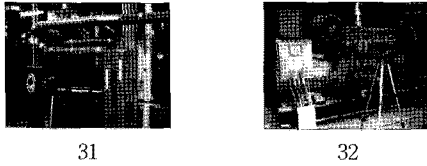
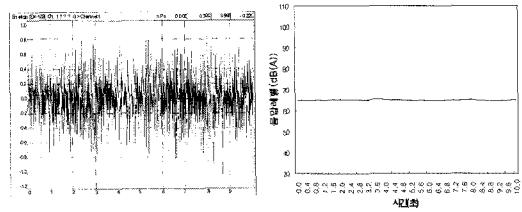


Fig. 2 Feature of 32 sorts facility equipments.

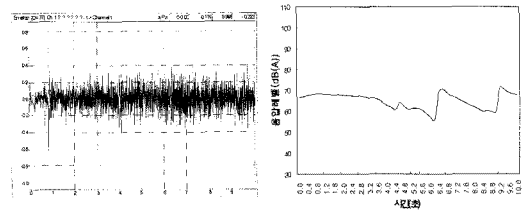
### 3. 설비기기 소음의 특성

#### 3.1 시간에 따른 소음레벨의 변동 및 시간응답

정상 운전 시 측정된 설비기기의 시간에 따른 소음레벨 변동특성과 소음특성을 나타내는 시간 응답곡선은 크게 두 가지 패턴으로 나타났는데, 그 모습은 다음 Fig. 3과 같다.<sup>(4)</sup> 시간에 따른 음압레벨의 변화를 살펴보면 일반적인 설비기기의 경우 대체로 일정한 구간을 반복하는 정상소음의 특성을 나타내고 있다. 그러나 승강기 모터의 경우 일정한 패턴을 유지하는 다른 설비기기의 특성과는 다르게, 불규칙한 패턴인 변동소음으로 나타났다. 이는 승강기의 작동버튼을 눌렀을 때, 승강기 모터가 작동했다가, 운행이 끝나면 작동을 멈추기 때문인 것으로 사료된다.



(a) Air handling unit



(b) Elevator motor

Fig. 3 Characteristics of typical facility equipments.

#### 3.2 설비소음의 주파수 특성

32개 설비기기의 주파수별 음향특성을 분석해보면 Table 2 및 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 보면 대부분 설비소음의 주파수 특성은 저음역(31.5~500 Hz) 부분에서 불규칙한 패턴을 보이고 있으며, 고음역(1~8 kHz) 부분에서

Table 1 Dimension of facility equipments

No.	Facility equipment	Dimension	No.	Facility equipment	Dimension
1	Air handling unit	40 mmAq	17	Water supply pump 1	10 HP
2	Elevator motor	15 kW	18	Cooling water pump 2	37 kW
3	Filtering pump 1	18 kW	19	Out-air handling unit 1	3,000 CMH
4	Room-cooler/Heater	13 kW	20	Filtering pump 2	15 kW
5	Cold water circulation pump	11 kW	21	Water supply pump 2	25 HP
6	Cooling water pump 1	15 kW	22	Heat pump typed boiler	33 kW
7	Cold and Hot water circulation pump 1	18.5 kW	23	Boiler water supply pump	13 kW
8	Room-heating rotation pump	11 kW	24	Cooling/Heating Mach. 2	2,000 mmAq
9	Cold and Hot water circulation pump 2	22 kW	25	Freezing Mach. 2	30 kW
10	Air-con outdoor Mach.	7.7 kW	26	Cooling tower 2	25 kW
11	Freezing Mach.1	12.8 kW	27	Hot water boiler	1047 MW
12	Drainage pump	11 kW	28	Air coordinating unit 2	40,000 CMH
13	Cooling/Heating Mach. 1	900 mmAq	29	Pool circulation pump	22 kW
14	Cooling tower	7.5 HP	30	Pump for pool water only	22 kW
15	Flowing boiler 0.5T	0.75 kW	31	Steam generator	15 HP
16	Flowing boiler 1T	3.7 kW	32	Emergency generator	160 kW

Table 2 Characteristics by frequencies of facility equipments

Facility equipments	Frequency(Hz)									dB(A)
	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
1	76.7	74.3	72.7	68.7	62.3	57.3	53.6	50.7	45.1	65.1
2	65.3	64.2	58.0	64.0	65.0	61.1	59.4	57.4	53.9	67.0
3	62.4	63.6	61.9	63.3	66.7	62.3	58.2	57.3	51.5	67.6
4	58.3	72.7	79.3	66.4	66.3	65.5	58.0	53.9	50.3	69.3
5	66.6	65.6	61.5	67.4	66.4	67.2	63.0	56.3	49.0	70.5
6	65.1	61.8	70.8	72.7	64.0	67.6	62.5	56.9	52.1	71.1
7	69.1	65.3	64.1	74.9	66.2	69.3	63.3	60.2	54.0	72.8
8	60.9	62.6	60.4	72.9	68.6	70.3	63.2	57.9	52.1	73.1
9	62.3	66.1	66.0	72.5	69.1	69.5	64.7	61.7	57.2	73.3
10	67.4	72.5	68.6	67.2	68.1	69.9	67.8	62.7	55.0	73.8
11	70.8	76.6	77.7	71.2	68.6	68.2	66.8	65.6	60.5	74.1
12	59.2	60.2	64.2	67.2	67.7	68.2	71.7	64.8	52.6	75.4
13	72.5	75.2	77.3	74.9	71.3	70.6	67.4	65.0	59.5	75.4
14	81.1	72.1	74.1	73.2	72.5	70.4	66.4	64.8	64.6	75.5
15	75.7	72.8	70.5	79.8	71.0	66.0	63.9	66.0	67.5	75.9
16	79.1	81.8	84.9	75.0	73.3	71.7	63.4	63.2	60.5	76.0
17	60.7	58.0	59.9	68.6	70.9	70.9	70.6	67.6	66.8	76.5
18	69.9	61.7	81.2	82.6	72.9	76.0	74.0	71.6	65.9	80.9
19	93.8	89.2	83.1	84.8	75.9	74.7	73.6	71.9	71.1	81.9
20	67.9	74.2	79.7	78.5	79.6	78.2	74.2	71.2	66.2	82.5
21	69.4	62.9	69.1	75.5	81.4	76.5	77.9	71.8	71.5	83.3
22	71.1	88.5	83.2	84.0	78.9	78.6	75.9	70.3	66.8	83.4
23	67.2	63.5	71.1	69.4	68.2	70.9	82.1	64.6	58.1	83.5
24	78.9	84.5	86.2	89.3	82.3	78.2	72.5	70.4	65.6	85.0
25	85.3	62.4	73.1	79.2	78.2	80.8	77.8	76.5	75.2	85.3
26	76.9	74.9	80.2	81.5	83.2	79.1	78.8	80.5	79.9	87.3
27	76.1	83.0	80.9	84.5	85.3	83.3	79.3	73.7	67.7	87.7
28	96.1	91.3	82.9	83.5	82.3	82.9	82.5	81.2	81.1	89.1
29	73.7	74.5	83.3	85.4	82.8	84.5	88.3	84.3	77.9	92.4
30	76.6	73.4	85.5	88.2	88.7	89.2	87.8	83.2	73.0	93.7
31	91.1	95.7	98.5	98.5	92.3	94.9	90.6	86.8	82.4	98.6
32	86.3	97.1	94.1	100.6	99.1	98.8	94.5	88.1	82.0	103.0

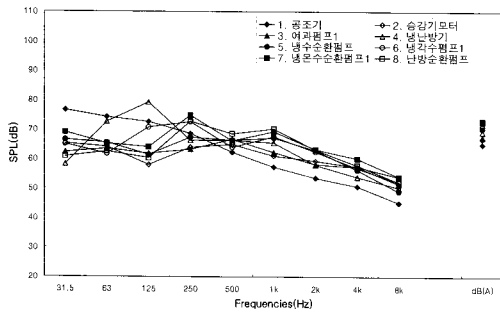
는 주파수가 높아질수록 일정하게 감소하는 패턴을 보이고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 소음의 평가

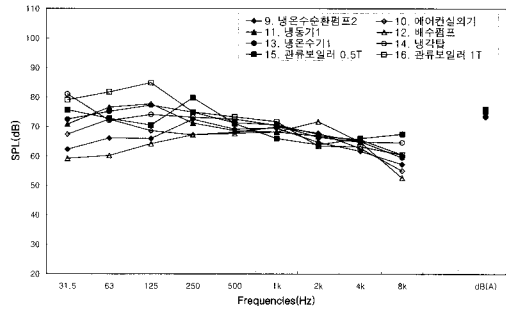
##### 4.1 dB(A)에 의한 평가

dB(A)는 인간이 느끼는 음의 감각적인 레벨을 파악하기 위해 등청감곡선을 역으로 보정한 청감

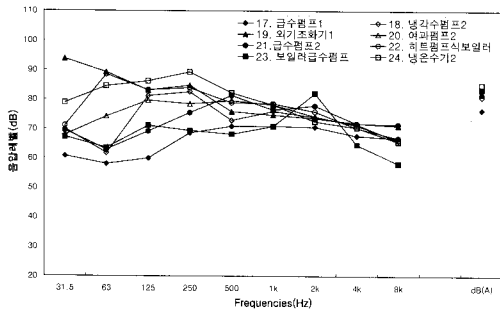
보정회로 A를 통하여 측정된 레벨이다.<sup>(5-6)</sup> 32개 설비기기의 소음을 음압레벨(dB(A))로 비교해보면 다음 Fig. 5와 같다. 측정된 설비소음은 65.1~103 dB(A)로 다양한 음압레벨을 보이고 있으며, 설비기간 변화폭도 크게 나타났다. 32개 설비소음 중 32번 비상발전기는 103 dB(A)로 가장 음압레벨이 큰 소음원인 것으로 나타났다. 위의 내용을 바탕으로 소음이 인체에 미치는 영향을 비교·분석한 결과는 Table 3과 같다.



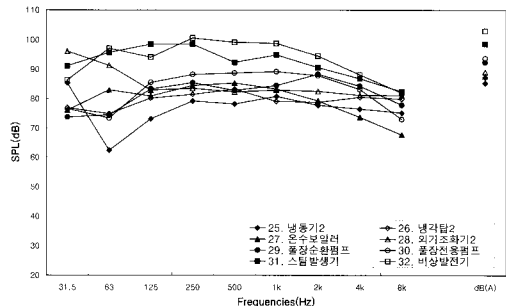
(a) No.1~8 facility equipments



(b) No.9~16 facility equipments



(c) No.17~24 facility equipments



(d) No.25~32 Facility Equipments

Fig. 4 Sound Pressure Level characteristics of facility equipments.

Table 3을 보면 32개의 설비기기 중 21개(66%)의 작업기계가 청력손실의 발생 시작을 일으키는 것으로 나타났다. 또한 난청을 유발할 수 있는 90 dB(A)이상의 소음레벨을 가진 설비기기는 4개(12%)로 나타나 기계실의 설비소음이 매우 큰 소음을 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 설비소음에 지속적으로 노출될 경우 작업자나 근무자로 하여금 많은 신체적 정신적 악영향을 미칠 것으로 사료된다.

#### 4.2 PSIL에 의한 평가

1947년 Beranek가 처음으로 제안한 회화방해레벨은 초기에는 항공기 객실내의 승객끼리 회화정도를 평가하기 위해 개발되었으나 이후 일반 실내소음을 평가하는 평가지수로 발전하였다. 이후 여러 단계로 발전하다가 1973년 Webster에 의해  $PSIL = (SPL_{500\text{ Hz}} + SPL_{1,000\text{ Hz}} + SPL_{2,000\text{ Hz}} + SPL_{4,000\text{ Hz}})/4$ 로 제안되었다.<sup>(5)</sup> 32개 설비소음의 PSIL은 Fig. 6과 같다. 설비소음의 PSIL 분포는 55.98~95.16 dB로 나타났으며, 음압레벨과 유사한 패턴을 갖는 것을 알 수 있다. 위의 결과를 ISO/TC 43에서 제안한 회화방해레벨과 회화 가능한 거리에 비교한 결과는 Table 4와 같다.

작업기계 소음의 PSIL을 ISO/TC 43에서 제안된 Table 3과 비교해보면, PSIL이 가장 낮은 1번(공조기)이 55.98 dB로 나타났다. 따라서 소음이 가장 낮은 1번의 경우 설비소음에 노출되었을 때 보통 소리로 이야기 할 경우 0.75m, 큰소리로 이야기 할 경우 1.5m 이상 멀어지면 정상적인 회화를 할 수 없게 됨을 알 수 있다. 이외의 기타 설비소음은 모두 그 이상을 상회하므로 설비기기가 작동될 경우

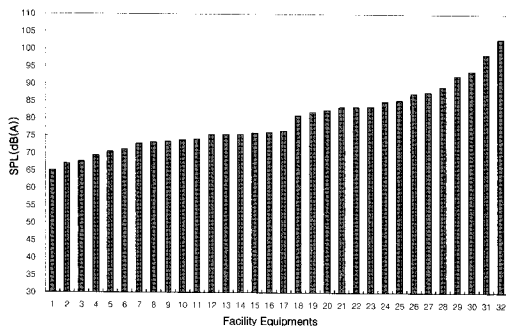


Fig. 5 Sound pressure level [dB(A)] of facility equipments.

Table 3 Effect that noise influences to human body

Noise level dB(A)	Effect to human body	Facility equipment No.	%
100	Brings hearing capacity loss when long time exposure	32	3%
90	Urine quantity increase, Arises hearing difficulty	29, 30, 31	9%
80	Possible early rupture of water bag,	18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28	34%
75	Begin to arise hearing loss	12, 13, 14, 15, 16, 17	19%
70	Peripheral blood vessel contraction, Adrenocortical hormone decrease.	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	22%
Nothing to pertinent		1, 2, 3, 4	13%

Table 4 Speech interference level and possible distance for conversation(ISO technical report 3352, 1974)

Speech interference level(dB)	Maximum distance obtainable for satisfaction understanding(m) <sup>*</sup>		Facility equipment No.
	Ordinary sound	Loud sound	
40	4.2	8.4	
45	2.3	4.6	
50	1.3	2.6	
55	0.75	1.5	1
60	0.42	0.85	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
65	0.25	0.50	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
70	0.13	0.26	17, 18, 19, 23
Impossible for evaluation			20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

\* Distance obtainable more than 95% understanding degree.

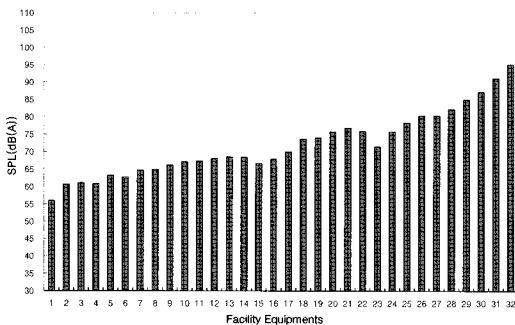


Fig. 6 PSIL of facility equipments.

기계실 내에서는 회화가 거의 불가능할 것으로 판단된다.

### 4.3 N곡선에 의한 평가

N곡선은 일본건축학회에서 급배수소음 및 공조 설비 소음 등 건축물에 부착된 설비기기류에서 발생하는 실내소음에 대한 평가방법으로 이용하고 있으며, 평가 방법은 대상이 되는 소음을 옥타브 분석한 뒤 그 결과를 N곡선에 Plot 하여 가장 큰 값의 곡선과 접하는 값을 읽어서 구한다. 32개 설비소음을 N곡선에 plotting하여 분석·평가하였으며, 설비기기의 N을 그래프로 나타내보면 다음 Fig. 7과 같다. 설비기기의 N값은 N-63~N-87으로 나타났으나, 29번(풀장순환펌프)~32번(비상발전기)까지는 음압레벨이 모두 N값을 상회하여 평

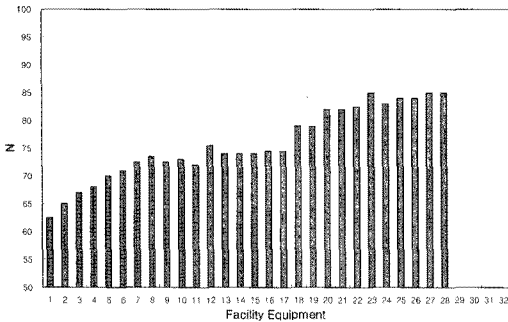


Fig. 7 N of facility equipments.

Table 5 N-decision frequency

Frequency (Hz)	Facility equipment No.	%
63 Hz	-	0%
125 Hz	-	0%
250 Hz	1, 15, 19, 24	13%
500 Hz	2, 3	6%
1000 Hz	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 27	50%
2000 Hz	12, 17, 21, 23, 28	15%
4000 Hz	26	3%
Impossible for Evaluation	29, 30, 31, 32	13%

가를 할 수 없었다. N을 결정하는 결정주파수를 살펴보면 다음 Table 5와 같다.

Table 5에서 보면 N을 결정하는 주파수는 1000 Hz, 2000 Hz, 250 Hz순으로 높게 나타났으며, 이 중 50%가 1000 Hz에서 결정된 것을 알 수 있다. 이로써 건축물에 부착된 설비기기에서 발생하는 건축설비소음의 경우 1000 Hz가 사람에게 가장 큰 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

#### 4.4 NC곡선에 의한 평가

NC곡선(Noise Criteria Curves)은 1957년에 Beranek이 제안한 소음평가 지수로 평가방법은 N 평가방법과 동일하다.<sup>(7)</sup> 32개 설비기기의 NC를 그래프로 나타내보면 Fig. 8과 같다. 설비기기의 NC의 경우 15번 관류보일러부터 32번 비상발전기까지는 값이 너무 커 평가를 할 수 없었다. NC를 결

정하는 결정주파수를 살펴보면 다음 Table 6과 같다. NC를 결정하는 주파수는 1000 Hz에서 13%로 가장 높게 나타났으나 대부분 NC 값을 상회하여 평가를 할 수 없었다.

#### 4.5 NR곡선(Noise Rating Curves)에 의한 평가

NR곡선(Noise Rating Curves)은 소음을 청력장애, 회화방해, 시끄러움의 3가지 관점에서 평가하여 1961년 ISO가 정한 소음평가 곡선으로 평가방법은 NC 평가방법과 동일하다.<sup>(7)</sup> 32개 설비기기의 NR을 그래프로 나타내면 다음 Fig. 9와 같다. NR은 NR-61~NR-99로 나타났다. NR을 결정하는 결정주파수를 살펴보면 다음 Table 7과 같다. 따라서 NR을 결정하는 주파수는 1000 Hz > 2000 Hz > 250 Hz 순으로 나타났으며, 1000 Hz는 약 38%로 가장 높게 나타난 것을 알 수 있다.

이러한 결과에 따라 N, NC, NR곡선에 의한 설비소음의 평가결과 직접 설비소음에 노출되었을 경우에는 1000 Hz대역의 소음에 많은 영향을 받을 수 있다. 따라서 향후 방음대책 수립 시 기계실 내부에 1000 Hz 대역을 흡수할 수 있는 다공질형 흡음재를 설치한다면 설비소음을 보다 효과적으로 제어 할 수 있을 것으로 사료된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 건축설비소음의 특성을 파악해 보았고, PSIL, N, NR, NC 등 소음의 평가방법으로 비교 분석해본 결과는 다음과 같다.

(1) 연구대상 설비소음은 승강기모터를 제외하고 정상소음의 특성을 보이고 있었으며, 주파수 특성은 저음역부분에서 불규칙한 패턴을 보이고 있으며, 고음역부분에서는 주파수가 높아질수록 일정하게 감소하는 패턴을 보였다.

(2) 측정된 설비소음은 65.1~103 dB(A)로 높은 음압레벨을 유지하고 있으며, 설비기간 변화폭도 크게 나타났다. 또한 소음이 인체에 미치는 영향을 비교·분석한 결과 32개의 설비기기 중 21개(66%)의 작업기계가 청력손실의 발생 시작을 일으키는 것으로 나타났으며, 난청을 유발할 수 있는 90 dB(A)이상의 소음레벨을 가진 설비기기는 4개(12%)로 나타나 기계실의 설비소음이 매우 큰 소음을 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 설비소음에 지속적으로 노출될 경우 작업자나 근무자로 하여금

많은 신체적 정신적 악영향을 미칠 것으로 사료된다.

(3) 설비소음을 PSIL로 평가해본 결과 PSIL이 가장 낮은 1번 공조기가 55.98 dB로 나타났다. 따라서 소음이 가장 낮은 1번의 경우 설비소음에 노출되었을 때 보통소리로 이야기 할 경우 0.75 m, 큰소리로 이야기 할 경우 1.5m 이상 멀어지면 정상적인 회화를 할 수 없게 됨을 알 수 있다. 이외의 기타 설비소음은 모두 그 이상을 상회하므로 설비 기기가 작동될 경우 기계실 내에서는 회화가 거의 불가능할 것으로 판단된다. 따라서 기계실에서 의사 소통이 가장 중요한 작업자간의 작업시 의사소통이 어려워 안전사고의 위험을 초래할 수 있을 것으로 사료된다.

(4) N, NC, NR곡선에 의한 설비소음의 평가해본 결과 직접 설비소음에 노출되었을 경우에는 1000 Hz대역의 소음에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 향후 방음대책 수립 시 기계실 내부에 1000 Hz 대역을 흡수할 수 있는 다공질형 흡음재를 설치한다면 설비소음을 보다 효과적으로 제어 할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구 결과 기계실에서 발생하는 설비소음의 높은 음압레벨로 인하여 기계실 내에서 정상적인 회화가 이루어지기 어려워 작업자간의 작업시 의사소통 문제로 인한 안전사고의 위험 및 난청 등의 문제점을 발생시킨다. 따라서 이러한 연구 결과를 바탕으로 기계실에서 발생하는 설비기기

의 음향특성을 정확하게 파악하여 향후 기계실의 흡음대책을 강구한다면 보다 효과적으로 설비소음을 제어 할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Kim, J. S., 2008, Noise and Vibration, 2nd ed., Sejinosa., Seoul, Korea, pp. 295-345.
2. Seol, S. H., 2005, A Study on the Characteristics of Propagation and Attenuation of Plumbing Noises Generated at the Machine Room of University Dormitory, MS thesis, University of Wonkwang, Iksan, Korea.
3. Park, J. H., 2005, A Study on the Prediction of Plumbing Noise in the Machine Room Using Acoustic Simulation, MS thesis, University of Wonkwang, Iksan, Korea.
4. Kook, J. H., 2009, A Study on the Evaluation and Characteristics of Architectural Facility Noise, MS thesis, University of Wonkwang, Iksan, Korea.
5. Leslie L. D., 1972, Environmental Acoustics, McGRAW-Hill Book Company.
6. Cyril M. H., 1979, Handbook of Noise Control, McGRAW-Hill Book Company.
7. Lewis H. B., 1982, Industrial Noise Control, Marcel Dekker, Inc.