

건축물의 기계실에서 발생하는 설비소음의 특성

건축물의 기계실에서 발생하는 각종 설비소음의 주파수 특성을 파악하고 이러한 소음이 인접실로 전달되었을 경우 설비소음의 변화특성을 파악하였다. 이러한 자료는 향후 설비소음의 저감대책수립을 위한 자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다

김재수

원광대학교 건축학부(soundpro@wku.ac.kr)

원시시대의 건물은 자연환경(눈, 비, 바람, 태양 등)이나 인간의 생명을 위협하는 동물들로부터 자신을 방어하려는 하나의 피신처(Shelter)의 개념이었으며, 건축설비라는 요소가 가미되었다고 보기에는 어렵다.

반면에 현대의 건물은 1980년대의 산업화, 도시화로 인하여 과밀화되고 이에 따른 지가의 상승으로 인해 급격히 고층화, 대형화 되었으며, 생활수준이 향상되고 실내에서 체류하는 시간이 늘어남에 따라 쾌적한 실내 환경조성 및 주거의 질에 대한 요구가 증가하였다.

또한 과학의 발달로 인해 인위적인 실내의 환경조절이 가능해진 Intelligent Building이 증가함에 따라 급수설비 급탕설비 배수 및 통기설비등과 같은 건축설비 부분의 관심이 고조되게 되었다.

하지만 설비기기의 다양화와 복잡한 시스템으로 인해, 설비기기에서 발생하는 소음이 점차 문제가 되었으며, 기계실에서 발생하는 소음은 공기음 및 고체음의 복합적인 형태로 창, 벽, 덕트등을 통해 실내로 침입하여, 거주자의 쾌적한 생활환경을 침해하는 경우가 많아서 강력한 민원의 대상이 되고 있다. 따라서, 기계실 설비소음의 저감대책이 절실히 필요한 실정이나 이에 대한 연구 및 자료가 부족하며, 이에 대한 대책을 어떻게 세워야 할지 모르고 있는 경우가 대부분이다.

이러한 관점에서 기계실에 있는 여러 가지 설비기기로부터 발생하는 소음을 대상으로 하여 그 특성을

살펴보았으며, 이러한 소음이 바닥이나 벽체를 통해 주거공간에 영향을 미치므로, 설비기기자체의 소음과 벽체 통과시 발생하는 투과손실을 적용한 설비소음을 비교·분석한 후, N, NR, NC 등으로 설비소음을 평가해보았다.

측정방법

설비기기로부터 발생하는 소음을 측정하기 위하여, 설비기기를 정상적으로 가동한 상태에서 KS B 6360(핑크의 음압레벨 측정방법)에 의거하여 음압레벨을 측정하였으며, 측정시 소음계의 위치는 지면으로부터 1.2 m의 높이에 삼각대로 고정하여 설치하였고, 기계실내에 설치되어 있는 설비기기로부터 1.5 m 떨어진 지점에서 30초간 측정하였다. 측정방법은 그림 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. 측정기기 구성 및 배열은 그림 1과 같다.

본 연구에서 분석에 사용된 주파수범위는 32 Hz ~8 kHz까지의 1/1옥타브밴드로 10초간 3회 측정된 평균값을 이용하여 분석하였으며, 동시에 전 대역 음압레벨도 dB(A)값으로 측정·분석하였다. 또한 소음의 평가는 실내소음의 평가법중 N, NR, NC곡선을 이용하였다.

측정대상 설비기기의 개요

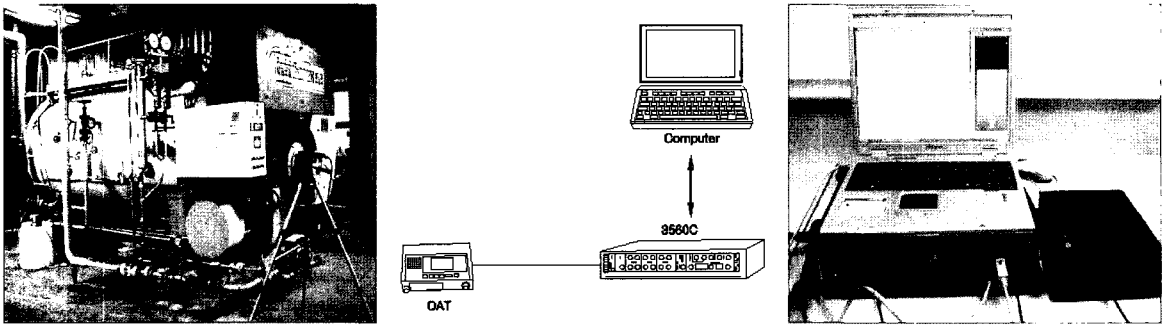
측정 대상 설비기기는 총 32가지이며 음압레벨 순으로 표기하였다. 또한 대표적인 설비기기의 모습과 각 설비기기의 제원은 그림 2, 표 1과 같다.

시간에 따른 소음레벨의 변동 및 시간응답

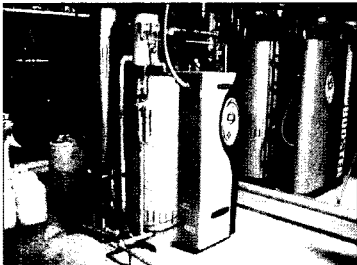
정상 운전시 측정된 설비기기의 시간에 따른 소음

레벨변동특성과 소음특성을 나타내는 시간응답곡선은 크게 두 가지 패턴으로 나타났는데, 그 모습은 그림 3과 같다.

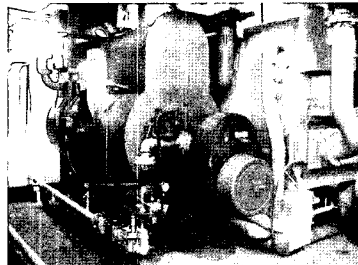
그림에서 시간에 따른 음압레벨의 변화를 살펴보면 일반적인 설비기기의 경우 1번 공조기와 같이 대체로 일정한 구간을 반복하는 정상소음의 특성을 나타내고 있다. 그러나 승강기 모터의 경우 일정한 패턴을 유지하는 다른 설비기기의 특성과는 다르게, 불규칙한 패턴인 변동소음으로 나타났다. 이는 승강기의 작



[그림 1] 측정기기 및 배열



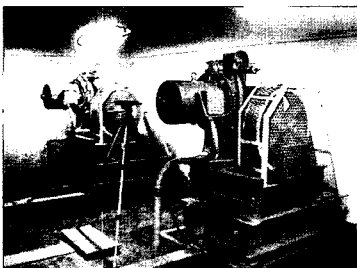
보일러



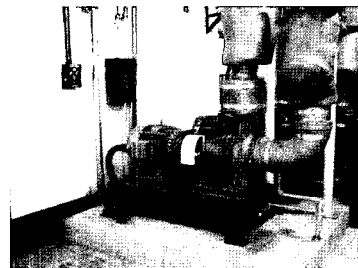
냉동기



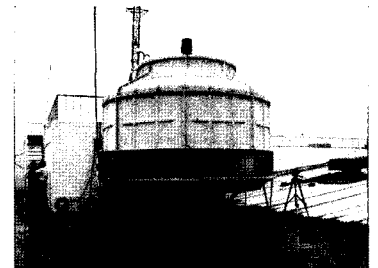
비상발전기



승강기모터



펌프



냉각탑

[그림 2] 대표적인 설비기기

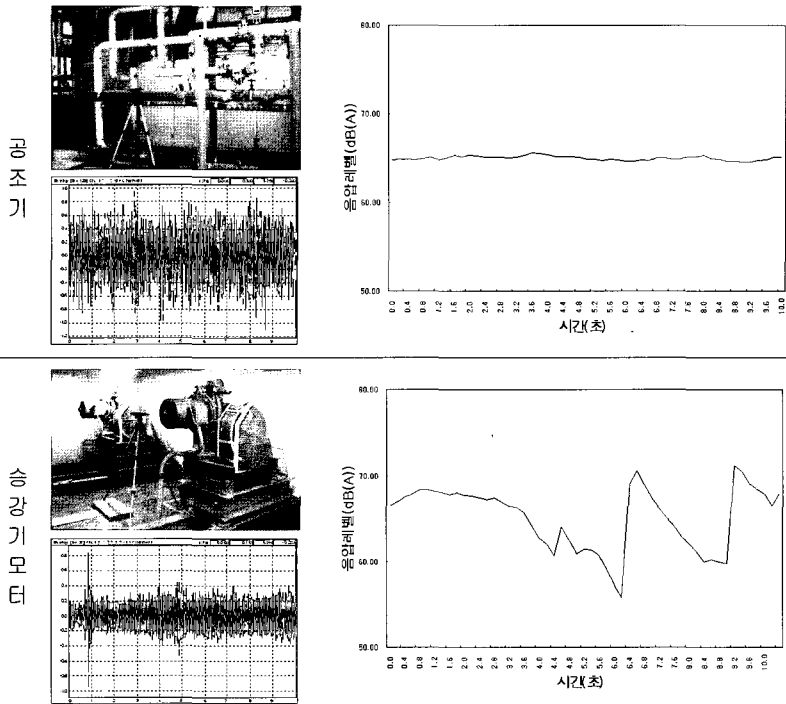


동버튼을 눌렀을 때, 승강기 모터가 작동했다가, 운행이 끝나면 작동을 멈추기 때문인 것으로 사료된다.

설비소음의 주파수 특성

32개 설비기기의 주파수별 음향특성을 분석해 보면 다음과 같으며, 음압레벨이 작은 것부터 큰 것까지 순서대로 분류를 하였다.

표 2에서 보면, 대부분 설비소음의 주파수특성은



[그림 3] 대표적 설비기기의 특성

<표 1> 측정대상 설비기기의 제원

번호	설비기기	제원	번호	설비기기	제원	번호	설비기기	제원
1	공조기	40 mmAq	12	배수펌프	11 kW	23	보일러급수펌프	13 kW
2	승강기모터	15 kW	13	냉온수기1	900 mmAq	24	냉온수기2	2000 mmAq
3	여과펌프1	18 kW	14	냉각탑	7.5 HP	25	냉동기2	30 kW
4	냉난방기	13 kW	15	관류보일러 0.5T	0.75 kW	26	냉각탑2	25 kW
5	냉수순환펌프	11 kW	16	관류보일러 1T	3.7 kW	27	온수보일러	1047 MW
6	냉각수펌프1	15 kW	17	급수펌프1	10 HP	28	외기조화기2	40,000 CMH
7	냉온수순환펌프1	18.5 kW	18	냉각수펌프2	37 kW	29	플장순환펌프	22 kW
8	난방순환펌프	11 kW	19	외기조화기1	3,000 CMH	30	플장전용펌프	22 kW
9	냉온수순환펌프2	22 kW	20	여과펌프2	15 kW	31	스팀발생기	15 HP
10	에어컨실외기	7.7 kW	21	급수펌프2	25 HP	32	비상발전기	160 kW
11	냉동기1	12.78 kw	22	히트펌프식보일러	33 kW			

음압레벨이 저 음역에서 불규칙한 패턴을 보이다가, 250 Hz에서 피크치를 기록하고 있으며, 고음역으로 갈수록 서서히 감쇠하는 패턴을 보이고 있다.

일상생활에서는 50 dB 이상을 소음이라 하고 60 dB이면 수면장애를 일으키고 식용이 감퇴된다. 70 dB 이상이면 집중력이 저하되고 소화불량을 일으키며, 80 dB 이상의 소음에 장기 노출될 경우 영구적인 난청이 된다. 측정된 설비소음은 65 dB(A)~103

dB(A)까지 매우 높은 음압레벨을 유지하고 있으며, 32번인 비상발전기는 103 dB(A)로 32개 설비소음중 가장 음압레벨이 큰 소음원인 것으로 나타났다. 따라서 이러한 설비소음이 얼마나 심각한지 알 수 있다.

설비소음의 평가

본 연구에서는 각종 설비기기를 측정하여 표 2와

<표 2> 설비기기의 주파수별 특성

설비 기기	주파수(Hz)									dB (A)	설비 기기	주파수(Hz)									dB (A)
	32	63	125	250	500	1k	2k	4K	8K			32	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	17	60.7	58.0	59.9	68.6	70.9	70.9	70.6	67.6	66.8	76.5
2	65.3	64.2	58.0	64.0	65.0	61.1	59.4	57.4	53.9	67.0	18	69.9	61.7	81.2	82.6	72.9	76.0	74.0	71.6	65.9	80.9
3	62.4	63.6	61.9	63.3	66.7	62.3	58.2	57.3	51.5	67.6	19	93.8	89.2	83.1	84.8	75.9	74.7	73.6	71.9	71.1	81.9
4	58.3	72.7	79.3	66.4	66.3	65.5	58.0	53.9	50.3	69.3	20	67.9	74.2	79.7	78.5	79.6	78.2	74.2	71.2	66.2	82.5
5	66.6	65.6	61.5	67.4	66.4	67.2	63.0	56.3	49.0	70.5	21	69.4	62.9	69.1	75.5	81.4	76.5	77.9	71.8	71.5	83.3
6	65.1	61.8	70.8	72.7	64.0	67.6	62.5	56.9	52.1	71.1	22	71.1	88.5	83.2	84.0	78.9	78.6	75.9	70.3	66.8	83.4
7	69.1	65.3	64.1	74.9	66.2	69.3	63.3	60.2	54.0	72.8	23	67.2	63.5	71.1	69.4	68.2	70.9	82.1	64.6	58.1	83.5
8	60.9	62.6	60.4	72.9	68.6	70.3	63.2	57.9	52.1	73.1	24	78.9	84.5	86.2	89.3	82.3	78.2	72.5	70.4	65.6	85.0
9	62.3	66.1	66.0	72.5	69.1	69.5	64.7	61.7	57.2	73.3	25	85.3	62.4	73.1	79.2	78.2	80.8	77.8	76.5	75.2	85.3
10	67.4	72.5	68.6	67.2	68.1	69.9	67.8	62.7	55.0	73.8	26	76.9	74.9	80.2	81.5	83.2	79.1	78.8	80.5	79.9	87.3
11	70.8	76.6	77.7	71.2	68.6	68.2	66.8	65.6	60.5	74.1	27	76.1	83.0	80.9	84.5	85.3	83.3	79.3	73.7	67.7	87.7
12	59.2	60.2	64.2	67.2	67.7	68.2	71.7	64.8	51.6	75.4	28	96.1	91.3	82.9	83.5	82.3	82.9	82.5	81.2	81.1	89.1
13	72.5	75.2	77.3	74.9	71.3	70.6	67.4	65.0	59.5	75.4	29	73.7	74.5	83.3	85.4	82.8	84.5	88.3	84.3	77.9	92.4
14	81.1	72.1	74.1	73.2	72.5	70.4	66.4	64.8	64.6	75.5	30	76.6	73.4	85.5	88.2	88.7	89.2	87.8	83.2	73.0	93.7
15	75.7	72.8	70.5	79.8	71.0	66.0	63.9	66.0	67.5	75.9	31	91.1	95.7	98.5	98.5	92.3	94.9	90.6	86.8	82.4	98.6
16	79.1	81.8	84.9	75.0	73.3	71.7	63.4	63.2	60.5	76.0	32	86.3	97.1	94.1	100	99.1	98.8	94.5	88.1	82.0	103.0

<표 3> 투과손실

종류	1/1 옥타브밴드(Hz)							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
경량콘크리트블록150T	22	28	36	40	45	50	56	61.3
콘크리트 PC판 100T(240K)	26	32	38	48	54	60	63	69
중량 콘크리트블록 150T+몰탈마감	28	33	37	45	53	56	60	65
벽돌 100T	28	30	36	37	37	37	43	45
콘크리트 150T	23.6	31.6	37	46	55	64.1	73.1	81.1
평균	25.5	30.92	36.8	43.2	48.8	53.42	59.02	64.28

∴ T=mm, K=밀도



같은 결과를 얻을 수 있었으나, 실제로 설비소음은 바닥이나 벽체를 통해 주거공간에 전달되어 영향을 미치므로, 벽이나 바닥 등의 투과손실을 적용하여 평가해야 한다. 따라서 기계실내에서 측정된 설비소음과 투과손실을 적용한 후 설비소음으로 나누어서 실내소음의 평가곡선인 N, NR, NC로 비교·분석해 보았다. 이를 위한 벽체 및 바닥의 투과손실 값은 기존의 연구결과¹⁾를 토대로 하였으며, 기계실벽체의 대표적인 5개 구조를 기준으로 이를 평균한 값을 투과손실 값으로 사용하였다(표 3).

분석 및 고찰

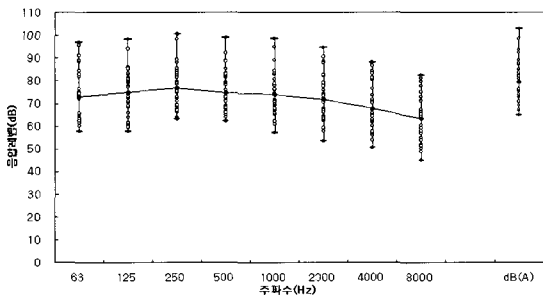
주파수별 특성과 dB(A)의 변화

설비기기의 주파수별 음압레벨과 투과손실을 적용한 음압레벨을 최대치와 최소치로 구분하여 분석하

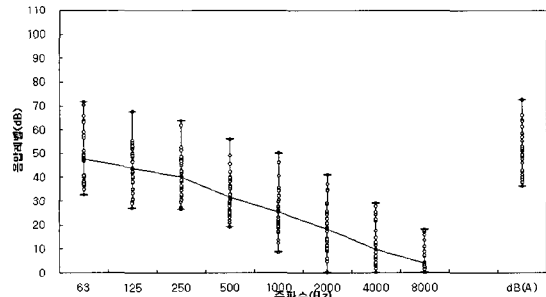
고, 설비소음과 투과손실 적용후 설비소음 음압레벨(dB(A))을 나타내보면 다음 그림 4와 같다.

그림에서 보면 설비소음의 주파수 특성은 비교적 평탄하며, 250 Hz가 약간 높게 나타나지만, 벽체나 바닥을 통과할 경우 250 Hz를 초과하는 고주파수에서 급격히 감소하는 패턴으로 변화되어 250 Hz 이하의 저·중음역 주파수가 인접실에서 거주하는 사람에게 많은 영향을 줄 것으로 판단된다.

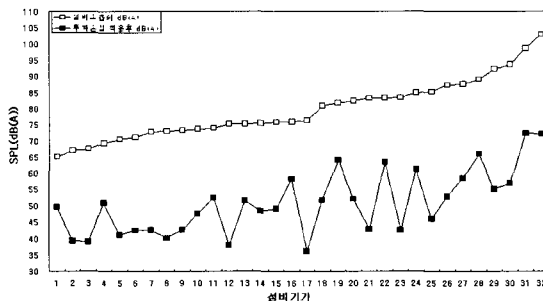
또한 그림 4 c)에서 보면, 음압레벨(dB(A)) 범위가 65~103 dB(A), 평균 79.69 dB(A)이었으며, 투과손실 적용후의 음압레벨(dB(A)) 범위는 36.1~72.46 dB(A), 평균 51.47 dB(A)이었다. 뿐만 아니라, 설비소음이 벽체나 바닥을 통과할 경우 dB(A)값이 불규칙한 감소 패턴을 보여, 설비기기에서 발생하는 소음과는 전혀 다른 특성과 패턴의 소음으로 변화됨을 알 수 있었다.



a) 기계실 내 설비기기의 주파수별 특성



b) 투과손실 적용후 설비기기의 주파수별 특성



c) dB(A)의 비교

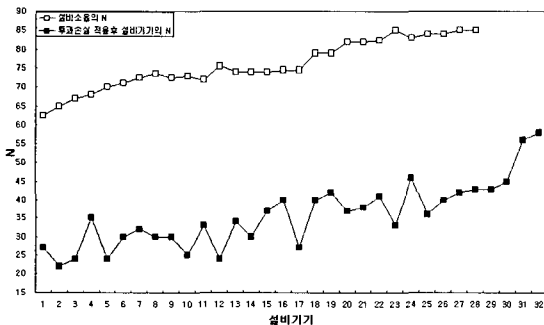
[그림 4] 투과손실 적용 전·후의 설비소음 특성비교

1) 김재수 : “건축음향설계(개정판)”, 세진사, 2004.

N곡선에 의한 평가

일본건축학회에서 발표된 N곡선을 이용하여 벽체의 투과손실을 적용한 음압레벨을 비교하여 나타내 보면 다음 그림 5와 같다.

그림에서 보면 투과손실을 적용치 않은 N은 N-63~N-87이며, 29번~32번은 음압레벨이 N을 모두 상회하여 평가를 할 수 없었다. 또한 투과손실을 고려한 N은 N-22~N-58로 나타났다. 표 4에서 보면 N을 결정하는 주파수는 투과손실을 고려하기 전에는 1000 Hz에서 약 50%이었으나, 투과손실 고려 후에는 250 Hz에서 50%로 가장 높게 나타났으며, 500 Hz 이하 저주파에서 N을 많이 결정하는 것으로 나타났다. 이는 건축물에 부속된 설비기기류에서 발생



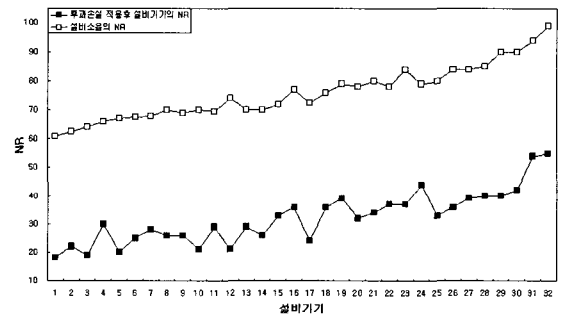
[그림 5] 설비기기의 N

하는 설비소음이 실내로 전달될 경우 500 Hz 이하의 주파수에서 사람에게 영향을 많이 끼치며, 250 Hz가 사람에게 가장 큰 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

NR곡선(Noise Rating Curves)에 의한 평가

NR곡선은 ISO에서 제안한 NRN을 이용하여, 실내 소음을 평가한다. NR곡선을 이용해 벽체의 투과손실이 적용된 음압레벨을 비교하여, 그래프로 나타내면 그림 6과 같다.

그림에서 보면 투과손실을 적용치 않은 NR은 NR-61~NR-99이며, 투과손실을 고려한 NR은 NR-18~NR-55로 나타났다. 표 5에서 보면 NR을 결정하는 주파수는 투과손실을 고려하기 전에는 1000 Hz에서 약 38%이었으나, 투과손실 고려 후에는 250



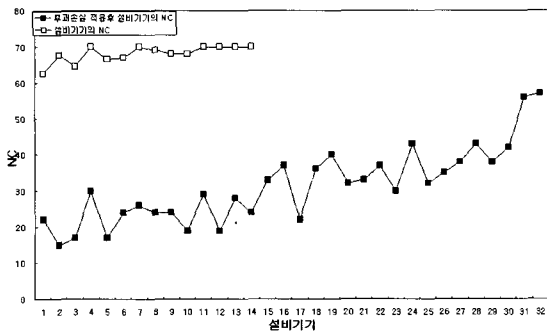
[그림 6] 설비기기의 NR

<표 4> N결정 주파수

주파수 (Hz)	설비기기의 N결정 주파수	투과손실 적용후 N결정 주파수
63Hz	-	23
125Hz	-	1,4,11,13,16
250Hz	1,15,19,24	5,6,7,8,9,14,15,18,19,22,24,25,28,29,31,32
500Hz	2,3	2,3,10,17,20,21,26,27,30
1000Hz	4,5,6,7,8,9,10,11,13,14,16,18,20,22,25,27	-
2000Hz	12,17,21,23,28	12
4000Hz	26	-
평가불가	29,30,31,32	-

<표 5> NR결정 주파수

주파수 (Hz)	설비기기의 NR결정 주파수	투과손실 적용후 NR결정 주파수
63Hz	-	1,28
125Hz	4,16	4,11,13,16
250Hz	1,7,15,19,24	5,6,7,8,9,14,15,18,19,22,24,25,27,29,30,31,32
500Hz	3,27	2,3,17,20,21,26
1000Hz	5,6,8,9,10,13,14,20,22,25,31,32	10
2000Hz	2,12,17,18,21,23,29,30	12,23
4000Hz	11,26,28	-



[그림 7] 설비기기의 NC

Hz에서 53%로 가장 높게 나타났다.

NC곡선에 의한 평가

NC는 옥타브밴드 음압레벨로 주어지는 실내의 소음을 평가하는 방법으로, 설비기기의 NC와 벽체의 투과손실을 적용한 설비기기의 NC를 비교하여 그래프로 나타내보면, 다음 그림 7과 같다.

그림에서 보면 투과손실을 적용치 않은 NC는 대부분의 경우 평가할 수 없었으며, 투과손실을 고려한 NC는 NC-15~NC-57로 나타났다. 표 6에서 보면 NC를 결정하는 주파수는 투과손실을 적용치 않은 경우 대부분 NC값을 상회하여, 평가를 할 수 없었으며, 투과손실을 적용한 경우 250 Hz에서 50%로 가장 높게 나타났다.

본 연구에서는 건축설비소음의 특성을 파악해 보았고, 이러한 소음이 사람들이 거주하는 인접실 및 직상층으로 전달되었을 때를 예측하여, 투과손실을 적용하여 보았다. 또한, N, NR, NC 등 실내소음의 평가방법으로 비교 분석해보았으며, 그 결과는 다음과 같다.

변동소음인 승강기 모터를 제외하고 대부분의 설비소음은 정상소음의 특성을 보이고 있으며, 주파수는 250 Hz에서 피크를 보이다가, 고음역대로 갈수록 서서히 감쇠하는 패턴을 보였다.

<표 6> NC결정 주파수

주파수(Hz)	설비기기의 NR결정 주파수		투과손실 적용후 NR결정 주파수	
63Hz	-	0%	19	3%
125Hz	1,4,11	9%	1,4,11,13,16,31	19%
250Hz	6,7,13	9%	5,6,7,8,9,10,14,15,18,22,24,25,27,29,30,32	50%
500Hz	2,3,14	9%	2,3,17,20,21,26	19%
1000Hz	5,8,9,10	13%	10	3%
2000Hz	12	3%	12,23	6%
4000Hz	-	0%	-	0%
평가불가	15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32	56%	-	

설비소음이 벽체나 바닥을 통과할 경우, dB(A)값이 불규칙한 감쇠패턴을 보여 설비기기자체의 소음과는 전혀 다른 특성을 갖는 것을 알 수 있었으며, 주파수특성도 투과손실 적용후 250 Hz 이상에서 급격히 감쇠하는 패턴을 보여, 250 Hz 이하의 저·중음역주파수에서 사람들에게 많은 영향을 줄 것으로 사료된다.

설비실에서 측정된 설비소음과 설비소음에 투과손실을 적용한 값을 N, NR, NC곡선에 의해 평가해본 결과 직접 설비소음에 노출되었을 경우에는 1000 Hz 대역의 소음에 많은 영향을 받지만, 벽체나 바닥을 통과한 설비소음에 노출될 경우에는 250 Hz대역에 많은 영향을 받음을 알 수 있다. 따라서 기계실 내부의 차음대책 수립을 위해서는 1000 Hz 대역을 흡수할 수 있는 다공질형 흡음재를 설치하는 것이 좋으며, 인접실로 전달되는 설비소음을 제어하기 위해서는 250 Hz 이하를 흡음할 수 있는 판상형 흡음재를 설치하는 것이 바람직할 것이다. 다공질형 흡음재와 판상형 흡음재를 병행해서 설치한다면 건축설비소음을 보다 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 사료된다. (㉠)