

건축설비의 소음 · 진동 평가기준 및 방진계획

건축물이 대형화, 초고층화 되면서 건축설비에서 발생하는 소음 · 진동에 대한 대책을 위하여 소음 · 진동에 의한 평가기준과 방진계획을 소개한다.

조 창 근

서일대학 건축과(cgcho35@seoil.ac.kr)

실내 소음의 평가기준

실내소음이란 일반적으로 창, 벽, 덕트 등을 통해 외부로부터 침입하는 소리와 실내의 활동에 의해 발생하는 소리를 의미하며, 비교적 광대역의 정상성 소음 전반을 주된 대상으로 하고 있다. 따라서 건축설비로부터 발생하는 소음에 대해 명확하게 제시된 평가기준은 없으며, 대체로 실내소음의 범주에서 다루어진다.

실내소음을 평가하는 기준으로서 구미에서는 NC 값과 국제표준화기구(ISO)에서 제안하고 있는 NR값을 사용하고 있다. 일본건축학회에서는 권장기준인 N곡선과 dB(A)에 의해 평가하고 있다. 미국난방냉동공조학회(ASHRAE)의 경우 공기조화설비의 소음평가를 위해 RC값을 이용하고 있다.

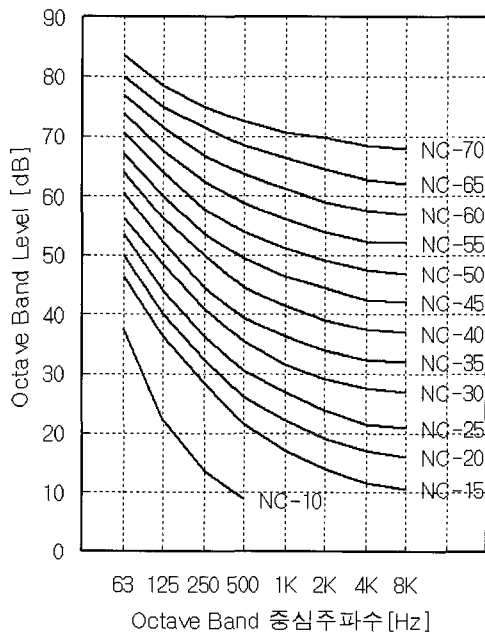
dB(A)(A보정 음압레벨, LA)

인간의 청감특성과 유사한 소음계의 A 청감보정 회로를 통해 측정된 레벨을 말한다. 시시각각 변동하는 소음레벨을 평가하는 기본척도이며, 실내소음 뿐 아니라 환경소음의 평가시 많이 이용되고 있다. 평가시 피크레벨 또는 평균레벨을 이용하며, 소음변동이 심한 실내의 경우는 L_{eq} 를 이용하는 경우가 많다.

NC(Noise Criteria)

NC는 옥타브밴드 음압레벨로 주어지는 실내의 소음을 평가하는 방법으로 건물의 용도별로 어느 정도

소음의 크기가 그 실의 기능에 지장을 주지 않는가에 대해 소음의 변동정도, 노출시간대 및 주파수별로 소음을 느끼는 정도, 즉 주파수별 청감을 고려하여 1957년 Beranek에 의해 제안되었다. 그림 1은 NC 기준곡선을 나타낸 것이다. 표 1은 각각 실 용도별 NC 권장치와 NC값에 의한 실내소음 평가기준을 나타낸 것으로서 NC값이 작을수록 조용한 환경을 의미한다.

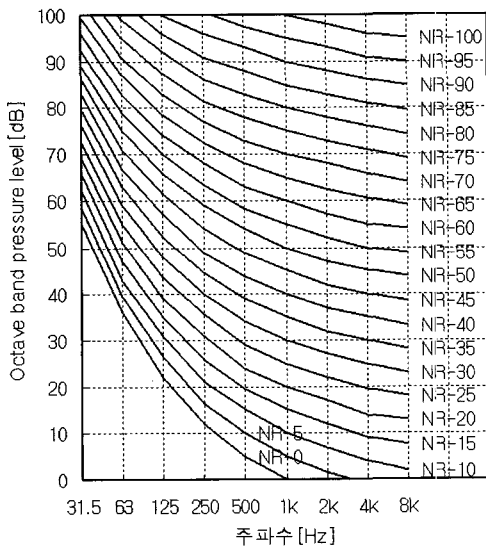


[그림 1] NC곡선

<표 1> 실 용도별 NC권장치

(Beranek)

실의 종류	NC값	dB(A)	실의 종류	NC값	dB(A)
방송 스튜디오	NC-15~20	25~30	가정(침실)	NC-30	40
콘서트홀(음악당)	NC-15~20	25~30	영화관	NC-30	40
극장(500석,확성장치없음)	NC-15~20	30~35	병원	30~30	40
음악실	NC-25	35	교회	NC-30	40
교실(확성장치 없음)	NC-25	35	도서관	NC-30	40
집합주택, 호텔	NC-25~30	35~40	상점	NC-35~40	45~50
회의장(확성장치 없음)	NC-25~30	35~40	식당	NC-45	55
재판소	NC-30		운동경기장(확성장치 있음)	NC-50	
TV 스튜디오	NC-25				



[그림 2] NR곡선

NR(Noise Rating)

ISO 기술위원회(TC 43)에서는 1957년부터 국제규격의 소음평가법 작성을 위해 심의를 시작하였다. 1959년 청력보호, 회화방해, 시끄러움의 3가지 관점에서 평가법을 입안, 심의하였는데, 이때 제안된 기본척도가 그림 2와 같은 NR곡선이다. NR곡선은 NC곡선을 기본으로 하고 다른 제안곡선들을 절충한 것으로서 기본적으로는 NC와 동일하다. 즉 소음을 옥타브분석한 밴드레벨을 보정하여 그 최대치로 판

<표 2> NR에 의한 각 실의 소음기준

NR	실의 용도
20~30	침실, 병실, 텔레비전 스튜디오, 거실, 극장, 교회, 영화관, 콘서트홀, 작은 사무실, 도서관, 강의실, 회의실
30~40	큰 사무실, 상점, 백화점, 조용한 레스토랑, 40 : 지적인 작업에 요구되는 평균적 한계
40~50	상당히 큰 레스토랑, 타이프가 있는 비서실, 체육관
50~60	상당히 큰 타이프실, 60 : 통상 사무실의 평균적 한계
60~70	작업장

정하는 접선법의 평가수법을 채택하고 있다.

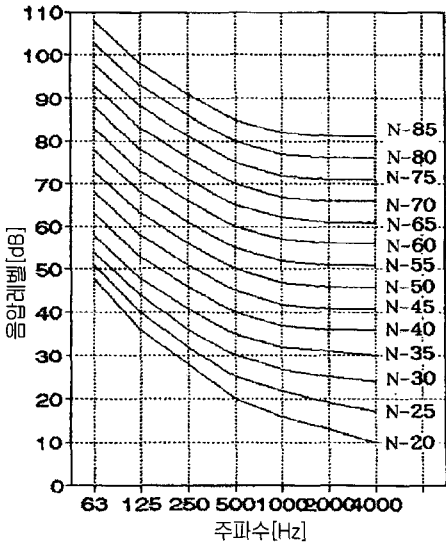
NR값은 특정공간의 허용소음레벨을 결정하는 기준으로 사용할 수 있으며, 실 용도에 따른 권장기준은 표 2와 같다. 실내의 소음대책을 세울 때에도 이 값을 적용할 수 있다.

N

일본건축학회에서 급배수소음 및 공조설비 소음 등 건축물에 부착된 설비기류에서 발생하는 실내 소음에 대한 평가방법으로 이용하고 있는 것으로서 소음크기의 감각량과 대응이 비교적 좋은 소음레벨 dB(A)에 의한 평가를 기본으로 하여 역 A특성을 소음등급의 기준곡선으로 나타낸 것이다. N곡선은 N-20에서 N-85까지 5단계이며 각 곡선의 500Hz의 음

<표 3> 실내소음에 관한 적용등급

건축물	실용도	소음등급			소음레벨[dB(A)]		
		특급	1급	2급	특급	1급	2급
공동주택	거실	aN-25	N-30	N-35	30	35	40
호텔	객실	N-30	N-35	N-40	35	40	45
사무소	일반 사무실	N-35	N-40	N-45	40	45	50
	회의·응접실	N-30	N-35	N-40	35	40	45
학교	보통 교실	N-30	N-35	N-40	35	40	45
병원	병실	N-30	N-35	N-40	35	40	45
단독주택	침실	N-25	N-30	N-35	30	35	40
콘서트홀, 오페라하우스		N-20	N-25	N-30	25	30	35
극장, 다목적홀		N-25	N-30	N-35	30	35	40
녹음스튜디오, 라디오스튜디오		N-20	N-25	N-30	25	30	35
TV스튜디오		N-25	N-30	N-35	30	35	40



[그림 3] N곡선

압레벨로 표시하는 방법을 취하고 있다. 이는 그림 3에서와 같이 NC값에 비해 더 엄격하게 소음레벨을 규정하고 있고, N값이 작을수록 조용한 환경임을 의미한다. 표 3은 건물의 용도별로 실내소음에 대한 적용등급을 나타낸 것이다.

건물내 진동의 평가기준

건축설비에 의한 건물의 진동평가에 있어 가진원

<표 4> 건물 용도별 진동기준 (ISO 2631-2)

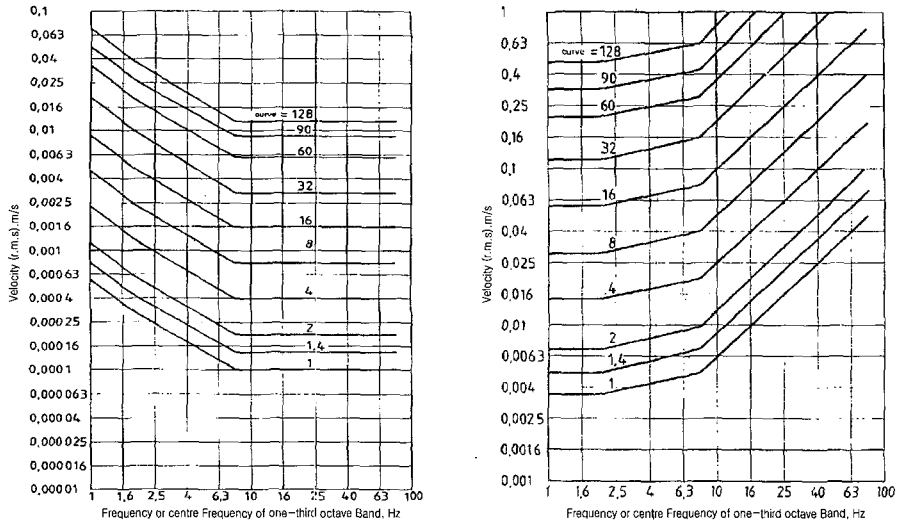
실의 용도	적용시간 (time of day)	평가곡선 ¹⁾
수술실 등 주요 작업이 이루어지는 장소 (critical working area)	24시간	1
주거공간 (residential)	낮 07:00-22:00	2-4
	밤 22:00-07:00	1.4
사무실 (office)	24시간	4
작업장 (workshop) ²⁾	24시간	8

주) 1) 진동은 지속적, 간헐적 진동(continuous or intermittent vibration)에 적용하며, 주기적인 충격에 의한 준정상진동(quasi-stationary vibration)도 포함함.
2) 낙하단조(drop forges) 및 파쇄기(crusher) 등과 같은 작업이 이루어지는 장소는 본 범주에서 제외함.

의 특성, 수진측까지의 전달특성 및 건물의 응답특성에 따라 피해정도가 다르며 이러한 요인들은 서로 연관되어 많은 변수를 초래하기 때문에 정확한 평가가 어려워진다. 현재 건물진동 피해에 대해서는 일반적으로 독일규격(DIN-4150, 1986 진동에 대한 구조물의 영향)이 널리 통용되고 있다. 이 기준은 건물의 기둥이나 보 등의 변형률에 기인하는 진동속도에 의해 건물구조별 해당 건물의 기초와 최상층의 주파수대역별 허용진동속도(mm/s)를 정의하여 정상진동(steady-state)과 충격(short-term)에 대해 평가한다.

ISO 및 ASHRAE

ISO 2631에서는 건물 용도별 허용진동기준을 표 4



[그림 4] 진동 평가곡선 (ISO)

<표 5> 실 용도별 진동허용기준

실 용도	시간구분	연속 또는 간헐적 진동 가속도 진폭 실효치(rms)	충격 진동가속도 진폭 실효치(rms)
병원수술실과 같은 중요한 실	주간	0.0036 (51dB)	0.005 (54dB)
	야간	0.0036 (51dB)	0.005 (54dB)
주거공간	주간	$\frac{0.0072}{\sqrt{t}}$ (57dB)	$\frac{0.1}{\sqrt{n}}$ (60dB)
	야간	0.005 (54dB)	0.01 (60dB)
사무공간	상시	$\frac{0.14}{\sqrt{t}}$ (63dB)	$\frac{0.2}{\sqrt{n}}$ (66dB)
공장, 작업장	상시	$\frac{0.28}{\sqrt{t}}$ (69dB)	$\frac{0.4}{\sqrt{n}}$ (72dB)

단, t= 진동의 계속시간(100초 이내), 100초 이상일 경우 t=100
 n= 1초 동안의 충격회수, 100회 이상일 경우 n=100
 주간(07:00-22:00), 야간(22:00-07:00)

와 같이 규정하고 있다. 측정대상 구조체 위에서 1 Hz ~ 80 Hz 사이의 20개 1/3옥타브밴드별 진동가속도 및 진동속도 진폭의 실효치를 측정하여 그림 4위에 플로팅(plotting)하여 측정치가 측정대상 장소별로 제안된 평가곡선 이하가 되는지의 여부를 판단한다.

미국난방냉동공조학회(ASHRAE)에서도 상기의 ISO기준을 근간으로 하여 진동속도 측정치로 평가하며 평가기준은 ISO와 대동소이하다. 표 5는 실 용도별 허용최대 진동치를 단일적으로 나타낸 것으로, 건물에서의 진동은 인체에 대한 허용기준을 근거로

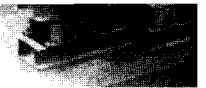
3개 방향의 진동에 대해 인체가 느끼는 민감도(sensitivity)를 가중하여 평가한 것이다¹⁾.

각각의 값은 1 Hz ~ 80 Hz 사이의 주파수범위에 대한 가중치를 m/s²의 단위로 표현하였다. 이 허용기준은 인체가 진동에 노출되었을 때에 적용함을 원칙으로 하며, 진동과 함께 소음(음향방사)이 동반될 경우에는 상승효과(synergistic effect)가 수반되어 불쾌감이 증가하기 때문에 적용하지 아니한다.

일본건축학회

일본건축학회에서는 1991년 “건축물의 진동에 관

1) C.M. Harris, 1979, Handbook of Noise Control, p.18-11.



한 거주성능 평가치침”에서 거주환경으로서의 성능을 유지하는 관점에서 건축물 바닥에 발생하는 연직(鉛直)진동을 평가하여 적용한다. 이는 ISO 기준을 근간으로 하고 있다. 거주성능 평가의 기준은 진동성상(振動性狀)의 차이에 따라 다음의 3종류로 이루어진다.

- 진동종류 1 (연속진동 및 간헐적으로 반복하여 발생하는 진동을 받는 바닥) : V-5 이하
- 진동종류 2 (충격진동을 받는 감쇠성이 낮은 바닥, 감쇠정수 $h=3\%$ 이하) : V-10 이하
- 진동종류 3 (충격진동을 받는 감쇠성이 높은 바닥, 감쇠정수 $h=3\sim6\%$ 정도) : V-30 이하

각 진동종류별로 적용하는 평가곡선은 그림 5와 같다. 또한 진동종류별 및 건축물의 용도별 성능평가기준은 표 6과 같다. 단, 등급은 단순히 거주성능상의 단계를 나타내지만, 일반적으로 기조(基調)를

이루는 것은 등급Ⅱ로 두고 있다. 등급Ⅰ은 거주성능상이 범위를 하회(下廻)하는 것이 바람직한 레벨, 등급Ⅲ는 마찬가지로 이 범위를 상회(上廻)하지 않도록 해야할 레벨이다.

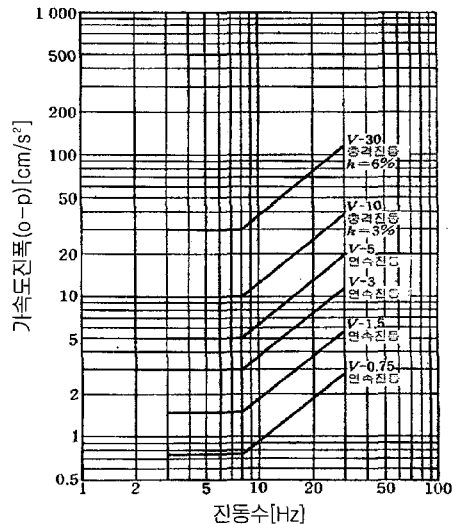
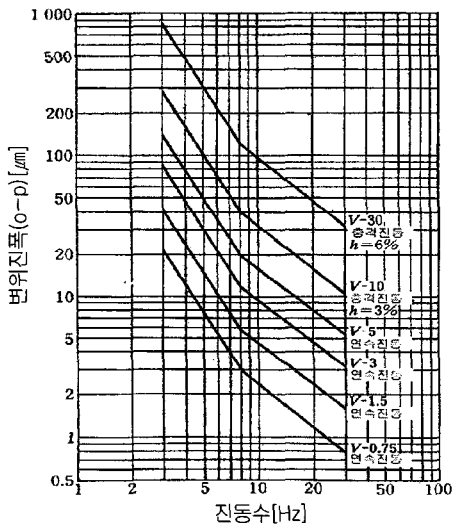
건축설비의 방진계획

건축물에 적용되는 각종 설비기기는 전기적·기계적, 유체적 에너지를 필요로 하며, 필연적으로 진동·소음을 발생한다. 따라서 설비계획시에는 우선 주요한 설비 기기의 발생진동·소음의 특성을 소정의 측정방법으로 파악하고, 저진동 타입의 기기를 선정하는 것이 중요하다. 또, 진동·소음원이 되는 설비 기기를 거주역으로부터 격리하는 배치계획이 가장 중요하며, 그림 6과 같이 인접하지 않도록 계획하는 것이 기본이다. 그러나 최근에는 에너지절약

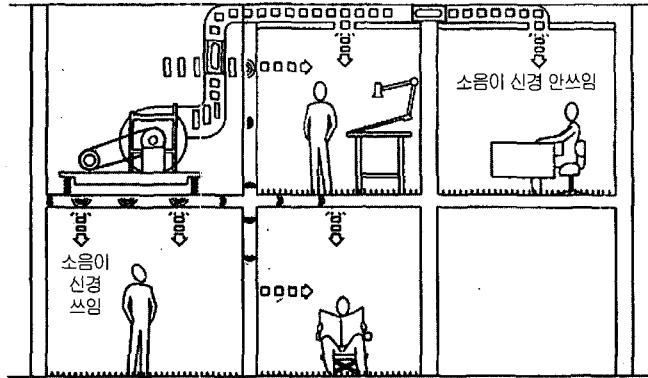
<표 6> 진동종류별 및 건축물의 용도별 성능평가 기준

(일본건축학회)

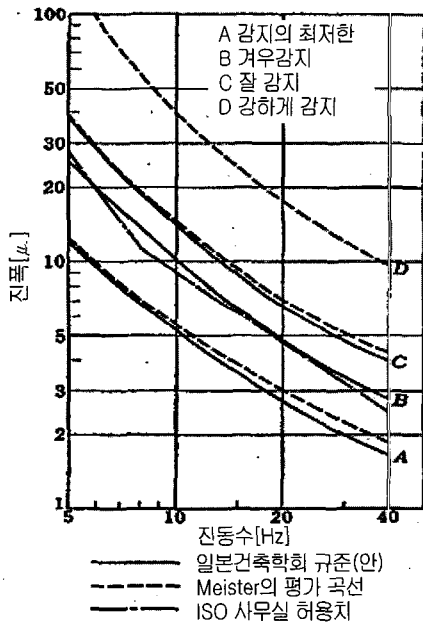
건축물 실 용도		진동종류 1			진동종류 2	진동종류 3
		등급 I	등급 II	등급 III	등급 III	등급 III
주 거	거실, 침실	V-0.75	V-1.5	V-3	V-5	V-10
사무소	회의, 응접실	V-1.5	V-3	V-5	V-10	V-30
	일반사무실	V-3	V-5	V-5 정도	V-10 정도	V-30 정도



[그림 5] 바닥진동에 관한 성능평가기준 (일본건축학회)



[그림 6] 기계실에 인접하여 거실을 설치하는 경우를 피한다.



[그림 7] 진동의 허용치

의 관점으로부터 기기의 분산배치화가 진행되면서 설비기기를 거주역에 인접시켜 설치하는 경우가 있다. 또, 공동주택 등의 엘리베이터설비 등에서도 이러한 경향을 볼 수 있다. 이 경우에는 거주역의 음·진동환경을 만족하도록 발생원 및 전달경로에서 방음·방진의 대책을 검토하지 않으면 안된다.

방진계획의 목표

건축설비에서 문제가 되는 진동장애는 진동이 건물 구조체를 전반하여 바닥을 진동시켜 인간의 진동감각에 불쾌감을 주는 경우, 인체에는 느껴지지 않으나 가구·기물 등의 흔들림이 시각적으로 불쾌감을 주는 경우, 벽·천정·가구 등에 전달된 진동이 소음으로서 실내로 방사되는 경우이다. 전자의 경우는 경량 바닥에서 인간의 보행이 진동원으로서 작용할 때에 문제가 되는 현상이지만, 기기가 진동원이 되는 경우에도 기계실 근처에서 공진성의 장애가 발생하는 경우가 있다. 그림 7은 ISO²⁾, 일본건축학회 등에서 제안한 기준치를 진폭으로 표시하여 비교한 것이다. 방진의 목적은 후자 즉 2차소음의 발생을 방지하기 위하여 기기의 가진력을 저감하든가, 건물로의 전반을 저지하기 위한 것이 많다.

방진계획

• 진동원의 배치

건물 내의 주요한 진동원은 배관을 포함하여 대체로 기계실 내 및 급배수계통, 덕트계통 등의 간선에 집중되어 있는 경우가 많다. 기계실 또는 그에 준하는 실은 초고층 건물의 경우 거실층에 가까운 중간층에 설치되는 경우가 있으나³⁾, 그 외에는 지층 및 옥상에 설치되는 경우가 많다. 일반적인 목표로서 가진에너지가 큰 기기, 배관은 방진의 필요유무에 관계없이 구조체 중에서도 질량이 크고 강성이 높

2) ISO/TC 108/SC 4/WG 2(Split) 20, 1973-5.

3) 長友宗重: 超高層建築における防音・防振, 空氣調和・衛生工學, 48-6, 52~60.

고, 구체적으로는 기동·큰 보·보강된 작은 보·두께를 증가시킨 바닥 등, 단면이 큰 부위에 적절한 방법으로 지지할 수 있도록 위치를 선정한다.

· 방진대책

방진은 넓은 영역에 걸쳐 있으나, 진동원의 종류·가진력의 특성·장해의 비율의 평가 등에 기초하여 표 7과 같이 대책을 분류할 수 있다.

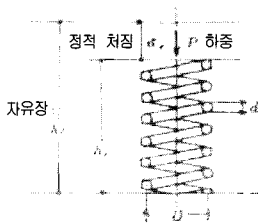
방진재료

일반적으로 쓰이고 있는 방진재료에는 금속스프링, 방진고무, 공기스프링 등이 있다. 금속스프링에는 코일스프링, 원추스프링, 판스프링 등이 있으나, 그림 8과 같은 코일스프링이 쓰이는 경우가 많다. 코일스프링은 스프링정수가 적은 것까지 만들 수 있고 강도가 세고 사용온도 범위가 넓은 점 등, 뛰어난 성질을 지니고 있다. 그러나 소음절연성이 나쁘고 감쇠비가 적어 공진시에 진폭이 커지는 등의 결점도 있다. 이것을 보완하기 위하여 방진고무를 함께 쓰면 좋다. 그림 9, 10, 사진-1과 같이 코일스프링과 고무를 병용한 방진재가 시판되고 있다.

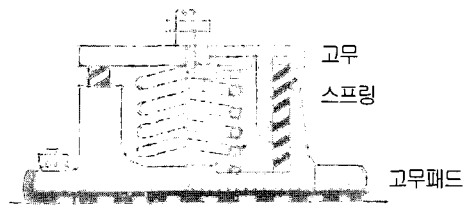
<표 7> 방진대책

가진력의특성	진동원	방진계획	방진지방법
진동수 일정 고진동수	원심냉동기, 고압펌프, 고압송풍기 변압기 등	1) $f_n < f/\sqrt{2}$ 2) 경미한 것은 공진을 피하여 절연	1) 방진고무, 필요시 커먼베드 2) 방진고무패드, 유리면, 양면, 탄화코르크 부설
진동수 일정 저진동수	송풍기, 펌프, 소형 냉동기, 냉각탑, 왕복동 기기 등	1) $f_n < f/\sqrt{2}$ 2) $\sqrt{2}f < f_n < \text{가청주파수}$ 3) 경미한 것은 공진을 피하여 절연	1) 충분한 질량과 강성의 커먼베드, 방진고무, 공기스프링, 스프링(찌징방지), 필요시 경사지지 2) 방진고무 3) 방진고무패드, 유리면, 양면, 탄화코르크 부설
랜덤진동 연속 충격	엘리베이터, 곤돌라 대차, 덩크, 급배수관	절연이음, 위치, 종류 $f_n < \text{가청주파수}$ 배관의 공진진동수 체크 지지구간과 신축체크 수격계산	방진, 처짐이음·방진고무 지지, 배관은 내진을 경한다. 경미한 것은 유리면, 양면 등을 이용하여 밴드처리

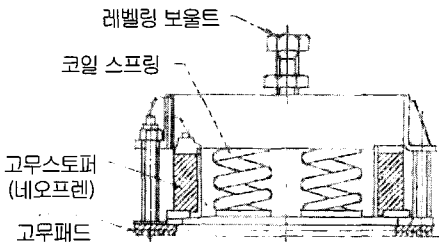
주) f_n : 방진지지 계통의 고유진동수, f : 가진진동수, 가청주파수 : 20~40Hz로 선정



[그림 8] 코일스프링



[그림 9] 코일스프링 방진재



[그림 10] 코일스프링 방진재(S사)



[사진-1] 방진스프링 마운트

방진고무는 금속스프링만큼 적은 스프링정수를 갖는 것은 만들 수 없지만, 일반적으로 고유진동수 5~10 Hz 정도 이상의 것에 쓰인다. 또 소음절연성이 좋고 공진시에 적당한 감쇠가 얻어지므로 진폭이 커지지 않는다는 등의 뛰어난 특성을 갖고 있다. 사진-2는 방진고무를 이용한 방진마운트의 예를 보여준 것이다.

공기스프링은 그림 11처럼 밀폐된 공기의 탄성을 이용하는 것이며, 적은 스프링정수의 것을 만들 수 있고, 하중변화에 따라 고유진동수가 그다지 변화하지 않고, 교축장치와 보조공기실을 써서 적당한 감쇠가 얻어진다는 등의 특징이 있어 하중변화가 큰 차량용 등에 쓰이고 있다.

기기의 방진법

• 냉동기

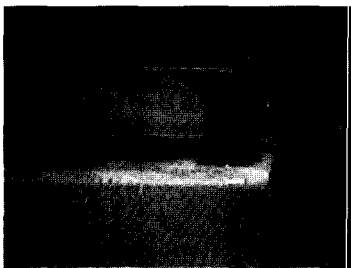
원심냉동기는 일반적으로 용량이 크고, 가진력도 크므로 전달비가 적은 방진기초가 필요하다. 그러나 회전수가 크므로 방진은 비교적 용이하고 일반적인

로 방진고무가 쓰이고 있으나, 빌딩의 최상층이나 중간층에 설치되는 경우에는 전달비를 더욱 적게 하기 위해 금속스프링(코일스프링)을 쓰는 경우도 많다. 이 경우에는 소음절연을 위해 방진고무가 병용된다.

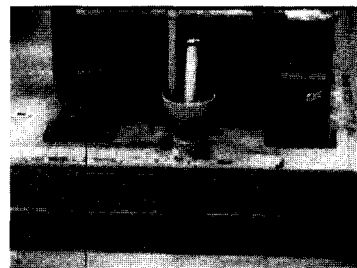
왕복냉동기는 용량에 비해 가진력이 크고 진동수도 적은 것이 많으므로 충분한 방진을 요한다. 방진에는 금속스프링 또는 방진고무가 쓰인다. 대용량의 경우에는 가대에 부가중량을 가하면 좋다.

• 펌프

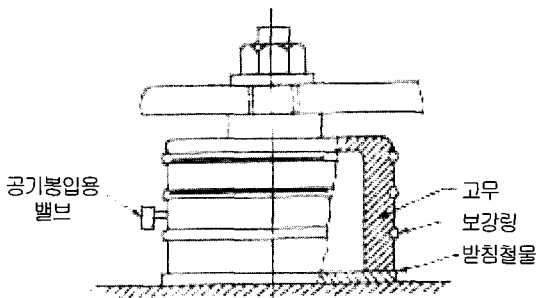
지하실 등의 견고한 바닥에 설치하는 펌프는, 소형의 것은 방진을 요하지 않는 것도 있지만, 대형의 것이나 경구조의 바닥에 설치하는 것에는 방진이 필요하다. 방진재에는 금속스프링이나 방진고무가 쓰인다. 또 펌프와 배관과의 접속에는 펌프에서 배관에 전달되는 진동을 감소시키기 위해 플렉시블조인트가 쓰인다. 이때는 특히 펌프의 진폭이 과대해지지 않도록 가대에 부가중량을 가해 진폭을 감소시키는 것이 바람직하다. 부가중량에는 기계중량과 같은 정도의 것이 보통 쓰인다. 사진-3과 그림 12은 이러한 방



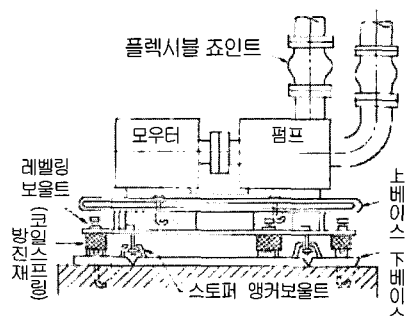
[사진-2] 네오프렌 방진마운트



[사진-3] 펌프 방진스프링



[그림 11] 공기스프링(S사)



[그림 12] 펌프용 방진기초(S사)

진기초의 예이고, 내진용 스토퍼도 쓰이고 있다.

• 송풍기

소형의 저회전의 송풍기는 가진력도 적어 고무패드 등으로 소음절연을 하기만 하면 된다. 대형 송풍기에서는 방진고무 또는 금속스프링 등이 쓰인다.

특히 회전수가 적은 것은 필요한 고유진동수가 적어지므로 주의를 요한다. 또 벨트구동의 송풍기에서는 그림 13과 사진-4처럼 송풍기와 전동기를 공동가대에 놓고 그 밑에 방진재를 써야 한다. 또 송풍기의 진동이 덕트에 전해지면 소음이 발생하므로 접속부에는 캔버스 커넥션이 쓰인다. 냉각탑의 진동원은 송풍기인데, 경량구조의 옥상에 설치되는 경우에는 아래층에서의 소음발생을 막기 위해 방진이 필요할 때가 있다. 냉각탑의 송풍기는 일반적으로 회전수가 적으므로 방진기초에 금속스프링 등이 쓰인다.

• 냉각탑

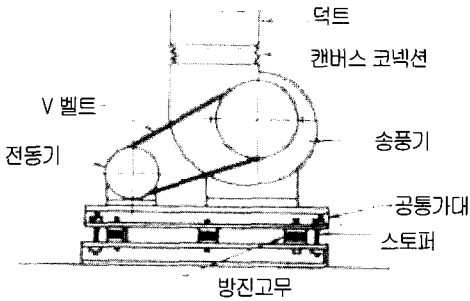
배관의 진동에는 펌프의 진동이 접속배관에 직접 전

달되는 것과 관내의 유체를 통해 전달되는 것이 있다.

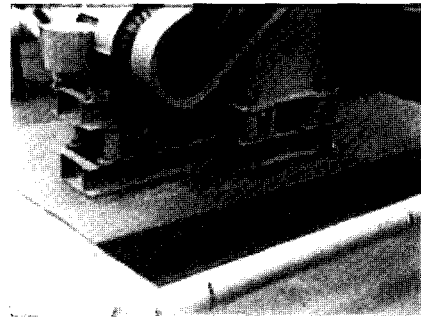
• 배관

펌프에서 직접 전달되는 진동을 방지하는 데는 플렉시블 조인트가 쓰인다. 그 이음쇠의 재료로는 고무, 금속, 테프론 등이 쓰인다. 형상도 호스형, 벨로즈형, 구형 등이 있다. 또 소구경 배관에서는 관자체의 휨강성이 적으므로 배관에 의한 진동감쇠 효과도 있다.

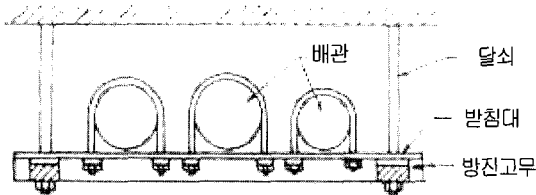
관내 유체에 전달되는 진동은 펌프 임펠러의 맥동에 의한 것이 크다. 그 진동수는 (날개매수 회전수)이다. 이 진동은 유체중에 전해져 배관의 멀리까지 가며, 배관에서 달쇠나 지지철물을 통해 건물에 전달되어 2차적으로 소음이 발생한다. 이의 방지에는 배관을 지지하는 건물부분 및 이에 접촉하는 벽이나 천장패널 등의 강성을 크게 하고, 대구경 배관이나 특히 허용소음이 적은 건물에서는 배관의 달쇠나 지지철물에 방진재를 쓸 필요가 있다. 방진재에는 방진고무 등이 쓰인다. 그림 14는 배관방진의 예를,



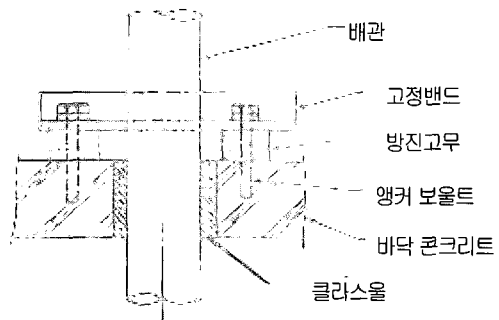
[그림 13] 송풍기 방진기초



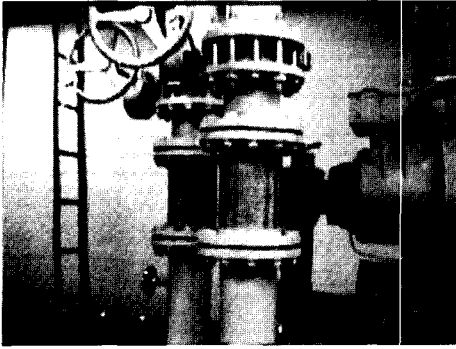
[사진-4] 송풍기의 스프링방진 콘크리트 베드



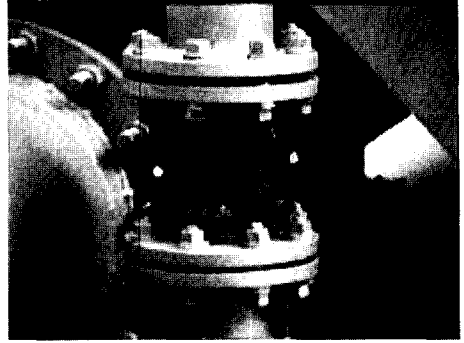
[그림 14] 배관의 방진예



[그림 15] 배관의 방진예(입상관지시)



[사진-5] 배관용 플렉시블커넥터(metal)



[사진-6] 배관용 플렉시블커넥터(rubber)

그림 15는 바닥관통 배관지지부의 방진예를 나타낸 것이다. 사진-5와 사진-6은 배관의 연결시에

고무 및 금속성의 플렉시블 커넥터를 이용한 방진이음의 예를 나타낸 것이다. ㉔