한국소음진동공학회지 제 4 권 제 1 호, pp. 12~22, 1994.

반도체공장 진동원인 및 방진대책

박 상 규
(유니슨산업(주) 유니슨기술연구소 소장)

1. 머 리 말

최근 반도체산업의 세계적인 호황에 따라 국내에서도 많은 설비투자가 이루어지고 있다. 그러나 거의 대부분의 경우 공장설계와 주생산설비는 일본과 미국등 선진국가에 의존하고 있을 뿐만 아니라, 정밀가공에 큰 영향을 미치는 미진동제어 기술도 이들의 엔지니어링 기술에 의존하고 있다. 특히 반도체 칩의 고집적화, 고정밀화로 인하여 미진동제어기술은 반도체 생산수율 향상의 중요한 인자로 되고 있다. 그 예로 양산 단계에 있는 4M DRAM 반도체 memory는 0.7~0.8 μm이 선폭이 요구되며, 시작단계에 있는 16M DRAM은 선폭 0.5~0.6 μm, 그리고 연구개발중인 64M DRAM의 경우에는 선폭 0.3~0.4 μm의 정밀도가 요구된다. 또한 전자빔 추사장치 등과 같은 반도체용 정밀기기에는 최소 0.1 μm order의 정밀도가 요구되고 있으며, 금후에는 더욱 더 높은 정밀도가 필요하게 될 것이다. 이러한 고정밀도에 비례하여 진동변위가 sub-micro수준인 진동환경이 주생산 설비가 설치되는 access floor에서 요구된다. 이러한 환경을 달성하기 위하여 건물구조설계 및 진동원이 되는 기계설비의 제진과 방진에 많은 노력과 비용을 투자하고 있지만, 선발 반도체생산국가에서조차도 미진동제어와 예측기술이 정량적으로 이루어지지 않고 주로 정성적인 분석에 의존하는 실정이다.

따라서 국내에서 반도체산업의 계속적인 발전과 경쟁력의 우위를 확보하기 위해서도 미진동제어와 예측기술을 독자적으로 확보할 필요가 있으며 이러한 목표를 달성하기 위한 방안을 수립하기 위하여 국내외 여러 문헌을 참고하여 미진동의 발생원인과 전파경로 및 진동허용기준을 살펴보고 이에 대한 미진동 저감방안 및 그 사례를 소개하고자 한다.

2. 반도체 공장의 진동요인

반도체 공장의 진동요인[1]을 진동원의 위치에 따라 분류하면 건물외부에 진동원이 있는 이른바 (1) 옥외진동원, 건물 내부에 진동원이 존해는 (2) 옥내진동원, 그리고 외부에서 들어오는 진동 중에서도 전적으로 자연의 힘에 의존하는 (3) 자연외력에 의한 진동원 등이 있다. 더우기 이제까지 그다지 문제가 되지 않았던 크린룸 내부의 기류등에 의한 (4) 풍압 또는 저주파 소음의 음압에 의한 진동등이 있다. 그림 1과 그림 2에 진동요인과 전파경로를 나타내었다. 외부진동

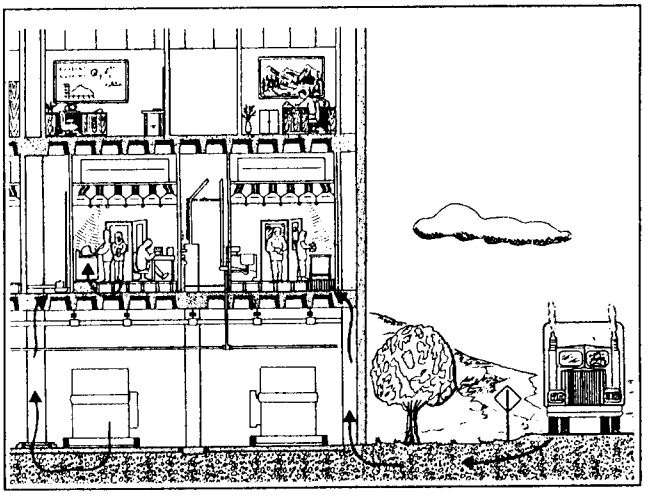

그림 1 미진동의 전파경로

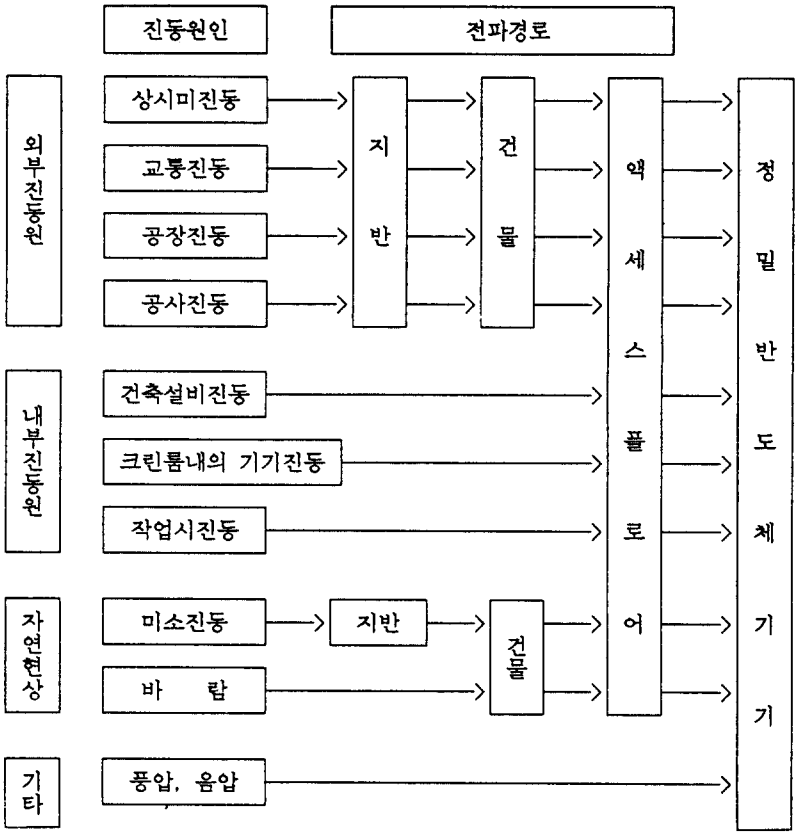

그림 2 미진동의 진동원인과 전파경로

원은 진동원-지반-건물-access floor-가대-기기, 내부진동원은 기기-가대-access floor-가대-기기, 혹은 보행자-access floor-가대-기기의 경로를 따라 진동이 전파된다.

2.1 옥외진동원

옥외진동원으로는 (1) 상시미진동 (2) 교통수단 (3) 공장작업 및 공사 등이 있다.

(1) 상시미진동

보통지반에서는 항상 수 μm 이하의 진동이 있는데 그 주기가 수초에서부터 수십초의 것은 맥동이라 하고, 1,2초보다 짧은 것은 상시미진동이라 한다. 상시미진동은 주로 먼 곳의 공장진동, 교통진동 등의 진동이 사방에서 전파되어 온 것이다. 상시미진동은 십 Hz 부근 이하에서 주된 진동성분이 존재한다. 그 때문에 감쇠되기 어렵고 또한 각각의 기기의 방진장치로써 제거하기 어렵다. 따라서 정밀공장의 건설시에는 사전에 충분히 조사하여 그 특성을 파악해 둘 필요가 있다.

일반적으로 매립지반이나 해안에 가까운 낮은 지역보다 구릉이나 산과 같은 높은 지역이 좋은 입지라고 할 수 있다. 지층의 형상에 따라 감쇠효과는 복잡한 경향을 나타내지만 보통 깊이가 깊어짐에 따라 이러한 진동은 감소한다.

(2) 교통진동

철도나 도로가 근접되어 있는 경우에 이들 진동영향을 고려해야 한다. 특히 도로교통진동은, 공장건설시와 건설후에 그 조건이 변하는 경우가 많으므로 입지점에서의 실

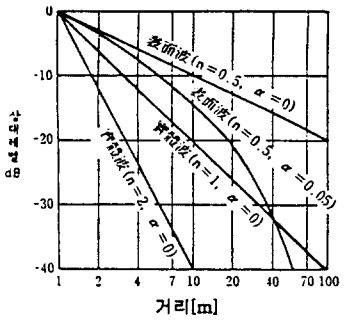

그림 3 거리에 따른 지반진동의 감쇠효과

측을 행하고 그 결과를 이용하여 장래의 조건에 대한 예측이 필요하다. 진동의 성상은 상시미진동의 특성과 반드시 일치하지는 않는다. 그림 3은 기계진동 및 교통진동이 거리에 따라 얼마나 감소하는가를 보여준다.

(3) 공장진동, 공사진동

이러한 진동은 주로 공장내의 콤프레서, 단조기, 파쇄기 등에 기인한다. 이러한 진동이 건물내에 전달되면 최종적으로 크린룸의 Free access floor에 전파되는데 일반건물과 같이 상층에 이를수록 진폭이 증가한다. 공장 및 공사로 인한 진동의 증폭효과는 수평방향 보다는 수직방향이 작으며, 특히 이중바닥의 경우 10 Hz 이하의 저주파 영역에서는 증폭효과가 거의 보이지 않는다.

2.2 옥내진동원

옥내진동원은 (1) 건축설비 (2) 크린룸내의 기기 (3) 옥내작업 등이다. 일반적으로 10 Hz 이상의 진동성분은 기기자체의 방진장치에서 어느정도 제거가 가능하지만, 배관덕트, 작업자의 보행등과 같이 저주파 진동성분도 있으므로 이들에 대해서는 충분한 고려가 필요하다.

(1) 건축설비 진동

엘리베이터의 경우, 기동 및 정

지시에 진동이 발생하며, 공조탕, 냉각탑 등과 크린룸 건물 사이 지반이 연결된 경우 진동이 전파되어 문제를 발생시킬 소지가 많다. 급·배기 팬의 진동수는 10 Hz 정도에서 크린룸의 access floor와 공진하는 경우는 적지만, 덕트 또는 크린룸 내의 마감벽 등의 국부 진동을 유발시키는 경우는 가끔 발생한다.

(2)크린룸내의 기기진동

펌프등의 진동원으로 인한 문제는 적지만, 설치장소와 방법에 따라 영향이 달라진다. 천정 팬에 대해서는 저주파 진동수에 의한 음압의 영향에 의해 기기에 공진형상을 발생시킬 가능성도 있다.

(3) 작업시 진동

작업자 보행시의 진동, 작업대차의 이동에 의한 진동등이 이에 속한다. 이러한 진동은 크린룸 내의 생산기계를 가진시키므로 영향이 크다. 또한 그 주파수가 2~3 Hz의 충격성 가진이 되어 기기의 제진장치에서 잡기 어렵기 때문에 충분한 대책이 필요하다.

2.3 자연현상에 의한 진동

이제까지 설명한 진동요인 외에 자연현상에 의한 외력으로서 바람, 지진 등이 있다. 특히 중소규모의 지진은 최근 주목되고 있는 것으로 그 대응책이 강구되고 있다. 또한 전항에서도 일부 설명한 바와 같이 진동 허용치가 꽤 엄격해짐에 따라 팬에 의한 풍압, 음압 등도 문제가 되고 있다.

3. 반도체 공장의 진동허용치

반도체 공장에는 여러 시설이 있으나 제일 중요한 부분은 크린룸 부분이다.

크린룸에서는 각종 진동의 영향을 받지 않아야 될 정밀기기가 있으며 그 예로서 mask aligner, 축소 투영 노광장치, 전자현미경, laser 장치, 표면조사계 등이 있다. 이러한 각종 정밀기기의 진동허용치는 기기의 사양으로서 명시되는 경우가 적으며 기종은 물론, 생산회사에 따라서도 각각이다. 또한 그 설치상태도 각각 다르다. 따라서 이러한 기기의 가장 엄격한 허용치를 access floor 바닥면의 기준으로 삼는 것이 일반적이다. 그러나 이러한 높은 기준에는 대책이 어려우며 또한 비용도 고가이므로 기기의 진동허용치를 충분히 파악하여 대응해 나가는 것이 중요하다. 일반적으로 반도체 공장 설비의 진동허용기준은 그림 4[2] 및 표 1[3], 표 2[4]와 같다.

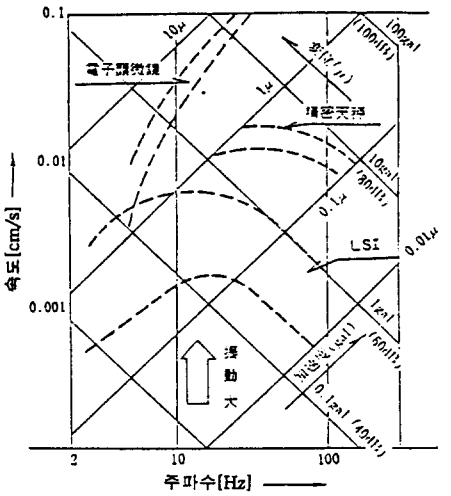

그림 4 정밀기기의 진동허용치

4. 방진대책

4.1 반도체공장 미진동 평가절차

반도체 공장의 진동제어는 신규건설의 경우 초기 설계단계에서부터 진동영향성 평가가 이루어져야 하며 기존 반도체 공장에 대해서는 전반적인 진동평가가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 진동의 측정, 분석, 예측, 평가 및 방진기술이 필요하다. 이러한 전반적인 진동 back data를 자체적으로 보유하므로써 생산반도체의 계획시설 투자가 가능하고, 진동문제로 기인되는 문제를 사전에 예방하므로써 설비의 이전, 증설시 공기단축, 경비절감 효과등을 얻을 수 있다. 반도체 공장의 진동제어를 위해 예측방법의 개발, 미진동의 측정기술, 초정밀 방진기술에 대한 전문적인 설명이 필요하지만, 여기서는 그림 5[5]에 나타난 반도체공장의 미진동 평가절차를 중심으로 간략하게 설명하고자 한다.

4.2 정밀 방진 대책

반도체공장의 정밀기기의 진동허용기준 및 미진동 평가 절차를 참고로 방진대책을 수행하기 위하여 옥외진동원 방진, 옥내진동원 방진 및 기계장비 방진으로 구분하였다.

가. 옥외진동원 대책

(1) 정밀반도체 공장의 부지설정

가능한한 진동이 작은 부지위에 정밀장비를 설치해야 하고, 이러한 장비가 설치될 위치의 주변에는 도로, 철도 등 교통진동 및 빈번한 건설공사나 대형장비의 작동이 없

표 1 정밀기기의 진동허용기준 및 진동특성

Descript. / ITEM	정도 및 분해능	진동장애특성	진동허용기준	비 고
TEM(투과형 현미경)	0.14 nm 분해능 격자상	•분해능의 저하 •상의 에치부의 불명확 및 교환 •장치의 유지, 보수비 증가	0.1~1 μm 0.2 gal 이하	음파에 기인하는 진동을 피하기 위해 음압이 70 dB 이하 환경 필요
SEM(주사형 현미경)	1~5 nm 분해능 2차 전자상			
3차원 측정기	수 nm~μm 범위까지	•측정 Data의 편차상승 •측정정도의 저하	•10 Hz 이하진동 : 2 μmp-p 이하 •10 Hz 이상진동 : 0.4 gal 이하	일본 3차원 측정기기 회사들의 단체인 CMMA 규정
반도체 전자 beam 노광장치(aligner 및 stepper)	•1M DRAM : 선폭 1.2 μm •4M DRAM : 선폭 sub-micro •Pattern 오차는 10 μm(4M 기준)	•선폭의 불확실 및 절단 •이미지의 불확실	•대체적으로 변 위 : 1~0.1 μm 가속도 : 1~0.1 gal	sub-micro 정도의 진동측정은 전문적인 측정인력 및 system이 필요
실리콘 단결정성상 System		•불완전한 단결정 형성 •Ingot에 crack 발생	일반적으로 미진동 허용수준은 변위 1~0.1μm, 가속도 1~0.1gal로 예상	
표면 조도 시험기	1'nm 이하	소형경량 접촉 Probe 진동에 민감 측정 정도		
광 Disc판 가공	수 nm 이하	•인접 Line 사이 정도 저하 •Disc 상하방향 Data 불확실	〃	
홀로그램 제작	수 nm 이하	상의 불선명		
초정밀 가공 부품 생산 System	•통상정밀가공 오차 ±500 nm •초정밀 최절격자의 형상오차 5~50 nm •비구면대형광학부품 CNC 가공 500 nm	•가공 정도의 저하 •최대 가공성능 발휘 불가	〃	

어야 한다. 일반적인 부지의 진동조사는 추후 새로운 정밀장치를 설치할 경우 평가 기초자료가 되며 부지에서 진동환경이 좋고 나쁨을 판단할 수 있는 back data로 이용할 수 있다. 또한 이러한 조사에는 지질의 진동전달 특성과 기후의 변화, 지질의 습기 포함정도, 온도특성, water table의 유무등을 고려할 필요가 있으며 국소적인 지질의 변화(암반의 변화등)와 건축시 사용될 기초, 하루동안 공장내부의 교통량도 조사에 포함되어야 한다.

(2) 도로교통 진동의 감소

도로교통 진동에서 가장 심각한 진동은 평탄치 않은 도로를 대형트럭이 고속으로 질주할 때 발생하며 예방을 위해 speed-bump와 pot hole, misaligned slab 및 expansion joint(교각)의 설치로 속도를 제한하는 동시에 진동을 차단할 수 있다. 그리고 철도진동의 경우 정밀장비 근처로 지나는 철로는 연속적으로 용접된 jointed rail로 대체

표 2 정밀 진동 허용치 분류

Class \ Descrip.	Facility equipment or use	Vibration criteria	
		4-8Hz RMS ACC.	8-80 Hz RMS Vel
일반적인 진동환경	일 반 작 업 장	4gal(변위16 μm)	800 μm/s
	사 무 실	2gal(변위 8 μm)	400 μm/s
	거주지 및 computer system	1gal(변위 4 μm)	200 μm/s
	100배 정도 현미명, 로보트 수술실, operaters room, 일반연구실 기타	0.5gal (변위 2 μm)	100 μm/s
정밀진동 Class : A	400배 정도 현미경, 측정실 optical or other balance optical comparators 전자장비, 생산설비 등 * 검사, probe test, 생산지원설비 및 장치	0.25gal (변위 1 μm)	50 μm/s
정밀진동 Class : B	400배 이상 현미경, 정밀, 안과, 신경계 수술실, 방진설비를 갖춘 광학장비, 반도체 생산설비 등 * Aligner stepper 등 3 μm 이상 선폭 노광장치	0.25gal (변위 0.5 μm)	25 μm/s
정밀진동 Class : C	30000배까지 전자현미경 magnetic resonance imagers, 반도체 생산설비 * Aligner stepper 등 1 μm 선폭 노광장치 : 1M DRAM 정도	0.06gal (변위 0.25 μm)	12 μm/s
정밀진동 Class : D	30000배까지 전자현미경 mass spectrometer 세포이식 장치, 반도체 생산설비 * Aligner stepper 등 1/2 μm 선폭 노광장치 : 4M DRAM 정도	0.03gal (변위 0.12 μm)	6 μm/s
정밀진동 Class : E	unisolated laser and optical research system * Aligner stepper 등 1/4 μm 선폭 노광장치 : 64M DRAM 정도	0.015gal (변위 0.06 μm)	3 μm/s

하고 방진된 rail support나 두꺼운 ballast상에 rail을 설치한다. 경비절감의 차원에서 진동의 최소화를 위한 소극적인 방법중의 하나는 정밀장비 작동시간을 도로교통 진동이 작고 설치공사가 중지된 야간에 계획하고 특히 철도진동은 진동 monitoring system을 구성하여 열차 통과시는 작업을 중단하는 것 등이 있다.

(3) 진동의 전파

지반을 통한 진동의 전파를 제어하기 위한 효율적이고 실용적인 방법은 잘 알려지지 않고 있다. 지반에 전파되는 진동은 파장이 매우 길고 에너지가 크기 때문에 불연속 구조물을 지반에 설치하기 위해서는 trenches, sheet piling, slurry wall, grout injection 등의 크기가 수십미터 이상이 되어야 한다. 기본적으로 최소한 진동 파장의 1/4 이상의 구조물을 설치해야만이 유의할만한 감쇠를 얻을 수 있다. 두께 0.9 m 길이 9 m의 콘크리트 방진벽의 방진효과는 그림 6에, 크린룸 공장에 사용한 예는 그림 7에, 방진구를 이용하여 진동을 감소시킨 경우를 그림 8에 보였다. 그러나 방진벽, 방지구라 하더라도 아주 긴 파장에는 효과가 작다. 최근에는 이런 긴파장(지진)에도 효과가 있도록 적층고무를 이용한 건물 전체의 면진·방진법이 있다. (그림 9)

(4) 반도체공장 건물 기둥설계와 방진

지반진동 제어는 효과적인 건물 기초를 설치하고 진동에 민감한 설비는 진동으로부터 격리하는 수진

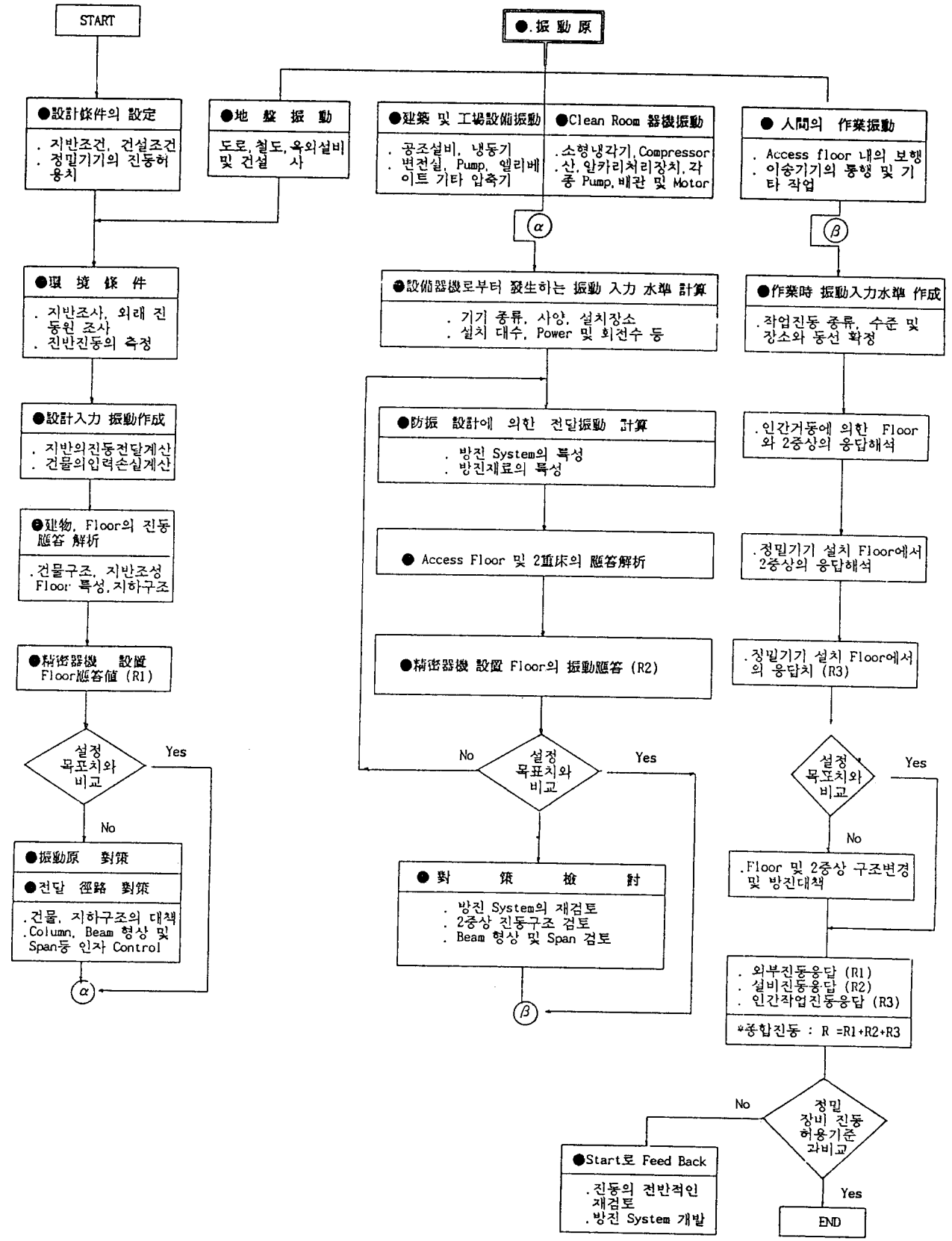
START
●設計條件의 設定
. 지반조건, 건설조건
. 정밀기기의 진동허용치
●地 盤 振 動
도로, 철도, 옥외설비 및 건설 사
●環 境 條 件
. 지반조사, 외래 진동원 조사
. 진반진동의 측정
●設計入力 振動作成
. 지반의진동전달계산
. 건물의입력손실계산
●建物, Floor의 진동 應答 解析
.건물구조, 지반조성 Floor 특성, 지하구조
●精密器機 設置 Floor應答値 (R1)
설정 목표치와 비교
Yes
No
●振動原 對策
●전달 經路 對策
.건물, 지하구조의 대책
.Column, Beam 형상 및 Span등 인자 Control
α
●.振 動 原
●建築 및 工場設備振動
. 공조설비, 냉동기
. 변전실, Pump, 엘리베이트 기타 압축기
●Clean Room 器機振動
.소형냉각기, Compressor
.산, 알카리처리장치, 각종 Pump, 배관 및 Motor
● 人間의 作業振動
. Access floor 내의 보행
. 이송기기의 통행 및 기타 작업
α
β
●設備器機로부터 發生하는 振動 入力 水準 計算
. 기기 종류, 사양, 설치장소
. 설치 대수, Power 및 회전수 등
●防振 設計에 의한 전달振動 計算
. 방진 System의 특성
. 방진재료의 특성
● Access Floor 및 2重床의 應答解析
●精密器機 設置 Floor의 振動應答 (R2)
No
설정 목표치와 비교
Yes
● 對 策 檢 討
. 방진 System의 재검토
. 2중상 진동구조 검토
. Beam 형상 및 Span 검토
β
●作業時 振動入力水準 作成
.작업진동 종류, 수준 및 장소와 동선 확정
.인간거동에 의한 Floor와 2중상의 응답해석
.정밀기기 설치 Floor에서 2중상의 응답해석
.정밀기기 설치 Floor에서의 응답치 (R3)
설정 목표치와 비교
Yes
No
.Floor 및 2중상 구조변경 및 방진대책
. 외부진동응답 (R1)
. 설비진동응답 (R2)
. 인간작업진동응답 (R3)
*종합진동 : R =R1+R2+R3
No
정밀 장비 진동 허용기준 과비교
Yes
●Start로 Feed Back
.진동의 전반적인 재검토
.방진 System 개발
END

그림 5 미진동 평가 절차

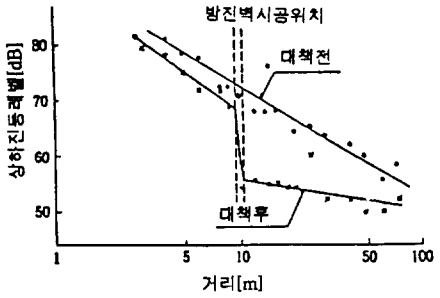

그림 6 콘크리트 지중벽의 방진효과 (두께 0.9 m, 길이 9 m)

점 방진이 유리할 수가 있다. 실례로 암반의 진동이 표면 soil에 비하여 진동이 적은 환경에서는 표면 Soil과의 연성을 피하기 위해 건물의 기초를 암반에 세울 수 있다(그림 10). 반대로 표면 soil이 암반보다 진동이 작은 환경조건에서는 mat foundation이나 spread footings 구조를 사용하며, 이러한 환경조건은 soil의 조건과 위치, 외부 진동원의 형태에 의존할 것이다. 어떤 일정한 진동주파수 범위내에서 진동을 감소시키기 위해서는 기초대의 크기를 조절한 tuned footing을 설계하여 사용할 수 있다. 이 경우 기초대(footing)와 토질(soil)을 스프링으로, 건물은 mass로 가정하여 해석한다. 이러한 spring-mass system의 고유진동수 이상되는 지반진동은 아주 작은 진폭만이 건물구조로 전달될 뿐이다.

Tuned footings 설계는 3차원 지반진동의 주파수 분포를 고려할 필요가 있으며 3차원 좌표의 각 방향에 따른 footings의 강성 차이에 따른 해석과 건물구조 상호관계도 생각해야 한다. footings 설계로 충분한 감쇠를 얻지 못하는 곳에서는 air-mount나 neoprene bridge-bearing pad 같은 방진소자(그림 11)를 기둥, beam에 설치하여 지반진동을 절연할 수 있다.

그림 12는 콘크리트 slab를 일본의 한 건물에 적용하여 성공적으로 지반진동을 흡수한 사례이다.[6] 콘크리트 slab는 absorber mass로 사용되었고 slab 아래의 soil의 특성에 따라 스프링의 강성이 결정되며 전형적인 spring-mass system이 된다.

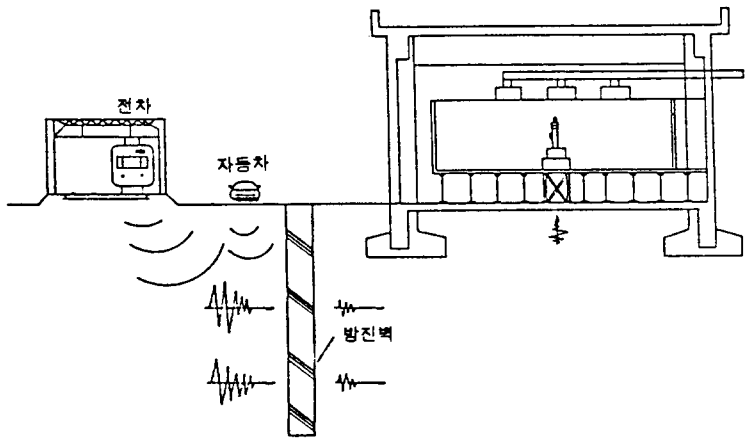

그림 7 방진벽의 사용예

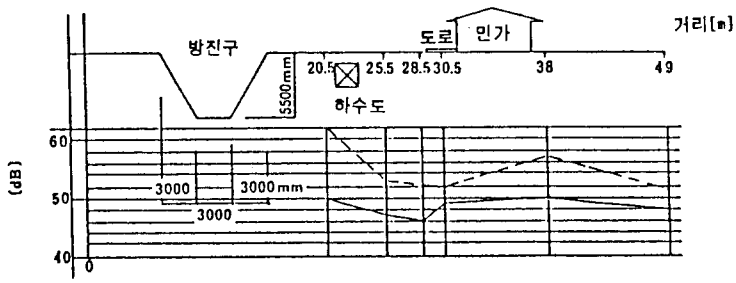

그림 8 방진구의 사용예

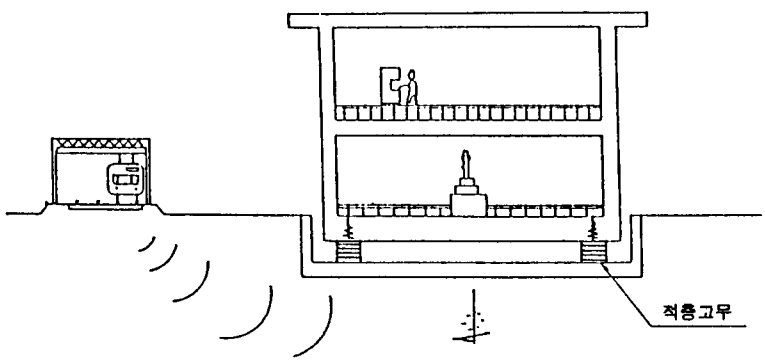

그림 9 적층고무 사용예

(5) 건물 및 바닥의 방진과 면진

건물과 바닥의 일부에 방진고무 등을 사용하고, 뜬 바닥 구조로 하면 외부의 진동전달을 방지할 수 있다. 방진고무 경우는 고유진동수를 2~3 Hz 정도까지 낮출 수 있으며 지진 발생시에는 건물과의 공진을 피하도록 고유진동수를 0.5 Hz 이하로 낮추는 것이 바람직하다.

건물기초와 건물 상부 바닥의 일부를 띄우는 구조 혹은 제진대 위에 기기를 탑재한 경우 그림 13과

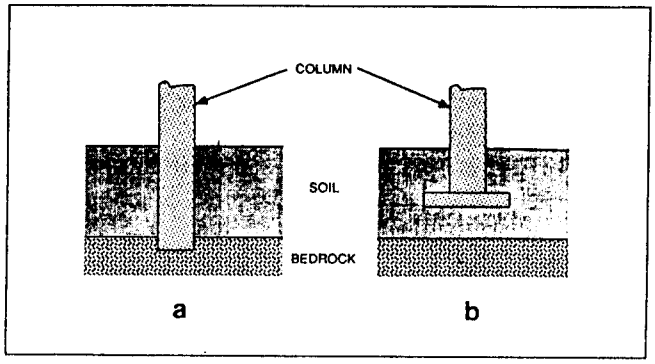

그림 10 건물의 지지방식(a : 암반지지 b : 지반에 의한 지지)

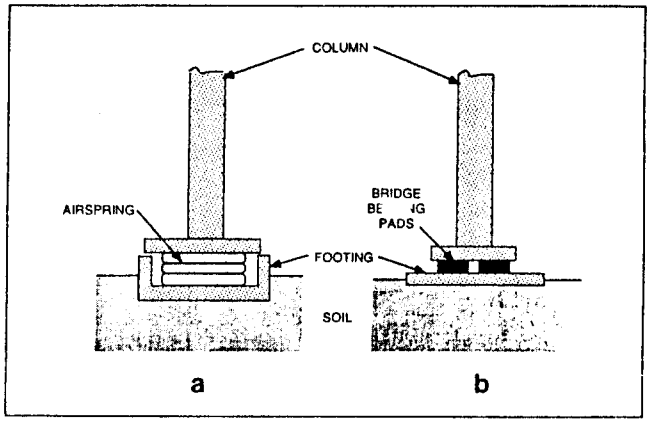

그림 11 탄성지지 기둥(a : 공기스프링, b : 교량받침)

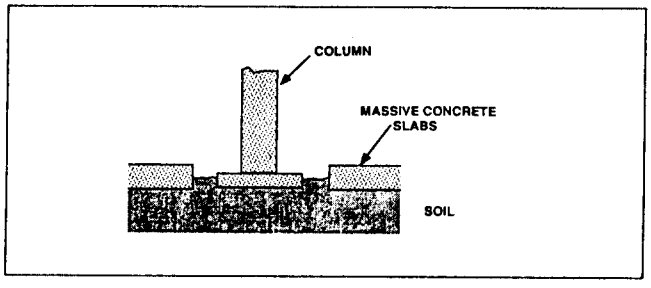

그림 12 Dynamic absorbers용 콘크리트 기초

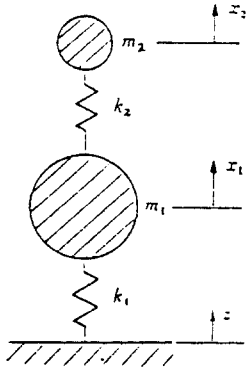

그림 13 2자유도 모델

같이 2자유도 모델로 가정할 수 있다. 감쇠효과를 무시하면 운동방정식은

$$m_1\ddot{x}_1+k_1(x_1-z)+k_2(x_1-x_2)=0 \quad (1)$$

$$m_2\ddot{x}_2+k_2(x_2-x_1)=P \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다.

여기서 사용된 기호는 아래와 같다.

x_1 : 건물기초 또는 제진대의 절대변위

x_2 : 건물 상부바닥 또는 기기의 절대변위

z : 지반 또는 건물 상부바닥의 절대변위

m_1 : 건물기초 또는 제진대의 질량

m_2 : 건물상부바닥 또는 기기의 질량

k_1 : 건물기초 또는 제진대의 탄성계수

k_2 : 건물 상부바닥 또는 기기의 탄성계수

P : 가진력

ω_1 : k_1/m_1

ω_2 : k_2/m_2

여기에 외력 P 및 바닥의 변위 z를 진동수 ω의 조화진동으로 가정하고 과도응답을 무시하면 계의 응답은 간단히 유도되며, x_1과 x_2 사이의 상대변위진폭 $|y|$는 식 (3)과 같이 된다.

$$|y|=\left[P_0(\omega_1^2-\omega^2)/m_2\right]/\left[(\omega_1^2+\omega_2^2m_2/m_1-m_1-\omega^2)(\omega_2^2-\omega^2)-\omega_2^4-m_2/m_1\right] \quad (3)$$

바닥으로부터 전달되는 진동만을 고려해보면 $P_0=0$일때이며, 진동전달율은 바닥에서의 진동변위 진폭 z_0와 상대변위 진폭 $|y|$의 비로써 정의된다. 일반적인 경우 $m_2/m_1\ll 1$이므로 진동전달율은

$$\frac{y}{z}=\frac{\omega_1^2\omega^2}{(\omega_1^2-\omega^2)(\omega_2^2-\omega^2)} \quad (4)$$

로 표현된다. 지진에 의한 가진주파수를 ω라 하고 식 (4)에서 $\omega_1/\omega\ll 1$, $\omega/\omega_2\ll$이면 진동전달율은

$$|y/z_0|=(\omega_1/\omega_2)^2 \quad (5)$$

즉, 옥외진동원으로부터 전달되는 진동을 줄이기 위해서는 건물 기초의 질량을 충분히 크게하여 ω_1/ω_2를 작게한다.

나. 옥내 진동원 대책

옥내진동원에는, 전항에 기록했듯이 기계, 사람의 움직임, 운반기 및 천정의 fan unit가 있고 이런 것은 기계의 가대와 같이 고무스프링, 코일스프링, 공기스프링 등으로 방진을 하는 방법이 일반적이다. 그러나 이러한 방법도 2~3 Hz 이하의 저주파 진동은 독립기초 등이나 2중 층으로 절연할 필요가 있다. 천정 fan unit는 경로에 내부 감쇠를 하도록 고려하고 상층 크린룸의 경우에는 방진 hanger가 필요하다.

(1) Access floor상 보행

보행에 기인하는 진동문제는 일반적으로 구조나 access floor 형태등에 의해 결정되는 것이므로 시설 설계 초기단계에서 고려해야 할 필요가 있다. 보통 beam이나 slab는 보행에 따른 영향이 크지 않으나 access floor상의 보행충격은 floor의 구동진동을 야기시키고 floor 진동은 장비와 높은 상호 진동관계를 갖게 된다. 보행에 기인하는 진동의 영향은 건물 구조상에서 column line 부근 영역에 동선을 만들거나 정밀장비는 columns 가까이에 설치하고 가능한한 동선과 정밀장비 사이 거리를 멀게하는 설계를 시행하여 보행으로부터 야기되는 진동을 최소화한다. 여러 사람의 동시보행과 빠른 속도의 보행은 매우 심각한 진동을 야기시키므로 이러한 조건을 부여하는 긴 복도식 동선이나 넓은 통로는 가능한한 피하도록 건물 내부구조를 설계하고 개개인에게 교육한다. 그러나 가장 신뢰할 수 있는 방안은 floor 구조의 강성을 충분히 하여 보행에 기인하는 진동한계를 고려한 구조를 구성하거나 독립 방진지지를 구성하여 보행 floor로부터 완전히 분리하는 것이다.

(2) 운반기구

앞에 논의한 보행에 기인하는 진동의 제어개념과 옥외 운반기구에 의한 진동발생 개념과 거의 비슷하지만 갑작스러운 하중변화를 줄이기 위하여 floor의 연결변위나 표면의 굴곡을 줄이고 운반 바퀴를 부드러운 공기튜브등을 사용하여 충격성 하중을 주지 않도록 한다.

다. 기계진동

(1) 설비기계 선택

기계적 설비 및 장비를 선택할 때 애초에 진동이 적은 것을 선택하여 설치하는 것이 물론 유리하며 예로써 진동이 큰 compressor에서 rotating comp.가 reciprocating comp.보다 진동이 매우 크다. 즉 multicylinder engine 이나 compressor가 single-cyliner machine 보다 불균형력이 작고 진동을 유발하는 크기도 물론 작다. 그리고, 기계 구매시 기계의 불균형력과 진동유발 정도를 산정할 수 있는 사양을 marker측에 요청하는 것이 좋다.

(2) 설비기계 설치

일반적인 제안은 진동이 큰 compressor, pump류등으로 부터 정밀장비를 거리가 먼곳에서 설치하고 독립적인 base를 가진 방진 system을 가지도록 설계한다. 특히 pipe, 설비지지 bridge등을 설치시 방진에 유의하는 것이 좋다.

(3) 설비기계 방진

그림 14와 같이 인접하는 soil에 대형 설비장치들의 진동을 전달시키지 않는 방진 system 세가지 유형을 나타내었다. 건물구조가 암반과 직접 연결되지 않는 footings 기초 구조일 때는 적당한 column을 설치하여 soil과 직접 연결하지 좋다. (그림 14 a) 기존의 스프링을 사용하여 방진하는 방법을 응용하여 암반 위의 기초흙을 채우는 방법(그림 14 b) 또는 공기스프링을 사용(그림 14 c)하는 방법도 효과적이다. Spring이나 air mount 등 어떤 방진소자를 사용하여 설비장치를 방진할 것인가, 아니할 것인가의 문제는 진동이 정밀장비에 미치는 영향성에 의해 결정될 것이다.

(4) 정밀기기 방진

정밀기기는 외부, 내부 진동원으

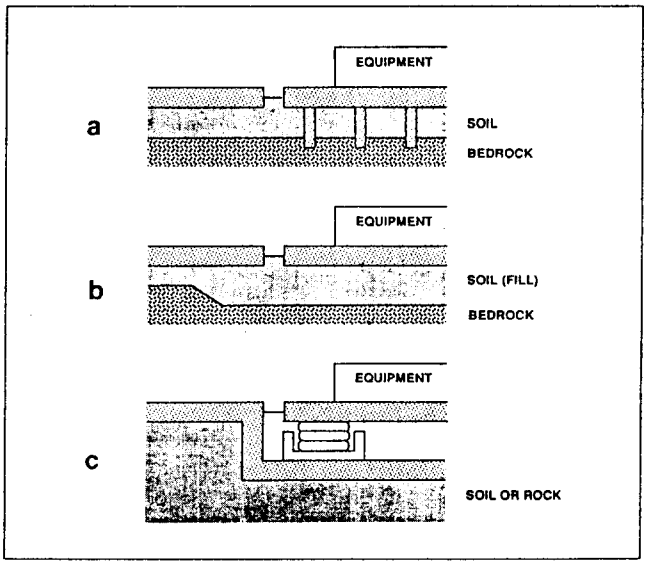

그림 14 설비기계와 지반사이의 방진

로부터 비교적 영향이 적은 곳에 설치하는 것이 일반적인 방법이다. 즉, mechanical 장비(엘리베이터, pump, air handers, 보일러 등)와 외부 교통 진동으로부터 멀리 떨어진 곳에 설치하고 floor상에서는 main beam이나 column상에 base를 설치하고 보행이 빈번한 컴퓨터 등과 같이 인접한 곳에 설치하지 않는다. 이때 건물의 전반적인 진동 back data가 필요하다. 기타 엄밀한 정밀기기의 방진은 전문적인 지식과 system이 필요하다. 일반적으로 정밀장비의 각부에 직접 방진고무등을 부착하는 방법과 공기스프링 등을 이용하여 방진대위에 기기를 부착하는 방법이 고려되고 있다. 바닥으로부터 진동이 전달되는 경우 전항의 식 (5)에서 알 수 있듯이 기기중량보다 제진대의 고유진동수 ω_1을 작게하면 방진성능은 향상된다.

다음에 기기 자체에서 진동이 발생하는 경우, 바닥에서 전달되는 진동 $z_0=0$, $m_2/m_1 \ll 1$이라하면 식 (3)으로부터

$$|y|=\frac{P_0}{k_2}\left[\frac{1}{\{1-(\omega/\omega_2)^2\}}\right] \quad (6)$$

이 된다. 기기의 고유진동수 ω_2을 높이고 $\omega/\omega_2 \ll 1$의 경우에는

$$|y|=\frac{P_0}{k_2} \quad (7)$$

이다.

5. 반도체 공장 방진대책 사례

(1) 그림 15는 column에서 상부를 독립시킨 예이다. 이 방법에는 방진기계의 허용치가 1~2 μm 정도까지이면 가능하다. 단 floor하의 콘크리트의 진동은 독립부 또는 pedestal과 sub-beam에 영향을 미치는 경우가 있으므로 주의할 필요가 있다.

(2) 그림 16은 코일스프링, 고무스프링, 공기스프링 등의 방진재를 이용하여 바닥을 띄운 독립 2중기초의 예이다.

(3) 그림 17의 방진 테이블은 인접된 공장 건설기계 성능시험의 경우에 발생하는 진동을 방진한 것이다. 이 테이블은, 상하진동은 고유진동수 15 Hz 이상, 수평진동은 고유진동수 1 Hz 이하의 특성을 가진 적층고무로 콘크리트 floor를 받친 구조이다. 또한 큰 지진시에 방진 floor가 아주 큰 진폭으로 이동하기 때문에 감쇠장치(마찰댐퍼)를 floor하에 별도로 설치했다. 관동대지진급의 지진이 와도 방진 floor가 건물과 접촉하지 않도록

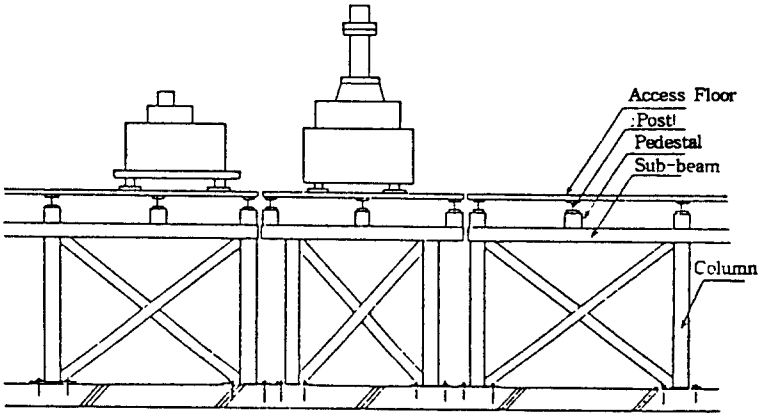

그림 15 독립 방진가대의 예

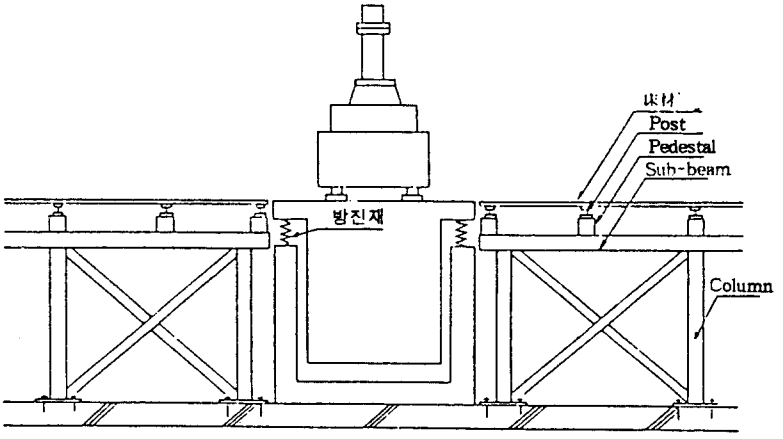

그림 16 독립 2중기초의 예

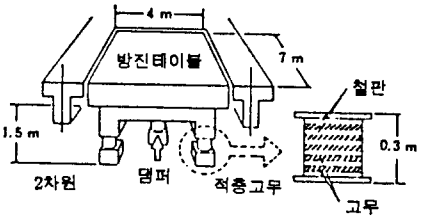

그림 17 적층고무를 이용한 access floor 방진

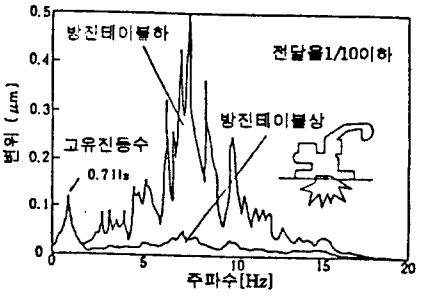

그림 18 방진성능 비교 결과

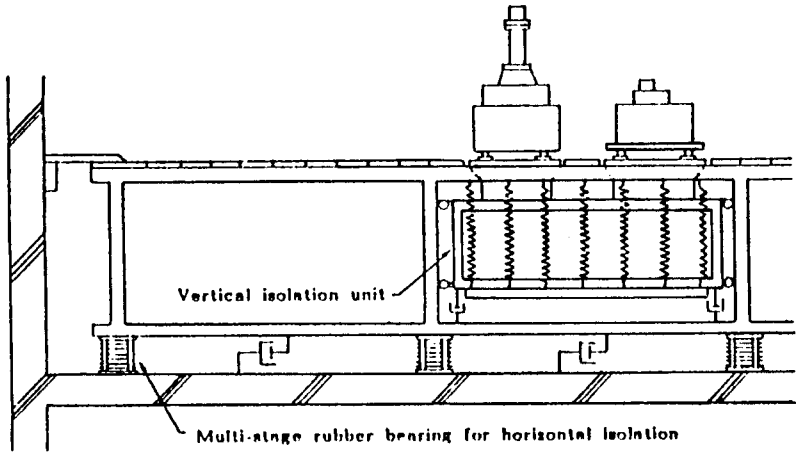

그림 19 적층고무를 이용한 3차원 방진, 면진 시스템

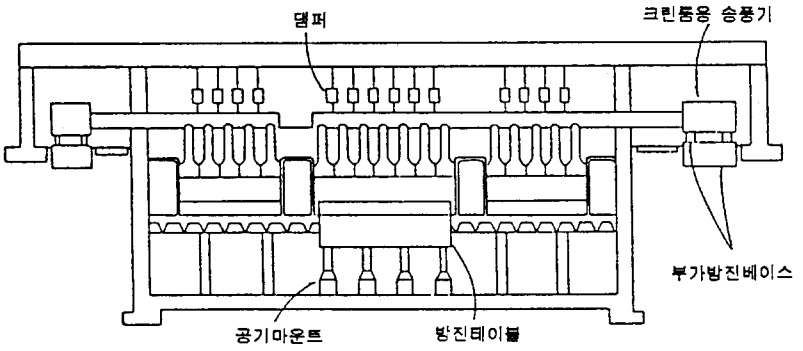

그림 20 공기마운트를 이용한 뜬 바닥구조의 예

하였다. 실험결과에 의하면, 적층고무 9.5 t용 8대, 마찰댐퍼 2대의 크기 4×7 m, 자중 70 m의 콘크리트 floor를 지지한 경우 최대 하중 20 t에 고유진동수가 수평 0.7 Hz 상하 2 Hz, 변위로는 상시진동이 0.5 μm 이하, 대지진시 10 cm 이하로 나타난다. 그림 18에서 방진성능시험 결과를 보여준다.

(4) 장래에는 특히 저주파수의 진동대응책으로서 적층고무를 사용한 3차원 방진. 면진 floor 크린룸(그림 19 참조), 또는 공기스프링으로 floor 전체를 띄우는 크린룸(그림 20 참조)이 사용될 전망이다. 이 방법은 방·제진성능이 우수하고 면진성능도 있다.

6. 맺 음 말

이상과 같이 반도체 공장 미진동에 영향을 미치는 여러요인과 전파경로 그리고 방진대책에 대하여 소개하였다. 현재 국내에서는 극히 부분적으로 연구가 진행되고 있으나 대부분 실험실 차원에 머무르고 있는 실정이다. 앞으로는 현재 진행중인 국내의 반도체 공장 건설 및 기기설치와 관련하여 현장 진동 data를 축적할 필요가 있으며 산업체와의 공동협조를 통해서 연구차원뿐만 아니라 현장 적용측면까지 확대되어야 한다고 생각한다.

참 고 문 헌

(1) 時田保夫, 森村正直 編著, "精密振動 Handbook," フシ テクノシステム/N. T. S.

(2) 丹羽博志, "微振動 とその 制振技術," 機械の 研究, 第43卷 第3號(1991).

(3) 이홍기, 이규섭, 1991, "정밀 미진동 제어," 한국소음진동학회 '91춘계학술대회 논문집, pp. 175~181.

(4) Eric E. Ungar, 1991, "Vibration Control Design of High Technology Facilities," Sound & Vibration, pp. 20~27.

(5) 藤田隆史, "超 LSI 工場の 振動問題(微振動 防振技術과 免振技術)," 日本機械學會誌, 第89卷, 第809號.

(6) Konagai, K., 1984, "A Method for Reducing the Ground Tremor and Building Vibration Causes by Exciting Forces on a Tunnel Floor," Transactions, Internoise '84, pp. 559~562.