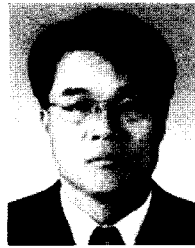


하이테크 건축물의 청정도 및 미진동 제어 기술



최 경 렬
삼성물산 건설부문
건축사업본부장 전무



박 병 근
삼성물산 건설부문
하이테크팀장 상무

1. 머리말

우리나라의 반도체, LCD, 휴대폰, 자동차 등의 첨단 산업분야는 이제 우리나라 경제의 큰 축으로 세계시장에서의 지금까지의 경쟁우위를 강화 확대하기 위해 노력해 나가고 있다. 이러한 첨단산업의 발전에 따른 하이테크 건축물의 특이 사항과 첨단 생산시설 건설의 요구사항을 해결하기위한 일부 요소기술에 대하여 소개하고자 한다.

1.1 하이테크 건축물이란?

요즘 하이테크란 단어를 우리 주변에서 흔히 듣게 된다. 필기구에서부터 회사명, 가구명 등 “고도의 과학 기술”이라는 본래의 사전적 의미를 넘어 다방면에서 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 본고에서는 하이테크 건축물의 정의를 “지식 정보화 사회로 발전하는 21세기 기술을 선도하는 반도체, LCD, 전기전자소재, Bio Tech. 등과 관련된 생산/연구시설물”을 총칭하는 것으로 한정하여 사용하고자 한다.

특히 정부에서는 경제성장 둔화, 산업경쟁력 저하 등에 따른 우리경제의 불확실성 증대로 신성장동력 발굴의 필요성을 제기하며, 현재 국민소득 1만달러 수준에서 국민소득 2만달러 시대를 구현하기 위한 핵심전략으로서 신성장동력의 발굴, 육성을 위해 그림1과 같이 시장규모, 전략적 중요성, 기술변화 추이, 경쟁력확보 가능성, 경제산업 파급효과 등을 고려하여 10대 차세

대 성장동력산업을 선정 육성하고 있다. 이러한 육성정책과 관련하여 위에서 정의한 범위에 속하는 하이테크 건축물의 특성에 대해 개괄적으로 알아보고 이에 필요한 요소기술 중 청정도제어와 미진동제어의 기술에 대해 소개 하고자 한다.

물론 지능형 홈네트워크와 첨단 가전제품을 적용한 인텔리전트 빌딩도 성장동력산업과 더불어 커나가고 있으나 본 논고에서는 이 부분은 제외하고 성장동력 산업등과 관련된 생산연구시설에 국한 하고자 한다.

이러한 차세대 산업의 육성을 위해서는 관련된 생산/연구시설의 확충이 뒤따라야 되며, 이에 따른 건설업계의 역할과 요소기술개발에 대한 요구가 증대될 것으로 예상된다.

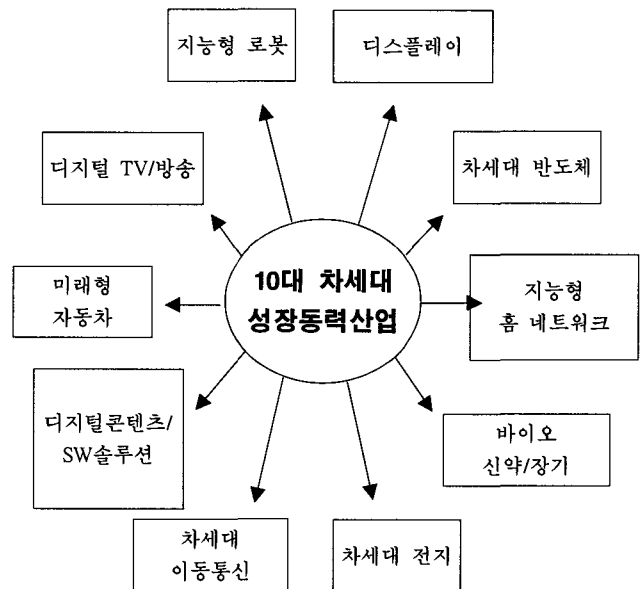


그림 1. 정부의 「10대 차세대 성장동력산업」

1.2 하이테크 건축물의 시장규모

우선 건축시장에서의 하이테크 시장 규모를 추정하기 위해 건축협회에서 2003년 발표한 자료 <표 1>을 살펴보면 전체 건축 계약금액 59조5천억 중 공장, 작업장 건축물이 4조8천억으로 전체 건축공사의 8%를 차지하며 비주거 건축물만으로 한정하여 보면 15%로 그 비중이 상당함을 알 수 있다.

표 1. 세부 공종별 공사계약 금액
(단위: 십억원, 건)

세분공종	합 계	
	건 수 Number	금액 Amount
합 계	84 754	85 119.1
토 목	34 769	22 122.2
건축	47 231	59 500.4
단독주택 및 연립주택	2 192	1 375.0
저층아파트(5층이하)	544	636.1
고층아파트(6층~15층이상)	1 594	8 204.1
초고층아파트(16층이상)	678	12 876.5
주거·상업용 겸용건물	3 837	4 540.1
상가 백화점·쇼핑센터	3 075	4 991.3
사무용 빌딩	3 108	8 535.5
관공서 건물	2 763	1 116.0
호텔·숙박시설	1 607	1 911.4
학교	7 567	3 708.6
병원	663	772.7
종교용 건물	767	607.1
전통양식 건축	1 318	180.3
공연·집회장소	504	452.1
전시시설	269	461.6
경기장·운동장	349	392.0
공장·작업장 건물	7 150	4 817.0
기계기구설치	175	400.0
변·발전소용 건물	112	91.1
창고·차고·터미널용 건물	1 142	880.8
위험물 저장소	255	57.8
기타 건물	7 562	2 492.4
산업설비	719	2 844.8
조경	2 035	651.6

* 대한 건설협회 '건설업통계연보' 2003년

물론 공장/작업장 건축물 대부분을 하이테크 건축물 시장으로 보기에 는 무리가 있겠으나, 우리나라 산업이 발달함에 따라 단순히 비와 바람만을 막기 위한 공장 시설이 아닌 많은 요소기술이 필요한 첨단공장 건설이 늘어가는 것이 현실이다. <표 2>의 한국 설비투자 현황을 살펴보면 단순 제조업의 투자증가율은 소폭 증가에 그치는 반면 IT등 첨단시설의 설비 투자는 큰 폭으로 증가함을 알 수 있다. 특히 반도체, LCD 등의 하이테크 건축물의 투자의 최근 추세는 그 규모가 점점 커져 1개의 신규공장에 1조 이상이 투자되며, 이 중 장비

등의 투자를 제외 하고 직간접적 건설공사비용이 총 투자의 10%이상을 차지하고 있다. 또한 이러한 완제품 생산에 필요한 부품소재를 생산하기 위한 공장의 투자가 뒤따르게 되어 우리나라의 IT등 첨단산업의 발달과 더불어 하이테크 건설시장의 향후 시장 확대를 미루어 짐작할 수 있다.

표 2. 설비투자 추이 및 전망

(단위 : 조원,%)

	금액			증감률		
	'02	'03	'04	'02	'03	'04
전산업	38.7	43.4	54.1	△4.5	12.1	24.6
제조업	21.2	26.4	34.2	△0.7	24.8	29.3
IT산업	8.1	12.5	16.9	△9.2	54.7	34.9
비IT산업	13.1	13.9	17.3	5.4	6.4	24.4
비제조업	17.5	17.0	19.9	△8.6	△3.4	17.2

* 산업은행 '주요기업 04년도 설비투자계획'

1.3 하이테크 건축물의 요구사항

앞에서 정의한 하이테크 건축물중 대표적인 반도체와 LCD 공장 건설의 측면에서 보통의 비주거 건축과 다른 요구사항을 살펴보면, 첫째 절대 공기의 준수이다. 반도체와 LCD등 첨단산업제품의 경우 그 기술의 발달속도가 무척 빠르며, 경쟁사와 시장 현황에 따른 그 출시시점의 1 ~ 2개월의 차이가 제품의 시장 선점 및 성공과 실패를 좌우하게 됨으로 발주처에서 요구하는 절대 공기의 준수가 그 무엇보다 우선시된다. 이러한 요구사항을 만족하기위해서 Fast-Tracking, JIT System 등 대규모 공사 수행을 위해 개발된 첨단 공사관리 기법을 적용하고, 시공법에 있어서도 PC복합화 등 다양한 시공법 적용을 통하여 공기단축을 시도하고 있다. 둘째는 반도체, LCD생산시설의 경우 생산시설 내부의 청정도 제어가 요구되어 진다. 반도체의 경우는 웨이퍼가 대구경화되어 현재 12" Wafer가 생산되고 있으며, LCD의 패널 생산크기도 이미 7세대(1870×2200mm)로 대형화되어 가고 있으며 이에 따른 디바이스의 회로선폭은 90나노 이하로 좁아져 생산공정라인에서 제어해야할 오염물질의 크기도 점점 작아지고 있다. 이러한 오염물질의 제거는 공장 건설기간부터 고려되어 관리되어야 하며, 미세오염물질의 제어를 위한 클린룸 요소기술 및 첨단측정기술의 개발 적용을 필요로 한다. 세 번째로 앞에서 언급한 절대공기 준수를 위한 구조공법 적용과 연관되어 미진동제어가 요구되어 진다. 나노단위의 회로제품을 생산하게 되고 더욱이 제품의 대형화가 이루어지며, 생산공정장비 또

한 대형화, 고중량화 되면서 미진동 기준도 강화 되어 지고 있는 추세이다. 이에 따라 공기준수 및 경제성을 고려하며 진동규정을 동시에 만족할 수 있는 공법 및 요소기술의 적용이 필요하다. 이러한 커다란 3가지의 요구사항 중 첫 번째 부분은 그동안 본 학회지등을 통하여 다양한 공정관리 및 신공법에 대해 소개되었기에 제외하고 반도체, LCD 생산공장의 클린룸공사에서 중요한 비중을 차지하는 청정도 제어와 미진동 제어에 필요한 일반사항 및 요소기술에 대하여 본문에서 자세히 다루고자 한다.

물론, 이외에도 장비의 자유로운 배치 및 변경이 가능하도록 하는 장스판 설계시공능력, 특수약품의 처리와 관련된 특수설비 설계시공능력, 환경오염물질처리 시설 등 많은 요구기술들이 있다.

2. 청정도 제어

2.1 클린룸이란

클린룸은 부유입자의 농도가 제어되고 내부에서 입자의 유입, 발생 및 정체가 최소화되도록 건설되어 사용되면서 온도, 습도, 압력 등의 관련 인자들이 필요에 따라 제어되는 공간을 말한다. 일반적으로 클린룸은 입자 오염이 주로 문제가 되는 반도체, LCD, 전자, 신소재, 정밀기계 공업에 사용되는 ICR(Industrial Clean room, 공업용 클린룸)과 미생물 오염이 문제가 되는 병원, 의약품 공장, 식품 공업, 농업 분야 등에 사용되는 BCR(Biological Cleanroom, 바이오 클린룸)로 대별할 수 있다. 본 고에서는 입자 오염을 중심으로 하는 공업용 클린룸을 중심으로 다루어보고자 한다.

2.2 클린룸의 청정도 관련 규격

대규모 장치산업에 많이 활용되며, 구현을 위하여 많은 기술이 요구되는 클린룸의 특성상, 구축 및 활용이 대부분 선진국을 중심으로 이루어지고 있으며, 각국에서는 자국산업의 보호 및 클린룸 산업 활성화를 위하여 자국에 적합하게 제정된 클린룸 규격을 사용하고 있다. 클린룸 규격은 크게 공기청정도에 대한 규격, 종합적인 성능평가에 대한 규격, 기타 설계, 시공 및 제작, 운영관리에 대한 규격으로 구분될 수 있다. 각국의 클린룸 규격을 <표 3>에 예시하였다. 그러나, 클린룸의 중요성이 국제적으로 널리 인정되고, 국가간 협업 및 협동연구가 진행되면서 클린룸의 국제 표준화 작업이 ISO/TC 209를 중심으로 1993년부터 진행되고 있으며, 1999년부터는 일부 내용이 국제 규격으로 확정되어 사용되고 있다.

표 3. 클린룸 규격의 종류

종류	규격 예(괄호안은 제정년도)
공기청정도 등급	미국 Federal Standard 209E(1992)
	일본 JIS B 9920(1989)
	독일 VDI 2083(1990)
	한국 KS B 6741(1995)
	KACRA-94-01-001A(1994)
국제 ISO 14644-1(1999)	
성능평가	미국 IES-RP-CC006.2(1993)
	일본 JACA No.24(1989)
	한국 KACRA-94-01-001A(1994)
	국제 ISO 14644-2(2000)
설계,시공제작	한국 KACRA-94-01-001A(1994)
	국제 ISO 14644-4(2001)
운영관리	일본 JACA No.14C(1992)
	미국 IES-RP-CC26.1(1994)
	한국 KACRA-94-01-001A(1994)
기타	미국 IES-RP-CC023.1(1993)

이 중 클린룸 내의 공기 청정도 등급에 대한 표준은 ISO 14644-1에서, 공기 청정도 등급의 시험 및 모니터링에 대한 표준은 ISO 14644-2에서 각각 다루어지고 있다. 아래 <표 4>는 공기 청정도 등급의 분류방법을 나타내며, 그림 2에는 ISO 14644-1에 규정된 일부 공기 청정도 등급의 상한 농도에 대한 도식적 표현이 나타나 있다.

표 4. ISO 14644-1의 공기청정도 등급 분류

구분	Maximum concentration limits for particles equal to and larger than the considered sizes shown below					
	0.1 μ m	0.2 μ m	0.3 μ m	0.5 μ m	1 μ m	5 μ m
ISO Class 1	10	2				
ISO Class 2	100	24	10	4		
ISO Class 3	1,000	237	102	35	8	
ISO Class 4	10,000	2,370	1,020	352	83	
ISO Class 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO Class 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO Class 7				352,000	83,200	2,930
ISO Class 8				3,520,000	832,000	29,300
ISO Class 9				35,200,000	8,320,000	293,000

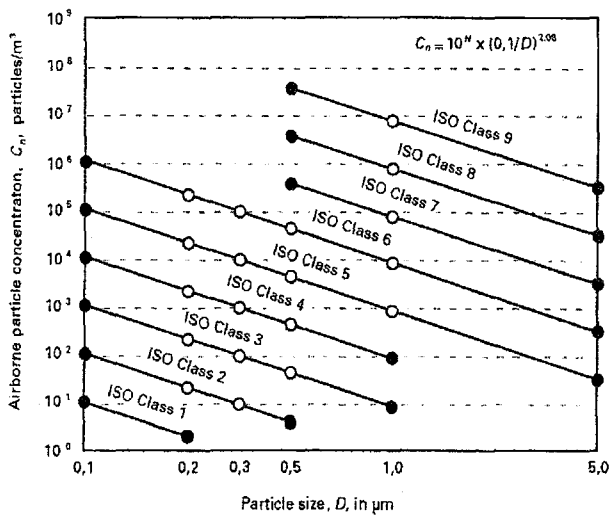


그림 2. ISO 14644-10에 의한 청정도 등급의 도식화

2.3 청정도 구현방법에 따른 클린룸의 구분

가스상 및 입자상 오염물질을 제거하여 클린룸 내부를 청정하게 유지하는 방식에 따라 클린룸은 다음과 같은 네가지로 크게 구분될 수 있다.

1) 덕트방식에 의한 정류형 클린룸

종래부터 많이 사용되던 방식으로 실내영역에 한 수직일방향 제어가 가능한 반면, 대형의 송풍장비가 필요한 단점이 있음.

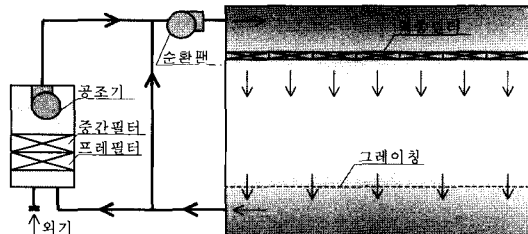


그림 3. 덕트방식에 의한 정류형 클린룸

2) FFU방식에 의한 정류형 클린룸

최근 건설되고 있는 클린룸에서 일반적인 방식으로 FFU(Fan Filter Unit)의 채용으로 에너지 절약설계에 보다 유효함

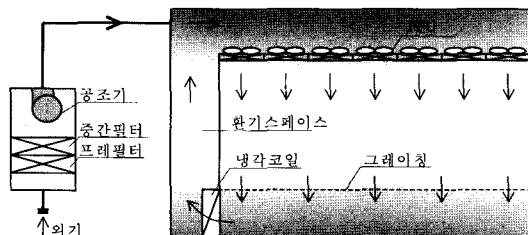


그림 4. FFU에 의한 정류형 클린룸

3) 터널방식에 의한 정류형 클린룸

필요장소에만 수직하강기류를 형성하는 방식으로 FFU방식과의 다양한 조합이 가능한 것이 주요 특징임.

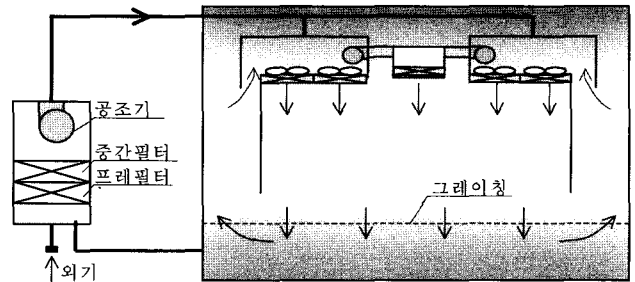


그림 5. 터널방식에 의한 정류형 클린룸

4) Mini-Environment 방식

SMIF시스템으로 대표되는 국소청정화 방식으로 높은 청정도가 유지되는 부위에 대해서만 청정도를 유지하고, 그 외의 부분에 대해서는 낮은 수준의 청정도를 유지할 수 있으므로 유지비용면에서 대단히 유리함.

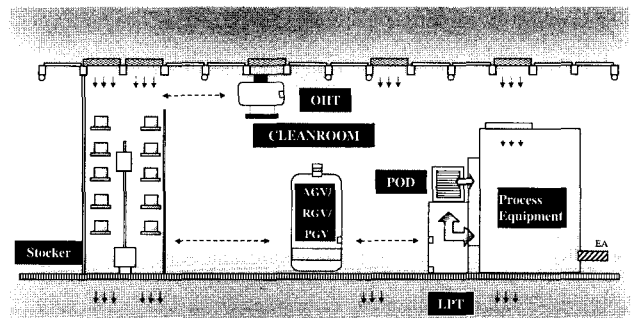


그림 6. Mini-environment 방식 개념도

2.4 클린룸의 성능평가

1) 클린룸의 상태

클린룸 환경의 성능을 계획하는 때에는 클린룸의 상태에 관해 정의해 둘 필요가 있다. ISO기준에서는 클린룸의 상태를 다음과 같은 3가지로 분류하고 있다. 클린룸시공완료후의 성능평가는 이 정의에 따라 실시된다.

(1) As-built(시공완료시)

모든 클린룸 설비기기가 작동상태이지만, 실내에 제조장치, 재료, 작업자가 없는 상태의 클린룸을 말한다.

(2) At-rest(제조장치설치시)

모든 클린룸 설비기기가 작동상태이고, 제조장치가 반입되어 작동상태이지만, 실내에 작업자가 없는 클린룸을 말한다.

(3) Operational(통상운전시)

모든 클린룸 설비기기, 제조장치, 작업자가 통상의 제조상태로 운영하고 있는 클린룸을 말한다.

2) 클린룸의 환경측정

클린룸의 성능평가를 위한 측정은 위의 클린룸 상태에 따라 적절한 시점에 적절한 항목별로 실시하지 않으면 안되며, 대표적인 측정항목과 그 방법은 다음과 같다.

(1) 실내청정도 측정

-목적:

- 각 실의 청정도가 규정치 범위 내에 유지되고 있는지를 확인

- 측정 기기:

- 파티클 카운터, 측정용 프로브
- 측정용 대차, 클린 튜브 등



그림 7. 파티클 카운터를 이용한 측정

- 측정 조건:

- 내장 클린업(clean-up)이 완료되었을 것.
- 필터리크(filter leak)검사가 완료되었을 것.
- FFU, 공조기, 외조기가 운전상태일 것.
- 생산장비 반입전, 무인상태일 것.
- 풍량조정등을 통해 규정 풍량 상태일 것.

- 판정 기준:

- 각실별로 측정치가 각실조건표의 청정도를 만족할 것.

(2) 필터 리크 측정

- 목적:

- 설치된 ULPA·HEPA필터의 파손유무 검사

- 측정 기기:

- 파티클 카운터, 측정용 프로브
- 측정용 대차, 클린 튜브 등

- 측정 조건:

- 내장, 천정셀부의 클린업이 완료되었을 것.
- FFU, 공조기, 외조기가 운전상태이고 소정의 풍량이 확보되었을 것.

- 생산장비 반입 전, 무인상태일 것.

- 판정 기준

- 측정 중 파티클이 카운트되는 경우, 그 위치에서 10초간이상 정지하여 측정을 행하고, 연속해서 파티클이 카운트된다면 그 장소를 리크(leak)로 판정한다. 다만, 재현성이 없는 일시적인 카운트는 측정기자체의 전기노이즈, 또는 샘플링튜브 등으로 인한 것일 수도 있으므로 유의한다.

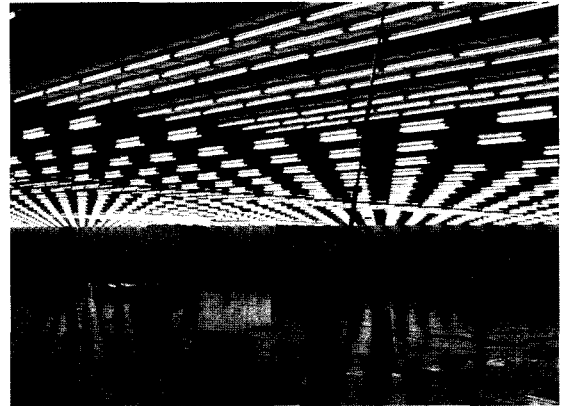


그림 8. 필터리크 시험의 실례

(3) 온/습도 측정

- 목적:

- 각실에 있어서 온습도가 규정 범위내로 유지되고 있는지 여부를 확인함.

- 측정 기기

- 온습도측정장치(기록가능형)
- 데이터로거

- 측정 조건:

- FFU, 공조기, 외조기가 정격운전상태이고, 소정의 풍량이 확보되었을 것.
- 자동제어기의 조정이 완료되었을 것
- 외기량의 조정이 완료되었을 것
- 생산장비 반입전, 무인상태일 것.

- 판정 기준:

- 측정치가 각실조건표의 온습도 범위를 만족할 것.

(4) 기류속도 측정

- 목적:

- 설계기류속도가 규정값을 확보하고 있는지를 확인함.

- 측정 기기:

- 미풍속계
- 대차 및 프로브 스탠드

- 측정 조건:

- FFU, 외조기가 운전상태일 것.
- 판정 기준:
 - 각실별로 측정치의 평균이 각실조건의 평균강하 풍속의 허용치($\pm 15\sim 25\%$ 정도) 이내에 있을 것.

2.5 미립자 가시화 장비의 개발 및 운용

1) 시스템 개발의 필요성

클린룸 내의 미립자 오염정도를 측정하는데 일반적으로 사용되는 파티클 카운터는 대상공간에서 일정 유량 중의 파티클 개수를 직경별로 표현해 주지만, 이는 방식상 프로브와 튜브를 통해서, 기기 내부로 미립자를 유인한 후 광산란시켜 카운트하는 방식이므로, 전기 노이즈, 기기 및 부속자재의 오염에 따른 오측정이 있을 수 있으며, 대상공간에 대한 정성적 측정결과만을 파악할 수 있으므로, 청정도 기준을 만족시키지 못하는 공간에 대하여 가시화 등을 통하여 정성적 분석을 병행할 필요가 있다.

그러나, 기존의 가시화 장비는 입자(fog, tracer gas 등)를 매개물질로서 발생시키지 않으면 안되었기에 이와 같은 입자들이 클린룸 내에 또다른 오염원으로 작용하여 그 사용에 제한이 있었을 뿐 아니라, 가시화 할 수 있는 직경도 0.3~0.5 μm 이 최대 가능범위여서 최근의 클린룸에서 요구되는 청정도 수준을 만족시키지 못하는 한계점을 지니고 있었다. 본 시스템은 YAG 레이저를 통한 광막의 형성 및 고감도 CCD카메라와 image intensifier를 이용한 입자 산란광의 증폭을 통하여, 별도의 입자를 발생시키지 않으면서도 세계최초로 직경 0.144 μm (머리카락 두께의 약 1/1,000)인 입자에 대한 가시화 및 현장적용에 성공하였다.

2) 시스템의 구성 및 작동원리

본 시스템은 강력한 레이저광을 발생시키는 YAG레이저 발생기와 조사(照射)기, 레이저광을 반사시켜 막(sheet)를 구성하며 부속기기를 탑재하고 클린룸내의 이동을 용이하도록 하는 traverse, 산란광을 촬영하는 고감도 CCD 카메라 및 미세한 산란광을 증폭시키는 image intensifier와, 이와 같은 시스템을 동조시켜 제어하고, 촬영된 화상을 편집·분석하는데 활용되는 제어용 PC로 구성되어 있다. 그림 9에는 전체 시스템의 구성개요를 나타내었으며 그림 10에는 가시화 시스템을 활용하여 취득한 화상을 분석이 용이하도록 편집하는 과정과 분석이 완료된 실제화상의 사례를 나타내었다.

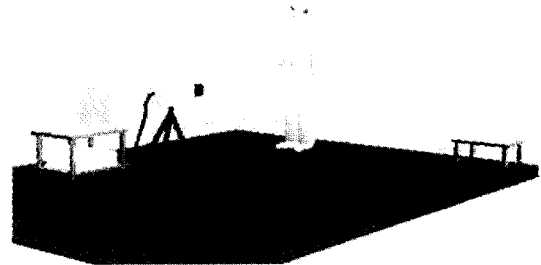
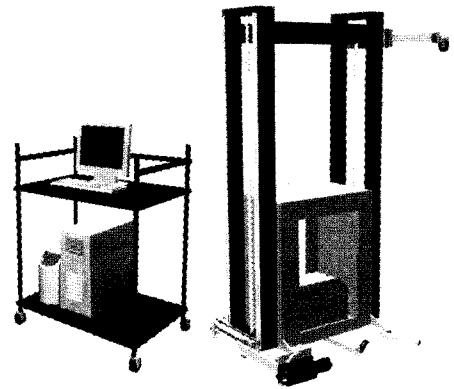


그림 9. 미립자가시화 시스템의 구성개요

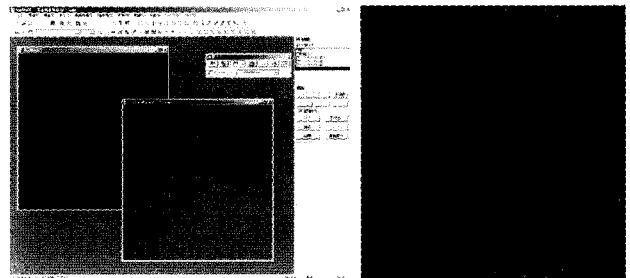


그림 10. 취득한 화상의 편집(左)과 촬영화상에(右)

3) 시스템의 활용 및 전망

본 시스템의 개발 및 활용을 통하여, 그간 정량적인 반복측정만을 실시하였던 클린룸내의 미립자 측정에 정성적 분석을 통한 보완이 가능할 것으로 예상되며, 반도체 클린룸의 청정도 오염제어를 통한 시공품질의 향상 및 마감공사의 클린업 조기실현을 이룩할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 유지보수 단계에서도 폭넓은 활용을 기대 할 수 있다.

3. 미진동 제어

반도체 및 LCD와 같은 정밀 산업 기술의 발전은 약 2~3년의 주기로 세대교체가 급속하게 진전되고 있으며, 요구되어지는 제조환경의 수준도 점차적으로 엄격해지

고 있다. 생산 라인의 여러 가지 환경 요인 중, 미진동의 문제는 생산성과 제품의 수율에 직접적으로 영향을 주는 중요한 인자로 자리 잡고 있다.

3.1 미진동 제어의 필요성

미진동 제어의 정의는 일반 진동과는 구별하여 D.C.~100Hz의 진동수 영역에서 0.1gal~0.4gal의 가속도와 0.1 μ m~0.2 μ m의 변위 진동량을 제어하는 것을 의미한다. 이 수준은 내·외부의 제반 진동원들이 작용할 때, 정밀 생산기기의 최종 바닥기초에서 요구되는 진동 허용치로 이러한 미진동 요구 Spec. 환경을 충족시켜 줄 수 있도록 개별적 또는 전체적으로 클린룸 미진동 성능을 향상시킴으로써 향후 발생할 수 있는 생산 에러를 사전에 차단하여야 한다.

정밀 생산 장비가 정상적으로 성능을 발휘하기 위해서는 장비 자체의 진동에 대한 제진 및 방진 성능을 향상시키는 방안과 설치되는 위치에서의 구조물이 가능한 낮은 진동 환경을 갖도록 하는 방안이 있으며, 이 두 가지를 적절히 효율적으로 제어 설계하는 것이 바람직하다. 그러나 생산 장비 제작업체는 장비의 제진/방진 성능을 무한정 향상시키기에는 기술적 한계와 경제적 부담이 따르기 때문에 구조물의 진동 환경을 매우 낮은 수준으로 유지시켜 주기를 원하는 반면, 진동에 대한 구조물의 진동 허용 규제치를 엄격하게 하면 할수록 건설 공사비는 기하급수적으로 늘어나게 되고 생산 장비의 배치 유연성에도 영향을 주게 된다.

따라서, 이러한 상호 배치되는 입장을 조절하고 생산에도 영향을 미치지 않는 미진동 허용 규제치를 설정하고 다양한 제어 방법을 연구 개발하는 것이 무엇보다도 필요하다고 하겠다.

국제적으로 통용되고 있는 진동규준곡선(Vibration Criterion Curve : VC 곡선)을 살펴보면 그림 11과 같다.

클린룸에서의 미진동 관련 규준은 그림 11에서 제시한 것과 같이 장비의 정밀도에 따라 일반적으로 통용될 수 있는 범위를 갖는다. 그러나 각각의 정밀 생산 장비 및 검측 장비는 이러한 기준을 바탕으로 장비의 특성에 맞게 세분되어 다른 허용진동규준을 제시하는 것이 현실이다.

Generic Vibration Criteria for Microelectronics Facilities (Showing also the ISO Guidelines for People in Buildings)

Criterion A - Probe Test Equipment 100X Microscopes
 Criterion B - 500X Microscopes, Aligners, Steppers to 5 micro-meters Geometries
 Criterion C - 1,000X Microscopes, Aligners, Steppers to 1.5 micro-meters Geometries
 Criterion D - Steppers, E-Beams to 0.3 micro-meters Geometries. CD Inspection Equipment. Most SEM to 50,000X
 Criterion E - Anticipated Adequated of Future Fabrication and Test Equipment for Low Submicron Geometries

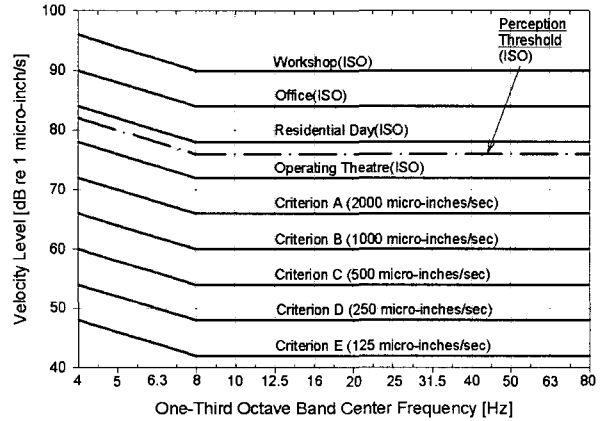
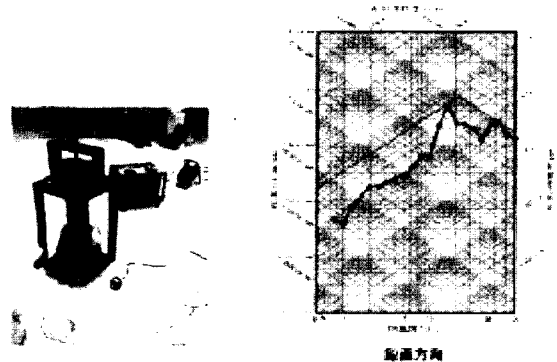


그림 11. 정밀 기기에 대한 국제표준기구(ISO) 기준

3.2 미진동 제어 기술

미진동 제어를 위해서는 공장의 입지 조건에 대한 고려부터 시작하여 생산 장비가 설치되는 access floor, base isolation, 격자 보에 대한 동적 특성 파악 및 응답 예측 기술이 필수적이며 최종적으로 실제 생산 장비가 설치되어 가동할 당시에 미진동 성능 Spec.을 만족시키는 구조물을 완성하여야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 그림 12에 나타난 바와 같이 설계 단계에서 시뮬레이션을 통한 정확한 예측 기술, 시공된 구조물에 대한 성능 테스트를 통한 실험 기법, 측정 데이터에 대한 분석/평가 기술, 그리고 진동을 control할 수 있는 제진 및 방진 기술에 대한 종합적인 Total Solution을 제공할 수 있는 기술 확보가 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.



(가) 측정 기술

(나) 평가 기술

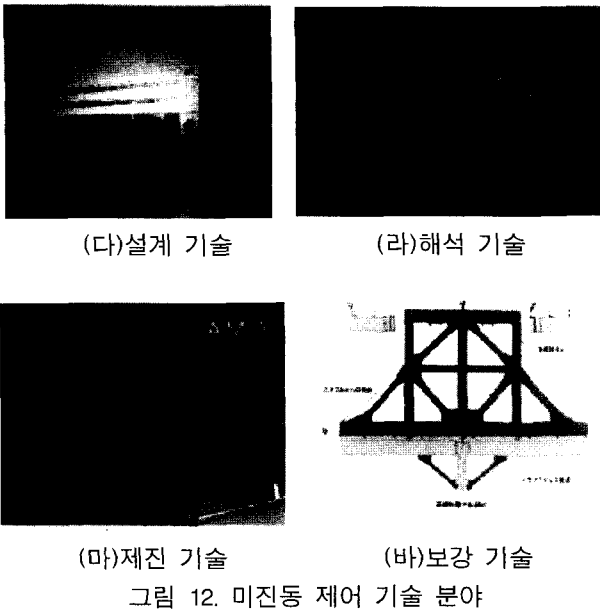


그림 12. 미진동 제어 기술 분야

최종적으로 발주처에서 요구하는 성능을 만족시키는 정밀 공장에 대한 프로젝트를 수행하기 위해서는 프로젝트 단계별 각 분야에 대한 정밀한 분석이 이루어져야 한다. 이를 살펴보면 다음과 같다.

1) 설계 단계

- (1) 진동원에 대한 측정 및 평가
 - 선정된 대지에 대한 외부 환경으로부터 진동원 평가
 - 공조기와 같은 간접적인 생산 설비의 진동원 평가(이를 위해서는 기존 프로젝트의 진동원을 사용한다.)
 - 작업자의 진동원 평가
- (2) 각 진동원에 대한 진동전달경로 파악 및 구조물의 동적 응답 예측
 - 허용 진동 규제치와 비교 분석을 통한 최적 구조 시스템 선정
- (3) 진동 성능 및 발주처의 요구사항(공기, 공사비 등)을 만족시키는 공법 결정 및 구조 설계

2) 시공 단계

- (1) 시공 단계별 진동 측정/평가를 통한 응답 예측
 - 골조 진행 상황별 진동 측정을 통해 구조물의 동적 특성이 설계 및 해석 시 가정한 동적 특성과 비교 검토하여 제대로 구현되는지를 평가
- (2) 설계 단계에서 반영을 위한 DB 구축
- (3) 정밀 기기 배치 전, 부분 구조물 시뮬레이션을 통한 최종 미진동 응답 예측
 - 미진동 Spce. 초과 시, 적절한 구조보강 대책 및 제진 기술 적용 여부 검토

3) 발주처에 인도 단계

- (1) 정밀 기기가 설치되는 바닥 또는 독립 기초에서 미진동 성능 테스트를 통한 평가 수행

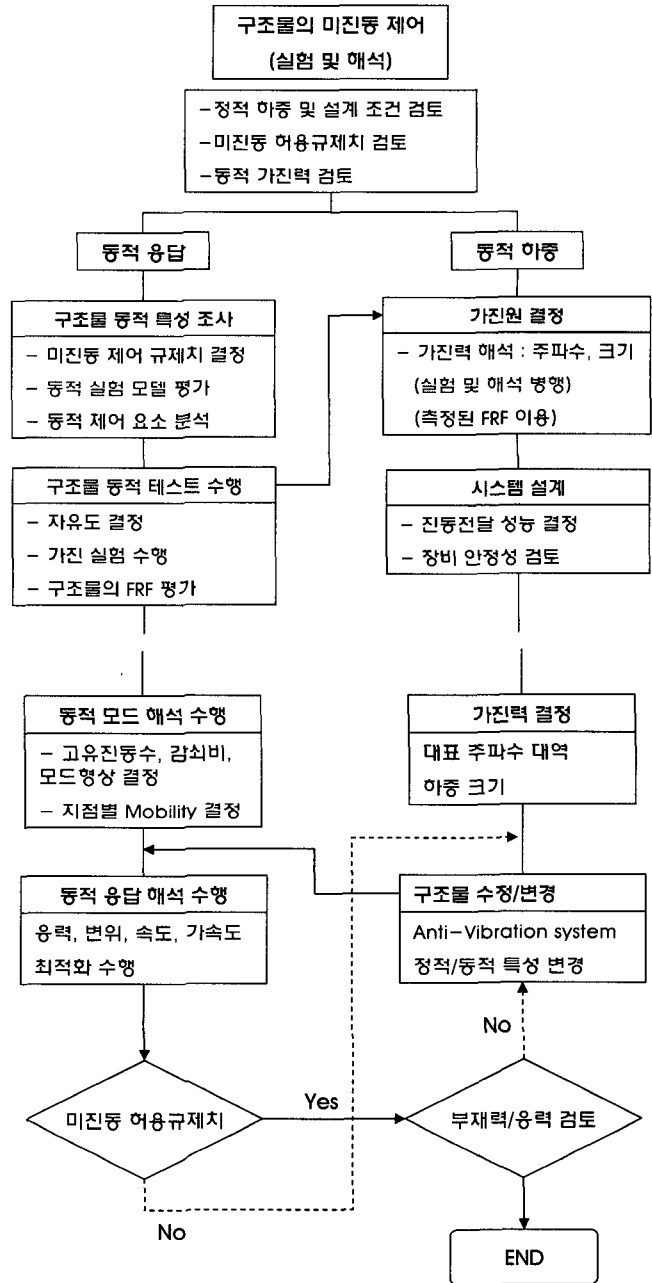


그림 13. 미진동 제어 흐름도

이러한 미진동 제어를 위한 구조물 설계 절차를 나타낸 것이 그림 13이다. 서브 마이크로 수준까지 내려간 정밀 장비의 진동 허용 규제치는 장비가 설치 운영되는 대형/복잡한 구조물에 대한 합리적이고 신뢰성 있는 동적 응답에 대한 예측 기술이 요구된다. 이는 지금까지 정밀 공장의 진동제어를 위한 해석 및 설계 기술이 정성적으로 이루어져 왔으며, 향후 초정밀 공장을

건설하기 위해서는 보다 엄밀한 미진동 제어 절차를 필요로 할 것이다.

3.3 미진동 제진장치현장 적용 사례

전절에서 기술한 바와 같이 제진 기술은 미진동 제어 기술의 한 분야이다. 제진은 진동을 제어 또는 조절한다는 의미로서 구조물의 진동을 조절하여 저감시키는 장치를 제진 장치라 한다. 이러한 제진 장치는 설계 단계에서부터 적극적으로 고려하여 구조물의 물량을 감소시키는 목적으로 사용하는 적극적 방법과 보조적인 역할을 하게하는 소극적 방법이 있다. 현재 제진 장치에 대한 기술 개발의 위치는 후자에 속한다고 할 수 있다. 또한 제진 장치의 활용 목적 중 하나는 건물의 노후화, 생산 장비의 교체 등 여러 가지 요인에 기인하여 기존의 구조물이 미진동 허용 규제치를 만족시키지 못할 경우 적용되어질 수 있다.

제진 장치의 종류는 부가적인 질량을 이용하는 동조 질량 감쇠기와 구조물의 감쇠능력(진동에너지 소산능력)을 향상시키는 감쇠기로 나눌 수 있다. 동조질량 감쇠기는 장치에서 부가적으로 발생하는 힘의 존재 여부에 따라 수동질량 감쇠기와 능동질량 감쇠기로 나눌 수 있으며 그림 14과 15는 개발된 질량 감쇠기를 보여주고 있다. 그림 16은 구조물의 진동 에너지를 흡수할 수 있는 장치를 보조 기둥의 하부에 설치하여 보조 기둥 상부 슬래브의 수직 방향 진동을 저감시키는 감쇠기를 보여주고 있다.

당사에서 기술개발을 통하여 현장에 적용한 제진 장치는 능동형 제진장치로서 진동 저감 개념을 도식화하면 그림 17와 같다. 구조물에서 발생하는 진동의 반대 방향으로 제진 장치를 통한 인위적인 힘을 가하여 진동을 저감시키는 원리이다. 이를 구현하기 위해서는 (1) 저감시키고자 하는 진동량의 크기는 얼마인가? (2) 저감시키고자 하는 구조물의 동적 특성은 어떻게 되는가? (3) 저감시키고자 하는 구조물의 중량은 얼마인가? (4) 인위적인 힘을 구현하는 제어방식은 무엇을 채택할 것인가? (5) 설치하고자 하는 환경 조건은 어떠한가? 등 다양한 변수를 고려하여야 한다.



그림 14. 수동 질량 감쇠기

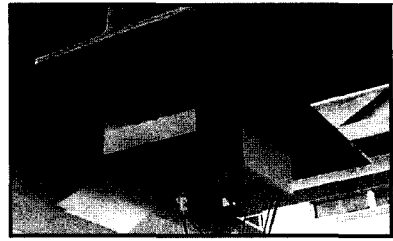


그림 15. 능동 질량 감쇠기

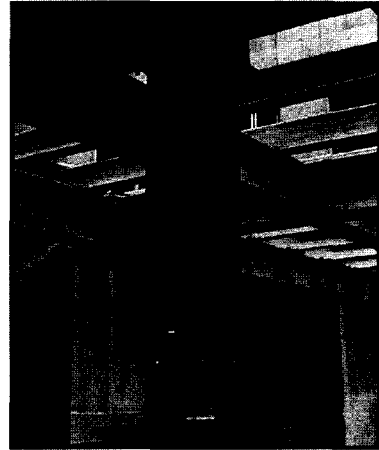


그림 16. 제진 Pole

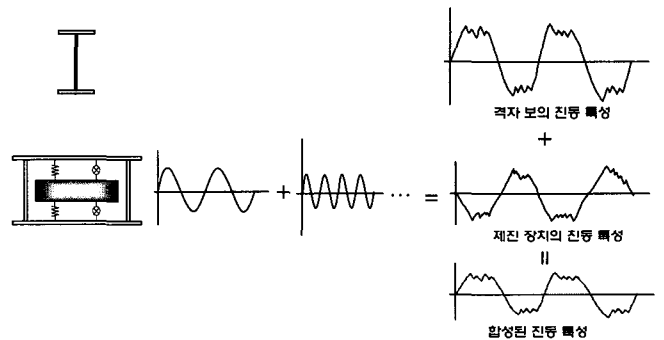


그림 17. 능동형 동조질량 감쇠기의 제어 개념

본 고에서는 기술 개발을 통하여 현장에 적용한 제진 장치의 상세한 설명은 생략하기로 하고, 적용 절차에 대한 간략한 설명을 하면 다음과 같다.

- Step 1. 해석에 의한 구조물의 동특성 파악 (그림 18)
- Step 2. 현장 계측에 의한 구조물의 동특성 파악 (그림 19)
- Step 3. 제진장치의 설계 및 제작 (그림 20)
- Step 4. Factory Inspection 실시 (그림 21)
- Step 5. 현장 설치 (그림 22)
- Step 6. 현장 검증을 통한 확인 (그림 23)

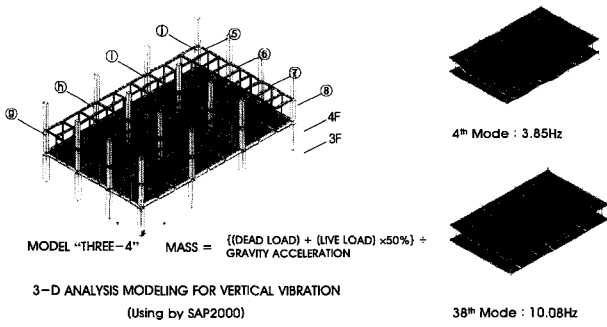


그림 18. 해석에 의한 구조물의 동특성 파악

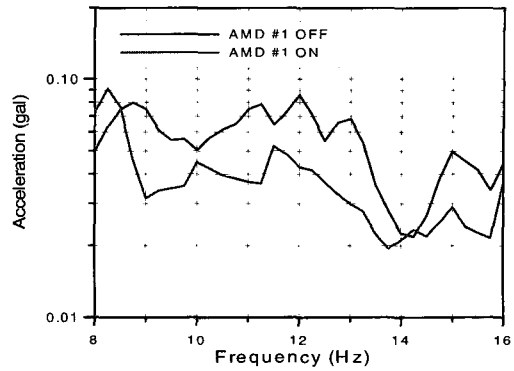


그림 23. 현장 성능 검증 결과

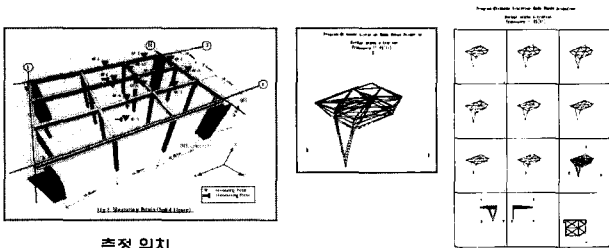


그림 19. 현장 계측을 통한 구조물의 동특성 파악

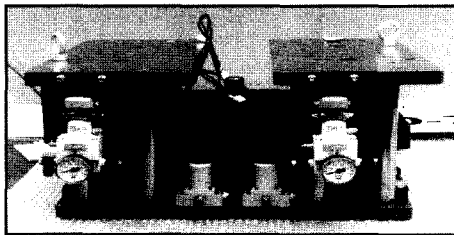


그림 20. 제어장치의 완성된 모습

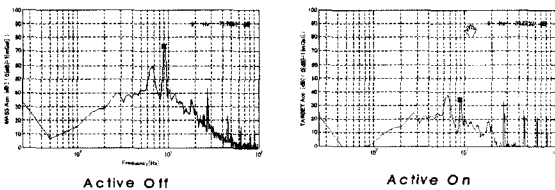


그림 21. Factory Inspection 결과

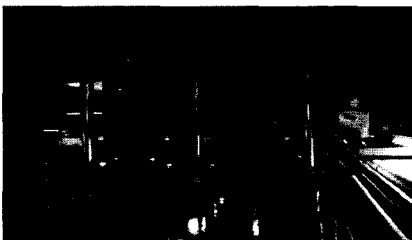


그림 22. 현장 설치 모습 전경

미진동 제어기술 개발을 위한 지속적인 연구 활동이 필요하며, 실질적인 현장 적용을 통해 정밀 공장 등과 같은 하이테크 건축물에 대해 보다 체계적이고 합리적인 설계 엔지니어링 능력 배양과 문제 해결 능력을 갖춰 선진 건설로의 도약을 시도해야 하겠다.

4. 맺음말

첨단 산업의 발달에 따라 하이테크 건축물의 종류도 다양화 되고, 요구되어 지는 건설기술 또한 첨단화 되어 가고 있다. 그리고 현재에 와서는 하이테크 건축물을 위해 개발 사용되어지던 기술이 일반 건축물에도 적용되고 있다. 반도체 공장의 청정기술은 요즘 웰빙 붐과 함께 일반 가정의 공기청정을 위한 기술로 변경 사용되기도 한다.

지금 전 세계적으로 IT, BT, NT등에 첨단기술을 선점하기 위한 경쟁이 치열하며, 이러한 기술의 급속도 발전에 따라 이에 대응하기위한 건축적인 측면의 첨단 기술의 개발 및 타 분야의 기술 활용방안 모색이 더욱 더 필요한 시기가 지금이라 하겠다.

참고 문헌

1. 산업연구원 '2010년 산업발전 비전' 2001. 12
2. 산업은행 '주요기업 04년도 설비투자계획' 2004.3
3. 삼성물산 건설부문 '반도체 크린룸 성능평가 프로세스 개발 연구 보고서' 2003.03
4. 삼성물산 건설부문 '미진동 제어기술 개발', 2002.11