

# CLASS 1 초청정장치 개발

## Development of Class 1 Clean Room Devices

서 석 청\*  
Suck Chung Seo

### 초 록

본 논문은 1. 초청정기술의 현황, 2. 초청정장치의 요소기술, 3. 초청정장치의 개요, 4. 국부청정실의 기본계획에 대해 기술하고 있다. 1. 초청정기술의 현황에서는, 본 연구수행의 방향설정을 위해 미국과 일본의 관련 학·협회의 동향 및 최근에 발표된 논문에 근거한 초청정기술의 연구경향과 과제 등을 파악 분석했다. 2. 초청정장치의 요소기술에서는, 초청정장치 개발에 필요한 미립자제거, 환경조건과 오염제어 기술을 확립하기 위해, Filter와 System Ceiling 방식, 온·습도, 진동, 정전기제어 기술에 관한 문제점과 대책에 대해 검토했다. 3. 초청정장치의 개요에서는, 초청정장치로써 대표적인 클린벤치의 관련규격, 설계요점 등을 검토하여 설계를 위한 기초자료로 삼았다. 4. 국부청정실의 기본계획에서는 상기의 요소기술과 기초자료에 근거하여 본 연구를 수행하기 위한 Line 형의 클린터널 유닛의 기본계획을 수립했다.

### 1. 초청정기술의 현황

현재 클린룸은 전자반도체공학분야를 정점으로 해서 정밀공업, 생명공학, 의약품공업, 병원의 수술실 등에 광범위하게 이용되고 있다. 특히 반도체업계에 있어서는 대상으로 하는 입자의 입경이  $0.1 \mu\text{m}$  정도, 농도가  $1 \sim 10 \text{ 개}/\text{ft}^3$  이하의 소위 Super Clean Room도 사용되고 있다. 클린룸의 청정도 기준으로는 미국연방규격(Fed. Std.) 209 D가 사용되고 있다. 이 규격에서는  $1\text{ft}^3$  중에 포함된 대상 입경( $0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 5.0 \mu\text{m}$ ) 이상의 입자수를 이용해 클래스 1~클래스 100,000

으로 표기하며 클래스별로 대상으로 하는 기준입경이 다르다. 일본에는 현재 클린룸의 클래스기준은 없지만, JIS B 9920의 개정안에서 공기  $1\text{m}^3$  중의 입경  $0.1 \mu\text{m}$  이상의 입자수를 10의指數로써 표기하는 방법이 제안되고 있다.

클린룸은 오염제어기술의 종합시스템으로서 이것을 지지하는 산업으로 사용자외에 건설, 설비, 장치, 기기, 계측장치, 세정장치, 엔지니어링 등의 분야가 관계하고 있으며, 이웃 일본의 경우 그 산업규모만 하더라도 연간 약 5,000억엔 이상의 시장으로 성장되어 있다. 클린룸의 연구활동단체로서는 미국의 경우,

IES (Institute of Environmental Sciences)와 AAAR (American Association for Aerosol Research) 등이 있으며, 일본의 경우 일본공기청정협회, 에어로졸연구협의회, 일본산업기계공업회 등이 중심적 역할을 하고 있다.

미국의 기술동향을 보면, IES 내에 23개의 전문위원회가 구성되어서, 클린룸과 초청정기술의 관련 권장규격(Recommended Practices, 이하 RP로 나타냄)의 일부를 이미 제정했으며, 현재 일부는 심의 또는 작업중에 있다.

한국에서는 1988. 10월에 (사)공기조화·냉동공학회에서 ASHRAE, ANSI/IES 101.1 “미립자 제거용 공기청정시스템의 효율성능”에 대한 표준규격제정사업으로 초안을 작성하여 심의작업중에 있으며, KAIST, 공기청정연구조합 공동으로 Clean Room 기술기준에 대한 연구가 수행중에 있다.

KIMM에서는 ULPA, HEPA, Medium Filter 등의 차압특성 및 제조기법 등에 대한 기초적, 실험적 연구를 계속 수행중에 있다.

일본에서는 초청정기술의 대형프로젝트(예산: 120억엔 정도)를 정부가 수행하기 위해, 현재 통산성 산하의 (사)일본기계공업연합회, (사)일본산업기계공업회내에 전문 위원회가 구성되어서 기초조사를 하고 있으며, 그에 따른 조사보고서가 발행되고 있다.

최근에 발표된 클린룸 관련의 연구논문을 등을 정리하면, 클린룸의 연구테마로서는 오염입자의 발생, 오염입자의 제거, 부유입자 및 부착입자의 계측기술, 기류해석, 환경·안전성 문제 등이 있으며, 정전기대책, 가시화(可視化), 계측기술 등의 새로운 제안과 함께 문제점 등이 제기되고 있다.

오염입자의 발생에 관해서는 오염메카니즘과 발생량에 관한 것들이 많고 대상으로서는 작업자 및 클린룸용 의복으로부터의 발진, 로봇, 운송기기 등의 기계장치에 의한 발진량등이 실측을 통해 파악되고 있으며, 그것들의 대책이 검토되고 있다.

오염입자의 제어에 관해서는 필터에 관한 것과 반도체웨이퍼 등의 제어대상부위의 국소오염에 관한 것으로 대별된다. 필터에 관해서는 저압력손실의 HEPA·ULPA 필터, 고온용필터, 耐 HF 필터, 원자력시설용필터 등이 개발되고 있으며, 한편 그것들의 성능평가, 편홀 등의 문제점이 지적되고 있다.

제어대상부위의 국소오염에 관해서는 주로 반도체웨이퍼를 대상으로 한 메카니즘의 연구가 이론적 실험적으로 행하여지고 있으며 정전기와 난류확산에 의한 침착이 지적되고 있다. 정전기에 의한 오염방지를 위해 이온화시스템의 개발, 인체의 대전(帶電) 방지대책 등이 제안되고 있다. 또 오염제어를 고려한 제조기기와 밀폐격리방식인 SMIF (Standard Mechanical Interface) 시스템 등의 개발 및 성능평가도 중요한 과제이다.

클린룸의 기류에 관해서는 가시화와 시물레이션의 양면으로부터 연구가 행해지고 있다. 트레이서(tracer)에 의한 실내 기류의 가시화 열대류(熱對流)의 기류해석, 운반장치 주변의 기류의 시물레이션 등이 있다. 그 외에도 순수(純水)를 이용한 가시화장치도 개발되고 있다.

미립자의 계측에 관해서는 각종 입자계수기, 응축핵측정기(CNC), 액체·가스용의 측정기의 개발, 클린룸의 다점계측시스템 등이 제안되고 있다. 이러한 계측기술에 의해 소입경의 농도가 대용량 1ft<sup>3</sup>/min으로 측정가능하게 되었지만 계측오차, 입경분별 등의 계측기 자체의 문제점들이 지적되고 있으며, 교정법을 포함한 통일기준을 만들 필요가 있다. 또 측정대상공간의 기류를 흐트리지 않고 계측이 가능한 원격계측시스템이 개발되어 오염 메카니즘의 해명연구에 이용되고 있다.

그 외에도 클린룸에 관한 중요한 과제로서는 미진동, 소음, 전자파, 에너지절약 등의 기술적인 측면이 있을 뿐만 아니라 안전성, 쾌적성의 향상 등 노동위생적인 측면도 있다.

## 2. 초청정장치의 요소기술

## 2-1 Filter 와 System Ceiling 방식

### 가. Filter

(1) 고성능 Filter 의 분류 및 성능은 다음과 같다.

표 1 고성능 Filter의 분류 및 성능

종 류	사 양	특 롱	정 격 풍 량 (m <sup>3</sup> /min)	압 력 손 실 (mmAq)	효 율 (대 상 입 경)
HEPA Filter		일 반 형	17	25	99.97% 이상 (0.3 μm DOP)
		다 풍 량 형	28 ~ 32	25	
		저 압 손 실 형	17	15	
ULPA Filter		일 반 형	17	25	99.9995% 이상 (0.12 ~ 0.17 μm DOP)
		저 압 손 실 형	17	19	
초ULPA Filter		일 반 형	17	25	99.99995% 이상 (0.05 ~ 0.08 μm DOP)

#### (2) 압력손실의 저감과 다풍량화

저압력손실 여재의 개발에 최선의 방법이지만, 실제로 그것이 어려운 경우에는 처리풍량을 증가시키기 위해서는 다음의 조건이 필요하다.

- 여재면적의 증가
- Filter 내부의 구조저항의 감소
- 여재의 고유저항의 저감

#### (3) Filter 구조의 개선

최근의 HEPA Filter 의 구조개선의 내용은 다음과 같다.

표 2 HEPA Filter의 구조개선

구 성 재 료	개 선 전	개 선 예 (이 유)
Separator	알루미늄 박지	종이(내식), laminate 紙(내온, 내발진), Separatorless (경량화)
Frame	Vomer (합판)	외장합판(내발진) 알루미늄합금(내화, 내발진, 경량화)
Seal 材	네오프렌	에폭시, 우레탄(기밀, 무취, 내후, 내약품)
Gasket	네오프렌스폰지	실리콘, 액체Seal (내수명, leak 대책)

표 3 System Ceiling 방식의 내용

항 목	요 점	대 책 내 용
실내와 외부와의 leak	Filter 의 확실한 설치	각종 System 천정의 개발, 액체, 점성 Seal 材 사용.
실내미립자의 추적(推積)	천정부에서의 미립자 추적방지	Punching 類의 검토,凹凸부의 최소화
기류의 흐트러짐	Filter 의 유효면적 확대	개구부의 점유율이 큰 Filter 의 사용
	Filter Frame 폭의 최소화	설계검토, 재료강도의 검토
	형광등의 낮은 점유율	Filter Frame 내에 설치
진동, 소음	소음의 최소화, 미립자의 재비산방지	저압력손실의 Filter 사용, Unit Case 의 흡음처리, 저소음 Fan 의 사용

### 나. System Ceiling 방식

System Ceiling 방식의 설계를 위한 Filter 설치상에 있어서의 대책은 표 3과 같다.

#### 2-2 온·습도 제어

##### 가. 온·습도의 영향

(1) 반도체 제조공정에 있어서의 온·습도의 영향은 다음과 같다.

온도 : · 웨이퍼, Glass Mask 의 열팽창  
· 작업자의 발한(發汗)에 의한 Na의 발생 (25°C 이상)

습도 : · Photoresist 액의 밀착성 저하  
· 부식방지(50% RH 이상)  
· 프로세스장치내의 냉각관벽면의 결로(55% RH 이상)  
· 정전기발생(40% RH 이하)  
· 공기중의 H<sub>2</sub>O 분자에 의한 미립자의 부착력 증가

○ 최적의 온·습도 : 23°C DB, 45% RH

나. 온·습도 제어에 있어서 고려할 사항 및 대책은 표 4와 같다.

##### 다. 냉각방식의 비교

클린룸에 사용되고 있는 냉각방식의 비교는 표 5와 같다.

#### 2-3 진동제어

##### 가. 진동원

현재 반도체 제조공정에 있어서의 진동허용치는 가속도 0.1 gal 이하, 변위 0.1 μm 이

표 4 클린룸에 있어서의 온·습도 제어의 요점

고려할 사항	대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>제조장치의 다배기량에 의한 높은 외기도입량의 비율</li> <li>24 시간 운전</li> <li>일정한 온·습도조건 유지</li> <li>각 공정별의 현저한 냉방부하의 편재</li> <li>와류(渦流) 영역에서의 고온도 형성</li> <li>온·습도 제어용 Sensor의 설치 위치 및 보정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>외기용 공조기의 설치 및 국소배기에 의한 Clean Air의 배기량 감소</li> <li>주공조기는 각 공정별로 설치함</li> <li>정밀공조기의 사용 및 Duct 계의 공기 체류공간 설치</li> <li>공조기 제어계통을 각 공정별로 분리</li> <li>整流영역의 확대 및 기류제어, 벽면과 천정의 Filter Frame 등에 의한 복사방지</li> <li>벽, Filter Frame, 형광등 주변 등의 와류영역과 복사영역에서의 설치는 가능한한 삼가</li> </ul>

하가 요구된다.

클린룸에 있어서의 진동원은 다음과 같다.

나. 설비기기 등의 진동제어의 Flow Chart

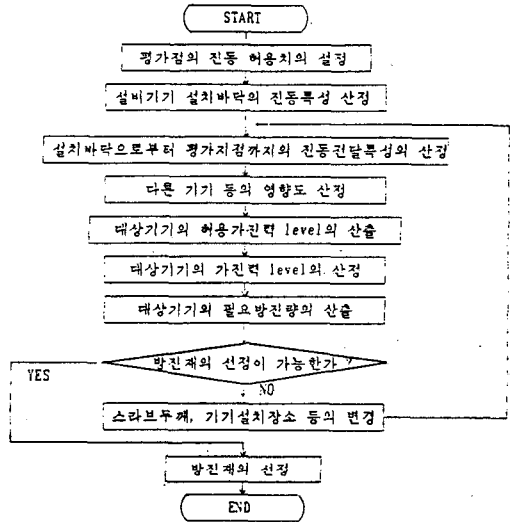


그림 1 클린룸내의 설비기기의 진동제어 Flow Chart

다. 설비기기 등의 방진설계, 시공상의 주의점

(1) 소형의 기기나 소구경의 배관 등도, 구조물 및 방진장치와의 공진현상이 일어나면 큰

표 5 클린룸에 사용되고 있는 냉각방식의 비교

	Compressor 개별내장방식	냉수 중앙공급방식
성능및크기	<ul style="list-style-type: none"> <li>온도 제어성능 : <math>\pm 0.1^{\circ}\text{C}</math></li> <li>작업영역내의 발열량에 관계없이 Compressor의 일량이 일정</li> <li>냉각코일의 소형화는 가능하지만 재열히터의 용량이 큼</li> <li>Compressor와 재열히터의 소비전력이 큼</li> <li>장치가 큼</li> <li>외적조건의 영향이 적음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>온도 제어성능 : <math>\pm 0.1^{\circ}\text{C}</math></li> <li>작업영역내의 발열량의 변화에 따라 필요냉각능력의 제어가 가능</li> <li>냉각코일이 조금 크며, 재열히터의 소형화와 소비전력의 저감이 가능</li> <li>냉각에 필요한 소비전력을 저감시킬 수 있음</li> <li>장치의 소형화가 가능함</li> <li>공급냉각수의 온도조건의 제약을 받음</li> </ul>
설치및보수	<ul style="list-style-type: none"> <li>설치공간이 큼</li> <li>Compressor의 보수가 번잡함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>설치공간이 작음</li> <li>냉각기구의 보수가 비교적 간단함</li> </ul>
적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>소수대의 개별설치에 적합함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>라인배치 등의 다수대 설치에 유리함</li> </ul>

표 6 클린룸에 있어서의 진동원

지 반 진 동	건 축 설 비 진 동	클린룸내 기기진동	인적작업진동
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 현지측정</li> <li>· 상시진동, 도로, 철도, 공장 등의 택지외부로부터의 미소진동과형의 특정 검토</li> <li>· 지반조사</li> <li>· 보울링시험, 검증 시험 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Air Handling Unit</li> <li>· 냉동기</li> <li>· Elevator</li> <li>· 변전기</li> <li>· Duct, Pump</li> <li>· Cooling Tower 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소형냉각기</li> <li>· 확산로 등의 각종로</li> <li>· 산·알카리 가스처리장치</li> <li>· 각종 Pump, Motor</li> <li>· 배관 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 클린룸내의 보행</li> <li>· 주변복도 보행</li> <li>· 대차통행</li> <li>· 그외 작업</li> </ul>

진동이 발생한다.

(2) 중요한 실의 근접에는 공조기기 등의 설치를 피하여야 하며, 실과 관계가 없는 배관, Duct를 설치하지 않도록 설비계획을 한다.

(3) 통상의 구부리기 쉬운 이음매에는 내압에 의한 반력이 생기기 때문에, 방진 대상의 배관에 있어서의 구부리기 쉬운 이음매 사용의 가부 및 사용하는 경우의 사양 등에 관해 충분히 검토해야 한다.

(4) Maker의 배관용 방진 이음매를 포함한 구부리기 쉬운 이음매의 재질이 고무제품이라도 진동절연효과는 기대할 수 없다.

(5) 배관내에 공기가 혼합되어 있으면 큰 진동이 발생한다. 공기배출이 간편한 배관시스템을 채용하는 것이 좋다.

(6) Duct계에 맥동이 생기면 큰 진동이 발생하기 때문에, 맥동방지를 위해서 급격한 구부림과 Supply Chamber의 채용을 삼가한다.

(7) 방진 재선정은 가격과 시공성을 고려하여야 하며, 전부 Spring 방진은 필요없고 고무방진으로 충분한 경우가 많다.

(8) 기기의 Balance 조정의 정도에 따라 발생진동은 크게 다르기 때문에, 시운전시에 충분한 조정을 해야한다.

2-4 정전기제어

반도체 제조에 있어서 불량품의 원인은 약 60%가 미립자에 의한 것으로서, 그중의 80%가 정전기에 기인하는 미립자의 부착때문이다

라고 하는 것은 널리 알려진 사실이다. 그 외에도 정전기의 방전에 의해서 반도체소자를 파괴, 또 Noise 발생의 원인이 되어서 전자기기의 오작동을 일으킨다는 것은 최근에 보고된 문제중의 하나이다. 정전기제어를 위한 이론정립은 아직 미흡한 상태여서, 향후 이것에 관한 연구의 필요성은 절실하다.

가. 클린룸에 있어서의 정전기대책

(1) 정전기의 발생을 적게하는 경험적인 대책

- 압력과 속도를 적게 한다.
- 마찰빈도를 적게 한다.
- 정전기가 발생하기 어려운 재료와형상의 물체를 사용한다.

(2) 발생된 정전기의 누설축진

- 접지: Clean Air에 접하는 것(벽, 바닥, 천정, 각 배관류, 조명기구 등)
- 대전방지제의 사용
- 대전방지용품의 사용: 도전성 탄소·금속산화물 미립자의 혼합, 도전성도료의 코팅 등

· 가습

(3) 정전기의 중화

· 이온발생: 절연성의 기계설비, 건축의 구성재료

나. 인체에 대전방지대책: 대전방지복·구두, 도전성의 바닥 채용

### 3. 초청정장치의 개요

#### 3-1 초청정장치의 관련규격

초청정장치의 대표적인 클린벤취 (Clean Bench)에 관한 규격으로서는 다음의 2개를 들 수 있다.

가. IES-RP-CC-002-86. Laminar Flow Clean Air Devices (층류형 공기청정장치)

이 규격은 층류형 공기청정장치의 성능평가와 조건에 관해 규정하고 있으며, 클린벤취, 청정작업대, Filter Module, 송풍기를 내장한 공기청정장치의 사양과 검정방법에 관한 지침서이다. 또한 이 규격은 시설주에 의한 재검정의 지침이 되며, 클린룸은 대상외이다. 이 규격은 1983~1986년 동안 심의된 후 공표되었다.

나. JIS B 9922. 클린벤취 (Clean Work Station)

이 규격은 1981년에 제정된 것으로, 크린벤취의 성능, 크기, 시험방법, 검사 등에 관해 규정하고 있다.

#### 3-2 클린벤취

가. 클린벤취 성능의 요약

- (1) 작업대상에서 기류속도가 균일해야 한다.
- (2) 외부의 오염공기가 작업공간에 유입되지 않아야 한다.

(3) 작업대상에서 소정의 청정도가 확보되어야 한다.

(4) 배기기능을 가지는 경우에는 외부로의 누출량이 적은 구조여야 한다.

(5) 기체의 진동과 소음이 적어야 한다.

(6) 작업공간 주변의 표면에 있어서凹凸부분이 없어야 한다.

(7) 내장 Filter의 점검, 교환이 용이해야 한다.

(8) 순환공기계내의 송풍기의 발열에 의한기내의 온도상승이 없어야 한다.

나. 클린벤취의 성능시험 항목

풍속, 청정도, 소음, 송풍기의 설계용량, 온도상승, 조도, 진동, 구조상의 안정도

다. 클린터널 방식의 장점

(1) 전면 Down Flow 클린룸에 비해서, 필요한 부분만을 청정화시키기 때문에 비용이 비싸다.

(2) 청정공간이 작기 때문에 청정도 유지가 용이하고, 에너지절약에 유리하다.

(3) Down Flow 형성이 용이하며, 강한바닥 시공이 가능하여 방진효과가 크다.

### 4. 국부청정실의 기본계획

#### 4-1 국부청정실의 계획

- (1) 기본계획에 있어서의 목표

표 7 국부청정실의 개요

구 분	크린터널 유닛	난류형 크린룸
특 징		
실 의 면 적	1.6 × 2.4 m × 2 개 (7.7 m <sup>2</sup> )	2.4 × 2.4 m (5.8 m <sup>2</sup> )
실 의 높 이	2.2 m	3.0 m
청 정 도	0.1 μm, Class 1	0.3 μm, Class 1000
기 류 방 식	정류형	난류형
환 기 횟 수	200 회 / 시	100 회 / 시
온 · 습 도	20 ~ 24 °C, 40 ~ 55 % RH	20 ~ 24 °C, 40 ~ 55 % RH
실내외 압력차	+ 5mmAq	+ 5mmAq
대 전 전 위	20 V 이하	20 V 이하
진 동	변위 0.1 μm 이하	변위 0.1 μm 이하

- 설비코스트와 운전유지코스트의 절감
  - Lay Out 변경에 대한 Flexibility 증대
  - 기설치된 클린룸의 실질적인 성능향상
  - (2) 국부청정실의 개요
- 국부청정실의 개요는 표 7과 같다.
- (3) 국부청정실의 단면
- 국부청정실의 단면은 그림 2와 같다.

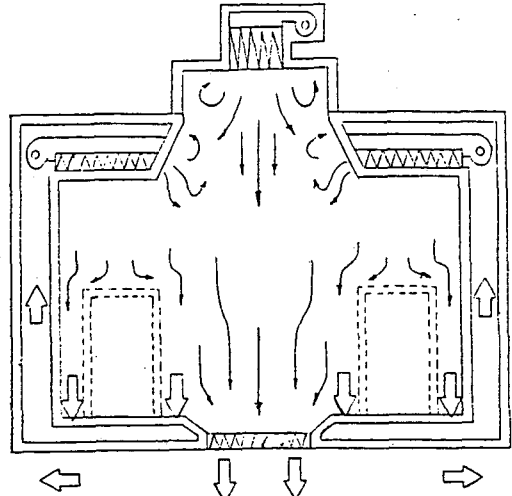
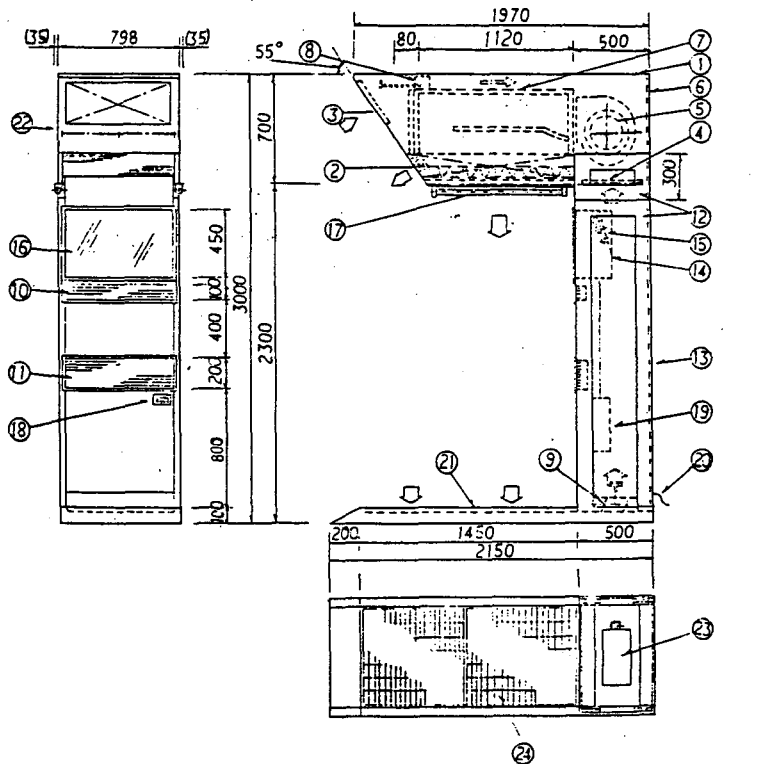


그림 2 국부청정실의 단면

4-2 클린터널 유닛의 기본계획

- (1) 사양
- 정격풍량 26.8 m<sup>3</sup>/min
- 압력손실 (초 기) 25.4 mmAq 이하
- (교환시) 50.8 mmAq
- 처리풍속 0.4 m/S (경사부 0.1~0.3 m/S)
- 포집효율 99.9995% (입경 0.1 μm) 이상
- (2) 설계도면 클린터널 유닛의 도면은 그림 3과 같다.



- |                    |              |              |              |                    |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| ① 본 체              | ② Air Filter | ③ Pre Filter | ④ Pre Filter | ⑤ Fan              |
| ⑥ 보수 Pannel        | ⑦ 흡음계        | ⑧ Damper     | ⑨ Damper     | ⑩ Resist (Shutter) |
| ⑪ Resist (Shutter) | ⑫ 가대         | ⑬ 뒷면 Pannel  | ⑭ 형광등 Box    | ⑮ 형광등              |
| ⑯ 형광등 Cover        | ⑰ 형광등        | ⑱ 조작Switch   | ⑲ 전원기기       | ⑳ 전원 Cord          |
| ㉑ Grating          | ㉒ 천정흡입부      | ㉓ Damper     | ㉔ Grating    |                    |

그림 3 클린터널 유닛의 도면

참 고 문 헌

1. 7th Annual Technical Meeting on Air Cleaning and Contamination Control, Japan Air Cleaning Association, April 1988.
2. The 6th Symposium on Aerosol Science & Technology, Japan Association of Aerosol Science and Technology, August 1988.
3. 34th Annual Technical Meeting, Institute of Environmental Sciences, May 1988.
4. 9th International Symposium on Contamination Control, International Committee of Contamination Control Societies, September 1988.
5. 1988 Annual Meeting and Symposium on Particulate Contamination Control in Microelectronics, American Association for Aerosol Research, October 1988.
6. 安岡修一; Particle 排除の要, HEPA から超ULPA, Semicon News, Vol. 6, No. 7, 1986.
7. 安岡修一; Air Filter の実際と課題, 세미나“微粒子に関する超クリーンルーム化技術とその周辺問題”, 1986. 12.
8. Davis, C.M. et al: J. of Environmental Sciences, p.27, Mar./Apr., 1981.
9. 超LSI Ultra Clean Technology Symposium No.3, “Total Clean System”, 半導体基盤技術研究会, p.16, 1986. 7.
10. 金光映; 東京工業大学博士學位論文, “浮遊微粒子の遠隔計測によるクリーンルーム内の表面汚染に関する研究”, 1988. 3.
11. 佐藤哲雄; 半導体プロセスにおける温湿度制御計画, 空気調和と冷凍, Vol.25, No.1, 1985. 1.
12. 超クリーン化技術, 日経BP社, p.160, 1988. 10.
13. 内田円; 半導体素子製造プロセスにおける環境制御技術と設計計画, 空気調和と冷凍, Vol.25, No.2, 1985. 2.
14. 老川進, 他; 精密温度制御されたクリーンルーム内の温度性状, 第7回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会豫稿集, p.93, 1988. 4.
15. 金井莊一; 2-4-5 温湿度制御, クリーンルーム(早川一 編著)井上書院, p.143, 1985. 4.
16. 渡邊清治; 半導体プロセスにおける微振動及び防振・除振対策, 空気調和と冷凍, Vol.25, No.1, p.104, 1985. 1.
17. 萩原弘道; 微細加工施設における微振動制御, '87クリーンテクノロジーシンポジウム, (社)日本産業機械工業会, 1987. 11.
18. 土屋秀雄; 微振動の豫測と対策, '85クリーンテクノロジーシンポジウム, (社)日本能率協会, 1985. 11.
19. 早川一 編著; クリーンルームハンドブック, 施策研究センター, p.257, 1986.
20. 小林直, 他; クリーンルームにおける静電気コントロールについて, 第6回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会豫稿集, p.265, 1987. 5.
21. 浅田敏勝; 電子産業におけるクリーンルーム内でのESD制御の現状と問題点, '87クリーンテクノロジーシンポジウム, (社)日本産業機械工業会, 1987. 11.
22. 早川一 編著; クリーンルーム, 井上書院, p.98, 1985. 4.
23. 早川一 編著; クリーンルーム, 設計ハンドブック, 施策研究センター, p.89, 1986.
24. クリーンルームバイオクリーンルーム, 技術資料應用編, 三建設備工業(株), 1981. 11.
25. 徐石清, 趙相俊外; 高性能필터의 國産화에 관한 研究, 韓國機械研究所 研究報告書, UCN 100-941. C, 1987. 5.