

Clean Room 이란 무엇인가 ?

— 最近의 話題와 今後의 研究課題 —

Clean Room

— The Latest Topics and Coming of Age —

서 석 창*
Seock-Cheong Seo

1. 서 론

공기조화 설비와 냉동장치는 학문상으로는 기계공학의 한 분야이며, 열역학, 유체역학, 열전달을 바탕으로 여기에 자동제어, 위생공학, 화학, 경영 등 여러분야의 학문과 건축물의 구조에 이르기까지 알맞고 소기의 성능을 효율적으로 이루게하는 이른바 “종합공학”이라는 특수성을 지니고 있다고 볼 수 있다.

냉동공조산업을 그 발전성을 근거로 다음 4가지 요소로 구분하면, 첫째, 생활밀착형산업. 둘째, 산업지원형산업. 세째, 국제발전형산업. 넷째, 하이테크형산업으로 나눌 수 있다.

냉동공조기술중 생활밀착형은 최근에 초저온, Electronics, Bio Tech. 등 High Tech. 산업을 지원하는데 없어서는 안될 설비로 등장하여 그 용도가 확실해졌다.

한편 공기조화의 영역은 다양화해서 Clean Room, Bio Clean Room, 생물환경실, 전천후 시험실, 원자력시설, 교통기관, 터널 등에 공기조화 기술이 적용되고 있으며, 최근 Clean Room 산업은 초정정 공간을 만들어 내는 것으로 급속한 성장을 계속하고 있으며, 여러 분야에서 그 필요성이 높아지고 있다.

한국의 냉동·공조기계공업은 1970년 이래 정부의 기계류 국산화 정책과 국내 관련 수요

산업의 급격한 발전에 힘입어 1971년 부터 1980년까지 10년 동안 선진기술과 자본을 도입하여 급속히 발전되었다고 할 수 있다.

그러나 현대는 과학산업 (Science - Based Industry) 곧 첨단기술산업 (High - Technology Industry) 시대로서, 노동집약·기능집약에서 기술집약·두뇌집약으로 변천되어, 새로운 지식과 원리를 발견하고 기술혁신을 주도하는 기초과학 및 기초공학 (Basic Science & Basic Engineering) 을 근간으로 하여 한계 돌파기술 (Breakthrough Technology) 곧 극한기술에 역점을 두게 되었다.

첨단기술산업의 발전은 미세가공기술 (微細加工技術)이나 극한기술 (極限技術)에 의존한다고 보아도 과언이 아닐 것이다. 이 미세가공기술이나 극한기술을 보조하는 주변기술로서는 고도의 온·습도제어로서 극저온기술, 초고온기술, 정전대책, 초전도, 초고압기술, 고진공기술, 무중력기술 그리고 무진화·무균화 및 진동제어의 초정정기술등을 들 수 있다.

요즈음 고도 첨단기술의 물결은 우리나라 국산업계를 확실히 급진적인 위세로 변모시키고 있다. 이러한 첨단기술은 초정밀화, 고도화, 무균화, 고순도화함과 동시에 그 환경의 Clean Room화가 요구되고 있고, 생명과학

* 정회원, 한국기계연구소

(Life Science), 전자(Electronics), 메카트로닉스 기술(Mechatronics Tech), 식품, 원자력, 정밀기기, 광학기기, 약품, 병원, 유전자공학, 항공우주산업등 신소재 분야에 이르기까지 급속한 기술혁신이 이루어지고 있으며 여러분야에서 공기청정을 중심으로 하는 오염제어(Contamination Control)이 필요하게 되었고, 앞으로의 첨단기술분야의 발전은 청정화 기술의 고도화에 달려 있다고 말할 수 있다.

2. Clean Room이란?

Clean Room은 부유먼지, 유해가스, 미생물 등의 오염물질의 존재를 어떤 정해진 규제기준이하로 제어하는 청정공간(淸淨空間)으로, 실내의 기류속도, 압력 온·습도 등이 어떤 범위내로 제어되는 특수 건물이다.

Clean Room은 주로 먼지 등 미립자를 대상으로 하는 공업용 Clean Room(ICR)과 세균이나 곰팡이 등의 생물입자를 중시하는 Bio Clean Room(BCR)이 있다.

대상분야별로서는 대별해서 첫째, 반도체산업, 우주항공, 전자·정밀산업. 둘째, 제약·

식품 등 GMP 대상산업. 셋째, 병원의 무균수술실, 병실 등. 넷째, 기타 동물실험(GLP), Bio-Hazard 대책 등 생명공학과 관련된 안전성에 관한 것이었다.

Clean Room의 설계·계획시에는 구체적인 설계조건을 제시해야되며, 각 대상분야에 대한 설계시 검사항목에 대한 유의점은 표-1과 같다.

2.1. Industrial Clean Room - ICR -

일반적으로 ICR은 주로 미립자를 대상으로 하는 정밀기계공업, 반도체공업, 전자공업, 필름공업, 인쇄공업등에 설치하는 것으로, 이들 공업분야에서는 정밀화, 미소화, 고품질화 및 고신뢰성이 요구되어 실내의 부유 미립자가 적어 지도록 되어 있다.

ICR의 지표로서는 일반적으로 미국 연방규격 209a가 적용된다.

이 규격은 공기 중의 부유입자를 0.5µm 이상의 입경과 5.0µm 이상의 입경의 누적입자에 따라 Clean Room의 Class를 규정하고 있다.

표 1. Clean Room 對象別 留意點

檢 査 項 目 對 象 分 野	空 氣 淸 淨 度	溫 濕 度 條 件	排 氣 關 係	設 備 配 管	滅 菌 · 洗 淨 對 策	建 材 의 選 定	氣 密 性	空 氣 壓 均 衡	臭 氣 對 策	腐 食 性	防 振 處 置	騒 音 對 策	運 轉 · 保 守 性
I C L S I	◆	○	◆	◆	■	■	■	○	■	○	◆	○	○
薄 膜 · Film	○	○	○	■	■	○	■	○	○	■	■	■	○
精 密 · 一 般	○	○	■	■	■	■	■	○	■	■	■	■	○
製 藥 工 場	○	○	○	○	◆	○	○	○	◆	○	■	■	○
動 物 飼 育 舍	○	○	■	■	◆	○	◆	◆	◆	○	■	○	○
Bio - Hazard	○	○	■	■	◆	◆	◆	◆	○	○	■	○	○
病 院 手 術 室	◆	○	■	■	○	○	■	■	■	■	■	○	◆
病 院 無 菌 病 室	◆	○	■	■	○	○	■	■	■	■	■	○	◆
食 品 釀 造	○	○	○	■	○	■	■	○	○	■	■	■	○
Rocket 等 宇 宙 航 空	○	○	■	■	■	■	○	○	■	■	○	■	○

■ 특히 중요하지 않음.

○ 검토를 요함.

◆ 중요도کم, 충분한검토를 요함.

- 주로 전자산업에 응용
Tr → IC → LSI → VLSI
- 특히 환경제어 분야
Class 100 → 10 → 1 → 0.1
- HEPA 0.3 μm 99.97% → 0.1 μm 99.9999%까지, 최근에는 이런 것을 ULPA (Ultra Low Penetration Air Filter)라고 하고 있다.
한국, 일본, 미국 등 여러 다른 나라와 마찬가지로 고정밀성은 같다고 보겠다.
- 산업용 C/R은 먼지를 여하히 제거하는냐가 중요하다고 보겠으나 한편 위생적인 면에 대해서는 문제가 된다.
곧 식품가공분야, 제약분야, 의료분야 등에 대해 위생문제가 크게 야기되고 있다.

2.2 Bio Clean Room - ICR -

한국의 경우에는 각종 법률규제가 이루어지고 있다.

1. 식품가공분야.....식품 위생법
2. 제약분야.....제약시설 기준으로서, GMP (Good Manufacturing Practice). 제약을 하기위한 연구부분의 기준으로서, GLP (Good Laboratory Practice).
 - 세계적으로 OECD (세계경제협력기구)를 만들어 이곳에서 규제하도록 하고 있다. 왜냐하면 약을 해외에 수출하려면 GMP, GLP의 규제를 받고 있다. 따라서 이런 규제가 있기 때문에 Bio-Tech. 쪽의 연구에 더욱 관심을 가지게 되었다.

○ B. C. R.의 목적

- (1) 미생물 오염을 방지.....식품 상품가치를 높인다. 달리 표현하면 식품의 부패방지로 맛을 보증하는 품질보증.
방부제 같은 식품첨가물의 제한..... 발암성 그 이유는 식품첨가물중에 발암물질이 많기 때문, 우동에는 방부제로 AF2를 쓰고 있는데 이런것이 문제.
- (2) 이물혼입(異物混入)에 의한 약품 아레르기
약품의 경우에는 이물질이 혼입하여 아레르기(黃黴菌에 依함), 풀치가 아플 경우가 있

다. 이런것을 방지하기 위한 시설로써 BCR이 필요.

- (3) 치료효과 향상.....의료
의료분야에서는 의료기구를 사용해서 치료 효과를 향상시키기 위해 BCR 사용. 그리고 BCR 응용으로 2차 감염방지.

- (4) 연구효과의 향상.....의학
기초의약분야에서도 연구효과 향상을 위해 필요. 이러한 것이 모두 모여 미생물의 방지가 되었으나 최근 BCR 분야에 새로운 문제가 제기되고 있다.

- (5) 국제전염병의 발생
그 대표로 AIDS가 되겠다. 대단히 감염성이 높은 것으로 증가되고 있다. 이런 국제전염병은 지구촌의 개념으로 요즘은 1일 생활권이다. 그래서 국제적인 문제로 되고 있다.

- (6) 유전공학의 응용
요즘 새로이 등장된 분야로서 BCR 중에서 (5), (6)항이 최근의 연구과제로 선진국에서 박차를 가하고 있는 실정으로서 이것을 Bio Hazard Contamination 분야로 본다. 얼핏보면 BCR 분야인것 같으나 약간 다르다.

3. 최근의 화제와 앞으로의 연구과제

본 장에서 언급하고자 하는 것은 IES 32년차에서 발표된 “입자오염의 화제와 앞으로의 연구과제” 및 Clean Room 공기청정도 등급에 관한 “연방규격 209 B (Clean Room)의 개정안에 관한 근거”에 대하여 수집된 해외정보자료를 근거로 기술하고자 한다.

Aerosol의 연구자들이 가장 많은 흥미를 가지고 있었던 것은 입자에 의한 오염에 관한 “오염제어”로서 다음 14개의 Section으로 분류되어 토론되었다.

- 1) 오염에 관한 연구센터의 역할.
- 2) 정전기의 방전과 이온상의 생성.
- 3) Robot 와 Wafer의 수송.
- 4) 액체와 화학물질.
- 5) 제조장치내의 입자의 제어.
- 6) 액중 입자.
- 7) 입자의 검출법.
- 8) 초청정가스의 입자관련기술.

- 9) 미세환경과 IC 제조 관련 의 문제.
- 10) 표면오염.
- 11) Clean Room의 설계.
- 12) 의복과 옷감.
- 13) 여과와 기류의 유동(흐름)
- 14) 제약관련.

3.1 미국의 각 연구조직에서 수행하는 입자오염 관련 연구테마

미국에서의 연구 조직으로는 R. T. I (Research Triangle Inst. : 비영리 연구기관), M. C. N. C (Microelectronics Center of North Carolina) 및 S. R. C (Semiconductor Research Corporation)가 삼위일체가되어 "입자오염" 문제를 다루어 오고있다.

또한, 아리소나대학에 N. C. F (National Science Foundation)에 의해서 시작된 29개의 센터가 하나있고, C. M. C (Center for Micro-Contamination Control)이 1984년에 설립되었다. 이들 연구조직에서 취급하고 있는 연구테마를 보면,

o R. T. I. Group 의 연구테마.

1) 실내 입자농도와 Wafer 상에 낙하되어 붙는 입자의 면적농도와의 관계 및 이 관계를 조사하기 위한 침착입자(沈着粒子)의 검출법의 개발.

2) 여재, Silicon Tip, 그 외에 표면에 낙하되어 붙는 입자물질의 동일함의 확인검토.

3) Aerosol 입자계측기(CNC와 광산란 Counter의 조합 및 Diffusion Battery). 에 의한 $0.01 \mu m \sim 1 \mu m$ 의 입도분포측정수법(粒度分布測定手法)의 개발과 미소입자역(微小粒子域)의 입자에 관한 정보입수 및 표면침착입자(表面沈着粒子)의 주사형계수기(走査型計數器)의 성능평가.

더우기 입자발생원 그 영역(場)에서의 검출수법의 개발.

4) Clean Room내에서 이용되는 장치, 재료에서의 발진(發塵)에 대한 측정 및 종이에 있어서의 발진량의 시험법의 검토.

5) 정전기중화(靜電氣中和)를 위한 코로나

방전에 의한 이온의 발생과 그 때에 생성되는 미립자($0.02 \mu m \sim 0.03 \mu m$)의 문제점에 대한 검토.

o C. M. C. Group 의 연구테마.

1) 표면 침착입자의 광학적 검출과 유기물의 확인검토 및 자외선을 이용한 Submicron 입자의 검출법의 개발.

2) 표면 침착입자의 부착력에 미치는 습도, 표면오염, 전하(電荷), 화학적 성질의 영향.

3) 액(液) 중에 청정가스의 기포(氣泡)를 불어넣어주는 새로운 액청정화 기술의 개발.

4) 응축 등에 의한 입자성장의 여과(濾過)와 침착(沈着)으로의 응용기술.

5) 의복에서의 발전기구와 새로운 의복의 개발.

6) Clean Room내의 작업원에 대한 교육.

7) 박막성장(薄膜成長)에 미치는 불순물의 영향(核의 문제).

8) Clean Room내의 3차원 공기유동에 대한 새로운 계산수법의 개발.

3.2 미국 연방 규격 209 B (Clean Room) 의 개정안에 관한 근거

o 1963년 12월에 미국정부는 Clean Room 및 Clean Bench 에 관한 연방규격 209를 승인했다.

o 1966년 8월에 개정연방규격 209A를 승인했다.

o 1973년 4월에 연방규격 209B(FS 209B)를 변경해서 1976년 5월에 수정했다.

o 1986년 개정안의 대부분을 수정작업해서 Class 1과 Class 10을 추가했다.

금번 개정안의 대부분은 정부·기업·대학·연구기관 등의 회원으로 구성되어 있는 전문학회 IES의 위원회에 의해서 정리되었다. 개정위원회는 정부기관, Micro 전자산업, 계측기 Maker, Clean Room 설계자, 사용자(제약회사를 포함), 시험자 및 연구기관의 연구자가 위원으로 구성되었다.

규격의 개정작업을 시작한지 4년만에 IES는 규격의 승인, 공표의 책임을 갖고 있는 미

국정부 G. S. A (General Service Administration)에 이 개정안을 제출할 수 있다.

규격은 그것이 Clean Room을 구입하는 정부기관과 공급자와의 사이 및 일반설비 구입자와 설계자·공급자간에 있어서 계약항목의 선택에 직접적으로 사용되기도 하고 또는 영향을 미치기도 하므로 아주 중요하다.

또, 규격은 F. D. A (Food and Drug Administration)의 감독하에 있는 제약공장의 Clean Room이나 그 운전방법의 규제에도 영향을 끼친다.

개정안은 미국 환경과학학회(IES)의 RP-50 위원회의 일련의 회합에서 정리되었으며 주된 개정점을 요약하면 다음과 같다.

- 1) Class 1 및 Class 10을 추가한다.
- 2) Class 1 및 Class 10에 대해서는 0.1, 0.2, 0.3 및 $0.5\mu m$ 의 입경에 대해서 또 Class 100에 대해서는 $0.5\mu m$ 이외에 0.2, 0.3, μm 의 입경에 대해서 필요 농도를 만족해야 한다.
- 3) 다른 Class (예를들면 Class 50)도 필요에 따라서 정의할 수 있다.
- 4) Sampling 점수(點數)에 대해서는 Class 별로 정해져 있다. 또 층류(層流)·난류(亂流)라고 말하는 대신에 단일방향흐름(單一方向流)과 없는 흐름(無方向流)로 나누어 명확하게 구별한다.
- 5) 측정오차에 기초를 둔 최소 Sampling 량이 정해져 있다.
- 6) 검증(檢證, Verification)은 초기와, 정기적으로 실시한다.
- 7) 검증에는 입자계측을 필요로 한다.
- 8) Particle Counter는 정기적인 교정(校正, Calibration)이 필요하다.
- 9) 다음 2 항목을 만족하면 그 Clean Room 영역은 Class 조건을 만족하는 것으로 볼 수 있다.

(1) 각 Sampling 위치에 있어서 여러번 측정된 입자수의 평균치가 Class 조건을 만족한다.

(2) 모집단(母集團)의 평균치가 Class 조

건보다 확실히 (95%의 신뢰성에서) 적은 값에서 이들 각 위치에 있어서 평균치의 평균이 충분히 적다.

이 보고서에서 제안되었던 주된 개정점과 개정에 대한 근거에 대하여 기술하면,

○ 부록항목의 삭제

RP 위원회에서 다루어진 것 중 중요한 개정점의 하나로 부록에 기술되어 있는 항목이 삭제 하는 것이다.

제약공장의 경험에서는 다른 산업에 대해 Option으로서 가미된 부록중의 항목이 비록 그 항목이 규격의 본문에 비해서 충분히 심의 되어 있지 않는 것도 FDA의 검사관에 의해서, GMP의 필수항목으로 간주되었다.

위원의 거의 대부분은 부록이 유의하고 가치있는 것으로 인정하나 다르게 생각하는 위원도 있고해서, 위원회로서는 부록에 기재되는 항목은 최소로 하자는 의견에 일치했다. 개정안에 있어서 부록항목은 다음과 같다.

- A. 입자계수-수동계수 및 Class 등급 방법
- B. 입자수 계측기의 조작과 Test 방법.
- C. 통계적해석-계산에
- D. 문 헌

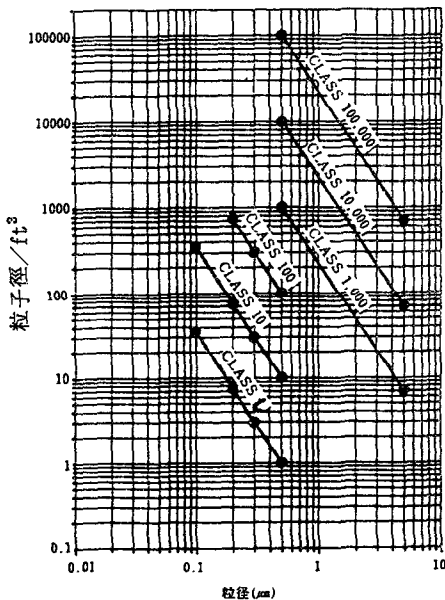
○ Class 1 및 Class 10

FS 209 B에서는 직경 $0.5\mu m$ 이상 크기의 입자가 $1ft^3$ 당 100개 이하의 청정도를 class 100으로 정의했다. 마찬가지로 $0.5\mu m$ 이상의 입자가 $1ft^3$ 당 10,000개 및 100,000개 이하의 경우를 각각 Class 10,000, Class 100,000으로 했다. 그외의 Class도 특별히 사용할 필요가 있을 경우에는 FS 209 B의 표-3에 나타난 그림의 선상에 평행하게 그려진 선을 사용해 추가 사양이 인정되었다.

Class Level은 그 선이 $0.5\mu m$ 선을 가를 때의 값으로 나타냈다. FS 209 B의 수정(1976년 5월)에 있어서 Class 1,000이 명확히 추가되었다.

이번 FS 209 B의 개정안에서는 표 및 그림에서 Class 100, 1,000, 10,000, 100,000을 같이 고려해서 Class 1과 Class 10이 추가되었다. 종래는 청정도의 정의가 유일하게 입

경으로 정해졌으나, 전체의 입경에 대해서 정의하는 것이 애매한 것에 대해서는 본 안에서는 어떤 특별한 입경에 있어서 입자수로 Class의 결정이 이루어졌다. 표-2는 Class를 정의하기 위한 입경과 농도를 나타냈다. 그림-1은 그림에 의해서 이것을 설명한 것이다. 기타 Class도 필요에 따라 마찬가지로 정의되었다.



회축의 입경에 동등하나 그것보다 큰 입자의 1ft³의 공기중에 있는 수(數)

그림 1. 청정도의 Class 조건

표 2. 청정도의 Class 조건

나타낸 입경에 동등하나, 그것보다 큰 입자의 1ft³의 공기중에 있는 수(개)

CLASS	입 경 (μm)				
	0.1	0.2	0.3	0.5	5
1	35	7.5	3	1	...
10	350	75	30	10	...
100	...	750	300	100	...
1,000	...	...	...	1,000	7
10,000	...	...	...	10,000	70
100,000	...	...	...	100,000	700

Class 1과 10은 원래 전자산업과 Micro 전자기기 Maker 및 정부측 구입자의 요청에 의해서 제안된 것이다. 이 청정도는 누차 제품에 있어서 원료에 대한 제품의 비율이나 신뢰성을 적정하게 갖기 위해서 필요하게 되었다. 그러나 제약회사의 대표자는 Particle Counter에 의해서 측정된 청정도와 적당한 Sampling과 분석기술에 의해서 측정된 생물오염 레벨과의 사이에 종종 거의 관련이 없다는 이유로 이 청정도의 적용이 필요하지 않은 분야로 FDA에 의해서 자동적으로 요구되지 않았다는 것에 우려를 나타내고 있다.

FS 209 B에서는 5 μm를 넘는 입자가 규정치보다 많으나, 0.5 μm이상의 입자수가 규정치 이하의 경우에는 Clean Room이 규격을 만족하는가 어떤가는 애매하다. 개정안에서는 이 Class의 Test를 위해서 지정된 전체의 입경에 대해서 농도조건을 만족하는 것으로 정해져 있으므로 이 점이 명확하게 되었다.

○ 0.1 μm이상의 입경

표-2에 나타낸바와 같이 Class 1과 Class 10의 Test에는 0.1 μm의 입자의 계수(計數)가 포함되었다. 이와같은 입자는 어떤 종류의 광산란형(光散亂型) Particle Counter, 현재로는 Laser 광(光)을 이용한 것으로 계수하고 있다.

0.01 μm의 입자는 응축핵 측정기〔凝縮核測定器(CNC)〕로 계수하고 있다. 그러나 CNC는 또 규격검정(規格檢定)의 경우에는 사용되지 않는다. CNC에 의한 측정치는 0.1 μm이상의 입자를 측정하기 위한 Particle Counter의 측정치보다 높은 농도를 나타내는 것이 많다.

0.1, 0.2, 0.3 μm는 다음 이유로 개정안에 추가되었다.

1) Micro 전자공업 및 Micro 전자기기 사용자의 관심사이다.

2) 작은 입자를 대상으로 하는 것에 따라 사양에 맞는가 어떤가를 조사할때 있어서 적당한 계수치를 얻기에 필요한 Sampling 량을 감소하는 것이 가능하다.

표 3. 개정안에 따라서 Class 의 검증을 실시할 때의 Sampling 위치의 최소수

면 적 (ft ²)	Class			
	1, 10, 100	1,000	10K	100K
100	4	3	2	2
200	8	6	2	2
400	16	13	4	2
1,000	40	32	10	3
2,000	80	63	20	6
4,000	160	126	40	13
10,000	400	316	100	32

○ 입자계수법

개정안에 있어서 광학적등가경(光學的等價徑) 0.1 μm 이상의 입자에 대해서는 광산란형 Particle Counter 를 사용하고, 긴방향의 굵기(長徑) 5 μm 이상의 입자에 대해서는 FS 209 B 와 마찬가지로 Filter 상에 포집해서 현미경에 의한 계수법을 사용하는 것을 규정하고 있다.

○ 유연(柔軟)한 Class 설정

FS 209 B 의 개정안에서는 다른 Class 도 정의의(Class 50 과 같이) 할 수 있게 되어있다. 개정안은 종래의 209 B 보다도 어떤 입경 및 농도가 타당한가를 명확하게 하고있다.

○ Sampling 위치의 수

다른 문헌의 규정에 의거하지 않고 해결하게끔 개정안에서는 Class 조건에 맞는가 어떤가의 Test 에 사용되는 Sampling 위치의 수를 명확히 정하고 있다.

Data 해석상 및 개정안의 규정에 의해서 검증을 받는 임의의 청정영역에 있어서 2개소 이상의 위치에서 Sampling 이 필요하다. 위치는 Sampling 가능한 장소에 균등하게 배치한다. 적어도 전체에서 5개의 시료가 필요하다. 각 위치에 있어서 Sampling 회수가 달라도 지장은 없다. 최소의 Sampling 계획(Hood 와 같은 작은 청정영역에 있어서)에서 위치는 2개소, 회수는 1과 4 또는 2와 3으로 한다. 보통 가장 많은 Sampling 위치

가 필요로 되며, 또 1개소당 Sampling 회수도 1회이상으로 하는 것이 좋다.

개정안은 FS 209 B 로는 작고 다르고, 수평흐름과 수직흐름으로는 구별하고 있지 않으나, 난류와 층류로는 구별해서 하고있다.

한쪽 방향으로의 흐름(一方向流)(많은경우 층류와 같다)의 경우는 흐름(Flow)은 Sampling 이 실시되는 하나의 유입면(流入面)을 통해서 일정한 방향으로 청정영역에 들어온다.

방향 없는 흐름(無方向流)(많은경우 난류와 같다)의 경우는 그와 같은 면은 간단하게 정해지지 않는다. Sampling 은 청정영역 전체에서 실시되고 Sampling 수는 청정영역을 어떤 면적으로 분할해서 결정해야 한다.

한쪽 방향으로의 흐름(一方向流)의 경우 유입면(流入面)은 흐름의 방향에 직각면으로 Sampling 점은 유입면에 대해서 25ft² 이나 Class 의 수의 평방근에 동등한 ft² (Class 10,000 에서는 100ft²) 의 어떤 큰쪽에 1점으로 한다. 25ft² 당 1점 이상 Sampling 하는 것은 경비(經費)가 맞지 않는다. 그다지 청정하지 않은 구역에서는 일반적으로 너무 문제되지 않는 작업만이 실시되므로 밀집된 Sampling 을 필요로 하지 않는다.

Sampling 의 점수(點數)를 Class 수를 통해 평방근의 역수에 비례된다고 말하는 것은 Class 수에 역비례 된다는 의견과 Class 에 무관계(無關係)로 좋다는 의견과의 타협안이다.

방향 없는 흐름(無方向流)의 경우 Sampling 위치의 수는 청정영역의 수평면적을 기준으로해서 위와 같은 방법으로 결정한다. 방향없는 흐름에서는 확실한 유입면이 없으므로 Sampling 위치는 확실하게 정해지지 않는다. Sampling 은 여러종류의 높은 위치에서 실시되나, 이 높이는 청정역의 높이 방향에 균일하게 분포되도록 하고, 또 평면적인 분포도 균일하게 되게 하는 것이 바람직하다.

예를들면 두종류의 높이에서 16개소 Sampling 할때는 각 높이마다 8개소씩 하고 각 평면적으로 균일하게 분포되게 한다.

방향없는 흐름에서는 보통 한쪽방향의 흐름보다 많이 섞이므로 때로는 많은 혼합에도 무관하게 특이한 농도의 영역이 생기는 경우가 있다. 이 사고방식은 방향이 없는 흐름의 흐름에 대해서도 한쪽방향으로의 흐름의 경우와 같은 정도의 수의 Sampling 위치가 사용되고, 하나이상의 높이라는 규정이 정해진 근거로 생각된다.

표-3은 Clean Room의 Class 및 면적의 여러가지 조합에 대한 것으로, 앞의 제안조건에 의해서 계산된 Sampling 위치의 수를 나타낸다.

3.3 연구동향 및 앞으로의 과제

각국의 반도체 제품이 불량율이 적고 제품코스트가 안정된 것은 제작공정이나 제조장치, 검사장치의 우수함은 물론 Clean Technology를 포함한 냉동공조기술 수준이 높기 때문이라고 미국 뷰렛츠사의 R·W·Anderson 씨가 1980년 3월 워싱턴에서 개최된 “미·일 반도체기술 관계자 세미나” 석상에서 발표했다.

하이테크 분야의 급속한 발전은 산업구조에도 커다란 변화를 주었으며, 냉동공조기술면에서도 그 응용면이 다양화 해졌다.

Clean Room에 대해서는 공업용이 상당한 주류를 이루고 있으며, 전자공업이나 정밀공업의 하이테크로 발전되어 종래의 Clean Room 규격에서는 정의하지 않던 “Super Clean Room”의 수요가 급속히 증가되고 있다. 또한 청정도나 온·습도에 대한 정도(Accuracy)의 High Grade 화로 첫째, 정전대책. 둘째, 진동대책. 셋째, Filter 기술. 넷째, 기류분포. 다섯째, 에너지절약. 여섯째, 라인변경에 대한 대응성. 일곱째, 설비의 코스트절감. 여덟째, 공간의 유효이용. 아홉째, 전자차폐 등도 앞으로의 커다란 테마로서 연구개발의 대상이 되고 있다.

한편, 바이오기술도 연구단계로부터 공업화 단계로 접어들어, 의약품에서 식품, 농업, 화학, 의학 등 여러분야에서 청정공간의 요구가 급증하고 있다. 또한, 미생물 제거를 목적으

로 한 방법으로는 자외선 살균 등이나 멸균설비를 설계하는 케이스도 많다.

최근 반도체시장의 혼미가 보도되면서 초 LSI 개발경쟁 등에 의한 설비 투자는 Clean Room산업의 신장을 가져왔고 초 LSI 256 Kbit 로부터 1 Mbit 급, 그리고 4 Mbit 급의 고집적화경쟁의 영향에 따라 그 추세는 앞으로 계속될 것이다.

하이테크세제로서 일본에서는 하이테크 관련 기술로써 Electronics, 신소재, Bio Technology, 로봇, 첨단가공, 극한 환경기술 등에 사용하는 연구설비를 취득할 때에는 취득액의 7%가 세계공제되며, 연구용 Clean Room이나 절전효율 연구용 Clean Bench 등이 대상으로 되고 있다. 이것은 세제면에서 적극 우대해 줌으로써 민간기업이 하이테크분야의 연구개발에 적극적으로 참여할 수 있도록 동기조성을 하기 위함이라고 보겠다.

특히 일본의 경우 1965년대 후반부터 하이테크기업이 꽃피기 시작하여 반도체분야에서는 생산공정에 불가결한 Clean Room의 에너지절약이 제품의 저코스트화에 직접적으로 중요한 역할을 담당했으며, 그림-2는 Total Running Cost 에서 공조설비가 차지하는 비율을 나타내고 있다.

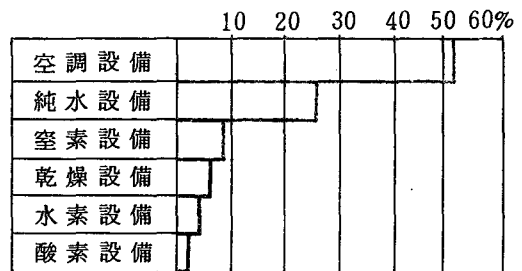


그림 2. Clean Room의 에너지 코스트 미비

일본 반도체분야의 설비투자액은 Clean Room을 포함해서 대기업 9개사에서 약 22억 65백만달러(1983년)이다. 이 숫자는 10년전(1974년)보다 약 16배가 증가한 것으로 하이테크 기업의 틈을 나타낸 것이다. 그림-3을 보면 총 수주액이 약 20억 3천만 달

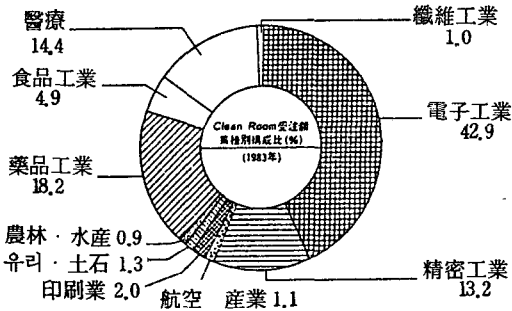


그림 3. Clean Room 수주액의 업종별 구성비

러에서 8억 7천만 달러로 전자공업이 42.9%로 톱을 차지하고 있다.

오염원에 대한 것을 중점적으로 기술하면,

하나의 분류로서는 가스 또는 액체의 정화 과정에서 제거되지 않은 입자와 그후 포집 가능한 입자로 나뉘어 진다.

전자는 액체의 경우에 현존하며 더구나 오염원의 중요한 인자가 되고 있다.

우선 기상(氣相)중에서 입자의 여과에 대해서는 이론적으로 상당히 명확하게 되어 있으므로 여과 이론에 기초를 둔 최적설계·조작 조건을 찾아보는 것과, 물론 실제적인 문제, 예를들면 재료 및 제조과정의 높은 품질관리의 필요성으로 초점이 맞춰지고 있다.

또 하나는 Filter가 극단적으로 고성능화 될 수록 그 성능평가가 곤란하게 된다. 이와같이 3가지 관점에서 보고될 수 있다. 특히 흥미 깊은 보고로서 다른 재료로 이루어진 연재임에도 불구하고 각각의 재료의 섬유경이 다름에도 불구하고 굵은(거친)분포가 어떤 경우에는 그 혼합비율, 섬유경 분포등에 의해서 포집효율이 크게 좌우되는 것도 여재의 두께나 충진율이 아주적게 변화하는 만큼 포집효율이 크게 좌우되는 것을 이론적으로 지적할 수 있는것을 보고하고 있다. 그래서 0.1 μm 이상의 입자의 Class 10을 달성하기 위해서는 위의 요인이 불과 ±10% 변화하는 만큼 Filter 효율이 3행(桁)도 변화하는 가능성이 있는 것을 보여주고 있다.

액체중에 청정공기를 기포(氣泡)의 상태로 취입(吹込)해서 기포표면에서의 입자의 확산으로 액체중의 미소한 입자를 포집하는 시도로 하고 있으나 이것은 액중 입자의 제거가 아주 곤란한 것을 나타내는 하나의 표현으로 보면 좋다고 본다.

액상(液相)중의 입자제거에 대한 보고는 없었으나 이것은 가스중의 입자제거에 비해 훨씬 곤란하고 연구도 늦어지고 있음을 알 수 있다.

이상은 가스 및 액의 정화단계에서 오염원으로 되는 입자를 아주 제거하는 것에 대한 것이지만, 다음에 이와같이 해서 입자가 제거된 계(係)에 입자가 어떠한 요인으로 들어오는가 하는 화제(話題)를 골라보면 다음과 같다.

(1) 기체상태(氣相中)에서의 오염원

a) 인간의 피부(皮膚)중 죽은세포가 떨어져 나옴(剝劑)에 의한 입자생성(粒子生成)

원래 피부는 화학적으로 안정되어 있기 때문에 이와같이 입자가 물체 표면에 부착하면 용제(溶劑)나 산(酸)등으로 세척시켜도 간단히 제거할 수 없다. 더구나 이와같은 입자는 한사람당, 또는 1분간당 10만~50만개(크기는 0.3 μm 이상) 발생한다고 말하고 있다.

Clean Room용의 의복은 이와같이 인체로부터의 생성입자의 방출을 막음과 동시에 의복자체에서의 발진이 없어야 한다. 안면의 복면 그 의미에서는 중요하며, 여러가지 두건에 대해서 Test 된 결과가 보고되어 있다.

특히 기침이나 재치기를 했을 때 엄청난 입자의 발생을 어떻게 외부로 새지않게 하는가에 대한 검토가 수행되고 있다.

b) 옷감(布)에서의 발진

천연섬유[셀룰로오즈 또는 목면(木綿)등] 및 합성섬유[폴리에틸렌이나 나일론 등]에서의 발진특성은 건식 및 습식으로 반복응력을 걸어서 평가되고 있다. 당연히 합성섬유쪽이 발진이 적고 또는 발진테스트도 합성섬유는 습식으로, 발진이 많은 천연섬유는 건식으로 실시하는 것이 좋은 것이 아닌가라는 지적이 되고 있다.

발전이 적은 섬유 개발은 앞으로 중요한 과제이다.

c) 종이에서의 발전

종이에서의 발전은 제조나 저장과정에서 입자가 종이표면에 부착된 것의 재비산(再飛散)과 종이 자체가 기계적인 굴곡 등에서 부분적으로 파괴되어 나오는 것으로 나누어진다.

시험방법으로는 절곡시험(Flex Tester)에 의해서 통상적으로 수행되고 있으나, 초음파 진동에 의한 시험법에 대해서도 검토되고 있다. 여러가지의 Clean Room용 종지와 보통 쓰이는 종지가 비교 시험되어 결과가 보고되어 있고, 명확하게 종지의 종류에 따라 차이가 인정되고 있다. 그러나 어떤이유로 차이가 생기는가는 현재까지 명확하게 되어있지 않다.

d) 기타 발전원

인간의 보행을 포함한 움직임에 의해서 흐름이 난류로, 그와 동시에 그 사람 주변의 입자 예를들면 의복에서의 입자나 바닥에서 잡아올리는 입자를 오염을 겸하는 장소에 운반하는 과정이 고려되었다.

입자 발생은 기타 벨트와 같이 구부림 운동부(摺動部)에서의 기계적인 힘에 의한 부재(部材)의 국부적 파괴나 비산(飛散)에서도 일어나고, 배어링유의 국부적 온도 상승에 의한 증기 또는 호흡기중의 증기의 응축에 의한 물방울(液滴)의 생성된 형성에서도 일어난다.

더구나 입자의 발생이 시간적으로 macro 하게 보면 비록 작을지라도 순간의 발생량이 많은 경우도 있어 단적으로 큰 공간을 장시간 Scale 로 monitor 하는 것은 무의미한 것도 있다.

(2) 액체상태(液相中)에서의 오염원

초순수(超純水)를 다루는 시스템의 배관 등에서 침식(浸蝕)은 반드시 직접적인 입자의 생성원은 아닌데, 그러나 침식에 의해서 용해된 물질은 거의 건조공정에서 석출(析出)되므로 결국 오염입자원으로서 보는편이 좋다고 생각된다. 불소 고분자 배관의 오랜시간의 초순수에서의 침적(浸積)실험의 결과가 보고되어 있다.

이 보고에 따르면 22주간, 100°C의 18M Ω급의 초순수의 경우 PVDF(Polyvinylidene fluoride) 및 ECTFE(Ethylene-Chlorotrifluoroethylene)는 화학적으로 침식되고, PFA(Perfluoroalkoxy fluorocarbon resin)은 침식되지 않는 것이 나타나고 있다. 침적시간이 9주간이어도 같은 결과라고 말한다. 이와같이 액체계통의 장치, 배관의 재질 선정은 아주 중요한 문제인데, 그러나 이 문제는 아주작은 계통적으로 고려해야 할 필요가 있다.

즉 침식 또는 입자생성은 최종 제품의 단계에서는 평가되어야 하고, 그때까지의 단계, 즉 수지(樹脂) Maker로부터 가공업자 그리고 설비업자는 경우해서 사용자의 손에 인도한 이상 이들사이의 상호간의 계통인 관리 체제를 뎀다는 것은 단순히 평가하고 있지 않다고 생각된다.

ASTM F1 Electronic Committee의 Process 오염의 소위원회에서는 이와 같은문제에 대해서 표준화를 검토하고 있으며 우리나라에서도 학회나 연구조합 등에서 검토되고 있는 실정이다.

(3) 입자에 의한 오염의 문제

따라서 입자에 의한 오염의 문제는 여러각도에서 고찰해야 한다. 그러나 그때 무수하게 많은 영향인자를 정리통합하면 고찰해 오는데는 확실하게 되는 것이다.

예를들면 발전과 세척은 같은 기반위에서 논란되어야 할 것이고, 입자의 침착과 침착방지는 동시에 이론적으로 조화되어 성립되어야 한다. 또 Trouble Shooting 이라는 입장에서, 예를들면 입경별 화학성분의 동일함의 확인검토에서 문제점이 파악될 수 있다.

정전현상(靜電現象)도 Colloid Chemistry 등에서 충분히 접근이 가능하다. 표준화에 대해서는 입자, 물체를 엄밀히 규정하는 것이 가능하게 된다.

입자에 의한 오염은 종합적인 입장에서 Control 되어야 하는데 우선 그 접근방법을 필요(Needs)를 잘 확인한 뒤에 계통적으로 성립시키기까지의 단계로 우선 필요한 것으로 본다

반도체 Process 에 있어서 입자오염방지의 기술은 Bio Technology 그 외의 분야에도 그대로 적용된다고 생각되므로, 앞으로 좀더 적극적으로 산·학·연의 모임에서 이들 방법론의 확립에 대한 중요 토론이 있어야 될 것으로 본다.

参 考 文 献

1. 橋本孝禧, “Clean Room 設計의 實際” 1984. 6. 日本建築設備士協會.
2. 萩原弘道, “Clean Room - 環境清淨化의 目的과 動向-,” 1985, '85 Clean Engineering · Guide, 日本能率協會.
3. 徐石清, “最上の 環境造成에 尖端技術을,” 과학과 기술, Vol. 19, No. 7, 1986. 7. 한국과학기술단체총연합회.
4. 向阪保雄, “IES 32年會에서 보여진 粒子汚染의 話題와 今後的 研究課題,” 空氣清淨, Vol. 24, No. 2, p. 22~25, 1986. 10., 日本空氣清淨協會.
5. Dr. Douglas W. Cooper, “Rationale for Proposed Revisions to Federal Standard 209 B (Clean Room),” 1986. March/April, Vol. 29, No. 2, p.25~29, 1986. 3/4. IES. 德田昌三 譯, 空氣清淨, Vol. 24, No. 4, p. 35~40, 1987. 1., 日本空氣清淨協會.