

반도체공장 Clean Room에 대한 화재요인 분석  
및 성능위주 화재안전설계(1)  
- Fire Hazard Analysis and Performance Based  
Fire safety Design for the Clean Room in  
Semiconductor Factory(1) -

한수진 \*

Han Su Jin

강경식 \*\*

Kang Kyung Sik

Abstract

This research analyzes clean room major fire prevention standard of clean Room (FM, IRI, and NFPA Code), the structure of Performance-Based Fire Safety Design (PBD) applied the korean fire industry situation. Performance-Based Fire Safety can operate effectively the performance of fire protection equipment & building design, so the fitness of fire safety system can be embodied by operating this. moreover, cost to be consume fire safety of real building can reduce and Performance-Based Fire Safety is considered to important technique in fire protection field.

A fire in a clean room may cause a serious loss by spreading smoke particles. We will be investigated by using a computational fluid dynamics, for loss prevention by smoke spreading from one fire area to another for clean room and compared the Performance-Based Fire Safety Design with the prescriptive code design.

† 본 연구는 명지대학교 안전경영연구소 지원으로 수행되었음

\* 명지대학교 산업공학과 박사과정

\*\* 명지대학교 산업시스템공학부 교수

2006년 9월접수; 2006년 10월 수정본 접수; 2006년 10월 게재확정

The methodology of fire safety performance-based fire safety design and guarantee of many kinds design skill of fire system and developing design procedure will be very serious one in order to improve efficiency of domestic system. Therefore, This research will be contributing to secure safety of clean room and to set up the performance-based fire safety design in Korea by regulation for the performance-based fire safety design effectively.

**Keywords : PBD, clean room, serious loss, design procedure, regulation**

## 1. 서 론

20세기 중엽 반도체의 모태인 트랜지스터가 발명된 후 지속적으로 확장해오고 있는 반도체 시장은 시장점유를 위한 선진 각국·각사의 무한 기술경쟁으로 반도체 소자 기초기술은 물론 반도체 제조환경인 클린룸 관련 기술의 급속한 발전을 가져오게 되었다. 우리나라의 경우 1970년대 해외자본에 의한 국내 조립 생산단계, 1980년대 웨이퍼의 일관 생산체제 구축 및 메모리의 초기 양산단계를 거쳐 이제는 메모리 분야에 있어서는 세계의 최 상위 수준에까지 올라왔다. 이러한 반도체 산업에서 우리나라의 괄목할 성장은 최첨단 신기술의 연구개발에 대한 지속적이고 과감한 투자전략의 결과라 할 수 있으며, 이러한 연구 개발에 대한 투자는 세계 반도체 시장에서 우위를 점하기 위해서는 필수적이다.

위험관리 측면에서 반도체 공장의 최악의 시나리오는 지진 또는 화재발생으로 인하여 천문학적 재산손실과 공장가동이 중단되고 해당 기업의 이미지가 실추하는 경우라고 볼 수 있다. 특히 공장의 제품특성상 연기로 인한 피해는 치명적이며 최근 타이완 반도체 공장에서 보여준 유형, 무형의 손실은 대표적인 예가 된다. 현재 반도체 공장의 제연설계를 위한 국내·외의 관련법규나 일관성 있는 설계 기준의 부재는 설계진행에 큰 장애가 되고 있다.

증가하는 클린룸의 제연설비 및 소화설비가 기존의 사양중심적인 체계(법의 세부적인 지침과 기술고시에 의해서 설계하는 것)로 되어있어 과투자, 저효율 및 다양화되어가는 건축설계의 자유로움을 소화하지 못하고, 빠른 신기술의 변화에 적용하지 못하는 것이다. 국내 소방기술은 그동안 선진제도를 받아들이는 과정에서 많은 오류를 범하여 왔다.

제도이면에 있는 그들만의 문화와 역사적 배경 그리고 제도를 살아 움직이게 할 수 있는 기본적인 시설(Infrastructure) 및 체계(System)를 염두에 두지 않고 표면에 보이는 제도 자체만 적용하려 하였기 때문이다. 화재현상에 대하여 공학적으로 분석할 능력이 없는 경우 이미 발생하였던 화재 경험에서 그 대처방안을 모색할 수밖에 별다른 도리가 없다. 그러나 다행히도 방화 공학의 눈부신 발전과 건축물 설계의 다양성으로 인하여 법규적 규제가 아닌 스스로의 필요에 의해 화재 현상을 공학적으로 접근하여 소방시스템설계인 소방시스템 설계를 가지고 건축물 화재 전과정에 있어서 그 적용성여부를 판단함에 있어 화재에 대한 공학적 접근과 컴퓨터를 활용한 시뮬레이션을 실시하여 클린룸에 대한 연소 확대경로와 경보시설 등 소방시스템의 작동 적정성, 그리고 재실자에 대한 안전 피난 적용성 평가를 실시하여 클린룸에

적용성이 있는 소방안전설계의 제안을 목적으로 한다.

본 연구의 근본적인 목적은 기존의 사양중심적인 화재안전 설계의 분석과 적용으로 되어 있는 반도체공장의 Clean Room에 대해 성능위주의 화재안전설계를 적용 하여 비교, 분석하여 경비절감과 성능위주의 소방안전설계의 국내 정착화의 초석을 만드는데 그 목적이 있다.

이를 위하여 본 논문에서는 clean room에서의 위험요인을 분석하고 성능위주의 화재 안전설계를 국내에 정착시키고 국내 실정에 적합한 틀과 인정과정을 제시하고자 한다.

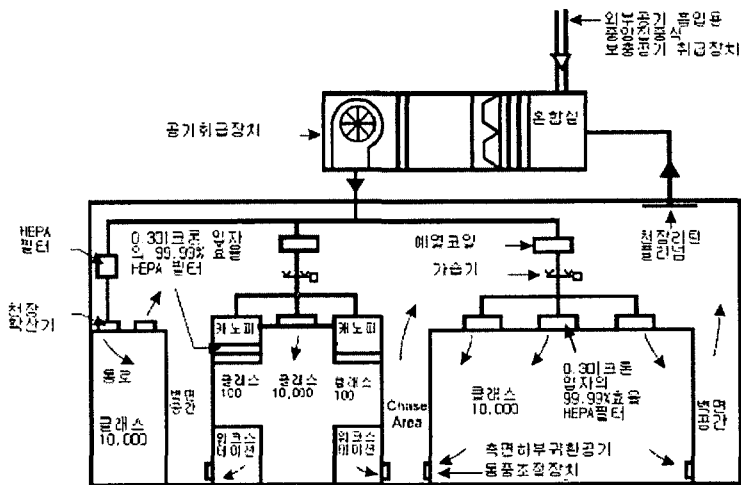
## 2. Clean Room의 위험요인

### 2.1 클린룸의 분류

#### 2.1.1 재래식 흐름 클린룸(Conventional Flow clean rooms)

이 타입은 표준형이지만, 필터가 있는 공기 취급 및 분배설비를 이용한다. 공기는 대개 천장으로부터 유입되고 바닥 가까이에서 배기되는 랜덤 패턴을 취한다.

이러한 클린룸은 일반적으로 클래스 10,000 혹은 100,000용으로 사용된다. 그러나 이 타입은 임계운전에 대해 오염물질의 높은 제어도를 제공하기 위해 자체 층류 조절된 급기용 후드가 설치된 워크스테이션을 수용할 수 있다.(그림 1 참조)



<그림 1> 재래식 흐름 Clean Room[1]

#### 2.1.2 층류 클린룸(Laminar Flow clean rooms)

이 타입에서 공기 흐름은 한 방향으로 이루어지고, 공기 흐름의 병렬요소는 한 평면 안에서 병렬로 유지된다(즉, 공기는 누설되지 않음). 이런 타입의 시설에 있어서, 하나의 벽



10,000 클린룸 안에서 클래스 100 수준의 집합지역을 제공한다.

층류 워크스테이션은 보통 1명 또는 2명의 운전자에 편의를 제공하는 하나의 모듈 유닛이다. 그것은 모듈 유닛을 수용하고 있는 클린룸보다도 더 높은 청정 환경의 작업 지역을 제공한다.

### 2.1.4 수퍼 클린룸

수퍼 클린룸에 적용되는 방식은 앞서 설명한 각종 클린룸 방식 중에서 기본적으로 수직층류의 형태를 갖추고 있고, 공기의 순환형태 및 온습도 제어의 방식에 따라 몇 가지 설비가 적용되고 있다. 근래 국내외적으로 가장 많이 채택되고 있는 수퍼 클린룸 방식으로는 오픈 베이 방식, 팬 필터 유닛 방식, 클린 터널 모듈 방식 등이 있다.

#### (1) 오픈 베이 방식

기본적으로는 수직하류 단방향 방식(All Down Flow) 방식의 일종으로서 순환팬을 귀환 플리넘에 설치하여 공기를 순환시키며, 청정도에 따라 필터와 블라인드 패널을 적절히 배치하여 청정 공간을 유지한다. 순환 팬 전후에는 소음과 진동을 보완하기 위해 흡음시설이 필수적으로 요구되며, 내부발열을 제어하기 위해서는 건식 코일(Dry coil)을 설치하여 처리하고 도입하는 외기는 외기 처리용 공조기를 설치하여 실내 노점까지 제어한 후 귀환 플리넘에 공급시킨다.

#### (2) 팬 필터 유닛(FFU; Fan Filter Unit) 방식

팬 필터 유닛을 채용한 개별 방식의 수직층류형 시스템으로 귀환 공기 공급을 위한 별도의 공조기는 없고 팬 필터 유닛만으로 순환이 가능하므로 클린룸을 매우 경제적으로 구성할 수 있다. 내부 발열을 제어하기 위해서는 건식 코일로 자체 처리하고, 도입 외기용으로 공조기를 따로 설치하여 실내 노점까지 제어한 후 귀환 플리넘에 공급한다.

#### (3) 클린 터널 모듈 방식

공기순환계통은 지역순환방식으로 생산시설의 설계가 베이 방식으로 되는 경우에 팬, 필터 및 냉각코일이 조합된 터널 모듈을 설치하여 원하는 청정도 및 온습도를 얻는 방식이다. 공기순환 동력비가 타 방식에 비해 가장 적은 반면 청정도, 온습도 유지성능이 약간 떨어지고, 클린터널 모듈을 일단 설치하면 이설이 어렵기 때문에 유연성의 문제점이 있다.

공기순환 방식이 지역 순환이므로 각 베이에서 사용하는 약품이 인접 베이에도 영향을 미치기 때문에 상호 오염의 문제가 있어 근래에는 수퍼클린룸 방식으로는 사양화 되고 있다.

#### (4) SMIF & FIMS 방식

SMIF(Standard Mechanical InterFace) & FIMS(Front-Opening Interface

Mechanical Standard)시스템은 전체 클린룸 설비 가운데 노광 및 계측공학 등 초청정 환경이 요구되는 일부 공간만을 Class 1 이하의 초청정 상태로 유지함으로써 사용효율을 극대화하는 국소클린룸 설비이다. 웨이퍼 공정의 로딩/언로딩 부에 부착되는 초소형 클린룸 장치 (Mini Environment), 밀폐형 웨이퍼 용기(Pod/FOUP), 밀폐형 웨이퍼 용기 개폐 장치(Indexer/Opener), 그리고 웨이퍼 이송용 로봇 시스템 등으로 구성된다.

## 2.2 Clean Room 설계의 주요 방화기준 비교·분석

<표 1> Clean Room 설계의 방화기준[1]

내화시간에 관한 기준	
IRI	1. 가연물농도에 노출된 Clean Room : 최소 2시간 내화벽으로 구획 2. 노출이 보다 심각한 Clean Room : 2시간 이상 내화벽으로 구획 3. Clean Room 내의 문 : 3시간 이상 내화도인 방화문
NFPA code	1. 인접용도로 부터의 Clean Room : 1시간 내화구조인 벽으로 구획
FM	Clean Room : 1시간 내화구조인 벽으로 구획
건축재료에 관한 기준	
IRI	벽, 바닥, 천장의 내장재 : 승인된 불연재 구조재료와 내부 마감재 : 입자 발산 최소화
NFPA code	벽, 바닥, 천장, 칸막이 : 승인된 불연재
FM	벽, 바닥, 내부마감재 : 승인된 불연재 Clean Room 외부벽에 들여다보는 창이 있는 복도 : 불연성 구조 자동식 소화설비에 관한 기준
자동식소화설비에 관한 기준	
IRI	스프링클러 설비 : Clean Room이 있는 건물 내에 설치, 스프링클러헤드는 배기덕트 개구부 직상에 설치, Access Floor아래 Plenum Area 설치 고정식 이산화탄소 소화설비 : Wet Station의 내부와 위에 설치
NFPA code	스프링클러 설비 : Clean Room, Clean Zone 전체에 설치, 스프링클러헤드는 승인된 속도형 헤드 사용 물분무 소화설비 : 개방분배설비의 실란가스 실린더 위에 설치 국소방출방식의 가스소화설비 : 스프링클러 대응으로 허용
FM	스프링클러 설비 : Clean Room전체 Class분류에 상관없이 설치, 직경이 150mm 이상인 모든 비금속 덕트설비에 설치, 스프링클러헤드는 57도 등급의 승인된 속도형 헤드 사용

	<p>물분무 소화설비 : 최소한 방출시간이 2분이 되도록 설치</p> <p>이산화탄소 소화설비 : Plenum Area의 방호는 1분내 50% 최저농도를 달성하도록 설계</p> <p>FM-200 설비 : Plenum Area의 방호는 10초내 7% 최저농도를 달성하도록 설계</p>
<b>수동식소화설비에 관한 기준</b>	
IRI	<p>이산화탄소 소화기 : Clean Room내에 비치</p> <p>옥내소화전설비 : 옥내소화전 호스함은 Clean Room출구 바깥쪽에 설치</p>
FM	<p>이산화탄소 소화기 : B급, C급 화재위험에 승인된 소화기 사용, 제조지역 전체에 비치</p>
<b>화재감지설비에 관한 기준</b>	
IRI	<p>공기샘플링 연기감지기 : Clean Room의 Plenum Area전체에 설치</p> <p>불꽃감지기 : 고정식 이산화탄소 소화설비를 자동연동시켜 작동</p>
NFPA code	<p>공기샘플링 연기감지기 : 보충공기로 희석되기 전 Clean Room 배기흐름 내에 설치</p> <p>불꽃감지기 : 고정식 이산화탄소 소화설비를 자동 연동시켜 작동</p> <p>자동식소화설비 방출시 화재경보설비 작동</p>
FM	<p>불꽃감지기 : Clean Room의 Plenum Area에 설치, 공기샘플링, 주소아날로그형 연기감지기의 사용 고려</p>
<b>연무배기설비에 관한 기준</b>	
IRI	<p>불연성 덕트 사용, 최소한 1m/s의 공기속도를 이용 예상되는 모든 오염 방출물을 포착</p>
NFPA code	<p>배기덕트는 직접 밖으로 유도하고, 일체 완비</p> <p>내화구조물을 관통하는 덕트는 구조물과 동등한 내화도를 갖는 외함에 수납</p>
FM	<p>응축액이 덕트에 축적될 가능성이 있는 경우, 응축액 배수관 설치</p> <p>화재 예상 장소에는 연기국부제어용으로 설계하고, 최소화 압력 50Pa 이상으로 화재지역보다 노출된 인접한 지역에 유지할 수 있도록 설계</p>
<b>연기제어설비에 관한 기준</b>	
IRI	<p>공조설비가 연기제어를 위해 사용될 수 없을 때, 별도의 연기제어설비는 1m<sup>2</sup>당 0.9m<sup>3</sup>/min 이상 공급하도록 설계</p> <p>공조설비를 겸하는 연기제어설비는 재순환 공기팬을 정지시키기 위해 공조덕트에 연기감지기를 설치</p> <p>덕트는 불연재로 시공, 비상스위치는 각 Clean Room 출구 바깥쪽에 설치</p>

FM	연기감지기에 의해 자동적으로 작동되도록 연기제어설비를 설계 연기제어설비를 수동으로 작동 가능한 제2방법을 Clean Room 외부에 표시, 접근할 수 있는 구역에 비치 덕트는 불연성 재료로 제작,댐퍼와 팬을 포함하여 모든 감지기와 연기제어설비의 기능 테스트를 매년 실시
전기설비에 관한 기준	
IRI	비상 전원은 모든 연무배기설비, 연기제어설비에 설치
FM	메인 변전소는 최소한 2개의 독립된 전송라인에 의해 전원을 공급받음 UPS 시스템을 모든 중요공정에 설치
기타설비에 관한 기준	
FM	Scrubber는 Clean Room내에 설치 불가, 연소성 자체로 제작 시 입구와 개방된 배기구에 스프링클러설비 설치 비상운용 절차를 문서화하여, 화재 시 비상계획을 Clean Room 입구에 게시 Clean Room내의 소음레벨은 65dB 이하로 유지

## 2.3 클린룸의 위험요인

### 2.3.1 위험성

클린룸은 기타 공정에 비하여 높은 가치와 중요성뿐만 아니라, 작업의 복잡성 및 특이한 특성 때문에 손실 예방에 문제점을 나타내고 있다. 클린룸 안에서 수행되는 작업에 필요한 최고의 청정도 때문에, 작은 화재로부터 연소 생성물과 여러 가지 종류의 오염물질은 조업시간의 중단으로 인한 높은 비용의 탈 오염 정화작업을 해야 한다.

그러므로 클린룸 방호설비에서 가장 중요한 권장사항은 신뢰할 만한 감지, 조기 진화, 그리고 초기 단계에서의 오염물질을 제어하는 것이다. 또한 오염 발생원과 발화원의 최소화는 매우 중요하다.

### 2.3.2 화재 및 폭발

클린룸을 둘러싼 주변에서 화재, 폭발 및 관련된 위험은 공기, 오염물질 등에 대해 엄격한 규제치를 갖는 클린룸 특성 때문에 증대하고 심각한 손실 가능성을 나타낸다. 비교적 작은 사고가 발생하더라도 클린룸을 오염시켜 증대한 손실을 야기할 수 있다.

클린룸에는 가연성 내장재가 있다. 이런 클린룸에서의 작업시 인화성 및 부식성 가스 와 액체가 사용될 수 있으며, 또한 클린룸은 건물 안의 기타 용도로 인한 영향을 받을 수 있고 플랜트 건물 내에서 유입된 신선한 공기에서 오염 문제를 일으킬 수도 있다.

클린룸에는 대개 천장 상부나 높임바닥 아래 은폐 공간이 존재한다. 은폐 공간은 중



중 서비스 공간으로 사용하거나 공기 취급 플리넘(plenum)으로 사용된다. 인화성 액체 또는 가스관, 가연성 덕트 라인, 케이블 등은 또한 이런 공간을 통과할 수 있다.

이런 모든 요소는 잠재적 손실에 기여한다. 빠른 공기 이동과 높은 순환 속도는 화재의 발견과 자동식 스프링클러설비의 작동에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 에어록이 없는 동일 공기취급설비를 공유하는 인접한 청정지역은 또한 화재가 발생할 경우, 오염 물질을 확산시킬 가능성을 증가시킨다.

### 2.3.3 연기위험

스프링클러설비가 설치되었다 할지라도 연기 피해로 인한 손실 가능성은 매우 높다. 종종 연기 배기 덕트용으로 내화플라스틱 재료가 사용된다. 덕트 재료는 주요 화재 위험에 노출되지 않도록 스프링 클러설비로 보호해야 한다. 그러나 이러한 덕트의 소형 화재는 클린룸 장비와 제품에 부식 등의 큰 피해를 야기하는 다량의 연기를 발생시킬 수 있다.

\클린룸에서 점점 사용이 증가하고 있는 플라스틱 벽 패널은 실제로 클린룸 안에서 연소할 수 있는 연료의 양을 증가시키기 때문에, 시설이 연기나 부식성 연무로부터 피해를 입기 쉬운 이런 패널의 설치는 피해야 한다.

필터가 가연성이든 아니든 간에 필터는 쉽게 발화될 수 있는 가연성 분진이나 린트가 쌓이게 되어 당해 클린룸을 통하여 신속히 화염과 연기를 확산시킨다.

### 2.3.4 가스, 증기 및 연무

클린룸 공기 안으로 완제품에 영향을 미칠 수 있는 가스, 증기 또는 연무가 침투되어 오염을 유발시킬 수도 있다.

클린룸 안으로의 부식성 가스나 액체의 유입은 제품에 영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라 클린룸 안에 있는 정밀 계기를 부식시킬 수 있다. 인화성 가스는 화재나 폭발을 일으킬 수 있다.

보통 화학적 또는 열분해의 결과인 연무는 공정 장치뿐만 아니라 제품에 중대한 오염을 일으킬 수 있다.

### 2.3.5 습 도

수분의 과다 또는 부족은 클린룸 안에서 사용된 일부 공정에 있어서 중대한 문제일 수 있다. 높은 습도 상태는 부식성 가스, 증기 또는 연무의 존재로 계기의 부식을 촉진시킬 수 있다. 낮은 습도는 정전기의 발생으로 인하여 화재 위험을 증가시킬 수 있다.

### 2.2.6 온 도

재료와 계기의 안전 상태를 유지하기 위해 적절한 온도 제어가 필요하다.

### 2.3.7 압력

충분한 오염 억제를 위해 가장 깨끗한 공간으로부터 그렇지 못한 공간까지, 또는 외부 공기 흐름을 보장하는 실과 주변 사이(클린룸 이외의 실과 인접한)에서 차압을 유지해야 한다.

### 2.3.8 진동

진동은 초고감도 계기류에 영향을 미칠 수 있고, 오염 위험을 증가시키는 가벼운 입자의 재부유를 일으킬 수 있다.

### 2.3.9 생물 제어

의약품생산 뿐만 아니라 의학 및 제약 연구에서 생물학적 물질로 인한 오염은 중대한 문제를 야기할 수 있다. 오염은 고가 제품의 손실뿐만 아니라 설비의 운전 정지를 일으킬 수 있다.

### 2.3.10 방사능

화재, 폭발, 차폐물의 파열, 불완전한 환기설비로 인한 방사능 물질의 방출은 클린룸에서의 공정과 운전에 중대한 영향을 미칠 수 있다.

## 2.4 반도체공장에서의 사례연구를 통한 화재·폭발의 특성

### 2.4.1 감광성 수지 스트립퍼 공정의 화재

감광성 수지 코팅, 노광, 제거는 광마스크(photomask)의 패턴을 웨이퍼에 옮기는 광노광기술 공정의 중요한 과정이며, 특히 감광성 수지 제거과정은 웨이퍼를 가열된 감광성 수지 스트립퍼 용액에 담그는 과정을 포함한다. 대부분의 감광성 수지 스트립퍼 용액이 가연성 및 부식성이므로, 용액을 가열할 때 매우 주의해야 하며, 부적절한 가열은 용액의 연소로 이어질 수 있다.

히드록실아민, 에틸아민, 파이로카테졸(pyrocatechol; 1,2-hydroxybenzene)을 함유하는 스트립퍼 용액이 양성 감광성 수지 제거 공정에 사용되어진 사례를 보자. 용액은 석영 탱크에 저장되어 있었으며, 석영 코팅된 투입식 전열기(immersion heater)로 가열되고 있었다. 불행히도 부실한 관리 때문인지 석영 코팅에 구멍이 있었고 용액이 가열부품에 접촉하여 탱크 안에서 화재가 발생하였다. 운 좋게도 적외선 감지기가 화재를 감지하여 CO<sub>2</sub> 설비에 의해 진화되었다. 화재는 화학물질 저장소를 벗어나지 않았다. 용액을 격리되고 안전한 장소해서 가열하여 탱크로 이송시킬 수 있었다면 더 좋은 설계일 것이다.

그러한 경우에도 가열된 용액을 탱크로 이송시키기 위한 배관에는 특별한 관리가

반드시 있어야 한다. 다른 사례를 보자.

순환배관에 기포가 생겨 열전도율이 떨어져 가열 전력이 더 커지게 된 경우이다. 이 과도한 전력으로 인해 국부과열현상이 발생하여 PFA 순환튜브가 파열되었다. 용액이 유출 및 발화되어 화재가 발생하였으나 역시 CO<sub>2</sub> 소화설비로 진화되었다. 비슷한 사고가 많이 발생하였고 이로 인해 FM 7-7/17-12, Semiconductor Fabrication Facilities 에서 용액을 가열할 때는 고온 물이나 다른 불연성 매개체를 이용하고 직접 가열하는 것을 피하도록 하였다.

이러한 산업공정에서, 가연성 용액을 직접 가열하는 것은 흔한 일이다. 화재위험은 산화제를 제거하는 이른바 증기 공간 내에 질소를 퍼지하는 방법으로 간단히 감소시킬 수 있다. 반도체 제조 공정에서는 웨이퍼 이동 시 탱크를 여닫기 때문에 질소퍼지법은 거의 쓰이지 않는다.

대신 화학물질 저장소에는 불연재료의 사용, 적외선 화재감지기, 누설감지기와 자동식이산화탄소소화설비를 화재안전을 위해 거의 필수로 사용하도록 하고 있다.

#### 2.4.2. 공정배기설비의 화재와 폭발

반도체공장은 보통 수십~수백의 공정모듈로 구성되어 있으며, 각각의 공정모듈은 개별적인 가스와 화학물질 공급이 필요하다.

화학기상증착법(CVD) 모듈 또는 플라즈마 식각 모듈의 경우, 반응물질 가스류는 가스 용기에서 질량유량제어기를 통해 반응장치로 공급된다.

반응장치는 진공펌프에 의해 진공상태로 유지되며, 펌프로 배출되는 물질에는 미반응 가스, 반응생성물 가스, 또는 고체(실리콘이나 인)를 함유하고 있다.

배출된 가스는 지역 집진기와 수집 배관, 주배기관과 최종적으로 주집진기를 거치면서 정화된다 (그림 1 참조). 실제로 이 배기설비는 일반적인 석유화학공업에서 사용되는 플레어 스택(flare stack) 배관설비와 매우 흡사하다.

그러나 여러 가지 특성상 이 배기설비가 플레어 설비에 비해 더 복잡하고 아마 더 위험할 것이다. 이 특성들은 다음과 같다.

- (1) 반응장치에서 나오는 가스는 가연성, 자연발화성, 부식성이며 산화성을 포함할 수도 있으며, 이상 적이라면 지역 집진기에서 이런 가스를 배기설비로 이동하기 전에 무해하게 만들어야 한다.
- (2) 배기설비는 보통 공기를 포함하고 있으며, 대부분의 공기는 지역 집진기의 연소 과정에서 생성된다.
- (3) 배기설비에는 반응장치에서 생성되고 지역 집진기에서 처리되지 않은 고체를 함유할 수도 있다.
- (4) 부식성 가스가 지역 집진기에서 미분무수에 의해 간혀서 배기라인에 응축되고 있을 가능성이 있다.

요약하자면, 배기설비의 안전성은 지역 집진기가 얼마나 효율적으로 작동하느냐에 달려있으며, 지역 집진기의 성능은 거의 평가되지 않으며 일반적으로 알 수 없다.

### 3. 성능위주의 화재안전설계의 국내 현황 및 세계적 흐름

#### 3.1 국내의 동향

2005.6.29. 국회에서 성능위주설계 관련 입법을 의결하여 성능위주 소방설계에 대한 법적 근거를 보면 소방시설공사업법 제11조 2항(신설):특정소방대상물의 신축인 경우, 소방시설공사업법 제11조 3항(신설): 성능위주설계자의 자격, 기술인력, 설계범위 등: 대통령령으로 정함, 소방시설공사업법 제11조 4항(신설): 성능위주설계의 방법, 기타 필요한 사항: 소방방재청장 고시를 신설하여 법적인 근거를 제시하고 있다.

그 후에 2006.4월에 성능위주설계 대상을 연면적 5만㎡ 이상, 높이 100m 이상 신축 건축물로 했다.

아울러 소방시설공사업 시행령 입법예고(안)에서 성능위주설계자는 소방관련 박사학위 소지자, 소방기술사, 소방방재청이 고시하는 연구기관 또는 단체로 하고, 기술인력은 대학교의 안전공학과, 건축공학과, 기계공학과, 전기공학과를 전공한 소방기술사 각 1인 이상이며, 설계범위는 연면적 5만㎡ 이상, 30층(100m)이상, 철도역사, 공항시설, 영화상영관으로 하고 있다.

국내에서 법적으로 시행되기 이전의 성능위주의 방화설계의 실례로는 인천공항 여객 터미널의 방화구역 설정, 고속 철도의 청사에 대한 방화성능 평가, Atrium 공간 내의 사무실과 방화구역 문체(유리 창문) 및 강남의 ASEM 빌딩의 지하공간내의 방화구역을 Window Sprinkler 시스템으로 하는 경우에 방화구역으로 인정하는 문제들이 성능위주의 방화설계를 국내에서 인정하느냐 하는 측면에서 소방인의 커다란 관심을 유도해낸 사건들이다.

아울러 인천 신공항의 지하차도 제연설비에 대한 제연 성능평가도 성능위주의 방화설계의 개념으로 행정자치부의 중앙소방안전기술위원회의 심의를 거쳐 인정을 받은 사례라 하겠다.

국내의 실례로서 ASEM 빌딩의 지하공간 내를 Window Sprinkler 시스템으로 방화구역을 하는 경우가 있고, 이 경우에는 성능위주의 방화설계가 아직은 기술적으로 국내에 도입이 어렵다는 사실을 단적으로 보여 준 사건이라고 볼 수 있다.

즉 Window Sprinkler 시스템은 방화구역으로 인정을 받지 못했다. 이 사건을 계기로 성능위주의 방화설계의 체계적인 도입에 필요한 연구가 절실히 요구되고, 제도적 및 법적인 정비가 필요함을 제시해 주고 있다.

아울러 인천공항 지하차도에서는 Phoenix라는 전산유체역학(Computational Fluid

Dynamics)을 해석하는 소프트웨어를 이용해서 얻은 결과는 지하차도 내에서 화재가 발생하는 경우의 급·배기 시스템을 설계하는데 유용한 자료를 제공해 줌으로서 제연 설비 설계에 성능을 도입한 좋은 일례가 되었다.

### 3.2 세계적인 흐름

1980년대 중반 영국과 일본에서 목적 지향, 성능지향 규정이 도입된 이후 1980년대 후반 호주에서 발표된 Warren Centre Report는 전 세계적으로 관심을 끌기 시작하였다.

건물 설계규정에서 사양기준의 제약성을 최소화하고 설계의 유연성을 최대로 확보하고자 하는 움직임은 더욱 폭넓게 확산되었다.

그리고 이러한 움직임에 미국과 스웨덴이 선두그룹에 가세하게 되었다.

성능기준규정과 빌딩화재안전에의 공학적 접근의 개념은 1970년대 초기의 개념에 대하여 큰 변화는 없었다.

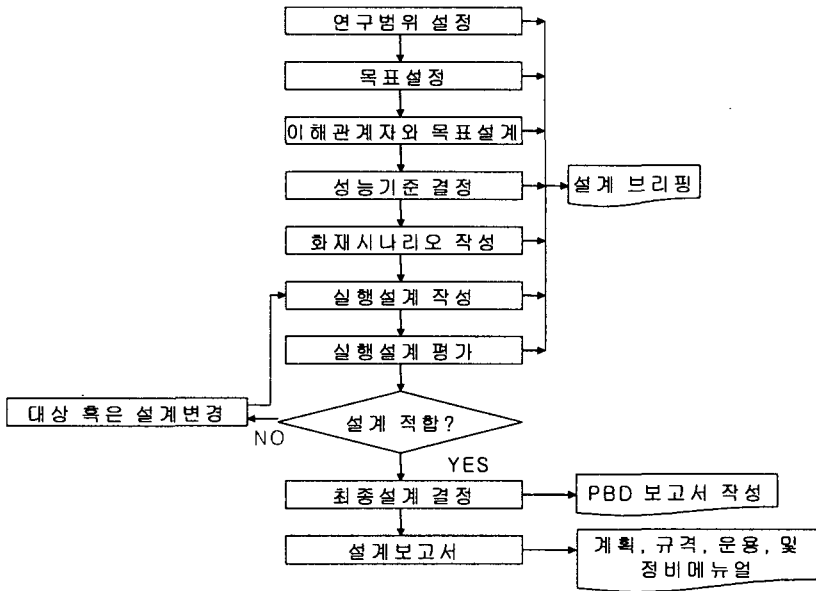
그러나 많은 국가에서의 성능기준 건물규정과 화재 규정의 발전과 더불어 많은 공학적 해결방안의 유효성은 성능위주 화재안전설계에 대한 관심을 증가시키는 결과를 가져왔고 그 결과 영국은 1985년 Building Regulation에서 언급된 후에 1996년부터 시행되고, 일본은 1988년 건물화재안전 종합설계시스템 연구로부터 2000년 시행되고, 미국은 1992년 연방화재안전법 등에서 시작한 후에 2001년부터 시행되고, 뉴질랜드는 1991년부터 검토 후에 1996년부터 시행되고, 싱가포르 2004년부터 시행되고 있다.

설계방법의 선택은 법규에 의해서 사양설계 및 성능위주 설계로 나눌 수 있다.

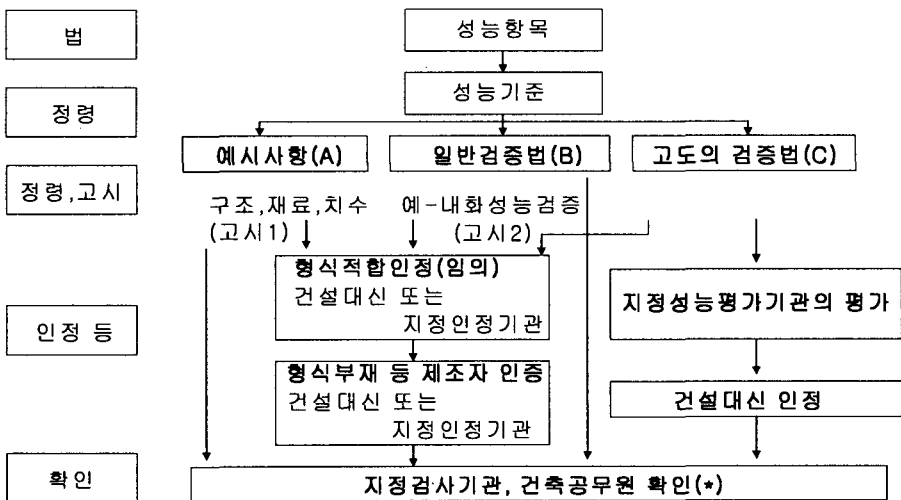
법 체계는 사양적 기준, 승인된 계산방법 및 성능설계(설계지침서)을 근거로 규칙/고시, 시행령, 법의 구성으로 되어 있다.

특히 미국의 SFPE에서 제시하는 성능위주의 화재안전설계의 기본적인 과정은 그림 3과 같다. 이 방법에 의해서 성능위주의 화재안전설계가 미국에서는 실행되고 있다.

아울러 일본에서 실시되고 있는 성능위주의 화재안전 설계의 틀은 그림 4와 같다.



<그림 3> 미국 SFPE에서 제안된 성능위주의 화재안전설계[2]



<그림 4> 일본의 성능위주의 화재안전설계 및 인정 과정[3]

### 3.3. 성능기준 소방안전 설계의 응용기법

성능기준 소방안전규정에서 요구하는 화재안전의 목적과 기능적 요구조건을 충족하기 위해서는 이를 증명하기 위한 공학적 기법들이 필요하다. 다시 말해 종래의 사양기준에 의한 소방법은 화재에 대한 명확한 정의가 없이 근사적으로 접근하기 때문에 용도별 발생예상 화재에 대한 소방시설의 효과가 너무 크거나 작은 단점이 있었다.

직접 예측한 것에 의해 소방시설 및 건축재료, 건축기법을 유효 적절하게 사용할 수 있으므로 고효율, 저비용과 함께 건축주와 건축설계자의 자유도를 증가시켜준다.

이러한 화재시의 여러 가지 상황예측을 위하여 가장 중요한 것은 화재시나리오의 작성과 화재거동예측 및 재실자의 피난예측 모델이다.

화재의 발생부터 진압 혹은 전파되기까지의 상황을 예측하는 데는 현재 컴퓨터에서 사용되는 화재시물레이션(Fire Simulation) 프로그램과 SFPE Hand Book에 있는 예측 공식들이 사용되며, 재실자의 피난에 대한 예측도 피난시물레이션(Evacuation Simulation) 프로그램이 사용된다.

#### (1) 화재 모델과 시물레이션 프로그램

화재가 발생하였을 경우, 특히 대규모 화재의 경우에는, 출화원 및 연소확대 원인을 규명하여 화재 재발방지에 전력을 다해야 한다. 그러나 원인규명을 하기 위해서는 동일한 화재현상을 재현하고 각종 데이터를 상세히 측정하고 그 결과를 가지고 여러 각도로 해석해야 하는데, 이것은 현실적으로 불가능한 것이다. 그래서 화재모델(Fire Model)을 이용한 화재 시물레이션(Fire Simulation)이 필요하게 되었다.

소방기술자(Fire Protection Engineer)는 대상건물의 화재 위험성평가를 할 필요가 있다. 화재발생위험을 우선 알아내고 이로 인해 화재가 발생 할 경우 화재 진행상황 및 전파예측과 연기의 이동, 그리고 인명 대피의 여부를 판단할 수 있어야 한다.

이를 효과적으로 수행하기 위해서는 화재 시물레이션의 실행이 필수적이다.

그러나 화재 시물레이션을 수행하기 위해서는 적절한 모델의 선정과 이를 이용한 S/W의 선정이 필수적이다.

또한 소방기술자가 화재의 성장을 예상하여 다음 <표2>와 같은 조치를 수립하는 중요한 역할을 한다.

<표 2> 화재 성장과 화재방호 단계와의 관계[4]

구 분 방화조치	목 적	대 응 화 재 특 성
구획계획	화원에서 발생한 화재의 전면적인 확대의 저지	연기유동 등 물질전달, 열전달, 연소속도 등
내장계획	화재하중의 고려	화재발생확률, 화재속도 및 열, 연기, 유독가스의 방출 등의 화재성상, 개구조건, 내장재료의 연소특성, 실내수납가연물의 종류 및 양
출화방지계획	화재의 감지 및 초기소화를 통한 화재성장과정의 단절	열전달 연기유동 등의 감지에 필요한 자료
내화계획	내화설계, 부재설계를 통한 화재 발생 및 성장제어	열전달률, 화재하중, 화재온도, 화재시간
연기제어설계	연기로 인한 열전달 및 인명 피해방지	물질전달, 열전달
피난계획	피난로의 계획	Flash-Over 시간, 집단 보행속도추정, 연소확대율
소방설비계획	화재관리	전반적인 자료

### 3.3.2. 화재모델의 종류와 특징

실내 화재현상은, 화원부인 가연물의 연소과정에서 발생한 연기·가스 등을 포함한 화재기류(화염·화염기둥·열기류)의 생성과정과 계속적으로 경계에 미치는 연기·가스를 포함한 열기류의 유동과정, 그리고 건물의 각 구획에 있어서 열기류의 확산 분포 과정의 단계로 구분할 수 있다.

비정상, 비선형인 화재현상을 어떻게 하여 할 것 인가 하는 것으로부터 화재모델의 연구는 시작되었다.

화재모델의 연구는, 통계학 등의 입장에서 건축물의 화재 위험성평가의 목적을 위해서 연구된 확률론적 연구방법(Stochastic Approach)과 열물리학·열화학이론 및 유체역학적 이론 등에 근거하여 이론적 해석 및 실험적 해석으로부터 기초 지배법칙을 도입하기 위해 연구한 결정론적 연구방법(Deterministic Approach)이 있고, 전자를 「통계모델」(Statical Model), 후자를 「수학모델」(Mathmatical Model)이라고 부른다.

수학모델은 Zone Model과 Field Model로 구분하고 있다.



## 4. 결론 및 향후 연구과제

### 4.1 결 론

반도체 공장의 청정실(Clean Room)에는 발생하는 먼지 등 미세입자를 제거하기 위해 대부분 상부의 천정에서 공기가 들어와 하부 바닥을 통해 배출되는, 청정도 유지 시스템이 구축되어 있다.

이러한 구조적 특성으로 인해 상부의 연, 열 감지기는 강한 공기의 유속에 영향을 받아 본래의 기능을 발휘할 수가 없게 된다.

또한 Clean Room내에는 Toxic Gas 및 알콜류 등의 가연성, 휘발성 물질에 투입, 보관되어 짐으로써 화재, 폭발 발생위험이 크다.

국내에서는 Clean Room내 기류에 대한 연구는 수행되어왔으나 Clean Room은 구조적 특성과 연계한 연기확산 이에 따른 차단에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

반도체 제조용 청정실은 여러 개의 작업구역으로 구성되어 있는데 한 구역에서 화재가 다른 구역으로 확산, 전파되기 위해서는 소화설비 외에 제연 및 배기 시스템이 필수적이다.

아울러 국내에 적합한 성능위주의 화재안전설계의 틀과 인증 과정은 그림 5와 같다. 성능위주의 화재안전설계의 주체는 소방방재청이 되며 지정인정기관은 소방방재청의 산하기관이 되어야 할 것이다.

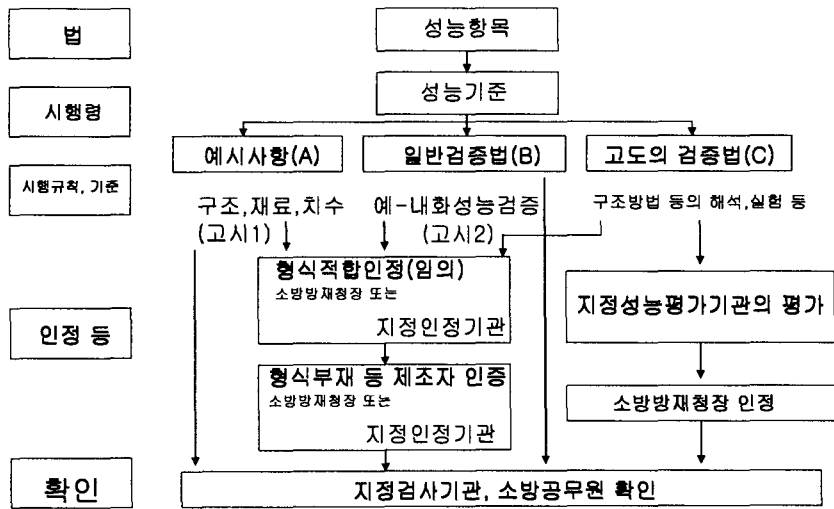
인정기관은 충분한 조직과 인적자원을 가지고 있어야 하겠다.

이를 통하여 2년 후에 의무적으로 실시되는 성능위주의 화재안전설계가 국내에 정착되리라고 본다.

### 4.2 향후 연구 과제

Clean Room의 최적기능을 발휘하고 유지하기 위한 설계기술은 매우 빠르게 발전하고 있으나, 이에 따른 방재시스템의 설계기술은 도식적이고, 일률적인 틀에서 벗어나지 못하고 있다.

따라서 향후 연구과제는 Clean Room의 실제적인 구조적인 특성을 고려하여 화재 발생시 연기의 분포상태, 화염의 전파속도를 수식화하고 기 구축되어 있는 소방시설물 중 가장 중요한 소화수단인 제연시스템 및 수계소화설비에 성능위주설계를 적용하여 최적의 방재시스템을 도출해야 할 것이다.



<그림 5> 국내에 적합한 성능위주의 안전설계 및 인정 틀

### 5. 참고 문헌

- [1] 송윤석,윤명오,현성호,이창우,윤여송,김성민,“Clean Room 위험성 평가에 따른 안정성 확보에 관한 연구”,한국소방학회지,Voll8.No.4,pp78-85.
- [2] SFPE, “SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design of Building”, SFPE, 2000.
- [3] 이경구, “건물화재안전에 관한 성능설계법 소개”, 2006년도 하계세미나 발표집, 한국화재소방학회,2006.
- [4]. NFPA, NFPA 318 Standard for Protection of Clean rooms, National Fire Protection Association(2000).
- [5] FM, Factory Mutual Property Loss Prevention Data Sheets 1-56, Clean Rooms(2001).
- [6] FM, Factory Mutual Property Loss Prevention Data Sheets 7-7/17-12, Semiconductor Fabrication Facilities(2001).
- [7] IRI, Industrial Risk Insurers IM. 17.1.1 Guiding Principles for the Protection of Semiconductor Manufacturing Facilities(1991).
- [8] IRI, Industrial Risk Insurers IM.17.11 Cleanroom(1990).
- [9] NFPA, NFPA 92B Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas - Appen-dix C t-Squared Fires, National Fire Protection Assocoation(2000).
- [10] 김원국, Room Fire Modeling for performance based Fire protection

Design(1999)

- [11] 박외철, "청정실 화재의 시뮬레이션" 한국화재소방학회지, Vol.19, No.2, pp200-205.
- [12] 김운형, Michal J.Ferreira, 안병국, "반도체 공장의 제연설계", 한국화재소방학회, Vol.14 .No.4, pp23-28.
- [13] 민동호, 손봉세, "반도체 공장의 청정실 화재확산현상에 대한 수치해석적 연구", 한국화재소방학회 추계학술논문발표회, pp23-29.
- [14] 박외철, "청정실의 연기확산과 방연커튼의 효과", 한국화재소방학회 추계학술논문 발표회, pp200-205.

### 저 자 소 개

한 수 진 : 한양대학원 안전공학과 석사수료, 한국산업안전공단/하이닉스반도체에서 ESH업무 수행, 현재 안전·소방전문업체인 OSL ENG대표이사로 재직중.  
관심분야는 방제시스템, 산업안전, 인간공학, 설비안전 등이다.

강 경 식 : 현 명지대학교 산업공학과 교수. 경영학박사, 공학박사 대한안전경영과학회 회장

### 저 자 주 소

한 수 진 : 서울시 강남구 일원본동 상록수아파트 204동 404호

강 경 식 : 성남시 분당구 정자1동 파크뷰아파트 611동 3103호