LCD 제조공정 클린룸의 화재시 CFD를 이용한 제연성능 개선대책에 관한 연구

손봉세[†] · 장찬희^{*}

가천대학교 소방방재공학과, *가천대학교 환경 · 디자인대학원 소방방재공학과

A Study on Measures to Improve Smoke Control Performance in Case of Fire in a Clean room as an LCD Manufacturing Process

Bong-Sei Son[†] · Chan-hee Jang^{*}

Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon Univ.

*Graduate School of Environment and Design Gachon University

(Received July 26, 2012; Revised September 27, 2012; Accepted October 2, 2012)

요 약

첨단산업기술인 반도체, LCD 등 제조의 핵심공정인 클린룸은 생산제품의 성능 및 품질에 절대적인 영향을 미치는 가장 중요한 공정이다. 그러나 국내는 방화공학적인 측면에서 과학적이고 종합안전대책에 대한 체계적인 연구가 제대로 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 LCD 제조공정 클린룸에 설치하는 제연시스템의 성능 및 문제점을 파악하여 이에 대한 개선방안을 도출하기 위하여 여러 시나리오를 고려한 화재시물레이션과 피난시물레이션을 통하여 분석하였다. LCD 제조공정의 클린룸 화재 및 연기확산에 대하여 분석한 결과 화재시 공조기의 연동정지는 반드시 필요하며 연기의 부력을 고려하여 FAB 상부에 배연을 할 수 있도록 하여야 한다. 또한 대규모 클린룸의 경우 화재특성상 스프링클러헤드의 집열 성능이 떨어지므로, 조기반응형 헤드의 설치 및 작동시간을 빠르게 하기 위한 보조장치를 설치하여야 한다. 특히, 대공간 클린룸은 자동화 공정으로 거주밀도가 낮지만, 복잡한 생산장비의 배치와 방진복을 착용하고 근무해야하는 환경특성 때문에 화재시 피난안전성능 확보가 어렵기 때문에 공정 내 위험요소의 철저한 관리 및 주기적인 교육과 훈련이 필요하다. 방재선진국의 기준에 준하는 수준의 국내 관련기술 기준을 정립할 필요가 있다.

ABSTRACT

As a core process in the manufacture of state-of-the-art industrial technologies such as semiconductor and LCD, a clean room is the most important process which can affect the performance and quality of products drastically. Nevertheless, scientific research on comprehensive safety measures from a fire protection standpoint is not being carried out in Korea. This study aims to derive measures to improve smoke control systems by identifying performance and problems of smoke systems installed in clean rooms as an LCD manufacturing process and analyzing fire and evacuation simulations considering several scenarios. As a result of analysis of fires and smoke in a clean room as an LCD manufacturing process, it is found to be necessary to stop air handling units through interlocking in case of a fire and exhaust smoke out of the room through the top of FAB in consideration of buoyancy of smoke. It is also found to be necessary to install quick response sprinkler heads and accessories to accelerate the response time, because the heat-accumulating performance of sprinkler heads decreases in this application. Despite its low density of dwelling due to the automation process, clean room is characterized by an array of complex production equipment and working environment requiring dustproof clothes, which makes it difficult to acquire evacuation safety performance. Thus, thorough control of danger factors in processes and periodic education and training are required. It is also necessary to establish a level of domestic technologies equivalent to the level of standards of advanced countries in fire protection.

Keywords : Clean room, LCD, Fire simulation, Egress simulation, Fire load

[†]Corresponding Author, E-Mail: bsson@gachon.ac.kr
TEL: +82-10-3723-7137, FAX: +82-31-750-8749

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.5.041>

1. 서 론

클린룸은 LCD, 반도체 등 초정밀가공 및 조립에 필요한 공간에 존재하는 온도, 습도, 먼지, 입자, 공기압 등을 제어함으로써 항온, 항습, 양압 등의 제조환경으로 유지관리 되는 영역이나 공간을 말한다. 클린룸의 역사적 배경은 19세기 후반 미생물이 전염병 감염의 주원인으로 밝혀짐에 따라 무균 환경에서 치료 및 수술의 필요성이 인식되면서 미생물 오염방지를 계기로 본 기술이 본격적으로 개발되기 시작되었다. 특히, 2차 세계대전은 실제적인 클린룸 탄생과 발전의 계기가 되었다. 1963년 4월 원자력위원회는 뉴멕시코주의 Sandia회의를 개최하고, 클린룸에 관한 규격을 작성하기 위한 그룹을 설립하였으며, 1963년말 미연방 규격 Federal Standard 209가 개정되어 클린룸의 일반적인 기준으로 사용하고 있다. 이후 209B에서 클린룸을 Class 100, 1000, 10000, 100000의 단위로 규정하고 209C에서는 Class 1과 10을 추가하여 개정하였다⁶⁾.

특히, 1965년부터 클린룸이 일반산업계에 확산되었고, 1980년대초부터 HEPA Filter(High Efficiency Particulate Air)에 비해 성능이 향상된 ULPA Filter(Ultra-Low Penetration Air)가 시판되기 시작했으며 현재는 많은 산업 부분에 이용되고 있다. 본 분야에 대한 선행 연구는 주로 반도체 공장을 중심으로 제연성능의 평가 및 대안제시가 주된 연구로서 김운형외 2인¹⁾은 사례분석을 통하여 제연 설계시스템의 성능평가기준을 설정하고 최적의 배연방법을 분석하기 위하여 FDS 화재모델링을 수행하였다. 또한, 방연벽의 설치 및 배연 구역 방식을 제안하였다.

손봉세 외 1인²⁾은 반도체 공장의 클린룸에서 사용하는 가스가 누출되었을 때 발생하는 화재 확산현상을 컴퓨터를 이용하여 수치적으로 해석하였다. 이정구외 1인³⁾은 반도체 공정내의 긴급배연시스템을 개발하기 위하여 반도체 공정위험분석, 관련기준 검토, 화재시나리오 개발 및 화재 설계, 시뮬레이션을 하였다.

박외철⁴⁾은 청정실 내 화재가 발생한 구역에서 다른 구역으로 연기가 확산되는 것을 방지하기 위해 구역경계에 방연커튼을 설치할 때, 그 폭이 연기의 확산에 미치는 영향을 전산유체역학 프로그램을 사용하여 조사하였다. 박외철 외 1인⁵⁾은 제연설비와 스프링클러설비의 필요성을 확인하고 연기확산 가능성을 조사하기 위해 청정실 화재의 시뮬레이션을 수행하였다. 심화섭⁶⁾은 반도체 공장의 클린룸에서의 제연방식에 따른 피난안전성능을 연구하였다. 본 연구의 목적은 LCD 클린룸 화재시의 화재확산 및 피난유동을 고려한 제연설비의 효과를 분석하고 필요한 개선대책을 제시하고자 하였다.

2. 클린룸의 종류 및 규격

2.1 LCD 제조공정 클린룸

본 공정에 적용되는 클린룸의 종류는 일반적으로 공조

Figure 1. Open bay system clean room.

방식에 따라 분류한다.

2.1.1 CTM(Clean Tunnel Module) System

평면이 Bay 방식으로 Fan, Filter 및 Cooling Coil이 포함된 Tunnel Module을 연속조합 설치하여 청정의 공기를 순환시키는 방식으로 중규모 클린룸에 적용하는 방식이다.

2.2.2 Open Bay System

본 시스템은 Class 100 이상의 고정정도를 요구하는 클린룸(Clean Room)에 적용하며 Ceiling 전체를 ULPA(Ultra-Low Penetration Air) 필터 또는 HEPA(High Efficiency Particulate Air) 필터를 배치하고 대형 Fan을 이용하여 청정공기를 순환하는 방식이다. Figure 1과 같으며 순환계통은 Aerial Fan/Cooling Coil/Sound Attenuator 등으로 구성되어 있는 구조로 국내 · 외 대형반도체 공장에 많이 적용된다.

2.2.3 FFU(Fan Filter Unit) System

소형순환 Fan Unit와 ULPA 또는 HEPA Filter를 조합한 다수의 FFU를 천정에 설치하여 청정공기를 순환시키는 방식이다. 설치면적의 절약 및 경제성으로 최근 Class 1 이상 Super 클린룸뿐만 아니라 저급 클린룸까지 다양한 용도로 폭넓게 적용되고 있다. 이외도 설치비 및 운전비 절감을 위하여 개발된 것으로 SMIF(Standard Mechanical Interface)System이 있다.

2.2 클린룸의 규격

클린룸의 등급은 온도, 습도, 압력, 공기 중에 포함되어 있는 입자의 크기 및 개수 등에 의해 규격이 결정된다. 즉, 클린등급이란 1 ft³의 대기 중에 포함된 0.5 μ m 이상 크기의 입자 개수를 말한다. 209B는 0.5 μ m 입자기준으로 클래스 100까지를 최근 개정된 209C는 0.5 μ m 입자 기준으로 클래스 1으로 규정하고 있으나 고집적반도체(VLSI: Very Large Scale Integration) 제조와 같은 초미세가공영역에서는 0.1 μ m 입자를 기준한 관리가 필요함에 따라 최

Table 1. Clean Room Requirement (USA)

Class	Particle		Pres. (mmAq)	Temp.		Hum.	
	Size (μm)	Num. (/ft)		Scope	Exhortation	Max	Min
100	≥0.5	≤100	1.25 Over	19.4~ 25 °C	22.2	Corrosion 45 %	Static- electricity 30 %
1,000	≥0.5 ≥5.0	≤1,000 ≤7					
10,000	≥0.5 ≥5.0	≤10,000 ≤65					
100,000	≥0.5 ≥5.0	≤100,000 ≤700					

Table 2. Standard of Clean Room Mangement

Item	Standard value
Purity	Production/wafer 0.1 μm class below ULPA filter collection Eff. 99.999 % at 0.1 μm Standard
Temp.	Flat distribution 23 °C±0.5 °C. Time distribution 23 °C±0.2 °C
Humidity	45 %±3 %RH within
Wind speed	Vertical laminar flow: 0.25 m/s Entry speed: 0.25~0.35 m/s
Air current	Angle of air flow: 8°
Static electricity	Total leakage resistance of floors and shoes: 10 ⁻⁸ Ω
Noise	65 dB
Vibration	Work holder: 0.2~0.1 μm within Structure: 0.5 μm within
Magnetism	1 M Gauss within

근의 등급규정은 입자크기를 함께 규정하는 예가 많다. 이외에 각 국별로 서로 다른 규격을 두고 있으나 국내에서는 Table 1 및 Table 2와 같이 미국연방규격을 준용하고 있다.

3. 클린룸의 화재위험 요소

클린룸의 화재시 연기유동의 특성 또는 연소 성상을 실제 화재실험을 통해 해석하기는 매우 어렵다. 그동안 발생한 클린룸의 화재사례분석을 통하여 얻은 화재특성과 예상되는 화재 위험성을 기본으로 클린룸의 화재위험특성에 대하여 분석한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 인화성이 높은 위험물질 및 화재, 폭발성이 높은 특수 가스를 사용하는 위험공정이 많다.
- 2) 클린룸의 특성상 화재시 연기소손 및 오염으로 2차 피해규모가 가중된다.
- 3) 단위면적당 고가장비의 설치로 자산집적도가 높아 피해규모가 클 것이다. 또한, 장비, 덕트, 실내 내장재 등의 불연화가 어렵다.
- 4) 스프링클러소화설비 등 자동소화설비의 설치가 어렵

고 클린룸이 Top-Down 방식의 공기 흐름을 채택하여 화재시 공조기가 연동정지 되지 않을 경우 천정 상부에 연기 축적이 어렵게 된다.

5) 방호공간에 생산성 향상위주의 생산장비배치로 인하여 사고시 내부공간으로의 진입이 어렵고 소화 및 구급활동에 불리하다.

6) 규정에 의한 피난거리가 수평거리 70 m이나, 생산 장비배치 등으로 인하여 실제 보행거리는 70 m를 초과한다.

8) 클린룸의 생산 장비가 대부분 자동화 되어 거주밀도가 낮으나, 재실자는 청정도를 유지하기 위하여 방진복을 착용하고 근무하기 때문에 피난안전에 대한 충분한 대책이 필요하다.

9) Open-Bay 방식의 클린룸은 철골구조로 화재시 열 충격에 쉽게 파손될 우려가 있다.

10) Open-Bay 방식의 클린룸의 기류를 원활하게 형성하기 위한 건축구조는 반대로 스프링클러헤드의 집열성능을 저해하고, 이는 초기화재대응을 어렵게 한다.

4. CFD를 이용한 화재위험성 분석

본 연구에서는 여러 경우의 시나리오를 설정하여 화재 및 피난시물레이션을 실시하여 얻은 결과 값을 Time-Line 분석에 의해 성능기준을 설정하고, 거주가능시간이 총피난 시간보다 많이 확보되면 안전하다고 평가하며, 거주가능시간이 총 피난시간보다 적으면 거주가능시간 이후에 대피하는 거주인원은 사망으로 간주한다. 또한 제연성능을 평가하고 개선에 필요한 대책을 수립하기 컴퓨터를 이용한 해석을 실시하였다.

4.1 클린룸의 화재 시뮬레이션

프로그램은 FDS(Fire Dynamics Simulation)는 미국 NIST에서 개발된 시뮬레이션 프로그램으로서 화염이나 연기와 같이 화재에 의해 유도된 유동현상을 해석할 수 있다. 시뮬레이션 대상 방호공간은 Figure 2와 같이 지상4층으로 7.5세대 LCD 제조공정의 클린룸으로 Open-Bay 방식이며 연면적 320,000의 철골철근콘크리트 건물로 크기는 200 m×400 m, 높이는 28 m이다. 대상 방호공간의 시

Figure 2. Building plane drawing.

물레이션 조건은 FAB상부에 FFU가 설치되어 0.35 m/s의 유속으로 Down Flow가 이루어지고, Plenum 측면에서 2.4 m/s의 순환배기가 설치되어 있다. 또한 독성가스 누출 또는 화재시 초기 긴급배연을 목적으로 배기시스템이 5 m/s의 유속으로 구성되어 있다. 화재시물레이션은 우선 공조기가 연동정지 되지 않은 상황의 위험성을 확인하고, 공조기 연동정지가 되었을 때와 스프링클러가 성공적으로 동작하는 상황에서 연기의 유동을 분석하기 위하여 다음

Table 3. Fire Simulation Conditions

Section			Condition
Scenario 1 FAB Wet Etch Fire	Air Conditioner Work/Stop Fail	Case1.1	Sprinkler malfunction
		Case1.2	Sprinkler operation
		Case1.3	Exhaust operation
		Case1.4	FAB upper exhaust installation
Max. Heat Release Rate: 10MW	Air Conditioner Work/Stop Success	Case1.5	Sprinkler malfunction
		Case1.6	Sprinkler operation
		Case1.7	Exhaust operation
		Case1.8	FAB upper exhaust installation
Scenario 2 Plenum Stripper Fire	Air Conditioner Work/Stop Fail	Case2.1	Sprinkler malfunction
		Case2.2	Sprinkler operation
		Case2.3	Exhaust operation
		Case2.4	FAB upper exhaust installation
Max. Heat Release Rate: 12 MW	Air Conditioner Work/Stop Success	Case2.5	Sprinkler malfunction
		Case2.6	Sprinkler operation
		Case2.7	Exhaust operation
		Case2.8	FAB upper exhaust installation

Table 4. Fire Size⁽⁷⁾

Category	Fire source Position	Max. heat release	Fire source size
Scenario 1	FAB	10 MW	2.4 m×2.4 m
Scenario 2	Plenum	12 MW	5 m×10 m

Table 3과 같은 다양한 조건으로 실시하였다.

적용 스프링클러헤드 타입은 QRS, Glassbulb 57 °C, 입력물성치 &PROP ID='Default_Water Spray',Quantity='Sprinkler Link Temperature.', Activation_Temperature=57.0, K-Factor=80.0, Operating_Pressure=1.0, Droplet_Velocity=5.0, Spray_Angle=30.,80/로 하였다.

LCD 제조공정 클린룸의 화원은 반도체 제조공정에서 적용한 Wet Bench를 화재하중으로 선정하였다. 화재하중은 Factory Mutual Research Corp.의 Wet Bench Data Sheet를 기준으로 Etch 공정상의 Etch를 기준하였다. Plenum 지역은 0.25 m³ 탱크에 저장되어 있는 제3석유류인 Methanol을 적용하였다. 최대 발열량 및 화원의 크기는 Table 4과 같이 하였고 화재성장속도는 Ultra-Fast로 하였다.

4.2 클린룸의 피난 시뮬레이션

시뮬레이션프로그램은 영국에서 개발한 Simulex를 이용하였으며 자동적으로 모든 보행거리 및 피난루트를 계산할 수 있다. 건물 내에 재실자의 수가 결정되면, 잠정적인 피난 루트가 계산되고, 시뮬레이션이 수행할 수 있다. 피난 지연시간 이후 재실자 전부가 피난에 소요하는 시간을 계산하여 안전한 피난소요시간이 확보되는지를 확인한다. 또한 화재시물레이션 수행 장소의 각 장소별 피난소요시간을 확인하여 화재시물레이션 대상공간의 각 화재시나리

Figure 3. Simulex distance map.

오의 피난허용시간과 비교분석 한다. 피난인원은 방호공간의 재실자 수는 지상1층 FAB 133명, 지상2층 Plenum 95명, 지상2층 FAB 103명으로 총 피난인원수는 358명을 설정하였다고 거주밀도는 $0.02\text{인}/\text{m}^2$ 으로 Simulex Distance Map은 Figure 3과 같다.

4.3 클린룸의 시뮬레이션 결과

4.3.1 화재 시뮬레이션 결과 분석

공조기가 연동정지 되지 않은 경우, 연동정지가 되었을 때, 스프링클러소화설비 동작하는 상황 등 다양한 시나리

Figure 4. Work/stop fails/sprinkler operation.

오로 실시하였다. 시나리오 전 결과를 기입할 수 없어 공조기 연동정지실패/스프링클러설비 미동작시의 화재 및 연기분포 결과를 기록하였다. 그 결과는 Figure 4와 같으며, 각 시나리오별 결과를 Table 5과 같이 정리하였다. 피난시물레이션을 통하여 피난소요시간을 선정하였고 FDS 상의 연기호흡선은 1.8 m, 온도평균기준은 65°C , 가시도 평가기준은 10 m를 적용하여 평가하였다. 연기, 온도 및 가시도가 피난소요시간에 영향을 미치면($\times$), 피난소요시간에 영향을 주지 않지만 배기가 원활하게 이루어지지 않으면 보통($\triangle$), 배기가 이루어질 경우에는 좋음($\circ$), 배기가 원활하여 재실자의 피난허용시간이 늘어날 경우는 아주 좋음($\odot$)으로 나타내었다.

Smoke와 Visibility의 평가가 다르게 나타나는 부분은 공간내에서 가시도를 평가하는 가장 유용한 변수인 광소멸상수 K는 연료에 의존하는 질량비소멸계수와 연기의 밀도의 곱으로 나타내어지는데 본 연구에서는 상부로부터 Down Flow를 모사하였고, 이에 상부공조급기가 이루어지므로 비산을 고려하였기 때문인 것으로 평가된다.

4.3.2 피난 시뮬레이션 결과 분석

화재시물레이션 대상 공간의 피난소요시간 측정점은 Figure 5와 같이, 2층 FAB의 출구인 4개소에서의 피난소요시간과 각 화재시나리오의 피난허용시간을 비교하여 인명안전성을 평가한다.

방호공간의 재실자 모두 피난하는데 소요되는 시간은 Figure 6과 같이 218초가 소요되었다. 피난지연시간 120초를 고려한 RSET은 5분 38초이며 각 출구별 피난소요시간

Table 5. Smoke Control System Performance by Scenario Simulation Results

Category		Smoke	Temp.	Visibility	REST: 196.9 sec
Scenario 1	Case1.1	$\times$	$\circ$	$\times$	Life damage worry
	Case1.2	$\times$	$\circ$	$\triangle$	Life damage worry
	Case1.3	$\times$	$\circ$	$\times$	Life damage worry
	Case1.4	$\triangle$	$\circ$	$\triangle$	Life damage worry
	Case1.5	$\triangle$	$\triangle$	$\triangle$	ASET: 202 sec
	Case1.6	$\triangle$	$\triangle$	$\triangle$	ASET: 240 sec
	Case1.7	$\times$	$\triangle$	$\times$	Life damage worry
	Case1.8	$\circ$	$\triangle$	$\circ$	ASET: 250 sec
Scenario 2	Case2.1	$\times$	$\circ$	$\times$	Life damage worry
	Case2.2	$\times$	$\circ$	$\triangle$	Life damage worry
	Case2.3	$\times$	$\circ$	$\times$	Life damage worry
	Case2.4	$\times$	$\circ$	$\triangle$	Life damage worry
	Case2.5	$\triangle$	$\triangle$	$\triangle$	ASET: 270 sec
	Case2.6	$\triangle$	$\triangle$	$\triangle$	ASET: 280 sec
	Case2.7	$\triangle$	$\triangle$	$\triangle$	ASET: 292 sec
	Case2.8	$\circ$	$\triangle$	$\circ$	ASET: 312 sec

Figure 5. Each exits position.

Figure 6. 218 Seconds after complete evacuation.

Table 6. Evacuation Time for Each Exits

Exit	Evacuation time	Evacuation delay time	Total evacuation times
Exit.1	76.9 sec	120 sec	196.9 sec
Exit.2	72 sec	120 sec	192 sec
Exit.3	74 sec	120 sec	194 sec
Exit.4	74.7 sec	120 sec	194.7 sec

은 Table 6과 같이 피난허용시간 이내에 안전하게 피난이 되었다.

5. 결 론

Down-Flow의 공조 시스템인 클린룸의 제연성능을 평가하기 위하여 7.5세대 대규모 LCD 제조 클린룸을 선정하여 2개소에서 공조기 연동정지 성공과 실패, 스프링클러 동작과 미동작, FAB 상부 배연 설치와 미설치 등 16가지 경우의 시뮬레이션을 수행하였다. 대규모 LCD 제조 클린룸의 위험요인, 실내 연기분포 및 인명안전성 평가에 대한 시뮬레이션을 실시하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 화재시 공조기의 연동정지 실패시는 하부방향의 공기 유동특성으로 하부 Plenum 및 1.8 m 이하로 연기가 빠르게 하강하는 것을 확인되었다. 이는 연기로 인해 재실자가 고온, 유독한 연기로 피해를 입을 가능성이 있는 것으로 판단된다.

2. Open-Bay 방식의 공간 특성상 스프링클러헤드의 감열시간이 늦어 FAB Wet Etch 화재, 공조기 연동정지 실패시 헤드 작동시간은 화재발생 후 147초로서 NFPA 318 기준에 따라 FAST Response의 RTI 50 이하 헤드기준, 표

시온도구분 77 이하로서 기준 작동시간 60초로 하였을 때 스프링클러 작동시나리오 상 180초 이후에서 동작하기 때문에 조기반응형 스프링클러헤드를 사용하여야하고, 집열성능을 높이는 방안이 필요한 것으로 나타났다.

3. FAB 상부의 제연설비설치는 화재시 연기의 배출 및 제어에 큰 효과가 있는 것으로 파악되었다. 화재시 공조기는 반드시 연동정지 되어야 하고, 독성가스 누출을 위한 사고배기성능을 높여 화재시에도 연기를 배출할 수 있도록 FAB 상부에 설치하는 것이 인명안전을 향상시키는 것으로 분석되었다.

4. 클린룸은 특성상 부식성이 높은 화학물질과의 접촉이나 플라스틱 제품을 사용해야 하는 경우가 많으므로 마감재로는 인명안전을 고려하여 FM 4910이나 UL 2300의 Class1 또는 2의 엄격한 화재시험을 통과한 NFP 플라스틱 재질을 사용하여야 한다.

5. NFPA 318에 가연성 덕트를 사용하는 경우 스프링클러헤드를 덕트내 설치하게 되어 있는데 수손피해가 발생하는 관계로 FM인증 STS덕트를 사용토록 하고 있다. 따라서 국내에서도 배기 덕트의 재질로 가장 많이 사용하고 있는 폴리프로필렌과 염화비닐, FRP(Fiber-Reinforced Plastic)은 심각한 화재위험요인이 됨으로 배기덕트도 FM인증을 득한 코팅처리된 스테인레스 스틸 덕트를 사용하여야 할 것이다.

참고문헌

1. W. H. Kim, Michael J. Ferreira and B. K. An, "A Smoke Management System Design For Semiconductor Fabrication Facilities", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 14. No. 4. pp. 23-28 (2000).
2. D. Ho Min and B. S. Son, "A Numerical Study on the Fire Propagation Phenomena in The Clean Room of the Semi-conductor Factory", Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference Korea Institute of Fire Science and Engineering Semiannual, pp. 23-29 (2000).
3. J. C. Lee, J. H. Cho, J. H. Yoon, H. W. Dan, W. K. Kim, H. J. Kim and S. K. Lee. "A Study On the Emergency Exhaust Venting System in Clean Room", Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference Korea Institute of Fire Science and Engineering Semiannual, pp. 10-18 (2004).
4. W. C. Park, "Simulation of a Clean Room Fire I. Effects of Smoke Curtain", Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference Korea Institute of Fire Science and Engineering Semiannual, pp. 200-205 (2004).
5. W. C. Park, M. G. Lee and H. S. Park, "Simulation of a Clean Room Fire II. Needs of Smoke Control System and Sprinkler System", Journal of Korean Institute of

- Fire Science and Engineering, Vol. 20, No. 2, pp. 8-13 (2006).
6. W. S. Sim, "A Study on Evacuation Safety Performance design on HVAC mode in the Clean Room of Semiconductor Industry", The University of Seoul, The Graduate School of Urban Sciences (2009).
 7. Y. W. Joo, "A Study on Fire Protection Performance Evaluation Model for Semiconductor Fabrication Plants", The University of Seoul, The Graduate School of Urban Sciences (2010).
 8. J. H. Lee, S. M. Hwang and I. S. Woo, "A Study on the As Low As Reasonably Practicable (ALARP)-Concept Risk Assessment of Silane in Semiconductor and LCD Process", Korea Safety Management & Science (2010).
 9. "Performance-Based Fire Protection Design and Analysis", Department of Safety & Fire Protection Research Center, Seoul National University (2006).
 10. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd, NFPA, Quincy (2002).