반도체 제조공정의 연기유동에 관한 연구
- A Study on Fire Hazard Analysis and Smoke Flowing for the Semiconductor Manufacturing Process -

한 수 진 *
Han Soo Jin
강 경 식 **
Kang Kyung Sik

Abstract

The power of semiconductor, Korea is continuously constructing semiconductor production line for keeping a front-runner status. however, studies and data about potential risks in semiconductor factory are still short. If fire does not initially suppressed, the fire causes a great damage. To decrease fire risk factors, in addition to fire fighting safety equipment, more important thing is how to design and construct fire protection system.

The current fire protection codes about semiconductor factory come under functional law, and this law is short of consideration about particularity of factory. The existing prescriptive fire codes depending on experience compose without evident engineering verifications, thus equipments which is created by the current prescriptive fire code may bring about a variety of problems. For example, the design under the current regulation can not cope with the excessive investments, low efficiencies, and the diversifying construction designs and be applied to the quick changes of new technologies.

Ergo, an optimal design for fire protection is to equip fire protection arrangements with condition and environment of production field. Manufacturing factory of semiconductors is a windowless airtight space. And for cleanliness, there exists strong flow of cooperation. Therefore, there is a need for fire safety design that meets the characteristic of a clean room. Accordingly, we are to derive smoke

* (주)OSL ENG. 대표이사
** 명지대학교 안전경영연구소 소장
2007년 1월 접수; 2007년 2월 수정본 접수; 2007년 2월 게재확정

flow according to cooperation process within a clean room and construction plan of an optimal sensor system. In this study, in order to confirm the performance of proposed smoke-exhaust equipment and suggest efficient smoke exhaust device when there is a fire of 1MW of methane in the clean room of company H, we have implemented fire simulation using fluid dynamics computation.
Keywords : PBD, Clean Room, Serious loss, Design procedure, Regulation

1. 서 론

1.1 연구목적

20세기 중엽 반도체의 모태인 트랜지스터가 발명된 후 지속적으로 확장되고 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 최상위 수준에까지 올라 세계 반도체산업을 주도하고 있다.

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.

반도체공장의 화재사고는 다음과 같이 분류할 수 있다.
(1) 습도가 높은 세척실 화재
(2) 가연성 플라스틱 화재
(3) 전기설비의 화재
(4) 트랜지스터 계통의 화재
(5) 탄화규소의 화재
(6) 배기 계통의 화재

반도체공업의 신속한 발전에 따라 Clean Room은 이미 없어서는 안 될 중요한 설비이다. 그러나 Clean Room은 장소의 특수성에 의하여 생산 과정 중에 여러 가지 원인의 위험이 있다. 그 중 화재는 고가의 기계장비를 파손시키며, 또한 화재는 연기만으로도 Clean Room에 막대한 손실을 주고 회사의 정상운영과 회사직원들의 안전에 영향을 준다. 화재의 발생은 매우 복잡한 현상이다. 화재는 물질을 분해 할 뿐만 아니라 확산시키고 공기와 혼합하여 연소하는 등의 과정이 있다. 그리고 연소하면서 생기는

고온의 전달과 기체유동의 과정이 발생한다. Clean Room안에 수많은 유독물질이 있기 때문에 Clean Room의 열전달 및 독가스의 확산연구가 매우 중요하다.

Clean Room의 화재상황을 알기 위하여 실험을 진행 하는 데는 어려움이 있다. 그러므로 컴퓨터유체역학(CFD)방식으로 모의화재 실험을 한다면 내부의 연기입자의 유동상황을 알 수 있고 온도의 분포상황 등을 더 많이 알고 소방설비(초기 연기감지기 및 소화기 등)를 유용하게 사용함으로 화재로 인한 손실을 감소시킬 수 있다.

이를 위하여 본 논문에서는 반도체 제조 공정의 화재위험요인 및 Clean Room의 구조적 환경에 따른 연기유동을 분석하여 성능 위주 화재안전설계 관점에서 연기유동에 따른 최적의 감지 시스템 구축방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구방법

국내외의 연구 자료에 의하면 반도체공장 화재로 인한 손실의 주요 원인은 연기로 인한 손실이라고 한다. 그래서 화재의 원인을 파악하는 동시에 연기의 유동상황을 정확히 인식해야 한다. 보통 반도체공장의 Clean Room은 동태적 유동환경의 영향을 받아 화재연기가 빠르게 확산된다. 그러나 Clean Room의 화재모의 실험을 하는 데는 어려움이 많고 또한 현재 Clean Room 화재 실험자료가 많이 부족한 편이다.

본 연구는 반도체, LCD공장의 Clean Room의 실제적인 위험성을 자료수집, 문헌조사 등 이러한 과정에서 얻어진 결과와 분석을 공학적인 방법을 통해 이를 검증하여 설계에 대한 최적의 대안을 제시한다.

이번 연구는 모의소프트웨어를 사용하여 반도체공장의 모의실험을 진행하고 Clean Room내에 연기유동 자료를 수집하여 다음사항을 분석한다.

(1) 기계에서 화재가 발생한 후 각 기류속도와 화원의 크기 , 높이 ,온도의 변화와 감지기 작동에 어떠한 영향을 미치는지 분석한다.

(2) 모의화재 초기에 고온 연기입자의 운동, 연기입자의 실내에서의 움직임을 분석한다.

1.3 연구내용

반도체기술은 계속하여 진보하고 있으며 오염을 줄이기 위해 생산설비가 점차적으로 자동화 되고 있다. 그러나 반도체 제조공정 안에는 아직도 많은 위험이 존재하고 있다. 이런 위험요소는 화재의 위험이 제일 크며 신속하게 진압을 못하면 막대한 손실을 초래할 것이다. 이런 위험을 감소시키기 위하여 소방안전시설을 설치하는 외에 더 중요한건 어떻게 하면 최적의 방재시스템을 구축하여 손실을 감소시킬 수 있는가 하는 것이다. 최적의 시스템은 공장의 환경을 고려하여 소방안전설비를 갖추는 것이다. 이러한 최적의 시스템을 구축하자면 많은 사람들이 동의할 수 있는 컴퓨터방식에 기초해야 하며 CFD의 방식은 현재 가장 효율적이라고 볼 수 있다.

본 논문에서 연구하고자 하는 과제는 다음 세 가지 부분으로 나눌 수 있다.

첫째는 반도체공정의 잠재위험성 및 화재 특성을 분석한다.

둘째는 빠른 또는 느린 화재의 발생을 분석하고 불씨(불꽃 火源)의 크기와 여과(먼지를 거르는 설비)기의 바람속도, 화원의 높이와 온도의 변화를 분석하는 것이다.

셋째는 모의시뮬레이션을 이용하여 화재초기에 연기입자의 운동 상황과 운동궤도를 분석하는 것이다.

2. Clean Room의 연기유동 분석

2.1 화재시뮬레이션 (시험성 설계 평가의 개념)

화재시나리오를 평가하기 위해서는 화재시뮬레이션이 필요하다. 화재시뮬레이션은 크게 Zone 모델과 Field 모델 두 가지로 나눌 수 있다. Zone 모델은 간단한 위험의 크기나 건축물과 같이 방화구획이 되어져 있는 곳에서 많이 사용되고 Field 모델은 보다 정확한 값을 구하거나, 대공간 혹은 야외 공간에서 주로 사용된다. Field 모델 같은 경우 보다 높은 사양의 컴퓨터가 요구되며 시뮬레이션 시간도 많이 필요하게 된다.

본 연구에서는 Field 모델인 FDS(Fire Dynamics Simulator 이하 FDS로 약칭)를 채택하여 화재시뮬레이션을 수행하는 것으로 한다.

FDS는 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)산하 건축화재연구소 BFRL(Building and Fire Research)에서 개발된 화재 Computational Fluid Dynamics (전산유체역학, 이하 CFD) 프로그램이다. 전산유체역학(CFD)에 의해 계산되는 이 소프트웨어는 수적으로 느린 속도, 불로부터 나온 열과 연기에 초점을 맞춘 열적 구동되는 흐름에 대해 적절한 Navier-Stokes 방정식을 푸는 데 사용된다.

화재전용 CFD의 유일한 모델이었던 JASMINE보다 더 많은 기능을 추가 시켰으며, 특히 Flame Spread와 Sprinkler의 적용을 통하여 더욱 건축화재 시뮬레이션에 적용성을 높였다. 그러나 아직까지 많은 부분에서 단점들이 밝혀지고 있고, 모든 것을 사용자의 프로그래밍에 의존하기 때문에 잘못된 결과를 얻을 수 있는 확률이 높다. 또한, 모든 고형물(obstruction)등을 프로그래밍 해야 하기 때문에 상대적으로 소요시간이 많이 걸린다는 단점을 가지고 있다.

CFD 모델과 FDS의 결과는 Smokeview 프로그램을 통해서 수적 계산을 가시화할 수 있다. 즉 Smokeview와 FDS는 불로 인해 만들어진 연기의 흐름을 실험하고 시각화할 수 있는데, Smokeview는 FDS의 결과를 입자흐름, 크기와 흐름방향을 보여주는 흐름벡터와 온도와 같은 가스 흐름 데이터의 2D 또는 3D 윤곽으로 보여준다. Smokeview는 또한 특정한 시간에서 고정된 데이터를 보여준다. FDS의 결과는 문서화일로도 확인할 수 있다.

각 화재시뮬레이션 프로그램의 사용절차 및 방법, 제한사항 등은 NIST에서 발간한 User Guide와 Technical Note를 참조하는 것으로 한다.

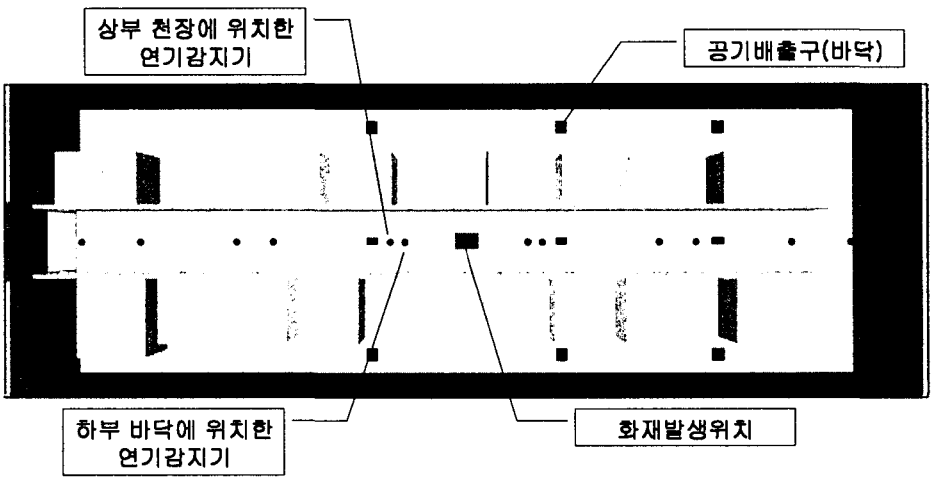
2.2 Clean Room 화재시뮬레이션

2.2.1 시뮬레이션 가정

본 연구 대상인 Clean Room은 반도체 제조공장의 웨이퍼 제조 공장을 의미하는 Fabrication facility(이하 FAB) 한 단위 공정으로 제한한다. Clean Room에 대한 연구 자료를 분석해보면 화재를 초기에 소화하는 스프링클러 설비와 연기를 신속하게 배출하기 위한 제연설비가 설치되어 있어 모두 작동하더라도 단위 Clean room을 제연경계벽으로 구획[1]하여야 하며, 스프링클러설비와 제연설비의 신속한 작동이 요구되고[2] 그에 따라 신뢰도 높은 자동화재탐지설비의 필요성을 함께 언급하고 있다.

화재가 발생한 경우 신속한 화재 감지를 위한 감지기 설치 조건 중 Clean Room에는 약 0.1m/s의 평균유속으로 천장으로부터 공기가 들어와 바닥으로 배출되는 기류를 고려하여 감지기 감지부의 적정 위치 검토를 위하여 화재시뮬레이션을 실행한다.
또한 70℃에 동작하는 정온식 감지기가 설치되어있다.

Clean Room 전체의 규모가 크므로, 39m x 13m x 4m 크기의 FAB 1개 부분을 조사대상으로 한다. 가연성물질은 이소프로필 알코올(isopropyl alcohol) 20l이며, 폭 3m의 중앙통로에 위치되어 있다.



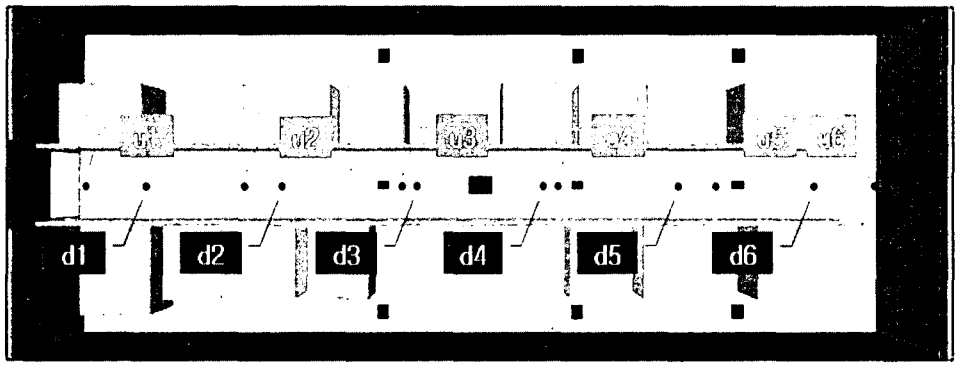
<그림 1> 화재시뮬레이션 대상공간 설정

본 연구의 시뮬레이션 가정은 다음과 같다.

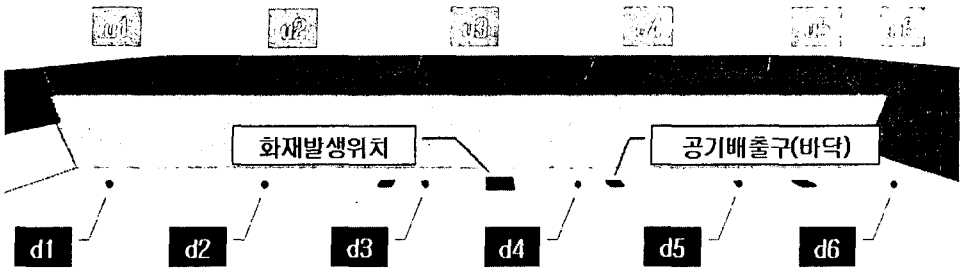
(1) 해석 공간 내 단일구획에서 화재가 1건 발생하는 조건(동일시간에 2건 이상의 화재가 발생하지 않는 조건)

1) 박외철, "청정실 화재의 시뮬레이션- I. 방연커튼의 효과". 한국화재소방학회 논문지, 제 19권, 제2호, pp.8-12(2005)
2) 박외철, "청정실 화재의 시뮬레이션-II. 제연설비와 스프링클러 설비의 필요성". 한국화재소방학회 논문지, 제 20권, 제2호, pp.8-13(2006)

(2) 화재시나리오는 발생 가능한 시나리오 중 발생빈도가 높고, 보편적인 시나리오로 한다.
(3) 화재 또는 방화(Arson)에 의한 가스폭발 등의 시나리오는 본 시뮬레이션에서 제외한다.
(4) 계산시간은 200초로 한다.
(5) 화재감지 속도 측정을 위한 것으로 화재크기는 1MW급으로 유지된다.
(6) 스프링클러 헤드가 작동하지 않는 상태를 가정하여 스프링클러 헤드가 미설치되는 조건으로 수행한다.
(7) 화재감지기는 연기감지기로 FDS 프로그램에서 선택가능한 Cleary model을 적용하며 중앙통로 가운데에 6.5m 간격으로 천정(u1~u6)과 바닥(d1~d6)의 동일한 위치에 설치한다.



< 평 면 >



< 단 면 >

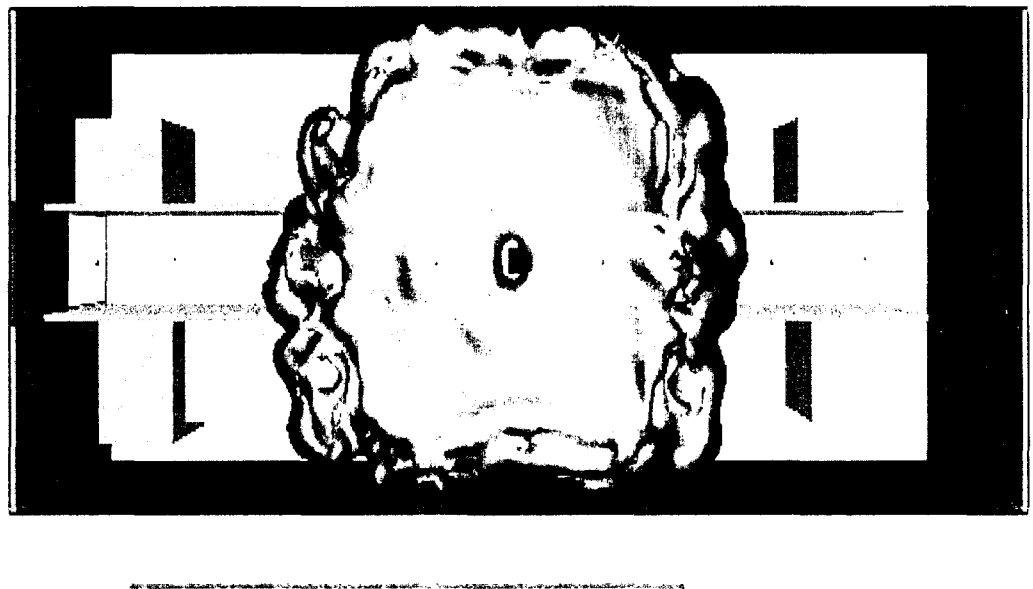
<그림 2> 감지기 위치 및 구분

(8) 연기는 화재발생 후 12초에 기동된 비상배기설비에 의해 바닥에 설치된 9개의 공기배출구를 통해 배기풍량 1 ㎥/min-㎡ (30,420 ㎥/h)로 배출되는 경우에 대하여 시뮬레이션 한다.

2.2.2 시뮬레이션 적용

1) 등온표면

화재진행과정을 일정온도 이상의 공기층이 확산하는 모습으로 나타낼 수 있다. 스프링클러 설비가 설치되지 않은 상태에서 화재가 발생한 경우 <그림 3>과 같이 화재발생 후 10초(t=10s)에 이미 60℃ 이상의 고온공기가 FAB 경계의 제연경계벽까지 확산되어 있다.

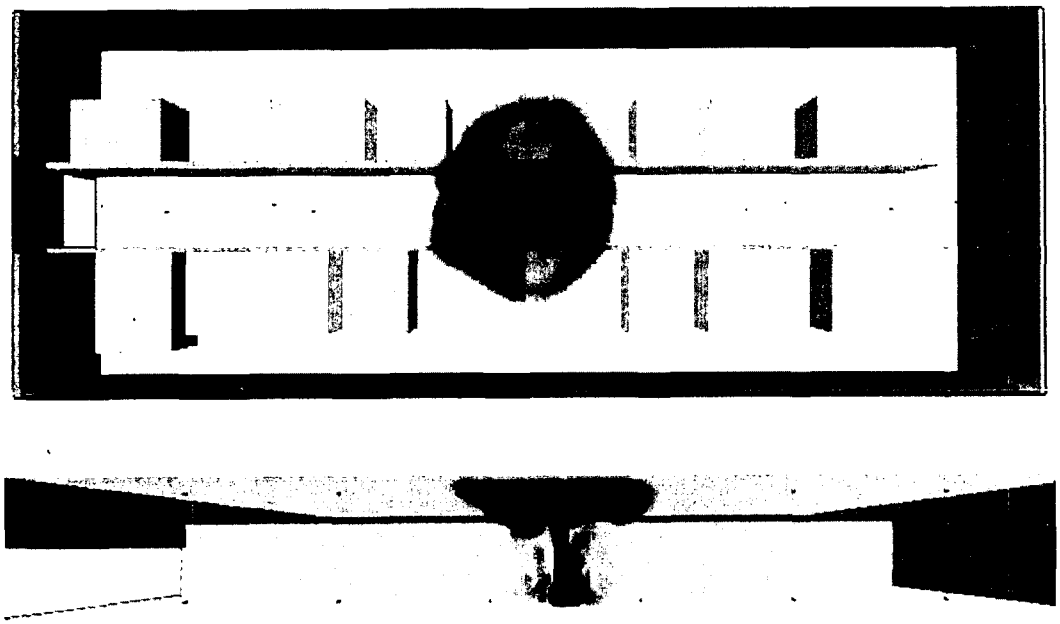


<그림 3> 60℃ 등온표면의 변화

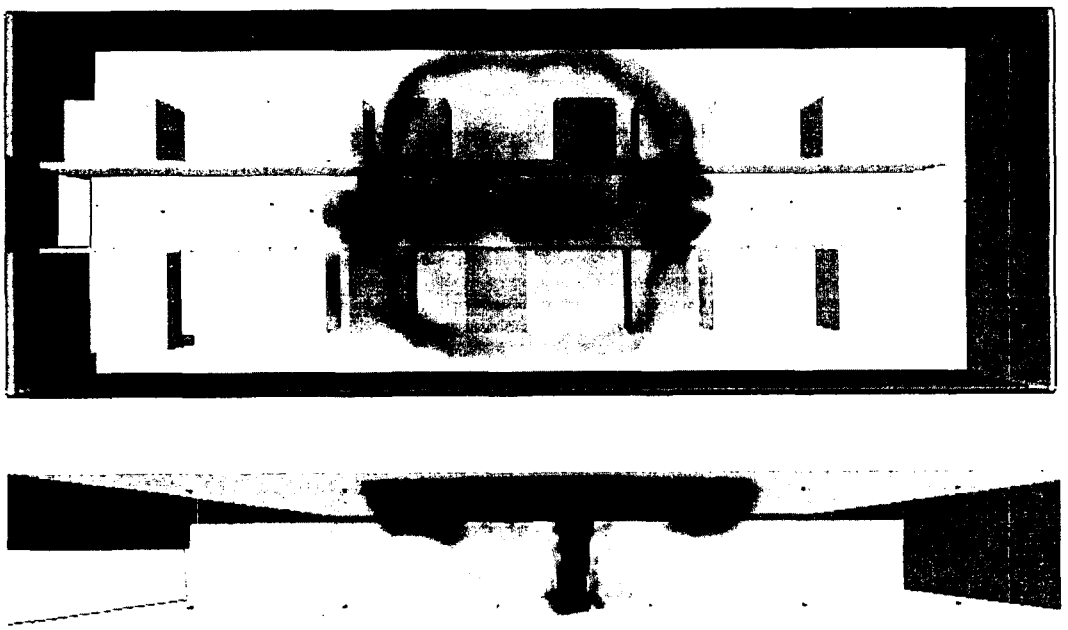
2) 연기 확산

화재가 발생하면 화재로 인한 열에 의하여 연기는 상승하며, 천정과 제연경계벽에 부딪힌 연기는 공간 전체로 확산된다. 연기는 고온 공기와 함께 위로 올라가지만 시간이 지나면서 온도가 떨어지므로, 고온공기가 있는 곳에만 연기가 존재하는 것이 아니다. 바닥 공기 배출구의 작동으로 상부에서 하부로 생성되는 기류를 따라 연기는 보다 빨리 하강하게 된다.

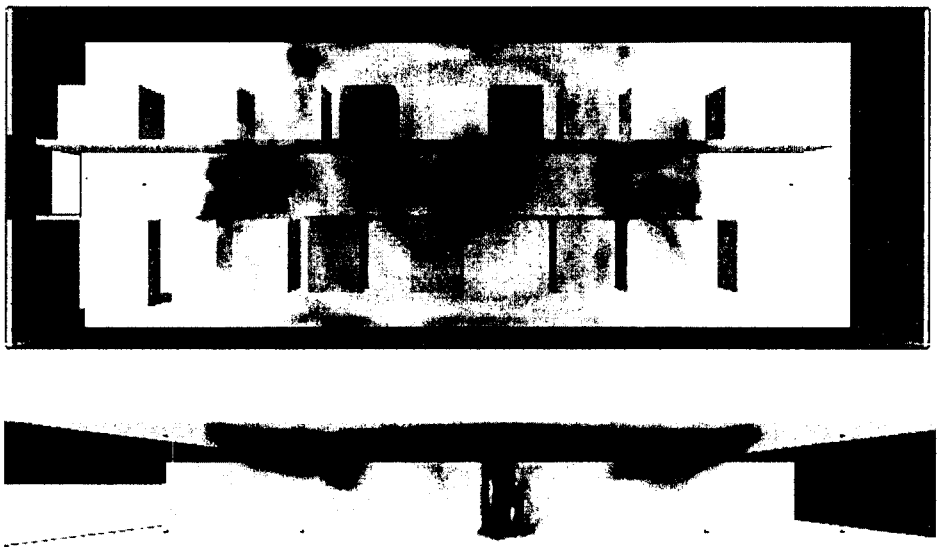
바닥의 공기 배출구가 작동하는 경우 연기 확산 분포는 아래 그림 (<그림 4>, <그림 5>, <그림 6> 참고)과 같다.



<그림 4> 연기 확산의 변화 - 4초

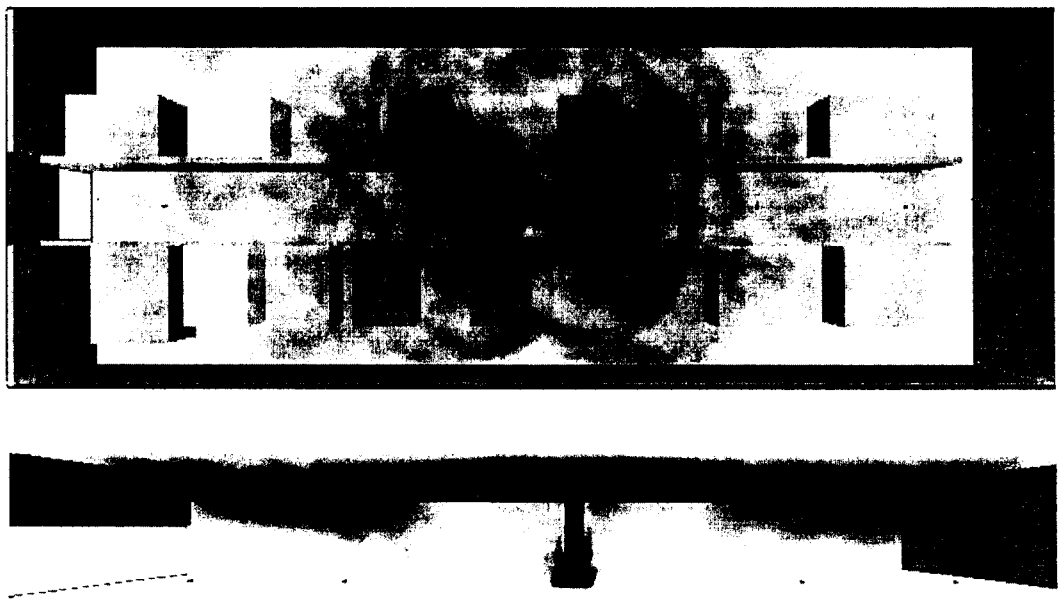


<그림 5> 연기 확산의 변화-8초



<그림 6> 연기 확산의 변화-12초

시뮬레이션에 의한 연기 확산의 변화를 살펴보면 육안으로 감지기 작동 여부를 확인하기는 어렵다. 정상상태에서 기류(상부 급기, 하부 배기)와 연기의 온도가 낮아지므로 인하여 연기가 하강하기 시작하며, 화재 발생 12초에 작동하는 하부의 공기 배출로 인하여 연기 하강이 빨라지게 된다.



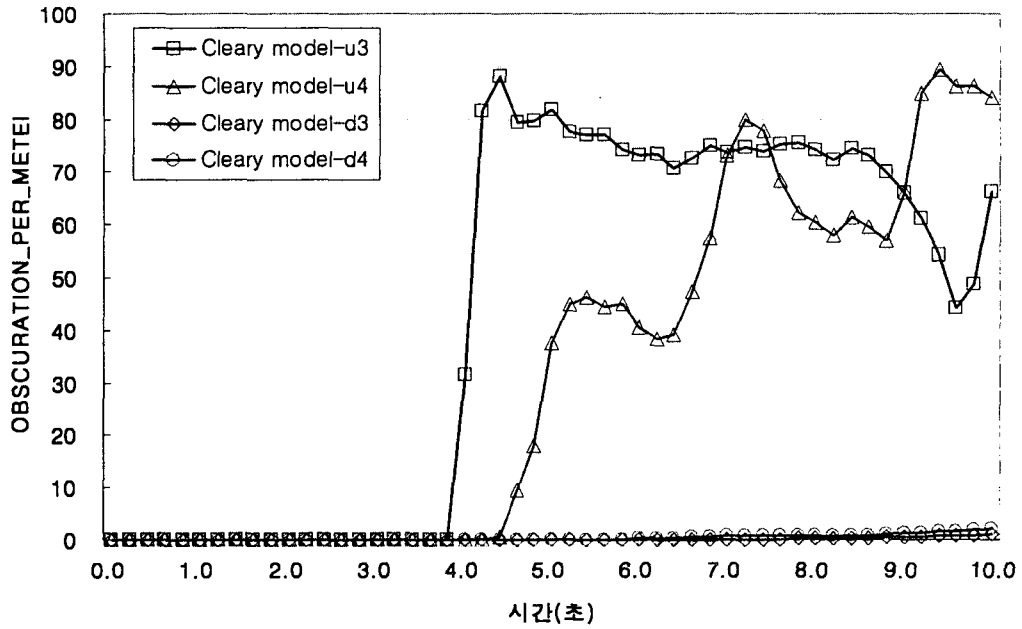
<그림 7> 연기 확산의 변화-20초

3) 연기감지기 작동 시간 분석

상부와 하부에 각각 6개의 연기감지기가 설치된 것으로 설정하였을 때 가장 빨리 작동한 것으로 화재지점 가까이에 있는 상부 u3 연기감지기와 하부 d4 연기가지기인 것을 나타났다. 아래 표는 각 감지기의 작동시간을 나타내며, 그래프는 10초 이내에 작동한 감지기 4개에 대한 감지기 특성값을 나타낸다.

<표 1> 감지기 작동시간 (단위 : 초)

감지기 구분	상부(u)	하부(d)
1	19.8	20.4
2	9.6	19.6
3	3.8	4.6
4	4.2	3.8
5	10.8	12.4
6	19.6	20.2



<그림 8> 연기감지기 작동시간

2.3 시뮬레이션 결과 분석

Clean Room에 1MW의 화재가 발생했을 때, 공조설비에 의한 기류를 고려한 화재탐지설비 설치 방안을 검토하기 위해, 전산유체역학을 이용하여 화재 시뮬레이션을 수행한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) Clean Room 정상기류 상태에서 화재 발생 3.8초 후 상부와 하부에 설치된 연기감지기가 동시에 작동하였다. 시나리오에 의한 Clean Room에는 상하부 모두에 연기감지기를 설치하는 것이 바람직한 것으로 보이며, 상부에서 하부로의 기류가 더 큰 경우 하부에 연기감지기를 설치하는 것이 보다 적합할 수 있다. 공기유동의 크기 및 방향 변화가 있을 경우 효과적이고 신뢰도 높은 화재감지를 위한 당해 경우에 적합한 자동화재탐지설비의 성능분석이 요구될 수 있음을 확인하였다.

2) 상부 급기 및 하부 배기의 공조시스템에 대하여 화재 크기 변화 및 스프링클러설비 작동 유무, 자동 화재탐지설비와 연동되는 비상배연설비의 용량에 대한 추가 검토가 요구된다.

3) 공기유동이 심한 Clean Room에서 효과적으로 화재징후를 감지할 수 있는 감지시스템 설계가 필요하다.

세계적인 추세를 보면 소방선진국에서는 이미 성능기준 소방안전규정에 대한 체제를 이미 도입하였거나 도입을 준비 중에 있다. 그러므로 성능기준 소방안전설계를 사용할 수 있는 성능기준 소방안전규정의 국내 도입이 매우 시급하여 이에 대하여 국내에서도 좀 더 활발한 연구활동이 이루어져야 할 것이라고 판단된다.

3. 결론 및 향후 과제

3.1 연구의 요약

반도체공장 제조공정의 구조적 특성과 환경에 적합한 설계·설비를 할 수 있는 방재 시스템에 대한 국내 법규정은 미흡한 실정이다.

국가 경제에 지대한 기여를 하고 있는 반도체산업의 지속적인 발전을 위해서도 특성에 적합한 성능기준 화재 안전설계의 적용이 필요하다.

Clean Room환경에서 화재 발생 시 대부분의 연기입자는 화재초기부터 열의 작용으로 상부로 이동한다. 이 후 하강기류의 영향으로 다시 아래로 이동한 후 통풍구로 이동함을 확인할 수 있었다.

화원온도가 높을수록 열의 상승력이 비교적 커진다. 때문에 이동속도가 빠를수록 연기입자가 통풍구로 이동하는 시간이 짧아짐을 알 수 있었다.

공기유동의 크기 및 방향 변화가 있을 경우 효과적이고 신뢰도 높은 화재감지를 위한 당해 경우에 적합한 자동화재 탐지설비의 성능분석이 요구될 수 있음을 확인하였다.

또한 사양위주의 설계로는 화재징후의 조기감지 목적을 달성 할 수 없었다. 연기의

실제 거동에 있어 재실자들의 피난시간보다 연기강하시간이 더 빠르게 나타나므로 성능위주의 설계를 통한 연기강하시간을 계산하고 피난 시뮬레이션을 통하여 재실자들의 안전한 피난을 유도하여야 한다.

그리고 화재 시뮬레이션 결과 연기의 이동속도, 유동방향 등 여러 요건에서는 시뮬레이션과는 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다. 이는 거실의 누기, 외기조건, 충고에 따른 연돌효과로 보여 진다.

또한 연기입자의 운동방향을 고려하고 공조흐름에 영향을 받지 않는, 즉 강제로 공기를 포집할 수 있는 화재감지기의 설치 방안을 다음과 같이 도출하였다.

첫째, Clean Room에서의 화재는 대개 기기나 가공 장비(예: WetBench, Stepper, etc), 전기기구(조작반, 고압 전원반 등), 전선부(케이블 트레이나 덕트 등)에서 일어난다. 이들 화재 발생 가능 구역들을 확인하고 적합한 감지 설비를 설치하는 것이 중요하다.

둘째, 연기 시험이나 전산유체역학이 필요하다. 공기 유동 시뮬레이션을 사용하면 연기의 유동 경로를 미리 파악 할 수 있고 이로부터 공기흡입형 감시 시스템의 위치를 선정할 수 있다.

셋째, 빠른 공기 흐름으로 인해 발생한 연기는 급속히 확산된다.

저농도의 연기를 가장 빨리 감지하기 위해서는 Sampling Pipe Network를 공기 흐름 방향을 따라 설치해야 하며 그리고 인지된 위험 요소 즉 가공 장비에 근접시켜 설치해야 한다.

3.2 향후 연구 방향

본 연구는 최적의 Clean Room 방재 설계를 위한 FDS 적용 및 PBD 도입에 관한 선행 연구 문헌이나 실증 사례에 대한 자료가 매우 부족하여 연구에 많은 한계점에 부딪쳤다.

첫째, 국내 소방 엔지니어 중 Clean Room의 구조적 특성을 이해하고 화재안전설계를 수행할 수 있는 엔지니어는 매우 부족한 실정으로 보여 진다.

둘째, 본 연구에 있어서는 FDS 적용을 다양한 경우로 시도하지 못하였는데, 이는 Clean Room 자료 수집이 쉽지 않은 상황이었다. 따라서 Clean Room의 방재 시스템 전반에 걸쳐서 종합적이고 포괄적인 연구가 되지 못했다는 점에서 한계가 있다.

셋째, 연기의 실제 거동에 있어 재실자들의 피난시간보다 연기강하시간이 더 빠르게 나타났으나 재실자의 피난시간을 실제적으로 확인 하는 데는 한계가 있었다.

앞으로 최적의 Clean Room 방재 시스템 적용을 위해서는 다음의 연구과제가 지속적으로 수행되어져야 할 것이다.

첫째, 성능위주의 방화설계(Performance Based)는 기존에 개발된 화재거동과 연기이동 및 피난의 소프트웨어를 이용하여 소방대상물의 열분포(Heat Profile), 연기이동(Smoke Movement), 피난특성, 발생열량 및 내화도 등을 분석함으로써 소방대상물에 적합한 방화설계를 해야 한다.

둘째, 반도체 제조시설의 특수조건에 적합한 화재코드를 제정하는 작업이 필요하며

클린룸의 공간특성과 공조설비를 고려하여 화재 시 연기에 의한 재산피해를 최소화 할 수 있는 최적의 설계에 대한 연구가 진행되어야 한다.

셋째, 본 연구는 전산유체역학 해석 방법으로 진행한 것으로 화재 현상에 대한 실제적인 검증은 미흡하다. 따라서 정확한 이론과 실험을 기초로 하여 보다 더 정확한 화재 현상을 이해 할 수 있고 Clean Room 내에서의 연기의 유동과 연기 확산 현상에 대한 보다 더 정밀한 실험 방법을 찾아야 한다.

4. 참 고 문 헌

[1] 강석호, 「클린룸 설계 및 운전」, 『화학공업과 기술』, (1989)
[2] 과학기술처, 「초청정 클린룸 개발에 관한 연구」, 과학기술처, (1995)
[3] 김광진, 「석유저장탱크 화재진압시뮬레이션 프로그램 개발」, 중앙소방학교 소방연구실, (2002)
[4] 김원국, 「Room Fire Modeling for performance based Fire protection Design」, (1999)
[5] 김국진, 「초대형 클린룸 내부 기류 특성에 관한 연구」, 부산대학교 일반대학원, (2004)
[6] 김동준, 「지하공동구의 화재 시뮬레이션에 의한 화재방호대책에 관한 연구 : 공동주택단지를 중심으로」, 경기대학교, (2002)
[7] 김영헌, 「화재 대피 시뮬레이션 소프트웨어 개발에 관한 연구」, 漢陽大學校 大學院, (2002)
[8] 김용식, 오중근, 「重合格子座標系를 使用하는 氣流解析 方法에 의한 非單一方向流 클린룸의 裝置 레이아웃 檢討」, 『대한건축학회 논문집』, (2004)
[9] 김운형, Michal J.Ferreira, 안병국, 「반도체 공장의 제연설계」, Vol.14.No.4, pp23-28, 한국화재소방학회.
[10] 김진국, 「화재 시뮬레이션의 이해" 방재와 보험」, (1996)
[11] 김충익, 박진국, 「공동주택 火災시 개구부 변화에 따른 火災 위험도 시뮬레이션 연구」, 『생산공학연구소 논문집』, (1998)
[12] 김화중, 「국내외 내화기술 개발 현황」, (2001)
[13] 남신우, 「防災 및 建築施設 핸드북」, 大光書林, (1981)
[14] 노광철, 이승철, 오명도, 「초청정 클린룸 공조방식에 따른 기류특성에 관한 수치해석」, 『설비공학 논문집』, (2003)
[15] 민동호,손봉세, 「반도체 공장의 청정실 화재확산현상에 대한 수치해석적 연구」, pp23-29, 한국화재소방학회 추계학술논문발표회.
[16] 박경미, 「소방안전 체험장 환경설정」, 서울대학교, (1998)
[17] 박외철, 「청정실의 연기확산과 방연커튼의 효과」, pp200-205, 한국화재소방학회 추계학술논문 발표회.
[18] 박외철, 「청정실 화재의 시뮬레이션」, Vol.19,No.2.pp200-205, 한국화재소방학회지.
[19] 박준, 「환기 통제하에서 실내화재 시뮬레이션」, 釜慶大學校 大學院, (2006)
[20] 박진국, 「Zone Model을 이용한 공동 주택의 火災시뮬레이션 연구」, 中央大學校, (1998)
[21] 백동현, 「국가화재안전기준(NFSC)에 따른 소방전기설비의 설계 및 시공」 동일, (2006)

[22] 박효선, 박진우, 홍천화, 「성능위주 소방설계를 위한 공학적 접근에 관한 연구」, 『학술발표대회 논문집』, (2001)
[23] 서울산업대학교, 「성능기준 화재안전설계 적용기술 개발」, 과학기술부, (2001)
[24] 손장열, 김창수, 김영덕, 임병찬, 「수직층류형 클린룸에서 취출기류속도 변화에 따른 유동장에 관한 실측연구」, 『학술발표대회 논문집』, (1993)
[25] 손장열, 김창수, 심우식, 「반도체공장(클린룸) 의 공조부하특성에 관한 연구」, 『大韓建築學會論文集』, (1991)
[26] 이수경, 「성능기준 화재안전 설계 적용기술의 개발」, 과학기술부, 2차년도 보고서, (2000)
[27] 이수경, 「성능기준 화재 안전설계의 적용기술 개발」, (2001)
[28] 이수경 외, 「가연성액체 위험물 저장소의 성능기준 화재안전 분석의 적용 사례에 관한 연구」, 화재소방학회 춘계학술논문 발표, (2000)
[29] 이수경, 「성능기준 방화설계의 개황」, Vol. 85, 2000, 방재와 보험.
[30] 이수경, 「성능기준 소방안전설계의 세계적 추세와 국내도입에 관한 고찰」, Vol.60, 1999, 소방기술.
[31] 이영갑, 「고층 공동주택의 화재 안전성 확보를 위한 성능위 설계에 관한 연구」, (2005)
[32] 이정구,조재형,윤재훈,단희웅,김원국,김환진,이상곤, 「반도체 C/R FAB 화재시 비상배연시스템」, pp10-18, 한국화재소방학회 추계학술논문 발표회.
[33] 이태원, 김태형, 김세동, 「방화계획의 수립을 위한 지하공간 화재 시뮬레이션」, 『건축 설비』, (1999)
[34] 정용호, 「클린룸 空調熱源機器의 에너지 消費量 豫測에 관한 연구」, 漢陽大學校 大學院」, (1994)
[35] 조주호, 「지하철 지하공간 화재 시 피난시뮬레이션 기법을 통한 심층역사의 피난에 관한 연구」, 고려대학교 공학대학원, (2006)
[36] 중앙소방학교, 「건물 화재 및 진압시뮬레이션 프로그램 개발」, 중앙소방학교 소방연구실, (2001)
[37] 중앙소방학교, 「석유저장탱크 화재진압시뮬레이션 프로그램 개발」, 중앙소방학교, (2001)
[38] 박외철, 박헌식, 「클린룸 화재시뮬레이션」, (2005)
[39] 진복권, 「스프링 쿨러 작동특성과 피난평가에 관한 실증적 연구」, 인하대학교, (2006)
[40] 하동명, 이수경, 「The Performance - Based Fire Safety Design of the Flammable Liquid Facility」, (2001)
[41] 함성웅, 「화재진압시뮬레이션 연구 . 제3단계 최종보고서 , 이동탱크로리 화재진압시뮬레이션 프로그램 개발」, 중앙소방학교 소방연구실, (2003)
[42] 황상우, 「인화성 위험물 저장소에 대한 성능기준 소방안전 설계의 적용」, 서울産業大學校 産業大學院, (1999)
[43] 황준호, 「화재시뮬레이션 : NAFI 교육용 시뮬레이션」,중앙소방학교 소방연구실, (2006)
[44] 박외철, 「청정실 화재의 시뮬레이션-Ⅰ. 방연커튼의 효과」, 한국화재소방학회 논문지 제 19권, 제2호, pp.8-12(2005)
[45] 박외철, 「청정실 화재의 시뮬레이션-Ⅱ. 제연설비와 스프링클러 설비의 필요성」. 한국화재소방학회 논문지, 제 20권, 제2호, pp.8-13(2006)

저 자 소 개

한 수 진 : 서울산업대학교 안전공학과 학사. 한양대학원 안전공학과 석사. 한국산업안전공단/하이닉스반도체에서 ESH업무 수행, 현재 안전·소방전문업체인 OSL ENG 대표이사로 재직중. 관심분야는 방재시스템, 산업안전, 인간공학 등이다.

강 경 식 : 현 명지대학교 산업공학과 교수, 명지대학교 안전경영연구소 소장, 명지대학교 산업대학원 원장, 대한안전경영과학회 회장, 경영학박사, 공학박사

저 자 주 소

한 수 진 : 서울시 강남구 일원본동 상록수아파트 204동 404호

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