

공조설비 건물에서의 연기 확산 예측 모델링에 관한 연구

김수영, 오규형*, 이성은*, 김황진*

*호서대학교 산업안전기술연구센터, 호서대학교 소방방재학과

Computational modeling of smoke movement in the air conditioning system

Soo-Young Kim, Kyu-Hyung Oh*, Sung-eun Lee*, Hwang-Jin Kim*

Industrial Safety Engineering Research Center of Hoseo Univ.,

**Fire & Disaster Protection Engineering of Hoseo Univ.*

1. 서 론

근래 들어 컴퓨터 화재 simulation program을 사용하여 건물의 화재 위험성을 평가하는 방법들이 많이 사용되고 있으며 이러한 방법들을 통하여 건물의 잠재적인 화재 위험성 및 화재시 피난 및 연기의 유동과 경보 및 제연설비들의 효율성을 관하여 예측해 봄으로써 더욱 능동적인 화재 대책을 세울 수 있는 계기가 되어 지고 있다. 물론 이들 simulation program들이 실제 상황과 영역들을 정확하게 다 적용할 수는 없지만 이들 simulation program들의 각각의 장점들을 이용한다면 더욱 다양한 화재 시나리오의 설정과 해석들을 할 수 있게 되어 진다. 특히 이러한 적용은 실제 화재의 상황을 실험 및 훈련을 통하여 적용하기 어려운 대형 공공건물 및 24시간 작동되어지는 플랜트 및 설비가 있는 공정에 쉽게 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구는 아산의 S공장 라인의 화재평가 수행시 특별히 대두된 Clean room에서의 화재특성에 관한 연구로서 실험과 피난 및 화재 simulation을 수행하여 화재시 위험 요인들을 예측 분석하였다.

2. 이 론

(1) Clean Room의 설명 및 특성 파악

최근 전자공업, 정밀 기계공업 등 첨단산업의 발달로 인하여 그 생산제품에는 정밀화, 미소화, 고품질화 및 고 신뢰성이 요구되고 있다. 이들 공장 등에서는 실내 부유 미립자가 제조 중인 제품에 부착되면 제품의 불량률을 초래하고, 사용 목적에 적합한 제품의 생산에 저해요소가 되어 제품의 신뢰성과 수율(생산원가)에 막대한 영향을 미치므로 공장 전체 또는 중요한 작업이 이루어지는 부분에 대해서는 필요에 대응하는 청정한 환경이 유지되도록 하여야 하며 이런 목적의 청정 공간을 Industrial Clean Room이라고 하며, 대단히 높은 청정상태가 요구되는 경우가 많다. 이들 clean room은 동작되어지는 특성에 따라 여러 가지로 종류로 나뉘어 질 수 있으나 본 연구에 적용된 작업 공정내부의 공조 방식은 Fig 1과 같이 수직 층류형(Vertical Laminar Flow)으로서

기류가 천정면에서 바닥으로 흐르도록 하는 방식으로 청정도 CLASS 100 이하의 고청정 공간을 얻을 수 있으며 공급된 공기는 하부 측면에서 회수되어지는 형태로 계속 순환되어 지는 특성을 보이고 있다.

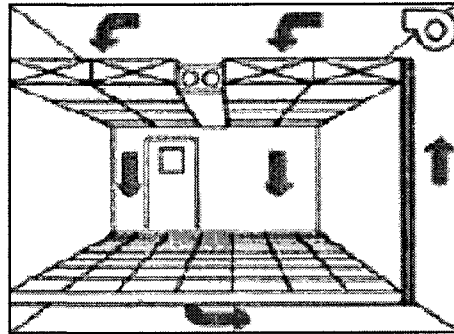


Fig.1 수직 층류형 공조 방식

본 연구는 공기 공조 설계치와 각각의 그릴(배기구)에 풍속계로 측정된 측정치를 비교하여 simulation에 적용하였으며 설정된 영역에서의 각각의 풍속 값은 공급되어지는 천정 배기구에서는 거의 균일하게 약 0.1m/sec 유지되고 있으며 배출구에서는 균일하게 거의 2.5m/sec로 흡입되어져 재순환 되어 지고 있는 system이 유지되어 지고 있다.

(2) 화재 영향 평가 연구 수행 절차

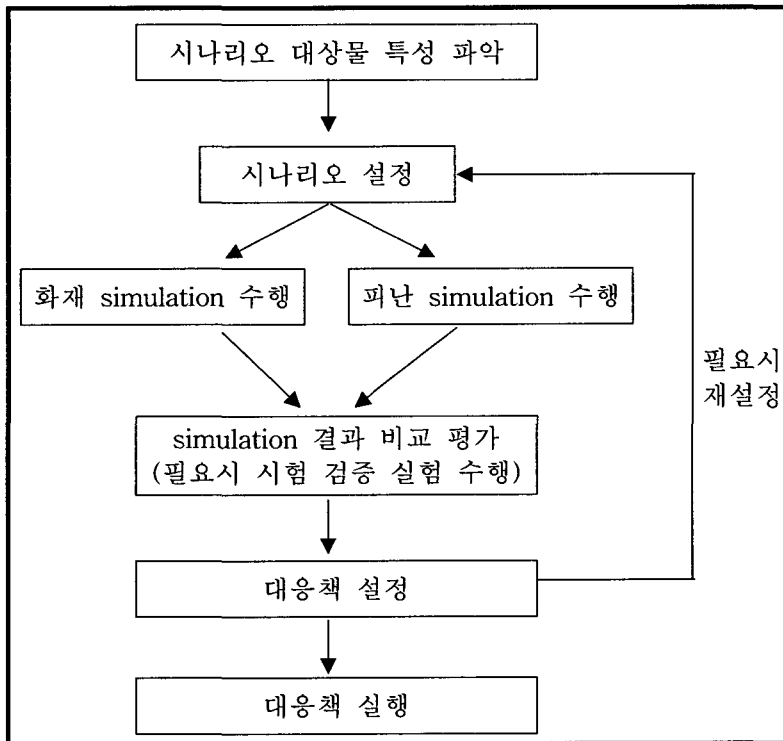


Fig 2. 화재 평가 절차 순서도

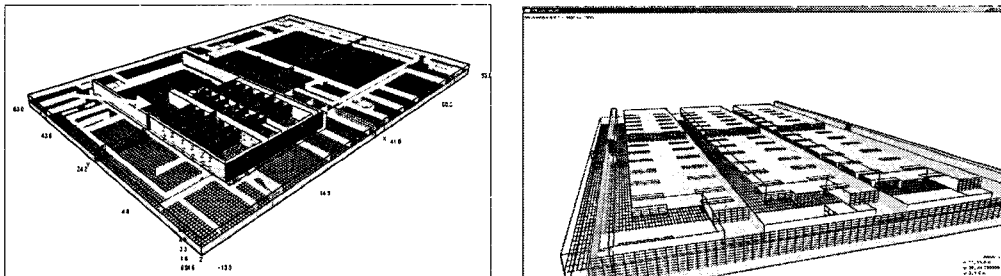
본 연구는 Fig 2와 같은 순서로 화재 평가 작업이 수행 되었으며 simulation의 결과물을 비교 평가 하면서 시나리오의 재설정과 대응책에 따른 검증의 필요성이 요구되어 지면 다시 시나리오의 설정과 수행 작업이 반복되어지는 절차들이 수차례 수행되어 졌다

3. 실험 및 simulation 실행

(1) 화재 simulation 수행

본 화재 simulation에 사용한 화재 해석 프로그램은 미국 NIST(미국 표준기술연구소)에서 개발된 FDS(Fire Dynamics Simulator : Version 4.07)를 적용하였으며 FDS는 난류 모델로 Large Eddy Simulation(LED) Model을 사용하여 3차원 비정상 화재모사용으로 개발되어졌으며 해의 수렴성과 안정성에 뛰어나므로 화재나 연기의 이동에 효과적으로 적용하는 특징이 있다.

공정이 있는 Fig 3과 같이 건물의 1층 라인은 각각 Clean room 환경의 공정이 적용되어 있는 크게 3가지 구획으로 나뉘어져 있으며 1층 전체에서의 연기 유동이 해석되어졌으나 본 논문은 특히 내외부 차압이 높게 유지되어지는 전방의 작업장에서의 일반 화재와 다르게 많은 연기유동의 특성을 가지고 있는 화재특성의 해석에 관한 연구를 보여 주고 있다.



(a) 1층 전체 Multi-domain grid (b) 전방 작업장의 공조설비가 단순화된 domain



(a) 좌우측 하부 환수된 공기가 상부 공기 배관내로 회수 되어지는 모습

Fig. 3. Domain 설정

본 해석에 사용된 cell들은 총 414,000개로 순환 공조 상태를 구현하기 위하여 화재가 발생되어지는 영역과 공조설비 영역의 multi-domain 기능을 사용하였으며 Fig3의 (b)와 같이 계산의 간략화 및 system의 안정화를 위하여 실제 환기구를 간략화 하였으나 대신 환기구가 커지며 속도 값을 조정하여 실제 운행 상태와 같이 거의 공급 : 회수비

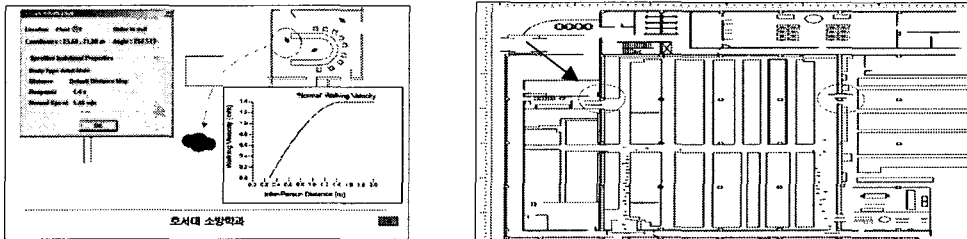
율이 일정하게 되게 설정 하였다.

본 simulation은 transient 해석으로서 연소시 실시간으로 다음과 같은 output들을 볼 수 있도록 설정하였다.

- Velocity vector (u, v, w, speed) - Temperature vector
- BURNING_RATE - WALL_TEMPERATURE on Obstruct
- GAUGE_HEAT_FLUX on Obstruct - HRR
- 특정 지점에서의 Temperature of thermocouples와 연농도 변화

(2) 피난 simulation 수행

본 피난 simulation에 사용한 화재 해석 프로그램은 스코틀랜드의 IES사에서 개발한 SIMULEX 1.1을 사용하였으며, 이 소프트웨어는 건물의 평면 CAD file에 피난자들이 피난을 실시하는 상황을 실시간으로 보여줌으로써 피난 흐름 및 정체 지역들에 관한 파악을 쉽게 보여 주는 장점은 있으나 화재시 연기의 영향은 고려되지 않는 단점이 있다.



(a) 피난자들의 설정 모습

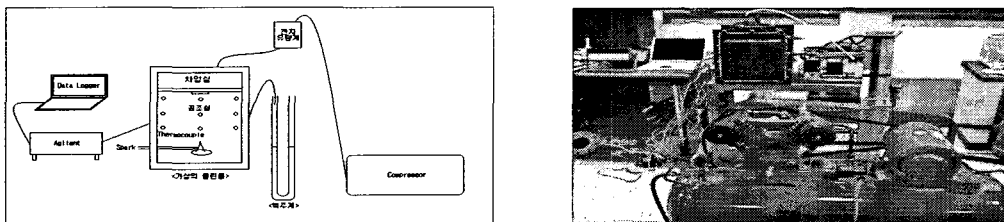
(b) 작업장에서의 피난 상황 모습

Fig. 4. simulex 프로그램의 설정 및 실행 모습

본 피난 시나리오는 건물 전체의 피난 상황을 적용하였으며 이는 Fig 4.(b)에서 보듯 화재실에서의 화재발생시 피난자들의 피난시 영향을 보기위하여 적용하였으며 그림에서 가리키고 있는 것과 같이 출구들의 사용 불능들의 시나리오들의 적용과 피난자들은 가장 밀도가 높은 교대시간의 인원을 산정하여 실행 하였다. 또한 화재실 피난자들의 response time은 화재를 직접 관찰 할 수 있는 상황을 고려하여 거의 설정되지 않게 적용 하였다.

(3) Clean room에서의 연기유동 특성 분석 실험

Clean room 작동시 화재 특성을 더욱 정확히 분석하기 위하여 Fig 5와 같이 축소모형으로 공기가 가압되는 구조로 설정하여 각각의 내외부 차압별로 화재시 연기의 확산 유동 특성을 분석하였다.



(a) 실험 구성 장치

(b) 실험 모습

Fig. 4. 공조되고 있는 실에서의 연기 유동 특성을 분석하기 위한 실험

(4) simulation을 통한 연기 유동 특성의 분석된 예

Fig 5.는 화원이 바닥면에 위치한 케이블트레이에서 화재가 발생되었던 것을 가정하여 공조설비 작동과 작동되지 않았을 때를 비교 분석한 것으로서 케이블트레이 안에서 화재로 인하여 일반적으로 공조설비가 작동되어질 경우 공조 설비가 작동되어진 경우 공기의 원활 한 공급으로 더욱 연기 확산이 활발한 특성을 보여주고 있는 예이다.

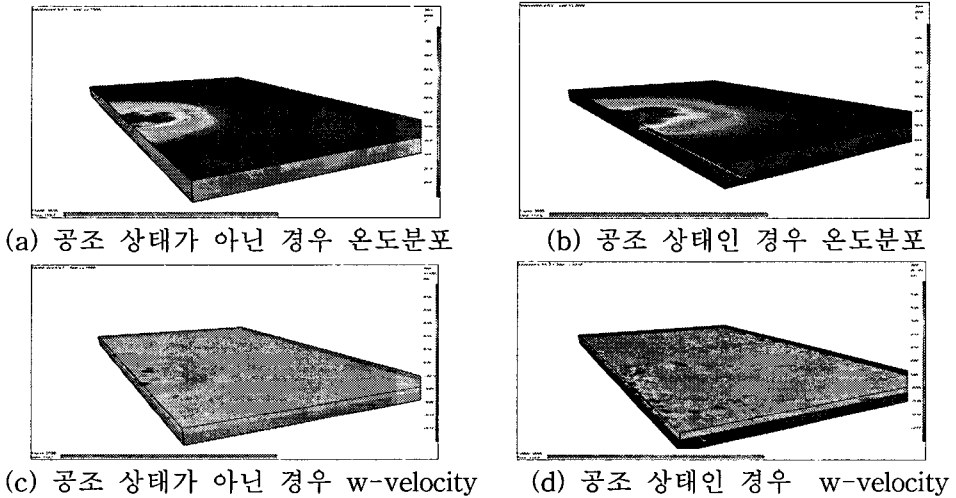


Fig. 5. 119초 때의 높이 2.8m 수평단면에서의 온도 및 w-velocity 분포 모습

Fig 6의 0.5m의 아세톤 pool fir 화원으로 인하여 (a)는 공조system의 회수라인을 따라 연기가 흡입에 의하여 72℃에서 연기 차단 자동 댐퍼의 모습을 보여 주고 있으며 (b)(c)(d)는 화재실 내부에 설치된 위치의 상부 (2.8m)와 하부(1.5m)에서의 연기 농도 변화를 보여 주고 있다.

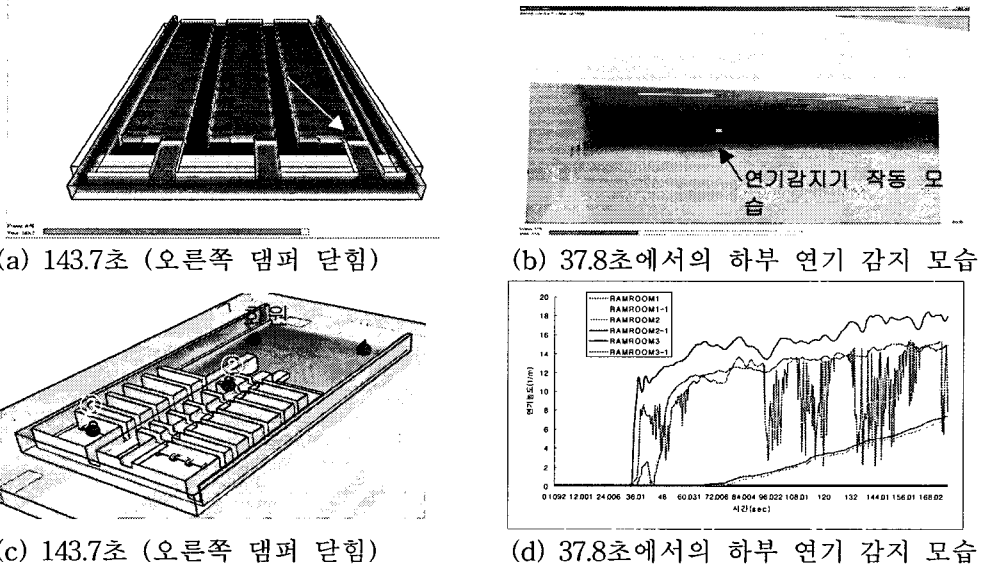


Fig. 6. 화재실에서의 연기유동 및 내부의 연농도 변화 특성 분석

특히 Fig. 6을 통하여 상부에서의 화재 감지 순서는 ①이후 ②, ③번이 도시에 감지 되었으며 이는 화재원이 좌측 상부에 있으므로 중앙에서 공기가 공급되어 좌우 벽면으로의 흐름을 역행하여 도달하기 까지 시간이 소요되어 먼 거리 ③까지 도달할 때까지 동일한 소요시간이 소요됨을 보이고 있으며 하부 센서는 ②, ③번이 동시에 감지되는 것으로서 순환되는 공조 system에 의하여 상부에서 연기가 공급되어 하강되어짐을 나타내는 특성을 볼 수 있다. 특히 하부 연기 센서 값은 Table 1의 피난 simulation 결과 값과 비교하여 피난자의 연기영향을 비교하여 평가 할 수 있다.

Table 1. 피난 simulation 결과

시나리오 조건	화재실 피난시간 완료 시간
모든 문 사용시	0: 57
문 1개 사용 불가	1: 05
문 2개 사용 불가	1: 05
문 3개 사용 불가	1: 23

4. 결과 및 토론

본 연구를 통하여 Top down 방식과 공기가 회수되어지는 방식의 clean room에서의 화재시 실험을 통하여 공조량에 따라 다른 특성을 보이지만 대개 화재실내 하부에서의 연기확산 속도는 연기 상단의 화재 확산 속도와 달리 매우 빨리 확산되어 지는 형태를 보이며 이는 피난자들에게 영향을 미칠수 있음을 나타내고 있다.

이에 대한 대책으로 흡입되어지는 부분에서의 연기 감지기 센서의 위치 변경 및 제연 배기구의 작동 매뉴얼 수정 등의 보완을 통하여 이를 적용한 simulation을 다시 수행한 결과 피난자에게 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 따라서 화재 및 피난 simulation을 통하여 clean room에서의 화재 영향 분석을 통하여 화재시 위험 요인들의 분석과 이에 대한 대응책을 효율적으로 수립할 수 있는 방법들을 확인 하였다.

5. 참고문헌

1. "SFPE Handbook of Fire Protectikon Engineering. 2rd edition", Ver. Second Edition.
2. "한국아전전무기관협의회보", 제 18호 2006/9/22 , page31~35.
3. 윤여송, " Clean Room의 Risk 요인과 안전성 확보방안 연구", 한국안전전무기관협의회보,page31~3,제 18호 2006.
4. 윤여송, " 방·배연(제연)설비 기술지침", 일본 건축 센타,1998.
5. James G. Quintiere, " Principles of Fire Behavior", Delmar Publishers, 1997.