

수막형성유리벽에 적용되는 감지시스템의 위치선정을 위한 화재시뮬레이션의 활용에 관한 연구

허준호, 정형모*, 박형주**

(주)화이어테크 선임연구원, *(주)화이어테크 대표이사, **경원전문대학 소방안전관리과

A Study on Use of Fire Simulation to a Determine Position of Detector Systems Used in the Water Film Covered Glazing System

Jun-ho Hur, Hyung-mo Chung*, Hung-joo Park**

1. 서론

20세기들어 건축물이 대형화, 고층화, 첨단화됨에 따라 건축물 구조의 구획 등에 개방감 있는 재료의 필요성이 대두되고 그 효율적 가치와 공간적 적용을 위해 유리를 사용한 시야 개방형 방화구획에 관련된 실험들이 이루어져 왔다.

이런 시야 개방형 방화구획에 사용할 수 있는 수막형성유리벽의 설치시 유리벽의 직근에서 화재가 발생하면 국부적으로 상승하는 유리의 온도를 감소시키고 수막형성전에 국부과열이 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다.

그러나 수막의 형성이 이루어지지 않은 상태에서 화재에 의하여 국부적으로 유리면이 가열되고 가열된 유리면에 수막형성을 위한 물이 접촉함에 따라 유리면의 급냉과열이 발생할 수 있기 때문에 감지시스템의 화재발생인지가 어느 정도 신뢰성 있게 이루어져야 한다.

본 연구에서는 시야 개방형 방화구획에 스프링클러배관을 연결한 수막형성유리벽의 작동성을 검토하고 화재발생인지를 위한 감지시스템의 위치선정에 있어서 화재 및 연기이동 시뮬레이션 모델링기법을 이용하여 최적범위를 구축하고자 한다.

2. 수막형성유리벽의 고찰

2.1 수막형성유리벽의 정의

건축물의 방재와 화재확산을 방지하기 위한 방화구획은 콘크리트, 벽돌, 석고보드 등 시각적 개방감이 없는 일반적인 불연재료를 사용하는 것이 일반적이다.

최근 건축물에서는 시각적·개방적 개념을 이용하는 공간의 확대로 아트리움이나 출입구홀 또는 지하상가내 쇼윈도우 등의 통행로에 쾌적하고 개방된 환경을 구축하고자 화재 및 열에 의해 쉽게 파손되지 않는 재질(강화유리)에 균일한 수막을 형성하여 열적특성을

강화시키면 화재에 대한 내화성능을 높일 수 있기 때문에 방화구획으로써의 용도를 갖도록 하는 것을 수막형성유리벽이라 한다.

2.2 수막형성을 위한 유리벽의 특성

화재가 발생하면 유리벽체에는 커다란 온도차가 발생할 경우 유리의 끝단에서 다른 끝단까지 균열이 발생한다. 이를 멤브레인응력(Membrane stress)이라하는데 유리면의 평면상에 온도차가 생길경우에 발생한다.

일반적으로 화재시에는 유리의 끝단을 감싸고 있는 프레임이 유리 끝단에 도달하는 복사열을 차단시키고 큰 열흡수체로서 작용하기 때문에 유리패널의 중앙부에는 압축응력이 발생하고 외각부에는 인장응력이 작용한다. 이 두 응력의 차이가 클 경우 즉 파괴응력을 초과하는 응력이 발생하면 유리는 파열된다.

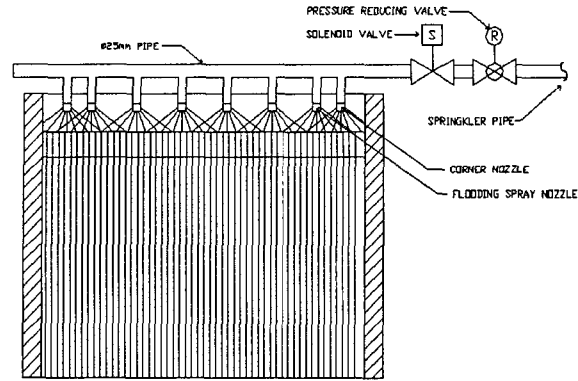
또한 유리패널의 한쪽면이 접하는 공기온도가 급격히 상승할 경우 유리면의 두께방향으로 휨응력이 발생되어 파열되기도 한다. 실제 화재시에는 화재실의 공기온도가 급격히 상승하는 반면에 인접실의 공기층온도는 상온과 비슷하기 때문에 경계부에 있는 유리패널은 휘게 되므로 어느 정도의 휨응력에 도달하면 유리는 파열한다.

또한, 복층유리처럼 중간에 밀폐된 공기층이 존재할 경우 이 공기층이 어떤 이유로 가열된 경우 발생하는 압력차에 의해서 유리전체에 휨응력을 발생시키기도 한다. 그러나 화재시 화재실과 인접공간과의 압력차는 그다지 크지 않기 때문에 특수한 공간을 제외하고는 일반적으로 파열시키는데까지는 영향을 미치지 않는다.

위와같은 특성과 수막형성유리벽의 실험에 의하면 유리면의 온도를 250℃이하로 유지시킬 경우 유리는 파열되지 않는다는 것을 알 수 있고,¹⁵⁾ 수막형성유리벽에 수막을 균일하게 분포시킬 경우 KS F 2257의 내화로 성능시험에서 1~2시간까지 내화성능확보가 가능함을 보여주었다.¹⁶⁾

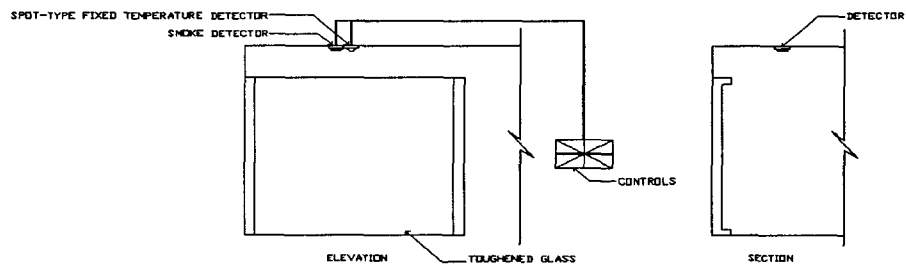
2.3 수막형성유리벽의 구성

기존의 스프링클러 배관망에서 공급가능한 수원을 사용하여 연결되는 수막형성유리벽은 2.4m 강화유리벽의 안과 밖의 상부에 수막형성유리벽의 가지관을 설치하고 이 가지관에 6개의 개방형 Flooding Spray Nozzle과 2개의 개방형 Corner Nozzle을 달아 유리벽의 안과 밖의 천정부에 별도로 설치된 연기감지기와 정온식 열감지기에 의하여 화재가 감지되면 제어반에서의 신호에 의하여 해당 수막형성유리벽 각각의 가지관마다 설치된 솔레노이드밸브를 개방시켜 유리벽에 수막을 형성시킨다. 이때 각각의 가지관에는 감압밸브를 설치하여 스프링클러설비의 방수압을 수막형성유리벽의 방수압(0.4kg/cm²)으로 감압하여 수막을 형성한다(그림 2.1, 2.2 참조).



WATER SPRAYED GLASS SCREEN DIAGRAM

그림 2.1. 수막형성유리벽의 수분무 연결도



DETECTOR SYSTEM DIAGRAM (DETECTOR ARRANGEMENT)

그림 2.2. 수막형성유리벽의 감지기 연결도

2.4 수막형성유리벽의 설치환경

수막형성유리벽을 설치하고자 할 때는 필요한 대상공간의 특성을 고려한 적합한 환경을 선정해야 한다. 따라서 수막형성유리벽의 설치가 가능한 장소는 아래와 같다.

- 엘리베이터(Elevator)나 에스컬레이터(Escalator) 또는 계단이나 전실 등의 수혈공간을 둘러싸는 수직벽
- 아트리움(Atrium)이나 출입구 홀(Entrance Hall) 등과 인접공간과의 경계를 구획하는 경계벽
- 기타 주차공간 등의 화재발생 위험이 큰 공간과 일반상가 등과의 공간을 구획하는

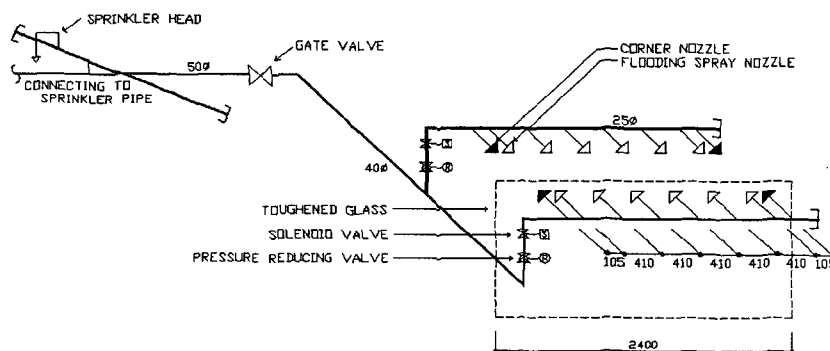
- 이중용도(Special Area) 구획 벽
- 상가건물에서 보행자 통로(Corridor)와 상가와외의 경계부를 이루는 쇼윈도우, 칸막이벽

3. 감지시스템을 적용한 수막형성유리벽의 구축

3.1 수막형성유리벽의 연계시스템 구성

수막형성유리벽을 기존의 스프링클러설비 평행주관과 연결하여 사용하고자 할 때 2.4m 시스템에 사용되는 수량이 68 l/min로 이 시스템을 최대 6개까지 연결하여 사용하였을 때 408 l/min의 수량이 필요하며 수막형성유리벽이 화재에 견딜 수 있는 최대시간을 2시간으로 설정한다면 수막형성유리벽은 2.4m 유리벽 6개를 설치하여 15m까지 연결할 수 있다. 이때의 수량은 약 48,960 l(2시간기준)으로 스프링클러설비 기준수원의 양이 최소 48m³(20분기준)이지만 건축물의 수원저장고에는 40mm 상수도 배관에 의하여 3kg/cm²의 압력으로 계속적으로 공급되는 상수도가 있고 화재발생시 스프링클러헤드가 개방되어 작동한 사례가 최대 13개(최대 방수총량: 1040 l/min)로 스프링클러설비와 수막형성유리벽을 동시에 수량공급할 수 있다(그림 3.1, 3.3).

6개의 유리벽을 연결한 최대 15m의 수막형성유리벽의 작동은 화재발생시 감지시스템의 감지기에 의하여 화재가 감지되면 제어반에 전달된 신호로 화재지역의 해당 가지배관에 설치된 솔레노이드밸브를 개방하고 기존의 스프링클러설비의 가압송수장치를 작동시켜 화재가 발생한 장소의 해당 수막형성유리벽 가지관과 개방형 노즐을 통해 물을 분사하고 유리벽에 수막을 형성하여 화재 및 화열로 인한 유리파열을 방지할 수 있다(그림 3.2, 3.4).



WATER-FILM SPRAY SYSTEM DIAGRAM (2.4M)

그림 3.1. 수막형성유리벽의 수분무 연결구성도

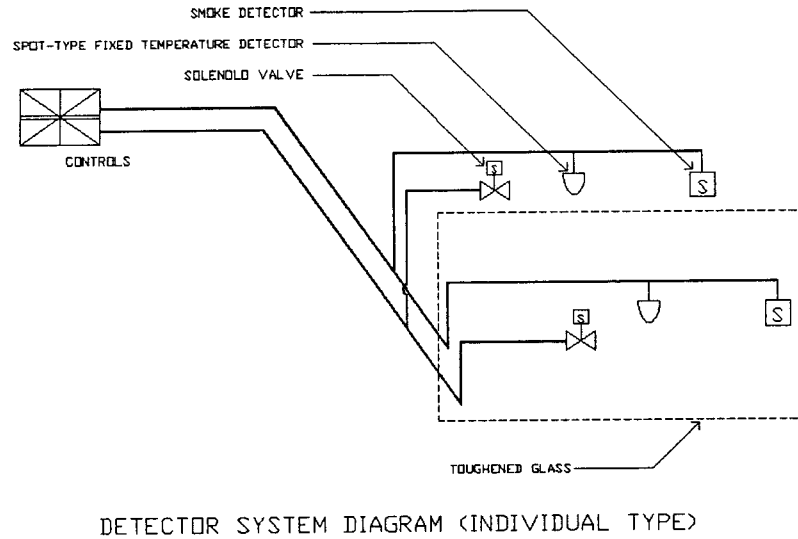
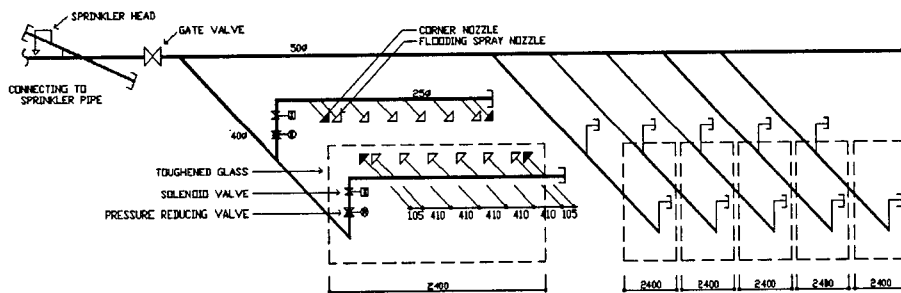
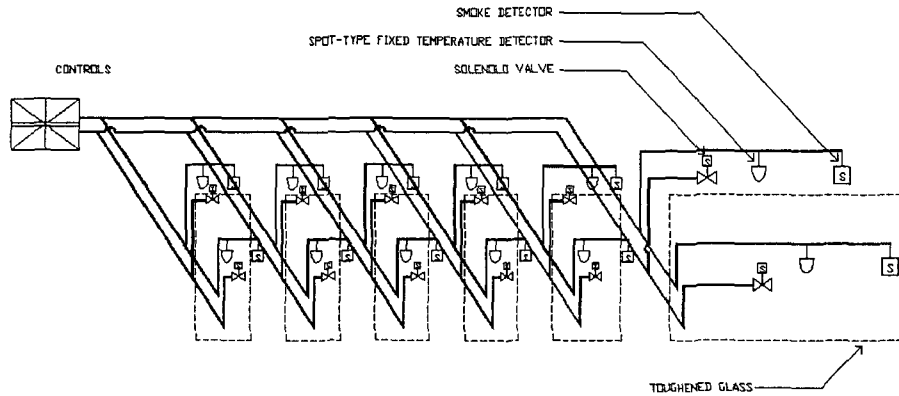


그림 3.2. 수막형성유리벽의 감지기 연결구성도



WATER-FILM SPRAY SYSTEM DIAGRAM (15M)

그림 3.3. 수막형성유리벽의 수분무 연결구성도(15M)



DETECTOR SYSTEM DIAGRAM (CONTINUOUS TYPE)

그림 3.4. 수막형성유리벽의 감지기 연결구성도(15M)

3.2 연계기술 적용에 관한 분석

3.2.1 스프링클러설비와의 연계

스프링클러설비의 법적설치대상물인 관람집회, 판매시설, 층수가 11층 이상인 건축물로 여관·호텔용도의 건물과 연면적 1000㎡ 이상의 지하가 등 광범위한 대상물에 스프링클러가 설치되어 있어 수막형성유리벽을 설치코자 하는 대상물은 스프링클러설비가 모두 설치되어 있어 연계이용하는데 문제점은 없다.

또한 기존 스프링클러설비는 가압송수장치와 수원, 배관, 헤드 등으로 구성되어 헤드당 1kg/cm²이상의 방수압력과 80 ℓ/min이상의 방수량의 성능을 보유하고 있어 개방형 노즐(Nozzle)당 0.4kg/cm²의 방수압력과 8.5 ℓ/min의 수량을 방수량으로 하는 수막형성유리벽에 적절한 수압을 유지하기 위해 감압밸브의 설치가 필요하다.

3.2.2 감지기의 적용성 분석

수막형성유리벽의 작동을 위해서는 화재를 감지하여 솔레노이드밸브에 신호를 주는 감지시스템이 필요한데 국부가열에 의한 감지와 오동작이 적은 정온식 스포트형 감지기를 주감지기로 사용하고 연기감지기를 보조감지기로 사용한다.

4. 감지시스템의 위치선정을 위한 화재시물레이션 활용기법

4.1 감지시스템의 위치선정 필요성

수막의 형성이 이루어지지 않은 상태에서 화재에 의하여 국부적으로 유리면이 가열되

고 가열된 유리면에 수막형성을 위한 물이 접촉함에 따라 급냉과열이 발생할 수 있어 감지시스템에 의하여 화재발생인지의 신속성에 따라 개방형 방화구획에 적용되는 수막형성 유리벽의 작동이 원활하게 이루어질 수 있다.

따라서 감지시스템에 의한 화재발생인지는 개방형 방화구획의 성능유지에 매우 중요하며 화재감지기의 신뢰성있는 위치선정은 시스템의 원활한 작동을 보장할 수 있다.

4.2 화재시물레이션을 이용한 위치선정

건축물 화재를 가상하는 경우 3차원 CFD(Computational Fluid Dynamics) 화재 모델링 S/W와 컴퓨터를 이용하여 화재시 온도분포에 대한 정량적 예측을 통하여 감지기의 위치선정 계획을 수립하고자 하였다.

본 연구에서는 영국 BER(Building Research Establishment, 영국건축연구소)에서 개발하여 전세계적으로 보급하고 있는 "자스민(JASMINE)" Fire Fluid Software Program을 이용하여 가상화재실험을 통한 화재시 온도분포결과로 적정한 감지기의 위치를 판단하였다.

4.2.1 "JASMINE" Fire Modelling S/W의 소개

- 개요
 - S/W 명: JASMINE CFD 화재예측모델
 - 개발기관: 영국 BRE Fire Dynamic Center
 - 개발자: Dr. Surech Kumar

- 기능
 - 3차원 Field Modelling 가능
 - 화재발생시 건물내의 온도분포상황 예측
 - 연소생성물의 확산 및 이동과정의 시간당 분포예측

4.2.2. 화재시나리오 및 화재하중 선정

- 쓰레기통(가로 0.6m×세로 0.6m)에서 화재가 발생한 경우를 가상으로 정하여 주요 연료(Fuel)는 경유(Diegel)로 하고 15m 강화유리의 근처에서 화재가 발생하고 300초 동안 화재가 진행된 것으로 하여 설정하였다. 경유의 발열량은 8700kcal/l로 쓰레기통 크기에서 발생하는 발열량은 약 81.9kW/m²이며 성장곡선은 일정한 발열량으로 300sec까지 꾸준히 유지된 것으로 설정하였다.

4.2.3 화재시물레이션 결과에 의한 감지기의 설치범위제시

1) 화재시물레이션 결과분석

- Field Model 화재전용 Simulation "JASMINE"을 이용하여 15m 수막형성유리벽 근처에서 화재가 발생하여 300초동안 진행된 화재온도분포는 화재발생 60초이후부터 300초까지는 거의 동일한 온도분포를 나타내고 있으며 그림 4.1과 그림 4.2에서 나

타난 것처럼 화원의 주위온도는 $170^{\circ}\text{C} \sim 240^{\circ}\text{C}$ 를, 화원상부와 수막형성유리벽 상부층의 온도는 $100^{\circ}\text{C} \sim 140^{\circ}\text{C}$ 의 온도분포를 보여준다.

화재시물레이션의 결과에 의하면 화재발생후 화원상부로 이동한 열은 유리벽과 그 반대편으로 진행되며 공간의 구조에 따라 넓게 분포되면서 서서히 온도가 감소하고 있다.

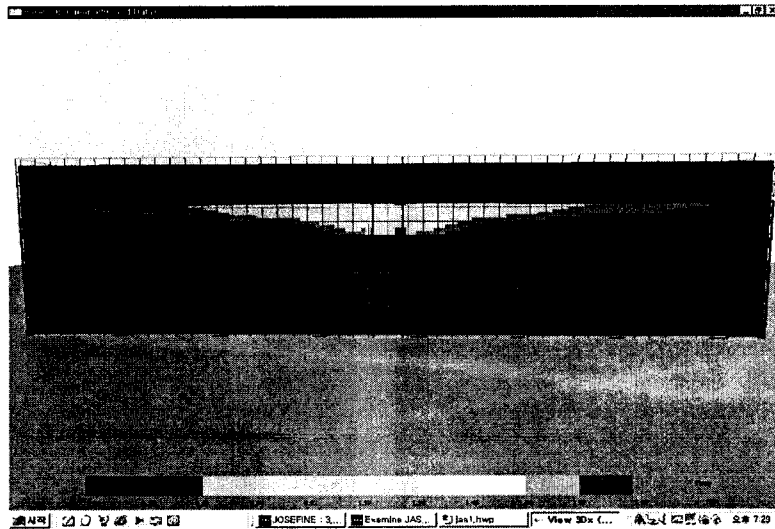


그림 4.1. 수막형성유리벽 직근에서의 X축 화재온도분포

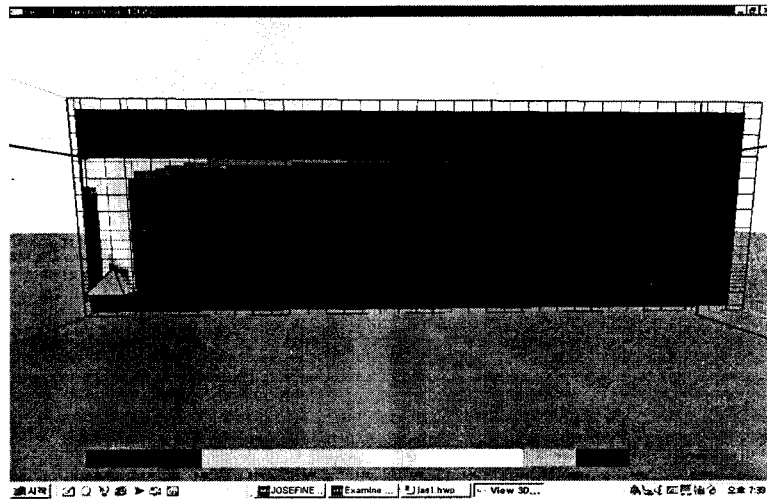


그림 4.2. 수막형성유리벽 직근에서의 Y축 화재온도분포

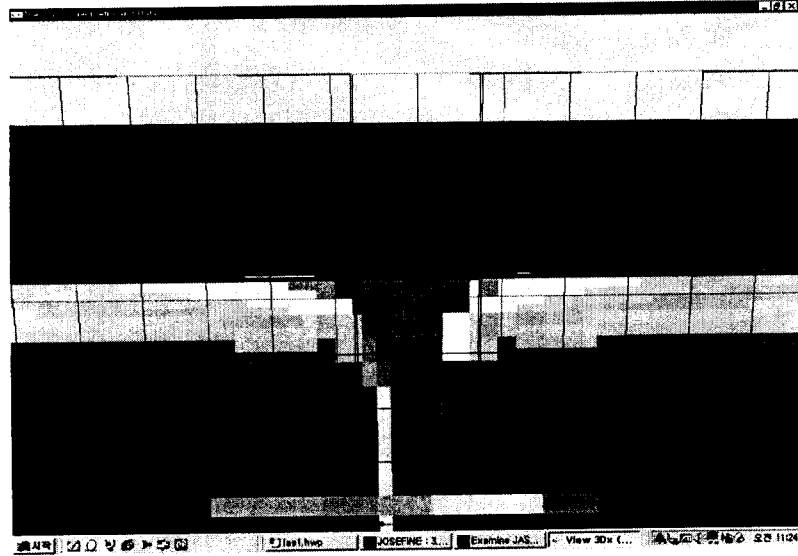


그림 4.3. 화원중심에서의 X축 온도분포

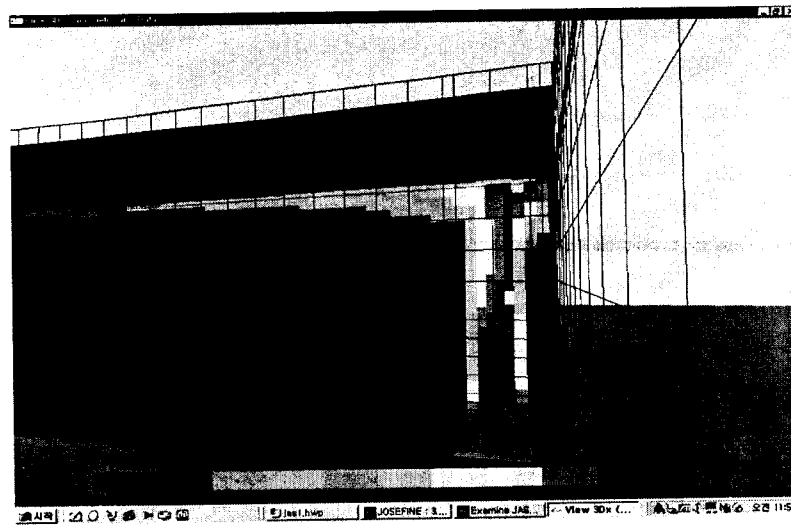


그림 4.4. 화원중심에서의 Y축 온도분포

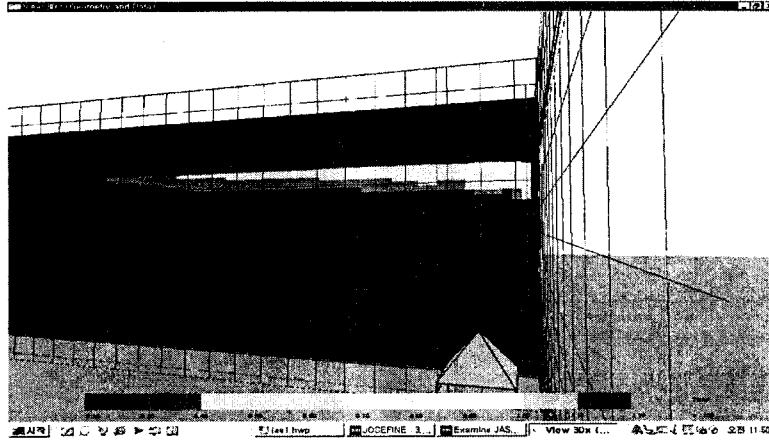


그림 4.5. 화원중심에서 Y축으로 1.2m 떨어진 수막형성유리벽의 온도분포

2) 최적위치선정

- 화재시물레이션 결과 유리벽 직근에서 발생한 화재로 인하여 유리벽의 직근(20cm이내) 상부는 X축의 온도분포가 정온식스포트형감지기가 작동할 수 있는 온도(70℃이상)의 폭이 약 3.9m(그림 4.1)이며 화원중심에서의 감지기 작동온도분포의 폭은 약 2.6m~2.7m가 된다(그림 4.3). Y축의 온도분포는 화원중심에서의 감지기 작동온도분포의 폭은 약 1.2m(그림 4.4)이고, 화원중심으로부터 Y축으로 1.2m의 위치(2.4m 유리벽의 말단)에서의 작동온도분포의 폭은 0.5m(그림 4.5)로 화재시물레이션 결과를 통하여 알 수 있다.

즉, 수막형성유리벽의 감지기는 X축의 폭이 2.4m이내, Y축은 유리벽으로부터 0.5m 이내에 설치(그림 4.6)하면 충분한 감지거리와 감지능력이 되며 원활한 작동을 할 수 있다.

또한 감지기 설치높이는 수막형성유리벽이 설치된 장소의 천정에서 바닥까지의 높이가 4m이내일 때 설치하여야 유효한 감지성능을 유지할 수 있다.

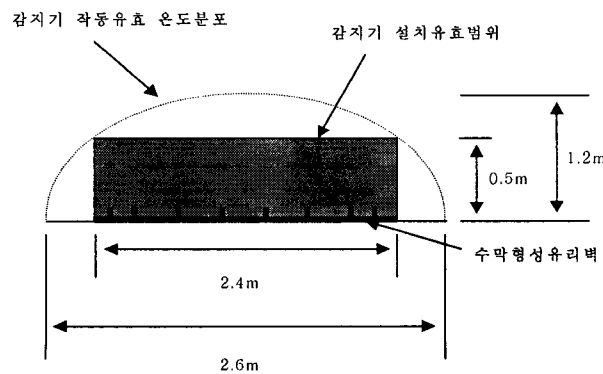


그림 4.6. 수막형성유리벽의 감지기 설치유효범위

5. 결론

본 연구에서는 개방형 방화구획에 적용되는 수막형성유리벽의 구성과 이를 원활히 작동시킬 수 있는 감지시스템의 위치선정을 위한 화재시뮬레이션 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 개방형 방화구획에 설치하는 수막형성유리벽은 건축물에 설치되어있는 스프링클러 설비를 이용하여 설치할 때 법적기준에 의한 수원확보와 유효한 작동이 가능하다.

2) 적절한 시간내에 수막을 형성하기 위해서는 수막형성유리벽의 감지시스템에 의한 화재발생인지가 중요하며 화재시뮬레이션 Program “자스민”을 이용하여 15m 수막형성유리벽에서의 온도분포실험을 한 결과 감지기의 설치위치는 유리벽 직근 X축의 폭이 2.4m 이내에, Y축은 유리벽으로부터 0.5m 이내에 설치하면 화재시 감지기의 정확한 화재발생인지로 인하여 유리면의 급냉파열전에 수막형성이 가능하다.

3) 감지시스템의 위치선정을 위하여 실물화재를 통하지 않고 화재시뮬레이션을 이용한 실험으로 적용할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. Dougal Drysdale, FIRE DYNAMICS, John Wiley & Sons Ltd, 1999
2. H.K. Versteeg & W. Malalasekera, An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method, Prentice Hall, 1995
3. Morman Mrachall, Suresh Kumar, Carol Goodall, Debbie Smith, Evaluation of Fire Models for Fire Hazard Assessment in Buildings, BRE, 1999
4. James Kirby, Outline of Pre and Post Processing Software for User Interaction with Frame models, FRS, 1997
5. Suresh Kumar, A Finite-Element Package for Solving Two-Dimensional Thermal Problems, BRE, 1998
6. Michael Spearpoint, A Comparison of Three Zone Fire Modelling Programs, University of Maryland, 1998
7. Loss Prevention Council, Fire Spread in Multi-Storey Buildings with Glazed Curtain Wall Facades, LPC, 1999
8. Fire Safety Approved Document B, Manual to the Building Regulations, 2000
9. International Building Code 2000, International Code Council, 2000
10. International Fire Code 2000, International Code Council., 2000
11. 박형주, 지남용, 건축방화, 지인당, 1997
12. 이창욱, 신방화공학, 의제, 2000
13. 박형주의 5인, 건축화재안전설계, 지인당, 1999

14. 화재시물레이션을 이용한 화재원인조사보고서, 대우건설, 2002
15. 박형주, 지남용, “국부복사열에 의한 유리면의 표면온도와 수막접촉에 따른 급냉과 열특성에 관한 연구”, 한국화재소방학회, 추계학술대회논문, 2001
16. 박형주, 지남용, “대규모 아트리움에 적용되는 수막형성 유리벽의 열적특성 및 내화 성능에 관한 연구”, 한국화재소방학회, 1999