

건물설계시의 화재위험평가

건물 설계시의 화재안전분석을 위한 새로운 모델링 기법이 개발되었다. 위험평가연구소의 J. Singh박사와 영국 핵연료국의 P·M. Thomas박사는 신축건물 설계시에 화재위험을 측정하는데 있어 가상의 시나리오 모델이 어떻게 이용 될 수 있는가를 설명하고 있다. Fire Prevention '89년 11월호에 게재된 내용을 소개한다.

현재 화재안전분야에는 많은 연구활동이 진행되고 있으며 화재위험을 측정하기 위하여 여러가지의 모델들이 개발되었다. 영역이 매우 독특해서 화재시 단순한 하나의 변화만을 관찰하는 방법이 있는가하면 또다른 방법은 매우 복잡해서 대형 컴퓨터를 필요로 하기도 한다. 이러한 기법들은 상황에 따라 모두 유용하게 이용될 수 있으나 화재위험문제를 전부 해결해 줄 수 있는 것은 아니다.

예를들어 어떤 주어진 조건에서 연기의 확산을 측정하는 방법이 있다면 이 방법들을 적절히 이용하기 위해서는, 예상되는 화재의 범위와 이들의 상관관계를 고찰해서 서로 다른 상황들을 종합해야만 하는것이다. 화재연구를 완성하기 위하여는 화재의 성장요소들과 화재에 대한 인간의 영향력 및 인간의 피난능력과를 잘 결합시켜야만 한다.

현재 빌딩설계는 안전규격 및 Code에 주로 의존하고 있으나 이러한 Code들이 항상 적용될 수는 없으며 예를들어 화재하중이 매우 낮은 건물이나 구획된 실이 매우 큰 경우는 화재 안전설계를 위하여 시험소를 활용하는 등의 다른 방법을 강구해야 한다.

여기서 기술한 기법, 즉 SNARF(Systematic Nume-

rical Analysis of the Risk of Fire ; 화재위험의 체계적 수치해석)는 이러한 문제들을 다루고 있으며 연소, 구조설계, 인간행동 및 다른 개연요소를 참작하여 화재위험을 평가하는 방법으로서 개념과 범위가 매우 독창적이다.

1. 가상 시나리오의 개념

화재가 초기상태를 지나 확대되는데에는 여러가지의 요인이 있으며 그것은 화재시의 물리적 상황에 좌우된다. 이론적으로는 화재가 전 건물로 확대될 수도 있고 발화 즉시 중단될 수도 있지만 실제적으로는 대부분이 그 중간의 상태이다.

화재손실에 대한 통계적 데이터를 조사해 보면 화재손실을 결정하는 중요한 요소중의 하나가 화재의 최초 감지시간이라는 것을 알 수 있다. 화재의 초기 감지가 손실을 경감시키는 것이다. 화재예방의 또다른 중요한 요소는 방화문을 설치하는 것으로 연소확대 범위를 제한하여 손실을 감소시킨다.

주어진 모델에서는 감지시간에 대한 두가지의 가능성을 고려하며 각 시간에 있어서 방화문은 다음 세가지 상태가 있을 수 있다.

- 방화문의 개방
- 방화문이 폐쇄되었으나 불완전
- 방화문이 폐쇄되어 완전

이러한 가능성은 평가할 시나리오를 명확하게 제공한다. 각 가상의 시나리오를 추적해서 화재확산방법과 사망/부상의 결과를 평가한다. 건물설계나 화재특성에 근거해서 각 시나리오의 화재빈도를 계산한다. 이 두 가지 항목 즉 빈도와 결과를 각 시나리오에 대한 위험을 나타낼 수 있도록 조합한다. 전체 건물에 대한 각 시나리오의 위험합계는 그 건물과 관련된 위험을 나타

낸다. 계산된 수치는 예상되는 연간 사상자수를 표시하며 이 결과를 지금까지의 화재통계와 직접 비교할 수 있다. 이 숫자는 판단이나 경험에 근거한 위험을 표시하는 것이 아니고 위험의 절대치를 나타낸다. 이 모델은 최종위험을 구성하고, 있는 형태를 상세히 분석할 수 있게 만들어 졌으며 하나의 특징은 다른 실로부터의 위험도를 판별해서 결과가 어떻게 될것인가를 예측할 수 있는 것이다. 분석은 화재위험을 감소시킬 수 있는 가장 효율적인 수단을 제공한다. 모델은 연소(화재)와 건물설계변수의 평가에 근거를 두고 있기 때문에 중요변수에 대한 영향을 상세히 평가 할 수 있다.

2. 모델의 구조

모델을 이용하는 위험측정은 보조모델과 다른 데이터를 사용하여 정밀한 계산과정을 거쳐야 한다. 그 구조는 필요시 모델의 확장을 용이하게 한다. 다음 세가지 사항을 준비한다.

- 단계적 계산과정
- 데이터 목록과 해석가능한 방정식을 위한 Data-Sheet
- 데이터 입력과 계산결과의 기록을 위한 worksheet

3. 계산과정

계산과정은 그림2에서와 같은 8개의 worksheet (WS)로 형식화 되어 있다. 이 worksheet는 일반적인 형태로 만들어진(필요시 단순화) 화재안전 모델의 표준database를 필요로 한다. 다음은 모델의 범위를 나타내기 위한 worksheet의 간단한 설명이다.

worksheet 1과2; 건물과 그 설계에 관련된 모든 데이터를 분석이전에 이들 sheet에 입력한다.

worksheet 3; 각 fire source compartment에 대해서 화재성장변수를 결정한다. 이 변수에는 화재지속시간, 플래시오버 도달시간, 구획실패 및 연기충진시간이 포함된다.

worksheet 4; 각 fire source compartment에서 인접한 구역으로의 화재(화염) 및 연기확산을 고려한다.

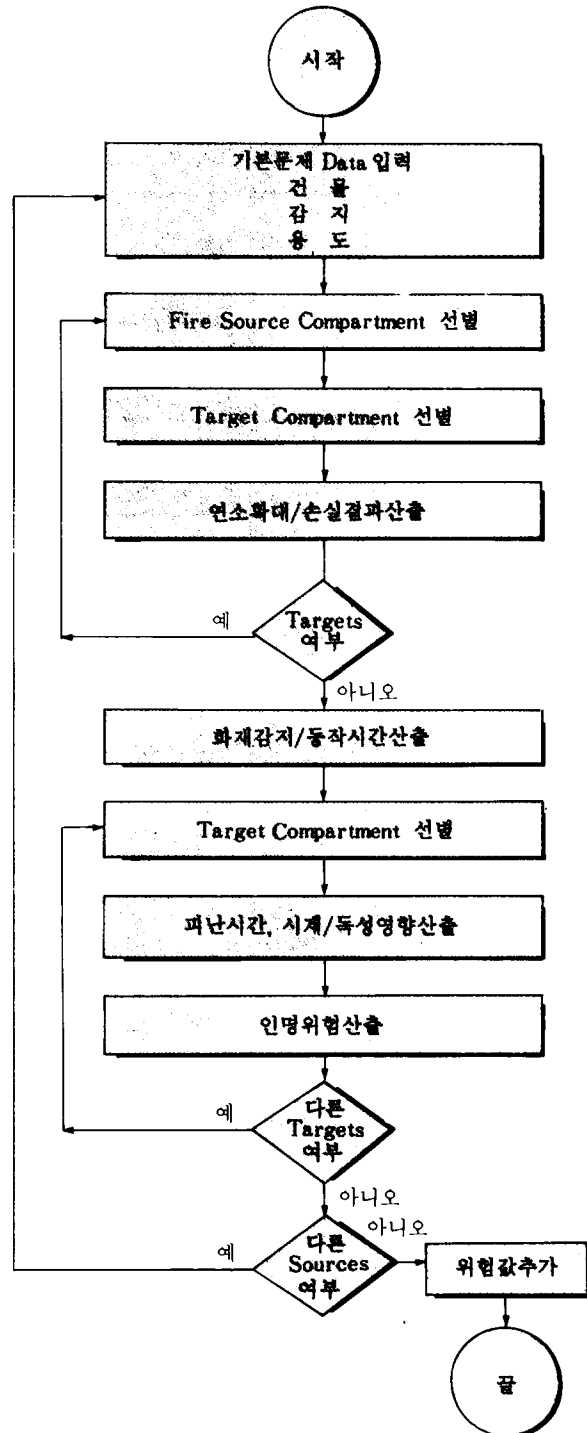


그림1. 위험평가 알고리즘(algorithm)

* 역자주

- Fire Source Compartment : 화재가 일어난 구역
- Target Compartment : 타실의 화재로부터 연소피해를 받는 구역

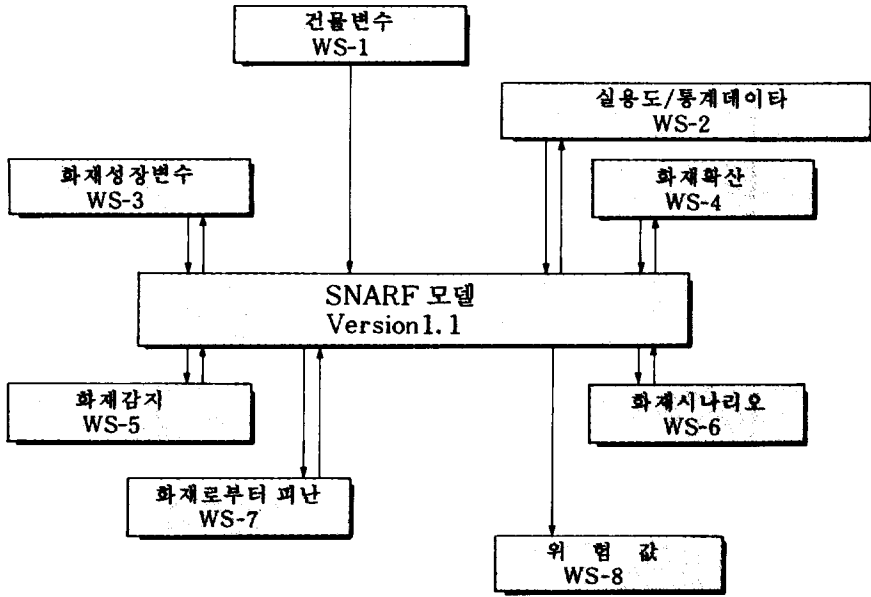


그림2. worksheet간의 정보흐름

worksheet 5; 각 fire source compartment로부터 화재의 감지시간을 추정하기 위하여 연기확산에 관한 자료를 이용한다.

worksheet 6; 화재와 연기의 확산에 관한 자료를 대조해서 독성, 시계 및 건강상태를 결정한다.

worksheet 7; 모든 피난로를 소사하고 피난하고자 할 때의 화재영향을 결정하여 모든 시나리오에 대해 피난과정을 평가한다.

worksheet 8; 각 compartment에 대한 위험을 합계된 순서대로 평가하기 위하여 여러가지의 빈도 및 결과변수를 조합한다.

4. 문제의 제기

위험모델의 가치는 실례를 통하여 가장 잘 설명된다. 설명에 사용된 건물의 평면계획이 그림3에 나타나 있다.

1에서 5번까지 5개구역(실)이 있고 A에서 E까지의 방화문이 있다. 밖으로 나가는 유일한 출구는 A뿐이고 3번실은 복도이다. 방화문 C, D와 E는 60분 내화성능이고, B는 30분, 그리고 A는 보통문(15분 내화성능으로 가정)이다. 모든 방화문은 내화시간의 5-20%

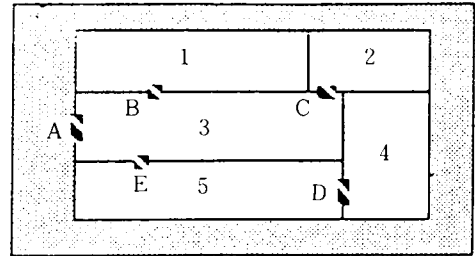


그림3. 건물의 평면계획

동안 개방상태이며 건물의 어느 곳에도 자동화재감지기는 설치되지 않았다. 각 실의 용도와 채실자는 표1에 나타나 있다.

표1. 실용도와 수용인원

구역(실)	평균수용인원(수)	화재빈도 ($y^{-1} \times 10^{-4}$)	화재하중 MJ/m^2
1 상점	1.5	2.18	600
2 사무실	3.75	1.69	100
3 복도	1.8	4.58	500
4 상담실	1.6	6.06	1800
5 응접실	5.0	6.20	-

결과에 대한 가치를 인정하기 위해서는 상기 건물을 재검토하여 다음의 일반적인 의문사항을 고려하여야 한다.

- 영국의 평균치와 비교해서 인명피해 위험은 어느 정도인가?
- 위험을 억제하기 위하여 어떤 구획, 설계형태가 좋은가(그리고 왜)?
- 위험을 감소시키기 위한 가장 좋은 예방대책은 무엇인가?

5. 기본설계에 대한 인명피해위험

상기 설계에서 계산과정을 적용해 보면 화재로 인한 총위험은 1인당 $9.2 \times 10^{-4}y^{-1}$ 이라는 것을 알 수 있다. 1인당 $10^{-4}y^{-1}$ 이라는 기준 통계상의 일반적인 화재위험과 비교해 보면 이것은 매우 높은 수치이다.

재실자와 관련한 인명피해의 위험도는 그림4에 나타나 있으며 실2의 위험도가 가장 높고 다음으로 실4와 실5이다. 즉, 이 실내에 있는 사람이 다른실보다 더 위험하며 실3의 위험도는 무시해도 좋다.

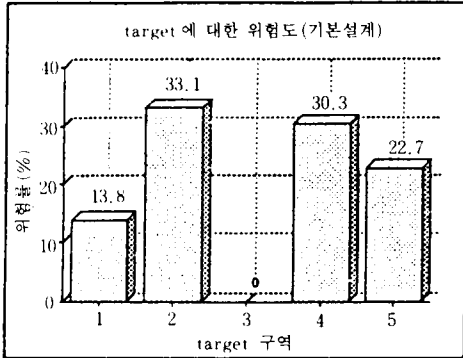


그림4. target에 대한 위험도

위험을 비교하는 또다른 방법은 fire source에 의한 것으로 화재가 최초로 시작된 실과 관련되며 이것은 그림5에 나타나 있다.

이 경우에 있어서 그 결과가 처음에는 예상밖인데 위험이 실3에서 발생한 화재에 의해서 지배되고 있다. 기본설계로부터 다음과 같은 2가지의 확실한 결론을 얻을 수 있다.

- 인명피해위험이 지금까지의 평균치보다 2자리나

높으므로 그 설계는 개선되어야만 한다.

실3에서 일어난 화재는 인명피해의 주된 원인이다.

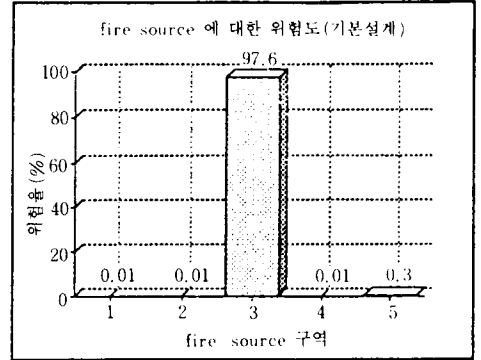


그림5. fire source에 대한 위험도

6. 기본설계에 대한 위험결과의 검토

결과에 대한 간략한 분석을 통하여 다음 사실을 알 수 있다. 위험을 감소시키기 위하여는 실3에서 발생한 사고가 위험을 지배하고 있는 이유를 알아야 한다. 건물의 레이아웃을 보면 1차적인 원인을 알 수 있는데 이 실에서 화재가 발생하면 다른 실에 있는 사람은 꼼짝 할 수 없게 된다. 이것은 비상구의 위치 때문이며 실3을 통해서만 외부로 피난할 수 있다. 그러므로 출구로부터 가장 멀리 떨어진 실에 있는 사람이 가장 위험하다. target 에 의한 위험분석을 해보면 위험이 실 2와 실4에서 가장 높는데 이것은 출구로부터 가장 멀기 때문이다.

이 문제를 해결하는 데는 일반적으로 2가지 방법이 있다. 그 하나는 멀리 떨어진 실에 별도의 출구를 내는 것이고 또 다른 하나는 위험을 근본적으로 줄이는 것이다. 사람이 갇히게 되는 한가지 이유는 실3에서 화재가 발생할 때 그실에 사람이 한명도 없어 연기가 실3을 가득 채우고 다른 실로 확산될 때 감지되는 경우이다. 그러므로 같은 건물설계 조건이라면 보다 빠른 감지효과를 갖도록 해야 한다.

7. 설계대안1 ; 자동감지

이제 위험에 대한 설계변화의 영향을 평가하기 위하여 모델의 사용이 가능하다. 두번째 예는 자동식

연기감지기를 설치하여 실3에서의 화재를 초기 감지하는 것이다.

모델을 통한 위험측정을 반복해 보면 새로운 설계에 대한 개별위험은 90% 이상 감소된 $7.05 \times 10^{-5} y^{-1}$ 이라는 것을 알 수 있다.

fire source와 target에 관련된 위험분석은 표2에 나타나 있다.

표2 설계대안 1에 대한 위험도

실	위험도(%)	
	Source	Target
1	2.7	<0.01
2	1.2	3.8
3	10.0	3.0
4	<0.01	92.7
5	86.0	0.5

새롭고 보다 안전한 설계에서는 실5에서 일어난 화재가 위험을 지배한다는 것이 분명하다. 이전에 지배적 요소였던 실3은 화재감지기가 절대 안전한 것이 아니기 때문에 여전히 중요하다. target에 의한 위험도(위험상태에 있는 사람)에 있어서는 실4가 발화원은 아주 적을지라도 가장 피해를 받기 쉽다.

연기감지기를 설치한 새로운 설계에 있어서 화재 위험은 다음 결론과 같다.

- 위험은 실5에서 발생한 화재에 의해서 지배된다.
- 실4에 있는 사람이 가장 위험하다.

이 놀라운 결과에 대한 이유는 건물 레이아웃을 잘 살펴보면 분명해 진다. 실4에 있는 사람들이 안전한 출구로 나가기 위해서는 반드시 실5를 거쳐야 하므로 실5에서 화재 감지가 늦어질 때마다 실4의 사람은 피난에 문제가 생긴다.

몇가지 예에서와 같이 실험에 근거하여 설계를 검토하므로써 화재안전에 대한 결론을 쉽게 얻을 수 있다. 그러나 실험은 위험의 절대치가 아니며 설계변경에 따른 개선의 정도를 나타내는 것도 아니다. 마찬가지로 서로 다른 대안에 대한 상대적 이득을 판단만으로 쉽게 평가할 수는 없다.

8. 설계대안2 ; 다른 피난로

문제는 실4가 피난상 고립되어 있다는 것이다. 가장

좋은 대안은 실4와 실5를 연결하여 피난로를 제공하고 있는 출구D의 위치를 변경시키는 것이다. 실4와 실3을 직접 연결할 수 있다면 실5의 화재는 실4에 있는 사람에게 거의 영향을 주지 않을 것이다. 이런 설계변경은 모델을 이용하여 정량적으로 평가되었다. 출구의 위치가 변경된 설계에서의 전 위험은 $8 \times 10^{-7} y^{-1}$ 이다. 이것은 근래에 화재로 인한 평균 사망율과 비슷하므로 설계대안으로 받아들일 수 있다. 세가지 설계안에 대한 전위험치(1인당)를 그림6(로가리듬 스케일)에 비교하였다.

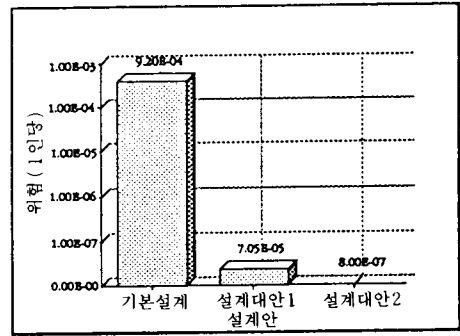


그림6. 세가지 설계안에 대한 위험비교(1인당)

fire sources와 target에 대한 이 설계대안의 위험 분석이 표3에 나타나 있다.

표3. 설계대안 2에 대한 위험도

실	위험도(%)	
	발화원	목 표
1	43.6	28.6
2	<0.01	29.6
3	57.4	13.3
4	<0.01	18.7
5	<0.01	9.8

실3과 실1이 source위험도가 크지만 target위험도도 상당히 높은 수준이다.

9. 위험의 정밀분석

이러한 관점에서 최종설계를 위해 위험이 발생할 수 있는 과정을 좀더 자세히 조사해 보는 것이 좋다. 여기에 관한 매우 간단한 방법이 있다.

표4는 화재감지시간 즉, 첫번째(조기) 혹은 두번째(늦은) 감지에 따른 위험분석을 보여준다. 분명히 늦은 감지는 인명피해 위험을 증가시키며 이것은 국제화재통계와 일치한다.

표4. 화재감지시간의 영향(설계대안2)

fire source	위험도(%)	
	조기감지	늦은감지
1	9.5	33.1
3	<0.01	57.4
합 계	9.5	90.5

늦은 감지사고에 대하여 major source실인 실3에서부터 좀더 자세히 살펴 보자. 전체위험 - 전적으로 이 발화원에 기인하는 - 의 57.4%는 화재가 확산되는 방법과 관련해서 감소시킬 수 있다. 이 경우에 있어서 화재차단장치(방화문)의 조건과 관련하여 실3으로부터의 위험도를 고려할 수 있다. 고의로 개방해 놓은 경우, 닫힌상태이나 화재열로 불완전하게 된 경우 혹은 화재상태에서도 본래상태를 유지하는 경우가 있다. 이들 세가지 가능한 상황에서의 위험도가 표5에 나타나 있다.

표5 화재차단 장치의 영향(설계대안2)

방 화 문 의 상 태	위험도
고 의 로 개 방	2.6
폐쇄 (불완전)	15.9
폐쇄 (완전)	81.5

이것은 일반적인 견해와는 반대로 방화문의 이러한 닫힌상태가 화재위험을 증가시키고 있음을 보여준다. 이것은 이러한 특별한 건물레이아웃에서는 일반적인 규칙만으로 적용해서는 안된다. 문이 감지를 지연시키며 연기가 확대되어 마침내 화재가 감지되었을 때는 건물내의 사람들은 연기로 가득찬 유일한 피난로인 발화구역을 통하여 피난할 수 밖에 없게된다.

방화문설치가 화재의 확산을 제한하는 측면에서는 긍정적 영향을 가진다는 것에 주목해야 하며 구조적 안전성이 개선될 것이다.

10. 결 론

체계적 화재위험 모델은 여러가지 건물 형태에 따라 위험을 직접적으로 측정할 수 있도록 하였다. 그것은 건물에서 인명안전에 관련한 모든 변수들을 고려하였다. 간단한 예를 통해서 이 모델이 가장 효과적인 화재안전설계를 결정하는데 사용될 수 있다는 것을 보여 주었으며 더우기 구조적 특성에 따라 각실의 화재위험도가 결정된다.

모델의 적용은 궁극적으로 널리 확산될 수 있으며 예를들어 건물레이아웃 대안에 대한 화재위험을 비교하기 위하여 또는 자동감지나 고정소화장치의 효능을 조사하기 위하여 사용될 수도 있다. 대안들 - 예를들면 수동적 예방과 능동적 예방 - 을 뜻깊게 서로 비교할 수 있는 효능이 특히 가치있는 것이 되도록 하여야한다.