

## 컴퓨터시뮬레이션을 이용한 재물손실 평가

최문수, 서희원, 정창기\*  
방재시험연구원, 한국화재보험협회\*

Evaluation of property loss by using computer simulation

Moon-soo Choi, Hee-won Suh, Chang-ki Chung\*  
*Fire Insurers Laboratories of Korea, Korea Fire Protection Association\**

### 1. 서론

실제 화재상황을 재현하는 것은 현실적으로 불가능하므로 컴퓨터의 연산 능력 및 그래픽 기능을 이용하여 가상적으로 결과를 유추함으로써 대상물의 특징을 해석, 규명하는 것이 화재 모델링이다.

최근 건축물의 고도화, 구조의 다양화, 가연물의 고밀도화, 에너지의 집중화 등으로 인하여 화재로 인한 피해의 심도가 갈수록 증가하고 있으며, 이러한 화재로 인한 대형사고를 예방하기 위해 설계단계부터 잠재적인 위험요인을 찾아내고 위험의 크기를 분석하는 위험성평가작업에 화재시뮬레이션이 많이 이용되고 있다.

이와 같이 화재시뮬레이션은 피난 및 재물손실 예측을 위하여 건축물의 설계 단계에서 이용되는 것이 일반적이지만, 화재사고 이후에 건축물의 손실 정도를 알 수 없게 되는 경우에도 적용될 수 있다.

본 논고에서는 손해관계자들(보험회사, 건물주 또는 손해사정회사)이 간혹 경험할 수 있는 사고 후 현장을 보존할 수 없게 되어 손해사정을 할 수 없게 되는 경우에 화재공학 적 기법을 적용한 화재시뮬레이션 모델을 이용하여 화재로 인하여 예상되는 손실률을 산정하는 방법에 대하여 기술해 보고자 한다.

### 2. 수행 체계

화재시뮬레이션에 의한 재물손실 평가 작업은 일반적으로 다음 절차에 따라 진행되며, 경우에 따라 순서의 변경이나 추가 절차가 필요할 수도 있다.

- 가. 화재발생원인 파악
- 나. 재물 실사
- 다. 화재시나리오의 설정

- 라. 화재시뮬레이션 프로그램 선정 및 운영
- 마. 재물 손실을 산정 및 영향 평가 분석

### 3. 적용 사례

산 아래에 위치한 ○○공장이 산사태 후 화재가 발생하고 일정 시간 진행되다가 2차 산사태로 인하여 화재가 진행 중인 공장 전체를 매몰시키는 사고가 발생하였고, 그 당시 공장건물 및 기계류에 대하여 보험에 가입한 상태이므로 화재로 인한 손실에 대한 보험금을 보험회사로부터 지급 받아야 하지만, 건물 및 기계 전체가 매몰되어 물적 증거들이 소실됨에 따라 직접적인 손해 사정이 불가능한 사례를 가정하여 컴퓨터시뮬레이션을 통하여 재물손실을 산정하여 보았다.

#### 가. 화재발생원인 조사

화재사고의 원인은 사고경위서 및 목격자의 진술 내용에 따라 공장 건물 옆에 위치하고 있던 옥외용 변압기의 폭발이다. 또한 화재전문가의 자문, 사고사례를 비추어 볼 때 연구의 대상인 공장의 화재는 외부 충격에 의한 변압기의 전원 입·출력부 전선의 단락(합선)으로 인한 폭발이 화재의 직접적인 원인일 것으로 추정된다.

#### 나. 재물 실사

각 재물 단위로 세부적인 조사가 필요하나, 본 논고에서는 지면 관계상 생략하기로 한다.

##### ① 건물

구조 및 재료, 층수, 건축연도, 조명 및 전기설비 등

##### ② 기계 및 자재류 등

기계, 공조 및 크레인 설비, 자재, 제품에 대하여 설치위치, 재료, 구조 및 구입연도, 특징 등

##### ③ 수·변전설비

1차 전압 및 2차 전압, 변압기 용량, 차단기, 기반시설, 설치연도 등

#### 다. 화재 시나리오 설정

가 항에서 이미 언급한 바대로 발화는 공장건물의 옥외 변압기가 충격으로 인해 2차 전압 측이 단락(합선)되어 큰 에너지를 방출, 폭발하면서 발생한다. 이 폭발에 의해 근방의 유리창 및 벽이 깨지고 화염이 스티로폼에 접촉되어 발화하게 되며, 단락 시 엄청나게 높은 서지 전압이 발생하고 부하 측에 유도됨에 따라 부하 측 여러 곳에서 방전불꽃이 발생하여 오일조 1개소 및 케이블에서 발화한 후 15분간 주변 가연물을 통해 지속적으로 확대된다.

상정된 시나리오대로 구현하기 위해 입력 Factor를 설정한다.

- 공장건물의 Size 및 재료 : 길이, 폭, 높이
- 실내,외 온도 : 22℃, 30℃
- 가연물의 종류 및 총량, 배치위치 및 상태 등

- 샌드위치 패널(스치로폼), 오일, 포장용 비닐, 포장박스, 케이블 등
  - 경보 및 소화설비 설치 : 무
  - 화재성장속도 설정 : 가연물의 특성상 Fast로 설정
  - 공장의 특징
- 공장은 가열 공정이므로 제어 케이블이 다량 포설되어 있고, 냉각용으로 사용되는 오일이 노출된 상태로 존재
- 개구부는 문 2개소와 변압기에 의해 깨진 유리창, 그리고 찢겨진 샌드위치 패널이 있으며, 비가 내리고 있어 깨진 것을 제외하고 모든 유리창은 닫혀 있음
  - 초기화재의 설정
- 화재 발생 부분은 오일조 1개소, 변압기의 폭발에 의한 벽 1개소, 서지 전압에 의한 케이블의 20 개소가 있음
- 초기 화재의 크기는 오일조에서는 Pool Fire이므로 유조의 단면적이 되고, 벽은 중 규모로, 케이블에서는 아주 작은 규모로 설정함

라. 시뮬레이션 프로그램의 선정

하나의 공간 내에서 발생한 화재가 단위 시간에 따라 어떠한 양상으로 확대되는지와 건물 및 설비에 미치는 영향을 분석하기 위하여 단위 면적당 발열량(Heat flux, kW/m<sup>2</sup>), 연기(그을음)농도(%/m)가 입체적으로 나타나야 한다. 따라서, 이번 논고의 화재시뮬레이션에 적용하기에 가장 적합한 컴퓨터 프로그램은 Field 모델인 Fire Dynamic Simulator(FDS)이다. FDS 프로그램은 복잡한 화재시의 해석을 엄밀히 파악하기 위하여 3차원 비정상 유동장에 대해 실시간적 계산이 가능하도록 되어 있는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 모델이다. 이 계산은 공간 내 해석구간의 유체는 비압축성 유체로 고려된다.

마. 영향평가 기준 검토

화재시나리오의 실행 결과는 다양한 출력 값으로 나타나지만, 재산 피해에 미치는 요소는 소화설비가 설치되지 않는 것으로 가정했기 때문에 단위면적당 발열량-열유속(kW/m<sup>2</sup>, Heat Flux)과 연기(그을음) 농도(%/m)로 분류할 수 있다.

이들 각각에 대해 장치나 구조물(재산)에 대한 영향 평가 기준은 다음과 같은 문헌 자료 및 실험결과를 근거로 정한다.

(1) Heat Flux에 의한 영향평가 기준

① World Bank(1988)의 자료

복사열 강도 (KW/m <sup>2</sup> )	손 실 유 형
37.5	공정장치를 파손하기에 충분
25.0	화염없는 상태에서 무한정 노출시 목재가 착화될 수 있는 최소 에너지
12.5	화염에 의해 목재를 착화시킬 수 있거나, 플라스틱 튜브가 녹을 수 있는 최소 에너지

② TNO(1992)의 자료

재질	임계 복사 강도(KW/m <sup>2</sup> )	
	손상 수준 1	손상 수준 2
철강	100	25
나무	15	2
합성물질	15	2
유 리	4	-

- ▶ 손상도 1 : 재질의 노출표면이 착화되어 구조 부재가 붕괴 또는 전복
- ▶ 손상도 2 : 재질의 노출표면의 도색이 벗겨질 뿐만 아니라 심하게 탈색되며 구조 부재에 상당한 변형이 초래됨

③ NFPA 921(2001)의 자료

복사강도 (kW/m <sup>2</sup> )	관찰 결과
170	구획화재에서 플래쉬 오버가 발생한 후 측정된 최대 복사강도
80	방화복에 대한 내열성능시험에서 적용
52	섬유보드가 5초만에 자연 발화
29	장시간 노출시 목재가 자연 발화
20	플래쉬 오버 초기에 주거용 룸 마루에서의 복사강도
12.5	화염에 의해 목재를 착화시킬 수 있거나, 플라스틱 튜브가 녹을 수 있는 최소 에너지

(2) 연기에 의한 영향평가 기준

연기(그을음) 농도가 재산 피해에 끼치는 영향을 평가할 수 있는 기준이 없으므로 이를 검증하기 위해 기계설비 보다 연기에 더 민감한 컴퓨터를 가지고 아래의 실험 방법으로 실험을 수행한 결과, 연기는 재산 피해에 영향을 크게 미치지 않는 것으로 나타났다.

① 내연성 실험 방법1(가연물 : 비닐 캡 타이어 케이블)

연기농도 15%/m에 1시간 노출시 이상유무 확인


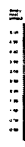

② 내연성 실험 방법2(가연물 : 스티로폼)

연기농도 40%/m에 1시간 노출시 이상유무 확인




바. 화재시물레이션 실험 결과

영향평가기준에서 재산피해에 미치는 요소는 주로 Heat Flux(kW/m<sup>2</sup>)이므로 경과시간 별 Heat Flux 변화 데이터를 출력하였다.

(1) 경과시간별 Heat Flux(kW/m<sup>2</sup>) 변화 - 평면도

화재경과 시간(분)	Heat flux(kW/m <sup>2</sup> )	척도	검 토
1			벽면 및 오일조에서 화재 발생
15			벽면 및 오일조 주변의 Heat Flux가 크게 증가

(2) 경과시간별 Heat Flux(kW/m<sup>2</sup>) 변화 - 입면도

화재경과 시간(분)	Heat flux(kW/m <sup>2</sup> )	척도	검 토
1			벽면 및 오일조에서 화재 발생
15			천장 및 사방벽면에서 강한 Heat Flux가 지속

사. 재물손실 산정 및 영향평가 분석

조사된 건물의 구조, 재료 등 건물의 특징, 기계의 재질, 생산연도, 제어부의 구성 등 기계의 제반 특징, 시뮬레이션 결과로 제시된 열유속(Heat Flux)이 미치는 손실 정도 및 유형, 화재에 대한 지식 및 전문가적 통찰력이 심분 발휘되어 이루어지는데, 아래 표는 영향평가 기준에 따라 건물 및 기계류의 특성을 감안하여 손실률을 산정한 예이다.

여기에서 예상손실률은 사고 당시의 건물 및 기계 가치를 100%로 봤을때 추정되는 손실의 정도를 의미한다.

공장 건물				
번호	품명	Heat Flux (kW/m <sup>2</sup> )	손실 정도	예상손실률 (%)
1	건물	37.5이상 → 10% 37.5~25.0 → 40% 25.0~12.5 → 20%	37.5이상 → 손상률 100% 37.5~25.0 → 손상률 80% 25.0~12.5 → 손상률 50%	52
기계류				
번호	품명	Heat Flux (kW/m <sup>2</sup> )	손실 정도	예상손실률 (%)
1	A기계	25.0~37.5	Body 75 %→손상률 30 % 제어 25 %→손상률 100 %	47.5
2	B기계	37.5 이상	Body 75 %→손상률 50 % 제어 25 %→손상률 100 %	62.5

#### 4. 결론

본 논고에서는 화재시물레이션을 이용한 공장의 재물 손실 평가방법에 대하여 개괄적으로 기술하였다. 적용 사례에서는 기본적인 설명에 충실하고자 소화설비, 소방대의 활동 등을 배제하였지만 화재시물레이션을의 기능 및 연관된 해석방법을 동원하면 소화설비 및 소방대의 활동에 의한 리스크의 감소 비율 등도 예측해 낼 수 있다.

컴퓨터를 이용한 화재시물레이션은 건축산업에서 이미 엄연한 현실로 자리잡고 있으며, 손해보험분야에도 담보되는 리스크의 평가를 위해서, 특히 재물보험 분야에서 도입되고 있다.

하지만 재물 손실 평가에 적용되는 파라미터에는 불확정 요소가 다수 포함되어 있기 때문에 화재시물레이션의 예측능력에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서는 유효성의 측정이 필요하다. 유효성 입증 작업을 위해서는 수많은 화재실험데이터, 정확한 화재성상 파라미터 설정을 위한 문헌데이터 등의 정보와 화재역학에 대한 이해, 경험적 통찰력 등의 전문가적 자질이 필요하지만 여전히 부족한 상태이며, 이것은 앞으로 화재전문가, 건축설계업자, 보험관계자 및 소방공무원이 다 같이 관심을 가지고 지속적인 연구와 데이터베이스화를 통하여 극복해야 할 과제이다.

#### 참고문헌

1. NIST, Fire Dynamics Simulator, 1998. 11.
2. 한국화재보험협회, 화재·폭발 위험분석 실무지침, 1998. 3.
3. SFPE, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 3rd Ed, Section 3, Hazard Calculation, 1995.

4. NFPA, National Fire Codes, 92B, 부록 B 및 부록 C, 1995.
5. NFPA 921, Guide for Fire and Explosion Investigations, 2001.
6. 일본화재학회, 화재 Vol.252, 화재 리스크 정량화 모델 개발.
7. Fire Prevention, 2001.5.