

성능위주설계를 위한 ETA 기법 활용 고찰

김학범[†] · 이수경^{*} · 송동우^{*} · 김기성^{*} · 김종훈^{**}

(주) 제이에스시솔루션 , 서울과학기술대학교^{*}, (주) H2K 솔루션^{**}

Application of ETA(Event Tree Analysis) to the Performance-Based Design of fire protection

Kim, H. B.[†] · Lee, S. K.^{*} · Song, D. W.^{*} · Kim, K. S.^{*} · Kim, J. H.^{**}

JSC Solution Inc., SEOULTECH^{*}, H2K Solution Inc.^{**}

요 약

본 연구에서는 소방시설의 성능위주설계를 수행하기 위하여 ETA(Event Tree Analysis) 기법을 적용하는 방안을 고찰하였다. ETA기법에서는 화재시나리오를 사건(Event)의 인과관계로 된 각 단계의 사건으로 구성한다. 본 연구에서는 ETA에서 구성된 시나리오에 따른 심각도를 화재시물레이션과 피난 시물레이션을 통한 수행으로 사망자수를 도출하는 방안을 적용하였고, 각 시나리오의 빈도(확률)은 FTA(Fault Tree Analysis) 기법을 적용하여 분기 확률을 도출하도록 하였다. ETA에서 도출한 사망자수와 빈도를 이용하여 F-N 커브를 작성하여 위험도를 평가하여 소방설계의 보완 및 대책을 수립하는 방안을 제시하였다.

Keywords : PBD(Performance Based Design), ETA(Event Tree Analysis)

1. 서 론

“소방시설등의 성능위주설계 방법 및 기준 ” (소방방재청 고시 제2011-68호)로 고시되었다. 여기서 성능위주설계라 함은 기존의 법규기준에 의한 관리를 탈피하여 실제 현장과 건물에 설계되어 있는 자료를 바탕으로 각 현장에 맞는 시나리오를 작성하여 화재의 피해 규모와 피난성능을 평가하는 것으로(성능위주 소방설계 기술기준, 2005) 대상이 되는 건축물에 대하여는 화재안전기준 등 법규에 따라 설계된 화재안전성능 보다 동등 이상의 화재안전성능을 확보토록 설계함을 의미한다. 성능위주설계에서 평가방법에는 결정론적 방법과 확률론적 방법으로 나뉜다. 결정론적인 방법은 피해(사망자수)를 산정한 후 목표로 하는 경감대책에 직접 이용하는 방법이며, 확률론적인 평가 방법은 각 시나리오의 피해규모에 대한 발생빈도를 구하여 설계대상의 위험도를 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 확률론적 방법이며 화재시나리오를 ETA(Event Tree Analysis : 사건수목)기법을 적용하여 시나리오를 구성하고, 시나리오 분기시 분기비율을 FTA(Fault Tree Analysis : 고장수목)분석에 기반을 두어 산출하고, 구성된 각 시나리오에 대하여 빈도와 피해(사망자수)를 이용하여 위험도(Risk)를 평가하는데 있어 F-N Curve 이용한 방법을 제안하고자 한다.

[†] kimhb31@naver.com

2. 본 론

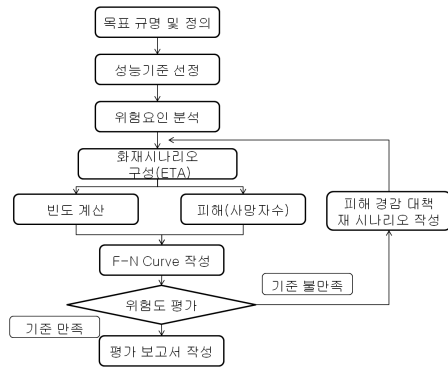


그림 1. 위험도 분석 절차

이용하여 F-N Curve를 작성하여 위험도 평가기준과 비교하여 기준을 만족하지 않으면 피해 경감대책을 강구하고 이를 시나리오에 반영하여 재 평가하는 과정을 거친다. 이후 기준에 부합하면 평가보고서를 작성하여 위험도 평가를 완료한다.

2.1 ETA를 이용한 화재시나리오 구성

ETA를 이용한 화재시나리오 구성시 초기 이벤트는 “소방시설등의 성능위주설계 방법 및 기준” (소방방재청 고시 제2011-68호)에서 제시된 시나리오를 기본으로 한다. 각 시나리오를 요약하면 (1) 시나리오 1 : 일반화재, (2) 시나리오 2 : 피난로의 화재 발생하여 급격한 화재연소, (3) 시나리오 3 : 재실자 비상주실에서 화재 발생 재실자로 화재 전파, (4) 시나리오 4 : 많은 사람들이 인접한 벽이나 덕트에서 화재, (5) 시나리오 5 : 많은 사람들이 아주인접한 곳 소방시설 비감지 장소에서 화재 발생 천천히 성장, (6) 시나리오 6 : 화재하중이 큰 장소에서 화재 발생 심각한 화재, (7) 시나리오 7 : 외부 화재 본건물로 전파등이다. 이러한 시나리오를 포함하여 가능한 모든 유형 중 가장 피해를 클 것으로 예상되는 최소 3개 이상의 시나리오에 대하여 분기한다. 분기 이후 시나리오는 화재전파에 따른 인과적 상황을 가정하여 작성한다. 그림 2는 ETA 구성을 6단계로 크게 나타내었으며, 대상에 따라 분기 단계를 세분화 하여 사용하여야 한다. 각 분기의 확률의 합은 1이 되어야 하며 최종 각 시나리오의 빈도의 총합 또한 1이 되어야 한다.

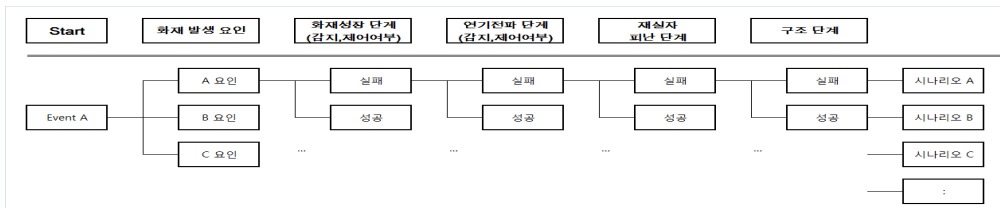


그림 2. ETA 구성

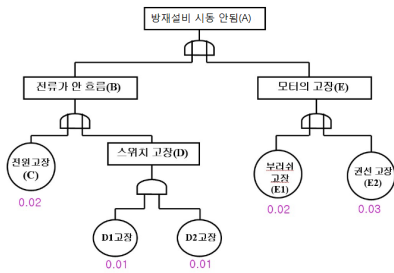


그림 3. FTA 구성 예시

2.2 FTA를 이용한 작동실패 확률 산출

사건을 구성하는 요소들에 대한 평가는 해당 통계 자료에 근거하여 적용할 수 있으며 통계가 없거나 구조가 복잡한 사건요소에 대해서는 사고나무(Fault Tree)기법을 이용하여 적용할 수 있다. 그림 3.은 FTA기법을 사용하여 작동실패의 발생확률 구하는 예시를 나타내었다. 그림 3.의 경우 방재설비의 작동실패의 발생확률을 구하면

$$D = D1 \times D2 = (0.01)(0.01) = 0.0001$$

$$B = 1 - (1 - C)(1 - D)$$

$$= 1 - (1 - 0.02)(1 - 0.0001) = 0.0201$$

$$E = 1 - (1 - E1)(1 - E2) = 1 - (1 - 0.02)(1 - 0.03) = 0.0494 \approx 0.05$$

$$\therefore A = 1 - (1 - B)(1 - E) = 1 - (1 - 0.0201)(1 - 0.05) = 0.0691 \approx 0.07$$

약 0.07임을 알 수 있다.

2.3 피해(사망자수) 산출

각 시나리오에 대한 피해(사망자수)를 산출하기 위해서 화재모델과 피난모델이 사용된다. 이 때 사망자수를 산출하기 위해 그림 1.의 성능기준을 정할 때 참고로 사용되었던 인간에 미치는 화재요소들이 이용된다.

2.3 확률사망자 곡선의 작성(F-N curve)

각 시나리오에 대한 위험도는 산출된 피해(사망자수)와 빈도의 곱으로 표현되며, 개별 시나리오 위험도의 총합이 성능위주설계 대상의 위험도가 되며, 단순히 위험도 총합을 이용하여 평가할 수 있다. 그러나 이러한 위험도 평가방식은 전체 시나리오의 피해를 줄여야 하기 때문에 과도한 설계를 종종 요구하게 된다. F-N curve를 작성하여 판단하는 경우는 논리적으로 비효율적인 대책을 제안할 수 있다. F-N curve는 사고 시나리오로부터 산출되는 피해(사망자)가 발생될 빈도(확률)와 피해(사망자수)의 관계를 데이터화 하여 로그(log)-로그(log) 평면상에 표현한다. 가로축은 피해(사망자수)를 표현하여야 하며 세로축은 해당 누적 빈도수(확률값)를 표현한다. 확률-사망자 곡선 상에 도시된 터널의 안전도는 사건 나무에 기술된 모든 시나리오의 경우의 수를 고려하여야 한다. 곡선을 나타내는 평면은 안전성에 대한 수용여부 및 안전성 향상을 위한 추가적인 조치 여부를 판단 할 수 있는 영역 또는 기타 유사한 방법의 영역으로 구분되며, 확률 사망자 곡선이 위치하는 영역의 기준에 의해 위험을 평가한다. 위험평가의 기준이 되는 영역은 부적합(Unacceptable), 허용가능(ALARP), 적합(Acceptable)으로 구분한다. Acceptable 영역은 분석된 안전도를 수용할 수 있는 영역으로 더 이상의 방재 대책을 수립할 필요가 없음을 의미한다. ALARP(As Low As Reasonable Practical) 영역은 분석된 안전도가 수용 가능하기는 하나, 가능한 한 안전도를 향상 시키도록 노력해야 하는 영역을 의미한다.

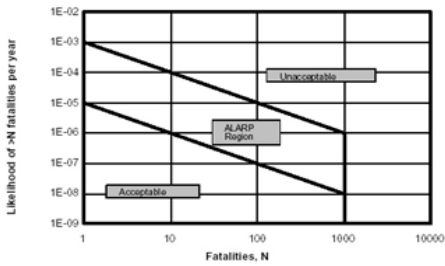


그림 4. Potentially Hazardous Installations of Hong-Kong for QRA.

이렇게 작성된 확률사망자 곡선은 사회적 위험기준으로 판단하는데 국내에서는 아직 기준이 정립되어 있지 않으며 본 연구에서는 그림 4와 같이 홍콩의 PHI를 기준의 한 사례로 제시한다.

3. 결 론

본 연구에서는 성능위주설계의 ETA를 고려한 위험도 평가 방법을 소개하였다. ETA를 이용하여 화재시나리오 구성은 다양한 상황에 대하여 논리적인 전개과정의 시나리오를 제공하고 각 시나리오의 피해(사망자수)가 발생한 빈도(확률)를 정량적으로 예측할 수 있는 장점이 있다. 또한 각 시나리오의 빈도와 피해의 수치를 이용하여 F-N curve를 작성하고 그림 4의 PHI와 같은 기준과 비교평가는 분석대상에 대한 비용절감적인 대책안을 제시하는 장점이 있다.

감사의 글

본 연구는 인적재난안전기술개발사업중 “피난안전성 평가기술개발을 위한 대규모 복합건축물 피난시뮬레이션 국산화”과제의 지원으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 소방방재청 (2011), “소방시설등의 성능위주설계 방법 및 기준 ” 고시 제2011-68호
2. 서울대학교 안전 및 방재연구센터, 삼성건설 건축기전팀 (2005). “성능위주 소방설계 기술기준”
3. 오형식 (2010), “초고층건축물의 성능위주 설계를 위한 정량적 화재 위험성 평가” 인하대학교 석사학위 논문
4. 이수경, 이상준, 김종훈(2002), “건물의 화재위험성 평가 프로그램(KFSA-I) 개발”, 한국 화재소방학회, 제16권 제1호, 2002년