

AHP 기법 기반 초고층 건축물 폭발물 테러 위험도 평가모델*

최지웅**, 강경연, 장진봉, 이경훈, 최인찬***

본 연구는 AHP 기법을 활용한 초고층 건축물의 폭발물 테러 위험도 평가모델을 다룬다. 위험도 평가를 위해 4개 방어선과 유사평가항목으로 분류하여 계층화한 27개의 평가항목을 제시한다. 평가모델은 계층화 된 평가항목을 기반으로 AHP 기법을 적용하여 각 항목의 가중치를 도출한다. 또한, 유사평가항목 간 상호보완효과를 반영하기 위해 평가항목 별 평가등급 통합 방법론을 포함한다. 제시된 평가항목과 평가모델에 대한 사례분석을 위해 건축 및 테러 관련 전문가들을 대상으로 한 설문을 시행하고, 각 항목에 대한 가중치를 도출한다. 또한, 형성된 가중치를 활용한 최종 위험도 평가등급 산출모형을 제시한다.

주제어: 초고층 건축물, 위험도 평가, AHP

1. 서론

건축기술의 발전에 따라 최근 세계적으로 초고층 건축물이 경쟁적으로 건설되고 있다. 초고층 건축물은 층수가 50층 이상이거나 높이가 200미터 이상인 건축물(건축물 시행령 제2조 15호)로, 대표적인 예로 부르즈 칼리파(Burj Khalifa), 메카 로얄 클락 타워 호텔(Makkah Royal Clock Tower Hotel), 타이페이 101(Taipei 101) 등이 있다. 이러한 세계적인 추세에 따라 국내에서도 용산 드림타워, 송도 인천타워 등 다수의 초고층 건축물이 계획·건설 중이고, 국내 기업의 해외 초고층건축시장으로의 참여도 활발하게 진행되고 있다.

초고층 건축물은 규모, 용도, 상주인원, 주변 시설로의 영향 등을 고려하였을 때 테러가 발생할 경우 경제적 손실 및 인명피해가 매우 크게 나타난다. 이에 대한 대표적인 예로 2001년 미국에서 발생한 9.11 테러의 경우 수천여명의 인명피해와 수백억 달러의 경제적 피해가 발생했다. 또한 초고층 건축물이 경제적, 사회적 상징성을 가짐에 따라 주요 테러 대상으로 부각되고 있다. 따라서 초고층 건축물의 테러예방 및 피해경감을 위한 대책 개발이 필수적이다.

* 본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호 #09 첨단도시A01)에 의해 수행되었습니다.

** 제1저자, *** 교신저자

해외의 경우 FEMA(Federal Emergency Management Agency), DoD(Department of Defence), NaCTSO(National Counter Terrorism Security Office) 등의 기관에서 테러예방과 피해를 최소화 하기 위한 건축계획 가이드라인 및 테러 관련 대책을 마련하고 있다. 대표적으로 FEMA의 경우 테러 예방을 위한 다양한 도시·건축물 디자인 가이드라인을 제시하고 있다(FEMA, 2003a; FEMA, 2003b; FEMA, 2003c; FEMA, 2003d; FEMA, 2005; FEMA, 2006; FEMA, 2007; FEMA, 2008; FEMA, 2009). 최근 국내에서도 건축물 테러예방 설계 가이드라인(국토해양부, 2010), 초고층 건축물 설계 기준(서울시, 2009)을 마련하여 시행 중이다.

국내 가이드라인, 설계 기준의 경우 건축계획과정에서 고려할 디자인 가이드라인을 제시하고 있으나, 내용이 포괄적으로 구성되어 있고 모든 건축물에 동일한 기준을 일괄적으로 적용하는 것을 원칙으로 하고 있어 건축물의 입지조건, 주변상황, 비용 등의 측면에서 적용이 곤란한 경우가 발생 할 수 있다(강경연, 박병직, 이경훈, 2011). 따라서 평가항목을 세분화하고 건축물의 특성에 따라 변할 수 있는 환경을 반영한 초고층 건축물 폭발물 테러 위험도 평가모델을 개발할 필요가 있다. 최근 강경연, 박병직, 이경훈(2011)의 연구에서 AHP에 기반을 둔 테러 위험도 평가모델을 다루었으나, 위험도 평가항목이 차량 폭발물에 한정되어 있고, 평가항목간의 상호연관관계가 없다고 가정되어 있음에 따라 모델의 현실반영도의 높이기 위한 확장연구가 필요한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구에 대한 고찰을 통해 세분화 된 평가항목을 산출하고, 이를 기반으로 각 평가항목간의 상호연관관계가 반영된 초고층 건축물의 폭발물 테러 위험도 평가모델을 제시하고자 한다. 평가모델을 활용하여 정량적인 평가항목 별 중요도와 위험도 평가등급 산출하고, 이를 통해 건축계획 시 활용 가능한 비용효율적 설계 방안을 제시하는 것을 연구의 목적으로 한다.

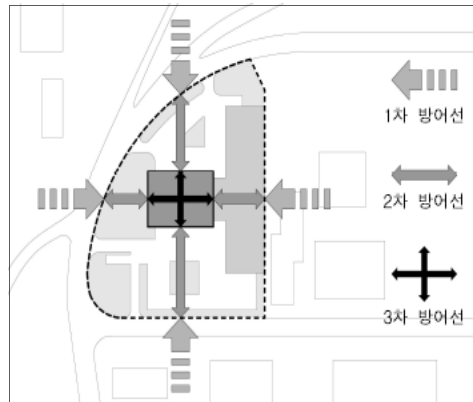
II. 초고층 건축물 폭발물 테러 위험도 평가모델

초고층 건축물 폭발물 테러 위험도 평가모델은 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 기반으로 한다. AHP 기법의 적용을 통해 계층화된 평가항목의 중요도를 산출하고, 산출된 중요도와 각 평가항목의 평가점수를 활용하여 최종 위험도 평가등급을 제시한다. 평가항목별 위험도 평가등급의 통합과정에서 각 항목간의 상호보완효과를 반영한다.

1. 평가항목 구성 및 계층화

국내 선행연구 및 가이드라인과 더불어 FEMA, DoD, NaCTSO에서 제시된 가이드라인에 대한 고찰을 통해 초고층 건축물 폭발물 테러 위험도와 관련된 평가항목을 도출하였다. 평가항목은 크게 주변현황 및 대지조건과 1차 방어선, 2차 방어선, 3차방어선을 포함하는 3중 방어선으로 구분되며 총 27

개 항목으로 구성된다. 3중 방어선은 보안 시스템 분야에서 활용되는 개념으로 통제수단을 세 단계로 구분하고, 각 방어선 내에서 보안체계를 구축한다(강경연·박병직·이경훈, 2011). 본 연구에서는 3중 방어선 외에 테러 위험도에 영향을 미치는 주변현황 및 대지조건 요소들을 추가로 포함하여 4단계로 구분되는 27개의 평가항목을 추출하였다. 평가항목의 추출과정은 강경연·박병직·이경훈(2011)의 연구를 따른다.



<그림 1> 3중 방어선 구조

※ 자료: 강경연·박병직·이경훈(2011).

1) 주변현황 및 대지조건

테러발생에 영향을 줄 수 있는 조건과 상황으로, 해당건축물의 용도, 거주자수, 규모(층수) 및 대지 주변의 주요시설의 수 등을 포함한다.

2) 1차 방어선

대지 경계에 형성하는 방어선으로, 대지외부의 도로로부터 건축물 사이의 이격거리, 건축물과 도로 사이에 설치하는 장애물의 종류와 설치위치 등을 포함한다.

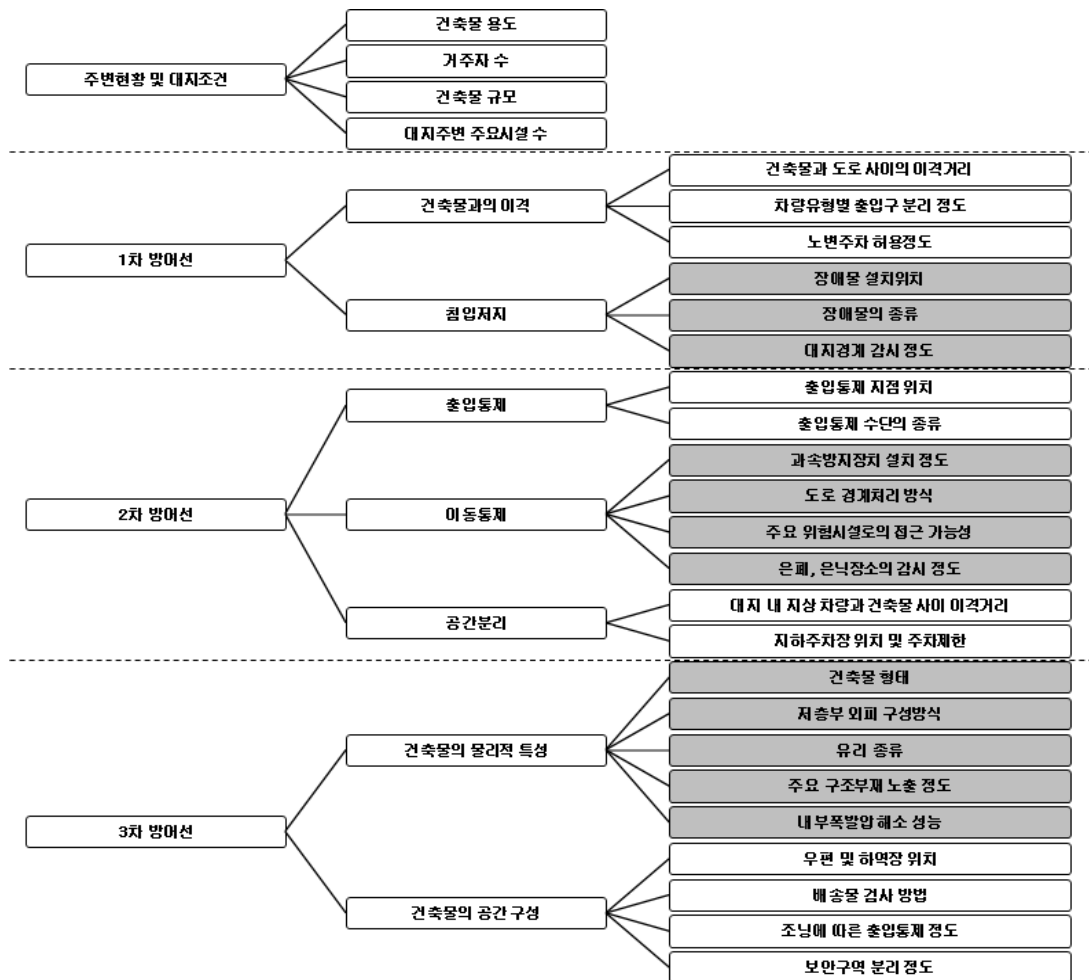
3) 2차 방어선

대지경계와 건축물 사이의 공간에 형성하는 방어선으로, 차량출입통제지점의 위치, 차량통제 및 저지 수단, 차량의 과속 및 도로 이탈을 방지하기 위한 수단, 대지 내의 도로 및 지상주차장으로부터 건축물 사이의 이격거리, 지하주차장의 설치 위치 등을 포함한다.

4) 3차 방어선

건축물 자체에 형성하는 방어선으로, 건물 저층부의 외피 종류, 폭발압 증폭과 관련된 건축물의 형태, 배송물의 처리 위치, 기둥 등의 주요 구조부재 노출 정도 등을 포함한다.

AHP 기법의 적용에 선행하여 도출된 27개의 평가항목들을 3단계로 구성되는 계층구조로 계층화하였다. 상위단계는 주변현황 및 대지조건과 3중 방어선을 포함한다. 중간단계는 유사평가항목을 분류하기 위한 단계로 유사항목그룹들로 형성된다. 유사항목그룹은 평가항목간의 상호연관관계가 있는 항목들로, 본 연구의 대상인 테러 위험도 평가에서는 항목들 간의 상호보완효과가 나타나는 항목그룹으로 정의된다. 주변현황 및 대지조건에 포함되는 평가항목의 경우 상호보완효과가 나타나는 항목그룹이 나타나지 않음에 따라 2단계로 구성된다. 마지막으로 하위단계에 도출된 27개의 평가항목들이 위치한다. 평가항목들의 계층화를 통해 전문가 설문 시 동시에 평가하는 항목의 수가 감소하고, 이에 따라 전문가 설문의 정확성 및 일관성을 향상시키는 효과가 나타난다.



<그림 2> 위험도 평가항목의 계층구조

<표 1> 위험도 평가항목

평가항목	설명
건축물 용도	- 테러의 대상이 될 가능성에 영향을 주는 해당 건축물의 용도
거주자 수	- 테러가 발생하는 순간에 해당건축물에 존재할 수 있는 거주자 수
건축물 규모	- 해당 건축물의 지상 층수
대지주변 주요시설의 수	- 해당 건축물에 발생한 테러로 인해 영향을 받게 되는 주변 주요시설의 수 - 주변에 테러발생위험이 높은 시설이 존재하여 주변시설에 발생한 테러가 해당 건축물에 영향을 줄 수 있는 정도
건축물과 도로 사이의 이격거리	- 건축물의 타워부 외피에서 가장 가까운 대지외부의 도로경계선까지의 거리
차량유형별 출입구 분리 정도	- 차량 유형별 차량출입구의 분리여부
노변주차 허용정도	- 건축물에 가장 가까운 외부도로의 노변주차공간 유무 및 차종별 주차제한
장애물 설치위치	- 타워부 외피에서 가장 가까운 대지경계와 타워부 사이에 차량을 저지하기 위해 설치된 장애물의 위치
장애물의 종류	- 건축물과 대지외부 도로 사이에 설치된 차량장애물의 종류 및 저항성능
대지경계 감시 정도	- 대지경계선에 대한 감시여부와 감시범위
출입통제 지정 위치	- 대지로 진입하는 차량의 통제지점의 위치
출입통제 수단의 종류	- 대지로 진입하는 차량에 대한 통제, 검사, 저지 수단
과속방지장치 설치 정도	- 건축물로 연결된 도로를 주행하는 차량의 속도를 저감하기 위한 장치 및 도로형태
도로 경계처리 방식	- 차량이 도로경계를 넘어 건축물로 돌진하는 것을 저지하기 위한 도로경계처리
주요 위험시설로의 접근 가능성	- 외부공간의 주요위험시설(변전기, 유류저장고 등)로의 외부인 접근에 대한 감시 및 통제 수단
은폐, 은닉장소의 감시 정도	- 외부공간의 은폐, 은닉 가능 장소 제공 여부 - 감시 및 통제 수단
대지 내 지상 차량과 건축물 사이의 이격거리	- 승하차 공간과 하역장을 제외한 대지내부 도로 및 지상주차공간과 건축물 사이의 이격거리
지하주차장 위치 및 주차제한	- 지하주차장 설치여부 및 지하주차장과 건축물 타워부와의 위치 관계 - 주차공간별 이용차량 제한 정도
건축물 형태	- 폭발압의 증폭 및 해소에 영향을 줄 수 있는 건축물 타워부의 평면, 단면 형태
저층부 외피 구성방식	- 차량이용공간에 면한 타워부 저층의 개구부의 유무 및 유리지방식
유리 종류	- 외부폭발압력에 대한 저층부 유리의 저항성능
주요 구조부재 노출 정도	- 차량이나 보행자가 접근 가능한 곳에 위치한 기둥 등의 주요 구조부재가 노출된 정도
내부폭발압 해소 성능	- 천창, 상하부 보이드 공간 등을 이용한 내부폭발압 해소 성능
우편 및 하역장 위치	- 타워부와 하역장의 위치관계
배송물 검사 방법	- 의심 배송물 검사공간 및 검사방법
조닝에 따른 출입통제 정도	- 건축물 조닝에 따른 방문객 출입제한 및 통제 방법
보안구역 분리 정도	- 중앙통제실, 기계실 등의 보안구역과 방문객 공간과의 시각적, 공간적 분리 정도

2. AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법

AHP 기법은 다기준 의사결정문제에서 평가항목 간의 상대적인 중요도를 활용하여 평가항목들의 가중치를 도출하는 방법론으로 Saaty(1980)에 의해 개발되었다. AHP 기법은 다수의 대안 혹은 평가항목의 가중치를 간단한 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 도출함에 따라 전문가들의 직관적 평가가 가능하다는 특징을 갖는다. 또한, CR(Consistency Ratio) 지표 산출을 통해 설문결과에 대한 일

전도가 낮아도 이를 보완해주는 효과가 있다. 상호보완효과의 모델로의 반영을 위해 본 연구에서는 평가항목에 대하여 다음과 같은 두 가지를 가정한다.

- 평가항목 간의 상호보완효과가 존재한다.
- 평가항목은 등급으로 평가된다. 1등급이 위험도가 작다.

평가항목들의 계층화 단계에서 중간단계는 상호작용효과가 나타나는 항목들의 그룹으로 형성하였고, 이를 반영하기 위해 평가등급 산출 시 가중기하평균(Weighted Geometric Mean)을 사용한다.

$$\bar{x} = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad \text{vs.} \quad \bar{x} = \left(\prod_{i=1}^n x_i^{w_i} \right)^{1/\sum_{i=1}^n w_i}$$

가중산술평균
가중기하평균

<그림 4> 가중산술평균과 가중기하평균

다음은 가중산술평균과 가중기하평균을 사용하였을 때의 차이를 보여주는 예로, 가중기하평균의 경우 건축물과 도로 사이의 이격거리가 나머지 두 요소를 보완해주는 효과가 반영되어 가중산술평균과 비교하여 안전도가 높게 나타난다.

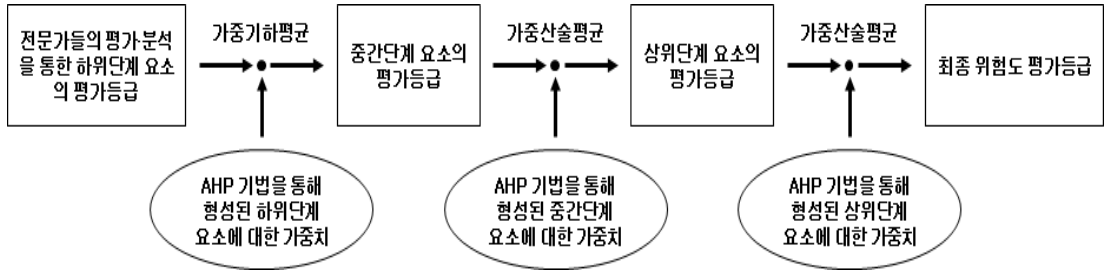
<표 3> 가중산술평균과 가중기하평균 차이 예시

평가항목	평가등급	가중치	가중산술평균	가중기하평균
건축물과 도로 사이의 이격거리	1등급	0.4	3.4등급	2.6등급
차량유형별 출입구 분리 정도	5등급	0.3		
노변주차 허용정도	5등급	0.3		

4. 위험도 평가등급 산출

위험도 평가등급 산출은 Bottom-up 방식으로, 하위단계에 대한 평가등급으로부터 중간단계, 상위단계의 평가등급을 순차적으로 산출한다. 하위단계에 포함되는 평가항목의 평가등급은 실제 테러 및 초고층 건축물에 대한 전문가들의 평가·분석을 통해 산출된다. 중간단계는 상호보완효과가 나타나는 항목들의 그룹으로 구성됨에 따라 각 요소에 포함되는 하위단계 평가항목들의 가중기하평균으로, 상위단계는 각 요소에 포함되는 중간단계 평가항목들의 산술가중평균으로 평가등급을 산출한다. 마지막

으로 최종 위험도 평가등급은 상위단계 평가항목들의 산술가중평균으로 산출한다.



<그림 5> 위험도 평가등급 산출 과정

III. 사례연구 및 분석

제시된 초고층 건축물의 폭발물 테러 위험도 평가모델에 대한 사례연구 및 분석을 위해 건축 및 테러 관련 전문가를 선정하여 AHP 설문을 실시하였다. 설문조사 결과를 기반으로 항목 별 가중치를 형성하였고, 이에 대한 일관성 검증을 통해 설문조사 결과가 일관성 있게 진행된 것을 확인하였다. 형성된 항목별 가중치를 활용하여 제시된 사례에 대한 위험도 평가등급 산출 모델을 제시한다.

1. 전문가 설문조사 및 설문조사결과의 통합

AHP 기반 평가항목 별 가중치 형성을 위한 전문가 설문조사를 위해 3명의 건축 및 테러 관련 전문가를 선정하였다. 전문가들은 12개의 설문조사 테이블에 대하여 쌍대비교를 하였다. 전문가 의견의 통합은 쌍대비교행렬(pairwise comparison matrix)의 기하평균값을 활용하는 AIJ(Aggregation of Individual Judgments) 기법을 사용하였다.

<표 4> 전문가 설문조사 예시: 4개 방어선

항목	중요도							항목
	매우중요	중요	약간중요	대등	약간중요	중요	매우중요	
주변현황 및 대지조건								1차 방어선
								2차 방어선
								3차 방어선
1차 방어선								2차 방어선
								3차 방어선
2차 방어선								3차 방어선

2. 항목 별 가중치 형성

<표 5>는 EVM(Eigen Vector Method)을 통해 산출된 설문조사 테이블 별 가중치를 나타낸다. 가중치 산출결과 주변현황 및 대지조건과 1차 방어선이 2차 방어선, 3차 방어선에 비교하여 중요도가 높게 나타남을 알 수 있다.

<표 5> 항목 별 가중치

테이블 명	쌍대비교 요소	가중치(정규화)
4개 방어선	주변현황 및 대지조건	0.396
	1차 방어선	0.361
	2차 방어선	0.177
	3차 방어선	0.065
주변현황 및 대지조건	건축물 용도	0.467
	거주자 수	0.129
	건축물 규모	0.165
	대지주변 주요시설 수	0.238
1차 방어선	건축물과의 이격	0.781
	침입저지	0.219
2차 방어선	출입통제	0.605
	이동통제	0.110
	공간분리	0.285
3차 방어선	건축물의 물리적 특성	0.675
	건축물의 공간 구성	0.325
건축물과의 이격	건축물과 도로 사이의 이격거리	0.740
	차량유형별 출입구 분리 정도	0.111
	노변주차 허용정도	0.150
침입저지	장애물 설치위치	0.610
	장애물의 종류	0.185
	대지경계 감시 정도	0.205
출입통제	출입통제 지점 위치	0.799
	출입통제 수단의 종류	0.201
이동통제	과속방지장치 설치 정도	0.228
	도로 경계처리 방식	0.298
	주요 위험시설로의 접근 가능성	0.324
	은폐, 은닉장소의 감시 정도	0.149
공간분리	대지 내 지상 차량과 건축물 사이의 이격거리	0.325
	지하주차장 위치 및 주차제한	0.675
건축물의 물리적 특성	건축물 형태	0.141
	저층부 외피 구성방식	0.132
	유리 종류	0.176
	주요 구조부재 노출 정도	0.388
	내부폭발압 해소 성능	0.163
건축물의 공간 구성	우편 및 하역장 위치	0.335
	배송물 검사 방법	0.243
	조닝에 따른 출입통제 정도	0.244
	보안구역 분리 정도	0.178

3. 설문조사결과의 일관성 검증

Saaty(1980)에 의하면 CR(Consistency Ratio) 지표가 0.1 이하일 경우 전문가 설문이 일관성 있게 조사됐다고 판단된다. 제시된 사례에 대한 CR 지표 산출결과 12개 테이블에서 0.1 이하의 수치가 나타나며 따라 일관성이 확보된 것으로 판단하였다.

<표 6> CR 지표

테이블 명	CR 지표
4개 방어선	0.033
주변현황 및 대지조건	0.005
1차 방어선	0.000
2차 방어선	0.019
3차 방어선	0.000
건축물과의 이격	0.004
침입저지	0.008
출입통제	0.000
이동통제	0.005
공간분리	0.000
건축물의 물리적 특성	0.015
건축물의 공간 구성	0.005

4. 위험도 평가등급 산출

<표 5>에 제시된 가중치를 기반으로 최종 위험도 평가등급을 산출한다. 위험도 평가등급 산출을 위해 각 평가항목 별 전문가 평가등급이 <표 7>의 $x_1 \sim x_{27}$ 에 해당하는 입력 데이터로 사용된다. 평가항목 별 평가등급은 위험도 등급으로 평가되며, 최종 위험도 평가등급도 등급으로 산출된다. 등급에 대한 구간 스케일은 실제 적용하는 건축물의 특성에 따라 결정되며, 1등급을 가장 안전한 등급으로 해석한다.

위험도 평가등급은 Bottom-up 방식으로 <표 7>에 제시된 수식에 의해 순차적으로 산출한다. 하위 단계에 대한 평가등급 $x_1 \sim x_{27}$ 을 기반으로 중간단계의 평가등급 $y_1 \sim y_7$ 이 계산하고, 평가등급 $y_1 \sim y_7$ 을 활용하여 상위단계 $z_1 \sim z_4$ 에 대한 평가등급을 계산한다. 최종 위험도 평가등급은 $z_1 \sim z_4$ 의 가중산술 평균으로 산출한다.

<표 7> 초고층 건축물의 폭발물 테러 위험도 등급 산출

항목	평가등급: 하위단계	평가등급: 중간단계	평가등급: 상위단계	위험도 평가등급	
건축물 용도		x1	z1	$= (0.467 * x1) + (0.129 * x2) + (0.165 * x3) + (0.238 * x4)$	
거주자 수		x2			
건축물 규모		x3			
대지주변 주요시설의 수		x4			
건축물과 도로 사이의 이격거리	x5	y1	$z2 = (0.781 * y1) + (0.219 * y2)$	Level $= (0.396 * z1) * (0.361 * z2) * (0.177 * z3) * (0.065 * z4)$	
차량유형별 출입구 분리 정도	x6	$= (x5 ^ 0.740) * (x6 ^ 0.111) * (x7 ^ 0.150)$			
노변주차 허용정도	x7				
장애물 설치위치	x8	y2			
장애물의 종류	x9	$= (x8 ^ 0.610) * (x9 ^ 0.185) * (x10 ^ 0.205)$			
대지경계 감시 정도	x10				
출입통제 지점 위치	x11	y3	$z3 = (0.605 * y3) + (0.110 * y4) + (0.285 * y5)$		
출입통제 수단의 종류	x12	$= (x11 ^ 0.799) * (x12 ^ 0.201)$			
과속방지장치 설치 정도	x13	y4			
도로 경계처리 방식	x14	$= (x13 ^ 0.228) * (x14 ^ 0.298) * (x15 ^ 0.324) * (x16 ^ 0.149)$			
주요 위험시설로의접근 가능성	x15				
은폐, 은닉장소의 감시 정도	x16				
대지 내 지상 차량과 건축물 사이의 이격거리	x17	y5	$z4 = (0.675 * y6) + (0.325 * y7)$		
지하주차장 위치 및 주차제한	x18	$= (x17 ^ 0.325) * (x18 ^ 0.675)$			
건축물 형태	x19	y6			
저층부 외피 구성방식	x20	$= (x19 ^ 0.141) * (x20 ^ 0.132) * (x21 ^ 0.176) * (x22 ^ 0.388) * (x23 ^ 0.163)$			
유리 종류	x21				
주요 구조부재 노출 정도	x22				
내부폭발압 해소 성능	x23				
우편 및 하역장 위치	x24	y7			
배송물 검사 방법	x25	$= (x24 ^ 0.335) * (x25 ^ 0.243) * (x26 ^ 0.244) * (x27 ^ 0.178)$			
조닝에 따른 출입통제 정도	x26				
보안구역 분리 정도	x27				

IV. 결론

본 연구에서는 AHP 기법을 기반으로 한 초고층 건축물의 폭발물 테러 위험도 평가모델을 다루었다. 포괄적으로 구성된 기존의 디자인 가이드라인을 보완하기 위해 주변현황 및 대지조건과 3중 방어선으로 분류되는 27개의 세분화 된 평가항목을 제시하였고, 유사항목간의 상호보완성이 고려된 정량

적 위험도 평가등급 산출 방법론을 제시하였다. 또한 사례연구·분석으로 전문가 설문을 통해 항목별 가중치를 산출하였고, 이를 통해 위험도 평가에 있어서 주변현황 및 대지조건과 1차 방어선이 2차 방어선, 3차 방어선 보다 중요도가 높다는 결론을 도출하였다.

AHP는 전문가 설문 결과에 따라 결과의 차이가 나타나는 특성이 있다. 따라서 본 연구에서 3명의 전문가에 의해 진행된 사례분석을 확장하는 것이 향후 연구방향 중 하나이다. 또한, 실제 초고층 건축물에 대한 평가를 통한 평가등급 결과 분석을 통해, 정량적 평가등급 산출에 뿐만 아니라 평가등급의 기준을 형성할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 국토해양부. 2010. 다중이용시설 테러예방 설계가이드라인.
- 강경연·박병직·이경훈. 2011. 국내 고층 건축물의 차량 폭발물테러 위험도 분석 연구. 대한건축학회 논문집. 27(11): 125-133.
- 서울시. 2009. 서울특별시 초고층 건축물 가이드라인.
- DoD. 2002. DoD Minimum Antiterrorism Standards for Buildings.
- FEMA. 2009. *Handbook for Rapid Visual Screening of Buildings to Evaluate Terrorism Risks*.
- FEMA. 2008. *Incremental Protection for Existing Commercial Buildings from Terrorists Attack*.
- FEMA. 2003d. *Insurance, Finance, and Regulation Primer for Terrorism Risk Management in Buildings*.
- FEMA. 2003b. *Primer for Design of Commercial Buildings to Mitigate Terrorist Attacks*.
- FEMA. 2003c. *Primer to Design Safe School Projects in Case of Terrorist Attacks*.
- FEMA. 2003a. *Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings*.
- FEMA. 2005. *Risk Assessment: A How-To Guide to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings*.
- FEMA. 2006. *Safe Rooms and Shelters: Protecting People Against Terrorist Attacks*.
- FEMA. 2007. *Site and Urban Design for Security: Guidance Against Potential Terrorist Attacks*.
- Forman, E., and K. Peniwati. 1998. Aggregating Individual Judgments and Priorities with the Analytic Hierarchy Process. *EJOR*. 108: 165-169.
- Ishizaka, A., D. Balkenborg, and T. Kaplan. 2011. Influence of Aggregation and Measurement Scale on Ranking a Compromise Alternative in AHP. *JORS*. 62: 700-710.
- NaCTSO. 2006. *Counter Terrorism Protective Security Advice for Shopping Centres*.
- NaCTSO. 2008a. *Counter Terrorism Protective Security Advice for Commercial Centres*.

NaCTSO. 2008b. *Counter Terrorism Protective Security Advice for Hotels and Restaurants*.
 Saaty, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.

崔智雄: 현재 고려대학교 정보경영공학전문대학원 박사과정으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 최적화이론, 알고리즘, 평가모형 등이 있다(chojiw84@gmail.com).

姜京燕: 고려대학교에서 건축공학 박사학위를 취득하고(논문: 아파트 욕실에서의 유니버설 디자인 적용방안 연구, 2010) 현재 고려대학교 공학기술연구소 연구교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 유니버설디자인, CPTED, 사용자 참여디자인 등이 있다. 주요 저서 및 논문으로는 Experiment of Color Schemes for the Elderly in Apartment Bathrooms(2009), 국내 고층 건축물의 차량폭발물테러 위험도 분석 연구(2011), 아파트 욕실에서의 유니버설디자인(2011) 등이 있다(dalneum@naver.com).

張晉奉: 현재 고려대학교 산업경영공학부 석사과정으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 평가모형, 스케줄링, 알고리즘 등이 있다(jinbong_becreative@korea.ac.kr).

李景勳: University of Wisconsin-Milwaukee에서 건축학 박사학위를 취득하고(논문: Community and Burglary in the Urban Residential Street Block: An Environmental Analysis, 1992) 현재 고려대학교 건축학과 교수로 재직 중이다. 주요 저서 및 논문으로는 Experiment of Color Schemes for the Elderly in Apartment Bathrooms(2009), An Experimental Study on the Role of Risk Factor and Ease Factors in Residential Burglars(2004), 주민의식조사를 통한 주거지역 방범용 CCTV효과성분석(2009), 지구단위계획에서 환경설계를 통한 범죄예방설계기법 적용에 관한 연구(2008), 국내 고층 건축물의 차량폭발물테러 위험도 분석 연구(2011), 공동주택 범죄예방 설계의 이론과 적용(2011) 등이 있다(kh92lee@naver.com).

崔仁燦: Columbia University(New York City)에서 Operations Research 박사학위를 취득하고 현재 고려대학교 산업경영공학부 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 최적화 이론 및 응용, 계량 의사 결정론이다. 다수의 논문을 Mathematical Programming, Journal of Optimization Theory and Applications, ORSA Journal on Computing Operations Research Letters 등 국제 학술지에 게재하였으며, 저서로는 경영과학(역서, 2012)이 있다(ichoi@korea.ac.kr).

투 고 일: 2012년 01월 22일

수 정 일: 2012년 02월 03일

게재확정일: 2012년 02월 11일

A Risk Assessment Model of Potential Bomb Attacks against High-rise Buildings based on the Analytic Hierarchy Process

Ji Woong Choi, Kyung Yeon Kang, Jin Bong Jang, Kyung Hoon Lee, In Chan Choi

In this paper, we investigate a risk assessment model of bomb attack for high-rise buildings based on the analytic hierarchy process. We present 27 layered evaluation elements which are classified by 4 defence layers and similarities. The model extracts weights of the layered evaluation elements based on the analytic hierarchy process. To reflect mutual supplementary effects within the similar elements, an evaluation level integration methodology is included in the model. For case study of the proposed evaluation elements and model, a survey is carried out by architecture and anti-terrorism specialists, and weight of each element is extracted. Finally, we present a case study model for assessing final risk level.

Key words: high-rise building, risk assessment, AHP