

수정 RVS와 IRVS시스템의 비교분석을 통한 국내 고층건물 테러위험도 평가

Risk Assessment of Tall Buildings in Korea by comparative study of Modified RVS and IRVS system

유 영 수*
Yu, Young-Su

윤 성 원**
Yoon, Sung-Won

주 영 규***
Ju, Young-Kyu

Abstract

As the occurrence rate of terror and hazard is increasing throughout the world, GSA, DoD, and FEMA are proceeding a study about mitigating the damage of terror. Korea is no more a safe place from the terrorist's threat, so we need to make measures against them. In this study we developed modified RVS System by revising some items to adjust the system to the domestic condition and conducted a risk assessment on several tall buildings in Korea. By using IRVS system which is developed by DHS, we also carried out the risk assessment. Comparing the results between RVS with IRVS, we performed terror risk evaluation of tall buildings. Through risk assessment of several tall buildings, we analyzed key factors of each scenarios and suggested the mean value of each items, so we would like to help the counter-terrorism in the design phase.

Keywords : Rapid Visual Screening, Integrated Rapid Visual Screening, Risk Assessment, Counter-terrorism

1. 서 론

전 세계적으로 테러의 발생빈도가 증가하고 있을 뿐만 아니라 테러로 인한 피해양상도 커지고 있다. 국내도 더 이상 테러의 위협으로부터 안전하지 않으며 이에 대한 대책마련이 시급하다. 이미 해외에서는 테러의 피해를 최소화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 미 국방부(DoD, Department of Defense), 미 연방조달청(GSA, General Service Administration) 등을 중심으로 테러의 피해를 줄이

기 위한 연구가 진행되었으며, 특히 미 연방재난관리청(FEMA, Federal Emergency Management Agency)에서는 폭발물테러의 피해경감을 위한 Risk Management Series를 발표하였다.^{1), 2)}

그 중에서 Risk Management Series 455³⁾는 건물의 테러위험도를 평가하기 위한 Rapid Visual Screening(이하 RVS) 시스템을 소개하고 있다. 기존에도 건물의 테러위험도를 평가하는 시스템이 존재하였지만, 정량화되지 않았기 때문에 다소 주관적이며 평가결과를 활용하기도 어려웠다. 반면에 RVS 시스템은 테러위험도가 수치화되어있기 때문에 건물의 위험수준을 객관적으로 파악할 수 있으며 각 시나리오별로 혹은 각 구성요소별로 취약한 부분이 어디인지 알 수 있다. 그러나 RVS는 미국 실정에 맞추어 개발되었기 때문에 일부 항목에 대하여 국내에 바로 적용할 수 없다.⁴⁾

따라서 본 논문에서는 RVS시스템을 국내에 적용할 수 있도록 수정 RVS 시스템을 개발하고, 미국 국토안전부(DHS, Department of Homeland

* 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정
School of Civil, Environmental and architectural engineering, Korea University
** 교신저자, 서울과학기술대학교 건축학부 교수, 공학박사
School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology
Tel: 02-970-6587
E-mail : swyoon@seoultech.ac.kr
*** 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 교수, 공학박사
School of Civil, Environmental and architectural engineering, Korea University

Security)에서 개발된 Integrated RVS⁵⁾ (이하 IRVS) 시스템과 비교분석을 통하여 국내 고층건물의 테러 위험도 평가를 수행하고자 한다.

2. 수정 RVS 시스템 개발

2.1 RVS 시스템

RVS 시스템은 테러의 공격을 받는 건물의 위험도를 수치화 할 수 있도록 개발되었다. 이 검사과정의 주요 목적은 여러 건물들 중에서 상대적으로 위험이 높은 건물에 우선순위를 정하고 해당 건물에 위험정보를 제공하는 것이다.

위험도의 수치화는 크게 3가지 요인을 기반으로 한다. 첫 번째는 Consequences(C)로 자산의 파괴나 불능상태로 인한 약화된 정도를 의미한다. 흔히 '자산가치'를 의미하기도 하며, 통화가치 뿐만 아니라 지역공동체의 가치를 의미한다. 두 번째는 Threat(T)로 자산의 손실이나 피해를 야기하는 잠재적인 조짐, 정황, 사건 등을 의미한다. 마지막은 Vulnerability(V)로 자산에 피해를 줄 수 있도록 공격자에 의해 이용될 수 있는 취약점을 의미한다.

각 시나리오별로 C, T, V 값을 구한 뒤에 식 (1)을 통하여 위험도지수를 구한다.

$$R = C \times T \times V \tag{1}$$

즉 한 개의 시나리오에 대한 위험도지수는 C, T, V의 곱으로써 표현할 수 있으며 구조물의 총위험도지수는 식 (2)를 통하여 구한다.

$$R = 7.227 \sqrt[10]{\sum_{i=1}^9 (C_i \times T_i \times V_i)^{10}} \tag{2}$$

전체위험도지수(R)는 식 (2)와 같이 9개의 시나리오에 대한 함수로써 나타낼 수 있다. R값은 $9 < R < 9,000$ 사이의 값을 가지며, R값에 따라 건물의 위험도를 저위험도, 중위험도, 고위험도로 분류할 수 있다.

<Table 1> Total Risk Rating(RVS)

Total risk score	Risk Rating
$R < 3,006$	Low
$3,006 \leq R < 6,003$	Medium
$6,003 \leq R < 9,000$	High

<Table 1>과 같이 R값이 3,006점 미만인 경우는 저위험도, 3,006점 이상 6,003점 미만인 경우는 중위험도, 6,003점 이상 9,000점 미만인 경우는 고위험도에 속한다.

2.2 수정 RVS 시스템

기존의 RVS 시스템은 미국 실정에 맞도록 제작되었기 때문에 일부 항목들에 대하여 국내에 적용할 수 있도록 변경이 필요하다.

단위가 ft, in 이기 때문에 SI 단위계로의 변환이 필요하며, 화폐단위를 달러(\$)에서 원화(₩)로 변경해야 한다. 또한, 다음의 3가지 항목에 대하여 국내 실정에 맞도록 수정하였다.

(1) Replacement Value

이 항목은 건물의 대체비용을 의미하며 건물의 현재시장값과 건물의 연면적의 곱으로 구한다. 대체비용의 액수에 따라 총 15가지 단계로 구분이 되는데 단위가 모두 미국달러(\$)를 기준으로 되어있을 뿐만아니라 미국시세를 반영하였기 때문에 국내에 그대로 적용할 수 없다. 따라서 국내 고층건물 상위 30개 건물에 대한 시세를 통해 대체비용을 산출하여 옵션항목에 반영하였다. 건물의 연면적을 기준으로 산정한 국내 고층건물 상위 30개의 대체비용을 <Table 2>에 정리하였다.

(2) On Historic Registry

대상건물이 역사적으로 등록되어 있는지의 여부를 판단하는 항목이다. 국가적(National), 주(State), 지역적(Local), 민간의(Non-governmental) 문화재에 해당되는지의 여부를 판단해야 하며 미국의 경우는 특정 사이트를 통해 바로 체크할 수 있으나 국

〈Table 4〉 Replacement Value of Tall buildings in Korea

No.	Floor	Building Type	Occupancy Use	Replacement value
1	68	composite	office	1,782 bn
2	80	composite	residential	2,313 bn
3	72	composite	residential	1,137 bn
4	75	composite	residential	2,313 bn
5	66	composite	residential	1,137 bn
6	70	composite	residential	2,313 bn
7	51	concrete	residential	740 bn
8	51	concrete	residential	740 bn
9	73	composite	residential	2,354 bn
10	69	concrete	residential	1,559 bn
11	60	steel	office	2,013 bn
12	66	concrete	residential	2,181 bn
13	66	concrete	residential	2,181 bn
14	63	concrete	residential	1,559 bn
15	67	concrete	residential	1,610 bn
16	67	concrete	residential	1,610 bn
17	67	concrete	residential	1,610 bn
18	67	concrete	residential	1,610 bn
19	66	composite	residential	1,941 bn
20	55	steel	office	1,307 bn
21	57	concrete	residential	525 bn
22	57	concrete	residential	525 bn
23	60	concrete	residential	2,181 bn
24	66	concrete	residential	2,850 bn
25	60	concrete	residential	832 bn
26	59	composite	residential	1,941 bn
27	59	composite	residential	1,941 bn
28	58	concrete	residential	1,051 bn
29	46	composite	residential	1,137 bn
30	45	concrete	office	2,573 bn

*bn : billion won(₩)

내의 경우에는 지정된 사이트가 없다. 국가적인 문화재의 경우는 문화재청 사이트(www.cha.go.kr)를 통해 체크할 수 있으며, 지역이나 민간의 문화재에 대하여는 도청, 시청, 군청 등의 지역사이트를 통하여 체크해야 한다.

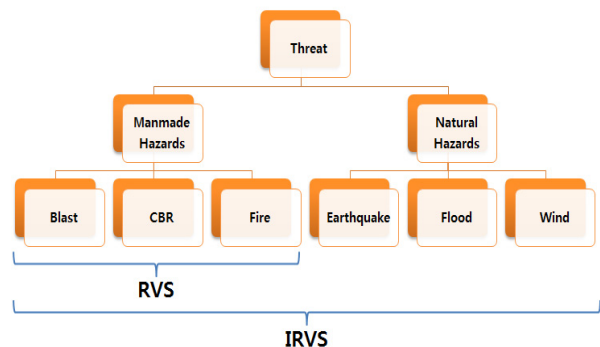
(3) Windborne Debris Impact Protection

이 항목은 폭발로 인한 비산물의 충격을 보호하기 위한 빌딩코드를 만족하는지를 판단하는 것이다. 미국 각 주별로 정해져 있는 빌딩코드에서 비산면지 보호성능 기준이 채택된 기준년도 이후에 건물이 지어졌는지의 유무로 판단한다. 그러나 국내에는 비산면지 보호성능과 관련된 규정이 없기 때문에 비교가 불가하며 ‘기타 건물’의 옵션을 택한다.

3. IRVS 시스템

3.1 IRVS 평가방법

IRVS(Integrated Rapid Visual Screening) 시스템은 미국 국토안전부(DHS, Department of Homeland Security)에서 2011년도에 RVS시스템을 보완하여 개발한 위험도평가 프로그램이다. IRVS의 기본적인 체계와 시스템은 FEMA455의 RVS를 기반으로 하고 있으나, RVS는 화학, 생화학, 방사능, 폭발 등의 인간에 의한 위협만 평가할 수 있는 반면에 IRVS는 <Fig. 1>과 같이 홍수, 태풍, 지진 등의 자연재해로 인한 위험도 고려할 수 있기 때문에 모든 영역의 다양한 형태의 건물에 적용할 수 있다. IRVS는 위험도평가를 수행하기 전에 원하는 위협요소에 대하여 선택적으로 평가를 진행할 수 있으며



〈Fig. 1〉 Types of Threat

본 연구에서는 RVS와 비교를 위하여 자연재해로 인한 위협은 평가에서 제외하였다.

IRVS는 RVS와는 달리 백분율(%)로 위험도수치 결과가 나타나며 <Table 3>와 같이 총 4단계로 위험도가 분류된다.

<Table 3> Total Risk Rating(IRVS)

Total risk score (%)	Risk Rating
70 ≤ R < 100	Very High
50 ≤ R < 70	High
30 ≤ R < 50	Medium
0 ≤ R < 30	Low

RVS는 건물의 위험도를 평가할 때 현장에 방문하여 체크리스트를 통해 즉석에서 평가가 이루어지는 반면에, IRVS는 사전평가, 현장평가, 사후평가로 3단계에 걸쳐 평가가 진행된다. 사전평가에서는 건물의 거주자 수, 대체비용, 문화재 등재여부 조사 등 현장에 방문하기 전에 진행되는 자료조사 단계이다. 현장평가는 건물의 형상, 구조시스템, 설비시스템 등 해당건물을 방문하여 시설담당자와 상담을 하거나 도면을 통하여 분석하는 단계이다. 사후평가는 현장에서 얻는 정보를 바탕으로 IRVS 프로그램에 입력하고 분석하는 단계이다.

3.2 RVS와 IRVS의 평가항목 비교

기존의 RVS는 위험도 평가항목에 설계, 계획, 설비 부분이 큰 부분을 차지하고 있었는데 비해, IRVS는 구조항목이 많이 추가되어 보다 다양한 위협에 대하여 정밀한 평가가 가능해졌다. IRVS에서 새롭게 추가된 항목은 다음과 같다.

(1) 주변지역 경사도

건물 주변지역의 경사면 붕괴시 건물에 치명적인 피해를 줄 수 있으므로 경사도의 가파른 정도를 기준으로 평가한다.

(2) 비상구의 적절성

비상구의 접근성은 좋은지, 비산물 등에 의해 차단되지 않는 적절한 곳에 위치했는지, 비상구의 강도는 적절한지의 여부로써 평가한다.

(3) 건물 옥상의 부속물

건물 옥상에 위치한 굴뚝, 난간, 장식품 등의 부속물들은 폭발 등에 의해 붕괴 시 인명피해를 발생시킬 수 있기 때문에 가새를 통해 구조물에 고정시켜야하며 이 항목은 가새의 고정여부로써 평가한다.

(4) 비구조 부재의 고정

건물 내부에 위치한 천정, 중량의 가구, 석고패널 등은 구조부재에 고정시켜 테러에 의해 피해를 입어도 탈락하지 않도록 해야 한다. 비구조 부재들의 고정정도에 따라 4단계로 평가한다.

(5) 연층(Soft story)

건물의 저층부에 공간활용을 위하여 지지체를 상층부에 비하여 적게 사용하거나 층고를 높이게 되면 강성이 줄어들기 때문에 연층이라고 부르며 이런 경우 지진 등의 횡력에 취약하기 때문에 연층의 사용여부로써 평가한다.

(6) 물탱크, 타워시설

지붕층에 물탱크나 타워시설 등이 위치할 경우 지진이나 폭발에 취약하며 위험요소가 될 수 있으므로 설치유무를 평가한다.

(7) 건물외피

건물의 외피는 폭발물 하중에 의해 탈락하기 쉬우므로 구조부재에 적절히 고정시켜야 하며, 지진하중이 가해질 경우 발생하는 변위를 허용할 수 있도록 이격거리를 두어야 한다. 외피와 구조부재 접합부의 적절성을 기준으로 평가한다.

(8) 내진설계

해당건물에 내진설계가 적용되었는지의 여부로써 평가한다.

(9) 사이버테러

IRVS에서 새롭게 추가된 분야로, 건물에 사이버 테러를 방지하기 위한 보안계획이 마련되어 있는지, 얼마나 효과적인지, 응급 시 대체적인 의사소통수단이 마련되어 있는지의 여부로써 평가한다.

이외에도 사전평가 단계에서 진행되는 건축구조 시스템 항목의 선택옵션이 기존 4가지에서 15가지로 구체화되는 등 일부 항목에 대하여 평가과정이 세분화되고 정확해졌다.

4. 테러위험도 평가^{6), 7)}

IRVS 시스템을 이용하여 국내 고층건물을 대상으로 폭발물테러 위험도를 평가하였다. 국내 고층건물 중에 100m 이상인 건물 8개를 선정하여 위험도 평가를 진행하였으며 건물의 높이 순으로 <Table 4>에 정리하였다.

<Table 4> Summary of the target buildings

Building Height	No.	Location	Structural Type	Occupancy use
more than 200m	A	Dense Urban	SRC	Complex
	B	Dense Urban	SRC	Office
	C	Urban	RC	Complex
	D	Dense Urban	RC, SRC	Office
150m ~ 200m	E	Urban	SRC	Complex
	F	Dense Urban	RC, SRC	Office
100m ~ 150m	G	Dense Urban	SRC	Office
	H	Dense Urban	RC, SRC	Office

환경적 요인이 위험도평가 결과에 영향을 미치기 때문에 대상건물을 선정하는데 있어 모두 도심, 부도심에 위치하며 건물의 용도도 업무시설, 복합시설로 제한하였다.

RVS 시스템은 위험도지수가 9,000점 만점의 수치를 가지며 위험도평가 시에 주로 이 값을 근거로 하지만, IRVS 시스템은 백분율로 표시되기 때문에 비교를 위해 RVS 시스템에서 백분율로 환산된 값을 사용하였으며 평가 결과는 <Table 5>와 같다.

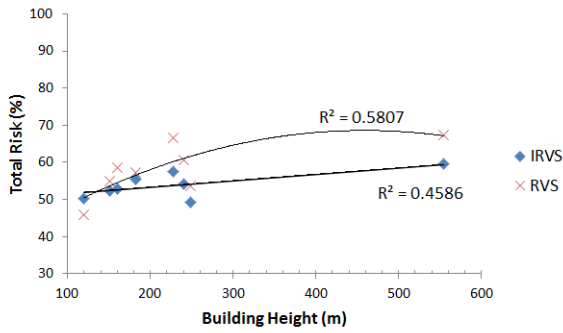
<Table 5> Comparison RVS with IRVS on Total Risk

Building Height	No.	Total Risk (%)	
		RVS	IRVS
more than 200m	A	67.4	59.6
	B	53.7	49.3
	C	60.7	54.2
	D	66.7	57.5
150m ~ 200m	E	57.3	55.5
	F	54.9	52.3
100m ~ 150m	G	58.6	52.9
	H	45.9	50.4
Average		58.2	54.0

RVS 시스템의 전체위험도는 200m 이상 건물의 경우는 53.7%에서 67.4%로 모두 '높음'에 해당된다. 200m 이하의 건물은 모두 위험도가 60%이하이며 가장 낮은 H건물은 45.9%로 '보통'수준의 위험도를 지니고 있다. 이에 반해 IRVS 시스템은 H 건물에서만 RVS보다 전체위험도가 크고 전반적으로 위험도 지수가 낮게 측정되었으며 평균적으로는 7.2% 낮아졌다.

5. RVS와 IRVS 시스템 비교분석

8개 건물에 대한 위험도평가결과를 바탕으로 하여 건물의 높이에 따른 전체위험도를 분석해보았다.



〈Fig. 2〉 Correlation between Building Height and Total Risk

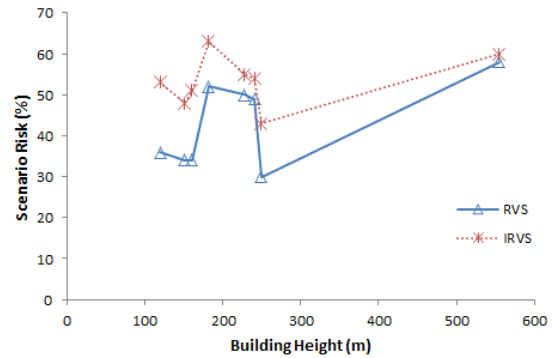
RVS의 경우는 높이와 전체위험도간의 상관계수가 0.5807이고 IRVS의 경우는 0.4586로, RVS에 의한 위험도평가가 상관성이 높았다. 또한, 상대적으로 높이가 낮은 건물에 있어서는 건물의 높이가 전체위험도에 미치는 영향이 커서 높이와 비례하게 증가하였다. 그러나 200m 이상의 건물에 대해서는 <Fig. 3> ~ <Fig. 7>과 같이 건물의 높이보다는 시나리오별로 높이에 따른 상관성이 서로 다르고 여러 가지 요인이 복합적으로 작용하기 때문에 높이와의 상관성이 떨어진다.

〈Table 8〉 Comparison RVS with IRVS on Each Scenario Risk

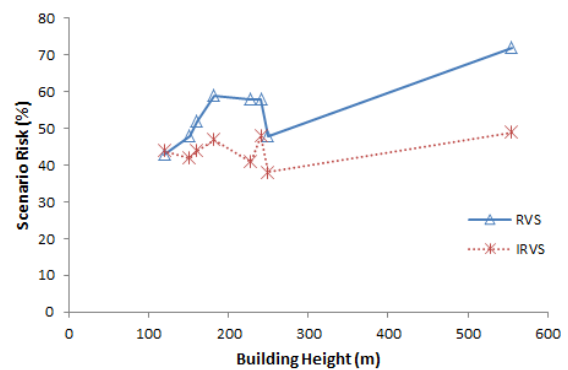
Building Height	No.	Type	Internal		External		
			Intrusion	Explosive	Zone I	Zone II	Zone III
200m 이상	A	RVS	58	72	55	58	57
		IRVS	60	49	28	37	41
	B	RVS	30	48	44	43	44
		IRVS	43	38	34	31	31
	C	RVS	49	58	58	48	44
		IRVS	54	48	36	37	35
	D	RVS	50	58	54	52	56
		IRVS	55	41	43	36	43
150m ~ 200m	E	RVS	52	59	51	46	39
		IRVS	63	47	36	34	31
	F	RVS	34	48	48	45	48
		IRVS	48	42	33	38	36
100m ~ 150m	G	RVS	34	52	47	47	55
		IRVS	51	44	30	35	40
	H	RVS	36	43	41	41	49
		IRVS	53	44	32	36	40

<Table 6>는 5가지 시나리오에 대하여 RVS와 IRVS 시스템의 위험도를 비교한 표이다. 내부 침입, 내부폭발, 외부폭발 Zone I, Zone II, Zone III 등

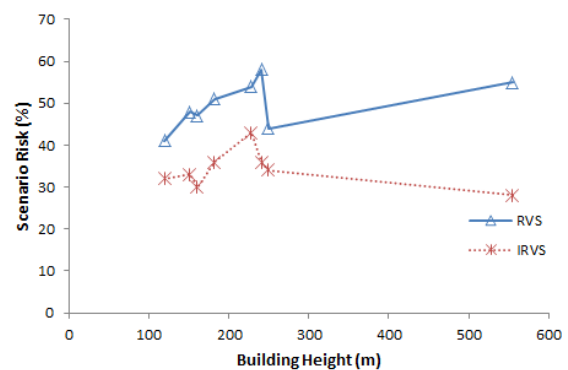
총 5가지 시나리오에 대하여 위험도를 비교하였다. RVS의 경우는 150m 이상의 건물에 대하여 내부폭발 시나리오가 가장 위험하고, 150m 이하의 G, H 건물은 외부폭발 Zone III 시나리오가 가장 위험하였다. 반면에 IRVS는 모든 건물에 대하여 내부 침입 시나리오가 가장 위험하였다.



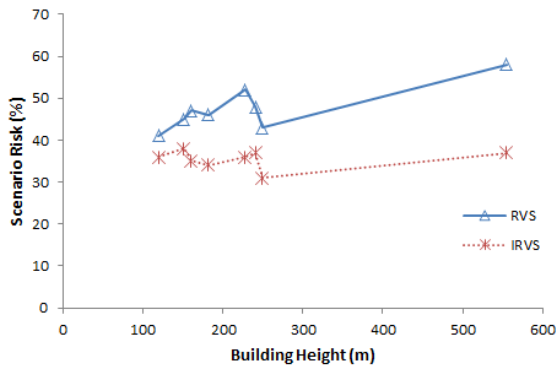
〈Fig. 3〉 Internal Intrusion



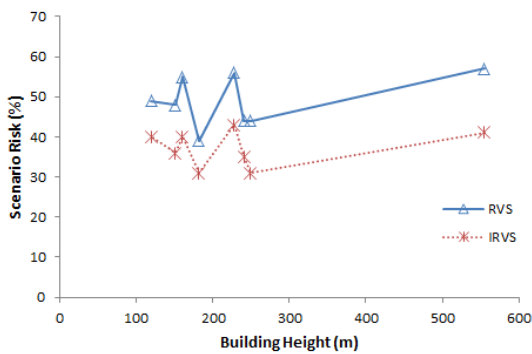
〈Fig. 4〉 Internal Explosive



〈Fig. 5〉 External Explosive Zone I



〈Fig. 6〉 External Explosive Zone II



〈Fig. 7〉 External Explosive Zone III

〈Fig. 3〉 ~ 〈Fig. 7〉은 시나리오별 건물의 테러위험도를 RVS와 IRVS에 대하여 비교한 것이다. Internal Intrusion의 경우는 8개 건물 모두가 RVS보다 IRVS의 위험도가 높게 나왔다. 그러나 나머지 4가지 시나리오 Internal Explosive, External Explosive Zone I, Zone II, Zone III에 대해서는 반대로 RVS의 위험도가 IRVS에 비하여 높게 나타났다. 〈Fig. 3〉과 같이 Internal Intrusion 시나리오에서 IRVS의 위험도가 RVS보다 높게 나타난 이유는 IRVS에서 추가된 사이버테러 보안 항목 때문이다. 아직까지 국내 건물에 대하여 사이버테러에 대응하기 위한 감지시설이나 보안시스템이 체계적으로 갖춰져 있지 않기 때문에 해당 시나리오에서 위험도가 높게 평가되었다.

〈Fig. 4〉 ~ 〈Fig. 7〉의 시나리오에서 IRVS의 위험도 지수가 평가 낮게 평가된 이유는 새롭게 추가된 9가지 항목의 대부분이 구조와 관련된 항목이기 때문이다. 따라서 해당건물들의 구조시스템에 대해 보다 더 정확한 평가가 이루어 질 수 있었으며 폭발

로 인한 블라스트 하중에 대한 저항력이 높게 평가되어 결과적으로 폭발과 관련된 4가지 시나리오에 대한 위험도가 낮게 평가되었다.

6. 결론

1) 국내 고층건물의 테러위험도를 평가하기 위하여 FEMA Risk Management Series 452의 Rapid Visual Screening을 국내실정에 맞도록 Replacement Value, On history Registry, Windborne Debris Impact Protection 등의 항목을 수정하여 수정RVS 시스템을 개발하였다.

2) RVS는 인간에 의한 위협만 고려할 수 있기 때문에 홍수, 태풍, 지진 등 자연에 의한 위협까지 고려할 수 있는 IRVS 시스템이 개발되었다. IRVS는 백분율로 위험도수치가 나타나며 4단계로 위험도가 분류된다. RVS에서 9가지의 항목이 추가되었으며 대부분이 구조와 관련된 항목으로 다양한 위협에 대하여 정밀한 평가가 가능해졌다.

3) RVS와 IRVS시스템을 이용하여 국내 고층건물 8개를 대상으로 위험도평가를 실시하였다. 200m 이상의 건물에 대해서는 모두 '높음'수준의 위험도를 지니고 있었으며, RVS에 비해 IRVS는 평균적으로 전체위험도의 7.2%가 적게 평가되었다.

4) 내부 침입, 내부 폭발, 외부폭발 Zone I, Zone II, Zone III 등 5가지 시나리오에 대하여 RVS와 IRVS의 위험도를 비교해보았다. 내부 침입 시나리오에서는 IRVS가 RVS에 비하여 위험도가 높게 평가되었지만, 나머지 시나리오에서는 모두 RVS의 위험도가 높게 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 2012 포스코 강구조 학위논문 지원사업(과제코드 2012S026)으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Yu, Y. S., Yoon, S. W., Ji, J. H., Song, J. Y. and Kim, S., "Structural Design Guideline for the Explosive Terrorism to Mitigate Damages of High-rise Buildings", Proceedings of Annual Academic or Technical Conferences of Korean Society of Steel Construction, 2011, pp.51-52.
2. FEMA, FEMA 452-A How to Guide to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings, 2005
3. FEMA, FEMA 455-Handbook for Rapid Visual Screening of Buildings to Evaluate Terrorism Risks, 2009
4. Yoo, Y. S., Yoon, S. W. and Ju, Y. K., "Risk Assessment of Tall Buildings in Korea by Modified RVS System", Proceedings of Annual Academic or Technical Conferences of Korea CPTED Association, 2012, pp64-65.
5. DHS, DHS Building and Infrastructure Protection Series, Integrated Rapid Visual Screening of Buildings, 2011
6. Song, J. Y. and Yoon, S. W., "Analysis on the Risk of Explosive Terror in Domestic Buildings", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.12, No.4, 2011, pp.73-79.
7. Song, J. Y., Yoon, S. W., Ji, J. H., Kim, S. and Yu, Y. S., "Comparison Analysis on Terrorism Threat Level of domestic high-rise building and low-rise building through Rapid Visual Screening", Proceedings of Annual Academic or Technical Conferences of Architectural Institute of Korea, 2011, Vol.31, No.1, pp.17-18.

(접수일자 : 2012년 10월 08일)

(심사완료일자 : 2012년 11월 21일)

(게재확정일자 : 2012년 11월 30일)