

철근콘크리트 보의 내진 설계 상세가 폭발 저항 성능에 미치는 영향

김 국 재¹ · 김 한 수^{1*}

¹건국대학교 건축학과

Effect of Seismic Design Details in Reinforced Concrete Beams on Blast-Resistance Performance

Kuk-Jae Kim¹ and Han-Soo Kim^{1*}

¹Dept. of Architecture, Konkuk Univ, Seoul, 05029, Korea

Abstract

Recently, awareness of the public about the explosion damage has increased due to the increased risk of terrorism. The criteria for blast-resistance design is not sufficient in Korea, it is necessary to develop blast-resistance design for the stability and safety of building by static analysis of current blast-resistance design. In addition, as the increase of earthquake occurrence necessitates the seismic design, it is studied to judge the blast-resistance performance of members applying seismic design without blast-resistance design. Currently, the general analysis of blast load is to refer to UFC 3-340-02 manual. Blast-resistance performance was studied by applying characteristics of blast load through UFC 3-340-02 manual, beam converted into equivalent SDOF System. It is proved that blast-resistance performance is improved when seismic detail is applied considering the maximum deflection of normal, intermediate, and special moment frames.

Keywords : blast load, TNT, blast-resistance, stand-off distance, seismic design

1. 서 론

1986년의 Roan Point 붕괴 사고와 1995년 오클라호마 씨티 Murrah 연방 건물의 붕괴 등이 폭발로 인한 건물의 대표적인 연쇄붕괴 사례이다(Kim *et al.*, 2011). 또한 2001년 뉴욕의 World Trade Center의 붕괴 사고로 인해 전 세계적으로 폭발 피해에 대한 대중 인식을 높게 되었다(Longinow *et al.*, 1996; FEMA, 1996). 이러한 사건들을 통해 폭발에 대한 구조물의 저항 성능의 향상 방안과 구조물의 피해 예측으로 연쇄붕괴 방지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 연쇄붕괴가 발생할 경우, 폭발로 인한 구조물의 1차 피해 뿐만 아니라 이에 이어 대규모의 재산과 인명 피해가 예상되기 때문에 그 발생 확률을 떠나서 중요도가 높은 건물의 설계에서는 폭발에 의한 연쇄붕괴 방지에 대한 설계가 포함되어야 한다

(Nair, 2003; DoD, 2013; GSA, 2003). 그러나 현재 국내에서 건물의 방폭 설계에 관련한 지침이나 기준은 전무한 상태이며 산업안전기준법에 근거한 설계기준이 있으나 정확한 폭발 하중의 산정이나 건물의 방폭 설계법에 관해서는 그 내용이 미흡하기 때문에 방폭 설계를 적용할 수 없고 또한 설계방법도 정적 설계방법에 의존하고 있기 때문에 건물의 안정성 및 경제성 확보를 위해 방폭 설계의 개발이 절실한 상황이다(Lee *et al.*, 2001; Bounds, 2010; Cormie *et al.*, 2009).

또한 한반도는 지진판 내에 위치하기 때문에 지진활동이 활발하지 않은 중·약진의 지진 특성을 가지고 있다. 또한 1987년 이후 우리나라의 지진 발생 횟수의 증가와 지진의 규모가 점점 커지고 있기 때문에 우리나라도 지진에 대해 안전하다고 할 수 없다. 또한 도심 지역의 인구와 국가기반시설이 밀집하여 있기 때문에 지진 발생의 경우 막대한 피해가 예상되며, 도시지역

* Corresponding author:

Tel: +82-2-2049-6110; E-mail: hskim@konkuk.ac.kr
Received August 7 2017; Revised October 18 2017;
Accepted October 19 2017

©2017 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지진에 대한 대비가 시급하다(Jung *et al.*, 2001).

1988년부터 내진 설계를 의무화를 하였지만, 적용대상이 6층 이상의 건축물로 제한적이다. 최근 빈번해진 국내 지진 발생 빈도로 인해 내진 설계 의무화가 확대되어 2층 이상 건축물로 내진 설계 대상이 확대되었다. 따라서 중요도가 높은 지역에서의 건물 설계 시 내진 설계 의무화로 인한 내진 설계가 적용될 것이다.

본 논문에서는 내진 설계에서도 중요도가 높고 방폭 측면에서도 중요도가 높은 건물에서 방폭 설계를 하지 않고 내진 설계를 적용한 건물에서 폭발 저항 성능의 향상 정도에 대해 알아보려 한다. 폭발물 관련 연구를 위해서는 건물 전체에 대한 폭발 실험이 필요하지만 제한적인 사항들로 인해 보와 기둥 같은 부재 단위의 실험이 주로 이루어지고 있는 상황이다(Zhang *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2015). 이 같은 상황을 고려하여 본 연구에서는 부재 단위의 방폭 성능 평가의 일환으로 철근콘크리트 보의 방폭 성능에 대해서 평가한다. 철근콘크리트 일반 보와 내진 상세를 적용한 보에 대한 폭발 저항 성능을 연성 능력에 대한 이격 거리(stand-off distance)를 이용하여 비교 평가한다.

2. 폭발 하중

폭발하중은 폭발 초기에 아주 빠른 속도로 주변의 대기와 평형상태를 이루기 위해 충격파를 발생시킨다. 이러한 폭발 하중에 의한 초기 폭발파는 Fig. 1과 같이 순간적으로 폭발 압력을 최대 압력으로 증가시키며, 이렇게 상승된 압력은 매우 짧은 시간 동안에 감쇠되는 특징을 가지고 있다(Smith *et al.*, 1994).

폭발이 발생하기 전에는 대기압 P_0 (=101.33kPa)를 유지하고 있다. 그러나 폭발이 발생한 이후에는 폭발파가 지점에 도달하면 그 지점에서 최대 입사 압력(P_s)이 작용한다. 그리고 이 최대 입사 압력은 지속시간 t_d 동안 점차적으로 대기압 P_0 로 돌아오게 되는데, 이 구간을 정압기(positive phase)라고

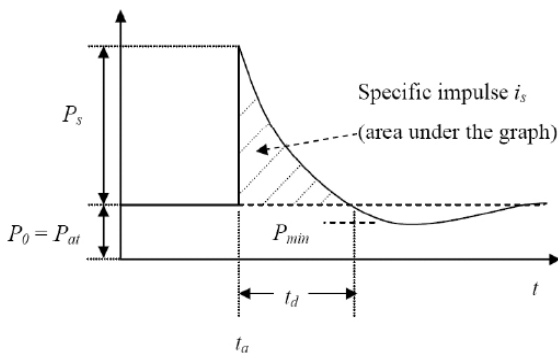


Fig. 1 Time history graph of blast pressure

하는데, 이 기간 동안 작용한 압력을 지속시간에 대해 적분한 값이 구조물에 충격량(i_s)으로 작용한다. 정압기 이후에는 폭발에 의해 팽창되었던 대기가 축소되면서 대기압보다 약하게 낮은 부압 영역을 갖게 된다. 이 구간을 부압기(negative phase)라고 한다. 이 구간은 대개 그 크기와 영향이 미미하므로 무시 할 수 있다. 부압기 이후에는 원래 대기압과 같은 압력으로 다시 돌아오게 되며 폭발의 영향이 끝난다. 이와 같이 폭발하중의 최대압력과 충격량은 최대 입사 압력(P_s)과 정압기 동안의 지속시간(t_d)에 의해서 결정되며, 이는 폭발물의 종류 및 무게와 폭발물과 측정 지점간의 거리에 따라 다르게 나타난다.

Fig. 1과 같은 압력 형태에 영향을 주는 요소는 폭발물의 중량과 종류, 폭발물로부터의 거리, 지면과 구조물에 의한 반사 등으로 결정된다. 특히 실험을 통한 폭발하중의 효과는 폭발물의 중량(W)보다는 폭발물 중심으로부터의 이격 거리(R)에 더 민감하기 때문에 환산거리(Z)의 개념을 토대로 이격 거리에 대한 비교를 진행하였다.

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \tag{1}$$

Z : scaled distance

R : stand-off distance

W : weight of TNT

이 때 W 는 TNT의 양을 기준으로 하므로 다른 폭발물인 경우 등가의 TNT량으로 변환하여 사용할 수 있다(Lee *et al.*, 2009; Remennikov, 2003).

임의의 폭발 장치의 크기나 배치된 위치를 미리 규정할 수는 없지만 테러용 무기로 구성되는 폭발 장치의 크기와 무게는 미리 예측할 수 있다. ANFO, TNT, C4와 같은 일반적인 높은 에너지 폭발물의 밀도는 대략 세제 미터 당 4.78톤 정도이다. 작은 가방 폭탄에서 대형 트럭에 이르기까지 다양한 운송 수단 장치의 폭발물의 무게를 계산할 수 있다. 수하물 운반 시 눈에 띄지 않는 대형 서류 가방에 23킬로그램을 운반할 수 있고, 배낭과 쇼핑백에 소량의 폭발물을 운반할 수 있다. 수 킬로그램의 무게의 폭발 물질은 우체국이나 택배를 통해 배달될 수

Table 1. Explosive capacity

Delivery method	Explosive capacity	
Mail bomb	5lbs	2.3kg
Suitcase bomb	50lbs	23kg
Automobile	500-1,000lbs	225-450kg
Van	4,000lbs	1,800kg
Truck	10,000-30,000lbs	4,500-13,500kg
Semitrailer	40,000lbs	18,000kg

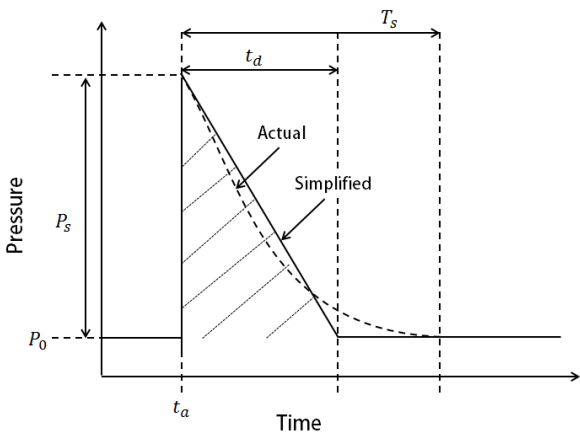


Fig. 2 Actual and simplified blast load

있다. 테러리스트 위협 분석에서 일반적으로 고려되는 운송 수단별 다양한 크기의 폭발물의 중량을 Table 1에서 확인할 수 있다(ISC, 2003; Brismar *et al.*, 1982).

이를 바탕으로 다양한 테러에 대한 운송 수단별 폭발물의 중량에 대해서 내진 상세의 각각의 조건에 대해 파괴되지 않는 이격 거리를 비교하여 연구를 진행하였다.

실제 폭발하중은 Fig. 2에서 폭발파의 실제 지속시간(T_s) 동안 작용하는 파선 형태의 그래프와 같이 작용한다. 이를 단순화하면 Fig. 2에서 빗금 친 영역과 같이 최대압력과 충격량을 동일한 크기로 고정 후 삼각형의 하중으로 작용되도록 지속시간(t_d)을 이상화할 수 있다(Karlos *et al.*, 2013).

3. 연구 모델 설정

본 연구에서 대상 구조물인 보의 단면은 UFC 3-340-02 (DoD 2008)의 예제 단면인 457*762(mm)로 설정하였고, 보의 평면은 Fig. 3에서 확인할 수 있다.

경계 조건은 양단 고정 보가 되도록 지정하였다. 콘크리트의 압축강도는 27MPa를 사용하였고 철근의 항복강도는 455 MPa를 사용하였고, 철근의 단면적은 280mm²이다.

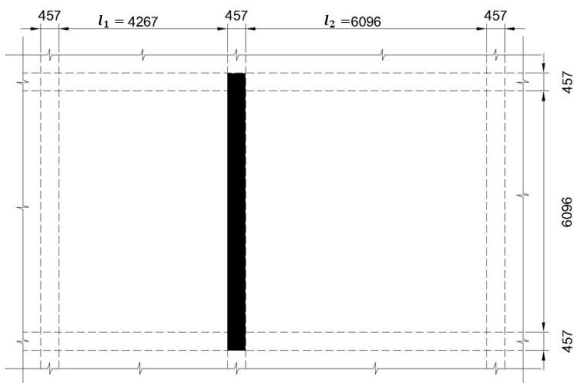


Fig. 3 Plan of beam

KBC 2016(AIK 2016)에서 제공하는 중간, 특수 모멘트 골조에 대한 접합부에서의 휨 강도 제한 식은 각각 (2)와 (3)과 같으며, 부재의 어느 위치에서나 양측 접합부의 접합면 최대 휨강도의 각각 1/5, 1/4이상 되어야 한다.

$$\frac{1}{3} M_N \leq M_P \tag{2}$$

$$\frac{1}{2} M_N \leq M_P \tag{3}$$

M_N : negative moment capacity

M_P : positive moment capacity

전단 철근의 기준은 중간, 특수 모멘트 골조에 대한 상세 기준은 Fig. 4, Fig. 5와 같다.

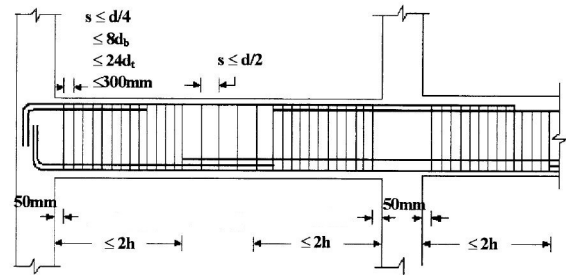


Fig. 4 Detail of intermediate moment frame(AIK, 2016)

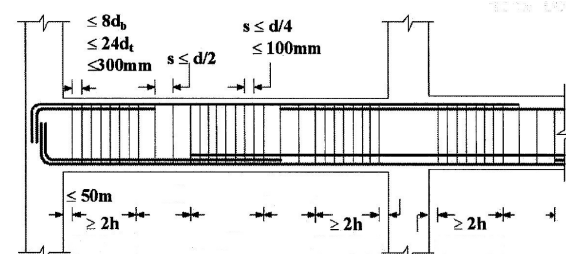


Fig. 5 Detail of special moment frame(AIK, 2016)

보통 모멘트 골조의 보 단면에 대해서 직접 전단에 저항할 수 있는 하중을 가정하여 휨에 대해서 철근 배근을 하여 보통, 중간, 특수 모멘트 골조의 상세를 적용한 단면은 Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8과 같다(ACI, 1997). 직접 전단에 저항할 수 있는

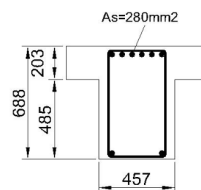


Fig. 6 Section of ordinary moment frame

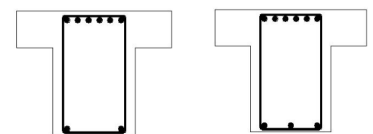


Fig. 7 Section of intermediate moment frame

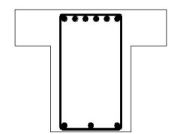


Fig. 8 Section of special moment frame

하중을 가정하였기 때문에 보통과 중간 모멘트 골조의 상세를 적용한 단면에서 휨 철근의 차이는 없고 전단 철근의 차이만을 가지고 있다.

건축 구조 기준에서 제시하고 있는 보통, 중간, 특수 모멘트 프레임의 반응 수정 계수인 3, 5, 8을 최대 처짐에 대한 탄성 처짐의 비율인 연성 능력으로 평가한다.

4. 등가 단자유도 시스템으로 변환

Fig. 2의 단순화 된 폭발하중이 적용 될 부재를 각각 단자유도 시스템으로 변환한다. 단자유도 시스템으로 변환 된 부재의 고유 주기 T_N 은 식 (4)와 같다.

$$T_N = 2\pi(m_e/K_E)^{1/2} = 2\pi(K_{LM} \cdot m/K_E)^{1/2} \quad (4)$$

m_e : effective unit mass

K_{LM} : load-mass factor

m : unit mass

K_E : equivalent unit stiffness of system

4.1 단면 2차 모멘트

단자유도 시스템으로 변환하기 위해서 먼저 기존 단면의 단면 2차 모멘트를 식 (6)으로 산정하고, 균열이 생긴 단면의 단면 2차 모멘트를 UFC 매뉴얼의 계수인 Fig. 9을 재료의

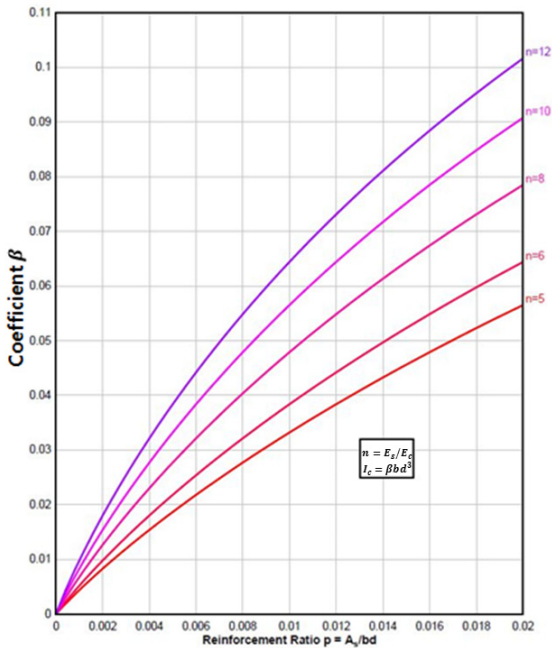


Fig. 9 Coefficient for moment of inertia of cracked sections(DoD, 2008)

철근과 콘크리트의 탄성계수비와 철근 콘크리트의 철근비 대해서 β 값을 결정하고 그 값을 통해 식 (7)로 산정한다. 이후 기존 단면 2차 모멘트와 균열이 생긴 단면 2차 모멘트의 평균을 구하는 식 (5)에 대입하여 평균 단면 2차 모멘트를 계산한다.

$$I_a = \frac{I_g + I_c}{2} \quad (5)$$

$$I_g = \frac{bT_c^3}{12} \quad (6)$$

$$I_c = \beta b d^3 \quad (7)$$

I_a : average moment of inertia of section

I_g : moment of inertia of the gross section

I_c : moment of inertia of cracked section

T_c : thickness of gross concrete cross section

β : coefficient given in Fig. 9

b : width of compression face of flexural member

d : distance from extreme compression fiber to centroid of tension reinforcement

4.2 하중 질량 계수

하중 계수는 구조 부재에 적용 된 전체 하중을 등가 단자유도 시스템에 대한 등가 집중하중을 구하여 곱하는 설계 계수이고, 질량 계수는 요소의 전체 질량 분포를 등가 단자유도 시스템에 대한 등가 집중 질량을 구하여 곱하는 설계 계수이다. 하중 계수는 실제 하중 F 가 실제 요소의 처짐에 의해 외부에서 가해진 일을 등가 시스템의 등가 하중 F_E 에 의해 외부에서 가해진 일로 설정하여 얻는다(Biggs, 1964). 질량 계수와 하중 계수의 조합으로 생긴 하중 질량 계수 K_{LM} 은 식 (8)과 같다.

$$K_{LM} = K_M/K_L \quad (8)$$

K_M : mass factor

K_L : load factor

여기서, 질량 계수와 하중 계수는 각각 식 (9)과 (10)와 같다.

$$K_L = F_E/F \quad (9)$$

$$K_M = M_E/M \quad (10)$$

F_E : equivalent external force

F : total external force

M_E : equivalent total mass

M : total mass

4.3 등가 강성

양단 고정인 경우의 변위-응력 그래프는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10에서 등가 강성을 구하기 위해 먼저 등가 탄성 변형을 식 (11)을 통해 구한 후 구한 등가 탄성 변형을 식 (12)에 대입하여 등가 강성을 구한다.

$$X_E = X_e + X_p(1 - r_e/r_u) \tag{11}$$

$$K_E = r_u/X_E \tag{12}$$

X_E : equivalent elastic deflection

X_e : elastic deflection

X_p : plastic deflection

r_e : elastic unit resistance

r_u : ultimate unit resistance

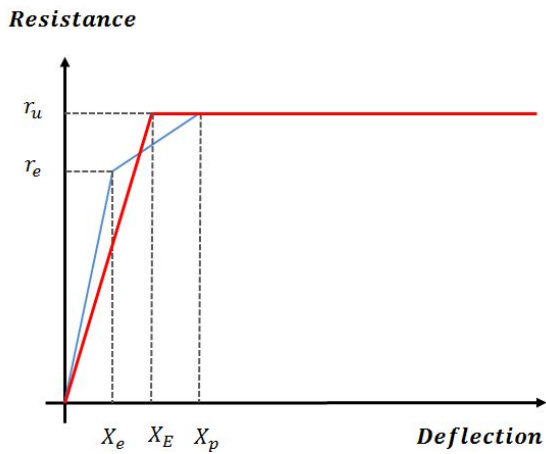


Fig. 10 Resistance-deflection function

5. 내폭성능 평가 결과

이 장에서는 UFC 3-340-02 매뉴얼(DoD, 2008)을 적용하여 보의 연성 능력을 각각 평가하여 각각의 모멘트 골조의 상세를 적용한 보에 대한 폭발물의 이격 거리를 판단하고자 한다. 평가 방법은 모멘트 골조의 세 가지 내진 상세를 적용한 보를 등가 단자유도 시스템으로 변환하여 등가 탄성 처짐을 먼저 구한다. 등가 탄성 처짐에 대한 최대 처짐의 비율로 연성 능력을 평가하여 각각의 연성 능력을 초과 하지 않는 폭발물의 이격 거리를 방폭에 대한 성능으로 평가하였다(Chopra, 1980). 폭발물은 운송 수단 별 각각의 중량에 대해서 이격 거리로 수

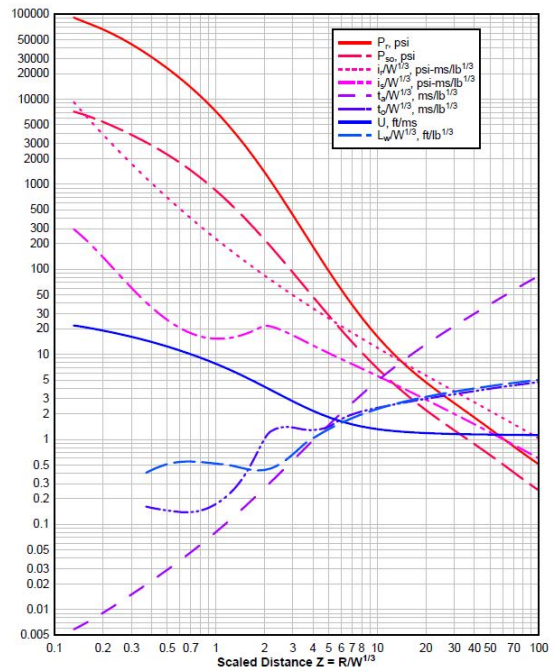


Fig. 11 Positive phase shock wave parameters for a spherical tnt explosion(DoD, 2008)

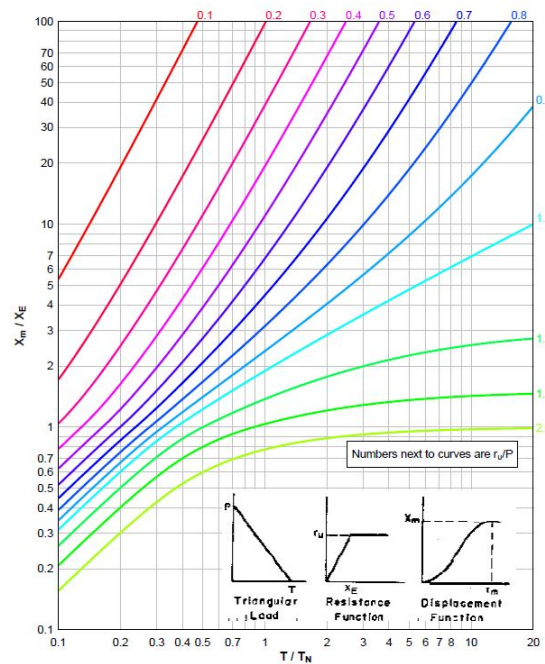


Fig. 12 Maximum deflection of elasto-plastic, SDOF system for triangular load(DoD, 2008)

차례 진행하여 시행착오(trial and error)의 방법으로 평가를 진행하였다.

최대 입사 압력(P_s)과 정압기 동간의 지속시간(t_d)는 Fig. 11에서 나온 값을 단순화 시킨 값으로 적용하였다. 본 연구는 테러에 대한 최악의 상황을 고려하기 위해 각각의 운송 수단 별 폭발물 무게의 최댓값으로 각각의 모멘트 골조에 적용한

Table 2. Moment capacity of each moment frame

Moment frame	Positive moment capacity (M_p)	Negative moment capacity (M_N)
Ordinary	144.43kN · m	425.17kN · m
Intermediate	144.43kN · m	425.17kN · m
Special	216.64kN · m	425.17kN · m

값에 탄성 처짐에 대한 연성 능력 μ 을 Fig. 12를 통해 구하였다. Fig. 12의 x 축은 단자유도 시스템으로 변환된 고유 주기에 대한 폭발 하중의 지속시간이며, y 축은 등가 최대 처짐에 대한 등가 탄성 처짐을 나타낸다. 또한 그래프에서의 값 r_u/P 의 값은 작용되는 단위 집중하중에 대한 극한 단위 강도이다. 여기서 P 는 식 (13)을 통해 구해지고 양단 고정인 경우의 극한 강도 r_u 는 식 (14)로부터 구해진다. r_u/P 를 이용하여 Fig. 12에서 연성능력을 만족하는 이격 거리와 향상정도를 Table 3~7에 도시하였다.

$$P = (b + l_1 + l_2)P_s \tag{13}$$

P : concentrated load

P_s : peak incident pressure

b : beam width

l_1, l_2 : both span given in Fig. 3

$$r_u = \frac{8(M_N + M_p)}{L^2} \tag{14}$$

이와 같이 각각의 모멘트 프레임의 상세를 적용한 단면에 운송 수단 별 TNT중량의 폭발을 적용했을 때의 연성 능력을 만족하는 이격 거리를 얻을 수 있다. 다른 TNT 중량에 대한 결과도 같은 방법으로 얻을 수 있다.

각 운송 수단 별로 TNT 중량에 대한 보통, 중간, 특수 모멘트 골조의 상세를 적용한 보에 대해서 이격 거리를 비교한 그래프를 Fig. 13에서 확인할 수 있다. 각 모멘트 골조의 상세를 적용하면 이격 거리가 점차 감소하는 것을 확인할 수 있다. 보통 모멘트 골조 대비 중간 모멘트 골조와 특수 모멘트 골조는 8~11%와 19~27%의 이격 거리 감소를 보이고 있어 내진 상세를 적용하면 폭발 저항 성능이 증가 증가함을 보인다.

Table 3. TNT=23kg of suitcase bomb

Moment frame	Stand-off distance (m)	Improvement ratio (%)
Ordinary	9.6	8.3
Intermediate	8.8	
Special	7.5	21.9

Table 4. TNT=450kg of automobile bomb

Moment frame	Stand-off distance (m)	Improvement ratio (%)
Ordinary	41.8	12.0
Intermediate	36.8	
Special	30.3	27.5

Table 5. TNT=1,800kg of van bomb

Moment frame	Stand-off distance (m)	improvement ratio (%)
Ordinary	74.5	11.275
Intermediate	66.1	
Special	56.1	24.698

Table 6. TNT=13,500kg of truck bomb

Moment frame	Stand-off distance (m)	Improvement ratio (%)
Ordinary	154	11.688
Intermediate	136	
Special	124	19.481

Table 7. TNT=18,000kg of semitrailer bomb

Moment frame	Stand-off distance (m)	improvement ratio (%)
Ordinary	180	11.667
Intermediate	159	
Special	140	22.222

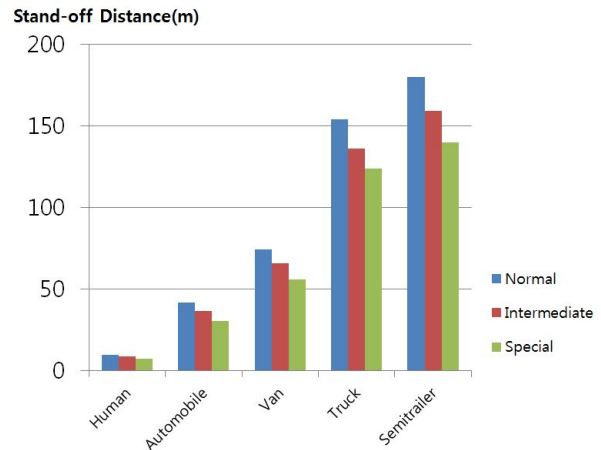


Fig. 13 Comparison of stand-off distance for delivery method

6. 결 론

본 연구에서는 폭발로 연쇄 붕괴가 유발되어 인명, 재산피해로 이어질 수 있는 철근콘크리트 보를 대상으로 KBC 2016의 내진 상세를 적용 하였을 때 폭발 저항 성능의 향상의 정도를 해석적으로 평가하고자 하였다. 폭발 저항 성능에 대해서 보통,

공간, 특수 모멘트 골조의 상세를 적용한 보를 폭발물의 중량과 이격 거리에 대해서 비교할 수 있다. 폭발물의 중량과 이격 거리 중 비교적 더 민감한 이격 거리로 폭발 저항 성능을 평가하였다. 또 하나의 변수인 폭발물의 중량은 각 운송 수단 별 폭발물의 중량의 기준을 적용하여 산정하였다. 각각의 모멘트 골조 상세를 적용한 보의 이격 거리가 내진 설계 상세를 강화할수록 이격 거리가 감소되는 것을 볼 수 있으며, 폭발물의 중량과는 크게 상관이 없는 것으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 단면 크기의 변화는 없고 보강되는 휨, 전단 철근의 양만 변화시킨 내진 상세를 적용하여 반응 수정 계수를 연성 능력으로 평가하였다. 추후 필요한 연구는 내진 상세에 따른 반응 수정 계수에 대한 지진 하중의 감소를 통한 단면의 변화를 가정할 때의 폭발물에 대한 폭발 저항 성능을 평가할 필요가 있다. 이러한 단면 변화를 고려하면 내진 설계와 폭발 저항 성능의 관계를 보다 정확하게 파악할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부가 주관하는 U-City 석·박사 과정 지원 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- ACI (1997) *ACI Design Handbook: Beams, One-Way Slabs, Brackets, Footings, Pile Caps, Columns, Two-Way Slabs, and Seismic Design, Special Publication 17*, American Concrete Institute.
- AIK (2016) *Korean Building Code and Commentary (KBC-2016)*, Architectural Institute of Korea.
- Biggs, J.M. (1964) *Introduction to Structural Dynamics*, McGrawHill, New York.
- Bounds, W.L. (2010) *Design of Blast-Resistant Buildings in Petrochemical Facilities*, ASCE, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- Brismar, B., Bergenwald, L. (1982) The Terrorist Bomb Explosion in Bologna, Italy, 1980: An Analysis of the Effects and Injuries Sustained, *J. Trauma*, 3, pp.216~220.
- Chopra, A.K. (1980) *Dynamics of Structures (Theory and Applications to Earthquake Engineering)*, Prentice Hall.
- Cornie, D., Mays, G., Smith, P. (2009) *Blast Effects on Buildings 2nd edition*, Thomas Telford, UK, p.338.
- DoD (2008) *UFC 3-340-02 Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions*, U.S Department of Defense.
- DoD (2013) *UFC 4-023-03 Design of Buildings to Resist Progressive Collapse*, U.S Department of Defense.
- FEMA(Federal Emergency Management Agency) (1996) *The Oklahoma City Bombing: Improving Building Performance Through Multi-Hazard Mitigation*, FEMA 277, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- GSA (2003) *Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization*, U.S General Services Administration.
- ISC (2003) *ISC Security Design Criteria for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects: A Review and Commentary*, Information Security Criteria.
- Jung, Y.S., Park, H.G. (2001) Need and Problems of Earthquake Design of RC Structures, *KCI*, 13(5), pp.15~20.
- Karlos, V., Solomos, G. (2013) *Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components*, European Commission, JRC 87200, 20.
- Kim, H.S., Choi, H.B. (2015) Damage Assessment of Reinforced Concrete Column under Combined Effect of Axial Load and Blast Load by Using P-M Interaction Diagram, *J. Arch. Inst. Korea, Struct. & Constr. Sect.*, 27(10), pp.47~54.
- Kim, H.S., Lee, J.Y. (2011) An Evaluation of Blast Resistance Performance of RC Columns by Using P-M Interaction Diagram, *J. Arch. Inst. Korea, Struct. & Constr. Sect.*, 31(4), pp.13~20.
- Longinow, A., Mniszewski, K.R. (1996) Protecting Buildings Against Vehicle Bomb Attacks, *Pract. Period. Struct. Des. & Constr.*, 1(1), pp.51~54.
- Lee, S.S., Lee, J.W. (2001) Building Design for Blast Resistance, *Rev. Arch. & Build. Sci.*, 45(10), pp.58~62.
- Nair, R.S. (2003) *Progressive Collapse Basics, Proceedings of AISC-SIDNY Symposium on Blast and Progressive Collapse*, AISC, American Institute of Steel Construction.
- Remennikov, A.M. (2003) A Review of Methods for Predicting Bomb Blast Effects on Buildings, *J. Battlef. Tech.*, 6(3), pp.5~10.
- Smith, P.D., Hetherington, J.G. (1994) *Blast and Ballistic Loading of Structure*, Laxton's, Great Britain, p.336.

Zhang, D., Yao, S., Lu, F., Chen, X., Lin, G.,
Wang, W., Lin, Y. (2013) Experimental Study on

Scaling of RC Beams under Close-in Blast Loading,
Eng. Fail. Anal., 33, pp.497~504.

요 지

최근 테러에 대한 위협성의 증가로 대중들의 폭발 피해에 대한 인식이 증가하였다. 우리나라에 방폭 설계에 대한 기준이 미흡하며, 현재 적용하고 있는 방폭 설계도 정적해석으로 건물의 안정성 및 경제성을 위해 방폭 설계를 개발해야 하는 상황이다. 또한 지진 발생 증가로 내진 설계 의무화가 확대된 가운데 방폭 설계를 하지 않고 내진 설계를 적용한 부재의 방폭 성능을 판단을 연구한다. 현재 보편적인 폭발 하중의 해석 방법은 UFC 3-340-02 매뉴얼을 참고하는 것이다. UFC 3-340-02 매뉴얼을 통한 폭발 하중의 특성을 적용하고 KBC 2016의 내진 상세를 적용한 보를 등가 단자유도 시스템으로 변환하여 폭발 저항 성능을 연구하였다. 보통, 중간, 특수 모멘트 골조의 연성 능력에 대한 최대 처짐을 고려하여 폭발물의 이격 거리를 통해 평가하여 내진 상세 적용 시 폭발 저항 성능이 향상된다는 것을 입증하였다.

핵심용어 : 폭발 하중, TNT, 폭발 저항, 이격 거리, 내진 설계