

폭발물 처리 구조물의 내부폭발 영향 제어에 관한 연구

A Study on Controlling the Effects of the Internal Explosion of the Explosive Disposal Structure

강 영 철* 최 정 옥**
Kang, Young-Chul Choi, Jung-Ook

ABSTRACT

The waste ammunitions have been accumulated in excessive amounts these days. This study focused on the problems related to the method of ammunition disposal which leads the explosion inside the enclosure structure and controls the effects of detonation.

This study enables us to design a new type of explosive disposal facilities that would fit to our environments. And this study gives us the prototype design of the explosive disposal structure that are explored in this research and will give us a chance to develop a new type structure that have not been devised by Army, and also will be applicable to construct a civilian explosive disposal structure located in airports, harbors, and public facilities.

주요기술용어 : waste ammunition(폐탄약), ammunition disposal(탄약 폐기), explosion(폭발), protective structure(방호구조물), explosive disposal facilities(폭발물처리시설)

1. 서 론

현재 군에서 사용중인 폭발물 중에는 유효 기간의 경과 또는 보관 중에 발생하는 각종 위해요인(危害要因)으로 인한 불량탄, 기타 훈련 중 발생하는 불발탄 등 폭발물이 본래의 목적을 상실하여 폐기하여야 하는 것이 매년 다량으로 발생하고 있다. 이러한 폐기 대상에 대한 폭발물은 일정한 장소, 즉 폭발물 처리장에 모여져서 한꺼번에 처리되곤 하는데 폐탄약을 확인하고 운반하여 인위적으로 폭발시키는 모든 일련의 과정은 대단히 큰 안전사고의 위험을 가지고

있으며 사고 발생시 대형참사로까지 확대될 수 있는 실정이고 민간인에 대한 피해 우려로 민원의 주요 대상이기도 하다.

본 연구에서는 폐탄약을 처리함에 있어 완전히 밀폐된 일정한 구조물 내에서 폭발을 유도하여 폭발영향을 구조물 내부로 제어함으로써 탄약처리시 발생하는 문제 해결에 접근하고자 한다. 이러한 폭발물 처리 구조물의 설계는 대상 폭발물의 종류, 구조물을 구성하는 재료, 기하학적 형상, 현장 여건, 경제성 등 여러 가지 고려요소에 의해 다양한 형태의 설계안이 제시될 수 있다. 폭발물 처리 구조물에 대한 기존의 연구⁽²⁻³⁾는 구조물에 대한 개념설계 및 내부폭발 영향 중 지반 진동 대한 제어를 고려하였으나, 본 연구

* 육군사관학교 토목공학과 부교수, 공학박사

** 군사과학대학원 지구공학과, 공학석사

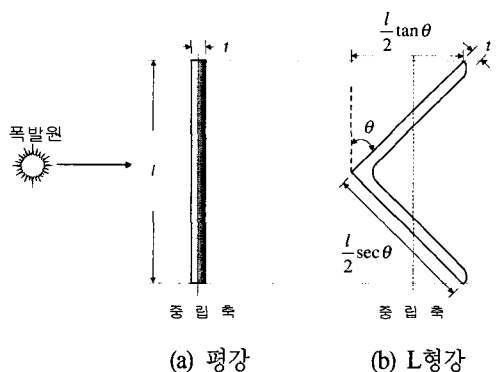
에서는 폭발압력과 파편 제어를 구조물을 구성하는 부재의 기하학적 단면형상과 연관하여 구조물 자체에 대한 방호능력을 고려하고자 한다

2. 부재 단면 형상이 폭발 효과의 제어에 미치는 영향

폭발물 처리 구조물이 본래의 목적으로 계속 사용할 수 있기 위해서는 내부폭발로부터 구조물의 내구성을 확보하는 것이 필요하다. 이러한 폭발물 처리 구조물의 내구성 또는 사용성 보장을 위해서는 구조물을 구성하고 있는 부재의 재질을 변화시키거나 보강재를 추가적으로 설치할 수도 있고, 또는 구조물 자체의 체적이나 모양을 변화시키는 등 설계자의 의도에 따라 다양한 방법이 제시될 수 있다.

본 연구에서는 폭발물 처리 구조물의 내구성을 보장하기 위한 여러 가지 방법 중에서 구조물을 구성하고 있는 부재 단면의 기하학적 형상의 변화가 폭발 효과의 제어에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서 고찰하였다. 이를 위하여 그림 2.1과 같은 두 가지 단면 형상의 기하학적 변화에 대해 내부 폭발로 인해 발생하는 파편 및 압력 특성에 대해 살펴보았다.

그림 1은 폭발물 처리 구조물을 구성하고 있는 하나의 강재의 단면 형상을 임의로 가정한 것으로서,



(그림 1) 부재 단면의 형상 변화

(b) 경우는 (a) 경우의 부재 형상과는 달리 폭발원의 방향에 대하여 임의의 각 θ 만큼 기울어져 있다. 이와 같이 서로 다른 단면 형상의 부재가 갖는 폭발 영향에 대한 제어 능력의 비교는 폭발물 처리 구조물을 설계하는 데 하나의 방안으로서 적절하게 응용될 수 있으며 설계자가 보다 효과적으로 방호 목적에 부합하는 구조물을 고안하는데 적용할 수 있다.

2.1 파편에 대한 제어 효과

내부폭발로 인해 발생하는 파편이 구조물 벽체의 부재를 관통할 수 있는 최소속도, 즉 관통한계속도(ballistic limit velocity)는 아래의 식 (2.1)과 같은 실험식으로 표현된다. 이때 식 (2.1)은 구조용 강재로 쓰이는 연강(mild steel)에 대해서만 적용할 수 있다⁽⁷⁾.

$$v_l = \frac{A_0}{\sqrt{w_s}} A_p^m (t \sec \theta)^n \quad (1)$$

여기서,

v_l : 관통한계속도, m/s

A_0, m, n : 실험 상수⁽³⁾

w_s : 파편의 무게, g

A_p : 강판에 접하는 파편의 면적, cm^2

θ : 파편의 입사각, degree

t : 부재의 두께, cm

식 (2.1)에서 파편의 크기와 질량이 일정하다고 가정하면 결국 관통한계속도 v_l 은 파편의 입사각 θ 에 의해 종속된다. 현실적으로 적용 가능한 θ 의 크기를 0° 에서 60° 사이의 각으로 가정하면 관통한계속도의 값은 θ 가 증가함에 따라 $\sec^n \theta$ 만큼 커지므로 그림 2.1(a)경우와 같은 부재 단면의 형상보다

는 (b)경우와 같이 부재 단면의 형상을 파편의 입사 각이 크도록 하는 것이 파편에 대한 방호 효과가 크다고 할 수 있다. 그러나 파편의 입사각 θ 가 크면 클수록 부재의 파편에 대한 방호 효과는 커지지만 그만큼 부재의 폭 ($l \tan \theta / 2$)도 증가하여 결국 구조물 전체의 부피 및 부재 소요를 증가시키게 되므로, 설계시 다른 요소를 감안하여 적절한 θ 의 결정이 필요하다.

2.2 폭발압력에 대한 제어 효과

그림 2.1의 (a), (b)에 나타나 있는 각각의 부재를 완전소성재료로 가정할 때 각각의 소성단면계수 $Z_{(a)}$, $Z_{(b)}$ 를 구해 소성모멘트 $M_{p(a)}$, $M_{p(b)}$ 를 구하면 다음과 같다.

$$Z_{(a)} = \frac{t^2 l}{4} \quad (2)$$

$$Z_{(b)} \approx \frac{t l^2 \sec \theta \tan \theta}{8} \quad (3)$$

$$M_{p(a)} = f_{dy} \frac{t^2 l}{4} \quad (4)$$

$$M_{p(b)} = f_{dy} \frac{t l^2 \sec \theta \tan \theta}{8} \quad (5)$$

여기서, f_{dy} : 동적 항복응력

l : 부재 길이

또 양단이 고정되어 있고 등분포하중을 받는 휨부재가 갖는 휨저항강도 R_m 은 식 (2.6)과 같다⁽²⁾⁽⁶⁾.

$$R_m = \frac{8}{l} (M_{ps} + M_{pm}) \quad (6)$$

여기서, M_{ps} : 부재 지점의 소성모멘트

M_{pm} : 부재 중앙의 소성모멘트

그런데 양단이 고정되어 있는 휨부재의 경우 파괴 기구(collapse mechanism)는 지점과 지간 중앙이 모두 소성모멘트 M_p 에 도달했을 경우에 형성되므로 $M_{ps} = M_{pm} = M_p$ 이고, 식 (2.4)와 식 (2.5)를 각각 식 (2.6)에 대입하여 (a) 경우의 부재의 휨저항강도 $R_{m(a)}$ 와 (b) 경우의 $R_{m(b)}$ 를 구하면 식 (2.7)과 식 (2.8)과 같다.

$$R_{m(a)} = \frac{16 M_{p(a)}}{l} = 4 f_{dy} t^2 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} R_{m(b)} &= \frac{16 M_{p(b)}}{l} \\ &= 2 f_{dy} t l \sec \theta \tan \theta \end{aligned} \quad (8)$$

앞에서 구한 (a), (b) 두 가지 경우의 부재의 휨저항강도 값을 비교하기 위해 $X = R_{m(b)} / R_{m(a)}$ 이라고 하면,

$$X = \frac{l}{2t} \cdot \sec \theta \cdot \tan \theta \quad (9)$$

식 (2.9)는 부재 단면의 길이 대 두께와의 비, 즉 l/t 의 값에 따라 $0^\circ < \theta < 60^\circ$ 의 범위에서 X 값이 1보다 크거나 작아질 수 있음을 보여준다. 일반적으로 평강의 경우 l/t 의 값은 2.8 ~ 31.3의 범위 내에 있으므로 $X > 1$, 즉 $R_{m(b)} \geq R_{m(a)}$ 가 되는 θ 의 최소값은 $4^\circ \sim 30^\circ$ 이상의 범위가 된다. 그런데 보통 평강을 구부려서 쓰는 경우보다는 기성품으로 생산되어 있는 L형강 등을 구조물의 부재로 사용할 경우가 많으므로 L형강에 대한 $\theta = 45^\circ$ 를 식 (2.9)에 대입하면 $X > 1$ 이 된다. 그러므로 그림 2.1의 (a)경우의 부재 단면보다는 (b)경우와 같은 부재 단면의 형상이 파편에 대한 관통 저항능력뿐만 아니라 폭발압력에 대한 휨저항능력 면에서

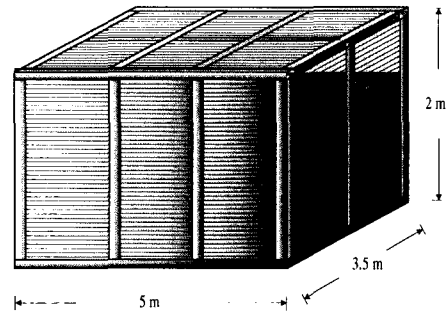
도 보다 효과적으로 폭발 영향을 제어할 수 있음을 알 수 있다.

결국 부재가 길이와 항복응력이 일정한 상태에서 재하하중에 대하여 보다 큰 휨저항강도를 갖기 위해서는 큰 소성모멘트를 가져야 하며 이것은 소성단면 계수값이 크도록 부재의 단면 형상이 결정되어야 한다는 것을 알 수 있다.

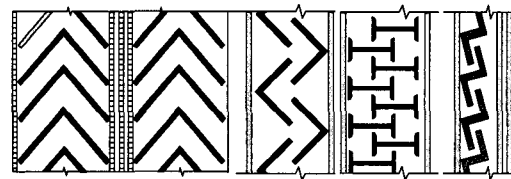
3. 폭발물 처리구조물의 내부폭발 제어 특성

폭발물을 처리하기 위한 구조물의 사용 목적은 폐탄약을 처리하는 용도에 국한되지 않고 폭발 가능성이 있는 모든 물질을 취급하는 작업간에 발생할 수 있는 폭발 사고를 구조물 내부로 제한시킴으로써 구조물 외부의 인원과 장비를 보호하는 데 있다. 이러한 폭발 제어 구조물은 기존의 콘크리트 방호구조물과는 달리 기본 재료가 구조용 강재로 많이 쓰이는 연강(mild steel)으로 이루어져 있으며 강재의 기하학적 형상을 이용, 서로 엇갈리거나 겹쳐 배열하여 자연스럽게 배기구를 형성함으로써, 폭발로 인한 압력은 구조물의 단면을 거치는 동안 압력강하가 이루어져 구조물 외부로 방출되지만 구조물 전체적으로는 완전히 개방된 개구부(開口部)는 없는 구조물이다. 물론 하나의 면을 구성하고 있는 여러 개의 부재는 각각 폭발압력과 파편에 저항할 수 있는 충분한 강도를 가질 수 있도록 설계되어 있다. 그림 3.1(a)는 폭발 제어 구조물 중 하나의 예를 나타낸 것이며 (b)는 폭발 제어 구조물의 단면을 구성하고 있는 강재 및 강재간 배열의 예를 나타낸 것으로서 L형강, I형강, Z형강의 단면형상을 이용하여 서로 엇갈리거나 겹쳐 배열되어 있음을 볼 수 있다.

그림 3.1(b)에서 보는 바와 같이 폭발 제어 구조물을 구성하고 있는 부재는 서로 겹치거나 엇갈리게 배열되어 있어 폭발물로부터 발생된 파편의 경로는



(a) 폭발 제어 구조물⁽⁵⁾



(b) 폭발 제어 구조물 구성부재의 단면

(그림 3.1) 폭발 제어 구조물

적어도 두 개 이상의 부재를 지나게 되어 구조물 외부로의 비산이 어렵다. 더구나 구조물을 구성하고 있는 부재는 파편의 경로에 대하여 입사각이 커지는 단면 형상을 갖고 있어 파편에 대한 방호 효과는 더욱 크다고 할 수 있다.

또 폭발 제어 구조물을 구성하고 있는 부재는 소성단면계수 Z 값이 크므로 휨저항강도 R_m 값도 커지게 되어 휨에 대한 저항능력이 커지게 된다. 그리고 구조부재의 특성상 강재와 강재를 서로 엇갈리거나 겹쳐서 배열하므로써 자연스럽게 배기구를 형성함과 동시에 적절한 배기면적비를 조정할 수 있는 반면 구조물 내의 어떤 면도 완전히 개방된 부분이 없이 내부에서의 폭발압력의 제어가 가능한 특징을 갖고 있다.

결국 폭발 제어 구조물은 부재 단면의 변형과 부재간의 배열을 이용, 내부폭발로 인한 가스는 압력을 강하시켜 외부로 유출시키고 파편은 구조물 내부에

서 모두 제어할 수 있도록 고안된 방호구조물이다. 폭발 제어 구조물의 가장 큰 특징은 부재 단면의 형상과 배열의 변화를 통하여 폭발영향을 제어할 수 있다는 것이다. 즉 부재간의 배열은 준정적압력의 지속시간을 결정짓는 배기면적비 및 파편의 경로와 밀접한 관계를 갖고 있으므로 이의 다양한 변화를 통하여 보다 효과적으로 내부폭발 영향을 억제할 수 있음을 알 수 있다.

4. 폭발 제어 구조물을 이용한 폭발물 처리 구조물 설계

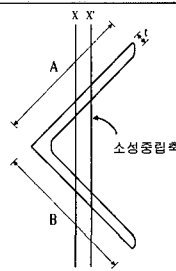
본 연구에서는 폭발영향에 대한 제어요소로서 폭발압력과 파편의 두 가지 부분을 고려하여 폭발물 처리 구조물을 예비설계단계로나마 구현하고자 한다. 이때 포탄과 구조물의 형태는 임의로 가정하여 폭발영향과 구조물의 저항능력을 비교하는 반복계산을 수행하였다. 구조물의 예비설계 단계에 있어 문제를 단순화하기 위한 기본가정은 다음과 같다.

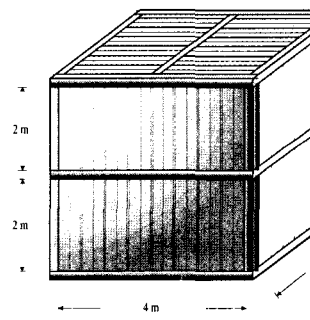
- 구조물의 부재는 소성거동을 한다고 가정하여 소성설계를 적용한다.
- 구조물 설계시 하중계수와 안전계수 등은 고려하지 않았으므로 구조물의 내구성을 판단하는데 가장 위험한 경우를 기준으로 설계한다.
- 구조물의 전체 거동을 고려하여 설계하는 것이 아니라 재하하중에 대해 가장 위험한 구조물의 한 면을 선택하여 그 면이 폭발압력에 견딜 수 있도록 설계한다⁽¹⁰⁾.
- 구조물의 한 면은 양단 고정된 보로 가정한다⁽¹⁰⁾.
- 반사압력의 재반사에 의한 영향은 고려하지 않는다.
- 내부폭발압력으로 인한 부재의 전단파괴는 고려하지 않으며 휨에 의한 파괴만을 고려한다.

4.1 구조물 형태의 선정

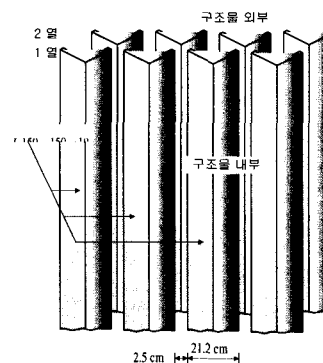
그림 4.1은 가정된 구조물의 크기 및 부재의 배열을 보여주고 있으며, 구조물 벽체를 구성하고 있는 등변 L형강에 대한 제원은 표 4.1과 같다.

(표 4.1) 등변 L형강의 제원

A×B×t=150×150×19mm	제 원
	$l = 2 \text{ m}$
	$W = 41.9 \text{ kg/m}$
	$I_X = 451 \text{ cm}^4$
	$Z_{X'} = 151 \text{ cm}^3$
	$f_{dy} = 2,784 \text{ kg/m}^2$
	$\mu = 15$ (연성비)



(a) 구조물의 크기



(b) 부재의 배열

(그림 4.1) 구조물의 크기 및 부재의 배열

그림 4.1(a)와 같은 구조물의 중앙에서 포탄이 폭발할 경우 네 면의 벽체가 받는 폭발 효과는 모두 동일할 것이므로 구조물의 임의의 한 벽체를 설계의 기준으로 정할 수 있다. 그림 4.1(b)와 같이 부재와 부재 사이의 간격을 2.5 cm로 정하면 하나의 벽체는 등변 L형강 17개와 배기구 16개로 구성되며 폭발하중을 받는 등변 L형강의 유효폭은 11.8cm가 된다.

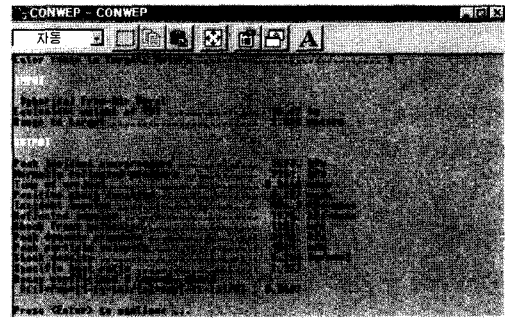
표 4.2는 처리 대상 탄종에 대한 제원을 나타내는 것으로서, M106 8" 포탄은 현재 육군에서 사용하고 있는 포탄 중 폭발 효과가 비교적 큰 탄종이며, 이러한 포탄의 폭발을 제어할 수 있는 구조물이라면 다른 탄종의 폭발 효과에 대해서도 제어가 가능할 것을 감안하여 선정하였다.

[표 4.2] M106 8" 포탄의 제원⁽⁴⁾

탄 종	M106 8" 포탄
장 약 무게	16.67 kg
사 용 폭 약	T N T
등가TNT 무게	16.67 kg
설계파편 무게	97.5 g
초기파편 속도	1,150 m/s

4.2 폭발 효과의 결정

폭발효과의 계산을 위해 본 연구에서는 CONWEP (conventional weapon effects) 프로그램을 이용하였다. 폭발압력의 경우 반사압력과 준정적압력의 뚜렷이 구별되는 두 가지 형태로 구조물에 작용하게 되는데 그림 4.2는 구조물 내부의 중앙에서 포탄이 폭발할 경우 2 m 떨어진 한 쪽 벽면이 받는 폭발효과를 CONWEP을 이용하여 구한 결과이며, 이러한 결과로부터 반사압력의 최대치 $P_r = 9,951$ kPa과 반사압력이 대기압으로 돌아오는 데 걸리는 시간 $t_r \approx 0.4$ ms를 구할 수 있다.



(그림 4.2) 2m 거리에서의 폭발영향

또, 준정적압력의 최고값 $P_{qs} = 706$ kPa과 준정적압력이 대기압으로 돌아오는 데 걸리는 시간 $t_b \approx 46$ ms를 구할 수 있다. 이러한 값을 바탕으로 내부 폭발로 인해 구조물의 한 쪽 벽면이 받는 하중을 시간이력으로 나타내면 그림 4.3과 같으며 이것으로부터 반사압력에 대한 등가정하중 $R_{m1} = 2.89$ kg/cm²과 준정적압력에 대한 등가정하중 $R_{m2} = 6.12$ kg/cm²를 구할 수 있으며 전체 등가 정하중 P_b 는 이들 두 값의 합과 같다. 즉,

$$P_b = R_{m1} + R_{m2} = 9.01 \text{ kg/cm}^2$$



(그림 4.3) 구조물 측벽의 압력-시간 이력

4.3 부재의 소성휨강도 결정 (R_m)

구조물 벽체가 가지고 있는 휨저항강도는 식 (2.6)에 의해 $R_m = 33,631$ kg의 값을 가지게 되는데 고려

하는 부재는 유효폭 $b_e = 11.84\text{cm}$, 길이 $l = 200\text{cm}$ 이므로 단위부재가 갖는 휨저항강도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

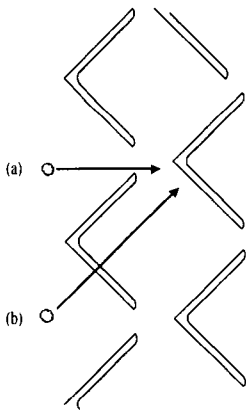
$$R_m = \frac{33.631}{(11.84 \times 200)} = 14.20\text{kg/cm}^2$$

이러한 결과로부터 축벽을 구성하고 있는 단위 부재의 휨저항 강도 $R_m = 14.20\text{kg/cm}^2$ 은 폭발로 인해 구조물의 축벽이 받는 등가정하중 $P_b = 9.01\text{kg/cm}^2$ 의 값보다 크므로 구조물의 부재는 힘에 대해서 안전하다.

4.4 파편에 대한 부재의 저항능력

폭발물 처리 구조물은 폭발압력의 제어와는 달리 파편의 제어에 있어서는 구조물 내부에서 완전히 제어되어 파편이 구조물의 부재를 관통하여 외부로 비산되지 않도록 설계되어야 한다.

포탄이 구조물의 중앙에서 폭발하여 2m 떨어져 있는 축벽에 미치는 파편의 영향을 CONWEP을 이용하여 구하면 충격속도 $v_s = 1,132\text{m/s}$, 잔류속도 $v_r = 554.4\text{m/s}$ 의 값을 얻을 수 있다.



[그림 4.4] 파편의 경로

구조물이 파편을 내부에서 완전히 제어할 수 있는가를 판단하기 위해서는 그림 4.4와 같은 가장 위험한 경우의 파편 경로 두 가지를 가정하여 검토해야 한다. 그림 4.4에서 파편의 경로가 (a)인 경우는 파편이 하나의 부재에만 부딪히는 것으로서 1열에 있는 배기구를 통과하여 2열에 있는 부재에 입사각 45° 로 부딪히는 경로를 나타낸 것이고 (b)의 경우는 파편이 부재를 관통할 수 있는 가장 위험한 입사각 0° 로 1열과 2열의 두 개의 부재에 부딪히는 것을 나타낸 것이다.

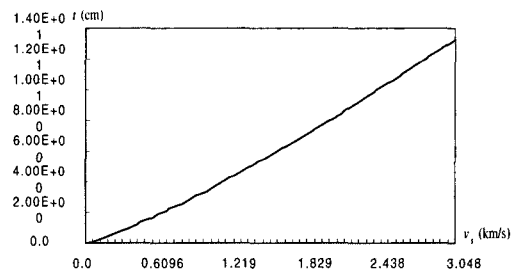
4.4.1 파편의 경로가 (a)인 경우

설계파편의 탄도한계속도 v_l 은 식(2.1)에 의해 $v_l = 1,351\text{m/s}$ 임을 구할 수 있다. 그런데 파편의 충격속도 $v_s = 1,132\text{m/s}$ 는 탄도한계속도보다 작으므로 1열의 개구부를 지나 2열에 있는 L형강에 부딪힌 파편은 L형강을 관통하지 못하게 된다.

4.4.2 파편의 경로가 (b)인 경우

그림 4.5는 브리넬 경도(BHN)가 150인 강재를 97.5g의 파편이 입사각 0° 로 충돌할 때 강재를 관통하기 위한 충격속도와 강재 두께와의 관계를 CONWEP을 이용하여 구한 것이다.

그림 4.5에서 설계파편이 두께 1.9cm인 등변 L형강을 관통하기 위해서는 충격속도가 618m/s 이상



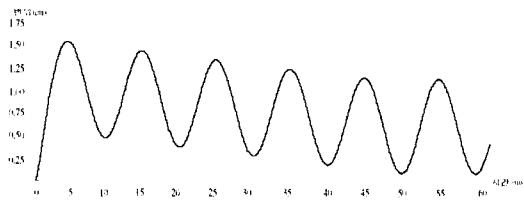
[그림 4.5] 부재를 관통하기 위한 두께와 충격속도의 비

이 되어야 함을 알 수 있다. 즉 탄도한계속도는 $v_l = 618\text{m/s}$ 가 되는 것이다. 그런데 1열의 강재를 충격속도 $v_s = 1,132\text{m/s}$ 로 관통한 파편은 잔류속도 $v_r = 554.4\text{m/s}$ 로 2열에 있는 강재에 부딪히게 되는데, 이것은 탄도한계속도보다 작으므로 파편은 2열에 있는 두 번째의 부재를 관통할 수 없게 된다. 결국 (a), (b) 두 가지 경우 모두 파편은 부재를 관통한 후 외부로 비산 되지 않는다.

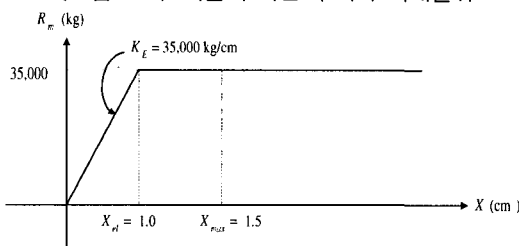
그러므로 위에서 가정한 폭발 제어 구조물의 형태, 강재의 종류 및 강재간의 배열 등은 몇 가지 가정하에서 M106 8" 포탄의 내부폭발로 인한 폭발압력 및 파편을 제어하는 데 적합하다는 결론을 얻을 수 있다.

4.5 구조물 벽체의 거동 해석

폭발압력에 대한 구조물 벽체의 거동을 해석하기 위해서는 구조물 설계에서와 같은 기본 가정이 동일하게 적용되어야 한다. 이러한 가정 하에 그림 4.1의 폭발제어 구조물 측벽의 내부폭발에 대한 거동을 수치해석으로 해석한 결과가 그림 4.6에 도시되어 있다.



[그림 4.6] 시간에 따른 부재의 최대변위



[그림 4.7] 부재의 저항력과 변위와의 관계

며 그림 4.7은 부재의 저항력과 변위와의 관계⁽⁴⁾를 나타낸 것이다.

그림 4.7에 의하면 부재는 4.25ms에서 1.5cm의 최대변위를 나타내고 있으며 이로부터 부재의 연성비(ductility ratio)는 $\mu = \frac{X_{max}}{X_{el}} = \frac{1.5}{1.0} = 1.5$ 이다. 여기서 구한 연성비 $\mu=1.5$ 는 폭발물 처리 구조물을 설계할 때 가정한 부재의 연성비 15보다 작으므로 구조물을 구성하고 있는 부재는 안정적인 측면에서 거동하고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 야외에서 폐탄약을 처리하는 과정에서 발생하는 각종 문제점들을 개선하기 위하여 구조물 내에서 폭발을 유도함으로써 폭발 영향을 구조물 내부로 제한하는 방법을 폭발 제어 구조물(suppressive shield)의 예를 통하여 고찰해 보았다. 그리고 이러한 폭발물 처리 구조물이 내부폭발을 효과적으로 제어할 수 있는 특징을 구조물을 구성하고 있는 부재의 기하학적 단면형상과 부재들 간의 배열의 측면에서 살펴 볼 때 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

구조물을 구성하는 부재가 파편의 입사각이 큰 단면형상을 가질수록, 또 단면의 소성 단면계수가 클수록 그러한 부재는 폭발 효과에 대한 제어효과가 높아짐을 알 수 있었다. 또 부재와 부재간의 배열은 준정적 압력의 지속시간을 결정짓는 배기 면적비와 파편의 경로와도 밀접한 관계를 갖고 있으므로 이러한 부재 배열의 다양한 변화를 통하여 보다 효과적으로 내부폭발 영향을 억제할 수 있음을 알 수 있었다.

그리고 이와 같은 개념을 기존의 폭발 제어 구조물에서 우리 군에 적용 가능한 구조물 형태에 대한 예비설계를 통해 폭발물 처리 구조물로서의 구현 가능성 및 안정성을 확인하였으며 이러한 과정은 아직

우리 군에서는 실제로 구현되지 않은 폭발물 처리 구조물에 대한 지속적인 연구 발전에 이바지 할 수 있을 뿐 아니라, 공항, 항만, 관공시설 및 인원과 시설이 밀집한 중요 지역 내에서의 폭발물 처리 시설에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 강영철, "폭발물 처리시설 설계기준 연구", 육군사관학교 화랑대연구소, 1996
2. 공민수, "폭발 지반 진동 제어에 관한 연구", 군사과학대학원 석사학위논문, 1998
3. 김종화, "폭발물 지중 폭발 특성이 발파 매개변수에 미치는 영향에 관한 연구", 군사과학대학원 석사학위논문, 1997
4. TM 5-855-1, *Fundamentals of protective design for conventional weapons*, 1986
5. U.S. Army corps of engineers Huntsville, HNDM-1110-1-2, *Suppressive shields structure design and analysis handbook*, 1977
6. P. D. Smith, J. G. Hetherington, *Blast and ballistic loading of structures*, Butterworth Heinemann, 1994
7. J. Henrych, *The dynamics of explosion and its use*, Elsevier, 1979
8. Brebbia, *Shock and Impact on Structures*, CMP, 1994
9. Philip G. Hodge, *Plastic analysis of structures*, McGraw-hill book company, 1959
10. James T. Baylot, Sharon B. Bellue, *Design of buried structures for conventional weapons threat*, Proceedings of second symposium on the interaction of non-nuclear munitions with structures, Panama City Beach, Florida, U.S.A, April 15~18, 1985
11. A.S.C.E, *Design of structure to resist nuclear weapons effects*, American Society of Civil Engineers, manual No 42, 1985