

Lead-plate blastmeter설계를 위한 Split Hopkinson Pressure Bar실험

양형식¹⁾, 장형두, 고영훈 (전남대학교)

1. 서론

폭발로 인해 갑작스럽게 방출되는 폭발압력을 예측하는 방법으로는 Paper blastmeters (US ARMY, 1966) 및 lead-plate blastmeter (kougyoukayaku-Kyoukai, 1985)를 이용하여 폭발압을 직접 측정하는 방법이 있으며, 이외에도 대형폭발실험을 통해 도출된 일반식을 이용하는 방법, 폭원으로부터 거리에 따라 감쇄하는 폭발압을 예측하는 미육군 공병단의 CONWEP (Conventional Weapons Effects Program)에 의한 폭발압 계산식을 이용하는 방법 및 체적에 따른 폭발압을 예측하는 미국 방부 화약안전위원회 DDESB(Department of Defence Explosives Safety Board)의 폭발압 계산식을 이용하는 방법 등이 있다. 그러나 폭원에서 근거리의 압력을 예측하고자 할 때 Paper blastmeter의 경우 blastmeter의 재료의 특성상 그 측정값을 예측하기가 곤란하며 일반식, CONWEP, DDESB의 예측식은 기폭장소에 따른 압력의 감쇄차이만 있을 뿐 실험값에 의한 최대압력의 범위는 약 140psi의 범위 내에서만 신뢰성을 확인할 수 있다.

본 실험에서는 예측식들의 범위 이상의 근거리 폭발압을 예측하기 위한 Lead-plate blastmeter설계를 위해 사전 기초실험으로서 Split Hopkinson Pressure Bar를 통해 약 500psi 까지 압력당 연판의 길이변화량을 측정하였다. 그 결과로서 압력에 따라 lead plate blastmeter의 길이변화량이 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 향후 적정한 blastmeter를 설계함에 따라 노천 및 밀폐된 구조물 내부의 근거리 폭발압을 예측할 수 있으리라 판단된다.

2. 폭발압 예측식에 따른 폭발압

2.1 CONWEP식에 의한 폭발압 예측

지표면 폭발시 폭발압은 폭약의 양으로부터 얻어지는 환산거리를 도입함으로써 계산할 수 있다. 폭발물 중심에서부터 측정까지의 거리(m)를 R, TNT기준의 폭약량(kg)을 W라 하면, 환산거리 Z는 다음식(1)과 같다. (Department of the ARMY 1990)

$$\text{환산거리 } Z = \frac{R}{W^{1/3}} \quad (1)$$

식 (1)을 적용하여 TNT의 기폭시 거리별 폭발압 예측을 나타내었을 때 그림 1과 같다. 폭발압

1) 전남대학교 에너지 자원공학과
* 교신저자 : hsyang@jnu.ac.kr

의 최대입사압력(p_o)은 구형 전파에서의 최대입사압력을 구하는 것으로 식(2)와 같으며, p_a 는 101,300Pa을 사용한다.

$$\frac{P_0}{P_a} = \frac{808 [1 + (\frac{Z}{4.5})^2]}{\sqrt{[1 + (\frac{Z}{0.048})^2]} \sqrt{[1 + (\frac{Z}{0.32})^2]} \sqrt{[1 + (\frac{Z}{1.35})^2]}} \quad (2)$$

식 (1)의 환산거리 Z를 식 (2)에 적용하여 TNT의 기폭시 거리별 폭풍압 예측을 나타내었을 때 그림 1과 같다.

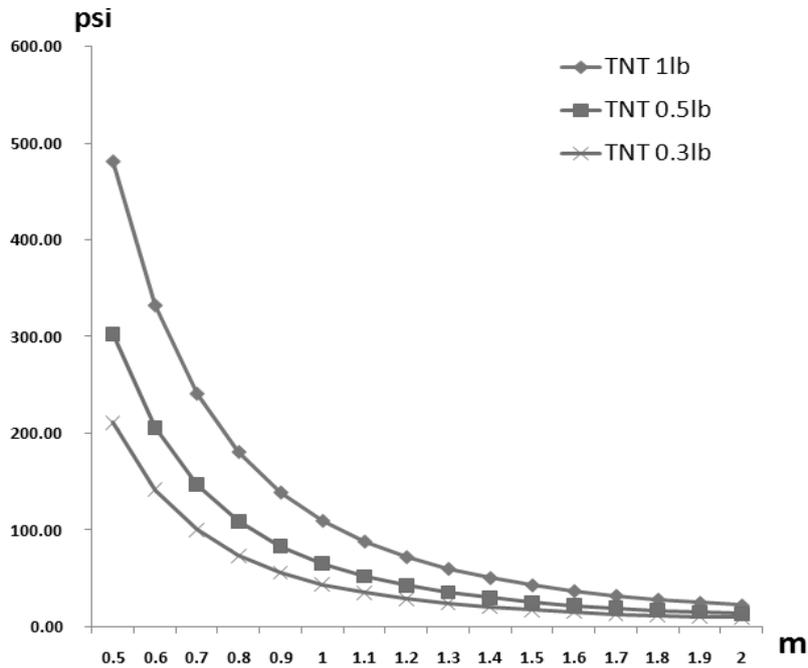


그림 1. Conwep 식에 따른 약량별 폭풍압

2.1 일반식에 의한 폭풍압 예측

대형 폭발시험을 통한 일반적인 발파풍압 계산식은 다음과 같다.

$$P = 16.75 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.575} \quad (3)$$

식에서, P는 폭풍압 측정기로 측정한 폭풍압 (kg/cm^2), D는 폭원에서 거리(m), W는 약량(kg)이다.(기경철, 김일중, 2002) 식 (3)을 적용하여 TNT의 기폭시 거리별 폭풍압 예측을 나타내었을 때 그림 2와 같다.

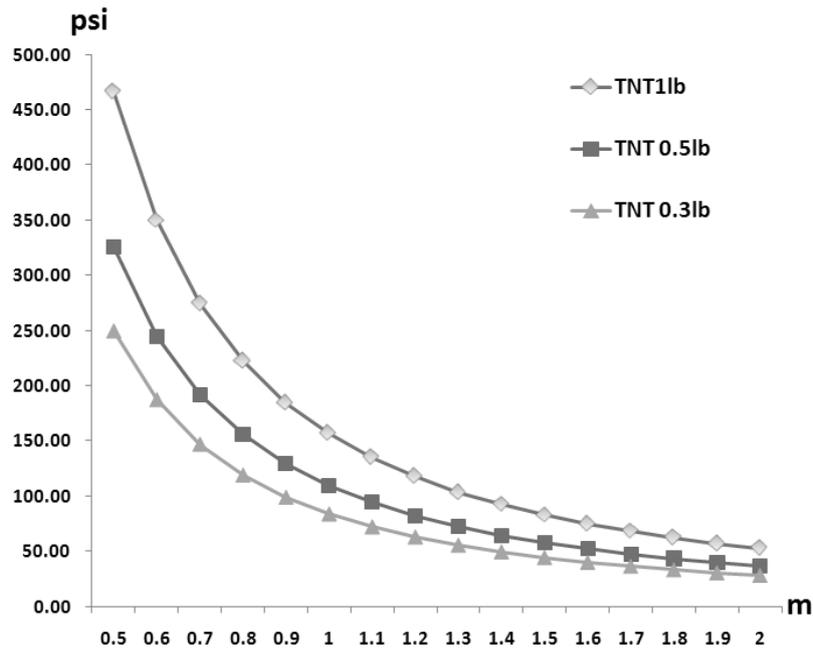


그림 2. 일반식에 따른 약량별 폭풍압

3. Split Hopkinson Pressure Bar 실험

3.1 Split Hopkinson Pressure Bar 주요부 명칭

Split Hopkinson Pressure Bar의 주요부는 다음 그림 3과 같다. 질소가스를 압력조절기를 통해 고압챔버에 질소가스를 채운 뒤 압력계의 게이지만큼의 압력을 방출한다. 고압용 챔버의 제원은 챔버용량 8167cc, 내압 800 psi, 스테인레스강, 추진압력 500 psi 이다. (Kolsky H, 1949)

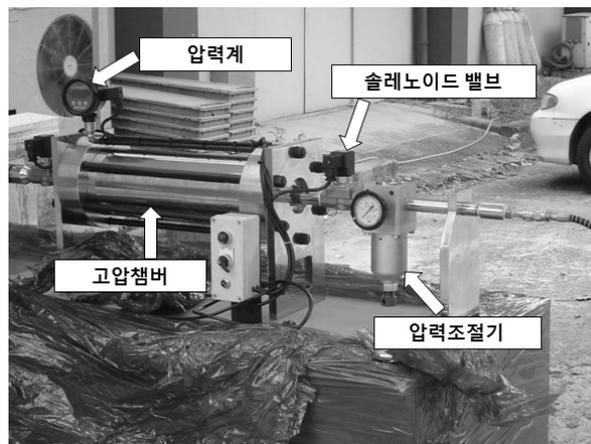


그림 3. Split Hopkinson Pressure Bar 주요부

3.2 실험용 lead plate blastmeter 제작 및 설치

실험용 lead plate blastmeter 제작은 그림 4 (a)와 같이 0.8mm의 연판을 내경 23mm 너트에 부착한 형태로서, 제작된 lead plate blastmeter를 (b)와 같이 Split Hopkinson Pressure Bar 압력방출구에 부착하여 실험을 하였다.



(a) 실험용 blastmeter

(b) 실험용 blastmeter 설치

그림 4. 실험용 blastmeter 제작 및 설치

3.3 실험결과

실험용 lead plate blastmeter를 Split Hopkinson Pressure Bar 압력 방출구에서 5mm 이격시킨 뒤 설치하여 40psi 의 저압에서부터 약 500psi 까지 실험을 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

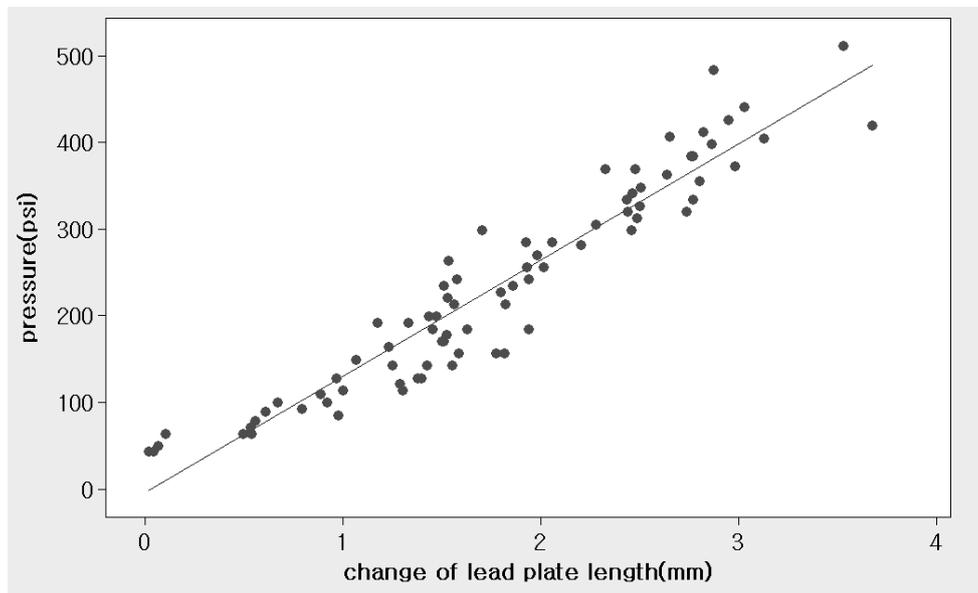


그림 5. 홉킨슨바 압력에 따른 연판길이변화

그림 5를 통해 결정계수 $R^2=90.4\%$ 로서 실험결과의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 잔차의 범위가

큰 요소들의 경우 압력방출구와 blastmeter의 이격거리 및 결속된 아크릴판의 흔들림에 따른 오차라고 판단되며, 향후 blastmeter의 확실한 결속과 이격거리에 따른 압력손실 및 온도의 영향까지 고려한 실험을 하여야 할 것이라 판단된다.

4. 결론

본 실험에서는 근거리에서의 폭풍압을 예측하기 위한 Lead-plate blastmeter설계를 위한 사전 기초실험으로서 Hopkinson Pressure Bar를 통해 압력당 연판의 길이변화량을 측정하였다. 그 결과로서 압력증가에 따른 연판의 길이변화량이 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 향후 그 래프의 신뢰성을 위해 홉킨슨바 압력방출구와 blastmeter간의 이격거리 및 온도변화에 따른 추가 실험을 하고 압력에 따른 연판변화량 그래프를 적용하여 실험용 blastmeter 와 동일내경의 철제 튜브의 blastmeter를 제작하여 노천 및 구조물내부에서의 500psi 이내의 근거리 폭풍압을 예측할 수 있으리라 판단된다.

참 고 문 헌

1. US ARMY, 1966, Test And Evaluation Command Common Engineering Test Procedure Paper Blastmeters, MTP 4-2-823
2. Department of the Army, 1990, Structures to resist the effects of accidental explosive, TM5-1300, Washington D.C
3. Joachim, Charles E. and LundermanChristo V., 1994, Parameter Study of Underground Ammunition Storage Magazines Results of Explosion Tests in Small-scale Models, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg, MS, pp. 4~5.
4. kougyoukayaku-Kyoukai, 1985 Calibration of lead-plate blastmeter, p53
5. Ming-Wei Hsieh, Jui-Pin Hung, and De-Jen Chen, 2008, Investigation on the Blast Resistance of a Stiffened Door Structure, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 16, No 2, pp. 149~157.
6. 기경철, 김일중, 2002, 산학인을 위한 발파공학, pp. 232~233.
7. Kolsky H, 1949, "An Investigation of the mechanical properties of materials at very high rate of loading."Proc. Roy. Soc. Lon. B. 62, 676-700