

충격파형 제어를 위한 펄스쉐이퍼의 동적 변형 특성에 관한 연구

Study on the dynamic deformation characteristics of pulse shapers for controlling the shape of impact waves

양정훈¹⁾, 조상호¹⁾, 김원범²⁾, 김승곤¹⁾, 송영수¹⁾, 성낙훈³⁾

요약 : 스플릿 홉킨슨 압력 봉(SHPB)실험은 암석 및 콘크리트와 같은 취성재료의 동적 물성과 변형특성을 파악하고 압축 응력-변형을 데이터를 획득하기 위하여 사용된다. SHPB 실험법은 원리상 대상시료가 파괴이전에 동적응력평형 상태와 일정 변형을 속도 조건하여 놓여져 있어야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위하여 충격봉과 입사봉의 충격에 의하여 발생하는 충격 입사파형을 제어할 필요가 있다. 최근에는 원형 디스크를 충격봉과 입사봉 사이에 두어 입사 충격파형을 제어하는 펄스쉐이핑 기법이 적용되고 있다.

본 연구에서는 입사 충격파형을 정밀하게 제어할 목적으로 다양한 형태와 크기의 금속디스크를 대상으로 SHPB 실험을 수행하여 동적 변형 특성을 파악하였다. 펄스쉐이퍼의 두께와 직경이 작아짐에 따라 응력값과 파장은 증가하였다.

주요 단어 : 스플릿트 홉킨슨 압력 봉, 동적 응력 평형, 펄스쉐이퍼

Abstract : Split Hopkinson pressure bar(SHPB) is used to obtain compressive stress-strain data and deformation characteristics of brittle materials such as rock and concrete. SHPB demands both dynamic stress equilibrium condition and nearly constant strain rate before the failure of the specimen. Pulse shape technique, which places a thin metal disk between launched impact bar and incident bar, should be adopted to satisfy both conditions.

1) 전북대학교 자원·에너지 공학과 poizxclkj@jbnu.ac.kr

2) 전남대학교 에너지·자원공학과

3) 한국지질지원연구원 자원탐사개발연구실

In this study, metallic disks with various shapes were used to control the incident impact wave. The results show that the peak value of stress and the length of waves increased with decreasing thickness and diameter of the pulse shaper. In order to investigate shape and strain rate-dependency of the pulse shapers, dynamic compressive stress-strain curves were obtained and analyzed.

Keywords : SHPB, dynamic stress equilibrium, pulse shaping technique

1. 서론

대규모 지하공간에서는 주로 발파에 의한 굴착이 이루어지는데, 특히 핵폐기물 처분장 및 에너지 저장시설과 같이 밀폐성과 차폐성(sealing)이 요구되는 경우에는 주변암반의 손상을 최소화 할 수 있는 굴착공법이 요구된다. 발파 굴착공법의 경우 폭약의 폭발에 의한 충격 에너지에 의해 암반의 파쇄가 발생하는데 이때 발생하는 암반 손상영역에 대한 손상발생 메커니즘 및 평가 방법에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 각종 시험 방법 중 탄성과 속도를 이용한 암반 손상 영역 평가 방법이 많이 이용되는데, 특히 탄성과 토모그래피 방법 및 탄성과 굴절법 탐사를 이용한 암반 손상영역의 평가가 이루어졌다.(Carlson and Young, 1993; Maxwell and Young, 1993; Sato et al., 2000). 또한 실제 현장에서 회수한 암석 코어를 이용하여 실내 탄성과 시험으로 발파에 의한 터널 주변 암반의 손상 영역 평가에 관한 연구를 하였으며, 실제 손상영역에 대하여 탄성과 속도 측정법을 이용하여 발파 손상영역을 평가하였다.(장수호 et al., 2000; 최병희 et al., 2008) 지금까지 암반손상평가를 위한 탄성과 측정에 관련된 연구는 많이 찾아 볼 수 있으나, 암반 손상평가에 적절한 탄성과 발생원에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 최근에서 탄성과 발생원 및 탄성파형의 제어와 관련된 기초연구를 위하여 SHPB(Split Hopkinson pressure bar)을 적용한 충격탄성파의 형상제어실험을 수행되었다. Fig 1는 펄스쉐이퍼의 적용 유무에 따른 충격파형의 대표적인 양상을 보여주고 있다. 일반적으로 펄스쉐이핑 기법은 대상시료가 파괴이전에 동적응력평형 상태와 일정 변형을 속도 조건을 유지시키기 위하여 적용되는 방법으로, 충격봉과 입사봉 사이에 금속 및 각종 재료를 위치시켜 발생파형을 제어한다. 본 연구에서는 입사 충격파형을 정밀하게 제어할 목적으로 다양한 형태와 크기의 금속디스크를 대상으로 SHPB 실험을 수행하여 동적 변형 특성을 파악하였다. 본 실험에서는 정밀하게 가공된 직경과 두께가 다른 구리디스크를 사용하였다.

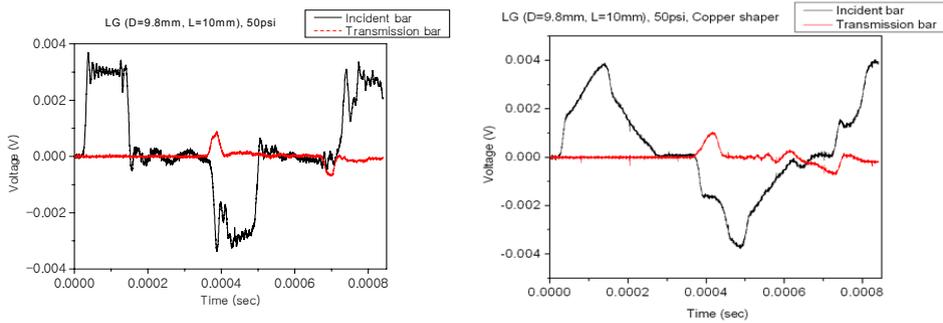


Fig. 1. Examples of pulse shape control tests: (a) Without Pulse Shaper;
(b) Copper Shaper (after Cho et al., 2007)

2. 실험 방법 및 결과

SHPB 시스템은 Fig. 2과 같이 충격파를 전달해주는 충격바와 파형의 형상을 제어해주는 Pulse shaper, 입사바, 전달바로 구성되어 있다. 압축공기를 이용하여 충격바가 V 의 속도로 입사바에 충돌하게 된다. 이때 바의 밀도가 ρ_0 이면 입력바에는 $\rho_0 CV/2$ 의 크기를 갖는 응력파(입사파, Incident wave) ϵ_I 를 발생된다. 이 응력파는 입력바를 통하여 시편으로 전파되며 입사파 ϵ_I 가 경계면에 도달하여 두 개의 파가 생성된다. 파형은 입력바를 따라 되돌아가는 반사파(reflected wave) ϵ_R 과, 시료를 통과한 뒤 계속 전진하여 출력바를 따라 전파되는 전달파(transmission wave) ϵ_T 가 생성된다.

입사바와 전달바를 전파하는 응력파는 변형을 게이지와 증폭회로, 고성능 오실로스코프를 통해 이산신호로 변환되어 컴퓨터에 저장된다. 저장된 데이터는 응력-변형률 관계, 변형률속도의 측정에 사용된다.

먼저 정밀하게 제작된 구리 펄스셰이퍼는 충격바와 충돌하는 입사바의 한쪽 단면에 부착시켜, 펄스셰이퍼의 형상과 발생 충격 탄성파의 형상의 관계를 파악하였다. 이때 펄스셰이퍼의 두께와 직경이 작아짐에 따라 응력값과 파장은 증가하는 경향을 보였다. 이러한 변형특성을 파악하기 위하여 펄스셰이퍼를 입사바와 전달바 사이에 위치시켜, 펄스셰이퍼의 동적 응력-변형률 곡선을 작성하였다. Table 1은 동일한 두께에 직경을 달리한 펄스셰이퍼를 대상으로 실험한 결과를 보여주고 있다. 이때 충격속도는 약 13m/s로서, 최초(충격전) 직경이 감소함에 따라 펄스셰이퍼의 길보기 변형률과 최대응력값은 증가하는 경향을 보였다.

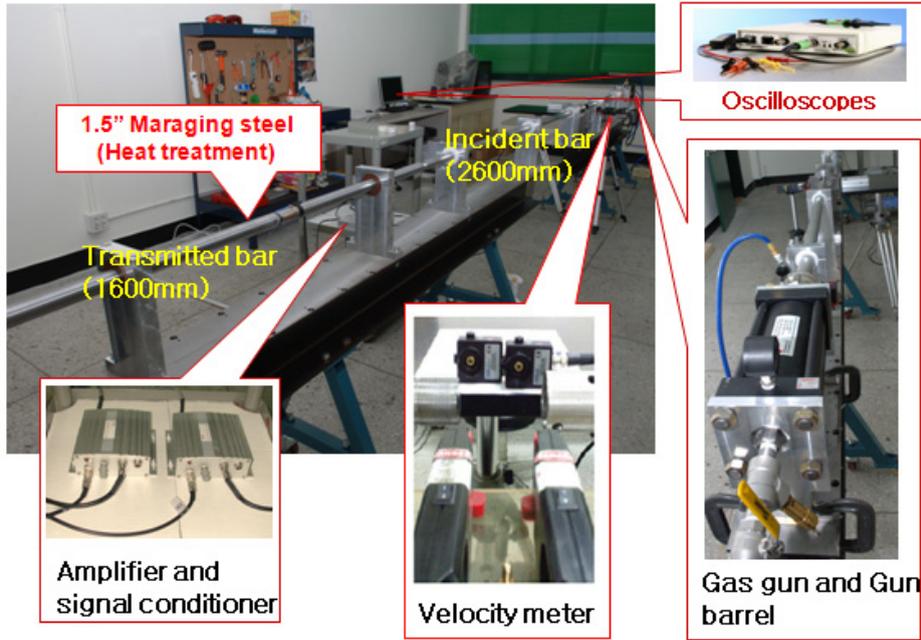


Fig. 3. SHPB Set-up

Table 4. Test conditions and results

No	충격속도 (m/s)	실험 전		실험 후				
		펄스 웨이퍼 직경 (mm)	펄스 웨이퍼 두께 (mm)	펄스 웨이퍼 직경 (mm)	펄스 웨이퍼 두께 (mm)	펄스 웨이퍼의 변형률	펄스 웨이퍼의 최대 응력 (MPa)	입사바 에서의 최대 응력 (MPa)
11	12.767	14.95	0.98	16.75	0.79	0.19	23058.99	4560
13	12.773	9.95	0.99	13.08	0.56	0.43	34987.09	4368
15	12.872	7.46	0.98	11.32	0.43	0.56	46420.00	4200
17	12.833	4.98	0.98	9.64	0.26	0.73	65487.82	4367

4. 참고문헌

Carlson S. R. and R. P. Young, 1993, Acoustic emission and ultrasonic velocity study of excavation-induced microcrack damage at the underground research laboratory, Int. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences, 30, 901-907

- Maxwell SC and Young RP, 1993, Seismic Imaging of Blast Damage, *Int. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 30, 1435-1440
- Sato, T., T. Kikuchi and K. Sugihara, 2000, In-situ experiments on an excavation disturbed zone induced by mechanical excavation in Neogene sedimentary rock at Tono mine, central Japan, *Eng. Geol.* 56, 97-108
- 장수호, 신일재, 최용근, 이정인, 2000, 발파에 의한 터널 주변 암반의 손상영역 평가에 관한 연구, *한국지반공학회논문집*, 제16권 제5호, 129-140
- 최병희, 정주환, 신중호, 조철현, 2008, 탄성과 탐사법을 활용한 광산갱도 주벽의 발파 손상대 평가, *대한화약발파공학회 춘계학술발표회 논문집*, 21-31
- Cho SH, Mohanty B, Rajeev R, Xia K, Kaneko K, 2007, "Fragmentation mechanism of rock in Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) test", 21st Canadian Congress of Applied Mechanics, Ryerson University, Toronto, Canada, June 3-7, 607-608