

## 발파하중 측정을 위한 SMB센서의 동적응답특성에 관한 연구

안중량 · 조상호 · 김승곤 · 김학만 · 강형민 · 이명진<sup>1)</sup> · 성낙훈<sup>2)</sup>

### 1. 서론

발파에서 장약실내 폭약의 폭발현상 및 주변에 전달된 충격하중에 관한 정보는 발파설계 및 새로운 발파공법의 개발에 중요하다. 그러나 발파현상과 같이 짧은 시간 내에 발생하는 동적인 정보를 얻기 위해서는 고가의 계측시스템 및 압력센서가 필요하다. 특히 압력센서의 경우 한번 사용으로 수명이 다하므로 다소 많은 경비가 소모되는 실정이다. 이런 단점을 보완하기 위하여 菅阪浩男등은 압전센서, 고속촬영 슈리렌법, 핀브로브법등을 이용하여 충격압력 또는 폭발압력을 측정하는 방법을 사용하였다(교토대학 박사학위 논문 菅阪浩男). 특히 충격압측실험에서 콘크리트 내 동적하중을 측정하기 위하여 아크릴 봉을 이용한 동적 변형을 측정법을 제안되었다. (일본토목공학학회지, 1999: 藤掛一典외) 따라서, 본 연구에서는 흡킨슨 압력바의 측정원리를 이용하여 충격하중을 측정하는 저가형 Strain Measurement Bar(SMB) 센서를 제작하였으며, 현장적용에 앞서 SMB센서의 길이 및 추의 높이에 따른 충격하중을 변화시키며 충격하중에 대한 센서의 동적응답특성을 알아보았다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 충격 압력봉(SMB)센서

충격하중에 대한 동적변형특성을 철, 알루미늄, 아크릴 재질의 봉을 사용하였으며 반사파의 영향을 고려하여 각각 10, 20, 30cm의 길이로 절단하였다. 절단된 봉의 중앙에 KYOWA 350 $\Omega$  스트레인 게이지(리드와이어 길이 1m)를 부착한다. (그림 1) 본 연구에서는 충격하중의 변화에 따른 센서의 동적응답특성을 고려하고 있기 때문에 단순한 형태의 센서로 제작되었다. 센서의 상단과 하단은 반복적인 충격시 접촉면의 오차를 줄이기 위하여 정밀하게 가공하였다.

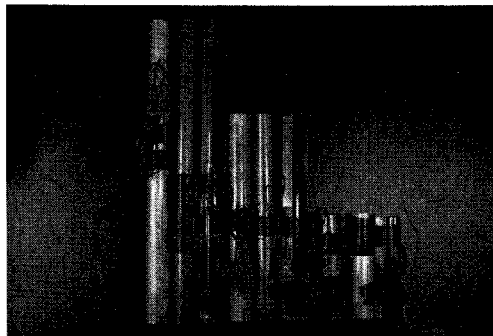


그림 1. SMB 센서 사진

1) 전북대학교 자원에너지공학과

2) 한국지질자원연구원

## 2.2 낙하충격실험

낙하충격실험은 그림 2와 같이 직경 40mm의 원통형 파이프 속에 각각의 시료를 고정하고, 파이프 하단에 고정된 180, 230g의 강구를 낙하시킨다. 이때 파이프의 높이는 각각 120, 150, 180cm로 서로 다르게 하여서 충격력에 변화를 준다. 추와 센서가 충돌 후 추와 센서 내에 압축응력파가 발생하는데 추 내부의 압축응력파가 반사하여 접촉면에 도달하기 전까지 충격력은 센서로 계속해서 전달된다. 센서 내에 발생된 충격하중은 센서의 중앙에 부착된 변형률 게이지를 통하여 측정된다. 변형률신호는 매우 미약하므로 Strain Amplifiers(Model No. Kyowa DPM-305A)에 의하여 증폭되고 변형률신호는 디지털데이터로 변환되어 컴퓨터 내장형 오실로 스코프(Tektronix DPO2014, 1Giga sampling/sec)에 저장된다. 검출된 파형으로부터 최대 전압 값 V과 최대 전압 값에 도달하는 시간  $\Delta t$ 를 측정한다.

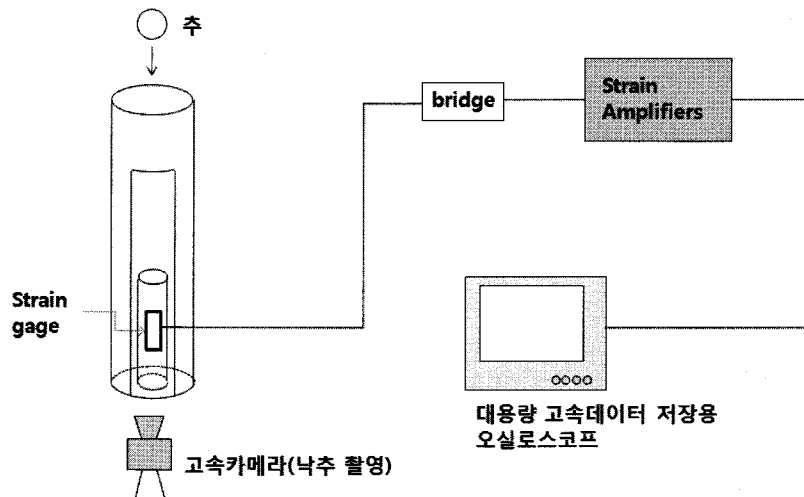


그림 2. 실험모식도

낙하시 충격력, F는 에너지보존법칙을 가정하여 아래와 같은 식으로 구할 수 있다.

$$F = m(1 + e)\sqrt{2gt} / \Delta t \quad (1)$$

여기서 m은 질량, e는 반발계수(리바운드속도/낙하속도), g는 중력가속도, h는 낙하높이,  $\Delta t$ 는 센서와 추의 접촉시간을 의미한다. 반발계수는 추가 낙하할 때와 튀어 오를 때의 속도를 고속카메라 촬영으로 구한다.

## 3. 실험결과 및 검토

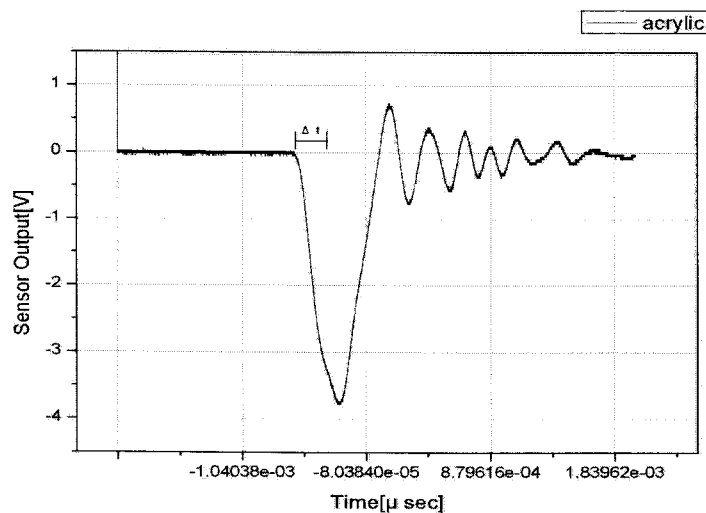
3종류(180, 230, 340g)의 강구를 120cm~180cm높이에서 떨어뜨리며, 충격력 F와 출력전압을 측정하였다. 그림 3은 230g의 강구를 1.8m 높이에서 낙하시켰을 때 아크릴 SMB 센서에서 계측된 출력전압곡선을 보이고 있다. 이때 발생된 충격력은 1892N이었다. 그림 4는 아크릴 SMB 센서의 충격력과 출력전압의 관계를 보여주고 있다. 이때 낙하높이는 150cm이었으

며 충격력은 1950 - 2600 N 범위를 보여주고 있다. 그림 4는 알루미늄 SMB 센서의 충격력과 출력전압의 관계를 보여주고 있으며, 7500 - 7600 N의 충격력이 발생되었다. 그림7은 철 SMB 센서의 충격력과 출력전압의 관계를 보여주고 있다. 출력전압은 센서 중 가장 낮은 레벨이 보이고 있어 발파하중과 같은 높은 충격력을 측정하는데 유리할 것으로 판단된다. 낙추실험으로 구한 출력전압과 충격력의 관계를 선형관계식으로 분석하여 표 1에 정리하였다. 여기서 제안된 보정상수를 이용하면 재질별 SMB 센서의 출력전압으로 충격력을 환산할 수 있다. 특히 물리적으로 보정상수 b는 0이 되어야지만 표 1에서 보여주는 바와 같이 -값을 보이고 있다. 이것은 측정시스템 및 낙추실험의 오차가 포함되어 있는 것으로 판단된다.

표 1. 보정상수와 선형상관계수

	보정상수		선형상관계수
	a	b	
아크릴	0.00275	-2.9515	0.99
철	2.10341E-4	-0.368	0.8
알루미늄	9.93631E-4	-6.49962	0.99

회귀분석식:  $V(V) = a F(N) + b$



$m=230g, h=180cm$

$E_{max} = 3.87V, \Delta t = 3.27 \mu sec., F = 1892N$

그림 3. 아크릴 SMB센서의 출력전압곡선

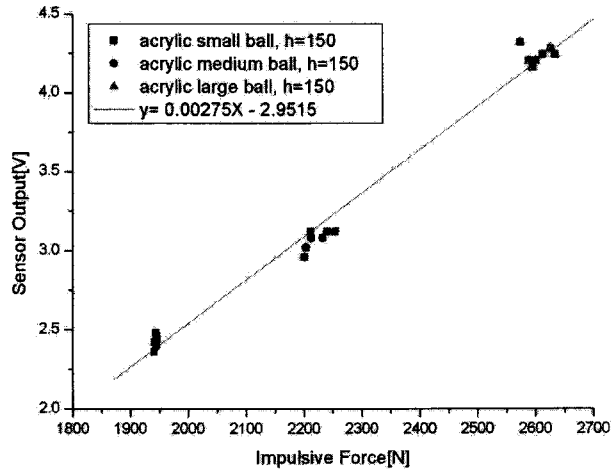


그림 4. 아크릴의 SMB 센서의 충격력F와 최대 출력전압V 그래프

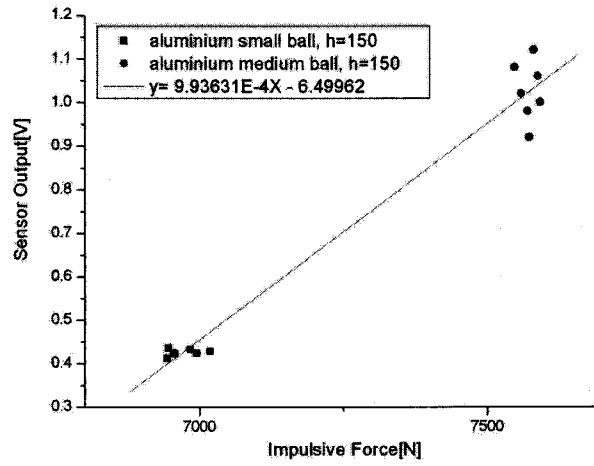


그림 5. 알루미늄 SMB 센서의 충격력F와 최대 출력전압V 그래프

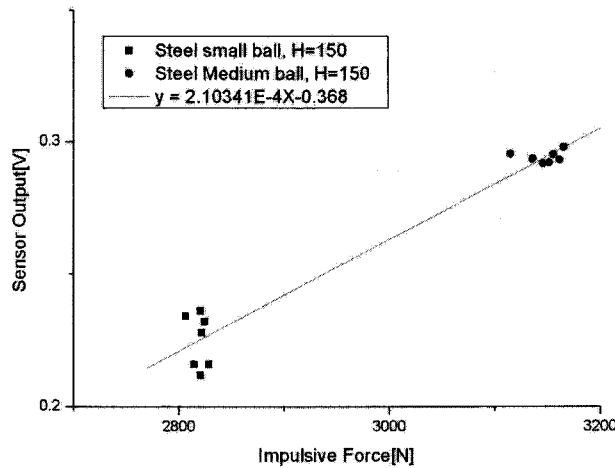


그림 6. 철 SMB 센서의 충격력F와 최대 출력전압V 그래프

#### 4. 결론

홉킨슨 압력바의 측정원리를 이용한 저가형 Strain Measurement Bar (SMB) 센서를 제안하였으며, 낙하충격시험을 수행하여 충격력과 출력전압의 관계를 구하였다. 아크릴 SMB 센서의 경우 1950 - 2600 N의 충격력을, 알루미늄 SMB 센서는 7500 - 7600 N의 충격력을 보여주었다. 특히 철 SMB 센서의 경우, 출력전압은 센서 중 가장 낮은 레벨을 보이고 있어 발파하중과 같이 높은 충격력을 측정하는데 유리할 것으로 판단된다. 모든 센서의 출력전압과 충격력의 관계를 선형관계식으로 분석한 결과 0.98이상의 높은 상관성을 보여주었다.

#### 참고문헌

1. 苧阪浩男 교토대학 박사학위 논문
2. 藤掛一典의 3명 일본토목공학학회지, 1999