

## 실규모 기둥의 발파실험 및 발파해체용 최적전색재로 선정에 관한 연구

조상호<sup>1)</sup>, 민형동<sup>2)</sup>, 김학만<sup>1)\*</sup>, 김승곤<sup>1)</sup>, 박종호<sup>2)</sup>, 송영석<sup>2)</sup>, 양정훈<sup>1)</sup>

### 1. 서론

현대 도심지에서 구조물의 노후화에 따른 철거 및 재건축등 많은 해체 공사가 이루어지고 있으며 5층 이하의 저층 구조물은 주로 대형브레이커나 압쇄기를 이용하는 기계식 해체 공법이 이용되어 왔으나, 중·고층 구조물의 해체공사는 발파해체공법을 적용하는 사례가 증가한다.(박훈, 2007; 김승곤 외,2002) 이때 구조물 발파해체 작업에서 화약의 효율적인 사용을 하기 위해서는 폭약이 장전된 공에 전색하여야 한다. 그러나 발파해체 작업은 노천발파나 터널발파와는 달리 전색장이 짧아서 공발 및 비산 등의 발생 가능성이 높다(강추원, 2000; kojovic, 2005) 김재극(1964)은 전색물의 종류를 달리하여 암반발파에 미치는 영향에 관하여 연구하였으며 사용된 전색물은 물, 입자가 다른 모래와 점토로 실험을하였다. 본 연구에 앞서 발파현장에서 비교적 용이하게 적용되는 전색재를 대상으로 실내 전색재 저항 실험을 수행하였으며, 이들 전색재 중 성적이 좋은 자연사와 쇄석의 혼합재, 무수축그라우트몰탈, 백시멘트를 선정하여 연구에 적용하였다. 선정된 전색재를 벽체와 정방형 기둥공시체 발파실험에 적용하여 최적의 전색재를 선정하는데 특히 폭발하중에 대한 전색재 저항특성을 알아보기 위하여 동적데이터 획득시스템을 적용하여 기폭시간과 전색재의 압출시작시간 계측하였다. 여기서 폭발하중에 의한 전색재의 붕괴속도 및 비산속도는 충격데이터 모니터링 시스템(Nakamura, 1999; Cho, 2008)에 의하여 측정되었다. 고속카메라로 촬영한 전색재의 비산양상관찰, 방호재 팽창정도, 기둥표면의 손상정도를 측정하여 가중치를 부여한 5점 척도법을 이용하여 기둥별 최적의 전색재를 선정한다.

### 2. 실규모 기둥공시체 발파해체 실험

#### 2.1 실험 개요

기둥공시체는 두가지 타입으로 제작하였으며, 250×700×1500mm(가로×세로×높이, TYPE I)의 벽체형 공시체는 규모로 넓은 면을 정면으로 하여 중심부에 직경  $\phi$ 45mm, 길이 150mm의 원형공을 가진 철근콘크리트 블록을 제작하였고 550×550×1500mm(TYPE II) 정방형 기둥공시체는 직경  $\phi$ 45mm, 천공길이 360mm 의 원형공을 가진 철근콘크리트 블록으로 제작하였다. 본 발파실험에서는 그림 1과 같이 동적데이터 측정법을 적용해 이온게이지법에 의한 뇌관의 정밀한 기폭초시측정, 레이저 속도계에 의한 전색재 분출속도를 측정하여 전색재에 대한 구속효과를 평가한다. 여기서 이온게이지법은 고속 오실로스코프에 트리거신호를 제공하여 정확한 뇌관의 기폭초시와 전색재의 분출시간을 정확하게 검출할 수 있

1) 전북대학교 자원에너지공학과

2) (주)한화 화약기술팀

도록 하는 방법이다.

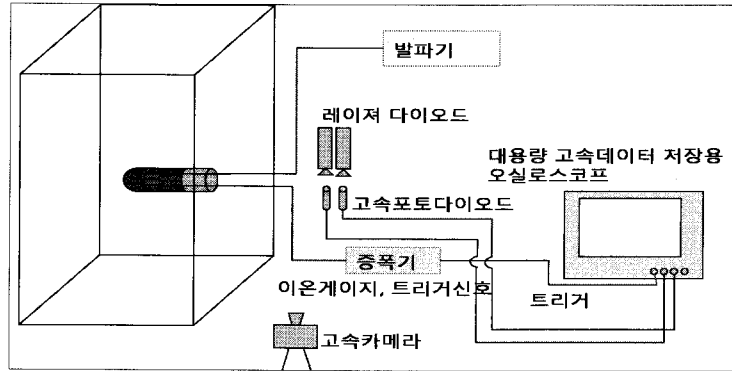


그림 1. 실규모 기둥 발파해체실험 개요도

## 2.2 표준장약량산정 실험

실험발파에 앞서 벽체형과 정방형 기둥공시체의 표준장약량을 산정하기 위해 발파를 수행하였다. 실험에 사용된 화약은 메가마이트(28mm)와 전기 뇌관을 사용하였다. 방호에 따른 표준장약량을 선정하기 위해 발파계수의 변화에 따른 기준장약량을 변화 시키면서 공시체 Type별 실험을 5회씩 수행하였고, 표준장약량으로 표 1과 같이 표준장약량을 선정하였다.

표 1 벽체형과 정방형 기둥공시체의 표준장약량

	체적(mm)	천공장(mm)	전색재	표준장약량(g)
벽체 기둥공시체	250*700*1500	150	모래+쇄석	17.5
정방형 기둥공시체	550*550*1500	360	모래+쇄석	90.0

## 2.3 실험결과

최적의 전색재료를 선정하기 위하여 실규모 기둥발파실험결과를 방호재 팽창, 파쇄범위, 파쇄면적, 분출속도, 비산속도, 시공성, 사전준비성, 경제성 철근 휨, 손상체적으로 구분하여 표 2에 정리하였다. 방호재 팽창정도는 자연사와 쇄석의 혼합재가 가장 높은 값을 나타냈고, 분출속도와 비산속도에서는 벽체형 공시체의 경우는 무수축 그라우트몰탈이 가장 낮은 전색재 붕괴속도를 나타내고 있으며 정방형 기둥공시체의 경우에는 백시멘트가 가장 낮은 붕괴속도를 나타냈다. 벽체형 공시체의 파쇄면적 측정결과, 무수축 그라우트몰탈이 가장 높았으며, 정방형 기둥 공시체의 손상체적은 자연사와 쇄석의 혼합재가 가장 높은 값을 나타냈다.

표 2 실규모 발파실험 평가 항목별 결과

구 분	벽체형 공시체			정방형 기둥 공시체		
	자연사+쇄석	백시멘트	무수축 그라우트물탈	자연사+쇄석	백시멘트	무수축 그라우트물탈
방호재 팽창(cm)	20	15.6	13.5	33	31	28
분출속도(m/s)	488.62	400.27	384.1	597.78	411.22	567.74
비산속도(m/s)	307.39	143.24	148.89	118.09	43.34	77.55
파쇄면적(m <sup>2</sup> )	0.359	0.302	0.446	-	-	-
손상체적(m <sup>3</sup> )	-	-	-	0.211	0.206	0.209
철근 휨(cm)	-	-	-	9.33	12.75	10.75
시공성(초)	1'19"36	1'15"53"	57"45"	2'09"34"	1'40"90"	1'09"57"
경제성(원)	2.6376	147.96	219.94	2.6376	147.96	219.94

### 3. 최적 전색재료 선정법 및 결과

#### 3.1 고속카메라 분석

각 전색재의 분출 및 비산거동을 관찰하기 위하여 고속카메라를 이용하여 공구부분을 촬영하였다. 기폭시간을 유추하기 위하여 전기뇌관에 시그널튜브를 연결하여 공구까지 노출되도록 하였다. 그림 2에는 무수축 그라우트 물탈, 백시멘트, 자연사와 쇄석 혼합재를 사용한 기둥 공시체의 발파에서 촬영된 고속화상을 보여주고 있다. 무수축 그라우트 물탈의 경우에는 먼저 시그널 튜브에 의한 불꽃이 보이고 0.8ms이후에 물탈의 분출이 시작되어 그 이후에는 거의 일직선으로 비산하는 집중적 비산양상을 보였다. 백시멘트의 경우에는 넓은 각도로 분산하여 비산하는 거동을 보였으나, 자연사와 쇄석 혼합재의 경우 비교적 넓은 분산과 함께 빠른 속도로 비산하고 있음을 보여주고 있다. 또한 자연사와 쇄석 혼합재를 사용한 경우 공구부분의 방호재 팽창이 가장 빠르게 발생한다는 것을 알 수 있었다.

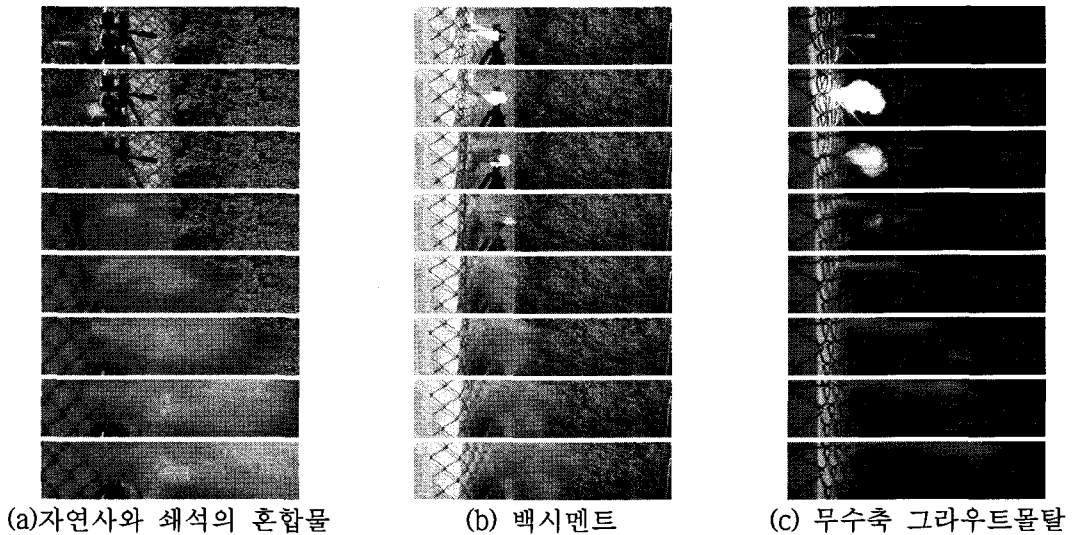


그림 2 전색재별 비산양상 화상촬영

### 3.2 최적 전색재 선정

그림 3은 전색재별 측정값을 평가한 결과이며 벽체형 공시체에서 무수축 그라우트몰탈(GM)이 평가점수 550점으로 가장 높은 값을 나타내었고 백시멘트(WC)와 자연사와 쇄석의 혼합재(BSand)는 430점으로 같은 값을 보였다. 정방형 기둥 공시체의 경우, 자연사와 쇄석의 혼합재(Bsand)가 670점으로 가장 높은 점수를 나타냈으며 무수축 그라우트몰탈(GM)이 630점, 자연사 + 쇄석의 혼합재(Bsand)가 590점으로 나타났다.

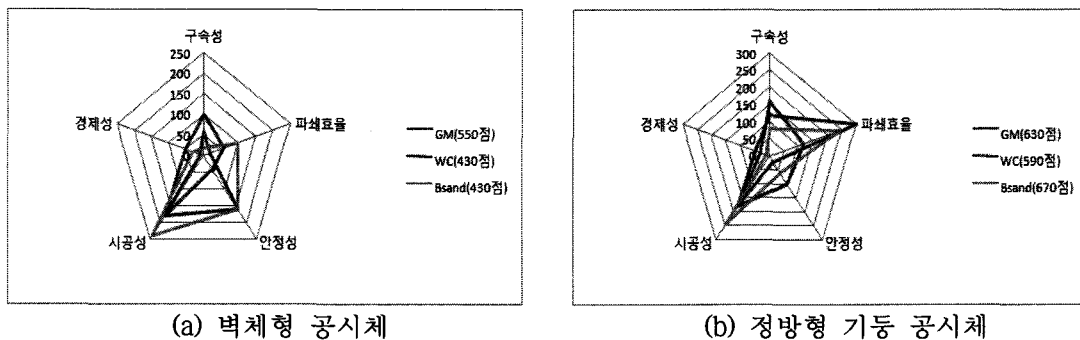


그림 3. 5점 척도법에 의한 전색재 평가결과

### 4. 결론

1. 방호재 팽창정도는 자연사와 쇄석의 혼합물이 가장 높은 값을 보였으며 백시멘트, 무수축 그라우트 몰탈 순으로 나타났다.
2. 벽체형 공시체의 경우 무수축 그라우트 몰탈이 가장 높은 평균파쇄면적을 보였으며 자연사와 쇄석의 혼합물, 백시멘트 순으로 나타났고, 정방형 기둥 공시체의 경우 자연사+쇄석에서 가장 높은 평균손상체적을 보였으며 무수축 그라우트 몰탈, 백시멘트 순으로 확인되었다.

3. 벽체형 공시체에서 철근의 휨은 나타나지 않았으나, 정방형 기둥 공시체의 경우 백시멘트, 무수축 그라우트 몰탈, 혼합재 순으로 높은 철근의 휨 정도를 보여주었다.
4. 전색재 평균 붕괴속도를 살펴보면 벽체형 공시체의 경우, 무수축 그라우트 몰탈이 가장 낮은 전색재 붕괴속도를 나타내고 있으나, 정방형 공시체의 경우에는 백시멘트가 가장 낮은 붕괴속도였으며, 평균 비산속도는 백시멘트가 가장 낮은 값을 보였다.
5. 고속카메라 분석결과, 무수축 그라우트몰탈의 경우 거의 일직선으로 비산하는 집중적 비산양상을 보였으나, 백시멘트는 넓은 각도로 분산되어 비산하는 거동을 보였으며 자연사와 쇄석 혼합재의 경우 비교적 넓게 분산되어 빠른 속도로 비산하는 경향을 보였다.
6. 전색재별 평가 요소 등을 고려하여 5점 척도법으로 평가한 결과, 벽체형 공시체의 최적 전색재료는 무수축 그라우트 몰탈이고, 정방형 기둥 공시체는 자연사+쇄석의 혼합재가 선정되었다. 향후, 추가적인 현장 시험을 실시하여 전색효과를 검증을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 박 훈, 2005, 철근콘크리트 기둥 발파시 수직하중에 따른 파쇄형태 및 파쇄체적, 대한 화약발파공학회지, 2, 45-56
2. Stephen. Chung, Graham G.W. Mustoe, 2002, Effects of Particles Shape and Size Distribution on Stemming Performance in Blasting, American Society of Civil Engineering, pp. 288-293
3. 김재극, 1964, 전색물이 암석발파에 미치는 영향, 광산학회지, 1, 77-84
4. 강추원, 2000, 건공에서 Super Tamping Material에 관한 연구, 18, pp. 11-48
5. 강추원, 1997, 시가지 발파에서 공저 전색물이 발파진동에 미치는 영향, 터널과 지하공간, Vol. 7, pp.51-57
6. Kojovic, 2005, Influence of aggregate stemming in blasting on the SAG mill performance, Minerals Engineering, 18, pp. 1398-1404
7. Yuichi Nakamura, 1999, Model experiments on effectiveness of fracture plane control methods in blasting, Int. J. of Blasting and Fragmentation, 3, pp 59-78