

소음 저감을 위한 발파 파쇄암의 입도 예측에 관한 연구

° 김하근**, 김명준**, 김홍식*

Prediction on the Particle Size of Blasted Rock in order to reduce Noise

Ha-Geun Kim, Myung-Jun Kim, Heung-Sik Kim

ABSTRACT

This study aims to predict the particle size of blasted rock. For this purpose, Predicted particle sizes were compared with the measured particle sizes at the rock blasting sites, where various blasting patterns which controls the bench height, depth of blasted hole, burden, spacing etc were tested. the difference of mean fragment size between measured and predicted values was 0.11m

1. 서론

최근 산업이 발달과 첨단장비의 개발에 힘입어 건설공사장의 지하터파기시 브레이커에 의한 암파쇄에서 발파에 의한 암파쇄 공법으로 변화되고 있다. 건설현장에서 지나치게 경제성을 추구한 적정하지 못한 발파설계의 경우 발파후 파쇄암의 크기가 1m이상 되며, 용이한 운반을 위하여 브레이커에 의해 재파쇄하게 된다. 이러한 재파쇄시 소음은 건설현장에서 가장 불만적인 소음으로 지적되고 있어 환경분쟁이 발생될 가능성이 많다.

따라서 발파계획단계에서 발파후 파쇄암의 크기를 예측하르로서 브레이커 작업음을 최소화할 수 있으며, 아울러 운반도 용이하게 된다.

파쇄암의 크기에 영향을 미치는 요소로는 저항선, 공간간격, 비장약량, 암석종류, 공 깊이, 전색길이 등이 있

다. 본 연구에서는 저항선, 공간간격 등 발파결과에 영향을 미치는 여러 요인들을 변화시켜 암석을 파쇄한 후 파쇄암의 크기를 실측하였으며, 이를 예측식에 의한 크기와 비교하여 파쇄암 예측방법의 신뢰도를 검증하였다.

2. 파쇄암 예측 이론

국내에서는 파쇄입도 예측과 관련된 연구는 전무한 실정이며, 외국의 경우에도 파쇄입도 예측식은 매우 한정되어 있으며, 다음과 같은 2가지 식이 일반적으로 사용되고 있다.

- Lundborg and Lasson 식

$$k_{50} = s * (1 + 4.67 * (h/H)^{2.5}) * \exp(0.29 * \ln(V^2 \sqrt{E}/V/1.25)) - 1.18 * \ln(q/c) - 0.82$$

----- (식 1)

s : 발파상수,
보통 : 0.5, 균질한 암석 : 0.4,
매우 결합력이 강한 (jointy) 암석 : 0.6

* 정희원, 대한주택공사 수석연구원
** 정희원, 대한주택공사 선임연구원

- h : 전색길이(m)
- H : 공길이(m)
- V : 저항선(m)
- E : 공간격(m)
- q : 비장약량(kg/m^3)
- c : 암석 계수(kg/m^3)

- Kutznetsov and Cunningham 식

$$k_{50} = A * q^{0.8} * Q^{(1/6)} * (115/E)^{(19/30)}$$

----- (식 2)

- A : 암석 상수
- q : 비장약량(kg/m^3)
- Q : 공당 장약량($kg/공$)
- E : 폭약의 상대 강도

(식 1)의 경우는 약 7개의 변수를 입력하고 있으며, (식 2)의 경우는 약 4개의 변수를 고려하여 파쇄입도를 예측하고 있다. 본 연구에서는 위 두 식 중 발파시 여러 요인들을 반영하여 보다 정확한 예측이 기대되는 (식 1)에 의하여 파쇄암의 입도를 예측코자 한다.

3. 파쇄암의 크기 조사

파쇄암의 입도를 정확히 평가하기 위해서는 파쇄암을 채가름하여 중량을 파악하여야 한다. 그러나 파쇄암은 채가름하기에는 직경과 중량이 커 비현실적이다. 따라서 다음과 같은 방법이 일반적으로 사용된다.

1) 목측 검사

평가의 단순함과 적은 비용으로 인하여 일반적으로 많이 사용되고 있으며, 개략적인 경향만을 파악할 수 있다.

2) 파쇄암 사진 분석

여러 경우에 대한 암쇄암 결과를 사진 촬영한 후 개개의 파쇄암에 대한 이미지를 전자 펜에 의해 컴퓨터로 전송한다. 파쇄암의 분포가 컴퓨터에 의해 계산된다.

3) 사진 이미지 분석

파쇄암 사진 촬영시 사진 속에 스케일을 포함한 다. 예를 들어 지름을 알고 있는 공을 넣거나, 줄자를 포함하여 사진 촬영한 후 사진 속의 파쇄암을 아래 그림과 같이 펜으로 그린 다음 이를 컴퓨터에 의해 이미지 분석한다. 이때 파쇄암에 의해 형성된 그림자 등은 검은 색으로 칠하며, 이 부분은 컴퓨터 이미지 분석시 제외된다. 이러한 이미지 분석에 의해 평균 파쇄입도와 파쇄암의 분포를 알 수 있으며, 남아프리카 등에서 이 방법이 많이 사용되고 있다.

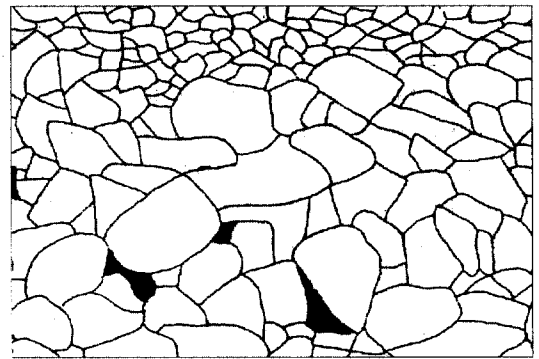


그림 1 이미지 분석 작업 후 파쇄암 형상 예

4) 전석(Boulder)의 수 조사

간편하면서 널리 사용되는 방법으로서 전석의 수와 평균 입도를 조사한다. 단 이 방법은 기준치보다 더 큰 파쇄암만을 고려한다는 한계가 있다.

본 연구에서는 이상의 4가지 방법중 실무적으로 소할량 예측의 필요성, 분석 방법의 합리성 등을 고려하여 3)번재의 사진이미지 분석 방법을 선택하여 현장에서 촬영한 사진을 대상으로 파쇄암 입도 실태를 조사하였다.

분석항목으로는 파쇄암을 0~0.2m, 0.21~0.4m, 0.41~0.6m, 0.61~0.8m, 0.81~1.0m, 1.01~1.2m, 1.21~1.4m, 1.41~1.6m, 1.61m이상 등으로 구분하여 파쇄암의 수, 면적, 구분간격별 누적 분포 등을

파악하였으며, 아울러 면적 가중 평균파쇄입도를 구하였다. 본 연구에서는 암석의 밀도가 동일하다고 가정하여 부피 가중평균 파쇄입도를 구하는 것이 중량 가중 평균파쇄입도와 가장 유사한 값을 가질 것이라 판단하였으나, 사진 이미지 분석의 경우 3차원 분석이 되지 않고 2차원의 면적에 대한 분석만 가능하여 면적가중 평균 파쇄 입도만을 구하였으며, 이를 (식 1)에 의해 예측한 평균파쇄 입도 값과 비교 분석하였다.

4. 조사 대상

조사 대상 파쇄암의 발파 패턴은 광명시 C 지구 4개, 서울시 K지구 4개이며, 각 발파패턴은 표 1과 같으며, 발파 후 발파패턴별 파쇄암에 대한 사진 촬영 결과의 일례는 [사진 1] ~ [사진 3]과 같다. 발파 패턴은 현장의 작업 여건을 고려하고, 공기에 지장을 주지 않은 범위에서 1개의 패턴을 1일 이상 발파하여 파쇄암의 입도를 조사하였다.

표 1 파쇄암의 발파 패턴

암종류	구분	저항선 (m)	공간간격 (m)	천공깊이 (m)	장약량 (kg)	천공경 (mm)	비장약량 (kg/m ³)
보통 암일 경우 (광명 C 지구)	A	1.0	1.0	3.2	1.0	45	0.35
	B	0.8	0.8	2.5	0.625	45	0.43
	C	1.0	1.0	3.0	1.0	45	0.38
	D	0.7	0.8	1.6	0.375	45	0.47
연암일 경우 (서울 K 지구)	E	0.8	0.8	2.1	0.5	45	0.44
	F	0.8	1.0	2.4	0.625	45	0.38
	G	0.7	0.8	2.1	0.5	45	0.50
	H	0.7	0.7	2.0	0.5	45	0.57

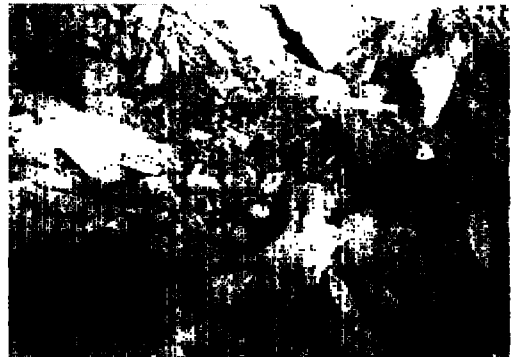
저항선과 공간간격, 천공깊이 등을 더 크게 하는 등 다양하게 설계한 후 파쇄암의 입도를 조사하고자 의도하였으나, 본 연구의 대상 지역이 민원에



[사진 1] 발파패턴 A의 경우 파쇄 결과



[사진 2] 발파패턴 C의 경우 파쇄 결과



[사진 3] 발파패턴 E의 경우 파쇄 결과

민감한 도심지역으로서 저항선, 공간간격, 화약량 등의 변화량에 한계가 있었다. 그러나 본 연구의 목적중의 하나인 평균 파쇄입도를 1m 이내로 하기 위한 발파설계의 경우 저항선, 공간간격 등을 작게

하는 것이 유리하므로 주로 저항선이 공간간격은 1m 이내로, 천공깊이는 발파작업의 효율성을 고려하여 1m 이상으로 설계하여 파쇄입도를 조사하였다.

5 조사결과 및 예측치와의 비교

표 2는 이미지 분석법에 의해 보통암에 대한 발파패턴별, 구분간격별 파쇄암의 개수 및 면적을 구한 결과이다. 저항선이 1m, 천공깊이 3m이상인 발파패턴 A와 C는 다른 발파 패턴에 비해 1m 이상인 크기의 파쇄암 수가 전체 파쇄암 수의 약 1~9%를 차지하고 있었으며, 발파패턴 A와 C에 비해 상대적으로 저항선 및 천공깊이가 작은 다른 발파 패턴에서는 1m 이상인 크기의 파쇄암 수가 전체 파쇄암 수의 약 1% 이하로 나타났다. 반면 구분간격별 파쇄암의 면적에 있어서는 발파패턴 A와 C의 경우 1m이상인 크기의 파쇄암이 전체 면적의 12~42%를 차지하고 있었다.

이미지 분석에 의해 구한 평균파쇄입도를 초과하는 파쇄암의 수는 전체 파쇄암 수의 약 4~13% 정도이며, 평균파쇄입도를 초과하는 파쇄암의 면적은 25~45%로 나타났다.

표 3은 연암에 대해 이미지 분석법에 의해 발파패턴별 구분간격별 개수 및 면적을 구한 결과이다. 모든 경우에 있어서 저항선이 1m이하, 천공깊이 2.5m이하인 발파패턴을 가지고 있으며, 1m 이상인 크기의 파쇄암 수가 전체 파쇄암 수의 약 1%이내임을 알 수 있다.

이미지 분석에 의해 구한 평균파쇄입도를 초과

하는 파쇄암의 수는 전체 파쇄암 수의 약 1.2~4% 정도이며, 평균파쇄입도를 초과하는 파쇄암의 면적은 22~36%로 나타났다.

표 2 발파패턴별 구분간격별 파쇄암 개수 및 면적 (보통암인 경우)

구분	발파 패턴 A	발파 패턴 B	발파 패턴 C	발파 패턴 D	
구분 간격별 개수	0~0.2m	17개 (19%)	53개 (21%)	125개 (37%)	89개 (41%)
	0.21~0.4m	27개 (30%)	124개 (48%)	109개 (32%)	83개 (37%)
	0.41~0.6m	23개 (26%)	50개 (19%)	53개 (16%)	40개 (18%)
	0.61~0.8m	9개 (10%)	22개 (9%)	31개 (9%)	6개 (3%)
	0.81~1.0m	5개 (6%)	7개 (3%)	17개 (5%)	2개 (1%)
	1.01~1.2m	4개 (5%)	3개 (1%)	0	0
	1.21~1.4m	3개 (3%)	0	4개 (1%)	0
	1.41~1.6m	1개(1%) (1%)	0	0	0
	1.61m 이상	0	0	0	0
구분 간격별 면적	0~0.2m	0.22m ² (1%)	0.81m ² (3%)	0.75m ² (2%)	0.34m ² (2%)
	0.21~0.4m	1.39m ² (8%)	5.96m ² (24%)	5.40m ² (17%)	5.12m ² (36%)
	0.41~0.6m	3.12m ² (19%)	7.23m ² (29%)	6.92m ² (22%)	5.37m ² (37%)
	0.61~0.8m	2.53m ² (15%)	5.71m ² (23%)	7.96m ² (25%)	2.50m ² (17%)
	0.81~1.0m	2.42m ² (15%)	3.42m ² (14%)	7.16m ² (22%)	1.10m ² (8%)
	1.01~1.2m	2.81m ² (17%)	2.00m ² (8%)	2.61m ² (8%)	0
	1.21~1.4m	2.72m ² (17%)	0	1.30m ² (4%)	0
	1.41~1.6m	1.24m ² (8%)	0	0	0
	1.61m 이상	0	0	0	0
평균 파쇄입도	0.88	0.58	0.69	0.49	

표 3 발파패턴별 구분간격별 파쇄암 개수 및 면적 (연암인 경우)

구 분		발파 패턴 E	발파 패턴 F	발파 패턴 G	발파 패턴 H
구분 간격별 개수	0~0.2m	512개 (75%)	225개 (72%)	423개 (68%)	222개 (50%)
	0.21~0.4m	128개 (19%)	54개 (17%)	153개 (25%)	153개 (34%)
	0.41~0.6m	24개 (4%)	22개 (7%)	22개 (4%)	58개 (13%)
	0.61~0.8m	10개 (2%)	4개 (1%)	13개 (2%)	11개 (3%)
	0.81~1.0m	3개 (0.4%)	4개 (1%)	5개 (1%)	4개 (1%)
	1.01~1.2m	2개 (0.3%)	2개 (0.6%)	2개 (0.3%)	0
	1.21~1.4m	0	0	0	0
	1.41~1.6m	3개 (0.4%)	0	0	0
	1.61m 이상	0	0	0	0
구분 간격별 면적	0~0.2m	2.98m' (15%)	0.64m' (7%)	3.69m' (18%)	1.50m' (7%)
	0.21~0.4m	5.75m' (29%)	2.32m' (24%)	6.69m' (32%)	7.40m' (35%)
	0.41~0.6m	2.60m' (13%)	2.72m' (28%)	2.90m' (14%)	7.70m' (36%)
	0.61~0.8m	2.67m' (14%)	1.03m' (11%)	3.69m' (18%)	2.50m' (12%)
	0.81~1.0m	1.38m' (7%)	1.87m' (19%)	2.27m' (11%)	2.10m' (10%)
	1.01~1.2m	1.31m' (7%)	1.10m' (11%)	1.39m' (7%)	0
	1.21~1.4m	1.94m' (10%)	0	0	0
	1.41~1.6m	1.20m' (6%)	0	0	0
	1.61m 이상	0	0	0	0
평균파쇄입도		0.66	0.60	0.48	0.46

표 4는 (식 1)에 의해 발파조건별 평균 파쇄입도를 예측한 값과 이미지 분석에 의해 실측한 값을 비교한 결과이다. 실측치는 예측한 값에 비해 대부분 작게 나타나고 있었으며, 평균적으로 약 0.1m 정도 차이가 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서 적용한 예측식에 의해 평균파쇄입도를 예측한 경우, 평균파쇄입도를 초과한 파쇄암의 수는 표 2 및 표 3의 결과로부터 전체 파쇄암 수의 약 5%내외 일 것으로 추정된다.

표 4 평균 파쇄 입도 예측치 및 실측치

발 파 조 건							평균파쇄 입도(m)	
구분	저항선 (m)	공간 간격 (m)	천공 깊이 (m)	장약 량 (kg)	천공 경 (mm)	비장약 량 (kg/m')	예측 치	실측 치
A	1.0	1.0	3.2	1.0	45	0.35	0.97	0.88
B	0.8	0.8	2.5	0.625	45	0.43	0.81	0.58
C	1.0	1.0	3.0	1.0	45	0.38	0.84	0.69
D	0.7	0.8	1.6	0.375	45	0.47	0.71	0.49
E	0.8	0.8	2.1	0.5	45	0.44	0.66	0.66
F	0.8	1.0	2.4	0.625	45	0.38	0.76	0.60
G	0.7	0.8	2.1	0.5	45	0.50	0.53	0.48
H	0.7	0.7	2.0	0.5	45	0.57	0.45	0.46
오차평균							0.11	

6. 결 론

소음저감을 위한 발파 파쇄암의 입도를 예측하기 위하여 저항선, 공간간격 등 발파결과에 영향을 미치는 여러 요인들을 변화시켜 암석을 파쇄한 후 파쇄암의 크기를 실측하였으며, 이를 예측식에 의한 크기와 비교하였다.

그 결과 실측치와 예측치는 평균오차가 약 0.11m로 나타났으며, 이 값을 파쇄암의 크기 예측시 안전율로 사용하면 파쇄암의 크기 제어가 용이할 것이라 판단된다.

참고문헌

1. 대한주택공사 : 택지조성에서의 암발파 진동 저감 방안 연구, 대한주택공사, 1992
2. U.S Department of Transportation : Rock Blasting and Overbreak Control, 1991
3. Roger Holmberg : Rock Damage, Dyno Nobel, 1997
4. Nitro Consult AB : Cautious Blasting in Density Built-Up Areas, Dyno Nobel, 1997