

영상처리기법에 의한 발파파쇄암의 파쇄도 측정

Blast Fragmentation Measurement Using the Image Based Granulometry System

선우 춘, 류 창하, 최 병희

Choon SUNWOO, Chang-Ha RYU, Byung-Hee CHOI

한국지질자원연구원 탐사개발연구부

초 록

채석, 광물채광 등의 발파에서 생성된 파쇄 암석편들에 대한 정확한 파쇄도의 측정은 발파효율성 및 경제성을 평가하기 위한 수단으로 사용될 수 있다. 발파현장에서 파쇄도의 측정은 파쇄암석의 크기를 대상으로 이루어지며, 이러한 측정의 궁극적인 목표는 파쇄도에 대한 정확한 측정과 분석을 통하여 발파를 최적화시킴으로써 과파쇄에 의한 화약의 낭비, 과도한 압괴로 인한 운반경비의 증가, 분할을 위한 2차 발파나 추가파쇄를 위한 경비증가 등을 줄일 수 있다. 또한 선광 및 파쇄장비들의 과도한 마모방지와 품질의 균질성 확보를 위한 모니터링의 수단으로 사용될 수도 있다.

최근 파쇄도측정에 많이 사용되고 있는 기술중의 하나가 영상처리 시스템으로, 본 논문에서는 촬영조건 및 분석대상물 등의 변화에 따른 이 영상처리기법의 문제에 대한 언급보다는 영상처리기법에 대한 이해를 돕기 위해 이 기법에 대한 설명과 상용 소프트웨어를 이용한 모델시험 및 채석현장에서 실시된 발파후의 파쇄암석들에 대한 파쇄도 분석에서의 문제점들에 대하여 언급하고자 한다.

핵심어 : 파쇄도, 영상처리, WipFrag, 입도분포

1. 서론

발파결과를 평가하기 위해 채석, 광물채광 등의 발파에서 생성된 파쇄 암석편들의 파쇄도에 대한 신속하고 정확한 측정이 필요하다. 발파에서 이러한 정확한 파쇄도의 측정은 서로 다른 화약, 발파패턴, 점화순서 및 점화방법 등의 발파효율성 및 경제성을 평가하기 위한 수단으로 사용할 수 있기 때문이다. 발파

현장에서 파쇄도의 측정은 현지 파쇄 암석 블록의 크기를 대상으로 이루어 질 수 있으며, 이러한 측정의 궁극적인 목표는 각각의 발파요소들을 최적화시킴으로써 채석경비 및 파쇄처리비용을 절감시키는 것이다.

파쇄도에 대한 정확한 측정과 분석을 통하여 발파를 최적화시킴으로써 과파쇄에 의한 화약의 낭비를 줄이고 또한 과도한 압괴의 생성으로 인한 운반경비의 증가, 분할을 위한 2차 발파나 추가파쇄를 위한 경비증가를 줄일

수 있다. 또한 선광 및 파쇄장비들의 과대한 마모를 막고 품질의 균질성 확보를 위한 모니터링의 수단으로 사용될 수도 있다.

여러 가지의 파쇄도 측정수단중 최근에 많이 사용되고 있는 기술이 영상처리 시스템이다. 이것은 digital영상처리 기술의 발달로 많은 발전이 이루어지고 있는 분야이다. 본 논문에서는 분석에 이용한 상용 소프트웨어인 WipFrag에 대한 설명을 통하여 영상처리기법에 대한 이해와 앞으로 소프트웨어 개발을 위한 도움이 되고자 한다. 또한 WipFrag를 이용한 모델시험 및 채석현장에서 실시된 채석 발파후의 파쇄암석들을 대상으로 파쇄도에 대한 분석과 이 시스템의 사용에 있어서 생기는 문제점들에 대하여 언급하고자 한다.

2. 파쇄도의 예상

일반적으로 파쇄도는 발파된 암석편의 입자의 크기분포로 정의된다. 수요자의 요구에 따라 최종결과물로서의 암석입자 크기는 달라질 수 있다. 파쇄도는 암석자체의 성질뿐만 아니라 암반내의 불연속면의 분포 특히 발파의 여러 요소들에 의해 영향을 받는다. 발파에 의한 파쇄작업의 최적화를 위해서 주어진 조건 하에서 대략적일지라도 생성될 수 있는 파쇄암의 예상크기에 대한 사전지식이 요구되지만 정확하게 예상을 할 수 있는 방정식이나 방법은 아직은 없다. 그러나 파쇄도 예상을 위해 널리 사용되는 몇 가지의 모델들은 다음과 같다.

1) Larsson(1973)의 식

발파암편의 50%가 통과하는 정방형의 grid 크기(K_{50})를 구하기 위해 다음과 같은 식이 제안되었다.

$$K_{50} = s \times e^{(0.58 \ln B - 0.145 \ln (S/B) - 1.18 \ln (CE/c) - 0.82)}$$

여기서, B : 최소저항선(m)

S/B : 간격과 최소저항선의 비

CE : 비장약량(kg/m³)

c : 암석계수(젤라틴다이나마이트의 powder factor와 동일 0.3~0.5kg/m³)

s : blastability 상수(암반의 등방성과 불연속면과 관계되는 요소; 절리 암반의 경우 s=0.55, 미소균열을 가지는 보통 암반 s=0.50, 대체적으로 등방질인 암석 s=0.45, 등방질 암석 s=0.40)

2) SVEDEFO(Swedish Detonic Research Foundation)의 공식

Larsson의 식은 전색높이와 벤치높이의 효과를 고려하지 않았기 때문에 SVEDEFO는 다른 항목을 첨가하여 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$K_{50} = s \times [1 + 4.67 \left(\frac{T}{L} \right)^{2.5}] \times e^{(0.29 \ln B^2 \sqrt{\frac{s}{1.25}} - 1.18 \ln \left[\frac{CE}{c} \right]^{-0.82}}$$

여기서, T : 전색깊이(m)

L : 발파공의 심도(m)

3) KUZ-RAM 모델

이 모델은 Rosin-Rammler의 크기 분포곡선과 Kuznetsov(1963)에 의해 제안된 발파로부터 구해지는 평균 입자크기를 기초로 하여 Cunningham(1983)에 의해 개발되었다.

가) Kuznetsov의 식

$$T_b = F_r \times \left[\frac{VR_0}{Q_b} \right] \times Q^{\frac{1}{6}}$$

여기서, T_b : 평균 입자크기(cm)
 F_r : Rock factor(극연암=3, 연암=5, 보통암=7, 균열이 있는 경암=10, 극경암=13)
 VR_0 : 발파공당 파쇄되는 암반체적(m^3)
 Q : 발파공당 화약장약량과 동일한 에너지의 TNT 양(kg)
 Q_b : 발파공당 장약량(kg)

$$Q = \frac{Q_b \times PRP}{115}$$

PRP(Realive weight Strength): 화약의 상대 무게강도 (ANFO=100, TNT=115)

Kuznetsov의 식은 다음과 같이 변환된다.

$$T_b = F_r \times CE^{-0.8} \times Q^{\frac{1}{6}} \times \left[\frac{115}{PRP} \right]^{\frac{19}{30}}$$

CE: Powder factor (kg/m^3)

나) Rosin-Rammler의 식

$$PC = e^{-(T_b/T_w)^n}$$

여기서, PC : 스크린 T_b 위에 남는 물체의 비율,

T_b : 스크린의 크기

T_w : 특정 크기

n : 균질성 지수

Kuznetsov의 식이 T_b 의 평균값을 나타낼 때는 $PC=0.5$ 이므로

$$0.5 = e^{-(T_b/T_w)^n}$$

그러므로

$$T_{bc} = \frac{T_b}{(0.693)^{1/n}} \text{ 이 된다.}$$

다) Cunningham의 식

u 값은 입도분포 곡선을 결정하며 일반적으로 0.8에서 2.2의 값을 가진다. 높은 값은 균질한 입자를 나타내고 반면에 값이 낮아질수록 oversize 뿐만아니라 세립자의 양에 더 많은 영향을 미친다.

Cunningham(1987)에 따르면 u 를 계산하는 알고리즘은 다음과 같다.

$$u = [2.2 - 14B/D] \times \left[\left(\frac{1+S/B}{2} \right)^{0.5} \right] \times [1 - E_p/B] \times \left[\frac{|l_f - l_c|}{l} + 0.1 \right]^{0.1} \times \frac{l}{H}$$

여기서, D : 발파공직경(mm)

B : 최소저항선(m)

S : 공간격(m)

l : 총장약길이(m)

l_f : 바닥장약길이(m)

l_c : 주장약 길이(m)

H : 벤치 높이

E_p : 천공오차에 따른 편차

이러한 예상식들은 실제 발파에서의 결과와 많은 차이를 가져올 수 있다.

일반적으로 장약량을 증가시키면 파쇄도에서는 보다 좋은 결과를 얻을 수 있지만 많은 화약의 사용으로 진동, 소음 및 비산 과 같은 발파재해가 증가될 수 있는 요인이 되기도 한다. 일정한 비장약량에서 최소저항선이 커질수록 파쇄 입자의 크기는 증가하고, 장약량이 적을 때는 최소저항선에 따른 파쇄입도의 차이는 커지지만 비장약량이 높아질수록 이 차이는 줄어든다. 또한 천공의 정확도도 파쇄입도에 영향을 미친다.

이와 같이 파쇄도에 영향을 미치는 요인들은 크게 발파요소들과 관련된 비장약량, 화약의 종류, 단위 천공율, 최소저항선, 점화순서, 발파공의 크기 등 그리고 암반의 특성으로 암반자체의 성질, 불연속면의 분포현황 등이 있으나, 아직 이러한 요인들에 대한 연구가 미흡하며 보다 나은 규명을 위해 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

3. 영상처리시스템

3.1 개요

영상처리(image processing)는 일반적으로 영상의 외관을 시각적으로 향상시키기 위한 목적으로, 다른 목적은 현재의 구조나 형태를 측정하기 위한 영상의 준비를 위해 사용된다. 영상에 의한 측정에서는 색깔 또는 일정한 명암이나 edge로서 잘 정의될 수 있는 특징들이 요구된다.

전체 영상을 대상으로 하느냐 또는 개별적인 특징에 대해서만 수행하느냐와 같은 측정 대상이 영상처리 단계를 결정하는 데 있어 매우 중요한 요소가 된다. 영상처리는 word processing 등과 같이 현재의 자료들을 생략하거나 가감시키는 것이 아니라 재배열하는 것이기 때문이다.

디지털 영상처리시스템은 컴퓨터의 계산능력의 향상, 영상처리 기술, 알고리즘 등의 기술개선 등으로 많은 분야에서 적용되고 있다. 파쇄도 분석에 있어서 영상을 기초로 하는 분석방법은 재래식의 체(sieving 혹은 screening)에 의한 분석방법보다 다음과 같은 장점들을 가지고 있다.

- 많은 영상을 신속하게 취득할 수 있을 뿐만 아니라 분석할 수 있다.
- 영상처리의 속도가 빠르기 때문에 생산에 영향을 주지 않는다.

- 값이 싸고, 신속하게 많은 샘플을 분석할 수 있어 샘플링의 오차를 줄일 수 있다.

- 영상처리는 암피의 크기에 영향을 받지 않는다.

- 영상처리 기술은 비파괴시험이기 때문에 분류작업에서 파쇄되기 쉬운 연약한 암석이나 광물의 경우에 적합하다.

영상처리 시스템에 의한 파쇄도 분석에서 발생될 수 있는 오차들이 많이 있는 데 이것들은 다음과 같은 문제점들 때문에 생기는 경우가 많다.

- 영상분석은 물체표면만을 보여주는 영상에 대해서만 이루어진다.

- 분석할 수 있는 입도크기는 영상으로 주어지는 범위내에서만 한정된다. 즉 큰 입도의 덩어리는 더 작은 입도로 나누어지고, 세립의 입자들은 더 큰 입자로 분류될 수 있다.

- 특히 발파에 의해 형성된 muckfile 에서는 세립의 입자들은 과소평가가 이루어질 수 있다.

따라서 측정의 부정확도를 줄이기 위해서는 샘플링의 범주와 서로 다른 물질의 성질에 대처할 수 있는 시스템 특징의 유연성이 필요하다.

Quin과 Hung(1996)은 입도분석을 위한 영상처리시스템인 FragSacn, WipFrag 그리고 Split 세가지 시스템에 대한 성능시험을 실제 체질에 의한 분급시험의 분석결과와 비교시험을 실시하여 다음과 같은 결과를 제시하고 하고 있다. 모든 시스템에서 가장 좋은 결과를 얻기 위해서는 보정이 항상 필요하고, 어떤 특별한 시스템의 선택에서는 상대적인 정확성만으로 선택할 수 없음을 지적하고 있다. 즉 암석입자의 측정목적, 기대되는 자동화의 수준이나 적용 유연성의 정도, 또한 시스템의 가격과 같은 다른 요소들도 고려되어야 한다고 지적하고 있다.

3.2 WipFrag 시스템

여기에서는 발파 파쇄암의 파쇄도를 분석하기 위해 WipFrag 시스템을 사용하였다. WipFrag는 발파나 파쇄된 암석의 입도분석을 위한 영상분석 시스템으로, 분석의 단계는 영상입력, 영상처리 및 연산, 결과분석의 출력단계로 나누어진다.

영상분석을 위해서는 흑백의 grey tone의 영상을 처리할 수 있도록 설계되어 있다. analog와 digital 영상 모두를 처리할 수 있고, digital image는 640x480x256 grey tone 이나 768x574x256의 해상도를 가지는 BMP와 TIFF bit map의 영상을 지원한다.

1) 영상처리

영상처리 첫 과정은 파쇄암편의 영상을 탐색하여 암석편 외곽선들의 망을 구성하는 binary image로 변환하는 것이다(그림 4.4참조).

가) block의 인식

여기에서 block 모서리의 인식은 두 단계의 과정을 거친다. 첫 단계는 thresholding과 gradient operator를 사용하는 재래식 영상처리기술을 사용한다. operator는 암석의 표면이 밝은 성질을 이용하여 인접한 block 사이의 희미한 그림자를 인식하여 경계선을 찾는다. 두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 부분적으로 윤곽이 만들어진 블록에 대해 더 상세한 윤곽을 그리기 위해 여러 가지의 재구성 기술들이 사용된다.

나) Edge Detection Variables(EDV)

사용자는 영상처리의 각 단계에서 모서리를 찾는 과정을 최적화하기 위해 미리 설정되어 있는 9개 EDV의 변수들을 선택하거나 서로 조합하여 사용할 수 있다. 이러한 조합들을

통하여 영상의 성질에 따라 다른 크기의 모서리들을 추출해낼 수 있다.

또한 높은 정밀도가 요구될 때는 원래의 영상위에 overlap된 net를 수작업에 의해 수정함으로써 잘못 인식된 외곽선 net를 새롭게 구성할 수 있다(그림 4.4.b와 4.4.c비교). 편집 도구에는 다각선 및 선긋기, 선지우기, 면지우기 등이 포함되어 있어 잘못 인식된 모서리를 제거하거나 누락된 모서리를 그려줌으로써 net를 완성시킬 수 있다.

2) 분석방법

WipFrag를 이용할 때 요구되는 상대적인 정확도, 시간, 가용 가능한 자원에 따라 3가지의 분석방법을 사용할 수 있다. WipFrag는 3-D분포를 나타내기 위해 기하학적인 확률이론을 사용하기 때문에 영상에서 작은 입자들이 종종 누락될 수 있다. 누락된 작은 입자들은 해결하기에 너무 적거나 큰 입자들 뒤에 숨겨져 보이지 않는 경우들이며, 누락된 입자들의 비율은 변화가 매우 크고 예상하기도 힘들기 때문에 다음과 같은 해결책 중에 하나를 사용한다.

가) 기본방법

이 방법은 가장 빠르게 결과를 도출할 수 있는 방법으로 하나 또는 그 이상의 영상을 취하여 수정이나 보정없이 간단하게 분석하는 방법이다. 이 방법은 서로 비교를 위한 목적에 적합하고 등급이 좋지 않은 분포에서 좋은 결과를 제공하지만, 등급이 좋은 분포에서는 결과가 더 큰 입도쪽으로 편향될 수 있다.

나) 보정방법

기본방법과 같이 경험적인 보정방법도 빠른 결과를 제공한다. 이 방법도 하나 이상의 영상을 취하여 수작업에 의한 수정이나 또는 수

정없이 분석이 이루어진다. 이 작업은 경험적으로 도출된 Rosin-Ramler(R-R)의 보정이 적용된다. 실제 분포를 나타내는 R-R곡선의 경사를 추정함으로써 적절한 보정요소가 선택되어진다. 이 방법도 분석이 빠르고 간단하나 기본방법보다는 정밀하다. 그러나 분석전에 보정요소를 추정해야만 한다. 보정요소들은 측정에 적합한 조건과 암중에 따라 사용자에게 의해 실시된 sieving시험, WipFrag에서 제공되는 default 보정 그리고 다음에 언급될 zoom merge mode를 사용 등과 같은 방법들에 의해 결정될 수 있다.

다) zoom merge

앞의 두 방법과는 달리 이 방법은 가능한한 정확한 측정이 제공되어야 하며 많은 시간이 요구된다. 가장 정확한 해를 얻기 위해서 서로 다른 축적의 여러 영상이 분석되어야 하기 때문에 많은 시간이 요구된다.

3) 영상분석

가) 암석편의 면적 계산

마지막 작업단계에서는 블록의 가장자리 윤곽선 net를 통하여 블록의 단면적과 형상요소가 계산되어진다.

나) 2-D로부터 3-D의 재구축

분석의 초기단계에서는 측정된 2차원 분포는 40개의 등급으로 세분화되고, 2-D에서 3-D의 전환은 기하학적 확률(Maerz, 1996)의 개념을 사용하여 각 등급마다 수행된다. 초기에는 분포는 3-D 빈도분포로 전환되고 다음에 가중치 퍼센트 기초로 마지막으로 누적 가중치 퍼센트 분포로 전환된다.

다) 결과출력

분석결과는 입자분포를 나타내는 막대 그래프 또는 누적곡선 그래프의 형태(그림 4.2 및 4.7 참조)나 컴퓨터 화면의 hard copy 형태로 출력이 이루어지며 다음과 같은 선택사항들을 선택할 수 있다.

4) 오차의 근원

입도분석 시스템에서 생기는 오차는 주로 다음과 같은 3가지 요인에 기인한다.

가) 샘플링 오차

모든 오차중에서 가장 심각한 문제를 일으킬 수 있으며, 이러한 오차는 발파작업후에 생성된 큰 암괴와 작은 암석편이 많이 분포되는 지역의 차이가 발생하기 때문에 카메라의 초점위치를 어디에 두느냐에 따라 오차가 달라진다.

나) 파쇄편의 불명확한 묘사

각 암석편들의 뚜렷하지 못한 경계는 잘못된 결과의 원인이 되며, 불량한 영상묘사는 다음 두 요인의 조합으로부터 일어난다.

- 불량한 영상 즉 너무 낮거나 높은 대비, 너무 작은 입자들, 불충분하고 고르지 못한 조도, 영상에 비해 너무 작은 암석편의 영상 등

- 암석표면에 나타나는 많은 구조조직들 즉 암석편들 사이의 그림자와 마찬가지로 암석표면에서 두드러지게 나타나는 그림자나 색상 및 층리 또는 편리 등

이와 같이 암석편들에서의 분명하지 못한 묘사들은 다음과 같이 과장되기 쉽다. 작은 암석편들이 집중되어 있는 그룹은 하나의 블록으로 인식되어(fusion) 실제의 입도보다 과대평가 되거나, 하나의 큰 블록이 하나 이상의 블록으로 인식되어(disintegration) 실제의 입도보다 과소평가가 이루어진다.

그러나 분석에서 disintegration과 fusion이 발생하는 상대적인 양은 서로 보완작용을 하는 경향이 있기 때문에 이러한 분석에서 대부분 심각한 문제는 일으키지 않지만, disintegration과 fusion의 영향은 EDV의 요소들을 잘 선택함으로써 또는 수작업에 의한 net의 수정으로 이러한 영향들을 감소시킬 수 있다.

다) 미세 입자들의 누락

아주 작은 암석편들은 영상에서 윤곽이 잘 나타나지 않는다. 이것은 입자의 크기가 영상에 비해 상대적으로 너무 작거나 큰 압괴 뒤에 가려지기 때문이며, 실제 입도분포보다 크게 나타난다. 상대적으로 좁은 계급값을 갖는 분포에서는 이것이 큰 문제가 되지 않지만, 계급값이 상대적으로 큰 분포에서는 미세편들이 생략되기 쉽다.

라) 기타 오차의 요인 들

이러한 분석에서 가능성이 있는 오차에는 사진의 원근 오차(망원사진을 이용함으로써 오차를 줄일 수 있다), operator의 오차(다른 EDV setting의 사용, 2차 수작업의 편집 정도 등) 같은 것들이 있다.

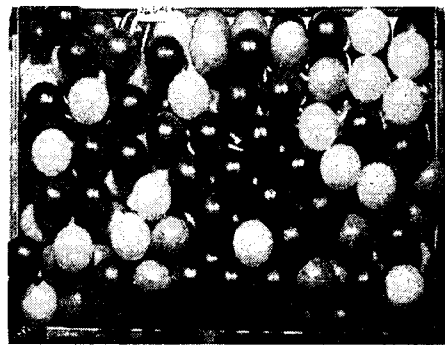
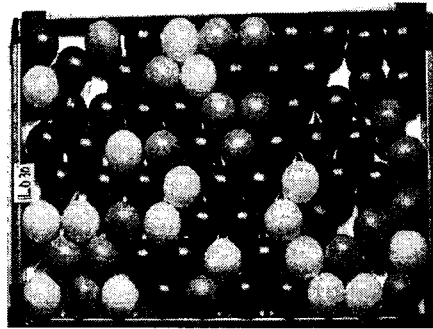
4. 모델 및 채석현장 파쇄암의 분석

WipFrag 영상처리기법을 이용하여 볼 및 분급이된 암석편과 의정부의 B채석장 실시된 채석발파후의 파쇄암석들을 대상으로 파쇄도에 대한 분석을 실시하였다.

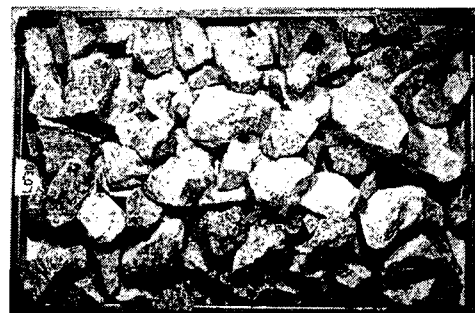
4.1 모델시험

크기를 알 수 있는 볼(6cm)과 분급이 된 석회석(4.5~12cm)을 대상으로 WipFrag의 결과의 오차범위를 살피기 위해 모델실험을 실

시하였다.



a. 볼(단층, 2층 및 피리미드형 배열)



b. 분급된 석회석 암석편

그림 4.1 분석에 사용한 볼 및 암석시험편

실제 시험에 있어서는 광원의 각도, 조도의 밝기, 카메라의 촬영각도 및 촬영거리, 대상물의 범위 및 적재상황 등의 변화에 따른 수많은 경우의 수에 대해 검토가 이루어져야 하지만 여기서는 우선 볼에서는 측정 대상물의 배치에 따른 변화를, 실제 현장에서는 촬영의 거리에 따른 변화를 살펴보았다. 즉 볼을 단층배열, 2층배열 그리고 피라미드형으로 배열(Fig 4.1.a)로 하여 직상부에서 촬영한 영상을 처리한 auto net와 수작업에 의한 수정 net와 실제 크기를 비교하였고, 실제 분급이 이루어진 피라미드형의 암석편에 대해서도 직상부에서 촬영한 영상에 대해서도 분석하였다.

볼의 경우 전체적으로 auto net의 입자분포를 보면 수정 net보다 실제 볼의 크기보다 작은 크기와 큰 크기에서 높은 분포를 보이고 있다(그림 4.2.a).

단층배열과 2층배열에서는 실제보다 작은 크기 쪽에서 높은 분포를 보이다가 피라미드형 배열에서는 그 차이가 적어진다. 이것은 하부의 공들이 상부의 공들에 의해 감추어지는 부분이 많아지기 때문에 실제보다 작게 보이는 크기 분포가 늘어나기 때문이다.

auto net에서 실제 공의 크기에 비슷한 4.5~8cm 범위에 속하는 분포를 살펴보면 단층배열의 경우는 50%, 2층과 피라미드 배열은 33%이고, 수정의 경우는 단층배열이 94%, 2층배열 77% 그리고 피라미드 배열이 32%로 배열의 층수가 많아질수록 정확도가 떨어지는 것을 볼 수 있다(표 4.1). 또한 층수의 배열이 많아질수록 수정 net와 auto net사이에는 별 차이를 나타내지 않음을 볼 수 있다. 따라서 정확성이 필요한 경우는 대상물의 배열을 바닥에 퍼는 형태가 필요하고 추가적인 수작업이 필요하지만, 정확성보다는 신속한 전체적인 입자분포가 필요한 경우는 수정이 필요 없는 대상물의 무작위 배열도 무관하다. 따라서

단층배열과 같은 형태의 대상물에서는 auto net의 사용에는 문제가 있음을 알 수 있다.

표 4.1 크기를 알고 있는 볼과 석회석 암석편의 분석 비교표

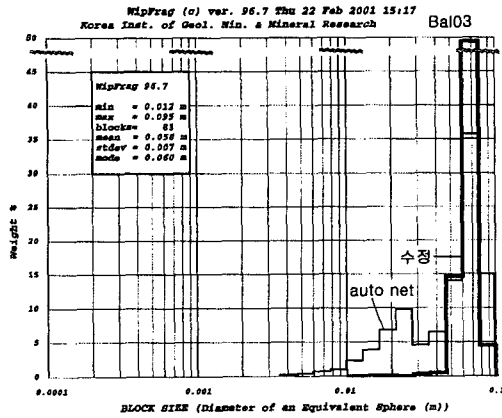
시험 대상	auto net	수정 net	비 고
볼	단층배열	50%	94%
	2층배열	33%	77%
	피라미드	33%	32%
파쇄암	57%	89%	4.5~12cm

반복되는 작업에서 무작위로 적재되어지는 파쇄암에 대한 파쇄도 분석에서 실제에 가까운 분포를 파악하고자 한다면 취급하는 대상물에 대한 사전 분포조사를 통하여 실제 분포 곡선을 파악해 됨으로써 적절한 보정이 이루어지도록 해야 할 것이다.

분급이 이루어진 피라미드형의 석회석(4.5~12cm)을 대상으로 한 분석에서 이 범위내의 입자분포를 살펴보면 auto net에 의한 것이 57%, 수정에 의한 것이 89%로 전체적으로 정확도가 높아져 볼의 경우와 차이가 나타나며 또한 수정에 의한 정확도가 높아진 것을 볼 수 있다.

전체적으로 정확도가 높아진 것은 표면의 거칠기 차이로 생각할 수 있으며, 볼의 경우는 볼 표면에서 빛의 반사가 심하기 때문에 볼에 밝은 부분이 많이 나타나 같은 볼에서도 여러 개의 block으로 쪼개지는 disintegration 현상이 많이 나타난다. 또한 표면이 매우 거친 경우도 표면에 나타나는 그림자들 때문에 여러 개의 block으로 쪼개지는 disintegration 현상이 나타난다.

따라서 대상물의 거칠기의 차이 특히 표면이 매끄러운 경우나 매우 거친 경우에는 보정에 있어 더욱 세심한 주의를 기울여야 한다.



a. 단층 배열

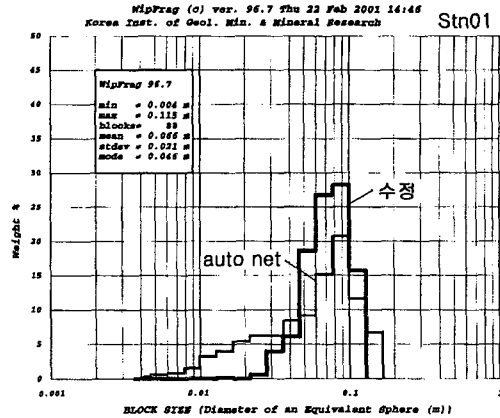
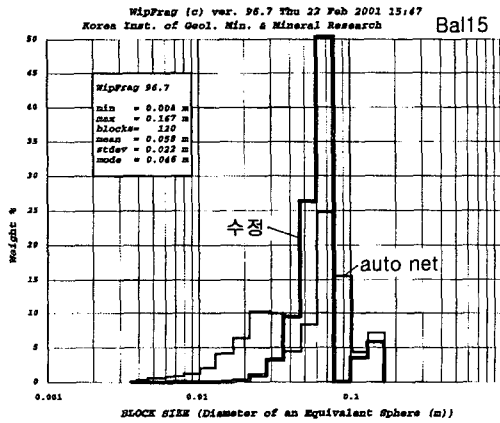
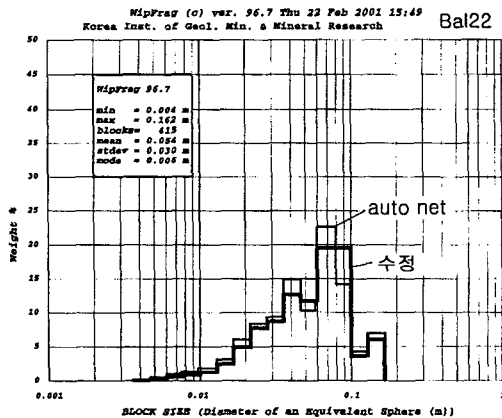


그림 4.3 석회석 암석편을 대상으로 분석한 크기분포 (그림 4.1.b 참조)



b. 2층 배열



c. 피라미드형 배열

그림 4.2 볼을 대상으로 분석한 크기분포 (그림 4.1.a 참조)

수정에 의해 정확도가 높아진 것은 대상물의 형태차이로 net의 수정작업에 있어서 볼의 경우는 표면이 곡선이기 때문에 대상물위에 overlap되어 있는 net를 대상물에 가깝게 곡선형태를 취하는 것이 어렵기 때문에 대상물보다 커지거나 작아지는 경우가 많지만 암석편과 같이 각이진 형태는 보다 쉽게 대상물에 가깝게 net를 수정할 수 있다. 따라서 net의 수정 작업시 곡선부에 대한 수정이 쉽게 이루어질 수 있도록 편집도구상의 보완이 필요하다.

전체적으로 대상물의 적재형태, 모양 및 거칠기 등이 입도분포 분석에 영향을 주고 있음을 파악할 수 있다.

4.2 B 채석장

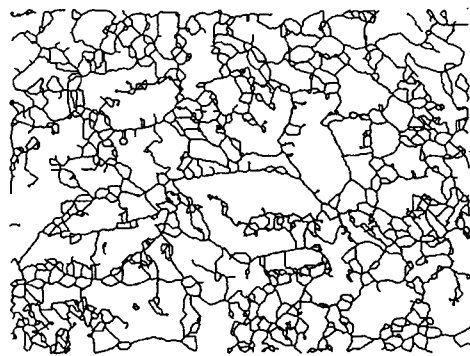
의정부 소재 B채석장에서 채석발파의 결과로 채석막장 앞에 쌓여있는 파쇄암들을 대상으로 파쇄도를 분석하였다. 이 파쇄암들의 사진은 B701~B704와 B791~794로 표시되는 발파로 나누어지며, 사진은 근거리 및 원거리에서 촬영된 사진을 근거리 입도분석이 이루어졌다(표 4.2 및 표 4.3).

그림 4.4.a는 B793에 대한 실제사진이고 그림 4.4.b는 WipFrag가 자동으로 인식하는 auto net, 그림 4.4.c는 수작업에 의해 수정된 net를 나타내는 그림으로 두 net사이에는 많은 차이가 나타나고 있음을 볼 수 있다. 암석편의 입자분포를 나타내는 그래프(그림 4.5 및 4.6)에서 수정 net에 의한 암석편의 입자분포가 auto net의 경우보다 오른쪽으로 치우치게 분포하여 두 net사이에는 입자크기 분포가 다른 것을 볼 수 있다. 오차를 나타내는 것은 앞에서 언급된 것처럼 큰 암괴의 경우는 암괴에 나타나는 그림자 등에 의해 보다 훨씬 적은 암석편으로 인식되는 disintegration 현상이 일어나고 있기 때문이다.

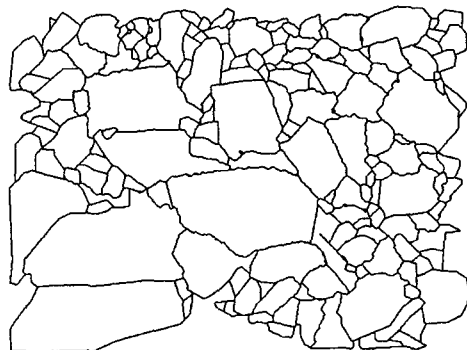
B701~B704 발파는 비장약량 0.74kg/m^3 이며, B791~B794 발파는 비장약량이 0.49kg/m^3 이었다. B701~B704 발파의 파쇄입도 분포에서 최소입자의 크기는 의미가 없고 최대입자는 근거리의 경우 1.12~1.99m, 평균입자크기는 0.72~1.20m, 표준편차는 0.29~0.45m 이다(표 4.2 및 그림 4.5). 반면에 원거리의 경우는 최대입자는 0.47~0.58m, 평균입자크기는 0.29~0.30m, 표준편차는 0.1m를 나타내고 있다(표 4.2 및 그림 4.5 참조).



a. 발파 파쇄암의 실제사진



b. auto net

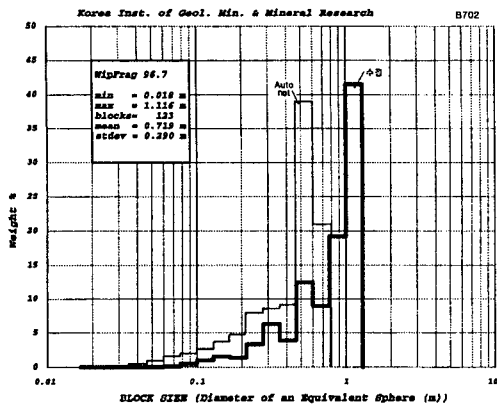


c. 수정 net

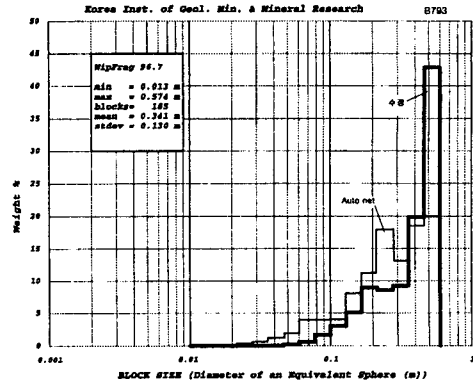
그림 4.4 파쇄암의 사진 및 net 구성의 비교도 (B793의 예)

표 4.2 파쇄암의 입자분포현황

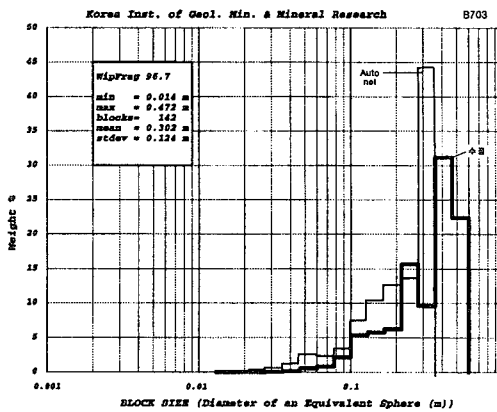
	근거리사진		원거리사진	
	B702	B704	B701	B703
최소(m)	0.018	0.033	0.013	0.014
최대(m)	1.116	1.993	0.583	0.472
평균(m)	0.719	1.197	0.286	0.302
표준편차	0.290	0.445	0.112	0.124
	B792	B794	B791	B793
최소(m)	0.016	0.017	0.026	0.013
최대(m)	0.979	1.221	1.194	0.574
평균(m)	0.482	0.700	0.757	0.341
표준편차	0.243	0.324	0.261	0.130



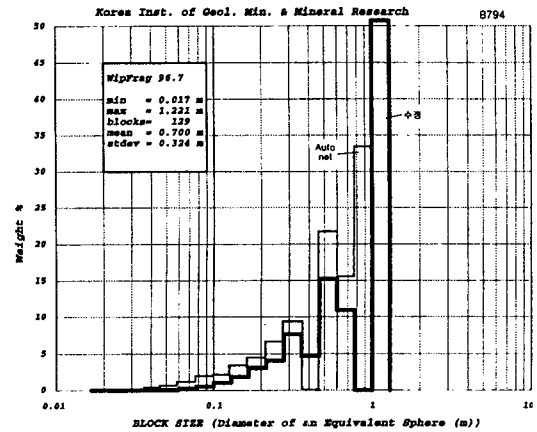
a. B702



a. 793



b. B703



b. 794

그림 4.5 발파파쇄암의 입도분포

그림 4.6 발파 파쇄암의 입도분포

B791~B794의 발파에 의한 파쇄입도분포는 최대입자는 근거리의 경우 0.98~1.22m, 평균 입자크기는 0.48~0.70m, 표준편차는 0.24~0.32m 이고, 원거리의 경우는 최대입자는 0.57~1.19m, 평균입자크기는 0.34~0.76m, 표준 편차는 0.13~0.26m를 나타내고 있다(표 4.2 및 그림 4.6 참조).

표 4.4 및 그림 4.7은 발파에서 생성된 파쇄 암의 누적입자분포를 나타내는 것으로 D50의 의미는 파쇄된 암석의 전체무게의 50%를 통과한 입자의 크기를 나타내는 것이다.

B701~B704의 발파에 의한 누적입도분포에서 전체 무게의 50%에 해당하는 입자크기는 근거리의 경우는 0.70~0.92m이고, D90의 경우는 0.95~1.21m의 입자크기를 나타내고, 원거리의 경우는 D50의 입자크기는 0.26~0.29m이고, D90의 입자크기는 0.95~1.21m이다.

B791~B794의 발파에 의한 누적입도분포에서 D50에 해당하는 입자의 크기는 근거리 경우는 0.42~0.78m, D90의 경우는 0.72 ~ 0.96m의 입자크기를 나타내고 있다. 원거리 경우는 D50은 0.33~0.72m, D90은 0.44~0.95m의 입자크기를 나타내고 있다(표 4.4 및

그림 4.7).

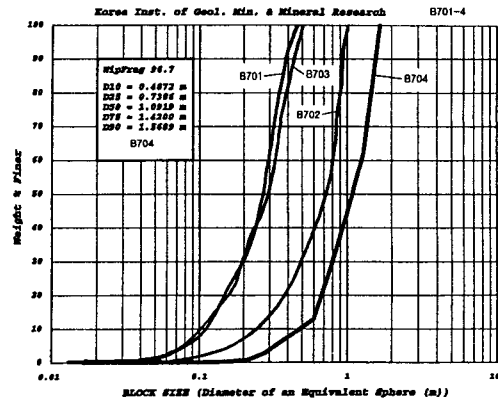
B 채석장의 채석발파에서 생성되는 파쇄암 입도의 평균크기는 0.3~0.4m이며, 발파에 의해 파쇄된 암석의 50%를 통과하는 입자의 크기는 0.4~0.9m의 분포를 보이고 있다.

표 4.4 파쇄암의 입자분포의 누적현황

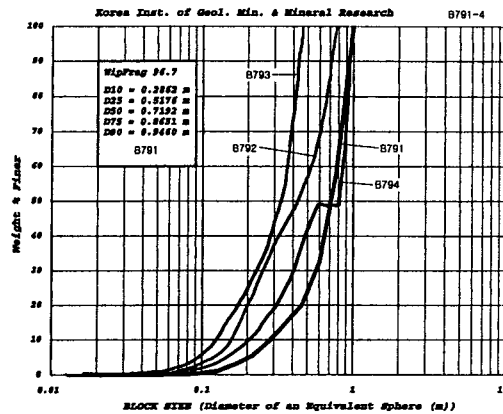
D (%)	근거리 사진		원거리 사진	
	B702(m)	B704(m)	B701(m)	B703(m)
10	0.2379	0.2307	0.1180	0.1045
25	0.4194	0.4311	0.1693	0.1788
50	0.697	0.9163	0.2606	0.2875
75	0.864	1.0956	0.3278	0.3526
90	0.9456	1.2132	0.3844	0.4173
	B792	B794	B791	B793
10	0.1580	0.2065	0.2862	0.1262
25	0.2184	0.3724	0.5176	0.1982
50	0.4197	0.7776	0.7192	0.3302
75	0.6383	0.8880	0.8651	0.4030
90	0.7199	0.9555	0.9460	0.4397

전체적으로 근거리의 사진에 대한 파쇄입자의 크기가 원거리 경우보다 크게 나타나는 것은 근거리 경우는 사진촬영의 대상이 큰 블록이 주대상이 되는 경우가 많기 때문에 작은 블록이 제대로 나타나지 못하기 때문으로 생각한다. 따라서 파쇄실의 입·출구부, conveyor belt 등과 같이 고정된 장소를 통과하는 파쇄암 대상의 영상과는 달리 발파현장과 같이 분석 대상이 넓은 범위에 퍼져있는 경우에는 전체적인 파쇄입도 분포와 부분적인 파쇄입도를 동시에 파악하는 것은 매우 중요하다.

따라서 분석목적에 따라 촬영범위를 결정하는 것도 매우 중요하다.



a) B701 ~ B704



b) B791 ~ B794

그림 4.7 수정된 net에 의한 발파 파쇄암의 누적입도분포

5. 결과고찰

파쇄도에 영향을 미치는 것은 발파요소들과 관련된 비장약량, 화약의 종류, 단위 천공율, 최소저항선, 점화순서, 발파공의 크기 등 그리고 암반의 특성으로 암반자체의 성질, 불연속면의 분포현황 등이 있으나, 아직 이러한 요인들에 대한 연구가 미흡하며 보다 나은 규명을 위해 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 발파에서 주어진 조건하에서 파쇄암의 크기에 대해 정확하게 예상을 할 수 있

는 방정식이나 방법은 아직은 없다.

본 연구에서 사용한 WipFrag는 발파나 파쇄된 암석의 입도분석을 위한 영상분석 시스템으로, 분석단계는 영상입력, 영상처리 및 연산, 결과분석의 출력단계로 나누어진다. block의 모서리 인식은 block사이의 희미한 그림자를 인식하여 경계선을 찾지만 신뢰도를 높이기 위해 수작업에 의한 수정도 가능하다. 영상처리에 기법은 시간적 경제적으로 많은 장점이 있지만, 영상분석은 물체표면만을 대상으로 하고, 분석할 수 있는 입도크기는 영상으로 주어지는 범위내에서만 한정되기 때문에 많은 오차들이 생기는 경우가 많다. 따라서 측정의 부정확도를 줄이기 위해서는 샘플링의 범주와 서로 다른 물질의 성질에 대처할 수 있는 시스템 특징의 유연성이 필요하다.

측정 대상물의 배치에 따른 입도분포의 변화는 단층배열, 2층배열 그리고 피라미드형 배열에서 배열의 층수가 많아질수록 정확도가 떨어지기 때문에 정확성이 필요한 경우는 대상물의 배열을 바닥에 퍼는 형태가 좋으며 추가적인 수작업이 필요하지만, 정확성보다는 신속한 전체적인 입자분포가 필요한 경우는 수정이 필요 없는 대상물의 무작위 배열도 무관하다. 따라서 단층배열과 같은 형태의 대상물에서는 auto net의 사용에는 문제가 있음을 알 수 있다.

볼보다 무정형의 석회석에서 수정에 의한 정확도가 높아지는 것은 표면의 거칠기 차이로 생각할 수 있으며, 대상물의 거칠기의 차이 특히 표면이 매끄러운 경우나 매우 거친 경우에는 보정에 있어 더욱 세심한 주의를 기울여야 한다.

대상물의 형태차이로 수정에 의해 정확도가 높아지는 것은 net의 수정작업에 있어서 볼의 경우 표면이 곡선이기 때문에 대상물위에 overlap되어 있는 net를 대상물에 가깝게 곡

선형태를 취하는 것이 어렵지만 암석편과 같이 각이진 형태는 보다 쉽게 대상물에 가깝게 net를 수정할 수 있다. 따라서 net의 수정 작업시 곡선부에 대한 수정이 쉽게 이루어질 수 있도록 편집도구상의 보완이 필요하다.

전체적으로 대상물의 적재형태, 모양 및 거칠기 등이 입도분포 분석에 영향을 주고 있다.

현장 파쇄암을 대상으로 하는 경우에 전체적으로 근거리의 사진에 대한 파쇄입자의 크기가 원거리 경우보다 크게 나타난다. 이것은 근거리사진촬영의 경우는 대상이 큰 블록이 주대상이 되는 경우가 많기 때문에 작은 블록이 제대로 표현되지 못하기 때문으로 생각한다. 따라서 고정된 장소에서의 파쇄암의 영상과는 달리 발파현장과 같이 분석 대상이 넓은 범위에 퍼져있는 경우에는 전체적인 파쇄입도 분포와 부분적인 파쇄입도를 동시에 파악하는 것은 매우 중요하다. 따라서 분석목적에 따라 촬영범위를 결정하는 것도 매우 중요하다.

앞으로 소프트웨어적 그리고 촬영상 해결되어야 할 문제점들을 요약하면

- 사진의 촬영각도, 거리, 광원의 방향 및 세기 등 사진촬영요소에 따른 파쇄입도 관계
- 대상물의 종류, 거칠기 및 크기 등의 변화에 따른 파쇄입도 관계
- 2차원 영상측정을 통하여 3차원적인 분포를 추정할 수 있는 기하학적 확률에 대한 경험식을 파악하여 누락될 수 있는 세립자들을 보정하는 문제점
- net 수정작업이 쉽게 이루어질 수 있도록 편집도구의 기능의 보강 등이다.

그리고 이러한 분석기법을 이용하여 많은발파변수와 파쇄입도와의 관계를 파악하여 발파를 효율적으로 수행하기 위한 연구도 필요하다.

참 고 문 헌

Vibration From Surface Mine Blasting
USBM RI8507, 74 p.

- Cunningham C., 1983, The Kuz -Ram model for production of fragmentation from blasting, 1st Symp. on rock fragmentation by blasting, Lüleå.
- DIN 4150 Teil 3, 1986, Erchütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf bauliche Anlagen.
- Holmberg, R., 1982, Charge Calculations for Tunnelling, Underground Mining Methods Handbook.
- Kuznetsov, V.M., 1963, The mean diameter of the fragments formed by blasting of rock, Soviet Mining Science.
- Langefors, U. & Kihlstrom, B., 1973 "The Modern Technique of Rock Blasting", John Wiley & Sons, 438 p.
- Maerz, N.H., 1996, Reconstructing 3-D Block size distribution from 2-D measurements on sections, Proc. ISRM/Fragblast 5 workshop and short course on fragmentation measurement, Montreal, Balkema.
- Olofsson, S.O., 1990, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, APPLEX
- Quin L. & T. Haung, 1996, Comparing systems-Validation of FragScan, WipFrag and Split, Proc. of Measurement of Blast Fragmentation, Balkema, pp151~155.
- Russ, J.C., 1992, The image processing handbook, CRC Prss Inc., 445p.
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W. & Dowding, C.H., 1980, Structure Response and Damage Produced by Ground