

發破飛石과 裝藥 補正에 관한 考察

On the study of charge & Blasting flying Rocks

범 鎭 三*

J. S. Bum

1. 서 론

인구가 증가하고 산업화가 진전됨에 따라 교통망이나 주택 및 기타 시설 등의 공간이 부족하게 되었고, 이에 공간 확보를 위한 노력이 한창 진행 중이다.

이러한 공간 개발을 위한 건설에서 화약류를 사용하여 발파 작업을 실시하였을 때 도심지 발파와 같이 제약이 따르는 곳에서는 발파로 인한 진동, 소음, 비석 등의 발파 공해가 문제시된다.

발파 진동과 소음에 관해서는 장약량의 적절한 설계에 의하여 상당량을 조절할 수 있고 이에 대한 연구로는 국내에서 활발히 이루어지고 있으나 비석에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 서울 특별시 성북구 D동 소재의 아파트 건설을 위한 재개발 발파 현장에서 발생하는 암석 비산을 통해 암석 비산에 관한 기초 조사를 실시하였다.

2. 비산 이론 및 비산의 정의

2.1 비산 이론

암석의 파괴는 화약류의 순간적인 연소에 의한 응력파의 파괴작용이 폭발 생성가스의 압력에 의해

다시 조장되어 달성되는 것으로 알려지고 있다.¹⁾

그리고 암석 파괴시 폭발 생성 가스가 응력 파괴면을 따라 작용함으로 발파 메카니즘상 암석 이동을 영으로 할 수 없기 때문에²⁾ 암석의 이동은 반드시 일어나며 특별한 상황일 경우 암석의 이동이 지나쳐 비산이 일어난다.

2.2 비산의 정의

이미 언급했듯이 발파시 암석 이동은 반드시 일어나는데 때에 따라 암편의 일부가 파쇄암의 주체 부에서 멀리 떨어져 날아가는 경우가 있다.

이때 이렇게 파괴 암편이 파쇄암의 주체 부에서 멀리 날아가는 현상을 비산(Throw)라고 하고 비산 파괴 암편을 비석(Fly Rock)이라고 정의 할 수 있다.³⁾

3. 연장 연구

서울특별시 성북구 D동 소재의 아파트 건축을 위한 재개발 현장은 발파 작업을 통해 아파트 부지 기초를 조성하는데 현장의 지질시대는 쥐라기(Jurassic)에 속하고 암석의 종류는 흑운모 화강암(Biotite Granite)이 주를 이루며⁴⁾ 발파 지역의 표토는 풍화가 많이 발달되었다.

* 三湖開發(株) 火藥管理技師 1級

층리와 불연속면(Discontinous plane)의 발달은 육안으로 쉽게 관찰되며 암석물성은 현장에 6개 지역에 걸쳐 시료를 구하였고, 실험실 값을 평균한 결과 함수율(Water contents)=0.34, 가비중(Apparent specific gravity)=2.46, 공극율(%) (Porosity)=0.88, 탄성파속도(m/s)(P-wave velocity)=4732, 일축압축강도(kg/cm²)(Compressive strength)=989로 나타났다.

4. 발파 작업

4.1 천공

천공에 사용된 장비로는 싱커(TY-240L | 日本), 코만도(필란드), 유압180(HCR-180 | 日本), 유압300(HCR-300 | 日本)의 4기종을 사용했고 일괄 수직 천공을 하였다.

천공 형태는 정방형 및 마름모꼴을 이루었으며 천공 간격(Space)과 최소 저항선(Burden)은 60~80cm였고, 천공장(Depth)은 1.5m~2.7m였으며, 비트 직경(Bit diameter)은 38㎜, 45㎜를 사용하였다.

4.2 사용 폭약 및 뇌관

폭약은 한화 제품인 Gellatine Dynamite 25%를 사용하였고, 천공장에 물이 차 있을 경우는 Kovex 25%를 사용하였다.

뇌관은 한화 제품인 순발 전기 뇌관(Instantaneous Electric Detonator)과 M. S. D(Mili Second Detonator), D. S. D(Deli Second Detonator) 전기 뇌관을 사용하였고, 뇌관 기폭 방법은 비산 예방에 도움이 크다는⁵⁾ 역기폭을 취하였으며, 뇌관의 연결은 직렬로 연결하였다.

5. 발파 결과 및 분석

5.1 발파 결과

현장의 10개 지역을 대상으로 하여 1992년 3월부터 9월까지 7개월 동안 2,850회에 달하는 발파를 실시한 결과, 88회의(3.1%)의 비산을 높였다.

비산에 대한 집계는 비석의 갯수와는 상관하지 않고 파괴체의 중심부에서 10m 이상을 이동한 비석의 행위를 가지고 집계하였으며, 2,850회의 발파시 발생한 88회의 비산은 표 5.1과 같이 몇가지 발파 경우로 분류할 수 있었다.

(표 5.1) The case study of flyrock from field blasting

	Cause of flyrock	Occured number	Percentage(%)
1	Failure of cut hole blasting(1 free face)	29	32.9
2	Levelling blasting	24	27.2
3	Driling error on side & corner	19	21.6
4	Increasing of detornator array set	5	5.7
5	Being discontinous plane	4	4.5
6	Over charge(2 free face)	4	4.5
7	Indistictness	2	2.3
	Total	88	100

5.2 발파 결과 분석(비산이 일어난 발파 경우)

1) 1자유 면의 발파는 2자유 면을 만들기 위한 선행 발파로, 이때 천공장은 보통 2.2m 정도였고 심빼기 역할을 하는 곳의 천공은 V-Cut나 기타 심빼기를 위한 천공 법의 방식이 아닌 일정 간격의 수직 천공을 하였다.

뇌관 배열은 순발전기뇌관을 포함하여 주로 M. S. D지발뇌관을 사용하였는데 심빼기 역할을 하는 #0~#3번(#0~#5) 부위의 발파가 성공적인

심폐기 역할에 실패함에 따라 다음 단의 발파에 최소 저항선이 증가하는 결과를 빚어 전면에 걸친 수직비산이 일어났으며 비산의 규모가 관찰된 것 중에서 제일 심했다.

2) 바닥 고르기 발파 작업은 작업 환경상 물과 접하는 경우가 빈번하고, 1.5m 정도의 천공이 주를 이루었으며 1자유면 상태에 놓인다.

또한 천공 공이 물과 접하고 있어서 천공 공의 거칠음과 소실로, 소정 위치에 장약을 못하게 되는 경우가 빈번하여 적정 장약을 하는데 어려움이 발생되어 발파시 공발을 일으키며 상당한 굉음과 함께 비산이 일어났다.

3) 측벽이나 구석 부분의 수직 천공시 천공 장비의 Boom이 측벽이나 구석에 닿기 때문에 부득이 수직 천공에서 각도를 지닌 천공이 이루어진다.

이때 발생하는 천공 각도는 앞단과의 최소 저항선의 증가 원인이 되고 장약시 측벽공의 장약 보정 없이 앞단과 동일 장약을 실시함에 따라 발파시 공발의 현상을 보이며 비산이 일어났다.

4) 발파개소중 몇곳은 발파 공해 발생 소지가 적어 100발 이상의 뇌관으로 10열 이상의 발파를 실시할 수 있었다.

뇌관은 순발뇌관 포함 M. S. D뇌관을 사용하였는데 풍화된 화강암층에서 전단 발파의 자유면 형성 부족의 누적으로 뒷열쪽에서 수직비산이 발생하였다.

5) 불연속면이 존재하는 2자유면 개소에서 일반 장약하여 발파한 결과 불연속면의 구조적 약선 부를 통해 폭발력이 돌출되면서 비산이 일어났다.

6) 2자유 면에서 최소 저항선이 약 40cm이고 천공장이 2.2m인 곳에서 312g 정도의 장약조건으로 발파한 결과 100m 정도의 비산이 일어났다.

벤치 발파의 일반적 장약량 산출 식인 $L = CWSH$ 를 이용하여 계산하면 211g 정도가 표준장

약으로 67.7%의 과장약임을 추정할 수 있고, 발파 계수 C값은 현장의 시험발파에서 구한 값 0.3을 적용하였다.

7) 천공 장보다 벤치 높이가 큰 조건의 2자유면에서 순발뇌관을 포함 D.S.D지발 뇌관을 사용하여 발파 결과 D.S.D뇌관 #2번 뇌관이 발화되는 순간 굉음과 함께 비산이 일어났는데 이는 전단 발파가(순발뇌관) 균열등의 존재로 예상외의 발파가 이루어져 후단과 발파 조건을 바꿔게 했거나, 전단의 발파후 250ms시차에 따른 발파 조건의 Delay Time의 부적절로 추측하여 본다.

총 평 : 발파 결과 비산발생을 7가지 유형으로 분류할 수 있었고, 이를 근거로 비산 원인을 크게 과장약과 약장약에 의한 것으로 분류할 수 있다.

일반적으로 비산은 과장약에 의해서 발생하는 것으로 알려져 있지만 본 연구에서는 약장약에 의한 비산이 구성비로 볼 때 81.8%로 나타났다.

연구지역 발파는 91년 상반기부터 시작하였는데 당시 암석 상태는 풍화가 상당히 진행된 암석이었고, 민가와외 거리도 상당히 유지하고 있어서, 재래식 경험 장약량(장약량 | 500g/hole, 공 · 열간격 | 60~80cm, 천공장 | 2.4m)으로 비산의 사례는 있었지만 문제는 발생하지 않았다.

연구의 시기인 '92년 3월경에는 발파가 상당히 진행되어 풍화되지 않은 모암이 노출되어 있어서 암석 강도 변화에 따른 천공 패턴 및 장약량 조절이 필요하였으나 계속 재래 방식으로 발파를 실시하여, 대부분 약장약의 결과를 초래하였다.

6. 장약량 보정

장약량의 보정은 약장약 발파 상태를 나타낸 경우에 중점을 두었다. 즉 1자유 면의 심폐기 발파 및 바닥 정리 발파, 측벽 및 코너 부분의 천공 오

차로 인한 저항선이 증가된 경우의 발파이다.

6.1 1자유면 심빼기(Center-Cut) 및 바닥 고르기(Levelling)발파 보정

Center-Cut의 경우는 천공장이 평균 2.2M, 공간격이 60-80cm로 장약량 500g/hole장약시 약 장약 결과를 보여 62.5g (12.5%), 125g (25%), 187.5g (37.5%), 250g (50%)까지 증가시킨 결과 25% 장약량 증가시 부터 비산의 안정 결과를 보여 625-750g (25~50%)로 보정 장약량을 취하였다.

Levelling의 경우는 천공장이 평균 1.5M, 공간격이 60~70cm였고, 장약량은 250g/hole이 재래 장약량 이었다. 250g/hole을 기준으로 62.5g (25%), 125g (50%), 187.5(75%)까지 증가시킨 결과 50%의 장약량에서 안정 결과를 보여 375-437.5g (50-75%)을 Levelling의 보정 장약량을 취하였다.

6.2 측벽 및 코너 부분의 천공 오차 보정

측벽이나 코너의 천공시 각도의 오차가 생기면 앞열과의 규칙적인 최소 저항선 길이보다 측벽 및 코너 쪽의 최소 저항선이 증가하게 된다.

일반적인 Bench 발파의 경우 사용되는 장약량 공식은

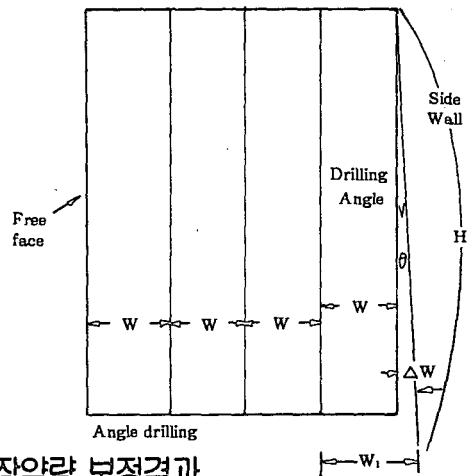
$$L=CWSH$$

(6.1)이다.

그러나 각도를 지닌 천공의 최소 저항선은 천공 각도의 크기에 따라 최소 저항선이 증가하는데 (5.1)식에서 $L=CW_1SH(5.2)$ 로 보정을 해주어야 한다.

즉, $W_1=W+\Delta W$, $W_1=HSin\theta$ (천공 각도에 따른 최소 저항선의 증가분)으로 수정되어 보정하면 천공장이 2.2M의 경우 천공 각도 5-20°에 따라 2.2M의 재래장약량 500g 보다 102-397g

증가되어야 함을 알 수 있다.



7. 장약량 보정결과

재래장약량에 의한 발파 결과 발생된 비산의 고찰과, 원인 분석을 통하여 장약량 보정을 실시하여 1992년 10월-1993년 4월까지 7개월 동안 발파 결과 총 발파 횟수 1,605회중 비산 발생 횟수는 27회(1.628%)로 나타났고, 물적 피해는 1건(0.06%)발생 하였다.

보정전 총 발파 횟수 2,850회중 88회(3.087%)에 비하여 장약량 보정후 비산율은 3.087%에서 1.682%로 감소하였음을 알 수 있다.

표 7.1은 장약량 보정후 비산이 일어난 경우이다.

Table 7.1 The Case study of flyrock after correction of charge weight from field blasting

Chage of flyrock	Occured number	Percentage(%)
Failure of cut hole blast(1 free face)	7	26.0
Levelling blast	7	26.0
Drilling error on side & coner	6	22.2
Being discontineous plane	1	3.7
Over charge (2 free face)	1	3.7
Total	27	100

8. 결 론

본 연구는 서울 특별시 성북구 D동 일대 아파트 건축을 위한 재개발 발파 현장에서 발파 인한 비산의 고찰로써, 7개월 동안 재래 장약으로 2,850회의 발파를 실시하여 발생한 비산을 고찰하고, 이를 분석, 보정하여 7개월 동안 1,605회의 발파를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 재래장약 발파 결과(2,850회) 약장약에 의한 발파에서 비산이 우세하였다.

2. 천공장이 평균 1.5M인 Levelling 발파에서 재래 장약량에 비해 50~75%를 증가시킴으로써, 천공장이 2.2M인 Center-cut 발파에서 재래 장약량에 비해 25~50%를 증가함으로써 비산을 상당량 감소할 수 있었다.

3. 2자유면에서 천공 오차에 따른 최소 저항선 증가의 장약량 보정으로 $L=CW_1SH$ 식을 제안하였다.(단 $W_1=W+\Delta W$, $W_1=H\sin\theta$)

4. 이와같은 결과 장약량 보정중 총 2,850회의 발파중 비산이 88회(3.1%)에서, 보정후 총 1,605회 발파중 비산이 27회(1.68%)로 감소하였다.

참 고 문 헌

1) Atlas Powder Company, 1987, Explosives and Rock Blasting, p. 176-198

2) 윤지선 역, 1992, 최신 발파 기술, 구미서관, p.176-178

3) 심동수, 1992, 최근의 화약류 사고 사례 분석과 그 대책, 계간 총포 화약 제7호, p. 13-19

4) 한국동력자원연구소, 1982, 한국 지질도, 서울편

5) Stig, O. Olofsson 1988, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, p. 112-113

성공하는 사람들의 7가지 습관

89년 초판 발간 이후 전 세계 25개 국가에서 32개 언어로 400만부 이상의 판매 실적을 올린 이 시대의 룬린 베스트셀러 「The 7 Habits of Highly Effective People」의 한국어 판이 출간되었다. 179주간 '뉴욕 타임스'지 베스트셀러에 오른 이 책은 리더십 분야에서 새로운 지평을 개척한 명작으로 평가받고 있다.

『In Search of Excellence』의 저자 톰 피터스는 이 책을 “당신의 삶을 송두리째 뒤바꿔 놓을 경이로운 책”이라고 소개하고 있다. 이 책은 현재 오디오북과 비디오로도 제작되어, 가정과 학교는 물론이고 기업과 관공서에서 필수교재로 채택, 활용되고 있다.

스티븐 코비는 습관을 지식, 방법, 동기를 내포하는 것으로 파악하면서, 우리의 성품은 습관의 복합체라고 규정한다. 즉, 패러다임 전환의 핵심 관건은 얼마나 효과적으로 7가지 습관을 획득하느냐에 달려 있다고 본다.

7가지 습관을 정리하면 다음과 같다.

- 습관 1 주도적이 되라—당신의 삶을 스스로 판단하고 결정하라
- 습관 2 목표를 확립하고 행동하라—‘사명선언서’를 작성하고, 이에 입각해서 행동하라
- 습관 3 소중한 것부터 먼저하라—일의 경증원급을 구분하라
- 습관 4 상호이익을 추구하라—나도 이기도, 너도 이기는 철학
- 습관 5 경청한 다음에 이해시켜라—‘공감적 경청법’을 사용하라
- 습관 6 시너지를 활용하라—‘1+1=3’이 되는 공동상승의 철학
- 습관 7 심신을 단련하라—미래를 위한 재투자

스티븐 코비는 BYU 교수를 역임하고, 현재 ‘코비 리더십 센터’의 회장으로 있다. 국제경영학회로부터 맥필리(McFeely)상을 수상한 코비는 1회 강연에 25,000달러를 받고 있는 국제적 컨설턴트로 그 권위를 인정받고 있다. 리더십, 센터에서 매달 150명 이상의 최고 경영자(CEO)들을 대상으로 리더십 훈련을 진행하고 있으며, ‘USA TODAY’는 그를 가리켜 “데일 카네기 이후 가장 뛰어난 자기개발 컨설턴트”라며 커버 스토리로 다루기도 했다.