

장대썰기와 브라켓으로 구성된 무진동 암반파쇄장비의 개발(Super Wedge 공법)

이동주*

1. 서론

지하공간의 개발 가능성에 대한 인식의 변화와 함께 도심지의 고심도 지하공간의 개발 그리고 IMF 위기에 대한 적극적인 대처방안으로 국가 차원의 인프라 재정비 및 재구축을 위해 도로·터널·지하철 등 토목공사가 꾸준히 계획·추진되고 있다. 그러나 이러한 사회적 요구는 비단 한국만의 특수한 상황은 아니다. 인구의 증가, 도시화·세계화의 흐름을 타고 산악지역의 개발 및 도심지의 고심도 개발이 더욱 가속화되고 있다.

토목공사에 대한 수요의 변화와 증대에 따라 토목공사 가운데 암반처리 분야가 차지하는 비중이 매우 커지고 있으며, 지난 세기에 이룬 기술개발의 괄목할 성과들에도 불구하고 암반을 대상으로 한 공법의 개발은 여전히 다방면의 새로운 요구에 부닥치면서 성실한 거북이처럼 자신의 걸음을 내딛고 있다. 이를 위해 경제적·기술적인 측면에서 국내 토목공사의 주요한 부분을 차지하고 있는 암반처리 기술 분야에서, 국내의 암반 조건과 작업 환경에 적합성과 범용성을 갖추어 적용할 수 있고 더불어 안전사고의 방지 효과 및 기술적·경제적 효율을 구비한 암반파쇄(rock splitting)분야의 신기술·신공법의 개발이 요구되고 있다.

2. 암반파쇄 원리

* 정회원, 쌍용건설주식회사 부전사상간 철도현장 공사차장

2.1 유압에 의한 파쇄기 구동

- ① 유압에 의해 파쇄기를 구동하며, 굴삭기 엔진으로부터 굴삭기내에 장착되어 있는 유압펌프(Main Pump)를 가동시켜 유압을 발생시킨다. 발생된 유압은 파이롯드 밸브를 통하여 SOLENOID BLOCK까지 유압이 이동하고 이때 SOLENOID를 DC 24V의 전기 신호를 가한후 SOLENOID VALVE개폐 작용으로 실린더를 작동시키게 된다.
- ② 이때, 실린더 D=215mm에 유압 220~350Kg/cm²을 가하면 파스칼의 원리에 의해 127,000Kg/cm²(21.5×21.5×π/4×350), 최대 127ton의 압력을 피스톤에 가하게 된다.

2.2 썰기원리에 의한 암반파쇄

유압이 피스톤에 가해지면 썰기원리에 의해 암반을 파쇄하게 되는데,

- ① 천공된 구멍에 파쇄기를 삽입 후 유압을 가해 피스톤을 전진시키면 샤프트에 연결된 썰기가 동시에 전진하면서 썰기원리에 의해 분력을 작용시켜 암반을 파쇄 한다. 역학적으로 빗면의 원리를 이용하여 빗면에 수직인 방향 분력을 산출하고,
- ② 썰기의 각도 ϕ 가 작을수록 작은 힘으로 큰 효과를 얻게 된다. 벡터의 분해 및 합성에 따라 127톤의 수직압은 2400톤(계산식으로는 2409.929톤)의 횡압으로 분해 된다(그림 1, 그림 2 참조).

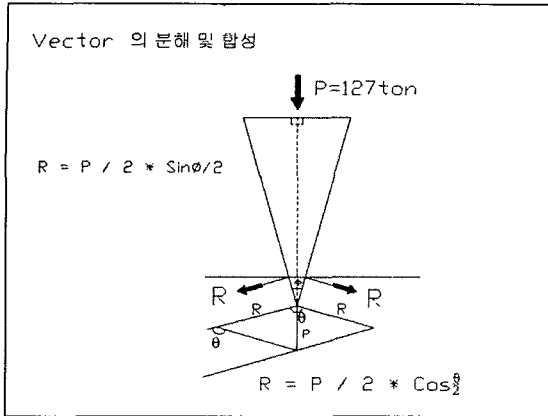


그림 1. 벡터의 분해와 합성

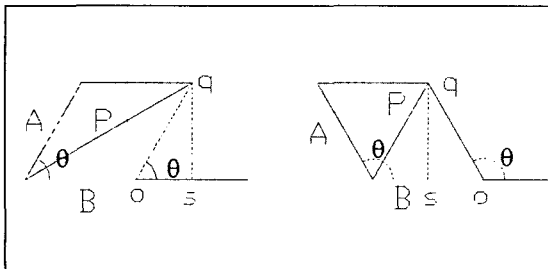


그림 2. 벡터 분석결과

$$R = \frac{P}{2 \sin \frac{\theta}{2}} = \frac{127,000}{2 \times \sin 1,512} = 2409,929 \text{Kg}$$

$\approx 2400 \text{ton}$

Vector 분석을 하면 다음과 같다.

$$P^2 = (os)^2 + (sq)^2 = (B + A \cos \theta)^2 + (A \cos \theta)^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta$$

$A = B$ 이면 $\angle qPBs = \angle qPA = \angle qos \div 2$

$$P = 2A \cos \frac{\theta}{2}, \quad A = B = \frac{P}{2 \cos \frac{\theta}{2}}$$

③ 이때 분력 R은 θ 의 각도로 전단력으로 작용하므로 전단강도는 $2400 \times \cos \theta$ 가 되며, $\theta = 1.512$ 이므로, 전단강도는 2399톤이 된다.

$$S = R \times \cos \theta = 2400 \times \cos 1.512 = 2399 \text{ton}$$

④ Coulona 의 파괴이론에 의해 ($T = C + \sigma \tan \theta$)의 공식이 적용되며, 여기서 수직응력 $\sigma = 0$ 이므로, $T = C$ 가 된다.

⑤ 이상의 결과에서 전단강도 S가 전단응력보다 크면 암반은 파쇄되며, 수직하중이 없을 때 전단응력은 암반의 점착력이므로 암반의 고유 점착력보다 췌기의 분력이 크면 모든 암반은 파쇄 된다.

3. SUPER WEDGE 전용 브래킷의 개발

3.1 연구개발의 주요 목표 및 개발방향

- ① 파쇄속도가 빠르고 파쇄작업의 효율이 큰 췌기 방식 무진동 암반파쇄기의 장점을 살리되, 천공기와 파쇄기를 분리하여 파쇄 전용 시스템장비 (SYSTEM MACHINE)로서 기계화시공(機械化施工)의 성능을 개선한다.
- ② 하나의 장비로 수직 방향의 암반파쇄 뿐만 아니라 수평 방향의 암반파쇄도 가능할 수 있도록 개발하여 암반파쇄기의 현장전용성(現場轉用性)을 개선한다.
- ③ 인력절감 및 안전성 확보효과를 더욱 높일 수 있도록 개발한다.
- ④ 수입제품을 대체하면서 파쇄력이 보다 향상된 췌기와 날개를 자체 개발한다.
- ⑤ 신개발한 무진동 암반파쇄기(SUPER WEDGE)의 작업효율을 극대화할 수 있는 파쇄연속공정, 자유면확보방법 및 암반파쇄공법을 개발한다.

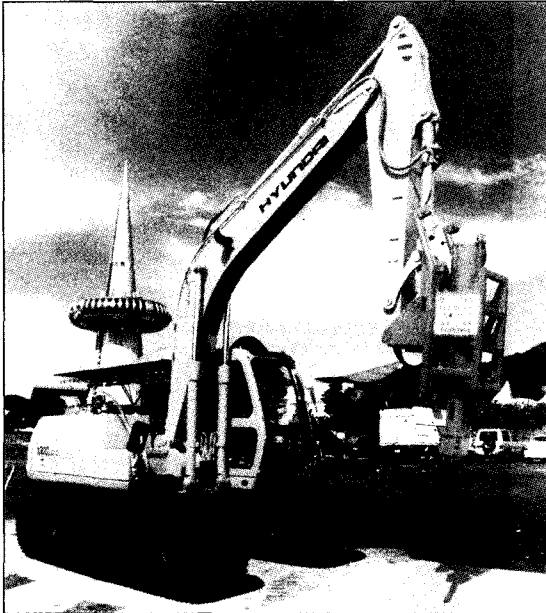


그림 3. 신개발 슈퍼웨지사진(2000년)



그림 4. 수평 암반파쇄 장면(1)

3.2 수직 브라켓

신개발된 브라켓에 파쇄기를 부착하여, 와이어의 방향유동성을 이용하여 수직 암반 파쇄 시 작업효율을 높일 수 있도록 설계하였다(그림 1-4 참조).

[수직브라켓 작동방법]

- ① 신개발된 브라켓을 굴삭기에 장착시킨 후 기 천공된 파쇄공에 썰기와 날개를 삽입한다. 이 때 와이어의 유동성과 파쇄기가 지닌 자체 무게를 이용하여 다양한 각도의 파쇄공에 쉽게 삽입이 가능하다.
- ② 수직 또는 수평 천공구멍에 삽입 완료된 파쇄기에 유압을 가하면 날개와 썰기의 작동에 의하여 암반파쇄가 완료된다.

3.3 수평 브라켓

기존 무진동 파쇄기 및 수입 파쇄기 PD-5의 브라

켓 장치대는 장비가 지닌 기술적 한계로 인하여 수평 파쇄작업이 불가능하였다. 이는 작업의 연속성이나 효율성 측면에서 상당한 문제점을 내포하고 있는 바, 신기술로 개발된 새로운 방식의 브라켓은 수평 천공에 대한 작업 시 파쇄기의 형상 중 파쇄공 삽입 부분인 작동부(썰기와 날개)를 굴삭기 운전자가 육안으로 파악하면서 브라켓에 장치된 스윙기어와 유압 모터를 구동하여 작업 대상 수평 파쇄공의 방향으로 회전시킨 후 삽입한다. 여타 암반파쇄기의 경우 천공구멍의 편차로 인하여 작동부의 삽입에 장애가 발생하는 데 비해, 신기술 SUPER WEDGE 공법 적용 브라켓은 와이어 유동성을 이용하므로 장애 발생의 여지를 없었다. 이러한 특징으로 인하여 기존 타 파쇄기 운용의 필수 요소인 숙련된 인력의 고공작업 시 발생할 수 있는 낙반 사고 등 안전사고의 위험을 사전에 예방할 수 있고, 수평 파쇄작업의 효율을 높일 수 있다.

[수평 브라켓 작동 방법]

- ① 굴삭기 실린더를 조작하여 브라켓을 수평으로 작동시킨다.
- ② 스윙 모터를 작동시켜 스윙 기어가 회전하면 브라켓의 날개 부분을 굴삭기 운전자가 육안으로 확인하며 수평 천공구멍 방향으로 지지대를 회전시킨다.



그림 5. 수평 암반파쇄 장면(2)

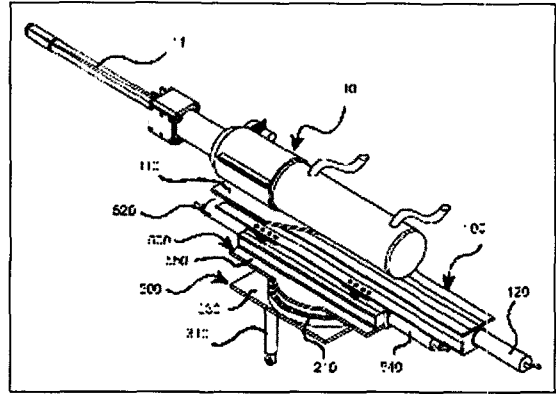


그림 6. 터널전용 브라켓 사시도 (특허출원)

- ③ 파쇄기 전 후진 실린더를 조작하여 파쇄기를 수평 천공구멍 방향으로 전진시킨다.
- ④ 파쇄기 날개를 수평 파쇄공 내부로 압입한 후 썰기에 유압을 가하여 파쇄한다.

3.4 터널 전용 브라켓

터널 전용 브라켓은 기존의 암반 파쇄기들이 터널 전단면 작업시 받침대를 설치하여 파쇄 작업을 함으로서 발생할 수 있었던 낙반 사고를 예방하고 무거운 파쇄기(25kg~45kg)를 움직여 작업할 때 작업 효율이 떨어지는 기존의 암반파쇄기(HRS, SRS, DAR-DA장비)의 단점을 보완한 것이다. 터널 전용 브라켓을 굴삭기(0.8m³, 1.0m³)에 부착하여 파쇄기 조작 운전자가 직접 천공된 구멍에 브라켓을 조작하여 파쇄 작업을 하므로 기존의 파쇄기(HRS, SRS, DAR-DA)에 비해 대량 파쇄가 가능하다. 터널 전용 브라켓은 2002. 9 현재 부산 부전~사상간 복선화 노반공사(철도청) 주령 제 2터널 굴착공사 현장에서 성공적으로 시공 중에 있다. 터널 전용 브라켓을 굴삭기(0.8~1.00m³)에 부착한 후 운전자가 굴삭기에 장치된 탑승용 보조 장치대에 탑승하여 굴삭기의 유압 펌프를 구동시킨 후 수직 브라켓 장치와 파쇄기를 조작하여 암반을 파쇄한다.

[터널전용 브라켓 각 부의 기능]

- ① 파쇄날(썰기와 날개) : 썰기의 원리로 암반을 파쇄한다.
- ② 전후진이송 실린더 : 암반파쇄기 장착부와 연결되어 가이드레일을 따라 암반파쇄기를 전후진시킨다
- ③ 전후진 이송부 : 가이드레일과 전후진이송실린더가 장착된 지지판 부분
- ④ 제1 미세각도 조정수단 및 제 2 미세각도 조정수단 : 파쇄기의 높이 및 경사각도를 미세 조정한다.
- ⑤ 제1링크부재 및 제2링크부재 : 전후진 이송부 지지판과 스윙기어부 양쪽에 힌지결합되어 미세각도 조정이 가능하도록 연결되는 부재
- ⑥ 스윙기어 : 파쇄기를 좌우로 회전시킨다.
- ⑦ 경사조정실린더 : 파쇄기가 장착된 브라켓의 경사각도를 조절한다.
- ⑧ 유압제어부 : 브라켓 각 부의 유압모터와 유압실린더의 유압을 제어한다.

[터널전용 브라켓 작동 방법]

- ① 터널 전단면에 굴삭기를 적당한 위치까지 전진시킨 다음, 붐의 길이와 높이를 조정하여 작업 대상 파쇄공과 파쇄기의 높이를 일치시킨다.
- ② 스윙기어를 작동하여 파쇄기의 좌우각도를 파

쇄공의 좌우각도와 일치시킨다.

- ③ 경사조정실린더를 작동 파쇄기의 경사각도를 파쇄공의 경사각과 일치시킨다.
- ④ 미세각도조정수단을 이용하여 파쇄기의 높이와 경사각을 미세 조정한다.
- ⑤ 전후이송실린더를 이용하여 파쇄기를 파쇄공에 1차 삽입한다.
- ⑥ 스윙기어의 유압모터와 미세각도조정수단의 유압실린더의 유압브레이크를 푼다.
- ⑦ 전후진 이송실린더를 이용하여 파쇄기를 작업 깊이까지 2차 삽입한다.
- ⑧ 파쇄기의 유압실린더를 이용 썰기를 전진시켜 암반을 파쇄한다.

4. 브라켓 개발효과

- ① 신개발된 브라켓은 수직 암반파쇄뿐만 아니라, 수평 암반파쇄에도 적용할 수 있도록 하여 현장에서 하나의 장비로 처리할 수 있는 작업의 전용성(轉用性)을 크게 개선하였다.
- ② 신개발된 브라켓을 장착한 파쇄기는 기존 PD-5 브라켓에 장착된 파쇄기보다 단위시간당 파쇄물량 대비 15~20배, 파쇄기 가동 시간 대비 3배의 극명한 효과를 내고 있다.

- ③ 파쇄기의 작동이 일반 굴삭기 운전자 수준의 능력과 간단한 조작으로 이루어지므로, PD-5 장비의 경우 천공기와 파쇄기에 대한 동시 조작능력을 갖춘 전문인력의 투입을 배제하여 우리 현실에 적합한 시공기계화를 구현하였다.

5. 파쇄용 썰기 및 날개의 개발

1991년 日本 HIRADO社로부터 PD-5를 수입하여 국내 현장에 시공하면서 부딪친 또 하나의 문제는 암반파쇄기의 단말 작동부에 해당하는 썰기(WEDGE)와 날개(COUNTER WEDGE)에 관한 것이었다.

(수입 썰기와 날개의 문제점)

- 썰기와 날개가 강성(剛性)에서 국내 경암 및 극경암에 충분한 성능을 갖고 있지 않아, 굴복하거나 파손되는 일이 빈번하게 발생하였다.
- 가격이 비싸 기술경쟁력을 떨어뜨릴 뿐만 아니라, 수입에 따른 조달시간이 지체되어 장비의 운용에 많은 애로를 발생시켰다.

이러한 문제를 해결하기 위해 국내의 특수강제조업체(기아특수강, 삼미특수강, 한국중공업) 및 열처리업체(동서열처리 등)와 협동하여 수입 썰기 및 날

표 1. 브라켓 개발효과 비교

항목	구분	SUPER WEDGE 전용 브라켓	기존 PD-5 전용 브라켓
작업량 (8시간/일)		경암 및 극경암 : 70~80m ³ 보통암 : 90m ³ 연 암 : 100m ³	경암 및 극경암 : 3~5m ³ 보통암 : 5~8m ³ 연암 : 8~15m ³
천공		천공작업 분리 적정 천공기 선택 가능 천공깊이 : 3M	자체 천공기 사용 천공시간 : 3 ~ 5분/공 천공깊이 : 1.2 M
적용 장비		굴삭기 0.6m ³ 이상	굴삭기 0.8m ³ 이상
무게		900kg	1500kg
수평·수직 작업 여부		수직 및 수평작업 가능	수직 작업만 가능
기사 숙련도		굴삭기 조종능력으로 충분	천공기 및 파쇄기 동시조작능력 필요



표 2. 썰기 및 날개의 개발효과

	개발품		수입품	
	소모량	단가(원)	소모량	단가(원)
썰기	0.00933 EA/m ³	500,000	0.1325 EA/m ³	1,200,000
날개	0.01867 EA/m ³	500,000	0.1250 EA/m ³	1,200,000

(암반조건 : 경암 기준, 단가 : 2000년 기준)

개의 화학적 성분을 분석한 다음 시제품을 썰기방식 암반파쇄가 요하는 최적 형상을 찾기 위해 다양한 형태로 절삭가공하고 최신 열처리공정을 거쳐 현장 시험시공을 실시하였다. 마침내 셀 수 없는 시행착오를 통해 국내 생산제품으로 수입 썰기와 날개를 대체하였을 뿐만 아니라, 썰기와 날개의 강성(剛性)에 대한 연구개발을 계속하여 경암 및 극경암의 경우 전장 550mm의 날개를 적용하던 것을 2000년 하반기부터는 보통암의 경우와 동일하게 전장 850mm의 날개가 적용 가능하도록 하여 파쇄량과 작업효율을 더욱 개선하였다.

6. 결론

와이어에 의해 방향유동성을 갖춘 브라켓과 강성이 강화된 썰기를 장착한 파쇄 전용 무진동 암반파쇄기(SUPER WEDGE)를 개발하여 수직 및 수평 암반파쇄 등 다양한 시공방향과 암반조건에 대한 작업

효율을 개선하였다. 신개발 무진동 암반파쇄기는 수직방향 암반파쇄기로서의 성능을 더욱 강화하였을 뿐만 아니라, 사면(斜面) 또는 수평방향 암반파쇄에도 적용할 수 있도록 개발되었다. 따라서, 건축·토목설계 마다 독특한 시공상의 요구 및 현장에 존재하거나 공사가 진행되는 중에 출현하는 다양한 지반조건(地盤條件)에 대해 별도의 장비 투입없이 능동적·가변적으로 대처할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 시스템장비(SYSTEM MACHINE)로서의 장점을 최대한 살려 투입인력을 최소화하고 암반파쇄시공의 기계화 시공을 이루어 천공-파쇄-집토-청소-파쇄로 이어지는 1 CYCLE 연속공정을 확립하였다. 이 연속공정은 천공장비, 파쇄장비, 집토장비의 대기 시간을 줄여 공기단축 및 원가절감을 이룰 수 있게 하였다. 현장이 500m² 이상이면 모든 장비가 대기시간 없이 100%가동을 할 수 있게 하는 동시시공을 가능하게 하여 무진동 암반파쇄공법의 최대약점인 일일 시공량을 극대화 하여 공기단축을 이룰 수 있게 하였다.