

노즐혼합형 연마재 워터젯에 의한 암석의 절삭에 관한 연구

김대일¹⁾, 이정인²⁾, 최병희³⁾

1. 서 론

워터젯 절단 기술은 1950년대에 처음으로 개발되었으며, 1970년대 중반에 이르러서야 실질적인 산업현장에서 최초로 상업화된 역사가 짧은 신기술이라고 할 수 있다. 워터젯 기술 중에서도 특히 연마재 워터젯 기술은 탁월한 절삭력과 응용분야의 다양성으로 인하여 괄목할만한 성장을 가져왔다. 특히 일반적 혼합기 형태의 노즐혼합형 연마재 워터젯(Injection type Abrasive Water Jet)기술에 대한 연구는 이미 20년 이상 꾸준히 이루어져오고 있으며, 응용분야를 넓혀가고 있는 실정이다. 그러나 국내에서는 연구 사례의 부족과 더불어 적용분야도 미비한 편이다. 본 연구에서는 국내산 화강암, 대리석, 사암, 반려암, 편마암의 시료에 대하여 실험실에서 노즐혼합형 연마재 워터젯의 절삭시험을 하여 채석 및 가공을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 연마재 워터젯 기초이론

연마재 워터젯 시스템의 절단 원리는 순수한 워터젯의 절단 효율을 높이기 위하여 고압수가 분사되는 지점에 연마재의 혼합실(mixing chamber)을 두고 적당한 크기의 연마재가 고속 수류에 의해 형성되는 압력 차에 의하여 분류수에 흡입, 혼합되도록 한 것이다. 따라서 연마재에 의해 순수한 물만을 사용하였을 때 보다 그 충격력이 강화되어 절단효율을 높이게 되는데, 순수 워터젯의 경우는 H₂O 로 대표되는 액체와 N₂, O₂ 등의 기체가 절삭에 관여하는 2상의 절삭 매개체를 가지지만, 연마재 워터젯의 경우 2상 외에 고체상인 연마재가 절삭을 함께 담당하는 3상 절삭 시스템이다. 따라서 순수 워터젯에서 대상 절삭물이 암석일 경우 물이 공극 사이에서 쪼개작용으로 파쇄를 주도하는 역할을 하는 반면에 연마재 워터젯에서의 물은 연마재의 운반 역할을 담당하고 실질적인 절삭은 연마재가 담당한다고 볼 수 있다(그림 1 참조).

3. 시험장치, 시료 및 시험방법

일반적으로 고압수의 생성 단계에서 최종 단계인 분사에 이르는 전체 과정에서 직접적으로 관계된 모든 장비들과 그 응용에 따라 달라지는 모든 부대 장비들을 총칭하여 워터젯 시스템(Water Jet System)이라 한다. 본 연구에서는 암석 블록 시료를 절단할 목적으로 크게 3개의 성분으로 시스템(고압펌프시스템, 노즐어셈블리 및 제어장치, 연마재 전송 시스템)을 구성하였고, 각각의 구성성분들에 대한 개념도는 그림 2와 같다.

암석시료는 거창화강암, 익산화강암, 여산대리석, 마천반려암, 보령사암, 면천편마암 등 국내산 암석 6종을 대상시료로 사용하였다. 각각의 시료에 대하여 연마재의 특성(투입량, 입도, 연마재의 종류), 노즐이송속도, 오리피스 직경에 따른 절삭심도의 측정 및 비절삭율(specific cutting rate)을 계산하였다. 또한 노즐이송속도에 따른 절삭속도를 측정하여 노즐이송속도가 절삭속도에 미치는 영향을 살펴보았다. 편마암의 경우는 편리방향에 따른 절삭력의 차이를 고찰하였으며, 절삭 후의 암석 표면에 대한 프랙탈차원(fractal dimension) 분석을 통해 암석 강도와 상관 여부를 고찰하였다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 석재의 채석 및 가공에 연마재 워터젯 기술을 적용하기 위한 기술 개발을 위하여 국내산 석재에 대해서 실내 워터젯 실험을 수행하였다. 이 연구를 통해 얻어진 주요 결과를 다음과 같이 요약하였다.

- 1) 연마재워터젯에 의한 시험결과 절삭심도는 토출압력에 비례하고 노즐이송속도에 반비례하는 경향을 확인하였다.
- 2) 오리피스 직경을 각각 0.279, 0.381, 0.559 mm로 나누어 세 가지의 압력 범위에 대하여 실험한 결과, 노즐의 직경이 일정크기 이상으로 커지면 오히려 장비의 한계유량을 초과하여 절삭심도를 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 연마재의 입도를 #80, #100, #120으로 나누어 실험한 결과 입도가 작을수록 절삭심도가 감소하였다.
- 3) 3종류(Garnet, Alumina, Silicon carbide)의 연마재를 사용하여 절삭심도와 비절삭율을 비교 검토한 결과, Garnet이 가장 적절한 연마재로 판별되었다. 또한 연마재 투입량에 따른 영향을 조사한 결과, 연마재 투입량이 증가함에 따라서 어느 정도 절삭 심도는 증가하지만, 적절한 투입량을 초과할 경우, 오히려 절삭력을 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.
- 4) 비절삭율의 경우, 연마재 투입량이 증가할수록 비절삭율은 감소하는 것으로 나타났다, 반면에 노즐의 이송속도가 증가함에 따라 비절삭율은 전체적으로 증가하는 경향을 보였지만 일정수준 이상에서는 오히려 감소하는 경향을 보였는데, 이는 입자간의 상호 간섭이 증대되어 시료에 대한 충격에너지량이 감소하기 때문인 것으로 사료된다.
- 5) 절삭 후의 표면 특성을 프랙탈 차원 분석을 통해 알아보았다. 결과적으로 세 가지 암석에 대해서 절삭면의 거칠기를 프랙탈 차원으로 분석한 결과 150 MPa에서 화강암의 경우 1.04063, 대리암의 경우 1.05275, 사암의 경우 1.01743으로 나타나 강도가 클수록 매끄러운 면을 가지는 것으로 나타났다.

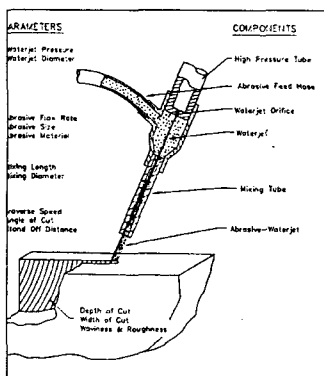


그림 1. 노즐혼합형 연마재 워터젯

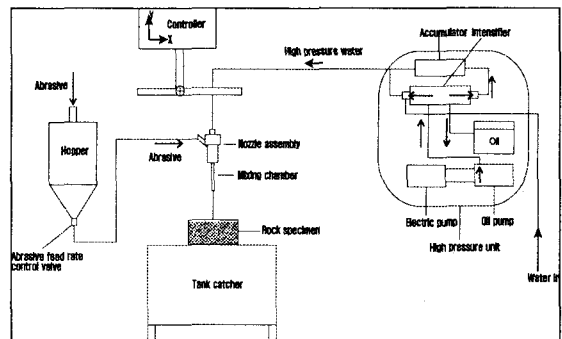


그림 2. 연마재 워터젯 시스템 구성도

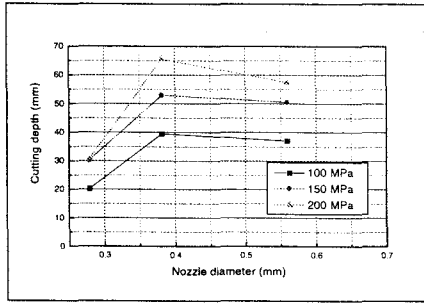


그림 3. 오리피스 직경에 따른 절삭심도

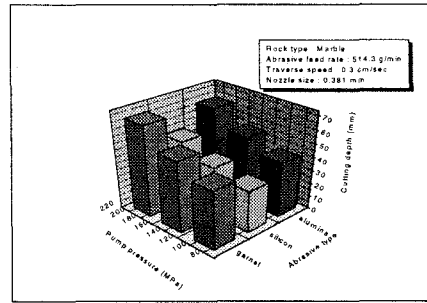


그림 4. 연마재의 종류별 절삭력 차이

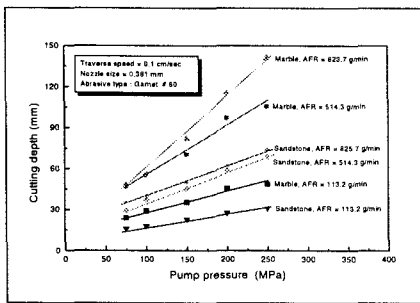


그림 5. 연마재 투입량에 따른 절삭심도 변화

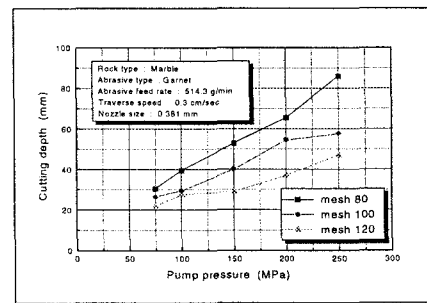


그림 6. 연마재 입도 vs. 절삭심도

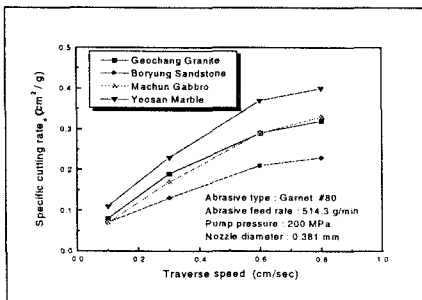


그림 7. 노즐이송속도 vs. 비절삭율

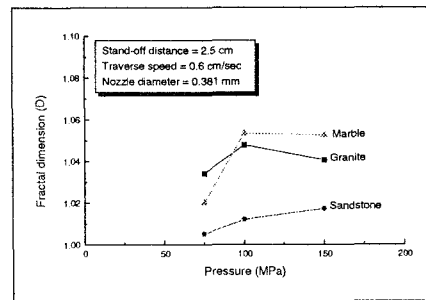


그림 8. 암석에 따른 프랙탈차원 비교

5. 참고문헌

김형목, 1999, "워터젯을 이용한 암석의 절삭에 관한 연구", 공학석사학위논문, 서울대학교
 선우 춘 외 3인, 1996, "Water jet 절단에서의 연마재 종류별 성능 비교 시험", 터널과 지하공간, 제6권 2호, pp. 175-183
 A. W. Momber & R. Kovacevic, 1998, "Principles of Abrasive Water Jet Machining", Spriger, p. 394
 David A. Summers, 1995, "Waterjetting Technology", E & FN Spon, An imprint of champman &

hall, p. 875

Thomas J. Labus, 1999, "Fluid Jet Technology Fundamentals and Applications", Forth Edition,
Waterjet Technology Association, Section 3.0

- 1) (주)제일엔지니어링 지반공학부
- 2) 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수
- 3) 한국지질자원연구원