

# 선혼합형(先混合型) 연마제 워터젯을 이용한 암석 천공에 관한 연구

서호영<sup>1)</sup> · 한송수<sup>2)</sup> · 김영조<sup>3)</sup> · 이정인<sup>4)</sup>

## 1. 서 론

현재 건설현장에서 사용되고 있는 기계식 천공장비는 소음, 분진, 진동 등으로 인하여 중요 건물 인접지역이나 도심지 지역에서는 천공 작업에 제약을 받게 될 뿐만 아니라 기계식 장비 자체가 갖는 추진력으로 인한 반력 때문에 소구경 공을 천공하기가 어렵다는 단점이 있다. 이를 극복하기 위한 대안으로 워터젯을 이용한 암석 천공에 관한 연구가 이루어져 왔으나, 노즐 헤드의 설계변수나 장비의 운용변수가 암석 천공에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 천공용 노즐 헤드의 설계변수와 장비의 운용변수가 암석천공에 미치는 영향을 분석하기 위하여 선혼합형 연마제 워터젯 시스템을 이용하여 국내 대표적 경암인 화강암, 단축압축강도가 큰 보령 사암 그리고 석재산업에 많이 사용되고 있는 여산대리석에 대해서 천공 시험을 수행하였으며, 암석을 천공할 수 있는 노즐 헤드 설계시, 설계변수의 영향을 살펴보기 위해서 노즐 헤드의 직경이나 오리피스(orifice)의 위치와 각도를 달리하여 공경변화 및 굴진속도 등을 고찰하였고, 노즐 회전속도가 천공 성능에 미치는 영향을 살펴보았다. 또한 대상 암종의 물성시험을 실시하여 암석 물성과 천공 성능과의 관계도 살펴보았다. 현재 국내의 미흡한 연구 실정에 비추어 볼 때, 향후 워터젯 천공용 노즐 헤드 설계나 유사 장비 운용시 기초 자료로 충분히 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

## 2. 시험장치 및 시험방법

일반적으로 절삭을 목적으로 할 때는 선혼합형(先混合型) 연마제 워터젯은 고압펌프, 물과 연마제를 섞어주는 고압 믹서, 이송 기구부 그리고 노즐부로 구성된다. 본 시험은 천공을 목적으로 하므로 여기에 회전이음쇠(swivel or rotary coupling)가 추가된다. 고압펌프는 저압의 물을 원하는 압력까지 높여주는 역할을 하고, 고압 믹서는 펌프에서 배출된 고압수를 연마제와 섞어서 내압호스로 배출시켜 노즐부까지 운송하는 역할을 한다. 이송 기구부는 노즐부를 전후좌우로 이동시킬 수 있게 하며, 노즐부는 연마제와 혼합된 물이 큰 에너지를 가질 수 있도록 오리피스를 이용해서 분사시키는 역할을 하게 된다.

본 연구에서는 거창화강암, 여산대리석, 보령사암을 대상으로 워터젯 천공시험을 수행하였으며 실험에 사용된 펌프는 플러저 타입의 펌프이고, 고압 믹서는 영국 BHRA

---

**주요어:** 선혼합형 연마제 워터젯, 노즐헤드, 굴진속도, 부피제거율, 회전속도

1) 시설안전기술공단 기술개발지원실 기초지반탐 연구원(arczero@rockeng.snu.ac.kr)

2) (주)삼성건설 장비연구소 선임연구원

3) (주)가람하이텍 대표이사

4) 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수

사 제품으로서 유량은 30 l/min, 최대압력은 70 MPa이다. 시험 방법은 천공속도와 부피제거율에 영향을 미칠수 있는 노즐헤드, 굴진속도, 회전속도를 변수로 실험을 수행하였다.

### 3. 실험결과 및 현장적용성

제작된 5개의 노즐 헤드를 사용하여 두께가 30 cm인 거창화강암을 대상으로 천공시험을 실시한 결과, 최대 90 cm/min의 굴진속도를 얻을 수 있었고 이 때의 공경은 19.3 mm이었다. 또한, 공 내부에서 암석 콘 생성을 방지하는 것이 굴진속도 향상에 중요한 역할을 함을 알 수 있었다. 각 헤드별로 굴진속도를 증가시키면서 공경변화를 관찰한 결과, 굴진속도가 증가할수록 암석이 분사류에 노출되는 시간이 줄어들게 되므로 세 암종 모두 공경이 줄어드는 경향을 보였다. 동일한 굴진속도에서 노즐 헤드의 회전속도를 변화시키면서 천공시험을 수행하였다. 천공이 성공한 경우에는 회전속도의 변화에 따른 공경변화가 거의 없었으나, 각 암종에 따라서 천공이 성공하는 회전속도의 범위가 다르게 나타났다. 거창화강암은 실험에서 설정한 150 ~ 550 RPM 범위에서 천공이 가능하였고, 여산대리석도 150 RPM을 제외한 250 ~ 550 RPM 범위에서 천공이 가능하였으나, 보령사암은 200 ~ 300 RPM의 회전속도에서만 천공이 가능하였다. 수평천공시 연마재와 물의 혼합물의 배출 상태에 따라서 천공단계를 진입단계, 안정화단계, 관통단계로 구분하였다. 안정화 단계에서의 공경이 진입단계의 공경보다 작게 나타났는데, 분사류의 수중상태에서의 절삭력이 감소함을 확인할 수 있었다. 동일한 노즐 헤드와 동일한 조건에서 거창화강암, 여산대리석, 보령사암에 대한 천공시험을 실시하여 각 암석의 절삭력을 분석하였다. 절삭력을 평가하기 위한 변수로는 천공된 공의 직경을 측정하였는데, 거창화강암이 가장 우수한 절삭력을 보였고 여산대리석, 보령사암의 순으로 나타났다.

현장에서의 적용성을 검토하기 위하여 기계식 천공장비를 개조한 선혼합형 연마재 워터젯 천공장비를 이용하여 천공 시험을 실시하였다. 장공 천공시 편심회전 현상이 생겨서 노즐 헤드가 모암과 부딪히게 되므로, 내마모성이 강한 재질을 사용하여 노즐 헤드를 제작하는 것이 현장 적용성을 더욱 높일 수 있을 것으로 생각된다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 국내 최초로 선혼합형(先混合型) 연마재 워터젯을 이용하여 국내 암석을 대상으로 한 천공시험을 실시하였다.

노즐 헤드의 설계 변수를 분석하기 위해서 오리피스 위치, 각도, 헤드 직경 등을 달리하여 각 변수들이 천공 작업에 미치는 영향을 분석하였고, 굴진속도나 회전속도 등을 달리하여 장비 운용 변수들이 암석 천공에 미치는 영향을 살펴보았다. 또한 화강암, 대리석, 사암에 대한 천공 시험을 수행하여, 선혼합형 연마재 워터젯을 이용한 암석 천공시 각 암종의 천공용이성을 고찰하였다. 또한 현장 적용성 시험을 통해서 현재의 기계식 천공장비의 활용이 불가능한 소구경 천공을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

1. 김대일, 2001, 노즐 혼합형 연마재 워터젯에 의한 암석의 절삭에 관한 연구, 서울대학교 공학석사 학위논문
2. Summers, D. A., 1995, Waterjetting technology, Chapman & Hall
3. Wright, D. E. and Summers, D. A., "1993, Performance enhancement of DIADrill operations, Proc. of 7th American Water Jet Conference, pp. 549 - 561
4. Momber, A. W. and Kovacevic, R., 1998, Principles of Abrasive Water Jet Machining, Springer
5. Zeng, J. and Kim, T. J., 1992, Development of an abrasive waterjet kerf cutting model for brittle materials, Proc. of Jet Cutting Technol., pp. 483 - 501
6. Capello, E. and Groppetti, R., 1992, On an energetic semi-empirical model of hydro-abrasive jet material removal mechanism for control and optimization, Proc. of Jet Cutting Technol., pp. 101 - 120

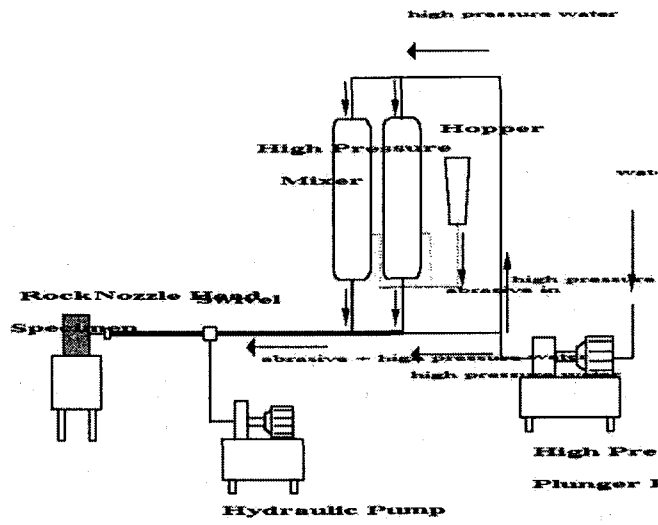


그림 1. Schematic diagram of abrasive suspension waterjet drilling system

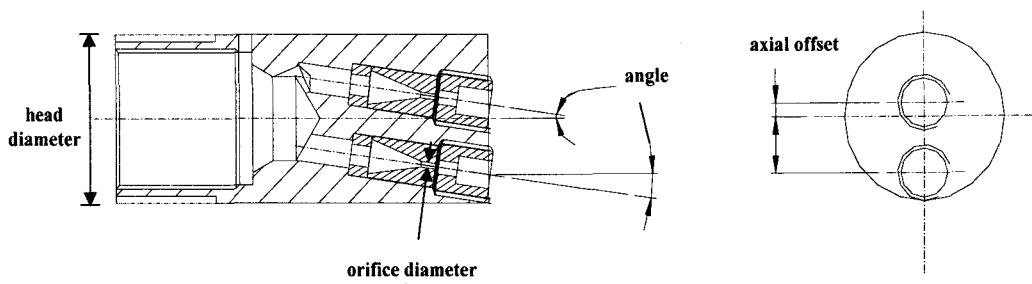


그림 2. Experiment variables

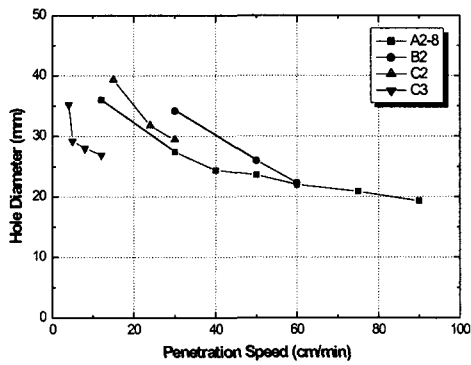


그림 3. Hole diameter vs. Penetration speed for various nozzle heads.

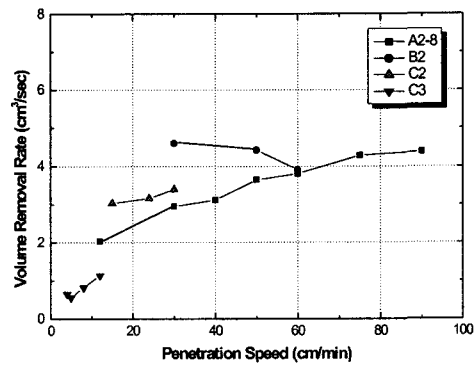


그림 4. Volume removal rate vs. Penetration speed for various nozzle heads