

NRC 파암공법의 시험시공 사례연구

김진수¹⁾ · 이효²⁾ · 강대영³⁾ · 주영욱⁴⁾

Case study on using NRC for rock cracking without explosives

Jinsoo Kim, Hyo lee, Daeyoung kang, Youngog Ju

1. 개요

발파에 의한 소음 및 진동에 대한 민원발생이 꾸준히 증가 추세에 있고, 이러한 민원문제가 환경적인 사회문제로 대두되자

최근에는 여러 가지 관점에서 화약류를 사용하지 않고 암반을 파쇄할 수 있는 대안을 모색하기 시작했으며 대표적인 방법이 플라즈마 계통의 공법과 대형장비를 활용하는 기계식 굴착방법이 제시되어 현장에 적용되고 있다.

현재 국내외적으로 활용되고 있는 비발파 굴착공법은 크게 3가지로 구분되며, 첫째는 기계식 굴착공법, 둘째는 약액주입을 이용한 팽창성 파쇄제, 셋째는 미진동 파쇄기 또는 플라즈마 계통의 미진동 파쇄공법이다. 기계식 굴착공법의 대표적인 예는 할암공법이며, 천공된 구멍에 할암기를 삽입한 다음 유압을 사용하여 암석을 파쇄하는 방법으로, 파쇄시 진동 및 소음이 전혀 없다는 장점을 가지고 있으며, 약액주입을 이용한 팽창성 파쇄제는 천공된 구멍에 화공약품으로 구성된 약액을 주입한 다음 일정시간이 경과되어 주입된 약품의 팽창에 따라 발생하는 팽창력을 이용해 암석을 파쇄하는 공법으로 기계식 할암공법과 같이 진동 및 소음이 전혀 없다는 장점을 가지고 있다.

미진동 파쇄기 내지는 플라즈마 계통의 공법들은 약간의 진동 및 소음의 발생이 수반되기는 하지만, 작업공기의 단축 또는 굴착비용의 저감측면에서 주로 선호도가 높다.

NRC(Nonex Rock Cracker Agent)공법은 조성 성분에 있어서는 플라즈마 계통의 영역에 해당되나, 기폭방식은 종래의 플라즈마 공법과 큰 차이가 있어 사실상 플라즈마 공법의 영역에서는 벗어나 있다는 평가가 우세하다.

2. NRC공법의 메카니즘

본 공법은 비화약류 조성의 파암제를 이니시에이터로 외부적 자극에 의하여 조성물을 고온 발열시켜, 순식간에 금속증기로 치환되어 체적팽창 충격압이 발생하고, 동시에 기화 분해된 해리압이 발생함으로써 암석의 파쇄강도 이상의 압력을 생성하여 암석을 파쇄시키는 메카니즘을 가지고 있다.

1) 원화종합건설 이사
2) SK건설 부장
3) 원화종합건설 상무
4) 원화종합건설 부장

본 공법은 크게 파암제, 기폭장치, 방전장치로 구성되며, 파암제는 종래의 화약에 해당되는 부분으로 암석을 직접적으로 파쇄하는데 사용된다. 기폭장치는 기존 뇌관에 해당되는 부분으로 파암제를 기폭시키는데 사용되며, 방전장치는 기존 발파기에 해당되는 부분으로 기폭장치를 기폭시키는데 사용된다.

Fig.1은 NRC공법의 메카니즘을 보여주고 있으며, Fig.2~4에는 NRC공법의 제품을 수록하였다.

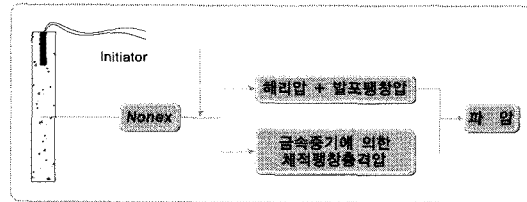


Fig. 1 Mechanism of NRC

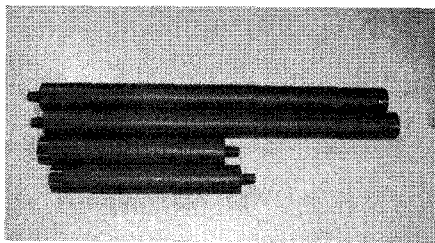


Fig. 2 Nonex

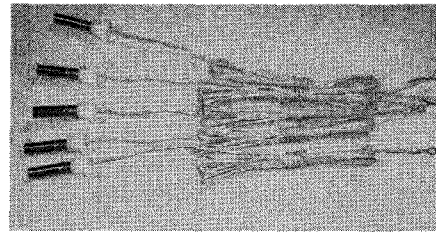


Fig. 3 Electric Initiator

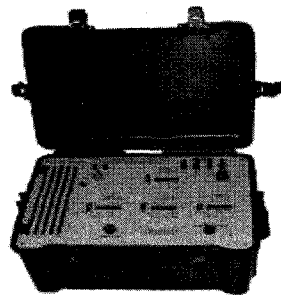


Fig. 4 Discharge controller

3. 시험시공

당 공법의 파쇄 및 성능검증을 위해 일본 현지에서 시험시공을 실시하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

3.1 1차 시험시공

1차 시험시공은 (주)니치호 및 가야쿠저팬(주)의 주관으로 (주)기타무라구미채석장에 시행

되었으며, 우선적으로 이니시에이터의 지발기폭시험과 일자유면의 Fan-cut, 수직구 파암 시험시공이 시행되었다.

Table 1에는 시험시공을 실시한 패턴을 수록하였으며, Fig.5에는 시험시공 위치를 보여주고 있다.

이니시에이터 기폭시험은 지발기폭이 가능한 전자식을 활용하였으며, 각 단별의 시차는 25ms로 제작되어 있고, Fig.6에는 전자식 이니시에이터의 외관을 보여주고 있다.

Fig.7은 이니시에이터 기폭시험을 고속카메라로 촬영한 모습을 보여주고 있다.

Fig.8에는 Fan-cut 패턴도 및 작업과정과 결과를 수록하였으며, Fig.9에는 수직구 패턴도 및 작업과정과 결과를 수록하였다.

Fig. 10은 당일 시험시공의 진동 및 소음의 측정을 위해 실시된 계측기의 설치 광경을 보여주고 있다.

Table 1. Test pattern

	Fan-cut	V-cut
Drilling Length (m)	F-hole 2.0m others 1.8m	V-hole 1.3m others 1.2m
Drilling diameter (mm)	45mm	45mm
Holes	50	43
Burden & Spacings (m)	0.6~0.7	0.6~0.7
Charging per hole (kg)	0.4~0.8	0.4~0.6
Specific charge (kg/m ³)	1.018	1.957



Fig. 5 Test site

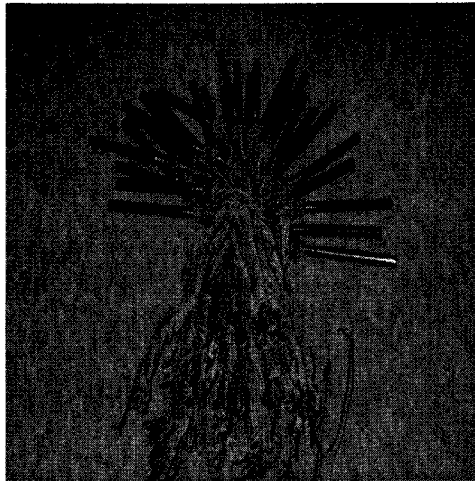
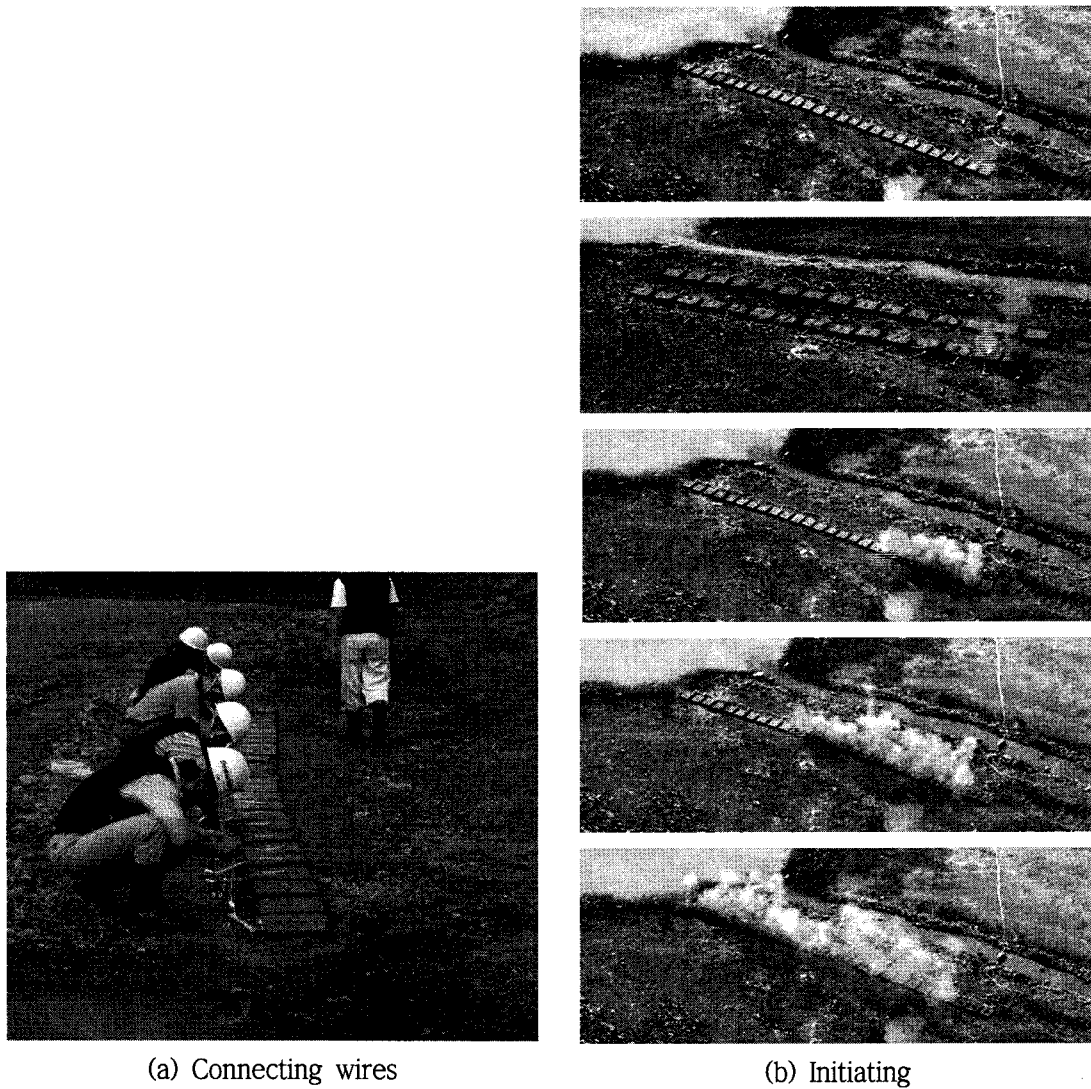


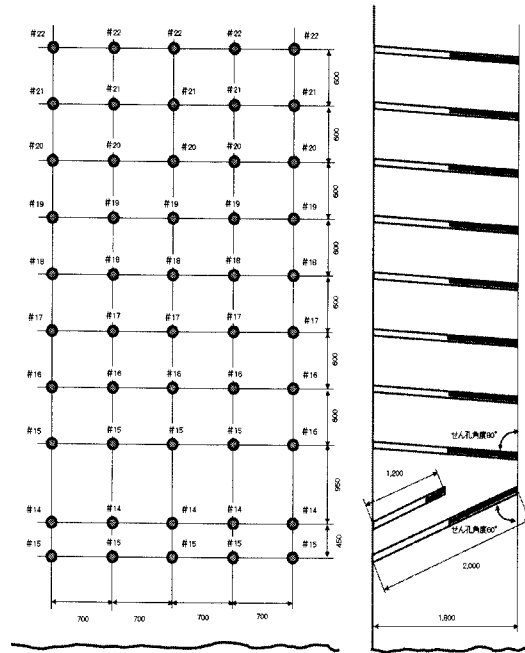
Fig. 6 Electronic Initiator



(a) Connecting wires

(b) Initiating

Fig. 7 Initiator Test



(a) The pattern of this test, Fan-cut

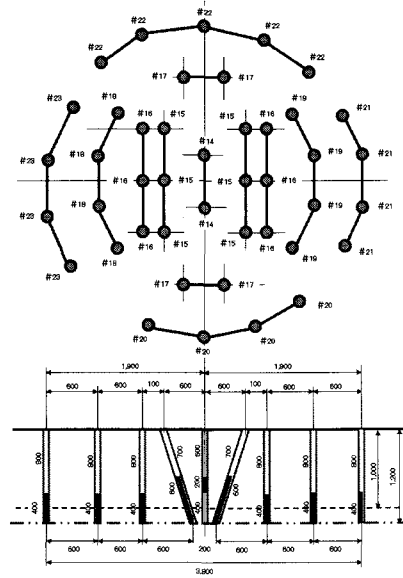


(b) Charging



(c) Results

Fig. 8 Applying NRC to rock cracking (Fan-cut)



(a) The pattern of this test, V-cut



(b) Drilling pattern of V-cut



(c) Results

Fig. 9 Applying NRC to rock cracking(V-cut)

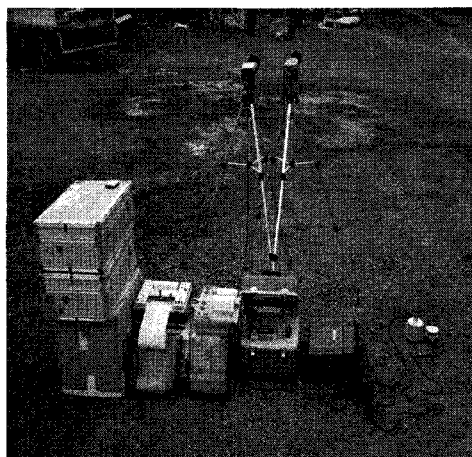


Fig. 10 Monitoring of vibration & noise

3.2 2차 시험시공

2차 시험시공은 일본 기후현 다카야마시에서 시행되었으며 교각기초를 세우기 위한 기초 터파기 공사에 적용되었다.

현장 주변에는 물이 흐르고 있어 천공구멍에 물이 차있는 상태의 수공 파암이 시행되었으며, 수공에서 NRC 공법의 적용 타당성을 확인하는 좋은 사례가 되었다.

당초 계획은 대상암반 전체를 NRC 공법으로 파쇄를 실시하고자 하였으나, 현장 여건상 시험시공일자가 하루 지연되어 공기단축 등의 목적으로 일부는 유압식 브레이카로 작업을 실시하였다.

Fig.11은 시험시공 장소를 보여주고 있으며, Fig.12는 당초 계획된 Fan-cut 천공패턴을 수록하였고, Fig.13은 수정된 패턴을 보여주고 있다.

Table 2에는 당일 시험시공 천공패턴을 요약수록 하였고, Fig.14는 시험시공 장약광경을 보여주고 있다.

금회 시험시공은 물이 차있는 천공구멍에 장약을 실시하고, 전색물의 재질은 수분이 포함된 모래를 활용하였으나, 일부 공에서 상부에서 물이 흐르는 상태에서 전색을 실시하였던 관계로 일부 전색물이 유실되어 공발현상을 보였다. 차후 이 부분에 대한 조치로서 물이 차있는 수공 파암시에는 전색물의 재질로써 점토(Clay)를 사용하는 방법이 강구되었다.

Fig.15는 일부 공발현상이 발생하는 광경을 보여주고 있다.

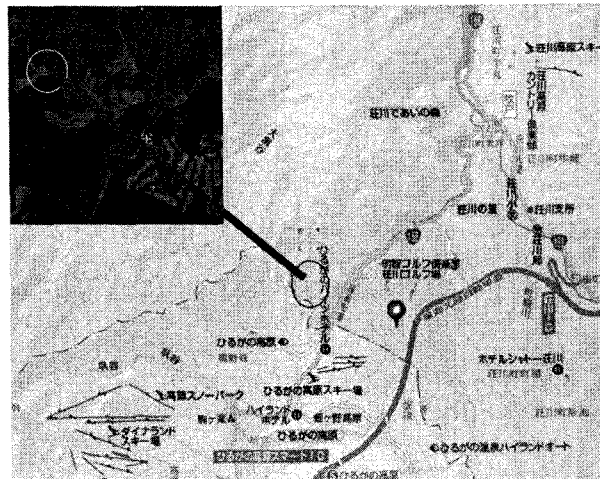


Fig. 11 Second test site

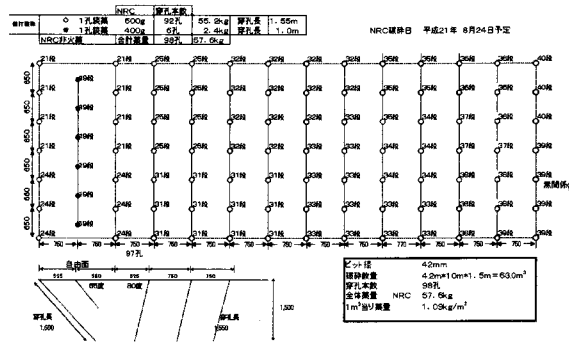


Fig. 12 Drilling pattern(Original)

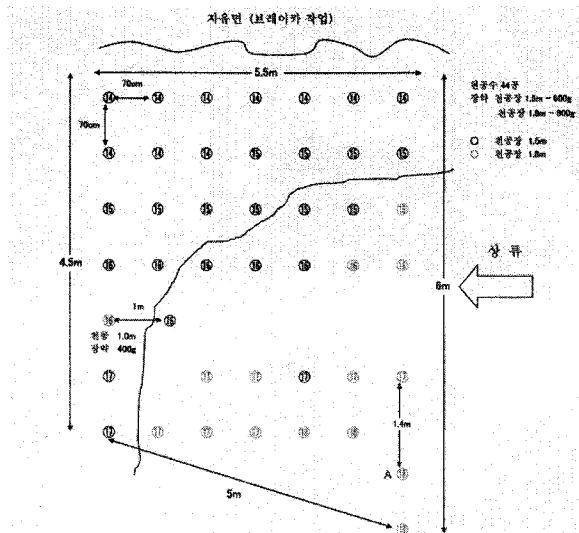


Fig. 13 Drilling pattern(Corrected)

Table 2. Specification of second test

Drilling Length (m)	1.5 ~ 1.8m
Drilling diameter (mm)	45mm
Holes	44
Burden & Spacings (m)	0.6 ~ 0.7
Charging per hole (kg)	0.6 ~ 0.8
Specific charge (kg/m ³)	0.56

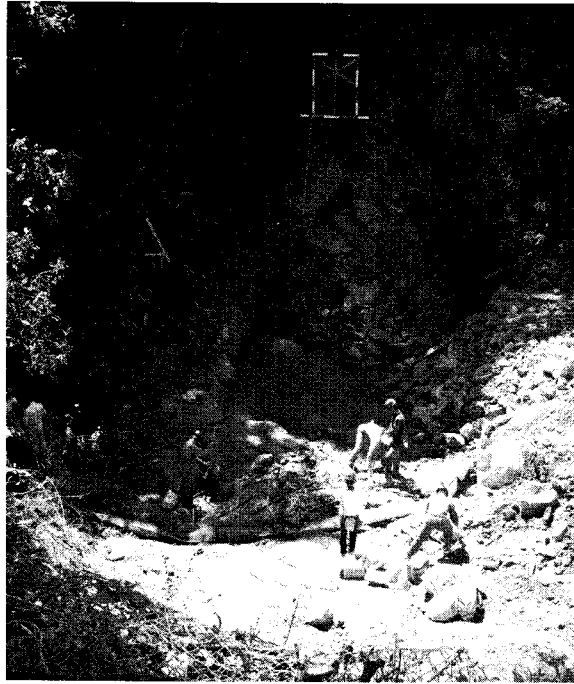


Fig. 14 Charging of NRC



Fig. 15 Blown-out

4. 결과분석

금번의 2회에 걸친 시험시공에서 NRC 공법을 암반파쇄에 적용함에 있어 대체적으로 양호한 편이나 몇 가지 보완사항도 검토 되었다.

우선 암석을 파쇄하는 측면에서 파쇄도는 양호하게 검토되었으며, 파암제량은 벤치킷에서는 $0.56\sim 1.0\text{kg/m}^3$ 가 소요되었으나 충분한 파쇄를 위해서는 1.0kg/m^3 가 적합할 것으로 판단되며, 진동 및 소음 등을 더욱 정밀하게 제어하고자 하는 관점에서 파암을 실시하고, 파쇄 후 2차적인 소할작업을 고려하는 경우에는 $0.5\sim 1.0\text{kg/m}^3$ 의 범위에서 활용함이 적정한

것으로 검토 되었다. 또한, 금회 시험시공에서는 1자유면의 벤치컷을 실시하고자 Fan-cut 형태를 취하여 파암을 실시한 관계로 이 부분에서 비파암제량의 증대요소가 있을 수 있다는 점을 감안하면, 어느 정도의 자유면이 형성된 경우에는 $0.8\sim 1.0\text{kg/m}^3$ 의 범위가 적정 비파암제량이라고 본다. 이 부분에서는 국내에서 시행된 수신회의 시험시공 결과분석과 거의 일치되는 결과이다.

물론 파쇄 대상암반의 연경도에 따라 변동요인이 작용되지만 $0.8\sim 1.0\text{kg/m}^3$ 의 범위내에서 작업이 수행되면 가장 타당할 것으로 판단된다.

기초 터파기 공사를 주로 염두에 두고 시행된 V-cut 수직구 시험시공의 결과는 역시 양호한 파쇄상황을 확인할 수 있었으며 이 경우에 비파암제량은 1.957kg/m^3 정도로 시험시공 결과 다소 과장약 형태를 보이기는 했지만, 국내 도로터널 시험시공의 결과치와 상당히 일치된다. 국내 터널시험 시공의 경우 $2.0\sim 2.5\text{kg/m}^3$ 범위에서 적정 비파암제량으로 검토된바 있으며, 연암에서 2.0kg/m^3 , 경암에서 2.5kg/m^3 가 권장되고 있다.

금회 시험시공시 암질은 연암에서 보통암 사이의 형태인점을 감안하면 터널단면이 비교적 대단면인 도로터널의 경우에는 비파암제량이 다소 증가되는 경향이 있는데 이는 동일 암질의 성향이라 하더라도 파쇄대상의 터널단면이 증가될수록 비파암제량은 증가될 수 있다는 유추가 가능하며, 환언하면, 도로터널 파암시 제시된 비파암제량을 기준으로 한다면, 수직구 등의 소형터널단면에서는 다소 과장약 형태를 보일 수 있으므로 이를 감안하여 설계작업이 이루어져야 한다.

진동소음 부분에서는 1회차 Fan-cut 파암시 62~72dB의진동레벨을 보이고 있으며, 소음은 80~85dB의 범위에서 측정되었다.

2회차 수직구 V-cut 패턴에서는 진동이 64~66dB, 소음이 80~85dB에서 측정되었다. 이상의 결과를 Table 3에 요약수록하였으며, 최대 지발당 파암제량이 Fan-cut에서 4.0kg, V-cut 심빼기 3.6kg, 확장공 3.0kg인점을 감안하면 양호하다고 판단되며 이 후 보다 진동소음을 제어할 목적으로 설계가 이루어져야 하는 경우에는 지발당 파암제량을 더욱 줄여서 작업을 시행하는 등의 방안이 강구되어야 한다.

전색부분에 있어서는 NRC공법의 파쇄메카니즘상 충분한 전색장을 필요로 하며, 보편적으로 활용되는 모래전색의 경우 어느정도 수분을 함유되는 것을 사용하여 충분한 다짐이 이루어지도록 하여야 한다. 또한, 금회의 시험시공에서 경험한 바와 같이 천공구명에 물이 함유된 경우에는 보다 점착력이 우수한 점토(Clay)등을 활용하거나, 모래와 점토의 소정비율로 혼합된 전색물을 활용하는 방법 등도 후차적으로 검토 되어야 할 사안이다.

Table 3. Results of monitoring vibration & noise

	Fan-cut		V-cut	
	20m	35m	20m	35m
Distance	20m	35m	20m	35m
Vibration	72dB	62dB	64dB	66dB
Noise	85dB	80dB	93dB	88dB

5. 결론

국내에서도 많은 시험시공이 이루어졌으나 실제 현장에 적용함에 있어 국내가 아닌 국외에서 그 적용성에 대한 평가를 목적으로 수행된 금회의 시험시공은 단순히 해외시장의 진출이라는 상업적 목적이외에 국내의 암파쇄 기술이 상당히 진보적이라는 인식을 국외에 알리는데 다소나마 보탬이 되었다는 점에서 그 의미가 크다고 생각된다.

화약류 사용에 대한 제도적 기준이나 환경문제에 고민하는 사회적 정서가 국내와 유사한 일본에서 당해 공법에 대한 관심을 표명하고 적극적인 조치가 취해진 점 등을 고려해 볼 때 이제는 발파뿐만 아니라 포괄적인 암반파쇄기술의 영역에서 국내외적으로 많은 관심과 기술개발에 전력투구하고 있다는 점을 확인할 수 있었고, 따라서, 국내에서도 이 분야에 대해서 보다 획기적인 기술개발에 많은 연구가 있어야 할 것으로 판단된다.

금번의 일본에서 시행된 시험시공 결과는 국내에서 동안에 시행되었던 시험시공의 결과와 큰 차이는 없으나, 일본 현지에서 수행되었고, 이 후 본격적으로 활용할 계획을 수립하고 NRC공법에 대한 성능검증의 성격을 포함하고 있다는 점에서 큰 의미를 부여할 수 있으며, 이상의 시험시공 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 자유면이 없는 벤치컷을 모델로 하여 자유면 확보 차원에서 Fan-cut을 사용하였으며 파쇄상황과 진동소음의 발생정도도 상당히 양호하였다. 파쇄에 소요되는 적정 비파암 제량은 $0.8\sim 1.0\text{kg/m}^3$ 의 범위로 검토되었다.
- 2) 수직구 또는 기초 터파기 공사시 대표적인 천공패턴인 V-cut을 모델로 하여 시험시공을 실시한 결과 파쇄상황과 진동소음의 발생정도도 상당히 양호하였으며, 파쇄에 소요되는 적정 비파암제량은 단면이 비교적 소단면인 점을 감안하면 $1.5\sim 2.0\text{kg/m}^3$ 의 범위로 검토되었다.
- 3) 물이 차있는 수공 파암에서도 NRC공법의 적용이 가능한 점을 재차 확인하였으며, 천공구멍에 물이 포함된 수공의 경우라면 전색물의 재질을 보다 점착력이 우수한 점토 (Clay) 등을 활용하는 방안이 강구되었고, 이 후 모래와 점토의 소정비율로 혼합된 전색물을 활용하는 방법 등도 후차적으로 평가 되어야 할 사안으로 검토 되었다.

감사의 글

본 NRC공법의 사용에 대한 평가를 목적으로 금번의 시험시공에 많은 협조를 해주신 쿠키타(주) 우에노 부장, (주)니찌호의 가메가이 상무, 가야쿠저팬(주)의 나카무라 기술부장, 요코야마 영업부장, 요시하라 과장, 파워킹중장비(주)의 이순형 사장을 비롯한 관련사 모든 임직원 여러분께 감사의 말씀을 전합니다.