【解 說】

KNBB 工法

On the Kusabi-striking Non Blast Bench-Cut
(A history of the Explosives Engineers Society of Korea)

석 철 기*
C.K. Suk.

1. KNBB 工法(Kusabi-striking Non Blast Bench-Cut)

최근 시가지에 근접한 개발공사의 증가와 건설공사에 있어서 주민의 생활 환경보전 등의 각종 제약으로 발파공법의 적용이 제한되는 암반굴착공사가 증대하고 있다.

현재까지 몇 종류의 무진동·무소음 암반굴착공법이 개발되었지만, 본 타격 쐐기공법으로 분류되는 KNBB공법은 대형 특수쐐기를 사용해서 천공 공내에 쐐기 drophammer로 타격하는 매우 단순한 Energy를 이용한 공법으로서, 옛날 석공들이 암석을 파쇄하는 데 사용한 햄머와 쐐기를 현대식으로 대형화 기계화하여 방응장치를 보완한 무진동·무소음 암반굴착 공법이다. 또한, 종래의 Breaker로서는 굴착이 어려운 경암까지 모든 암반의 굴착을 실현시킨 공법이다.

2. 破碎 原理

파쇄 원리는 옛날 석공들이 석재를 절단할 때 사용한 「정」과 「쐐기」의 기법에서 유래되었다. 그림-1에 파쇄 원리를 나타내었다.

KNBB공법의 쐐기는 하나의 Wedge와 2매의 Counter-Wedge(Wedge와 역구배)로 되어 있고, 이것을 1조(Power Wedge 「PW」라고 한다.)로 해서 천공공내에 설치한다. Hammer로 Wedge를 타격하면, 그 관입량에 따른 만큼 Counter-Wedge는 외측에 강제변위를 발생시킨다. 이 변위는 한 번 타격 할 때마다 Energy가 축적되어 최후는 암반을 파쇄하게 된다.

KNBB 공법은 원칙적으로 자유면(Bench)을 만들고, Bench-Cut에 의해 굴착을 실시하지만, 암반은 자유면측으로 밀려 나오고, 자유면과 평행하여 tension 균열이 발생하여 간단히 파쇄된다.

이와같은 파쇄원리를 갖는 KNBB공법은, 다음과 같은 탁월한 장점을 가지고 있다.

① 타격기에 의해 Wedge를 관입하기 때문에 파괴력이 크다.
② 한타한타의 타격 Energy를 Wedge의 관입량으로서 Energy가 축적되기 때문에 어떠한 경암도 파괴된다.
③ 수개의 쐐기를 순차적으로 관입시켜서 그 합력으로 암반을 파쇄시킨다.
④ 파쇄범위외에 영향은 적다.
⑤ 다른 무발파공법에 비교해서 경제적이고, 특히 대규모 굴착에 있어서는 더욱 유리하다

* (주)KACOH서울 사무소장

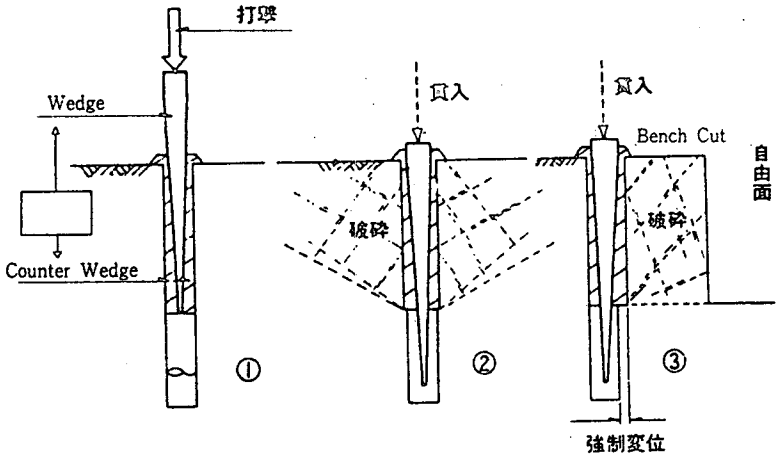
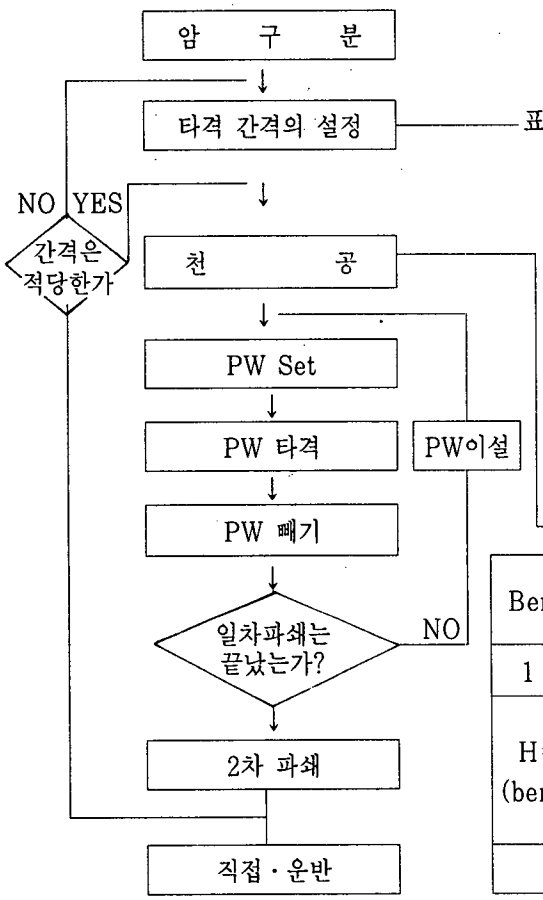


그림-1 破碎原理



표준적인 타격 간격

암 구 분	탄성파 속도(vp)	간격(a×b)
중 경 암	2.5~4.5Km/s	1.5×2.0m
경 암 ①	3.5~4.8Km/s	1.5×1.8m
경 암 ②	〉4.2Km/s	1.3×1.5m

a : 저항선
b : 간 격

천공경·천공장과 Bench 높이(표준)

Bench형상	적 요	천공경 (mm)	천공장 (mm)	파쇄깊이 (mm)
1 자유면	마감, 터파기	φ150	1,600	1,000
H=2.0m (bench높이)	중경암~경암	φ150	3,000	2,000
〃	경 암	φ150	3,000	2,000

그림-2 施工順序

3. KNBB工法의 施工法

KNBB 工法은 유압식 립퍼가 불가능한 경암부터 유압식 립퍼 가능한 영역까지 균열 발생상태로 하는 것을 목적으로 하고, PW의 타격에 의한 tension 균열과 낮은 Bench-Cut(Bench 高 1~2m)에 있어서 립퍼의 강점을 결합하여 암반을 굴착하는 공법이다.

시공법은 매우 간편하다. 그림-2에 시공순서를 나타내고 표준설계치를 기본적으로 나타낸다. 단, 압만의 강도와 암결에 따라 적절한 타격간격이 설정되면 그 간격에 따라 천공작업을 실시한다. 그후, KNBB Strikcar에 의해 PW를 박고, 빼고, 이설이 연속해서 실시되어 (通常 3~5本을 1組로 施工), 암반을 자유면 방향으로 강제 변위시킨다. 이 일차파쇄후 Breaker에 의해 2차 파쇄하여 암반이 굴착된다.

그림-3에 施工狀況을 그림으로 나타낸다. Bench 工法의 립퍼는 Bench 하단에서 작업하고, PW의 타격은 Bench 상단에서 작업하기 때문에 양쪽 병행작업이 가능하게 된다. 따라서, 자유면은 PW의 타격 위치에 근접하여 있어 파쇄효과를 향상시킬 수 있다.

본 공법은 암반의 경·연에 따라서 drop-hammer의 낙하횟수로 대응하고, 부수적으로 저항선의 간격을 조정한다. 또한, 파괴력이 요구되는 공법에서 암반의 경·연에 따라 전반적인 천공 간격 및 최소 저항선 등으로 대응하기 때문에 시공능력의 변화가 두드러지게 된다.

따라서, 본 공법을 사용해서 지금까지 시공하는 데 工程上으로 當初의 예정에 비해 큰 변경이 된 경우는 전혀 없다.

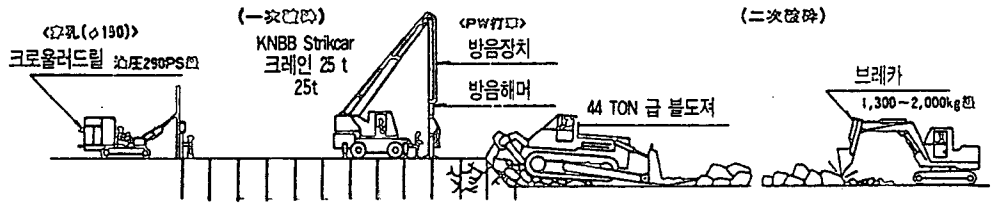
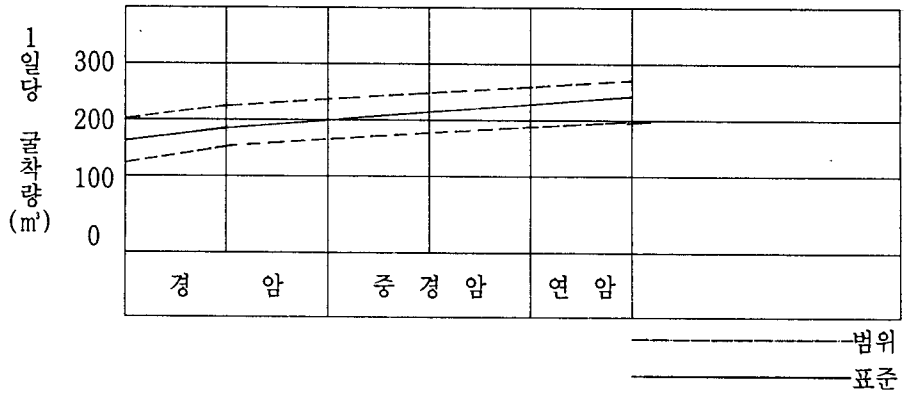


그림-3 施工狀況

시공능력은 암질에 따라서 다소 차이는 있지만 1개월 기준으로 하여 1조가 약 5,000m³의 능력을 발휘한다.



1일당 굴착량과 암질의 관계

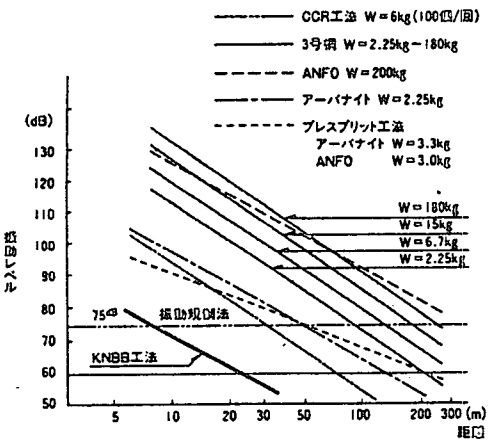


그림-4 진동레벨 측정결과

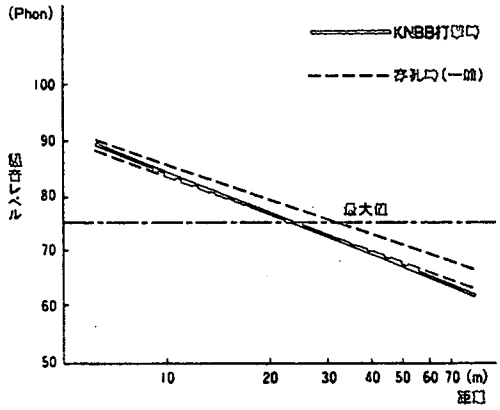


그림-5 소음레벨 측정결과

4. 振動·騷音

본 공법은 2ton의 낙하햄머를 최대 낙하높이 6m에서 낙하시키므로 이 에너지가 상당히 큰 진동이 발생할 것이라고 예상되지만, 실제로는 그림-4에 나타나는 것과 같이 10m 떨어짐 지점에서 진동레벨은 75dB을 넘지 않는다. 또, 매우 엄한 제약에서 시공할 경우는 햄머의 낙하높이를 조정하는 것에 따라 대응할 수 있다.

본 공법은 낙하햄머로 직접 지반을 타격하는 것이 아니고, PW의 관입하는 작용을 개재해서 지반에 변형을 준다. PW의 관입시간은 10~20msec이고 일반적으로 타격을 하는 시간에 비교해서 매우 길다.

따라서, 지반에 발생하는 가속도는 작은 値가 된다. 한편, 소음치는 그림-5에 나타낸다. 낙하햄머에 의한 타격은, 방음관 속에서 하지만, 약간의 개구부로 음이 나온다.

그러나, 그 음은 20~30m 떨어진 지점에서 75dB을 넘지 않고, 소음으로는 천공작업쪽이 연속적으로 나기 때문에 문제되는 경우가 있다.

5. KNBB공법의 시공사례

KNBB 공법은 그 우수한 굴착기술에 의해 일본 각지에서 시공 실적을 올리고 있다. 앞으로 다양한 공사에서 이용될 것이 기대되고 있다. 그동안 실적 중 시공사례 3가지를 소개한다.

시공사례 1)

공 사 명 : 豊橋市學校用地造成工事

공사수량 : 110,000㎥

공사기간 : '93. 12~'94. 10

現場狀況 : 민가의 밀집한 지구 내에서의 부지조성공사이었고, 진동규제법에 의한 규제치(현장경계선상에서 75dB)를 억제하기 위해서는 폭약량이 매우 제한되고, 공해에 의한 피해 등 보안상의 문제도 있어, 무발파 굴착공법에 의해 시공하는 것으로 되었다.

무발파 공법을 선택하는 데 당현장은 작업범위가 충분히 확보되고, 대규모 암반굴착 현장으로서 KNBB 공법이 채용되었다. 일부

◎ KNBB 工法 표준파쇄 설계

굴착형상	Bench-cut
Bench 高	H = 2.0m
천 공 경	ϕ = 150mm
천 공 장	L = 3.0m
파쇄 공간격	1.5m×2.0m(저항선×간격)

현장경계선과 民家가 접해 있고 이 범위는 특히 PW의 타격에 의한 진동, 소음을 고려하여 정적파쇄공법을 병용하여 시공하였다.

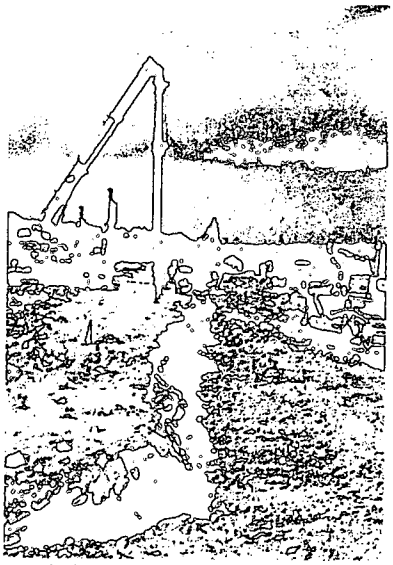


사진-1 KNBB 공법 시공상황

시공사례 2)

공 사 명 : 勢田川導水器工事(KNBB Trench 굴착공사)

공사수량 : 116㎥

공사기간 : '93. 5~'93. 6

現場狀況 : 勢田川導水器工事의 일환으로서, 사용중의 도로밑에 수로(철근 콘크리트관 및 맨홀 Box)를 매복하기 위한 암반굴착공사이다.

현장은 민가가 밀집한 지역으로 도로이다. 도로를 한쪽만 폐쇄하고 공사를 실시하였다. 이 때문에 보안상 무발파 굴착공법에 의해 시공하는 것으로 되었지만, 일반도로를 폐쇄하기 때문에 공기를 단축할 필요가 있다. 또 도로상에 있으므로 작업범위가 정연하고 크레인 이동이 용이한 관계 등의 조건에 의해 KNBB 工法이 채용되었다.

또, 굴삭범위의 법면에서 Line Drilling 공법으로 대처했다. 천공 및 PW파격할 때 소음에 의한 민가의 영향을 작게 하기 위해서 현장의 주위에 방음시트를 설치했다. 이 방음시트에 의해 약 15dB(A)의 차음 효과가 확인되었고, 민가에 영향을 경감시켜 무사히 마친 시공사례이다.

◎ KNBB 工法 표준파쇄 설계

굴착형상	트렌치
트렌치 길이	H = 2.0m
천 공 경	ϕ = 150mm
천 공 장	L = 3.0m
파쇄 공간격	1.0m×0.4m(저항선×간격)

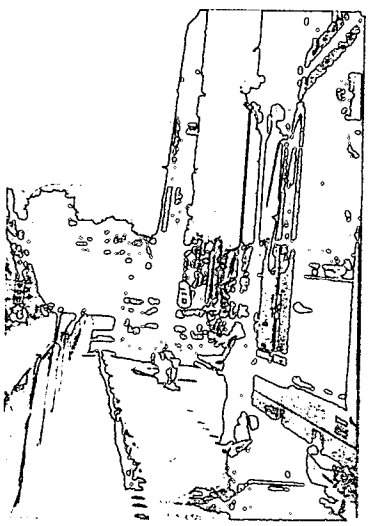


사진-9 PW 타격상황

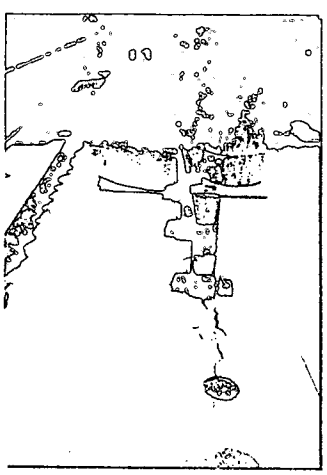


사진-10 PW 타격 후 균열 발생상황

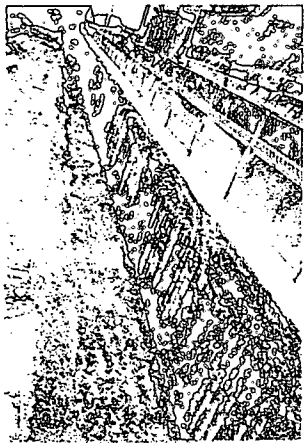


사진-11 Trench 굴착 완료상황

사진-16 관로 굴착 완료상황

시공사례 3)

공 사 명 : Green BLDG. 建山 암반굴착공사

공사수량 : 11,000㎥(泥岩)

공사기간 : '93. 5~'93. 6

現場狀況 : 당초 발주자는 콘크리트 파쇄기에 의해 암반굴착을 계획하였지만, 현장 옆에 교통량이 많은 현도로가 있고, 안전·시공의 중점으로 KNBB 工法을 발주처에 설명하여 경제적이고 안전면에 대하여 뛰어난 KNBB 工法으로 채용되었다.

공사내용은 조정지 및 맨홀 B'OX를 이설하기 위한 관로 굴착공사이다.

조정지는 연암 Ⅱ~중경암정도이며 작업범위도 넓고, 300㎥/日 정도의 굴착 및 소활이 가능하였지만, 관로굴착 범면정리폭이 저부에서 3.5m로 좁고, 최후의 할암 굴착에 관해서는 2m Bench와 1m 1자유면 할암을 동시에 실시했다.

◎ KNBB 工法 표준파쇄 설계

굴착형상	Bench
Bench 길이	H = 2.0m
천 공 경	ϕ = 150mm
천 공 장	L = 3.0m
파쇄 공간격	1.6m×1.8m(조정지)
	1.3m×1.5m(관로굴착)

6. 결 언

본 공법은 日本에서 1981년부터 개발에 착수하여 1983년에 실제 實用機를 完成해서 많은 시공실적을 쌓아왔다.

또, 1985년에는 본 공법의 보급확대를 목적으로 회원 9사에 의한 KNBB 공법 협회를 설립하여 운영을 계속하고 있다. 본 공법은 전술한 것과 같이, 대규모 경암 무발파굴착에 많이 적용되고 있지만, 현재는 유압쐐기를 크레인에 탑재해서 KNBB Strikar를 병용하는 것에 의한 소규모적인 굴착, Trench 굴착에도 대응할 수 있는 체제로 시공하고 있다. 그리고 본 공법을 국내에서도 확대 적용하여 환경문제의 해결 및 경제성을 만족시킬 수 있도록 필자는 노력할 것이고, 시공 특허를 갖고 있는 (주)KACOH 및 KNBB 공법협회의 적극적인 지원에 감사드린다.