

발파공해 해소 및 여굴 최소화를 위한 선균열 암굴착 노치장비 개발에 관한 연구

정동호^{1)*}, 문상조²⁾, 안대진³⁾, 정원준³⁾, 김은관⁴⁾, 김동규⁵⁾

A Study on Notch Bit System for Controlling Blast Vibration and Over-break in Rock Mass

Jeong, Dong-Ho, Moon, Sang-Jo, An, Dae-Jin,
Jeong, Won-Joon, Kim, Eun-Kwan and Kim Dong-Gyoo

Abstract Blasting, using shock and dynamic energy of explosive, is very effective tunnel excavation method. But it had serious problem which is the blast vibration and over-break. In recent study, pre-cracked excavation method using notch hole reduced blast vibration and over-break in tunnel, so we performed study about developing notch bit system for making notch hole. In order to make notch hole effectively we had perform drilling experiments changing length and height of notch and in order to improve speed and precision of drilling we had developed notch bit system which consists of drilling bit, notch bit, adapter and notch guide.

Key words blast vibration, over-break, notch, notch bit system

초 록 화약의 동적 충격에너지를 이용하는 발파굴착은 매우 효율적인 터널굴착방법이다. 그러나 진동과 암소음 등의 발파공해가 발생하는 문제점이 있다. 최근 연구를 통해 노치공을 이용한 선균열 암굴착방법은 발파공해와 터널의 여굴을 상당히 줄일 수 있는 것으로 확인되었고, 이에 따라 본 연구에서는 노치발파공의 성형을 위한 노치장비개발에 관한 연구를 수행하였다. 노치공을 효율적으로 성형하기 위해 노치비트의 길이, 높이 등을 다양하게 변화시켜 실험을 수행하여 최적화하였고, 천공속도, 천공정밀도를 높이기 위한 천공비트, 노치비트, 아답터, 노치 가이드로 이루어진 노치비트 시스템을 개발하였다.

핵심어 발파공해, 여굴, 노치, 노치비트 시스템

1. 서 론

1.1 연구의 목적

터널구조물의 굴착방법은 크게 기계에 의한 굴착, 화약 등의 동적에너지를 이용한 발파 굴착으로 나눌 수 있다. 이 중 발파 굴착은 기계 굴착에 비해 상대적으로 비용이 적게 든다는 장점 때문에 일반적으로 널리 채택

되고 있으나, 지발당 장약량의 증가로 인한 여굴발생과 발파공해 등의 문제점을 가지고 있다. 터널이론에 있어서 지보 고찰방법의 기본은 주변지반 자체가 지지하는 강도를 최대한 이용하는 것이다. 이를 위해서는 발파 주변지반을 가능한 한 손상시키지 않는 방법이 바람직하다. 실제, 발파 굴착 시 터널 내 여굴은 필연적으로 발생하는 현상으로 과도한 여굴 발생시 버려처리량의 증가, 슛크리트 사용량의 증가, 라이닝 콘크리트 사용량의 증가, 추가 지보재 발생의 경제적 손실 뿐 아니라 터널 주변 암반의 손상대가 크게 발생하여 터널자체의 안정성에도 위해적 영향을 미친다. 따라서 여굴의 발생 및 암반 손상을 최소화하기 위해서 스무스블라스팅, 프리스플리팅 등 각종 조절발파공법이 이용 또는 언급¹⁾되고 있다.

¹⁾ (주)유신코퍼레이션 상무

²⁾ (주)유신코퍼레이션 전무

³⁾ (주)유신코퍼레이션 과장

⁴⁾ (주)선산토건 부장

⁵⁾ (주)한국건설기술연구원 책임연구원

* 교신저자 : jdh@yooshin.co.kr

접수일 : 2007년 4월 27일

심사 완료일 : 2007년 5월 18일

노치공을 이용한 선균열 발파공법은 이들을 조합한 복합공법으로 노치의 선단에 응력집중을 크게 해서 노치의 선단으로부터 균열이 발생하도록 하여 기존 제어 발파공법의 문제점을 개선할 수 있는 공법이다. 이 공법은 이론적, 실험적으로 효과가 입증^{2,3)}되어 국내외적으로 관심을 끌고 있으며, 우리나라의 경우는 발파공해 해소 및 여굴 저감 차원에서 이 공법의 원리를 이용하여 최외곽공부에 훨씬 적은 화약으로 선균열을 발생시켜 심발, 확대부의 전파진동을 차단하는 공법 특허가 이미 개발^{4,6)}된 바 있다. 그러나 이를 국내 현장에 적용하기 위해서는 노치장비 시스템 및 시공기술 개발이 이루어져야 하므로, 본 연구에서는 범용 시공기술개발 이전 단계로써 노치천공의 효율성 및 내구성 확보를 위한 노치시스템 장비개발에 역점을 두었다.

1.2 연구 방법 및 절차

실제 터널 현장에 노치균열 제어발파공법을 적용하기 위한 장비개발을 위하여 노치비트 시스템 최적화 실험이 크게 3가지 분야로 나누어 수행되었다.

첫째, 노치 천공작업의 시공성을 높이기 위한 모델시험을 수행하였다. 1차 모델에서는 먼저 원형 공을 일반 비트로 천공하여 형성시킨 후 후퇴시켜 다시 특수 노치 비트를 부착하여 재 천공함으로써 노치 공을 형성하였고, 2차 모델은 동일공정으로 천공 및 노치 공을 동시에 형성하도록 하여 시공성을 비교 분석하였다.

둘째, 노치비트시스템의 노치효과를 충분히 발휘할 수 있도록 노치공 형성 및 노치비트 파손, 마모율을 최소화하는 시험을 수행하였다.

셋째, 현장 막장면의 굴곡부에 적절히 대응하면서 노치의 방향성을 유지시켜 줄 수 있도록 가이드를 4차에 걸쳐 모델을 변화시켜가며 적용성 시험을 수행하였다.

1.3 기술동향

(1) 노치공의 원리

노치공을 이용한 동적 충격에너지 발파방법은 노치효과 원리를 이용한 공법으로 노치효과란 물체표면의 우묵하게 파인 곳에 응력이 집중되는 효과를 말한다. 이 부분에 동적 충격에너지에 의한 힘이 주어질 경우 다른 부분보다 훨씬 더 큰 응력의 집중이 발생하여 노치부분에서 균열 및 파쇄가 일어나게 되는 효과를 말한다.

선형 탄성 파괴역학을 이용하면 노치가 있는 원형공 내부에 압력이 작용할 경우 노치 첨단에 근접한 한 점에서의 응력을 구할 수 있으며 그 해는 식 (1), (2)와 같다.

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 - \sin \frac{\theta}{2} \frac{3\theta}{2} \right] \tag{1}$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 + \sin \frac{\theta}{2} \frac{3\theta}{2} \right] \tag{2}$$

여기서,

σ_x, σ_y : x 방향의 응력, y 방향의 응력

K_I : 파괴인성

θ : 노치 첨단에서부터 축점이 이루는 각도

r: 노치 첨단에서부터 축점까지의 거리

그림 1은 노치가 있는 원형공 내부에 압력이 작용하는 조건을 보여준다. 압력 P가 공벽에 수직인 반경방향으로 작용하고, 압력 λP 가 노치 벽면에 수직으로 작용할 경우 K_I 은 식 (3)에 의해 구해질 수 있다.

$$K_I = \lambda P \sqrt{\pi a} \tag{3}$$

이때 노치의 길이에 따라 공벽면에 작용하는 압력의 크기는 달라지며, 식 (3)의 λ 는 노치 면에 압력이 작용할 경우 2.24이고, 압력이 작용하지 않은 경우 1.12이다.

장약공 노치를 이용한 발파균열의 제어원리는 Dally & Fourney^{8,9)}에 의한 그림 2에 도시되어 있으며, 이에

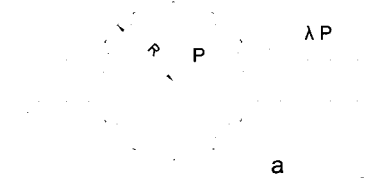


그림 1. 노치공 내부의 압력 분포⁷⁾

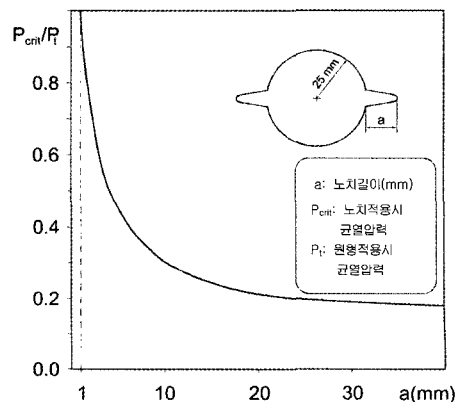


그림 2. 노치길이에 따른 균열 발생 압력의 변화¹⁰⁾

따르면 화강암의 경우 $\Phi 50$ mm 지름을 가진 발파공의 벽면에 있는 5 mm 길이의 노치에 대해서 균열발생 압력은 1 mm 길이의 노치가 있을 때 보다 50% 정도 감소하게 됨을 알 수 있다. 이와 같이 장약공 노치는 노치의 선단에 응력집중을 크게 해서 노치의 선단으로부터 균열이 발생하도록 하며, 균열을 발생시키는데 필요한 압력을 감소시키며 동시에 발파공의 다른 벽면에서 균열이 생성되는 것을 효과적으로 억제한다.

노치공을 터널외곽 굴착선공부에 배열하면 노치효과로 인해 적은 동적 충격에너지로도 응력을 노치에 집중시킬 수 있고 이에 의해 노치를 따라 선균열을 발생시켜 주변 암반의 여굴 및 손상 최소화는 물론 심발부, 확대부의 전파진동을 차단시켜 발파공해 해소차원 효과도 기대할 수 있다.

(2) 국내 기술 및 산업 동향

터널의 암반 굴착방법에는 유압잭, 가스압, 로드헤더 등을 이용한 무진동 굴착방법과 상대적으로 비용이 적게 드는 발파방법이 일반적으로 적용되고 있다. 그리고 민원예상 지역에서는 암반특성 및 시공성이 결여된 무진동 굴착으로 설계하는 경향을 보이고 있으나 무진동 굴착의 적용성에 한계가 있어 실제 현장에서는 발파공해 해소, 여굴 및 낙석 안전사고 최소화를 실현할 수 있는 미진동 파쇄 굴착방법의 출현을 기대하고 있는 실정이다.

(3) 국외 기술 및 산업 동향

유럽의 경우는 1차 개발된 모델과 유사한 노치비트로 노천발파에서 노치공 선균열 발파를 시행한 바 있으나, 대체로 노천발파의 경우는 민가 밀집지역과 멀리 떨어져 있어 현재 진동 제어차원 보다 굴착효율 극대화에 초점을 두고 있다. 또한, 일본의 경우는 대표적 지반인 화산암에 적합한 노치비트를 개발하여 터널 여굴 제어 차원에서 적용한 바 있으나 진동 제어 차원에서는 우리나라의 지반보다 무른 암반이어서 로드헤더 정도로도 암반굴착이 가능한 실정이다.

공함으로써 노치공을 형성하였다. 이 모델은 1차 천공 후 2차 노치형성의 두 가지 공정을 필요로 하여 작업시간이 기존 일반 천공에 비해 2배 정도 걸리는 등의 많은 문제가 야기되었다. 그림 3은 1차 노치비트 모델을 이용한 천공작업 개념도이고, 그림 4는 1차 모델 노치비트 사진이다.

1차 모델 노치비트의 시공성 결함을 보완하기 위해 그림 5의 개념과 같은 2차 모델 노치비트를 고안하게 되었다. 이 모델은 동일공정으로 천공 및 노치 공을 형성할 수 있다는 것이 특징이다. 선단 천공비트는 일반 터널굴착용 천공비트와 같이 충격력 및 회전력을 줄 수 있도록 유지하였다. 후단에 있는 노치비트는 일정한 방향의 노치를 형성할 수 있도록 회전력은 고정시키고 전후 충격력만 전달시켜야 하는데, 이 문제에 대해서 많

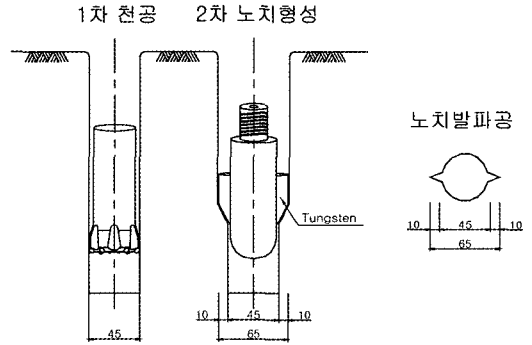
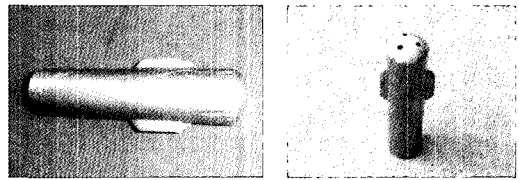


그림 3. 1차 노치비트 모델 천공작업 개념도



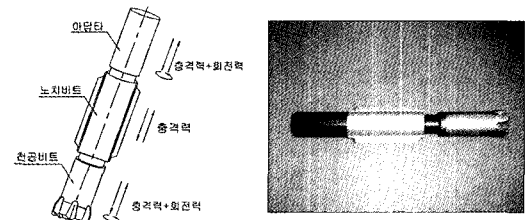
(a) 1차 모델 측면도 (b) 1차 모델 정면도

그림 4. 1차 모델 노치비트 사진

2. 연구내용

2.1 노치비트모델 개발

일반적으로 터널 발파를 위한 천공작업은 타격과 회전력을 복합적으로 가하여 원형 공을 형성시킨다. 노치공을 형성하기 위해서는 노치 텀이 부착된 특수비트에 의하여 노치형상 천공작업이 이루어져야 한다. 1차 모델에서는 먼저 원형 공을 일반비트로 천공하여 형성시킨 후 후퇴시켜 다시 특수 노치비트를 부착하여 재 천



(a) 2차 모델 노치천공개념도 (b) 2차 모델 노치비트 시스템

그림 5. 2차 모델 천공개념 및 노치비트 시스템

은 어려움이 있었다. 연구 초기에는 노치비트 회전력 제어 차원에서 베어링을 장착하여 실험을 하였다. 그러나, 이 베어링은 제한적 천공비트 직경의 제한으로 작은 베어링이 장착되어지기 때문에 충격력을 견딜 수 없었다. 이후 기계 전문가의 자문을 받아 물의 윤활작용이 노치비트 회전력을 제어할 수 있다는 원리로 동일공정 노치비트 시스템을 개발하게 되었다. 그림 5의 (a)는 2차 모델 노치천공 개념도이고, (b)는 개발된 노치비트 시스템 사진이다. 이는 1차 모델 노치비트의 2공정을 1공정으로 간소화함으로써 노치공 형성에 소요되는 시간을 기존 일반비트와 비슷한 수준으로 단축시켰다.

표 1은 천공효율의 확인을 위해 산공향철도 ○○현장에서 측정한 실험결과이다. 이 지반의 암질은 화강암질 편마암으로서 일축압축강도 135 MPa, RMR 65~80의 대체로 양호한 편이다. 천공패턴은 천공장 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m로 나누었으며, 천공시간 측정은 천공장비 Setting 후 실 천공시간만을 측정하였고, 각 천공장별 10~20회 측정하여 산술평균하였다. 천공장비는 점보드렐(TomRock Power Class) 2Boom이고, 천공경은 $\varnothing 45$ mm이다.

상기 표에서 나타난 바와 같이 일반공 천공 후 노치형성 분리 천공은 천공시간이 약 1.6배 정도 초과되므로 시공성이 결여된 상태이지만, 노치 동시천공은 일반비트 천공과 거의 같은 천공시간을 유지할 수 있음을 확인하였다.

2.2 노치비트 및 아답타 개발

(1) 노치비트 형상 연구

노치비트는 일반비트 천공영역을 확대 천공하는 역할을 하므로 노치비트 형상에 따라 천공 효율성이 크게 달라질 수 있다. 따라서 최적의 노치비트 형상을 개발하기 위하여 노치공 성형 용이성, 노치 흠의 직진성, 천공 후 후퇴시 노치비트 회수 용이성, 노치비트 마모율 최소화 4가지 사항을 중점적으로 고려하여 test 노치비트를 제작하고 반복 실험을 수행하였다.

가) 노치팁 높이(H) 및 각도(θ)

그림 2에서 언급한 노치공의 원리에 따르면 노치높

이가 10 mm까지는 균열압력비(노치적용시 균열압력/일반적용시 균열압력)가 급격히 감소하다가 10 mm 이상에서는 완만히 감소하는 것으로 나타났다. 이 원리를 근거로 하여 노치효과와 시공효율을 최적화하는 노치팁 높이를 결정하기 위하여 5, 8, 10, 15 mm의 경우에 대해서 각각 천공시험을 실시하였다. 노치팁 높이를 5 mm로 제작하여 천공작업을 수행한 결과 천공직경보다 크게 흠이 형성됨으로 인하여 노치흠 형성이 거의 되지 않아 노치효과를 발휘할 수 없었다. 노치팁 높이가 15 mm일 경우에는 상대적으로 노치팁이 커서 천공시 저항을 많이 받아 천공시간이 다소 증가하였고 인발시 비트의 걸림현상이 자주 발생하여 파손이 빈번히 일어났다. 따라서, 실험결과를 근거로 노치의 효과도 충분히 발휘할 수 있고, 시공성도 좋은 적정 노치높이는 10 mm라고 판단되었다. 그림 6은 표 1과 동일한 조건에서 일반비트와 노치팁의 높이를 변화시켜가며 평균천공속도를 측정한 결과를 나타낸다.

노치팁 각도를 결정하기 위하여 45°전후로 30°, 70°의 3가지 종류의 테스트를 실시하였다. 70°의 경우에는 상대적으로 30°, 45°에 비하여 노치팁이 작아서 가이드가 노치의 방향을 유지하는데 불리하였다. 30°의 경우에는 천공시 저항을 많이 받아 마모율이 크고, 천공속도도 증가했다. 따라서 천공속도, 마모율, 노치의 방향성을 고려하여 노치팁 각도를 45°로 선정하였다.

나) 노치길이 선정(L)

노치비트의 길이는 노치 흠의 직진성에 가장 중요한

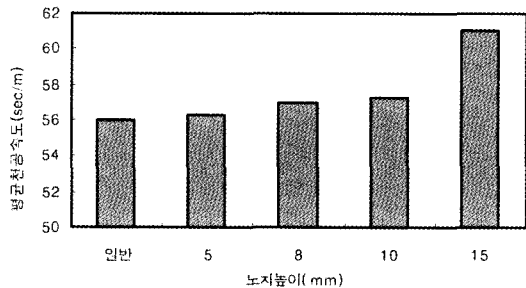


그림 6. 노치팁 높이별 평균천공속도

표 1. 천공장 및 비트종류별 천공시간 비교

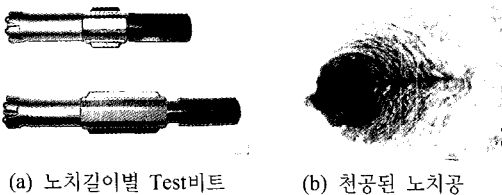
천공장	천 공 시 간		
	일반비트 천공	일반 + 노치 분리천공	노치 동시천공
1.0 m	10분,0분58초/분	10분,1분30초/분	20분,0분59초/분
1.5 m	10분,1분22초/분	10분,2분15초/분	20분,1분25초/분
2.0 m	10분,1분51초/분	10분,2분42초/분	10분,1분53초/분

영향을 준다. 노치공 천공시 노치비트의 길이가 짧으면 회전력의 영향을 많이 받아 노치 홈을 직선으로 유지하기 어렵기 때문에 노치효과를 발휘할 수가 없고, 반대로 비트길이가 필요이상으로 길면 직진성은 유지되나 천공시 저항이 커져 굴진속도가 떨어지고 후퇴시 걸림 저항이 커져 비트 훼손을 증가시키는 경향이 있을 것으로 판단되었다. 또한, 암반의 강도에 따라라도 비트의 길이에 영향을 줄 것으로 생각되었다. 따라서 노치비트의 길이를 5, 10, 15 cm로 test비트를 제작하여 천공실험을 하였다. 실험결과 3가지 비트 모두 천공관입 시작 후 노치의 방향이 비틀어지는 현상은 없었다. 하지만, 비트길이가 5 cm의 경우 막장면이 울퉁불퉁한 관계로 비트 초기 관입 전에 계획된 방향을 상실해 버려 의도한 노치공을 천공할 수 없었고, 최소한 노치길이가 10 cm 정도 되어야 계획된 방향의 노치 홈을 형성할 수 있었다.

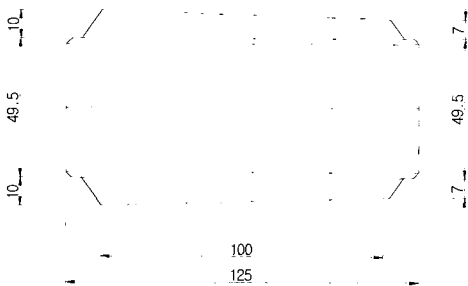
다) 노치모양 선정

노치비트의 노치길이 실험에 의해 노치길이는 5, 10, 15 cm 중 10 cm 정도가 적당하나 천공 후 후퇴시 노치면의 슬러지 적체로 인한 저항이 커져 노치 팁의 파괴가 종종 발생하는 경향이 있다. 이를 개선하기 위하여 저항을 적게 받도록 그림 8과 같이 노치모양을 변화시켜 천공실험을 실시하였다.

1단 경사 노치비트의 노치형성 천공속도는 기존 1단



(a) 노치길이별 Test비트 (b) 천공된 노치공
그림 7. 노치길이별 test비트 및 천공된 노치공



(a) 1단 경사 노치비트

경사가 없는 노치비트와 동일하였으나, 천공 후 인발시 걸림 저항이 다소 해소되어 시공성이 개선되었다. 하지만, 노치비트를 양쪽으로 사용하지 못하고 한쪽만 사용해야 하므로 비트의 수명이 반으로 단축되는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서 기존 노치길이 5 cm 비트의 인발시 걸림 저항이 없음을 감안하여 중앙부 5 cm 노치를 형성한 후 좌우측에 2.5 cm의 노치를 형성하는 2단 노치비트를 개발하였다. 이 2단 노치비트를 개발함으로써 기존 노치비트의 결함을 보완할 수 있었다.

라) 노치비트의 제작

그림 9와 같이 노치비트의 제작과정은 Steel Body부와 Notch부로 나눌 수 있다. Steel body부는 선삭과 밀링에 의한 기계가공을 한 후 내구성 향상을 위해 800~850°C로 단계별 열처리가 필요하다. 이때 너무 높은 열처리는 Steel Body 자체의 강성이 높아 마모율은 적으나 Steel 자체의 깨짐이 발생하고 낮은 열처리는 깨짐은 없으나 무너지는 현상이 발생될 수 있다. Notch부는 적정 노치형상 금형을 제작한 후 이 금형기에 Tungsten Carbide 분말을 넣고 프레스기로 적정 압력을 가한 후 1,400°C 소결로에서 20시간 정도 소결시켜 노치 팁을

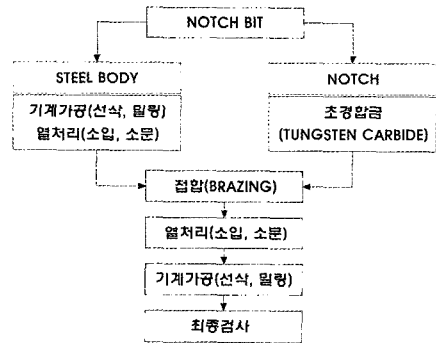
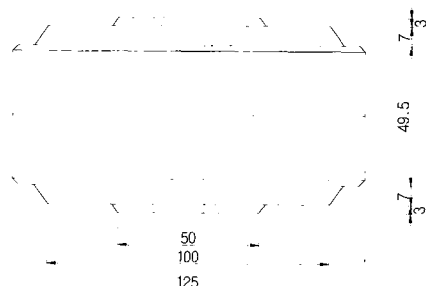


그림 9. 노치비트 제작흐름도



(b) 2단 노치비트

그림 8. 1단경사 및 2단 노치비트

제작한다. 그 후 Steel Body에 제작된 초경합금 노치 탭을 접합시킨 후 다시 550~600°C의 열처리를 가하고 마무리 선삭, 밀링과정, 양 끝단 부에 800°C 고주파 경화 열처리 등을 거쳐 노치비트를 제작하지만, 제작과정 중 열처리의 노하우는 고도의 기술을 요하고 있다.

(2) 노치 아답타 개발

선단부 비트와 로드사이 노치비트를 장착하기 위해 부착하는 장치를 노치 아답타라 한다. 이 노치 아답타는 충격력, 회전력 중 회전력을 제어하고 충격력만 노치비트에 전달해 주는 역할을 한다. 그런데 천공시 타격력으로 인하여 노치비트와 아답타의 접촉 충격이 지속적으로 발생하여 아답타 접촉부와 노치비트 끝단부의 파손이 자주 발생하는 문제점이 발생하였다. 또한 회전력 제어서 발생된 열로 접촉부의 손상이 쉽게 발생

하며, 아답타 외면과 노치비트 내면에 슬러지 끼임이 발생하는 경향이 빈번했다. 이를 개선하기 위하여 베어링 등의 장치를 시도하였으나 빈번히 실패한 후 아답타 접촉부에 출수구를 만들어 주는 방법을 고안하였다. 이 결과 회전력 제어 유효작용은 물론 발열감소, 원활한 슬러지 제거를 할 수 있었다. 또한 노치비트와 아답타 접촉부에 순간적인 피막작용으로 접촉부 무더짐을 완화하는데 크게 기여할 수 있었다. 그림 10은 새로 개발된 아답타이다.

2.3 노치가이드 최적화 연구

노치공 천공시 노치비트를 천공장비에 부착하여 쓸 수 있도록 해주고, 비트관입 전에 노치의 방향을 일정하게 유지시켜 주도록 하기 위한 장치가 노치가이드이다. 표 2와 같이 1차 모델은 점보드릴 헤드부를 제거한

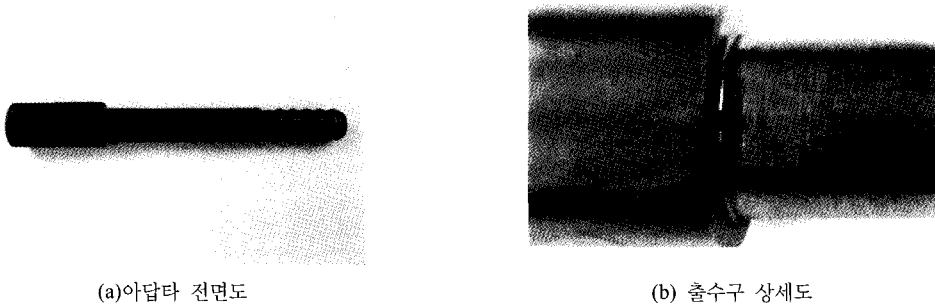


그림 10. 새로 개발된 아답타

표 2. 노치가이드의 1, 2차 모델의 특징

구분	노치가이드의 1차모델	노치가이드의 2차모델
형태		
크기	242×476×440 mm	80×80×153 mm
무게	약 50 kg	약 8 kg
특징	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 장치가 크고, 무거움 - 점보 붐의 작동에 지장 - 탈, 부착이 어려움 ▷ 장치 작동상 문제 - 원통내부 스프링 작동 불량 - 축의 전·후진시 슬러지 유입 	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 장치가 작고, 가벼움 - 붐에 미치는 영향이 없음 - 탈, 부착이 쉬움 ▷ 작동에 문제가 없음 - 내부에 다른 장치가 없음 - 노치비트 깨짐이 발생됨

후 노치가이드를 제작해 부착하여 사용하였다. 그러나 이 모델은 탈부착이 어렵고 암반밀착 받침부와 일체형으로 되어 있어 무게가 약 50 kg으로 무거워 사용하기에 불편하였다. 이를 보완하기 위해 2차 모델 사진과 같은 장비를 제작하였다. 이 모델은 기존 점보드릴의 헤드부를 탈착하지 않고 헤드 부상 장착 U부에 노치가이드 몸체만 삽입하여 노치 홈이 휘어지지 않도록 하는 기능을 유지하도록 하였다. 노치가이드 2차 모델의 장점은 1차 모델에 비하여 장치가 작고 가벼워 탈 부착이 용이하다는 것이다. 단점으로는 기존 U부의 크기가 제한되어 부가기능 추가가 제한되는 점이 있다.

3차 모델은 2차 모델의 단점인 비트 후진 시 완충작용이 없어 노치비트 후단부가 가이드의 노치 유입부에 걸려 비트 팁의 깨짐이 발생하는 경우를 보완한 것이다. 이를 보완하기 위해서는 기존 U부보다 큰 U부를 부착하였고 그림 11과 같이 비트 후진 시 노치가이드 부에 걸려도 스프링의 완충작용으로 비트의 깨짐이 없도록 하였다. 그러나 3차 모델의 단점은 그림 11과 같이 4개의 스프링을 사용하여 조립이 복잡하고, 이 4개의 스프링에 의해 배출되는 슬러지 일부가 끼이는 현상이 발생되었다.

또한, 노치가이드의 유도 홈 부분이 마모되었을 때는 가이드 몸체를 교체해야만 하는 경제적 손실이 발생되었다. 이러한 복합적인 문제를 해결한 것이 4차 모델이며, 이 모델의 특징은 배출되는 슬러지가 스프링 부분에 끼이지 않도록 1개의 큰 스프링으로 간소화한 것이다. 그리고 이 새로운 가이드는 노치 유도 홈 부분이 마모되어 전반적인 노치몸체를 교환하는 경제적, 시간적 손실을 고려해 가이드 몸체 후미부에 부상부를 장착하여 부상부가 먼저 마모되면 교체할 수 있도록 제작하였다. 그림 11의 (a)는 3차모델 (b)는 현재까지 보완 개발된 4차 모델 노치가이드이다.

3. 연구결과

최적화된 노치비트 시스템 장비를 개발하기 위하여 3가지 분야로 나누어 요소시험을 수행한 결과 다음과 같은 연구성과를 거두었다.

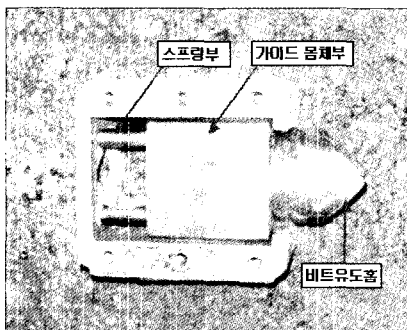
첫째, 천공작업의 시공성과 노치시스템의 안정성 확보를 위한 노치모델 연구이다. 1차, 2차 노치비트 모델을 거치면서 1차 노치비트 모델의 2공정을 1공정으로 간소화함으로써 노치공 형성시간을 기존 일반비트와 비슷한 수준으로 단축시켰다.

둘째, 노치효과를 충분히 발휘할 수 있는 노치공 형성 및 노치비트 파손, 마모율을 최소화하는 노치형상 및 내구성 연구이다. 노치길이, 모양, 몸체의 두께를 최적화하여 노치 홈의 직진성 유지와 천공, 인발시 노치 팁의 파괴를 방지할 수 있도록 하였다.

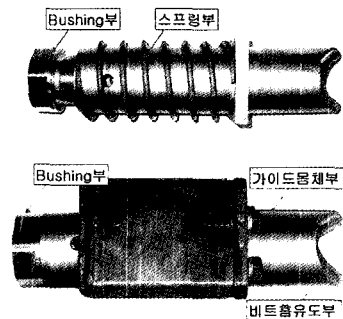
셋째, 현장 막장면의 굴곡부에 적절히 대응하면서 노치의 방향성을 유지시켜 줄 수 있도록 가이드를 제작하였고, 원활한 슬러지 제거는 물론 가이드 후미부에 부상을 설치하여 이 부분이 먼저 마모가 일어나도록 유도하여 부상부를 선 교환함으로써 노치가이드 본체의 교체 횟수를 줄일 수 있도록 하였다.

4. 연구개발 주요성과 및 활용방안

본 연구의 주요성과로는 최적의 노치시스템 장비를 개발하여 이론으로 입증된 노치효과를 현장에 적용할 수 있도록 초석을 마련하였다. 향후 노치균열 미진동 파쇄굴착 설계기법 개발이 완료되면 발파민원 예상지역에 적용하여 시공성이 결여된 무진동 굴착을 대체함으로써 발파공해 해소 및 여굴, 낙석 안전사고 등을 최소화할 것이다. 나아가 터널굴착비용을 절감함으로써 터널굴착의 활성화에 기여할 것이다.



(a) 3차 모델노치 가이드



(b) 4차 모델노치 가이드

그림 11. 최신 개발된 노치가이드

5. 결 론

노치공을 이용한 암반 균열굴착에 관한 현재까지의 연구는 노치효과 입증에 집중되었고, 또한 이론적으로 입증된 노치효과를 전산시뮬레이션과 모형실험을 통해 증명한 정도이다. 본 연구에서는 지금까지의 연구결과에서 입증된 노치효과를 우리나라 지반특성에 적합하게 실제 설계 및 시공에 적용 가능하도록 하기 위한 기본단계로서 여러가지 적용성 및 내구성 실험을 통하여 최적의 노치시스템 장비 개발을 목표로 하고 있다.

노치시스템은 크게 노치비트부와 가이드부로 구성된다. 노치비트부는 노치 홈을 형성하는 역할을 하고, 가이드부는 노치비트부를 점보드릴에 장착하여 천공할 수 있도록 지지해 주는 역할과 노치 홈의 방향을 일정하게 유지할 수 있도록 하는 역할을 한다. 발파공해 해소, 여굴 및 낙석 안전사고 저감의 목적으로 터널 현장에 적용하기 위한 노치시스템 장비 개발을 위하여 세 가지 분야로 연구를 수행하여 효율적 장비 개발이라는 결론을 도출하였다.

이와 같은 연구과정을 통하여 노치 균열 파쇄 굴착의 현장 적용성을 많이 개선하였지만, 아직 기본적인 천공장비 개발단계이므로 현장 실험을 반복해가며 노치공 천공의 효율을 높이고 마모율을 줄이는 연구는 계속 지속되어야 할 것이다. 나아가 현장 실규모 터널시험에 의한 실용화 연구와 최적 노치균열 미진동 파쇄굴착 설계기법에 대한 다방면의 연구를 전개하여 완성도 높은 기술을 개발해야 할 것이다.

후 기

이 논문은 건설핵심기술연구개발사업 현장기술지원 자유공모과제('06~'09) '발파공해 해소 및 여굴 최소화를 위한 선균열 암굴착 노치장비 및 시공기술 개발' 연구결과와 일부입니다.

참고문헌

1. 도로연구소, 2000, 「여굴최소화를 위한 최적발파패턴 설계방안에 관한 연구」, 한국 도로공사.
2. 백승규, 김재동, 류창하, 1999, 「노치성형 발파공을 이용한 균열제어 발파방법의 균열발생 특성에 대한 수치해석적 고찰」, 터널과 지하공간, Vol. 9, PP 64~71.
3. 최용근, 1996, 「장약공 노치와 장약홀터를 이용한 발파균열의 제어에 관한 실험연구」, 서울대학교
4. 『터널 암굴착 굴착선공부 선균열 발파공법』, 특허 제 0362014호, 공법설명서, 특허청.
5. 『터널 암굴착 굴착선공부 여굴 최소화 발파방법』, 특허 제 10-0554944호, 공법설명서, 특허청.
6. 『노치 발파공 형성장치』, 실용신안 제 0334854호, 의장등록 제 0363315호, 공법설명서 특허청.
7. Rooke, D.P And Cartwright, D.J, 1976, 『Compendium of Stress Intensity Factors』, PP 160-161.
8. Dally, J.W. And Fourny, W.L., 1997, 「Fracture Control in Construction Blasting」, Proc. 18th U.S. Symp. on Rock Mechanics, PP 2A6-1~2A6-7.
9. Fourny, W.L., Dally, J.W. And Holloway, D.C., 1978, 「Controlled Blasting with Ligamented Charge Holders」, Int. J. Rock Meth. Min. Sci. & Geometh. Abstr. Vol. 15, PP 121-129.
10. Per-Anders Persson, Roger Hølemberg And Jaimin Lee, 1994, 『Rock Blasting And Explosives engineering』, PP 265~285.



정동호

1984년 강원대학교 자원공학과 공학사
1987년 강원대학교 자원공학과 공학석사
1995년 강원대학교 자원공학과 공학박사

Tel: 02-6202-0833
E-mail: jdh@yooshin.co.kr
현재 (주)유신코퍼레이션 터널부 상무



안대진

1999년 고려대학교 토목·환경공학과 공학사
2001년 고려대학교 토목·환경공학과 공학석사

Tel: 02-6202-0891
E-mail: yl2696@yooshin.co.kr
현재 (주)유신코퍼레이션 터널부 과장



김은관

1979년 서울공업고등학교
1985년 한국방송통신대학교 공학사

Tel: 02-3019-3576
E-mail: blast21kr@yahoo.co.kr
현재 (주)선산토건 기술개발부 부장



문상조

1980년 한양대학교 토목공학과 공학사
1997년 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학석사

Tel: 02-6202-0076
E-mail: musim96@yooshin.co.kr
현재 (주)유신코퍼레이션 지반본부 전무



정원준

2001년 서울대학교 농과대학 농공학과 공학사
2003년 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학석사

Tel: 02-6202-0842
E-mail: yl2866@yooshin.co.kr
현재 (주)유신코퍼레이션 터널부 과장



김동규

1993년 한양대학교 토목공학과 공학사
1996년 한양대학교 토목공학과 공학석사
1999년 The Ohio State Univ. 토목공학과 공학석사
2004년 The Ohio State Univ. 토목공학과 공학박사

Tel: 031-910-0238
E-mail: dgkim2004@kict.re.kr
현재 한국건설기술연구원 선임연구원