

삽입재 크기에 따른 코니컬 커터의 현장 내구성 평가 연구

최순욱*

정회원, 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 수석연구원

Durability evaluation depending on the insert size of conical Picks by the field test

Soon-Wook Choi*

Senior Researcher, Department of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

*Corresponding Author : Soon-Wook Choi, soonugi@kict.re.kr

Abstract

In this study, the durability of conical pick cutter was compared and analyzed by pre- and post-test visual inspection, measurement of weight loss and wear volume through field test on two types of conical pick cutters applied to rotary drum cutter. In the visual inspection, it was found that only 9 inserts were lost in the slim type conical pick cutter. This result show that the thickness of the head cover surrounding a insert was important to maintain the insert during excavation. The weight loss and wear volume of the heavy type conical pick cutter were less than half that of the slim type. From these results, it can be confirmed that heavy type is more useful than slim type in hard rock. It should be noted that, when determining the wear loss of the conical pick cutter, the mutual comparison of the weight measurement and the wear volume measurement results may be different due to the unit weight of the material and the spalling caused by excavation.

Keywords: Conical picks, Insert size, Wear, Weight loss, Abrasion volume

초 록

본 연구는 로터리드럼커터에 적용된 두 종류의 코니컬 픽커터에 대한 현장시험을 통해 시험 전과 후의 육안조사와 중량감소 및 마모부피를 측정하여 코니컬 픽커터의 내구성을 비교·분석하였다. 육안조사를 통해 슬림 타입 코니컬 픽커터에서만 총 9개의 삽입재 손실이 나타남을 확인하였고 삽입재 보호를 위해 두부의 두께가 중요함을 알 수 있었다. 시험 전과 후의 픽커터의 중량손실과 마모부피는 헤비타입이 슬림타입에 비해 반이하로 작게 나타나 경암반에서 헤비타입이 더 유용함을 확인할 수 있었다. 픽커터의 마모손실을 판단할 때, 중량측정과 마모부피 측정결과의 상호 비교는 재료의 단위중량과 굴착에 의한 스폐링에 의해 차이가 나타날 수 있으므로 주의해야 할 것으로 판단된다.

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association
21(1)49-59(2019)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2019.21.1.049>

eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

Received October 15, 2018
Revised November 13, 2018
Accepted November 16, 2018



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2019, Korean Tunnelling and Underground Space Association

주요어: 코니컬커터, 삽입재 크기, 마모, 중량손실, 마모부피

1. 서론

부분단면굴착기(partial-face machine)는 로드헤더(roadheaders), 컨티뉴어스마이너(continuous miners)와 같이 붐(boom) 선단에 픽커터(pick cutter)가 부착된 헤드(head)를 설치하여 회전에 의해 지반을 굴착하는 장비이다. 이 장비는 붐의 이동을 통해 굴착단면에 대한 대응성이 높은 장점을 가져 터널과 광산 등에 많이 사용되고 있다. 특히 유럽의 경우에는 연장이 짧은 도심지 터널에서 적용 사례가 많고, 암반굴착이 주인 미국에서도 대규모 프로젝트에서 활용되고 있는 것으로 알려져 있다(Copur et al., 1998; Tunnel Business Magazine, 2011).

로드헤더의 커팅헤드는 회전방향에 따라 붐(boom)의 방향과 커팅헤드 중심축 방향이 일치하는 종방향(axial) 커팅헤드와 직교하는 횡방향(transverse) 커팅헤드로 구분된다. 커팅 툴이 설치된 커팅헤드는 로드헤더의 붐에 연결되어 어떤 방향이든 이동이 가능하기 때문에 굴착단면의 형상에 크게 제약을 받지 않는 장점이 있다(Pichler, 2011; Tatiya, 2005).

부분단면굴착기에 사용되는 픽커터는 래디얼타입(radial picks or drag bits)과 포인트어택타입(conical picks or point attack picks)으로 구분할 수 있다. 래디얼타입은 사용함에 따라 커터작용력과 마모, 먼지발생이 포인트어택타입에 비해 급격히 증가하여, 현재는 대부분의 경우 모든 암반강도에 적용 가능한 포인트어택타입(이후 코니컬커터로 명명)이 사용되고 있다(Choi et al., 2014b; Fowell and Ochei, 1984; Goktan and Gunes, 2005; Hurt and Evans, 1981; Kim et al., 2012).

코니컬커터는 선단부분의 텅스텐 카바이드(Tungsten Carbide, TC) 삽입재(insert)가 암반과 맞닿아 일정 관입 깊이가 만큼 암반을 파쇄하고 인접 커터가 암반을 파쇄 할 때 인접 커터 사이의 인장균열을 발생시켜 굴착하는 도구이다. 코니컬커터의 삽입재는 플러그(plug), 캡(cap), narrow bottom, bullet nose 유형으로 구분할 수 있으며, 삽입재는 대상지반과 절삭조건, 목적에 따라 각각 다르게 사용된다. 삽입재는 텅스텐 카바이드의 등급에 따라 마모 저항성이 다르기 때문에 대상지반의 강도와 석영함유량 등을 고려하여 선택한다. 일반적으로 삽입재의 직경이 클수록 마모저항성이 크고, 단부형상이 날카로울수록 먼지발생이 작아지며 버력의 크기도 작아진다(Choi et al., 2014a; Choi et al., 2016; Park et al., 2013).

부분단면굴착기의 커팅헤드에 대한 성능평가는 관입깊이와 간격에 따른 픽커터의 작용력과 픽커터의 마모손실에 대한 것이 주요사항이다. 굴착동안 발생하는 픽커터의 마모로 인해 픽커터의 선단이 무뎠지는 점은 부분단면굴착기의 굴착성능을 저하시키는 주된 원인이다(Rojek et al., 2008). 본 연구에서는 로터리드럼커터에 적용된 두 종류의 코니컬 픽커터에 대한 현장시험을 통해 시험 전과 후의 중량 및 부피측정을 수행하여 코니컬 픽커터의 내구성을 비교·분석하였다.

2. 현장시험조건

2.1 개요

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 코니컬 픽커터가 배열된 로터리드럼커터를 서블게 굴착기에 설치하여 암반 굴착 시 코니컬 픽커터의 내구성을 평가하였다. 현장작업이 수행된 장소는 전라북도 군산시에 위치한 건설기계부품연구원의 종합시험센터이다. 현장의 암반상태는 표면 풍화가 많이 진행된 상태였고 불연속면이 발달되어 있었다. 그러나 풍화된 표면을 제거한 배면은 양호한 상태의 암반이 도출되었고 불연속면이 발달된 부분과 그렇지 않은 부분이 혼재되어 있다. 현장에서 채취한 암석블록으로부터 코어시료를 제작하여 측정된 일축압축강도는 100.6 MPa이고, 간접인장강도는 9.2 MPa이다.



Fig. 1. Rock conditions in the field

현장작업에 사용된 로터리드럼커터는 횡방향 커팅헤드(transverse type cutting head) 형식의 어태치먼트 제품이고, 커팅헤드의 한 쪽 드럼(drum)은 길이가 304 mm, 직경이 427 mm인 원통형이다. 드럼 위에 배열된 픽커터는 Fig. 2와 같이 헤비타입(heavy type)과 슬림타입(slim type)의 코니컬 픽커터(conical picks)를 사용하여 나선형으로 배열(helical array)하였으며, 드럼당 픽커터의 개수는 헤비타입은 29개, 슬림타입은 34개이다. 드럼길이 방향에서의 픽커터 기본간격(spacing)은 12 mm이고 원주방향에서의 기본간격은 123 mm이다. 드럼의 양 끝단(edge)에서는 하중분산과 마모감소를 위하여 픽커터의 간격이 기본간격보다 좁게 배열되어 있다. 코니컬픽커터의 텅스텐 카바이드 삽입재 직경은 헤비타입이 22 mm이고 슬림타입은 12 mm이다.

픽커터의 경우, 경암조건에서 많이 사용하는 헤비타입은 구성재료의 인성(toughness)을 강화시켜 깨짐을 방지하고 삽입재와 삽입재를 둘러싼 두부(head)의 크기를 늘려서 마모저항성을 높이는 것이 일반적이다. 반면 연암조건에서 많이 사용하는 슬림타입은 삽입재의 경도를 높여 마모저항성을 높인다. Table 1은 시험에 사용된 코니컬 픽커터의 경도를 측정된 결과의 평균값이다. 슬림타입의 삽입재 경도가 헤비타입에 비해 상대적으로 높게 측정

된 것을 확인할 수 있었으며, 두부 및 샤프트(shaft)의 경도는 헤비타입의 경도가 더 높았다. 사용된 헤비타입 픽커터의 두부 경도는 표면부의 열처리를 통해 표면부에서 2~3 mm까지 500~700 Hv 정도의 경도를 보이고 그 이하는 평균에 가깝게 나타났다.

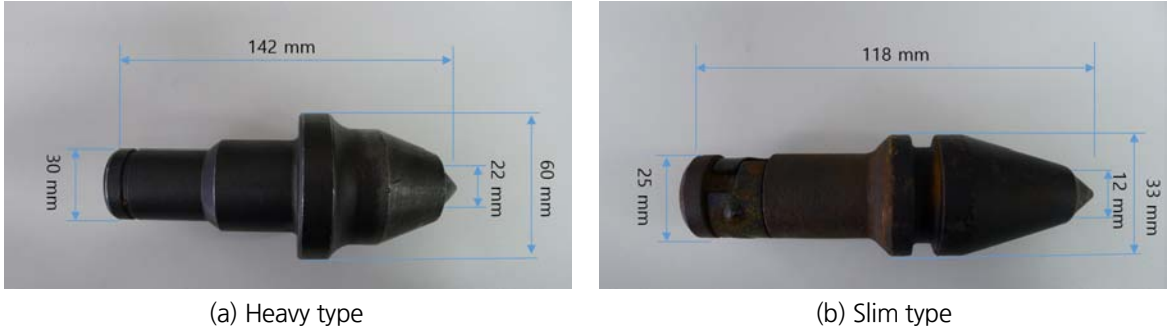


Fig. 2. Conical picks

Table 1. Hardness of conical picks

		Vickers hardness (HV)	Test method
Heavy type	Insert	986	KS B 0811 : 2003
	Head	368	
Slim type	Insert	1211	
	Head	313	

2.2 시험방법

로터리드럼커터는 서블계 굴착기에 부착하여 사용하기 때문에 로드헤더에 비해 작업모드가 한정된다. 본 연구에서는 서블계 굴착기의 특성을 고려하여 헤드를 지반에 밀어넣는 sumping 작업과 아래로 내리는 lowering 작업으로 굴착을 진행하였다. 굴착작업을 위한 로터리드럼커터의 설계회전속도는 2.76 m/s이다.

코니컬 픽커터의 내구성을 평가하기 위해 각 코니컬 픽커터가 설치된 로터리드럼커터로 암반사면에 대해 굴착 작업을 수행한 후 작업 전과 후의 중량 및 부피를 측정하였다(Fig. 3). 각 코니컬 픽커터는 좌측 드럼(L)과 우측 드럼(R)으로 구분하고 로터리드럼커터의 픽커터 배열순서에 따라 번호를 붙여서 구분하였다.

부피측정은 레이저 3차원 형상 측정기를 사용하였고 분석프로그램은 Geomagic Control을 사용하였다. 부피 측정의 경우, 모든 코니컬 픽커터를 측정하기 어렵기 때문에 좌측 드럼과 우측 드럼에서 각각 6개씩 측정하였다. 헤비타입의 경우는 1, 3, 10, 16, 25, 29번 코니컬 픽커터를 대상으로 총 12개를 측정하고, 슬림타입은 1, 4, 17, 24, 32, 34번 코니컬 픽커터를 대상으로 총 12개를 측정하였다.



Fig. 3. Before and after the field tests

본 연구에서는 현장상황에 의해 코니컬 픽커터의 작업시간이 헤비타입의 경우 4시간, 슬림타입의 경우 1시간으로 상이하여 비교를 위해 헤비타입의 중량과 부피측정결과를 시간당 결과로 환산하였다.

3. 현장시험결과

코니컬 픽커터의 굴착능력에서 가장 중요한 요소는 암반을 직접적으로 타격하는 삽입재 부분이다. 이 삽입재 부분은 내마모성이 매우 높고 충격에 대한 저항성을 가지기 위해 적절한 인성을 가져야 한다. 볼레오 광산에 적용된 코니컬 픽커터의 경우를 보면, 텅스텐 카바이드 삽입재의 경도는 HRA86.5이고 인성을 평가하는 지표로서 많이 사용되는 항절력(Transverse Rupture Strength)은 260 kgf/mm^2 이었다(Choi et al., 2015).

삽입재를 감싸는 두부는 충격 및 작용력 등에 의해 코니컬 픽커터의 선단에서 삽입재가 이탈하지 않도록 하는 역할을 담당한다. 삽입재와 두부는 서로 다른 이종재료이기 때문에 저융점 삽입금속을 녹여서 접합하는 솔더링(soldering)방식이 일반적으로 사용된다.

경암조건에서 충격 및 커터작용력이 크게 나타나기 때문에 경암조건에서 주로 사용되는 헤비타입의 경우 삽입재를 둘러싸고 있는 두부 선단부가 크다. 따라서 두부 선단부가 상대적으로 작은 슬림타입의 경우 삽입재의 손실이 헤비타입보다 크게 나타난다.

3.1 육안조사 및 중량측정결과

현장시험 후 사용된 코니컬픽터들을 회수하여 육안조사를 실시하였다. 육안조사 결과, 헤비 타입 코니컬 픽커터의 삽입재 손실은 슬림타입에 비해 작업시간이 길었음에도 불구하고 발생하지 않았으며, 슬림 타입 코니컬 픽

커터의 삽입재 손실은 좌측드럼에서 5개, 우측드럼에서 4개로 나타났다. 앞서 말한 바와 같이 슬림 타입의 경우 삽입재를 감싸는 두부의 두께가 얇아서 삽입재 손실이 많이 발생한 것으로 보인다(Fig. 4).

코니컬 픽커터의 두부 마모형태를 볼 때, 굴착작업동안 픽커터가 홀더(holder)에서 회전하는 셀프샤프닝(self-sharpening)에 의해 삽입재와 두부의 마모가 골고루 나타남을 확인할 수 있었다. 삽입재가 손실된 코니컬 픽커터의 형상 역시 편마모가 발생하지 않고 원뿔형을 유지하는 것으로 나타났다.

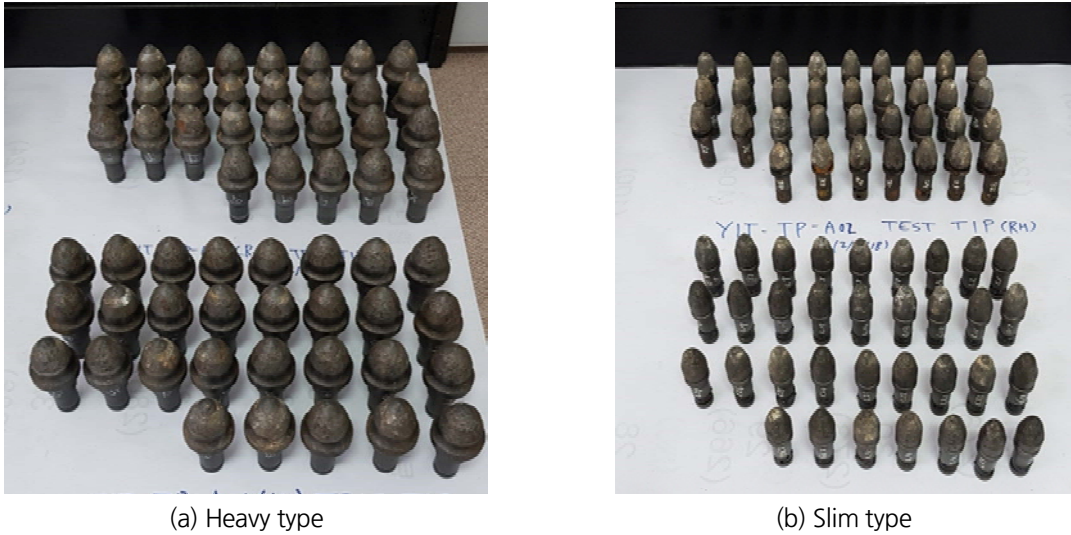
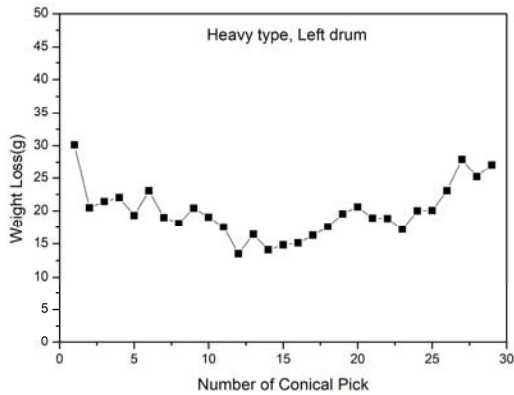


Fig. 4. Conical picks after test

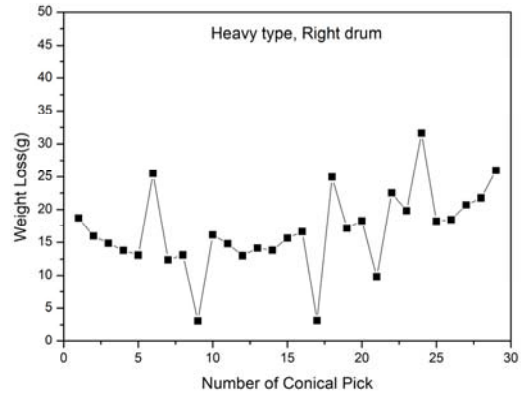
Fig. 5~7은 현장작업 후 타입별 코니컬 픽커터의 중량손실 측정결과이다. 그래프의 가로축은 로터리드럼커터의 드럼에 배열된 코니컬 픽커터의 배열번호를 나타낸다. 드럼커터의 경우, TBM 커터헤드의 게이지커터(gauge cutter) 설치부분과 마찬가지로 드럼의 측면으로 갈수록 커터 간 간격을 작게 하고 커터에 틸팅(tilting)을 적용한다. 이것은 로터리드럼커터의 외곽부에서 코니컬 픽커터의 마모가 더 발생하기 때문이다. Fig. 5와 Fig. 7에서도 외곽부인 양측면(1, 29 또는 34번 코니컬 픽커터)에서의 마모가 더 크게 발생하는 것으로 나타났다.

헤비타입 코니컬 픽커터의 중량손실의 평균(4시간 작업)은 좌측드럼에서 19.89 g, 우측드럼에서 16.8 g이었고 슬림타입 코니컬 픽커터의 중량손실의 평균(1시간 작업)은 좌측드럼에서 11.03 g, 우측드럼에서 9.83 g으로 나타났다. 비교를 위해 헤비타입 코니컬 픽커터의 중량손실을 시간당 마모량으로 환산할 경우 좌우측 드럼에서 각각 4.97 g과 4.2 g으로 슬림타입 픽커터의 중량손실에 비해 42% 작게 나타났다.

Fig. 5와 Fig. 7의 우측드럼 결과에서 마모량이 급격하게 증가하는 결과가 나타났다. 이러한 증가는 헤비타입의 경우, 굴착과정에서 발생하는 삽입재 및 두부의 스폐링(spalling)문제로 보이고 슬림타입의 경우, 삽입재를 감싸는 두부의 손실에 의해 삽입재가 손실되면서 마모가 크게 발생한 것으로 판단된다.

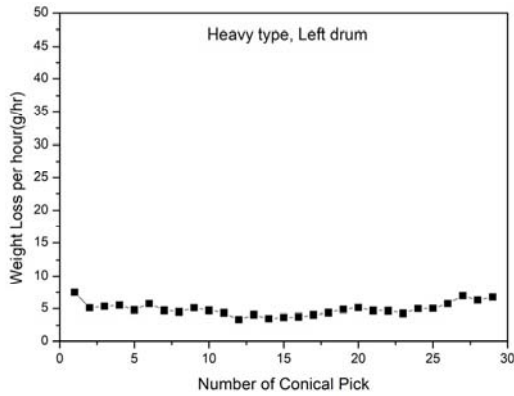


(a) Heavy type conical picks on the left drum

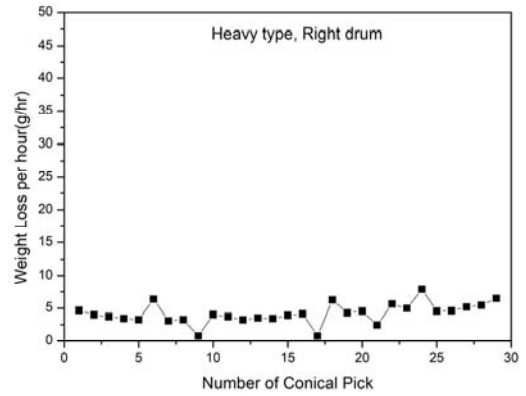


(b) Heavy type conical picks on the right drum

Fig. 5. Weight loss of heavy type conical picks (working time 4 hour)

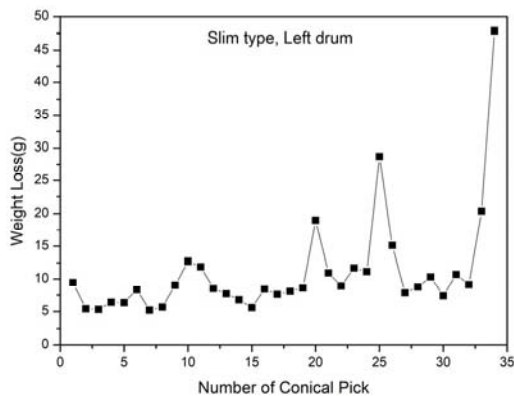


(a) Heavy type conical picks on the left drum

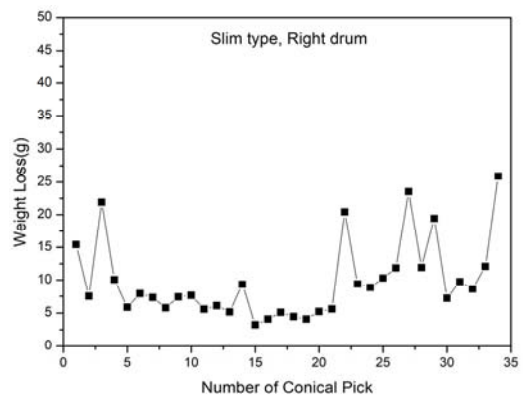


(b) Heavy type conical picks on the right drum

Fig. 6. Weight loss per hour of heavy type conical picks



(a) Slim type conical picks on the left drum



(b) Slim type conical picks on the right drum

Fig. 7. Weight loss of slim type conical picks (working time 1 hour)

3.2 부피측정결과

코니컬 픽커터의 마모특성을 살펴보기 위해 레이저를 이용한 3차원 형상 측정기를 사용하여 현장시험 전과 후의 형상을 측정하고 이미지 분석 프로그램(Geomagic Control)을 이용하여 부피감소를 계산해 보았다.

Fig. 8(a)는 로터리드럼커터의 좌측 드럼 열 번째 헤비타입 코니컬 픽커터를 형상측정기로 측정하여 이미지화한 것이고 Fig. 8(b)는 마모되어 손실된 부분을 보여주는 단면도이다. Fig. 8(a)에서 우측 스케일은 마모된 부분의 깊이를 보여주며, 파란색이 진할수록 마모가 많이 발생함을 나타낸다. 그리고 Fig. 9는 로터리드럼커터의 좌측 드럼 서른네 번째 슬림타입 코니컬 픽커터의 3차원 이미지다. 커터 상단부의 삼입재가 손실되어 움푹 파진 형상을 확인할 수 있다.

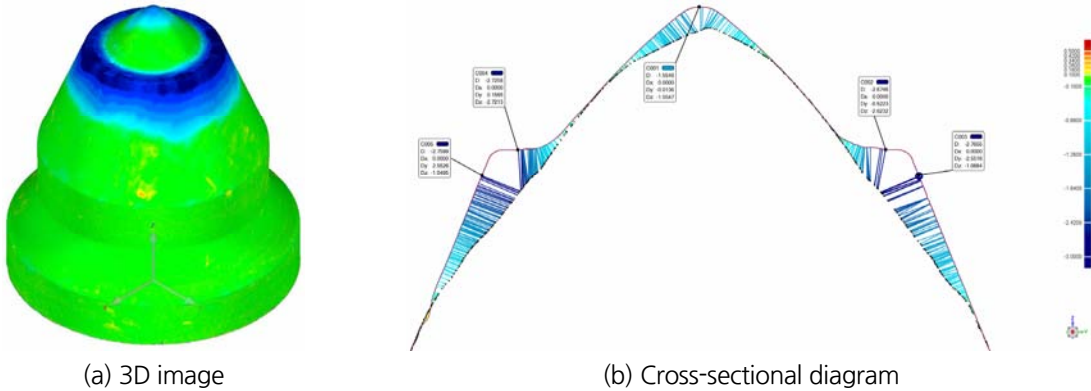


Fig. 8. 3D Image example of heavy type conical pick (tenth pick on the left drum)



Fig. 9. 3D Image example of slim type conical pick (34th pick on the left drum)

Table 2와 3은 현장시험 전과 후의 3차원 형상이미지로부터 헤비타입과 슬림타입 코니컬 픽커터의 마모부피(삼입재 + 두부)와 삼입재의 마모길이를 측정된 결과이다. 헤비타입 코니컬 픽커터의 마모부피는 좌측 드럼의 경

우 2,019 mm³이고 우측 드럼은 1,964 mm³이다. 그리고 슬림타입 코니컬 픽커터의 마모부피는 좌측 드럼의 경우 1,844 mm³이고 우측 드럼은 1,804 mm³이다.

Table 2. Abrasion volume of heavy type conical picks

Heavy type picks		Abrasion volume (mm ³)	Inserts abrasion length (mm)
Left drum	1	1,542	1.85
	3	1,186	1.35
	10	1,585	1.52
	16	1,586	2.14
	25	2,983	1.80
	29	3,229	1.60
Right drum	1	2,082	2.39
	3	1,107	1.50
	10	2,105	1.50
	16	2,854	1.08
	25	1,988	1.99
	29	1,646	1.44

Table 3. Abrasion volume of slim type conical picks

Heavy type picks		Abrasion volume (mm ³)	Inserts abrasion length (mm)
Left drum	1	2,169	3.45
	4	1,728	3.06
	17	1,286	2.65
	24	1,179	2.84
	32	1,738	2.55
	34	2,963	Tip loss
Right drum	1	1,607	2.90
	4	1,213	2.51
	17	1,464	2.75
	24	1,736	3.25
	32	548	1.77
	34	4,259	Tip loss

마모부피의 결과에서도 중량감소의 결과와 마찬가지로 드럼의 외곽부에서의 마모부피가 커지는 결과를 확인할 수 있었다. 그러나 헤비타입 코니컬 픽커터가 설치된 우측 드럼의 결과에서는 중앙부에서의 마모부피가 크게 발생하여 다른 경향을 보였다. 이것은 아래와 같이 경암반을 굴착하면서 두부에 발생하는 스폐링과 충격에 의해

눌림 현상이 발생하여 마모부피가 크게 나타난 것으로 판단된다.

삽입재의 마모길이를 측정된 결과를 살펴보면, 슬립타입 픽커터의 삽입재 마모길이는 마모부피의 증감과 유사한 경향으로 나타났지만, 헤비타입 픽커터의 삽입재 마모길이는 마모부피와의 경향이 일치하지 않았다. 이것은 헤비타입의 경우 삽입재를 둘러싼 두부가 두터워서 굴착에 따라 Fig. 8(b)와 같이 삽입재와 두부의 마모, 스펀링, 눌림이 같이 나타나는데 비해 슬립타입의 픽커터는 주로 삽입재에서만 마모 등이 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

각 코니컬 픽커터에 대한 마모부피결과와 중량감소결과를 비교한 결과, 두 결과의 경향이 일치하지 않았다. 즉, 마모부피가 크다고 해서 중량감소가 크게 발생하지 않았다. 이것은 삽입재인 텅스텐카바이드의 단위중량과 철재인 두부의 단위중량의 차이에 의한 것으로 판단된다. 특히 삽입재가 망실되거나 두부에 스펀링이 발생한 경우에 그 차이가 크게 나타날 것으로 파악된다.

4. 결론

본 연구에서는 삽입재 및 샤프트의 크기가 다른 헤비타입과 슬립타입 코니컬 픽커터를 경암지반에 현장시험한 후 측정된 결과로부터 내구성을 평가하였다. 헤비타입과 슬립타입 코니컬픽커터의 삽입재와 두부의 경도를 확인한 결과로부터 지반조건에 따라 마모저항성을 높이기 위해 경도 및 인성을 조절해야 함을 확인할 수 있었다.

현장시험 전과 후의 코니컬 픽커터를 육안조사한 결과, 더 많은 작업을 수행함에도 불구하고 헤비타입의 코니컬 픽커터들에서는 삽입재 손실이 발생하지 않은 점으로 판단할 때, 삽입재보호를 위해 삽입재를 감싸는 두부의 두께가 중요함을 알 수 있었다. 그러나 삽입재를 감싸는 두부의 두께가 두꺼울 경우, 특히 삽입재의 팁 각도를 넘어서는 삽입재 보호 두부 부분은 작업 초기에 로터리드럼커터의 토크와 동력의 최대치를 초과할 수 있는 문제를 발생시킬 수 있으므로 주의해야 한다.

중량감소 측정결과에서는 시간당 중량감소량으로 비교한 결과 헤비타입의 코니컬 픽커터의 중량손실이 슬립타입에 비해 42% 작게 나타나 경암반에서는 헤비타입이 더 유용함을 확인할 수 있었다.

중량측정과 마모부피 측정결과로부터 픽커터의 내구성, 즉 마모손실을 판단할 때 중량측정과 마모부피측정 모두 마모손실을 반영하고 있지만, 삽입재와 두부가 이종재료여서 단위중량이 다르기 때문에 상호간의 비교결과가 다를 수 있음을 알 수 있었다. 특히 삽입재가 망실되거나 삽입재와 두부에서 발생하는 스펀링과 눌림 현상은 중량과 부피측정결과의 차이를 발생시키는 원인으로 판단된다. 더불어 헤비타입 코니컬 픽커터의 경우, 슬립타입에 비해 표면적이 더 넓기 때문에 마모부피 측정결과에서 스펀링과 눌림에 의한 영향이 더 클 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2014년 건설기술연구사업의 ‘대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발(14SCIP-B088624-01)’ 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

1. Choi, S.W., Chang, S.H., Lee, C., Lee, G.P., Bae, Y.H., Ha, T.W. (2015), "Performance evaluation of conical picks for roadheader in copper mines", *Tunnel and Underground Space*, Vol. 25, No. 6, pp. 496-504.
2. Choi, S.W., Chang, S.H., Lee, G.P., Park, Y.T. (2014a), "Performance estimation of conical picks with slim design by the linear cutting test (I): depending on attack angle variation", *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 16, No. 6, pp. 573-584.
3. Choi, S.W., Chang, S.H., Lee, G.P., Park, Y.T. (2014b), "Performance estimation of conical picks with slim design by the linear cutting test (II): depending on skew angle variation", *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 16, No. 6, pp. 585-597.
4. Choi, S.W., Kang, T.H., Chang, S.H., Lee, C., Lee, G.P., Kim, C.Y. (2016), "Performance estimation depending on the insert size of conical picks by linear cutting test", *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 18, No. 2, pp. 221-233.
5. Copur, H., Ozdemir, L., Rostami, J. (1998), "Roadheader applications in mining and tunneling industries", *SME Annual Meeting*, Preprint No: 98-185, pp. 1-6.
6. Fowell, R.J., Ochei, N.N. (1984), "A comparison of dust make and energy requirements for rock cutting tools", *International Journal of Mining Engineering*, Vol. 2, No. 1, pp. 73-83.
7. Goktan, R.M., Gunes, N. (2005), "A semi-empirical approach to cutting force prediction for pointattack picks", *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 105, No. 4, pp. 257-264.
8. Hurt, K.G., Evans, I. (1981), "Point attack tools: an evaluation of function and use for rock cutting", *Mining Engineer*, Vol. 140, No. 234, pp. 673-675.
9. Kim, E., Rostami, J., Swope, C. (2012), "Full scale linear cutting experiment to examine conical bit rotation", *Journal of Mining Science*, Vol. 48, No. 5, pp. 882-895.
10. Park, Y.T., Choi, S.W., Park, J.H., Lee, C.H., Chang, S.H. (2013), "Excavation mechanism of roadheader and statistical analysis of its key design parameters based on database", *Tunnel and Underground Space*, Vol. 23, No. 5, pp. 428-441.
11. Pichler, J. (2011), *Mechanical excavation of tunnels with Roadheaders*, Lecture note, Post graduate master course - Tunnelling and Tunnel Boring Machine, Politecnico Di Torino, pp. 1-78.
12. Rojek, J., Oñate, E., Kargl, H., Labra, C., Akerman, J., Restner, U., Lammer, E., Zarate, F. (2008), "Prediction of wear of roadheader picks using numerical simulations", *Geomechanik und Tunnelbau: Geomechanik und Tunnelbau*, Vol. 1, No. 1, pp. 47-54.
13. Tatiya, R.R. (2005), *Surface and Underground Excavations-Methods, Techniques and Equipment*, A.A. Balkema Publishers, London, pp. 237-244.
14. *Tunnel Business Magazine* (2011), *Roadheaders in Hard Rock-East Side Access Among North American Projects Employing Roadheader Technology*, February 2011, pp. 20-21.