

터널 시공 안전성 향상을 위한 록볼트 품질확보 방안

A Plan to Guarantee Quality of Rockbolt for the Improvement of Tunneling

손성곤*†, 유진오*, 김진형**, 이인규**, 손영호***

Sung-Gon Son*†, Jin-O You*, Jin-Hyoung Kim**, In-Gyu Lee**, Young-Ho Son***

Abstract In tunneling, rockbolt, shotcrete and steel rib have been widely used to ensure the stability of the tunnel structures and to prevent falling of crushed rock during tunneling. In general, the rockbolt is mainly used with reinforced steel. However, steel bar or the materials with the same strength can be used depending on the rock conditions, ground water outflow condition, and the surrounding of applying location. In Korea, most tunnel construction sites have used cement mortar or resin for steel reinforcement on the rock. Due to the ground water outflow in the construction site, the usability of steel reinforcement is poor and it requires curing time especially after installing.

Keywords : Tunnel, Groundwater, Rockbolt, Design, Construction

초 록 터널 현장에서 주요 지보재로 사용되는 록볼트는 터널내 원지반에 정착시켜 지반의 변형에 저항하고 이완 압력의 붕락을 억제시키는 역할을 하며, 발파에 의한 지반거동에 대처하기 위해 조기 성능 발휘가 요구된다. 국내 시방기준을 참고하면 지반특성 및 현장 시공여건에 따라 다양한 종류(재질, 정착방법 등)의 록볼트를 사용하도록 규정되어 있으나, 여러 제약조건으로 대부분 기존방식을 답습하는 형태로 설계와 시공이 이루어지고 있다. 터널에서의 작업조건은 주변환경, 지반상태, 지하수 유출 유무와 이에 따른 작업 Cycle 등에 따라 달라지며, 특히 용출수 구간은 일반구간에 비해 절리가 많고 암반붕락 가능성이 높아 록볼트 시공시 보다 세심한 주의가 필요하다.

주요어 : 터널, 록볼트, 설계, 시공, 품질

1. 서 론

터널 현장에서 슛크리트, 강지보재와 함께 주요 지보재로 사용되는 록볼트는 터널내 원지반에 정착시켜 지반의 변형에 저항하고 이완압력의 붕락을 방지하는 역할을 하며, 발파에 의한 지반거동에 대처하기 위해 조기 성능 발휘가 요구된다.

터널에서의 작업조건은 주변환경, 지반상태, 지하수 유출 유무와 작업 Cycle 등에 따라 달라지며, 용출수 구간은 대부분의 터널에서 약 10~30% 정도 분포하고 일반구간에 비해 절리가 많고 암반붕락 가능성이 높아 록볼트 시공에 보다 세심한 주의가 필요하다.

† 교신저자: 코오롱글로벌(주) 기술연구소(sg-son@kolon.com)

* 코오롱글로벌(주) 기술연구소

** (주)티에스테크노

*** 경북전문대학교 철도시설과

국내 록볼트 설계, 시방기준을 참고하면 지반특성 및 현장 시공여건에 따라 다양한 종류 (재질, 정착방법 등)가 제시되고 있으나, 실제 현장에서는 여러 제약조건으로 대부분 기존 방식을 답습하는 형태로 설계와 시공이 이루어지고 있는 실정이다.

본 논문에서는 터널시공에서 주 지보재로 사용되는 록볼트의 설계 및 시공현황에 대해 검토하고, 효율적이고 안정적인 시공품질을 확보할 수 있는 방안에 대해 논의하기로 한다.

2. 록볼트 기술 현황

록볼트는 1910년대 터널에서 사용된 목재지보를 대체할 수 있는 One Point 고정지보재로 개발되었으며, 이후 꾸준한 연구개발을 통해 다양한 형태로 건설현장에 적용되고 있다.

이러한 록볼트는 발파(Blasting)에 의한 이완암괴의 붕합(메달음), 보형성, 내압작용 등으로 지반 아치(Arch)를 형성하여 굴착면 주변지반의 지보능력을 발휘하는 기능을 한다.

록볼트의 종류는 설치 및 정착방식에 따라 선단정착형, 전면접착형, 혼합형, 마찰형으로 구분되며, 사용재료는 이형봉강(철근), 강과, 팽창성 강관, 케이블 또는 그에 상응하는 강도와 기능을 가지는 기타 소재도 사용할 수 있다.

Table 1 Classification of rockbolt type

Anchorage method	Bolt type
Fully bonded methoe	Cement Grouted Bolt, Cement Cartridge Bolt, Resin Anchored Bolt
Mixing method	Anchored Cement Grouted(Resin) Bolt, Wedge Pipe Bolt
Frictional method	Swellex Bolt, Split Set Bolt

록볼트 설계 및 시공은 지반특성 및 현장 시공여건에 따라 선택, 적용하도록 규정되어 있으나, 국내에서는 재료의 구매가 용이하고 가격이 저렴한 이형봉강과 시멘트 몰탈 또는 레진 등의 정착재료를 사용하는 전면접착 형식이 대부분 적용되고 있으며, 최근에는 다양한 연구개발을 통해 팽창성 강관 및 케이블의 사용이 점차 확대되고 있다.

3. 록볼트 설계 및 시공

록볼트 설계와 시공은 현장의 지반특성 및 시공여건을 고려하여 적용하도록 규정하고 있으나, 실제 설계와 시공에서는 여러 제약조건으로 대부분 기존 방식을 답습하는 형태로 이루어지고 있는 실정이다.

이에 따라 설계단계에서의 다양한 지반조사 자료와 시공단계에서 그 동안 축적된 경험은 무시된 채 일률적인 설계가 진행되고 작업현장에서는 지반조건, 용출수 유무 등에 따라 록볼트 품질확보에 많은 어려움을 겪고 있다.

3.1 록볼트 설계

터널 설계는 주변현황 파악과 함께 지반조사를 수행하며, 각종 물리탐사 등을 이용하여 전체구간에 대한 현황을 파악하고 시추조사를 통해 보다 상세한 분석을 시행한다.

록볼트 설계는 지반조사 결과를 통해 전반적인 자료분석과 설계기준(재질 및 정착방식 등)을 고려한 구조해석 등을 수행하여 적정 방식을 채택하는 형태로 진행되고 있으나, 여러 제약조건(조사의 한계, 비용 산출 등)으로 대부분 기존 방법을 답습하는 형태로 이루어지고 있으며, 설계단계에서는 보조공법 및 예비비 적용 등으로 반영되고 있으나, 아직도 시공현실을 감안하지 못하는 설계가 수행되고 있는 실정이다.

국내 터널설계에서 록볼트 설치를 위한 천공직경은 38mm를 표준으로 하고 있으나, 현장시공은 Jumbo Drill의 사용 효율성(Drill Bit 교체시간 및 손실저감)을 극대화하기 위해 대부분 터널 막장면 천공직경과 동일한 45mm로 천공을 한다.

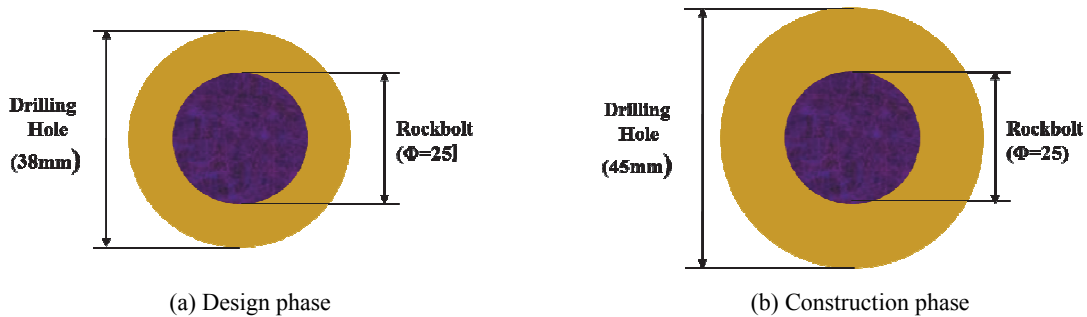


Fig. 1 Difference of drilling holes between design and construction phase

이러한 천공직경의 변화에 따라 정착재료 사용량은 약 1.5배 추가 투입이 되어 실제 공사비 증가로 직결되며, 천공직경이 커짐(38mm→45mm)에도 불구하고 설계에 제시된 정착재료 양으로만 시공할 경우 록볼트의 정착성능 발휘가 어려워져 터널 시공 안정성 확보에 문제점을 가지고 있다.

3.2 록볼트 시공

록볼트는 숏크리트, 강지보재와 함께 터널 굴착시 발파에 의한 암반 이완영역을 즉시 보강하여 시공과정에서의 낙반방지와 전체적인 터널 안정성 확보를 위한 주요 지보재이다.

국내 대부분의 터널 현장은 정착재료(시멘트 몰탈 또는 레진)를 사용하는 전면접착 형식이 적용되고 있으며, 록볼트 설치 후 성능발휘까지는 시멘트 몰탈의 경우 24시간 이상, 레진의 경우 4시간 정도의 양생시간을 필요로 하여 암반 조기지보에 문제점을 가지고 있다.

또한 전면접착형 록볼트는 천공 홀의 정 중앙에 이형봉강이 위치하고, 그 주변은 정착재료로 충분히 감싸주어야 한다. 그러나 록볼트의 경우 간격재가 사용되지 않으므로 경사 또는 천공 바닥면에 놓이게 되어 전면접착형 록볼트 설치기준과 다르며, 록볼트 정착상태 불량을 가

저울 수 있다.

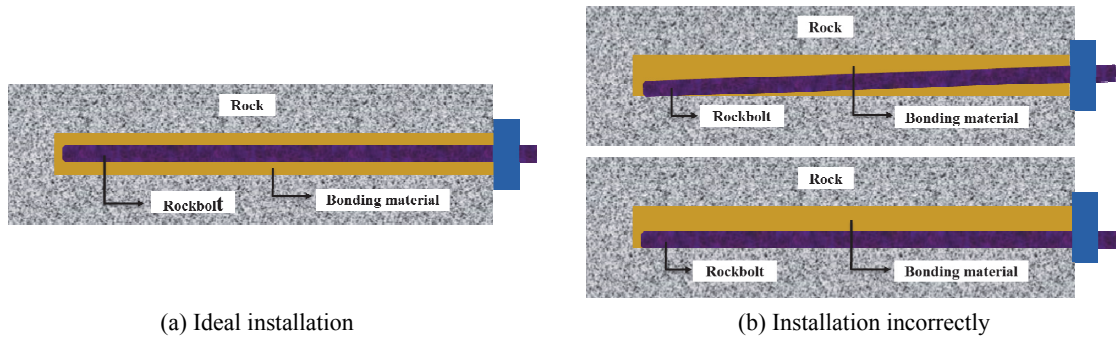


Fig. 2 Examples of good and bad construction of rockbolts

그리고 전면접착형 록볼트는 암반과의 정착을 위한 정착재료가 반드시 필요하며, 정착재료의 사용에 따라 작업원의 인체피해와 작업장 환경오염이 발생한다. 터널 시공시 약 10~30% 정도 분포하는 용출수 구간의 경우 정착재료 손실에 따른 록볼트 정착성능 저하(상향 시공에서 주로 발생)와 함께 폐기물 발생·처리의 문제점을 가지고 있다.



Fig. 3 Environment pollution

4. 록볼트 품질 확보 방안

국내 터널공사에서 주 지보재로 사용되고 있는 록볼트의 경우 여러 요인으로 품질확보에 문제점을 가지고 있는 것으로 판단되며, 지금까지 통상적인 설계와 시공방법을 탈피한 록볼트 품질확보 방안의 수립이 필요하다.

국내 록볼트 설계, 시방기준을 참고하면 지반특성 및 현장 시공여건에 따라 다양한 종류(재질, 정착방법 등)가 제시되고 있으나, 실제 설계에서는 대부분 기존방식을 답습하는 형태로 (대부분 한가지 종류) 설계가 이루어지고 있어 현장상황에 따른 적절한 변경에 어려움을 가지고 있다.

따라서 록볼트의 효율적인 시공과 적정 품질확보를 위해서는 설계도면에 다양한 형태의 제시가 필요하며, 천공직경의 경우 실제 현장에서 수행되는 형태를 고려하여 변경하는 것이 합

리적이라 판단된다.

또한 록볼트 시공시 암반 조기지보, 정확한 설치, 용출수 구간에서의 정착성능 확보 등이 문제점으로 제시되며, 이러한 문제점을 해결하고 적정 품질 확보를 위해서는 단위 현장별 사전 시험시공을 통한 록볼트 품질평가와 최근 현장 적용이 확대되고 있는 신공법(예, 튜브형 강관 록볼트 등)의 적극 도입도 필요하다고 생각된다.

5. 결론

본 논문에서는 터널 시공시 주 지보재로 사용되고 있는 록볼트의 설계 및 시공현황에 대한 검토와 보다 효율적이고 안정적인 품질확보 방안에 대해 기술하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 국내 록볼트 설계 및 시방기준을 참고하면 지반특성 및 현장 시공여건에 따라 다양한 종류(재질, 정착방법 등)를 사용할 수 있도록 제시되고 있으나 실제 설계에서는 대부분 기존방식을 답습하는 형태로 이루어져 현장에서 효과적인 대처가 어려운 실정이다.
2. 록볼트 설계시 대부분 한가지 종류(재질)만 제시되어 실제 현장에서는 선택의 여지가 없으며, 록볼트의 효율적인 시공과 적정 품질확보를 위해서는 설계도면에 다양한 형태로 제시하고 현장에서 선택, 시공하는 방안이 합리적이라 판단된다.
3. 록볼트 천공직경의 경우 설계(38mm)와 실제시공(45mm)이 다르게 수행되는 점을 감안하여 실제 현장에서 진행되는 45mm로의 변경하는 것에대한 충분한 검토가 필요하다.
4. 록볼트 시공시 암반 조기지보, 정확한 설치, 용출수 구간에서의 품질확보 등이 문제점으로 제시되며, 이러한 문제점을 해결하는 방안으로 신기술/신공법의 적극 활용도 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- [1] 국토해양부(2007), 터널설계기준
- [2] 국토해양부(2009), 터널표준시방서
- [3] 손성곤, 유진오, 김양균, 임종수, 김진영(2011), 강관팽창형 마찰식 록볼트 개발 및 현장 시험 평가, 대한토목학회 부산·경남·울산지회 학술대회 논문집, pp. 39-42.
- [4] 손성곤, 유진오, 유정훈, 정재민(2011), 튜브형 강관 록볼트의 현장 적용성 평가, 한국철도학회 추계학술발표회 논문집, pp.1149-1156.
- [5] 손성곤, 유진오, 김경철, 고경석, 김채식(2012), 터널시공 안정성 향상을 위한 튜브형 강관 록볼트 기술, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.383-386
- [6] 손성곤, 정철화, 최상현, 최재서, 박종수(2012), 친환경·탄소저감형 록볼트 기술 개발 및 현장 적용성 평가, 한국토질및기초기술사회 학술대회 논문집, pp.85-94.
- [7] 손성곤, 유진오, 김진형, 이인규, 정재민(2013), 다양한 현장조건에서 튜브형 강관 록볼트 시공사례 연구, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.642-649