

터널 보강재로서의 케이블 볼트의 적용성 평가 Application on Cable bolt as Tunnel Support System

김영호¹⁾, Young-Ho Kim, 유찬호²⁾, Chan-Ho Yoo, 한범석³⁾, Beom-Seok Han, 김승욱⁴⁾, Seoung-Wook Kim, 김홍택⁵⁾, Hong-Taek Kim

¹⁾ 세진특허법률사무소, 기술이사, Technical Director, Sejin Patent & Law Firm

²⁾ (주)케이이알 대표이사, President, KER Co., Ltd.

³⁾ 동부건설 기술지원실 과장, Manager, Dept. of Technical Support, Dongbu E&C Co., Ltd.

⁴⁾ 한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원, Researcher, Rural Research Institute, K.R.C.

⁵⁾ 홍익대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hongik University

SYNOPSIS : The cable bolt is useful underground space support system such as mining in Europe. In spite of favorable strength characteristics, past record of the cable bolt is rarely in Korea. In this study, to evaluate the mechanically characteristics the cable bolt on tunnel support system. To conduct the laboratory strength test in order to enquire material properties as reinforcement material and numerical analysis was performed considering laboratory test results. To estimate the behavior characteristics on tunnel system in which supported by the cable bolt system and compared the behavior characteristics with the rebar rock bolt system result.

Keywords : cable bolt, laboratory test, numerical analysis, rock bolt, tunnel

1. 서론

지하공간 개발을 위해 사용되는 락볼트 공법은 충분한 시공실적으로 지보재로서의 효과는 이미 검증된 공법이다. 그러나 이러한 락볼트는 보강재의 강성으로 인해 시공시 공간의 제약을 받을 수밖에 없어 시공가능한 유효길이가 매우 제한적인 단점을 가지고 있는 실정이다. 기존의 철근을 이용한 락볼트 공법의 문제점을 보완할 수 있는 공법이 강선을 이용하는 케이블 볼트 공법이나 국내에서는 적용된 사례가 극히 미비하고 보강재의 강성이 작은점이 단점으로 작용하고 있다. 또한 Resin에서의 적용성이 저하되는 등의 문제점 역시 케이블 볼트가 풀어야 할 중요한 문제점 중 하나이다.

기존의 케이블볼트 공법은 유럽에서 광산의 지보재로서 널리 사용되어 왔으며, 지보재로서의 능력을 보다 향상시키기 위해서 다양한 형태의 케이블 볼트가 연구, 개발되어 있는 실정이다. 그러나 국내의 경우 도로공사와 관련기관에서 케이블 볼트에 대한 언급만 되어있을 뿐 이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존의 케이블 볼트 공법이 가지고 있는 단점을 보완할 수 있는 진보된 공법으로 기존의 케이블 볼트 공법보다 인발저항력이 우수하면서도 시공성이 뛰어난 케이블 볼트를 고안하고자 하였다. 동시에 케이블 볼트가 터널 지보재로서 적용성이 우수한지 여부를 확인하고자 하였다.

실내실험을 통해서 케이블의 강도를 확인하여 케이블이 가지고 있는 역학적 특성을 확인하였으며, 수치해석을 통해 일반 락볼트공법과 비교함으로써 케이블 볼트의 적용성을 사전에 확인하였다.

2. 케이블 볼트 공법의 원리

2.1 케이블 볼트의 기본적 원리

2.1.1 공법개요

케이블 볼트 공법은 일반 락볼트와 동일하게 굴착시 발파 등으로 인하여 연약해진 암반을 견고하고 안정된 암반에 고정시켜 암반의 보강 및 낙석을 방지하고, 굴착 암반면의 안정을 위하여 삽입되는 볼트로서 암반을 일체화 시키는 목적으로 사용되고 있다. 다만 보강재 재료만이 기존의 철근에서 강선으로 대체한 공법을 통칭적으로 케이블 볼트로 칭하고 있다.

일반적으로 보편화된 케이블 볼트의 형태는 그림 1에 나타내었다.

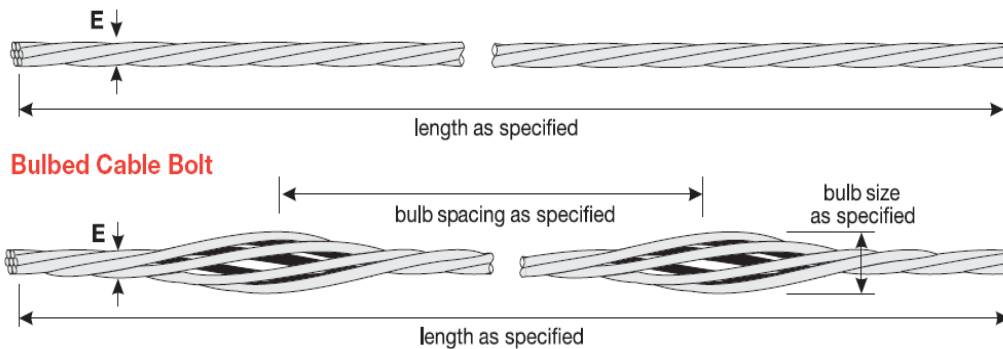
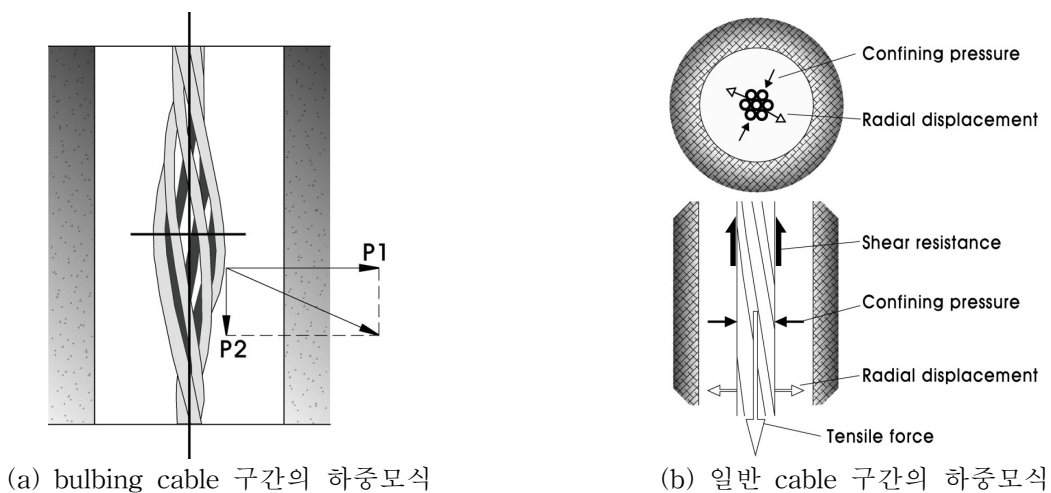


그림 1. 케이블 볼트의 개요도

2.1.2 케이블 볼트의 원리

케이블 볼트 공법은 인발저항력을 극대화시키기 위해 일부 구간에 Bulbing부를 두게 되며, 인발하중이 작용할 때, 그림 2와 같은 하중이 발생된다. (a)는 Bulbing구간에서 발생하는 하중 모식도로 인발하중이 작용하게 되면 압축하중 P1과 전단하중 P2가 발생하게 되며, (b) 일반 케이블 구간으로 인발하중이 작용하게 되면, 보강재는 전단저항이 발생하며 구속압으로 인해 보강재는 방사방향으로 변위가 발생하게 된다.



(a) bulbing cable 구간의 하중모식

(b) 일반 cable 구간의 하중모식

그림 2. PSD 공법의 단계별 시공과정

3. 실내강도시험

3.1 개요

케이블은 재료적 특성에 있어 인장응력이 일반 철근보다 우수하여 일반 락볼트 이상의 설계인장강도를 확보할 것으로 기대된다. 또한 케이블 볼트를 터널 지보재로 사용하기 위해서는 단순한 인장강도 이외에도 전단강도 및 부착강도 등 여러 항목에서 우수한 강도를 확보하고 있음을 확인할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 케이블 재료에 대해 실내역학시험을 시행하여 보강재의 정확한 인장강도, 전단강도 및 부착강도를 평가하였다.

인장강도시험, 전단강도시험 및 부착강도시험 등의 실내역학시험 전경은 그림 3에 나타나 있다.



(a) 인장시험

(b) 인발시험

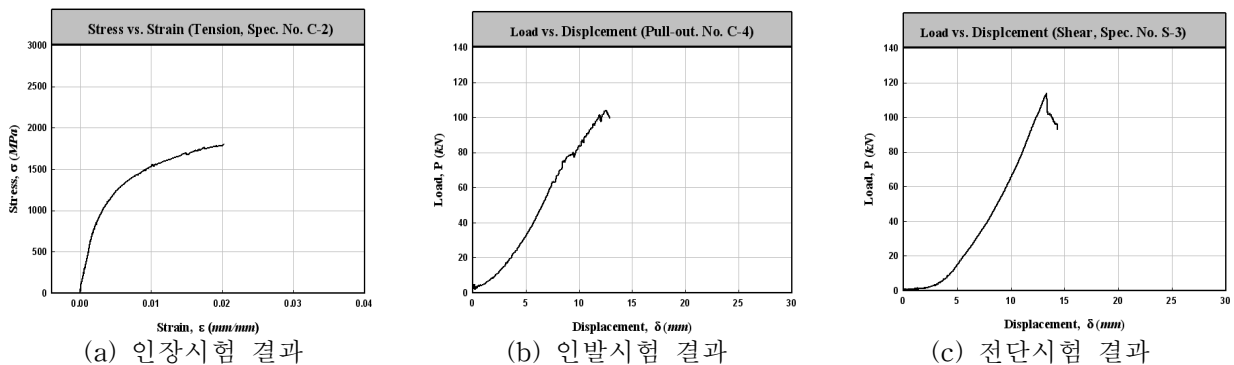
(c) 전단시험

(d) 파괴전경

그림 3. 실내역학시험 전경

3.2 실내역학시험결과

본 실내역학시험은 시편이 파단 및 항복 될 때까지 진행하였으며, 실내역학시험결과를 통해 얻어진 응력-변형률 곡선 및 하중-변위 곡선은 그림 4에 도시되어 있으며, 시험결과는 표 1에 요약, 정리하여 나타내었다.



(a) 인장시험 결과

(b) 인발시험 결과

(c) 전단시험 결과

그림 4. 실내역학시험 전경

표 1. 실내역학시험 결과

시편 No.	공칭단면적 Af (cm ²)	최대인장력 Pmax (kN)	최대인장응력 ffu (MPa)	인발하중 (kN)	평균하중 (kN)	인발량 (mm)	평균인발량 (mm)	
A	1.387	257.10	1,493.15	63.38	63.38	9.186	9.186	
B		260.88	1,880.89	92.54	82.54	10.452	10.452	
C1		260.84	260.72	1,880.61	1,879.74	103.16	15.408	13.474
C2		254.00		1,831.29		94.84	13.034	
C3		263.56		1,900.22		107.54	15.872	
C4		268.20		1,933.67		103.98	12.478	
C5		259.94		1,874.12		76.42	10.578	
C6		257.78		1,858.54		76.42		
D		258.56	1,864.17	109.76	109.76	16.994	16.994	

시편 No.	공칭단면적 Af (cm ²)	최대전단력 Vmax (kN)	변위 δ (mm)	최대전단응력 τmax (MPa)
S-1	1.387	94.220	5.692	679.31
S-2		95.895	12.794	691.38
S-3		113.735	13.318	820.01
S-4		70.87	11.308	510.96
S-5		93.79	10.924	676.21
평균	1.387	93.70	10.81	675.57

4. 수치해석

4.1 개요

수치해석은 도로터널을 대상으로 1차 지보재인 록볼트 대신 cable bolt를 적용하는 것으로 해석을 수행하였으며, 지보패턴간의 일률적인 조건에서 비교, 검토를 수행하기 위하여 토피고 및 상재하중으로 일정하게 적용하였다. 수치해석조건은 상부 토피층으로 5m를 적용하였으며, 그 외의 해석영역은 암반등급 III 정도에 해당되도록 가정하여 적용하였다. 지보형식은 표준지보패턴 TYPE-3이며 토피고는 33m로 적용하여 해석을 수행하였다.

수치해석에 이용된 격자요소망은 그림 5에 나타내었으며, 표준지보패턴은 그림 6에 나타내었다.

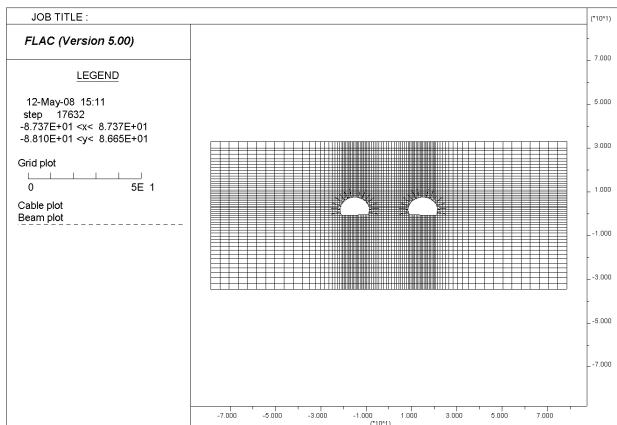


그림 5. 수치해석 격자요소망

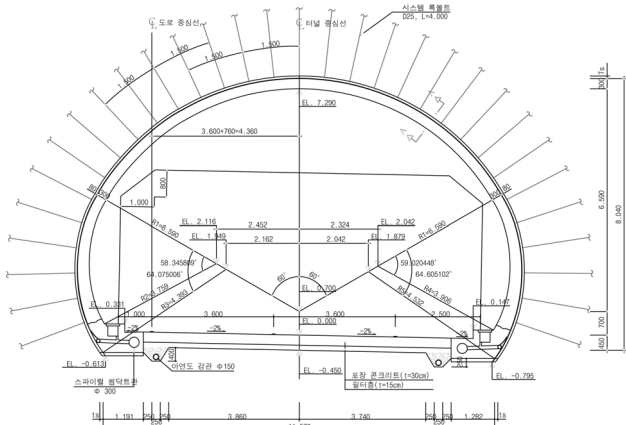
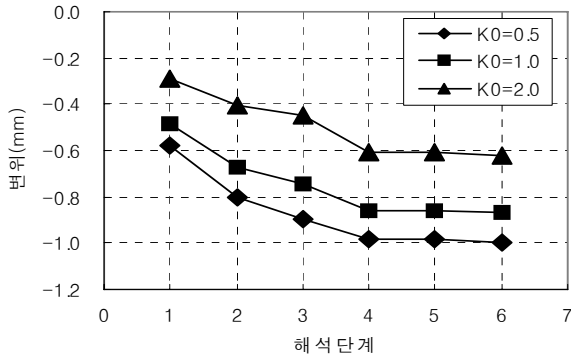


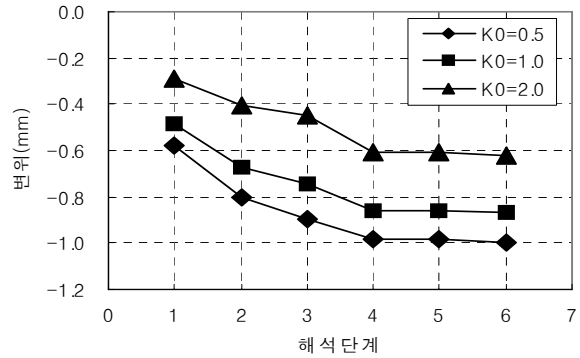
그림 6. 해석에 이용된 표준지보패턴

4.2 수치해석 결과분석

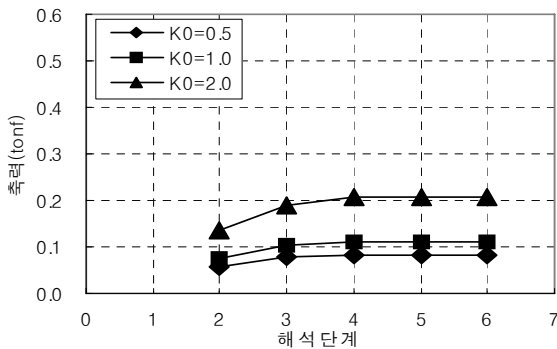
수치해석결과는 동일한 지반 및 시공조건에서 일반 락볼트와 케이블 볼트를 이용하는 경우에 대해서 보강재의 재료만 바꾸었을 때, 지반의 변형과 보강재 축력을 중점적으로 검토하는 방법으로 케이블 볼트의 적용성을 확인하였다. 변위 및 보강재축력 등의 수치해석 결과는 그림 7에 나타내었다.



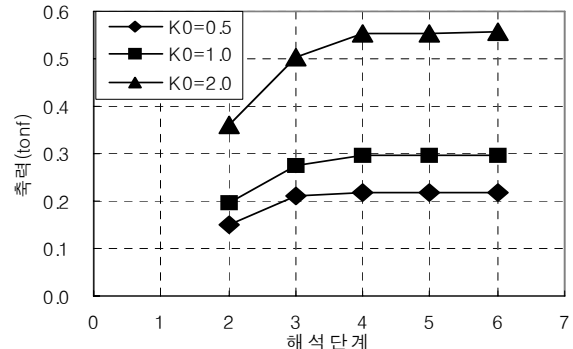
(a) 케이블 볼트 적용시 천단침하량



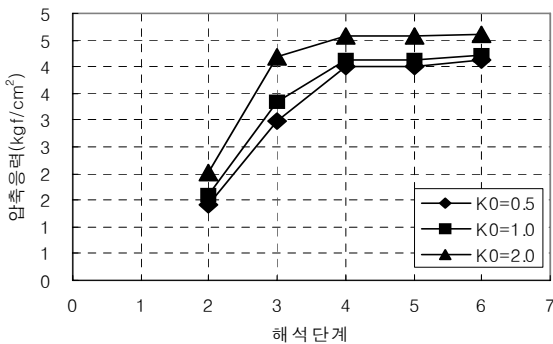
(b) 일반 락볼트 적용시 천단침하량



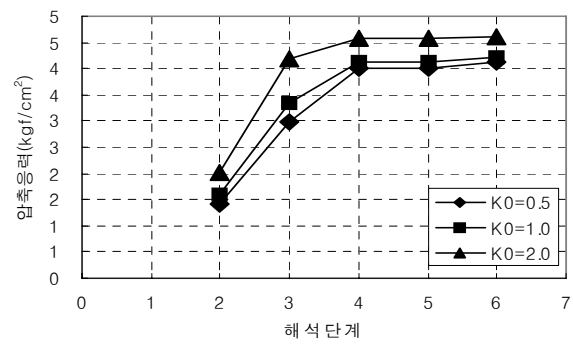
(c) 케이블 볼트 적용시 보강재 축력



(d) 일반 락볼트 적용시 보강재 축력



(e) 케이블 볼트 적용시 숏크리트 압축응력



(f) 일반 락볼트 적용시 숏크리트 압축응력

그림 7. 수치해석결과

그림 7의 해석결과를 살펴보면, 케이블 볼트의 최대 인장 축력은 터널의 하단부 0.208 tonf, 일반 Rock Bolt의 최대 인장축력은 최대 0.557 tonf으로 나타났다. 이는 본 터널에 사용된 록볼트의 허용 인장 축력 8.6 tonf 이내로 나타나 케이블 볼트는 충분한 보강효과를 발휘할 것으로 예상된다. 또한, 케이블 볼트를 적용하는 경우에는 일반 이형철근에 비해 발생변위가 다소 큰 것으로 평가되었으나, 모두 다

허용치 이내의 값으로 평가되어 케이블 볼트를 적용하는 경우에는 터널의 안정성을 충분히 확보할 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 케이블 볼트 공법이 터널 지보재로서의 적용 가능여부를 확인하고자 보강재의 역학시험 및 수치해석을 수행하였으며, 본 연구를 통해 얻어진 주요 내용을 요약, 정리하면 다음과 같다.

- (1) 보강재의 인장강도시험결과 케이블 볼트의 인장강도는 평균 258kN 정도로 평가되었으며, 설계강도는 약 130kN 정도로 일반 철근 SD 40 D 29mm 조건의 인장강도와 유사한 정도의 인장강도를 갖는 것으로 평가되었다. 터널에 적용되는 철근의 설계강도가 약 100kN 정도임을 감안할 때 케이블 볼트는 재료적 특성이 우수함을 확인하였다.
- (2) 전단강도시험결과, 케이블 볼트의 전단강도는 약 93kN 정도로 평가되어 비교적 큰 전단강도를 확보하고 있음을 확인하였고 전단시험 종료시에도 보강재는 파단되지 않을 정도로 전단에 취약하지 않음을 확인하였다.
- (3) 수치 해석결과, 케이블 볼트의 최대 인장 축력은 터널의 하단부 2.08 kN, 일반 Rock Bolt의 최대 인장축력은 최대 5.57 kN으로 나타났다. 이는 본 터널에 사용된 록볼트의 허용 인발 축력 86 kN 이내로 나타나 케이블 볼트는 충분한 보강효과를 발휘할 것으로 예상된다.
- (4) 케이블 볼트를 적용하는 경우에는 일반 이형철근에 비해 발생변위가 다소 큰 것으로 평가되었으나, 모두 다 허용치 이내의 값으로 평가되어 케이블 볼트를 적용하는 경우에는 터널의 안정성을 충분히 확보할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. David, B., 2004, *Coal mine roadway support system handbook*, RESEARCH REPORT 229a, Rock Mechanics Technology Ltd, Bretby Business Park, UK
2. Hutchinson, D.J. and Diederichs, M.S. 1996. *Cablebolting in underground mines*. Vancouver: Bitech
3. Hyett, A.J., Bawden, W.F. and Coulson, A.L. 1992. *Physical and mechanical properties of normal Portland cement pertaining to fully grouted cable bolts*. In Rock support in mining and underground construction, proc. int. symp. rock support, Sudbury, (eds. P.K. Kaiser and D.R. McCreath), 341-348. Rotterdam:Balkema.
4. Kaiser, P.K., Yazici, S. and Nosé, J. 1992. *Effect of stress change on the bond strength of fully grouted cables*. Int. J. Rock Mech.. Min. Sci. Geomech. Abstr. 29(3), 293-306.
5. Scott, J.J. 1976. *Friction rock stabilizers - a new rock reinforcement method*. In Monograph on rock mechanics applications in mining, (eds W.S. Brown, S.J. Green and W.A. Hustrulid), 242-249. New York: Soc. Min. Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrolm Engrs.
6. Scott, J.J. 1983. *Friction rock stabilizer impact upon anchor design and ground control practices*. In *Rock bolting: theory and application in underground construction*, (ed. O. Stephansson), 407-418. Rotterdam: Balkema.