

케이블 볼트의 소개

신영원*

1. 개요

국내에 NATM공법이 도입되어 적용된 지 20여년이 지났지만 아직도 해결해야 할 점과 시공 중 부딪치는 난제들이 많은 것이 사실이다. 국내에서 주로 적용되고 있는 NATM 터널의 지보재는 슛크리트, 강지보와 록볼트이다. 그러나 특수한 경우에는 이러한 것들 이외의 지보재가 필요할 수 있다. 예를 들어 국외에서는 지반이 극히 연약하거나 지중응력이 과대한 경우 또는 터널단면이 큰 경우, 터널의 안정성 확보를 위하여 어스앵커나 케이블 볼트 등을 사용하기도 한다.

본 고에서는 지금까지 국내에서 NATM 터널에 적용되지 않은 케이블 볼트의 특징, 용도, 적용사례 등에 대하여 소개하고자 한다.

홀에 강연선을 삽입한 보강재로서 길이는 4m~40m까지 시공이 가능하다. 프리스트레스를 가하지 않은 전면접착형이 광산에서 주로 사용되었으며, 원래의 케이블 볼트는 지중에 천공된 구멍에 강선을 삽입하고 그라우트된 유연한 텐던이다. 케이블 볼트는 지하공간이나 지표굴착시 굴착지반의 보강이나 지지를 위해 일정한 간격으로 천공 후 설치되고, 천공 홀의 직경이 크다면 인장강도를 키우기 위해 한 가닥 이상의 강선(strand)을 삽입하는 것은 어렵지 않다.

케이블 볼트는 굴착면의 구속을 위해 plate, strap, mesh 등과 조합되어 사용될 수 있다. 또한, 케이블 볼트는 슛크리트, 이형철근 록볼트 등과 조합되어 사용될 수 있다. 케이블 볼트의 저항력은 그라우트를 통하여 암반에 전달된다. 한편, 그라우트는 포틀

2. 케이블 볼트의 정의 및 특징

2.1 케이블 볼트의 정의

케이블 볼트(그림 1)는 시멘트 그라우트된 천공

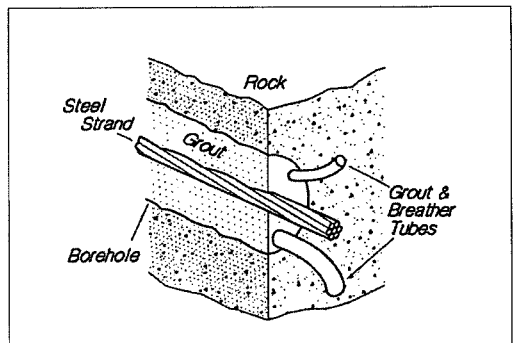


그림 1. 케이블 볼트의 구성 요소

*1 (주)하경엔지니어링 터널지반부 이사
(ywshin@hakyong21.co.kr)

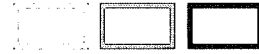


표 1. 록볼트의 종류

구 분	시멘트 몰탈형	레진형	자천공형
개요도			
개요	· 시멘트 몰탈에 의해 강재와 암반 부착	· Bolt회전에 의한 레진의 교반, 경화에 의한 볼트정착	· 자천공 시스템에 천공, 그라우팅 정착 작업의 일괄수행
특징	· 볼트연장: 2~8m · 장기 내구성 양호 · 공사비 저렴 · 누수개소 시공공란 · 시멘트로 감싸므로 내부식성 양호 · 경제성 우수	· 볼트연장: 2~6m · 시공실적 다수 · 정착시 경화시간이 짧고 유출수 영향 작음 · 조기강도 우수 · 경제성 우수	· 볼트연장: 2~15m · 단층대 및 연약대 구간 공벽 유지 불필요 · 암중에 따른 비트의 선별적용 가능 · 수입품으로 고가
구 분	시멘트 몰탈형	레진형	자천공형
개요도			
개요	· 시멘트 몰탈에 의해 강재와 암반 부착	· Bolt회전에 의한 레진의 교반, 경화에 의한 볼트정착	· 자천공 시스템에 천공, 그라우팅 정착 작업의 일괄수행
특징	· 볼트연장: 2~8m · 장기 내구성 양호 · 공사비 저렴 · 누수개소 시공공란 · 시멘트로 감싸므로 내부식성 양호 · 경제성 우수	· 볼트연장: 2~6m · 시공실적 다수 · 정착시 경화시간이 짧고 유출수 영향 작음 · 조기강도 우수 · 경제성 우수	· 볼트연장: 2~15m · 단층대 및 연약대 구간 공벽 유지 불필요 · 암중에 따른 비트의 선별적용 가능 · 수입품으로 고가

랜드시멘트와 물로 이루어지고, 레진과 같은 그라우트나 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드 섬유 등과 같은 대체 재료의 개발이 진행되었다.

표 1은 볼트 재질 및 충전재에 따른 록볼트의 종류를 나타내고 있다.

2.2 케이블 볼트의 사용 목적

이형철근 록볼트와 철망, 슛크리트와 같은 지보재는 일반적으로 작은 span의 터널에 사용되어왔다. 그러나, 터널 교차부나 지하공동과 같은 큰 span에서는 강도 및 길이의 증가가 가능한 장점으로 인해

케이블 볼트가 매력적인 지보재이다. Span이 크다는 것은 보다 큰 압괴의 낙반 가능성이 있다는 것을 의미하므로 지지력이 큰 케이블 볼트에 의해 효과적으로 지지될 수 있다. 또한, 케이블 볼트는 절리와 같은 약한 면을 따른 분리를 방지하기 위해 암반 깊숙이 설치되어 큰 체적의 암반을 보강할 수 있으며, 암반의 연속체 특성을 유지함으로써, 암반이 고유강도를 발휘하도록 하고 전체적인 안정성을 향상시킨다. 한편, 굴착면에서 암반블록을 지지함으로써 암반이 이완되고 약해지는 것을 방지한다.

2.3 케이블 볼트의 역할

케이블 볼트는 보강과 압괴를 매다는 기능의 조합으로 암반을 지지한다. 보강기능으로서 케이블 볼트는 암반내 약면의 불리와 미끄러짐을 방지하고, 보통거친 절리나 균열면이 분리되지 않는다면, 이러한 불연속면의 영향은 최소화 될 수 있다. 연속적인 암반은 거의 항상 불연속암반보다 강하다. 따라서, 케이블 볼트는 불연속암반의 고유강도를 발휘하도록 한다. 그러나, 케이블 볼트는 연속암반의 전반적인

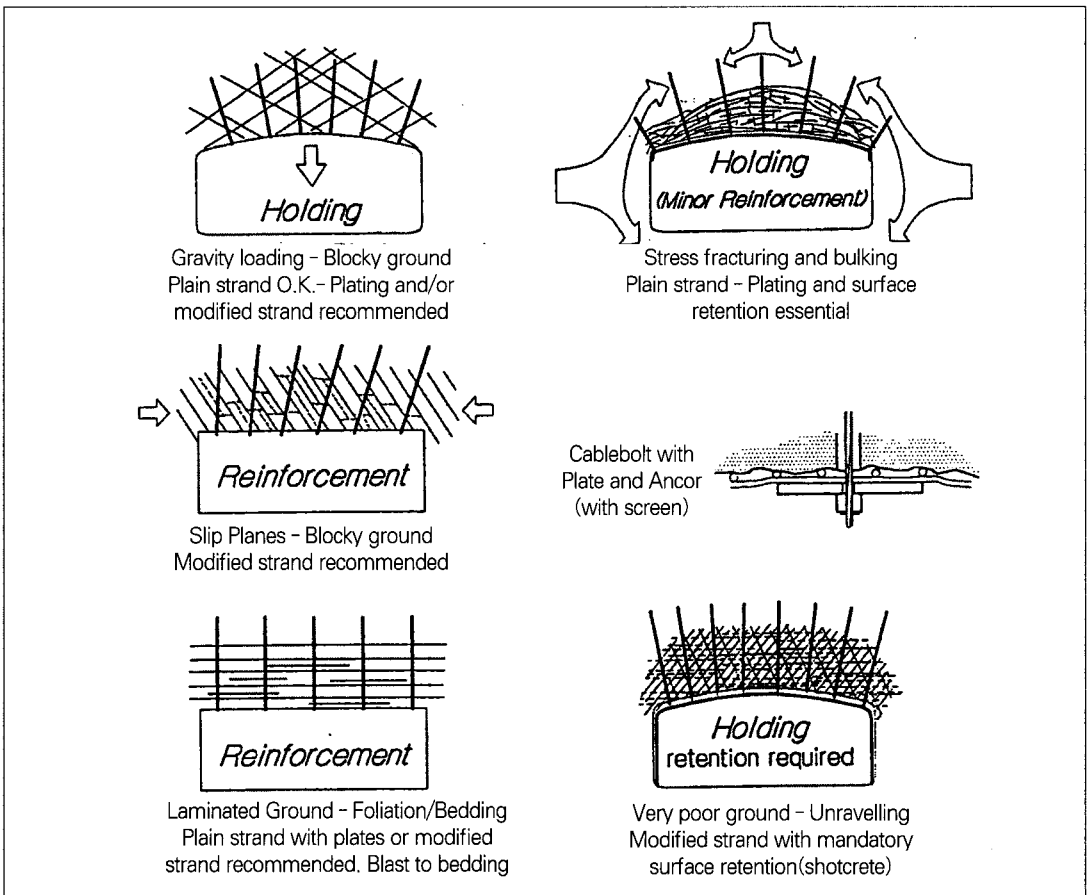


그림 2. 케이블 볼트의 역할



강도를 증가시키거나 높은 응력을 받는 암반에 균열이 발생하는 것을 막지는 못한다.

암반의 고유강도가 발생응력에 저항할 만큼 충분하지 않거나, 불연속면이 불리하게 작용하여 암괴의 자유낙하나 탈락에 이르게 되는 경우라면 케이블 볼트는 암괴의 탈락을 방지하는 효과적인 지보재가 될 수 있다.

불량한 암반에서 철망, 슛크리트와 같은 표면덮개와 병용되지 않는다면 케이블 볼트는 비효과적인 지보재이다. 균열이 발달한 경우 케이블 볼트는 균열 암반을 지지할 수 없는 문제점이 있기 때문이다.

2.4 케이블 볼트의 특징 및 적용성

이형철근 록볼트에 대하여 케이블 볼트의 가장 큰 장점은 인장강도를 증가시킬 수 있고 터널의 크기가 작더라도 장척볼트의 시공이 가능하며, 필요시 절단이 용이하다는 것이다. 일반적으로 직경 25mm 이

형철근 록볼트의 항복강도가 17.5톤이나 케이블 볼트의 항복강도는 30톤 이상까지도 얻을 수 있다. 또한, 이형철근 록볼트의 경우 유연성이 작아 록볼트의 길이 만큼의 터널단면이 확보되어야 하지만, 케이블 볼트의 경우는 단면이 작아 작업공간이 협소한 경우에도 강연선의 유연성으로 인해 약 40m까지 시공이 가능한 장점이 있다.

그림 3은 케이블 볼트의 활용이 가능한 대표적인 사례를 나타내고 있다. 교차터널에서 지간이 큰 교차구간 천정부의 보강, 터널에 인접한 단층대의 보강에 활용이 가능하다. 또한, 케이블 볼트의 특징을 가장 잘 활용할 수 있는 사례는 선진도갱을 이용한 보강방법이다. 지반이 불량한 경우 선진도갱을 이용하여 볼트를 설치하여 지반이치를 형성시킨 후 본 터널을 확대굴착하는 방법이다. 마지막은 막장용 장척록볼트로의 활용이다. 절단이 용이하기 때문에 값비싼 GRP 볼트 등을 사용하는 것보다 경제적인 방법이 될 것이다.

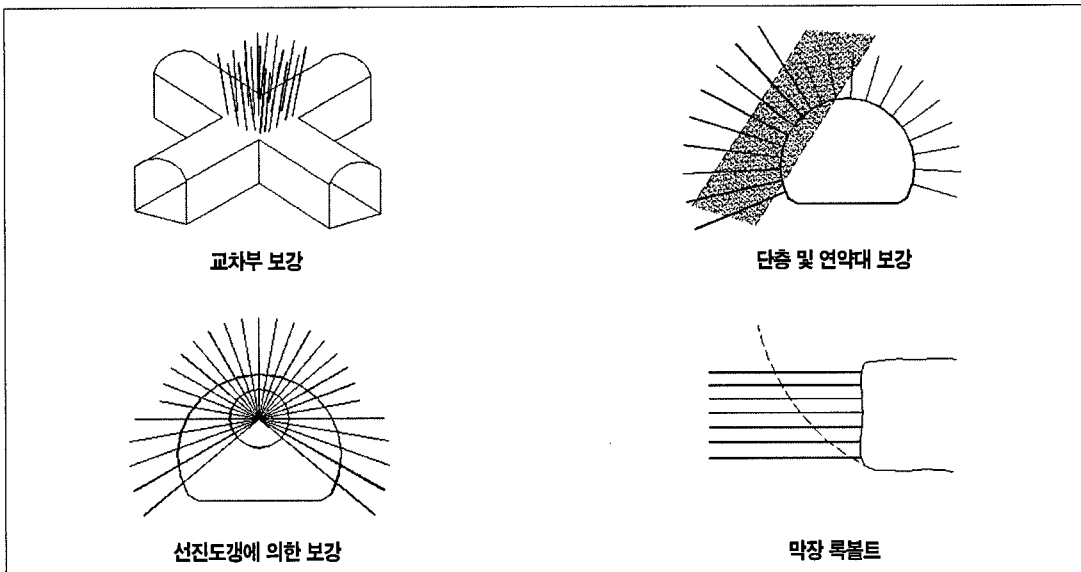


그림 3. 케이블 볼트의 활용

해외사례조사결과 케이블 볼트는 절리가 많은 연암이나 균열이 심한 암반 및 토사구간에서는 유연한 재료특성상 보강효과가 작으며, 대체로 양호한 암반에서 보강효과가 우수한 것으로 나타났다. 그러나, 이탈리아 세레나 터널에서는 팽창성 지반의 선행보강으로 적용하여 변위량을 25%정도 감소시킨 사례가 있다. 한편, 일본의 경우에도 연약한 지반에 케이블 볼트를 적용하여 보강효과를 얻은 시공예가 많다.

2.5 경제성 비교

케이블 볼트는 강연선의 재료비가 저렴하므로 전용장비를 사용할 경우 기타 록볼트 공법에 비해 경제적인 장점이 있다. 표 2는 스웨덴 광산에서 수집된 자료를 근거로 다양한 록볼트의 경제성을 비교 분석한 것이다.

일반적으로 가장 저렴한 것으로 알려진 이형철근 록볼트(Rebar)에 비해 m당 2.34달러 가량 저렴한

것으로 분석되었다.

3. 케이블의 종류 및 부속장치

3.1 케이블의 종류

일반적으로 케이블 볼트는 프리스트레스를 가하지 않는 전면접착형이므로 케이블과 그라우트재의 정착력을 증가시키기 위해 표 3과 같이 케이블에 여러 장치를 부착한 것, 강연선을 꼬아만든 것 등 여러 가지가 있다.

3.2 케이블 볼트의 부속장치

케이블 볼트는 상향 설치시 주입재가 경화되기 전까지 고정되어 있어야 한다. 몇 가지 단부고정장치의 예가 아래 그림 4에 소개되어 있다. 천정부에서

표 2. 록볼트 경제성 비교(www.swedengineers.com)

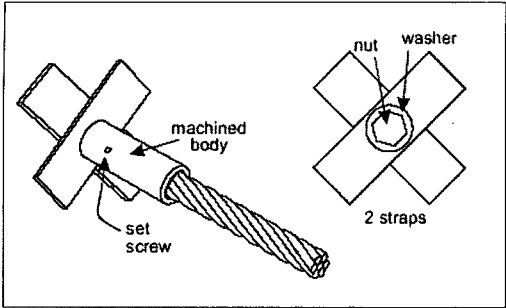
US m

Items	Rebar	Frictionbolt	Expansion shell anchored bolt	Cablebolt	Resinbolt
Rebar with washer/m	2.13	-	-	-	2.50
Friction anchored boltw. washer/m	-	6.00	-	-	-
Expansion shell anchoredbolt w. washer/m	-	-	3.50	-	-
Cable/m	-	-	-	0.88	-
Labor costs drilling/m	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Labor costs mounting/m	1.50	0.50	0.50	0.50	0.63
Grout/m	0.14	-	-	0.14	-
Resin costs	-	-	-	-	2.60
Maintenance costs					
drilling unit/m	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Maintenance costs					
mounting unit/m	0.63	-	0.63	0.38	-
Drill steel costs	0.81	0.81	0.81	0.97	0.81
Sum/m	8.21	10.31	8.44	5.87	9.54

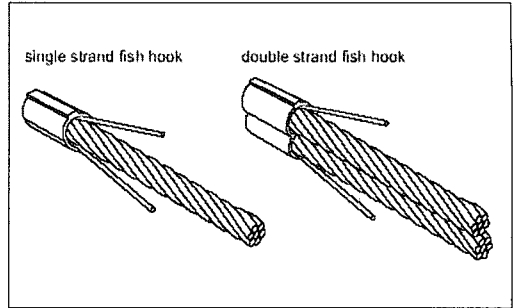


표 3. 케이블 볼트용 케이블의 종류

	Longitudinal Section	Cross Section
Single plain strand		
Double plain strand with spacers		
Birdcaged strand		
Bulbed strand		
Ferruled strand		
Nutcaged strand		
Epoxy-coated or encapsulated strand		
Buttoned or swaged strand		

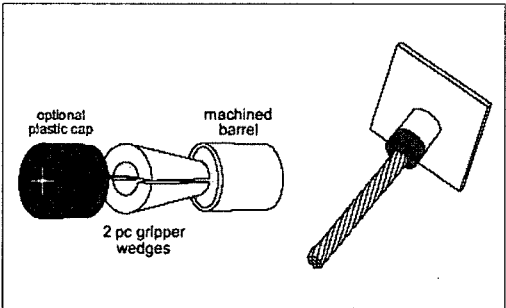


Conventional Style

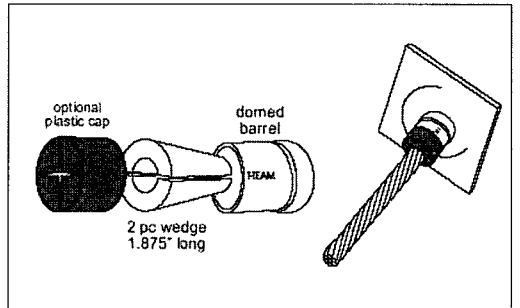


Fish Hook Style

그림 4. 단부 고정 장치

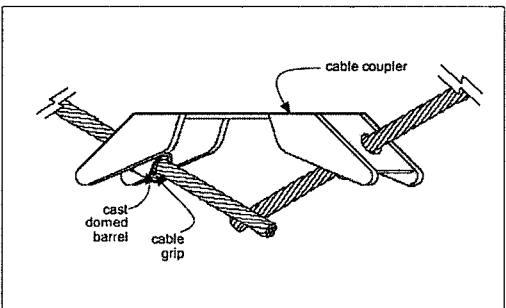


Mechanized Cable Grip

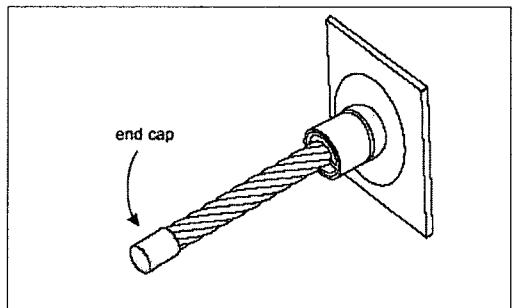


Domed Cable Grip

그림 5. 두부 고정 장치



Cable Coupler



Cable Safety End Cap

그림 6. 케이블 커플러와 안전캡

케이블 볼트의 낙하는 작업자에게 심각한 부상을 입힐 수 있다. 단부고정장치 선정시 주 고려사항은 시공성, 경제성, 천공 홀 크기, 볼트 삽입방법, 주입재 주입방법 등이다. 케이블 볼트가 길 경우 보다 견고

한 고정장치가 필요하다.

암반을 지지하기 위해 케이블 볼트 두부에는 그림 5와 같이 플레이트와 고정장치가 필요하다. 두부고정장치는 볼트하중을 플레이트에 전달하는 역할을 한다.



4. 케이블 볼트의 시공

4.1 시공 장비

케이블 볼트 시공장비는 TAMROCK의 CABOLT 시리즈와 ATLASCOPCO의 Cabletec LC 등이 있으며 유럽과 일본 등에서 사용되고 있다. 두 장비의 사진 및 제원은 그림 7 및 표 4와 같다. 전용기의 주요 구성설비는 드리프트 로드, 유압장비, 케이블 삽입기, 강연선, 정착용 주입믹서 등이 일체로 구성되어 있으며 천공 → 케이블 삽입 → 주입 등의 작업을 한 대의 장비로 수행 가능하다.

4.2 시공 방법

케이블 볼트를 설치하고 천공 홀을 그라우팅하는 방법에는 여러 가지가 있다. 천공 홀의 방향, 케이블 볼트의 종류, 주입재의 유동 특성, 주입 장비의 적용성 등에 따라 최선의 방법을 선택하여야 하며, Breather Tube Method와 Grout Tube Method가 가장 일반적으로 사용되는 방법이다. 정착재의 충전 방식은 선 충전방식과 후 충전방식이 있으며, 충전

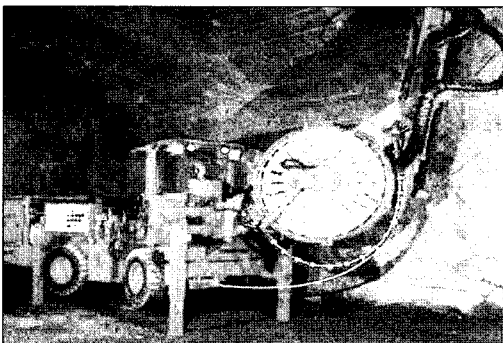
표 4. 케이블 볼트 전용장비 비교

구 분	CABOLT-08-5 Cabin	Cabletec LC
제 작 사	Tamrock	Atlascopco
전장(m)	13.22	14.04
폭(m)	2.75	2.71
높이(m)	3.335	3.35
전중량	26.5	28.0
케이블 볼트 단면적	φ15.2	φ15.2
천공경	φ51(51~64)	φ51(51~76)
장비가격	10.0억	8.5억

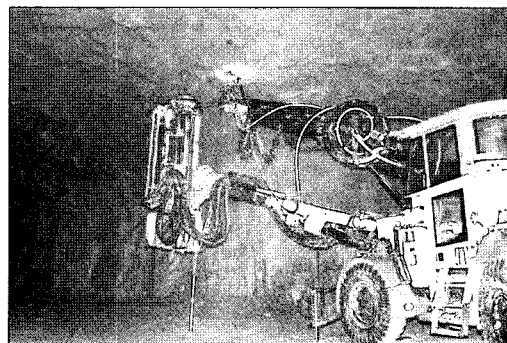
성을 고려하면 선 충전방식은 천공 후 약간 하향으로 후 충전방식은 약간 상향으로 충전하는 것이 바람직하다.

4.3 시공시 주의사항

케이블 볼트의 보강효과를 얻기 위한 주요영향인자는 그라우트재와 보강재의 부착강도, 그라우트재와 지반의 부착강도, 보강재의 파단강도, 지반의 전단강도 등이다. 따라서, 케이블 볼트 적용시에는 천공홀 전체에 확실하게 그라우트재가 충전되어야 하며, 보강재의 충분한 인장강도가 필요하다. 또한, 보강재의 형상이 그라우트재의 정착강도를 확보할 수

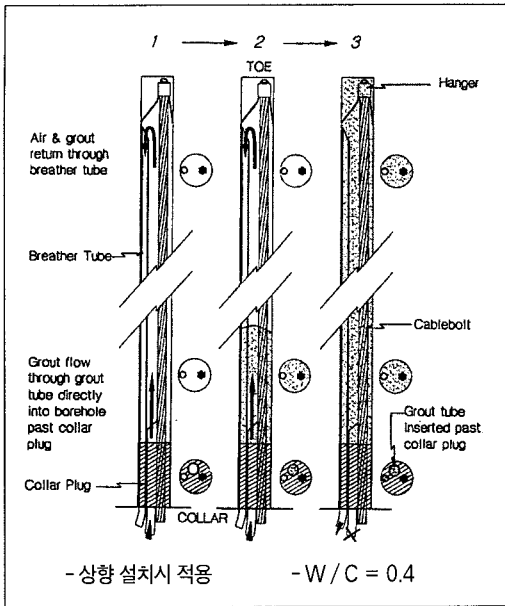


TAMROCK CABOLT

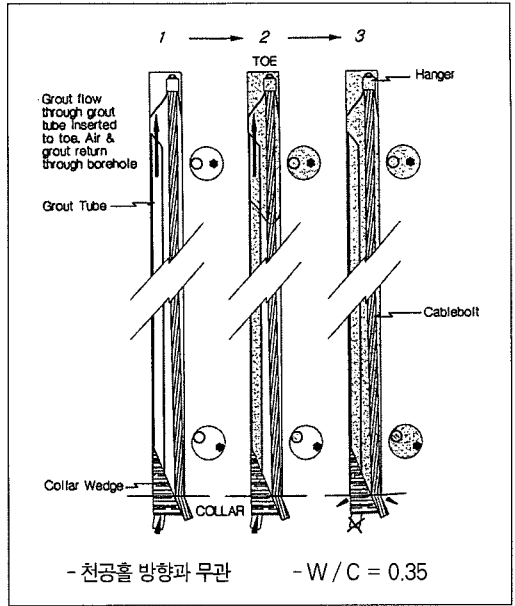


ATLASCOPCO Cabletec LC

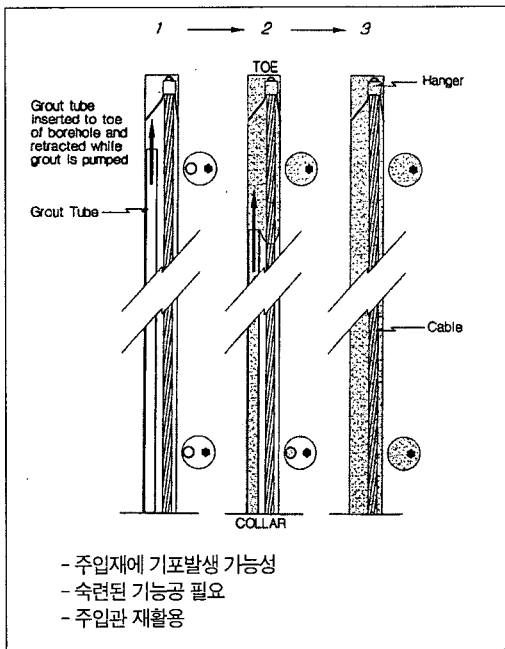
그림 7. 케이블 볼트 전용 장비



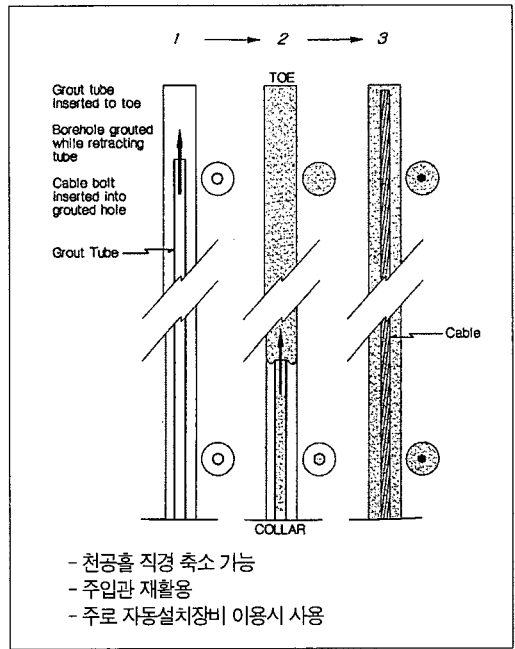
Breather Tube Method



Grout Tube Method



Retracted Grout Tube Method



Grout and Insert Method

그림 8. 케이블 볼트 시공 방법



있도록 매끄럽지 않아야 하며 그라우트재의 경화 후 지반과 밀착되어야 한다.

한편, 연약한 지반, 균열 및 절리가 발달한 지반 그리고 파쇄대 적용시 고려사항으로는 천공경을 확대하여 그라우트재와 지반의 부착강도를 증대시키고 지반의 단위면적당 부담량의 경감을 도모하여야 한다. 더욱이, 적정 그라우팅 방법 선정으로 지반개량에 의한 지반의 내하력을 증대시켜야 한다.

5. 케이블 볼트의 설계

암반지보설계에 있어서 굴착에 의해 응력과 중력의 평형이 이완된 암반의 보강이 필요하다. 이완된 암반은 새로운 평형상태에 도달하기 위해 변형해야 한다. 따라서, 지보재는 암반의 과도한 변형을 방지하면서 이러한 평형에 도달하도록 하는 것을 목적으로 한다. 이 때 필요한 지보재의 특성은 강성, 강도, 변형구속력 등이다.

대상지반조건이 매우 복잡한 경우 해석적 방법을 이용하기가 곤란하다. 이러한 경우 대안으로서 암반

분류법에 의한 설계방법이 있다. 케이블 볼트의 설치간격은 록볼트 설치를 위해 필요한 전체 소요지보압에 의존한다. 케이블 볼트의 경우 강연선 개수를 증가시킴으로써 허용축력을 증가시킬 수 있으므로 록볼트에 비해 설치간격을 넓힐 수 있다. 그러나, 이 경우 볼트 사이 암괴의 국부적인 탈락이 발생할 수 있으므로 철망 등과 함께 사용하여야 한다.

케이블 볼트의 길이는 일반 록볼트 길이 산정 방법에 따라 결정할 수 있다. 그러나, 케이블 볼트는 정착길이가 길고 설치과정에서 단부에 0.5~1.0m의 간극이 발생하므로 록볼트 길이 산정방법에 의해 결정된 길이에 최소 2m를 추가하여야 한다. 그림 9는 Grimstad 등이 Q-system에 의해 케이블 볼트를 설계할 수 있도록 수정한 도표이다.

케이블 볼트는 중간정도의 응력수준의 절리가 발달한 암반에서 중규모 또는 대규모 공동에 이상적으로 적용될 수 있다. 그림 10은 RMR 및 Q에 기초하여 적용성이 양호한 범위를 나타내고 있다. 그림 11은 미공병단에서 제시한 록볼트 및 케이블 볼트에 대한 설계도표를 나타내고 있다. 볼트간격, 길이 및 지지압력 등을 결정할 수 있다.

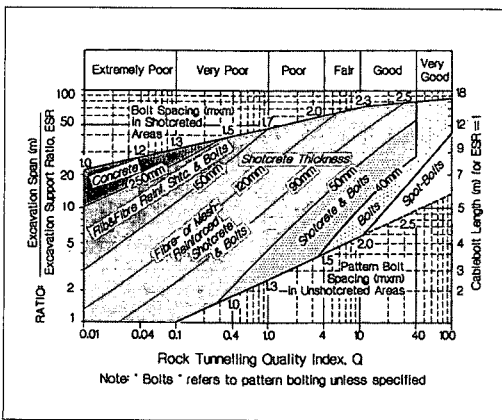


그림 9. 터널 지보설계 지침(Grimstad 등, 1993)

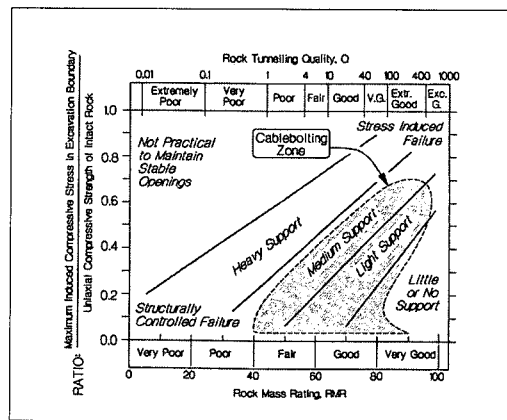


그림 10. 케이블 볼트의 적용 한계(Hoek, 1981)

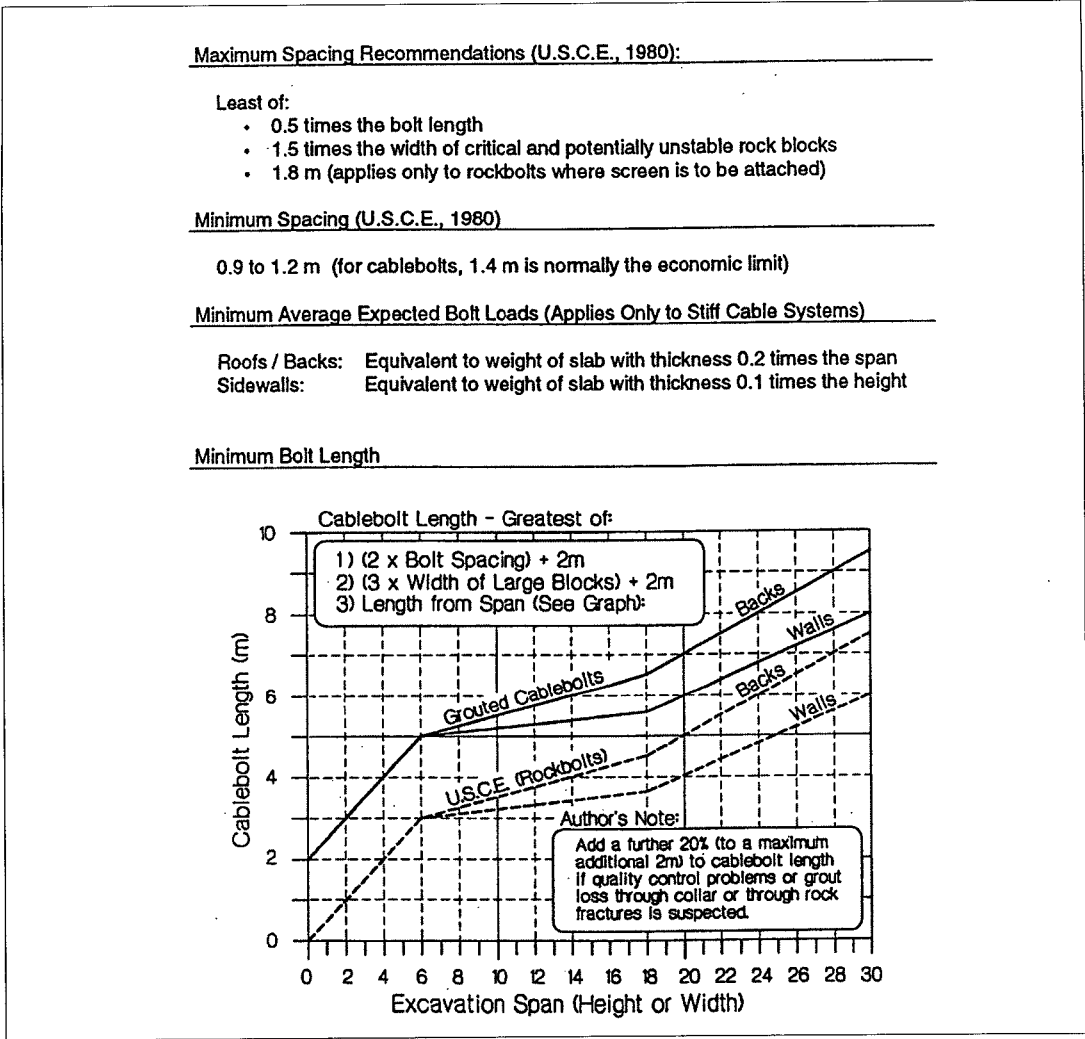


그림 11. 볼트 설계 지침(U.S.C.E., 1980)

6. 결론

이상과 같이 케이블 볼트에 대하여 간단히 살펴 보았다. 각종 문헌이나 외국의 사례에 따르면 케이블 볼트가 다양한 목적으로 널리 사용되고 있다. 국내에서도 각종 문헌을 통하여 이미 소개되기도 하였지

만, 선진도갱에서의 보강볼트나 막장볼트와 같이 볼트 설치 후 절단이 필요한 경우에 GRP 볼트에 비해 경제적이다. 또한, 작은 터널단면에서 간 볼트의 시공이 필요한 경우 등에는 그 효율성이 매우 클 것으로 판단된다. 다양한 검토를 통하여 국내 터널공사에서도 케이블 볼트가 효율적으로 적용될 날을 기대해 본다.



참고문헌

1. ケーブルボルトに関する 調査研究報告書(1997), Geofront 研究会, ケーブルボルトWG

2. Hoek, E. and Brown, E.T. (1980), "Underground Excavations in Rock", London

3. Hoek, E., Kaiser, P.K., and Bawden, W.F., (1995), " Support of Underground Excavations in Hard Rock", Rotterdam : A.A. Balkema, pp.165~175

4. Hutchinson, D.J., and Diederichs, M.S.(1996), "Cablebolting in Underground Mines", BiTech

5. Windsor, C.R. (1997), "Rock reinforcement systems", Int. J. Rock Mech. And Min. Sci. Vol.34, No. 6, pp.919~951

서해안 지반 설계·시공 기술 학술발표회 논문 모집

한국지반공학회 준설매립기술위원회에서는 최근 서해안 개발(인천, 평택, 아산, 군산, 장항등)과 관련하여 서해안 지반에 대한 설계·시공 기록을 회원간에 공유하고자 학술발표회를 개최합니다. 서해안 개발과 관련된 설계·시공 기술에 관하여 회원여러분의 많은 관심과 논문 참여를 바랍니다. 특히, 현장관련 자료가 많이 제출되기를 바랍니다.

- >> 주제 : 서해안 개발의 과거와 현재, 미래
- >> 주최 : 한국지반공학회 준설매립기술위원회
- >> 일시 : 2006년 1월중
- >> 장소 : 서울 삼성동 섬유센터빌딩(예정)
- >> 논문 모집 분야(지역별 특성 고려)

- 최근 및 과년도 서해안 항만 시공사례
- 서해안 지반관련 항만 및 지반의 설계 기술
- 서해안 지반관련 항만 및 지반의 해석 기술
- 서해안 지반관련 항만개발 지반조사 경험
- 서해안 지반관련 항만 및 지반의 계측 기술
- 서해안 지반관련 항만의 신공법 적용사례

>> 논문제출 일정

- 2005.12.10 논문 초록 제출 마감
- 2006. 1.10 논문 완성본 제출 마감

>> 논문초록 제출 : sj98@kimpo.ac.kr

연 락 처 : 양태선 교수(김포대학) Tel 031-999-4662, HP 011-9081-4955

(논문초록은 제목, 발표자, 개요등을 포함하여 A4 1페이지로 작성하여 제출하고 논문완성본은 한국지반공학회 학술발표회 논문작성 양식을 사용하며 홈페이지를 참조바랍니다)