

장대록볼트 정착방식에 따른 인발거동특성 사례연구

한상현¹ · 여규권^{2*}

¹서일대학 토목과, ²삼부토건(주) 기술연구소

A Case Study on Tensile Behavior Characteristics of Long-length Rockbolt for Anchoring Systems

Sang-Hyun Han¹ and Geu-Guwen Yea^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Seoil College

²R&D Division, Sambu Construction Co., Ltd.

지하발전소 시공을 위한 지하대규모 공동 굴착시 소성영역이 크게 발생되므로 일반적으로 장대록볼트를 이용한다. 그러나 장대록볼트 설치시 록볼트 길이에 따른 휨발생과 정착효과에 대한 문제가 야기되고 있다. 따라서 본 연구는 지하대규모 공동 굴착시 가장 효율적인 정착방식을 결정하기 위하여 천단부와 측벽부에서 장대록볼트의 길이를 5.0 m, 7.5 m, 10.0 m, 15.0 m와 정착방식을 톱니 모양, 홈 모양 및 매끈한 모양으로 변경시키면서 현장인발시험을 실시하였다. 현장인발시험에 의하여 하중과 변위를 단계별로 측정하고 거동특성을 평가하여 개선된 정착방식을 제시하였다.

주요어 : 장대록볼트, 정착방식, 인발시험, 하중, 변위

Recently, large-scale underground cavern such as underground hydraulic-power plant tend to be constructed very largely, so long-length rock bolt are generally used to support the huge plastic zone. However, problems for bending shape of the long-length steel bar and the bonding effects of anchoring systems are caused during the construction of the long-length rock bolt. In this study, field pull-out test for long-length rock bolt are carried out to estimate the most efficient anchoring system among the saw-toothed shape, grooved shape and smoothed shape with each 6 shells for 5.0m, 7.5m, 10.0m, 15.0m length. The axial load and axial displacement are measured with each load stage and than test results are analyzed to evaluate the behavior characteristics for each anchoring systems of long-length rock bolt. Also, the improvements of anchoring systems are proposed and discussed in this paper.

Key words : long-length rock bolt, anchoring system, pullout test, load, displacement

서 론

록볼트는 굴착단면의 형상에 대하여 제한을 받지 않고, 설치가 용이하여 타 공법에 비하여 저비용이며 전체 공정이 기계화 시공이 가능하므로 19세기 말에 도입되어 토목현장의 지하굴착공사에 광범위하게 사용되고 있다. 또한 터널현장에서 발파 및 기계굴착시 발생하는 주변 원지반의 소성영역 확대를 억제하고 원지반의 안정성을 증가시키며 굴착부분이 일시적으로 개방됨에 따른

취약점을 보완하여 2차 변형 발생을 억제하는 주 지보재 역할을 하고 있다.

록볼트는 기능적인 측면에서 영구적인 목적과 임시적인 목적으로 사용되며, 배치방식에 따라 부분적으로 지반의 결함을 중점적으로 보강하는 랜덤 볼팅(Random Bolting) 배치방법과 볼트를 규칙적으로 배치하여 굴착면 주변에서 지반아칭을 형성시키기 위한 시스템 볼팅(Systematic Bolting) 배치방식이 이용된다. 그리고 시공시 록볼트의 선단 및 주변부의 처리방식에 따라 선단장

*Corresponding author: moonju@sambu.co.kr

치에 의해 정착되는 록볼트와 마찰력에 의해 정착되는 록볼트 그리고 그라우트에 의해 정착되는 록볼트와 록 앵커 등으로 분류할 수 있다.

본 연구현장은 대형 지하발전소 굴착현장으로 시설규모가 높이 53.0m, 폭 25.0m 및 길이가 116.0m의 지하공동식이며 상부는 돔(Dome)형태이고 하부는 구형이다. 본 현장은 대규모 지하공동으로 일반 터널현장과 달리 이완영역이 크므로, 록볼트의 시공길이를 천단부가 7.5m와 10.0m이고 측벽부를 5.0m, 7.5m, 10.0m 및 15.0m인 장대록볼트로 계획하였다. 그러나 실시공사 천공길이가 길어 정착단까지 삽입시 지중에 의하여 록볼트의 휨이 발생하였고 또한 정착여부 등에 관한 문제가 야기되었다.

따라서 가장 효율적인 지하대공동의 장대록볼트 정착 방식을 결정하기 위하여 천단부와 측벽부에서 록볼트의 길이와 선단정착방식을 변화시키면서 시험시공을 단계별로 수행하였다. 또한 현장인발시험을 통해 하중과 변위 관계를 측정하여 장대록볼트의 인발저항특성을 연구하였다.

따라서 본 연구를 통하여 지하 대규모 공동과 같은 대규모 굴착시 적용되는 장대록볼트의 거동특성을 연구하여 개선된 선단정착방식을 제시하고자 한다.

록볼트 종류에 따른 인발저항 특성

록볼트와 케이블볼트의 허용 인발하중은 볼트의 종류에 따라 다르고 동일한 볼트 종류에 대해서도 허용 인발하중은 상당히 변한다. 이러한 변화의 원인은 주로 록볼트의 시공과정과 보강재 파괴면의 다양성에 의해 기인된다. Fig. 1(a)~(f)는 여러 종류의 볼트에 대하여 인발시험을 수행한 결과를 나타낸 그림이다(Bengt, 1986). 여기서, 인발시험은 기계적인 정착방식, 시멘트형 정착방식, 레진형 정착방식, 연성 케이블 볼트, 스플릿 셋(split set)과 스웰렉스 마찰식 록볼트에 대한 시험결과로, 연성 케이블 볼트가 수행된 석영반암층을 제외하고(Singh, 1985) 나머지는 동일한 백운암층에서 실시한 결과이다.

그러나 상기 인발시험결과는 지층조건과 시험과정의 한계성 및 제한성으로 인해 록볼트의 종류에 따라 상기 결과를 확립적으로 사용할 수 없으나 인발거동특성 평가를 위한 참고자료로 활용할 수 있다. 만약 록볼트에 전단력이 작용하면 순수하게 인장응력을 받을 때보다 허용응력은 감소한다. 이러한 강도의 감소는 록볼트의 종류와 설치각도에 따라 다르며 마찰로 지지되는 록볼트

는 레진형 또는 전면시멘트 접착형 록볼트보다 전단변위에 대한 저항력이 떨어진다(Ludvig, 1984).

록볼트의 설치면과의 각도가 40° 이하이면 록볼트의 파괴는 인장응력 상태이며, 40° 보다 크면 인장력과 전단력이 동시에 발생한다. 록볼트의 설치각도가 90°에 접근하면 파괴형상은 전단파괴에 가까워진다(Bjurstrom, 1973).

케이블 록볼트에 대한 전단시험 결과 스틸볼트보다 더 큰 전단변위에 저항할 수 있음을 보였다. 이것은 두 개의 보강부재 시공에 있어서 지보형식의 차이점에 의해 기인된 것으로 판단된다. 케이블의 와이어는 작용하는 전단력을 재분배하며, 이와 같은 특성은 연성로프(Flexi-rope)와 같은 강연선에 잘 적용된다.

현장 실험

현장개요

본 현장은 지하발전소 신축현장으로 경상남도 산청군에 위치하고 있으며 시설규모가 높이 53.3m, 폭 25.0m 및 길이가 116.0m의 지하공동식이며 상부는 돔 형태이며 하부는 구형이다.

록볼트의 시공길이는 천단부가 7.5m와 10.0m이고 측벽부는 5.0m, 7.5m, 10.0m 및 15.0m인 장대록볼트로 계획되었다. 록볼트의 종류는 선단부 레진(Resin)형 정착방식으로 계획되었으나 시공시 장대록볼트의 천공길이가 길어 정착단까지 투입과 정착 확인이 어려워 품질관리에 대한 신뢰성이 저하되었다. 그리고 삽입 중 정착단 이전에서 레진형 카트리지(Resin Cartridge)가 파손될 경우 급결로 인하여 수정 방법이 없으며, 천공직경(64mm)에 비하여 레진형 카트리지의 직경(26mm)이 적어 정착효과가 불확실하였다. 일반적으로 효과적인 레진믹싱(Resin Mixing)의 범위는 천공경과 레진형 카트리지의 차이가 13mm 이하여야 된다. 특히, 천단부의 경우 수직 록볼트의 레진 시공은 천공구멍 선단부에 정착 시키기가 곤란하다. 또한, 소요 천공길이가 길어 시공상의 효율성을 확보하기 위하여 1000 rpm 이상의 드릴장비를 사용하였다.

상기와 같은 현장여건을 고려하여 장대록볼트 제원 및 선단정착방식을 변경하면서 인발시험을 단계적으로 수행하였다. 그리고 시공된 익스펜션 셸(Expansion Shell) 선단정착방식에 대하여 축력을 측정하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 지하발전소 굴착 시공단면 및 록볼트 시공전경을 각각 나타내고 있다.

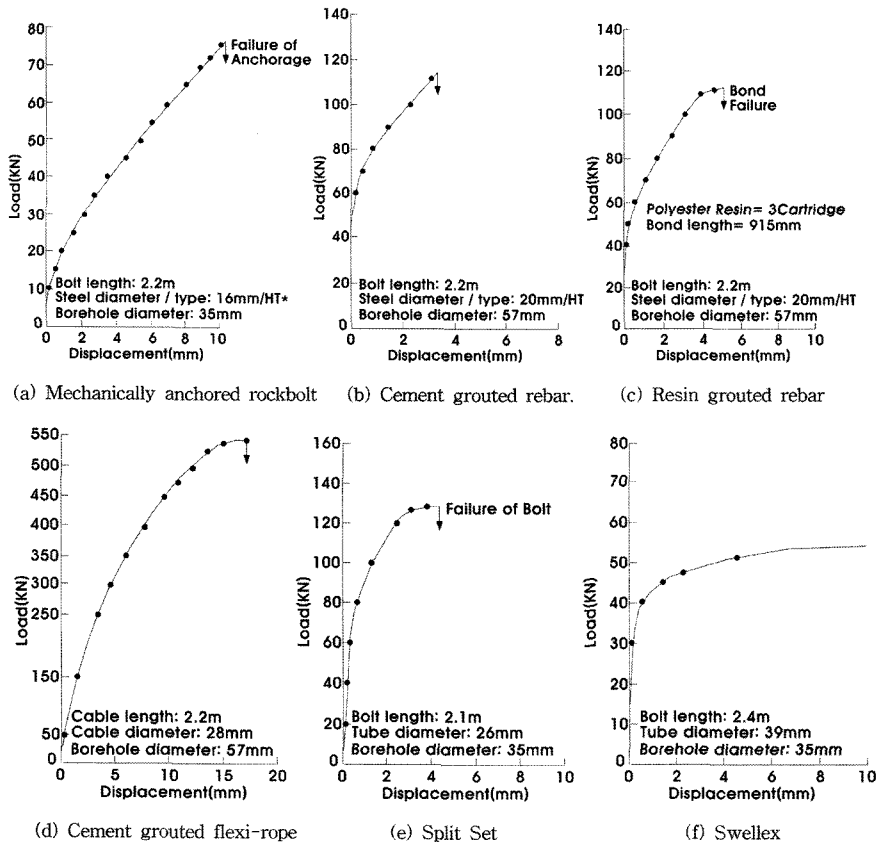


Fig. 1. Tensile behavior characteristics for rockbolt types. (Bengt, 1986)

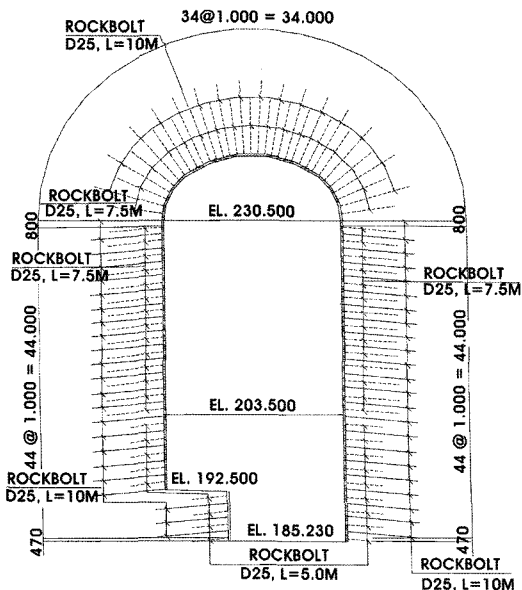


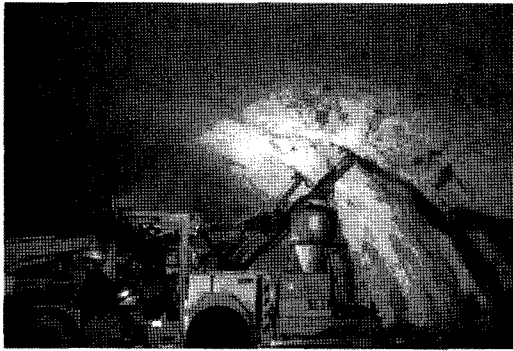
Fig. 2. Typical section for large-scale underground cavern.

지반특성

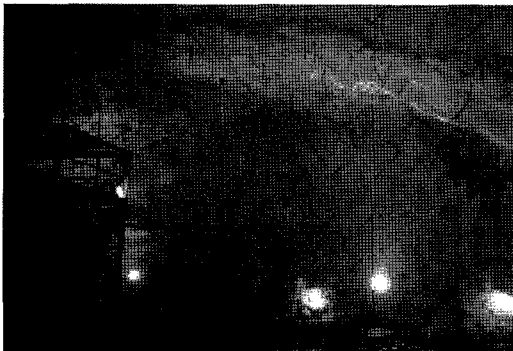
본 지하발전소 굴착공사는 진구간이 경암인 지리산 편마암 복합체로 주로 변성암류가 남북방향으로 대상분포를 나타내고 있다. 그리고 부분적으로 변성암류가 분포하는데 이는 여러 종류의 편마암으로 구성되어 있으며, 고기 퇴적암이 광역변성작용과 이에 수반한 화강암화 작용에 의해 변성된 것으로 그 생성시대는 명확하지 않다. 지하공동 천정부에서 채취한 암석시료의 물성·역학시험 결과는 Table 1과 같다. 그리고 지하공동 E.L+239.0m~E.L+185.0m(h=54.0m)지점의 TCR은 100%이고 RQD는 49%~97%로 분포하나 대부분이 80% 이상의 Good에서 Excellent한 상태이다. 수압시험결과 Lu치는 0.09~0.95로 나타났다.

현장 인발시험

장대록볼트 현장인발시험은 총 4회에 걸쳐 단계적으로 수행하였다. 시험장비는 Jumbo drill 3 Boom 353E



(a) During the Construction



(b) After the Construction

Fig. 3. Installation of rock bolt.

1대와 인발시험기(RCH 302) 그리고 다이얼게이지(1/100mm)와 마그네틱 홀더 각각 2개를 이용하여 변위를 측정하였다. 인발시험은 선단부 레진형 정착방식과 익스펜션 셀형 정착방식에 대하여 천단부와 측벽부를 구분하여 실시하였다.

선단부 레진형 정착방식에 의한 시험방법은 지하공동 천단부에 레진을 삽입하여 록볼트를 회전시켜 정착시킨 후 반력판을 록볼트측에 직각으로 부착시킨 후 인발시험기로 록볼트에 하중을 가하며 이때 발생된 변위량을 측정하여 구한 하중-변위량 곡선으로부터 록볼트의 정착상태를 판단하였다.

익스펜션 셀형 정착방식은 장대록볼트 선단에 익스펜션 셀을 사용하여 록볼트를 삽입, 정착시킨 후 반력판을

록볼트측에 직각으로 부착시킨 후 인발시험기로 록볼트에 하중을 가하며 이때 발생된 변위량을 측정하여 구한 하중-변위량 관계 곡선으로부터 록볼트의 정착상태를 평가하였다.

단계별 시험

1차 시험결과

선단부 레진형 정착방식과 2쪽 익스펜션 셀형 정착방식에 대하여 인발시험을 수행하였다.

선단부 레진형 정착방식의 록볼트는 천공경이 64 mm 이고, 길이가 10.0 m와 15.0 m인 록볼트에 대한 시험시공 중 천단부에서 레진이 록볼트를 타고 약 3.4 m 정도 흘러내려 록볼트 정착이 불가능하였다. 측벽 구간은 천공부의 경사가 하향 5°로 천공구멍에 지하수 유입에 의하여 공벽에 수막이 형성되어 록볼트와 암반의 정착이 불가능하였고 레진은 약 1.2 m 정도 유출되었다.

익스펜션 셀형 정착방식의 록볼트는 천공경이 76 mm 이고 길이가 10.0 m와 15.0 m로 정착장치는 나사산이 5개인 두 쪽 셀로 직경 5 cm, 길이 5 cm에 시험시공을 실시하였다.

천단부는 록볼트가 약 1.1 m 미끄러져 정착되어 록볼트의 시공길이가 짧아졌으며 변위량은 인발하중 15.0 ton에서 18.8 mm가 발생하였다. 즉, 록볼트가 인발되면서 정착된 것으로 판단된다. 그리고 측벽부는 익스펜션 셀이 2쪽이기 때문에 삽입시 한쪽으로 편기되어 정착이 불가능하였다. 그러므로 익스펜션 셀을 사용했을 때 록볼트가 미끄러지는 현상과 한쪽으로 편기되는 현상을 방지하기 위해서는 보완해야 될 것으로 판단하였다.

2차 시험결과

천단부에서 선단정착방식으로 나사산이 5개인 2쪽과 3쪽의 익스펜션 셀(직경 5 cm, 길이 5 cm)에 대하여 시험을 수행하였다. 록볼트의 천공경은 76 mm로 길이가 10.0 m와 15.0 m인 록볼트 시험시공을 수행하였다.

2쪽 익스펜션 셀은 천단부 선단에서 정착은 효율적으로 되었으나, 인발시험 중 하중 18.0 ton에서 변위량이 41.2 mm의 과대한 변위량이 발생하였다.

Table 1. Laboratory test results.

Unit Weight (g/cm ³)	Gravity	Compression strength (kg/cm ²)	Elastic Modulus (kg/cm ²)	Poisson Ratio	Cohesion (kg/cm ²)	Friction Angle (°)
2.77	2.75	1917	676,000	0.25	168	60

3쪽 익스펜션 셀은 선단부의 정착상태가 양호한 것으로 조사되었다. 그러나 시험도중 인발하중 증가시 마찰력이 부족하고 또한, 셀의 재질이 약하여 마모작용에 의한 미끄러짐이 발생하였다. 인발하중 18.0 ton에서의 변위량은 25.1 mm로 2쪽 익스펜션 셀에 비하여 변위량이 적게 발생하였다.

3차 시험결과

3쪽 익스펜션 셀에 대하여 추가 인발시험을 수행하였고 나사산이 4개의 톱니 모양으로 길이가 5 cm에서 8 cm로 변경하였고, 천공경 76 mm로 길이가 10.0 m와 15.0 m인 록볼트에 대하여 시험시공을 실시하였다.

천단부는 중앙에서 90°위치로 록볼트를 삽입하여 정착시킨 결과 상태가 양호하였고 인발하중 16.0 ton에서 47.4 mm의 변위가 발생된 후 정착되었다.

측벽부는 공벽과 천공각도가 90°의 위치에서 록볼트를 삽입한 결과 3쪽 익스펜션 셀을 사용하여 편기되지는 않았다. 그러나 천단부처럼 자중에 의하여 셀을 정착시킬 수 있는 힘이 없으므로 정착상태가 불량하여 인발 시험결과 록볼트의 미끄러짐 현상이 과대하게 발생하여 시험이 불가능하였다.

하중과 변위 특성

Fig. 4와 같이 천공경 64 mm이고 직경이 25 mm인 록볼트를 길이 7.5 m, 10.0 m와 15.0 m에 대하여 선단 정착장치를 변경시키면서 현장인발시험을 수행하였다.

선단정착장치인 익스펜션 셀은 Fig. 4(a)와 같이 셀의 개수가 6쪽이고 제원은 직경이 5 cm이고 길이가 8 cm이다. 단, 셀의 모양을 톱니 모양(나사산 4개), 홈 모양(홈 3개) 및 매끈한 모양으로 나누어 인발시험을 수행하였고

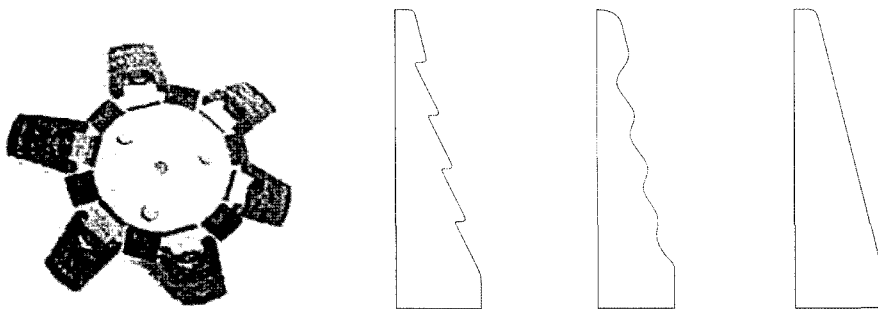
시험결과는 측벽부와 천단부로 구분하여 나타내었다.

천단부

천정부에 톱니 모양의 셀을 90°의 각도로 정착시킨 후, 인발시험을 실시하였으며 시험결과를 종축에 인발시험 하중, 횡축을 변위량으로 하여 Fig. 5(a), (b)와 같이 도시하였다. 선단 정착방식은 록볼트 선단에 익스펜션 셀을 사용하여 선단을 정착한 후 모르타르 그라우팅을 실시하였다. Fig. 5(a)는 록볼트의 길이가 7.5m인 경우 하중과 변위량 관계가 거의 선형거동을 나타냈고 최종 인발하중 20.0ton에서 29 mm의 변위가 발생하였다. Fig. 5(b)는 록볼트의 길이가 10.0 m일 경우 하중과 변위량의 관계 역시 선형거동이 발생되었고 최종 인발하중 16.0ton에서 19 mm의 변위가 일어나면서 정착되었다.

홈 모양의 셀 정착방식을 이용하여 천단부에서 90°의 각도로 10.0 m의 록볼트를 삽입하여 정착시킨 후 인발 시험을 실시결과를 Fig. 6(a), (b)와 같이 도시하였다. 인발시험결과 15.0ton에서 10.98 mm의 변위가 발생하면서 정착되었고 하중제하 상태에서 너트를 견고하게 체결한 후 하중을 제거하고 록볼트를 긴장시킨 후 하중을 11.0ton 까지 다시 재하 했을 때 4.8 mm의 변위가 발생하였다. Fig. 6(b)는 재하하중에 대한 변위량이 Fig. 6(a)에 비하여 상대적으로 작음을 알 수 있다.

매끈한 모양의 셀 정착방식을 이용하여 천단부에 90°의 각도로 7.5m의 록볼트를 삽입하여 정착시킨 후 인발 시험을 수행한 결과 Fig. 7(a), (b)와 같이 나타났다. 시험결과 Fig. 7(a)와 같이 18ton에서 20.15 mm의 변위가 일어나며 정착되었고 하중제거시 잔류변위량이 12.92 mm 발생하였고 다시 하중을 18.0ton 까지 재하 후 너트를 단단히 체결하여 하중을 제거하였다. 그리고 록볼



(a)Anchoring System (b)Saw-Toothed Shape (c) Grooved Shape (d) Smoothed Shape

Fig. 4. Layout for anchoring system.

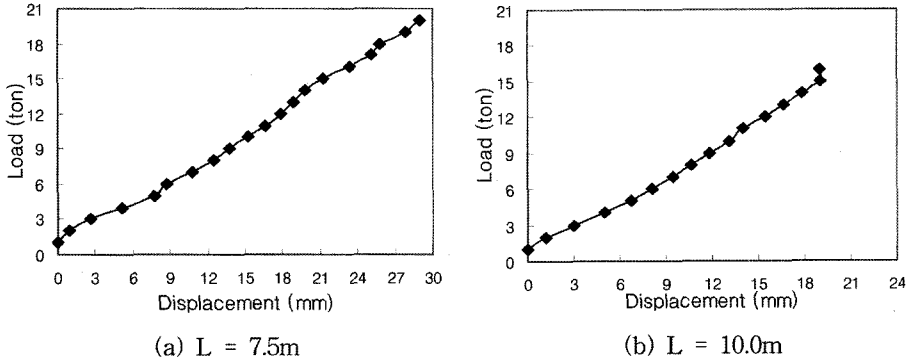


Fig. 5. Saw-toothed shape for crown.

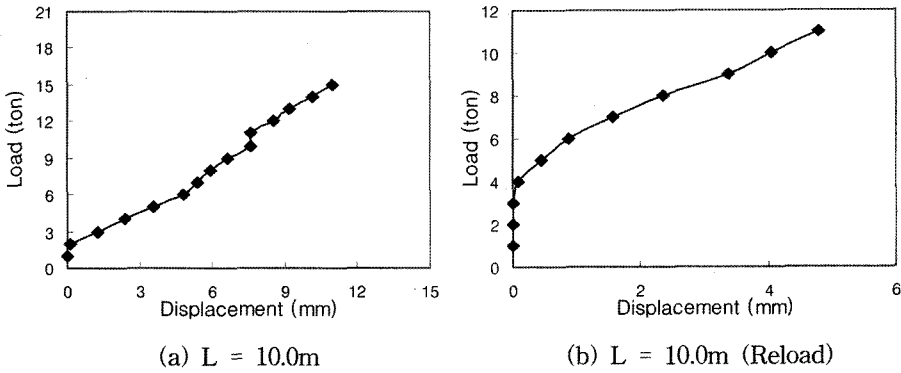


Fig. 6. Grooved shape for crown.

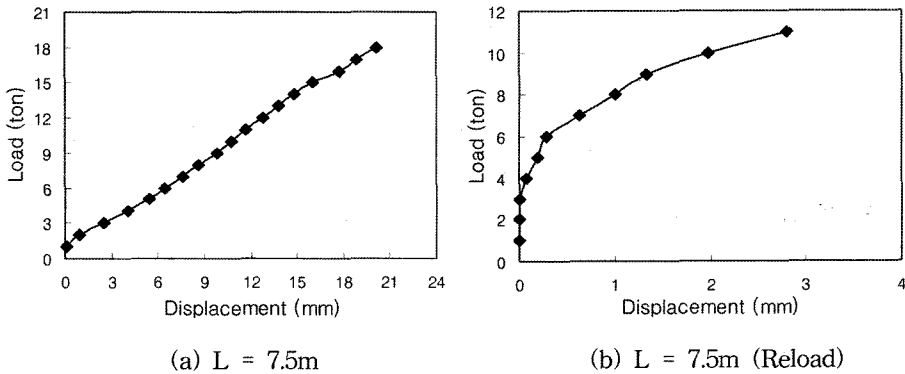


Fig. 7. Smoothed shape for crown.

트를 긴장시킨 후 재하중을 11.0ton 까지 가하였을 경우 2.8 mm의 변위가 발생하였다(Fig. 7b).

측벽부

측벽부에 톱니 모양의 셸 정착방식을 이용하여 90°의 각도로 록볼트를 정착시킨 후 인발시험을 실시하였

으며 시험결과를 종축에 인발시험하중, 횡축을 변위량으로 하여 도시한 결과는 Fig. 8(a), (b)와 같다. 선단정착 방식은 록볼트 선단에 익스펜션 셸을 사용하여 선단을 정착한 후 모르타르 그라우팅을 실시하였다.

인발시험 결과 슛크리트면 및 압면의 파손으로 인하여 Fig. 8(a)의 결과와 같이 15.0ton에서 44.33 mm의

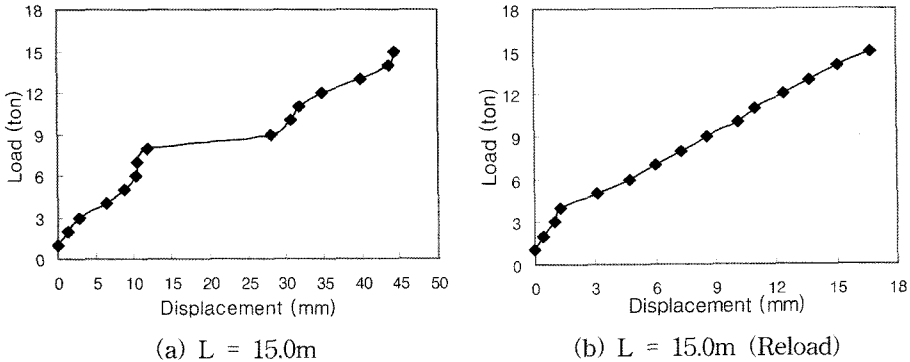


Fig. 8. Saw-tooth shape for wall.

변위가 발생하였다. 그리고 인발하중을 13.5ton에서 고정시킨 다음 16시간 경과 후 인발하중을 확인해 본 결과 13.0ton으로 인발시험기에 의한 손실, 록볼트의 신장 및 플레이트의 휨 등에 의한 손실을 고려한다면 하중 손실은 거의 없는 것으로 판단되었다.

Fig. 8(b)와 같이 재시험결과 15.0ton에서 16.75 mm의 변위가 발생하였다. 록볼트의 길이가 7.5 m일 경우 하중과 변위량의 관계가 거의 선형거동이 발생되었고 최종 인발하중 20.0ton에서 29 mm의 변위가 발생하였다.

홈 모양의 셀 정착방식에 의하여 측벽면에 대하여 90°의 각도로 7.5 m의 록볼트를 삽입하여 정착시킨 후 인발시험결과 Fig. 9와 같다. 인발시험결과 11.0ton에서 19.03 mm의 변위가 발생하였고 12.0ton에서 미끄러짐이 발생하여 시험이 중단되었다.

매끈한 모양의 셀 정착방식에 의하여 측벽면에서 90°의 각도로 15.0 m의 록볼트를 삽입하여 인발시험을 실시한 결과 정착이 불가능하였다. 록볼트 7.5 m는 인발시험을 실시한 결과 Fig. 10(a)와 같이 15.0ton에서 12.21 mm의 변위가 일어났으며 하중 증가시 마다 밀림현상이 일어났으며 하중을 제거하지 않은 상태에서 너트를 견고히 체결한 후 하중을 제거하여 록볼트를 긴장시켰다. 그리고 다시 하중을 10.0ton 까지 재하했을 경우 1.5 mm의 변위가 발생하였으며 또한, 밀림현상도 발생하였다(Fig. 10b).

시험결과 분석

선단정착 장치에 따른 거동특성

Fig. 11과 같이 톱니 모양, 홈 모양, 매끈한 모양에 대하여 가로축을 인발하중으로 세로축은 변위량을 전체

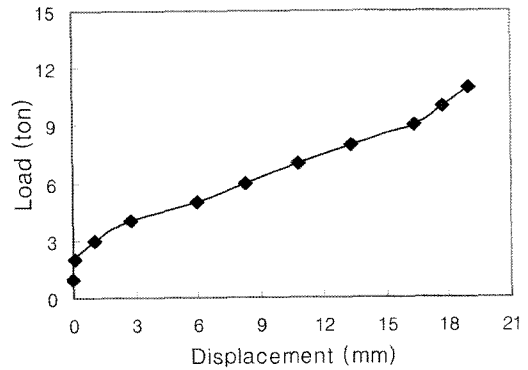
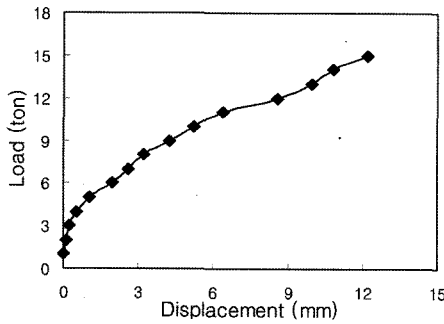


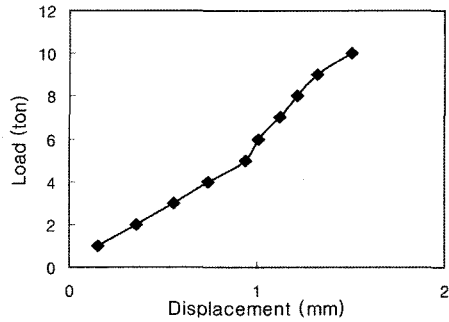
Fig. 9. Grooved shape for wall, L = 7.5 m.

길이를 나눈 상대변위량으로 하여 선단정착방식에 따른 인발저항특성을 평가하였다. Fig. 11(a)는 셀의 모양이 톱니 모양으로 상대변위량은 재하하 시험결과를 고려하지 않으면 0.19%에서 0.38%가 발생하였다. Fig. 11(b)는 셀의 모양이 홈 모양으로 재하하 시험결과를 고려하지 않으면 상대변위량이 0.11%에서 0.25%가 발생되었다. Fig. 11(c)는 셀의 모양이 매끈한 모양으로 록볼트의 길이 7.5 m에 대하여 상대변위량이 0.16%에서 0.27%가 발생하였다. 여기에서 선단정착장치에 따른 상대변위량은 설계 축하중 10.0ton을 기준으로 비교하였다. 톱니 모양의 상대변위량이 0.13%에서 0.21%이고 홈 모양의 상대변위량은 0.08%에서 0.23%이며 매끈한 모양의 상대변위량은 0.07%에서 0.14%가 발생하였다.

록볼트 인발시험 결과에 의하면 선단정착장치에 따른 상대변위량의 차는 미소한 것으로 나타났고 단지 인발 시험 도중에 홈 모양과 매끈한 모양의 셀에서 미끄러짐 현상이 발생하기도 하였다. 그러나 톱니 모양은 이러한

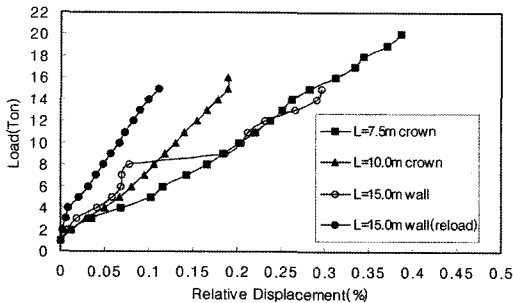


(a) L = 7.5m

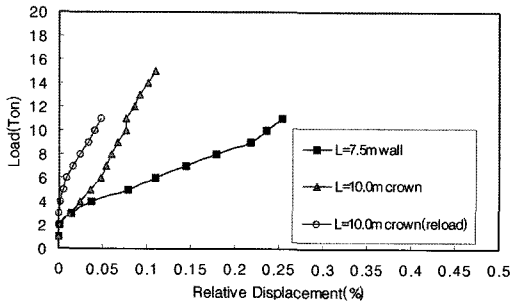


(b) L = 7.5m (Reload)

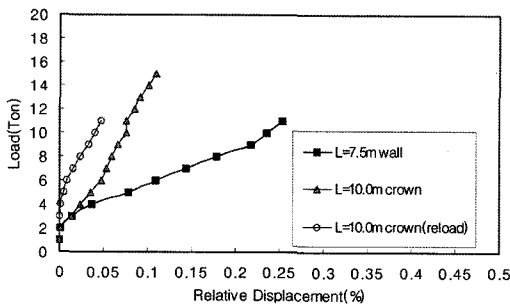
Fig. 10. Smoothed shape for wall.



(a) Saw-Toothed Shape



(b) Grooved Shape



(c) Smoothed Shape

Fig. 11. Relationship between load and relative displacement.

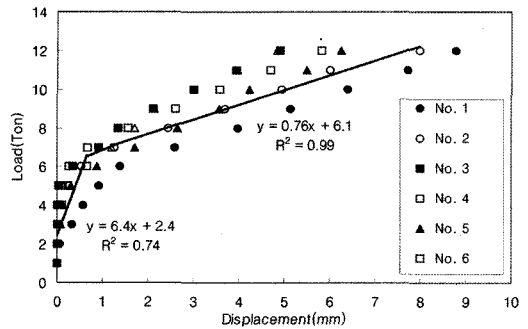


Fig. 12. Pull-out test results for saw-toothed shape of rock bolt.

현상이 발생되지 않았으므로 시공적인 측면을 고려할 때 톱니 모양의 선단정착장치가 적용성이 높은 것으로 판단된다.

톱니 모양의 선단정착장치 거동특성

지하발전소 시공을 위한 지하대공동 굴착시 소성영역이 일반 소규모공동 및 터널에 비하여 크므로 이를 지지하기 위하여 장대록볼트를 사용한다. 장대록볼트 설치시 천공홀내에서 장대철근(D 25 mm)의 편기에 대한 문제점과 인발시 미끄러짐 현상에 대한 문제점을 해결할 수 있는 톱니 모양의 6쪽 셀을 이용하여 지하공동 천단부 벽면과 직각으로 길이 7.5 m의 장대록볼트를 시공하여 선단부를 정착한 후 총 6회에 걸쳐 인발시험을 수행하였다.

Fig. 12와 같이 인발하중이 일정한 값(6.0ton)을 초과할 경우 변위량이 급격하게 증가하는 임계값이 존재하는 것을 알 수 있었다. 또한, 단계별로 인발하중이 증가할수록 변위량의 차가 크게 발생하였다.

인발시험에 의하여 측정된 록볼트의 하중과 변위량의 관계를 회귀분석한 결과에 의하면 인발하중이 6.0ton 이하의 경우이며, 인발하중이 6.0ton을 초과할 경우이다. Fig. 12에 의하면 인발하중이 6.0ton을 초과할 경우 회귀분석식의 절편 값을 기준으로 할 때 변위량의 증가율이 인발하중이 6.0ton보다 작을 경우에 비하여 약 8배 정도 크다는 것을 알 수 있다.

결 론

지하대공동의 구조적인 안정성을 확보하기 위하여 적용되는 장대록볼트의 가장 효율적인 선단정착장치를 평가하기 위해 현장인발시험을 실시하였으며, 시험결과로부터 얻어진 하중-변위 관계로부터 장대록볼트의 거동특성을 확인하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 길이가 7.5 m, 10.0 m와 15.0 m인 장대록볼트의 선단정착장치인 익스펜션 셀 형식에 대하여 2쪽, 3쪽 셀에 대한 단계별 인발시험을 수행한 결과, 셀이 2쪽일 경우 천단부 선단에서 미끄러짐 현상이 발생되었다. 그리고 3쪽 셀은 천단부에서 미끄러짐 현상은 발생되지 않았으나 변위가 과다하게 발생하였다.
- 2) 장대록볼트의 선단정착장치인 6쪽 셀에 대하여 톱니 모양, 홈 모양 및 매끈한 모양으로 각각 제작하여 현장에서 인발시험을 실시한 결과에 의하면 선단부 정착상태가 양호한 경우 각각의 선단정착장치에 따른 하중-상대변위량의 차는 미소하였다. 단지 인발시험 도중에 홈 모양과 매끈한 모양의 셀에서 미끄러짐 현상이 발생하기도 하였으나 톱니 모양은 이러한 현상이 발생되지 않았으므로 시공적인 측면을 고려할 때 톱니 모양의 선단정착장치가 적용성이 높은 것으로 판단된다.
- 3) 톱니 모양의 6쪽 셀을 이용하여 천단부에서 총 6회에 걸쳐 인발시험을 수행한 결과에 의하면 인발하중이 일정한 값을 초과하면서 변위량이 급격히 증가하는 임계값이 나타났다. 그리고 인발하중이 증가할수록 각각 장대록볼트의 변위량 차이도 증가하였다.

사 사

이 연구는 2006년도 서일대학 학술연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 이연규, 이정인, 조태진, 1995, 굴착과정에서 록볼트로 보강된 절리암반의 점소성 거동분석, 한국암반공학회, Vol 5, pp.123-133.
- Bengt Stillborg, 1986, Professional Users Handbook For Rock Bolting, Series on Rock and Soil Mechanics, Vol. 15, pp.31-34.
- Bergbultforband I Sprucket Berg, Fortifikationsforvaltningen, Forskningsbyran, Rapport, Vol.121, No.3, Stockholm.
- Ludvig, B., 1984, Shear tests on rock bolts, Proc. of the Int. Symposium on Rock Bolting, Abisko, Sweden.
- Singh, R. N., 1985, Private Communication, University of Nottingham, Dept. of Mining Engineering, Nottingham, England.

2007년 1월 23일 원고접수, 2007년 3월 11일 게재승인

한상현

서일대학 토목과

131-702 서울시 중랑구 서일대학길 22(면목동49-3)

Tel: 02-490-7444

Fax: 02-490-7241

E-mail: shhan@seoil.ac.kr

여규권

삼부토건(주) 기술연구소

100-804 서울시 중구 남창동 삼부빌딩 9-1

Tel: 02-3706-2537

Fax: 02-756-3905

E-mail: moonju@sambu.co.kr