

터널 공사용 록볼트의 인발 시험 방법 및 시험 결과 판정시의 문제점과 개선방안에 관한 연구

A Study on the Problem and Improvement Plan of Pull Test Method
and Test Result Judgment of Rock Bolts Usage for Tunnel Construction

장 석 재*
Jang, Suk-Jae

Abstract

In case of rock bolt useable by tunnel reinforcement methods at field is applied problem of typical rock bolt pull test diagram method propositional in documents and is not thesis of clearness analysis basis about result of rock bolt pull test. So this paper suggested in consideration of foreign basis and field condition that the first, "suggestion of apposite diagram method at tight ground and difference application of rock bolt pull test method at loose and tight ground" and the second, "thesis of estimation basis non-thesis of design and specification, test etc".

요 지

현장에서 터널 보강법으로 사용되는 지보재인 록볼트의 경우에는 문헌에 제시된 전형적인 록볼트 인발시험 도해방법의 적용 상 문제점이 있으며, 록볼트 인발시험의 결과에 따른 명확한 해석기준이 정립되어 있지 않다. 따라서 본 고에서는 첫째, "느슨한 지반과 조밀한 지반의 록볼트 인발시험 방법의 구분적용과 조밀한 지반에 맞는 도해법의 제시" 둘째, "설계 및 시방, 시험 등 정립되지 않는 평가기준의 정립"에 대해 외국 기준 및 현장 실정을 고려하여 제시하였다.

Keywords : Rock Bolt Pull Test, Diagram Method

핵심 용어 : 록볼트 인발시험, 도해법

* 정회원, (주)한국철도기술공사 품질경영실 과장, 토목품질시험기술사

E-mail: sjhan4@hanmail.net, 02-2186-1965

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2006년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

터널의 록볼트 인발시험은 본시험에 앞서 갱구 또는 갱구 사면 부위와 유사한 굴착 패턴에 맞는 지반에서 시험시공을 실시하여, 록볼트의 인발내력에 의한 정착효과 등 해석상 설계에 접목시키기 어려운 것을 현장 시험시공을 통해서 설계의 만족 및 재 반영 등을 위해 필요한 원위치 시험이다.

록볼트는 지반에 정착되어 주로 인장 부재로서 역할을 하기 때문에 인발시험에 의한 내력확인은 가장 기본이면서 충분한 검토가 또한 필요하다.

록볼트 인발시험은 록볼트의 종류 선정 및 시공 후의 정착효과를 판정하기 위해 실시하며, 특히 미고결, 사질토 지반 등 록볼트의 인발내력이 크게 기대되지 않는 지반에는 더욱더 중요한 시험이 된다.

일반적으로 현장에서 사용되는 전면접착방식의 록볼트의 경우에는 록볼트 재질에 의한 설계축력과 현장 인발시험에 의한 내력의 비교로 합부를 판정하게 된다.

현장 록볼트 인발시험에 따른 록볼트, 그라우트, 지반의 파괴형태는 몇 가지 양상을 나타낸다. 첫째, 록볼트의 항복에 의한 직접적인 파괴양상 둘째, 록볼트와 그라우트 접촉면에서의 파괴양상 셋째, 그라우트와 암반 접촉면에서의 파괴양상 넷째, 록볼트-그라우트-접착 암반의 복합체가 주변암반의 파괴로 복합체가 동시에 인발되는 파괴양상이다.(Fig. 1 록볼트 해석 모델 참조)

여기서 현장에서 일반적으로 나타나는 파괴형태는 록볼트와 그라우트 접촉면에서 슬라이딩에 의한 전단

파괴와 그라우트와 암반 접촉면의 슬라이딩에 의한 전단파괴로 크게 구분할 수 있다.

록볼트의 정착방식은 크게 선단 정착형, 전면 접착형, 혼합형으로 구분할 수 있으며, 록볼트의 정착방식은 사용목적, 지반조건, 시공성 등을 고려하여 선정하여야 하나, 일반적으로 시방에는 경암, 중경암, 연암, 토사 지반에까지 적용범위가 넓은 전면접착방식을 권고하고 있다.

여기서 전면접착방식은 록볼트 전장에서 그라우트로 지반을 구속시키는데 구속방법(정착방법)이 마찰력인 것이다.

마찰력은 원지반 조건과 정착재료의 종류, 재령, 록볼트의 형상과 재질, 길이, 직경, 프리스트레스 유무 등에 따라 달라진다.

록볼트의 마찰력 또는 정착력을 확인하기 위해서 현장에서는 록볼트 본 시공에 앞서 록볼트 인발시험을 실시하여, 시험결과를 통해 과다 설계 또는 불안정한 설계를 확인하는 등 기존설계의 유효성을 파악하고 기존설계를 변경하는 등 시험을 통한 설계 피드백이 이뤄져야 한다.

현재 터널해석에 사용되고 있는 프로그램은 프로그램 별 록볼트 정착에 대한 마찰력의 반영 또는 미 반영 등 프로그램 상 차이점을 가지고 있다.

록볼트 인발시험의 주요한 문제점은 측정방법과 평가방법에 대해 정립이 되어 있지 않아, 현장에서 록볼트 인발시험을 실시하거나 이에 따른 결과를 판정할 때 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서 본 고에서는 터널 공사용 록볼트의 인발 시험 방법 및 시험 결과 판정시의 문제점과 개선방안에 대해 제시하고자 한다.

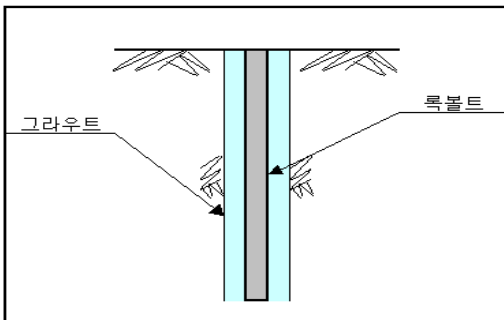


Fig. 1 록볼트 해석 모델

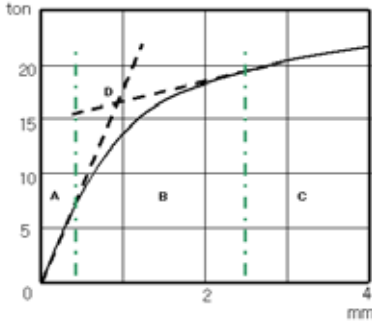
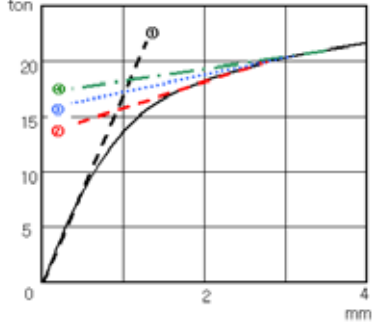
2. 록볼트의 인발 시험 방법 및 시험 결과 판정시의 문제점과 개선방안

2.1 록볼트의 인발 시험 방법 및 시험 결과 판정시 문제점

2.1.1 록볼트의 인발 시험 방법에 문제점

Table 1의 Fig. 2 일반적인 록볼트 인발내력 도해

Table 1 록볼트 인발 시험 관련 국내 문헌 내용

구 분	내 용
1. 일반 사항	1) 록볼트 시공 전 현장부근에서 시공조건과 유사한 지질조건의 장소에서 현장 시험시공을 한 후 록볼트 인발 강도를 확인함
2. 시험 방법	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">Fig. 2 일반적인 록볼트 인발 내력 도해도</p> <p style="text-align: center;">Fig. 3 일반적인 록볼트 인발시험 결과 도해시 문제점</p> <p>1) 시험순서 : ① 베어링플레이트와 록볼트의 축과 일치시킴 ② 플레임과 인장볼트 설치 ③ 플레임 뒤 센터홀잭을 설치한 후 너트로 연결 ④ 펌프와 센터홀잭을 연결하는 호스 연결 ⑤ 게이지(1/100mm)를 플레임에 부착하고 받침쇠를 인장볼트에 체결 ⑥ 인발하중의 평균속도는 1톤/1분으로 서서히 작동 ⑦ 변위와 하중의 관계 곡선을 그림(Fig. 2 참조)</p>
3. 판정 기준	<p>1) 직선부를 A영역, 곡선부를 B영역, 마지막 직선부가 C영역, C영역은 볼트의 정착효과를 기대할 수 없으며, 기대할 수 있는 영역의 인발내력은 D점까지임. D점은 A영역의 직선부의 접선과 C영역의 접선과의 교점임(Fig. 2 참조), 시공된 록볼트에 대한 실제 시험시에는 인발내력의 80%에 달하면 합격으로 봄(터널표준시방서, 철도공사전문시방서, ○○일반철도 공사시방서)</p> <p>2) $\varnothing 25\text{mm}$볼트의 경우 인발하중 12ton에 도달하면 합격으로 함(○고속철도 공사시방서)</p> <p>3) $\varnothing 25\text{mm}$볼트의 경우 인발하중 10ton을 표준으로 함(도로공사의 경우)</p> <p>4) 인발시험은 하중 단계별로 변위를 측정하여 하중-변위 곡선을 작성하고, 판정시의 변위가 설계에서 고려한 록볼트의 효과를 발휘할 수 있는 범위내내인지를 확인하여 합격여부를 판정함(터널표준시방서, 철도공사전문시방서, ○○일반철도공사시방서)</p> <p>5) 현장여건에 따라 볼트의 종류, 시공방법 및 정착방식이 변경될 경우 설계에서 필요한 축력이상이라고 판단되면, 감리원의 검토에 따라 변경 가능(○고속철도공사시방서)</p>

도는 전형적인 록볼트 인발시험 방법의 형태를 도시하고 있다. 그러나 이 시험의 도해법은 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째, Fig. 3 일반적인 록볼트 인발 시험 결과 도해시 문제점과 같이 A, C영역에 직선부의 접선 도해시 시험자 개인에 따라 편차가 심하게 발생하여, 항복하중 결정의 신뢰성 저하가 우려되며 둘째, 느슨한 지반을 제외하고는 Fig. 2의 일반적인 록볼트 인발내력 도해도와 같이 전형적인 형태의 인발시험 결과에 따른 곡선 도시가 어렵다는 점이다. Fig. 7의 조밀한 지반과 느슨한 지반의 전단응력-변형관계 곡선과 같은 지반에서 B와 같은 느슨한 지반의 경우에는 전형적인 인발시험 곡선형태의 시험해석이 가능

하지만, A와 같은 조밀한 지반의 경우에는 Fig. 2 일반적인 록볼트 인발내력 도해도와 같은 전형적인 시험해석의 적용이 사실상 어렵다. 현장에서 일반적으로 나타나는 록볼트 인발시험 결과는 Fig. 4 록볼트 인발 시험 결과, 현장 예의 곡선 형태를 띄고 있어 록볼트 인발시험 방법에 있어 느슨한 지반과 조밀한 지반의 구분된 적용이 필요하다.

2.1.2 록볼트의 인발 시험 결과 판정시 문제점

록볼트의 인발 시험 결과 판정시 문제점은 위 Table 1 록볼트 인발 시험 관련 국내 문헌 내용 3.판정 기준 1)항의 경우 록볼트 인발 내력의 80%를 합격 기준으로

로 판정하고 있으며, 2) 3)항의 경우에는 동일 록볼트에 대해서 발주 기관에 따라 10ton과 12ton(φ25mm, SD35)으로 상이하게 합격 기준을 시방에 제시하고 있다. 또한 4)의 경우에는 변위를 판정기준으로 언급하고 있으며, 5)의 경우에는 설계축력 이상을 합격 기준으로 제시하고 있다. 상기 내용과 같이 합부 판정 기준이 동일 록볼트에 대해 발주기관별 시방기준을 상이하게 적용하고 있으며, 인발하중-변위 관계에서도 변위에 대한 구체적 기준과 해석방법의 미흡 등 전반적인 설계, 시방, 시험의 기준들이 모호하여, 현장에서 록볼트 인발시험 결과에 따른 올바른 판정을 기대하기가 현실적으로 어려운 상황이다.

2.2 록볼트의 인발 시험 방법 및 시험 결과 판정시 개선방안

2.2.1 록볼트의 인발 시험 방법에 개선방안

Fig. 4는 터널 현장에서 굴착 패턴 II~IV의 해당되는 암반에서의 록볼트 인발시험 결과를 나타낸 것이며, Fig. 5, 6은 터널내의 록볼트 인발시험 전경을 보인 것이다.

토질의 전단시험 결과에서도 Fig. 4 록볼트 인발시험 결과, 현장 예와 같은 유사한 곡선형태를 Fig. 7 조밀한 지반과 느슨한 지반의 전단응력-변형관계 곡선 A에서 나타나고 있으며, Fig. 7 조밀한 지반과 느슨한 지반의 전단응력-변형관계 곡선 B의 느슨한 지반의 경우에는 Table 1의 Fig. 2 일반적인 록볼트



Fig. 5 터널내의 록볼트 인발시험 전경



Fig. 6 터널내의 록볼트 인발시험 전경

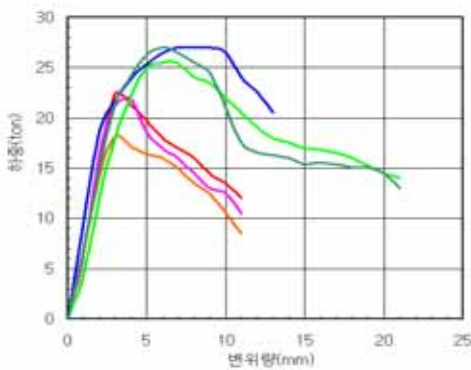


Fig. 4 록볼트 인발시험 결과(현장 예)

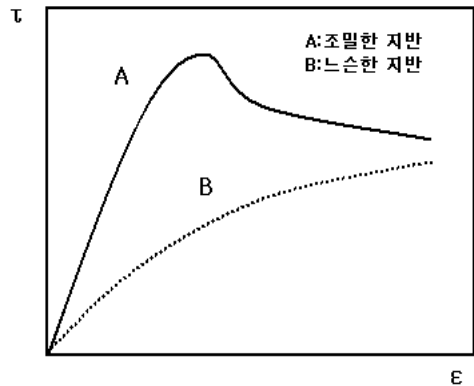


Fig. 7 조밀한 지반과 느슨한 지반의 전단응력-변형 관계 곡선

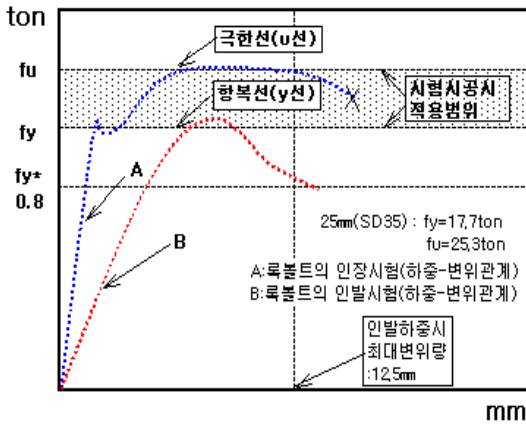


Fig. 8 록볼트 인발시험 방법(시험시공시)

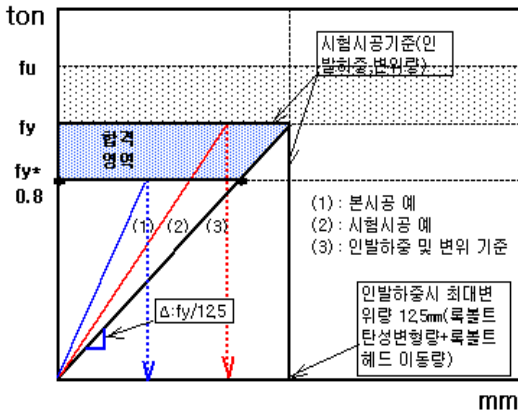


Fig. 9 록볼트 인발시험 방법(본시공시)

인발내력 도해도에서와 같이 전형적인 록볼트 인발시험 방법의 곡선 형태를 보이고 있다. 느슨한 지반의 경우 A, C 영역의 직선부가 확실하여 정확한 접선 도사가 가능할 때 종래의 시험방법 Fig. 2를 적용하고, 그 외 지반(조밀한 지반)의 경우에는 C 영역인 직선부의 접선도사가 불가능하므로 Fig. 8 록볼트 인발시험 방법, 시험시공시 및 Fig. 9 록볼트 인발시험 방법, 본시공시의 도해법을 적용토록 한다.

록볼트 인발시험은 일반적으로 록볼트 자체의 항복에 의한 파괴 또는 록볼트-그라우트-지반 등 각 경계면에서의 전단파괴에 따라 하중-변위 곡선을 그리게 된다. 그러나 현장에서 극한하중까지 인발시 안전사고

발생우려가 있으므로, 본 고에는 터널 굴착 패턴에 따라 록볼트의 시험시공시에는 Fig. 8 록볼트 인발시험 방법, 시험시공시와 같이 록볼트의 항복하중(f_y)보다는 크고 극한하중(f_u)보다는 작은 하중범위 내에서 인발을 실시하며, 본시공시에는 Fig. 9 록볼트 인발시험 방법, 본시공시와 같이 첫째, 록볼트 강재의 변형이 탄성한도 범위이내며 둘째, 강재의 변형량과 지반의 순 변형량의 합이 최대 12.5mm 이내이고 셋째, 허용 인발내력을 $f_y \times 0.8$ (감소계수 0.8) 이상으로 관리하여 세 가지 요구 조건을 동시에 만족하여야 한다.

2.2.1항에서는 시험시공과 본시공시 적용하는 록볼트의 시험 도해법을 제시하였다.

2.2.2 록볼트의 인발 시험 결과 판정시 개선방안

록볼트의 인발 시험 결과 판정은 터널의 록볼트 인발 시험시공시 Fig. 8 록볼트 인발시험 방법, 시험시공시와 같이 합부 판정의 기준이 인발 하중에 대해서는 y 선이 되며, 변위의 기준은 최대 12.5mm(ASTM D 4435-84, 2002.)이내로 하중과 변위를 동시에 만족하여야 한다. 록볼트의 항복하중이 설계기준이 되는 것은 볼트의 극한하중(u 선)이 강재의 기계적 성질을 대표하여 취성재료의 설계 기본 값 또는 재질판정의 기준량이 되듯이, 록볼트 재료의 설계 개념은 연성재료로 항복하중을 설계에서 기본 값 또는 재질판정의 기준량이 되므로, 록볼트 설계시 연성재료로 항복하중을 설계기준으로 적용하고, 록볼트 인발시험시 항복하중이 합부 판정의 기준이 된다. 그러나 터널의 록볼트 시험시공시 지반강도가 낮아 항복하중인 y 선 보다 낮은 상태에서 최대점(Peak Point)이 나타나게 되면, 록볼트의 인발내력이 설계축력(설계내력)보다 낮게 되어, 록볼트 길이의 증가 등 내하력을 향상시켜야 할 것이다. 이때 최대하중이 록볼트 인발내력이 된다.(조밀한 지반의 경우는 최대하중이 인발내력, 느슨한 지반의 경우는 A,C 접선의 교점인 D가 인발내력)

록볼트는 인발하중만이 아닌 변위량도 동시에 고려되어야 한다. 전체 변위량의 한계는 12.5mm(ASTM D 4435-84, 2002.)이며, 이때 변위량은 볼트헤드의 이동량과 볼트의 탄성변형량을 합한 전체 변위량이다. 터널의 록볼트 시험시공 이후에 동일 굴착 패턴의 본

시공시에는 Fig. 9 록볼트 인발시험 방법, 본시공시와 같이 록볼트의 인발내력인 F_y 이상을 인발하여 확인하고, 시험시공에서 록볼트 인발내력의 변위량을 참고로 하여 본시공시 허용 인발내력과 변위를 고려해서 합부 판정을 하여야 할 것이다. 그러나 본시공시 인발내력을 항복하중(y 선)까지 인발 할 경우에는 록볼트 강재의 탄성한도를 벗어날 수 가 있으므로, 이를 감안하여 0.8의 감소계수를 적용한 설계축력(또는 인발내력)의 80%선 까지를 인발하며, Fig. 9 록볼트 인발시험 방법, 본시공시에서의 도해법과 같이 인발하중과 그에 따른 변위를 기준으로 하여 록볼트의 합부를 판정하도록 한다.

2.2.2 항에서는 록볼트의 시험시공 및 본시공시의 합부 판정 기준을 제시하였다.

3. 결 론

록볼트는 배치방법에 따라 시스템 볼팅 방법과 랜덤 볼팅 방법으로 구분할 수 있다.

여기서 터널해석은 시스템 볼팅의 개념인 터널 단면에 미리 정해진 패턴에 따라 록볼트를 시스템적으로 배치하여 터널지반을 지보하는 개념의 해석이며, 록볼트의 인발시험 방법은 랜덤 볼팅의 개념인 지반이 불량한 부분을 국부적으로 록볼트로 보강하는 개념으로 볼 수 있어, 설계와 시험의 개념상 큰 차이점을 보여 주고 있다.

따라서 록볼트 인발시험의 내력이 설계축력(설계내력)보다 커서 록볼트의 길이를 줄이는 등에는 엔지니어의 신중한 판단이 필요하며, 또한 설계변경 및 검토에서 현장 적용까지에는 업무시스템 상 상당시간이 소요됨에 따른 공사 운영상의 문제점이 있어, 현장에서는 인발시험 결과에 따라 록볼트의 길이 재조정 등 설계 피드백이 이루어지는데는 한계점을 보이고 있다.

본 고에서는 현장에서 터널 보강법으로 사용되는 지

보재인 록볼트의 경우 록볼트의 인발시험 방법과 합부에 대한 평가기준이 정립되지 않은 현 상황에서, 외국 기준 및 현장 실정을 감안하여 첫째, 기존 일반적인 록볼트 하중-인발 곡선 형태에서 느슨한 지반과 조밀한 지반의 록볼트 인발시험 방법의 구분 적용과 조밀한 지반에 맞는 도해법 제시 둘째, 설계 및 시방, 시험 등 정립되지 않는 합부에 대한 판정기준을 재정립 하였다.

참고문헌

1. 사단법인 대한터널협회, "터널표준시방서", 1999.
2. 사단법인 대한터널협회, "터널설계기준", 1999.
3. 철도청, "철도공사전문시방서(토목편)", 1999.
4. 한국고속철도건설공단, "고속철도 노반공사 공사시방서", 1999.
5. 철도청, "전라선 성산-신공 간 철도개량건설공사 공사시방서", 2002.10.
6. 한국고속철도건설공단, "경부고속철도건설사업 터널공사 품질관리 편람", 2001.12.
7. 한국도로공사, "도로설계요령 제4권 터널", 2002.
8. 건설교통부, "도로설계편람(Ⅰ)", 2000.
9. 편집부 역, "최신 터널공법총기술", 과학기술, 1994.
10. 사단법인 한국콘크리트학회, "2003년도 개정 콘크리트 구조설계기준 해설", 기문당, 2004.
11. ASTM, "Standard Test Method for Rock Bolt Anchor Pull Test", ASTM D 4435-84, 2002.
12. 국제암반역학회(1982), Suggest Methods for Rockbolt Testing, Pergamon Press, pp.163-168.
13. 김용필외, "지반공학 시험법 및 응용", 세진사, 1997.
14. 정해성, 문현구, "전면접착형 록볼트의 보강효과에 관한 연구", 터널과 지하공간, Vol.9. 1999, pp.194~203.
15. 문한영, 김성수, "최신 토목재료학", 구미서관, 2001.
16. (주)동원토질, "정적하중에 의한 말뚝재하시험에 대하여", 1996.1.

(접수일자 : 2004년 11월 24일)