

# 록볼트 그라우팅 시 역류방지용 밀봉 패커의 적용성 평가

## The Evaluation on Applicability of Leakage-prevented Sealing Packer Out of Grouted Rockbolt Hole

양 태 선<sup>†</sup> · 김 지 창<sup>1)</sup> · 정 종 기<sup>2)</sup> · 유 동 호<sup>1)</sup> · 최 학 윤<sup>3)</sup> · 백 승 철<sup>4)</sup>

Taeseon Yang · Jichang Kim · Jongki Jeong · Dongho Yoo · HakYun Choi · Seungcheol Baek

Received: June 13<sup>th</sup>, 2016; Revised: August 26<sup>th</sup>, 2016; Accepted: October 3<sup>rd</sup>, 2016

**ABSTRACT** : Nowadays, some studies have been performed for rockbolt method widely used in Korea. To make large slopes, tunnels or rock structures stable, supporting systems, such as anchor bolt, rock bolt which are developed recently, are commonly used. In this study, laboratory pullout tests were carried out to compare the characteristics of rock bolt that is most widely used with ones of rock bolt by newly developed circular model testers. Re-pullout test for the rock bolt in which loading and unloading cycles are repeated several times showed that the maximum pullout load is almost constant irrespective of the number of loading cycles, which may be due to no failure between rock bolt and filler that is filled with soils and concrete as a substitute. A development of rock bolt fillers as supporters using to protect people in tunnels and slopes is reviewed as a probable man-made hazard after excavation works. The functions of the grouted rock bolts associated with reinforcement effects also should be assessed in this study, which develop the sealing apparatus preventing from overflowing mortar out of a rock bolt hole for securing safety in the tunnel and slopes in order to secure stability named the sealing packer.

**Keywords** : Pullout test, Rockbolt, Filler

**요 지** : 국내에서는 현장에서 사용되고 있는 록볼트 공법에 대하여 여러가지 연구가 진행 중이다. 대규모 사면이나 터널, 암반구조물의 불안정한 지반을 새로운 평형상태로 유지시키기 위한 지보재로서 그라운드앵커, 록볼트가 있다. 이에 본 연구에서는 현재 가장 널리 이용되고 있는 지보재인 록볼트를 대상으로 원형 모형토조를 이용하여 실내 인발시험을 수행하여 지보재의 특성을 분석하였다. 최대인발하중의 변화 양상을 살펴보기 위해 수행한 록볼트에 대한 인발시험의 결과를 보면 인발시험 횟수에 관계없이 거의 일정함을 보였는데, 이것은 지보재가 최대인발하중에 도달할지라도 록볼트와 충전재 사이에 파괴가 거의 일어나지 않으므로 일정한 최대인발하중을 보이는 것으로 판단되며 급회 실내시험에서 충전재는 콘크리트와 토사로 채워져 있다. 주요 지보재인 록볼트의 충전재를 인공적인 재해를 방지하도록 설치한다. 본 논문에서는 록볼트 충전재인 그라우트재가 흘러내리는 것을 방지하기 위한 밀봉패커를 개발하였으며 그로 인한 터널과 사면에서 시공 시 적용성과 역할을 평가하였다.

**주요어** : 인발시험, 록볼트, 충전재

## 1. 서 론

우리나라는 국토의 70% 이상이 산으로 이루어져 도로 및 철도 등 기반시설의 대부분이 터널로 구성될 수밖에 없는 조건이며 이에 따라 터널 공사 중 구조물의 시공안전성 확보가 매우 중요하다. 다양한 보강공법이 있지만 최적의 안정성 확보가 될 수 있는 주지보재 공법 적용이 필요한 시점이라고 생각된다(김동수 등, 2014). NATM(New Austrian Tunneling Method)의 주요 지보재인 록볼트는 굴착 즉시 시공하여 암반의 이완을 초기에 방지하고, 불연속면의 활동

을 억제하여 지하공동 굴착 시에 불안정한 암반거동을 억제하며 가급적 얇고 유연한 1차 라이닝을 굴착 직후 가능한 빨리 적용하여 약간의 변형을 허용함으로써 지반자체의 변형 저항력을 최대한 발휘시켜 원지반이 지지체로서의 역할을 한다. 터널시공 시 대부분 록볼트가 사용되고 설계 및 시공이 주로 경험에 의존하고 있는 점을 감안하면 현재 터널건설이 안정성의 확보와 공사비의 책정에서 불확실한 요소에 의해 많이 이루어지고 있다고 판단할 수 있다(An & Lee, 2009).

천공 홀에서 그라우팅 충전재의 역류를 막아 작업자의

† Department of Civil Engineering, Kimpo University (Corresponding Author : sj98@kimpo.ac.kr)

1) Department of Zinoogni Co., Ltd.

2) Korea Institute of Geotechnical Technology

3) Department of Information & Communication Technology, Kimpo University

4) Department of Civil Engineering, Andong University

안정성 확보와 록볼트의 안정성 및 추가 시공으로 인한 경제적 손실을 줄일 수 있는 밀봉 패커를 개발하는 것이다.

록볼트 천공경의 그라우팅 충전재가 시공 시 흘러내림으로써 록볼트 보강 효과를 나타내지 못하는 문제가 있으므로 본 논문에서는 록볼트 채움재가 흘러내리는 것을 방지하기 위한 밀봉패커를 개발하기 위하여 지반조건을 모사한 후 록볼트를 설치하고 모형토조를 이용하여 인발시험을 실시하여 밀봉패커가 설치된 록볼트의 지반 보강효과와 마찰효과를 확인하였으며 배합시험, 차수시험 등을 통한 밀봉패커의 적용성도 확인하고자 하였다.

## 2. 기존 연구 내용

암반사면이나 터널 등 암반구조물을 역학적으로 안정되도록 굴착하더라도 시간이 경과하면 지반응력상태 변화에 따라 암반의 강도가 저하되고, 암반 구조물이 파괴된다. 암반 구조물 주변의 약화되므로 대규모 사면이나 암반 구조물을 장기간 안정되게 유지하기 위해서는 불안정한 지반을 붕괴 또는 이완현상이 없는 새로운 평형상태로 유지시키는 것이 필요하다. 이를 위한 지보재로서 록볼트 등이 연구되고 있다(Kim et al., 2011). 노르웨이에서는 원지반의 지지능력을 최대로 활용하고 1차 지보재로 보강하여 터널을 장기적으로 안정시키는 NATM의 개념과 일치하지만 고강도의 록볼트를 주지보재로 하고 일반 쏫크리트 대신 점착력이 양호한 고강도의 강섬유 보강 습식 콘크리트를 사용하여 주변암반과 일체화하는 지보공법인 NMT공법을 개발하여 사용 중이다(김성수 등, 2003). 록볼트 보강효과에 관한 실험적인 연구로 사질토 지반에 대한 단순보 모델 모형시험을 실시하여 록볼트 보강에 의한 원지반의 보강효과를 분석하였다(Moon, 2007).

록볼트의 주요기능은 암괴의 낙반을 방지하는 매달림 또는 봉합효과, 층리나 절리면의 전단응력을 전달하여 합성빔을 형성하는 빔 형성효과, 시스템 볼팅에 의한 내압효과로 지반아치 형성효과, 볼트의 그라우팅이나 선단정착에 의한 지반보강효과 등이 있다. 전면 접착방식 록볼트는 시멘트 그라우트를 이형봉강 주변에 주입함으로써 볼트와 천공 사이를 충전하는 형식이나, 완전충전을 보장할 수 없으며 터널 천정부에 설치하는 록볼트의 경우는 그라우트의 흘러내림이 발생하여 완전충전을 달성하기 어렵다.

그라우트가 충전되지 않은 부분이 존재한다면 지하수에 쉽게 노출되기 때문에 볼트의 부식이 발생되며 특히 염화물이나 황산염 이온의 농도가 높은 부식성 환경에서 볼트의 열화는 더욱 발전할 수 있다. 록볼트 그라우팅재의 완전 충

전은 경제성 및 시공성과 더불어 지반조건 등 수많은 환경적 변수에 따른 많은 제약이 있어서 록볼트의 근본적 파괴 원인은 록볼트에 발생하는 녹이나 부식 등과 같은 염해 피해인 것으로 조사되고 있다(Lee, 2009). 록볼트의 그라우팅 재료로 사용되는 시멘트 모르타르는 연암이나 토사지반에서도 충분히 충전될 수 있기 때문에 가장 일반적으로 광범위하게 사용되는 그라우팅 재료이며, 흘러내림을 방지할 수 있는 배합비를 사용하여 시공하여야 한다. 특히 천정부에 설치되는 록볼트의 경우에는 록볼트 전면부에 흘러내림을 방지할 수 있는 방안을 마련해야 한다. 그러나 길이가 긴 록볼트에는 시멘트 모르타르의 유동성이 낮으면 주입이 어렵기 때문에 유동성이 높은 시멘트 밀크가 사용되므로 흘러내림에 대한 대책이 반드시 필요하다. 더욱이 현재 국내외적으로 그라우팅 주입 후 흘러내리는 그라우팅재를 단순히 수건 등의 형질이나 무수축 몰탈로 천공 홀 입구를 막는 수준에 머물고 있는 실정이다. Fig. 1과 같이 그라우팅재의 흘러내림은 작업자들에게 노출됨으로써 안전사고 발생 가능성이 높게 되며, 천공 홀 내부에 완전 충전이 어렵기 때문에 그라우팅재의 손실이 커서 재료비 등의 공사비가 증대되고 있는 실정이다. 또한, 흘러내림 방지용 캡을 이용하여 유동성 모르타르가 새어 나오지 않도록 하는 록볼트 시공기술도 연구되었으나(이두화, 1998) 본 논문과 같이 빠른 시간 내에 경화하고 밀봉시키는 장치인 패커를 개발하는 기술은 아직까지 이루어지지 않은 실정이었다. 현장에서의 적용성은 설치 후 빠른 시간안에 경화하고 사용하기 편한 밀봉장치가 필요할 것으로 판단된다.

록볼트에 대한 연구는 주로 정착방법이나 록볼트 소재 및 재료적인 측면에 대한 연구가 대부분으로 터널과 같이 록볼트를 비교적 상향으로 시공하므로 그라우팅 충전재가



Fig. 1. Leakage of grouting filler

흘러내리는 방법에 대한 연구는 매우 적다. 이로 인하여 경제적, 시공적인 손실이 발생하고 있으며 터널 이외의 사면보강분야는 록볼트를 하향으로 시공하므로 그라우팅이 역류하지 않아 본 연구와 같은 기술개발의 필요성이 적었다.

### 3. 실험방법 및 내용

#### 3.1 혼화제 시험

록볼트 채움재는 순간경화로 천공홀 입구를 밀폐시킴으로 그라우팅의 작업속도가 빠르므로 전체 시공속도가 향상되고, 그라우팅재의 역류에 의한 안전사고를 방지하고 유동성이 높은 시멘트 밀크를 그라우팅재로 사용가능하므로 환경적으로 우수하고 터널 천정부에서도 그라우팅의 흘러내림 및 역류 방지되는 조건으로 고려하였다. 팽창 및 경화 촉진의 기능을 가진 혼화제 중 우레탄, 에폭시 계열 등의 혼화제로 적용범위를 축소시켜 그 배합비를 변화시키면서 배합시험을 실시하였다. Fig. 2는 배합 후 경화시간(발포시

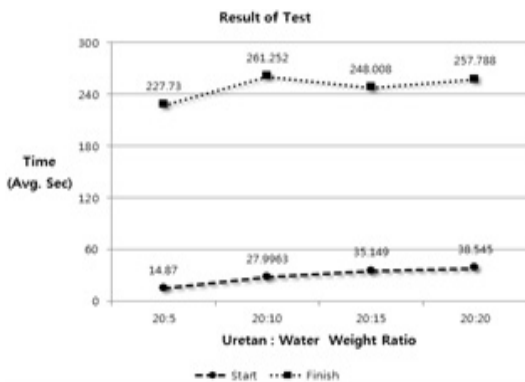


Fig. 2. Results of mixing tests



Fig. 3. Results of mixing tests (after foaming)

Table 1. Lists of mixing tests

| Foaming time (sec) |       | Urethane | Water | Cement | Catalyzer |
|--------------------|-------|----------|-------|--------|-----------|
| Start              | End   | (g)      | (g)   | (g)    | (g)       |
| 19.2               | 179.8 | 20       | 10    | 5      | 5         |
| 27.4               | 172.2 | 20       | 10    | 10     | 5         |
| 25.9               | 201.0 | 20       | 10    | 15     | 5         |
| 28.0               | 156.2 | 20       | 10    | 20     | 5         |

간)을 나타내고 있으며 Table 1은 강도, 팽창율, 발포시간을 고려한 최적의 배합비 한 예이다. 시멘트의 양이 증가할수록 발포시점은 느려지나, 발포 완료시점은 빨라지는 경향을 나타내었고 시멘트 양이 증가할수록 우레탄의 팽창률이 300% 이하로 저하되며, 경화 후 우레탄액이 남아있는 것을 확인하였다. 강도, 팽창률(평균 374.3%), 발포시간 등을 고려하여 최적의 배합비를 선정하였다.

#### 3.2 록볼트 인발시험

##### 3.2.1 실험방법

원형 모형토조(5개)의 크기는 직경 200mm, 높이 1,000mm로 철판으로 제작하였으며 인발시험기는 최대 30ton 하중이 재하되었고 록볼트(철근 D25)를 사용하였다. 록볼트 천공경을 모사하여 진행되는 인발시험의 데이터는 인발 측정시스템을 이용하여 저장하였으며 센서도 각 철근당 3개를 설치하여 계측하였으며 측정시스템은 아래 그림과 같다. 실험 순서는 원형 토조 내에 지반조건을 고려하여 바닥층에 하부 콘크리트를 타설하고 록볼트를 설치하고 그라우팅 충전재를 일반토사(통일분류 SM)로 채운 후 상부 콘크리트를 타설하고 밀봉패커를 설치하였으며 콘크리트 타설 후 7일이 경과 후 인발시험을 13회 실시하였다. 록볼트 인발시험은 록볼트의 긴장력과 변위관계를 변수로 하여 분석하였고 인발시험 후 하부지반과 콘크리트를 굴착하여 설치된 밀봉패커의 형상을 실측하였다.

본 연구에서 실시한 시험조건은 Table 2와 같고 원형 모



Fig. 4. Circular model tester (after packer setted)



Fig. 5. Pullout test measuring system photo

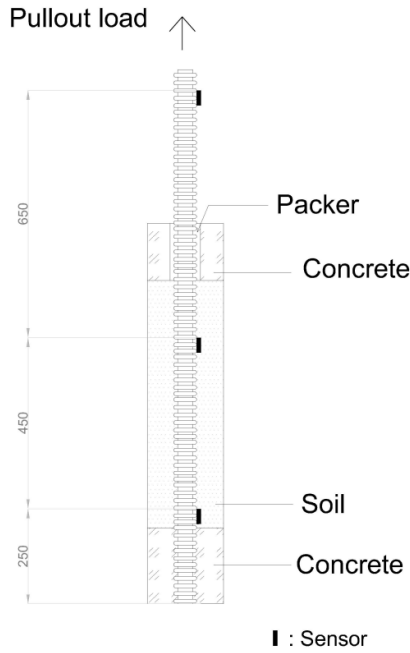


Fig. 6. Pullout test scheme with packer and sensors

Table 2. Test conditions of pullout test

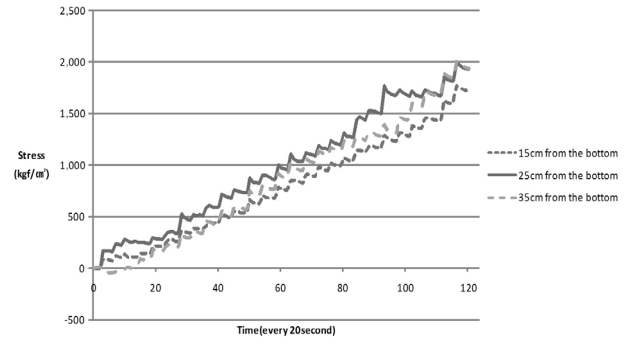
| Soilbox | Concrete thickness (cm) |       |      | Re-bar | Mixing ratio (kg) |      |       |
|---------|-------------------------|-------|------|--------|-------------------|------|-------|
|         | Upper                   | Lower | Soil |        | Cement            | Sand | Water |
| A       | 15                      | 15    | 70   | 25 mm  | Mortar 12         | 3    | 4     |
| B       | 15                      | 15    | 70   | 25 mm  |                   |      |       |
| C       | 12                      | 15    | 73   | 25 mm  | Cement 12         | 3    | 4     |
| D       | 10                      | 15    | 75   | 25 mm  | Cement 10         | 4    | 4     |

형 토조시험기는 인장시험기를 이용한 록볼트 인발시험 측정시스템과 록볼트 시편고정용 지그에 장착되며 인장압축 시험기는 하중을 30ton까지 측정할 수 있고 액츄에이터의 유격거리는 50mm이다. 돌출된 록볼트는 유압 그립으로 잡아 인발실험을 수행하였다.

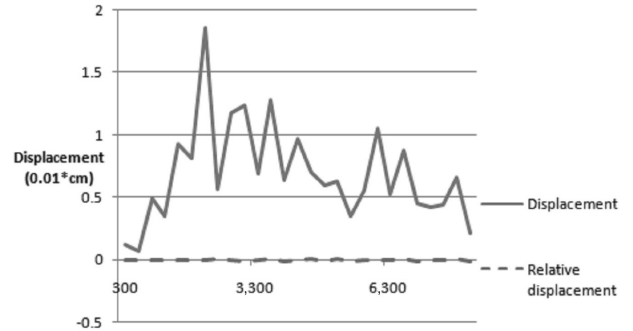
### 3.2.2 실험결과

철도 터널 현장에서 주로 많이 사용하는 접착형 록볼트에서 발생하는 록볼트 인발에 따른 파괴유형은 크게 록볼트 강재와 그라우트 접촉면에서 발생하는 부착력에 따른 슬라이딩에 의한 전단파괴와 그라우트체와 지반과의 접촉면에서 발생하는 주면마찰저항에 의한 전단파괴를 구분할 수 있다(Jang et al., 2006)

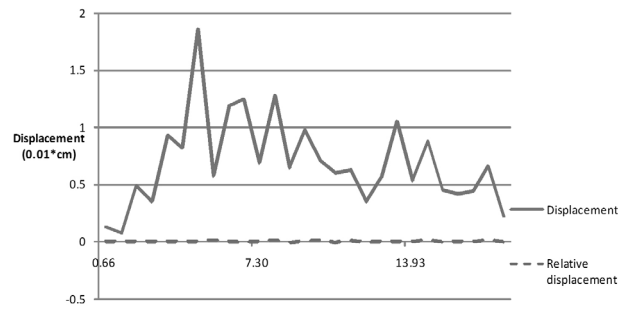
금회 밀봉패커가 설치된 상태에서 인발시험은 실제 현장의 천공경 105mm를 기준으로 하여 실시하였으며 원형 토조 하부에 설치된 콘크리트의 양생시간에 따라 록볼트에 대해 인발시험을 실시한 결과 양생시간에 따른 인발시험 결과에 있어서 최대인발하중은 10ton을 넘지 않았으며 콘크리트의 양생시간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였다.



Stress - elapsed time



Strain - load



Skin friction resistance - strain

Fig. 7. Results of pullout tests

록볼트의 경우 모형 토조 하부 콘크리트의 양생시간에 따른 최대인발하중의 차이는 크지 않았으며 인발시험 횟수나 충전재의 높이에 관계없이 거의 일정함을 보였는데 이것은 콘크리트 지보재가 최대인발하중에 도달할지라도 록볼트(철근)와 충전재(콘크리트, 토사) 사이에 파괴가 거의 일어나지 않으므로 일정한 최대인발하중을 보이는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 인발시험의 결과를 응력-시간, 하중-변위, 상대변위-주면마찰력 관계에 대하여 나타내고 있다. 응력-시간 관계에서는 센서가 철근의 바닥부터 세군데 설치되었으며 변위관계에서는 단계별 인발하중을 적용한 후 1분 경과 후 변위를 측정하여 상대변위를 구한 결과를 그래프로 나타내었다.

Table 3. Results of pullout test

unit: kg/cm<sup>2</sup>

| Item | Pullout stress              |                         | Skin friction resistance           |
|------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------------|
|      | Considering section area of |                         |                                    |
|      | Hydraulic cylinder          | Nominal value of re-bar | Considering contact area of packer |
| A-1  | 501.14                      | 1,696.25                | 19.02                              |
| B-1  | 367.11                      | 1,242.60                | 13.93                              |
| C-2  | 559.41                      | 1,893.49                | 21.23                              |
| A-3  | 559.41                      | 1,893.49                | 21.23                              |
| A-4  | 495.31                      | 1,676.53                | 18.80                              |
| B-4  | 466.17                      | 1,577.91                | 17.69                              |
| C-4  | 582.72                      | 1,972.39                | 22.12                              |
| B-3  | 466.17                      | 1,577.91                | 17.69                              |
| C-3  | 466.17                      | 1,577.91                | 17.69                              |

인발응력은 재하관을 통하여 인발하중이 작용되는 유압 실린더의 단면적으로 인발하중을 나누어 계산하였으며 인발 주면마찰저항은 인발하중에 대하여 금회 설치된 밀봉패커의 설치깊이를 고려하여 패커의 주변 면적으로 나누어 환산하였다.

특히 록볼트와 충전재(콘크리트, 토사) 사이에 파괴가 거의 일어나지 않은 상태에서 변위는 증가하였으나 인발시험의 횟수가 증가하더라도 최대인발하중은 크게 증가하지 않았는데 모형토조 하부의 콘크리트와 록볼트 사이 일부분 파괴가 발생하지 않음으로 인해 모형토조 하부의 콘크리트와 록볼트의 인장강도 및 부착강도가 충분히 발휘된 것으로 판단된다. 특히 인발하중 작용 시 발생한 변위를 상대변위를 평가하였으나 거의 변화가 일어나지 않아 록볼트의 크리프 현상은 발생하지 않은 것으로 판단되므로 밀봉패커가 설치된 상태에서도 록볼트의 인발성능은 충분히 발휘되는 것으로 판단된다.

최대 인발력은 충전재를 적용한 경우 재령 7일의 인발력은 10ton으로 발현하였다. 10ton의 하중이 작용된 후에는 라이너스크류가 균열이 다수 발생하여 수회 재인발시험을 실시하였으나 더 이상의 하중을 재하할 수 없었으며 록볼트와 충전재가 파괴되지 않은 상태이었다. 향후 현장 적용 시에는 그라우팅 충전재의 인성 증대로 인해 대변형 발생 시에도 상당한 인발내력의 확보가 가능할 수 있을 것으로 판단되므로 불리한 지반조건에도 적용이 가능할 것이다.

인발응력은 최대 582.72kg/cm<sup>2</sup>까지 발휘되었으며 개발한 밀봉패커의 주변마찰에 따른 저항력은 22,012kg/cm<sup>2</sup>까지 확보되는 것으로 나타났다. 이 값은 록볼트와 충전재가 파괴되지 않은 상태이므로 라이너스크류가 파괴되지 않았다면 더 큰 값을 얻을 수도 있을 것이다. 금회 개발된 밀봉패커가 설치되는 경우 패커의 부착력은 원형토조 벽면의 마

찰력과 록볼트와 콘크리트의 부착력을 합한 값 이상으로 발휘되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 인발응력에 따르면 록볼트와 충전재 및 밀봉패커가 파괴되지 않은 상태에서 충분한 인발응력을 발휘하는 것으로 판단되어 실제 시공 시 안정성 확보가 가능하다.

인발시험에 의하여 측정된 록볼트의 하중과 변위량의 관계를 분석한 결과에 의하면 인발하중이 10.0ton 이하의 경우 변위량의 증가 하더라도 상대변위가 크지 않다는 것을 알 수 있다.

원형 모형 토조시험으로 내부에 철근과 모형지반을 모사하여 인발시험을 실시하였으며 바닥층은 콘크리트 또는 몰탈, 중간층은 모래지반, 상부층은 콘크리트 지반으로 형성하였다. 천공 후 패커를 설치한 상태에서 철근 인발시험을 13회 실시하였다. 인발시험결과 하중-변위관계를 살펴보면 을 때 적정한 값을 만족하는 것으로 나타났다.

인발시험 결과 시공 시 그라우팅재 대신 모래층을 형성하여 천공 시 밀봉 패커만큼의 그라우팅재가 감소 설치되고 중간 모래층을 설치하였음에도 불구하고 밀봉패커 설치된 상태에서의 인발시험 시 충분한 인발강도를 유지하는 것으로 판단된다. 이는 그라우팅재가 일부 감소되더라도 경화 후 밀봉패커부분의 우레탄 잔류응력이 남아있어서 충분한 강도를 확보할 수 있는 것으로 판단된다. 그러므로 금회 개발한 밀봉패커는 록볼트, 쏘일네일, 그라운드 앵커 등 지보강재에 대한 적용성이 우수한 것으로 판단된다. 인발하중을 금회 개발한 패커의 주변면적으로 나누어 구한 인발주면마찰저항과 패커의 하중시험으로 구한 록볼트 내 패커만의 최대하중(그라우팅 무게 및 철근 무게를 고려한 현장 천공경 내 패커에 미치는 하중시험값 24kg)을 비교하여 패커의 마찰저항력을 검증하였다. 현장 천공경 내 그라우팅 및 철근 하중으로 인하여 패커주변에 미치는 마찰저항은 0.06kg/cm<sup>2</sup>로 계산되었다. 인발시험으로 구한 금회 개발한 밀봉패커의 주변마찰에 따른 저항력은 22.12kg/cm<sup>2</sup>까지 확보되는 것으로 나타나 현장 천공경 내의 그라우팅 및 철근의 무게로 패커에 미치는 마찰력을 충분히 견디는 것으로 나타났다.

### 3.3 밀봉패커 적용성 시험

#### 3.3.1 원형철관 경화 시험 및 사하중 재하

실제 지반조건에서 밀봉패커 설치 후 천공경의 발포 및 경화상태를 파악하기 위하여 원형철관시험기를 제작하였다. 철제 원형토조로서 직경은 내경 80mm, 외경 100mm이고, 길이가 1,000mm이며 1개를 Fig. 8과 같이 제작하였다. 제작한 원형토조와 채움재로 사용한 토사의 토질특성은 원형 모형 토조시험에 적용한 조건과 같다. 원형 철관 시험을

위하여 철근 D25, 포트랜드 시멘트와 잔골재를 이용하며 바닥을 채우고, 토사를 이용하여 중간층을 형성하였으며 금회 개발한 패커를 이용하여 발포 및 경화시험을 실시하였다. 이를 통하여 원형철관으로 구속된 상태에서 발포 및 경화양상을 관찰할 수 있었다. 그리고 금회 개발한 패커설치 후 철근(D16, L=77cm)에 추를 재하하여 천공경내 그라우팅을 고려하지 않은 상태에서 철근에만 작용되는 최대하중을 알아보았다.

Fig. 9에서 패커재하시험 시 실제 시공 시에 적용될 수 있는 무게(실험실에서 재하할 수 있는 값으로 실제 시공 시 철근 길이와 무게, 그라우팅 무게를 고려)의 5배 이상을 고려하여 혼화재의 강도를 예측할 수 있도록 하였다. 실험 결과에 따르면 실제 시공 시 천공경 내 그라우팅 무게와 철근의 무게를 고려하더라도 금회 개발한 밀봉패커가 설치된 후 철근이 견딜 수 있는 무게는 70kg 이상 확보할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

원형 아크릴을 이용한 경화시험에서는 공기 중의 경화속도와 수중의 경화속도를 비교하였다. 경화속도의 기준은 밀봉 패커의 우레탄이 충분히 발포하는 시간을 비교하였으며 공기 중과 수중에서 반복 시험하였다. 시험결과 공기 중보다 수중에서 1.5배 지연되는 것으로 파악되었다. 일반적으로 지반조건은 수중보다는 공기 중에서 지하수가 포함된 상

태로 밀봉패커가 시공되므로 배수층을 고려해야 할 것으로 판단된다.

### 3.3.2 밀봉패커 차수성 시험

본 연구에서 개발한 밀봉패커의 규모는 Table 5와 같으며 그 모형사진, 차수시험 광경은 Fig. 10과 같다. 금회 개발한 패커는 재질을 플라스틱을 사용한 개발제품이다.

금회 개발한 밀봉패커에 대하여 차수성을 확인하기 위하여 실험을 실시하였다. 금회 개발한 혼화재가 발포하기 시작되면 그대로 거치시켜 발포의 형태를 육안 관찰하고 발포가 완료되면 물감을 섞은 물을 부어 물이 새는지 확인한다. 패커의 방수시간은 일반적으로 그라우트체가 굳는 시간인 12시간을 기준으로 측정하였으며 그림과 같이 차수성을 확보하는 것을 확인하였다.

또한, 인발시험을 종료한 후 모형토조와 지반을 굴착하여 해체하고 밀봉패커 형상을 실측한 결과 밀봉패커의 당초 설치 길이보다 최대 11cm 정도 경화 길이가 증가한 것을 확인할 수 있었다. 또한, 패커를 기준으로 횡방향(직경방향)으로 최대 2cm 경화부분이 증가한 것을 확인하였다. 그러므로 밀봉 패커의 해체 시에 발포 후 부착된 경화부분이 일부 떨어져나간 길이도 있으므로 실제 밀봉패커의 규모(직경, 길이)보다 발포 및 경화 부분이 증가하므로 밀봉효과와 차수효과가 발휘될 것으로 간접적으로 판단할 수 있을 것이다. 금회 개발한 밀봉패커를 현장에서 시험한 결과 실내시험결과와 동일한 밀봉효과를 확인할 수 있었다.

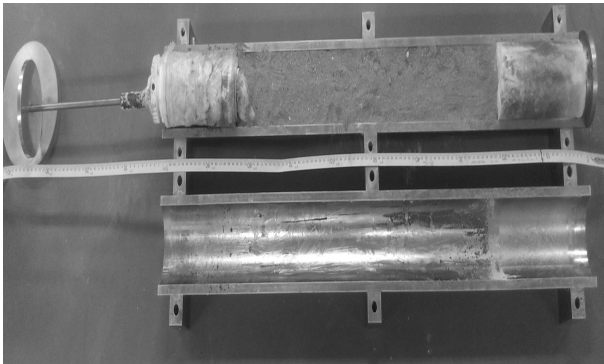


Fig. 8. Circular steel pipe hardening test



Fig. 9. Dead load test of packer, packer after pullout tests

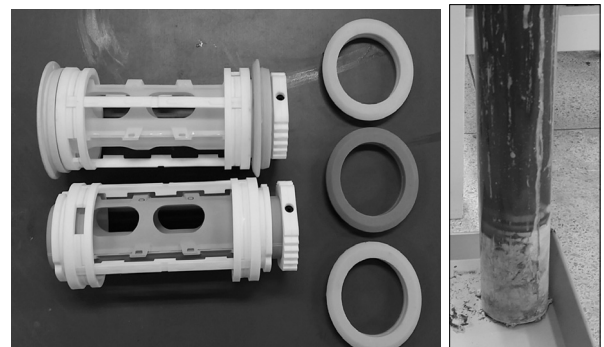


Fig. 10. Photos and leakage test of sealing packer after 12 hours

Table 4. Dimensions of packer

| Item          | Dimension (mm)    |                |                |        |
|---------------|-------------------|----------------|----------------|--------|
|               | Drilling diameter | Inner diameter | Outer diameter | Length |
| Rockbolt      | 105               | 80±5           | 45±5           | 250±5  |
| Soilnail      | 105~110           |                |                |        |
| Ground anchor | 105~110           |                |                |        |

## 4. 결 론

본 연구는 천공 홀 내에서 그라우팅재의 역류방지를 위해 개발된 밀봉패커의 적용성을 평가하기 위하여 자료조사, 실내 모형 토조실험과 인발시험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 록볼트는 정착방법이나 록볼트 소재 및 재료적인 측면에 대한 연구가 대부분으로 터널과 같이 록볼트를 비교적 상향으로 시공하여 그라우팅재가 흘러내리는 방법에 대한 연구는 매우 적어 밀봉패커에 대한 연구가 필요하다.
- (2) 원형 모형 토조시험으로 내부에 철근과 모형지반을 모사하여 인발시험을 13회 실시하였으며 하중-변위, 주변 마찰력-변위관계로 철근, 패커의 안정성을 확인하였다.
- (3) 인발시험 결과 철근 인발응력은 최대  $582.72\text{kg/cm}^2$ , 금회 개발한 밀봉패커의 주변마찰에 따른 저항력은  $22.12\text{kg/cm}^2$ 까지 확보되는 것으로 나타났다.
- (4) 금회 개발한 밀봉패커의 주변마찰에 따른 저항력이 확보되어 현장 천공경 내의 그라우팅 및 철근의 무게로 패커에 미치는 마찰력( $0.06\text{kg/cm}^2$ )을 충분히 견디는 것으로 나타났다.
- (5) 원형 철관시험을 통하여 밀봉패커 설치 시 밀봉패커가 철근무게와 그라우팅재 무게를 합한 무게 이상 작용 시 변위가 발생하는지 사하중 재하시험을 실시하였으며  $70\text{kg}$  이상에 대하여 충분히 견디는 것으로 파악되었다.
- (6) 원형 아크릴을 이용한 밀봉패커의 차수시험을 실시하여 차수성을 확인하였고, 경화시험에서는 공기 중의 경화속도와 수중의 경화속도를 비교하였다. 경화시험결과 공기 중보다 수중에서 경화속도가 1.5배 지연되는 것으로 파악되었다. 지반조건이 수중보다는 공기 중에서 지하수가 포함된 상태에서 밀봉패커가 시공되므로 배수

층을 고려해야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 중소기업청 창업성장과제(과제번호 S2261436)에 의해 지원되었습니다. 또한, 이 논문은 2016학년도 김포대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## References

1. 김동수, 김진용, 이상만, 김광남, 정재열, 강용국 (2014), 안전과 환경을 고려한 주지보재(락볼트) 시공에 관한 연구, 건설관리(한국건설관리학회지), 한국건설관리학회, 제15권, 5호, pp. 36-40.
2. 김성수, 이병철, 김종진, 지동환 (2003), 터널 1차 지보재 내구성 확보방안, 한국터널공학회 학술논문집 터널기술, 제 5권, 제 2호, pp. 52-61.
3. 이두화 (1998), 흘러내림방지용 캡을 이용한 록볼트 시공기술, 대한토목학회지, 제 46권, 제 11호, pp. 119-123.
4. An, J. H. and Lee, S. D. (2009), Reinforcing effect of pre-tensioned rock bolts in the jointed rocks condition, Tunnel & Underground Space, Journal of Korean Society for Rock Mechanics, Vol. 19, No. 5, pp. 388 (in Korean).
5. Jang, S. J., Gwak, S. J. and Kim, D. J. (2006), A study on the problem and improvement plan of rock bolt pull test for railroad tunnel construction, Journal of The Korean Society for Railway, Vol. 9, No. 1, pp. 89-90 (in Korean).
6. Kim, J. W., Kang, C. W. and Song, H. L. (2011), Supporting characteristics of a spiral bolt through pull-out test, Explosives & Blasting (Journal of Korean Society of Explosives & Blasting Engineering), Vol. 29, No. 1, pp. 10-11 (in Korean).
7. Lee, Y. T. (2009), A study on tensile and shear performance of GFRP rock bolt, Master's thesis, Hanyang University, pp. 12-24 (in Korean).
8. Moon, W. J. (2007), Supporting effects of system bolting at the tunnel in cohesionless ground, Master's thesis, Ajou University, pp. 10-41 (in Korean).