Research Paper

탄성복원력을 이용한 마찰형 강관 록볼트 및 기존 록볼트에 대한 인발력 실험연구

손무락[1*] · 김지현[2]

[1]정회원, 대구대학교 건설시스템공학과 정교수
[2]비회원, 대구대학교 건설시스템공학과 학생

Experimental study on pullout capacity on friction type steel pipe rock bolt to use elastic restoring force and existing rock bolts

Moorak Son[1*] · Jihyun Kim[2]

[1]Professor, Dept. of Civil Engineering, Daegu University
[2]Undergraduate Student, Dept. of Civil Engineering, Daegu University

***Corresponding Author :** Moorak Son, mson@daegu.ac.kr

Abstract

In this study, an experiment on pullout capacity was conducted of rock bolts using grouting materials such as cement mortar and resin, which are widely used, and a newly proposed steel pipe friction type rock bolt using elastic restoring force, and the results were compared and analyzed. The experimental results showed that the pullout capacity on the rock bolts with cement mortar under a dry condition (no ground water) was relatively larger than the rock bolts with resin and the steel pipe. Nevertheless, the friction type steel pipe rock bolt to use elastic restoring force is expected to be useful in the field particularly where groundwater exists and it affects the loss and curing of grouting materials such as cement mortar or resin. In addition, it was found to have the advantage of being easy and quick to install.

Keywords: Tunnel, Friction type steel pipe rock bolt, Elastic restoring force, Pull-out capacity

초 록

본 연구에서는 국내에서 많이 활용되고 있는 시멘트 모르타르 및 수지와 같은 그라우팅 재를 이용한 정착형 록볼트와 새롭게 제시되는 탄성복원력을 이용한 강관 마찰형 록볼트에 대한 인발력실험을 수행하고 그 결과를 비교분석 하였다. 지하수가 없는 건조한 조건에서 실험한 결과, 기존 시멘트 모르타르를 이용한 록볼트에 대한 인발력이 레진을 이

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association
25(6)459-468(2023)
https://doi.org/10.9711/KTAJ.2023.25.6.459

eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

Received October 12, 2023
Revised November 13, 2023
Accepted November 14, 2023

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright ⓒ 2023, Korean Tunnelling and Underground Space Association

용한 록볼트와 마찰형 강관 록볼트와 비교하여 측정한 인발력이 상대적으로 크게 나타났다. 그럼에도 불구하고 탄성복원력을 이용한 마찰형 강관 록볼트는 특히 지하수가 존재하여 그라우팅재료의 손실과 양생에 영향을 미치는 현장조건에서 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 더불어 마찰형 강관 록볼트는 설치가 간편하고 빠른 장점을 가질 수 있는 것으로 나타났다.

주요어: 터널, 마찰형 강관 록볼트, 탄성복원력, 인발력

1. 서 론

국내·외 터널을 포함하는 지하공간 개발 및 도로/철도 건설이 증가하면서 굴착 주변지반의 이완 및 붕괴사고를 방지하고 최소화할 수 있는 록볼트의 필요성 및 중요성 또한 점점 증가하고 있다. 많은 연구자들이 전면접착형 록볼트(Stille et al., 1989; Indraratna and Karser, 1990; Oreste and Peila, 1996)를 포함한 다양한 록볼트의 거동에 대해서 많은 연구를 진행하여 왔다. 국내에서도 침투수력을 고려한 전면접착형 록볼트의 거동에 대한 연구가 진행된 바 있고(Lee et al., 2005) 고강도 강관을 적용한 SP-록볼트 개발 및 현장적용 연구가 수행된 바 있다(Shin et al., 2017). 또한, 팽창형 강관 록볼트의 암반강성에 따른 정착 거동특성에 대한 연구가 발표된 바 있다(Kim et al., 2017). 이와같이 록볼트의 개발 및 거동에 대한 다양한 연구는 앞으로도 계속될 것으로 판단된다.

국내·외적으로 다양한 종류의 록볼트가 이용되고 있으며, 그 중에서 천공홀에 이형강봉을 삽입하고 시멘트 모르타르 또는 수지(Resin) 그라우팅재를 사용하여 암석블록의 이완과 낙반을 방지하는 록볼트가 가장 많이 사용되고 있는 것 중의 하나이다. 그럼에도 불구하고 이와 같은 록볼트는 그라우팅재가 경화되기까지 시간이 소요될 뿐만 아니라 용출수구간에서는 정착력 확보가 어렵다는 문제점 등이 존재한다. 또한 강봉을 둘러싸고 있는 그라우팅재의 두께 및 부착강도가 일정하지 않을 수 있어(Son et al., 2014) 응력집중 및 불균형 응력현상을 발생시켜 록볼트의 기능을 감소시킬 수 있는 문제점 또한 존재한다. 또한 그라우팅재가 화학재료인 관계로 인체 및 주변환경에 피해를 줄 수 있는 문제점도 있다. 또 다른 많이 사용되는 록볼트는 스웨덴 아트라스 콥코사에서 개발한 Swellex록볼트로 천공홀에 삽인한 후 록볼트내에 수압을 가해 팽창시켜 천공홀벽에 정착시키는 구조로 되어 있다. Swellex 록볼트는 록볼트를 팽창시키기 위하여 가압장치를 미리 마련해야 하고 수압으로 인해 팽창한 록볼트가 단부 등에서 천공홀벽에 완전하게 밀착하지 않을 수 있는 문제점이 존재한다(Fig. 1). 또한, 물을 사용함으로써

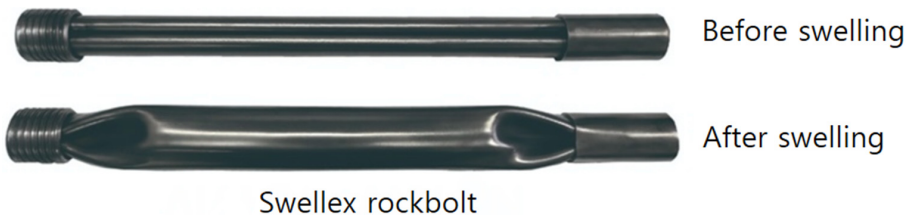
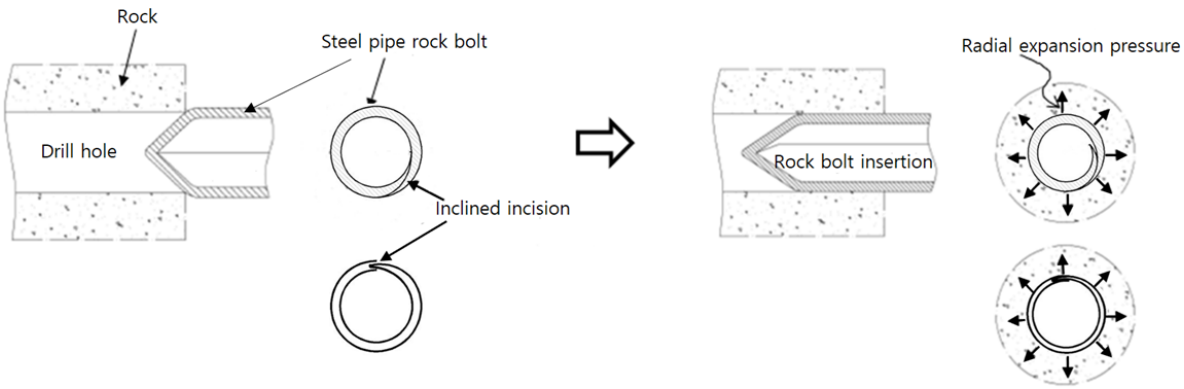


Fig. 1. Swellex rockbolt (EBN Industrial Economy, 2022)

풍화성 암석의 경우 주변암반의 풍화를 촉진할 우려가 있으며 무엇보다도 록볼트 비용이 고가인 문제점이 있다.

본 연구에서는 상기 언급한 기존 록볼트의 문제점을 해소하고 개선할 수 있는 새로운 록볼트를 제시하고 관련 실험결과 및 그 의의를 제공하고자 한다. 새롭게 제시되는 록볼트는 천공되는 홀의 직경보다 큰 직경을 가지고 있는 탄성 강관으로서 주변압력에 의해 직경이 줄어들 수 있도록 길이방향으로 경사지게 절개된 형태를 가지고 있다. 제작된 탄성 강관을 천공홀에 유압장치 등(천공 유압장치 이용 가능)을 이용하여 압력을 가하여 강제 삽입하게 되면 강관이 원래의 직경으로 회복하려는 천공홀벽을 향한 탄성복원력(팽창압)을 이용하여 록볼트를 정착시키는 것이다(Fig. 2 참조). 이와 같은 록볼트를 이용하여 인발력 실험을 수행하고 기존의 국내에서 많이 활용되고 있는 시멘트 모르타르 및 수지(Resin)와 같은 그라우팅재를 이용한 록볼트의 인발력 실험결과와 비교하고 그 결과를 분석하였다.



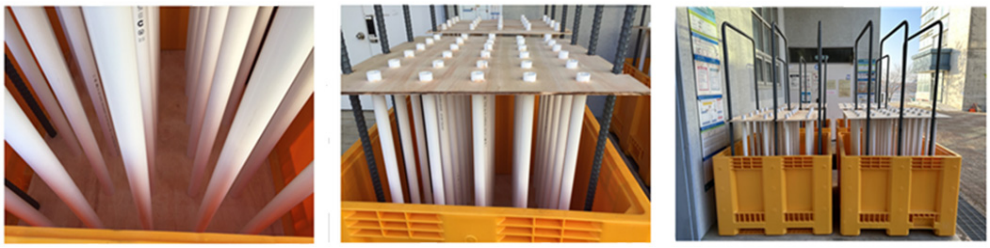
(a) Before rock bolt insertion (b) After rock bolt insertion

Fig. 2. Schematic view of rock bolt installation and mechanism of radial expansion pressure generation

2. 실험방법 및 절차

연구수행을 위해서 암반지반 및 블록을 모사하기 위한 지반체를 제작하였으며, 천공홀 직경에 해당하는 PVC 파이프를 콘크리트 타설 전 미리 설치하고 이후 콘크리트를 타설 및 경화시킨 후 설치된 파이프를 제거하고 천공홀을 형성하였다(Fig. 3). 플라스틱 컨테이너 박스 4개에 PVC파이프(직경: 38 mm, 42 mm 두 종류)를 150 mm (직경 38 mm 경우) 및 200 mm (직경 42 mm 경우) 간격으로 각각 2박스씩 배치하여 설치한 후 레미콘 콘크리트(강도: 27 MPa, 40 MPa 두 종류)를 각각 2박스씩 타설하였다. 콘크리트 타설 후 하루가 경과된 후 PVC파이프를 제거하여 천공홀을 형성하였으며 천공홀의 깊이는 50 cm가 되도록 하였다. 이와 별도로 절개된 탄성 강관 록볼트를 유압을 이용하여 천공홀에 관입시키기 위하여 29 mm 철근을 이용하여 박스당 3개의 반력대를 형성하였다.

천공홀이 형성된 콘크리트(암반모사)를 공기중에서 47일 양생하여 콘크리트가 충분히 경화된 것을 확인한 다음 형성된 천공홀에 다양한 특성을 가지는 다수의 록볼트 시험체를 설치하였다(Table 1).



(a) Installation of PVC pipes for making drill holes

(b) Concrete pouring for making

(c) Drill holes formed after removing PVC pipes

Fig. 3. Formation of rock bolt drill holes

Table 1. Cases of rock bolt for pullout capacity tests

Cases	Diameter of drill hole (38 mm)	Diameter of drill hole (42 mm)	Compressive strength of concrete block (27 MPa)	Compressive strength of concrete block (40 MPa)
Cement mortar + 25 mm deformed rebar	○	○	○	○
Cement mortar + Cement expanding agent (1%) + 25 mm deformed rebar	○	○	○	○
Cement mortar + Cement expanding agent (10%) + 25 mm deformed rebar	○	○	○	○
Resin for quick fixing + 25 mm deformed rebar	○	○	○	○
Incised steel pipe (SGT275, diameter:42.7 mm, thickness: 2 mm)	○	○	○	○
Incised steel pipe (KSD3507, diameter:42.7 mm, thickness: 3.5 mm)	○	○	○	○

실험에 사용된 시멘트 모르타르는 시멘트:모래:물의 중량비를 1:1:0.42로 하였으며 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고 모래는 주문진 표준사를 이용하였다. 팽창제는 ○○에서 판매하는 팽창제를 사용하였으며 비율은 시멘트중량을 기준으로 1% 및 10%를 각각 적용하였으며 수지(Resin)는 ○○에서 판매하는 급결용 수지(Resin)를 사용하였다. 철근은 항복강도 400 MPa (SD400)인 직경 25 mm 이형철근을 사용하였으며 강관파이프는 SGT275 (외경 42.7 mm, 두께 2.0 mm) 및 KSD3507 (외경 42.7 mm, 두께 3.25 mm)를 사용하여 실험을 수행하였다. Fig. 4는 다양한 종류의 록볼트 시험체를 제작하는 모습을 보여주고 있다. 암반블록 천공홀(깊이 50 cm)에 록볼트 시험체를 설치하고 7일이 경관한 후, 각 시험체에 대해 인발시험기(30톤 용량, Fig. 5)를 이용하여 록볼트 인발력(정착강도)을 측정하였다. Fig. 6은 다양한 록볼트 시험체에 대한 인발력 측정모습을 보여주고 있다.

(a) Installation of deformed rebar after filling the cement mortar into a drill hole

(b) Installation of deformed rebar after inserting the resin tube into a drill hole

(c) Insertion of the incised steel pipe into a drill hole using hydraulics and reaction beam

Fig. 4. Manufacturing various types of rock bolt test specimens

Fig. 5. Measuring instrument for rock bolt pullout capacity

(a) Pullout capacity test of 25 mm deformed bar

(b) Pullout capacity test of incised steel pipe

Fig. 6. Measuring pullout capacity of various rock bolt test specimens

3. 실험결과 및 분석

다양한 록볼트 시험체에 대한 관입깊이 50 cm에 대한 인발력 측정 실험결과를 Table 2에 나타냈다. 록볼트 시험체는 종류 및 조건에 따라 2개씩 인발력을 측정한 후 평균값을 이용하였다.

Table 2. Results of pullout capacity measurement of different rock bolts (based on the length of 50 cm), unit: kN

Cases	Diameter of drill hole (38 mm), Compressive strength of concrete block (27 MPa)	Diameter of drill hole (38 mm), Compressive strength of concrete block (40 MPa)	Diameter of drill hole (42 mm), Compressive strength of concrete block (27 MPa)	Diameter of drill hole (42 mm), Compressive strength of concrete block (40 MPa)
Cement mortar + 25 mm deformed rebar	125	144	145	232
Cement mortar + Cement expanding agent (1%) + 25 mm deformed rebar	240	229	117	238
Cement mortar + Cement expanding agent (10%) + 25 mm deformed rebar	256	250	223	224
Resin for quick fixing + 25 mm deformed rebar	55	52	30	58
Incised steel pipe (SGT275, diameter:42.7 mm, thickness: 2 mm)	33	34	32	34
Incised steel pipe (KSD3507, diameter:42.7 mm, thickness: 3.5 mm)	57	59	51	50

용출수가 없는 건조한 실내실험 조건 하에서 록볼트 인발력 측정실험 결과, 시멘트 모르타르 + 25 mm 이형철근을 이용한 록볼트 시험체와 시멘트 모르타르 + 팽창제(10%) + 25 mm 이형철근을 이용한 록볼트 시험체에서 인발력이 가장 크게 나타났다. 특히 팽창제를 이용했을 때 더 큰 인발력이 발생함을 알 수 있었다. 그럼에도 불구하고 이와 같은 종류의 록볼트는 서론에서 언급한 바와 같이 그라우팅재가 경화되기까지 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 용출수 구간에서는 정착력 확보가 어렵다는 문제점이 존재한다. 또한, 실험결과에서 나타난 바와 같이 시공 및 설치조건에 따라 인발력 발현강도가 크게 차이가 날 수 있음을 알 수 있었다. 급결용 수지(Resin) + 25 mm 이형철근을 이용한 록볼트 시험체에서는 측정된 인발력이 상대적으로 작게 발생하였는데 이는 수지(Resin) 설치 후 록볼트를 삽입할 시 충분한 회전에 의해 수지(Resin)액이 잘 혼합되지 않은 결과로 판단된다. 다시 말해서 그라우팅재로서 수지(Resin)를 이용할 경우의 록볼트 인발력은 설치조건에 크게 영향을 받을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 수지(Resin)제의 경우, 시멘트 모르타르을 이용한 경우와 비교하여 경화속도가 빠른 장점이 있으나 용출수 구간에서는 시멘트 모르타르와 마찬가지로 경화제의 유실 등으로 인해 소요 정착강도를 얻을 수 없는 문제점이 있다. 절개된 탄성 강관 록볼트의 인발력은 강관의 두께가 작은 SGT275 (두께 2 mm)의 경우, 천공홀 직경 및 콘크리트블럭 강도에 크게 영향을 받지 않았는 것으로 나타났으며, 측정된 인발력은 절개된 강관파이프 0.5 m 기준으로 약 33 kN으로 측정되었다. 그럼에도 불구하고 록볼트 설치길이가 더 길어지고 콘크리트블록의 강도 차이가 더 크게 발생한다며 천공홀 직경 및 블럭강도의 영향이 나타날 것으로 판단된다. 강관의 두께가 더 두꺼운 KSD3507 (두께 3.5 mm)의 경우, 측정된 인발력은 SGT275보다 더 크게 측정되었으며 천공홀 직경이 더 작은

경우 측정 인발력이 더 크게 발생했는데 이는 천공홀벽에 작용하는 절개된 강관파이프의 압력이 더 크게 작용하였기 때문인 것으로 판단된다. 강관의 두께가 더 두꺼운 KSD3507 경우, 천공홀 직경이 38 mm일 때는 절개된 강관파이프 0.5 m 기준으로 인발력이 약 58 kN으로 측정되었으며 천공홀 직경이 42 mm로 증가된 경우에는 절개된 강관파이프 0.5 m 기준으로 약 50 kN으로 측정되었다. 실험에 고려된 콘크리트블록의 강도범위 내에서 절개된 강관 록볼트 인발력에 대한 강도의 영향은 나타나지 않았지만 더 큰 차이를 가지는 강도에 대해선 더 큰 탄성계수의 차이로 인해 영향이 있을 것으로 유추되나 이는 추가실험을 통해 확인해야 할 것으로 판단된다.

종합적으로 실험결과를 분석해 보면 용출수가 고려되지 않은 실험실 환경조건에서 비록 시멘트 모르타르와 팽창제를 이용한 기존의 록볼트에 대한 인발력이 크게 측정되었지만, 기존 문헌 및 현장사례들을 통해 알 수 있는 바와 같이 그라우팅재의 경화시간이 소요되고 용출수가 존재하는 현장조건에서는 그라우팅재의 유실 등으로 인해 소요강도를 얻지 못할 수 있는 문제점이 존재한다. 따라서 그라우팅재를 이용한 록볼트의 인발력은 설치환경에 매우 의존적일 수 있는 것으로 판단된다. 이와 비교하여 천공되는 홀의 직경보다 큰 직경을 가지고 있으면서 관입에 의해 직경이 줄어들 수 있도록 제작된 마찰형 탄성 강관 록볼트는 상기의 경화시간 소요 및 정착제 유실 등의 문제점을 해소할 수 있을 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 절개된 탄성 강관을 천공홀에 강제삽입하게 되면 원래의 직경으로 회복하려는 천공홀벽을 향한 탄성복원력(팽창압)을 이용한 마찰저항력에 의해 충분한 인발력을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 더불어 후방에서 압을 가하여 관입시키기만 하면 되므로 록볼트 설치를 간편하고 신속히 할 수 있는 특징이 있으며, 록볼트 설치 작업공정이 단순하여 공기를 단축할 수 있고 필요재료도 절감할 수 있는 장점이 있을 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 제한된 제원 및 실험실 조건에서의 록볼트 인발력의 단순 절대값만을 측정하여 비교하였기 때문에 향후 다양한 조건에 대한 록볼트 변위-인발력을 토대로 한 인발력 발현과정에 대한 추가연구 및 현장실험을 토대로 한 확인 및 검증이 필요할 것으로 판단된다. 이와 더불어 탄성 강관의 재질, 직경 및 두께, 지반강도, 천공홀 직경 등 다양한 요인을 고려한 탄성복원력의 발현정도에 대한 연속연구도 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 제시하고자 한다.

1. 본 연구에서는 실내조건에서의 록볼트 인발력 실험을 위한 천공홀 형성부터 인발력 측정까지의 실험 전체과정에 대한 방법 및 절차를 소개하고 제시함으로서 향후 다양한 형태의 록볼트 실험을 위한 정보를 제공하고자 하였다.
2. 용출수가 고려되지 않은 건조한 실내실험 조건 하에서 고려된 록볼트 인발력 측정실험결과, 시멘트 모르타르 + 25 mm 이형철근을 이용한 록볼트 시험체와 시멘트 모르타르 + 팽창제(10%) + 25 mm 이형철근을 이용한 록볼트 시험체에서 인발력이 가장 크게 나타났으며, 특히 팽창제를 이용했을 때 더 큰 인발력이 발생함을 알

수 있었다.

3. 그라우팅재로서 수지(Resin)를 이용한 경우, 인발력이 상대적으로 작게 나타났는데, 이는 수지(Resin) 설치 후 록볼트를 삽입할 시 충분한 회전에 의해 수지(Resin)액이 잘 혼합되지 않은 결과로 판단된다. 다시 말해서 그라우팅재로서 수지(Resin)를 이용할 경우의 록볼트 인발력은 설치조건에 크게 영향을 받을 수 있다는 것을 알 수 있었다.
4. 절개된 강관의 탄성복원력을 이용하는 마찰형 강관 록볼트를 이용할 때 본 연구에서 사용한 강관기준 및 관입깊이 0.5 m를 토대로 단순비례로 산정한 결과 소요 인발력 100 kN을 얻기 위해서 SGT275 (두께 2 mm)의 경우 약 1.5 m, KSD3507 (두께 3.5 mm)의 경우 약 1 m의 길이면 충분할 것으로 나타났지만 향후 현장실험을 토대로 확인 및 검증이 필요할 것으로 판단된다.
5. 본 연구에서 제시하는 마찰형 강관 록볼트는 기존 그라우팅재를 이용한 록볼트의 단점인 경화시간 소요 및 용출수 구간에서의 그라우팅재 유실로 인한 소요 정착강도 문제점 등을 해소하고자 고안되었지만 그 성능과 특징은 향후 현장실험 및 팽창형 강관록볼트와의 비교실험 등을 포함한 다양한 추가 실험 등을 통해 확인해야 할 것으로 판단된다. 다시 말해서 본 연구의 결과는 제한적인 제원 및 실험실 조건에서의 결과를 토대로 한 것임을 밝혀두고자 한다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. NRF-2021R1F1A1063856)을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

저자 기여도

손무락은 연구 개념 정립 및 데이터 분석, 원고 작성을 하였고, 김지현은 실험보조를 하였다.

References

1. EBN Industrial Economy (2022), Kolon Global's 'Tube-type steel rock bolt' acquired green technology certification, https://m.ebn.co.kr/news/view/1538079 (September 27, 2023).
2. Indraratna, B., Kaiser, P.K. (1990), "Design for grouted rock bolts based on the convergence control method", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 27, No. 4, pp. 269-281.
3. Kim, K.C., Kim, H.J., Jung, Y.H,, Shin, J.H. (2017), "Anchorage mechanism of inflatable steel pipe rock-bolt depending on rock stiffness", Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 19, No. 2, pp. 249-263.

4. Lee, I.M., Kim, K.H., Shin, J.H., Nam, S.W. (2005), “Behavior of grouted bolts in consideration of seepage forces”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 7, No. 3, pp. 209-218.
5. Oreste, P.P., Peila, D. (1996), “Radial passive rockbolting in tunnelling design with a new convergence-confinement model”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 33, No. 5, pp. 443-454.
6. Shin, H.K., Jung, H.S., Ahn, D.W. (2017), “A study on the development and field application of SP-Rockbolt with high-strength steel pipe”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 19, No. 4, pp. 651-668.
7. Son, S.G., You, J.O., Kim, J.H., Lee, I.G., Son, Y.H. (2014), “A plan to guarantee quality of rockbolt for the improvement of tunneling”, Proceedings of the 2014 Autumn Conference & Annual Meeting of the Korean Society for Railway, Jeju, pp. 610-614.
8. Stille, H., Holmberg, M., Nord, G. (1989), “Support of weak rock with grouted bolts and shotcrete”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 26, No. 1, pp. 99-113.