

록 볼트 및 스파이럴 볼트의 지보특성

조영동¹⁾, 송명규²⁾, 이청신³⁾, 강추원⁴⁾, 고진석⁴⁾, 강성승^{4)*}

Support Characteristics of Rock Bolt and Spiral Bolt

Young-Dong Cho, Myung-Kyu Song, Chung Shin Lee,
Choo-Won Kang, Jin-Seok Ko, Seong-Seung Kang

Abstract This study is to evaluate an effect of supports with respect to these supports after comparing the characteristic of support between rock bolt of a widely used type and spiral bolt of a new type. For these purposes, we performed pull-out test in laboratory about rock and spiral bolts in the case of cement-mortar grout curing periods, 7 and 28 days, then calculated pull-out load, displacement, external pressure, inner pressure and shear stress using data obtained from the results of pull-out test, respectively. In relation between pull-out load and displacement, displacement of spiral bolt is larger than one of rock bolt. It is considered that mechanical property of rock bolt is due to larger than one of spiral bolt. In addition, displacement of supports shows nearly same or decreasing with curing periods. We found that because adhesive force between supports and cement-mortar grout is increasing with compressive strength of grout according to curing periods. The inner pressure of spiral bolt is represented larger than one of rock bolt at a step of same pull-out load. It is suggested that spiral bolt is more stable than rock bolt, maintaining stability of ground or rock mass, when supports are installed in a ground or rock mass under the same condition. Putting together with above results, we can consider that spiral bolt as a new support on an aspect of pull-out load and inner pressure is larger than rock bolt in a ground or rock mass under the same condition. Moreover, spiral bolt is more effective support than rock bolt, considering an economical and constructive aspects of supports, as well as ground or rock stability before or after installing supports.

Key words Rock bolt, Spiral bolt, Pull-out test, External pressure, Shear stress

초 록 이 연구는 지보재로서 가장 널리 사용되고 있는 록 볼트와 새로운 지보 형태인 스파이럴 볼트에 대한 지보특성을 비교하여 두 지보재의 지보효과를 평가하는데 있다. 이를 위하여 시멘트-모르타르 그라우트의 양생기간이 7일과 28일에 대한 록 볼트와 스파이럴 볼트의 실내인발시험을 실시하였으며, 각 시험결과로부터 인발하중, 변위 그리고 구속압, 내부압, 전단응력 등을 각각 구하였다. 인발하중에 대한 변위의 관계를 보면 각각의 양생기간에 대해서 스파이럴 볼트의 변위가 록 볼트에 비해 크게 나타나는데, 이것은 록 볼트의 역학적 성질이 스파이럴 볼트보다 크기 때문인 것으로 사료된다. 또한 양생기간이 길 경우 두 지보재의 변위는 거의 동일하거나 감소하는 경향을 보이는데, 그 원인은 양생기간에 따라 그라우트의 압축강도가 증가하므로 지보재와 시멘트-모르타르 그라우트 사이의 부착력이 증가하기 때문으로 사료된다. 구속압을 비교한 결과 동일한 인발하중단계에서 스파이럴 볼트의 구속압이 록 볼트보다 크게 나타났다. 이러한 사실은 같은 조건하에 있는 지반이나 암반에 지보재를 설치할 경우 시공성 측면에서 스파이럴 볼트가 록 볼트보다 지반이나 암반의 안정성을 확보하는데 더 효과적임을 지시한다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 같은 조건하에 있는 지반이나 암반에 지보재를 설치할 경우 새로운 형태의 지보재인 스파이럴 볼트가 기존의 지보재인 록 볼트보다 인발하중과 구속압을 더 크게 발휘하는 것으로 사료된다. 아울러, 지보재에 있어서 경제성, 현장에서의 지보재 시공성 뿐만 아니라 지보재 설치 전후의 지반이나 암반의 안정성 측면 등을 고려할 때 스파이럴 볼트가 록 볼트에 비하여 더 효과적인 것으로 판단된다.

핵심어 록 볼트, 스파이럴 볼트, 인발시험, 구속압, 전단응력

¹⁾(주)무진네오테크 대표이사 ²⁾(주)단우기술단 기술연구소 소장 ³⁾조선대학교 자원공학과 박사과정 ⁴⁾조선대학교 자원공학과 교수

* 교신저자 : kangss@chosun.ac.kr

접수일 : 2009년 5월 6일

심사 완료일 : 2009년 6월 16일

개재 확정일 : 2009년 6월 17일

1. 서론

굴착공법 중의 하나인 NATM(New Austrian Tunneling Method)공법은 원래의 지반이 가지고 있는 지지능력을 최대한 이용하기 위한 방법이며 주로 발파식 터널굴착에 적용된다. 이 공법은 지압을 크게 받고 있는 지형, 토층이 얇은 지형, 연약한 암반이나 신선한 암반으로 구성된 지형 등 다양한 지형환경에 터널을 굴착할 경우 적용될 수 있다. 원래의 지반환경은 도로개발에 의한 사면이나 터널의 형성, 그리고 에너지 저장시설을 위한 지하공간 개발과 같은 지하 구조물의 형성 등으로 인하여 지반의 응력상태가 변한다. 이러한 응력상태의 변화는 지반을 변형시켜 지반의 불안정성을 야기해 사면에서 연약대를 따라 미끄러짐이 발생하거나 터널 중 손상대 내에서 붕괴가 발생하거나, 또는 거대한 지하공간에서의 파괴가 나타나는 등의 문제를 일으킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 불안정하게 놓여있는 지반상태를 안정화시켜 주는 작업이 무엇보다 중요하다. 불안정한 지반을 적절한 수준까지 안정화시키기 위한 다양한 방법들이 개발되었는데 그 대표적인 예로는 그라운드 앵커(ground anchor method), 록 볼트(rock bolt), 케이블 볼트(cable bolt)와 같은 지보재이다.

그라운드 앵커는 지반의 안정성을 유지시키기 위하여 사용되는 지보재 중의 하나로서 주로 토사와 같은 연약 지반에 사용된다. 이러한 지보재를 이용한 그라운드 앵커공법은 대상지반에 천공한 시추공에 그라우트를 주입하여 정착부에 설치된 강재 케이블을 이용하여 인장력을 가함으로써 정착부와 지반사이에 반력인 압축력을 발생시켜 지반의 전단강도를 증가시킴으로써 지반의 안정화를 유도할 수 있다(김낙경, 2001; 김래현 외, 2002). 그라운드 앵커공법은 사면붕괴 방지, 구조물의 부상이나 전도 방지 등에 이용되고 있으며, 그 활용 범위와 규모가 다양해지고 있다. 록 볼트나 케이블 볼트는 주로 터널을 굴착한 후 시멘트 그라우트의 마찰력이나 부착력을 이용하여 지반과 지보재를 고정시킴으로써 지반의 안정성을 확보하는데 주요한 목적이 있다(Hudson, 1989; Indraratna and Kaiser, 1990; Bawden et al., 1992; Yazici and Kaiser, 1992; Hyett et al., 1995; Tannant, 1995; Oreste and Peila, 1996; Jeng and Huang, 1999;

Ito et al., 2001). 그라운드 앵커공법은 인장력을 유도하지만, 록 볼트나 케이블 볼트공법은 인장력을 유도하지 않는다. 하지만, 이들 공법들은 기하학적 형상으로 지반의 움직임을 일차원의 저항작용을 이용하여 지반이나 구조물 사이의 안정성을 유지시킨다는 측면에서 유사하다.

스파이럴 볼트는 새로운 형태의 지보재로서 판상의 강판에 비틀림 힘을 작용시켜 만든 나선형 형태의 지보재다(Hirata et al., 2005). 연약지반인 경우 그라운드 앵커뿐만 아니라 록 볼트나 케이블 볼트를 지반내에 설치하기 위해서는 일차적으로 천공작업이 이루어져야 하지만, 스파이럴 볼트의 경우 천공작업 없이 지보재 자체만의 회전으로도 지반내에 설치가 가능하다. 견고한 암반일 경우 기존의 지보재처럼 시추공에 스파이럴 볼트를 투입한 후 그라우트를 주입함으로써 스파이럴 볼트와 지반사이를 고정시켜 지보효과를 발휘시킬 수 있다. 이렇듯 스파이럴 볼트는 기존의 그라운드 앵커, 록 볼트, 케이블 볼트의 지보재와는 다른 형태를 가짐은 물론, 기존의 지보재와 비교하여 지보특성이나 지보효과에 있어서도 다르게 나타난다. 하지만 스파이럴 볼트가 지보재로서 갖는 특성이나 효과, 그리고 지보 메커니즘은 아직 구체적으로 규명되지 않았다.

이 연구에서는 지보재로서 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 록 볼트와 새로운 형태의 지보재인 스파이럴 볼트를 대상으로 (1) 시멘트-모르타르 그라우트의 양생조건에 따라 실내인발시험을 수행하였다. (2) 시험 결과로 얻은 데이터를 이용하여 하중-변위, 구속압-변위-하중, 내부압-전단응력의 관계를 분석하였다. (3) 이들 관계에서 록 볼트와 스파이럴 볼트사이의 지보특성의 차이점을 살펴본 후, 두 지보재의 지보효과를 비교하였다.

2. 록 볼트와 스파이럴 볼트의 역학적 성질

이 연구에서 사용한 록 볼트의 재질은 SD35이고 스파이럴 볼트는 SS400에 해당된다. 두 지보재의 역학적 성질을 Table 1에 정리한 바와 같이 록 볼트의 크기는 직경이 25 mm이고 스파이럴 볼트는 두께 9 mm, 폭 25 mm이다. 이형봉강 형태인 록 볼트와 나선형 형태인 스

Table 1. Physical properties of rock and spiral bolts

	Material	Size (mm)	Area (mm ²)	Elongation (%)	Yield load (tf)	Pull-out load (tf)
Rock bolt	SD35	$\phi = 25$	506.7	19	25.8	35.3
Spiral bolt	SS400	$t = 9, d = 25$	225	38	6.9	10.2



Fig. 1. Appearance of rock and spiral bolts.

파이럴 볼트의 형상은 Fig. 1에서 보여준다. 단면적의 크기는 록 볼트가 스파이럴 볼트보다 약 2.3배 크을 보인다. 역학적 성질인 신장률은 스파이럴 볼트가 록 볼트보다 2배 높은 반면 항복하중과 인발하중은 록 볼트가 스파이럴 볼트보다 각각 3.7배와 3.5배 높게 나타났다. 즉, 두 지보재의 역학적 성질은 신장률을 제외한 항복하중과 인발하중에서 단면적이 큰 록 볼트가 스파이럴 볼트보다 높게 나타났다.

3. 실내인발시험

3.1 공시체와 실내인발시험 방법

인발시험을 위한 공시체의 모식도는 Fig. 2와 같다. 공시체의 인공압반은 내부직경 69.2 mm, 두께 3.6 mm, 길이 550 mm인 연강원통관으로서 그 내부에 물과 시

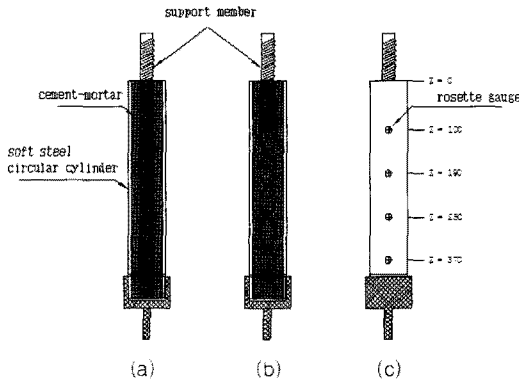


Fig. 2. Specimen for pull-out test of rock and spiral bolts installed in a thin-walled hollow cylinder with grouting.

멘트-모르타르의 혼합비가 0.288:1인 그라우트를 주입하여 지보재를 고정시켰다. 시멘트-모르타르 그라우트의 양생기간은 실내 및 현장에서 인발시험을 실시할 때 일반적으로 사용하는 7일과 28일의 두 가지 경우를 설정하였다. 공시체의 인공압반인 연강원통관과 그라우트의 물리적 성질 특성은 Table 2에 정리하였다. 연강원통관의 영률과 포아송비는 각각 206 GPa과 0.30이다. 그라우트의 물리적 성질은 인발시험용 공시체와 같은 시기에 제작한 원주형 시험편을 이용하여 일축압축시험을 각각 5회 실시하여 그 평균값을 택하였다. 시멘트-모르타르 그라우트에 있어서 일축압축강도, 영률 및 포아송비는 양생기간 7일의 경우 24.76 MPa, 28.18 GPa, 0.27이며, 28일의 경우 36.97 MPa, 42.27 GPa, 0.25로 나타났다.

인발시험은 Fig. 3에서 보이는 바와 같이 공시체를 공시체의 축과 시험기의 축이 일치되도록 설치한 다음 0.5 kN정도의 초기하중을 가하여 상하에 있는 고정용 지그를 이용하여 고정시킨 후 인발하중을 서서히 가하면서 시험과 계측을 실시하였다. 인발시험기는 영점조정과 하중속도 조절이 가능한 만능재료시험기(Model No. KPUT-100)를 사용하였다. 또한 인발로 인하여 연강원

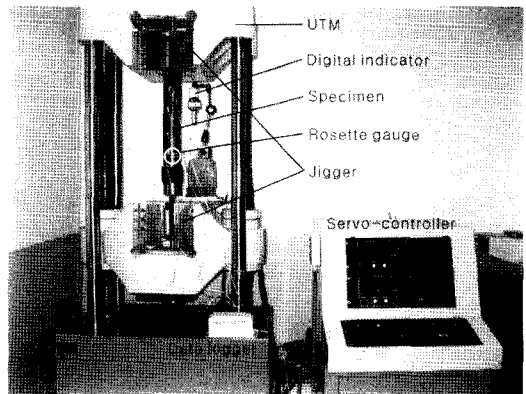


Fig. 3. Universal testing machine for pull-out test and data logger and digital indicator for measuring strain and displacement.

Table 2. Mechanical properties of a thin-walled hollow cylindrical specimen and grouting material with curing time. ϕ_{in} : inner diameter, t : thickness, E_r : Young's modulus, ν_r : Poisson's ration of thin-walled hollow cylindrical specimen; S_t : Uniaxial compressive strength, E_g : Young's modulus, ν_g : Poisson's ratio of grout.

Thin-walled hollow cylindrical specimen				Grout (W:C-M=0.288:1)			
ϕ_{in} (mm)	t (mm)	E_r (GPa)	ν_r	Curing	S_t (MPa)	E_g (GPa)	ν_g
69.2	3.6	206	0.30	7 days	24.76	28.18	0.27
				8 days	36.97	42.27	0.25

통관에 발생하는 응력을 평가하기 위하여 그 표면에 로제트게이지를 $z=100\text{ mm}, 190\text{ mm}, 280\text{ mm}, 370\text{ mm}$ 등의 4개 지점에 부착하였다(Fig. 2(c)). 각 게이지로부터 발생한 변형을 값들은 디지털 변형률 측정기(Model No. DC3100)를 이용하여 획득하며 그 값들은 곧바로 컴퓨터에 저장된다. 하중이 작용하면서 발생한 변위는 디지털 변위기(Model No. 543-464B)를 이용하여 측정하였다.

3.2 구속압 및 내부압 평가 방법

인발시험에 의한 원통관 표면의 변형률을 측정하여 그 결과를 기본으로 원통관에 발생한 응력을 계산하고 얇은 원통관이론(Yazici and Kaizer, 1992)을 이용하여 지보재의 구속압을 검토하였다. 인발하중 변형률 관계에서 인발하중이 낮은 단계에서는 선형관계를 보이며, 이는 원통관이 탄성체이며 탄성거동을 보이는 것과 일치한다. 하지만 인발하중이 증가하면 변곡점이 발생하고 비선형으로 거동함을 알 수 있다. 이러한 비선형 거동은 인발하중에 의한 원통관의 소성화에 기인한 것이 아니라 지보재가 인발됨으로써 공시체 내부에 부착과 파괴가 발생하여 공시체 내부로부터 팽창압이 발생하여 나타나는 현상으로 판단된다. 선형영역에서는 각각의 게이지에 대한 로제트게이지 이론(Dally and Riley, 1991)을 이용하면 전단변형률은 거의 0이 되므로, x 와 y 방향의 변형률이 주변형률이 된다. 반면에 비선형영역에서는 공시체 내부로 변화가 일어나지 않은 경우 원통관의 실선으로 나타난 거동, 즉 실선에서 떨어진 변형률은 원통관 내부의 변화에 의한 것으로 가정할 수 있다(Fig 4). 이러한 가정으로부터 x 와 y 방향에서 측정한 변형률로부터 실선에 나타난 탄성 변형률을 뺀 변형률의 차를 각각의 ϵ_x^* 와 ϵ_y^* 라 하면 x 방향의 진변형률(true strain) ϵ_x

는 원통관의 포아송 비(ν)를 이용하여 아래와 같은 식으로 평가할 수 있다.

$$\epsilon_x = \epsilon_x^* + \nu \epsilon_y^* \tag{1}$$

또한 원통관에 작용한 응력은 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다. 만약, x 방향의 응력을 σ_x 라 할 때, 원통관의 내압, 즉 지보재의 구속압(external pressure, p_{ex})는 식 (2)를 이용하여 평가할 수 있다.

$$p_{ex} = \frac{t}{r} \sigma_x \tag{2}$$

여기서, t 는 연강 원통관의 두께로서 3.6 mm, r 은 연강 원통관의 내부 반경으로서 34.6 mm를 각각 나타낸다(Fig. 5(a)).

지보재 인발시험을 실시할 때 Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이 지보재를 중심으로 원상의 파괴면이 발생한다. 이 파괴면은 전단응력이 발생과 함께 팽창(dilatancy)이 발생하게 되는데 이를 내부압(internal pressure, p_{in})이라 한다. 인발시험에 의해 계산된 구속압과 내부압의 관계는 식 (3)으로 표현할 수 있다(Yazici and Kaiser, 1992).

$$p_{in} = \beta p_{ex} \tag{3}$$

$$\beta = \frac{\frac{1+\nu_r}{E_r} + \frac{1+\nu_g}{E_g(r_2^2-r_1^2)} [(1-2\nu_g)r_2^2+r_1^2]}{\frac{1+\nu_g}{E_g(r_2^2-r_1^2)} [(1-2\nu_g)r_1^2+r_1^2]}$$

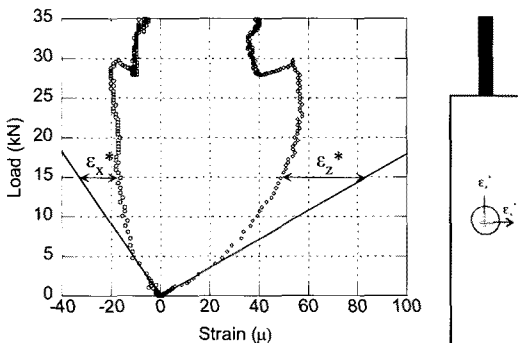


Fig. 4. Pull-out load versus axial and lateral strains for calculating true strain to the x- and y-directions.

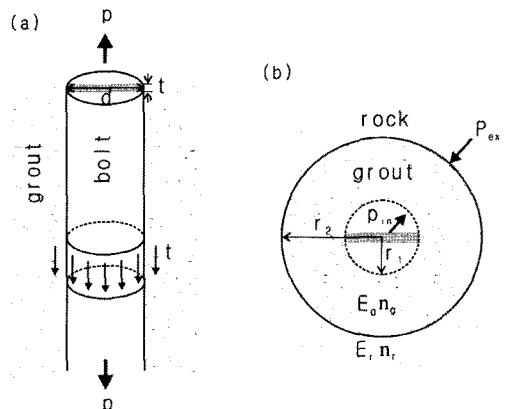


Fig. 5. Schematic diagram of pull-out test and theory of a thin-walled hollow cylinder.

또한, 전단응력은 지보재의 폭을 직경으로 하는 원주의 단면적과 전단응력의 곱으로 표현하는 인발하중 식 (4)로부터 유도하여 구할 수 있다.

$$p = \pi dl\tau \tag{4}$$

$$\tau = \frac{p}{\pi dl}$$

4. 실험 결과 및 분석

4.1 인발하중-변위 관계

양생시간 7일과 28일에 대한 록 볼트와 스파이럴 볼트의 인발하중-변위 곡선을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6(a)에서 보이는 바와 같이 양생기간 7일의 경우 시험을 시작한 후 두 지보재 모두 완만한 경향을 보이다가 록 볼트는 인발하중이 변위가 12.5 mm지점인 198 kN까지 급격하게 증가하다 그 이후로 완만하게 증가하는 경향을 보였다. 인발하중-변위 곡선에서 알 수 있듯이 록 볼트의 최대변위는 18.3 mm이고 최대인발하중은

226.4 kN이다. 스파이럴 볼트는 9.8 mm지점인 208 kN까지 급격히 증가하다 그 이후로는 록 볼트와 비슷하게 완만한 증가 형태를 보였다. 스파이럴 볼트의 최대변위는 20.9 mm이고 최대인발하중은 285.6 kN이다. 양생기간 28일의 경우 록 볼트의 최대변위는 14.0 mm이고 최대인발하중은 240.1 kN, 스파이럴 볼트의 최대변위는 19.1 mm이고 최대인발하중은 287.1 kN로 나타났다 (Fig. 6(b)). 이들의 결과를 Table 3에 정리하였다.

4.2 구속압-변위-인발하중 관계

양생시간 7일과 28일에 대한 록 볼트와 스파이럴 볼트의 구속압-변위-인발하중 곡선은 Fig. 7과 같다. 양생기간 7일의 경우 록 볼트는 최대변위 18.3 mm/최대인발하중 226.4 kN인 위치에서 3.1 GPa의 구속압을 보인 반면, 스파이럴 볼트는 최대변위 20.9 mm/최대인발하중 285.6 kN인 위치에서 7.5 GPa의 구속압을 보였다 (Figs. 7(a), (c)). Figs. 7(a)과 6(c)에서 나타난 것과 같이 양생기간 28일의 경우 록 볼트는 최대변위 14.0 mm/최대인발하중 240.1 kN인 위치에서 5.5 GPa의 구속압

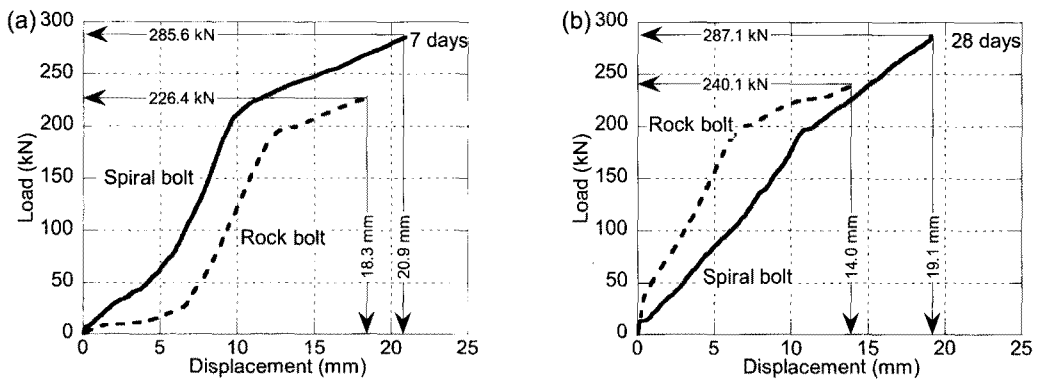


Fig. 6. Pull-out load versus displacement.

Table 3. Results of displacement, pull-out load, external pressure, internal pressure, and shear stress. u_{max} : maximum displacement, L_{max} : maximum pull-out load, p_{e-max} : maximum external pressure, p_{in-max} : maximum internal pressure, τ_{max} : maximum shear stress.

	Rock bolt		Spiral bolt	
	7 days	28 days	7 days	28 days
u_{max} (mm)	18.3	14.0	20.9	19.1
L_{max} (kN)	226.4	240.1	285.6	287.1
p_{e-max} (GPa)	3.1	5.5	7.5	10.3
p_{in-max} (GPa)	11.5	22.9	28.1	43.0
τ_{max} (MPa)	9.6	10.2	12.1	12.2

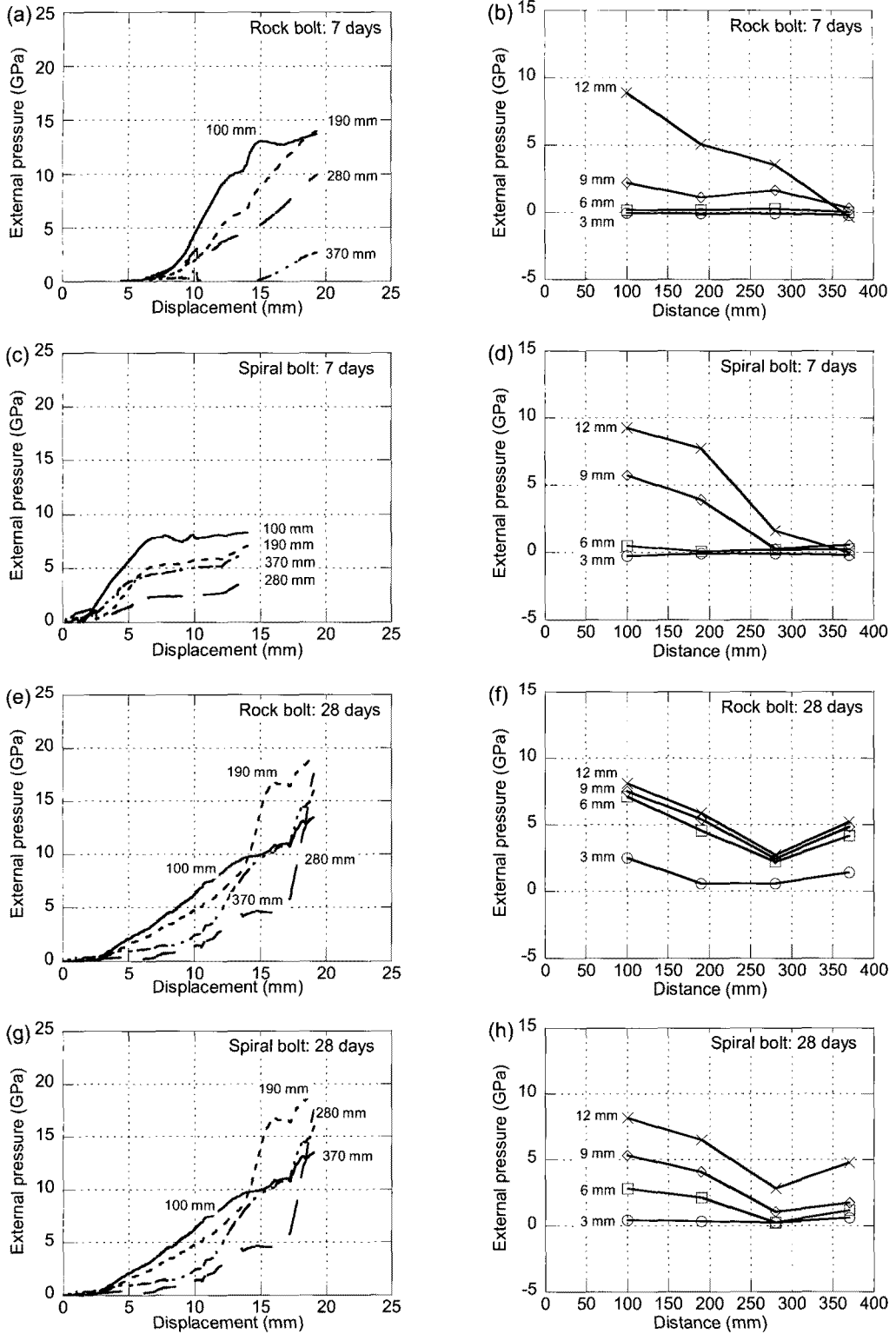


Fig. 8. External pressure versus displacement and distribution of external pressure according to z position.

을 보인 반면, 스파이럴 볼트는 최대변위 19.1 mm/최대인발하중 287.1 kN인 위치에서 10.3 GPa의 구속압을 보였다. 즉, 스파이럴 볼트가 록 볼트보다 약 1.9배(28일)~2.4배(7일) 정도 큰 구속압이 작용한 것으로 나타났다. 지보재 구속압은 양생기간의 증가할수록 증가하는 비례관계에 있음을 알 수 있다.

4.3 구속압 분포

인발시험에 의한 연강원통관에 부착된 로제트게이지 위치($z=100$ mm, 190 mm, 280 mm, 370 mm)에 따른 지보재의 구속압과 변위 변화, 그리고 구속압의 분포 변화를 양생기간 7일과 28일에 대하여 살펴보았다. RB-25(7 days)는 변위가 약 8 mm가 발생하기 이전까지는 각 z 지점간의 구속압은 차이가 거의 없었으나 8 mm 이상의 변위가 발생하기 시작하였을 때부터 각각의 z 지점의 구속압은 차이가 나타나기 시작하며 $z=100$ mm $>z=190$ mm $>z=280$ mm $>z=370$ mm의 순으로 구속압이 높았다(Fig. 8(a)). Fig. 8(b)에서 이와 같은 사실을 명확하게 보여준다. SB-25(7 days)는 Fig. 8(c)와 같이 변위는 구속압과 함께 증가하며 변위가 약 6 mm 발생하였을 때 각 z 지점의 구속압은 차이가 나타나기 시작한다. Fig. 8(d)를 통해 변위량에 따른 구속압의 분포를 살펴보면 Fig. 8(c)와 마찬가지로 z 의 거리가 늘어날수록 구속압이 감소하여 $z=370$ mm일 때 최소의 구속압을 발휘하는 것으로 나타났다.

RB-25(28 days)는 변위가 증가할 수록 구속압 역시 증가함을 보이며(Fig. 8(e)), 구속압의 크기는 $z=100$ mm $>z=190$ mm $>z=370$ mm $>z=280$ mm순으로 나타났다. 특히 변위가 약 2 mm정도 발생하였을 때 각 z 지점의 구속압의 차이는 커짐을 알 수 있다. Fig. 8(f) 역시 같은 결과를 나타낸다. SB-25(28 days)에 대한 결과 값은 Fig.

8(g)와 같다. 즉, SB-25(28 days)는 약 3 mm의 변위가 발생할 시점부터 각 z 지점의 구속압은 $z=100$ mm $>z=190$ mm $>z=280$ mm $>z=370$ mm 순으로 차이가 나타나기 시작한다(Fig 8(h)).

4.4 내부압-전단응력 관계

양생기간 7일과 28일에 대한 록 볼트와 스파이럴 볼트의 내부압-전단응력 곡선을 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9(a)에서와 같이 양생기간 7일의 경우 록 볼트는 최대 내부압이 11.5 GPa인 지점에서 최대전단응력 9.6 MPa, 스파이럴 볼트는 최대내부압이 28.1 GPa인 지점에서 최대전단응력 12.1 MPa를 보였다. 양생기간 28일의 경우 록 볼트는 최대내부압이 22.9 GPa인 지점에서 최대전단응력 10.2 MPa, 스파이럴 볼트는 최대내부압이 43.0 GPa인 지점에서 최대전단응력 12.2 MPa를 보였다(Fig. 9(b)). 내부압-전단응력 곡선에서 알 수 있듯이 내부압은 양생기간의 증가와 함께 증가하는 경향을 보인 반면, 전단응력의 경우 뚜렷한 특징을 보이지 않는다. 지보재와 그라우트 사이의 내부압은 스파이럴 볼트가 록 볼트보다 더 크게 작용한 것으로 나타났다.

5. 결론

지보재인 록 볼트와 스파이럴 볼트의 실내인발시험을 수행하여 두 지보재의 지보특성과 지보효과를 비교하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 인발하중-변위 관계에서 양생기간 7일에 대한 록 볼트의 최대변위는 18.3 mm, 최대인발하중은 226.4 kN, 스파이럴 볼트의 최대변위는 20.9 mm, 최대인발하중은 285.6 kN인 반면, 양생기간 28일의 경우 록 볼트의 최대변위는 14.0 mm, 최대인발하중은 240.1 kN, 스

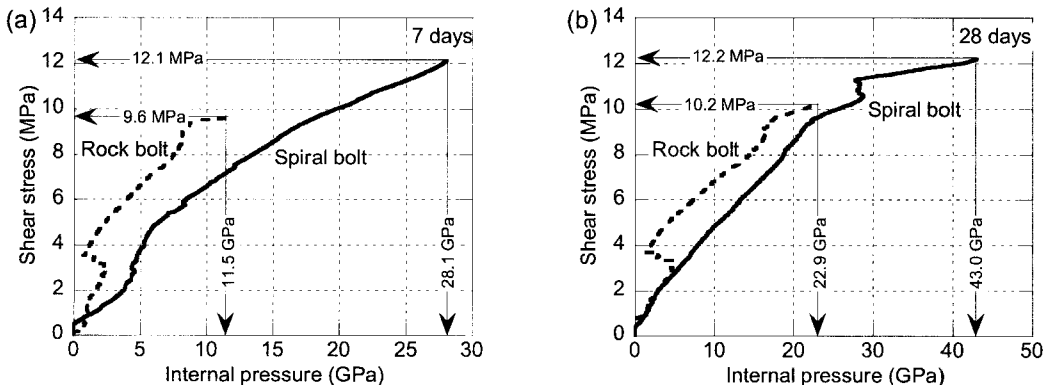


Fig. 9. Internal pressure versus shear stress.

파이럴 볼트의 최대변위는 19.1 mm이고 최대인발하중은 287.1 kN로 나타났다. 즉, 양생기간이 길 경우 두 지보재의 변위는 거의 동일하거나 감소하는 경향을 보였는데, 그 원인은 양생기간에 따라 그라우트의 압축강도가 증가하므로 지보재와 그라우트 사이의 부착력이 증가하기 때문으로 사료된다.

둘째, 구속압-변위-인발하중 관계에서 양생기간 7일의 경우 록 볼트는 최대변위 18.3 mm/최대인발하중 226.4 kN인 위치에서 구속압 3.1 GPa. 스파이럴 볼트는 최대변위 20.9 mm/최대인발하중 285.6 kN인 위치에서 7.5 GPa의 구속압을 보인 반면, 양생기간 28일의 경우 록 볼트는 최대변위 14.0 mm/최대인발하중 240.1 kN에서 구속압 5.5 GPa, 스파이럴 볼트는 최대변위 19.1 mm/최대인발하중 287.1 kN에서 10.3 GPa의 구속압을 보였다. 즉, 동일한 인발하중단계에서 스파이럴 볼트의 구속압이 록 볼트보다 크게 나타나는데, 이러한 사실은 같은 조건하에 있는 지반이나 암반에 지보재를 설치할 경우 스파이럴 볼트가 록 볼트보다 지반이나 암반의 안정성을 확보하는데 더 효과적임을 시사한다.

셋째, 내부압-전단응력 관계에서 양생기간 7일의 경우 록 볼트는 최대내부압이 11.5 GPa에서 최대전단응력 9.6 MPa, 스파이럴 볼트는 최대내부압이 28.1 GPa에서 최대전단응력 12.1 MPa를 보인 반면, 양생기간 28일의 경우 록 볼트는 최대내부압이 22.9 GPa에서 최대전단응력 10.2 MPa, 스파이럴 볼트는 최대내부압이 43.0 GPa에서 최대전단응력 12.2 MPa를 보였다.

이상의 결과들을 종합해 볼 때, 지보재의 지보특성은 그라우트 재료의 양생기간과 지보재의 형상에 따라서 다르게 나타남을 알 수 있다. 또한 같은 조건하에 있는 지반이나 암반에 지보재를 설치할 경우 새로운 형태의 지보재인 스파이럴 볼트가 기존의 지보재인 록 볼트보다 인발하중과 구속압을 더 크게 발휘하는 것으로 사료된다. 아울러, 지보재에 있어서 경제성, 현장에서의 지보재 시공성 뿐만 아니라 지보재 설치 전후의 지반이나 암반의 안정성 측면 등을 고려할 때 스파이럴 볼트가 록 볼트에 비하여 더 효과적일 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2008년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다. 또한 이 논문을 위해 세심한 조언을 해주신 두 분의 심사자께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

1. 김낙경, 2001, 인장형 앵커와 압축형 앵커의 하중전이에 관한 연구, 한국지반공학회지, 17, 59-68.
2. 김래현, 이기환, 이우진, 김대규, 김낙경, 2002, 현장시험에 의한 그라운드 앵커 시스템의 크리프 및 단기거동 특성 연구, 대한토목학회지, 22, 585-594.
3. Bawden, W.F., Hyett, A.J. and Lausch, P., 1992, An experimental procedure for the in situ testing of cable bolts, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 29, 525-533.
4. Dally, W. and Riley, F., 1991, Experimental stress analysis, 3rd ed., McGraw-Hill, 311-340.
5. Hirata, A., Kokaji, S., Kang, S.S. and Goto, G., 2005, Study on the estimation of the axial resistance of spiral bar based on interaction with ground, Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan, MMIJ, 121, 370-377.
6. Hudson, J.A., 1989, Rock mechanics principles in engineering practice, CIRIA, London, 40-47.
7. Hyett, A.J., Bawden, W.F., Macsporrn, G.R. and Moosavi, M., 1995, A constitutive law for bond failure of fully-grouted cable bolts using a modified Hoek cell, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 32, 11-36.
8. Indraratna, B. and 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, 27, 269-281.
9. Ito, F., Nakahara, F., Kawano, R., Kang, S.S. and Obara, Y., 2001, Visualization of failure in a pull-out test of cable bolts using X-ray CT, Construction and Building Materials, 15, 263-270.
10. Jeng, F.-S. and Huang, T.-H., 1999, The holding mechanism of under-reamed rockbolts in soft rock, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36, 761-775.
11. Oreste, P.P. and Peila, D., 1996, Radial passive rock bolting in tunnelling design with a new convergence-confinement model, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 33, 443-454.
12. Tannant, D.D., Brummer, R.K. and Yi, X., 1995, Rock-bolt behavior under dynamic loading: Field tests and modeling, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 32, 537-550.
13. Yazici, S. and Kaizer, P.K., 1992, Bond strength grouted cable bolts, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 29, 279-292.



조영동

1988년 조선대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1994년 강원대학교 대학원 자원공학과
공학석사

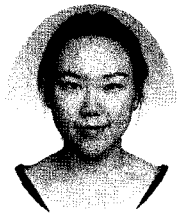
Tel: 02-2108-1999
E-mail: moojin@empal.com
현재 (주)무진네오테크 대표이사



송명규

1992년 한양대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1994년 한양대학교 공과대학 자원공학과
공학석사
2001년 한양대학교 대학원 자원공학과
공학박사

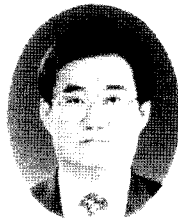
Tel: 031-776-0070
E-mail: singsong@paran.com
현재 (주)단우기술단 기술연구소 소장



이청신

2006년 조선대학교 공과대학 자원공학과
공학사
2008년 조선대학교 공과대학 자원공학과
공학석사

Tel: 062-230-7876
E-mail: specialcs@naver.com
현재 조선대학교 자원공학과 박사과정



강추원

1973년 조선대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1981년 조선대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1999년 강원대학교 대학원 자원공학과
공학박사

Tel: 062-230-7117
E-mail: cwkang@mail.chosun.ac.kr
현재 조선대학교 자원공학과 교수



고진석

1979년 조선대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1981년 조선대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1995년 한양대학교 대학원 자원공학과
공학박사

Tel: 062-230-7118
E-mail: jsgo@mail.chosun.ac.kr
현재 조선대학교 자원공학과 교수



강성승

1983년 조선대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1996년 강원대학교 자연대학 지구물리학과
이학석사
2000년 구마모토대학 대학원 토목공학과
Ph.D.

Tel: 062-230-7112
E-mail: kangss@chosun.ac.kr
현재 조선대학교 자원공학과 교수