

인발시험을 통한 스파이럴 볼트의 지보특성

김장원¹⁾, 강추원^{2)*}, 송하림³⁾

Supporting Characteristics of a Spiral Bolt through Pull-out Test

Jang-Won Kim, Choo-Won Kang and Ha-Lim Song

Abstract To make large slopes or rock structures stable, supporting systems, such as anchor bolt, rock bolt and spiral bolt which are developed recently, are commonly used. In this study, in-situ pull-out tests were carried out to compare the characteristics of rock bolt that is most widely used with ones of spiral bolt that is newly developed. Re-pull-out test for the spiral bolt in which loading and unloading cycles are repeated three times showed that the maximum pull-out load is almost constant irrespective of the number of loading cycles, which may be due to no failure between spiral bolt and filler. On the other hand, the maximum pull-out load for the conventional rock bolt decreases with the number of loading cycles due to the partial failure between rock bolt and filler.

Key words Spiral bolt, Rock bolt, Pull-out test, Re-pull-out test, Maximum pull-out load

초 록 대규모 사면이나 암반구조물의 불안정한 지반을 새로운 평형상태로 유지시키기 위한 지보재로서 그라운드 앵커, 케이블 볼트, 록 볼트와 최근 새로운 형태로 개발된 지보재인 스파이럴 볼트가 있다. 이에 본 연구에서는 현재 가장 널리 이용되고 있는 지보재인 록 볼트와 새롭게 개발되고 있는 스파이럴 볼트를 대상으로 터널 내 현장 인발시험을 수행하여 지보재의 특성을 분석하였다. 최대인발하중의 변화 양상을 살펴보기 위해 수행한 스파이럴 볼트와 록 볼트에 대한 3회 재인발시험의 결과를 보면 스파이럴 볼트의 경우는 인발시험 횟수에 관계 없이 거의 일정함을 보였는데, 이것은 지보재가 최대인발하중에 도달할지라도 스파이럴 볼트와 충전재 사이에 파괴가 거의 일어나지 않으므로 일정한 최대인발하중을 보이는 것으로 판단된다. 반면에 록 볼트의 경우 인발시험의 횟수가 증가할수록 인발하중은 점점 감소하였는데, 이것은 지보재가 최대인발하중에 도달할 때 록 볼트와 충전재 사이에 일부분 파괴가 발생함으로 인해서 나타나는 현상으로 판단된다.

핵심어 스파이럴 볼트, 록 볼트, 인발시험, 재인발시험, 최대인발하중

1. 서 론

암반사면이나 터널 등 암반구조물을 역학적으로 안정되도록 굴착하더라도 시간이 경과하면 지반응력 상태 변화에 따라 암반의 강도가 저하되고, 암반구조물

이 파괴된다. 또한, 오랜 시간동안 안정된 상태에 있던 자연사면에서 낙석이 발생하거나 사면이 파괴되는 예도 종종 있다. 이와 같은 현상에서 보듯이 암반구조물 주변의 암반강도는 약화되므로 대규모 사면이나 암반 구조물을 장기간 안정되게 유지하기 위해서는 불안정한 지반을 붕괴 또는 이완현상이 없는 새로운 평형상태로 유지시키는 것이 필요하다. 이를 위한 지보재로서 현재 일반적으로 사용하고 있는 그라운드 앵커, 케이블 볼트, 록 볼트와 연약지반 보강, 각종 시설물의 기초, 농업분야의 비닐하우스 기초, 옹벽 기초 등에 효과적으로 사용할 수 있는 새로운 형태의 스파

¹⁾ (주)강동산업 주임

²⁾ 조선대학교 에너지자원공학과 교수

³⁾ 조선대학교 에너지자원공학과 박사과정

* 교신저자 : cwkang@chosun.ac.kr

접수일 : 2011년 6월 7일

심사 완료일 : 2011년 6월 15일

게재 승인일 : 2011년 6월 19일

이럴 볼트(spiral bolt)가 연구개발되어졌다.

새로운 형태의 스파이럴 볼트란 연성인 평철(SS400)에 양단면을 고정시킨 후 축회전 시켜 만든 나선형 형태의 지보재로서(Hirata et al., 2003, 2005), 외국의 경우 주로 연약지반의 보강이나 각종 시설물의 독립 기초용으로 사용되고 있다. 이와 관련한 연구로서 스파이럴 구조체의 그라운드 앵커 적용에 관한 기초적 검토(Hirata et al., 2003, 2005)와 은 스파이럴 구조체의 Ground anchor 적용에 관한 성능 시험과 스파이럴 구조체의 Ground anchor 적용시험, 지반 보강 공법에 의 Spiral bar의 적용성에 관한 검토(Haraguchi et al., 2006), Spiral anchor에 의한 시추공 내의 팽창압의 분포와 인발시험에 의한 스파이럴 볼트와 지반과의 상호작용에 의한 스파이럴 볼트의 축 방향 저항력 산정에 대한 연구(Hirata et al., 2003, 2005) 등의 다양한 연구가 수행되어졌으나, 터널 굴착 시 지반 보강을 위한 록 볼트의 대체 지보재로서 연구가 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 현재 가장 널리 이용되고 있는 지보재인 록 볼트와 새롭게 개발되고 있는 스파이럴 볼트를 대상으로 터널 내 현장 인발시험을 수행

하여 스파이럴 볼트와 록 볼트의 역학적 특성 차이점을 비교하고, 스파이럴 볼트와 록 볼트의 재 인발시험에 따른 지보재로서의 효과를 비교하여 지보재의 특성을 분석하고자 한다.

2. 스파이럴 볼트 및 록 볼트의 특성

2.1 스파이럴 볼트의 재료 특성

본 연구를 위한 터널 내 인발시험에 사용된 스파이럴 볼트 재료의 역학적 특성은 Table 1, Table 2와 같으며, 스파이럴 볼트의 형상은 Fig. 1과 같다. 특히 스파이럴 볼트의 시험 재료 선정 시, 록 볼트와 유사한 조건에서의 시험을 위해 단면적 및 강도의 저하, 볼트와 천공경과의 비를 고려하였고, SD500W으로 제작된 스파이럴 볼트는 SD500W의 평철이 국내에서 생산되지 않은 관계로 이형봉강 SD500W를 평철로 가공하여 사용하였다.

2.2 록 볼트의 재료 특성

록 볼트의 재료로서는 일반적으로 이형봉강, 트위

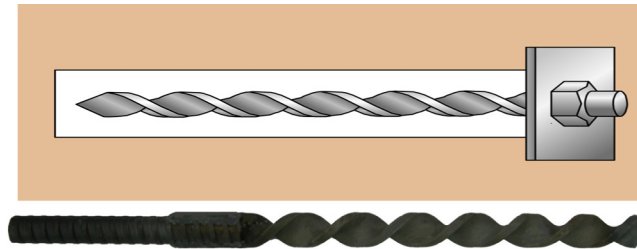


Fig. 1. View of spiral bolt.

Table 1. Mechanical properties of flat steel bar used for spiral bolt

Bolt type	Material symbols	Mechanical properties		
		Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Percentage of elongation (%)
Flat steel bar	SD500W	500 or more	620 or more	12 or more

Table 2. Strength of flat steel bar for spiral bolt

Bolt type	Material symbols	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Width(mm) × thickness(mm)	Cross section area (mm ²)	Reference (Test applied)
Flat steel bar	SD500W	500	620	27×13.5	369	In-situ pull-out test (Tunnel)

스트(twist) 봉강, 전나사봉강 등이 사용되지만 그라스 파이버(glass fiber)나 강관 등을 사용하는 경우도 있다. 록 볼트의 주 재료로 사용되는 봉강은 록 볼트의 인장재로 사용되므로 인장강도가 큰 것이어야 하며, 원지반의 급격한 붕락을 방지하기 위하여 신장성(elongation)이 커야한다. 국내 KS에 제정된 KS D 3504의 SD350에 대한 록 볼트 재질의 역학적 특성은 Table 3과 같으며, 전면 집착식 록 볼트용 봉강의 내력은 Table 4와 같고, 록 볼트의 형상은 Fig. 2와 같다.

3. 터널 내 인발시험

3.1 시험방법

스파이럴 볼트와 록 볼트의 레진(resin) 충전에 따른 지보특성을 파악하기 위하여 목포-광양간 고속도로 ○○터널 3TYPE 구간(측벽부)에서 각 지보재에 레

진 충전 후 4, 8, 12, 16시간이 지난 후 각 시험공당 3회의 인발시험을 수행하였다(Table 5).

지보재와 암반사이의 최대인발하중 단계에 따른 지반거동 상태파악과 매회 발파 시 충격하중에 따른 피로하중이 지보재에 영향을 미칠 수 있는 환경조건을 유사하게 설정하기 위해 각각의 동일 시험공에 대하여 인발시험으로부터 3분경과 후 재인발시험을 수행하였다. 터널 내 인발시험에서 인발하중의 재하속도는 9.8kN/min (1tf/min)으로 하였으며, 그라우트 재료는 급결형 레진 1개, 선단형 레진 2개, 충전형 레진 2개를 각 시험공에 사용하였다. 터널에서의 3TYPE 인발내력 현장기준은 인발하중이 15tf, 변위가 5mm 이내이다.

터널 내 인발시험을 위한 각 지보재의 길이는 4m, 시추공의 직경은 45mm이다. 본 시험에서 사용한 스파이럴 볼트와 록 볼트에 대한 재료의 역학적 성질을

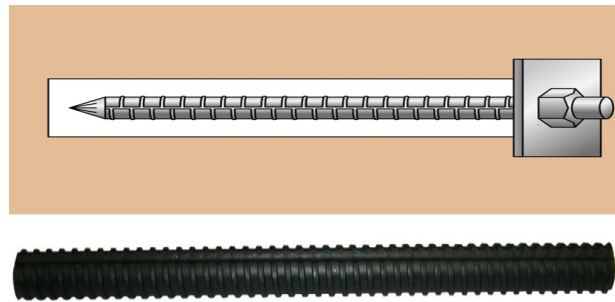


Fig. 2. View of rock bolt.

Table 3. Mechanical properties of bars used for rock bolts

Bolt type	Material symbols	Mechanical properties		
		Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Percentage of elongation(%)
Steel deformed bars	SD 350	350 or more	490 or more	18 or more

Table 4. Strength of bar for rock bolt

Bolt type	Material symbols	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Bolt diameter (mm)	Nominal diameter (mm)	Thread part				Material part		
						Diameter (mm)	Cross section area (mm ²)	Yield load (kN)	Max tensile load (kN)	Cross section area (mm ²)	Yield load (kN)	Max tensile load (kN)
Steel deformed bars	SD 350	350 or more	490 more	D25	25.4	M24	353	109.47	156.64	506.7	157.53	225.17
				D29	28.6	M27	459	142.4	204.7	624.4	199.36	285.69

Table 5. List of the pull-out tests for spiral bolts and rock bolts in ○○ tunnel

Pull-out test	4 Hours	8 Hours	12 Hours	16 Hours	Site
Spiral bolt (SD500W)	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	Left side -wall
	No.1	No.3	No.5	No.7	
Rock bolt (SD350)	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	Right side -wall
	No.2	No.4	No.6	No.8	

※ ●: Spiral bolt & Rock bolt for Pull-out tests
 인발시험은 Spiral bolt와 록 볼트의 레진 양생시간에 따른 지보 특성을 파악하기 위하여 각 공당 3회 실시함.

Table 6. Comparison of mechanical properties for spiral bolts and rock bolts

Division	Spiral bolt		Rock bolt	
	Standard	Result	Standard	Result
Quality	SD350	SD500W	SD350	SD350
Area (mm ²)	506.7	369	506.7	506.7
Yield strength (N/mm ²)	350	548	350	406
Tensile strength (N/mm ²)	490	682	490	643
Yield load (N)	177,345	202,212	177,345	205,720
Max. Tensile load (N)	248,283	251,658	248,283	325,808
Percentage of Elongation (%)	≥18	18	≥18	22



(a) 20 channel data logger



(b) Hydraulic hand pump



(c) Displacement transducer



(d) Pressure transducer



(e) Hydraulic cylinder

Fig. 3. Equipments for pull-out test.

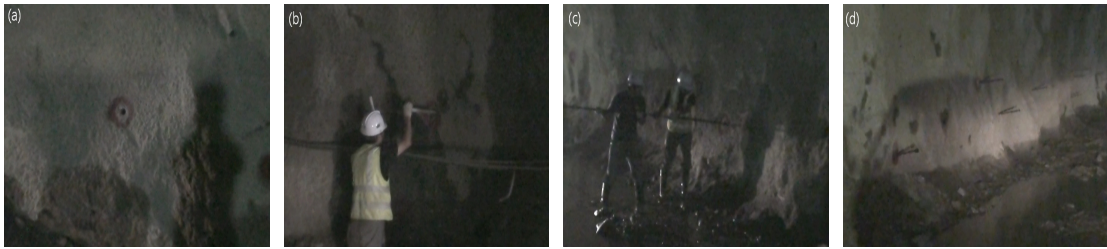


Fig. 4. Installation process of spiral bolts and rock bolts in a borehole:
 (a) Borehole, (b) Injection of resin, (c) Insertion of spiral bolts and rock bolts, (d) Completion of installation

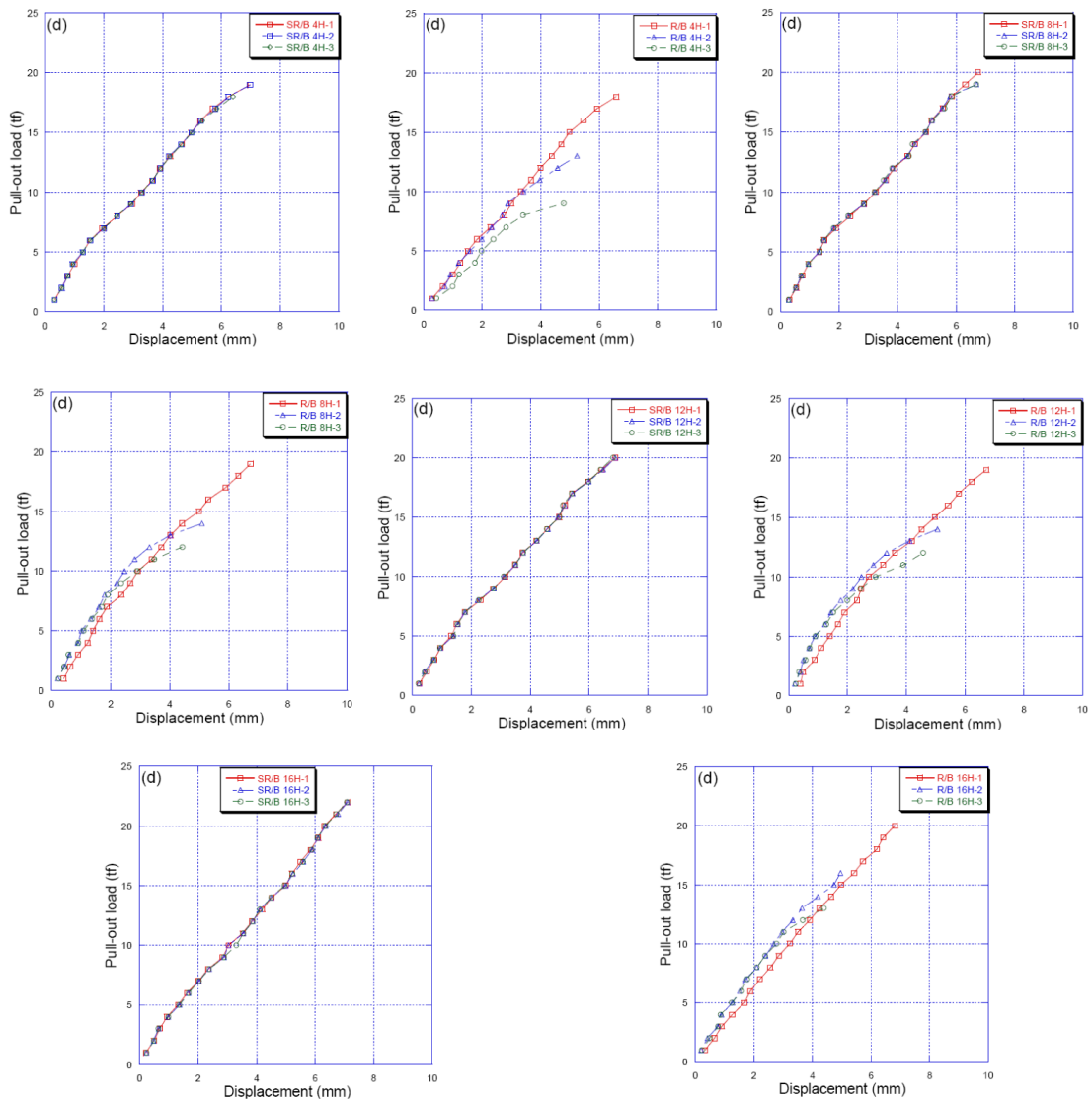


Fig. 5. Relationship between pull-out load and displacement of spiral bolts and rock bolts with resin curing time.

비교하면 Table 6과 같다. 측정기기는 변위변환기(DTH-50D M150, KYOWA), 압력변환기(DGS-500KAM1, KYOWA)를 사용하여 측정하였으며, 하중은 Hydraulic cylinder (RCH-302)에 Hydraulic hand pump (P-80)를 가하여 하중을 증가시켰다. 모든 데이터는 데이터 로거(UCAM-60B-AC M14, KYOWA)를 이용하여 획득하였다(Fig. 3). Fig. 4는 스파이럴 볼트와 록 볼트의 터널 내 인발시험 과정을 나타낸다.

4. 시험 결과

이상의 터널 내 인발시험에서 레진의 양생시간에 따라 스파이럴 볼트와 록 볼트에 대해 3회씩 실시한 결과를 요약하면 Fig. 5, Table 7과 같다. 레진의 양생시간에 따른 재인발시험 결과에 있어서 최대인발하중은 두 지보재 모두에서 레진의 양생시간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였다. 하지만 록 볼트의 경우 레진의 양생시간에 따른 최대인발하중의 차이는 4시간인 경우가 가장 크게 나타났으며 그 이상인 8시간, 12시간, 16시간인 경우의 최대인발하중의 차이는 거의 비슷한 경향을 보였다. 단계별로 최대인발하중의 변화 양상을 살펴보기 위해 실시한 각 지보재에 대한 3회의 재인발시험의 결과를 보면 스파이럴 볼트의 경

우는 인발시험 횟수에 관계없이 거의 일정함을 보였는데, 이것은 지보재가 최대인발하중에 도달할지라도 지보재와 충전재 사이에 파괴가 거의 일어나지 않으므로 일정한 최대인발하중을 보이는 것으로 판단된다. 반면에 록 볼트의 경우 인발시험의 횟수가 증가할수록 최대인발하중은 점점 감소하였는데, 이것은 지보재가 최대인발하중에 도달할 때 지보재와 충전재 사이에 일부분 파괴가 발생함으로 인해서 나타나는 현상으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 스파이럴 볼트와 록 볼트의 지보특성을 연구하기 위하여 레진의 양생시간에 따른 재인발시험을 통한 터널 내 인발시험을 수행한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 스파이럴 볼트와 록 볼트의 역학적 성질에서 단면적의 크기는 록 볼트가 스파이럴 볼트보다 1.37배, 연신율은 1.22배 높게 나타났으며, 항복강도와 인장강도는 스파이럴 볼트가 록 볼트보다 1.35배, 1.06배 높게 나타났다.
- 2) 레진의 양생시간에 따른 최대인발하중의 결과 스

Table 7. Results of pull-out test of spiral bolts and rock bolts for different curing times

Pull-out test			Curing time					
			4H	8H	12H	16H		
Spiral bolt	Number			No.1	No.3	No.5	No.7	
	Result	1st	Strength (tf)	19	20	20	22	
			Displacement (mm)	6.983	6.754	6.887	7.114	
		2nd	Strength (tf)	19	19	20	22	
			Displacement (mm)	6.973	6.698	6.879	7.098	
		3rd	Strength (tf)	18	19	20	22	
			Displacement (mm)	6.389	6.684	6.814	7.088	
	Rock bolt	Number			No.2	No.4	No.6	No.8
		Result	1st	Strength (tf)	18	19	19	20
Displacement (mm)				6.587	6.732	6.725	6.814	
2nd			Strength (tf)	13	14	14	16	
			Displacement (mm)	5.236	5.092	5.066	4.956	
3rd			Strength (tf)	9	12	12	13	
			Displacement (mm)	4.787	4.424	4.575	4.391	

파이럴 볼트와 록 볼트 모두 양생시간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 하지만 록 볼트의 경우 레진의 양생시간에 따른 재인발시험에서의 최대인발하중은 7~9톤의 차이를 보였지만 스파이럴 볼트의 경우 최대인발하중은 거의 유사하게 나타났다.

- 3) 최대인발하중의 변화 양상을 살펴보기 위해 수행한 스파이럴 볼트와 록 볼트에 대한 3회 재인발시험의 결과를 보면 스파이럴 볼트의 경우는 인발시험 횟수에 관계없이 거의 일정함을 보였는데, 이것은 지보재가 최대인발하중에 도달할지라도 스파이럴 볼트와 충전재 사이에 파괴가 거의 일어나지 않으므로 일정한 최대인발하중을 보이는 것으로 판단된다. 반면에 록 볼트의 경우 인발시험의 횟수가 증가할수록 인발하중은 점점 감소하였는데, 이것은 지보재가 최대인발하중에 도달할 때 록 볼트와 충전재 사이에 일부분 파괴가 발생함으로 인해서 나타나는 현상으로 판단된다.

터널 내 현장 인발시험을 수행한 결과 레진의 양생시간이 증가함에 따라 최대 인발하중은 스파이럴 볼트와 록 볼트 모두 증가하는 반면에, 재인발시험에 따른 최대인발하중은 스파이럴 볼트는 유사한 반면에 록 볼트는 감소하는 결과를 보였으며, 이는 각 지보재와 충전재의 경계부에서 부분적인 파괴의 발생여부에

기인하는 것으로 판단되며, 지속적인 하중이 발생할 경우 스파이럴 볼트가 지보력 측면에서 더 우수한 적용결과를 보일 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2010년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다. 또한 이 논문을 위해 세심한 조언을 해주신 심사위원께도 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

1. Haraguchi, N., S. Kokaji, K. Hirata, S. S. Kang and A. Hirata, 2006, Application of spiral bar as ground support, Proceedings of the 23rd West Japan Symposium on Rock Engineering, December 4-5, 2004, Yamaguchi University, Japan, pp. 91-98.
2. Hirata, A., S. Kokaji, M. Fujita and T. Goto, 2003, Dilation stress on borehole induced by a spiral anchor, Proceedings of the 3rd International Symposium on Rock Stress, Rotterdam, pp. 499-505.
3. Hirata, A., S. Kokaji, S. S. Kang and G. Goto, 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, Vol. 121, pp. 370-377.



김 장 원

(주)강동산업 주임

Tel: 062-230-7876
E-mail: dodori7@hanmail.net



송 아 립

조선대학교 에너지자원공학과

Tel: 062-230-7876
E-mail: ever0620@hanmail.net



강 추 원

조선대학교 에너지자원공학과 교수

Tel: 062-230-7117
E-mail: cwkwang@chosun.ac.kr