

사면 및 터널에서의 암반 파쇄대 보강을 위한 개량형 록볼트 개발

김수로¹ · 김종태² · 박성철² · 김태혁¹ · 권현호¹ · 정교철^{2*}

¹한국광해관리공단 광해기술연구소, ²안동대학교 지구환경과학과

Development of Improved Rock Bolt for Reinforcement of Fracture Zone in Slope and Tunnel

Soo-Lo Kim¹, Jong-Tae Kim², Seong-Cheol Park², Tae-Heok Kim¹, Hyun-Ho Kwon¹, and Gyo-Cheol Jeong^{2*}

¹Institute of Mine Reclamation Technology, Mine Reclamation Corporation

²Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

대규모 도로사면의 경우 대부분 소단 형식의 계단식 절개사면인 경우가 많다. 특히 단층파쇄대와 동반된 절개사면은 안정성 확보를 위해 특별한 보강공법이 요구된다. 이러한 특이 사면에서의 경우는 지질적 특성 때문에 기존 사면 보강공법으로는 어려운 경우가 많다. 특히 파쇄대 발달 구간에서는 굴착과 발파로 인해 암반 내 블록의 움직임 및 불연속면의 간극이 확대되어 사면의 안전율이 크게 낮아진다. 이로 인해 파쇄대의 지질적 특성에 따른 효율적인 보강대책공법 개발이 필요하나 현재까지의 지보재로는 그 적용성에 한계가 있다. 따라서 사면 및 터널 내 특이 파쇄대 구간의 효율적인 안정성 확보를 위해 특화된 록볼트 공법 개발이 필요하다. 본 연구에서는 이를 위해 최근 특이 암반파쇄대 구간에서 전면 마찰형으로 사용되는 스웰렉스 볼트 공법의 지보효과를 증대시키는 새로운 개량형 록볼트를 개발하는데 목적을 두고 있다.

주요어: 사면, 터널, 파쇄대, 개량형 록볼트, 스웰렉스 볼트

There are many slopes generally developed by excavation and cut slope with small steps on massive slopes of roads. Especially these cut slopes which excavating around fault fracture zone need a reinforcement technology in order to ensure safety. In the case of slope excavation, it is difficult to use the existing slope support at fracture zone because of geological characteristics. Especially the factor of safety decreases significantly due to the movement of blocks in bed rocks and the expansion of interspace of discontinuous planes in fractured zones caused by excavation. Thus an efficient reinforcement technique in accordance with geological properties of fracture zones needs to be developed because the existing slope support has a restricted application. Therefore it is necessary to develop the specialized rock bolt technique in order to ensure an efficient factor of safety for anomalous fracture zones in slopes and tunnels. The purpose of this study is to develop newly improved rock bolt to increase a supporting effect of the swellex bolt method used recently as a friction type in fracture zones.

Keywords: slope, tunnel, fracture zone, improved rock bolt, swellex bolt

서 언

국내 폐광산 중 대부분의 광산은 상당한 심부에서 작업이 이루어졌으며 현재 진행 중인 탄광도 채굴이 점차 심부로 이행되고 있어 다양한 문제점들이 야기되고 있다. 또한 최근 광물자원이 고갈되고 자연환경 훼손에 따른 환경피

해의 우려로 광산개발이 중단되면서 오랫동안 채광작업에 의해 형성된 파쇄대가 복구되지 않은 상태로 산재해 있다.

또한 노천광산의 경우 대부분 계단식 채굴을 실시하므로 다수의 사면이 발생하며 굴착과 발파로 인해 암반 내 블록의 움직임 및 불연속면의 간극이 확대되어 사면의 안전율이 낮아지는 경우가 많다. 그러므로 노천광산 지형

*Corresponding author: jeong@andong.ac.kr

특성에 따른 복원 및 부지활용 시 제한된 예산을 활용한 효율적인 보강대책공법 개발이 필요하다고 하였다(한국광해관리공단, 2008; Kilic and Anil, 1999). 특히 2000년대 이후부터는 정부차원에서 폐광지역 개발사업 및 도로 등 대규모 건설공사가 진행됨으로써 암반파쇄대 위험지역에 대한 기존시설물 보강뿐만 아니라 신규시설물의 파쇄대 보강이 중요한 문제로 제기되고 있다.

따라서 노천광산 사면, 광산경도 파쇄대 구간 및 나아가서는 도로사면, 터널 내의 이상 파쇄구간의 효율적인 안정성 확보를 위해 특화된 록볼트 공법 개발이 필요하다고 하였다. 이를 위해 이 논문은 이상지질 파쇄구간에서의 급속 안정화 및 전면 마찰효과를 극대화 하고, 록볼트와 파쇄암반을 일체화 하는 새로운 개량형 록볼트(improved rock bolt)를 개발하는데 연구의 목적을 두고 있다.

록볼트 분석

록볼트 종류

록볼트는 오래전부터 사용해 온 지보 구조물이나 그 초기 단계에서는 경암 지반을 대상으로 한 선단 정착 방식이 대부분이었다(Tao and Chen, 1984). 그 후 전면 접착형 록볼트가 개발되고 경암 지반만이 아니라 연약 지반의 영역에서도 뛰어난 지보 효과가 있다는 것이 경험적으로 알려져 현재는 광범위한 여러 지반 조건하에서 사면 및 터널의 지보재로 사용되고 있다(Bjömfort and

Stephansson, 1984; Reichert et al, 1991). 록볼트는 다양한 요구조건과 작용효과를 필요로 하므로 조건 만족을 위해 사용되는 강재는 항복강도가 높고 내구성 및 부식성이 우수하며, 재료의 시공 등이 용이하고 경제적으로 시공할 수 있어야 한다. 현재 록볼트는 많은 종류가 개발되어 있으나 널리 사용되고 있는 종류를 그 정착 방식에 따라 분류하면 아래 Table 1과 같다.

일반적으로 경암 지반에서는 선단 정착 방식, 연암 지반에서는 전면 접착 방식의 록볼트가 주로 사용되어 왔으나 최근에는 경암 지반에서도 전면 접착 방식이 다양하게 시도되고 있다(Farmer, 1975; Dunham, 1976; Spang and Egger, 1990). 아래의 Table 2는 전면 접착 방식의

Table 1. Classification of rock bolt types.

Anchoring type	Remarks
Vertical anchoring type	Slot wedge bolt
	Expansion shell bolt
	Resin anchored bolt
Front cementing type	Cement grouted bolt
	Resin anchored bolt
	Cement cartridge bolt
Mixing type	Anchored resin bolt
	Anchored cement grouted bolt
	Hollow expansion bolt
	Wedge pipe bolt
Fractional type	Swellex bolt
	Split set bolt

Table 2. Characteristics of existing rock bolt types.

Type	Advantages	Disadvantages
Resin type	<ul style="list-style-type: none"> • Good construction work • Fast strong anchoring strength • Possibility of construction with a lot of water around site 	<ul style="list-style-type: none"> • High cost of anchoring type of cement • Poor anchoring condition because of lack of anchoring material when larger the boring hole diameter • Limitation depth of 3m caused by fast cementation when man made boring hole
	Foaming resin	<ul style="list-style-type: none"> • Usage of normal resin at the vertical point, and other part use foaming resin, therefore possible usage of prestress
Cement mortar type	<ul style="list-style-type: none"> • Low cost than resin type • Ensure anchoring strength with expanding a boring hole diameter • Construction of long rock bolt (L = 6 m) 	<ul style="list-style-type: none"> • Poor anchoring effect with existing water • Water content loss in sandy coarse soils • Need equipment of mortar mixer, pump, and ect.
Cement milk type	<ul style="list-style-type: none"> • Make early strength using accelerator • Possibility of construction with existing water, and unclean boring hole for installing rock bolt • Ensure certain filling 	<ul style="list-style-type: none"> • High cost using accelerator, packer, injection pipe, and evacuation pipe • Required time packer connection, injection, and confirmation • Need two mixer pumps • Required a lot of injection for remediation of soils and ground with cracks • Need equipments of mortar mixer and pump

주입재료인 Resin type, Cement mortar type, Cement milk type의 종류에 따른 장·단점을 보여준다.

스웰렉스 볼트

스웰렉스 볼트(swellex bolt)는 1980년 Atlas Copco사에 의해 소개되었으며 구부러진 thin-wall steel tube로 만들어졌다(Atlas Copco Rock Drills AB, 1998). 스웰렉스 볼트는 암반과 볼트 사이의 마찰과 역학적 맞물림을 통하여 암반을 강화시키는 록볼트 타입으로 스웰렉스 볼트의 사용은 신선한 경암에서 뿐만 아니라 파쇄대 등의 연약암반에서도 최근 전 세계적으로 크게 증가하고 있는 추세이다. 특히 스웰렉스 볼트는 시간이 결정적으로 중요한 연약암반에 즉시 보강효과를 주는 유일한 공법으로 파쇄대 등의 연약암반 굴착은 굴착 후 즉시 보강효과를 요구하게 된다. 따라서 스웰렉스 볼트는 이러한 요구를 만족시켜 줄 뿐만 아니라 실제 적용성은 연약암반 공학에 있어서 안정성 문제를 다루는 데 다양하게 사용되어 왔다(Fig. 1).

스웰렉스 볼트의 정착은 기계 연동 부분과 마찰력에 영향을 받는다. 표준 스웰렉스는 두께가 2 mm, 직경이 41 mm인 강철 재질의 관을 직경이 26 mm로 구부러져 있고, 볼트의 각각 끝 부분은 봉합되어 있다(Table. 3). 고리모양의 베어링은 가압판(face plate)을 고정시키도록 되어 있다. 물은 높은 압력 펌프를 사용하여 고리부분의 베어링을 통해 볼트로 주입하며 기존 스웰렉스 볼트의 장단점은 Table 4와 같다. Fig. 2는 일반적인 스웰렉스 볼트의 압력 단계별 인발시험 결과를 보여주는 그래프로

Table 3. Specification of swellex rock bolt.

Tube diameter	26 mm
Yield load, steel tube	130 kN
Ultimate load, steel	130 kN
Ultimate axial strain, steel	10%
Weight of bolt	2 kg/m
Recommended borehole diameter	35 +/- 3 mm

Table 4. Advantages and disadvantages of swellex bolt.

Advantage	Disadvantage
• Easy and fast installation	• Relatively high cost
• Reinforcement after installation	• Need a pump
• Keep expand a face plate with shorting a length of bolt	• Need corrosion protection as long term

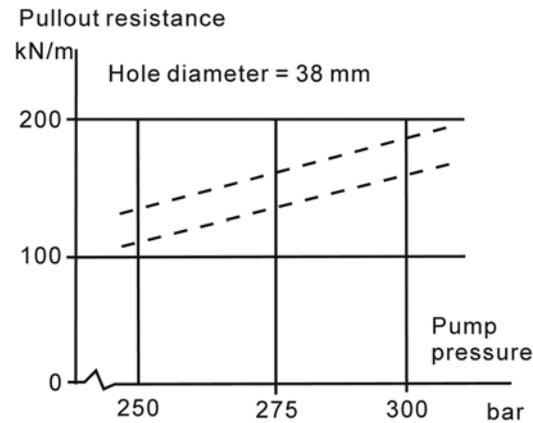


Fig. 2. Effect of different inflation pressures on the pullout resistance of a standard swellex rock bolt installed in a 38 mm diameter borehole in granite(from Atlas Copco Rock Drills AB, 1998).

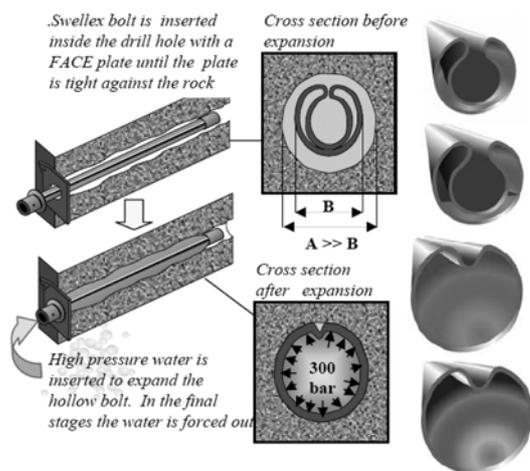


Fig. 1. Conception of swellex bolt(from Atlas Copco Rock Drills AB, 1998).

38 mm직경의 화강암에서 실시된 결과로써 압력 증가에 따른 인발력도 증가하는 것을 확인할 수 있다.

개량형 록볼트 제작

볼트제원

본 연구를 통해 개발된 개량형 록볼트의 재질은 기존 탄소강 강관으로서 아래의 Table 5와 같이 STKM 12(B)를 사용하였다. 이들 재질의 인장강도는 4000 kgf/cm², 항복강도는 2800 kgf/cm²로 확인되었다.

실내시험

개량형 록볼트의 제작은 기존 스웰렉스 록볼트와 같은 모양으로 제작하였으며(Fig. 3, Fig. 4), 크기는 구부

Table 5. Specifications of steel pipe for development of improved rock bolt.

Steel Pipe Name	Symbol	Chemical Composition (%)					Tensile Properties		
		C	Si	Mn	P	S	Tensile Strength	Yield Point	Elongation %
							10 ² kgf/cm ² (N/)	10 ² kgf/cm ² (N/)	Test Piece No.11&12
Carbon Steel	A						35min. (340min.)	18min. (175min.)	35min.
Tubes for Machine	B	0.20max	0.35max	0.60max	0.040max	0.040max	40min (390min.)	28min (275min.)	25min
Structural Purposes	C						48min. (470min.)	36min. (355min.)	20min.

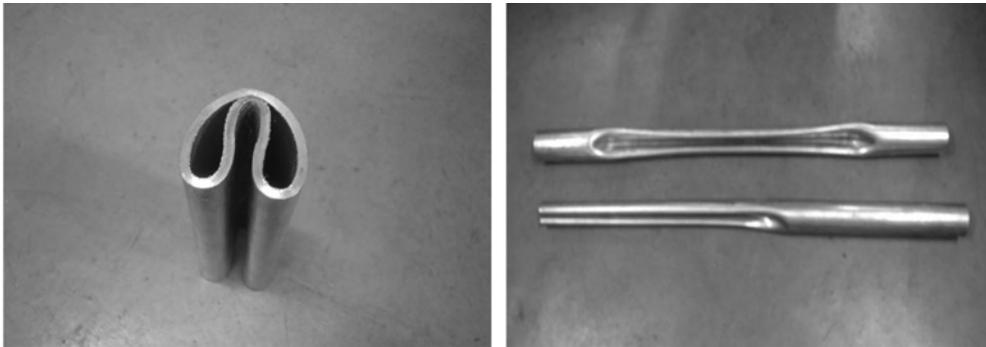


Fig. 3. Material test for development of improved rock bolt.

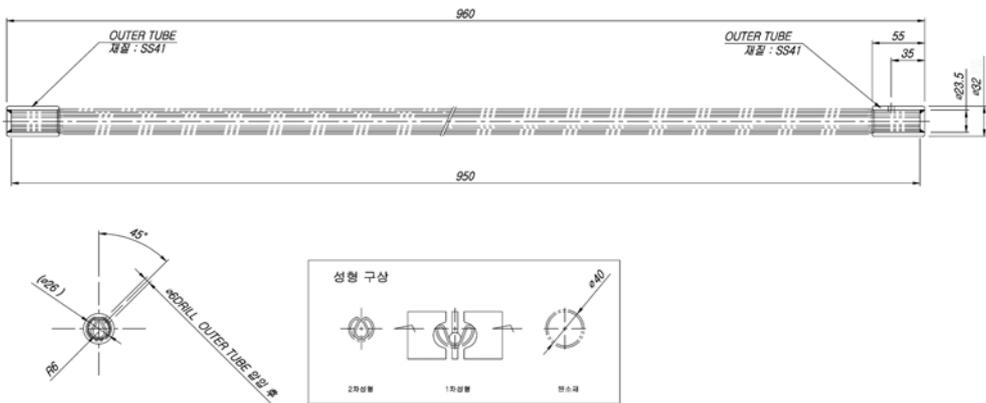


Fig. 4. Design of improved rock bolt.

렸을 때의 직경은 26 mm, 최대한 팽창했을 때의 직경은 41 mm가 된다.

본 연구에서는 제작된 록볼트를 이용해 압력시험을 실시하였으나 압력으로 인한 개방이 쉽지 않아 Fig. 5와 같이 록볼트의 끝단 성형을 실시하여 다시 단계별 압력 시험을 실시하였다. Fig. 6은 볼트의 실내 테스트를 위

한 수압설계도이며 Fig. 7은 본 연구에서 개발된 개량형 록볼트의 실내시험을 보여준다. Fig. 7(a)는 테스트용으로 제작된 볼트이며 Fig. 7(b)는 실내 압력 테스트 시스템을 보여준다.

Sample 제작에 사용된 STKM 12(B) 강관은 자동차 부품에 사용되는 신장률이 매우 뛰어난 재질로 외경과

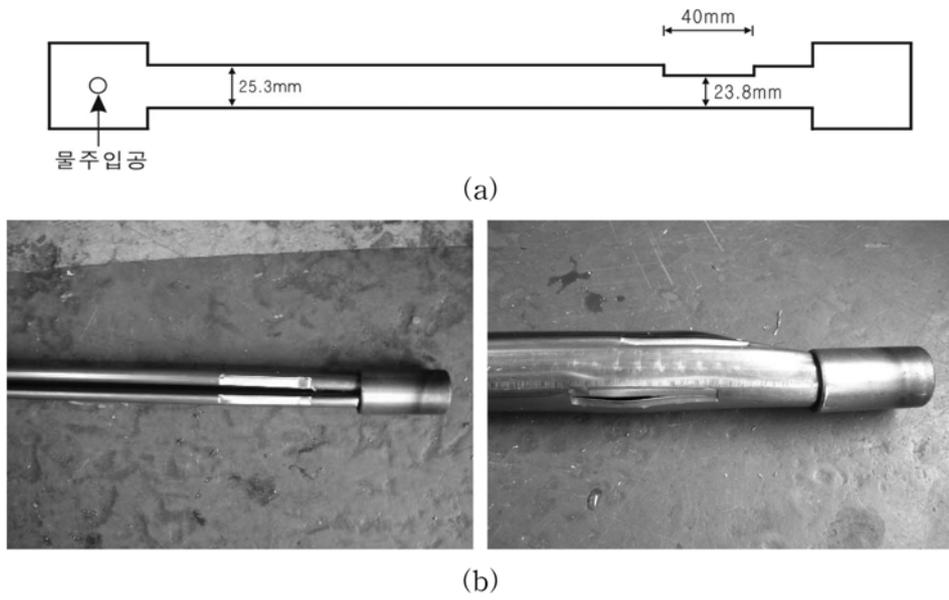


Fig. 5. Cutting of end part for breaking an improved rock bolt and shape after breaking.

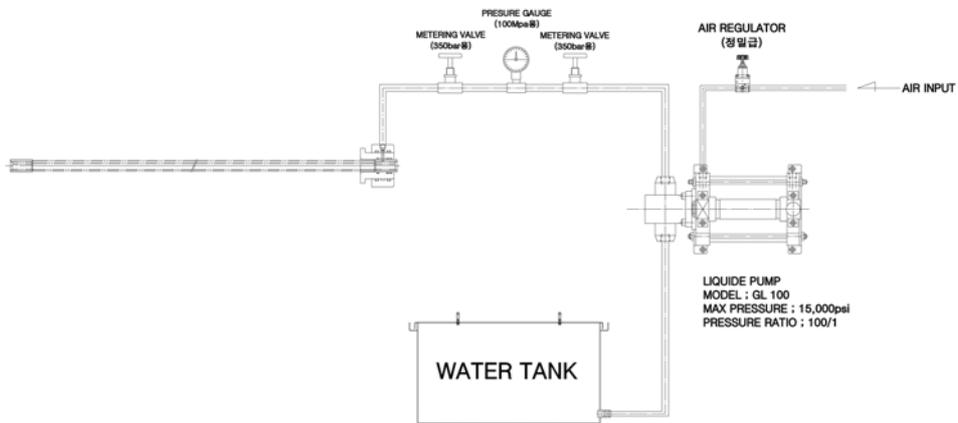


Fig. 6. Design for pilot test system of improved rock bolt.

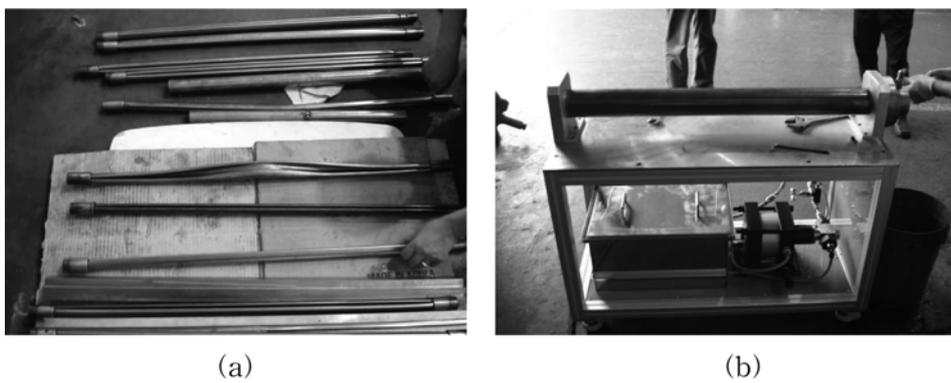


Fig. 7. Expansion test of improved rock bolt.

두께를 기존 록볼트의 사양으로 성형하였다. 성형된 록볼트에 대한 실내 압력시험 결과 압력변화에 따라 팽창 소요 시간의 변화를 확인하였다. 실내시험 결과 15 MPa, 20 MPa, 30 MPa의 압력 변화에 따라 볼트 팽창시간은 최대 5분에서 최소 2분으로 단축되었다.

개량형 록볼트의 현장적용성 시험

본 연구에서 개발된 개량형 록볼트의 현장적용 가능성 평가를 위해 현장시험을 실시하였다. 금번 현장 적용성은 기존 스웰렉스 볼트와는 다르게 압력 팽창 후 개발된 볼트 선단에서의 그라우트 급방출과 암반 간극으로의 그라우트 주입 효과를 목표로 하였다, 현장적용사면은 강원도 춘천시 남산면에 위치하는 사면으로 제2영동 고속도로 00구간의 절개사면에 대해 현장 적용시험을 실시하였다.

적용사면의 암반분류

현장적용사면의 특성분석을 위해 RMR 값에 사면과 절리면의 방향 및 경사각의 관계를 고려한 SMR 분류를

실시하였다. 적용사면의 위치는 Fig. 8과 같으며 거리(2m)를 기준으로 4개의 소구역으로 나누어 분류하였다.

현장적용사면에 대한 암반분류 결과는 아래의 Table 6과 같으며 4개 지역 모두 등급으로 불량한 것으로 확인 되었으며 이는 개발된 개량형 록볼트의 적용사면으로 적합한 것으로 판단된다.

적용사면의 불연속면 특성

연구지역 사면의 불연속면, 즉 절리 특성 분석을 위해 천공된 4개의 지점을 기준으로 절리간격에 따른 절리수를 분석하였다. 분석 결과 4개 지역 모두 40cm 간격에 대해 다수의 절리를 포함하고 있는 것으로 나타났다(Table 7).

Table 6. Results of rock mass classification.

Classification	Area			
	A	B	C	D
SMR	37	37	29	35
Class	IV	IV	IV	IV

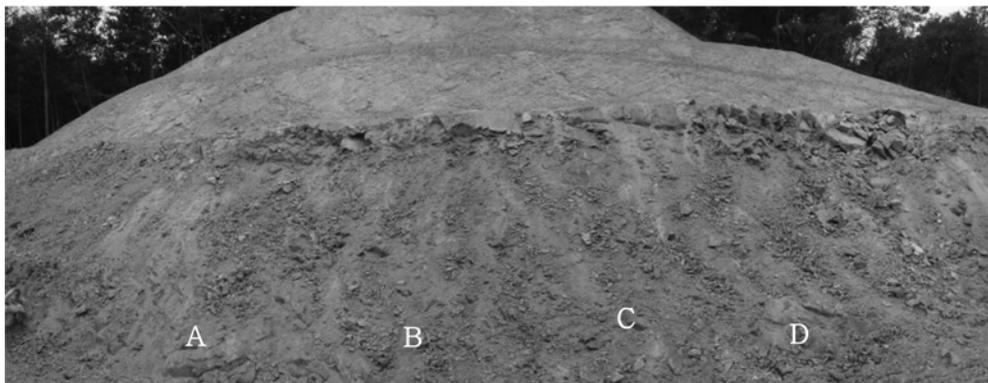


Fig. 8. Slope for field test of improved rock bolt.

Table 7. Set number of joint in test slope.

Zone	Spacing (cm)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40
A	Joint No.	3	3	2	2	2	0	2	0
	%	22	22	14	14	14	0	14	0
B	Joint No.	1	4	1	2	1	1	1	1
	%	8	34	8	18	8	8	8	8
C	Joint No.	4	5	4	1	1	0	0	0
	%	27	32	27	7	7	0	0	0
D	Joint No.	2	3	3	1	2	0	1	0
	%	17	25	25	8	17	0	8	0

현장시험

아래의 Fig. 9는 개량형 록볼트 그라우트 주입시스템으로, 주입장치에 따른 록볼트의 연결을 보여주며 개량형 록볼트의 현장시험 과정은 Fig. 10과 같다. 주입에 필요한 압력은 현장에서 에어펌프를 사용하였다. Fig. 11은 개량형 록볼트의 현장시험 시 압력에 의한 그라우트의 주입을 나타내는 그림으로 주입 후 록볼트와의 마찰력 증가 및 암반 파쇄대의 개량효과를 보여준다.

스웰렉스 록볼트는 팽창을 위한 주입재로서 물을 사용하나, 본 연구에서 개발한 개량형 록볼트는 다양한 그라우트를 사용함으로써 볼트 팽창 후 파쇄암반으로의 그라우트 주입으로 록볼트와 파쇄암반사이의 마찰 효과 및

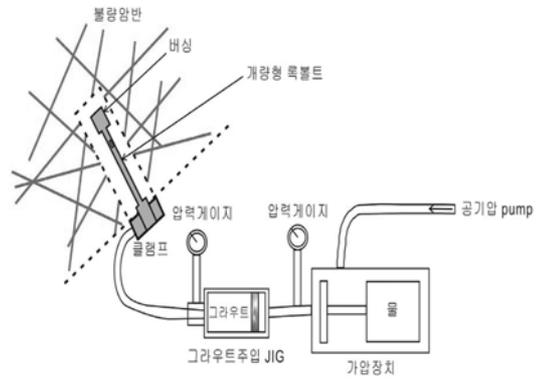


Fig. 9. Schematic diagram for pilot test of improved rock bolt.

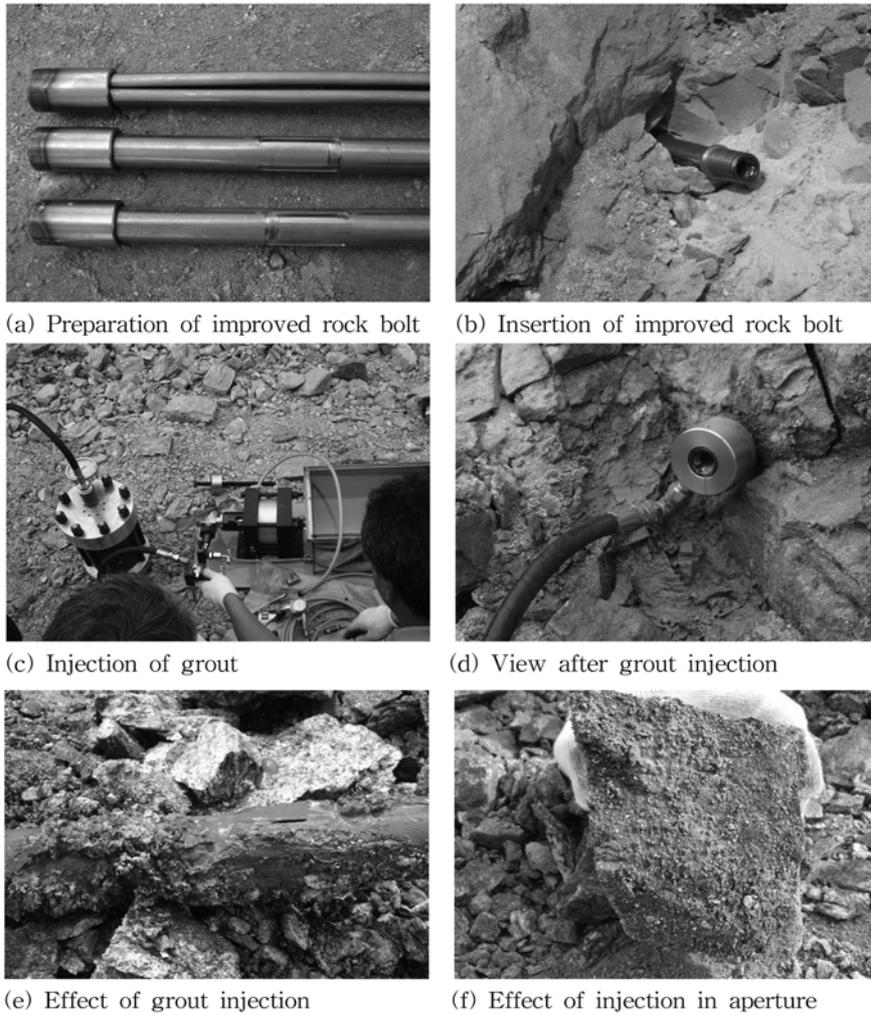


Fig. 10. Process of pilot test of improved rock bolt.

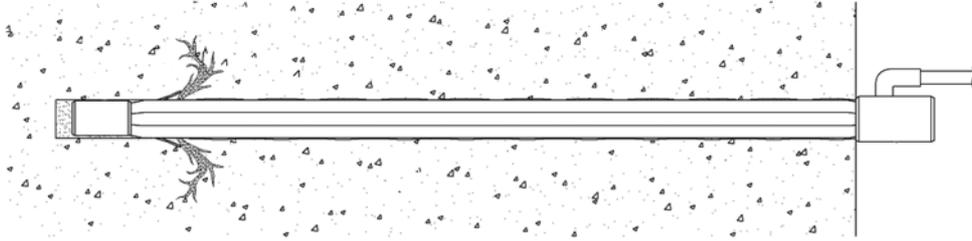


Fig. 11. Diagram after field test of improved rock bolt.

록볼트와 파쇄암반을 일체화시켜 파쇄암반의 안정화를 극대화 할 수 있을 것으로 생각된다. 현장시험은 길이 1m 록볼트를 사용한 파일럿 시험으로 그라우트 주입에 의한 볼트의 팽창, 팽창 후의 볼트 끝단 압력 개방 및 선단 개방에 의한 파쇄암반으로의 그라우트 주입효과만을 확인하였다.

현장시험 결과

현장시험을 실시한 제2영동 고속도로 00구간은 파쇄대가 심하며 암석은 화강암질편마암으로 암질은 매우 불량한 편이다. 본 연구에서는 시험 완료 후 확인을 위해 시험시면을 절취한 후 볼트의 팽창성 및 그라우트의 주입효과를 직접 확인하였으며 그 결과 록볼트는 41mm까지 완전히 팽창한 후, 부가압력에 의해 끝단이 개방되어 암반파쇄대 구간으로 그라우트가 완전히 주입된 것을 확인할 수 있었다(Fig. 10(e), (f)). 또한 암석 거칠기면, 블록간의 공간과 록볼트 사이도 그라우트로 완전히 채워져 마찰 효과를 증대시키는 암반과의 접촉면적을 증가시키는 것을 알 수 있었으며, 시공효과 면에서는 록볼트가 완전히 팽창하기까지는 15~17 MPa 정도로 시간은 2~3분 정도 소요되었다.

결 언

이 연구의 목적은 이상 지질 및 암반파쇄대 구간의 효율적 보강을 위한 새로운 록볼트 공법 개발에 있으며, 이를 위해 본 연구에서는 파쇄대 구간 암반특성에 맞는 개량형 록볼트 공법을 개발하였다. 금번 연구는 이상 지질, 파쇄대 특성에 맞는 록볼트 및 시공방법 개발 및 현장시험을 통한 실제 적용성만을 파악하였으며 현장시험 후 그라우트 주입효과를 직접 확인하였다.

연구 결과 본 개량형 록볼트는 기존 스웰렉스 볼트와 같은 전면 마찰 특성을 가지면서 기존 스웰렉스 볼트에서

보다는 암석의 거칠기 및 블록간의 공간 특성을 고려하고, 또한 볼트 선단에서부터 앞부분까지 그라우트 되는 효과를 확인하였다. 따라서 록볼트 주변 파쇄암반을 그라우트와 마찰로 일체화시킬 수 있어 보다 안정화된 시공이 될 것으로 기대된다. 또한 기존 스웰렉스 볼트의 단점인 부식에 의한 효과 감소를 강관 내 그라우트로 지지해 줌으로써 보다 장기적인 보강효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

금번 연구에서는 현장 파쇄암반에서의 적용성 파악을 위해 볼트의 팽창, 팽창 후 선단 개방, 그라우트 파쇄암반으로의 주입효과만을 확인 하였다. 금 후 연구는 3m, 5m의 개량형 록볼트로 현장에 적용하고 인발시험, 시공성 및 경제성을 파악하고자 한다.

사 사

이 연구는 한국광해관리공단에서 지원하는 '지반침하 억제를 위한 상부보강기술 개발' 사업에 의하여 수행되었다.

참고문헌

- 한국광해관리공단, 2008, 암반 파쇄대구간 보강을 위한 록볼트 공법 개발, 182p.
- Atlas Copco Rock Drills AB, 1998, Numerical approach for evaluation of tunnelling supported by Swellex rock bolt, 125-155.
- Björnfot, F. and Stephansson, O., 1984, Mechanics of grouted rock bolts field testing in hard rock mining. Report BeFo 53(1).
- Dunham, D. K., 1976, Anchorage tests on strain-gauged resin bonded bolts, Tunnels and Tunnelling, 73(6), 84-93.
- Farmer, I. W., 1975, Stress distribution along a resin grouted rock anchor, Int J Rock Mech Min Sci and Geomech Abstr, 12, 347-351.
- Hawkes, J. M. and Evans, R. H., 1951, Bond stresses in reinforced concrete columns and beams, Journal of

- the Institute of Structural Engineers, XXIX(X), 327.
- Kilic, A. and Anil, M., 1999. The effects of grout properties to the bolt capacity. In: Sixteenth Mining Congress of Turkey, 189-196.
- Piteau, D. R., 1971, Geological factors significant to the stability of slopes cut in rock. In Discontinuity Analysis for Rock Engineering. 185-204.
- Reichert, R.D, Bawden, W.F and Hyett, A. J., 1991. Evaluation of design bolt bond strength for fully grouted bolt. 93rd Annual Meeting of Vancouver. 1024-1032
- Spang, K, Egger P., 1990, Action of fully-grouted bolts in joined rock and factors of influence, Rock Mech Rock Eng., 23, 201-229.
- Tao, Z. and Chen, J. X., 1984, Behaviour of rock bolting as tunnelling support, Proceedings of the International Symposium on Rock Bolting. Rotterdam, Balkema, 87-92.

2009년 12월 21일 원고접수, 2010년 3월 29일 게재승인

김수로

한국광해관리공단 광해기술연구소
110-727 서울시 종로구 청진동길 30
Tel : 02-3702-6775
Fax : 02-3702-6749
E-mail : kimsoolo@mireco.or.kr

김종태

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 송천동 388
Tel : 054-820-7735
Fax : 054-822-5467
E-mail : jongtae98@empal.com

박성철

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 송천동 388
Tel : 054-820-7735
Fax : 054-822-5467
E-mail : chor-i@nate.com

김태혁

한국광해관리공단 광해기술연구소
110-727 서울시 종로구 청진동길 30
Tel : 02-3702-6771
Fax : 02-3702-6659
E-mail : shykth@mireco.or.kr

권현호

한국광해관리공단 광해기술연구소
110-727 서울시 종로구 청진동길 30
Tel : 02-3702-6650
Fax : 02-3702-6659
E-mail : hyho57@daum.net

정교철

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 송천동 388
Tel : 054-820-5753
Fax : 054-822-5467
E-mail : jeong@andong.ac.kr