

石炭鑛 軟岩層內 大規格坑道 補強을 위한 SWELLEX 및 SWELLEX Cable Bolt의 現場 適用試驗에 관한 연구

이태노¹⁾ · 임한옥²⁾

The Case Study on Application of SWELLEX & SWELLEX
Cable Bolt to Support Drifts in Soft Rock of the Coal Mine

Tai No Lee and Han Uk Lim

1. 序 言

국내 석탄 鑛業界는 80년대 중반부터 계속된 油價 安定과 炭價凍結로 他에너지와의 競爭力이 매우 약 化되었을 뿐만 아니라 가정 연료의 消費構造 변화에 따른 무연탄 수요의 급격한 減少趨勢로 오늘날에는 모든 탄광이 經營 危機에 다다르게 되었다. 결국 정부에서는 非經濟性 탄광을 정비하기 위해서 合理化 政策을 추진할 수 밖에 없었고 賦存與件이 양호한 장기개발 가능 탄광을 대상으로 기존의 개발구조를 개선하여 生産原價를 절감시키고 競爭力 向上을 유도하기에 이르렀다.

현재 국내 석탄광에서는 삼척탄좌에서 Ramp Way System을 적용한 現代化 開發方式을 도입하여 한창 개발중에 있으며, '93. 7월중에는 現代化 開發方式에 의해 석탄을 생산할 전망이다. 또한 동원탄좌와 경동탄광에서도 기존의 광산 開發方式을 現代化 開發方式으로 전환시키기 위해 專擔班이 구성되어 적용 가능성을 深度있게 검토하고 있으며 現場試驗을 통하여 기술을 터득하고 있다.

그러나 거의 1세기에 걸쳐 在來式 方法에 의존해온 국내 광산 기술자들에게는 현대화 작업이 쉽게 이해될 수 없는 것이 사실이다. 특히 국내 광산의 開發條件은

Ramp Way System으로 개발하고 있는 선진 외국광산의 鑛況, 岩質, 賦存與件등에 비하여 현저하게 다르고 매우 불리하기 때문에 더욱 懷疑의일 수 밖에 없다. 국내 광산에서 現代化 開發를 추진할 경우 광산 기술자들이 우려하고 있는 점은 크게 5~6가지로 분류할 수 있는데 그 중에서도 가장 크게 염려하는 것은 “大規格 坑道軟弱岩盤 支保技術”이라 할 수 있다. 또한 이러한 현상을 크게 2가지로 생각한다면 첫째로, 지금까지 국내 광산의 主支保材는 Table 1에서 보는 바와 같이 목재 또는 Steel Arch로써 갱도를 유지해왔기 때문에 岩盤 内部에 볼트를 삽입하여 지지하는 록볼트 System에는 숙달되지 못한 탓으로 생각된다. 둘째로, 국내 석탄광의 주운반 갱도 및 크로스 갱도에 존재하는 암석은 대부분 파쇄사암층 및 층상셰일층으로 구성되어 있어 이러한 구간에 大規格坑道(4.5×4.5 m 이상)를 掘鑿하여 록볼트 및 shotcrete로 유지한다는 것은 매우 어려운 것으로 인식되어 왔다.

따라서 本 研究는 최근 세계 각국에서 많이 사용하고 있는 SWELLEX 볼트로 국내 석탄광 연약암반 내에 굴착된 갱도를 유지할 수 있는가를 診斷하고 SWELLEX 시공기술 및 計測結果를 통한 안정성을 제시하므로써 록볼트 지보법에 대한 이미지를 쇄신시키고 국내 석탄광 현대화개발을 적극 추진할 목적

*1993년 4월 접수

- 1) 정회원, 대한광업진흥공사 현대화개발단
- 2) 정회원, 강원대학교 자원공학과 교수

으로 수행되었다. 또한 본 연구는 東原炭座 및 三陟炭座 암반중 매우 연약한 구간에서 수행되었으며 현지암반조사, 시추 및 암석의 力學的 性質을 분석하여 패턴(Pattern)지보가 설계되었고 록볼트 施工과 計劃이 이루어졌다.

2. SWELLEX 볼트의 原理 및 特性

2.1 原 理

SWELLEX는 1977년에 Atlas Copco에서 개발한 Friction Anchored Rock Bolt로서 Sweden 등 유럽 지역의 鑛山, 土木建設 現場에서 많이 사용되고 있다. SWELLEX는 두께가 2 mm인 特殊鋼을 직경이 27 mm의 Omega 형태로 造形시킨 볼트 형태로서 Fig. 1 과 같이 SWELLEX를 32 mm~38 mm 穿孔徑에 삽입한 후 20~30 Mpa(약 200~300 kgf/cm²)의 水壓을 이용하여 41 mm까지 膨脹시킨 후 암반을 지지시키는 방법이다.

2.2 特 性

SWELLEX 볼트는 Fig. 2와 같이 시멘트나 레진볼트 처럼 充塡物을 이용하여 암반과 볼트를 接着시키는 지보재와는 달리 摩擦效果(Friction Effect)를 이용하여 암반을 지지한다. SWELLEX 볼트는 한사람이 시

간당 40~50개를 설치할 수 있을 정도로 시공시간이 매우 빠르고 支保效力이 즉시 발휘되는 장점이 있는 반면에 다른 지보재보다 다소 비싸고 암질에 따라서 穿孔徑을 달리해야 한다. SWELLEX 볼트를 국내 광산에 적용하기가 적합한 이유는 다음과 같은 조건 및 구간에서 다른 록볼트 형태보다 매우 유리하기 때문이다.

- 조인트 및 균열이 심하게 발달된 경암구간
- 록볼트 길이 이상으로 弛緩帶의 擴散範圍가 존재할때

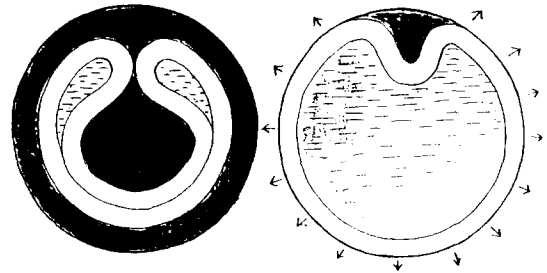


Fig. 1. Expanded SWELLEX with water.

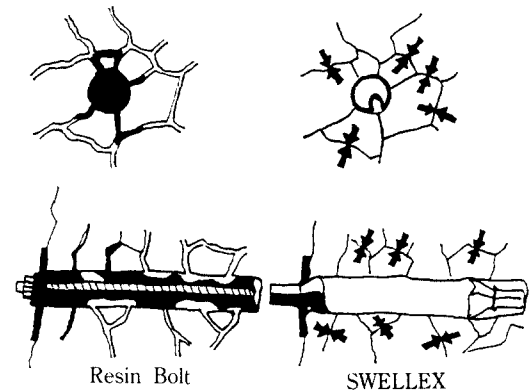


Fig. 2. Comparison of support effect of SWELLEX with resin bolt.

Table 1. Consumption ratio of support type in Korean coal mines

Type of Support	'89	'90	'91	'92
Timber Sets	36%	33%	29%	23%
Steel Arch	60%	66%	71%	71%
Cement Sets	2%	1%	-	-
Rock Bolt	2%	-	-	6%

Table 2. The types & properties of SWELLEX bolt

Items	Standard	Yielding	Supper	Coated
引拔荷重	11톤	9.5톤	22톤	10톤
Bolt 外徑	27 mm	27 mm	36 mm	27 mm
Bolt 膨脹徑	41 mm	41 mm	54 mm	41 mm
使用用途	一般的인 現場	Pillar 維持用 岩盤變形이 심한 곳	大規模 터널 地下 硯, 油類 貯藏所	腐蝕이 심한 곳

- 周圍岩盤 掘鑿으로 2차 또는 3차 변형이 우려되는 구간

- 암반이 극히 연약하여 발파즉시 지보시공 및 효과가 요구되는 구간

SWELLEX 볼트는 현재 개발중인 스테인레스 SWELLEX와 함께 5종류가 있는데 岩盤條件 및 使用用途에 따라 Table 2와 같다.

2.3 原價比較

SWELLEX는 한개당 資材費를 單純比較할 때 Rebar보다 약 1.5배 정도 비싸지만 施工에 필요한 시간(資材運搬, 設置)이 Rebar에 비해 약 1/3 정도밖에 되지 않을 정도로 빠르기 때문에 전체적인 施工單價는 거의 비슷한 수준이다. 특히 레진 및 시멘트의 使用過程에서 발생하는 資材의 破損 및 損失費用과 接着

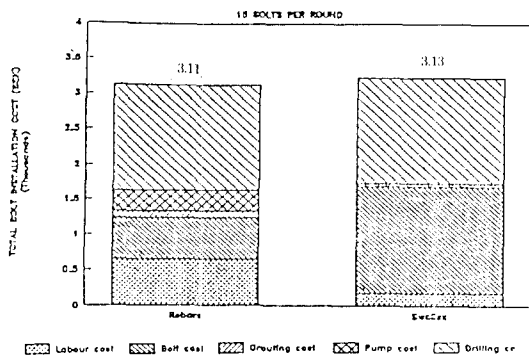


Fig. 3. Cost calculation of SWELLEX & Rebar.

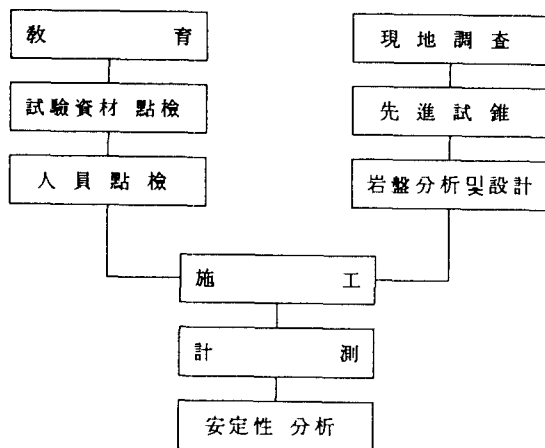


Fig. 4. Flow chart for rock reinforcement site test.

劑가 완전히 硬化한 뒤에 Nut를 이용하여 토오크(Torque)를 가해야 하기 때문에 록볼트 作業에 所要되는 間接的인 인건비를 감안하면 오히려 SWELLEX 볼트가 Rebar보다 훨씬 경제적이다. 참고로 스웨덴의 터널공사 현장에서 두 볼트의 경제성을 비교한 분석표는 Fig.3과 같다.

- 실험조건

- 볼트길이 : 3 m
- 볼트 타설수 : 1단면당 15개
- 지주 설치공 : 2명

3. SWELLEX 볼트의 現場 適用試驗

국내 광산에서 과거에 시공된 록볼트 지보는 대부분이 硬岩區間에서 試圖 되었기 때문에 軟岩에서의 록볼트 시공 사례는 대단히 적을 뿐만 아니라 장시간 유지는 어려운 것으로 인식하고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 석탄광에서 나타나는 岩質中 가장 軟弱하고 支保施工에 매우 脆弱한 구간을 선택하여 록볼트 適用試驗을 수행하였다. 또한 록볼트 支保效果에 대해 懷疑的인 시각을 가지고 있는 광산기술자들에게 安定性을 立證시켜 주기 위해서 모든 작업은 體系的인 試驗節次에 立脚해서 施工하고 분석하였으며 作業場에 투입된 인원을 대상으로 教育을 철저히 실시하였다.

3.1 SWELLEX 볼트의 現場試驗(東原炭座)

3.1.1 現地 岩盤 調査

東原炭座 일대에 분포하고 있는 지질은 朝鮮系의 大石灰岩統을 基底로 하여 平安系의 紅店統, 寺洞統, 高坊山統, 綠岩統 순으로 구성되어 있다. 試驗坑道는 高坊山統 地層 중앙부에 위치하며 橫壓力의 영향으로 심한 斷層 및 褶曲現象이 나타나는 곳이다. 암반은 破碎砂岩帶로서 節理面의 간격이 1 m 내외로 형성되어 있으며 節理群은 散發的으로 발달되어 있다. 막장에 나타나는 암반의 不連續面 走向은 掘鑿方向과 거의 직각 형태인 N80°W로 이루어져 있으며 傾斜는 80°NE 내외로 형성되어 있다. 지하수 영향은 거의 보이지 않고 있으나 試驗坑道 區間에 斷層帶가 형성되어 있을 뿐만 아니라 砂岩帶의 破碎性으로 파쇄면(Open Fracture)를 통한 지하수 유입이 우려된다.

3.1.2 岩質分析

Table 3. Results of pre-boring

Section of Boring	Type of Rock	Condition of Rock	R.Q.D.
2.6~17.5 m	Crushed Sandstone	L.Gr.Gr.C.S.S*	0~15%
17.5~21.6 m	Shale	Black & Coal Shale	0~10%
21.6~ 3.7 m	Sandstone	L.Gr.C.S.S	25~45%

*Light Green Gray Coarse Sandstone

Table 4. Physical properties of rock (Dong Won coal mine)

Items	Type of Rock	Crushed Sandstone	Shale	Sandstone
Specific Gravity (g/cm ³)		2.66	2.76	2.68
P-Wave Velocity (m/sec)		1,977	2,145	2,791
Uniaxial Comp Strength (kgf/cm ²)		870	804	1,065
Tensile Strength (kgf/cm ²)		63	82	77
Poisson's Ratio		-	0.25	0.10
Young's Modulus ($\times 10^5$ kgf/cm ²)		5.1	4.9	3.5
Internal Friction Angle (Degree)		62	54	60

Table 5. Design for rock reinforcement

Items	Type of Rock	Crushed Sand -stone zone	Shale Zone
Drift Size(Width×Height)		4.6×3.0 m	4.6×3.0 m
Type of Rock Bolt		Yielding SWELLEX	Yielding SWELLEX
Forepoling			
- Length×Span		3×0.6 m	3×0.6 m
Rock Bolt			
- Length		1.8 m	1.8 m
- Span		0.9 m×0.9 m	0.8 m×0.8 m
Shotcrete			
- 1st Stage		--	5 cm
- 2nd Stage		--	5 cm

- 先進試錐 및 R.Q.D 分析
 - 試錐
 - 先進 試錐機 : Longyear 65 다이아몬드 코아 드릴
 - 試錐 길이 : 37 m
 - 코아 횡수 : 33 m(코아 회수율 : 89%)
 - 비트 형태 : BQ(φ 42 mm)
 - 岩質分析 및 R.Q.D.
 - 實驗室 物性 分析
- 試驗 豫定區間을 따라 試錐된 코아중 암종별로 3 개씩 採取하여 實驗室에서 岩石 物性分析을 실시한

결과는 Table 4와 같다.

실제 갱도지보 설계에 적용된 암반 物性值중 單軸 壓縮強度는 破碎砂岩의 경우 회수된 코아별로 커다란 차이가 나타나고 있어 평균치를 적용하였으며 세일 층압길은 대체적으로 均·하기 때문에 가장 약하게 나타난 最低의 物性值를 적용하였다.

3.1.3 岩盤分類 및 支保設計

岩盤分類는 現場에서 조사된 岩盤狀態, R.Q.D값, 實驗室 物性值를 기준으로 R.M.R 분류법, Q-system과 現場 經驗的 分類 基準值를 이용하여 判定하였으며 應力에 의한 係數(S.R.F) 결정에 필요한 應力值는 理

論式과 국내 현지암반 시험결과로 보고된 시험식에 의해 算出하였다. 그 결과 破碎砂岩 및 세일층 구간은 매우 불량한 암반으로 판정되었으며 無支保 自立時間이 각각 25~30시간, 10시간 이내로 즉각적인 지보시공이 요구되는 구간이다. 실제 시험경도와 同一區間인 경도에 鋼材支保(Steel Arch)를 설치하였을 때도 先手裝置(솔장)를 사용하였으며 지주간격 또한 50 cm 정도로 지주 시공에 매우 어려움이 많았던 구간이다.

東原炭座 試驗坑道の 경도규격 및 암질조건에 의해 설계된 록볼트 길이는 최소한 2.1m가 적당하나 東原炭座에서 이미 구입한 록볼트 시험용 SWLLEX 볼트는 길이가 1.8 m로서 시험경도에 다소 짧은 감이 있어 安全率을 충분히 감안하여 Table 5와 같이 破碎砂岩 구간은 $L/S > 2$, 세일층 구간에서는 $L/S > 2.5$ 정도로 하였다(L : 볼트길이, S : 설치간격). 또한 시험대상 암반은 매우 연약하기 때문에 즉각적인 지보가 요구되어 補助補強材로 선수봉(Forepoling)을 사용하는 것으로 하였다. Shotcrete 두께는 Q-System 分類值에 의한 經驗的 設計方式과 G.M.I(Ground Mass Index)를 이용한 設計值로 결정하였다.

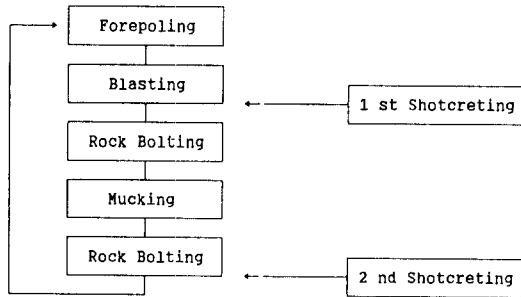


Fig. 5. Flow chart for rock reinforcement.

Table 6. Conditions of measurement

Items	Case I	Case II
Compressed Air(kg/cm ²)	3.6	5
Pressure Ratio*	60 : 1	60 : 1
Pump Maximum Pressure	220 Bar	300 Bar
Drill Hole Diameter	35~38 mm	37~38 mm
Type of Rock	Hard Sandstone	Sandy Shale

*SWLLEX Bolt 시공 전용 고압펌프내에 흡입된 공기의 승압비

3.1.4 施 工

掘鑿 및 支保作業 사이클은 Fig. 5와 같이 破碎砂岩帶를 기준하여 설정하였으며 신속하게 지보를 시공하여 弛緩帶 擴散을 방지하고 岩片分離를 방지하기 위하여 1회 굴진장을 제한하여 발파하였다. 적용된 發破法은 Smooth Blasting과 Pre-Splitting을 적용하여 경도벽면에 發破振動 영향을 최소화하고 岩壁面을 美麗하게 하여 록볼트 시공을 용이하게 하였다.

• 선수장치(Forepoling)

Forepoling은 主支保材만으로 岩盤補強이 不可能하여 主支保材(Rock Bolt)를 설치하기 전에 人爲的으로 막장의 無支保 自立時間을 연장시켜주는 工法으로서 다음과 같은 순서로 설치하였다.

- 穿孔徑은 $\phi 38$ mm로 하고 穿孔長은 3 m로 하였다.
- 施工角度는 掘鑿面에 대해서 上向 및 側壁方向으로 20°의 각을 두고 穿孔하였다.
- Forepoling 길이는 굴진길이의 2.5배로 하여 2회 發破 후 다시 시공하였으며 어느 정도 길이가 서로 겹치도록 하였다.
- Forepoling은 레진을 사용하여 岩盤과 接觸시켰다.

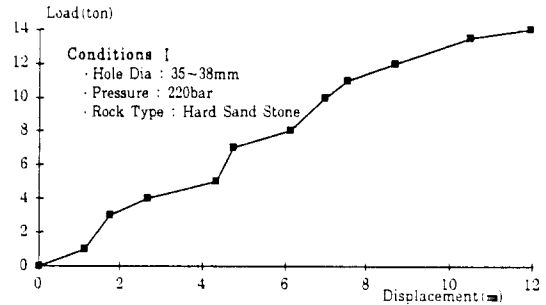


Fig. 6. Pull out test result, Case I.

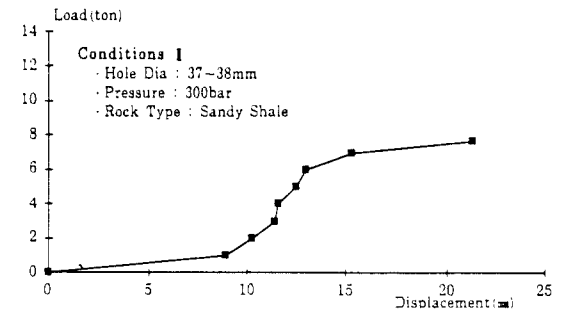


Fig. 7. Pull out test result, Case II.

• 록볼트

• 試驗坑道 심도는 지표로부터 450 m 지점으로서 매우 深部化되어 있어서 상부층의 自重에 의한 垂直應力이 클 뿐만 아니라 隣接坑道の 掘鑿으로 붕괴 및 암반돌출(Rock Burst) 현상이 우려되어 彈力性 볼트인 Yielding SWELLEX를 사용하였다.

• 穿孔은 SWELLEX의 定着效果를 極大化시키기 위해서 비트의 크기를 $\phi 35$ mm, $\phi 37$ mm, $\phi 38$ mm로 하였으며 穿孔徑의 최대크기를 38 mm 이상 초과하지 않도록 세심한 주의를 하였다.

• 孔內에 SWELLEX를 삽입하고 전용 고압펌프를 이용하여 볼트를 팽창시켜 岩盤을 지지시켰다.

• 볼트의 排列方式은 破砕砂岩이기 때문에 다이아몬드 형태(Diagonal System)로 시공하여 균열 및 Key Block의 分離現象을 방지시켰다.

3.1.5 效果分析

• 安定性 分析

安定性을 評價하는 방법으로는 여러가지가 소개되고 있지만 비교적 維持期間이 짧은 石炭鑛山의 坑道 安定에 비추어 볼트의 引拔試驗과 內空變位試驗만을 수행하였다.

— 引拔試驗(Pull Out Test)

SWELLEX를 완전히 定着시키기 위해서는 水壓을 300 Bar로 유지시켜야 하며 膨脹徑이 最大 41 mm이므로 水壓과 穿孔徑 조절이 매우 중요하다. 그러나 광산에서 사용되는 壓縮空氣壓이 일정하지 않고 岩質이 매우 다양하기 때문에 SWELLEX의 定着效果가 때때로 불안정하다. 따라서 Table 6과 같이 岩質, 穿孔徑 및 空氣壓을 달리하여 SWELLEX의 引拔力을 확인하였는데 그 결과는 Fig. 6 및 Fig. 7과 같이 나타났다.

위의 그림에서 Case I의 Pump 最大 作動壓이 Case

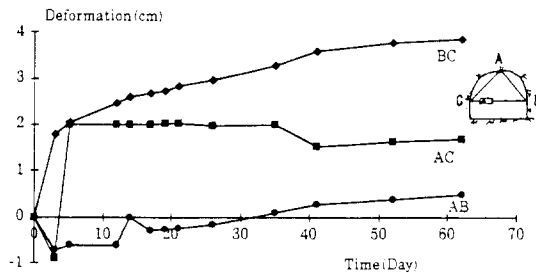


Fig. 8. Results of convergence at rock bolt test site.

II보다 부족하였음에도 불구하고 最大 引拔力은 대체로 14톤으로 Case II의 8톤보다 약 6톤 정도 상승되었다. 그 이유는 SWELLEX는 300 Bar의 水壓으로 볼트를 팽창시켜 支保效果를 나타내게 되어있으나 水壓이 220 Bar($3.6 \text{ kg/cm}^2 \times 60$ 배)에서도 완전히 膨脹되어 定着狀態에 이상이 없음을 알 수 있다. 또한 穿孔時 硬岩은 擴孔이 거의 없었기 때문에 SWELLEX의 最大 摩擦力을 나타냈으나 Shale층에서는 비트의 회전으로 38 mm 이상 擴孔되어 岩壁面과 SWELLEX와의 接着力이 低下되었음을 알 수 있다.

즉, SWELLEX의 支保力을 상승시킬 수 있는 결정적인 요소는 암질상태에 따라 穿孔徑의 크기를 얼마로 하느냐가 매우 중요한 것이다.

— 內空變位 測定(Convergence Measurement)

試驗坑道の 록볼트 施工 適正與否와 安定성을 분석하기 위해서 변형이 예상되는 구간을 설정하여 3개월간에 걸쳐 硿도의 內空變形을 測定하였다.

Fig. 8의 內空變位 測定 결과를 통해서 硿도의 安定성을 평가할 수 있는데 時間-變位 關係에서 곡선 방향이 어느 지점부터 收斂하게 될 경우 安定된 상태로 硿도가 유지되고, 曲線方向이 2차식 또는 1차식과 같은 형태로 나타날 경우 硿도는 매우 불안정한 상태에 있다고 볼 수 있다. 위 그림에서 施工初期에 右側側壁(C지점)에서 많은 變形量이 나타나고 있으나 시간이 흐를수록 변형량이 수렴되고 있기 때문에 試驗坑道는 安定狀態로 유지되고 있음을 알 수 있다.

3.1.6 經濟性 分析

SWELLEX 록볼트의 經濟性 分析은 試驗坑道인 수경 9권 積出後部坑의 既存 支柱設置費 만을 대비하여 분석하였는데 이는 i) 分析對象 硿도가 試驗坑道이기 때문에 연속 작업이 불가능하고 ii) 新技術에 대한 중업원의 作業未熟과 시공장비 未備로 能率이 低調하여 인건비 대비는 무의미할 것으로 판단되어 순수 資材費만 對備하였다.

Table 7과 같이 동일한 암질의 硿도에 설치된 두 종류의 지주재 비용은 매우 현저한 차이를 나타내고 있는데 補修費를 전혀 감안하지 않을 경우 록볼트 試驗區間의 資材費는 강재지보 구간보다 m당 25,700원이 節減되었는데 補修費를 감안하면 m당 305,000원이 절감되었음을 알 수 있다. 실제 9권 積出後部坑 全區間은 東原炭座 試驗坑道중 가장 軟弱한 硿도로서 강재지보를 50 cm 간격으로 설치하였음에도 불구하고

Table 7. Comparison rock bolt with steel arch

Items	Steel Arch	Rock Bolt
Type of Rock	Crushed Sandstone Sandy Shale	Crushed Sandstone Sandy Shale
Type of Support	Steel Arch (GI 100) With Wood	SWELLEX Rock Bolt
Span of Support	50 cm	0.8 cm×0.8 cm
Materials Cost/m	506,000 Won (Include Repair Const)	201,000 Won

구간별로 1~2회 이상 補修를 하였던 구간이다. 따라서 既存區間の 資材費에는 1회 補修費(資材費, 入件費)를 加算했으며 試驗區間을 永久支保인 록볼트를 시공하였기 때문에 補修費를 별도로 加算하지 않고 Forepoling 施工費를 록볼트 費用에 포함시켰다.

3.2 SWELLEX 케이블 볼트의 現場試驗(三陟炭座)

탄층에 隣接된 硿道(沿層 硿道, 크로스 硿道)와 같이 극히 軟弱한 암반은 岩盤自體의 지지력이 대단히 낮기 때문에 록볼트 단독 지주재만으로 유지하는 것은 어렵다. 따라서 이러한 硿도는 主支保材 외에 補助補強工法을 사용하고 슛크리트를 시공하게 된다. 그러나 沿層坑道와 크로스硿도는 採炭이 完了(3~6개월 정도)됨과 동시에 破쇄되기 때문에 永久的 支保形態는 경제적으로 볼 때 非效率的이라 할 수 있다. 이러한 硿도를 기존의 지보법보다 가장 經濟的이고 安定的인 支保形態로 유지시킬 수 있는 록볼트 應用技術이 着眼되었는데 이것이 SWELLEX와 와이어 로우프(Wire Rope)를 이용한 岩盤補強 技術이다.

3.2.1 Cable 볼트의 特性

- 록볼트에 의한 케이블 볼트의 形成

록볼트가 地下空間을 效果的으로 補強할 수 있음이 立證되어 여러 형태로 變形된 特殊볼트가 이용되고 있는데 그 대표적인 것이 케이블 볼트(또는 Truss Bolt), Roof Truss, Super Bolt 등을 들 수 있다.

本 研究에서 採擇한 방식은 Fig. 9와 같이 2개의 傾斜孔을 穿孔한 다음 각각 볼트를 설치하고 그 사이를 連結바(Connecting Bar), 턴버클, 블럭(Bearing Block), 썸기(Wedge Box) 등으로 조여 引張力을 작용시킨다.

일반적으로 坑道の 天盤에는 引張應力이 발달되는데 볼트에 引張을 작용시켜 암반에 壓縮應力帶를 형

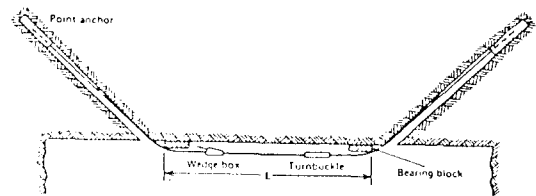


Fig. 9. General view of a cable bolt.

상하게 됨으로 시공 후에는 地壓으로 인한 引張應力이 감소되어 岩盤力學的 측면에서도 이상적이라 할 수 있다.

3.2.2 루우프 트리스 볼트를 應用한 SWELLEX 케이블 볼트 形態 着眼

루우프 트리스 볼트는 天盤이 平層인 岩盤에 天盤과 일정한 각으로 볼트를 삽입하고 레진 등을 사용하여 Anchoring System으로 兩端 볼트를 固定시킨 후 로드(Rod) 및 케이블에 引張力을 加하여 岩盤 内部에 壓縮圈을 形成시켜 암반을 지지하는 형태이다.

이러한 루우프 트리스 볼트 形態는 層狀의 硬岩區間에서는 단독 지보재로 가능하지만 硿도폭이 넓어 지거나 연약층에서는 다른 록볼트와 함께 시공해야 한다. 특히 發破振動과 岩盤變形 등으로 갑자기 支保力을 상실하기 때문에 완전한 支保形態로 볼 수가 없다. 또한 國內 鑛山坑道 形態는 아치(arch)형이므로 孔의 傾斜角을 周壁面에 항상 직각으로 유지시켜야 하며 兩端의 볼트에 連結된 로우프는 硿道 斷面을 縮小시킬 뿐만 아니라 작업에 많은 지장을 주게 된다. 이러한 트리스볼트의 장단점을 補完하여 着眼된 것이 Fig. 10과 같이 SWELLEX와 와이어 로우프에 의한 케이블 트리스 볼트 형태이다.

- SWELLEX 케이블 볼트 形態 着眼

- SWELLEX에 의한 케이블 볼트 形成

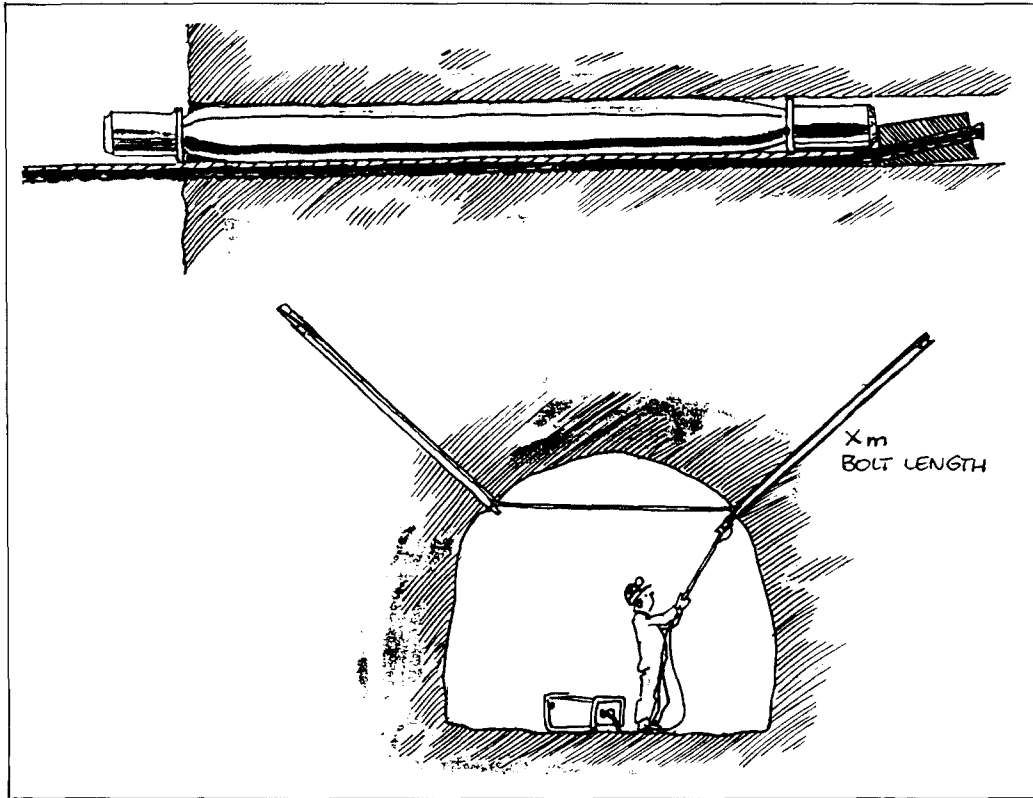


Fig. 10. Rock stabilization using SWELLEX & rope lacing.

SWELLEX는 볼트徑보다 큰 孔內에 삽입한 후 人爲的으로 팽창시켜 암반을 지지하는 형태로서 SWELLEX를 팽창시키기 전에 SWELLEX와 로우프를 동시에 삽입시킨 후 膨脹시켜 로우프를 孔 周壁面 전체에 고정시킬 수 있다.

- 와이어 로우프의 引張力 이용

岩盤에 연속적으로 로우프를 연결시키면 木材 및 鐵材支保를 거꾸로 설치하는 결과가 되기 때문에 암반이 매우 연약한 구간에서의 岩盤分離 현상을 방지할 수 있다.

또한 龜裂 및 절리가 매우 발달된 구간이나 Squeezing 현상이 발생하는 구간은 인접해 있는 신선한 암반 또는 非弛緩 領域區間的 암반에 로우프로 연결하고 조이면 弛緩帶 확산을 방지할 수 있다.

3.2.3 岩質條件

地表(수갱입구)로부터 垂直下部 330 m 지점에 위치한 試驗對象坑道(550 ML 동2X)의 岩質은 탄층과 매우 가까이 인접해 있는 경도로서 左側上盤은 사질

세일과 Coal Shale층이 존재하며 右側下盤은 眞幅 1.5~2 m 두께의 탄층이 존재하여 發破할 수 없을 정도로 매우 軟弱한 岩層으로 구성되어 있다.

3.2.4 케이블 볼트 試驗 現況 및 形態

- 坑道 規格(나비×높이) : 2.7 m×3.4 m

- 試驗 區間 길이 : 27 m

- 試驗 期間 : '92.9~'92.12(3개월간)

- 打設 볼트의 길이 : 1.8 m~2.4 m

- 打設 볼트의 간격 : 0.9~1 m×1 m

- 록볼트의 形態 : Yielding SWELLEX

3.2.5 施工方法

• 掘鑿

• 岩盤이 극히 軟弱하기 때문에 發破대신 Coal Cutter를 이용하여 掘鑿하였는데 이는 周邊岩盤 龜裂을 最小化하고 弛緩帶 擴散防止를 꾀할 수 있다.

• 1회 굴진장은 록볼트 從間隔과 같이 0.9~1 m로 하였다.

• 硬石運搬은 용량 2.0 m³의 L.H.D를 이용하여 鑛

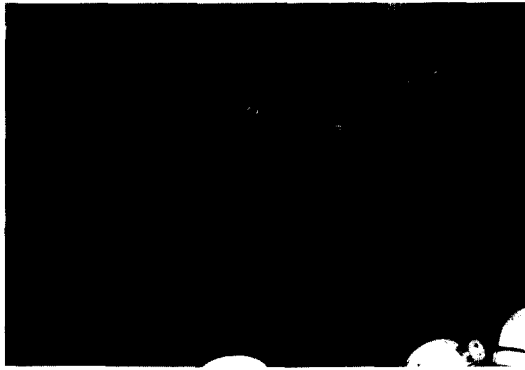


Fig. 11. Installation of cable bolt with SWELLEX (at test site).

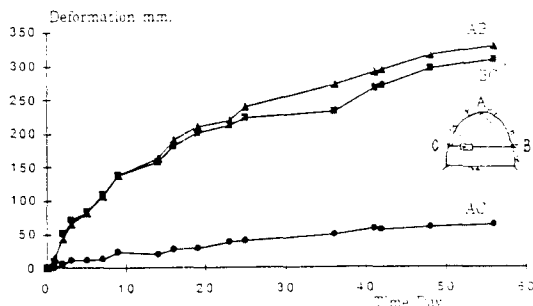


Fig. 12. Results of convergence at cable rock bolt test site.

車에 積載하였다.

- 岩盤補強
- 坑도 周壁面에 직각으로 穿孔하고 체계적(Systematic Bolting)으로 시공하였다.
- 穿孔徑은 SWELLEX(ϕ 27 mm)와 로우프(ϕ 7 mm)의 直徑을 감안하여 41 mm로 하였다.
- SWELLEX 볼트를 孔內에 삽입할 때 와이어 로우프와 동시에 삽입시킨 후 볼트를 팽창시켜 로우프를 固定시켰다.
- Fig. 11과 같이 양쪽 와이어 로우프를 와이어 크립(Clip)에 연결시킨 후 턴버클로 조여줌으로써 트러스 볼트(Truss Bolt) 形態로 岩盤을 補強시켰다.
- Fig. 11과 같이 로우프와 로우프 사이에는 널판지를 끼어넣어 밀려나오는 탄층을 막아 주도록 하였다.

3.2.5 施工 結果 分析

施工된 록볼트의 適正與否와 岩盤의 安定性을 觀察하기 위해서 計測裝備를 이용하여 岩盤의 舉動狀

態를 測定하였다.

- 內空變位 測定(Covergence Measurement)

— 設置 個所: 3地點(天盤, 右側 및 左側壁)

— 計測 頻度: 설치후 1일 1회

— 計測 使用 裝備: Calibration Frame

Convergence 볼트(ϕ 25 mm \times 500 mm)

Calibrated Steel Tape : 30 m
다이얼 게이지

Fig. 12와 같이 內空變位 測定結果를 보면 B지점(右側 側壁)에 많은 變位가 발생되었음을 알 수 있다. 즉 B지점은 탄층이 형성된 下盤에 위치하므로 掘進長이 진행될수록 天盤右側의 사질세일과의 境界部에서부터 坑도 안쪽으로 밀려 나옴을 알 수 있다. 右側 側壁에 시공된 볼트는 2.4 m로 확산된 弛緩帶 범위 내에 존재하고 있으므로 볼트는 인장력을 받지 않은 상태이다.

그러나 Bolt와 Bolt 사이에는 와이어 로우프로 연결하고 조여져 있을 뿐만 아니라 프리 텐션(Pre-Tension)을 받고 있기 때문에 갑작스런 블럭(Block)의 分離現像이 나타나지 않고 있다. 록볼트를 시공한 후 지금까지 35 cm 가량 變位가 발생하여 별도의 補強 支保가 필요하나 1차 지보 시공만으로 어느 정도의 기간 동안 유지되는가를 測定하기 위한 시험이기 때문에 補強 支保를 施工하지 않고 계속하여 관찰 중이다.

4. 結 言

국내 石炭鑛의 연암층내에 開設된 大規模坑道 補強을 위하여 SWELLEX와 SWELLEX Cable Bolt를 設置하여 그 適用性을 검토하였다.

지금까지 록볼트 지보로는 유지하기 어렵다고 생각해 오던 運搬坑道를 대상으로 2년간에 걸쳐 試驗 研究한 결과 適用 可能性이 확인되었다.

실제 록볼트를 시공한지 1~2년이 지난 지금까지 특별한 變形이 없이 유지되고 있다. 다만 三陟炭座 試驗坑道の B지점에서 35 cm 정도 變形이 나타나고 있지만 시공한지 1년이 거의되는 현재까지 崩壞되지 않고 坑도가 유지되고 있다. 이러한 區間을 鋼材 支保로 維持한다면 지금까지의 경우로 비추어 같은 기간에 거의 2~3회 정도 補修가 요구되었을 것으로

推定된다. 또한 록볼트가 시공된 硬岩區間과 Shotcrete 및 복공이 시공된 터널, 地下空洞內에서 이와같은 변형량이 발생하였다면 이미 崩壞되고 말았을 것이다.

그러나 三陟炭座 500갱 동 2크로스 갱도의 경우는 岩盤中에 설치된 록볼트의 지보력과 연속적으로 연결시킨 로우프의 引張力을 이용한 支保形態 즉, SWELLEX와 Wire 로우프를 結合시킨 트러스 볼트형태로 岩盤을 支持하기 때문에 一時的인 岩盤分離 現像이 일어나지 않고 많은 변위량을 허용하면서 坑道 斷面이 縮小되고 있음을 알 수 있다. 앞으로 이렇게 변위량이 많이 발생하는 구간에서는 支保力과 安定性을 확인하기 위해서 岩盤內部的 弛緩領域과 볼트 軸力을 확인할 필요가 있다고 본다.

軟岩層內에 개설된 大規格坑道는 때때로 막장의 無支保 自立時間이 매우 짧기 때문에 즉각적인 支保力이 요구되며 또 많은 隣接坑道の 掘鑿 또는 採炭 등으로 2~3차의 變形이 발생하는 경우가 많아 막장에서의 록볼트 사용이 제한되었으나 SWELLEX 볼트 또는 SWELLEX Cable Bolt를 사용할 때 施工이 용이하고 막장 補強에도 효과적인 것으로 확인되어 力學的 安定性 및 經濟的인 측면에서도 유리한 것으로 판단된다.

금번 研究는 1~2년간의 試驗結果로써 앞으로 계속하여 觀察과 實驗을 실시하여 現場에서의 適用 範圍를 확대하고자 한다.

감사의 말

2년간에 걸쳐 시행된 本 研究에 힘조해준 東原炭座

소장님을 비롯하여 技術開發係 職員 여러분과 어려운 작업 與件속에서도 國內 최초로 시도해 본 炭層內 SWELLEX 트러스 볼트 試驗研究에 많은 도움을 준 三陟炭座 金연준 부사장님, 無軌道 建設 事業團 技術陣 여러분께 감사를 드리는 바입니다.

참고문헌

- 1) 대한광업진흥공사, 1992, 광산 현대화개발 방안.
- 2) 대한광업진흥공사, 1992, 특수공법을 중심으로한 연약암반내에서의 대규모갱도 갱도 굴착 및 지보기술 연구.
- 3) 대한광업진흥공사, 1986, Rock Bolt 지보기술 광산 적용시험 연구.
- 4) 김교원, 유태성, 1987, 새로운 지반 분류 체계에 의한 터널 지보공의 설계.
- 5) C. Biron & E. Arioglu, 1983, Design of Supports in Mines, John Wiley & Sons, Inc.
- 6) B. Stillborg, 1986, Professional Users Handbook for Rock Bolting, Trans Tech Publications.
- 7) B.H.G. Brady & E.T. Brown, 1985, Rock Mechanics for Underground Mining, George Allen & Unwin Ltd.
- 8) Syd S Peng, 1978, Coal Mine Ground Control, John Wiley & Sons, Inc.