

대단면 장대터널에서의 Swellex Bolt의 설계적용

Application of Morden Swellex Bolt for the Design of Long, and Large Profile Traffic Tunnels

지왕률, 이호성, 정해성
(주)청석엔지니어링

초 록

록볼트의 작용효과는 지반이 굴착되어 안정화되는 초기 1달간이 가장 중요하고 품질관리 문제는 지반조건에 따라 부식에 대한 문제가 있으나, 기존의 전면접착형 록볼트의 경우에도 작업여건상 그 확실성은 떨어지는 것이 현실이다. 또한 작업이 시간소모가 크고, 볼트의 지지효과도 충전재가 고결되어야 발휘되는 약점을 갖고 있어, 일본, 말레이시아, 유럽 등에서 전면 마찰형 즉시 지보기능이 가능한 Swellex Bolt를 영구지보재로 사용하고 있는 경향이 있다.

기존의 전면 접착형 SN Bolt(이형철근)로써 Grouting 몰탈볼트와 Cem Bolt로 설계된 장대·대단면 도로터널 지보재를 현대식 Swellex Bolt로 대체 설계변경이 가능한 것인지에 대하여 볼트의 지지력 시험(Pullout Test), 볼트재질의 내구성 연구 및 설계변경에 따른 수치해석 등을 실시하여, 볼트로써 지지력을 확인하고, 재질의 안전성을 조사한 후 시공 사이클 타임을 줄이며, 견고하고 시공성이 우수한 Swellex Bolt로의 설계변경을 제안하게 되었다.

핵심어: 록볼트, SN Bolt, Grouting 몰탈볼트, Cem Bolt

1. 서론

록볼트의 역사는 1913년 독일의 Frölich와 Klüpfel에 의해 신청되었으나, 1차 세계대전 발발로 지연되어 1918년 취득된 최초의 록볼트 특허(No.302909)로부터 시작된다고 볼 수 있다. 당시 터널에서 사용된 목재지보를 대체할 수 있는 One Point 고정 지보재였다. 초창기에는 목재, 케이블 등 다양한 재료가 사용되었으나, 점차 공사비가 저렴한 이형철근을 세멘트 모르타르에 정착시킨 전면 접착형 볼트가 널리 사용되어 왔으나, 시공능률과 Bolt의 품질문제 등에 큰 단점이 있는 바, 설치시간이 짧고, 편리하며, 시공 즉시 지지력을 발휘하며, 공정 및 품질관리가 개선되는 Swellex Bolt의 현장 지지력 시험 등을 통하여, 지지력 검증을 하여 국내터널 시공시 설계적용 가능성에 대하여 검토하였다.

2. 각종 록 볼트의 장단점 분석

록볼트의 삽입 및 정착방식에 따라 아래와 같이 분류하고 있다.

Table 1. Classification of Rock Bolts

Anchorage method	Bolt Type	Remark
선단 정착형	기계식 선단 확장형, 선단접착형	Slot Wedge Bolt Expansion Shell Bolt Resin Anchored Bolt
전면 접착형	수지(Resin)형, 시멘트 모르타르형	Cement Grouted Bolt Resin Bolt, Cement Catridge Bolt
혼합형	선단정착형 + 시멘트 모르타르형	Anchored Resin Bolt Anchored Cement Grouted Bolt Hollow Expansion Bolt Wedge Pipe Bolt
마찰형	스웰렉스형	Swellex Bolt Split Set Bolt

2.1 Resin Bolt

선단정착형 및 전면접착형으로 사용되며, Crown부 같이 모르타르 설치가 어려운 부분에 적용된다. 문제점으로 부식이 쉽게 되는 품질관리에 큰약점이 있고, 볼트를 회전시켜 Resin과 첨가제를 잘 섞어야 접착강도가 좋아지는 기능력에 따라 강도가 달라지는 기술적 어려움이 있으며, 발포형으로 Polyester Resin과 Polyurethane Resin이 널리 쓰인다.

일반적으로 Resin은 천공내에서 Rod의 회전에 의하여 혼합된 후 1시간 후 Anchorage Capacity에 도달하게 된다. 설치시 기포가 많이 생기면 지지력에 결함이 생기게 된다.

2.2 Cem Bolt

1974년 유류파동으로 Polyester Resin 가격이 상승하고 공급상 애로점이 생기자 Resin을 대체할 수 있는 여러재료들이 등장했으며, Cem Bolt는 그중의 하나로 Catridge Type으로 되어있고 물에 적신 후 공벽에 삽입하여 사용한다.

포장 Catridge의 직경은 7/8 inch, 길이는 12~18 inch가 일반적이다. 수분은 Catridge당 40,000 pinhead/ft의 micro-capsule에 함유되어 있고, 쉬운 충격으로 파손된다. 습기, 온도 등 저장이 까다롭고 쉽게 파손되는 문제점이 있다. 최근에는 수입가격이 상승하는 경향이 있었으나, 현재는 국내생산이 되고있으며, 고결시간이 모르타르식에 비해 짧다. 3시간 정도 후에 Anchorage Capacity에 도달한다.

2.3 Mortar Bolt

천공내 시멘트 모르타르를 주입한 후 이형철근등 볼트를 삽입 시공한다.

장력이 걸릴 때 까지 고결시간이 8시간정도 걸리는 단점이 있고, 설치시 볼트 주변에 균일한 모르타르 두께의 전단면 충전이 실제적으로 어려워 품질관리에 문제가 있고, Crown부 등은 모르타르가 흘러내려 시공에 어려움이 있으나, 시공비가 저렴하여 널리 쓰이고 있다. 급결제를 사용하여 고결시간을 줄여야 되며, 공사비 증액의 원인이 된다. 균등한 품질관리와 내구성문제가 요원한 과제이다.

2.4 Swellex Bolt

전면 접촉식 마찰형 볼트이며, 철관 형태의 볼트를 고압펌프로 공내에서 팽창시켜 즉시 지보재로 사용할 수 있는 장점이 있다. 공당 설치시간을 3분 이내로 터널이 길고 단면이 클수록 전체 공정에서 절감되는 효과가 지대하다.

이 볼트는 재료자체가 연성이 커서 큰 변형이 와도 미끄러짐만 생기고 파괴되지 않아 지지력이 지속되어, 구조물의 안전율이 높아지는 장점이 있다.

설치가 간편하고, 기계화되어 있어, 전세계적으로 그 사용물량이 꾸준히 증대되고 있으며, 국내에서도 그 설계 적용이 늘어날 전망이다.

다른 종류의 Bolt에 비하여 시공이 아주 간편하고, 설치 소요 시간이 짧고 지지력이 단시간에 나타나는 Swellex Bolt의 적용시 특히, 대단면, 장대터널의 경우 공기절감을 통한 공사비절감, 우수한내구성, 품질관리, 시공안전, 연약지층에서 터널 구조물의 조기 안정화 극대화 등등에서 기타 Bolt 보다 우수한 Swellex Bolt의 사용을 제안한다.

3. Swellex Bolt의 특성

스웰렉스 록볼트는 마찰앵커 록볼트 형태에 속하고, 1977년과 1980년 사이에 스웨덴의 Atlas Copco에 의하여 개발되었다. 철관 형태의 볼트와 설치를 위한 장비로서 수압펌프가 필요하며 Fig. 1에서 보는 바와 같이 볼트의 직경을 줄이기 위하여 좁은 원형 철관(circular steel tube)으로 만들어졌다. 용접에 의하여 밀폐된 양단에서 볼트 내부로 고압의 물을 주입하면 볼트는 팽창하게 되고 팽창과정 중에 스웰렉스 볼트는 천공 주위의 지반을 압축시키면서 불규칙한 천공에 맞는 형태가 된다. 또한 축방향으로 볼트가 줄어들면서 암반면의 판을 끌어당기게 되어 약 2톤의 프리텐션을 일으키게 된다. 설치 후, 볼트와 천공의 불규칙면 사이에서 기계적인 맞물림이 생기고 마찰과 기계적 맞물림의 조합이 볼트 전길이에서 발생된다.(Fig. 1)

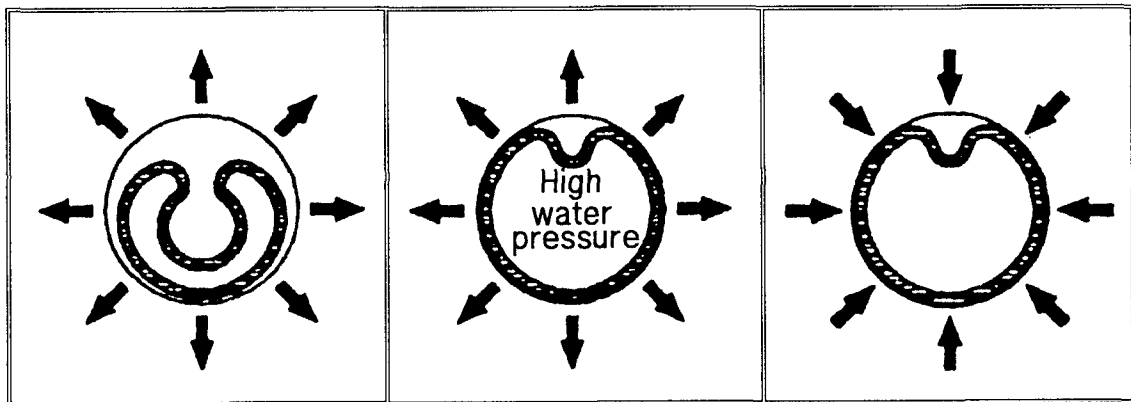


Fig. 1. Relationship between rock and Swellex bolt in installation process

3.1 하중-변형 거동

표준형 스웰렉스 볼트에 대한 전형적인 하중-변형 곡선은 Fig. 2와 같다. 초기에 하중 50kN(5톤) 정도까지는 록볼트에 변형이 일어나지 않으며, 그 후 부착파괴(bond failure)에 도달한 점에서 국부적으로 볼트에 변형이 발생하기 시작한다. 하중이 11.5톤까지 증가하고

변형이 10mm에 도달할 때 부착과괴가 진행되고 이때, 볼트는 미끄러지기 시작하고 일정한 하중을 유지한다. 하중-변형 거동은 전면접착형 록볼트와 거의 비슷하지만 스웰렉스 볼트는 큰변형이 올 때 미끄러짐만 일어나고 파괴되지는 않는다. 전단강도 발현에 대한 메카니즘은 Fig. 3 과 같다.

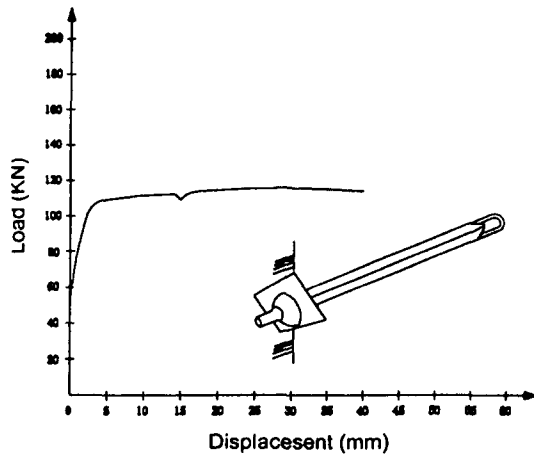


Fig. 2. Typical load-deformation curve of a Swellex rock bolt

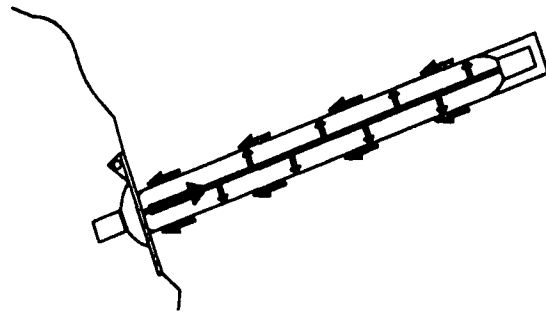


Fig. 3. Mechanism of shear strength activation by increasing the Swellex bolt diameter

3.2 전단저항

스웰렉스 볼트의 전단저항은 볼트가 순수 전단상태일 때에도 전단과 인장의 조합응력을 주기 때문에 볼트의 비어있는 단면(hollow cross section)에 의하여 전면접착형 록볼트보다 크거나 같다. 스웰렉스 록볼트의 파괴전단하중(failure shear load)은 전면접착형 록볼트보다 크며 평균적으로 인장전단하중(tensile shear load)의 93%이다. 철의 종류에 의해 좌우되는 스웰렉스 볼트의 연성은 전면접착형 록볼트와 같고 20%에서 30%의 증가량을 허용한다. 인발저항은 경암반에 대하여 일반적으로 50kN/m(5톤/m)에서 80kN/m(8톤/m)로 추정된다.

3.3 부착길이

스웰렉스 볼트의 필요 부착길이는 암반상태에 좌우되고 인발시험에 의하여 결정된다. 대부분의 주어진 암반조건에서 약 0.5m의 부착길이이면 암반에서 마찰력에 의한 저항력을 충분히 전달할 수 있는 것으로 판단된다.

3.4 록볼트 형태

가장 일반적인 것은 튜브의 직경 41mm, 두께 2mm인 Standard Swellex Bolt이다. 필요한 보링직경은 32mm ~ 39mm이며 기술적으로 불리함이 없고 설치 시간이 훨씬 빠르다.

3.5 Swellex 볼트의 현장 인발시험

본 시험연구는 Standard Swellex Bolt의 현장 적용을 위하여 경춘선 백양 2터널과 마산우 회도로의 진동터널에서 각 15개씩 총 30개의 Bolt를 설치하여 인발시험(pull test)을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 타 Bolt에 비하여 시공이 간편하고 설치시간이 짧으며, 지지력이 단시간에 나타난다.
- 2) 출수지역에서도 용이하게 설치할 수 있다.
- 3) 인발시험 결과 길이 2.4m Bolt는 약 10.1ton, 3m Bolt는 약 11.2ton, 5m Bolt는 11.7ton의 평균 인발하중을 알 수 있었다
- 4) 파괴형태가 Bolt의 지지력에 영향을 미치지 못하는 입구가 찢어지거나, 용접 부위가 깨어지는 형상을 나타내므로 Bolt의 실제 지지력은 시험결과보다는 높을 것으로 판단된다. 이상의 결과로 볼 때 Standard Swellex Bolt의 인발시험 결과는 Bolt 본체의 강도나 마찰저항은 측정하지 못하고 그 보다 낮은 값이 측정된 것으로 판단되므로 설계 하중이 10ton 이하인 지역에서는 사용이 가능할 것으로 판단된다.

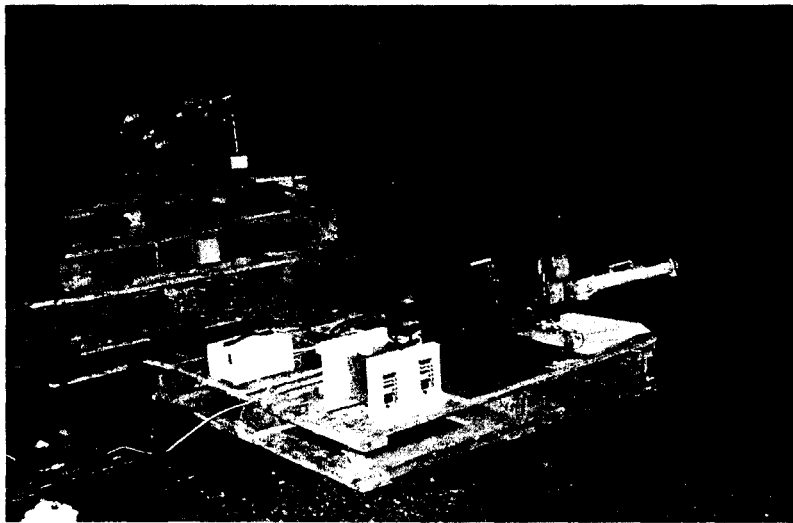


Fig. 4. Pullout test of Swellex bolt at tunnel Site

4. 대단면 장대 터널에서의 Swellex Bolt의 설계적용

4.1 기존 산악터널 적용 지보패턴 설계 현황

현재 서울 외곽순환 고속도로(벽제~퇴계원간) 설계에 적용된 대단면 장대도로 터널을 연구 대상으로 하였다.

Table 2. 불암산 터널 기존 지보패턴 (L=1,700m, 편도4차선 병렬터널, W:18.770m, H:10.597m)

구 분	지보패턴 1	지보패턴 2	지보패턴 3	지보패턴 4	지보패턴 5	지보패턴 6	
Q Value	40이상	10~40	3~10	1~3	0.2~1	0.2이하	
굴진장(m)	3.0	2.4	2.0	1.5	1.2	1.0	
Rock Bolt (Ø25)	길이(m)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
	간격(m)	Random	중	2.4	2.0	1.5	1.2
			횡	2.0	2.0	1.5	1.5
강섬유보강 Shotcrete(mm)	50	80	100	120	180	200	
Steel Rib 규격					150×150×7×10	150×150×7×10	
라이닝(cm)	40	40	40	40	40	40	

Table 3. 수락산 터널 기존 지보패턴 (L=2,950m, 편도4차선 병렬터널, W:18.771m, H:10.597m)

구 분		지보패턴-1	지보패턴-2	지보패턴-3	지보패턴-4	지보패턴-5	지보패턴-6	비 고
굴착거리(m) 지보설치거리(m)		상부:3.0/3.0 하부:3.0/3.0	상부:3.0/3.0 하부:3.0/3.0	상부:3.0/3.0 하부:3.0/3.0	상부:3.0/3.0 하부:3.0/3.0	상부:3.0/3.0 하부:3.0/3.0	상부:3.0/3.0 하부:3.0/3.0	
굴착방법		반단면굴착	분할굴착	분할굴착	분할굴착	분할굴착	분할굴착	분할굴착
숫크리트 두께		5cm	8cm	10cm	12cm	18cm	20cm	
Rock Bolt (Ø25)	길이	5m	5m	5m	5m	5m	5m	직경: D25(SD40)
	간격 (m)	Random	종방향:2.4m 횡방향:2.0m	종방향:2.0m 횡방향:2.0m	종방향:1.5m 횡방향:1.5m	종방향:1.2m 횡방향:1.5m	종방향:1.0m 횡방향:1.0m	
강지보공		-	-	-	-	간격 : 1.2m	간격 : 1.0m	H형강(SS41) 150×150×7×10
내부 라이닝	두께	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm	40cm	$\sigma_{ck}=240\text{kg/cm}^2$ (SD30)
	철근	-	-	-	-	D19 @ 150	D19 @ 150	
적용 압질		경압	보통압	연 압	풍화암	터널 시종점부	특수구간	

Table 4. 노고1터널(L=990m), 노고2터널(L=2,200m) 기존 지보패턴(편도4차선 병렬터널, W:18.77m, H:10.497m)

구 분		지보패턴 1	지보패턴 2	지보패턴 3	지보패턴 4	지보패턴 5	지보패턴 6
Q Value		40이상	10~40	3~10	1~3	0.2~1	0.2이하
굴진장(m)		3.0	2.4	2.0	1.5	1.2	1.0
Rock Bolt (Ø25)	길이(m)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	간격 (m)	Random	종 횡	2.4	2.0	1.5	1.2
	2.0		2.0	1.5	1.5	1.0	
강섬유보강 Shotcrete(mm)		50	80	100	120	180	200
Steel Rib 규격						150×150×7×10	150×150×7×10
라이닝(cm)		40	40	40	40	40	40

4.2 사패산 터널의 기존 지보패턴 설계 현황 및 설계 변경

사패산 터널의 지보패턴은 다음 Table 5와 같이 실시설계 되었다.

실시설계단계에서 사용된 록볼트는 일반적으로 많이 사용하는 전면접착형 록볼트이나 공기상의 문제점을 극복하기 위하여 Table 6과 같이 스웰렉스 록볼트로 변경 적용한다.

기존 설계시 수행된 수치 해석 결과를 바탕으로 최대축력이 스웰렉스 록볼트의 허용하중인 10 ton을 넘어가는 지보패턴-4와 지보패턴-5에 대하여 지반조사결과에 따른 지층모델링을 실시하여 주어진 station에서 전산해석을 실시하였다.

지보패턴 변경에 따른 안정성 검토는 강도저감개념을 이용한 추정 지보량과 비교함과 동시에 수치해석을 통하여 검증하였다.

Table 5. 사패산터널 설계적용 지보패턴(L=4,000m, 편도4차선 병렬터널, W:18.77m, H:10.497m)

구 분	지보패턴	굴진장 (m)	Rock Bolt			강섬유 보강 슛크리트 (mm)	Steel Rib 규격 (mm)	라이닝 (cm)
			길이 (m)	간격				
				종	횡			
본선구간	지보패턴 1	3.0	5.0	Random		50		40
	지보패턴 2	2.4	5.0	2.4	2.0	80		40
	지보패턴 3	2.0	5.0	2.0	2.0	100		40
	지보패턴 4	1.5	5.0	1.5	1.5	120		40
	지보패턴 5	1.2	5.0	1.2	1.5	180	150×150×7×10	40
	지보패턴 6	1.0	5.0	1.0	1.0	200	150×150×7×10	40
	지보패턴 6-1	1.0	5.0	1.0	1.0	200	150×150×7×10	40
비상주차대	지보패턴 S1	1.2	6.0	1.2	1.5	180	150×150×7×10	40
피난연결통로	지보패턴 S2	1.2	6.0	1.2	1.5	180	150×150×7×10	40
	지보패턴 S2-1	1.5	6.0	1.5	1.5	120	100×100×6×8	30

Table 6. 록볼트 설계변경 사항

기 존	변 경
전면접착형 록볼트(SD 40, D25)	Standard Swellex 록볼트 (직경 41mm, 두께 2mm)

Table 7. 기존터널설계 해석결과, 터널별 최대 Rock Bolt 축력현황 (ton)

Type	II	III	IV	V
터널				
불암산 터널	3.390	3.230	5.780	0.590
수락산 터널	3.018	2.406	3.771	1.867
노고 1 터널	-	4.580	5.592	-
노고 2 터널	2.064	3.980	2.028	3.288
사패산 터널	4.300	7.300	10.200	11.700

4.2.1 강도저감개념을 이용한 사패산 터널 지보량 검토

사패산 터널의 지보패턴-4와 지보패턴-5에 대하여 강도저감개념을 이용한 수치해석을 수행하고 지보량을 추정하였다. 지반물성, 해석위치와 해석조건은 기 수행된 실시설계 터널보고서를 참조하여 결정하였다.

Table 8. 지보패턴별 해석조건

지보패턴	해석 위치	굴진장	축압계수(k)	안전율($\eta_{\tan\phi} / \eta_c$)
패턴-4	4K+960 (하행선)	1.5m	1.0	1.1/1.5
패턴-5	2K+740 (상행선)	1.2m	2.5	1.1/1.5

(1) 지보패턴-4

강도저감개념에 근거한 수치해석으로부터 산정한 지보패턴-4의 필요지보량은 아래와 같다.

Table 9. 지보패턴-4의 필요 지보량

분석 경우		Type-IV		
		소성대 깊이(m)	록볼트 간격 (SL×ST)	숏크리트 두께(cm)
좌측터널 굴착	천정부	0.88	1.5m×2.24m	11
	측벽부	1.2	1.5m×1.78m	5
우측터널 굴착	천정부	0.73	1.5m×2.70m	10
	측벽부	1.6	1.5m×1.46m	6

주) 천정부:터널 중심선에서 ±60, 측벽부:(터널 중심선에서 ±60~135사이), SL:록볼트의 종방향 간격, ST:록볼트의 횡방향간격, 록볼트 안전율:1.3, 숏크리트 안전율:5

분석결과 숏크리트의 최대 필요두께는 좌측터널 굴착시 천정부에서 11cm, 필요 록볼트 최소간격은 우측터널 굴착시 측벽부에서 1.46m로 나타났다. 따라서 록볼트-숏크리트 상호보완 효과와 시공성을 고려하여 천정부와 측벽부에 숏크리트 12cm × 록볼트 간격(1.5m×1.5m)로 일률적으로 시공하는 것은 안정성 측면에서 문제가 없는 것으로 분석되었다.

(2) 지보패턴-5

강도저감개념에 근거한 수치해석으로부터 산정한 지보패턴-5의 필요지보량은 Table 10과 같다.

Table 10. 지보패턴-5에 필요한 지보량

분석 경우		Type-V		
		소성대 깊이(m)	록볼트 간격 (SL×ST)	숏크리트 두께(cm)
좌측터널 굴착	천정부	1.7	1.2m×1.45m	16
	측벽부	-	-	-
우측터널 굴착	천정부	0.9	1.2m×2.74m	11
	측벽부	0.2	1.2m×12.10m	1

분석결과 숏크리트의 최대 필요두께는 좌측터널 굴착시 천정부에서 16cm, 필요 록볼트 최소간격은 우측터널 굴착시 측벽부에서 1.45m로 나타났다.

따라서 록볼트-숏크리트 상호보완 효과와 시공성을 고려하여 천정부와 측벽부에 숏크리트 18cm × 록볼트 간격 (1.2m×1.5m)로 일률적으로 시공하는 것은 안정성 측면에서 문제가 없는 것으로 분석되었다.

4.2.2 터널 안정성 해석

지보패턴-4와 지보패턴-5의 안정성을 검토를 위하여 수치해석을 수행하였으며 해석위치는 강도저감개념에 의한 지보량 산정 단면과 동일한 단면에서 수행하였으며 해석위치에서 지층모델링은 지반조사보고서를 참조하여 결정하였다.

터널의 해석단계는 시공순서에 준하여 설정하였으며, 총 18단계에 걸쳐서 수치해석이 수행되었다.

해석순서는 좌측 터널 상반중앙굴착 및 보강 단계, 상반좌우굴착 및 보강단계, 하반굴착 및 보강단계, 우측 터널 상반중앙굴착 및 보강 단계, 상반좌우굴착 및 보강단계, 하반굴착 및 보강단계로 대별된다.

터널굴착별 하중 분담율은 굴착단계에서는 굴착하중의 40%, soft shotcrete 및 록볼트 타설과 hard shotcrete 타설시에는 각각 30%로 하였다. 해석 결과를 요약하면 다음과 같다.

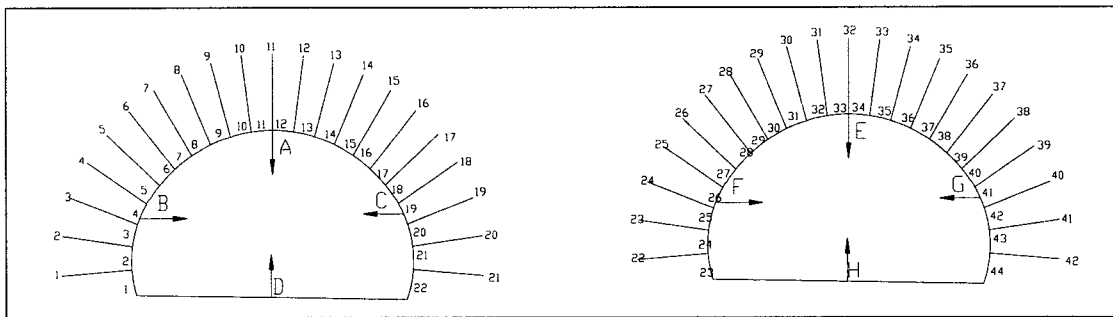


Fig. 5 터널 변위 및 지보재 주요 분석위치

Table 11. 지보패턴-4 터널 안정성 해석결과 요약

해석단계 분석사항	좌측터널 상반중앙부굴착	좌측터널 상반측벽부굴착	좌측터널 하반 굴착
슛크리트응력(kg/cm ²)/위치	83/10	110/19	114/1
록볼트축력(ton)/위치	3.46/10	3.51/1.1	3.97/3
최대변위(mm)/위치	1.67/A	5.85/A	5.94/A
해석단계 측정위치	우측터널 상반중앙부굴착	우측터널 상반측벽부굴착	우측터널 하반 굴착
슛크리트응력(kg/cm ²)/위치	115/1	117/1	145/44
록볼트축력(ton)/위치	3.98/3	4.0/3	4.03/19
최대변위(mm)/위치	6.15/A	7.10/E	7.27/E
검 토 결과	<ul style="list-style-type: none"> · 최대변위는 우측터널 천단부에서 7.27mm로 미소하게 발생하여 전체 내공에는 영향이 없을 것으로 판단된다. · 슛크리트는 우측터널 인버트하단에서 145kg/cm²으로 과대하게 발생하였으나 극히 일부지점에 국한되는것으로서 터널 전체의 안정성에는 영향이 없을 것으로 판단된다. · 록볼트는 전체가 2~4.03톤의 하중을 균등히 받음으로서 시스템 록볼트의 효과를 충분히 발휘하고 있는 것으로 판단된다. 		

Table 12. 지보패턴-5 터널 안정성 해석 결과 요약

해석단계 분석사항	좌측터널 상반중양부굴착	좌측터널 상반측벽부굴착	좌측터널 하반 굴착
숏크리트응력(kg/cm ²)/위치	77/10	61/12	96/10
록볼트축력(ton)/위치	3.67/10	3.77/11	4.08/11
최대변위(mm)/위치	1.87/C	3.21/C	5.00/C
해석단계 측정위치	우측터널 상반중양부굴착	우측터널 상반측벽부굴착	우측터널 하반 굴착
숏크리트응력(kg/cm ²)/위치	91/10	91/10	85/10
록볼트축력(ton)/위치	4.06/11	4.06/11	4.05/10
최대변위(mm)/위치	4.56/B	4.58/B	4.93/B
검 토 결과	<ul style="list-style-type: none"> · 최대변위는 좌측터널 측벽부에서 4.90mm로 미소하게 발생하여 전체 내공에는 영향이 없을 것으로 판단된다. · 숏크리트는 좌측터널 하반굴착시 최대 96kg/cm²으로 허용하중 이내로 발생하여 터널 전체의 안정성에는 영향이 없을 것으로 판단된다. · 록볼트는 전체가 2~4.05톤의 하중을 균등히 받음으로서 시스템 록볼트의 효과를 충분히 발휘하고 있는 것으로 판단된다. 		

5. 결론

벽제~퇴계원간 고속도로 건설구간의 기존의 터널설계현황을 분석한 바, 터널의 안전성해석결과를 보면, 노고 I, II터널, 불암터널, 수락산터널은 설계 Rock Bolt축력이 10ton 이내로 안정화 설계되어있으나, 문제가 되는 사패산 터널의 경우, 기존 설계 상에도 Rock-Support Type I ~III은 록볼트 지지력 10ton용을 사용해도 아무런 문제가 없으며, Rock-Support Type IV, V는 안정성과 안전율을 고려하여 12ton의 지지력이 필요하다. 이 경우 10ton짜리 Swellex볼트의 1.2배를 타설하여 구조적으로 안정함이 강도저감 개념을 이용한 지보량 검토 방법과 수치해석을 통한 안정성 해석상 모두 안전권내로 수렴 확인되었다. 그리고, Standard Swellex Bolt가 10ton의 인발 지지력을 갖는 바는 공인기관인 한국 지질자원 연구원에 의뢰하여, 본 설계구간과 유사암질의 현장 Pullout Test 결과를 통하여 확인하였다.

Swellex Bolt의 내구성 문제는 기존 볼트에 비해 떨어지는 바가 없으며, 배재대학교 신소재 공학연구소에 의뢰하여 Swellex Bolt의 재료시험 등을 통하여 그 재질의 안전성을 확인하였다. 특히 인장시험의 결과, 35%까지 연신율을 보이고 있어, 파괴까지 약 370MPa의 일정한 지지력을 갖고 있어, 재질의 항복이 일어나도 어느정도 지속적으로 지지력이 남아있어, 지반의 갑작스런 거동에 대해서도 기존의 록볼트 재질에 비해, 비교적 안전성이 높다고 판단된다. 파단면 조사 결과도 매우 연성이 좋은 Ductile Fracture를 하는 것으로 조사 되었다.

결론적으로 대단면 장대 도로터널의 경우, 기존 전면 접착형 Rock Bolt인 Grouting Type 몰탈 Bolt를 대신하여 조기에 지지력이 작용되고, 안전성 및 시공성이 우수하여 작업 Cycle Time 개선에 큰 효과가 있어 공기절약 및 품질관리에 우수한 Standard Swellex Bolt로의 설계 변경 시 공사 환경이 개선된 우수한 터널시공이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. “서울 외곽순환 고속도로(벽제-퇴계원간) 건설공사 실시설계” 터널보고서 제2공구 장흥-호원 1998. 6. 한국도로공사, Seoul, Korea
2. “서울 외곽순환 고속도로(벽제-퇴계원간) 건설공사 실시설계” 토질조사 보고서 1998. 5. 한국도로공사, Seoul, Korea
3. STUVA & DAUB, 2000, Underground Construction in Germany, Köln Germany
4. Rock Bolting International Symposium, 1983, Theory and Application in Mining and Underground Construction, Abisko, Sweden
5. 임한욱, 이희근, 1995, 터널·지하공간 굴착공학, 구미서관, Seoul, Korea
6. Lee, Dai-Sung, 1987 Geology of Korea, Geological Society of Korea, Kyohak-sa, Seoul, Korea
7. Hoek, E. 1995, Strength of Rock and Rock Mass, ISRM New Journal vol.2 , No.2
8. Maidl, B. 1988, Handbuch des Tunnel-und-Stollenbau Band II, Verlag Glückauf GmbH, Essen, Germany
9. 지왕률, 이경운, 1982, Rock Bolting 기술연구, KIER Miscellaneous Report-9
10. 지왕률, 김복운, 1987, 접착식 록볼트의 현장비교시험, Journal of the Korean Institute of Mineral and Mining Engineers, Vol.24, No.6, December 1987
11. 아틀라스콥코 제조 한국주식회사, 1996, Swellex - The engineered rock reinforcement system
12. Atlas Copco Rock Drills AB, 1998, Numerical approach for evaluation of tunnelling supported by Swellex rock bolt