

장기변형이 적은 지반에서의 Single Shell 적용 터널 사례 - 라에르달 터널



양인재
태조엔지니어링
지반/터널부 과장



임 구
태조엔지니어링
지반/터널부 사원



한명식
태조엔지니어링
대표이사

1. 개요

‘싱글셸(Single shell)’이라는 의미는 항상 동일한 의미로 소개되지는 않지만 본고에서는 ‘단일층의 분사식 콘크리트 복공’을 의미한다고 명기하도록 한다. 이는 다시 말해서 기존의 NATM 터널구조에서는 쇼크리트가 임시적으로 지보를 담당하고 구조적인 역할을 수행하지 않는다는 개념에서 진일보한 것으로, 1차 복공과 2차 복공을 일체화시켜 양자간에 전단력의 전달이 가능한 단일구조(싱글 셸 구조)로서 역학적으로 안정한 구조물을 형성하는 개념이다. Rock 볼트나 강지보공등의 강재의 지보부재는 시간이 흐름에 따라 녹이 발생하여 열화를 일으키기 때문에 1차 복공을 영구구조물로 하는데는 문제가 있지만, 설계시에는 완전한 가설구조물로서 2차 복공에 전 하중을 지지하는 설계에는 불합리하다는 개념도 있다. 이와 같이 싱글셸은 종래의 개념에서 탈피하여 이에 수반하는 시공설비나 시공성도 개선되는 것이며 나아가 터널의 구조적인 측면이나 시공측면의 합리화 및 공사비의 저감을 포함한 터널 건설의 종합적인 합리화를 기대하는 것이다. 본고에서는 터널계획 주변압반의 조건에 적합한 싱글셸을 도입하여 공사비를 절감

하고 공사기간도 단축한 노르웨이 라에르달 터널을 소개하고자 한다.

2. 노르웨이 라에르달터널(Laerdal tunnel)의 시공사례 소개

2.1 세계 최장 도로 터널 계획

베르겐과 오슬로간의 중추도로터널이 계획되기 이전까지는 아우르랜드 피오르드 산악지형을 가로지르는 좁고 험난한 국도밖에 대체도로가 없었다. 그러나, 낙반 붕괴에 의한 사고의 위험과 기존 도로구간을 천연의 자연 관광지로 지정하자는 의견이 높아짐에 따라 터널굴착을 통하여 도로를 개설하자는 계획이 수립되었다. 노르웨이 서부지역은 다른 여타 지역보다 국도가 좁고 지형적으로는 피오르드에 의한 굴곡과 산악지형이 교차하기 때문에 국도를 이용한 운송의 기여도가 극히 낮다. 특히 본 지역은 페리(Ferry)호에 차를 싣고 장기간 운항을 하거나, 일년 내내 낙석의 붕락 위험이 도사리는 구간을 지나야만 했다. 또한, 운수비용의 절감과 균형적인 국토의 개발 및 각

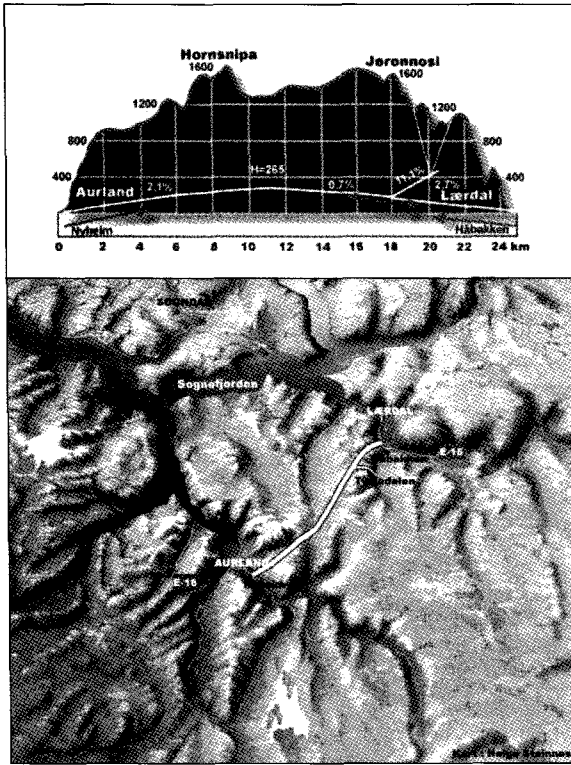


그림 1. 라에르달터널의 종평면위치도

지역간의 연계를 보다 원활히 하기 위하여 보다 안전한 국도확장의 노력이 지속되어 왔으며, 이러한 분위기 속에서 터널의 굴착은 불가피한 선택이었다. 또한, 아름다운 천연의 자연경관을 훼손하지 않는다는 환경적인 측면에서 터널 공사의 정당성은 확고해진 것이다. 터널 시공의 과정은 천공 - 장약 및 발파 - 버력처리 및 운반 - 암반 보강등 4단계로 나뉘어지며, 단계별로 전체 시공시간은 약 6~7시간이 소요되며, 안전을 기하는 경우에는 좀 더 긴 시간이 소요되게 된다.

2.2 시설개요

노르웨이 수도 오슬로와 해안도시인 베르겐을 잇는 라에르달터널은 총연장이 24.5km 에 이르는 도로터널로서

세계 최장의 터널이다. 총공사비가 US 1억 500만달러에 달하는 본터널은 터널단면이 60m², 최대하중고는 1,400m, 굴착량이 1,500만m³, 사용된 락볼트만 180,000 개, 강섬유쇼크리트가 35,000m³이나 소요된 거대규모의 터널공이다. 왕복 2차선인 라에르달 터널의 개통으로 노르웨이 동남 지역에 위치한 오슬로와 서남지역의 베르겐을 오가는 운전자들은 통행시간을 2시간 정도 단축할 수 있게 되었고, 기존에는 운전자들은 지금까지 겨울철에 세심한 주의가 필요한 산길을 통행하거나 협강(峽江)을 운행하는 나룻배(Ferry)를 타고 두 도시 사이를 통행했다. 라에르달 터널은 베르겐에서 100km 정도 떨어져 있으며 6년 동안 1억500만 달러의 비용이 투입돼 완공됐다. 터널 설계자들은 통과하는데 20분 정도 걸리는 터널 운행의 단조로움을 막기 위해 터널내 3곳에 굽은 길을 만들어 놓았으며, 매 500m 마다 차량대피소를 만드는 등 운전자들의 안전에 세심한 배려를 기울였다. 라에르달 터널 안전대책의 핵심은 화재 발생시에도 작동되는 두 개의 대형 환기구와 32개의 소형 환기구이다. 대형 환기구는 연기와 독가스를 특수 배기관으로 배출시키는 역할을 하고 소형 환기구는 신선한 공기를 터널내부로 흡입하도록 고안됐다. 또 터널 내부에는 소화기와 비상전화가 각각 125m, 250m 간격으로 설치돼 있으며 비디오 감시시스템이 터널 입구와 출구에서 교통상황을 체크하도록 돼 있다.

2.3 지질 및 안정성

라에르달 터널에서 주요 암석 유형은 선캠브리아기의 편마암이다. 편마암은 강한 강성의 암석으로서, 터널 재료로서 유용하다. 라에르달 터널은 산악지대 매우 깊은 곳에 위치하며, 표고가 1,400m에 달한다. 노르웨이의 지질은 비교적 좋은(fair) 지질로서 이는 경암지반에 국한되는 것이 아니라 절리를 가진 압축강도 5~250MPa정도의 연암, 경암정도의 암반으로, 굴착시 변형성이 적다는 특징이 있다. 터널 상부의 대규모 암반은 거대한 지압을 가

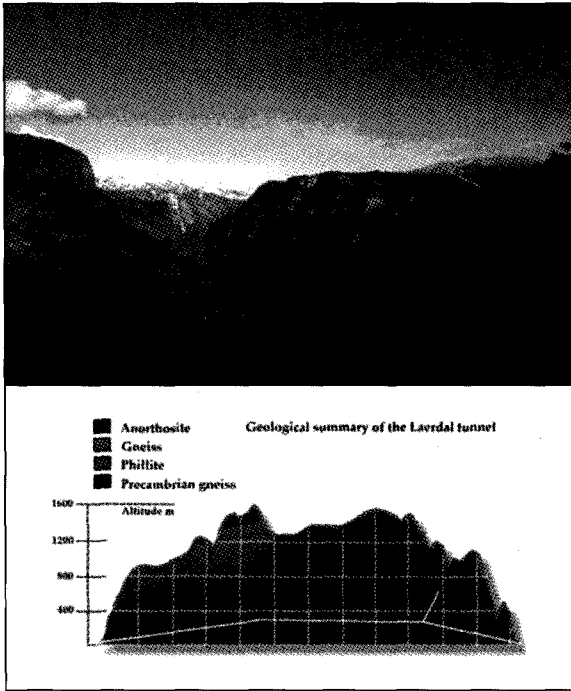


그림 2. 빙하에 의해 형성된 가파른 피오르드계곡 및 터널부 지질종단면도

하게 된다. 이로서, 지각내 큰 수평 인장력과 결합하여, 발파후에도 터널 천단과 벽면에서 붕괴의 우려가 있다. 이러한 현상을 암반파열(Rock burst)이라고 한다. 암반 파열에 의한 쇄설물의 크기는 작고 얇은 암편조각에서부터 거대한 암반 블록에 이르기까지 다양하다. 라에르달 터널의 시공중에도 이러한 문제가 종종 발생하였으며, 암반파열에 의한 쇄설물들은 발파직후 붕락하였고, 후속작업이 이루어지기 위해서는 안전 점검이 필수적이었다.

2.4 싱글셸터널의 도입

이 싱글 셸 구조는 시공과정에 따라 쇼크리트는 단계적으로 시공되기 때문에 다층으로 되지만 섬유보강이나 고강도화 및 급결제 첨가량의 억제 등에 의해 쇼크리트의 장기내구성 향상이나 쇼크리트 각층간의 부착력을 확보하여 일체구조로 하는 것, 그 위에 휨 거침도(Toughness)나 동결융해성의 향상 등의 고품질화를 꾀하는 것에 따라 싱글 셸은 종래의 터널구조와 동등이상의 기능성 내구성

표 1. 최종적인 터널 구조형식의 분류

라이닝의 형태	터널단면	특징	공비비교
(A) 더블 셸(Double Shell) : NATM 복공 		<ul style="list-style-type: none"> · 관용적 구조형식 · 방수 Sheet 등에 따른 지보구조와 현장타설 복공의 분리 	100%
(B) 싱글 셸 		<ul style="list-style-type: none"> · 쇼크리트에 따른 지보층을 형성후 정비보수를 거쳐 마무리 뿔어붙임 실시 · 각층 일체화 	90%
(C) 싱글 셸 		<ul style="list-style-type: none"> · 쇼크리트에 의한 지보구조를 정비 보수하고 그대로 최종복공으로 한다. · 내장판의 사용도 있다. 	80%

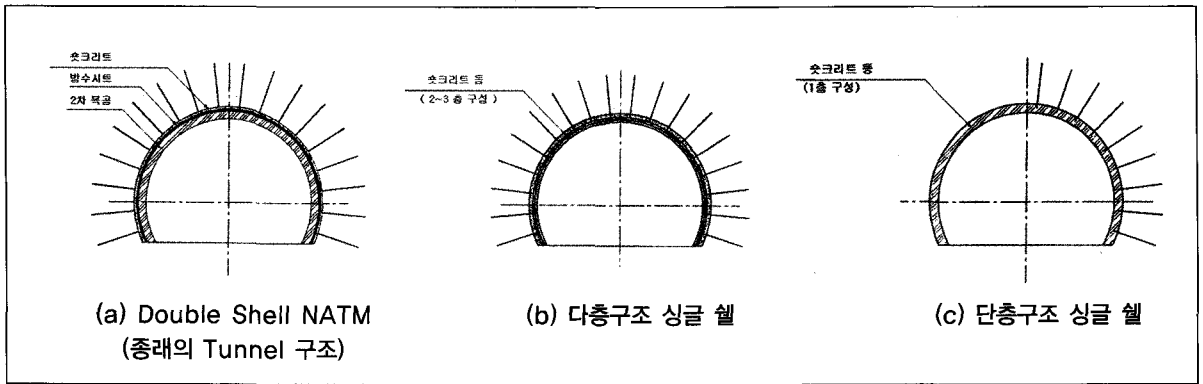


그림 3. Double Shell NATM과 싱글 셸 NATM

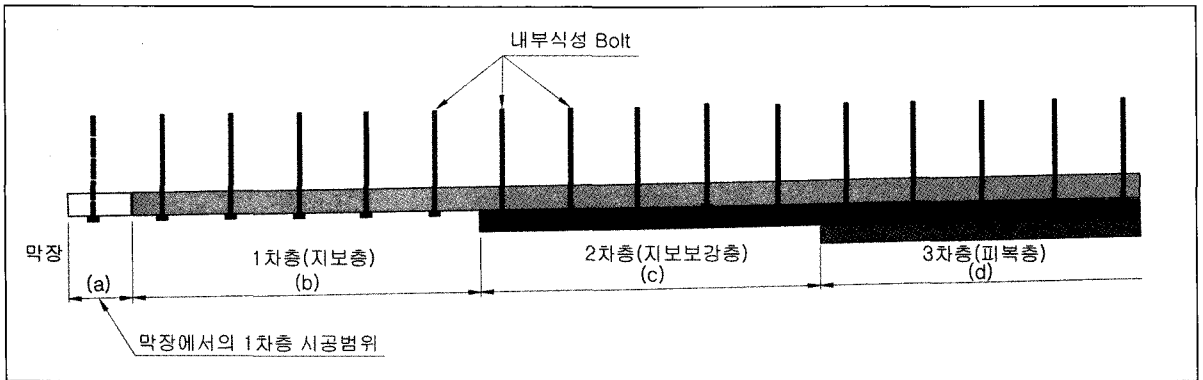


그림 4. 라에르달터널에 적용된 3층형 Single shell 지보부재

을 확보하는 것을 가능하게 하였다. 앞서와 같은 지보와 복공의 개념에 기초하여 최종적인 터널구조의 형식을 분류하면 표 1과 같다. 표 1의 분류표를 통해, 각각의 터널구조를 평가하면 1차 복공과 2차 복공이 이중벽분리식(Isolation)공에 의해 분리되는 종래의 형식(A)은 이중보와 같은 거동을 하므로 더블셸(Double Shell) 구조라고 말할 수 있다. 반면 분리공을 시공하지 않는 (B), (C)의 형식은 단계적인 시공으로 되는 것을 완전히 일체화시켜 합성(composite)구조로서 거동하므로 싱글 셸 구조라고 할 수 있다. 아래에 종래의 NATM의 Double Shell 구조와 쇼크리트 및 샤프콘 복공에 의한 싱글 셸 구조의 비교도를 나타낸다(그림 3 참조). 라에르달 터널구간의 지질은

선캠브리아기의 화강암질 편마암으로 터널계획고 부근에 오랜기간동안 상재압에 대한 내구력이 증가되어 있어서, 싱글 셸의 스프레이형 영구 콘크리트라이닝 및 강섬유재를 이용한 지보가 용이하였다. 일부구간에서는 비교적 연약한 천매암, 편마암 및 회장암 등이 노출되어 상재압을 이기지 못하고 변형파괴(Strain bursting)을 일으키는 등 문제가 발생하여 기존 개념에서는 NATM 보조공법 및 계측을 수반하였다.

2.5 지보구성의 개요

라에르달터널에 적용된 싱글 셸의 지보·복공은 그림

4에 나타낸 바와 같이 1차층(지보층), 2차층(지보 보강층), 3차층(피복층)의 3층으로 구성되어 지반의 상태나 터널 기능의 요구내용 등에 따라 각층의 사양 변경이나 간략화 및 생략을 검토할 수 있다. 결국 지반이 양호한 경우에는 2차층의 생략이나 1차·2차층의 간략화를 꾀할 수 있는가에, 터널기능의 요구내용에 따라서는 3차층의 생략이나 콘크리트를 미리 성형화 하는 등의 예로의 변경을 도모할 수 있다. 라에르달터널의 경우에는 단위 m당 락볼트 7개와 쇼크리트 1.8m³만으로 시공을 완료하였고, 추후에 벽면의 최하단 1~2m 구간에는 쇼크리트를 분사하지 않다가 박락현상(Spalling)이 발생하여 추가 슛크리트를 설치하였다.

2.6 상세시공내용

2.6.1 천공과 발파

터널시공은 재래식 천공-발파 과정으로 수행되기도 하지만 근래에는 컴퓨터로 제어되는 드릴점보를 이용한다. 산악지형에서 10km이상의 암반구간을 오차없이 굴진해 나가기란 매우 난이하였으며, 터널구간이 지표에서 1km 이상 떨어져 있어서 양방향에서 굴진해온 터널 단면이 마주치기 위해서는 컴퓨터시스템에 의한 정밀 천공 및 발파가 필요하게 되었다. GPS 탐색위성을 통한 조사측점선정 및 이 측점을 이용한 터널내공 측량을 수행하였으며, 터



그림 5. 라에르달터널 굴착단면

널 내에서 방향선정은 레이저빔을 이용하였다. 그 결과 드릴링 점보에 부착된 컴퓨터가 이러한 레이저빔을 감지하여, 설정된 패턴에 맞추어 3개의 유압식 드릴로 구성된 천공장비를 자동으로 장착시키며, 각 발파단계에서 직경 45~51mm, 깊이 5.2m의 hole을 100개정도 굴착하였다. 노르웨이에서 폭약으로 흔히 쓰는 것은 애놀리트(Anolitt)로 다이내마이트보다 사용하기 쉬우며 뇌관은 각 hole의 바닥부에 설치하였다. 터널 단면에서 최외각공의 발파는 주의를 기울여 터널 천단과 측벽에 손상을 입히지 않도록 하였다. 드릴링 점보가 컴퓨터로 제어될 지라도, 기술적으로는 인간의 지식을 따라갈수 없다. 터널 굴착을 효율적으로 수행하는 기술은 암반 및 지질특성에 대한 인간의 경험이 최우선한다. 라에르달 터널에서의 천공작업은 3~4개소(단면)에서 동시에 수행되었으며, 작업을 집중적으로 수행할 수 있었다. 터널이 완공될때까지 약 5,000여회의 발파를 기폭시켰으며, 1 발파당 100개의 공을 천공하여 각 단계별로 500kg의 폭약을 사용하였고 5m씩 암반을 굴진하였다. 각 발파단계에서 나오는 버력의 양은 500m³의 암반을 파쇄하였다. 모든 천공 및 발파 작업은 발파설계에 맞춰 수행하였으며, 폭약이 1/10초 단차의 기폭시간을 표시하는 번호를 각각의 장약공에 기록하였다. 첫 번째 장약공(No.0)의 기폭으로부터 마지막 공(No.50)의 발파까지 5초가 걸린다. 기폭의 순서와 천공 위치는 발파의 성공을 위한 중요한 요소가 된다.

2.6.2 굴착에 의한 버력처리 및 조경계획

터널의 버력처리를 위하여 바퀴가 달린 휠식로더를 사용하여 전후좌우의 기동성을 살렸다. 버력은 덤프트럭을 통해 터널 밖으로 반출하였는데, 터널내에 영구포장도로를 개설함으로써 버력적재차량이 쾌적한 포장도로를 지나다니도록 함으로서 작업효율을 개선시키고 분진발생을 방지하였다. 250만m³에 달하는 버력을 처리하는 일은 터널계획의 가장 큰 어려움 중의 하나였다. 터널산악지대 중앙에 위치한계곡부는 조정과 농경지 활용의 중요성이

있어서, 본선터널부로 버력을 처리하는 대신 턴자달에 위치한 2.1km길이의 작업터널(Access tunnel)로부터 절반 이상의 터널버력을 반출하여 처리하도록 계획하였다. 턴자달은 라에르달터널의 계곡부에 위치하여, 자에르달 마을의 동쪽으로 약 8km거리에 넓게 펼쳐져 있어서 전체적인 조경에 대하여 시각적으로 아무런 방해도 주지 않고, 또한 라에르달 산악지의 엄청난 계곡수로를 막는 위험을 피하면서 버력을 적재할 수 있었다. 턴자달에서 중심터널로 작업터널을 뚫는 공사는 비용이 많이 들었으나, 각 터널 입출구로 운반해야하는 공기를 단축시켰으며, 이 터널을 관통함으로써 사람이 거주하지 않는 지역에 버력처리 공사를 함으로서 라에르달 지역 주민들에게 공사중 민원 사항을 줄일 수 있었다. 대부분의 버력은 도로개설시 노반재로 사용되었으며, 플람지역 피오르틀르 인도 및 자전저도로의 기초초석재료로도 활용되었다.

2.6.3 면고르기, 쇼크리팅 및 락볼팅

발파단계이후에는 굴착기에 장착된 수압식 세척기를 이용해 면고르기 작업을 한후에 인력에 의해 최종적인 면고르기를 수행한다. 면고르기가 끝난 후 아연도금된 강철 볼트와 터널 표면을 봉합해주는 섬유보강 쇼크리트로 터널의 천단과 측벽을 보강한다. 2.5m 내지 5m 길이의 락

표 2. 싱글 쉘 쇼크리트제원

시멘트(Cement)	439m ³
골재(Aggregate)	1,670m ³
초경량 실리카재	30m ³
Meyco 강화제	5
물시멘트비율	0.42
강섬유 30/50	44
리바운드율(%)	2.0~3.0
재령1시간 압축강도	0.9MPa
재령 28일 압축강도	42MPa

볼트는 이완에 의해 발생한 응력을 암반내부 깊숙이 전달하는 역할을 한다. 이러한 과정은 거대한 암체내의 압력을 균등화함으로써 터널붕락의 위험을 배제시킨다. 본 공사에 사용된 쇼크리트의 제원은 <표 2>와 같으며, 쇼크리트의 강도가 높기 때문에 분사후 바로 볼트천공후 락볼팅이 가능하다는 이점이 있다. 이는 암반파열시에도 락볼트 지압판의 접착성을 배가시킴으로서 지보재의 상호보완을 도모하며 시공상의 안전성도 개선시킨다. 락볼트 보강을 수행하기 위하여 전체적으로 약 20만개의 락볼트(미터당 7~8개)가 소요되었고, 35,000m³의 보강 쇼크리트가 터널 지보에 소요되었다.

2.7 터널 부속 시설 소개

2.7.1 환기시설

오늘날의 자동차는 눈부신 기술의 발전으로 보다 적은 양의 일산화탄소 및 매연 배기가스를 배출하기는 하지만, 터널내에서 이를 희석시키기 위하여 엄청난 양의 신선한 공기가 필요한 것은 사실이다. 3차원 환기 시뮬레이션을 통하여 살펴보면, 라에르달 터널 구간인 24.5km의 길거리를 주행하는 차량 1대당 1,800m³의 신선한 공기가 필요하다. 지난 수년간 노르웨이 도로국(NPRA)은 추가적인 전력 소비가 없어도 터널내 공기질을 향상시킬 수 있는 방법을 구상하면서 환기 제트팬의 효율성 증대에 대한 연구개발을 수행하였다. 네덜란드 토목·수자원부와의

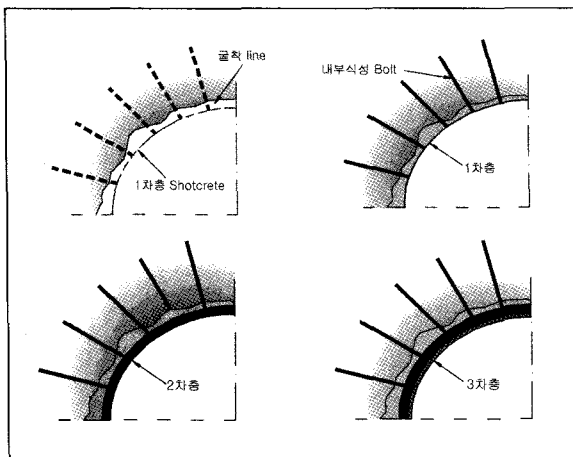


그림 6. 3층 싱글 쉘 시공순서 개념도

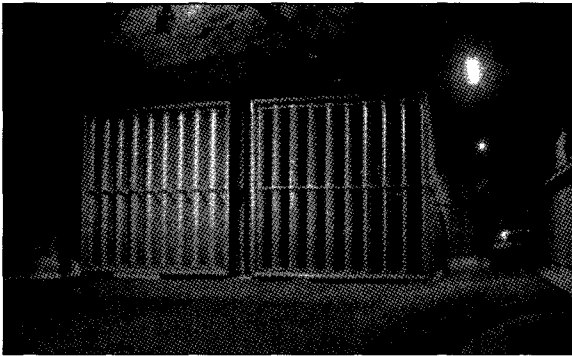


그림 7. 환기를 위한 대형공기정화설비

공동 프로젝트를 추진하면서, 새로운 형태의 보다 대형 환기 제트팬을 본 터널내 몇 개소에 시범 설치하였다. 여기서 측정된 결과는 전세계인의 관심을 이끌었고, 결론적으로 이 새로운 팬이 기능을 제대로 하고 있다는 것이었다. 그러나, 아직도 더욱 효율적이고 전력소비가 적은 환기시설을 개발할 필요성은 많이 있다. 아우루랜드 방향의 신선한 공기를 흡입하여 터널내부로 유입시키는 역할을 하는 제트팬은 터널의 천단부에 고정되어, 팬의 뒷부분에는 편향 날개(deflection blade)가 설치되어, 공기를 위에서 아래로 향하게 하며 기존 팬보다 20%정도 압력 증가를 향상시키는 효과가 있다. 라에르달 터널 안전대책의 핵심은 화재 발생시에도 작동되는 2개의 대형 환기기와 32개의 소형 환기기로써, 대형 환기기는 연기와 독가스를 특수 배기관으로 배출시키는 역할을 한다. 소형 환기기는 신선한 공기를 터널내부로 흡입하도록 고안됐다. 그림 7에서 보는 침전형(Precipitation) 환기시설은 터널에 장착된 대형 제트 팬을 기본으로 하며, 이는 터널내로 신선한 공기를 투입하며, 오염된 공기를 틴차달 터널의 인접 터널로 방출하는 역할을 한다. 그림의 단면은 라에르달의 터널 입구부의 6.0km지점에 설치된 공기정화설비로서 먼지등을 침전시키는 필터역할을 한다.

2.7.2 운전자의 입장을 고려한 시설물

라에르달 터널을 운전하여 통과하는 데에는 20여분이

소요된다. 본 장대터널설계의 착안점은 운전시 긴 여행에서 '지루하고 단조로와서' 주의력을 상실하지 않도록 하는 것이다. 작업팀은 터널 설계에 세심한 주의를 기울였다. 이러한 작업은 산업 및 연구개발 연합(SINTEF)에 속한 숙련된 심리학자들에 의해서 주도되었다. 노르웨이도로국과 긴밀한 공조를 이루면서, 대부분의 사람들에게 즐거운 경험을 선사하는 터널여행이 될 수 있도록 자동차 여행도중에 다양한 변화를 만끽함으로써 주의력이 산만하여 '속도에 무감각'해지는 운전자에 대한 위험을 줄일 수 있도록 노력하였다. 장대도로터널내의 운전자의 거동에 대한 연구는 90년대부터 시작되었으며, 조명레벨이라든가 터널단면의 디자인 측면에서 최적의 해결책을 제시하기 위한 시뮬레이션이 시도되었다. 이러한 연구성과에 의한 주요내용은 다음과 같다.

- 완만한 커브로 직선거리를 줄이는 것이 라에르달 터널내 주행을 다소 덜 단조롭게 할 것이다.
- 터널내 어느 지점에서든 안전시야거리가 1,000m이상 되어야 할 것이다.
- 터널은 확대 단면구간을 기준으로 4개 영역으로 나뉘어지며, 이는 객차나 열차가 후진하지 않아도 방향을 틀어서 돌아 나올 수 있는 공간이다.
- 터널 내에는 몇 개소에 확공공간이 있다. 이곳에는 조도변화, 벽면치장 등을 달리하여 동일한 터널단면을 20여분간 운전하여야 하는 단조로움을 없앨 수 있다.

2.7.3 교통안전의 추가적 고려사항

안전 관측기기 및 설비를 위해 상당량의 투자가 이루어진다. 몇몇 장대터널의 실용적인 경험에 의거해 볼 때 안전하다고 판단이 되지만, 사고 방지 및 잠재적인 사고에 대비한 효율적인 안전 시스템을 설비하기 위한 노력이 계속되고 있다. 알려진 바와 같이 1999년 3월 터널 중간에서 발생한 트럭화재로 39명의 사망자를 낸 몽블랑 터널



그림 8. 실제 화재방재 시뮬레이션

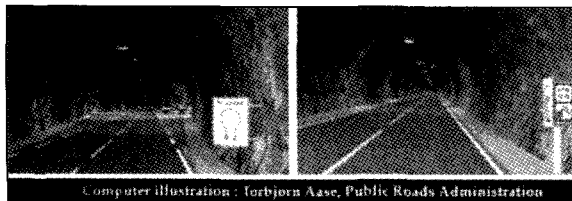


그림 9. 차량회전소 안내표지판 및 비상전화기

(11.6km)의 전철을 반복하지 않기 위하여 다음과 같은 안전측면이 고려되어 있다.

■ 화재안전

예상치 못한 터널내의 화재에 대한 방재시설은 터널구조물 설계시 최상위로 검토되어야 한다. 라에르달 터널구간의 암반은 간극비와 함수율이 낮아서 지하수에 대한 방수가 거의 필요없는 건조한 암반을 관통한다. 그러므로, 방수가 필요한 인화성 플라스틱 바닥재 설치는 화재 방지를 위해서 콘크리트 내부에 부착하는 방법을 이용하였다. 이러한 방안은 1996년 에켄버그(Ekeberg) 터널의 시험화재시에도 검토된바 있다. 35,000kW, 1000.℃이상 온도가 상승함에 있어서도 터널 벽재 피복에는 전혀 손상이 없었다.

■ 비상시설

사고 위험이 적고, 방재 설계가 되었음에도 불구하고, 라에르달 터널내에는 다량의 비상대피시설이 준비되었

다. 비상전화기, 소화전이 다른 터널의 경우보다 더욱 근접거리에 마련되었다.

- 250m 마다 비상전화 설치
- 125m 마다 소화전(6kg짜리)
- 1.5km 마다 차량 회전소
- 6km 마다 광역 차량회전소
- 500m 마다 고장 차량 대피소
- P1과 P4 라디오 채널을 위한 안테나 시스템
- 이동전화 연결

■ 장기모니터링 시스템

노르웨이도로국은 환기시설, 라디오 연결상태, 조명시설, 차량조도, 비상시설 등이 제대로 작동하는지를 장기 관측하고 검사하기 위한 시설투자에 수백크노르(NKC)의 비용을 소요하고 있다. 라에르달 터널을 담당하는 본부 관측센터는 해당지역 터널 시스템에 대한 장기 관측 및 검사를 책임 진다. 화재 방지기는 제거시에 자동으로 기록이 남으며, 환기팬은 장기관측센터에서 수동으로도 작동된다. 만일 환기시설에 문제가 생기거나, 차량이 줄을 이어서 과도한 양의 매연을 발생시키는 경우 터널은 자동으로 차량 진입을 막는다. 만일 차량사고나 특정사고가 발생하여 터널 진입을 막아야할 사태가 되면 장기 관측센터로부터 긴급조치가 작동된다. 터널내 모든 차량 운전자들은 비상사태등에 관한 경고메시지를 라디오로 수신받고 멈추어 설 것인지, 돌아서 터널을 빠져나가야 할지 안내를 받게 된다.

3. 결론

우리나라나 노르웨이와 같이 산악지형이 우세하고 터널굴진구간의 암반조건이 양호한 경우에는 2차 복공을 생략함으로써 시공성을 개선할 수 있는 여지는 충분하다. 라에르달터널의 사례에서 보듯이 '싱글 셸'이란 양호한 품

질^(주1)의 쇼크리트 등^(주2)에 따라 지보·복공이 시공^(주3)되고 복공내에 전단력의 전달을 방해하는 재료를 포함하지 않고 최종 마무리가 지반과 일체화된 복공구조의 터널을 말한다. 싱글셸터널도 시공중 지질상태의 변화에 따라 불가피한 경우 지보패턴 변경이 필수적이다. 교통량이 많은 지역의 터널전연장에 대하여 싱글셸을 시공하는 경우 굴착공기단축 및 시공성합리화의 도모가 가능하리라 본다. 국내 터널기술이 장대한 발전을 이루어내기 위하여서는 외국의 신진 모형을 긍정적으로 검토하고 수렴하여 한국형 지반에 적합한 터널모형을 지속적으로 가꾸어나가는 것이 중요하리라 판단된다. 이를 위하여 향후 국내 터널 현장에서의 지속적인 자료수집과 계측결과분석을 통하여 한국형 지보체계를 구축해야 할 것이며, 또한 설계자와 시공자가 머리를 맞대고 지반의 여건에 맞는 현장의 경험과 지식을 심분활용할 수 있도록 적극 노력하여야 할 것이다.

^(주1) 양호한 품질이란 싱글 셸의 설계상 요구되는 강도, 진성, 내구성 및 복공면의 마무리 등의 품질에 관한 요건을 만족시키는 품질을 말한다

^(주2) Shotcrete등이란 Shotcrete, 샷콘(급경성 고유동의 현장타설 콘크리트) 및 보통 현장타설 콘크리트를 말한다.

^(주3) Shotcrete등의 시공은 다단계 시공으로 다층으로 해도 좋지만 지반과 지보층 및 각층은 일체화 하는 것이 필요하다

참고문헌

1. Barton, N. "Investigation, Design and Support of Major Road Tunnels in Jointed Rock using NMT Principles" IX Austrian Tunneling Conference, August 27~29 1996, Sydney, Australia.
2. Garshol, K.F. "High Performance Wet Mix Shotcrete", Proceedings of Design and Construction of Underground Structures, 23~25 Feb., 1995, New Delhi, India
3. NPRA, Publishment on Laerdal tunnel, the world's longest road tunnel
4. Schreyer, I. J. Constructional and economic solutions for monocoque tunnel lining, Research Association for Underground Transportation Facilities Ltd. STUVAtec
5. Geo-Front 연구회, 쇼크리트 복공에 의한 Single shell 의 설계에 관한 검토보고서, 27, 11, 2000, pp.1~12.
6. 기타 <http://www.vegvesen.no/sognogfjordane/data/engelsk/lerdal/>