

도심 터널공사 시공상의 문제점과 개선책

The Problems and Solutions for the Downtown Tunneling Work



서 규 식*

1. 서 언

최근 국내에서도 각종 구조물을 지하에 설치하여 지하공간을 활용하는 사례가 늘고 있다. 가장 보편적인 지하철에서부터 지하전력구 통신구에서 지하비축기지에 이르기까지, 외국의 예로는 지하체육시설까지 실로 광범위하게 지하공간의 사회기간시설에 대한 공간활용이 이루어지고 있다. 그러나 이러한 지하시설물이 도심지내에서 近接施工으로 시행될 경우에는 공법의 종류를 불문하고 각종 주변환경에 미치는 영향을 간과할 수 없는 실정이다. 특히, 설계시의 시방기준이나 공사관련 법규등이 비현실적인 점과 책임시공에 대한 인식과 성의부족을 감안하면 설계에서 시공에 이르는 과정에서 아직도 적지않은 시행착오를 거듭하고 있다고 사료된다.

지하공동구 공사에 미력하나마 일조를 하고 있는 匹夫로서 현장의 시공 경험을 중심으로 도심지 터널 시공의 설계에서 시공으로 연결되는 과정에서의 문제점과 시공상의 제반문제에 대한 대책을 주도 터널방수공과 2차복공공사(콘크리트 라이닝) 중심으로 기술하고자 한다.

2. 공사개요

국제종합건설(주)가 시공하는 154KV 久瑞-鳴藏 地中送電 管路工事は '90년 12월에 계약하여 대관 인허가 지연으로 '91년 7월말에 공사 부분 재개하였으며, 공사구간은 동래구 명장동 명장변전소(명장S/S)에서 금정구 서동 사기리에 이르는 공동구(斷面 25m²) 1013m와 전력단독 및 합류터널(斷面 12~16m) 751m, 개착전력구 117m 에다 작업구(D=9.7m) 3개소, 통신분기구 및 통신환기구 각 1개소로 되어 있다.

NATM 공법으로 설계되었으며, 防水形式은 完全防水(dry system)를 택하고 있으며 단면변화구간(접속맨홀, 분기구, 횡갱)외는 무근 콘크리트로 2차 복공(콘크리트 라이닝)하게 되어 있다.

설계상 터널 대부분 구간이 연암층을 지표에서 25~30m 깊이로 시공하며, 일부 약 600여 m는 경암층을 역시 지표 25~30m 심도로 통과하게 된다.

지질은 地史上 백악기(白堊紀 : cretaceous)의 화산 암류에 속하는 안산암을 基盤岩으로 분포되어 있으며 구성단면은 매립토층, 퇴적토층, 풍화잔류토층, 풍화암연암, 경암의 순으로 비교적 단순한 成層狀態를 나타내고 있다.

지하수위 분포는 지표에서 0.9m에서 최고 7.7m

* 국제종합건설(주) 구서명장지중송전관로공사 현장 소장

까지로 비교적 지하수위가 높은 지역임을 알 수 있었으며, 試錐調査는 16개소에 NX 口經으로 실시하고 암석시험 결과는 一軸壓縮強度 800~2800kg/cm²으로 경암층 R.Q.D는 10~40%로 節理 및 균열이 발달하였고 core상태는 비교적 신선하게 나타났다.

3. 설계상의 문제점

이 공사는 實施設計 보고서에 의하면 전체 중단 선형상에서 16개소의 試錐調査를 통하여 지질조사 성과표를 작성하였는데, 이는 전구간을 약 2km로 잡아 평균적으로 125m마다 1개소 조사 boring을 실시한 셈이다. 그리고 터널 중심선의 횡단면 측에 대한 시추조사는 실시하지 않았다.

공사 시행상 문제가 생긴 작업구 #2 주변은 지형상 낮은 구릉사이의 저습지를 이루는 지역으로 주로 미나리등의 채소밭이었던 지역을 20여년전에 연탄재등 생활 쓰레기로 매립하여 연약한 지반상에 건축물 또한 부실한 기초로 축조되었던 바, 구조적으로 매우 불안정한 상태이고 지하 수위가 매립전의 지표면 즉, 표도층과 동일하였다.

이러한 지역적 특성이 지형, 지질 조사과정에서 심각하게 고려되지 않은 상태로 지하터널 노선 선정이 이루어졌다고 여겨지며 이는 실시공중이나 추후 유지관리 측면에서 지하수위 저하나 지하수위 이동으로 인한 연약지층의 압밀침하에 지속적인 영향을 미칠수 있다고 하겠다. 그리고 간선도로가 아닌 주택이 밀집한 이면도로에 터널 750여m가 지나 가는데도 터널발파공법 선정시 진동소음 기준이 무모하였으며, 특별한 제어공법, 적용에 대한 검토가 미비하였다고 사료된다.

나름대로 몇가지 문제점을 요약하여 기술하면,

- 1) 실시 설계상 기본적인 지형지질조사 단계에서 지역적 특성을 정확히 파악하지 못하고 부적절한 위치에 노선을 선정한 점.
- 2) 설계여건상 차선택이 없는 불가피한 노선 선정이라면 터널시공시 지하수위 저하 막기위한 적절한 대책공법을 채택하여야 하는 점.
- 3) 지하수위 저감 대책없이 설계된 터널노선이 라면 1, 2차 복공시 발생하는 양압력으로 인한 구

조물의 누수를 억제하고 水密性을 확보하기 위한 防水工法이 필요한 데 이에대한 별도 대책이 없는 점.

4) 설계상의 발파진동에 대한 허용한계치를 주저 밀집지역에서 0.5kine(cm/sec)이내, 기타지역이 1.0kine(cm/sec)이내로 하였으나 이는 국내 현장에 거의 일률적으로 적용하는 설계 기준이며, 지역적 특성이나 지형 지질적인 문제점을 전혀 고려하지 않은 기준이라는 점.

이상의 문제점은 공사를 시행하는 과정에서 시행처나 시공자에게 많은 부담을 주어 지하수 탈수로 인한 주변지반의 압밀침하 발생과 진동, 소음으로 인한 인접건물의 집단민원 발생으로 '91년 12월에서 금월 현재까지 개인주택 145가옥과 공동주택(APT, 연립주택등) 3개단지 655세대의 민원이 구두 또는 서면진정으로 시행처나 시공사로 접수되어 부산시 건축사 협회나 한국건설안전기술협회의 보수·보강비 산정을 위한 안전진단을 6회에 걸쳐 실시하고 일부 민원지역은 부산대 도시문제연구소, 동아대 자원개발연구소, 본구조 연구소 등에 건물의 안정성 검토 및 지하수위 저하 및 진동소음이 인접건물에 미치는 영향을 용역, 의뢰한 바 있다. 그러나 이와 같은 용역결과나 안전진단 보수보강비 산정후에도 민원인이 상기 결과에 승복하지 않고 물리적인 방법을 동원하여 작업을 저지하는데 민원타결의 어려움이 있다.

기본 설계나 실시 설계 과정에서 지형 지질조사나 노선선정, 공법선정에 있어서 좀더 치밀하고 계획적인 검토가 부족하지 않았나 사료되며, 한번 계획되고 발주된 공사가 기본적인 틀을 바꾼다는 게 얼마나 어려운 일인가를 실감하게 되었다.

터널발파 공법에 관하여 간략히 언급하자면 당초설계시 터널구간 전단면 굴착, 작업구는 3분할로 되어 있으나 변전소내에 위치한 작업구 #1 시공부터 문제점이 노출되었는데 변전소에 릴레이 판에 대한 충격을 최소화 하기 위하여 총포화약 기술협회의 자문을 받아 15~25회 분할 발파를 시도하였으며 그나마 터널굴착전 집단민원 발생으로 2분할 발파에 방진공을 crown 부위에두어 시행하였으나, 민원이 해소되지 않아 전력단독 터널구간에 nonel공법(비전기식 뇌관발파공법)을 적

용하였고, 극경암 구간에서는 민원으로 1년 6개월 이상 관할 경찰서의 화약사용이 봉인되어 DARDA (유압파쇄공법), H.R.S(초고압 파쇄공법), twin header(소형기계식 분쇄공법)을 크로라드릴 천공과(φ75m/m) 병행하여 굴착을 시도하였으나 큰 효과를 보지 못하고 중단하고 결국 민원인과 재협상을 시도 2여년만에 NONEL 공법에 LINE DRILLING을 병행한 발파패턴을 재시하고, 협의된 추가 보상으로 공사를 재개하여 갖은 우여곡절 끝에 굴착을 마칠수 있었다.

굴착공법에 대하여는 특기할 만한 공법이 아니므로 세부적인 언급을 피하고 문제는 초기에 잘못 끼워진 단추로 옷 매무새를 갖춘다는게 그만큼 어렵고 부자연스러운 결과를 초래한다는 사실을 경험하였다.

4. 터널방수 및 2차 복공(concrete lining) 시공상의 문제점 및 개선책

4.1 방수공법의 종류, 특성

4.1.1 개요

지하구조물의 방수는 구조물의 유지 관리 및 기능확보와 미관상 대단히 중요한 과제이다. 특히, 지하 공동구 터널에서의 방수는 구조물 안전은 물론, 유지관리 기능확보면에서 문제가 생길 경우 재시공이 불가하며, 하자보수 또한 어려운 시공전에 재료선정에서 공법적용까지 충분한 검토가 있어야 한다.

대부분의 지하터널이 누수로 인하여 미관이 손상되고 구조물의 기능까지 저하시켜 터널의 안전을 위협하고 유지관리상 어려움을 겪고 있는 실정으로 지속적인 연구검토로 공법개선이 요구되는 부분이다.

4.1.2 배수형식

1) 비배수형식(dry system)

터널 전단면에 防水 sheet에 의한 차수층을 설치하며 지하수의 유입을 완전히 차단하는 형식으로 터널 形狀을 원형에 가깝도록 조정하며 유입수의 압력에 의해 발생하는 응력이 복공콘크리트에

축력으로 작용하도록 하는 경우와 복공콘크리트에 철근등 보강재를 삽입하여 단면자체가 수압에 충분히 견딜수 있도록 계획된 경우가 있다. 주로 지상 중요 문화재나 하천, 지하상가, 고가차도 기초하부구간에 적용한다.

2) 상시배수형식(wet system)

방수 sheet를 터널 arch 측벽부만 설치하여 유입수를 터널 저부로 유도하여 배수처리하므로 근본적으로 수압이 걸리지 않게 하는 구조로 지하수위 저하로 인한 근접 시설물의 손상이나 지하수 고갈로 인한 민원이 없는 구간에 적용한다.

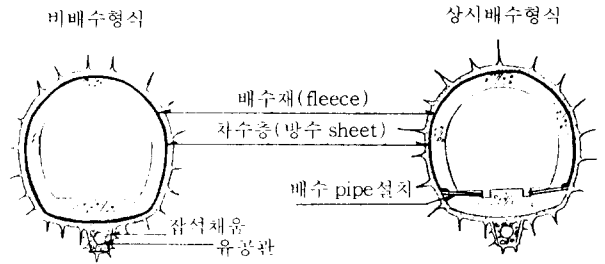


그림 1 방수형식상 단면비교

4.1.3 排水形式의 決定조건

1) 지중조건 및 지하수위

주변지층의 투수성과 지하수위 및 배수압밀 정도를 감안

2) 기존 시설물 현황

지하 매설물 및 지하축조물의 종류, 규모, 보존상태 중요도등을 감안

3) 경제성 및 편의

초기시설 투자와 장기적인 유지관리편을 비교 검토하여 결정

4) 방수기술 수준

현재 활용중인 방수공법과 사용자제의 규격, 재질, 시공성과 효과등을 감안

4.2 터널구조에서 방수공이 담당하는 기능

터널 구조해석상 주변지반의 굴착단면을 따라 보강한 1, 2차 복공콘크리트로 이루어지는 2중관 구조로 해석되며, 구조적 특성으로 터널방수공이

표 1 터널의 배수형식에 대한 비교

형식 구분	비배수 형식 (dry system)	배수형식 (wet system)
구조형식	· 터널 1차 복공전체에 방수막을 형성하여 완전방수하도록 함.	· 터널 1차 복공에 방수막을 설치하고 배변의 침투수를 유도 배수 및 공사용 배수로로 영구 배수로로서 사용
국내외 적용예	· 전력구 및 통신구는 전체적으로 적용 · 지하철의 일부 특수구간(주터지 및 주요하부 통과구간)	· 전력구 및 통신구 일부구간 · 지하철의 특수구간을 제외한 전구간 · 도로터널은 전체적으로 적용
장점	· 응수관리면에서 배수에 소요되는 전력비 및 설비 시설비가 적게 소요됨 · 지하수위 저하로 인한 주변지반의 장기압밀 침하가 거의 없음 · 지하수위 저하로 인한 지하수 고갈 등의 피해가 없음(준공 후)	· 누수 발생시 보수가 용이하다 · 마제형 단면의 축조로 굴착단면을 줄일 수 있으며 대단면의 터널 시공이 가능하고 시공성이 좋다 · 지반의 압밀침하에 관한 검토 터널시공에 따른 지표침하의 원인중에서 가장 큰 요인은 굴착시 지하수의 배수처리로 인해 지하수위가 저하하므로 지중 함유량 및 공극수 변화로 발생되어 침하를 일으키게 된다. 그러나 서울 지하철의 지진조사결과와 실제 굴착한 지층을 보면 미세한 점토성분의 함유량이 매우 적어 배수에 의한 지표침하는 극히 미세하여 터널 시공중에 발생하는 지반변형에 의한 지표침하에 비해 무시할 정도로 작다
문제점	· 지하수의 100% 완전 배수가 어려우며 이를 위해 방수공사 및 복공콘크리트의 보강공사에 따른 초기투자비가 증가 · 누수시 보수가 곤란하고 실제 구조물과 접합부에서 배수처리가 곤란 · 누수시 터널 구조물 및 설비에 피해를 주어 통로 내부의 작업여건이 나빠짐 · 복공 콘크리트가 수압에 견딜 수 있게 원형에 가까운 단면을 선대하며 인장응력에 견딜 수 있도록 철근 등으로 보강요	· 침수용량이 커져 유지관리비가 다소 많이 소요됨

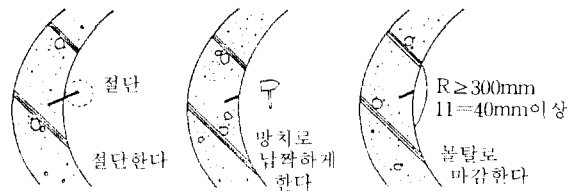
담당하는 기능은 개착식 box에서 방수공이 담당하는 기능이외에도 터널구조 자체의 안정에 직접적으로 기여하게 되며 요약하면,

1) 터널방수공은 국부적으로 작용하는 고수두의 작용수압을 확산, 분포시켜 작용수압의 등분포화로 직접적인 터널의 구조적 안정을 도모하는 기능을 갖는다.

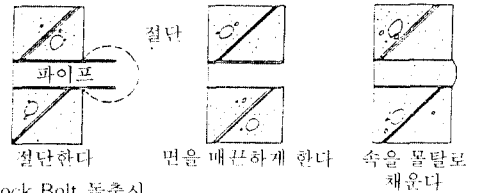
2) 터널은 지중에 동공을 형성시키므로 지중에 존재하는 지하수가 집결되는 것은 필연적이다. 따라서 터널방수공은 지하수를 차수시켜주므로 미관유지 및 구조물의 유지관리를 용이하게 하는 기능을 갖는다.

3) 터널이 2중관 구조로 형성되어 있으므로 양

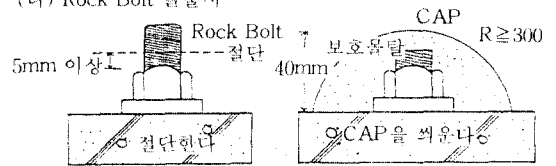
(가) 철근 돌출시



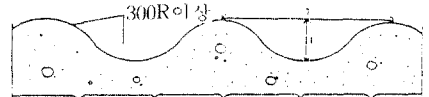
(나) 파이프 돌출시



(다) Rock Bolt 돌출시



(라) 슛크리트 굴곡정리



(마) 터널 접속부의 곡 반경은 500mm 이상이어야 한다.

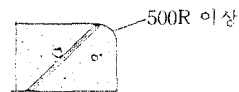


그림 2 방수전 시공면 정리

관사이에 지반의 거동에 따른 마찰력이 발생되며, 이는 내부 복공 콘크리트에 hair crack이 생기는 근본원인이 되며, 결국 터널 전체구조에 악영향을 미치게 된다.

터널방수공은 2중관구조에서 오는 양관사이의 마찰력을 해소시키는 기능을 갖는다.

4.3 터널방수시공상의 문제점 및 개선책

4.3.1 시공면 정리

방수전에 숏크리트면의 요철부위와 rock bolt두부, 기타 철선, 파이프 끝등의 마무리가 소홀한데 이는 라이닝 콘크리트 타설시 콘크리트가 방수재에 밀착되면서 sheet의 손상을 가져오므로 시공단면을 단계적으로 면정리하여 현장담당자의 확인 검사후에 방수작업에 들어가도록 한다.

4.3.2 방수재료의 선정

터널 방수재료는 서울 지하철 2, 3, 4호선의 경우 관급재로 서독에서 수입한 카보폴시트(cabofol watersealing membrane)를 주로 사용하였으나 근래 국내제품이 많이 개발되고 질도 향상되어 많이 이용되고 있다.

당현장에서는 당초설계된 ECB sheet를 유연성, 강성이 뛰어난 EVA sheet로 변경하였다. 실제로 방수효과는 방수재질보다 시공에 더 큰 비중을 두어야 할 것이나, 재질에 대한 검토없이 또는 저가라는 이유로 채택하였다가는 낭패를 보게 되는 것이다. 콘크리트 타설중 방수 sheet가 터널단면에 고르게 퍼져 부착되지 않은 부분에서 콘크리트의 하중을 견디지 못하고 찢어지는 경우가 많다. 시공도 중요하지만 재질자체의 신장율이 우수한 제품을 택하는 것 또한 중요하다고 본다.

4.3.3 방수시트 접합

접합방법과 시험에 대하여는 생략하고 양면 접합 부분은 시공과 진공검사가 용이하나 횡단면 연결부분, 특히 모서리가 모이는 부분에 대한 접합에 시공하자가 많이 발생하므로 특별한 주의가 요망되고 방수시트가 뚫어지거나 찢어진 부분을 보수한 후의 접합의 안전성을 철저히 확인해야한다.

표 2 방수시트의 재질 비교

구분	단위	품명	
		EVA	ECB
재질		ethylene+vinyl acetate	ethylene+copolymer bitumen
폭	M	1.56이상	1.56이상
인장강도	kg/cm ²	170	120
신장율	%	700	600
인열강도	kg/cm	60	60
색상		단일	이중
접착방법		열융착(이중)	열융착(이중)
내구성		양호	양호
시공성		양호	양호
가격	₩/m ²	9,000	8,500
특징		<ul style="list-style-type: none"> · 유연성, 강성이 뛰어나며, 특히 내후성이 좋아 장기간노출되어도 물성이 변화하지 않는다. · ECB 시트에 비해 20% 정도 가벼워 시공이 용이하다. · 무독성이며 가소제를 완전히 배제하여 박테리아로 인한 물성변화의 위험이 없다. · 색상이 미려하여 노출시에 주위환경에 부합할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 인열강도가 탁월하여 작업중 시트의 찢김우려가 적다. · 내약품성이 우수하고 내후성이 강하다. · 국내의 실적이 많고 제품이 널리 소개되어 있어 기술상의 시공하자를 줄일 수 있다.

1차 복공면의 굴곡이 심한 경우부나, 단면 변화구간등에서는 시트의 여분을 살려서 2차 복공시 콘크리트의 압송시 시트가 파열되지 않도록 주의한다.

4.4 2차 라이닝이 담당하는 기능

4.4.1 구조체로서의 역학적 기능

변위가 수렴되기전의 2차 라이닝 타설하는 경우와 토사원지반등의 피토가 얇을 경우 장래 수압이 걸릴 것으로 예상되는 경우에는 역학적인 검토가 필요하다.

4.4.2 용수가 있는 터널에 있어서의 방수성

지하수위가 높은 비배수 방식에서는 특히 수밀 콘크리트가 요구된다.

4.4.3 영구 구조물로서의 내구성

터널 라이닝은 한서의 영향, 누수 등에 의한 경시약화(經時弱化)가 진행되면 박리(剝離), 박락(剝落)하는 경우가 있다.

4.5 2차 라이닝콘크리트의 균열 발생원인과 대책

4.5.1 균열발생원인

2차 라이닝 콘크리트에 발생하는 균열의 주된 원인은

- ① 시멘트의 수화열에 의한 온도응력
- ② 콘크리트의 건조수축
- ③ 환경상태

4.5.2 균열방지 대책

- ① 1차 라이닝과 2차 라이닝을 절연하는 방법 fleece 층과 차수층(방수 sheet)을 둔다.
- ② 2차 라이닝 콘크리트의 품질을 개량하는 방법
 - i) 팽창제의 첨가
 - ii) 혼합시멘트의 사용(flyash cement)
 - iii) 유동화제를 사용하여 단위시멘트량이나 단위수량을 감소시킨다.
- ③ 콘크리트 타설 방법 개선
 - i) 콘크리트 1회 타설길이의 단축
 - ii) 측벽부와 아치부 분리시공
 - iii) 콘크리트 타설방법 - 폼어울리기 또는 피스톤 방식
 - iv) 치올리는 속도 지연 조정
- ④ 균열을 분산시키는 방법

균열을 허용범위내에서 억제하는 방법으로 철근을 적절하게 배치하여 균열보수를 증가시키고 개개의 균열폭을 작게하는 방법
- ⑤ 균열유발 줄눈

균열유발줄눈을 설치하여 균열을 최소화시키는 방법. 누수가 발생하지 않도록 주의한다.

4.6 2차 라이닝 시공상의 문제점 및 개선책

4.6.1 일반적인 문제점과 개선책

2차 라이닝 콘크리트 현장 시공상의 제반 문제점에 대하여 콘크리트 품질과 재료분리 및 거푸집의 안정부분 그리고 콘크리트 방수성 및 수밀성에 대하여 유형별로 문제점과 그에 따른 개선방안을 요약하여 표로 정리해 본다.(표 3 참조)

4.7 2차 라이닝 콘크리트의 시공이음부 개선

4.7.1 2차 라이닝 콘크리트의 시공이음

2차 라이닝 콘크리트는 sliding form을 사용하여 캐스팅된 지하공간 단면을 일정한 단면으로 연결 접속 시공하므로 공사의 특성상 form의 마무리부분에 시공이음부 설치가 어렵게 되어있다. 따라서 시공후 일정기간이 지난 지하 수위가 복원되면 지하수의 양압력이 작용하여 미세한 방수 하자만 있어도 높은 수압이 걸린 지하수가 분출되며 이는 수밀성이 약한 시공이음부에 발생한 균열을 통하여 누수가 발생된다.

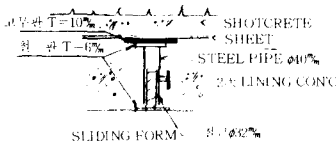
전술한 방수 및 2차 라이닝 콘크리트 시공상에 제반문제점을 제거하였다고 하더라도 완전 방수가 사실상 불가능한 현실에서 터널내 누수를 최대한 억제하기 위하여는 수팽창성 지수제를 적용하는 것이 유리하다고 판단되어 적용전에 제품에 대한 현장실험을 거쳐 벤토나이트 지수제를 채택하게 되었다.

4.7.2 수팽창 지수제 적용상의 장단점 및 현장실험 결과

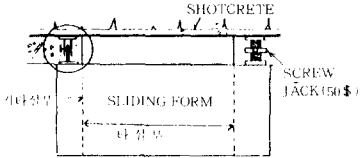
(표 4, 5 참조)

표 3 라이닝 콘크리트 타설시 문제점 및 개선책

구 분	문 제 점	개 선 책
1. 레미콘 품질관계	1. 콘크리트 타설방법에 따른 워커빌리티 개선키 위해 가수 2. 레미콘운반시간의 지연으로 인한 관 폐쇄 또는 hopper 청소, 재타설 등 문제	1. 계약시 ① 유동하게 첨가에 의한 slump 조정(최대 21cm) ② 운반거리 고려한 납품업체의 선정(레미콘 가 공조합과의 긴밀한 협조)
2. 재료분리, 기포 집의 안정	1. sliding form 중앙 crown부의 1개의 토출구로 콘크리트타설시는 재료분리 2. 토출구를 양측벽, crown부에 설치시는 배관의 이설, 콘크리트측압의 편중으로 기포집의 안정 해침→前回타설부의 균열유발 3. 내부진동기는 불가하므로 기포집 진동기를 사용해야 하나 기포집의 부상관계로 통상 사용하지 않는 실정임 4. wall과 crown부의 타설시는 2Hr 정도 응결시킨 후 타설해야 하나 레미콘 수급관계로 이른을 무시하는 실정 5. 기포집의 부상등에 의한 균열발생. 상기 2항 및 발과작업병행 form setting시의 실수 등으로 균열 유발됨	1. 폼프에서 압송된 콘크리트의 토출속도는 토출 구에선 아주 낮으므로 1개소나 2개소의 crown 부의 토출은 기포집의 안정차원에서 고려되어야 할 것으로 사료됨. 2. 실제 콘크리트 측압과 진동의 상승작용으로 외부진동기 사용시 기포집의 진동이 발생되므로 최소한의 나무망치 등으로 가볍게 두드려주는 방법은 실시해야 함 3. 재료분리 방지키 위한 wall, crown부의 콘크리트는 레미콘 제조업체와 협조 불가하므로 제도적인 보완책이 필요 4. 균열을 최소화하고자 아래 그림과 같이 기타설 부엔 지지철물, 미타설부엔 jack로 지지하여 타 설.
3. 콘크리트의 방수 성 제고	1. 방수 sheet는 shot크리트면에 밀착되지 않은 상태의 시공 2. 콘크리트 타설시의 다짐불량 3. 시공이음부 처리 미흡 4. 균열 발생요인 조치 미비	1. shot면이 평활치 못하면 sheet의 부착은 사실상 불가능하므로 콘크리트 측압에 의한 sheet의 찌 어짐 등의 파손유발 누수요인되므로 shot면 평 활화, 최대한 밀착시켜야 함. 2. 치밀한 콘크리트는 상기한 대로 cold-joint를 줄 이기 위한 레미콘 수급문제 해결하고 고무망치 등을 이용하여 부리한 진동나짐으로 인한 기포 집 안정을 보장해야 함. 3. 시공이음부엔 누수에방대책을 시공단계에서 실 시(예 : PVC 지수환은 시공불가하므로 수팽창 지수재 등 사용) 4. 균열로 인한 누수방지하기 위하여 · 발파와 진동이 미치지 않을 거리에 라이닝 콘 크리트타설 · 균열을 방지하기 위해 wall 또는 crown부에 철망, 철근조립 설계 및 시공 · 기 균열부엔 injection grouting 등 조치



상세 "A"



"A"

표 4 수팽창 지수제의 장단점

구분/종류	고무성 지수제	멘토나이트 지수제
1. 공통적인 요구사항	<ul style="list-style-type: none"> 1. 시공면에 완전부착되어야 함 2. 극히 소량의 물과 접촉되어도 즉시 팽창되어야 함 3. 균열 공극등에 밀폐되어야 함 4. 콘크리트 타설후에도 내·외부의 영향 변화에도 불변해야 함 5. 터널 적용은 국내 처음이므로 철저한 연구 실험후 업선 시공해야 한다. 	
2. 특징		
1) 팽창모양	· 제품형태를 유지하며 돌기식의 팽창이 되나 한 정적임	· 제품형태 불가능 즉 자유로이 팽창됨
2) 시멘트 페이스트로 도포 후침수시험	· 전혀 팽창 없었음	· 시멘트 페이스트가 갈라지며 팽창됨
3) 구속압을 주지 않은 상태에서 침수결과	· 팽창시간 다소 늦음	· 팽창시간 불과 접촉시부터 팽창
4) 수축상태	· 물과 접촉시 팽창. 건조시 원상태로 복원 2차 접촉시 팽창시간 늦어 방수효과 저감	· 팽창후 건조시 원상태 복원은 불가능 멘토나이트 입자 사이의 수축정도의 변형 2차 물과 접촉시 즉시 방수 효과 기대
5) 접착작업	· 접착제 사용원칙, 사용치 못함시는 팽창억제함	· 접착제 콘크리트못 모두 사용가능(접착제 콘크리트못은 타설전 중의 고정용이고 팽창시 원형 변경되므로)
6) 불량시공면	· 제품형태 변형불가 예) 기복이 심한경우 토막시공이 빈잡, 조잡시공 우려, 탄성적이고 작은 기복채움 어렵고 팽창도 한정적이므로 방수효과의분	· 제품형태 변형가능 예) 기복이 심한 경우 토막시공과 동시에 작은 기복등에 망치질하여 틈을 채우고 콘크리트못 등으로 시공가능 자유팽창이므로 작은틈도 완전히 채워 방수효과 탁월
7) 적용성	· 위항의 조건으로 PC panel, segment steel panel등 매끈한 면의 시공엔 우수	· 위항의 조건으로 기복이 심한 곳 틈이 많은 곳 등 콘크리트 구조물에 적합
8) 기타	· packing 기능은 탁월 · 유연성 있다.	· 천연산으로 성질 불변 · 구심한 기복부분엔 제품을 으깨어 완전히 틈새를 충진하고 그 위에 다시 지수제 시공할 수 있다.

고무성지수제 시험사진



사진 1 시공지점에 못으로 고정·설치



사진 2 콘크리트 타설



사진 3 콘크리트 타설 완료

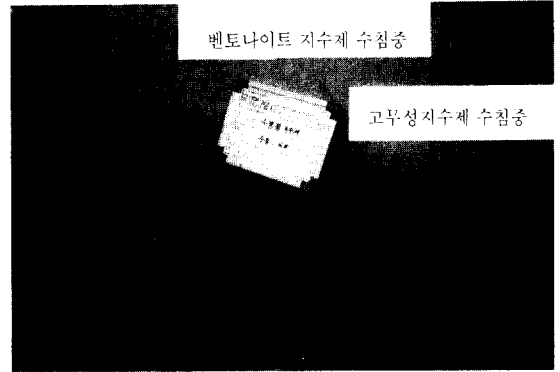


사진 6 6일간 수침 실시



사진 4 고무성지수제 팽창 확인 광경

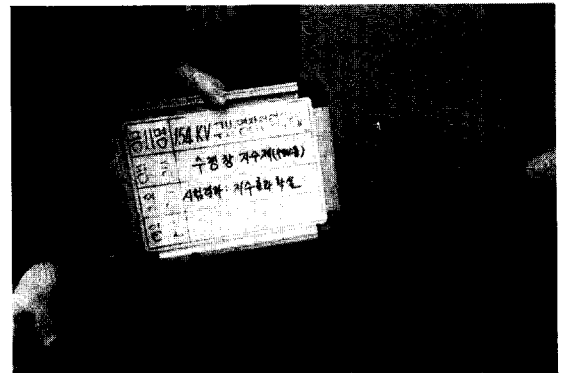


사진 7 벤토나이트 지수제 팽창 확인 광경

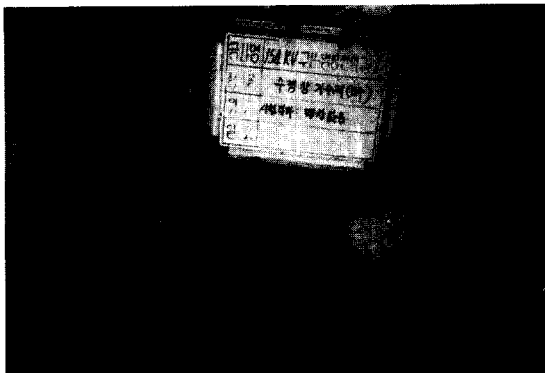


사진 5 6일 수침후에도 팽창 확인 없음

5. 결 언

NATM 공법은 우리나라 재래의 터널 공법을 전환하는 계기를 마련해준 공법임에는 이의가 없고 특히, 지질변화가 심한 지역에서의 공법전환이 용이하여 대부분의 도심터널구간에서 적용해오고 있다는 것은 주지의 사실이다.

하지만 폭약공법으로서 불가피하게 발생하는 진동, 소음의 영향과 지하수위가 높은 지역에서 NATM 공법을 적용, 통과하는 암반구간에 대한 차수효과를 기대하기 어렵기 때문에 지하수 탈수로 인한 인접건물의 침하, 균열등이 작업성패의 중요한 변수로 작용하고 있다.

최근에는 이런 문제점을 인식하고 보조공법(압

기공법, 지하수위 저하공법, 주입공법)을 적용한 shield공법의 적용이 확산되고 있다고 본다.

초기 적용시의 관심과 신뢰성에 비하면 이제 NATM은 도심지 터널공법 적용성에 대한 부정적인 평가를 받고 있는 것은 사실이다. 그러나 80년 후반에서 작금까지 우리 토목분야에서 NATM이 차지한 공로 또한 큰 획을 차지하였다는 것은 부인하지 못할 사실인 것이다.

우리가 이제나마 이 공법에 대한 윤곽을 잡고

문제점을 파악하고 개선하고자 할 때, 이 공법이 사양화되는 현실에 처해 있다고 생각한다.


최근 잇단 대형 토목사고를 접하면서 우리 기술인 모두가 겸허한 자세로 이 결과의 공범자였음을 받아들이고 부단한 자기개발과 말은바 각자의 자리를 자부심과 사명감으로 지킬 때 기술자를 백안시하는 시선이 달라질 수 있다고 생각하며 끝을 맺고자 한다. 

표 5 현장 실험 결과표

구 분	고무성 지수제	벤토나이트 지수제
1) 시멘트 페이스트 도포후 팽창성 실험결과	실험방법 : 시멘트(1:2)를 시료에 도포하여 건조시킨후 약 24시간 침수시켜 팽창정도 실험 · 약간의 팽창보임 (시간적으로 24시간은 짧으며, 국부적으로 조금 팽창하며 측정 불가)	· 즉시 반응하여 팽창 (가로 42.9%, 세로 77.3% 팽창)
2) 콘크리트 타설시 누수실험	실험방법 : 작업구 #1 옆에 수팽창 지수제를 놓고 그위에 콘크리트타설(1:2:4 배합) · 누수됨 (사진 참조, 팽창 없었음)	· 누수 없었음 (구속된 상태에서 공극충진 및 지수효과 양호)
3) 시공시 조건	· 고무성류로 평탄한 곳에서 최적 · 팽창후 건조시는 장시간 걸쳐 수축, 재침투시 팽창 늦고 시멘트 페이스트 안에서 더 늦음 · 불규칙한 콘크리트면 시공시 정밀시공 요함 즉, 구 콘크리트면과 화인셀 사이에 시멘트물탈 등이 타설될시는 지수효과 의문("본드"를 채워서 시공하는 방법 있으나 작업성이 나쁠 것으로 사료됨) · 고무성질이므로 침윤선이 형성.	· 벤토나이트가 주원료이며, 불규칙단면 즉 콘크리트단면 등에 최적 · 팽창후 건조시는 수축반응 크고 재침투시 즉시 팽창되며, 지수효과 나타남 · 불규칙한 콘크리트면 시공시 정밀시공 요함(보조재료 "피라메틱"을 채워서 하는 시공방법이 있음) · 팽창시 형태가 완전히 변하므로 지수가능.
4) 시공방법	· 이음부분을 반드시 겹쳐야 하므로 재료 손실예상 · 콘크리트 못으로 고정	· 이음부분은 맞댄이음 가능 재료 손실 없음 · 콘크리트 못으로 고정
5) 결론 및 판정	· shield의 세그먼트 면이 평평한 곳, 철관등에 적합 · 콘크리트 내에서 구속되므로 지수제의 팽창시 콘크리트의 건조수축보다 아주 느려 지수역할이 불가능	· 콘크리트면에 적합 · 콘크리트내에서 구속된 상태에서도 콘크리트의 건조, 수축에 비례하여 팽창하므로 지수역할 탁월