

# 지중압입체를 이용한 지하구조물 축조방법의 적용성 연구

전 승 배 ((주)대용ENC 대표이사)

## A Study on application of Trapezoidal Steel Box Tunnelling Method

Jun, Sung Bai

## Abstract

The conventional non-dig underground structure building method which made an appearance to reduce the social and environmental costs and maximize the efficiency of the social overhead capital facilities could not help being uneconomical because of many problems such as unnecessary excessive excavation, water leakage, obstacle interference, difficulty of curvilinear application and connection complexity between propelled and injected bodies due to indiscriminate application of small and large circular steel pipes without consideration of the site conditions.

The T.S.T.M, in which a protruded square tube is applied as a propulsion and injection body in a design that considered site conditions such as ground condition, depth of soil and live load, was able to be economical as it solved the problems of water resistance, minimization of obstacle interference and curvilinearity, and we can see that it can be applied to all grounds by utilizing or complementing the target ground in terms of engineering.

Also in configuring the transverse section, it is possible to not only secure excellent structural safety but also implement all of the above engineering characteristics not only in the square cross section but also in the arch cross section, so it was possible to build structures on any section or ground, and we could confirm the LCC reduction effect and the VE effect.

**[Keywords :** non-dig, underground structure, trapezoidal, water resistance, LCC, VE]

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 필요성

사회의 지속적인 발전은 도심지의 인구증가와 사회기반시설의 포화를 유발하여 그에 대한 대안으로 지하공간의 활용이 절실히 요구되고 있다. 그 중 교행 중인 교통 시설물이나 주요 건축물 또는 기타구조물의 하부를 통과하는 지하철도, 지하 통로, 공동구, 전력구, 배수구 그리고 상하수도시설에 대한 계획과 건설이 필요한 경우가 급속히 증가하는 추세이다. 90년대 이후 교통체증을 유발하거나 하천 또는 제방을 절개하는 개착공법은 공사 중 사회적, 환경적 기회비용 증가로 지상 교통의 영향을 최소화 하는 비개착 공법으로 대체 적용되기 시작

하였다.

기존의 비개착 공법 중 강관 단면을 이용한 공법은 강관 단면의 비효율적 적용과 강관 연결부위의 누수 또는 체수로 인한 구조물 유지관리 비용의 증대 및 과도한 지중굴착 등 다양한 문제가 대두되고 있다.

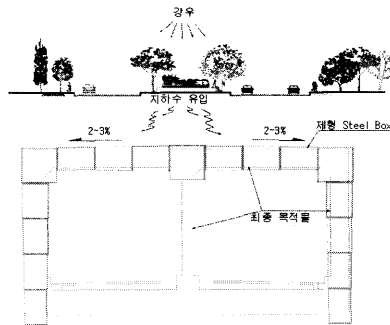
이러한 이유로 경제성, 방수성, 지장물 간섭 최소화, 선형 적용성, 공정 단순성에 목표를 두고

T. S. T. M.(Trapezoidal Steel Box Tunnelling Method) 공법을 연구하게 되었다.

## 2. 공법의 내용

### 2.1개 요

본 T.S.T.M공법은 최종 목적물에 가까운 제형 가시설 Steel Box를 제작한 후, 압입 추진하여 지하공간을 확보하고 가시설 Steel Box 측면을 일부 절개하여 구조물 본체 철근배근 및 콘크리트 타설, 본체 구조물 상부와 측벽을 완성한 후 내부 토사를 굴착하여 현장타설로 벽체 및 하부 슬래브를 시공, 구조물을 완성하는 『구조물 외부 자연배수가 가능한 지중압입체를 이용한 지하구조물 축조방법』이다.



<그림 1> T.S.T.M 공법 개요도

## 2.2 공법의 특징

### 2.2.1 경제성

- ㄱ) 구조물 구축에 필요한 최소 단면만 굴착 시공하여 불 필요한 단면 굴착비 / 복구비 최소화
- ㄴ) 추진 압입체간 연결 시스템 단순화로 잡철물 공정 생략
- ㄷ) 완벽한 방수로 인한 유지관리비(LCC)저감

- ㄹ) 종단선형 상승화에 따른 인접 구조물 공사비 저감(VE)
- ㅁ) 지장물간섭 최소화로 지장물 이설비용 저감

### 2.2.2 자연 배수 시스템

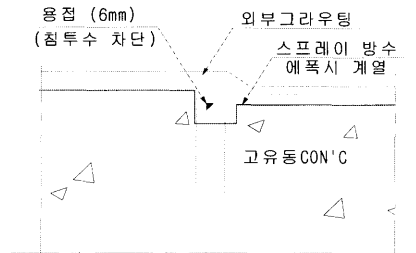
기존공법은 원형 강관을 추진함으로 단면 특성상 원형강관 사이 오목부위에 체수현상이 발생하여 구조물의 부식우려가 있어 유지관리 하는데 어려움이 있다.

반면에 본 공법은 구조물 중앙에서 좌우측으로 자연 배수되게 인위적 경사를 주어 압입하므로 기존공법이 갖고 있는 누수현상이 발생하지 않는다(그림 1 참조).

### 2.2.3 완벽한 방수

자연배수 시스템으로 지중에 유입된 지하수가 자연배수됨은 물론 지중압입체간 연결 부위로 침투되는 침투수를 내부에서 종방향 용접으로 차단 밀폐시켜 줌으로서

- ㄱ) 자연배수
- ㄴ) 철판 방수
- ㄷ) 침투수 차단
- ㄹ) 에폭시 방수등 완벽한 방수를 실현한다.

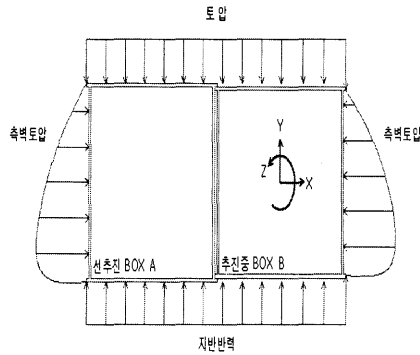


<그림 2> 방수 시스템

### 2.2.4 연결 시스템의 단순화

기존 공법은 선 추진 강관과 후 추진 강관 사이의 연결부위 시공이 번잡하고 연결중 토사유입의 우려가 있다.

반면에 본 공법은 지중압입체가 압입될 때 서로 격리 또는 이탈되지 않도록 지중압입체의 상판 및 하판을 측방으로 돌출되도록 제작함으로써,상기 지중압입체와 인접되는 후 지중압입체의 돌출된 상판 및 하판이 내접되도록 하여 연결시스템을 단순화하고 측벽토압과 선단의 수평저항력을 이용하여 압입체간 밀착되도록 할 뿐 아니라 별도의 잠철물공사, 추가 토공작업등 공정 생략, 연결중 토사붕괴 우려가 없으며, 지하수위 아래에서도 BOX의 차수역할로 구조물 내부토공 및 철근배근, Con'c타설 작업이 용이하다.

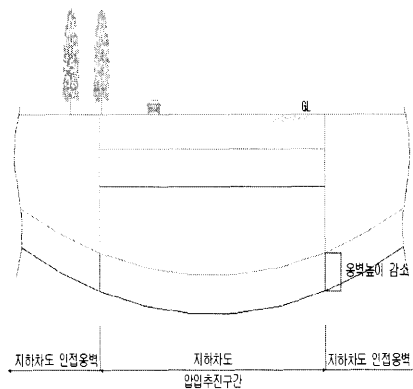


<그림 3> 연결시스템

**2.2.5. 종단 선형 상승효과(지장물 간섭구간 최소화)**

건설 교통부 발행 『하수도 시설기준, 1992』에 의하면 최소 토피규정은 일반적으로 1.5D 이상이며, 필요시 1.0D 이상을 확보하도록 되어있다.

본 공법은 최종 목적물에 가까운 지중압입체를 제작하여 압입 추진하므로 여타의 공법에 비해 낮은 토피로 추진 할수 있어 종단 선형을 올릴 수 있으며, 최종목적물에 가까운 지중 압입체를 압입 추진하므로 지장물에 의한 간섭구간이 최소화될수 있다. 또한 종단선형 상승에 따라 인접 구조물의 높이축소, 구조물 연장 감소에 따른 인접구조물 본체 및 가시설 공사비의 절감 효과를 얻을수 있으며, 뿐만 아니라 공기 단축효과 및 설계시 종단선형적용 탄력성을 동시에 얻을 수 있다.



<그림 4> T.S.T.M 공법 종단면도

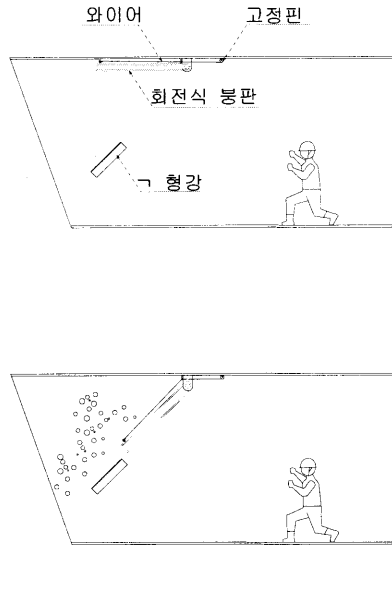
**2.2.6 불확실한 지반 변화에 대한 대처 용이**

추진 BOX는 선 추진된 BOX에 밀착 추진됨으로 추진 중 압 등 기타 장애물 출현 시, 선 추진한 BOX에서 후 추진 중인 BOX의 막장 장애물 내용(종류, 크기, 지하수 상태 등)파악이 상대

적으로 용이하여 신속히 대처가능하다.

### 2.2.7 막장 안전 대책

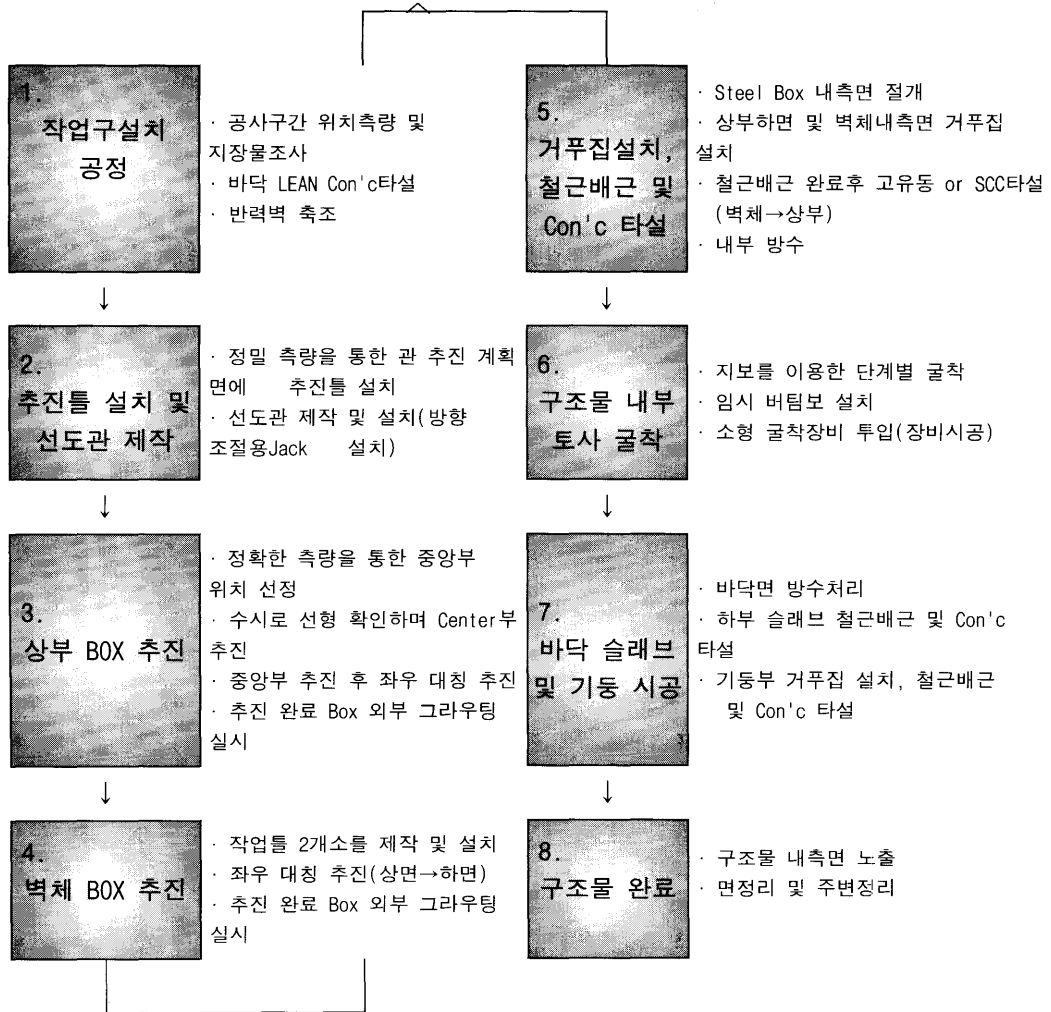
추진중 지하수 유입 또는 불안정 지반 붕착시 회전방식등의 막장 붕괴방지 시설물을 설치하여 신속히 막장 붕괴에 대처하여 작업자 안전 확보 및 지반 이완의 최소화를 실현한다.



<그림 5> 막장 안전대책  
<표 1> 지장물 간섭 및 종단고

공 법	소구경 형식	대구경 형식	T.S.T.M 공법	비 고
단 면 도				
지장물 간섭구간	1.8m	2.0m	1.3m	
지표에서 상부 slab 하면 깊이	2.6m	3.5m	2.35m	

## 2.3 시공 순서도

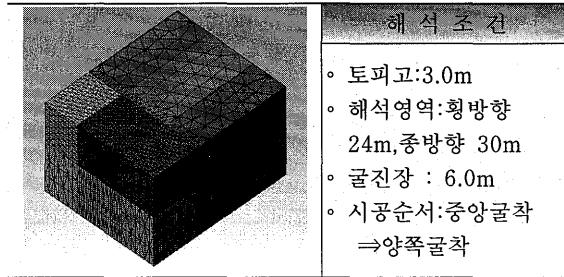


## 2.4 압입 구조체 및 지반의 안전성 검토

### 2.4.1 지중 압입체를 압입 추진시 지표침하 해석

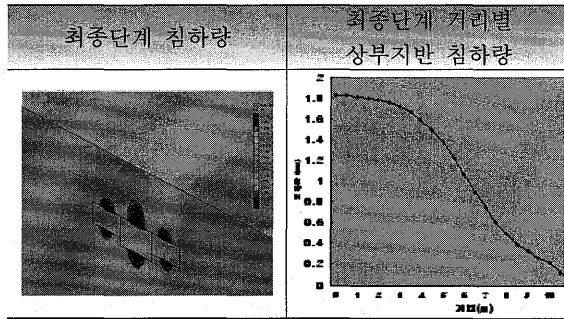
『000교 설치공사』에 적용된 지중압입체의 단면을 압입추진시 지표면 침하량에 대하여 수치해석(MIDAS GTS 3D사용)을 실시하였다.

ㄱ) 해석 모델링

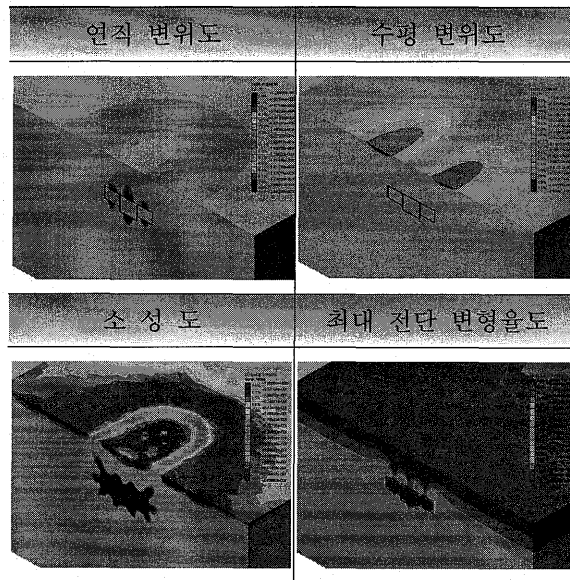


ㄴ) 해석 결과

i) 침하량



ii) 변위도





ㄷ) 결과요약

검토결과 천단변위는 최대 2.84mm이며, 상부지반 최대 침하량은 1.82mm로 미소한 값을 나타내어 구조물 침하 최소 기준인 25mm보다 작으므로 지반의 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

※ 석적 및 조적구조물 침하기준 : 최대 25mm

※ 기초(독립및확대기초) 침하기준 : 최대25mm

2.4.2 지중 압입체의 응력검토

T.S.T.M공법 지중압입체의 안전성을 확인하기 위하여 주 사용자재인 Steel Box에 대하여 응력을 검토 하여 Steel Box의 안정성을 확인하였다.

ㄱ) 단면조건

i) 지중압입체:SS400

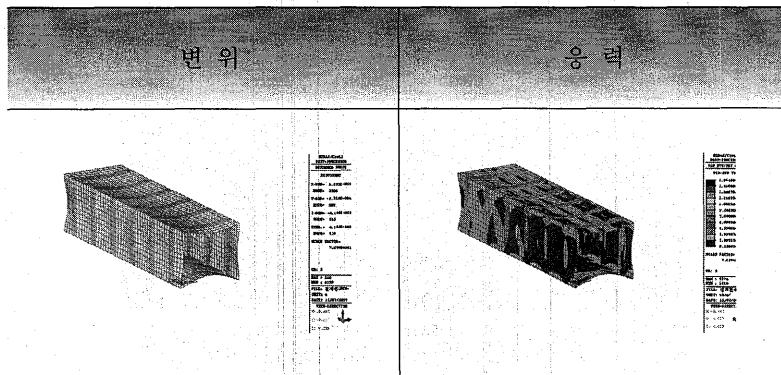
1700x1500mm,두께 16mm

ii) 보강재:SS400

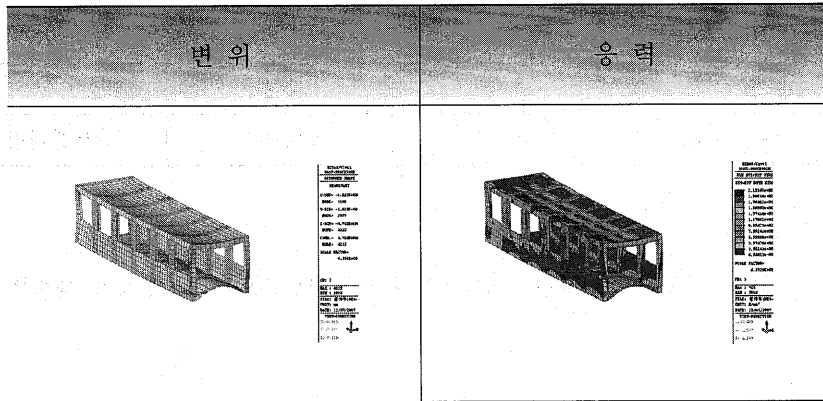
T 125x125x9x6, C.T.C 1.0m

ㄴ) 모델링 형상

i) 지중압입체 측부 절개전(추진 중) 변위 및 응력검토



ii) 지중압입체 측부 절개후(추진완료후) 변위 및 응력검토



ㄷ) 전산해석결과

▷ 절개전 응력검토

구분	축응력+휨응력				전단응력		비고
	발생응력		허용응력		발생응력	허용응력	
	최대	최소	최대	최소			
상부	51.8	-49.3	175	-175	25.9	100	OK
벽체	50.2	-52.3	175	-175	26.2	100	OK
보강재	101	-112	175	-175	52.0	100	OK

▷ 절개전 변위량

구분	최대	최소	비고
침침(mm)	-3.879	-0.111	상부플랜지

▷ 절개후 응력검토

구분	축응력 + 휨응력				전단응력		비고
	발생응력		허용응력		발생응력	허용응력	
	최대	최소	최대	최소			
상부	51.9	-53.4	175	-175	26.7	100	OK
벽체	107	-46.7	175	-175	73.0	100	OK
보강재	109	-150	175	-175	55.9	100	OK

▷ 절개후 변위량

구분	최대	최소	비고
처짐(mm)	-4.722	-0.102	상부플랜지

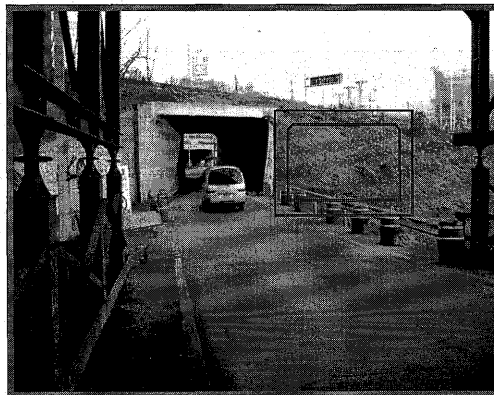
ㄹ) 결론

상기 검토 결과를 토대로 최적화된 단면크기 및 판두께로 제작하여 경제적 설계를 할수 있다

### 3. 공법의 적용

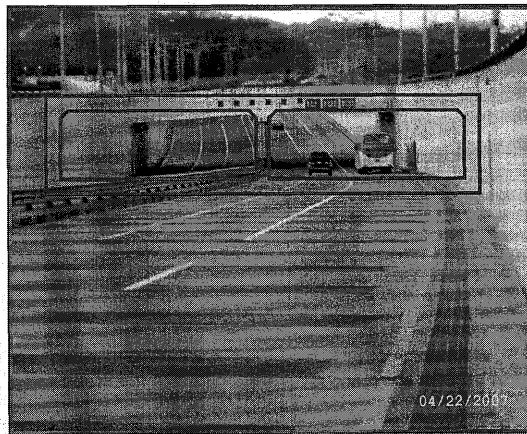
#### 3.1 적용대상

ㄱ) 도로,철도용 지하도 신설



<그림 6> 지하차도

ㄴ) 지하차도 확장



<그림 7> 지하차도 확장

ㄷ) 하천 제방통과 수로BOX 확장 및 신설



<그림 8> 수로박스 확장

ㄹ) 지하철역사(지하상가)와 건물간 지하연결통로



<그림 9> 지하 연결통로

ㄴ) 지하상가

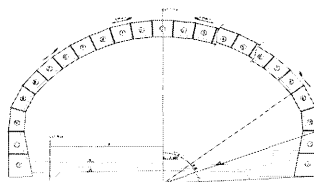


<그림 10> 지하상가

비) 공동구,통로박스,전력구,배수구 등

### 3.2 단면의 다양화

- ㄱ) 터널 공사 중 NATM시점 전까지의 갱구부 마제형 터널
- ㄴ) 터널 공사 중 NATM 적용 곤란한 지반(저토피구간)의 마제형 터널



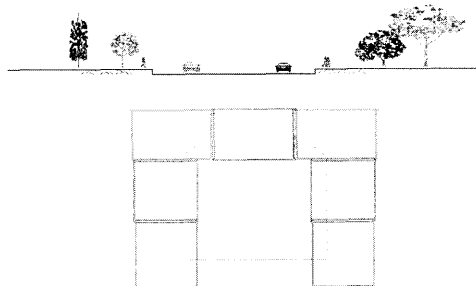
<그림 11> 터널 단면

### 3.3 적용 대상 지반

- ㄱ) 연약지반, 토사, 풍화암
- ㄴ) 연암및 경암

### 3.4 지하 구조물 평면선형 적용성

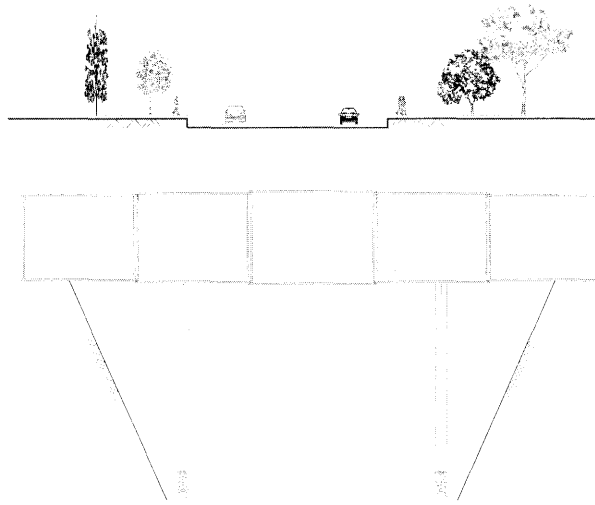
- ㄱ) 직선 경우 : 상부 슬래브와 좌우 측벽부분의 STEEL BOX 압입체 추진



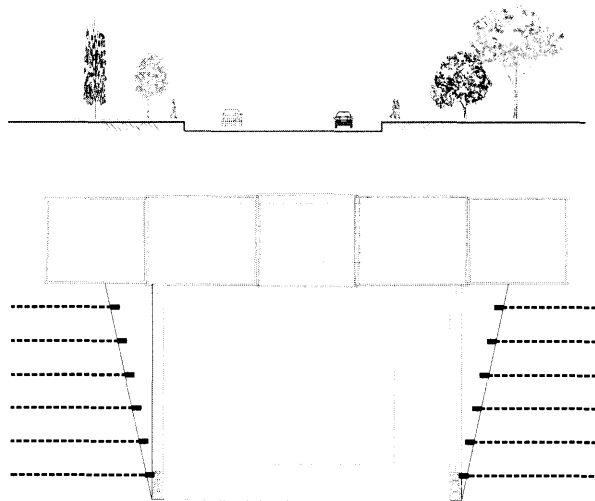
<그림 12> 직선의 경우

- ㄴ) 곡선 경우 :

상부 슬래브부분의 STEEL BOX만 추진하여 구조물을 완성하고, 측벽부분은 지반상태에 따라 자연구배를 이용 또는 Soil Nailing 등을 적용함



<그림 13> 자연구배 이용



<그림 14> Soil Nailing 적용

### 3.5 지반별 탄력적 공법 적용

#### ㄱ) 연약지반

하부 지반의 Heaving 발생 방지를 위해 하부 슬래브 선 시공

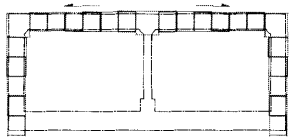
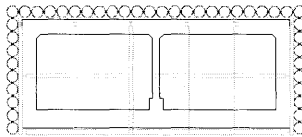
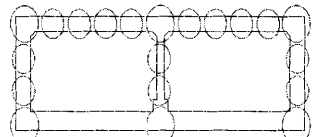
#### ㄴ) 자립 가능한 연암, 경암 층의 경우

연암, 경암 자체의 강도를 이용한 자립공법

적용

## 4. 기존 공법과의 비교

<표 2> 공법 비교표

구분	T.S.T.M 공법 (Trapezoidal Steel box Tunneling Method)	파이프루프 공법 (Pipe Roof Method)	N.T.R 공법 (New Tubular Roof)
단면도			
공법개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최종목적물에 가까운 제형 Steel Box 분할 압입추진</li> <li>• Steel Box 측면을 일부 절개하고 구조물 본체 철근배근 및 콘크리트 타설하여 본체 구조물 상부와 측벽 완성</li> <li>• 내부 토사 굴착 후 현장 타설로 하부 슬래브 시공하여 구조물 완성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오거나 유압을 이용 구조물 상부, 측벽 주변에 강관을 추진 연결하여 Roof 형성</li> <li>• 형성된 Roof 내부에 가설 빔을 격자 형태로 설치하며 내부 토사 인력 굴착</li> <li>• 굴착된 공간 내부에서 구조물 완성</li> <li>• 내부 빔 절단 후 구조물 면 정리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대구경관을 압입하여 1차 공간 확보</li> <li>• 관 측면 절개하여 2차 공간 확보</li> <li>• 방수철관 작업 후 외부 Grouting 실시</li> <li>• 확보된 공간 내에서 거푸집 설치, 철근 조립 및 콘크리트 타설</li> <li>• 내부 토공 및 구조물 내부 강관 절단, 하부 슬래브 시공</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steel Box 상부 양구배설치로 완전한 배수가 가능(유지관리 양호)</li> <li>• 지하수위 아래에서 BOX의 차수 역할로 내부 토공, 구조물 작업 용이</li> <li>• 최저 토피로 시공, 종단선형 상향화로 기지 가시성 깊이와 인접 구조물 크기를 작게 할 수 있으며 최소 단면만 굴착 시공함으로 지장물 간섭 최소화</li> <li>• 별도의 강지보공정 불필요, 재료 손실 최소화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시공 실적이 많음</li> <li>• 숙련된 작업자가 많다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대구경관 인력 굴착으로 강관 추진 작업 여건 양호</li> <li>• 시공 실적이 풍부함</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steel Box 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강관 연결 오목부위의 제수현상으로 빔 절단부위 누수</li> <li>• 지하수위 아래 시공시 지하수, 토사 유입으로 지표 침하 우려, 방수 작업 및 구조물 작업 어려움</li> <li>• 내부 토공 작업시 내부 지보빔이 장애물이 되어 공사비 및 공기 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시공 위한 최소 토피 고가 타공법에 비해 큼</li> <li>• 관 추진 후 내부 공정이 복잡하여 시공성 저하</li> <li>• 본체 구조물 단면과 무관한 부분도 굴착 추진되어 비경제적</li> <li>• 지하수위 아래 시공시 강관 연결 작업(잡철물공, 2차 토공) 곤란</li> </ul>

## 5. 결론

비개착 지하 구조물 구축시 고려해야할 사항과 T.S.T.M공법과의 관계를 살펴보면

### 5.1 경제성

불필요한 추진 굴착량을 최소화 하여야하며 추진 압입체간 연결공정에서 각종 잡철물 공정이 단순하여야 하는데 T.S.T.M공법은 추진 굴착량의 최소화, 잡철물 공정의 단순화를 구현한 경제적 공법임을 알수있다.

### 5.2 방수(유지관리)품질

지하 구조물의 품질과 유지관리비용 절감은 구조물 방수에 달려있다 하겠다.

T.S.T.M 공법은 지중유입 지하수를 구조물 배면에서 자연배수 시킬뿐아니라 추진 압체의 철관을 스프레이 지붕 시스템 처럼 활용함으로써 완벽한 방수 품질을 구현한다.

### 5.3 지장물 간섭최소(중단선형 적용폭넓음)

비개착 지하구조물 위치의 지장물 존재는 도로, 철도, 수로 등의 전체적 선형과 충돌하는 경우가 많다.

이러한 지장물 간섭 영향을 가장 적게 받을뿐 아니라 중단선형을 높게 적용 할 수 있음을 알 수 있다.

### 5.4 다양한 지반에의 적용성

연약지반, 일반토사, 암층등 현장위치 지반과 구조체간 역학적 관계를 고려 지반과 구조물의 역학적 안정을 반영할수 있는 유연한 공법임을 알 수 있다.

### 5.5 다양한 선형에의 적용성

지반 역학적 특성이용,직선뿐 아니라 곡선 구조물 선형에 맞추어 탄력적으로 적용 가능함을 알수있다.

### 5.6 다양한 단면

일반적 박스 단면형상 뿐아니라 NATM터널 입출구부나 저토피구간의 마제형 단면에서도 적용할수있다.



## [참고 문헌]

1. 김용일, 황낙연, 홍창표, 차종휘, 이내용 (2004). "대전 동서관통로 Front-jacking 공법", 터널기술학회지, pp. 115.
2. 김정윤 (2005). "압입된 강관과 강관 절개면 연결부에 토압 지지대를 설치하여 지하 구조체를 현성하는 공법 (NTR공법)", 한국지반공학회 11권 21호, pp. 12.
3. 엄기영 (2000). "PCR/URT/JES/TRM 공법 특성분석", 한국지반공학회 09권 16호, pp. 36.
4. 엄기영 (2002). "슬래브강관과 PC벽체 트랜치를 이용한 터널축조공법(TRCM공법)", 한국지반공학회 01권 18호, pp. 52.
5. 엄기영, 정홍채 (2002). "국내외 철도지하 횡단공사 개착/비개착 공법에 대하여", 터널기술학회지 04권 04호, pp. 122.
6. DENIS SZECHY, IVAN LIESZKOVSKY, ZOLTAN SZILVASSY and MIKLOS SZTO(1970), THE ART OF TUNNELLING, Tankonyvkiado, Budapest, pp. 215, 225, 689.
7. Malcolm Puller (1998). Deep Excavations, Great Britain by Redwood Books, pp. 212.

논문접수일 : 2008년 10월 19일

심사의뢰일 : 2008년 10월 26일

심사완료일 : 2008년 11월 25일