

철도지하횡단 통과 공법 선정기준에 관한 검토를 통해  
효율적인 적용성에 대한 연구

**Research on Efficient Applicability Through Review on Standard for Selection  
of Construction Method for Railway Underground Crossing Transit**

황영호\*  
Hwang, Young-Ho

손정철\*\*  
Shon, Jung-Chul

백종명\*\*\*  
Baek, Jong-Myeong

**ABSTRACT**

Greater expansion and more frequent operation of the railroad transportation system anticipated due to its characteristics including low cost, safety and mass transportation. Recently, effects on the railway structures due to expansion of newly constructed road, construction of subway, city gas pipeline, communication network, electric power network and construction of other railway underground crossing in accordance with urban planning and organization has influenced safe operation of trains. Accordingly, standard for selection of construction method that will enable construction of more economical and rational subway underground crossing structures by preventing problems occurring at the time of above construction works and accidents in safe operation of trains due to construction in advance is definitively necessary.

Although there are numerous construction methods that can be applied at the time of construction of railway underground crossing, there are much difficulties in selection of appropriate construction method that considers characteristics of each construction method on non-excavation type construction method, train operation plan of number of operational routes and on-site circumstances. Therefore, this research aims to present rational standard for selection of construction method for such, and standard for slowdown speed and interception of train when passing the areas of slowdown in sectors under construction.

**1. 서론**

**1-1 연구배경 및 목적**

철도수송 시스템은 저비용, 안전, 대량수송의 특성에 기인하여 더욱 확대되고 빈번한 운행이 예상되며, 최근 들어 도시계획과 정비에 따른 신설도로의 확충, 지하철 건설, 도시가스관, 통신구, 전력구, 기타 철도지하횡단공사의 건설에 따른 선로구조물에 영향을 주어 열차의 안전운행에 영향을 미치게 된다. 따라서 이의 건설시 발생하는 문제점 및 건설로 인한 열차안전운행 사고를 미연에 방지하며 보다 경제적이고 합리적인 철도지하횡단구조물을 건설할 수 있는 공법선정기준이 반드시 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 철도 지하횡단 공사시 적용하는 공법은 여러 가지가 있으나 비 개착식 공법에 대한 공법마다의 특성과 운행선 수의 열차운용계획과 현장여건을 감안한 적정공법 선정에 많은 어려움이 있어 이를 위해 국내.외 공법들을 충분히 검토한 후 각 공법들의 장단점 및 특성을 분석하고 안전성, 시공성, 직/간접비용을 비교분석한 가장 합리적인 공법선정기준과 공사개소의 열차서행 통과시 열차서행 속도 및 차단기준을 제시하고자 한다.

\* 서울메트로, 기술연구센터, 비회원

E-mail : young11@seoulmetro.co.kr

TEL : (02)520-5983 FAX : (02)520-5969

\*\* 서울메트로, 기술연구센터, 비회원

\*\*\* 서울메트로, 공사팀, 정회원

## 1-2 연구내용 및 범위

본 연구에서는 철도지하횡단공사의 합리적인 공법선정을 위하여 국내·외 공법별 시공사례를 통하여 현황과 문제점을 파악하고, 공법별 특성 및 장·단점을 비교 분석하고, 직/간접비용분석을 통한 경제성을 비교 검토하였다. 현재 진행중인 철도지하횡단 공사중 기 시행된 지반 계측자료를 수집하고, 별도 현장에 대하여 추가 계측기를 설치하여 지반변형에 대한 계측자료를 시공단계로 분석 공법별, 시공단계별 안정성을 검토하였다. 또한 대표적인 공법들의 실물모형 실험과 이에 대한 3차원 수치해석을 수행하여 실험치와 해석치의 검증을 통하여 해석 모델기법을 제안하고 철도지하횡단 공사시 선로 및 지반의 거동분석을 통한 안전성과 열차의 서행속도기준을 검토하였다. 본 과제의 주요 연구내용 및 범위는 다음과 같다.

- ▷ 비개착식 공법별 특성분석 및 검토
- ▷ 공법의 선정

## 2. 공법별 특성의 검토분석

### 2-1 공법의 분류

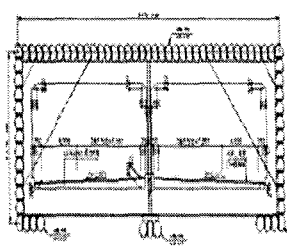
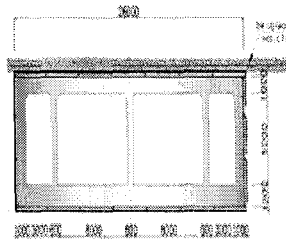
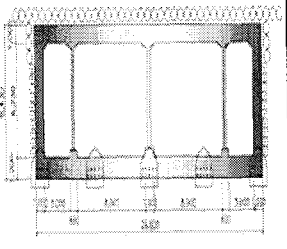
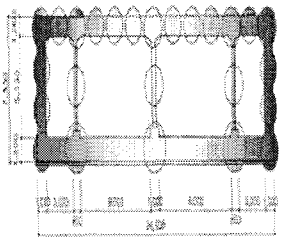
도표 1. 공법의 기능별 분류

구 분	기능별 분류	적 용 성
개착 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 받침 공법</li> <li>• 특수선 부설 공법</li> </ul>	• 열차운행이 적은 구간
비개착 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 견인식: 프론트 잭공법</li> <li>• 판형 밀받침 쉴드공법:</li> <li>• 매서쉴드공법 SPC공법, 선지보 파일형공법</li> <li>• 엘리먼트 추진공법: 파이프루프공법</li> </ul>	• 열차운행이 많은 구간

### 2-2 주요 공법의 시공성 및 특징 비교

도표 2. 주요공법별 특징비교

구분	P.R.S 공법 (Pipe Roof Struct Method)	MESSER SHIELD공법	FRONT JACKING공법	N.T.R공법 (New Tubular Roof)
공법 개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 특수제작된 소형강관을 중첩되게 소요길이 만큼 압입 및 굴착하여 Roof를 형성한다.</li> <li>• 중첩부위를 용접하여 보강하고 관 내부를 절단한다.</li> <li>• 관내부에 지지봉 및 보강철근을 설치한 후 콘크리트를 타설한다.</li> <li>• 내부토사를 굴착한다.</li> <li>• 철근조립 및 거푸집 설치 후 콘크리트를 타설한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 요구하는 규격으로 강관 MESSER PLATE를 지보공 주위에 배열</li> <li>• 유압 JACK으로 MESSER PLATE를 막장에 압입</li> <li>• 굴착하면서 내공에 지보공을 설치</li> <li>• 굴착완료 후 내부에 현장 타설로 구조물을 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 종방향으로 소형 강관을 소요길이 만큼 압입하여 Roof를 형성한다.</li> <li>• 하부도갱을 굴착하여 PC 케이블을 관통 시킨다.</li> <li>• 프리캐스트 박스를 프론트 잭에 정착 시킨다.</li> <li>• 박스 전면흙을 점진적으로 굴착하면서 프론트잭을 이용하여 소정의 위치로 견인한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 종방향으로 소요길이 만큼 관 압입으로 Roof를 형성한다.</li> <li>• 관과 관사이를 외부 Grouting으로 토사 및 지하수 유입을 방지한다.</li> <li>• 관과 관사이 절개 및 토압 지지판을 설치한다.</li> <li>• 터널내부 굴착 및 강관 돌출부를 절개한다.</li> <li>• 관 절개부분을 관통하는 철근을 조립한다.</li> <li>• 거푸집 설치 및 콘크리트 타설을 한다.</li> </ul>

구분	P.R.S 공법 (Pipe Roof Struct Method)	MESSER SHIELD공법	FRONT JACKING공법	N.T.R공법 (New Tubular Roof)
시공 순서	강관중첩굴진 및 용접 ↓ 보강철근설치 및 강관내부 콘크리트타설 ↓ 내부굴착 및 구조물 타설	강관다단그라우팅 및 MesserPlate 압입 ↓ 지보공 및 내부굴착 ↓ 구조물 타설	상부 소형강관설치 및 Roof 형성 ↓ 하부도개 굴착 및 PC 케이블 관통 ↓ 내부굴착, 프리캐스트박스견인	대형강관 압입 및 관사이 Grouting ↓ 관사이 절개 및 터널내부굴착 ↓ 관 절개부 철근조립 및 구조물 타설
단면				
공사비	1.0	1.4	1.3	1.1
공기	1.0	1.2	2.0	1.4
특 징	<ul style="list-style-type: none"> <li>소형강관 기계굴착으로 공기 단축</li> <li>소형강관추진으로 지반 이완 영역감소</li> <li>강관의 중첩으로 강성 증대 및 안정성 확보</li> <li>레일을 통한 추진으로 저토피 구간 시공용이</li> <li>일체형 정밀시공으로 인한 방수성이 우수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>공사진행시 소음과 진동이 적음</li> <li>분할단면 굴착으로 지층 변화에 대처용이</li> <li>고속도로 적용실적 많음</li> <li>암반 출현시 무진동 발파, 추가공정 필요</li> <li>굴착주변지반 이완이 큼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전단면 Precast 구조물로 품질양호</li> <li>시공실적이 풍부</li> <li>상대적으로 전진기지 및 도달기지가 큼</li> <li>상부강관과 구조물 사이 토사이완 우려</li> <li>상대적으로 공사기간이 장기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인력굴착으로 지장물 및 지층 대처 용이</li> <li>추진기지가 소규모로 시가지 공사시 유리</li> <li>대형강관 굴진으로 이완 영역 증대</li> <li>강관사이 그라우팅 구간 누수 및 이완</li> <li>인력굴착으로 공기지연 및 내부공정 증가</li> </ul>

### 3. 실험의 방법 및 고찰

#### 3-1 열차속도기준

##### □ 현재속도와 가능열차 속도

철도는 지하철과 마찬가지로 안전성과 열차의 정시성 확보를 최우선으로 하고 있으며, 부득이하게 발생하는 공사기간 중의 서행은 가급적 배제하여 객관적이고 합리적인 철도 지하형단 공사 공법을 선정하여야 한다. 현재 국내에서 적용하는 공법별 열차 서행속도는 대부분 경험치에 의존하고 있으며, 공법별 수치해석 결과 토피고 0.5m, 1.0m, 2.0m에 대해 열차가 70, 90km/hr의 속도로 주행시 상부 노반의 최대 처짐이 궤도정비 기준치(고저틀림 7mm)를 대부분 상회하므로 공사 중 열차속도가 기존 경험치를 적용하는 것이 타당하다고 생각됨.

도표 3. 공법별 현재속도와 가능 열차 속도

공 법		현재속도		가능 열차 속도	
개착공법	가받침 공법	20 ~ 40km/h	경험치	20 ~ 40km/h	수치해석 결과
	특수선 부설	20 ~ 60km/h	"	20 ~ 60km/h	"
비개착공법	파이프루프 공법	40km/h	"	40km/h	"
	프론트잭킹 공법	40 ~ 80km/h	"	40 ~ 80km/h	"
	메사쉴드 공법	40km/h	"	40km/h	"

※ 한국 철도기술연구원의 『철도지하횡단공사 공법선정 기준에 관한 연구』 보고서 P287,293, 341(1999. 12.)

3-2 연직 변위발생 검토

□ 사공시 및 실물 모형시험에 의한 수직변위 측정자료를 통하여 공법 적용시 안정성을 파악

도표 4. 비개착식 공법의 연직변위 발생량 검토

종 별	측 정 방 법	변 위 침하량(mm)	
비개착 공법	프론트 잭킹	강관 추진시	1.0 ~ 1.5
	파이프 루프	강관 추진시	10.0
	메사쉴드	PLATE 추진시 연직	27.0
	PRS	최대70Ton 재하시 탄성	3.0

※ 한국 철도기술연구원의 『철도지하횡단공사 공법선정 기준에 관한 연구』 보고서 P287,293, 341(1999. 12.)

□ 해석결과도

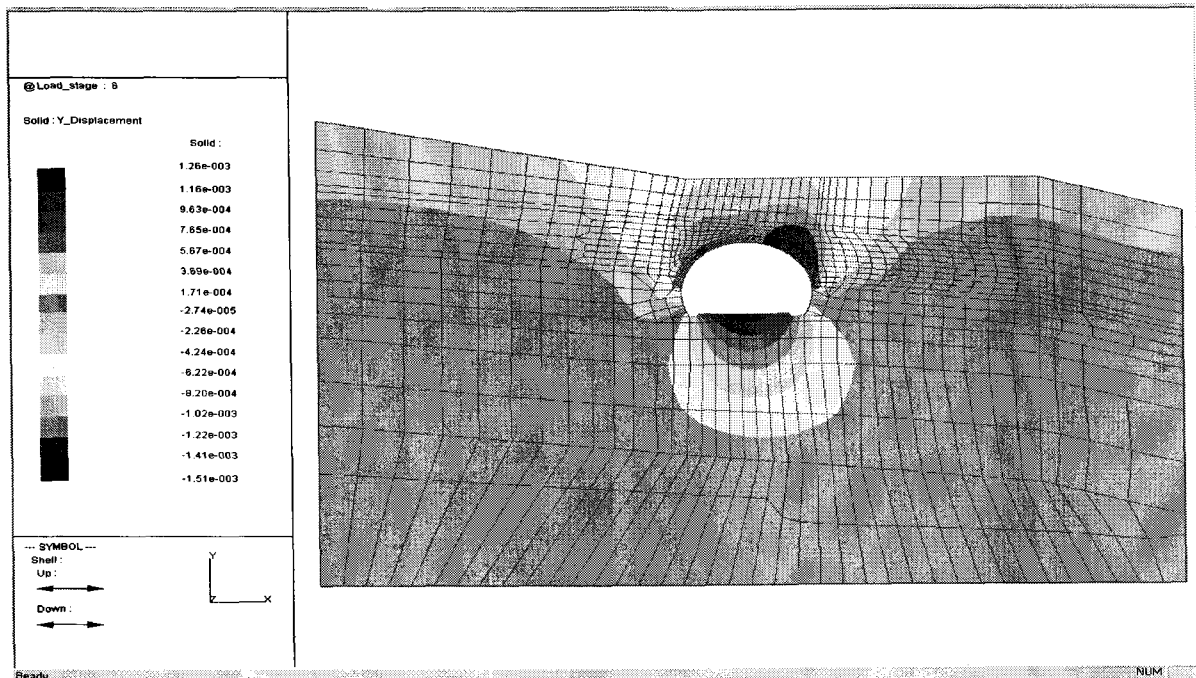


그림1. 연직변위도

□ PRS실물모형시험

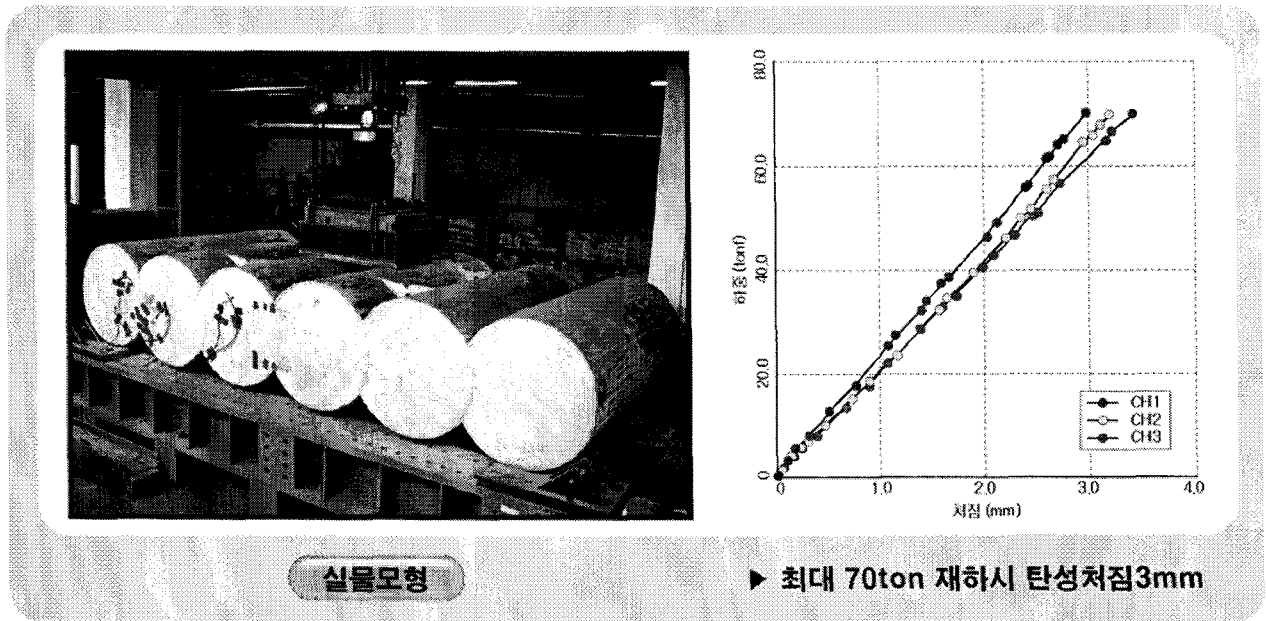


그림2. PRS모형실험을 통한 탄성처짐량

3-3 철도하부 횡단공법 적용성 비교분석

아래 그림은 1980년~2005년까지의 한국철도공사에서 시행한 국내철도 지하횡단 공사의 연도별 시공 건수를 나타낸 것이다. 철도지하횡단공사가 80년대 이후부터 현재까지 국내에서 시공한 사례를 공법별, 횡단연장, 구조물 크기별로 분석하였다.

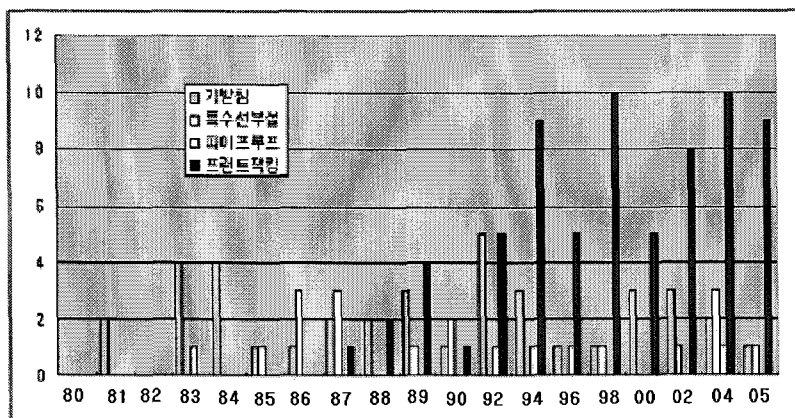


그림3. 연도별 시공건수

80년대 중반까지는 주로 개착공법이 시공되었으며, 80년대 중반이후에는 비개착공법을 도입, 적용하였다. 가받침/특수선공법과 같은 개착공법은 여굴 및 매립에 의한 노반교란으로 본 구조물의 완공 후에도 노반의 궤도이완, 침하 및 이상현상이 발생할 수 있는 취약성을 안고 있다.

따라서 90년대 이후에 개착공법은 공사기간 중 열차서행으로 열차의 정시운행 확보가 곤란하고 계속적인 궤도보수/보강작업, 선로감시를 필요로 하여 주로 열차운행이 적은 한산한 구간이나 작은 규모의 철도 지하횡단 공사시 적용하고 있으며 열차운행이 빈번한 구간이나, 열차서행 최소화를 요하는 구간과 열차의 안전운행에 영향을 주는 구간에는 비개착공법이 시공되고 있다.

특히, 열차의 특성상 안전성과 정시성을 확보를 통한 신뢰성을 상실하지 않기 위해서 비개착공법을 주로 적용하고 있는 추세이다. 분석결과 국내에서는 폭에 대해서는 10m미만이 53건, 10m~15m이 33건으로 15m미만의 것이 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 참고로 공법 선정기준은 시공성 보다는 열차 정시운행확보와 서행에 따른 경제적 손실을 우선 고려 하였고 시공성, 공사기간 순으로 선정 적용하였다.

### 3-4 경제성 비교검토

아래표에 나타난 경제성 비교 및 공사비 비교는 일반적인 상황하에서의 비교일 뿐이며 실제 공사비 및 경제성 비교는 현장 여건, 지층 조건, 지하 매설물의 처리, 지하수 처리, 작업 환경 등을 종합적으로 검토하여 판단해야 하며 개착 공법과도 비교하여 가장 적절한 공법 선정이 필요하다.

도표 4. 주요공법별 경제성 검토

구 분	PRS 공법 (Pipe Roof Struct )	Messer Shield	Front Jacking	N.T.R (New Tubular Roof)
경제성	1.0	1.4	1.3	1.1
상대적 공사비	1.0	1.2	2.0	1.4

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4-1 공법의 적용성상

상부강관 추진시 직경이 가장 작은 MESSER SHIELD 공법이 유리하나 굴착시 주변지반의 이완 및 공극이 발생하여 안정성 저하 및 강관다단 그라우팅시 포장층 손상우려가 있으며, FRONT JACKING 공법의 경우, 상부강관과 본 구조물 및 선단슈 사이의 토사이완 및 함몰의 발생빈도가 높고 지층이 토사 및 암반으로 혼재된 경우 전단면 굴착으로 암구간 굴착이 완료될 때 까지 장시간 토사구간을 방치하여야 하므로 안정성 저하 및 공사기간이 길어질 수 있다.

또한, N.T.R 공법의 경우 강관과 강관접합부의 굴착시 지반의 이완에 따른 침하발생 및 대구경 강관을 추진하므로 추진시 지반 이완영역이 커서 안정성이 저하된다. 따라서 당 현장적용에 있어서는 강관직경이 작고 강관을 중첩시켜 강성증대에 따른 지반이완이 적으며 추진부의 지지층을 미리 확인할 수 있어 지층 조건에 따른 보강방법 수립이 가능하고 Guidance Rail로 강관의 이탈을 억제하여 저토포 구간에서도 안정성을 확보할 수 있어 차량의 소통에 지장이 없는 P.R.S공법이 적용상 유리하다고 사료된다.

### 4-2 열차속도 기준

국내에서 적용하는 공법별 열차 서행속도는 대부분 경험치에 의존하고 있으며, 공법별 수치해석 결과 토피고 0.5m, 1.0m, 2.0m에 대해 열차가 70, 90km/hr의 속도로 주행시 상부 노반의 최대 처짐이 궤도정비 기준치(고저틀림 7mm)를 대부분 상회하므로 공사 중 열차속도가 기존 경험치를 적용하는 것이 타당하다고 생각되며, 공사 진행시 수치해석 결과 가능 열차속도는 40 -80km/hr의 프론트 잭킹 공법이 적절한 것으로 나타났다.

### 4-3 경제성 비교

실제 공사비 및 경제성 비교는 현장 여건, 지층 조건, 지하 매설물의 처리, 지하수 처리, 작업 환경 등을 종합적으로 보다 세밀한 검토가 필요하며 일반적인 상황 하에서 볼때 MESSER SHIELD 공법과 프론트 잭킹 공법에 비해 PRS공법이 가장 경제성과 상대적 공사비가 적절한 경제성을 확보한 것으로 검토되었다.

## 5. 결 론

철도지하횡단 공사의 건설에 따른 선로구조물에 영향을 주어 열차의 안전운행에 영향을 미치게 된다. 따라서 이의 건설시 발생하는 문제점 및 건설로 인한 열차운행 사고를 미연에 방지하며 보다 경제적이고 합리적인 철도지하횡단 구조물을 건설할 수 있는 공법선정 기준이 반드시 필요한 실정이다.

### 참고문헌

1. 한국 철도기술연구원의 『철도지하횡단공사 공법선정 기준에 관한 연구』 보고서(1999년)