

PCR/URT/JES/TRM공법 특성 분석

엄기영*

1. 개요

일반적으로 철도지하횡단공법은 토파가 작은 경우가 많고, 궤도에 영향을 발생하기 쉽기 때문에 노반의 침하나 궤도변위를 억제하며 열차 안전운행에 지장을 주지 않고 안전하게 관입하는 것을 목적으로 하는 비개착 공법 등이 많이 사용되고 있다. 본 고에서는 국외철도지하횡단공사 공법중 주로 일본에서 많이 시공된 PCR, URT, JES공법에 대하여 그 특성을 비교 분석하고자 한다. 또한 외국의 다양한 공법들을 소개하고 철도지하횡단공사 뿐만 아니라 기타 토목구조물에도 적용이 가능하도록 도움이 되도록 하였다. 국내외 철도지하횡단공사중 비개착공법을 분류하면 아래와 같다.

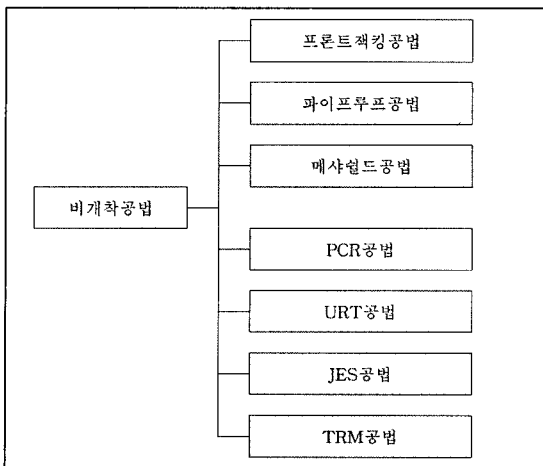


그림 1. 비개착 공법 분류도

* 정희원, 한국철도기술연구원 시설연구본부 선임연구원

2. PCR 공법

2.1 개요

PCR(Prestressed Concrete Roof Method)공법은 1980년에 일본 국철, 일본 KA-MO공사(주), 오리엔탈콘크리트(주)가 공동특허를 취득한 공법이다. 시공방법은 노반하부 횡단구조물과 상부노면에 사각형 단면의 PCR횡거더를 지중에 병렬 추진하고 이것에 프리스트레스를 도입하여 비개착으로 안전을 확보한후에 본체 구조물을 구축하는 공법이다. PCR공법은 철도하부에 지하도나 하천 등의 지하횡단 구조물을 안전하고, 정확하게, 경제적으로 구축하는 것을 목적으로 개발된 공법이며 하로거더형식 이외에 PC강재의 배치방향이나 PCR거더의 접합·지지방법에 의해 박스형 터널형식, 원형터널형식 및 PCR거더 상호를 긴장(緊張)하여 주거더를 생략하는 슬래브 거더형식등 다양한 구조형식이 있다

2.2 구조형식

1) 하로거더 형식(거더형식)

○ 구조개요

거더형식은, 주거더 및 상판(PCR거더)으로 이루어진 상부공과, 그것을 지지하는 교대 및 측벽(PCR거더)으로 이루어진 하부공이 분리된 구조이다.

2) 하로거더 형식(박스형 라멘형식)

○ 구조개요

PCR거더를 지지하는 주거더와 교대가 일체형으

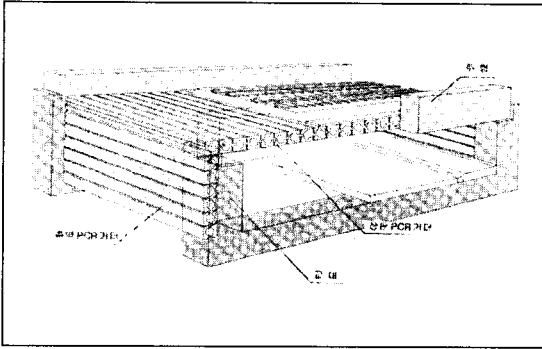


그림 2. 하로거더 형식(거더형식)

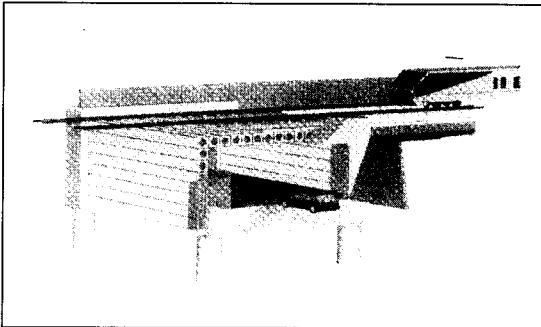


그림 3. 하로거더 형식(박스형 라멘 형식)

로 타설하는 철근콘크리트 구조로 이루어져 있고, 교좌장치·낙하방지장치 등을 필요로 하지 않는 구조이다.

3) 터널 및 슬래브 거더 형식

박스형 터널형식에는, 전체 우각부가 강결합의 Type과, 下상판부만 강결합으로, 上상판과 측벽부는 편결합의 Type이 있다.

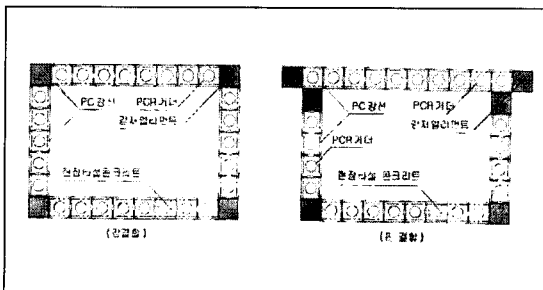


그림 4. 박스형 터널형식

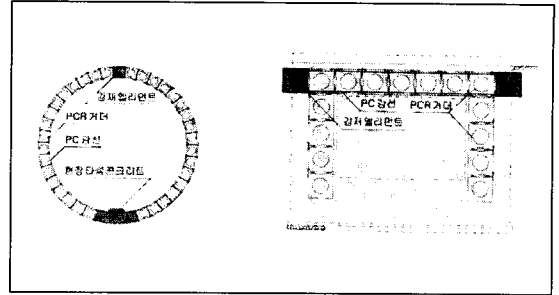


그림 5. 원형터널형식(좌), 슬래브 거더 형식(우)

○ 구조개요

박스형 터널형식은 상상판(上床板)·하상판(下床板)부는 인접한 PCR 거더끼리를 수평방향으로 하고 측벽부분은 연직방향으로 프리스트레스를 도입하여 일체화하고, 상판·측벽 접합부를 강결합(또는 편결합)으로 하는 상자형의 PCR터널이다. 편결합의 상자형 터널형식에서, 하상판 전부를 현장타설 콘크리트로 하는 것이 슬래브 거더 형식이다.

프리스트레스 도입의 작업공간으로서, 강제 엘리먼트를 배치하여 PC강선의 삽입과 긴장을 하고, PC강선은 내식성이 우수한 볼트케이블(after bolt cable)을 사용한다. 하상판의 폐합(閉合)에는 도갱(導坑)을 설치한 위치에 타설한 콘크리트에 의한 경우도 있다. 그리고 원형터널 형식에는 링모양으로 긴장을 한다.

2.3 장 · 단점 분석

《장점》

- ① PC거더는 공장 제품이기 때문에 신뢰성이 높다.
- ② PC거더와 받침거더의 강결부는 PC결합이고, 교량 등에 있어서의 많은 실적이 있다.
- ③ 콘크리트 제품이기 때문에 부식의 영향이 없고 본체 구조물로서의 보수유지가 필요하지 않다.
- ④ 구조가 매우 단순하고 또 시공이 용이하고 안전하다.

《단점》

- ① PC형 중량이 크므로 매달아 넣기용 크레인이 대형이 된다.

2.4 시공순서도(하로거더형식)

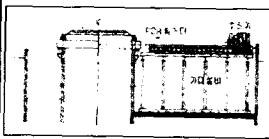
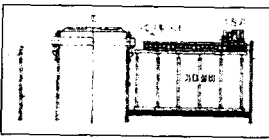
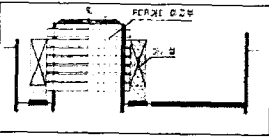
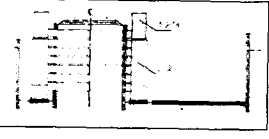
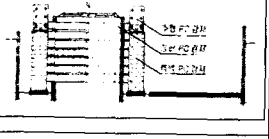
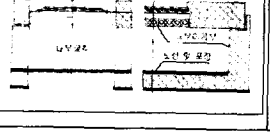
시공순서	시공내용
	1. 토류벽 · 작업용 기지설치 • H강 또는 강철판의 타입 • 발진 · 도달 기지의 굴착 • 토류벽의 타이로드 설치 • 콘크리트 타설
	2. PCR 거더의 추진 • 수평 · 승강기대의 가설 • 추진기의 설치 · 조립 • PCR 거더의 추진 (상판부 · 측벽부)
	3. PCR거더 이음부분의 지수 • 이음부의 고압세척 • 무수축 모르타르의 충전 • 지수재의 충전
	4. 교대 · 주형의 구축 • 교대의 시공 • 교좌장치의 설치 • 주형의 시공
	5. PC강재의 긴장 • 상판PCR 거더와 주형의 긴장 • 주형의 긴장 • 측벽 PCR 거더와 교대의 긴장
	6. 내부 굴착 • 내부 굴착 • 내부이음부의시공 · 내장 • 노상 · 노면 포장

그림 6. PCR공법 시공순서도

3. URT공법

3.1 개요

URT(Under Railway Tunnelling Method)공법은 중공상자형의 강성 엘리먼트를 PCR공법처럼 압입하여 교대 및 주형으로 지지하는 것이다. 구조물

내부를 굴착후, 속채움 콘크리트를 타설하고 방수공, 천장공, 포장공을 하여 완료하는 공법이며 PCR공법과 기본개념은 비슷하며 가장 큰 차이점은 사용하는 엘리먼트 재료가 강재라는 점이다. 본 공법 역시 국내에서는 시공된 적이 없고 일본에서 오랫동안 사용되어온 공법중 하나이다. 소단면 엘리먼트를 가지런히 추진하여 전체를 구조체로 구성하여 원지반을 교란시키지 않으며 토피를 얇게 해도 지상에는 별 영향이 없다. 그러므로 철도등의 교통운행에 지장을 주지 않고 공사가 가능한 공법이다.

3.2 특징

○ 강제 각형엘리먼트를 사용한다.

엘리먼트는 압연강재를 사용해서 공장에서 고품질, 고정밀도로 제작되므로 충격에 강하며 강성이 높고 경량이므로 취급이 쉽고 고정밀로 조립할 수 있다. 엘리먼트는, 서로를 연결하기 위해 엘리먼트 둘레에 견고한 이음부를 만들 수 있고 최초의 엘리먼트를 정도가 좋게 추진하면 나머지 엘리먼트의 추진정도를 용이하게 확보할 수 있다.

또 추진에 따라 전석등의 장애물에 대해서 엘리먼트내에 작업원이 들어가서 처리하는 것이 가능하다. 장거리 추진에서는 용접에 의해 엘리먼트를 덧붙여서 거리를 연장한다. 엘리먼트는 반영구적 구조물이며 부식을 방지한 설계로 되어 있다.

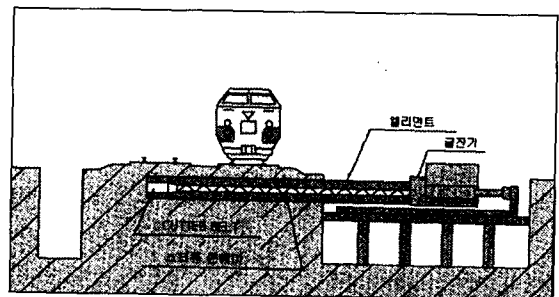


그림 7.

○ 열차운행중에도 작업이 가능하다

선로의 측면에서부터 엘리먼트를 굴착, 추진하기 때문에 개착공법과 같이 선로폐쇄가 필요하지 않고

활하중 아래에서 작업이 가능하다.

○ 토피를 얇게 할수 있다.

재래공법보다는 가받침공이 필요로 하지 않다. 이 때문에 터널부의 어프로치 연장이 짧게된다. 거더아래 확보가 필요한 수로횡단에도 유리하다.

○ 높은 안전성을 발휘한다.

엘리먼트추진은 엘리먼트와 같은 단면의 기계식킷트로 굴착하기 때문에 절우에서부터의 토사붕괴에 의한 위험이 없다. 게다가 터널내부의 토사굴착은 엘리먼트의 터널복공체가 완성된 후에 행하기 때문에

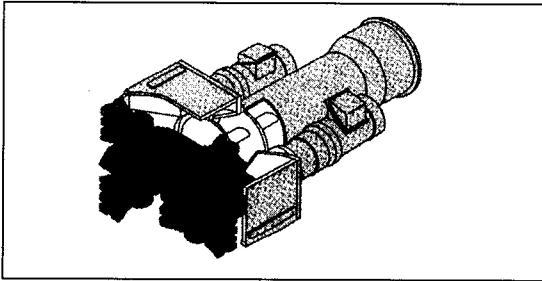


그림 8.

안전하게 작업할수 있다.

○ 공기를 대폭 단축할수 있다.

가받침공이 필요없고 엘리먼트를 굴착추진하는 상태에 따라 복공체로 취급할수 있고 한번에 터널내를 굴착할 수 있기 때문에 재래공법과 비교해서 공기를 큰폭으로 단축하므로 경제적이다.

3.3 구조형식

1) 하로거더형식

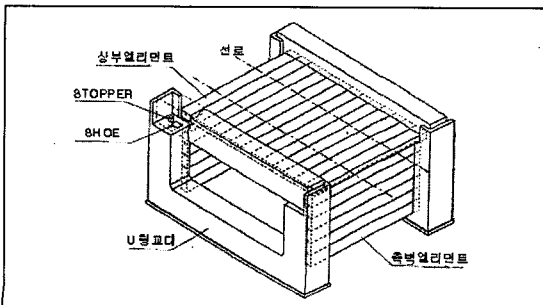


그림 9. 하로거더형식

그림 9에 표시된 것처럼 하로거더형식은 열차하중을 상부 엘리먼트로 지지하고 그 양단을 선로 방향의 주거더에 연결하고, 또 측방토압을 측벽 엘리먼트로 지지하고 그 양단을 교대에 지지한 구조이다.

2) 터널형식

그림 10에 표시된 것처럼 터널형식은 엘리먼트를

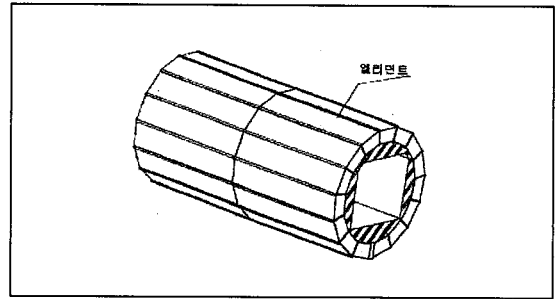


그림 10. 터널형식

아치 또는 원형으로 배치해서 열차하중이나 토압을 지지한 것이다.

3) 박스형식

그림 11에 표시된 것처럼 박스형식은 엘리먼트를 상자에 배치하고 엘리먼트 직각방향에 PC케이블을

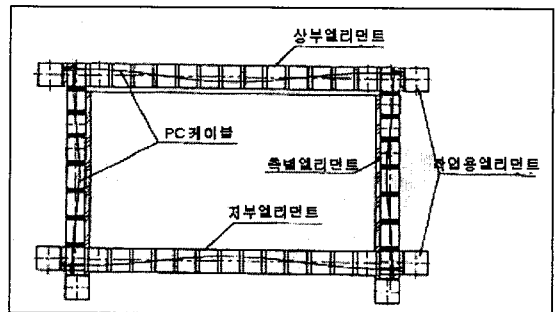


그림 11. 박스형식

매입 콘크리트를 주입한 후 프리스트레스를 유입하고 일체화한 박스를 구축한 것이다.

3.4 장·단점 분석

《장점》

① 엘리먼트 치수 높이가 작으므로 지간이 작은 경우에는 토피가 얇고 유리하다.

- ② 내공단면의 굴착은 PCR공법과 같이 본체구축 후에 시행하므로 안전하며 동시에 빠르다.
- ③ PCR공법과 같이 엘리먼트를 그대로 본체로서 사용하므로 경제적이다.

《단점》

- ① 엘리먼트와 받침거더와의 결합부 시공이 곤란하다.
- ② 콘크리트거더에 비하면 엘리먼트의 제작비가 비싸다.

3.5 시공순서도


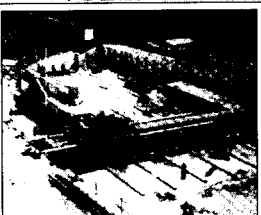


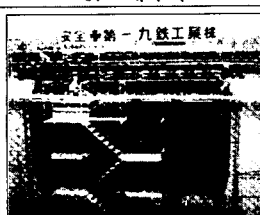

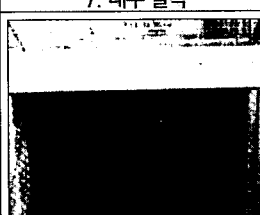

1. 발전기지 구축	2. 수평엘리먼트의 추진
	
3. 측면엘리먼트의 추진	4. 콘크리트 주입
	
5. 교대 구축	6. 주거더 구축
	
7. 내부 굴착	8. 내부 정리
	

그림 12. URT공법의 시공순서도

4, JES 공법(Jointed Element Structure Method)

4.1 개요

강제 엘리먼트를 이용하여 노반면 아래에서 비개착으로 박스형 라멘형식 또는 원형 구조물을 연장에 제약을 받지 않고 구축하는 공법이다.

4.2 특징

- 선로아래의 추진·견인이 1회로 이루어지며 (즉, 엘리먼트가 본체구조물 역할을 함), 궤도면이나 포장면에 주는 영향이 작다.
- 노반면 방호공과 본체구축공을 동시에 할 수 있다.
- 공사비·공기가 동시에 저감된다.
- 엘리먼트가 인장력을 부담하고, 충전한 콘크리트가 압축력을 부담한다.

4.3 이음부의 구조

JES공법은, 부재에 발생하는 인장력을 엘리먼트 사이의 이음에 의해 전달하는 구조이다

- 이음부가 충분한 강도를 가지고 있다.
- 활하중으로서 작용하는 반복하중의 영향을 고려하였다.
- 시공시에는 충분한 유격이 있지만, 공극에 그라우트를 충전하는 것으로 고정하고, 유격을 발생되지 않게 하였다.

이를 위해 엘리먼트가 큰 스판에 대응하는 인장강도를 확보하고, 규격품의 직선 강 지보재에 대해서 판두께를 두껍게 하고 피로강도를 향상시키기 위해서 이음부의 두께도 두껍게 하여 JES용 형강을 이음부에 사용하고, 강제의 엘리먼트를 제작한다.

4.4 엘리먼트 형상

기준엘리먼트, 일반부 엘리먼트, 우각부 엘리먼트, T자부 엘리먼트, 폐합부 엘리먼트 등을 사용한다. 어느쪽의 엘리먼트도 4개소 혹은 6개소의 이음부를 가지고 있고, 순차적으로 위아래로 맞추면서, 엘리먼트

트를 소정의 위치에 삽입하여 구조체를 조립한다. 엘리먼트 형상은 다음과 같다.

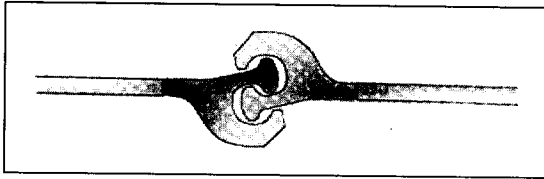


그림 13. 이음부형상

연결부

HEP & JES공법에서는, 엘리먼트 축직각방향의 구조체로 되기 위해 후방 엘리먼트와의 연결부는 엘리먼트 삽입시의 견인력이 전달될 수 있으면 충분하고, 이음편을 high tension bolt로 체결하는 구조이다

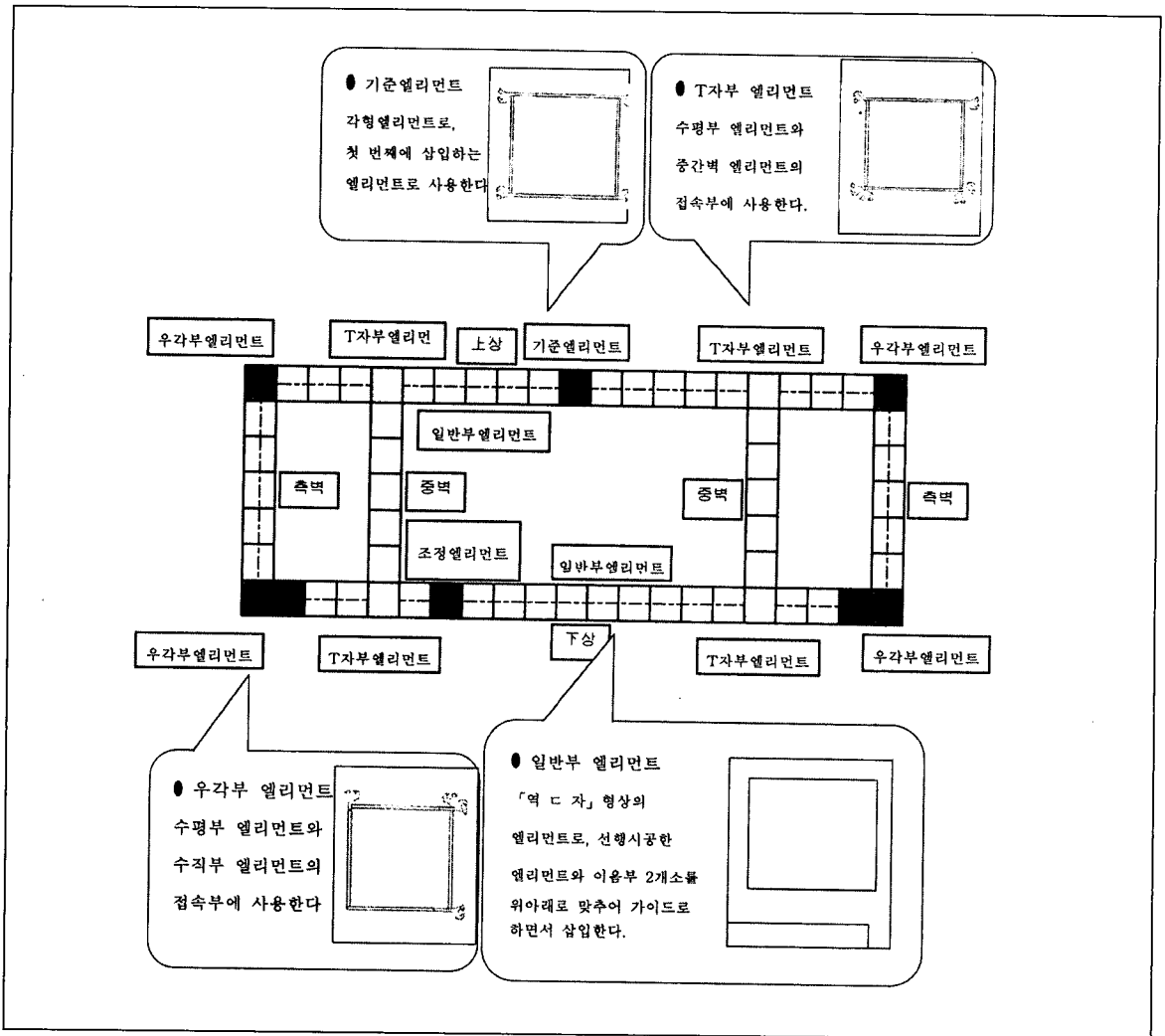


그림 14. 엘리먼트 형상

4.5 적용범위

「JES공법」은, 선로하 횡단구조물, 엘리먼트 교대 등에 적용할 수 있다.

1) 선로하 횡단구조로서의 적용

박스형 라멘형식, 다경간 박스형 라멘 형식, 링 형식 등의 선로하 횡단구조물에 적용할 수 있다.

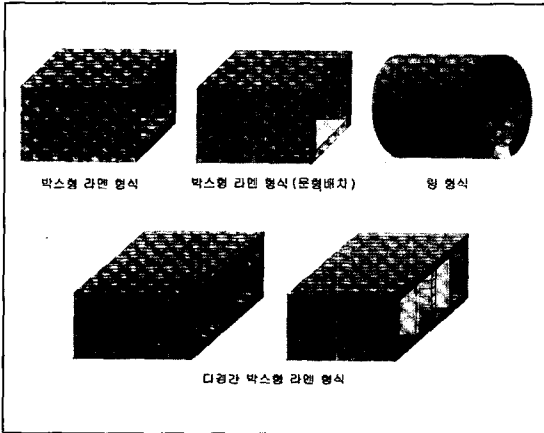


그림 15. 선로하 횡단구조물로서의 적용에

2) 엘리먼트 교대로서의 적용

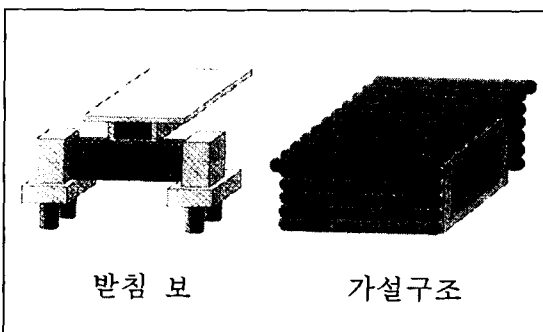


그림 16. 엘리먼트 교대로서의 적용

엘리먼트를 거더의 받침보, 토류부재로서 사용한다. 비개착으로서 선로직하에 교대를 구축할 수 있다.

4.6 시공순서도

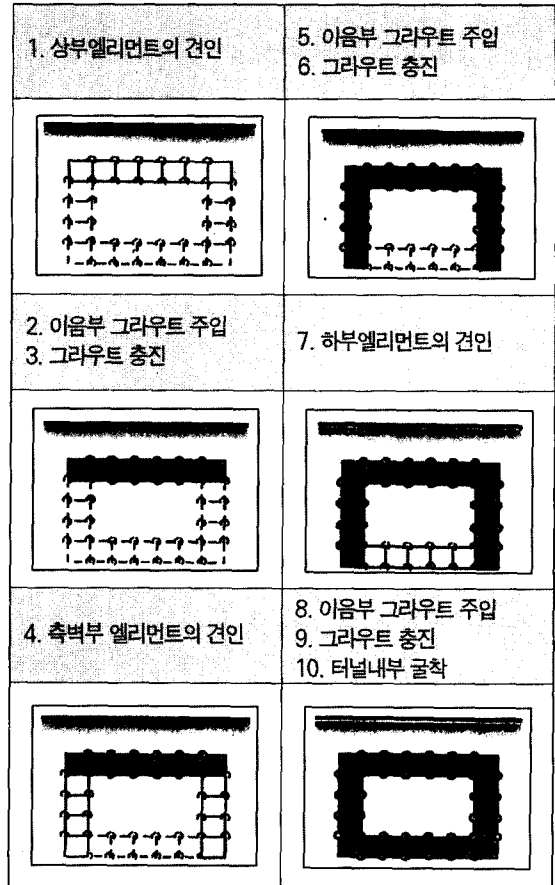


그림 17. JES공법 시공순서도

5. TRM 공법

5.1 개요

TRM(Tubular Roof construction Method)공법은 강관을 작업통로에서 유압 Jack으로 압입한 후 강관내부를 굴착, 콘크리트를 주입하여 루프를 완성시키고 강관의 하부를 굴착하여 구조물을 축조하는 공법으로 1960년 벨기에 SMET사가 연구 개발하여 현재 유럽, 동남아시아 등에서 터널, 지하철도, 지하철, 지하상가, 공동구, 상하수도 등의 공사에서 활용되고 있는 공법이다.

5.2 시공순서도

시공도		시공내용
횡단면	종단면	
		1. 가시설 토류공 2. 강관 추진기지 설치 3. 갤러리관 압입
		4. 갤러리관 내에서 수평강관압입
		5. 갤러리관 하부 강관 절단 6. 갤러리관 내에서 단계별로터姆 버트랜치 굴착
		7. 강관 및 탐버트랜치 콘크리트 타설 8. 구조물내 단계별 토공 실시
		9. 구조물내 토공 완료 10. 바닥 콘크리트 및 내부 구조물 설치
		11. 구조물내 마무리 작업 12. 구조물 설치 완료

그림 18. TRM공법 시공순서도

5.3 장·단점 분석

《장점》

- ① 본 구조물로 사용할시 공사비가 저렴하며 공기 단축이 가능하다.
- ② 선도관의 유도 조정나사 및 레이저 측량기를 이용하므로 정밀 시공이 가능하다.
- ③ 대형강관을 시공하므로 내부 굴착 및 토사반출이 용이하다.
- ④ 지반거동을 최소화 할수 있고 곡선선행에 관계없이 굴진 및 구조물 설치가 가능하다.

《단점》

- ① 연암 이상의 지층이 연속될 경우에는 시공성이 저하된다.
- ② 작업공간이 협소하여 철근 조립시 세부 공정이 필요하다.
- ③ 국내 시공실적이 적다.

6. 결론

지금까지 국외철도지하횡단공사 공법중 대표적인 공법들에 대해서 살펴보았다. 현재 일본에서는 비개착공법중 기존의 프론트 잭킹 공법, PCR공법, URT 공법 등을 개선하고 있으며 JES공법과 같은 새로운 공법들을 개발하여 철도지하횡단공사 뿐만 아니라 도로횡단, 지하구조물등 여러 토목구조물에도 확대 적용하고 있다. 따라서 국내에서도 기존공법의 개선 뿐만 아니라 외국의 다양하고 새로운 공법들을 도입할 필요성이 있다고 판단된다. 발주처에서도 아직 국내에서 검증되거나 시공실적이 없는 공법에 대해서는 철도의 환산선구(열차의 운행횟수가 적은 구간)나 도로의 횡단구조물, 지하구조물, 상하수도, 전력구, 통신구를 대상으로 한 시험시공에 관심을 기울여야 한다고 생각된다. 또한 시험시공후에는 국내현장 적용성, 시공성, 경제성에 대해서도 충분히 검토하여야 한다. 끝으로 URT, PCR, JES공법에 관심있는 분들의 많은 참여를 기대하면서 본 내용은 일본철도 총합연구소, JR동일본주식회사, JR서일본주식회사에서 제공한 자료입니다.

☎ 연락처 031)461-8531-5(교175번)

E-mail : kyeum@krii.re.kr