

철도지하횡단공사 공법의 해외 기술동향

엄기영 ^{*1}, 엄주환 ^{*2}, 최준규 ^{*3}, 신민호 ^{*4}

최근 경제, 사회의 발전으로 도시간 고속, 안전 수송과 도시내 신설철도 등에 의한 경제적 수송을 위해 철도 수송 시스템이 급속도로 발전하고 있다. 이는 철도 교통수단이 타 교통수단에 비해 가지는 장점인 저비용, 안전, 대량 수송의 특성에 기인하여 더욱 확대되고 빈번한 운행이 예상된다. 이미 오래 전부터 건설해온 철도 수송 시스템은 동서 혹은 남북간을 가로지르는 인접지역의 동서 또는 남북간의 균형있는 발전을 저해하여 왔으며, 최근 들어 도시계획과 정비에 따른 신설도로의 확충, 지하철 건설, 도시가스관, 통신구, 전력구, 기타 지하 횡단 구조물의 건설에 따른 선로구조물의 변형으로 열차의 안전운행과 철도 지하 횡단 구조물에 큰 영향을 주게된다. 따라서 이의 건설시 발생하는 문제점 및 건설로 인한 철도운행 사고를 미연에 방지하며 보다 경제적이고 합리적인 철도 지하 횡단 구조물을 건설할 수 있는 공법개발이 반드시 필요한 실정이다. 일반적으로 철도시설에 인접하는 철도 지하 횡단구조물의 건설에는 다음과 같은 사항을 기본적으로 검토하여야 한다.

- 선로구조물의 특성파악 및 현장실태조사
- 철도 지하횡단 구조물 건설지역의 조건별 시공성 및 경제성 검토
- 철도 지하횡단 공사시 관련 구조물 검토
- 굴착에 따른 지반침하와 영향성 검토
- 열차운행 안전성 검토
- 철도 지하횡단 구조물의 합리적인 선정기준제시

^{*1} 정회원, 한국철도기술연구원 시설전기연구본부 선임연구원

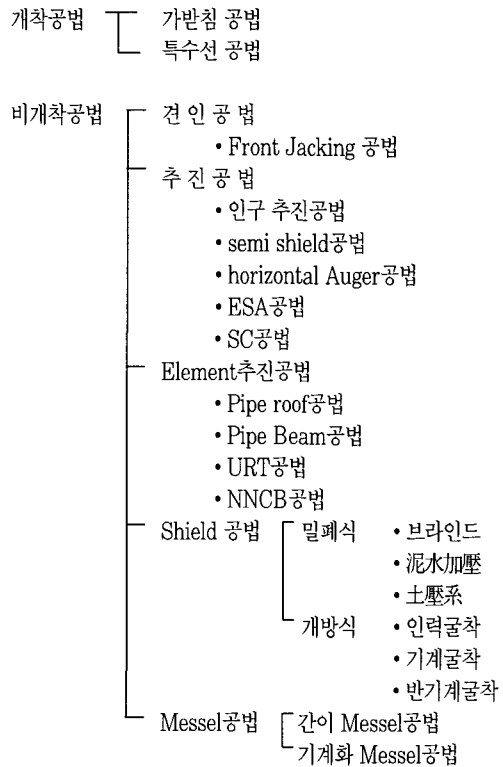
^{*2} 한국철도기술연구원 시설전기연구본부 주임연구원

^{*3} 한국철도기술연구원 시설전기연구본부 연구원

^{*4} 정회원, 한국철도기술연구원 시설전기연구본부 책임연구원

상기의 사항을 고려한 후에는 시공지역의 종합적인 현장상황 파악 및 선로의 구조, 열차주행사항 검토, 지반의 특성을 고려하고, 각 공법별 경제성과 시공성을 비교 검토하여 가장 적절하고 안정하며 신뢰성 있는 공법을 선정하여야 한다. 본 고에서는 표1과 같이 철도지하횡단공사 공법에는 여러 가지가 있지만, 국내외에서 주로 많이 시공되고 있는 몇가지 공법에 대하여 소개하고자 한다.

표 1. 지하횡단공법의 분류



1. 프론트 잭킹 공법

프론트 잭킹(Front Jacking) 공법이 연구된 것은 일본의 우에무라 연구소에서 개발되어 극동 강현콘크리트 주식회사에서 많은 시공실적을 보유하고 있으며 현재 국내에서는 경부선과 같은 열차운행에 지장을 주어서는 안되는 중요한 노선에 주로 이용되고 있는 공법으로 열차운행선 밖에서 구조물을 제작한 후 유압 프론트잭크를 이용하여 선로하부의 소정 위치에 구조물을 견인 설치하는 방법이다.

1.1 프론트잭킹 공법의 특징

그림1과 같이 전단면 프리캐스트 콘크리트 구조물을 프론트 잭키에 의해 지중의 소정 위치에 견인되므로 실드공법처럼 대규모 설비를 필요로 하지 않고, 개착공법과 파이프로프 공법처럼 장기간 불안정상태를 연속하지 않으며, 지중에 구조물을 구축하면서도 지상교통에 지장을 주지 않는 것이 가장 큰 특징이다.

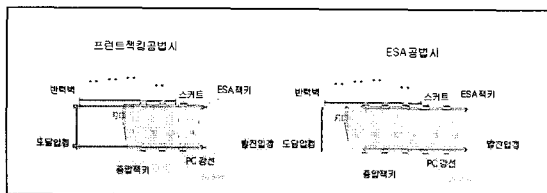


그림 1. 추진공법 개념도

1.2 프론트잭킹 공법의 종류

프론트 잭킹 공법에는 견인방법에 따라 크게 편측견인공법, 상호견인공법, 분할견인공법으로 분류 된다.

• 편측견인공법

1방향으로 견인 추진하는 공법으로서 견인반력을 지반에 잡는다. 지형적으로 현지지반을 반력벽으로 이용할 경우, 또는 어프로치(Approach)용의 구조물과 기설구조물을 반력으로 이용할 경우는 편측견인 공법에 의하는 것이 이상적인 시공법이다.

• 상호견인공법

양측에 합체구조물을 분할 축조하고 이 분할 축조된 합체를 서로 마주 쳐다보면서 양측에서 상호간 견인 추진하는 것으로 견인력의 반력을 지반에 잡지 않고 상대구조물에 잡는 것이므로 거대한 구조물도 견인이 가능하다. 대체로 대형구조물 견인시에 많이 적용시키는 공법이다.

• 분할 견인공법

합체 구조물을 복수 개(複數個)로 분할하여 전방에서 순차적으로 분할 인발(引拔)하여 견인시키는 공법이며, 대단면 또는 연장이 긴 구조물에 유리하다. 상호견인공법과 완전 일치하나, 합체 각각 단독으로 견인하는 점이 상이하다.

2. PCR 공법

PCR공법(Prestressed Concrete Roof method)은 국내에서는 아직 시공된 예가 없으며 일본에서는 오래전부터 시공되어온 공법으로서 공용중의 철도나 도로의 하부에 지하도나 하천 등의 횡단구조물을 안전, 확실, 경제적으로 구축하는 것을 목적으로서 개발된 공법이다.

PCR공법의 특징은 노반하부 횡단구조물을 상부노면을 공용하면서, 각형단면의 PCR거더를 지중에 병렬 추진하고, 이것에 프리스트레스를 도입하여, 비개착으로 안전·확실하게 본체구조물을 구축하는 것이다. PCR공법의 종류에는 하로거더형식 이외에 PC강재의 배치방향이나 PCR거더의 접합·지지방법에 의해 박스형 터널형식, 원형터널형식 및 PCR거더 상호를 긴장하여 주거더를 생략하는 슬래브 거더형식 등, 표2에서와 같이 다양한 구조형식이 있다.

PCR거더의 추진방식에는 PCR거더를 직접추진하는 방식과, 동일단면의 각형강관을 선행추진후 PCR거더로 치환하는 방식, 블록 거더의 추진과 접합을 반복하여 장척의 PCR거더로 하는 방식이 있다.

표 2. PCR공법의 종류

PCR공법에 의한 구조물 형식		
하로거더 형식 (중체결방식)	거더형식(상·하부구조 분리방식)	
	상자형라멘 형식(상·하부구조 일체방식)	
슬래브거더 형식 (횡체결방식)	상상판형식	
	문형 형식(상·하부구조 분리방식)	
터널 형식 (횡체결방식)	박스형터널형식	핀 결합방식
	원형터널형식	강결합방식

2.1 PCR공법의 적용범위

PCR공법에 의한 횡단구조물 본체의 적용범위는, 토피고·상재하중 등에 의해 다르지만, 표준적 적용범위는 표3과 같다.

표 3. PCR공법의 적용범위

구조형식		적용범위(m)	
		횡단연장	순경간
하로거더형식	거더형식	20	40
	박스형 라멘형식	20	25
슬래브 거더형식		60	10
박스형 터널형식			13
원형터널형식			∅ 8 ~ 15

2.2 구조형식별 특징

하로거더형식은, 그림2에서와 같이 주거더 및 상판(PCR거더)으로 이루어진 상부공과, 그것을 지지하는 교대 및 측벽(PCR거더)으로 이뤄진 하부공이 분리된 거더형식과, 그림3과 같은 PCR거더를 지지하는 주거더와 교대가 일체형으로 타설하는 철근콘크리트 구조로 이루어져 있고, 교좌장치·낙하방지장치 등을 필요로 하지 않는 박스형라멘구조가 있다.

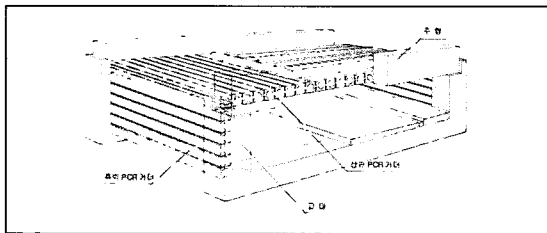


그림 2. 거더 형식

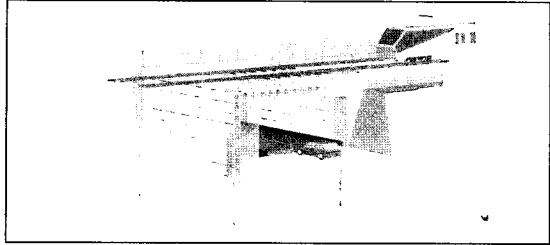


그림 3. 박스형 라멘 형식

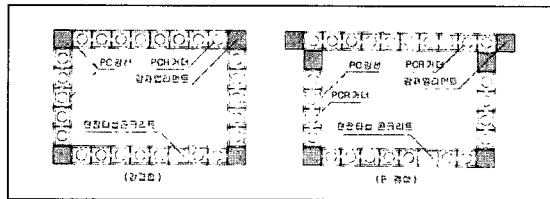


그림 4. 박스형 터널형식

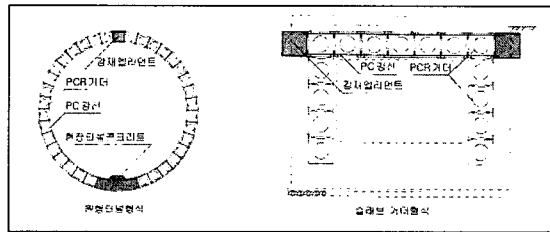


그림 5. 원형터널형식(좌), 슬래브 거더 형식(우)

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

3. URT 공법

URT공법은 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 않고 얇게 해도 지상

에는 별 영향이 없다. 그러므로 철도 및 도로 등의 교통운행에 지장을 주지 않고 공사가 가능한 공법이다.

3.1 URT 공법의 특징

엘리먼트는, 서로를 연결하기위해 사방에 견고한 이음부를 만들 수 있고 최초의 엘리먼트를 정도가 좋게 추진하면 인접 엘리먼트는 이음부를 가이드로 해서 추진하기 때문에 이후의 추진정도를 용이하게 확보할 수 있다

또 추진에 따라 옥석 등의 장애물에 대해서 엘리먼트내에 작업원이 들어가서 처리하는 것이 가능하다. 장거리추진에서는 용접에 의해 엘리먼트를 덧붙여서 거리를 연장한다. 엘리먼트는 반영구적 구조물이며 녹스는 것을 고려한 설계로 되어져 있다. 또 인접 엘리먼트와 연결한 맨홀을 설치하는 등의 특수엘리먼트의 적용도 용이하다.

3.2 구조형식

• 하로거더형식

그림6에 표시된 것처럼 하로거더형식은 열차(또는 자동차)하중을 상판 엘리먼트로 지지하고 그 양

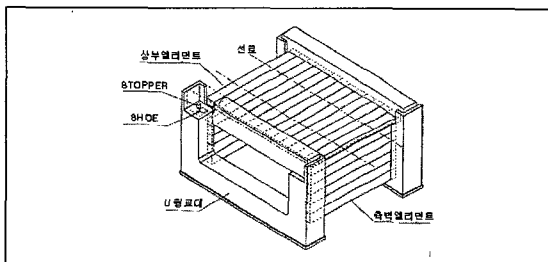


그림 6. 하로거더형식

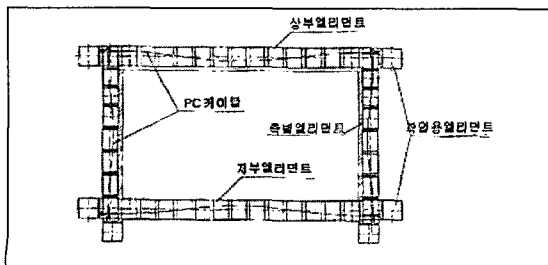


그림 7. 박스 형식

단을 선로(또는 도로) 방향의 주거더에 연결하고, 또 측방토압을 측벽엘리먼트로 지지하고 그 양단을 교대에 지지한 구조이다.

특징으로는 궤도에의 영향이 작고 토피를 작게할 수 있으나 구조물연장이 20m정도까지로 제한된다.

• 터널형식

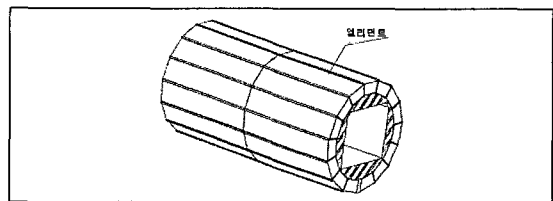


그림 8. 터널형식

그림8에 표시된 것처럼 터널형식은 엘리먼트를 아치 또는 원형으로 배치해서 열차하중이나 토압을 지지한 것이다. 주요특징으로는 공중이 단순해서 공기를 단축할 수 있고 터널연장을 길게 할 수 있다.(최장실적 80.5m) 그러나 하로거더형식에 비해 토압이 크며 여굴이 많다.

• 박스형식

그림7에 표시된 것처럼 박스형식은 엘리먼트를 상자에 배치하고 엘리먼트 직각방향에 PC케이브를 매입 콘크리트를 주입한 후 프리스트레스를 유입하고 일체화한 박스를 구축한 것이다. 주요특징으로는 궤도에 영향이 작고 토피를 작게할 수 있으며 터널연장을 길게 할 수 있다. 그러나 PC관련작업이 어렵고 시공실적이 거의 없다.

4. JES 공법

본 공법은 최근에 연구개발된 공법으로서 기존의 엘리먼트 추진공법의 단점인 PC강선으로 엘리먼트 상호를 체결하는 시공성의 어려운 점을 개선 보완하여 경제성도 타 공법에 비해 우수한 공법으로 지중에 투입하는 엘리먼트의 축직각 방향으로 힘의 전달이

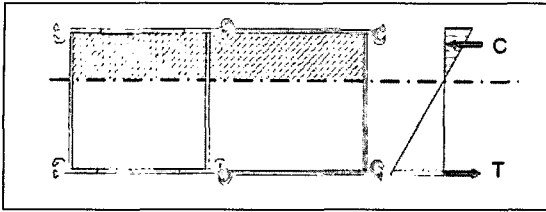


그림 9. 구조부재 모델

가능한 연수부를 가지고 있는 강재 엘리먼트를 이용하여, 노반면 아래에 비개착으로 상자형 라멘형식과 원형의 구조물 등을 연장에 제약되지 않고 구축하는 것이 가능하며 현재 실용화를 위한 시험시공이 이루어지고 있다.

4.1. 공법의 특징

JES공법은 엘리먼트 자체가 본체구조물 역할을 하여 선로아래의 추진·견인이 1회로 이루어지며 궤도면이나 포장면에 주는 영향이 작고 노반면 방호공과 본체구축공을 동시에 할 수 있어 공사비 공기가

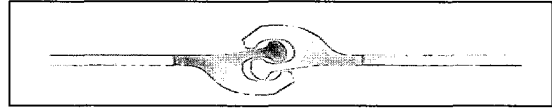


그림 10. 이음부

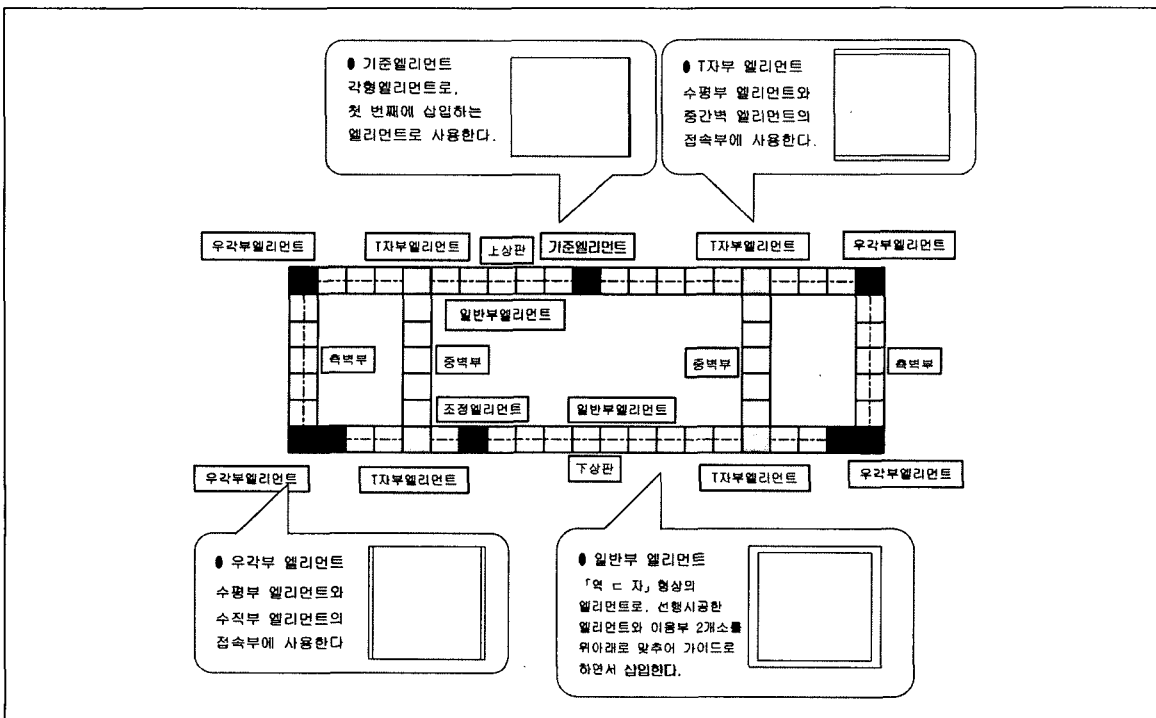
저감된다.

구조부재 모델은 그림9와 같이 엘리먼트가 인장력을 부담하고, 충전한 콘크리트가 압축력을 부담하여 엘리먼트 상호 연결부위가 충분한 힘을 받을 수 있으며, 엘리먼트 견인 시 HEP공법(엘리먼트 견인공법)과의 병용이 효과적이다.

4.2 이음부의 구조

JES공법은, 그림10과 같은 구조부재에 발생하는 인장력을 엘리먼트 사이의 이음에 의해 전달하는 구조이다. 따라서 이음부는 다음과 같은 특징을 가지고 있다

- 이음부가 충분한 강도를 가지고 있다.
- 활하중으로서 작용하는 반복하중의 영향을 고



려하였다.

- 시공시에는 충분한 유격이 있지만, 공극에 그 라우트를 충전하는 것으로 고정하고, 유격을 발생되지 않게 하였다.

이를 위해 엘리먼트가 큰 스팬에 대응하는 인장강도를 확보하고, 규격품의 직선 강 지보재에 대해서 관두께를 두껍게 하고 피로강도를 향상시키기 위해서 이음부의 두께도 두껍게 하여 JES용 형강을 이음부에 사용하고, 강제의 엘리먼트를 제작하였음을 알 수 있다.

4.3 엘리먼트 형상

엘리먼트의 이음부의 중요성에서 알 수 있듯이 엘리먼트의 종류에도 5가지 종류가 있다. 즉, 기준엘리먼트, 일반부 엘리먼트, 우각부 엘리먼트, T자부 엘리먼트, 폐합부 엘리먼트 등을 사용한다. 어느쪽의 엘리먼트도 4개소 혹은 6개소의 이음부를 가지고 있고, 순차적으로 연수부를 위아래로 맞추면서, 엘리먼트를 소정의 위치에 삽입하여 구조체를 조립한다.

지금까지 철도지하횡단공사 공법들의 현황을 파악

하고 비개착공법중 대표적인 공법들에 대해서 살펴 보았다. 국내에서는 개착공법(가받침 공법, 특수선 부설공법)을 주로 열차운행이 적은 구간에서 시행되고 있으며 비개착공법인 프론트잭킹 공법은 열차의 안전운행을 고려하여 열차운행이 많은 경부선 구간에 시행되고 있다. 현재 철도선진국에서는 기존의 프론트 잭킹 공법, PCR공법, URT공법 등을 개선하고 있으며 JES공법과 같은 새로운 공법들을 개발하여 철도지하 횡단공사 뿐만 아니라 지하구조물에도 확대 적용하고 있다. 따라서 국내에서도 기존공법의 개선 뿐만 아니라 더 나아가 열차의 안전성, 시공성, 경제성 있는 공법의 개발도 절실한 실정이다.

이와 관련하여 우리연구원에서는 『철도지하횡단공사 공법 선정기준 제시』에 관한 연구를 통하여 현재 철도지하횡단공사의 국내의 공법별 장·단점을 파악하고 모형시뮬레이션과 수치해석을 통해 각 공법에 대한 특성을 분석중에 있다. 또한 공법별로 직접공사비와 열차운행에 따른 간접손실비를 포함한 경제성을 비교분석하여 가장 합리적이고 경제성 있는 공법 선정기준을 제시할 예정이다.

한국지반공학회 논문집 정기구독 신청 안내

회원 여러분의 안위를 기원합니다.

1999년 1월부터 우리학회의 간행물이 학회지와 논문집으로 분리 발간됩니다. 학회지는 매월 무가로 회원들께 배포되며, 논문집은 유가로 1년에 20,000원의 구독료를 납부하고 받아 보실 수 있습니다. 필요하신 회원은 다음 사항을 참고하셔서 논문집 구독 신청을 하시기 바랍니다.

다음

- 구 독 료 : 1년 6회, 20,000원
- 신청기한 : 수시(단, 신청시점이 구독료 납부 회계시점임)
- 입 금 처 : 한국주택은행 (예금주: 한국지반공학회) 534637-01-002333
- * 입금 후 반드시 학회 사무국(02-3474-4428, 7865)으로 연락하여 확인하시기 바랍니다.