

연약지반 침하저감을 위한 궤도지지말뚝 구조체의 단면 산정

Optimal Section of Concrete Deck on Piles System for Settlement Restraint of Soft Soil

배영훈*†, 이일화*

Young-Hoon Bae*†, Il-Wha Lee*

Abstract Settlement restraint is necessary for concrete slab track on soft soil to guarantee vehicle running stability and maintenance of track systems. Although the construction of some bridges or the replacement of soft soil is able to be solution for the settlement of soft soil, these methods are economically infeasible. Recently concrete deck on pile system has been applied to concrete slab track as an alternative method for restraining the settlement of soft soil in Europe and China. Some advantages of concrete deck on pile system are structural stability, the relative simplicity of design/construction and an economical system. In this paper, the field applications of concrete deck on pile system in Europe and China were investigated and optimal section of concrete deck on pile system being able to apply to a domestic soft soil was reviewed.

Keywords : Soft soil, Settlement restraint, Concrete deck on pile system

초 록 연약지반 상에 콘크리트궤도가 적용될 경우 열차의 주행 안정성과 궤도구조의 유지보수성을 확보하기 위해서는 침하저감 또는 억제이 필수적이다. 연약지반의 침하 문제 해결을 위해 교량 건설 또는 연약지반 치환 방식 등이 적용될 수 있으나 경제성이 낮다는 단점이 있다. 유럽을 비롯해 최근 중국에서는 연약지반 상에 콘크리트궤도를 적용함에 있어 침하 문제 해결을 위해 교량 대체 공법으로 궤도지지말뚝을 적용하고 있다. 궤도지지말뚝은 안정성이 우수하고, 설계 및 시공이 상대적으로 간단하며, 경제적인 시스템으로 보고되고 있다. 본 논문에서는 궤도지지말뚝 구조체의 유럽 및 중국 고속철도 적용 사례를 조사 및 분석하고, 국내의 일반적인 연약지반 조건에서 적용될 수 있는 궤도지지말뚝의 단면을 산정하였다.

주요어 : 연약지반, 침하저감, 궤도지지말뚝

1. 서 론

고속철도 건설 및 운영 시 연약지반의 침하 관리는 열차의 주행안정성 및 궤도의 유지보수 저감을 위해서 매우 중요한 이슈라 할 수 있다. 연약지반 침하 제어를 위해 통상적으로 적용되고 있는 방법은 지반치환, CFG 말뚝, 동다짐, 토목섬유 보강 등이 있다. 최근에 유럽을 시작으로 중국 고속철도에서 연약지반 침하 저감 방법으로서 궤도지지말뚝 구조 시스템이 적용되고 있다. 궤도지지말뚝 구조는 다양한 장점들이 있으며 연약지반 상의 교량을 대체할 수 있는 방법으로 보고되고 있다. 따라서 본 논문에서는 궤도지지말뚝의 국내 적용성 검토를 위해 유럽 및

† 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도연구본부(yhbae@krrri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

중국에서의 궤도지지말뚝 적용 사례를 조사 및 분석하고, 국내의 일반적인 연약지반 조건에서 적용될 수 있는 궤도지지말뚝 구조에 대한 단면을 검토 및 산정하였다.

2. 궤도지지말뚝 적용 사례 분석 및 단면 산정

2.1 궤도지지말뚝 적용 사례 분석

2.1.1 유럽

유럽에서는 1990년대 중반 이후부터 최근까지 연약지반 구간에 궤도지지말뚝 구조가 연약지반 침하 저감을 목적으로 적용되어 오고 있다. 독일의 뉘른베르크-잉골슈타트간 고속철도, 암스테르담-브뤼셀간 고속철도, 이탈리아의 밀라노-토리노간 고속철도, 영국-프랑스 해저터널 연결구간 등의 연약지반 구간에 궤도지지말뚝 구조가 적용되었으며, 각 고속철도별로 적용된 궤도지지말뚝 단면은 Fig. 1과 같다. 유럽에서 적용된 궤도지지말뚝 구조는 파일-플랫폼 직결방식이 주로 적용되었으며, 횡방향 말뚝 간격은 2.5m ~ 6m, 플랫폼 종방향 최대 길이는 60m, 말뚝은 주로 천공 관입 방식으로 시공되었다[1].

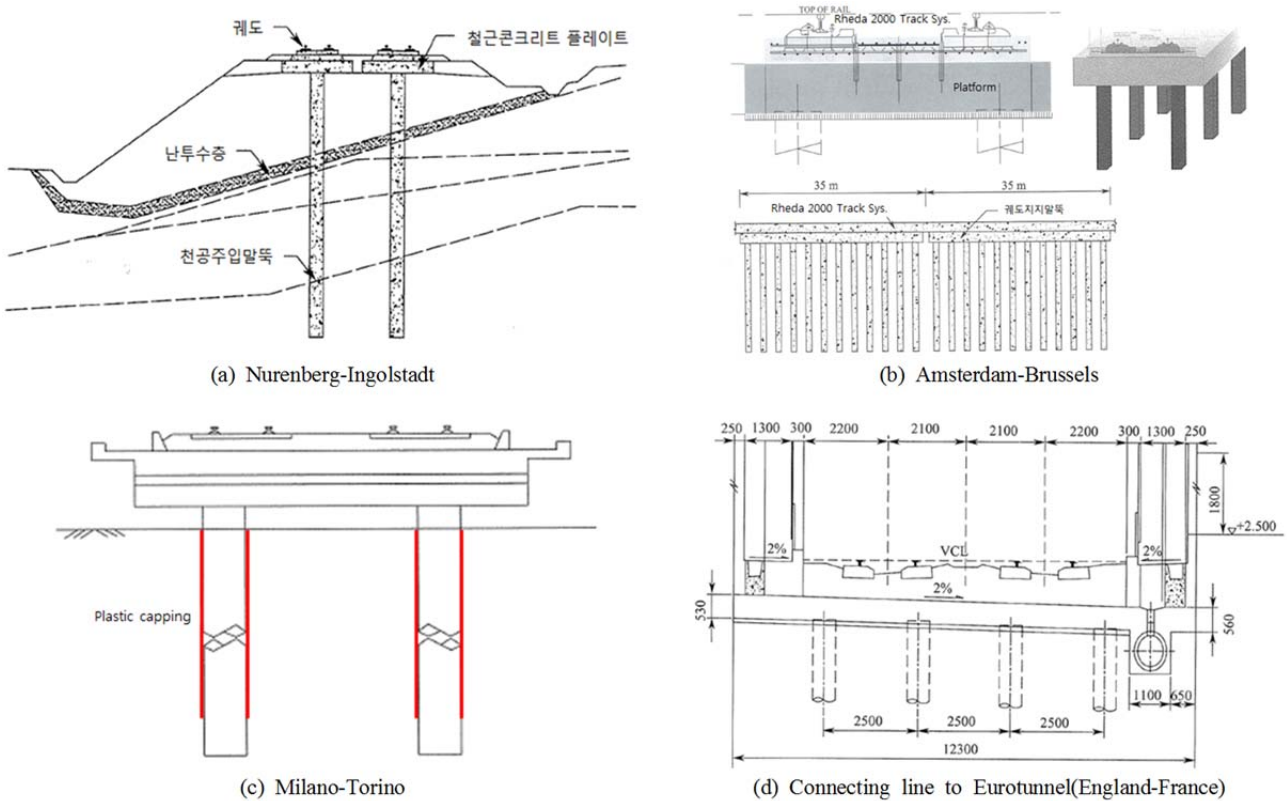


Fig. 1 Field applications of concrete deck on pile system in Europe

2.1.2 중국

중국에서는 고속철도 도입에 따른 고속선로 및 기타 일반노선 시공과정에서 연약지반 침하 저감 또는 억제에 위한 한 가지 방법으로써 궤도지지말뚝 구조를 적용하였다. 적용사례로는 수우위(suiyu) 시험선 철도, 정서(zhengxi) 고속철도, 무광(wuguang) 고속철도, 루항(luhang) 고속철도 등이 있으며, 각 선로별로 적용된 궤도지지말뚝 단면은 Fig. 2와 같다[1].

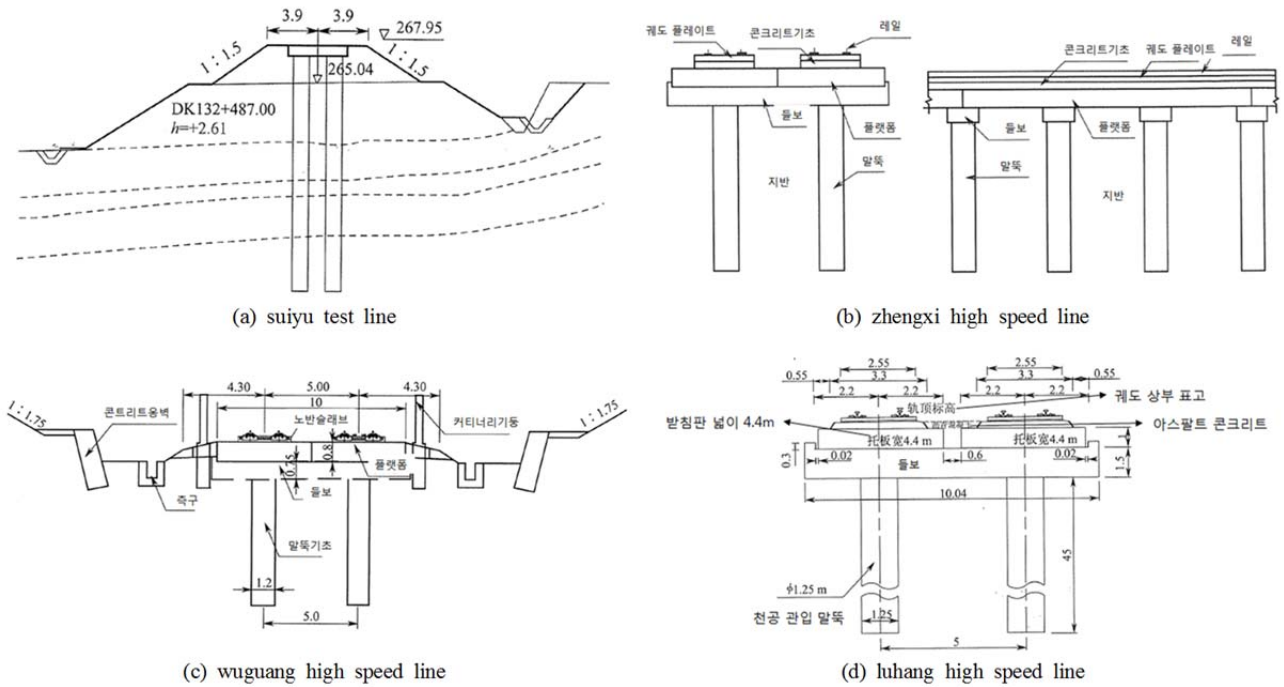


Fig. 2 Field applications of concrete deck on pile system in china

중국에서 적용된 궤도지지말뚝의 특징은 수우위 시험선을 제외하고는 유럽과 달리 플랫폼과 말뚝이 결합되는 부위에 들보 또는 가로보가 추가되었다는 점이다. 즉, 말뚝-가로보-플랫폼-궤도가 연결된 구조라 할 수 있다. 그리고 고속철도 구간의 경우 말뚝 직경은 1 ~ 1.25m, 횡방향 말뚝 간격은 5m, 말뚝 종방향 간격은 7m ~ 10m로 최적화 되어있다. 플랫폼의 폭은 0.6m ~ 1.0m 수준이며, 플랫폼의 종방향 길이는 21m ~ 30m이다. 말뚝은 천공관입으로 시공되었다.

2.2 궤도지지말뚝 단면 선정

2.2.1 궤도지지말뚝 일반 사항

궤도지지말뚝은 지반 침하 억제가 필요한 두터운 연약지반, 교량-토공-터널 접속부 등의 지반 처리에 적용될 수 있는 구조 시스템으로, 구조체 조합 방식 및 설치되는 노반 위치 등에 따라 비매립식, 얇은 매립식 또는 깊은 매립식으로 분류될 수 있다. 고속철도 선로에서는 비매립식 또는 얇은 매립식 궤도지지말뚝 구조가 다수 적용되고 있다.

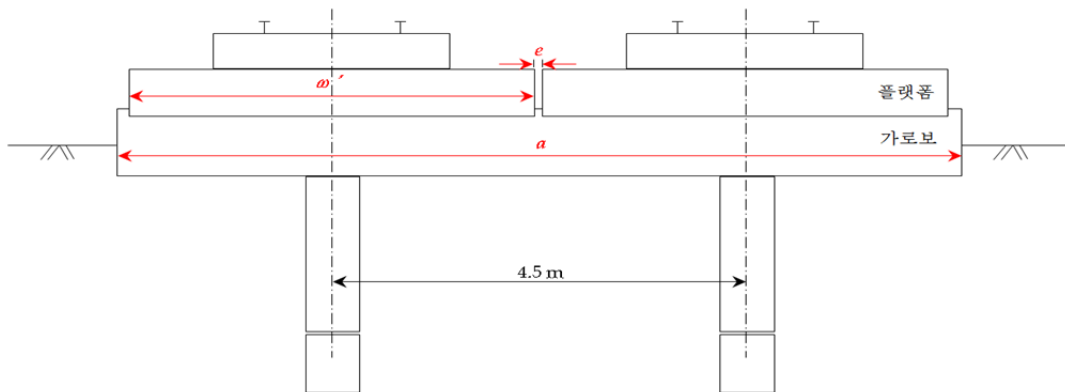
궤도지지말뚝 구조의 장점은 다음과 같다.

- (1) 안정성이 우수하고, 유지보수를 위한 작업량을 줄일 수 있다.
- (2) 설계가 상대적으로 간단하고, 시공이 편리하다
- (3) 교량구조와 비교할 경우, 교량받침이 불필요하며 온도에 따른 콘크리트 수축 응력이 비교적 적어 플랫폼과 플랫폼 사이의 신축이음만으로 신축제어가 가능하다.

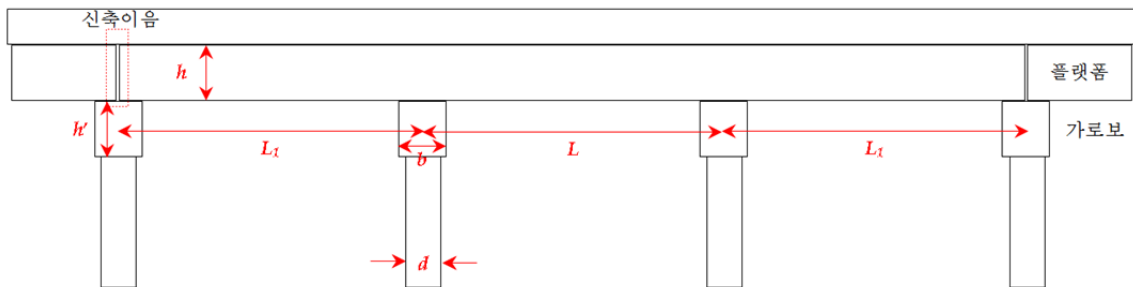
2.2.2 국내 적용 가능한 궤도지지말뚝 단면 검토

궤도지지말뚝 구조의 국내 적용을 위한 종 및 횡단면 산정 시 기본 전제조건은 다음과 같다. 적용선로는 고속철도(최고속도 350km/h급) 선로이며, 노선배치는 양선식(double line), 파일-가로보-플랫폼 연결방식, 파일 지지방식은 선단지지 방식이며, 파일 시공법은 천공관입 방식이다. 또한 연약지반 깊이는 13.5m로 가정하여 말뚝 길이는 15m, 원지반 최상단 위치는 가로보 이하로 설정(비매립식 궤도지지말뚝 구조)하였다.

고속철도 운행에 따른 처짐 제어, 온도 및 차량의 시제동에 따른 종/횡방향 변위 등을 감안하여 한 개의 플랫폼은 3경간이 되도록 파일을 배치하는 것으로 하고 플랫폼 간에는 신축이음을 두는 것으로 하였다. 횡방향 단면에서 파일 횡방향 간격은 철도의 건설기준에 관한 규정 제14조를 적용하여 4.5m로 설정하였다. 좌측 또는 우측 선로 중 단선 운행 시 횡방향 비틀림의 최소화를 위해 플랫폼의 분리를 목적으로 좌우 플랫폼 간 유격을 0.1m로 설정하였다. 횡방향 및 종방향에 대한 일반도는 Fig. 3과 같다.



(a) Cross section



(b) Longitudinal section

Fig. 3 General cross and longitudinal section of concrete deck on pile system being able to apply to a domestic soft soil

Fig. 3에서 궤도지지말뚝 구조의 주요 단면 치수는 Table 1과 같다. 플랫폼 중앙경간 길이(L)은 처짐 제어를 고려하여야 하며, 중국 고속철도의 경우 8m, 10m, 12m, 12m, 15m를 권장하고 있으나 효과적인 처짐 제어를 위해 10m로 설정하였다. 측경간 길이(L₁)은 중국의 경우 L₁/L=0.8이 권장되고 있으므로 본 논문에서 8m로 설정하였으나, 설계 및 시공의 편의성을 고려하여 10m일 경우에 대해서도 검토가 필요할 것으로 판단된다. 말뚝 직경의 경우 플랫폼의 높이, 가로보의 크기에 따라 두 가지의 경우로 나누어 Table 1과 같이 단면을 산정하였다.

Table 1 Main dimension of concrete deck on pile system in Fig. 3

Dimension items		Case 1	Case 2	Remarks
Platform	ω' , m	4.65	4.65	
	h, m	0.8	1.0	
	L ₁ -L-L ₁	8-10-8 / 10-10-10	8-10-8 / 10-10-10	
Cross beam	a, m	10	10	
	b, m	1.3	1.4	
	h', m	1.2	1.3	
Pile	d, m	1.0	1.2	
	Length, m	15.0	15.0	
Longitudinal expansion joint, m		0.02	0.02	

3. 결론

본 논문에서는 연약지반 침하 저감 또는 억제를 위한 방안으로 적용될 수 있는 궤도지지말뚝 구조에 대해 유럽 및 중국의 적용 사례를 분석하고, 중국 루항 고속철도 사례를 바탕으로 국내의 일반적인 연약지반 조건에서 적용될 수 있는 궤도지지말뚝 단면을 검토하였다. 검토 및 산정된 궤도지지말뚝 단면에 대해서 향후 상세 해석 및 단면 구조검토를 수행하여 최적화할 계획이며, 연약지반 상에 교량 공법 적용 대비 궤도지지말뚝 구조 적용에 대한 공사비 비교도 추가로 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술개발사업 “연약지반 구간 교량대체를 위한 침하억제공법 개발” 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Wángfēng et al. (2012) *The theory and practice of concrete deck on pile system in a high speed ballastless track*, China Railway Publishing House, Beijing, China, 1-200 pp