

프리캐스트 모듈 박스구조 연결부 성능검증 실험 재하실험 분석

Full-scale Loading Test for Connection Joint of Precast Module Box Structure

이종순*[†], 이준경*, 이성형*, 노형민*, 김희성*, 신정열**

J.S. Lee*[†], J.K. Lee*, S.H. Lee*, H.M. Roh*, H.S. Kim*, J.R. Shin**

Abstract The excavating ground with installation of temporary structures and lining is general construction method for installation of an near-surface underground box-structure in the downtown road. As this general method has shortcomings such as lining installation process and long construction period, the research for rapid construction by constructing an underground box-structure applied with precast module structure with Top-down method is in progress. The performance verification experiment was performed using a full-scale loading test for the connection between wall and upper slab and between wall panels of precast module structure. As the result, it is verified that it was not occurred the crack of connection between walls and that it could resist against the load over the performance requirement in the connection between wall and upper slab.

Keywords : Underground box structure, Precast module structure, Connection, Full-scale loading test

초 록 도심지 도로에서 지하 심도가 깊지 않은 지하 박스구조물을 설치하기 위해서는 가시설과 복공을 설치 후 지반을 굴착하는 방법이 일반적이다. 이 방법은 복공설치 공정과 긴 공사기간 등의 단점이 있으므로 개착식 프리캐스트 모듈구조를 활용한 지하박스구조물을 Top-down 방식으로 시공함으로써 공기단축 및 도심지 도로 복토를 신속히 수행하여 도로 차량의 영향을 최소화하기 위한 연구를 진행 중에 있다.

개착식 프리캐스트 모듈구조 중 벽체 패널간 연결부, 벽체와 상부슬래브와 연결부에 대하여 실험재하실험을 통하여 성능검증 실험을 수행하였다. 실험결과 벽체간 연결부에서는 균열이 발생하지 않음을 확인하였고, 벽체와 상부슬래브 연결부에서는 소요성능 이상의 하중저항이 가능함을 확인하였다.

주요어 : 지하박스 구조물, 프리캐스트 모듈 구조, 연결부, 실험재하실험

1. 서 론

도시철도 계획에 있어 심도 20~30m의 기존 지하철이나 지상고가 방식의 경전철의 경제성, 소음 등의 단점을 줄이고자 저심도 철도에 대한 연구가 진행중이다[1]. 특히 저심도의 개착식 지하박스 구조물 시공에 있어, 프리캐스트 형식의 모듈식 구조체를 활용하여 지하구조의 가시설을 대체하여 경제성과 시공성 확보를 하고자 한다. 모듈식 구조를 적용하기 위해서는 모듈 연결부에 대한 성능검증을 기존연구[2,3]에서 다양한 형태의 연결 형식을 검증하였고,

† 교신저자: 현대건설 연구개발본부 인프라연구개발실(jslee726@hdec.co.kr)

* 현대건설 연구개발본부 인프라연구개발실

** 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부

본 연구에서는 기존 요소 실험을 통해 검증된 연결 형식을 반영하여 실제 크기의 저심도 도시철도 본선 구조체를 제작하여 이에 대한 실물재하실험을 수행하여 전체적인 프리캐스트 모듈식 박스 구조물의 연결부에 대한 성능검증을 수행하였다.

2. 개착식 프리캐스트 모듈 박스구조 연결부

급속 시공이 가능한 프리캐스트 모듈식 지하박스 구조는 프리캐스트 벽체와 벽체(Wall-to-Wall) 연결, 벽체와 슬래브 연결(Wall-to-Slab)이 존재한다.

2.1 벽체-벽체 연결

벽체-벽체 연결부에 대하여 기존 연구[2]에서 성능 검증되었던 연결 방법 중 Fig. 1 (a), (b) 과 같이 최적 성능을 발휘하는 철근망과 지수재를 활용하는 연결 형태를 취하였다. 이는 철근망을 삽입하여 구조적인 보강과 지수재를 삽입하여 차수효과를 동시에 고려하는 안으로 기존 연구에서 목표성능을 확보하는 구조이다.

2.2 벽체-상부 슬래브 연결

벽체와 상부 슬래브 연결에 있어서 Fig. 1 (c)와 같이 철근의 강결 연결 형태로 연결 성능이 가장 우수한 커플러 연결 형태[3]를 본 실험에 채택하였다. 벽체와 상부 슬래브를 강결구조로 연결시킴으로서 박스 구조 전체가 하나의 일체 거동을 하도록 하는 구조이다.



(a) Wall-to-Wall Connection Shape

(b) Wire Mesh + Water-proof

(c) Wall-to-Slab Connection (Coupler)

Fig. 1 Connection Joint of Precast Module Box Structure

Table 1 Types of Connection/Joint

Connection	Wall-to-Wall		Wall-to-Slab		Thickness (mm)
	Material	Shape	Upper Slab (RC)	Lower Slab (PC)	
Wall : Precast Slab : Half-precast	Wire Mesh (D13) + Water-proof	Shear-key	Coupler (D29)	Coupler (D29)	500

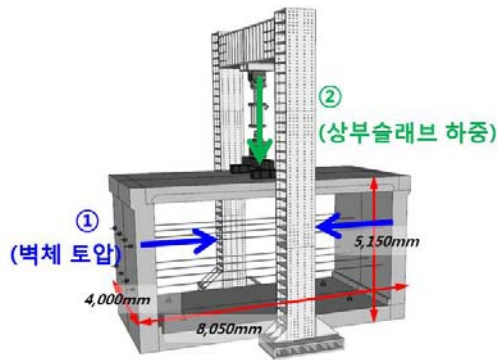
3. 실물재하실험 결과

3.1 실물실험 개요

앞서 설명한 연결부 형태를 갖는 복선의 도시철도 본선 구조체를 실물 크기(8m×5m×4m)로 제작하였고, 상부 슬래브에 가해지는 하중뿐만 아니라 벽체에 가해지는 토압 또한 모사하여 Fig. 2와 같이 실내 재하실험을 수행하였다.

우선 벽체에 가해지는 토압을 모사하기 위하여 8개의 강봉을 긴장하였고, 상부 슬래브에 작용하는 하중은 3,500kN인 액츄에이터 2대로 하중을 가력하였다. 하중 재하 순서는 강봉을 1차 긴장 후에 슬래브를 1차 하중가력(하중제어)하고, 이어서 2차 강봉 긴장, 2차 슬래브 하중가력(변위제어) 순으로 진행하였다

하중 재하에 따른 구조물의 거동을 확인하고자 Fig. 3과 같이 벽체와 슬래브 주철근에 변형률계를 설치하였고, 벽체와 하부 슬래브에 변위계를 설치하였다. 또한 주요 연결부에 균열계를 설치하여 하중에 따른 균열 크기도 측정하였다.



(a) Schematic of Loading Test



(b) Full-scale of box structure

Fig. 2 Full-scale loading test of box structure



(a) Strain gauge (Steel) (b) Displacement gauge (c) Crack gauge (d) Strain gauge (Steel rods)

Fig. 3 Types of sensor

3.2 실물실험 결과

3.2.1 구조거동

Fig. 4(a)는 중앙부 수직 변위, Fig. 4(b)는 상부 수평 변위, Fig. 4(c)는 슬래브 횡방향 철근

변형률을 도식화하였다. 분석결과 2,000kN 인근에서 하중 변화없이 철근 변형률계의 급격한 기울기 변화가 관찰되어 철근 항복이 발생한 것으로 판단된다. 이 때의 중앙부 수직 변위는 40mm 정도 발생하였고, 구조 성능실험은 해석 파괴하중 및 항복하중(1,500kN)을 초과한 2,300kN 정도에서 실험을 종료하였다.

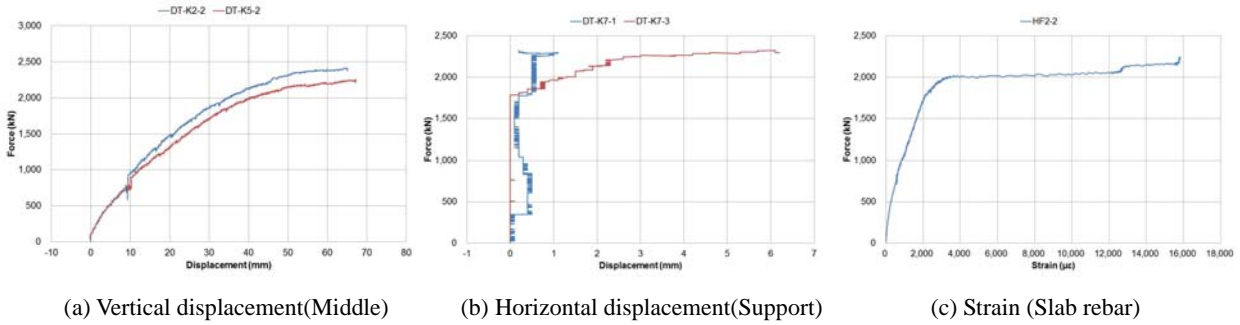


Fig. 4 Yielding of Rebar

3.2.2 벽체-슬래브 연결, 벽체-벽체 연결 변형

슬래브 연결부는 약 260kN 부근에서 콘크리트 변형률의 급격한 기울기 변화가 관찰되어 초기 슬래브 균열이 발생된 것으로 판단되고, 약 600kN 에서 다수의 휨균열이 확인되었다. 벽체와 슬래브 연결부의 철근과 콘크리트 변형률은 Fig. 5와 같으며, 철근과 콘크리트 변형률로부터 2,000kN 이상 저항이 가능함을 확인할 수 있다.

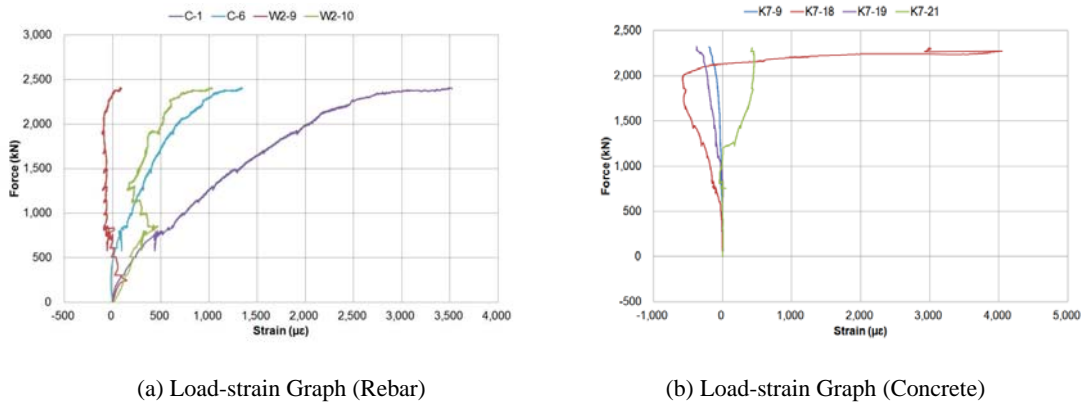


Fig. 5 Deformation of Connection

3.2.3 연결부 균열

전체시험체의 연결부 균열 게이지 부착위치와 실험결과는 Fig. 6에 도식화하였고, 약 2,090kN 인근에서 하중의 변화없이 균열폭의 급격한 증가가 관찰되어 시험체 항복이 발생된 것으로 판단된다. 또한 항복하중 시 벽체와 슬래브간의 최대 균열폭은 1.11mm로 조사되었다.

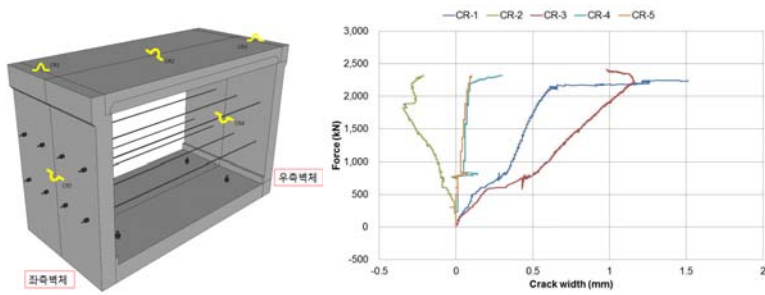


Fig. 6 Result of Crack in Connection

Table 2 Crack of Connection/Joint

Gauge #	Crack (mm)
1	0.58
2	-0.28
3	1.11
4	0.09
5	0.07

4. 결론

개착식 지하박스 구조물을 실제 크기의 프리캐스트 형식으로 모듈 제작하여 벽체에 작용하는 토압과 상부 슬래브에 작용하는 하중을 모사하여 실물재하실험을 수행하였다.

기존 요소실험 연구를 통해 검증된 벽체-벽체간 연결부와 벽체-슬래브 연결부를 활용한 결과, 전체시험체 하중저항 능력은 계수하중(1,500kN)을 30% 이상 확보하는 2,000kN에서 구조물의 파괴가 진행되었고, 연결부에 대한 균열 성능 및 벽체~슬래브 휨저항 성능을 확보하고 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 "저비용 저심도 인프라 핵심기술 개발" 연구비 지원(15RTRP-B068762-03)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] J.R. Shin, A.H. Lee, C.S. Lim, J.S. Lee, et al. (2014) The Concept of Open-cut Modular Construction Method for Near-surface Transit, *2014 Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 89 (KSR2014A042).
- [2] J.S. Lee, S.H. Lee, J.K. Lee, H.M. Roh, et al. (2015) Shear Resistance Experiment of Wall-to-Wall Connection of Precast Modular Structure, *2015 Conference of the Korean Society of Civil Engineers*, pp. 101-102.
- [3] J.S. Lee, J.K. Lee, S.H. Lee, H.M. Roh, et al. (2015) Performance Test of Corner Rigid Joint for Precast Modular Structure using Coupler and Loop Connection, *2015 Autumn Conference of the Korean Society for Railway* (KAR2015A203)