

프리캐스트 PC 세그멘탈 교량 접합부에 대한 실험 연구

An Experimental Study on the Joints in Precast PC Segmental Bridges

오 병 환* 유 승 운** 김 종 한** 이 형 준*** 장 석 훈***

Oh, Byung Hwan Yoo, Seung Woon Kim, Jong Han Lee, Hyung Jun Jang Suk Hoon

요 약

본 연구에서는 프리캐스트 PC 세그멘탈 교량 접합부의 전단거동을 파악하기 위하여 전단키 접합부의 전단거동과 전단강도 특성을 실험적으로 연구하였다. 본연구를 통하여 접합부 형상에 따른 하중-변위 관계, 균열거동, 파괴모드, 전단강도등을 규명하고, 접합부의 역학적 거동에 영향을 미치는 여러인자들에 대해 분석한다. 또한 이로부터 최적의 접합부 형상을 도출하고, 이에 따른 최적의 접합방식을 검토함으로써 접합부 설계의 지침과 해석의 근거를 제시한다.

ABSTRACT

In this study, shear behavior and strength of shear key joints in precast concrete segmental bridges are experimentally examined to know their characteristics. According to the various shapes and types of shear key, load-displacement relations, cracking behavior, strength, fracture modes are studied, and several parameters which influence the mechanical behavior of the shear key joint are analyzed. From these test results, the optimum shape of shear key is proposed and the optimum type of jointing is reviewed to use as the guideline of design and analysis of a shear key joint.

1. 서론

프리캐스트 PC세그멘탈 교량에 있어 교량의 상부 구조를 구성하는 세그먼트에는 전단응력과 압축응력을 효과적으로 전달하기 위하여 세그먼트의 상부 플랜지, 하부 플랜지, 복부에 전단키를 설치한다. 전단키는 주로 사다리꼴 전단키가 사용되며, 접합부의 저항능력 증가와 수분 침투방지를 목적으로 에폭시를 도포하기도 한다. 이러한 전단키의 역학적 거동, 하중 저항능력, 그리고 에폭시 영향은 접합부의

하중저항능력과 거동에 중요한 요인이 되며, 이러한 접합부 거동의 특성은 구조물 전체의 일체성과 구조적 기능에 중요한 영향을 미치는 요인이 된다.²⁾⁶⁾

본 연구에서는 프리캐스트 콘크리트 세그멘탈 교량 접합부의 전단거동 및 전단강도특성을 파악하기 위하여 전단키 접합부에 대하여 전단키의 경사각, 돌출비, 에폭시 유무, 구속압력을 실험변수로 하중-변위 관계, 균열거동을 실험적으로 규명한다. 이로부터 최적의 접합부 형상 및 접합방식을 도출하고, 다중 전단키에 대한 실험을 병행하여 접합부 설계의 지침과 해석의 근거를 제시한다.

* 서울대학교 토목공학과 교수

** 삼성건설 기술연구소 연구원

*** 서울대학교 대학원 토목공학과

2. 프리캐스트 세그멘탈 교량 접합부의 형상에 따른 역학적 거동 실험

2.1 실험 계획 및 실험 변수

전단키 접합부에 대하여 경사각, 돌출비, 에폭시 유무, 구속응력, 배합강도를 실험변수로 하여 실험하였다. 이 실험에서 고려된 실험계획 및 실험변수가 표 1에 나타나 있다.

표 1 전단 접합부의 실험변수

실험 변수	경사각	돌출비	에폭시	구속응력 (kg/cm ²)	압축강도 (kg/cm ²)	시편수			
전단키 접합부	45°	2/12	도포	10	450	2			
		4/12				2			
		2/12				2			
		4/12				2			
	60°	6/12				2			
		8/12				2			
		2/12				2			
		4/12				2			
	75°	6/12				미도포	50	520	2
		8/12							2
		4/12							2
		6/12							2
평면 접합부						4			
일체타설 접합부						2			

2.2 실험의 수행 및 측정

접합부에 작용하는 프리스트레스트 힘을 나타내는 횡방향 압축력을 가하기 위하여 횡방향 구속장치(confining grid)를 사용하였다. 구속장치를 시편의 중앙에 설치하고 시편과 구속장치 사이에 유압 실린더를 가압하여 횡방향 압축력을 가했으며, 이때 정확한 횡압은 횡방향 구속장치와 시편사이에 설치된 용량 50 ton의 로드 셀(load cell)을 이용하여 측정하였다.

실험시편에 대한 전단실험은 자동제어 실험기기(MTS)를 사용하며, 하중은 변위 제어방식(stroke control type)으로 재하하였고, 시험기에서 나온 데이터(data)를 이용하여 하중 - 변위 관계곡선을 얻었다. 또한 수직 및 수평변위 측정을 위하여 2개의 LVDT를 설치하여 각 하중단계마다 변위를 측정하였다.

전단키에 발생하는 각 방향의 응력을 측정하기 위하여 스트레인 게이지를 부착

하며 각 하중단계에 따른 콘크리트의 변형도를 측정하였다.

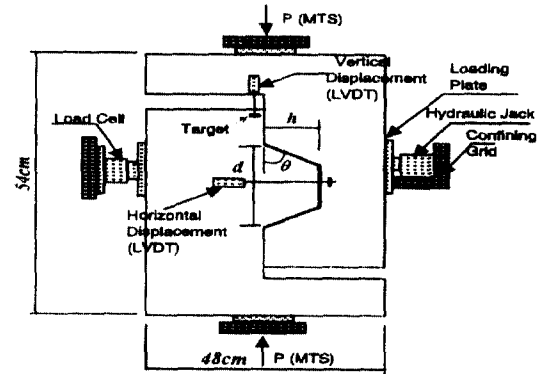


그림 1 실험 장치도

각 하중단계마다 수직변위, 수평변위, 상대수직변위, 각 변형도 및 구속응력의 변화는 데이터 로거(TDS-302)를 이용하여 자동적으로 기록하게 하였다. 본 연구에서 실시한 실험장치도는 그림 1에 도시하였다.

2.3 실험결과 및 분석

본 실험결과 분석에 있어서, 최대전단강도는 횡방향 구속응력의 증가를 40%로 제한하였으며, 이것은 실제 PC 교량 구조에서 프리스트레싱에 의한 구속응력 증가의 최대를 나타낸다고 생각된다.

그림 2는 전단키의 경사각 45° 이고 돌출비가 4/12인 에폭시 접합부의 전단강도는 구속응력이 10kg/cm² 일때 일체타설 접합부 전단강도의 76%, 구속응력이 50kg/cm² 일때 일체타설 접합부 전단강도의 95%를 나타내고 있다. 그림 3에서 구속응력이 50kg/cm² 일때 경사각이 60° 이고 돌출비가 6/12인 접합부의 전단강도는 건식 접합부 및 에폭시 접합부 모두 일체타설 접합부 전단강도의 92% 이상을 나타내고 있다. 구속응력이 작으면 건식 접합부의 전단강도는 에폭시 접합부 전단강도에 비해 다소 적게 나타났고, 구속응력이 크면 건식 접합부와 에폭시 접합부의 강도차이는 매우 작음을 알 수 있다. 그림 4는 경사각이 75° 인 경우의 돌출비에 따

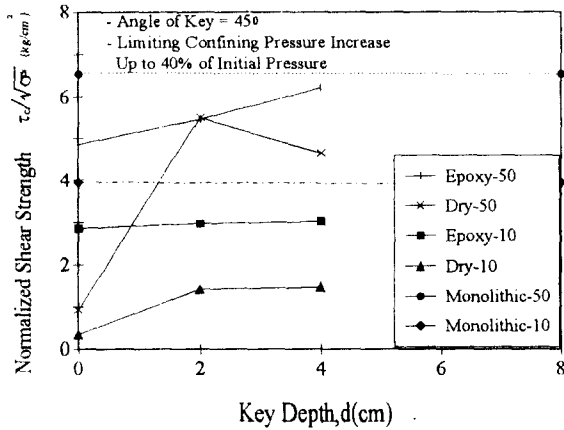


그림 2 경사각 45° 일때 돌출비에 따른 전단 강도 변화

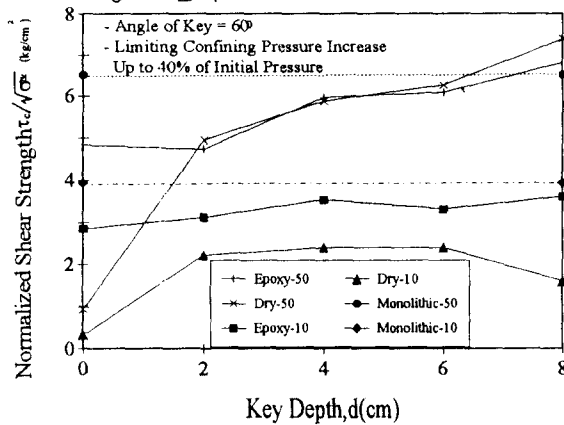


그림 3 경사각 60° 일때 돌출비에 따른 전단강도 변화

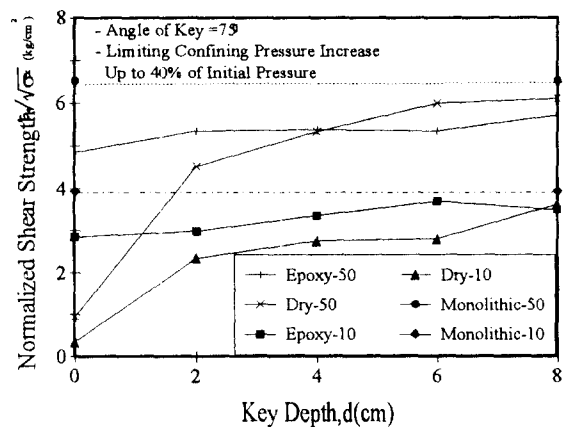


그림 4 경사각 75° 일때 돌출비에 따른 전단 강도의 변화

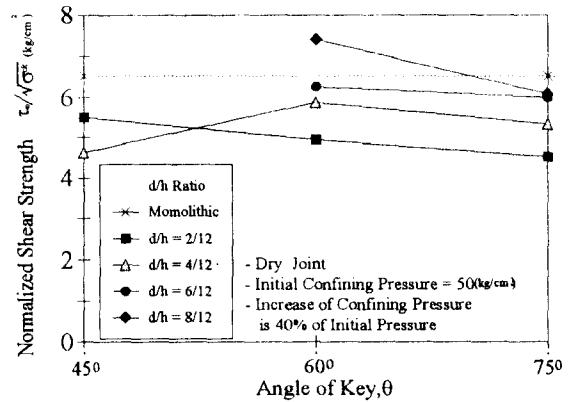


그림 5 건식 접합부의 경사각과 돌출비에 따른 전단강도 변화

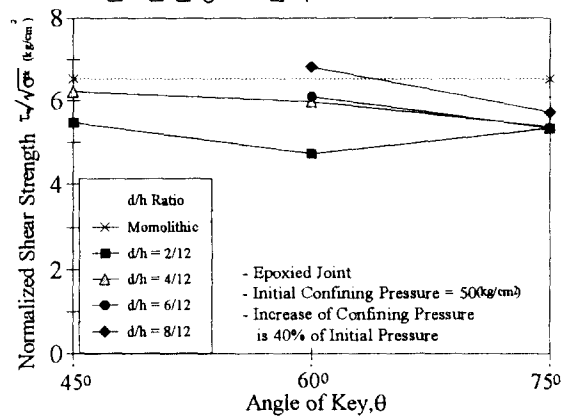


그림 6 에폭시 접합부의 경사각과 돌출비에 따른 전단강도의 변화

른 정규전단강도를 나타낸 것이다. 그림 5 는 초기 횡방향 구속응력이 50kg/cm²이고 건식 접합부에서 경사각에 따른 정규전단 강도, 그림 6은 초기 횡방향 구속응력이 50kg/cm² 이고 에폭시 접합부에서 경사각 에 따른 정규전단강도를 나타내고 있다. 그림 5 및 그림 6에서 알 수 있듯이 전단키 의 경사각이 60° 일때 가장 큰 전단강도를 보이고 있다.

3. 다중전단키 접합부의 역학적 거동 실험

3.1 실험계획 및 실험 변수

전장에서 돌출비(d/h ratio)와 경사각 (θ)을 실험변수로 한 실험을 통하여 단일

전단키의 최적 형상을 도출하였으나, 이러한 결과를 다중 전단키로 설계 및 시공되는 교량접합부의 전단거동 및 강도특성의 파악에 사용하기 위해서는 접합부의 총 높이(H)에 대한 전단키 저면부의 길이(h) 및 전단키 갯수를 변수로 한 실험이 병행되어야 한다.

본 연구에서는 건식 접합부와 에폭시 접합부에 대하여 전단키의 총 배치높이(H)를 30cm로 고정하고, 이 접합면에 전단키 배치수를 2, 3, 4개로 변화시켜 이에 따른 전단거동 및 강도를 규명하고자 하였다. 이 변수들에 대한 자세한 내용은 표 2와 같다. AASHTO 규정에서는 하나의 전단키의 최소 길이를 1.25 in 이상 또는 최대 골재치수의 2배 이상으로 할 것을 추천하고 있다.¹⁾ 본 연구에서는 이들 사항을 고려하여 30cm의 접합면에 전단키를 2, 3, 4개로 변화시켜 최적의 전단키의 배치를 결정하기 위한 실험을 수행하였다.

표 2 다중 전단키 접합부 실험변수

실험 변수 접합부 형식	전단키의 배치수	에폭시의 도포 유무	횡방향 구속응력 (kg/cm ²)	압축강도 (kg/cm ²)
다중 전단키 접합부	2개	도포	10	520
		미도포	10	520
	3개	도포	10	520
		미도포	10	520
	4개	도포	10	520
		미도포	10	520

이 때 전단키의 갯수가 1개일 때는 전장에서 수행된 실험결과를 이용하였기 때문에 접합부 총 높이에 대한 전단키 저면의 길이 비(h/H ratio)라는 개념을 도입하였다. 이때 h는 하나의 전단키 저면부의 길이, H는 전단키가 설치된 접합면의 총 높이를 나타낸다.

3.2 실험의 수행

자동제어시험기(MTS)를 이용하여 변위 제어방식으로 0.3mm/min의 일정한 속도로 정적하중을 재하하여 시험을 수행하였다. 또한, 프리스트레스 힘을 모사하기 위한 구속압력은 구속장치(confining grid)에 유압

액으로 힘을 가하여, 로드 셀로 측정하였다. 이때에 가한 구속압력은 10kg/cm²으로 하였다.

실험 수행시 다중전단키의 총 수직 변위는 자동제어 시험기로 부터 자동적으로 측정하였고, 전단키의 상대수직변위와 수평 변위는 접합부에 자동변위측정장치(LVDT)를 설치하여 각 하중단계마다 측정하였다. 이때, 하중의 재하에 따른 수평 및 수직 상대 변위, 구속 압력의 변화는 데이터 로거(TDS-302)를 사용하여 측정하였다.

3.3 실험의 결과 및 분석

그림 7은 구속응력의 증가를 40%로 제한하였을 때 전단키의 갯수에 따른 전단강도를 나타낸 것으로 건식 접합부인 경우에는 전단키 갯수의 변화에 따른 전단강도의 변화가 미미한 것으로 나타났으나, 에폭시 접합부인 경우에는 전단키의 갯수가 1개에서 2개로 변할 때는 전단강도의 변화가 거의 없고 3개 이상에서 상당히 큰 전단강도를 나타내고 있다.

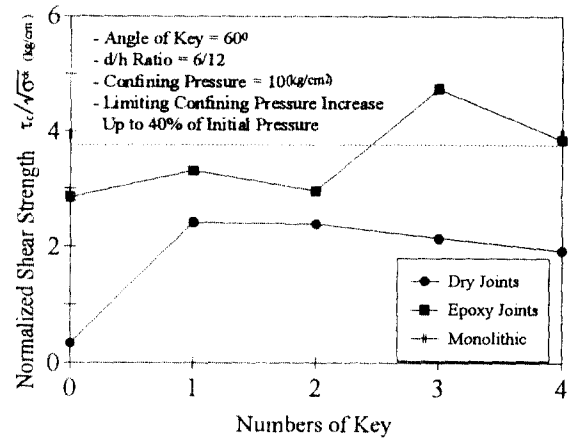


그림 7 전단키 수에 따른 전단강도의 변화

그림 8은 h/H 비에 따른 전단강도를 도시한 것으로 h/H비가 0.23일 때가 에폭시 접합부인 경우에 가장 큰 강도를 나타내고 있으며, 전단강도는 일체로 타설한 경우보다 크게 나타났다.

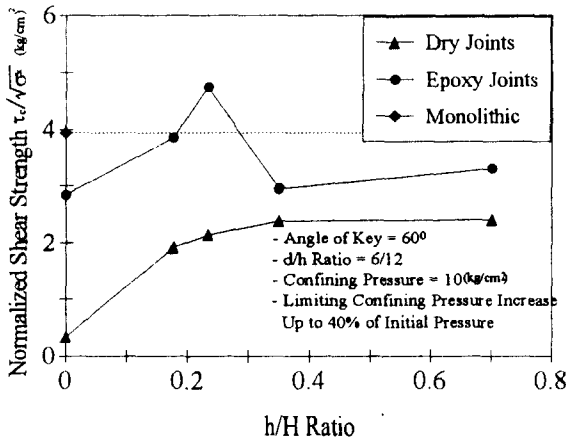


그림 8 h/H 비에 따른 전단강도의 변화

4. 결론

이상과 같은 여러 실험변수에 대한 접합부 전단거동 및 전단강도 특성 실험을 수행하여 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 전단키의 형상에서 전단강도 및 전단거동에는 전단키의 경사각보다는 돌출비(d/h ratio)가 더 큰 영향을 미친다.
- 2) 구속응력이 작은 경우(10kg/cm²)에는 에폭시 접합부가 건식 접합부에 비해 전단강도가 크나 구속응력이 커질수록(50kg/cm²) 강도 차이가 작아진다.
- 3) 전단키 접합부의 에폭시 도포 유무보다는 구속응력의 크기가 전단강도에 더 큰 영향을 미친다.
- 4) 구속응력이 50kg/cm²일때 경사각이 60° 이고 돌출비가 6/12인 접합부의 전단강도는 건식 접합부 및 에폭시 접합부 모두 일체타설 접합부 전단강도의 92% 이상을 나타내고, 구속응력이 작은(10kg/cm²) 건식 접합부의 경우에는 다소 작은 전단강도를 보여준다.
- 5) 건식 접합부에서 경사각이 작은 경우(45°)에는 큰 횡방향 변위가 발생한다.
- 6) 전단키의 돌출비가 증가하면 전단강도가 증가하는 경향을 보이며, 전단강도의 증가폭은 돌출비 6/12 ~ 8/12에서 둔화되는 경향을 나타낸다. 또한, 돌출비가 클수록 제작, 운반 및 가설시 파손 가능성을 배제하기 어려

움으로 돌출비 6/12 이 가장 효율적인 것으로 사료된다.

- 7) 전단키의 극한 전단강도는 전단키의 경사각이 증가하면 감소하는 경향을 보이나, 횡방향 구속응력의 증가폭을 40%로 제한하면 경사각이 60° 인 경우에 가장 큰 전단강도를 보였다.
- 8) 건식 접합부나 에폭시 접합부의 전단키 초기 균열은 전단키의 모서리에서 발생하며, 파괴시 경사각이 작은 경우는 구속압력의 증가에 따라 연성파괴의 형태를 보이나 경사각이 큰 경우는 전단키가 절단되는 취성파괴 경향을 나타낸다.
- 9) 다중 전단키의 실험에 의하면 건식 접합부의 경우에는 전단키의 수에 관계없이 거의 일정한 전단강도를 보였으나, 에폭시 접합부 경우에는 접합부 총높이(H=30cm)에 대한 전단키의 높이(h)의 비(h/H)가 0.23 근처일 때 가장 큰 전단강도를 보였다.

참고문헌

1. AASHTO[1989], Guide Specification for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges, American Association of State Highways and Transportation Officials.
2. Buyukozturk, O, Bakoum, M.M.[1990], "Shear Behavior of Joints in Precast Concrete Segmental Bridges", Journal of Structural Engineering, Vol. 116, No.12, December, pp 3380-3401.
3. Hugenschmidt, F. [1974], "Epoxy Adhesives in Precast Prestressed Concrete Construction," PCI Journal, Vol.19, pp.112-124.
4. Jones, L.L. [1959], "Shear Tests on Joints Between Precast Post-Tensioned Units," Magazine of Concrete Research, 11(31)
5. Kashima, S., and Breen, J.E. [1974], "Epoxy Resins for Jointing Segmentally Constructed Prestressed Concrete Bridges," Research Report 121-2, Center for Highway Research, The University of Texas at Austin, August.
6. Koseki, K., and Breen, J.E. [1983], "Exploratory Study of Shear Strength of Joints for Precast Segmental Bridges," Research Report No.248-1, Center for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, The University of Texas at Austin.