

정(井)자형 더블보-기둥 접합부의 전단강도에 대한 4변 구속의 영향

Effects of Four Sides Constraint for Shear Strength of # Shape Double Beam-Column Connections

김량운* 정창용** 이수권*** 김상식**** 최광호***** 이정윤*****

Kim, Lyang Woon Chung, Chang-Yong Lee, Soo Kueon

Kim, Sang Sik Choi, Kwang Ho Lee, Jung Yoon

ABSTRACT

DBS method of underground works can reduce the term of works for manufacturing the underground members in factory and producing members in modularization, apart from that, the horizontal member could be used as permanent members, which are the advantages of this method. As the component element of DBS method, in order to transfer the vertical load on horizontal member to the column during the construction or in service, developed # shaped double beam-column connection is dominated by shear failure in the complicated state of multi-axial stresses.

In this study, in order to check the shear-failure mechanism of # shaped connection of double beam-column and an increase of shear internal force with the thickness of the steel plate. 7 specimens were made and one-way static tests. All of the specimens were subjected to brittle failure. Constraint of slab will increase its shear strength by 1.06~1.48 times. Shear strength of slabs with different constraints steel plate in two-way increase more than which are same. So the slab with different constraints steel plate will be more effective.

요약

건설공사에서 지하공사의 DBS(Double Beam as Struts)공법은 지하 수평부재의 공장제작 및 모듈화 된 부재 생산을 통해 공기를 단축할 수 있으며, 수평재를 영구부재로 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 DBS공법의 구성요소로서 시공 및 사용 시 수평부재에 작용하는 수직하중을 기둥에 전달하기 위하여 개발된 정(井)자형 더블보-기둥 접합부는 복잡한 다축 응력상태의 전단에 의해 지배를 받는다.

이 연구에서는 정(井)자형 더블보-기둥 접합부의 전단파괴 기구와 구속철판 두께에 따른 전단내력 증가를 확인하기 위해 총 7 개의 실험체를 제작하여 1 방향 정적실험을 수행하였다. 실험결과, 실험체는 모두 취성파괴 되었고 실험의 지지조건에 따른 보작용과 아치작용에 의한 전단파괴 양상을 보였으며 철판의 구속이 슬래브의 전단내력을 1.06~1.48 배 증가시키는 것으로 나타났다. 또한, 2 방향 구속철판이 동일하지 않은 경우가 구속철판이 동일한 경우보다 전단내력이 더욱 증가한 것으로 나타나 구속철판이 동일하지 않은 경우가 효율적이었다.

* 정회원, 인하대학교 대학원
** 정회원, 한림성심대학 건축과 교수
*** 정회원, 동양공업전문대학 건축과 교수

**** 정회원, 인하대학교 건축학부 교수
***** 정회원, 남서울대학교 건축학부 교수
***** 정회원, 성균관대학교 건축과 교수

1. 서론

건설공사에서 지하공사는 공기단축과 공사비 절감의 측면에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있는데, DBS(Double Beam as Struts)공법은 지하 수평부재의 공장제작 및 모듈화 된 부재 생산을 통해 공기를 단축할 수 있으며, 수평재를 영구부재로 사용할 수 있는 장점이 있다.

DBS공법의 구성요소로서 시공 및 사용 시 수평부재에 작용하는 수직하중을 기둥에 전달하기 위하여 개발된 정(井)자형 더블보-기둥 접합부는 매우 복잡한 다축 응력상태의 전단에 의해 지배를 받는다. 특히 기둥면에서는 수직하중에 의한 응력, 방사 응력과 접선 응력의 3축 응력상태를 나타낸다. 콘크리트 응력은 1축 상태에 비해 2축 및 3축 압축상태가 되면 압축강도가 증가하게 되는데, 이는 콘크리트가 높은 구속력의 상태에 놓일수록 강도가 증가하는 특징을 가지고 있기 때문이다. 따라서 이와 같이 복잡한 응력상태를 보이는 정(井)자형 더블보-기둥 접합부의 전단파괴 메커니즘에 대한 이해가 필요하다. 이 연구에서는 정(井)자형 더블보-기둥 접합부의 파괴기구와 구속철관 두께에 따른 전단내력의 증가를 실험을 통하여 고찰하고, 이를 설계에 반영하는데 그 목적을 두었다.

2. 실험계획 및 방법

4 변이 구속된 슬래브-기둥 접합부 실험에 사용된 시험체의 크기는 1,200 mm×1,200 mm×150 mm이고, 중앙에 위치한 기둥의 크기는 가로와 세로 각각 400 mm, 높이 100 mm로 하였다. 휨 보강근은 D13을 150 mm 간격으로 2 방향 배근하였으며 휨 보강철근은 정착파괴가 일어나지 않도록 단부에 구부림 각도가 180° 인 후크를 사용하였다. 연구에 사용된 실험체는 표 1. 과 같이 모두 7 개로, 구속력에 대한 검토를 위하여 구속철관의 두께를 변수로 하여 시험체를 제작하였고 구속철관은 SS400 재질의 철관을 사용하였다. 콘크리트의 배합조건은 표 2.와 같고 공기체 시험결과 압축강도는 21.6 MPa로 측정되었다.

그림 1.은 시험체의 상세이고, 시험체는 그림 2.와 같이 1,000 kN 용량의 오일잭과 로드셀을 사용하여 시험체의 기둥 중심부에 집중하중으로 단조가력 하였으며, 가력속도는 분당 5 kN으로 하였다.

표 1 실험체 계획

시험체명	구속철관 (mm)		f_{ck} (MPa)	l (mm)	c (mm)	d (mm)	휨 보강근
	가로	세로					
JC-00	-	-	21.6	1200×1200	400×400	125	D13@150
JC-AA	4.5	4.5					
JC-BB	9	9					
JC-CC	16	16					
JC-AB	4.5	9					
JC-AC	4.5	16					
JC-BC	9	16					

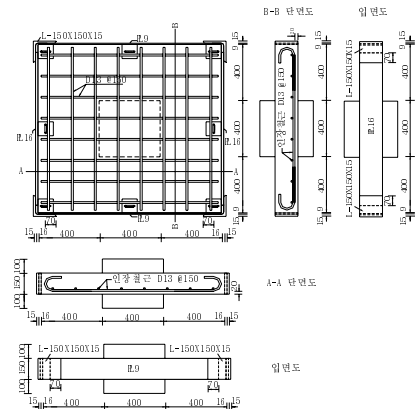


그림 1 JC - BC 시험체

표 2 콘크리트 배합 및 강도

f_{ck} (MPa)	물시멘트비(%)	단위용적중량(kg/m ³)				
		시멘트	물	모래	굵은 골재	혼화제
21.6	46.6	343	160	828	1,014	1.03

표 3 실험결과 및 비교표

시험체명	최대하중 (kN)	감소하중 (kN)	감소비율 (%)	시험체 최대하중	중양부 처짐 (mm)
				JC-00 최대하중	
JC-00	437.5	105.2	24.0	1	6.7
JC-AA	472.5	50.8	10.8	1.08	4.6
JC-BB	538.7	84.9	15.8	1.23	5.4
JC-CC	595.8	30.1	5.1	1.36	5.6
JC-AB	462.1	353.4	76.5	1.06	3.9
JC-AC	580.5	310.0	53.4	1.33	5.5
JC-BC	648.0	546.5	84.3	1.48	5.9



(a) 시험체 가력 프레임 상세



(b) 시험체 세팅 상세
그림 2 시험체 세팅 상세

3. 실험결과

3.1 파괴양상

모든 실험체는 가력면과 지지부를 잇는 전형적인 전단에 의하여 파괴되는 양상을 보였으며 전단파괴된 JC-BC 실험체의 균열을 그림 3.에 나타내었다.

가력하중을 증가시키면 실험체는 콘크리트의 전단작용과 휨 보강근의 휨에 의해 지지되고 가력부 콘크리트에서는 3축 압축거동을 한다. 수직하중이 증가하면 콘크리트의 수직력 또한 증가하고 슬래브는 그 수직력에 의해 가력부와 지지부를 잇는 어떤 각도(25°~30°)를 따라 경사균열에 의한 콘크리트 경계면이 형성된다. 정(井)자형 더블보-기둥 접합부는 콘크리트 경계면의 골재 맞물림 작용에 의해 지지된 후 파괴면이 형성되면 최종적으로 휨 보강근의 장부작용과 구속철판의 구속력에 의해 지지된 후 파괴에 이르렀다.

3.2 최대하중과 하중-변위 곡선

표 3.은 최대하중, 각 실험체의 최대하중과 JC-00 실험체(구속되지 않은 실험체)의 최대하중과의 비율 및 중양부 처짐 등을 정리하였다. 철판으로 구속한 실험체의 최대하중은 구속하지 않은 JC-00 실험체와 비교하여 1.08~1.48 배 증가하여 구속철판이 전단강도를 향상시키는 것을 알 수 있었다.

두께가 동일한 구속철판으로 구속했을 경우는 최대하중 증가가 1.08~1.36 배 이었고, 동일하지 않은 철판으로 구속했을 경우는 최대하중 증가가 1.06~1.48 배가 되었다. 구속철판이 동일하지 않은 JC-AB 실험체의 경우 가력부의 지압파괴가 발생하여 최대하중의 증가가 상대적으로 적었다.

그림 4.은 동일한 구속철판으로 구속한 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 이 경우에는 최대하중 이후 하중이 5.1~15.8 퍼센트 감소하다가 다시 하중이 증가하는 것을 알 수 있었으며, 완만하게 감소하는 하중-변위 곡선을 나타냈다. 그러나 그림 5.에서 보는 바와 같이 동일하지 않은 철판으로 구속한 실험체는 최대하중 이후 하중이 53.4~84.3 퍼센트로 급격하게 감소하여 취성적인 파괴가 일어나는 것을 알 수 있었다. 이는 두께가 상대적으로 작은 철판이 많은 응력을 부담하였기 때문으로 판단되며, 이 경우에 최대하중의 증가율이 커졌다.

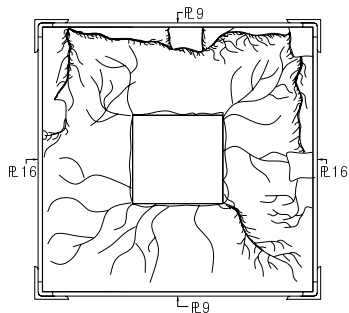


그림 3 균열 양상 (아랫면)

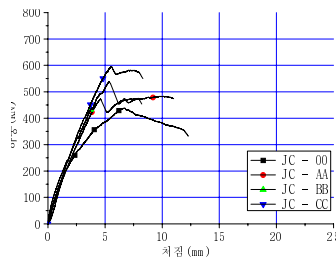


그림 4 2방향이 동일한 두께의 철판으로 구속된 경우의 하중-변위 곡선

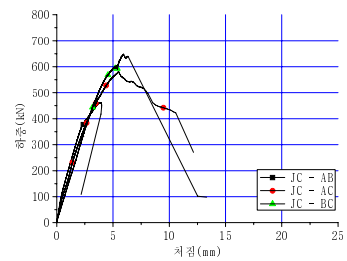


그림 5 2방향이 동일하지 않은 두께의 철판으로 구속된 경우의 하중-변위 곡선

4. 결론

이 연구는 정(井)자형 더블보-기둥 접합부의 파괴기구와 4변 구속에 대한 전단내력 증가 효과를 고찰하기 위한 실험연구로서, 구속철판의 두께를 변수로 하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 철판의 구속이 접합부(슬래브)의 전단강도를 향상시키는 것으로 나타났다. 구속 실험체의 최대하중이 기준 시험체인 JC-00 보다 1.06~1.48 배 증가하였는데, 동일한 철판으로 구속한 실험체의 최대하중은 1.08~1.36 배 증가하였고, 동일하지 않은 철판으로 구속한 실험체는 최대하중의 1.06~1.48 배 증가하였다.
2. 구속철판 두께의 증가에 따라 접합부(슬래브)의 전단내력이 증가하였는데, 2 방향 구속철판이 동일하지 않은 경우가 구속철판이 동일한 경우보다 전단내력이 더욱 증가한 것으로 나타나 구속철판이 동일하지 않은 경우가 효율적이다.
3. 정(井)자형 더블보-기둥 접합부 실험체의 파괴는, 실험의 지지조건에 따른 보 작용과 아치 작용에 의한 전단 취성파괴 양상을 보였으며, 2 방향 구속철판이 동일하지 않은 경우가 구속철판이 동일한 경우보다 취성적이었다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술 평가원에서 위탁 시행한 2007년도 건설핵심기술 연구개발사업(과제번호 건설핵심 D02-01)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김상식, 철근콘크리트 구조설계, 문운당, 2008
2. 콘크리트구조설계기준 해설, 한국콘크리트학회, 2008.
3. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary(ACI 318M-05), American Concrete Institute, 2005.
4. Alexander, S. D. B., and Simmonds, S. H., "Bond Model for Concentric Punching Shear", *ACI Str. J.*, ACI, Vol. 89, No. 3, May-June 1992, pp. 325~334.
5. Broms, C. E., "Punching of Flat Plates - A Question of Concrete Properties in Biaxial Compression and Size Effect", *ACI Str. J.*, ACI, Vol. 87, No. 3, May-June 1990, pp. 292~304.