

단부에 설비덕트를 포함하는 새로운 더블티 전단실험

Shear Test on New Modified Double Tee Slabs including Service Ducts at the Ends

김 연 수* 송 형 수** 유 정 욱* 이 보 경* 이 정 우* 유 승 롱***
 Kim, Yun Soo Song, Hyung Soo Ryu, Jeong Wook Lee, Bo Kyung Lee, Jung Woo Yu, Sung Yong

ABSTRACT

The increasement in the floor height may be one of the most significant problem in the use of precast concrete double slab in the multi-story buildings. The modified double-tees including duct space at the ends of slab were considered in this study. The length and thickness of nib of modified double tee was increased to receive the uniform reaction from rectangular beam, while the original PCI dapped one to receive the point load from inverted tee beam to the leg of double tee. Shear tests were performed on the ends of the modified double tees which were designed by strut-tie model. The modified double tees generally show more ductile flexural failure in the long thickened nib. It is concluded that they show superior failure patterns than that of original dapped one with shear failure.

1. 서 론

더블티의 단면 형상은 휨에 가장 효율적으로 대응할 수 있는 단면중 하나이며, 국내외에서 가장 선호되는 PC 슬래브 중에 하나라 할 수 있다. 그러나 기존의 더블티는 슬래브의 깊이가 다른 슬래브 형식보다 크고, 역티형 보 위에 더블티가 단순지지로 시공되며, 그림 1, 3과 같이 더블티 아래에 설비공간이 요구되어 층고가 증가되는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 그림 2, 4와 같은 새로운 개량 더블티를 제안하였다. 그림 2에서 보는바와 같이 새로운 개량 더블티에서는 설비공간이 더블티 단부에 포함하게 되므로, 기존의 더블티보다 층당 약 0.4~0.5 m의 층고감축이 가능하다. 또한, 기존의 더블티에서는 단부측 복부 일부를 댄단부로 사용하였으나, 새로운 개량 더블티에서는 단부측 플랜지의 두께를 증가시켜, 플랜지가 단부에 직접 지지하도록 설치하여 집중하중으로 작용하던 전단력을 등분포하중으로 유도할 수 있다. 이러한 장점을 갖고 있는 새로운 개량 더블티를 본 연구에서는 스트럿-타이 모델에 의해 설계된 총 8개의 시험체에 대하여 실험을 통하여 단부의 전단거동을 검토하고자 하였다.

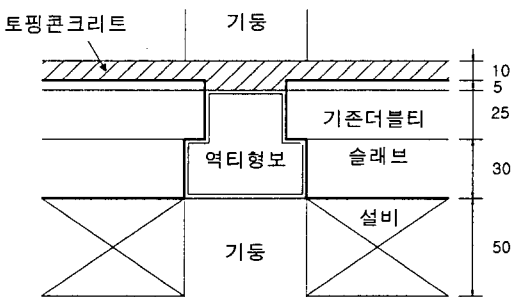


그림 1 기존 더블티

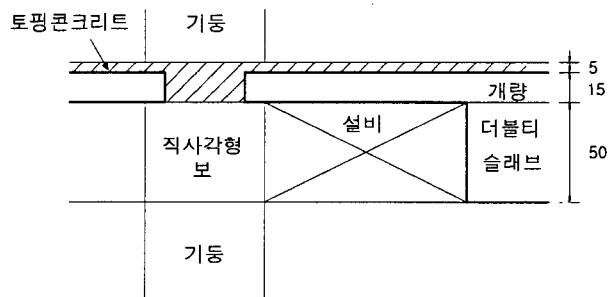


그림 2 새로운 개량 더블티

*정회원, 동국대학교 건축공학과 석사과정
 **정회원, 동국대학교 토목환경공학과 박사과정
 ***정회원, 동국대학교 건축공학과 교수·공학박사

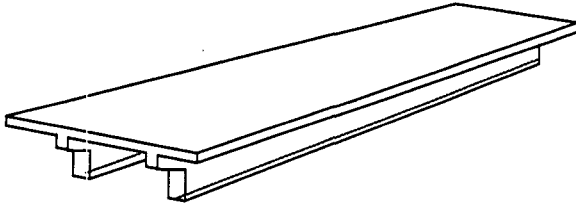


그림 3 기존 더블티

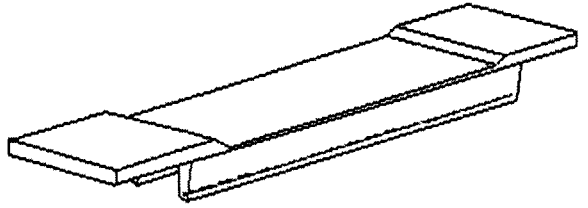


그림 4 새로운 개량 더블티

2. 실험

2.1 실험체 제작

본 연구에서는 더블티 단부의 거동에 중요한 영향을 미치는 스트럿-타이 모델의 종류(3종류), 설계하중의 종류(집중하중, 등분포하중), Anchor plate와 Hook 정착, 배근량 등을 표 1과 같이 시험변수로 사용하였다. 표 1에 정리된 철근 외에 나머지 철근 및 강선은 동일하게 배치하여 총 8개의 댁단부를 갖는 시험체를 국내 PC공장에서 제작하였다. 더블티의 실험은 기존의 연구^{1),2),3)}와 같이 한쪽 싱글티로서도 더블티에 관련한 충분한 정보를 얻을 수 있을 것으로 판단하여, 8개 타입의 댁단부를 각 실험체에 2개씩 좌우 양단에 배치하여 싱글티로 제작하였다.

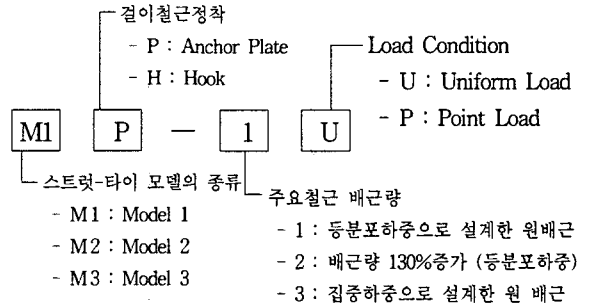


표 1 시험변수에 따른 철근의 배근과 보강량

Strut-tie model	실험체		A _{sh} (U-bar)	A _s	A' _{sh}
	배근도	실험체명	배근	배근	배근
Model 1		M1P-1U	D29+D25 +3D13+6D10	8D19 +2D22	D29+D25+D19+D10 (u-bar)
		M1P-2U	D29+D32 +3D13+6D10	8D22 +2D22	D29+D25+D19+D10 (u-bar)
		M1P-3P	D29+D32 +4D13+6D10	8D19 +2D22	D32+D29+D19+D13 (u-bar)
		M1H-1U	D29+D25 +3D13+6D10	8D19 +2D22	D29+D25+D19+D10 (u-bar)
Model 2		M2H-1U	7D13+5D10 +5D10	8D19 +2D22	D29+D25+D19+D13 (u-bar)
Model 3		M3P-1U	2D22+8D10 +D29+D25	8D16 +2D22	2D25+D19+D10 (u-bar)
		M3P-2U	2D25+8D10 +D29+D25	8D19 +2D22	2D25+D19+D10 (u-bar)
		M3P-3P	D22+D25 +8D10	8D19 +2D22	D32+D29+D19+D13 (u-bar)

2.2 재료

PS강선은 가장 일반적으로 사용되는 저이완률(Low-relaxation)의, 직경 12.7 mm, 270 Grade, 7연 강선으로, 국내 제조업체 K사의 것을 사용하였다. 일반철근은 항복강도 400 MPa의 이형철근을 사용하였고, 수직 및 수평 인장철근의 정착용으로 사용된 Anchor plate는 항복강도 330 MPa인 강판을 사용하였다.

본 연구에서 사용된 프리캐스트 콘크리트는 35 MPa, 토폭콘크리트 27 MPa를 사용하였다. 그러나 첫 번째 실험체인 M1P-1U, M1P-2U, M3P-1U, M3P-2U의 경우 제한된 실험일정으로 실험시 목표 설계강도에 도달하지 못하여, 이 시험체에는 목표강도 발현을 위하여 프리캐스트 콘크리트의 강도는 45 MPa를 사용하였으며, 사용된 프리캐스트 콘크리트와 토폭 콘크리트의 배합표는 표 2와 같다.

표 2 프리캐스트 콘크리트 및 토폭 콘크리트의 배합표

	설계강도 (Mpa)	굵은 골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (mm)	잔골재율 (%)	물-시멘트비(%)	단위재료량				
						물 (W)	시멘트 (C)	잔골재 (S)	굵은 골재 (G)	감수제 (SP)
Precast Concrete 1	35	25	80	40.0	41.5	128	469	724	1079	4.69
Precast Concrete 2	45	25	100	40.1	32.0	192	593	625	990	5.93
Topping Concrete	27	25	80	40.5	46.0	134	385	736	1144	-

2.3 실험방법

본 연구에서는 총 길이 9.8 m, 플랜지 폭 1.2 m의 개량 댐단부를 가진 시험체에 전단실험을 실시하였다. 시험체 하나의 좌우 단부에 2개의 댐단부를 설치하여 각각 실험을 실시하였다. 전단실험을 위한 하중재하 점은 그림 5와 같이 댐단부가 전체하중의 75%를 받도록 1:3의 비율로 6.48 m의 경간을 분할하여 3점 재하방법으로 실험하였다. 한편 처짐을 측정하기 위한 변위계는 그림 5에서 보는바와 같이 하중이 재하되는 위치 아래에 설치하였으며, 시험체에 재하된 하중은 시험체의 파괴 시까지 변위제어 되었다.

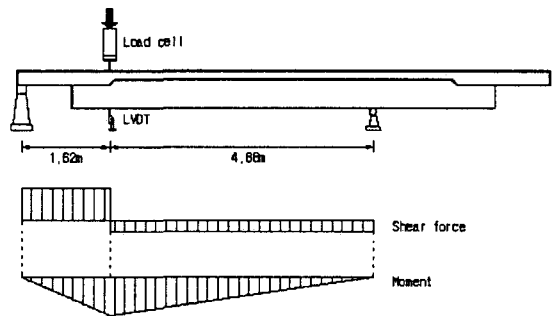


그림 5 하중재하와 전단력 및 모멘트도

3. 실험결과

모든 시험체는 공통적으로 재하하중의 약 19.6-88.2 kN에서 댐단부의 수평리브와 복부 접합부의 수직단부 경계에서 수평 전단균열이 초기에 발생하였으나 복부의 수직 전단철근이 배근된 위치에서 그 진전이 제어되었다. 또한, 재하하중이 증가에 따라 약 98-127.4 kN에서 복부-전단균열이 경사방향으로 발생하여 양단으로 진전되고, 재하된 하중이 더 증가하여 높은 하중단계에 이르러서는 상부 플랜지에 휨균열이 발생하였다. 초기의 복부전단 균열은 사용하중의 약 60-96%에서 발생하였으며 플랜지의 최초 휨균열도 비슷한 하중단계에서 발생하였다. 모든 시험체들의 거동은 복부를 가진 단면에서 복부 전단균열의 발생과 진전, 복부 전단파괴의 과정을 거쳐 최종적으로는 플랜지 부분의 휨균열 진전과 복부 전단파괴에 의한 하중지지력 상실의 과정을 따라 파괴되었다. 표 3에서는 각 시험체별 실험결과를 요약하였다.

시험체의 하중-처짐 관계를 분석하여 각 시험체의 거동과 연성도를 파악하기 위한 하중-처짐도는 그림 6과 같다.

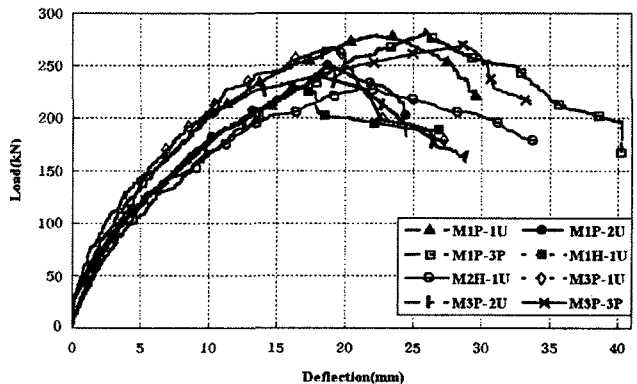


그림 6 시험체별 하중-처짐도

표 3 새로운 개량 더블티의 전단실험 결과

Specimens	Concrete strength		Calculated value		Experimental value					Test/Design load	Failure mode
	PC (MPa)	Topping (MPa)	Design Load (kN)	Service Load (kN)	Horizontal shear cracking (kN)	Web shear cracking (kN)	Flange flexural cracking (kN)	Failure strength (kN)	Ultimate deflection (mm)		
M1P-1U	24.9	25.2	199.1	131.2	39.2	106.8	98.0	247.3	18.8(24.4)	1.24	web-shear failure
M1P-2U	24.9	25.2	199.1	131.2	68.8	119.6	148.0	273.1	22.3(30.7)	1.37	web-shear failure
M1P-3P	33.5	26.3	198.0	130.5	53.9	103.9	102.9	223.4	25.9(39.6)	1.13	web-shear failure
M1H-1U	30.2	25.5	255.8	168.7	58.8	112.7	70.6	266.4	16.6(26.8)	1.04	web-shear failure
M2H-1U	30.2	25.5	236.0	155.5	48.0	97.0	81.3	278.1	21.2(33.9)	1.17	web-shear failure
M3P-1U	24.5	22.8	226.7	140.5	19.6	128.4	153.9	234.9	17.8(26.3)	1.10	web-shear failure
M3P-2U	24.5	22.8	226.7	149.5	78.4	125.4	100.0	263.7	18.9(22.4)	1.16	web-shear failure
M3P-3P	33.5	26.3	199.1	131.2	41.2	126.4	96.0	225.2	28.6(33.6)	1.13	web-shear failure

1. Concrete 강도는 실험 시 측정된 공시체의 강도 측정값임.
2. 극한처짐은 최대 극한하중시의 처짐 값이며 팔호안의 값은 최대 파괴하중에서 75%로 하중이 감소했을 때의 처짐 값임.

4. 결론

PCI⁴⁾ 댄단부를 사용한 기존의 더블티가 갖고 있는 문제점을 개선시키고자 본 연구에서 제안된 새로운 개량 더블티에 대하여 전단실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서 사용된 새로운 개량 더블티의 리브는 중국하중까지 몇 개의 소규모 휨균열을 보일 뿐 모든 파괴가 댄부분의 전단균열로 파괴되는 것으로 나타났다.
2. 개량 댄단부는 하중증가에 따라 복부의 경사균열의 발생과 진전으로 인하여, 전단거동에서 플랜지의 휨 거동으로 전이함에 따라 연성적인 파괴양상을 보였다.
3. 스트럿-타이 모델을 사용하여 댄단부를 설계한 시험체를 본 연구에서 전단실험을 수행한 결과 설계시 예상되던 거동과 실제의 거동이 유사하게 나타났다. 이러한 결과를 통하여 스트럿-타이 모델을 사용한 설계법이 더블티의 댄단부 설계에 매우 합리적인 설계법으로 판단된다.
4. 집중하중으로 설계된 시험체는 등분포하중으로 설계된 시험체보다 극한하중과 극한처짐에 대하여 취약한 것으로 나타났다. 또한, Model-1 타입이 Model-3 타입에 비하여 극한하중과 극한처짐이 크게 나타나므로, 부재 내부에 힘의 흐름을 보다 더 잘 표현해주는 타입으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원이 위탁실행한 산학연 공동연구개발사업(03산학연 B02-05)의 재정지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 유승룡, 김대훈, 유재천 "최적이론에 의하여 설계된 최소 깊이 더블티 슬래브의 휨거동 평가", 한국콘크리트학회 논문집, 제11권, 3호, 1999년 6월. pp. 141-152.
2. 유승룡, 김대훈 "최적이론에 의하여 설계된 최소 깊이 더블티 댄단부 전단거동 평가", 한국콘크리트학회 논문집, 제11권, 4호, 1999년 8월. pp. 43-54.
3. 유승룡 "단기하중하의 국내 합성 더블티 슬래브 댄단부 전단거동 평가", 한국콘크리트학회 논문집, 제14권, 5호, 2002년 10월. pp. 774-781.
4. PCI Design Handbook, 5th edition, Prestressed Concrete Institute, 1999