

# 단부에 설비덕트를 포함하는 새로운 더블티 전단실험II

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

김연수\*      유정욱\*      이보경\*      유승룡\*\*  
Kim, Yun Soo   Ryu, Jeong Wook   Lee, Bo Kyung   Yu, Sung Yong

### ABSTRACT

The section of double-tee is considered as one of the most efficient type for flexure. However, the depth of it is bigger than that of other slab systems. The story height of it is also increased because the duct space is required under the double tee in addition to their net depth. Thus, a new modified double-tees with the nib length of 1.58m was suggested in this study. The story height of this one is reduced up to 450mm by including duct space under the nib at the ends of slab.

The four ends of the modified two single tees were designed by strut-tie models. Shear tests were performed on them to verify the safety. The ultimate shear strengths of non-prestressed two specimens were larger than the design shear strength by strut-tie models. They were failed in ductile with many distributed flexural crackings. However, the other prestressed two specimens showed much stiffer behaviors, less deflection and strength than those of prestressed.

### 1. 서론

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, 더블티 아래에 설비공간이 요구되어 층고가 증가되는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하고자 개량 더블티 슬래브를 제안하였고, 또한 대형 덕트를 사용할 시에 댐단부의 활용면적을 증가하기 위하여 플랜지의 길이를 1.58 m로 증가 하였다. 본 연구에서 제안하는 개량 더블티 슬래브는 층고감축, 전단력을 집중하중에서 등분포하중으로 치환할 뿐 아니라 대형 덕트를 사용할 시에 댐단부의 활용면적이 증가하는 장점이 있다.

CPCI에 의해 설계된 총 4개의 시험체에 대하여 실험을 통하여 강선 배치에 따른 거동과 플랜지의 길이 증가에 따른 단부의 전단거동을 검토하고자 하였다.

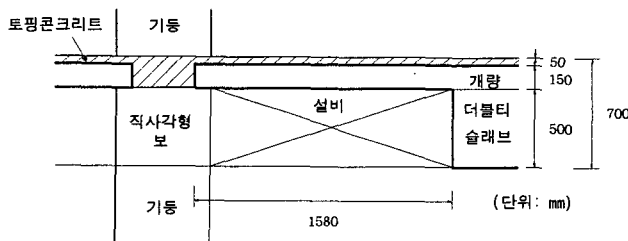


그림 1 플랜지 길이 1.58 m인 개량 더블티 슬래브



그림 2 개량 더블티 슬래브 실험

\*정회원, 동국대학교 건축공학과 석사과정

\*\*정회원, 동국대학교 건축공학과 교수·공학박사

## 2. 해석

CPCI에 의해 절점의 위치 및 부재를 설계한 각 4개의 시험체는 절점법에 의하여 구한 스트럿 타이의 해석 결과와 실제 배근에 사용한 철근량에 따른 부재력에 의하여 가장 큰 힘을 받는 부재를 산정하였다. 큰 힘을 받는 부재로는 Tie RS, Tie QT, Strut ST, Tie UW이며 실험을 통하여 그 결과 일치하는지 비교 검토하였다. 설계모델은 그림 3에 나타 내었다.

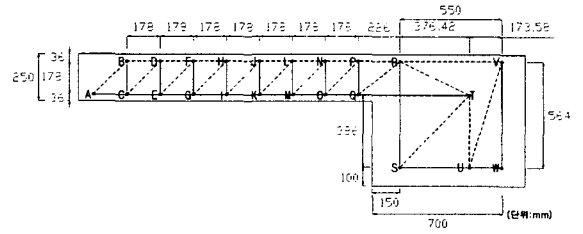


그림 3 스트럿-타이 모델

## 3. 실험

### 3.1 실험체 제작

본 연구에서는 MDE-1(Modified Dap End)시험체를 기본으로 하여 강선의 배치와 종 방향 철근을 시험 변수로 사용하였다. 종 방향 철근은 분포 배치와 집중 배치를 변수로 하여 MDE-1, MDE-2의 시험체를 제작하였고, MDE-3과 MDE-4는 강선의 직선배치와 1점 절곡 배치에 따라 시험체를 제작하였다. 그 외의 철근은 모두 동일하며, 한쪽 싱글티로서도 더블티에 관련한 충분한 정보를 얻을 수 있을 것으로 판단하여, 2개의 싱글티 좌우 양단에 4개의 전단시험체에 대하여 스트럿타이모델로 설계하고 실험을 진행하였다. 각 시험체별 특징 및 시험변수와 그에 대한 배근도를 아래 표 1에 나타내었다.

표 1 시험체별 특징 및 시험 변수, 배근도

시험체명	특징	시험 변수		배근도
		강선	Ash	
MDE-1	기본 타입 횡 방향 철근(스트럿)과 종 방향 철근 용접	×	6-D13	
MDE-2	Angle에 종 방향 횡 방향 철근 모두 용접	×	2-D29	
MDE-3	MDE-1과 동일한 배근과 강선의 직선 배치	○	6-D13	
MDE-4	MDE-1과 동일한 배근과 1점 절곡 강선 배치	○	6-D13	

### 3.2 재료

PS강선은 가장 일반적으로 사용되는 저이완률 7연강선(Low-relaxation 7-wire strand, 12.7 mm)으로, 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 콘크리트의 설계 기준 강도는 35 MPa, 토핑 콘크리트의 설계 기준강도는 27 MPa를 사용하였다. 사용된 프리캐스트 콘크리트와 토핑 콘크리트의 배합표는 표 2와 같다.

표 2 프리캐스트 콘크리트 및 토핑 콘크리트의 배합표

설계 기준 강도 (MPa)	굵은 골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (mm)	잔골재율 (%)	물-시멘트 비 (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )				
					물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은 골재 G	감수제 SP
35	25	80	41.5	40.0	169	469	723	1039	4.69
27	25	80	40.5	46.0	177	385	736	1101	1.92

### 3.3 실험방법

본 연구에서는 총 길이 11.6 m, 플랜지 폭 1.2 m의 개량 댄단부를 가진 시험체에 전단실험을 실시하였다. 시험체 하나의 좌우 단부에 2개의 댄단부를 설치하여 각각 실험을 실시하였다. 전단실험을 위한 하중재하 점은 댄단부가 전체하중의 67%를 받도록 1:2의 비율로 6.6 m의 경간을 분할하여 3점 재하방법으로 실험하였다. 한편 처짐을 측정하기 위한 변위계는 그림 3에서 보는바와 같이 하중이 재하 되는 위치 아래에 설치하였으며, 시험체에 재하된 하중은 시험체의 파괴 시까지 변위제어 되었다.

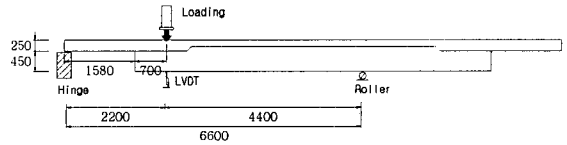


그림 3 하중재하

### 4. 실험결과

모든 실험체의 초기 균열 발생 시 현지 지점에서의 반력은 11.45~21.60 kN사이에서 발생하였으며, 테두리보가 시작되는 경계면에서 발생하였고, 가는 실 균열 형태로 나타났다. 플랜지가 길어지므로 인하여 플랜지의 바닥 부분의 휨 균열이 활발히 진행되었으며 균열형태는 단변 방향으로 직선 형태의 통과균열 형태로 나타났다. MDE-1, MDE-2, MDE-3과 MDE-4의 경우 하중의 차이는 없었으나 거동은 MDE-1과 MDE-2가 MDE-3과 MDE-4가 유사하게 나타났다.

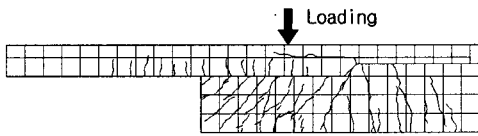


그림 5 MDE-1의 균열도

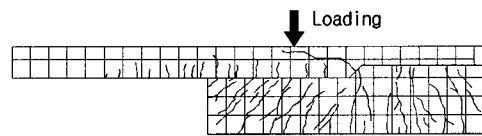


그림 6 MDE-2의 균열도

MDE-1, MDE-2의 경우 웹면의 균열은 하중 재하 점의 오른쪽에서 균열이 진전되어 현지지점이 있는 구역으로 확장되었다. 균열은 위에서 아래 방향으로 발전되었고 댄단부쪽에 균열이 가장 나중에 나타났다. MDE-1과 MDE-2의 균열도는 그림 5와 그림 6에 나타내었다.

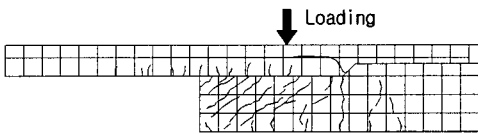


그림 7 MDE-3의 균열도

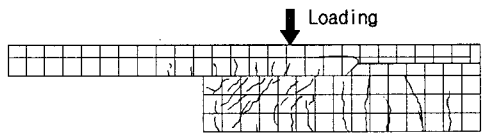


그림 8 MDE-4의 균열도

위와 반대로 그림 7과 그림 8의 MDE-3, MDE-4의 웹면의 균열은 하중 재하점의 왼쪽에서 균열이 진전되어 롤러 지점이 있는 곳으로 확장되었다. 즉 사인장 균열이 MDE-1, MDE-2보다 먼저 발생했고 그 이후 수직방향의 휨 균열이 발생하였고 이것으로 보아 강선 긴장으로 인하여 휨에 대한 저항성능이 커졌다는 것을 알 수 있었다. 기본타입 MDE-1과 앵글에 철근을 용접한 MDE-2 시험체의 중국하중하의 지점 반력과 극한 하중하의 최대 처짐은 유사하게 나타났으나 MDE-2 시험체가 더 많은 균열이 발생하였고, 가장 큰 처짐에서 파괴되었다. 강선을 직선 배치한 MDE-3시험체는 1점 절곡으로 강선을 배치한 MDE-4 시험체보다 중국하중 하에서 지점 반력 뿐 아니라 최대 처짐이 더 높은 결과를 가졌으나 극한하중하의 최대 처짐은 유사하게 나타났고, MDE-4시험체가 웹의 균열을 더 많이 수반하여 파괴되었다. 강선을 넣은 시험체인 MDE-3과 MDE-4 시험체가 강선을 넣지 않은 시험

체인 MDE-1과 MDE-2의 시험체보다 연성이나 강도 면에서 더 저하되었다.

최종파괴는 4개의 시험체 모두 플랜지의 단면이 감소하는 45° 부분(∟)에서 최종파괴 되었으며 10 mm 이상의 폭으로 균열이 진전되었다. 최종파괴 사진은 그림 10에 나타내었다. 시험체의 힙 지점에 발생하는 지점 반력은 181.0~205.7 kN에 이르자 점차 감소되기 시작하였고, 가장 많은 변형을 일으킨 후에 파괴된 시험체는 Angle 에 종 방향과 횡 방향 철근을 용접한 MDE-2 시험체이며, 가장 적은 변위를 일으킨 시험체인 MDE-4는 MDE-1의 절반에 이르는 변형을 일으킨 후에 파괴되었다. 하중-처짐 곡선은 그림 9에 나타내었다.

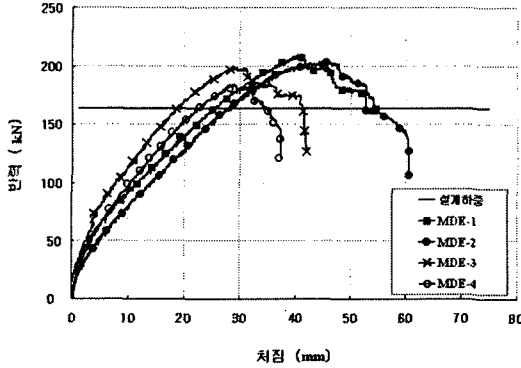


그림 9 반력-처짐 그래프

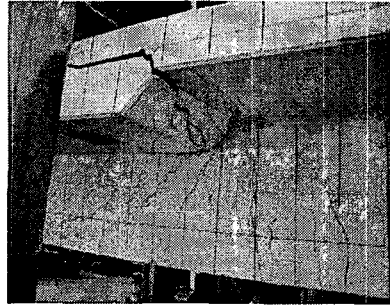


그림 10 MDE-1 최종파괴 위치

표 3 전단 실험 결과

시험체	해석 결과		실험 결과 값					파괴형태
	부재	해석 하중 (kN)	공시체 강도		초기 균열 발생 시 반력(kN)	중국하중하의 지점 반력 (kN)	극한하중하의 처짐 (mm)	
			PC 강도 (Mpa)	Topping 강도(Mpa)				
MDE-1	Tie UW, Tie QT	193.00	28.20	23.20	20.27	205.70	43.55	휨 파괴
MDE-2	Stut ST, Tie RS	160.60	28.20	23.20	11.45	200.20	48.16	휨 파괴
MDE-3	Tie UW, Tie QT	194.00	27.80	22.70	21.60	195.20	33.33	휨 파괴
MDE-4	Tie UW, Tie QT	194.00	27.80	22.70	15.07	181.00	32.52	휨 파괴

### 5. 결론

플랜지의 길이가 1 m인 시험체에서 대형덕트를 사용하고자 하는 목적으로 플랜지의 길이를 1.58 m로 증가시켜 전단실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 강선을 삽입하지 않은 2개의 개량 댐단부 실험체는 설계 하중인 160.6 kN를 상회하여 파괴되었고 다수의 균열을 발생하며 연성적으로 휨 파괴되었으므로 이에 대한 활용이 가능하다.
2. 강선을 삽입한 2개의 개량 댐단부 실험체는 강선 긴장력에 의하여 강선을 삽입하지 않은 시험체보다 stiff하였고 극한하중과 처짐에서도 불리한 결과를 초래하였다.

### 감사의 글

본 연구(주상 복합 건물의 PC복합구조 시스템 개발 과제)는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원이 위탁실행한 산학연 공동 연구 개발사업(03산학연B02-05)의 재정지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 유승룡, “단기하중하의 국내 합성 더블터 슬래브 댐단부 전단거동 평가”, 한국콘크리트학회 논문집, 제14권, 5호, 2002년 10월. pp. 774-781.
2. PCI Design Handbook, 5th edition, Prestressed Concrete Institute, 1999
3. PCI Design Manual 3 Precast And Prestressed Concrete 4.9 Dapped End Connection R4.9.1 pp.4-14