

편심유공합성보의 종국내력 및 변형능력에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Ultimate Strength and Deformation Capacity of Composite Beams with Eccentric Web Openings

최 산 호¹⁾ · 서 성 연²⁾

Choi, San Ho Seo, Seong Yeon

요 약 : 유공합성보는 공기조화설비등의 각종 배관으로 인한 용적률의 저하를 완화할 수 있고, 바람과 같은 수평력에 의한 층모멘트 감소등의 구조적 측면에서도 유용하다. 또한 휨강성도 증가되어 하중에 의한 처짐이 적어지고 진동하중이나 충격하중에도 유리하게 되어 건축물의 강성 및 내력을 높이기 위해 사용되고 있다. 그러나 개구부 위치 및 편심여부에 따라 외력에 대한 구조적인 거동이 달라지게 되므로 이에 대한 적절한 검토가 요구된다. 이에 본 논문은 편심유공합성보의 종국내력 및 변형능력에 관한 실험적 연구로서, 무공합성보인 기준시험체와 중심 및 상·하 편심유공합성보 시험체의 실험 및 이론적 고찰을 통하여 각 시험체들의 항복 및 최대내력, 휨 및 전단강성, 개구부주위의 응력분포, 그리고 모멘트-전단력 상관관계등의 구조적 특성을 규명코자 한다.

ABSTRACT : Web openings of large beams provide space for wiring, piping, and duct work to provide for proper drainage, pipes and duct must be slightly sloped with the attendant result that all web openings can not be centered on the centroidal axes of the beams. Test specimens are made for opening-depth to beam-depth ratio of 0.5 and for eccentricities of the opening center line of 10% from middepth of the beam because of the proximity of the opening edge to the flange. In this paper, available test results and theories relating to the strength of composite beams having eccentric rectangular openings are surveyed and experiments were carried out to examine the structural behaviors. In all the tests in this paper good agreement is demonstrated with maximum loads measured in tests, and observed failure modes Furthermore, compared with analytical values and experimental values of interaction diagram between moment and shear capacity were safed as it is scattered with outer part of the analytical values.

핵심용어 : 편심유공합성보, 종국내력, 변형능력, 휨 및 전단강성, 모멘트-전단력 상관관계, 개구부 주위의 응력분포

KEYWORDS : Composite Beams, Ultimate Strength, Deformation Capacity, Rigidity, Moment-Shear Interaction

1) 정회원, 호원대학교 건축공학과 교수, 공학박사
2) 정회원, 한라대학교 건축토목공학부 조교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2001년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

유공합성보는 공기조화설비등의 각종 배관으로 인한 응적응의 저하를 완화할 수 있고, 바람과 같은 수평력에 의한 층 모멘트감소등의 구조적 측면에서도 유용하다. 또한 휨강성도 증가되어 하중에 의한 처짐이 적어지고, 진동하중이나 충격하중에도 유리하게 되어 건축물의 강성 및 내력을 높이기 위해 사용되고 있다. 그러나 개구부위치 및 편심 여부에 따라 외력에 대한 구조적인 거동이 달라지게 되므로 이에 대한 적절한 검토가 요구된다⁽¹⁾.

편심개구부를 가진 보에 대하여 비이렌딜 해석법을 적용하려면 개구부 상부 T단면에서 전달되는 전단력의 크기 V_i 와 개구부 하부 단면에서 전달되는 전단력의 크기 V_b 를 알 필요가 있다. 지금까지 전단력비 V_i/V_b 을 변수로하여 이론식 및 실험식들이 발표된 바가 있으나 구조설계시 실용자료로서 충분히 활용되지는 못하고 있다. 편심유공보에 관한 연구는 1974년 T. R. Douglas와 S. C. Cambrell에 의해 시작되었는데, 그들은 V_i/V_b 비를 이용해 구한 비이렌딜 응력과 편심장방형 개구부를 가진 보의 응력과를 비교한 이론식을 발표하였다.

편심원형 유공철골보에 대해서 R. G. Redwood와 P. W. Chan은 개구부 상하의 전단력 분포에 대한 이론식과 모멘트-전단력 상관곡선을 제시하였는데, 여기서 보의 전단력 분포로부터 구한 이론 전단력들은 실험값들과 잘 일치하고 있음을 밝혀냈다. 그 이후로도 편심유공철골보에 관한 연구는 다수 있었으나 편심유공합성보에 관한 연구는 많지 않았다.

본 논문에서는 무공합성보인 기준시험체와 중심 및 상·하 편심유공합성보 시험체를 제작 실험하여, 이론해석과 함께 각 시험체들의 항복 및 최대내력, 휨 및 전단강성, 변형성상, 그리고 모멘트-전단력 상관관계등의 구조적 특성을 규명코자한다.

2. 실험 계획

2.1 시험체 계획

시험체는 열간압연된 SS400 구조용 형강 (H-200×100×5.5×8, L-2400mm)이며, 콘크리트슬래브는 두께 90mm, 폭은 460mm, 콘크리트는 설계기준강도 210kg/cm², 슬럼프 10cm인 시판 레미콘을 사용한다. 슬래브 보강철근은 SD30으로 시험체의 장변방향에는 D10을 4개, 단변방향에는 D10을 @300 간격으로 배근하였다. 슈어 코넥터는 headed stud $\phi 13$ 사용했으며, 콘크리트 접촉면과 철골보 플랜지면에 발생하는 전수평전단력을 저항할 수 있게 용접 배치했다. 응력이 집중되는 재하점과 양쪽 지점에는 플랜지 양면에 웨브의 변형을 방지하지 위하여 두께 6mm 플레이트로 보강했다. 개구부의 제작은 산소 아세틸렌 불꽃을 사용하여, 개구부 춤은 보춤의 50%인 100mm로 하였고, 개구부 형상은 횡장방형(h×

표 1. 시험체의 계획

구분	시험체명	편심량	개구부 (mm)	비고
기준체	CB-NO	-	-	M=0.5p ×0.8m V=0.5p M/V=80m
중심부	CB-CO	±0 (중심)	100×200	
상편심	CB-PE	+10 % (상향)	100×200	
하편심	CB-NE	-10 % (하향)	100×200	

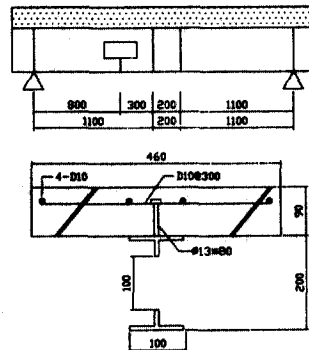


그림 1. 시험체의 형상 및 치수

a=100×200mm)으로 하였다. 시험체는 무공합성 보인 기준시험체, 중심개구부시험체 그리고 편심량을 web 높이의 10% 상향으로 한 시험체, 하향으로 한 시험체등 총 4개를 제작했다. 표 1과 그림 1은 각 시험체의 계획 및 치수이다.

2.2 재료의 기계적 성질

표 2는 재료의 기계적 성질로서, 소재의 인장시험과 콘크리트의 28일 압축강도 시험결과이다. 시험에 사용된 시험편은 KS B 0801(금속재료 인장시험편)의 5호 시험편을 웨브와 플랜지에서 각각 3개씩 채취하여 제작했다.

표 2. 재료의 기계적 성질

시험편	σ_y t/cm ²	σ_B t/cm ²	σ_y / σ_B	$E \times 10^3$ t/cm ²	연신율 %
PL-8	3.15	4.98	0.63	2.021	28
PL-5.5	3.53	5.16	0.68	1.993	30
철근 D13	3.52	4.86	0.72	2.150	25
φ13스터드	3.95	5.23	0.76	2.050	25
콘크리트	-	0.161*	-	0.178	-

주) *는 콘크리트의 압축강도임

2.3 가력 및 측정방법

시험체는 U.T.M. 200ton 테이블에 지점간격을 L-2400mm로 하며, 양단힌지조건하에서 가력은 슬래브의 중앙에서 양쪽으로 10cm 떨어진 곳에 가력용 봉을 올려 놓고 보의 중앙부에 2점 집중하중이 작용하도록 단조가력한다. 가력속도는 U.T.M의 P-δ 자기기록계와 하중속도를 참고로, 탄성역에서는 하중속도를 일정하게 하고 항복 후에는 시험체의 변형상태를 기준하여 재하한다. 시험체의 수직변위 측정은 변위변환계(LVDT)를 시험체의 중앙부 하중점에 2개를 각각 설치하여 가력점에서의 휨변형과 처짐량을 측정하고 개구부의 양끝단에 LVDT 2개를 설치하여 시험체의 처짐과 개구부의 변형상태를 측정한다.

콘크리트의 균열은 초기균열위치를 찾고 하중의 증가에 따른 균열 진전상황을 파괴시 까지 관찰하며, 철골보의 변형은 개구부 주위 및 보강판 주위의 응력집중으로 인하여 할렬이 발생할 때부터 국부좌굴 및 균열등의 변형을 파괴시 까지 육안으로 측정한다. 그림 2는 가력 및 변위측정 시험체 setting 상황이다.

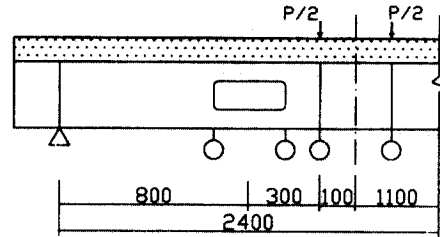


그림 2. 시험체의 setting전경

3. 장방형 유공합성보의 내력평가

그림 3은 유공합성보의 단면 및 기호이며, 그림 4는 유공합성보의 개구부 주위에 작용하는 힘의 평형상태이다.

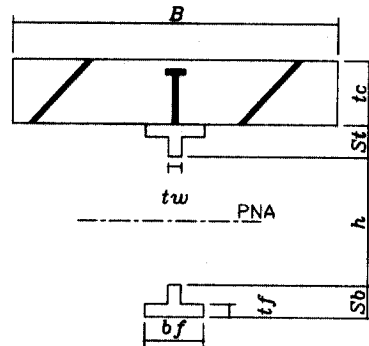


그림 3. 유공합성보의 단면 및 기호

일반적인 하중상태에서의 하부티는 인장력 (P_b), 전단력 (V_b), 부가모멘트 (M_{ob})에 의하여 파괴되며, 상부티 및 콘크리트 슬래브는 콘크리트의 압축력 (P_c), 상부티의 인장력 (P_t), 그리고 전단력 (V_t)과 부가모멘트 (M_{ot})에 의

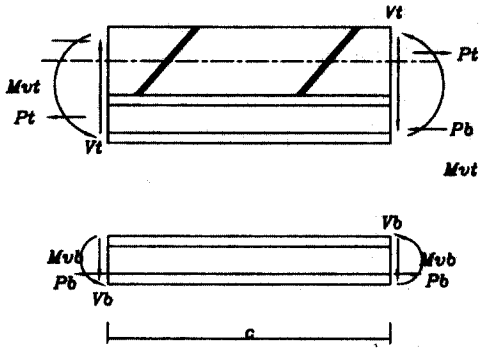


그림 4. 개구부주위 힘의 평형상태

하여 파괴에 이른다.

그림 4에서 장방형 개구부를 갖는 유공합성보의 평형방정식⁽²⁾을 구하면 다음과 같다.

$$P_c = P_t + P_b \quad (1)$$

$$V = V_t + V_b \quad (2)$$

$$M_{vt} = \frac{V_t \cdot a}{2} \quad (3)$$

$$M_{vb} = \frac{V_b \cdot a}{2} \quad (4)$$

$$M_{vu} = M_{vt} + M_{vb} = \frac{(V_t + V_b) \cdot a}{2} \quad (5)$$

여기서, 철골부재는 완전 탄성체로 가정하여 von Mises의 항복 조건식인 식(6)을 사용한다.

$$\sigma^2 + 3\tau^2 = \sigma_y^2 \quad (6)$$

여기서 σ : 축응력,
 τ : 전단응력,
 σ_y : 항복응력

유공합성보의 종곡내력은 합성보구조의 웨브에 개구부를 가지고 있기 때문에 중립축이 웨브에 있을 가능성은 거의 없으므로 T.V.Galambo s 합

성보 해석방법에 따라 중립축이 콘크리트 슬래브에 있을 경우와 철골보에 있을 경우로 나누어 가정할 수 있다.

중립축이 콘크리트 슬래브에 있는 경우,

$$M_u = P_y \cdot e - M_{vu} + \Delta M_{vr} \quad (7)$$

단, $P_y = P_{yw} + 2P_{yf}$

$$= (S_b + S_t) \cdot t_w \cdot F_{yw} + 2 \cdot b_f \cdot t_f \cdot F_{yf}$$

중립축이 철골보 플랜지에 있는 경우,

$$M_u = 0.5 P_s \left(d - \frac{P_{ks} \cdot t_f}{2 P_{yf}} \right) + P_{tc} \cdot e - M_{vu} + \Delta M_{vr} \quad (8)$$

여기서, M_{vu} : 유공합성보의 개구부로 인하여 감소된 모멘트

P_{vw} : 철골보 웨브의 항복하중

P_{yf} : 철골보 플랜지의 항복하중

P_s : 인장축 철골보의 하중

P_{tc} : 인장축 콘크리트의 하중

a : 개구부의 폭

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험 결과

그림 5는 상·하부 편심에 따른 하중(P)과 개구부 하측에 설치한 변위변환계로 측정된 변위(δ)와의 관계를 나타낸 $P-\delta$ 곡선이며, 표 3은 편심유공보시험체의 실험결과치이다.

표 3에서 시험체의 개구부가 편심을 가지게 되면 항복 및 최대내력, 그리고 소성변형능력등 구조적 성능이 저하하게 됨을 알 수 있다. 부하중이 작용한 CB-PE(10%상향) 시험체는 개구부하측 T형단면의 국부좌굴과 이에 따른 전단변형으로 개구부 모서리의 균열이 발생하여 내력이 크게 저

표 3. 편심유공합성보 실험결과치

시험체명		초기균열하중 (P_c, t)	초기균열 하중비 a_f	항복하중 (P_y, t)	항복하중비 a_y	최대하중 (P_{max}, t)	최대하중비 a_m
편심개구부	CB-PE	9.6	0.527	16.6	0.892	18.90	0.904
	CB-NE	8.0	0.440	18.0	0.968	21.00	1.005
	CB-CO	12.0	0.659	17.05	0.917	19.00	0.909
	CB-NO	18.2	1.000	18.6	1.000	20.90	1.000

표 4. 실험값과 이론값의 비교

	P_{max}	V_{max}	M_{wmax}	M_{max}	M_u	M_{wu}	M_{wmax}/M_{wu}	V_{max}/V_p
CB-NO	20.9	10.45	836	1,254	1,643	1,108	0.755	0.456
CB-CO	19.0	9.5	760	1,140	1,562	1,040	0.487	0.325
CB-PE	18.9	9.5	756	1,134	1,634	1,093	0.463	0.284
CB-NE	21.0	10.5	840	1,260	1,527	1,052	0.550	0.362

주) M_{wu} : T. V. Galambos의 합성보 이론 방법에 웨브개구부 단면적에 따른 내력감소를 고려해서 구한 종국휨내력
 M_u : T. V. Galambos 합성보 이론식에 의한 종국휨내력

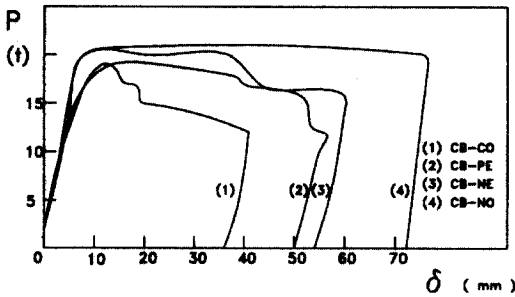


그림 5. 하중-변위 관계곡선

하되었다. 정하중이 작용하게 한 CB-NE(10%하향)시험체는 개구부 하측 T형단면의 단면감소로 인해 편심량이 커질수록 최대휨내력은 저하하는 것으로 나타났다. 각 시험체의 초기균열하중, 항복하중, 그리고 최대하중값은 표 3과 같다.

4.2 시험체의 파괴성상

각 시험체의 이력특성은 원점에서 출발하는 포락선인 하중-변위 관계곡선으로 평가하였는데 각 시험체들은 하중이 증가함에 따라 개구부 주위의 국부좌굴과 균열의 진전으로 내력이 저하되면서

보는 파괴되었다.

무공합성보인 CB-NO시험체의 콘크리트 슬래브는 초기균열 및 항복하중이 최대하중의 89%인 18.6t정도에서 거의 동시에 나타났으며, 이후 중앙부 재축방향으로 진행하다가 양단부에 이르러서는 단부 비이렌탈 현상과 함께 재단파괴를 일으키면서 파괴되었다. 하중이 증가함에 따라 최대하중의 96%인 20.1t에서는 콘크리트 슬래브의 압축부분이 압괴되어 슬래브는 총상파괴를 이루면서 휨파괴되었다. 콘크리트 슬래브속의 보강철근이 압축력에 대한 저항능력을 발휘하므로 급진적인 균열의 진전은 발생하지 않았으나, 콘크리트 슬래브는 최대하중의 60~70%에서 콘크리트 슬래브와 철골보 사이에 슬립이 발생하였고, 이후 하중의 증가에 따라 콘크리트의 균열 진전이 빨라졌다. 콘크리트 슬래브가 파괴됨에 따라 하중점 부근에서 하부티의 플랜지가 인장에 의해 초기항복되고, 보강스티프너 주위의 웨브에는 미소한 압축변형이 나타났다.

중심개구부인 CB-CO시험체의 콘크리트 슬래브의 초기균열은 최대하중의 63%인 12.0t에 하중점 주위에서 발생하여 저모멘트쪽 개구부 모서

리 방향으로 길게 사인장균열 되었으며, 최대하중 이후 14.0t에서는 저모멘트부분 상하티의 좌굴 및 모서리의 인장균열이 생기면서 콘크리트 슬래브와 철골보가 슬립되었으며 급격한 내력저하와 함께 시험체는 비이렌덜적으로 파괴되었다. 구조적 성능의 변화는 무공합성보 시험체의 최대하중과 비교하여 초기균열하중이 66.9%, 항복하중은 81.5%에 발생하였으며 최대하중은 90.9%로 나타났다. 하부티의 중립축은 항복과 함께 상승하고 상부티의 인장응력이 콘크리트 슬래브의 인장강도를 초과하므로 콘크리트 슬래브의 인장균열이 발생하게 되었다. 이러한 콘크리트 슬래브의 인장균열은 개구부 단면의 고모멘트 부근 콘크리트 슬래브 하부면에서 먼저 발생했다. 콘크리트 슬래브와 강재 사이에 생기는 일반적인 슬립현상은 상부티의 저모멘트쪽과 고모멘트쪽 개구부 모서리에 변형이 서로 상반되게 발생하기 때문에 생겼으며, 강재가 종국상태에서 상부티의 저모멘트쪽 부분에 큰 압축변형이 생기면서 급속히 진전되었다. 이어서 강재보와 콘크리트 슬래브는 개구부 중심 부근에서 분리되기 시작하였고 콘크리트 슬래브는 저모멘트쪽 개구부방향으로 길게 사인장균열 되면서 파괴되었다.

CB-PE시험체는 개구부의 편심량을 10% 상향(e/d)으로 설치한 시험체로서, 콘크리트의 초기균열은 기준시험체인 CB-NO시험체의 53 %인 9.6t에 발생했으며, 하중이 증가함에 따라 재축방향으로 진행하다가 개구부 상단에서 사방으로 확산되면서 15.5t에는 고모멘트쪽 개구부 모서리 방향으로 균열이 진전되었다. 하중의 증가에 따라 16.2t에 고모멘트쪽 개구부 하부 모서리에 응력집중현상이 생기면서 활열이 되었고 이어서 슬래브와 철골보 사이에 슬립현상과 들뜸현상이 생기면서 휨파괴양상으로 압괴되었다. 편심개구부가 되면 응력집중의 영향을 더 받게 되므로 중심개구부 시험체보다 초기균열하중 및 항복내력은 저하되었으나 최대 내력값은 거의 비슷하였다.

CB-NE시험체는 개구부의 편심량을 10% 하향

(e/d)으로 설치한 시험체로서, 콘크리트의 초기균열은 기준시험체인 CB-NO시험체의 44 %인 8.0t에 하중점부근에서 발생하여 하중의 증가에 따라 재축방향으로 진행하다가 20.3t에는 재단까지 이르러 재단파괴 되었다. 17.9t에는 철골보와 콘크리트 슬래브 사이에 슬립이 생기면서 큰 분리가 개구부쪽에 발생하여 압괴되었다. 철골보는 18.5t에 상부티의 개구부 모서리와 플랜지 사이 웹면에 활열이 심하게 발생했으며, 이후 하중점스티프너 사이의 웹면에 전체적으로 확산되었다. 최대하중 이후 -15.6t에는 저모멘트쪽 개구부의 압축측 모서리에 국부좌굴이 발생하였으며, -13.0t에는 인장측 모서리 부근에 인장균열이 발생하였다. 콘크리트의 초기균열은 조기에 발생했으나 항복 및 최대내력은 기준시험체와 동일한 21.0t으로 높게 나타났다.

편심개구부 시험체들은 응력집중의 영향을 더 받게 되므로 초기균열하중은 최대하중의 평균 54.3% 정도에 조기발생하여 콘크리트의 합성효과를 저하시켰고, 따라서 항복 및 최대내력도 저하된 것으로 나타났다. 그림 5에서 알수 있듯이 무공합성보인 기준시험체에 비해서 내력과 변형능력은 현저하게 저하되었으며 휨내력 보다는 전단내력을 크게 상실하는 것으로 나타났다. 최대내력은 개구부 모서리의 균열이 발생하면서 크게 저하되었다.

4.3 휨 및 전단강성

그림 6~7은 유공합성보시험체의 휨 및 전단강성 저하율로서, 무공합성보인 CB-NO기준시험체의 휨 및 전단강성을 100%로 했을 때, 중심개구부인 CB-CO시험체는 휨강성은 65%, 전단강성은 71%로 크게 저하되어 개구부로 인해 휨 및 전단강성이 크게 저하되는 것으로 나타났다.

상편심개구부인 CB-PE시험체는 휨강성이 CB-NO시험체의 61%, CB-CO시험체의 95%, 그리고 전단강성은 CB-NO시험체의 62%, CB-CO

의해 측정된 처짐량을 표기한 것으로, Y축은 하중에 따른 시험체의 처짐을 나타냈으며, X축은 각 시험체의 위치를 나타냈다.

유공합성보는 개구부의 단면결손으로 인한 비이렌달작용이 발생하여 2차힘이 부가된다. 그러므로 개구부 상하 티 단면에 각각 중립축이 생길 수 있으며, 개구부 네 모서리 부분에는 응력집중으로 인하여 소성역이 확산되고 그 부분은 소성 힌지화하게 되어 보의 변형성상 및 파괴모드에 큰 영향을 미치게 된다.

유공합성보 시험체는 기준시험체인 무공합성보에 비해서 내력 및 변형능력은 현저하게 저하하였으며, 최대내력은 모두 개구부 주위의 국부좌굴과 모서리의 균열에 의해 결정되었다. 또한 각 시험체의 수직변형 및 전단변형의 양상은 해석상의 응력장 형성과 비교적 잘 대응하고 있다.

중심개구부인 CB-CO시험체는 콘크리트 슬래브의 합성효과로 인해 최대하중까지는 개구부 주위에 별다른 변형성상이 보이지 않았으나, 최대하중 이후에는 개구부 양쪽 웹면에 활열이 심해지고 개구부길이의 3/4 되는 곳에는 소성힌지가 발생하여 비이렌달변형을 하면서 파괴되었다.

상부편심을 준 CB-PE시험체는 개구부 하측 T형단면의 좌굴과 그에 따른 개구부 모서리의 균열로 내력이 저하하는 이력성상을 보였으며 복원력이 없어졌다. 하부편심을 준 CB-NE시험체는 T형단면의 단면적 감소로 전단변형을 일으키면서 개구부 모서리균열과 함께 내력이 크게 저하되었다.

개구부의 변형은 전단력이 증가함에 따라 하부티에 2차 부가모멘트가 발생하여 인장력에 의한 항복과 더불어 소성힌지가 형성되었으며, 상부티에는 개구부 단부의 고모멘트부분에서도 소성힌지가 형성되면서 초기힘으로 인해 중립축이 상부에 있는 동안 하부티는 인장부재로 작용하면서 현저한 비이렌달변형을 나타냈다. 변형의 반전상태는 응력장의 응력반전 위치에 대응하면서 나타났다. 항복하중에 가까워짐에 따라 응력집중영향을 받고 개구부 모서리 근방에서 변형이 커지는 경향이 나

시험체의 87%로서 개구부 결손으로 인한 강성은 중심개구부인 CB-CO시험체보다 더 크게 저하하였다.

하편심개구부인1 CB-NE시험체는 휨강성 CB-NO 시험체의 73%, CB-NO시험체의 120%, 그리고 전단강성이 CB-NO시험체의 79%, CB-CO시험체의 114%로 나타나 CB-NE시험체가 CB-PE 시험체보다 강성저하가 더 크게 나타났다.

4.4 변형성상

그림 8은 유공합성보시험체의 재하시 보 중앙점과 개구부 양 끝단 하측에 설치한 변위변환계에

타났다.

4.5 모멘트-전단력 상관곡선 평가

$M-V$ 상관곡선은 개구부의 중립축이 중앙에 있거나 상·하부 편심을 가졌을 때 개구부의 영향과 내력성상을 알기 위해 작성하며 전단력과 휨모멘트의 정·부값에 대해서도 함께 사용한다. 따라서 상관곡선은 e , V , M 의 절대값을 대입해야 한다.

상부티와 하부티의 최대전단내력을 구하면 축력이 일정할 때 하부티가 받는 전단력은,

$$V_b = V_{total} (V_{bmax} / V_{max})$$

따라서

$$V_i = V_{total} - V_b = V_{total} (V_{tmax} / V_{max})$$

이다.

하부티와 상부티의 축력이 같으므로 개구부 중앙에서의 1차 모멘트는,

$$M = P \cdot Z + M_{bh} - 0.5V \cdot a$$

여기서, P : 작용하중

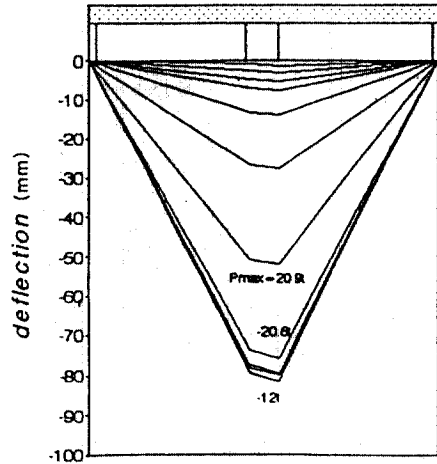
M_{bh} : 개구부 중심에서의 모멘트

V : 개구부 중심에서의 전단력

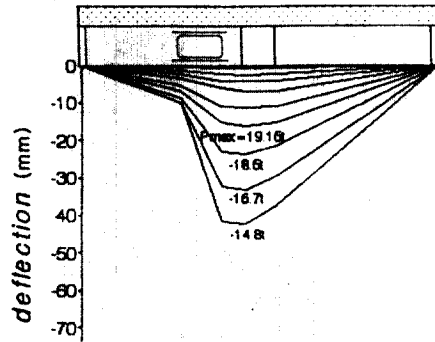
a : 개구부의 폭

Z : 개구부 중심까지의 거리

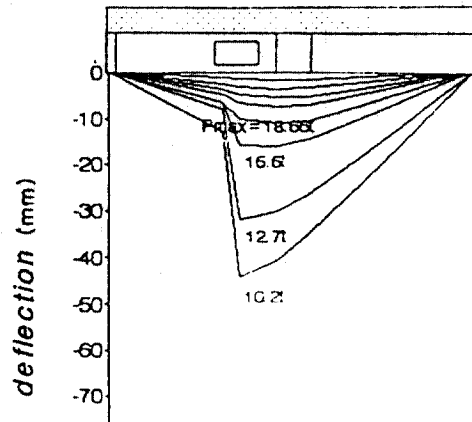
상부티와 하부티에 작용하는 축력을 zero에서 부터 최대값까지 변화시키면서 전단력과 1차모멘트를 구하면 모멘트-전단력 상관곡선을 얻는다. 모멘트-전단력 상관곡선에서 횡축은 실험결과 시험체의 최대 전단력을 이룬 전단력으로 무차원화하고 (V_{ph} / V_p), 종축은 최대휨모멘트값을 이룬 최대 휨모멘트값으로 무차원화하여 (M_{ph} / M_p) 표현한다. 이 곡선에서 전단력이 0일 때 종국휨모



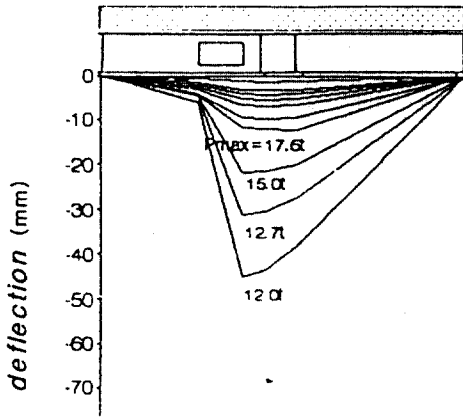
(a) CB-NO시험체



(b) CB-CO시험체



(c) CB-PE시험체



(d) CB-NE시험체

그림 8. 각 시험체 변형성상

멘트는 최대값이 된다.

상관곡선에서 전단력 V 가 0에서 V_{max} 까지 증가함에 따라 개구부에 전달되는 모멘트를 계산하므로써 작성되며, 전단력 V 는 이론해석에서 구한

V_c , V_s , V_b 의 합한값에 도달하게 되면 수직으로 연결하므로써 모멘트-전단력 상관곡선을 구할 수 있다.⁽³⁾

그림 9는 웨브개구의 편심(+편심은 상향, -편심은 하향)효과에 대해 모멘트-전단력 상관곡선을 표시한 것이다.

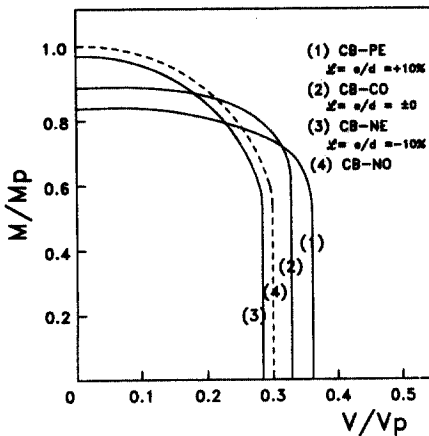


그림 9. 모멘트-전단력 상관곡선

모멘트능력은 상편심이 커짐에 따라 증가하였으며 하편심이 커짐에 따라 감소했다.

이것은 콘크리트 슬래브의 압축부분으로부터의 모멘트팔이 길기 때문이며 개구부 밑의 T단면의 크기가 작아짐에 따라 모멘트능력은 저하하게 되기 때문이다. 전단내력도 T 단면이 많을수록 전단에 의한 저항모멘트에 보다 효과적이기 때문에 역시 증가되었다.⁽⁴⁾

중심개구부인 CB-CO시험체와 상편심CB-PE 시험체는 기준시험체인 CB-NO시험체와의 상관곡선 비교에서 실험값이 상관곡선 바깥쪽에 위치해 있으므로 이론식은 실용식으로 안전한 것으로 사료된다.

그러나 하부편심 CB-NE시험체는 기준시험체 곡선의 안쪽에 위치해 실용식으로 안전할 수 없으므로 전단보강이 요구된다.

5. 결론

편심유공합성보의 종곡내력 및 변형능력에 관한 이론 및 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시험체 개구부를 상플랜지 쪽으로 10% 편심을 준 CB-PE시험체는 전단강성이 약간 상승하는 경향이 있으나, 실험결과는 전단강성이 13% 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 하부플랜지 쪽으로 10% 편심을 준 CB-NE 시험체는 중심개구부시험체보다 휨강성이 29%, 전단강성이 14% 상승하는 것으로 나타났는데, 이는 슬래브 압축부분으로부터 모멘트팔이 길어지기 때문인 것으로 추정된다.
- 3) 유공합성보 시험체들의 콘크리트 슬래브 바닥의 균열은 하중점 부근에서 발생하여 재축방향으로 진전되다가 개구부 상부에서 사방으로 확산되었고, 최대하중 이후에는 재단까지 이르러 재단파괴를 일으켰다. 그리고 콘크리트 슬래브 단면의 균열은 비이렌탈현상에 의해 하중점에서 고모멘트쪽 개구부 모서리쪽으로 사인장균열되어 전단파괴되었다.

4) 중심개구부인 CB-CO시험체와 상편심을 준 CB-PE시험체는 이론식이 실용식으로 안전하나, 하부편심을 준 CB-NE시험체는 안전할 수 없으므로 전단보강이 요구된다.

참 고 문 헌

1. 김규석, 유공H형강보의 역학적 거동에 관한 연구, 조선대학교 대학원 박사학위 논문, 1980.
2. 최산호, 보강유공합성보의 구조특성에 관한 연구, 조선대학교 대학원 박사학위 논문, 1993.
3. 金成根, 合成梁および合成梁架構の弾塑性挙動に関する研究, 大板大學 大學院 博士論文, 1984. 2.

4. 金相燮, スタッドコネクタを用いる合成梁構造に関する實驗的研究, 東京工業大學 大學院, 博士論文, 1989.3
5. R. G. Redwood, P. W. Chan, Design Aids for Beams with Circulay Eccentric Web Holes. Journal of the structural Division, ASCE, Vol. 100, No. ST2, February, 1974
6. P. B. Cooper, R. B. Snell, H. D. Knostman, Failure Tests an Beams with Eccentric Web Holes. Journal of the structural Division, ASCE, Vol. 103.

(접수일자 : 1999년 8월 13일)