

사다리꼴 유공웹브 형강보의 안전내력에 관한 연구 Resistant Capacity of Longitudinally Trapezoidal Web Section with Opening

손 기 상
Gi-Sang Son

ABSTRACT

Generally, Web & Flange of I shape beam are composed of plane for optimization of measurement in investigating the behavior resistant to horizontal force and bending moment on large section

Therefore, longitudinally trapezoidal web section beam has an important function as a body for carrying more load and ensuring more support area. There is only a limited usefulness for analyzing the behavior of web section with opening. It is experimentally verified that this trapezoidal web section has a good resistant caopacity.

conclustions on the above research results are as follows;

- 1) resistant capacity on the above can be more 15% increased than normal case
- 2) stiffener welding work and complexity of shopdrawing can be excluded in advance
- 3) trapezoidal section can be applied in structural practice

1. 서 론

1.1 문제제기

대형단면의 주플랜지에서의 횡력과 휨모멘트 전달은 필수적이기 때문에 이에 대응하는 H형강 보를 구

성하고 있는 평면 만으로 구성되어 있다.⁽¹⁾

이러한 웹보가 좀더 큰 하중을 전달하고 좀더 큰 지지 면적을 갖기 위한 가교로서 판형이 아닌 사다리꼴로 변형되어야 할 필요성이 부각된다. 건축물에 설치되는 웨브형 강보가 유공 웨브이므로 이 또한 유공을 갖게 되며 유공 사다리꼴 웹보 만이 건축물에서

정회원 : 산업안전교육원

큰 유용성을 갖게된다. 사다리꼴 웹 판에 관한 지금까지의 연구는 전단 판 성능에 대하여 집중되어 왔다.

스티프너 용접 유공 웹 판 성능은 균등 박판 웹(2.5mm 두께 철판)에 대해서 지금까지 주로 조사 연구 되었다. 특히 cardiff(영국 소재 대학)에서 광범한 연구가 계속 진행되어 DAST지침 015⁽¹⁾과 유럽통합 규정9EURO CODE) 3⁽²⁾에서 규칙으로 도입 되었다.

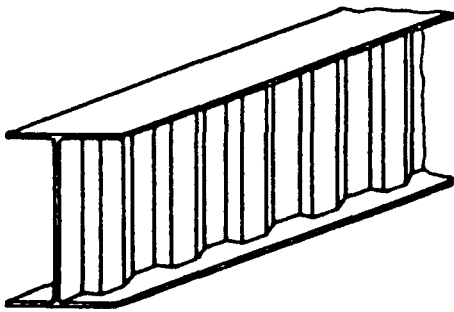


그림 1. 사다리꼴 웹보

그러나, 그것은 사다리꼴 웹 보에 대해서는 적용 조항을 갖고 있지 않기 때문에 이에 대한 연구로서 유공을 고려한 사다리꼴 종단면 웹 보의 판 성능에 대한 연구를 통하여 조사 시행 되었다.

2. 본론

2.1 예비조사

두개의 플랜지와 조립된 평판 웹의 판 성능에 관한 단순 횡력 산정은 다음 식이 된다.

$$V_{R,d} = V_{P,d} + 0.85 \cdot V_{z,d} \quad (1)$$

단, $V_{P,d}$: 극한 좌굴응력 도달시의 압축영역 값

$V_{z,d}$: 인장영역의 값

0.85 : 실험 결과 보증을 위한 오차 보증 계수
 식(1)이 사다리꼴 종단면 웹보에 사용될 수 있다

록 조사 연구를 하고, 특히 웹보중 평활 부분에서 좌굴과괴가 나타날 수 있도록 전단력이 고려 되었다. 이들 사다리꼴 종단면 웹보가 대체로 좌굴 발생이 많으므로 실험조건 들에서도 어떠한 파괴 형태로 거동 하는가에 대해서 우선 적으로 조사 하였다. 기본적으로 후크법칙이 적용되는 것으로 가정하였다.

국부좌굴에 대한 이상적 임계 좌굴응력은 다음 식과 같다.

$$\tau_{pi. 14.83} \cdot E \left(\frac{t}{a_1} \right)^2 = 101430 \left(\frac{t}{a_1} \right)^2 \quad (2)$$

전체 좌굴에 대한 이상적 임계 좌굴 응력은,

$$\tau_{pi. g} = \frac{32.4}{t \cdot h^2} \sqrt{D_x \cdot D_y^3} \quad (3)$$

$$\text{단, } D_x = \frac{a_1 + b_1}{a_1 + a_2} \cdot \frac{E \cdot t^3}{12} \quad (4)$$

$$D_y = \frac{3 \cdot a_1 b_1^3 + \sqrt{2} \cdot b_1^3 E t}{a_1 + a_2} \cdot \frac{E t}{12} \quad (5)$$

그림 3에 실험체 기본 치수가 도시되어 있다. 실제 건축물 적용에 근거한 기하학적 크기의 관계가 설정되었다.

$$\text{경우 a : } a_2/a_1 = 0.50 \quad b_1/a = 0.35$$

$$\text{경우 b : } a_2/a_1 = 1.00 \quad b_1/a_1 = 0.70$$

이 조건을 식(3)에 대입하면,

$$\text{경우 a : } \tau_{pi. g} = 23330 \left(\frac{t}{h} \right)^2 \sqrt{\left(\frac{a_1}{t} \right)^3} \quad (6)$$

$$\text{경우 b : } \tau_{pi. g} = 60440 \left(\frac{t}{h} \right)^2 \sqrt{\left(\frac{a_1}{t} \right)^3} \quad (7)$$

식(2)와 (6), (7)이 전체 좌굴 발생시 부터 하나의 조건으로 적용되도록 다시 유도된다.

$$\text{경우 a : } \frac{h}{a_1} > 0.48 \left(\frac{a_1}{t} \right)^3 \quad (8)$$

$$\text{경우 b : } \frac{h}{a_1} > 0.77 \left(\frac{a_1}{t} \right)^3 \quad (9)$$

식(8)은 그림 2에 제시되어 있다. 제작상의 문제만 없다면 실제 구조물의 구성요소로서 웹두께는 가능한 최소치로 설정하여 연구하였다. 규준에 의한 고정하중 값이 과다한 경우가 많으므로 실험을 위해

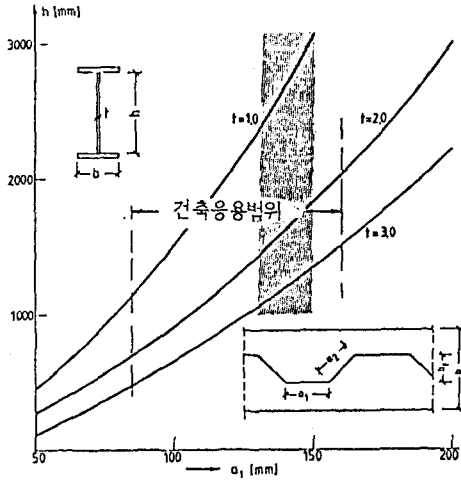


그림 2. 사다리꼴 중단면 웹의 전체좌굴 발생시 웹높이 h제한⁽¹⁾

서 웹두께 $t=1$ 과 $t=2$ mm가 고려되었다. 최소경계치 내에 놓여 있는 a_1 값에서는 건축 구조물에 대한 실제 용용범위가 존재하고 보의 웹 $h > 1,000$ mm이고 a_1 값이 주요범위는 150mm이며 웹높이 $h = 1,500 - 3,000$ mm일때는 전체 좌굴이 발생된다.

본 실험은 국부좌굴이 전단장 분담력에 관련하여 발생하는 보를 기본으로 하고 있다.

2.3 실험보의 재료 특성값 측정과 평가

2.3.1 실험보의 선정

실험체의 크기는 웹높이 $h=390$ mm, $t=1.0$ mm로서 시행되었다. 기본적 적용으로 유효한 것으로 웹높이 $h=750$ mm으로 평가되고 있다.

사다리꼴 중단면 웹보의 성능에 영향을 미치는 변수들은 크게 다음 사항들을 고려하고 있다.

- 유공의 위치
- 유공의 크기
- 접힘면에서의 유공 유무
- 유공 가장자리 보강 유무
- 기하학적 판단과 판단관계 항목

웹두께가 얇은데 비해 상대적으로 높이가 높을 경우 즉, 세장 단면 평판 웹에서의 유공의 위치는 결정적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 건물 구조에 대한 권장사항 중 “유공의 크기 변경”은 언제나라도 조정이 용이하다. 따라서 “유공의 위치”에 따른 성능 연구를 위한 실험을 하였다. 이 위치는 다양한 조건에 따른 결과를 분석해야 할 것으로 판단된다.

동일 변수에 대해서 두개의 실험을 한 결과 일치하는 사항이 확실히 나타나야 하는데, 결과의 예민성이 크고 불가피한 결과의 산포도 때문에 실험결과 일치 또는 근접여부의 적합성을 특히 유의하여 체크하였다.

2.3.2 횡단면 계측

시행된 실험은 주로 사다리꼴 웹보 길이 1,000mm이었고 실험체 번호 001-008까지 이었다. 다음에 보길이 3,800mm 실험체를 이용하였다. 모든 보에 그림 3.에 제시된 바와 같은 동일한 기본 치수를 갖는다.

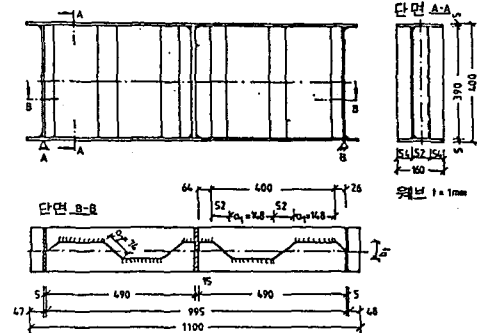
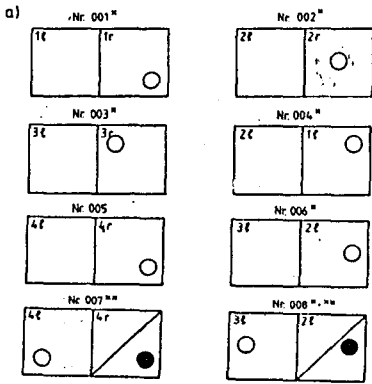


그림 3. 보 001, 002, 003, 004, 005, 006, 007, 008기본치수

플랜지와 웹 보 강제 치수들은 표 1.에 제시되어 있다. 모든 보에 동일 직경을 갖는 원형 유공을 위치를 변경시켜 실험체를 제작하였다.

표 1. 상·하단 플랜지 및 웨브의 단면치수

실험체	b _t	t _t	b _b	t _b	t _s
001	161	4.83	161	4.80	1.00
002	161	4.86	161	4.85	1.01
003	160	4.85	161	4.85	1.01
004	161	4.83	161	4.81	1.00
005	161.5	4.82	161.5	4.82	1.00
006	161	4.86	161	4.85	1.01
007	161.5	4.82	161.5	4.82	1.00
008	160	4.85	161	4.85	1.01



x □형 단보강
 ** 대각보강재 10*350

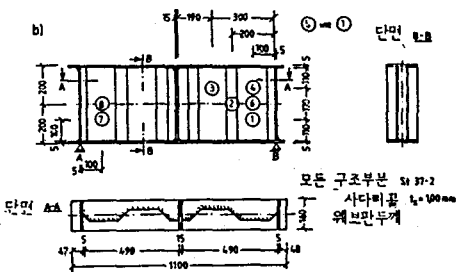


그림 4. No.001-008 원형유공배치

2.3.3 초기변형

휨 보로 취급하고 있으며 비틀림-휨 좌굴에 의한 파괴는 없었기에 전체 변형을 측정치 않았다.

임의 추출 재 시험을 통하여 웨브 판에 무시될 수 있는 정도의 아주 미세한 변형만이 나타났기 때문이다.

2.3.4 재료특성 평가

사용된 철골 실험 보에 대한 탄·소성 거동을 규명하는 것은 중요한 의의가 있으며 여기서, 기준이 되는 특정지수는 극한 인장응력도 f_u 에 대한 인장항복점 f_y 값의 비이다.

인장항복력과 극한 강도 측정을 위해 웨브판 시편 12.5 * 40에 대해서는 DIN 50114 상·하단 플랜지 장력시편 E5 * 16 * 40에 대해서는 DIN 50125에 따라 세계적의 인장시편이 실험체로 제작되었다.

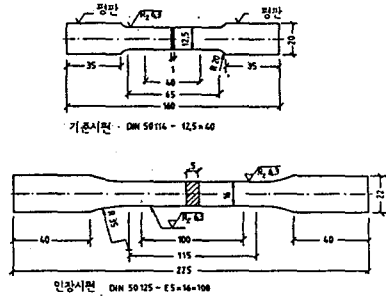


그림 5. 인장시편

인장시험 기계는 독일 ZWICK회사 제품을 사용했고, 미세신율 측정을 위해 유도변형 측정기를 기계에 부착 시켰다. 실험중에 진행된 하중변형 거동은 자동으로 컴퓨터에 기록 되었다.

인장 실험시의 속도는 실험시작 점에서 상위 항복점 도달까지는 15-20분, 인장 항복점 도달까지는 30-40분이 경과 되도록 최초 파괴가 발생할 때까지 유공 가장자리에 까지 연속되는 인장 응력 분포대에서 미세측정 길이 인 전체 신율도=1%까지

측정 부위	하중 재하
웨 브	일정 재하속도 V=0.05mm/분
상·하플랜지	V=0.05mm/분

로 하였다.

미세 측정범위 신율도=1% 도달후에 인장 시험편의 미세변형 측정기, 수축변형 측정기가 제거되었고, 재하속도는

측정 부위	하중 재하
웨 브	1mm/분
상 · 하플랜지	V=2.5mm/분

로 증가 시켰다.

탄성역과 소성역에서 본래의 측정길이와 재하속도는 엄밀한 변형 측정을 할 수 있도록 결정하였다. 이를 기본으로 전체 실험에 대한 하중-변형도를 파괴 시까지 그릴수 있었다.

표2.에 관계 수치를 요약하고 있다.

표 2. 인장실험결과(N/mm²)

실험체	개소	f_y	f_u	시편번호 (실험체 Nr.)
001	상단플랜지	265	370	141
	하단플랜지	254	366	143
	웹	184	329	012
002	상단	260	355	261
	하단	245	356	263
	웹	190	335	022
003	상단	258	354	381
	하단	264	356	383
	웹	181	338	032
004	상단	265	370	141
	하단	254	366	143
	웹	182	338	042
005	상단	265	354	571
	하단	273	361	573
	웹	192	340	052
006	상단	260	355	261
	하단	245	356	263
	웹	184	335	062
007	상단	265	354	571
	하단	273	361	573
	웹	172	329	072
008	상단	258	354	381
	하단	264	356	383
	웹	172	329	082

단, f_y : 상위인장 항복점 (극한변형 0.2%일때)

f_u : 극한 인장 강도

2.4 실험설계

2.4.1 실험장치

독일 베를린 공대 토목공학과 철골연구소에 속한 장치들이 사용되었다. 최대 5.6m, 최소 1.0m의 실험 길이를 갖는 보가 관측될 수 있도록 실험대(구조)가 제작되어 있다.

설치 기본도 및 추가 실험장치는 a)와 같다.

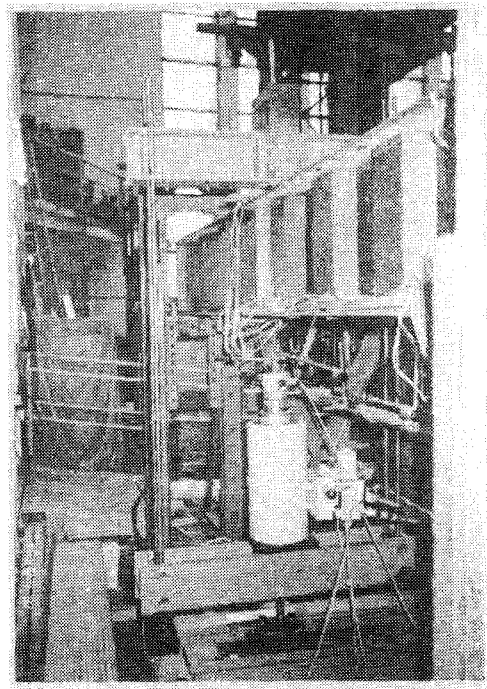
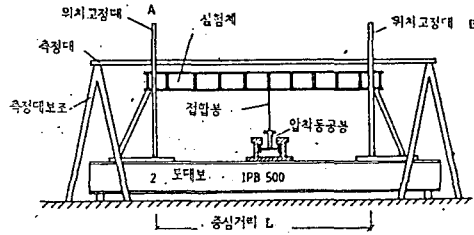


그림 6. 실험계획 기본도 및 실험장치 사진

손기상

1,500mm 거리에 두개의 기본보가 있다. 들보 좌·우측에 A, B에 가동 지지대를 설치하였다. 집중하중은 반구형 위치 고정 집합봉으로 제한 된다.

(그림 6.)

실험체 보에 평행하게 회전 게이지를 설치하여 재하에 따른 휨 및 변위를 측정하였다. (그림 7.) 저울

감도 보증치는 $\frac{1}{100}$ mm까지로 하였다.

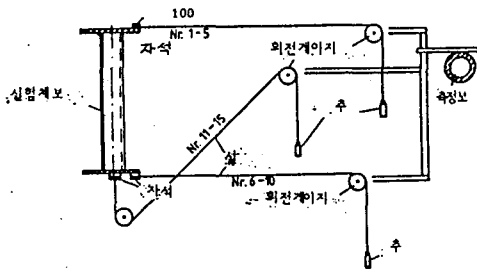


그림 7. 측정장치 설치도

상기 회전 게이지는 전기 정보 장치 위치에 설치하여 포착된 데이터는 측정 및 평가 프로그램 PEEKEL INSTRUMENT사의 AUTOLOG 2005 측정 시스템과 Host회사제 컴퓨터 HP 9816으로 처리되었다. 이 프로그램은 실험체관에 사전에 유한요소 5cm각 사각형으로 작도하여 하중재하에 따라 변형되는 웹에서의 각요소 지점으로부터 포착된 변형데이터를 자동으로 입력하여 유한요소법에 의한 응력을 구하여 출력해 낸다.

수직변위 측정과 같은 방법으로 상단 및 하단 플랜지 변위들이 측정되었다. (그림 8.)

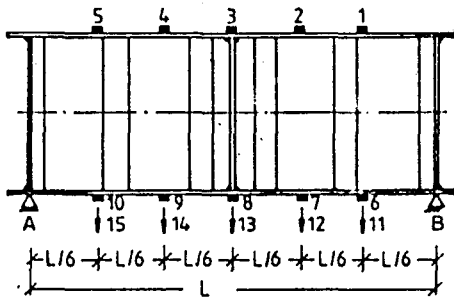


그림 8. 보의 측정 위치도

실험시 변형상태와 인장상태를 관찰 측정기 위하여 22개 변형 측정 게이지가 부착되었다. (그림 9.)

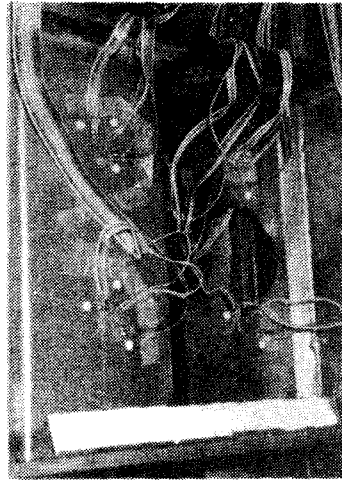


그림 9. 실험체의 변형 측정 게이지

2.4.2 실험시행

1.0KN/min의 재하속도를 갖고 지속적으로 재하되었고 1.0min의 주기 내에서 정기적 측정이 이루어졌다.

1KN(=102kg)씩 상승시켜 재하를 하였고, 실험보가 파괴범위(인장응력대)에 도달하면서 부터는 0.5분 마다로 측정 주기를 단축시켰다.

2.5 실험결과

2.5.1 변형

모든 실험에서 변형 측정은 보의 종방향으로 5개 측정위치씩 (그림 8.) 기록하였다. 실험체 001에 대한 결과는 그림 9에 도시되어있다.

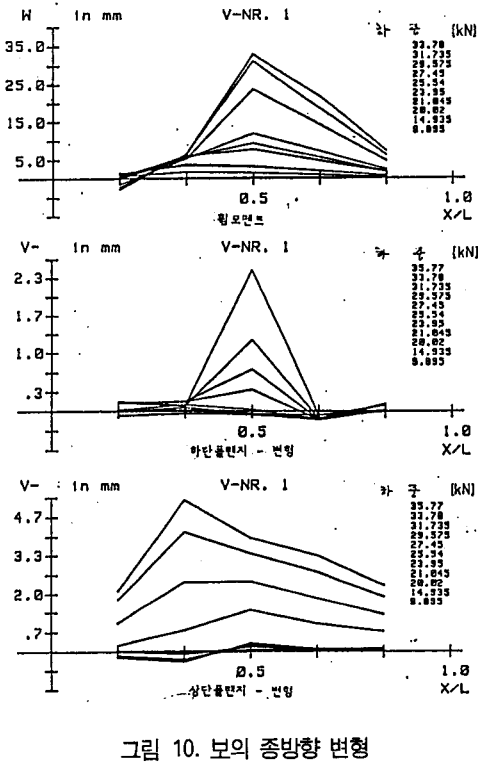
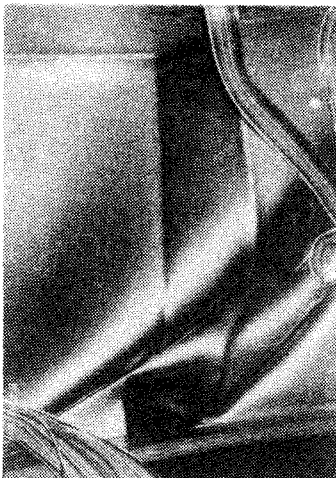


그림 10. 보의 증방향 변형

상단부에는 수직변형, 중앙부에는 하단 플랜지, 하단부에는 상단 플랜지에 대한 변형들이 도시 되어있다. (그림 10.)

그림 11.



보의 중앙에서 하중과 수직 변형사이의 관계는 실험체 001에 대해서 그림 12에 도시 되어있다. 최대 하중 재하 도달후의 파괴 양상은 제 3장 결과 분석에서 서술 되었다. 실험체의 파괴모습은 위의 그림 11.과 같다. 인장응력 분포대 밖에 유공이 있을때이다. 사다리꼴 종단면 웨브의 대변형이 있었고, 인장응력대가 뚜렷하게 형성되어 있음을 보였고, 상단 플랜지에서 파괴가 집중되어 있는 부분인 하나의 소성 힌지역이 뚜렷히 형성되었다. 002에는 중앙의 절반 높이에 유공이 있었다. 역시 인장응력 분포대가 형성되었고, 상·하단 플랜지 부근의 소성힌지가 뚜렷히 형성되었다.

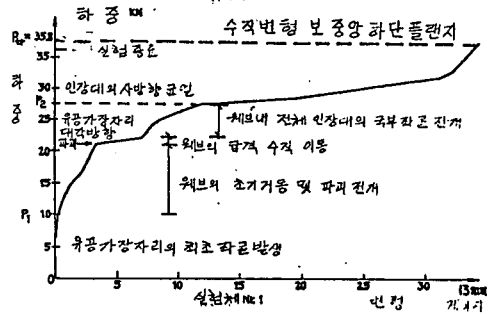


그림 10. 실험체 001의 하중-변형도

종국응력 P_1 에서 그 하중을 관찰했고, 유공 가장자리에 첫번째 파괴가 발생함을 확인하였다.

종단면이 좌굴할 때는 미소한 증가 하중 재하에도 뚜렷한 보의 수직 변형을 보였고 계속 되었다. 기타 하중은 P_2 로 표시 하였다. 계속 재하하면서 인장응력대 형성이 뚜렷히 관측되었고, 그후의 하중은 P_3 로 표시하였다. 웨브 좌굴이 식별될 수 있을 때까지 재하를 계속하는데 이때 하중은 P_4 로 표시하였다. 경우에 따라서는 안전상 종국하중 값에 도달하기 전에 실험이 중단되어야 할때도 있었다.

표 3.에 종국하중 값이 제시되었다. 여기에는 직접 재하된 하중 값에 2.0KN의 재하구조체(하중을 가하기 위한 철판 등 구조물 중량) 고정하중이 추가로 가

손기상

산되었다.

표 3. 종국하중

실험체	P_1 (KN)	P_2 (KN)	P_3 (KN)	P_u (KN)	비고
001	17	29.5	29.5	37.8	
002	9.5	19	20.5	27.0	1)
003	13.5	28	28	33.2	2)
004	13~14	28	28	28.0	
005	12~14	—	25.5	38.9	2)
006	12	22	25	42.3	
007	12	25	27	42.3	
008	12~14.5	23	23.5	43.0	

- 1) 실험체가 예상보다 빨리 파괴된 경우
- 2) 수직변형 증가로 인하여 들보받이의 상단 플랜지의 횡 지지대의 한 부분이 낙하한 경우

종국하중 P_u 로 부터 하중 분포길이를 고려하여 종국모멘트 M_u 가 계산되어 진다.

3. 결과분석

실험중 하중값 및 변형등은 컴퓨터에 의해서 기록되었고 그에 따른 웹의 변형은 그림 11과 같았다.

여러개 실험체에서 001에 대한 것만 대표적으로 제시하였다. 유공 가장자리에 최초로 두개의 좌굴이 발생한 것은 15KN시 였고 다음에 20K시에는 이 보다 먼곳에 까지 변형되었다. 이 재하하중 값은 같은 단면과 웹의 춤을 갖는 평판 웹실험³⁾시 보다 뚜렷한 내력 증가를 보이는 것이다.

22.5KN시에는 하나의 긴 파괴양상이 발생하였는데, 사다리꼴 종단면의 접이면을 걸쳐서 확장되었다. 이에따라 사다리꼴 위브가 인장되었으며 미소하중 재하에도 불구하고 짧은 시간에 큰 변형이 발생하였다. 그후에 27KN까지 하중이 증가 되었는데 미소한 하중 증분시에 수직변형이 현저히 증가하였다. 실험은 35.8KN시에 종료 되었다. 파괴양상은 그림 11.과 같다.

4. 결론

앞서의 고찰과 실험결과 분석으로부터 얻은 결론은 다음과 같이 요약되었다.

- 1) 사다리꼴 웹의 내력은 평판 웹 보다 뚜렷한 내력 증가로 이에 상응하는 강제절약 설계 단면을 결정할 수 있다.
- 2) 웹보강 스티프너가 불필요하게 되어 용접작업과 제작도 작성을 하지 않음에 따른 능률제고를 기할 수 있다.
- 3) 사다리꼴 웹 단면 채택으로 실제 구조물을 크게 경량화 할 수 있다.

실험결과를 근거로 한 산정모델의 이론연구가 뒷받침 되어 산정공식을 간단히 설계에 이용할 수 있도록 기준제시를 하는 것이 앞으로의 과제라 하겠다.

참고문헌

- (1) DASt-Richtlinie 015 : Träger mit schlanken. Deutscher Ausschuß für Stahlbau, Köln, 1990
- (2) Eurocode 3 : Design of Steel Structures, part 1 "General Rules and Rules for Building, Final Draft July 1990.
- (3) Lindner, J. und Asching, R. : Grenzscherbtragfähigkeit von I-Trägern, mit Trapezformig profilierten Stegen. Stahlbau 57 (1988), S. 377-380
- (4) Lindner, J. : biegetragfähern mit trapezförmig profilierten Stegen. Abschlußbericht zum DFG-Forschungsvorhaben Li 351/3-2, Bericht Nr. VR 2087 des Institut for Baukonstruktionen und Festigkeit TU Berlin, 1988.
- (5) Lindner, J. und Aschinger, R. : Zur Torsionstiefeigkeit von Trapez-tragern. Stahlbau 59 (1990), S. 113-120

- (6) Linder, J. und Schories, K. : überlegungen zur Dimensionierung von Biegeträgern mit Ausschnitten, Berichtsheft 10 Stahlbau Seminar Biberach, 1990