

유리 웹브를 사용한 H형 합성보의 내력에 관한 연구

손기상[†] · 전창현

서울산업대학교 안전공학과
(2005. 12. 22. 접수 / 2006. 4. 27. 채택)

A Study on Resisting Force of H-Shaped Beam Using Glass Web Plate

Ki Sang SON[†] · Jeon Chang-hyun

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology
(Received December 22, 2005 / Accepted April 27, 2006)

Abstract : Generally beam design depends on the yielding and maximum strength of each member varying with its section shape. Web plate of H-shape beam has not been substituted with glass plate, because it is known that its strength and heat properties are different and it is limited to substitute the existing steel web with glass element. Ceiling height of each room should be decreased with more than 60-80cm due to the beam. Differently from this condition, glass web beam has a good point to see through it and sunshine can be penetrate into the other size especially when it is installed as of outside wall. And also, it can be safer due to controlling room inside easier, if the strength is applicate. This study is to show some applicability after finding out the properties using the test. The test members with a size of 1,600×200×300×9mm being SS41 rolled steel having THK 9mm flange while having 8,10mm and reinforced glass 12mm thickness is bonded with epoxy bond under the condition of temperature 28℃, humidity 50%, bonding power 24Mpa.

It is show reinforced glass has 5 times of fracture stress more than the common glass but 50~150% difference between these 2 kinds of glass was shown.

Reinforce glass did not support the original upper flange after fracture but the common glass did the upper flange after unloading.

Generally reinforced glass is stronger than the common one but the common glass having a part of crack on it, compared with reinforced glass having the overall fracture could be more useful in case of needing ductility.

Key Words : glass plate, glass web beam, applicability, epoxy bond, fracture stress

1. 서 론

1.1. 연구배경 및 목적

최근 사회적 요구에 의해 장스팬 구조물과 초고층 건물의 수요가 크게 증가하고 있으며, 이에 대응하여 철골 부재의 사용도 증가하고 있는 추세이다. 철골 부재는 고층화 되어가는 최근의 구조물 실현에 가장 적합한 재료성능, 공기단축 및 시공의 편리성을 가졌다. 하지만, 철골 부재는 성능이 우수함에도 불구하고 경제적으로 고가이며, 자체중량이 크기 때문에 강재량을 줄이는 노력이 필요하다.

일반적으로 빔의 설계는 단면의 형상의 따라 부재의 항복 및 최대강도가 결정된다. H형강에서 웹 플레이트를 스틸 대신 유리로 대체하는 것은 두 가지가 강도, 열적 특성이 다르기 때문에 그리고 유리요소의 기존 철강 웹브를 대체하는 데는 한계가 있으리라는 선입관념 때문에 간과되어 온 것으로 사료된다.

기존 철골빔은 배관이 관통되는 것 이외에는 높이 60cm 때로는 80cm 이상 시야를 가리고 이를 커버하기 위해 천정 높이를 낮추어야 하는 경우들이 있었다. 이와 달리 유리 웹브 철골보는 웹브면으로 건너편을 투시할 수 있는 장점이 있고, 작업 중에 건너편을 볼 수 있고 외벽에 설치시 조명 및 일사량 조절에 도움이 될 수 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
ksson@snut.ac.kr

본 연구에서는 상업용으로 생산되는 유리판을 절골 플랜지와 유리웨브를 합성한 유리 웨브 합성보의 내력을 실험과 구조해석 프로그램을 사용하여 그 특성을 찾아보고 응용가능성을 제시하는데 목적이 있다.

12. 연구의 내용 및 범위

휨재로 사용되는 H형강이 설계될 때 고려되어야 할 주된 사항은 휨강도이다. 휨재로 사용되는 H형강의 휨강도는 플랜지에 의해 결정되므로 부재 설계시 H형강의 선택은 플랜지 단면에 의해 결정된다. 하지만, 이런 일반적인 방법으로 선택된 H형강의 웨브 플레이트는 그 두께에 있어 부재가 감당해야 할 전단내력에 대해 여유두께를 가지는 것이 일반적이다. 따라서, 웨브 플레이트 두께를 변수로 휨재의 내력을 분석하는 것은 효율적인 단면설계의 기초자료가 된다.

본 연구에서는 실험체를 직접 제작하여 실험과 국내에서 제작된 유한요소해석 프로그램인 MADIS 5.4를 이용한 해석을 수행하여 유리 웨브 플레이트 두께를 변수로 변화하는 휨재의 내력을 조사하게 된다.

실험에 사용되는 실험체는 총 4종류이다. 부재 총 길이는 160cm으로 일정하고 지점간 거리는 156cm 이고, 양단은 이동단으로 하였다. 실험에 있어 적용되는 유일한 변수인 유리 웨브의 두께 3가지로 하며, 기준이 되는 스틸 웨브 H형강은 기성 H형강과 동일한 것으로 하였다.

2. 실험계획

2.1. 유리의 내력 및 탄성

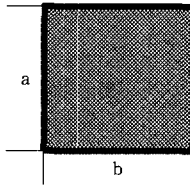
2.1.1. 유리의 조성

과거의 유리와는 달리 현재의 일반적인 유리의 주 용도는 단열, 절로방지, 반사, 투시, 자외선차단, 소음차단, 방화, 내충격, 내관통 등 여러 가지 용도로 쓰이고 있다.

강화유리는 표면부를 압축하고 내부를 인장하여 만든다. 보통 유리에 비해 굽힘강도는 3~5배, 내충격성도 3~8 배가 강하나 유리 자체가 내부에서 힘의 균형을 유지하고 있기 때문에 한쪽이 조금 절단되어도 전체가 팔알 크기의 파편으로 파괴되므로 강화처리 하기 전에 용도에 맞는 모양으로 만들어야 한다.

2.1.2. 지지조건에 따른 유리의 강도 및 허용휨응력

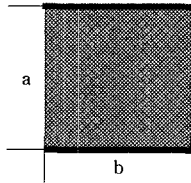
지지조건에는 4변 단순지지 등분포 하중, 3변 단순지지 등분포 하중, 2변 단순지지 등분포 하중이 있다. 각각이 하중조건은 여러 가지 조건에서 쓰이며, 각각의 하중을 통해 최대 휨응력과 최대처짐을 구할 수 있다.



$$\text{Maximum Bending Stress}(\sigma_c) = \beta \frac{wa^2}{t^2} \text{ (Mpa)}$$

b/a	1	1.2	1.5	2	3	4	5
β	0.270	0.360	0.474	0.602	0.711	0.740	0.748
α	0.047	0.065	0.089	0.116	0.140	0.147	0.149

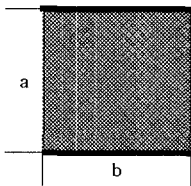
(a) uniformly distributed load simply supported at 4 sides



$$\text{Maximum Bending Stress}(\sigma_c) = \beta \frac{wa^2}{t^2} \text{ (Mpa)}$$

b/a	0.5	0.7	1	1.2	1.5	2	3	∞
β	0.348	0.509	0.658	0.713	0.756	0.783	0.791	0.791
α	0.075	0.108	0.138	0.149	0.158	0.163	0.165	0.165

(b) uniformly distributed load simply supported at 3 sides



$$\text{Maximum Bending Stress}(\sigma_c) = \beta \frac{wa^2}{t^2} \text{ (Mpa)}$$

b/a	0.5	1	2	∞
β	0.270	0.360	0.474	0.602
α	0.047	0.065	0.089	0.116

(c) uniformly distributed load simply supported at 4 side2

σ_c : maximum bending stress at glass(Mpa)

a,b : side length of rectangular(cm)

t : thickness of glass(cm)

β : constant

w : load(Mpa)

Fig. 1. Strength-calculating formula varying with support condition.

Table 1. Allowable bending stress of glass

kinds	average fracture stress(Mpa)		long term allowable stress5(Mpa)	
	in plane	boundary	in place	boundary
common glass	37.5 ~50.0	36.0	12.0	9.0
reinforced glass	150.0	110.0	50.0	35.0

2.2. 제작 및 종류

임의의 하중을 받고 있는 임의의 보에서 전단력이 걸리지 않으며, 균일한 굽힘 모멘트만 작용하고 있는 부분의 상태를 순수 굽힘의 상태라고 한다. 이와 같은 순수 굽힘으로 인해서 그곳에 발생하는 내부응력의 상태를 조사하자면, 그 부분의 재료의 변형 상태를 고찰해야 한다. 그 일을 위한 가정으로서, 이 보는 균일단면의 보이고, 그 중심축을 포함하는 대칭면을 갖는다고 생각하고, 이 면을 xy-평면으로 잡는다. 또한 모든 하중들은 이 대칭면 내에서 작용하며, 그 보의 굽힘 변형도 그 평면 내에서만 일어난다고 가정한다. 그리고 그 재료는 균질이며 인장과 압축 하에서의 탄성계수가 동일하다고 가정한다는 전제하에 본 실험을 실시하였다.

기준 실험체의 크기는 1,600×200×300×9mm인 SS41 압연강재를 이용하고, 상하 플랜지는 SS41의 9mm, 강재 웨브 플레이트는 15cm 간격으로 점용접을 하였으며, 유리 웨브의 변수는 8, 10mm 강화유리와 12mm 일반유리를 공업용 에폭시 본드를 이용하여 중점부 위아래 20cm를 본딩하였으며, 온도는 28.0℃, 습도는 50%이고, 에폭시 본드의 접착력은 24Mpa다.

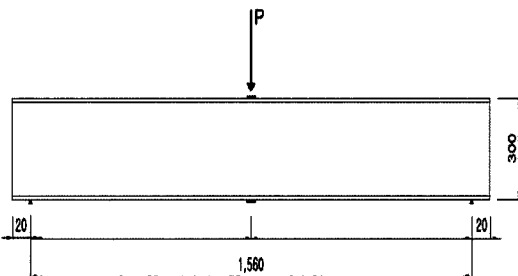


Fig. 2. Setup-test material.

Table 2. Modulus of elasticity & Poisson's Ratio of each material

material	Modulus of elasticity(Mpa)	Poisson's Ratio
steel(SS41)	210,000	0.30
common glass	75,000	0.25
reinforced glass	100,000	0.30

Table 3. Test materials

serial number	web thickness(mm)	remarks
WNS-T09	9	welding
WRG-T08	8	reinforce glass, 20cm bonding at center
WRG-T10	10	reinforce glass, 20cm bonding at center
WNG-T12	12	common glass, 20cm bonding at center

2.3. 실험장치 및 측정방법

실험에 사용된 실험방식은 Fig. 3과 같으며, 100tf의 UTM에 Tokyo Sokki 제품의 로드셀(Load Cell)과 실험체의 중앙과 1/4, 3/4지점에 총 8개의 스트레인 게이지를 부착하고 데이터 로거(DTS-602)를 이용하여 측정값을 기록하였다. 스트레인 게이지의 부착은 2차원을 기준으로 중점에는 2축, 다른 지점은 3축으로 하여 부착하였다. 스트레인 게이지는 부착 각도와 온도 및 습도에 따라 변형을 값이 변하므로 최대한 짧은 시간에 게이지를 부착하도록 하였다. 실험체의 지지단은 단순지지가 되도록 하였으며, 이동단으로 하였고, 지점간의 거리는 1,560mm로 하였다.

가력제어는 스틸 웨브는 0.15~0.20tf/s, 유리 웨브는 유리의 특성을 고려하여 0.05~0.10tf/sec씩 가력하여 측정하였다.



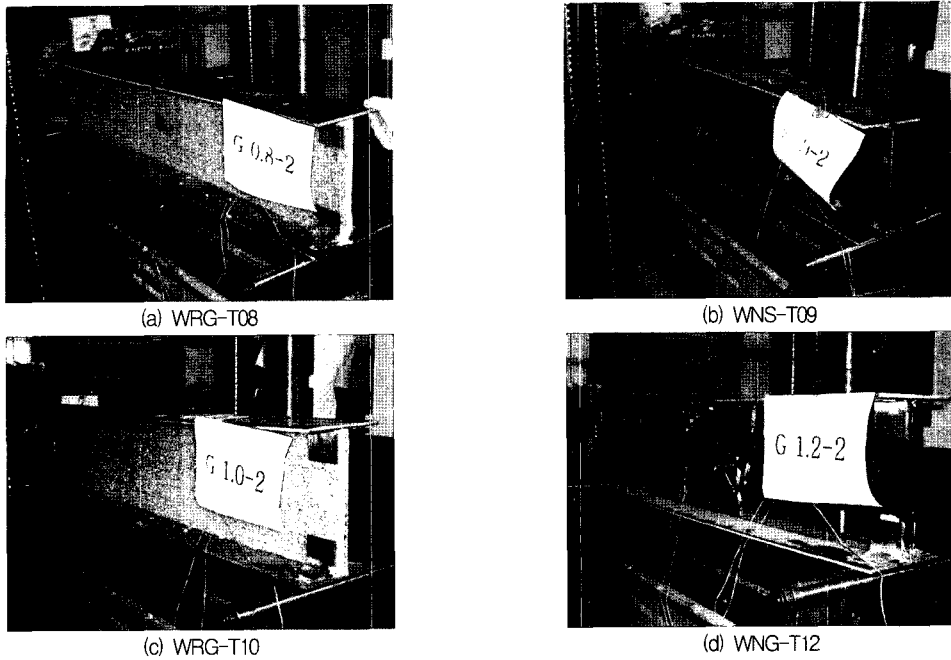


Fig. 3. Fracture shape of test materials.

3. 실험결과

3.1. 파괴형상

각각의 실험체의 파괴형상은 아래와 같다. 크랙을 보기 위해 2cm 간격으로 그리드를 만들었으나,

스틸 웨브와 달리 유리 웨브는 최대하중에서 순간적으로 파괴되었다. 일반판유리는 중앙부를 중심으로 크랙이 일시에 진행되었으며, 강화유리는 강화유리의 특성처럼 웨브전체가 최대하중에서 전부파괴되었다.

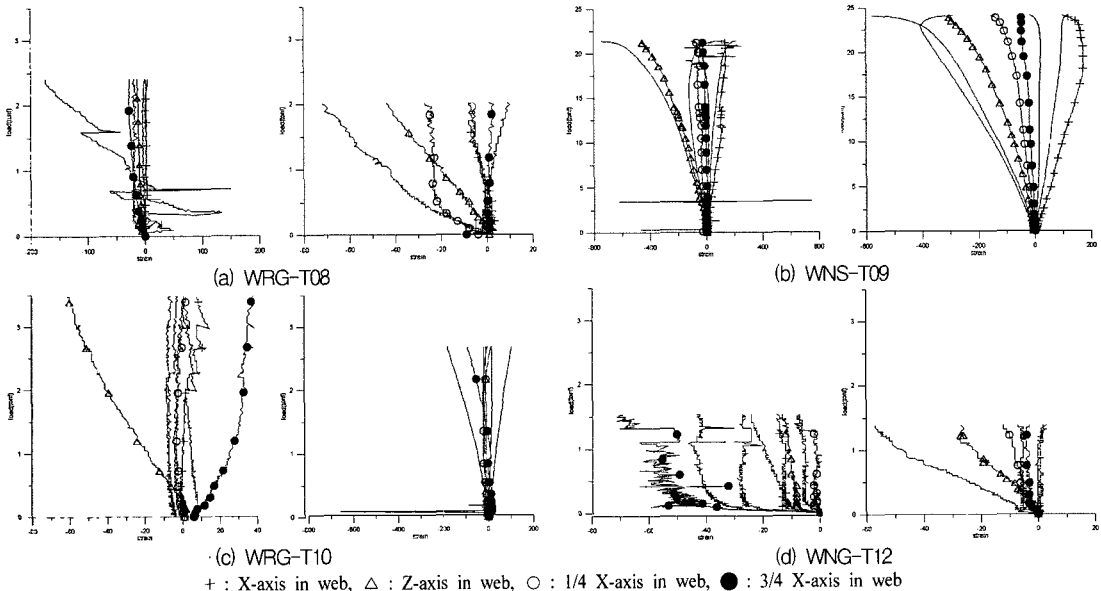


Fig. 4. Relationship of load-strain.

Table 4. Test result

test materials	NO.	P_{max} (tonf)	1/4 ϵ_x	1/4 ϵ_y	1/4 ϵ_z	3/4 ϵ_x	3/4 ϵ_y	3/4 ϵ_z	C ϵ_x	C ϵ_y
WNS-T09	1	21.39	-88	229	67	130	-464	-20	-107	-758
	2	24.12	-155	-17	-578	100	-305	-46	-119	-291
WRG-T08	1	2.40	4	-20	-1	1	-14	-27	-69	-174
	2	2.01	-27	-8	-72	-7	-44	1	9	-6
WRG-T10	1	3.48	2	-6	1	8	-61	38	-3	1
	2	2.67	20	17	-1	-17	-8	-87	106	-179
WNG-T12	1	1.53	-8	-7	-24	-15	-13	-69	-27	-43
	2	1.38	-12	-7	-57	6	-27	-3	2	3

P_{max} : maximum load(tf)

1/4 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$: strain of x,y,z axis at 1/4 point($\times 10^{-6}$)

3/4 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$: strain of x,y,z axis at 3/4 point($\times 10^{-6}$)

3.2. 하중-변형율

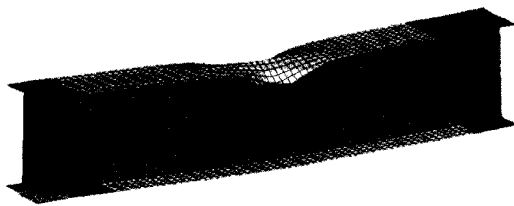
기준 스틸 웨브 부재의 최대하중은 21.39tf와 24.12tf로 나타났으며, 웨브 부재의 두께를 조절한 조립 부재 WRG-T08, WRG-T10, WNG-T12의 최대하중은 보다 많이 낮은 2.20tf, 3.00tf, 1.45tf로 나타났다. 강화유리를 적용한 WRG-T10, WNG-T12의 변형율이 차이를 보이는 것은 강화유리의 특성상 실험상의 미세한 차이로 일부분이 집중하중을 받으면 유리전체가 깨지는 특성상 오차가 크다고 사료된다.

기준이 되는 스틸부재의 변형율이 차이가 나는 것은 자체 제작 과정에서 정밀도 부족과 용접잔류응력에 의한 것으로 사료되므로 기성부재와 본 실험에 사용된 부재의 직접적인 비교는 타당치 않다.

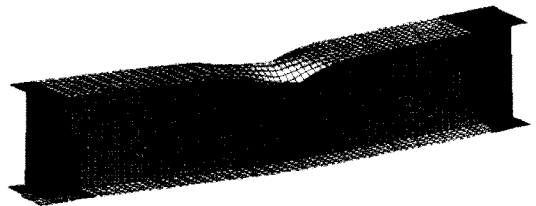
3.3. 프로그램 해석결과

Table 5. Z-axis displacement at web center analyzed by computer program package

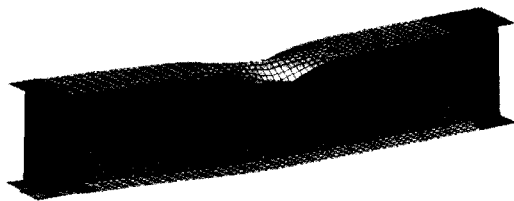
web THK load(tonf)	0.8 glass	1.0 glass	1.2 glass	0.9 steel
0	-0.000011	-0.000010	-0.000009	-0.12564
1	-0.009287	-0.008224	-0.007783	-0.00598
2	-0.018573	-0.016448	-0.015567	-0.01197
3	-0.027860	-0.024671	-0.023350	-0.01795
4	-0.037146	-0.032895	-0.031133	-0.02393
5	-0.046433	-0.041119	-0.038917	-0.02991
6	-0.055720	-0.049343	-0.046700	-0.03590
7	-0.065006	-0.057566	-0.054483	-0.04188
8	-0.074293	-0.06579	-0.062267	-0.04786
9	-0.083579	-0.074014	-0.070050	-0.05384
10	-0.092866	-0.082238	-0.077833	-0.05983
11	-0.102153	-0.090462	-0.085617	-0.06581
12	-0.111439	-0.098685	-0.093400	-0.07179
13	-0.120726	-0.106909	-0.101183	-0.07777
14	-0.130013	-0.115133	-0.108967	-0.08376
15	-0.139299	-0.123357	-0.116750	-0.08974
16	-0.148586	-0.131581	-0.124533	-0.09572
17	-0.157872	-0.139804	-0.132317	-0.10171
18	-0.167159	-0.148028	-0.140100	-0.10769
19	-0.176446	-0.156252	-0.147883	-0.11367
20	-0.185732	-0.164476	-0.155667	-0.11965



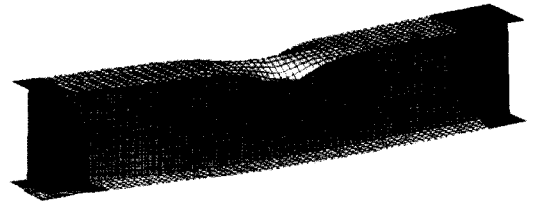
(a) WNS-T09



(b) WRG-T08



(c) WRG-T10



(d) WNG-T12

Fig. 5. Result of load-strain by computer program package.

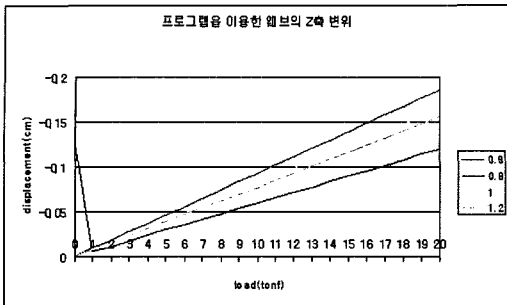


Fig. 6. Z-axis displacement at web center.

Table 6. X-axis displacement at web center analyzed by computer program package

web THK load(tonf)	0.8 glass	1.0 glass	1.2 glass	0.9 steel
0	0.000001	0.000001	0.000001	0.023117
1	0.001246	0.001217	0.001202	0.001101
2	0.002493	0.002433	0.002404	0.002202
3	0.003739	0.00365	0.003606	0.003302
4	0.004985	0.004867	0.004807	0.004403
5	0.006232	0.006083	0.006009	0.005504
6	0.007478	0.0073	0.007211	0.006605
7	0.008725	0.008516	0.008413	0.007705
8	0.009971	0.009733	0.009615	0.008806
9	0.011217	0.01095	0.010817	0.009907
10	0.012464	0.012166	0.012019	0.011008
11	0.01371	0.013383	0.013221	0.012108
12	0.014956	0.0146	0.014422	0.013209
13	0.016203	0.015816	0.015624	0.01431
14	0.017449	0.017033	0.016826	0.015411
15	0.018695	0.01825	0.018028	0.016511
16	0.019942	0.019466	0.01923	0.017612
17	0.021188	0.020683	0.020432	0.018713
18	0.022434	0.021899	0.021634	0.019814
19	0.023681	0.023116	0.022836	0.020914
20	0.024927	0.024333	0.024037	0.022015

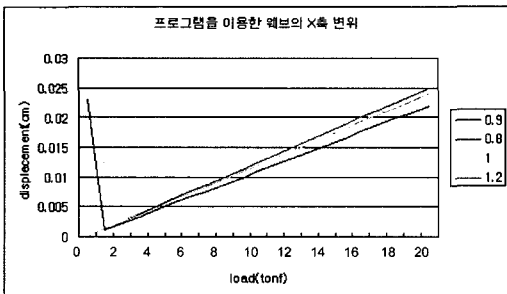
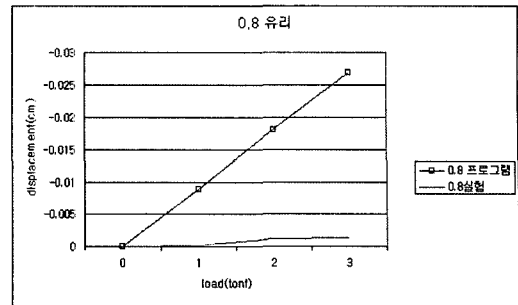
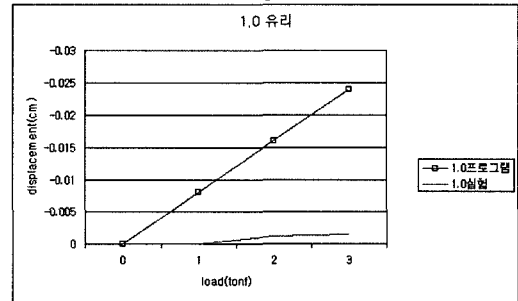


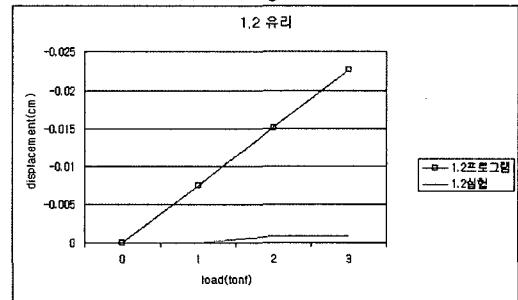
Fig. 7. X-axis displacement at web center.



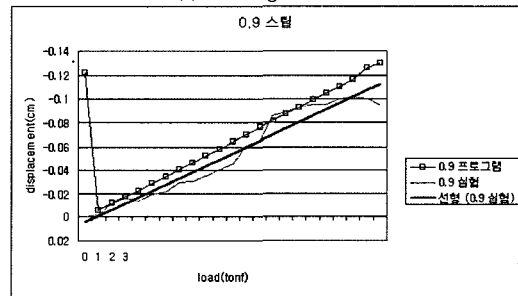
(a) 8mm glass web



(b) 10mm glass web



(c) 12mm glass web



(d) 9mm steel web

Fig. 8. Deflection of web.

3.4. 실험과 해석의 비교

스틸 부재의 변형율은 일반적인 탄성그래프의 형태를 보이며, 프로그램해석 또한 비슷한 형태를 보인다. 웨브의 중심에서의 변형율은 하중을 영율로 나누어서 그 값을 알 수 있다. 또한, 유리 웨브와 프

Table 7. Comparison of deflection result and analysis

web THK load(tonf)	0.8 glass		1.0 glass		1.2 glass		0.9 glass	
	program	test	program	test	program	test	program	test
0	-0.000011	0	-0.00001	0	-0.000009	-0.00001	-0.122384	-0.00001
1	-0.008992	-0.0001	-0.007976	-0.00001	-0.007564	-0.00001	-0.005827	-0.00201
2	-0.017985	-0.00122	-0.015953	-0.00120	-0.015128	-0.00080	-0.011655	-0.0122
3	-0.026977	-0.0013	-0.023929	-0.00140	-0.022692	-	-0.017482	-0.01611
4	-0.035969	-	-0.031906	-	-0.030256	-	-0.02331	-0.01332
5	-0.044961	-	-0.039882	-	-0.03782	-	-0.029137	-0.01894
6	-0.053954	-	-0.047858	-	-0.045384	-	-0.034965	-0.02225
7	-0.062946	-	-0.055835	-	-0.052948	-	-0.040792	-0.02998
8	-0.071938	-	-0.063811	-	-0.060512	-	-0.04662	-0.03056
9	-0.08093	-	-0.071788	-	-0.068076	-	-0.052447	-0.03554
10	-0.089923	-	-0.079764	-	-0.07564	-	-0.058275	-0.40808
11	-0.098915	-	-0.08774	-	-0.083204	-	-0.064102	-0.45907
12	-0.107907	-	-0.095717	-	-0.090768	-	-0.06993	-0.06145
13	-0.116899	-	-0.103693	-	-0.098332	-	-0.075757	-0.06501
14	-0.125892	-	-0.11167	-	-0.105896	-	-0.081585	-0.08500
15	-0.134884	-	-0.119646	-	-0.11346	-	-0.087412	-0.08911
16	-0.143876	-	-0.127622	-	-0.121024	-	-0.093239	-0.09321
17	-0.152869	-	-0.135599	-	-0.128588	-	-0.099067	-0.09592
18	-0.161861	-	-0.143575	-	-0.136152	-	-0.104894	-0.09591
19	-0.170853	-	-0.151552	-	-0.143716	-	-0.110722	-0.10001
20	-0.179845	-	-0.159528	-	-0.15128	-	-0.116549	-0.10155
21	-	-	-	-	-	-	-0.125597	-0.10009
22	-	-	-	-	-	-	-0.129482	-0.09502

*average values on "test" column in the above Table 7.

로그래를 비교하여 변형율을 알 수 있는데 그 유리의 특성으로 인해 프로그램과 실험이 다른 것으로 나타난다.

유리웨브는 프로그램 해석과 달리 하중이 하판 플랜지에 도달하기 전에 파괴되는 것으로 나타난다. 그러나 스틸웨브는 프로그램 해석과 유사한 경향을 나타내었다.

4. 분석

위와 같은 실험과 프로그램 해석을 비교·분석을 아래와 같이 하였다.

1) 기준 스틸웨브는 변형율이 스틸의 일반적인 거동을 보이는 것으로 나타났으며, 변형 또한 프로그램 해석과 유사한 형태로 파괴되었다.

2) 실험에서 일반유리 12mm를 적용한 실험체는

기준 실험체 최대하중의 4.65%로 나타났다.

3) 강화유리를 적용한 8mm 유리웨브는 기준 실험체 최대강도의 9.71%, 10mm 유리웨브는 13.34%로 나타났다.

4) 강화유리가 일반유리에 비해 일반적으로 파괴응력이 약 5배 정도 강하나 본 실험에서는 50~150% 정도의 차이를 보이는 것으로 나타났다.

5) 실험에서 스틸 웨브의 경우 하중이 중앙에 집중되면 주변으로 하중을 분산되는데 비해 유리 웨브의 경우 중앙에만 하중이 집중이 될 후 파괴된다.

6) 강화유리는 파괴 후 상판 플랜지를 지지 못하나, 일반유리는 가력을 제거 후에도 상판 플랜지를 유지하였다.

7) 실험에서 유리웨브의 경우 일반유리와 강화유리의 파괴전까지 변형의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

8) 부재의 처짐은 유리 웨브가 적용되었을 경우

해석과 달리 나타나고, 스틸 웹의 경우 유사한 값과 경향을 나타낸다.

9) 프로그램의 응력-해석도와 달리 유리 웹은 실제 실험에서는 유리의 취성으로 인해 전혀 다른 거동을 보인다.

10) 보의 처짐은 프로그램해석과 달리 실험에서는 유리웹은 처짐이 1/10~1/20으로 나타난다.

11) 일반유리는 순간적 파괴, 강화유리는 유리웹 전체가 파괴되어 예측과 같이 강플랜지가 선파괴되지 않으므로 접속부에서도 같은 거동을 보였다.

12) 유리복부 극한하중 접근시에 강플랜지와 접속부에서는 전체보의 처짐에도 탈락변형이 없는 것으로 나타나 유리복부의 선파괴 거동이 문제인 것으로 판단된다.

5. 결론

이 연구에서는 유리웹을 구조물에 적용할 수 있는지 실험과 유한요소해석 프로그램을 통하여 이론해석의 신뢰성을 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 일반적인 H형강의 경우 하중이 상판 플랜지의 영향을 받은 후 웹에 그리고 하판 플랜지에 하중이 전달되나 강화유리 및 일반유리가 응력을 하판 플랜지까지 전달하지 못하고 파괴되는 것으로 사료된다.

2) 유리를 구조적으로 설계하기 위해서 현재의 프로그램으로는 모델을 예측할 수 없을 것으로 사료된다. 그리고 웹에 스틸프너를 적절히 보강하는 것이 유리웹 구조의 실용성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

3) 강도가 일반유리에 비해 강한 강화유리지만 일정하중에 전체가 파괴되는 강화유리보다 일부분에만 크랙이 생기는 일반유리가 구조적으로 더 우수할 것으로 사료된다.

투과의 장점이 있는 유리 웹 플랜지를 구조적으로 사용한다면 여러 가지 장점이 있을 것으로 생각된다. 구조적 강도를 높이기 위해 스틸프너를 보강하여 연구한다면 본 연구보다 부재의 내력증진을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 정오근, “얇은 웹 부재를 사용한 H형 강보의 내력에 관한 연구”, 건국대학교 석사학위논문, pp. 8~13, 2001.
- 2) 윤성기, 신영식, “휨을 받는 얇은 판 부재에서의 웹부재의 좌굴거동과 보강에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집, 제13권, 제6호, pp. 329~338, 1997.6.
- 3) Rhodes, J. and Sear, L. K., “Buckling of edge-Stiffened Thin Walled beam Sections”, Proc. Instn Civil Engineering Structures & Bldg., Vol. 94, pp. 323~332, 1992.
- 4) 김규석, “플랜지-웹 두께비에 따른 플랜지거더의 전단응력강도”, 동국대학교 석사학위논문, pp. 3~4, 1993.
- 5) 박기용, “부재의 축과 스트레인 게이지 부착측의 불일치로 인한 스트레인 값의 변화”, 호남대학교 석사논문, pp. 1~20, 2003.
- 6) 정희영, 길봉석, “변형을 측정 센서의 특성에 관한 실험적 연구”, 서울시립대학교 산업기술연구소 논문집, 1~15, 1999.
- 7) 손기상, “철근 콘크리트 보, 기둥 접합부거동의 비선형 해석에 관한 연구”, 연세대학교 박사논문, pp. 5~8, 1987.
- 8) 김진경, “고강도 H형강의 폭 두께비와 항복강도”, 중앙대학교, pp. 8~12, 2000.
- 9) 최철웅, “얇은 판 보부재의 웹설계에 관한 연구”, 기 건축구조안전 기술사 사무소, pp. 15~18, 1999.