

# 유리온실용 알루미늄 구조재의 단면분석에 관한 연구

## The Analysis of The Cross-section for Structural Aluminium in Greenhouse

김경원*	윤진하*	전종길*	정성립*
정희원	정희원	정희원	정희원
J.H.Yun	K.W.Kim	J.K.Jeun	S.L.Jung

### 1. 서론

최근 국내의 시설원예는 원예농산물의 수요의 확대에 따라 급속한 발전을 이루고 있다. 우리나라의 시설재배면적이 총재배면적중 차지하는 비율은 채소인 경우 1970년에는 1.4%, 1990년에는 12.6%이며, 화훼인 경우 1970년에는 14.0%, 1990년에는 50.0%로, 기간중 채소는 약 9배, 화훼는 약 3.6배 증가하였으며, 1990년 이후에도 계속 증가하는 추세를 보이고 있다.

이러한 시설 원예의 급속한 발전과 함께 시설의 대형화가 이루어지고 있다. 시설재배는 현재 파이프 하우스나 철골 온실이 주종을 이루고 있으나, 내부환경이 고온다습한 온실의 본질적인 특성으로 인하여 내식성, 경량, 가공성의 이점을 도입한 알루미늄 재료가 주요 구조재들을 대체하고 있으며, 그 용도를 확대해 가고 있다.

그러나 우리나라는 원예시설의 구조안전을 위한 설계 기준이 설정되어 있지 않아 구조설계가 확립되어 있지 못한 실정이며, 일반적으로 알루미늄 구조재들은 구조가 취약한 것도 많고 그 형식이 복잡하여 많은 문제점과 애로사항을 노출하고 있다.

따라서 본연구는 유리온실용 알루미늄구조재에 대해서 단면분석한 이론값과 부재의 기계역학적 압축 및 항절시험을 통하여 얻은 실험적결과치를 상호 비교 분석하여 알루미늄구조재의 부재단면설계에 대한 이론 및 실험적 정보를 제공하고자 수행하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 단면분석용 공시 알루미늄구조재 선정

본 시험에 사용된 알루미늄구조재 공시재료는 용마루5종, 천창회전재 3종, 서까래 3종으로 선정 하였다. 용마루는 그림 1에서 싱글웹브3종(①, ②, ③형), 더블웹브2종(④, ⑤형)으로, 서까래는 유리부착부 형상이 □형인 ①형, H형인 ②형, V형인 ③형 각 1종으로 선택하였다.

공시구조재의 단면치수는 표1에서 제시한 바와 같다. 용마루의 최대폭은 60~98mm, 전

체높이는 110×130mm, 두께가 1.2~2.5mm이며, 천창회전재의 최대폭은 28~38mm, 전체 높이는 50~56mm이고, 서까래의 높이는 23~40mm였다.

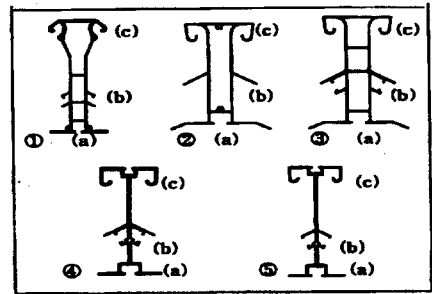
나. 단면분석

단면 2차모멘트는 Ansys 적분프로그램을 사용하여 산정하였으며, 단면적비는 부재별로 ①형상의 면적을 기준으로 하였다. 휨강성비는 부재별로 ①형상을 기준으로 단면2차모멘트비에 대해 해당부재의 단면적비로 나누어서 계산하였다.

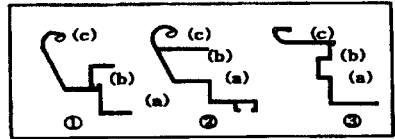
라. 단면검정

알루미늄부재단면의 검정시험인 기계적 압축 및 항절시험에 선정된 공시구조재는 용마루5종과 서까래 3종으로 하여 단면검정을 수행하였다. 압축 및 항절시험 각각에 대한 하중-변위로부터 항복특성을 분석한후 항복점에서 압축항복응력, 굽힘모멘트를 구하였다.

○ 용마루(5종)



○ 천창회전재(3종)



○ 서까래(3종)

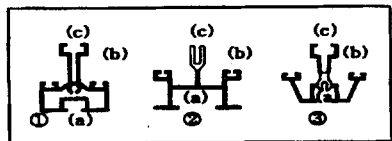


그림 1. 공시재료 단면형태

표 1 단면 치수

(단위 :mm)

구 분		(a)		(b)		(c)		전체 높이	횡단면적 (mm <sup>2</sup> )
		폭	두께	높이(폭)	두께	반경	두께(폭)		
용 마 루	①	60	2.5	36	1.0	3.5	2.0	130	848
	②	98	1.2	37	1.2	4.7	1.2	110	612
	③	93	1.8	37	1.3	5.3	1.8	117	813
	④	60	1.8	40	1.2	5.3	1.8	110	723
	⑤	60	1.5	40	1.0	5.0	1.5	127	703
천창 회전재	①	38	1.5	(7)	1.0	10	1.5	50	256
	②	28	1.1	-	-	10	1.1	52	187
	③	30	1.3	(12)	1.3	9.5	1.6	56	205
서 까 래	①	40	1.0	(13)8	1.0	-	1.0(13)	30	188
	②	36	1.0	(17)7	1.0	-	1.0(6)	28	151
	③	23	1.2	(15)8	1.2	-	1.5(13)	30	201

압축 및 항절시험장치의 구성은 그림 2에서 보인 바와 같이 압축가력부, 제어부, 데이터 수집부로 구성되어 있고, 알루미늄 압축 및 항절시험이 가능하도록 별도의 로드셀을 부착

할 수 있도록 하였다.

항절시험에서 시험편의 양끝단은 단 순보로하여 중앙에 집중하중이 작용하도록 하였으며, 압축시험은 표 2에서 제시한 바와 같이 용마루, 서까래 모두 길이는 80mm로 하였으며, 열변형없이 절단한 뒤 절단면을 밀링처리하여 시험편상부에  $\phi 20\text{mm}$  가압판으로 압축하였다.

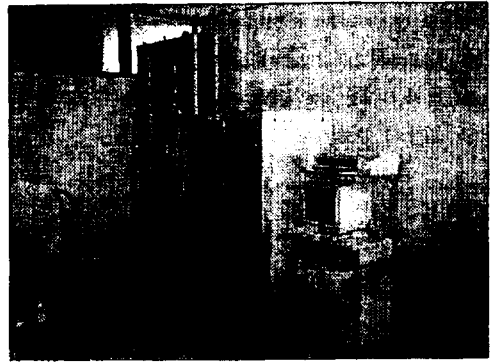


그림 2 압축 및 항절 시험장치

압축시험에서 항복응력은 항복하중에 시험편의 초기좌굴위치인 항복지점을 분석한후 그점에서 압축면적을 산정한값

으로 나누었으며, 부재의 단면적크기와 관련된 압축내력효과를 비교하기 위하여 부재별 ①형상을 기준으로 항복하중비에 단면적비를 나누어 구하였다.

표 2 검정시험 조건

구 분	시 험 기	설정하중 (톤)	시험속도 (mm/min)	지간길이 L (mm)	시험온도 (° C)	시험편길이 (mm)
압축시험	DYMC-30TD	5	2	-	25	실물 80
항절시험	DYMC-30TD	5	2	290(310)	25	실물500

\* 지간길이(310)은 서까래항절시험

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 단면특성분석 및 단면성능비교

공시재료의 단면 특성과 단면성능은 표 3에 나타내었다. 공시재료의 단면적은 Ansys를 이용하여 용마루  $612\sim 848\text{mm}^2$ , 천창회전재  $187\sim 256\text{mm}^2$ , 서까래  $151\sim 188\text{mm}^2$ 로 산정하였다. 용마루는 서까래와 천창회전재가 조립되고 천창회전고리부 등이 부착되므로 다른부재와는 달리 단면구조가 복잡하고, 단면적은 서까래 혹은 천창회전재에 비하여 4배정도 더 크게 나타났다. 굽힘력에 저항되는 용마루의 단면2차모멘트  $I_x$ 는  $90.5\sim 193.9\text{cm}^4$ , 천창회전재의 단면2차모멘트는 천창이단힌상태에서  $I_x$ 는  $9.4\sim 1.2\text{cm}^4$ , 열린상태에서  $I_x$ 는  $5.6\sim 7.2\text{cm}^4$ 로 차이가 났다. 이 차이는 빔구조상 천창회전각에 따라 다르게 나타난 것으로 보인다. 서까래의 단면2차모멘트  $I_x$ 는  $0.9\sim 1.4\text{cm}^4$ 로 천창회전재에 대해 1/5~1/9배 수준이었고, 용마루와 비교했을 때는 1/90~1/138배정도로서 각 부재에 대한 휨저항력을 추정할 수 있었다. 동일단면에 대하여 부재별 휨강성을 비교하면 용마루는 ① 및 ⑤, 천창회전재는 ③, 서까래는 ① 및 ③부재가 가장 높게 나타났다.

표 3 단면특성 분석 및 단면 성능 비교

구분	단면 특성										단면성능 비교		
	단면적(mm <sup>2</sup> )	무게(kg/m)	단면2차 모멘트(cm <sup>4</sup> )		관성회전 반경 (cm)		단면 계수 (cm <sup>3</sup> )		중심 (mm)	단면적비	단면 계수비	휨강성비	
			Ix	Iy	ix	iy	Zx	Zy					
용마루	①	848	2.24	193.9	17.1	4.78	1.42	29.2	5.7	65.9	1.00	1.00	1.00
	②	612	1.52	90.5	25.8	3.85	2.05	15.3	5.3	59.0	0.72	0.73	0.65
	③	813	2.07	138.2	24.9	4.12	1.75	21.7	5.3	63.6	0.96	0.77	0.74
	④	723	1.81	109.5	13.5	3.89	1.37	19.0	4.5	57.6	0.85	0.77	0.67
	⑤	703	1.77	149.1	10.9	4.60	1.25	22.9	5.0	65.1	0.83	0.95	0.93
천창회전재	① 단힉열립	256	0.69	12.2	4.5	2.18	1.33	3.08	1.14	39.6	1.00	1.00	1.00
				6.6	10.2	1.61	1.99	3.14	4.86	21.0		1.00	1.00
	② 단힉열립	187	0.44	9.4	2.1	2.24	1.10	2.35	0.53	40.0	0.73	1.05	1.06
				5.6	6.0	1.73	1.79	2.13	2.28	26.3		0.73	0.93
	③ 단힉열립	205	0.47	11.0	1.7	2.32	0.91	2.58	0.40	42.7	0.80	1.05	1.13
				7.2	5.5	1.87	1.64	2.52	1.92	28.6		0.80	1.00
서까래	①	188	0.50	1.3	2.3	0.83	1.10	0.67	1.13	11.0	1.00	1.00	1.00
	②	151	0.35	0.9	1.6	0.75	1.04	0.56	0.91	12.6	0.80	1.04	0.87
	③	201	0.50	1.4	1.6	0.83	0.91	0.79	0.84	12.6	1.07	1.10	1.01

나. 단면검정

압축, 항절시험을 통하여 도출한 알루미늄부재의 항복-변위에 대한 결과는 그림 4~7에 제시하였다. 압축시험에서 용마루의 항복하중은 301~987kgf, 서까래의 항복하중은 303~2180kgf 이었다. 이때의 항복변위는 용마루1.17~2.15mm, 서까래 0.5~0.94mm로 나타났으며 표4에서 제시된 바와 같이 압축항복응력은 용마루1.57~3.13kgf/mm<sup>2</sup>, 서까래3.15~13.5kgf/mm<sup>2</sup>였다. KS6063 항복강도 11kgf/mm<sup>2</sup>이상 조건과 비교할 때 서까래 ①을 제외한 모든 부재는 KS 기준이하에서 항복이 나타났고 이들 부재는 압축좌굴에 의한 압축항복내력저하로 판단된다.

항절시험에서는 용마루의 항복하중은 500~1603kgf, 서까래의 항복하중은 83~165kgf 이었다. 굽힘모멘트는 용마루에서 36.3~118.2kgf-m, 서까래에서 6.5~12.8kgf-m로 나타났으며 굽힘응력은 용마루에서 2.37~5.04kgf/mm<sup>2</sup>, 서까래 8.1~11.5kgf/mm<sup>2</sup>로 나타났다. 굽힘응력은 용

마루에서 ④, ⑤ 및 ⑥이 가장 높았고, 서까래에서는 ③ 및 ②가 가장 높았다.

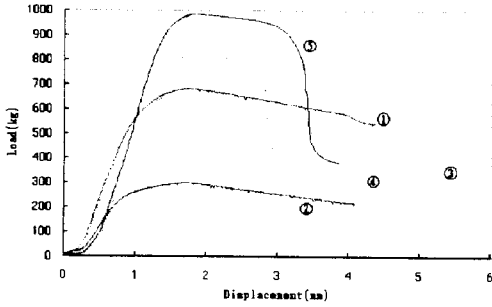


그림 4 용마루 압축시험 하중-변위

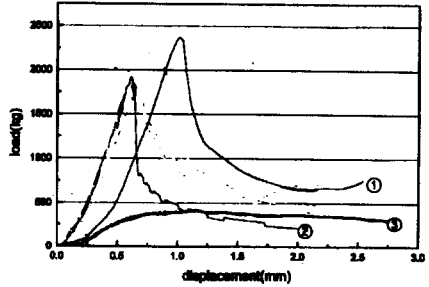


그림 5 서까래 압축시험 하중-변위

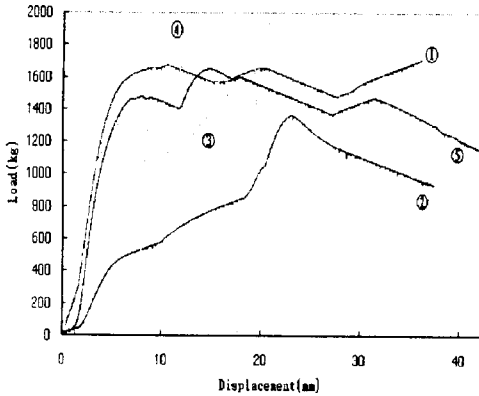


그림 6 용마루 항절시험 하중- 변위

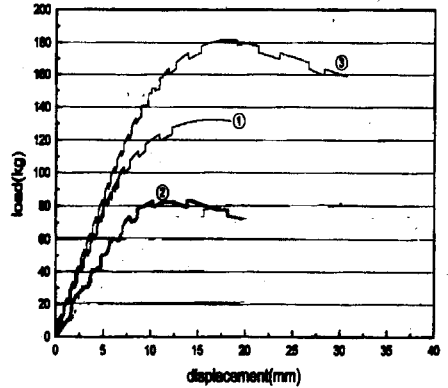


그림 7 서까래 항절시험 하중-변위

표 5의 압축재단면의 경제적설계와 관련되는 압축하중계수비는 용마루에서 ④ 및 ⑤가 서까래에서 ①이 가장높게 나타났다. 특히 서까래③은 유리부착지지부가 V으로 되어있어 압축하중초기에 중도리부착부에서 굽힘이 발생되어 압축하중계수비가 서까래 ①의 1.00에 비하여 0.13 정도로 매우 낮게 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

유리온실용 알루미늄구조재에 대해서 단면분석한 이론값과 부재의 기계역학적 압축 및 항절시험을 통하여 얻은 실험 결과치를 상호 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

표 5. 항복점 결과 분석

구 분	압축시험 결과					항절시험 결과				
	항복하중 $F_p$ (kg)	항복 변위 (mm)	항복 응력 $\sigma_p$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	항복 지점 (H)	압축하중계수 비	항복하중 $F_t$ (kg)	항복변위 $X$ (mm)	굽힘모멘트 (kgf-m)Mt	굽힘응력 (kg/mm <sup>2</sup> ) $\sigma_t$	
용 마 루	①	682	1.17	2.84	0.86	1.00	1630	6.65	118.2	4.02
	②	301	1.91	1.57	0.88	0.61	500	5.37	36.3	2.37
	③	650	1.72	3.13	0.85	0.99	1040	4.83	75.4	3.47
	④	820	2.15	2.85	0.1	1.41	1320	4.67	95.7	5.04
	⑤	987	1.89	3.09	0.1	1.74	1483	5.80	107.5	4.69
서 까 래	①	2180	0.94	13.6	0.5	1.00	123.5	10.82	8.1	8.1
	②	1400	0.65	8.75	0.4	0.80	83.5	12.9	6.5	9.1
	③	303	0.5	3.15	0.0	0.13	165	12.5	12.8	11.5

\* H : 항복지점높이/실물높이

1) 용마루의 단면2차모멘트  $I_x$ 는 90.5~193.9cm<sup>4</sup>, 천창회전재의 단면2차모멘트는 천창이 닫힌상태에서  $I_x$  9.4~1.2cm<sup>4</sup>, 열림상태  $I_x$  5.6~7.2cm<sup>4</sup>로 천창회전각에 따라 다르게 나타났고, 서까래의 단면2차모멘트  $I_x$ 는 0.9~1.4cm<sup>4</sup>로 천창회전재에 비하여 1/5~1/9배, 용마루와 비교 1/90~1/138배 휨저항력이 추정되었다. 동일단면적으로 부재별 휨강성비교에서 용마루는 ① 및 ⑤, 천창회전재는 ③, 서까래는 ① 및 ③부재가 가장 높게 나타났다.

2) 압축시험에서 압축항복응력은 용마루1.57~3.13kgf/mm<sup>2</sup>, 서까래3.15~13.5kgf/mm<sup>2</sup>로 나타났으며, 부재별 압축좌굴저항은 용마루에서 ③ 및 ⑤, 서까래에서 ①이 가장 우수하였다. 압축력에 대한 경제적설계치를 나타내는 압축하중계수비는 용마루에서 ⑤ 및 ④, 서까래에서 ①이 가장 우수하다고 판단된다.

3) 항절시험에서 굽힘응력은 용마루에서 2.37~5.04kgf/mm<sup>2</sup>, 서까래 8.1~11.5kgf/mm<sup>2</sup>로 나타났으며 용마루의 ④, ⑤ 및 ⑥ 형상과 서까래의 ③ 및 ②형상의 굽힘응력이 가장 높았다.

## 5. 참고문헌

1. 고재균외2인. 1986. 시설하우스 안전구조설정을 위한 역학적 연구. 농시논문집(농업산학협동편). 농촌진흥청
2. 정일영외2인. 1992. 강도설계법과 허용응력도 설계법의 부재능력에 대한 비교연구. 대한건축학회논문집 8권1호
3. 농어촌진흥공사. 1995. 원예시설의 구조안전기준 작성(최종)
4. 대한건축학회. 1983. 강구조 계산 기준 및 해설