

# 선설계기법을 이용한 장경간 유리온실 구조시스템 개발

## The Development of Structural System of Long-span Greenhouse Using the Pre-Engineering Building System

오명호\* · 김용석\*\*

Oh, Myoung Ho · Kim, Yong Seok

### Abstract

Rural facilities need to be changed to be industrialized and long span structures due to accelerating aging of the rural population. In this study, the optimized structure was developed by applying Pre-Engineered Building System using the tapered member to make that the Korea standard green house has a long span. When considering design load, reasonable values were adapted by reviewing existing design codes. As a result, applying pre-engineered building system was efficient in structural system that has span longer than 16 m. And it was concluded that the increase with the longitudinal span from 4 m to 12 m was more efficient in aspect of steel amount.

**Key words** : Venlo glass greenhouse, Pre-engineering building system, Tapered beam, Optimum structural system

### 요 지

최근 급속도로 가속화되는 농촌인구의 고령화 등으로 인해 농촌시설물도 기업화, 대형화, 대공간 시설물로 변경되어야 할 필요성이 있다. 이 논문에서는 현행 한국형 유리온실의 대표적인 시스템인 베로형 유리온실을 장경간화하기 위해 변단면 부재를 이용한 선설계기법을 적용하여 최적의 구조시스템을 개발하였다. 설계하중은 기존의 설계기준들을 검토하여 합리적인 값들을 적용하였다. 그 결과 스패인 16 m 이상인 구조시스템에서 선설계기법을 적용하면 효율적이었으며 종방향 간격도 기존의 4 m 보다 12 m로 증가시키는 것이 철골물량측면에서 유리함을 알 수 있었다.

**핵심용어** : 베로형 유리온실, 선설계기법, 변단면부재, 최적구조시스템

### 1. 서 론

우리나라에서 유리온실은 1991년 네덜란드에서 베로형 온실의 샘플을 수입한 것을 계기로 발전되기 시작했다. 1993년 이후에는 농산물유통공사가 음성에 준공한 유리온실 등의 성장작목종합시범단지사업으로 농가 소유의 첨단유리온실이 보급되었다. 또한 1994년부터 화훼와 채소에 대한 생산·유통 지원사업 추진으로 전국적으로 온실이 보급되었다. 이 사업을 추진하면서 원예시설구조안전기준이 마련되어 온실표준화의 기초가 마련되었다. 1994년에는 농가보급형 유리온실이 개발되었고 1997년에는 한국형 유리온실의 5가지 모델이 개발되었다. 1999년에는 24,000평의 베로형 온실이 국내 자재와 기술로 건설되었다. 이는 정부가 추진한 시설원에 현대화사업으로 선진국과의 시설원에 기술 격차를 거의 극복한 결과로 평가되고 있다(오명호, 2009).

그러나 최근 급속도로 가속화되는 농촌인구의 고령화 등으

로 인해 농촌시설물도 기업화, 대형화, 대공간 시설물로 변경되어야 할 필요성이 대두되게 되었다. 현행 한국형 유리온실의 대표적인 시스템인 베로형 유리온실의 경우 기둥은 각형 강관이고 보는 트러스로 구성되어 있으며 경간은 최대 9.6 m 이다(그림 1). 그러나 최근에는 인건비 상승을 고려하여 이형 철근을 상하현재에 용접하여 제작하는 트러스 시스템보다는 라멘의 형태로 바뀌어 가는 추세이다. 또한 유리온실의 경우, 장경간으로 하게 되면 내부 기둥이 없어져서 작업 환경의 개선 및 작물 성장에 필요한 빛의 투과에 유리한 장점을 가지고 있다.

구조물이 장경간이 될수록 부재 내의 위치에 따른 응력의 차이가 커져 기존의 일정단면 시스템을 적용할 경우 최대 응력이 발생하는 가장 불리한 단면을 기준으로 전체 부재의 단면 크기가 정해지므로 이에 따른 재료적 손실이 많았다. 이에 비해 변단면 부재를 이용하게 되면 제작하기 전에 설계응력에 맞도록 부재 설계를 먼저 실시한 후 설계된 치수대로

\*정회원 · 국립목포대학교 공과대학 건축공학과 조교수(E-mail: ohmho@mokpo.ac.kr)

\*\*국립목포대학교 공과대학 건축공학과 교수

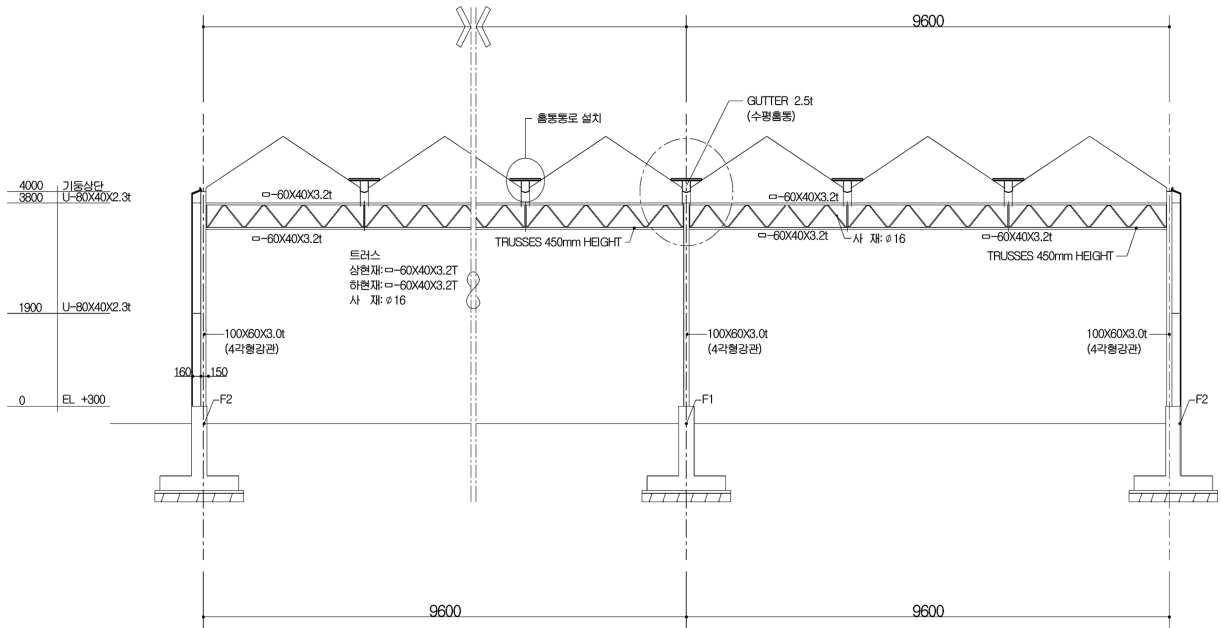


그림 1. 베로형 유리온실의 단면도(9.6 m x 4 m)

각 부재를 개별 생산하는 선설계(Pre-Engineered Building) 시스템을 이용하면 부재 전체를 단면 크기에 따라 용력을 적절히 분담하도록 부재 설계를 할 수 있어 재료 손실을 줄일 수 있게 된다(김호수, 1996).

이 논문에서는 현행 한국형유리온실의 대표적인 시스템인 베로형 유리온실을 장경간화하기 위해 온실구조설계기준 및 해설(안)(1999)과 건축구조설계기준(2005) 및 개정예정인 건축구조설계기준(2009)에 의거하여 합리적이고 적용가능한 설계하중에 대해 검토하였다. 또한 이러한 하중을 적용하여 선설계기법을 적용하여 설계한 후 철골 중량 측면에서 비교 분석하였다.

## 2. 베로형 유리온실의 설계하중 검토

### 2.1 온실의 일반사항

한국형 유리온실의 형태로는 표 1에서 나타낸 바와 같이 와이드 스패형, 베로형, 에너지 절약형이 있으며, 현재 농촌에서는 베로형 유리온실을 가장 많이 사용하고 있다(그림 1). 특히 베로형 유리온실은 유럽, 네덜란드를 중심으로 발전한 연동형 온실로 처마가 높고 폭이 좁은 양쪽 지붕형 온실이 여러 개 연결되어 있으며, 채소와 꽃재배용으로 3,000~6,000 m<sup>2</sup>의 대규모 온실에 이용되고 있다. 이것은 지붕의 경

표 1. 한국형 유리온실의 특징

온실형태별	구조시스템	유형	기본모듈
와이드 스패형	경량철골조	I	9 m×4 m
		II	12.8 m×4 m
베로형	경량철골조	I	6.4 m×4 m
		II	9.6 m×4 m
에너지 절약형	경량철골조	I	15 m×1.2 m

사가 낮아 서까래의 간격이 넓어질 수 있기 때문에 골조가 덜 들어 시설비를 줄일 수 있으며 채광률을 높일 수 있다.

### 2.2 설계하중검토

#### 2.2.1 고정하중(D)

온실은 일반건축물에 비해 자중이 가벼운 건축물이다. 일반적으로 원예시설에 사용되는 고정하중은 표 2와 같다(손정익, 1994).

#### 2.2.2 설비하중(D<sub>M</sub>)

온실구조설계기준 및 해설(대한건축학회, 1999)에 의하면 온실에서 난방, 차광, 냉방, 조명, 환기 등에 대한 설비하중은 바닥면적당 7 kgf/m<sup>2</sup> 이상으로 산정하도록 되어 있다. 또한 온실 내부에 이동설비가 있는 경우에는 표 3과 같은 이동하

표 2. 원예시설의 고정하중 산정

구성부분		하중 (kgf/m <sup>2</sup> )
구조체	철골구조	10+0.4 L <sup>1)</sup>
	알루미늄합금	5+0.1 L
피복재	염화비닐필름	두께 1 mm 당 1.4
	경질플라스틱판	두께 1 mm 당 1.5
	유리	두께 1 mm 당 2.5

1) L : 스패길이(m)

표 3. 설비하중의 설계하중

구분	설계하중 (와이어 설치 개소 당 하중)
지지, 안내 와이어	P = 50 kgf/와이어
당김 와이어	P = 100 kgf/와이어
관개호수 부착 와이어	P = 250 kgf/와이어

중을 고려하여야 한다.

### 2.2.3 작물하중( $L_f$ )

작물하중은 구조물에 작용되는 작물의 중량을 말하며 작물 종류에 따른 생육기간별 중량에서 최대치를 설계하중으로 산정하고 작물의 재배방식에 따른 지지조건에 의해 작물하중을 산정하여야 한다. 일반작물에 대한 설계하중은 바닥면적 당 최소 15 kgf/m<sup>2</sup>으로 한다(대한건축학회, 1999).

### 2.2.4 설계하중의 재현기간

풍하중이나 적설하중의 설계치는 원예시설의 내용년수와 안전율로부터 재현기간을 구하여 재현기간에 대한 지역별 설계 풍속과 설계적설심의 재현기대치를 설계용 하중의 기본값으로 사용한다.

원예시설의 내용년수란 시설의 재료나 부재를 보수하지 않고 사용할 수 있는 년수를 말하고, 물리적인 내용년수와 경제적인 내용년수가 있으며 보통 물리적인 내용년수가 길다. 대형 원예시설에서는 재배작물이나 재배기술이 변화해도 시설은 그대로 사용할 수 있도록 설계하는 것이 바람직하므로 물리적인 내용년수를 고려하는 것이 타당하다.

또한 안전율은 설계풍속이나 설계적설심을 초과하는 풍속이나 적설심이 시설의 내용년수 중에는 발생하지 않는 확률의 백분율로서 시설의 구조안전성의 척도가 된다. 일반적으로 원예시설의 골격자재와 피복재의 종류에 따른 표준내용년수와 시설의 용도, 공공성, 투자액 등에 따라 안전율을 분석한 결과는 표 4와 같다(이석건, 2007).

재현기간은 시설의 표준내용년수와 안전율로부터 식(1)과 같이 구해지며, 안전율 및 내용년수에 따른 재현기간을 표 5에 나타내었다(이석건, 2007).

$$\frac{Q}{100} = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^R \quad (1)$$

여기서  $Q$ 는 안전율(%),  $R$ 은 표준내용년수(년),  $T$ 는 재현기간(년)이다.

표 4. 표준내용년수와 안전율

구분		표준내용년수(년)	안전율(%)
파이프 하우스	소형, 이동식	5	50
	대형, 고정식	10	50, 70
철골온실	플라스틱 필름	15	50, 70
	유리	20	70

표 5. 안전율, 내용년수에 따른 재현기간(년)

내용년수(년) \ 안전율(%)	5	10	15	20	25	30
50	8	15	22	30	37	44
60	10	20	30	40	49	59
70	15	30	43	57	71	85
80	23	45	68	90	123	135

표 6. 재현기간 환산계수

재현기간(년)	15	22	30	43	57	100
재현기간 환산계수	0.84	0.87	0.90	0.93	0.95	1.00

한국형 유리온실의 경우 내용년수 15년, 안전율 50%로 하여 설계용 풍하중과 적설하중의 재현기간을 22년으로 채택하고 있다. 재현기간을 단축시키면 설계용 풍하중과 적설하중이 작아지므로 자재는 절감할 수 있으나 구조 안전성은 문제가 될 수 있다. 강구조 온실의 경우 피복재는 대부분 유리이므로 이러한 형태의 내용년수를 20년으로 하고 동시에 안전율을 70%로 하여 재현기간을 57년으로 하는 것이 타당할 것으로 판단되고, 일본의 園藝用施設安全構造基準(1997)에서도 온실의 내용년수는 20년, 플라스틱 온실은 10~15년으로 하고 있다(이석건, 2007).

온실구조설계기준 및 해설(대한건축학회, 1999)에서는 표 6과 같이 재현기간 환산계수를 규정하고 있다. 이 논문에서는 이러한 재현기간 환산계수를 고려하여 비교하였다.

### 2.2.5 적설하중( $S$ )

온실구조설계기준(1995)에서는 적설하중  $W_s$ 는 재현기간에 따른 설계적설심( $h$ )에 표 7과 같은 단위체적중량( $W$ )과 감소계수( $\phi$ )를 곱하여 산정하고 있다.

$$W_s = \phi W h \quad (2)$$

여기서  $\phi$ 는 지붕의 기울기에 따른 감소계수로 표 8과 같다. 재현기간에 따른 설계적설심( $h$ )에 관한 기존 연구로는 김문기 외(1992), 이석건(2007)이 있다. 김문기 외(1992)의 논문은 1989년까지 국내의 60개 지역에 대한 기상자료를 사용하여 설계하중 산정에 필요한 재현기간별 설계풍속 및 설계적설심을 구하고 등풍속선도 및 등적설심선도를 작성하였다. 또한 이석건(2007)에서는 2006년까지 17년 이상의 관측자료가 있는 70개 지역에 대한 지역별 년 최대순간풍속, 최심신적설심 및 최신구적설심 자료를 빈도분석하여 재현기간에 따른 설계풍속 및 설계적설심을 산정하였다.

또한 건축구조설계기준(2005)에서는 평지붕적설하중( $S_f$ )을 다음 식(3)에 의해 산정하도록 하고 있다.

$$S_f = C_b C_e C_f I_s S_g \quad (3)$$

여기서  $C_b$ 는 기본지붕적설하중계수(=0.7),  $C_e$ 는 노출계수,

표 7. 적설심과 밀도와의 관계

적설심(cm)	50이하	100	200	400
밀도(kgf/cm <sup>3</sup> )	1.0	1.5	2.2	3.5

표 8. 경사에 따른 감소계수

지붕경사	10~20°	20~30°	30~40°	40~60°	60°이상
감소계수	0.9	0.75	0.5	0.25	0

$C_f$ 는 온도계수(난방구조물=1.0, 비난방구조물=1.2),  $I_s$ 는 중요도계수이다. 또한  $S_g$ 는 지상적설하중의 기본값이다. 이때 지상적설하중이 1 kN/m<sup>2</sup> 이하인 곳에서의 평지붕적설하중은 지상적설하중에 중요도계수를 곱한 값 이상으로 하고 있다.

또한 경사지붕적설하중( $S_s$ )은 경사도계수( $C_s$ )를 고려하여 다음 식(4)에 의해 산정하고 있다.

$$S_s = C_s S_g \quad (4)$$

여기서  $C_s$ 는 지붕경사도계수이며, 특히 연속적인 절관형, 원통형 및 툇날형 지붕의 경사도계수는 경사도계수에 관계없이 1.0으로 하고 있다.

표 9에 국내 여러 지역에서의 재현기간 57년에서의 적설하중을 비교하였다. 건축구조설계기준(2005)에서는 중요도계수 0.95를 고려하여 재현기간 57년인 값과 비교한 것이다.

표 9에서 보는 바와 같이 군산, 목포와 같이 일반적인 적설지역에서는 건축구조설계기준(2005)의 값이 큰 적설하중으로 산정됨을 알 수 있다. 이는 적설하중의 하한치에 의한 값으로 적재하중을 고려하지 않는 유리온실의 경우 최소한의 안전성을 위해서는 하한치를 설정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 몇몇 지역의 경우, 예를 들어 전주, 태백, 인천 지역의 경우에는 서로 다른 결과를 나타내고 있다. 이는 적설하중에 대한 연구가 풍하중 및 지진하중에 비해 많은 연구가 수행되지 못한 결과로 판단되며 지역별로 세분화하여 적설하중을 재평가를 실시할 필요가 있다.

그러나 유리온실의 경우 대부분 눈을 녹일 수 있는 설비가 있으므로 적설하중은 바닥면적당 25 kgf/m<sup>2</sup>으로 설계하도록 한다.

### 2.2.6 풍하중(W)

건축구조설계기준(2005)에서는 밀폐형 건축물의 구조골조설계용 설계풍력은 다음 식(5)에 의해 산정하고 있다.

$$P_f = G_f(q_z C_{pe1} - q_h C_{pe2}) \quad (5)$$

여기서  $G_f$ 는 가스트영향계수,  $q_h$ 는 지붕면의 평균높이  $h$ 에 대한 설계속도압(N/m<sup>2</sup>),  $q_z$ 는 지표면에서 임의높이  $z$ 에 대한

설계속도압(N/m<sup>2</sup>),  $C_{pe1}$ 은 풍상벽의 외압계수,  $C_{pe2}$ 는 풍하벽의 외압계수이다.

또한 밀폐형 건축물에서 지붕골조설계용 설계풍력은 다음 식(6)에 의해 산정하고 있다.

$$P_r = q_h(G_f C_{pe} - G_i C_{pi}) \quad (6)$$

여기서  $G$ 는 내압가스트영향계수,  $C_{pi}$ 는 내압계수이다. 또한 설계높이에 대한 설계속도압( $q_z$ )은 다음 식(7)에 의해 산정한다.

$$q_z = \frac{1}{2} \rho V_z^2 \quad (7)$$

여기서  $\rho$ 는 공기밀도로써 균일하게 1.25 N·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> 을 적용하고  $V_z$ 는 설계지역의 지표면으로부터 임의높이  $z$ 에 대한 설계풍속(m/s)으로 다음 식(8)로 산정한다.

$$V_z = V_o \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w \quad (8)$$

여기서  $V_o$ 는 기본풍속,  $K_{zr}$ 은 풍속의 고도분포계수,  $K_{zt}$ 는 지형에 의한 풍속할증계수,  $I_w$ 는 건축물의 중요도계수이다.

또한 중요도계수( $I_w$ )는 재현주기별로 규정하고 있다. 재현주기 57년에 대한 중요도계수는 0.95로 적용할 수 있으며 농가건축물의 경우에는 0.81로 규정하고 있다.

최근 개정 예정인 건축구조설계기준(2009)에서는 농가건축물의 경우 재현주기를 0.90으로 상향시켜 구조물의 안전성을 확보하도록 하고 있으므로 이 논문에서는 이 값을 기준으로 설정하였다.

온실구조설계기준(1995)에서는 다음 식(9)에 의한 값으로 산정하고 있다.

$$q = 0.0197 V^2 \sqrt{h} \quad (9)$$

여기서  $V$ 는 설계용풍속(m/s)이고,  $h$ 는 온실의 평균높이이다. 표 10에 재현기간에 따른 설계풍속 및 설계풍하중에 대하여 기존연구결과와 건축구조설계기준(2005)과 비교한 결과를 나타내었다. 표 11에서 보는 바와 같이 재현기간을 고려했을 경우 설계속도압은 그 결과가 유사함을 알 수 있다.

그러나 건축구조설계기준(2005)에서는 노풍도에 따른 가스

표 9. 적설하중(kN/m<sup>2</sup>)의 비교

지역	김문기 외, 1992		KBC, 2005		이석건 외, 2007	
	h <sub>57</sub> (cm)	W <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	S <sub>g,100</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	S <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	h <sub>57</sub> (cm)	W <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
군산	44.8	0.33	0.5	0.48	36.8	0.27
전주	104.8	1.18	0.5	0.48	26.6	0.20
목포	45.6	0.34	0.5	0.48	40.8	0.30
태백	N.A	N.A	0.5	0.48	93.6	0.99
인천	30.8	0.23	0.8	0.76	26.3	0.19
속초	130.2	1.64	2.0	1.06	109.2	1.26
강릉	106.8	1.21	3.0	1.60	103.3	1.16
대관령	227.4	3.97	7.0	3.72	209.7	3.49

표 10. 설계속도압(q)의 비교

지역	김문기 외, 1992		KBC, 2005		이석건 외, 2007	
	V <sub>57</sub> (m/s)	q (kN/m <sup>2</sup> )	V <sub>57</sub> (m/s)	q (kN/m <sup>2</sup> )	V <sub>57</sub> (m/s)	q (kN/m <sup>2</sup> )
군산	42.0	0.79	38.0	0.90	37.9	0.64
목포	44.6	0.89	33.3	0.69	48.2	1.04
광주	31.3	0.44	28.5	0.51	33.6	0.51
전주	30.3	0.41	23.8	0.35	29.0	0.38
제주	39.7	0.71	38.0	0.90	49.0	1.08

표 11. 설계풍하중의 비교(목포, kN/m)

구분	풍상벽	풍하벽	풍상면	풍하면
온실구조설계기준 (1999)	1.74	1.09	-0.60	1.52
건축구조설계기준 (2005)	4.12	2.59	-2.74	3.61

표 12. 하중조합

하중종류	작용상태	일반지역	다설지역
장기하중	평상 시	$D+D_M+L_V$	$D+D_M+L_V+S$
단기하중	적설 시	$D+D_M+L_V+S$	$D+D_M+L_V+S$
	강풍 시	$D+D_M+L_V+W$	$D+D_M+L_V+W+0.35S$

트영향계수( $G_f$ )를 곱하도록 되어있어 설계풍하중의 값이 매우 큰 값으로 산정된다. 예를 들어 목포지역( $V_o=35$  m/s)에서 한국형유리온실의 설계풍하중을 온실구조설계기준(1995)과 건축구조설계기준(2005)으로 산정한 결과를 표 11에 나타내었다. 이때 노풍도는 C로 가정하였고 가스트영향계수, 내압가스트영향계수, 내압계수의 반영으로 건축구조설계기준(2005)에서의 값이 매우 큰 것을 알 수 있다.

가스트영향계수( $G_f$ )란 바람의 난류로 인해 발생하는 구조물의 동적거동성분을 나타내는 것으로 평균변위에 대한 최대변위의 비를 통계적인 값으로 나타내는 값이다. 유리온실과 같이 저층의 구조물에서는 이러한 가스트영향계수의 값이 건축구조설계기준(2005)에서 규정된 값보다 작아질 필요성이 있으며 이에 대한 실험적인 평가가 필요할 것으로 판단된다.

또한 외압계수( $C_{pe}$ ), 내압계수( $C_{pi}$ ) 및 내압가스트영향계수( $G_i$ )도 온실구조설계기준 및 해설(1999)와 건축구조설계기준(2005)과 서로 다르다. 이러한 계수는 건축구조설계기준(2005)에 따라 산정하였다.

### 2.2.7 하중조합

온실구조설계기준 및 해설(1999)에 따르면 농업용 강구조 고정식 온실구조의 구조계산에 적용하는 하중조합은 표 12를 만족하도록 하고 있다.

여기서  $D$ 는 고정하중,  $D_M$ 은 설비하중,  $L_V$ 는 작물하중,  $S$ 는 적설하중,  $W$ 는 풍하중을 의미한다.

## 3. 장경간 유리온실 구조시스템 개발

### 3.1 선설계기법의 적용

1990년대 초반 선설계기법(Pre-Engineered Buildings System)이 국내 철골 구조 시장에 도입되면서 건설 산업 분야에 많은 변화가 일어났다. 특히 IMF를 거치면서 경제성이라는 화두가 미치는 영향이 절대적이 되면서 철골 물량, 시공 기간, 품질 등이 월등한 PEB System이 저층 비주거 건물인 공장, 창고, 상가 등에 많이 적용되기 시작했다. 현재 건물 스패인 30m 이상인 공장이나 창고 등인 대부분이 PEB System으로 설계 및 시공되고 있는 상황이다(도병호, 2007).

PEB System의 설계는 일반적인 철골 건물의 구조 설계에서 사용되는 MIDAS, SAP, GTSTRUDL 등의 범용 프로그램과는 다르게 PEB 전용 설계 프로그램을 이용하고 있다. 이는 PEB System이 설계, 생산, 시공 등을 일괄로 처리하는 업무의 특성 때문이다. 이런 업무들은 밖에서 볼 때 상당히 이해하기 어려운 내용을 포함하기 때문에 접근하기가 쉽지 않으며 이로 인해서 PEB System 상의 구조 설계 내용을 검토하기란 용이하지 않았던 것이 사실이다.

이 논문에서 사용된 PEB 전용 설계 프로그램은 VP COMMAND 프로그램으로 미국 AISC에서 인증하는 검증된 프로그램으로 하중 적용, 하중 조합 등이 자동으로 인식되는 PEB 전용 설계 프로그램이다.

### 3.2 대상구조물 및 결과검토

대상구조물은 그림 2에 나타난 벤로형 유리온실의 기본모듈(6.4 m×4 m)을 대상으로 하였다. 설계하중은 앞에서 설정한 값을 기준으로 하여 표 13에 나타내었고 스패인 3.2m 씩 증가시켜 선설계기법을 이용하여 구조설계를 수행한 결과를 표 14에 나타내었다. 표 14에서 보 부재 및 기둥 부재의 높이는 400 mm로 제한하여 검토하였는데 이는 식물 생장에 필요한 태양빛에 대하여 부재의 그림자로 인한 간섭을 최소화하기 위함이다. 또한 허용수평변위는 H/120으로 하였다.

표 14에서 보는 바와 같이 스패인 16.0m까지는 동일한 기둥 및 보 부재로 설계되는 것을 알 수 있다. 이는 부재 제작 시 최소값에 의한 것으로 16.0m까지는 선설계기법을 이용할 필요성이 없음을 의미한다. 또한 스패인 19.2m 이상인 경우에는 기둥에서 변단면 부재가 유효함을 알 수 있다. 즉, 변단면 부재는 스패인 긴 경우에 유리하다는 사실을 알

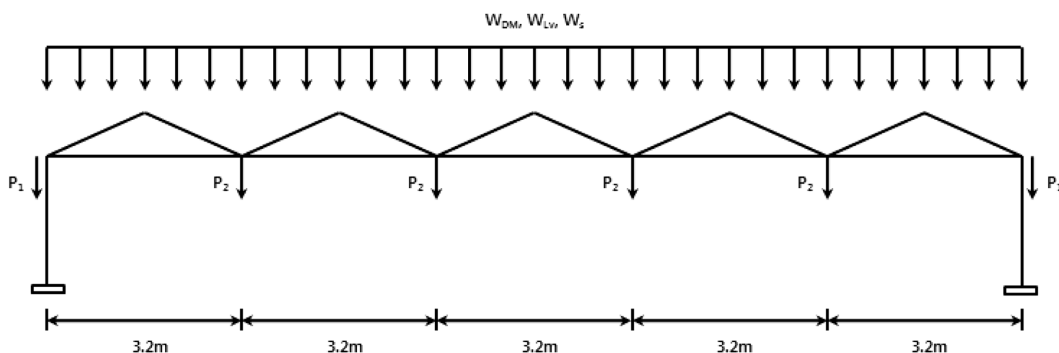


그림 2. 대상구조물(벤로형 유리온실, L=16 m, B=4 m)

표 13. 설계하중의 산정결과

하중 종류	기호	항목	단위하중	하중 산정
고정하중 (D)	W <sub>D</sub>	유리 (t=4 mm)	0.1 kN/m <sup>2</sup>	W <sub>D</sub> = (0.1+0.15) × 4 m = 1 kN/m W <sub>D</sub> = (0.1+0.15) × 4 m = 1 kN/m
		구조체 자중	0.15 kN/m <sup>2</sup>	
	P <sub>1</sub>	Gutter	0.07 kN/m	P <sub>1</sub> = 0.07 × 4 m = 0.28 kN
설비하중 (D <sub>M</sub> )	W <sub>DM</sub>	설비 하중	0.07 kN/m <sup>2</sup>	W <sub>DM</sub> = 0.07 × 4 m = 0.28 kN
	P <sub>3</sub>	이동 하중	1 kN	P <sub>3</sub> = 1 kN
작물하중 (L <sub>v</sub> )	P <sub>2</sub>	일반 작물	0.15 kN/m <sup>2</sup>	P <sub>2</sub> = 0.15 × 4 m × 3.2 m = 1.92 kN
적설하중 (S)	W <sub>S</sub>	최심적설깊이 = 25 cm	0.25 kN/m <sup>2</sup>	W <sub>S</sub> = 0.25 × 4 m = 1 kN/m

표 14. 스패에 따른 벤로형 유리온실의 구조설계결과 (B=4m)

스패	기둥					보					총 중량 (kg)	단위 면적당 중량 (kg/m <sup>2</sup> )
	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>		
6.4 m	180	6	5	250	250	180	6	5	250	250	380.2	14.9
9.6 m	180	6	5	250	250	180	6	5	250	250	464.3	12.1
12.8 m	180	6	5	250	250	180	6	5	250	250	553.7	10.8
16.0 m	180	6	5	250	250	180	6	5	250	250	645.6	10.1
19.2 m	180	6	5	250	305	180	6	5	305	305	790.1	10.3
22.4 m	180	8	5	250	305	180	8	5	350	350	1146.9	12.8

표 15. 종방향간격에 따른 벤로형 유리온실의 구조설계결과

(a) 스패(L) = 16.0 m 인 경우

종방향 간격	기둥					보					총 중량 (kg)	단위 면적당 중량 (kg/m <sup>2</sup> )
	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>		
4 m	180	6	5	250	250	180	6	5	250	250	645.6	10.1
6 m	180	6	5	250	305	180	6	5	305	305	699.1	7.3
8 m	180	6	5	250	305	180	6	5	400	400	745.9	5.9
10 m	180	8	5	250	350	180	6	5	400	400	793.5	5.0
12 m	180	8	5	250	400	180	8	5	400	400	904.2	4.7

(b) 스패(L) = 19.2 m 인 경우

종방향 간격	기둥					보					총 중량 (kg)	단위 면적당 중량 (kg/m <sup>2</sup> )
	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>		
4 m	180	6	5	250	305	180	6	5	305	305	790.1	10.3
6 m	180	8	5	250	305	180	8	5	305	305	927.5	8.1
8 m	180	8	5	250	350	180	8	5	400	400	1019.6	6.7
10 m	200	8	6	250	400	200	8	6	400	400	1159.4	6.1
12 m	200	10	5	250	400	200	10	6	400	400	1320.4	5.7

(c) 스패(L) = 22.4m 인 경우

종방향 간격	기둥					보					총 중량 (kg)	단위 면적당 중량 (kg/m <sup>2</sup> )
	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>		
4 m	180	8	5	250	305	180	8	5	350	350	1146.9	12.8
6 m	180	8	5	250	400	180	8	6	400	400	1211.2	9.0
8 m	200	10	6	250	400	200	10	6	400	400	1495.2	8.3
10 m	250	10	6	250	400	250	12	5	400	400	2033.7	9.1
12 m	250	12	5	250	400	250	14	5	400	400	2271.7	8.5

수 있다.

또한 스패이 증가할수록 주요 부재의 총 중량은 증가하는 결과를 얻었다. 그러나 단위면적당 중량을 살펴보면 스패이 16.0 m일 때 단위면적당 중량이 10.1 kg/m<sup>2</sup>으로 가장 유리하다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 최적간격 검토

현행 벤로형유리온실의 경우 스패은 최대 9.6 m이고 종방향으로는 50 m~100 m로 매우 길이가 긴 구조물이다. 또한 이때 종방향간격은 4m로 동일하다. 그러나 이러한 종방향간격(Bay)을 적절하게 증가시키면 주골조(Main Frame)의 분담면적이 커지기 때문에 주골조의 물량은 증가하게 된다. 그러나 주골조의 설치개소가 작아지게 되므로 단위면적당 골조의 물량은 줄어들 수 있으므로 이에 대한 검토를 수행하였다.

표 14에서 보는 바와 같이 스패이 16.0 m 이상에서 변단면 부재를 이용한 구조시스템이 유리한 결과를 얻었다. 따라서 이러한 구조시스템에서 종방향간격을 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 12 m인 경우에 대해 구조설계를 실시하여 표 15에 나타내었다. 이 경우에서도 보 및 기둥의 높이는 400 mm로 제한하여 식물 생장에 필요한 부재의 그림자를 최소화할 수 있도록 하였다.

표 15에서 보는 바와 같이 스패이 16.0 m 및 19.2 m인 경우에는 종방향간격이 12 m인 경우가 단위면적당 철골 중량이 각각 4.7 kg/m<sup>2</sup> 및 5.7 kg/m<sup>2</sup> 으로 가장 유리한 결과를 얻었다. 또한 스패이 22.4 m인 경우에는 종방향간격이 8 m인 경우에 단위면적당 중량이 8.3 kg/m<sup>2</sup>으로 가장 유리함을 알 수 있다.

## 4. 결 론

이 논문에서는 현행 한국형유리온실의 대표적인 시스템인 벤로형 유리온실을 장경간화하기 위해 기존의 여러 설계기준을 검토하여 합리적으로 적용가능한 설계하중에 대해 검토하였다. 또한 이러한 하중을 적용하여 변단면부재로 설계한 후 철골 중량 측면에서 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 강구조온실의 경우 피복재는 대부분 유리이므로 이러한 형태의 내용년수는 20년, 동시에 안전율을 70%로 하여 설계하중의 재현기간은 57년으로 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.
- 2) 적설하중에 대한 기존의 연구결과와 설계기준을 검토한 결과 몇몇 지역에서 심각한 차이가 발생되고 있다. 이는 적설하중에 대한 연구가 풍하중 및 지진하중에 비해 충

분히 수행되지 못한 결과로 판단되며 지역별로 세분하여 적설하중을 재평가할 필요성이 있다.

- 3) 현행과 같은 종방향간격을 가질 경우, 스패이 증가할수록 주요 부재의 총 중량은 증가한다. 그러나 단위면적당 중량을 살펴보면 스패이 16.0 m일 경우에 가장 유리함을 알 수 있다.
- 4) 장스패이 될 경우에 최적의 종방향간격에 대해 철골물량 측면에서 검토하였으며 이 경우 종방향간격이 8 m 및 12 m로 하는 것이 가장 유리함을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 2007학년도 목포대학교 학술연구비 지원 및 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원 (과제번호 # '08지역기술혁신-B01- 02)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

농림부, 농어촌진흥공사 (1995), 온실구조설계기준.  
 농림부, 농어촌진흥공사 (1997), 한국형유리온실표준설계도.  
 대한건축학회 (1999), 온실구조 설계기준(안) 및 해설.  
 대한건축학회 (2005), 건축구조설계기준.  
 김문기 (1992) 생물생산시설의 구조설계에 관한 연구, **생물생산시설환경학회논문집**, 생물생산시설환경학회, 제1권 1호, pp.1-13.  
 이석건 (2007) 온실의 자재질감 및 안전성 향상을 위한 최적 모델 및 설계시스템 개발, **농림부 연구개발보고서**, 경북대학교.  
 김호수 (1996) 변단면부재와 P.E.B. 시스템에 의한 박공형 철골조의 최적설계방안에 관한 연구, **대한건축학회논문집**, 대한건축학회, 제12권 5호, pp.155-166.  
 오명호, 김용석 (2009) 경량H형강을 이용한 유리온실의 구조시스템 개발, **대한건축학회연합논문집**, 대한건축학회지회연합회, 제11권 2호, pp.211-218.  
 도병호 (2007) PEB(Pre-Engineered Metal Building) System 설계 검토, 건축구조기술사회지, 건축구조기술사회, 제14권 1호, pp.39-45.  
 ASCE/SEI 7-05(2005), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.  
 손정익 (1994) 농업생산시설의 기본계획 및 설계방법, 한국농공학회지, 한국농공학회, 제36권 1호, pp.26-36.  
 우병헌 (2003) 마이크로 유전알고리즘을 이용한 등분포하중을 받는 경도형강 보의 단면 최적설계, **대한건축학회논문집 구조계**, 대한건축학회, 제19권 2호, pp.25-32.  
 최성모 (2003) 조립경량 철골구조시스템의 구조성능개선에 관한 연구, **대한건축학회논문집 구조계**, 대한건축학회, 제19권 12호, pp.65-71.

◎ 논문접수일 : 09년 12월 28일  
 ◎ 심사의뢰일 : 09년 12월 31일  
 ◎ 심사완료일 : 10년 01월 18일