

개량형 간이시설(비가림시설)의 환경 및 구조해석

손정의·김문기*·남상운**·윤남규*·권영삼***

건국대학교 농공학과, *서울대학교 농공학과, **안성산업대학교 농촌개발학과,

***농촌진흥청 원예연구소 시설재배과

Environmental and Structural Analyses of Improved Rain Shelters

Son, Jung-Eek · Kim, Moon-Ki* · Nam, Sang-Woon** · Yoon, Nam-Kyu* · Kwon, Yong-Sam***

Konkuk Univ., *Seoul Nat'l Univ., **Anseong Nat'l Polytech. Univ.,

***Institute of Horticultural Science, RDA

1. 研究目的

비가림 시설은 단순한 재배시설로 시공이 간편하며 경제적이며 보온-난방이 불필요한 하절기용으로 많이 사용된다. 간이시설은 단순한 형태이면서도 기본적으로 실내 온도가 재배작물의 생육한계 온도 이하가 되도록 하여야 하고, 강우 차단을 위하여 소요되는 인력을 최소한으로 할 수 있어야 하며, 또한 하절기 강풍에 대하여 구조적으로 안전하여야 한다. 따라서 우수한 환기특성과 적절한 작업성을 유지하면서 강우차단효과를 가질 수 있는 효율적인 간이시설의 형태 개발이 필요하다. 본연구에서는 개량된 2형태의 시설에 대한 환경 및 구조해석을 통하여 간이시설의 효율성을 비교·검토하였다.

2. 研究内容 및 方法

1) 공시시설의 재원 및 특징

공시시설의 형태 및 특징은 Fig. 3 및 Table 1과 같다. 관행형태의 간이시설인 관행아치형(Type 1), 개량아치형(Type 2), 박공지붕형(Type 3)이다. 각 개량 형태는 기존의 간이시설을 강우차단 및 생력화를 위하여 보완·개량한 형태이다. 이상의 3형태의 시설은 농촌진흥청 고행지시험장(강원도 횡계)과 원예연구소(경기도 수원)의 2개 장소에 설치하여 상이한 기상조건하에서의 환경변화를 측정하였다. 공시작물은 고행지시험장과 원예연구소 모두 토마토(서광) 및 참외(금괴은천)로써 재배 비율은 50:50 정도이었고 상면적에 대한 재배면적비 0.7 정도로 추산되었다.

2) 환경모델에 의한 실내온도 및 환기량 해석

(가) 환기모델

본연구의 대상이 되는 환기는 自然換氣로서, 自然換氣는 風上-風下의 壓力差에 의한 風力換氣와 실내의 온도차에 의한 重力換氣로 구성된다. 일반적으로 換氣 驅動力인 실내외의 압력차는 정압차, 부력, 풍력에 의해서 구성되고, 환기량은 환기 구동력 및 환기구 특성에 의하여 결정된다. 일반적으로 실내외 압력차 ΔP 와 개구부의 환기량 Q 와의 관계는 다음과 같다.

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta P} \quad (\text{m}^3/\text{h}), \quad \sum Q_i = \sum f_i(P_i) = 0$$

$$\text{단, } \alpha A = \sqrt{\frac{1}{\sum 1/(\alpha_i A_i)^2}}, \quad \Delta P = P_i - C \frac{\gamma_o}{2g} v^2 + h \gamma_o \frac{t_i - t_o}{273 + t_i}$$

여기서, A 는 개구부 면적(m^2), α 는 개구부 풍량계수, ΔP 는 개구부 내외의 全壓差(kg/m^2), ΔP 의 우변에서 P_i 는 실내정압이며 2 및 3항은 각각 개구부의 풍압력, 부력을 나타낸다. 복합개구부의 αA 는 복합개구부 계산방법에 의하여 구하였다. 풍압계수는 풍향을 고려하여 각각 0.6을 곱하여 사용하였다. Q_i 는 각각 임의의 개구부의 환기량으로 실내정압의 함수 f_i 로 표현된다.

(나) 열수지 모델

농업시설내의 환기량과 실내온도는 상호 관련되어 있기 때문에 환기량이 감소하면 실내온도는 상승하고 또한 실내온도가 상승하면 증격환기가 증가하기 때문에 환기량이 증가하게 된다. 따라서 환기량과 실내온도의 동시산정 방법이 필요하다.

$$H_c = K(T_i - T_o)A_c, \quad H_q = C_v Q(T_i - T_o), \quad H_r = \tau S(1 - \tau)(1 - f)A_f$$

$$\sum H_i = H_s + H_c + H_q + H_f = 0$$

여기서, C_v 는 응적비열(定壓比熱x密度 $\approx 0.3 \text{ kcal}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), S 는 실외수명면일사량($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{hr}$), f 는 純輻射熱의 증발잠열에의 변환비(작물의 무성 상태에 따라서 0.5~0.65), A_f 는 상면적, w 는 피복표면적/상면적(放熱比), K 는 피복면 관류열율($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$), τ 는 일사투과율, r 은 실내반사율(0.1정도)이다. 일

조시간중의 토양전열량 H_r 는 일반적으로 열류판의 측정치를 사용한다.

(다) 모델에 의한 환기특성 분석 및 환기량 계산

실내정압 P_i 를 구하기 위해서는 뉴턴-랩슨법(Newton-Rapson Method)을 사용하여 각 개구부의 환기량을 구하였다. 이 결과를 사용하여 환기량 및 실내온도를 구하였다. 기상조건(기준높이 풍속 0 ~ 4 m/s, 외기온도 28℃, 실외수평면 일사량 2.5, 3.0 MJ/m²/hr), 피복재조건(일사투과율 0.75), 실내반사율 0.1, 열관류율 5.0 kcal/m²/hr/℃), 작물조건(순복사량의 증발잠열 변환비 0.5)의 조건을 설정하였다.

3) 실측에 의한 시설내 환경 해석

(1) 환경요인의 측정 및 자료수집

간이시설내의 환경측정을 위하여 1994 8/19 - 8/22, '94/8/22 - 8/26 기간중의 고히지 시험장(강원도 횡계) 및 원예연구소(경기도 수원)의 간이시설(비가림시설)에 대하여 실내일사량, 실내온도, 실내습도, 피복재온도, 지면온도, 작물체온도, 풍속 등을 측정하였다. 외부기상자료는 인근 대관령 관측소 및 수원기상대의 실외일사량, 실외기온, 실외습도, 풍속 등을 수집하여 사용하였다.

4) 시설형태별 안전성 검토

(1) 구조해석

간이시설의 안전성 검토는 유한요소법(Finite Element Method:FEM)에 의한 구조해석 프로그램인 SAP90(Structural Analysis Program 90)을 이용하여 각 부재의 단면응력을 구하였다. 간이시설은 여동철 고근기를 대상으로 하는 시설이므로 풍하중에 대해서만 검토하였다.

(나) 안전성 검토

본 연구에서는 간이시설에 발생하는 응력중 대부분을 점유하는 휨응력과 인발력에 대해서 검토하였다. 이를 위하여 단위속도압($q=1$)에 대하여 휨모멘트, 인발력을 구하고 이것에 실제 속도압을 곱하여 사용하였다. 안전성 검토방법은, 휨응력의 경우 최대응력이 허용응력 이내, 인발력의 경우 인발력이 마찰력이내이면 안전한 것으로 하였다.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{Z} + \frac{P}{A} = \frac{M_{max}}{Z} \leq \sigma_{aw}, \quad P_{aw} = \phi \cdot (\pi dl) < P_{max}$$

여기서, M_{max} 는 최대휨모멘트, Z 는 부재의 단면계수이다. 또한, 파이프의 인발에 대한 내력(P_{aw})은 다음과 같다. 여기서, P_{aw} 는 파이프의 인발력, ϕ 는 파이프와 흙의 측면 마찰저항력(0.2kg/cm^2), d 는 파이프의 직경(cm), l 은 근입깊이(30cm)이다.

3. 結果 및 考察

1) 모델에 의한 실내온도 및 환기량 예측

외기온, 풍속, 일사량 및 간이시설의 관련 변수를 이용하여 시설 형태별 환기량 및 실내온도 변화를 환기모델 및 열수지 모델을 이용하여 구하였다. 외기온 28.0℃, 일사량 2.5MJ/m²/hr, 풍속 1 m/s 일 경우에 시설형태별 내기온변화, 환기량 및 개구부 환기량을 비교하였다(Table 2, Fig. 2). 그 결과, 환기량 및 온도하강 정도는 Type 3 > Type 2 > Type 1 순서로 평가되었다.

2) 실측에 의한 간이시설 지역별·형태별 온도 변화

(1) 수원(원예시험장)의 간이시설내의 온도측정 결과(Fig.1)

기상조건은 일사량 0-2.91J/m²/hr, 풍속(3m 추정치) 0-1.70 m/s 이었고 주간의 온도하강 정도는 Type 1 > Type 2 > Type 3 순서 이었고 차이는 약 1-3℃ 이었다.

(2) 대관령(고령지시험장)의 간이시설의 온도측정 결과(Fig.2)

기상조건은 일사량 0-2.96J/m²/hr, 풍속(3m 추정치) 0-2.04 m/s 이었고 주간의 온도하강 정도는 Type 1 > Type 3 > Type 2 순서이었고 차이는 1-3℃ 이었다.

(3) 지역별·형태별 온도변화 특성

지역에 관계없이 주간온도하강 정도는 Type 2, Type 3가 관행아치형인 Type 1보다 우수한 형태로 사료된다. 특히 내륙보다 하절기 온도가 낮은 고냉지지역에서는 간이시설은 적절한 시설재배 방법으로 사료된다.

3) 간이시설 형태별 구조안전성 해석

허용기준조건을 허용응력 1,600 kg/cm² 또는 허용지내력 47kg으로 설정하여 설계응력이 허용응력을 초과하지 않는 범위내에 결정하였다. 그 결과 각 형태별 설계풍속은 Type 1이 13.7m/s 내의, Type 2가 23.8m/s 내의 및 Type 3가 22.3m/s 내외로 이었고, Type 2가 가장 안정적인 형태로 판명되었다.

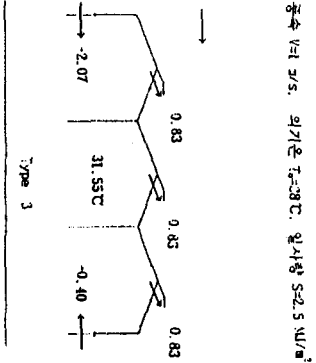
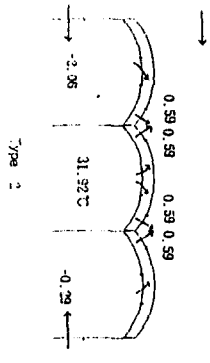
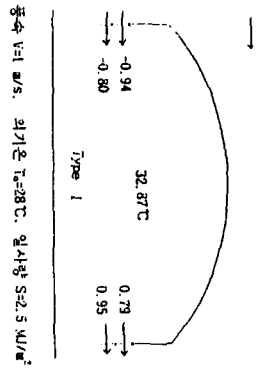


Figure 3: 간이스터일 형태별 간 계구보 평가항목(외기) 보/스

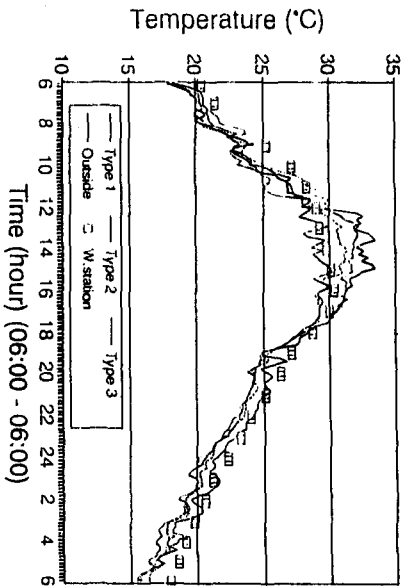


Figure 1: 시설형태별 실내온도 측정결과 (원대시험장) (외기온: 측정치(하부실선), 기상대(W. station))

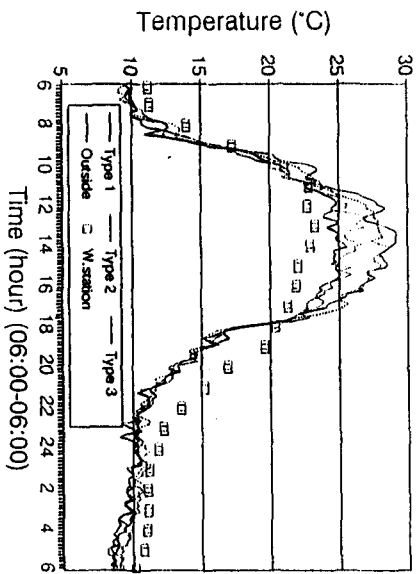


Figure 2: 시설형태별 실내온도 측정결과 (그림시설장) (외기온: 측정치(하부실선), 기상대(W. station))

Table 1. 시설형태별 각종 변수

		Type 1	Type 2	Type 3
상면적		60	60	60
방열비 _w		2.33	2.35	2.13
체 적V		170.8	147.0	123.0
(개구부) (면적) _h (면적) _A	1	0.2(4)	0.4(8)	0.4(8)
	2	0.6(4)	0.4(8)	0.3(8)
	3	0.6(4)	0.4(8)	0.3(8)
	4	-	0.4(8)	0.4(8)
	5	-	-	-
	6	-	-	-
(개구부) 봉합계수 _C	1	0.8	0.8	0.8
	2	-0.4	-0.4	-0.5
	3	-0.4	-0.4	-0.5
	4	-	-0.4	-0.5
	5	-	-0.4	-0.4
	6	-	-0.4	-
(개구부) 봉합계수 _a 면적 _A	1	2.4	4.0	4.0
	2	2.4	1.0	2.0
	3	2.4	1.0	2.0
	4	-	1.0	2.0
	5	-	1.0	2.0
	6	-	4.0	4.0

Table 2. 간이시설 형태별 환기량(m³/s) 및 내기온 비교

일사량	풍속	Type 1		Type 2		Type 3	
		환기량	내기온	환기량	내기온	환기량	내기온
2.5	0	0.91	35.60	2.02	32.42	2.07	32.13
	1	1.74	32.87	2.35	31.92	2.49	31.55
	2	3.48	30.78	3.90	30.54	3.98	30.36
	3	5.22	29.94	5.75	29.79	5.88	29.65
	4	6.95	29.49	7.63	29.38	7.80	29.27
3.0	0	0.97	36.74	2.16	33.04	2.20	32.70
	1	1.74	33.85	2.48	32.49	2.61	32.08
	2	3.48	31.33	3.92	31.04	3.99	30.82
	3	5.22	30.33	5.76	30.15	5.89	29.98
	4	6.96	29.79	7.64	29.65	7.81	29.52

Table 3. 시설형태별 허용응력 및 허용지내력을 만족하는 설계풍속(V)

시설 형태	구 분	q _{h=3m} (kg/m.cm)	V _{h=10m} (m/s)	M _{max} (kg-cm)	σ _{max} (kg/cm ²)	P _{max} (kg)
Type 1	q=1	1	54	9835	24936.7	147.6
	허용치	0.064	13.7		1600	9.45
Type 2	q=1	1	54	5232	8230.3	115.1
	허용치	0.194	23.8		1600	22.4
Type 3	q=1	1	54	5943	9348.7	134.0
	허용치	0.171	22.3		1600	22.9

(단, 허용응력 σ_v: 1600kg/cm², 허용지내력 P_v: 47kg, 마찰저항: 0.2kg/cm²)