

園藝施設의 設置計劃 및 設計

孫 楨 翼

서울大學校 農業生命科學大學 農工學科

1. 序 論

UR 協商 妥結에 따른 農產物 輸入開放에 대응하기 위하여 농업의 國際競爭力 強化문제가 提高되고 있고, 農業의 各 分野에서는 이에 상응하는 적절한 해결책들을 모색하고 있다. 農業生 產部門중에서도 다양한 측면으로부터 주목받고 있는 施設園藝는 技術集約的 農業形態에 의한 품질 및 생산성의 향상과 농작물 생산의 省力化를 위한 園藝施設의 自動化 및 그에 따른 작업 환경 개선 등을 통하여 새로운 突破口를 모색하고 있다.

기존의 簡易的, 零細的, 小規模의인 시설형태에서는 이와 같은 요구를 만족시킬 수 없기 때문에 集中的, 尖端的, 大規模의인 시설형태로의 변화가 바람직하다. 이러한 추세에 부응하여 園藝施設의 集中化, 尖端化, 大規模化가 추진되고 있고, 최적생산을 위한 環境制御시스템을 도입하는 등 기술적인 변화가 이루어 지고 있다. 그러나 기존의 소규모 시설에서와는 달리 대규모 집중시설의 경우는 投資規模등의 諸般狀況을 고려해 볼때, 計劃段階에서 부터 합리적인 방법으로 충분한 검토가 필요하지만, 현실적으로는 충분히 고려되지 않고 있는 것이 사실이다.

현재 體系的인 園藝施設의 開發에 관한 연구가 미흡하며, 集中的인 園藝施設設置에 관한 체

계적인 연구는 진행중에 있다고 할 수 있다. 따라서 園藝施設 設計에 관한 체계적인 접근은 농업구조개선사업 중 큰 비중을 차지하고 있는 園藝施設設置에 현실적으로 도움이 될 것으로 사료된다.

園藝施設의 基本設計 段階까지 고려되어야 할 주요사항은, 基本調査 및 構想, 基本計劃 樹立, 作目選定, 經濟性 分析, 構造設計, 環境設計, 環境制御體系 構成 등이 열거될 수 있다. 여기에서는 園藝施設 設置를 둘러싼 基本計劃, 構造設計, 環境設計 및 環境制御體系 構成方法등에 관한 기본적 내용에 관하여 논하기로 한다.

2. 農業施設計劃

가. 農業施設計劃의 範圍

計劃은 어떤 요구에 대하여 企劃·立案하여 완성후에 요구가 만족되도록 하는 것을 말한다. 일반적으로 농업시설계획은 그 요구의 다양성과 적용성 때문에 일반 건축계획과는 상이하다. 즉, 人間과 物件(農家와 對象作目)과의 결합단위를 지역이라는 넓은 범위속에서 종합적으로 판단해야 되기 때문이다. 이러한 농업시설계획은 복합적인 기능을 가진 시설계획부터 단순기능의 시설계획까지 취급할 수 있으며 그 취급범위에 따

라서 다양한 형태를 가진다.

나. 地域計劃과 農業施設

지역계획은 지역의 생산, 생활, 자연환경을 보다 좋게하기 위한 방법 및 수순의 개발을 목표로 하고 있고, 그 중에서 지역농업을 발전시키는 농업시설은 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다.

1) 計劃의 範圍(地域計劃中)

(1) 農業計劃

(2) 土地利用計劃

2) 農業施設の 兩面性

(1) 地域農業의 發展 → 地域의 活性化

(2) 公害因子의 放出 → 公害의 要因發生

다. 農業施設과 周邊狀況과의 關係

농업시설과 주변상황과의 관련성은 Fig.1과 같다.

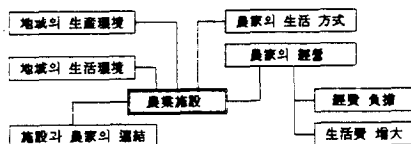


Fig 1. 農業施設과 周邊狀況과의 關聯性

라. 園藝施設計劃 手法

1) 園藝施設의 基本計劃

농업시설계획은 일반적으로 기본계획(master plan)의 작성까지이고, 여기서 무엇보다도 중요한 일은 목적을 확실히 파악하는 것이다. 특히 대상지역의 장기적 전망을 고려한후, 농업의 장기적 전망, 대상작목의 일련의 작업체계 중에서 담당하는 부분을 명확히 하는 것이다.

정량화가 불가능한 人文·社會的(meta-physical)조건과 物理的(physical)조건을 파악하여

정량화 할 필요가 있고, 이러한 수순을 통하여 전제조건이 설정된다. 그 구상계획 및 기본계획이 설정된다. 농업시설계획의 개념도는 Fig2.와 같다.

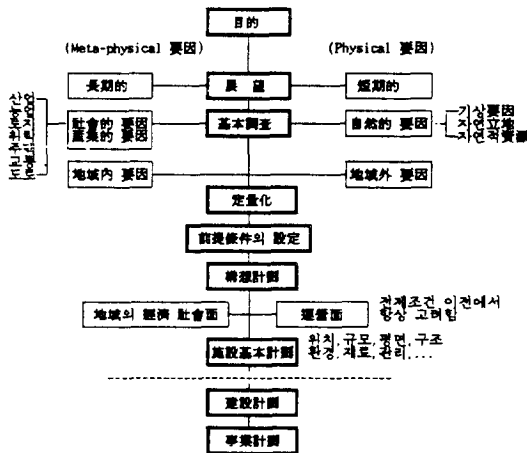


Fig 2. 園藝施設計劃의 概念圖

2) 基本計劃手順

(1) 園藝施設 計劃을 위한 基本調査

- 자연환경 조사
- 농가규모, 노동력 및 의식조사
- 재배현황 및 농가소득 기여도 조사
- 도입가능 작目 및 作付體系 조사
- 환경영향 검토

(2) 園藝施設 計劃을 위한 基本構想

- 시설의 설치목표 설정
- 계획추진을 위한 基本假定 설정
- 시설의 基本 設計條件 검토

(3) 園藝施設 導入을 위한 基本計劃

- 지역특성에 적합한 作目, 作付體系 및 栽培 方式 결정
- 시설의 立地, 配置 및 構造形態 결정
- 환경관리수준에 따른 設備水準 결정
- 공동시설 및 중앙관리체계 작성

(4) 園藝施設 規模 및 選定作目에 따른 經濟性 分析

- 경제성 분석기법 결정

- 선정작목에 대한 收益性 검토
- 施設規模 및 裝置에 따른 所要事業費 概算
- 기본계획 단계에서의 收支의 實現性 점검
- (5) 園藝施設의 構造設計
 - 기상자료 빈도분석
 - 시설의 設計荷重 결정
 - 구조해석 및 안전성 검토
 - 基礎의 安全性 검토
- (6) 園藝施設의 環境設計
 - 난방 Degree Hour 계산
 - 暖房負荷 및 暖房방법 결정
 - 換氣量 및 換氣방법 결정
- (7) 園藝施設의 附帶施設 設計
 - 제배방식별 附帶시설 결정
 - 자동화 수준에 따른 장비 결정
- (8) 園藝施設의 計測 및 制御體系
 - 각종 계측對象 설정
 - 각종 제어項目 결정
 - 計測 및 制御體系 構成
- (9) 基本設計에 따른 計劃收支 點檢
 - 시설규모 및 裝置에 따른 所要事業費 概算
 - 기본설계 단계에서의 計劃收支 點檢

- (6) 試算
- (7) 檢討事項: 기능성, 안정성, 경제성, 시공성

3) 構造計算

- (1) 荷重: 고정하중, 작물하중, 적설하중, 풍하중, 특수하중
- (2) 準備計算: 적설하중, 풍하중, 지진하중
- (3) 應力計算: 허용응력, 소성(극한) 설계
- (4) 設計應力: 장기응력, 단기응력
- (5) 斷面計算: 기둥, 보, ...
- (6) 變形檢討
- (7) 接合部設計: 용접, 볼트 ...
- (8) 基礎設計: 기초, Footing ...

나. 氣象資料 頻度分析

1) 使用資料 및 補正

- (1) 설계용 자료: 최대치 계열의 風速 및 積雪深
- (2) 構造物 設計에 使用되는 基本風速: 보통 지상 10m 높이에서의 平均風速을 使用하나 국내관측소의 풍속 관측높이는 일정치 않아서 다음식에 의해 補正하여 使用한다.

$$V_0 = V_z \left(\frac{Z_0}{Z} \right)^n \dots\dots\dots (1)$$

(단, V_z : 高度 $Z(m)$ 에서의 平均風速, V_0 : 基準高度 $Z_0(=10m)$ 에서의 平均風速).

n : 지표면의 粗度에 결정되는 정수(0.125~0.25, 농업시설의 경우 0.25를 사용)

(3) 우리나라의 풍속 측정방법: 10분간의 평균풍속을 채택하기 때문에, 構造物 設計時 最大 風壓力을 위한 瞬間最大風速은 補正하여 使用한다.

$$V_1 = 1.1 V + C \dots\dots\dots (2)$$

(단, V_1 : 순간최대풍속, V : 10분간 平均風속, C : 일반적으로 7을 사용)

2) 確率分布函數 및 頻度係數

(1) 確率分布函數의 選定

確率分布函數는 年最大値 系列의 頻度解析에

3. 園藝施設 構造設計

가. 構造設計의 手順

1) 基本調査

- (1) 用途, 豫算 및 敷地調査
- (2) 測量 및 土壤調査
- (3) 法規 및 基準檢討

2) 構造計劃

- (1) 構造體: 철골, 파이프, 알루미늄(합금)
- (2) 接合形式: 트러스, 라멘, 복합형식
- (3) 基礎形式: 독립기초, 연속기초
- (4) 材料選定
- (5) 假定斷面

많이 사용되는 分布로서, 일반적으로 최대풍속 및 최대적설심의 해석에서 適用性이 큰것으로 알려진 Type-I 極值分布(Type-I extremal distribution)가 사용된다. Type-I 은 다음과 같다.

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)} - \alpha^2(x-\beta)^2 \dots\dots\dots (3)$$

여기서, $f(x)$ 는 확률밀도함수, α 및 β 는 매개 변수이다.

(2) 再現期間別 設計 風速 및 積雪深

再現期間에 따른 設計風速(확률 최대풍속) 및 설계적설심(최대적설심)은 다음식에 의해 구한다. 시설물의 재현기간은 시설의 標準 耐容年數와 安全度(5식)로 부터 결정된다.

$$X_T = \mu + K_T \sigma \dots\dots\dots (4)$$

여기서, X_T 는 재현기간 T 에서의 확률 최대풍속 또는 확률 최대적설심, μ 및 σ 는 년 최대치 계열 관측자료의 평균 및 표준편차, K_T 는 관측 자료의 표본크기와 재현기간에 따른 빈도계수이다.

다. 園藝施設の 設計荷重 決定

1) 荷重組合

園藝施設을 설계함에 있어서 고려해야 할 設計荷重으로는 固定荷重, 内部裝置등에 의한 荷重, 積雪荷重, 風荷重, 地震力 및 作物荷重 등이 있으나, 지진이 거의 없는 우리나라에서는 다음과 같은 조합에 의하여 설계하중을 정한다.

(1) 積雪時: 고정하중+적설하중+(작물하중+내부장치하중)

(2) 暴風時: 고정하중+풍하중+(작물하중+내부장치하중), 단 ()는 필요한 경우

2) 施設の 安全度 및 再現期間

설계하중을 선택함에 있어서 施設の 標準耐容年數와 所要 安全度로 부터 장기 기상데이터의 平均再現期間을 유도한다.

$$\frac{P}{100} = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \dots\dots\dots (5)$$

3) 積雪荷重

적설하중 W_s 는 再現期間에 따른 설계적설심에 Table1의 단위체적중량(W)을 곱하여 산정한다.

$$W_s = \phi W h \dots\dots\dots (6)$$

여기서, ϕ 는 지붕의 기울기에 따른 減少係數로서 Table 2와 같다.

連棟谷部는 다른 부위에 비해서 눈이 많이 쌓이므로 지붕 경사면 길이의 1/3에 해당하는 범위(3m 초과시는 3m로 한다)의 적설하중은 1.5배로 한다. 세부적으로 풍속, 난방정도, 온실형태 등의 요인을 고려하면 보다 정확한 적설하중을 구할 수 있다.

Table 1. 積雪深과 密度와의 關係.

적설심(cm)	50 <	100	200	400
밀도(kg/cm ³)	1.0	1.5	2.2	3.5

Table 2. 傾斜에 따른 減少係數(양지붕의 例)

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

4) 風荷重

設計用 風速은 높이 10m의 순간 최대풍속을 사용하여 빈도분석한 값을 사용한다. 주위에 차폐물이 없고 지형의 영향을 받지 않는 경우, 풍하중은 앞에서 정한 설계용 풍속으로부터 계산되는 速度壓에 Fig.3의 風力計數를 곱하여 구한다.

$$P = C_q A \dots\dots\dots (7)$$

$$q = 0.0197V^2 \sqrt{h} \dots\dots\dots (8)$$

여기서, P 는 풍하중(kg), q 는 속도압(kg/m²), C 는 풍력계수, A 는 접촉면적(m²), V 는 설계용 풍속(m/sec), h 는 구조체 각부의 지표면으로부터의 높이(온실의 평균높이, m)이다.

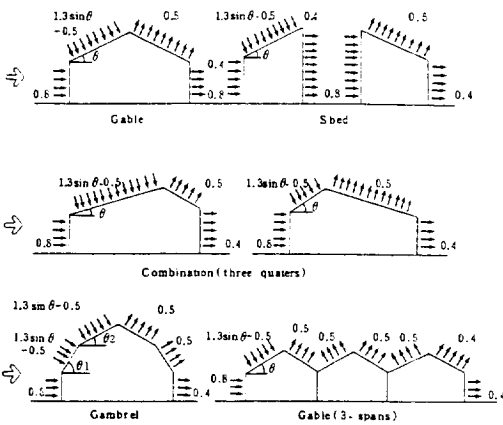


Fig 3. 施設 形態別 風力係數

5) 固定荷重, 内部裝置荷重 및 作物荷重

(1) 固定荷重: 시설의 구조체 구성 부분의 實況에 따라서 계산함(Table3).

(2) 내부장치하중: 환경제어장치 및 작업 운반장치 등의 荷重은 각각의 장치하중 및 이들이 가장 불리한 상태시의 하중으로 하고, 여기에 운전중의 진동, 충격 등의 영향도 고려하여 적정하게 결정함.

(3) 作物荷重: 오이, 토마토 등과 같이 구조체에 작물을 매달 때에만 고려. 실황에 따르고 실제값을 구하기가 어려우면 수평면 1m²당 15Kg 또는 개략 산정치를 사용함.

라) 構造解析 및 安全性 檢討

1) 積雪 및 暴風時의 各部 應力計算
단면력 계산을 위한 구조해석은, 유한요소법

(FEM)을 사용하는 구조해석용 범용프로그램에 의하여 손쉽게 구할수 있다. PC용 범용프로그램으로는 SAP90(Structural Analysis Program 90) 등이 있다.

2) 部材斷面의 設計

부재의 설계는 앞의 설계 단면력에 의해서 부재단면에 생기는 최대응력이 허용응력(또는 소성한계)을 초과하지 않도록 단면의 크기, 형상 등을 결정하는 것을 말한다. 기본적인 방법은 Fig.4와 같다.

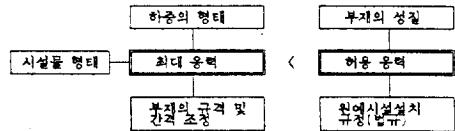


Fig 4. 部材斷面의 斷面力 檢討

3) 基礎의 安全性 檢討

일반적으로, 1) 침하에 대한 검토, 2) 강풍시의 인발력에 대한 검토로 구성된다. 상세내용에 관해서는 생략하기로 한다.

4. 園藝施設 環境設計

가. 暖房 degree hour 分析

1) 暖房 degree hour

온실의 난방에 필요한 연료소비량 및 난방 기기의 용량을 개략적으로 산정하는데 이용되는 난방 degree hour는 일반적으로 난방 기간중의

Table3. 固定荷重 內容

구 성 부 분		하 중(kg/m ²)	비 고
구 조 체	철골구조	10+0.4ℓ ² _m	골조, 보강재, 연결재 등 전부 포함(투영면적당)
	알루미늄합금	5+0.1ℓ ²	
피 복 재	염화비닐필름	두께 1mm당 1.4	겉보기면적당 수치
	경질플라스틱판	두께 1mm당 1.5	
	유 리	두께 1mm당 2.5	

온실 内外의 온도차를 적산한 것이다.

2) 溫度 週期變化의 調和分析

(1) 調和分析을 위한 基本式

暖房 degree hour를 산정하기 위해서는 매시간 기상자료가 필요하나, 매시간 관측자료가 없을 경우, 실외의 기온변화 곡선을 調和分析을 통하여 근사시킨다. 變動을 주어진 變域 내에서 單余弦變動의 Fourier 級數로 표현하는 것을 調和分析(harmonic analysis)이라 한다. 일정한 주기로 변동을 반복하는 寫像(氣溫, 日射 등)의 표현에 가장 잘 사용된다.

주기 T_1 의 기온변동을 등간격 $2n$ 개의 수치로 읽으면, 아래의 식과 같이 산술평균치(정상항) 이외에, 주기가 T_1 인 항(기본파), 그것의 $1/2$ 주기 항(제2 고조파, 이하同狀), $1/3, 1/4, \dots, 1/n$ 주기 항의 n 개의 수치의 합으로 분해하여 표현할 수 있다. T_1 은 기본파의 주기이다. 調和分析의 基本式은 다음과 같다.

$$\theta_i = M_m + M_1 \cos \frac{360}{T_1} t + M_2 \cos \frac{360}{1/2T_2} t + M_3 \cos \frac{360}{1/3T_3} t + \dots + N_1 \sin \frac{360}{T_1} t + N_2 \sin \frac{360}{1/2T_2} t + N_3 \sin \frac{360}{1/3T_3} t + \dots \quad (9)$$

여기서, t 는 시간(h), T_1 은 기본파의 주기, M_m 은 全 관측치의 산술평균, 기타 M, N 은 변동의 진폭으로 y 번째 고조파의 진폭은 지역에 따라 다르다.

(2) 調和分析에 의한 日變化式 誘導

調和分析 방법으로 우리나라의 典型的인 1월 기온 변동을 구하고, 변동의 진폭은 M_i 및 N_i 은 실측치를 사용하여 구할 수 있다. 이것을 이용하여 임의 지역의 일 평균기온(θ_m), 최고기온(θ_h) 및 최저기온(θ_l)으로부터 매시간 기온을 추정할 수 있는 식을 유도할 수 있다.

$$\theta_o(t) = \theta_m + a(\theta_h + b) (\theta_h - \theta_l) \dots \dots \dots (10)$$

여기서, θ_o 는 外部氣溫, θ_h 는 調和分析으로 구한 氣溫變動式, a 및 b 는 지역에 따른 상수이다.

3) 暖房 degree hour 算定式

暖房 degree hour(HDH)는 작물의 주야생육 적온이 다르므로 주간난방 degree hour(dHDH)와 야간난방 degree hour(nHDH)로 구분하여 다음식으로 구할 수 있다.

$$dHDH = \int_{j=8}^{17} d\theta_i \dots \dots \dots (11)$$

$$nHDH = \int_{j=1}^6 \int_{j=17}^{24} d\theta_i \dots \dots \dots (12)$$

단, $d\theta_i = \theta_c - \theta_o - (\Delta\theta_j + \Delta\theta_s)$

여기서, θ_c 는 溫室內部の 設定溫度, θ_o 는 室外氣溫, $\Delta\theta_j$ 는 지중열에 의한 온도상승분, $\Delta\theta_s$ 는 일사량에 의한 온도상승분이다. 夜間에는 $\Delta\theta_j = 0$, $\Delta\theta_s$ 는 2°C 전후, 週間の 日射存在時는 $\theta_o < \theta_c$ 이라도 $\Delta\theta_s$ 가 상대적으로 크기 때문에 $d\theta_i \approx 0$ 로 취급한다. 기타 경험적 근사식을 사용하는 경우도 많다.

4) 設計外氣溫 分析

난방 기기의 용량 결정을 위해서는 最大 暖房負荷의 계산이 필요하고, 이를 위해서는 危險率을 고려한 최저 기온 자료가 필요하다. 標準 氣象자료로부터 해당 기간의 자료를 추출하여 크기 순으로 배열했을 때, 제1위의 자료가 위험율 0%, 극치로부터 5%에 해당되는 순위의 자료가 위험율 5%의 자료가 된다.

표준 기상자료란 이용목적에 따라 어떤 지점의 표준적인 기상 상황을 종합적으로 파악하기 위해 작성된 기준자료로서, 일반적으로 전기간의 관측자료중 표준적으로 생각되는 연속 10년간의 자료를 선정해서, 이중 다시 표준적인 매월의 자료를 선정하여 만든 매시간 기상자료를 말한다.

나. 園藝施設の 暖房負荷 算定

1) 暖房負荷의 概念

난방중인 온실로부터 외기로 방출되는 총열량중, 난방용 설비로 공급하지 않으면 안되는 열량을 暖房負荷(heating load)라고 한다. 暖房負荷는 最大暖房負荷와 期間暖房負荷로 大別되고,

前者는 재배기간중의 가장 추운 시간대에 소비되는 열량으로 暖房設備 容量을 결정한다. 後者는 재배의 전기간에 소비되는 열량으로 燃料消費量을 추정하기 위하여 사용된다.

난방중인 온실로부터의 열손실은 3요소로 나누어 생각할 수 있다. 즉, 유리등의 피복재를 통과하는 貫流熱量, 틈사이를 통한 換氣傳熱量 및 토양과의 열교환량을 나타내는 地中傳熱量이다. 정확한 값은 시간에 따른 변화량을 고려한 動的 모델을 이용하여 에너지수지 및 물질수지에 의하여 구할 수 있다.

2) 暖房負荷 計算式

(1) 概略의 方法

온실의 난방 필요열량은 대체로 온실의 표면적과 내외의 기온차에 비례하는 특성을 이용하여 暖房負荷는 간단히 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Q_g = A_g U (\theta_i - \theta_o) (1 - f_r) \dots\dots\dots (13)$$

여기서, Q_g 는 暖房負荷(kcal/hr), A_g 는 溫室의 표면적(m^2), U 는 난방부하계수(kcal/ m^2 /hr/ $^{\circ}C$), θ_i 는 설계실내기온($^{\circ}C$), θ_o 는 실외기온($^{\circ}C$), f_r 은 보온피복재에 의한 열절감율(0.25~0.65)이다. 식(13)에서 $(1 - f_r)$ 항을 삭제한 경우도 있지만, 그 경우는 이미 U 값에 포함시키고 있는 경우이다.

(2) 熱收支에 근거한 詳細式

負荷係數(U)의 값은 관류열량, 환기전열량, 지중전열량을 일괄 고려하여 난방필요열량을 구하기 위해서 도입한 비례계수로써 상세한 값은 다음 식을 이용한다.

$$U = h_i(1 - f_r) + h_{ven} + \frac{\beta H_{so}}{\theta_i - \theta_o} \dots\dots\dots (14)$$

여기서, h_i 는 관류열율, h_{ven} 은 환기전열계수, β 는 보온비, H_{so} 는 지중전열량이다.

(3) 暖房負荷量

앞의 식(13)에서 실외기온 θ_o 를 설계외기온으로 하면 Q_g 는 최대난방부하, U 는 최대난방부하계수가 되고, 이것은 난방에 필요한 최대의 발열량으로 난방기의 용량이 된다. 또한 일정기간중

의 소요 총난방열량을 구하는데는 $(\theta_i - \theta_o)$ 에 시간변화에 따른 외기온에서 구한 난방 degree hour를 대입하여 계산한다. 이때 기간난방부하계수는 최대난방부하계수의 0.7배를 사용한다. 온실난방에 통상적으로 사용하는 연료는 등유, 중유이다. 실제의 기간난방부하(Y)는 식(15)와 같다.

$$Y = \Sigma Q_g / E \dots\dots\dots (15)$$

여기서, ΣQ_g 는 기간난방부하, E 는 난방기의 효율이다. 난방시스템의 종류는 일반적으로 온풍난방 및 온수난방이 사용되며 효율은 0.7~0.85 및 0.5~0.7 정도 추산되나 정확한 값은 사용하는 난방기의 값을 참조하면 된다.

기간난방부하는 주간 12월~2월, 야간은 11월~3월을 난방기간으로 잡아서 난방 degree hour를 이용하여 구한다. 최대난방부하의 設定溫度는 生育最低溫度를, 기간난방부하는 작물의 最適溫度 범위에서 最低溫度를 택한다.

(4) 暖房機의 容量決定

난방기의 필요용량은 최대난방부하에 열이동중의 손실을 추가하고, 여기에 안전계수를 곱하여 결정한다. 열손실은 온풍난방일 경우는 덕트, 온수난방일 경우는 배관 파이프에서의 열손실을 의미한다. 온풍난방일 경우는 통상적으로 최대난방부하보다 10% 높게 설정한다.

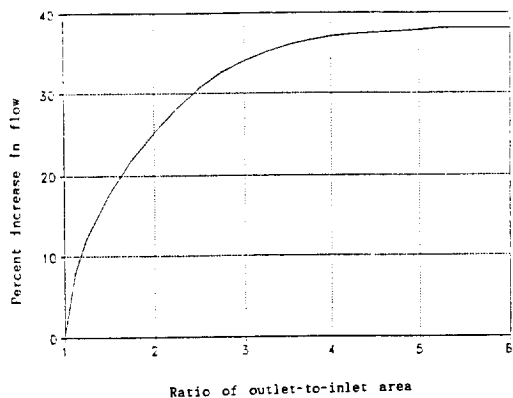


Fig 5. 入口와 出口의 面積이 相異할 경우의 換氣量 補正

$$Q_k = (Q_g + Q_i) f_s \dots\dots\dots (16)$$

여기서, Q_k 는 난방기 용량, Q_i 는 열손실량, f_s 는 안전계수이다.

다. 換氣設計

1) 必要換氣量 算定

換氣는 작물의 生育溫度로 온실내 기온을 저하시키기 위해, 즉 高溫 抑制을 위해 실시하는 외에 실내의 탄산가스 濃度의 저하를 막기 위해서 실시하는 경우도 있다. 고온억제, 탄산가스 制御와 함께 換氣는 온실내외의 차를 줄이는 것 밖에 할 수 없으므로 내기온을 외기온보다 낮추려면 冷房設備를 사용하고, 탄산가스농도를 외기 이상으로 높이려면 탄산가스발생기를 사용하지 않으면 안된다.

換氣의 정도를 표시하는 방법에는 換氣回數 또는 換氣率을 사용한다. 換氣回數(n)은 換氣量 $Q(m^3/h)$ 을 온실의 容積 $V(m^3)$, 환기율(q)는 환기량을 床面積 $A(m^2)$ 으로 나눈값을 말한다. 溫度制御를 위한 必要換氣率은 다음식의 의하여 개략적으로 구할 수 있다.

$$q = \frac{1}{C_p} \left[\frac{\alpha R_n (1-f)}{\Delta t} - wk \right] \dots\dots\dots (17)$$

단, $R_n = \tau S(1-r)$

여기서, R_n 은 실내 純輻射量, α 는 受熱面積補正率(1.0~1.3), f 는 純輻射에 대한 증발산량의 비(작물의 무성 상태에 따라서 0.5~0.65), w 는 피복표면적/상면적(放熱比), k 는 피복면 관류열을(kcal/m²·min·°C), Δt 는 내외기온차, C_p 는 용적비열(定壓比熱×密度=0.3kcal/m³·°C), τ 는 일사투과율, r 은 실내반사율(0.1정도)이다. 일조시간중의 토양전열량은 무시한 식이다.

2) 自然換氣量 算定

(1) 換氣量 基本式

농업시설에서의 환기는 自然換氣와 強制換氣가 있다. 자연환기는 창이나 틈새를 통한 공기교환으로, 風上, 風下의 壓力差에 의한 風力換氣와 온실내외의 온도차에 의한 重力換氣로 나누어진

다. 어떠한 방식도 환기의 구동력인 온실내외의 압력차에 의해서 공기의 유출입이 이루어지기 때문에 이론적으로 동일하다. 온실내외의 압력차 ΔP 에 의한 개구부의 환기량 Q 는 다음식에 의해서 정해진다.

$$Q = \alpha A \sqrt{(2g/\gamma) |\Delta P|} [m^3/s] \dots\dots (18)$$

단, $\Delta P = P_i - P_w + P_g$

여기서, A 는 개구부면적(m²), γ/g 는 공기밀도(γ 는 공기 비중량, g 는 중력가속도), t_i 는 온도(°C), ΔP 는 외기압력차(kg/m²), P_i , P_w 및 P_g 는 각각 개구부의 풍압력, 부력 및 실내정압에 의한 압력차, α 는 개구부의 형상에 따라서 정해지는 풍량계수이다.

(2) 重力換氣

압력차 ΔP 를 내외기온차 Δt 에 의해서 표시하여, 개구부의 환기량 Q_i 를 다음식으로 정한다.

$$Q_i = \alpha A \sqrt{(2gh\Delta t)/(273+t_i)} [m^3/s] \dots (19)$$

단, $\frac{1}{\alpha A} = \left(\frac{1}{\alpha_1 A_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_2 A_2} \right)^2$

여기서, h 는 천창과 측창 중심간의 연직거리(m), t_i 는 실온(°C), 첨자 1, 2는 흡기구 및 배기구를 의미한다. αA 의 합성이 불가능한 경우는 도시법 또는 수치해석방법에 의존한다.

(3) 風力換氣

風力에 의한 換氣率을 결정하는 理論方程式의 적용에는 풍압계수가 존재해야 한다는 제한성을 가진다. 經驗資料에 기초한 근사 결과값을 제공하는 방정식은 다음식과 같다.

$$Q_w = \alpha \sqrt{C_p} A V = E A V [m^3/s] \dots\dots (20)$$

여기서, V 는 屋外風速(m/s), C_p 는 풍압계수, E 는 開口의 有效度(E 는 면에 수직되게 부는 바람에 대해서 0.5~0.6이고, 대각선 바람에 대해서는 0.25~0.35; 農業施設物에서는 보통 0.35를 권장한다), A 는 風上측의 入口面積(m²)이다. 정확한 개구부 주변의 풍압계수를 사용하면 구할 수 있다.

(4) 全體 換氣量 計算

風壓과 溫度差의 영향이 복합된 경우에는 中

극적인 流動은 두 예측량의 합과 같고, 식(18)에 의하여 복합적으로 구해야 한다. 그러나 형태가 복잡해지면 단순계산으로는 불가능하고, 도식법이나 수치계산에 의존할 수 밖에 없다.

간단한 방법으로는, 각힘에 의한 공기유동을 분리하고 각각 계산하여 換氣量을 구하고, 이것에 대한 溫度差에 의해 생긴 환기량의 比(%)를 이용해서(Fig. 5), 실제 환기량을 구하는 것이다. 즉, 實際換氣量은 보정된 重力換氣量에 Fig. 5의 세로축의 값을 곱하여 구한다.

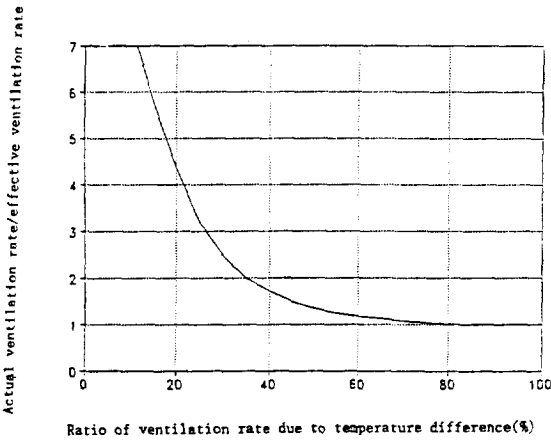


Fig. 5. 重力換氣와 風力換氣를 고려한 全體 換氣量 計算

자연환기량이 필요환기량보다 클 경우는 기본적으로 강제환기는 필요하지 않는다. 만약 필요환기량이 자연환기량보다 클 경우는 통상적으로 자연환기량의 1/4정도를 고려하고 나머지는 환기팬에 의한 강제환기(기계환기)에 의존한다. 強制換氣의 換氣팬 容量은 환기팬 성능표로부터 주어지는 換氣팬의 정압-풍량 곡선을 사용하여 개략적으로 결정할 수 있다. 그러나 환기구를 열어놓은 상태에서는 불균일한 온도분포의 소지가 있기 때문에 通風에 관한 고려가 필요하다.

4. 園藝施設의 環境計測 및 制御體系

가. 環境計測 및 制御 概要

生物環境計測이란, 生物의 生育環境과 관련된 제반 현상을 定量的으로 파악하여, 최종적으로 작물의 재배에 적절한 환경을 만들기 위한 環境制御에 선행되는 기본적인 수단이다.

生物環境은 크게 地上部環境과 地下部環境으로 구분할 수 있다. 시설원예에서의 지상부환경은 광강도, 기온, 습도, 탄산가스 농도, 풍속등으로 구성되어 있고, 지하부환경은 양액의 온도, 電氣傳導度(EC), pH 및 용존산소 등으로 구성되어 있다. 온실내에서 재배되고 있는 작물은 실제로 실내의 환경변화의 영향을 받기 때문에, 작물의 생육에 맞도록 실내의 환경을 적절하게 제어할 필요가 있다. 최근 複合環境制御의 경우, 일반적으로 室內光強度, 室內氣溫, 室內濕度, 炭酸가스농도, 養液溫度, 養液供給時間, EC, pH등이 제어대상으로 채택되어 지고 있다. 간단한 생물환경계측 및 제어시스템 用 마이크로 컴퓨터의 형태는 Fig. 6과 같다.

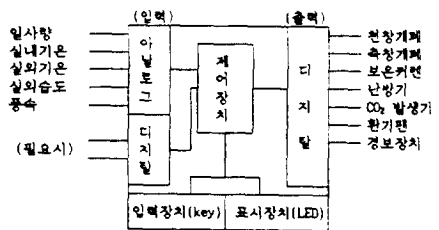


Fig 6. 簡單한 環境制御用 마이크로컴퓨터의 內容

나. 環境制御方法

計測用 센서에 의해서 계속된 데이터는 전용 마이크로 컴퓨터에 입력된 후 컴퓨터에 의한 적절한 制御方法을 통해서 制御器機를 작동시킨

다. 제어방법으로는 제어방향에 따라 측정치와 설정치의 편차에 의한 Feed back제어 및 어느 정도의 예측을 전제로하는 Feed forward제어가 있다(Fig. 7).

1) ON-OFF 제어 : 設定値에 준해서 제어기기를 ON-OFF 시키는 방법으로 PID제어에서 $T_i = \infty, T_d = 0, K > 1$ 에 상응한다.

2) PID 제어 : 偏差(동작신호)의 비례치, 積分値, 微分値를 고려하여 제어기기의 조작량을 결정하는 방법이다. 아날로그와 디지털방식에 의한 제어방법은 다음과 같다.

$$v = K(e + \frac{1}{T_i} \int edt + T_d \frac{de}{dt}) \dots \dots \dots (21)$$

$$v_n = K[e_n + \frac{\tau}{T_i} \sum e_n + \frac{T_d}{\tau} (e_n - e_{n-1})] \dots \dots (22)$$

여기서, v : 조작량, K : 비례정수, e : 편차, T_i : 적분정수, T_d : 미분정수, τ 는 샘플간격, n 은 샘플시각이다. 각 상수는 제어대상시설에 따라 변한다. Growth chamber의 경우, τ 는 2~20초, 적분상수는 수백초, 미분상수는 수초정도가 적절하다.

3) 適應(Adaptive) 제어 : 狀況에 따라 제어상수(비례정수)를 변화시키는 방법으로서, PID제어방법의 경우 비례상수 K 를 일사부하의 변동에 따라서 적절히 변화시킬 수 있다.

4) 最適(Optimal) 제어 : 評價函數에 의하여 최적상태를 유지하는 방법으로, 최적화 이론에 근거하여 최적광합성조건을 위한 온도, 탄산가스 등의 복합제어에 사용되는 방법이다.

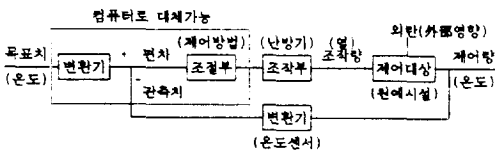


Fig 7. 典型的인 feedback 制御시스템.

다. 環境計測・制御 對象 및 體系

환경계측의 대상으로는 室内外 光強度, 室内外氣溫, 室内濕度, 室内탄산가스농도, 室外風速, 養液溫度, EC, pH등이 설정된다. 제어대상 및 방법으로는, 地上部の 環境制御의 경우, 실내광강도는 차광망을 이용하고, 실내온도는 저온기에는 난방기 및 보온커텐, 고온기에는 차광망, 환기창 및 환기팬을 이용하고, 실내습도는 환기팬 및 환기창, 탄산가스농도는 탄산가스발생기를 이용한다. 地下部の 환경제어의 경우, 압면재배를 사용하기 때문에 양액공급시간은 양액공급펌프, 양액온도는 보온용 히터, EC는 액비 농축액, pH는 산 알칼리 조절액을 이용한다.

국내의 경우 地上部環境의 制御는 약간 이루어지고 있으나 地下部環境(養液)의 連續測定에 의한 관리는 거의 없고 정기적으로 한번씩 측정하는 정도이다. 養液制御의 경우, 지상부의 물리적인 環境에 비해 化學 및 生物學的 要因이 추가되기 때문에 제어에 어려움이 있다. 園藝施設 내의 環境計測 및 制御 體系와 중앙관리체계는 Fig. 8와 Fig. 9과 같다.

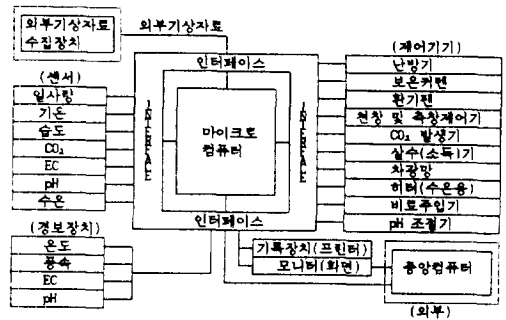


Fig 8. 園藝施設 내의 環境計測 및 制御 體系

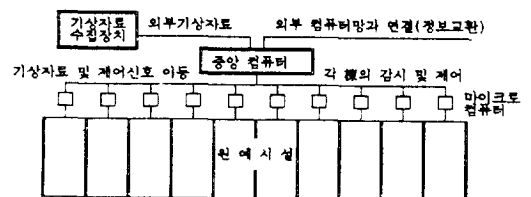


Fig 9. 園藝施設의 中央管理體系

5. 結論

園藝施設의 合理的인 計劃 및 設計는 園藝施設 설치에 있어서 반드시 선행되어야 할 중요한 부분이지만 農業 關聯施設의 零細性때문에 거의 適用對象이 되지 못하였다. 본 자료에서는 최근 園藝施設은 集中化, 尖端化 및 大規模化의 추세 속에서 園藝施設 設置에 대한 體系의인 접근과정으로서, 農業構造改善 事業에 필수적이라고 판단되는 園藝施設의 基本計劃 및 設計方法을 提示하였다. 基本設計內容을 정리하였다.

基本計劃에서는, 園藝施設計劃의 範圍, 地域計劃 및 周邊狀況과의 關係를 고려한 후, 園藝施設計劃 手法에 의거하여 園藝施設의 基本計劃 및 基本計劃手順을 결정할 필요가 있다.

構造設計에서는, 園藝施設의 積雪荷重 및 風荷重 계산을 위하여 Type- I 極值分布를 이용하여 氣象資料를 頻度分析하고, 園藝施設내의 모든 가능하중을 고려한 設計荷重을 決定하고, 園藝施設의 構造解析을 통하여 安全性을 고려한 생산시설의 부재단면 및 간격을 결정하고, 强風에 의한 인발력과 지반의 지내력에 안전하게 유지될수 있는 기초의 단면을 결정할 필요가 있다.

環境設計에서는, 暖房設計를 위하여 전형적인 기온변화곡선을 유도함으로써 暖房 Degree Hour를 계산하고, 생산시설규모에 따른 난방기 용량 및 연료소모량을 추정하기 위하여 最大暖房負荷 및 期間暖房負荷를 산정하고, 換氣設計를 위해서 高溫期에 생산규모에 따른 必要換氣量을 결정하고, 自然換氣量 및 强制換氣量을 결정하여 환기팬 용량을 결정할 필요가 있다.

環境制御體系에서는, 생산시설내의 環境計測·制御要表의 결정을 통한 環境計測·制御體系를 작성하고, 共同施設을 설치하여, 중앙관리실에서 단지내의 모든 생산시설내의 상황을 감시하도록 중앙관리체계를 작성할 필요가 있다.

參考文獻

1. 高在君, 金文基, 李錫健, 徐元明, 崔弘林. 19

88. 農業施設工學. 서울大出版部. pp490.

2. 金文基, 孫禎翼, 南相運, 李東根, 李碩宰. 1992. 生物生産施設의 構造設計에 관한 研究 (1). 生物生産施設環境. 1(1) : 1-13.

3. 金文基, 孫禎翼. 1992. 集中作物生産施設의 開發을 위한 基本設計方法. 韓國農業科學協會. 61-73.

4. 農漁村振興公社, 農林水産部. 1992. 集中生産施設의 園地化 모델의 開發. pp203.

5. 孫禎翼. 1992. 園藝施設의 自動化를 위한 컴퓨터 利用. 農業과 情報技術. 1(2) : 6-12.

6. 孫禎翼, 金文基(譯). 1993.(農學-生物學分野) 電氣電子計測. 園藝技術情報센터. pp292.

7. 宋鉉甲, 琴東赫, 柳寬熙, 李基明, 李種瑚, 鄭斗浩. 1993. 園藝施設의 自動化. 文運堂. pp 400.

8. 이건영, 서승지. 1991. 建築環境工學. 일진사. pp360.

9. 李錫健(譯). 1992. 農業環境調節工學, 教保文庫. pp329.

10. 林晚澤, 建築環境計劃. 1991. 普文堂. pp310.

11. 崔弘林(譯). 1989. 農業施設物의 換氣. 大光出版社. pp410.

12. Albright, L.D. 1990. Environmental control for animals and plants. ASAE. Michigan. pp 453.

13. MWPS. 1983. Structure and environment handbook(11th ed.). MWPS-1. Iowa.

14. Son, J.E. and T. Takakura 1987. A study on automatic control of nutrient solution in hydroponics. J.Met. 42(2) : 147-151.

15. 立花一雄 外 3人. 1979. 施設園藝ハウスの設計と施工. オーム社. 東京. pp236.

16. 日本太陽エネルギー學會, 1985, 太陽エネルギー利用ハンドブック, 東京, pp1135

17. 古在豊樹, 1985, 施設園藝 環境調節技術, 日本施設園藝協會, pp206.