

講 座

園藝施設の環境設計 및 環境制御

손 정 의

서울대학교 농업생명과학대학 농업개발연구소

1. 序 論

최근, 園藝施設の 자재의 규격화 및 국내상황에 적합한 원예시설의 설치를 위하여 構造安全基準등을 포함한 일련의 체계적인 원예시설의 연구가 진행중에 있고, 그 결과의 파생효과로써 최근 일부 온실의 시공시에 국내상황에 적합한 합리적인 構造設計가 정착되어 가고 있는 실정이다. 그러나 대부분의 온실설계에서 환경제어장치 정도의 언급 이외에는 環境設計 및 環境制御에 관련된 내용을 설계에 적용하는 예는 거의 없기 때문에 부가가치가 높은 생산시설의 설치에 따른 비효율적인 운용이 우려된다.

특히, 生物環境制御는 생물의 생육환경과 관련된 제반 현상을 定量的으로 파악하여, 최종적으로 작물 재배에 적절한 환경을 만들기 위하여 주변환경을 제어하는 방법으로 작물생산에 직접적인 영향을 주는 만큼 深度있는 연구가 필요한 부분이다. 더욱이 構造設計와 環境設計는 결코 독립적인 관계가 아닌 상호 보완적인 관계에 있기 때문에 양자를 고려한 원예시설의 효율적인 설계가 필요로 되는 부분이다.

현재, 국내 농업의 국제 경쟁력 강화를 위하여 대대적인 농업구조개선작업이 진행중에 있고, 특히 큰 비중을 차지하고 있는 園藝施設 設置에 있어서 環境設計에 관한 체계적인 접근은 이제까지의 量的인 공헌에 더불어 質的으로도 크게 공헌할 것으로 사료된다. 農業生産施設의 環境設計에서 고려되어야 할 주요사항은, 換氣, 冷暖房 設計 및 環境制御 등이 열거될 수 있고, 이에 관한 기본적인 내용을 다루었다.

2. 園藝施設 暖房設計

가. 暖房 Degree Hour 分析

1) 暖房 Degree Hour

온실의 난방에 필요한 연료소비량 및 난방 기

의 용량을 개략적으로 산정하는데 이용되는 暖房 Degree Hour는 일반적으로 난방 기간중의 온실 内外의 온도차를 적산한 것이다.

2) 溫度 適期變化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 표현이 가장 잘 사용한다.

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

$$\theta_t = M_m + M_1 \cos \frac{360}{T_1} t + M_2 \cos \frac{360}{1/2 T_2} t + \dots + N_1 \sin \frac{360}{T_1} t + N_2 \sin \frac{360}{1/2 T_2} t + \dots \quad (1)$$

여기서,  $t$ 는 시간(h),  $T_1$ 은 기본파의 주기,  $M_m$ 은 산술평균치의 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  $M_1$  및  $N_1$ 은 실측치를 사용하여 구할 수 있다. 이것을 이용하여 임의 지역의 평균기온( $\theta_m$ ), 최고기온( $\theta_h$ ) 및 최저기온( $\theta_l$ )으로부터 매시간 기온을 추정할 수 있는 식을 유도할 수 있다.

$$\theta_o(t) = \theta_m + a(\theta_i + b)(\theta_n - \theta_i) \quad (2)$$

여기서  $\theta_o$ 는 外部氣溫,  $\theta_i$ 는 調和分析으로 구한 氣溫變動式, a 및 b는 지역에 따른 상수이다.

3) 暖房 Degree Hour 算定式

暖房 Degree Hour(HDH)는 작물의 주야 생육 적온이 다르므로 주간난방 Degree Hour(HDH)와 야간난방 Degree Hour(HDH)로 구분하여 다음 식으로 구할 수 있다.

$$dHDH = \int \theta_i d\theta_i, nHDH = \int \theta_i d\theta_i + \int \theta_n d\theta_i \quad (3)$$

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

여기서,  $\theta_c$ 는 溫室內部の 設定溫度,  $\theta_o$ 는 室外氣溫,  $\Delta\theta_r$ 는 지중열에 의한 온도상승분,  $\Delta\theta_s$ 는 일사량에 의한 온도상승분이다. 夜間에는  $\Delta\theta_s = 0$ ,  $\Delta\theta_r$ 는 2°C 전후, 週間의 日射存在時는  $\theta_o < \theta_c$ 이라도  $\Delta\theta_s$ 가 상대적으로 크기 때문에  $d\theta_i$ 가 상대적으로 크기 때문에  $d\theta_i \approx 0$ 으로 취급한다. 기타 각종 환경인자를 이용하여 지역특성에 적합한 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.

標準 氣象資料란 이용목적에 따라 어떤 지점의 표준적인 기상 상황을 종합적으로 파악하기 위해 작성된 기준자료로서, 일반적으로 전 기간의 관측 자료중 표준적으로 생각되는 연속 10년간의 자료를 선정해서, 이중 다시 표준적인 매월의 자료를 선정하여 만든 매시간 기상자료를 말한다.

나. 生産施設의 暖房負荷 算定

1) 暖房負荷의 概念

난방중인 온실로 부터 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량을 추정하기 위하여 사용된다.

난방중인 온실로 부터의 열손실은 3요소로 나누어 생각할 수 있다. 즉, 유리등의 피복재를 통과하는 貫流熱量, 틈 사이를 통한 換氣傳熱量 및 토양과의 열교환량을 나타내는 地中傳熱量이다. 정확한 값은 시간에 따른 변화량을 고려한 動的 모델 을 이용하여 에너지 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 표면적 과 내외 기온차에 비례하는 특성을 이용하여 暖房 負荷는 간단히 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Q_g = A_g U (\theta_i - \theta_o) (1 - f_r) \quad (4)$$

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/ $^{\circ}C$ ),  $\theta_i$ ,  $\theta_o$ 는 설계실내기온( $^{\circ}C$ ),  $\theta_o$ 는 실외기온( $^{\circ}C$ ),  $f_r$ 은 보온 피복재에 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 비례계수로서 상세한 값은 다음 식을 이용한다.

$$U = h_i(1 - f_r) + h_{ven} + \frac{\beta H_{so}}{\theta_i - \theta_o} \quad (5)$$

여기서,  $h_i$ 는 관류열율,  $h_{ven}$ 은 환기전열계수,  $\beta$ 는 보온비(=지표면적/표면적),  $H_{so}$ 는 지중전열량이다.

앞의 식(4)에서 실외기온  $\theta_o$ 를 설계외기온으로 하면  $Q_g$ 는 최대난방부하,  $U$ 는 최대난방부하계수가 되고, 이것은 난방에 필요한 최대의 발열량으로 난방기의 용량이 된다. 또한 일정기간중의 소요 총 난방열량을 구하는 데는  $(\theta_i - \theta_o)$ 에 시간변화에 따른 외기온에서 구한 난방 degree hour를 대입하여 계산한다. 이때 기간난방부하계수는 대체적으

로 최대난방부하계수의 0.7배를 사용한다. 실제의 기간 난방부하(Y)는 다음과 같다.

$$Y = \Sigma Q_s / E \quad (6)$$

여기서,  $\Sigma Q_s$ 는 기간난방부하, E는 난방기의 효율이다. 난방시스템의 종류는 일반적으로 온풍난방 및 온수난방기가 사용되며 효율은 0.7-0.85 및 0.5-0.7정도로 추산되나 정확한 값은 사용하는 난방기의 설명서를 참조하면 된다. 또한 연료소비량은 기간난방부하를 통상적으로 사용하는 연료의 평균발열량으로 나누면 된다.

기간난방부하는 통상적으로 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.

$$Q_b = (Q_r + Q_i) f_s \quad (7)$$

여기서,  $Q_b$ 는 난방기 용량,  $Q_i$ 는 열손실량,  $f_s$ 는 안전계수이다.

### 3. 園藝施設の 冷房設計

#### 가. 냉방부하 산정

##### 1) 냉방설계 개념

일반적으로 온실의 고온설계는 환기에 의한 것이 보통이나, 환기로서 실내온도를 목표온도로 내릴 수 없을 경우는 냉방을 사용한다. 따라서 냉방의 목표는 고온기에 高價시설의 연중활용 및 작물의 품질향상을 위하여 실내기온을 적정온도로 관리하는 데 있다. 일반적으로 適定온도(上限)-限界온도(高温)의 차의 함수로써 표현되며 합리적 냉방시스템 운용을 위해서는 적정작물선택, 재배 시기조절, 보온방법개선, 냉방효율향상, 대체 에너지이용 등이 필요하다. 특히, 고가시설의 설계에

있어서는 효율적인 냉방설계가 가능한 구조형태도 고려할 필요가 있다.

##### 2) 냉방온실의 열수지

원예시설의 필요냉방용량은 일사유입열량에서 환기열교환, 관류열교환량 및 지중열교환에 의한 열량을 빼는 것이 상례이다. 주간의 열수지식은 다음과 같다.

$$\text{필요냉방용량} = \text{일사유입열량} - (\text{환기열교환량} + \text{관류열교환량} + \text{지중열교환량})$$

(추가) 일사량 >> 나머지, (야간) 지중열교환 > 관류 > 환기

##### 3) 냉방부하(cooling load)

냉방부하는 온실로 유입되는 총열량중, 냉방용 설비로 제거하지 않으면 안되는 열량으로 난방부하의 반대개념이다. 일반적으로 냉방설계(주간냉방)를 위한 냉방부하는 일사량의 영향이 가장 크기 때문에 일사량의 함수로 표현하는 것이 합리적이다. 냉방방법으로는 온도하강효과가 큰 증발냉각법 사용이 가장 효율적이다. 補助방법으로는 유입광을 차단하는 단파 및 장파 차단방법등이 병행된다. 기본적으로 난방부하의 방법과 동일한 방법을 사용하나 개념은 정반대이다.

#### 나. 냉방원리 및 효율

##### 1) 증발냉각(주간)의 개념

증발냉각 및 환기에 의한 제거열량은 실내일사량에서 관류유출량을 제외한 형태로 표시된다. 따라서 일사량 등의 각종조건과 외기온도 및 습도가 주어질 때 설정 내기온을 만족하기 위한 배기(실내)의 엔탈피는 개략적으로 다음과 같이 표시된다. 내습도는 이론적으로는 100%가 가장 효율적이다.

$$h_i = h_a + \frac{R_n - h_i(\theta_i - \theta_a) \frac{1}{\beta}}{\rho q} \quad (\text{kcal/kg}') \quad (8)$$

$$\text{단, } R_n = \tau S(1-\gamma)(1-s) \quad (\text{kcal/m}^2/\text{min})$$

$q$ : 환기율( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$ ),  $\rho$ : 외기밀도(건조공기) ( $\text{kg/m}^3$ ),  $h$ : 엔탈피( $\text{kcal/kg}'$ ),  $s$ : 실내반사율(0.1),  $S$ : 실외수평일사량(여름 12-13),  $\tau$ : 일사투과량(여름 0.65),  $h_i$ : 표면열관류율(약 0.08),  $\beta$ : 보온비,  $i$ : 실내(배기구),  $a$ : 외부(유입구),  $s$ : 차광도

2) 투입분무량 결정

환기율을 일정하게 설정할 경우, 흡기구의 외기 온, 습도 및 엔탈피( $t_o, H_o, h_o$ )에서 배기구의 내기 온, 습도 및 엔탈피( $t_i, H_i, h_i$ )를 만족시키기 위한 공기중의 수분변화량(잠열변화를 위한 수분증발량)을 추정할 수 있다. 따라서 수분변화량이 기화 냉각에 사용된 필요증발량에 해당된다. 이를 위해서는 습공기선도 또는 계산기에 의한 수치해석에 의하여 구할 수 있고, 편의적으로 환기량, 증발량 등을 나타낸 VETH선도를 이용하여 구할 수 있다. 이 경우, 냉방설계시 중요한 인자는 환기팬 및 분무(또는 패드)장치의 용량이기 때문에, 식물의 생육에 적절한 0.3-0.5m/s범위의 실내풍속이 형성되는 환기량과 식(8)을 만족하는 분무량을 적절하게 결정한다. 환기용량에 관한 내용은 환기설계에서 설명한다.

시설내에 작물의 증산 및 지표면의 증발에 의한 수분량을 제외하고 구한다. 냉각장치를 사용할 경우, 효율을 고려하여 최종적으로 투입분무량을 계산할 수 있고, 이에 따라서 노즐, 패드 또는 fog장치를 설계할 수 있다.

$$W_c = \frac{W_e - (W_s + W_p)}{\eta_c} \quad (9)$$

단,  $W_c$ : 투입분무량,  $W_e$ : 필요증발량,  $W_s$ : 지표증발량,  $W_p$ : 작물 증발산량,  $\eta_c$ : 냉각장치의 분무효율(=증발량/분무량)은 방식에 따라서 相異

3) 히트펌프(heat pump)(야간)

냉장고의 반대형태로서 냉매(프레온가스)를 사용하여 저온으로 부터 열을 빼앗아 고온으로 이동시키는 열펌프를 사용한 냉각방법, 냉방 및 제습에 이용된다. 냉방효율(COP: coefficient of performance, 성적계수)=이용열에너지/투입전력의 형태로 표현되고, 난방의 경우는 2-5, 냉방의 경우는 난방보다 1 작다.

다. 냉방방법의 종류와 특성

1) 증발냉각법(현열 對 잠열 교환방법)

가) Pad and fan method

외부공기를 벽에 설치한 패드사이로 통과 냉각시키고, 이때 냉각공기 및 공기와 같이 이동한 작은 물입자를 실내에서 증발냉각시켜서 실내공기온도를 하강시키는 방법이다. 다른편 벽에 설치한

환기팬(풍압형) 가동에 의하여 실내를 負압력으로 하여 외부공기를 패드사이로 통과 시킨다. 패드는 내구성과 통기성을 고려한 셀룰로오즈 또는 플라스틱 섬유 등의 충전용 섬유를 사용하고, 패드량은 통풍저항을 고려하여 풍량에 따라 조절한다.

나) Fog and fan method

외부에 설치된 분무실 사이로 외부공기를 통과 냉각시킨후 냉각공기 및 공기와 같이 이동한 작은 물입자를 실내에 유입시킨다. 물방울의 유입을 방지하기 위하여 3cm정도의 波形을 가진 Eliminator를 설치한다(기타 위와 동일). 분무실은 분출입자 및 분출량, Eliminator 간격을 조절한다.

다) Mist and fan method

직경 0.5mm 이하의 물방울 입자를 실내에 직접 분사시켜 증발냉각을 시키는 방법으로 풍량저항이 작기 때문에 풍량형 환기팬을 사용한다(기타 위와 동일). 노즐은 7-15kg/cm<sup>2</sup>의 수압, 50-150 l/min, 노즐의 수 및 분사량 조절(물입자 크기)을 한다.

라. Plant spray method

작물체에 분무함으로써 국부적인 증발냉각에 의한 작물체 온 하강을 직접적으로 유도한다.

마. Roof spray method

지붕 외면에 분무함으로써 증발냉각에 의한 지붕냉각을 유도하여 열대류에 의한 실내온도 하강을 유발시킨다.

2) 냉수냉각비(현열 對 현열 교환방법)

공기와 냉수를 직접 접촉시켜서 공기를 냉각하는 방법으로 파이프관의 많은 구멍으로 냉수를噴출시키고 그 사이로 공기를 흘리는 방법이다.

3) 기타냉각법(유입광 차단방법)

지붕의 외부에 차광막 또는 한랭사 사용하여 차광시키거나, 열선흡수유리를 사용하여 열선부분을 흡수하는 방법이다. 단점으로는 再복사의 가능성이 있고 近적외선 차단이 우려된다.

4. 園藝施設의 換氣設計

1) 必要換氣量 算定

必要換氣量은 각종 환경기준치를 만족시키기 위한 환기량으로써, 실내온도, 오염물질농도 등을 일정하게 유지하는데 필요한 환기량을 말한다. 따라서 실제환기량이 필요환기량에 못미칠 경우는 다

양한 방법으로 환기량을 증가시켜야 한다. 예를들면, 작물의 生育溫度로 온실내 기온을 저하시키거나 실내의 탄산가스 濃度の 상승 등을 유도하기 위해서 창문의 개폐, 환기팬의 작동 등을 통하여 환기를 실시하는 경우도 있다. 그러나, 고온억제, 탄산가스 制御 등을 위한 換氣는 실내외의 차를 줄이는 것 밖에 할 수 없다. 이상적인 환기를 위해서는 모든 환경요인의 필요환기량을 만족시킬 수 있는 理想 換氣曲線을 작성하여 이것에 근거하여 환기를 실시하는 것이 좋다.

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<sup>3</sup>/h)을 온실의 容積 V(m<sup>3</sup>), 환기율(q)는 환기량을 床面積 A(m<sup>2</sup>)으로 나눈값을 말한다. 溫度制御를 위한 必要換氣率은 정도에 따라서 여러방법으로 계산되고 있지만, 여기에서는 일사량이 존재하는 온실에 대한 개략적 방법의 一例를 나타낸다.

$$q = \frac{H_g}{C_v \Delta\theta} \approx \frac{1}{C_v} \left[ \frac{\alpha R_0 (1-f)}{\theta_i - \theta_o} - \frac{h_i}{\beta} \right] \quad (10)$$

여기서, H<sub>g</sub>는 총열량의 증가분(제거분), C<sub>v</sub>는 용적비열(定壓比熱×密度≒0.3kcal/m<sup>3</sup>C), α는 受熱面積補正率(1.0~1.3), f는 純射熱의 증발잠열에의 변환비(작물의 무성상태에 따라서 0.5~0.65)이다. 일조시간중의 토양전열량은 무시한 식이다.

### 2) 換氣量 基本式

농업시설에서의 환기는 自然換氣와 強制換氣로 분류된다. 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 환기구 동력 및 환기구 특성에 의해서 결정된다. 일반적으로 실내외의 압력차 ΔP와 개구부의 환기량 Q와의 관계는 다음과 같다.

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2g}{\gamma} |\Delta P|} = \alpha A \sqrt{\frac{2g}{\gamma} |P_i - P_w + P_g|} = \alpha A \sqrt{\frac{2g}{\gamma} |P_i - C \frac{\gamma_o}{2g} V^2 + h \gamma_o \frac{\theta_i - \theta_o}{273 + \theta_i}|} \quad (11)$$

$$\text{단, } \frac{\gamma_i}{2g} = \frac{1}{16} \frac{273 + 15}{273 + t} \approx \frac{1}{16}$$

여기서, A는 개구부 면적(m<sup>2</sup>), α는 개구부 풍

량계수, ΔP는 개구부 내외의 全壓差(kg/m<sup>2</sup>)이며, 만약 ΔP ≥ 0일 경우(流出時)는 γ = γ<sub>i</sub>로 하고, ΔP < 0일 경우(流入時)는 유량 Q를 負, γ = γ<sub>o</sub>로 한다. P<sub>w</sub>, P<sub>g</sub>, 및 P<sub>i</sub>는 각각 개구부의 풍압력, 부력 및 실내 정압(地面기준)이다. 風壓力는 동압과 풍압계수 C의 곱, 浮力은 내외기온차 Δθ 및 개구부 높이 h(일반적으로 지면에서의 수직거리), 또한 실내정압은 미지수로 두고 관계식을 구성한다.

일반적으로 風力換氣 計算을 위하여 모형실험에서 측정된 風壓係數를 사용하지만 편의상 風力係數를 사용하는 경우도 있다. 풍압계수는 풍압(표면압력-정압)을 기준속도압으로 나눈 값으로 연속적인 값으로 표현되지만, 풍력계수는 “일정면적에서의 풍압의 평균치를 기준속도압으로 나눈 값”이기 때문에 일정면적에 대해서 동일한 값을 가진다. 따라서 일정면적내의 풍압계수의 변화가 일정하지 않을 경우는 풍력계수의 사용시 주의할 필요가 있다.

$$C_p = \frac{P_v}{q_o} = \frac{P_i - P_o}{q_o} \quad (12)$$

$$C_f = \frac{F/A}{q_o} = \frac{\frac{1}{A} \Sigma P_v d A}{q_o} = \frac{P_v}{q_o} \quad (13)$$

여기서, C<sub>p</sub> 및 C<sub>f</sub>는 풍압 및 풍력계수, P<sub>v</sub>, P<sub>i</sub> 및 P<sub>o</sub>는 풍압, 표면압력 및 정압, q<sub>o</sub>는 기준속도압, F는 풍력, A는 면적이다.

### 3) 一般的 換氣量 計算

개구-배구가 1개인 단순형태의 시설에서는 간단한 계산에 의하여 환기량을 계산할 수 있다. 그러나 개구-배구가 다른 위치에 1개이상 증가하면 아무리 간단한 형태일지라도 單純計算은 불가능하고 圖式法이나 數值計算에 의존한다. 일반적인 환기량의 계산은 다음의 연속의 법칙에 준한다.

$$\Sigma Q_k = \Sigma f_k(P_i) = 0 \quad (14)$$

여기서, Q<sub>k</sub>는 각각 임의의 개구부의 환기량으로 실내정압의 함수 f<sub>k</sub>로 표현된다.

圖式法일 경우, 각 개구부의 특성곡선을 도시하고 실내정압(지면) P<sub>i</sub>를 임의로 변화시키면서 상

기의 조건을 만족시키는 개구부의 환기량을 구하는 방법이고, 數值計算法은 逐次近似法등을 사용하여  $P_1$ 를 변화시키면서 상기의 식을 만족시키는 개구부의 환기량을 구하는 방법이다.

4) 환기팬 使用時의 換氣量 計算

送風機는 축류송풍기(axial flow fan)와 원심송풍기(centrifugal flow fan)로 분류된다. 前者는 압력차가 작으면서 많은 풍량을 낼수있는 온실이나 축사 등의 환기팬으로 사용되고, 後者는 많은 풍량보다 큰 압력차에서 환기를 필요로 하는 저장고 등의 환기팬으로 사용된다.

換氣口의 저항과 유량과의 관계(식15) 및 환기팬의 압력차와 유량과의 관계(식16)를 나타내는 성능곡선이 일치되는  $\Delta P$  및  $Q$ 에서 결정된다. 기준단면의 면적 및 유속을  $A_0$  및  $V_0$ 라고 하면, 形狀 抵抗  $\xi$ 를 가지는 管路에서의 압력손실(압력차)와 유량과의 관계를 나타내는 저항곡선은 다음과 같다. 또한 환기구 내외의 압력차와 유량과의 관계를 나타내는 성능곡선은 다음과 같다. 따라서 식(16)을 수식화하여 수치해법등에 의하여  $P_1$ 를 결정함으로써 환기량  $Q$ 를 결정할 수 있다.

$$\Delta P = \xi \frac{\gamma}{2g} V^2 = \xi \frac{\gamma}{2g} \left(\frac{Q}{A_0}\right)^2 = R(Q) \quad (15)$$

$$\Delta P = F(Q) \quad (16)$$

$$\text{단, } \xi = \Sigma \left(\frac{A_0}{A_n}\right)^2 (\Sigma \xi_{nm} + \lambda_n \frac{L_n}{D_n}) = \frac{1}{a^2},$$

$$\Delta P = P_1 - P_w + P_g$$

마지막으로 換氣量 決定을 위해서는 자연환기량과 필요환기량을 비교한다. 만약 자연환기량이 필요환기량이 클 경우는 기본적으로 강제환기는 필요하지 않는다. 그러나, 必要換氣量이 자연환기량보다 클 경우는 強制換氣를 실시하여야 하고, 만약 自然換氣를 병행할 경우는 통상적으로 자연환기량의 1/4정도를 계산에 포함한다. 그러나 換氣口를 열어놓은 상태이기 때문에 국부적인 공기유동의 가능성이 있고 이에 따라서 불균일한 온도분포가 발생할 소지가 있기 때문에 通風에 관한 고찰이 필요하다.

5) 환기모델에 의한 환기특성 분석

식(9)를 만족시키는 실내압  $P_1$ 를 구하기 위해서는 도식법이나 반복法등을 사용한 數值計法으로

구하여 개구부의 환기량을 구한다. 환기량과 실온은 상호작용을 하기 때문에 독립적인 방법으로 구할 수 없다. 즉 환기량은 실내온도의 영향을 받고 또한 실내온도는 환기량의 영향을 받는다. 따라서 상기의 환기량계산은 실내온도를 알고 있는 상태이기 때문에 일반적인 경우로 확장하기 위해서는 환기량과 실온의 동시산정 방법이 필요하다. 下記의 방법에서 일사량을 0으로 두면 내외기온차 및 풍속에 따른 환기량을 구할 수 있다.

일반적으로는 상세한 모델을 적용할수록 보다 정확한 결과가 유도되지만 일사량이 대부분의 열원이 되는 환기모델의 경우, 일사량의 정확한 정의만 가지고도 충분히 정도 높은 결과를 유도할 수 있다. 여기서는 간단한 정상상태에서의 실내공기의 현열 열수지 모델을 이용하였다. 기본개념은 다음과 같다.

$$H_c = h_c(\theta_i - \theta_o) A_g \quad (17)$$

$$H_v = C_v Q(\theta_i - \theta_o) \quad (18)$$

$$H_s = \tau S(1 - \gamma)(1 - f) A_s \quad (19)$$

$$\Sigma H_i = H_s + H_c + H_v = 0 \quad (20)$$

여기서,  $H_s$ : 지면 일사흡수량중 현열 변환량,  $H_v$ : 환기에 의한 열교환량,  $H_c$ : 피복재를 통한 열교환량이다. 일조시간중의 토양전열량은 무시하였다. 총환기량과 실내온도 동시산정 수순은 다음과 같다.

초기 자료 입력
시설조건(폭, 길이, 지붕높이, 처마높이, 부피, 바닥면적)
기상조건(기준풍속, 외기온, 실외일사량)
개구부조건(면적, 위치, 개도, 풍량계수, 풍압계수)
피복재조건(일사투과율, 열관류율)
작물조건(순복사량의 증발잠열 변환비)

(A)

(continued)

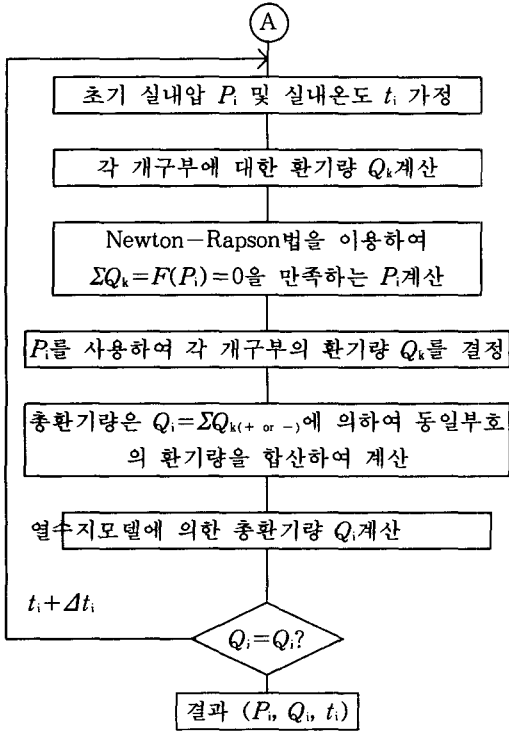


그림 1. 환기량과 실내온도의 산정수순.

## 5. 園藝施設の環境計測・制御體系

### 가. 環境制御의 定義

#### 1) 광의적 정의

온실의 경영적 관점에서 온실내의 환경 및 작물체 정보, 관리 및 유지에 필요한 자재의 정보, 경영정보 등을 고려하여 종합적으로 환경을 관리하는 방법을 말한다.

#### 2) 협의적 정의

작물생육에 영향을 주는 환경요인들을 복합적으로 제어하여 적합한 환경을 만드는 방법, 특히 2개 이상의 환경요소가 관련된 환경제어 방법이 주요 대상이다.

### 나. 環境制御 對象 및 方法

#### 1) 地上部 環境制御對象 및 方法

- 가) 온도: 보온, 난방, 냉방, 환기, 차광...
- 나) 습도: 가습, 제습, 환기
- 다) 탄산가스농도: 환기, 탄산가스발생기...
- 라) 공기유동(기류): 환기, 교반...

마) 광강도: 차광, 보광...

#### 2) 地下部 環境制御對象 및 方法

- 가) pH: 산알칼리액 첨가...
- 나) EC: A, B액 첨가, 개별 비료염 첨가...
- 다) 용존산소: 공기혼입, 교반, 양액공급 시간조절...
- 라) 양액온도: 난방, 냉방...

#### 다. 綜合 環境管理方法

1) 컴퓨터에 의한 방법: 작물의 생육에 적합한 조건을 설정하고 컴퓨터에 의한 수치적인 제어 방법을 사용하여 환경을 조절하는 방법

2) 인간의 경험에 의한 방법: 전문가(human expert)의 경험에 근거하여 환경제어 관련기기를 직접 조작함으로써 환경을 조절하는 방법으로 객관적인 관리가 불가능

3) 컴퓨터와 인간의 경험의 집합에 의한 방법: 전문가의 경험을 지식공학적인 수법을 사용하여 컴퓨터에 입력·구축한 전문가시스템에 근거하여 환경을 조절하는 방법으로 수치적 제어방법 및 경험적 제어방법을 모두 사용할 수 있는 방법

#### 라. 複合 環境管理시스템

##### 1) 하드웨어 종류에 따른 특징

가) 전용 마이크로컴퓨터 시스템: 아날로그 시스템에 근거하며 인터페이스 부분이 내장되어 있기 때문에 사용하기 간편

나) Personal computer에 의한 시스템: 디지털 시스템에 근거하며 별도의 인터페이스가 필요하다. 특히 PC상에서 환경제어를 위한 소프트웨어가 필요하다.

##### 2) 소프트웨어의 내용

가) 복합환경관리: (1) 생물학적 차원으로는 환경제어 대상요소의 범위 설정, (2) 공학적 차원으로는 환경제어 범위를 만족시키기 위한 환경제어기기의 운전

나) 긴급사태처리: (1) 환경제어 대상요소의 이상상태, (2) 환경제어기기의 이상

다) 데이터수집 및 해석: 각종 데이터의 수집 및 변환 해석

#### 마. 綜合 溫度管理의 例

##### 1) 環境管理 器械

가) 환경계측기기: 온습도계(건습구계), 육외일사계

나) 환경제어기기: 천창개폐장치, 보온커튼개폐장치, 온풍난방기, 송풍팬

2) 設定値 維持方法

가) 제어기기 종류: 천창 개폐모터, 보온커튼 개폐모터, 난방기 작동

나) 제어값 설정: 4시간별(중간값은 보간함) 실온 설정치에 근거하여 제어. 단, 천창 및 난방기의 설정치는 시각별 일사량에 의하여 보정하여 사용한다.

다) 기준설정치의 보정

(1) 주간 천창개폐 기준설정치의 보정

$$\Delta t = k_d(R_m - R_d) \quad (21)$$

여기서,  $k_d$ : 보정계수,  $R_m$ : 각 시각별 일사량 예측치의 30분간 이동평균치,  $R_d$ : 기준적산일사량(그 지역의 계절의 1일 평균적산량)

(3) 기준설정치 및 각종 계수의 조정: 1~3개월에 1회정도 설정

라) 制御器機 運轉:

(1) 천창: 개도 0~30°(0, 7.5, 15, 22.5, 30°의 5단계), 설정치 > 실측치일 경우에 개도를 1단계씩 올림(단, 0, 30°의 경우는 제외)

(2) 보온커튼: 설정치 < 실측치의 경우는 커튼을 열음. 단, 일몰(예 16시) 이후에는 일시적 상승에도 커튼을 열지 않음.

(3) 난방기: 착화버너와 송풍기를 별도로 제어(난방시에는 양자가 동시에 작동)

바. 環境制御方法

計測用 센서에 의해서 계측된 데이터는 전용 마이크로 컴퓨터에 입력된 후 컴퓨터에 의한 적절한 制御方法을 통해서 制御器機를 작동시킨다. 제어 방법으로는 제어방향에 따라 측정치와 설정치의 편차에 의한 feed back 제어 및 어느 정도의 예측을 전제로 하는 feed forward 제어가 있다.

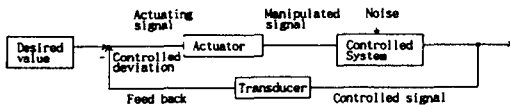


그림2. 전형적인 feed back 제어시스템.

1) PID제어: 偏差(동작신호)의 비례치, 積分値, 微分値를 고려하여 제어기기의 조작량을 결정하는 방법이다. 아날로그 방식과 디지털 방식에 의한 제어방법은 다음과 같다. 식(25)는 제어형태식을 나타낸다.

$$v = K[e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \frac{de}{dt}] \quad (23)$$

$$v = K[e_n + \frac{\tau}{T_i} \sum e_n + \frac{T_d}{\tau} (e_n - e_{n-1})] \quad (24)$$

$$v = v_{n-1} + \alpha e_n + \beta e_{n-1} + \gamma e_{n-2} \quad (25)$$

$$\text{단, } \alpha = K[1 + \frac{\Delta t}{T_i} + \frac{T_d}{\Delta t}],$$

$$\beta = -K(1 + 2T_d \frac{T_d}{\Delta t}), \gamma = K \frac{T_d}{\Delta t}$$

여기서, v: 조작량, k: 비례정수, e: 편차,  $T_i$ : 적분정수,  $T_d$ : 미분정수,  $\tau$ 는 샘플간격, n은 샘플 시각이다. 각 상수는 제어대상시설에 따라 변하고 최적상수를 결정하기 위해서 시설의 종류에 따른 auto tuning 방법을 사용하기도 한다.

2) ON-OFF 제어: 設定値에 준해서 제어기기를 ON-OFF 시키는 방법으로 가장 간단한 제어방법이다. 그러나 목표치를 기준으로 하여 사이클링(cycling)이 발생하는데 폭이 좁을수록 좋다. PID제어 방법에서,  $T_i = \infty, T_d = 0, K \gg 1$ 일 경우에 해당된다.

3) 適應(Adaptive)제어: 狀況에 따라 제어상수를 변화시키는 방법으로서 PID제어방법의 경우, 비례상수K 각종 계수를 일사부하의 변동에 따라서 적절히 변화시킬 수 있다. 각 변수를 주요인의 변화에 따라서 설정하거나 편차를 최소화하는 변수를 시간별로 설정할 수 있다.

4) 最適(Optimal)제어: 平價函數에 의하여 최적상태를 유지하는 방법으로, 최적화 이론에 근거한 복합제어방식, 예를 들어 온실내의 최적 광합성조건을 위한 온도, 탄산가스, 입사광 등의 각종 변수의 조건설정을 위하여 다양한 최적화 기법을 적용하는 방법이다.

5) 퍼지(Fuzzy)제어: 인간의 사고와 같은 중간치(애매한 값)를 이용하여 적절한 추론식에 근거하여 환경을 제어하는 방법(membership function을 사용).



6) 기타 제어 : 인공지능 방법을 사용한 각종 제어방법으로 신경회로망(neural network)에 의한 제어방법 등이 있다.

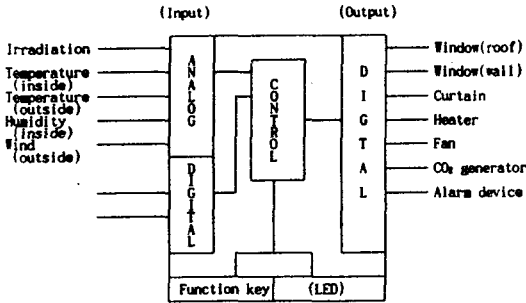


그림3. 간단한 환경제어 시스템.

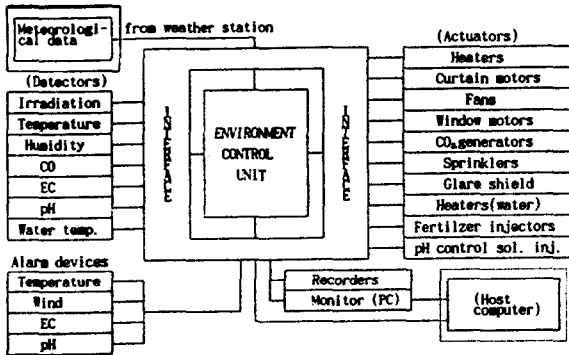


그림4. 일반적인 환경제어 시스템.

사. 環境計測・制御體系

환경계측의 대상으로는 室內外, 室內外 氣溫, 室內濕度, 室內탄산가스농도, 室外風速, 養液溫度, EC, pH등이 설정된다. 제어대상 및 방법으로는, 地下部의 環境制御의 경우, 실내광강도는 차광막을 이용하고, 실내온도는 저온기에는 난방기 및 보온커튼, 고온기에는 차광막, 환기창 및 환기팬을 이용하고, 실내습도는 환기팬 및 환기창, 탄산가스농도는 탄산가스발생기를 이용한다. 地下部의 환경제어의 경우, 암면재배를 사용하기 때문에 양액 공급시간은 양액공급펌프, 양액온도는 보온용 히터, EC는 액비 농축액, pH는 산 알칼리 조절액을 이용한다.

최근, 地下部環境(養液)의 連續測定이 시도되고 있다. 養液制御의 경우, 지상부의 物理的인 環境에 비해 化學 및 生物學的 要因이 추가되기 때문에

제어에 어려움이 있다.

5. 結 論

園藝施設의 合理的 設計는 重要하면서도 農業關聯施設의 零細性때문에 거의 適用對象이 되지 못하였다. 본 자료에서는 園藝施設의 集中化, 尖端化 및 大規模化 추세속에서 시행되고 있는 園藝施設의 構造設計에 이어서 園藝施設의 環境設計의 基本的인 方法을 提示하였다. 최근, 國內 농업의 국제 경쟁력 강화를 위하여 대대적인 농업구조개선 작업이 진행중에 있고, 특히 큰 비중을 차지하고 있는 園藝施設 設置에 따른 최적 生産환경의 조성이라는 質的인 면을 강화하기 위해서는 環境設計에 관한 연구는 반드시 先行되어야 한다. 이를 위해서는 環境설계에 관한 체계적 접근 및 심도있는 연구가 필요하다.

參 考 文 獻

1. 高在君 外 4人. 1988. 農業施設工學. 서울大出版部. pp490.
2. 서울大 農業開發研究所. 1992. 集中生産施設의 團地化 모델의 開發. 農林水産部, 農漁村振興公社 pp203.
3. 金文基, 孫楨翼. 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. 孫楨翼. 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.
5. 孫楨翼, 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.
6. 孫楨翼. 1994. 園藝施設의 設置計劃 및 設計. 韓國農業機械學會誌. 19(1):70-80.
7. 孫楨翼 外 3人. 1994. 農業施設의 基本計劃 및 設計. 韓國農工學會誌. 36(1):26-36.
8. 孫楨翼. 1994. 園藝施設의 環境設計 및 環境制御. 農資材産業協會 강연요지-農資材技術研究. 韓國農資材産業協會. pp130.
9. 宋鉉甲 外 6人. 1993. 園藝施設의 自動化. 文運堂. pp400.
10. 이건영, 서승지. 1991. 建築環境工學. 일진사.

- pp360.
11. 李炳駟 外 10人. 施設園藝學. 郷文社. pp418.
  12. 李錫健(譯). 1992. 農業環境調節工學, 教保文庫. pp329.
  13. 林晚澤. 建築環境計劃. 1991. 普文堂. pp310.
  14. 崔弘林(譯). 1989. 農業施設物の換氣. 大光出版社. pp410.
  15. Albright, L. D. 1990. Environmental control for animals and plants. ASAE. Michigan. pp453.
  16. MWPS. 1993. Structure and environment handbook(11th ed). MWPS-1. Iowa.
  17. 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.
  18. 古在豊樹. 1985. 施設園藝 環境調節技術. 日本施設園藝協會. pp206.

## 학 회 광 고

한국생물생산시설환경학회에서는 본 학회지인 “生物生産施設環境”에 게재할 원고를 아래와 같이 모집하고 있사오니 많은 투고를 바랍니다.

### — 아 래 —

1. 원고의종류 : 논문, 논설, 자료, 국제회의보고, 신간소개, 기타
2. 작성요령 : “아래한글”을 사용하여 디스켓에 수록할 것.  
기타사항은 논문투고요령 참조할 것.
3. 접수내용 : 최초의 제출부수는 사본 3부(2부 : 심사용, 1부 : 반송용)  
최종수정후(게재확정시)에는 원본1부 및 디스켓 1매만 제출
4. 접수시기 : 제3권 제2호(12월 발행예정)에 게재할 원고는 10월31일까지  
이후 게재예정원고는 수시접수
5. 접수처 : 본 학회 사무국

※ 회원동정에 관한 사항도 접수하고 있사오니 연락바랍니다.