

園藝施設 環境管理 技術의 現況과 展望

권 영 삼
원예시험장

1. 生産施設 및 資料現況

가. 骨格資材

1992년의 채소작물 施設設置 면적은 29,258ha이며 施設花卉 2,483ha, 施設果樹 500ha, 계 32,241ha에 달한다. 이중 채소와 화훼에 대한 骨格資材別 설치 면적은 표 1과 같다.

표 1. 채소와 화훼의 骨格資材別 設置面積 (1992)

구 분	계	죽재 및 목죽재	목 재	철재파이프	앵글(型鋼)	기 타
	ha	ha	ha	ha	ha	ha
채 소	29,528	1,602	618	26,240	440	358
화 훼	2,483	624	—	1,732	117	10
계	31,741	2,226	618	27,972	557	368

자료 : 농림수산부 유통국 (1993)

채소시설은 약 90%가 철재파이프이며 型鋼을 포함한 앵글류는 극히 일부인 1.5%에 지나지 않으며 화훼시설은 철재파이프가 약 70%, 型鋼 및 앵글에 의한 연구시설이 7% 정도로 채소보다 상대적으로 型鋼비율이 높다. 따라서 우리나라 시설원예에 이용되는 骨格資材는 철재파이프가 주종이며 型鋼 및 앵글로 넘어가는 初期 段階에 있다 하겠다.

나. 被覆資材

채소작물에서는 연질 필름류인 PE필름, PVC필름, EVA필름이 99%이며 유리온실은 '92년 전남 광양에 1.2ha설치되어있고 '93년 정부지원 사업으로 진부, 문경, 음성, 서산, 장수 등지에 유리온실이 설치되어 있으며 최근에는 PC, PET 등 硬質板이나 硬質필름에 의한 피복자재도 일부 이용되고 있다. 화훼작물도 99%가 연질필름이며 유리나 硬質板인 PC, PET의 설치면적은 1% 미만이며 13ha 정도 설치되어 있다.

다. 施設類型과 設置方法

표 2. 被覆資材별 설치현황 (1992)

(단위: ha)

구 분	연 질 필 림			계	유 리	기 타 (경질판)	계
	PE	PVC	EVA				
채 소	20,682	3,017	5,520	29,219	1.2	37.4	29,528
화 훼	—	—	—	2,463	7.5	12.5	2,483
계	—	—	—	31,682	8.7	49.9	31,741

자료 : 농림수산부 유통국 (1993)

표3은 시설채소 작물에서 시설의 類型과 단·연동 설치면적으로 하우스 형태는 등근지붕형인 터널형이 57%로 가장 많고 이치형이 40%, 지붕형이 3% 순이며, 연동형은 전체의 13% 수준이다. 전술한 바와 같이 價格資材는 파이프가 주종이므로 지붕형의 비율이 적은것은 당연하겠지만 정밀한 省力裝置의 설치가 가능한 설치구조는 型鋼이나 앵글로 된 지붕형에서 가능하므로 施設現代化가 될려면 선진국과 같이 壓延 型鋼이나 앵글의 국내대량 생산에 의해 골격자재 자체가 전환되어야 할 것이다.

표 3. 시설채소의 施設類型과 단연동 비율 (1992)

(단위: ha)

구 분	터널형	아치형	지 붓 형			기 타	계
			양지붕	3/4지붕	계		
단 동	15,138	9,879	461	92	553	9	25,579 (87)
연 동	1,439	1,841	375	23	398	1	3,679 (13)
계	16,577 (57)	11,720 (40)	836	115	951 (3)	10	29,258 (100)

자료 : 농림수산부 유통국 (1993)

다음으로 시설된 構造物은 주년 이용하는 固定式 하우스는 시설채소 전체면적의 36% 정도며, 계절적으로 겨울내지는 늦은봄까지 이용하고 여름에는 수도작이나 밭작물재배를 하는 非固定式 하우스가 아직까지 64%나 차지하고 있어 施設專業 하우스 비율이 낮기 때문에 이 또한 시설현대화의 걸림돌이 되고 있다. 그러나 固定式 하우스 비율이 '90년에 26%, '91년에 29%, '92년에 36%로 점차적으로 높아지고 있어 施設栽培의 專門化面에서 보면 바람직한 방향으로 변화되고 있다고 볼 수 있다.

라. 内部裝置와 施設

内部裝置는 하우스내 온도조절과 관련된 保溫커튼, 換氣施設, 暖房施設 등 地上部 온도조절 장치가 있고, 그 밖에 灌水施設, 液肥給與施設 등 地下部 환경조절 장치로 대별된다. 이러한 内部裝置 및 시설에 대한 구체적인 자료가 없어 정확한 분석은 어려우나 暖房裝置, 灌水施設에 대한 자료를 분석해보면 다음과 같다.

먼저 채소작물의 경우, 暖房裝置의 종류별 設置面積은 溫風暖房機가 주종으로 1,869ha이며, 直熱式暖房인 연탄난로나 석유난로등은 800ha 정도로 총 가온면적이 2,794ha이며 가온면적 비율이 全體施設面積의 약 10%정도 된다. 화훼작물의 경우는 加溫栽培 농가가 대부분이며 暖房方式도 溫風暖房機가 11,532대 보급되어 있고, 溫水暖房施設은 434대이나 난방 가능면적이 溫風暖房機 보다 훨씬 넓기 때문에 설치대수로 비교하기는 어렵다. 따라서 화훼작물에 이용되는 暖房方式은 온도조절의 精密度나 安全度 면에서 발전된 溫水暖房體系로 전환되고 있다는데 주목할 필요가 있다.

다음 灌水施設은 표 4에서와 같이 灌水施設의 이용이 92%이고 人力灌水는 8%정도로 灌水施設은 현대화로 상당히 진전되어 있다 할 수 있다. 灌水裝置는 호스관수(분수호스등)가 주종으로 64%이며 點滴灌水가 16%이다.

표 4. 채소 施設栽培時의 灌水施設 종류별 이용면적 (1992)

구 분	계	스프링클러	點滴	호스	撒水	人力	기타
이용면적(ha)	29,258	791	4,774	18,823	1,461	2,459	950
비 율(%)	100	3	16	64	5	8	4

자료 : 농림수산부 유통국 (1993)

이와같이 우리나라의 園藝施設은 철재 아연도금파이프에 의한 대형 터널형과 아치형으로 된 단연동 하우스가 보편적이며 채소시설재배는 일부 가온하고 있으니 無加溫이 대부분이며 (90%), 화훼시설재배는 50%이상이 加溫栽培이며 溫水 暖房機, 換氣裝置, 保溫커튼 개폐의 自動化 普及率이 채소보다 높다.

2. 施設環境 管理技術

栽培施設의 環境管理는 작물의 適環境 造成을 목적으로 環境要人の 計測을 시작으로 計測시스템의 구성과 環境管理 基準值의 설정에 따른 自動調節시스템의 구성, 이에 따른 作物生長의 분석으로 연결되는 複合的인 管理技術이라 볼 수 있다.

또한 조절대상으로 보면 同化作用을 하는 잎과 줄기가 있는 地上部 環境調節과 養水分의 흡수와 식물체를 지지해주는 地下部 環境調節로 나누어 볼 수 있다. 地上部 環境調節이란 작물의 경엽을 둘러 싸고있는 햇빛, 현열 및 잠열, 탄산가스를 조절하는 것이고, 地下部 環境調節이란 無機營養, 토양수분, 地溫을 조절하는 것이다. 먼저 地下部 環境調節中 가장 중요한 요인인 溫度調節 관련장치에 대해 국내의 관련 기술들을 분석하여 본다.

가. 溫度調節 관련장치와 이용기술

시설재배의 初期段階에서는 自然熱인 햇빛을 이용 낮동안 축적된 에너지를 야간에 최대한 방열을 억제시켜주는 保溫 이란 수단으로 하우스내 온도를 조절하는 消極的인 溫度管理를 하여왔다. 이러한 自然氣候 순응형의 消極的 施設園藝를 이른바 受動的 施設栽培(passive 型)라고 하는데, 受動的 施設栽培는 온도유지의 限界性 때문에 우선 재배가능 지역이나 재배시기가 限定되고 작물의 制限을 받아, 低溫性 作物의 겨울생산이나 高溫性의 早期生産(반촉성)이 가능할 뿐이다.

아직도 우리나라는 전체 시설면적의 90%가 保溫爲主의 受動的 施設園藝로 환경관리를 하고 있으나, 生産時期의 확대와 品質向上을 위해 적극적인 온도조절을 할 수 있는 이른바 調節農業의 대명사인 加溫栽培가 80년대이후부터 급속히 증가하고 있다.

1) 調節溫도와 植物生長

식물의 生長反應은 광을 제외하면 기상요소중 온도가 가장 일반적 支配要素라 할 수 있으며, 온도는 식물의 休眠과 發芽, 花芽分化, 性分化, Vernalization, 溫周性(Thermoperiodicity) 色素形成, 形質發現에 관여한다고 알려져 있다.

일반적으로 온도의 상승은 植物體內的 화학반응은 活性化 되어지나, 동시에 不活性化도 진행된다. 生長速度는 그림1에서와 같이 活性化 曲線과 不活性化 曲線의 차로써 나타나고, 生長速度의 最大值가 生育適溫이 된다.

光合成은 생장적은 보다 낮은 온도에서, 呼吸은 높은 온도에서 적은이 형성되므로 실제로 식물의 적온이란 개념은 한마디로 정하기 어렵다. 그러나 작물에 대한 適溫이란 개념은 대부분 시장의 상품가치가 높은 쪽으로 생장이 유도되는 온도로 잡고 있다.

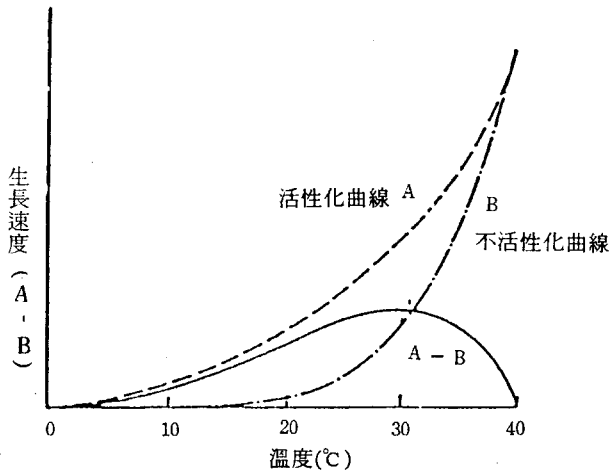


그림 1. 온도가 증온 植物의 生長速度에 미치는 영향

채소류의 適溫과 限界溫度는 표 5와 같으며 온도관리의 基準으로 쓰이고 있다.

2) 溫度計測

표 5. 채소류의 生育適溫과 限界 溫度 (°C)

작 물	最低 限界氣溫	生育 適氣溫	最高 限界氣溫	
가지과	토 마 토	5	20 ~ 25	35
	가 지	10	23 ~ 28	35
	고 추	12	25 ~ 30	35
박 과	오 이	8	23 ~ 28	35
	수 박	10	23 ~ 28	35
	온실 멜론	15	25 ~ 30	35
	참 외	8	20 ~ 25	35
	호 박	8	20 ~ 25	35
엽근채류	시 금 치	8	15 ~ 20	25
	무 우	8	15 ~ 20	25
	배 추	5	13 ~ 18	23
	샐 러 리	5	15 ~ 20	23
	숙 갖	8	15 ~ 20	25
	결구 상추	8	15 ~ 20	25
장미과	딸 기	3	18 ~ 23	30

표 6. 대표적인 온도센서의 종류와 특징

원리	종 류	사용온도 범위 (°C)	유효측정온도 범위 (°C)	精 度 (°C)	直線性	應答 速度	費用
壓 力	液體充電式溫度計	-30~+600	-30~+600	0.5~5	가능	보통	염가
	蒸氣壓식溫度計	-20~+350	-20~+350	0.5~5	비직선		
低 抗	백금抵抗 溫度計	-260~+1000	-260~+630	0.01~5	양호	보통	고가
	Thermister 溫度計	-50~+350	-50~+350	0.3~5	비직선	빠름	보통
열 전 기	PR	0~+1600	0~+1554	0.5~5	가능	빠름	고가
	CA	-200~+1200	-180~+1000	2~10			
	CRC	-200~+800	-180~+700	3~5	양호		
	IC	-200~+800	-180~+600	3~10			
	CC	-200~+350	-180~+300	2~5			
熱 輻 射	광 전 溫度計	200~3000	-	1~10	비직선	빠름	고가
	輻 射 溫度計	約 100~約 3000	-	5~20		보통	
	2 색 온 도 계	180~3500	-	5~20		빠름	

溫度計測이란 재배空間內的 에너지를 熱膨脹, 熱電氣, 電氣抵抗, 熱壓力, 熱輻射의 원리를 이용 측정하는 것으로 熱膨脹 온도계를 제외한 환경조절에 이용가능한 지금까지 개발된 온도센서의 종류와 특징에 대해 설명하면 다음과 같다 (표6)

膨脹式 온도계인 수은이나 알콜온도계는 電氣的인 出力을 얻지 못하기 때문에 抵抗值나 電壓 出力을 가진것으로 조절기에 연결 이용하고 있다. 주로 사용되는 온도센서는 抵抗 온도계와 熱電온도계

이며 최근에는 非接觸型 온도센서인 熱輻射 온도계가 생물환경 측정에 이용되고 있다.

○ 金屬抵抗 온도센서

주로 백금을 이용 (Ni, Cu도 가능) 測溫範圍(-259~630℃) 온도에 따른 抵抗值 변화를 Wheatston Bridge의 回路에 의해 측정하는 온도계로 精度가 높고 安全性이 우수하다. 단지, 가격이 비싸고 應答速度가 빠르지 못한 것이 단점임. 測溫抵抗體를 捲線型 대신 薄膜型 測溫體가 개발되어 온도센서가 점점 적어지고 있다.

○ Thermistor

반도체로서는 저항의 測溫係數가 금속의 測溫係數 보다 1 연 이상크고 일반적으로 -값을 나타낸다. NTC(Negative Temp. Coeficient) Thermistor의 測溫 저항체 온도특성은 그림 2에서와 같이 Thermistor의 대표적인 특성을 가지고 있다.

온도에 따른 전기 抵抗曲線이 비례적으로 直線에 가깝고, 금속 저항센서인 Pt나 Ni 測溫抵抗體 보다 변화량이 定率適이기 때문에 精度 높은 測溫을 할 수 있다.

正의 値를 나타내는 positive Temp. Coeficient Thermistor도 개발되었으나 비례적인 증가가 아닌 어떤 온도에서 급격히 증가하는 결점 때문에 遷移金屬의 산화물 燒結體(Mn, Co, Ni)인 NTC를 주로 이용한다. 精밀한 측정용으로는 Thermistor에 백금리드선을 감은 것에 유리코팅한 것을 쓴다.

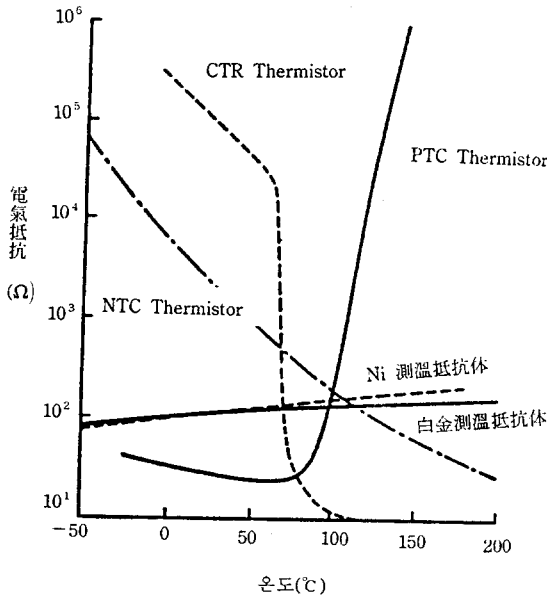


그림 2. 測溫抵抗體의 온도특성

○ 熱電온도계

서로 다른 금속을 접합(Thermo-couple)해서 접점간에 온도차를 주면 起電力이 발생한다는 원리를 이용 基準接點 0℃의 補償點을 만들어 溫度計測을 한다.

熱起電力이 크고 응답이 빠르고 直線性이 좋다. 精密 환경 측정용으로 많이 이용되고 있다.

熱電對 종류에는 백금 rhodium(PR)熱電對, chromel-alumel 熱電對CA, 철constatan(IC) 熱電對, 동

constantan(CC), CRC 등이 있다.

가장 높은 고온을 측정할 수 있는 PR熱電對는 0~1,400℃ 범위의 온도를 측정할 수 있고, CA熱電對는 -200~1,000℃, IC熱電對는 -200~600℃, CC熱電對는 -200~300℃ 범위의 온도를 측정할 수 있다.

시설원에 미기상 측정에 많이 쓰이는 것은 동 constantan(CC)熱電對線으로 起電力이 크고 작동이 안정되어 있고 값이 싼 장점을 가지고 있다.

Constantan은 동 60%, 니켈 40% 합금으로 선의 굵기는 가늘수록 精度가 높아지나 斷線이 되기 쉬워 보통 0.3mm의 것을 많이쓰고 있다. 온도차와 起電力의 관계는 1℃에 약 40μV가 발생한다.

표 7. CC 熱電對의 常溫에서의 熱起電力 (基準接點 0℃)

온도(℃)	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
熱起電力(mV)	-0.751	-0.380	0	0.389	0.787	1.194	1.610	2.035	2.468
μV/10℃	371	380	389	398	407	416	425	433	

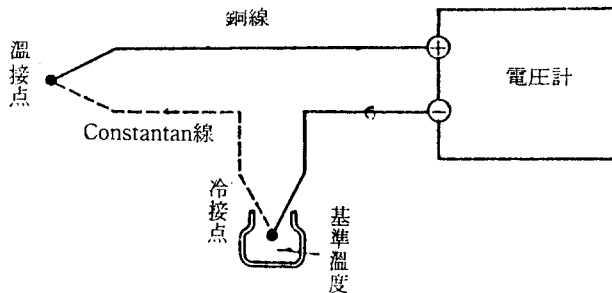


그림 3. 熱電對 온도계의 回路構成

○ 非接觸型 輻射溫度計 (Infrared Thermometer)

強誘電體인 BaTiO₃, PbTiO₃ 등을 이용 가열시 결정이 分極現象을 나타내 기전력이 발생하는 Pyroelectric 효과를 이용 赤外線을 검출 할 수 있다. 작물체의 표면온도 등을 측정하는데 이용되고 있으며 技術集約型인 채소류 植物工場 생산에 사용하는 등, 未來型 園藝産業 발전에 기여할 것으로 기대된다.

3) 溫度調節 理論과 實際

○ 暖房管理

외기온이 낮은 겨울철은 작물에 生育適溫을 유지해 주기 위해서는 1차적으로 커튼장치 등에 의해 保溫을 하고 부족되는 열을 난방기로서 공급하게 된다.

－ 暖房 負荷와 暖房 D·H(Degree Hour)

이때 발생하는 부족열은 시설의 표면적과 내외기온의 차에 비례하는데 暖房負荷는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = Aw \cdot U(\theta_1 - \theta_0) (1-fr) \dots \dots \dots (1)$$

단, Q : 暖房負荷量 (kcal/m²·℃·hr)

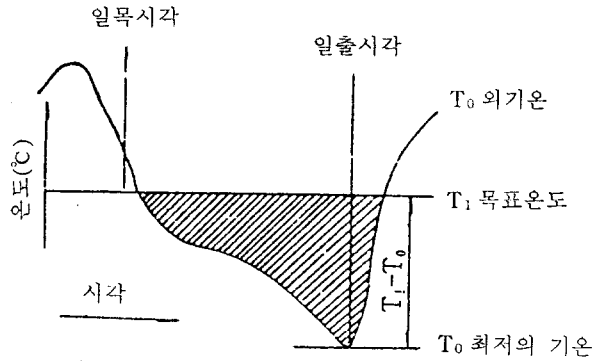
AW: 시설의 表面積(m²), U : 暖房負荷係數 (kcal/m²·°C·hr)

θ_1 : 目標溫度 (°C), θ_0 : 室外氣溫 (°C)

f_r : 시설의 保溫構造에 따른 熱節減率 (PE커튼 1층 : 0.3)

어느시점에서의 暖房負荷는 식(1)로서 표현할 수 있으나 1일중의 暖房負荷는 시간별로 目標溫度와 外氣溫度와의 차를 적산한 다음의 식으로 표현된다.

$$D \cdot H = \sum ti(T_1 - T_0) \dots \dots \dots (2)$$



(그림 4) 1일중의 난방 부하의 변화

단 $D \cdot H$: 난방필요 積算溫度 (Degree Hour : °C · hr)

ti : 目標溫度 보다 낮은 때의 임의의 시간 (hr)

$(T_1 - T_0)$: 目標溫度와 외기온의 차 (°C)

— 暖房設計用 外氣溫의 設定

난방기의 容量을 결정할때 적용되는 최저외기온은 그지역에서 10년에 1회 나타날 확률의 최저기온을 많이 적용한다. 유리온실의 경우, 보다 높은 안전도를 적용하여 20년에 1회 나타날 확률의 년 최저극기온 값을 적용 하는데 이 값을 난방 설계용 외기온 값이라 한다.

표 8. 지역별 년 최저기온의 再現期待值 (°C)

지 역	재 현 기 간 (년)			
	5	10	15	20
서 울	-18.2	-18.5	-19.2	-19.9
춘 천	-23.4	-24.7	-25.7	-26.4
수 원	-20.4	-23.5	-24.5	-24.6
서 산	-15.7	-16.7	-17.2	-17.6
대 전	-15.7	-16.7	-17.3	-18.4
전 주	-15.0	-15.4	-15.6	-15.8
광 주	-12.5	-13.3	-14.0	-14.5
진 주	-14.1	-14.2	-14.4	-14.5
서 귀 포	-4.9	-5.6	-6.1	-6.2
양 평	-25.2	-28.3	-30.5	-32.1

자료 : 원시보고서 (1983)

－ 暖房燃料 所要量

지역과 작물에 따른 暖房負荷(필요열량)는 열량단위 이므로 실제로는 필요한 燃料量으로 환산해야 한다. 따라서 暖房燃料 所要量은 다음식으로 환산할 수 있다.

$$V = \frac{Q}{he} \dots \dots \dots (3)$$

단, V : 燃料所要量(ℓ), Q : 暖房負荷(Kcal),

h : 연료의 열발생량 (Kcal/ℓ), e : 난방기의 熱利用 效率

표 9. 지역별 작물별 연간 연료소요량과 가동시간(300평당)

지 역	연료소모량		년 간 가 동 시 간		년간이용기간 (日)
	토마토 (ℓ)	오 이 (ℓ)	토마토 (시간)	오 이 (시간)	
경기 수원	7,895	11,523	658	960	150
강원 홍천	9,834	16,761	820	1,397	180
충북 제천	9,937	14,294	828	1,191	185
충남 대진	7,115	10,738	593	894	140
전북 임실	7,805	11,824	650	985	150
전남 광주	4,928	8,448	411	704	120
경북 칠곡	5,115	8,273	426	690	125
경남 김해	3,506	6,693	292	558	115
제주 한림	801	3,101	66	258	90

자료 : 원시보고서 (1983)

- ※ 1) 경유사용의 경우임
- 2) 시간당 연료소요량 : 12ℓ (300坪용 난방기)

－ 暖房方式의 差異点과 시스템構成

시설원예에 쓰이고 있는 暖房方式은 直熱式暖房, 溫風暖房, 蒸氣暖房, 電熱暖房, 輻射暖房이 있다. 이중 直熱式暖房은 목표온도로 조절하지 못하고 放熱面積도 적어 초창기에 소규모로 난방재배를 했을때 이용되었으나 최근에는 규모도 커지고 ON-OFF 조절이 가능한 溫風暖房機가 加溫栽培의 주역을 맡고 있다.

(1) 溫風暖房은 공기를 직접가열 顯熱狀態로 시설내의 온도를 조절하며 크게 구분하면 給油펌프로 噴射된 연료를 점화통에 의해 연소가 되는 燃燒機構와 연료와 송풍기로 연결되는 放熱部, 온도감응부와 광센서에 의해 Sequence조절과 feedback조절의 복합적인 조절 시스템으로 운영되는 調節機構가 있다. 공기를 직접 熱媒體로 이용하기 때문에 온도상승이 빠르고 난방기의 熱效率이 높은 장점을 가지고 있으나, 공급되는 열이 건조한 顯熱의 비중이 높고 목표온도를 기준으로 볼때 기온의 변화 폭이 크기때문에 작물생리에 적합한 온도관리 수단이 아니라는 견해가 많다. 地上部 加溫은 가능하나 地溫의 上昇이 어려운 점과 고장시에 실내온도의 급격한 하강은 安全性에도 문제가 제기되고 있다.

(2) 溫水暖房

溫風暖房과의 기본적인 차이는 燃燒部와 放熱部가 별도로 분리되어 있는 것인데, 燃燒된 열을

比熱이 높은 물에다 흡수시키고 다시 放熱機構를 통해 열을 시설내 공급하는 점이다. 따라서 暖房效率이 상대적으로 떨어지고 60~80℃의 낮은 수온으로 시설내 열을 공급하므로 상당한 길이의 放熱管과 配管비용이 필요하다.

온도조절방법은 보일러의 수온유지를 위한 버너의 ON-OFF와는 별개로 순환펌프에 의한 온수의 放熱管으로의 공급은 시설내 온도센서에 의해 조절 되어진다. 溫風暖房에 비해 열원이 낮은 온도이므로 온도상승에는 시간이 소요되나 기온의 변화폭이 적고 顯熱만을 공급하는 것이 아니므로 작물생리에 유리한 환경을 조성한다.

이용하는 생산농가에서의 문제점은 시설내의 수평 및 수직온도 분포를 균일하게 유지해 주지 못하는 점인데 온수관의 配管 방식상의 문제점과 放熱量과 보일러 용량의 不均一 등이 문제점으로 지적되고 있다.

〈문제점〉

- a) 配管方法上 대부분의 농가들이 單管式으로 地上配管 방식을 채용하고 있어 온수 출구쪽과 온수회수쪽의 온도가 상이하여 온도분포가 불균일한 현상이 발생
 - 複管으로 直接回收 방식이나 逆回收 방식으로 실내 온도분포의 불균일을 해소
 - 側面多端 配管과 地上配管을 병행하여 작물의 초장높이에 可變的으로 頭上 配管하여 열원의 多元化로 온도분포의 편차를 줄인다 (화란형)
- b) 온수난방기(보일러)의 용량은 적정한 것을 설치하고 있는 농가도 방열관에서 나오는 열량은 보일러 용량보다 부족한 경우가 대부분이며, 主管과 支管의 직경선택이 비합리적이다.

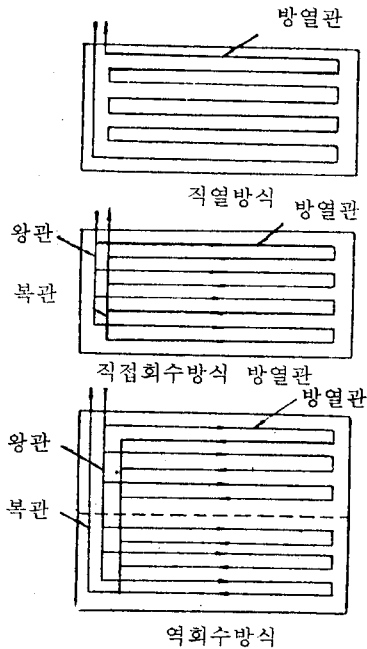


그림 5. 온수 난방의 배관 방법

- 보일러 有效容量 = 放熱部 最大放熱量 (Q=放熱管총길이×單位길이당 放熱量)
 - 主管의 직경 = $\sqrt{n \times (\text{지관직경})^2}$
- c) 기온중심의 온도조절 방식으로 酷寒期에 지온상승이 어렵고 지하부 발육이 둔화되며
- 地中加溫 시스템도입
- d) 보일러의 수온조절과 실내기온 조절을 별개로 하는 조절방식이 채택되고 있어 보일러에 일정한 온도 (80℃ 내외)유지를 위해 열손실이 크다.
- 가능한한 에로핀 방열관으로 순환물량을 줄이고 流速을 0.3m/scc이상 증가시킴이 효율적이며, 보일러를 실내기온에 聯動시켜 燃費節減 방안강구

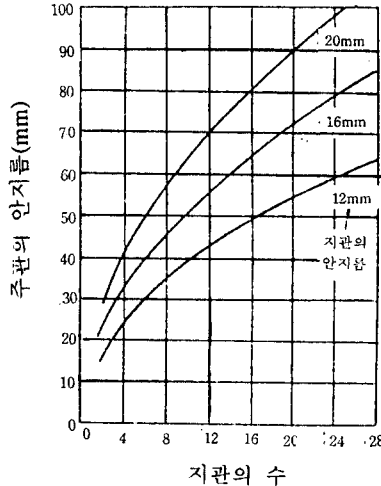


그림 6. 대규모 地中 加溫時의 支管의 수에 따른 主管의 크기

(3) 蒸氣暖房

온수난방과 같은 체계로 구성되어 있으나 熱 媒體로 온수가 아닌 蒸氣로 放熱管을 통하여 열을 실내로 방출한다. 대규모 온실단지나 경사진 곳에 온실단지를 조성할때 채택되고 있다. 증기압이 높기 때문에 輸送系의 배관비용이 적게 든다고 하나 시간경과에 따른 실내온도 변화폭이 크고 보일러 정지시 안전도가 떨어짐

(4) 輻射暖房

일반적인 난방방식은 對流作用으로 작물주변 온도를 높이고 이에따라 식물체온이 올라가는 것에 비해 輻射暖房은 직접 長波輻射(열선)에 의해 작물체온을 높이는 것이 다른 점이다. 對流에 의한 난방방식은 기온이 作物體溫보다 1~1.5℃ 낮지만 輻射暖房은 반대로 기온보다 植物體溫이 1.5~2.0℃만큼 熱利用效率이 높아진다.

(5) 에너지 節減型 暖房方法

석유이용 난방방법은 연료비 부담과 더불어 연소가스 발생에 의한 탄산가스 및 유해가스 배출로 공해원이 될수 있으므로 자연열 이용과 보온력을 증대하기 위한 난방열 절감에 대한 연구가 국내외에서 많이 이루어졌다.

- 지중열 교환방식 : 지하 60~80cm에 열교환 파이프를 묻고 낮동안 햇빛에 의해 集積된

표 10. 溫水暖房과 輻射暖房의 연료소비량 비교 (m³)

난 방 방 식	연 료 소 비 량	지 수
輻 射 暖 房 A	67.672 m ²	78
輻 射 暖 房 B	61.499	71
溫 水 暖 房	86.035	100

주) 輻射暖房 A : Co-Ray-VAC

輻射暖房 B : 특수 塗粧한 放熱管이용

난방연료 : LPG

온도조절 : 葉溫에 온도감응 센서의 溫度設定

열에너지를 강제로 流入시켜 파이프 주변 地溫을 상승하게 한 후 이를 밤에는 역으로 流出시켜 난방열 Source로 활용하는 방법이다.

햇빛 이용율은 약 25% 내외온도차 평균은 10~12℃ 정도이다 (원시 1982)

- 潛熱 蓄熱型 方式 : 常溫에서 相變化가 일어나는 물질을 이용 햇빛 에너지를 貯藏시켜두었다가 야간에 이용하는 방법이다.
- 地下水 이용 Water Curtain : 10a당 12m³시간 전후의 물을 하우스내 上部에 살수하여 외기와의 온도차 12~15℃ 까지 확보 가능하다(원시. 1983) 熱節減率은 80%정도 되나, 하우스내 습도가 90~95%까지 올라가고 수질이 나쁠경우 비닐면을 오염시켜 광투과를 방해한다.
또한 大面積의 경우 지하수 확보가 문제이며 淸淨 地下水가 단지 1회만 이용 낭비되는 것 등이 문제점으로 제기되고 있다.
- Heat pump : 이론적으로 지하수를 이용한 電氣 利用効率は 에너지 利用 効率面에서 溫風 暖房의 80% 보다 높은 100% 효율을 가졌다고 하나 초기 施設費의 투자나 농가 차원에서 막대한 電氣設備는 현시점에서 부담이 과중하여 研究開發단계에 지나지 않는다. 그러나 暖房과 冷房을 겸용할 수 있어 미래의 온도조절 수단으로 이용 가능성이 높다.

○ 冷房管理

시설내에서 기온이 작물生育適溫 보다 높아지는 5월이후는 1차적으로 遮光이나 換氣裝置에 의해 기온을 낮추어 주고 그래도 온도조절 上限線을 넘을 때는 冷房裝置를 도입해야 한다.

冷房裝置에는 蒸發冷却法과 Heat pump 冷房法, 지하수이용 冷房法이 있다.

(1) 蒸發冷却(潛熱冷却)

물이 氣化될때 약 580Kcal/l의 열을 흡수하는 것을 이용 주변의 기온을 하강시킬 수 있다. 이론적으로는 실내의 건구온도와 습구온도의 차이 만큼 온도를 하강시킬수 있으나 환기능력의 한계와 실내공기를 100%의 相對濕度까지 飽和시킬수 없어 실제로는 습구溫度 보다 2~3℃ 높은 온도까지 하강시키는 것이 限界點이다.

- fog and fan 方式 (high mist)

시설내의 蒸發을 촉진시키기 위해 그림 7과 같이 吸氣口에 분무 노즐을 설치 7~15kg/cm²의 水壓으로 특수 Fog노즐로 분무하면 20μ이하의 안개와 같은 물의 粒子가 건조한 氣流를 타고 浮遊하면서 증발, 주변의 열을 빼앗게 된다. 이때 상부 또는 마감면 상부에 풍량형 換氣線으로 습한 공기를 배출시켜 排出量을 분당 2m³/m²이상 되게 해야 흡기구에서 지속적인 증발이 유지된다. 보통 1개노즐에 50~150ml/min의 물이 분무되며 10a 당 120~180개 분

무노즐이 필요하다.

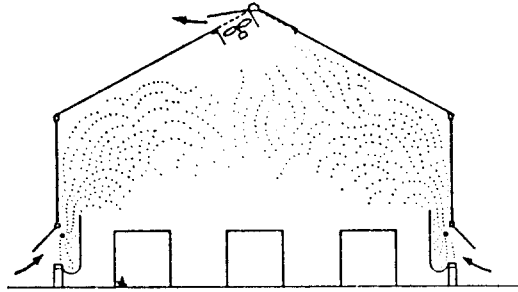


그림 7. Fog mist 시스템의 吸氣口와 排氣扇 위치

- pad and fan 方式

潛熱冷却 방법으로 오래전부터 사용해오던 방식으로 노즐대신에 吸氣口에 수적부착을 많이 할 수 있게 종이판을 접어 表面積을 넓혀 주는 필터층을 형성(pad)해주는 것이 high mist 방식과 다른점이며 환기선 부착등 다른조건은 동일하다.

- 기타 증발냉각 방식

벤치 재배용에 쓰이는 닥트쿨러방식, 훈풍닥트방식이 있고 지붕위에 스프링 클러를 살수시켜 유리표면을 젖게하여 태양에너지를 흡수시켜 온실내로의 열관류를 감소시키면서 蒸發에 의한 유리표면을 낮추어 주는 방식이 있다.

이상 어느방식이나 蒸發冷却 만으로는 효과가 적고 遮光과 換氣를 겸용했을때 기온하강의 효과를 얻을수 있다.

(2) Heat pump 冷房方式

Heat pump 冷房시스템은 그림 8과 같이 凝縮器측의 熱源이 물이 될수도 있고, 공기도 될수 있으며, 蒸發器측의 熱交換 媒體가 공기 또는 물이 될수 있으며, 또한 냉수를 저장하는 蓄冷熱水 가 있으나 없으나, 壓縮機의 驅動方式이 電氣驅動이나, 엔진驅動方式이나에 따라 構成方式이 달라진다.

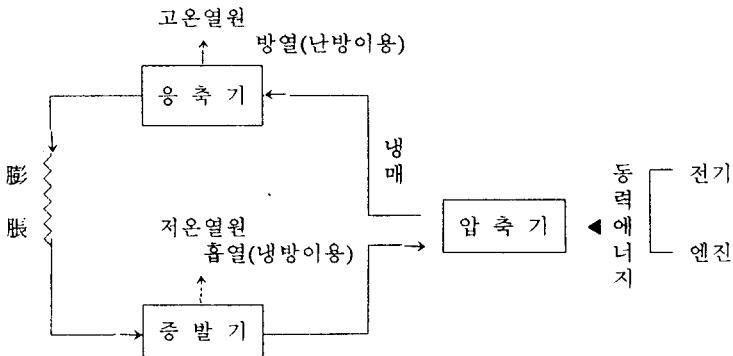


그림 8. Heat pump의 모식도

Heat pump의 소비전력량에 대한 壓縮機構 동력의 효율은 70%이상으로 높은 편이며, 본기의 冷房效率을 높이기 위해서는 蒸發器에서 凝縮器로 熱 傳達媒體의 온도차가 적은 것이 바람직하므로 여름철 외기보다 온도가 낮은 지하수 이용이 효율상 높아진다.

(3) 地下水利用 冷房方式 : 지하수의 낮은 수온 (13~18℃)을 이용 기존 방열판으로 실내의 더운 공기를 흡수시킨다.

4) 溫度 調節方法의 發展

실내의 기온 상승을 시키든, 하강을 시키든 目標溫度 유지를 위해 어떤방식으로 기기를 조절할 것이냐는 측면에서 보면, 調節動作의 방법에 따라 여러가지로 분류 되어지고 있는데, 그중 가장 간단하면서 초보적인 調節方法에 ON/OFF 調節方式이있다.

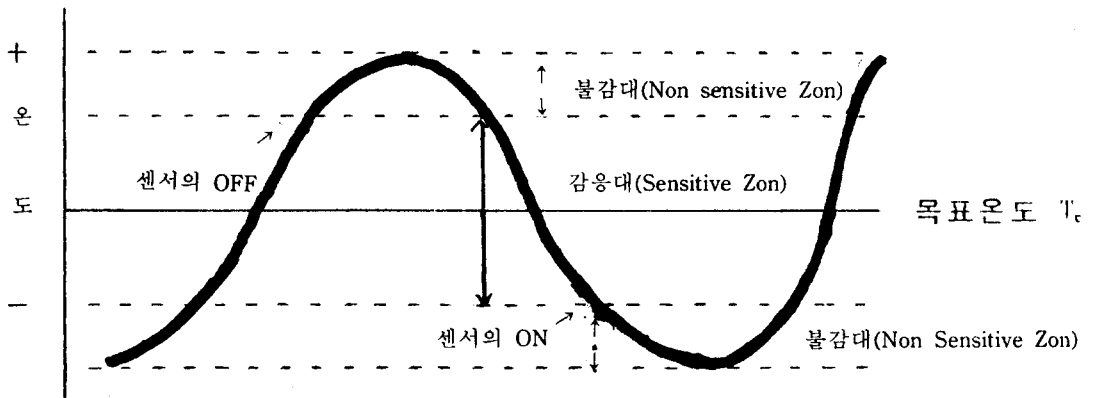


그림 9. ON/OFF조절에서의 溫度調節範圍

○ ON/OFF 調節

시설내의 온도조절은 그림 9와 같이 目標溫度(設定溫度)를 중심으로 Thermostat의 감응센서가 설정치보다 낮을 경우 센서의 精度 (Sensitivity)에 따라 다소 다르지만 센서의 전기적인 연결에 의해 난방기를 가동시키게 되는데, 이때 착화 - 燃燒 - 熱交換 - 실내온도상승의 과정을 거치면서 열 공급이 방열량보다 많아질때까지는 기온이 下降曲線을 그린다. 마찬가지로 설정온도 보다 높아질때도 센서가 감응되어 電氣的으로 斷電되어도 난방기의 余熱과 時定數 때문에 기온이 上昇曲線을 그린다. 이와같이 센서의 感應時點보다 높거나 낮은 온도범위를 不感帶 (Non-Sensitive Zone)라고 하며 실제적인 실내의 온도변화는 不感帶를 포함한 보다 큰폭의 온도변화가 생긴다. 실제 온풍난방기 가동온실의 실내기온 변동폭을 經時的으로 추적해보면 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 정도의 센서를 이용할 경우 온도 변화가 $\pm 2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 로 교차됨을 알수 있으며 온실 규모가 작을수록 외기온이 낮을수록 그 偏差가 커짐을 알 수 있다.

이러한 目標溫度에 대한 실내기온 변화폭이 큰 것은 ON/OFF 조절에 따른 부작용으로 작물에 대한 스트레스도 있지만 에너지 관리면에서 보면 余熱과 不足熱이란 측면에서 效率의이지 못하다.

○ 比例調節 (proportional control)

ON/OFF 조절의 결점인 내외 온도차가 적을때 과잉의 열량공급은 온도변화의 振幅回數만 늘어나서 합리적인 온도관리가 되지 않기 때문에 도입된 방식이다. 내외 온도차에 따라서 比例的으로

열량공급을 구체적으로 살펴보면 電熱機具인 경우 電壓을 조정하며, 온수인 경우 온수량을 開度로 조절할 수 있는 閥 (Three way valve)를 쓰며 溫風暖房機인 경우 油量을 조절해 주므로서 가능하다. 그러나 이 방식도 내외 온도차가 수시로 변할 때는 目標溫度에 접근되게 精密管理는 어렵다.

○ PID 調節

PID 調節이란 조절량의 目標値에 대한 偏差에 비례하는 動作 (Proportional action)과 偏差의 時間積分에 비례하는 動作 (Integral action) 및 偏差의 변화속도에 비례하는 動作(Differential act)을 포함하는 調節動作을 하는 調節方法이다. 이 조절방법은 目標溫度에 대한 調節程度가 매우 높아 거의 直線調節이 가능하나 生産規模의 시설은 調節容量이 커서 아직까지는 實用化 되어 있지 않으나 시험용인 生育箱의 온도 조절방법으로는 많이 활용되고 있다.

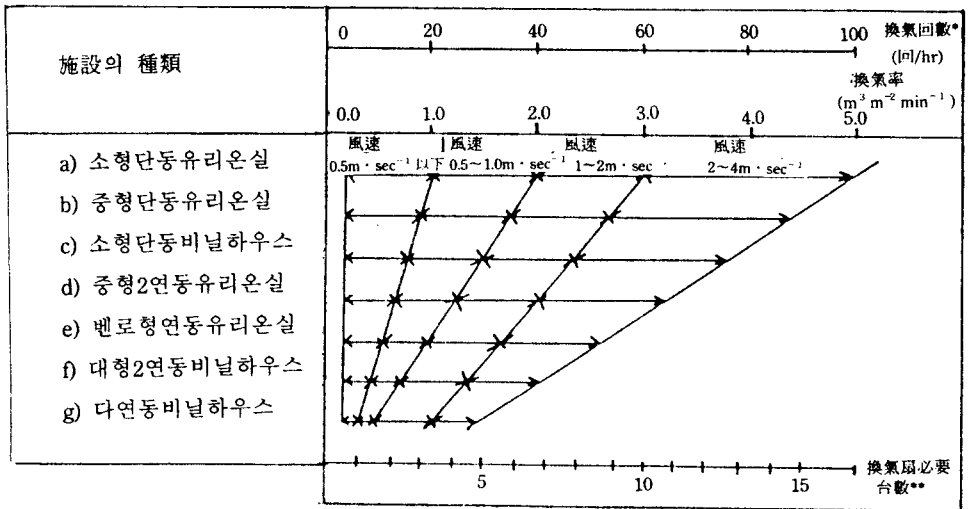
나. 換氣調節과 關聯裝置 利用技術

온실의 특성상 외부공기와 차단된 密閉空間이므로 낮동안에 기온이 適溫 이상 상승 할 경우 환기란 수단을 이용하게 되는데 이때 온실내의 濕度, 탄산가스 濃度, 有害가스 濃度, 氣流의 速度도 함께 영향을 받게 된다.

1) 窓換氣(自然換氣)와 換氣能力

換氣力이란 内外 온도차에 의한 重力換氣와 外部風速에 의한 風力換氣로 생기게 되지만 그 變數는 환기창의 面積, 환기창의 位置, 환기창의 開度에 달려있다.

또한 自然換氣는 시설의 종류에 따라 外部 風速의 영향이 달라지는데 환기창 면적이 많은 소형 단동 유리온실의 경우 風速이 4m/sec까지 늘어날 때 最大 可能換氣率은 $5.0\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ (換氣回數 : 100회/시간)정도 높게 나타나지만, 多連棟 비닐하우스의 경우 풍속이 4m/sec로 늘어나도 最大可能換氣率은 약 $1.5\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ (換氣回數 : 30회)정도 밖에 되지 않는다.



주) 온실평균높이 3m, 床面積 100cm², 換氣 風量 300m³ · min⁻¹

그림 10. 온실 종류별 風速에 따른 最大可能 自然換氣率의 概略值

2) 强制換氣

창환기에 의한 換氣能力은 단동온실의 경우는 外部風速이 1m/sec만 올라가도 20~40회 환기가 가능하므로 고온시 문제가 되지 않으나, 連棟溫室일 경우 창환기만으로는 여름철 高溫抑制에 한계가 있다. 따라서 强制換氣는 창환기의 限界性 때문에 도입되어 진다고 볼수 있으며, 換氣扇을 설치할 때는 최소한 40회 이상의 換氣가 일어날 수 있도록 설계되어야 한다.

표 11. 농업용 換氣扇 기준

種 類	날개직경 (cm)	相	定格出力 (KW)	총 길 이	風 量	騒音基準值 (혼)
80	80	單 相 三 相	0.4	950	180 以上	75
100	100	單 相 三 相	0.4	1,120	250 以上	75
100	100	單 相 三 相	0.75	1,320	400 以上	75

1000m²의 床面積을 가진 온실에서는 換氣扇 풍량이 300m³/min일때는 7대의 換氣扇이, 400m³/min의 換氣扇일때는 5대의 換氣扇이 소요된다.

다. 複合環境 調節과 關聯裝置

1) 複合調節 裝置의 分類와 特徵

複合調節 장치는 아나로그형과 디지털형으로 크게 구분된다. 아나로그형이란 複合調節機能을 電氣的 機械的수단으로 실현하는 것이며 複合調節의 초기단계에 사용되었다. 이에 반해 디지털형은 마이크로 컴퓨터를 이용 환경을 複合調節 하는 것인데 최근에 개발된 것으로 1974년 화란에서 처음시작 하였다.

2) 아나로그형 調節裝置

기본시스템의 구성은 環境測定센서에 의해 日射, 氣溫, 地溫, 濕度의 入力을 아나로그상태로 받아들여 지면 設定値를 기준으로한 判別 回路에 의해 調節對象機器에 동작신호로서 ON/OFF가 전달된다.

처음 개발된 아나로그형 複合調節裝置의 機能은 日射를 기준으로한 夜間 變溫裝置가 주된 조절 내용으로 하루의 時間帶를 4단계로 나누고 오전중(6~12시)시간에는 日射레벨에 따라 光合成 促進溫度를 주고 탄산가스도 시용한다. 이후(12~17시)는 기온만을 조절해주고 17~22시에는 그날의 積算日射量에 따라 표 12와 같이 夜間溫度를 달리하여 조절하는 것으로 光合成 產物의 電流促進 時間帶를 設定하며, 22~6시에는 기온 조절만으로 呼吸을 抑制하는 時間帶로 설정한다.

3) 컴퓨터를 이용한 環境調節

環境要素를 측정하는 日射量, 氣溫, 風速, 強雨 등이 入力 인터페이스에서 디지털값으로 변화되어 제어장치로 입력된다. 뿐만아니라 환경변화에 따른 각종 生體情報도 동시에 인터페이스를 통해

표 12. 積算 日射量에 따른 夜溫管理의 設定值 (17~22시)

적산 일사량 cal/cm ² ·日	야온 설정치 ℃	비고
0 ~ 74	8	· 토마토 재배시의 야온 설정 · 22~6시에는 8℃로 관리
75 ~ 149	10	
150 ~ 224	12	
225 ~ 299	13.5	
300 ~	15	

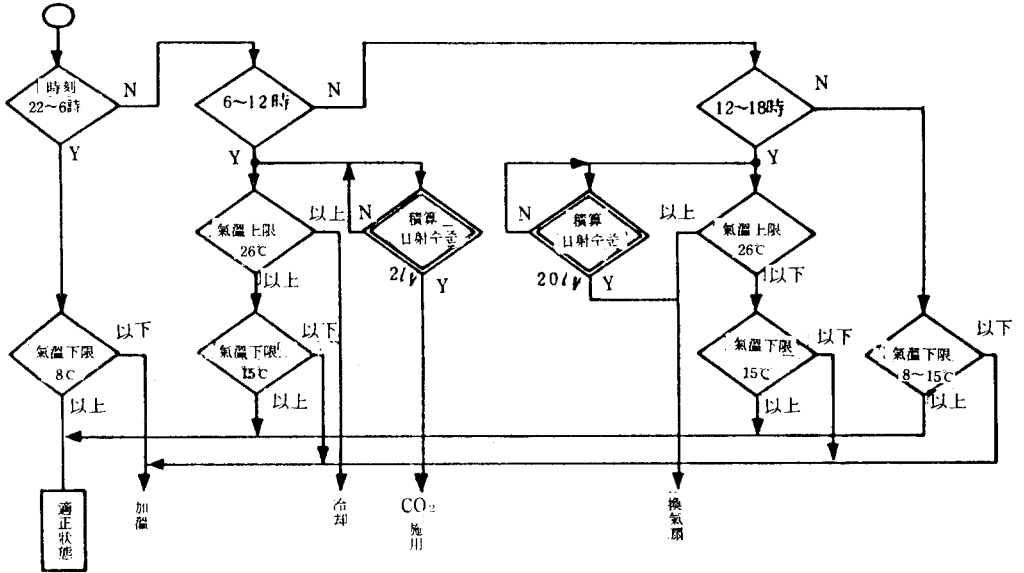


그림 11. 아나로그식 複合環境 調節裝置의 判別回路構成과 設定值

입력된다는 것이 아나로그 타입과 기본적으로 다르다. 중앙연산장치(CPU)에서 설정치의 입력은 키보드에 의해 환경요소 별로, 기기의 작동수준과 내용까지 가능하다.

동작기의 작동은 입력된 환경요인별 수준을 演算裝置에서 판별하여 다시 인터페이스를 거쳐 出力이 되는데 作動部에서는 낮은 電壓의 繼電에 의해 電子弁을 움직여 暖房機, 천창커튼 등을 작동시킨다.

3. 今後展望

최근 우리農業의 현실을 省察해보면 국내외적으로 과거 어느때보다 品質面에서나 生産費面에서 競争力있는 園藝作物生産을 요구하고 있다. 이러한 상황에서 우리가 선택할 수 있는 길은 두가지가 있다고 생각하는데, 하나는 暖房과 保溫, 換氣와 遮光, 土壤水分과 養液等を 보다 積極的으로 自動化시켜나가는 高度 集約生産 體系라 볼 수 있고, 하나는 가능한한 簡易한 시설로서 시설투자비 내지는 生産費를 最少化시키면서 最大한의 環境改善 효과를 거둘수 있는 經濟的인 生産費 節減型

生産體系로 나가는 길이다.

가. 高度集約 生産體系的 展望

資本 技術集約栽培은 화관과 같이 겨울철 日照가 부족하고 降雨量이 적으며 토양이 척박한 지역에서 土地生産性을 극대화하고 高品質의 周年生産을 위해 必然的으로 발전된 生産體系라 볼 수 있다. 따라서 우리의 경우는 施設先進國과 다른 高度集約 生産체계로 발전시켜야 할 것이다.

1) 光 調節技術

人工光인 assimilation light은 光合成에의 이용보다 花芽分花의 촉진내지는 억제차원에서 활용될 소지가 많으며 특수한 채소(싹기름 등)에서는 工場生産이라는 개념에서 이용될 가능성은 있다. 消極的인 光調節로서 여름철의 과다한 日射에너지의 경감을 위해 遮光이라는 수단으로 光을 조절하는 방법은 여름철 재배를 위해 많이 도입 될 것으로 예측된다.

2) 溫度調節

우선 暖房方法面에서 보다 精密하고 安全管理가 가능한 溫水보일러 쪽으로 진행 발전될 것이며 輻射 暖房方法 또한 도입이용될 가능성도 있다.

온도관리면에서는 日射와 連動된 變溫管理나 複合調節과 連繫되는 시스템으로 발전 될 것이며 지금의 ON/OFF 조절에서 比例調節 내지는 比例미분調節(PD Control)로 개선될 것으로 전망된다.

自然 에너지중 햇빛이나 地下水 열을 이용하는 온도 유지방법인 潛熱物質 利用, 지하수 겸용 Heat pump이용 등도 省에너지 차원에서 활용될 것이다.

3) 培地 및 施肥管理

品質이나 淸淨度가 요구되는 특수작물을 제외하면 작물의 地下部를 형성하는 培地는 人工培地보다 토양이나 有機物 등 天然培地 이용이 많을 것이다.

灌水的 自動化와 병행하여 시비는 液肥形態로 회석공급 될 것이며 보다 적절한 土壤水分유지와 營養供給의 淸정성을 위해 개선된 自動化 灌肥裝置들의 보급이 확대 될 展望이다.

4) 栽培 管理技術

재배관리는 分業化 측면이 뚜렷해져 育苗는 專業化되고 高度集約 栽培에 적합한 品種이나 作型, 栽植密度, 生理障害 防除, 病蟲害 防除 技術이 개발 될 것이다.

이상과 같이 高度集約生産 體系는 긍정적인 측면이 있는 반면 부정적인 측면으로는 施設費 增加와 電力 등 에너지 消費의 증가 때문에 生産費가 높아지는 점과, 施肥量 증가에 따른 閉鎖回路의 설정, 연소가스 등 公害源의 발생으로 生産費用의 증가요인이 潛在하고 있다는 점이다.

나. 生産費 節減型 生産體系 (簡易施設 栽培)

自然狀態로 賦存하는 氣候資源, 土壤, 有機物, 地形 등을 최대한 활용 作物생산에 制限이 되는

要素만 조절하기 위해 최소한으로 시설해주는 이른바 簡易 施設栽培은 생산비의 경쟁력 향상 측면에서 확대 가능성이 높다.

현재 이스라엘이나 가나와 같은 국가에서 화훼나 채소 등이 유럽의 EC시장에서 경쟁력을 가지고 있는 것은 바로 이러한 氣候資源을 활용한 生産費 節減型 生産體系이기 때문이다.

4. 參考文獻

1. Boztok, K., 1990. The effect of different watering levels in relation to the amount of solar radiation on productivity and quality of some aubergine, protected cultivation, paper presented at the 23rd International Congress : p73~78.
2. 谷信輝, 1974. 農業氣象調查法, 農業氣象 hand book : p 67~721.
3. Hack, G. R., 1991. Application of computervision systems in horticulture, First International workshop on sensors in horticulture, IMAG-DLO : p49~54.
4. 本條毅, 1991. 高度集約生産 system의 發展方向, 日本 施設園藝協會 : p20~40.
5. 星野和生, 1979. 環境複合要素와 作物生育의 動態解辭, 高能率 施設園藝에 關한 綜合研究 : p76~88.
6. 橋本康. 1990. Bio-system에 必要한 各種電氣計測, 計測·情報科學 養賢堂 : p 110~152.
7. 板本利隆, 1980. 溫度調節과 暖房機器, 施設園藝 hand book : p 176~197.
8. Jensen, H.E.K., and H. Andersen, 1990. Effect of high temperatures and DIF on potted foliage plants, First European Workshop on Thermo-and photo Morphogenesis in the Cultivation of Ornamentals, Aalsmeer : p27~36.
9. 高在君, 金文基, 李錫健, 徐元明, 崔弘林. 1988. 園藝施設, 農業施設工學, 서울大學校出版部 : p399~415.
10. 古在豐樹, 1976. 電算機를 利用한 植物成長의 最適化制御. 農業氣象, 32(1) : p41~49.
11. 李錫健. 1992. 制御法과 制御機器. 農業環境調節工學 教保文庫 : p255~270.
12. 三原義秋, 1990. 冷房制御와 機器裝置. 施設園藝 handbook, 日本施設園藝 協會 : p216~222.
13. 農林水産部. 1993. '92 菜蔬生産實績.
14. 農林水産部. 1993. '92 花卉栽培現況.
15. 大原源二, 1989. 施設園藝에 있어서 情報處理와 環境制御, 大型施設生産의 現象과 今後的 課題. 農林水産省 野菜茶業試驗場 : 59~68.
16. 島地英夫, 1992. 21世紀를 겨냥한 園藝施設의 高度裝置化와 栽培技術, 施設의 氣象災害와 對策技術. 農業工學研究所 : p50~57.
17. Straver, N. 1992. Nutrient Solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates, Voeding soplossingen glastuinbiuw serie 8.
18. 宋鉉甲等 1993. 計測 및 制御 system, 施設園藝 自動化. 文運堂 : p205~224.
19. Takakure, T., K.A. Jordan and L.L. Boyd 1971. Dynamic Simulation of plant growth and environment in the green house. Trans. ASAE, 14: p964~971.