

# 溫室環境變化에 對한 實驗的 分析(II)

—溫濕度·照度·炭酸가스·風速의 變化 및 分布—

## Experimental Analysis for Environments Variations of Greenhouses

—Distributions and Variations of Temperature, Relative humidity,  
Illumination, Carbon dioxide and Wind velocity—

金榮福\*            朴重春\*\*            白 耳\*\*\*  
Y. B. Kim            J. C. Park            Y. Paek

### Summary

In this study, the environment variations and distributions in different types of greenhouses were measured and analyzed. The elements of environment analyzed were temperature, relative humidity, illumination, carbon dioxide and wind velocity. The analyzed greenhouse types were auto-multi type which has an automatic environment control system and multiple continuous arches, regular-multi type which has an temperature control system and multiple continuous arches, and single arch type which has no environment control system without manual temperature keeping method. The results of this study can be used for the greenhouse building and managements.

### 1. 緒 論

高品質 無公害 農產物, 新鮮하면서도 多樣한 農產物에 대한 消費者들의 要求와 國內外 農業 與件變化에 부응하여 施設農菜을 위한 溫室面積은 繼續 增加하고 있으며, 1990年 우리나라의 施設園藝面積은 約 42,500 ha에<sup>4)</sup> 달하고 있다. 이에따라 그 最適環境調節과 效率的管理에 관한 技術開發과 研究에 대한 關心이 가일층 增加하고 있다.

그 環境要素로는 溫度, 濕度, 빛, CO<sub>2</sub>, 바람, 소

리 등이 있다. 물론 土壤이나 養分 등의 狀態도 環境으로 볼 수 있으나 본 研究에서는 우선적으로 保溫커튼, 暖房裝置, 炭酸가스발생기 등의 設置與否와 施設의 形態에 따른 溫室內 環境要素의 經時別 變化와 溫室內의 分布에 대해 分析하는 것으로 한정하였다.

溫室內 環境調節과 分析과 관련하여 徐<sup>7)</sup>, 朴<sup>8)</sup> 등에 의한 溫室모델링 및 시뮬레이션에 관한 研究, 金<sup>1)</sup> 등에 의한 農用施設의 커튼閉閉裝置에 관한 實驗的 研究, 宋<sup>9)</sup> 등에 의한 太陽熱-潛熱 蓄熱시스템에 의한 溫室保溫特性, 金<sup>3)</sup> 등에 의

\* 慶尙大學校 農大 農業機械工學科

\*\* 慶尙大學校 農大 園藝學科

\*\*\* 慶尙大學校 大學院

한 플라스틱溫室의 熱貯藏시스템開發에 관한 研究 등이 있다. 또한 溫室內의 環境計測과 關聯하여 서<sup>8)</sup>, 이<sup>10)</sup>, 홍<sup>11)</sup> 등의 研究가 있다. 그리고 Joel C. Simpkin<sup>12)</sup>의 保溫커튼의 設置方向과 效率과의 關係에 관한 研究, Pitam Chandra<sup>13)</sup> 등에 의한 保溫커튼의 數와 效率과의 關係에 관한 研究, Ido Seginer<sup>14)</sup> 등에 의한 保溫커튼의 合理的開閉에 관한 研究, J.N.Walker<sup>15)</sup>의 換氣溫室의 溫度豫測에 관한 研究, J.N.Walker<sup>16,17)</sup> 등에 의한 겨울철과 여름철 溫室內 濕度制御에 관한 研究, 또한 三原義秋<sup>18)</sup>에 의한 施設園藝의 氣候管理 등의 研究가 있다.

本 研究에서는 溫室內 環境의 時間에 따른 變化狀態와 分布狀態를 分析하여 앞으로의 施設設置와 關聯 研究에 活用하기 위하여 連棟型溫室과 單棟型溫室, 連棟型에서는 施設自動化溫室과 慣行의 一般溫室을 모델로 하여 하루 중의 溫度, 濕度, 照度, CO<sub>2</sub>, 風速 등의 環境計測을 實施하여 施設機資材 및 設備의 影響을 比較分析하였다. 溫度의 經時別變化와 溫室內의 分布, 濕度, 및 炭酸가스의 經時別變化에 대한 具體的인 分析은 本 研究의 第1報<sup>2)</sup>에 나타내었으며, 本 報에서는 주로 濕度分布, 照度の 變化와 分布, 炭酸가스의 分布, 風速의 分布에 대해 重點分析하였다.

## 2. 材料 및 方法

### 가. 環境測定 溫室

環境을 計測하고자 하는 溫室은 環境調節施設이나 設備가 設置되어 있는 農村振興廳 普及型 連棟溫室과 一般連棟溫室, 그리고 天窗과 비닐 터널, 거적 외에는 省力化施設이 없는 單棟溫室의 세가지로 選擇하였으며, 그 測定 모델하우스의 크기와 施設 등의 具體的 事項은 表1과 같다.

### 나. 環境測定方法

溫室內 環境變化를 測定分析하기 위하여 選擇한 각 溫室에 대하여 하루 중의 變化를 時間別로 測定하였으며, 그 具體的 事項은 다음과 같다.

- 1) 日時: 1992. 12. 16(수). 07:00-19:00
- 2) 場所: 慶南 晉州市 草田洞 溫室3個 모델
- 3) 測定人員: 16名
- 4) 測定計器: 表2 參照
- 5) 測定點: 普及型連棟溫室(A棟)은 溫濕度 20點, CO<sub>2</sub> 5點, 一般連棟溫室(B棟)은 溫濕度 20點, CO<sub>2</sub> 3點, 單棟溫室은 溫濕度 5點, CO<sub>2</sub> 2點, 그리고 各各 外氣의 狀態도 測定

Table 1. Specifications of greenhouses for measurements

	A type (multi-auto)	B type (multi-regular)	C type (single)
Dimension	5 arches(2375m <sup>2</sup> ) 95m * 25m * 6m	5 arches(2375m <sup>2</sup> ) 95m * 25m * 4m	1 arches(427m <sup>2</sup> ) 95m * 4.5m * 2.15m
Materials	vinyl house	vinyl house	vinyl house
Plants	Denphare(3 yrs) 70,000 plants	Carnation(2 months) 30,000 plants	Cumcuber(3 months) 880 plants
Heater	130,000 * 2(kcal/hr)	STC9201 1 unit	None
Thermal curtain	2 layer(inner) 2 layer(upper)	1 layer(inner) 2 layer(upper)	vinyl tunnel + straw mat
CO <sub>2</sub> Generator	LPG 3.8-4.5 kg/hr 2500mmH <sub>2</sub> O, 2 units	None	None
Circulating fan	50m <sup>3</sup> /min * 55 units	None	None
Ventilation	Fan 4 units	Window	None
Computer control system	One system	None	None

하였다.

6) 測定時間: 測定項目別로 組를 構成하여 測定하였던 바 測定間隔은 約 45分間隔이었다.

7) 測定方法: 測定項目別로 表2에 나타난 計測器로 測定하였으며, 各種의 計測器는 초기에 영점조정을 實施한 후에 測定을 하였다. 이때 相對濕度는 乾球溫度와 濕球溫度를 測定한 후 濕空氣線圖를 利用하여 相對濕度를 計算하였으며, 濕球溫度의 計測을 위해서는 조그만 선풍기를 利用하여 氣化를 촉진하도록 하였다. 그리고 測定過程에서의 所要時間을 고려하여 同一時間帶의 測定項目의 分布는 測定 後 時間帶別로 보간하였다.

### 3. 結果 및 考察

#### 가. 氣象變化

測定日의 溫室環境測定地域인 晉州地域의 氣象資料는 다음과 같다.

- 1) 平均溫度:  $-1.0^{\circ}\text{C}$
- 2) 平均濕度: 70.3%
- 3) 日照率: 50%, 日射:  $8.38 \text{ MJ/m}^2/300\text{mins}$

#### 나. 溫室 環境調節施設 變化狀態

하루 중의 溫室環境變化를 測定하는 過程에서

環境調節用 設備나 施設의 變化狀態를 살펴보면 表3과 같이 정리할 수 있다.

#### 다. 溫室內 時間別 溫度變化

그림1은 각 溫室의 중심부와 外氣의 時間別 溫度變化를 나타내고 있다. 가로축은 測定시작 時間인 07:00을 기준으로 하여 經過時間을 分으로 나타낸 것이다. 그림에서 살펴보면 溫室別로는 普及型連棟溫室이 約  $18.5-25.2^{\circ}\text{C}$  範圍에서 最高最低溫度差가  $6.7^{\circ}\text{C}$ 를 나타내고 있으며, 하루 중 比較의 均一한 溫度를 維持하고 있다고 할 수 있다. 普及型連棟溫室에 비해 一般連棟溫室은 約  $12-25^{\circ}\text{C}$  範圍에서 最高最低溫度差가  $13^{\circ}\text{C}$ 를 나타내고 있으며, 하루 중 溫度差가 상당히 큰 것을 알 수 있다. 특히 日沒과 日出의 前後에서의 普及型連棟溫室과 一般連棟溫室의 溫度差가 큰 것으로 볼 때 施設 등의 斷熱效果에 상당한 差異가 있음을 알 수 있다. 室內 暖房裝置의 設定溫度에 의한 影響도 있겠으나 普及型連棟溫室은 内部에 2層의 保溫커튼을 設置하였으므로 1層保溫커튼의 一般連棟溫室에 비해 日出과 日沒의 시기에 溫度差異가 난다고 볼 수 있다.

單棟인 경우에는 晝間의 溫室內 氣溫이 급격하게 변하여  $-4^{\circ}\text{C}$ 에서  $29^{\circ}\text{C}$ 까지의 範圍에서 最高最低溫度差가  $33^{\circ}\text{C}$ 를 나타내고 있으며, 正午 附近의 溫度가 급격히 上昇하고 太陽의 位置에

Table 2. Specification of measuring instruments

Instruments	Model and Specification
Alcohol thermometer	Hot and wet bulb temperature, Range : $-10\sim 50^{\circ}\text{C}$ Small fan for measuring of wet bulb temperature
Surface thermometer	Model : HIOKI 3412, Range : $-50\sim 999^{\circ}\text{C}$ , Type <sup>®</sup> KmmCAkm
Anemometer	Model : Solomat MPM 500e, Range : $0\sim 127\text{m/s}$
Lux meter	Model : dm-28, TAKEMURA ELEC., Range : $0\sim 500,000 \text{ Lux}$
Sound level meter	CS142C, CASTLE ASSOCIATES, Range : $40\sim 120 \text{ dB}$
CO <sub>2</sub> Detector	GASTEC 801, $300\sim 5000(10000 \text{ at half stroke})\text{ppm}$

Table 3. Operation situations of environment control things on greenhouse

	A(multi-auto)	B(multi-regular)	C(single)
Heater	Off 1 unit 10 : 00 ~ 16 : 17 1 unit 08 : 25 ~ 17 : 20	Off 08 : 58 ~ 17 : 15	NONE
Thermal curtain	Open 09 : 57 ~ 16 : 10	Open 09 : 33 ~ 15 : 30	09 : 17 ~ 16 : 40 Straw mat open 10 : 30 ~ 16 : 00 Tunnel vinyl open
Circulating fan	10 : 40 ~ 16 : 10 On	None	None
CO <sub>2</sub> Generator	10 : 30 ~ 10 : 45 On 11 : 00 ~ 11 : 15 On	None	None
Window		11 : 45 ~ 14 : 00 Side window open 13 : 08 ~ 15 : 10 Skylight open	12 : 53 ~ 16 : 40 Skylight open

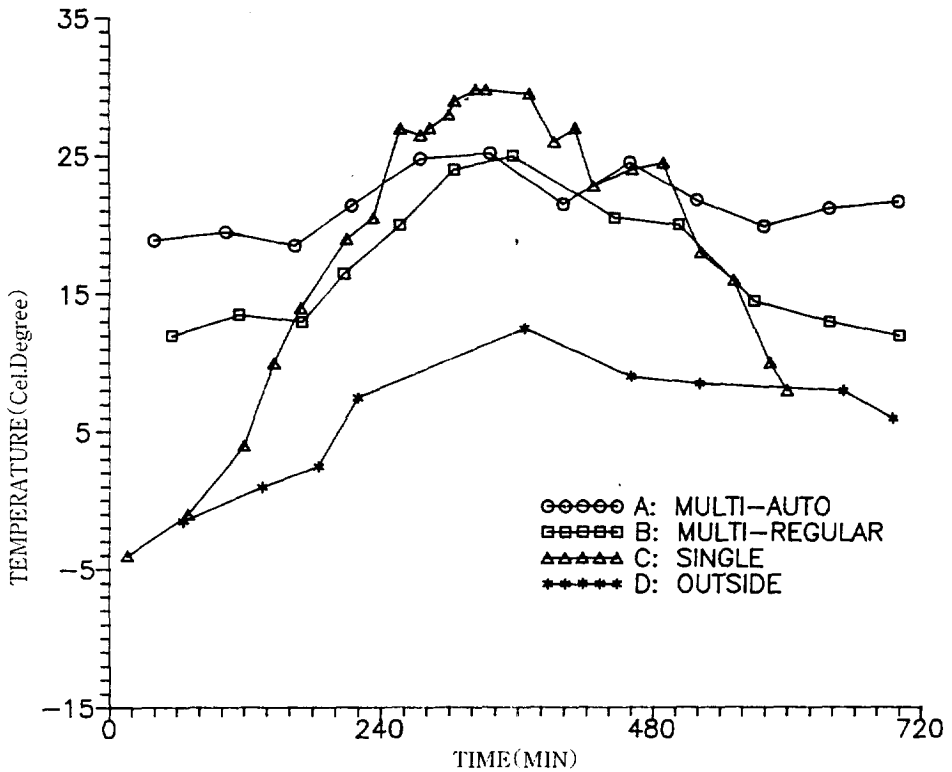


Fig. 1 Temperature history of greenhouse depending on time from A.M. 7 : 00

따라 하락하고 있다. 이는 斷熱效果가 작기 때문으로서 連棟型和 比較해 볼 때, 保溫커튼과 煖房裝置의 有無, 作動時間의 差異 등에 따라 상당한 溫度差異가 나는 것을 알 수 있다.

라. 溫室內 經時別 相對濕度變化

그림2(a)는 溫室內 중심부에서의 相對濕度の 時間帶別 變化를 나타내고 있다. 普及型連棟溫室의 경우 85~100% 範圍에서 比較的 均一하게 변하고 있으며, 最高最低相對濕度の 差異는 15%로 나타났다. 一般連棟溫室의 경우에는 85~100% 範圍에서 普及型溫室에 비해 變動範圍는 비슷하지만 전체적인 값은 比較的 크게 나타났다. 外氣의 相對濕度が 50~85% 範圍에서 比較的 낮은 가운데 상당히 급격하게 변하는 것에 비해 溫室內 相對濕度は 比較的 均一하게 維持됨을 알 수 있었다.

다. 相對濕度の 分布

普及型連棟溫室內 時間帶別 相對濕度の 分布를 그림2(b)~그림2(e)에 나타내었다. 그림을 살펴보면 08:00의 濕度分布는 81~83%, 10:00에는 92~94%, 14:00에는 88~92%, 16:00에는 94~95%의 範圍에서 分布하였으며, 位置에 따라 4% 이상의 差異를 보이지 않는 比較的 均一한 分布를 보이고 있었다. 한편 그림2(f)~그림2(i)에서 나타난 바대로 一般連棟溫室의 相對濕度分布는 8시부터 2時間間隔으로 살펴볼 때 各各 92~95%, 96~100%, 87~96%, 94~99%의 範圍에서 分布하고 있으며, 位置別로 볼 때 3~9%의 差異를 나타내고 있다. 따라서 相對濕度の 溫室內 分布面에서 살펴보면 普及型連棟溫室이 一般連棟溫室에 비하여 다소 均一하게 分布하고 있다고 할 수 있는데 이는 普及型連棟溫室의 경우 施設構造의 特徵과 더불어 室內에 55개의 空氣循環팬이 作動되기 때문에 判斷된

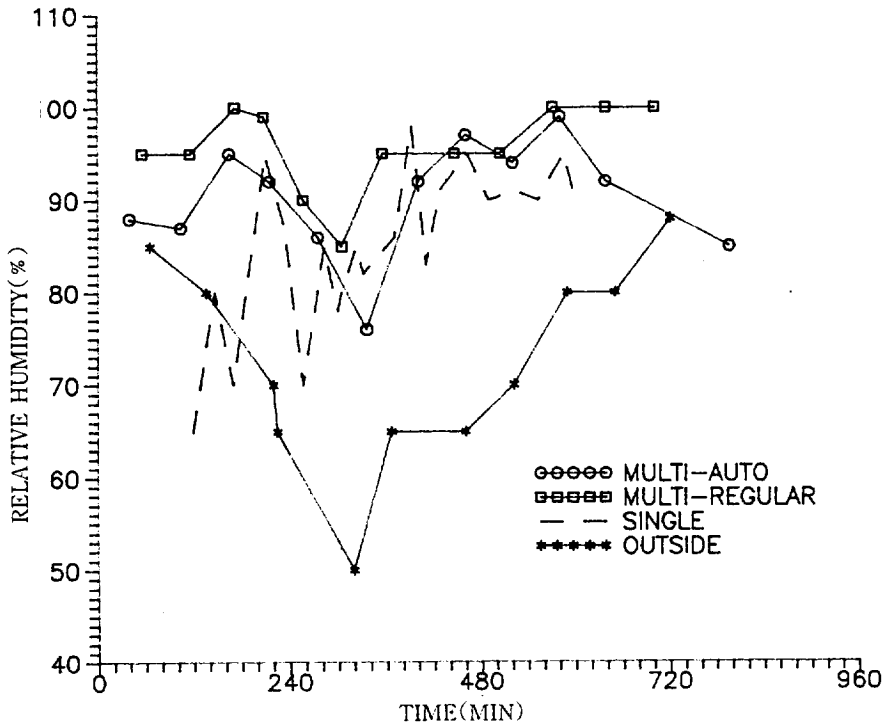


Fig. 2(a) Relative humidity history of greenhouse depending on time from A.M. 7:00

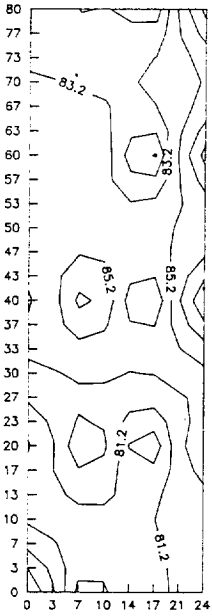


Fig. 2(b) Relative humidity distribution in the A type(multi-auto) greenhouse at 08:00

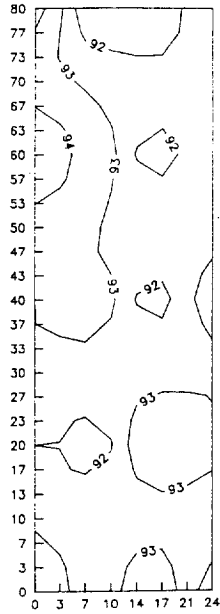


Fig. 2(c) Relative humidity distribution in the A type(multi-auto) greenhouse at 10:00

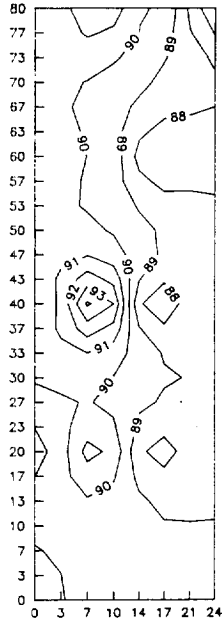


Fig. 2(d) Relative humidity distribution in the A type(multi-auto) greenhouse at 14:00

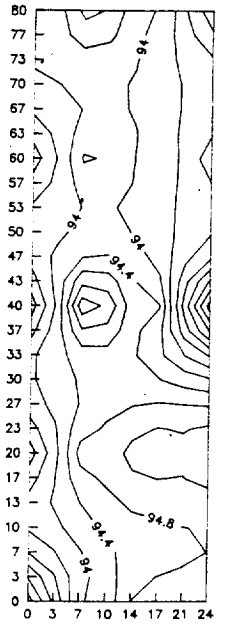


Fig. 2(e) Relative humidity distribution in the A type(multi-auto) greenhouse at 16:00

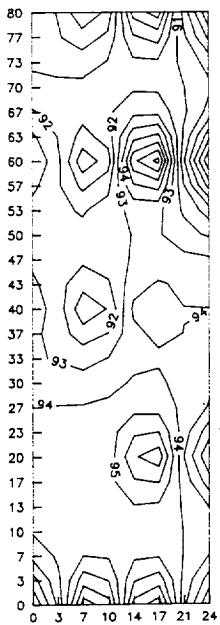


Fig. 2(f) Relative humidity distribution in the B type(multi-regular) greenhouse at 08:00

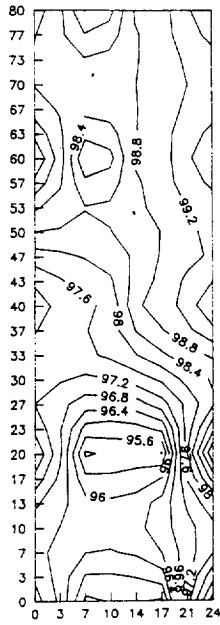


Fig. 2(g) Relative humidity distribution in the B type(multi-regular) greenhouse at 10:00

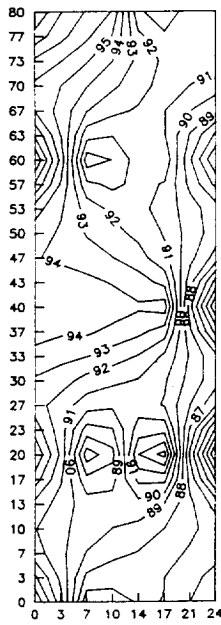


Fig. 2(h) Relative humidity distribution in the B type(multi-regular) greenhouse at 14:00

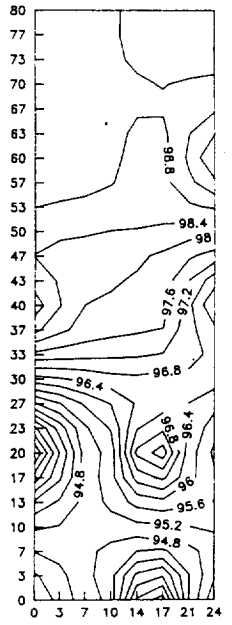


Fig. 2(i) Relative humidity distribution in the B type(multi-regular) greenhouse at 16:00

다. 그리고 單棟溫室의 경우는 길이方向으로 3點을 測定해 본 結果 同一時間帶의 位置別 相對 濕度 差異는 最大 15% 까지로서 連棟에 비해 比較的 크게 나타났던 바 이는 熱容量의 差異와 함께 單棟의 位置別溫度分布가 連棟에 비해 不均一하고, 出入口, 窓門 等 外氣와의 연결부근에서 變化가 크기 때문에 判斷된다.

바. 經時別 炭酸가스變化 및 分布

溫室內 炭酸가스의 使用量은 作物에 따라 다르지만 대체적으로 大氣中 炭酸가스 濃度의 3~5배, 즉 900~1500ppm정도가 알맞은 것으로 報告되고 있다.<sup>4)</sup>

그림3은 溫室內 중심부에서의 CO<sub>2</sub>의 時間帶別 變化를 나타내고 있으며, 外氣의 경우 約 500~1000 ppm 範圍였다. 普及型連棟溫室과 一般連棟溫室의 경우 約 500~1000 ppm 範圍에서

變化하였다. 그런데 普及型連棟溫室의 경우는 設備效果를 알아 보기 위하여 10:30~10:45, 11:00~11:15 사이의 두차례에 걸쳐 30분간 炭酸가스발생기를 가동하여 炭酸가스를 供給하였던 바 11:00 이후 約 1000ppm 정도로 나타나고 있다. 또한 일반연동온실의 경우는 約 20톤 정도의 부엽토를 사용하였기 때문에 오전중의 炭酸가스의 양이 900~1000ppm정도로 나타나고 있는 것으로 판단된다. 한편 單棟溫室에서의 炭酸가스含有量은 950~2200ppm 範圍로서 아주 높게 나타나고 있으며, 특히 午前 中에는 높게 나타나고 있다. 이는 單棟하우스의 地面바닥 속에 幅 約 30cm, 깊이 約 30cm정도로 짚을 깔았고, 作物을 덮었던 터널을 오전 中에 개방했기 때문에 判斷되며, 그 量的인 面에서 溫室環境 管理에 좋은 참고가 될 것으로 보인다. 한편 炭酸가스의 溫室內 分布狀態를 알아보기 위해 經

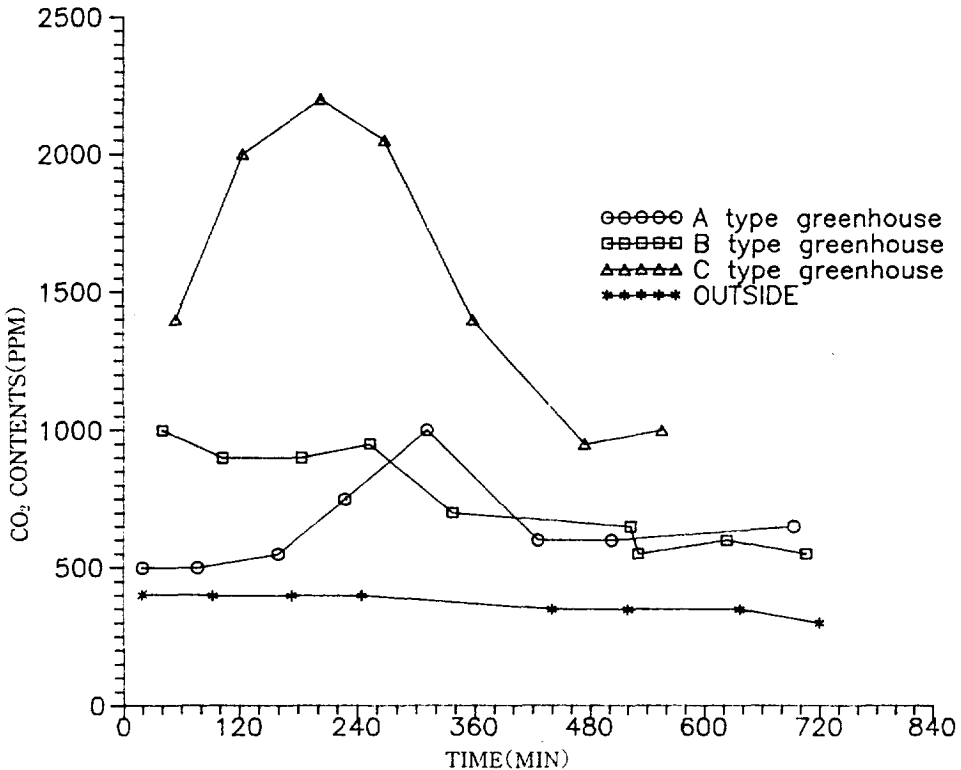


Fig. 3 CO<sub>2</sub> CONTENTS history of greenhouse depending on time from A.M. 7:00

時別로 溫室마다 各各 3~5點을 測定하였던 바 같은 溫室內에서의 炭酸가스分布의 差異는 單棟이 가장 크고 그 다음이 一般連棟, 普及型連棟의 順으로 나타났으나 單棟溫室을 제외하고는 溫室內 分布의 差異가 100ppm을 넘지 않았다.

사. 溫室內 經時別 照度變化

그림4(a)는 經時別溫室內의 照度變化를 나타내고 있다. 그림을 살펴보면 外氣의 경우 最高 60000 Lux까지 上昇함을 알 수 있으며, 1겹비닐 피복을 한 單棟비닐溫室의 경우 外氣와 비슷한 傾向으로 약 50000 Lux까지 上昇하였다. 그러나 2겹비닐溫室인 普及型連棟溫室과 一般連棟溫室의 경우 最高 약 40000 Lux정도로 나타나고 있는데 이는 外氣에 비해 약 33%정도의 減少가 있음을 나타내고 있다. 이러한 傾向은 時間이 經過하여 비닐이 먼지 등에 의해 오염이 될 경우 더욱 심해질 것으로 判斷된다.

아. 溫室內 時間帶別 照度分布

連棟溫室의 時間帶別 照度分布는 그림4(b)~그림4(i)까지 나타나 있다. 이를 살펴보면 普及型連棟溫室의 경우 08:20부터 2時間間隔으로 各各 1000~1200 Lux, 28000~36000 Lux, 33000~35000 Lux, 1000~1020 Lux範圍로서 位置에 따라 다소 差異를 보이고 있다. 그리고 一般連棟溫室의 경우 08:40부터 2時間間隔으로 各各 11000~14000 Lux, 29000~33000 Lux, 33000~40000 Lux, 990~1020 Lux範圍에 있었다. 이러한 分布는 溫室을 構成하는 上층부構造體의 光透過率과 施設形態 等の 差異 때문에 判斷된다.

자. 溫室內 風速分布

溫室內 氣流의 分布狀態를 살펴보면 測定日 12:00의 風速分布가 그림5(a), 그림5(b)에 나

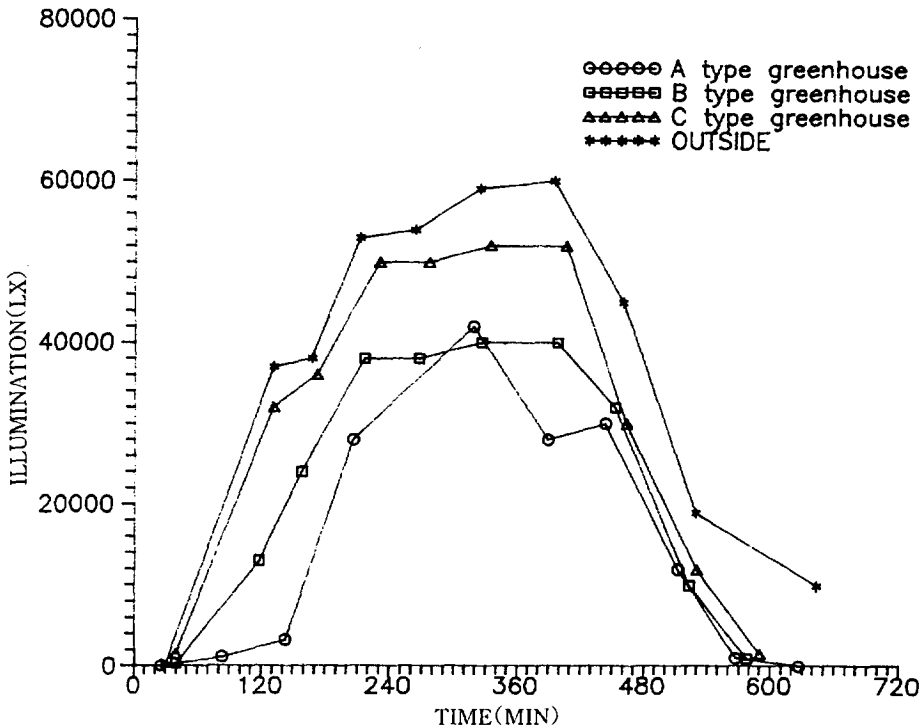


Fig. 4(a) History of the intensity of illumination at the center of the greenhouse from A.M. 7:00



타나 있다. 普及型連棟溫室의 경우 전체적으로 0.1-0.22 m/s의 範圍에 있으나 그림의 우측상단부 溫室出入口附近에서는 0.22m/s 以上으로 나타났다. 그리고 一般連棟溫室의 경우는 그림5 (b)에 나타난 바대로 0.14m/s 이하로 나타난 바 空氣流動이 상당히 적은 狀態인 것을 알 수 있다. 普及型連棟溫室은 出入口부분이 二重被服이 되어 있으며, 内外의 피복사이에는 作業空間을 갖는 構造로 되어 外氣와는 2겹遮斷되어 있음에도 불구하고 入口附近의 틈새바람 등으로 인해 風速이 상당히 크게 나타나고 있다. 또한 内部의 空氣流動이 一般連棟溫室에 비해 比較的 크게 나타나고 있는 것은 溫室内部에 空氣循環팬이 55 個가 均一하게 配置되어 作動되고 있는 때문에 判斷된다. 그러나 이 경우 風速이 한쪽으로 傾向을 가지고 있는 것을 알 수 있으며, 따라서

循環팬의 方向을 調節하여 溫室內 氣流分布를 調節할 必要가 있는 것으로 判斷된다.

#### 4. 摘要

農業을 둘러싼 周圍의 與件變化에 따라 施設 農業을 위한 溫室面積은 나날이 增加하고 있고 이에 따라 그 環境調節과 管理에 관한 技術開發과 研究에 대한 關心이 가일층 增加하고 있다. 본 研究에서는 農村振興廳普及型連棟溫室과 一般連棟溫室, 그리고 單棟溫室에서의 溫度, 濕度, 照度, CO<sub>2</sub>, 風速에 대한 하루 중의 狀態變化를 測定, 分析하였으며, 이를 통하여 施設과 設備의 效果를 比較分析하고 그 合理的 設置와 運用을 기하는데 利用하고자 하였다.

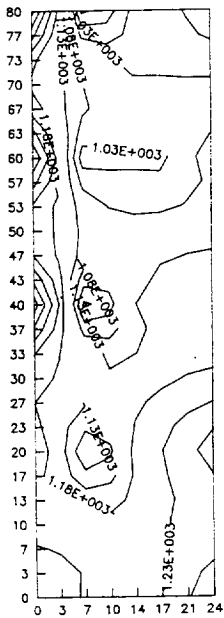


Fig.4(b) Illumination distribution in the A type(multi-auto) greenhouse at 08:20

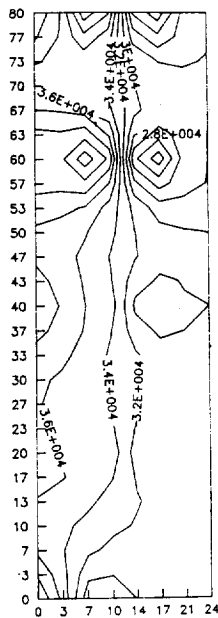


Fig.4(c) Illumination distribution in the A type(multi-auto) greenhouse at 10:20

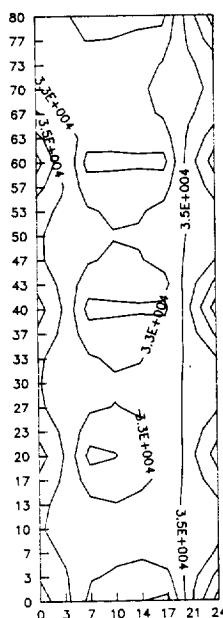


Fig.4(d) Illumination distribution in the A type(multi-auto) greenhouse at 14:20

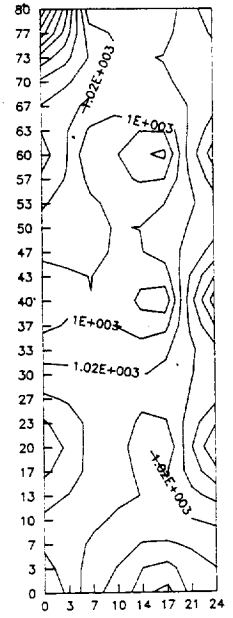


Fig.4(e) Illumination distribution in the A type(multi-auto) greenhouse at 16:20

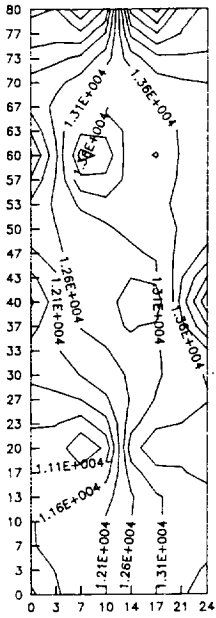


Fig. 4(f) Illumination distribution in the B type multi-regular greenhouse at 08:40

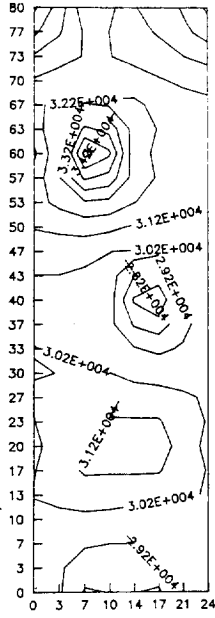


Fig. 4(g) Illumination distribution in the B type multi-regular greenhouse at 10:40

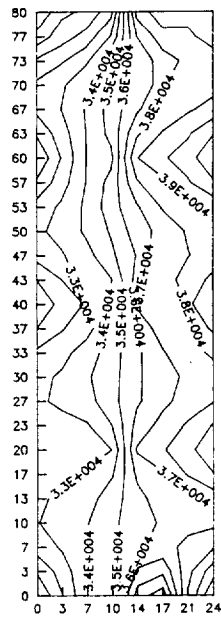


Fig. 4(h) Illumination distribution in the B type multi-regular greenhouse at 14:30

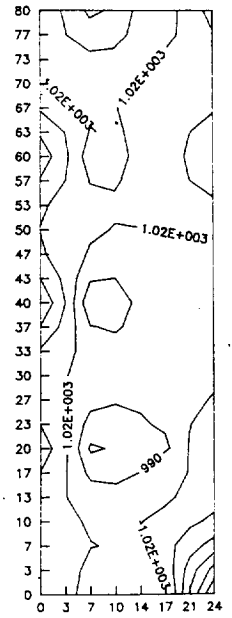


Fig. 4(i) Illumination distribution in the B type multi-regular greenhouse at 16:40

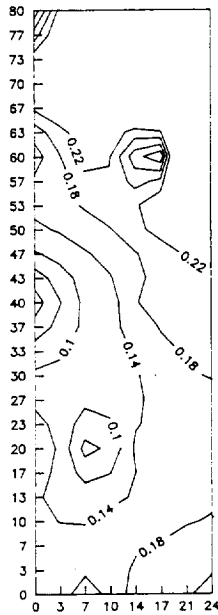


Fig. 5(a) Wind velocity distribution in the A type multi-auto greenhouse at 12:00

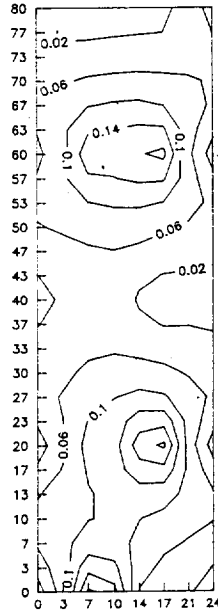


Fig. 5(b) Wind velocity distribution in the B type multi-regular greenhouse at 12:00

Literature

1. 金成泰 外. 1992. 農用施設의 커튼開閉裝置에 관한 實驗의 研究. 慶尙大學校 論文集 31 (1).
2. 金榮福, 朴重春, 宋鉉甲. 1992. 그린하우스環境變化에 대한 實驗의 分析(I). 農村열에너지研究報告論文集. 제8권 제1호
3. 金容顯, 高學均, 金文基. 1990. 플라스틱溫室의 熱貯藏시스템에 관한 研究(I). 韓國農業機械學會誌. 제15권 제1호
4. 農村振興廳. 1992. 하우스自動화. '92農村指導公務員特技專門教材.
5. 박상근, 고관달. 1991. 施設園藝의 展望과 施設의 機械化 및 自動화 方向. 田作. 施設園藝의 機械化 方向 및 推進方向. 韓國農業機械學會
6. 박재복. 1986. 플라스틱溫室의 日射量 分析과 熱的環境 시뮬레이션에 관한 研究. 서울大學校 大學院 博士學位 論文
8. 徐元明. 1986. Modeling of a greenhouse equipped with a solar rocked system and with carbon dioxide enrichment. Doctoral thesis. KANSAS STATE UNIV.
9. 徐元明, 閔泳鳳, 윤용철. Microcomputer를 利用한 Greenhouse의 溫度計測시스템에 관한 研究. 韓國農業機械學會誌 15(2). 1990.
10. 송현갑, 유영선, 김영복, 김유호. 1991. 太陽熱-潛熱蓄熱시스템의 溫室保溫特性. 農村열에너지研究報告論文集 제7권 제1호
11. 이규철. 1991. 實驗用 作物生育裝置의 溫濕度制御시스템 開發. 서울대碩士 學位論文.
12. 홍순호. 1990. 作物生産自動화를 위한 複合環境計測시스템 開發. 서울대碩士學位論文.
13. Joel C.Simpkin, et al. 1976. Reducing heat losses in polyethylene covered greenhouses. TRANSACTIONS of the ASAE. NO.19 (4) : 714-719
14. Pitam Chandra and L.D.Albright 1989. Analytical determination of the effect on greenhouse heating requirements of using night curtains. TRANSACTIONS of the ASAE 23 (4) : 994-1000
15. Ido Seginer, et al. 1980. Rational operation of greenhouse thermal curtains. TRANSACTIONS of the ASAE 23 : 1240-1245
16. J.N.Walker. 1965. Predicting temperatures in ventilated greenhouse. TRANSACTIONS of the ASAE 8(3) : 445-448
17. J.N.Walker, et al. 1968. Condensation and resultant humidity in greenhouses during cold weather. TRANSACTIONS of the ASAE 11 : 263-266
18. J.N.Walker, et al. 1968. Control of high humidity in greenhouses during warm weather. TRANSACTIONS of the ASAE 11 : 267-269
19. 三原義秋. 施設園藝의 氣候管理.
20. 施設園藝における效率的エネルギー利用. 1991. 環境制御方式導入の手引. 日本施設園藝協會.