

온풍 난방을 적용한 시설원예용 하우스의 에너지 소비특성에 관한 연구

진삼채* · 나수연** · 허종철***

The Study on Thermal Environment and Energy Consumption of Greenhouses with Hot Air Heating System

Sam-Chae Jeon* Su-Yeun Na** and Jong-Chul Huh***

ABSTRACT

Hot-air heating system has been utilized in most greenhouses because the system has very effective in money-saving and easy installation. However, the system has disadvantages in high maintenance cost and nonuniform distribution of air temperature. The purpose of this study is to provide the basic data for thermal control and energy conservation strategies of greenhouse heating. The field measurement were conducted to examine thermal environment and energy consumption in greenhouses model with hot-air heating system. Then the relationship of boiler setting temperature and indoor air volume change and energy consumption were provided.

Key Words : Hot-air heating system, Greenhouse, Heating efficiency

1. 서론

현재 많은 농가에서 고소득 작물 재배의 목적으로 비닐 하우스의 사용빈도가 점차 증가하고 있는 실정이다[1]~[3]. 이러한 비닐하우스에서는 재배자가 온

도·습도 등의 열환경 요소를 조절함으로써 양호한 생산환경을 제공하는 것이 주된 목적이므로 외기가 크게 떨어지는 동절기나 일사 열획득이 없는 야간에는 보조 난방이 요구된다. 값싼 심야전력을 이용하거나 온수 등의 축열식 열매체를 이용하는 방법, 태양열을 이용하는 난방 방식 등이 대두되고 있으나 아직은 그 개발이나 사용에 있어서 미흡한 점이 많은 형편이고 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 온풍난방방식은 유류소비가 많고 하우스내 온도분포가 불균일한 문제점이 있다[1]~[6].

따라서 본 연구에서는 시설원예용 하우스의 난방 효율성을 높이기 위하여 야간 온풍난방이 가동되는

* 제주대학교 대학원

Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 건축공학과, 첨단기술연구소

Dept. of Architectural Engineering, Research Institute of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

*** 제주대학교 기계에너지생산공학부, 첨단기술연구소

Dept. of Mechanical Energy, Production Engineering, Research Institute of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

시간동안 하우스내의 온도분포 특성 및 유류소비량을 실측실험을 통해 분석함으로써 기초 설계 데이터를 제시하였다. 또한 온풍난방기의 온도조절에 따른 에너지 소비량을 비교, 검토하고 하우스내에 이중비닐막을 설치하여 체적 감소에 따른 에너지 절감 방안을 제시하고자 하였다.

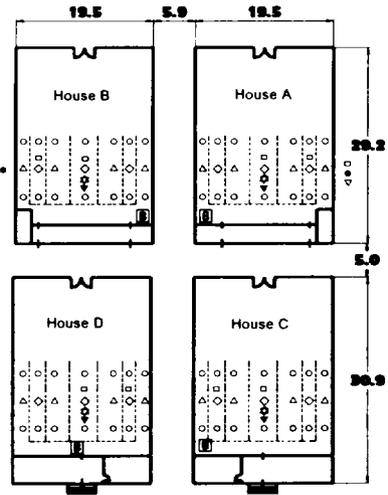
II. 실험개요

2.1. 측정방법 및 측정위치

실험대상 하우스는 농촌 진흥청 제주 농업 시험장 내에 위치해 있으며 2001년 2월말부터 4월 말까지 총 2개월간의 실험기간 중 외기온이 비교적 낮은 대표일 7일을 연속 선정(3월12일~3월15일, 3월27일~3월31일)하여 야간시간(20:00~익일 08:00)동안의 온열환경을 분석하였다. 하우스전경 및 규모는 Fig. 1과 같이 19.5m×30m×4.7m (폭×길이×높이)의 크기로 단동형의 양지붕형 하우스 3개 동을 연결하고 내부 칸막이를 제거하여 만든 3연동 플라스틱 하우스이다. 천정·벽의 마감재는 PC(Polycarbonate)판을 사용하여 마감하였고 각 하우스동의 전실에 온풍난방을 위한 보일러를 설치하고 직경 0.8m의 덕트를 설치하여 하우스의 구석구석에 온풍이 공급될 수 있도록 하였다.

각 하우스동의 온도 측정위치는 평면상에서 4.1 m 간격으로 총 21개의 측정점을 설정하였다. 수직으로는 하우스 전 부분에 걸쳐 0.8m, 2.0m 높이에서 측정하고 중앙부에는 보다 상세한 측정을 위해 0.4m, 0.8m, 1.2m, 2.0m, 2.8m 높이에서 측정하였다. 온도의 측정에는 T-type의 열전대를 사용하고 컴퓨터를 통해 매10초마다 데이터를 수거하도록 하였다.

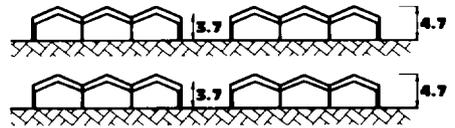
복사온도의 측정을 위해서 지상 1.2m 높이에 흑구온도계(Vernon식, SATO)를 각각의 실내에 두 지점을 선정·설치하였다. 상대습도계(HK 8607.Delta OHM)를 설치하여 실내·외의 습도변화를 측정하였으며, 유량계(Flo-sensors Models 101, Mcmillan)를 설치하여 온풍 보일러의 유량사용을 매초마다 검침하였다.



(a) Plane views



(b) Elevation views



(c) Vertical-section views

(unit:m)

Temperature

- Two measuring points (0.8 and 2.0m above the ground)
- △ Five measuring points (0.4, 0.8, 1.2, 2.0 and 2.8m above the ground)
- ◇ Six measuring points (0.4, 0.8, 1.2, 2.0, 2.8 and 4.0m above the ground)
- Measurement of globe temp.
- Measurement of outdoor air-temp.

Solar radiation

- ★ Outdoor solar radiation
- ☆ Indoor solar radiation

Relative humidity

- ▽ Outdoor relative humidity
- ▼ Indoor relative humidity

Boiler

- Hot-air duct

Fig. 1. Shapes and measuring points of greenhouse.

2.2. 실험종류 및 설정조건

각 하우스의 온열환경을 보다 정확하게 파악하기 위해 하우스의 부지, 향, 형태를 똑같이 하고 동시에 실험을 실시함으로써 실험결과에 대한 하우스 상호간의 객관적 비교가 가능하도록 하였다. 실험대상 하우스 4개동에는 각각 온풍난방기를 설치하고 지표면에 동일 형상 및 간격으로 배치된 온풍덕트를 통해 실내를 난방하며, 온풍덕트의 직상부(지면에 대해 90° 각도)에는 길이방향으로 일정 위치(약 2.4m간격)마다 온풍토출구를 두었으며 다음과 같은 다음과 같은 두 가지의 실험을 하였다.

(1) 하우스별 설정온도차에 따른 열환경 특성

온도 조절에 따른 유류소비의 정도와 각 온도대에서의 실내 온열환경을 알아보기 위해 보일러 설정온도를 각 동마다 틀리게하여 유류소비량을 실측하고 이 때의 실내 열환경 변동특성을 파악하였다. 각 동은 온도이외의 다른 변수는 동일한 조건이며 D동의 경우에는 제주도의 기후 특성상 하우스 내의 기온이 5°C 이하로 떨어지는 날이 적어 무가온으로 설정하였다.

(2) 체적의 변화에 따른 열환경 분포 특성

체적변동에 따른 하우스 공간내의 열환경 특성과 유류 절감정도를 알아보기 위해 하우스 내부 각 동마다 각기 다른 높이에 수평으로 이중 보온 외피를 설치하여 체적을 변화시켜 단일 외피인 다른 동과 비교할 수 있도록 하였다.

III. 설정온도의 변화에 따른 하우스내 열환경과 에너지 소비 특성

하우스 각 동의 보일러 설정온도를 각각 A동 20°C, B동 15°C, C동 10°C, D동 5°C로 하고 온풍난방이 실시되는 야간시간동안 실내 열환경 변동과 이때 보일러의 소비유량을 실시간 측정하였다. D동에서는 온풍 난방기를 작동하지 않고 외기변동에 따른 하우스 내 온열환경을 실시간 측정하여 다른동과 비교할 수 있도록 하였다.

3.1. 하우스내 열환경 비교

분석대상 대표일(2001년 3월 12일 20:00~15일 08:00)의 외기조건은 Table 1, Fig. 2와 같다. 외기평균 기온을 살펴보면 12일의 경우 -1~4°C로 가장 낮은 기온을 보이고 시간이 지날수록 기온은 점차 상승하여 다음날인 13일은 평균 5°C, 14일은 10°C의 평균 기온을 나타낸다. 습도는 12일의 경우 60~80% 정도로 비교적 양호하지만 익일인 13일, 14일의 경우 80% 이상을 나타내는 것으로 보아 상당히 다습하고, 복사열을 나타내는 흑구온도는 -6~20°C 정도로 외기보다 온도 변화폭이 매우 크다.

Table 1. Experimental outdoor conditions

| Date | Temperature(°C) | | | RH(%) | GT(°C) |
|-------|-----------------|------|------|--------|--------|
| | Max | Ave. | Min | | |
| 12~13 | 4.3 | 1.1 | -0.9 | 60~80 | -6~10 |
| 13~14 | 7.8 | 5 | 4 | 80~95 | -1~13 |
| 14~15 | 16.1 | 10.3 | 6.3 | 80~100 | 3~20 |

(Ave. = Average, RH = Relative Humidity, GT = Globe Temperature)

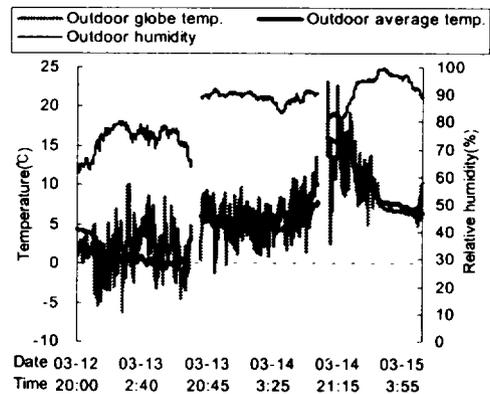


Fig. 2. Outdoor condition.

Fig. 3은 외기변동에 따른 각 하우스 내부의 중앙부 바닥에서 0.8m 높이의 평균실내기온분포를 보여준다. 20°C로 설정된 A동은 평균 17.3°C, 15°C로 설정된 B동은 평균 15.7°C, 10°C로 설정된 C동은 평균 14.5°C로 전 동에서 15°C~17°C 정도의 비교적 일정한 실내기온을 유지하고 있다. 또한, 각각의 외기온과

온풍난방을 실시하지 않는 D동의 그래프를 비교해보면 D동에서 외기보다 평균 3°C 정도 높은 경향을 나타내는데 이것으로 보아 야간 무가온 하우스에서 하우스 내부는 외기보다 평균 3°C 정도 높은 온도분포를 유지한다는 것을 알 수 있다.

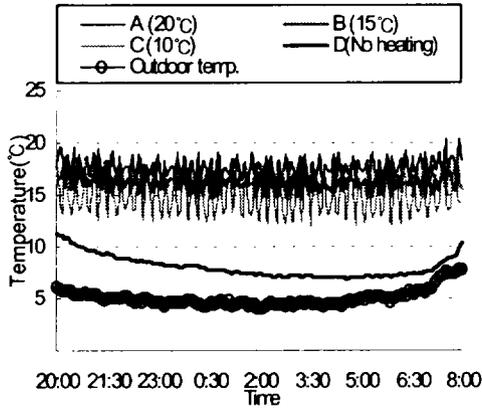


Fig. 3. Variations of indoor temperature.

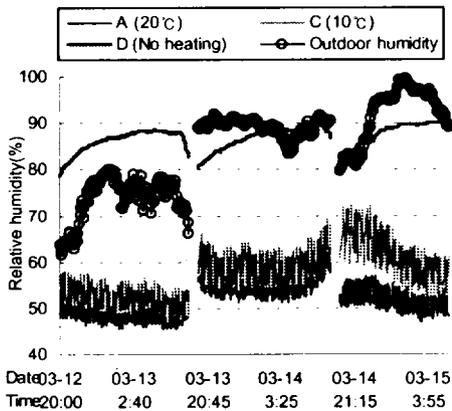
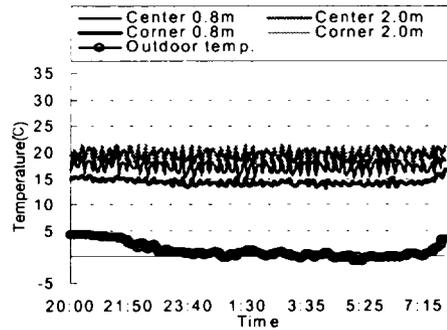
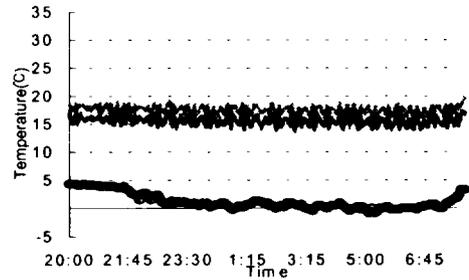


Fig. 4. Variations of relative humidity.

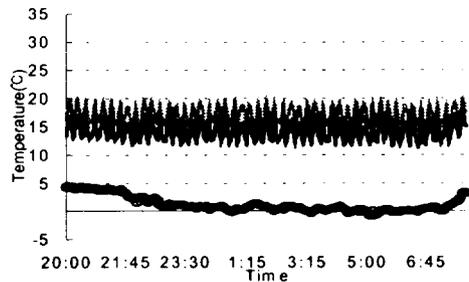
상대습도는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 보일러 설정 온도가 가장 높은 A동이 평균 50%~60% 정도로 가장 낮고 평균 14.5°C로 A동 보다 3°C 정도 낮은 온도분포를 보이는 C동의 경우는 A동보다 5~10% 높은 습도분포를 나타낸다. D동(무가온)의 경우는 실외습도와 비슷한 경향을 보이며 12일 D동의 경우 실외습도보다 10% 정도 더 높은 분포를 나타냈는데 습



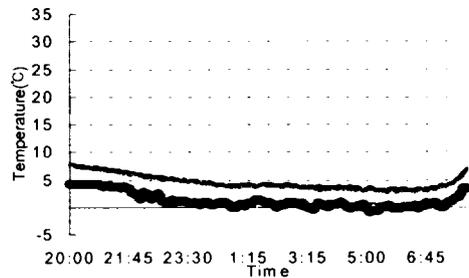
(a) House A



(b) House B



(c) House C



(d) House D

Fig. 5. Variations of indoor temperature at each house.

도가 80% 이상일 경우 다습에 의해병해충의 발생위험이 있으므로 무가온 하우스에서도 습도조절을 위해 일시적으로 가온을 하는 것과 같은 방안이 강구되어야 함을 알 수 있다. B동의 경우는 데이터의 불량으로 제외되었다. Fig. 5는 설정온도에 따른 각 하우스의 지상 0.8m 와 2.0m 높이에서 증양부와 측부의 기온변화를 나타낸다. Fig. 5를 보면 보일러 설정온도가 20°C인 A동의 증양부 2.0m 높이 실내평균기온은 19.6°C, 설정온도가 15°C인 B동의 평균기온은 17.6°C, 설정온도가 10°C인 C동에서는 평균 17°C로 각 동에서 17°C ~20°C 내외의 비슷한 온도분포를 나타내고 수직온도편차를 살펴보면 증양부에서는 17°C ~20°C로 3°C미만이지만, 측부로 갈수록 상하온도차가 심해져서 14~19°C로 5°C이상 차이가 나는 이유는 피복재인 PC(Polycarbonate)외피로 인해 단열성능이 취약한 주변부로 손실되는 열류가 많았으므로 증양부보다는 외주부의 온도강하가 보다 심해지기 때문인 것으로 보인다. 또한 2.0m 높이에서 0.8m 높이보다 평균 2°C 정도 더 높은 온도분포를 볼 수 있다.

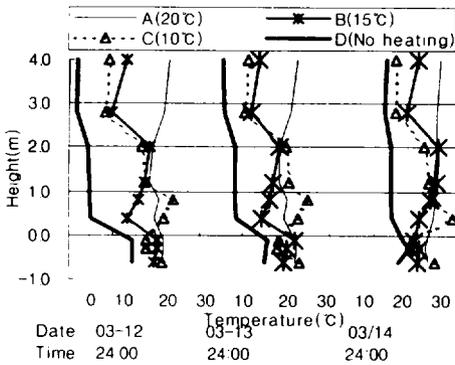


Fig. 6. Variations of vertical temperature at each height.

Fig. 6은 각 동의 증양부에서의 수직온도 분포를 비교하여 보여준다. 실내온도를 20°C로 설정한 A동의 경우, 상·하부 모두에서 19°C ~21°C의 고른 온도분포를 나타내지만, 설정 온도가 낮은 B, C동에서는 상·하부의 온도차가 7°C ~8°C, 무가온인 D동의 경우는 10°C 이상의 온도차이가 나는 것을 볼 수 있다.

3.2. 설정온도의 변화에 따른 에너지소비량

Fig. 7에 보일러의 누적사용유량을 나타냈다. 설정온도가 15°C인 B동과 10°C인 C동을 비교해보면 하우스의 증양부 0.8m 높이 실내 평균기온이 12일의 경우 각각 B동은 15.7°C, C동은 14.5°C로 1.2°C의 온도차가 나고 이때의 사용유량을 살펴보면 C동이 B동에 비해 약 30% 정도 유류를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 평균 외기온이 5°C로 전날보다 4°C정도 더 높은 13일의 경우 B동은 16.2°C, C동은 15°C로 1.2°C의 온도차를 나타내며 사용유량은 C동이 B동보다 약 40% 정도 유류를 절감하는 것으로 나타났고, 평균 외기온이 10°C로 가장 높은 14일의 경우 B동은 20.8°C, C동은 19.6°C로 유지되고 C동이 B동보다 45% 더 적은 유류를 소비하는 것으로 나타났다. 3일 연속 B동과 C동은 1.2°C의 온도차가 나지만 15°C 전후로 유지되는 12일에 비해 20°C 전후로 유지되는 14일에 B동과 비교한 C동의 유류절감률이 30%에서 45%로 15% 더 절감할 수 있는 것으로 보아 실내 기온이 높을수록 설정온도에 따른 유류절감효과는 더 커지는 것으로 나타났다. 또한 증양부 0.8m 높이 평균기온이 26.9°C인 14일 A동은 19.6°C로 유지되는 C동과 비교해 볼 때 7.3°C의 온도차가 나고 C동이 A동에 비해 약 74%의 유류를 더 절감할 수 있는 것으로 나타났으며 상대적으로 온도차가 작은 13일의 경우 (A동 17.6°C, C동 15°C로 2.6°C의 차를 나타내며 소비유량은 C동이 A동에 비해 약 61%를 절감)보다 더 큰 값을 나타냈다.

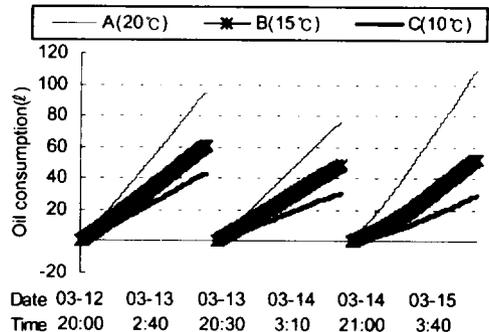
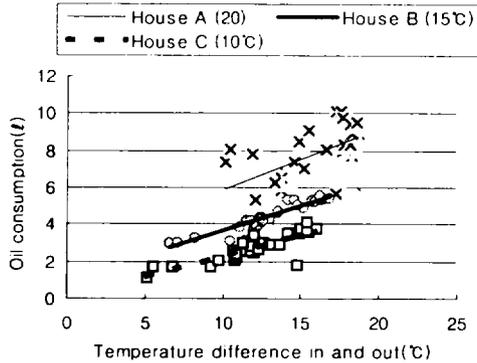
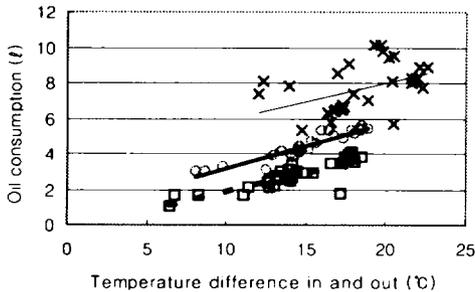


Fig. 7. Oil consumption at accumulation(l/m).



(a) 0.8m Height



(b) 2.0m Height

Fig. 8. The relation between temperature difference and oil consumption.

Fig. 8은 하우스 내부 지상 0.8m와 2.0m 높이를 기준으로 하여 12일~14일까지 3일 간의 유류소비량과 온도차와의 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 누적사용유량을 한 시간 단위로 나누어 각 시간동안의 누적 소비유량을 Y축에 나타냈고, 한 시간동안의 평균온도를 산출하여 그 평균치에서 외기온도의 평균치를 감하여 실제 외기온과의 온도차이를 X축으로 하여 1°C 상승하는데 각 동에서 소비되는 유량을 비교하여 나타낸 것이다. 두 그래프를 비교해보면 높이에 상관없이 (a), (b) 둘 다 비슷한 추세(기울기)로 나타남을 알 수 있고 A동, B동, C동의 각각을 비교하여 보면 온도차가 10°C에서 15°C로 5°C의 차이가 날 때 A동은 2.2l, B동은 1.5l, C동은 1.1l의 소비유량을 나타내는 것으로 보아 10°C로 설정된 C동이 20°C로 설정된 A동에 비해 2배, 15°C로 설정된 B동에 비해 약 1.4배의 유류를 더 절감할 수 있음을 알 수 있다.

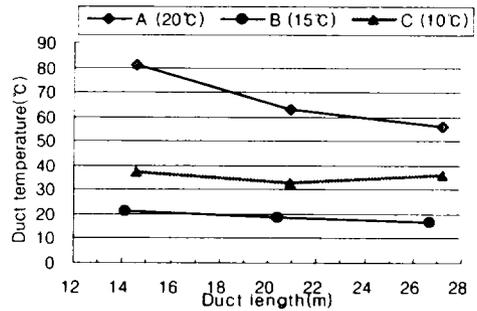


Fig. 9. Variations of temperature in duct.

Fig. 9는 도달길이에 따른 덕트 내의 온도변화를 나타낸 것이다. A동, C동의 경우 전체 길이 27.2m의 덕트 중에서 각각 14.6m, 20.9m, 27.2m 부분에, B동의 경우는 전체 26.7m의 덕트 길이 중 14.1m, 20.4m, 26.7m 부분에 온도 측정점을 설치하여 길이에 따른 덕트 내부의 온도 강하 정도를 측정했다. 여기서 설정온도가 20°C인 A동의 경우는 상대적으로 설정온도가 15°C, 10°C인 B, C동의 경우보다 기울기가 급격하게 변하는 것을 알 수 있고 80°C이상의 고온을 보이므로 덕트주변의 고온피해가 우려된다. 또한, 전 동에서 덕트의 길이가 20m이상 길어질 경우, 20m를 전후하여 그 이후로는 온도의 강하폭이 거의 미미하게 나타남을 알 수 있다.

IV. 체적변화에 따른 하우스내 열 환경과 에너지소비 특성

하우스의 실내공기용적 변화가 하우스내 온열환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 A동, C동, D동에는 지상 2.8m, 2.45m, 1.9m높이에 투명비닐을 수평으로 추가 설치하여 투명비닐막 하부의 온열환경을 상세히 검토할 수 있도록 하였다. 하우스 B동은 단일의 피 상태(하우스내부에 추가적인 비닐막 미설치)로 설정하여 이중외피 적용유무에 따른 실내열환경분포 및 에너지 소비 특성을 상호 비교할 수 있게 하였다. 각각의 높이에 따른 비닐막을 들으로써 체적의 변화(A동 1394m³, B동 2022m³, C동 1232m³, D동 956m³)이며 이는 B동의 체적을 100%로 산정시 각각 70%, 100%,

60%, 50%의 순이 된다)는 물론 재배작물의 높이에 따른 열환경 분포 특성도 파악할 수 있다. 대표일은 실험기간 중 2001년 3월 27일~3월 31일까지의 연속 4일을 선정하여 야간 시간(20:00~익일 08:00) 동안 온풍난방가동시 유류소비량을 분석하였다.

4.1. 체적감소에 따른 하우스내 열환경

Fig. 10은 측정기간동안 기온이 가장 낮았던 30일의 외기변화 및 각 하우스의 실내 기온변화를 비교하여 보여준다. 4일 동안의 외기온은 4°C~11°C로 나타났다. 지상 0.8m 높이의 중앙부 평균기온을 살펴보면 A동, B동에 비해 C동, D동이 2°C~4°C 높은 18°C~20°C를 나타낸다. 또한 하우스 A동, C동, D동의 경우 이중 비닐막 설치에 따른 난방 공기용적 축소와 단열보강효과로 난방기 1회 작동에 따른 온도 변화폭이 B동에 비해 상대적으로 큰 것으로 조사되었다.

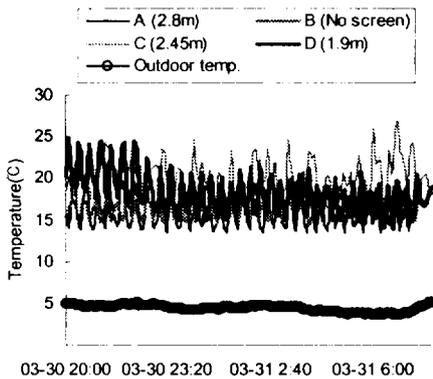


Fig. 10. Indoor air temperature by different screen height.

Fig. 11은 중앙부 수직온도분포를 각 동별로 비교하여 보여준다. 외기평균이 11°C로 제일 높은 27일의 경우 막 내부의 상하온도차는 A동 2°C, C동 8°C, D동은 4°C 정도를 나타내며 막을 설치하지 않은 B동의 경우 전체 높이에서 1°C 이내의 고른 온도분포를 나타낸다. 평균 외기온이 4.4°C로 가장 낮은 30일의 경우 A동 5°C, C동 5°C, D동 4°C 정도로 각 동에서 비슷한 온도차가 나고 Fig. 6의 막을 설치하지 않은 경우와 비교해보면 막을 설치한 후에 막내부의 상하

부 온도차는 2~5°C 줄어든 것을 알 수 있다.

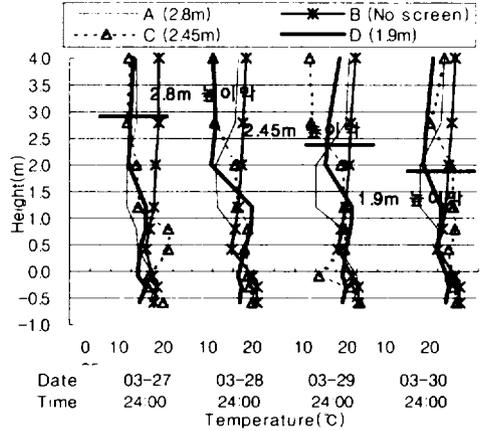


Fig. 11. Variations of vertical temperature at each height.

4.2. 하우스의 에너지 소비감소량

Fig. 12는 1.2m 높이에서의 온도차와 소비유량과의 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프를 보면 단일 외피로 체적이 2,022m³ 인 B동에 비해 2.45m에 이중외피를 설치하여 체적을 약 40% 작게한 C동은 B동에 비해 약 2배의 유류가 절감되는 것으로 나타났고 1.9m 높이에 막을 설치하여 체적이 약 50% 작아진 D동은 C동과 거의 유사한 추세를 나타낸다. 그러므로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 하우스내부에 이중

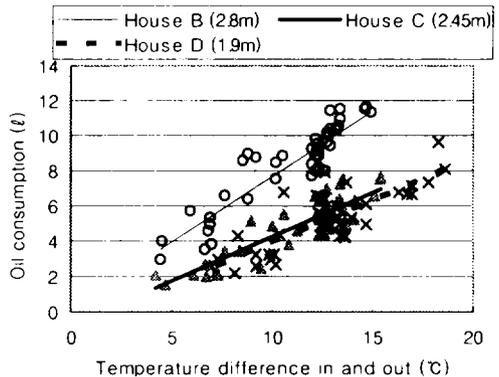


Fig. 12. The relation between temperature differ. and oil cons. at 1.2m.

외피를 설치하여 체적을 40% 이상 작게 하면 단일외피와 비교하여 소비유량을 반으로 절감할 수 있고, 체적이 40% 작아진 경우와 50% 작아진 경우에 체적이 10%가 더 줄어들었음에도 불구하고 소비유량은 거의 변함이 없는 것으로 보아 이중외피를 설치하여 체적을 40% 이상 줄이게 될 경우 40%까지는 소비유량의 절감률이 매우 크지만 40% 이상 체적이 줄어들 경우 체적의 변화에 비해 소비유량의 절감률은 매우 미비한 것으로 나타났다. B동과 비교하여 체적이 약 30% 줄어든 A동은 실험상의 오차로 제외시켰다.

V. 결론

본 연구에서는 온풍 난방을 가동하는 시설원예용 하우스의 동절기 난방효율성을 위해 온풍난방이 가동되는 야간시간동안 하우스내의 온도분포 특성 및 소비유량을 실측실험을 통해 분석함으로써 시설원예용 하우스의 실내 열환경에 관한 기초 데이터를 제시하고 유류절감방안으로 실내 보일러 설정온도 조절과 하우스내 이중 비닐막을 설치하여 체적감소에 따른 에너지 절감방안을 제시하고자 하였으며 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 보일러 설정온도와 실제 하우스내 평균 기온과는 3~10°C 이상 많은 차이를 보였으며 그 이유로는 외피재료의 단열성능부족으로 인해 열손실이 크고 하우스내에 온풍이 골고루 공급되지 못한 점 등을 들 수 있으므로 우수한 단열 성능을 갖춘 피복재를 선택 및 개발하고 덕트 배치에 관해서도 지속적인 연구가 필요하다.

2) 하우스내의 수직, 수평 온도분포를 살펴보면 수평온도는 1°C 이내로 안정된 분포를 보이는 반면 수직 온도는 2~5°C 내외로 다소 불균일함을 알 수 있었다. 또한, 이중외피를 설치할 경우 단일외피와 비교하여 더 안정적인 수직온도분포를 나타낸다.

3) 무가온 하우스의 경우 실내 상대습도가 80% 이상으로 실외습도보다 더 크게 나타나는 것으로 보아 병충해 방지를 위해 무가온 하우스에서도 따로 습도

조절을 위한 대책이 강구되어야 한다.

4) 동일 체적의 시설원예용 하우스내 설정 온도차이에 따른 유류 소비 특성을 살펴보면 10°C로 설정된 C동의 경우 15°C로 설정된 B동에 비해 약 1.4배, 20°C로 설정된 A동에 비해 약 2배의 유류를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 시설원예용 하우스의 재배작물의 특성에 따라 최소 온도로 유지할 경우 에너지 절감효과는 매우 클 것이다.

5) 온풍 덕트의 온도분포는 보일러 설정 온도가 높을수록 덕트의 길이에 따른 온도차이가 더 심하게 나고 덕트의 길이가 20m 까지 급격한 온도변화를 보이다가 그 이후에는 거의 일정한 경향을 보이므로 온풍 취출구의 크기를 조절하여 보일러와 가까운 부분은 취출 풍량을 적게 거리가 먼 곳은 크게 하거나 온풍을 하우스내부에 고르게 분산시킬 수 있는 분배기를 설치하면 보일러와의 거리에 따른 온도편차가 줄어들 것이다.

6) 단일외피와 비교하여 이중외피를 설치하여 체적을 약 40% 감소시킬 경우 소비유량은 반으로 절감할 수 있는 것으로 나타났고, 체적이 40% 이상 작아질 경우 40%까지는 체적의 변화에 따른 소비유량의 절감률이 매우 크지만 40% 이상 체적이 작아질 경우에는 체적의 감소에 비해 소비유량은 거의 변함이 없는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1) 김문기 외 5인, 2000. 농업시설공학, 향문사
- 2) 최동호, 허종철, 임종환, 서효덕, 1999. 전기히터식 난방, 온풍난방시스템을 채용한 단동 플라스틱 하우스의 열부하 해석 및 난방성능평가, 생물환경조절학회지 제8권 제2호
- 3) 문두길 외 13인, 1993. 시설원예학, 향문사
- 4) 농촌진흥청, 2001. 농가보급형 자동화 하우스 표준 설계도서
- 5) 문영일 외 5명, 제주농업시험장 및 감귤 시험장, 하우스내 온도조절이 온주밀감의 과실품질 및 성숙에 미치는 영향, 제주농업시험장