

Thermo-tracer를 이용한 온실의 열환경 분석

Thermal environment analysis of greenhouse using Thermo-tracer

이석건, 이종원*, 이현우, 김란숙(경북대)

Lee, Suk Gun · Lee, Jong Won · Lee, Hyun Woo · Jin, Lan Shu

Abstract

Thermal environment of greenhouse was investigated by thermo-tracer in this study. The Thermo-tracer is a high-sensitivity infrared thermometer of non-contact type. The infrared energy emitted from the measured object is converted into an electrical signal by the detector(HgCdTe) and display as a color or black & white thermal image by way of optical scanning. The experiment was conducted for Venlo-type greenhouse with pad & fan system. The temperature difference between measured by Thermo-trace and measured by HOBO sensor is maximum 0.8°C. Thermo-trace is possible to use for the thermal environment analysis and diagnosis of a cooling and heating system of greenhouse.

I. 서론

농업시설의 내부 환경조절은 매우 복잡하고 다양한 요인들에 의하여 지배되며 환경조건에 따라서 동·식물의 생육은 크게 영향을 받는다. 특히, 농업시설의 미기상 인자중에서 온도는 작물의 광합성이나 호흡작용 등 생리현상에 영향을 미칠 뿐만 아니라 작업환경에도 큰 영향을 미치는 인자이다. 따라서 농업시설에 있어 생산의 안정성과 고품질을 도모하기 위해서는 환경요인을 정확히 파악할 필요가 있다. 농업시설에서 온도의 측정은 가장 중요한 환경요인의 하나이며 일반적으로 열전대, 전기저항, 열팽창, 그리고 복사 등을 이용한 측정법이 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 측정법은 실시간 현장분석이 어려우므로 현장에서 계측한 후 실험실에서 분석이 이루어지는 것이 일반적이다. 실시간 분석이 필요한 냉·난방시스템 등의 효율검증 및 고장진단 등에는 기존의 계측시스템으로는 다소 어려움이 있는 실정이다. 특히 겨울철에 난방시스템의 효율을 저하시키는 시설물의 미세한 틈새 등을 신속하고 정확하게 파악하는데 있어서 문제점이 있다. 또한 생물생산환경에 관계된 계측은 대상물을 손상시키지 않도록 계측하여야 하는 제약이 따르므로 농업시설물내 미기상을 공존하고 있는 생체를 손상시키지 않는 동시에 그들의 영향을 받지 않도록 계측하는데 어려움이 있다. Thermo-tracer는 적외선을 이용한 온도분석기기이며, 절대영도(-273°C)이상의 물체는 모두 적외선의 영역에서 에너지를 방사하고 있기 때문에 이를 검출하여 온도를 측정하는 장치이다. 선진국에서는 뛰어난 열감지력과 분해능 및 주사선을 선택등의 기능으로 인하여 PLANT, 건축, 토목, 전기, 전자등의 분야에서

Thermo-tracer를 널리 활용하고 있으며 특히 공정감시 및 건물과 하부조직 검사분야에서 광범위하게 적용되고 있는 실정이고 실험실 및 현장에서 물질의 비파괴검사에 주로 활용되고 있다. 하지만 이를 이용한 농업시설물의 열환경 분석 및 관리에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구는 대표적인 농업시설물인 온실의 열환경을 실시간으로 파악할 수 있는 연구가 요청되어 Thermo-tracer를 이용하여 온실의 열환경을 분석하고 열관리에 필요한 자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

II. 실험장치 및 방법

가. 실험장치

1. 측정시스템

본 연구에 사용된 측정시스템은 그림 1 및 표 1에서 보는 바와 같으며 특징은 다음과 같다.

- 1) 열화상화질이 우수하다.
- 2) 소형·경량이고 고속 측정 및 고화질(1/22초의 고속 frame time)이므로 휴대가 용이하고 이동계측이 가능하다.
- 3) 측정시야각이 넓고 착탈식의 5" TFT LCD를 탑재하였으므로 협소한 장소에서도 계측이 가능하다.
- 4) 완전자동기능을 가지고 있기 때문에 측정과 분석이 용이하다.
- 5) 메모리 카드를 이용하여 측정데이터의 저장이 용이하다.
- 6) 분석용 프로그램을 통하여 분석이 용이하며 다른 프로그램과 호환성이 우수하다.

표 1. Thermo-tracer의 제원

구 분	내 용	구 분	내 용
온도 측정 범위	범위 1 : -10~200℃ 범위 2 : 100~800℃	A / D 분해능	12 bits
온도 분해능	범위 1 : 0.1℃(30℃에서) 범위 2 : 0.3℃(100℃에서)	주변 온도 보정	가능
측정 오차	전 범위에서 ±1.0%	방사율 보정	1.00 ~ 0.10 (0.01간격)
스펙트럼 파장 범위	3 ~ 5.3 μm(반치폭)	사용 주변 온도	0 ~ 40℃, RH 90%이하
검출기	HgCdTe(수은-카드뮴-텔루륨 화합물 검출기)	저장 온도	-20 ~ 50℃, RH 90%이하
주사각	21.5° (수평) × 21.5° (수직)	전원	100V, 220V, 240V, AC 아답타, 충전용 배터리 DC 12V
관찰 범위	2.2 mrad	전력 소모	약 20W
초점 거리	30cm에서 무한대	제원	198(W)×93(H)×210(D)mm
측정 모드 (영상처리시간)	일반모드(0.65초), 고속모드 1(1/22초), Interpolation 고속모드 2(1/22초), Interlace	무게	약 2.5kg(배터리 제외)
화상 원소수	255(수평)×233(수직) pixels		

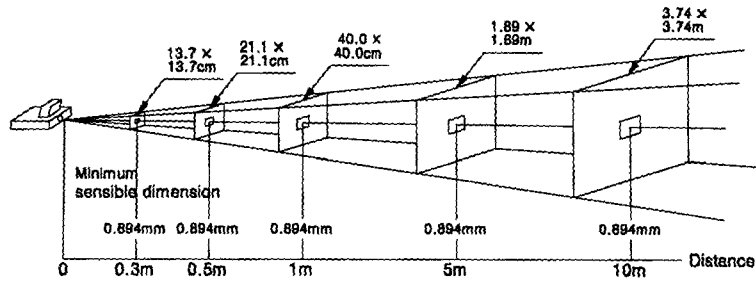


그림 1. 계측거리에 따른 관찰범위

2. 실험온실

Thermo-tracer를 이용하여 열환경 분석을 수행한 온실은 그림 2와 같이, 폭 3.2m, 길이 172m, 측고 4m, 동고 4.6m인 18연동 벤로형 온실이며, Pan & Fan시스템을 구비하고 있다.

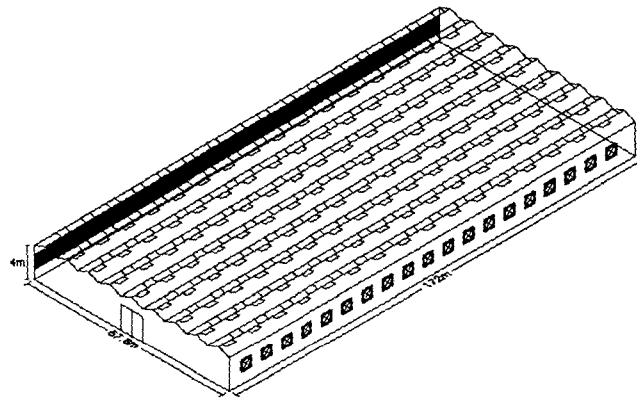


그림 2. 실험온실

나. 실험 및 분석방법

각 동마다 피사체를 설치하여 Thermo-tracer로 촬영하여 온실의 열환경을 측정하였다. 또한 Thermo-tracer의 사용적합성을 검증하기 위하여 Thermo-tracer로 촬영·분석된 결과와 HOBO 온도센서로 계측된 결과의 비교하였다. Pad & Fan 냉방시스템의 냉방효과와 온도분포를 분석하였으며 냉방시스템의 진단 및 온실 피복면의 밀폐정도를 파악하기 위하여 Pad 측벽과 온실 피복면의 온도분포를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

가. Thermo-tracer의 검증

Thermo-tracer로 9연동 벤로형 온실내부를 촬영한 결과와 HOBO 온도센서로 계측한 결과를 비교한 결과는 그림 3과 같다. Thermo-tracer로 분석한 결과는 1동의 단면을 촬영하여 나온 결과치를 평균한 값이므로 단면의 1측점에서 계측된 HOBO 온도센서의 결과와는 다소 차이

(최고 0.8℃)가 있었으나 Thermo-tracer로 온실내부의 열환경 분석이 가능할 것으로 판단되었다. 앞으로 이러한 차이는 측정의 보완과 Thermo-tracer 사용시 방사율의 정확한 조정과 다양한 촬영 피사체의 선택으로 보완가능할 것으로 판단된다.

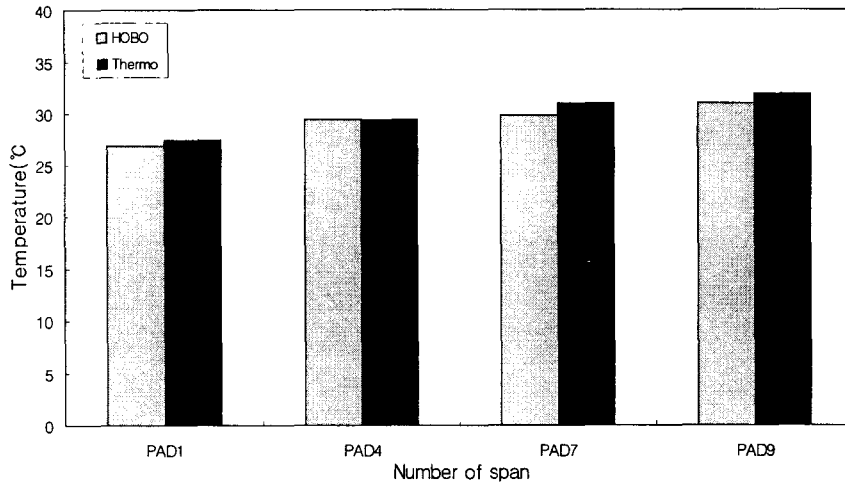


그림 3. 사용기기별 온실 내부온도의 비교(8월 22일, 14:00~14:30)

나. Pad & Fan 시스템 온실내부의 열환경 분포

Thermo-tracer를 이용하여 Pad & Fan 시스템 온실내부의 온도분포를 측정 한 결과(8월 22일, 14:00~14:30)는 그림 4 ~ 그림 6과 같다.

그림 4는 PAD가 설치되어 있는 측벽에서 첫번째 동을 지면에서 높이가 180cm되는 단면을 촬영한 결과로서, 단면의 온도분포와 십자선 위치에서 수평방향과 수직방향의 온도분포를 나타낸 것이다. 수평방향의 온도분포는 PAD측 a점의 기온이 26.3℃, PAD에서 약 6m정도 떨어진 b점의 기온이 27.5℃로 나타나 2점간의 기온차는 약 1.2℃정도인 것으로 분석되었다.

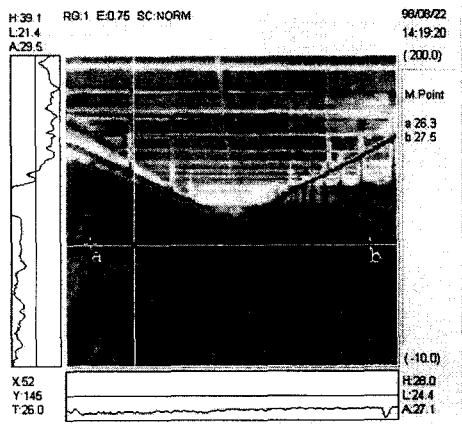


그림 4 PAD 측벽에서 첫 번째 동의 온도분포

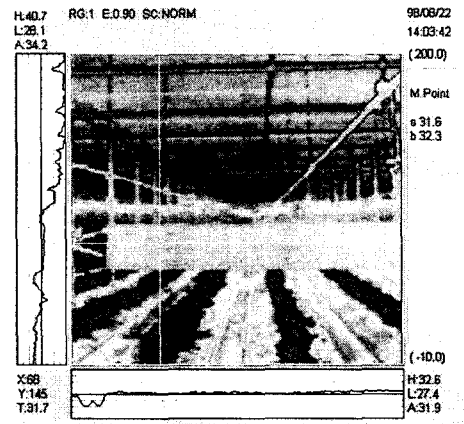


그림 5 PAD 측벽에서 이십번째 동의 온도분포

그림 4는 FAN이 설치된 측벽에서 가장 가까운 PAD 측벽에서 아홉번째 동의 단면을 촬영한 결과이다. a점의 기온이 31.6℃, b점의 기온이 32.3℃로 두점간의 기온차는 약 0.7℃정도로 나타났다. 또한 수직방향의 온도분포에서 알 수 있듯이 PAD 위쪽에서 차광막이 설치된 천장 부위의 기온은 40℃이상으로 고온영역으로 나타났다.

그림 6은 PAD 측벽으로부터 첫번째(PAD1), 네번째(PAD4), 여섯번째(PAD6), 아홉번째(PAD9) 동의 단면을 촬영한 결과를 도시한 것으로, 각 동의 수평방향 거리에 따른 온도변화를 알 수 있다. PAD1의 평균온도는 약 27.1℃, PAD9의 평균온도는 약 32.4℃로서 PAD측과 FAN측의 기온차가 평균 5.3℃ 정도임을 알 수 있다. 그리고, PAD1의 경우 30cm와 630cm 두 측정점의 기온차가 1.2℃, PAD9의 경우 30cm와 630cm 두 측정점의 기온차가 0.7℃로서 수평방향의 거리가 증가함에 따른 온도변화의 기울기가 감소함을 알 수 있었다.

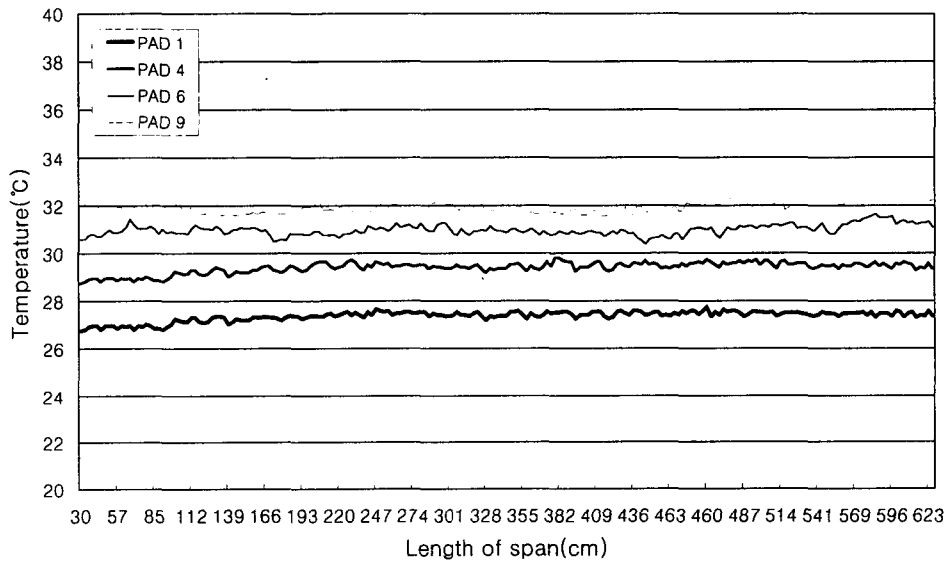


그림 6. 각 동별 수평방향의 온도변화

다. 냉방시스템의 진단

그림 7은 PAD 단면을 촬영한 열화상으로 패드면의 온도분포를 나타내고 있다. 그림 8은 그림 7의 열화상 단면을 온도에 따른 분포 면적비를 도시한 것으로 PAD측의 온도가 불균일함을 알 수 있다. 이러한 패드면의 온도분포를 통하여 패드면의 상태를 파악할 수가 있다. 물탱크에서 패드로 공급되는 지하수가 고르게 패드면을 적셔야 함에도 불구하고 분석 그래프를 보면 주위 온도보다 다소 높은 온도분포를 나타내는 패드면을 발견할 수가 있다. 이는 지하수가 패드면에 원활히 공급되지 않고 공급되는 지하수의 양이 일정하게 분포하지 않으므로 인해서 패드면의 불균일한 온도분포가 발생함을 알 수 있다. 이러한 결과를 토대로 패드로 지하수를 공급시키는 파이프의 압력과 구경의 조정이 필요할 것으로 판단된다.

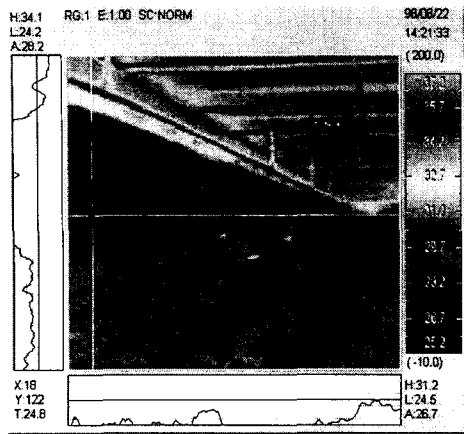


그림 7. PAD 단면의 열화상

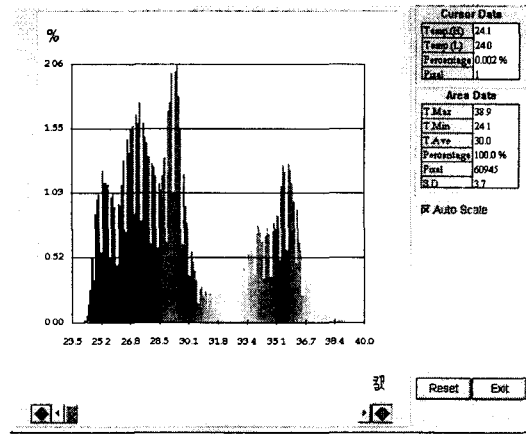


그림 8. 그림 7 단면의 온도별 분포 면적비

라. 온실 피복면의 밀폐성 진단

피복면의 밀폐성은 겨울철 난방시스템의 효율을 저하시키는 주원인이 된다. 특히, 출입문, 측창, 천장 등의 틈새를 통한 열손실은 겨울철 난방비에 많은 영향을 주게 된다. 따라서 이러한 피복면의 틈새를 현장에서 실시간으로 진단·분석할 필요가 있다. 실시간 분석을 위해 온실 출입문을 밀폐한 후 Thermo-tracer로 온실 정면을 촬영한 열화상은 그림 9와 같다. 그림 9에서 보는 바와 같이 출입문 가운데 부분에서 불균일한 온도분포를 발견할 수 있다. 이러한 사실을 좀 더 정확히 확인하기 위하여 그림 8의 열화상에서 불균일한 온도분포를 나타내는 부분을 확대한 화상이 그림 10이다. 확대된 화상을 통해 출입문을 통한 열손실을 확인할 수가 있다.

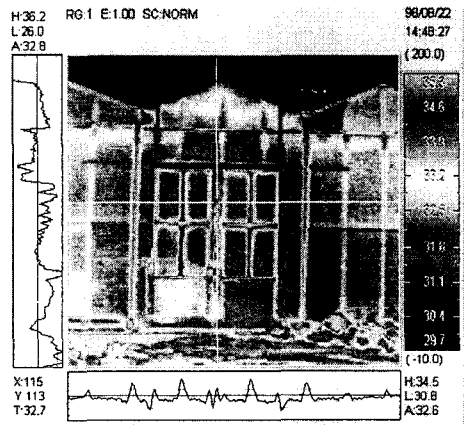


그림 9. 온실 정면의 열화상

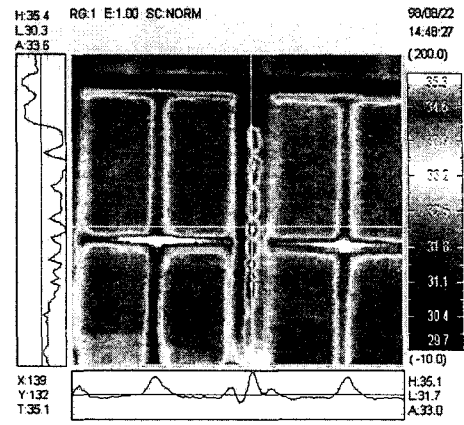


그림 10. 온실 정면 열화상을 확대한 화상

IV. 결 론

Thermo-tracer를 이용하여 온실의 열환경을 실시간 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Thermo-tracer로 18연동 벤로형 온실내부를 촬영한 열화상 온도와 HOBO 온도센서로 측정한 온도값의 차이가 최고 0.8℃로 나타나 Thermo-tracer를 이용한 온실내부의 열환경 분석이 가능한 것으로 판단되었다.
2. Thermo-tracer로 Pad & Fan시스템의 냉방효과를 분석한 결과, PAD1의 평균온도는 약 27.1℃, PAD9의 평균온도는 약 32.4℃로서 PAD측과 FAN측의 기온차가 평균 5.3℃ 정도임을 알 수 있다. 그리고, PAD1의 경우 30cm와 630cm 2측점의 기온차가 1.2℃, PAD9의 경우 30cm와 630cm 2측점의 기온차가 0.7℃로, 수평방향의 거리가 증가함에 따른 온도변화의 폭이 연동수가 증가함에 따라 적어짐을 알 수 있었다.
3. PAD 측벽의 열화상을 통해 PAD 단면의 온도분포가 불균일함을 알 수 있었고 이를 통하여 온실 냉난방시스템의 진단이 가능할 것으로 판단된다.
4. Thermo-tracer의 열화상을 통하여 온실의 밀폐성을 실시간으로 진단할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. NEC, Thermal Image Processing Program, TH51-707 OPERATION MANUAL
2. NEC, TH5104 Operation Manual
3. NEC, Remote Program TH51-708 Operation Manual
4. 한국원예기술정보센터, 1993, 농학·생물학 분야의 전기전자계측, pp. 104-129.