

그린하우스의 플라스틱 피복재를 통한 상대적 열손실 속도를 측정하는 간단한 장치

정 진* · 박 병 빈**

A simple device to measure the relative rate of heat loss through plastic coverings from greenhouse

Jin Jung,* Byung Bin Park**

Abstract

In this report, we set up a simple device which enabled us to obtain data useful to estimate the relative capacity of thermal energy retention of greenhouse built with various plastic coverings. A box(20cm×20cm×30cm) framed with flexiglass at the edges and covered with thin plastic films was made, in which were placed a thermostat-controlled nichrom wire heater and a thermal probe made of thermister to monitor temperature changes. A wheaston-bridge type transducer and a chart recorder were used to record the changes of temperature inside the box. The data obtained by using the device showed that the relative rate of heat loss through plastic films with identical thickness decreased in the order of PE film>EVA film>PVC film and that IR additives such as fine silica gel improved the insulating power of plastic films. This observations are in well accord with general information, demonstrating the feasibility of the device in usefulness for the purpose of screening of various commercial plastic coverings.

서 론

얇은 플라스틱 필름을 사용하는 그린하우스(통칭 비닐 하우스)에서 작물의 재배는 주로 생육에 부적절한 한절기에 이루어지기 때문에 외부온도 보다 상대적으로 높은 실온을 유지하여야 한다. 따라서 농업생산의 경제성을 감안할 때 그린하우스의 보온력(保溫力)을 높인다는 것은 재배자의 입장에서 매우 중요한 일이다.

일반적으로 그린하우스의 보온력은 '주야간의 실온을 작물재배에 적절한 온도로 유지함에 있어서 그 유지에 필요한 인위적 에너지 투입을 최소화하는 하우스 자체의 능력'이라고 정의할 수 있다. 여기에서 인위적 에너지의 대충은 물론 난방열이다. 그러나 우리나라 농가에서 흔히 행하는 바와 같이 야간에 섭씨를 몇씩우는 데

소요되는 입력도 낮은 의미로는 역시 인위적 에너지의 투입에 속한다.

그린하우스의 보온력은 피복재의 물리적 특성에 의해 크게 영향을 받는다. 그 이유는 하우스로 부터 손실되는 열량이 적을수록 하우스의 보온력이 크다는 것을 뜻하며, 손실되는 열은 환기에 의해 손실되는 열과 지중으로 손실되는 열을 제외하면 피복재를 통한 전도에 의해 손실되는 열과 열복사에 의해 손실되는 열로 구성되어 있기 때문이다⁽¹⁾⁽²⁾.

일반적으로 필름 피복재를 설치한 그린 하우스에서 야간의 열손실중 대략 3/4는 열복사에 의한 것이라고 보고되었다(6)(7). 그러나 열손실이 주로 열복사에 기인하건 열전도에 기인하건 간에 사용자 입장에서 현실적으로 중요한 것은 설치된 하우스의 보온력이 상대적

* 서울대학교 농화학과 (Dep't of Agricultural Chemistry Seoul National University)

** 공주사범대학 화학교육과 (Dep't of Chemical Education Kongju National Teacher's College)

으로 얼마나 큰가 하는 점이다. 하우스의 보온력에 대한 정의에 의하면, 하우스 내부와 외부간에 어떤 크기의 온도구배가 형성되어 있을 때 내부온도를 일정하게 유지하기 위하여 투입해야하는 에너지가 적을수록 사용한 플라스틱 필름은 상대적으로 우수한 보온특성을 가지고 있다고 할 수 있다. (하우스의 보온력을 지배하는 필름의 열복사 특성과 열전달 특성을 총괄적으로 필름의 보온특성이라 부르기로 한다.)

따라서 피복재의 보온 특성을 조절·개량하는 일은 하우스의 보온력을 증대시키려는 노력의 핵심적 과제가 되어왔다. 물론 이에 는 피복재에 요구되는 기본적 물성, 예컨대 플라스틱 필름인 경우에 투명성, 내후성, 인장강도 등이 유지되어야 한다는 제한조건과 경제성에 대한 고려가 뒤따른다.

합성수지를 이용하여 제조된 필름 피복재는 많은 종류가 있으며 현재에도 신제품의 개발이 계속되고 있다. 그러나 폴리올레핀계 수지, 이를테면 PE, PVC 및 EVA를 주원료로 한 피복재가 아직까지는 주류를 이루고 있고, 특히 우리나라에서는 PE계통의 피복재가 보편적으로 사용되고 있다. (근래에는 보온력의 우수성때문에 EVA 및 PVC계통의 필름도 상당량 사용되고 있다.) 피복재 생산자들은 필름의 투명성, 내후성, 무적성, 또는 보온성 등을 강화시켰다는 주장과 함께 다양한 필름을 시장을 내놓고 있다. 그러나 사용자 입장에서는 설치된 하우스의 보온력을 미리 예견할 수 있는 적절한 방법이 없어서 필름 피복재의 구매시에 곤혹스러운 때가 많다. 이러한 상황은 현실적으로 필름생산자 입장에서도 크게 다를 바 없다.

따라서, 본 연구에서 목적하는 바는 여러가지 필름 피복재를 사용하여 동일한 조건하에서 설치한 그린하우스들의 상대적 보온력을 판정하는 데이터를 수집할 수 있는 간편하고 재현성 있는 방법을 고안하는 것이다.

재료 및 방법

장치의 고안 :

모서리 부분을 아크릴(두께 5mm)로 만든 직육면체 형의 골격을 만들어 시험용 필름으로 트인 면들을 덮고 접착테이프를 밀봉하여 측정용 chamber(20cm×20cm×35cm)를 준비하였다. 그 내부에는 가열용 니크롬선(500W/100V)이 감긴 봉(직경 2cm)과 thermostat의 sensor 및 temperature probe가 삽입되어 있으며, 이들을 전원, transducer, 및 recorder에 연결시켰다. 시중에서 구입한 유압식 thermostat는 온도 30~35℃ 범위 내에서는 한 온도에 고정시킬 때 온도차이 2.5℃의 감

도로 전원을 개폐시켰다. 따라서 thermostat로서는 감도는 분명히 낮은 편이었으나 감도자체가 변하지 않는 한 본 장치의 고안에는 바람직한 특성이었다. (예비실험을 통해서 사용한 thermostat의 감도는 변하지 않는 것을 확인하였다.) temperature probe는 thermister를 구입하여 만들었고, probe가 감지한 온도를 recorder상에 기록하기 위한 transducer는 알려진 회로⁽³⁾에 맞추어 자가 제작하였다. 측정용 chamber는 양면에 지렛대를 부착시켜 실험대로부터 약 30cm정도 떨어진 공중에 위치하도록 하였으며 벽면으로부터도 최소한 30cm 이상의 간격을 유지하였고, 아울러 벽면과 실험대는 흑색으로 도색하였다. 이러한 것은 주위로 부터의 복사선 반사를 최소화 시키려는 의도때문이다. 니크롬선이 가열될 때 순간적으로 수직 이동되는 뜨거운 공기가 chamber 상면 중간부분의 필름표면을 부분적으로 확장시키는 결과를 보였으므로 이를 피하기 위해 넓이 3cm정도의 아크릴판을 상면의 중간지점에 니크롬선 봉과 나란히 위치하도록 미리 부착시켰다.

보온력 측정방법 :

시험용 필름으로 만든 chamber의 보온력 측정은 실험 수행중 온도변화가 거의 없는 ($\pm 1.0^\circ\text{C}$ 이내) 항온실에서 실시하였다. 먼저 thermostat로 니크롬선의 전원 개폐온도를 외부온도(항온실의 온도)보다 약 10℃가 높도록 대략 맞춘다음, 더욱 정확한 온도는 미리 보정되어 있는 transducer-recorder상의 눈금을 참조하면서 조정하였다. 전원개폐온도의 조정이 끝나면 recorder의 chart speed를 정하고 측정장치의 각 부분을 동시에 전원에 연결시켜 chamber내부의 온도 변화를 자동기록하였다.

플라스틱 필름에 함유된 Si 및 금속산화물의 분석 :

필름 10g을 작게 잘라서 사기도가니에 넣고 800℃에서 1시간 동안 강열하여 재를 만들었다. 잿속에 함유된 Si 및 금속의 분석은 관행의 비색광도계법⁽⁴⁾ 및 원자흡광 광도계법⁽⁵⁾을 이용하여 수행하였다.

시험용 필름 :

두께 0.06mm 플라스틱 필름 3종(PE, EVA, 및 PVC 필름 각1종씩)과 두께 0.05mm 필름9종(PE 일반 및 무적필름 3종, PE 보온필름 4종, 및 EVA 필름 2종)을 시중에서 구입하였다. 보온계 첨가의 효과를 확인하기 위한 시험용은 한불화학(주)에서 구입한 실리카젤(평균 입자 3~4 μm)을 첨가하여 진원산업(주)에서 제조하였다. (필름중 실리카젤의 함량은 1.5 및 3.1%이었다.)

결과 및 고찰

필름의 보온특성을 조사하기 위하여 관행의 방법에서와 같이 노지에 하우스를 설치하고 일중 하우스내 온도변화를 측정하거나 혹은 야간에 일정한 온도를 유지

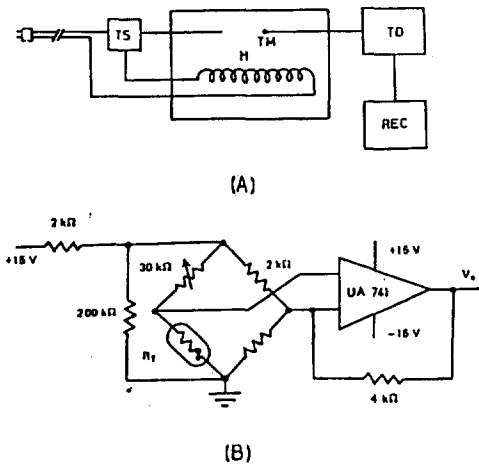


Fig. 1. (A) : Block diagram of a device constructed to measure relative rate of heat loss through film coverings from a plastic box-(B): Circuit of transducer used in block diagram. Nichrom wire heater (H), thermistor (TM) and sensor tip of thermostat (TS) are placed in the box. Temperature change in monitored by transducer (TD) via thermistor and recorded on recorder (REC). R_T represents the electric resistance of thermistor placed in the box.

하기 위한 유류 또는 전력 소비량을 측정하는 것은 간편한 방법이라고 할 수 없다. 더욱이 측정치의 객관성과 정량성에 문제가 있다. 왜냐하면 하우스의 구조, 설치시기, 설치장소, 기상조건, 난방방식 등 여러가지 피복재 외적인 인자들에 의해 측정치에 상당한 가변성이 있기 때문이다⁹⁾. 근래에는 피복재에 관한 상대적 보온 특성을 비교하기 위하여 열관류율(熱貫流率)을 측정하는 방법이 제안되었다¹⁰⁾. 그러나 이 방법 역시 피복재 자체의 보온특성 보다는 하우스를 설치하였을 때 고려할 수 있는 제반조건을 부여한 인위적 상황을 만들어 하우스의 보온력을 측정하는데 보다 주관적¹¹⁾ 두는 방법으로서 옥의 실험보다는 데이터의 변형성이 향상될 것으로 판단되나 결코 간편한 방법이 아니라는 결점이 있다. 본 연구에서 고안한 장치(Fig. 1)를 이용하여 필름의

보온 특성을 측정하는(데이터 처리) 방법으로는 우선 두가지를 고려할 수 있다. 첫째는, 니크롬 가열선이 가열되어 chamber 내부온도가 일정한 (항온상태의 외부 온도 보다 10°C정도 높은) 온도에 도달한 후 thermostat에 의해 가열선의 회로가 끊어지면 곧 가열선의 전원을 차단하여 다시 재가열되지 않도록 조치한 다음 chamber 내부의 온도 하강을 recorder 상에 기록한다. 기록된 온도하강곡선으로부터 초기온도감소율(dT/dt)를 그래프로 계산한다. 둘째는, 상기한 온도하강곡선을 이용하여 초기온도로 부터 일정한 온도로 떨어질 때까지 걸리는 시간을 재는 것이다. 그러나 이 두가지 데이터 처리방법은 성공적이 아닌 것으로 밝혀졌다. 필름들의 보온특성의 차이 (따라서 chamber의 보온력의 차이)가 충분히 클때는, 예컨대 0.1mm 두께의 PVC 필름과 0.05mm 두께의 PE 필름인 경우는, 확연하게 구별되는 측정치를 보여주었으나, 시중에서 일반적으로 유통되는 0.05~0.06mm 두께의 PE 필름 사이의 미세한 보온특성의 차이를 측정하기는 어려웠다.

따라서 제 3의 방법을 검토하였다. 즉 앞에서와 같이 chamber 내부가 일정한 온도에 도달한 후 thermostat에 의해 가열선의 회로가 끊어지면 전원을 차단하는 대신 그대로 둬으로써 내부온도가 약 2.5°C 떨어지면 회로가 다시 연결되어 재 가열되도록 한다. 내부온도가 다시 상승하므로(그리고 probe가 가열선에 가까운 상단에 위치하므로) 회로는 곧 다시 끊어지며, 이와 같은 회로의 개폐가 단속적으로 반복되게 된다. 시중에서 구입한 각종 플라스틱 필름 피복재(두께 0.05~0.06mm)로 chamber를 만들었을 때, 본 장치에서는 내부온도가 약 30°C 외부온도 약 20°C인 경우 끊어졌던 가열선의 회로가 다시 연결되는데 8~9분의 시간을 요하였다. 보온특성이 우수한 필름이라면 그 시간은 당연히 길어질 것이나, 앞에서도 언급한 바 있듯이 필름별로 보온 특성의 차이가 심하지 않기 때문에 recorder chart상에서 8~9분 정도의 시간대에서 필름별 상대적 차이를 보기는 어려운 일이다. 그러나 10회 정도 반복 가열의 결과를 비교하면 필름별 미세한 차이는 비교 측정이 가능할 만큼 확대된다. 다만 이때 1회 가열에 의해 소모된 전기량은 모든 실험에서 항상 일정하여야 한다는 조건이 만족되어야 하며, 이는 예비실험을 통해 확인된 바 있다.

본 장치를 이용하여 얻은 데이터가 필름의 보온특성에 대한 객관적인 지표로 이용될 수 있는지를 검토하였다. 동일한 두께의 필름이라면, 보온재가 첨가되어 있지 않는 한, PE<EVA<PVC의 순서로 하우스의 보온력이 높아진다는 것은 잘 알려진 사실이다. Fig. 2는 이러한 사실과 부합되는 측정결과를 보여준다. Saw-tooth wave

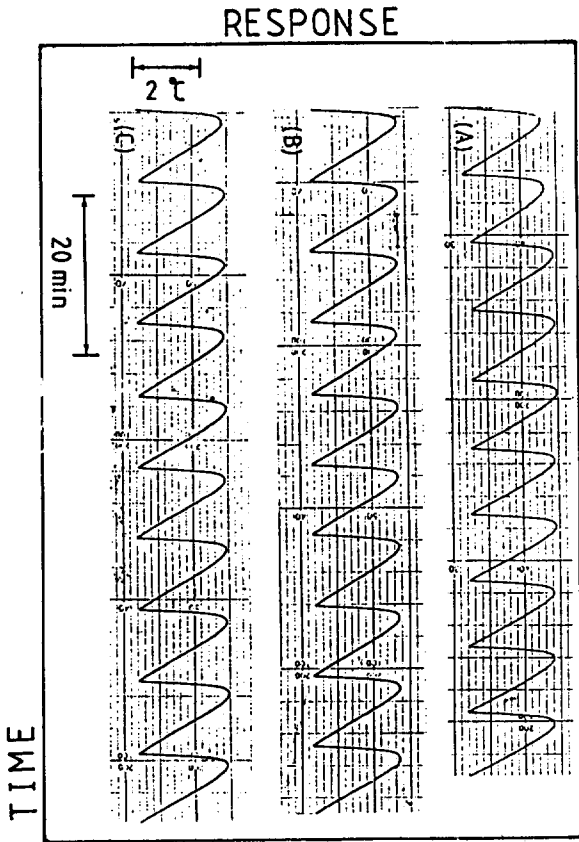


Fig. 2. Saw-tooth wave patterns of temperature change in the boxes of Fig. 1, which were covered with PE film (A), EVA film (B) and PVC film (C) respectively.

형태의 곡선은 10회의 단속적인 가열(곡선의 최소점에서 가열선의 회로가 연결되며 뜨거워진 니크롬선으로부터 상승하는 고온의 기류에 의해 곧 회로는 끊기게 됨)에 따른 chamber 내 온도변화를 나타낸다. 필름의 종류에 따라 파(波) 하나의 길이를 비교하면 그 차이가 극히 미미하여 이를 수치화 하기가 어려우나 10주기 파의 총길이는 측정하기에 충분한 것이었다. 그리고 이 총 길이는 10회의 단속적 가열에 의한 항온지속시간을 의미하는 것이다. 또한 동일한 양의 열공급 조건 하에서 항온 지속시간이 길다는 것은 곧 하우스의 보온력이 크다는 것을 뜻한다. 0.06mm 필름인 경우에 PE 필름을 기준(100%)으로 할때 EVA 필름과 PVC 필름으로 만든 chamber의 항온 지속시간은 각각 105 및 107이었다.

평균 입자 크기가 수 μ m인 실리카 젤은 필름의 보온재로 널리쓰이고 있다. 그러나 순수한 실리카 젤은 필름의 투명성을 저하시키는 결점이 있기 때문에 앞으로

는 마그네슘, 알루미늄 등의 금속산화물이 함유된 실리카 젤이 보편화 될 전망이다. 보온재의 첨가는 필름의 물성에 상당한 영향을 미치므로 첨가양에 제한이 있으며 통상적으로 필름에서의 조성비를 대략 3%내외로 맞추고 있다. 일반적 물성에 미치는 역효과만 해결된다면 보온재의 조성비를 증대시키므로서 필름의 보온특성을 현저히 향상시킬 수 있을 것이다.

실리카 젤(평균입자 3~4 μ m)을 첨가한 PE 필름으로 만든 chamber의 항온지속시간을 Fig. 2의 예에서와 같이 측정하였다. 예상한 바와 같이 보온재의 첨가에 의해 보온특성이 향상됨을 보이는 결과를 얻었다. 보온재의 조성비를 증가시켰을 때 그 향상의 정도도 역시 증가하였다.(Fig. 3) 즉 필름중 실리카 젤 조성비 1.5% 및 3.1%일때 항온지속시간이 보온재 무첨가 대조구에 비하여 각각 2.7% 및 5.1% 증가하였다.

시중에서 판매되는 소위 보온 필름들이 실제로 어느

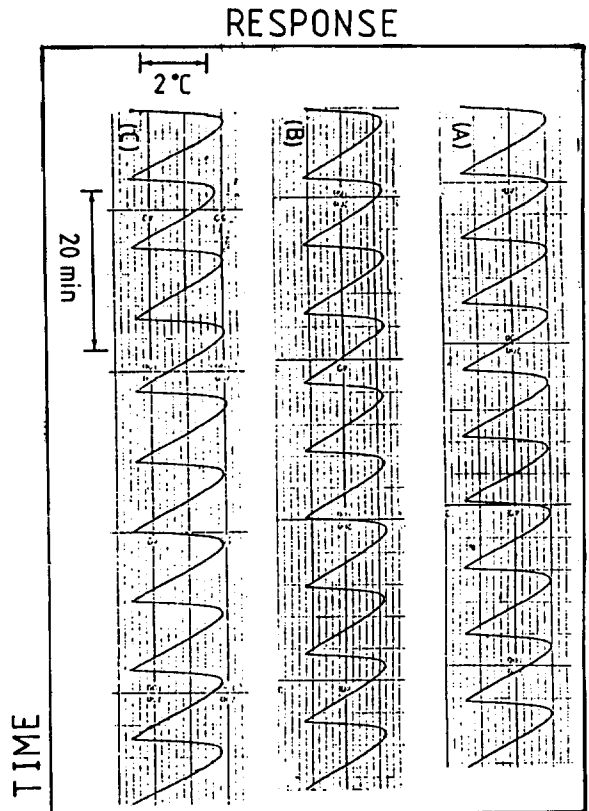


Fig. 3. Effect of IR additives (mostly silica gel) on the relative rate of heat loss through PE film.

- (A) : Plain PE film
- (B) : PE film with 1.5% IR additive
- (C) : PE film with 3.1% IR additive

Table 1. Analysis of inorganic oxides in the so-called energy conserving films' collected from local market.

Film	content of oxides (%)					
	SiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	MgO	Miscellaneous	Total
D	1.55	0.07	NG	NG	0.08	1.70
E	1.02	0.02	NG	0.15	0.02	1.21
F	2.84	0.15	NG	NG	0.11	3.10
G	1.05	0.03	0.34	NG	0.06	1.48

NG : negligible (content less than 0.005%)

정도의 보온재를 함유하고 있는지 조사하기 위하여 Si 및 금속원소 분석을 실시하였다(Table 1). 수집한 필름들 중에서 4개사의 제품은 실질적으로 실리카 젤을 보온재로 사용하고 있음을 알 수 있었다. 1개의 샘플에서는 상당량의 Al이 검출되었는 바, 이는 Al₂O₃가 SiO₂와 함께 젤의 성분으로 사용되고 있음을 시사하는 것이다. 필름중 보온재 조성비는-금속원소는 모두 산화물의 형태로 첨가되었다는 가정하에-1.2~3.2%로서 제품마다 상당한 차이가 있었다.

본 장치를 이용하여 시중에서 수집한 각종 PE 및 EVA 필름들의 상대적 보온특성을 조사한 결과를 Table 2에 모았다. 보온재가 첨가되지 않는 필름들 중에서도 보온특성이 상호간에 차이가 있는 것은 항산화제, 내후재, 무적재 등 각종 첨가물의 첨가여부 및 그 양의 차이와 사용한 기초수지의 물성상의 차이에 주로 기인하는 것으로 해석된다. 보온재가 첨가된 보온필름에서는

보온특성이 향상된 것으로 측정되었으나, 그 중에는 보온 특성이 별로 향상되지 않은 명목상의 보온 필름도 있었다. 한편 보온재가 첨가된 PE 필름들 중에는 EVA 필름에 버금가는 제품이 있다는 것도 확인하였다.

사 의

본 연구를 수행함에 있어서 각종 프라스틱 필름을 수집하여 공급해준 진원산업(주)에 감사드립니다. 아울러 장치의 제작 및 실험을 도와준 서울대 농화학과 생물물리 연구실 학생들, 특히 김용재군과 김환수군의 노고에 고마움을 전합니다.

요 약

환기에 의한 열손실과 지중으로의 열손실을 제외하면 그린하우스의 열손실은 피복재를 통한 열전도 및 열복사에 의해 일어난다. 따라서 동일한 환경조건 하에서 프라스틱 필름으로 하우스를 만들때 하우스의 보온력은 피복재를 통한 열손실 속도의 크기에 지배받는다. 본 연구에서는 프라스틱 필름을 통한 상대적 열손실 속도를 측정함으로써 하우스의 보온력을 예측할 수 있는 간단한 장치와 방법을 고안하였다.

육면체 형태의 frame을 만들어 측정용 필름으로 둘러싸서 밀폐된 box를 만들고 thermostat로 조절되는 heater와 box 내부의 온도변화를 감지 기록하기 위한 온도 Probe를 내부에 장치하였다. box 내부와 외부간에 일정한 온도차를 이루게 한 다음 (10℃내외), 그 온도 차이가 유지되도록 일정한 양의 열을 10회에 걸쳐 단속적으로 (그리고 자동적으로) 투입함에 있어서 그 투입에 요한 총 시간, 즉 항온유지시간을 재고, 이 항온유지시간의 역수로서 필름을 통한 상대적 열손실 속도를 측정하였다. 동일한 두께의 필름인 경우에 상대적 열손실 속도는 PE>EVA>PVC의 순으로 감소하였고, silica gel보온재가 첨가된 필름의 열손실 속도는 보온재 무첨

Table 2. Relative durations of maintenance of constant temperature and relative rates of heat losses through plastic films.

Film	Relative duration (%)	Relative rate of heat loss (%)
A	100	100
B	97.2	102.9
C	100.4	99.6
D	103.5	96.6
E	102.1	97.9
F	105.0	95.2
G	103.0	97.1
H	105.3	95.0
I	105.8	94.5

A~C ; PE based D~G ; PE based with IR additives (so-called 'energy conserving films') H and I ; EVA based

가 필름보다 역시 감소함을 보여주었다. 이러한 측정결과를 파는 재질에 따른 필름 보온성에 관한 이미 상식화한 사실과 부합되는 것으로서, 본 고안 장치가 여러가지 상품화된 하우스용 필름의 선별에 쉽게 이용될 수 있음을 시사한다.

REFERENCE

1. J. N. Walker, Predicting temperature in ventilated greenhouse, Transactions of the ASAE 8(3) : 445-448 (1965)
2. G. A. Duncan, O. J. Loewer Jr., D. G. Colliver, Simulation of energy flow in a greenhouse : Magnitude and conservation potential, Transactions of the ASAE 24(4) : 1014-1021 (1981)
3. Dorald Wobschall, Circuit design for electric instrumentation : Analog and digital device from sensor to display, p 111, Mcgrow-Hill, Inc., USA (1979)
4. 韓基碩, 朴俊奎, 鄭二根, 李春秀, 尹禎熙, 金元出, 李相奎, 土壤化學分析法, pp 157~158. 三美印刷社(1988)
5. A. C. Page, R. H. Miller, D. R. Keeney, Method of soil analysis Part 2 : Chemical and Microbiological properties (2nd Ed.), pp 225-250, American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of American, Inc., Wisconsin, USA (1982)
6. Garzdi, K. Y., Blackwall, J., An analysis of the nocturnal heat loss from a single skin plastic greenhouse, J. Agric. Engng. Res., 26 : 203-214(1981)
7. P. Chandra, Thermal radiation exchange in a greenhouse with a transmitting cover, J. Agric. Engng. Res., 27 : 261-265(1982)
8. 古在豊樹, 施設園藝の環境調節新技術 pp 79~81. 日本施設園藝協會 (1981)
9. 林葉紀夫, 古在豊樹, Ibid. pp 82~85 (1981)