

플라스틱하우스의 보온피복 재료 및 방법이 보온력과 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향

권준국* · 이재한 · 강남준 · 강경희 · 최영하
원예연구소 시설원예시험장

Effects of Covering Materials and Methods on Heat Insulation of a Plastic Greenhouse and Growth and Yield of Tomato

Joon Kook Kwon*, Jae Han Lee, Nam Jun Kang, Kyung Hee Kang, and Young Hah Choi
Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea

Abstract. This experiment was carried out to investigate the effects of different covering materials and methods on heat insulation of a plastic greenhouse, growth and yield of tomato. Night air and soil temperatures in a double-layer greenhouse with external multifold thermal cover (MTC; eight-ounce cassimere+four-fold polyform + double-fold non-woven fabric + single-fold polypropylene) covering were about 1°C lower than in that with internal MTC covering, but about 3°C higher than in that with an EVA film screen. Tomato yield in the external MTC covering increased by 2% and 19% as compared to that in the internal MTC covering and the non-covering of MTC, respectively, due to its high light transmission and insulation effect. Night air temperatures in a double-layer greenhouse with external MTC covering and with thermal screen (polyester plus aluminium) were 2.2°C and 4.5°C higher than those in a double-layer greenhouse with an external MTC covering and in a double-layer greenhouse equipped an EVA film screen, respectively. Tomato yield in the treatment with external MTC covering and a thermal screen was 18% and 37% greater than that in the external MTC covering and in an EVA film screen, respectively. Results indicate that tomato could be grown without heating or with minimal heating in a double-layer greenhouse covered with MTC and a thermal screen during the winter season in southern regions of Korea.

Key words : heat insulation, thermal screen, multifold thermal cover, tomato

*Corresponding author

서 언

시설원예작물이 재배되는 플라스틱하우스의 보온은 부직포를 이용해 하우스 내부에 2중 혹은 3중으로 보온커튼을 설치하거나 터널 위를 피복해 주는 방법을 주로 이용하고 있다. 보온소재로 가장 보편적으로 이용되는 부직포는 단섬유와 장섬유 부직포로 나누어 지는데 그 중 polyester의 장섬유로 만들어진 것이 보온커튼 재료로 쓰이며 단섬유 부직포는 두겹게 제조하여 보온덮개 재료로 사용되고 있다(Kwon 등, 1999; Okada 1985). 근래에는 보온력을 향상시키기 위해 부직포에 알루미늄을 혼합하거나 증착시킨 자재들이 생산되고 있는데 보온력은 반사필름과 비슷하며 보수성은 떨어진

다. 일반적으로 보온을 위해서 연동형 하우스는 내부에 부직포 등을 이용해 커튼을 설치하는데 비해, 시설 내부에 커튼 장치가 구비되어 있지 않은 단동형 하우스는 외면에 두꺼운 보온자재를 피복해 준다(Kwon 등, 1999).

일반적으로 보온효과를 높이기 위해서는 피복 매수를 늘리고 전열저항이 크며 밀폐성이 높은 자재를 사용하는 것이 유리하며(Athanasios and Xiuming, 1997; Briassoulis, 1997a; Briassoulis, 1997b), 피복재의 광투과율이 높고 장파투과가 적으면 낮은 시설내 토양에 태양에너지의 축열량이 많아져 야간 보온에 유리한 것으로 알려져 있다(Kwon 등, 2001; Plaisier, 1992; Waaijenberg, 1984; Wang 등, 1999). 또한 작물의 생

육진전에 따라 난방 공간을 가변화할 수 있게 상하이동이 가능한 커튼장치를 이용하는 것이 난방공간을 최소화함으로써 보온과 난방에 유리해 질 수 있다(Kim과 Cho, 1997).

최근 유가상승과 더불어 고추나 토마토와 같이 키가 큰 작물을 재배하는 단동형 하우스를 위주로 여러 가지 보온재료를 여러 겹으로 제조한 보온덮개를 하우스 외면에 피복하는 시설이 크게 늘고 있다(Kwon 등, 1999). 여기에 주로 이용되는 피복재는 다겹보온덮개라 불리어지고 있으며 이것은 대체로 카시미론(8온스 혹은 12온스) 1겹, 폴리폼(1 mm) 4겹, 부직포 2겹, 그리고 폴리프로필렌(polypropylene) 1겹, 네트차광망 1겹 등 총 9겹으로 이루어져 있다. 다겹보온덮개는 최초 설치 비용이 다소 많이 소요되나 난방비를 크게 줄일 수 있어 그 이용면적이 증가추세에 있다(Kwon 등, 1999). 최근에는 하우스 내부에 커튼이 구비되어 있는 단동형 하우스의 외면피복은 물론 연동형 하우스 내의 보온커튼 용으로 다겹보온자재가 많이 이용되고 있다.

본 연구는 단동형 플라스틱하우스 구조에 보온력이 높은 다겹보온덮개와 커튼자재를 사용함으로써 그 보온효과를 구명하고 남부지역에서 저온기에 토마토를 무가온재배할 수 있는 가를 검토하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험은 1999년부터 2000년까지 2년간 시설원에 시험장에 있는 100 m² 크기의 단동형 플라스틱하우스 3동에서 보온피복의 재료와 방법을 달리하여 보온효과와 토마토 재배효과를 검토하였다. 1999년에는 ① EVA필름(0.08 mm)으로 피복한 단동형 이중구조 하우스 외면에 다겹보온덮개 [카시미론(8온스)1겹 + 폴리폼(1 mm)4겹 + 부직포2겹 + 폴리프로필렌(polypropylene) 1겹 + 흑색네트차광망]을 피복한 것, ② 이중구조 하우스의 내면에 다겹보온덮개를 피복한 것, 그리고 대조구로서 ③ 이중구조 하우스 내부에 비닐(EVA) 커튼을 설치한 것 등 3가지 보온방법을 비교하였다. 그리고 2000년에는 ① EVA필름(0.08 mm)을 피복한 이중구조 하우스의 외면에 다겹보온덮개 I [카시미론(8온스)1겹 + 폴리폼(1 mm)4겹 + 부직포2겹 + 폴리프로필렌 1겹 + 흑색네트차광망]을 피복한 것, ② 이중구조 하우스 외면에 다겹보온덮개 I을 피복하고 내부에 보온커튼(polyester

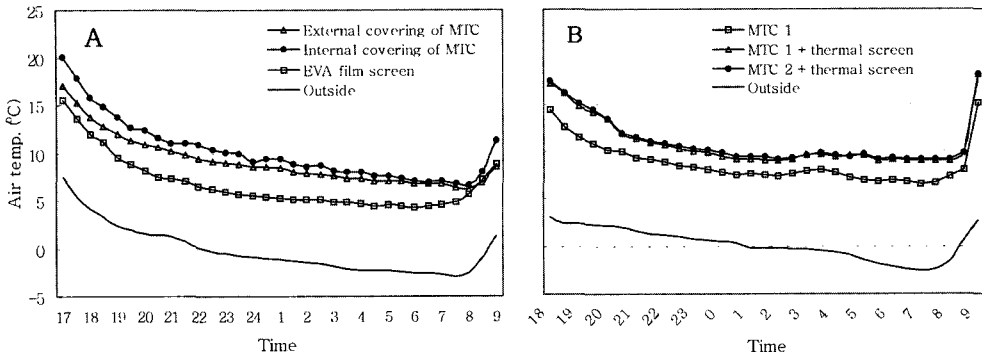
+alluminum)을 설치한 것, 그리고 ③ 이중구조 하우스 외면에 다겹보온덮개 II [카시미론(12온스)1겹 + 폴리폼(1 mm)4겹 + 부직포2겹 + 폴리프로필렌(polypropylene) 1겹 + 흑색네트차광망]을 피복하고 내부에 보온커튼(polyester+alluminum)을 설치한 것 등의 3가지 보온방법을 비교하였다. 다겹보온덮개의 개폐작업은 개폐모터(EP100)를 이용해 40A급기의 육각파이프에 피복재가 감기고 펼쳐지도록 ON-OFF 방식으로 제어하였다. 또한 다겹보온덮개와 보온커튼은 타이머를 이용해 자동으로 개폐되게 하였다. 그리고 재배이랑은 투명필름(0.05 mm)으로 멀칭하였다.

시험작물은 토마토('하우스모모타로', 다기이종묘)를 1999년에는 전년 12월 19일에, 2000년에는 그 해 1월 15일에 90×40 cm 거리로 토양에 각각 정식하고 점적호스를 이용하여 관수와 관비를 하였으며 4회방까지 재배하였다. 과실 수확은 1999년에는 2월22일부터 4월 12일까지, 2000년에는 3월 23일부터 5월 2일까지 수확하였다. 기타 비배관리는 토마토 표준재배법에 준하여 실시하였으며, 난방설정온도는 토마토의 생육한계 온도인 5°C로 하여 관리하였다. 하우스내 광투과율, 기온 및 지온은 micrologger(CR23X, Campbell)를 이용, 연속측정하여 30분 간격으로 저장하였다. 난방연료의 소모량은 각 난방기에 유량계를 부착하여 산정하였다.

결과 및 고찰

저온기(1999년 1월 29일~1999년 2월 28일)에 난방을 하지 않았을 때의 하우스 내 야간기온은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 다겹보온덮개를 이중하우스 내부에 피복한 것이 가장 높게 유지되었는데 외피복한 것에 비해 약 1.1°C, 비닐(EVA) 커튼을 설치한 것에 비해 약 2.3°C 높게 유지되었다. 다겹보온덮개를 내피복한 것이 1°C 높은 것은 외면피복한 것에 비해 하우스 표면적 및 보온용적이 작고, 다겹보온덮개가 피복된 안쪽 필름(일중)과 바깥쪽 필름(이중) 간의 온도차가 상대적으로 작음에 따라 관류열 속도가 다소 늦기 때문인 것으로 판단된다(Botand 등, 1995). 한편 가온을 하지 않은 상태에서 다겹보온덮개를 외피복하거나 내피복한 하우스내의 야간기온은 외기평균기온(-2.2°C)에 비해 각각 12.5°C와 11.5°C 높게 유지되었다. 그리고 2000

플라스틱하우스의 보온피복 재료 및 방법이 보온력과 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향



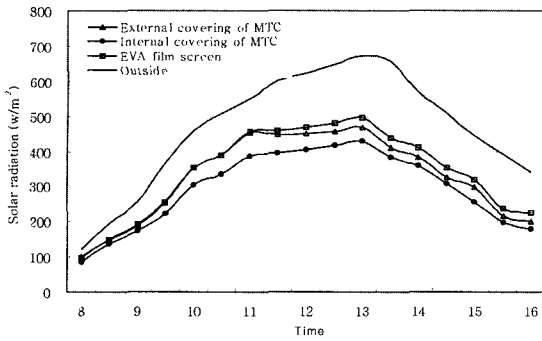


Fig. 3. Fluctuation of solar radiation in a plastic greenhouse covered with different thermal materials and methods for heat insulation. Solar radiation represents average value from Jan. 25 to Feb. 25, 1999. MTC represents multifold thermal cover.

다겹보온덮개의 피복방법에 따른 광투과량의 차이를 알아보기 위해 1999년 1월 25일부터 2월 25일까지 낮동안(08~16시)의 일사량을 측정한 결과가 Fig. 3과 같다. 하우스내에 유입된 일사량은 다겹보온덮개를 외피복한 것이 내피복한 것에 비해 약 10% 많았고 비닐 커튼을 설치한 것에 비해서는 오전과 오후시간에 다른 경향을 보였다. 즉 11시 이전까지는 비닐커튼보다 비슷하다가 그 이후에는 다소 감소하는 경향이였다. 그 원인은 다겹보온덮개를 외면피복한 것이 11시 이전에는 태양광이 하우스내로 차단되지 않고 유입되나 그 이후에는 하우스의 용마루 부분에 말아올려 놓은 다겹보온덮개의 그림자에 의해 차광이 됨으로써 하우스내로 유입되는 전체 광량이 감소하기 때문이다. 그리고 외피복에 비해 내피복의 일사량이 크게 적은 것은 실험하우스의 크기가 너무 작아 다겹보온덮개에 의한 그림자가 하우스 표면적에 비해 상대적으로 크기 때문이라고 할 수 있다. 이러한 다겹보온덮개의 말아놓은 부분에 의한 차광은 농가 규모로 하우스의 폭이 넓고

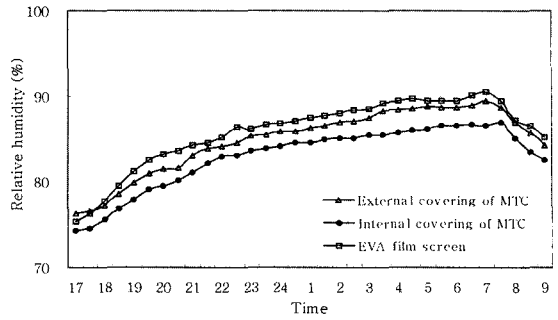


Fig. 4. Changes in relative humidity during night time in a plastic greenhouse covered with different thermal materials and methods for heat insulation. Relative humidity represents average value from Jan. 29, to Feb. 28, 1999. MTC represents multifold thermal cover.

길이가 길다면 훨씬 더 감소될 것으로 판단된다.

Fig. 4는 처리간의 하우스내 야간의 상대습도 변화를 나타낸 것으로 평균적으로 비닐(EVA) 커튼을 설치한 것이 86%로서 가장 높았고 다겹보온덮개를 외피복한 것이 84.8%, 내피복한 것이 83%를 나타내었다. 이러한 경향은 기온의 차이에 의한 영향이 크게 작용한 것으로 생각되었다.

Table 1은 1999년에 재배한 토마토의 정식 40일후의 생육을, Table 2는 2000년에 재배한 수확기의 토마토의 생육을 나타낸 것이다. 초장, 엽수, 화방수, 착과수 등은 다겹보온덮개를 내피복한 하우스에서 시설내 온도가 다소 높게 유지됨으로써 가장 길고 많았으며 다음이 다겹보온덮개 외면피복이었고 EVA 커튼을 설치한 것이 가장 저조하였다. 한편 경경, 주당 생체중 및 건물중은 다겹보온덮개 외면피복한 것이 내피복한 것에 비해 통계적 유의성은 없었으나 다소 굵고 무거웠는데 이는 외피복이 내피복이나 EVA커튼 설치한 것에 비해 낮동안의 광투과량이 많아 광합성이 활발하게 이루어졌기 때문인 것으로 생각된다. 절간장은 다겹보

Table 1. Effect of thermal materials and methods for a plastic greenhouse on tomato growth (cv. 'house momotaro') 40 days after planting.

Treatment	Plant height (cm)	No. of leaves (ea/plant)	Stem diameter (mm)	No. of fruiting (ea/plant)	Plant fresh wt. (g)	Plant dry wt. (g)
External covering of MTC ²	87.9 b ¹	16.2 ab	10.8 a	5.8 b	365 a	37.3 a
Internal covering of MTC	98.2 a	17.2 a	10.2 a	7.9 a	372 a	37.7 a
EVA film screen	77.5 c	14.8 b	10.8 a	5.1 c	280 b	33.7 b

²Multifold thermal cover.

¹Mean separation within columns by Duncan's multiple test at 5% level.

Table 2. Effect of thermal materials and methods for a plastic greenhouse on tomato growth at harvest time.

Treatment	Stem length between cluster (cm)					Stem diameter (mm)	Plant fresh weight (g)
	1st	1st~2nd	2nd~3rd	3rd~4th	Total		
External covering of MTC ^z	39.2	15.4	15.0	18.4	88.0 b ^y	16.9 a	703.0 a
Internal covering of MTC	40.6	17.3	16.8	19.9	94.6 a	15.9 ab	698.5 a
EVA film screen	38.0	12.7	12.4	16.7	79.8 c	16.8 a	645.2 b

^zMultifold thermal cover.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple test at 5% level.

온덮개 내피복, 외피복, EVA커튼 순으로 길었는데 이는 온도 차이에 의한 영향이 크게 작용했을 것으로 보며, 특히 다겹보온덮개를 내피복한 것은 온도가 높고 광투과량이 적어 식물체가 다소 도장하는 경향을 보였다.

Fig. 5는 2000년에 재배한 토마토의 생육변화를 정식 직후부터 20일간격으로 5회 조사한 것이다. 전반적으로 다겹보온덮개 1+ 보온커튼(polyester+alluminum)과 다겹보온덮개 2+ 보온커튼(polyester+alluminum) 간에는 초장, 엽면적, 생체중 건물중 등의 차이가 없었다. 그러나 다겹보온덮개를 외면피복하고 하우스 내부에 보온커튼을 설치하지 않은 것은 설치한 것에 대체로 생육이 저조하였다. 이것은 보온커튼을 설치함으로써 야간의 평균기온이 2.2°C, 평균지온이 1.4°C 높게 유지되었기 때문인 것으로 생각된다.

Table 3은 1999년에 재배한 토마토의 과실 수량과 최초 수확일 및 당도를 나타낸 것이다. 상품 과실수는 보온덮개를 내피복한 것이 가장 많았으나 과실 크기가 외피복한 것에 비해 작아 무게수량은 외피복한 것이 가장 많았다. 이는 외피복이 내피복에 비해 광투과량이 많아 동화작용이 왕성하여 경엽의 신장과 과실비대가 좋았기 때문이라고 본다. 한편, EVA커튼을 설치한 것은 보온성이 떨어져 수량이 외피복한 것에 비해 약 22% 적었다. 최초 수확일은 온도의 영향으로 내피복한 것이 가장 빨랐는데 외피복한 것에 비해 약 8일, EVA커튼을 설치한 것에 비해 약 15일 빨랐다. 과실의 당도는 처리 간에 유의적 차이가 없었다.

Table 4는 2000년에 재배한 토마토의 상품과 수량과 최초 수확일을 나타낸 것으로 상품과 수량은 다겹 보온덮개를 피복하고 보온커튼을 설치하지 않은 것에

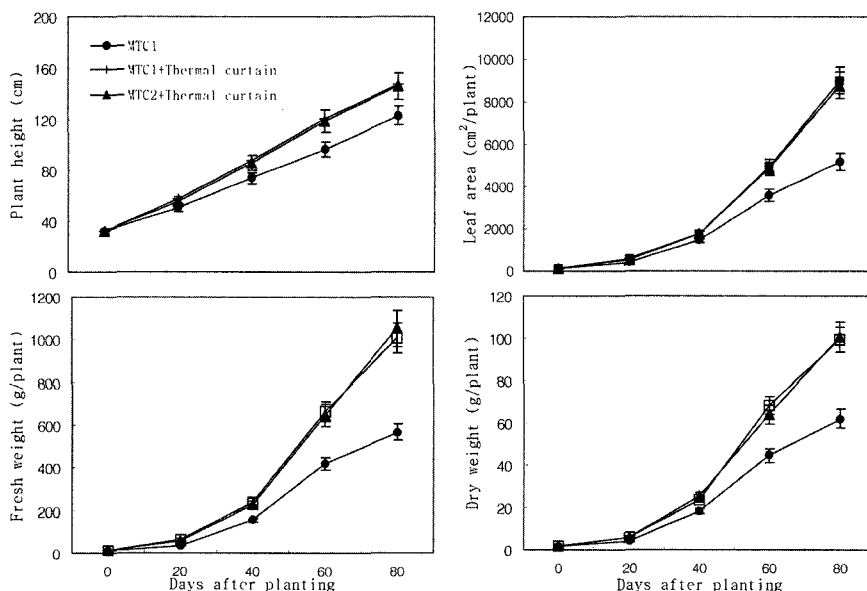


Fig. 5. Changes in initial growth parameters of tomato in a greenhouse covered with different thermal materials and methods for heat insulation. The vertical bars indicate standard errors.

Table 3. Effect of thermal materials and methods for a plastic greenhouse on the yield, initial harvest time and fruit sugar content of tomato.

Treatment	No. of fruits / plant				Unmarke table	Total	Fruit weight (g/plant)	Initial harvest time	Brix degree (°Bx)
	Marketable ^z								
	Large	Midium	Small	Total					
External covering of MTC ^y	4.4 a ^x	4.3 b	4.8 b	13.5 b	1.7	15.2 a	2,354 a	Mar. 2	5.1 a
Internal covering of MTC	3.4 b	4.1 b	7.0 a	14.5 a	0.6	15.1 a	2,189 b	Feb. 22	5.3 a
EVA film screen	2.3 c	5.2 a	4.2 c	11.7 c	1.1	12.8 a	1,922 c	Mar. 9	5.1 a

^zLarge : over 200 g, Midium : 150-200 g, Small : below 150 g.

^yMultifold thermal cover

^xMean separation within columns by Ducan's multiple test at 5% level.

Table 4. Effect of thermal materials and methods for a plastic greenhouse on the yield and initial harvest time of tomato.

Treatment	Marketable yield		Initial harvest time
	Yield (g/plant)	Index	
MTC 1	3,130 b ^z	100	April 15
MTC 1 + thermal screen	3,690 a	118	April 11
MTC 2 + thermal screen	3,750 a	120	April 10

^zMean separation within columns by Ducan's multiple test at 5% level.

Table 5. Effect of thermal methods and materials on fuel consumption for heating in a plastic greenhouse.

Treatment	Fuel consumption (L)	Period heated (days)	Index of fuel consumption ^z
External covering of MTC ^z	42	8	100
Internal covering of MTC	31	6	90
EVA film screen	810	67	133

^zMultifold thermal cover

비해 다겹보온덮개 2+보온커튼이 20%, 다겹보온덮개 I+보온커튼이 18% 증가하였다. 그리고 최초 수확일도 커튼 설치한 것이 설치하지 않은 것에 비해 4-5일 빨랐다. 이것은 보온커튼 설치에 의한 보온력 증대에 기인한 것으로 생각된다. 그러나 다겹보온덮개 I과 II간에는 유의적 차이가 없었다.

Table 5는 난방개시온도를 5°C로 설정하여 100일간의 난방에 소모된 연료량을 비교한 결과이다. 다겹보온덮개의 내피복 및 외피복한 하우스는 각각 42 L와 31 L 밖에 소모되지 않았는 반면 EVA커튼을 설치한 하우스는 810 L나 소모되었다. 2000년에는 실험이 1월 중순 이후에 수행된 관계로 실제로 난방에 소요된 연료소모량은 없었다.

이상의 결과를 종합하면 이중하우스 구조에 다겹보온덮개를 외면피복하고 하우스 내부에 보온력이 우수한 커튼을 설치하면 하우스 내부에 비닐필름 커튼을 설치한 것에 비해 약 5°C의 온도상승 효과가 있었으

며, 겨울철이 따뜻한 남부지역에서는 토마토와 같이 저온적응성이 높은 작물을 가온을 하지 않거나 최소한의 난방으로도 재배할 수 있는 가능성을 시사해 주었다.

적 요

본 연구는 몇가지 보온피복 재료 및 방법이 플라스틱하우스의 보온력과 토마토의 생육과 수량에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다. 다겹보온덮개(카시미론 8온스 1겹+폴리폼(1 mm) 4겹+부직포 2겹+폴리프로필렌 1겹+흑색네트차광망 1겹)를 이중하우스 구조의 외면에 피복한 것이 이중하우스 구조의 내부에 피복한 것에 비해 하우스내 야간의 기온과 지온은 약 1°C 낮았으나 광투과율이 높아서 토마토 상품수량이 약 2% 증가하였다. 그리고 다겹보온덮개를 피복하지 않고 이중하우스 구조의 내부에 EVA커튼을 설치한 것에 비해서는 하우스내 야간기온이 3°C 높게 유지되어 수확기

가 약 7일 빨라지고 토마토 과실도 19% 증수하였다. 한편 이중하우스 외면에 다겹보온덮개를 피복하고 내부에 보온커튼(알미늄 + 직물)을 설치한 것은 다겹보온덮개를 피복하고 보온커튼을 설치하지 않은 것과 이중하우스에 다겹보온덮개를 피복하지 않고 EVA 커튼만 설치한 것에 비해 하우스내 기온이 각각 2.2°C와 4.5°C 높게 유지되었으며 이러한 보온효과에 의해 토마토 과실수량도 각각 18%와 37% 증가되었다. 따라서 본 연구결과는 남부지역에서 저온기에 다겹보온덮개를 이중 플라스틱하우스 구조의 외면에 피복하고 내부에 보온성이 높은 커튼자재를 사용하면 가온을 하지 않거나 최소한의 난방비로 토마토를 재배할 수 있음을 시사해 주었다.

주제어 : 다겹보온덮개, 보온, 보온커튼, 토마토

인 용 문 헌

1. Athanasios, P. and H. Xiuming. 1997. Effects of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity and energy use. *Scientia Horticulturae* 70:166-169.
2. Baille, A. 1999. Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Horticulturae* 491:37-48.
3. Botand, G.P.A. and N.J. van de Braak. 1995. Physics of greenhouse climate, p. 135-137. In: J.C. Bakker, G.P.A. Bot, H. Challa, and N.J. van de Braak (eds.). *Greenhouse climate control*. Wageningen Pers, Wageningen.
4. Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997a. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part 1, general overview. *J. agric. Engng Res.* 67:81-96.
5. Briassoulis, D., D. Waaijenberg, J. Gratraud, and B. von Eslner. 1997b. Mechanical properties of covering materials for greenhouse; part 2, Quality assessment. *J. agric. Engng Res.* 67:171-217.
6. Kim, T.Y. and I.H. Cho. 1997. Effects of airpoly PE house and air-injected double PE house for improvement of heat-keeping in greenhouse. Report NHRI: 771-775 (in Korean).
7. Kwon, J.K., Y.H. Choi, D.K. Park, and J.H. Lee. 1999. Effects of covering methods for insulation on heating cost, growth and yield of tomato in greenhouse. *J. Bio. Fac. Env.* 9(1):58-61 (in Korean).
8. Kwon, J.K., Y.H. Choi, D.K. Park, J.H. Lee, Y.C. Um, and J.C. Park. 2001. Optical and physical properties of covering materials for plastic greenhouse. *J. Bio. Env. Con.* 10:141-147 (in Korean).
9. Okada, M. 1985. An analysis of thermal screen effect on greenhouse environment by means of a multi-layer screen model. *Acta Horticulturae* 174:139-144.
10. Plaisier, H.F. 1992. Energy saving and climate improvement with thermal screens *Acta Horticulturae* 305:63-64.
11. Waaijenberg, D. 1984. Research on plastic greenhouse cladding materials. *Acta Horticulturae* 154:57-64.
12. Wang, S., J.G. Pieters, and J. Deltour. 1999. Studies on radiometric, thermal and climatic properties of a new greenhouse covering material. *Acta Horticulturae* 486: 48-54.