

기능성 피복재가 토마토 생육 및 품질에 미치는 영향

권준국^{1*} · 조명환¹ · 강남준¹ · 강윤임¹ · 박경섭¹ · 이재한²

¹국립원예특작과학원 시설원예시험장, ²국립원예특작과학원 원예기획조정과

Effects of High Performance Greenhouse Films on Growth and Fruit Quality of Tomato

Joon Kook Kwon^{1*}, Myeomg Whan Cho¹, Nam Jun Kang¹, Yun Im Kang¹,
Kyoung Sub Park¹, and Jae Han Lee²

¹Protected Horticulture Research Station, NIHHS, RDA, Busan 618-300, Korea

²Planning & Coordination Division, NIHHS, RDA, Suwon 440-706, Korea

Abstract. This study was performed to investigate the effect of high performance greenhouse films on growth and fruit quality of tomato. For this purpose, polyolefin (PO), fluoric, antitrop, antifog and thermal films were compared to normal film, ethylene vinyl acetate (EVA). In spectral irradiance of the films, UV (300~400nm) transmittance was highest in fluoric film and lowest in PO film. PAR (photosynthetically active radiation, 400~700nm) transmittance was higher in fluoric, thermal and PO film, and near infrared ray (NIR, 700~1,100nm) transmittance was higher in high performance films, compared to the EVA film. Total light transmittance was higher in order of fluoric, antifog, antitrop, PO, thermal, and EVA film. Day air temperature in greenhouse was highest under fluoric film and lowest under EVA film due to the light transmittance, while night air temperature was highest under PO and antitrop film due to the thickness of film. Tomato fruits grown under the high performance films had 0.2 to 0.5%Bx higher soluble solids and 15 to 30% higher lycopene content, compared to those grown under the EVA film. The results showed that tomato fruit quality such as soluble solids and lycopene content can be heightened in terms of much irradiation and better light quality of high performance films, compared to the normal film, EVA film.

Key words : high performance greenhouse films, tomato, spectral irradiance, light transmittance

서 언

우리나라 원예작물의 재배시설은 2007년 현재 53,036ha에 달하며 그 대부분이 플라스틱필름 하우스이다(MIFAFF, 2008). 플라스틱하우스의 피복재로는 PE(polyethylene)와 EVA(ethylene vinyl acetate)가 전체의 90% 이상을 차지한다(Kwon, 1992). 특히 PE 필름은 수명이 짧고 보온력이 떨어지는 등 단점이 많으나 광선투과율이 높고 먼지가 적게 부착되며 가격이 싸다는 장점 때문에 국내외적으로 많이 이용되고 있다(Kwon, 1992; Geola 등, 1999). 그리고 EVA필름은

PE보다 보온성, 내후성 및 방적성이 좋아 최근에 그 이용면적이 증가하고 있는 추세이다.

일반적으로 온실 내로 투과되는 광선의 양과 질, 즉 분광투과특성은 피복재의 종류나 특성에 따라 크게 다를 뿐만 아니라 피복재의 성능을 결정하는 중요한 요인이 된다. 이는 시설내의 기온이나 습도 등의 환경요인은 물론 식물의 크기나 형태 등의 생육과 수량, 품질 등에 중요한 영향을 미친다(Baille, 1999; Cockshull, 1992; Athanasios and Kiuming, 1997). 특히 광합성 유효광(PAR, 400~700nm)은 작물의 생육과 가장 관련이 깊으며 이 광의 투과율이 높은 것이 우수한 피복재라 할 수 있다(Baille, 1999; Botand and Braak, 1995; Waaijberg, 1984). 한편 자외선은 작물의 형태형성이나 색소발현에 영향을 미치며, 적외선은 열 차

*Corresponding author: kjk0412@korea.kr
Received July 9, 2009; Revised August 4, 2009;
Accepted August 20, 2009

단, 장파방사 투과율 등 보온성과 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Botand and Braak, 1995; Kwon 등, 2001).

최근 국내 플라스틱하우스의 피복재에는 PE나 EVA 등의 기본소재에 좋은 특성을 지닌 다른 수지를 혼합하여 기능을 향상시킨 필름들이 개발되어 시설재배농가에 보급되고 있다. 이와 관련하여 본 연구는 일반적으로 이용되는 EVA 필름과 비교하여 폴리올레핀(polyolefin), 불소, 방적, 방무, 보온필름 등의 기능성 필름이 토마토의 품질에 어떤 영향을 미치는 가를 구명하고자 하였다. 특히 광요구도가 높은 토마토의 저온 및 약광기 재배 시에 광투과성이 높고 광질이 우수한 피복재를 선발하여 이용함으로써 토마토의 품질향상을 도모하고자 하였다.

재료 및 방법

실험하우스는 1.5m × 1.8m × 3.0m(W × H × L) 크기의 아치형 소형하우스를 12동 설치하여 6처리 2반복으로 배치하였다(Fig. 1A). 하우스 피복재는 시설재배농가에서 보편적으로 이용하는 EVA(ethylene vinyl acetate, 0.1mm, 영진화학) 필름을 대조구로 하고 polyolefin(PO, 0.15mm, 스킴모도), 불소필름(fluoric, 0.06mm, 다이킨공업), 방적필름(antidrop, 0.15mm, 일신화학), 방무필름(antifog, 0.1mm, 일신화학), 보온필름(thermal, 0.1mm, 일신화학) 5종의 기능성 필름을 피복하여 비교하였다. 하우스는 온도센서와 개폐모터 및 제어기를 이용해 측면환기가 자동으로 되도록 하였으며(Fig. 1B), 환기온도는 생육단계에 따라서 28~30°C로 설정하여 관리하였다. 우천 시에는 강우센서(Fig. 1C)를 하우스 외부에 설치하고 콘트롤러에 연결함으로써 측창이 자동으로 닫히도록 하였다.

실험작물은 '서건' 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill, Seminis Korea)를 2006년 1월 20일 파종하여 3월 8일에 가로, 세로, 높이가 각 27cm인 사각화분에 정식하여 하우스 동당 10주씩 재배하였다. 토마토는 재배단수를 4화방으로 제한하여 5월 8일에서 7월 7일까지 수확하였다. 상토는 피트모스, 산흙, 부숙퇴비를 5:4:1 비율로 혼합하여 사용하였으며, 관수는 각 화분에 에로우드리퍼(aero dripper)를 연결하고 전자식 토양수분장력센서를 화분 내 상토에 설치한 다음, 관수모터, 여과기, 물통, 전자밸브, 콘트롤러 등을 이용해 자동화하였다(Fig. 1D, 1E). 비료는 기비는 사용하지 않고 생육상태를 감안하여 1~2주 간격으로 시판양액(물푸레, 대유화학)을 500배액(300L 물통에 시판양액 A액과 B액을 0.6L씩 희석)으로 희석하여 주당 2~3L/회 공급하였다.

피복재의 분광투과특성과 광투과율은 LI-1800 portable spectroradiometer(LI-COR, 300~1,100nm)를 이용, 파장간격을 1nm로 설정하여 측정하였다. 측정은 가로, 세로, 높이가 각 60cm인 정사각형 철재 사각상자를 만들어 밑면을 제외하고 각 필름을 피복한 다음, 분광측정기를 사각상자 안에 넣고 수평상태에서 12:00~13:00에 필름별로 3회 반복 측정하여 평균하였다. 광투과율은 외기의 자연광 에너지량을 100%로 보고 각 필름별 투과에너지량을 측정하여 산정하였다. 하우스내의 기온은 서머커플 센서를 하우스 중앙의 지면으로부터 1.5m 높이에 각각 설치하고, 23X Datalogger (Campbell)에 연결하여 측정하였다. 측정 데이터는 30분 간격으로 저장하여 평균하여 나타내었다.

토마토의 과실 수량은 처리당 10주(반복당 5주)에 대해 상품과와 비상품과로 구분하여 개수와 무게를 조사하였다. 토마토 당도는 굴절당도계(refractometer, ATAGO, Japan)로 처리당 40개(반복당 20개) 과실을



Fig. 1. View of experimental small greenhouses (A), a side window controller (B), a rain sensor (C), a motor and water tank for irrigation (D), a irrigation controller based on soil moisture contents (E).

조사하였으며, 라이코펜 함량은 Gould and Gould (1988) 방법에 의거 UV-visible spectrophotometer(Cary-100, Varian, Australia)를 이용해 흡광도를 측정하여 정량하였다.

결과 및 고찰

1. 분광투과특성 및 광투과율

Fig. 2는 피복재별 자외선, 가시광선 및 적외선의 분광투과특성을 나타낸 것이다. 300~400nm의 자외선 투과량은 불소필름이 가장 많았고, EVA, 방무, 방적, 보온필름 등이 비슷한 수준이었으며, PO필름이 가장 낮은 투과율을 나타내었다(Fig. 2A). 자외선 투과율은

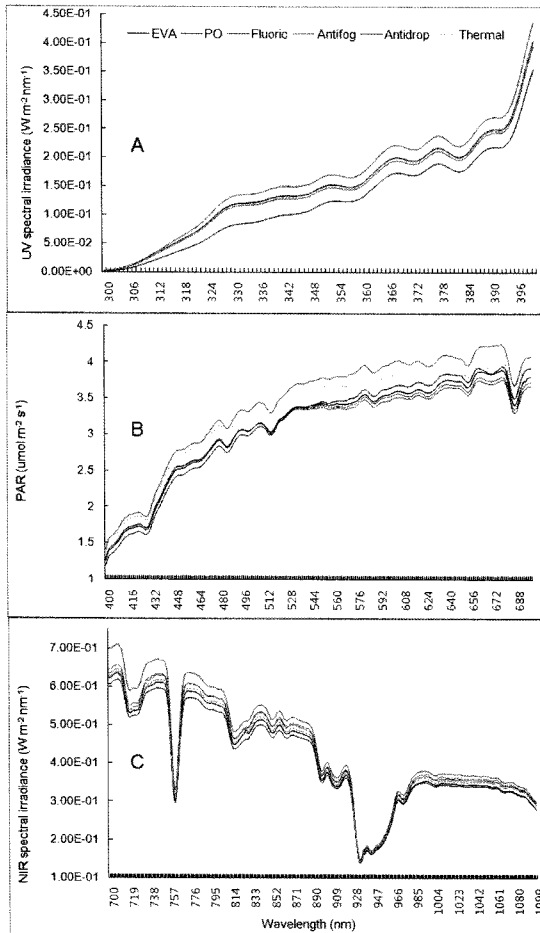


Fig. 2. Spectral irradiance in UV (300~400nm, A), PAR (400~700nm, B) and NIR (700~1,100nm, C) of EVA and five high performance greenhouse films.

불소필름이 76%로 가장 높았는데, 이는 불소필름이 피복필름 중 자외선이 투과율이 가장 높다는 Shimachi (1998)의 보고와 일치하였다. 반면, PO필름이 57%로서 가장 낮았는데 이는 제조과정 중 수지 내에 자외선 흡수제를 첨가함으로써 자외선이 피복재를 투과하면서 표면에 흡수되기 때문인 것으로 생각되었다. 일반적으로 자외선차단필름이나 산광필름, 직조필름 등이 자외선 투과율이 낮은 것으로 알려져 있는데 Yoram과 Zieslin(1990)는 산광필름의 경우 360nm 이하의 자외선이 거의 투과되지 않는다고 하였다. 한편 이와 관련하여 Yeheskel 등(1996)과 Reuveni 등(1989)이 자외선이 차단되는 필름을 피복한 온실 내에는 온실가루이, 잎굴파리, 곰팡이병, 해충유래 바이러스병 등이 유입되지 않아 병해충억제에 효과가 높다고 보고한 바 있다.

400~700nm의 광합성유효광(photosynthetically active radiation, PAR)의 투과량은 EVA와 비교하여 불소필름이 10% 더 많았고, 다음으로는 보온필름이 약 6%, PO필름이 약 2% 많았으며 방무와 방적필름은 비슷하였다(Fig. 2B). 그리고 700~1,100nm의 근적외선(near infrared, NIR)의 투과량은 EVA와 비교하여 불소필름이 약 7%, 방무와 방적이 약 3% 많았고, PO필름과 보온필름은 비슷하였다(Fig. 2C).

전체적인 광선 투과율은 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 EVA와 비교하여 기능성필름들이 대체로 높은 경향이 있었다. 그 중 불소필름이 약 93%로 가장 높았고, 다음으로 방무, 방적, PO필름, 보온필름 순으로 높았다. 이 광투과율은 피복직후에 측정하였기 때문에 관행의 EVA와 기능성필름들 간 차이가 적지만 피복 후 경과

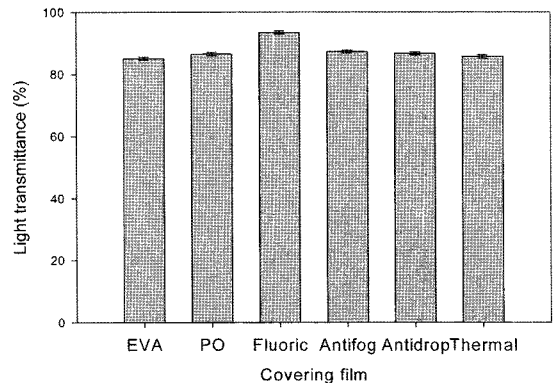


Fig. 3. Light (300~1100nm) transmittance of EVA and five high performance greenhouse films.

시간이 길어질수록 그 차이는 더욱 커질 것으로 생각된다. 이와 관련하여 Kwon 등(2001)은 피복직후로부터 30개월 경과 시까지의 광투과율 감소는 EVA가 약 12%로 가장 높았고 방적필름이 6%로 가장 낮았다고 하였는데 감소율이 낮은 것은 필름의 수지 내에 기능성 물질을 첨가하였기 때문인 것으로 보고하였다.

2. 하우스 내 온도 변화

주간온도는 피복재의 광투과율에 따른 투입 일사량의 차이에 의해 필름 간에 차이를 보였는데, 광투과율이 가장 높은 불소필름이 가장 높았고 나머지는 비슷하게 유지되었다. 주간온도가 가장 높게 유지된 불소필름과 가장 낮게 유지된 EVA 간에는 평균 2.0°C, 최고 2.7°C의 차이를 보였다(Fig. 4A). 따라서 하우스 내 주간온도는 광투과율과 직접적인 관계가 있다고 할 수 있다(Kwon 등, 2001; Shimachi, 1998). 이러한 결과로 보아 겨울철 약광기에는 불소필름을 이용하는 것이 시설 내 온도상승에 유리할 것으로 판단되었다. 한편 야간온도는 시간대별로 필름 간에 차이를 보였는데,

불소필름의 경우 낮동안 많은 일사량이 하우스내로 투과됨으로써 밤 10시 이전까지 기온이 높게 유지되다가 그 시간 이후부터는 필름 두께가 얇아 외부로의 방열량이 많아져 상대적으로 필름이 두꺼운 방적이나 PO필름에 비해 낮게 유지되었다. 평균 야간온도는 방적 및 PO필름이 가장 높았고 나머지 필름은 비슷하였다(Fig. 4B). 일반적으로 하우스 내 야간기온은 필름의 두께가 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데, Shin 등(2009)은 0.15mm 두께의 PO필름이 0.06mm 두께의 EVA필름에 비해 야간기온이 약 2°C 높게 유지되었다고 보고하여 이 실험의 결과와 유사하였다. 이와 관련하여 Chun 등(2006)과 Shin 등(2009)은 시설 내부의 온도는 필름의 두께와 함께 적외선 흡수율이 많은 영향을 미친다고 하였다.

3. 토마토 과실 수량 및 품질

토마토 과실수량은 Table 1에서 나타난 바와 같이 필름 간에 뚜렷한 차이가 없었으나 EVA에 비해 PO 필름, 불소, 방무, 방적 필름 등의 기능성필름에서 과

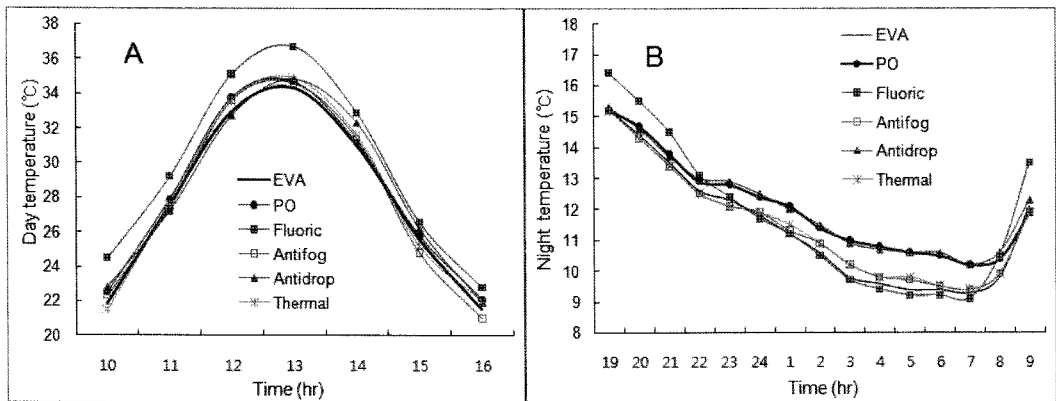


Fig. 4. Changes in day (A) and night air temperature (B) in greenhouse covered with EVA and five high performance films.

Table 1. The number and weight of tomato fruits grown in greenhouse covered with EVA and five high performance films.

Covering film	Number of fruits (ea/plant)			Fruit weight (g/plant)		
	Marketable	Unmarketable	Total	Marketable	Unmarketable	Total
EVA	15.0	0.4	15.4 b	2,381	60	2,441 b
PO	16.8	0.4	17.2 a	2,631	54	2,685 a
Fluoric	16.3	0.6	16.9 a	2,571	73	2,644 a
Antifog	16.3	0.4	16.7 a	2,696	68	2,764 a
Antidrop	15.8	0.5	16.3 a	2,332	120	2,452 b
Thermal	15.0	0.4	15.4 b	2,351	60	2,411 b

실 수나 무게 면에서 다소 많았다. 그 원인은 EVA 필름에 비해 기능성필름이 광투과율이 다소 높고 시설 내의 기온이 다소 높게 유지됨으로써 생육이 촉진되어 과실수량이 많은 것으로 분석되었다. Shin 등(2007)도 PO 필름이 EVA에 비하여 보온성이 좋고 적외선 흡수율이 높아 참외의 수확소요일수가 단축되고 과실수량이 증가되었다고 보고하였다. 본 실험은 일조량과 일조시간이 비교적 많은 봄철에 이루어졌기 때문에 EVA 필름과 기능성필름과의 과실수량 차이가 작았으나 겨울철 약광기에 수행된다면 필름 간 광투과율이나 광질의 차이에 의해 기능성필름에서의 과실수량이 뚜렷하게 증가될 것으로 추측된다.

토마토 과실의 당도는 필름 간에 뚜렷한 차이가 없었으나 기능성필름이 EVA 필름에 비해 다소 높았는데 특히 광투과성이 좋은 불소, 보온, PO 필름 등에서 0.2~0.5°Bx 더 높았다. 토마토 과실 내 라이코펜 함량을 분석한 결과, 과실 당도와 마찬가지로 기능성필름이 EVA에 비해 15~30% 높은 경향이었다. 이러한 결과는 Shin 등(2009)의 PO 필름을 피복한 하우스에서 재배한 참외의 당도가 EVA를 피복한 하우스에서 재배한 것에 비해 높았다는 보고와 일치하였다.

따라서 관행의 EVA 필름에 비해 기능성필름을 이용할 경우 과실 수량이나 상품성을 다소 높일 수 있을 것으로 판단되며, 특히 겨울철 약광기에 기능성 필름을 이용하면 그 효과가 더욱 높아질 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 일반적으로 이용되는 EVA 필름과 비교하여 폴리올레핀(PO), 불소, 방적, 방무, 보온 필름 등의 기능성필름이 토마토의 품질에 어떤 영향을 미치는가를 구명하고자 하였다. 분광투과특성에 있어 자외선은 불소필름이 가장 많았고 PO 필름이 가장 적었으며, PAR는 불소, 보온, PO 필름 등이 많았으며, 근적외선도 EVA에 비해 기능성필름이 많은 경향이었다. 전체 광선의 투과율은 불소, 방무, 방적, PO, 보온, EVA 순으로 높았다. 하우스 내 주간온도는 광투과율 차이에 의해 불소필름이 가장 높고 EVA가 가장 낮았으며, 야간온도는 필름이 두꺼운 방적 및 PO 필름이 가장 높게 유지되었다. 기능성필름은 EVA에 비해 과실 당도가 0.2~0.5°Bx 더 높았고, 과실 내 라이코펜 함량이

15~30% 높게 나타났다. 따라서 토마토의 당도, 라이코펜 함량 등의 품질향상을 위해서는 일반필름 대신에 기능성필름을 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단되었다.

주제어 : 기능성 하우스필름, 토마토, 분광투과특성, 광투과율

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* 70:165-178.
2. Baille, A. 1999. Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta horticulturae* No. 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, N.J. van de Braak (eds.). *Greenhouse climate control*. Wageningen Pers, Wageningen.
4. Chun, H., Y.J. Choi, Y.H. Choi, H.J. Kim, S.Y. Lee, S.H. Yum, and D.S. Jeong. 2006. Microclimate analysis of greenhouse covered with functional films. *J. Bio-Env. Con.* 15:265-271 (in Korean).
5. Cockshull, K.E. 1992. Crop environments. *Acta Horticulturae* 312:77-85.
6. Geoola, F., B. Cakmak, Y. Kashti, and E. Ulusoy. 1999. Outdoor testing of agricultural cladding materials. *Acta Horticulturae* 486:48-54.
7. 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. *J. Bio-Environment Control* 10(3): 141-147 (in Korean).
8. Kwon, Y.S. 1992. Vegetable production in plastic film house in Korea. *FFTC bulletin* No. 347, p.1-12.
9. Ministry of Food, Agriculture, Forestry, and Fisheries (MIFAFF). 2008. *Crop statistics* (in Korean).
10. Reuveni, R., M. Raviv, and R. Bar. 1989. Sporulation of *Botrytis cinerea* as affected by photoselective polyethylene sheets and filters. *Ann. appl. Biol* 115:417-424.
11. Shimachi, H. 1998. *Handbook of protected horticulture in Japan; Plastic film*. p. 64-73. Horticultural Information Center, Tokyo (in Japanese).
12. Shin, Y.S., I.K. Yeon, J.E. Lee, J.D. Cheung, S.Y. Choi, and D.S. Chung. 2009. Effect of long period usage of polyolefin film on growth and fruit quality in Korea melon. *J. Bio-Env. Con.* 18:9-14 (in Korean).
13. Shin, Y.S., I.K. Yeon, H.W. Do, J.E. Lee, J.D. Jeong, C.K. Kang, C.D. Choi, and D.S. Jeong. 2007. Effect of

기능성 피복재가 토마토 생육 및 품질에 미치는 영향

- different greenhouse film on growth and quality in oriental melon. *J. Bio-Env. Con.* 16:140-148 (in Korean).
14. Waaijenberg, D. 1984. Research on plastic greenhouse cladding materials. *Acta Horticulturae* 154:57-64.
15. Yeheskel Antignus, Shlomo Cohen, Neta Mor, Yoel Masika, and Moshe Lapidot. 1996. The effect of UV-blocking greenhouse covers on insects and insect-borne virus diseases. *Israel. Plasticsulture* 112:15-20.
16. Yoram Mor and Naftaly Zieslin. 1990. UV-induced blackening of rose petals. *Environmental and Experimental Botany* 30(4):455-462.