

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 22, No. 4, 2002

Eu^{3+} 가 첨가된 광변환 유리의 특성과 효과연구 2 (유리의 채소재배 효과)

Characteristics of Photo-conversion Glass with Eu^{3+} and Its Use 2 (Effect of Photo-conversion on Vegetables Growth)

정헌생*, 안양규**
Hun S. Chung*, Yang K. Ahn**

Key words : 광변환(photo-conversion), 유리(glass), 온실(green house), 광합성(photosynthesis),
작물재배(vegetable growing)

Abstract

Energy conversion soda-lime-silica glasses doped with Eu^{3+} were produced and they were used to build small scale modules of 100 x 100 cm simulating the roof of glass house with which the rearing state of a small number of young and grown vegetables was observed. The vegetables selected for the study were eggplant, kale, and pimento. The width and length of their leaves along with the photosynthesized ability and chlorophyll content were measured to observe the growing state of the vegetables in the given periods of time. It was found that the vegetables grown under the photo-conversion glass made panels had higher values of the leaf width and length by 5 to 30% than them under the commercially available ordinary glass panels depending on the kind of vegetables. The photosynthesized abilities were also shown much higher for the vegetables under the conversion glass panels than for the non-conversion ones.

* 한국지질자원연구원
** 건양대학교

* *Korea Institute of Geoscience and Minerals Resources*
** *Konyang University*

1. 서론

대도시 주변에는 시설 원예농업이 증가하고 있고, 아울러 점차적으로 늘어가는 반영구적인 유리 온실은 농산물 생산 공장 역할을 하고 있으며 신설되는 농업용 온실들로 인해 겨울철의 에너지 소모량이 늘어나고 있다. 반면에 지속적인 연료 값의 인상은 이들 특작 농가의 생산성을 떨어뜨리고 있어, 유리 온실의 미래를 위협받고 있는 실정이다. 이러한 현실에서 온실에 사용하는 유리에 광변환 기능을 부여함으로써 온실내의 농업경쟁력을 높이고, 사계절 가동하는 온실 시설에서 소비하는 에너지를 절감시키는 노력이 요구된다.¹⁾

도달하는 태양광의 23%가 지구의 신진대사에 사용되는데, 이 중 식물의 광합성 및 성장에 직접적으로 관여하는 빛은 가시광선 영역의 430~460 nm 와 600~700 nm 이며, 후자는 적외선에 가까운 파장영역이다. 식물의 광합성에 도움이 되지 못하는 자외선 영역인 300~400 nm의 태양광을 광합성에 필요한 파장으로 변환시켜, 온실내의 작물에 조사시켜 줄 수 있다면, 작물의 수확시기와 생산량을 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다.^{2,3)}

본 연구에서는 실험실에서 얻어진 광변환 유리를 사용하여, 광변환 특성이 실제 작물의 성장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 소규모로 작물재배 시험을 실시하였다. 이를 위하여 광변환 기능을 가진 유리를 옥외실험이 가능할 정도의 면적으로 제조하고, 몇 가지 채소 작물을 대상으로 생장과 광합성에 미친 효과를 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 유리의 준비

작물재배 실험용 유리의 원료는 소다유리의 원료광물인 규사, 장석, 백운석, 석회석, 망초 등을

광변환 물질인 산화유로피움을 첨가하고, 혼련기에서 준비하였는데, 이 때 사용된 원료는 규사 57.5%, 장석 1.6%, 백운석 14.0%, 석회석 6.6%, 소다회 18.1%, 망초 0.8%, 산화유로피움 1.4%를 기본 배합으로 하였다. 준비된 원료는 경기도 광주 소재 유리제조 공장에 있는 대형 물라이트 도가니에 장입하여 경유와 벙커 C유를 연료로 하여 16시간 용융시켰다. 용융된 유리는 일정 분량씩 덜어내어 250 x 250 x 6 mm의 사각몰드에서 판형으로 성형하였으며, 이 때 사각면의 평면을 고르게 하기 위하여 프레스로 일축 가압 성형하고 서냉하였다. 이를 100 x 100 x 4 mm로 연마 가공하고, 1,000 x 1,000 mm의 판넬을 만들 목적으로 각 장의 유리를 접착시킴으로 소형 온실 재배상으로 이용하였다.

흡광파장 462 nm에 광원을 고정시키고, 유리시편에서 방출되는 파장 550~700 nm까지 형광분광기에서 측정한 결과를 Fig. 1에 일반유리와 변환유리에 대하여 나타내었다. 그림 1에서 보여주는 바와 같이 변환유리는 618 nm근방에서 강한 형광이 방출되고 있음을 보여 주고 있다.

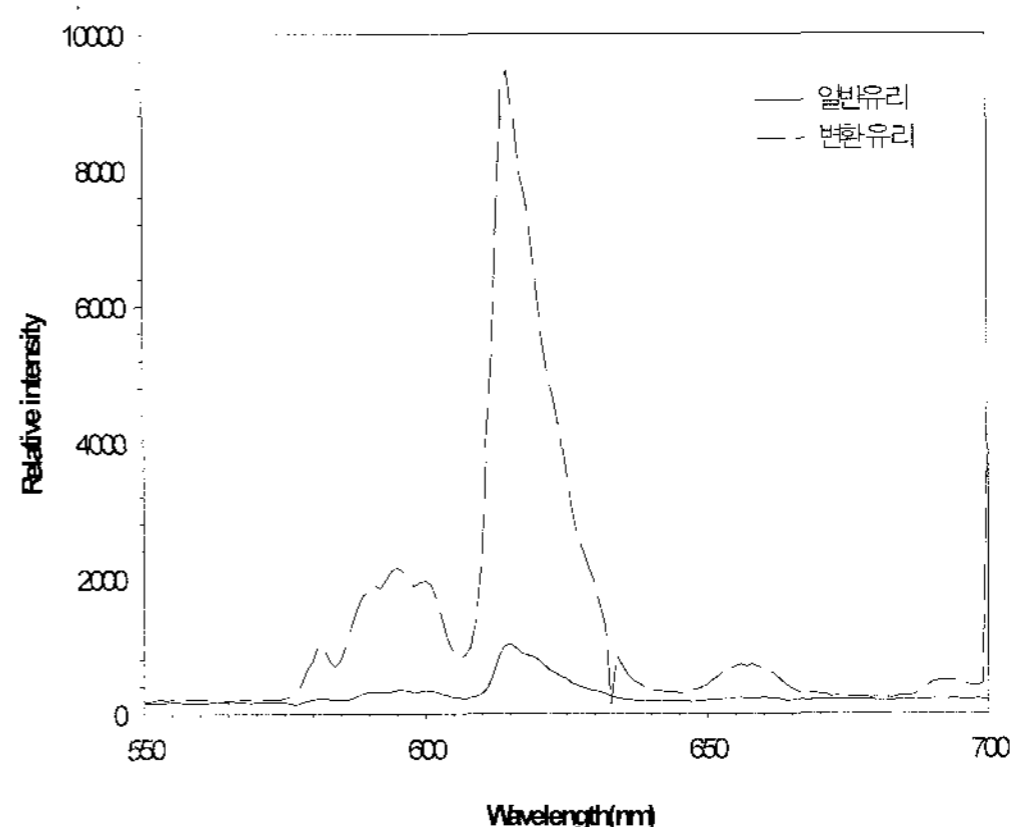


그림 1. Relative luminescence intensity of glasses

2.2 작물재배시험

식물의 빛에 대한 반응과 광합성에 대한 연구는

식물 생리의 기초 연구에서 시작된다. 기초 연구의 대상은 엽록소에서 빛을 흡수하고 흡수된 빛에 의하여 에너지가 얻어지는 명반응과 탄산가스의 흡수에 따른 기초 당의 형성이 이루어지는 암반응이 있다. 그러나 본 실험은 온도, 송기량에 의한 공기의 조성, 재식밀도, 토양수분 등의 여러 조건이 같다고 가정하고, 소수의 작물 개체에 적용하여 광합성 효과를 관찰하는 간이 방법을 택하여 실시하였다. Eu 가 함유된 변환유리와 함유되지 않는 일반유리로 판넬을 만들어 가지, 케일, 피망을 공시작물로 선정하여 그들이 생육조사, 광합성조사, 엽록소 측정을 하였다. 판넬의 설치는 천안시 성환읍에 위치한 수경재배시설을 갖추고 있는 유리 온실 내에 하였다. 재배상을 100 x 100 x 100 cm로 남향경사 15°를 기준으로 수광량을 조절할 수 있도록 하였으며 관수 및 양액을 자동으로 공급할 수 있도록 하였다. 그림 2는 재배상 설치모습을 보인 것이다.

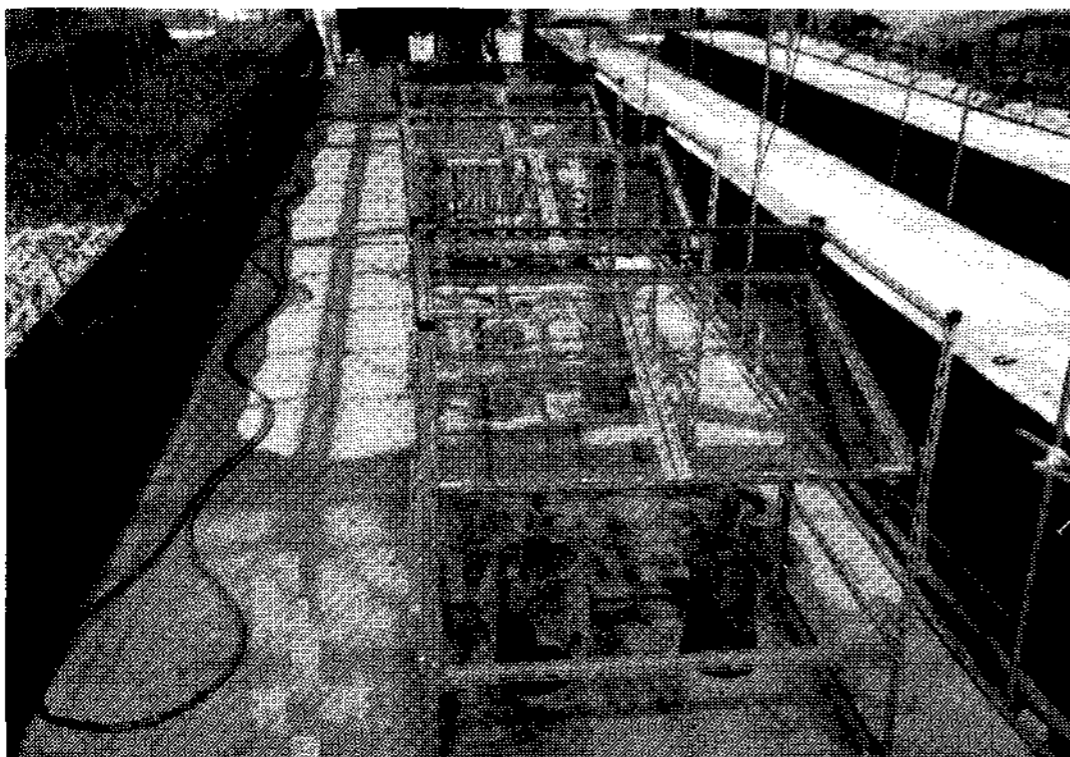


그림 2. Small test modules

2.3 재배개요

(a) 어린 채소 생육

가지와 케일종자를 피트모스(peat moss)와 진주암(perlite)가 혼합된 볼 상토를 이용하여 112공 트레이에 98년 11월 1일 파종하고, 파종

후 본엽이 3매 전개되었을 때 48트레이에 12월 15일에 정식하였다. 재배는 일반 시설재배의 관행 방법과 동일하게 하였고, 양액은 일본 야마자 기액을 EC 1.5-2.0 mS/cm범위로 조정하였다. 정식 후 20일 경과된 1월 5일과 30일 경과된 1월 15일에 엽폭과 엽장을 조사하였다. 광합성조사는 본잎 4매일 때 균일한 생장을 보인 2그루를 선정하여 사용하였다. 측정기기는 광합성분석을 위한 가스분석기(Koito KMC-1500)를 사용하였다.

(b) 성묘채소

피망과 가지를 상기 항에서와 같은 방법으로 파종하여 48공 트레이에 1차 이식한 후 다시 과일이 달리기 시작하는 성묘를 직경 27 cm 플라스틱 화분에 2그루씩 공시하여 실험에 사용하였고 기타 재배 방법은 상기 항의 실험과 동일하게 하였다.

3월 10일 설치된 재배상에 정식묘를 옮겨 놓고, 4월 13일부터 6월 8일 까지 생육을 관찰하였는데, 이 기간의 생장량은 다음과 같이 조사하였다: 상대적 생장량 = 최종조사값(6월 8일) - 최초조사값(4월 13일).

생육 중인 채소의 상위 완전 전개된 성엽을 기준으로 하여 EARS사의 휴대용 광합성 측정기를 사용하였다. 최종 생육조사를 마치고 광합성 측정에 이용되었던 상위 3번째 전개 성엽을 기준으로 처리 구당 잎을 5매씩 채취하고 각 잎마다 1g씩 절단하여 메탄올(95%) 20 ml와 함께 시험관에 넣고 4°C, 암상태에서 24시간 추출한 후에 클로로필 메타(Minolta SPAD-502)로 총 엽록소 함량을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 어린 채소의 재배결과

광변환 유리가 어린 케일과 가지의 생육에 미치

는 영향을 일반유리와 비교하여 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 엽폭과 엽장은 각 개체의 완전 성엽 중 제일 큰 잎을 기준으로 측정하였다.

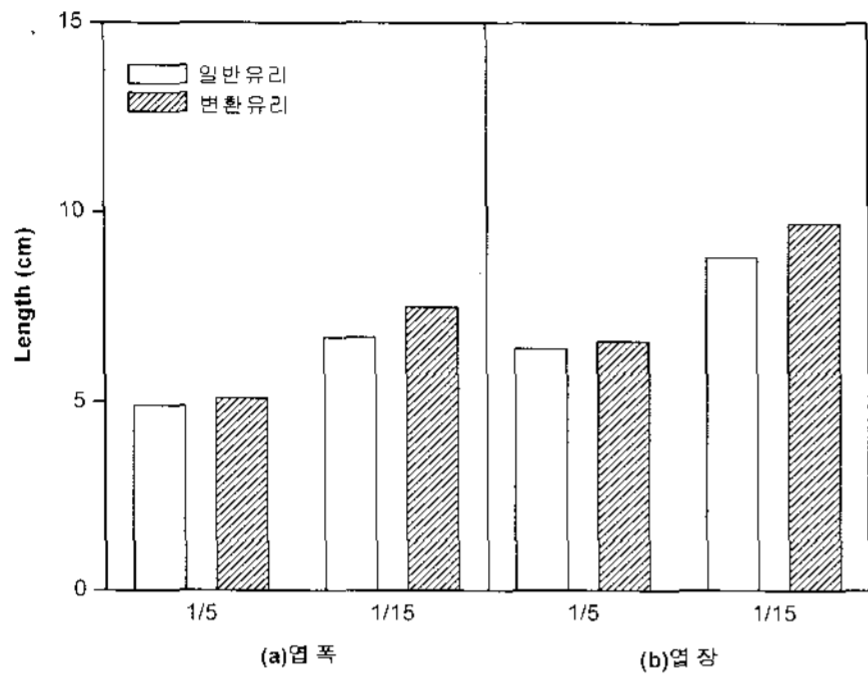


그림 3. Rearing state of young kales

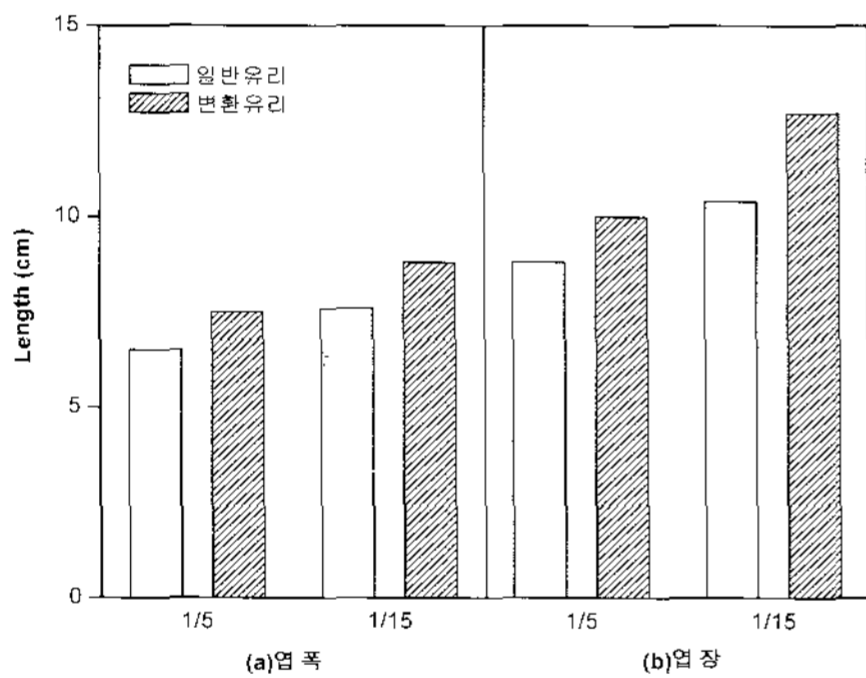


그림 4. Rearing state of young eggplants

케일은 생육조사 각 항목에서 일반유리 보다 변환유리가 높은 수치를 보여 주고 있다. 처리 20일 후에 조사된 1월 5일에는 처리간 차이가 크지 않아 엽폭 4.9 cm와 5.1 cm, 엽장 6.4 cm와 6.6 cm이었으나, 10일 후에는 생장의 차이가 커져서 엽폭 6.7 cm와 7.5 cm, 엽장 8.8 cm와 9.7 cm로 조사되었다. 그 결과 엽면적은 더욱 현저한 차이를 보이게 되어, 1월 15일 조사치는 일반유리 737 cm²에 비해 변환유리는 843 cm²로 약 14%의 증가를 가져왔다. 가지의 경우도 케일과 비슷하여, 1월 15일 조사된 엽면적은 일반유리 704 cm², 그리고 변환유리 777 cm²로 약 10% 증

가를 보여 주고 있었다.

이와 같은 결과가 일반유리보다 변환유리의 광변환 광합성 능력이 높아 생육을 촉진시킨 것인지, 광투과성이 낮아 웃자람의 결과인지를 확인하여야 하므로 처리 재배 중인 어린 식물은 2개체씩 공시하여 광합성을 측정하고, 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 광합성 능력은 동화상의 온도를 23℃로 유지하고 송기량은 10 liter로 측정하였다. 케일은 낮은 광강도로 판단되는 15 klux에서도 변환유리가 일반유리보다 1.5 mgCO₂dm⁻²hr⁻¹만큼 광합성 능력이 높았고, 이러한 경향은 광도가 높아졌을 경우에서도 유지되었다. 가지의 경우에 광합성 능력은 15 klux에서는 큰 차이가 없었으나, 30 klux이상의 광강도에서는 차이가 인정되어 2.5 mgCO₂dm⁻²hr⁻¹의 차가 있었다.

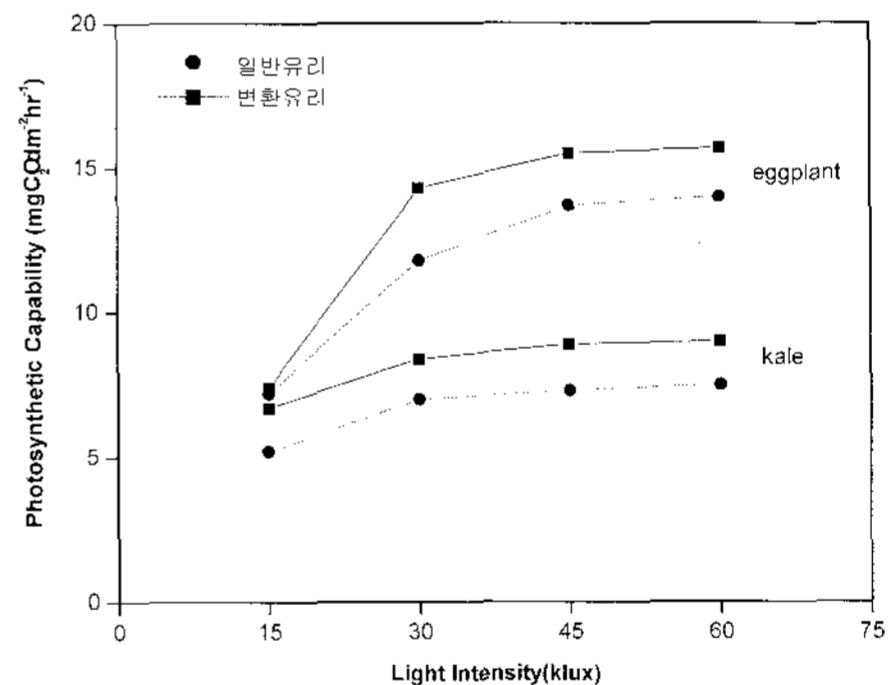


그림 5. Photosynthesized ability of young vegetables

3.2 성묘채소의 재배결과

상기 항에서의 실험과 달리 열매가 달리기 시작하는 묘를 정식하고 수확이 왕성하게 이루어지는 기간까지의 성장상태를 관찰하기 위하여, 3월 10일에 설치한 일반유리와 변환유리를 가지와 피망의 성장을 조사한 것을 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 전 기간 중 일정한 간격을 두고 생육조사를 하였으나, 그림에서는 6월 8일 최종 조사한 수치에서 4월 13일 최초 조사한 수치 값을 뺀 성장 차이만을 나타내었다.

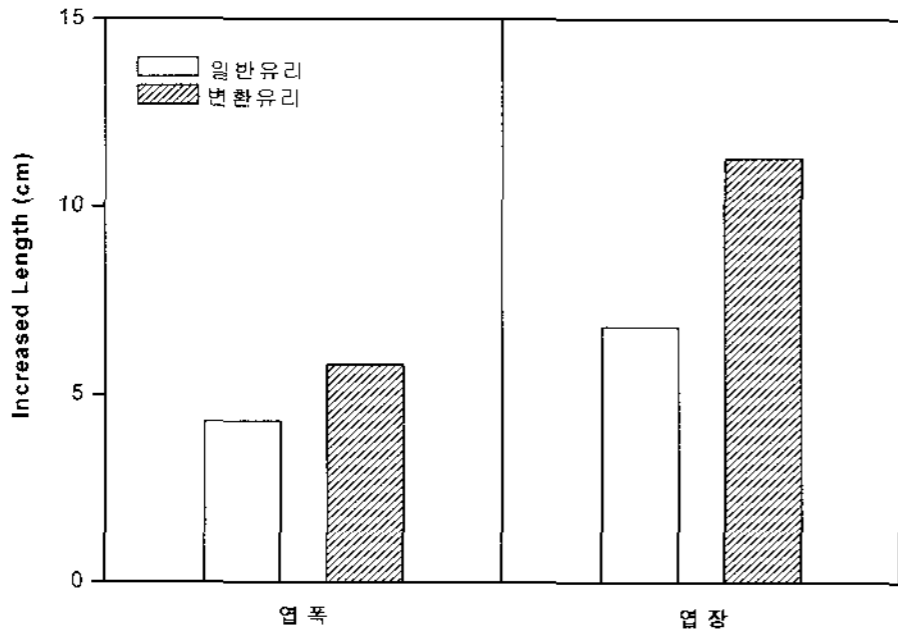


그림 6. Rearing state of grown eggplants

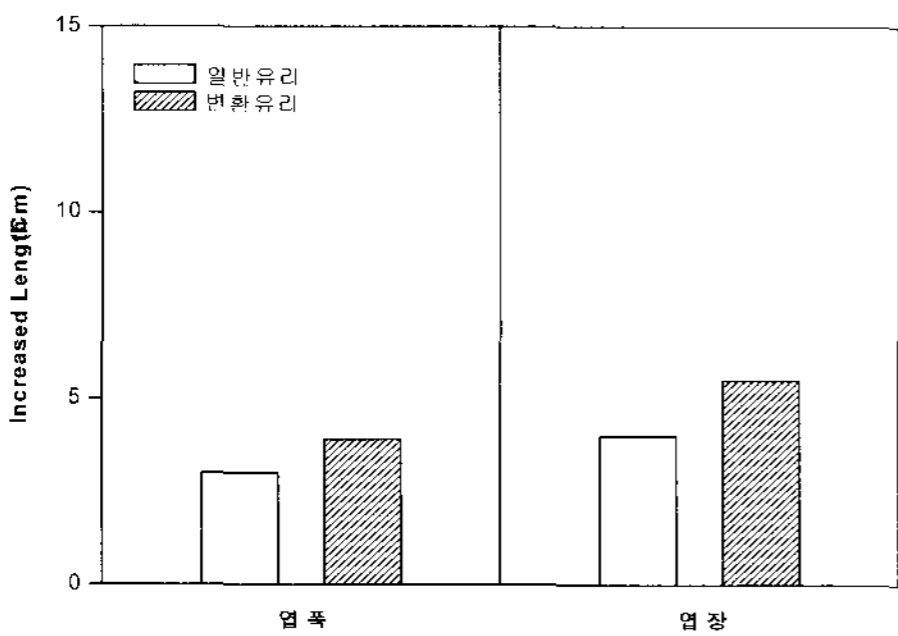


그림 7. Rearing state of grown pimentos

피망의 성장을 보면 일반유리에 비하여 변환유리는 엽장 및 엽폭에서 5-20% 정도의 성장촉진 효과가 있는 것으로 보였다.

과장의 변환에 따른 성숙엽의 광합성 능력을 휴대용 광합성 측정기를 가지고 날씨가 좋은 날 광의 수직분포가 이루어 졌을 때를 기준으로 하여 측정하였다. 광강도 60klux를 기준으로 하여 측정한 광합성 능력을 그림 8에 나타내었다. 처리 초기라고 볼 수 있는 4월 7일 조사된 값은 피망과 가지에서 각각 35%, 6% 정도 변환유리에 의한 촉진효과가 인정되었다. 그림 8에는 제시되지 않았으나, 2개월이 경과한 후 6월 8일에 조사한 광합성 능력도 처리 초기의 경향과 유사하였다. 이와 같은 결과는 성장촉진효과의 결과와 일치하는 것으로 판단된다.

광합성 능력에 영향을 주는 엽록소의 생성이 광변환에 의하여 어떠한 영향을 받았는가를 알아보

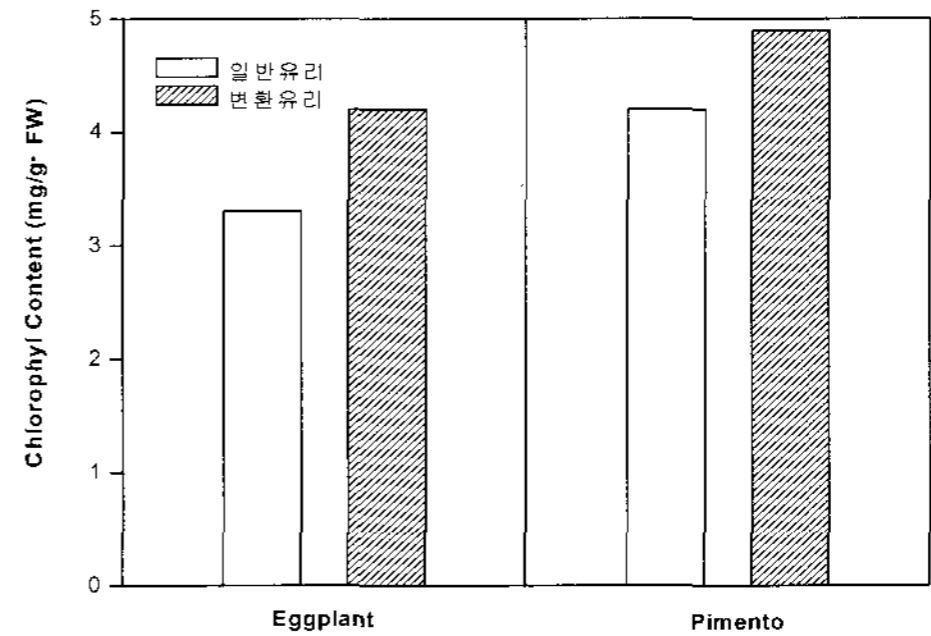


그림 8. Photosynthesized ability of grown vegetables

기 위하여 처리 3개월쯤 되는 6월 8일에 광합성 조사에 쓰였던 성숙엽들을 이용하여 엽록소의 함량을 조사하였다. 그림 9에 엽록소함량에 대한 측정결과를 요약하였다. 가지의 경우 잎의 색깔이 연하여 일반 재배자의 눈으로도 인식할 수 있듯이 피망보다 엽록소 함량은 적으나, 변환유리에 의한 영향은 뚜렷하게 나타났다. 즉 가지 잎의 엽록소는 일반유리에서 3.3 mg/g·FW, 변환유리에서 4.2 mg/g·FW로 27% 증가를 보였다. 또한 피망의 경우 일반유리에서 4.2 mg/g·FW, 변환유리에서 4.9 mg/g·FW로 16% 증가한 것으로 나타난다. 이와 같이 광변환 기능성 유리에 의한 처리가 엽록소 함량을 증가시키고 있는 것과 광합성 능력을 향상시킨 것이 서로 일치하고 있음을 알 수 있다.

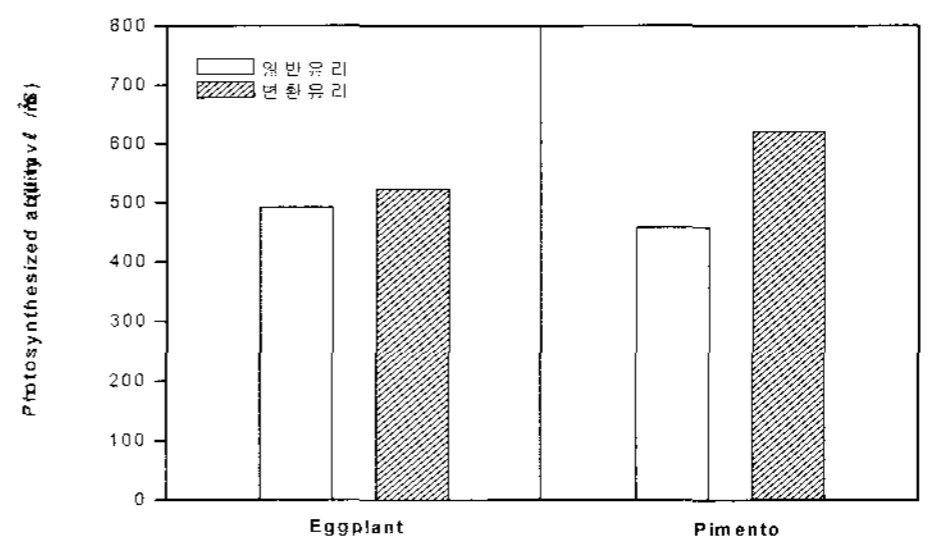


그림 9. Chlorophyll content of grown vegetable leaves

그림 10과 그림 11은 광변환 처리된 조건과 그렇지 않은 조건에서 재배된 가지의 성장모습들을

보여준다. 실제로 2주 후에는 재배에서 외형적인 차이를 볼 수 없었으나, 3주 경과 후에는 그림 9에서 보여주는 바와 같이 변환유리에서 분지 되는 수가 많아지고, 따라서 잎면적의 차이도 나타나기 시작하였다. 그림 11에는 8주간 처리 후에 결실한 모양을 보여주는데, 결실된 가지의 크기에서도

광변환 처리된 것들이 양호한 것으로 나타나고 있다.

4. 결론

태양광을 광합성에 더 유리한 빛으로 변환하기 위해 Eu를 소다유리성분에 첨가된 광변환 유리를 제작하고, 이들 광변환 유리를 사용하여 소규모 모듈을 만들어 온실재배를 모사할 수 있도록 하여, 작물재배를 실시하였다. 케일, 가지, 피망 작물 재배실험을 통하여 유리의 광변환 기능이 식물의 성장과 광합성을 작물의 종류에 따라 차이는 있으나 5-30%까지 증진하는 것을 확인할 수 있었다. 저광도 식물인 케일의 생육상태가 좋아지고 광합성능력이 향상되었고, 고광도 식물인 피망, 가지에서도 성장과 광합성 능력이 향상되었다.

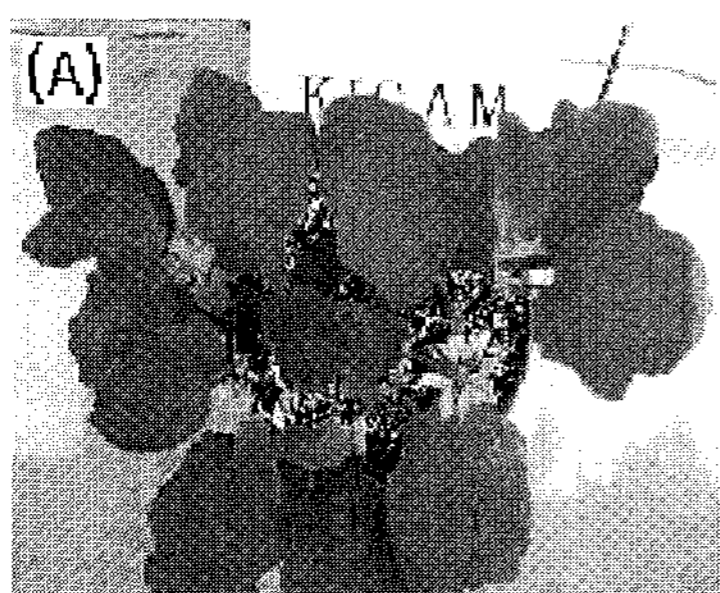
이 결과로 보아 광변환 유리는 많은 종류의 작물에 적용할 수 있을 것으로 보이며, 시설원예 농업의 경쟁력을 높이는 데에도 기여할 것이다. 본 연구에서 획득한 긍정적인 결과는 충분한 수량의 작물개체 재배를 통한 중형 온실 실험을 통하여 가능성을 검토할 필요가 있을 것이다.

후 기

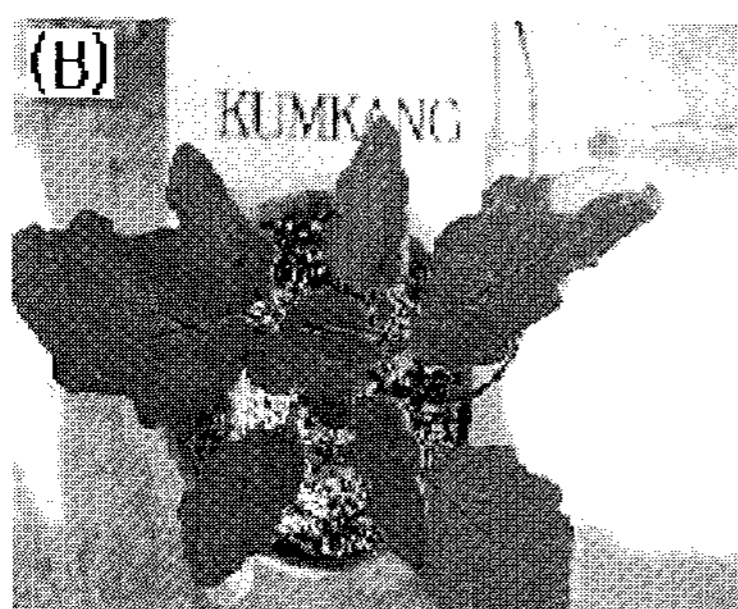
본 연구는 산업자원부 에너지자원기술개발사업에 의하여 지원되었으며, 이에 감사를 드린다.

참고문헌

1. 박충춘, (1994), "시설원예 현대화 하우스 모델 선정 및 재배효과에 관한 연구", 농촌진흥청
2. K. Tonooka, F. Maruyama, N. Namata, and J. Ono, (1994), J. Luminescence, Vol.62, P.69
3. U. Rambabu, P. K. Khanna, I. C. Rao, and S. Buddhudu, (1998), Materials Letters, Vol.34, P.269



(a) 변환유리



(b) 일반유리

그림 10. Eggplants after 3 weeks



(a) 변환유리



(b) 일반유리

그림 11. Eggplants after 8 weeks