

시설원예용 기능성 피복자재의 품질특성

일신화학공업주식회사/원예연구소

박광역, 정근우/전 회

우리나라의 피복 자재의 변천사를 살펴보면 1950년대에 PVC 필름이 최초 사용된 이후 '60~'70년대에는 PE 필름의 사용량이 증가되었고 '80년대 들어 유적제(流滴濟)와 내후제(耐候濟)를 처방한 PE 특수 필름이 본격적으로 사용되었고 이 시대를 연질 피복 자재 발전사 중 제 1세대로 구분할 수 있다. '85년대에 EVA 필름 및 다층 공압출 필름 대두되었고 '90년대는 제2세대로 본격적으로 다층 공압출 필름이 본격적으로 생산되어 전 농가에 보급되었다. '95년대 들어 제3세대로 구분할 수 있는 작물의 생육 촉진하여 작물의 조기 및 다수확을 가능케 하는 기능성 필름 출현과 함께 온상 안개를 조기에 제거하거나 억제하는 방무(防霧) 필름이 선보였다. 2000년 이후에는 시설원예의 대형화 자동화의 영향으로 장기 사용(반영구 방적·내후) 필름의 보급이 촉진되고 있다.

저비용으로 고품질 다수확을 지향하는 시설원예의 기본목적을 달성하기 위해서 적절한 피복자재의 선택은 성공적 농업경영을 위한 매우 중요한 요소이다. 재배작물의 광(光)요구 특성, 온도적응 특성을 고려하고 재배작형(촉성재배, 반촉성재배, 억제재배, 가온재배, 무가온재배)에 따라 가장 경제적인 피복자재를 선택할 수 있도록 연질 필름 중 폴리에틸렌계(Polyolefin)를 중심으로 필름특성과 첨가제별 적용원리를 살펴보고자 한다.

1. 피복 자재 종류 및 특징

시설 원예에 사용되는 피복 자재를 특성별로 분류하면 아래와 같다.

가. 피복 자재 형태별 분류

- (1) 경질 자재: 경도가 높아 딱딱한 형태를 갖는 유리, PET, PC, FRP
- (2) 연질 자재: 유연성이 있는 PO폴리에틸렌(PE+EVA)계 필름, PVC 필름 (두께 0.2mm이하)
 - 폴리에틸렌(Polyolefin) : 에틸렌, 프로필렌, 부텐, 이소프로필렌 등 비교적 간단한 구조의 탄소와 수소 공중합체의 총칭. 폴리에틸렌(PE), 에틸렌비닐-아세테이트(EVA), 폴리프로필렌(PP) 등이 이에 속하며 일반적으로 비중이 1보다 낮고, 내약품성과 가공성이 좋은 재질로 알려져 있다.
 - 최근에는 초산비닐(EVA) 단독으로 필름을 성형하여 생산되는 필름은 없고 작제는 3%에서 최고 15%의 VA-content 가 농업용 피복재로 주로 사용된다.

나. 피복 자재별 특징

(1) 경질 자재

①유리: 3~5mm

장점: 투광성, 보온성, 불연성, 내구성

단점: 고가의 설치 비용, 외부 충격에 쉽게 깨짐.

②PET 필름: 주 규격은 두께 0.15mm, 폭 1.6m임.

장점: 연질 필름 대비 높은 인장강도, 내한성, 투광성, 내오염성, 내구성

단점: 고가의 설치 비용

③PC 판: 주 규격은 두께 0.84mm, 폭 1.2m.

장점: 내구성, 강도, 투광성, 내충격성

단점: 고가의 설치 비용

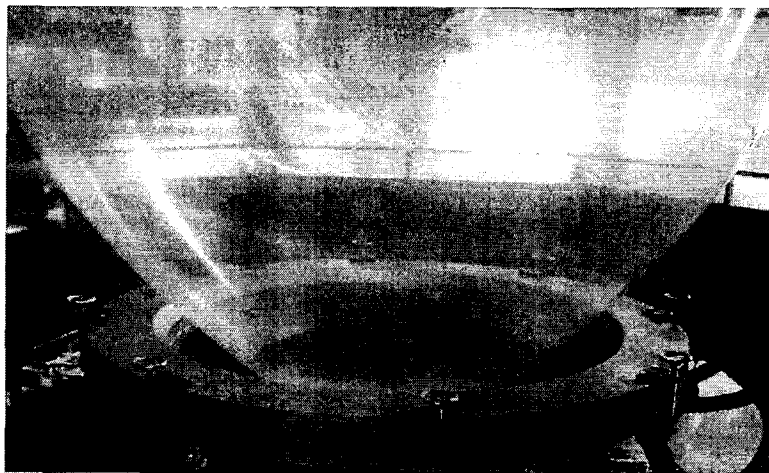
(2) 연질 자재

①PE 필름: 주 사용 규격은 두께 0.05~0.15mm, 폭 350~800cm (비중 0.92)

장점: 경질 자재 및 PVC 필름 대비 저가의 설치 비용, 규격이 다양, 설치 용이성 우수

단점: 낮은 내구성, 강도

■**가공방법** : 원료를 높은 열로 녹인 후 바람을 불어넣어 튜브모양의 필름을 성형하는 인플레이션(Inflation) 압출방식과 냉각롤에 겔(Gel)상태의 용융수지를 흘려보내 필름을 성형하는 T-DIE압출방식이 있는데 농업용은 광폭가공이 용이한 인플레이션 압출방식을 사용함. 압출기(Extruder) 다이의 구조 상 단일겹(Mono)에서 3층구조(3-layer)까지 가공되며 복층(Layer) 가공품 일수록 품질이 뛰어나. PVC에 비해 넓은 폭 가공이 가능하고 피복작업이 쉽다.



<그림 1> Polyolefin film 가공설비

②高EVA필름: 주 사용 규격은 두께 0.05~0.15mm, 폭 350~800cm (VA함량 10%이상)

장점: PE필름 대비 보온성, 투광성, PVC필름 대비 내한성, 저온 내충격성 우수

단점: 낮은 내구성, 강도

■ **가공방법** : PE필름과 동일한 인플레이션(Inflation) 압출공법으로 제조됨. 투명성이나 보온성이 PVC와 PE의 중간정도이며 특히 유적제, 안개방지제 등이 혼합된 기능성필름의 가공성이 좋아 최근 급격히 사용량이 늘었음.

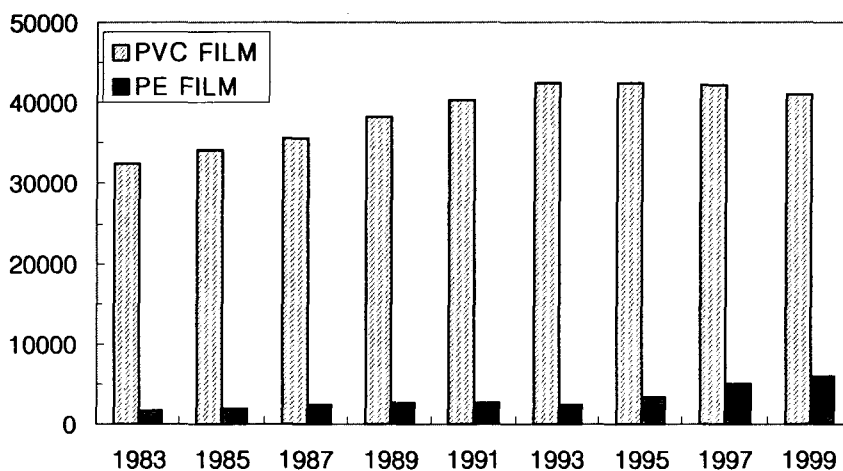
③PVC 필름:

장점: PE, EVA필름 대비 보온성, 초기 투광성, 방적성 우수

단점: PE 및 EVA 필름 대비 내오염성, 내한성 열세

■ **가공방법** : Poly-vinyl-chloride를 주원료로 하여 가소제를 첨가하며 소량의 안정제, 자외선흡수제등을 추가하여 일정한 두께로 연속적으로 압연하여 필름을 성형하는 캘린더링(Calendering)이라는 공법으로 제조됨. 보온성과 투광성은 그 어떠한 필름에 비해 우수하나 내한성(영하15도)이 약하여 우리나라의 경우 경남, 전남 일부지역에서 내피용으로 사용함(일본은 90%이상이 PVC필름을 피복재로 사용함)

우리나라의 경우에는 절대적으로 연질 자재 사용 비율이 월등하고 연질 자재 종류별로는 PE, EVA 필름이 주종으로 PVC는 전체 연질 필름 수량의 약 5~6% 정도를 차지하고 있다. 그러나 일본의 경우는 우리나라와 반대 경우로 PVC 필름 사용비율이 87.5% 정도로 월등히 높은 편으로 최근 들어 PVC 폐 필름의 소각 시 발생하는 환경 오염 물질로 인하여 그 사용량이 감소하는 추세에 있다



<그림 2> 일본의 시설재배면적 추이

2. 농업용 기능성피복재의 품질특성

①강도(強度, Mechanical property)

바람, 눈 등 다양한 기후 변화와 외부의 물리적 충격에 대하여 피복자재로서 형태 유지하기 위한 일정 이상의 강도가 필요하다. 합성수지 종류마다의 한계 강도가 있는 것이 일반적으로 PE 필름이 PVC필름보다는 찢어짐과 저온 외부 충격에 대한 강도가 우수하고 LDPE, EVA 보다는 LLDPE의 인장 및 충격강도가 우수하다. 최근 10년 전부터 삼층 복층구조(Multi-layer) 공압출 기계장비의 대중화에 힘입어 강도의 보강을 위해 투입하는 LLDPE의 사용율의 증가에 따른 투명성 저하는 최소화할 수 있었다.

1990년 이후에는 메탈로센이라는 촉매가 개발되어 L-LDPE필름의 강도가 20배이상 증가되어 우박과 폭풍에도 찢어지지 않는 피복자재가 생산되고 있다.

표 1. 피복자재별 물성

	PE	EVA	PET	PC
인장강도(kg/cm ²)	180	220	2220	650
충격강도(kg/cm ²)	20	54	60	88
광투과율(%)	86	89	88	89
자외선 안정 시간(hrs)	48	185	2000	3000
내구 년수(년)	1	1	7	5~10

*PE 및 EVA 필름: 두께 0.05 mm, PET 필름: 두께 0.15mm, PC판: 두께 0.84mm

②투광성(透光性, Transparency)

동절기는 하절기 보다 광량이 절대적으로 부족하기 때문에 광합성 효율을 증대시키기 위해서는 투광율이 우수해야 하며 온상 내부로 투과된 빛에너지에 의해 광합성에 필요한 광보상점에 도달하는 시간을 최대한 단축시킬 수 있다.

광보상점이 비교적 높은 호광성 작물(과채류 참외3,500Lux, 수박4,000Lux)은 폴리에틸렌(PE)계 필름 중 EVA함량이 높은 재질(12%이상)을 사용하는 것이 광합성에 유리하다. 투광성이 좋은 필름은 또한 장파장으로 인한 지온상승을 유발함으로써 광합성물질의 전이(轉移) 효율을 높여 수확시기 단축과 수확량 증대를 가져 올 수 있다.

필름의 재질면에서는 동일 두께의 필름일 경우 보통 PVC > 高EVA+LDPE > LDPE > L-LDPE 순으로 투광성이 우수하고 PVC는 PO(VA+LDPE)필름 보다 초기 투명성이 우수하지만 일정 시간이 경과되면 오염이 되어 투광성이 오히려 떨어진다. 따라서 우리나라 시설재배에서는 PVC를 주로 내피복자재로 선호하고 있으며 필름

제조 업체나 합성수지 제조업체에서는 보다 투명성이 우수하고 초기 투명성을 장시간 유지할 수 있는 제품 개발에 전력을 기울이고 있는 실정이다.

투광성에 영향을 미치는 인자는 원재료의 고유특성 외에 필름성형 냉각방식, 물방울 흐름성, 대전 방지성(내오염성)등에 민감하게 작용하므로 제조에서 관리, 사용에 이르는 전 과정에서 높은 투광성을 유지하기 위한 방법의 개발은 시설재배 수준의 향상을 위해 매우 중요한 분야라 할 수 있다.(도표 2)

표 2. 광합성 특성에 따른 광강도 구분

구분	조도	작물
강광형	40Klux 이상	과채류: 토마토, 참외, 수박, 호박, 오이, 고추, 메론 화훼류: 장미, 국화, 카네이션
중광형	20k~40Klux	과채류: 완두, 강낭콩, 샐러리 화훼류: 스토크, 프리지아
약광형	20Klux이하	엽채류: 상추, 삼엽채, 썬갓 화훼류: 글록시니아, 칼라디움, 몬스테라

③내후성(耐候性, Weatherability)

작물의 씨앗을 파종 후 수확하기까지는 짧게는 2~3개월 길게는 6개월 이상 지속되는 것이 통상적이다. 따라서 온상에 필름을 피복 후 일정 사용 기간 동안 일정 물성을 유지해야 한다. 재질면으로는 PE보다는 EVA재질이 광에 의한 내후성은 우수하며 온상 필름의 내후성은 자외선 복사량, 일사량, 기온, 강수량 등 자연적 요인과 염소, 황계 농약 사용과 온상의 골재 종류 등 인위적 요인에 따라 차이를 나타낼 수 있다.

일반적으로 PE, EVA, PVC 등의 연질 피복 자재의 내후성 감소의 주원인은 지표면에 도달하는 태양광중의 자외선(300~400nm)에 의해 발생하는 광산화이다. 따라서 고분자의 내후성 증진을 위하여 광안정제를 주로 사용하는데 종류로는 benzophenone, benzotriazole, hydroxyphenyl-triazine계 등의 UV흡수제와 HALS(hindered amine light stabilizer)계가 있다.


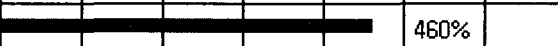
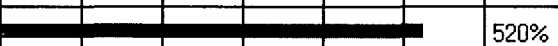
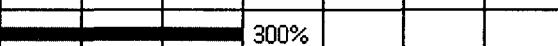
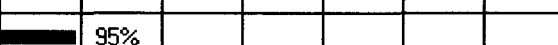

■ UV-흡수제 : 자외선을 흡수하여 열에너지로 방출시켜 화학적 구조의 변화를 방지하는 원리

■ HALS : Polymer가 자외선을 받아 분해되기 전 Radical은 에너지가 높은 상태가 된다. 이때 들뜬 상태의 에너지를 빼앗아 안정된 상태로 돌아가게끔 하여 안정화하는 원리

온상용 PE, EVA 필름의 경우에는 주로 HALS를 주로 사용하는데 UV-흡수제

대비 장점으로 자외선 안정성이 우수하고 투광을 저하가 적은 반면 단점으로는 황(S), 염소(Cl) 원소와 접촉할 경우, HALS와 황(S)이 반응하여 착화물을 발생시키고 HALS의 주기능인 자외선 안정성 기능을 상실케하는 단점이 있다. 최근에는 이러한 HALS의 단점을 보완한 제품들이 출시 되고 있다. 그리고 HALS와 유적제 간에는 상호작용이 존재하여 종류 및 양에 따라 투명성과 유적성이 차이가 발생하며 보온제 종류 및 함량에 의해서도 내후성이 변하므로 제품 개발 시 고려해야 한다. 특히 훈증제의 사용이 증가함에 따라 농약에 의한 내후성 조기 소멸 분쟁이 빈발하고 있다.

표 3. 농업용 필름의 농약에 의한 인장강도

시 료	UV내후성 실험치 (농약살포 후 140시간 후 잔존 신들)						
장수필름(미처리)							676%
피레스유제처리							460%
DDVP유제처리							520%
빈즐수화제							300%
일리펫수화제							95%
DDVP+빈즐수화제							376%

실험: 일신화학 연구개발실(1996년) +신율 : 당겼을 때 늘어나는 정도

④유적성(流滴性, Anti-condensation)

온상 필름의 재질로 사용되는 고분자들은 물과 친화력이 약한 비극성 고분자 화합물이므로 수분과 접촉하면 필름 표면의 표면 장력이 물의 표면 장력에 비하여 작기 때문에 물방울이 맺히게 된다.

- 폴리에틸렌(LDPE)표면 : 탄소와 수소로 이루어진 비극성 고분자
- 물방울 : 산소와 수소로 이루어진 극성물질

그리고 온상과 같이 햇빛에 의하여 온상 내 기온과 지온 상승으로 토양 중의 수분을 증발 시키고 필름 표면에 맺힌 물방울에 의해 온상 투광도를 감소시켜 온상내 기온 지온 상승이 감소하며 작물의 광합성을 저하시키게 된다. 온상 내외부 온도 차이에 의하여 필름 표면에 맺힌 물방울에 증발 수분이 계속 응집되어 물방울 크기가 점점 커지다가 결국 중력에 의하여 지면으로 떨어지게 된다. 그러나 이 떨어지는 물방울들은 온도가 차가운 것으로 동절기 작물 재배 시 차가운 물방울이 작물 잎에 떨어질 경우에는 냉해 발생과 꽃에 떨어질 때는 수정 불량을 일으켜 작물생육에 지장을 초래한다.

이러한 현상을 방지하기 위하여 유기계 계면활성제를 고분자 물질에 혼합 사용하면 필름 표면으로 계면활성제가 이행하여 피막을 형성하고 수분과 접촉 시 필름의 표면장력을 증가시켜 물방울이 필름 표면을 따라 펼쳐지게 되며 중력에 의하여

필름 표면을 따라 지표면으로 물이 흘러 내지게 되어 일부에서는 무적성(無滴性)이라고도 한다.

유기계 방적제의 종류로는 sorbitan fatty acid ester, glycerin fatty acid ester 등의 다가 알코올 지방산 에스테르계, polyoxyethylene계, alkyl diethanol amine 등의 amine, amide계 등이 있다. 이들 표면에 이행된 유적제는 시간 경과할수록 수분에 용해되어 소모되므로 그 기능은 감소하게 된다. 실제 농가에 연질 피복 자재를 사용할 때는 비교적 외부 기온이 높은 늦가을부터 한 겨울까지 다양한 기후 조건이다. 따라서 피복 필름의 안정적인 방적성을 발휘하기 위하여 2종 이상의 유적제를 혼용 사용하는 것이 보편적이다. 유적제 선정 시 주의해야 할 사항은 타 첨가제(UV안정제, 보온제, 방부제 등)와의 상용성, 열안정성, 가공 편의성, 베이스 수지와와의 상용성을 고려 해야 한다.

표 4. 유적효과 지속의 4가지 조건

유형(Style)	이행조건(condition)	계면활성제(surfactant)	분자량
초기성	설치 초기 유적 속성 이행	솔비탄 모노 라우레이트	256 이하
유적 지속성 (후기)	설치후 4~5개월 이후 지속성	솔비탄 모노 팔미레이트	282 수준
고온유적성	0 ℃~50 ℃에서의 유적이행	솔비탄 모노 스테아레이트	284 수준
저온유적성	-20 ℃~0 ℃에서 유적이행	모노 글리세라이드	

연질 피복 필름의 방적 기능 발현의 변수로는 필름 가공조건, 보관 조건, 사용 장소 및 기후, 재배 작형, 온상 형태, 작물 재배 방법 등이 있고 이러한 변수에 따라 동일한 제품이라도 방적 기능이 차이가 심하게 나타나 제조 판매 업체와 최종 소비자인 농민간의 품질에 대한 문제가 발생한다. 최근 들어 이러한 기존 방적필름의 문제를 해결하기 위하여 반 영구적으로 사용할 수 있는 유적제를 코팅한 필름이 등장하고 있고 일부에서는 극소수성을 갖는 불소계 고분자를 사용한 필름이 등장하고 있다.

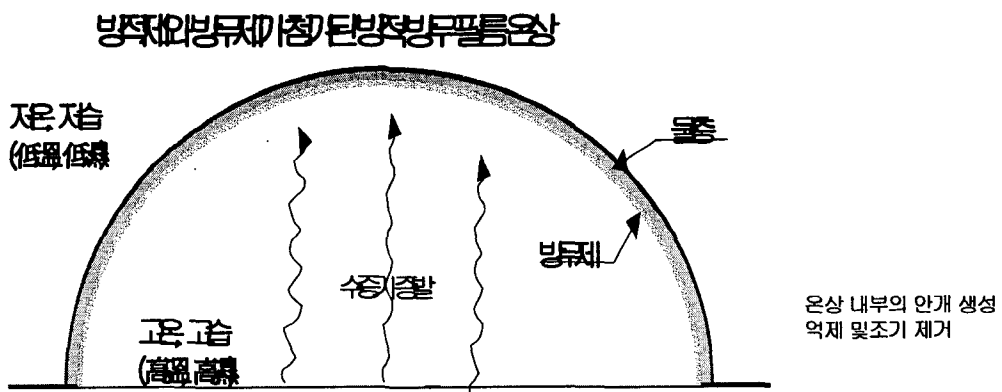
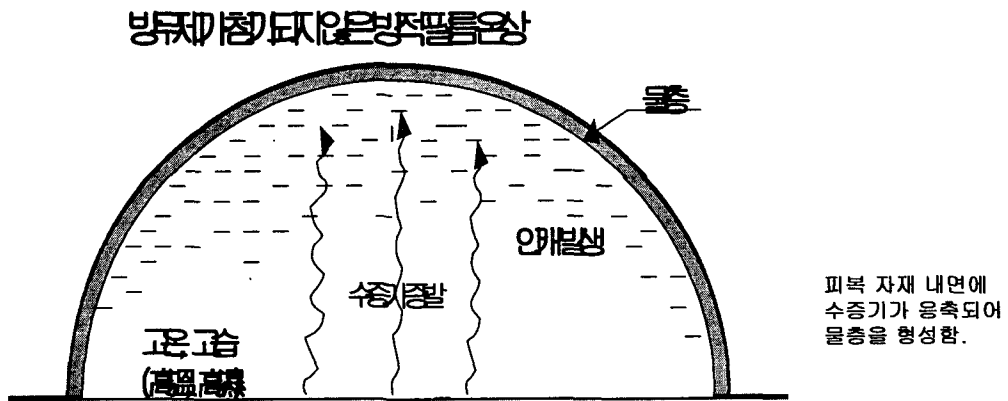
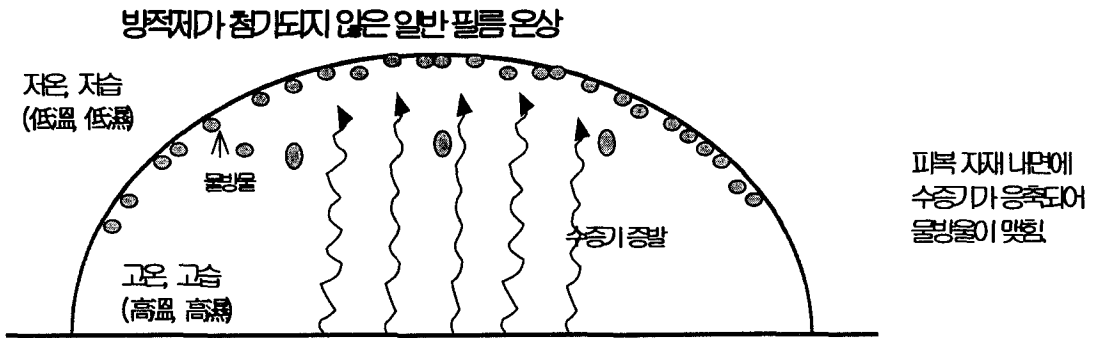


그림 3. 연질 필름 방직, 방무 기능

⑤보온성(保溫性 Thermal effect)

시설원예의 재배에서 야간 보온력은 연질 피복 자재의 선택에 있어 중요한 요소이다. 주간에는 온상내에 축적된 빛에너지는 야간에는 장파장의 복사에너지(파장이 5~15 μm 인 적외선)로 전환되어 피복 재질을 통과하여 대기중으로 방출되므로 야간에 온상내 온도가 급격히 낮아진다. 따라서 보온성은 얼마나 적외선 영역의 파장대의 빛을 흡수 및 반사 시켜 온상내 온도를 유지하느냐에 비례한다. PVC의 경우에는 이러한 적외선을 90% 정도 흡수하나 PE는 90% 이상 통과시키기 때문에 PVC, EVA, PE 순으로 우수한 보온성을 나타낸다.

이러한 보온성을 더욱더 증가시키기 위하여 사용되는 첨가제를 보온제라고 하며 B, Mg, Si, Al, Ca 등 무기 원소를 함유한 무기물이 주로 사용된다. 보온제 역시 사용 시 주의해야 할 사항은 타 첨가제와의 혼용성, 입자 크기 분포, 필름 기계적 물성 등을 고려해야 한다.



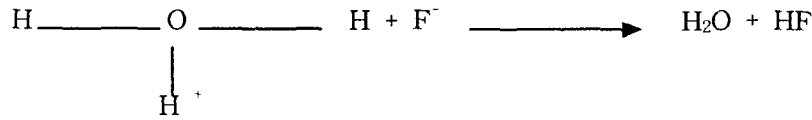
<그림 4> 보온성 비교 실험

⑥방무성(防霧性, anti-fogging)

한 겨우내 일교차가 심한 일출, 일몰 시 지역적 특성에 따라 기온의 급강하 시 하우스 터널 내부에 안개가 생겨 광에너지 차단으로 인한 작물의 생리장해가 발생하게 된다.

안개는 작물의 병충해 발생의 원인이 되기도 하여 그에 따른 농약살포의 횟수 또한 증대되게 된다. '95년도부터 본격적으로 사용하게 된 소무(少霧)필름의 경우에는 불소 또는 규소계 화합물을 유적제와 혼합 사용하여 온상내 안개 발생 억제와 조기 제거 효과를 나타낼 수 있다. 방무제를 사용할 경우, 주의사항은 방무제는 유적제와 상호작용 매우 커서 방무제 종류 및 함량에 따라 방무성은 물론 방적성의 기능에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 따라서 안개를 방지하는데 치중하다 보면 물방울맺힘이 발생하고 유적성을 좋게할 경우 안개발생이 증대되어 소비자 분쟁이 급증하는 원인이 되기도 하여 제조회사에서는 이 문제를 '현대과학 기술 준으로 아직 해결할 수 없는 기술적 한계'로 인정하고 있다.

<안개방지효과 작용 원리>



안개는 대기중에 불안정한 상태의 수증기 입자이며 분자식은 H_3O^+ 이다. 유적효과를 극대화 시켜주는 활제(불소)를 첨가하여 음이온 전하를 상승시켜 안개가 생성되는 과정을 억제시킨다.

⑦경제성과 작업 편리성

앞에서 설명한 6가지의 물성이 아무리 우수하여도 경제성이 없을 경우 널리 사용될 수 없다. 한 예로 최근 개발된 불소계 고분자로 제조되는 불소필름의 경우, PE필름에 비하여 앞에서 설명한 6가지 물성측면에서 월등하나 고가인 관계로 일부 지역에서 시범적으로 사용될 뿐이다. 경제성은 작물의 종류, 재배작형, 온상 형태 등 다양하게 검토되어야 한다. 그리고 작업 편리성은 초기 피복 편의성으로 재질이 너무 뻣뻣하여 피복하기 어렵거나 환기를 위하여 측창을 열어 놓았을 경우 필름끼리 들러붙어 다시 닫을 경우 필름이 찢어지는 경우가 없어야 한다.

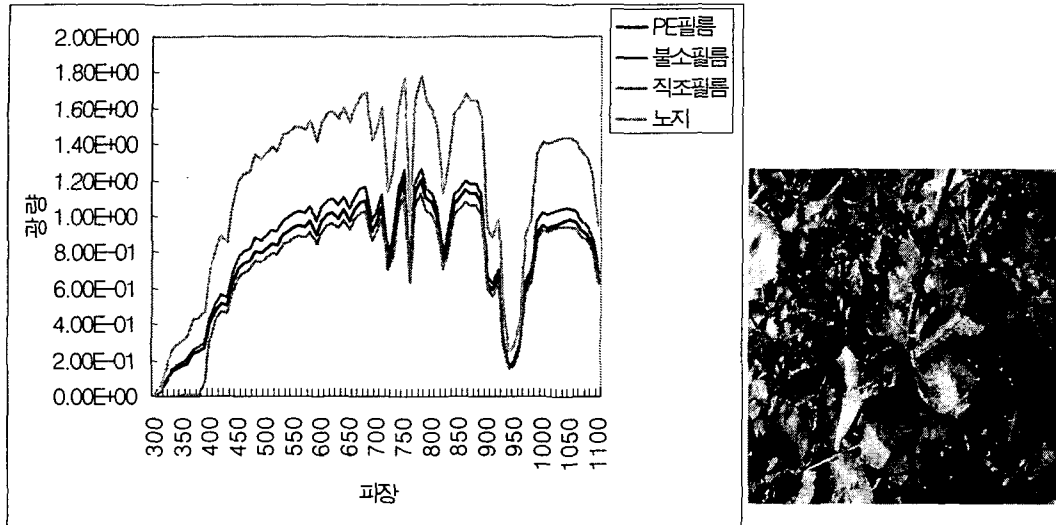
3. 광환경조절 피복자재

피복자재를 이용하여 시설 내 광환경을 조절할 수 있는 것은 광의 양적인 측면에서는 외피복자재의 경우 투광율이 높을수록 우수한 자재이므로 광량의 조절보다는 광질의 조절기술이 필요하다. 현재 개발 보급되고 있는 피복자재 가운데 이러한 광질의 차이를 보이는 것으로는 자외선 차단 피복자재와 광파장 전환 피복자재와 산광피복자재 그리고 각종 유색도료를 이용한 선택성 광파장 투과 피복자재 등이 있다.

가. 자외선 차단 피복자재

먼저 자외선 차단 피복자재로는 직조필름, 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)필름과 폴리카보네이트(PC)판 등이 있으며, 이들 자재는 자외선으로부터 피복자재를 보호하여 내구성을 향상시키거나 자외선을 차단함으로써 식물의 생육을 초진하는 역할을 한다. 그러나 자외선 차단과 연관지어 적색이나 자색 등의 색도 발현이나 곤충의 비산능력이 저하된다는 일부 보고가 있으나, 이는 온도나 전체 일사량의 요인이 더 크게 작용하기 때문에 이용상의 문제로 남게된다. 반면에 자외선이 차단될 경우 잿빛곰팡이의 원인균인 사상균(Botrytis, Alternaria)과 같은 미생물의 번식은 230~280nm 정도의 광파장에서 포자 형성이 활발하기 때문에 자외선 차단 피복자재를 사용할 경우 딸기, 오이 및 토마

토와 같은 과채류나 장미, 나리, 카네이션과 같은 화훼류에서 발생하는 곰팡이 계통의 병해 발생이 억제된다.



<그림 5> 피복재 종류별 분광투과성과 장미 흰가루병 발현 (2001 원예연구소)

※ 측정기기 : 휴대용 분광광도계(LI-1800, EKO)

나. 광파장 전환 피복자재

다음으로 광파장 전환 피복자재의 이용 기술은 첨가제를 이용하여 피복자재가 투과하는 광 가운데 자외선이나 적외선 부위를 작물의 광합성이 활발한 파장대인 600~700 nm의 적색 영역으로 광파장의 전환을 일으켜 광합성을 증대시킨다. 이들 피복자재는 딸기에서 착과나 과실의 착색에 유리하고 토마토, 고추, 오이의 육묘 소질을 향상시켜 준다. 광전환필름을 피복한 비닐하우스 토마토 재배 효과를 살펴보면, 육묘기 생육은 파종 후 20일에 일반필름시설보다 광질전환 필름 시설에서 경경이 크고 엽면적이 넓었고, 정식시 주당 엽수는 7.3매로서 0.8매가 많았으며 주당 엽면적은 220.35cm²로서 84.6cm²가 넓었다. 그러나 자외선이 차단된 시설에서는 초장이 길고, 경경이 짧으며, 엽면적이 적어 도장하는 경향이 뚜렷하였다. 육묘플러그판의 셀수에 따라서는 토마토 묘소질은 72공에서 초장, 경경, 생체중, 건물중 그리고 엽면적 확보 면에서 가장 우수하였고, 다음으로 105공, 128공 순으로 나타났으며, 200공에서는 토마토 묘소질이 현저히 떨어졌다. 그러나 고추에서는 필름종류별로는 토마토와 유사한 경향을 보였으나, 육묘 플러그판의 셀수에서는 72공, 105공 및 128공 모두 초장, 경경, 엽수 면에서 비슷한 경향을 보였으나, 200공에서는 다소 저조하였다.

표 5. 피복자재 종류별 토마토 파종 후 20일 유묘 생육 비교(1998 원예연구소)

필름종류	초장 (cm)	경경 (mm)	엽수 (매/주)	절 간 장(cm)				엽면적 (cm ² /주)
				지재부~ 자엽	자엽~ 본엽 1	본엽 1~ 본엽 2	본엽 2~ 본엽 3	
광질변환PE필름	20.7	3.84	4.0	5.00	4.77	1.43	0.93	47.7
일반PE필름	19.3	3.38	3.8	3.77	4.70	0.97	0.63	38.1
자외선차단PE필름	22.0	3.13	3.7	5.40	5.73	3.27	2.00	34.2

표 6. 피복자재 종류별 정식시 토마토묘 생육 비교(1998 원예연구소)

필름종류	플러그 판종류 (공)	초장 (cm)	지상부		지하부		엽면적 (cm ² /주)
			생체중 (g)	건물중 (g)	생체중 (g)	건물중 (g)	
광질변환 PE필름	72	41.3ab	14.52a	2.23a	3.02a	0.34a	229.45a
	105	40.1ab	14.48a	2.09a	2.99a	0.31a	221.23a
	128	42.1ab	14.42a	2.02a	2.97a	0.30a	220.35a
	200	42.9ab	13.96a	1.96a	2.85a	0.29a	218.69a
일반PE필름	72	34.6 b	8.25b	1.12b	1.49b	0.15b	148.23b
	105	35.5 b	8.13b	1.31b	1.44b	0.12b	139.63b
	128	35.8 b	7.98b	0.88b	1.13b	0.11b	135.68b
	200	36.1 b	7.52bc	0.84b	1.06b	0.08b	131.22b
자외선차단 PE필름	72	44.6 a	6.84c	0.87b	1.29b	1.02b	101.23b
	105	45.2 a	6.42c	0.75bc	1.17b	0.09b	100.27b
	128	45.3 a	6.15c	0.67bc	0.92b	0.08b	99.59b
	200	46.8 a	6.03c	0.59c	0.89b	0.07b	97.53b

*DMRT : 5%

표 7. 피복자재 종류별 정식시 고추묘 생육 비교(1998 원예연구소)

필름종류	플러그 판종류 (공)	초장 (cm)	지상부		지하부		엽면적 (cm ² /주)
			생체중 (g)	건물중 (g)	생체중 (g)	건물중 (g)	
광질변환 PE필름	72	19.4	2.41a	0.40	1.46a	0.17	59.79a
	105	18.9	2.38a	0.36	1.44a	0.16	58.69a
	128	19.6	2.32a	0.39	1.47a	0.18	57.91a
	200	20.3	2.21a	0.31	1.37a	0.13	56.31a
일반PE필름	72	18.7	1.85b	0.30	0.99b	0.11	43.73b
	105	18.6	1.85b	0.29	0.95b	0.10	42.19b
	128	18.3	1.79b	0.31	0.93b	0.09	43.20b
	200	19.8	1.81b	0.25	0.89b	0.07	41.09b

*DMRT : 5%

노지에 정식후 50일경에 고추의 군락생산구조를 분석한 결과, 육묘 플러그판 200공에 육묘된 식물체를 제외하고는 모두 정상적인 생육을 하였으며, 그 가운데 일반필름 피복 시설에서 자란 고추는 정도의 차이는 있었지만 72공, 105공 그리고 128공 순서로 생육이 좋았으나, 광질전환필름 피복시설에서 자란 고추는 72공과 128공이 모두 좋았으며, 105공에서는 경경이 다소 짧고, 초폭이 좁게 형성되는 등 위 두 처리에 비하여 생육이 조금 부진하였다. 그리고 고추의 첫마디의 분지각은 광질전환필름 피복시설에서 육묘된 고추가 60° 로 가장 커서 초기 수광을 위한 초형발달이 우수 하였고, 절간장 2cm 이상의 마지막 분지각에서도 비교적 높은 수치를 보였다.

표 8. 시설 토마토 과실특성(1997 원예연구소)

필름종류	과장 (mm)	과경 (mm)	당도 (°Brix)	경도 (kg/cm ²)	과중 (g)
광질전환PE필름	53.7	63.0	6.07	1.08	115.0
일반PE필름	52.0	58.5	5.57	0.83	103.5
자외선차단PE필름	47.5	53.4	5.50	0.78	101.1

표 9. 노지 고추, 토마토 수량(1998 원예연구소)

필름종류	플러그판 종류(공)	고 추(kg/10a)	토 마 토(kg/10a)
광질전환 필름	72	351 a	5.914 a
	105	341 a	5.534 b
	128	356 a	6.112 a
	200	318 b	4.805 c
일반필름	70	335 a	5.314 b
	105	313 b	5.218 b
	128	348 a	5.814 a
	200	298 c	4.608 c
자외선 차단필름	70	306 c	5.114 b
	105	284 c	5.007 c
	128	325 b	5.213 b
	200	256 d	4.425 d

*DMRT 5%

다. 산광 피복자재

우리 나라의 기후는 사계절이 뚜렷하고, 여름철의 고온과 겨울철의 한파가 심하여 비닐

하우스는 자연적으로 겨울철에 보온관리 위주로 발달하였다. 이러한 이용상의 특성 때문에 비닐은 여러 가지 특성 가운데 보온성이 강조되었다. 농가에서는 보온성을 극대화하기 위하여 2중, 3중 피복은 물론이고 수평커튼에다 터널까지 설치하기에 이르렀다. 그 결과 비닐하우스의 환경은 광투과율이 떨어지고 다습하여 생육이 저조하고 병해가 많이 발생하게 된다. 특히 풋고추와 같이 유인관리가 직립으로 이루어지는 과채류에서 생육 중기 이후에는 식물체 아래 부분에 직달광이 직접 들어가지 못하고 산란광이 들어가게 되어 식물체의 수광량은 유입광량의 10% 미만에 그친다. 또한 하우스 안의 다습한 공기가 비닐을 경계로 바깥의 찬공기와 만나면서 생기는 물방울은 투광률을 떨어뜨리고 직접 작물의 꽃이나 성장점에 떨어져 냉해를 일으키기도 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 하우스 안에서 광의 이용률을 높이기 위하여 광을 산란시키고, 물방울 맺힘이 적은 피복자재가 풋고추와 같은 과채류 재배에서 절실히 필요하다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 산광필름을 이용하면 광이용효율을 극대화할 수 있다. 산광필름으로 피복한 하우스가 일반필름으로 피복한 하우스보다 하우스 내부로 들어오는 일사량의 투과율은 10% 떨어지고 400~700nm 사이의 광합성유효방사량의 투과율은 4% 떨어지나, 산란광률은 5배 가량 높은 46%이었다. 물방울 맺힘 정도를 알아보기 위하여 봄철 맑은 날 오전 10시에 필름에 붙어있는 물방울의 양을 여과지를 이용하여 수적량을 조사한 결과 산광필름이 일반필름의 21%로 매우 적은 물방울이 맺혀 있었다. 실험실에서 물방울을 흘러내리게 하는 수적발생장치를 이용하여 유적량(2시간 동안 필름표면으로 흘러내린 물방울 양 기준)을 조사한 결과 산광필름이 일반필름보다 1.6배가 많았다. 이상 두 가지 조사에서 산광필름에서 물방울 형성이 적었음을 알 수 있었다.

<표 10> 하우스 내 광환경 비교(2000 원예연구소)

피복재	일사량 (W/m ²)	광합성유효방사량 (μ mol/s/m ²)	산란광률 (%)
산광필름	435 (90)	1,095 (96)	46(511)
일반필름	481(100)	1,140(100)	9(100)

<표 11> 필름종류별 방적성 비교(2000 원예연구소)

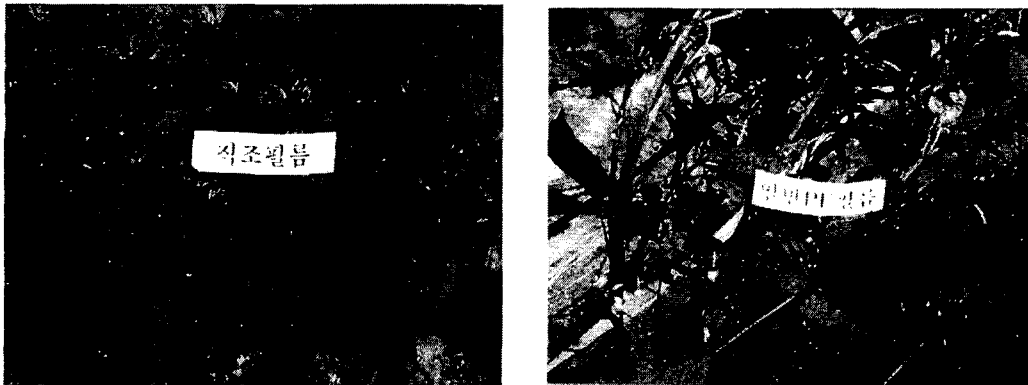
피복재	수적량 (mL/100cm ²)	유적량 (mL/100cm ² /분)
산광필름	0.51 (21)	2.68(162)
일반필름	2.45(100)	1.65(100)

라. 산광필름 피복 하우스의 풋고추 재배효과

일사량의 투과성은 다소 떨어지나 하우스 내 산광률이 높은 산광필름 피복 하우스에서 자란 풋고추의 생육은 일반필름 피복 하우스에 비하여 마디 수는 별로 차이가 없었으나 마디의 길이는 훨씬 짧아 줄기의 구조가 튼튼함을 알 수 있었다. 이러한 특성은 농약살포 시 일반필름 피복 하우스에서는 동력분무기의 강한 분무압으로 도장한 줄기가 구부러짐이 심하고, 다시 회복되는 비율이 적었는데 산광필름 피복 하우스에서는 줄기의 구부러짐도 적었고 구부러진 줄기는 3일만에 모두 회복되었다. 또한 초장은 마디 길이가 긴 일반필름에서 길었으나, 식물체가 옆으로 벌어지는 정도를 나타내는 초폭은 오히려 넓어 식물체의 수광태세가 우수한 것으로 나타났다. 이것은 광이 산란되어 고추의 아래 부분까지 골고루 들어가서 아래 잎에서도 어느 정도 광합성이 이루어진 결과이다.

<표 12> 풋고추 생육 비교(2000 원예연구소)

피복재	제3절 길이 (cm)	마디수 (개/주)	초장 (cm)	초폭 (cm)
산광필름	8.6	47	83	59
일반필름	14.3	44	96	53



<그림 6> 직조형 산광필름 피복 하우스(왼쪽)와 일반필름 피복 하우스(오른쪽)의 풋고추 농약살포 후 줄기 구부러짐 상태 비교

산광필름은 일반적으로 곡류를 담는 플라스틱 부대처럼 3중 또는 4중의 직조형으로 된 선형 저밀도 폴리에틸렌(LLDPE)으로 구성되어 있다. 또한 농업용 비닐에 필요한 여러 가지 특성을 강화시키고 개선시켰다. 보통 비닐의 노후는 자외선과 열 때문인데 수명을 연장시키기 위하여 각각의 다른 층에 자외선 안정제를 첨가하였다. 이러한 특성이 제대로 나타나기 위해서는 비닐의 두께가 0.15mm 이상은 되어야 한다.

광 파장별 투과성을 살펴보면 외부로부터 하우스 내부로 들어오는 700~1400nm 사

이의 원적외선의 통과를 차단하기 위하여 원적외선 차단필터를 비닐에 첨가한다. 이 첨가제는 비닐의 수명이 다할 때까지 남아있게 된다. 반면에 물방울의 흐름을 원활하게 해주는 유적제(流滴劑)는 1~2년의 비교적 긴 수명을 가지고 있다. 보통 유적제의 효과는 비닐의 두께, 첨가제의 양, 하우스 내외 기후조건 및 하우스의 높이에 따라 달라진다. 특히 하우스가 높을수록 유적성의 수명과 효과는 좋다.

그러나 직조형태로 짜여진 산광필름은 유적기능이 제대로 나타나기 위해서는 반드시 필름의 설치방향을 물방울이 흘러내리는 방향을 고려하여야 한다. 비닐의 고정은 일반 비닐보다 강화된 패드와 스프링을 사용하고, 오래 사용하기 위해서는 하우스에 고정끈을 치지 않는 것이 좋다. 특히 비닐의 연신율이 적기 때문에 피복 시 팽팽하게 유지하여야 한다. 보급가격은 농협계통 구매가격으로 3000원/m²이고, 내구년수가 5년~7년 정도로서 매년 피복을 해야되는 비가림 형태의 단동보다는 대형단동이나 연동에 설치할 경우 피복인건비가 차지하는 비중이 크기 때문에 2~3년 정도의 수명을 가지는 비닐보다 경제성이 높다고 하겠다.

4. 맺음말

오늘날 물밀듯이 들어오는 다양한 외국의 농산물에 대응하기 위해서는 국제경쟁력을 갖춘 고품질의 부가가치가 높은 농산물을 저비용으로 생산해야만 한다. 이를 위해서는 재배 작물의 생리생태적 특성에 맞는 최적 환경조성과 동시에 생력화가 가능한 정밀농업생산 시설이 우선적으로 요구된다. 따라서 우리나라의 기후, 작형, 시설, 투자 등 재배 입지여건을 종합적으로 검토 분석하여 우리의 실정에 최적인 온상 모델 개발과 피복 자재 개발이 중요하다고 판단된다.

우리나라의 농업용 폴리올레핀(PO)계 필름의 총 사용량은 약 170,000톤에 이른다. 시설원예용 PO계 플라스틱필름 사용량으로 세계 3위 수준이다. 따라서 기초원자재, 첨가제의 기술수준 또한 세계적 수준에 이르렀다.

<표 13> 농업용필름 용도별 비중

용도	광폭용	터널용 (소폭)	못자리용	업연초	멀칭(HD+LD)	합계
중량(톤)	65,000	30,000	6,000	6,000	63,000	170,000

(출처 : Plastic science 2002. 01호)

사계절의 변화가 뚜렷하고 최근 지구 환경변화에 따른 이상고온, 이상저온현상으로 인해 시설원예 피복자재에 대한 안정적 품질향상에 대한 욕구가 그 어느 때보다 높아지고 있다.

상기 7가지의 품질특성은 이제 농업용 피복자재가 갖추어야 할 필수요소가 되었다. 각

재배작물과 그 작형에 따라 다양한 기능이 복합적으로 요구되고 있고 각 첨가제의 상호작용에 의해 매년 신제품의 출시가 다양하게 이루어 지고 있으며 농가의 재배기술 수준이 눈에 띄게 발전하고 있다.

<표 14> 세계 국가별 시설원예면적(1999년)

대륙	국가	플라스틱온실 면적(ha)	유리 온실(ha)
아프리카	알제리	5,005	5
	모로코	10,000	550
	남아공	2,500	
	튀니지		15
	이집트		
	기타	9,495	
	소계	27,000	-
아시아	이스라엘	5,200	1,500
	터어키	14,000	10,800
	요르단	2,000	
	시리아	2,000	
	사우디	1,550	
	중국	780,000	
	한국	51,700	152
	일본	53,500	2,475
	소계	902,300	-
아메리카	미국	9,250	1,000
	콜롬비아	4,500	
	에콰도르	2,700	
	멕시코	1,200	
	소계	22,350	-
유럽	이태리	61,900	5,800
	스페인	51,000	4,800
	프랑스	9,200	2,300
	체코	4,300	
	헝거리	6,500	200
	세르비아	5,040	
	러시아	3,250	
	그리스	3,000	2,000
	네덜란드	400	4,000
	소계	179,900	
	합 계	1,131,550	-

자료참조 : Plasticsulture 2001, vol. 2- N120, 108~123

- 과채류 : 방무성 + 유적성 + 투광성 + 보온성
- 엽채류 : 강도 + 유적성 + 작업성,경제성
- 화훼류 : 유적성 + 방무성 + 투광성
- 근채류 : 강도 + 작업성,경제성 + 유적성

기능이 다양해짐에 따라 사용자(농업인)의 기대수준 또한 높아져 매년 소비자 분쟁이 빈번하게 발생되고 있어 안개발생 과 유적성에 품질기준의 확립이 시급한 과제가 되고 있어 이에 대한 대책수립이 필요할 때이다.

참고 문헌

1. 플라스틱뉴스 2002년/ 제140호
2. 15th International Congress for Plastic in Agriculture, 29th National Agricultural Plastic Congress Proceedings ,
3. Plasticulture 2001, vol. 2- N120, 108~123
4. Plastic Science 2002. 01
5. 일본시설원예협회 2000년 현황보고서
6. 농림부 web site: www.maf.go.kr
7. 농촌진흥청 web site: www.rda.go.kr
8. Choi, Y. H., J. W. Jung, and K. H. Kang. 1994. Study on training method in greenhouse pepper. Res. Rep. NHRI. p.727-733. (in Korean).
9. Chun, H. and K. J. Kim. 1997. Effects of plant types on group production structure, growth and yield of green pepper (*Capsicum annuum* L.) in greenhouse. J. Bio-Environment Control 6(2):86-92 (in Korea).
10. Chun, H., Y. S. Kwon, Y. I. Nam, T. Y. Kim, I. H. Cho, K. W. Park and Y. B. Lee. 1994. Effect of training form on mass production of cucumber plant(*Cucumis sativus* L.) J. Bio. Pro. Fac. & Env. Cont. 3(1):20-27 (in Korea).
11. Harazono, Y., Q. Chen and M. Yoshimoto. 1997. Effects of dewdrop on plastic films on light transmittance, temperature and humidity in greenhouse. J. Aric. Meteorol. 53(3):175-183 (in Japanese).
12. Jaffrin, A. and L. Urban. 1990. Optimization of light transmission in modern greenhouse. Acta Hort. 281:254-255.
13. Oh, C. Y., D. J. Choi, J. S. Kim, D. M. Park, S. B. Lee, D. Y. Choi, D. O. Park and J. H. Lim. 1989. Study on physiological response of hot pepper at different mulching materials. Res. Rep. RDA(H). 31(1):17-24 (in Korea).
14. Park, H. B., J. C. Kim, S. H. Kwon, J. S. Kong, S. W. Kong and K. H. Wang. 1999. Effects of soft covering films on fruit vegetable production in greenhouse. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40(2):200-204 (in Korea).
15. Song, G. W. 1975. Study on photosynthesis of hot pepper(*Capsicum annuum* L.). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 16:192-199 (in Korea).