

비닐하우스의 투광양을 높이는 수막재배 system 개발
The Preparation of Biologically Inactive PE Film to
Increase light transparency for the Application of Vinyl
House System

연 구 기 관
한 국 화 학 연 구 원

농 립 부



최 종 보 고 서

1998 년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 비닐하우스의 투광양을
높이는 수막재배 system 개발 에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이
제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 10부
2. 최종보고서 디스켓 1매

2001 년 10 월 21 일

주 관 연구 기 관 : 한국화학연구원
총괄연구책임자 : 이 해 방 (인)
주관연구기관장 : 김 충 섭 (직인)

농 립 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “비닐하우스의 투광양을 높이는 수막재배 system
개발에 관한 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2001 년 10 월 17일

주관연구기관명 : 한국화학연구원

총괄연구책임자 : 이 해 방

책임연구원 : 강 길 선

연구원 : 정 제 교

연구원 : 최 학 수

연구원 : 김 정 훈

협동연구기관명 : 충남농업기술원

협동연구책임자 : 최 재 현

연구사 : 김 운 섭

요 약 문

I. 연구제목

비닐하우스의 투광양을 높이는 수막재배 system의 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

수막(Water curtain) 재배는 겨울철 지하수가 풍부한 비닐하우스 재배지역에서 경제적인 보온방법으로 지하수(온도 10 - 15℃)를 비닐하우스 위에 살수함으로써 하우스내부의 온도를 높이는 작물재배법으로 우리나라 전역에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있다. 겨울철 비닐하우스는 일반적으로 삼중으로 구성되어있다. 제일 바깥쪽은 대기권 차단용 하우스, 그리고 중간쪽 하우스 위에는 지하수 살수를 하는 system이 설치되어 있고 제일 안쪽은 묘종을 보호하기 위한 보온하우스로 구성되어있다. 지하수 살포시 비닐 위에서 흘러내리는 물의 온도가 떨어지면서 열이 발산되므로써 실내온도를 높여줄 뿐만 아니라 안쪽 2중 하우스 내의 열손실을 막아주는 보온효과를 주게된다. 실제로 지하수의 살포는 해질 무렵부터 다음날 해뜰때까지 10-14시간 지속되며, 수막재배 기간은 지역에 따라 다르지만 12월초부터 3월초까지 약3개월간 지속된다. 그러나 수막재배시 지하수에 존재하는 미세한 분말상의 진흙이나 철분을 함유한 고형물이 비닐위에 부착됨으로 인한 고형물 적층이 형성되므로 비닐의 햇빛투과도를 매우 감소시키는 문제점 발생. 따라서 낮시간에 하우스내에 투과되는 광량의 부족으로 식물의 광합성 저해 및 하우스내의 온도상승 저해를 일으킴으로 효율적인 수막재배법이 사용되지 못하고 있다. 국내 최대 딸기생산단지인 논산의 농민들로부터 문제점 해결요청이 지속적으로 있었으며, 연구의 필요성이 관.학에서 인지되어왔다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 방법이 제시되어 왔는데 지하수내의 미세분말을 제거한 정수(purified water)만을 수막재배에 사용하기에는 경제성과 사용에 문제점이 있다. 따라서 1) 미세입자가 비닐위에 고정화 방지를 위한 경제적인 system 개발과, 2) 미세입자가 안붙는 비닐개발이 해결 방안이라 할 수 있다.

지하수에는 미량의 각종 미생물, 유기물, 미세입자가 존재하므로 이들이 비닐위에

부착된 후 햇빛에 의하여 고정화된다는 원리를 규명하였으며 이 원리를 역으로 이용하여 미세입자의 부착을 미연에 방지하기 위한 실험을 모형 및 실제조건하에서 수행하였다. 이는 지하수 살포직후 비닐표면을 소량의 특수처리된 물로 세척하고 낮시간 동안 햇빛에 노출시킨 상태에서 저녁에 다시 지하수를 살포하면 미세입자의 부착을 최소화할 수 있다는 연구결과가 입증되었다. 본 예비실험의 핵심기술은 이미 국내 특허출원 (#97-78623)이 되었으며, 이를 기반으로 하여 연구개발을 확대발전 시킨다면 본 기술이 2-3년 이내에 실용화가 이루어질 수 있다고 판단되고 이는 전국 가온 시설 재배 면적 9,200 ha에서 생산되는 각종 작물의 생산성 향상에 기여하며, energy 소비량 절감에 따른 연간 130억원 이상 연료비 절약과 또한 핵심기술을 비닐하우스 표면에 먼지가 붙지 않는 (방진) 용도로 개발하여 하우스를 다년간 사용가능하게 하며 광투과율 10%이상 증대로 생산성 향상에 따른 시설작물의 경쟁력제고 및 농가소득증대가 예상된다. 따라서 본고에서는 시설원예에 사용되는 각종 내,외 피복자재의 종류와 특성 및 미세입자가 비닐위에 고정화 방지를 위한 경제적인 system 개발과, 미세입자가 붙지 않는 비닐개발을 논하였다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 연구개발 목표

- 수막재배시 지하수에 포함된 미세입자 적층이 안되는 비닐 개발과 이를 위한 새로운 수막재배 system 개발
- 수막재배 기간 1일 14시간, 4개월 사용기간 중 미세입자가 붙지 않거나 최소한 부착되어 수막재배가 가능한 비닐 및 재배 system 개발
- 현재의 수막재배시 물의 살포면적보다 100% 이상 높일 수 있는 재료나 system을 개발함으로써 생산성 20% 향상
- 비닐 위에 먼지가 붙지 않거나, 부착시 쉽게 제거시킬 수 있는 방진용 system으로 응용 확대

2. 연차별 연구개발 목표 및 내용

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (1998)	<p>기존 수막재배 비닐표면보다 50% 이상 미세입자가 불지않는 수막재배 재료 및 system</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2개 지역 수질 및 미세입자 성분조사 - 고분자재료, 첨가제 성분/미세입자 부착 model 실험 - 5종 이상 고분자 film/미세입자 부착 model 비교실험 - 3가지이상 고분자 film field test 비교실험 - 수막재배 system 개선 - 정화수를 이용한 세척시간에 따른 미세입자의 고정화도 비교실험
2차년도 (1999)	<p>기존 수막재배 비닐표면보다 85% 이상 미세입자가 불지않는 수막재배 system 및 응용확대</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 고분자 표면개질을 통한 친수성, 소수성 charge 조절 - 정화수를 최소로 사용할 수 있는 model system(II) 개발 - 개량된 고분자 표면에 대한 미세입자 부착도 실험실적 비교실험 - 개량된 수막재배 system의 field test
3차년도 (2000)	<p>연구결과 보고서 및 응용 가능성 확대 추천</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 1, 2차년도 연구결과 보고 - 경제성 있는 system 구축 제안 - 방진용 system으로 확대 응용 - 학술논문 및 홍보

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구는 비닐위에 지하수내의 무기물질이 흡착되는 것을 방지하기 위하여 hydrophobic한 silicone 성분을 PE 및 다른 고분자 필름 위에 corona 처리 및 기타의 방법을 이용하여 coating 처리하였으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 학술대회 발표

- 1) 권 현, 최학수, 강길선, 최재현, 송해영, 이해방, "PE 필름 표면처리에 의한 수막재배 시스템에서의 투광양 증진 효과", 한국고분자학회 춘계학술대회, 서울 (2000).
- 2) 최학수, 강길선, 이해방, "표면처리와 실리콘도포에 의한 PE 필름 시스템의 수막재배의 응용", 한국고분자학회 춘계학술대회, 서울 (2001).
- 3) Junghoon Kim, Hak Soo Choi, Gilson Khang, and Hai Bang Lee, "The Biologically Inactive PE Film for the Application of Vinyl House System," Fall Meeting of Korea Polymer Society, Suncheon (2001).

2. 과제와 관련된 연구책임자의 특허실적

- 1) 한국특허출원 97-78623, 비닐하우스 투광량을 높이는 수막재배 system, 97. 12. 30 출원.
- 2) 한국특허 46529, 무적성 고분자물질 및 그의 제조방법, '91. 11. 30 등록.
- 3) 한국특허 67567, 친수성 구배를 갖는 고분자 표면제조를 위한 코로나 방전처리 방법, '93. 11. 12 등록.
- 4) 한국특허 126890, 비닐하우스용 무적필름의 제조방법 및 그 장치, '97. 12. 3 등록.
- 5) 한국특허 126891, 소수성 고분자의 표면개질방법, '97. 12. 3 등록.
- 6) Hai Bang Lee, and Gilson Khang, "Antifogging polymeric films and its manufacturing methods," JP 1,832,430 (1994. 3.29) KR45,176.
- 7) Hai Bang Lee and Gilson Khang, "Water-absorbable polymeric films and its manufacturing methods," JP 1,926,267 (1995. 4.25), KR46,25

- 8) 이해방, 신병철, 최창규, “소수성 고분자의 표면개질방법”, KR Appl. 94-02454 (1994. 2. 18)
- 9) 이 해방, 신병철, 최창규, “비닐하우스용 무적필름의 제조 방법 및 그 장치”, KR Appl. 94-03138 (1994. 2.22)
- 10) Hai Bang Lee, Gilson Khang and Changgyu Choi, “New hydrophilization methods of hydrophobic polymeric surfaces,” KR Appl. 94-35,235 (1994. 12. 20)
- 11) 이해방, 강길선, “진공증착법을 이용한 금속코팅제”, KR Appl. 95-30415 (1995. 9. 18)

3. 연구결과

본 연구의 목표인 corona 처리와 plasma 처리를 통한 표면개질방법과 silicone 등의 hydrophobic 물질을 이용한 고품질 작물재배용 무기성분 흡착방지용 고분자 필름의 제조방법은 실험실적인 제조에서 본 연구의 중간목표인 약 50% 이상의 광투과율의 증가를 보였다. 그러나, 이들을 실제 비닐하우스에 적용하였을 때는 여러 가지 주변인자로 인해서 coating 효과가 2주일 이상 유지되지 않는 결과를 가져왔다. Corona와 plasma를 처리한 필름은 우수한 광투과율을 보였지만, 경제적인 문제와 비닐의 제조시 대용량이 필요하므로 시설면에서 문제점이 지적되었다. 또한, silicone 등을 이용한 hydrophobic한 물질로 표면 coating하는 실험은 초기에는 우수한 광투과율을 보였으나, 본 연구에서 목적으로 하는 약 4주 이상의 실험에서는 광투과율이 현저하게 떨어지는 것이 문제점으로 나타났다. 이러한 시스템에 washing cycle을 도입한 결과, washing을 실시하지 않은 대조군에 비해 초기에는 별다른 차이를 보이지 않았으나, 1-2주 후에는 전체적으로 약 5-10% 정도 우수한 광투과율을 보였다. 따라서, 현재의 비닐하우스 수막재배 시스템에서 washing은 필수적인 것으로 판단된다. 이상의 실험 결과에서 알 수 있듯이, 본 연구에서 목적으로 한 비닐하우스의 투광양을 높이는 수막재배 시스템의 개발을 위한 화학적 표면개질과 표면코팅 방법은 초기의 효과를 유지시키지 못하는 문제점이 있으므로 이 부분에 대한 지속적이고, 효과적인 연구가 필요하다고 사료된다.

SUMMARY

(영문요약문)

I. Title

The Preparation of Biologically Inactive PE Film to Increase Light Transparency for the Application of Vinyl House System.

II. Importance

When polymer is to be used, surface properties of the material often determine its value as a practical usable material. All solid materials having definite shapes are surrounded by other materials, and interfacial phenomena should be taken into account. Consequently, the purpose of surface modification has been to provide polarity and hydrophilicity to a polymer surface. In contrast, surface coating onto a polymer film by using various materials such as silicone is to provide hydrophobicity to a polymer surface.

III. Experimental

To provide microparticle repellency to the film surface, various compounds were coated in a polyethylene (PE) film surface by using gardener knife (thickness : $300\mu\text{m}$). Coating process was investigated by several selected silicone and coating materials such as hexamethyldisiloxane, dimethyldichlorosilane, diethoxymethylvinylsilane, polyethylimine, and chitosan. The structure and properties of surface modified PE film was analyzed by contact-angle, ATR-FTIR, SEM, and UV spectroscopy. Moreover, periodical washing system was introduced to improve durability for the biologically inactive surface.

IV. Results and Discussion

The biologically inactive surface mainly depends on the choice of raw material and washing process. The obtained film surface by coating with various materials, especially silicone has relatively good transparency, also on this film the contact angle of a water drop becomes greater than 90 degrees. However, this system did not maintain the transparency of light over 2 weeks. From the result, the study on the duration of coating effect for 1-2 months will be need. This system will be used effectively for the application of vinyl house system.

CONTENTS

(영 문 목 차)

Chap. I .	INTRODUCTION	1
Chap. II .	HOUSE WARM EFFECT	5
Chap. III .	COATING MATERIALS FOR VINYL HOUSE SYSTEM	10
3-1.	Exterior Coating Materials	10
3-2.	Interior Coating Materials	16
3-3.	Keeping Warm Effect of Coating Materials	18
3-4.	Keeping Warm of Vinyl House System	21
3-5.	Vinyl House System and Keeping Warm	25
Chap. IV .	PROBLEMS AND DEVELOPMENTS OF COATING MATERIALS	26
4-1.	Necessity and Problems of Coating Materials	26
4-2.	Development of Polymer by Chemical Surface Modification	27
Chap. V .	EXPERIMENTAL	38
5-1.	Analysis	38
5-2.	Materials	43
5-3.	Instruments	44
Chap. VI .	Results and Discussion	51
6-1.	Light Transmittance	51
6-2.	Electroscopic Analysis of attachment on PE films	71
6-3.	Comparison of improvement effect of transmittance on PE film	76
6-4.	Comparison of AUC of light transmittance of PE film	80
6-5.	The change of tensile strength of PE films	83
Chap. VII .	Economical Analysis	88
Chap. VIII .	CONCLUSIONS	91
Chap. IX .	REFERENCES	93
Chap. X .	APPENDICES	95

목 차

요 약 문	i
SUMMARY	vii
CONTENTS	ix
제 1 장 서 론	1
제 2 장 하우스 보온방법별 보온효과	5
제 3 장 시설원에 피복자재의 종류와 특성	10
3-1. 외피복자재의 종류	10
3-2. 내피복 자재의 종류	16
3-3. 하우스 피복자재별 보온효과	18
3-4. 농가보급형 비닐하우스의 피복자재	21
3-5. 시설원예하우스와 보온	25
제 4 장 수막재배 피복자재의 문제점과 개발동향	26
4-1. 수막재배 피복자재의 필요성과 문제점	26
4-2. 화학적 표면개질법에 의한 피복자재 고분자 재료의 개발	27
제 5 장 실험	38
5-1. 분 석	38
5-2. 시 약	43
5-3. 실험장치	44
제 6 장 결과 및 고찰	51
6-1. 광투광량	51
6-2. 각종 film상 부착물에 대한 전자현미경 관찰 결과 분석	71
6-3. 시료 film에 대한 투광률 개선효과 비교	76
6-4. 각종 film의 투광률에 대한 AUC값 비교	80
6-5. PE film의 인장강도 변화	83

제 7 장	경제분석	88
제 8 장	결 론	91
제 9 장	참고문헌	93
제 10 장	부 록	95

제 1 장 서 론

최근 국내 농업은 주곡자급 등의 충족 등 크나큰 성과에도 불구하고 생산성 향상을 위한 구조개선 투자의 미흡으로 주산업으로서의 경쟁력이 약화되어 있다. 또한 농촌인구의 지속적인 감소와 노령화, 부녀화에 따른 노동력의 부족과 WTO 체제, 우루과이라운드 체제의 출범이후로 점진적인 농산물 수입개방화에 따라서 대내외적으로 많은 곤란에 처해 있다. 이에 따라 농림수산부를 위시한 정부각처에서는 현재의 국내 농업을 자생력과 경쟁력이 있는 산업차원으로 끌어올리기 위하여 투자확대와 과감한 제도개선으로 획기적인 농정개혁을 추진하고 있다. 더구나 자본과 기술 집약적이고 작물, 채소, 과일, 특수작물 등 전종목에 걸쳐 고르게 수요가 요구되며 어느 한정된 계절에 국한되지 않는 고품질작물 수요가 폭발적인 증가 일로에 있다. 따라서 이들의 여건에 부응할 수 있는 시설원에 분야가 성장 잠재력을 갖춘 농영 형태의 주요 분야로 부상하고 있다.

이러한 시설원예농업의 중요성은 과거와 비교하여 다음과 같은 농업환경의 변화로 부각된다. 첫째로는, 현재 농지의 지속적인 감소와 지가상승은 토지절약형 시설농업으로, 둘째, 농업인구 감소와 이에 따른 인건비의 상승은 노동절약형 기계농업으로 전환이 되어야 한다. 셋째로, 최근 국민들의 소득과 체위가 전반적으로 향상되고 이에 따른 식품소비패턴의 고급화와 다양화는 고부가가치 고품위 농업으로, 넷째로, 안전농산물의 주요증가는 환경보전형 지속농업으로, 그리고 다섯째로 농산물시장개방으로 인하여 기술집약형 수출농업으로의 변화가 요구된다. 이러한 입장에서 견지하여 보면 고분자 재료는 여러 형태로서, 예를 들면, 시설원예산업의 외피복자재, 농작물류의 파종, 육성과정에 있어서 하우스 터널 및 발고랑의 작물과 주변토양에서의 피복재로 쓰이는 멀칭용 필름, 수확과 운반, 저장과정에 있어서, 그리고 과실과 야채 및 곡물류의 포장재로서 광범위하게 사용되고 있어 고분자재료는 농업전반 분야에 걸쳐 밀접한 관계를 가지고 있다. 일례로, 시설원에 재배 면적도 증가하여 시설채소인 경우에 1980년에는 17,897 ha인 것이 1994년에는 70,013 ha로 증가하여 390%의 증가율을 보였고 시설화훼의 경우 1980년에는 180 ha이던 것이 1994년에는 3,965 ha로 증가하여

2200%의 증가율을 보였다.

현재 IMF 이후 국내 농업환경은 유류, 배합사료 가격 등이 크게 올라 '97년 12월 중 농가교역조건은 93.3으로 '96년 12월의 101.8에 비해 8.5포인트 악화됐으며 이는 '92년 12월 이후 가장 낮은 수준이다. 그 중 시설원에 농가는 환율상승에 따른 유가 인상 등 경영비 상승과 수요감퇴에 따른 가격하락이라는 이중고를 겪고 있으며 이로 인해 겨울철 입식을 포기하거나 입식한 작목의 가운을 중단한 농가가 다수로 보고되고 있다. 이러한 가운데 농협에서 내부자료로 사용하기 위하여 1998년 1월에 실시한 농가를 대상으로 한 여론조사에서는 '영농자재 가격 상승'이 47.4%로 가장 많고, 그 다음은 '농산물 가격 하락' (28.3%), '부채상환' (20.0%), '운영자금 부족' (3.5%)의 순으로 나타났다. 일반적으로 농가에서 느끼는 부담이 가장 크다고 알려진 부채상환 부담보다는 시설원예농가의 경우 '영농자재가격 상승'과 '농산물 가격하락'을 더 걱정하고 있는데 이는 자재가격 상승이나 농산물 가격 하락에 대한 부담을 상대적으로 더 느끼는 데서 온 결과라고 볼 수 있을 것이다.

표 1-1. 시설원예 농가의 애로사항

단위 : %

구 분	영농자재 가격상승	농산물 가격하락	부채상환 부담	운영자금 부족	기 타	계
비닐온실	47.4	28.3	20.0	3.5	0.9	100
유리온실	43.2	18.2	25.0	13.6	-	100

이로 인하여 IMF 충격 이후 지금까지 시설원예농가 중 비닐온실 농가의 33.8%가 현재까지의 재배규모를 20 - 50%까지 축소할 것임을 밝히고 있으며, 이중 5.7%는 영농을 포기하겠다고 응답을 하였다. 이러한 가운데 농민들의 자구 노력도 계속 되고 있는데 보온시설의 보강으로 보온 효율을 높이는 것들을 들 수 있다. 한 예로 수막 재배를 들 수 있는데 같은 규모로 기름을 사용할 경우 지역이나 시설형태에 따라 다소 차이는 있지만 연료비를 30 - 40% 절감시킬 수 있기 때문이다. 이러한 수막재배

의 경우 썩갯 등 일반 채소류, 방울토마토, 딸기 등 일반 과일류, 장미, 백합 등 화훼류에 어디에서나 적용하여 사용할 수 있다는 장점 또한 갖고 있다. 그러나 수막 재배에 있어서 가장 큰 문제점은 표피층의 지하수를 사용함으로 인한 미세입자등 오염물질이 비닐 표면위에 부착되어 광투광량이 떨어진다는 단점을 갖고 있어 이를 해결하려는 노력이 계속 진행되고 있는 실정이다.

표 1-2. 농민들의 자구 노력

구 분	주 요 내 용	응답수	비 고
난방비 절감	보온시설 보강 (수막시설, 부직포, 비닐 등)	66	
	난방시설 교체 (기름 → 연탄, 태양열 등)	34	
	작목전환 (저온성 작물, 생육기간이 짧은 작목)	17	
	겨울영농 포기	13	
비료, 농약비 절감	유기농법 도입	7	
인건비 절약	고용인력 감축	16	
	자동화 시설 도입	4	
계		157	

농업용으로 고분자재료가 사용된 것으로는, 1951년전에는 버모중용의 유리와 온상 기름종이가 지글러-나타 촉매의 발명으로 폴리올레핀계의 합성이 용이하게되고 이것이 지니는 특이한 물성으로 인하여 공업화가 촉진되면서 폴리올레핀계로 전면 대체되어 일대 농업계의 혁명을 일으켰다해도 과언이 아니다. 이 이후 고분자재료 등의 장점을 충분히 활용하여 이용범위 및 형태별로 해마다 증가하고 있다. 이들 고분자재료가 농업용 시설원예에 적용이 되었을 때, 즉 생육과정에 초점을 맞추어 설치한 하

우스, 터널 및 멀칭의 효용에 대하여 포괄적으로 살펴보면, 첫째, 겨울에 태양 및 빛 등을 유효하게 이용하여 토지의 효율적 이용, 단위면적당의 생산량 증대를 가져오게 되며, 둘째, 야채·채소·과일 및 특작물 등의 농작물을 일년내내 공급하게 되며, 셋째, 농업의 에너지를 절약한다는 잇점을 가지고 있어 결과적으로 농가의 소득을 높여주는 결과를 가져오게 된다. 따라서 본 연구에서는 농업용 고분자 필름의 사용상황과 종류, 이의 문제점과 기술동향을 살펴보고 이들을 수막재배시 적용에의 문제점을 검증하기로 하였다.

제 2장 하우스 보온방법별 보온효과

우리나라 시설재배의 대부분이 무가온 보온재배로(1997, 81.2%) 그 중에서도 2중피복이 67%를 점하고 있는데, 보온을 잘하느냐, 못하느냐에 따라 작물생육은 물론 품질과 수량에 큰 영향을 미친다. 난방용 기름값이 하루가 다르게 상승하는 고유가 시대에 난방에만 의존하여서는 경영수지를 맞추기가 매우 어렵다. 따라서 보온설비를 잘하여 무난방재배 또는 난방을 하더라도 유류대를 최대한 절약하여야만 수지를 맞출 수 있다. 하우스의 보온력은 커튼설치 방법이나 터널의 크기 등 보온방법과 보온소재의 종류에 따라 달라진다. 보온방법에 따른 보온 소재별 열 절감율과 난방부하계수를 보면 표 1과 같다.

PE필름으로 1층 커튼을 했을 경우 열 절감율은 30%로 부직포 보다는 높으나, PVC필름에 비해서는 낮다. 알루미늄 필름은 열 절감율이 매우 커 혼입필름은 45%, 증착필름은 50%로 커튼소재 가운데 열 절감율이 가장 높다. 2층 커튼을 알루미늄 증착필름과 PE필름으로 하면 외면에 설피피복을 피복 하였을 경우 보다 5% 정도 보온력이 증가한다.

각종 피복소재의 조합에서 윗쪽의 커튼은 양면 반사성 필름을, 아래쪽의 커튼은 위로 반사성인 필름을 조합시킨 경우에 가장 뛰어난 보온성을 나타내며 윗커튼이 반사성 필름이고 밑커튼이 PE, PVC와 같은 피복자재를 조합시킨 경우에서도 거의 유사한 보온력을 나타내고 있다. 따라서 실용적인 측면에서 볼 때 윗커튼은 반사필름을 밑커튼 즉, 하우스 쪽으로는 PE, PVC, EVA필름이나 부직포와 같은 자재를 이용하는 것이 가장 바람직하다고 할 수 있다.

2층 커튼을 할 경우 사용하는 소재의 조합방법에 따라 보온효과에 많은 차이가 있다. 소재의 조합에 따른 보온력은 다음 표에서 볼 수 있듯이 상부 커튼을 연질필름으로 하는 경우가 보온력이 가장 낮고 반사면을 위로 피복한 반사필름과 양면이 반사성인 필름조합에서 보온력이 높다. 그러나 반사면을 밑으로 향하게 피복하면 반사필름의 원래 보온력을 모두 발휘할 수 없다. 2층 커튼을 설치한 때는 커튼과 커튼의 간격을 10-20cm가 되도록 하는 것이 좋은데, 간격을 너무 좁히면 커튼이 서로 겹쳐져

보온력이 떨어지고 너무 넓히면 공기의 유동에 의한 대류작용이 커지므로 간격 확보에 주의해야 한다. 고정 커튼을 설치할 때는 비닐을 팽팽하게 치게 되므로 이때에는 10cm정도가 적당하다.

표 2-1. 보온방법에 따른 피복자재의 열 절감효과

보온방법	보온피복자재	난방부하계수(kcal/m ² .hr.℃)		열절감율(%)
		유리온실	비닐하우스	
외피복 1중	-	5.3	5.7	-
-	-	-	-	-
2중고정커튼	유리. PVC필름	3.2	3.4	40
-	PE필름	3.3	3.5	35
-	-	-	-	-
1층커튼	PE필름	3.7	4.0	30
-	PVC필름	3.3	4.0	35
-	부직포	4.0	4.3	25
-	알루미늄혼입필름	2.9	3.1	45
-	알루미늄중착필름	2.7	2.9	50
-	-	-	-	-
2층커튼	PE필름 2층	2.9	3.1	45
-	PE필름 + 알루미늄필름	1.9	2.0	65
-	-	-	-	-
외면피복	섬 피	2.1	2.3	60

커튼수에 따른 보온력은 PVC와 같은 연질필름만 피복하면 3층커튼까지도 계속 보온성이 증가하지만 반사성 필름의 경우는 2층 커튼까지는 보온성이 급격히 증가하나 그 이상이 되면 보온성의 증가효과가 낮아지므로 보온성과 경제성을 감안한다면 2층 커튼 정도가 좋다.

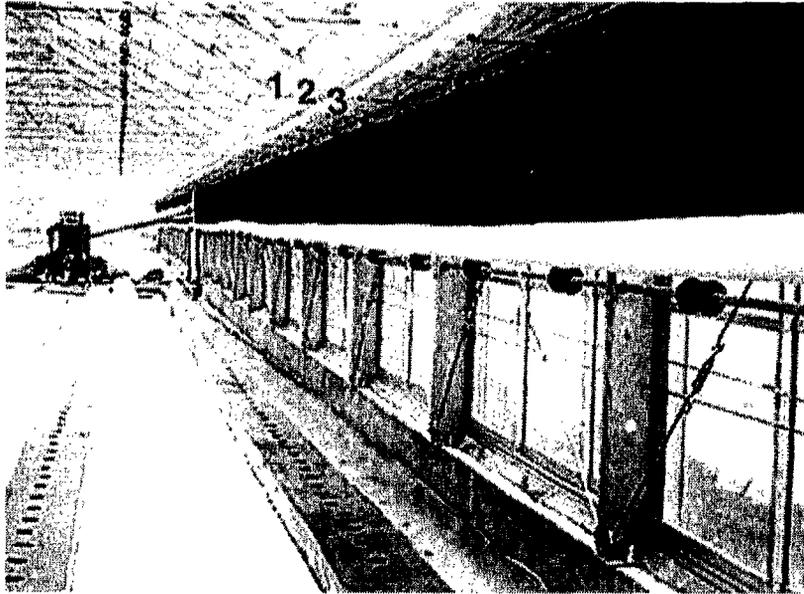


그림 2-1. 부직포와 비닐을 이용한 내부 커튼



그림 2-2 하우스내 EVA필름을 이용하여 소형터널을 하여 보온하는 모습

한편 농가에서 많이 하고 있는 터널은 소형보다는 대형일수록 보온효과가 커지므로 가급적 대형터널을 설치하고, 피복자재는 부직포나 알루미늄 부착 토이론 등 새로 개발된 자재를 선택하여 보온성과 동시에 일손을 줄이도록 한다. 터널도 커튼과 마찬가지로 보온효과는 대류전열의 억제에 있으므로 터널내의 기밀성이 유지되지 않으면 보온력이 떨어진다. 터널 골격이 할죽인 경우 개폐시에 대나무 마디에 걸려 구멍이 나기 쉬우므로 비닐을 덮을 경우는 파손에 주의하여야 한다.

표 2-2. 보온커튼자재의 조합방법에 따른 보온성

2층 커튼자재		보온성	2층 커튼자재		보온성
위	아래		위	아래	
PE	PE	28	AL/H	PE	61
PE	PVC	31	AL/H	PVC	61
PE	H/AL	27	AL/H	H/AL	50
PE	AL/H	63	AL/H	AL/H	70
PE	AL	52	AL/H	AL	60
평균		40.2	평균		60.4
H/AL	PE	54	AL	PE	61
H/AL	PVC	61	AL	PVC	65
H/AL	H/AL	50	AL	H/AL	70
H/AL	AL/H	64	AL	AL/H	60
H/AL	AL	53	AL	AL	72
평균		56.4	평균		65.6

* AL : 양면반사필름

H/AL : 반사면이 밑이고 위는 흡수성 반사필름

AL/H : 반사면이 위이고 밑은 흡수성 반사필름

표 2-3. 터널크기 및 피복자재에 따른 보온효과 및 생력효과

터널크기 및 피복자재	보온효과(℃)				생력효과			
	밤기온		낮기온		1인작업시		2인작업시	
	최저	평균	최저	평균	소요시간	지수	소요시간	지수
소형터널 + 섬피보온	7.5	11.8	13.9	16.7	137	100	102.8	100
소형터널 + 부직포	6.6	11.3	12.8	15.5	-	-	-	-
중형터널 + 부직포	8.0	13.1	14.9	18.1	-	-	-	-
대형터널 + 부직포	10.2	14.8	17.3	19.6	37.8	28	8.9	9

제 3 장 시설원에 피복자재의 종류와 특성

3-1. 외피복자재의 종류

1. 플라스틱의 일반적 분류

현재 상용되고 있는 플라스틱 자재들을 구분해 보면 표 3-1과 3-2에 정리한 바와 같이 구분할 수 있다. 그중에서 PE film은 가장 많이 사용되는 플라스틱의 하나로 내후성과 광투과도가 우수한 필름이다.

표 3-1. 일반적인 상용 플라스틱의 구분

구 분	특 성	종 류
열경화성수지 Thermosetting resin	유동성을 띠는 고분자에 촉매 등을 가해서 가열하면 화학반응에 의해 경화된다. 경화된 수지는 재차 가열하여도 유동상태로 되지 않고 고온으로 가열하면 분해되어 탄화되는 비가역적 수지	초산비닐 (PVAC) 불포화폴리에스테르 (UP) 폴리우레탄 (PUR) 페놀수지 (PF) 우레아수지 (UF) 멜라민수지 (MF) 에폭시수지
열가소성수지 Thermoplastic resin	열을 가하면 용융유동하여 가소성을 갖게 되고 냉각하면 고화하여 성형되는 것으로서 이와 같은 가열용융, 냉각고화 공정의 반복이 가능하게 되는 수지	폴리에틸렌 (PE) 폴리프로필렌 (PP) 폴리스티렌 (PS) 메타크릴 (PMMA) 폴리염화비닐 (PVC) 폴리염화비닐리덴 (PVDC) ABS 수지

표 3-2. 원료에 의한 플라스틱의 구분

구분	특 성
LDPE	HDPE 및 PP, PVC와 더불어 가장 많이 사용되는 플라스틱 중의 하나로 무색투명하고 내한성이 양호하며 절기절연성, 내약품성 등이 양호
HDPE	LDPE 및 PP, PVC와 더불어 가장 많이 사용되어지는 플라스틱 중의 하나로 성상은 LDPE와 거의 유사하나 조금 더 단단한 성질을 갖으며 용도도 거의 LDPE와 중복되지만 세부적인 차이는 있음
PP	PE 전체보다는 적지만 LDPE 및 HDPE의 각 분야보다는 더 많이 쓰이는 수지로 외관이 PE와 닮았지만 경질이며 고주파 전기절연성이 우수하고 인장강도, 반복 굽힘도 강하다. 그러나 충격에 약한 단점도 있음
PS	무색이나 착색이 자유롭고 상온에서 단단한 성질이 있으나 기계강도가 약하여 잘 부러지기 쉬운 약점이 있어 최근에는 물리적 성상을 증가시키는 강화제를 첨가하여 HIPS나 GIPS 등의 형태로 사용
ABS	유백 또는 착색을 하고 있는 탄성이 좋은 고급 수지로 튼튼하고 흠집이 생기기 어려움
PVC	상온에서는 단단하고 무색투명한 성질을 가지고 있으며 착색이 가능하다. 수지 자체에 염소가 포함되어 있어 연소시에는 염소화합물을 발생할 우려가 있으며, 단단한 성질을 연화시키기 위하여 사용되어지는 가소제, 열안정제 등이 유해할 수도 있으므로 주의를 요하는 수지이다. PVC는 투광성과 강인성 등이 우수하여 일본에서는 농업용 필름에 많이 사용
PET	무색이며 단단하고 충격에도 비교적 강하다. 특히 배려성이 좋아 탄산음료용 용기에 매우 적절.

2. Polyethylene (PE) 필름

PE 필름은 다른 연질 필름보다 자외선과 적외선을 많이 투과시킨다. 특히 장파장을 많이 투과시키므로 보온성은 떨어지지만 가시광선 투과율은 비슷하다. 일부 PE 필름은 내후성을 증가시키기 위하여 자외선 흡수제를 안정제로 사용하지만 PVC 필름 보다는 내후성이 떨어진다. 그러나 PE 필름은 다른 어느 비닐하우스 자재보다 가격이 싸기 때문에 현재까지 우리나라에서 가장 많이 사용되고 있는 필름이다. 하우스의 외피복, 커튼 및 터널재료로 이용되며 하우스에도 많이 이용된다.

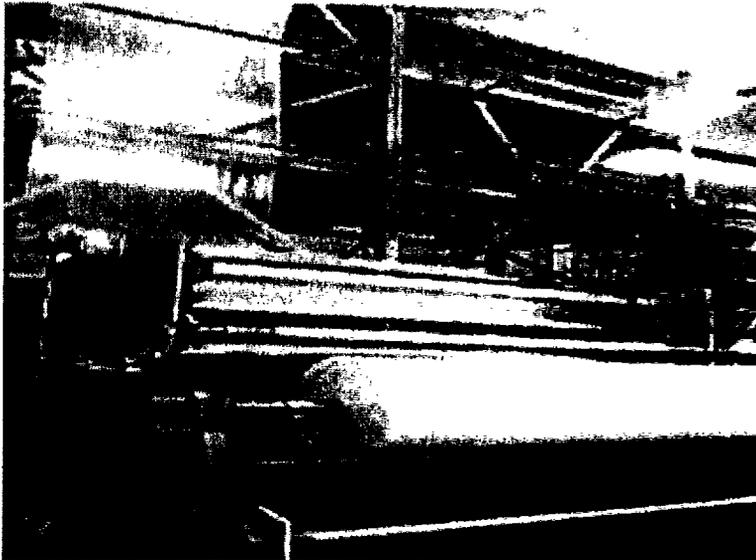


그림 3-1. PE film의 가공과정

3. Polyvinylchloride (PVC, 염화비닐) 필름

PVC 필름의 가시광선 투과율은 다른 연질 필름과 별 차이가 없으나 내후성을 증가시키기 위해 자외선 흡수제를 함유시킨 PVC 필름은 자외선이 투과되지 않으므로 사용시 주의해야 한다. 연질필름 (PVC, PE, EVA) 중에서 보온력의 순서는 PVC > EVA > PE 순으로 PVC가 가장 크다. 커튼용은 0.04mm 의 것이 외피복용으로는 0.05mm 이상이 사용된다.

4. Ethylene-vinylacetate (EVA) 필름

시설원예에서 하우스 피복용으로 많이 쓰이지만 성능 면에서 보면 하우스내의 커튼용으로 유망시되며 터널용으로도 많이 사용되고 있다. 겨울철에도 굳어지지 않는 내한성이 있으므로 엽채류 재배나, 육묘용으로 다양하게 사용할 수 있다. EVA 필름은 PE 필름보다 보온성과 내후성이 좋고 무적필름이기 때문에 요즈음의 시설원예에서 점차 그 사용면적이 증가하고 있으나 가격이 비싼 것이 단점이다. 아래의 표에는 연질필름의 특성비교를 나타내었다.

표 3-3. 연질 플라스틱 필름의 특성 비교

항 목	PVC	PE	EVA	비 고
인 열 강 도	2	3	2	
충 격 강 도	2	3	2	
내 한 성	2	1	1	
무 적 성	1	3	2	
점 착 성	3	2	2	
보 온 성	1	3	2	
광 선 투 과 성	2	3	2	
내 후 성	1	3	2	
가 격	3	1	2	

1 : 양호 2 : 중간 3 : 나쁨

5. 유 리

유리는 광투과성, 내구성, 보온성, 강도 등에서 우수하며 온실용 피복소재로 주로 이용되고 있다. 시판되는 유리의 종류는 다양하지만 온실용은 보통의 판유리가 사용

된다. 사용하는 유리의 두께에 따라 적설, 풍압에 견디는 힘은 다르나 유리의 하중 때문에 보통 3mm 두께의 것이 일반적으로 사용되고 있다.

6. 유리섬유 강화 아크릴 (Fiber Reinforced Acrylate, FRA) 판

유리섬유강화아크릴 (FRA) 판은 아크릴 수지를 유리섬유로 보강한 자재로서 충격에 강하고 투광성이 우수하다. 유리보다도 자외선을 잘 투과시키기 때문에 유리섬유 강화폴리에스터 (FRP)판과 같은 문제는 없다. FRA판은 광선투과량의 30%가 확산광이기 때문에 골재나 작물에 의한 그림자가 생기지 않는다. 특히 적외선 투과율이 적어 보온성이 뛰어나고 내구성, 투광성이 우수하여 강풍이나 적설에 강한 내구성을 갖고 있다.

7. 아크릴 (Polymethylmetacrylate, PMMA) 판

PMMA 는 아크릴수지로만 되어있어 유리에 비하여 장파장 (적외선)의 투과율이 낮아 보온성이 뛰어나지만 다른 경질판보다 충격에 약하고 가격이 비싼것이 결점이며, 국내에서는 아직 생산되지 않고 있다.

8. 유리섬유 강화 폴리에스터 (Fiber Reinforced Polyester, FRP) 판

유리섬유 강화 폴리에스터 (FRP) 판은 polyester 수지에 유리섬유로 보강된 복합재로 만들었기 때문에 유리에 비해 가볍고 충격에 강하여 인체에 위험성이 적다. 또한 투과성이 좋고 20% 정도의 확산광이 있다. 종전에 사용되던 FRP판은 피복후 시간이 경과함에 따라 황변현상이 일어나 투광율이 낮아지고 수명이 단축되었으나 최근에는 필름표면을 특수수지로 코팅처리하여 황변현상이 나타나지 않는다. 반면에 유리섬유 강화폴리에스터판은 유리보다 투광율이 낮고 파장 380nm 이하의 광을 흡수하는 관계로 작물의 안토시아닌 색소발현이 장애 받고 하우스 내에서 꿀벌이 비산이 안되므로 이점을 유의해야 한다. 온실용으로 국내에서 생산되는 FRP판은 보통 두께 0.7-0.8 mm의 32파가 많이 사용된다. 평판보다 물결판을 많이 사용되는 것은 온도변화에 따라 팽창수축과 강도가 문제되는 경우가 있기 때문이다. 내구성은 10년 정도이다.

9. 경질 polyester 필름

투광성이 우수하고 장기간 사용하더라도 광선투과율이 낮아지지 않고 안정되어있다. Polyester 필름은 보온성, 내한성, 내열성이 우수하여 매우 낮은 온도에서도 사용할 수 있다. 자외선 투과도 잘되고 4-5년 정도의 피복이 가능하여 경질판 (FRP, FRA, PMMA) 과 연질필름 중간적 성질을 갖는 자재이다. 국내에서 생산되는 경질 polyester 필름은 무적처리가 되어있지 않으므로 피복후에 계면활성제로 무적 처리한다.

10. 폴리카보네이트 (Polycarbonate, PC)

유리와 유사한 높은 광투과율을 가지고 있고 (가시광선 90% 이상 투과) 내충격성이 양호하다고 알려져있다. 또한 보온성, 내열, 내한성, 난연성이 우수하며 앞으로 원예시설 피복자재로서 전망이 밝다. 무적과 유적의 두가지 종류가 있다.

표 3-4. 경질 하우스 자재의 물리적 특성

물리적 특성	유 리	FRA 판	PMMA 판	FRP 판
두께 (mm)	3.0	0.7	1.7	0.7
파형	-	3.2	130	32
비중	2.5	1.3	1.2	1.5
1m ² 당 무게 (kg/m ²)	7.5	1.0	2.4	1.1
광선투과율 (%)	91.0	90.0	93.2	88.0
파괴강도 (kg/m ²)	77	274	91	384
열전도율 (Kcal/mh℃)	0.68	0.18	0.18	0.18
열관류율 (Kcal/m ² h℃)	5.9	6.0	4.5	6.0

3-2. 내피복 자재의 종류

1. 연질필름 (PVC, PE, EVA)

보편적으로 가장 많이 사용되고 있는 PE는 가격이 싸고 작업이 쉬운 장점을 가지고 있으나 보온성과 내구성이 떨어지는 단점이 있다. 반면에 EVA나 PVC 필름은 보온성과 내구성이 PE 보다 높고 사용이 편리하여 커튼 터널의 하우스 자재로도 이용도가 높으나 가격이 비싼 단점이 있다.

2. 발포 PE 시이트

작은 기포가 독립적인 발포구조를 이루기 때문에 단열효과가 좋다. 고발포 PE 시이트는 열전도율이 0.031 Kcal/mh℃ 정도로서 PE 필름을 사용할때 보다 20% 정도의 열방사를 막을 수 있다. 또한 작은 기포구조로 되어있기 때문에 수지는 투명하지만 산란광의 형태로 투과한다. 따라서 실제로 광선 투과율면에서 직사광선의 투과량은 적지만 산란광이 많아 전체적인 투과성이 높다. 섬피와는 달리 광선투과율이 높고 가벼워 개폐작업이 쉬우므로 하우스내 터널의 보온 피복용으로 적당하다.

표 3-5. 커튼 피복자재의 보온성

필름종류	두께 (mm)	광선투과율 (%)	방열계수 (Kcal/m ² hr℃)	PE에 대한 비율 (%)	투습성
PE	0.07	92.8	4.83	100	X
PVC	.01	92.8	3.77	78.0	X
반사필름	0.07	0.16	3.12	64.6	X
알루미늄 증착 부직포	-	12.8	3.19	66.0	X
부직포	0.15	53.7	3.85	79.7	O

3. 부 직 포

부직포에는 단섬유 부직포와 장섬유 부직포가 있다. 이중 polyester의 장섬유로 만들어진 부직포가 주로 커튼 자재로 쓰이고 있으며 단섬유 부직포는 두껍게 제조하여 보온위주의 피복에 주로 이용되고 있다. 이러한 부직포의 광선투과율은 연질 필름보다 낮고 보온성은 같은 두께의 연질 필름보다 약간 떨어지나 두껍게 제조함으로써 보온력을 높이고 있다. 특히 부직포는 투습성이 있으므로 습도를 낮추는 역할을 하여 하우스내의 발병을 억제할 수 있고 작물의 품질향상에 기여할 수 있다. 최근에는 부직포에 알루미늄을 증착시켜 보온력을 높인 자재도 출하되고 있는데 이런 자재의 보온력은 반사필름과 같은 정도를 나타내고 있지만 보수성은 없다. 부직포는 주로 하우스내의 커튼과 차광자재로 이용되며, 일부 터널피복에도 사용된다. 특히 부직포는 통기성, 차광성, 보온성이 있기 때문에 채소, 수도 육묘와 차나무의 방상용으로 사용되며 고온, 다습에 의한 장해를 막을 수 있다.

4. 반사필름

보통 현재까지의 보온용 자재는 주로 거적과 보온매트를 사용하여 왔고 최근에는 발포시이트 및 부직포 등이 이용되고 있는데 거적과 보온 매트는 작업이 불편하고 흡습하였을 때는 보온성이 낮아지는 문제점이 있다. 이런 결점을 보완하기 위해서 보온력이 강하고 에너지의 성역화가 가능한 자재의 필요성이 대두되어 등장한 것이 반사필름이다. 반사필름에는 3층구조 증착필름, 알루미늄혼합필름, 은색필름 등이 생산되고 있다.

- a. 알루미늄 증착필름 : polyester와 같이 비교적 단단한 수지에 알루미늄을 증착시킨 2층구조의 필름이다.
- b. 알루미늄 혼합필름 : 알루미늄분말을 PE 또는 PVC 수지 전체에 블렌드시켜 만든 1층구조의 필름이다.
- c. 3층구조 은색필름 : 양쪽 필름이 PE로 되어있고 알루미늄이 중간에 들어간 3층구조의 제품이다.

3-3. 하우스 피복차재별 보온효과

1. 피복차재별 보온효과

외기온에 따른 보온피복 차재별 보온력을 시험한 결과를 보면, 외기온에 관계없이 섬피의 보온력이 가장 높고 다음이 발포 폴리에틸렌시트(발포PE)이고, 알루미늄 증착 필름, PE필름 순으로 외기온이 5℃일 때 PE필름 1층 커튼에서 섬피터널보온은 12.2℃ 이었고, 발포 PE 11.9℃, 알루미늄 증착필름 11.5℃, PE필름 2중피복은 10.8℃의 보온 효과가 있었다. 반면 무커튼에서는 재료에 따라서 다소 차이가 있으나 1층커튼에 비하여 1.3-2.6℃정도 보온효과가 낮았는데, 외기의 온도가 낮아질수록 보온효과는 증가 하였다.

발포 PE과 보온매트의 보온력을 비교한 결과를 보면(표2), 알루미늄시트부착 발포 PE의 보온력이 10.1℃로 PE필름 부착발포PE(6.7℃) 이나 보온매트(7.2℃), 섬피의 보온력보다 월등히 높는데, 터널을 할 경우 보온력은 더욱 증가하게 된다.

표 3-6. 보온피복차재별 보온효과

보온피복차재	외기온(℃)	하우스내(℃)		하우스터널내(℃)	
		온도(℃)	보온효과(℃)	온도(℃)	보온효과(℃)
알루미늄시트	-	-	-	-	-
부착발포PE(2mm)	-2.8	7.3	10.1	13.6	16.4
PE필름부착	-	-	-	-	-
발포PE(2mm)	-2.8	3.9	6.7	9.6	12.4
보온매트(2mm)	-2.8	4.4	7.2	11.1	13.9
섬 피	-2.8	6.0	8.8	12.6	15.4

표 3-7. 하우스 피복자재별 보온효과 (°C)

외기온	커튼유무	섬피	발포PE	알루미늄증착필름	PE필름	무피복
5°C	PE커튼	12.2	11.9	11.5	10.8	7.1
-	무커튼	11.7	11.1	10.7	9.8	6.0
0°C	PE커튼	8.9	8.4	7.6	7.4	2.7
-	무커튼	8.0	7.2	7.0	5.9	1.6
-5°C	PE 커튼	7.2	7.0	6.3	6.5	-1.8
-	무커튼	5.9	5.3	5.0	3.5	-4.3

표 3-8. 커튼 피복자재별 보온성

자재종류	두께(mm)	광선투과율(%)	방열계수 (kcal/m ² .hr.°C)	PE에 대한 비율(%)	투습성
폴리에틸렌	0.07	92.8	4.83	100.0	X
염화비닐	0.1	92.8	3.77	78.0	X
반사필름	0.07	0.16	3.12	64.6	X
알루미늄 증착부직포	-	12.8	3.19	66.0	-
부직포	0.15	53.7	3.85	79.7	○

2. 피복자재별 작물재배 효과

피복자재에 따라 온도반응이 민감한 오이의 생육을 살펴보면 커튼이나 터널의 재료에 따라 차이가 났는데 먼저 커튼재료별로 PE가 보온효과는 다소 떨어지나 광투과율이 높아 초장과 줄기가 크고 굵었으며 엽면적이 크게 나타났다. 그러나 터널재료별로는 보온력이 우수한 섬피와 알미늄 증착포에서 생육이 우수하였다. 또한 오이의

수량에서는 커텐자재에서 PE가 8021.3kg/10a로서 가장 많았고 섬피가 8158.9kg/10a이
 었으나 재료별로 큰차이는 없었다.

표 3-9. 커텐 재료별 오이 생육

커텐자재	초장(cm)	경경(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	L.A.I
PE	119.1	0.75	22.2	27.7	1.33
AL 증착포	115.6	0.69	21.5	27.1	1.28
PE+AL 증착포	111.3	0.74	22.1	27.2	1.16
무커텐	107.3	0.64	22.1	27.1	1.23

표 3-10. 터널 재료별 오이 생육

터널자재	초장(cm)	경경(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	L.A.I
섬피	116.2	0.69	21.9	26.9	1.28
PE	91.6	0.75	21.2	26.2	1.04
AL증착포	118.4	0.73	22.4	27.9	1.24
토이론	113.5	0.76	22.0	27.7	1.27

표 3-11. 커텐 자재별 오이 수량 (단위 : kg/10a)

커텐자재	총수량	지수	상품과	상품과율(kg/10a)
PE커텐	9273.5	108	8021.3	87
AL증착포	8978.0	106	7921.4	88
PE+AL증착포	8291.3	98	7307.4	88
무커텐	8499.3	100	3784.6	87

표 3-12. 터널 자재별 오이 수량 (단위 : kg/10a)

커덴자재	총수량	지수	상품과	상품과율(kg/10a)
섬피	9273.1	100	8158.9	88
PE	8418.6	91	7321.9	87
AL증착포	833.8	90	7238.5	87
토이론	8684.8	94	7664.1	88

이상에서 보는 바와 같이 피복자재에 따라 보온력이 크게 다른데, 기존의 농가에서 많이 이용하고 있는 섬피는 보온력은 비교적 우수하나 개폐에 많은 노력이 소요되며, 눈이나 비가 오면 물을 흡수하여 보온력이 저하될 뿐만 아니라 무게로 인한 하우스 파괴의 위험이 있으므로 보온피복 자재는 가급적 보온력이 높으면서도 생력화가 가능한 알루미늄 시트, 부착발포 PE이나 알루미늄 증착 필름, 보온 매트 등을 사용하는 것이 좋다. 주의해야 할 점은 PE필름 부착 토이론이나 알루미늄 필름은 PE필름이 찢어지기 쉬우므로 작업시 주의하도록 한다.

3-4. 농가보급형 비닐하우스의 피복자재

우리나라 원예시설 면적은 '91년 28,800ha에서 '95년말 현재 43,093ha로 지난 5년간 급격한 증가를 보였다. '91년부터 정부지원사업으로 자동화하우스, 경질판온실, 유리온실이 보급되어 국내 시설원예의 기술수준 향상과 품질 및 가격 경쟁력을 높이고 있으며, 이 중 비닐하우스 면적이 42,893ha로 99.6%, 경질판 온실이 48ha로 0.1%, 유리온실이 152ha로 0.4%를 차지해 시설원예 면적의 대부분을 비닐하우스가 차지하고 있다.

표 3-13. 시설유형별 보급면적('95) (단위 : ha)

구분	비닐하우스	유리온실	경질판(PC,PET)	계
면적(ha)	42,893	152	48	43,093
비율(%)	96.5	0.4	0.1	100

비닐하우스가 차지하는 면적 중 시설비가 저렴하고 자동화 장치를 갖추지 않은 터널형태의 관행 비닐하우스가 96.5%이고 축 천창, 수평 수직커튼, 환기선 등의 자동화 장치를 갖춘 비닐하우스는 3.5%밖에 되지 않는다. '91년 농가보급형 자동화 하우스가 개발되어 지난 3~4년동안 1,400ha의 넓은 면적이 보급되었으나 '95년 1,510ha로 그 증가폭이 그리 크지 않은데, 그 이유는 PC, PET의 경질판 온실과 농가보급형 유리온실이 보급되어 재배환경이 유리해진데 비해, 비닐하우스내의 광, 온 습도 등 작물재배 환경이 불리하고 피복자재의 잦은 교체에 대한 문제점이라 할 수 있을 것이다. 그러므로 여기서는 농가보급형 비닐하우스 형태 중 가장 많이 보급된 1-2W형을 기준으로 피복자재와 환기구조 개선에 관한 연구내용을 기술하고자 한다

1. 피복자재의 종류

농가보급형 비닐하우스(1-2W형)에 사용하고 있는 연질필름인 PE나 EVA의 수명은 1년정도로 보고 있는 반면, 철골온실에 주로 사용되고 있는 경질 혹은 반경질 피복자재인 PC나 PET는 강도면에서 PE, EVA보다 뛰어나 수명을 5~10년정도로 보고 있으며, 광투과율 또한 떨어지지 않는다. PE필름은 다양한 규격으로 생산되고 있지만 많이 사용되는 것은 폭 8~10m, 두께 0.05~1.0mm정도이고 PET필름은 폭 1.6m, 두께 0.15mm, PC판은 폭 1m, 두께 0.84mm의 규격이 주로 생산되고 있다. 최근 피복교체에 대한 인건비 및 재료비를 고려해 장기사용 가능한 1.0mm이상의 두꺼운 피복자재를 선호하는 경향이 있으며 그에 따라 환기구조 개선에 대한 투자가치 또한 고려해 볼 만하다 하겠다.

2. 반경질 피복자재의 이용

연질필름을 주로 이용하고 있는 1-2W형 하우스는 축창 개폐시 권취모터가 개폐축에 연결되어 있어 권취되는 횟수가 많아짐에 따른 피복자재의 손상으로 인해 내구성이 떨어지게 된다. 이를 개선하기 위해 지붕은 PET나 PC를 피복하고 벽면은 PE필름 사이에 폴리에스터 계통의 실을 그물형태로 삽입하여 내구성을 증가시킨 망사혼입필름을 이용하여 내구성을 증가시키고 등근형태의 지붕을 갖고 있는 아취형 하우스의

동고부분에 천창을 설치하기 위해 PET나 PC와 같은 반경질 및 경질 피복자재를 이용하였다.

PET나 PC는 자재의 특성상 주로 유리온실과 같은 양지붕 철골온실에 주로 피복되고 있으므로 등근형태의 지붕을 갖고 있는 아취형 하우스에 피복하기 위해서는 그림1과 같이 파이프에 부착할 수 있는 별도의 고정구가 필요하다.

표 3-14. 피복자재별 물리적 특성

구분	PE	EVA	PET	PC
인장강도 (kg/cm ²)	180	220	2,220	650
충격강도 (kg m/cm ²)	20	54	60	88
광투과율 (%)	86	89	88	89
내구년수 (년)	1	1	7	5~10

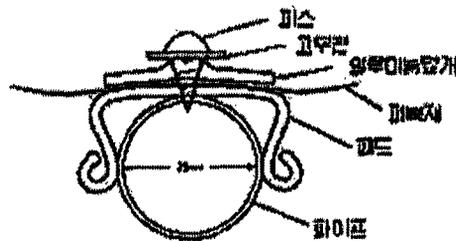


그림 3-2. 반경질 필름을 부착하기 위한 고정재

PET필름은 폭 1.6m, 길이 100m의 규격이 주로 생산되므로, 하우스의 길이 방향으로 고정구를 파이프에 용접한 후 PET를 10cm정도 겹쳐서 고정구 위에 얹고 알루미늄 덮개로 덮어 피스로 부착해야 한다.

표 3-15. 피복자재의 소요비용 (단위 : 천원/10a)

구분	PE 피복하우스			PET-망사혼입 피복하우스			PET 피복하우스		
	재료비	인건비	계	재료비	인건비	계	재료비	인건비	계
최초 투입 비용	1235 (100)	1490 (100)	2725 (100)	4392 (356)	2028 (136)	6428 (236)	4941 (400)	2028 (136)	6969 (676)
1년후 피복 비용	1235 (100)	1490 (100)	2725 (100)	662 (53.6)	305 (20.5)	967 (35.5)	745 (60.3)	305 (20.5)	1050 (38.5)
7년후 피복 비용	8645 (100)	10430 (100)	19075 (100)	8364 (96.7)	3858 (37.0)	12222 (64.1)	9411 (108.8)	3858 (37.0)	13269 (69.6)

표 3-15에서는 시설 전체를 PE나 PET로 피복한 경우와 벽면을 망사혼입필름으로, 지붕을 PET나 PC로 피복한 시설의 피복비용을 나타내었다. 최초 투입되는 피복비용은 PE로 전체를 피복할 경우 2,725천원/10a, 지붕은 PET, 측면은 망사혼입필름으로 피복할 경우 6,428천원/10a이고, 1년후 전자는 피복을 교체해야 하므로 2,725천원/10a가 소요되나 후자는 967천원/10a로 PE피복에 비해 36%정도만이 소요된다. 내구년한을 7년정도로 보는 PET나 PC를 이용한 경우, 매년 피복교체에 따른 인건비와 재료비가 소요되는 PE피복 하우스에 비해 적으므로 소요비용면에 있어서 PET-망사혼입필름 피복하우스는 약 36%, PET피복하우스는 30% 절감효과가 있고 다소 고가인 PC에 있어서는 85%정도가 더 소요된다는 것을 알 수 있다.

3-5. 시설원예하우스와 보온

무난방 시설원예하우스에서 실내온도 유지에 이용되는 열은 낮은 시설내 토양에 축열된 열이 유일한 것이다. 실제 주요시설단지의 태양에너지 이용율을 보면 5.8-12.2% 수준에 불과하다. 또한 일부 농가에서는 태양에너지의 이용율이 낮을 뿐 아니라 방열도 많아 시설내부가 작물생육에 부적합한 온도를 유지하기 때문에 저온장해가 나타나고 있다. 열이 빠져나가는 것을 차단하여 보온력을 높일 수 있는 방법은 다음과 같다.

- (1) 태양에너지 이용 증대
- (2) 시설구조상의 보온 비율 증대
- (3) 보온 다중 커튼
- (4) 하우스 외면 피복
- (5) 고정 다중 피복
- (6) 하우스내 따뜻한 지온을 보존하도록 하우스 측면 및 다열층 설치
- (7) 외부 풍속을 줄일 수 있는 방풍벽 설치

위의 (1)항의 태양에너지의 재이용율을 증대하는데는 하우스의 구조 및 방향과 피복자재에 따라서 그 정도의 차이가 있음을 알 수 있다. 특히 우리나라와 같은 무난방에 의한 작물 재배가 대부분인 상태에서는 (83.6%) 가능한 많은 양의 태양에너지를 하우스내에 축열시키는 것일 바람직하다. 시설의 구조와 형태를 개선하고 하우스의 방향을 동서동으로 투광율이 높은 피복자재를 이용하도록 하고 고정식 커튼에서 이동식 커튼으로 바꿈으로서 열원을 증대시키고 방열량을 최소화해야한다. 이러한 면에서 볼 때, 무적성 필름의 태양에너지 이용증대 면에서 보면 상당히 좋은 재질임을 알 수 있다. 예로서 표 3에는 커튼피복 자재의 보온성에 대하여 나타내었다. 커튼의 보온효과는 열절감율로서 나타낼 수 있는데 예를 들면 1층 커튼의 경우 PE가 30%, PVC가 35%, 반사필름인 경우에는 45-50%이다. 2중커튼인 경우에는 PE+PE 필름은 경우에는 45%, PE+반사필름인 경우에는 65%의 열절감 효과가 있다.

제 4 장 수막재배 피복자재의 문제점과 개발동향

4-1. 수막재배 피복자재의 필요성과 문제점

우리나라의 시설작물의 경지면적은 '90년 34,767 헥타에서 '94년 62,493 헥타로 172% 증가추세이며, 이곳 충청남도 지역도 '90년 3,523 헥타에서 6,906 헥타로 196% 증가추세이다. 우리나라의 비닐하우스에 의한 시설작물 생산이 주는 경제파급효과 및 수출입 농산물에 미치는 파급효과는 대단히 중요하지만 최근 난방용 경유 가격이 최근 270원/ℓ에서 500원/ℓ 이상으로 급등하는 등 난방비의 상승으로 인한 농가의 부담은 더욱 가중되고 있는 실정이다. 또한 난방연료의 수입억제를 위하여서는 수자원이 풍부한 지역에서 자연의 에너지인 지열에 의한 12 ~ 15℃의 지하수 이용과 태양광을 이용한 비닐하우스 작물재배법을 동시에 이용하는 에너지절감 재배인 수막재배법의 효과적 system 개발은 농민들의 작물재배에 사용되는 연료비용 절감과 고품질 작물재배에 커다란 파급효과를 줄 것으로 판단된다.

수막(Water curtain) 재배는 겨울철 지하수가 풍부한 비닐하우스 재배지역에서 경제적인 보온방법으로 지하수(온도 10 ~ 15℃)를 비닐하우스 위에 살수함으로써 하우스 내부의 온도를 높이는 작물재배법으로 우리나라 전역에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있다. 겨울철 비닐하우스는 일반적으로 삼중으로 구성되어 있다. 제일 바깥쪽은 대기권 차단용 하우스, 그리고 중간쪽 하우스 위에는 지하수 살수를 하는 system이 설치되어 있고 제일 안쪽은 묘종을 보호하기 위한 보온하우스로 구성되어 있다. 지하수 살포시 비닐 위에서 흘러내리는 물의 온도가 떨어지면서 열이 발산되므로써 실내온도를 높여줄 뿐만 아니라 안쪽 2중 하우스내의 열손실을 막아주는 보온효과를 주게 된다. 실제로 지하수의 살포는 해질 무렵부터 다음날 해뜰 때까지 10 ~ 14시간 지속되며, 수막재배 기간은 지역에 따라 다르지만 12월초부터 3월말까지 약 4개월간 지속된다.

수막재배를 이용한 비닐하우스의 보온방법에 있어서의 장점으로서는 석유 등의 화학연료로 난방을 하는 경우와 비교하여 불 때 연료비가 거의 들지 않아 경제적이며, 또한 대기오염등을 줄이므로 환경오염 차원에 있어서도 바람직하다는 것은 이미 주지의

사실이다. 따라서 최근의 시설원에 농업에 있어서 수막재배는 딸기, 오이 등의 비닐 하우스를 이용한 하우스 동절기 재배에 널리 이용되고 있다.

그러나 수막재배시 고분자 재료로 제작되어진 비닐하우스에 응용이 되면 농촌 지역에 따라 다소 차이가 있으나 지하수에 존재하는 미세한 분말상의 진흙이나 철분을 함유한 고형물이 비닐위에 부착됨으로 인한 고형물 적층이 형성되므로 비닐의 광투과도를 매우 감소시키며, 통상 3일정도면 투광량이 거의 10% 이내로 감소하는 문제점이 발생하며 이에 따라 낮시간 동안에 하우스내에 투과되는 광량의 부족으로 식물의 광합성 저해 및 하우스내의 온도상승 저해를 일으킴으로 인하여 작물의 수확시기 조절의 어려움과 품질의 저하등 효율적인 수막재배법이 사용되지 못하고 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 수막을 형성시키기 위한 지하수의 살수를 비닐하우스 양쪽 끝 1m 정도의 위치에서 살수하여 수행하고 있다. 즉, 이러한 수막재배가 제한적으로 이루어지고 있어 보온효과의 극대화를 이루지 못하고 있다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 일부에서는 지하수에 포함된 금속류, 광물류 및 미생물류등을 filter로 제거한 후 사용하는 방법이 제시되고 있으나 이는 고가의 filter를 자주 교체해야만 하고 무인으로 작동되는 수막재배 system에 있어서 한겨울밤 온도가 떨어짐에 따라 filter가 막힘으로 인하여 물이 살포가 안되면 농작물이 동해를 입게되므로 기존의 filter의 사용엔 위험부담과 함께 경제성의 문제가 야기되어 실용화 가능성이 없다. 따라서 해결방법은 1) 미세입자가 비닐위에 고정화 방지를 위한 경제적인 system 개발과, 2) 미세입자가 붙지 않는 비닐 개발이라 할 수 있을 것이다.

4-2. 화학적 표면개질에 의한 피복자재 고분자 재료의 개발동향

1. 무적성 고분자 필름

시설원에 피복고분자 자재로 사용되는 소재별 종류로는 '94년 현재 PE이 75.75%, PVC가 9.4%, EVA는 14.8%, 유리가 0.04% 및 기타 0.06%로 집계되고 있다. 참고로 사용되는 골재로는 철재가 95.0%, 목,죽재는 3.0% 그리고 기타 2.0% 로 나타나고 있고 시설유형으로는 터널형 55.8%, 아취형으로는 42.5%, 양지붕형으로는 1.3% 및 3/4 지붕형이 0.4% 정도로 나타나있다.

2. 무적성 외피복자재의 필요성과 문제점

이들 농업용 고분자 외피복자재가 실제로 시설원예에 적용이 되었을때 야기되는 문제점들이 있다. 이중에 중요한 문제가 고분자 필름재료가 가진 특성으로 인하여 지표면과 작물 등에서 생성되는 수분들과 접촉하였을때 하우스와 터널등의 장점을 감소시키는 즉, 물방울이 고분자 재료의 표면에 붙어 본래의 효과를 나타내지 못하는 결과가 생긴다. 이는 표면이 소수성을 띠고 있기 때문이다. 따라서 수분이 응축되었을때 필름의 투명도가 현격히 저하되어 태양광의 투과량이 감소하여 소채의 수확이 감소되고, 일조시간이 감소되며 수확기간이 장시간 걸리게되며, 난방의 효율이 저하되는 등의 나쁜점이 있다. 더우기 맺힌 물방울이 꽃등에 낙하하면 결실불량이 되고 작물생육에 지장을 초래하여 심한 경우에는 말라죽는 결과도 생긴다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 많은 연구가 진행되고있다. 일반적으로 이러한 첨가제, 첨가물들을 유적제(流適劑), 무적제(無適劑), 무적방지제(霧適防止劑) 등으로 불리우고 있다.

현재 가장 많이 쓰이고 있는 방법으로는 스테아린산, 라우릴산 및 솔비탄스테아린산 등의 계면활성제(무적제)를 고분자필름(PVC, PE) 등과 블렌딩하는 방법이다. 그러나 이 방법의 결정적인 단점은 사용수지와 무적제와의 상용성이 좋지 못하여 필름표면으로 용출됨으로 인하여 백화(bleeding) 현상이 일어나고 불투명해지며 이로 인하여 태양광이 불균일하게 투과되어 본래의 의도였던 무적효과가 소실된다. 이러한 현상은 상용성이 좋은 무적제를 선정하고, 배합을 발명하면 어느정도는 피할 수 있으나, 이 무적제가 친수성을 가져야 하므로 필름 표면에 존재하면 수적에 의하여 용출되고 이렇게되면 무적성능의 저하원인이 되고, 백화현상은 다시 일어난다. 즉 이 혼합형 무적필름의 경우 정도에 따라서 백화현상은 필수불가결하게 동반이 되어 무적성능이 보통 30~90일 밖에 지속되지 못하며 이 무적제의 방출되는 속도가 주위의 환경에 매우 민감하기 때문에 진정한 의미로서의 무적고분자필름이라고 말하기는 어렵다. 예를들면, 작물의 종류에 따라(수분의 다소 차이), 하우스의 설치시에 비닐의 각도에 따라, 비닐하우스내의 환기창의 숫자와 위치에 따라, 바닥의 mulching 관계에 따라, 그해의 기후에 따라, 설치방향에 따라(남북향 또는 동서향), 필름 제조공정의 조

건에 따라, 필름의 보관 상태에 따라, 그 이외의 여러인자들에 따라 무적기간의 차이가 보이고 있고 실제로 이들의 하자금액 발생률이 매년 4~5% 정도이며 이들의 증가율도 약 5% 정도에 이르고있다.

이들 첨가제는 초기무적성과 저온무적성을 위해서는 다가 alcohol 중산지방산 ester류의 다가알코올지방산에스터 에틸렌옥사이드의 부가물류가 쓰이고, 반대로 지속무적성과 고온무적성을 위하여서는 다가알코올 장쇄지방산에스터류가 사용된다. 예를 들면 PE에는, 글리세린 지방산에스터류 (JP 38-4171), 솔비탄 지방산에스터류 (JP 38-03572), 폴리에틸렌글리콜 지방산에스터 또는 에테르류 (JP 39-21112), 솔비톨에틸렌옥사이드 부가물의 지방산에스터류 (JP 52-69950), 및 다가알코올옥시카복실릭산 에스터류 (JP 45-4617) 등이 사용되고 있다. PVC에는 다가알코올류의 지방에스터의 dianoethyl 화합물 또는 carbamoylethyl화물 (JP 45-13705), 솔비탄고급지방산 에스터의 에틸렌옥사이드 부가물 (JP 49-29294), 글리세린모노스테아린산 ester (JP 54-55048) 및 다가알코올 지방산 부분 에스터와 polyoxyethylene alkylphenoether의 조합물 (JP 54-74847) 등이 쓰인다. 최근 이러한 모순점들을 개량하기 위하여 화학적으로 개량된 무적성 고분자필름들이 개발되어 왔다.

3. 화학적 표면개질법에 의한 무적성 고분자 재료의 개발

고체재료의 표면을 변화시킴으로써 재료가 갖는 성능을 향상시키거나 또는 새로운 기능을 부여하는 이른바 표면처리 또는 표면개질은 종래부터 많이 행하여져 왔으나 특히 고분자 재료는 표면개질에 의해 인쇄성, 염색성, 접착성, 도장성, 대진방지성, 방오염성, 무적성, heat seal성, plate out방지, 표면경도, 생체적합, 표면은폐성, 선택적 상호작용, 투과성, 용해안정성, 내후성 및 전기진도성과 같은 physicochemical properties가 변화된다는 것은 잘 알려져 있다.

표면의 기본 특성인 관능기의 종류와 수, 표면에너지, 결정성 또는 가교도 등은 고분자 연쇄의 화학구조와 물리적 성질에 의해서 지배된다. 고분자 재료의 표면을 개질하여 각 해당분야에 응용하기 위해서는 적절한 표면기능을 부여해야 하며, 이러한 목적으로 행해지는 처리과정을 기능성 표면형성 과정이라고 할 수 있다. 그러나 기능층을 효과적으로 형성시키기 위해서는 먼저 표면의 기본특성 즉 접착성 (adhesion)

이나 젖음성 (wettability)등으로 대표되는 표면물성을 제어하여 표면을 활성화시켜야 한다.

표 4-1. 고분자 재료의 표면개질법

처 리 법	처리의 개요
액상화학처리법	황산, 크롬산혼액, 과망간산칼륨액, 표면가수분해
기상(산화)처리	화염, 오존, 산소, 염소, SO ₂ , NO ₂ , 자외선, 방사선에 의한 산화가교
코로나방전	산화반응, 라디칼공격
플라즈마처리	O ₂ -산화, Ar-CASING, N ₂ -가교, H ₂ -가교, 불활성가스사용 - plasma처리, deposition 반응성가스 - 플라즈마중합
방사선 그래프트 중합	동시조사법, 전조사후 graft법
광 그래프트중합	기상-고상 반응, 액상-고상 반응

화학적 개질방법이란 방사선, 플라즈마, 및 자외선광을 이용하여 수용성 또는 수팽윤성 고분자를 필름에 그래프트 중합하는 방법으로서 방사선과 플라즈마를 이용한 처리방법은 처리효과가 크고 다양성이 넓다는 강점이 있으나, 초기설비 투자비가 많이 소요되며 연속적, 대량생산에는 부적합하여 실용화는 아직도 어려운 상태이다. 또한, 자외선광에 의한 그래프트 중합법은 방사선과 플라즈마 중합법 보다 간단하여 인쇄적합성이나 접착성 등의 성질을 개량시키는 목적에는 유용하게 쓰인다. 그러나 종래의 방법에서는 UV 조사시간이 PE필름의 경우 20분 이상이었으며, 또한 질소기류 하에서 반응시켜야 되는 등의 연속작업성에 문제점이 있었고 이렇게 그래프트 반응된 고분자 필름이 무적농업용 필름에 적용되기에는 수직 태양광 및 여타 주위환경에 대하여 내구성이 약한 것이 결정적인 흠이 있다.

가. Corona 방전

불활성인 올레핀계 필름은 접착제나 표면코팅시 접착력이 거의 없다. 따라서, 이들을 표면처리를 하여 접착력을 향상시키는데 그 방법중의 하나가 고압으로 코로나 방전시킨 사이로 통과, 처리하여 물리적인 접착력(표면장력을 높임)을 주는 것이다.

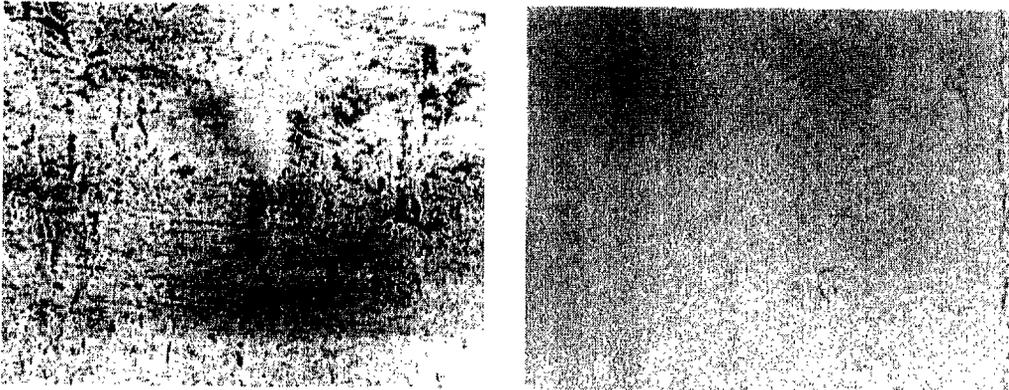


그림 4-1. 코로나처리한 필름 (좌, 다수의 스태틱 마크가 존재)과
코로나처리후 코팅한 필름 (우)

필름의 유장력이 크다는 것은 접착제나 코팅 물질과 친화성이 좋다는 것을 의미한다. PET 필름의 경우 corona 전, 후의 장력의 크기는 각각 42-44 dyne/cm 와 52-54 dyne/cm 이었다. 또한, 스프레이·코팅·샘플(코로나처리필름) 코팅의 조건에 따라 스태틱·마크에 의한 무늬가 발생한다. 스태틱·마크란 고대전에 의한 정전기방전에 의해 필름심층부(표면에서 4 μ m정도까지)에 생긴 대전모양이다. 토너 등의 미립분을 산포하면 대전패턴에 따라 모양이 나타난다.春日電機에서는 빨강과 파랑의 컬러토너의 혼합분을 플라스틱필름 위에 산포하고, 스태틱·마크의 유무를 판단할 수 있다. 플러스대전에서는 청색의 토너, 마이너스대전에서는 적색의 토너가 부착한다.

일반적으로 먼지나 지하수내 무기물들은 스태틱·마크에 따라 부착한다. 코로나처리된 필름위에 silicone 등으로 코팅한 필름은 스태틱·마크가 완전히 제거되어 무기물들의 부착이 어렵게 되는 것이다.

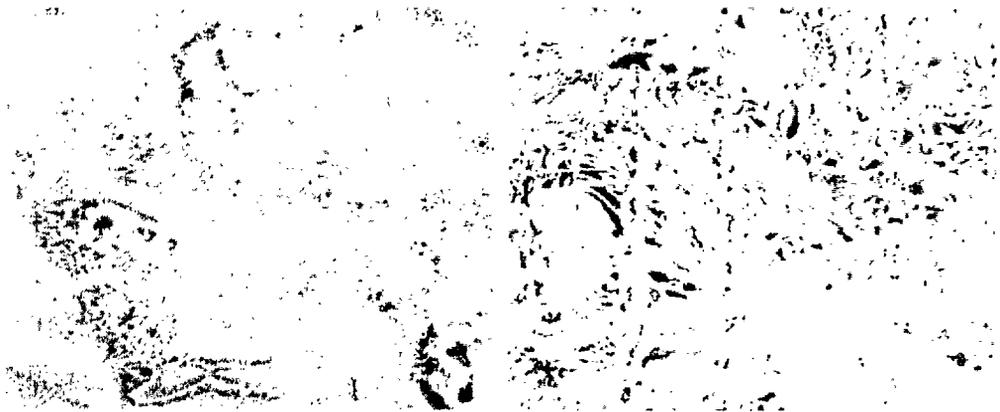


그림 4-2. Corona 처리후 컬러토너를 산포한 필름

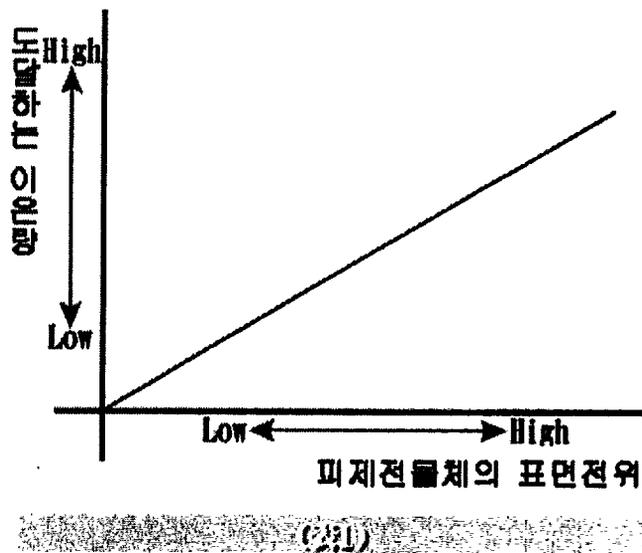


그림 4-3. 표면전위에 따른 이온량의 변화

나. 플라즈마 처리

1) 고온 열플라즈마란?

플라즈마는 전기적으로 중성이나 양성과 음성으로 하전된 입자에 의해 전도도를 띄

고 전자장에 민감한 반응을 보인다. 따라서 전자장을 이용하여 플라즈마의 제어가 가능하다. 완전한 이온화는 온도가 몇 백만도, 즉 핵융합시에 가능하며 이때의 플라즈마를 완전 평형에 있다고 가정하여 CTE (complete thermodynamic equilibrium)라고 할 수 있다. 전자의 온도는 중성자 혹은 무거운 입자보다 높는데 그 이유는 전장에서 받아들여진 전자에너지가 충돌에 의해 무거운 입자에 전달되기 때문이다. 현재 산업공정 등에 사용되는 플라즈마는 통상 고온 열플라즈마(thermal plasma 혹은 hot plasma)로 분자, 원자, 분자 혹은 원자이온과 자유전자로 구성되고 그 이온화율은 높지 않으나 온도는 보통 10,000~20,000oK에 달한다.

에너지적으로 안정한 상태의 가스의 분자 혹은 원자들이 외부로부터 에너지를 흡수하게 되면, 원자를 구성하고 있는 전자가 원자핵으로부터 더 멀리 떨어진 궤도로 이동하여 더 높은 에너지 준위를 갖는 여기상태가 된다. 분자로 구성된 가스의 경우에는 여기상태를 거쳐 분자가 원자로 분리되는 해리 상태를 거치게 된다. 외부로부터 흡수된 에너지가 전자의 결합에너지보다 더 클 경우 이 기체는 이온화, 즉 전리가 가능하게 된다. 또한 기체를 구성하고 있는 원자나 분자가 이온화하는데 필요한 에너지보다 분자/원자 충돌되는 입자의 운동에너지가 더 클 때도 기체는 전리기체(ionized gas)를 형성하게 된다. 이와 같이 원자를 전자와 이온으로 분리시키는데 필요한 에너지를 이온화 에너지(ionization energy) 라고 한다.

일반적으로 기체는 3,000~4,000oK에서 이온화가 시작되면, 불활성 가스는 엔탈피가 낮고 온도가 높은 플라즈마 상태를 보이고 분자 및 다원자 상태의 가스는 높은 엔탈피를 가진 비교적 차가운 플라즈마를 만들어 낸다. 플라즈마의 생성은 기체 이외의 고체도 극도의 고온, 고압 하에서 가능하며, 대상물질의 이온화 에너지보다 큰 에너지를 외부에서 흡수하게 될 때 가능하다. 물질의 온도가 낮더라도 높은 압력 하에서는 자유전자가 원자핵으로부터 분리되어 전리기체를 형성 할 수 있는데 이러한 과정을 압력 이온화라고 한다. 이와 같이 플라즈마는 다양한 에너지원으로 발생시킬 수 있다.

2) 고온 열플라즈마 형성가스

플라즈마 형성가스는 원리적으로 다양한 가스를 쓸 수 있으나, 이 기체들은 서로 다른 열용량 등 열역학적 특성을 갖고 있으므로 플라즈마 발생장치의 전압-전류 특성

에 커다란 영향을 미친다. 일반적으로 불활성 기체는 분자상 기체에 비해 열용량은 낮으나 높은 온도의 플라즈마를 발생한다. 따라서 복사 방열에 의한 열 손실은 커지게 된다. 열손실의 감소, 즉 높은 열전달 효율은 얻기 위해서는 낮은 온도에서 큰 열용량을 보이는 기체가 효과적이다. 이에 반하여 분자상 기체는 높은 열용량으로 인해 플라즈마를 발생하기 위해 많은 에너지가 입력되어야 하며 과열현상으로 인해 전극의 침식을 촉진시킬 수 있다. 플라즈마 공정에서 발생하는 온도는 처리되는 모든 물질의 용점 및 승화점보다 훨씬 증가하는 높은 온도이기 때문에 문제되지 않는다. 따라서 플라즈마 가스의 열용량 및 열전도도가 플라즈마 공정 및 발생장치의 설계에서 더 중요한 인자이기도 하다.

플라즈마 형성가스를 선택할 때 고려해야 할 중요한 것은 반응기내의 분위기 조절이다. 처리대상물 혹은 처리목적에 따라 플라즈마 형성가스를 선택함으로써 반응기내의 가스 분위기를 불활성, 산화성 그리고 환원성으로 조절 할 수 있다. 이러한 분위기 조절을 위해서는 기체의 순도 및 고온에서의 열역학적 그리고 속도론적인 성질, 즉 열전도도, 전기전도도, 점성도, 확산계수, 반응속도 등에 대한 정확한 해석이 요구된다.

3) 고온 열플라즈마 발생장치

전기 에너지를 이용한 열플라즈마(thermal plasma) 발생장치(plasma torch, plasmatron)는 처리대상물의 용융 및 환원 등에 사용할 수 있는 다량의 열에너지로 전환시키는 장치로서 정의할 수 있다. 고온 열플라즈마 발생은 가스 이온화를 위한 충분한 에너지가 공급되어야 한다. 이러한 에너지는 두 개의 전극에서 발생하는 전기 아크로서 발생시킬 수 있다. 가스를 고온의 아크 사이에 통과시키면 가스의 플라즈마로서의 전이가 가능하다. 이러한 과정에 의해 플라즈마를 발생시키는 장치를 아크(arc) 플라즈마 발생장치 혹은 직류 플라즈마법이라 하며 가장 널리 사용되는 방법이다. 또한 플라즈마의 생성은 강한 전기장을 통해 가능하며 방전관 외부에 설치된 환형전극을 이용한 외부 용량 플라즈마 (capacitive plasma), 그리고 원주형태의 유도 코일에 의해 유지되는 고주파 전자장을 이용하는 유도 플라즈마 (inductive plasma)가 있다. 아크 방전은 두 개의 전극간에 교류 혹은 직류를 통하게 하여 열음극에서 발생하는 열전자에 의해 일어나며 전압-전류의 특성은 낮은 전압(> 100V) 그리고 높은

전류 (100~1,000V)를 보인다. 암방전(Dark Discharge)은 외부의 전자원과 전기장이 공존할 때 지속되며 낮은 전류 밀도에서는 불안정하다. 글로우 방전은 전극간의 전위차가 전류의 세기에 영향을 받지 않고 안정한 상태를 유지한다. 전류가 증가함에 따라 글로우 방전은 아크방전으로 바뀐다. 아크 방전에 의한 전자방출 기구는 글로우 방전과의 근본적인 차이점은 음극에서의 열적 방사이다.

4) 아크 플라즈마 발생장치

아크 플라즈마 발생장치는 비이송식 (nontransferable plasma torch), 이송식 (transferable plasma torch) 그리고 혼합식 (hybrid plasma torch)이 있다. 이들 발생장치의 주요 구성품으로서는 전극, 노즐, 가스유입 계통 그리고 냉각계통을 들 수 있다. 양전극의 재료로는 구리가 사용되고 음전극에는 전자방출이 용이하도록 처리된 텅스텐 등이 (W-ThO₂, CeO₂, Y₂O₃) 쓰인다.

비이송식 플라즈마 발생장치는 양전극과 음전극이 토치 내에 설치되어 가스를 플라즈마화 시키며 반응은 전극 사이에 일어난다. 이 경우 전극은 단지 전류, 즉 비이송식 아크를 유지시키는 역할을 한다. 가스 혹은 쉽게 기화되는 대상물이나 초미분 등 직접 토치에 장입하는 공정에 적합하다. 또한 액상의 화학 유기폐기물을 분해하는데 쓰일 수 있다.

이송식은 일반적으로 용융 및 정련공정에 투입되고 있다. 전도성을 가진 처리대상을 양전극으로 대치하거나, 별도의 양전극을 반응로 하부에 설치하기도 한다. 따라서 열전달이 직접 처리대상에 전달됨으로서 그 효율이 높다. 주어진 플라즈마 토치의 출력에서는 사용되어지는 토치의 특성에 따라 그 전압-전류 특성이 변하게 된다. 이송식 플라즈마 아크는 가능한 높은 전류와 낮은 전압이 되어야 하며 처리대상이 아크 스폿에 의해 직접 가열되게 된다. 짧은 플라즈마 (높은 전류/전압 비)는 통상 가스 가열기로서 작은 양의 가스에 높은 에너지밀도가 전해져야 할 때 사용된다. 이러한 경우는 고용융점을 가진 분말을 분사시켜 코팅층을 만드는 플라즈마 아크 용접 공정에 쓰이고 있다. 아크의 기둥이 길고, 고전압의 플라즈마 아크 (낮은 전류/전압 비)는 아세틸린 제조공정에서와 같이 유동되는 가스와 아크 사이에 접촉면을 증가시켜 반응시간을 증가시키는 공정 등 많은 양의 가스를 처리할 때 쓰이고 있다. 전압-

전류 특성은 플라즈마 발생장치의 길이와 형태 등에 의해 큰 영향을 받으며 기술적 목적과 토치의 출력에 따라 변화시킬 수 있다.

토치 내에 발생된 아크는 통상 안정하지 못하고 흔들리는 현상(flickering)을 보이며 토치의 벽에 열적 스트레스를 가해 전극의 침식을 가속화 시킨다. 따라서 아크를 안정화시키기 위해 여러 가지 방법이 적용되고 있다. 전기 아크를 안정화시키는 방법으로 가스 와류운동 또는 자기장을 이용하여 안정한 아크를 만드는 것이다. 그리고 물로써 아크를 안정화시키는 Gerdien 아크가 있다.

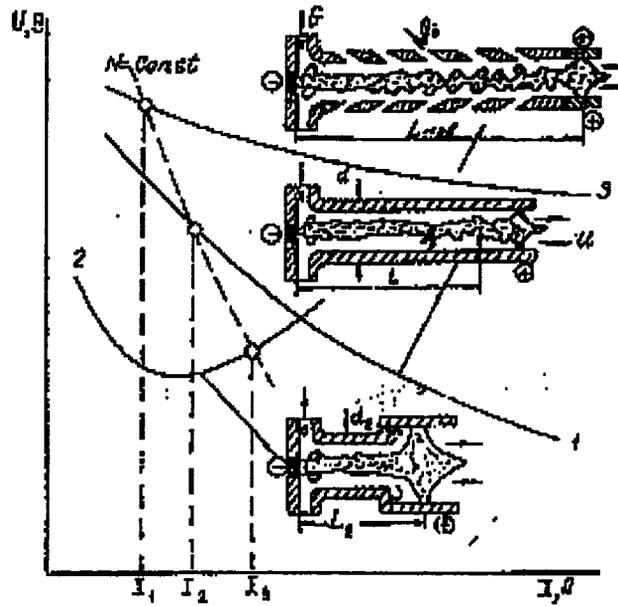


그림 4-4. 플라즈마 토치 및 전압-전류 특성

위의 그림에서와 같이 토치(torch)는 연구목적 및 산업공정에서 가장 많이 사용하는 것으로 전류값에 따라 평균 아크의 길이가 영향을 받게 된다. 아크의 전압-전류 특성곡선은 전류가 증가할 때 전압이 감소한다. 2는 아크의 길이가 고정된 토치형태를 나타낸 것이다. 사용된 표면전극은 텅스텐과 함께 회로의 선택에 따라 구리링이나 구리관에 압력을 가해 삽입한다. 아크의 전압-전류 특성곡선은 U자 형태를 보인다. 3

은 Segment 형태의 간전극 (interelectrode)으로 이루어져 있으며 아크의 길이가 길다. 이것은 이 형태의 발생장치의 길이가 길기 때문이다. 그리고 이러한 형태의 토치는 절연체로서 간전극 사이를 격리시키고 전극간의 틈으로 가스를 취입해줌으로서 반응기 벽을 보호한다. 이러한 형태의 토치에서 아크의 전압-전류 특성곡선은 전류증가에 따른 전압의 변화는 크지 않다.

5) 플라즈마 응용기술

플라즈마 기술은 이미 여러 분야의 산업 및 공정에 응용되고 있다. 이 기술의 여러 분야의 응용 가능성은 다양한 플라즈마 가스, 즉 불활성 가스나 화학적 반응성이 높은 가스를 사용하여 반응의 분위기 조절이 매우 용이하다는 것과 높은 열량 및 높은 온도의 플라즈마 가스를 생성할 수 있다는데 있다. 발생된 플라즈마의 온도는 20,000oK 까지 가능하며 압력조건 10⁻²~10⁷Pa의 넓은 범위에서 운전할 수 있다. 플라즈마 가스의 온도는 처리대상물의 융점 혹은 기화점을 훨씬 상회한다.

제 5 장 실 험

5-1. 분 석

1. 흡착물 분석

지하수에 포함되어 있는 각종 성분을 분석하여 film 표면에 흡착되는 물질을 예상하기 위하여 한국화학연구원 분석실에 있는 원소분석기(Atomic Absorption Spectrophotometry, AA)를 이용하여 수질을 분석하였다. 또한 filed test를 통하여 수거한 film 표면에 흡착된 이물질의 성분을 분석하여 지하수 성분과 비교 분석하였다. 논산 상월리에 설치되어 사용하고 있는 수막 system에 사용하고 있는 지하수 성분을 수거하여 분석 의뢰한 결과를 표에 나타내었다. 지하수 성분 속에 가장 많이 함유된 대표적인 화합물만을 선택하여 분석하였는데 그 결과 실리카(Si) 성분이 38ppm으로 가장 많았고, 철(Fe) 성분이 16ppm 순이었다. 이는 처음에 예측한, film 표면이 붉은색을 띠므로 철성분이 가장 많을 것이라고 예측한 것에서 많이 벗어난 결과였다. 따라서 film 표면위에 흡착된 물질들이 실리카 성분이 흡착된 후 광조사에 의해 변색되었을 것이라 예측하고 X-ray를 이용하여 성분 분석을 실시하였다. X-ray 분석은 우선 지하수 20ℓ를 논산 상월리에서 수거하여 1주일 방치 후 지하수 성분이 광조사에 의해 붉게 변색된 후 filter paper를 이용하여 지하수 20ℓ를 filter한 후 60℃에서 24hr drying 시킨 다음 X-ray 분석 의뢰를 하였다. filter 후 지하수 성분내에 무기물이 85.5mg/ℓ임을 알 수 있었으며 각 성분에 대한 정량 분석 결과는 아래의 표에 나타내었다. 그 결과 예상과는 다르게 철성분 피크가 가장 크게 나타났다. 이는 철성분으로 인하여 film이 붉게 변색되고 또한 광투과도가 나빠짐을 의미한다. 이처럼 지하수를 분석하였을 때 실리카 성분이 가장 많고, 광조사에 의해 지하수 성분이 변질된 후의 상태를 분석하였을 때 철성분이 많은 것은 실리카 성분이 수용성이기 때문으로 사료되며, 또한 야간에 살포된 지하수가 주간에 광조사에 의해 변질되고, 이에 따라 철성분이 지하수의 광물질을 응집시켜주는 핵제(nucleating agent)의 역할을 했기 때문으로 사료된다. 따라서 본 연구의 기본 방향을 철성분이 붙지 않도록 하는 것에 초점을 맞추는 것에 두기로 하였다.

표 5-1. AA 분석에 의한 지하수 성분의 원소 분석 결과

AA 분석 결과			
시료명	Fe	Si	비 고
지하수	16	38	

단위 : ppm

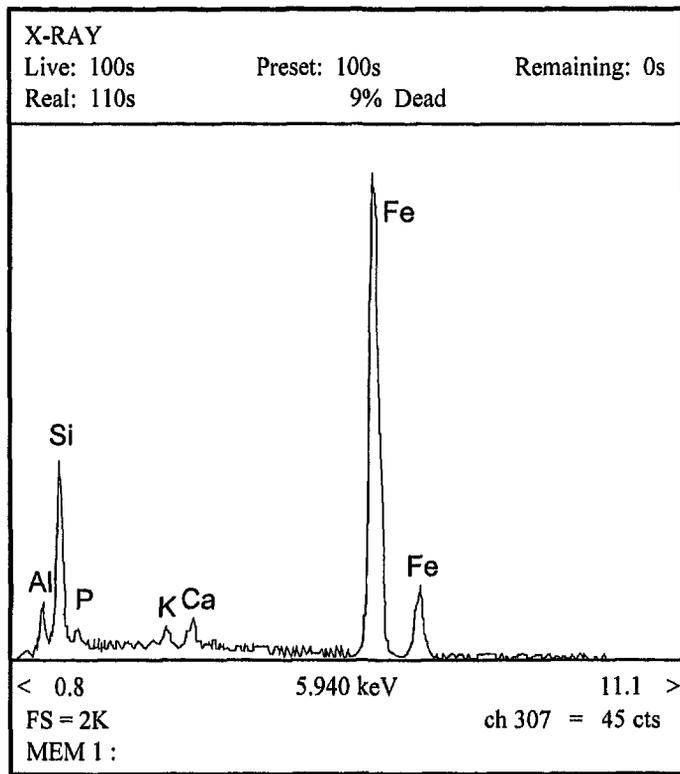


그림 5-1. 변질 후 지하수 성분의 X-ray 분석 결과

표 5-2. 지하수 성분 내의 무기물 함량

성분	Area	함량	무게	비고
Si	0.05343	13.15 %	11.24 mg	Total: 64.35 mg
Fe	0.2008	49.43 %	42.26 mg	
Ca	0.0173	4.26 %	3.64 mg	
K	0.0118	2.90 %	2.48 mg	
P	0.00942	2.32 %	1.98 mg	
Al	0.01309	3.22 %	2.75 mg	

a) Total area of X-ray peak: 0.40627

b) 확인할 수 있는 무기물 : 75.26%

표 5-3. 조사지역의 수막시설 재배현황 (1993년도)

조사지역	해당군 재배면적 (Ha)	하우스 동수	주요작물
남원 금지	186.0	3,625	딸기, 감자 등
완주 삼례	10.0	202	딸기 등
완주 용진	18.9	285	상치 등
익산 금지	6.8	112	딸기 등
익산 삼기	4.0	60	딸기 등
김제 성덕	1.1	21	알타리 무 등
계 : 6개 지역	226.8	4,305	4개 작목

2. 특정지역 수질 검사

현재 실험이 실시되고 있는 지역의 수질환경을 타지역과 비교하기 위하여 전라북도 지역의 수질분석 결과와 비교 분석하기로 하였다. 1993년에 보고된 전라북도 농촌진흥원에서 연구, 보고한 보고서에 따르면 비교지역은 전라북도 4개군 6개읍면 (남원금지, 완주삼례·용진, 익산금마·삼기, 김제성덕)이고, 조사 대상은 철분성분으로 한정하였다. 지하수 철분분석 방법은 본 연구에서 사용한 기기인 AA를 이용하여 분석하였다.

표 5-4. 수막 재배지의 지하수 철분함량 분포

조사지역	철분 함량 (ppm)			조사지하수 (개소)
	최 저	최 고	평 균	
남원 금지	0.01	3.34	1.00	13
완주 삼례	0.09	4.09	1.38	6
완주 용진	0.02	0.16	0.08	5
익산 금지	0.02	8.87	3.73	10
익산 삼기	0.12	0.82	0.47	2
김제 성덕	0.06	0.13	0.01	2
평 균	0.05	2.90	1.12	Total 38

비교 결과 충남 논산의 상월면 부근의 철분 함량이 타지역의 지하수 성분과 비교하였을 경우 매우 높게 나타났으며, 이는 비닐하우스의 오염을 더욱 증가시키는 원인이라 할 수 있다.

3. 고분자표면성질 분석

- SEM, FTIR,

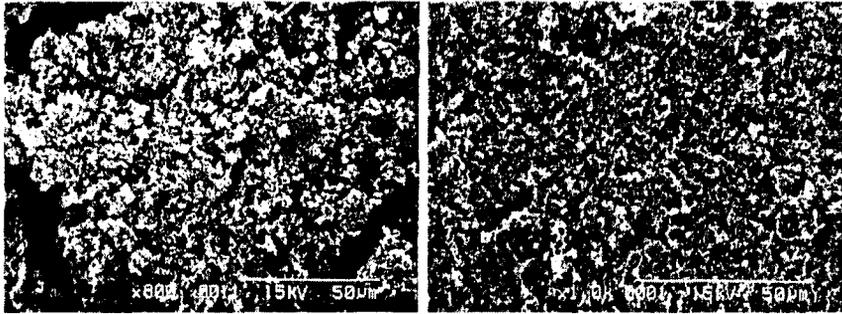


그림 5-2. PE film 위에 부착된 무기물의 surface morphology.

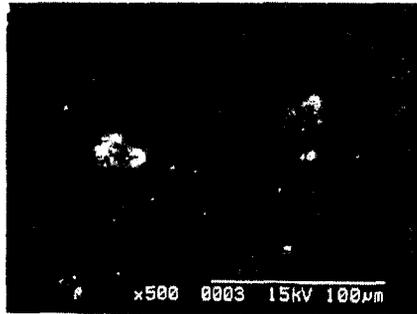


그림 5-3. 수막처리시 초기에 PE film 표면에 부착된 무기물의 morphology.

그림 5-2는 비닐하우스에 수막을 처리한 후 3개월이 경과한 시편의 800배와 1000배의 SEM 사진이다. 그림에 나타난 바와 같이 각종 무기물이 서로 강한 흡착을 하고 있으며 이로 인한 결합 에너지로 인하여 흡착된 후 surfactant로 처리를 해도 떨어지지 않는 것으로 보인다. 이러한 현상은 그림 5-3에 나타난 SEM 사진으로 알 수 있듯이 수막 처리 초기에 약간의 무기물 성분이 film 표면에 흡착되고, 이로 인해 이 성분들이 핵제(nucleating agent)로 작용하여 이물질의 흡착을 더욱 가속화시킴을 알 수 있다.

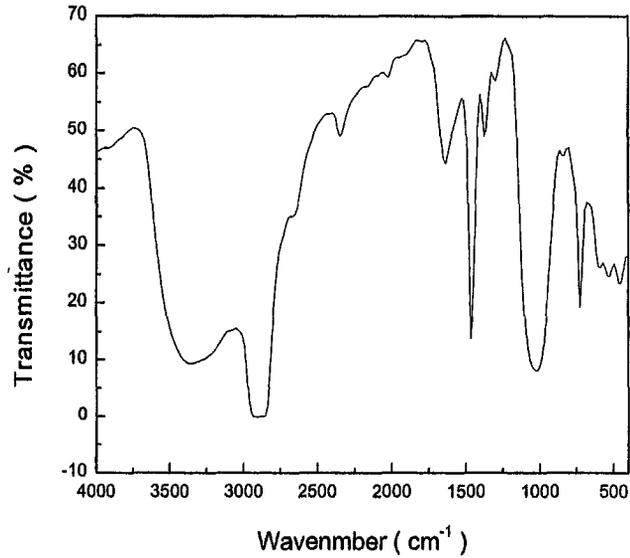


그림 5-4. 오염된 PE film의 FT-IR 분석 결과

5-2. 시 약

본 연구를 위하여 다음과 같은 성분의 시약들이 선택되었다.

1. 표면 coating제

Silicone oil

REPEL-SILANE : Dimethyl dichlorosilane sol'n, 2%(w/v) in
1,1,1-trichloroethane LKB-product

Silicone grease : DOW Corning, USA

Silicone silant : 동양셀 381, 동양실리콘 주식회사

SYL-7420 : silicone, 한국다우코닝(주)

Polyethylimine : Junsei Chemical Co.

Chitosan : Junsei Chemical Co.

2. 반응촉매

SYL-OFF 4000 : Pt형

3. 희석제

Toluene : JIN chemical Co., Korea

n-Hexane : Duksan Chemical Co.

Benzene : Junsei Chemical Co.

5-3. 실험장치

1. Contact angle 측정 기기

본 실험을 위해 사용된 고분자 필름이 hydrophobic하게 개질되었는지 field test에 앞서 확인하기 위하여 contact angle과 water-sliding test를 실시하였다. 사용된 contact angle 측정기기는 contact angle goniometer(Model 100-0, Rame-Hart Inc., USA)이었으며, water-sliding test 기기는 물과 고분자 재료 표면과의 interaction을 이용하여 본 실험실에서 자체 제작하였다. water-sliding test의 측정원리는 고분자 표면이 hydrophobic하게 개질이 되었다면 물과 친화성이 없어지게 되므로 빨리 떨어지는 원리를 이용한 것이다. 즉, hydrophobic 할수록 고분자 표면에서 빨리 sliding 될 것이다. Contact angle의 측정원리는 고체 표면상의 액적은 그림 5-5과 같이 일정한 접촉각(Contact Angle, θ_c)을 갖고 정지한다. 이때 고체 및 액체의 표면장력이 각각 γ_s , γ_L 이고 고/액의 계면장력 (Interfacial Tension)이 γ_{SL} 이면 식(1) (Young-Dupre's Eq)이 성립한다. γ_{SL} 는 식(2) (Good-Girifalco's Eq)로 표현되며, Ψ 는 γ_s , γ_L 과 상관성이 있는 상호 작용 변수 (Interaction Parameter)이다.⁵⁾

$$\gamma_s = \gamma_{LS} + \gamma_L \cos \theta_c \dots \dots \dots (1)$$

$$\gamma_{SL} = \gamma_s + \gamma_L - 2\Psi(\gamma_s \cdot \gamma_L)^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

여기서 γ_s , γ_L 값은 실측이 어려우므로 젖음성의 특성치로 대개 임계표면장력(Critical Surface Tension, γ_c)을 사용한다. 플라스틱등 표면장력이 작은 고체의 표면에 표면장력을 알고 있는 여러 가지 액체를 접촉시켜 접촉각을 측정한 후 γ_L 에 대하여 $\cos \theta_c$ 를 plot 하면 직선 관계가 얻어진다. 이를 Zisman's Plot 이라 하며, 직선이 $\cos \theta_c=1$ ($\theta_c=0$)의 선과 교차하는 점에 대응하는 표면장력 값이 γ_c 이다.⁶⁾ 즉, 액체가 고체 표면에 젖어 번질 때 (Spreading)는 $\gamma_L < \gamma_c$ 의 경우이며, 액체가 젖어도 번지지 않고 접촉각이 나타날 때는 $\gamma_L > \gamma_c$ 의 경우이다. 또 동일 액체의 경우에는 고체의 γ_c 가 작을 수록 큰 접촉각을 가진다.

접촉각은 γ_s , γ_L , γ_{SL} 에 의해 결정된다. 액체가 물일 경우, γ_{SL} 은 식(2)에서 알수 있듯이 물과 고체의 표면장력의 합에 좌우되고, 물의 표면장력(25°C에서 공기에 대한 순수한 물의 표면장력 : 72mN/m)⁷⁾은 일정한 값이므로, 결국 γ_s 나 γ_c 가 작을 수록 접촉각은 증가하게 된다. 일반적으로 고체 표면과 물방울간의 접촉각이 80~90° 이상이면 그 고체는 발수성을 갖는 것으로 간주한다.

γ_c 혹은 γ_s 가 작은 재료에 Polyhydrocarbon이 있으며, 폴리머의 탄소 수가 많을 수록 작은 값의 γ_c 를 가지며, 수소가 불소 원자로 치환되면 γ_c 는 아주 낮아진다. 불소 수지인 Teflon 은 대표적인 발수성 재료이다.

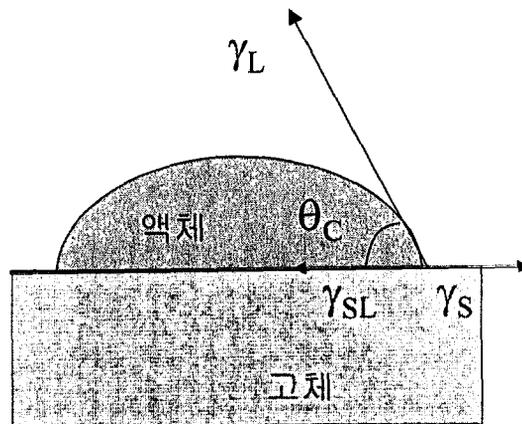


그림 5-5. Juncture of interfacial tensions for a liquid on a solid surface.

표 5-5. Critical surface tension of solid surface

고 체	화 학 식	γ_c [mN/m]
Teflon	$[-CF_2 - CF_2 -]_n$	18
Polyethylene	$[-CH_2 - CH_2 -]_n$	31
Polystyrene	$[-CH_2CH(C_6H_5) -]_n$	33~43
Nylon	$[-CORCONHR'NH -]_n$	42~46

표 5-6. Contact angle 측정 결과

단위 : degree (°)

	PE	PET	PVC	EVA	비 고
미처리	81.4	71.0	64.6	84.6	water
oil-treated	96.5	77.5	85	92.5	water
이형제	85.4	75.3	79.4	88.8	water
Inside-oil	82.8	73.5	65.0	85.8	water

접촉각 (contact angle) 측정결과에서 알 수 있듯이, 미처리시 보다는 hydrophobic 한 성분을 가지고 표면처리 하였을 때 접촉각이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이렇게 접촉각이 증가한다는 것은 표면에너지가 낮아진다는 것이고 이는 물에 대한 저항성이 커지고 수분에 강해지기 때문에 물질의 내구성 향상에 도움이 된다. 또한 본 실험에서의 무기물 및 미생물과의 무반응성도 커지기 때문에 고분자 필름의 오염도를 낮출 수 있다.

표 5-6에서 보면 접촉각이 PVC는 최고 24%, PE는 15.6%, EVA는 8.5%, 그리고 PET는 8.4% 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 최대 증가율을 보인 PVC의 경우 국내에서는 거의 사용하지 않고 있으며 PET, EVA는 비교적 고가이므로 실제 농가에서 사용하기를 매우 꺼리고 있는 실정이다. 따라서 범용적으로 사용하고 있는 PE의 접촉각의 증가는 본 예비 실험이 실제 현장에 응용을 할 때 단가면에서 도움이 된다는 점에서 매우 고무적이라 할 수 있다.

따라서 고분자 필름을 PE로 고정시키고 PE 필름위에 여러가지 물질을 코팅하여 그 접촉각 정도를 살펴보기로 하였다. 사용한 물질은 paraffin, diethoxymethylvinylsilane, SYL-OFF 7420을 사용하였다. 우선 ethanol/isopropyl alcohol 공용매(v/v=95/5)에 acetic acid로 pH를 3.5로 조절한 후 diethoxymethylvinylsilane을 0.2wt% 첨가하여 1시간동안 가수분해시킨 후 corona 처리한 PE 필름위에 coating하였다. 그 후 필름을 상온에서 건조하여 사용하였다. paraffin은 benzene에 5w/v%로 하여 녹인 후 사용하였으며, SYL-OFF 7420은 hexane에 20wt%의 비로 용해시킨 뒤 SYL-OFF 4000 촉매를 과량으로 첨가하여 교반 후 그 사용기간이 2시간이 넘지않게 하여 coating 하였다. coating은 gardener knife를 이용하여 300 μ m의 두께로 일정하게 조절하였다.

표 5-7. PE 필름에 표면처리 후 contact angle의 변화

단위 : degree (°)

	미처리	Silane	7420	Paraffin	비 고
PE	81.4	82.0	98.7	100.3	water

소수성인 silane계 화합물과 hydrocarbon류의 물질을 PE 필름위에 처리한 결과 표면에너지가 높아졌으며 이와같은 결과들로 인해 field test에서 실제적용시 지하수의 물질들에 대한 흡착거동을 예측할 수 있었다.

2. 고분자 재료에 대한 흡착물 실험 실적 비교실험

지하수 속의 무기물 성분이 고분자 표면에 흡착되는 정도를 실험실에서 간단한 실험 방법으로 판단하기 위하여 friction test를 실시하였다. 이 실험의 목적은 만일 고분자 표면이 hydrophobic하여 물을 밀어낸다면 물방울이 빠른 시간에 굴러 떨어질 것이고 이로 인해 지하수와 고분자 필름이 접촉하는 시간이 단축되므로 무기물 성분이 고분자 film 표면에 붙지 않을 것이라는 가정하에서 이 실험을 수행하였다. 그림 5-6에 본 실험에 사용한 기기의 간략한 도면을 나타내었다. 본 기기는 30°에서 85°까지의 각도를 변화시킬 수 있으며, 물방울이 흐르는 거리는 20cm로 하여 시간을 측정하였다. 한번에 측정 가능한 시료의 수는 최대 5개이다.

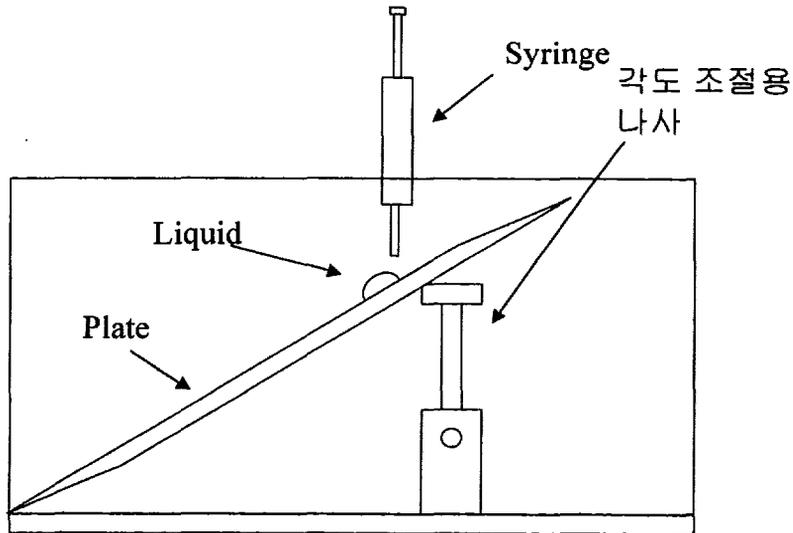


그림 5-6. Friction test에 사용된 실험장치

Friction test를 측정한 결과에서 보는 바와 같이 PE의 경우 접촉각이 증가함에 따라 물방울이 흐르는 속도가 빨라짐을 알 수 있었고, 다른 종류의 고분자 필름도 마찬가지였다. 이에 따라 장기적이고 변수가 많은 field test를 하기 전에 지하수 성분이 고분자 필름에 붙는 경향을 예측할 수 있었다.

표 5-8. 각종 film과 표면처리후의 friction test 결과

	PE	PET	PVC	EVA	비 고
미처리	28"	5' 04" 40	-	-	
Oil-treated	3"	4' 01" 12	55" 28	2' 06" 87	
이형제	-	1' 17" 77	-	-	
Inside-oil	26"	5' 27" 62	-	-	

3. 가능성 있는 재료, system에 대한 field test 비교실험

기존에 사용하고 있는 PE film을 대체하여 지하수 성분의 무기물 성분이 흡착되는 현상을 줄이기 위하여 여러 가지 국내에서 생산되는 film에 대한 흡착정도를 filed test를 실시하였다. 또한 실험한 각종 film에 대하여 hydrophobic한 성질을 부여하기 위하여 여러 가지 표면처리를 실시한 후 filed test를 실시하였다.

가. Polyethylene (PE) 필름

PE 필름은 다른 연질 필름보다 자외선과 적외선을 많이 투과시킨다. 특히 장파장을 많이 투과시키므로 보온성은 떨어지지만 가시광선 투과율은 비슷하다. 일부 PE 필름은 내후성을 증가시키기 위하여 자외선 흡수제를 안정제로 사용하지만 PVC 필름 보다는 내후성이 떨어진다고 한다. 그러나 PE 필름은 다른 어느 비닐하우스 자재보다 가격이 싸기 때문에 현재까지 우리나라에서 가장 많이 사용되고 있는 필름이다. 하우스의 외피복, 커튼 및 터널재료로 이용되며 하우스 및 터널등에도 많이 이용된다.

나. Polyvinylchloride (PVC, 염화비닐) 필름

PVC 필름의 가시광선 투과율은 다른 연질 필름과 별 차이가 없으나 내후성을 증가시키기 위해 자외선 흡수제를 함유시킨 PVC 필름은 자외선이 투과되지 않으므로 사용시 주의해야 한다. 연질필름 (PVC, PE, EVA) 중에서 보온력의 순서는 PVC >

EVA > PE 순으로 PVC가 가장 크다. 커튼용은 0.04mm 의 것이 외피복용으로는 0.05mm 이상이 사용된다.

다. Ethylene-vinylacetate (EVA) 필름

시설원예에서 하우스 피복용으로 많이 쓰이지만 성능편에서 보면 하우스내의 커튼 용으로 유망시되며 터넬용으로도 많이 사용되고 있다. 겨울철에도 굳어지지 않는 내한성이 있으므로, 열채류 재배나, 육묘용으로 다양하게 사용할 수 있다. EVA 필름은 PE 필름보다 보온성과 내후성이 좋고 무적필름이기 때문에 요즈음의 시설원예에서 점차 그 사용면적이 증가하고 있으나 가격이 비싼것이 단점이다.

라. 경질 polyester 필름

투광성이 우수하고 장기간 사용하여도 광선투과율이 낮아지지 않고 안정되어있다. Polyester 필름은 보온성, 내한성, 내열성이 우수하여 매우 낮은 온도에서도 사용할 수 있다. 자외선 투과도 잘되고 4-5년 정도의 피복이 가능하여 경질판 (FRP, FRA, PMMA) 과 연질필름 중간적 성질을 갖는 자재이다.

제 6 장 결과 및 고찰

6-1 광투과량

설정된 film을 이용하여 실험을 실시하였는데 field test의 단점인 각 시편 부착장소마다 일정하게 지하수에 포함된 무기물이 나오지 않는다는 점이 확인되었다. 이는 각 과정에서 물을 펌프를 이용하여 뽑아 올릴 때 압력이 작은 관계로 인하여 무기물 성분이 각 시편마다 일정하게 분사되지 않았기 때문이다. 그래서 우선 비교군으로 각 실험 시편마다 아무 것도 처리하지 않은 control을 부착하였으며, 이 control 부분을 이용하여 여러 가지 표면처리한 부분의 광투과도를 조사하였다. 표면처리한 방법은 hydrophobic한 성분을 도입하여 발수처리에 최근 주목을 받고 있는 실리콘 성분을 이용하기로 하였다. 표면처리시 원가절감을 예상하여 시중에서 낮은 가격으로 구입할 수 있는 silicone oil과 silicone 이형제를 이용하였으며, 고분자 물질의 한가지 특징인 diffusion 성질을 이용하기 위하여 film 안에 silicone oil을 주입하여 diffusion시 hydrophobic한 성분리 발현될 수 있는지를 비교 검토하였다.

이러한 시편들을 field test를 거친 후 비닐하우스 수막처리시 지하수 성분으로 인한 오염되는 정도를 측정하고 사용된 필름 (PE, PET, PVC, EVA)과 처리한 방법(미처리, 실리콘 이형제, 실리콘 오일, 실리콘 오일을 필름 안에 넣은 것)에 따른 광 투과량의 변화를 조사하기 위하여 Ultraviolet spectrometer (UV)를 사용하여 transmittance를 측정하고 가시광선 영역인 400 - 800nm의 파장 영역을 선택하여 광 투과량을 측정하였다. 사용된 식은 다음과 같다.

$$\text{Transmittance (\%)} = \frac{A_s}{A_t} \times 100$$

A_s : 측정된 시편의 광투과량 면적

A_t : 기준 시편의 광투과량 면적

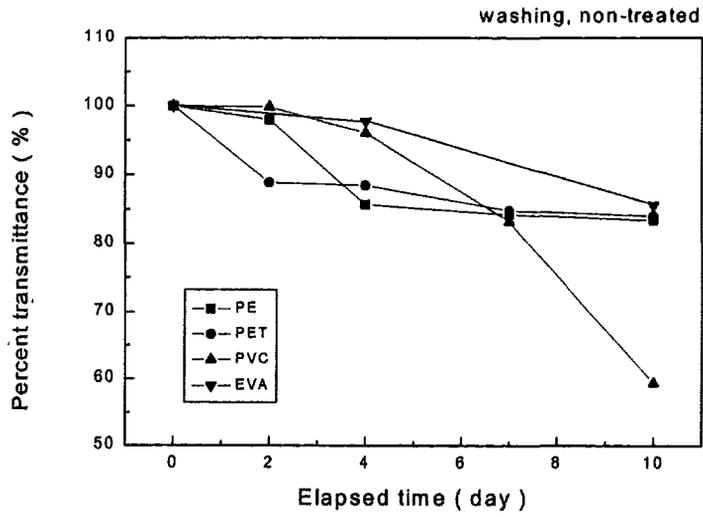


그림 6-1. 각 film에 대한 투과율 측정결과 (washing, non-treated).

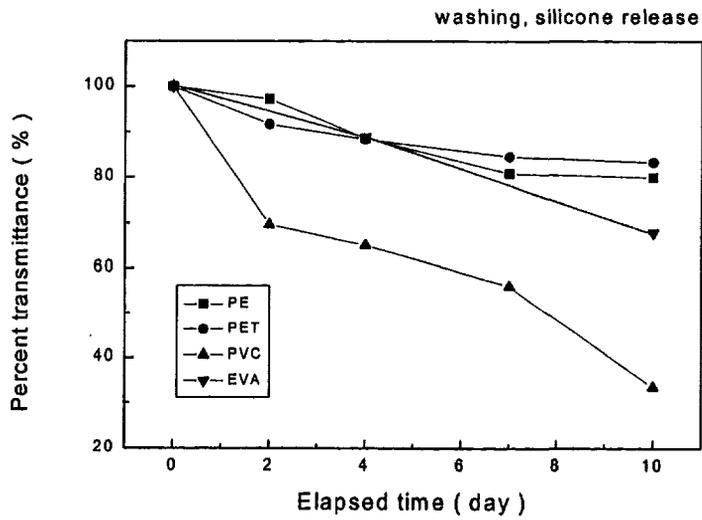


그림 6-2. 각 film에 대한 투과율 측정결과 (washing, silicone 이형제)

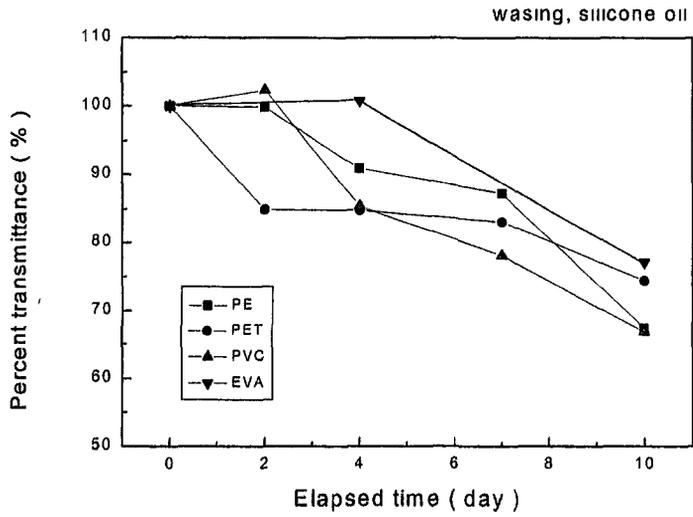


그림 6-3. 각 film에 대한 투과율 측정결과 (washing, silicone oil-treated)

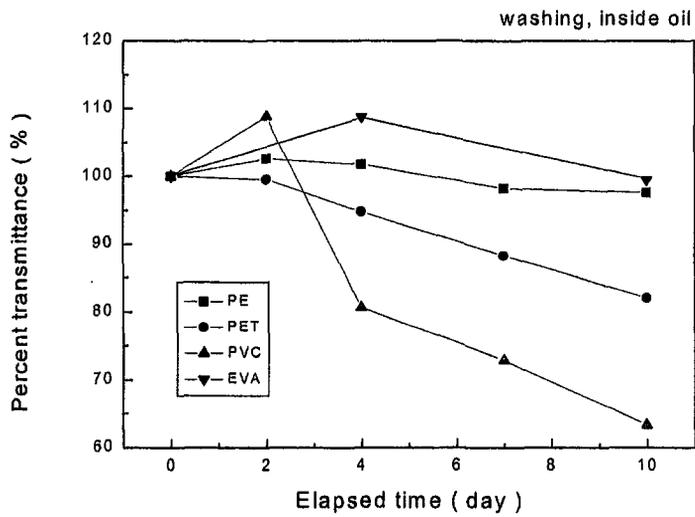


그림 6-4. 각 film에 대한 투과율 측정결과 (washing, inside oil-treated).

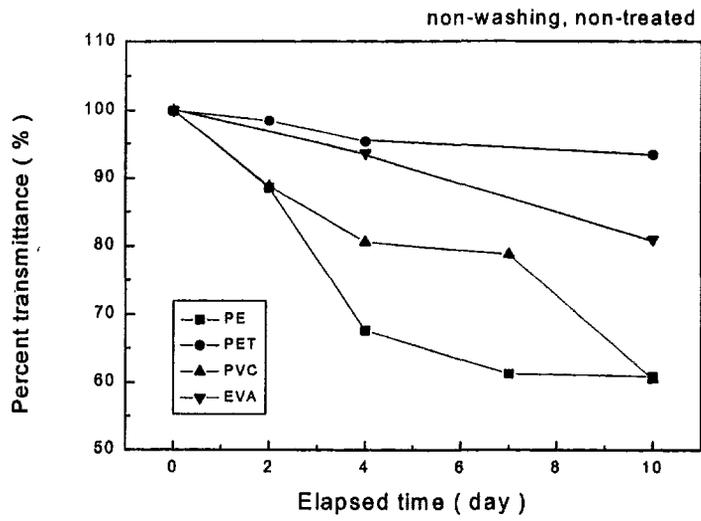


그림 6-5. 각 film에 대한 투과율 측정결과 (non-washing, non-treated).

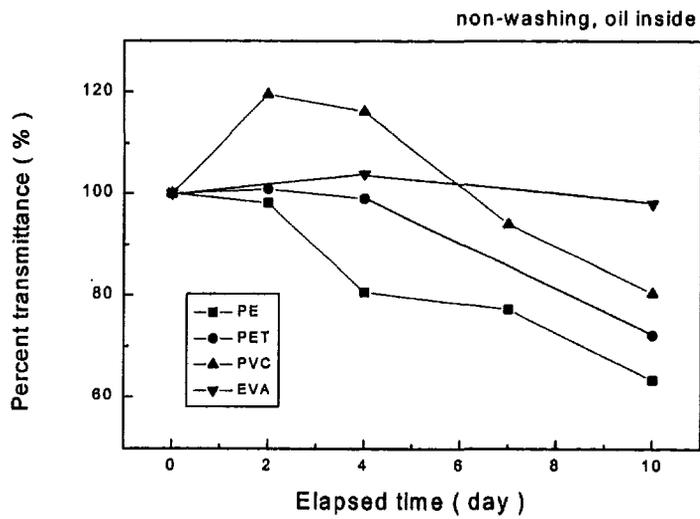


그림 6-6. 각 film에 대한 투과율 측정결과 (non-washing, oil inside-treated)

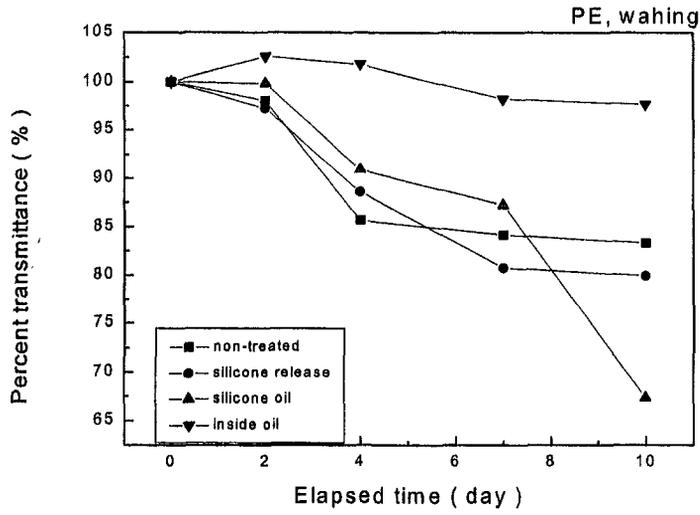


그림 6-7. PE film을 각종 표면처리한 투과율 측정결과 (washing).

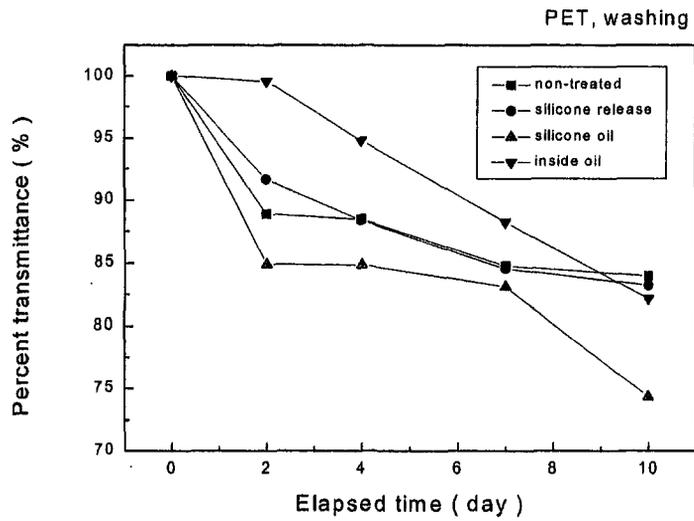


그림 6-8. PET film을 각종 표면처리한 투과율 측정결과 (washing)

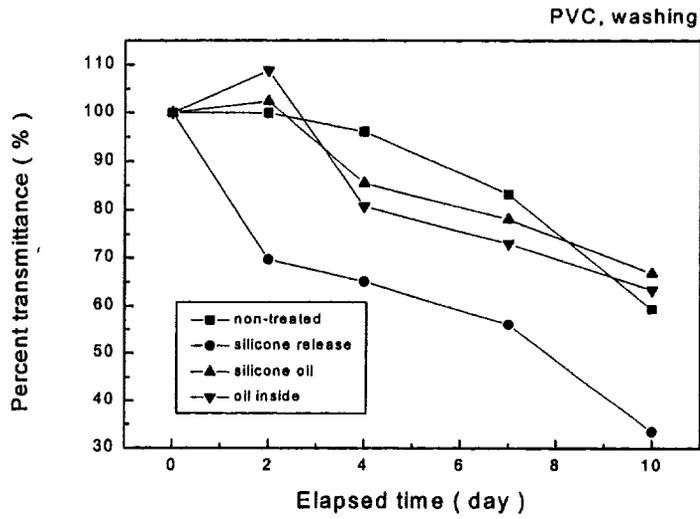


그림 6-9. PVC film을 각종 표면처리한 투과율 측정결과 (washing).

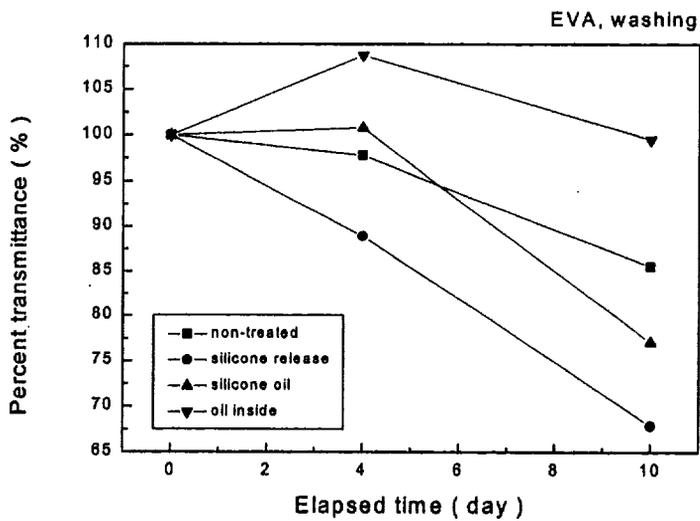


그림 6-10. EVA film을 각종 표면처리한 투과율 측정결과 (washing)

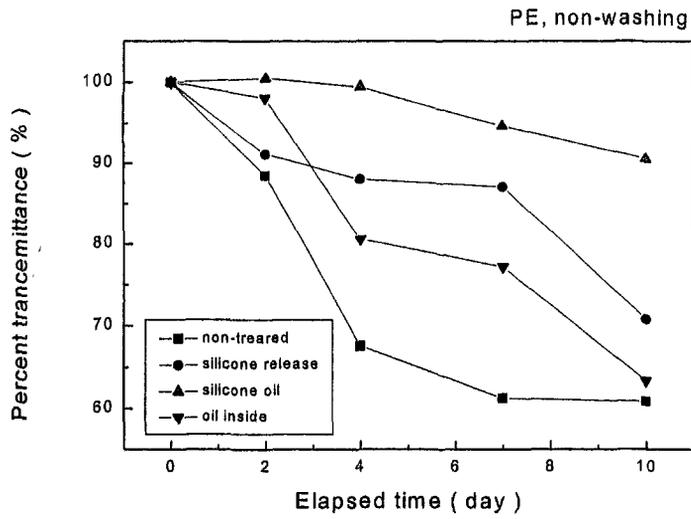


그림 6-11. PE film을 각종 표면처리한 투과율 측정결과 (non-washing).

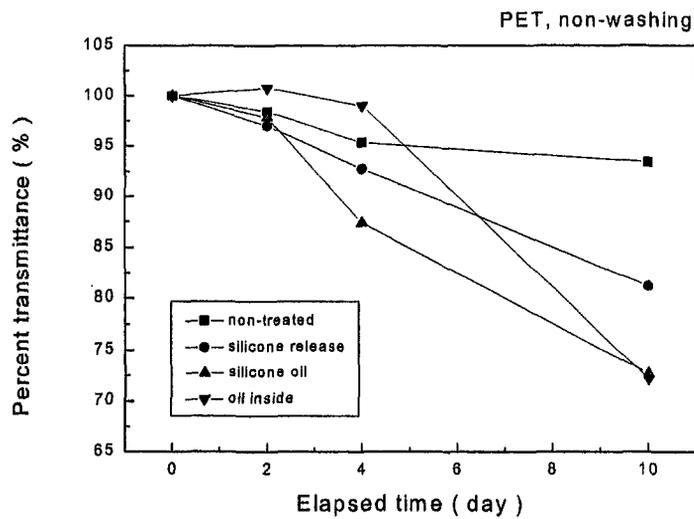


그림 6-12. PET film을 각종 표면처리한 투과율 측정결과 (non-washing)

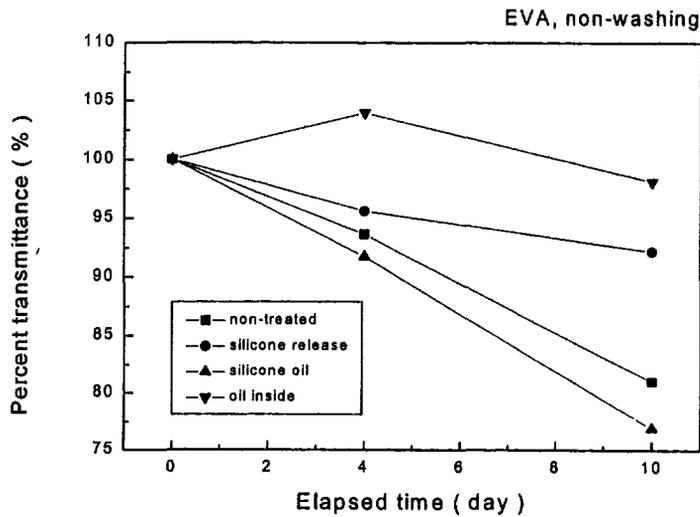


그림 6-13. PVA film을 각종 표면처리한 투과율 측정결과 (non-washing).

위의 그래프들에서 알 수 있듯이 각 고분자의 경우 washing cycle을 도입하였을 때 투과율의 변화가 다른 고분자들에 비하여 가장 크게 나타났으며 다른 고분자들도 같은 결과를 보여주고 있다. 이는 본 연구팀이 연구의 기본방향으로 설정한 흡착물이 고분자 표면위에 고정화되기 전에 제거하면 투과율이 증가할 것이다.

전반적으로 PE의 경우 PE를 표면처리를 했을 때 광 투과도가 전반적으로 증가했으나 silicone oil의 경우 PE 표면위에 완전히 고정되지 않아 세척액으로 washing을 했을 경우 씻겨 내려가서 시간이 지남에 따라 광투과도가 현저하게 감소하였다. 따라서 이러한 현상을 막기 위하여 실험실에서 초자등을 coating할 때 사용하는 dimethyl dichlorosilicone계인 LKB-product사의 REPEL-SILANE과 한국 다우코닝(주)에서 일반 이형지용으로 시판되는 이액형 coating제인 SYL-OFF 7420을 toluene에 희석하여 사용하였다. 또한 일반 시중에서 쉽게 구할 수 있는 Dow corning사의 silicone grease와 동양 실리콘(주)에서 판매하는 silicone silant를 선정하였다. 코팅방법은 균일하게 코팅할 수 있는 Gardner knife를 사용하였으며 이 때 coating의 두께를

300 μ m로 고정하였다. 실험도중 호스에서 분사되어지는 지하수는 수압으로 인하여 silicone coating이 벗겨지는 현상을 방지하고 보다 균일한 coating을 위하여 corona 처리를 하여 어느 정도 친수화를 이룬 후 다시 그 위에 silicone coating을 하여 그 광 투과도를 비교분석 하였다. 고분자표면, 첨가제와 미세입자 친화성을 알아보기 위한 PE film 표면코팅에는 polyethylimine, chitosan, paraffin, silicone 등의 물질들이 사용되었다. 특히, silicone은 diethoxymethylvinylsilane (DEMVS)과 Dow Corning사의 SYL-OFF 7420을 사용했고, 촉매도 동일회사의 SYL-OFF 4000을 사용하였다. 첨가제로는 mineral oil, lauryl amine, sodium dodecyl sulfate를 사용하였다. 실험에 사용된 시편들은 논산의 딸기 농장에서 일정기간 동안 test를 실시한 수거한 것으로 광투과도 변화를 조사하기 위하여 UV (Ultraviolet-Visible Spectroscopy: UV S-2130, SCINCO)를 사용하여 가시광선 영역인 400~800 nm의 파장 영역을 선택하여 분석하였다.

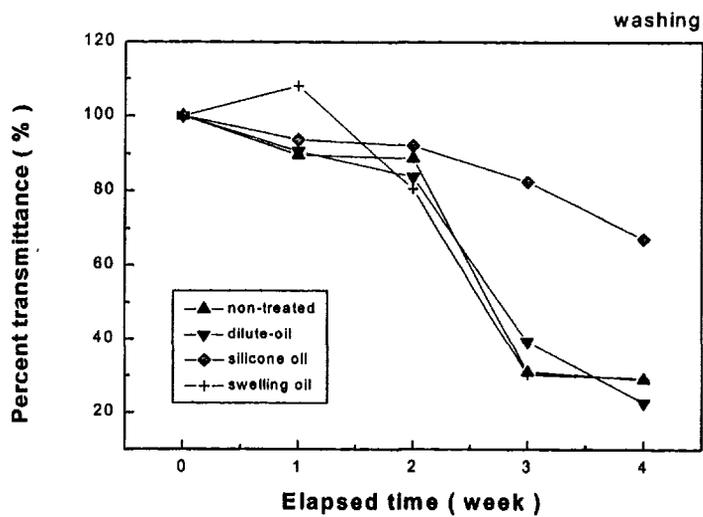


그림 6-14. PE film을 silicone oil에 변화를 주어 coating한 결과 (washing).

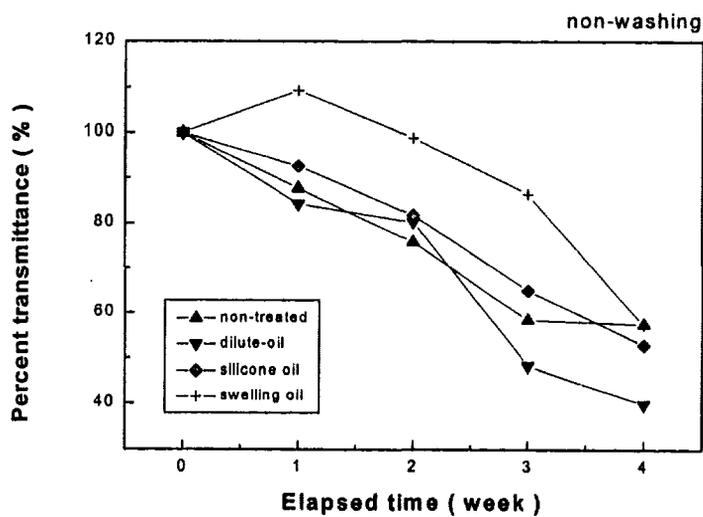


그림 6-15. PE film을 silicone oil에 변화를 주어 coating한 결과 (non-washing)

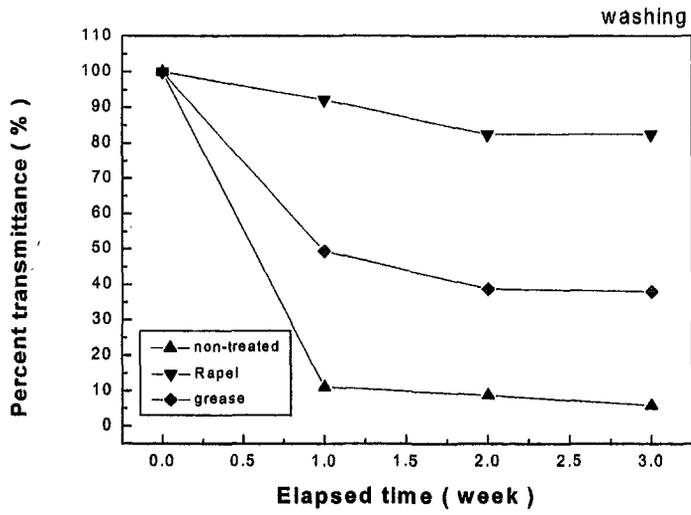


그림 6-16. PE film에 각종 표면처리한 결과 (washing).

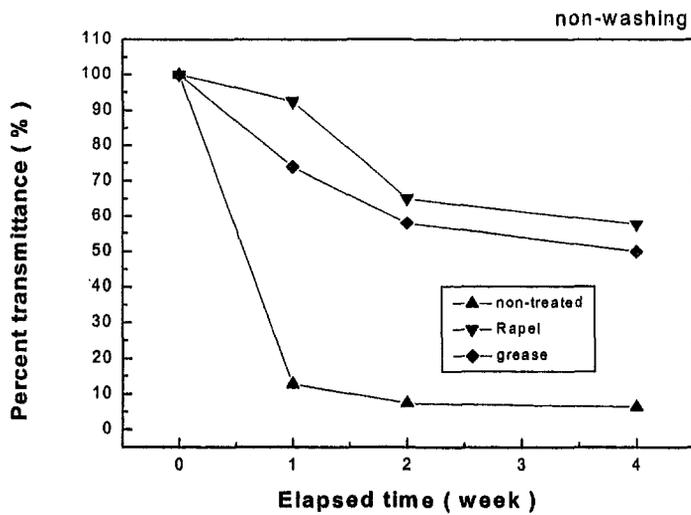


그림 6-17. PE film에 각종 표면처리한 결과 (non-washing)

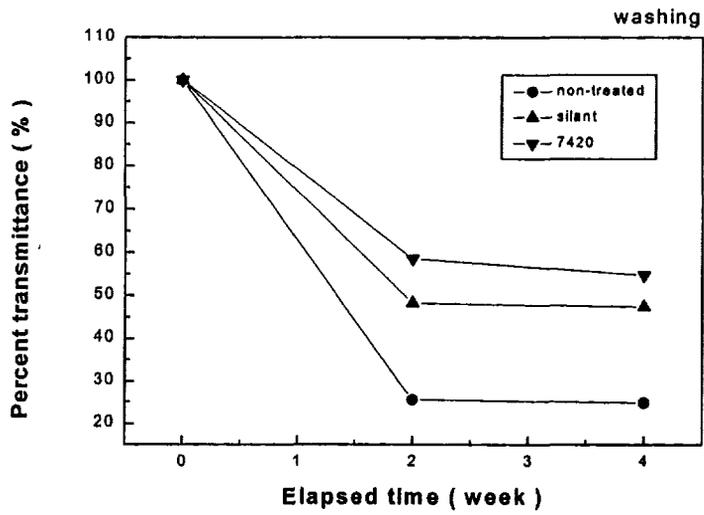


그림 6-18. PE film에 각종 물질로 coating한 결과 (washing).

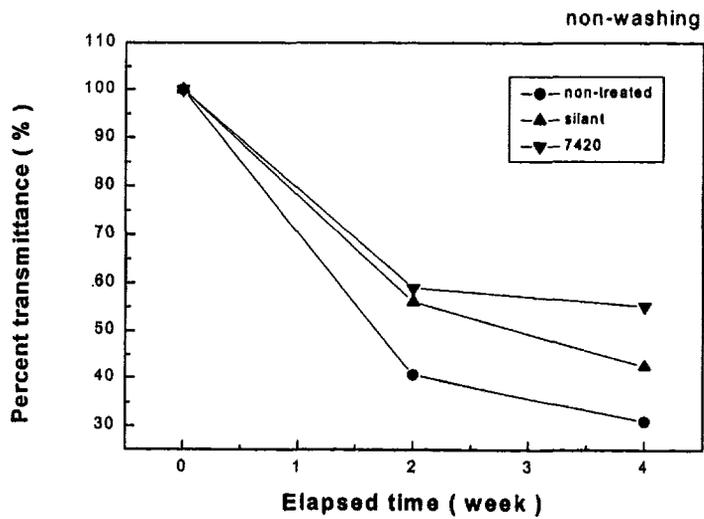


그림 6-19. PE film에 각종 물질로 coating한 결과 (non-washing)

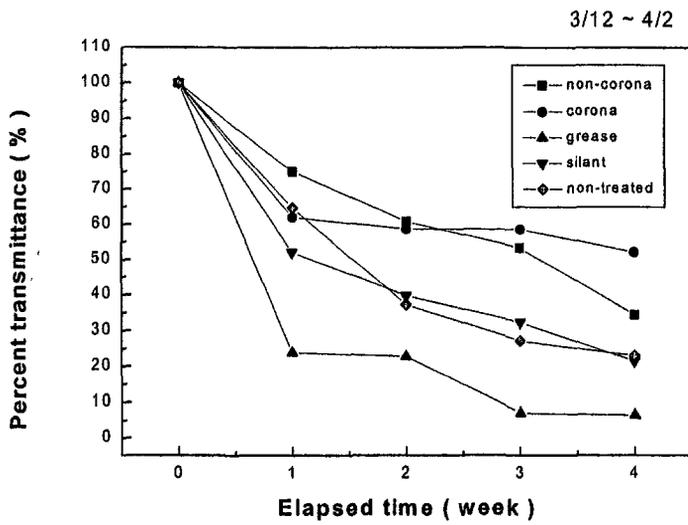


그림 6-20. PE film을 각종 표면 처리한 결과.

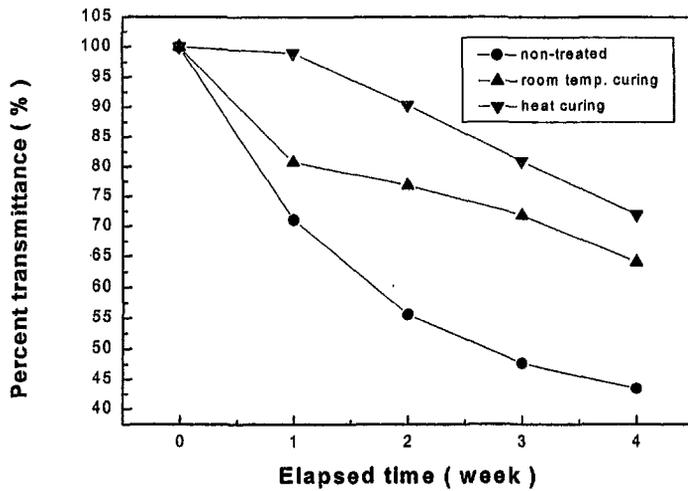


그림 6-21. PE film을 silant로 처리한 결과.

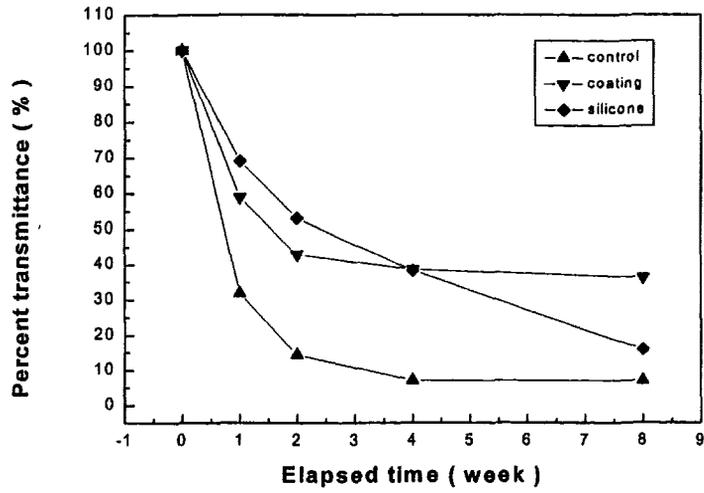


그림 6-22. PE film을 7420과 silant로 처리한 결과.

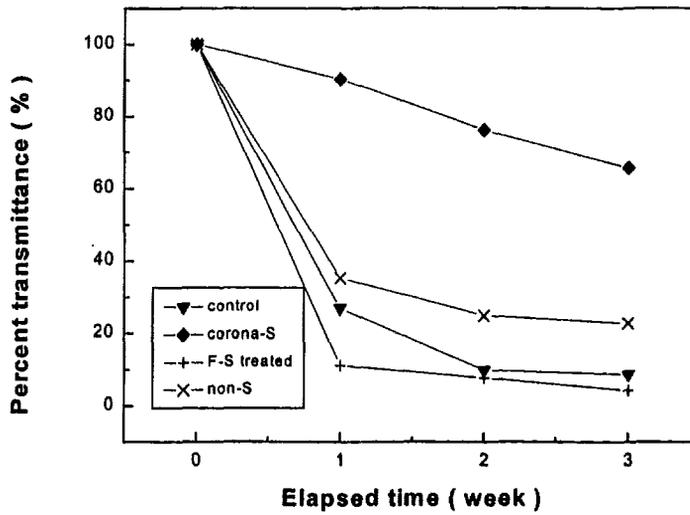


그림 6-23. 각종 표면처리한 film에 silicone계와 fluorine계로 coating한 결과

지하수 성분 중 함유된 무기물들이 (+) 전하를 가지고 있다는 점에 착안하여 필름의 표면에 (+) 전하를 가지고 있는 물질을 coating하여 서로의 반발력으로 화학적 흡착을 방지하고 또한 물리적 흡착을 제거하기 위하여 (+) 전위를 띠는 양이온 계면활성제 4 vol.%를 함유하는 세척액을 만들어 실험을 실시하였다. coating 후 수분이 존재하는 상태에서 (+) 전위를 띠는 물질로 imine계 화합물과 chitosan을 이용하여 PE 필름을 coating 하였다. Polyethylimine을 5 w/v% 수용액을 만든 후 corona 처리한 PE 필름을 약 10분간 침지시킨 뒤 상온에서 건조하여 사용하였고 chitosan은 2 w/v% 수용액을 만들고 촉매로 HCl을 첨가한 후 PE 필름을 약 10분간 침지시켜 상온에서 건조하였다. 실리콘계 수지로는 SYL-OFF 7420 수지를 사용하였는데 먼저 실험한 결과 toluene으로 인하여 PE 필름에 손상을 주기 때문에 만족할 만한 결과를 얻지 못하여 필름에 손상을 주지 않는 hexane을 사용하여 수지를 희석시켜 사용하였다.

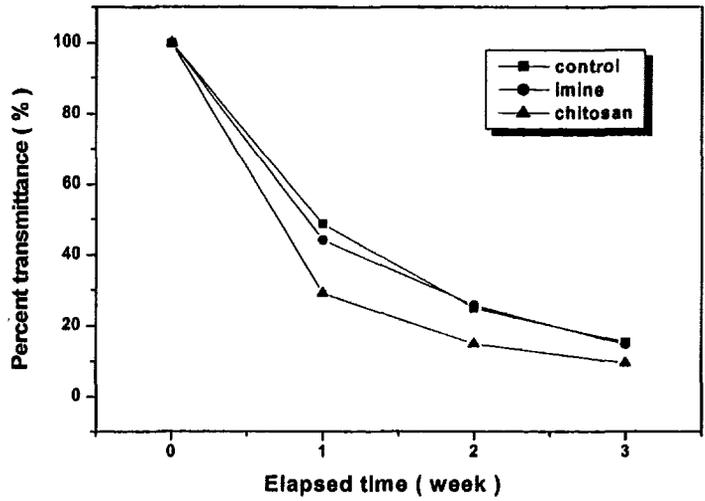


그림 6-24. PE film 표면에 polyethyimine과 chitosan으로 코팅 후 시간에 따른 광투과도의 변화 조사 (washing)

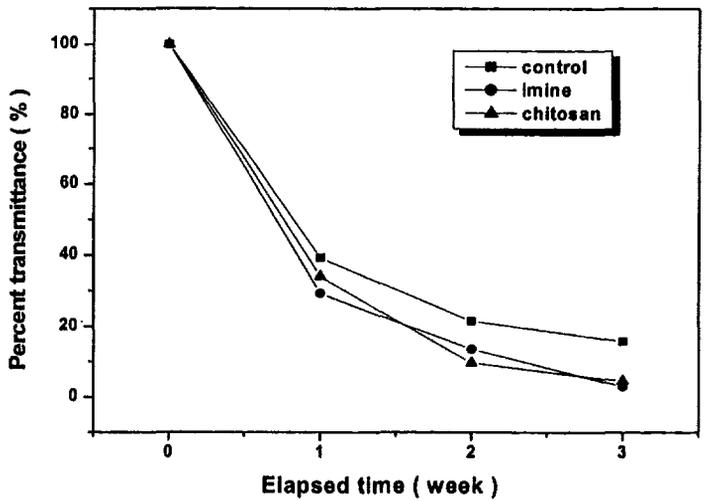


그림 6-25. PE film 표면에 polyethyimine과 chitosan으로 코팅 후 시간에 따른 광투과도의 변화 조사 (non-washing)

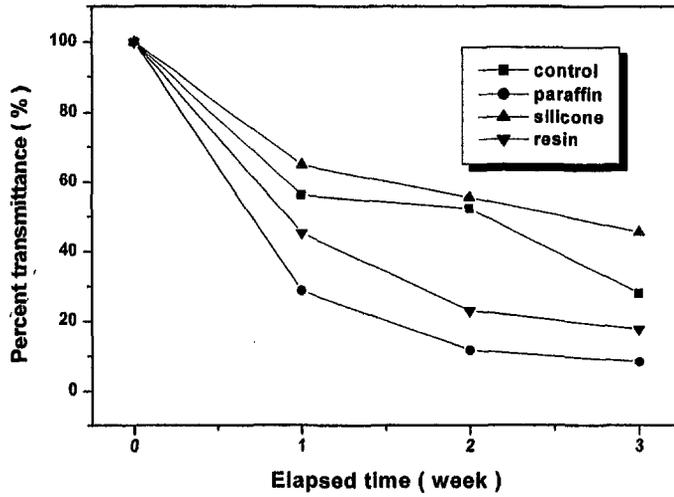


그림 6-26. PE film 표면에 각종 물질로 코팅 후 시간에 따른 광투과도의 변화 조사 (washing)

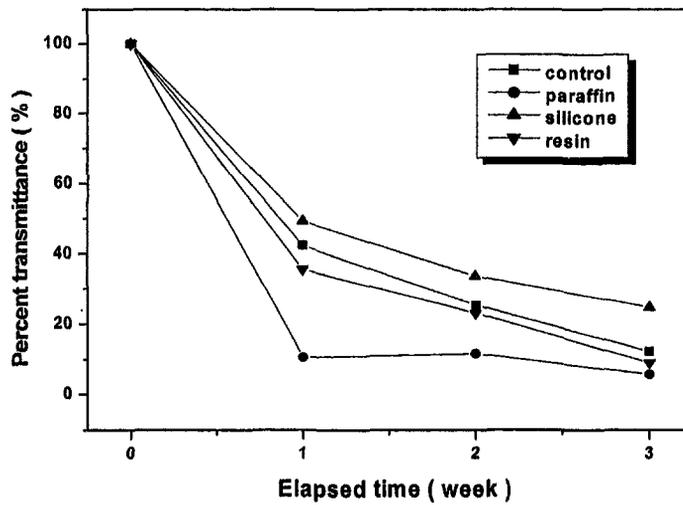


그림 6-27. PE film 표면에 각종 물질로 코팅 후 시간에 따른 광투과도의 변화 조사 (non-washing)

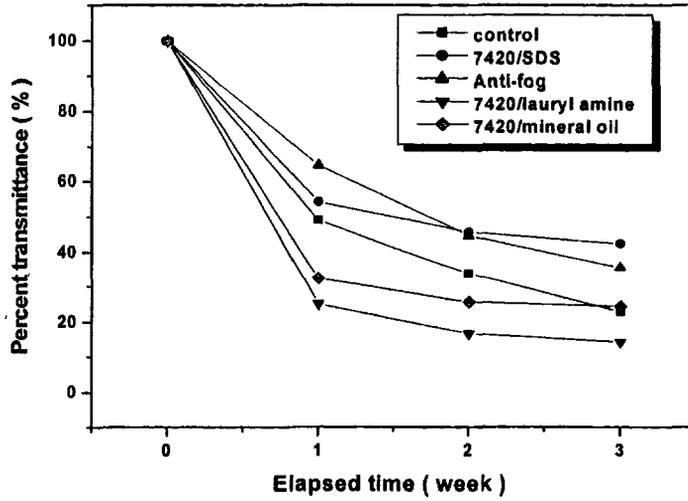


그림 6-28. PE film 표면에 silicone 코팅시 각종 additive를 첨가하여 시간에 따른 광투과도의 변화 조사 (washing)

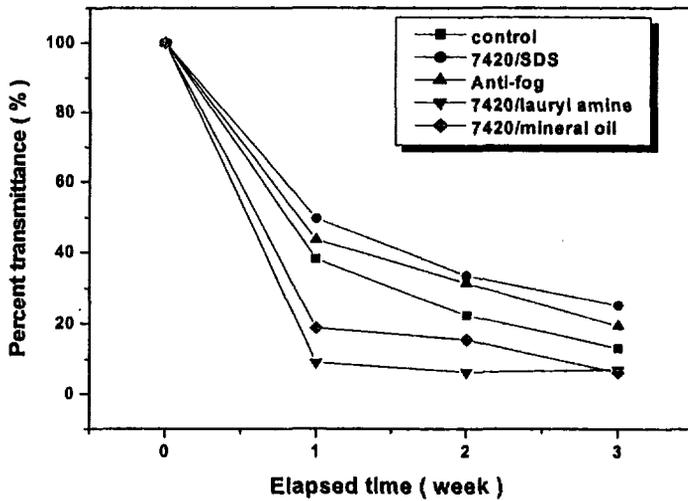


그림 6-29. PE film 표면에 silicone 코팅시 각종 additive를 첨가하여 시간에 따른 광투과도의 변화 조사 (non-washing)

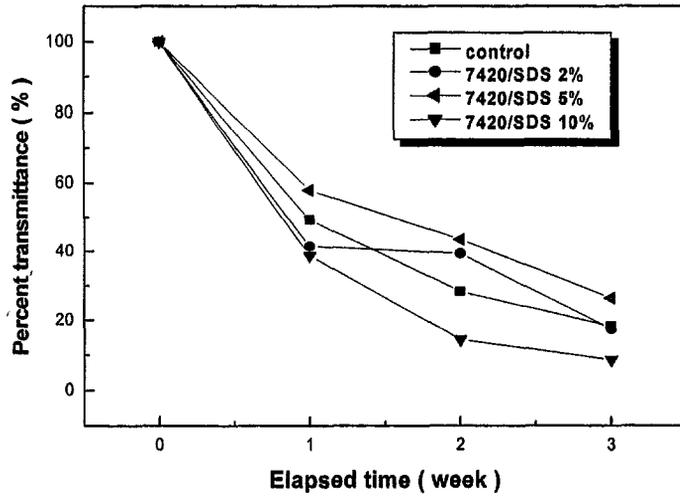


그림 6-30. PE film 표면에 SYL-OFF 7420으로 코팅시 SDS의 첨가량에 따른 광투과도 변화 조사 (washing)

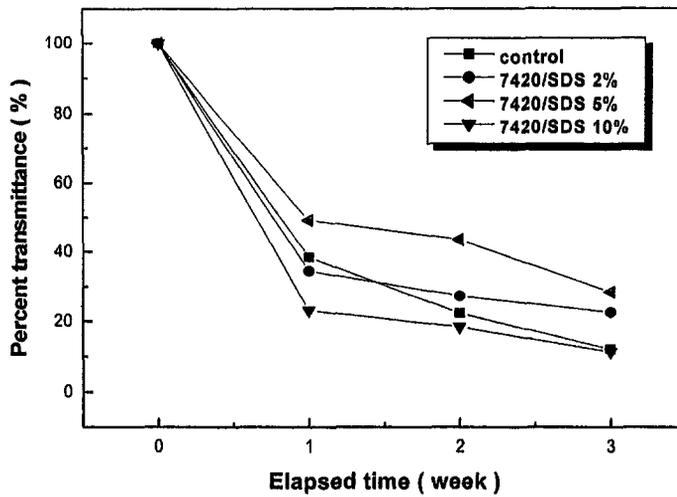


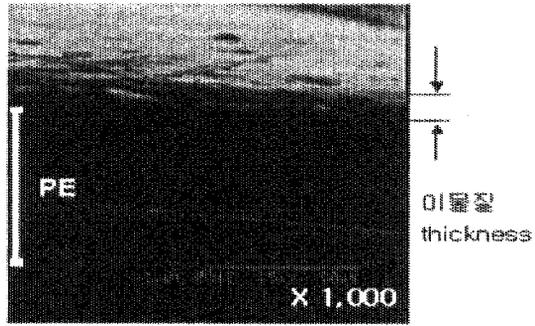
그림 6-31. PE film 표면에 SYL-OFF 7420으로 코팅시 SDS의 첨가량에 따른 광투과도 변화 조사 (non-washing)

(+) 전위로 인한 지하수 내의 무기물질과 반발작용을 할 것으로 예상했던 imine계 화합물과 chitosan으로 코팅한 것은 control에 비해 오히려 투과율이 더 좋지 않게 나타났다. 또한, PE film 표면에 paraffin, silicone, resin으로 코팅한 결과, paraffin으로 코팅시는 투과도가 현저하게 저하되었고, silicone 코팅시 가장 우수한 광 투과도를 보였다. 이온성과 비이온성 계면활성제를 SYL-OFF 7420에 첨가하여 코팅한 결과 육안 관찰시에는 결과가 좋아 보였으나, UV 측정 결과 SDS만이 control 보다 우수한 광투과도를 보임을 관찰할 수 있었다. 또한, SYL-OFF 7420으로 코팅시 SDS를 함량별로 (2, 5, 10 wt%) 첨가하여 광투과도를 측정한 결과, SDS 5 wt% 첨가시에 가장 우수한 광투과도를 보였다.

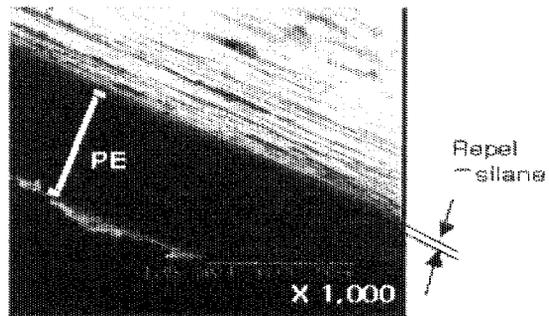
지금까지의 실험결과를 볼 때, silicone계 화합물로 PE film의 표면을 코팅한 결과 광투과도가 향상되었고, 코팅시 음이온계 계면활성제를 첨가함으로써 투과도가 향상됨을 알 수 있었다. 또한, 지하수 살수 후 계면활성제를 함유한 washing solution을 제조하여 washing cycle에 의해 살수한 결과 비교군(non-washing) 보다 광투과도가 우수한 현상을 관찰할 수 있었다. 이러한 현상은 (+) 전위를 갖는 washing solution으로 세척한 시료는 표면의 roughness가 낮은 반면 세척하지 않은 표면의 roughness는 매우 심한 것으로 나타난다. 이러한 roughness의 차이에 따라 광투과시 난반사가 일어나 투과율이 떨어지는 것으로 사료된다. 광투과도 조사시 광의 가시광선 영역인 400-800 nm의 파장영역을 선택하여 분석을 실시하였다. 위의 두 그래프에서 알 수 있듯이 silicone계 화합물로 PE film의 표면을 코팅한 결과 광투과도가 가장 좋았고, 코팅시 음이온계 계면활성제를 첨가함으로써 투과도가 향상됨을 알 수 있었다. 또한 SDS를 5% 첨가하였을 경우, 가장 좋은 광투과도가 관찰되었다. 실리콘 코팅 후 필름의 물성변화는 FT-IR과 SEM을 통하여 관찰하였다. 그러나, control (대조군)에 비해 상이한 물성의 변화를 관찰할 수 없었다.

6-2 각종 film상 부착물에 대한 전자현미경 관찰 결과 분석

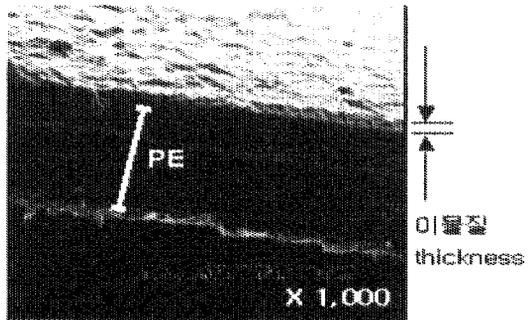
앞에서 제시된 실험 결과를 가시적으로 평가하기 위하여 그림 6-16에서 보듯이 3가지 필름을 3주간 test 후 지하수 살포 후의 각 시료의 절단한 면을 전자현미경 (SEM, Scanning Electron Microscope, Hitachi S-2250N, Japan)으로 관찰하였다. 전자현미경을 이용해 그 단면을 찍어 필름에 부착된 이물질의 두께를 가시적으로 판단하여 표 6.2.1에서 보는 것과 같이 수치화 하였다. 그림에서 보는 것과 같이 non-treated의 PE 필름의 경우가 Repel-silane이나 Grease로 코팅된 PE 필름의 경우보다 월등히 부착물이 많음을 가시적으로 판단할 수 있다. Repel-silane 코팅된 PE 필름의 경우에서 부착된 이물질이 가장 적음을 알 수 있다. 결과적으로 단면 및 표면 관찰의 결과를 보면 film 표면에 부착되어 있는 이물질의 잔존량이 Non-treated > Grease > Repel-silane의 순서로 남아있다. 이는 non-treated 필름과 달리 코팅 처리된 시료의 경우 (+) 전하의 반발력에 기인한 것으로 사료되어 지는 것으로 앞서 실험한 광투과도 측정의 결과를 가시적으로 설명해 주는 결과라고 할 수 있다. 또한 그림 6-17에서 나타낸 것은 3가지 film을 4주간 test 후 지하수 살포 후의 각 시료를 절단한 면에 대한 전자현미경 관찰 사진이다. 각 필름상에 묻은 이물질의 두께를 측정한 결과를 수치화한 결과는 표 6.2.2와 같다. 그림에서 보는 것과 같이 non-treated의 PE 필름의 경우가 Repel-silane이나 Grease로 코팅된 PE 필름의 경우보다 월등히 부착물이 많음을 가시적으로 판단할 수 있다. Repel-silane 코팅된 PE 필름의 경우에서 부착된 이물질이 가장 적음을 알 수 있다. 결과적으로 단면 및 표면 관찰의 결과를 보면 film 표면에 부착되어 있는 이물질의 잔존량이 Non-treated > Grease > Repel-silane의 순서로 남아있다. 이는 non-treated 필름과 달리 코팅 처리된 시료의 경우 (+) 전하의 반발력에 기인한 것으로 사료되어 지는 것으로 앞의 3주 후의 결과와 같은 결과를 나타낸다. non-treated 필름의 경우에는 부착된 이물질이 지하수 살포 후에도 거의 대부분이 제거되지 않고 남아 있다는 결과를 얻었으며 코팅된 필름의 경우에는 많은 양의 부착된 이물질이 지하수 살포로 인하여 제거되었음을 전자현미경을 통해 가시적으로 판단할 수 있다.



(A)

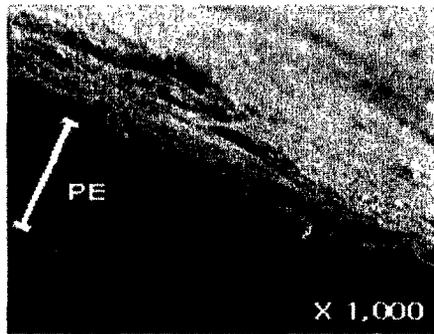


(B)

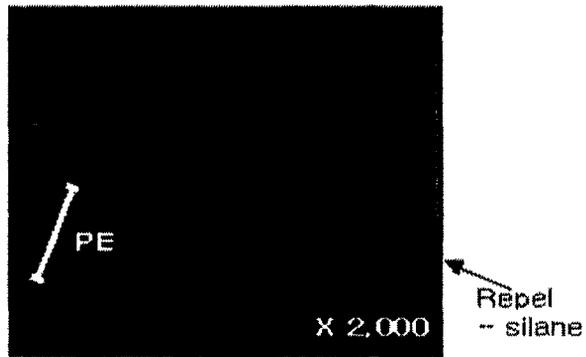


(C)

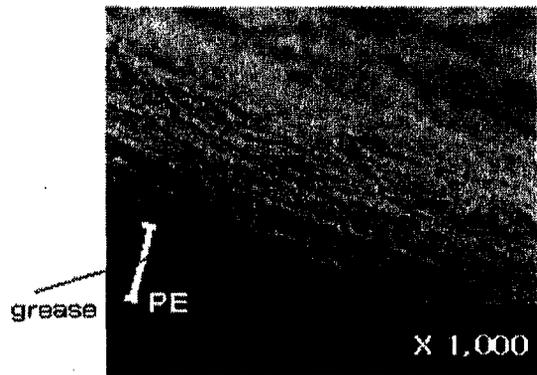
그림 6-32. PE film에 각종 표면처리 한 시료의 지하수 살포 후 전자현미경 사진
 (A) non-treated, (B) Repel-silane, (C) Grease



(A)



(B)



(C)

그림 6-33. PE film에 각종 표면처리한 결과의 전자현미경 사진 (non-washing)
 (A)non-treated, (B)Repel-silane, (C)Grease

7420과 silant로 처리한 필름의 8주 test 결과를 아래와 같이 전자현미경으로 분석하였다. 전자현미경의 분석결과는 다음과 같다.

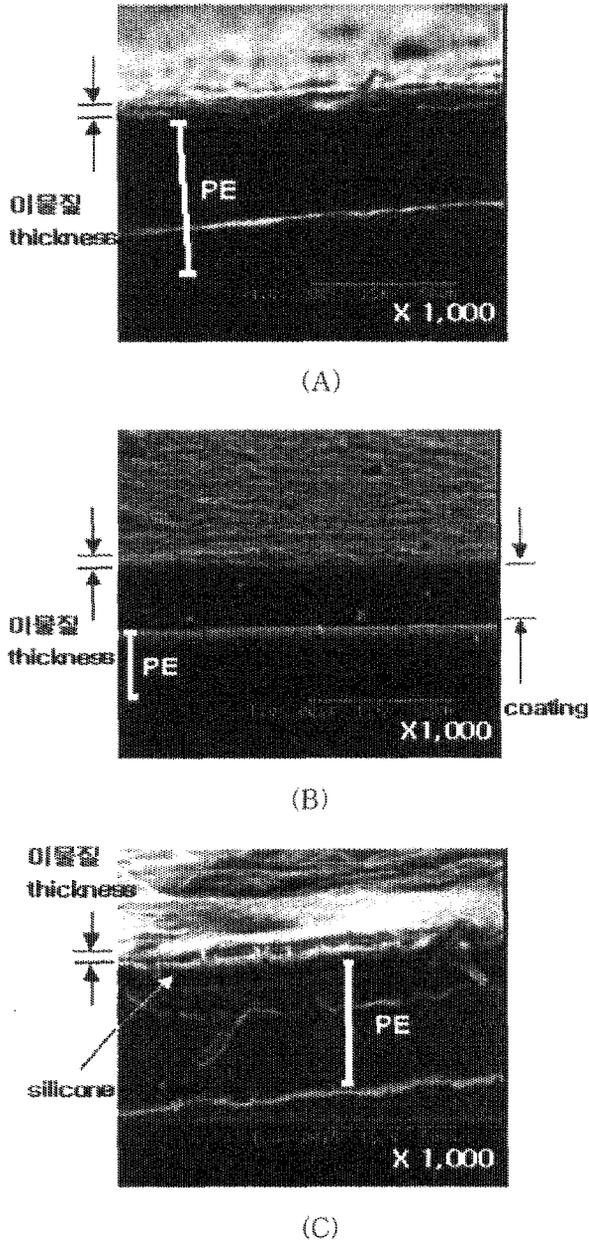


그림 6-34. PE film을 7420과 silant로 처리한 결과의 전자현미경 사진.

(A)control, (B)coating, (C)silicone

표 6-1. 각 film상 부착된 이물질의 두께 비교

(washing)	Non-treated	Grease	Repel-silane
이물질 Thickness (μm)	4.5 ± 1.0	2.5 ± 0.5	1.0 ± 0.2

표 6-2. 각 film상 부착된 이물질의 두께 비교

(non-washing)	Non-treated	Grease	Repel-silane
이물질 Thickness (μm)	4.6 ± 1.5	3.3 ± 1.0	1.8 ± 0.7

표 6-3. 각 film상 부착된 이물질의 두께 비교

	Control	Coating	Silicone
이물질 Thickness (μm)	6.5 ± 1.0	1.9 ± 0.4	2.5 ± 0.5

6-3 시료 film에 대한 투광률 개선효과 비교

일정기간 field test 후 탈착된 film들의 광투과율 변화도에 대한 그래프의 총면적, Area under the curve (AUC)는 시료 film을 통하여 일정기간 동안 광이 투과된 광량에 해당하므로 AUC 값이 크면 클수록 그 만큼 투광량이 많은 것을 의미한다. 따라서 test film 중 의미있는 결과를 비교 분석하면 다음과 같다. 각종 film의 비교는 기존 PE에 대한 AUC를 계산하여 이를 100으로 하여 상대비교 하였다.

6.3.1 film에 따른 투광량 AUC 비교

AUC	PE	PET	PVC	EVA	비 고
그림 6-5 분석	100	132	111	125	non-washing non-treated
그림 6-6 분석	100	111	125	123	non-washing oil inside-treated

* 10일간 test 결과

무처리된 film 중에서 PET의 투광량이 가장 많았고 투광량 감소가 가장 적었다. film 내면에 oil을 처리한 것과 처리 안한 것은 큰 차이가 없다.

6.3.2 PE film에 Silicone 처리에 따른 투광량 AUC

	non-treted PE	Silcone release agent	Silicone oil 처리	oil inside
그림 6-11 분석	100	119	146	119

* 10일간 test 결과

PE 위에 Silicone oil 처리 된 film의 투광량이 가장 크다.

6.3.3 PE film에 Silicone repellant와 grease 처리된 film의 AUC 비교

	non-treted	repel-silane	grease	비 고
그림 6-16 분석	100	355	208	3주간 test
그림 6-17 분석	100	365	320	4주간 test

PE 위에 silicone repellent 처리 된 것이 기존 PE보다 3.5배 우수하다.

6.3.4 Field test시 세척 과정에 따른 AUC 효과 비교

	세척 안함	세척함
Control PE	100	130
Repel-Silane 처리 된 PE	100	120

지하수 살수 후 약 10초정도 정수로 세척하면 약 20-30% 개선효과가 있을 듯하다.

6.3.5 PE film과 Silicone 7420과 Silant로 처리된 film의 AUC 비교

	PE	Silicone	Coating
그림 6-22 분석	100	240	264

* 8주간 실험 결과

Silant coating한 film의 AUC 같이 대조군 PE보다 2.6배 우수하다.

6.3.6 Silicon계와 coating 조건에 따른 AUC 값 비교

	PE	Corona-S	non-S	F-Streated
그림 6-23 분석	100	274	134	78

* 3주간 실험

Silane을 PE 표면에 도포 후 코로나 방전으로 graft 시킨 것이 PE보다 2.7배 우수하다. 이는 코로나 방전 처리로 인한 PE 필름의 표면이 친수성이 증가한데 기인하는데 친수성이 증가한 표면에서 silane의 도포가 더 안정적으로 되기 때문에 보다 우수한 결과를 가져왔다. 이상의 결과에서 보면 기존의 PE 위에 Silicone coating한 film의 투광량 감소가 느리다.

6.3.7 각 시료의 washing 공정 유무에 따른 광투과율의 비교

각 시료의 washing 공정 유무에 따른 광투과율을 비교하기 위하여 Ultraviolet spectrometer (UV)를 사용하여 transmittance를 측정하고 가시광선 영역인 400 - 800nm의 파장 영역을 선택하여 광투과율을 측정하였다. 그림 6.3.1과 그림 6.3.2에서 보는 것과 같이 코팅 처리된 시료의 경우 washing 후 광투과율이 현저하게 증가되는 것을 관찰할 수 있다.

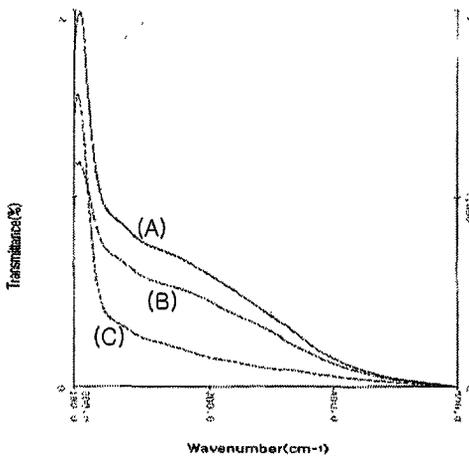


그림 6-35. No-washing 처리
(A)Rapel (B)Grease (C)non-treated

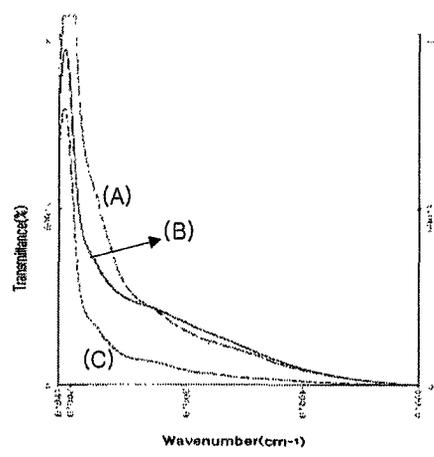


그림 6-36. washing 처리후
(A)Rapel (B)Grease (C)non-treated

표 6.4 Washing 공정 유무에 따른 광투과율

구분	광투과율 (%)	
	no-washing	washing 처리
Non-treated	23.3 ± 3.0	30.2 ± 4.5
Rapel	59.3 ± 5.3	83.6 ± 5.8
Grease	48.5 ± 4.3	71.1 ± 10.2

6-4 각종 film의 투광량에 대한 AUC값 비교

투광량 변화도 그림에 대한 AUC 값 비교분석은 아래와 같다.

AUC	PE	PET	PVC	EVA
Fig 6.1	100.0	96.6	99.1	105.6
Fig 6.2	100.0	100.2	70.2	96.5
Fig 6.3	100.0	94.1	95.8	104.5
Fig 6.4	100.0	92.8	83.0	103.4
Fig 6.5	100.0	132.0	111.0	125.0
Fig 6.6	100.0	111.1	125.4	123.1

AUC	non-treated	silicone release	silicone oil	inside oil
Fig 6.7	100.0	96.7	97.5	109.8
Fig 6.8	100.0	100.8	95.9	105.9
Fig 6.9	100.0	70.4	97.1	94.8
Fig 6.10	100.0	96.8	106.8	110.6
Fig 6.12	100.0	94.9	89.7	95.2
Fig 6.13	100.0	104.9	97.7	111.6

AUC	non-treated	dilute-oil	silcone oil	swelling oil
Fig 6.14	100.0	99.0	126.3	101.6
Fig 6.15	100.0	95.3	104.2	125.5

AUC	non-treated	silant	7420.0
Fig 6-18	100.0	147.1	154.6
Fig 6-19	100.0	120.2	128.8

AUC	non-corona	corona	grease	silant	non-treated
Fig 6-20	135.3	137.0	59.0	94.8	100.0

AUC	control	imine	chitosan
Fig 6-24	100.0	96.6	75.5
Fig 6-25	100.0	78.8	79.5

AUC	control	paraffin	silcone	resin
Fig 6-26	100.0	54.7	111.7	73.5
Fig 6-27	100.0	56.2	118.5	92.1

AUC	control	7420/SDS	Anti-fog	7420/lauryl amine	7420/mineral oil
Fig 6-28	100.0	112.7	122.2	68.1	82.7
Fig 6-29	100.0	129.8	113.1	58.9	75.2

AUC	control	7420/SDS 2%	7420/SDS 5%	7420/SDS 10%
Fig 6-30	100.0	102.1	121.0	66.9
Fig 6-31	100.0	108.8	133.8	97.5

6-5 PE film의 인장강도 변화

본 실험에서는 PE film이 자연에 노출되었을 때 tensile strength 및 elongation의 변화를 보기 위해 model로 PE film과 그 위에 corona 처리 및 silane 코팅된 것을 field에서 7개월간 경시 변화를 보기 위하여 별도로 한국화학(연)내 model 하우스를 설치 후 그 위에 시료 film을 부착시켜 예정된 시간에 시료를 수거하여 기계적 강도를 test하였다. 실제 딸기농장에서 test하기에는 여러 가지 제한 조건이 있어 기계적 물성변화를 위한 시료 채취실험은 화학(연)내에서 행하였다. 그 결과는 그림 5-7, 5-8, 5-9와 5-10에 보여주고 있다.

전체적으로 고찰해보면 대부분의 필름들이 2개월 정도까지는 신도 및 tensile strength가 증가하다가 이 이후에는 감소하여 7개월이 되는 점에서는 급격히 감소하여 피복재로써의 능력을 나타나지 못하고 있다. 이는 시간에 따른 분자량의 변화와 동등한 것으로 사료된다. 또한 tensile strength는 control, corona 처리 및 코팅한 것이 거의 비슷하게 나타내고 있으나, 아무래도 silane 코팅한 것이 비교적 control이나 coroma 처리한 것보다는 적게 나타나 초기 위약화가 일어나고 있다. 또한 상업적인 필름으로써 J표 필름이 H필름보다 월등히 tensile strength 및 elongation이 큼을 보여 원래 필름 재질의 배합처방과 이들의 가공시에 어떠한 know-how가 있을 것으로 사료된다. J표 필름 등의 경우에는 aging test에서도 비교적 우수한 것으로 나타났다. 이는 무적처리한 것에서도 동등하게 나타났다. 또한 학표 필름은 7개월이 지난 후에 신도가 거의 200% 밖에 되지 않아 또한 위약화가 2개월이 지난 이후부터 급격히 약해짐을 보이고 있어 상업적인 측면에서 '질긴' PE 필름을 요구하는 농민들에게 있어 불리할 것으로 사료된다. 경시변화의 테스트 기간이 11월에 시작하여 6월까지 즉, 일반 토마토, 또는 딸기 및 기타 월등 온상용 무적필름을 사용하는 시기에 맞추어서 시행하였다

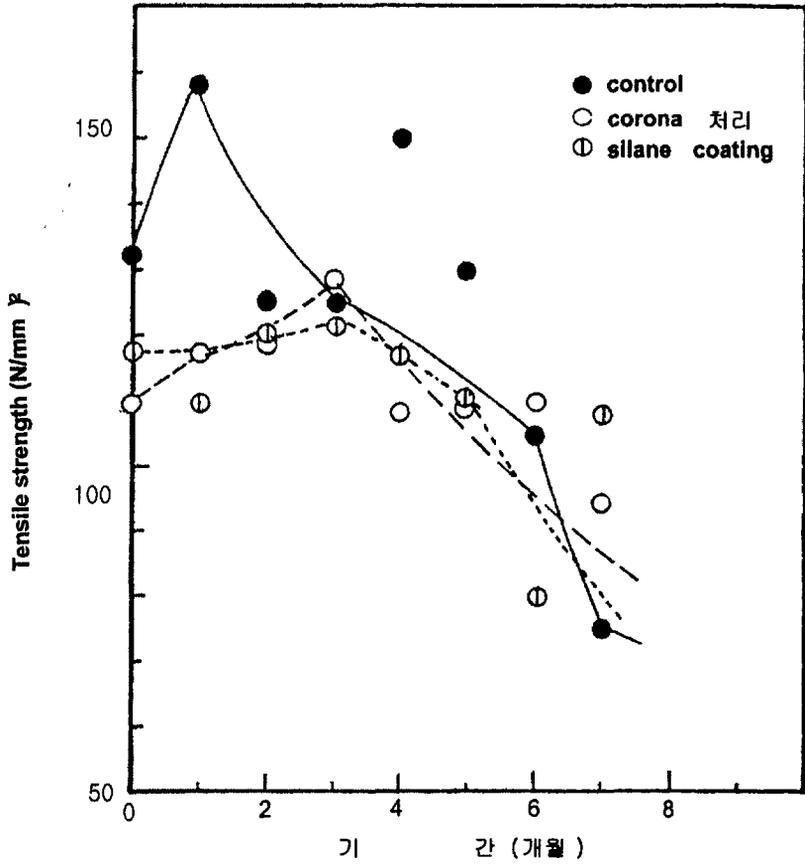


그림 6-37. PE 40u 필름(J표)의 경시성 변화(Tensile strength)

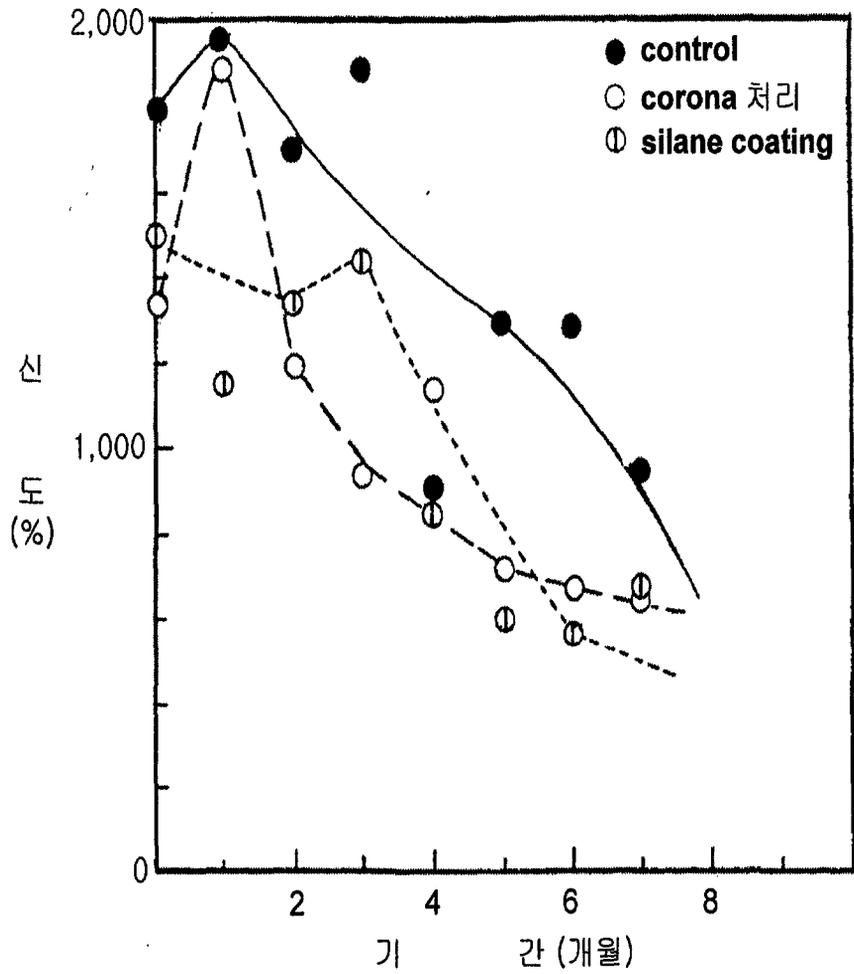


그림 6-38. PE 40u 필름의 경시성 변화(신도)

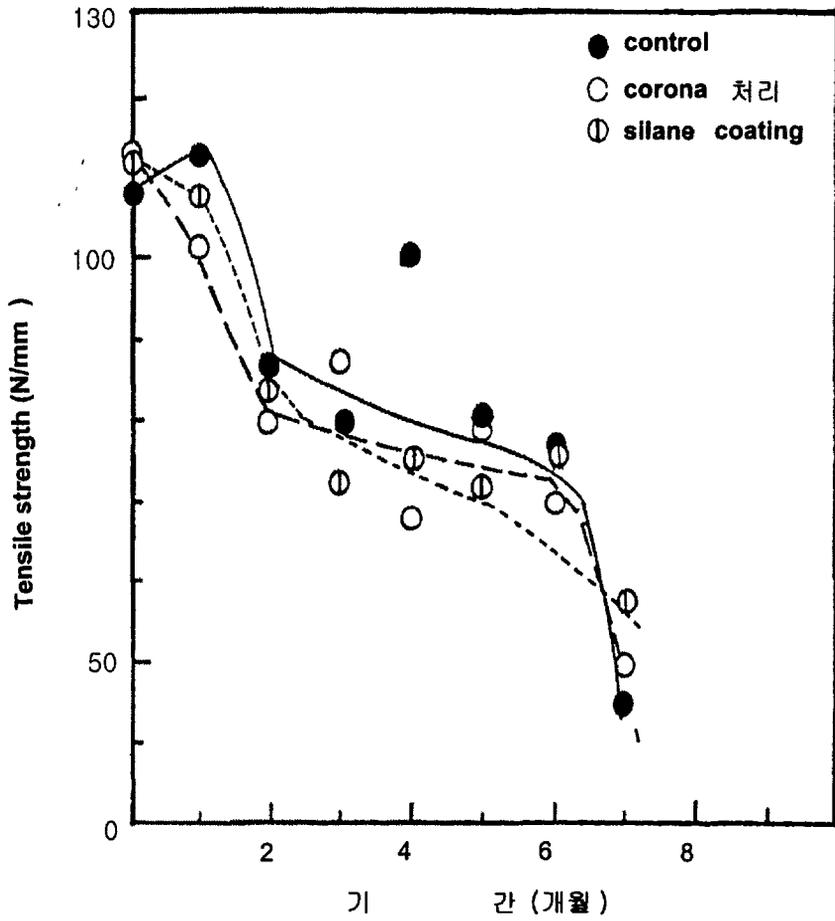


그림 6-39. PE 40u 필름(H표)의 경시성 변화

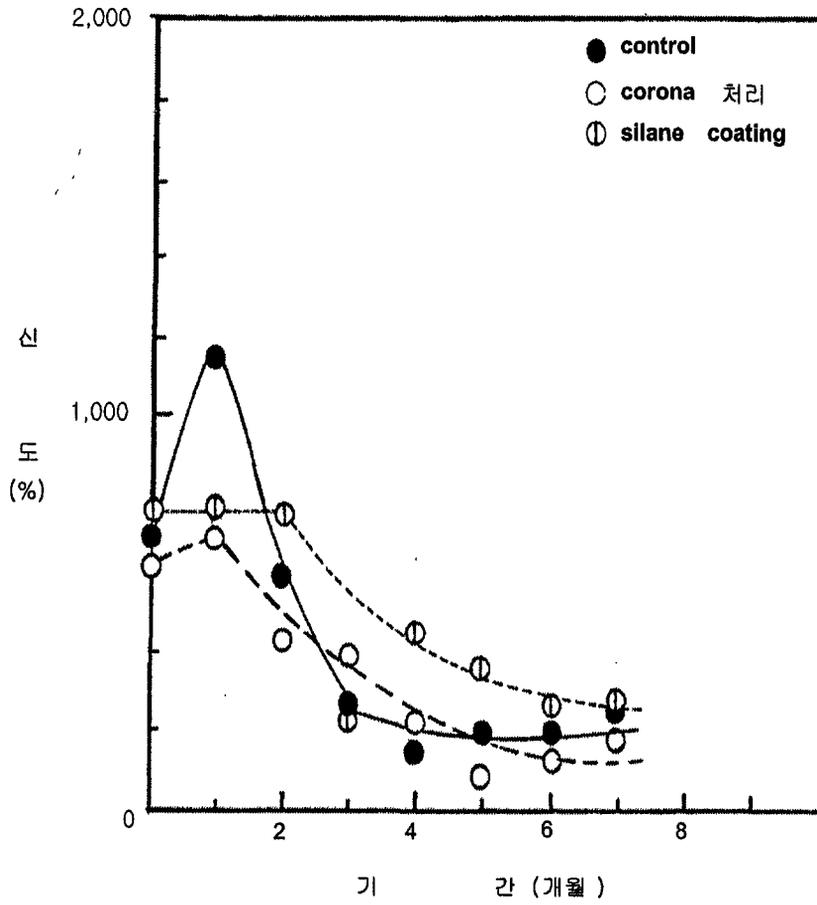


그림 6-40. PE 40u 필름(H표)의 경시성 변화(신도)

제 7 장 경 제 분 석

우리 나라 시설재배의 대부분은 겨울철 11월초부터 봄철 3월말까지 작물을 재배하므로 이 기간동안 기습적인 한파로 인한 작물을 저온 피해로부터 예방을 위한 시설의 보온 및 난방장치는 지난 10년간 지역별, 월별 최저기온을 고려해야되며 최저기온은 표 6-1과 같다.

표 7-1. 지역별, 월별 최저 기온의 재현 기대치 (재현 기간 10년, ℃)

지 역	11월	12월	1월	2월	3월
춘 천	-14.1	-20.0	-23.7	-19.8	-13.2
수 원	-11.3	-19.8	-21.1	-18.1	-10.5
청 주	19.7	-18.4	-23.2	-18.8	-11.9
광 주	-6.0	-10.1	-14.2	-11.8	-7.9
진 주	-6.7	-11.5	-14.1	-12.1	-6.9
유 성	-8.9	-16.7	-22.1	-17.5	-9.5
임 실	-11.7	-20.9	-22.4	-19.5	-13.1
승 주	-7.2	-11.9	-13.3	-13.7	-8.9
의 성	-11.2	-11.3	-22.7	-19.2	-9.8
밀 양	-7.7	-15.1	-14.5	-14.2	-9.5
대 정	1.4	-3.7	-4.5	-6.2	-3.0

농촌에서 주로 사용하고 있는 3중 비닐하우스에서 난방연료소비량은 기후조건에

따른 지역과 작물에 따른 많은 차이가 나며, 추정된 결과는 표 4에서 보여주고 있다. 우리 나라에서 가장 남단에 위치한 제주지방의 경우 오이나 참외를 배재하려면 연간 2,860 l/10a 정도의 연료가 필요한 반면 추운 흥천 지방은 4배가 넘는 13,220 l/10a이 소요됨을 추정할 수 있다. 따라서 경우 1 l을 600원으로 계산할 때, 제주지방은 1,716,000원/10a인 반면 흥천은 7,900,000원/10a의 연료비가 지출됨을 예측할 수 있다.

표 7-2. 3중 프라스틱 하우스에서 소요되는 기름의 양 [l/10a (302.5평)]

지 역		토마토 (5℃ 이상)	오이, 참외 (8℃ 이상)	고추, 피망 (12℃ 이상)
강 원	흥 천	7,760	13,220	16,120
	삼 척	3,780	6,440	10,920
경 기	양 평	7,180	10,360	15,410
	화 성	6,120	9,080	14,040
충 북	충 주	6,520	9,490	14,380
	보 은	6,820	10,050	15,250
충 남	아 산	5,750	8,660	13,500
	논 산	5,040	7,810	12,490
전 북	이 리	4,500	7,280	11,970
	임 실	6,160	9,330	14,550
전 남	광 주	3,890	5,550	11,400
	순 천	2,570	5,130	9,290
경 북	칠 곡	4,030	6,530	11,030
	안 동	5,700	8,550	13,460
경 남	밀 양	3,870	6,490	10,890
	김 해	2,770	5,280	9,390
제 주	제 주	800	2,860	7,150
	대 정	460	2,140	5,950

시설재배에 필요한 연료량 및 경제분석

'97년도 시설재배 가온면적 9,200ha을 기준으로 하여, 시설재배 위치의 평균 위도를 논산으로 가정하면,

(1) 시설내부온도 8℃이상 유지 (오이, 참외재배)시 필요연료소비량은 7.2 억 ℓ 필요

$$9,200\text{ha} \times 100\text{a/ha} \times 7,810 \text{ ℓ/10a} = 718,520,000 \text{ ℓ} \approx 7.2\text{억} \text{ ℓ}$$

전체가온시설재배에 소요되는 연료의 6%만 연료를 절약할 경우 약 3.6천만 ℓ의 경유가 절약됨.

(2) 가온시설면적 9,200ha의 내부온도를 5℃이상 유지 (토마토 재배)시 평균위도를 논산기준으로 하면, 필요연료량은 4.6억 ℓ 필요

$$9,200\text{ha} \times 100\text{a/ha} \times 5,040 \text{ ℓ/10a} = 463,680,000 \text{ ℓ} \approx 4.6\text{억} \text{ ℓ}$$

소요연료량의 6%만 절약할 경우에도 2.7천만 ℓ의 연료가 절감되므로 경우 600원/ℓ 기준으로 볼 때 156억원의 연료비가 절약됨을 예측할 수 있다. 충남의 시설재배면적은 전국 시설재배면적의 10%이므로 새로운 film 개발 또는 세척공정 도입으로 20-30%의 광투과율이 개선되나 전체 하우스 면적의 25% 정도만 살수를 하므로 살수 면적의 광투과율 개선은 전체 면적을 기준으로 계산할 때 6%정도이고, 이에 해당하는 에너지를 절약하여도 156억 원의 연료비 절감을 직접적으로 얻게 되며 농산물 수확증대가 기대됨.

이상의 수치에서 보듯이 가온시설재배 9,200ha에 사용되는 전국의 연료비는 경우 600원/ℓ, 위도는 논산을 기준으로 하면 3,200억 원, 광주를 기준으로 하면, 2,100억 원을 사용함을 예측할 수 있다.

겨울철 시설재배 작물에 사용되는 에너지 비용절감에 따른 국제경쟁력이 있는 시설작물 재배는 농가의 수익증대 뿐만 아니라 수입대체 및 수출작물을 재배할 수 있으므로 농촌의 안정과 고소득으로 젊은 노동인력이 농촌으로 돌아가 우리 나라 농촌 산업 육성과 식량생산에 큰 파급효과를 얻어 사회의 안정을 이룩하는데 기여함.

제 8 장 결 론

1. 접촉각 측정 실험과 water friction test를 통하여 field test 전에 지하수 성분내의 무기물 및 유기물의 흡착정도를 예측할 수 있었다.
2. 친수화 시킨 PE필름 표면에 hydrophobic한 silicone계 화합물과 imine계 화합물을 coating한 결과 기존에 사용하는 PE 필름보다 우수한 결과를 얻을 수 있었으며, 이는 기존에 시판되고 있는 일반 PE 필름보다 우수한 광투과도를 보여주고 있다.
3. Silicone계 화합물과 PE 필름의 접착력의 향상이 coating된 필름의 내구성과 광투과도의 증가가 예상되므로 이에 따른 coating 방법의 개발이 시급하며, 또한 이에 따른 연구가 계속적으로 수행되어야 된다.
4. 지하수의 효율적 활용으로 인한 경제성 있는 system 구축.
수막재배시 살수하는 지하수 내의 미세분말을 제거하기 위한 정수시스템을 도입하기에는 경제성과 사용상의 문제점이 있는 것으로 판단, 이를 개선할 수 있는 비닐 표면 코팅 방법 개발에 주력하여 연구를 진행하였고, 지하수를 이용한 washing cycle을 도입함으로써 투광양을 증가시킬 수 있었다. 이러한 경우, 무공해 세정제를 활용함이 타당할 것이다.
5. 딸기재배 비교평가 및 분석은 논산 딸기시험장에서 저온작물인 딸기의 생육을 하우스내의 광투과율과 온도변화에 따른 발육상태를 연구하여 실제 농가에 보급하여 실증실험을 확대할 수 있는 필름의 다량생산 개발이 이루어져야 할 것이다.
6. 전국 시설재배 가능 면적 9,500 ha 기준으로 내부온도를 5 ℃ 이상 유지(논산 기준)하는데 필요한 연료 소모량의 20-30%의 광투과율이 개선되거나 전체 하우스 면적의 25% 정도만 살수를 하므로 살수 면적의 광투과율 개선은 전체 면적을 기준으로 계산할 때 6% 정도이고, 이에 해당하는 에너지를 절약할 경우, 연간 156억 원의 연료비를 절감할 수 있으므로 이를 위한 필름이나 세정제 개발 후속 투자가 있어야 할 것이다.
7. 방진용 system으로 확대 응용 : 비닐하우스 표면을 유리 표면과 같이 비교적 먼지

가 붙지 않는 용도로 (방진용) 개발하여 하우스를 다년간 사용 가능하게 하며 광투
과율 증대로 인한 농작물 생산의 향상과 시설경비 절약으로 농가소득의 증대를 가
져올 것이다.

제 9 장 참 고 문 헌

1. 원시연보, 205-222
2. 원시연보('81) : 205-222
3. 시설원예, 1994. 향문사
4. 원시연보('83) : 713-719
5. 시설원예 -장치와재배기술-. 1983. 성문당신광사(일본)
6. 시설원예핸드북, 1987. 일본시설원예협회
7. 시설원예-장치와 재배기술(성문당신광사) 이다끼 1983 : 572
8. 시설원예 현대화 하우스 모델 설정 및 재배효과에 관한 연구 2차년도 보고서 1992. 농촌진흥청
9. 호남지역 원예작물 발전방안, 농촌진흥청 호남농업시험장 발행, 1995, 행정간행물 #31232-51870-77-9603
10. 고 관달, 시설재배시의 고려하여야 할 기상환경 요소와 작물안전재배 대책, 시설원예연구, 5(1), 13-25, 1992
11. 이 해방, 강 길선, 한국특허 46529 - 무적성 고분자물질 및 제조방법
12. 이 해방, 강 길선, 이 진호, 한국특허 67567 - 친수성 구배를 갖는 고분자 표면 제조를 위한 코로나 방전처리 방법
13. 이 해방, 신 병철, 최 창규, 한국특허 126890 - 비닐하우스용 무적필립의 제조방법 및 그 장치
14. 이 해방, 강 길선, 한국특허출원 97-78623, 비닐하우스의 투광량을 높이는 수막 재배 system
15. 중앙일보 '98년 1월 5일 기획특집 "IMF한파 흔들리는 농.어촌"
16. 조길원, 이대호, "접착이론 및 접착기술", 고분자과학과 기술, 6, 545 (1995).
17. W. A. Zisman, "Contact angle wettability and adhesion, ed. by R. F. Gould, American Chemical Society, Washington, 1964.
18. "호남지역 원예작물 발전방안", 농촌진흥청 호남농업시험장 발행, 1995, 행정간

행물 #31232-51870-77-9603

19. Coated polyester films : JP 57-169,351
20. Agricultural cover films : JP 57-168,928
21. S. Tazuke, "A new surface modification technique. Surface photografting,"
Sen'i Gakkaishi, 35(3), 61, 1979.
22. B. Ranby, "Modification of polymer surfaces by graft copolymerization,"
Polym. Prepr. (ACS, Div. Polym. Chem.), 27(2), 38, 1986.

제 10 장 부 록

부록 1. 겨울철 비닐하우스의 난방을 위한 각종 방법들

- 1-1. 개량수막(물커튼)하우스 재배
- 1-2. 비닐하우스 피복 보온 자동화 시설
- 1-3. 시설원에 현대화 하우스 모델설정 및 재배효과
- 1-4. 태양열이용 비닐하우스 지중난방
- 1-5. 자동하우스 보온시설 보강법
- 1-6. 수막+보온덮개 하우스재배
- 1-7. 난방비절약 재배작형 보급
- 1-8. 복합보온시설 이용
- 1-9. 태양열 지중난방+3중터널
- 1-10. 소형터널 보온덮개 이용 무가온 재배

부록 2. Field test 실시 전경

- 2-1. 지하수 살포로 인해 부식된 비닐하우스 외관
- 2-2. 비닐하우스의 외관과 시편부착
- 2-3. Field test 전(위)과 1주 후(아래)의 무기물 부착 모습
- 2-4. 실제 딸기농가에 적용하여 실험

부록 3. Field Test와 수거한 시편들의 근접촬영 모습

- 3-1. 비닐 표면에 부착한 무기물의 SEM 사진
- 3-2. 예비실험을 실시한 시편
- 3-3. 각종 물질로 코팅한 시편의 주별 흡착 변화 I
- 3-4. 각종 물질로 코팅한 시편의 주별 흡착 변화 II
- 3-5. Washing 여부에 따른 무기물 흡착 변화

부록 1. 겨울철 비닐하우스의 난방을 위한 각종 방법들

1-1. 개량수막(물커튼)하우스 재배

1. 특징 및 방법

- 가. 2중 비닐(구매당시 상태 그대로)사이로 지하수를 흘려보내 수막을 형성시켜 하우스내 열의 유출을 막고 물이 식을때 발산하는 열을 하우스 보온에 이용하는 시설.
- 나. 비닐하우스의 한쪽면을 정남향으로 설치하고, 햇빛을 많이 받는 남쪽은 넓게, 북쪽은 경사지게 설치함.
- 다. 북쪽은 항상 보온덮개로 보온하고 남쪽은 밤에 보온덮개로 덮었다가 낮에는 해제함.
- 라. 지하수가 풍부하면서 지하수 온도가 높고 염류와 철분 함량이 낮은 곳에 설치하며, 송수관은 지하 50cm이하에 묻고 스티로폼이나 헌비닐 등으로 감싸 얼지 않게 함.
- 마. 정전에 대비해 난로와 보온덮개를 미리 준비해 둬
- 바. 뿌려준 지하수가 하우스 주위에 얼어 붙어 땅온도가 내려가지 않도록 도랑을 정비해 물이 잘빠지도록 함

2. 설치비용

평당 28, 000원(기존 연동식 설치비의 30%정도)

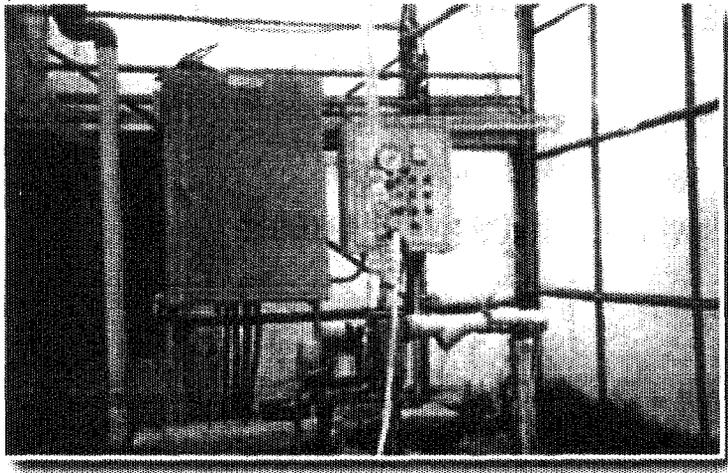
3. 효과

- 가. 겨울철에 다른 하우스보다 일조량이 2~3시간 많음
- 나. 가운을 하지 않은 상태에서 내부기온이 5~6° C 유지되며 연료비가 전혀들지 않음

1-2. 비닐하우스 피복 보온 자동화 시설

1. 특징 및 방법

야간에 온도가 급격히 떨어지는 비닐하우스내의 보온유지를 위하여 비닐하우스 외
비에 피복보온재(비닐+부직포)를 자동으로 여단을 수 있도록 설치



2. 설치비용

300평단 약 4백만원

3. 효 과

- 가. 비닐하우스 자동개폐기를 설치하여 적정온도 관리로 난방비를 절감하고 개폐에 따른 노동력 절감
- 나. 연료 절감(약 25%)
- 다. 자동화에 의한 인건비 절감

1-3. 시설원에 현대화 하우스 모델설정 및 재배효과

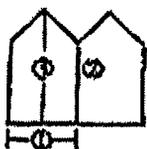
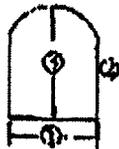
1. 공시시설의 구조와 제원

가. 공시시설의 구조

2-2S 형 및 1-1S형은 1차년도에 새로이 설계한 농가보급형 하우스 11종 가운데 비교적 설치면적이 많을 것으로 예상되는 2가지 모형이며 관행 하우스 2-1형은 1980년에 설계되어 현재 설치면적이 가장 많은 파이프 아치형 하우스이다. 관행 하우스는 골조 자재 개선에 역점을 둔바 하우스 높이가 낮고 폭이 좁아 작업성이 떨어지며 형태가 아치형으로 각종 생력부대 장치의 도입이 곤란하다. 뿐만 아니라 내구년한이 길고 무게가 무거운 반경질 및 경질피복 자재의 피복에는 부적합하다.

2-2S형과 1-1S형 하우스는 2-1형에 비해서 하우스 폭이 넓어지고, 하우스 높이가 0.6~0.95m정도 높아졌는데 주요 제원은 다음 표와 같다.

표 부-1. 공시시설의 형태와 제원

명칭	2-2S형 양지불연동	1-1S형 아치단동	관행(2-1형) 아치단동
구조			
하우스폭①	6.0m	5.9m	5.6m
측면높이②	2.3m	1.8m	1.6m
하우스높이③	3.85m	3.5m	2.9m
하우스길이	30.0m	30.0m	30.0m

나. 공시시설의 형태 및 부대장치

공시한 시설에 2-2S형은 천정을 PET필름으로 피복하면 5~7년동안 사용이 가능하며 천창, 측창, 환기팬, 온풍난방기 등을 설치하여 시설 내 온도관리가 자동으로 조절가능하다. 뿐만 아니라 이동살수장치와 CO2 발생기를 설치하여 방재와 시비를 생력적으로 할 수 있다. 1-1S형 하우스는 관행하우스에 비하여 커튼과 측창 개폐가 자동으로 가능하며 액비사용 장치가 추가되었다.

2. 공시작물 및 재배관리

서광토마토를 60일간 육묘하여 정식한 후 5단에서 적심하였으며, 기타 관리는 원예 연구소 표준경종법에 준하였다.

3. 작물재배 효과

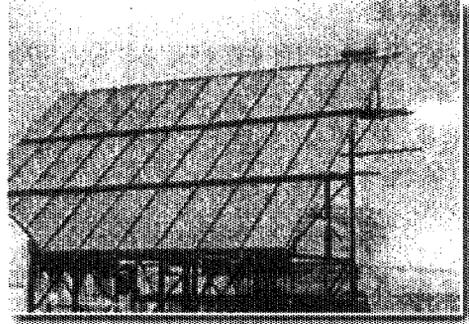
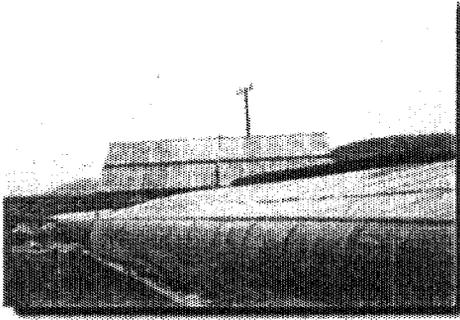
생육은 큰 차이가 없었으나 2-2S형 하우스에서 관행 하우스보다 다소 양호하였다. 총수량은 2-2S형 하우스가 7,077kg으로 가장 높았고, 상품수량 역시 2-2S형이 6,219kg, 1-1S형에서 5,451kg으로 관행하우스의 4,619kg에 비하여 각각 35%, 18% 높았다.

2-2S형 하우스는 천창 및 측창의 개폐 커튼 개폐 등을 완전 자동화하여 작물재배 관리와 환경관리에 매우 생력적인 동시에 작업의 편리성이 높았다. 2-2S형 PET하우스에 재배환경 특성을 보면 기존 관행하우스에 비해 광투과율은 차이가 없었으나 400mm이하의 자외선역의 광이 차단되었다. 온도관리는 작물 생육적온 유지가 용이하였다. 기 보급된 농가보급형 1-2W형 작물별 재배효과 조사 결과 기존 하우스에 비해 토마토 215%, 오이 245%, 딸기 45%, 풋고추 38%의 증수효과가 있었으며, 농가소득은 440만원~2,070만원까지로 관행하우스 재배농가에 비해 140~380%까지 소득증대 효과가 있었다.

1-4. 태양열이용 비닐하우스 지중난방

1. 특 정

겨울철 비닐하우스 난방을 태양열을 이용하여 지중난방을 함으로써 유류비 절감



2. 방 법

- 가. 태양열 하우스를 설치해 지하 40cm되는 지점에 보일러관을 묻고 하우스 옆에 45도 각도의 2단 구조로 설치된 20장의 태양열 집열판에서 데워진 물이 땅속에 묻어둔 관을 통해 땅속온도를 높이도록하는 방법임.
- 나. 땅의 열기를 자동으로 조절할 수 있는 감온장치와 겨울철 보조난방용 보일러 시설 등도 갖추어야 함
- 다. 태양열 집열판의 성능은 단위면적에 따라 결정되므로 집열판은 병렬식으로 연결해야 하고 시설 위치는 정남향 45도 각도로 해야 햇빛을 최대한 받을 수 있음.
- 라. 흐린 날씨와 밤에는 태양열을 얻을 수 없으므로 보조 난방시설로서 지중난방 시설을 설치하여야 함.
- 마. 태양열 땅속 가온은 초기 시설투자가 많이 드나 연료비 절감 및 농산물 증수효과가 있음.
- 바. 주로 낮동안에 집열하여 야간에 지중난방 실시

3. 효 과

- 가. 유류를 이용한 일반 온풍기나 보일러 단독사용보다 30%이상 연료 절감.
 - 나. 땅속 온도를 높여 증수는 물론 출하시기를 한달이상 앞당길 수 있음.
 - 다. 지온을 작물의 적정 성장지온인 18~20℃를 유지하여 뿌리에서 영양분 흡수를 왕성하게 하여 성장기간 단축 및 품질향상
- 사례 : 상추 가온 재배시 일반 온풍방식에 의하면 1회 수확기간이 15~20일이 소요되나 지중난방 병행시 10일만에 수확 가능

4. 설치비

600평 비닐하우스 난방시설 설치시 일반 온풍기나 보일러만 설치하는 것에 비하여 약 1천만원 비용증가 (유류비 절감과 생산증가로 1-2년간의 단기간내에 투자비 회수)

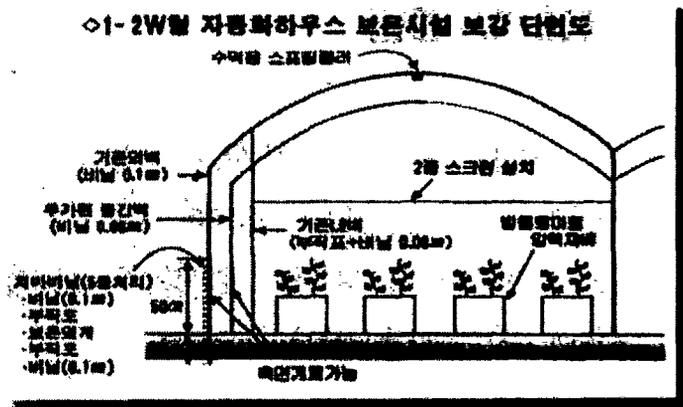
1-5. 자동하우스 보온시설 보강법

1. 특징 및 방법

가. 하우스내 열손실을 최대한 줄이는 방법으로 1-2W형 자동하우스의 외벽과 내벽이 60~120cm정도 간격이 벌어지는 점을 이용하여 그 사이에 중간벽을 놓아 3중으로 비닐리처리함.

나. 땅에서 전도되는 찬기운으로 열을 많이 빼앗기는 치마비닐(지표면에서 50cm정도)부분을 기존 비닐 한겹에서 5중(비닐+부직포+보온덮개+부직포+비닐)으로 대폭 보강함.

다. 지하 30cm에서 지상 50cm까지 충분히 덮어주는 방식으로 보온시설을 보강.



2. 설치비

하우스 660평에 설치비용은 기본시설에 파이프와 부직포 · 패드 · 개폐기 등 부수시설 구입비용으로 500천원 정도 들어감

3. 효과

보강하우스는 기름을 총 77드림 (5월동안)사용해 일반자동하우스(1-2W형)의 150드림보다 절반이상 절약

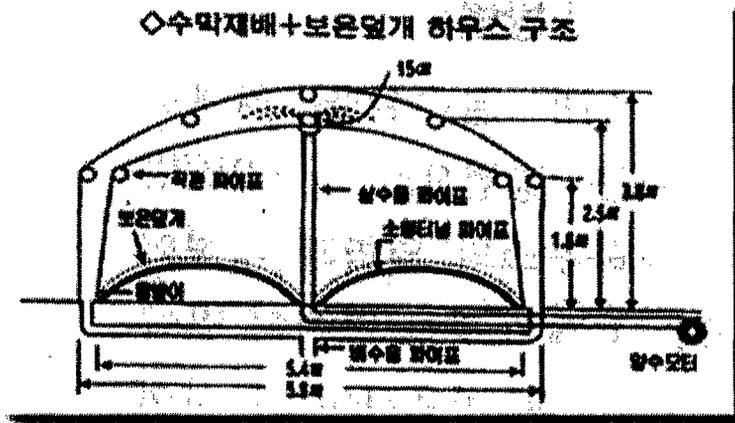
1-6. 수막+보온덮개 하우스재배

1. 특징 및 방법

- 가. 하우스 수막(물커튼) 재배에 보온덮개를 활용하는 방법으로 무가온 재배가 가능한 쪽갯이나 상추 등 저온성 작물을 선택하여 기름 한방울 쓰지않고 농사를 짓는 방법.
- 나. 수막시설로만으로는 혹한에 견디기 어렵기 때문에 소형터널을 추가로 만들어 비닐과 보온덮개를 씌움.
- 다. 결국 3중비닐이 되며 10월 중순부터 12월초순까지 날씨가 덜 추울때는 소형터널 위에 비닐만 덮어주고 12월 중순이후부터 이듬해 3월중순까지는 외부온도가 영하권으로 떨어지기 때문에 보온용 덮개를 덮어주어야 함.
- 라. 보온용 덮개는 부직포와 캐시미론차광망을 섞어 만든것으로 하우스내의 습기에 말려들어가지 않도록 부직포가 반드시 필요함

2. 효과

수막과 보온덮개로 하우스내 온도를 8~9° C 정도 보온 유지 가능.



1-7. 난방비절약 재배작형 보급

1. 특징 및 방법

- 가. 우리나라 지형은 남북으로 길게 뻗어 있어 겨울에 남부와 북부지방의 온도차가 큰 편임. 따라서 남부지방은 열매채소중심의 고온성 작물을, 중북부지방은 잎채소와 같은 저온에 강한 작물을 재배하는 것이 유리함
- 나. 연중재배시 연료 소모량은 고온성 작물일수록 더 많고 남부와 북부지역간의 소모량 차이는 더욱 커짐 .
- 다. 작물에 따라 낮과 밤을 구분해 다르게 관리하는 변온관리는 야간에 항온관리하는 것보다 에너지가 적게 들면서 생산량은 증가하는 경제적인 재배기술임
- 라. 따라서 오전 8시~오후5시까지의 광합성 시간대와 해가지는 오후 5~8시까지의 전류시간대, 오후 8시이후의 호흡소모시간대 등으로 구분해 작물온도 요구도에 따라 관리하면 난방비를 절감할 수 있음

2. 효 과

겨울철 작목별 적정온도 관리로 난방비 절감

1-8. 복합보온시설 이용

1. 특징 및 방법

- 가. 보온력을 향상시키기 위해 하우스내 피복자재와 커튼시설을 개선한 셴피로 하우스 외부에 덮어주는 방법.
- 나. 커튼재료가 폴리에틸렌(PE)필름인 경우 기온은 1~2° C, 초산비닐(EVA)일때는 2~3° C, 알루미늄을 입힌 천(AI증착포)일대는 4~5° C 더 높아짐.
- 다. 키가 작은 작물은 모든 생육기간중 2중커튼을 설치 보온하고, 키가 큰작물은 2중커튼으로 보온했다가 생육후기엔 위쪽의 커튼만 이용함.
- 라. 망 또는 이영으로 높이 3~4m의 방풍벽을 서북방향에 세우고 하우스 주변에 깊이 40cm, 폭 10cm로 단열재를 설치하면 보온력을 높일 수 있음.

보온방법	보온용얇개	보온율
하우스+커튼(1겹)	부직포	25%
	폴리에틸렌(PE)필름	30%
	염화비닐(PVC)	35%
	알루미늄혼입필름	45%
	알루미늄 바른 필름(천)	50%
하우스+2중 커튼	PE필름+PE필름	45%
	PE필름+알루미늄혼입필름	65%
	PE필름+알루미늄 바른 필름(천)	65%
하우스+터널+셴피 (터널위에 덮음)	PE필름+셴피	70%
하우스+커튼(1겹) +터널+셴피 (터널위에 덮음)	PE필름+PE필름+셴피	80%
하우스+셴피 (하우스밖에 덮음)	셴피	60%

2. 효 과

하우스내 온도를 5~6° C 정도 더 올릴 수 있으며, 보온율을 최저 25%에서 최고 80%까지 유지 가능함

1-9. 태양열 지중난방+3중터널

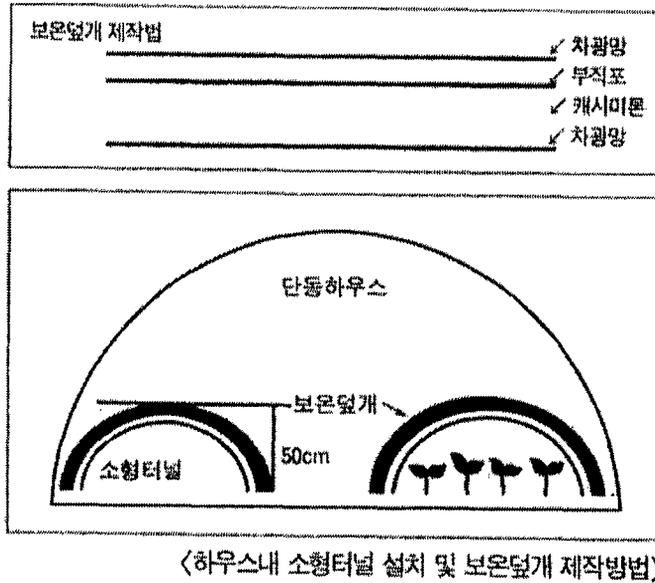
1. 특징 및 방법

- 가. 태양열 지중난방으로 땅속온도를 일정하게 유지하고 하우스 안에 2중터널을 설치한 3중터널 방식 임
- 나. 작물이 자라는 토양에서 약 3m높이로 0.05mm두께의 비닐로 반달모양의 터널을 씌우고 반달모양 2개의 터널위에 다시 0.05mm비닐로 2중터널을 덮어 보온효과를 극대화함
- 다. 3중터널 방식으로 약 3~4° C정도의 보온효과를 얻을 수 있음
- 라. 3중터널을 모두 0.1mm의 비닐로 씌울 경우 햇빛투과율이 떨어지고 비용도 많이들기 때문에 하우스안의 2중 터널은 0.05mm두께의 비닐을 사용하는 것이 효과적임
- 마. 이같은 3중터널하우스에 태양열 지중난방을 보강하는 방법은 하우스 옆에 10여 m 높이로 여러개의 집열판을 세우고 바로 옆의 간이하우스에 보온덮개를 씌워 축열조와 온풍기를 설치함
- 바. 해가 뜨면서부터 집열판에서 태양열로 물을 데워 축열조로 보내면 축열조에서 순환컴프가 작동해 땅속에 매설된 파이프를 통해 더운물을 순환시켜 토양온도를 유지시켜 줌

2. 효과

700평의 하우스에서 유류값을 30%이상 절감할 수 있음.

1-10. 소형터널 보온덮개 이용 무가온 재배



1. 특징 및 방법

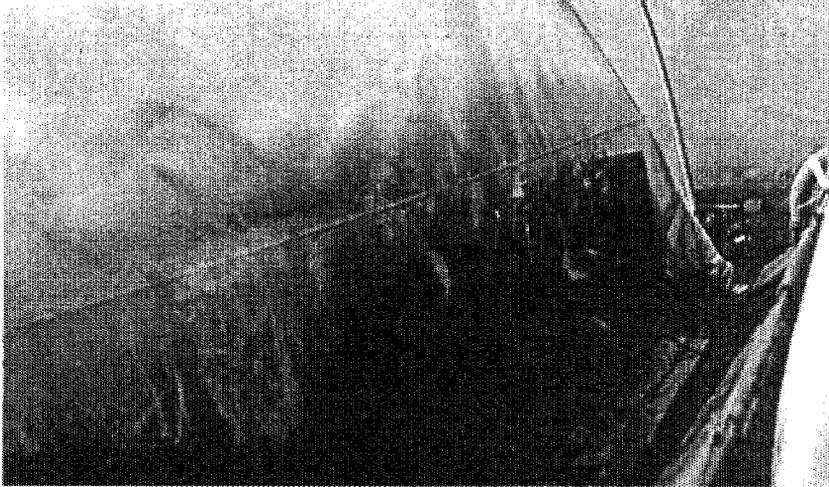
- 가. 비가림시설 하우스내 소형터널을 추가로 설치하여 보온덮개를 이용 무가온 작물재배.
- 나. 저온성 식물(시금치 2,500평) 재배시 10월 하순에 파종하여 이듬해 1~2월에 수확가능.
- 다. 과채류(파리고추) 재배시 3월 중순에 정식이 가능하고 4월 중순에 보온덮개 철거.
- 라. 보온덮개 개폐시 수작업 (물리식 개폐기 설치 가능)

2. 효과

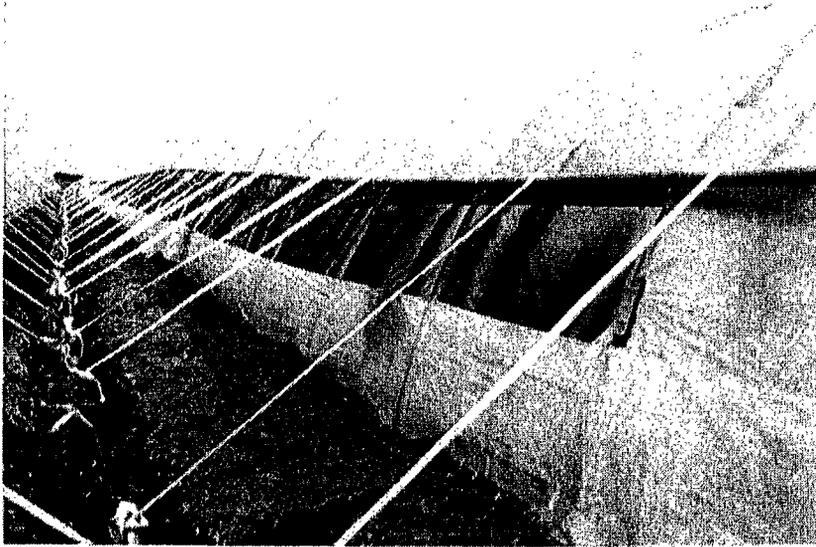
- 가. 야간온도 영하 10° C시에도 내부온도 4-5° C 유지가능
- 나. 시금치 생산량 : 평당 6kg

부록 2. Field test 실시 전경

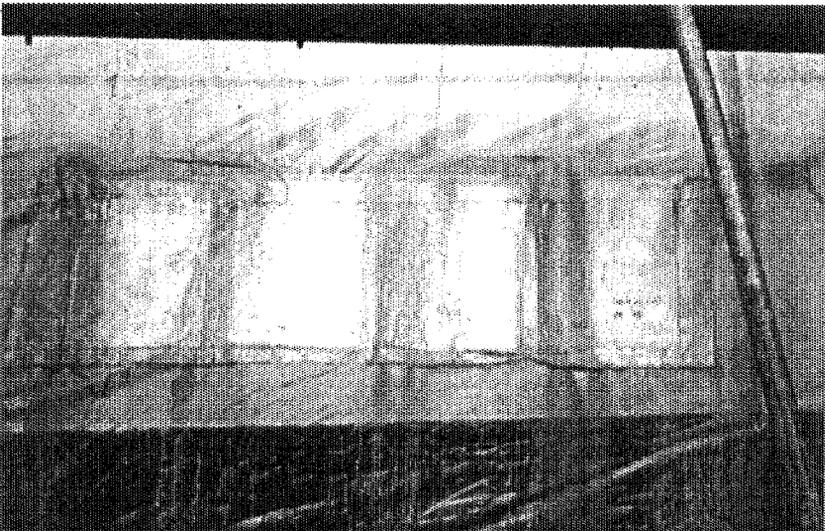
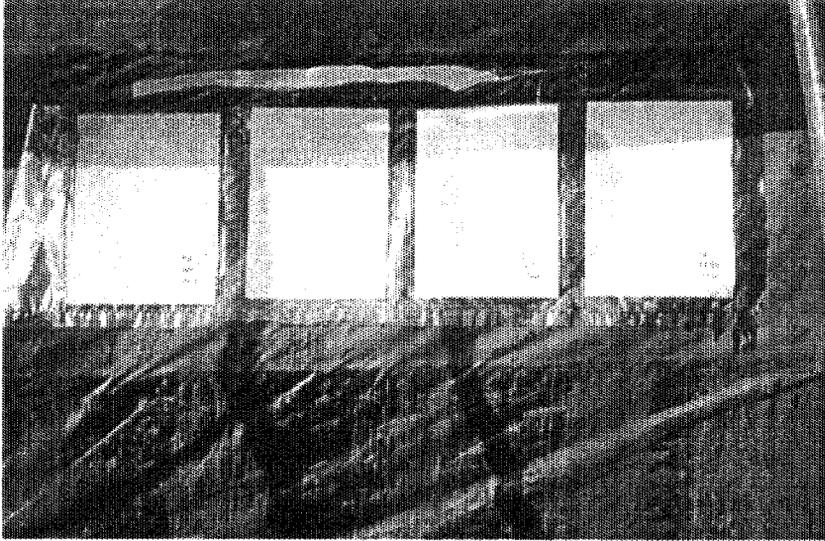
2-1. 지하수 살포로 인해 부식된 비닐하우스 외관



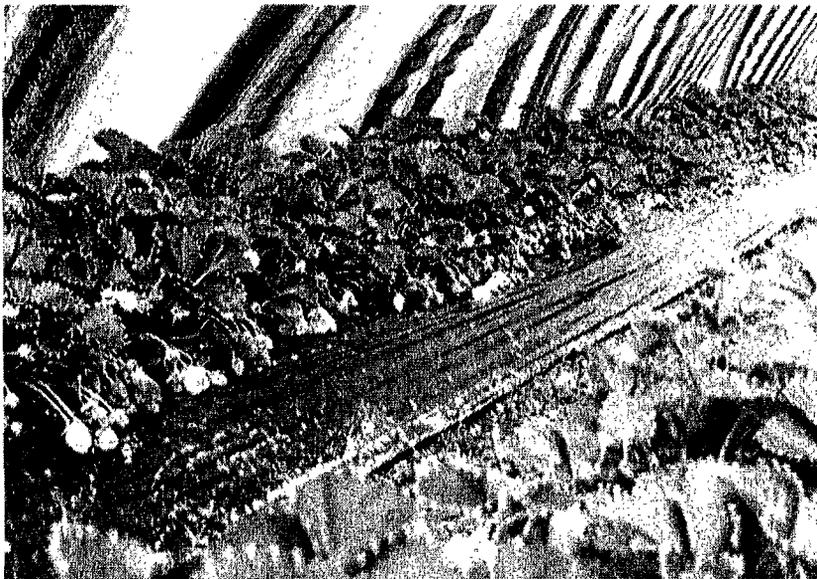
2-2. 비닐하우스의 외관과 시편부착



2-3. Field test 전(위)과 1주 후(아래)의 무기물 부착 모습

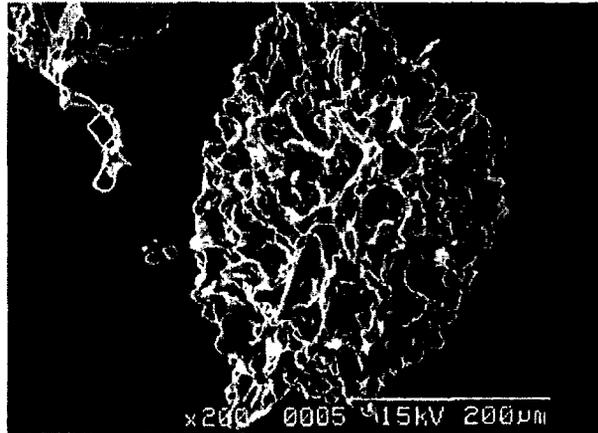


2-4. 실제 딸기농가에 적용하여 실험

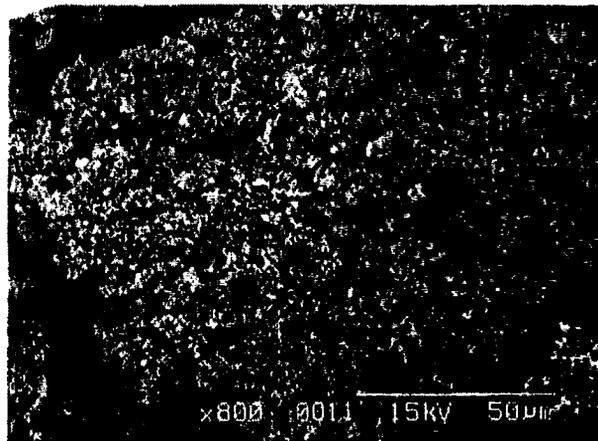


부록 3. Field Test와 수거한 시편들의 근접촬영 모습

3-1. 비닐 표면에 부착한 무기물의 SEM 사진

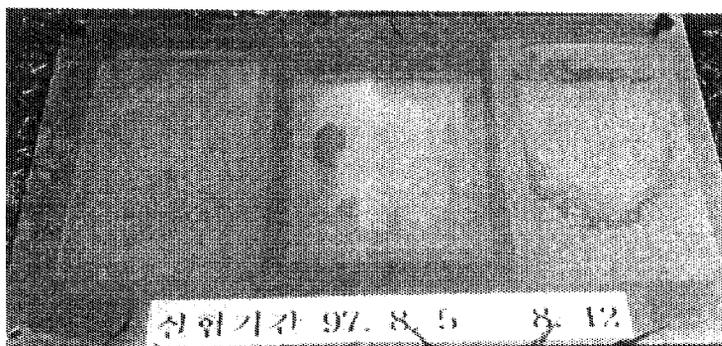
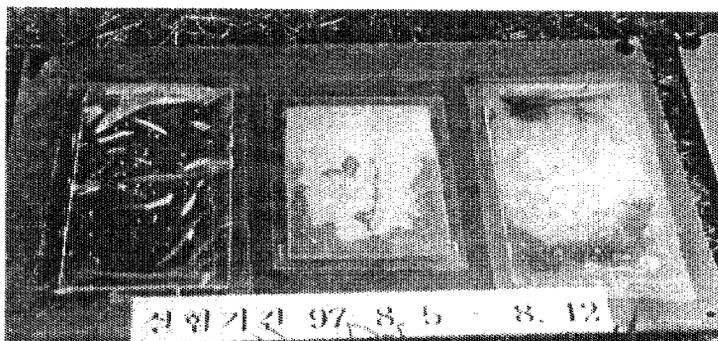
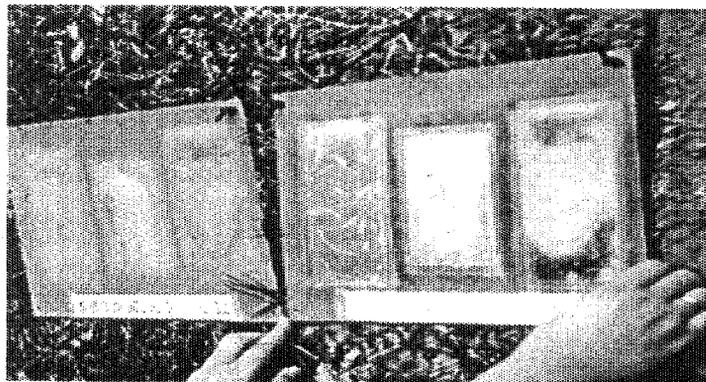


시편 부착 1주후 SEM

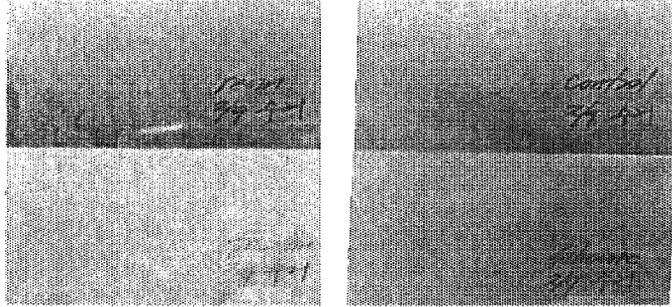


시편 부착 4주후 SEM

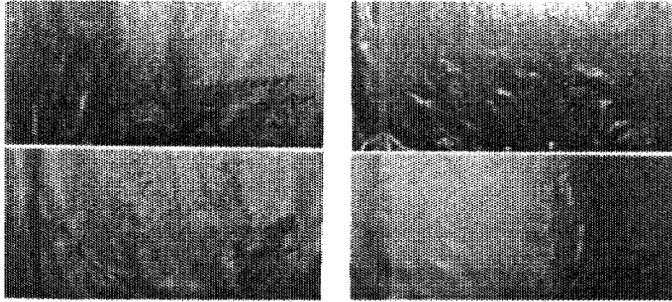
3-2. 예비실험을 실시한 시편



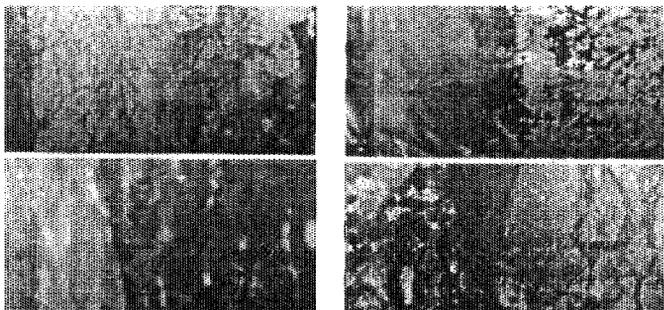
3-3. 각종 물질로 코팅한 시편의 주별 흡착 변화 I



시편 부착 1주후의 근접사진

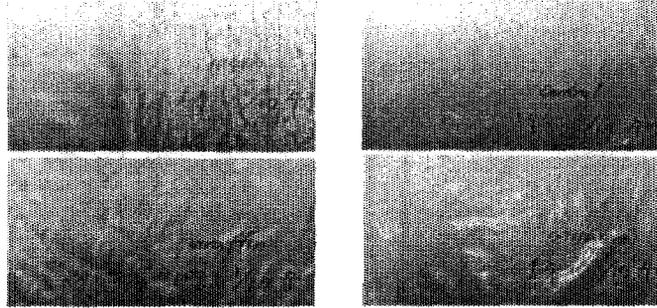


시편 부착 2주후 근접사진

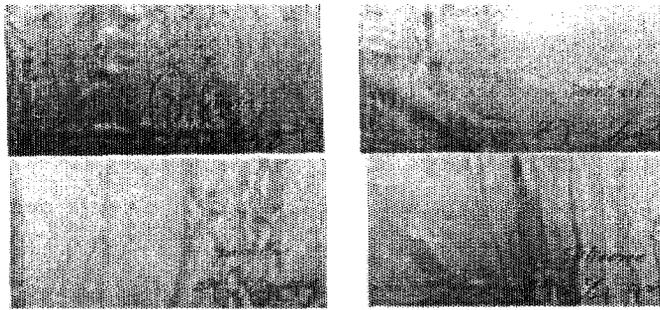


시편 부착 4주후 근접사진

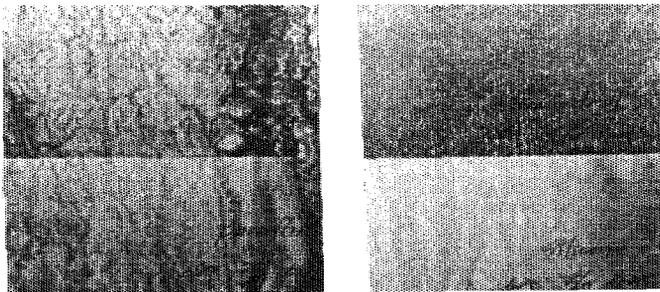
3-4. 각종 물질로 코팅한 시편의 주별 흡착 변화 II



시편 부착 1주후 근접사진

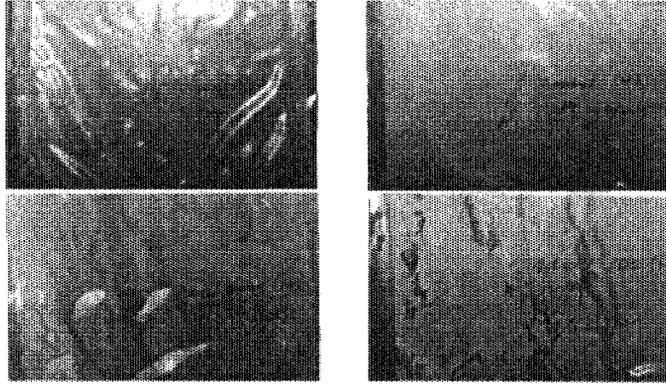


시편 부착 2주후 근접사진

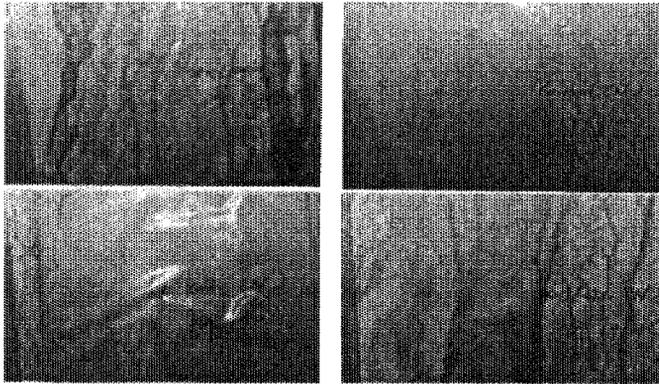


시편 부착 4주후 근접사진

3-5. Washing 여부에 따른 무기물 흡착 변화



시편 부착 1주후 근접사진 (washing)



시편 부착 1주후 근접사진 (non-washing)