

## 플라스틱필름 지붕피복제 세척장치 개발을 위한 기초연구

박규식 · 이기명 · 김정민

경북대학교 농업기계공학과

Development of a Cleaning Machine for plastic film Roof

Park Kyu-Sik, Lee Ki-Myung, Kim Jung-Min

Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Kyungpook National University

### Abstract

The alternation of light transmissivity of covering films used in most greenhouses over years become of concern. Recently, durable films over 0.1mm in thickness which having 3~5 years life time were popularly used in many greenhouses. However, the films have been replaced yearly with new ones because of lowering light transmittance. The replacement caused negative environmental impact as well as cost increasement.

This study was conducted to find fundamental data for developing of a cleaning machine for covering films of greenhouses.

Key words : plastic film, film cleaning, cleaning machine

### 1. 서 론

우리나라의 시설원예면적은 1990년에 26,992ha였으나 1994년에는 41,661ha로 년 평균 18%의 증가추세를 보이며 일본의 50,182ha에 이어 세계에서 두 번째의 시설

원예국가가 되었다<sup>2, 3)</sup>. 시설원예는 농가의 소득증대에 크게 이바지하였으며, 노지재배가 불가능한 시기에도 채소류와 화훼류 등을 주년 생산할 수 있게 됨에 따라 이들에 대한 기호와 소비에 대한 고정관념과 국민의 생활 방식까지 변화시켰다. 시설원예의

발달은 온실 피복재와 밀접한 관계가 있는데 1950년대 폴리에틸렌(PE)필름이 생산된 이래 1960년대 폴리염화필름(PVC)필름의 개발, 그리고 1980년대 초산필름(EVA)필름이 생산 보급되면서 시설원예도 급속도로 발달하여 왔다<sup>10)</sup>. 시설원예의 유형을 보면 농촌 노동력의 감소와 국제 경쟁력강화를 위하여 1992년부터 정부의 보조지원사업으로 시설현대화사업이 시행되어 노동집약에서 자본, 기술집약형 유리온실 및 자동화 플라스틱 필름온실로 시설원예가 변화되고 있으며, 또한 피복재별 설치 비율을 살펴보면 PC, PET 등 경질판 온실이 0.1%, 유리온실이 0.2%, 기타 온실이 0.1%로 아직까지는 파이프-플라스틱 필름온실이 99.6%로 거의 대부분을 차지하고 있다<sup>4, 7, 10)</sup>. 온실의 외피복용으로 쓰이는 필름은 그 경시적 변화뿐만 아니라 필름에 먼지 등의 물질로 인하여 심하게 오염되어 온실내의 광투과율을 떨어뜨리며, 이는 작물의 생산성과 농산물의 품질을 크게 감소시키는 요인이 되고 있다<sup>11)</sup>.

표 1에 피복재의 종류에 따른 광투과율의 연도별 변화를 나타내었는데 대부분의 온실 피복재가 설치 초기에는 거의 90%이상의 광투과율을 보였으나 사용기간이 경과할수록 특히, 파이프-플라스틱 필름 온실에 가장 많이 사용되는 연질필름의 경우는 경질 필름에 비하여 사용기간에 따라 광투과율의 저하가 매우 심함을 알 수 있다<sup>12, 14)</sup>. 일반적으로 많이 사용되는 PE필름의 경우 초기의 광투과율이 92%에서 1년 사용후에는 76%, 2년 사용후에는 74%로 1년 정도가 지나면 작물에 장애를 미칠 정도의 광투과율의 저하를 보이고 있다. 여러 문헌에서 조사한 바에 의하면 온실내의 조도는 맑은 날의 온실 바깥과 비교하여 60~80%정도이며 일사량도 50~70%정도로 밝혀져 광투과율이 매우 저조함을 알 수 있었다<sup>14)</sup>.

필름의 표면에 부착된 먼지 등의 불순물은 눈, 비 등으로도 잘 씻겨 내려가지 않으며 온실내의 광투과율을 저하시키게 되는데 조도가 작물에 미치는 영향을 보면 100% 조도, 80% 조도, 50% 조도로 광을 제어하고 파종 후 75일의 토마토묘의 생육상태를 알아 본 결과 크기는 각각 30.4, 29.4, 24.8cm 이고, 무게는 각각 40.1, 37.8, 20.6g으로 100% 조도일 때 가장 좋은 생육상태를 보인다는 것이 판명되었다<sup>14, 15)</sup>.

따라서 광투과율을 회복한다면 작물의 생육뿐만 아니라 과실의 당도 및 선택 등에도 영향을 미치게 되어 품질향상을 도모할 수 있게 될 뿐만 아니라 증수효과도 가져오게 되는 것이다. 이러한 생산성의 향상을 위하여 국내에서 생산보급되는 온실용 비닐의 경우 수명이 3~5년인데도 불구하고 현재 농가에서는 매년 필름을 교체하고 있는 실정이다.

그러나 피복필름을 교체하는 경우는 자재비나 인건비 등을 고려할 때 평당 7천원 정도가 소요되며 이는 300평(1,000m<sup>2</sup>)온실을 기준으로 할 때 약 200만원이 소요되어 경제적으로 많은 부담이 되며 필름을 교체하는 동안에는 작물을 재배하는 것이 불가능하여 고가의 시설비가 투자된 온실의 효율이 낮아진다. 또한 폐필름이 점차 증가하게 되는데 폐기물의 처리부담과 환경오염이라는 또 다른 문제도 야기시키게 된다. 최근 토양이나 빛에 의해 분해되는 필름이 생산되기는 하지만 수명이 1년 정도이며 값도 일반 필름의 세배이상 고가이기 때문에 농가에서 사용하기에는 부담이 큰 것이 사실이다<sup>4, 7)</sup>.

한편 필름을 세척함으로써 필름 표면에 부착된 불순물들을 제거하여 광투과율을 회복하는 방법이 있는데 최근에 들어와서 자동화 플라스틱 온실의 보급, 고정 온실 면적

Table 1. Light transmittance of covering material by annual transition

materials	thick ness (mm)	begin year	light transmittance ( % )													remark	
			f	8m	1y	2y	3y	4y	5y	6y	7y	8y	9y	10y			
soft PVC film	A	0.1	1974	92	81	76	74										spinning treatment
	B	0.1	1974	92	81	76	74										"
	C	0.1	1974	92	88	80	77										spinning and dust proof
PE film	A	0.1		92	81	76	74										
hard PVC	A	0.1	1974	92	91	89	86	87	86								
	B	0.15	1977	93	-	89	88	85	86	84	79	89					
PET	A	0.175	1977	92	-	85	87	86	84	81	78	79					
PVC sheet	A	1.0	1974	89	88	86	84	84	85	84	83	61	81				
FRP sheet	A	0.7	1974	89	88	85	81	78	71	61	52	43	43				
	B	0.8	1974	86	85	84	82	82	81	80	77	75	71	68	75		
	C	0.7	1977	90	-	86	85	81	77	68	66						
	D	0.8	1979	88	-	85	84	77	68	70							
FRA sheet	A	0.8	1974	91	90	89	86	86	83	81	75	69	69	59	58		
	B	0.6	1976	91	-	87	85	83	76	72	67	60	62				
	C	0.7	1977	92	-	86	85	77	71	67	61						
	D	0.8	1979	90	-	88	86	84	79	78							
MMA sheet	A	1.8	1980	92	-	90	88	89	90								
	B	1.0	1980	92	-	90	88	88	88								
PC sheet	A	0.7	1980	91	-	86	83	71	85								

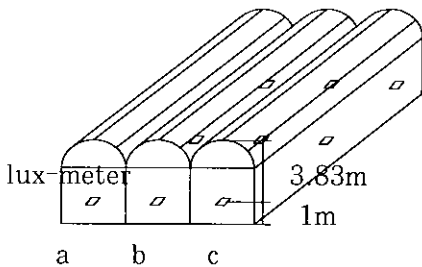
의 증가 및 과채류의 장기재배 작부체계가      림의 수요가 창출되어 기존에 사용되던  
 도입되면서 내구성이 있는 장기 피복성 필      0.05~0.06mm 두께의 얇은 단기성 재배

필름에서 0.1mm 이상의 장기성 재배를 위한 연질 필름이 농가에서 대부분 사용하고 있는데 필름의 품질도 꾸준히 개선되어 필름의 내구연한이 3~5년 이상으로 생산하고 있는 실정이므로 필름의 수명만큼 사용할 수 있게 되어 자재비와 인건비를 절감할 수 있을 뿐만 아니라 환경을 보전하는 데에도 일익을 담당할 수 있는 것이다.

따라서 본 연구는 플라스틱 온실의 피복재를 세척할 수 있는 세척기의 개발을 위하여 온실의 광투과율을 측정하고 기초실험장치를 통하여 피복재에 따른 세제의 종류와 세제의 농도, 브러쉬의 회전속도, 세척 방법별의 세척효과 등을 실험하여 기계 세척장치의 설계에 있어서 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용연수별 광투과율 변화



- a : After installation
- b : After 10 months
- c : After 32 months

Fig. 1 Light transmittance measurement of covering material

온실피복 필름의 사용연수별 광투과율의 변화를 알아보기 위하여 현장에서 직접 광투과율을 측정하여 보았다. 측정에 이용된

공시온실은 국내에 가장 많이 보급되어 있는 표준 파이프-플라스틱필름 온실(1-2W)형 3연동 온실이며, 1동의 폭이 7m이고 길이는 48m이며 0.1mm 삼중 EVA필름으로 피복하였고 측정도구는 조도계(lux-meter DX-100, INS社)로서 측정범위는 0~200,000lux이다.

온실에 있어서 피복재의 사용기간에 따른 광투과율의 변화를 알아보기 위해 먼저 피복재를 설치하기 전 필름아래 10cm면에서 조도계(Luxmeter)를 사용하여 광투과율을 조사하고 그림 1과 같이 피복재를 온실에 피복하여 피복직후의 필름 광투과율과 10개월이 경과된 필름의 광투과율, 32개월이 경과된 필름의 광투과율을 중앙부의 지상 1m 높이에서 3개소 측정하여 평균값으로 하였다.

### 2. 세제별 세척효과

먼저 세제의 종류별, 필름의 종류별 세척효과를 알아보기 위하여 손세척 실험장치를 구성하였다(그림 2).

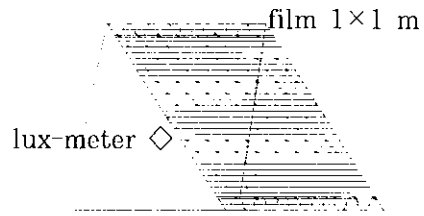


Fig. 2 Test device for hand cleaning

파이프 골격의 패드 위에 사철로 공시필름을 고정한 후 3가지 종류의 세제를 사용하여 실험을 하였으며, 공시재료는 10개월 경과된 0.1mm PE필름과 32개월 경과된 0.1mm EVA필름을 사용하였고 세제의 종류는 일반적으로 가정에 사용되고 있는 약알칼리성 세제인 한스푼, 홈스타와 중성세제인 참그린을 사용하였다. 손세척 실험장치에

서 세척전에 먼저 공시필름의 광투과율을 조도계로 측정하고 물세척(물만을 분사하여 세척)과 세제사용의 2가지의 경우를 비교하였는데 물세척은 1분 동안 물만을 분사하며 세제를 사용할 경우에는 50초 동안 세제를 사용하고 10초 동안 물을 분사하였으며 깨끗한 천으로 원형으로 회전시키며 세척을 한 후, 필름을 통과한 광투과율을 조도계로 측정하였다.

### 3. 브러쉬의 회전속도와 세제의 농도에 따른 세척효과

세척브러쉬의 적정 회전속도와 적정 세제 농도를 선정하기 위하여 그림 3과 같은 기계세척 실험장치를 구성하였다. 브러쉬의 회전속도를 최고속도인 350rpm에서부터 250rpm, 120rpm의 3가지로 구분하였고 세제의 농도는 물과의 비를 1:1,000, 1:500, 1:100의 3가지로 구분하였다. 기계세척 실험장치는 기계세척장치에 부착된 세척브러쉬가 회전을 할 때 상대속도에 의하여 세척브러쉬가 전진하는 것과 같은 효과를 낼 수 있도록 시험필름이 부착된 프레임(1.5m×0.8m)을 레일 위에서 이동할 수 있도록 장치를 구성하였으며, 실험방법으로는 먼저 필름을 투과하기 전의 조도를 측정하고 필름을 통과한 조도를 측정한 후 전처

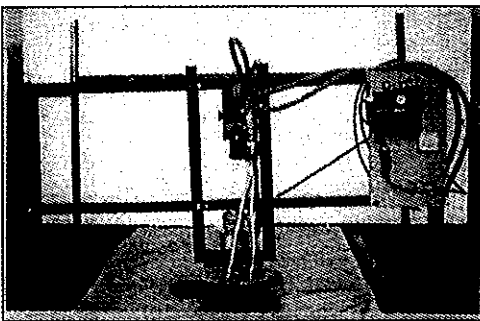


Fig. 3 Photograph of the test device for mechanical cleaning

리 물 분사, 세제 분사, 후처리 물 분사의 순서로 세척을 한 후 다시 조도를 측정하였고, 광투과율은 필름을 투과하기 전의 조도에 대한 세척후 조도의 비로써 나타내었다. 실험결과는 SAS 프로그램을 이용하여 Duncan의 식으로써 유의성검증을 하였다.

### 4. 세척장치의 한계하중 선정

플라스틱 필름온실의 세척장치에서 세척과 이동을 위한 지지의 방법으로는 2가지를 생각해 볼 수 있는데 온실골격과 물받이를 이용하는 것과 필름위에 직접 부착되어 필름을 세척하는 것이다. 필름의 강도는 초기 생산할 때와는 달리 시간의 경시적인 변화에 따라 점차적으로 낮아지게 되는데 필름 면위에서 지지될 경우, 작업기가 어느 정도의 무게까지 허용되는지 한계무게를 산정하고자 기본 프레임위에 36개월된 EVA필름을 클립으로 고정한 후 지름이 다른 디스크 위에 여러 가지 무게의 추로 부하를 가하여 필름이 손상을 입지 않는 추의 무게와 필름이 파괴될 때까지의 무게를 측정하여 보았다.

### 5. 세척후 필름의 손상 규명

세척장치로 시험을 한 후 세척정도와 필름의 손상정도를 알아보기 위하여 새필름, 세척전 필름, 세척후 필름을 공시재료로 하였고, 세척전, 세척후 필름은 세척속도를 0.1m/s, 0.05m/s, 0.02m/s로 하였다. 100mm×100mm로 각각 공시 필름을 채취하여 광학현미경을 통해 배율 160배로 관찰하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 사용년수별 광투과율 변화

온실에 설치하기 전의 필름은 광투과율이

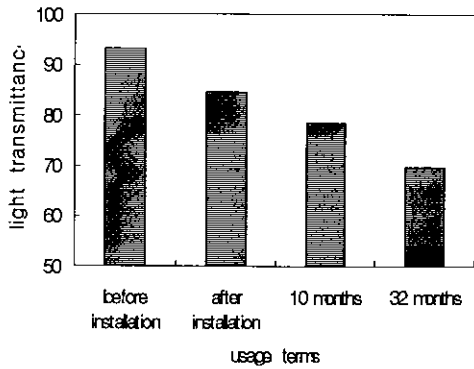
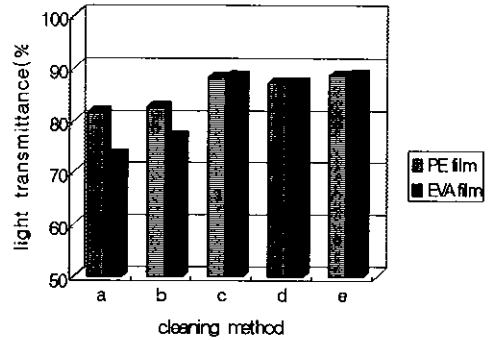


Fig. 4 Transition of light transmittance in the film

93.35%로 매우 양호하였으나 이 필름을 온실에 설치한 직후에 광투과율을 측정하여 본 결과 약 9%정도 감소한 84.68%였다 (그림 4). 이는 온실의 골조와 지표면의 반사 그리고 필름을 통과한 광의 산란에 의한 것으로 판단되며 10개월이 경과된 필름의 광투과율은 78.42%, 32개월이 경과된 필름의 광투과율은 69.73%로 온실에 설치한 후 사용기간의 경과에 따라 광투과율이 현저히 저하하는 것을 알 수 있다.

## 2. 세제별 세척효과

그림 5에 세제별 세척효과를 나타내었는데 PE필름에서는 세척전의 광투과율이 81.33%이던 것이 물세척에서는 광투과율이 82.38%로 세척의 효과가 별로 나타나지 않았으며, 약알칼리성 세제인 한스푼, 홈스타에서는 광투과율이 각각 88.07%, 88.47%로 향상되어 매우 좋은 세척효과가 나타났으며, 중성세제인 참그린에서도 86.98%의 좋은 광투과율이 회복되었다. 또한, EVA필름에서도 세척전의 73.38%에서 물세척의 경우 79.69%, 한스푼, 홈스타의 세제를 사용한 경우 각각 88.33%, 88.56%의 광투과율을 나타내었고, 참그린은 86.84%



- a : before cleaning
- b : water cleaning
- c : alkaliescent detergent A
- d : neutral detergent
- e : alkaliescent detergent B

Fig. 5 Cleaning effects by the detergent

로 PE필름과 같은 경향의 세척효과가 나타났다. 따라서 물만으로 세척하는 것은 만족할 만한 세척효과를 얻을 수 없기 때문에 세제를 사용하여 세척하는 것이 효과적인 세척방법이라고 판단되며, 세제의 종류는 환경면을 고려하여 중성세제를 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

## 3. 브러시의 회전속도와 세제의 농도별 세척효과

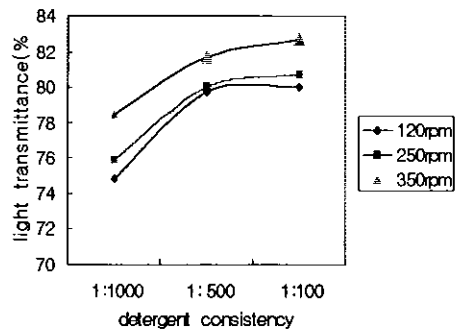


Fig. 6 Cleaning effects of the RPM

그림 6에 세척 브러쉬의 회전속도에 따른 세척효과를 나타내었다. 세제의 농도가 1:1,000인 경우 350rpm에서 78.58%, 250rpm은 76.02%, 120rpm에서 74.80%의 광투과율을 나타내었다. 이 경우 유의성 검증 결과는 120rpm에 비하여 350rpm일 때 세척효과가 좋았으나 250rpm과 350rpm 간의 세척효과의 차이가 없는 것으로 나타났다. 세척농도가 1:500인 경우 브러쉬의 회전속도가 350rpm, 250rpm, 120rpm으로 변함에 따라 81.64%, 80.06%, 79.76%의 광투과율을 나타냈고 1:100인 경우는 각각 82.68%, 80.62%, 79.94%의 광투과율을 나타냈다. 1:500, 1:100의 세제농도에서는 rpm의 변화에 따른 세척효과에 유의성이 없는 것으로 나타났는데 이는 세제의 농도가 옅은 경우 브러쉬의 회전속도가 세척효과에 영향을 미쳤으나 세제의 농도가 진한 경우에는 회전속도의 변화가 세척효과에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

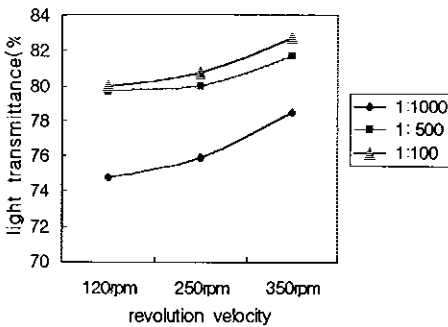


Fig. 7 Cleaning effects of the detergent consistency

또한 세제의 농도에 따른 세척효과를 보면 그림 7과 같이 1:1,000, 1:500, 1:100로 세제의 농도가 짙어짐에 따라 세척효과가

증가하는 경향을 나타내었다.

Duncan식에 의한 유의성 검증 결과는 1:1,000의 농도보다 1:100에서 세척효과가 좋게 나타났으며 1:500의 농도와 1:100이 농도에서는 세척효과의 차이는 보이지 않았다. 이 2가지의 경우에는 1%이내의 세척효과의 차이를 보이고 있으며 따라서 경제적인 면을 고려하여 1:500의 세제농도가 적당하다고 판단된다.

#### 4. 세척장치의 한계하중 규명

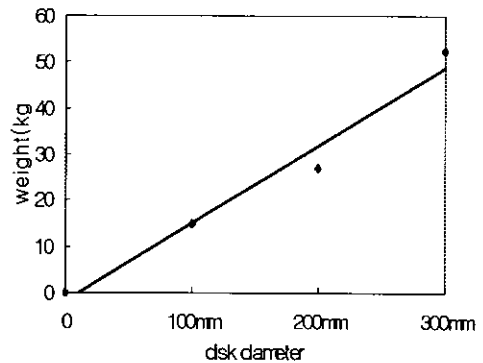


Fig. 8 Rupture weight of the film

최대 사용연한을 3년 정도로 보아 공시재료를 36개월 사용한 필름으로하여 실험을 한 결과는 그림 8과 같다. 디스크의 직경에

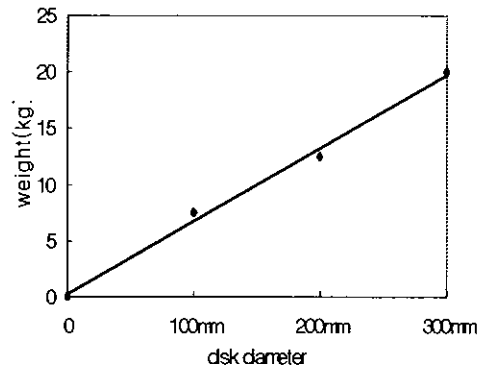


Fig. 9 Safety weight of the film

다른 필름의 파괴하중을 보여주고 있는데 직경이 100mm, 200mm, 300mm로 커짐에 따라 필름의 파괴하중이 14.8kg, 27.2kg, 52.3kg으로 선형적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만 필름이 파괴되지 않는다 하여도 필름에 변형이 발생하지 않도록 하기 위하여 무리가 가지않고 원상태로 회복되는 안전하중을 구해보았다(그림 9).

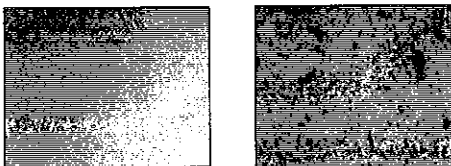
디스크직경의 변화에 따라 각각 7.5kg, 12.5kg, 20kg의 값을 보였으며 이 경우에도 선형적인 증가경향을 나타내었다. 이 안전하중의 값으로써 필름위에서 작업을 할 경우 세척장치의 한계 무게를 산정할 수 있다.

#### 5. 세척후 필름의 손상 규명

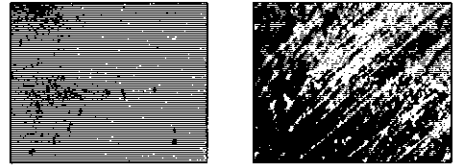
필름의 종류를 크게 사용전 필름, 세척전의 필름, 세척후의 필름으로 구분하고 세척전에 비하여 세척후에 필름의 표면의 손상 여부를 160배의 광학현미경으로 촬영한 사진을 그림 10에 나타내었다.

그림에서 보듯이 (a)는 사용전, (b)는 36개월 사용한 필름의 세척전의 상태, (c)는 (b)의 필름을 세척한 후의 상태를 나타내고 있다.

새필름의 표면상태가 매우 깨끗한 것에 비하여 세척전의 필름은 수많은 오염물로 인하여 표면상태가 매우 불량한 것을 볼 수 있으며 세척한 후의 필름 (c)의 상태를 보면 비교적 많은 오염물들이 제거된 것이 보인다.



(a) before use (b) before cleaning



(c) after cleaning (d) deterioration

Fig. 10 Observation of the film surface

세척속도 0.1m/s, 0.05m/s 일 경우 (c)와 같이 비교적 양호한 비닐표면을 나타내었으며 세척속도 0.02m/s 일 경우에는 (d)와 같은 비닐의 손상이 나타났다. (d)의 표면상태는 세척과정에서 세척장치와 필름의 마찰력이 커져서 필름의 표면이 손상된 것을 보여주는데 기계세척장치의 실험에서 브러쉬와 필름의 표면이 과도하게 밀착된 경우와 필름의 세척시간이 지연된 경우에서 볼 수 있었다. 필름의 세척 후에도 일부 오염물들이 보이는 것은 필름의 안쪽면에 부착된 오염물이며 통상 바깥쪽의 오염물보다 적다는 것을 (b)의 표면상태와 비교함으로써 알 수 있다.

#### IV. 적 요

대부분의 시설원에 농가에서 사용하고 있는 플라스틱 온실의 외부피복용 필름은 경시적 변화에 따라 광투과율이 점차 낮아져 작물의 생산성을 크게 감소시키는 원인이 된다. 최근 강도면으로는 3~5년 수명의 필름을 광투과율의 저하 때문에 매년 교체하여 경제적인 손실은 물론 폐비닐 등 환경문제의 발생도 크다. 따라서 본 연구는 플라스틱 온실의 필름을 세척함으로써 광투과율을 회복시키는 세척장치를 개발하기 위한 기초 자료를 얻기 위하여 수행되었다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.



1. 플라스틱 온실의 피복재로 사용되는 필름의 광투과율은 경시적인 변화에 따라 점차 낮아져 EVA필름의 경우 설치전의 93.3%에서 10개월이 경과하면 78.4%, 32개월 경과후에는 69.7%로 현저하게 저하된다.
2. 필름을 세척할 경우 물세척보다 세제를 사용하는 것이 5% 정도 세척효과가 좋았으며 또한 세제도 환경을 고려하여 중성세제를 사용하는 것이 바람직하다.
3. 브러쉬의 회전속도를 120rpm, 250rpm, 350rpm으로 변화시켰을 때 세제의 농도가 옅을 경우는 회전속도가 빠를수록 세척효과가 증가하나 세제의 농도가 짙을 경우는 회전속도에 따른 세척효과의 차이가 보이지 않았다.
4. 세제의 농도를 물과 1:1,000, 1:500, 1:100으로 혼합하여 사용하였을 경우 농도가 짙을수록 세척효과가 증가하는 경향을 나타내지만 1:500과 1:100의 경우 세척효과는 1% 이내로 세척효과의 차이를 보이지 않아 경제적인 면을 고려하여 1:500의 세척농도가 적당하다고 판단된다.
5. 필름면에 접촉하는 디스크의 직경이 클수록 필름의 파괴하중은 증가하며 필름이 원상회복하는 안전하중은 36개월 사용한 EVA필름의 경우 디스크의 직경을 100mm, 200mm, 300mm로 변화시켰을 때 각각 7.5kg, 12.5kg, 20kg으로 선형적인 증가경향을 나타내며 이로써 세척장치의 한계하중을 설정할 수 있다.
3. 농림수산부 : 1995, 채소 생산 실적, pp. 89.
4. 박상근 : 1988, 우리나라 원예시설의 현황과 문제점, 시설원예연구 1(1), pp. 3-11.
5. 이기명 : 1997, 플라스틱 온실의 피복재 자동 세척장치 개발, '97 농업 특정 연구 개발사업 추진과제 1년차 결과 보고서
6. 이기명 : 1995, 시설원예용 기계·설비 자동화 기술
7. 이용범 : 1996, 국내 원예시설용 피복자재의 현황과 전망, 시설원예 연구 9(1), pp. 1-14.
8. 이해방 : 1996, 시설원에 피복자재의 특성과 개발 방향, 시설원예연구회 '96 춘계세미나, pp. 61-73.
9. 장유섭 : 1996, 시설온실용 연질필름의 물리적 특성에 관한 연구, 생물생산시설 환경학회지 5(1), pp. 23-33.
10. 정철수 : 1996, 농업용 피복자재의 생산동향과 전망, 시설원예연구 9(1), pp. 65-74.
11. 정현교 : 1996, 경북지역의 현대화 원예시설의 관리실태 조사분석, 경북대학교 석사학위 논문
12. 한국농자재산업협의회 : 1996, 피복자재, 농업생산자재총람
13. 日本施設園藝協會 : 1987, 시설원예 핸드부ック
14. 日本施設園藝協會 : 1992, 施設園藝における 被覆資材導入 の 手引, pp. 1-62.
15. 日本施設園藝協會 : 1994, 新園藝育苗システム
16. Paul V. Nelson : 1995, Greenhouse Operating and Management, Prentice-hall INC, pp. 44-76.

## V. 참고문헌

1. 권영삼 : 1995, 원예시설유형별 특성과 활용방안, 시설원예연구 8(1), pp. 47- 56.
2. 농림수산부 : 1995, 농림수산물주요통계, pp. 88-95.