

## 온실용 알루미늄 코팅 다겹 보온커튼의 트라이볼로지적 특성에 관한 분석

Analysis of tribologic characteristic for Aluminium-coated and  
Multi-layered Insulating Curtains on Greenhouse

강민우<sup>1</sup>, 박진규<sup>2</sup>, 양지웅<sup>1</sup>, 이명관<sup>1</sup>, 최원식<sup>1\*</sup>

Min-Woo Kang<sup>1</sup>, Jin-Gyu Park<sup>2</sup>, Ji-Woong Yang<sup>1</sup>, Myeong-Gwan Lee<sup>1</sup>, Won-Sik Choi<sup>1\*</sup>

### 〈Abstract〉

A key role of insulating curtains on greenhouse is the transmission of radiant energy from sun and the conservation of heat energy in greenhouse. Durability of curtains is mainly affected by various external factors that cause deformation and friction. Therefore, understanding on tribologic characteristic of covering materials is essential to prevent abrasion. The purpose of this study is finding optimal condition that can minimize the friction coefficient of materials. In this study, Pin-on-disk tribo-test is conducted to measure the friction coefficient with different applied load and sliding speed. The result shows that as the applied load increases, the friction coefficient also show a increasing tendency and when applied load is under 6N, there was no meaningful changes in friction coefficient. In addition, the largest friction coefficient was recorded at the point of 10N and 0,06 m/s.

*Keywords : Tribology, Insulating Curtain, Greenhouse, Pin-on-disk*

---

1 바이오산업기계공학과, 부산대학교

2 (주)정일글로벌

1\* 교신저자, 바이오산업기계공학과 교수, 부산대학교

E-mail: choi@pusan.ac.kr

1 Department of Bio-industrial Machinery Engineering, Pusan National University, Korea

2. JEONG-IL GLOCHEM CO.,LTD.

1\* Department of Bio-industrial Machinery Engineering, Pusan National University, Korea

### 1. 서론

하우스 시설원예는 외부의 환경요인을 차단하여 시설 내 재배환경을 인위적으로 조절하여 생물자원을 생산하는 산업이다. 피복제는 온실 내외부의 환경을 물리적으로 구분하는 역할을 하는데 유리와 플라스틱 필름이 주로 사용된다. 경제적인 측면에서 유리보다는 플라스틱 필름이 유리하여 오늘날 많은 농가에서 이를 채택하고 있다. 특히, 국내의 경우 1960년대 국산 PE필름이 생산되기 시작하여 농업용으로 보급되면서 본격적으로 시설원예산업이 시작되었다 [1]. 1970년대 3,727 ha 이던 시설원예면적은 1990년대에 들어 약 10배인 39,994 ha로 증가하였으며, 2015년도에는 61,330 ha의 규모로 증가하였다. 이러한 증가세에 힘입어 원예시설의 피복제의 개선에 관한 관심 또한 증가하게 되었다. 온실의 피복제는 햇빛을 투과시켜 온실 내부에 열에너지를 공급하고, 공급된 열에너지의 외부로의 유출을 차단하는 역할로, 높은 광투과도와 낮은 열전도도가 요구된다. 피복제의 보온성이 떨어질수록 시설원에 지출에서 높은 비중을 차지하고 있는 난방비를 절감할 수 있어 경제적인 효과 또한 크기에 관련된 많은 연구가 선행되었다. 온실 내의 열을 유출을 방지하기 위해 다겹으로 피복제를 구성한 다겹 보온 커튼의 개념이 도입되었고, 실용화되어 널리 이용되고 있다. Lee 등 [2]은 다겹 보온소재와 기존의 부직포 및 알루미늄스크린 등의 보온소재의 보온성을 비교하여 다겹 소재의 우수한 보온성을 검증하였다. Jin 등 [3]은 다겹보온커튼의 조합에 따른 열성능을 비교 분석하였다. Yun 등 [4]은 다겹보온커튼의 설치 방법의 차이에 따른 난방에너지 소비량을 비교하였다. Jin 등 [5]은 실리카 에어로겔을 이용한 다겹보온커튼의 온실 난방 특성을 분석하였다. 이처럼 기존의 다겹보온커튼 관련 연구

의 주된 관심사는 보온성에 직결하는 자재의 열성능이었다. 온실의 피복제를 선정할 때, 내구성 역시 고려되어야 한다. 내구성은 피복제의 수명 및 기능성을 좌우하는데, 다양한 외부요인에 의한 영향을 받는다. Chang 등 [6]은 하우스의 시공시 보온커튼제의 신장변형과 연속사용시의 신장변형 파손에 주목하여 공시재료 종류별 신장률 등 물리적 특성에 대한 분석을 하였다. 피복제의 경우 외력에 의한 신장변형도 작용하지만, 마찰력에 의한 마멸도 발생하게 되는데, 이와 관련된 연구는 미비한 실정이다.

트라이볼로지(Tribology)는 접촉하는 두 개 이상의 물체 표면 사이에서 발생하는 물리, 화학적 상호작용을 연구하는 학문으로, 마찰 운동이 발생하는 표면의 마찰, 마멸 그리고 윤활에 대해 중점을 둔다. 기계 부품의 마찰계수는 부품의 내구성



Fig. 1 Al-coated insulating curtain on disk.

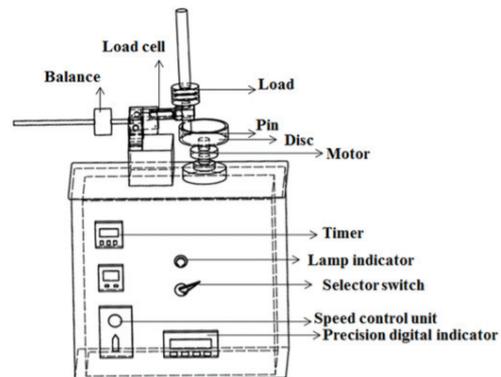


Fig. 2 Drawings of pin-on-disk device

및 수명에 직결하는 관계로, 베어링 등 마찰 운동이 활발히 발생하는 부품 위주로 트라이볼로지 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구의 목적은 알루미늄 코팅이 된 다겹 보온커튼에 대한 Pin-on-disk식 트라이볼로지 실험을 통해 마찰계수를 최소화시킬 수 있는 조건을 찾는 것이다.

## 2. 실험재료 및 실험방법

### 2.1 실험재료

본 실험에서는 (주)정일글로벌과 부산대학교의 합작으로 개발된 알루미늄 코팅 피복제를 활용하였다. Fig. 1은 실험용 디스크 상부에 피복제를 부착한 모습이다.

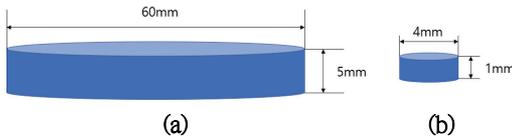


Fig. 3 Sizes of (a) Disk and (b) Pin

Pin-on-disk 실험장치는 Fig. 2과 같이 구성되어 있으며 실험에 사용된 디스크와 핀의 규격은 Fig. 3에 명시하였다. 디스크와 핀 모두 강철 재질로 표면 거칠기는  $0.5 \mu\text{m}$ 이다.

### 2.2 실험변수

본 실험에서는 Table. 1과 같이 핀에 작용하는 하중과 시편의 미끄럼 속도가 변수이다. 하중의 경우 2 N 추들을 활용하여 최대 10 N 까지 부하를 주었고, 미끄럼 속도의 경우 디스크 하단에 부

Table 1. Test Parameters

Parameters	Condition
Contact type	Pin on disk
Velocity (m/s)	0.06, 0.10, 0.14, 0.18, 0.22, 0.26, 0.30, 0.34
Load (N)	2, 4, 6, 8, 10

착된 모터의 속도를 컨트롤 박스를 통해 최대 0.34 m/s까지 제어하였다.

### 2.3 실험방법

본 실험은 American Society for Testing and Material(ASTM) 표준 G99-7에 명시되어 있는 방법에 의거하여 진행되었다. 실험실 온도는  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 설정하였다. 디스크와 핀 모두 아세톤이 담긴 초음파 세척기로 5분여간 세척하여 표면상의 이물질을 제거한 후 건조시켰다. 다음, Fig. 1과 같이 디스크 표면에 알루미늄 코팅 피복제를 부착하였다. Fig 3.과 같이 디스크와 핀을 위치시킨 후 하중으로 2N의 추를 추가하여 모터 속도를 가장 빠른 속도인 0.34 m/s로 맞추었다. 순서대로 Table. 1에 명시된 속도로 마찰력을 측정하였고, 최저속도인 0.06 m/s 구간의 실험을 완료한 후에는 하중을 2 N 증가시켜 다시 최대속도로 설정하였다. 같은 방법으로 하중을 10 N까지 늘려가며 실험을 진행하였다.

### 2.4 마찰분석

Fig. 4에서 W는 추에 의한 하중을,  $\omega$ 는 변수로 설정된 각속도를 나타낸다. R은 디스크 시편의 반지름을 나타낸다. 고정된 핀 하단에 접촉해있는 디스크 시편이 설정된 속도에 따라 회전하면서 접촉면에 미끄럼 마찰력이 발생하게 된다. 디스크

상에 작용하는 비틀림력  $F_{app}$ 는  $F_t$ 와 같다. 정마찰력  $F_c$ 는  $F_t$ 의 반대 방향으로 작용한다.  $F_t$ 와  $F_c$ 의 차는 알짜힘  $F_{net}$ 이다.  $F_{net}$ 은 접촉력  $F_{tf}$ 와 같게 된다. [7]

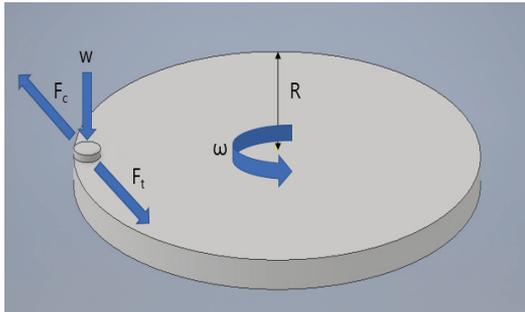


Fig. 4 Forces operating in the test

$$F_t = F_{app} \tag{1}$$

$$F_c = \mu_s W \tag{2}$$

$$F_t - F_c = F_{net} \tag{3}$$

$$F_{net} = \mu_d W \tag{4}$$

$$F_{net} = F_{tf} \tag{5}$$

$$\mu = \frac{F_{tf}}{W} \tag{6}$$

식 (6)으로부터 최종마찰계수  $\mu$ 가 산출된다.

### 2.5 통계처리

본 실험은 5개의 하중변수와 8개의 속도변수로 인해 총 40회차에 걸쳐 진행되었다. 각 회차는 5분씩 진행되는데, 1초에 한 번씩 프로그램에 의해 마찰계수 수치가 자동수집되어 한 회차 당 300개의 수치가 수집된다. 각 회차의 대푯값으로써 Average 값을 채택하였으며, MATLAB R2020b 프로그램을 통해 데이터를 도식화했다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Table 2. Pin-on-disk tribo-test result data

	2 N	4 N	6 N	8 N	10 N
0.06 m/s	0.2225	0.3569	0.5344	0.9666	1.2509
0.10 m/s	0.2148	0.3342	0.4562	0.7311	0.7695
0.14 m/s	0.2222	0.3392	0.4682	0.5560	0.6642
0.18 m/s	0.2262	0.3563	0.5112	0.5561	0.6720
0.22 m/s	0.2170	0.3004	0.4764	0.5000	0.6070
0.26 m/s	0.2274	0.3221	0.5166	0.5417	0.6376
0.30 m/s	0.2431	0.3242	0.5093	0.5799	0.6744
0.34 m/s	0.2392	0.3402	0.4634	0.6208	0.7522

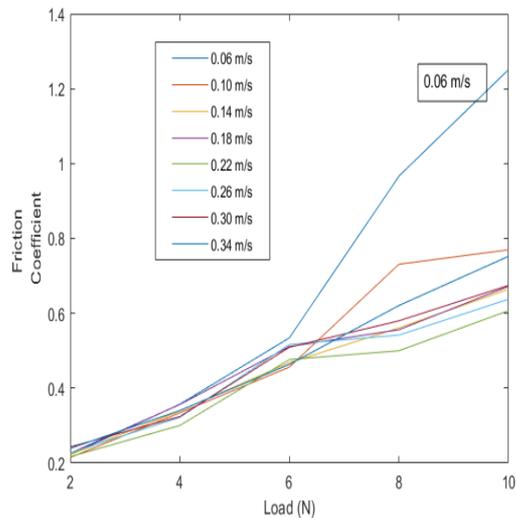


Fig. 5 Changes in Friction Coefficient with applied load

Fig. 5는 실험 하중에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 그래프이다. 하중이 증가할수록 마찰계수도 증가함을 보여주고 있다. 미끄럼 속도가 가장 낮은 0.06 m/s에서는 하중이 6 N 이하일 때는 다른 속도 조건일 때와 유사한 증가세를 보이지만, 8 N과 10 N의 하중이 작용했을 때는 각각 0.9666, 1.2509로 매우 가파른 증가세 및 가장

높은 수치를 보였다. 두 번째로 속도가 낮은 0.10 m/s 구간에서도 0.06 m/s 구간과 마찬가지로 작용 하중이 6 N 이하일 때는 마찰계수의 변화양상이 다른 속도 조건과 유의미한 차이를 보이지 않았지만, 8 N과 10 N이 작용할 때는 각각 0.7311, 0.7695로 0.06 m/s 조건에 이어 두 번째로 높은 마찰계수를 보여주었다. 0.14 m/s 이상의 속도 구간에서는 대체로 유사한 마찰계수 변화를 보였는데, 이 구간 중 8 N 및 10 N의 고하중 구간에서 가장 높은 마찰계수를 보인 속도 구간은 가장 속도가 높은 0.34 m/s 구간임을 확인할 수 있다. 모든 속도 구간에서 6 N 이하의 하중이 작용할 때는 비슷한 마찰계수를 보였으나, 8 N 구간부터 속도 구간 간 마찰계수의 격차가 심화되었다.

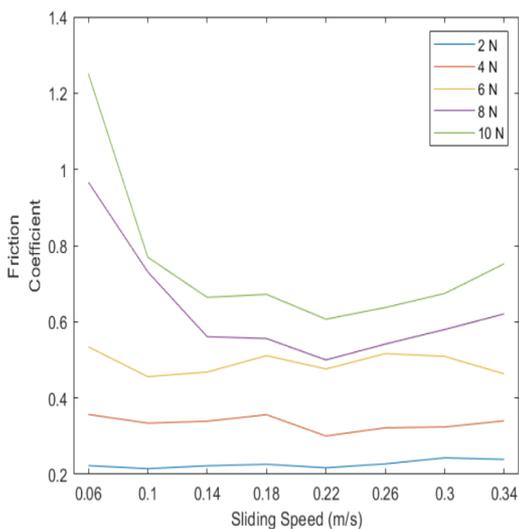


Fig. 6 Changes in Friction Coefficient with selected sliding speed

Fig. 6은 실험 미끄럼 속도에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 그래프이다. 가장 하중이 낮은 구간인 2 N 구간을 제외하고는 가장 저속인 0.06 m/s 구간에서 가장 큰 마찰계수를 보였다. 고하중

인 8 N, 9 N 구간에서는 0.22 m/s 구간까지는 마찰계수가 감소하거나 유지되는 모습을 보였고, 0.26 m/s 구간부터 재차 마찰계수가 증가하는 것을 보였다. 6 N 이하의 구간에서는 미끄럼 속도의 변화에 따라 마찰계수가 유의미한 수준으로 변화하지는 않았다. 실험 데이터 중 가장 높은 마찰계수를 보인 구간은 (10 N, 0.06 m/s) 구간이고, 가장 낮은 마찰계수를 보인 구간은 (2 N, 0.22 m/s) 구간이었다.

#### 4. 결론

본 실험에서는 온실용 다겹 보온 커튼의 알루미늄 피복제의 마찰특성을 Pin-on-disk Tribology test를 통해 분석하였다. 실험의 결론은 다음과 같다.

1. 피복제에 대한 작용 하중이 증가할수록 마찰계수 또한 증가하는 양상을 보였다.
2. 작용 하중이 10 N이고 미끄럼 속도가 0.06 m/s인 구간에서 가장 높은 마찰계수를 보였다. 또한, 가장 낮은 마찰계수를 보인 구간은 2 N, 0.22 m/s 구간이었다.
3. 작용 하중이 6 N 이하일 때는 미끄럼 속도의 차이에 의한 마찰계수의 유의미한 변화가 발생하지 않았다.

#### 사 사

본 논문은 부산대학교 기본연구지원 사업(2년)에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

- [1] 서대석, 시설원에 생산자재 산업의 현황과 발전방안, 한국농촌경제연구원 (1998).
- [2] 이시영, 김학주, 전희, 염성현, 남윤일, 임종구. 자동수평예인권취식 다겹보온 커튼에 의한 난방에너지 절감. 시설원에연구, 16(1), 1-6.(2003).
- [3] 진병옥, 김형권, 유영선, 이태석, 김영화, 오성식, 문종필 & 강금춘. 다겹보온커튼의 조합에 따른 열성능의 비교 분석. 한국기계기술학회지, 20(6), 763-769. (2018).
- [4] 윤남규, 백이, 전종길, 강금춘, 이시영, 다겹보온커튼 설치 조건별 난방에너지 소비량 비교. 한국농업기계학회 학술발표논문집, 16(1) : 359-362 (2010).
- [5] 진병옥, 김형권, 유영선, 이태석, 김영화, 오성식, 강금춘. 실리카 에어로겔을 이용한 다겹보온커튼의 온실 난방 특성 분석. 시설원에·식물공장, 29(4), 320-325. (2020).
- [6] 장유섭, 오권영, 김승희, 전종길, 강금춘, 정두호, 시설하우스용 보온커튼재의 물리적특성에 관한 연구. 한국생물환경조절학회 학술발표논문집, 4(2), 64-66. (1995).
- [7] Adiyanto, O., Pandu, S. P., & Choi, W, Tribological characteristics of SCM 440 bearing steel under gas and oil lubricant in the cylinder block tractor engine. Industrial Lubrication and Tribology, 70(8), 1361-1366. (2018).
- [8] 권순구, 권순홍, 김원경, 최원식, 그리스 윤활유의 종류에 따른 SCM44의 마찰특성. 한국산업융합학회 논문집, 23(6) : 917-926 (2020).
- [9] Wonsik Choi, Pandu Sandi Pratama, Jaeyoung Byun, Soonhong Kwon, Soongu Kwon, Jongmin Park, Jongssoon Kim, Songwon Chung... Tribology Characteristics of Hexagonal Shape Surface Textured Reduction Gear in Electric Agricultural Vehicle. 한국산업융합학회 논문집, 22(1), 47-54. (2019).
- [10] Nuruzzaman, D. M., Rahaman, M. L., Chowdhury, M. A., "Friction coefficient and wear rate of polymer and composite materials at different sliding speeds", Int. J. Surf. Sci. Eng. Vol. 6, pp. 231-245, (2010).
- [11] El-Tayeb, N. S. M., Yousif, B. F., Yap, T. C., "Tribological studies of polyester reinforced with CSM450-R-glass fibre sliding against smooth stainlesssteel counterface", Wear., Vol. 261, pp. 443-452, (2006).
- [12] Nuruzzanman, D. M., Chowdhury, M. A., Rahaman, M. L., "Effect of duration of rubbing and normalload on friction coefficient for polymer and composite materials", Ind. Lubr. Tribol., Vol. 63, pp. 320-326, (2011).
- [13] 김원경, 강민우, 양지웅, 이은숙, 신흥진, 박진규, 최원식, 알루미늄메쉬커튼과 2류체 포그시스템을 적용한 개방형축사의 에너지 절감시스템에 관한 연구. 한국산업융합학회 논문집, 23(6) : 1075-1080 (2020).
- [14] Wonsik Choi, Pandu Sandi Pratama, Destiani Supeno, Jaeyoung Byun, Ensuk Lee, Jihee Woo, Jiung Yang, Dimas Harris Sean Keefe, Maynanda Brigita Chrysta, Nicholas Nnaemeka Okechukwu, Kangsam Lee., Tribological Properties and Friction Coefficient Prediction Model of 200 $\mu$ m Surfaces Micro-Textured on AISI 4140 in Soybean Crusher. 한국산업융합학회 논문집, 21(5), 247-255. (2018)

(접수: 2021.03.05. 수정: 2021.03.24. 게재확정: 2021.03.26.)