

차량 덮개용 투명 필름 내후 시험에 따른 물성변화 연구

김지훈*, 김병순
국방기술품질원 전투물자센터

A Study on the Property Change of the Transparent Film for Vehicle Cover according to Weathering Test

Ji-Hoon Kim*, Byung-Soon Kim
Defense Agency for Technology and Quality, Combat Material Center

요약 본 연구에서는 군용 차량 덮개에 사용되는 고분자 투명 필름에 대한 내후 처리 후 광학적 특성에 대해 평가 및 분석을 진행하였다. 이를 위해서 군용 차량 덮개에 대부분 사용되고 있는 고분자 투명 필름 2종을 선정하여 내후 처리를 진행 하였다. 내후 처리는 KS K 0706에 명시된 내후 시험기를 사용하여 진행하였으며, 내후 처리 시간은 각각 0시간, 40시간, 160시간, 320시간으로 하였다. 내후 처리 이후 각 시간별로 내후 처리된 시료를 바탕으로 인장강도, 신도 및 열 분해 거동, 그리고 광학적 특성(광 투과율 및 흐림도)을 분석하였다. 분석 결과 2종 고분자 투명 필름 모두 처리 시간이 증가함에 따라 인장강도는 감소-증가-감소의 경향을 보이고 신도는 반대경향을 보임을 확인하였다. 또한 처리 시간이 길어질수록 열분해 온도가 점차 낮아지는 현상을 확인할 수 있었다. 마지막으로 광학적 특성의 경우 내후처리 시간이 길어질수록 투과율은 감소하고 흐림도는 증가하는 경향을 보였으나 일정 시간 이후에는 거의 유사한 변화거동을 보임을 알 수 있었다.

Abstract In this study, we evaluated and analyzed the properties of polymeric transparent films used in military vehicle covers according to weathering test. Two types of polymer films (Film A and Film B) that are mostly used for military vehicle covers were selected. The weathering treatment condition and tester are described in KS K 0706, and the following weathering times were tested: 0hour, 40hours, 160hours and 320 hours. The tensile strength, elongation and thermal decomposition behavior and optical characteristics were analyzed. The tensile strength tended to decrease - increase - decrease with increasing weathering treatment time in both transparent films. The thermal decomposition temperature gradually decreased. Regarding the optical property, the light transmittance decreased and the haze tended to increase. However, film A showed almost similar optical characteristics after 160-hour weathering treatment.

Keywords : Vehicle Cover, Weathering Test, Polymer, Transparent Film, Light Transmission

1. 서론

최근 고분자 재료로 이루어진 투명전극, 투명 트랜지스터 등 고분자 전자 재료가 각광을 받으면서 고분자 재료의 광학적 특성에 대한 재조명이 이루어지고 있다[1].

일반적으로 폴리에스터, 나일론 등 범용 고분자 재료는 그 자체적인 성능 중 광학적 성능이 우수하지 않은 것으로 알려져 있다[2]. 이런 재료의 광학적 성능은 재료가 갖는 고유의 특성이거나, 그 재료를 구성하는 고분자 사슬 배열에 의해 결정되는데 동일한 재료인 경우에도 고분자

*Corresponding Author : Ji-Hoon Kim(Defense Agency for Technology and Quality)

email: jhkim@dtaq.re.kr

Received May 22, 2019

Accepted August 2, 2019

Revised June 21, 2019

Published August 31, 2019

사슬 배열에 따라 그 광학적 성질이 달라지기도 한다[3]. 예를 들어 폴리비닐클로라이드는 범용으로 사용할 때는 불투명한 성질을 나타내지만, 성형할 때의 온도, 압력 조건을 적절히 조절하여 고분자 사슬 배열을 바꾸는 경우에는 접착제와 같은 투명성을 나타내기도 한다[4].

특히 고분자 재료로 이루어진 투명 필름에 대해서는 그 투명도를 조절하는 기존 연구가 있다. 이는 각 용도에 알맞은 재료를 선정하기 위해 연구된 것으로 대부분 고분자 제조시 다른 첨가물을 추가하는 방법으로 고분자 투명 필름의 투명도를 조절하였다[5]. 다만 내후처리를 통한 필름의 투명도를 평가하는 논문은 따로 없으며, 특히 군용 재료를 내후 시험한 결과는 없어서 시험재료로 선정하였다.

한편, 군용 재료로 사용되는 고분자 재료는 그 사용 분야에 따라서 투명성을 요구하는 경우가 극히 드물다. 이는 군용 재료의 특성에 기인하는데, 대부분의 군용 재료는 민수용과는 다르게 디자인, 색채 등 감성적인 요구 조건보다는 위장, 은폐 등 전투 시 전투원 생존을 위한 조건을 우선한다. 이로 인해 외부에서 탐지/식별이 어렵게 위장무늬를 도입하는 등 재료 자체의 투명성을 요구하는 분야는 많지 않다. 하지만 차량용 덮개에 탑재되는 고분자 재료는 투명도를 요구한다. 이 탑재 장비는 기본적으로 섬유 재질로 구성되어 있으며, 봉제하기 위해 불가피하게 유리재질이 아닌 고분자 재질의 투명 필름을 사용한다. 이 투명 필름은 운전자의 양 옆과 차량 뒷부분에 존재하는데, 3곳 모두 운전자가 운행을 하며 좌, 우, 후방을 살피기 위해 일정 수준 이상의 투명도가 요구되는 고분자 재료를 사용하고 있다. 이렇게 운전자 시야 확보를 위한 투명 필름은, 한 번 탑재하면 장비의 총 수명주기에 맞춰 제품을 사용하게 된다. 따라서 해당 사용 기간 동안에는 고분자 투명창의 투명도가 지속적으로 유지되어야 운전자 및 탑승자 안전을 도모할 수 있다.

그러나 고분자 재료는 그 특성상 금속, 세라믹 등 다른 재료에 비해 주위 기후 환경에 대한 변화가 크다. 따라서 군용품의 특성상 외부 가혹 환경에 노출됨에 따른 변화를 수반할 수밖에 없다. 이러한 이유로 군용품을 평가할 때 내후시험을 도입하여 해당 재료가 군용품으로 적절한지 시험하는 방법을 사용하고 있다. 내후시험이란 가속시험의 일종으로 온/습도 및 일광, 물 분무 등 외부 환경을 모사하여 가속시험을 진행하는 것이다[6]. 일반적으로 가속시험은 단시간 내에 외부 환경 변화에 대한 데이터를 얻을 수 있어 군용 소재를 평가하는 방법에 많이 사용되고 있다[7]. Yang 등은 내후시험을 통해 내후시험 전, 후

고분자 재료의 특성을 평가하였는데, 이를 통해 고분자 재료가 내후시험 전, 후로 물성변화가 생기는 것을 확인할 수 있다[8]. 다만, 내후시험은 수요자가 요구하는 경우에만 진행되는데, 차량 덮개에 사용되는 투명 필름은 투명도가 안전에 매우 중요한 요소임에도 불구하고 내후시험이 적용되지 않는 품목이다. 이로 인해 외부의 비, 눈 또는 강한 일사량 등 가혹한 사용 환경에 노출되는 차량 덮개 투명창의 경우 시간이 지나면서 투명도 하락으로 인한 운전자 및 탑승자 위해요소로 작용할 가능성이 있다.

따라서 본 연구에서는 차량용 투명 필름으로 사용되는 고분자 재료를 선정하되, 제조사가 다른 2곳을 선정하여 시험하였다. 시험 시 내후 처리 조건은 규격에 따라 요구되는 조건이 없으므로, KS 시험법 중 가장 가혹한 조건인 KS K 0706에 명시된 카본아크시시험기를 사용하였다. 그리고 내후시험 시간에 따른 변화를 파악하기 위해서 인장강도, 신도를 비롯한 기본 물성과 투명도를 평가하기 위한 광투과율 및 흐림도를 시험하였다. 또한 열중량 시험을 통해 열적 특성을 분석하였다.

2. 본론

본 연구에서는 고분자 투명 필름을 재료로 하여 재료의 내후 처리시간(0시간, 40시간, 160시간, 320시간)을 다르게 하여 필름 2종에 대해 처리하였다. 이후 내후 처리 시간별로 얻어진 필름을 밀도, 인장강도, 신도, 열적특성 및 광학적 특성에 대해 각각 측정하여 변화를 분석하고자 하였다.

2.1 재료

본 연구에서 사용된 시료는 고분자 투명 필름으로 총 2곳의 제조사를 각각 시험하였다. 투명 필름 A로는 Global Dynamics Inc.(U. S. A.)의 Regalite Canvas Film을 사용하였으며, 투명 필름 B로는 Sewon Film Inc.(Korea)의 PVC Film(1T)을 사용하였다. 해당 A와 B 필름 모두 시험 시 별도 다른 처리 없이 그대로 사용하였다.

2.2 실험

고분자 투명 필름의 내후 처리 후 분석하고자 하는 내용은 다음 Table 1에 정리된 바와 같다.

Table 1. Objectives of the experiment according to experiment items

Experiment item	Objective
Density	Chemical changes of material
Tensile strength	Rate of change according to weathering test
Elongation	Rate of change according to weathering test
Thermal property	Decomposition fate according to weathering test and film uniformity
Optical property	Rate of change according to weathering test

2.2.1 내후 처리 시험

재료의 내후 처리 시험은 KS K 0706에 명시된 시험 기인 Atlas사(U. S. A)의 WO-3131을 사용하였으며, 내후 처리 시간에 따른 분석을 위해 내후 처리 시간은 미처리 시료(0시간), 40시간, 160시간, 320시간을 시료별로 각각 처리하였다. 이때 조광 및 물 분사 등 조건은 아래 Table 2과 같다.

Table 2. Lighting control and water spraying conditions of KS K 0706.

Weathering cycle(min.)		Temp. of the spraying water(℃)	Temp. of the black panel(℃)	Relative humidity (%)
Lighting time	Water spraying time			
102	18	(25 ± 5)	(70 ± 5)	40

2.2.2 밀도 시험

재료 밀도 시험은 ASTM D 792:2000의 규격을 따라 시험기기는 PRECISA Inc.(U. S. A)의 320XT 모델을 사용하여 측정하였다.

2.2.3 인장강도 및 신도 시험

인장강도와 신도 시험은 ASTM D 412:2016의 규격을 따라 시험기기는 INSTRON Inc.(Germany)의 INSTRON 5584 모델을 사용하여 인장속도 20mm/min.으로 시험하였으며, 길이 방향과 폭 방향을 각각 시험하였다. 이를 통해 재료의 파괴점에서 강도와 신도를 구하였다.

2.2.4 열적 특성 시험

열적 특성을 분석하기 위해 Thermogravimetric

Analysis(TGA)를 이용하여 재료의 분해거동을 살펴보고, 재료의 1차, 2차 분해온도를 확인하였다. 이때 사용한 시험기기는 Perkin-Elmer Inc.(U. S. A)의 TGA 8000을 사용하였다.

2.2.5 광학적 특성 시험

광투과율 시험은 KS L 2007:2000의 규격을 따라 시험하였으며, 시험기기는 KONICA MINOLTA Inc.(Japan)의 CM-3600d모델을 사용하여 가시광선 영역에서의 투과율을 시험하였다. 흐림도 시험은 ASTM D 1003:2013의 규격을 따라 시험하였으며, 시험기기는 Byk Gardner Inc.(Germany)의 Haze Gard Plus(4725) 모델을 사용하여 100% 투과율 대비 흐림 정도를 측정하여 % 단위로 명시하였다.

2.3 결과 및 고찰

고분자 투명 필름의 내후 처리 후 시험결과를 요약하면 다음 Table 3과 같다.

Table 3. Results of the experiment according to experiment items

Experiment item	Result	Discrimination
Density	No change	No chemical changes according to weathering test
Tensile strength	Irregular change	Changes in polymer chain configuration
Elongation		
Thermal property	Decomposition Temp.: 280 ℃	Film A has more uniformity than film B
Optical property	Decrease in light transmission Increase in haze	Only film A has plateau at 160 hours(weathering time)

2.3.1 밀도 분석

내후 처리시간에 따른 밀도 분석 결과를 Fig. 1과 같이 나타내었다. Fig. 1을 보면, 밀도의 변화가 1.2와 1.3 g/cm³ 사이에서 필름 A와 필름 B 모두 미처리 시료와 비교하여 큰 변동 없이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 내후 처리가 시간에 따라 기존 투명창의 화학구조를 변형시켜 새로운 물질을 형성시키지 않음을 알 수 있다. 후에 설명하겠지만, 투명 필름은 내후 처리시간이 길어짐에 따라 투명도의 저하가 생긴다. 그러나 투명도 저하는 투명 필름이 갖는 고분자 재료의 화학적 성질 변화에 기

인하는 것이 아니라 물리적 성질 변화에 기인하는 것이다. 실제 Zhao 등의 연구 결과를 보면 일반적으로 내후 처리는 재료의 표면에서의 일부 화학적 변화를 유발하기는 하나, 재료 자체의 성질을 바꾸지는 못한다[9]. 즉, 내후 처리는 투명도, 강도 등의 물리적 성질을 변화시키는 것임을 본 밀도 분석을 통해 알 수 있다.

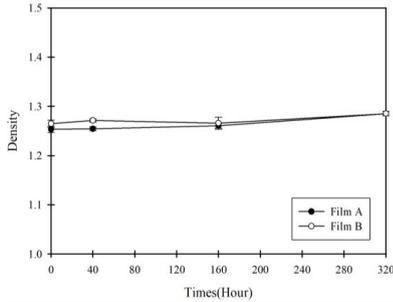
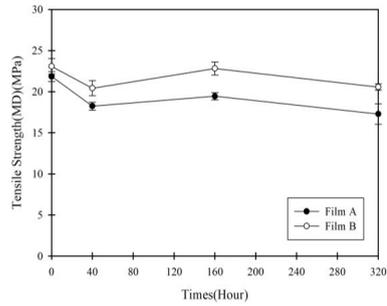


Fig. 1. Changes in the density of polymer transparent films A and B according to the weathering test time.

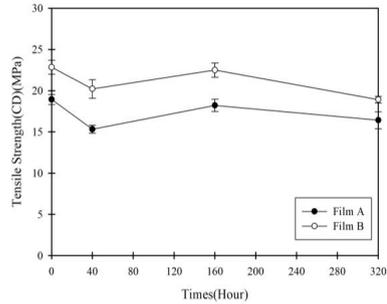
2.3.2 인장강도 및 신도 분석

내후 처리 시간에 따른 인장강도 및 신도 시험결과를 Fig. 2의 (a), (b), (c), (d)로 각각 나타내었다. Fig. 2 (a)의 경우 내후 처리 시간에 따른 길이 방향 인장강도 변화이고, Fig. 2 (b)의 경우 폭 방향 인장강도 변화이다. 다음으로 Fig. 2 (c)의 경우는 내후 처리 시간에 따른 길이 방향 신도 변화이며, Fig. 2 (d)의 경우는 폭 방향 신도 변화이다.

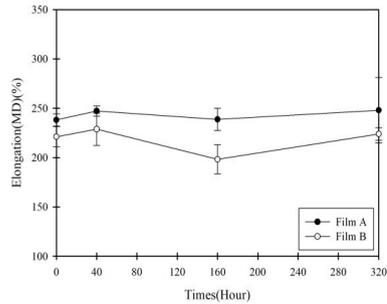
Fig. 2에서 인장강도 변화를 나타난 (a)와 (b)와 신도 변화를 나타낸 (c)와 (d)를 보면, 길이방향, 폭 방향 모두 두 가지 시료(필름 A와 B)가 내후 처리 시간에 따라 인장강도는 '감소 → 증가 → 감소'의 거동을 보이며, 신도는 반대로 '증가 → 감소 → 증가'의 거동을 확인할 수 있다. 인장강도는 최초 강도보다 40 시간 처리한 후의 강도가 약 21 % 정도 감소하였는데, 강도의 감소 원인은 기본적으로 내후 처리를 통해 재료의 표면 손상 때문이다. 기본적으로 내후 처리는 앞서 Table 1에서 설명한 바와 같이 물 분사와 인공 광원을 조사하여 재료에 손상을 가하게 된다. 다만, 내후 처리는 표면에 처리되는 경향이 강하기 때문에 내부 화학구조를 변화시키지 못하고 일부 표면에 손상을 가져오는데[9], 이로 인해 강도의 감소가 나타나는 것이다. 반면 신도는 강도가 감소함에 따라 일부 증가하는 경향을 보인다.



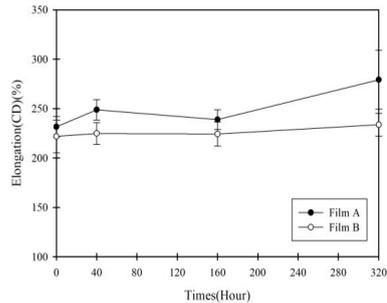
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 2. Changes in the tensile strength and elongation of the polymer transparent films according to the weathering test time.

- (a) Tensile strength of machine direction
- (b) Tensile strength of cross direction
- (c) Elongation of machine direction
- (d) Elongation of cross direction.

다음으로 160시간 내후 처리된 시료의 인장강도는 초기 인장강도와 유사하게 증가하였다. 이러한 증가 원인은 고분자 재료, 특히 필름 등 일부 탄성을 갖는 재료가 가지는 특성에 기인한다. 고분자 재료 중 탄성을 갖는 재료는 기본적으로 고분자 사슬을 이루면 고분자 사슬 내 부드러운 부분(Soft Segment, SS)과 딱딱한 부분(Hard Segment, HS)으로 나뉘어 존재하게 된다. 이때 내후 처리 등의 일부 외부 환경 변화에 의해 고분자 사슬 내 SS 부분이 HS로 변화할 수 있는데[10], 이로 인해 일부 강도가 증가하는 현상이 나타나는 것이다. 이를 뒷받침 하는 근거로 SS가 줄어들면 신도가 감소하는데, Fig. 2 (c)와 (d)를 보면 이를 알 수 있다. 실제 신도는 인장강도와 반대 경향을 보이는데, 내후 처리 40시간까지는 증가 경향을 보이며, 이후 160시간 까지 감소하는 경향을 보인다. 이를 통해 투명 필름을 이루는 고분자 물질의 SS가 줄어들고 HS가 늘어남을 알 수 있다.

마지막으로 320시간 내후 처리된 시료의 인장강도는 초기 인장강도 값에 비해서 23 % 정도 감소하였다. 이는 앞서 40시간 내후 처리와 마찬가지로 처리 시간이 길어짐에 따라 재료의 손상이 많아지고 이로 인한 강도의 감소가 나타나는 것이다. 마찬가지로 강도 감소에 따라 신도는 Fig. 2 (c), (d)에 보이는 것과 같이 증가함을 확인할 수 있다.

2.3.3 열적 특성 분석

일반적으로 열분해는 일정시간당 온도를 높여 재료가 분해되며 줄어드는 무게를 분석하는 방법이다. 이를 통해 재료의 분해온도를 파악할 수 있으며, 재료의 특성상 두 번 분해가 일어나는 경우, 1차, 2차 분해온도를 각각 알 수 있다. 또한 분해 곡선으로 재료의 균일도를 미루어 짐작할 수 있다.

다음 Fig. 3에 투명 필름 내후 처리 시간별 시료에 따라 열분해 분석 거동 그래프를 각각 나타내었다. Fig. 3 (a)는 시료 A에 대한 것이고, Fig. 3의 (b)는 시료 B에 대한 그래프이다. Fig. 3을 보면 시료 2종 모두 1차 분해온도는 280 °C 부근으로 동일한 것을 확인할 수 있으며 이는 시료에 내후 처리를 진행한 시료 모두 동일하다. 즉 내후 처리를 하더라도 1차 분해온도에는 큰 영향을 주지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 하지만 2차 분해온도 지점인 350 °C 부근에서는 내후 처리 시간에 따라 분해 곡선의 거동이 달라짐을 확인할 수 있다. Fig. 3 (a)의 경우를 보면, 내후 처리 시간이 길어짐에 따라 2차 분해 온도가 점차 낮아짐을 확인할 수 있다. 이는 앞서 설명하였듯

이 내후 처리를 진행하게 되면, 투명 필름 표면에 고분자 사슬을 취약하게 만드는 요소로 작용하기 때문에, 열분해 거동이 미처리 시료에 비해 달라지는 것이다. 다음으로 Fig. 3 (b)의 경우는 2차 분해온도 부근에서의 시료의 분해 거동이 특정한 경향을 보이지 않음을 알 수 있으며 3차 분해 온도인 500 °C 부근에서 내후 처리 시간에 따라 특정 경향을 보이긴 하지만 시료 A에 비해서 복잡한 경향을 보임을 확인할 수 있다. 이는 시료 A와 시료 B의 균제도 차이라고 보인다. 시료 A와 시료 B는 재료는 동일하나, 제조사가 다름을 앞서 재료에서 설명하였는데, 시료 A가 시료 B에 비해 더 균일하게 제작되었음을 유추할 수 있다.

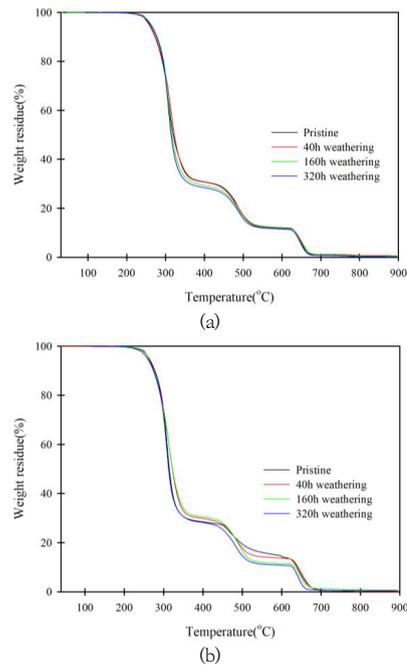


Fig. 3. TGA curves of polymer transparent films with various weathering test time.

- (a) Polymer transparent film A
- (b) Polymer transparent film B.

2.3.4 광학적 특성 분석

내후 처리 시간에 따른 투명 필름 광 투과율 변화를 Fig. 4와 같이 나타내었다. Fig. 4를 보면 내후 처리 시간이 길어짐에 따라 시료 A와 시료 B 모두 광 투과율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 시료 B의 경우는 320시간 내후 처리에 따라 시간에 비례하여 광투과율이 감소하지만, 시료 A의 경우는 160시간 내후 처리 이후에는 광투과율의 감소가 거의 없음을 확인할 수 있다. 또한

시료 A의 경우 필름에 320시간 내후 처리를 하더라도 미처리된 최초 시편에 비해 광 투과율에 비해 3% 정도만 감소하지만, 시료 B의 경우는 미처리된 최초 시편에 비해 320 시간 내후 처리된 시편의 광 투과율이 11% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 시료 A가 시료 B에 비해 초기 광학적 성질도 우수할 뿐만 아니라 내후 처리 측면에서도 광학적 성질이 우수한 것이다.

Fig. 5는 내후 처리 시간에 따른 투명 필름의 흐림도 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5를 보면 내후 처리 시간이 길어질수록 투명 필름의 흐림도는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 Fig. 5의 결과는 Fig. 4의 가시광선 영역에서의 광 투과율과 유사한 거동을 보임을 알 수 있다. 미처리 시료 A의 경우 광 투과율이 미처리 시료 B보다 더 높게 나타났는데, 흐림도는 반대로 미처리 시료 A가 B에 비해 더 낮게 나타났다. 광 투과율과는 반대 개념으로 시료가 많이 흐릴수록 광 투과율은 감소하게 되어 있다. 또한 내후 처리 시간에 따른 데이터의 변화 거동 역시 동일한데, 시료 A의 경우 내후 처리 160시간 이후에 광 투명 필름 흐림도가 거의 증가하지 않는데 비해 시료 B의 경우는 내후 처리 160시간 이후에도 흐림도는 지속적으로 증가함을 알 수 있다.

실제로 광학적 특성은 필름의 표면 반사에 상당한 영향을 미치는데, 내후 처리는 투명 필름의 표면에 보이지 않는 굴곡을 형성한다[11]. 이로 인해 필름 표면에서 난반사가 일어나게 되고, 난반사로 인해 가시광선 영역에서의 투과율이 감소하며, 흐림도는 증가하는 것이다. 실제로 표면처리는 제품의 질감, 물성 등 여러 가지 요소들을 바꿀 수 있는데[11], 내후 처리는 기본적으로 투명 필름 고분자 재료 내부에 영향을 미치는 것이 아니라 표면 특성에 영향을 주기 때문에 표면 특성 변화로 미세 굴곡이 생기고 이로 인해 광학적 특성에 영향을 주는 것으로 판단된다.

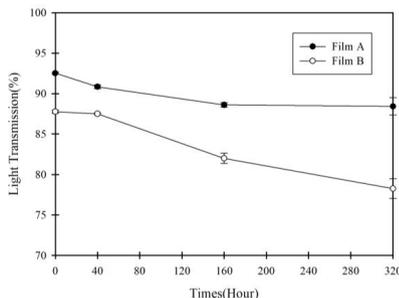


Fig. 4. Changes in the light transmission(visible light) of the polymer transparent film A and B according to weathering time.

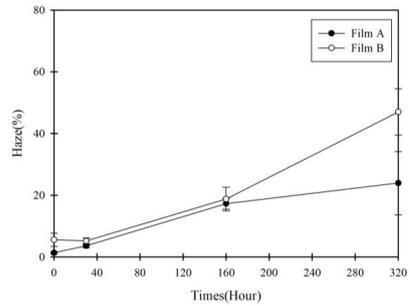


Fig. 5. Changes in the haze of the polymer transparent film A and B according to weathering time.

3. 결론

본 연구에서는 군 차량 뒷개용 고분자 투명 필름 제조사 2곳에 시료를 가지고 내후 처리 시간에 따른 물성 변화를 분석하였다. 우선 내후 처리 조건은 KS K 0706에 명시된 조건을 바탕으로 내후 시간을 다르게 하여 각 시료별로 처리하였다. 이후 처리 시간별 시료를 바탕으로 밀도, 인장강도, 신도, 열분석, 광 투과도 및 투명도를 시험하였다.

우선 밀도시험을 통해 필름 A, B모두 내후 처리로 인한 화학적 성분 변화는 없는 것을 확인하였고, 인장강도와 신도는 내후 처리 시간에 따라 불규칙한 거동을 보임을 확인하였다. 또한 열분석을 통해 투명 필름 A가 투명 필름 B에 비해 더 균질도가 높으며, 광 투과율 및 흐림도 측정 결과 내후처리 후에도 광학적 특성이 우수함을 확인할 수 있었다. 이는 고분자 투명 필름이 시간에 따라 내후 처리가 되면서 표면에 많은 굴곡을 형성시키기 때문으로 분석되었으며, 필름 A의 경우는 320시간 까지 내후처리가 되더라도 160시간 내후 처리 이후에는 거의 광학적 성질이 변화하지 않는 것을 알 수 있었다.

따라서 현재 적용되고 있는 고분자 필름에 내후 시험을 추가하는 방향으로 군용 차량 뒷개용 투명 필름을 개선해야 할 것으로 생각된다. 다만, 본 시험에서는 투명도가 어느 정도 되어야 운전자 안전에 영향을 미치는지에 대해서는 판단이 어려운 점이 있다. 따라서 추후 연구를 통해 적정 투명도에 대한 수치를 제공한다면, 본 실험 자료를 바탕으로 필름에 대한 개선을 이룰 수 있다.

References

- [1] S. Chen, Y. Liu, C. Shao, R. Mu, Y. Lu, J. Zhang, D. Shen and X. Fan "Structural and Optical Properties of Uniform ZnO Nanosheets", *Adv. Mater.*, Vol17, No.5, pp.586-590, Mar. 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.200401263>
- [2] J. Soulestin B. J. Rashmi, S. Bourbigot, M. F. Lacrampe, and P. Krawczak "Mechanical and Optical Properties of Polyamide 6/Clay Noncomposite Cast Films: Influence of the Degree of Exfoliation", *Macromol. Mater. Eng.*, Vol297 No. 5, pp.444-454, Dec. 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1002/mame.201100202>
- [3] S. M. Lee, V. Ischenko, E. Pippel, A. Masic, O. Moutanabbir, P. Fratzl, and M. Knez "An Alternative Route Towards Metal-Polymer Hybrid Materials Prepared by Vapor-Phase Processing", *Adv. Funct. Mater.*, Vol21, No. 16, pp.3047-3055, Jun. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1002/adfm.201100384>
- [4] C. H. Park, S. J. Lee, T. H. Lee, and H. J. Kim, "Characterization of an acrylic polymer under hydrothermal aging as an optically clear adhesive for touch screen panels", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol636, pp.137-144, Sep. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.08.012>
- [5] H. Yabu and M. Shimomura, "Single-Step Fabrication of Transparent Superhydrophobic Porous Polymer Films", *Chemistry of Materials*, Vol17, No. 21, pp.5231-5234, Sep. 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1021/cm051281i>
- [6] X. Yang and X. Ding, "Prediction of outdoor weathering performance of polypropylene filaments by accelerated weathering tests", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol24 No. 2, pp.103-109, Jan. 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2005.11.002>
- [7] S. D. Hong, B. S. Kim, Y. M. Jeon, and J. S. Lee, "A Study on the Improved Lightfastness Test Method for Military Textile Products", *Textile Coloration and Finishing*, Vol27, No.4 pp.288-300, Nov. 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5764/TCF.2015.27.4.288>
- [8] X. F. Yanga, D. E. Tallmana, G. P. Bierwagenb, S. G. Crollb, and S. Rohlika, "Blistering and degradation of polyurethane coatings under different accelerated weathering tests", *Polymer Degradation and Stability*, Vol77 Np. 1, pp.103-109, Feb. 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(02\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(02)00085-X)
- [9] Q. Zhao, Z. Jia, X. Li, Z. Ye "Surface degradation of unsaturated polyester resin in Xe artificial weathering environment", *Materials and Design*, Vol31, No. 9 pp.4457-4460, Apr. 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.04.004>
- [10] J. R. Lin and L. W. Chen, "Study on Shape-Memory Behavior of Polyether-Based Polyurethanes. I. Influence of the Hard-Segment Content", *Journal of*

Applied Polymer Science, Vol69, No. 8, pp.1563-1574, Jan. 1998.

DOI:

[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19980822\)69:8<1563::AID-APP11>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19980822)69:8<1563::AID-APP11>3.0.CO;2-W)

- [11] H. Miao, F. Bao, L. Cheng, and W. Shi "Fluorinated modification of hyperbranched polyesters used for improving the surface property of UV curing coatings", *Journal of Fluorine Chemistry*, Vol131, No.12 pp.1356-1361, Oct. 2010.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2010.09.008>

김 지 훈(Ji-Hoon Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 숭실대학교 유기신소재·파이버 공학과(공학석사)
- 2015년 2월 : 숭실대학교 유기신소재·파이버 공학과(공학석사)
- 2014년 13월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방품질경영, 신소재공학, 재료공학

김 병 순(Byung-Soon Kim)

[정회원]



- 2008년 9월 : 충남대학교 유기소재·섬유시스템 공학(공학석사)
- 2011년 9월 : 요코하마국립대학교 환경공학부 환경생명학 전공(공학박사)
- 2011년 10월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

국방품질경영, 유기소재, 환경공학