한국염색가공학회지 pISSN 1229-0033, eISSN 2234-036X
연구논문(학술) https://doi.org/10.5764/TCF.2018.30.3.190

Roll-to-roll 적용 가능한 마이크로 응집 구조를 갖는 EVA/SiO_2 복합 필름의 산란 특성

The Scattering Property of EVA/SiO_2 Composite Film Formed Micro-aggregation Structure for Roll-to-roll Process

*Corresponding author
Hyo Jung Kim
(hyojkim@pusan.ac.kr)

조국현, 양준영, 이시우, 박은경, 최근석, 송기원, 김효정*
부산대학교 유기소재시스템공학과

Kuk Hyun Jo, Jun Yeong Yang, Si Woo Lee, Eun Kyoung Park, Geun Seok Choi, Ki Won Song and Hyo Jung Kim*
Department of Organic Materials Science and Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

Received_July 31, 2018
Revised_August 17, 2018
Accepted_September 05, 2018

Abstract We fabricated high transmission and high scattering poly(ethylene-co-vinyl acetate)(EVA) films embedding SiO_2 nanoparticles to improve outcoupling efficiency in organic display. The 800nm diameter SiO_2 nanoparticles aggregated and formed 1.56㎛ (with ±0.853㎛ standard deviation) diameter microparticles in EVA. The total transmission of scattering film was 83.3% on Polyethylene terephthalate(PET), which was higher than reference 82.8% PET substrate. The diffuse transmission and haze of the SiO_2 embedded EVA film were 76.1% and 91.4%, respectively. The optimized condition was 1:1 weight ratio of SiO_2 nanoparticles to EVA in Tetrahydrofuran(THF) solution. When the ratio of SiO_2 was larger than 1, the total transmission decreased by the increase in backscattering of light due to high scattering. With the optimized condition, we could succeed to fabricate a large scale film(35m in length) with a roll-to-roll process.

Keywords *nanoparticle, aggregate, scattering film, roll-to-roll, SiO_2, EVA*

Textile Coloration and Finishing
TCF 30-3/2018-9/190-198
©2018 The Korean Society of Dyers and Finishers

1. 서 론

광을 산란시키는 현상을 이용한 산란 필름은 Back Light Unit(BLU)과 자동차 조명에 사용되는 확산판에서부터 유기발광다이오드의 광추출층에 이르기까지 디스플레이와 조명 분야에서 폭넓게 사용되고 있는 핵심 소재이다. 산란 필름을 구현하는 방법은 대표적으로 필름 표면에 임의의 패턴을 도입하는 표면 조직화 방법과 산란입자를 포함하는 필름을 제작하는 방법이 있다. 이 중 산란입자를 도입하는 방법은 산란 필름을 구성하는 고분자와 입자의 선택에 따라서 산란정도를 결정 할 수 있을 뿐만 아니라, 입자들은 필름 속에서 불규칙적인 분포를 가지기 때문에 산란 광이 왜곡되지 않는 램버시안(Lambertian) 분포를 가진다는 장점이 있다. 이러한 균일한 산란특성 때문에 산란입자는 조명과 디스플레이 분야에 널리 사용된다[1-7].

산란입자를 사용한 산란 필름은 표면 조직화 방법의 시야각에 따른 발광 스펙트럼 왜곡을 해결할 수 있는 장점이 있지만, 산란 특성을 확보하기 위해 산란입자의 농도를 증가시키면 투과도 감소가 나타나는 단점 또한 가지고 있다.

따라서 거의 모든 광을 산란시켜야 하는 확산판의 경우 일반적으로 투과도 손실이 발생하여 LED(Light Emitting Diode)에서 발생하는 빛의 상당부분이 손실된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 높은 전체투과도를 유지하면서 높은 산란 투과도를 나타내는 산란 필름이 요구되고 있다. 이러한 요구에 맞춰 고분자 입자, 공기를

www.kci.go.kr

포함하는 입자, 입자를 사용한 다공성 필름 혹은 서로 다른 두 가지 이상의 무기물 입자를 복합적으로 사용하는 연구가 진행되어왔다[8-15].

이번 연구에서 우리는 쉽게 사용할수 있는 poly(ethylene-co-vinyl acetate)(EVA) 고분자와 SiO_2 나노입자를 사용하여 특별한 첨가제나 추가적인 공정없이 고투과 고산란 필름을 제작하였다. SiO_2/EVA용액을 간단한 doctor blade 장치를 사용하여 Polyethylene terephthalate(PET) 필름위에 박막 형태로 성형하였다. 이렇게 제작한(SiO_2+EVA)/PET필름들의 투과도와 산란도를 측정하여 투과도 손실이 거의 발생하지 않으면서 높은 산란 특성을 나타내는 물성을 확인하였다. 또한, 이러한 doctor blade 코팅을 roll-to-roll 공정에 적용하여 균일한 필름을 실험실 규모에서 롤 단위로 생산할 수 있는 가능성을 확인하였다.

2. 실 험

2.1 시료 및 시약

Poly(ethylene-co-vinyl acetate)(Sigma Aldrich)는 vinyl acetate 40% 함량을 사용하였고, SiO_2 (HKK solution)나노입자는 직경 800nm를 구매하여 사용하였다. THF(Tetrahydrofuran, DAEJUNG Chemicals & Metals, Korea)의 순도는 99.0% 이상이고 구매 후 추가적인 정제를 하지 않고 사용되었다.

2.2 산란입자의 입도분포 측정

THF 용매에 포함된 SiO_2나노입자의 입도 분포를 확인하기위해 100mg/ml의 SiO_2 농도로 THF와 섞어 현탁액을 만들었다. 현탁액의 입도는 Beckman Coulter사의 LS13320을 사용하여 측정되었다.

2.3 EVA/SiO_2복합 용액의 필름 제작

THF에 대한 EVA의 농도에 따른 필름 성형 특성을 확인하기 위해서 50, 100, 150, 200, 250mg/ml의 농도로 EVA/THF 고분자 용액을 제작하였다. 고분자 용액들은 MTI Korea의 doctor blade(모델명: EQ-Se-KTQ-150)을 사용하여 PET 필름 위에 코팅하였다. 에탄올에 10분간 초음파 세척을 진행한 100㎛ 두께의 PET 필름 위에 고분자 용액을 도포하고 PET 기판과 doctor blade의 칼날 사이의 간격을 100, 200, 300㎛로 설정한 뒤 코팅하였다. 선택된 칼날 간격으로 코팅된 복합 용액은 THF 용매의 건조과정을 거치면서 고화되고 필름으로 성형된다.

2.4 산란 필름의 두께측정

PET 위에 코팅된 EVA의 두께는 surface profiler (D-500, KLA Tencor, Korea)로 표면과 시료에서 벗어난 바닥의 단차를 측정하여 확인하였다. EVA 고분자는 상온에서 고무상의 물성을 갖기 때문에 surface profiler의 팁이 표면을 탐침하지 못한다. 따라서 본 실험에서는 제작된 산란 필름을 뒤집어서 PET면을 측정하여 두께를 계산하였다.

2.5 광학적 산란 특성 평가

Doctor blade 코팅으로 만들어진 산란 필름의 광학적 특성을 확인하기 위해 UV/visible 분광기(V770, Jasco, Japan)를 사용하여 투과도 측정을 진행하였다. 산란 필름을 통과하는 빛의 일부는 직진하고 다른 일부는 굴절되어 입사전 빛의 진행방향에 대해 임의의 각도를 가지며 확산하는데, 이때 입사된 빛의 세기에 대한 직진광 및 산란광의 전체 양을 전체투과도 그리고 산란광의 양을 확산투과도라 한다. 빛의 산란특성을 확

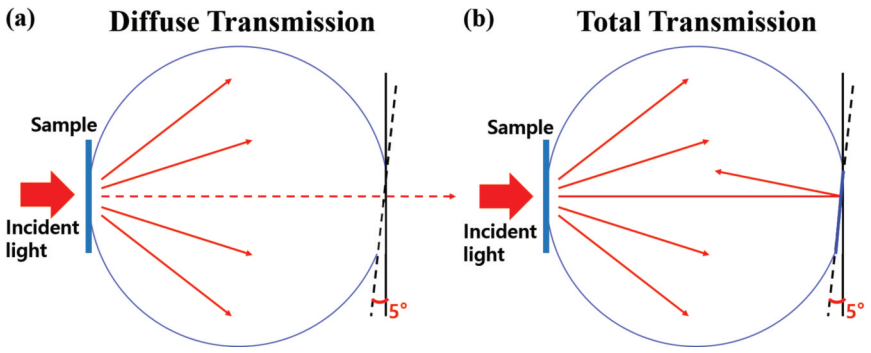

Figure 1. A measurement system for (a) diffuse and (b) total transmission of a film using an integrated sphere.

www.kci.go.kr

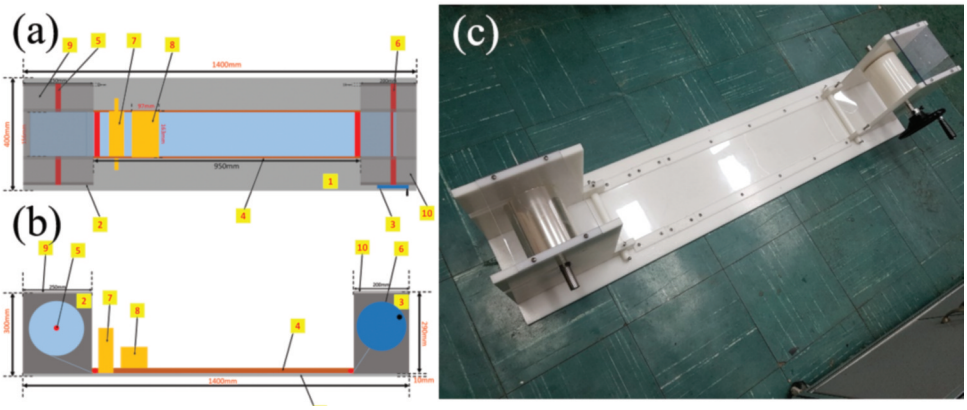

Figure 2. Roll-to-roll device scheme for manufacturing scatting films in (a) top, (b) side view, (c) the photograph of the device.

인하기 위하여 Figure 1과 같이 직진투과도가 아닌 산란투과도를 측정할 수 있는 광학 적분구를 장착하였다. 시료를 투과한 산란광은 적분구 안에서 산란되어 검출기에 의해 감지된다.

Figure 1(a)와 같이 시료를 투과한 직진광의 경로에는 구멍이 뚫려있어 적분구 안에서 산란되지 못하고 외부로 빠져나간다. 또한 Figure 1(b)와 같이 직진광을 포함하는 전체 투과도를 측정하기 위해서 직진광의 경로에 반사판을 설치하여 동일한 투과도 측정을 진행하였다. 산란 필름의 전체 투과도와 산란투과도 값은 300~800nm 범위의 값들을 평균 내어 표시하였다.

2.6 산란 필름의 열적특성 평가

온도에 따른 산란 필름의 열 출입을 조사하기 위해 PET 기판과 100mg/ml의 농도와 칼날 간격 300㎛으로 제작된 필름을 시차열량주사법(DSC8000, Perkin Elmer, Korea)을 진행하였다. 시료의 온도는 10℃/min의 속도로 30~300℃의 범위에서 승온시켰다. 측정된 열 출입 값들은 측정된 시료의 질량으로 나누어 표시하였다.

2.7 EVA/SiO_2복합용액의 유변학적 특성 평가

용액단계에서의 EVA와 SiO_2의 유변학적 거동의 차이를 확인하기 위하여 스트레인 제어 방식의 회전형 레오미터(ARES-200 FRTN1, TA instruments, USA)이용하여 정상전단유동특성의 전단속도 의존성 및 선형점탄성 조건하에서의 동적점탄성의 온도의존성을 측정하였다.

2.8 산란 필름의 대면적 제작

Figure 2는 산란 필름의 roll-to-roll 제작 장비이다. 그림에서 (a)는 상부, (b)는 측면에서 바라본 설계도이고, (c)는 실제 제작된 roll-to-roll 장치의 사진이다.

최적의 전체투과도와 확산투과도를 나타낸 EVA와 SiO_2의 질량 조건에서 필름을 제작하였다. THF 1L(약 9000mg)에 SiO_2 1000mg과 EVA 1000mg을 함께 교반 후에 코팅을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 산란입자의 입도분포

Figure 3는 THF에 분산되어있는 SiO_2 나노입자의 입도를 분석한 그래프이다. 평균적으로 약 1.56㎛에 해당하는 입도를 가지는 것을 확인하였다. SiO_2 나노

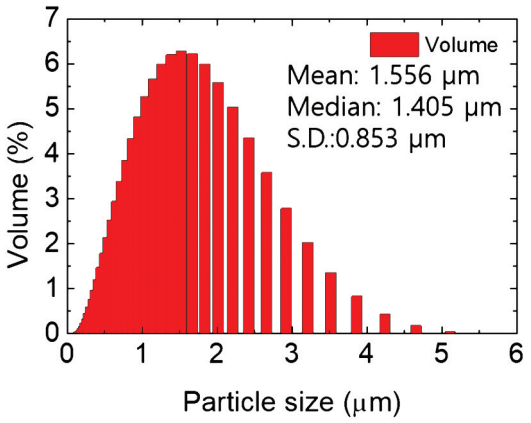

Figure 3. Particle size distribution of 800nm diameter SiO_2 nanoparticles in THF.

www.kci.go.kr

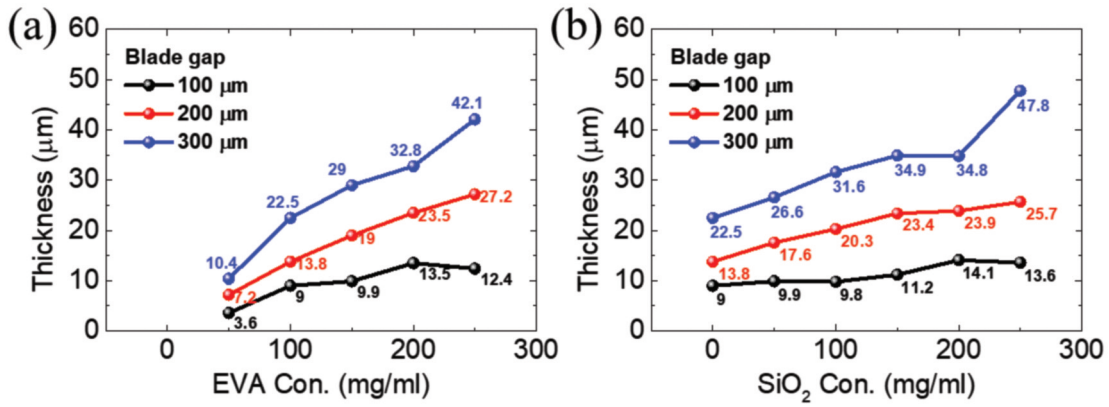

Figure 4. (a) The thickness of EVA films as a function of EVA concentration in THF solvent, (b) the thickness of EVA films as a function of SiO_2 concentration in EVA solution(EVA 100mg/ml in THF).

입자의 입자크기가 800nm인 것을 고려하면, 나노입자들이 뭉쳐서 약 두 배의 직경을 갖는 응집체를 형성하는것을 알 수 있다. EVA 고분자는 필름을 형성하는 기재일 뿐만 아니라 SiO_2를 필름에 묶어주는 바인더 역할을 하기 때문에 SiO_2의 상을 안정화 시키는 역할을 한다. 따라서 EVA가 포함된 용액에서 SiO_2 나노입자는 또한 Figure 3와 같이 마이크로 응집이 발생할 것이라 예상할 수 있다.

3.2 농도에 따른 EVA/SiO_2산란 필름의 두께

Figure 4(a)는 surface profiler로 측정한 THF 1 ml에 들어있는 고분자의 질량(농도)에 따른 필름의 두께를 나타낸 그래프이다. 이 그래프에서 THF 용매에서 EVA 고분자의 농도가 증가함에 따라 형성되는 필름의 두께가 증가하는 것을 알 수 있다. 특히, doctor blade의 칼날 간격이 증가함에 따라 두께의 증가 정도는 커지는 경향을 보인다. 이는 많은 양의 EVA가 녹아 있을수록 THF 용매에 대한 EVA의 양이 많아지고 점도가 증가하기 때문이다. 그 결과 250mg의 EVA 용액으로 제작된 필름은 100 μm의 칼날간격에서 12.4 μm, 300 μm에서 42.1 μm의 두께로 칼날 간격에 따라 비교적 큰 두께 차이를 보인다. Figure 4(b)는 THF에 대한 EVA의 100mg/ml 농도에서 SiO_2의 양에 따른 필름 두께를 나타낸 그래프이다. SiO_2의 농도가 증가함에 따라 산란 필름의 두께는 점진적으로 증가한다.

3.3 산란 필름의 열적 특성

Figure 5는 PET기판 필름과 산란 필름의 열적특성 변화값을 나타낸 그래프이다.

PET 필름과 산란 필름에서 PET 결정의 용융에 따른 피크가 각각 258.3℃와 257.9℃로 유사한 온도에서 나타난다. 산란 필름에서 PET 융점 피크의 면적이 작은 이유는 단위 질량당 PET의 질량 비율이 낮아지기 때문이다.

EVA의 결정 용융점은 40~60℃와 70~90℃에서 나타나지만 본 연구에서 사용된 vinyl acetate 40% 함량의 EVA에서는 40~60℃에서만 나타났다[16]. 이는 vinyl acetate의 함량이 40%로 비교적 높기 때문에 공중합 고분자의 결정의 형성이 완벽하지 않기 때문이다. 또한 이러한 결정 용융 피크는 SiO_2가 포함되었을 때 거의 나타나지 않는데, 이는 SiO_2의 응집체가 EVA의 결정성을 방해했기 때문이다.

3.4 SiO_2의 농도에 따른 필름의 산란 특성

Figure 6(a)에서는 EVA에 대한 SiO_2의 질량 비율

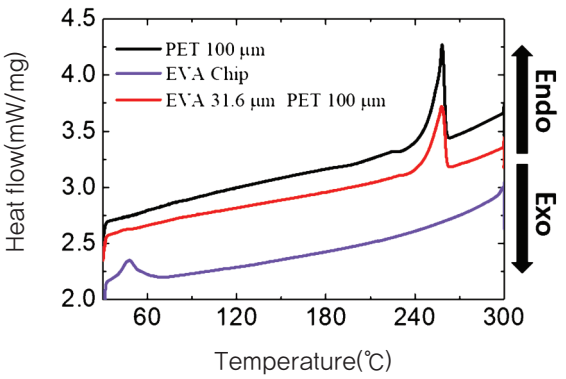

Figure 5. DSC heat flow of EVA chip, PET and SiO_2 embedded EVA/PET films.

www.kci.go.kr

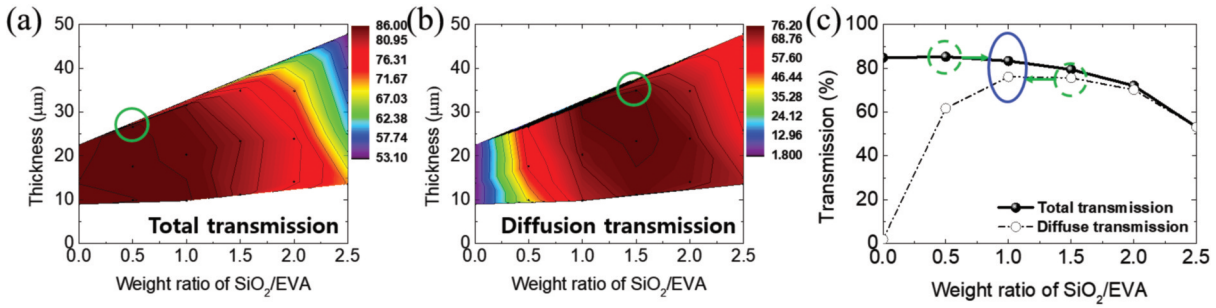

Figure 6. (a) and (b) represent total and diffusion transmission of scattering films in various film conditions, respectively. Y axis represent film thickness, while X axis represent the weight ratio of SiO_2 in EVA. The scale bar shows intensities of diffuse and transmission scattering. The green circles in (a) and (b) represent the maximum values of them. (c) the total and diffuse transmission of scattering films fabricated in the condition of 100 mg/ml concentration and 300 μm blade gap. Green dotted circles represent the maximum values for total and diffuse transmission. The blue circle shows the optimized condition for both high total and high diffuse transmission.

과 산란 필름의 두께에 따라 전체투과도를 도식화 하였다. 두께에 따라 약간 차이가 있지만 산란 필름의 전체투과도는 측정영역에서 평균적으로 SiO_2비율 0.5에서 최고가 되고 그 이후 감소하는 경향을 보였다. 특히 1.5의 비율 이후부터는 두께 증가에 따른 전체 투과도 감소가 뚜렷하게 나타났다. 이는 높은 농도의 SiO_2가 빛을 많이 산란시키면서 두께 또한 증가하기 때문에 역산란이 증가하기 때문이다.

Figure 6(b)는 SiO_2의 질량 비율과 필름의 두께에 따라 확산투과도를 도식화한 그림이다. 산란 필름의 확산투과도는 대체로 비율 1.5에서 가장 높은 값을 보였다. 이러한 경향은 전체투과도와 마찬가지로 SiO_2 1.5 비율 이후부터 필름의 산란도가 너무 증가하여 역산란이 발생하고 따라서 투과하는 전체 광량이 줄어들기 때문이다. 이러한 전체투과도와 확산투과도의 경향을 바탕으로 SiO_2의 질량비율 1에서 전체 및 확산투과도가 모두 높은 산란 필름이 만들어지는 것을 알 수 있다.

3.5 산란 필름의 표면 형상

Figure 7은 SiO_2의 비율에 따라 산란 필름의 표면을 관찰한 사진이다. 현미경 사진을 보면 전체적으로 마이크로 크기의 응집체가 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 나노입자의 마이크로 응집체 이외에 산란 필름의 표면에 고리모양의 요철이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 고리모양의 요철은 SiO_2의 비율이 증가함에 따라 비율 1에서 가장 뚜렷하게 관찰되고 그 이

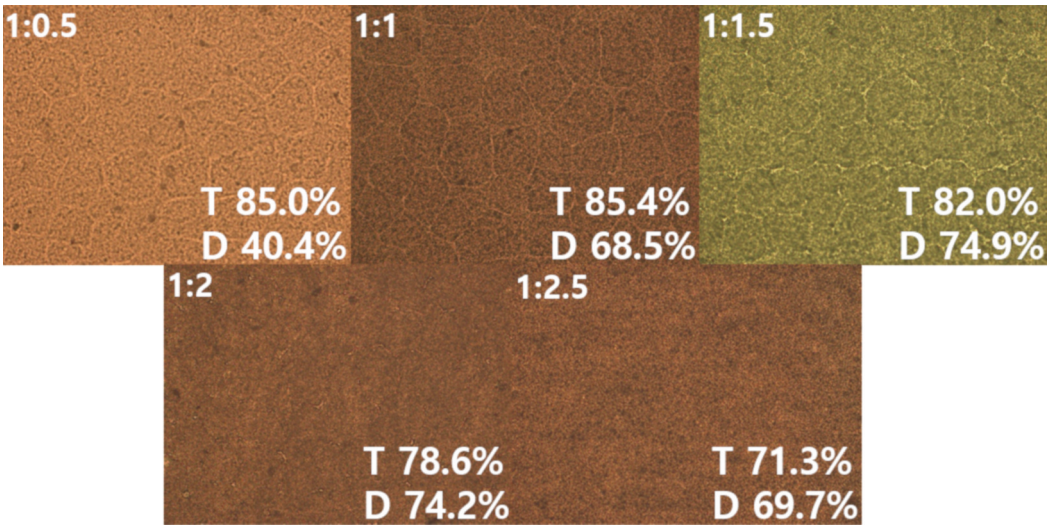

Figure 7. Microscopy image of EVA/PET films with SiO_2 microaggregation as the weight ratio of SiO_2.

www.kci.go.kr

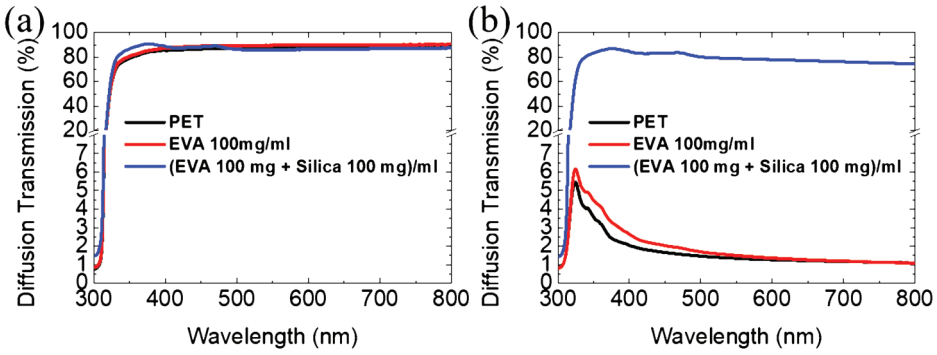

Figure 8. (a) Total and (b) diffuse transmission spectrum of scattering films, respectively.

후로 점점 사라지는 현상이 관찰되었다. 전체투과도 값과 비교해보면 고리모양 요철의 형성이 전체 투과도 값과 상관관계가 있는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 고리모양의 요철은 산란 필름의 표면 반사율을 감소시켜 전체 투과도를 기판 PET 필름의 82.8%에서 EVA와 SiO_2의 1:1 비율일 때 최고 85.4%까지 증가시키는 효과가 있음을 알 수 있다.

3.6 산란 필름의 광 스펙트럼

Figure 8에서는 높은 전체투과도와 확산투과도를 갖는 SiO_2 비율 1에서 UV-가시광 영역의 전체투과도와 확산투과도 스펙트럼을 나타내었다.

Figure 8(a)에서 SiO_2가 들어있지 않은 EVA 필름의 전체투과도는 85.0%로 기존 PET필름의 투과도 값인 82.8%보다 높은 값을 나타내었다. 이는 PET과 EVA의 굴절률(nPET=1.56, nEVA=1.48)차이로 인한 굴절률 차이 때문이다[17,18]. 이러한 굴절률 차이는 반사방지효과로 전체 투과도를 증가시킬 수 있다. SiO_2 나노입자를 도입한 EVA 산란 필름의 경우 나노입자가 없는 경우와 비교했을 때 409nm 보다 짧은 자외선 영역에선 투과도가 증가하지만 그 이상의 파장 영역에서는 투과도가 감소한다.

Figure 8(b)에서 파장에 따른 산란 필름의 확산투과도를 보면 이러한 전체투과도 특성을 설명할 수 있다. SiO_2산란입자의 도입으로 단파장의 확산투과도가 전체스펙트럼에서 상대적으로 높다. 이는 기존 산란입자가 도입되지 않은 필름에서는 필름을 투과하지 못했던 대다수 단파장 빛이 SiO_2의 도입으로 산란을 통해서 빠져나갔고, 단파장에 비해 상대적으로 투과가 잘 되었던 장파장 빛은 SiO_2에 의한 역산란때문에 투과되지 못했기 때문이다.

3.7 EVA/SiO_2복합용액의 유변학적 특성

Figure 9은 용액단계에서의 유변학적 거동의 차이를 확인하기 위한 실험 결과이다.

Figure 9(a)에 도시된 바와 같이 정상전단유동하에서 THF에 용해시킨 고분자의 농도가 증가함에 따라 정상전단점도가 높게 나타나는 경향이 나타난다. 하지만 EVA고분자와 SiO_2를 포함하는 용액의 경우, 같은 양의 EVA만을 포함하는 용액에 비해 정상전단점도가 같거나 낮게 나타난다. 100mg/ml의 EVA와 SiO_2, 고분자의 농도가 낮을 경우에는 SiO_2의 유무는 물질의 점도에 큰 영향을 주지 않았다. 그러나 200mg/ml의 EVA와 SiO_2, 높은 고분자 농도의 경우 SiO_2는 점도를 크게 낮추는 효과를 나타내었다. 이는 고분자의 농도가 낮을 경우 SiO_2가 고분자의 움직임에 영향을 미치지 못하나, 고분자 농도가 높을 경우 고분자 사슬 사이의 상호작용을 방해하여 점도를 낮추는 것으로 생각된다.

Figure 9(b)~(d)는 선형 점탄성 조건하에서의 EVA와 SiO_2를 포함하는 용액의 온도에 따른 점탄성거동의 변화를 나타낸 결과로, SiO_2의 존재와는 무관하게 모든 용액은 온도가 증가함에 따라 moduli(storage modulus [G'(T)])]: 탄성에 의해 손실 없이 저장되는 에너지, loss modulus [G"(T)]: 점성에 의해 손실되는 에너지)의 값이 크게 감소하는 경향이 나타난다 (Figure 9(b), Figure 9(c)).

SiO_2를 EVA와 동일한 질량 비율로 도입할 경우에 EVA 단독으로 사용될 경우보다 moduli가 증가하고 이러한 경향은 용매에 대한 용질의 농도가 높을수록 더욱 강하게 나타난다. 또한 두 moduli의 비를 나타내는 Tan δ (Figure 9(d))를 통해 볼 때, 낮은 온도 영역에서는 탄성적인 성질이 임계 온도 이상에서는 점성적인 성질이 우세한 거동을 나타냄을 확인할 수 있다. 또한

www.kci.go.kr

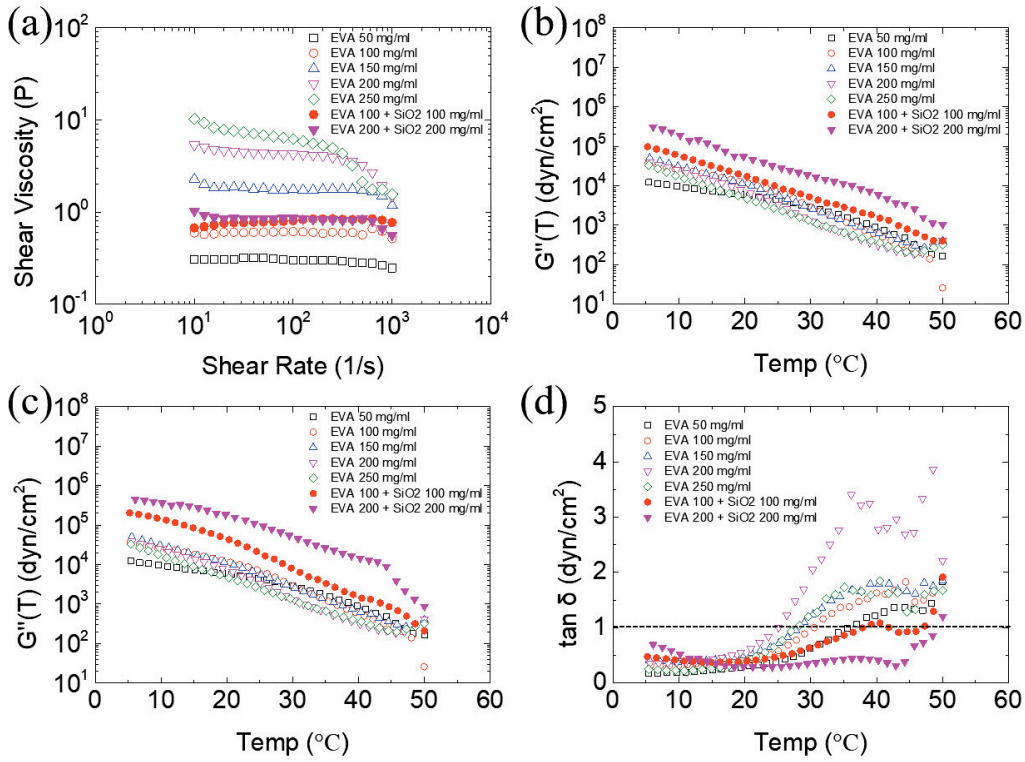

Figure 9. (a) Steady shear viscosities, temperature dependent behavior of (b) storage modulus (c) loss modulus and (d) Tan δ.

EVA를 단독으로 사용한 물질보다 SiO_2나노입자를 같이 사용한 경우 Tan δ가 더욱 높은 온도 영역까지 안정적으로 유지되며, 공정 온도 전 구간에서 탄성적 성질이 우세하게 (Tan δ 〈 1) 발현됨을 알 수 있다.

3.8 산란 필름의 대면적 제작 결과

Figure 10은 roll-to-roll 장비로 생산된 필름 사진이다. EVA에 대한 SiO_2의 질량 비율이 1:1인 조건에서 필름을 제작하였고 그 결과 폭 15cm, 길이 35m에 해당하는 필름 롤을 생산하였다. 만들어진 산란 필름의 두께는 micrometer로 측정하였을 때 100 μm의 PET 기판을 포함하여 130~160 μm이다. 용액 분사 후 코팅에서부터 권취부분까지의 길이에 해당하는 건조 길이는 65cm로 상대적으로 짧지만, THF의 높은 휘발성 때문에 안정적으로 필름을 권취할 수 있었다.

Figure 10. Scattering film roll coated by roll-to-roll process.

4. 결 론

본 연구에서 우리는 EVA 고분자와 SiO_2나노입자가 질량비 1:1로 만들어진 산란 필름이 최적의 전체투과율과 확산투과율을 나타낸다는 것을 확인하였다.

특히 복합용액의 유변학적 특성을 관찰하여 100mg의 EVA와 SiO_2가 포함된 용액에서 SiO_2나노입자가 EVA 고분자의 거동을 방해하지 않고 잘 섞이는 사실을 확인하였다. 또한 최적의 전체투과도와 확산투과도를 갖는 조건을 바탕으로 roll-to-roll 공정에 적용하여 35m 길이의 산란 필름을 생산하였다.

www.kci.go.kr

감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)과 2018년도 BB21+사업에 의하여 연구되었음.

References

1. T. Yamasaki, K. Sumioka, and T. Tsutsui, Organic Light-Emitting Device with an Ordered Monolayer of Silica Microspheres as a Scattering Medium, *Applied Physics Letters*, **76**(10), 1243(2000).
2. J. J. Shiang, T. J. Faircloth, and A. R. Duggal, Experimental Demonstration of Increased Organic Light Emitting Device Output via Volumetric Light Scattering, *J. of Applied Physics*, **95**(5), 2889(2004).
3. M. K. Wei and I. L. Su, Method to Evaluate the Enhancement of Luminance Efficiency in Planar Oled Light Emitting Devices for Microlens Array, *Optics Express*, **12**(23), 5777(2004).
4. J. Lim, S. S. Oh, D. Y. Kim, S. H. Cho, I. T. Kim, S. H. Han, H. Takezoe, E. H. Choi, G. S. Cho, Y. H. Seo, S. O. Kang, and B. Park, Enhanced Out-coupling Factor of Microcavity Organic Light-Emitting Devices with Irregular Microlens Array, *Optics Express*, **14**(14), 6564 (2006).
5. F. Li, X. Li, J. Zhang, and B. Yang, Enhanced Light Extraction from Organic Light-Emitting Devices by Using Microcontact Printed Silica Colloidal Crystals, *Organic Electronics*, **8**(5), 635(2007).
6. N. Nakamura, N. Fukumoto, N. Wada, and M. Ohgawara, Light Extraction Analysis of Organic Light Emitting Diodes Fabricated on High Refractive Index Glass Scattering Layer, *J. of Applied Physics*, **117**(5), 055502(2015).
7. K. H. Kim and S. Y. Park, Enhancing Light-extraction Efficiency of Oleds with High-and Low-refractive-index Organic-inorganic Hybrid Materials, *Organic Electronics*, **36**, 103(2016).
8. T. Nakamura, H. Fujii, N. Juni, and N. Tsutsumi, Enhanced Coupling of Light from Organic Electroluminescent Device Using Diffusive Particle Dispersed High Refractive Index Resin Substrate, *Optical Review*, **13**(2), 104(2006).
9. R. Bathelt, D. Buchhauser, C. Garditz, R. Paetzold, and P. Wellmann, Light Extraction from Oleds for Lighting Applications through Light Scattering, *Organic Electronics*, **8**(4), 293(2007).
10. J. Lee, Y. Y. Kwon, E. H. Choi, J. Park, H. Yoon, and H. Kim, Enhancement of Light-extraction Efficiency of Organic Light-emitting Diodes Using Silica Nanoparticles Embedded in TiO_2 Matrices, *Optics Express*, **22**(103), A705(2014).
11. M. Harada, H. Wakana, S. Nobuki, H. Sakuma, M. Kawasaki, and S. Aratani, Characterization of Light Extraction Efficiency for Woleds with Light-out-coupling Layer, *J. of the Society for Information Display*, **23**(1), 1(2015).
12. J. Hegmann, R. Jahn, S. Schonau, N. Sommer, and P. Lobmann, SiO_2-TiOv Scattering Layers Prepared by Sol-Gel Processing for Light Management in Thin Film Solar Cells, *J. of Sol-Gel Science and Technology*, **74**(3), 585(2015).
13. T. W. Koh, J. A. Spechler, K. M. Lee, C. B. Arnold, and B. P. Rand, Enhanced Outcoupling in Organic Light-emitting Diodes Via a High-index Contrast Scattering Layer, *Acs Photonics*, **2**(9), 1366(2015).
14. S. Luo, P. Yi, Y. Xiong, J. Shen, and S. Guo, Light-scattering Capacity of Ethylene-vinyl Acetate Copolymers in Polypropylene: Toward High haze and Transmittance, *J. of Applied Polymer Science*, **133**(34), 42844(2016).
15. W. Suthabanditpong, M. Tani, C. Takai, M. Fuji, R. Buntem, and T. Shirai, Facile Fabrication of Light Diffuser Films Based on Hollow Silica Nanoparticles as Fillers, *Advanced Powder Technology*, **27**(2), 454(2016).
16. W. Stark and M. Jaunich, Investigation of Ethylene/vinyl Acetate Copolymer(EVA) by Thermal Analysis DSC and DMA, *Polymer Testing*, **30**(2), 236(2011).
17. S. Takahashi, H. Okada, S. Nobukawa, and M. Yamaguchi, Optical Properties of Polymer Blends Composed of Poly(Methyl Methacrylate) and Ethylene-vinyl Acetate Copolymer, *European Polymer J.*, **48**(5), 974 (2012).

www.kci.go.kr

18. J. G. Lim, K. Kwak, and J. K. Song, Computation of Refractive Index and Optical Retardation in Stretched Polymer Films, *Optics Express*, **25**(14), 16409(2017).

Authors

조국현 부산대학교 유기소재시스템공학과 박사과정 학생
양준영 부산대학교 유기소재시스템공학과 석사과정 학생
이시우 부산대학교 유기소재시스템공학과 박사과정 학생
박은경 부산대학교 유기소재시스템공학과 박사후 연구원
최근석 부산대학교 유기소재시스템공학과 학사과정 학생
송기원 부산대학교 유기소재시스템공학과 교수
김효정 부산대학교 유기소재시스템공학과 교수

www.kci.go.kr