

m-Aramid/PAA 블렌딩 필름의 제조 및 특성

Preparation and Characteristics of Poly(*m*-phenyleneisophthalamide) /Poly Amic Acid Blended Film

*Corresponding author

Jaewoong Lee
(jaewlee@yu.ac.kr)

이지수, 장아영, 권지은¹, 이승우¹, 이상오², 이재웅*

영남대학교 파이버시스템공학과, ¹영남대학교 화학공학부, ²영남대학교 의류패션학과

Jisu Lee, Ayoung Jang, Ji Eun Gwon¹, Seung Woo Lee¹,

Sang Oh Lee², and Jaewoong Lee*

Department of Fiber System Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

¹School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

²Department of Clothing and Fashion, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

Received December 18, 2023
Revised December 20, 2023
Accepted December 21, 2023

Textile Coloration and Finishing

TCF 35-4/2023-12/221-230

© 2023 The Korean Society of
Dyers and Finishers

Abstract Meta-aramid and polyamic acid were separated and the manufactured films were analyzed for their integration and logarithmic properties. The miscibility of meta-aramid and polyamic acid was analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy and scanning electron microscopy. Using calorimetric analysis and differential scanning calorimetry, the storage of meta-aramid and polyamic acid, indicated on the right side of the column, was analyzed. It was confirmed that the initial thermal resistance occurs because the polyamic acid is accounted for in the meta-aramid, and the glass transition temperature and persistence phenomenon are explained.

Keywords *m*-aramid, polyamic acid, blended composite, heat-resistant, antimicrobial

1. 서 론

산업용 섬유소재는 금속 또는 세라믹 등의 소재에 비하여 상대적으로 비중이 낮으며, 강도, 경도, 유연성 등에서도 유리한 특성을 지니고 있어 다양한 분야 및 조건에서 금속과 플라스틱의 대체 재료로 그 수요가 증가하고 있다. 산업용 섬유 소재의 수요와 사용 범위가 증가함에 따라 금속 또는 세라믹 소재가 가지는 내열성과 내구성, 내화학성 등의 많은 성능이 요구되고 있다. 이러한 산업용 섬유의 대표적인 예로는 탄소섬유, 아라미드 섬유, 폴리이미드(PI), 폴리카보네이트(PC), 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE) 등이 있다¹⁻³.

이들 중 아라미드 섬유는 그 소재 고분자를 기반으로 Poly *p*-phenyleneterephthalamide(PPTA, 파라-아라미드)와 Poly *m*-phenyleneisophthalamide(PMIA, 메타-아라미드)로 구분할 수 있다⁴. Poly(*m*-phenyleneisophthalamide)(PMIA)로 제조

된 메타-아라미드 섬유의 경우, 강도는 PPTA 대비 현저하게 낮으나, 내열성은 일반 섬유고분자 대비 우수한 특성을 갖는 섬유이다⁵. 이러한 PMIA의 높은 내열성은 방향족 폴리아미드(Aromatic polyamide)라는 명칭에서도 알 수 있듯이 분자의 구조상에 높은 비율의 방향족 고리가 분포하며, 이들 방향족 고리에 존재하는 이중 결합에 기인한 것이다. 또한 연소 시 인체에 유해한 가스가 발생하지 않을 뿐만 아니라 내열성, 절연성, 난연성 등의 특성으로 인해 변압기, 케이블, 모터 및 전선피복 등 여러 장비의 절연제로 적용되고 있다⁶⁻⁸.

한편 폴리이미드(Poly Imide, PI)는 우수한 열적, 기계적, 화학적 물성을 가지는 고분자 소재이다. 우주·항공분야 뿐만 아니라 전기분야, 정밀기계부품, 접착제 분야 및 반도체·디스플레이 분야 등에서 전자 산업용 소재로 사용되는 중요한 고부가가치 소재중의 하나이다⁹. 폴리이미드는 전구체인 폴리아믹산(Poly amic acid)의 이미드화로 형성된다. 폴리아믹산의 폴리이미드로의 전환은 주로 물 분자가 손실되는 축합반응 즉, 열

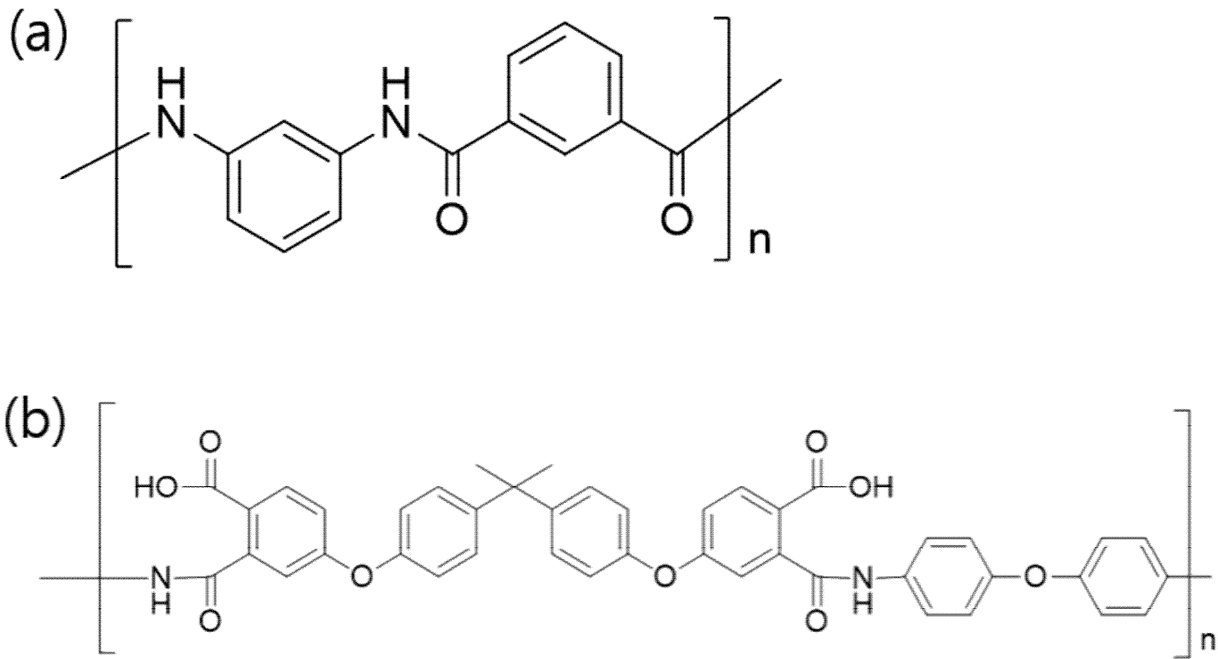


Figure 1. Chemical structure of (a) *m*-aramid and (b) Poly amic acid.

이미드화 공정을 통해 형성된다¹⁰). 또한, 폴리아미산은 이미드화된 폴리아미드에 비하여 높은 양이온 착화 특성을 가지며 이로 인해 금속염과 반응하여 금속-고분자 혼합물을 생성할 수 있다¹¹).

이러한 폴리아미산의 착화력을 기반으로 Daniel Andreescu 등은 폴리아미산-금속 나노입자 복합체를 합성 및 최적화하고 전극 위에서 높은 안정성을 가지는 폴리머를 제조하였다¹²). 그러나 폴리아미산은 섬유로 제조하였을 때, 섬유 내부의 다공성 형성으로 인해 인장강도가 0.3GPa에 불과할 정도로 기계적 특성은 현저히 약하다³).

우수한 내열특성을 가지는 메타-아라미드, 폴리아미산 및 폴리아미드는 현장 요구조건에 따라 다양한 방향으로 물성 향상 연구가 진행되었다. 이러한 연구의 일환으로 Lee 등은 파라-아라미드 섬유에 폴리아미산을 코팅한 후 폴리아미산의 이미드화를 통하여 폴리아미드가 코팅된 파라-아라미드 복합사를 제조하고, 그 열적 특성을 입증하였으며¹), Song 등은 폴리아미드와 아라미드 나노섬유를 결합하여 경량화, 높은 기계적 특성, 단열 및 흡음성을 가지는 스폰지 소재 기술을 개발하는 등 다양한 방향으로 물성향상을 위한 개발을 진행하였다¹³). 그러나 현재까지 고분자의 특성을 향상시키기 위하여 메타-아라미드와 폴리아미산 블랜드의 제조 및 그 특성을 확인한 선행연구는 확인되지 않는다.

본 연구에서는 고내열성 소재인 메타-아라미드와 폴리아미드의 전구체인 폴리아미산을 블렌딩한 복합용액을 제조하고, 메타-아라미드와 폴리아미산의 혼합비율에 따른 혼합성을 Fourier-transform infrared spectroscopy(FT-IR) 및 Differential

scanning calorimetry(DSC)을 사용하여 간접적으로 확인하였으며, Thermogravimetric analysis(TGA)와 DSC를 사용하여 열적특성의 변화를 살펴보았다.

또한 Scanning electron microscope(SEM)을 사용하여 비율 변동에 따른 표면 및 단면의 모폴로지 변화를 관찰하였으며, 메타-아라미드와 폴리아미산의 제조 비율에 따른 항균성을 Disc diffusion 시험법을 통해 확인하였다.

2. 실험 및 분석

2.1 중합체 합성 및 블렌드 필름 제조

2.1.1 메타-아라미드 필름 제조

메타-아라미드는 휴비스(HUBIS Co., Ltd., Korea)에서 제공받은 메타-아라미드 단섬유(Staple fiber)를 상온에서 수세 및 에탄올을 사용하여 세척한 후 아세톤에 추가 세척을 진행하고 24시간 상온 건조하여 준비하였다. 세척한 메타-아라미드 2g, N,N-Dimethylacetamide(DMAC) 13.3ml, LiCl 1.06g을 비이커에 넣고 130°C에서 4시간 교반 후, 오븐에서 50°C로 예열된 유리판 위에서 필름 메이커를 사용하여 필름을 제조하였다. 제조된 메타-아라미드 필름은 증류수에 DMAC 10wt%가 혼합된 용액을 활용하여 상온 조건으로 고화하였다. 고화된 필름은 80°C의 증류수에서 3시간 동안 세척한 후, 상온에서 24시간 동안 건조하였다.

Table 1. Ratio of m-Aramid/PAA

Ratio of m-Aramid:PAA	m-Aramid	PAA	DMAc	LiCl
m-Aramid:PAA=75:25 (mA/PAA 75:25)	1.5g	6.25g	9.975	0.795g
m-Aramid:PAA=50:50 (mA/PAA 50:50)	1g	12.5g	6.65	0.53g
m-Aramid:PAA=25:75 (mA/PAA 25:75)	0.5g	18.75g	3.325	0.265g

2.1.2 폴리아믹산 필름 제조

4,4'-Oxydianiline(ODA) 3g을 플라스크에 넣고 DMAc 32.5ml에 녹인 후, 4,4'-(4,4'-Isopropylidenediphenoxy)bis(phthalic anhydride)(BPADA)를 7.8g 첨가하여 상온에서 8시간 이상 교반하여 폴리아믹산을 제조하였다. 그 후 오븐에서 50°C로 예열된 유리판 위에서 필름메이커를 사용하여 폴리아믹산 용액을 필름 형태로 만든 후 증류수에 DMAc 10wt%가 혼합된 용액으로 고화하였다. 고화된 필름은 80°C의 증류수에서 3시간 동안 세척한 후, 상온에서 24시간 동안 건조하였다.

2.1.3 메타-아라미드/폴리아믹산 블렌딩 필름 제조

메타-아라미드, DMAc, LiCl을 Table 1에 나타난 비율에 맞게 비이커에 넣고 130°C에서 4시간 교반 후, Table 1의 비율에 따라 폴리아믹산을 넣고 30분간 교반하였다. 그 후, 오븐에서 50°C로 예열된 유리판 위에서 필름메이커를 사용하여 필름으로 제조한 후 증류수에 DMAc 10wt%가 혼합된 용액으로 상온조건에서 고화하였다.

2.1.4 제조 필름의 염소화(Chlorination)

4wt% Sodium hypochlorite를 증류수에 10wt% 혼합한 후, 아세트산을 사용하여 침지 용액을 pH 7로 제조하였다. 그 후, 메타-아라미드 필름, 폴리아믹산 필름, m-Aramid:PAA=50:50 필름을 각각 1시간 동안 침지 후 45°C의 증류수에서 2시간 동안 수세하고 건조오븐을 사용하여 40°C에서 2시간 건조하였다. 샘플의 지름은 5mm로 준비하였다.

2.2 중합체 및 블렌드 특성 분석

2.2.1 Fourier-transform infrared spectroscopy(FT-IR)

위의 제조 방법으로 얻은 필름의 블렌딩 비율에 따른 혼합 여부를 확인하기 위하여 Attenuated total reflection(ATR)이 장착된 FT-IR기기(Spectrum100, PerkinElmer Inc., USA)를 사용하여 700cm⁻¹ ~ 4000cm⁻¹ 범위에 걸쳐 각 필름의 분광 분

석을 실시하였다.

2.2.2 전자주사현미경(Scanning electron microscope, SEM)

메타-아라미드 필름, 폴리아믹산 필름 및 메타-아라미드/폴리아믹산 블렌딩 필름의 표면 및 단면의 모폴로지를 확인하기 위해 FE-SEM(S-4800, HITACHI, LTD., Japan)를 사용하여 각 필름의 표면 및 단면을 분석하였다. 분석 전 샘플을 백금코팅한 후, 15kV에서 배율을 7.0k로 설정하여 분석하였다.

2.2.3 열중량 분석기(Thermogravimetric analysis, TGA)

메타-아라미드 필름, 폴리아믹산 필름 및 메타-아라미드/폴리아믹산 블렌딩 필름의 열분해온도를 측정하기 위하여 TG-DTA(SDT Q600, TA Instruments, USA)를 사용하여 질소 분위기에서 승온 속도 10°C/min로 상온에서 800°C까지 설정하여 측정하였다.

2.2.4 시차주사열량분석기(Differential scanning calorimetry, DSC)

메타-아라미드 필름, 폴리아믹산 필름 및 메타-아라미드/폴리아믹산 블렌딩 필름의 유리전이온도(Tg)를 측정하기 위하여 시차주사열량계(DSC Q200, TA Instruments, USA)를 사용하여 질소 분위기에서 승온 속도 10°C/min로 40°C에서 300°C까지 설정하여 측정하였다.

2.2.5 항균성 평가

메타-아라미드 필름, PAA 필름 및 메타-아라미드/폴리아믹산 블렌딩 필름의 항균성을 확인하기 위하여 항균성 평가를 실시하였다. 균주는 그람양성균에 속하는 Bacillus cereus를 사용하였으며, 측정 방법은 Kirgy-Bauer Disk Diffusion test를 사용하여 측정하였다.

고체 배지는 Luria-Bertani Broth(Oxoid., LTD, UK) 2.5g 와 Agar(Daejung Chemicals & Metals Co., LTD, Korea) 2.5g, 증류수 100ml를 섞은 후 Autoclave에서 120°C, 20분, 103kPa조건에서 멸균하여 패트리 디쉬에 옮겨 담고 건조 및 냉장 보관하였다. 도말 전 세균을 배양할 액체 배지는 증류수 100ml, Luria-Bertani Broth 2.5g을 섞은 후 50ml 커니컬 튜브에 옮겨 담고 Autoclave에서 120°C, 20분, 103kPa조건에서 커니컬 튜브를 멸균하였다. 그 후 저온 보관한 *Bacillus cereus* 균을 1ml 넣고 인큐베이터 내에서 37°C, 24시간 배양하였다. 이후 고체 배지에 배양된 균액 0.1ml를 골고루 퍼바른 뒤, 준비한 시료를 간격을 두고 붙이고 고체 배지의 뚜껑을 닫고 랩핑 후 24시간, 37°C 조건에서 인큐베이터 배양하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 복합 필름의 화학적 조성 변화

메타-아라미드와 폴리아미산을 혼합하였을 때 나타나는 블렌딩 필름의 화학적 조성 변화를 확인하기 위하여 메타-아라미드/PAA(mA/PAA) 블렌딩 필름의 FT-IR Spectroscopy를 분석하였고, 그 결과를 Figure 2에 나타내었다.

메타-아라미드는 3303cm⁻¹(-NH), 1652cm⁻¹(Amide 1 band의 -C=O 신축 진동), 1539cm⁻¹(-N-H 굽힘진동)에서 특징적인 피크를 가지는 것을 확인하였다¹⁴⁻¹⁶. 폴리아미산의 경우, 3600cm⁻¹(-NH, -OH 신축진동), 1712cm⁻¹(카복실기 C=O), 1651cm⁻¹(-CONH-), 1498cm⁻¹(-C=O 신축진동), 1218cm⁻¹(-CN 신축진동)등의 피크를 가지는 것을 알 수 있었다¹⁷⁻¹⁹.

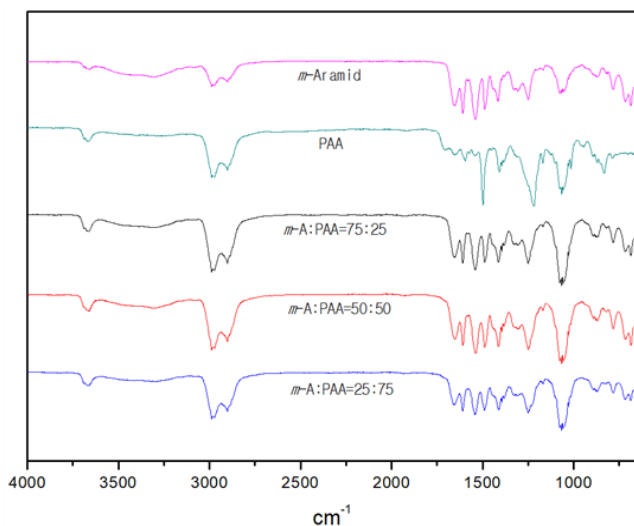


Figure 2. FT-IR Spectroscopy of *m*-Aramid, PAA and *m*-Aramid/PAA blended film.

mA/PAA 블렌딩 필름의 FT-IR 분석결과, 메타-아라미드와 폴리아미산의 특징적인 Peak를 확인하였고, 폴리아미산의 비율이 증가할수록 폴리아미산의 특징적인 피크들인 2988cm⁻¹ ~ 2900cm⁻¹, 1712cm⁻¹, 1075cm⁻¹의 intensity가 증가함을 알 수 있었다. FT-IR 피크들을 근거로 메타-아라미드와 폴리아미산 블렌딩 필름내에는 메타-아라미드와 폴리아미산 두 고분자가 섞인 상태로 존재함을 확인하였다.

3.2 복합 필름의 열적 특성

제조한 메타-아라미드/폴리아미산 블렌딩 필름의 열적 특성을 측정하기 위하여 DSC를 분석하여 그 결과를 Figure 3 및 Table 3에 나타내었다.

전체적으로 Tg 피크가 미세하게 관측되거나 잘 띄지 않는 경향을 보였으며, 미세한 Tg 피크를 기반으로 볼 때 폴리아미산의 비율이 높아질수록 메타-아라미드/폴리아미산 블렌딩 필름의 Tg가 감소함을 확인할 수 있었다. 즉 상대적으로 낮은 Tg를 보이는 폴리아미산의 비율이 높아질수록 메타-아라미드/폴리아미산 블렌딩 필름의 Tg 피크는 감소함을 확인하였다. 이를 근거로 메타-아라미드와 폴리아미산은 다양한 혼합비율에서 혼합성을 보인다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Tg가 서로 다른 두 고분자 간에 혼합성이 있을 경우, 두 고분자의 블렌딩 필름은 하나의 Tg를 보이는 결과와 일치하는 것이다^{20,21}.

질소분위기에서 시행한 TGA 분석결과는 Figure 4와 Table 3에 나타내었다.

Figure 4에서 약 100°C ~ 200°C 부근에서 탈수과정에 의한 1차 무게감소가 약 8% 발생하고 약 350°C ~ 550°C에서 급속한 무게 변화가 일어남으로 해당 범위에서 필름의 열분해가 일어남을 확인할 수 있다^{22,23}. 열분해에 의한 중량감소 별 온도

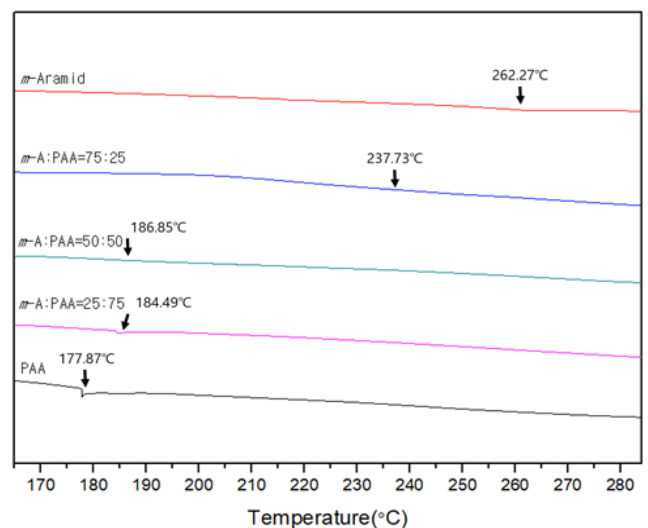


Figure 3. DSC thermograms of *m*-Aramid/PAA blended film at a heating rate of 10°C/min(in N₂).

Table 2. Glass transition temperature of *m*-Aramid/PAA blended film

	<i>m</i> -Aramid	<i>m</i> -A:PAA=75:25	<i>m</i> -A:PAA=50:50	<i>m</i> -A:PAA=25:75	PAA
Tg (°C)	262.27	237.73	186.85	184.49	177.87

Table 3. Thermal properties of *m*-Aramid/PAA blended film

	T20%	T50%	Char yield (800°C, %)
<i>m</i> -Aramid	447.5	592.44	39.98
PAA	513.47	630.28	41.91
<i>m</i> A/PAA 75:25	457.91	626.72	43.20
<i>m</i> A/PAA 50:50	453.83	584.34	39.73
<i>m</i> A/PAA 25:75	489.59	578.77	36.19

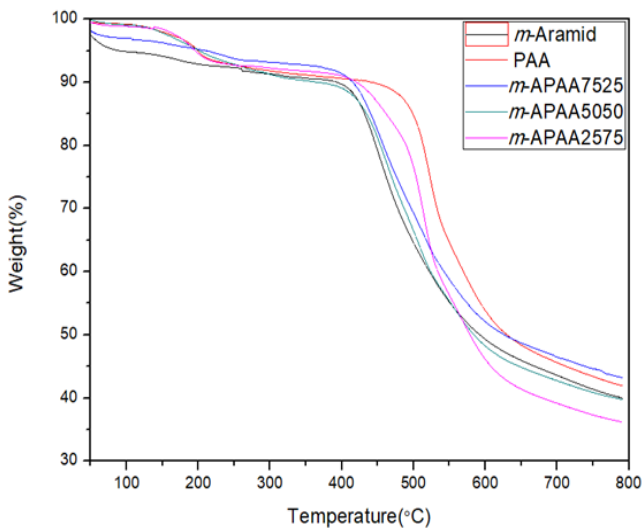


Figure 4. Thermal characterization of *m*-Aramid/PAA blended film.

(T20%, T50%)와 탄화물 생성량(Char Yield, %)는 Table 3에 나타내었다.

메타-아라미드와 메타-아라미드/폴리아미드산 블렌딩 필름의 T20% 온도를 확인하였을 때, 폴리아미드산의 비율이 증가함에 따라 온도가 증가하는 경향을 보이나, 탄화물 생성량은 감소하는 경향을 보임을 확인할 수 있다.

이를 통하여, 각 필름은 탈수과정이 유사하게 일어나나, 폴리아미드산 함량이 증가할수록 열분해온도가 증가하며 탄화물은 메타-아라미드와 폴리아미드산 비율이 75:25일 때 탄화수율이 높음을 확인할 수 있다. 이들 결과로부터 순수한 메타 아라미드와 비교하여 메타-아라미드와 폴리아미드산을 75:25 비율로 제조하였을 때의 필름의 열 저항성이 크게 향상됨을 확인할 수 있다. 이러한 폴리아미드산 함량 증가에 따른 열 저항성(T20%)의 증가는 PAA의 열적 이미드화에 기인한 것으로 여겨진다. 즉, PAA는 Polyimide(PI) 전구체이며, PAA의 열적 이미드화는 250°C 이상 400°C 이하의 조건에서 이루어지므로 이러한 이미드화에 의해 생성된 PI의 우수한 열적특성이 메타-아라미드/폴리아미드산 블렌딩 필름에 증가된 열적 특성으로 반영된 것으로 사료된다²⁴⁾.

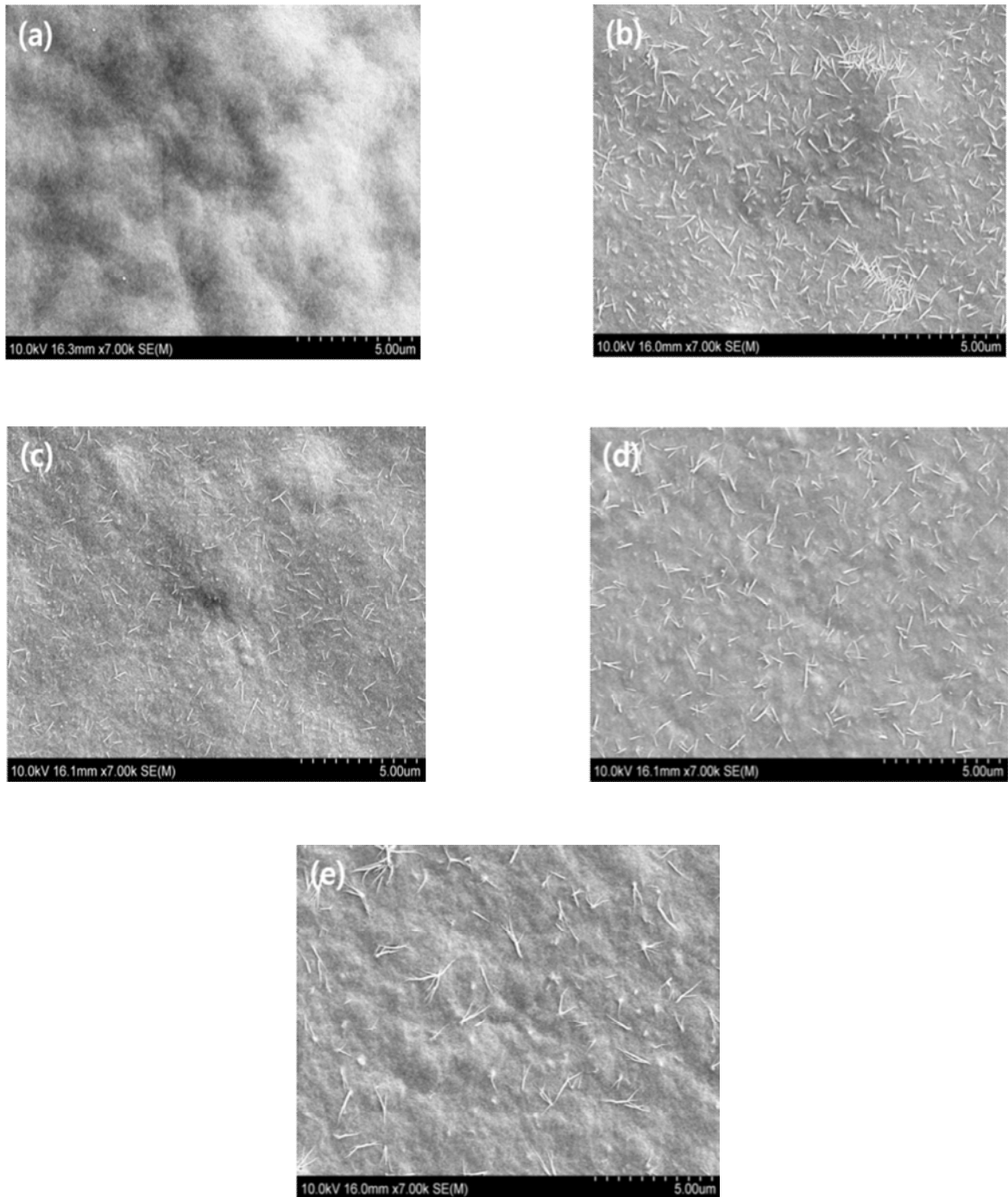


Figure 5. Surface of *m*-Aramid/PAA blended film; (a) PAA, (b) *m*-Aramid, (c) *m*-Aramid:PAA=75:25, (d) *m*-Aramid:PAA=50:50, (e) *m*-Aramid:PAA=25:75.

3.3 복합 필름의 표면 및 단면 특성

메타-아라미드/PAA 블렌딩 필름의 표면형태 관찰을 위하여, SEM을 사용하였으며 그 결과를 Figure 5에 나타내었다.

Figure 5(a)에서 보는 바와 같이, 표면이 조금의 거친 구조를 가지는 것을 확인할 수 있으며, Figure 5(a)를 제외한

Figure 5 (b)~(e) 필름의 표면에서는 선행연구와 유사하게 메타-아라미드를 용해하고 필름을 제조하였을 때 확인할 수 있는 ANF (Aramid Nano Fiber)의 형태를 확인할 수 있었다^(25,26).

메타-아라미드의 함량이 감소할수록 ANF가 감소하며 폴리아믹산의 함량이 증가함에 따라 기공이 증가하고, 미세한 갈라짐

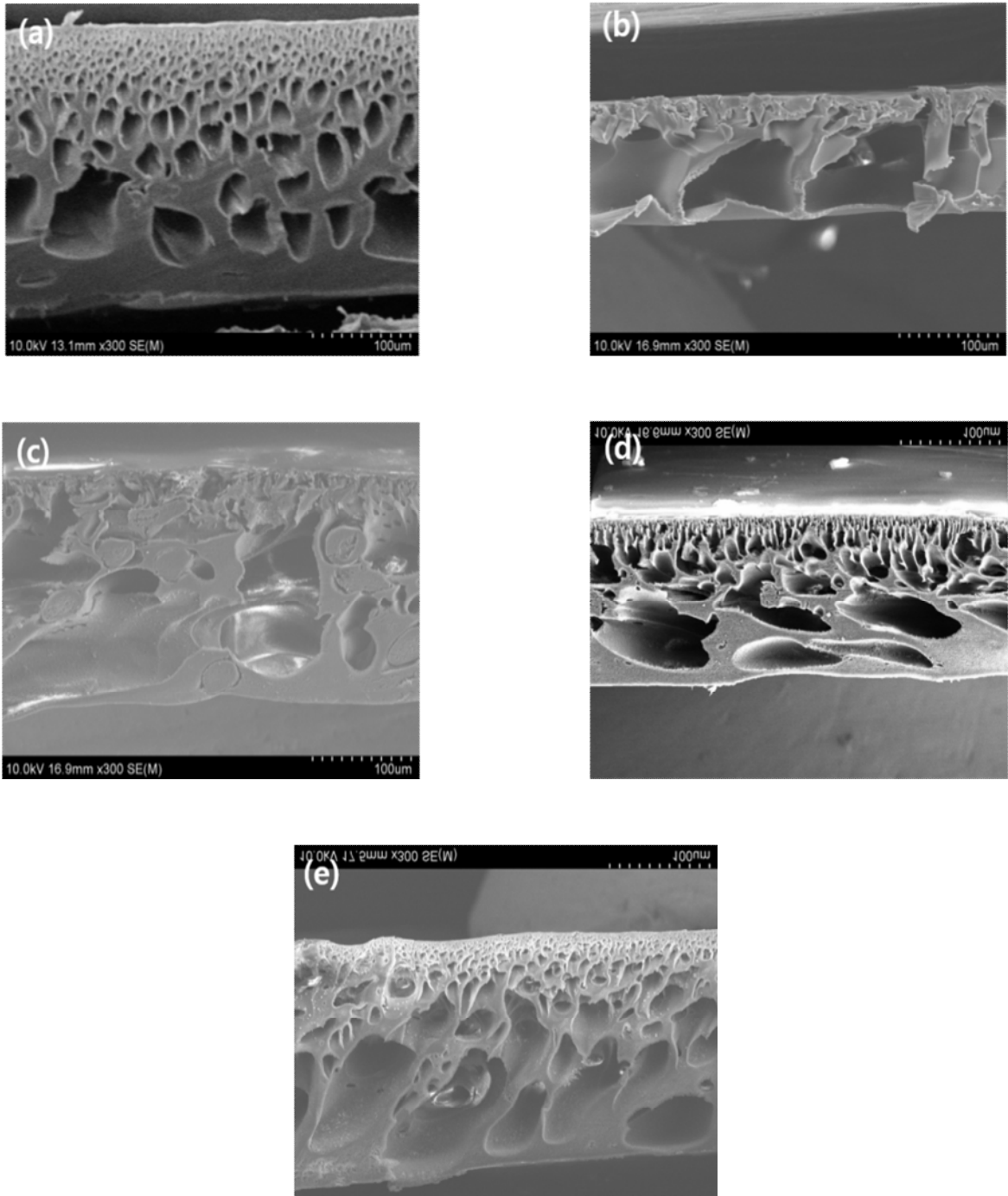


Figure 6. Cross section of *m*-Aramid/PAA blended film; (a) *m*-Aramid, (b) PAA, (c) *m*-Aramid:PAA=75:25, (d) *m*-Aramid:PAA=50:50, (e) *m*-Aramid:PAA=25:75.

이 형성됨을 확인할 수 있었다.

좀 더 구체적인 메타-아라미드/PAA 블렌딩 필름의 형태를 살펴 보기 위해 메타-아라미드/PAA 블렌딩 필름의 단면 이미지를 SEM으로 측정하여 Figure 6에 나타내었다.

유리판 위에서 메타-아라미드/PAA 블렌딩 고분자가 고화될

때를 기준으로 유리판과 접촉한 필름면과 멀어질수록 기공의 사이즈가 작게 형성됨을 확인할 수 있으며, 이와는 반대로 고화시 기준으로 유리판과 접촉한 필름면으로 향할수록 기공이 넓게 퍼지고, 기공의 크기가 커짐을 확인할 수 있다. 고화 시, 메타-아라미드/PAA 블렌딩 고분자 내에 있던 용매인 DMAc가

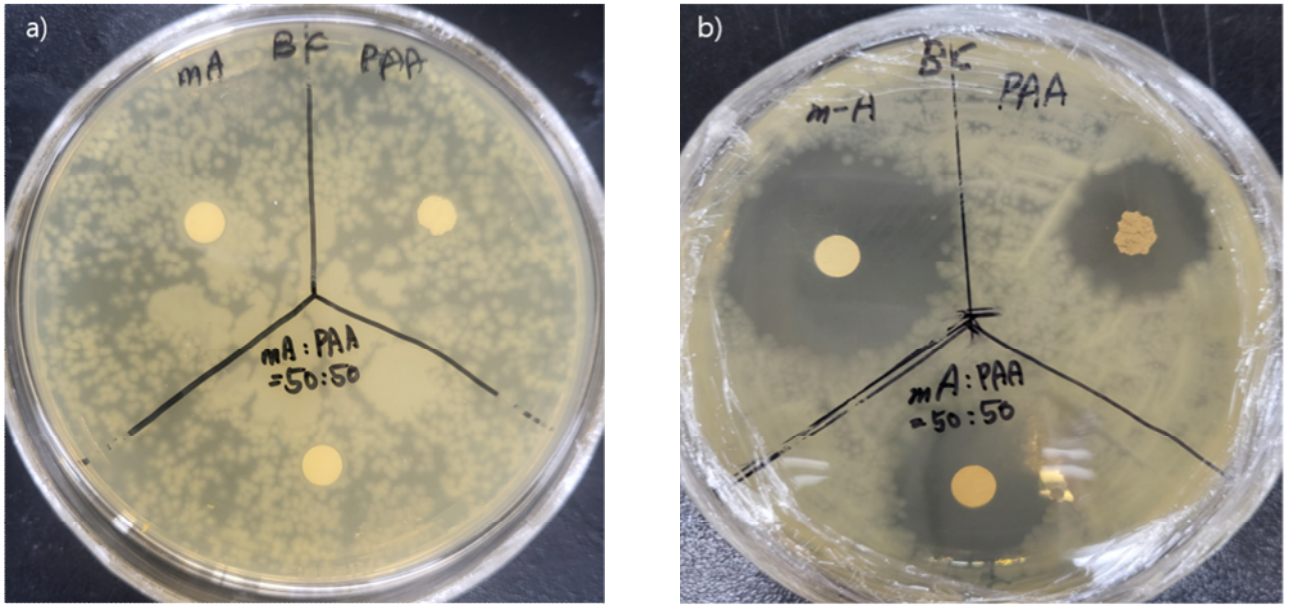


Figure 7. Antimicrobial property of chlorinated *m*-Aramid, PAA and *m*-Aramid:PAA=50:50(Method for disk diffusion); a) Control samples, b) Chlorinated samples.

필름 내부에서 빠져나가고 그 자리를 고화액인 물이 채워지면서 메타-아라미드/PAA 필름의 고화가 일어나게 된다.

즉, 메타-아라미드/PAA를 녹이는 용매와 녹이지 못하는 액체의 치환에 의해 메타-아라미드/PAA 고분자의 최종 고화가 이루어지는 것으로 알려져 있다²⁶⁾.

이렇게 표면과 이면쪽으로 다른 형태의 기공이 형성되는 것은 고화 용액과 바로 맞닿게 되는 표면은 이면에 비하여 상대적으로 DMAc가 빠르게 빠져나가게 되면서 빠른 고화가 진행되고, 이면(유리판쪽에 맞닿은 면)의 고화가 상대적으로 늦어졌음을 알 수 있다²⁷⁾. 그리고 스펀지형태의 모폴로지를 가지는 Figure 6(a)와 달리 Figure 6(b-e)에서 손가락 형태(Finger like)의 모폴로지가 형성되는 것을 통해 순수한 메타-아라미드보다 폴리아미드산과 혼합하였을 때 고화용액과 고분자 내 용매가 빠르게 교환 및 고화되었음을 알 수 있었다²⁸⁾.

3.4 복합필름의 항균성 분석

메타-아라미드 필름, 폴리아미드산 필름, 그리고 메타-아라미드/폴리아미드산=50:50 블렌딩 필름을 염소화 시킨 후, Disc diffusion 시험법으로 항균성 테스트를 진행하였으며, 그 결과를 Figure 7 및 Table 4에 나타내었다.

결과적으로 폴리아미드산과 혼합하지 않은 순수한 메타-아라미드의 항균성능이 가장 우수하게 발현함을 확인하였으며, 메타-아라미드/폴리아미드산 블렌딩 필름이 폴리아미드산 필름보다 상대적으로 우수한 항균성능을 발현함을 확인하였다. 이는 메타-아라미드 및 PAA의 염소화에 의해 메타-아라미드 및 PAA 고분자의 N-H가 N-Cl로 치환된 것으로 여겨진다. 이렇게 치환된 N-Cl의 염소가 염소 양이온(Cl⁺)으로 해리되면서 박테리아의 음이온 부분과 정전기적 인력으로 결합하여 최종적으로 박테리

Table 4. Antimicrobial diameter of chlorinated *m*-Aramid, PAA and *m*-Aramid:PAA=50:50

Sample	Diameter(cm)	
	Control sample	Chlorination sample
<i>m</i> -Aramid	-	3
PAA	-	2
<i>m</i> -Aramid:PAA=50:50	-	2.4

아의 생리활성을 방해하거나 세포막을 파괴하여 항균특성을 발현한 것으로 사료된다²⁹⁾.

4. 결 론

메타-아라미드와 폴리아미드의 블렌딩 비율을 변경하며 필름을 제조하고 이에 대해 물리화학적 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 필름의 초기 열분해 온도는 폴리아미드의 비율이 증가함에 따라 온도가 상승하는 영향을 받으나, 탄화율 및 유리전이 온도(Tg)가 낮아짐을 확인하였다. 이를 통해 메타-아라미드와 폴리아미드의 비율이 75:25일 때의 열적특성이 가장 우수함을 확인하였다.
2. 표면 및 단면 관찰 결과, 메타-아라미드 및 메타-아라미드/폴리아미드 블렌딩 필름에 ANF로 보이는 물질이 부착됨을 확인하였으며 메타-아라미드의 비율이 감소함에 따라 ANF가 감소함을 확인하였다. 폴리아미드의 비율이 증가할수록 고화속도가 증가함을 확인하였다.
3. 필름의 염소화 후 항균성 분석 결과, 메타-아라미드와 폴리아미드의 비율에 비례하는 항균성을 나타냄을 확인하였다.

따라서 본 연구를 통하여 메타-아라미드와 폴리아미드의 블렌딩이 가능할 뿐만 아니라 여러 혼합비의 영역에서 혼화성을 가짐을 확인하였다. 이를 근거로, 메타-아라미드와 폴리아미드의 블렌딩 고분자의 신규 응용영역의 확대가 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국 산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 20011293, 고내열(200도 이상) 전기절연지 및 전기자동차용 구동모터 개발, No.P0012770, ICT융합섬유 제조과정 전문인력양성).

References

1. J. W. Lee, S. S. Kim, D. Y. Kang, C. H. Roh, and C. K. Kang, Physicochemical Characterization of Polyimide (PI)/p-aramid: New Functional and Safe Materials with Improved Heat Resistance by a Simple Coating of Polyimide on the Surface of p-aramid, *Progress in Organic Coatings*, **127**,

- 117(2019).
2. D. J. Ahn, C. H. Choi, J. W. Lee, and S. O. Lee, Preparation and Properties of Functional PET Textured Yarn Coated with Aromatic Polymer, *Textile Coloration and Finishing*, **29**(3), 148(2017).
3. Q. H. Zhang, X. T. Li, J. Dong, and X. Zhao, Chapter 6: High-performance Polyimide Fibers, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, **5**, 107(2022).
4. S. H. Park, Synthesis and Characterization of Poly(m-phenyleneisophthalamide) Blend Film, M.S. Thesis, Yeungnam University, 2012.
5. C. Tang, W. Zheng, L. H. Wang, and J. F. Xie, Thermal Stability of Polyphenylsilsesquioxane-modified meta-Aramid Insulation Paper, *The Institution of Engineering and Technology*, **5**(3), 264(2020).
6. M. S. Son, A Study on the Electrical Characteristics of Insulating Materials for Transformers, M.S. Thesis, Yonsei graduate School of Engineering, 2002.
7. S. C. Zhao, E. J. Guo, L. P. Wang, T. Wu, and Y. C. Feng, Effect of pre-Compressive Strain on Microstructure and Mechanical Properties of Mg-2.7Nd-0.4Zn-0.5Zr Alloy, *Materials Science and Engineering*, **647**, 28(2015).
8. Y. S. Gang, S. D. Ji, T. W. Son, Y. S. Jeong, and S. H. Yun, Meta Aramid Paper, *Fiber Technology and Industry*, **15**(1), 1(2011).
9. D. Y. Wee, J. W. Han, and J. K. Choi, Preparation and Characteristics of Blends of Polyimide and Polybenzoxazole Having Imide Ring, *Polymer(Korea)*, **37**(4), 420(2013).
10. N. Du, C. Wong, M. Feurstein, and O. A. Sadik, Flexible Poly(amic acid) Conducting Polymers: Effect of Chemical Composition on Structural, Electrochemical, and Mechanical Properties, *Langmuir*, **26**(17), 14194(2010).
11. Y. C. Ding, H. Q. Hou, Y. Zhao, Z. Zhu, and H. Fong, Electrospun Polyimide Nanofibers and Their Applications, *Progress in Polymer Science*, **61**, 67(2016).
12. D. Andreescu, A. K. Wanekaya, O. A. Sadik, and J. Wang, Nanostructured Polyamic Acid Membranes as Novel Electrode Materials, *Langmuir*, **21**, 6891(2005).
13. S. X. Song, Y. J. Shi, J. J. Tan, Z. S. Wu, M. Y. Zhang, J. Y. Nie, and H. T. Liu, An Efficient Approach to Fabricate Lightweight Polyimide/aramid Sponge with Excellent Heat Insulation and Sound Absorption Performance, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **109**, 404(2022).
14. Y. Li, G. Xie, R. Li, Y. Wu, C. Chen, and Z. Luo, Supercritical Carbon Dioxide Assisted Impregnation and Graft of Polyamide Acid into Aramid Fiber for Formation of Polar Interface, *Journal of Materials Research and Technology*, **21**, 1(2022).
15. G. Lin, H. Wang, B. Yu, G. Qu, S. Chen, T. Kuang, K. Yu, and Z. Liang, Combined Treatments of Fiber Surface

- Etching/silane-coupling for Enhanced Mechanical Strength of Aramid Fiber-reinforced Rubber Blends, *Materials Chemistry and Physics*, **255**, 123486(2020).
16. Y. Ji, X. Yang, Z. Ji, N. Ma, D. Chen, X. Jia, J. Tang, and Y. Cao, DFT-Calculated IR Spectrum Amide I, II, and III Band Contributions of N-Methylacetamide Fine Components, *ACS Omega*, **5**(15), 8572(2020).
 17. M. B. Ahmad, Y. Gharayebi, M. S. Salit, M. Z. Hussein, and K. Xhameli, Comparison of In Situ Polymerization and Solution-Dispersion Techniques in the Preparation of Polyimide/Montmorillonite(MMT) Nanocomposites, *International Journal of Molecular Sciences*, **12**, 6040(2011).
 18. J. H. Chang, Equibiaxially Stretchable Colorless and Transparent Polyimides for Flexible Display Substrates, *Reviews on Advanced Materials Science*, **59**(1), 1(2020).
 19. Z. F. Xue, M. Hu, X. Miao, L. Zangab, and J. T. Guo, Synthesis of a Hydrophobic Associating Polymer and its Application in Plugging Spacer Fluid, *Royal Society of Chemistry*, **12**, 11402(2022).
 20. P. Saxena, P. Shukla, and M. Gaur, Thermal Analysis of Polymer Blends and Double Layer by DSC, *Polymers and Polymer Composites*, **29**(9S), S11(2021).
 21. H. A. Schneider, Glass Transition Behaviour of Compatible Polymer Blends, *Polymer*, **30**, 771(1989).
 22. G. W. Jeon and Y. G. Jeong, Electric Heating Films Based on *m*-Aramid Anocomposites Containing Hybrid Fillers of Graphene and Carbon Nanotube, *Journal of Materials Science*, **48**, 4041(2013).
 23. S. S. Kim, J. M. Lee, H. H. Jo, and K. Y. Ryoo, Characteristics of Recycled *m*-Aramid and TPP Complex Solutions in Preparation and Cotton Fibers after Coating, *Textile Coloration and Finishing*, **25**(4), 292(2013).
 24. B. N. Kim, S. W. Lee, Y. G. Ko, K. H. Jung, and O. H. Kwon, Fabrication of Nanofibrous Polyimide Non-wovens by Isothermal Heat Treatment from Electrospun Poly(amic acid) Nanofiber Mats, *Polymer(Korea)*, **41**(1), 75(2017).
 25. X. H. Lu, J. W. Xu, and L. M. Wong, Blends of Polyimide and Dodecylbenzene Sulfonic Acid-doped Polyaniline: Effects of Polyimide Structure on Electrical Conductivity and its Thermal Degradation, *Synthetic Metals*, **156**(2), 117(2006).
 26. K. Yang, X. Liu, and M. Chen, ZIF-8 Modified Poly(*m*-phenylene isophthalamide) (PMIA) Hybrid Membrane for Dye Wastewater Treatment, *Journal of Industrial Textiles*, **52**, 1(2022).
 27. J. U. Garcia, T. Iwama, E. Y. Chan, D. R. Tree, K. T. Delaney, and G. H. Fredrickson, Mechanisms of Asymmetric Membrane Formation in Nonsolvent-Induced Phase Separation, *ACS Macro Letters*, **9**, 1617(2020).
 28. G. R. Guillen, Y. Pan, M. Li, and E. M. V. Hoek, Preparation and Characterization of Membranes Formed by Nonsolvent Induced Phase Separation: A Review, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, **50**, 3633(2011).
 29. F. Wang, L. Huang, P. Zhang, Y. Si, J. Yu, and B. Ding, Antibacterial N-halamine Fibrous Materials, *Composites Communications*, **22**, 100487(2020).

Authors

- 이지수** 영남대학교 파이버시스템공학과 석사과정 학생
장아영 영남대학교 파이버시스템공학과 석사과정 학생
권지은 영남대학교 화학공학부 석사과정 학생
이승우 영남대학교 화학공학부 교수
이상오 영남대학교 의류패션학과 교수
이재웅 영남대학교 파이버시스템공학과 교수