

AC와 DC 코로나 처리에 따른 폴리에스테르 직물의 접착성질 비교

이재호[†]

부산대학교 바이오소재과학과
(2016년 7월 28일 접수, 2016년 9월 8일 수정, 2016년 9월 8일 채택)

The Comparison of Adhesion Properties on Polyester Fabric by AC and DC Corona Treatment

Jae Ho Lee[†]

Department of Biomaterial Engineering, Pusan National University, Miryang 50463, Korea
(Received July 28, 2016; Revised September 8, 2016; Accepted September 8, 2016)

요약: AC 코로나와 DC 코로나 처리 효과들을 비교하기 위해 선행연구의 DC 코로나 처리 조건들과 같이 폴리에스테르 직물들을 전류세기 5, 10, 15 A로, 공급속도 5, 10, 15 m/min로 AC 코로나 처리하였다. 이들의 표면변화를 주사전자현미경(SEM)과 X-ray 광전자분석기(XPS)로 확인하였고, 또한 물리적 성질의 변화를 건조 시와 습윤 시의 접착강도를 통하여 측정하였다. 대기압에서 AC 코로나 방전처리에 의해 폴리에스테르 직물의 표면변화는 DC 코로나 방전과 유사한 경향을 보였다. 일반적으로 AC, DC 코로나 처리 양쪽에서 건조 시의 접착강도는 전류세기와 공급속도가 증가할수록 증가하였으나, 습윤 시의 접착강도는 전류세기가 증가할수록 공급속도가 감소할수록 증가하였다. 전류가 20 A일 때 DC 코로나 방전에서는 탄화가 발생하였으나 AC 코로나에서는 탄화가 발생하지 않았다.

Abstract: Compare AC corona and DC corona treatment effects, polyester fabrics were AC corona treated with different current intensity (5, 10, 15 A) and feeding speed (5, 10, 15 m/min) as the same DC corona treatment conditions of the preceding research. We confirmed the surface change of polyester fabrics using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray photoelectron spectrometer (XPS), and the change of physical properties through measuring the dry and wet bonding strength. The surface changes of polyester fabrics by treating in air atmosphere with AC corona discharge are shown similar tendency with DC corona discharge. Generally dry bonding strength were increased with increasing current intensity and feeding speed, but wet bonding strength were increased with increasing current intensity and decreasing feeding speed in both AC and DC corona treatment. When the current is 20 A, carbonization occurs in DC corona discharge but carbonization does not occur in AC corona discharge.

Keywords: AC corona discharge, SEM, XPS, bonding strength

1. 서 론

코로나 방전은 그 과정에서 다양한 물리화학적 반응을 일으킬 수 있어 이를 다방면 산업분야에 응용할 수 있다. 그러나 실 적용 되고 있는 것은 전기집진기, 오존 발생장치 등의 오염방지장치나 반도체 공정 등의 일부 국한되어 적용되고 있으며 산업분야 전반으로의 기여도가 미미한 상황이다[1-4].

고분자 물질에 코로나 방전을 할 경우는 구체적인 변화 메커니즘은 아직 정확하게 확립되고 있지 않

나, 코로나의 화학적 열적 작용에 의해 고분자물의 표면의 약한 층을 제거하여 요철이 생기는 표면구조의 변화를 가져온다고 하며[5], 이러한 물리적인 변화뿐 아니라 고분자 표면에 화학적인 변화로서 극성 작용기를 도입하여 화학적 성질의 변화도 가져온다는 보고가 있으며[6], 선행 연구[7,8]로부터 확인할 수 있었다.

코로나 전극에 인가되는 교류 전압의 주파수가 증가하면 방전 공간의 정전용량에 의해 흐르는 변위전류의 증가로 인하여 직류 코로나 방전에 비하여 방전 전류가 크게 증가하는 특성을 보인다. 코로나 전류는 인가되는 교류 전압의 주파수가 증가함에 따라 동일한 인가전압에서 보다 큰 코로나 전류를 보이며, 이는

[†]Corresponding author: Jae Ho Lee (james007din@pusan.ac.kr)

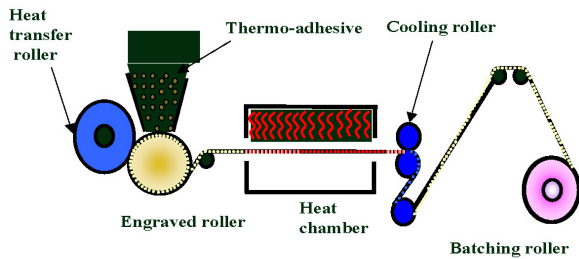


Figure 1. Schematic diagram of corona treatment and adhesion apparatus.

방전장치에 전달되는 에너지가 크게 증가함을 나타낸다[9]. 따라서 본 연구에서는 선행연구에서 사용했던 직류 코로나 방전 대신에 교류 코로나 방전으로 폴리에스테르 직물을 처리하여 화학적 변화와 함께 열경화성 핫 멜트 접착제로 접착하여 접착성질을 비교하고자 한다.

2. 실험

2.1. 재료

2.1.1. 원단

원단은 신발에 주로 많이 쓰이는 폴리에스테르 직물(경·위사 모두 DTY 250 D)을 사용하였다.

2.1.2. 접착제

접착제로서 반응형 폴리우레탄 핫 멜트 접착제가 주목받고 있다. 따라서 본 실험에서는 열경화성 핫 멜트 접착제(Fuller, EU)를 사용하여 피착제와 접착하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 코로나 처리

코로나 표면처리에 영향을 미치는 요인은 여러 가지 있을 수 있는데, 본 실험에서는 이러한 요인 중 전류의 세기를 5, 10, 15 A로, 직물이 코로나 방전관을 통과하는 속도를 5, 10, 15 m/min로 변화시켜 피착포를 표면처리하여 AC 코로나 처리 적정조건을 설정하고자 한다.

2.2.2. 접착공정

코로나 표면처리된 피착포를 동일한 조건으로 접착하였으며, 접착 메커니즘은 Figure 1에 보였다. Heat transfer roller 쪽에 설치된 코로나 처리장치에서 코로나 처리된 직물이 heat transfer roller에 투입되면 engraved roller에서 접착제가 도포되어지고, heat chamber에서 접착제가 95°C로 용융되며, 이후 cooling roller에 의해서 냉각되어 batching roller에 권취된다.

2.2.3. 표면원소분석

직물의 코로나 표면처리 전후의 표면에 대한 원소를 분석하기 위해 Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA, Perkin-Elmer Model PHI 558)를 이용하여 측정하였으며, μ -금속 챔버(μ -metal chamber) 내의 3.1×10^{-8} torr의 압력 하에서 Mg-K α 선을 이용하였다.

2.2.4. 주사전자현미경

코로나 표면처리 전후의 직물의 표면 모폴로지를 관찰하기 위하여 주사전자현미경 FE-SEM (HITACHI S-4200)을 이용하였으며, 가속전압 15 kV에서 3,000배의 배율로 측정하였다.

2.2.5. 결정영역의 변화

결정 구조를 확인하기 위해 X-선 회절장치(D/max-III-A, Rigaku Co.)로 40 kV-20 mA에서 Ni 필터로 여과한 CuK α 선을 이용하여 적도선 방향의 X-선 회절 강도 분포곡선을 얻었다.

2.2.6. 밀도

헵탄(n-heptane : 0.68)과 사염화탄소(CCl_4 : 1.59) 혼합액의 밀도 구배관을 이용하여 23°C에서 ASTM D1505-68에 따라 밀도를 측정하였다.

2.2.7. 접착강도

시료 폭을 25.4 mm로 한 시험편을 만능 인장시험기를 사용하여 clamp 간격 75 mm, 시험속도 100 mm/min로 하여 측정하였다. 또한 접착강도는 건조 상태와 습윤상태로 나누어 측정하였으며, 습윤상태의 접착강도는 습윤건조기에 약 1 h 동안 방치 후 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 표면 원소분석

접착력을 향상시키기 위해서는 물리적으로 표면적을 넓게 하는 방법과 화학적으로 접착관능기를 도입하는 방법이 있는데, 본 실험은 두 번째인 화학적인 기대 요소로서 표면 극성기의 증가에 따른 접착력 향상 방법을 알아보았다. 이러한 변화를 관찰하기 위하여 코로나 방전 처리 시의 전류세기 변화에 따른 표면 극성기의 도입을 확인하기 위하여 XPS를 이용하였다. Figure 2에서 알 수 있듯이 교류 코로나 방전 처리 시의 전류의 세기를 증가시킴으로써 O_{1s} 결합이 코로나 처리 전보다 증가함을 알 수 있으며, 증가하는 경향은 선행 연구[8]의 직류 코로나 처리와 비슷한 결과를 보이고 있다. 이것으로 섬유표면 수십 Å 부근에

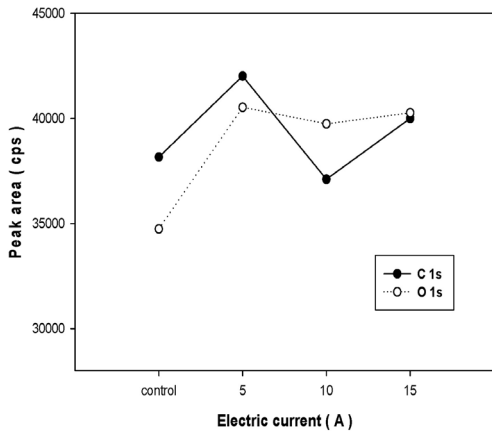


Figure 2. Variation of polar group on the surface of AC corona treated polyester fabrics with different current intensities.

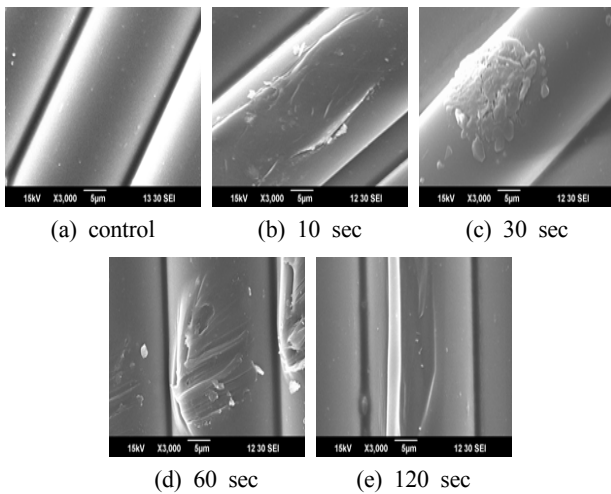


Figure 3. SEM photographs ($\times 3,000$) of the polyester fiber AC corona treated with different discharge time.

산소기를 포함하는 극성기의 도입이 증가하였음을 알 수 있으며, 이러한 극성기 양의 증가에 의해서 수소결합, Van der Waals 결합 등의 물리적 결합력과 공유결합 등의 화학적 결합력의 가능성 증가에 의하여 피착재의 접착력이 증가할 것으로 기대할 수 있다.

3.2. 표면사진(SEM) 분석

현재 사용 중인 직류 코로나 장치는 필름 등에는 처리가 어렵고, 코로나 발생에 대한 규칙성을 알 수 없어 피착재에 상당한 damage를 준다. 또한 상당히 화재 등의 위험성이 크기 때문에 문제가 발생되어지고 있다. 이러한 것을 극복하기 위해 전류를 직류에서 교류로 전환하고 규칙성을 알아보기 위해 실험을 하였다.

교류 코로나 방전 시의 피착재의 표면이 방전시간

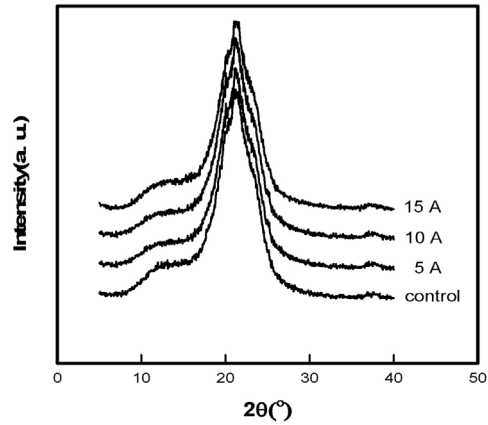


Figure 4. X-ray diffraction profile of polyester fabrics AC corona treated with different current intensity.

에 따라 어떤 변화가 있는지를 규명하기 위해 Figure 3에 교류 코로나 방전으로 인한 PET (250D) 피착재의 섬유 표면 morphology 변화를 SEM 사진을 촬영하여 나타내었다. 전류의 세기를 15 A로 일정하게 하여 코로나 표면 처리한 직물은 방전시간이 증가할수록 표면에 요철과 같은 모양이 증가함을 알 수 있고, 이러한 효과로 접착력의 향상을 가져올 것으로 판단된다.

직류 코로나 처리 시에는 시간의 경과에 따라 피착재가 탄화하는 등의 문제가 발생 되어졌으나 교류 코로나 처리를 행하였을 경우에는 피착재에 대한 문제는 발생되지 않았으며 분포가 좀 더 넓어짐을 알 수 있었다.

3.3. 결정화도 분석

코로나 방전 처리 조건에 따른 피착포의 X선 회절 프로파일을 Figure 4에 나타내었다. 전류의 세기가 증가하여도 X선 회절 프로파일의 강도 및 Bragg 각의 위치의 변화는 그다지 나타나고 있지 않다. 이것은 이 정도의 코로나 처리시간과 코로나 전류 강도로는 피착포인 PET 직물의 결정화도나 결정의 형태(결정거리)에는 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 코로나 방전으로 인한 내부구조의 변화가 없는 것으로 보이고, 표면의 요철 및 화학적인 구조가 변화되는 것으로 생각되어진다.

3.4. 밀도 분석

코로나 처리 조건에 따른 피착포의 밀도 변화를 측정한 결과를 Figure 5에 나타내었다. X선 회절의 결과와 마찬가지로 피착포에 위해의 정도가 거의 없음으로 인해서 밀도의 변화 또한 나타나지 않는 것으로 생각되어진다.

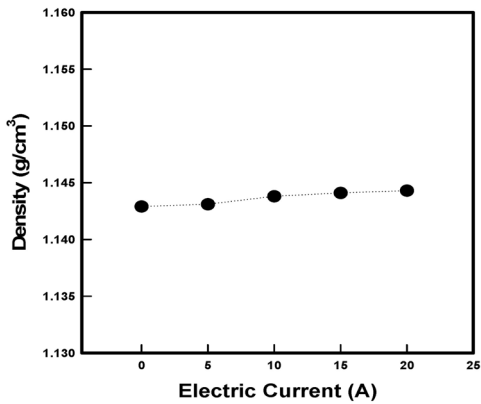


Figure 5. Variation of density on corona treated polyester fabrics with different current intensity.

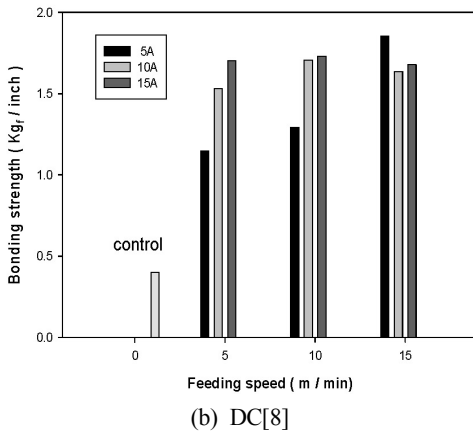
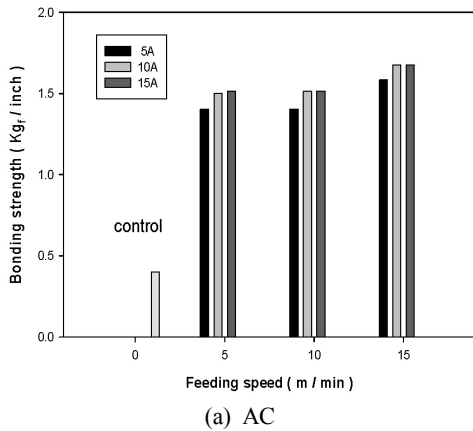


Figure 6. Variation of bonding strength on corona treated polyester fabrics with different current intensity and feeding speed at dry condition.

3.5. 접착강도

Figure 5는 피착재를 코로나 표면처리한 후 핫 멜트 코팅을 하여 다른 피착재와 합포를 행하여 건조 시의 접착강도를 나타낸 것이다. 코로나 처리를 하지 않은 피착재 PET 직물의 접착강도는 0.4 kg/inch이었다.

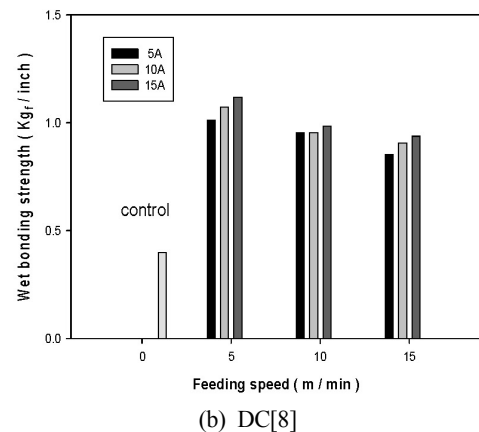
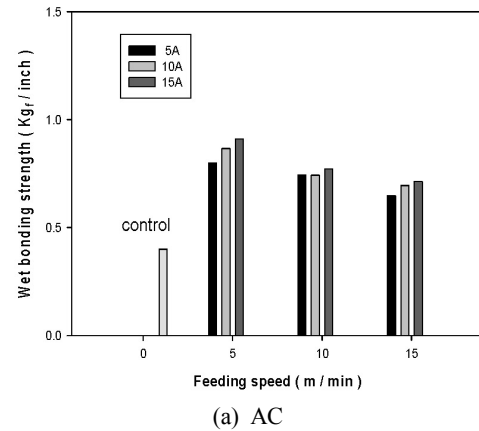


Figure 7. Variation of bonding strength on corona treated polyester fabrics with different current intensity and feeding speed at wet condition.

Figure 6의 (a)는 교류, (b)는 선형연구[8]의 직류의 전류일 때의 건조 시의 접착강도이다. 직류의 전류를 공급하였을 때는 낮은 전류인 5 A에서 공급속도가 증가할수록 강도의 뚜렷한 증가를 보여 공급속도가 15 m/min일 때는 10~15 A의 전류를 공급하였을 때보다 더 높은 접착강도를 보였으나 높은 전류인 10 A와 15 A에서는 공급속도가 10 m/min일 때 가장 높은 값을 보였다. 반면에 교류일 때는 공급속도가 증가함에 따라 5~15 A의 전류 모두에서 접착강도도 지속적으로 증가하여 공급속도가 15 m/min일 때 5~15 A의 전류 모두에서 최고의 접착강도 값을 나타내었다. 이와 같이 교류 코로나 처리에서는 공급속도와 공급전류에 비례하여 접착강도가 규칙적으로 증가하여 직류의 전류를 공급하였을 때와 다른 양상을 보였다.

또한 공급속도가 5, 10 m/min일 때 교류 코로나 처리한 경우, 5 A의 전류에서는 직류 코로나 처리하였을 때보다 더 높은 접착강도를 보였다.

표면처리는 재료 전체에 대한 물성은 손상시키지 않으면서 표면의 성질만을 물리적 또는 화학적으로

Table 1. The Comparison of Bonding Strength Increase Rate on Polyester Fabric by AC And DC Corona Treatment

Feeding speed (m/min)	Current intensity (A)	AC corona		DC corona	
		Bonding strength increase rate at dry condition (%)	Bonding strength increase rate at wet condition (%)	Bonding strength increase rate at dry condition (%)	Bonding strength increase rate at wet condition (%)
5	5	250.75	100.25	186.45	153.10
	10	275.00	116.75	282.83	168.13
	15	278.25	127.75	326.03	179.70
10	5	250.75	85.75	222.93	138.45
	10	278.25	85.75	326.58	138.45
	15	278.75	92.75	332.30	146.25
15	5	295.75	62.00	363.55	113.13
	10	319.25	73.75	308.85	126.58
	15	319.25	78.25	319.50	134.25

개질하는 것을 목적으로 행하여진다. 따라서 본 연구에서는 코팅되어진 이후에 원단 표면에서 접착제가 이탈되는 것을 방지할 뿐만 아니라, 습윤에 의해 접착강도가 떨어지는 등의 문제점을 알아보기 위해 피착재 표면에 코로나 처리를 행하여 습윤 시의 접착강도를 측정하였다.

Figure 7은 피착재의 코로나 처리 후 합포하여 습윤 시의 접착강도를 나타낸 것으로, (a)는 교류, (b)는 선행연구[8]의 직류의 전류일 때의 습윤 시의 접착강도이다. 이들의 측정에 앞서 코로나 미처리 합포의 습윤 시 접착강도를 측정한 결과, PET 직물은 0.4 kg/inch 이었다. Figure 6의 결과를 보면, 전반적으로 코로나 처리 후 습윤 시의 접착강도가 크게 증가하였으며, 특히 낮은 5 m/min의 속도에서 크게 증가하였다. 속도가 증가할수록 습윤강도는 감소하였는데, 특히 5 A의 경우 그 감소가 현저히 나타났다. 교류, 직류 코로나 처리 모두에서 전반적으로 속도가 느릴수록 전류의 세기가 증가할수록 습윤 시의 접착강도는 증가하였다. 또한 교류 코로나 처리한 경우의 습윤 시의 접착강도는 직류 코로나 처리한 경우보다는 낮은 접착강도를 보였고, 이것으로 교류 코로나 처리한 경우, 접착관능기가 직류 코로나 처리한 경우보다 수분과의 결합이 더 잘 이루어진다고 생각된다.

이것으로부터 표면처리를 행하지 않았을 경우의 접착력에 비해 교류, 직류 코로나 처리 모두에서 코로나 처리에 의해 접착관능기의 도입과 접착 표면적을 높게 함으로써 접착력은 상당히 높아진다고 볼 수 있다.

접착강도의 증가효과를 쉽게 비교하기 위해 Table 1에 접착강도의 증가율을 나타내었다. AC 코로나 처리 시에는 건조 시의 접착강도가 공급속도가 15 m/min, 전류세기 10, 15 A에서 최대 319.25% 증가하여 거의

4.2배 증가하였고, 습윤 시의 접착강도는 공급속도가 5 m/min, 전류세기 15 A에서 최대 127.75% 증가하여 거의 2.3배 증가를 보였다. DC 코로나 처리 시에는 건조 시의 접착강도가 공급속도가 15 m/min, 전류세기 5 A에서 최대 363.55% 증가하여 거의 4.6배 증가하였고, 습윤 시의 접착강도는 공급속도가 5 m/min, 전류세기 15 A에서 최대 179.70% 증가하여 거의 2.8배 증가를 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 선행연구[8]에서 사용했던 직류 코로나 방전 대신에 교류 코로나 방전으로 전류의 세기를 5, 10, 15 A로, 직물이 코로나 방전관을 통과하는 속도를 5, 10, 15 m/min로 변화시켜 폴리에스테르 직물을 처리하여 화학적 변화와 함께 열경화성 핫 멜트 접착제로 접착하여 직류 코로나 방전 시의 접착성질과 비교하였다.

표면 원소 분석, 사진 분석, 결정화도 분석, 밀도 분석 등을 통해 전류의 세기를 증가함에 따라 극성기의 도입 증가, 표면에 요철과 같은 모양의 증가, X선 회절 프로파일의 강도 및 Bragg 각의 위치의 변화나 밀도의 변화가 없는 것을 확인하였으며, 이러한 경향은 직류 코로나 처리효과와 같은 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 다만 직류 코로나 처리 시에는 시간의 경과에 따라 피착재가 탄화하는 등의 문제가 발생되어졌으나 교류 코로나 처리를 행하였을 경우에는 피착재에 대한 문제는 발생되지 않았으며 분포가 좀 더 넓어짐을 알 수 있었다.

건조 시의 접착강도는 교류 코로나 처리에서는 공급속도와 공급전류에 비례하여 직류 코로나 방전 시

의 접착강도보다 규칙적으로 증가하였으며, 낮은 전류에서 직류 코로나 처리하였을 때보다 더 높은 접착강도를 보였다.

또한 교류 코로나 처리한 경우의 습윤 시 접착강도는 직류 코로나 처리한 경우보다는 낮은 접착강도를 보였고, 이것으로 교류 코로나 처리한 경우 접착관능기가 직류 코로나 처리한 경우보다 수분과의 결합이 더 잘 이루어진다고 생각된다.

감 사

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. R. Mestiri, R. Hadaji, and S. B. Nasrallah, *Desalination*, **220**, 468 (2008).
2. R. Matthew, D. R. Rankin, W. Felix, and C. Fred, *Journal of Electrostatics*, **64**, 368 (2006).
3. E. Moreau and G. Touchard, *Journal of Electrostatics*, **66**, 39 (2008).
4. J. D. Moon, J. S. Jung, J. G. Kim, and S. T. Geum, *IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation*, **16**, 622 (2009).
5. A. N. Gent and G. R. Hamed, *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, Wiley-Interscience, New York (1985).
6. J. S. Jung and J. G. Kim, *J. KIEE*, **26**, 87 (2012).
7. J. H. Lee, *J. Adhesion and Interface*, **7**, 26 (2007).
8. E. P. Lee, R. W. Yoon, and J. H. Lee, *J. Adhesion and Interface*, **8**, 16 (2008).
9. M. Tanski, M. Kocik, and J. Mizeraczyk, *Proceedings of 7th Conference of the French Society of Electrostatics*, pp. 351-354, August-September (2010).