

코로나 처리를 이용한 폴리에스테르 편·직물의 접착력 향상

이언필·윤래원¹·이재호[†]

부산대학교 바이오소재공학과, ¹일신타일
(2007년 7월 18일 접수, 2007년 9월 11일 채택)

Improvement of adhesion of Polyester Fabric and Knit by Corona Treatment

Eon Pil Lee, Rae Won Yoon¹, and Jae Ho Lee[†]

Department of Biomaterial Engineering, Pusan National University, Miryang 627-702, Korea

¹Ilshintextile, Busan 618-817, Korea

(Received July 18, 2007; Accepted September 11, 2007)

요약: 폴리에스테르 편·직물들을 전류세기 5, 10, 15, 20 A로, 공급속도 5, 10, 15 m/min로 코로나 처리하였다. 이들의 표면변화를 주사전자현미경(SEM)과 X-ray 광전자분석기(XPS)로 확인하였다. 또한 물리적 성질의 변화를 인장강도, 건조 시와 습윤 시의 접착강도를 통하여 측정하였다. 접착에 사용된 접착제는 열경화성 반응형 폴리우레탄 핫 멜트 접착제이다. 대기압에서 코로나 방전처리에 의해 폴리에스테르 편·직물에 관능기들이 도입되어졌고, 표면에 요철이 발생하여 그 결과 접착력은 향상되었다. 건조 시 및 습윤 시의 접착강도를 모두 고려할 때, PET 직물의 코로나 처리에 있어 적절한 조건은 공급 속도 10 m/min, 전류 세기 15 A라 생각되며, mesh형 PET knit는 공급 속도 10 m/min, 10 A 이상의 전류세기라 생각된다.

Abstract: Polyester fabrics and knits were corona treated with different current intensity (5, 10, 15, 20 A) and feeding speed (5, 10, 15 m/min). We confirmed the surface change of polyester fabrics and knits using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray photoelectron spectrometer (XPS). And the change of physical properties through measuring the tensile strength, dry and wet bonding strength. Thermosetting reactive polyurethane hot melt adhesive was used in the adhesion of polyester fabrics and knits. Functional groups were introduced on PET fabrics and knits surface by treating the PET fabrics and knits in air atmosphere with corona discharge, and take placed unevenness, the result adhesion was improved. When consider both dry and wet bonding strength, we think that appropriate conditions in the PET fabrics corona treatment are feeding speed 10 m/min, current intensity 15 A and appropriate conditions in the mesh type PET knits corona treatment are feeding speed 10 m/min, current intensity above 10 A.

Keywords: corona discharge, PET fabric and mesh type PET knit, SEM, XPS, tensile strength, bonding strength

1. 서 론

Hot-melt 접착제는 에너지 절약, 친환경적 공법, 공정의 합리화 요구에 부합하는 접착제로 알려져 있으나, 피착제의 표면처리에 관한 충분한 이해가 없어 여러 가지 문제점을 가지고 있는 것이 사실이다. 소재에 따라 접착력의 차이가 크고, 특히 다습한 지역에서의 접착 내구성이 문제가 되고 있다. 또한, hot-melt형 접

착제의 활용에 있어 난접착성 소재의 경우 표면처리가 요구되어지는데, 표면처리는 재료의 물성은 손상하지 않으면서 표면을 물리적 및 화학적으로 개질하는 것으로 보다 높은 표면처리를 부여하고자 하는 것이다[1-4].

폴리에스테르와 같은 섬유 고분자 재료들은 기계적 성질이 우수하며 값이 저렴하고 대량 공급이 가능하여 의류 및 사출성형품, 압출성형품, 필름 등의 각종 산업 분야에 폭넓게 이용되고 있다. 그러나 이러한 고분자 재료들은 기계적 성질이 우수한 반면 치밀한 분

[†]Corresponding author: e-mail: james007din@pusan.ac.kr

자배열구조를 가지고 있으며, 전형적인 소수성으로 인하여 염색성, 흡수성, 접착성 등이 부족하고 고분자의 가치 부여 및 용도 확대 면에서 커다란 장애가 되고 있다. 즉 표면에 있는 성분들과 물리화학적 결합, 수소결합, 극성결합, 또는 물리적 결합을 할 수 있도록 작용기(functional group)를 가지고 있어야 하는데, 이러한 재료들은 표면 에너지가 낮을 뿐만 아니라 반응성도 거의 없다[5-9]. 따라서 대전방지성, 염색성, 접착성, 그리고 생체 적합성 등을 부여하기 위해서 좋은 친수성, 즉 재료의 표면에너지를 높이는 연구가 필수적이다.

고분자의 표면 특성개질방법으로서 강산을 이용한 화학적 표면처리법[10-13], 자외선이나 광조사법[14-17], 저온 플라즈마 처리법[19-24] 등이 있는데, 그중 재료의 표면층만을 효율적으로 개질시키는 저온 플라즈마 처리법은 낮은 기압에서 행하는 글로우 방전법[21,24]과 대기압 부근에서 행하는 코로나 방전법[19,25-27]으로 나눌 수 있으며, 특히 대기압 하에서 처리하는 코로나 방전을 이용한 표면개질 법은 글로우방전보다 취급이 훨씬 용이하고 산업현장에서 연속적이면서 고속으로 처리할 수 있으며, 그 적용 대상도 다양하다는 장점 때문에 고분자 표면개질에 있어서 널리 사용되고 있는 방법 중의 하나이다[25-30].

코로나 방전 가공기술을 도입함으로써 피착포의 표면을 물리적·화학적으로 개질하여 hot-melt형 접착제의 적용범위의 확대와 난접착성 소재와의 접착력 향상에 기술개발의 목적이 있다.

코로나 처리에 의한 표면개질에 의해 소수성인 폴리에틸렌에 극성기가 도입되어 염색성이 향상된 연구[25,26]와 코로나 방전에 의한 LDPE 필름의 표면특성을 개질한 연구[27] 등에 의해 코로나 처리효과를 알 수 있다. 또한 전보[30]에서 코로나 방전처리가 nylon 210D 시료의 미세구조 및 표면의 모폴로지적 변화를 나타나지 않는 안정적인 표면처리 기법임을 확인할 수 있었고, 접착력 향상을 유도할 수 있는 표면 극성기의 도입이 증가됨을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 최종 목표로 삼고 있는 난접착성 소재 직물의 표면처리 방법으로서 코로나 방전이 적합함을 확인할 수 있었으며, 코로나 방전 시 전류의 세기와 처리시간에 따른 피착포의 미세구조, 물성 및 표면 모폴로지의 변화를 검토함으로써 난접착성 소재의 접착성 향상에 기여하고자 한다. 뿐만 아니라 개발 제품은 신발의 내피 및 외피용으로 활용이 가능하며 신발분야 뿐만 아니라 스포츠 의류, 자동차 시트 및 자동차 내장재인 door trim 분야에도 적용이 가능하여 산업의 모든 분야를 환경친화적인 산업으로 전환하는데 크게 기여를 할 것으로 보인다.

2. 실험

2.1. 재료

2.1.1. 원단

원단은 신발에 주로 많이 쓰이는 폴리에스테르 직물(경·위사 모두 DTY 250 D)과 난접착 소재라고 할 수 있는 mesh형 폴리에스테르 편물(경·위사 모두 DTY 300 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, 20 A로, 직물이 코로나 방전관을 통과하는 속도를 5, 10, 15 m/min로 변화시켜 피착포를 표면처리하여 접착전의 피착제의 직물 종류에 따른 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, chamber에서 접착제가 95°C로 용융되며, 이후 cooling roller에 의해서 냉각되어 batching roller에 권취된다.

2.2.3. 주사전자현미경

코로나 표면 처리 전후의 직물의 표면 모폴로지를 관찰하기 위하여 주사전자현미경 FE-SEM (HITACHI S-4200)을 이용하였으며, 가속전압 15 kV에서 1,500배의 배율로 측정하였다.

2.2.4. 표면원소분석

원단의 코로나 표면처리 전후의 표면에 대한 원소를 분석하기 위해 X-ray Photoelectron Spectrometer (XPS, VG Scientific ESCALAB 250)를 이용하여 측정하였으며, μ -금속 챔버(μ -metal chamber) 내의 1×10^{-10} torr의 초고진공 하에서 단색화된 Al-K α 선을 이용하였다.

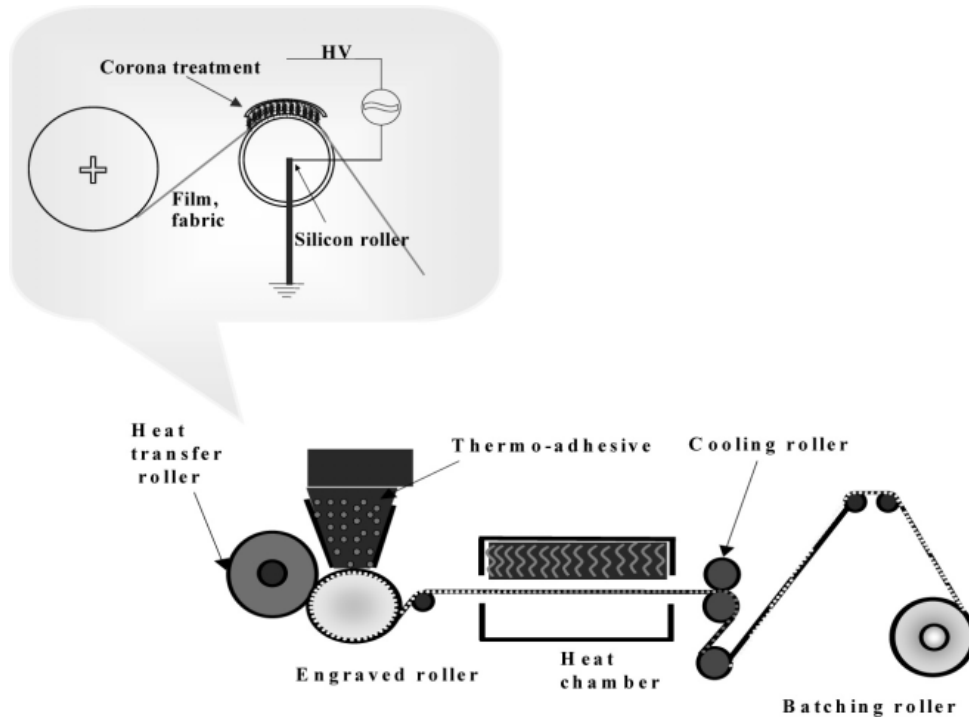


Figure 1. Schematic diagram of corona treatment and adhesion apparatus.

2.2.5. 인장강도

인장시험기(Universe Testing Machine Series 1000 Tensile Machine)를 이용하여 ASTM D 5035법으로 측정하였다. 시료 폭 25.4 mm, 시료길이 75 mm, 인장속도 300 mm/min로 10회 측정하여 평균하였다.

2.2.6. 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 1시간 동안 방치 후 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 표면처리 공정변수에 따른 피착포의 표면 변화

3.1.1. 표면형태변화의 고찰

접착력 증가요인의 하나로서 표면처리에 따른 표면적의 증가를 들 수 있을 것이다. 이러한 영향으로 역학적 결합요인이 증가하게 되어 접착력은 증가하게 된다. 이러한 특성을 분석하기 위하여 전자현미경을 이용하여 코로나 방전처리한 PET 편물의 표면 사진을 촬영하였으며 그 결과를 Figure 2에 나타낸다. PET 편물의 경우 미처리 시료와 비교해서 코로나 처리한 시료의 경우, 표면에 요철과 같은 모양이 많이 발생함을

알 수 있으며 이것은 대체로 전류의 세기가 증가함에 따라서 증가하는 것을 알 수 있다. 미세적인 다수의 주름 및 공극과 같은 요철이 생기게 되면 표면적을 증가시키고, 주름이나 공극에 접착제가 썩기와 같이 들어가서 피착체 사이를 결합시키는 데 효과가 있다. 이와 같은 결합형식을 배의 닻으로 비유하여 앵커효과(anchor effect)라고 한다.

3.1.2. 표면관능기 변화의 고찰

표면의 극성기 도입에 의한 물리적 결합(수소결합, 쌍극자모멘트, van der Waals 결합) 및 화학적 결합(공유결합 등)의 확률을 높이기 위하여 표면처리를 하게 되는데 이러한 특성을 파악하기 위하여 XPS를 이용하여 산소기의 1s 결합의 양의 변화를 확인하였다. 이 실험 결과를 Figure 3에 나타내었다. 난접착성 소재인 PET 편물은 처리조건에 따라서 O 1s 결합 피크의 면적이 미처리 시료와 비교해서 점진적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 섬유표면 수십 Å 부근에 산소기를 포함하는 극성기의 도입이 증가하였음을 의미한다. 따라서 이러한 공기 중에서의 코로나 방전가공 처리를 함으로써 난접착성 소재의 표면에 산소기를 포함하는 극성기의 도입이 용이한 것으로 생각되어지며 이러한 극성기의 도입이 접착력 증가 요소의 하나로 작용하고 있는 것으로 생각되어진다.

대기 중에는 산소분자, 또는 산소원자를 함유한 물

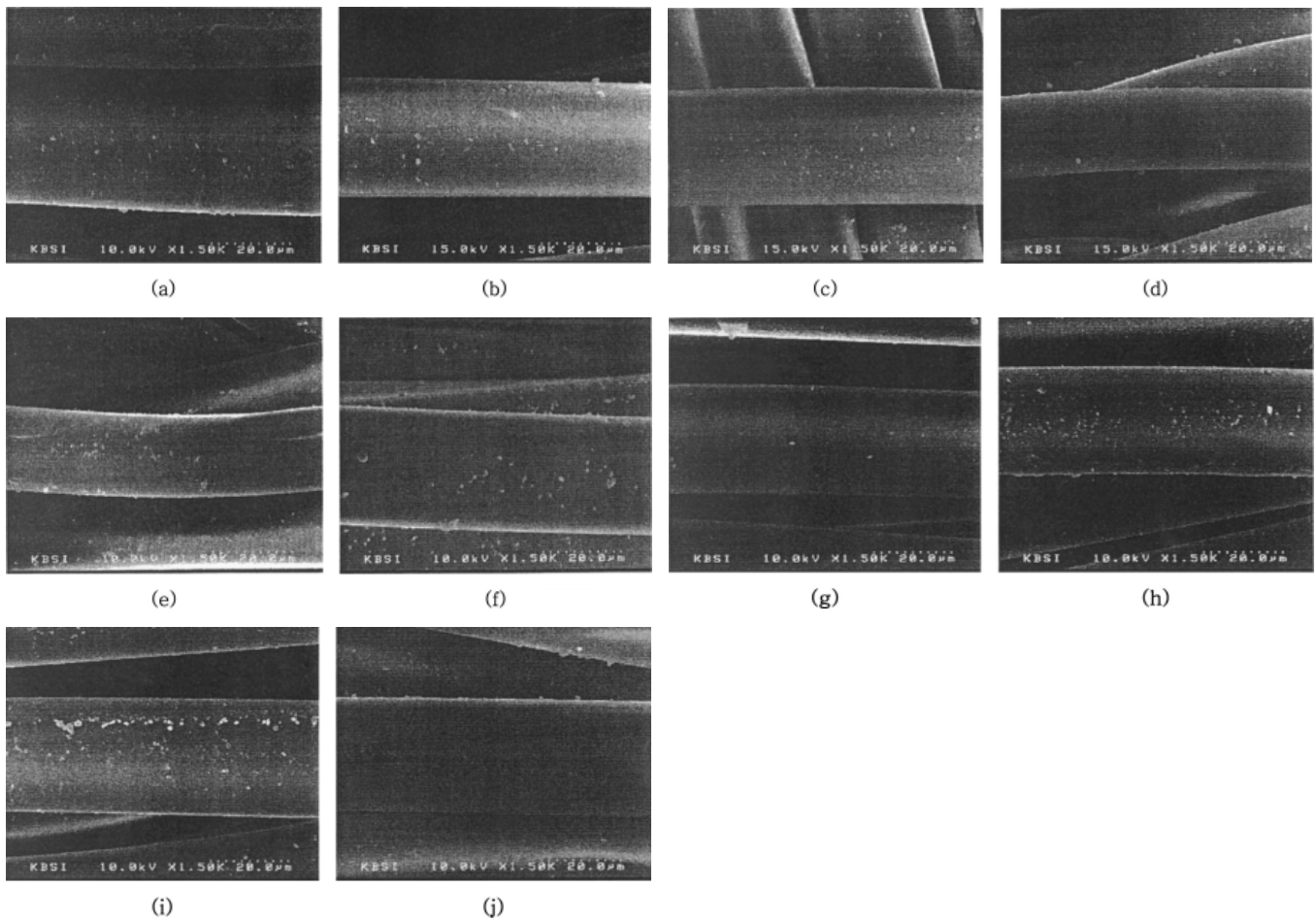


Figure 2. SEM photographs ($\times 1,500$) of the polyester fiber corona treated with different current intensities ; (a) untreated, (b) 5 m/min 5 A, (c) 10 m/min 5 A, (d) 15 m/min 5 A, (e) 5 m/min 10 A, (f) 10 m/min 10 A, (g) 15 m/min 10 A, (h) 5 m/min 15 A, (i) 10 m/min 15 A, (j) 15 m/min 15 A.

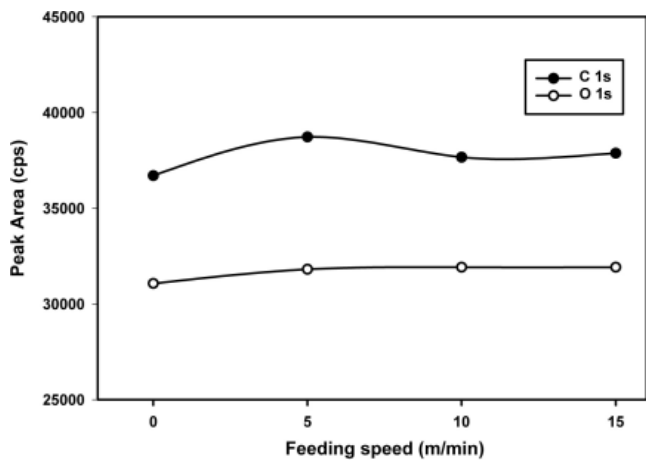


Figure 3. Variation of polar group on the surface of corona treated polyester knit with current intensity 15 A.

과 이산화탄소의 분자가 존재한다. 소재표면에 가속화된 이온이 충돌하게 되고, 매우 반응성이 높은 자유라

디칼은 산소를 함유한 분자 혹은 코로나에서 생성된 이온과 급속하게 반응하여 잉크나 접착제와의 결합이 쉬워지고, 비교적 안정한 수산기(-OH), 카르보닐기($>C=O$), 카르복실기(-RCOOH)를 생기게 한다. 이러한 극성기들이 표면에 도입됨으로 해서 물리적 및 화학적 결합을 유도할 수 있을 것으로 기대된다.

코로나 처리에 의해서 다수의 탄소 쇄가 절단되고, 표면산화에 의한 반응성이 좋은 기가 다량 생성되는 조건을 설정하여야 한다. 처리를 계속하면 탄소 쇄의 절단이 진행되어지고, 더욱 더 작은 분자량의 분자가 생성된다. 표면처리에 의해서 극성이 큰 화합물이 생성되지만 소재와 접착성을 가지지 않는 경우도 있고, 과도한 코로나 처리는 극성이 큰 화합물이 다량 생성되어 접착력이 떨어지는 경우도 있다.

3.2. 표면처리에 의한 기계적 물성변화

일반적으로 표면처리 후 피착포의 표면에 상처가

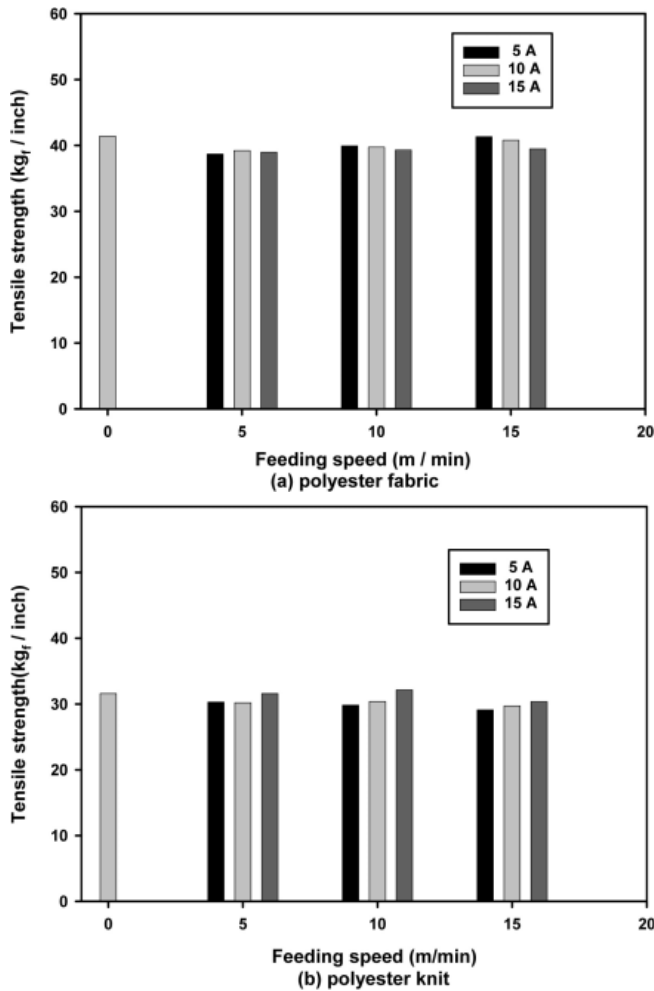


Figure 4. Variation of tensile strength on corona treated polyester fabric and knit with different current intensity and feeding speed.

생길 가능성이 발생하게 되며, 이러한 영향이 기계적 물성의 결과에 10% 이상 나타난다면 그 표면처리 공정조건은 유효하지 못하다고 할 수 있다. 코로나 처리 시 표면에 결함이 발생할 것으로 추정되며 이러한 결함부분에 응력 집중현상이 발생하여 강도 및 신도는 원 시료의 것보다는 다소 감소하는 것으로 파악된다.

대체적으로 기계적 물성의 변화가 10% 이내의 범위에 드는 것으로 보아, 코로나 방전처리에 의한 직물의 표면처리 공정은 직물에 그다지 위해를 가하지 않음을 알 수 있었다.

3.2.1. 인장강도의 변화

표면처리에 의한 기계적인 물성변화를 알아보기 위하여 인장강도를 측정하였다. 과도한 코로나 방전의 표면 처리에 의해 직물을 구성하고 있는 고분자의 비결정 영역에서의 결함 분자 체인이 절단됨으로써 인

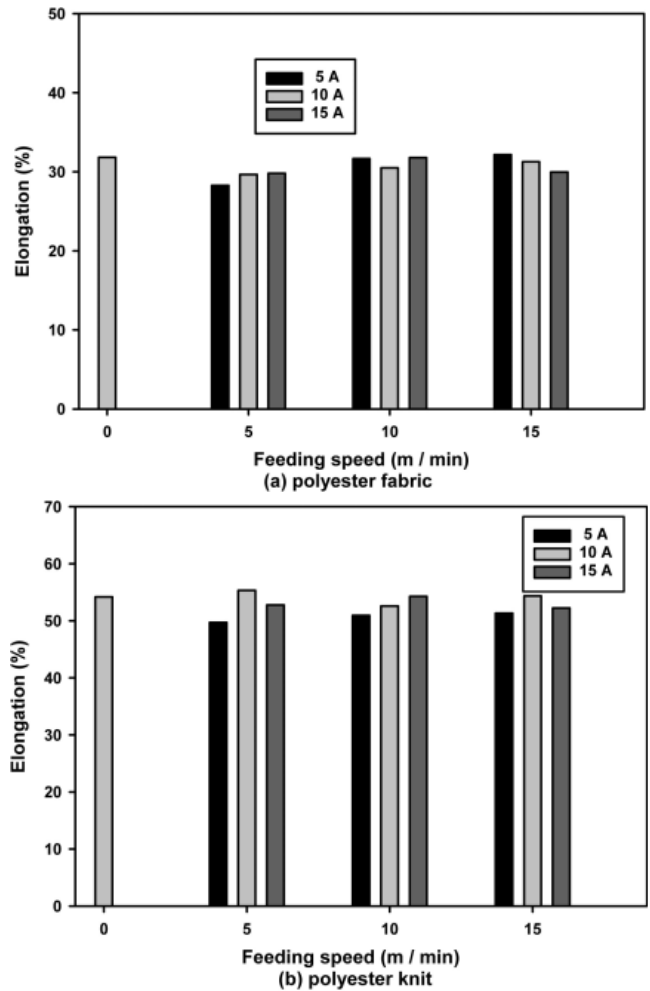


Figure 5. Variation of elongation on corona treated polyester fabric and knit with different current intensity and feeding speed.

장강도에 변화를 줄 것으로 판단된다.

Figure 4는 코로나 처리 시 전류의 변화 및 공급 속도에 따른 인장강도의 변화를, Figure 5는 신도의 변화를 나타낸 것이다. 코로나 미처리 PET 직물의 인장강도는 41.4 kg/inch, 신도는 31.82%였으며, PET 편물의 인장강도는 31.59 kg/inch, 신도는 54.17%였다. 코로나 처리에 의해 전반적으로 인장강도는 약 8% 이내의 변동범위에서, 신도는 PET 편물을 공급속도 5 m/min, 전류세기 5 A로 처리한 경우를 제외하고는 10% 이내의 변동범위를 나타내는 것으로 판단하였다. 코로나 처리 시 표면에 결함이 발생할 것으로 추정되며 이러한 결함부분에 응력 집중현상이 발생하여 강도 및 신도는 원 시료의 것보다는 다소 감소하는 것으로 파악된다. 이로써 표면처리가 직물의 기계적 물성에는 거의 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

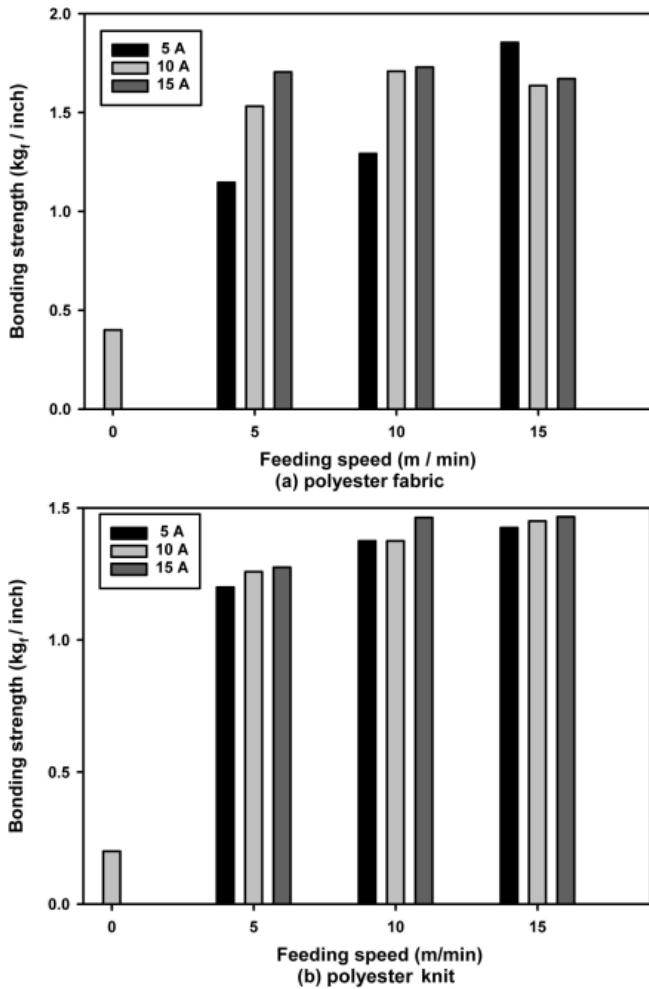


Figure 6. Variation of bonding strength on corona treated polyester fabric and knit with different current intensity and feeding speed.

3.2.2. 접착강도의 변화

본 연구과제에서 가장 핵심적인 부분은 표면처리에 의한 피착체의 기본적인 물리적·화학적인 물성의 변화 없이 접착강도를 증가시키는 것이라고 할 수 있다.

Figure 6은 피착체를 코로나 표면처리한 후 핫 멜트 코팅을 하여 다른 피착재와 합포를 행하여 건조 시의 접착강도를 나타낸 것이다. Figure 6(a)의 PET 직물은 낮은 전류인 5 A에서 공급속도가 증가할수록 강도의 뚜렷한 증가를 확인할 수 있었다. 높은 전류인 10과 15 A에서는 공급속도 5~15 m/min 실험범위 내에서 코로나 처리를 하지 않은 피착포 PET 직물의 접착강도 0.4 kg/inch에 비교하여 4배 이상의 강도 증가를 확인할 수 있었으며, 공급속도가 10 m/min일 때 가장 높은 값을 보였다.

한편, Figure 6(b)의 결정성이 낮은 PET 편물은 전체적으로 코로나 처리에 의해 코로나 처리를 하지 않은

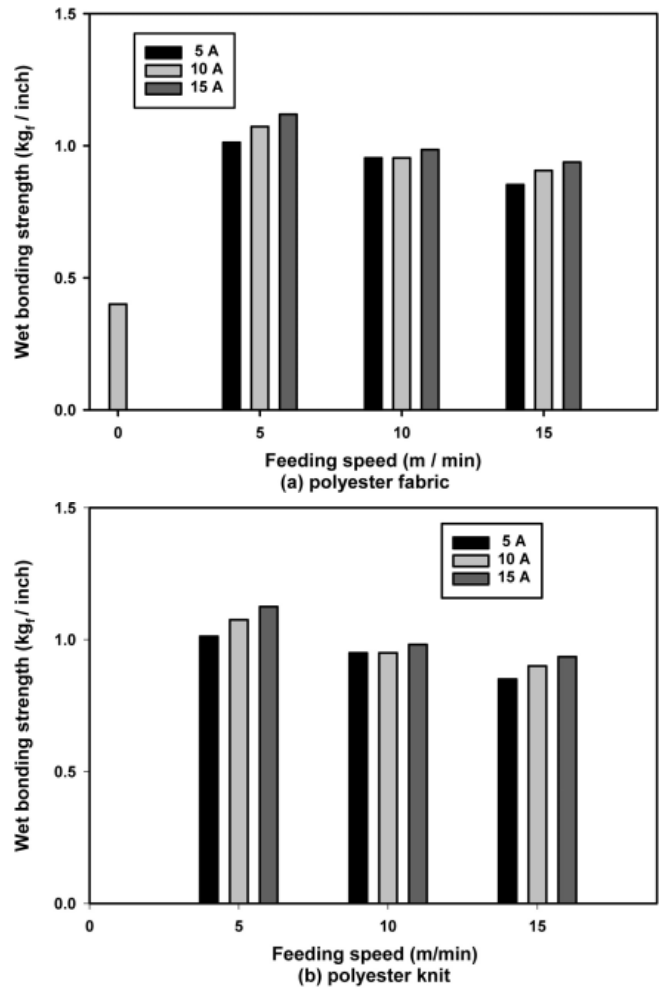


Figure 7. Variation of wet bonding strength on corona treated polyester fabric and knit with different current intensity and feeding speed.

피착포의 접착강도 0.2 kg/inch보다 6~7배의 강도 증가를 확인할 수 있었으며, 공급 속도가 증가할수록 전류의 세기가 증가할수록 접착강도는 증가하는 것으로 나타났다.

표면처리는 재료 전체에 대한 물성은 손상시키지 않으면서 표면의 성질만을 물리적 또는 화학적으로 개질하는 것을 목적으로 행하여진다. 따라서 본 연구에서는 코팅되어진 이후에 원단 표면에서 접착제가 이탈되는 것을 방지할 뿐만 아니라, 습윤에 의해 접착강도가 떨어지는 등의 문제점을 발생시키지 않기 위해 피착체 표면에 코로나 처리를 행하여 습윤 시의 접착강도를 측정하였다.

Figure 7은 피착체의 코로나 처리 후 합포하여 습윤 시의 접착강도를 나타낸 것이다. 이들의 측정에 앞서 코로나 미처리 합포의 습윤 시 접착강도를 측정한 결과, PET 직물은 0.4 kg/inch이었으며, PET 편물은 0값

을 나타내었다. Figure 7의 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. PET 편·직물 모두 전반적으로 속도가 느릴수록 전류의 세기가 증가할수록 습윤 시의 접착강도는 증가하였다.

접착제는 2개의 물질 사이에 첨가되어 두 물질을 접착시키는 것으로 접착 메커니즘은 간단하게 규명되지 않는다. 대표적인 메커니즘으로 원자간 결합, 기계적인 결합으로 설명될 수 있으며 어느 한쪽의 기구로 단순하게 규명되지 않고 이들 여러 기구들의 복합적인 방법에 의해 접착이 이루어진다고 알려져 있으나, 기존의 표면처리를 행하지 않았을 경우의 접착력에 비해 코로나 처리에 의해 접착관능기의 도입과 접착 표면적을 높게 함으로써 접착력은 상당히 높아진다고 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구과제는 코로나 표면처리에 의해 신발용 합포의 건조 시 및 습윤 시의 접착강도를 증가시키기 위한 것이며, 동시에 피착체의 기본적인 물성에 영향을 미치지 않는 범위 내에서의 공정조건을 설정하고자 하는 것이다. 따라서 코로나 처리 시 전류의 세기를 5, 10, 15, 20 A로 하였으며, 천의 공급 속도를 5, 10, 15 m/min의 속도로 하였다. 코로나 처리 및 합포에 사용된 피착체는 PET 직물과 편물이었으며, 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 코로나 방전 처리 시의 전류의 세기를 증가시킴으로써 O_{1s} 결합이 코로나 처리 전보다 증가함을 알 수 있다. 이것은 산소기를 포함하는 극성기의 도입이 증가하였음을 의미하며, 이러한 극성기 양의 증가에 의해서 화학적 결합력의 가능성 증가에 의하여 피착체의 접착력이 증가하였다.

2. PET 직물 피착체의 경우는 건조 시 및 습윤 시의 접착강도를 모두 고려할 때, 코로나 처리 시 공급 속도는 중간 정도의 10 m/min로, 전류의 세기는 높은 15A가 적절한 조건인 것으로 생각된다.

3. mesh형 PET 편물 피착체는 코로나 처리 시 중간 정도의 공급 속도인 10m/min과 10A 이상의 높은 전류를 적용하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

사 사

“이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음”

참 고 문 헌

1. 安田 武, 纖維機械學會誌(日), **35**, 334 (1982).
2. D. H. Lim, S. E. Kim, B. J. Kim, H. S. Do, and H. J. Kim, *J. Adhesion and Interface*, **4**, 7 (2003).
3. J. S. Yoo and S. H. Lee, *J. Adhesion and Interface*, **1**, 63 (2000).
4. H. J. Kim, *J. Adhesion and Interface*, **2**, 31 (2001).
5. G. Xiao, *J. Colloid Interface Sci.*, **171**, 200 (1995).
6. D. S. Bag, V. P. Kumar, and S. Maiti, *J. Appl. Polym. Sci.*, **71**, 1041 (1999).
7. S. J. Park, in “Interfacial Forces and Fields : Theory and Applications” (J. P. Hsu Ed.), Chap. 9, Marcel Dekker, New York, 1999.
8. P. K. Pak, K. K. Na, H. W. Kim, S. S. Kim, G. Y. Park, and C. J. Park, *J. Korean Fiber Soc.*, **36**, 847 (1999).
9. S. J. Park, J. S. Jin, and K. E. Choi, *J. Korean Fiber Soc.*, **38**, 258 (2001).
10. M. H. Rao, K. N. Rao, M. D. Teli, A. G. Jog, and H. T. Lokhande, *J. Appl. Polym. Sci.*, **33**, 2743 (1987).
11. H. T. Lokhande, V. S. Thaker, and S. R. Shukla, *J. Appl. Polym. Sci.*, **29**, 2989 (1984).
12. J. R. Rasmussen, D. E. Bergbreiter, and G. M. Whittesides, *J. Am. Chem. Soc.*, **99**, 4746 (1977).
13. K. W. Lee and T. J. McCarthy, *Macromolecules*, **21**, 309 (1988).
14. C. N. Choi, J. B. Kim, and S. Y. Kim, *J. Korean Soc. Dyers & Finishers*, **11**, 268 (1999).
15. J. H. Jang, S. I. Eom, and Y. H. Kim, *J. Korean Fiber Soc.*, **39**, 100 (2002).
16. K. Allmer, A. Hult, and B. Ranby, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, **26**, 2099 (1988).
17. I. K. Mehta, S. Kumar, G. S. Chauhan, and B. N. Misra, *J. Appl. Polym. Sci.*, **41**, 1171 (1990).
18. O. H. Kwon, S. Tang, N. Lu, and H. S. Choi, *J. Adhesion and Interface*, **4**, 1 (2003).
19. E. C. Onyiriuka, L. S. Hersh, and W. Hersh, *J. Colloid Interface Sci.*, **144**, 98 (1991).
20. S. H. Ha, U. J. Jang, and S. D. Seul, *J. Adhesion and Interface*, **6**, 1 (2005).
21. M. Kuzuya, J. Niwa, and H. Ito, *Macromolecules*, **26**, 1990 (1993).
22. J. Kim, W. K. Lee, J. H. Ryou, and C. S. Ha, *J. Adhesion and Interface*, **7**, 19 (2006).
23. B. Y. Chu, M. Y. Kwon, S. G. Lee, D. Cho, W.

- H. Park, and S. O. Han, *J. Adhesion and Interface*, **5**, 10 (2004).
24. Y. Uchimoto, K. Tsutsumi, T. Ioroi, Z. Ogumi, and Z. I. Takehara, *J. Am. Cer. Soc.*, **83**, 77 (2000).
25. S. J. Park, J. S. Jin, and K. E. Choi, *J. Korean Fiber Soc.*, **38**, 258 (2001).
26. P. K. Pak, K. K. Na, H. W. Kim, S. S. Kim, G. Y. Park, and C. J. Park, *J. Korean Fiber Soc.*, **36**, 847 (1999).
27. S. J. Park, J. S. Shin, H. Y. Kim, and D. R. Lee, *J. Korean Fiber Soc.*, **39**, 568 (2002).
28. K. Olafsen, A. Stori, and D. A. Tellefsen, *J. Appl. Polym. Sci.*, **46**, 1673 (1992).
29. F. Seto, K. Fukuyama, Y. Muraoka, A. Kishida, and M. Akashi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **68**, 1773 (1998).
30. J. H. Lee, *J. Adhesion and Interface*, **7**, 26 (2006).