

# 고강력 직물의 열융착 라미네이팅을 통한 충격 완화용 에어쿠션 소재로의 적용 가능성 검토 연구

## Study on the Applicability of the Air Cushion Material for Impact Relief through Thermal Bonding of High Strength Fabrics

### \*Corresponding author

Mun Hong Min  
(red@dyetec.or.kr)

김지연, 김훈민, 민문홍\*  
DYETEC연구원 기능성소재연구단

Ji Yeon Kim, Hun Min Kim and Mun Hong Min\*  
Korea Dyeing and Finishing Technology Institute, Daegu, Korea

Received\_August 25, 2020  
Revised\_September 15, 2020  
Accepted\_September 22, 2020

**Abstract** In order to study wearable air cushion materials capable of responding to massive impact in high-altitude fall situation, high tenacity woven fabrics were bonded by heat only depending on various type of thermoplastic films and then mechanical properties were measured. Tensile strength, elongation, and 100% modulus measurement results for 4 types of films show that TPU-2 has higher impact resistance and easier expansion than PET-1. After thermal bonding, the combination with the highest tensile strength was a material with a TPU-2 film for nylon and a PET-2 film for PET, so there was a difference by type of fabric. The tear strength of the bonded materials were increased compared to the fabric alone, which shows that durability against damage such as tearing can be obtained through film adhesion. All of the peel strengths exceeded the values required by automobile airbags by about 5 times, and the TPU-2 bonded fabric showed the highest value. The air permeability was 0 L/dm<sup>2</sup>/min. For both the film and the bonded material, which means tightness between the fabric and the film through thermal bonding. It is expected to be applied as a wearable air cushion material by achieving a level of mechanical properties similar to or superior to that of automobile airbags through the method of bonding film and fabric by thermal bonding.

**Textile Coloration and Finishing**  
TCF 32-3/2020-9/176-183  
© 2020 The Korean Society of  
Dyers and Finishers

**Keywords** polyurethane film, polyester film, thermal bonding, peel strength, wearable air cushion material

## 1. 서 론

산업현장에서 가장 많이 발생하는 고소 작업 중 추락사고 시 작업자를 보호할 수 있는 보호구 제품에 대한 필요성이 증가하고 있다. 따라서 작업자가 안전대를 이용하여 신체를 지지하는 소극적인 현재 방식에서 벗어나, 추락 상황 시 상황을 감지하여 팽창함으로써 인체를 보호할 수 있는 조끼 형태의 에어쿠션

소재가 적극적인 대안으로 대두되고 있으며 제품화 사례를 Figure 1에 나타내었다.

외부에서 일정 수준 이상의 충격이 감지되면 장착된 인플레이터를 작동시켜 쿠션소재를 팽창하여 인체를 보호하는 형태의 제품으로는 자동차에 장착된 에어백이 대표적이며, 최근에는 자전거나 바이크의 낙상, 전도 시 보호할 수 있는 조끼형태의 보호제품, 고령자의 낙상에 의한 골반 골절 보호제품<sup>1)</sup>이 개발 또는 판매 중이다. 그러나 이 제품들은 모두 지면에서의 활동



(a) Before air-cushion deployment

(b) After air-cushion deployment



(c) Air cushion deployment sequence in a fall situation during work

**Figure 1.** Product examples of wearable vests for high altitude fall(Source : <http://safeware.co.kr>).

을 가정한 것으로, 2m 이상의 높이로부터의 추락 및 전도에 대한 충격력이 고려되지 않아서 고소작업 산업현장 작업자에게 그대로 적용하기에는 부적절하다.

따라서 2m 이상의 추락 및 전도 상황에서의 충격력에서도 인체를 보호할 수 있는 에어쿠션 소재를 별도로 도출할 필요가 있다. 현재 이륜차의 낙상 또는 고령자의 전도 상황을 고려한 에어쿠션 소재로는 열가소성 폴리우레탄(Thermoplastic polyurethane) 필름<sup>2)</sup>이 대표적이며, 자동차 에어백은 외부 충격 시 인플레이터를 통해 압축가스를 쿠션소재 내부로 순간적으로 주입하여 팽창되어야 하므로 고강도 및 고내열성, 내압성 유지를 위해 일반적으로 고강력 폴리에스터 또는 나일론 직물에 실리콘 수지를 나이프 코팅방식으로 코팅한 실리콘-코팅 원

단 또는 열가소성 폴리우레탄-코팅 원단이 사용되고 있다<sup>3,4)</sup>.

그러나 실리콘계 코팅 원단은 도포량이 높아 쿠션의 폴딩성이 나쁘고 제조원가가 높은 단점을 가지며, 열가소성 폴리우레탄계 코팅원단은 상대적으로 낮은 점도로 인해 코팅 약제가 원단 내부로 다량 침투되어 쿠션의 폴딩성이 나쁘고 고온다습한 환경에 의한 박리(Delamination)현상 또는 코팅 층의 손상이 발생하는 단점이 있다<sup>5)</sup>. 고소 작업 중 추락 상황 시 높이에 의한 충격력과 지면에 닿은 후 착용자에 대한 2차 충격력 및 전도 상황까지 고려할 경우, 자동차용 에어백의 경우와 마찬가지로 필름 단독보다는 직물과 필름 복합층이 충격력을 견딜 수 있을 것으로 예상된다.

직물과 필름 복합층을 형성하는 방법으로는 나이프 코팅방식

의 단점을 개선하기 위하여 용융점이 낮은 열가소성 폴리머 필름을 직물에 접착제(바인더) 없이 열과 적당한 압력을 가하여 접착시키는 열융착 라미네이팅(Thermal bonding)기법을 적용하여 기존 코팅법의 대체 가능성에 대해 검토해 보고자 하였다. 나이프를 이용하는 다이렉트 코팅 기법에 비해 장력 부하가 적고 코팅 약제의 침투가 적어 유연한<sup>6,7)</sup> 에어쿠션 소재를 구현할 수 있으므로 폴딩 및 수납성 면에서 적합할 것으로 생각된다. 한편 자동차용 에어백은 차체가 1차 충격을 받고 나서 인체가 2차 충격을 받게 되는 반면, 고소 추락 및 전도 상황에 대응하기 위한 인체 착용형 에어백은 인체가 직접 충격력을 받게 되어 에어백에 사용되는 직물-폴리머층이 높은 기계적 물성과 인플레이터로부터 방출되는 압축가스에 대한 내압성 등이 필요하므로 직물과 필름의 최적 조합 및 가공조건을 확립할 필요가 있다.

본 연구에서는 고강력 폴리에스터 및 나일론 원사를 사용하여 제작한 에어쿠션용 직물 2종에 폴리우레탄계 및 폴리에스터계 필름 4종을 각각 열융착 라미네이팅하여 조합 조건별 기계적 물성 비교 실험을 진행하였다. 인체착용형 에어쿠션 소재는 제품화를 위해 조끼 형태로 접어서 외피 내부에 수납된 상태로 착용하다가 추락, 전도와 같은 위급상황 감지 시 인플레이터에 내장된 압축가스가 폭발하면서 단시간에 높은 압력을 받아서 팽창되고, 팽창된 상태로 추락하면 낙하 높이와 중력 가속도가 부가된 충격력을 에어쿠션이 대신 받으면서 인체를 보호하게 된다.

따라서 이러한 팽창 압력과 충격력에 견딜 수 있을 정도의 인장 강·신도에 대한 검증이 필요하고, 추락 시 외부 구조물이나 바닥에 산재한 위험물에 의해 찢어지지 않도록 인열강도를 평가하였다. 또한 필름과 직물이 긴밀하게 접착되어 박리되지 않도록 박리강도와 공기투과도 항목을 평가하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

열융착 라미네이팅 실험을 위해 사용된 에어쿠션용 고강력 직물 2종은 (주)은성인더스트리에서 제작하여 제공받았다.

G. Yao<sup>8)</sup>는 에어백용 폴리에스터 필라멘트 직물의 조직별 기계적 물성 및 공기투과성 연구를 통해 강도는 평직이 가장

우수하지만 공기투과성은 바스켓 조직이 가장 우수한 결과를 보고하였다.

본 연구에서 사용한 폴리에스터 직물은 산업용 고강력 PET 원사(840d/192f, Hyosung TNC Co., Korea)를 경사, 위사로 하여 밀도 44.5×44.5 본/inch, 2×2 바스켓직으로 제작하였으며 중량은 344g/m<sup>2</sup>이다. 나일론 직물은 고강력 Nylon 66원사(840d/136f, Hyosung TNC Co., Korea)를 이용하여 폴리에스터 직물과 동일한 조건으로 제작하였으며 상세 내역을 Table 1에 나타내었다<sup>9)</sup>. 각 직물은 열융착 라미네이팅 전에 불순물을 제거하기 위하여 연속 정련수세기(Ilsung machinery Co. Ltd., Korea)로 정련제(Serawash C-NEP, Dystar, Singapore) 2g/L, Sodium hydroxide(50%, Lotte fine chemical Co., Korea) 2g/L를 투입하여 95°C, 15m/min.의 속도로 정련(2개조) 및 수세(3개조) 후, 텐터(Ilsung machinery Co. Ltd., Korea) 건조를 170°C에서 15m/min. 속도로 실시하였다. 다음으로 열융착 라미네이팅용 필름은 (주)무진에서 제공한 폴리우레탄계(이하 TPU) 필름 2종<sup>10)</sup>, 폴리에스터계(이하 PET) 필름 2종을 사용하였다. 실험에 사용한 TPU 필름은 필름의 조도(표면 거칠기) 조절을 위한 첨가제가 혼입된 TPU-1과 첨가제 혼입없이 단일 폴리머로 구성된 TPU-2를 사용하였다. PET 필름은 결정성 폴리에스터 100% PET-1과 접착성 개선을 위해 무정형 공중합 폴리에스터가 추가된 PET-2를 사용하였다.

### 2.2 열융착 라미네이팅을 통한 에어쿠션 소재의 제조

열융착 필름 4종 및 에어쿠션용 고강력 직물 2종을 각각 17cm×17cm로 절단한 다음, 필름과 직물을 적층하여 핫프레스 장비(Air mounting press, Korea labotech, Korea)로 압력(0.6MPa)과 열을 가하여 라미네이팅<sup>11,12)</sup>하였다. 이때 온도는 DSC측정을 통해 도출한 필름의 녹는점(*T<sub>m</sub>*)을 고려하여 150°C, 시간은 30sec.<sup>13)</sup>로 설정하였다. 박리강도 측정용으로는 17cm×12cm 크기의 필름을 17cm×17cm의 직물 2겹 사이에 삽입하여 열융착 라미네이팅하였다.

### 2.3 물성평가

#### 2.3.1 열융착용 필름의 물성 평가

필름의 열융착 라미네이팅 적정 온도조건 도출을 위하여 약

Table 1. Characteristics of fabrics for thermal bonding test

Fabric code	Yam		Weave construction	Fabric density (Filling/inch)	Weight (g/m <sup>2</sup> )	Width (cm)
	Warp	Weft				
ES-E-003	High tenacity Nylon 840D	High tenacity Nylon 840D	2×2 Basket	44.5×44.5	344	179
ES-E-008	High tenacity PET 840D	High tenacity PET 840D	2×2 Basket	44.5×44.5	344	179

5mg의 필름 시료를 채취, 시차열량계(이하 DSC) 장비(Q2000, TA Instruments, USA)를 이용하여 상온에서 260°C까지 10°C/min.로 승온한 다음 -70°C까지 냉각하고 다시 260°C까지 승온하면서 온도별 열량 변화를 측정하였으며, 냉각 후 재승온까지의 커브를 그래프로 나타내었다<sup>14)</sup>. 다음으로 열융착용 필름의 강도 및 신장 특성<sup>15)</sup>을 알아보기 위하여 만능재료시험기(5084, Instron, USA)를 이용, ASTM D 882 시험법을 준용하여 인장강도, 인장신도, 100% Modulus를 측정하였다. 인장강도와 신도 측정에 사용된 시험편의 폭은 10mm 파지거리는 50mm 시험속도는 500mm/min.이며 1방향(MD)과 2방향(CD) 각각 5개의 시험편으로 측정된 다음 평균값을 인장강도 N/cm<sup>2</sup>, 인장신도 % 단위로 나타내었다. 100% Modulus도 시험조건은 동일하며 100% 신장 시의 강도를 N/cm<sup>2</sup>로 나타내었다. 또한 각 필름의 두께를 휴대용 두께 측정기(Thickness gage, Mitutoyo, Japan)로 측정하여  $\mu\text{m}$ 로 나타내었다.

### 2.3.2 열융착 에어쿠션 소재의 물성 평가

열융착 에어쿠션 소재의 박리강도(접착강도)<sup>12)</sup>는 ASTM D 1876을 준용하여 핫프레스 장비의 가용 최대 시료 제작 크기를 고려하여 경사 방향 3개의 시편을 만능재료시험기(2100C-500, Korea labotech, Korea)를 이용하여 254mm/min.의 속도로 측정된 후 평균값을 나타내었다. 인장강도와 신도는 ISO 13934-1에 의거하여 경사, 위사 방향 각각 3개의 시편을 제작한 다음 동일한 만능재료시험기로 100mm/min.의 속도로 측정된 후 평균값을 구하였다. 인열강도는 ISO 13937-2에 의거하여 경사, 위사 방향 각각 3개의 시편을 제작하고 시편의 말단에서 중앙까지 10cm 커팅하여 상, 하단 물림부에 장착하는 텅법으로 만능재료시험기(Z005, Zwick, Germany)를 이용하여 100mm/min. 속도로 측정된 후 평균값을 나타내었다. 그리고 열융착 전, 후 비교를 위하여 직물 2종의 인장강도와 신도, 인열강도도 동일한 방법으로 측정하였다.

G. Chen<sup>16)</sup> 등은 HIC(Head injury criteria) 충돌 시험을 통

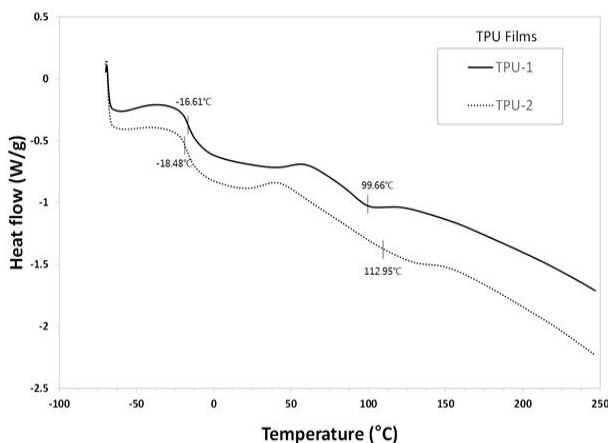


Figure 2. DSC thermogram of films depending on various type of TPU.

해 공기투과도가 에어백의 안전도에 중요 영향인자이며 코팅물이 직물 단독 대비 안전성이 높음을 보고하였다. 공기투과도는 Air permeability tester(TF-164E, Testex, China) 장비를 이용, ISO 9237를 준용하여 산업용 소재의 시료 면적 100cm<sup>2</sup>, 압력 500Pa의 가혹 조건<sup>8)</sup>으로 3회 측정 후 평균값을 L/dm<sup>2</sup>/min.으로 표기하였고, 비교를 위해 필름 4종 단독으로도 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 열융착용 필름의 DSC 열적 특성 분석

Figure 2는 TPU 필름 2종, Figure 3은 PET 필름 2종의 DSC 측정을 통한 온도별 열량 변화를 나타낸 것이다.

TPU 필름은 2종 모두 녹는점( $T_m$ )이 뚜렷한 커브로 나타나지 않고 변곡점 주변 온도 범위가 넓은 특성을 나타내었다<sup>14,17)</sup>. 시료명 TPU-1의 녹는점은 100°C 부근, TPU-2의 녹는점은 113°C 부근으로 서로 유사하였고, 유리전이온도( $T_g$ )도 -16~-18°C 부근<sup>18)</sup>으로 유사한 경향을 보였다. PET 필름의 녹는점은 명확한 커브를 나타내었으며 2종 모두 120°C부근으로 유사하였고, PET-2 필름은 52°C 부근에서 발열피크를 나타내어 결정화 온도( $T_c$ )가 관찰되었는데 이것은 결정성 폴리에스터 100%인 PET-1과 달리 PET-2는 무정형 공중합 폴리에스터가 혼재되어 있어 나타난 특징으로 생각된다. 유리전이온도( $T_g$ )의 경우 PET-1는 11°C, PET-2는 1°C로 다소 차이가 있었다. 이상의 DSC 측정결과를 바탕으로 열융착 라미네이팅 온도를 각 필름별 녹는점 보다 높여 TPU의 경우 130°C, PET는 140°C부터 예비 열융착 실험을 실시하여 육안 관찰 및 Hand-peel 테스트를 통해 최종 온도 조건을 필름 4종 모두 150°C, 시간은 30sec.로 도출하였다.

### 3.2 열융착 필름의 두께, 인장강도, 신도, 100% Modulus 평가결과

추락 시의 높은 충격력에 대한 내구성을 가지기 위해서 필름

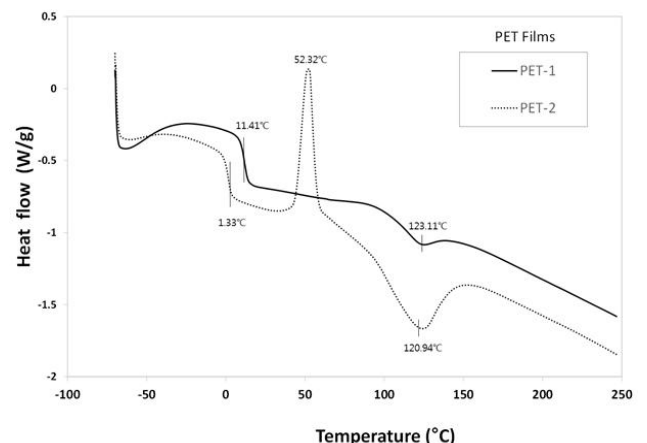


Figure 3. DSC thermogram of films depending on various type of PET.

**Table 2.** Thickness, tensile strength, elongation, and 100% modulus of films depending on various type of TPU and PET

Type of film	Film code	Thickness (μm)	Test result					
			Tensile strength (N/cm <sup>2</sup> )		Tensile elongation (%)		100% Modulus (N/cm <sup>2</sup> )	
			Direction 1	Direction 2	Direction 1	Direction 2	Direction 1	Direction 2
TPU	TPU-1	100	2,250	2,230	750	770	470	430
TPU	TPU-2	110	3,280	3,290	720	720	430	410
PET	PET-1	154	2,600	2,600	650	620	1,170	1,180
PET	PET-2	90	1,610	1,570	260	330	1,240	1,160

은 높은 강도와 더불어 에어쿠션의 팽창이 용이하도록 열융착 후 직물의 팽창 특성(신율, 모듈러스 등)을 저하시키지 않아야 한다.

Table 2는 실험에 사용한 필름 4종의 두께, 인장강도 및 신도, 100% Modulus 측정결과를 정리한 것으로, 두께는 대부분 100±10μm를 나타내었으며 필름명 PET-1의 경우만 154μm로 상대적으로 두꺼웠다. TPU 필름 2종의 경우, 측정 방향(MD, CD)별 편차는 없었으며 평균값 기준 TPU-1은 인장강도 2,240N/cm<sup>2</sup> 및 인장신도 760%, TPU-2는 인장강도 3,285N/cm<sup>2</sup>, 인장신도 720%로 TPU-2가 TPU-1에 비해 강도가 약 50% 높은 경향을 나타내었는데 TPU-2는 단일 폴리머인 반면 TPU-1은 필름의 조도(표면 거칠기) 조절을 위해 투입된 분말형 첨가제의 영향 때문으로 생각된다.

필름의 유연성, Toughness 특성을 나타내는 100% Modulus의 경우 TPU-1은 450N/cm<sup>2</sup>, TPU-2는 420N/cm<sup>2</sup>로 유사한 결과를 보였다. 한편 PET 필름 2종은 100% Modulus가 TPU 필름 대비 약 3배 정도 높은 것으로 나타나 상대적으로 팽창이 어려울 것으로 생각된다. PET 필름 중 PET-1은 인장강도 2,600N/cm<sup>2</sup>, 인장신도 635%이고, PET-2의 인장강도는 1,590N/cm<sup>2</sup>, 인장신도는 295%로 나타나 두께가 약 1.5배 높은 PET-1의 강도가 약 1.6배 높았다.

일반적으로 PET 필름이 TPU 필름에 비해 강도 물성이 낮은 경향을 나타내는데 본 연구에서는 두께를 높여 보완함으로써 TPU의 인장강도 수준으로 달성 가능함을 알 수 있었다. PET 필름 2종 중에서는 PET-1이 팽창이 쉬우면서 내충격력이 상대적으로 우위에 있는 것으로 생각되지만 필름의 두께<sup>19)</sup>가 154μm로 높기 때문에 직물과의 열융착 후 에어쿠션 소재의 무게 증가가 예상된다.

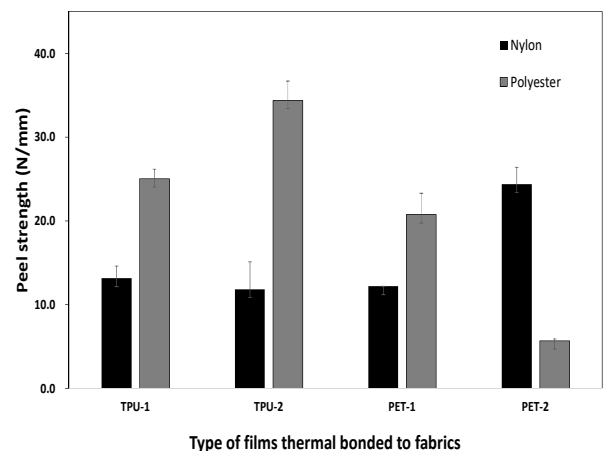
이상의 결과를 바탕으로 직물과의 열융착 후 에어쿠션 소재를 가정하였을 때 인장강도와 신도, 100% Modulus 기준으로 비교하면 TPU계인 TPU-2가 PET계인 PET-1 대비 상대적으로 내충격성이 높고 팽창이 쉬울 것으로 생각된다. 그러나 이는 필름 단독으로 측정한 결과를 통해 예측한 것으로 직물과의

열융착 후 에어쿠션 소재 기준 인장강도와 신도 측정을 추가 실시하였다.

### 3.3 열융착 에어쿠션 소재의 박리강도(접착강도) 평가 결과

열융착한 직물+필름 소재를 에어쿠션 형태로 제작할 경우 조끼 형태의 외피에 접어 넣어 사용하고 주로 야외 작업을 실시하므로, 해당 사용 및 보관 환경 하에서 직물과 필름의 박리가 일어나지 않도록 내구성을 가져야 한다. 일반적으로 자동차용 에어백에서 요구하는 박리강도는 1.3N/mm 이상이다<sup>3)</sup>.

Figure 4는 열융착 라미네이팅한 원단 8종의 박리강도를 정리한 것으로 6~34N/mm 범위를 나타내었으며, 1종(PET-2)의 필름을 제외하고는 폴리에스터 원단에 융착된 소재의 박리강도가 나일론 원단 대비 상대적으로 높게 나타났다. 이것은 원단과 필름 모두 동일한 폴리에틸렌 테레프탈레이트 계열의 폴리



**Figure 4.** Peel strength of thermal bonded fabrics depending on various type of TPU and PET.

머로 구성되어, 동종 소재 간 접착력이 상대적으로 높기 때문으로 생각된다. 나일론은 필름 종류별 박리강도 값이 유사하였으나 폴리에스터는 필름 종류별 편차가 상대적으로 크게 나타났다. 실험에서 사용한 필름 4종 중에서는 TPU-2가 상대적으로 높은 값을 나타내었다.

### 3.4 열융착 에어쿠션 소재의 인장강도, 인장신도 평가 결과

착용형 에어쿠션 소재는 추락, 전도 상황을 감지한 후 인플레이터에 의해 압축공기를 순간적으로 쿠션소재로 불어넣기 위해 라미네이팅 직물의 빠른 팽창과 바닥에 닿을 때의 추락 속도 및 높이가 부가된 충격력에 견딜 수 있는 충분한 내충격성이 필요하기 때문에 인장강도와 인장신도는 매우 중요한 요소이다.

Figure 5에 열융착 원단 8종의 인장강도, Figure 6에 인장신도 측정결과를 그래프로 정리하였다. Figure 5를 통해 열융착 전 직물 상태의 인장강도와 비교하면, 전체적으로 열융착 공법을 통해 필름이 직물과 접착되면서 약 30% 정도의 강도 저하<sup>20)</sup>가 발생하였고, 이러한 결과는 필름의 종류별로 차이가 상이하였다. 이것은 직물 단독의 경우 원사가 인장 시험 중 신장될 수 있는 범위를 필름이 접착되어 붙잡으면서 방해요소로 작용하기 때문으로 생각된다.

4종의 필름이 융착된 소재별 인장강도를 살펴보면 나일론은 약 2,850~4,590N/50mm, 폴리에스터는 3,175~4,670N/50mm의 범위로 나타나 최대값은 유사하였고 최소값은 나일론이 10% 정도 낮은 결과를 보여 직물의 원사 소재에 따른 영향은 크게 없는 것으로 생각된다. 즉, 원단의 종류보다는 열융착된 필름 종류의 영향이 더 큰 것으로 생각되는데, 열융착 라미네이팅 된 나일론 원단의 강도는 TPU-2 > PET-1 > TPU-1 ≒ PET-2의 순서로 높았고, 폴리에스터 원단은 PET-2 > PET-1 ≒ TPU-2 > TPU-1의 순서로 우수하였다.

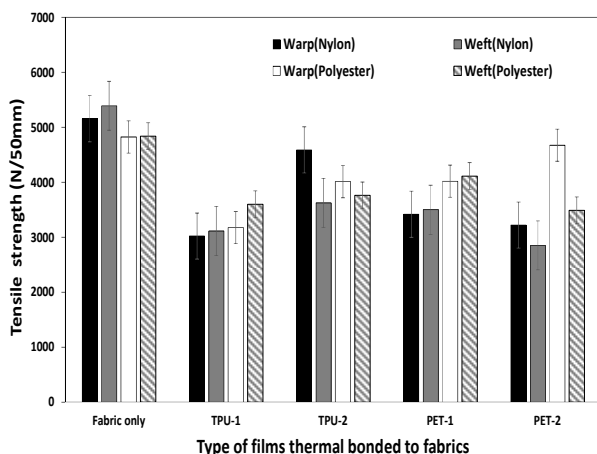


Figure 5. Tensile strength of thermal bonded fabrics depending on various type of TPU and PET.

나일론 원단의 경우 필름 단독 인장강도 실험결과의 순서와 동일하였으며, 폴리에스터 원단의 경우 동일한 계열의 폴리머인 PET 필름과의 상호 간 접착력이 상대적으로 우수한 영향을 받은 것으로 생각된다. 즉, 나일론은 TPU-2 필름, 폴리에스터는 PET-2 필름의 강도가 가장 높아서 사종별로 적합한 필름의 종류가 상이함을 확인하였다. 폴리에스터 원단의 경우 PET-1 필름은 결정성 폴리에스터 100%인 반면 PET-2는 무정형 공중합 폴리에스터가 혼재된 필름으로, 열융착용 필름 중 무정형 영역이 접착성, 결정성 영역이 치수안정성 및 유연성을 향상시키는 특성<sup>21)</sup>에 의해 PET-2가 접착된 소재의 강도가 더 높은 것으로 생각된다.

Figure 6의 인장신도 역시 직물 단독 상태 대비 30%의 저하가 발생하였으며 마찬가지로 열융착 공법을 통해 필름이 직물과 접착되면 직물의 신장 범위를 제한한 것으로 생각된다. 소재별로는 나일론 직물이 약 36~52%, 폴리에스터 직물이 40~52%로 강도와 동일하게 편차가 거의 없었다. 필름 종류별로 살펴보면 나일론 원단의 인장신도는 PET-2가 경사 기준 52%로 가장 높았고, 나머지 3종은 45%로 유사하였다. 폴리에스터 원단의 경우는 TPU-1이 52%로 가장 높았고 TPU-2 ≒ PET-1 > PET-2의 순서로 높았다.

본 연구의 적용 분야인 인체착용형 에어쿠션은 팽창 후 일정 시간 동안 팽창 상태를 유지하여 착용자를 보호할 수 있어야 하며, 자동차 에어백 중에서는 사이드 커튼형 에어백이 이에 해당되는데 이때 요구되는 연신율은 20~65% 범위<sup>4)</sup>이므로 실험에 사용된 8종의 열융착 원단 모두 해당 범위를 만족하는 결과를 나타내었다.

### 3.5 열융착 에어쿠션 소재의 인열강도, 공기투과도 평가 결과

보관 및 추락 상황 시 외부 요인에 기인된 에어쿠션 소재의 손상에 대한 내구성을 알아보기 위해 인열강도를 측정하여서

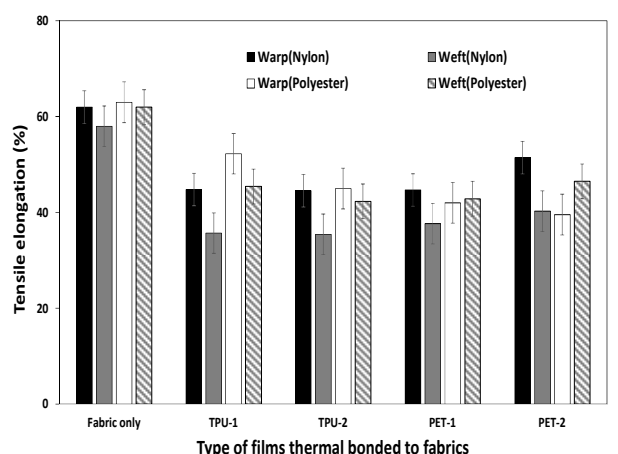


Figure 6. Tensile elongation of thermal bonded fabrics depending on various type of Warp TPU and PET.

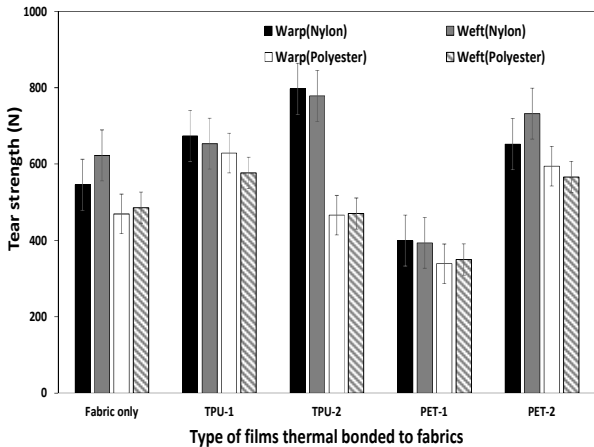


Figure 7. Tear strength of thermal bonded fabrics depending on various type of TPU and PET.

Figure 7로 나타내었고, Table 3은 열융착 라미네이팅 후 필름과 직물의 긴밀한 접착을 확인하기 위해 공기투과도를 측정 한 결과이다.

인열강도의 경우 PET-1을 제외하고는 전체적으로 직물 단독 상태보다 필름 융착 후에 결과 값이 증가한 것으로 보아 필름과 직물간의 긴밀한 접착을 통해 손상이 있을 경우에도 내구성이 확보되었음을 유추할 수 있었다. 소재별로 비교하면 나일론 원단이 폴리에스터 대비 높은 인열강도를 나타내어 상대적으로 우수하였으며 나일론 원단 기준 TPU-2 필름의 인열강도가 가장 높았다.

따라서 열융착한 원단 8종 및 필름 4종 자체의 공기투과도 모두 0 L/dm<sup>2</sup>/min.으로 나타나 열융착을 통해 원단과 필름 간 긴밀성이 확보되었음을 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 인체착용형 에어쿠션용 소재 구현을 위하여 열융착용 필름 4종과 고강도 직물 2종과의 열융착 라미네이팅 후 조합 조건별 박리강도 등 기계적 물성 특성을 분석하여 다음과 같이 정리하였다.

1. 필름 4종의 DSC 분석을 통해 도출된 녹는점(*Tm*)은 TPU계가 100~110°C 범위, PET계가 120°C으로 유사하게 나타나 4종 모두 동일한 온도인 150°C에서 30초간 열융착 라미네이팅을 실시하였다.
2. 필름 4종에 대한 인장강도와 신도, 100% Modulus 측정결과, TPU계인 TPU-2가 PET계인 PET-1 대비 상대적으로 내충격성이 높고 팽창이 쉬울 것으로 생각되었고, 직물과의 융착 후에는 가장 높은 강도를 가지는 조합이 원단 소재별로 차이가 나타나 나일론 원단은 TPU-2, 폴리에스터는 PET-2 필름이 접착된 소재의 강도가 가장 우수하였다. 그러나 필름

Table 3. Air permeability of thermal bonded fabrics depending on various type of TPU and PET

Film code	Air permeability (L/dm <sup>2</sup> /min)		
	Film	ES-E-003	ES-E-008
TPU-1	0	0	0
TPU-2	0	0	0
PET-1	0	0	0
PET-2	0	0	0

융착 후에는 인장강도 및 신도가 필름 융착 전 직물 단독에 비해 약 30% 정도 감소되는 것으로 나타나 필름에 의해 직물의 신장 범위가 일정 부분 제한됨을 확인하였다.

3. 직물 2종에 대한 필름 4종의 열융착 후 인열강도를 만능재료시험기를 이용하여 텅법으로 측정 한 결과, 직물 단독 대비 증가하여 외부 요인에 기인한 찢어짐 등의 손상에 대한 내구성을 필름 융착을 통해 확보 가능함을 확인하였다. 나일론 원단이 상대적으로 우수하였고, 나일론 원단 기준 TPU-2 필름의 인열강도가 가장 높았다.
4. 직물과 필름 간의 박리강도 측정결과, 모두 자동차용 에어백에서 요구하는 박리강도 수준 대비 약 5배 이상 상회하였으며, 폴리에스터 원단에 융착된 소재의 박리강도가 나일론 대비 높은 값을 나타내었다. 나일론은 폴리에스터 대비 필름 종류에 관계없이 유사하였고, 필름 4종 중에서는 TPU-2의 수치가 상대적으로 높았다.
5. 공기투과도는 필름과 열융착 원단 모두 0 L/dm<sup>2</sup>/min.로 열융착을 통해 원단과 필름 간 긴밀성이 확보되었음을 확인하였다.
6. 제조된 8개의 시편 중, 제품 사용 환경에서의 내구성과 관련된 인열강도 및 인플레이터 팽창 압력과 충격력을 견딜 수 있는 인장강도가 가장 우수한 TPU-2 필름과 나일론 직물의 조합이 에어쿠션 소재로 가장 적합하였다.

이상의 결과를 통해 필름과 직물을 열융착 라미네이팅 기법으로 접착할 경우에도 자동차용 에어백 제품에서 요구하는 수준의 박리강도, 인열강도, 인장강도 및 신도, 공기투과도 확보가 가능하여 인체착용형 에어쿠션 소재로의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

이 연구는 2019년도 산업통상자원부의 산업기술혁신사업-안전보호융복합섬유산업육성사업의 연구비 지원에 의한 연구임

(과제번호:20006386).

## References

1. H. S. Choi, G. H. Kim, Korea Pat. 10-2010-0127668(2010).
2. P. Russo, M. Lavotgna, F. Piscitelli, D. Acierno, and L. Di Maio, Thermoplastic Polyurethane Films Reinforced with Carbon Nanotubes: The Effect of Processing on the Structure and Mechanical Properties, *European Polymer Journal*, **49**, 379(2013).
3. J. H. Yoon, K. J. Kim, Korea Pat. 10-2015-0085379(2015).
4. S. K. Kim, S. H. Park, Korea Pat. 10-2017-0170363(2017).
5. K. J. Kim, S. M. Lee, Korea Pat. 10-2012-0158574(2012).
6. E. Shim, "Joining Textiles", Woodhead Publishing, Cambridge, pp.309-351, 2013.
7. V. E. Keeley, Transfer Coating with Polyurethanes, *Journal of Coated Fabrics*, **20**(1), 176(1991).
8. G. Yao, Development of Airbag Fabrics by Polyester Filament, Proceedings of 3rd International Conference on Materials, Mechanical and Manufacturing Engineering, Guangzhou, p.1566, 2015.
9. K. Lee, B. R. Yoon, and S. S. Lee, Changes in Waterproofness and Breathability after Repeated Laundering and Durability of Electrospun Nanofiber Web Laminates, *J. Kor. Soc. Cloth. Ind.*, **14**(1), 122(2012).
10. D. G. Kim, "Development of Laminating Technology using Thermoplastic Polyurethane Hot-melt Film with excellent Breathability", Ministry of SMEs and Startups, Daejeon, pp.67-85, 2013.
11. R. R. Hegde, Influence of Material Variables in Thermal Bonding of Nonwovens, M.S. Thesis, University of Tennessee, 2006.
12. Z. Jakubcioniene, V. Masteikaite, T. Kleveckas, M. Jakubcionis, and U. Kelesova, Investigation of the Strength of Textile Bonded Seams, *Materials Science*, **18**(2), 172(2012).
13. Q. Yu, F. Zhou, L. Jing, J. Song, Y. Xiang, Y. Mo, and Y. Zhao, Study on Creating the Three-dimensional Shape of Apparel by Thermal Bonding of Thermoplastic Polyurethane Film and Vacuum Forming Molding, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, **15**(1-9), 1(2020).
14. Y. C. Han, D. H. Kim, K. S. Oh, H. J. Shin, J. H. Yang, and H. M. Jeong, Effect of Polyethylene Glycol Molecular Weight and NCO Index on Properties of the Hydrophilic Reactive Hotmelt Polyurethane Adhesives, *Textile Coloration and Finishing*, **30**(2), 90(2018).
15. Y. H. Lee, B. K. Kang, and H. D. Kim, Effect of Hot Pressing/Melt Mixing on the Properties of Thermoplastic Polyurethane, *Macromolecular Research*, **17**(8), 616(2009).
16. G. Chen and J. Ii, Influence of Different Airbag Fabrics on Airbag Performance, *Advanced Materials Research*, **332**, 1053(2011).
17. S. H. Sur, P. J. Choi, J. W. Ko, and J. Y. Lee, Synthesis and Characterization of Polyurethane for Artificial Leather Using Bio Polyol, *Textile Coloration and Finishing*, **30**(4), 321(2018).
18. K. Kojio, M. Furukawa, Y. Nonaka, and S. Nakamura, Control of Mechanical Properties of Thermoplastic Polyurethane Elastomers by Restriction of Crystallization of Soft Segment, *Materials*, **3**(12), 5097(2010).
19. J. Wei, H. Tan, B. Song, and Z. Wan, Strength Testing of Fabric Composite Material and Impact Simulation for Airbag Landing System, *Advanced Materials Research*, **1095**, 463(2015).
20. D. Vlad and M. Oleksik, Research Regarding Uniaxial Tensile Strength of Nylon Woven Fabrics, Coated and Uncoated with Silicone, Proceedings of the MATEC Web of Conferences, Les Ulis, Vol. 290, p.1, 2019.
21. M. J. Choi, S. M. Kim, Korea Pat. 10-2009-0134534(2009).

## Authors

김지연 DYETEC연구원 책임연구원  
 김훈민 DYETEC연구원 연구원  
 민문홍 DYETEC연구원 단장