

# 프라이머 코팅과 열융착 필름 라미네이팅을 통해 제조한 충격 완화용 고강력 에어쿠션 직물에 관한 연구

## Study on the High-Strength Air-Cushion Fabrics for Impact-Relief Application Prepared through Primer Coating and Thermal Film Laminating

\*Corresponding author

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

김지연, 김훈민, 민문홍\*

DYETEC연구원

Ji Yeon Kim, Hun Min Kim, and Mun Hong Min\*

Korea Dyeing and Finishing Technology Institute, Daegu, Korea

Received\_November 04, 2021

Revised\_November 29, 2021

Accepted\_December 10, 2021

Textile Coloration and Finishing

TCF 33-4/2021-12/269-279

© 2021 The Korean Society of  
Dyers and Finishers

**Abstract** In this study, the laminating of TPU film after coating of primer adhesive on the fabrics was applied in order to secure the strength to withstand a fall from a higher altitude by increasing the adhesion between the fabric and the film layer. It seems that the fineness of the yarn and the weave construction have a greater effect than the type of the laminating films. The order of superiority of the laminated fabrics by film type and thickness was the same for 1000 denier and 210 denier fabrics, and the tendency was consistent with the order of superiority in the film properties and peel strength tests. The tear strength of laminating fabrics increased three to four times for 1000 denier fabrics compared to the fabric alone, but it decreased by 2 times for the 210 denier fabrics. Summarizing the above results, it is most appropriate to combine 1000d fabric with three types of laminating films(100~200 $\mu$ m thickness) of A(0.2T) or B(0.15T) or D(0.1T) considering the air pressure resistance, the impact resistance during the fall, and the durability against damage during use.

**Keywords** thermoplastic polyurethane film, primer coat, lamination, strength, wearable air cushion

### 1. 서 론

산업현장에서의 고소작업 중 추락 사고에 의한 작업자의 피해를 최소화하기 위하여 낙상, 전도 상황을 감지 후 장착된 인플레이터가 작동하여 공기를 주입하여 팽창시키는 원리의 스포츠 레저 활동용 인체 보호제품<sup>1-4)</sup>과 유사한 형태의 보호구 제품 개발에 대한 필요성이 대두되고 있다. 자전거나 바이크 등의 지면 위주의 활동과 달리 산업현장의 고소 작업은 지면으로부터 2m 이상의 높이에서 진행되고 있어, 추락 및 전도 시 발생하는 충격력에 대한 추가적인 고려를 통해 고소작업 산업현

장 작업자에게 적합한 에어쿠션 소재를 개발할 필요가 있다.

따라서 고소 작업 중 낙하 시 높이에 의한 고충격력 및 지면 낙하 후 2차 충격력, 전도 상황을 가정할 때, 필름 소재의 에어백 형태보다는 고강력 직물과 필름 간 복합층을 형성하여 필름의 강도를 직물이 보완하고 작업 현장의 날카로운 물건 등에 기인되는 꿰뚫림에 의한 터짐을 방지하는 방안을 대안으로 설정하였다.

자동차용 에어백과 달리 인체가 직접 충격력을 받는 고소작업용 착용형 에어백은 직물과 폴리머층 사이에 높은 기계적 물성 및 인플레이터에서 방출되는 압축가스에 대한 내압성 등이 필요하므로 직물과 폴리머의 효과적인 접착 가공기법을 확립할 필요

가 있다<sup>5)</sup>. 이러한 물성을 만족할 수 있는 직물과 폴리머의 접착 방법으로는 고강력 폴리에스터 또는 나일론 직물에 실리콘 수지를 나이프 코팅방식으로 코팅하는 방법이나 열가소성 폴리우레탄-코팅 기법이 사용되고 있다<sup>5-7)</sup>. 실리콘-코팅 원단은 높은 도포량으로 폴딩성이 나쁘고 제조원가가 높으며, 열가소성 폴리우레탄-코팅 원단은 수지의 점도가 낮아 원단 내부로 다량 침투되어 폴딩이 어렵고 차량 실내의 고온다습한 환경 조건에서 박리(Delamination)현상 또는 코팅층의 손상 우려가 있다<sup>5,8)</sup>.

상기 특성을 참조하여 다이렉트 코팅에 비해 장력 부하가 적고 코팅 약제의 침투가 적은 열융착 라미네이팅 방법을 적용하여, 직물과 필름 간 접착 가능성 검토를 위한 선행 연구를 실시하였으며 이를 본 지에 보고한 바 있다<sup>5)</sup>. 해당 연구는 용융점이 낮은 열가소성 폴리머 필름을 접착제(바인더)를 사용하지 않고 직물에 열과 적당한 압력을 가하여 직접 접착시키는 열융착 라미네이팅(Thermal bonding)기법을 적용하여 실시하였으며, 적절한 작업 조건을 도출하고 인장강/신도, 인열강도 및 박리강도 측정을 통해 필름은 PET 보다는 TPU 소재, 직물은 동일한 점도(840d)의 바스켓 조직 중에서 폴리에스터 보다는 나일론과의 조합이 가장 우수함을 도출하였다<sup>5)</sup>.

이상의 선행 연구를 통해 고강력 직물과 열가소성 필름 간 열융착 라미네이팅 기법을 적용한 고충격용 에어쿠션 소재 가능성을 확인하였으며, 이를 바탕으로 본 연구에서는 외부 환경에 노출되는 산업현장의 온, 습도 변화와 장기 보관에도 안정하고 보다 높은 추락 상황에서의 고충격력에도 견딜 수 있는 물성을 가질 수 있도록 라미네이팅 기법의 보완 및 소재 도출 연구를 실시하고자 하였다.

즉, 원단면과 필름면 간의 접착강도를 높이고 선행 연구에서 실시한 3m 추락 상황을 가정한 충격력 보다 높은 약 5m의 추락 상황에서의 고충격력에도 견딜 수 있는 에어쿠션 소재 접합 기법을 도출하고 기계적 물성 측정을 통해 개선 여부를 확인하였다. 이를 위해 선행 연구에서 적용한 접착제(바인더) 없이 열과 압력을 가하여 필름과 직물을 직접 접착시키는 열융착 라미네이팅(Thermal bonding)기법<sup>9)</sup>과 달리, 직물 표면에 열가소성 핫멜트 타입의 접착제 역할을 할 수 있는 폴리머 층을 knife over roll 방식의 다이렉트 코팅기법으로 도포하여 프라이머(Primer)층을 형성한 후, 필름을 프라이머 층의 폴리머와 열융착시키는 라미네이팅(Laminating) 기법<sup>9,10)</sup>을 선정하였다.

이러한 기법을 적용한 본 연구에서는 고충격력 대응을 위해 선행 연구의 840d보다 높은 1000d 점도의 고강력 직물<sup>11)</sup>, 작

업자의 착용성을 고려하여 경량에 초점을 둔 210d 점도의 고강력 직물을 준비하여 원사의 점도가 미치는 영향을 비교하였다. 라미네이팅용 필름은 이전 연구에서 도출한 TPU를 기반으로 하되, 새롭게 추가된 프라이머 코팅층과의 접합성과 강도를 고려하여 첨가제를 블렌딩한 4종을 준비하여 필름 종류별 차이를 알아보았다. 또한 이전 연구에서는 100 $\mu$ m로 동일한 두께의 필름으로 진행한 반면, 본 연구에서는 두께를 상이하게 준비하여 동일한 두께 기준 소재의 영향, 동일 소재일 때 두께의 영향을 비교해 보고자 하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험재료

프라이머 처리 후 라미네이팅 실험을 위해 사용된 에어쿠션용 고강력 직물 1종은 (주)은성인더스트리에서 제작하여 제공받았다. 이전의 연구<sup>5)</sup>를 통해 840d 원사를 사용하여 바스켓 조직으로 제작한 경험을 참조하여, 본 연구에서는 더 높은 높이에서의 추락 시 충격력에 대응 가능하도록 1000d급 폴리에스터 필라멘트 원사를 사용하여 바스켓 조직으로 제작하였다. 본 연구에서 사용한 고강력 폴리에스터 직물은 산업용 고강력 폴리에스터 원사(1000d/249f, Hyosung TNC Co., Korea)를 경사, 위사로 하여 밀도 42 $\times$ 42 본/inch, 2 $\times$ 2 바스켓직으로 제작하였으며 중량은 416g/m<sup>2</sup>이다. 한편, 비교를 위해 점도 및 중량이 낮아서 착용성 및 제품화에 용이한 장점이 있는 210d급 고강력 나일론6 원사(210d/24f, Robic, Hyosung TNC Co., Korea)를 경사, 위사로 사용하여 밀도 60 $\times$ 48 본/inch, 평직으로 제작하였으며 중량은 130g/m<sup>2</sup>이다<sup>12)</sup>. 이상 2종의 시료 직물에 대한 상세 내역을 Table 1에 정리하였다.

한편 상기 원단에 필름과의 접착제 역할을 하는 프라이머용 폴리머 1종은 폴리우레탄계(이하 PU)계를 사용하였고, 필름 6종은 이전의 열융착 기법 적용 선행 연구<sup>5)</sup>를 통해 PET와 열가소성 폴리우레탄계(이하 TPU) 재질의 필름 중 TPU가 에어쿠션 소재로 적합한 결과를 참조하여 (주)무진에서 제공한 TPU 필름으로 선정<sup>5,13)</sup>하였으며, 소재가 상이한 4종을 기반으로 하여 두께를 25~200 $\mu$ m 범위로 다양하게 준비하였다. 필름 A는 25, 200 $\mu$ m의 두 가지 두께로 투명 타입이며, 필름 B는 150, 220 $\mu$ m의 2종이고 반투명 타입이다. 필름 C는 110 $\mu$ m의 반투명 타입이고 필름 D는 100 $\mu$ m의 투명 타입을 사용하였으며 상세 내역

Table 1. Characteristics of fabrics for coating and laminating

Fabric code	High tenacity yarn		Weave construction	Fabric density (Filling/inch)	Weight (g/m <sup>2</sup> )	Width (cm)
	Warp	Weft				
1000d	PET 1000d	PET 1000d	2 $\times$ 2 Basket	42 $\times$ 42	416	167
210d	Nylon 210d	Nylon 210d	Plain	60 $\times$ 48	130	157

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

Film code	Color	Thickness ( $\mu\text{m}$ )	Test results					
			Tensile strength ( $\text{N}/\text{m}^2$ )		Tensile elongation (%)		100% modulus ( $\text{N}/\text{cm}^2$ )	
			Direction 1	Direction 2	Direction 1	Direction 2	Direction 1	Direction 2
Film A 0.2T	Clear	198	10,250	9,250	850	900	720	680
Film A 0.02T	Clear	25	4,210	3,640	350	380	1,120	1,060
Film B 0.15T	Translucent	148	4,200	3,770	540	470	560	610
Film B 0.2T	Translucent	220	6,090	7,160	680	580	550	630
Film C 0.1T	Translucent	109	4,750	4,320	480	380	1,020	1,140
Film D 0.1T	Clear	103	8,170	8,750	790	810	840	870

을 Table 2에 정리하였다.

## 2.2 라미네이팅을 통한 에어쿠션 소재의 제조

제직된 생지 2종에 대한 코팅 및 라미네이팅을 위하여, 원사 및 제직 과정 중 오염된 직물의 불순물을 제거하는 정련 처리를 실시하였다. 연속 정련수세기(Ilsung machinery Co., Ltd, Korea)에 정련제(Serawash C-NEP, Dystar) 2g/L, Sodium hydroxide(공업용, 50%) 2g/L를 투입하여 95°C, 15m/min의 속도로 정련(2개조) 및 수세(3개조) 후, 텐터(7 chamber, Ilsung machinery Co., Ltd, Korea), 건조를 170°C에서 15m/min 속도로 실시하여 정련된 고강력 직물 원단 2종의 준비를 완료하였다<sup>5)</sup>.

고강력 직물을 에어쿠션 소재로 제조하기 위하여 본 연구에서는 원단 면에 프라이머용 폴리머 도포 후 필름을 열융착하는 라미네이팅 기법을 적용하였다. 이전의 연구<sup>5)</sup>에서는 열가소성 필름을 이용하여 원단면에 약 150°C의 온도 및 압력을 가해 필름을 직접 융착하는 방식을 적용하였으나, 본 연구에서는 필름과 원단면 사이에 접착층을 추가하여 접착강도 및 내충격력과 보관 안정성을 개선하고자 하였다. 라미네이팅용 필름 6종 및 에어쿠션용 고강력 직물 2종을 각각 17cm×17cm로 절단한 다음, 프라이머 처리를 위하여 (주)무진에서 제공한 핫멜트 타입의 PU 접착제를 80°C의 향온오븐(EYELA, DN610, Japan)에 1시간 이상 방치하여 적절한 점도(4500±200 cps)와 흐름성을 부여한 후, Lab. Coater(Mathis, LTE-S, Switzerland) 장비를 이용하여 comma knife로 원단과 knife 사이에 적정 간격(100  $\mu\text{m}$  gap)을 두고 수지를 도포하는 knife over roll 방식의 다이렉트 코팅기법을 적용하여 원단면에 도포량(dry add-on) 140~180g/m<sup>2</sup> 으로 전면 코팅하였다<sup>14)</sup>. 30~75d 원사를 주로 사용하는 아웃도어 의류 용도의 다이렉트 코팅은 일반적으로 도포량을 약 30g/m<sup>2</sup> 범위로 실시하지만, 본 연구에서는 210d 및 1000d의 태섬도 원사 사용으로 원단면의 요철이 상대적으로

두드러지고 고충격력에 대한 내구성이 필요하므로 접착제가 원단면에 충분히 침투되고 필름과 긴밀한 부착이 될 수 있도록 도포량을 증가시켰다. 직물의 한 쪽면에 프라이머 처리를 완료 후 바로 이어서 필름과 프라이머 처리된 직물을 적층하여 핫프레스 장비(Air mounting press, Korea labotech, Korea)로 압력(0.6MPa)과 열을 가하여 라미네이팅<sup>15)</sup> 하였다. 이때 온도는 프라이머 층에 사용된 폴리머의 녹는점( $T_m$ )을 고려하여 80°C, 시간은 30sec로 설정하였다<sup>5)</sup>. 한편, 박리강도 측정을 위하여 17cm×12cm 크기의 필름을 17cm×17cm의 직물 2겹 사이에 삽입하여 테플론 재질의 플레이트 사이에 넣고 핫프레스 장비로 압력 0.6MPa 조건에서 라미네이팅하였다. 이때 온도는 필름의 DSC 측정으로 도출한 녹는점( $T_m$ )이 약 146~157°C 부근임을 고려하여 180°C, 시간은 15sec로 설정하였다<sup>5)</sup>.

## 2.3 물성평가

### 2.3.1 라미네이팅용 필름 및 프라이머용 폴리머의 물성 평가

필름의 프라이머 처리 온도조건 도출을 위하여 프라이머 처리용 폴리머를 필름 시편으로 제조하여 약 5mg의 시료를 채취, 시차열량계(이하 DSC) 장비(Q2000, TA Instruments, USA)를 이용하여 상온에서 260°C까지 10°C/min로 승온한 다음 -70°C 까지 냉각하고 다시 260°C까지 승온하면서 온도별 열량 변화를 측정하였으며, 냉각 후 재승온까지의 커브를 그래프로 나타내었다<sup>16)</sup>. 같은 방법으로 라미네이팅용 필름 6종에 대해서도 측정을 실시하였다.

라미네이팅용 필름의 강도 및 신장 특성<sup>17)</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/min이며, 1방향(MD)과 2

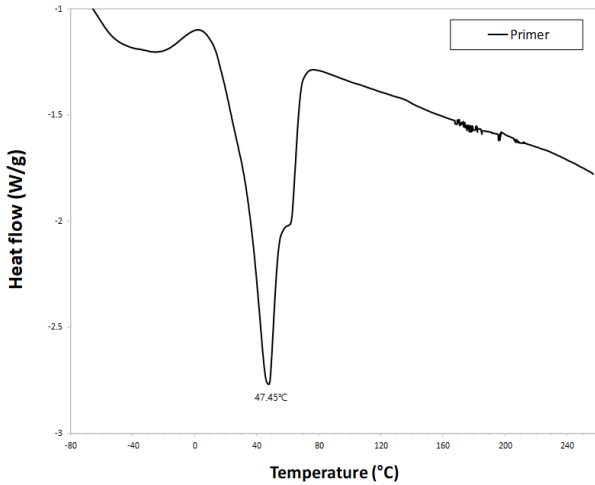


Figure 1. DSC thermogram of PU adhesive for primer coating.

방향(CD) 각각 5개의 시험편으로 측정된 다음 평균값을 인장강도  $N/cm^2$ , 인장신도 % 단위로 나타내었다<sup>5)</sup>. 100% Modulus도 시험조건은 동일하며 100% 신장 시의 강도를  $N/cm^2$ 로 나타내었다. 또한, 각 필름의 두께를 휴대용 두께 측정기(Mitutoyo, Japan)로 측정하여  $\mu m$ 로 나타내었다<sup>5)</sup>.

### 2.3.2 라미네이팅 에어쿠션 소재의 물성 평가

필름의 열융착 라미네이팅 기법으로 제작한 에어쿠션 소재의 직물층과 필름층 간의 접착 형상 확인을 위하여 라미네이팅 원단의 단면을 전자현미경(Hitachi, SU3500, Japan)으로 측정하였다. 인장강도와 신도는 이전의 연구<sup>5)</sup>와 동일하게 ISO 13934-1에 의거하여 경사, 위사 방향 각각 3개의 시험편을 제작한 다음 만능재료시험기(Z005, Zwick, Germany)를 이용하여 100mm/min의 속도로 측정 후 평균값을 구하였다. 박리강도(접착강도)는 ASTM D 1876을 준용하여 핫프레스 장비의 가용 최대 시료 제작 크기를 고려하여 경사 방향 2개의 시험편을 동일한 만능재료시험기를 이용하여 254mm/min의 속도로 측정 후 평균값을 나타내었다. 인열강도는 ISO 13937-2에 의거하여 경사, 위사 방향 각각 3개의 시험편을 제작하고 시험편의 말단에서 중앙까지 10cm 커팅하여 상, 하단 물림부에 장착하는 방법으로 동일한 만능재료시험기를 이용하여 100mm/min 속도로 측정 후 평균값을 나타내었다. 그리고 라미네이팅 전·후 비교를 위하여 직물 2종의 인장강도와 신도, 인열강도도 동일한 방법으로 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 라미네이팅용 필름과 프라이머용 폴리머의 DSC 열적 특성 분석

Figure 1은 프라이머 층에 사용된 폴리우레탄(PU) 필름 1종,

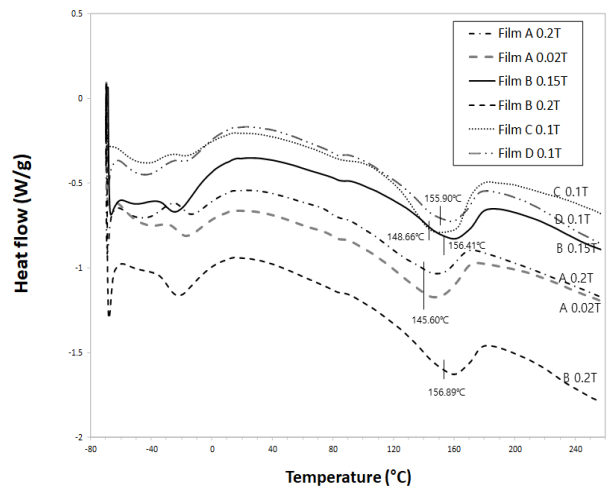


Figure 2. DSC thermogram of various TPU films.

Figure 2는 라미네이팅용 TPU 필름 6종의 DSC 측정을 통한 온도별 열량 변화를 나타낸 것이다. 프라이머용 PU 폴리머 1종의 DSC 측정결과, 흡열 반응을 통해 녹는점( $T_m$ )이 약 48°C 및 70°C 주변의 특성을 가지는 폴리머로 확인되어 직물에 comma knife로 다이렉트 코팅을 위해 폴리머의 적정 흐름성 및 점도 조절에 필요한 오븐의 온도를 80°C로 도출하였다.

Figure 2의 라미네이팅을 위해 사용한 TPU 필름 6종을 측정한 결과, 이전의 연구에서 확인한 바와 같이 원단면에 직접열을 가하여 열융착하는 TPU 필름 2종은 녹는점( $T_m$ )이 뚜렷한 커브로 나타나지 않고 변곡점 주변 온도 범위가 110°C 부근에서 넓은 특성을 나타낸 반면, 본 연구에서 사용한 라미네이팅용 TPU 필름은 6종 모두 녹는점 부근의 커브가 명확하게 드러나는 경향을 나타내었다. 이것은 이전 연구에서 사용한 필름에 비해 본 연구에 사용한 TPU 폴리머의 결정화도 비율이 높아진 영향 때문으로 생각된다<sup>16,18,19)</sup>. 조성이 동일하고 두께만 상이한 필름 A 2종은 146°C, B는 157°C 부근에서 녹는점 및 유사한 커브를 나타내었다<sup>20)</sup>. 필름 C는 149°C로 필름 A와 녹는점이 유사하였으나 6종의 필름 중 가장 넓은 커브를 나타내어 결정화도가 상대적으로 낮을 것으로 생각된다. 필름 D의 녹는점은 156°C로 필름 B와 유사한 온도 및 그래프를 나타내었다. 정리하면 필름 A와 C는 녹는점 146°C 부근, 필름 B와 D는 녹는점 157°C 부근으로 서로 유사하고, 두 그룹 간 약 10°C의 차이가 있으며 녹는점이 높은 필름 B와 D가 좀 더 sharp한 커브와 높은 결정화도를 가질 것으로 생각된다.

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

본 연구와 같이 라미네이팅을 통해 필름과 직물을 접착하게 될 경우, 필름이 직물의 강도와 신도에 영향을 미칠 수 있으므로 이를 최소화할 수 있는 필름을 선정할 필요가 있다. 따라서 직물과 필름 각각이 가진 강도와 신도 특성을 고려하고, 추락

시의 높은 충격력에 대한 강도와 팽창이 가능한 신율 및 모듈러스를 가져야 하므로 소재 및 두께별 필름 6종에 대한 특성을 비교해 보고자 하였다.

Table 2는 실험에 사용한 필름 6종의 두께, 인장강도 및 신도, 100% Modulus 측정결과를 정리한 것으로, 두께의 경우 Film A 2종은 25, 198 $\mu$ m로 8배, Film B는 148, 220 $\mu$ m로 1.5배의 차이가 있으며, Film C와 D는 100 $\pm$ 10 $\mu$ m으로 유사하였다. 즉, 가장 얇은 25 $\mu$ m부터 220 $\mu$ m까지 다양한 두께의 필름 물성을 측정하였다.

필름 6종의 인장강도는 3,640 ~ 10,250N/cm<sup>2</sup>, 인장신도는 350 ~ 900%, 100% Modulus는 550 ~ 1,140N/cm<sup>2</sup>의 범위를 나타내었다. 필름별로 상세 비교해 보면 동일한 200 $\mu$ m 두께 기준 Film A가 B 보다 인장강도는 1.7배, 인장신도는 1.3배 높게 나타나 강하고 잘 늘어나는 특성을 나타내었다. 또한 100 $\mu$ m 두께의 Film C와 D를 비교해 보면 D가 C보다 강도와 신도 모두 약 1.7배 높았다. 한편, 100 $\mu$ m Film C와 150 $\mu$ m의 Film B 0.15T는 4배 얇은 25 $\mu$ m의 Film A 0.02T와 유사한 강도를 나타내어 Film A 0.02T가 얇으면서도 강도는 상대적으로 강한 것으로 확인되었고, 신도는 두께별 차이가 나타났다.

인장신도는 Film A와 Film B의 결과를 볼 때 동일한 소재의 경우 필름의 두께가 두꺼울수록 인장신도도 증가함을 알 수 있었다. 반면 동일한 100 $\mu$ m의 두께를 가진 Film C와 D는 D가 약 2배 더 높은 신도를 나타내어 필름의 소재별 차이도 영향을 주는 것으로 생각된다. 필름의 유연성, Toughness 특성을 나타내는 100% Modulus 측정결과, 인장신도가 낮은 필름들이 높은 값을 나타내어 100% 신장에 소요되는 힘이 더 필요한 상관관계를 확인할 수 있었다. Film A의 두께가 상이한 2종을 비교해 보면 25 $\mu$ m 필름의 신장을 위해 200 $\mu$ m 필름 대비 1.5배의 힘이 소요되었고, 두께가 동일하지만 인장신도가 2배 높은 Film D는 100% Modulus 값이 Film C 대비 1.2배 낮아서 상대적으로 유연하여 팽창에 유리할 것으로 생각된다.

이상의 결과를 바탕으로 직물과의 라미네이팅 후 에어쿠션 소재의 추락 및 팽창 상황을 가정하였을 때 강도가 높고 유연한 필름은 200 $\mu$ m 기준으로는 Film A, 100 $\mu$ m 기준 Film D이며, 인체착용을 위해 수납성과 중량을 고려한 25 $\mu$ m 두께의 얇은 Film A도 100 $\mu$ m 부근의 타 소재 필름과 유사한 강도를 나타냄을 확인하였다. 단, 필름 단독 측정결과를 바탕으로 예측한 것으로 직물과 라미네이팅 후 에어쿠션 소재에 대한 인장강도와 신도를 추가 측정하였다.

### 3.3 라미네이팅 에어쿠션 소재의 전자현미경 단면 촬영 결과

본 연구에서는 열가소성 필름과 원단을 열과 압력을 이용하여 직접 융착한 이전의 연구와 달리, 내충격력과 보관 안정성을 개선하기 위하여 필름과 원단면 사이에 프라이머 접착층을 추가하여 라미네이팅 하는 기법을 적용하였다. 이에 직물과 프라이머층, 필름층의 적층 형상 관찰을 위하여 Figure 3에 1000d 직물에 대한 필름 6종 라미네이팅 원단의 단면을 전자현미경으로 100배의 비율로 촬영하였고, Figure 4에는 210d

원단의 단면 사진을 정리하였다.

전체적으로 프라이머층이 직물 위에 도포되어 있고 그 위에 필름층이 구별되어 2개의 층으로 적층되어 있음을 확인할 수 있다<sup>21)</sup>. 또한, 프라이머층이 섬유 내부로 침투하지 않고 표면의 섬유를 감싸는 형태로 도포되어 라미네이팅 후 유연성의 저하 또는 에어쿠션 제품화 시 수납성의 문제 발생 우려는 없으므로 생각된다.

Figure 3의 1000d PET 라미네이팅 원단 6종의 두께는 750 ~ 870 $\mu$ m이고 이 중 프라이머층의 두께는 100 ~ 120 $\mu$ m로 측정되었는데, 단면 사진을 보면 (a)와 (d) 사진의 200 $\mu$ m 필름은 프라이머층 대비 다소 두껍고, (c) 사진의 150 $\mu$ m 필름은 프라이머층의 두께와 유사하였으며, (e)와 (f) 사진의 100 $\mu$ m 필름은 프라이머층이 약간 두껍게 도포되었고, 25 $\mu$ m 필름이 적층된 (b) 사진에서는 대부분을 프라이머층이 차지하고 있음을 확인할 수 있었다.

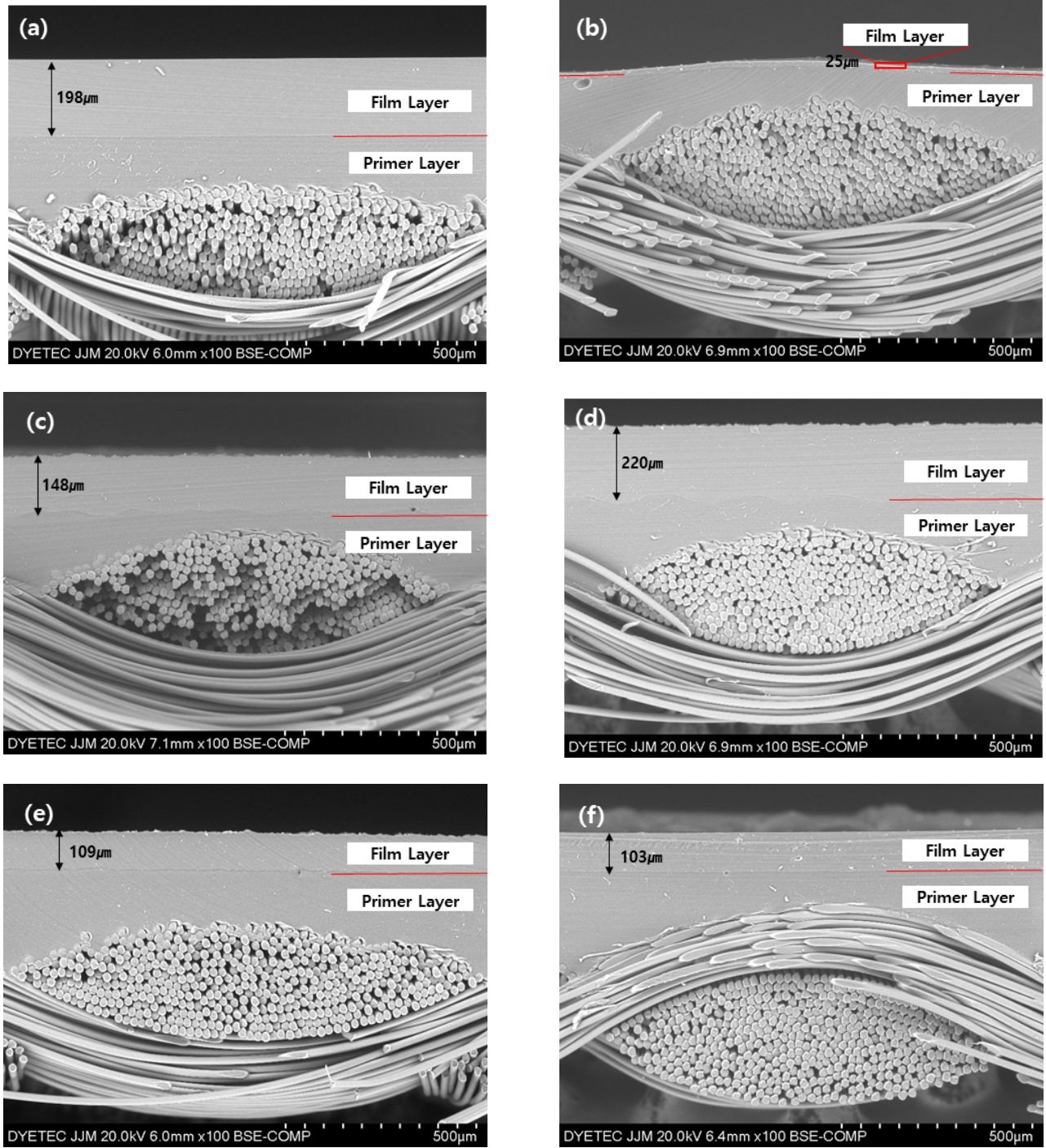
Figure 4의 210d Nylon 라미네이팅 원단 6종의 두께는 400 ~ 580 $\mu$ m이고 이 중 프라이머층의 두께는 90 ~ 130 $\mu$ m로 1000d 원단과 유사하게 도포된 것으로 나타났으며, 필름의 종류별 경향도 Figure 3과 동일하였다. 즉, 직물 2종에 대해 프라이머층이 적절한 두께로 도포되고 그 위에 각각의 필름이 접착된 형태로, 직물 대비 필름층 비율이 1000d 라미네이팅 원단은 두께 기준 20 ~ 36%이고, 210d 라미네이팅 원단은 37 ~ 56%로 차이가 발생하였다.

### 3.4 라미네이팅 에어쿠션 소재의 인장강도, 인장신도, 박리강도 평가 결과

이전의 연구에서 언급한 바와 같이 착용형 에어쿠션 소재는 추락, 전도 상황을 감지한 후 인플레이터가 압축 공기를 순간적으로 쿠션 내부로 불어넣게 되므로, 라미네이팅 원단은 빠른 팽창과 동시에 추락 후 바닥에 닿을 때까지의 추락 속도 및 높이가 부가된 충격력에 대한 충분한 내성이 필요하기 때문에 인장강도와 인장신도는 매우 중요한 요소이다. 또한, 라미네이팅으로 접착한 직물-필름 소재를 에어쿠션 형태로 제작할 경우, 조끼형 외피의 내부에 수납한 형태로 사용하고 야외 작업 환경에 노출되므로 직물과 필름 간 박리가 일어나지 않도록 내구성을 가져야 한다.

직물 2종 및 TPU 필름 6종이 라미네이팅 된 원단 6종의 인장강도 결과를 Figure 5, 인장신도를 Figure 6에 그래프로 정리하고 상세 수치는 Table 3에 나타내었다.

인장강도의 경우 라미네이팅 전의 1000d 직물이 경사 기준 6,273N/50mm 인데 반해 필름이 라미네이팅된 후에는 필름 종류에 따라 3,540 ~ 4,920N/50mm으로 나타나 약 20 ~ 40% 정도의 강도 저하<sup>22)</sup>가 발생하였고, 210d 직물은 경사 기준 1,600N/50mm이고 라미네이팅 원단은 1,113 ~ 1,455N/50mm으로 나타나 약 10 ~ 30%의 강도 저하<sup>22)</sup>가 발생하였다. 이것은 라미네이팅 원단의 경우 인장 시험 시 직물에 도포된 프라이머 접착층과 필름층이 직물 단독에 비해 신장 범위를 저하시키기 때문으로 생각된다. 그리고 라미네이팅 원단 기준 1000d와 210d 원단 사이에 약 3배의 강도 차이가 발생하여 동일한 필

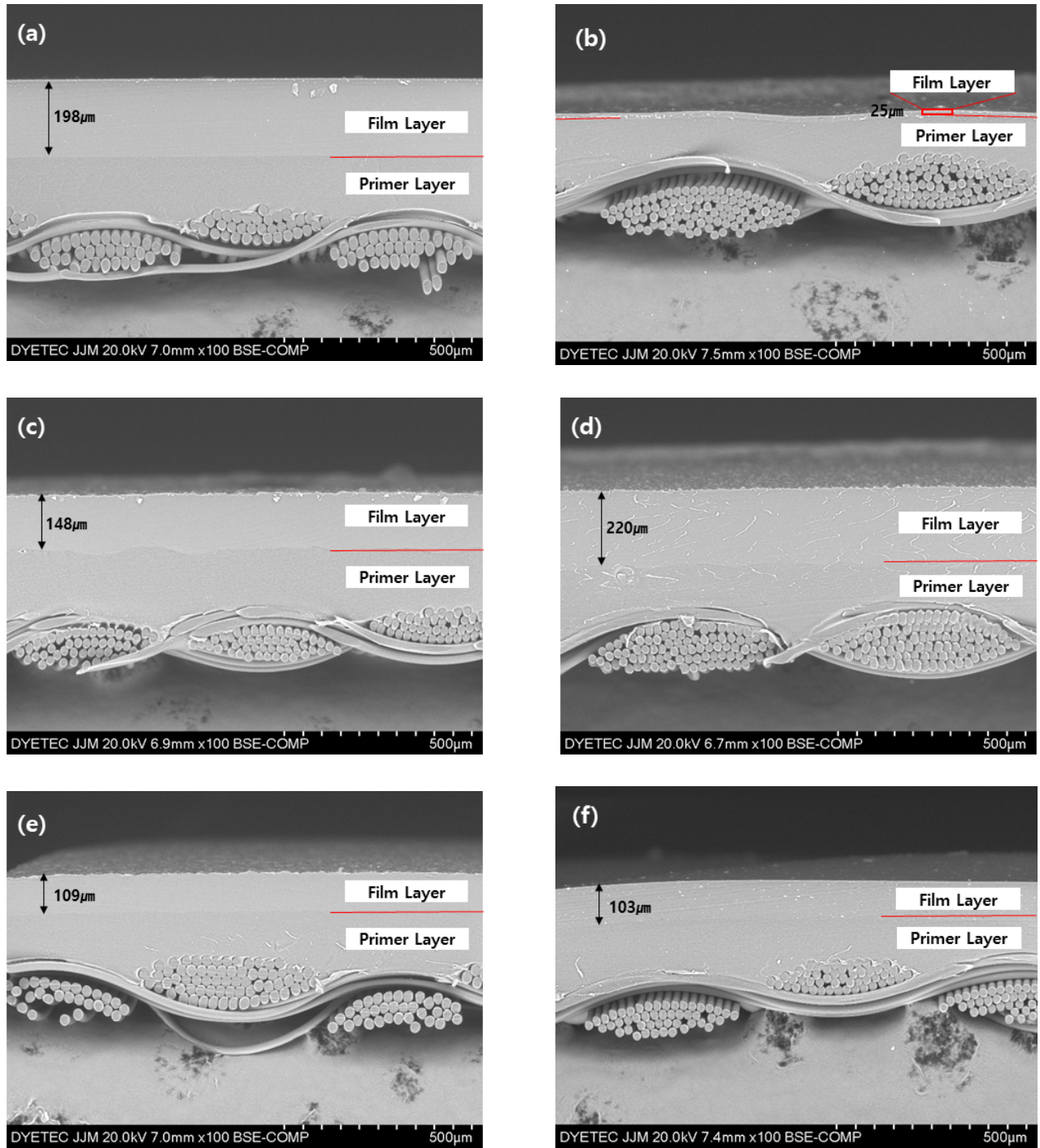


**Figure 3.** SEM images of 1000d PET fabrics laminated with various TPU films; (a) Film A 0.2T, (b) Film A 0.02T, (c) Film B 0.15T, (d) Film B 0.2T, (e) Film C 0.1T, (f) Film D 0.1T.

를 사용하더라도 원사의 점도, 조직이 인장강도에 더 큰 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다<sup>23)</sup>.

필름별 인장강도는 2종의 직물 모두 비슷한 우열을 나타내었는데, 필름 B 0.15T, A 0.2T, D 0.1T 3종이 가장 강도가 높고, 다음으로 B 0.2T와 C 0.1T, 마지막으로 가장 얇은 두께의

A 0.02T의 세 그룹으로 나뉘었다. 이것은 앞에서 기술한 필름 단독 인장강도 실험에서 양호하였던 필름 A 0.2T, 필름 D 0.1T 결과와도 동일한 경향을 나타내었다. 한편 필름과 직물 간 박리강도는 필름 A 0.2T가 126~157, B 0.15T와 D 0.1T는 110~132, B 0.2T와 C 0.1T는 56~76, A 0.02T가 39~50



**Figure 4.** SEM images of 210d Nylon fabrics laminated with various TPU films; (a) Film A 0.2T, (b) Film A 0.02T, (c) Film B 0.15T, (d) Film B 0.2T, (e) Film C 0.1T, (f) Film D 0.1T.

N/25mm의 값을 나타내었다. 즉, 상위 그룹은 B 0.15T, A 0.2T, D 0.1T의 3종, 다음으로 B 0.2T와 C 0.1T, 마지막으로 가장 얇은 두께의 A 0.02T의 세 그룹으로 나뉘어 인장강도 결과와 동일한 순서를 나타내었다. 인장 및 박리강도가 우수한 상위 그룹인 B 0.15T, A 0.2T, D 0.1T 라미네이팅 원단은 프

라이머 층의 두께가 100~130µm 범위이고, 차순위 그룹인 B 0.2T와 C 0.1T 라미네이팅 원단은 80~90µm로 차이가 있는데 이를 통해 프라이머층의 도포량이 강도에 영향을 주는 것으로 생각된다.

중량이나 수납성 및 활동 편의성 면에서 고려한 25µm 필름

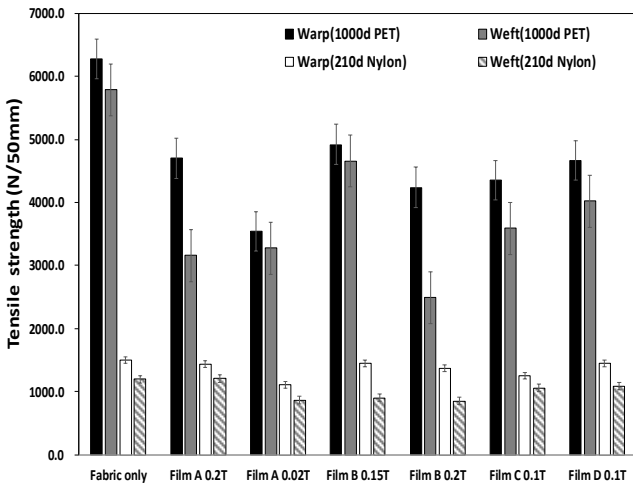


Figure 5. Tensile strength of laminated fabrics with various textiles and TPU films.

A 0.02T 라미네이팅 원단의 경우는 가장 두꺼운 200 $\mu$ m 필름 적용 원단에 비해 인장강도가 1000d 직물은 28%, 210d 직물은 23% 낮지만, 중량 측정결과 1000d 직물은 25 $\mu$ m 필름 접착 시 503g/m<sup>2</sup>, 200 $\mu$ m 필름 접착 시 731g/m<sup>2</sup>으로 30% 가벼웠고, 210d 직물은 25 $\mu$ m 필름 접착 시 221g/m<sup>2</sup> 200 $\mu$ m 필름 접착 시 461g/m<sup>2</sup>으로 50% 낮게 나타나 에어쿠션 소재를 인체착용형 보호제품으로 용도 전개 시 중요한 요소인 착용성 면에서 고려할 만한 수준임을 확인하였다.

Figure 6의 인장신도는 라미네이팅 전의 1000d 직물이 경사 기준 21.6% 인데 반해 필름을 라미네이팅 하면 15.3~18.3%로 나타나 약 15~30% 정도의 신율 저하<sup>22)</sup>가 발생하였고, 210d 직물은 경사 기준 32.9%이고, 라미네이팅 원단은 28.3~40.9%로 나타나 약  $\pm$ 20%의 신율 저하 또는 증가가 발생하였다. 즉, 인장신도는 원사의 섬도별로 직물 대비 라미네이팅 후 증감의 차이가 발생하였는데, 1000d 직물은 강도와 마찬가지로 인장 시험 시 직물에 도포된 프라이머 접착층과 필름층이 직물 단독에 비해 신장 범위를 저하시키기 때문으로 생각된다.

반면 210d 직물은 라미네이팅 원단의 단위 면적 대비 필름 층 비율이 중량 기준 60~75%로 1000d 직물의 필름층 비율 30~50%에 비해 높아서 필름 자체의 신율의 영향을 상대적으로 크게 받은 것으로 생각된다. 210d 직물에 라미네이팅 후 신율이 증가된 B 0.15T, B 0.2T, A 0.2T, D 0.1T 필름 4종은 필름 단독 실험결과에서도 100% Modulus 값이 낮고 인장신도가 나머지 2종에 비해 높은 특성을 나타낸 그룹임을 확인할 수 있다. 1000d 직물 라미네이팅 원단의 인장신도는 15.3~18.3%로 필름별 차이는 거의 발생하지 않아 직물 자체의 인장 특성이 더 큰 영향을 주는 것으로 생각된다.

### 3.5 라미네이팅 에어쿠션 소재의 인열강도 평가 결과

보관 및 추락 상황 시 외부 요인에 의한 에어쿠션 소재의 손

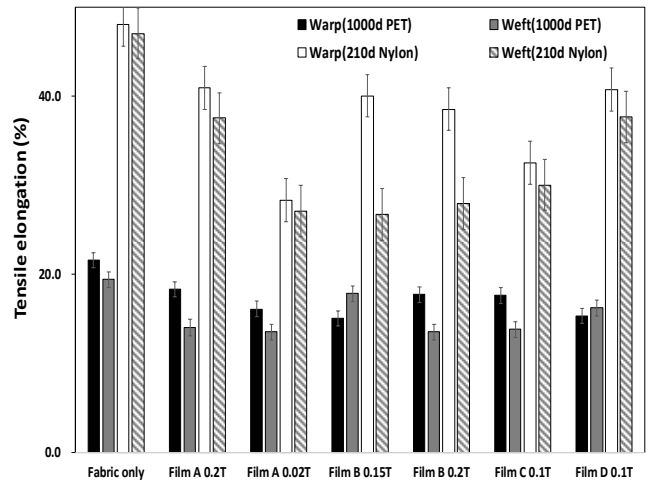


Figure 6. Tensile elongation of laminated fabrics with various textiles and TPU films.

상에 대한 내구성을 알아보기 위해 인열강도를 측정하여 그래프와 수치를 Figure 7 및 Table 3으로 나타내었다.

측정결과, 인열강도 결과는 라미네이팅 전의 1000d 직물이 경사 기준 170N이고 필름이 라미네이팅된 후에는 533~672N으로 약 3~4배 정도 크게 증가한 것으로 나타나, 인열강도 시험 시 커팅 부위에서 필름층과 직물층이 견고하게 부착되어 날카로운 물체 등으로 인해 찢어지더라도 그 이상의 손상을 예방할 수 있을 것으로 생각된다.

반면 210d 직물은 경사 기준 87N에서 라미네이팅 후 45~88N으로 나타나 강도가 약 2배 저하되는 경향을 나타내어 인열강도에서 원사 섬도별 차이가 발생함을 확인하였다. 이것은

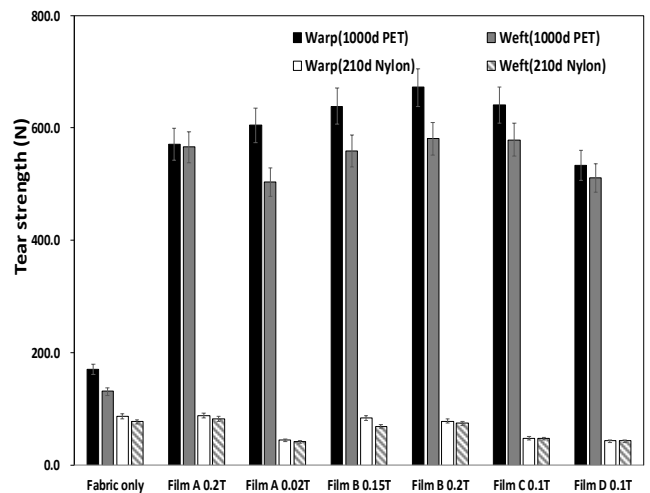


Figure 7. Tear strength of laminated fabrics with various textiles and TPU films.



**Table 3.** Mechanical properties of laminated fabrics depending on various textile and TPU films

Fabric	Film code	Test results					
		Tensile strength (N/50mm)		Tensile elongation (%)		Tear strength (N)	
		Warp	Weft	Warp	Weft	Warp	Weft
1000d PET Basket	Fabric only	6,273	5,787	21.6	19.4	170	131
	Film A 0.2T	4,700	3,160	18.3	14.0	571	566
	Film A 0.02T	3,540	3,280	16.1	13.5	605	504
	Film B 0.15T	4,920	4,660	16.0	17.8	639	559
	Film B 0.2T	4,240	2,490	17.7	13.5	672	581
	Film C 0.1T	4,350	3,590	17.6	13.8	641	579
	Film D 0.1T	4,670	4,020	15.3	16.2	533	511
210d Nylon Plain	Fabric only	1,600	1,300	32.9	31.1	87	77
	Film A 0.2T	1,440	1,211	40.9	37.5	88	82
	Film A 0.02T	1,113	865	28.3	27.1	45	41
	Film B 0.15T	1,455	907	40.0	26.7	84	68
	Film B 0.2T	1,372	854	38.5	27.9	78	74
	Film C 0.1T	1,259	1,061	32.5	30.0	48	47
	Film D 0.1T	1,445	1,088	40.7	37.7	43	43

앞의 인장신도에서 기술한 바와 같이 원단에서 프라이머 접착 층이 차지하는 비율이 210d 직물이 1000d 직물 대비 2~4배 높기 때문에 프라이머층에 사용된 폴리머의 경화로 인해 접착 된 원단의 인열강도가 더 낮은 결과를 보인 것으로 생각된다. 1000d 라미네이팅 원단은 필름 종류별 인열강도 차이가 거의 없는 반면, 210d 라미네이팅 원단은 필름 종류에 의한 편차가 상대적으로 두드러져서 150~200µm의 A 0.2T, B 0.15T, B 0.2T 3종이 25 및 100µm의 필름 A 0.02T, C 0.1T, D 0.1T의 3종에 비해 1.8배 높은 인열강도를 나타내어 필름의 두께에 의한 영향을 받은 것으로 생각된다.

이상의 결과를 볼 때 인열강도의 관점에서는 직물 단독 상태 보다 라미네이팅 후 수치가 증가한 1000d 직물 라미네이팅 원 단이 210d 직물 대비 상대적으로 우수하고 필름의 두께 및 종 류의 영향도 적은 것으로 확인되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 인체착용형 에어쿠션용 소재 구현을 위하여 이전의 연구<sup>5)</sup>에서 적용한 열융착용 필름과 고강도 직물의 열용

착 라미네이팅 실험에 이어서, 고강력 직물에 열가소성의 폴리머를 사용하여 프라이머층을 형성한 후 필름을 열융착 라미네이팅하는 방법을 새롭게 적용하여 필름과 직물의 조합 조건별 인장, 인열 등 기계적 물성 특성을 분석하여 다음과 같이 정리 하였다.

1. 프라이머 접착층으로 사용한 폴리머는 녹는점( $T_m$ ) 48°C~70°C 범위의 PU 타입으로 Direct coating을 위한 적정 흐름성 및 점도를 부여하기 위해 80°C의 오븐에서 1시간 정도 전처리를 실시하였다. 라미네이팅용 필름 6종의 녹는점( $T_m$ )은 146°C 부근, 157°C 부근의 두 그룹으로 구분되었다.
2. 종류와 두께가 상이한 TPU 필름 6종에 대한 인장강도와 신도, 100% Modulus 측정결과, 에어쿠션 소재의 추락 시 충격력에 견딜 수 있도록 강도가 높고 팽창 시 유연한 필름은 200µm 기준 Film A, 100µm 기준 Film D이며, 인체 착용 시 편의성을 확보하기 위해 외피 내부로의 수납성과 중량을 고려한 25µm 두께의 얇은 Film A도 100µm 부근의 타 소재 필름과 유사한 강도를 나타냄을 확인하였다.
3. 라미네이팅 원단의 단면을 전자현미경으로 측정한 결과, 원사의 섬도 및 조직과 필름의 종류와 무관하게 모두 직물에

접착제가 긴밀하게 도포되고 그 위에 필름이 부착되어 있음을 확인할 수 있었다. 프라이머 층의 두께는 1000d와 210d 직물 모두 90~130 $\mu$ m 범위이며, 직물 대비 필름층 비율이 1000d 라미네이팅 원단은 두께 기준 20~36%이고, 210d 라미네이팅 원단은 37~56%으로 섬도가 낮은 원단의 필름층 비율이 약 1.5배 더 높게 나타났다.

4. 원사의 섬도가 강도에 미치는 영향을 알아본 결과, 동일한 필름 기준 1000d 라미네이팅 원단이 210d 원단에 비해 약 3배 강도가 높아 원사의 섬도, 조직의 영향이 크게 작용하였다. 2종의 직물 모두 라미네이팅 후 인장강도가 10~40% 저하되어 프라이머 접착층과 필름층이 신장 범위를 제한함을 확인하였다. 강도의 우열은 직물 2종 모두 필름 단독 실험에서 우수한 순서와 경향이 일치하였으며, 인장신도는 라미네이팅 후 15~30% 저하되었다.
5. 라미네이팅 원단의 인열강도를 텅법으로 측정된 결과, 1000d 원단의 경우는 직물 단독 대비 3~4배 증가하였으나 210d 원단은 2배 저하되어 원사 섬도별 차이가 발생하였다. 또한, 1000d 원단은 필름 종류별 인열강도 차이가 거의 없으나 210d 원단은 필름 두께의 영향을 받는 것으로 확인되었다. 따라서 인열강도 측면에서는 라미네이팅 후 강도가 증가한 1000d 원단이 상대적으로 우수하고 다양한 필름이 적용 가능할 것으로 생각된다.
6. 이상의 결과를 종합해 보면, 원사 섬도의 영향은 1000d 라미네이팅 원단이 210d 원단에 비해 인장강도/신도와 인열강도가 상대적으로 우수하였다. 필름 종류별 영향은 두께가 동일한 200 $\mu$ m 필름 2종 중에서는 B보다 A, 100 $\mu$ m 필름 2종 중에서는 C보다 D가 우수하였다. 동일 소재 중에서는 두께가 10배 차이가 나는 경우를 제외하고는 필름 두께의 영향은 거의 없었다. 한편 200 $\mu$ m와 100 $\mu$ m로 두께가 약 2배 상이한 경우, 두께보다는 필름의 종류가 기계적 물성에 미치는 영향이 더 큰 것으로 확인되었다.
7. 제조된 12개의 시편 중, 내압성과 내충격성 및 내구성을 고려할 경우 1000d 직물과 100~200 $\mu$ m 두께의 A 0.2T, B 0.15T, D 0.1T 3종을 조합하는 것이 가장 적합하였다. 또한, 제품화 시 착용자의 활동 편의성을 고려한 25 $\mu$ m 필름 A 0.02T 역시 일정 수준의 물성이 확보됨을 확인하였으므로 중량이 낮고 수납성이 양호한 장점을 참조하여 적절한 용도로 전개 가능할 것으로 기대된다.

이상의 결과를 통해 고강도 직물에 열가소성의 폴리머를 사용하여 프라이머층을 형성한 후 필름을 열융착 라미네이팅하는 방법으로도 이전의 연구<sup>5)</sup>에서 적용한 열융착 라미네이팅 실험 조건에서의 인장강도 및 신도, 인열강도 수치와 유사하거나 상회함을 확인하여 인체착용형 에어쿠션 소재로의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

이 연구는 2019년도 산업통상자원부의 산업기술혁신사업-안

전보호융복합섬유산업육성사업의 연구비 지원에 의한 연구임(과제번호:20006386).

## References

1. H. Smith and B. P. Chinn, Simulation of Airbag Restraint Systems in Forward Impacts of Motorcycles, SAE Technical Paper, Proceedings of International Congress and Exposition, Detroit, p.1, 1990.
2. T. Yamazaki, S. Iijima, and T. Yamamoto, Exploratory Study of an Airbag Concept for a Large Touring Motorcycle : Further Research, Proceedings of 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Amsterdam, p.1, 2001.
3. H. Namiki, S. Iijima, and T. Kuroe, Exploratory Study of an Airbag Concept for a Large Touring Motorcycle : Further Research Second Report, Proceedings of 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Washington DC, p.1, 2005.
4. P. Russo, M. Lavotgna, F. Piscitelli, D. Acierno, and L. D. Maio, Thermoplastic Polyurethane Films Reinforced with Carbon Nanotubes: The Effect of Processing on the Structure and Mechanical Properties, *European Polymer Journal*, **49**, 379(2013).
5. J. Y. Kim, H. M. Kim, and M. H. Min, Study on Applicability of the Air Cushion Material for Impact Relief through Thermal Bonding of High Strength Fabrics, *Textile Coloration and Finishing*, **32**(3), 176(2020).
6. J. H. Yoon, K. J. Kim, Korea Pat. 10-2015-0085379(2015).
7. S. K. Kim, S. H. Park, Korea Pat. 10-2017-0170363(2017).
8. K. J. Kim, S. M. Lee, Korea Pat. 10-2012-0158574(2012).
9. K. Singha, A Review on Coating and Lamination in Textiles : Processes and Applications, *American Journal of Polymer Science*, **2**(3), 39(2012).
10. E. Shim, "Joining Textiles", Woodhead Publishing, Cambridge, pp.309-351, 2013.
11. G. Yao, Development of Airbag Fabrics by Polyester Filament, Proceedings of 3rd International Conference on Materials, Mechanical and Manufacturing Engineering, China, p.1566, 2015.
12. J. S. Brown, J. J. Barnes, US Pat. 6803333B2(2004).
13. G. Kim, "Development of Laminating Technology using Thermoplastic Polyurethane Hot-melt Film with excellent Breathability", Ministry of SMEs and Startups, Sejong, pp.67-85, 2013.
14. J. A. Fries, Adhesives for Fabric Lamination, *Journal of Coated Fabrics*, **12**(3), 174(1983).
15. 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).
16. 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).
  17. 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).
  18. 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).
  19. A. Frick and A. Rochman, Characterization of TPU-elastomers by Thermal Analysis(DSC), *Polymer Testing*, **23**(12), 413(2004).
  20. 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).
  21. G. R. Lomax, Breathable Polyurethane Membranes for Textile and Related Industries, *Journal of Materials Chemistry*, **17**(27), 2775(2007).
  22. 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, Vol. 290, No. 09003, p.1, 2019.
  23. 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).

### Authors

김지연 DYETEC연구원 책임연구원  
 김훈민 DYETEC연구원 전임연구원  
 민문홍 DYETEC연구원 단장