

탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP) 기재용 리사이클 탄소섬유 방적사 생산을 위한 정방 방식별 방적성 평가

1. 서언

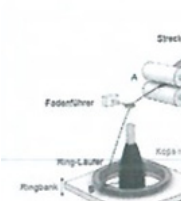
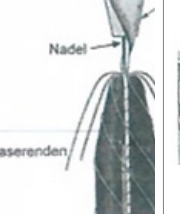
리사이클 탄소섬유 방적사의 개발은 하중 저항력이 우수한 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic, 탄소섬유 강화 플라스틱)의 기재로 사용할 수 있다는 측면에서 많은 잠재력을 갖고 있다. 한편, 리사이클 탄소섬유의 특성은 일반 탄소섬유와는 다르기 때문에, 적합한 정방 방식을 선정하는데 어려움이 있다. 일반적으로 리사이클 탄소섬유는 표면이 매끄럽고, 크림프가 없으며, 강성이 높고, 섬유장 분포가 크며, 무엇보다도 전단력에 민감하여 방적 공정에서 많은 어려움이 따른다. 즉, 방적 준비 및 정방 공정에서 리사이클 탄소섬유가 절단

되거나 손상 받을 수 있는데, 이는 CFRP의 강력에 영향을 미친다. ITM(Institute of Textile Machinery and High Performance Material Technology, 독일)에서는 리사이클 탄소섬유 방적사 제조에 적합한 정방 방식을 검토하기 위해서, <표 1>과 같이 다양한 실험을 하였다.

2. 방적사 제조를 위한 공급 원료의 생산

일정량의 섬유 원료를 예비 개섬 및 혼섬한 후, ITM에서 개발한 리사이클 탄소섬유 전용 소면기에 공급하여 소면 슬라이버를 제조하였다. 제조한 소면 슬라이버

<표 1> 정방 방식 비교

구분	링 정방	로터 정방	에어젯 정방	마찰 정방	랩 정방
모식도					
공급 원료	로빙/슬라이버	슬라이버	슬라이버	슬라이버	슬라이버
드래프트 방식	드래프트 시스템	개섬 롤러 및 섬유 이송 채널	드래프트 시스템	드래프트 시스템 및 개섬 롤러	드래프트 시스템
가연 방식	링/트래블러	로터	기류	1쌍의 마찰 롤러 (헷코임)	무연
방적사 구조	컴팩트하고, 균일함. 평행도 우수, 나선구조	별키하고, 균일함. 중심부 섬유 : 컴팩트, 나선구조, 평행도 낮음 표면 섬유 : 랩 (wrap) : 불균일	컴팩트하고, 균일함. 중심부 섬유 : 평행 표면 섬유 : 랩, 나선구조	컴팩트하고, 불균일함. 코어/쉬스 구조 중심부 섬유 : 평행 표면 섬유 : 랩, 나선구조	컴팩트하고, 균일함. 중심부 섬유 : 평행 표면 섬유 : 랩
변수	> 5 tex	10 ~ 100 tex	10 ~ 40 tex	25 ~ 2000 tex	100 ~ 2000 tex
생산성	최대 30 m/min	최대 320 m/min	최대 500 m/min	최대 200 m/min	최대 30 m/min



〈그림 1〉 리싸이클 탄소섬유 연조 슬라이버
(1,500 ~ 7,500 tex)



〈그림 2〉 리싸이클 탄소섬유 로빙
(200 ~ 3,500 tex)



〈그림 3〉 리싸이클 탄소섬유
링 방적사 (30 ~ 100 tex)

를 리싸이클 탄소섬유 전용 연조기에 공급하여 균일하게 혼섬한 후, 〈그림 1〉과 같이 약 1,500 ~ 7,000 tex의 연조 슬라이버를 제조하였다. 또한 링 정방기에서 방적사를 제조하기 위해서 연조 슬라이버를 이용하여 약 200 ~ 3,500 tex의 로빙을 제조하였다.

3. 정방 방식에 따른 평가

리싸이클 탄소섬유에 대한 다양한 정방 방식을 평가하기 위한 기준으로, 방적사의 균제도, 섬유 강화 복합재료로 사용하기 위한 가방 번수, 추가 가공성 확보를 위한 사 강력, 공정 안정성 및 생산 속도 등을 선정하였다.

3.1 링 정방

링 정방은 대부분의 섬유소재를 대상으로 세 번수부터 태 번수까지 방적사를 제조할 수 있는 보편적인 정방 방식중 하나로서, 본 연구에서는 로빙을 제조하기 위해 F15 조방기(Rieter사, 스위스)를, 링 방적사를 제조하기 위해 K44 컴팩트 링 정방기(Rieter사, 스위스)를 사용하였다. 연조 슬라이버는 조방기의 드래프트 시스템으로 공급되어, 섬유 올수의 감소 및 약간의 꼬임을 부여받아 로빙으로 제조된다. 제조된 로빙을 이용하여 컴팩트 정방기로 방적사를 제조한 결과, 링 정방기의 드래프트 시스템에서 부정 드래프트가 발생하였다. 이는 드래프트 특성과 방적사의 품질에 영향을 미친다.

또한, 로빙에 포함된 단섬유들이 넙 라인에 위치한

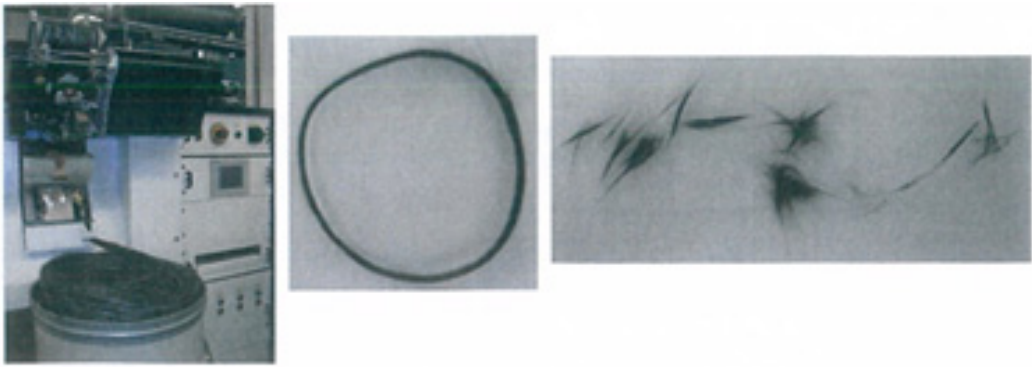
석선 튜브에 흡입되면서, 정방 사절을 유발하거나 일부 섬유들이 트래블러에 부착되는 현상이 발생하였다. 결국, 부정 드래프트의 발생 및 단섬유를 포함한 로빙의 사용으로 인해 방적사는 굵은 결점과 가는 결점이 증가하였다.

따라서 리싸이클 탄소섬유 로빙을 이용하여 링 방적사를 제조할 수는 있었지만, 링 정방기의 드래프트 시스템 특성으로 인해 제조 안정성이 낮으므로 대량 생산이 어려웠다.

이를 해결하기 위하여, ITM에서는 F15 조방기와 K44 링 정방기를 일부 개선하여 〈그림 2〉 및 〈그림 3〉과 같이 균일한 품질의 로빙 및 링 방적사를 생산하였지만, 400 ~ 800 TPM의 높은 꼬임 수준으로 구성 섬유가 절단되는 현상이 발생하였고, 방적사의 제조 번수 역시 30 ~ 100 tex 수준으로, 링 방적사를 CFRP 용도로 사용하기엔 부적합하였다. 반면, 로빙은 200 ~ 3,500 tex 및 30 ~ 100 TPM의 꼬임 수준으로 CFRP 용도로 적합하였다.

3.2 로터 정방

로터 정방은 AC360 로터 정방기(Schlafhorst, 독일)로 실험하였다. 소면 슬라이버는 0.5 ~ 1 m/min의 최저 공급 롤러 속도로 공급 롤러 및 공급 트레이를 따라 코밍 롤러에 공급되었다. 코밍 롤러는 톱니 모양의 플랫 와이어 또는 끝이 날카로운 원형 와이어로 구성되는데, 10,000 rpm까지 회전하면서 공급된 섬유를 강렬하게 코밍하고 분리시킨다. 와이어의 기하학적인 구



〈그림 4〉 리사이클 탄소섬유 소면 슬라이버를 이용한 로터 정방공정

조(높이, 측면 플레이트 각도, 톱니 모양), 단위 면적당 톱니 개수(침포 밀도) 및 코밍 롤러의 회전수는 리사이클 탄소섬유의 개섬 수준과 손상에 영향을 많이 미친다. 실험 결과, 리사이클 탄소섬유는 톱니 모양의 금속 와이어 및 공급 롤러/트레이의 부적절한 배열과 구조로 인해 전단력을 받게 되어 〈그림 4〉와 같이 절단되고, 결국 금속 와이어 사이의 공간을 채우는 현상이 발생하였다. 짧게 절단된 섬유들은 기류에 의해 금속 와이어에서 분리되어, 가이드 채널을 통해 회전하는 로터로 이송되며, 이송된 단섬유들은 원심력에 의해 로터의 벽을 따라 미끄러져 원형 모양으로 집속된다. 그 후, 로터 그루브에서 드래프트되면서 〈그림 4〉와 같이 짧은 단섬유로 구성된 링을 형성하며, 결과적으로 방적사는 제조되지 않았다.

따라서 로터 정방은 리사이클 탄소섬유 방적사를 제조하기엔 부적합하며, 이는 코밍 부품 및 로터의 기구학적 구조에 의한 것으로, 결국 구성 섬유의 손상 및 절단을 발생시켰다.

3.3 마찰 정방

마찰 정방은 DREF 3000 마찰 정방기(Dref사, 말레이시아)로 실험하였다. 리사이클 탄소섬유 소면 슬라이버는 마찰 정방기의 드래프트 시스템에 공급하여 섬유 울수가 감소하면서 코어부를 형성하도록 하였고, 추가로 공급한 PA6 소면 슬라이버는 방적사의 표면을 형성하도록 하여, 코어/외부 구조의 마찰 방적사를 제조

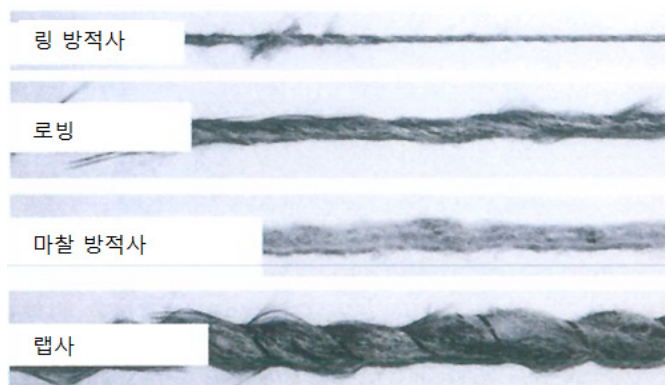


〈그림 5〉 리사이클 탄소섬유 마찰 방적사
(400 ~ 2,000 tex)

하였다. 실험 결과, 방적성에 문제는 없었으며, 균일한 방적사를 제조할 수 있었다. 따라서 마찰 정방을 이용할 경우, 〈그림 5〉와 같이 섬유 강화 복합재료로 사용할 수 있는 다양한 번수(400 ~ 2,000 tex)의 방적사를 제조할 수 있다.

3.4 에어젯 정방

에어젯 정방은 J20 에어젯 정방기(Ritter사, 스위스)로 실험하였다. 소면 슬라이버는 드래프트 시스템에 공급되어 적절한 굵기로 드래프트되며, 개섬된 섬유들은 에어스트림에 위치한 섬유 가이드 장치를 따라 이송되어, 회전 기류가 발생하는 스피닝 노즐로 공급된다. 방적사의 끝부분은 기류에 의해 회전하며, 공급된 섬유들



〈그림 6〉 리사이클 탄소섬유를 이용한 가공사
(400 ~ 2,000 tex)

〈그림 7〉 정방 방식에 따른 리사이클 탄소섬유
방적사의 외관

은 방적사 끝부분에 달라붙는다. 공급된 섬유의 다른 끝부분은 스피닝 팁(spining tip)의 주변을 회전하면서 펼쳐지고, 방적사 중심부에 위치하면서 평행하게 배열된 섬유를 감싸게 된다.

실험 결과, 최대 섬유장이 80 mm인 리사이클 탄소섬유의 섬유장 및 탄소섬유의 특성으로 인해, 에어젯 정방의 드래프트 장치에서 리사이클 탄소섬유를 처리하는 것은 어려웠다. 일반적으로 에어젯 정방기의 드래프트 시스템은 최대 섬유장이 40 mm인 비스코스, 마이크로 모달 및 섬유장이 긴 면섬유를 대상으로 개발되었기 때문에, 취성이 있고, 전단력에 민감한 섬유 소재를 처리하는데는 적합하지 않았다. 또한 방적사가 제조되는 직경 2 ~ 5 mm의 스피닝 팁에서 전단력에 민감한 리사이클 탄소섬유가 강제적으로 접히는 과정은 또 다른 문제가 되었다. 이러한 현상은 리사이클 탄소섬유를 손상시켰고, 결국 불균제하고 잔털이 많은 방적사가 제

조되었다. 따라서 에어젯 정방은 리사이클 탄소섬유를 처리하는데 적합하지 않았다.

3.5 랩 정방

랩 정방에서 소면 슬라이버는 드래프트 된 다음, 공급 필라멘트에 의해 감싸지면서 랩사로 제조된다. 랩사의 강력은 리사이클 탄소섬유의 꼬임 수준에 의해 결정되는 것이 아니라, 최종 번수에 따라 드래프트된 꼬임이 없는 리사이클 탄소섬유를 중심으로 이를 감싸는 필라멘트에 의해 결정된다. 공정이 진행되면, 슬라이버는 필라멘트 보빈이 위치한 중공 스핀들로 공급되며, 슬라이버가 중공 스핀들을 통과하는 동안 중공 스핀들의 회전에 의해 필라멘트가 슬라이버를 감싸게 된다. 이 때, 필라멘트가 슬라이버를 감는 횟수는 링 정방공정의 분당 회전수와 동일하다. 실험 결과, 랩 방적은 〈그림 6〉과 같이 2,000 tex까지 품질이 우수한 랩사를 제조하

〈표 2〉 리사이클 탄소섬유를 이용한 다양한 정방 방식에 대한 평가

특성	조방 공정	링 정방	마찰 정방	랩 정방	로터 정방	에어젯 정방
사 균제도	++	+	+	++	—	—
사 강력	++	+	+	+	—	—
공정 안정성	++	—	+	++	—	—
생산 속도	+	—	++	+	+	+
CFRP 가방 번수 (>200 tex)	++	—	+	+	—	—

는데 적합하였다.

랩 정방은 리사이클 탄소섬유 방적사 생산에 있어서 많은 잠재력을 갖고 있으며, 설비를 일부 개선하면, 사 품질, 사 강력 및 섬유 배향수준을 향상시킬 수 있다.

4. 결론

ITM에서는 리사이클 탄소섬유에 적합한 방적법과 잠재력에 대해 조사하였고, 그 결과를 <그림 7>과 <표 2>에서 요약하여 나타내었다.

실험 결과, 예상대로 로터 정방과 에어젯 정방은 리사이클 탄소섬유를 제조하는데 적합하지 못했으며, 링 정방, 로빙, 마찰 정방 및 랩 정방은 가능성을 확인하였다. 따라서 리사이클 탄소섬유를 대상으로 정방 방식에 대한 추가적인 연구 개발이 필요하며, 특히 리사이클 탄소섬유의 방적성 향상을 위하여 방적 설비의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

Melliand International 4/2017