

산업용 섬유(technical textile)의 신개척지를 찾아서(8)

열가소성 복합재료 (2)

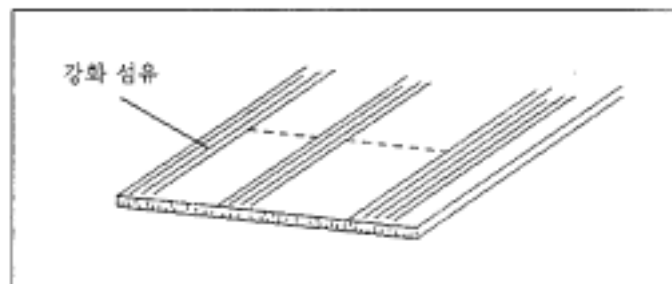
지난 호에서는 열가소성 복합 재료(이하 TPC라고 줄여 씀) 중에서, 강화 섬유가 비배향으로 배치되어 있는 것을 대상으로 하였다. 이번 호에서는 TPC로 강화 섬유가 배향 상태로 배치된 것을 대상으로 한다.

5. 프리 프레그 · 토우, 테이프, 쉬트

5.1 재료의 구조와 형태

매트릭스로 된 열가소성 수지는 열경화성 수지에 비하여 일반적으로 점도가 높기 때문에 강화 섬유를 함침시키는 것이 곤란하다. 그러므로 열경화성 복합 재료에서는 자주 행해지고 있는 성형시에 매트릭스 수지를 함침시키는 것은 통상적으로 아주 곤란하다. 여기에서 말하는 프리 프레그 타입은 재료 형태로서 열가소성 수지를 배향 상태의 강화 섬유로 함침시킨 것인데, 이에 따라 특히 성형 효율을 크게 향상시킬 수 있다.

전형적인 매트릭스 수지는 범용되는 것으로서 PP, 폴리아미드 등이 있으며, 또한 내열성 수지로는 PPS, PEI, PEEK 등을 들 수 있다.

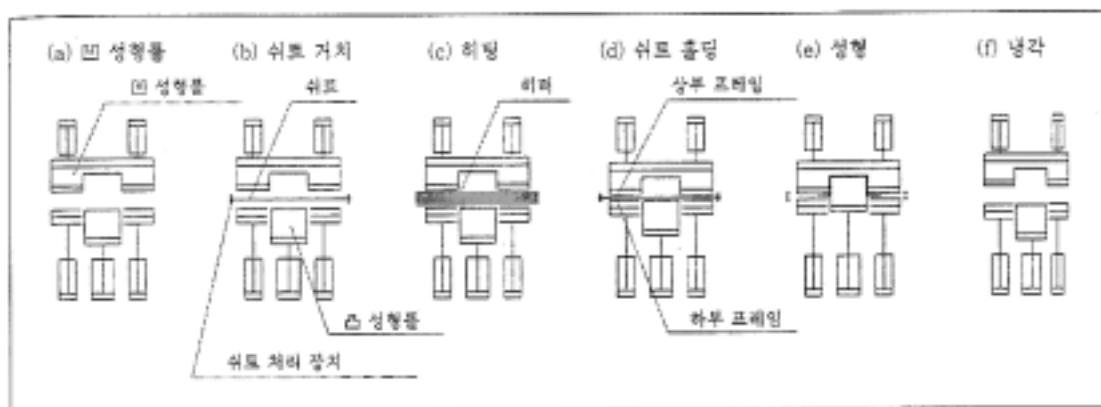


<그림 13> 프리 프레그 테이프의 모식도

재료 형태로는 토우(세폭 테이프), 테이프, 직물이나 적층 형태의 쉬트가 있다. 강화 섬유의 전형적인 예로는 탄소 섬유나 유리 섬유가 있다. <그림 13>은 프리 프레그 테이프의 모식도 이다.

5.2 적용되는 성형법

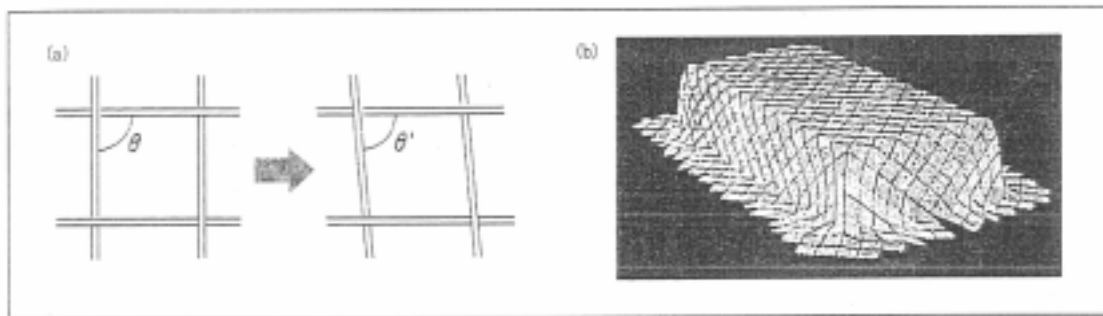
강화 섬유의 배향이 흐트러지지 않도록 성형할 필요가 있기 때문에 지난 호에서 기술한 사출 성형이나 유동 압축 성형법은 적용할 수 없다. 결합 쉬트(실질적으로 빈 공간이 없도록 한 상태로 될 때까지 수지 함침시켜 일체화 되어 있는 쉬트)에서는 서모 포밍(열 성형)을 적용할 수 있다. <그림 14>는 자동화된 서모 포밍 프로세스의 모식도이다. 쉬트는 용점보다 약간 높은 온도까지 가열된다. 이 상태에서 성형틀을 이용하여 압축하거나 압인 등으로 성형한다. 틀의 온도는 통상적으로 상온 부근이다. 결합 쉬트의 파지 방법, 가압 수단, 틀의 형상과 재질에 따라서 여러 가지 성형 방법이 연구되고 있다.



<그림 14> 서모 포밍의 자동화 시스템

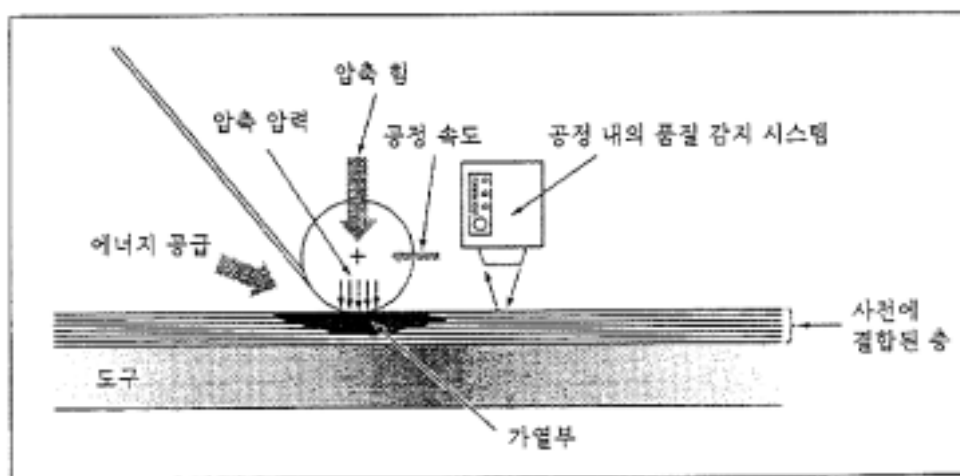
평면 형태의 쉬트가 입체적 형상으로 성형되기 위해서는 <그림 15>의 예

에서 나타나 있는 바와 같이 강화 섬유 배향축의 교차각이 $\theta \rightarrow \theta'$ 로 변하는 것이 필요하다. 이 교차각의 변화가 유효하게 이루어지도록 하기 위해서는 틀의 주변부에서 재료를 적절하게 파지하여 성형 중에 재료가 발생한 장력 등을 유용하게 이용하는 것이 필요하다.



<그림 15> 2축 섬유 강화 평면 쉬트로부터 입체 형상품을 형성하기 위한 섬유 교차각의 변화

본 성형법은 면각 형상(面殼 形狀)의 성형품을 얻는 데 적합하다. 또한, 성형 시간을 짧게 하여 생산 효율을 높일 수 있다고 하는 특징이 있다.



<그림 16> 프리 프레그 테이프의 모식도

토우나 비교적 세폭의 테이프를 순차적으로 용착해 가는 성형에도 이용되고 있으며, <그림 16>은 그 모식도이다. 재료는 통상, 예열된 상태로 연속적으로 공급되며 성형 중인 적층체의 접지점에서 분출하는 화염 등으로 가열 용융되고, 냉각된 가압롤러에서 가압되어 용착된다. 틀이 회전축으로 되어 있는 경우는 ‘필라멘트 와인딩’이라고 부르며, 틀은 정지해 있고 재료의 공급 헤드가 틀 위를 이동하면서 적층해 가는 경우를 ‘파이버 프레이스먼트 성형’이라고 한다.

토우나 테이프의 ‘비결합 쉬트의 압축 성형’을 하는 경우는, 성형 당시에 존재하는 재료 사이의 공극부를 재료의 내부로부터 압출한 용융 상태의 매트릭스 수지 등으로 충전시켜야 할 필요가 있어서, 적어도 이것만큼 성형하는 시간은 증대한다. 또한, 이러한 성형에서는 용융 상태에서부터 빠르게 냉각시키기 위한 특별한 연구 등도 필요하게 된다.

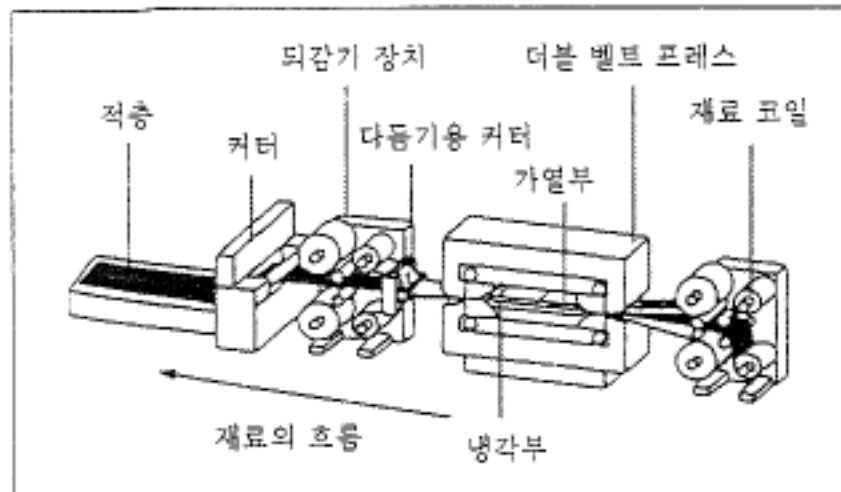
5.3 성능과 특징

지난 호에서 언급한 사출 성형이나 유동 압축 성형에 비하면, 성형 생산 효율이나 복잡한 형상의 실현성, 다듬기 처리의 필요성 등의 관점에서는 불리하다. 그러나 성형품의 역학적 성능이라는 관점에서는 배향 강화품이라는 것만으로도 사출 성형품이나 유동 압축 성형품에 비하여 일단은 우월하다.

5.4 성형 재료의 제조법

유리 섬유 강화 프리 프레그 토우나 테이프에서는, 지난 호에서 기술한 매트릭스수지 용융액 내를 핀 등으로 휘저어 가면서 뽑아내는 방법이 통상적으로 채용되고 있다. 탄화 섬유 강화의 경우도 이와 같은 방법이며, 미리 개섬(開纖)한 토우에 매트릭스 수지를 밀어 넣는 방법 등을 이용하고 있다.

프리 프레그 테이프와 프리 프레그 토우의 직물, 프리 프레그 쉬트 적층물 등으로부터 결합 쉬트를 얻는 방법의 전형적인 방법은 <그림 17>에 나타나고 있는 소위 더블 벨트 프레스 장치를 사용하는 방법이다.



<그림 17> 더블 벨트 프레스 장치의 모식도

5.5 용도와 장래성

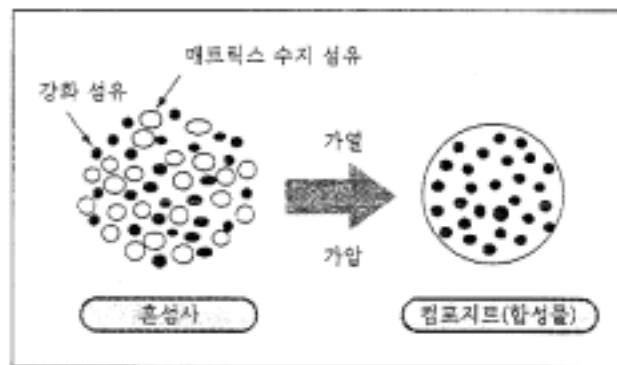
당초 기대하고 있었던 만큼의 용도 개발이 진행되고 있지 않은 실정이다. 그러나 구주 지역을 중심으로 지속적으로 개발 노력이 행해지고 있어서 실용화가 조금씩 진전되고 있다. 또한, 일본에서도 유리 섬유 강화 PP 쉬트가 도로 보강용 등으로 사용되고 있다.

열가소성 복합 재료는 열경화성 복합 재료에 비하여 환경 적합성이 우월하다는 것, 성형을 본질적으로 보다 간단하고 쉽게 할 수 있다는 것 때문에 긴 안목으로 볼 때 장래성이 있는 것으로 여겨진다. 성형 재료가 경제적인 가격으로 공급될 수 있도록 하는 것, 위에서 설명한 성형 기술을 가진 기업을 배출하는 것이 발전의 열쇠이다.

6. 혼섬사

6.1 재료의 구조와 형태

혼섬사는 <그림 18>에 나타낸 바와 같이, 강화 섬유와 매트릭스 수지 섬유의 혼섬사이다. 이 실 또는 그 구성체를 가열하여 매트릭스 수지사를 용융하고 가압함으로써 강화 섬유로의 수지 함침이 이루어져 열가소성 복합 재료가 된다.

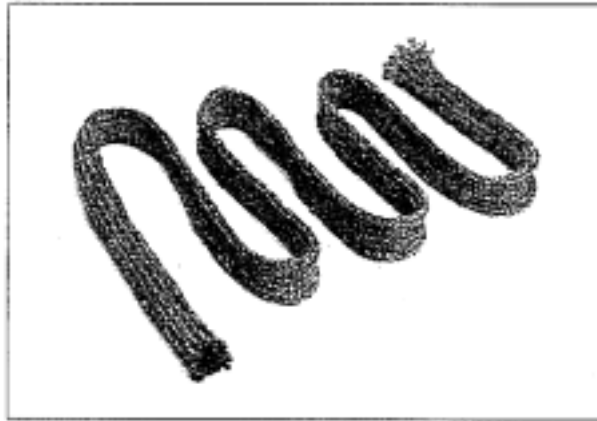


<그림 18> 혼섬사와 그 복합 재료

혼섬사의 전형적인 한 가지 예로, 유리 섬유와 PP 섬유로 된 연속 필라멘트의 혼섬사인 Twintex가 유명하다.

그리고 다른 예로서 탄소 섬유와 매트릭스 섬유와의 혼방사(Schappe사 제품)가 있다. 이 실의 경우, 수 센티미터 이상의 길이를 갖는 강화 섬유와 매트릭스 섬유가 꼬임이 없는 상태로 혼합되어 있고, 그 표면에 매트릭스 섬유의 연속 필라멘트가 감겨있는 구조를 채택하고 있다.

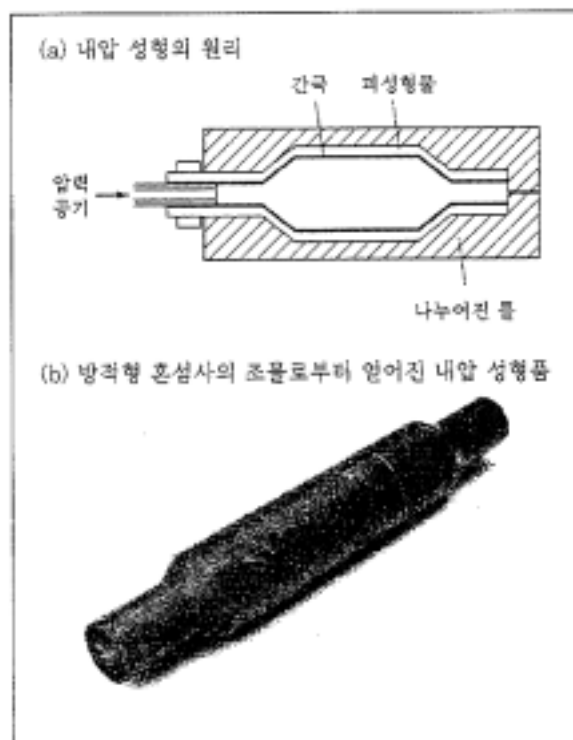
혼섬사로부터 직물, 편물, 조물 등을 만들고, 그 상태로 가열·가압하여서 복합 재료로 성형하는 일도 가능하다. 이렇게 하여 만든 편물로서 예를 들면 다축 적층 경편 슈트를 들 수 있다. 또한, <그림 19>는 혼방사로 만든 조물 예로 나타낸 것이다.



<그림 19> 방직형 혼섬사로부터 얻어진 조물(꼬아 만든 것)

6.2 적용되는 성형법

대량 생산의 경우에는 혼섬사의 직물과 편물 쉬트를 가열·가압하여, 결합 쉬트를 만들고 이것을 열성형 하는 방법이 좋다.



<그림 20>

소·중량 생산에서는 틀 위에서 가열하여 매트릭스 수지의 함침과 압축성형을 동시에 하는 방법을 채용할 수 있다. <그림 20>의 (a)는 이 방법에 의한 내압 성형의 모식도, <그림 20>의 (b)는 이것에 의해서 얻어진 통 형태의 성형품이다. 그러나 이 경우에 함침을 위한 시간과 성형품의 냉각 시간이 추가로 필요하기 때문에 생산 효율을 올리기 위한 특별한 연구가 통상 필요하다.

6.3 성능과 특징

섬유를 혼합하는 목적은 강화 섬유 덩어리의 크기를 작게 하여 매트릭스 수지가 강화 섬유에 함침하기 쉽도록 하기 위해서이다. 따라서, 잘 혼합해 놓으면 그 만큼 함침은 빠르게 진행된다. 충분히 함침되어 있는 복합 재료는 통상의 배향 강화 복합 재료와 성형 시간이 거의 동등하다. 바꾸어 말하면, 강화 섬유 덩어리의 가장 큰 부분의 함침이 완료될 때까지의 시간이 성형 시간에 포함되어 간다는 것이다. 이 실의 구조체는 당연한 것이지만 틀 상에서의 드레이프는 좋다. 그리고 지난 호에서 설명한 넷 유사 형상(near net shape)의 섬유 구조체를 만드는 일도 가능하다.

한편으로, 커다란 난점은 강화 섬유의 절손·탈락·비산에 의해서 작업자에게 따끔따끔한 느낌을 주는 일이 있어서 적절한 방어 대책이 필요하다.

6.4 성형재료의 제조법

Twintex의 경우, 유리 섬유와 PP 등의 매트릭스 섬유를 방사 단계에서 혼합하여 권취하는 방법을 채택하고 있는 것으로 추정된다.

Schappe사의 실은 견절(牽切) 방적법으로 절단한 두 가지 성분의 슬라이버를 더블링과 드래프트를 반복하면서 혼합한 후에 연속 필라멘트로 커버링하는 방법을 채택하고 있는 것으로 예상된다.

6.5 용도와 장래성

Twintex은 자동차 용도로 실용화되고 있다고 한다. 또한, Schappe사의 실도 스포츠용품, 기계 부품 등 적절한 용도로 실용화되고 있는 것 같다. 그리고 소형 선박으로의 응용도 시도하고 있으나, 향후의 신장에 대해서는 미지수이다.

7. 그 밖의 TPC 성형 재료

7.1 파우더 연입 토우

매트릭스 수지의 분말을 강화 섬유 쉬트에 정전기력을 이용하여 분산 연입시킨 토우이다. 분말 수지가 균일하게 연입되어 있는가 하는 것이 기술상 최대 과제가 된다. 그 외의 점에서는 혼섬사와 같다고 생각해도 좋다.

7.2 후중합법 TPC

매트릭스 수지 모노머를 레진 트랜스퍼법 등에 의해 강화 섬유에 함침한 후에 중합시켜 성형하는 방법이다. ϵ -카프로락탐과 같은 환상 화합물로부터의 중합 같이 특정 수지에는 이 방법의 이용이 가능하다.

8. TPC에 관한 일반적 고찰

8.1 TPC 성형법의 분류와 특징

<표 2>에 지난 호에서 설명한 비배향 강화형 TPC를 포함하여 TPC 전반에 대한 성형법의 분류와 각 성형법의 특징과 적용성을 정리해 놓았다. <표 2>에서 사출 성형과 프로우 스탬핑은 비배향 강화형 TPC에 관한 성형이다. 성형품에 높은 역학적 성능이 요구되는 경우에는, 지난 호에서 상세히 설명한 바와 같이 필연적으로 배향 강화형 복합 재료로 만든 후에, <표 2>의 이중선

이하에 있는 성형법이 선택된다. 성형품의 형상, 크기, 복잡성, 양산 가능 여부, 원하는 성형 비용, 이용 가능한 성형 설비의 유무 등에 의해서 성형법을 선택하는 것이 좋다. <표 3>은 배향 강화형에 있어서 TPC 성형법을 열경화성 복합 재료의 성형법과 대비하여 정리한 것이다.

<표 2> TPC 성형법의 분류에 따른 특징과 적용성

	성형품 물성	성형품의 형상			양산성	에너지 절감성	생산성 (성형사이클)	제조 코스트		
		의 형	최대 치수	복잡 형상 실현화				재료*	성형물	성형설비
사출 성형	△	입체적	소~중	◎	○	◎	○	○	△	△
프로우 스탬핑	◎	편각	중~대	○	◎	○	◎	○	△	△
열 성형 - 압인	○	편각	중~대	◎~△	△~○	◎	△~○	△	△~○	○
합질 압축 성형	○	편각, 프레임, 입체적	중~대	◎	△	△	△	△	△	○
레이업 성형	○	편각, 프레임, 입체적	중~대	◎	△	×~△	△	△	○	○
내압 성형	○	관상	중	◎	△	△	△	△	○	○
필라멘트 와인딩	○	일정단면(관상)	중~대	△	△	○	△	◎	○	◎
프레임먼트 성형	○	편각, 프레임	중~대	단면형상	△	○	△	◎	△	○
인발 성형	○	일정 단면	장	○	○	○	◎	◎	○	○
롤 성형	○	일정 단면	장	△	○	○	◎	◎	○	○

*여기서는 실험재료 만들어가기 위한 가공 비용을 나타내는 것으로 함

<표 3> 배향 강화형 TPC의 성형법과 열경화성 복합 재료(TSC)의 성형법과의 비교

1. TPC에서의 성형재는 프리 프로그나 프리 믹스의 상태이고, TSC에서 많이 이용되고 있는 성형시의 강화 섬유와 매트릭스 수지의 특정한 배합은 거의 행해지지 않는다(TPC의 수지 함량의 곤란함을 반영). 2. 서모 포밍, 포스트 포밍 등 급속 성형 가공을 하여 훨씬 유사한 것이 많다(TSC 성형과 같은 화학 반응은 수반하지 않음). 3. 성형의 정속적인 실행 단계를 지배하는 최대 인자는 냉각의 소요 시간이다(TSC와 같이 경화 반응을 위한 시간은 불필요함). 4. 후가공 후, 용착성 등의 활용이 가능한 반면에, TSC 성형에서 가능한 B급품의 절삭성과 가소성을 활용할 수 없다. 5. 일반적으로 TSC의 경우에 비하여, 보다 고온의 가열을 필요로 하므로 성형 환경은 더 깨끗하게 유지하기가 쉽다. 6. TSC 성형의 경우처럼 성형재의 셀프 라이프에 대한 주의가 TPC 성형에서는 불필요하다.
--

8.2 TPC의 재료적 특징과 장래성

TPC를 열경화성 복합 재료와 비교하면,

- ① 일반적으로 내충격성이 높고
- ② 회수 후 재이용도 그런대로 가능하다고 하는 특징이 있다.

반면에, 첫째로 배향 강화형 TPC는 경제적인 가격으로 재료 공급이라고 하는 점이 불충분한 것, 둘째로 효율적인 성형 기술이 미성숙하였다는 점 때문에 전혀 기대하고 있었던 만큼의 성장은 보여주지 못하고 있다. 그러나 장시간의 개발이 필요하긴 하지만 지금부터의 성장은 그런대로 기대할 만하다고 생각한다. ♣