

## 열가소성 복합재료 (1)

### 1. 서 언

지난 호에서는 열경화성 수지를 상정하여 강화 섬유가 서로 평행하게 배향되어 있는 복합 재료를 대상으로 하였으나, 이번 호에서는 매트릭스 수지가 열가소성 수지인 섬유 강화 복합재료에 대해서 기술한다(열가소성 복합 재료를 이하 TPC라고 약칭함)

섬유의 강화 형태 중 재료의 특성이나 성형성에 영향을 미치는 것은 기본적으로는 열경화성 복합 재료(이하 TSC라 약칭함)의 경우와 동일하다.

TPC는 같은 강화형태의 TSC와 비교하여 일반적으로

- ① 보다 강인하다(손상 내성이 크다)
- ② 경화 반응 처리가 불필요 하다
- ③ 작업 환경을 깨끗하게 유지하기 쉽다.
- ④ 성형 재료의 셀프 라이프가 충분히 길다
- ⑤ 후가공성이 보다 우수하다
- ⑥ 회수 재사용성이 보다 우수하다

고 하는 이점이 있다.

그러나, 복합 재료에 있어서 지금까지 TSC에 비하여 강화 앰플러를 제외하고 TPC의 개발이 늦어지고 있는 이유는 TPC에서는 그 수지 점도가 TSC의 경우보다 현저하게 높기 때문에 강화 섬유 간의 수지 함침이 상당히 어렵기 때문이다. 그런데, 1980년경부터 TPC의 기술 개발 활동이 활발하게 이루어져 서서히 TPC의 실용화도 진전되어 가고 있다.

이번 호와 다음 호에서는 TPC의 성형 재료를 종류별로 기술하여 나가고, 이어서 TPC에 관한 일반적인 고찰을 더하여 갈 것이다. (1)편에서는 TPC 중

에서 특히 사출 성형, 유동 압축 성형 등 성형 중에 성형 재료가 미시적으로 유동하는 유동 성형에 이용되는 형태, 즉 강화 앰플러, 장섬유 앰플러, 스템 퍼블 쉬트에 대하여 기술한다. 이러한 성형품에서는 미시적으로 보면 강화 섬유는 꽤 랜덤하게 배열되어 있다.

## 2. 강화 앰플러

### 2.1 재료의 구조와 형태

강화재로는 통상 유리 섬유가 사용되며, 중량 비율은 30~40%(체적 비율로 15~25%)가 많다. 이 비율 이상으로 강화 섬유의 비율을 높이면, 지난 호에서 기술한 바와 같이 기하학적인 제약 때문에 강화 섬유의 충돌에 의한 섬유의 절단이 현저하게 되어, 강도나 내충격성이 오히려 저하되는 원인이 된다.

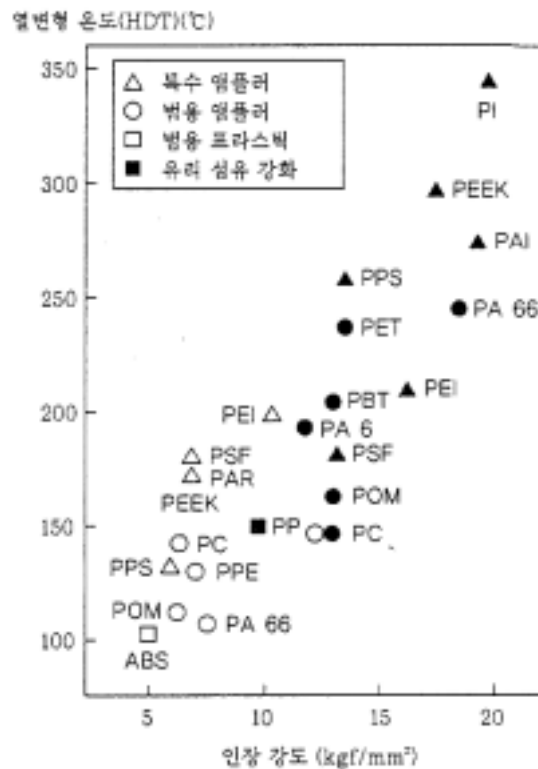
<그림 1>에 모식적으로 나타낸 바와 같이 펠릿의 성형 재료로 길이 1mm 이하의 섬유가 랜덤하게 혼합되어 있다. 다만, 이러한 펠릿 형태를 거치지 않고 직접 유리 섬유 로빙, 수지펠릿, 첨가재 등을 원료로 공급하면서 직접 아래에서 설명하는 사출 성형을 하는 시스템도 개발되고 있다. 또한, 본 시리즈 3회분에서 기술한 바처럼 유리 섬유에는 통상 매트릭스 수지와 접착성을 높이기 위한 표면 처리제가 부여되고 있다. 전형적인 매트릭스 수지는 나이론, PBT, PPS, PC, PEI 등이 있다.



<그림 1> 강화 앰플러 성형재의 구조와 형태

## 2.2 적용되는 성형법

한결같이 사출 성형법이 적용되고 있다. 사출 성형에서는 통상 용융된 성형재를 냉각시켜 닫혀있는 금형 속으로 사출하여 단시간 방치한 후 틀을 열어 꺼내는 프로세스로 되어 있다. 성형 사이클은 1분 또는 그 이하 정도이다. 그렇지만, 얇고 커다란 성형품을 만드는 경우에는 성형 압력이 급증하기 때문에 성형이 어렵게 된다.



<그림 2> 각종 앰플러의 인장 강도와 열변형 온도

## 2.3 성능과 특징

복잡한 형상의 비교적 작은 성형품을 효율적으로 제조할 수 있다. 또한, 강화 섬유의 길이가 작고, 더우기 섬유의 체적 비율에도 제약이 있기 때문에, 성형품의 역학적 특성은 TPC 중에서는 최저 수준이다. 그러나, 비강화품과

비교하면, 강화품에서는 강도, 탄성률, 열변형 온도가 상승한다. 특히, 결정성 수지의 경우 <그림 2>에 나타난 바와 같이 현저하게 열변형 온도의 상승을 인지할 수 있다. 반면에, 성형품 치수의 정밀도 저하, 성형 유동성의 저하 등이 생긴다.

## 2.4 성형 재료의 제조법

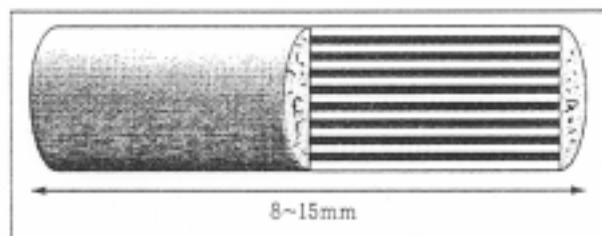
매트릭스 수지 폴리머, 강화 섬유의 찢 섬유(chopped fiber), 첨가제 등을 통상 2축 스크류 압출기로 잘 혼합하고 압출하여 냉각하고 소정의 길이로 절단한다.

## 2.5 용도와 장래성

강화 앰플러는 기계 부품 등을 중심으로 널리 이용되고 있고, 일본에서는 10만톤의 주문이 있을 정도로 성숙기에 접어들고 있다.

# 3 장섬유 앰플러

## 3.1 재료의 구조와 형태



<그림 3> 장섬유 앰플러 성형재의 구조와 형태

<그림 3>에 모식적으로 나타나 있는 바와 같이 강화 섬유가 긴 방향으로

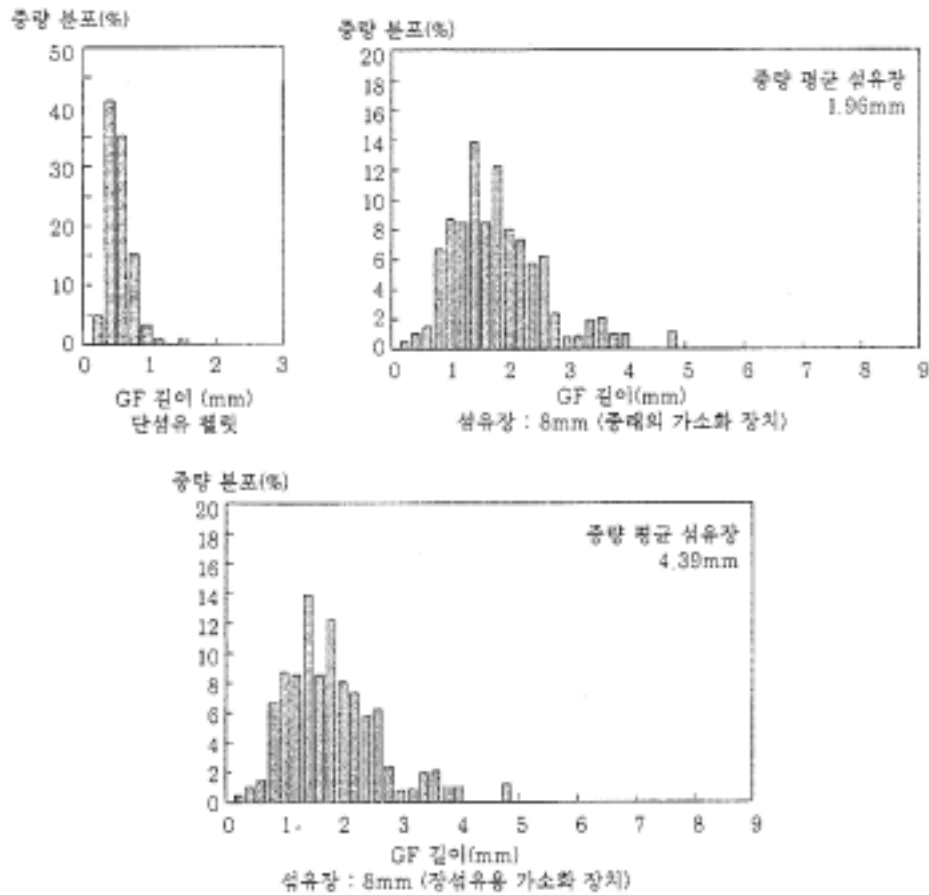
나란하게 배열되어 있고, 그 길이는 통상 8~15mm의 펠릿이다. 많은 경우 강화 섬유로는 유리 섬유가 사용되며, 유리 섬유에는 앞에서 기술한 바와 같은 형태의 표면 처리가 되어 있다. 나란히 배열되어 있기 때문에 강화 섬유의 체적 비율은 예를 들어 체적 비율 40~60%로 높게 취할 수가 있다.

### 3.2 적용되는 성형법

많은 경우에 사출 성형법이 적용된다. 이 경우 종종 장섬유 앰플러는 마스터 펠릿으로 사용된다. 즉, 비강화 앰플러와 혼합하여 사용되고 있다. 동일한 섬유 체적 비율로 비교하면 장섬유 앰플러의 성형시 유동성은 강화 앰플러보다 오히려 양호하다. 이것은 하천에 아주 짧은 나무라도 흐트러뜨려서 한 번에 다량으로 흘러보내면 막혀버리는 경우가 있으나, 비교적 긴 나무라도 뗏목 형태로 엮어서 보내면 흘러가기가 쉽다고 하는 예를 생각하면 이해하기가 쉽다.

사출 성형 과정에서 강화 섬유는 절단되어 있지만, 이 뗏목 효과 때문에 <그림 4>의 (b)와 같이 성형품 중의 강화 섬유의 길이는 강화 앰플러의 경우 <그림 4>의 (a)보다 크게 유지되고 있다. 이 경우 성형기에 흠이 깊은 스크류 등으로 흐르는 길을 크게 하도록 하면, <그림 4>의 (c)처럼 성형품 중의 섬유를 보다 크게 유지하는 것이 가능하다.

본 재료는 유동 압축 성형도 적용할 수 있다. 즉, 열려있는 틀 위에 용융한 장섬유 앰플러를 이송한 후, 감합(嵌合) 틀을 써서 압축 성형한다. 이 경우 성형 중에 섬유장의 저하가 적게 일어나도록 제어할 수 있다. 본 사출 성형과 압축 성형에서는 압축 후 내부의 수지가 냉각되기 전에 틀을 약간 열어줌으로서 강화 섬유의 스프링 백 특성을 이용하여 심(芯)이 다공성의 샌드위치 구조를 가진 판상의 굴곡 강성이 큰 성형체를 만들 수 있다.

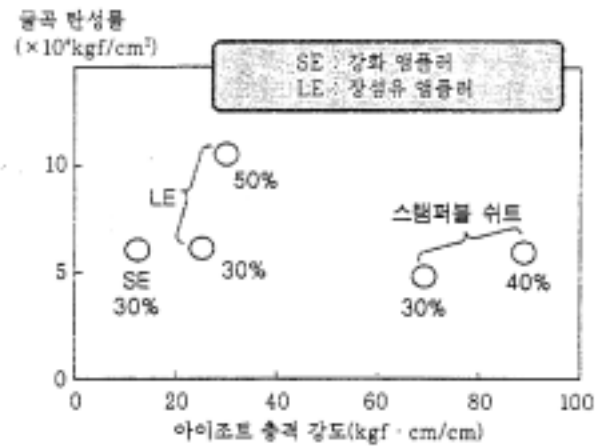


<그림 4> 여러 가지 성형품 중의 섬유장

### 3.3 성능과 특징

강화 앰플러와 비교하여 섬유 체적 비율을 크게 취하기 때문에 이것만으로도 강도, 탄성률이 큰 성형품을 얻을 수 있다. 동일 체적 비율에서 비교한 경우, <그림 5>에 나타난 바와 같이 내충격성이 크게 향상됨과 동시에 열변형 온도도 상승한다. 특히, 섬유장을 유지하도록 성형한 경우에는 아래의 스탬퍼블 쉬트에 근사한 내충격성이 얻어진다. 또한, 성형품에 있어서 휘어지는 변형을 강화 앰플러보다 낮게 제어하기가 쉽다. 그렇지만, 일반적으로 접합 강도가 작다고 하는 약점이 있어 이것을 높이는 데는 특별한 연구가 필요하다. 강화 섬유가 탄소 섬유인 경우에는 성형품 중의 섬유장이 비교적 크기 때문에 도전성이 크다. 이 때문에 전자파 차단성을 크게 할 수 있다는 장

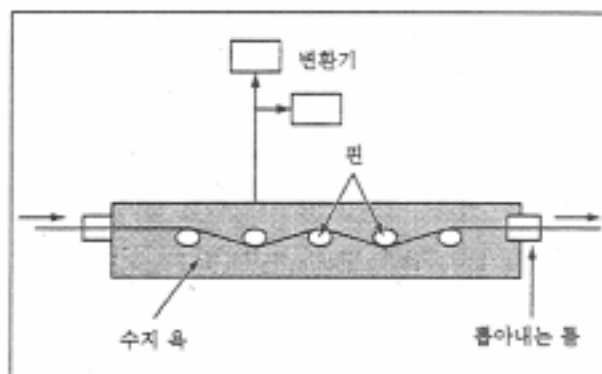
점도 존재한다.



<그림 5> 강화 앰플러, 장섬유 앰플러 성형품의 내충격성과 굴곡 탄성률

### 3.4 성형 재료의 제조법

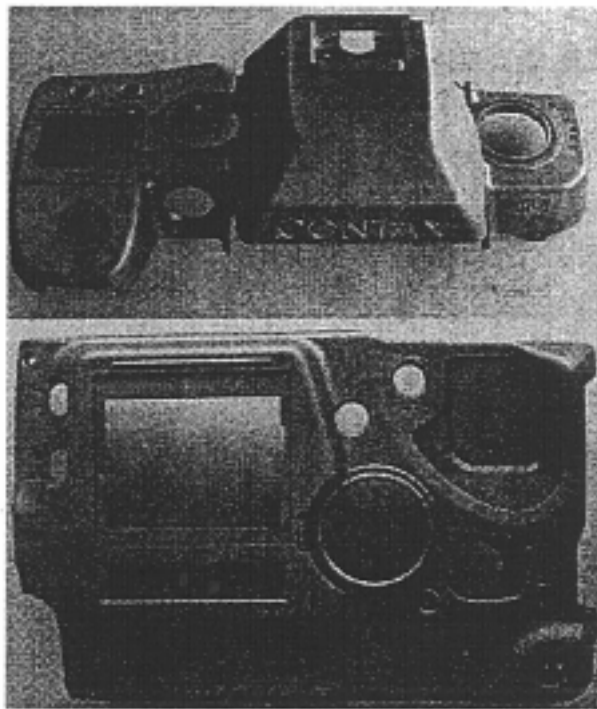
유리 섬유를 사용한 장섬유 앰플러의 제조법의 대부분은, <그림 6>에 전형적인 방법이 나타나 있는 바와 같이 매트릭스 수지의 용융 액체 중에서 섬유속으로 장력을 걸면서 훑어내듯이 바삭 잡아당기는 형태로 뽑아내는 방법이다. 실제로는 이 그림의 금속제 핀과 섬유속 사이에는 용융체가 매개하고 있어 장력에 의해서 섬유를 이 액체 속으로 침투시킴으로서 함침이 진행되고 있는 매커니즘이다.



<그림 6> 장섬유 앰플러 성형재의 제조공정 예 (모식도)

### 3.5 용도와 장래성

주요 용도는 비교적 복잡한 형상의 준구조 부품으로서 성형이 비교적 용이하기 때문에 자동차 부품을 포함한 여러 가지 용도로 사용이 넓혀져 가고 있다. 탄소 섬유를 사용한 경우는 특히, 전자파 차단성을 활용한 전자 기기 광체(기계 기구를 넣어두는 상자)등에 유망하다. <그림 7>은 디지털 카메라에 응용한 예이다.



<그림 7> 탄소 섬유 강화 장섬유 앰플러의 용도 예(디지털 카메라 광체)

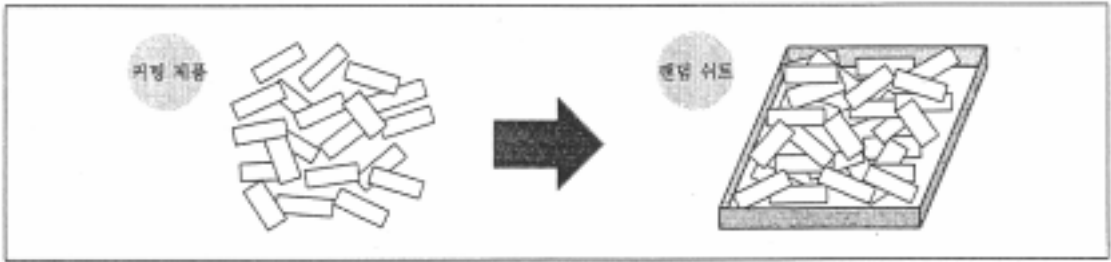
## 4 스탬퍼블 쉬트(형타 가공 쉬트: stampable sheet)

### 4.1 재료의 구조와 형태

랜덤하게 배향된 강화 섬유를 수지 함침한 쉬트(板)상의 성형 재료이다. 본 재료에 있어서 강화 섬유 형태의 주류를 이루는 것은 유리 섬유를 랜덤하게



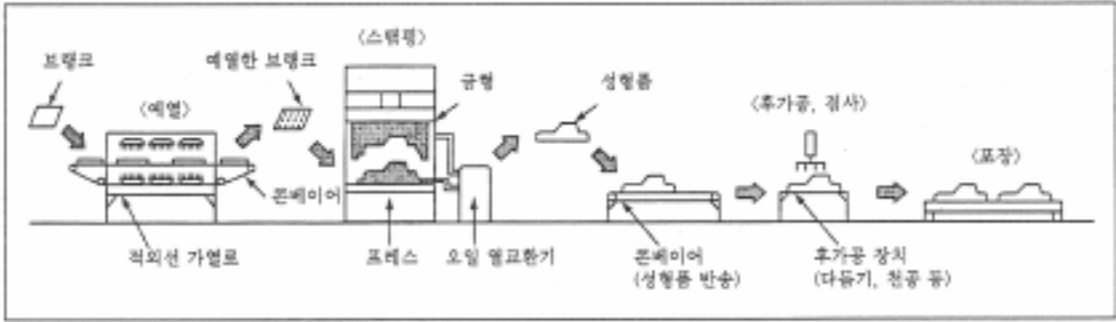
배향한 연속 스트랜드 매트이다. 촉 섬유를 수지 분말과 함께 종이를 쓰듯이 떠낸 후 수지 함침한 쉬트도 있다. 또한, <그림 8>에 나타나 있는 것처럼 열가소성 수지로 함침한 세폭의 테이프를 커팅한 것으로 만든 랜덤 쉬트도 있다.



<그림 8> 프리프레그 세폭 테이프의 커팅 제품으로 만든 스탬퍼블 쉬트

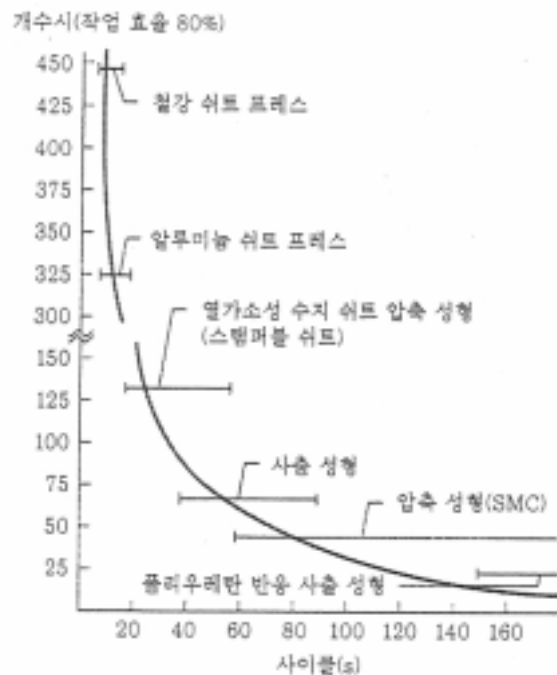
#### 4.2 적용되는 성형법

유동 압축 성형법이 이용된다. 이 방법은 <그림 9>에 나타나 있는 바와 같이 쉬트를 적당한 크기로 절단한 브랭크를 예열하여 매트릭스 수지가 용융 상태로 된 매트를 프레스기의 냉각 금형 위에 적층 설치하여 스탬핑(압축 성형)한다.



<그림 9> 파동 압축 성형 공정의 모식도

이 방법의 특징은 커다랗고 겹 모양이 꽤 복잡한 형상의 성형품이 <그림 10>에 나타난 바와 같이 높은 생산성을 바탕으로 제조 가능하다는 것이다. 또한 3.2항의 마지막에 기술한 것과 같은 형태의 방법으로 심(芯)이 다공성 샌드위치 구조의 성형체를 용이하게 얻을 수 있다.



<그림 10> 각종 성형법에 있어서 성형 사이클 시간

#### 4.3 성능과 특징

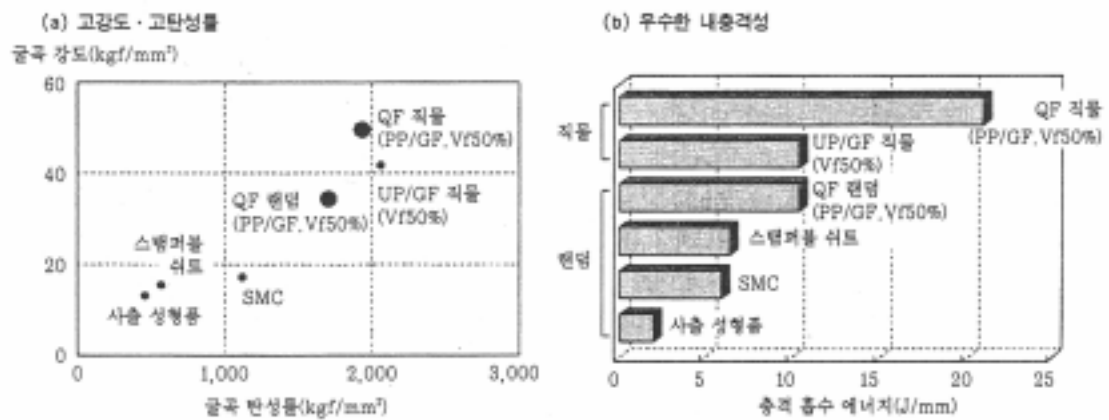
경합이 되는 재료와 비교하여, 본 재료의 특징을 <표 1>에, 성형 생산성의 비교를 <그림 10>에 나타냈다. 높은 내충격성과 유기 재료로서는 최대의 성형 효율을 가진 것이 특징이다. 또한, 위의 방법으로 얻어지는 샌드위치 구조체는 경량인 것에 비해서 굴곡 강성이 크다고 하는 특징이 있다.

한편, 4.1항에 기술한 테이프 커트한 랜덤 쉬트는 상당히 높은 섬유 체적 비율의 것이 성형 가능하기 때문에 <그림 11>의 (a), (b)에 나타난 것처럼 꽤

높은 물성의 성형품을 얻을 수가 있다.

<표 1> 경합이 되는 제품에 대한 스탬퍼블 쉬트의 특징

| 경합제품      | 재료면                                | 가공면                                 |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 강판        | 저비중<br>내식성                         | 부품 점수의 저하<br>공정의 간략화<br>디자인의 자유도 향상 |
| SMC       | 고강도<br>고충격성<br>저비중<br>POT LIFE가 없음 | 성형 사이클의 단축<br>리사이클이 가능              |
| 사출<br>성형품 | 고충격성<br>높은 기계적 성질<br>이방성이 작다       | 낮은 성형 압력<br>금형비가 낮다                 |

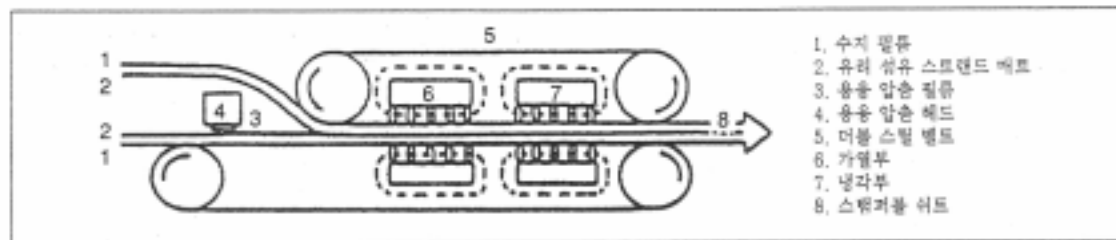


<그림 11> 프리프레그 세폭 테이프로 만든 스탬퍼블 쉬트 성형품의 물성 (QF랜덤)

#### 4.4 성형 재료의 제조법

전형적인 제조법으로서 <그림 12>에 나타낸 방법을 들 수 있다. 즉, PP 등의 매트릭스 수지를 용융 압출한 3의 양측에 유리 섬유 매트 2, 그리고 바깥

양측에 매트릭스 수지 필름 1을 적층하여 더블 벨트 프레스로서 가열·가압하고 계속하여 가압하면서 냉각하여 연속적으로 뽑아내는 방식으로 되어 있다.



<그림 12> 스탬퍼블 쉬트 성형재의 제조법의 예 (모식도)

#### 4.5 용도와 장래성

외부 구조물의 대량 생산 부품에 특히 적합하고, 자동차의 범퍼 빔 등 상당히 널리 적용되고 있다. 그러나 표면의 외관이 그다지 깨끗하지 않기 때문에 자동차의 외장 부품에 적용하는 데는 한계가 있다. 또한, 복잡한 형상의 제품인 경우에는 앞서 설명한 장섬유 앰플러의 사출 성형품이 유리하게 된다. 한때, 요란스러웠던 정도에 비하면 그다지 크게 늘어나고 있지는 않다.

한편, 함침 테이프 커트 방식으로 만든 스탬퍼블 쉬트에 대해서는 앞으로의 발전이 주목되고 있다.

다음 호에는 “열가소성 복합 재료(2)”로서 배향한 섬유의 강화품을 중심으로 열가소성 복합 재료를 설명할 예정이다. ♣