

대나무의 고도이용

- 지속적 재생 가능 천연자원으로서 대나무의 효율적 이용(3) -

4. 대나무 섬유의 활용

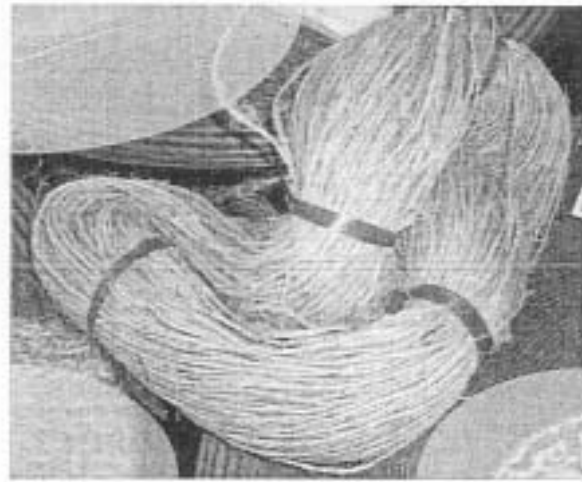
대나무 섬유의 비강도는 유리섬유와 대등한 수준이다. 이러한 특성 때문에 가장 먼저 고려되는 대나무 섬유의 활용 방안으로는 유리섬유를 대체할 수 있는 강화재로서 복합재료에 이용하는 것이다. 그러나, 유리섬유에서와 같이 다양한 형태의 대나무 섬유 강화재를 지금 바로 이용하기는 어렵다. 향후, 대나무 섬유로 만들어진 직물상의 강화재도 나올 수 있지만, 현 시점에서는 섬도가 크고 섬유장이 짧은 섬유속을 실용적으로 저렴하게 얻을 수 있다. 인도네시아에서 제조된 대나무 섬유는 섬유장이 40cm이상인 것도 있지만, 비용 면에서 직경 0.1mm이하의 가늘고 긴 대나무 섬유로 제조된 강화재가 조만간 나타날 가능성은 적다. 섬유가 한방향으로 나란히 배향되어 있어, 부직포상 및 매트상의 섬유로는 당분간 이용자가 독자적으로 개발하여야 할 것 같다. 이러한 것을 염두에 두면서, 대나무 섬유의 본질을 고려하여 유리섬유를 대체할 수 있는 강화재로서의 활용방안을 살펴보고자 한다.

대나무 섬유의 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ①강직하다
- ②섬유장이 짧다
- ③방적사로는 얻어지지 않는다(다만, 새끼줄 형태의 제품은 개발이 가능하다<사진 6>).
- ④유리섬유에 비해 가볍지만, 강도는 절반이하이다.
- ⑤섬유내 공극이 작기 때문에 마섬유류에 비해 흡수는 적다. 치수안정성은 양호하다.

⑥가격이 2~3배 정도 높아지면, 일본내에서도 공급이 가능하다.

이러한 특징을 살리면, 대나무 섬유는 다음과 같은 성형품으로 응용이 가능하다.



<사진 6> 대나무 섬유에 꼬임을 부여하여 제조한 끈·새끼줄(자죽(慈竹)을 이용

(1) 대나무 섬유 강화 PP(BFPP) · PLA(BFPLA)

모재로서 PP를 채택한다. 폴리프로필렌을 이용하기 때문에 완전히 탈화석(석유) 자원이라고 할 수는 없다. 그러나, 대나무 섬유는 태워서 소각하기가 용이하다. 공기중의 이산화탄소를 받아들여 탄산동화 작용으로 성장하는 대나무 섬유는 소각하더라도 소각에 의한 탄산가스의 증가는 없다. 소위 「Zero-Sum」이 된다. 대나무 섬유를 50wt% 함유시킬 수 있다면 PP의 사용량을 절반으로 감소시키게 된다. 이러한 이유로, 이산화탄소 억제 측면에서 대나무 섬유의 사용은 의의가 있다. BFPP의 발열량은 7,000~7,500kcal/kg으로 연료로서도 효과적으로 이용할 수 있다.

수지용으로는 PP대신 옥수수 등의 생물자원으로부터 만들어진 PLA(Poly-

Latic Acid : 폴리젓산)를 이용하는 것도 가능하다. PLA 자체는 내열성이 낮아 PP에 비해 매우 약하지만, 사출성형이 가능하다. 또한, PLA 수지의 강도•강성은 PP보다 높다. 대나무 섬유와 혼합하면, 유리전이온도(T_g)는 변하지 않지만 유리전이온도 이상에서 강성의 급격한 감소는 없다. 대나무 섬유를 이용함으로써 높은 인성(韌性)도 기대할 수 있다.

(2) (대나무 섬유 함유율이 높은) 대나무 섬유 강화 PP 펠렛 제조방법

대나무 섬유를 강화재로 사용한 FRTP(BRTP)의 실용화가 기대되고 있지만, 섬유장이 5~10수mm인 대나무 섬유(속)로는 고품질의 대나무 섬유 함유 펠렛(혼합물)을 제조할 수 없다. 혼합기(kneader) 등을 이용하여 TP와 대나무 섬유를 혼합할 경우에는 섬유가 꺾여 파손되거나 고온에 의한 품질저하가 발생할 우려가 있다. 이러한 이유로 기존의 2축혼합압출기(이하, 압출기로 칭함)를 이용하여 섬유의 함유율(50wt% 이상)을 높일 수 있는 기술확립이 요망되고 있다.

FRTP 사출성형의 경우에는 사전에 소정의 중량비율로 섬유를 혼입한 직경 3~5mm의 입자상 펠렛이라고 하는 원료를 이용할 수 있다. 이러한 FRTP 펠렛은 TP 펠렛과 섬유를 압출기에 넣어 혼합하여 만든다. 단섬유장의 유리섬유나 탄산칼슘 입자 등으로 이루어진 충전재를 TP 모재에 일정비율로 혼입하여 펠렛을 제조하는 경우에는 정량 피더를 이용하여 압출기의 입구나 측면에서 충전재를 TP 펠렛과 함께 투입하는 방법(사이드피더, Side Feeder)이 일반적으로 이용된다. 그러나 섬유장이 짧은 대나무 섬유(정확히는 섬유속이며, 직경은 0.1~0.2mm, 섬유장은 5~30mm정도임)의 경우에는

① 입구에서 섬유가 「구슬」과 같은 모양이 된다.

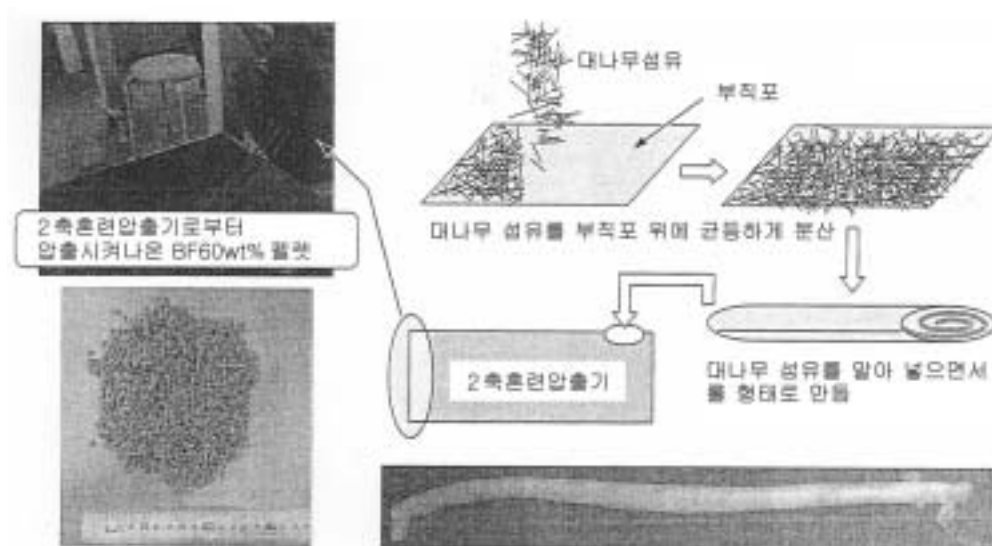
② 대나무 섬유와 2축혼합압출기와의 마찰이 작기 때문에 대나무 섬유와 TP 펠렛이 일정비율로 압출기내로 들어가지 못한다. 사이드피더를 이용하여

도 대나무 섬유와 TP 펠렛이 정량적으로 압출기내로 들어가지 못한다(유리 섬유의 경우에는 이러한 문제는 발생하지 않는다).

③ 다량의 대나무 섬유를 압출기내로 투입할 수 없다

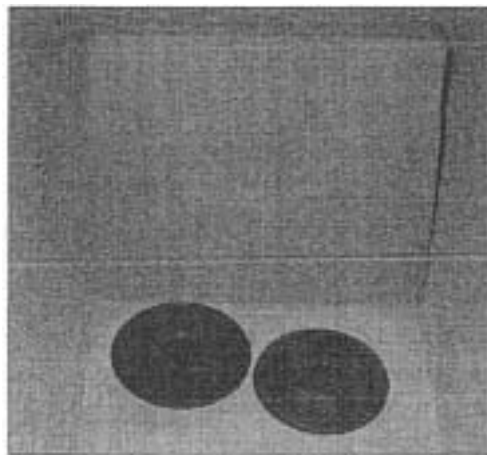
→대나무 섬유의 함유율이 높은 펠렛을 제조할 수 없다.

등의 문제가 발생한다(이 점은 본질적으로 다른 천연섬유도 마찬가지다). 그러므로, 펠렛 형태의 TP 대신에 부직포 형태의 TP를 사용하여 부직포에 대나무 섬유를 말아 넣는 방법으로 문제를 해결하였다<그림 10>. 대나무 섬유와 PP 모재와의 접착성을 개선하기 위해 필요에 따라서는 말레인산 변성 PP 펠렛을 모재에 대해 1~5wt% 혼입한다. 단위길이당 PP 부직포의 중량과 대나무 섬유의 중량은 정확하게 제어가 가능하다. 또한, 이러한 방법을 이용하면 TP 모재에 대해 대나무 섬유를 50wt% 이상 쉽고 안정적으로 혼합할 수 있다. 압출기에 부직포 롤을 투입하여 펠렛을 제조한다. 실제로 대나무 섬유를 85% 함유한 펠렛도 제조가 가능하였다.



<그림 10> 펠렛 제조법 : 대나무 섬유를 PP부직포에 말아넣은 부직포 롤의 제조방법

<사진 7>의 앞쪽에 보이는 것은 상기 펠렛으로 사출성형하여 제조된 환경 적합형 식기이다. 대나무 섬유를 50wt% 이상 혼합하였기 때문에 내열성이 향상되었으며 강성도 높다. 또한, 열전도율이 낮아 뜨거운 음식을 넣어도 식기외부의 온도는 낮게 유지된다.



<사진 7> (안): 저융점 폴리에틸렌으로 피복된 PP 섬유와 대나무 섬유로 제조된 매트(단열재 등)

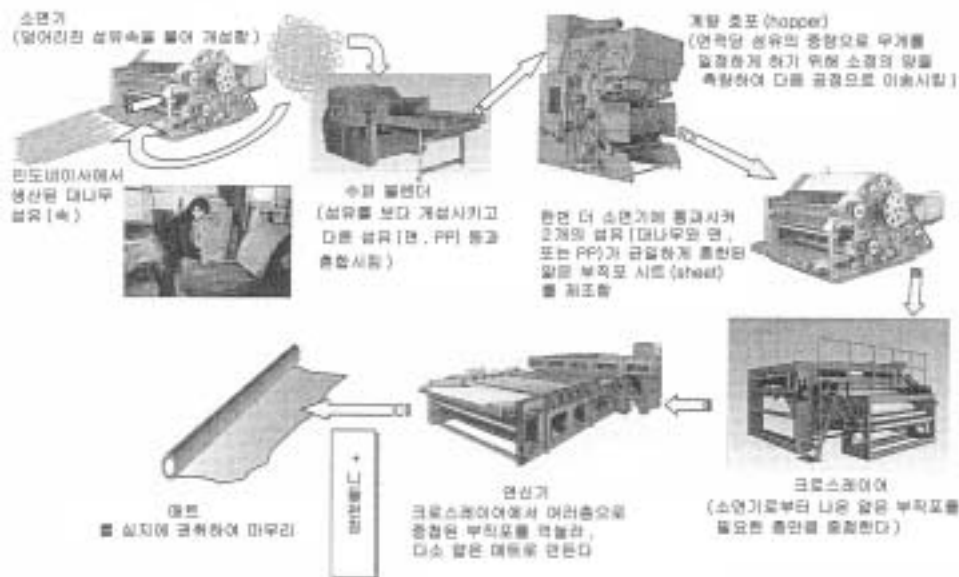
(앞): 대나무 섬유가 65% 함유된 PP 펠렛으로 사출성형된 식기

대나무 단섬유/PP 배합물의 제조와 동일한 방법으로 대나무 섬유를 50wt% 이상 혼합한 대나무 단섬유/PLA 배합물도 제조가 가능하다. 이러한 이유로 휴대전화 케이스 등과 같은 정밀도 뿐만 아니라 기호성이 높은 제품의 사출 성형도 가능하다. PLA와 혼합할 경우, 섬유와의 접착성을 향상시키기 위해 미리 표면처리된 대나무 섬유를 이용하는 것도 고려할 수 있다.

(3) 대나무 강화 PP 매트 제조방법

인도네시아에서 제조된 대나무 섬유의 경우, 하나하나의 섬유(속)이 길기 때문에 부직포 제조가 가능하다<그림 11>. 대나무 섬유는 강직하기 때문에 크로스레이어(cross layer)→연신기를 거친 후, 층상으로 중첩되어도 상하의 층

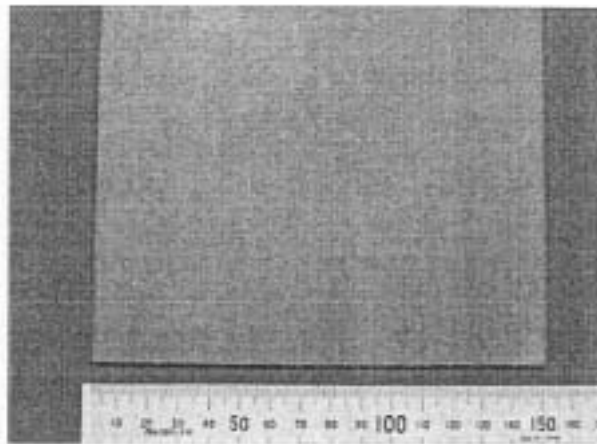
은 서로 들러붙기 힘들다. 이러한 이유로 취급이 어려워 황마, 케나후 또는 PP 등의 섬유를 10~30% 혼합시킨다. 처음에는 강직하던 대나무 섬유(속)도 소면기에 여러 번 통과시키면 유연한 섬유가 될 수 있다. 이러한 것을 이용하면 100% 대나무 섬유로 이루어진 부직포의 제조도 가능하다. 그러나, 그럼에도 불구하고 취급이 어려운 경우에는 니들펀칭으로 상하층간을 결합시키는 것도 가능하다.



<그림 11> 대나무 섬유 매트 제조 공정

PP 및 PE 바인더로 피복된 PET 섬유 등과 같은 열가소성 섬유를 이용한 경우에는 핫 프레스(Hot Press)를 이용하여 부직포를 고화시킬 수 있다. <사진 8>은 핫 프레스에 의해 성형된 BFPP 평판이다. 현시점에서는 BFPP의 강도는 30~45Mpa(대나무 섬유가 임의의 방향으로 배향된 강화 프레스 성형품)으로, 기대한 수준만큼은 아니다. 가장 큰 이유로는 수지의 함침성 불량, 바꾸어 말하면 BFPP 내에 큰 공극이 남아있어 수지의 응력재분배 기능이 불충분한 것을 들 수 있다. 섬도가 보다 작은 섬유를 사용하여 성형한 경우에는 기

포도 감소하고 강도도 10% 정도 증가하였다. 단순히 대나무 분말을 혼합시킨 PP는 이미 시중에 판매되고 있지만, 강도면에서 볼 때는 오히려 취화가 발생할 우려가 있다. 이러한 관점에서 볼 때, BFPP는 강도면에서는 앞으로 기대해 볼 만 하다.



<사진 8> 핫 프레스로 성형된 평판

<사진 7>의 안쪽에 보이는 것은 저융점 폴리에틸렌으로 피복된 PP 섬유와 대나무 섬유를 열풍속에서 혼합시킨 매트이다. 주택단열재 및 자동차 내장재로 응용이 가능하다고 생각된다. 이러한 응용은 강도보다는 성형품의 높은 비면외강성이 관건이 된다. 이것은 얻어지는 대나무 섬유의 섬도가 크고 강직하다는 것이 이점이 될 수 있는 하나의 응용사례이다. 매트 제조에 대한 연구에 좀 더 집중한다면 현재 생산되고 있는 것보다 값싼 제품을 만들 수 있는 가능성이 높다. 값싸고 환경친화적인 재료가 될 수 있다. 바인더 섬유로서 PLA 섬유도 이용이 가능하다.

(4) 대나무 섬유 강화 FRP(BFRP)

대나무 섬유는 불포화 폴리에스터 및 비닐 에스터 등의 열경화성 수지를

모재로서 이용한 FRP에도 응용이 가능하다. 대나무 섬유 매트(앞서 언급된 부직포, 혹은 10~50mm 길이의 단섬유를 적당한 바인더로 고정하여 섬유가 임의의 방향으로 분포된 매트로 제조함)는 유리섬유 매트보다도 가벼워 폐기가 용이한 욕조(bathtub), 유람선이나 레저용 선박 등의 강화재로서 이용할 수 있다. 해체는 매우 쉬워 목공용 톱으로 쉽게 절단이 가능하다. 용량을 줄이기 위해 분쇄하는 것도 편하다. 잘게 부서진 BFRP 폐기물은 최종적으로 연료로 사용될 수 있다. <사진 9>는 비닐 에스터를 수지로 이용하여 VA-RTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding, 진공을 이용한 수지 이송 성형)으로 성형한 3인승 보트이다.



<사진 9> (독)상해기술안전연구소와 공동개발한 대나무 섬유 FRP 보트

대나무 섬유와 열가소성 수지의 접착성에는 큰 문제가 없다. 그러나, 섬유가 강직하기 때문에 니들펀칭된 매트를 이용하여도 수작업 성형으로는 어렵기 때문에 이러한 경우에는 숙련된 성형이 필요하다. 따라서, 대나무 단섬유를 폴리폼(polyfoam)의 형태로 성형 틀의 안에 넣고 수지를 주입하는 RTM

성형방법이 최적이다. 강도는 대나무 섬유의 함유율에 따라 다르지만, 임의의 방향으로 배향된 적층판(모재수지 : 불포화 폴리에스터)의 경우에는 100Mpa정도를 얻는 것이 가능하다. 다만, 대나무 섬유를 열경화성 수지와 배합시킨 경우, 성형품은 취화되어 파괴되는 경향을 보이므로 유연한 특성을 가진 고분자계 섬유(예를 들면 PET 섬유)와의 하이브리드화가 그 하나의 해결책으로서 고려될 수 있다.

단, 함유된 대나무 섬유는 천연섬유로서 수분을 흡습한다. 따라서, 물속에 가라앉는 부위의 자재에는 적절한 발수처리가 필요하다. BFRP 적층판의 단면이 밖으로 노출되면 섬유가 수분을 직접 흡수하게 된다. 그 결과, 섬유가 팽윤될 뿐만 아니라 수지와의 계면강도도 크게 저하된다. 따라서, FRP의 강도가 저하된다.

5. 결 언

대나무의 강도와 그 구성소재(후벽세포=섬유 및 유세포)에 대해 관심을 가지고 검토해보면 대나무를 대나무로서 이용하는 것 뿐만이 아닌 새로운 응용 방안을 강구할 수 있다. 그 가운데 대나무 섬유(속)는 다른 천연섬유를 능가하는 특성을 가지고 있기 때문에 최근의 산업용 섬유 중에서 유망한 소재가 될 수 있다. 그러나, 섬유를 채취하고 남은 것은 소위 「찌꺼기」로 취급되어 그대로 산업폐기물이 될 수도 있다. 또한, 잎사귀 및 가지도 쓸모가 없다. 그래서, 이러한 부분에 대해서도 어떠한 방법으로든 효율적인 활용 방안을 세워야 한다. 그 중 하나가 부엽토로서 활용하는 것이다. 섬유추출 과정에서 나온 대나무 분말은 농업소재(토양비료)로서도 유망하다. 일찍이 고래처럼 버릴 것이 없는 자원으로 활용하는 것이 대나무를 효과적으로 활용하는 방법이며 비용절감에도 도움을 줄 수 있을 것이다.