

Development of High-performance Paper Cushioning Material Aimed at Resource Recycling

자원순환을 목표로 한 고성능 종이 완충재의 개발

오기노 / 산토리 홀딩스(주) 서프라이천 본부 포재부

1. 도입

2015년 12월 UN서미트에서 채택된 SDGs(지속가능한 개발목표)는 환경, 사회, 인권, 교육 등 세계가 안고 있는 여러 가지 문제의 해결을 목표로 한 것이다.

근년은 이 SDGs를 의식한 정책이나 기업 활동이 활발하게 되었으며 많은 관심이 모여서 지구의 미래를 향한 새로운 움직임이 되고 있다.

“SDGs Goal : 만드는 책임 사용하는 책임”에도 있는 것처럼 인류에 의한 자연 자원을 이용한 [생산/소비]는 지구환경을 압박하는 최대의 원인이 되었다.

지속 가능성을 의식한 책임 있는 [생산/소비]가 행해지지 않으면 세계의 환경문제는 더욱 악화한다.

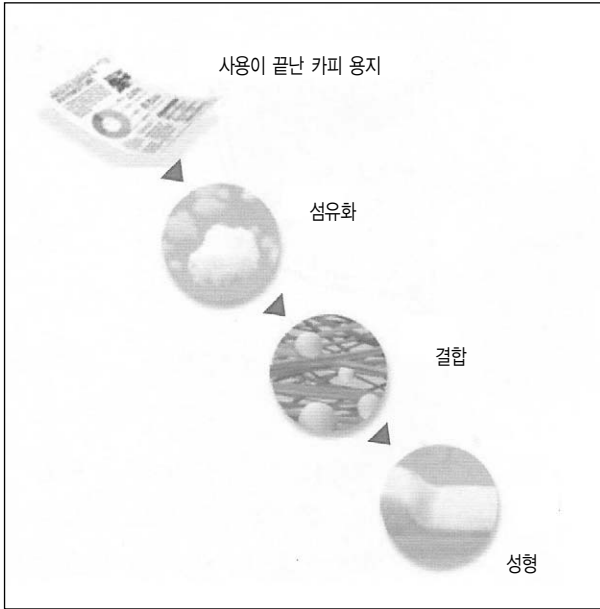
책임있는 [생산/소비]를 위해서는 자연 자원의 보전이나 자원 순환을 성립시키는 것이 요구되어지고 있다.

당사에서는 프린터를 시작으로 하는 정밀기기의 완충재에는 석유 유래의 소재가 사용되어지고 있지만 자원 순환에 의한 지속 가능한 생산 소비 형태를 목표로한 완충재를 개발하였다.

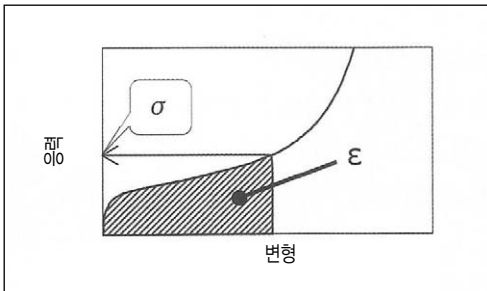
개발에 입각하여 3개의 점을 중시하였다.

- 원료 : 용이한 입수가 가능한 것이며 자사 기술이 이용 가능한 것
- 성능 : 완충성능은 EPS와 동등 이상
- 원료 순환 : 용이하게 폐기가능, 일반적으로 리사이클 시스템이 이용가능하다.

[그림 1] 드라이 화이버 테크놀로지에 의한 완충재의 제작



[그림 2] 응력-변형 곡선에 있어서 ε과의 관계



2. 이상적인 완충재

완충재 개발을 위해서 [이상적인 완충재는 무엇일까?]를 생각하면 그것은 낙하 완충을 받았을 때의 가속도를 높이지 못하고 흡수 가능한 에너지 양이 많은 소재로 생각된다. 완충재가 나타내는 중량(w)의 제품이 어느 높이(h)에서 떨어지는 상태, 이때의 위치 에너지(=W · h)가 완충재에 가하는 에너지가 된다고 생각하면 식(1)이 성립한다.

$$W \cdot h = A \cdot t \cdot \epsilon$$

$$\therefore \epsilon = (W \cdot h) / (A \cdot t) \dots \dots \dots (1)$$

여기에서 A : 완충재의 유효 면적, t : 완충재의 두께, ε : 완충재 단위체적당의 에너지이다.

반면 낙하시의 완충재를 누르는 응력(σ)은 완충재가 받은 하중(p)을 완충재의 유효 면적

II. 새로운 완충재의 검토

1. 독자 기술 드라이 화이버 테크놀로지

당사 독자의 섬유화 기술에서 드라이 화이버 테크놀로지는 사용이 끝난 카피용지 등의 원료를 섬유로까지 가늘게 섬유화시켜 그 실과 결합재를 혼합하여 성형하는 기술이다(그림 1).

실화한 원료 0.1mm정도의 두께로 성형하면 종이가 되어 완충재와 같이 된다.

본 개발에는 사내에서 사용이 끝난 카피용지를 원료로 하는 것으로 하였다. 당사는 프린터 메이커를 위해 통상의 업무 이외에도 제품개발을 위해 카피용지를 많이 사용하고 있으며 원료 확보도 용이하다.

(A)에서 제하는 것으로 계산 가능한 것으로 식(2)가 성립한다.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{W \cdot G}{A} \dots \dots \dots (2)$$

여기에서 G : 내용물에 발생하는 가속도 (G)이다. 완충계수(C)는 식(3)에서 나타내었다.

$$C = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (3)$$

식(1), 식(2)는 식(3)에 대입하여 발생가속도(G)에 대해 정리하면 식(4)가 된다.

$$C = C \cdot \frac{h}{t} \dots \dots \dots (4)$$

(4)에 의해 낙하 높이(h)와 완충재의 두께(t)가 정해져있는 경우, 완충계수(C)가 작을수록 발생하는 가속도(G)를 작게 할 수 있다. 완충계수(C)는 작은 쪽이 좋다고 알려져 있다. 또한 응력(σ)과 완충재가 모은 단위 체적당의 에너지(ε)는 완충재의 응력-변형 곡선 상에서도 나타내는 것이 가능하며 어느 압력에서 변형량에 대한 것은 (그림 2)와 같은 관계가 되고 있다.

압력 변형 곡선 상에서 이상적인 완충재를 생각하면 완충계수(c)는 식(3)에서 나타낸 작을수록 좋고 역성역의 응력상승은 온화하고 면적(ε)에 비교하여 (σ)가 작은 재료라고 하는 것이 된다.

3. 드라이 화이버 테크놀로지를 사용한 완충재 성능의 조직

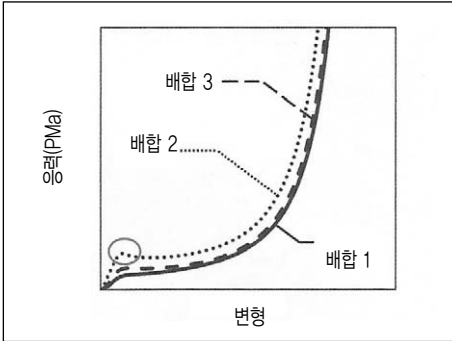
완충재의 성능은 응력-변형 곡선에서 결정된다. 응력-변형 곡선을 컨트롤하는 팩터는 드라이 화이버 테크놀로지에 있어서는 3개 있다고 생각한다.

첫 번째는 섬유 자체의 강도이다. 그러나 이번은 원료의 입수성과 특성의 안정성의 관점에서 사내에서 사용한 카피용지로 했기 때문에 조정치가 된다.

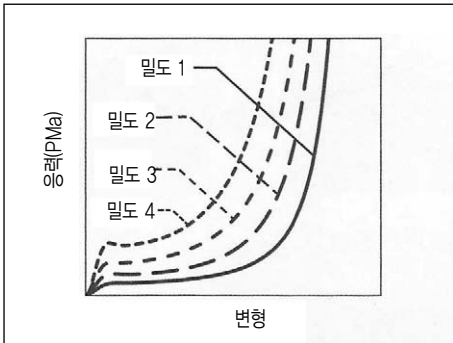
두 번째는 섬유끼리의 접합 강도이다. 그 강도는 결합재의 배합 비율로 컨트롤 가능하다. 하중 부하가 발생할 때 섬유끼리의 접합이 연속하여 당겨 찢는 적당한 강도가 필요하다고 생각한다.

세 번째는 밀도이다. 밀도는 실의 압축 상황에서 컨트롤 가능하다. 저밀도 상태에서 하중 부하가 걸린 경우, 섬유끼리의 사이에서 공간이 있으므로 섬유는 굽어서 변형되는 것이 가능하여 섬유끼리는 찢기지만 섬유끼리의 간격이 극단으로 가까운 경우는 섬유끼리 서로 미는 모드가 되어 하중 부하가 걸리면 급격한 응력 상승으로 이어진다고 생

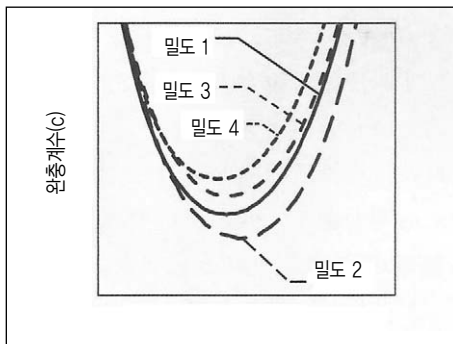
[그림 3] 종합재 배합비율의 영향



[그림 4] 밀도의 영향



[그림 5] 밀도와 완충계수의 관계



각한다. 이들의 팩터를 조정하는 것으로 응력-변형 곡선을 컨트롤하여 고성능의 종이 완충재가 개발된다고 생각한다.

4. 종합재 배합비율의 배경

밀도를 어느 일정치로 하여 종합재의 배합 비율이 응력-변형곡선에 대하여 어느 정도 영향이 있을지를 조사하였다. 배합1 < 배합2 < 배합3의 순으로 배합재의 배합 비율이 많아지며 배합 강도도 강해진다. [그림 3]에 측정된 응력-변형곡선을 나타내었다.

측정한 응력-변형곡선에서 배합1~3까지 결합재의 비율을 높이면 변형 0.1까지의 탄성역에서 응력이 커지는 경향이 보여진다. 결합재의 비율이 많아지는 것으로 섬유끼리의 접합이 증가하여 연속한 입체적인 편목 구조가 형성된다고 생각되어진다. 단, 배합3에서는 변형 0.1 부근을 피크로 응력이 일단 저하하는 현상이 보여졌다 ((그림 3) 빨간 동그라미 부분). 이것은 하중 부하에 의해 파괴되었다는 것을 나타내며 배합과다인 것을 알 수 있다. 결합재 배합 비율은 배합2까지로 할 필요가 있다.

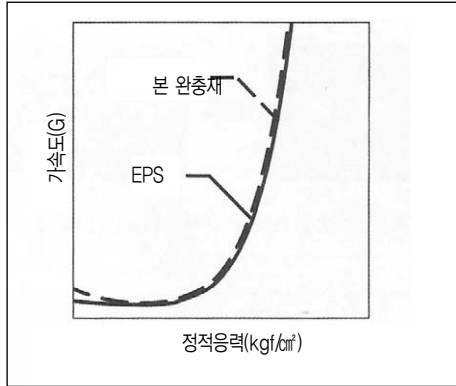
또한 변형후반의 응력 상승의 곡선은 거의 같은 경향이 된다. 결합재의 배합 비율

은 변형 후반의 특성에는 영향이 없다는 것을 알 수 있다.

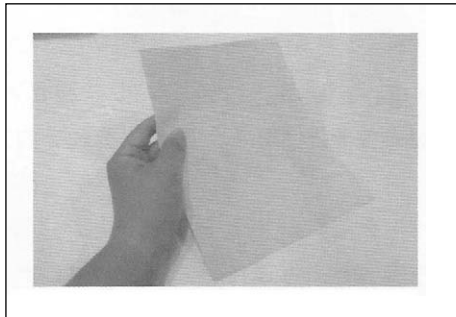
5. 밀도의 영향

1.4에 의해 결합재는 [배합2]로 하여 밀도가 응력-변형곡선에 대해 어느 정도 영향이 있는가를 조사하였다. 밀도는 밀도1<밀도2<밀도3<밀도4의 순으로 높아진다. [그림 4]에서 측정된 응력-변형곡선을 나타내었다.

[그림 6] 정적응력-최대가속도 곡선



[사진 1] 본 완충재로 제작한 종이



고밀도로 되는데 동반하여 전체에 응력이 높아지는 것과 함께 후반의 급격한 응력 상승이 빠른 단계에서 나타나는 경향이 있다.

응력-변형 곡선에서는 판정이 어렵기 때문에 밀도 1~4의 응력-변형곡선에 대하여 각각의 완충계수 곡선을 계산하여 비교하였다. 밀도 1~4의 완충 계수 곡선을 그림5에 나타내었다. (그림 5)의 완충 계수 곡선에서 밀도의 순으로 완충 계수가 늘어서는 것이 아니라 완충재에 최적한 밀도가 있다는 것을 알았다. 최소 완충계수는 밀도 2가 가장 작고, 성능이 좋은 조건이라는 것을 알게 되었다. 이것들의 결과로부터 사용이 끝난 카피용지를 원료로 한 완충재로써 가장 좋은 배합 비율과 밀도를 결정하는 것이 가능하였다.

6. EPS와의 성능비교

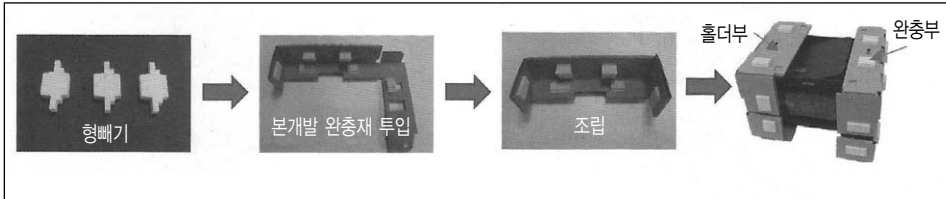
(그림 6)에 EPS와 개발한 완충재의 정적 응력-최대 가속도선 그림의 하나를 보인다. 개발한 완충재의 곡선을 보면 EPS와 거의 같은 곡선을 그리며 최저 가속도가 되는 구간이나 그 극소가 되는 위치는 같다는 것을 알게 되었다. EPS와 동등 성능의 완충성능을 갖고 종이계 완충재를 개발하는 것이 가능하였다.

7. 리사이클성의 확인

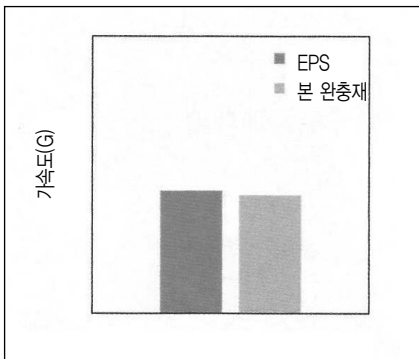
완충성능은 EPS와 동등하게 하는 것이 가능하였기 때문에 다음의 리사이클성의 검증을 행하였다. 리사이클은 일반적으로 리사이클 시스템에서 종이화 가능하지 않으면 안 된다.

외부 조사 기관과 제지회사에서 리사이클 테스트를 행하였다. 검증방법은 분해(블렌더) ⇒ 초지 ⇒ 탈수 평활화(프레스) ⇒ 건조(가열 롤러)에 의해 행한다. 본 완충재는 물에서 용해되어 초지가 가능하여 종이에의 재생이 가능하게 되는 것을 확인하였다. 본 완충재만을 원료로 하여 재생한 종이를 [사진 1]에 나타내었다.

[그림 7] 본 완충재와 골판지의 Hybrid구조로 한 프린터용 완충재



[그림 8] 완충성능 평가 결과



8. 실 제품에의 적용

완충성능과 리사이클성의 모두가 확인 가능했으므로 일반 소비자용 프린터용 완충재 설계를 행하였다. 실용화에 있어서는 완충부는 본 완충재로 하여 그것을 고정하는 홀더 부에는 골판지를 사용한 Hybrid구조로 하였다 (그림 7).

이 구조를 하는 것으로 제품이 노린 위치에서 본 완충재를 대는 것이 가능하다. 또한 폐기의 때를 놓친 골판지를 전개하는 것으로 본 완충재를 골판지 홀더에서 빼는 것이 가능하여 감용화가 가능하게 되었다.

9. 실제품 평가

프린터에 있어서 EPS완충재와 같은 상자 사이즈로 하여 본 완충재에서 완충 설계를 행하여 낙하시의 가속도를 확인한다. (그림 8)에 측정결과를 나타내었다.

EPS와 동등하거나 EPS를 상회하는 성능이 되는 것이 확인가능하다.

또한 설계 최종 확인으로써 실제품의 낙하 시험과 진동 시험, 고온 고습방치 시험을 실시하여 문제없는 것을 확인하였다.

본 완충재는 환경대응에 적극적으로 참여하는 오스트레일리아, 영국에서 판매되는 일반 소비자용 프린터 6종류에 채용하여 2021년 10월에 시장에 나왔다.

현재 시판 후 2년 이상 경과하고 있지만 시장 문제는 발생하지 않고 있다.

III. 고찰


완충이론을 기본으로 제법상의 팩터를 검토하여 종이계 완충재 개발을 행하여 EPS와 동등의 성능을 달성하였다. 게다가 EPS를 초월하는 것에는 응력-변형곡선에서

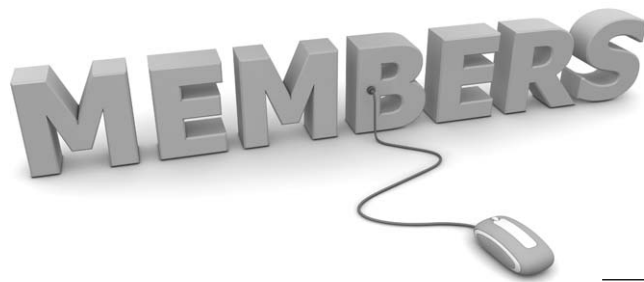
후반에 급격한 응력 상승을 늦춘 것이 중요하다고 생각한다.

여기에는 탄성역의 응력을 유지하면서 저밀도화시킬 필요가 있다. 저밀도화 하는 것은 구성하는 섬유 강성을 높일 필요가 있다고 생각한다. 커피용지에서 사용되어지고 있는 활엽수 유래의 셀룰로오스의 섬유보다 두꺼운 것을 채취할 필요가 있다. 두꺼운 섬유를 사용하는 것으로 EPS를 넘는 초고성능 완충재 개발에의 커다란 일보가 된다고 생각된다.

IV. 결론

본 개발에서 아래의 결론을 얻었다.

- 사용이 끝난 커피용지를 원료에서 EPS와 동등의 고성능 종이 완충재가 가능하였다.
- 본 완충재의 리사이클성에 관해서도 확인하는 것이 가능하였다.
- EPS 동등의 완충성능과 자원 순환을 양립시킨 지금까지 없는 완충재의 개발에 성공하였다. 



(사)한국포장협회 회원가입 안내



(사)한국포장협회

TEL. (02)2026-8655

E-mail : kopac@chollian.net

물의 흐름이 자연스러운 것은 물길이 나아있기 때문입니다.
포장산업이 강건하려면 미래를 내다보는 안목이 필요합니다.
포장업계의 발전이 기업을 성장시킵니다.
더 나은 앞날을 위해 본 협회에 가입하여 친목도모는 물론 애로사항을 협의해 새로운 기술과 정보를 제공받아야 합니다.
포장업계에서 성장하기 원하시면 (사)한국포장협회로 오십시오.