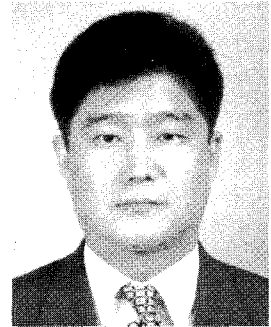


特別 寄稿

高强度 골심紙의  
製造技術 開發  
(I)



국립기술품질원 유기화학과 제지기술연구실

농학박사 최 정 현

1. 머리말

골심지(Corrugating Medium)는 골판지의 라이너와 라이너 사이에서 물결모양의 골을 성형하는데 쓰이는 종이(KS M 7071 펄프·종이용어)를 뜻한다. 현재 국내에서는 골심지의 원료를 거의 대부분 국산폐골판지상자를 사용하기 때문에 환경보호와 자원 절약에 기여하는 친환경적인 제품이라는 특성이 있으며, 생산량도 연간 80만톤에 달하고 있어 제지공업의 중요한 부분을 차지하고 있다. 그러나 가격 면에서는 매우 저렴한 지종에 속하며, 수익 면에서는 일부 특수한 지종을 제외한 여타의 지종과 마찬가지로 대량생산의 장점이 있는 지종으로 분류할 수 있다.

특히, 골심지는 골판지의 원료로 사용되고 있기 때문에 골판지상자의 물성에 직접 영향을 미친다는 점에서 골심지의 물성이 대단히 중요한 의의를 지닌다. 일반적으로 골판지상자의 물성을 수분과의 관계, 파열강도, 천공

충격강도(타공강도), 평면압축강도, 수직압축강도, Edge Crush강도, 접착강도 등으로 분류한다면<sup>1)</sup> 골심지는 이중에서도 특히 평면압축강도 및 수직압축강도와 밀접한 관계를 지니고 있다. 실제로 수송상의 문제에 있어서는 파열강도가 정적인 시험법인데 반하여 천공충격강도 및 압축강도는 동적인 수치라고 볼 수 있어, 포장재료로서의 제품 특성을 유지하는데 있어 대단히 중요한 요소라고 할 수 있다.

2. 한·일 골심지의 강도 비교

다음 <표 1>에 국산과 일본의 골심지의 강도특성을 비교하였다. 표에서 보는 바와 같이 평량 120 g/m<sup>2</sup>의 C급의 압축강도가 한국이 0.065, 일본이 0.129로 일본제품이 국산에 비하여 약 2 배 가량 높으며, 160 g/m<sup>2</sup> C급의 경우도 한국이 0.087, 일본제품이 0.130으로 약 1.5 배 정도 높다.

물론 종이의 특성은 수치상으로 나타나는 것 이외에도 소위 말하는 작업적성 등의 여러가지 요인이 있지만,

강도라는 측면에서 이렇게 원지의 품질이 외국에 비하여 낮음에 따라 이중양면골판지의 수요가 많으며, 이로 인한 중량증가로 운송비의 증가, 적재공간의 과다, 원지소모량 증가 등의 여러가지 문제점이 나타나고 있다.

<표 1> 국산골심지와 일본골심지와의 압축강도 비교

원지 종류	평량 (g/m <sup>2</sup> )	평량당 압축강도(kgf)		
		한국(C급)	일본(C급)	비율(%)
골심지	120	0.065	0.129	1.98
	150	0.093	0.110	1.18
	160	0.087	0.130	1.49

따라서 품질이 우수한 골심지의 생산은 골심지업계 뿐만 아니라 골판지업계에서도 중요한 연구과제로 부각되었고, 많은 연구가 이루어졌지만 실제적으로 생산현장까지 연결된 기술개발은 아직 이루어지지 않고 있다. 본고에서는 앞으로 몇회에 걸쳐 그간 이루어진 국내외의 기술개발에 대한 연구내용을 원리와 결과를 중심으로 다각도로 소개하면서, 현장적용이 가능한 기술에 대한 탐색작업을 현장에서

근무하는 기술진들과 같이 검토해 보고자 한다.

골심지에 대한 국내 규격기준(KS M 7076 골판지용 골심지)에 따르면 평량과 두께에 따라 다음 <표 2>와 같이 구분하고, 품질 면에서는 균일하며, 파열, 얼룩, 주름 및 구멍이 없어야 하며, 다음 <표 3>과 같은 강도물성기준을 만족해야 한다. 이 기준은 JIS에서도 거의 유사한 규격을 적용하고 있다.

<표 2> 골심지의 종류

종류	표시평량(g/m <sup>2</sup> )	두께(mm)
A	115	0.19~0.23
	120	0.20~0.24
B	125	0.21~0.25
	130	0.22~0.26
C	135	0.23~0.27
	160	0.26~0.31
	185	0.29~0.34

<표 3>에서 보는 바와 같이 골심지의 품질은 물성특성에 따라 A, B, C의 3등급으로 나누고 있으며, 예를 들어 B급의 평량 125 g/m<sup>2</sup>짜리가 C급의 평량 160 g/m<sup>2</sup>와 비압축강도는 같고, 열단장은 더 우수한 특성을 가지고 있다. 마찬가지로 A급의 평량 125

g/m<sup>2</sup>짜리가 B급의 평량 160 g/m<sup>2</sup>와 유사한 특성을 가지고 있다. 현재 국내에서 생산되는 제품의 대부분은 C급에 속하는 제품으로 국내기준으로 본다면 고강도 골심지는 A급의 특성을 가진 골심지라고 볼 수 있겠다.

물론 보다 저평량이면서 강도적 특성이 우수하다면 더 바람직하겠지만, 현실적으로는 현장에서 폐수문제, 초지속도의 저하로 야기되는 생산성 저하 같은 다른 부하의 부담없이 연속적으로 A급 골심지를 생산하는 제조기술의 개발을 목표로 설정할 수 있겠다.

현재 국내에서는 KS에서 정한 A급 제품의 생산이 어렵기 때문에 이에 대한 골판지업계의 대책으로는 우수한 골심지를 수입하거나 혹은 국내에서 생산되는 라이너를 골심지로 사용하거나, 이중양면골판지를 주류로 하여 대응하고 있는 실정이다. 이러한 대응 방식이 결코 바람직한 것이 아니라는 점은 업계 종사자 모두가 알고 있지만 앞서 밝힌 바와 같이 현재의 기술로는 저평량 고강도의 물성을 지닌 골심지의 제조가 어렵다는데 문제점이 있다.

일본의 경우를 보면 결코 우리보다

우수한 설비를 보유하고 있는 것도 아니고, 원료 면에서는 약간 우수하다고 할 수는 있지만, 큰 차이가 없는데도 질적으로 우수한 종이를 생산하고 있다. 그렇다면 어떤 문제점 때문에 이러한 현상이 생기는지, 또 문제점이 있다면 어떤 방식으로 개선이 가능하겠는가 하는 점들이 충분히 검토되어야 한다.

### 3. 골심지 강도 발현 메커니즘

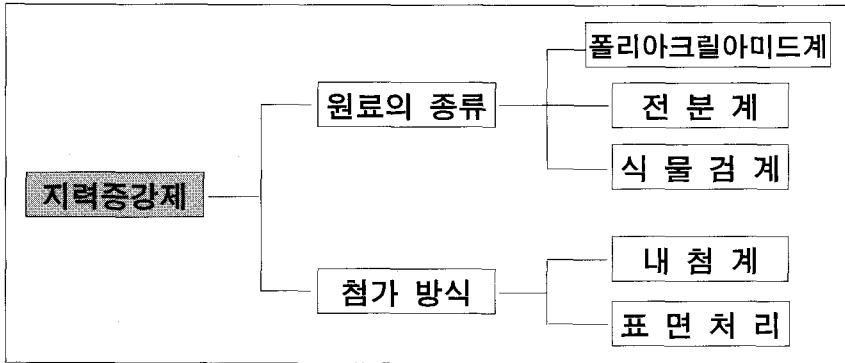
본고에서는 고강도 골심지의 기술개발이라는 주제, 좀 더 구체적으로는 평량은 낮으면서도 골심지에 요구되는 강도특성을 만족시키는 제품을 개발하는 것을 최종 목표로 이러한 종이를 생산하는데 부딪힐 수 있는 여러가지 문제들을 국내외에서 이루어진 그간의 연구를 포함해서 종합적으로 검토해 보고자 한다. 우선 첫번째로 이 번호에서는 원리적 측면에서 종이의 강도는 어떻게 나타나는가에 대한 田中 浩雄의 의견을 소개하겠다. 이 내용은 일본의 1994년도 紙·技協誌 5월호에 실린 내용 중, 종이의 강도발현메커니즘과 이론적으로 종이를 얼마나 강하게 만들 수 있는가 하는데에 대한 내용을 발췌하였다.

종이의 건조강도는 80%가 섬유간 수소결합에서 기인하는 것이며, 20%가 섬유가 연결되어 나타나는 결합에 의하여 발현된다. 종이가 기름이나 용매에 잠겼을 때, 강도의 상당 부분이 그대로 유지되지만, 물과 셀룰로오스와의 특별한 상호 작용 때문에 수용액에서는 80%에 해당하는 정상적인 섬유간 수소결합은 파괴되고, 나머지도 상당히 완화되어 강도가 10%이하로

<표 3> 골심지의 품질기준

종 류		평량허용차%	열단장(세로) km	비압축강도(가로) kgf·m <sup>2</sup> /g (N·m <sup>2</sup> /g)	수분 <sup>1)</sup> %
급	평량(g/m <sup>2</sup> )				
A	125 이하	± 4	4.0 이상	11{108} 이하	8.0±1.5
	160 이상			13{127} 이하	
B	125 이하		3.5 이상	9{88} 이하	
	160 이상			11{108} 이하	
C	125 이하		3.0 이상	7{69} 이하	
	160 이상			9{88} 이하	

주 1) : 수분은 릴에 감을 때 수분으로 한다.



〈그림 1〉 지력증강제의 분류

나타난다.

종이의 강도를 향상시키는 방법으로는 수소결합을 증가시키는 것이 최상의 방책이다. 여기에는 일차적으로 고해에 의하여 섬유의 유연성과 결합능력을 부여하는 방식이 있고, 지력증강제를 활용하는 방식이 있다. 일반적으로는 양자를 병용하여 가장 좋은 효과를 낼 수 있도록 조합하는 것이 적절하다. 최근 제지업계에서는 평량의 저하, 섬유장이 짧은 활엽수재 펄프의 증가, 폐지의 배합비 증가, 충전제 첨가량의 증가로 인하여 지력증강제의 중요성이 강조되고 있다. 지력증강제는 다음 〈그림 1〉과 같이 첨가형태 별로, 종류 별로 분류할 수 있다.

이러한 지력증강제의 사용에 앞서 고려해야 할 사항으로 고해처리, 장섬유 배합, 프로세스 수정 등을 들 수 있다. 그러나 고해를 계속 진행하게 되면 강도는 향상되는 대신, 전력 소비량의 증가, 여수성의 저하로 인한 초지속도의 감소, 종이밀도의 상승, 인열강도의 저하, 불투명도의 저하가 일어나게 된다. 따라서 이러한 단점을 줄이면서도 강도를 향상시키는 적절한 고해처리와 지력증강제를 혼합하여 사용하고 있다. 일본의 경우, 연간

약 4만 5천톤 정도의 지력증강제가 사용되고 있다. 사용량으로 보면 양이 온성 전분 > 폴리아크릴아미드 (PAM) > 검의 순이다.

여기에서 종이강도와 지력증강제와의 관계를 이론적으로 고찰해 볼 필요가 있다. 종이의 주원료인 셀룰로오스는 다음 〈그림 2〉처럼 결정단위포를 이루면서 다수의 수산기가 결합하게 된다. 결합양식도  $O_6 - H \cdots O_1, O_2 - H \cdots O_6, O_6 - H \cdots O_3$  사이에서 존재하게 되는데, 셀룰로오스 분자에는 여러 개의 수소결합이 존재하게 되므로 만약 이 결합이 규칙적으로 이루어져 있다면 결정영역이 존재하게 된다. 목재펄프는 약 60% 정도의 셀룰

로오스의 결정영역이 존재하며, 나머지는 분자 배열이 일정하지 않아 결합력이 저하된다. 만약 펄프를 고해하게 되면 결정영역은 줄어들지만, 접촉면적과 결합수는 증가하게 되며, 고해처리시 파괴된 수소결합이 건조과정을 거치면서 회복되어 본래의 결합력을 갖게 된다. 다음 〈표 4〉는 여러가지 결합 에너지를 나타낸 것이다.

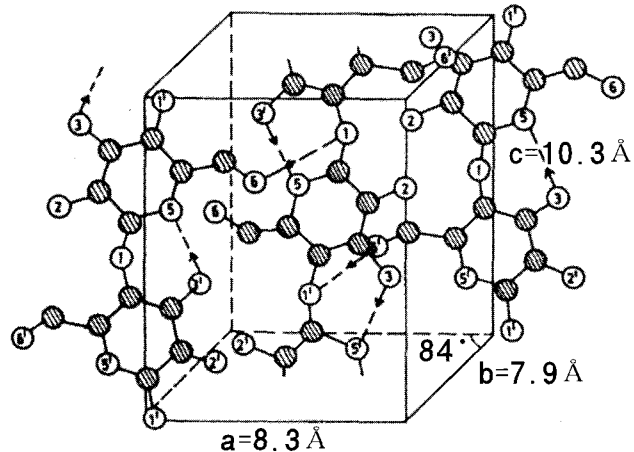
〈표 4〉 여러가지 결합 에너지

연결방식	화합물	에너지(kj · m <sup>pl</sup> <sup>-1</sup> )
반데르발스 결합	H <sub>2</sub> O(liq.)	0.155
O - H ... O	H <sub>2</sub> O(liq.)	15
O - H ... O	cellulose	28
N - H ... N	Melamin	25
O - H		460
C - O		356
C - H		414
C - C		347

셀룰로오스의 O - H ... O 와의 거리는 0.27 mm 정도인데, 고해처리시 물의 표면장력에 의하여 Interfiber bond의 간격은 멀어지게 된다. 물의 표면장력(r)과 표면간 인력(T)과의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$T = 2 \times \frac{r}{\kappa}$$

〈그림 2〉 셀룰로오스의 결정구조와 결합양식



여기에서  $\alpha$ 는 섬유간 존재하는 수막의 두께를 나타낸다. 즉 수온 80°C에서 수막의 두께는 6.25 mm이고, 물의 표면장력은 6.25 dyne/cm 이므로 대입하여 계산하면

$$T = 2 \times 62.5 / 6.25 \times 10^7 \\ = 2 \times 10^8 \text{ dyne / cm} \\ \approx 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ 이다.}$$

T 값은 건조가 진행되면 수막의 두께가 작아지므로 수소결합이 가능한 거리까지 섬유가 접근하게 되며 이를 제안자의 이름을 따라 Campbell효과라고 한다. 그런데 종이의 강도값은 외부에서 가해지는 압력에 대하여 저항하는 힘을 뜻하므로 종이 제조된 후에 결합 에너지와의 관계에서 계산이 가능하다.

〈표 4〉에서 알 수 있듯이 C-O 공유결합은 356 kJ/mol 이다. 셀룰로오스의 구성단위인 무수글루코오스의 분자량은 162 g이므로  $356 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} / 162 \text{ g} = 2.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} / \text{g} = 2.2 \text{ kN} \cdot \text{m/g}$  이 된다. 1 kN·m/g은 종이의 열단장 102.0 km에 해당하므로 2.2 kN·m/g은 224 km에 해당한다. 한편 셀룰로오스의 O-H...O 결합은 28 kJ/mol에 해당하고, 위와 같은 방식으로 계산하면 열단장은 18 km에 해당한다. 섬유가 지층을 형성할 때에는 양자가 공존하므로 평균값을 구하면 126 km이나 실제 종이의 열단장은 5-10 km 정도이다.

인장강도와 섬유표면적과의 관계를 알아보면 인장강도 측정용 종이사면적 15 mm(1500  $\mu$ )  $\times$  0.04 inch (101.6  $\mu$ )의 면적을 계산하면  $1500 \times 101.6 = 1,524,000 \mu^2$  을 얻는다. 여기에 종이의 섬유율 65%를 곱

하면 표면적은 990,600  $\mu^2$  이 된다. Clark는 Sprus 단섬유의 표면적을 계산하여 160  $\mu^2$ 의 값을 얻었다. 따라서  $990,600 \mu^2 / 160 \mu^2 = 6,191$ 의 섬유가 존재한다.

따라서  $10 \text{ g} \times 6,191 \approx 62 \text{ kg}$ 이라는 값을 얻는다. 그러나 실제의 인장강도는 10kg에 불과하므로 실제로는 이론치의 약 16% 정도의 강도를 나타내는 것이다. 그러므로 종이의 강도를 향상시킬 수 있는 여지는 충분히 있다고 할 수 있다.

물론 위의 내용은 몇가지 전제 하에 기술된 내용이기에는 하나 구체적인 수치를 통하여, 이론적으로 분석한 내용이기 때문에 음미할 가치가 있다고 생각되어 소개한 것이다. 여기에서 몇가지 전제란 첫째, 종이의 원료가 일정하다고 본 것이다. 섬유 길이와 폭 즉, 장폭비가 일정한 원료가 일정한 수준으로 고해되었다고 가정하였고, 둘째, 초지공정에서 물과 섬유와의 관계 혹은 섬유와 섬유와의 결합관계에서 아무런 제약요인이 없다고 본 점, 셋째, 종이의 밀도나 초지조건 등이 최적의 상태를 이루고 있다는 점 등의 섬유간 결합에 관계하는 외부요인에 대한 내용은 일정하다고 전제한 상태에서 종이의 강도발현에 관계하는 인자를 수식으로 표현한 것이다. 그러나 종이 지층을 이루면서 외부의 힘에 저항하는 능력인 강도는 상당한 개선의 여지가 있는 것만은 틀림이 없는 사실이다.

그렇다면 종이가 강도를 나타낼 수 있는 조건, 즉 섬유간 결합이 효율적으로 이루어질 수 있도록 제반 여건을 최적화하는 것이 실질적으로 대단히

중요한 문제로 생각될 수가 있다. 일 본의 경우를 예를 들어, 우리와 설비나 원료 면에서 비슷하거나 다소 나은 수준에서 제품의 품질 면에서 현저한 차이가 나는 제품을 생산하고 있다면, 어떤 차이점 때문에 최종제품에서 품질격차가 생기는 것일까 하는 의문을 갖지 않을 수 없다. 만약에 설비나 원료가 비슷하다면, 설비를 다루는 기술이나 공정관리에 대한 소프트웨어적인 차이점이 있을 수 있다. 필자의 생각으로는 특히 공정관리라는 소프트웨어적인 측면이 문제가 있는 것으로 보고 있다. 이에 대한 내용은 다음에 소개하도록 하겠다. 전반적으로 경기가 하락함에 따라 국내의 산업 전분야에서 불황의 여파가 밀려오고 있다. 최근 골판지업계에서 시도하고 있는 기술개발의욕과 노력들은 대단히 고무적인 현상으로 생각된다. 그러나 이러한 기술개발의 바탕에는 우수한 원지의 제조기술 개발이 전제되어야 한다. 이러한 측면에서 앞으로 전개되는 내용에 관심을 갖는 것이 중요하다.

(계 속)

#### ◆ 참고문헌 ◆

1. 田中 浩雄. 1994. 紙力增強劑の機能發現. 紙パテ協誌. 第48卷 第5號 : 16-24
2. 최 정현. 1996. 고강도골심지의 제조기술. 한국과학재단 1995 Post Doctor 결과 보고서.
3. 조 병목. 1994. 전분의 제지공업에의 이용. Unprinted.
4. 김 현준·이 재덕·권 열호. 1994. 2000년대 골판지포장산업의 발전전략. 산업연구원.
5. 골판지포장·물류. 한국골판지포장공업 협동조합. 각호.