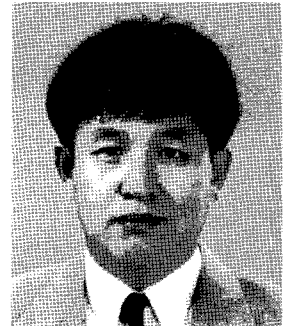


골판紙原紙 製造技術과 Corrugating 品質 適性

골판紙原紙의 物性和
Corrugating 品質 適性 ⑤



충남대학교 임산공학과 조교수

농학박사 서 영 범

목

차

1. 골판紙包裝 및 골판紙原紙 開設
2. 골판紙原紙 原資材
3. 골판紙原紙 製造技術과 그 工程
4. 골판紙原紙 製造技術上 問題点과 措置 (이상 전호게재)
5. 골판紙原紙의 物性和 Corrugating 品質 適性 (본호 게재)
6. 高機能 골판紙 包裝材 原紙의 傾向

5. 골판지 원지의 물성과 Corrugating 품질적성

5.1 서론

골판지는 자체 무게에 비해 높은 압축강도를 나타내며, 가격이 저렴하고, 가공 적성 및 리사리클의 용이성과 생분해성 성질로 말미암아 환경 친화적 재료로서 현재 포장재로서 많은 양이 쓰이고 있다. 골판지는 라이너지와 골심지로 구성되어있으며, 라이너지는 압축저항이 크고, 골심지와 접합 적성, 제함적성, 인쇄적성등이 필요한 재료이다. 골심지는 골을 형성하여 두 장의 라이너지 사이에 접합되어 골판지의 휨저항이 효과적으로 발휘되도록 하며, 압축강도에 크게 기여하게 된다. 골판지가 잘 만들어져서 효과적으로 압축저항 및 휨저항을 나타내기 위해서는 골심지와 라이너지가 공정상 아무런 문제를 야기시키지 않아야 하며, 골판지의 강도적 성질이나 미관, 인쇄적

성, 제함적성에 어떠한 구조적 단점도 형성되어서는 안된다. 또 골판지의 생산성이 높고 (단점이 생기지 않는 상황하에서의 높은 운전속도), 원지의 절감 및 에너지의 절감이 되도록 공정이 이루어져야 한다. 이러한 공정적인 사항을 골판지의 품질과 분리하여 원지의 운전 적성이라 말할 수 있다. 최종 골판지의 강도적 성질과 미관이 아무리 뛰어나더라도 생산성이 낮아서 생산비가 비싸지며, 원지의 파손이 심해져서 많은 불합격품이 생긴다면 높은 품질도 큰 의미가 없게된다.

본 장에서는 골판지의 품질을 결정하는 인자보다는 골판지를 효율적으로 생산하기 위한 원지의 운전 적성을 다루도록 한다. 골판지 생산 속도가 증가함에 따라 원지의 품질 적성도 달라져야만 한다. 예로서 생산속도가 증가함에 따라 골심지에 걸리는 인장력이 커지며 이에따라 골심지의 Stretch가 충분해야 하고, 골심지와 라이너지의 접착에 있어서도 접착제가 순간적으로 원지 표면에 침투하여 젤화되고 green bond 를 형성해야만 공정이 연속적으로 이루어 질 수 있다. 저속의 코루게이터에 필요한 접착제와 원지의 성질은 고속의 코루게이터에 필요한 것들과 많이 달라야 할 것이다.

5.2 원지에 대한 온도와 함수율의 영향

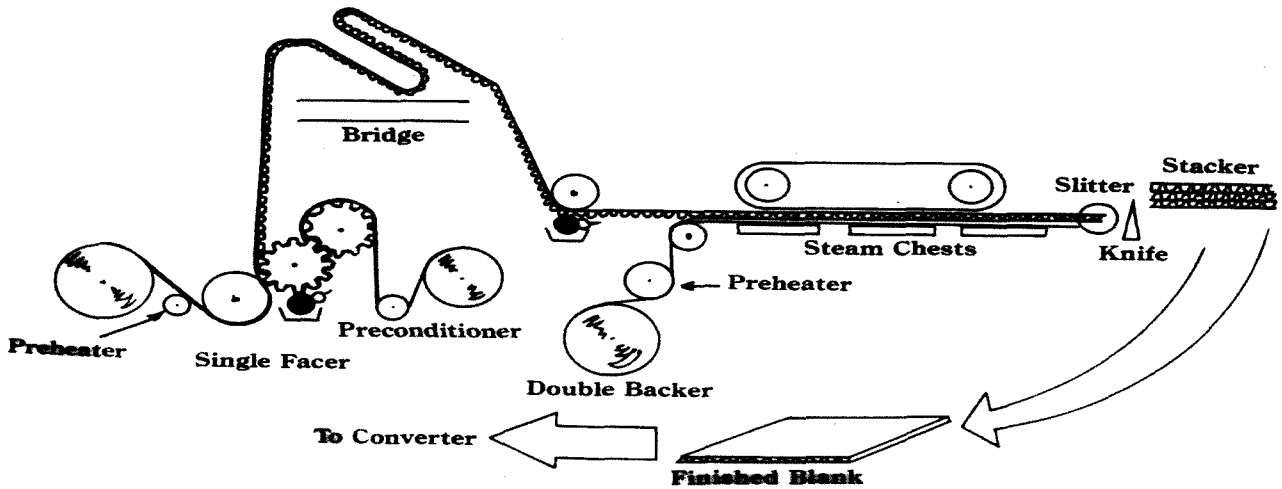


그림 1. 골판지 제조공정
 라이너지 - Single facer와 Double Backer
 골심지 - Preconditioner를 통해 공급됨.



그림 2. Flute Roll 에서의 골 형성 과정. 골 끝의 마찰저항과 골형성을 위해 골심지를 당기는 과정을 짐작할 수 있다.

그림 1은 골판지 제조 공정을 나타내고 있으며 골심지는 Preconditioner를 통과해 공급되고, 라이너지는 Preheater를 통과해 공급되고 있다. 골심지의 골이 형성되는 부분이 (Flute roll) 그림 2에서 더 자세히 보이고 있다. Preconditioner에서는 골심지의 함수율을 조절하게 되며 이 때 스팀을 사용함으로써 온도 상승의 효과를 얻을 수 있고, Preheater에서는 라이너지의 온도를 높이는 역할을 하게 된다.

원지의 함수율과 함수율 분포, 열 전달계수 및 온도의 분포는 골판지 운전 적성에 매우 중요한 인자들이다. 이러한 인자들의 조절은 원지의 지합이 나쁘면 조절하기가 매우 불리해 진다. 지합이란 원지의 부분 평량 변화의 크기를 의미하는데 일정량의 증기처리나 일정 면적의 접촉에 의한 열전도는 서로 다른 부분별 평량하에서 불균일한 온도 및 함수율을 야기 시킬 수

밖에 없다. Preconditioner에서 적절한 수분의 흡수는 골 형성시 골심지가 적절히 늘어나도록 도와준다. 골심지가 너무 건조되어 있으면, 골 형성시 파괴될 위험이 있다. 하지만 약간 건조된 상태에서 골형성이 잘되면 골이 견고하게 형성되므로 효과적이다. 따라서 골 형성이 잘되려면 정밀한 골심지의 함수율 조절이 필요하다.

골심지는 보통 증기와 물의 온도로 골심지의 온도를 높인다. 하지만 함수율을 높이려는 노력과 온도를 높이려는 노력은 서로 반대 방향으로 몰고간다. 골심지의 온도가 올라갈수록 골심지내의 수분은 증발되기 쉽기 때문이다. 코루게이터의 속도가 빨라질수록 이러한 골심지의 온도와 수분을 높이는 일에 문제가 더 많이 발생하게 되며, 최적화되지 못한 골형성 조건은 골의 두께를 충분히 형성하지 못하도록 작용될 수도

있다. 더구나 온도와 함수율의 균일성은 코루게이터의 속도가 빨라질수록 더욱 악화된다. 코루게이터의 속도가 빨라짐은 원지의 품질 기준도 더 엄격해짐을 의미하게 된다. 온도와 골심지의 물성변화를 그림 3에 나타내었다.

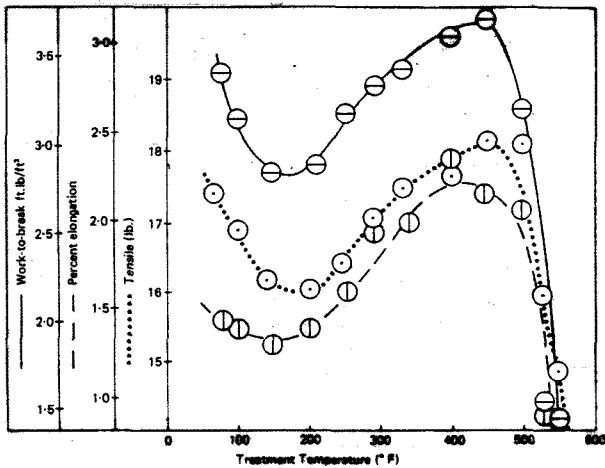


그림 3. 온도에 따른 원지의 물성 변화

이러한 골심지의 전처리(Preconditioning)는 골심지의 표면 공극을 크게 해 줌으로 접착제의 흡수를 높게 되며 적절히 높아진 함수율과 골심지 온도는 섬유를 소성화 시켜서 골형성시 응력의 발생을 최소화 시킬 수 있게 된다. 적정 온도와 함수율이 골형성 조건에 매우 중요하지만 이들의 균일성 또한 간과할 수 없다. 균일한 함수율과 온도조건은 골형성의 중요한 조건이며, Preconditioner에서 온도와 함수율의 균일성을 조절할 때 가장 중요한 고려인자는 골심지의 지함인 것이다. 골심지의 적절한 함수율은 보통 6-10%, 온도는 섭씨 82-96도 정도로 알려져 있다.

라이너지의 온도 전처리의 목적은 라이너지의 수분을 조절하여 공극이 접착제의 흡수에 잘 맞도록 조정하기 위한 것으로서 접착제에 포함된 수분을 적절히 흡수하고 접착이 잘 형성되도록 조절 되어야 한다. 적정 함수율은 보통 6-8%로 알려져 있다. 라이너지에 열을 가하면 함수율이 떨어지고 접착제의 수분을 잘 흡수할 수 있는 조건이 형성된다. 라이너지가 접착제를 너무 잘 흡수하고, 라이너지의 평량이 작을 때에는 Washboard현상이 일어날 수도 있다. 접착제

가 건조됨에 따라 평량이 작은 라이너지는 골심지와 넓게 접촉되게 되고 라이너지는 골심지의 골형태를 표면에 드러내게 된다. 이것을 Washboard 현상이라고 한다. 물론 이러한 Washboard 현상은 원지의 성질 이외의 다른 원인에 의해 생기기도 한다.

5. 3 골형성과 골심지

골판지 제조 공정에 있어서 골심지의 골을 튼튼하고 균일하게, 또 빠르게 형성하는 것은 매우 중요한 일이다. 하지만 빠른 속도는 골심지에 여러 가지 무리한 응력을 발생시키며, 순간적이고 균일한 접착 능력을 필요로 한다. 무리한 응력을 낮은 함수율과 실내 온도에서 가할 때, 골심지는 파괴되고 골판지의 품질은 불합격품으로 떨어지고 만다.

골심지의 온도를 올리면 골심지는 열가소성을 나타내게 된다. 이 때 골심지에 함수율이 높으면 낮은 온도에서도 상당한 열가소성을 나타내게 된다. 열가소성 조건하에서의 골심지는 골형성간 휨변형과 전단력에 의한 골심지의 파괴가 최소화되며 온도가 다시 실온으로 떨어짐에 따라 높은 강도가 발현되게 된다.

그림 4는 수율이 서로 다른 골심지들의 Flute roll의 온도 변화에 따른 골심지의 강도의 변화를 나타내고 있다. 높은 온도에서 골이 형성될 때, 높은 강도

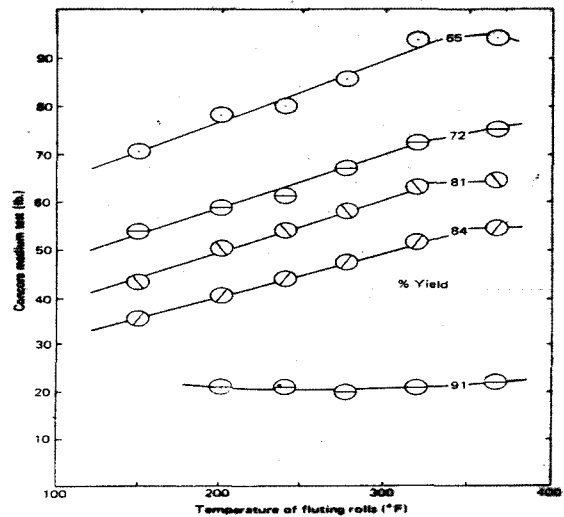


그림 4. 골심지의 수율과 온도처리에 따른 최종 골의 압축강도 (Concora medium)

를 보이고 있다.

골형성의 운전 적성 (runnability)은 골심지의 여러 가지 성질과 관련된다. 먼저 골심지의 표면 마찰계수와 골형성시 휨변형, 전단 변형에 견디는 성질, 두께 방향의 압축성질을 중요 성질로 들 수 있으며, 이들을 다시 일반 종이 물성으로 다시 해석할 때 표면 마찰계수와 Shive Content, Stretch, 내절도, 두께방향 압축강도 등으로 해석할 수 있겠다. 골심지의 골이 형성될 때, 상당한 인장력이 골심지에 형성되며 더욱 강한 인장력이 작용할 수 있도록 원지의 풀림을 조절함으로써 평면 압축강도가 강한 골을 형성할 수 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 인장력이 강해질수록 골심지의 파괴가 일어날 확률이 더욱 커지므로 골형성 속도가 늦어지게 되는 단점도 있다. 그림 2는 골형성시 골심지가 flute roll 의 골 끝과 접해 있으면서 평면상태에서 골 상태로 변해가는 과정을 보인다. 골이 형성되기 시작할 때 골심지가 강하게 당겨지는 모습이 보이고 있다.

flute roll 끝에 접한 골심지는 마찰 저항을 받게 된다. 골심지의 종류에 따라 마찰 저항이 서로 다를 수 있는데 마찰 저항이 커지면 골심지가 받는 인장력이 더 커지게 되고, 인장력에 의한 골심지의 파괴를 염려해야 하므로 골형성 속도를 높일 수 없게 된다. 또한 마찰 저항이 불균일하게 분포되면 일부분의 골은 높고 일부분은 낮아지는 현상도 발생하며 골끼리 서로 접히는 현상도 생기게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 골심지 표면에 실리콘, 폴리에틸렌 등을 적용하기도 한다. 마찰 저항을 줄이는 특수 약품이 필요 없도록 원지에서부터 마찰 저항을 적절히 조절하는 것이 꼭 필요하다. 수분의 흡수가 불균일하게 되어도 마찰 저항이 불균일해질 수 있다.

골심지가 인장력하에서 flute roll 에 공급되며, flute roll 에서는 골형성을 위한 휨변형이 일어나게 된다. 휨 변형은 골 바깥 쪽에 최고치의 인장 변형을 일으키고 골 안쪽에 최고 압축 변형을 일으키게 된다. 또 골과 골 사이의 정갱이 부분 (shank)에는 강한 전단력이 작용하게 된다. 골 바깥 쪽은 골심지 공급 인장력과 골형성시 휨변형에 의한 인장력이 서로

더해져서 실제로 받는 인장력은 상당히 커지게 된다. 또한 골심지의 두께가 커질수록, 골의 반경이 작을수록 휨 변형량이 더욱 커지는 것은 당연한 일이다. 원지 공급 인장력과 휨변형에 의한 인장은 오로지 골 끝 부분에서만 작용하게 된다. 원지의 두께 중앙 부분은 이론적으로 원지 공급 인장력만 작용하며 휨 변형에 의한 인장력은 없게되고, 골 안 쪽 부위는 원지 공급 인장력에 휨 변형에 의한 압축변형을 뺀 만큼만 인장력이 작용하게 된다. 따라서 골심지는 표면층의 Stretch가 충분하면 골심지의 파괴가 감소될 것이다. 골심지 전체의 Stretch보다는 표면층의 Stretch 가 필요한 것이다. 이러한 인자에 적절히 대응할 수 있는 골심지의 층간 구조가 필요하며, 원지 공급 인장력이 커지고 속도가 빨라지는 상황하에서는 더욱 그러할 것이다.

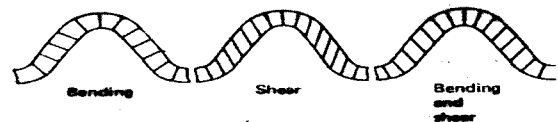


그림 5. 골심지의 휨변형 (Bending)과 전단변형 (shear)

그림 5 는 골형성시 골심지에 작용하는 휨 변형과 전단 변형을 보이고 있다. 전단 변형은 골과 골 사이의 중간부위 (정갱이, shank)에서 가장 크며, 특별히 두께 중간 부위에 최대치를 기록한다. 반면 휨 변형은 골심지의 표면에 인장 및 압축 변형이 가장 크게 된다. 골심지의 층간 결합이나 내부 결합 강도가 작으면 골 형성시 정갱이 부분이 파괴될 위험이 있다. flute roll 의 골이 마주치는 부분 (그림 2) 에서는 골심지가 강한 두께방향 압축력을 받게되고 골심지의 두께가 33%-37% 정도 감소하게 된다. 두께가 감소하면 휨 변형량도 감소하므로 휨 변형에 의한 인장이 상대적으로 줄어들게 된다. 두께 방향 압축이 잘 이루어지는 골심지는 휨 변형에 의한 인장 및 압축의 영향을 줄일 수 있으므로 효과적일 수 있다.

골형성에 필요한 물성을 정리하면 다음과 같다. 골심지는 기계방향으로 충분한 Stretch를 발휘할 수 있

어야하며 (적어도 1.45% 이상), 인장 에너지의 흡수도 커야하고 내절도도 우수한 것이 좋다. 내절도는 사실상 장 섬유양의 양이 많을수록 섬유의 유연성이 클수록 증대하며 이는 골심지의 운전 적성과 일치하는 면이 있다. 하지만 골심지에 Shive양이 많으면 Stretch나 내절도가 아무리 높아도 골심지의 운전 적성은 급격히 나빠진다. 적정량 이하의 Shive양이 필수적이다. 골심지의 지합은 온도와 함수율의 균일한 분포에 결정적인 역할을 하므로 절대로 간과할 수 없는 중요한 성질인 것이다.

5. 4 Warping

골판지의 Warping은 골판지 가공 공정, 적재적성 및 인쇄공정에 큰 장애를 일으킨다. 골판지는 어느 경우이든 평면 상태를 유지하는 것이 가장 좋다. 이렇게 각종 공정에 장애를 일으키는 Warping이 생기는 이유를 알아내서 적절히 대응하는 것이 필요하다.

Warping은 골판지 제조에 사용되는 원지들의 치수 변화의 불균형에 의해 생기는 것이 보통이다. 하지만 원지의 성질과 상태를 공정간 빨리 알아내는 것이 쉬운 일은 아니다. 라이너지와 골심지의 수분 분포가 불균일 할 경우 건조됨에 따라 불균일한 수축이 생기며 Warping을 유도할 수 있다. 같은 롤에서도 수축 팽창의 정도가 다른 부분이 있을 수 있다. 또 골형성을 위해 수분을 가할 때에도 코루게이터 주변의 온도, 습도 조건에 따라 Warping이 일어날 가능성이 얼마든지 있다. 여름철과 겨울철의 공장 내부 온도와 습도의 변화는 동일한 공정으로 제조한 골판지에도 Warp 가 생길 수 있도록 만든다. 골판지 온도의 일정한 분포는 원지 함수율의 분포를 일정하도록 도울 수 있으나, 분포가 일정하지 않으면 수분 분포도 불규칙할 가능성이 있다. 일반적으로 골판지의 기계 진행 방향으로의 수축 팽창이 폭방향보다 약 두배의 치수변화 가능성이 있다고 알려져 있다.

Warping의 종류가 그림 6에 나타나 있다. 일반적으로 Normal warp ("up", 혹은 Single face liner 쪽이 오목함) 이 많이 일어나는 데, 이러한 골판지 횡방향의 warp은 라이너지들의 수분 차이나 Double

face liner 쪽의 접착제의 건조시 골심지와 Single face liner 의 수분 증가에 기인하는 것이 보통이다.

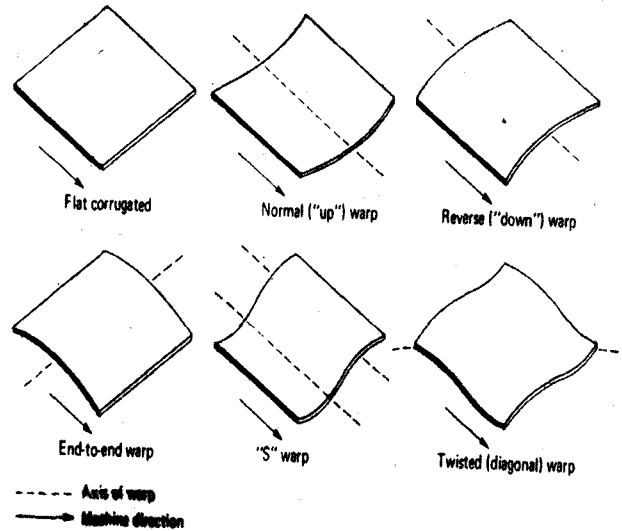


그림 6. 골판지에 나타나는 각종 Warp의 종류

다시 말해서 Double face liner 쪽에서 접착제의 수분이 증발함에 따라 증기가 골심지와 Single face liner 쪽으로 올라가게 되고, 이들의 함수율이 높아지다가 후에 건조될 때 더 심하게 수축됨으로 Normal warp이 생기게 된다. End-to-end warp 과 같은 기계방향의 warp은 라이너지들의 접착시 라이너지에 가해지는 인장력의 차이에 기인하는 경우가 많다. 보통 Single face liner에 더 많은 인장력이 가해진다고 알려져 있다. 기타 비틀림 warp나 "S" warp 등은 수분 분포의 불균형과 원지의 섬유 방향성의 어긋남에 의해 발생한다고 한다.

이러한 점을 종합할 때 Warp는 공정적인 요인과 원지 요인으로 구분될 수 있다. 코루게이터 주변 온도 및 습도 변화에 대한 원지의 수축 팽창과 라이너지의 인장에 대한 응력 및 변형의 형태, 원지의 지합과 섬유 방향성, 평량등이 원지의 warp요인으로 꼽을 수 있겠다. 공정적 요인으로는 인장의 강약과 골심지의 Preconditioning 조건, 라이너지의 Preheating 정도, 접착제의 종류, 농도와 도부량, 건조 방식 등이 고려대상으로 들 수 있다.

접착제가 골심지와 라이너지를 결합할 때, 접착제는

원지를 잘 적시고 (Wetting), 확산 및 침투를 하여 (Diffusion and penetration), 전분이 원지의 섬유에 흡착되고 (Adsorption), 수분의 급격한 감소로 젤화되어 green bond를 형성한 후 계속 건조되어 접착이 완성된다. 이와같이 접착되는 기작에 접착제의 Wetting과 침투가 중요하다면 원지의 표면 에너지와 표면 공극의 상태 및 밀도가 매우 중요하게 된다. 특별히 머신 칼렌다링이 적용된 라이너지의 밀도의 불균일은 접착제의 흡수에 불균일을 조장할 위험이 있게 된다. 골판지의 접착은 접착제와 원지의 상태를 서로 조절함으로써 조정될 수 있으므로 접착에 필요한 원지 물성은 여기서 크게 다루지 않고 차후 기회가 있을 때 자세히 다루도록 하겠다. 다만 접착에는 적정 온도가 필요하며 지합의 균일성에 의한 온도의 균일한 분포가 달성되어야 하겠고, 접착제 수분의 증발이 골판지의 warp와 크게 영향한다는 사실을 강조하는 데 그치려고 한다.

참고 문헌

1. Paper and board, R. A. Higham, Business Book Limited, London, 1970
2. Corrugating Adhesives Seminar, National Starch and Chemical Corp., Industrial Starch Division,
3. 골판지 기술, 김순철 저, 예진 출판사, 1997