

종이 휨강성 자동측정장치의 개발을 위한 기초연구

정태영 · 서영범

충남대학교 임산공학과

연구배경 및 중요성

롤상에서 종이 web의 움직임에 대해서는 미국 오클라호마 대학에서 많은 연구가 이루어져 있다 (1,2,3,4). 하지만 이들의 연구는 롤상에서 web의 tension을 조절하며, web의 tension control 이 감겨진 종이 롤의 특성에 어떠한 영향을 미치는지에 관해 주로 연구하였다. 어떻게 감겨진 롤이 실제 converting 업자들의 롤 handling에 더 유용한지에 관해 많은 연구가 있었다. 또 중요한 연구목록중의 하나는 롤의 misalignment 가 어떻게 종이 web의 움직임에 영향을 주는지 자세히 연구하였다. 따라서 web의 shear buckling에 많은 연구가 이루어졌다. 종이의 tension buckling에 관한 논문과 종이의 물리적 성질에 관한 논문들이 지속적으로 발표하였다 (5,6,7,8,9,10). 본 연구가 종이의 stiffness 적인 측정에 맞추어져 있지만 종이의 물리적 특성과 그러한 특성끼리의 상호관계가 중요하며 stiffness 의 공정조절인자들을 상호 연관하여 판단해야 된다.

종이의 stiffness 는 대부분의 종이 품질특성중에서 가장 중요한 위치에 있지만 그 측정이 이제까지 반드시 off-line, 즉 초지기 밖에서 이루어지는 것이 현재의 실정이다. 종이의 평량이나 두께, 지합, 혹은 일부 물리적 특성은 제지공정상에서 측정되기는 하지만 stiffness 를 제지공정상에서 측정하는 것은 현재까지 제지업자들의 희망일 뿐 그러한 방식이 제시조차 되고 있지 않은 것이 현실이다. Off-line stiffness 측정을 가지고 생산되는 종이의 품질을 조정하기 위해서는 많은 시간이 걸리면, 이 때 spec 에 맞지 않는 종이가 대량생산되어 제지공장은 큰 손실을 입을 수 있다.

최신 제지공정에서는 종이가 폭 8m - 10m, 생산속도는 분당 약 1200 - 1500m 이상의 속도로 생산되고 있다. 종이 평량을 100g/m^2 라고 가정할 때, 분당 1.5톤, 시간당 90톤의 종이가 생산될 수 있다. 즉 현대의 초지기에서는 생산되는 종이의 품질규격이 맞지 않을 때, 단 시간내에 많은 손해를 볼 수 있음을 뜻한다. 따라서 제지공장에서 종이의 품질특성을 측정하는 측정방식은 순간적으로 이루어져야하며, 이러한 품질특성을 근거로 초지기의 생산조절 인자들을 빠르게 조정할 수 있어야 한다. 가장 빠른 품질특성 측정기구들은 보통 빛의 사용을 근거로 하고있다. 기계적인 방식들은 전기나 빛에 비해 움직임이 느릴 수밖에 없다. 또 종이의 품질특성측정이 초지기상에서 이루어져야만 한다. 만일 초지기상이 아니고 따로 최종 생산된 종이에서 샘플을 채취하여 일정한 장소로 옮겨져 종이의 품질특성을 측정한다면, 최소 30분후에야 생산된 종이가 소비자 요구사항과 일치하지 않는다는 것을 깨닫고 초지기를 조정할 수 있게 된다. 이러한 경우 예를 든 초지기에서는 약 45톤 이상의 생산된 종이가 규격미달로 폐기되어야만 하는 것이다. 제지 공정상에서 즉각적이고 정확한 품질특성을 측정하는 것은 생산되는 종이의 품질을 빠르게 제어함으로써 생산비 절감, 생산량의 증대, 생산비 절감에 크게 기여할 수 있는 근거가 된다.

제지공장에서 종이가 롤사이클을 지날 때 우리는 흔히 종이에 wrinkle 이 생기는 것을 발견하지만 무심코 지나가는 때가 많다. 이러한 wrinkle 은 판상형태의 물질이 simply support 나 clamped condition에서 인장력을 받을 때, 자연스럽게 발생하는 plate buckling 현상이다. 이러한 buckling 은 롤사이클의 misalignment에서 발생하는 shear buckling 과 tension buckling 으로 구별할 필요가 있다. Shear buckling 의 특징은 wrinkle 이 기계방향이 아니고 기계방향과 일정한 각도를 가지게 된다. Tension buckling 의 경우에는 반드시 wrinkle 들이 기계방향을 향하게 된다. 현재까지 이러한 buckling 현상을 이용한 어떠한 물질특성 측정방식이 제시된 적이 없으며, 특히 제지분야에서는 전무한 실정이다. 다만 롤의 misalignment를 수정하기 위한 도구로서 shear buckling 이 활발하게 연구되고 있을 뿐이다. Shear buckling 의 예를 그림 1에서 보이고 있다.

더 나아가서 종이와 orthotropic material symmetry를 가지고 있는 점을 중시하여, 이러한 tension buckling 현상의 해를 구하는 것은 앞으로 web 형태의 다른 물질들 즉, 폴리에스터 필름이나 옷감, 혹은 각종 테이프 등의 취급과 관리에 새로운 지평을 여는 일이 될 것이다. 이러한 학문적 접근방식은 국내 제지학 발전 뿐만아니라 전세계적으로 이러한 방식의 연구를 촉발시킬 것이며, 모든 종이의 물질특성들이 초지기상에서 빠르게 측정되고 생산조절인자들에게 공급됨으로써 종이생산기술의 중요한 기술 확보가 될 것이다.

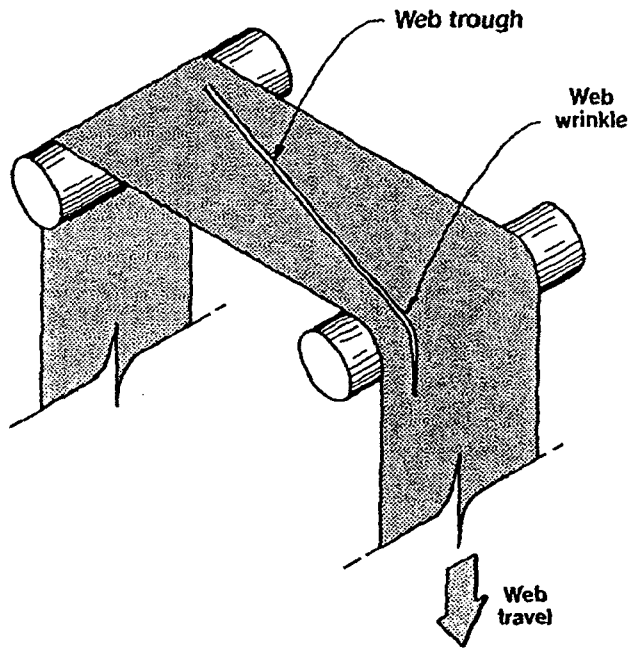


그림 1. 롤사이 종이 web의 shear wrinkle

그림 2는 인장실험에 사용하기 위해 제작된 인장장치이다.

실험에 사용한 감열지를 이용하여 인장력에 따른 wrinkle의 수를 계산한 결과 표1과 같은 결과가 얻어졌다. 인장력에 따른 wrinkle 수의 변화와, wrinkle 수를 이용한 stiffness 계산의 결과를 그림 3과 4에서 보이고 있다.

표 1. 티켓용 감열지의 인장 wrinkle에 의한 stiffness 의 계산

티켓용감열지 (mNm)	Force, Kgf	length, m	width, m	n valus
7.03	10	0.41	0.3	7
8.02	15	0.41	0.3	7.5
8.28	20	0.41	0.3	8
8.14	25	0.41	0.3	8.5
5.12	30	0.41	0.3	10

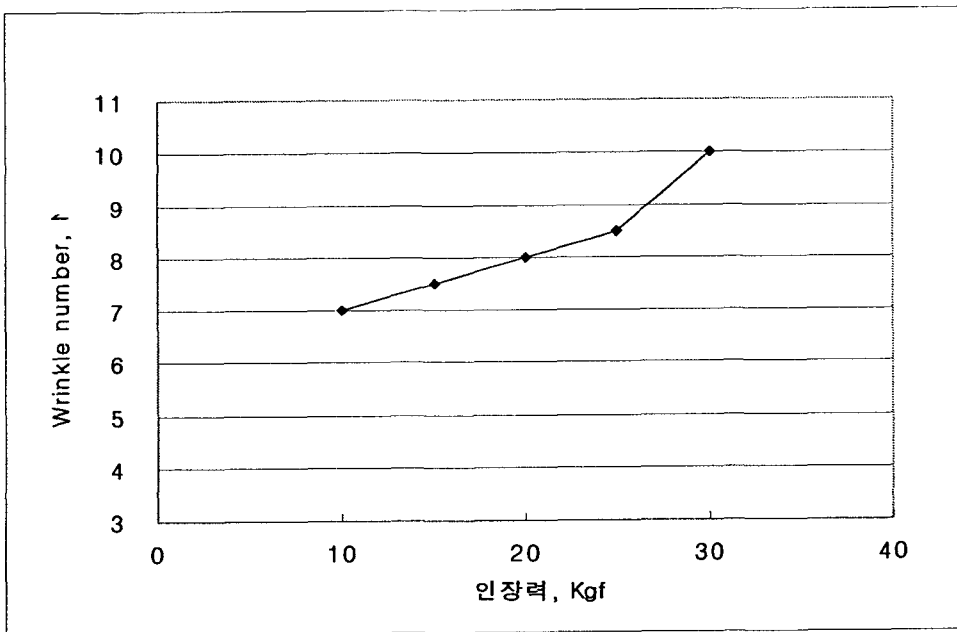


그림 3. 인장력 변화에 따른 종이 wrinkle 수의 변화

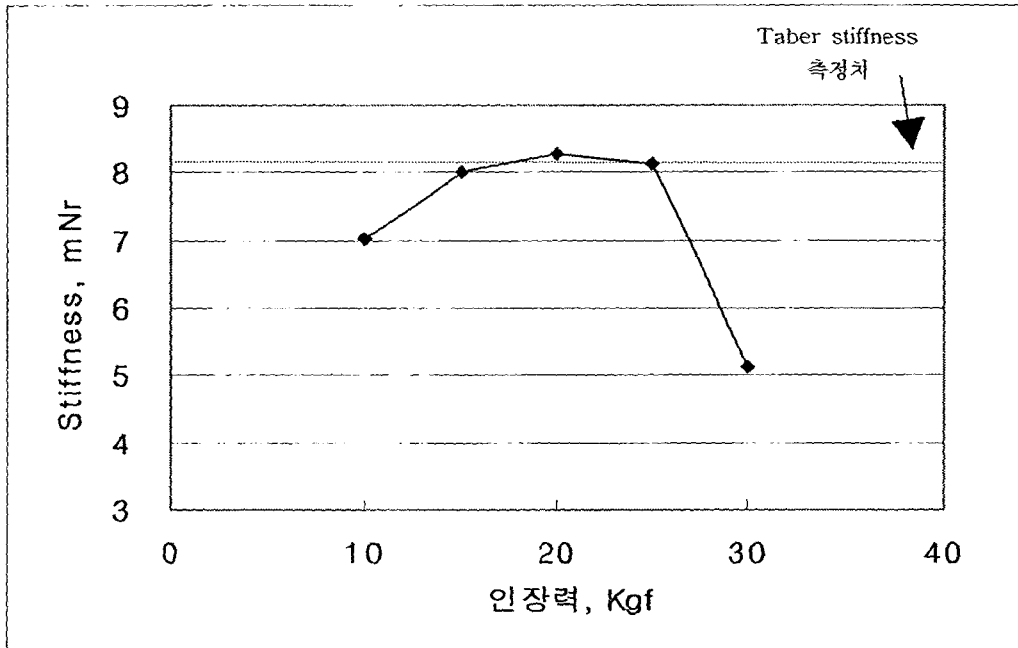


그림 4. 인장력 변화에 따른 stiffness 의 계산결과