

카렌더기의 헤팅 롤 크라운량 설계에 관한 연구

A Study on th Crown of Resin Roll in Calender

*조순옥¹, #임문혁², 서홍석³, 박대규⁴, 진두환⁵

*S. O. Jo¹, #M. H. Im(imoon@kmu.ac.kr)², H. S. Seo³, D. K. Park⁴, D. H. Chun⁵

¹ 한국섬유기계연구소, ² 계명대학교 기계자동차공학부, ³ 계명대학교 기계공학과, ⁴ 한국섬유기계연구소, ⁵ 영남대학교 섬유패션학부

Key words : Crown, Rerin Roll, Contact, FEM, Calender

1. 서론

카렌더기는 직물의 표면을 평활하게 하고 광택을 부여하여 촉감을 개선함과 동시에 전체의 외관을 우아하게 해주는 직물의 마무리 가공을 위한 특수 가공기계로 상단의 히팅(heating) 롤과 하단의 레진(resin) 롤의 동기 구동에 의해 동작이 이루어진다.

카렌더기의 히팅 롤은 고온으로 가열되어지면서 온도분포가 일정하지 않은데다 양 끝에서 가해지는 고하중 때문에 변형이 발생하게되어(휨 현상), 레진 롤 사이의 접촉압력이 불균일하게 된다. 접촉압력이 균일하지 못하면 제품 표면의 평탄도가 고르지 않고, 광택도 균일하지 않기 때문에 제품의 품질을 저하시키는 주요 문제가 된다. 따라서 히팅 롤의 변형을 고려하여 레진 롤에 적정 크라운량을 주도록 되어있다.

롤은 카렌더기 가공 공정에서 중요하게 사용되는 부품이기는 하나, 설계자의 경험에 의한 롤 설계기술과 롤의 고체역학적 변형의 이해가 부족하여 원천설계기술이 전무한 실정이다. 이에 상용 소프트웨어를 이용한 수치해석 결과와 롤 평가장치를 이용한 실험 결과를 통해 레진 롤의 크라운량 설계에 관한 연구를 수행하였다.

현재까지 롤의 접촉에 관한 연구가 탈수기나 제지기계의 고무 피복 롤의 크라운 형상에 관한 몇몇 이론적, 수치해석적 연구가 이루어져 왔다.⁽¹⁾⁽⁴⁾ 그러나 실제로 접촉압력을 측정하여 수치해와 비교한 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 접촉압력을 측정 할 수 있는 롤 평가장치를 제작하여 실험을 통해 접촉압력을 측정하고 이를 유한요소해석에 의한 전산해석 결과와 비교하여 크라운량과 접촉압력 사이의 관계를 규명하여 향후 카렌더기 롤 설계에 도움을 주고자 한다.

2. 롤 평가장치

본 연구에서는 접촉압력을 측정 할 수 있는 롤 평가장치를 Fig. 1과 같이 제작하였으며, 접촉압력을 측정하여 유한요소해석에 의한 수치해석과 비교하여 크라운량과 접촉압력 사이의 관계를 규명하여 설계에 도움을 주고자 하였다.

히팅 롤과 레진 롤 사이에서 발생하는 접촉압력측정은 Fuji Film의 MS(중압용), HS(고압용) Prescale Film을 사용하였다. Prescale Film은 접촉압력이 발생하면 Film 내부의 염료 캡슐이 터지게 되고, 염료의 농도에 의해 값이 결정되는데 Fig. 2에 측정방법을 도식적으로 나타내었다.

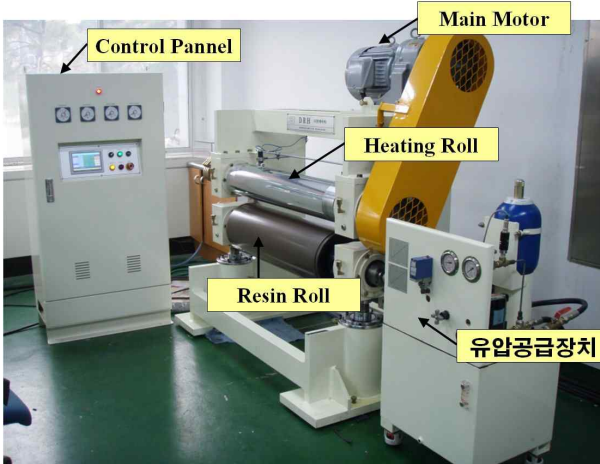


Fig. 1 롤 평가장치

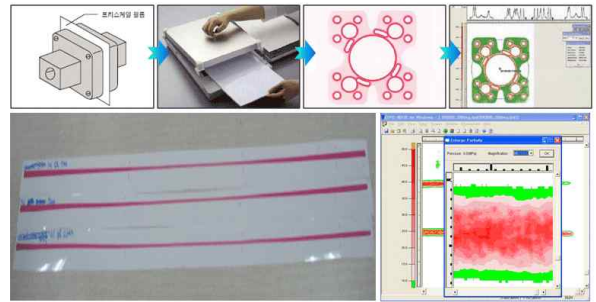


Fig. 2 접촉압력측정 방법

3. 유한요소해석

본 연구에서 대상이 된 카렌더기 롤은 좌우가 똑같은 대칭 구조를 가지고 있어 Fig. 3과 같이 1/4를 유한 요소로 모델링하였다. 사용된 요소는 ANSYS의 8절점 solid 45를 사용하였다. 접촉 요소는 target 170, contact 174를 사용하였으며, 상부가 히팅 롤이고 하부가 레진 롤이다.

경계조건은 1/4 모델을 사용함에 따라 대칭면에 대칭구속을 적용, 히팅 롤 베어링 지지부에 축방향을 제외한 자유도를 구속, 레진 롤의 베어링 지지부에 히팅롤 방향으로 하중을 적용시켰다.

롤 평가장치 장착 롤 제작시 히팅 롤은 스테인레스 스틸을 사용하였고 레진 롤은 스테인레스 스틸에 레진을 15mm 두께로 피복하였다. 카렌더기에서 작업 온도는 히팅 롤의 온도를 200℃로 가열하여 직물을 사용하므로 레진 롤의 온도도 상온 보다 높게 유지된다. 스틸의 경우 200℃ 정도의 온도변화에 대하여 물성치가 크게 변하지 않으나 레진의 경우 온도 변화에 대하여 민감하게 물성치가 변하므로 Fig. 4와 같이 레진의 재료물성시험을 실시하여 그에 상응하는 물성치를 주어 해석을 실시하였다.

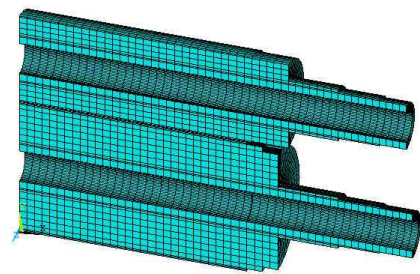


Fig. 3 유한요소모델

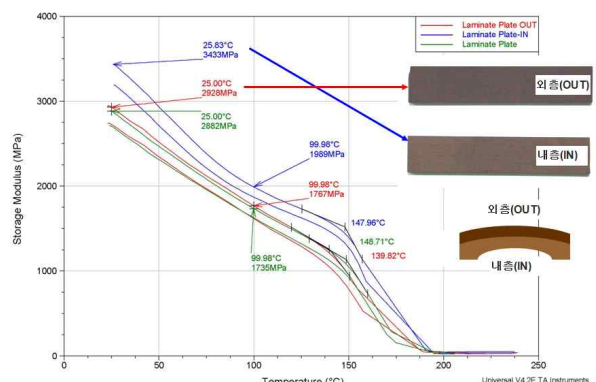


Fig. 4 레진의 재료물성시험

스틸의 경우 탄성계수 210GPa, 포와슨비 0.3, 레진의 경우 탄성계수 1.8GPa, 포와슨비 0.3를 사용하여 구한 수치해석 결과와 롤 평가장치를 이용한 실험 결과를 Fig. 5와 같이 비교하여 보니, 수치적으로 아주 잘 들어맞는다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 5의 결과에 사용된 크라운량인 90/100은 현장에서 사용되는 카렌더기 레진 롤에 가장 흔히 사용되는 수치이다. 롤의 접촉압력은 롤의 처짐과 크라운량, 하중에 따라 크게 영향을 받는다.

Fig. 6에 크라운량 변화에 따른 접촉압력 분포가 주어져 있다. 크라운량이 증가함에 따라 롤의 중앙부의 접촉압력은 점점 증가하는 경향을 보였다. 그러나 롤 양단의 접촉압력은 그 반대의 경향을 보임을 알 수 있다. 이것은 롤의 접촉압력에 의한 처짐량과 크라운양에 의한 곡선과의 차이에 의한 것으로 접촉영역이 가운데가 볼록한 긴 사각형에서 가운데가 잘록한 긴사각형으로 변하여 감을 확인 할 수 있다.

본 연구에서는 여러 가지 크라운량에 대한 접촉압력을 확인하여 어느 크라운량이 최적인지를 결정하기 위해 최적화 롤 선정 방법이 필요하였으며, 다음과 같은 식을 정의하였다.

$$P_{avg} = \frac{\sum P_i}{n} \quad \|e\|_{opt} = \sum \left(\frac{P_i - P_{avg}}{P_{avg}} \right)^2$$

일반적으로 가장 널리 사용되어지는 크라운량인 90/100을 비롯하여 50/100, 60/100, 70/100에 대해 전산해석을 실시하였으며, 그 결과 Fig. 6의 접촉압력분포 형상에서 크라운량이 60/100일때 가장 균일한 분포를 가지고 있었으며 수식에 의한 $\|e\|_{opt}$ 도 60/100 크라운량에서 최적값을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

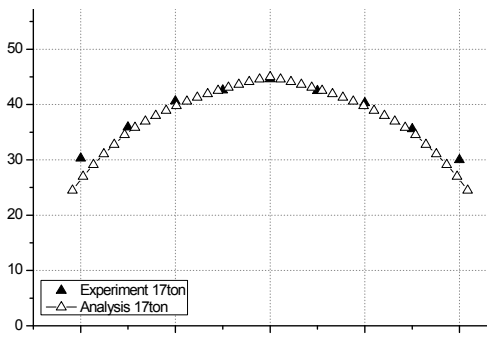


Fig. 5 접촉압력 결과비교(수치해석-실험)

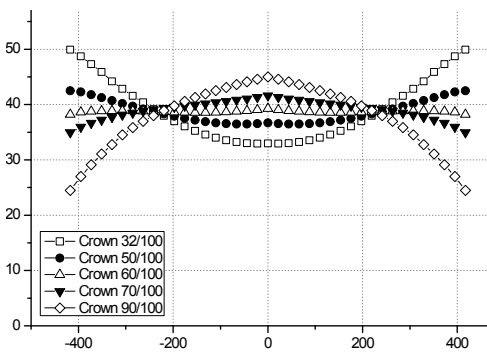


Fig. 6 크라운량 변화에 따른 접촉압력분포

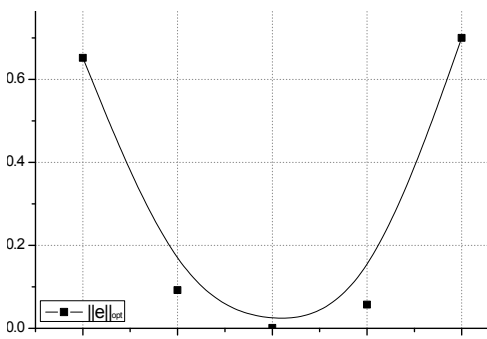


Fig. 7 크라운량 변화에 따른 $\|e\|_{opt}$

본 연구에서 전산해석 결과와 실험 결과가 향후 섬유기계용 롤을 설계에 기본 데이터로 활용할 수 있도록 시험평가장치를 외에도 현장에서 사용되어지고 있는 여러 크기의 카렌더기 롤의 실험 및 해석을 통해 그 결과를 검토 하였다.

접촉 면적과 접촉압력에 우선적으로 영향을 미치는 롤의 사양은 단위 길이당 하중과 면장길이, 그리고 롤의 물성치인 탄성계수와 단면 형상 등이 있다. 롤 양단의 경계조건을 단순히 지지로 취급할 것인가 또는 고정 단으로 취급할 것인가에 따라 다르지만 롤의 처짐량이 크라운량을 결정한다고 할 수 있으며, 여러 사양의 롤의 결과를 이용하여 롤의 처짐량에 대한 최적 크라운량을 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있었다.

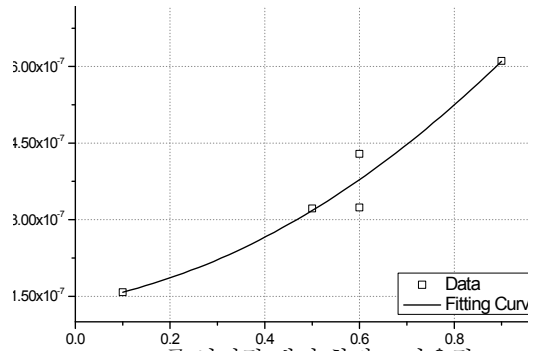


Fig. 8 롤 처짐량 대비 최적 크라운량

4. 결론

본 연구에서는 카렌더기에서 히팅 롤과 레진 롤 사이에 발생하는 접촉압력을 롤 평가장치를 이용한 실험과 상용 소프트웨어를 이용한 수치해석을 통해 접촉압력 특성을 연구하였으며 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 카렌더기 레진 롤은 균일한 접촉압력을 얻기 위한 적절한 크라운량이 존재하며 이 값을 수치적으로 구 할 수 있었다. 역으로 주어진 크라운량에서 균일한 접촉압력을 얻기 위한 적절한 하중이 존재하며 이 값을 수치적으로 구 할 수 있다.
- 연구 내용 결과를 이용하여 롤의 처짐량 대비 최적 크라운량의 상관 관계를 정립하였으며, 이 값은 카렌더기 레진 롤의 초기 크라운량을 결정하는데 중요하게 사용되어질 수 있다.
- 수치해석에 의한 접촉압력과 실험에서 얻은 접촉압력이 잘 들어맞아 현장에서 사용되는 카렌더기의 최적 크라운량을 결정에 유용하게 사용 될 수 있다.

후기

본 연구 결과는 지식경제부에서 시행한 2008년 지역산업기술 개발사업(지역산업기초기술개발)의 기술개발결과이다.

참고문헌

1. Sueoka, A., Ryu, T., Kondou, T. and Fujimoto, T., "Countermeasure for Pattern Formation of Roll-covering Rubber in a Paper Making Machine", Third International Conference on Motion and Vibration Control, Japan, pp.16, 1996.
2. CBatra, R.C., "Rubber Covered Rollers- The Nonlinear Elastic Problems," Trans. ASME J. Appl. Mech., 47, 82-86, 1998.
3. CSueoka, A., Ryu, T., Kondou, T., Tsuda, Y., Katayama, K., Takasaki, M., and Hirooka, H., " Polygonal Deformation of Roll-covering Rubber", JSME International, vol. 39, No. 1, pp 1~10, 1993.
4. C Im, M. H., Shin H. M., Jo, S. O. and Kim Y. K., "Design Optimization to Enhance Mangle Roll Performance," J. Korean Fiber Soc., vol. 41, No.1, pp. 62~71, 2004.