

단일 유압 Cell로 제어되는 CPB(Cold Pad Batch)용 패더롤의 접촉압력 특성 연구

A Study on the Characteristic of Contact Pressure for CPB (Cold Pad Batch) Padder Roll Controlled by Hydraulic Single Cell

*Corresponding author

Kyung-Chul Cho
(chokc@kotmi.re.kr)

조경철*, 이은하, 조순옥, 박시우, 황윤성¹, 김수연²
한국섬유기계융합연구원, ¹(주)풍광기계, ²영남대학교 기계공학부

Kyung-Chul Cho*, Eun-Ha Lee, Soon-Ok Jo, Si-Woo Park, Youn-Sung Hwang¹ and Soo-Youn Kim²

Korea Textile Machinery Convergence Research Institute, Gyeongsan, Korea

¹Poong Kwang Machinery Co., LTD, Ansan, Korea

²School of Mechanical Engineering, Yeoung Nam University, Gyeongsan, Korea

Received_September 12, 2016
Revised_October 12, 2016
Accepted_April 25, 2017

Abstract To make uniform pressure distributed over the contact surface was necessary to cold pad batch dyeing machine. In this study, to confirm characteristic of flexibility and the contact pressure distribution through experimental analysis of padder roll were controlled by hydraulic cell. When there were no load pressure only inner pressure, the value of displacement in the center of padder were greater than the end of the padder. The results of this study showed that the padder had the optimum value of inner pressure for uniform contact pressure distribution. Measuring the contact pressure in a padder system were driven by using a pre-scale film. Uniform contact pressure distribution of cell padder were a linearly with load pressure and inner pressure. When the load pressure was less than 8 tons, the inner pressure for the uniform contact pressure was 1~4 bar. The padder roll performance curves proposed in this study were available for practical production environments and various roll designs.

Textile Coloration and Finishing
TCF 29-2/2017-6/86-96
©2017 The Korean Society of
Dyers and Finishers

Keywords cold pad batch dyeing, padder, inner pressure, contact pressure, roll

1. 서 론

저온 연속 염색(CPB : Cold pad batch)을 위한 핵심공정은 원단을 염액에 침지 시킨 후 일정한 적정 압력으로 스퀴징(squeezing)하여 원단에 적정량의 염료를 침투 시키는 것이다. 이때 원단에 적정량의 염료를 침투시키기 위한 스퀴징 공정에 사용되는 핵심부품을 패더롤(padder)이라 칭한다.

CPB 시스템에서 원단은 확포된 상태로 염액이나 가공액을 흡수하여 패더롤 사이를 통과하게 되는데, 이때 공압 또는 유압으로 롤러를 압착하여 여분의 염액

등을 제거 하고 적정량의 염액 및 약제를 침투시킨다. 이를 위해 원단 전체에 균일하면서도 적정한 압력이 가해지도록 설계 하는 것이 패더롤의 핵심기술이다.

패더롤에 대한 대표적인 연구는 롤러 표면의 고무에 피복부에 크라운(crown)을 주는 연구^{1,2)}, 롤러 끝단부에 보를 삽입하여 힘을 조정하는 연구³⁾, 롤러 내부에 삽입되는 축의 구조를 개선하는 연구^{4,5)}, 롤러 내부에 주름관을 삽입하여 내부 압력을 가하는 방법을 활용한 연구⁶⁾, 고무코팅이 롤러특성에 미치는 연구⁷⁾ 등이 수행되었으며, 최근에는 이러한 롤러를 이용한 CPB 염색 특성에 대한 연구⁸⁻¹⁰⁾ 또한 활발히 진행되고 있다.

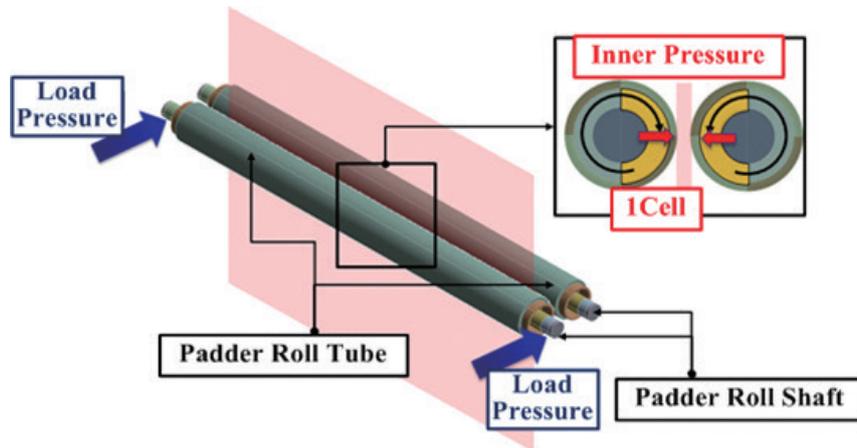


Figure 1. Schematic diagram of padder roll contact.

일반적으로 사용되는 패더롤은 접촉부위에서 균일한 압력이 부가되어질 수 있도록 크라운을 주는 방법과 다중의 롤을 사용하는 방법 등을 주로 사용하여 왔다. 이러한 방법은 외부하중이 주압만 작용되어지므로 특정 조건에서만 우수하게 작동을 하고, 투입되는 원단이나 작동조건 변경시에는 적정 품질의 제품을 얻을 수 없으며, 장기간 사용에 따른 마모로 인해 새로 연마를 하여야 하는 문제점들이 발생한다.

Figure 1은 이를 보정하기 위하여 내부에 단일 유압 Cell로 제어되는 패더롤의 개략도를 나타낸 것이다. 두 개의 패더롤이 수평 상태로 위치하고 있으며, 직물이 두 개의 롤 사이를 지나가는 구조로 구성되어지며, 패더롤은 대부분 금속으로 이루어져 있다. 패더롤 튜브 외부에 고무가 코팅되어져 있으며, 스퀴징을 위한 주압(주하중, load pressure)은 수평방향으로 가해지고, 균일한 접촉압력 분포를 유지시켜 주기 위한 보조하중인 내압(inner pressure)이 단일 Cell 형태로 패더롤 샤프트와 패더롤 튜브 사이에 가해진다. 패더롤의 내부와 축이 유압과 공압으로 제어되어 패더롤은 다양한 접촉압력 구간에서 균압분포를 가질 수 있으며 장기간 사용으로 인한 성능저하에서도 패더롤 내부압력과 축압력에 의해 보정하여 사용이 가능하다.

패더롤의 힘 제어 방식은 주압과 함께 Cell 방식 내압을 이용한 제어방식이다. 이러한 힘을 구현하기 위해 패더롤은 튜브와 샤프트 사이에 내압을 주기 위한 공간(Cell)을 가지고 있으며, 유체에 의한 내압이 유지될 수 있도록 기밀 부품(씰링 헤드, 실링 와셔 등)들로 구성되어져 있다.

Cell 내부에 내압이 가해짐으로써 패더롤 튜브 및 패더롤 샤프트의 힘 제어와 동시에 균압 제어 및 균압 접촉압력 분포가 가능하게 된다.

힘 조절을 통해 구현되는 패더롤의 가압 방식은 중앙가압, 균일가압, 양끝가압 형태로 나타나며, 양끝가압 방식은 힘 조절용 내압이 가해지지 않고 기본적으로 롤의 양 끝단부를 지지하는 주압에 의해 패더롤 튜브와 패더롤 샤프트가 휘어지는 효과가 발생하여 중앙보다는 양 끝단부의 접촉력이 크게 발생하는 상태이다.

균일가압 방식은 주압과 함께 힘 조절용 내압을 가함으로써 패더롤 튜브 및 패더롤 샤프트의 힘을 제어하여 적정 내압에 도달하면 패더롤 접촉력이 균일하게 발생하는 상태이고, 중앙가압 방식은 상대적으로 주압에 비해 힘 조절용 내압이 크게 작용하여 패더롤 중심의 접촉력이 양 끝단부에 비해 크게 발생하는 상태이다. 이러한 내부 유압 Cell을 가지는 패더롤은 내·외부 형상 및 재료의 재질에 따라 그 특성을 다르게 나타낸다.

본 연구에서는 최초로 국내에서 개발 및 제작된 단일 Cell 형태의 내부 유압제어 방식의 패더롤의 특성 평가를 위해 성능평가 장치를 개발하여 패더롤의 힘 특성, 접촉 압력 등을 평가하여 다양한 운전조건에서의 패더롤이 가지는 압력 특성을 제시하고자 한다.

2. 실험

2.1 내부 유압 제어 방식의 패더롤 제작

본 연구에 사용된 패더롤의 구조는 Figure 2와 같이 샤프트, 실링재, 내부 튜브, 외부 고무로 구성되어지며

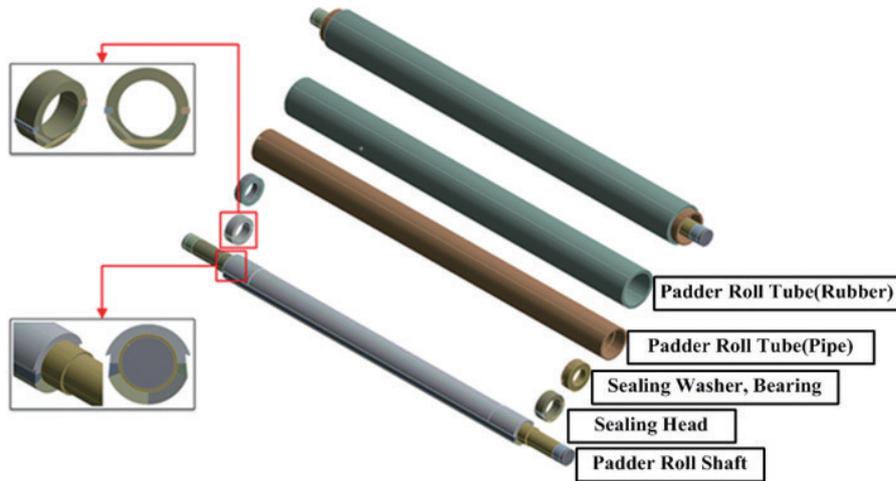


Figure 2. Structure of padder roll.

사용된 패더롤은 Figure 3과 같이 폭은 2,600mm, 접축면 길이가(고무코팅길이) 2,400mm인 (주)풍광기계에서 제작한 단일 Cell 패더롤을 사용하였다. 주압은 샤프트에 가압되고 내압은 패더롤 전면에 가압이 되는 조건에서 특성평가를 수행하였으며 특성 평가는 고무코팅이 되어져 있는 2,400mm 구간에서 수행하였다.

2.2 패더롤 성능평가 시스템

2.2.1 패더롤 성능평가 시스템 개발

패더롤의 단독 및 접촉 구동시 휨량, 접촉압력, 원단 Pick-up 등을 평가하기 위하여 성능평가 장치를 Figure 4와 같이 개발하여 패더롤 특성을 분석하였다. 주압은 공압을 사용하여 하중을 부여하며, 벨로우즈 실린더를 사용하여 주압의 사용 범위를 증폭하여 높은 하중범위까지 가압이 가능하도록 하였으며, 주압의 제어를 위하여 좌, 우측에 로드셀(load cell)을 부착하여 축에 가해지는 압력의 조건을 실시간으로 확인 가능하도록 하였다. 패더롤 내부 압력의 경우 오일을 사용하여 패더롤 내부에 공급하고, 패더롤 내부의 압력 값

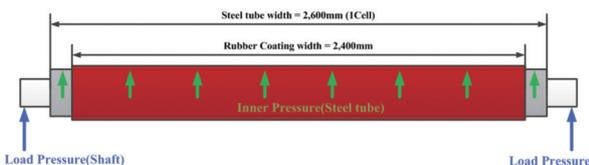


Figure 3. Geometry of a padder roll with hydraulic one cell.

을 측정하기 위하여 패더롤 입구에 압력센서를 사용하여 패더롤 내부 압력을 정밀 제어할 수 있도록 구성하였다.

패더롤의 구동은 더미 롤(dummy roll)에 의해 이루어지며 더미 롤은 최대 50mpm까지 구동이 가능하며, 더미롤과 패더롤이 접촉하는 시점부터 패더롤이 회전을 시작하고, 더미롤과 패더롤은 1:1로 회전을 하고 있어 패더롤의 속도 제어도 가능하도록 하였다.

2.2.2 변위측정 및 접촉압력 평가

패더롤의 휨 특성을 파악하기 위한 변위 측정은 Figure 5와 같이 레이저 변위 센서를 이용하여 측정하였다. 레이저 변위 센서(LK-G155, KEYENCE Co., LTD, Japan)와 컨트롤러를 통해 200ms 마다 패더롤

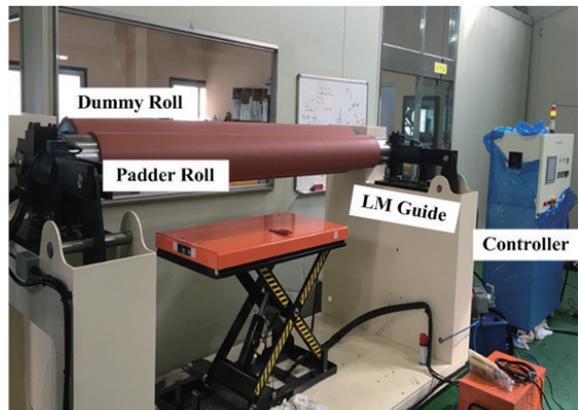


Figure 4. Photograph of padder roll test apparatus.

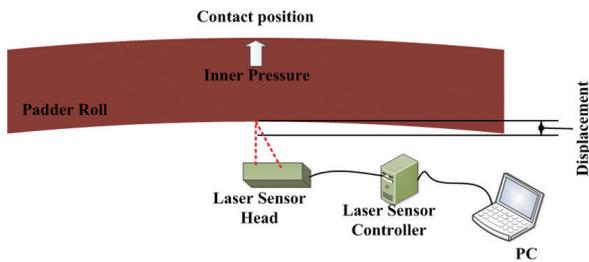


Figure 5. Schematic diagram of displacement measuring system.

의 변형을 측정하였다.

Figure 6은 레이저 변위 센서를 사용하여 실제 패더롤의 변형을 측정하는 사진으로, 패더롤이 변형하고 안정화되는 구간을 포함한 100초 동안의 변위값을 측정하고, 이 값을 사용하여 패더롤이 안정화되어진 이후 데이터 평균값을 사용하여 분석하였다.

접촉압력은 감압지(prescale film)로 측정된 압력 값을 수치화시키는 압력분포 맵핑시스템(Digital Analysis System for Prescale Film, Fuji Co., LTD, Japan)을 사용하여 패더 접촉압력을 측정하였다.

접촉압력 측정 방법은 Figure 7에서와 같이 회전하는 패더 좌, 중, 우 5지점에 폭 100mm, 길이 200mm로 잘라놓은 감압지를 동시에 투입하고, 패더롤 사이로 빨려 들어간 감압지에 가해진 압력에 따라 발색제와 지색제의 화학반응을 통하여 적색으로 발색된 농도에 따라 압력의 크기를 전용 스캐너와 S/W를 이용하여 스캐닝하여 압력으로 환산하였다. 이때 압력이 큰 부분은 어두운 붉은색을 띄고, 압력이 작은 부분은 연한 붉은색(연한 분홍색)을 띄게 된다.

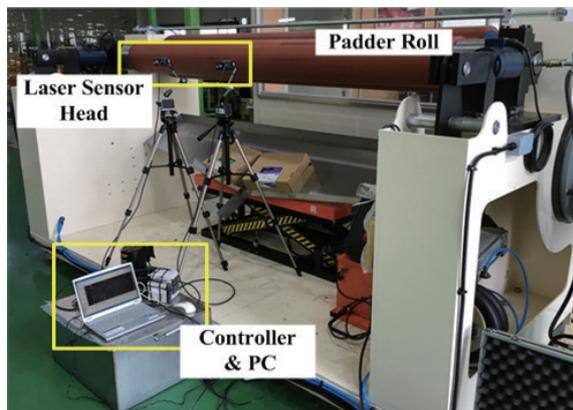


Figure 6. Photograph of displacement measuring system with laser sensor.

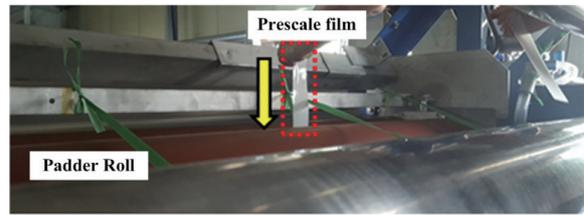


Figure 7. Measuring contact pressure using rescale film.

3. 결과 및 고찰

3.1 패더롤의 힘 특성 평가

개발된 패더롤의 내압에 의한 자체적인 힘 특성을 평가하기 위하여 패더롤에 주압은 가하지 않고, 패더롤 내부 압력만 가압하여 패더롤이 휘어지는 변형량을 측정하였다.

Figure 8과 같이 패더롤의 좌, 중, 우 5개 지점에 레이저 변위 센서를 사용하여 내부 압력변화에 따른 변형량을 측정하였다. 내부 가압 조건은 1bar에서 4bar까지 내압을 가하여 고무코팅 부분의 양끝단에서 중심부까지 5개 지점의 변위 값을 측정하였으며, 중심부에서 패더롤이 좌우 대칭으로 변형이 균일하게 일어나는지와 변형되는 패더롤의 접촉면과 반대면의 변형이 동일하게 일어나는지를 확인하였다. 패더롤이 가압되지 않은 상태에서 측정을 시작하여 가압이 진행되는 시간동안 측정을 하여 최대 변위차를 확인하여 패더롤 힘량을 표현하였다.

패더롤의 단독 변형 결과는 Figure 9와 같으며, 내압이 점차 증가함에 따라 변형양도 선형적으로 증가하고 있으며 패더롤의 중앙부분이 양 끝점에 비해 더 많은 변형이 발생함을 알 수 있다. 내압 4bar에서 중앙부가 최대 2.8mm의 변형량을 보였으며, 양끝단의 고무코팅 안쪽으로 100mm 지점에서부터 내압이 증가할수록 패더롤이 뒤로 밀리는 현상을 관측할 수 있었다. 패

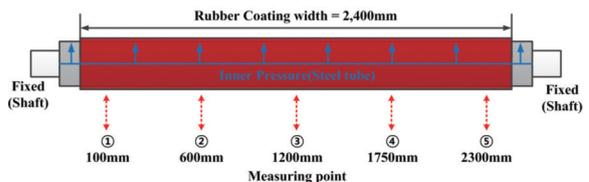


Figure 8. Schematic diagram of padder roll displacement measuring.

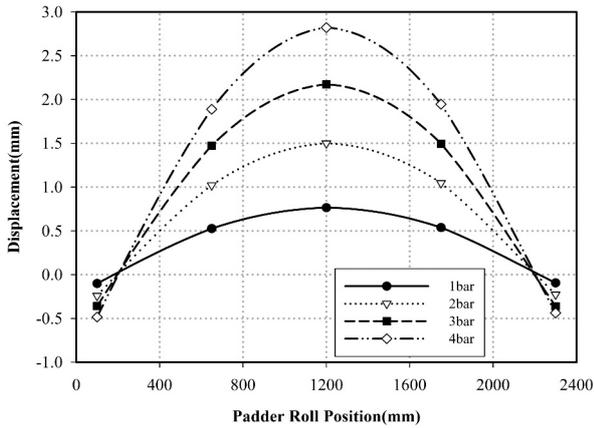


Figure 9. Displacement of padder roll according to the inner pressure.

더롤의 좌우 편차는 3% 이내로 측정되어 균일하게 나왔음을 알 수 있으며, Figure 10에서와 같이 접촉면과 반대면의 변위 편차는 1.2% 이내로 거의 일치하며 내부의 유압 제어에 따라 패더롤의 휨 변형량이 적절히 제어되고 있음을 알 수 있다.

3.2 패더롤 접촉구동 성능평가

실제 패더롤이 운전되는 상황을 모사하기 위해 Figure 11과 같이 패더롤을 더미롤에 접촉후 구동시키면서 패더롤의 변형과 접촉압력을 평가하였다. 이때, 주압과 내압 조건을 변경하여 패더롤 반대면의 변형, 접촉면의 접촉압력을 측정하였다.

실험 조건은 주압은 패더롤 중심 축을 가압하는 하중으로 2ton에서 10ton으로 설정하였으며, 내압은 단독 구동 변형량 측정시와 동일한 1bar에서 4bar로 실험을 수행하였다.

접촉구동 실험에서는 패더롤 자체의 변형을 분석하기 위하여 더미롤은 패더롤과 같은 경도를 가지는 고무 코팅을 하고 하였으며, 폭 방향으로 크라운 형상을 주지 않고 지름을 크게 하여 패더롤의 변형에 대한 값을 온

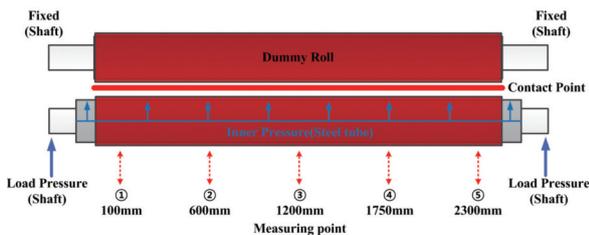


Figure 11. Schematic diagram of contact operation.

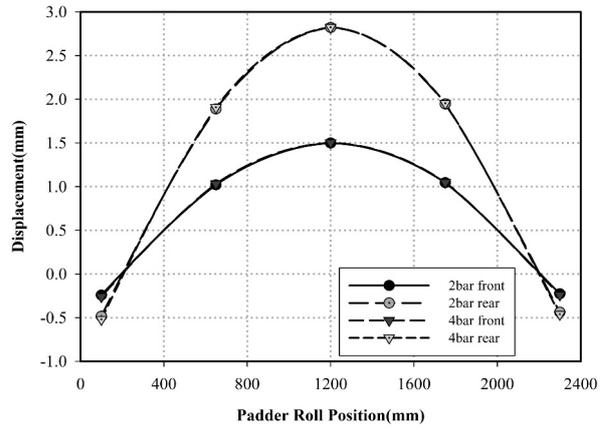


Figure 10. Displacement of padder roll front and rear compare.

전하게 가지도록 제작하여 부착하였다.

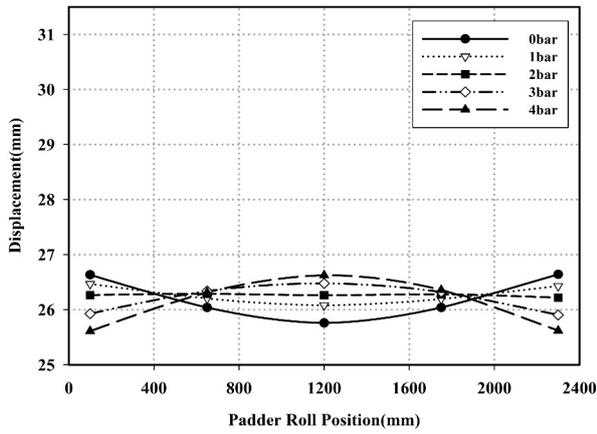
3.2.1 패더롤 접촉 변위 특성

패더롤 양끝단에 먼저 주압을 가하면 양끝단을 기준으로 아랫방향으로 최저점을 가지는 포물선 모양으로 휘게 된다. 이때 내압을 가하게 되면 점점 활 모양의 형상에 수평으로 바뀌며, 내압을 계속 가하게 되면 방향이 역전된 최고점을 가지는 포물선 형태로 변형된다. 이때 패더롤의 휨이 수평한 일자형태가 될 때 균일한 압력분포를 가질것으로 예상되며, 각각의 주압 조건에서 가지는 내압 조건을 탐색하였다.

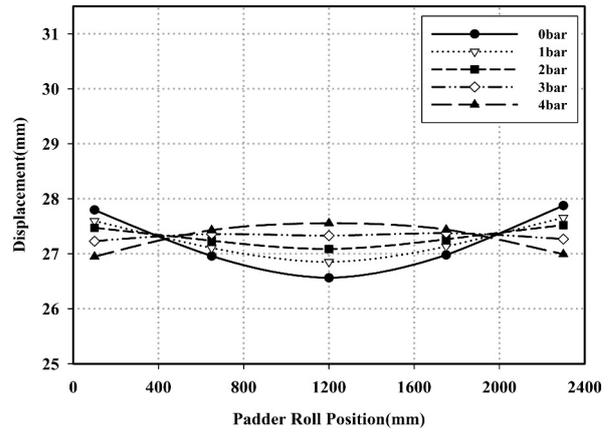
Figure 12는 주압 2ton에서 10ton까지 가해질 때 내압의 변화에 따른 패더롤의 변위량을 나타내었다. 패더롤은 주압이 2ton일 때 내압이 약 1bar 근처에서 패더롤이 수평도를 가지며, 주압이 4ton일 때 내압이 약 2bar, 주압이 6ton일 때 내압이 약 4bar에서 일자형태의 패더롤 형태를 보여주고 있으며, 주압이 증가함에 따라 내압도 함께 증가하여야 패더롤이 수평도를 가짐을 파악하였다. 주압이 8ton 이상 일 때는 내압을 4bar 까지 가하여도 패더롤 형상이 일직선이 되지 않음을 알 수 있다.

3.2.2 패더롤 접촉 압력 특성

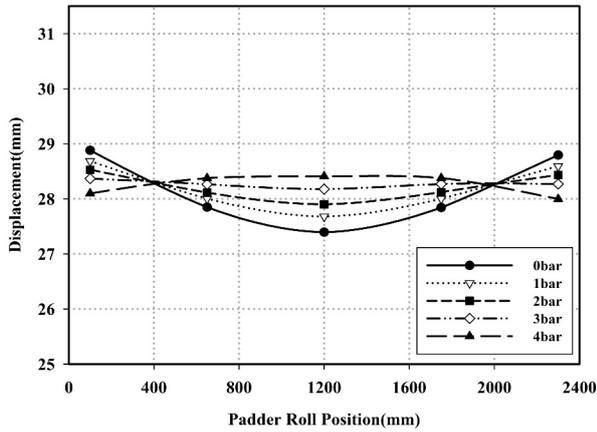
패더롤 접촉 구동시 접촉부의 압력을 측정하기 위하여 감압지 필름을 사용하여 패더롤의 접촉부 압력을 측정하였다. 접촉압력의 측정 지점은 변위 측정지점과 동일 5개 지점으로 하였으며, 주압과 내압의 실험 조건 역시 동일하게 진행하였다.



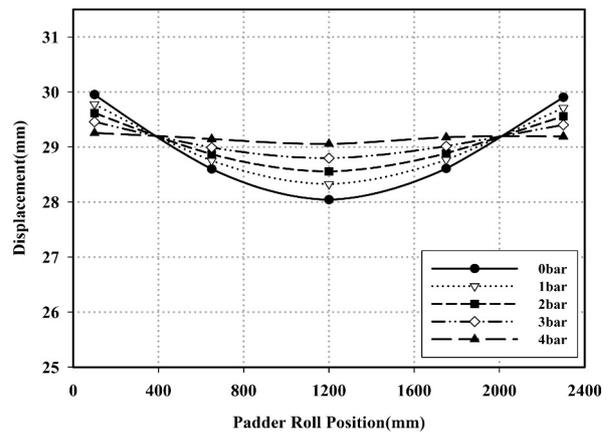
(a) Displacement at load pressure, 2ton



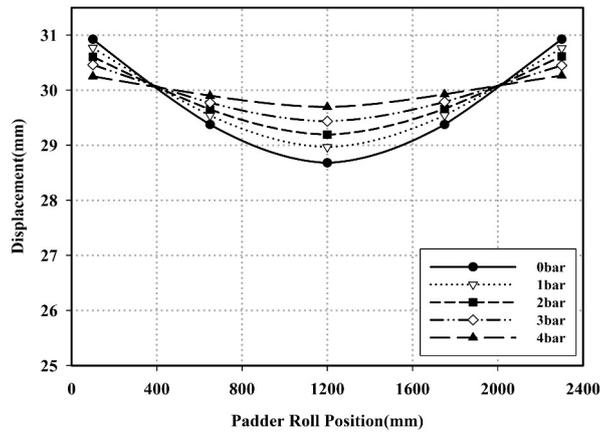
(b) Displacement at load pressure, 4ton



(c) Displacement at load pressure, 6ton



(d) Displacement at load pressure, 8ton



(e) Displacement at load pressure, 10ton

Figure 12. Displacement at load pressure.

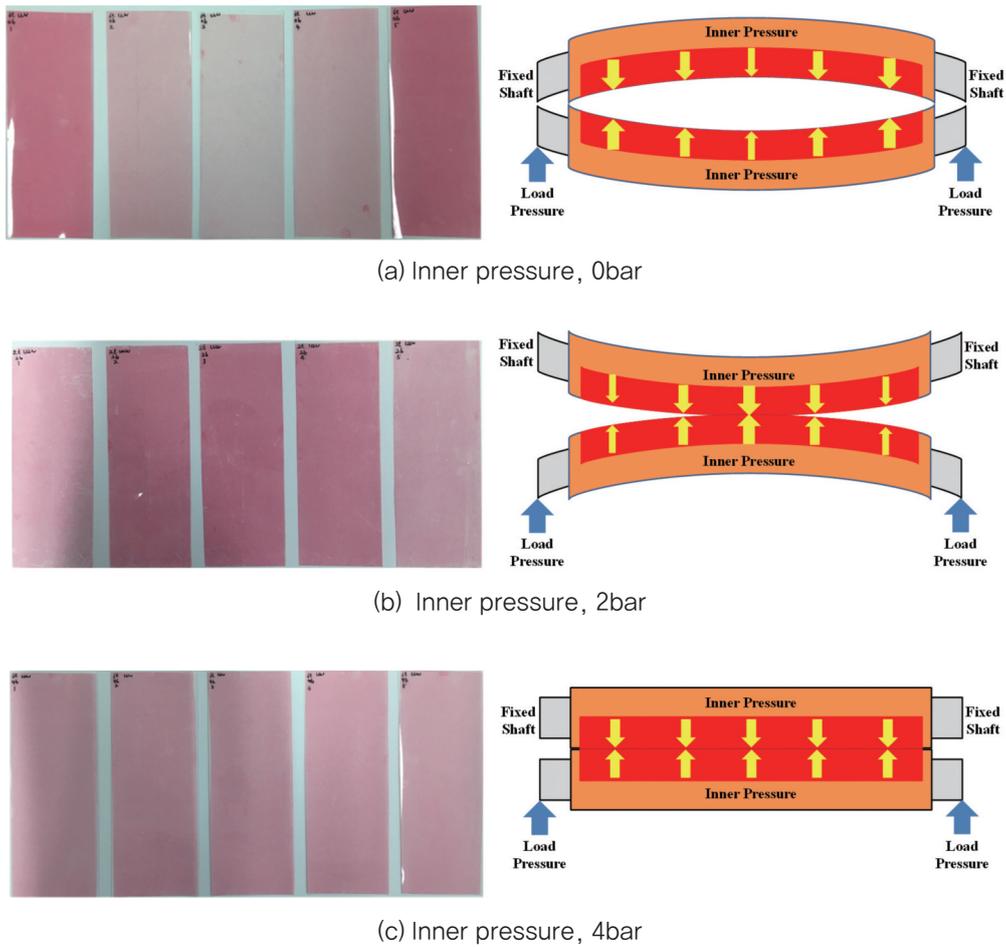


Figure 13. Measuring contact pressure with pre-scale film at load pressure 6ton.

Figure 13에서는 주압 6ton일때 내압의 변화에 대해 끝단가압, 중앙가압, 균일가압 시 발색되는 감압지 사진으로 압력 분포에 따라 감압지의 발색 농도가 달라짐을 알 수 있다. 실제 원단의 경우 Figure 13의 (a)와 같이 끝단 가압일 때 원단의 중앙부가 농색이 되고, Figure 13의 (b)와 같이 중앙가압 일때는 원단 양 끝단이 농색이 되는 현상이 발생하게 된다.

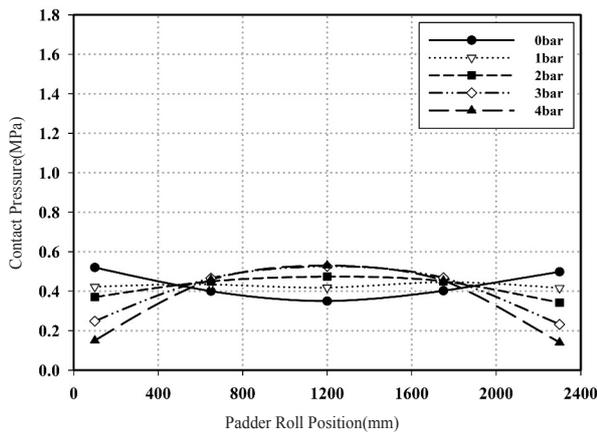
Figure 14는 주압의 변화에 따른 감압지를 이용한 접촉압력 분포를 나타낸 결과로서, 접촉 압력은 주압이 2ton일 때 내압이 약 1bar 근처에서 균압 분포를 가지며, 주압이 4ton일 때 내압이 약 2bar, 주압이 6ton일 때 내압이 약 4bar에서 패더롤의 변형량에서 수평도를 가지는 조건과 유사한 수치범위에서 균압 분포를 가지고, 주압이 8ton 이상 일 때는 패더롤의 변형량과 마찬가지로 내압을 4bar까지 가하여도 패더롤이 균압 분포를 가지지 못함을 볼 수 있었다.

본 연구에서는 주압과 내압 조건에 따른 각각의 접촉압력 측정하였으며, 이 때 균일한 압력 분포를 가진다고 유추할 수 있는 조건은 각각의 조건에 측정된 압력 분포의 구배가 0에 가까워지면 그 조건이 균압을 이룬다고 볼 수 있다.

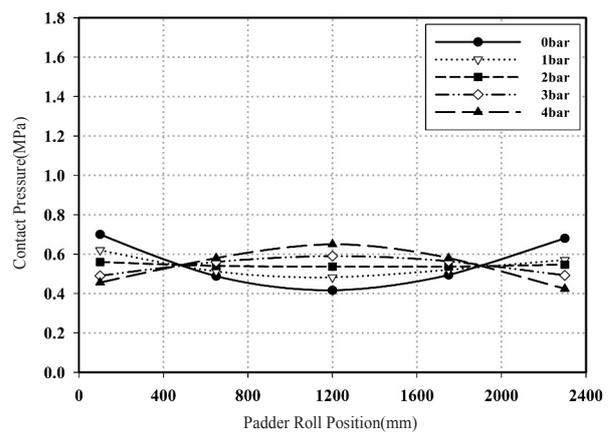
Figure 15는 각각의 조건별 접촉압력의 기울기를 나타낸 것으로 기울기가 0이 되는 지점이 균압을 이루는 조건이며, 기울기가 0보다 큰 경우는 중앙가압형태이고 기울기가 0보다 작은 경우는 양끝단에 높은 압을 가지는 형태를 나타낸다고 볼 수 있다. 개발된 패더롤의 접촉압력에 대한 성능곡선으로 볼 수 있으며 이를 통해 작업자나 운전자가 상황에 맞는 조건을 바로 구할 수가 있다.

3.3 패더롤 내압에 따른 균일 압력 최적화

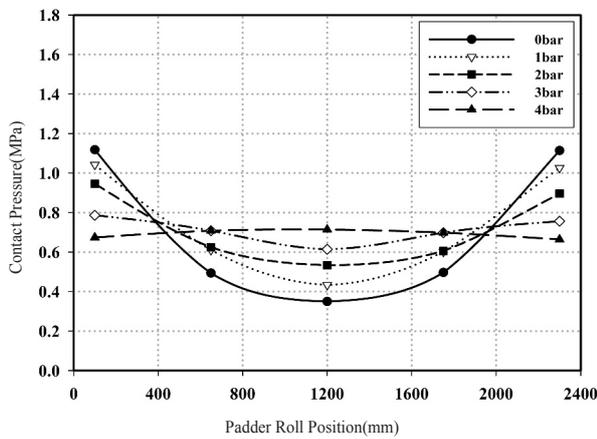
원단에 균일한 압력을 가하기 위해서는 접촉압력분



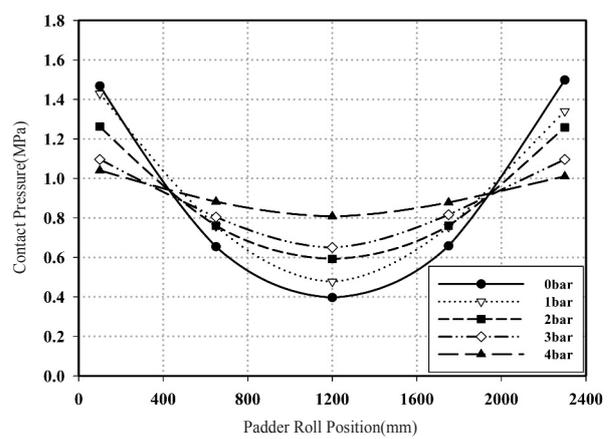
(a) Contact pressure at load pressure, 2ton



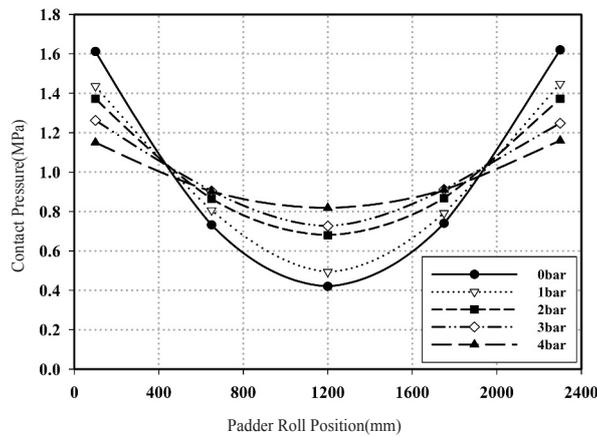
(b) Contact pressure at load pressure, 4ton



(c) Contact pressure at load pressure, 6ton



(d) Contact pressure at load pressure, 8ton



(e) Contact pressure at load pressure, 10ton

Figure 14. Contact pressure vs load pressure.

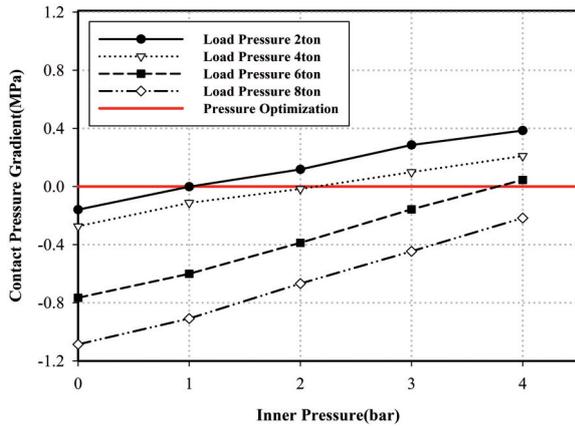


Figure 15. Contact pressure gradient at operating conditions.

포가 일정하게 나타나야 한다.

본 연구에서는 여러 가지 주압에 대해 각각의 내부 Cell 압력변화에 대한 접촉압력분포를 확인하였고, 어느 각각의 주압에 대해 내부 Cell 압력이 최적인지를 선정하는 방법이 필요하며, 본 연구에서는 식(1), 식(2)

를 정의하여 최적의 압력 조건을 구하였다.

$$P_{avg} = \frac{\sum P_i}{n} \dots\dots\dots (1)$$

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

where,

P_{avg} : mean contact pressure

P_i : contact pressure at point

$\|e\|_{opt}$: mean square error optimization

$\|e\|_{opt}$ 가 최소가 되면 접촉압력평균치와 접촉압력 분포사이에서의 오차가 최소가 됨을 의미하므로 이때의 내부압력 값이 패터롤의 균압을 이루어 롤러의 운전 조건이 최적화 되었다고 정의 할 수 있다.

Table 1은 패터롤의 주요한 운전변수인 주압과 내압의 변화에 따른 접촉압력 평균값과 접촉압력 편차 및 $\|e\|_{opt}$ 값을 도표로 나타낸 것으로 접촉압력은 주압과

Table 1. Mean contact pressure, contact pressure deviation, various at load pressure and inner pressure

Load pressure (ton)	Inner pressure (bar)	Mean contact pressure (MPa)	Contact pressure deviation (%)	$\ e\ _{opt}$
2	0	0.434	-19.8 ~ 19.4	0.691
	1	0.427	-4.4 ~ 2.1	0.120
	2	0.417	-13.6 ~ 18.0	0.587
	3	0.388	-35.6 ~ 40.2	1.526
	4	0.346	-53.0 ~ 59.6	2.326
4	0	0.556	-26.0 ~ 25.1	0.968
	1	0.541	-14.6 ~ 10.9	0.401
	2	0.544	-2.9 ~ 1.3	0.069
	3	0.539	-9.4 ~ 9.1	0.357
	4	0.538	-20.8 ~ 21.2	0.729
6	0	0.714	-56.5 ~ 51.0	2.249
	1	0.743	-40.3 ~ 41.7	1.569
	2	0.721	-31.2 ~ 26.0	1.109
	3	0.712	-10.3 ~ 13.8	0.329
	4	0.692	-3.2 ~ 4.0	0.131
8	0	0.935	-60.2 ~ 57.6	2.345
	1	0.952	-50.3 ~ 49.9	1.821
	2	0.926	-36.2 ~ 36.1	1.440
	3	0.892	-22.8 ~ 27.2	0.913
	4	0.924	-12.6 ~ 12.5	0.439

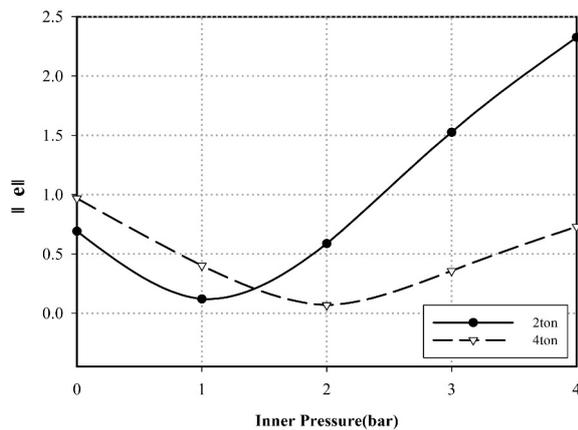


Figure 16. Calculated with different inner pressure.

내압이 상승 할수록 증가하고 있으며 접촉압력 편차와 $\|e\|_{opt}$ 이 최소가 되는 지점이 균일 접촉압력 조건임을 알 수 있다.

Figure 16는 주압 변화에 대해 $\|e\|_{opt}$ 값을 구하여 나타낸 것으로 주하중이 증가할수록 minimize $\|e\|_{opt}$ 지점도 우측으로 이동(높은 값으로 이동)하는 것을 확인하였으며, 개발 패더롤의 균일한 접촉압력 분포를 위한 최적화 메커니즘은 minimize $\|e\|_{opt}$ 이며, 주하중이 증가함에 따른 최적의 내압 조건을 minimize $\|e\|_{opt}$ 지점을 분석함에 따라 확인 할 수 있다.

따라서 본 연구 결과에 따른 Figure 15와 Figure 16의 결과를 활용하면 균일한 접촉압력분포를 갖기 위한 최적의 운전 조건을 선정할 수 있다.

4. 결 론

국내 최초로 개발된 내부 유압으로 제어되는 CPB용 패더롤의 성능 특성을 파악하기 위하여 성능평가 장치를 제작하여 개발된 패더롤의 변형량, 접촉 압력 특성을 연구하였다.

패더롤의 휨 특성을 파악하기 위해 주압을 가하지 않고 내압만 가압한 단독구동 성능평가 시 패더롤은 내압이 증가함에 따라 휨량도 증가하였으며 중앙을 기준으로 변형량의 좌우편차는 3% 이내로 우수한 수준의 균형 잡힌 휨 특성을 나타내었다.

패더롤의 접촉 구동시 발생하는 접촉압력은 주압과 내압이 상승할수록 증가하였으며 주압이 8ton 이상에서는 설정된 내압 조건에서 균압을 이루는 조건이 나타나지 않았으며 그 이하의 주압 조건에서는 1~4bar 범

위의 내압에서 균압을 이루었다. 단일Cell 패더롤의 성능곡선은 주압과 내압에 따라 선형적 분포를 나타내었으며, 이는 패더롤의 균압지점을 파악하기 위해서 최소한의 실험을 통해서도 균압지점을 예측할 수 있다. 각각의 조건에서 측정된 데이터를 이용하여 패더롤의 접촉압력 특성을 보여주는 성능곡선과 균압을 이루는 최적 운전 조건을 제시하여 실제 생산현장의 적용과 다양한 사양의 패더롤 설계에 활용 될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술평가원이 지원하는 에너지 기술개발사업(과제번호 : 20142010102940)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. M. H. Im, H. M. Shin, S. O. Jo, and Y. K. Kim, Design Optimization to Enhance Mangle Roll Performance, *Textile Science and Engineering*, **41**(1), 62(2004).
2. A. Sueoka, T. Ryu, T. Kondou, and T. Fujimoto, Countermeasures for Pattern Formation of Roll-covering Rubber in a Paper Making Machine, Third International Conference on Motion and Vibration Control, Japan, pp.1-6, 1996.
3. D. H. Chun, B. O. Kim, and S. S. Kim, A Study on the Mangle System Design with an Uniformly Distributed Pressure, *Textile Science and Engineering*, **38**(3), 130 (2001).
4. Y. G. Kim and S. Y. Jeong, A Study on the Improvement of Pressure Distribution of Bonding Roll, *Textile Science and Engineering*, **46**(1), 17(2009).
5. S. O. Jo, D. K. Park, D. W. Chun, and H. K. Kim, A Bending Analysis of the Squeezing Roller for a Sizing Machine, *J. of Mechanical Science and Technology*, **11**, 1(2006).
6. K. C. Cho, S. O. Jo, S. W. Park, P. S. Jung, and D. H. Chun, A Study on the Distribution of Contact Pressure of a Flexible Padder, *Textile Science and Engineering*, **49**(3), 153(2012).
7. R. C. Batra, Rubber Covered Rolls-The Nonlinear Elas-

- tric Problem, *J. Appl. Mech.*, **47**, 82(1998).
8. J. H. Lee, I. Y. Lee, S. H. Cho, and H. T. Cho, A New Color Recipe Prediction Method in the Cold Pad Batch Dyeing of Cotton Knit Using NNMF Algorithm, *Textile Science and Engineering*, **50**(1), 7(2013).
 9. S. Y. Bin, D. W. Kim, Y. G. Baek, S. W. Jin, and J. S. Bae, A Study on High Contraction Conditions by the CPB Process of the Nylon Fabric, *Textile Coloration and Finishing*, **27**(4), 309(2015).
 10. S. I. Hong, C. W. Nam, and W. S. Lee, Analysis of the Dye Absorption Behavior in Accordance with the Dye Structure in the Cold Pad Batch Dyeing of Cotton Knit, *Textile Coloration and Finishing*, **28**(3), 175(2016).