

Heatset 윤전 오프셋 인쇄에서 인쇄주름에 대한 인쇄조건의 영향

전성재[†] · 윤종태^{*1}

(2008년 11월 13일 접수:2009년 2월 25일 채택)

Effect of Printing Conditions on Fluting in Heatset Web Offset Printing

Sung-Jai Jeon[†] and Jong-Tae Youn^{*1}

(Received November 13, 2008: Accepted February 25, 2009)

ABSTRACT

A printing defect known as fluting(or waviness) of the web printed by heatset web offset printing process is one of the chronically serious problems deteriorating print quality. In this paper, fluting occurrence on uncoated papers was explored in terms of many printing conditions including drying temperature, fountain solution amount, ink supply, and press configurations. For this purpose, fluting on prints from real press runs was appraised in a quantitative manner. As results, ink supply was a distinctive factor for fluting such that the lower ink amount, the milder fluting. However increase in fountain solution seemed to make fluting severer while the effect of drying temperature was inconsistent for each paper. This result might indicate variable drying requirements for each paper. Thereby it was suggested that the optimum drying conditions related to the printabilities of each paper need to be established to minimize fluting potential. A press with short dryer and drastic cooling unit produced higher fluting. Suggestions for future work were given along with interpretation for the results.

Keywords : *fluting, waviness, printability, printing conditions, heatset web offset*

• 한솔제지 기술연구소(R&D Center, Hansol Paper Co., 1674-2, Shinil-Dong, Daedeok-Gu, Daejeon, 306-230, Korea)

*1 부경대학교 공과대학 화상정보공학부(Div. of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University, Busan 606-739, Korea)

† 교신저자(Corresponding author): E-mail: sjeon@hansol.com

1. 서론

인쇄 주름(또는 골주름)은 heatset 운전인쇄에서 흔히 발생하는 문제로 Fig. 1에 예시한 바와 같이 지필의 종목방향으로 주글주글한 형태를 나타내는 현상이다. 인쇄주름은 제본된 책은 물론 개별적인 페이지에도 잔류함으로써 책의 상품성뿐만 아니라 가독성과 품질을 현저히 떨어뜨리게 된다. 통상 인쇄주름은 지필의 양면에 잉크 피복율이 높은 인쇄공정에서 쉽게 관찰되고, 서적, 학습지, 상업 인쇄물 등에 널리 활용되는 heatset 운전 인쇄에서 주로 발생하는 문제이므로 소비자와의 접점에서 매우 중요한 이슈이다.

MacPhee 등¹⁾과 Kulachenko 등²⁾은 인쇄주름에 관련하여 많은 논문들을 검토하고 보고한 바 있다. 연구는 주로 인쇄주름 발생의 메커니즘과 영향인자를 규명하기 위한 것이었는데, 결론적으로 아직까지 인쇄주름에 대해 완벽하게 통용될 수 있는 메커니즘은 제시되지 못하고 있는 것으로 평가되고 있으며 관련 영향인자 또한 탐구의 대상이 되고 있다. Mochizuki와 Aoyama는 주름 지수를 도입하여 인쇄주름을 평가하였고 실제 인쇄에서 관측한 것과 유용한 상관성을 얻었다. 또한 높은 코팅량, 고속의 열풍, 낮은 건조 온도, 넓은 화선부의 폭, 뒷면의 넓은 잉크 커버리지 등이 인쇄주름을 증가시킨다고 보고 하였다.³⁻⁴⁾ Strong은 온도와 장력이 인쇄주름 발생의 필수 조건이며 화선부와 비화선부에 모두 발생하지만 화선부에만 잔류한다고 보고하였다.⁵⁻⁶⁾ 장력과 온도가 인쇄주름을 발생시키기 위해 요구된다는 것은 모두가 지지하고 있는 내용이다.¹⁾ Hung은 장력만으로도 종이는 주름질 수

있지만 장력에 더해 열을 가하는 경우에 인쇄주름은 보다 선명하고 폭이 좁은 형태를 형성하며, 얇은 지필에서는 낮은 장력 하에서도 높은 건조강도에 의해 인쇄주름이 발생할 수 있다고 발표하였다.⁷⁾ 반면 열만으로는 종이에 골진 형태의 주름을 형성시키지 못하는 것으로 보고되었다.⁵⁻⁶⁾ Falter와 Schmitt는 지합과 인쇄주름과의 상관관계를 연구하였으나 특정한 경향을 얻지 못했고, 낮은 장력이 인쇄주름을 줄일 수 있으나 현실적인 한계가 있음을 보고하였다.⁸⁾ 장력의 영향은 분명하지 않은 점이 있는데 몇몇 보고에서는 높은 장력이 주름을 악화시킨다고 하지만 아주 높은 장력 하에서는 주름이 덜 발생한다는 보고도 있다.⁵⁾ MacPhee 등도 제한된 범위에서의 장력변화는 주름 크기에 차이가 없었다고 하였다.¹⁾ 건조와 관련하여 Strong은 인쇄 건조기의 구성은 주름에 영향하지 않는다고 한 반면,⁶⁾ MacPhee 등은 open-flame형 건조기에서는 주름문제가 없다고 하였다.¹⁾ 속도에 관련하여서도 앞서 두 연구는 각각 한쪽은 관련이 없다고 하고, 또 한쪽은 체류시간이 길수록 주름의 크기가 증가한다고 하여 상반된다. 이러한 부분은 좀 더 명확해질 필요가 있다.

종이는 인쇄과정에서 습수를 받아들이고 수분을 잃으며 상당한 팽창과 수축을 겪게 된다. Kirmeier는 인쇄 건조 후 재습 처리는 인쇄주름에 대한 효과적인 처방이 아님을 보였다.⁹⁾ 그러나 국내 상당수의 업체에서는 치수안정성을 위한 별도의 재습처리 장치가 도입되어 효과를 보고 있는 것도 사실이다. MacPhee 등은 수분의 취득량은 주름크기에 영향하지 않는다고 하였고¹⁾ Strong은 수분감소와 주름사이에 어떤

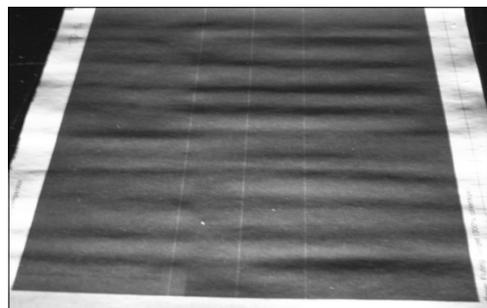


Fig. 1. Photographs of typical waviness and fluting in books (left) and individual page (right).

관계를 찾지 못했다.⁵⁻⁶⁾ 그러나 MacPhee 등은 인쇄 종이 수분이 줄어들었을 때 주름크기가 줄어든다는 것을 보였다.¹⁾ Waech와 Sze는 주름을 종이코팅 조성의 함수로 나타내어 흡수성이 낮은 코팅이 덜 주름진다고 하였다.¹⁰⁾ Hirabayashi 등은 건조과정 동안 수분 감소를 최소화하는 것이 주름감소에 효과적일 수 있음을 독특한 코팅층 설계를 통해 보였다.¹¹⁾ Land는 잉크를 도입하지 않은 실험에서 종이의 수분취득이 높을수록 주름이 증가하며, 수분팽창계수가 높고 tensile stiffness가 낮은 종이가 심한 주름을 나타낸다고 하였다.¹²⁾ Kulachenko 등은 잉크두께와 수분팽창성이 인쇄주름의 형태와 크기에 매우 중요한 인자라고 하였으며, 주름발생은 수분의 국부적 차이와 미소 변이의 크기에 의존한다고 하였다.^{2,13)} 결론적으로 인쇄주름에 대한 수분의 영향이 일관되게 나타나고 있지 않음을 알 수 있다. Strong은 평량이 증가할수록 주름 폭이 넓어진다는 일반적인 관계를 찾았다.⁵⁻⁶⁾ MacPhee 등도 같은 결과를 보였지만, 덧붙여 주름의 크기는 평량에 크게 영향을 받지 않는다고 하였다.¹⁾

주름발생의 메커니즘과 관련하여서는 세 가지가 제시되었다. Habeger는 인쇄주름을 잉크의 고형화에 의해 잔류하게 되는 장력주름으로 설명하였다.¹⁴⁾ 주름의 파장은 선형적 잠김이론(buckling theory)에 의해 예측되었다. 이에 따르면 골주름 파장은 지필이 양면에서 열풍에 노출되고 sinusoidal 형태를 띠게 되는 sine파 건조기에서만 발생하여야 한다. 그러나 MacPhee 등은 평면 건조기에서의 골주름 파장 또한 유사한 형태를 나타냄을 보였다.¹⁾ Hirabayashi 등은 화선부와 비화선부의 상이한 수축에 기초하여 골주름이 형성된다는 메커니즘을 제안하였다.¹⁵⁾ 화선부에서는 잉크층에 의한 증발 방해로 건조과정 동안 수분감소가 덜 일어난다고 가정하였다. 이러한 수분 차이는 Simmons 등에 의해 확인되었다.¹⁶⁾ Coffin은 이 이론을 사용하여 골주름 파장을 예측하였고 장력이 중요한 인자임을 보였다.¹⁷⁾ 그러나 이 연구에서 사용된 선형적 buckling 이론에서는 인쇄와 건조과정에서 발생하는 수분변화에 의한 stiffness변화가 설명될 수 없었다. MacPhee 등은 이들 두 이론 중에 어느 것도 주름 현상을 일관되게 설명할 수 없다고 결론지었다.¹⁾ Kulachenko 등은 골주름을 기하학적으로 비선형적이며 큰 형태의 post buckling 현상으로 고려하여 유

한요소방법으로 분석하였다. 골주름의 잔류현상 또한 모델링 되었고 골주름에 대한 빠른 건조의 영향을 수치적 방법과 실험적으로 평가하였다. 이들은 수분 변화에 의해 야기된 작은 크기의 strain 변동이 1~2 cm 파장의 골주름과 매우 얇은 주름을 생성시킨다고 하였다.^{2,13)} Strong은 화선부의 bending stiffness가 비화선부의 것보다 25% 높다고 하였고,⁶⁾ 이에 기초하여 Habeger¹⁴⁾와 Hirabayashi 등¹⁵⁾은 골주름이 잔류하는 것을 잉크의 고형화로 설명하였다. 그러나 Hung은 잉크의 고형화로 인한 종이의 stiffness 변화는 무시할 수준이며, 골주름이 잔류하는 것은 격심한 가열에 의한 것이고, 화선부에서 또렷하게 보이는 골주름 형태는 광학적 효과와 화선부로의 열전달이 더 높기 때문으로 설명되었다.⁷⁾ 화선부가 더 많은 열을 받는다는 것은 MacPhee 등에 의해 확인되었다.¹⁾ 결과적으로 골주름 형성과 잔류에 대한 메커니즘은 아직 확정적이지 않다.

앞서 언급된 선행연구들을 종합하면, 인쇄주름 발생에 대한 인쇄조건의 영향은 보다 명확해져야 하고, 종지와 같은 인쇄재료의 특성이나 제조조건의 영향이 지속 탐구되어야 하며, 인쇄주름발생의 기작은 보다 근본적으로 제시되어야 한다는 것을 알 수 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 여러 제조사의 비도공지를 사용하여 운전인쇄에서 발생하는 인쇄주름에 대한 건조온도, 습수 공급량, 잉크 공급량 등과 같은 인쇄조건과 인쇄기의 차이 비교를 통한 인쇄 공정조건의 영향을 살펴보고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험 재료

인쇄조건에 따른 인쇄주름발생의 영향과약을 위하여 용지는 상업용으로 유통 중인 국내의 비도공 서적지(70 g/m²)를 대상으로 하였으며, 영향의 일관성을 검증하기 위하여 동일 지종의 3개 제지사 제품을 포함하였다. 인쇄 원본화상은 GATF™ Web Offset Test Chart를 사용하였으며, 여기에는 운전 인쇄주름을 평가할 수 있도록 4색으로 360% 증첩된 화선부(Shadow Target)가 설계되어있다. 잉크는 실인쇄의 경우 모조 중질지용 heatset 운전잉크(광명잉크, 한

국)를 사용하였고, 습수는 현장에서 사용 중인 News Fount Plus(maker unknown)를 적용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 실인쇄와 건조

현장 실인쇄는 상업출판 인쇄사에서 진행되었으며 사용된 전형적인 운전인쇄기 모식도를 Fig. 2에 나타내었다. 운전인쇄기, 인쇄재료, 인쇄조건 등은 Table 1에 제시하였고, 실제 실험은 연식이 다른 X사 인쇄기로 실시되었고, 참조를 위하여 동 인쇄사 소유의 Y사 인쇄기를 함께 나타내었다. 괄호의 수치는 설치년도를 나타낸다. 또한 운전인쇄에서는 건조와 냉각유닛에서 장력이 발생하여 주름발생과 밀접한 관계가 있으므로, Table 2에 냉각유닛 구성모식도와 각

위치에서의 온도를 나타내었다. 여기서 주목할 점은 X(1992) 운전기는 X(1997)에 대비하여 건조기의 길이가 짧아 상대적으로 건조부하가 높고 급격한 냉각이 이루어지고 있다는 것이다.

현장 실인쇄는 Table 3과 같이 3가지 인자, 즉 건조 온도, 잉크 공급량, 습수 공급량을 순차적으로 조정하여 X사 인쇄기(1992년)에서 실시하였고, 또한 각 지종별로 A사, B사, C사 순으로 진행하였으며, 매 조건의 변동 전에 샘플을 촬영하고 500매씩 샘플을 취득하여 인쇄주름을 측정하였다. 또한 취득한 샘플로 인쇄 후에 제본을 실시하여 발생된 주름을 관찰하였다. 마지막으로 C사의 용지에 대해 X사 인쇄기(1997년)로 인쇄하여 인쇄기 간의 차이를 살펴보았다. 주의할 점은 여기서 정상조건이란 현장에서 통상적으로

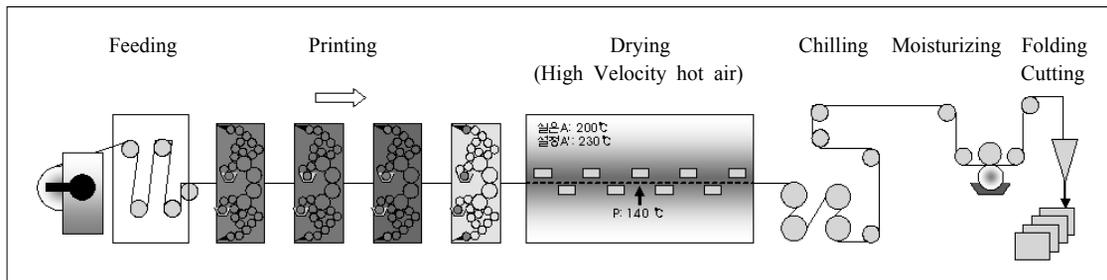


Fig. 2. Diagram of typical heatset web offset printing process.

Table 1. Experimental conditions for real press run

Press Parameters		X (1992)			X (1997)			Y (2001)		
Temp. / Humidity		19.2℃ / 23.2%RH								
Fountain pH		pH 5.79 (17.5℃)			pH 5.97 (17.3℃)			pH 5.39 (10.6℃)		
Conductivity		2,470 $\mu\text{s}/\text{cm}$			888 $\mu\text{s}/\text{cm}$			1,509 $\mu\text{s}/\text{cm}$		
Ink		Heatset web offset ink for uncoated (Kwangmyung)								
Alcohol %		IPA 3%			IPA 8%			IPA 5%		
Fountain solution		News Fount Plus 1388 DSC								
Web width		880 mm			800 mm			880 mm		
Dryer length		5 m			9 m			8 m		
Position		Dryer	Paper	Out	Dryer	Paper	Out	Dryer	Paper	Out
Drying Temp, ℃	Actual	203	-	120	230	130	100	183	141	123
	Setting	230	-	-	260	140	80	210	80%	-
Speed		Ave. 760 rpm (5.5~7.0 m/sec)								
Remarks		*Blanket cleaner runs every 30,000~35,000 revolutions *No remoisturizing and silicone application								

Table 2. Temperature configurations in chilling units of the presses

press Spot	Temperature, °C			Chill rolls configurations
	X (1992)	X (1997)	Y (2001)	
A	110	100	78	
B	-	95	24	
C	34	70	-	
D	-	78	-	
E	10	44	34	
F	17	50	27	
G	10	-	-	
H	-	30	24	
I	4	32	-	
J	6	31	-	
K	6	27	20	
L	10	27	17	

인쇄하는 조건을 말하며 최적조건을 의미하지는 않는다.

2.2.2 인쇄주름의 평가

인쇄주름은 육안평가와 동시에 인쇄물에서 발생한 주름의 진폭, 파장, 개수와 주름에 의한 신장률을 측정하였다. 이를 위해 3차원 형상 측정기(Dimensional Stability Tester, Fibro, Sweden)를 응용하여 수치화된 3차원 데이터를 얻은 후 FFT로 변환하여 주 파장의 진폭(fluting amplitude)을 얻었고, 인쇄물의 평면 최소 직선거리 대비 표면의 주름진 거리의 비율로 신장률(Relative Surface Length, %)을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 인쇄 조건의 영향

인쇄사 현장 기준의 정상 인쇄조건에 도달한 후 건조 온도, 습수 공급량, 잉크 공급량 등을 순차적으로 변화시켰을 때, 각 조건에서 얻어진 낱장 인쇄물의 인쇄주름 측정부위를 3차원으로 측정하여 용지와 조건 별로 Fig. 3에 시각적으로 나타내었다. 두 번째 줄에 나타난 정상 조건을 기준으로 건조 온도를 하향한 경우 A와 B사 용지가 각기 다른 반응을 보였고, 습수 공급량을 상향한 경우 상승하는 경향으로 보이며, 잉크

Table 3. Experimental printing sequence and conditions

No.	Actions	Remark
①	Normal condition	Makeready for reference condition
②	Reduce drying Temp. (Normal condition)	lower Temp. (200°C ⇒ 150°C) Back to 200°C
③	Increase water feed (Normal condition)	20~30% up Back to normal ink amount
④	Reduce ink feed (Normal condition)	20~30% down Back to normal water feed
⑤	Increase drying Temp. Book Binding	high Temp. (200°C ⇒ 250°C) to binding process

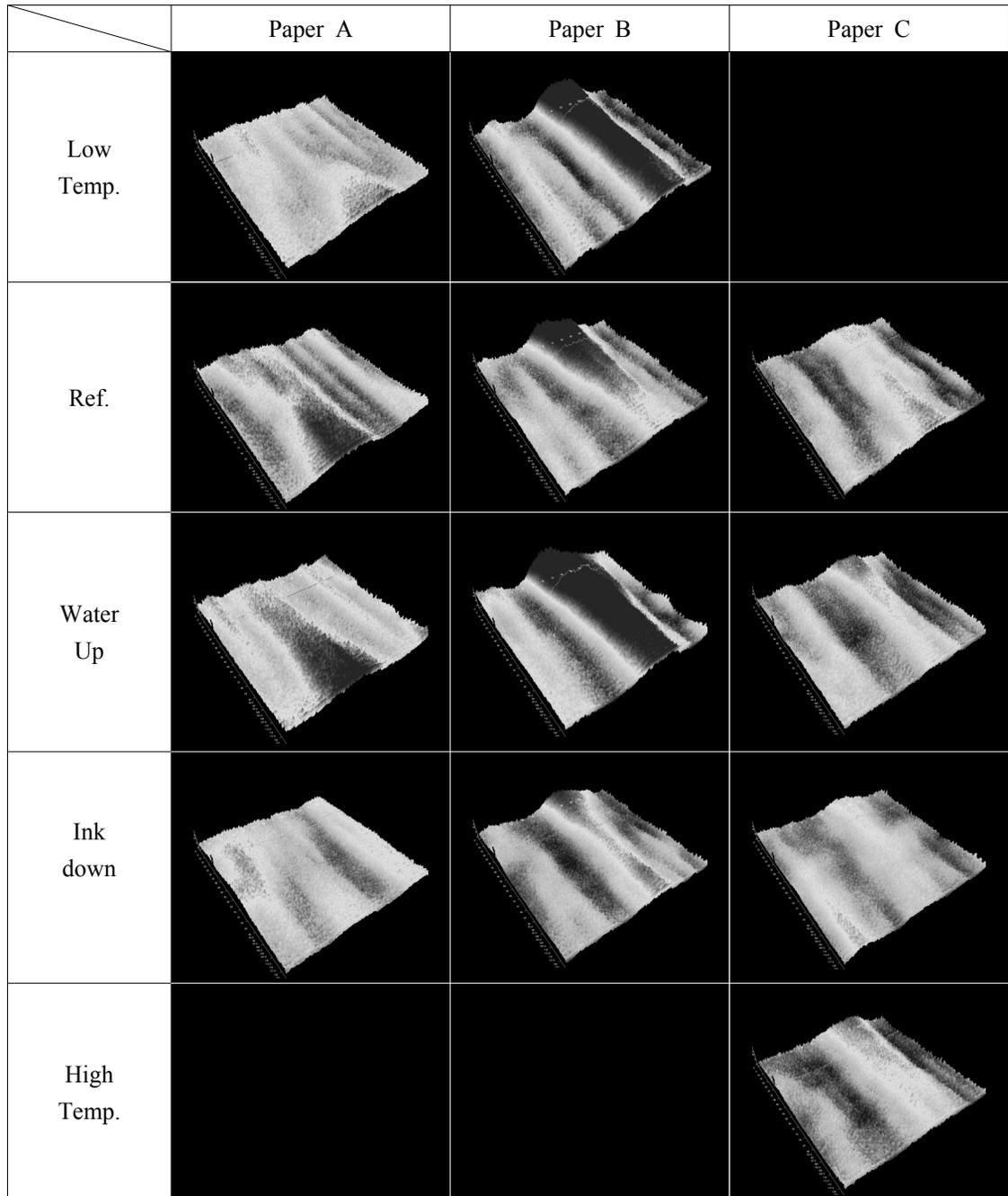


Fig. 3. Distortions of the papers printed at various printing conditions (low temperature, reference condition, high water feed, low ink supply, high temperature, from top to bottom, respectively).

공급량을 하향한 경우 공통적으로 두드러지게 인쇄 주름이 완화되는 것을 볼 수 있다. 각 조건별로 변화하

는 인쇄주름을 보다 객관적으로 살펴보기 위해 Fig. 4에 인쇄주름의 진폭과 상대 신장률에 대한 측정값을

나타내었다. 각 조건변화에 따른 결과로부터 용지에 상관없이 일관된 경향을 보이는 것은 잉크 공급량 변화조건으로 나타났으며, 잉크 공급량을 하향하였을 때 인쇄주름이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 선행 연구들의 결과¹⁾와 일치하는 내용으로 잉크량이 많아질수록 화선부와 비화선부 간의 열적 기계적 이력차가 크게 발생하는 결과이며, 적은 잉크량으로 인쇄를 가능케 하는 방향을 제시하는 것이므로 인쇄사나 잉크 및 종이 제조사에게 중요한 시사점을 제공한다. 한편 건조온도의 하향은 B사의 인쇄주름을 악화시켰지만 A사 용지에서는 줄어드는 경향이 나타나 일관된 결과를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 MacPhee 등¹⁾의 조사에서 나타난 바와 같이 낮은 건조온도가 인쇄주름을 증가시킨다는 결과⁵⁻⁶⁾와 현장에서 흔히 높은 건조온도가 인쇄주름을 크게 한다는 경험적 결과의 상반성을 나타내는 결과로 볼 수 있다. 즉 건조 온도가 낮거나 체류시간이 짧을 경우 상대적으로 늦게 건조되는 화선부에 비해 비화선부와의 수분 차이가 커져서 인쇄주름이 악화될 수 있는 반면, 필요이상의 건조는 과도한 수분감소와 신축을 유발하여 인쇄주름을 크게 할 수 있게 된다.¹¹⁾ 습수 공급량을 상향한 경우 A, B사 용지는 주름이 악화되었으나 C사에서는 별반 차이를 나타내지 않았다. 전체적으로는 최근 선행 연구^{7,10,12)}에서와 같이 수분공급이 높을수록 인쇄주름을 크게 하는 결과를 나타낸 것으로, 흡수성이 높거나 습수 공급량이 많아질수록 수분을 더 취하게 되고 수분에 의한 팽창 및 수축이 유발되며 동시

에 화선부와 비화선부 사이의 수분차로 인해 인쇄주름이 악화될 수 있음을 나타낸 결과이다. 이 실험결과들에서 보다 중요한 시사점은 인쇄주름의 발생측면에서 용지별로 최적 조건이 선택적으로 다를 수 있다는 것이다. 즉 용지별로 잉크나 습수의 취득 및 흡수량이 다르고 열적 기계적 변형이 다르므로 적정한 잉크 및 습수 공급조건을 수립하고 이에 맞는 건조조건을 제공을 통해 인쇄주름이 최적화 될 수 있다는 것이다. 이를 검증하기 위해서는 각 조건에 대하여 보다 연속적이고 폭넓은 변동조건에서 결과가 재조명되어야 할 필요가 있으며, 종이의 특성과 인쇄주름의 상관성에 대한 연구가 별도로 요구된다.

한편 용지사별로의 변형정도를 Fig. 3에서 관찰하면 정상조건에서의 결과를 기준으로, C사>A사>B사 용지순서로 인쇄주름이 심한 것으로 보인다. 그러나 수치화된 결과로 Fig. 4에서 인쇄주름을 진폭으로 나타내면 동일한 경향을 볼 수 없고 A사 용지가 가장 낮으며, 주름에 의한 상대적 표면 신장률에서는 A사 용지가 가장 높은 것을 볼 수 있다. 결과적으로 주름발생의 정도는 두 가지 지표가 함께 고려되어야 함을 알 수 있고, 진폭과 상대 신장률은 각각 인쇄 주름의 높이와 개수를 중심으로 나타내게 된다.

3.2 인쇄 공정조건의 영향

Fig. 5에는 동일한 메이커이지만 모델이 다른 두 가지 윤전기에서 인쇄된 인쇄물의 주름을 나타내었다. X(1997) 인쇄기에서 인쇄주름이 적게 나타나고 있으

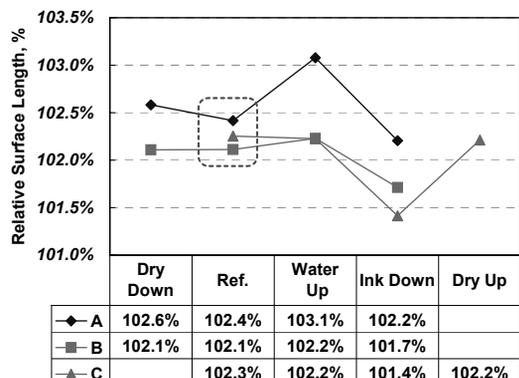
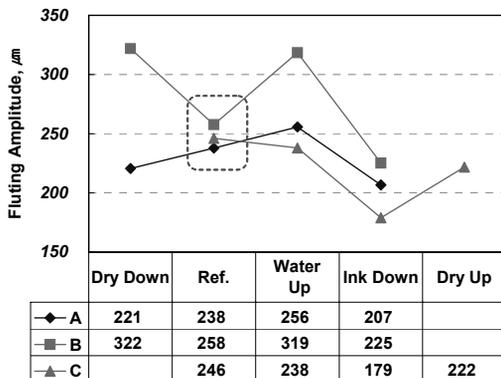


Fig. 4. Fluting in amplitude(left) and relative surface length(right) for the papers printed at various printing conditions.

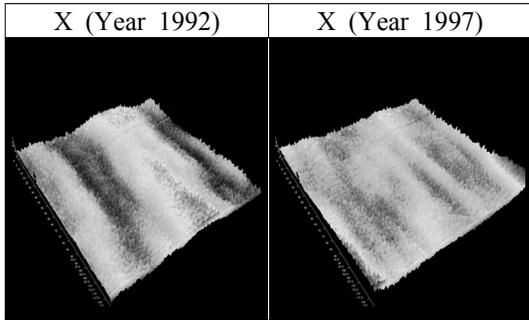


Fig. 5. Comparison for the distortions of the paper C printed by different presses.

며 Fig. 6에 나타내었듯이 주름의 진폭에서 큰 차이를 확인할 수 있다. Table 1과 2에 나타낸 바와 같이 두 인쇄기의 가장 큰 차이점은 건조기의 길이와 냉각 롤의 운전조건으로 X(1992) 운전기는 건조부가 5m 정도로 짧고 냉각 온도의 구배가 크다. 건조기가 짧을 경우 충분한 건조를 위하여 상대적으로 높은 온도를 요구하거나 충분한 체류시간을 필요로 하고, 그렇지 않을 경우 비화선부에 비해 화선부는 건조가 불충분하여 응력의 불균형이 초래되며 주름이 증가할 수 있다. 또한 고온의 지필을 냉각시키고 잉크를 고착시키기 위해 낮은 온도로 냉각유닛을 운전하므로 지필은 상대적으로 급격한 온도변화와 함께 높은 장력에 놓이게 되어 높은 인쇄주름을 나타내게 된다고 판단된다. 온도나 장력 같은 하드웨어 조건의 독립적인 영향을 보다 명확화하기 위해서는 더욱 세분화된 실험의 구성과 추가 연구가 필요할 것이다.

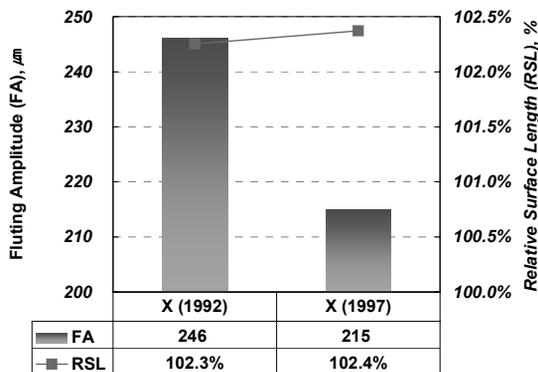


Fig. 6. Fluting tendency of the paper C printed by different presses.

4. 결론

Heatset 운전 인쇄기와 객관적인 인쇄주름 평가법을 도입하여 상용의 비도공지를 대상으로 인쇄조건의 변화에 따른 인쇄주름을 실험 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 잉크량 하향은 인쇄주름을 크게 감소시키는 것으로 나타났다. 따라서 인쇄사는 적정 인쇄농도에서 운전조건을 유지하여야 하고, 잉크와 종이는 최소의 잉크량에서 최적의 인쇄효과가 발현될 수 있도록 재료를 최적화하여야 한다.

2. 습수공급량이 높을수록 인쇄주름은 커지는 경향을 띄었지만, 건조조건의 영향은 용지별로 상반된 결과를 나타내었다. 이는 건조조건의 영향이 재료에 무관하지 않으므로 용지의 인쇄적성에 맞는 건조조건의 제공을 통해 인쇄주름이 최적화 될 수 있음을 나타낸다.

3. 짧은 건조기와 급격한 냉각조건은 인쇄주름을 악화시키는 것을 알 수 있었다. 짧은 건조기는 상대적으로 높은 온도나 충분한 체류시간을 필요로 하고 화선부의 불충분한 건조에 따라 비화선부와 응력차이를 유발할 수 있으며, 급격한 냉각처리는 높은 장력을 유발하기 때문에 인쇄주름이 악화될 수 있으므로 공정조건의 최적화가 필요하다.

향후 본 연구를 바탕으로 인쇄조건 측면에서는 보다 연속적이고 폭넓은 변동조건에서 결과가 확장되어야 할 필요가 있으며, 공정조건의 독립적인 영향을 구분하기 위해 더욱 세분화된 연구가 필요하고, 또한 재료의 최적화 측면에서는 종이의 특성과 인쇄주름의 상관성에 대한 연구가 뒤따라야 할 것이다.

인용문헌

- MacPhee, J., Bellini, V., Blom, B.E., Cieri, A.D., Pinzone, V., and Potter, R.S., The Effect of Certain Variables on Fluting in Heatset Web Offset Printing, Web Offset Association, Affiliate of Printing Industries of America Inc., USA (2000).
- Kulachenko A., Gradin P.A., and Uesaka T., Basic mechanisms of fluting, 92nd Annual Meeting of the Pulp and Paper Technical Association of Canada, Montréal, Canada, pp. A161-A175 (2006).

3. Mochizuki, S. and Aoyama, J., Effects of fast ink drying conditions on multi-colored moving web, TAGA Proceedings, pp. 43-55 (1981).
4. Mochizuki, S. and Aoyama, J. (1982), Multi-colored moving web (II), TAGA Proceedings, pp. 483 ~ 496.
5. Strong, W., Paper distortion from heatset web offset printing, Graphics Arts Bulletin, No. 11, Mead Corp, USA (1984).
6. Strong, W., A study of fluting in coated papers printed by blanket-to-blanket offset presses, GATF Technical Forum, Chicago, USA, pp. 20.21-20.32 (1984).
7. Hung, J.Y., Paper fluting-results of TEC studies, TEC systems, DePere, Wisconsin, USA (1984).
8. Falter, K.A. and Schmitt, U., Influence of heat-effects in web offset printing on strength properties of the paper and on waviness of the print, 19th International Conference of Printing Research Institutes, Eisenstadt, Austria, pp. 176-185 (1987).
9. Kirmeier, M., Performance of remoistening systems in heat-set web production, GATF-FOGRA Graphic Technology Conference, Pittsburgh, USA, pp. 711-723 (1999).
10. Waech, T.G. and Sze, D.H., Predicting the fluting tendency of light weight coated paper, 1996 International Printing and Graphic Arts Conference, Minneapolis, USA, pp. 65-73.
11. Hirabayashi, T., Fujiwara, S., Fukui, T., Suzuki, Y., Tani, Y. and Watanabe, D., Development of new printing paper called OK Non-Wrinkle, PTS Coating Symposium, Baden-Baden, Germany, pp. 14.11-14.18 (2005).
12. Land, C., Effect of moisture amount on HSWO waviness, International Printing and Graphic Arts Conference, Vancouver, Canada, pp. 29-33 (2004).
13. Kulachenko A., Gradin P.A. and Uesaka T., Tension wrinkling and fluting in heatset web offset printing process, post-buckling analysis, l'Anson, S.J. (ed.), Advances in Paper Science and Technology, The Pulp and Paper Fundamental Research Society, Lancashire, UK, pp. 1075-1099 (2005).
14. Habegar, C.C., Tension wrinkling and the fluting of light-weight coated papers in web-offset printing, J. of Pulp and Paper Science, 19(5):214-218 (1993).
15. Hirabayashi, T., Fujiwara, S. and Fukui, T., Factors of the fluting of coated paper in web offset printing, 1998 Pan-Pacific and International Printing and Graphic Arts Conference, Montreal, Canada, pp. 52-57.
16. Simmons, S., Blom, B., Dreher, C., Dewildt, D. and Coffin, D., Parametric evaluation of web offset fluting, TAGA's 53rd Annual Technical Conference, San Diego, CA, USA, pp. 162-185 (2001).
17. Coffin, D., A buckling analysis corresponding to the fluting of lightweight coated webs, International Paper Physics Conference, Victoria, BC, Canada, pp. 31-36 (2003).