

온 · 습도 조건이 전자 복사용지의 물리적 특성에 미치는 영향

강광호 · 김형진[†]

접수일(2012년 6월 4일), 수정일(2012년 6월 14일), 채택일(2012년 6월 18일)

Effects of Temperature and Relative Humidity on the Physical Properties of Electronic Copying Paper

Kwang-Ho Kang, and Hyoung-Jin Kim[†]

Received June 4, 2012; Received in revised form June 14, 2012; Accepted June 18, 2012

ABSTRACT

For evaluating the printing suitability of electronic copying papers in the aspect of climate conditions, 12 samples of copying papers being generally used in Korea and worldwide were collected. The copying papers were controlled by various temperature and humidity options in conditioning equipment in order to simulate the specific circumstances of dry, temperate or tropical climate, and the pre-heating system of photocopying machines during printing. As results, some copying papers showed several physical problems, especially in recycled copying papers and a normal paper with original printing faulty. These problems of copying papers were mostly resulted in extremely high moisture circumstance, and in lower levels of tensile strength and tensile stiffness. The moisture contents of copying papers during passing through the pre-heater system of photocopying machine could be rapidly decreased because paper is exposed to high temperature around the pre-heating zone. The copying paper, for example of XR3 sample, containing low moisture contents below 2% had high exfoliating possibility of toner transfer from copying paper.

keywords ; *copying paper, printability, conditioning treatment, physical properties*

• 국민대학교 임산생명공학과 (Dept. of Forest Products & Biotechnology, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail ; hyjikim@kookmin.ac.kr

1. 서론

복사용지는 한 장의 복사 출력물에서부터 복수의 소량 인쇄에 이르기까지 정보 재생산의 공정 전체에 사용되는 종이를 칭한다. 일반적으로 복사용지는 프린터나 복사기에 의해 정보가 인쇄되어 기록물로서의 역할이 목적이기 때문에 급지의 원활함이나 토너의 정착 거동 특성 등 인쇄적성이 우수해야 하며, 인쇄 후 종이의 변형이 최소화 되어야 한다. 그러나 일반적으로 종이는 표면과 이면의 조직 구조가 다르며, 종이를 구성하고 있는 섬유의 배향성이 불균일하고 공기 중의 수분에 의한 영향으로 수축 및 팽창 변이를 나타내는 불균일한 특성을 지닌 매개체이기 때문에 인쇄 시 다양한 문제점¹⁾들이 야기 된다.

특히 복사용지의 경우 인쇄 시 급지가 이루어지지 않거나 여러 장이 동시에 급지되어 걸림 현상이 나타나기도 하며, 인쇄 도중 종이가 걸리는 jamming 현상이 발생하기도 한다. 또한 인쇄 시 토너의 번짐 현상이나 토너의 전사누락 등 인쇄 불량²⁾이 발생하며, 인쇄 후에도 curling, wrinkling, cockling 등²⁻⁴⁾ 복사용지의 변형이 유발 된다. 복사용지의 이러한 인쇄 불량²⁾의 원인은 다양한 물리적 특성에 의해 발생되며, 특히 온도 및 상대 습도의 환경 변화에 의해 크게 좌우된다.

본 연구에서는 국내 생산 및 수입용 복사용지 12종을 선별하여 프린터 인쇄에 대한 복사용지의 적합성 평

가를 실행하고자 KS MISO 187에 의거한 표준 조습처리 조건을 기준으로 저온 및 고온, 저습 및 고습 조건에서 복사용지를 조습처리 하였을 때 변화하는 복사용지의 다양한 특성을 분석하였으며, 이를 통해 인쇄 불량을 최소화 할 수 있는 전자복사용지의 조건을 탐색하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 실험에 사용한 복사용지는 Table 1과 같으며, 전세계에서 표본 수집한 총 12종의 복사용지를 A사로 부터 분양 받아 사용하였다. 각 복사용지의 특성은 제조사의 표기방법을 따랐으며, 평량은 제조사의 표시사항을 인용하였다. 국내에서 유통되고 있는 SS, DA 등 2종의 복사용지를 분석하였으며, 평량에 따라 B, XR1, XR2, XR3, XR4 등 5종의 복사용지와, SY 및 DL 등 2종의 아시아권에서 제조한 복사용지, DH 및 XR5 등 2종의 재활용 복사용지를 분석하였다. 또한 인쇄 시 급지가 불량하고 인쇄 후 curling 현상이 많이 발생된 HM 복사용지를 분석하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 복사용지의 조습처리

Table 1. Species of copying paper

Sample No.	Classification	Abbreviation	Size	Basis weight
1	Thin paper	B	Letter*	16 lb
2	Normal paper	XR1	Letter	20 lb
3	Normal paper	XR2	A4**	80 gsm
4	Thick paper	XR3	A4	160 gsm
5	Thick paper	XR4	A4	250 gsm
6	Domestic paper	SS	A4	75 gsm
7	Domestic paper	DA	A4	80 gsm
8	Recycled paper	DH	A4	75 gsm
9	Recycled paper	XR5	A4	80 gsm
10	Paper from China	SY	A4	70 gsm
11	Paper from China	DL	A4	70 gsm
12	Normal paper with printing problems	HM	Letter	20 lb

Letter* : 215.9 × 279.4 mm

A4** : 210 × 297 mm

Table 2. Controls of conditioning treatment

Conditions		Temperature, ℃	Relative humidity, %	Simulation of climate
Temperature	Relative humidity			
Low	Low	20	35	dry climate
Normal	Normal	23	50	temperate climate
High	High	30	90	tropical climate
Maximum	Low	90	30	printing at dry climate
Maximum	Normal	90	50	printing at normal temperate climate
Maximum	High	90	80	printing at tropical climate

Table 3. List of test standards and species of testers relative to measurements

Measurements	Test standards	Species of tester
Basis weight	KS M ISO 536	Precisa XT 200A
Thickness	KS M ISO 534	Thickness tester, L&W
Formation	-	2D lab formation sensor, TECH PAP
Ash contents	KS M ISO 1762	-
Cobb(60) size degree	TAPPI T 411 om	Gurley Precison Instrument
Fiber orientation	-	TSO tester, L&W
Moisture contents	KS M ISO 287	Precisa XT 200A
Tensile strength	KS M ISO 1924-2	Tensile tester, L&W
Tensile stiffness		

국내의 복사용지 12종에 대한 기계적·물리적 특성 평가를 위해 KS M ISO 187에 의거하여 온도 23±1℃, 상대습도 50±2% 조건의 항온·항습실에서 24 시간 이상 조습 처리하였다. 한편 세계의 지역적 기후모사 조건에 따라 복사용지의 인쇄 특성이 변화될 수 있기 때문에 Table 2와 같은 온도 및 상대 습도 조건에서 복사용지 12종을 24 시간 동안 조습처리 하여 기계적·물리적 특성을 평가하였다. 이때 조습처리하는 항온·항습 챔버 (JEIO Tech., T&H Chamber TH-TG-408, Korea)를 사용하였다.

2.2.2 복사용지의 기계적·물리적 특성 평가

각각의 조건에서 조습처리 된 복사용지의 기계적·물리적 특성 분석은 Table 3과 같이 KS ISO standard methods와 TAPPI test methods에 의거하여 수행하였다.

먼저 기본 조습처리 조건인 온도 23℃, 상대습도 50%의 조건에서 복사용지 12종의 평량, 두께, 밀도, 지합, 회분 함량, 사이즈도 및 fiber orientation을 측정하

였으며, 다양한 온도 및 상대습도 조건에서 함수율, 인장강도 및 tensile stiffness를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 복사용지의 기계·물리적 특성

본 실험에서 사용한 복사용지의 기계적 특성을 Table 4에 나타냈다. 평량에 대한 복사용지의 인쇄 특성을 평가하기 위해 준비한 B(thin paper), XR3 및 XR4(thick paper)를 제외하고 유사한 평량과 두께의 분포도를 나타냈다. 또한 XR3 및 표면 코팅 처리된 XR4를 제외하고 모두 약 0.76 g/cm³의 유사한 밀도 분포를 보였으며 복사용지 SY의 경우 상대적으로 밀도가 낮게 나타났다.

Fig. 1은 각종 복사용지의 지합 특성을 나타낸 결과이다. XR4의 경우 표면 코팅처리가 되어있어 다른 복사용지에 비하여 우수한 지합 특성을 보였으며, 북미산 복사용지인 XR3 및 국내에서 주로 사용되고 있는 복사

Table 4. Mechanical properties of different copying papers

No.	Name	Basis weight, g/m ²		Thickness, μm		Density, g/cm ³
		Average	STDEV.	Average	STDEV.	
1	B	62.00	1.31	81.0	1.63	0.77
2	XR1	77.64	0.38	102.3	1.06	0.76
3	XR2	79.58	0.63	103.3	1.06	0.77
4	XR3	156.85	1.60	190.4	1.51	0.82
5	XR4	240.62	0.69	286.8	1.87	0.84
6	SS	78.60	0.21	104.5	0.97	0.75
7	DA	80.87	0.95	110.2	2.49	0.73
8	DH	78.56	1.23	102.4	1.51	0.77
9	XR5	77.87	1.09	101.1	1.73	0.77
10	SY	69.64	1.13	104.1	1.60	0.67
11	DL	74.21	1.75	101.2	1.40	0.73
12	HM	76.85	0.50	101.7	1.06	0.76

용지 SS와 DA가 우수한 지합 특성을 나타냈다. 특히 인쇄 후 curling 현상이 많이 발생하는 복사용지 B 및 HM이 상대적으로 불량한 지합 특성을 보여 인쇄 후 curling 현상이 지합 특성과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 복사용지의 회분 함량을 나타낸 결과이다. KS M 7211 (2008)의 규격에 의하면 전자 복사용지의 회분 규격은 15% 이하로 규정되어 있으나 시장에서의 유통 현실은 규격과 큰 차이를 나타나고 있다. 분석에 사용한 복사용지 12종 중 복사용지 B 및 DA를 제외한 모든 복사용지의 회분 함량은 15% 이상으로 나타났다. 이러한 결과는 현재 복사용지의 고백색도 및 원가 절감을 도모하기 위해 종이 제조 시 충전제 함량을 지속적으로 증가시키고 있는 추세가 반영된 것으로 사료된다. 특히 복사용지 SY 및 DL의 경우 회분 함량이 각각

24.14% 및 28.82%로 높고 Fig. 1에서와 같이 지합도 불량하기 때문에 프린터나 복사기에 의한 인쇄 시 충전제에 의한 지분 발생으로 OPC (organized photo conductor) drum을 손상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 3은 12종 복사용지의 사이즈도를 나타낸 결과이다. 대부분의 Cobb(60) 사이즈도는 30~40 g/m²로 나타나 사이즈도가 양호한 결과를 보였지만⁵⁾, 재활용 복사용지인 DH 및 XR5의 경우 Cobb(60) 사이즈도가 각각 54.67 g/m², 69.33 g/m²로 나타나 천연펄프를 사용하여 제조된 복사용지에 비해 상대적으로 낮은 결과를 나타냈다. 특히 북미산 복사용지인 XR1 및 XR3의 경우도 사이즈도가 낮은 것으로 나타났다.

Fig. 4는 복사용지의 컬 특성을 평가하기 위해 섬유 배향 특성(TSO unit)을 분석한 결과이다. 복사용지

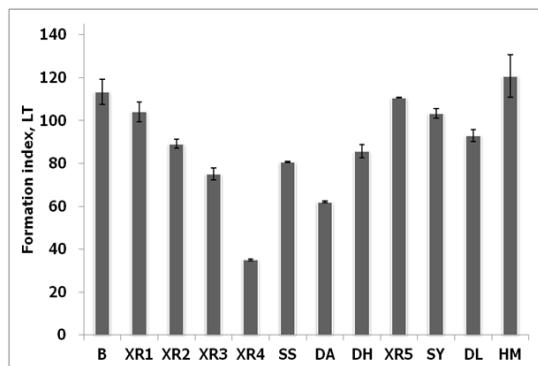


Fig. 1. Changes in formation index of different copying papers.

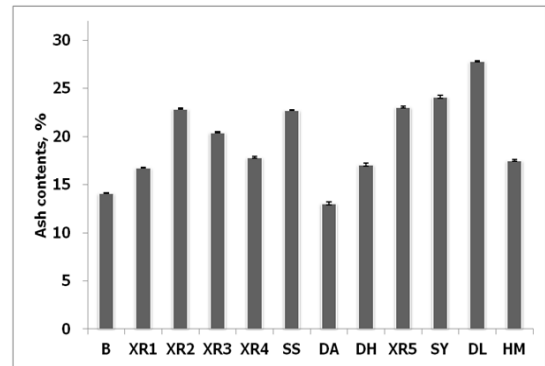


Fig. 2. Changes in ash contents of different copying papers.

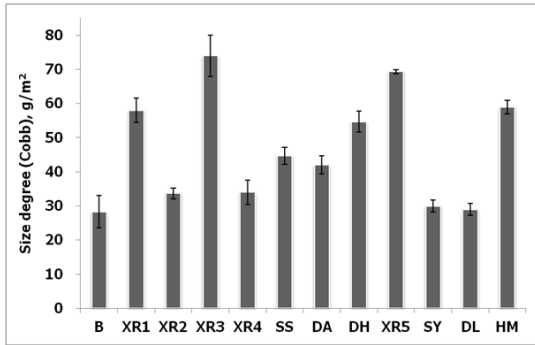


Fig. 3. Changes in sizing degree of different copying papers.

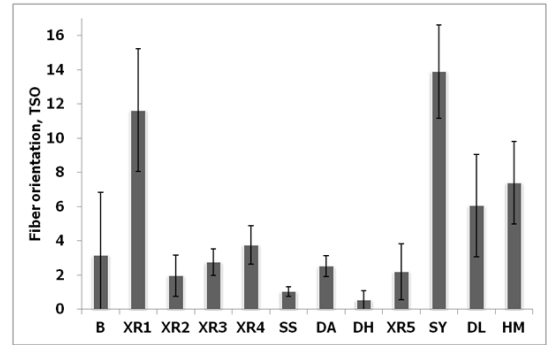


Fig. 4. Changes in fiber orientation of different copying papers.

XR1 및 중국산 복사용지 SY, DL과 HM의 경우 불량한 fiber orientation 결과를 보였으며, 특히 HM의 인쇄 특성 평가에서 curling 및 cockling, wrinkling 등의 문제가 빈번히 발생된 경우로 보아 XR1, SY 및 DL의 복사용지도 이러한 인쇄 불량 문제가 나타날 가능성이 높을 것으로 판단된다.

3.2 온도 및 상대습도 변화에 따른 복사용지의 기계적·물리적 특성

3.2.1 기후대 조건에 따른 복사용지의 물리적 특성 변화

Fig. 5~10은 복사용지 사용에 따른 지역적 특성을 가 정하여 건조대, 온대 및 열대 지역에서의 기후대를 모 사하여 복사용지의 특성 변화를 평가한 결과이다. Fig. 5에서와 같이 온도 23℃, 상대습도 50%의 표준 조건과 비교하여 건조 기후를 모사한 온도 20℃, 상대습도 35%로 설정하여 조습처리 하였을 때의 복사용지의 함 수율 변화는 큰 차이가 없었으나, 12종 중 DH 및 XR5 에서는 표준조건과 비교하여 각각 37.14%, 41.73%의 변화를 나타냈다. 온도 30℃, 상대습도 90%의 열대 기후를 모사한 조습처리 조건에서는 모든 종류의 복사용 지에서 함수율 변화가 크게 나타났다. 특히 DH 및 XR5 은 표준조건과 비교하여 147.03% 및 124.80% 증가하 였으며, 이는 건조 기후대로 모사하였을 경우와 마찬가 지로 큰 변화를 나타냈다. 따라서 DH 및 XR5는 재활용 복사용지로서의 특성과 사이즈도 저하로 인해 함수율 변화가 크게 나타나는 것으로 사료되며, 특히 인쇄 시 DH 및 XR5는 토너의 번짐 현상과 jamming 현상이 빈

번하게 관측되는 용지로서 향후 재활용 복사용지 제조 시 이와 같은 특성을 개선할 필요가 있다고 사료된다.

Fig. 6은 기후 조건에 따른 복사용지의 인장강도 변 화를 나타낸 결과이다. 인장강도는 상대 습도에 따른 영향이 크게 나타났으며, 상대 습도가 증가함에 따라 인장강도가 감소하여 열대기후 조건대에서 복사용지 를 사용할 경우 장력 감소의 원인이 되는 것으로 나타났 다. 이는 대기 중의 수분이 종이 내로 침투되어 섬유간 수소 결합력의 저하로 인해 나타난 결과로 사료되며, 열대 기후 조건에서는 특히 인쇄 시 복사용지의 찢김 현 상에 주의해야 할 것으로 사료된다. 특히 Fig. 7의 tensile stiffness는 인장력이 작용하기 시작하는 시점에 서의 강도 변화 기울기를 나타내기 때문에 인쇄 시 복사 용지가 급지 될 때의 인장강성을 나타낸다고 고려할 수 있으며, 복사용지 SY 및 DL의 경우 열대 기후 조건에서

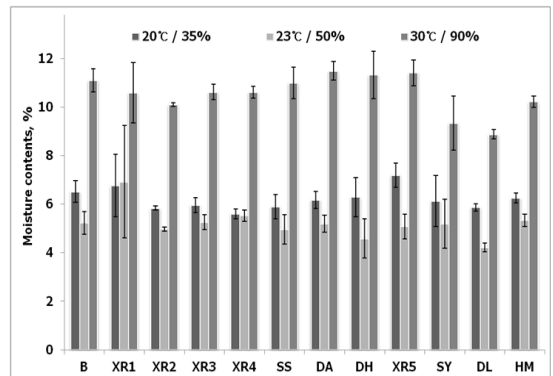


Fig. 5. Changes in moisture content of copying papers by the different conditions of temperature and RH.

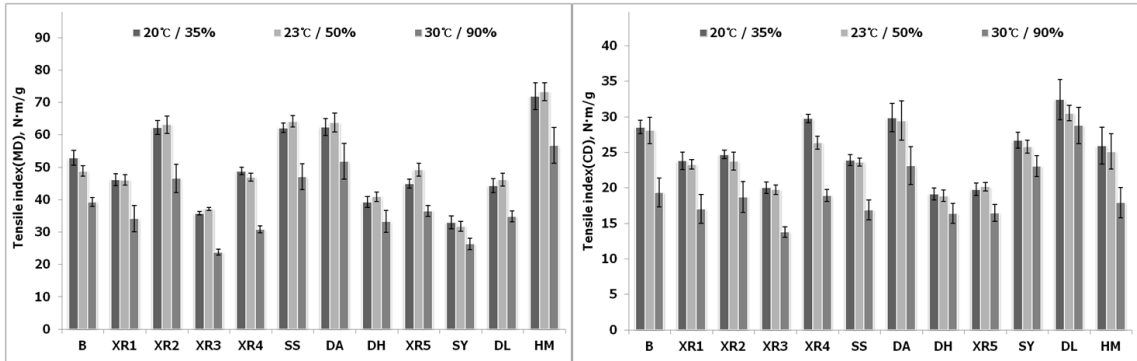


Fig. 6. Changes in tensile strength of copying papers by the different conditions of temperature and RH (left : machine direction, right : cross direction).

낮은 tensile stiffness를 나타냈으며 인쇄 시 종이 비틀림 및 jamming 현상⁶⁾ 등이 나타날 가능성이 높을 것으로 사료된다.

3.2.2 인쇄 시 온도 변화에 따른 복사용지의 물리적 특성 변화

Fig. 8~10은 복사용지가 인쇄 시 복사기나 프린터의 히팅 롤을 단시간에 통과하면서 종이에 열이 급격히 전이되는 현상을 모사하기 위하여 온도 90°C, 상대습도

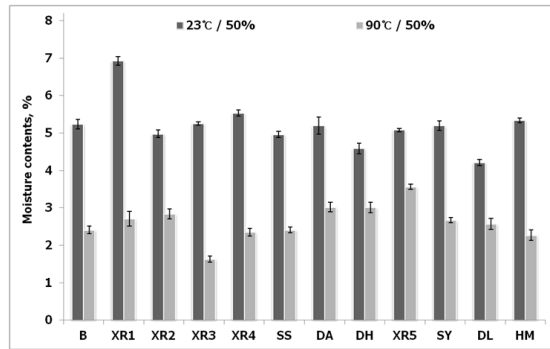


Fig. 8. Changes in moisture contents of copying papers by the different conditions of temperature and RH 50%.

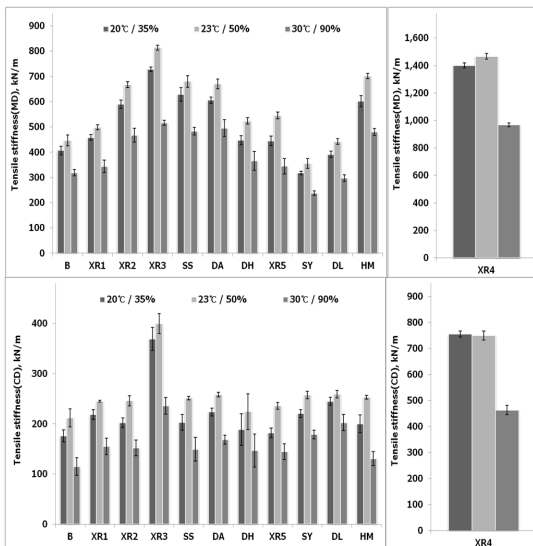


Fig. 7. Changes in tensile stiffness of copying papers by the different conditions of temperature and RH (top : machine direction, bottom : cross direction).

50%의 조건에서 24시간 동안 조습처리 한 뒤 복사용지의 물리적 특성 변화를 평가한 결과이다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 온도를 90°C로 상승하였을 때, 복사용지의 함수율은 급격하게 감소하였으며, 특히 복사용지 XR3의 경우 함수율이 1.63%로 매우 낮았으며 이는 종이 표면에 높은 전기저항이 야기되어 인쇄 시 토너의 전사누락이 발생될 가능성이 상대적으로 높을 것으로 사료된다.

Fig. 9는 인쇄 시 복사용지의 온도 변화에 따른 인장강도 변화를 나타낸 결과이다. 모든 종류의 복사용지에서 90°C의 온도 조건 설정은 인장강도 증가를 야기하였으며, 이로서 인쇄 시 복사용지가 히팅 롤을 통과할 때 강성의 변형을 가져오는 요인이 될 것으로 사료된다. 즉 인장강도의 증가는 90°C의 높은 열에 의해 종이 내 함수율 변화로 인한 섬유간 수소 결합력의 증대로 나타

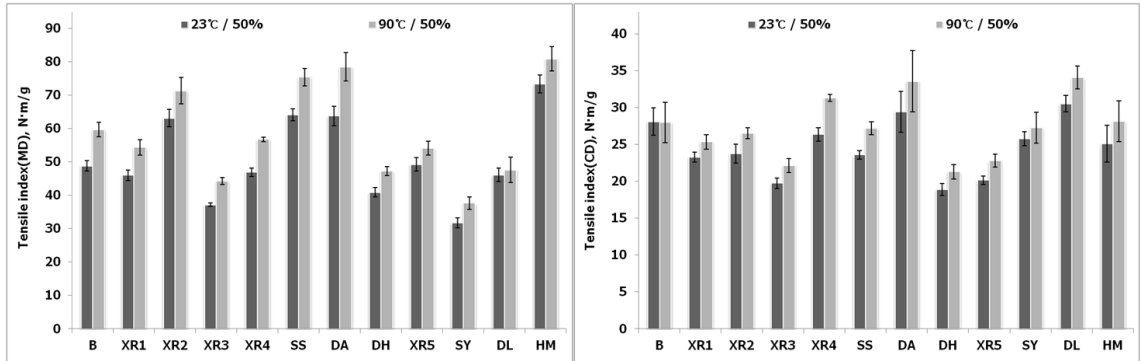


Fig. 9. Changes in tensile strength of copying papers by the different conditions of temperature and RH 50% (left : machine direction, right : cross direction).

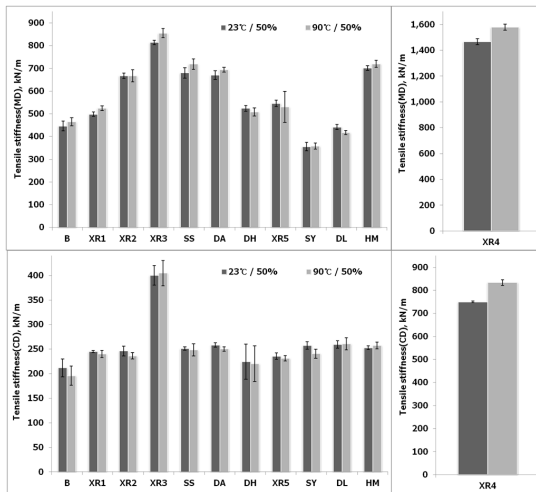


Fig. 10. Changes in tensile stiffness of copying papers by the different conditions of temperature and RH 50% (top : machine direction, bottom : cross direction).

난 결과로 사료된다. 그러나 Fig. 10의 결과에서와 같이 tensile stiffness는 큰 변화를 나타내지 않았으며 복사용지가 급지 시 나타나는 기계적 특성변화는 높지 않은 것으로 판단된다.

3.2.3 인쇄 시 상대습도 변화에 따른 복사용지의 물리적 특성 변화

Fig. 11~13은 복사용지가 상대 습도가 낮거나 높은 환경에서 인쇄 시 복사기나 프린터의 가열부를 통과하면서 온도가 증가된 상황을 모사하기 위하여 온도 9

0℃, 상대습도 30% 및 80%의 조건에서 24시간 동안 조습처리 한 뒤 복사용지의 물리적 특성 변화를 평가한 결과이다. Fig. 11에서와 같이 온도 90℃의 조건에서 상대 습도 30% 및 50%의 함수를 변화는 거의 나타나지 않았으나 상대 습도를 80%로 높였을 경우 복사용지의 함수율은 급격하게 상승하는 결과를 나타냈다. 따라서 온도 90℃와 상대 습도 80%의 조건에서는 인쇄 시 가열부를 통과할 때 다량의 잔존 수분으로 인해 인쇄 시 토너의 번짐 현상과 같은 문제가 발생할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 복사용지 HM은 상대 습도를 50%에서 80%로 증가하였을 경우 함수율 변화는 131.7%로서 큰 변화를 나타냈으며, 이는 인쇄 시 curling이나 wrinkling, cockling 등에 의한 종이의 문제점이 발생할 가능성이 높을 것으로 판단된다.

Fig. 12는 상대습도 조건 변화에 따라 복사용지가 인

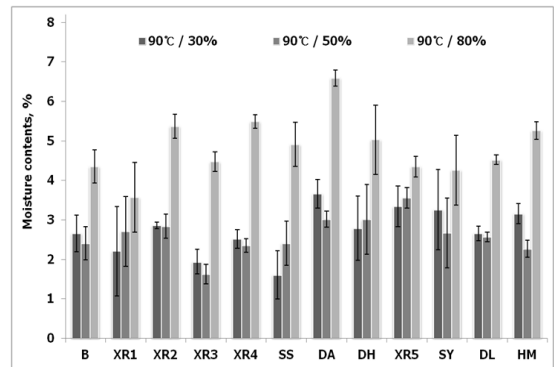


Fig. 11. Changes in moisture contents of copying papers by the different conditions of RH and 90℃.

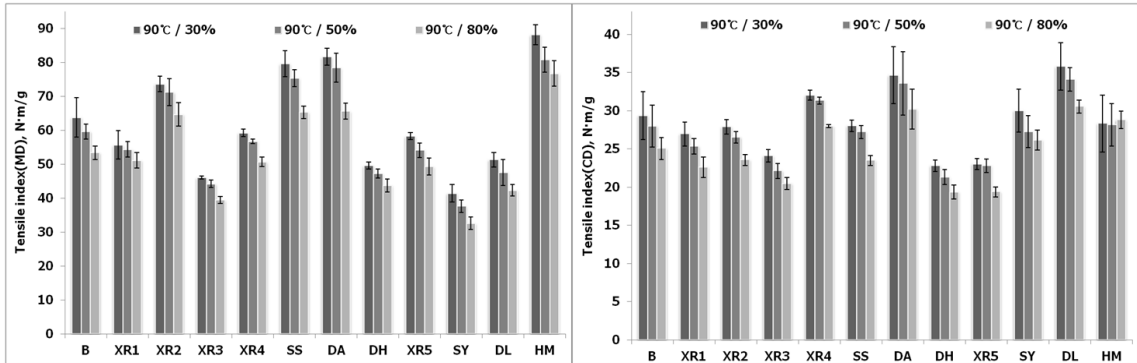


Fig. 12. Changes in tensile strength of copying papers by the different conditions of RH and 90°C (left : machine direction, right : cross direction).

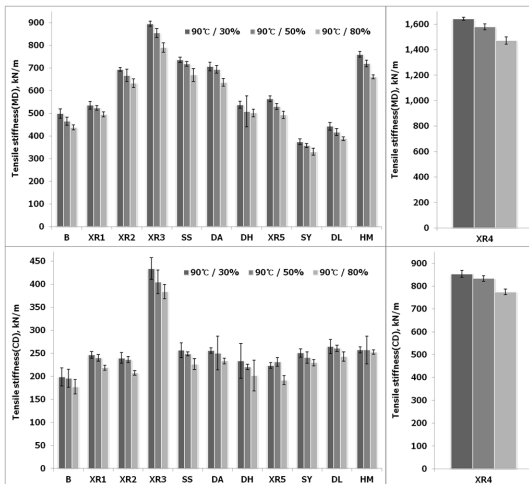


Fig. 13. Changes in tensile stiffness of copying papers by the different conditions of RH and 90°C (top : machine direction, bottom : cross direction).

쇄 시 가열부를 지나면서 온도가 상승하는 상황 모사에 따른 인장강도 변화를 나타낸 결과이다. 상대 습도를 30%에서 50% 및 80%로 증가시키에 따라 모든 종류의 복사용지에서 인장강도가 감소하는 결과를 나타냈다. 그러나 변화율은 높지 않았으며, 따라서 상대 습도의 변화에 따른 인장강성 변화에 의한 인쇄 결함은 높지 않을 것으로 판단된다. 한편 Fig. 13은 tensile stiffness를 나타낸 결과로서 Fig. 12의 인장강도 변화 결과와 마찬가지로 상대 습도가 증가함에 따라 tensile stiffness는 감소되었지만 그 변화율은 낮아 복사용지의 급지 시 문제점 발생 가능성은 낮을 것으로 사료된다.

4. 결론

국내·외에서 수집한 복사용지 12종을 선별하여 기본적인 기계적·물리적 특성을 분석하고 건조대, 온대 및 열대에서의 기후 조건을 모사하여 조습 처리된 복사용지의 물리적 특성 변화를 분석하였다. 또한 인쇄 시 다양한 상대습도 조건하에서 인쇄기의 가열부를 통과할 경우 발생하는 복사용지의 물리적 특성 변화를 분석하여 인쇄 시 야기될 수 있는 문제점들을 분석하고자 하였다. 그 결과 재활용 복사용지 DH 및 XR5와 인쇄불량 문제를 많이 야기한 복사용지 HM에서는 지합과 사이즈 도의 저하가 관찰 되었다.

한편 기후 조건대 모사에 따른 복사용지의 특성 변화를 분석한 결과 상대습도가 증가할수록 복사용지의 함수율 증가 및 인장강도, 인장강성의 감소 결과를 나타냈다. 따라서 열대 기후 조건에서는 복사용지의 내수 특성을 부여하는 일련의 가공공정이 요구된다. 또한 복사용지가 인쇄 시 복사기나 프린터의 가열부를 통과하는 경우 함수율의 급격한 감소를 야기하며, 이때 함수율 2% 이하의 경우에서는 복사용지의 표면 저항이 상승하여 토너의 전사누락이 발생할 가능성이 높은 것으로 분석 되었다.

인용문헌

1. Green, C., and Atkins, J., The Problem of Paper Curl, TAPPI J., 7(10) (2011).
2. Lee, B. J., and Shin, D. S., Effect of Fiber Length of

- Hardwood Pulp and Jet/wire Velocity Ratio on Dynamic Frictional Coefficient and Xerographic Curl of Xerographic Paper, *Journal of Korea TAPPI*, 23(1):7-32 (1991).
3. Nam, W. S., and Thorpe, J., The Investigation of Curl and Cockle in Copy Paper from Three Different Papermachine Types, *Applied Chemistry*, 2(2):1028-1031 (1998).
 4. Lim, Y. J., and Park K. H, Change in Curl of Newsprint by Physical Treatments - Effects of roll diameter, storage time, winding methods, calendering and humidity on curl -, *Journal of Korea TAPPI*, 36(3):60-66 (2004).
 5. Neimo, L., Chapter 7. Internal sizing of paper, Book 4. *Papermaking Chemistry, Papermaking Science and Technology*, TAPPI Press Published by Fapet Oy, p. 162-163 (1999).
 6. Levlin, J. E., Chapter 7. General physical properties of paper and board, Book 17. *Pulp and Paper Testing, Papermaking Science and Technology*, TAPPI Press Published by Fapet Oy, p. 162-163 (1999).