

고농도 도공과 품질변화의 상관성 연구(2보)

-도공지의 품질과 고농도 도공의 효과 -

유성중^{*1} · 조병욱^{*2} · 김용식^{*1} · 이용규[†]

(2007년 5월 28일 접수: 2007년 8월 24일 채택)

Studies on Relations between High Solid Coating and Quality Changes(II)

- Effect of high solid coating on coated paper properties -

Sung-Jong Yoo^{*1}, Byoung-Uk Cho^{*2}, Yong-Sik Kim^{*1}, and Yong-Kyu Lee[†]

(Received May 28, 2007: Accepted August 24, 2007)

ABSTRACT

This paper confirms that high solid coating can increase coating speed and reduce drying cost. Low solid coating color with the synthetic thickener and high solid coating color with the rheology modifier and with higher ratio of GCC were prepared. Coated paper was then produced with an industrial coater, varying coating speed and dryer temperature in order to keep the moisture content of the coated paper constant. Coating color concentration was able to be increased from 66% to 69% and from 68% to 71% without an adverse effect on coating color rheology. With a help of the rheology modifier, the increased ratio of GCC in high solid coating did not show harmful effects on the coated paper quality.

Keywords : *rheology modifier, high solid coating, coating speed up, drying cost saving*

• 강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

*1 EN paper 주식회사(En paper Co. LTD. Nueup-dong Osan-si, Gyeonggi-do, 447-160, Korea)

*2 강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과 창강제지연구소(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

† 주저자(Corresponding author): E-mail: yklee@kangwon.ac.kr

1. 서론

저농도 도공은 고농도 도공에 비해 도공액이 부동화점에 도달하는 시간이 더 길리므로 도공면의 평활도(smoothness)를 향상시키는 것이 상대적으로 어렵다. 도공공정을 거치면서 물의 이동과 함께 바인더의 종이 내부로의 침투(binder migration)가 발생 할 수 있는 시간이 더 길어지므로 도공층 표면에 바인더가 불균일하게 분포하여 인쇄모틀이 발생할 수 있는 가능성이 높아진다. 고농도 도공은 도공액이 부동화점에 빨리 도달하므로 도공지의 표면품질 향상, 건조에너지 절약, 코터의 증속을 통한 생산성 향상 그리고 binder migration 억제 등을 통해서 인쇄품질을 개선시킬 수 있다. 그러나 고형분이 상승하게 되면 도공액의 유동성이 불량해져 블리딩(bleeding) 그리고 스트리크(streak) 발생 등으로 인한 작업성 저하 및 제품 불량률이 증가 하는 단점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 도공액의 유변학적 차원에서 해결하지 않고는 고농도 도공을 구현하기 어렵다. 도공액의 유동특성이 불량하여 팽창성 유동(shear-thickening flow)을 하는 경우에는 코팅 트러블 뿐 아니라 도공 품질에도 악영향을 미치게 된다. 따라서 도공액이 슈도프라스틱(pseudoplastic; shear-thinning flow) 유동 특성을 가지도록 구성성분을 디자인하는 것이 필요하다.¹⁻⁶⁾ 이전의 연구(제1보)에서 도공액의 구성 성분이 도공액의 유동특성에 미치는 영향 인자에 대하여 포괄적으로 살펴보았다. 그리고 고농도 도공시 우수한 유동 특성을 부여하기 위한 방법에 대하여 검토 하였다. 본 논문에서는 고농도 도공 시 코터 증속의 가능성과 건조 에너지 절감의 가능성을 확인하고자 하였다. 기존의 synthetic thickener를 사용하여 저농도 도공액을 제조하였고, rheology modifier를 사용하면서 GCC (Ground Calcium Carbonate)의 사용비율을 높여서 고

농도 도공액을 제조하였다. 도공지의 함수율을 일정하게 유지하도록, 코터속도와 건조온도를 각각 변화시키면서 생산현장에서 도공지를 제조하고 도공지의 품질 변화 및 인쇄품질 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 각 도공액의 유동 안정성을 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 안료

GCC는 태경(주)(GCC 1: KFMT-90U, GCC 3: KFMT-95HS)와 오미야 코리아(GCC 2: Seta-K)의 제품을 사용하였다. Clay는 국내에 공급되고 있는 Engelhard (Clay 1: Ultra Gloss LV)와 Huber (Clay 2: Hydra Gloss E)의 제품을 사용하였다. 각 안료들의 특성은 Table 1에 나타냈고, 각 안료의 입자분포를 파악하기 위해 안료의 입자 분포곡선을 입도분석기(TOYOSEKI LMS-30, 일본)를 이용하여 측정하였다.

2.1.2 바인더

SB(Styrene-butadien)계 라텍스로 금호석유화학(Latex 1: KSL-202, Latex 2: KSL-230)제품과 Dow Chemical사(Latex 3: XQ-83302)의 제품을 사용하였으며, 바인더의 특성은 Table 2와 같다. Tg는 Perkin-Elmer사의 DSC-7을 사용하여 측정하였고, gel 함량은 톨루엔 용매법을 사용하여 측정하였으며, 입자 경은 Photal사의 Auto Sizer3를 사용하여 측정하였다.

2.1.3 유동성 개량제

도공액 제조 시 rheology modifier (Revocoat - 753B ; 정원화학)와 synthetic thickener(JT-35B, 정원화학)

Table 1. Properties of pigments

Pigments	%, <0.23 μ m	%, <0.55 μ m	%, <1.09 μ m	%, <2.15 μ m	Surface Area m ² /cm ³	Mean Particles diameter(d50%)
GCC 1	0.00	2.41	36.26	84.52	6.010	1.287
GCC 2	0.00	5.94	56.29	97.58	7.471	1.021
GCC 3	0.00	4.82	56.16	97.79	7.378	1.025
Clay 1	23.60	65.18	68.31	79.65	19.051	0.366
Clay 2	33.36	86.14	92.20	98.86	24.653	0.296

Table 2. Specifications of latexes

Binder	Surface Tention(dyne/cm)	Viscosity(cPs)	Tg(°C)	Gel Contents(%)	Particle Size(Å)
Latex 1	55.0	200	2	83	1600
Latex 2	58.0	400	4	83	1350
Latex 3	40.0	500	10	80	1100

Table 3. Specifications of thickener and rheology modifier

Series	Chemical composition	Ionic charge	Type
Rheology modifier	Acrylate copolymer	Anion	Alkali Swellable
Synthetic thickener	Acrylate copolymer	weak cation/Amphoteric	Absorbed on pigment surface

를 사용하였으며, 이들 특성은 Table 3과 같다.

2.2 실험방법

2.2.1 고농도 도공이 도공속도에 미치는 영향 조사

(가) 도공액 제조

도공액 농도의 증가가 도공액의 유동성 안정성과 도공속도에 미치는 영향과 이에 따른 도공지 품질의 변화를 조사하고자 synthetic thickener를 사용하여 저농도 도공액과, rheology modifier를 사용하여 고농도 도공액을 조제하였다. 도공액의 배합조건 및 저전단 점도는 Table 4에 나타냈다.

(나) 도공지 제조

고농도 도공이 도공속도에 미치는 영향과 이에 따른 도공지 품질변화를 조사하기 위해서 생산현장에서 도공지를 제조하였다. 생산된 도공지의 수분함량이 5.5%가 유지 되도록, 건조부의 운전조건을 일정하게 유지하면서 coater 운전속도를 조정하였다. 코터의 운전 조건은 Table 5에 나타냈다.

Table 4. Coating color formulations

Components \ Series	Low solid coating	High solid coating
GCC 3	60	75
Clay 1	20	-
Clay 2	20	25
Rheology modifier	-	0.3
Synthetic thickner	0.25	-
Latex 2	3.0	11.2
Latex 3	9.2	-
OBA	0.5	0.3
Binder level	12.3	11.2
Solid content (%)	66	69.0
¹ LSV(cPs)	2,900	2,800

¹ LSV: Low shear viscosity(Brookfield viscometer, Spindle #4, 60rpm).

2.2.2 고농도 도공이 건조에너지에 미치는 영향 조사

(가) 도공액 제조

도공액 농도의 증가가 도공액의 유동 안정성과 건조

Table 5. Coating conditions

Series	Unit	Low Solid Coating	High Solid Coating
Base paper grammage	g/m ²	67	67
Coated paper grammage	g/m ²	100	100
Coating weight	g/m ²	33/both	33/both
Coater maker		Voith Sulzer(Germany)	Voith Sulzer(Germany)
Coating speed	m/min.	Coating speed was controlled to obtain 5.5% of the coated paper moisture content.	
		700	850
Base paper moisture	%	3.5	3.5
Coated paper moisture	%	5.5	5.5
Temperature of dryer	-	constant	constant

Table 6. Coating color formulations

Components	Series	Low Solid Coating	High Solid Coating
	GCC 1	32.6	41.3
	GCC 2	32.6	41.3
	Clay 1	34.8	-
	Clay 2	-	17.4
	Rheology modifier	-	0.3
	Synthetic thickner	0.16	-
	Latex 1	11.1	-
	Latex 2	-	10.0
	OBA	0.52	0.20
	Binder level	12.3	11.2
	Solid content (%)	68	71
	¹ LSV(cPs)	2,900	2,800

¹ LSV : Low shear viscosity(Brookfield viscometer, Spindle #4, 60rpm)

에너지 변화에 미치는 영향과 이에 따른 도공지 품질의 변화를 조사하고자 하였다. Synthetic thickener를 사용하여 저농도 도공액의, rheology modifier를 사용하여 고농도 도공액을 조제하였다. 도공액의 배합조건 및 저전단 점도는 Table 6에 나타냈다.

(나) 도공지 제조

고농도 도공이 건조에너지 절감에 미치는 영향과 이에 따른 도공지 품질변화를 조사하기 위해서 생산현장에서 도공지를 제조하였다. 생산된 도공지의 수분함량

이 5.5%가 유지 되도록, coater 운전속도를 일정하게 유지하면서 건조온도를 조정하였다. 코터의 운전 조건은 Table 7에 나타냈다.

2.3. 평가방법

도공액의 유변학적 특성은 고전단점도(Hercules DV-10), 저점단점도(Brookfield), 그리고 water retention(ÅA-GWR)을 측정후 분석하였다. 도공지 물성 중 roughness는 L&W사의 PPS 측정기, Gloss는 Kajiani사의 Paper Lab 그리고 ISO Brightness는 L&W사의 Elrephor를 이용하여 평가하였다. 실 인쇄품질은 동일 조건에서 매엽 4도(Heidelberg, 독일) 인쇄기에서 인쇄 후, 각 색상별 민 인쇄부의 Ink receptivity를 실 인쇄품질 분석장비인 X-Rite사의 DTP41을 이용하여 평가하였다. 도공층의 pore 분포는 수은 침투법을 이용하는 Quantachrom사의 Poremaster 60 분석기로 측정하였다.

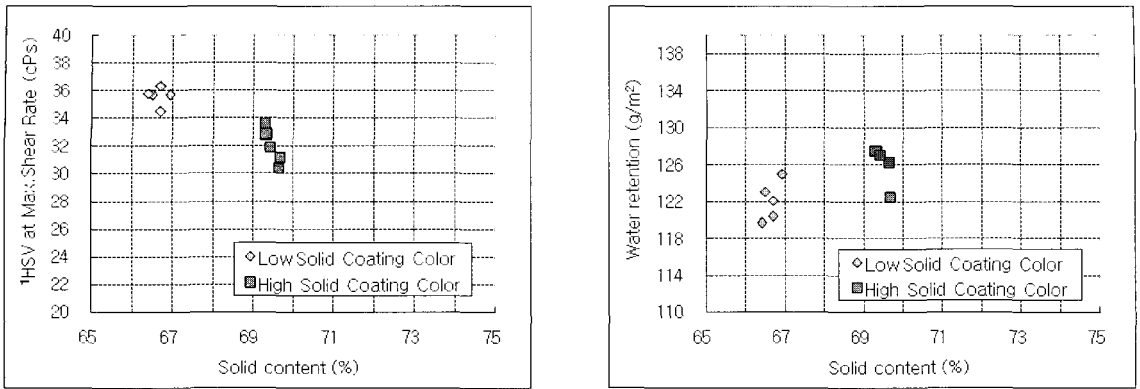
3. 결과 및 고찰

3.1 고농도 도공이 도공속도와 도공지 품질에 미치는 영향

저농도 도공액과 고농도 도공액의 고전단 점도, 농도 변화 그리고 보수도 등을 도공액 공급 탱크에서 2시간 간격으로 샘플링하여 측정후 결과 큰 변화 사항이나

Table 7. Coating conditions

Series	Unit	Low Solid Coating	High Solid Coating
Base paper grammage	g/m ²	200	200
Coated paper grammage	g/m ²	250	250
Coating weight	g/m ²	50/both	50/both
Coater maker		IHI(Japan)	IHI(Japan)
Coating speed	m/min.	550	550
Base paper moisture	%	3.5	3.5
Coated paper moisture	%	5.5	5.5
Temperature of dryer	°C	Temperature of dryers were controlled to obtain 5.5% of the coated paper moisture content.	
5 hot air chambers on #1 coating head	°C	155/143/142/ 142/148	145/130/129/ 131/137
5 hot air chambers on #2 coating head	°C	145/125/123 135/142	135/112/109/ 125/131



¹ HSV: High shear viscosity at maximum shear rate.

Fig. 1. Effect of solid content on high shear viscosity and water retention.

타나지 않았다 (Fig. 1). 이것은 도공액이 도공공정에서 순환되는 동안 유동 안정성이 양호하다는 것을 나타내는 결과로 생각된다. 일반적으로 도공액의 순환 안정성이 불량한 경우는 농도의 상승과 함께 고전단 점도 및 보수도의 변화가 나타나지만 본 실험에서 그러한 결과는 나타나지 않았다. 고농도 도공액의 경우 농도가 높음에도 불구하고 고전단 점도는 다소 낮았으며, 보수도는 다소 높았다 (Fig. 1). 도공액의 농도를 높이면 부동화점에 도달하는 시간이 농도의 상승분만큼 빨라지므로, 보수도가 다소 높더라도 도공지 물성이나 도공액의 순환 안정성에 대한 영향성은 미비한 것으로 판단된다.

도공액의 농도를 66%에서 69%로 증가시킬 경우에, 도공속도를 700 m/min에서 850 m/min로 증속시킬 수 있었다 (Table 5). 이 경우, 도공지의 목표 함유율은 5.5%이었고, 건조부의 온도는 일정하게 유지되었다. 이것은 도공액의 농도가 높으면 도공액에 포함되어 있

는 수분의 함량이 낮으므로, 도공속도를 빠르게 하더라도 건조부의 용량 내에서 도공지의 수분 조절이 가능하기 때문이다. 이는 고농도 도공을 하면 코티의 증속을 통한 생산성 향상도 가능하다는 것을 나타낸다.

고농도 도공을 할 경우, 도공액의 유동성 향상을 위해 GCC의 함량을 증가시켜야 하는데 일반적으로 GCC의 함량이 높아지면 표면 평활도가 불량해지지만 본 연구에서는 paper gloss는 저농도 도공지와 비교해서 유사하였고, 표면 roughness는 개선되었다 (Table 8). 이것은 도공액의 농도가 높으면, 도공층의 부동화가 빠르므로 도공표면에 낮은 roughness 구현이 가능하다는 보고^{7,9)}와 일치한다. 그리고 OBA(형광증백제)의 사용량이 적음에도 불구하고 고농도 도공지의 ISO brightness 역시 저농도 도공지와 유사하게 나타났다. 이것은 백색도가 높은 GCC 함량이 높아졌기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 각 색상 별 ink receptivity

Table 8. Properties of coated paper

Series	unit	Low solid coating	High solid coating
Roughness(1 MPa)	μm	1.25	1.12
Paper gloss(75°)	%	75.9	75.5
ISO Brightness	%	86.7	86.8
Print Gloss	%	93.1	92.7
Black ¹ IRC	² O.D	1.83	1.82
Cyan IRC	O.D	1.65	1.66
Magenta IRC	O.D	1.53	1.53
Yellow IRC	O.D	1.18	1.19

※ ¹ IRC : Ink Receptivity, ² O.D : Optical Density.

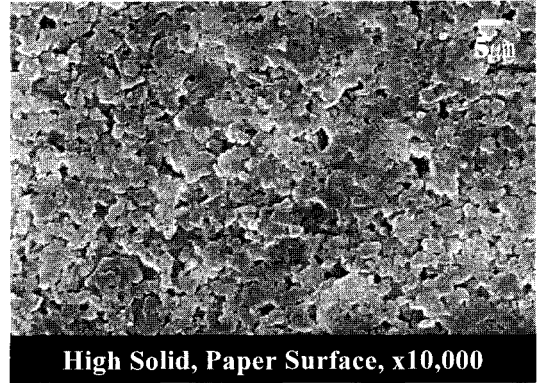
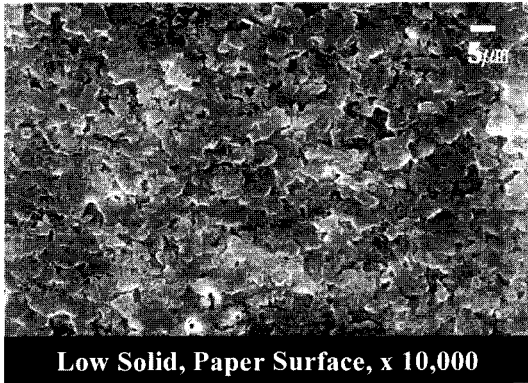


Fig. 2. SEM images of coated surface.

특성을 평가한 실 인쇄품질 평가 결과에서도 저농도 도공지와 유사한 색 농도 값을 얻었다. 전체적인 평가결과를 종합적으로 검토해 보면 GCC의 증량에도 불구하고 고농도 도공지의 백지물성과 인쇄물성이 저농도 도공지와 거의 유사한 결과를 나타냈다고 판단된다.

Table 5의 조건으로 현장 적용한 샘플을 SEM을 이용하여 10,000배의 배율로 도공층의 표면을 관찰하였다. Fig. 2의 표면 SEM 사진을 보면 저농도 도공지와 고농도 도공지가 거의 유사한 표면 형상을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었고, 도공층의 공극 분포를 수은 침투법을 이용하여 평가한 Fig. 3의 결과에서도 도공층의 공극이 주로 분포하는 150nm 이하의 영역에서 저농도 도공층과 고농도 도공층의 공극 분포가 거의 유사하게 나타났다. 이는 GCC의 사용량이 많다 하더라도 고농도 도공의 경우는 건조속도가 빨라서 도공층의 부동화

점 도달시간이 단축되고, 그로 인해 원지로의 도공원료(미세안료 및 바인더 등)의 침투량이 적어서 원지위에 저농도 도공 시보다는 bulky한 도공층을 형성시키기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 도공층의 구조적 특성이 제반 백지 및 인쇄 물성에 있어서 clay 함량이 높은 저농도 도공지와 유사한 품질 특성을 나타내게 해주는 것으로 사료 된다.

3.2 고농도 도공이 건조에너지와 도공지 품질에 미치는 영향

Table 6에 의해 제조한 고농도 도공액(71%)의 고전단 점도는 저농도 도공액(68%)보다 다소 높았으며, 보수도 역시 다소 높아지는 결과를 보였다 (Fig. 4). 하지만 도공 속도가 550 m/min로 낮고, 도피량이 50 g/m²/both으로 높은 편 (Table 7 참조)이기 때문에 고농도 도공액의 순환 안정성이나 도공 작업성에 큰 영향은 미치지 않았다. 이것은 저속 도공이면서 도공량이 많은 경우 도공 브레이드 선단과 원지사이의 간격이 커서 브레이드에 가해지는 전단력이 작아지고 도공액이 브레이드 선단을 통과할 때 shear stress를 덜 받기 때문인 것으로 사료된다.

도공액의 농도를 68%에서 71%로 증가시킬 경우에, 코터의 각 열풍건조기 내부의 온도가 약 10°C정도 감소시킬 수 있었다 (Table 7). 이 경우, 도공지의 목표 함수율은 5.5%이었고, 도공속도는 일정하게 유지되었다. 이것 역시 도공액의 농도가 높은 경우 도공액에 포함되어 있는 수분의 함량이 낮으므로 건조온도를 감소시키더라도 도공지의 수분 조정이 가능하기 때문으로 사료

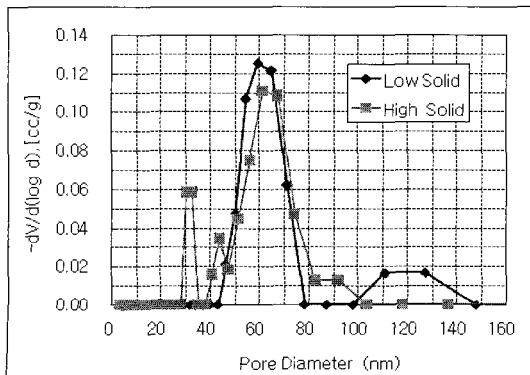


Fig. 3. Pores distribution in coating layer.

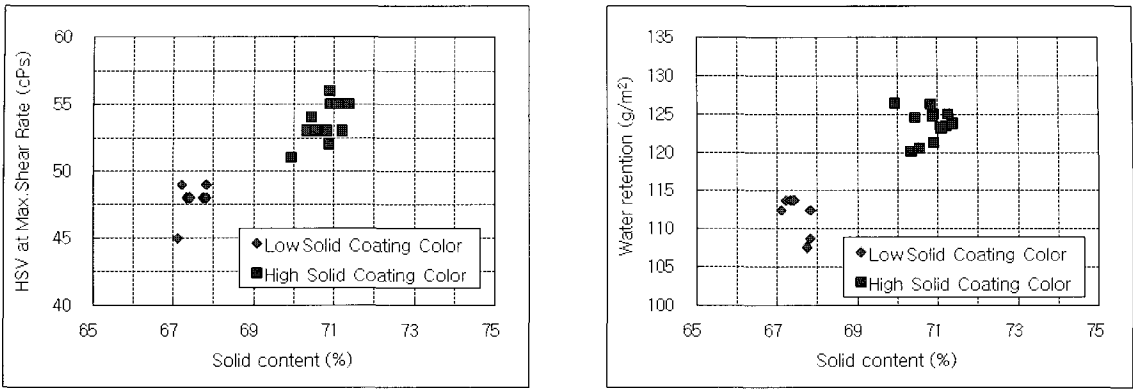


Fig. 4. High shear viscosity and water retention with a solid content.

Table 9. Properties of Coated Paper

Series	unit	Low solid coating	High solid coating
Roughness(1 MPa)	g/m ²	1.32	1.18
Paper gloss(75°)	%	73.8	75.3
ISO Brightness	%	87.1	87.3
Print Gloss	%	91.3	90.7
Black IRC	O.D	1.82	1.85
Cyan IRC	O.D	1.62	1.66
Magenta IRC	O.D	1.51	1.54
Yellow IRC	O.D	1.17	1.19

된다. 이러한 결과는 고농도 도공을 하면 건조 에너지의 절감이 가능하다는 것을 나타낸다. Table 9를 보면 표면 roughness와 paper gloss 특성이 저농도 도공지와 유사하거나 개선되었고, 그리고 OBA(형광증백제)의 사용량이 적음에도 불구하고 고농도 도공지의 ISO brightness가 역시 저농도 도공지와 유사하게 나타났다. 그리고 각 색상 별 ink receptivity 특성을 평가한 실 인쇄품질 평가 결과도 저농도 도공지와 유사한 색 농도 값을 얻었다.

4. 결론

기존의 synthetic thickener를 사용하여 저농도 도공액을 제조하였고, rheology modifier를 사용해서 고농도 도공액을 제조한 후, 생산 현장에 적용하여 도공지를 제조하였다. 도공액의 농도를 66%에서 69%로, 68%에서 71%로 높임에도 불구하고, 도공액의 순환 안

정성과 도공 공정의 작업성에 나쁜 영향을 미치지 않았다. GCC 함량의 증가에도 불구하고, 고농도 도공지의 물성은 저농도 도공지와 유사하거나 향상되었다. 또한 고농도 도공을 함으로써, 코터 운전속도의 증가와 건조에너지를 절감시킬 수 있음을 확인하였다.

인용문헌

1. Charles Klass, Coating Pigment : From Size and Shape to nanotech, Solution (9):34-35 (2005).
2. Ludwig Huggenberger, Manfred Arnold and Hana-Heinz Koster, Ground calcium carbonate, in Pigment Coating and Surface sizing of Paper, Lebtinen E. (Ed.), Book 11, Chapter 6, Fapet Oy (2000).
3. Patrick A. C. Gane, Philip M. McGenity, and Philip Watters, Factors influencing the runnability of coating colors at high speed, Tappi J. 75(5):61-73 (1992).

4. Hideaki Nisogi, Douglas W. Bousfield, and Poerre F. Lepoutre, Influence of coating rheology on final coating properties, *Tappi J.* 83(2): 00-106 (2000).
5. John Roper, Rheology of pigment slurries and coating formulations, in *Pigment Coating and Surface sizing of Paper*, Lebtinen E. (Ed.), Book 11, Chapter 31, Fapet Oy (2000).
6. 김병수, 정현채, 박종열, 도공액의 구성성분이 고농도 도공특성에 미치는 영향 (제1보), *펄프·종이기술* 27(4): 50-55 (1995).
7. 김병수, 정현채, 박종열, 도공액의 구성성분이 고농도 도공특성에 미치는 영향 (제2보), *펄프·종이기술* 28(3): 23-29 (1996).
8. 이학래, 성용주, 고전단 점도 측정에 의한 도공액의 패킹 특성 연구, *펄프·종이기술* 29(2):7-15 (1997).
9. Baumeister, M., Quality Optimization by Control of Coating Structure, 1980 TAPPI Coating Conference Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, p.11.