

A study for the characteristics of milli-gloss variation of unprinted coated paper and objective measurement tools for it

Sung J. Jeon · Yo H. Song · Jae S. Lee · Gyu S. Shim
Hansol Institute of Science and Technolgy

ABSTRACT

Gloss uniformity on unprinted coated papers is oftenly called as 'Surface Feeling' in market and roles as a very important criteria when a customer choose a paper.

However, there is few researches on this quality so far and even there isn't much knowledge on the characteristics of gloss variation, ie what it is, where it comes from etc. Therefore, there should be a pre-research on its characteristics, factors, measuring method or tools prior to the following development activities.

In this paper, we obtained about a dozen of papers including foreign products and measured not only basic properties of them, but also various characteristics related to ununiformity. Our experiments went further to printing, but that area is excluded in this paper. Also, we investigated several instruments for measuring gloss variation by an objective way all over the world and tested with our own samples so that we tried to find out which one is best-correlated with visual appreciation and suggest its results as possible.

We found out several things from these experiments including what is difference between good and bad gloss uniformity, the factors of gloss variation, and the results of measurement for gloss variation with instruments.

1. 서론

종이의 품질은 다양하게 분류되며, 그 나름대로 목적에 맞게 취사선택되어 특정제품의 품질수준으로 언급된다. 도공지의 경우 흔히 백색도, Stiffness 등이 주요 백지품질로서 언급되며, 지분, 인쇄면 균일성 등은 인쇄작업성 또는 품질에 주로 등장한다. 이러한 일련의 품질들에 대한 관심은 결국 종이제조업자뿐만 아니라 인쇄업자가 좋은 잠재적 또는 최종품질을 얻을 수 있는 제품에 관심이 집중되어 있음을 의미한다.

그런데, 여기에는 생산품질관리나 판매활동시 데이터로서 언급되고 있지 않은 중요한 품질요소가 있다. 그것은 품질의 균일성으로서 본고에서는 제품간 변이가 아닌 제품

내 변이에 초점을 맞추고자 하였다. 도공지의 백지면상에서 통칭 '면감'이라 불리우는 품질은 좁은 의미로는 광택의 평면적 균일성에 근거를 두는 것으로 받아들여지고 있다. 1997년 국내 H제지사에서 자체적으로 실시한 고객설문조사에 따르면, 약 70%에 이르는 상당수의 고객이 백지선택에 있어서 주요 선호품질로서 면감을 선택하였다는 보고도 있다.

인쇄면 균일성 또는 모틀(Mottle)은 인쇄면감이라 불리우며 주요 인쇄품질요소로서 지금까지도 많은 연구가 행해지고 있다. 그러나, 백지면의 광택균일성 또는 백지면감에 대한 연구, 특히 그 영향인자에 대한 연구는 거의 전무하고, 이의 측정방법/기기가 몇몇 소개되고는 있으나 국내인을 표본으로한 검증이 이루어진바 없다. 제지기술협회에서는 일반화 된 표준안을 제시하고 있지 못할 뿐더러 관련연구활동 또한 매우 미미하고 포괄성이 결여되어 있는게 사실이다. 따라서, 백지면감에 대한 특성, 영향인자, 측정법 등에 대한 연구가 먼저 선행되어야 만이 이 특성에 대한 연구개발활동이 이루어 질 수 있을 것이다.

이러한 목적의 달성을 위하여 백지물성에서 인쇄품질까지 방대한 분석과 실험이 행해졌으나, 본 고에서는 이들중 백지면감의 특성, 영향인자, 그리고 측정법에 관한 연구조사결과에 대하여 언급하고자 한다.

실험은 차별화된 수준을 지닌 시료제조상의 제약에 따라 설계시료가 아닌 국내외의 다양한 시중샘플을 취하여, 1)면감차별성의 원인을 분석하고, 2)기본적인 물성은 물론 불균일성관련 특성을 분석하여 백지면감에 대한 영향인자를 파악하고자 하였으며, 3)육안에 의존하는 백지 면감 평가를 대체하기 위한 측정기기의 조사가 이루어졌다.

2. 실험재료 및 방법

2-1. 재료

도공지는 평량 120g/m², 250g/m²군으로 저평량과 고평량군으로 혼합구성하였으며, 2개의 Single도공지를 제외하고는 모두 Double도공지로 이루어졌다. 실험에 사용된 지종은 국내 5종, 국외 5종(일본 3종, 유럽 2종)으로 구성하였다.

2-2. 측정항목 및 방법

본 실험에서 실시된 측정항목을 Table.1.에 나타내었으며, 별도 언급되지 않은 기본적인 물성은 TAPPI표준 실험법에 따라 실시하였다.

Table.1. List of measured properties

분석구분	분석항목
기본물성	두께/평량, 거칠음, 평활도, 내부결합, 지합(β -ray)
외관품질	광택, 불투명도, 백색도, 백감도, 색상, 광산란/흡수계수
백지구조	공극구조(Mercury porosimeter), 수분함량(건조), 안료함량(CaCO_3 , 소각법), 회분함량(소각법), 도공층 성분분석(EDS), 도공단층(EDS), 표층관측(SEM), 도공층두께(Microtome), 바인더분포(OsO_4 증착)
불균일성 관련	도공분포 및 Coverage(Burn-out, 화상분석법), 미소인쇄농도(미소농도계), 미소망점부불균일도(화상분석법), 지합불균일, 도공표층 성분비 불균일성(EDS mapping), 미소광택(MMP-300A, 일), 미소색차(VSS-300H, 일), 미소거칠음(Lazer scanning, Zygo), 바인더분포(UV법, CS-9000/9301)
불균일도	백지광택 균일도, 인쇄면 색상균일도, 인쇄면 광택균일도(육안평가)

육안평가는 비제지관련자를 포함한 품질분석 및 관리경험이 있는 제지관련업 종사자 10인 이상으로 구성하였으며, 평가방법으로는 Bristow-Thurston(Pair-wise)법⁸을 사용하였다. 백지면감의 계측평가를 위하여는 UV-Scanning Method^{1,4-7}, Scanning glossmeter², Image Analysis방법³ 등을 사용하였다. 얻어진 데이터의 통계분석을 위하여 Statistica(Ver. 5.0)을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 백지면감의 현상적 차별성

도공지의 표면상에서 백지면감의 차별성을 나타내는 직접적인 현상을 찾아본 결과를 아래 Fig.1.~2.에 나타내었다. Fig.1.은 표면상의 광택불균일이 높은 샘플과 낮은 샘플을 전자현미경으로 각각 15000X(좌), 300X(우)로 확대하여 나타낸 것으로 불균일이 높은 좌측샘플에서 두드러진 표면상의 얼룩을 확인할 수 있다.

Fig.2.는 미소광택얼룩의 밝은 부분과 어두운 부분을 별도 표시한 후 해당 부분을 확대 촬영한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 상대적으로 광택이 높은 반짝이는 부분의 경우 표층의 안료가 엉겨져 있는 반면, 광택이 낮은 부분은 별다른 얼룩이나 이상부분을 찾아볼 수 없었다. 밝은 부분에서의 얼룩의 크기는 대략 100~200 μm 내외를 이루고 있는 것으로 나타났으며, 이러한 작은 얼룩부분들이 군집을 이루어 수 mm크기의 보다 큰 광택얼룩을 만들고 있는 것으로 확인되었다. 따라서 백지면감은 이러한 수 mm크기의 광택얼룩들이 표면상에 산개하여 백지면감을 형성하고 있는 것으로 판단되었다.

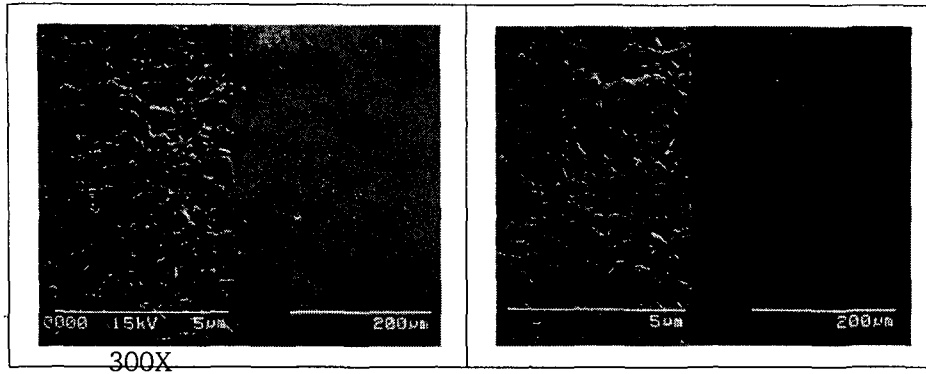


Fig.1. The comparison of magnified surface image by SEM.

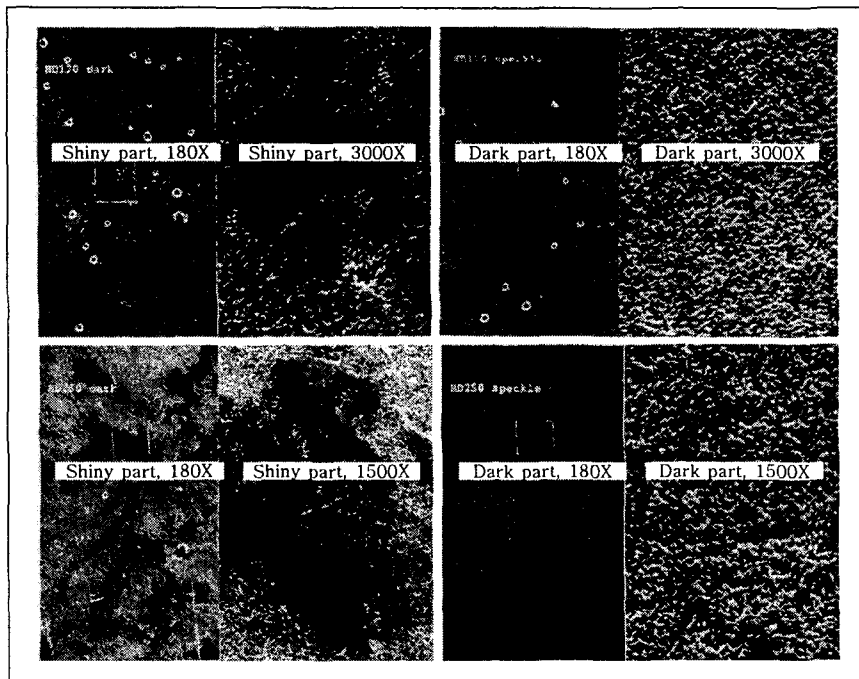


Fig.2. SEM images both on shiny and dark part of wood-free coated papers.

3-2. 백지면감의 영향인자

주어진 시료에 대하여 기본물성과 불균일발생관련 특성들을 분석하고, 해당 물성들을 주어진 시료에 대한 백지면감 육안평가결과와 1차 상관분석하여 유의성이 발견된 항목들을 아래 Table.2.에 나타내었다. 도입된 인자항목에 비해 샘플수가 부족하여 백지면감에 대한 도입인자의 중회귀분석은 불가하였다.

표에서 볼 수 있듯이, 백지면감에 대한 주요인자는 도공층과 종이구조로 대별될 수 있겠다. 도공층부분에서는 도공안료의 평면적 분포, 크기 등이 비교적 높은 상관계수를 나타내어 Coating color의 균일한 coverage가 백지면감에 중요한 영향요소임을 알 수 있었다. 도공층의 공극부피는 (+)의 상관관계를 나타내고 있는데 이는 도공층의 Bulky한 구조가 앞서 언급한 표층에서의 얼룩형성을 완화하지 않나 생각된다. 총 도공층에서 차지하는Precoating층의 비율 또한 (+)의 상관성을 보였는데 이는 Precoating층의 본연에 목적에 충실하게 원지층의 은폐와 2차 도공적성을 향상시키는 효과에 따른 것으로 해석된다. 전 물성에 걸쳐 전반적으로 영향하는 지합은 그 질량분포에 균일성에 따라 면감에 영향하는 것으로 판단된다. 지층의 구조적 측면에서는 주어진 실험조건하에서 (원지층의) 구조가 치밀한 샘플이 보다 나은 백지면감을 나타내고 있는 것으로 나타났다. 그러나 이 부분의 경우 다른 인쇄적성, 즉 Stiffness와 같은 특성과 함께 고려되어야 할 부분일 것이다. 원지층 기공부피/직경은 도공층과는 달리 (-)의 상관성을 보이고 있는데 이는 앞서 언급한 치밀한 지층구조와 관련되는 것으로 판단된다.

Table.2. Correlation factors to gloss variation through one-dimensional analysis

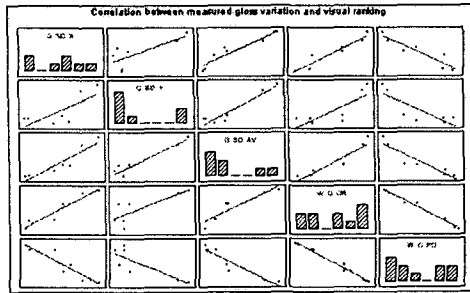
	Factors	Correlation Co.(r)
Coating layer	Coating color distribution	0.9010
	Floc size of color distribution	-0.8061
	Pore volume of coating layer	0.7439
	Precoating Layer ratio	0.6730
Mass distribution(total)	Formation(CoV%)	-0.6481
Paper Structure	Paper density	0.7920
	Internal bonding	0.7230
	Total pore Vol./diameter	-0.6827/ -0.6640

3-3. 육안평가와 계측평가의 상관성

백지면감에 대한 육안평가결과와 사용된 동일샘플에 대한 계측평가간의 상관분석결과를 각 측정기기별로 나타내었다. 대부분의 측정기기가 육안평가에 대하여 일정부분 상관성을 나타내었으나, 더불어 중간수준의 면감품질에 대한 변별력이 낮은 문제점을 보였다.

Chimadzu CS930T⁴⁻⁷

측정조건은 입사/반사각 45°, 측정면적 10mm x 10mm, 측정구경 0.1mm, 측정간격 1mm로 행하였다. CS930x모델은 본 실험에 도입된 면감측정기기중 육안평가와 가장 높은 상관성을 보였다. 종이의 MD방향에서의 상관성이 CD방향에서보다 다소 높았으며, 얻어진 가장 높은 상관계수(r)은 신뢰수준 99%에서 약 0.93을 나타내었다. Fig.3. 참조.



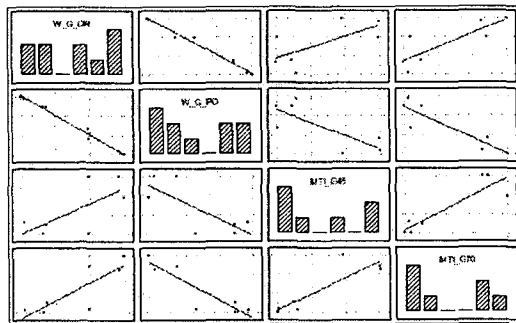
MULTIPLE REGRESS	G SD X	G SD Y	G SD AV	W G OR	W G PO
G SD X	1.000000	.757634	.929643	.955760	-.924555
G SD Y	.757634	1.000000	.944817	.796095	-.819952
G SD AV	.929643	.944817	1.000000	.929150	-.926956
W G OR	.955760	.796095	.929150	1.000000	-.988241
W G PO	-.924555	-.819952	-.926956	-.988241	1.000000

*Legend Description : gloss variation in X Dir., Y Dir, average, visual ranking as order, and point respectively.

Fig.3. Correlation matrix between visual rank and measured data for gloss variation with CS930x.

Mottle Testing Instrument, Tobias²

측정조건은 입사/반사각 75°, 측정면적 약 10mm으로 행하였다. MTI를 사용한 면감평가 결과는 육안평가와 비교적 좋은 상관성을 보였다. 가장 높은 상관계수(r)는 신뢰수준 99%에서 약 0.89를 나타내었다. 그러나, 아쉬운 것은 아래 Plot그래프에서 볼 수 있듯이 중간 범위에서의 변별력이 낮게 나타났다. Fig.4. 참조.



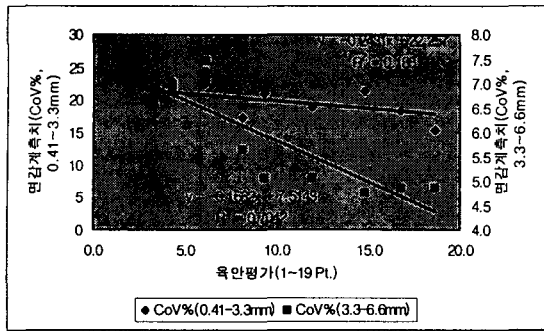
MULTIPLE REGRESS	W G OR	W G PO	MTL G45	MTL G70
W G OR	---	-.988241	-.678408	-.831080
W G PO	-.988241	---	-.768467	-.893068
MTL G45	p= .0008	p= .0448	---	-.887653
MTL G70	p= .0008	p= .0448	-.887653	---
	p= .0211	p= .0073	p= .0087	p= .0087

*Variables Description :
 - MTL_G45,70 : Measured gloss variation as standard deviation with TI.
 - W-G-OR : Gloss variation as order by visual ranking.
 - W_G_PO : Gloss variation as point by visual ranking.

Fig.4. Correlation matrix between visual rank and measured data for gloss variation with MTI.

STFI's gloss variation tester³

측정조건은 입사/반사각 20°, 측정면적 10mm x 10mm에서 이루어졌다. STFI실험 기로부터 얻어진 광택변이특성 또한 양호한 상관관계를 보였다. STFI실험기는 시험편의 화상에 대하여 일정크기의 band pass filter를 사용하여 관심대상을 추출하므로써 보다 세분화된 분석이 가능한 특징을 가지고 있다. 통상 0.41~3.3mm Wavelength band에서 주관평가와 가장 잘 일치하는 것으로 보고되고 있으나, 본 실험에서는 3.3~6.6mm band에서의 데이터가 보다 나은 상관성을 보였으며, 추출된 화상으로부터 백지면감에 대해 상관계수(r) 약 0.84(99%신뢰수준)을 나타내었다. Fig.5. 참조.

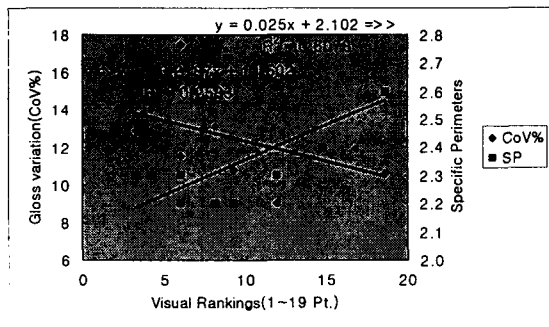


MULTIPLE REGRESS.	VISUAL	CoV%	SP
CoV%	—	- .433613	- .839188
		p= .2113	p= .0029
SP	- .433613	—	.530101
	p= .2113		p= .1150
SP	- .839188	.530101	—
	p= .0029	p= .1150	

Fig.5. Correlation matrix between visual rank and measured data for gloss variation with STFI's gloss variation tester.

KCL's gloss variation tester

측정조건은 입사/반사각 20°, 측정면적 15mm x 15mm으로 행하였다. KCL실험기로부터 얻어진 면감계측치는 육안평가와 그다지 높지 않은 상관성을 보였다. KCL실험기 또한 카메라를 통하여 얻어진 시편화상으로부터 여러 면감관련 계수를 추출하는 특징을 지니고 있다. 화상내의 얼룩패턴에서 얼룩의 단위면적에 대한 주변장(Specific perimeter)을 균일도로 표현하는데 육안평가와의 상관계수(r)는 약 0.78로 얻어졌다. Fig. 6.참조.



MULTIPLE REGRESS.	VISUAL	CoV%	SP
CoV%	—	- .508280	.779603
		p= .1348	p= .0089
SP	- .508280	—	- .158681
	p= .1348		p= .6618
SP	.779603	- .158681	—
	p= .0089	p= .6618	

Fig.6. Correlation matrix between visual rank and measured data for gloss variation with KCL's gloss variation tester.

이밖에 Cyber Metrics(미)사에서 개발중인 Micro-light scanning방식의 면감계측기를 통하여 동일한 샘플측정을 실시하였으나 주목할 만한 상관성을 발견할 수 없었다.

4. 결 론

본 실험은 백지면의 광택불균일성 즉, 면감특성을 파악하고자 주어진 샘플에 대하여 기본물성에서 불균일관련 특성까지 일련의 실험과 고찰을 행하였다. 또한 주관성에 치우치기 쉬운 면감에 대하여 객관적 평가를 위한 몇몇 실험기기들에 대한 직접적인 검증을 행하였

다. 실험결과로부터,

1. 면감 차별성의 직접적인 현상은 표면상의 안료얼룩인 것으로 나타났다. 이 얼룩은 미시적으로는 50~200um사이 크기로 표층안료가 엉겨져 나타나며, 이들 얼룩이 집단화가 되어 수mm크기의 광택얼룩을 형성하고 다시 지표면상에 산개되어 차별화된 면감을 나타내었다.

2. 면감에 대한 영향인자는 도공층과 원지층으로 대별되었으며, Coating color coverage의 균일성, 공극부피, Precoating층, 지합, 원지밀도(구조) 등이 주요 인자로서 나타났다.

3. 면감의 계측평가결과를 제시하여 객관적 면감평가수단의 선택에 안내자를 제시하였다. 실험에 포함된 대부분의 측정기기는 육안면감평가에 대하여 일정수준의 상관성을 나타내고 있었으나, 중간적 면감수준에 대한 변별력이 낮게 나타났는 단점을 보였다.

본 실험을 통하여 도공지의 면감을 이해하고, 이 특성의 지속적인 연구개선활동에 기초를 제공하였다. 그러나, 이번 실험에서는 도입된 인자수에 비해 부족한 샘플수로 인하여 면감특성에 대한 중회귀분석을 행할 수 없었으며, 이는 자료의 추가확보를 통하여 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. H. Fujiwara and J. E. Kline, "Ultraviolet absorption of styrene-butadiene latex on pigment-coated paper", Tappi Journal, : 97(1987).
2. Philip E. Tobias, John Ricks, and Michael Chadwick, "Objective, reproducible measurement of printing mottle with a mottle tester", 72(5):109(1989).
3. Michael A. MacGregor, Per-Ake Johansson, "Submillimeter gloss variations in coated paper", Tappi Journal, :161(1990).
4. H. Fujiwara and C. Kaga, "Measurement of gloss profile", 1990 Coating conference proceedings, 209.
5. Hideki Fujiwara and Chizuru Kaga, "Single- and double-blade coating: variations in submillimeter scale and their effects on sheet and print qualities", Tappi Journal, :121(1992).
6. Koichiro Shigetomi, Masahiro Sakano, Shigeo Fujihira and Koichi Nagai, "Evaluation of surface appearance of printed coated paper with a new scanning micro glossmeter", 46(9):78(1992).
7. Hideki Fujiwara, Chizuru Wakai, Osamu Kozuka, "Effects of base paper properties on sub-millimeter non-uniformity of coating layer", 1993 Coating conference proceedings, 9.
8. J. Bristow and P. A. Johansson, "Subjective evaluation by pair comparison: Pitfalls to avoid and suggestions for the presentation of results", Advances in printing science and technology(Ed.Banks) Vol.17, 278, Pentech press, London(1983).