

탈수소자에 의한 종이 미세구조 및 물성 변화 평가

성용주[†] · D. Steven Keller^{*1}

(2009년 3월 4일 접수:2009년 3월 13일 채택)

Evaluation of the Changes in Local Paper Structure and Paper Properties Depending on the Forming Elements Types

Yong Joo Sung[†] and D. Steven Keller^{*1}

(Received March 4, 2009: Accepted March 13, 2009)

ABSTRACT

The influence of different forming elements on the local paper structure and the related paper properties was investigated in this study. Specifically, a conventional papermaking foil system and a velocity induced drainage (VID) system were compared. The study involved the analysis of the product samples obtained from the commercial machine trials. The paper samples produced with VID forming systems showed better formation. The deterministic pattern in the local structural profile map of the Foil samples indicated the structure of foil samples was more supple after forming process and then easier to be marked by various fabrics such as wet pressing fabric. The higher bulk was observed in the VID samples, which resulted in higher scattering coefficient, lower ZDT strength, and higher bending stiffness.

Keywords : *forming elements, local paper structure, formation, bulk, foil system, ZDT strength*

1. 서론

습부공정 특히 지층형성공정 (forming process)은 전체공정의 생산성과 제품의 구조 및 특성을 결정하는 매우 중요한 공정이다. 그 중요성으로 인해 지층형성공정의 개선과 설비의 개발은 집중적인 연구개발의 대상이 되어왔다. 특히, 전체 지층형성공정의 개념

을 바꾸는 다양한 형태의 새로운 개념의 포머 (former)들 즉, Hybrid former, Gap former 등이 개발되고 적용되어 왔다.^{1,2)} 실제 포머의 교체 등은 상당한 수준의 설비투자를 가져오기 때문에 적은 투자로 생산성 및 품질의 개선을 가져오기 위한 연구개발도 지속적으로 이어져 왔다. 그 대표적인 예가 다양한 탈수소자들 (drainage elements)의 개발 및 적용이라고 할

• 충남대학교 농업생명과학대학 임산환경자원학부 (Division of Environmental Forest Resource Science, College of Agriculture and Life Science, Chungnam Natl. Univ., Daejeon, Republic of Korea)

*1 Dept. of Paper and Chemical Engineering, Egr. Bldg., Rm 64G, Miami University, Oxford, Ohio, U.S.A., 45056

† 교신저자(Corresponding Author): Email: yosung17@cnu.ac.kr

수 있다. 탈수성 향상을 위해 다양한 형태의 포일 시스템 (foil system)이 개발되어 왔고, 그 형태적인 특성과 그 조합 방법의 변화 등을 통해 기능성을 증가시키는 방식으로 발전되어 왔다.³⁻⁶⁾

이러한 포일시스템의 경우 지층이 형성되는 와이어 위에 정압과 부압을 교대로 가하면서 탈수를 촉진하게 되는데, Sodergren 등⁷⁾에 의해 지적된 바와 같이 포일에 의해 가해지는 펄스는 실제 와이어 표면 위에 지료 원료물질의 필터층 형성을 촉진시켜 탈수공정이 후에 지필의 탈수압이 증가하여 상대적으로 탈수가 지연되는 결과를 가져올 수 있다. 이에 따라 필터층 형성을 완화시키며 탈수를 촉진하기 위한 새로운 형태의 포일시스템인 VID system (Velocity Induced Drainage (V.I.D.[®]))이 개발되고 소개되었다. VID 시스템에서는 한개의 물결모양 포일 위에 여러 단계의 펄스를 주는 방식으로 작동하게 되는데, 각 단계에서 탈수되어 나온 백수는 포일 위에 잔류되면서 와이어 위에 형성되는 점유의 필터층을 풀어주는 작용을 하게 된다. 이러한 VID 시스템의 모식적인 형태는 Fig. 1에 나타내었다.

이러한 VID 시스템의 수력학적인 작용 및 탈수 촉진 등의 공정 영향성 등은 이미 보고된 바가 있지만⁸⁾ 실제 초지공정과는 다른 방식의 탈수 시스템의 적용으로 인한 종이 미세구조 및 물성 등의 변화에 대한 결과는 자세히 알려진 바가 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 백상지를 장망식 초지기로 제조하는 실제 제지공장에서 기존의 전통적인 포일시스템과 VID 시스템을 각각 적용한 종이 제품의 미세구조 및 물성의 변화를 비교 평가하였다. 특히 국부적인 종이 구조의 변화를 면밀히 조사하고자 비접촉식 두께측정기를 적용하여 국부 종이 구조의 변화를 비교 평가하였다.

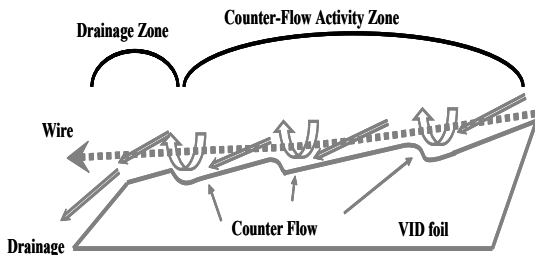


Fig. 1. The drainage zone and counter activity zone of the VID foil system.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서 평가된 시료는 실제 백상지를 생산하는 장망식 초지기에서 기존의 포일 시스템으로 생산된 제품과 VID 탈수 시스템을 적용한 경우에 생산된 제품을 각각 채취하여 준비하였다. VID 시스템의 두 가지 시료는 제조시 두 가지로 적용된 지료 조성 조건을 고려한 것이다. 각 시료의 원료 조성은 다음의 Table 1에 나타내었다.

2.2 지합 평가

본 연구에서는 두 가지 방법으로 적용하여 지합을 평가하였다. 사용의 용이성으로 실제 현장에서 자주 적용되는 광학적 측정방법인 MK 지합측정기 (M/K systems Inc., Danvers, MA, USA)를 통해 MK 지합도를 평가하였고, 실험실적으로 국소부위별 평량을 정밀하게 측정할 수 있는 β -radiographic 이미지 시스템을 적용하여 평량의 프로파일을 구하였다. 평량의 측정을 위한 에너지소스는 ¹⁴C radiation 소스를 사용하였고 측정된 이미지의 분석은 PhosphorImager SITM (Molecular Dynamics, Sunnyvale, CA)을 적용하여 100 μ m pixel 크기로 스캐닝하여 국부평량 프로파일을 구하였다. 자세한 측정방법은 Keller 등에 의해 보고된 참고문헌에 자세히 소개되어 있다.⁹⁾

2.3 두께 및 미세영역 종이밀도의 측정

시료의 두께 변화는 시료 자체의 구조적 특성 즉, 밀도를 결정하는 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 비접촉식 두께 측정 장비인 TLP(Twin laser profilometer)¹⁰⁾를 적용하여 각 시료의 두께 프로파일과 표면 및 이면의 평활도 프로파일 등을 측정하였다.

Table 1. The furnish components of the commercial paper samples

Sample	Fumish(%)		
	SW	HW	Broke
Foil(F)	11.9	58.1	30
VID-I	10.5	64.5	25
VID-II	11.7	53.3	35

또한 이렇게 구해진 미세영역 두께 프로파일과 같은 지점에서 측정된 미세영역 평량값을 통하여 미세영역에서의 밀도 프로파일을 구할 수 있었다.

2.4 광분산도 (Light Scattering Coefficient) 측정

각 시료의 광분산도는 TAPPI Standard T519 om-96에 의거하여 Color Touch Spectrophotometer (Technidyne Corporation, New Albany, IN)를 사용하여 평가하였다.

2.5 기계적 성질의 측정

각 시료를 TAPPI standard T402 om-83에 따라 조습 처리한 후, 두께방향 인장강도(Z-directional tensile, ZDT) 및 강직도(Bending Stiffness) 측정을 실시하였다. ZDT의 경우 시료의 두께방향으로 힘이 가해졌을 때 표면보다는 내부 구조에서 파괴가 일어나는 정도를 평가하는 것으로 종이 내부구조 및 섬유 네트워크의 특성을 알아보기 위하여 본 연구에 적용되었다. 표준 ZDT 측정장비 (TMI Inc., Islandia, NY)를 사용하여 TAPPI Standard T541 om-89에 의거하여 평가를 실시하였다. 종이의 두께 특성에 큰 영향을 받는 강직도의 경우에는 TAPPI standard T543 om-94 에 따라 Gurley 타입의 강직도 측정기를 사용하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 탈수소자에 의한 지합의 변화

각 시료의 지합평가 결과는 Fig. 2에 나타내었다. VID 시스템 적용 시료의 경우 양쪽 모두에서 기존 포일시스템 적용 시료에 비해 높은 MK 지합지수와 낮은 지합인덱스를 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 VID 시스템으로 제조된 시료에서 균일한 구조가 형성되는 것을 보여주는 결과로 광학적으로 평가된 지합과 실제 미세영역별 평량의 균일성에서 같은 경향이 나타나는 것을 알 수 있다. VID-I 시료에서 VID-II의 시료보다 지합이 우수하게 나타난 결과는 VID-I의 원료 조성분에서 상대적으로 다소 많은 양의 활엽수 섬유를 함유하고 있는 것에 기인한 것으로 생각된다.

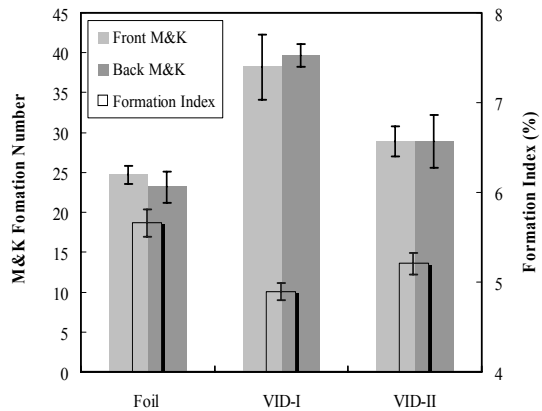


Fig. 2. Formation index and MK formation numbers of commercial paper samples. The MK formation number is a measure of local optical density variation so that a greater value indicates better formation. Both sides were tested since the two sidedness of Fourdrinier made paper can affect the MK formation data.

3.2 탈수소자에 의한 두께 및 겉보기 밀도의 변화

비접촉식 두께 측정기(TLP instrument)를 적용하여 각 시료 50 mm × 50 mm의 면적을 50 μm으로의 간격으로 각각의 두께를 측정하였다. 이때의 미세 영역의 두께 값과 같은 미세영역에서의 평량값을 통해 국부적 겉보기 밀도값 등을 계산하였다. Fig. 3에서는 각 시료 별로 이러한 미세영역의 두께 값과 겉보기 밀도 값들을 평균하여 나타내었다. 비록 VID-I의 시료

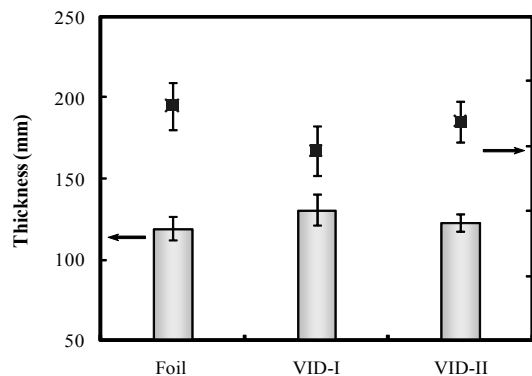


Fig. 3. Thickness and density of commercial paper samples.

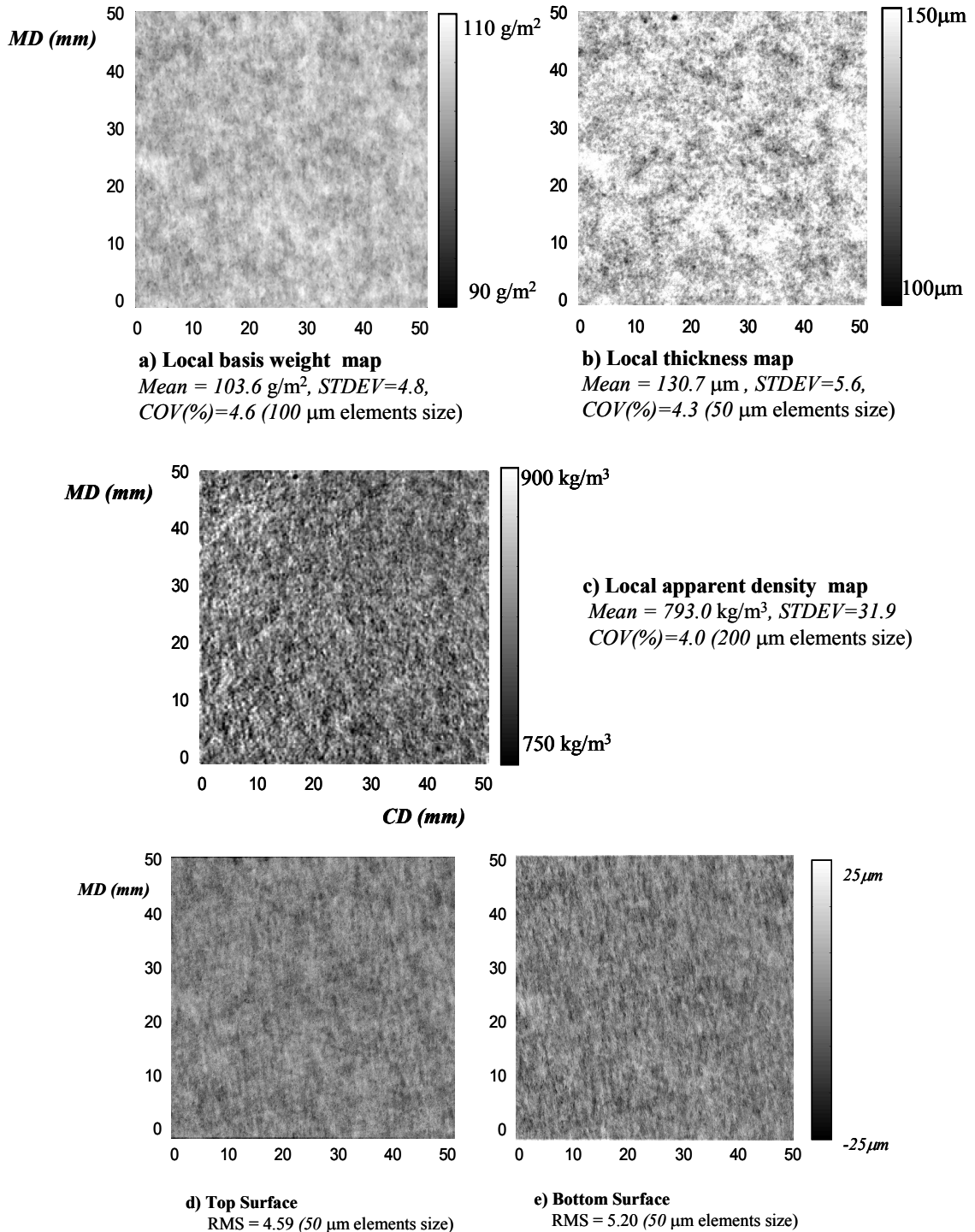


Fig. 4. Commercial VID-I sample local (a) grammage, b) thickness, c) apparent density, d, e) surface profile maps. The mean value of each surface profiles were adjusted to zero.

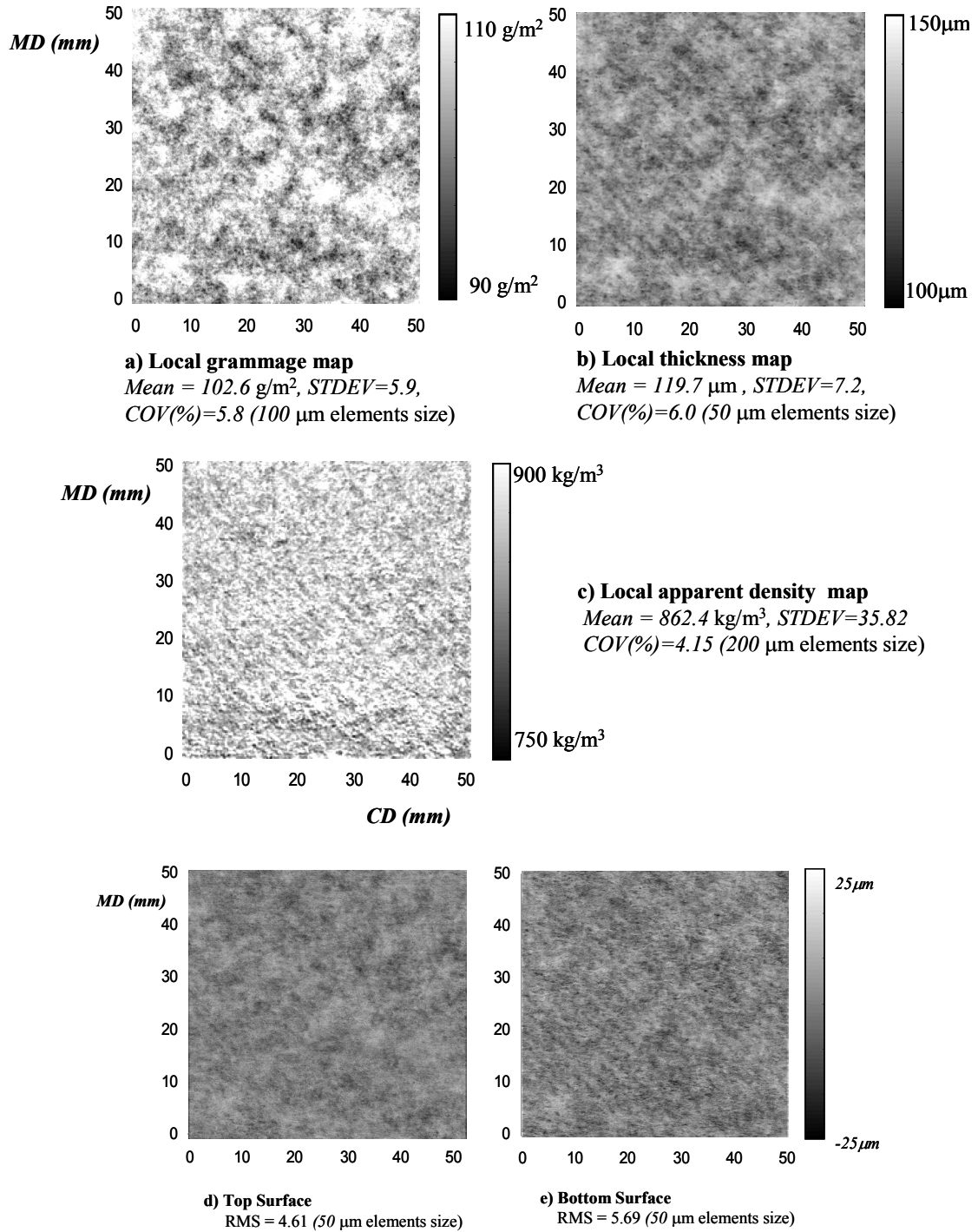


Fig. 5. Commercial foil sample local (a) grammage, b) thickness, c) apparent density, d, e) surface profile maps. The mean value of each surface profiles were adjusted to zero.

가 다소 많은 양의 활엽수 섬유를 포함하여 좀더 밀도가 높은 지층을 형성할 것으로 생각되었지만, 실제로 가장 두꺼운 구조를 가지고 따라서 가장 벌크한 지층을 형성하고 있는 것을 알 수 있었다. 가장 밀도가 높은 구조를 가지는 시료는 포일 시스템을 적용한 시료로 나타났다.

3.3 종이 미세구조의 비교 평가

포일시스템 적용 시료와 VID 시스템 적용 시료(VID-I)의 미세영역별로 두께, 평량, 겉보기밀도의 변이와 표면의 평활도 및 각각의 경우에서의 변이 정도(coefficient of variation, COV)를 Fig. 4와 5에서 나타내었다. 양 시료 모두에서 미세영역별 두께와 같은 미세영역의 평량은 매우 높은 상관관계를 가지고 있는 것을 알 수 있었다.¹⁰⁾ 이러한 두께와 평량과의 높은 상관관계는 상대적으로 균일한 미세영역 밀도분포를 가져오게 하였고, 이에 따라 밀도 프로파일에서는 두께 프로파일과 평량 프로파일에서 볼 수 있는 섬유 플록에 의한 얼룩패턴이 나타나지 않는 것을 알 수 있었다. VID-I 시료의 경우 평량과 두께에서 상대적으로 낮은 변이정도를 나타내었고 그 결과 미세영역 밀도 변이에 있어서도 그 정도가 낮게 나타나는 것을 알 수 있다.

포일 시료의 경우 미세영역 두께 프로파일에서 VID 샘플에서는 보이지 않는 규칙적인 패턴이 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 패턴은 이면의 표면 프로파일에서도 발견되었는데, 종이표면에 나타난 규칙적인 패턴이 두께 프로파일로 전이되고, 이는 실제 미세영역의 밀도 프로파일에도 영향을 미치고 있는

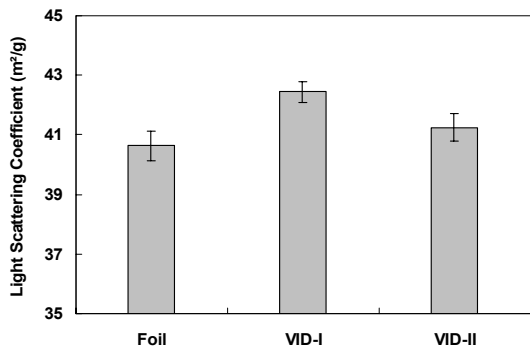


Fig. 6. Light scattering coefficients depending on the drainage elements.

것을 알 수 있다. 포일 샘플의 표면구조에 나타난 패턴은 종이제조 공정 중에 사용되는 초지 패브릭으로부터 전이된 것으로 생각되고 특히, 포일 시료의 경우 VID 시료의 경우보다 탈수 후 형성된 습지가 상대적으로 더 쉽게 압착되는 구조적 특성을 가지고 있어서, 패브릭의 패턴이 쉽게 습지에 발현되고 또한 상대적으로 높은 밀도를 가지는 종이 형성되어지는 것으로 생각된다.

3.4 탈수소자에 의한 광분산도의 변화

광분산도는 섬유간 결합정도 및 종이 내부의 공극의 양 즉, 얼마나 벌크한 구조를 이루고 있는지와 높은 상관관계를 가지고 있다.¹¹⁾ Fig. 6에서 보이는 바와 같이 VID 시료의 광분산도가 포일 시료의 경우보다 크게 나타나는 것을 알 수 있는데, 이는 앞서서도 설명된 것과 같이 VID 시료가 두께가 두꺼우며 벌크한 구조를 가지는 특징에서 비롯된 것으로 볼 수 있다.

3.5 Z 방향 인장강도(ZDT) 비교

Fig. 7에서 보여지듯이 VID 시료들은 포일 시료들에 비해 상대적으로 낮은 ZDT 강도를 가지는 것을 알 수 있다. ZDT 강도는 종이 내에서 두께 방향으로 층간 결합력의 정도와 높은 상관관계를 가지는 데, VID 시료의 경우 상대적으로 밀도가 낮은 벌크한 구조를 가지고 있음에 따라 층간 결합력이 포일 시료보다 낮고 그에 따라 ZDT 강도도 낮게 나타나는 것으로 생각된다.

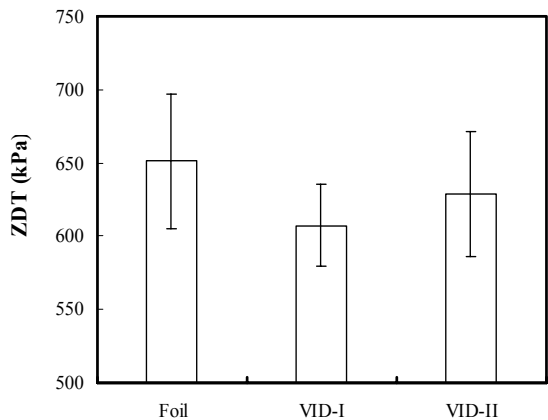


Fig.7. Z-Directional tensile strength of VID and foil commercial paper samples.

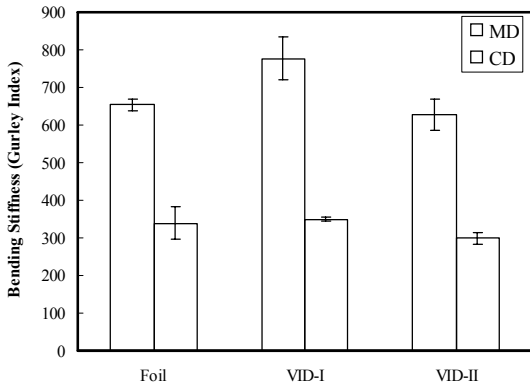


Fig. 8. Bending stiffness of the commercial paper samples.

3.6 강직도(Bending Stiffness) 비교

강직도는 종이의 두께와 밀접한 관계가 있는데 각 시료의 구조 평가결과로부터 예측할 수 있듯이 두께가 가장 두꺼운 VID-I시료가 가장 높은 강직도를 보여주고 있다 (Fig. 8). Cross Machine 방향에서의 강직도는 뚜렷한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 탈수소자의 형태적 특성에서 기인한 탈수 시 수력학적 작용으로 인해 종이의 미세구조 변화 및 그에 따른 제품물성의 변화 양상을 실제 백상지 공정에서 채취한 시료를 통해 평가하였다. VID 탈수소자를 적용하여 제조된 시료의 경우에 포일 시스템을 적용한 제품 시료보다 지합지수 및 MK 지합도에서 모두 좋은 지합 특성을 보이는 것으로 나타났다. 또한 VID 시료의 경우 더 두꺼운 구조로 벌크가 큰 특성을 나타내었고, 이러한 구조적인 특성으로 인해 ZDT 강도는 낮게 측정되었지만 광산란도와 강직도는 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

사사

본 연구를 위하여 지원하여 주신 Empire State Paper Research Associates (E.S.P.R.A.) 와 주식회사 AES Engineered Systems에 깊은 감사를 드립니다. 또한, Dr. Sodergren(AES Engineered Systems)의 적극

적인 도움과 조언에 깊이 감사드립니다.

인용문헌

1. Thorp, B. A., Fundamental and Commercial Overview of Twin Wire and Multiple Wire Forming, 1989 Wet End Operation Seminar, TAPPI Press. Atlanta. pp.191.
2. Norman, B., Overview of the Physics of Forming, 1989 the9th Fundamental Research Symposium, BPBIF Symp.. Mech. Eng. Publ. Ltd., London. pp.73.
3. Cadieux, S. M., and Bachard, J. P. Comparative Pressure Profile Measurements on Modern Drainage Elements, Pulp and Paper Canada 84(12): 75 80 (1983).
4. Zu, J., and Chen, J. A Theoretical Study of Vacuum Force on Gravity Foils and Step Foils, Tappi J. 82(11): 93 (1999).
5. Bachand, J. P., and Bambrick, T. J., Effects of Drainage Pulses on Fourdrinier Papermaking, TAPPI 1989 Wet End Operations, TAPPI PRESS, Atlanta, p.178.
6. Norman, B., and Söderberg, D., Overview of Forming Literature, 1990-2000, 2001 the12th Fundamental Research Symposium at Oxford, PFRS., Mech. Eng. Publ. Ltd., London. p.431.
7. Carlton, K. Cooperative Technology Improves Sheet Formation at Longview Fiber, Pulp and Paper (3): 97 101 (1999).
8. Sodergren, O. F., and Neun, P. E. Developments in Activity generation on Fourdriniers," Tappi J (10): 62. (2000).
9. Keller, D. S., and Pawlak, J. J. β Radiographic Measurement of Paper Formation Using a Storage Phosphor System, J. Pulp and Paper Sci. 27(4). (2001).
10. Sung, Y. J., Ham, C.H., Kwon, O., Lee, H.L., and Keller, D. S., Applications of Thickness and Apparent Density Mapping by Laser Profilometry to Characterize Paper Structure, 2005 Advances in Paper Science Technology, *Trans 13th Fund. Res. Sym.*, S. l'Anson Ed., Cambridge, UK.
11. Charles, L. A., Waterhouse, J. F., The Effect of Supercalendering on the Strength Properties of Paper, J. of Pulp and Paper Science 14(3): J59. (1988).