

목분과 전분을 이용한 골판지원지의 건조효율 및 물성향상

서영범[†] · 정재권 · 지성길

접수일(2016년 4월 12일), 수정일(2016년 4월 20일), 채택일(2016년 4월 22일)

Energy Savings and Strength Improvement of Old Corrugated Container by Application of Wood Flour and Starch

Yung Bum Seo[†], Jae Gwon Jung and Sung Gil Ji

Received April 12, 2016; Received in revised form April 20, 2016; Accepted April 22, 2016

ABSTRACT

The increase of wet web solid content after wet press and dry compressive strength were observed in lab study by judicious application of wood flour and starch for the old corrugated container (OCC). Pearl starch was better than cationic starch in strength development, but cationic starch was better for drainage. Application of vacuum on the mixed solution of wood flour and starch helped strength development further without loss of other properties. The effect of wood flour addition on wet web solid content improved as the wet pressing pressure increased. The use of wood flour and starch mixture improved wet web solid contents further.

Keywords: OCC, wood flour, starch, wet pressing, compressive strength

1. 서론

현재 세계는 온실가스에 의한 지구온난화로 인해 대체 에너지와 에너지사용 저감에 노력하고 있다. 우리나라 제지산업은 제조업 중 총 에너지 소비량이 전체 7위로서 고 에너지 제조업 군으로 분류되는 산업이기 때문에 제지산업의 에너지사용 저감은 간과해서는 안 될 중요한 부분이다. 그에 따라 CDM 사업적용 가능성 타진,¹⁾ 신기술의 적

용에 의한 효율적인 설비투자 유도,²⁻⁴⁾ 온실가스 발생의 저감⁵⁾ 등 에너지 소비를 줄이기 위해 꾸준히 힘쓰고 있다. 제지공정 중 에너지를 저감하는 대표적인 방법 중 하나로 압착탈수 공정 후의 습지필 고형분을 높이는 방안을 생각할 수 있다.⁶⁾ 압착탈수공정에서의 습지필 고형분 1% 증가는 건조공정에서의 건조부하를 4-5% 줄이는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 그로인하여 초지기 속도 향상, 설비 비용 절감과 같은 이점을 추가적으로 기대할 수 있다. 이

• 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과(Dept. of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam Natl. Univ. Daejeon 34134, Republic of Korea)

[†] 교신저자(Corresponding Author): E-mail: ybseo@enu.ac.kr

는 압착 탈수공정에서의 고형분이 에너지 소비량과 밀접한 관련이 있음을 의미한다. 이에 따라 현재 압착탈수 운전조건에 따른 고형분 변화에 관한 연구가 계속적으로 진행되고 있다.^{8,9)} 또 고형분의 농도가 높아짐에 따라 강도와 밀도특성이 향상되는 사실이 보고되고 있다¹⁰⁾. 또 보류향상제, 탈수촉진제와 같은 고분자 첨가제, 종이의 지합, 섬유장은 고형분에 영향을 주지 않으나, 고해처리, 미세분 함량, 팽윤제 첨가는 섬유의 보수도를 증가시켜 고형분에 부정적인 영향을 준다는 사실이 보고된 바 있다¹¹⁾. Sung등은 압착탈수기의 압력의 증가에 따라 고형분이 높아지는 것을 보고하였으며, 압착탈수기 펠트의 수분량이 증가함에 따라 고형분의 증가율이 감소하는 것을 밝혔다. 또, 지료의 고해처리, 미세분 함량, 고분자 첨가제의 첨가에 따른 압착탈수공정에서의 고형분의 변화를 보고하였다.¹²⁻¹⁴⁾ 이와 더불어 고형분의 함량을 높이기 위하여 초지 시 투여하는 다양한 충전제의 첨가, 고압력의 압착탈수와 같은 연구들이 진행되어진 바가 있다¹⁵⁾.

OCC 지료에 유기질 충전제 첨가에 관한 기초연구가 다각적으로 진행되고 있다. 과거에는 충전제의 역할이 종이의 인쇄적성, 광학적 성질의 개선을 위한 목적으로 주를 이뤘지만, 현재에는 충전제의 물리적 성질에 대한 적용성 평가의 목적으로도 연구가 진행되고 있다.¹⁶⁻²⁰⁾ 충전제 첨가의 물리적 성질을 이용하여 에너지를 줄이고자 시행한 연구로서, Lee등은 OCC지료에 유기 충전제를 첨가하면, 섬유사이의 공간을 넓혀 주어 bulk특성이 향상되며, 이러한 bulk의 향상은 압착탈수공정에서 더 높은 압력의 압착탈수를 시행할 수 있는 근거가 될 수 있고, 이에 따른 고형분 증대도 기대할 수 있다²¹⁾. 하지만 더 높은 압착과 탈수를 위해서는 기계적인 압축력의 한계를 높여야 하는 부담이 있다.

본 연구에서는 OCC 지료에 일정한 크기의 목분을 5% 이하로 사용하며 양이온성 전분과 일반전분, 즉 가공하지 않은 전분을 사용하여 압착공정에서 고형분의 함량을 높이며, 강도적 성질을 유지하기 위해 실험을 실시하였다. 이는 적은 양의 목분 첨가에 의해 고형분을 높여, 강도적 성질의 저하를 최소화하며, 강도적 성질의 저하를 전분으로 보충하도록 유도하였다. 특히 전분을 지료 전체에 단순 투여하는 방법과 목분에만 집중적으로 투여하고, 진공처리를 실시하여 목분의 공극 속으로 전분들을 침투시키는 연구도 실시하여 단순 투여와 비교하였다. 일반전분과 목분은 OCC 지료의 가격과 크게 다르지 않으므

로 제품의 가격적인 점에서는 큰 차이가 보이지 않을 것으로 판단되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 국내 판지제조업체인 D사에서 제공받은 KOCC (Korea old corrugated container)를 사용하였다. 분양받은 OCC를 실험실용 Valley beater를 사용하여 3% 농도로 30분 동안 해리하였다. 해리한 OCC의 여수도는 509 mL CSF였으며 그대로 실험에 사용하였다. 지료에 첨가하는 스페이서의 종류로는 국내에서 상업용 목분을 제조하는 H사에서 분양받아 사용하였다. 이들을 100 메쉬 스크린으로 스크리닝하여 100 메쉬 통과분을 사용하였다. 이는 예비실험을 통하여, 크기가 100 메쉬보다 큰 목분들은 OCC로 제조된 종이의 평활도와 강도적 성질의 발현에 크게 도움이 되지 않는 것을 발견하였기 때문이었다.

목분과 함께 양이온성 전분 (cationic starch)과 일반전분 (pearl starch)을 첨가하는 실험을 실시하였으며, 전분은 국내 S사에서 제공 받았고, 양이온성 전분의 경우 +0.77 meq/g의 전하밀도를 가진 것으로 제조업자에 의해 측정되었다.

2.2 수초지 제조방법

수초지는 TAPPI (T205 sp-95) 표준방법에 의해 80 g/m²의 평량으로 제조하였다. 목분과 전분은 두 성분의 합이 수초지 전건중량의 5%가 되도록 조절하였고, 목분과 전분을 혼합할 때에 두 가지 방법으로 실시하였다. 첫 번째 방법은 목분에 전분을 단순히 혼합한 후에 사용하였고, 두 번째 방법은 목분에 전분을 투여한 후, 혼합시키는 가운데 목분 안에 전분이 깊이 침투하도록 와류상태에서 진공을 걸어서 공기가 더 이상 방출되지 않을 때까지 처리하였다. 이러한 목분과 전분 혼합액을 건량으로 환산하여 OCC 지료에 필요량만큼 액상으로 투여하였으며, 수초지에서 목분과 전분의 보류율은 특별히 계산하지 않고, 보류향상제인 PAM (polyacrylamide)에 의해 모두 보류된 것으로 간주하여 물성특성들을 측정하였다.

초지 후에 얻어진 습지는 실험실 프레스롤로 총 2번의

프레스를 실시하였다. 프레스의 롤은 직경 8.5 cm의 고무롤을 사용하였으며, 2.5 rpm의 속도로 회전시켰다. 습지는 4장의 흡수지(blotting paper)사이에 위치시킨 후, 총 2번의 프레스는 각각 다른 크기의 압력을 주었는데, 압착 탈수기의 압력은 Table 1과 같은 조건으로 시행하였다. 또 상기와 같은 조건으로 만들어진 수초지의 종류를 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Wet pressing condition of lab roll press

Abbreviation	Press condition (unit : kgf/cm)	
	1st pressing	2nd pressing
P 1	70	70
P 2	100	100

Table 2. Handsheets prepared for the experiment

Sample name	Wet pressing pressure	OCC (%)	OCC (%)	Starch (%)
Control, P1	P1	100	0.00	0.00
Control, P2	P2	100	0.00	0.00
WF5%, P1	P1	95	5.00	0.00
WF5%, P2	P2	95	5.00	0.00
WF4.5%, P1	P1	95	4.50	0.50
WF4.5%, P2	P2	95	4.50	0.50
WF4.0%, P1	P1	95	4.50	1.00
WF4.0%, P2	P2	95	4.50	1.00
WF3.5%, P1	P1	95	3.50	1.50
WF3.5%, P2	P2	95	3.50	1.50
WF3.0%, P1	P1	95	3.00	2.00
WF3.0%, P2	P2	95	3.00	2.50

2.3 물성 측정

지료의 탈수성을 평가하기 위해 TAPPI Standard T221의 방법을 이용하였으며, 다만 평량이 100 g/m²으로 표준방법보다 높은 상태에서 탈수시간(sec)을 측정하였다. 수초지는 TAPPI T 402에 의거하여 23±1℃, 상대습도 50±2%에 24시간동안 조습처리 하였으며, 조습처리된 수초지는 벌크, 밀도, 열단장(T494 om-01), 압축강도(T 826 om-13)를 측정하였다. 열단장은 MI-CRO350 (Testrometric Co, USA)를 사용하여 측정하였고 압축강도는 L&W compression strength tester (STFI code-052)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 고형분의 변화

골판지 원지의 제조에 있어서 압착공정 후의 고형분은 모두 증발에 의해 제거해야한다. 압착공정에서 1%의 고형분을 높이면 건조에너지의 약 4%가 저감되는 것으로 알려져 있다. 일반전분을 사용하는 경우 고형분의 변화를 나타낸 Fig. 1에 의하면 목분 단독사용의 경우와 목분과 전분의 동시사용 모두 고형분이 증대되는 것을 볼 수 있었으며, 압착의 압력이 낮은 P1의 경우보다 P2의 경우에서 고형분의 증대효과가 확연히 나타났고, 목분의 함량이 3.5나 4%에서 고형분이 크게 증대되는 것을 볼 수 있었다. 진공을 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우는 뚜렷한 차이를 나타내지 아니하였다. 목분만을 사용하는 경우 그 고형분의 평균값들이 전분과 함께 목분을 사용하는 경우보다 모두 낮았다. 특히 P2의 조건은 높은 압력에서 고형분 증대효과가 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. Fig. 2의 경우 고형분을 변화를 나타내며 양이온성 전분을 사용할 때의 결과를 보이고 있다. 이 경우에도 목분 단독사용의 경우와 목분과 전분의 동시 사용 경

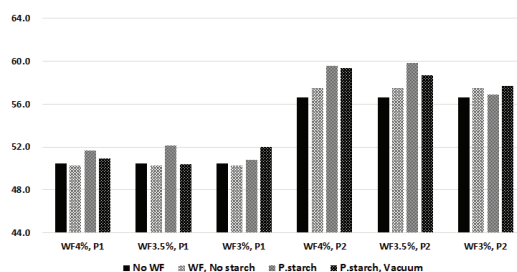


Fig. 1. Solid content (%) of the OCC containing wood flour and pearl starch.

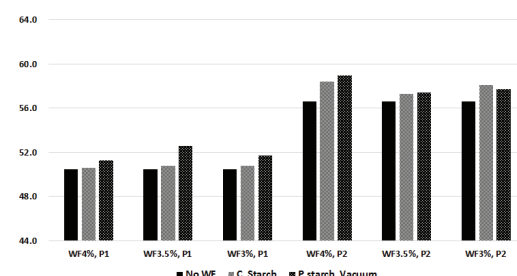


Fig. 2. Solid content (%) of the OCC containing wood flour and cationic starch.

우 모두 고행분이 증대되는 것을 볼 수 있었으며, P1의 압력보다는 P2의 압력에서 좀 더 효과가 증가하는 것을 볼 수 있었다.

3.2 인장 및 압축강도

인장강도는 평량의 변이를 고려하여 열단장 (breaking length)으로 측정하였다. Fig. 3은 목분에 진공 처리된 전분의 경우와 단순 목분 첨가의 경우, 목분을 사용하지 않은 대조구의 경우를 비교하고 있다. 일반전분을 처리한 경우가 동일함량의 양이온성 전분을 처리한 경우보다 현저히 평균값이 큰 것을 알 수 있었다. 또한 목분만을 5% 첨가하는 경우에는 항상 대조구인 OCC 섬유만으로 제조한 경우보다 열단장이 낮은 것을 볼 수 있었다. 어느 경우든 일단 전분이 1% 이상 첨가되는 경우에는 목분이 첨가되어있는 경우에도 열단장이 대조구에 비해 높아지는 것을 알 수 있었다. 따라서 목분에 의한 고행분 증대와 전분에 의한 강도보완이 바람직하며, 양이온성 전분보다는 일반전분을 목분에 진공으로 흡착시키는 경우가 강도적 혜택이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

골판지원지의 압축강도는 가장 중요한 성질이며 목분

을 첨가하는 경우 현저히 낮아지는 경향이 일반적이다. Fig. 4는 이러한 경우를 전분의 첨가에 의해 상당히 보완될 수 있음을 보이고 있다. 특히 일반전분은 압축강도에서 큰 역할을 하고 있었다. 반면 양이온성 전분의 경우 강도증대효과가 제한적이었다. 특히 전분을 처리하지 않고 목분을 함유한 지료는 결정적인 압축강도의 결함을 보이고 있었다.

진공처리를 하지 않은 경우에는 열단장이나 압축강도의 증대가 진공처리의 경우보다 훨씬 적은 편이었다. 압축강도를 비교하여 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 열단장의 경우에는 더 뚜렷이 진공처리가 단순 전분첨가보다 크게 우수하였다.

3.3 탈수성과 벌크

일반전분을 사용하는 경우, 강도적인 부분에서 양이온성 전분보다 우수한 결과를 얻었지만 탈수성 부분에서는 지속적으로 양이온성 전분에 비해 떨어지는 경향을 보였다 (Fig. 7). 탈수성은 Tappi 표준 수초지에서 60g/m²의 지료를 제조할 때에 물이 모두 빠지고 수초지가 형성되는 시간을 측정하여 구하였다. 양이온성 전분을 사용하

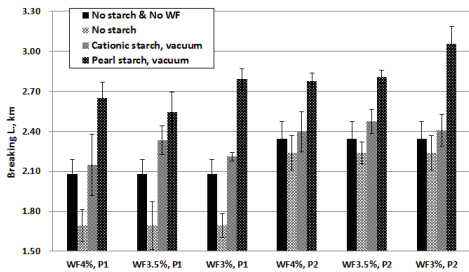


Fig. 3. Breaking length comparison of the OCC containing wood flour and starch.

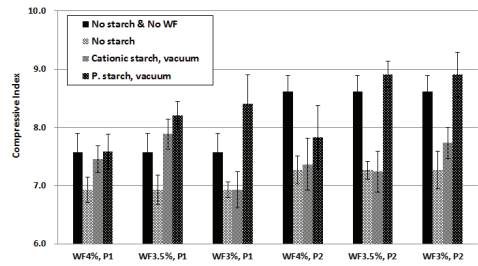


Fig. 4. Compressive strength comparison of the OCC containing wood flour and starch.

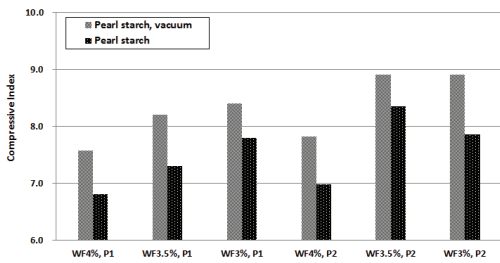


Fig. 5. Compressive strength comparison of the OCC using pearl starch and vacuum treatment.

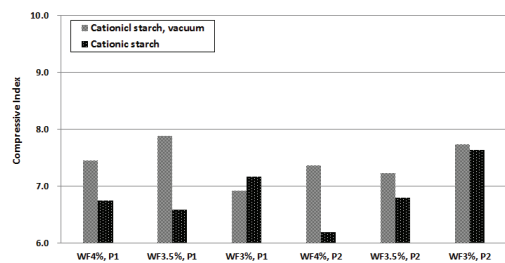


Fig. 6. Compressive index (kNm/N) comparison of the OCC using cationic starch and vacuum treatment.

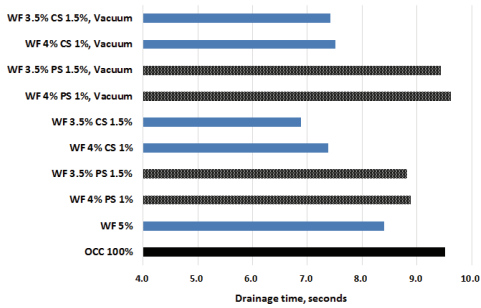


Fig. 7. Drainage time of the OCC furnish containing wood flour and starch.

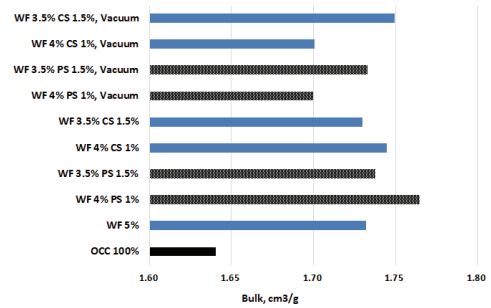


Fig. 8. Bulk of the OCC furnish containing wood flour and starch.

는 경우 진공처리의 여부에 상관없이 가장 우수한 탈수성을 보였다. 하지만 일반전분의 경우 목분만 넣은 지료에 비해서도 그 차이가 작기는 하지만 더 탈수시간이 긴 것을 알 수 있었다. 즉 일반전분의 경우 충분히 수화되면 수산기들이 물을 끌어당김으로서 탈수성이 늦어지도록 작용하고 있는 것으로 판단된다. 일반전분은 양이온성 전분과는 달리 작은 섬유들로 플러를 만들어 탈수를 향상시키는 역할을 하지 못하는 것으로 판단되었다. 반면에 양이온성 전분의 경우 보류향상제로 작용하여 작은 입자들을 덩어리 혹은 플러 형태로 만들어 보류를 높이며 플러의 외부 표면적이 플러를 형성하는 섬유들의 개별 표면적의 합보다 표면적을 줄이게 됨으로 탈수가 빨라지게 되는 것으로 판단되었다.

골판지 원지의 벌크는 크게 중요하지 않다. 하지만 접착제의 침투성적인 면에서는 가치가 있다고 판단되었다. 목분을 사용하는 경우 당연히 벌크가 커질 수밖에 없다 (Fig. 8). 다만 그러한 높은 벌크에서도 전분을 적절히 사용하는 경우 압축강도와 열단장을 유지하거나 높일 수 있었으며, 고행분도 높일 수 있었고, 특히 저렴한 일반전분을 사용함으로써 생산비의 부담을 줄일 수 있는 방법이 될 수 있었다.

4. 결론

골판지고지인 OCC에 100 메쉬 통과분의 목분을 사용하고, 일반전분 (pearl starch)과 양이온성 전분 (cationic starch)을 사용하여 압착공정 후의 고행분 증대를 모색하였으며, 강도적 성질의 유지 혹은 개선을 시도하

였다. 그 결과 5% 이하의 목분 첨가는 높은 압력범위에서 압착공정을 실시하는 경우 자체적으로도 고행분의 증대를 가져왔으며, 목분과 전분을 함께 사용하는 경우 고행분의 증대가 더 크게 나타났다. 또 압축강도와 인장강도 역시 전분의 첨가로 목분을 사용하지 않는 경우보다 같거나 크게 나타났으며, 이 경우에는 일반전분의 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 하지만 고행분의 증대에 있어서는 양이온성분과 동등하였으며, 탈수성에서는 양이온성 전분이 더 우수하였다. 따라서 일정한 크기의 목분을 적은 양 사용하며, 경제적으로 유리한 일반 전분을 적절히 병용하는 경우, 고행분 증대와 강도적 성질의 향상을 도모할 수 있었고, 목분과 전분의 혼합액에 진공을 사용하여 전분을 목분에 침투 혹은 더 많이 접촉시킴으로서 더 큰 강도적 효과를 얻을 수 있었다.

Literature Cited

1. Sung, Y. J., Kim, D. S., Um, G. J., Lee, J. W., Kim, S. B., and Park, G. S., Action Plans of Paper Industry Correspond to the Carbon Dioxide Emission Trading Market, J. Korea TAPPI 44(1):43-51 (2012).
2. Chudnovsky, Y., Innovative Gas-Fired Technology for Paper Drying, Spring Technical & International Environmental Conference, 2004 Paper Summit (2004).
3. Jeong, Y. B., Lee, H. L., Jeong, K. H., and Ryu, H., Influence of the Viscosity of Surface

- Sizing Starch Solutions on Surface Sizing Effect of Linerboard, *J. Korea TAPPI* 44(5):54-62 (2012).
4. Kaapa, O., The optimization of press dewatering and its influence on energy savings, 2008 PAPERCON Conference (2008).
 5. Pickin, J. G., Yuen, S. T. S., and Hennings, H., Waste management options to reduce greenhouse gas emissions from paper in Australia, *Atmospheric Environment*, 36:741-752 (2002).
 6. Skalicky, C. and Milichovsky, M., Dehydration Behavior of Pulp during Pressing, *Cellulose Chemistry and Technology*, 26(1): 85-98 (1992).
 7. Seo, D. J., Overviews on Energy Savings in Paper Industry, 2009 KTAPPI colloquium, p.47-67 (2009).
 8. Hii, C., Gregersen, O. W., Chinga-Carrasco, G., and Eriksen O., The effect of newsprint furnish composition and sheet structure on wet pressing efficiency, *Nordic Pulp and Paper Research J.* 27(4):790-797 (2012).
 9. Hii, C., Gregersen, O. W., Chinga-Carrasco, G., Eriksen O., and Toven, K., The web structure in relation to the furnish composition and shoe press pulse profiles during wet pressing, *Nordic Pulp and Paper Research J.* 27(4):798-805 (2012).
 10. Klinga, N., and Hoglund, H., Paper properties of TMP and CTMP handsheets from spruce, as affected by the solids content from pressing, *Nordic Pulp and Paper Research J.* 27(4):475-480 (2007).
 11. Springer, A., Nabors, L. A., and Bhatia, O., The influence of fiber, sheet structural properties, and chemical additives on wet pressing, *TAPPI J.* 74(4):221-228 (1991).
 12. Sung, Y. J., Lee B. R., Jeong, W. K., Jung J. G., Choi S. G., Im C. K., Gwon W. O., and Seo Y. B., Changes in Wet Pressing Response of OCC stock by the Beating Time and the Addition of Polymer Aids, *J. of Korea TAPPI* 43(2):77-82 (2011).
 13. Sung, Y. J., Jeong, W. K., Kim, D. S., Oh, M. T., Hong, H. U., Seo, Y. B., Im, C. K., Gwon, W. O., and Kim, J.D., Evaluation of Wet Pressing Response of Recycled OCC with Roll Press Simulator, *J. of Korea TAPPI* 44(4):85-90 (2012).
 14. Jeong, W. K., and Sung, Y. J., Wet Pressing Properties of OCC Stock depending on the Fines Contents, *J. of Korea TAPPI* 44(6):21-27 (2012).
 15. Hwang, I. Y., Lee, Y. H., Jung, J. G., Sung Y. J., and Seo Y. B., Application of spacers for increasing OCC solid content in wet pressing process (I), *J. Korea TAPPI* 44(4):2-7 (2012).
 16. Lee, J. Y., Lee, E. K., Sung, Y. J., Kim, C. H., Choi, J. S., Kim, B. H., Lim, G. B., and Kim J. S., Application of new powdered additives to paperboard using peanut husk and garlic stem, *J. Korea TAPPI* 43(4):40-48 (2011).
 17. Kim, C. H., Lee, J. Y., Lee, Y. R., Chung, H. K., Back, K. K., Lee, H. J., Gwak, H. J., Gang, H. R., and Kim, S. H., Fundamental Study on Developing Lignocellulosic Fillers for Papermaking(II), *J. Korea TAPPI* 41(2):1-6 (2009).
 18. Chae, H. J., and Park, J. M., Study on Drainage and Physical Properties of KOCC Hand-sheet Containing Pretreated Wooden Fillers, *J. Korea TAPPI* 43(3): 21-29 (2011).
 19. Lee, J. Y., Kim, C. H., Choi, J. S., Kim, B. H., Lim, G. B., and Kim, D. M., Development of New Powdered Additive and Its Application for Improving the Paperboard Bulk and Reducing Drying Energy (I), *J. Korea TAPPI* 44(2):58-66 (2012).
 20. Gao, Y., Rajbhandari, V., Li K., Zhou, Y., and Yuan, Z., Effect of HYP fibers on bulk and surface roughness of wood-free paper, *Tappi J.*, 4:4-10 (2008).

21. Lee, J. Y., Kim, C. H., Choi, J. S., Kim, B. H., Lim, G. B., and Kim, S. Y., Effect of New Organic Filler on physical Properties and Drying Energy Consumption of Paperboard, Proceeding of Fall Conference of the KTAPPI, pp.29-36 (2012).
22. Bown, R., Particle size and structure of paper fillers and their effect on paper properties, Paper Technology 39(2):44-48 (1998).