

종이 멸균팩 유래 섬유의 포장용지 생산 공정 적용 연구(제1보): 파일럿 지료 조성 설비를 활용한 종이 멸균팩의 재활용성 평가

이태주 · 김두현¹ · 김광진² · 류정용^{3†} · 이명구^{3‡}

접수일(2019년 3월 11일), 수정일(2019년 4월 10일), 채택일(2019년 4월 12일)

Application of Recycled Fibers from Used Aseptic Carton for the Production of Packaging Paper I - Evaluation of Recyclability of Used Aseptic Carton Using Pilot-scale Equipments-

Tae Joo Lee, Doo Hyun Kim¹, Kwang Jin Kim², Jeong Yong Ryu^{3†} and Myoung Ku Lee^{3‡}

Received March 11, 2019; Received in revised form April 10, 2019; Accepted April 12, 2019

ABSTRACT

Packaging papers are usually made of unbleached kraft pulp (UKP) and Korean old corrugated container (KOCC). The KOCC consumption for the production of kraft paper, corrugated medium, and linerboard has gradually increased with the expansion of e-commerce and parcel service industry. The most important properties of industrial papers are their strength (e.g., tensile, compression, and burst strengths) because one of their major functions is to protect goods against external forces. However, the KOCC is not enough to improve the desired strength properties because of the fiber property deterioration caused by the repeated recycling process. Therefore, a new material that would replace the KOCC in achieving an improved paper strength should be found. Aseptic carton, which comprises 80% paperboard and 20% plastic films and aluminum layers, is a potential alternative for KOCC because the paperboard in the carton pack is made of UKP. This study assessed the recyclability of used aseptic carton (UAC) using a pilot-scale pulper and a screen. The UAC yield was

* 국립산림과학원 목재이용연구부 목재화학연구과(Wood Chemistry Division, Forest Products Department, National Institute of Forest Science, Seoul, 02455, Republic of Korea)

1 태림페이퍼(Taelim Paper Co., Ltd., Gyeonggi, 15609, Republic of Korea)

2 테트라팩(유)(Tetrapak Korea, Seoul, 04349, Republic of Korea)

3 강원대학교 산림환경과학대학 산림응용공학부 제지공학전공(Program of Paper Science & Engineering, Division of Forest Material Science and Engineering, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: jyryu@kangwon.ac.kr

‡ 공동교신저자(Co-corresponding Author): E-mail: mklee@kangwon.ac.kr

approximately 74%, indicating that fibers could almost be obtained via the paper recycling process. The reject materials comprised aluminum and plastics. The fiber properties were satisfactory compared to UKP. The length and width of the UAC fibers were slightly shorter and narrower and the water retention value and freeness were better than those of the other recycled fibers obtained using double lined kraft and used gable top.

Keywords: Recycling, aseptic carton, packaging paper

1. 서론

포장용지는 각종 산업용도로 공급되는 종이를 말하며 물품의 보호 및 정보전달을 목적으로 사용하는 포장지도 여기에 포함된다. 대표적인 포장용지는 골판지 상자와 크라프트지를 들 수 있다. 다른 소재와 마찬가지로 포장용지를 구성하는 원료 조성 역시 포장재의 기능에 직접적인 영향을 미치므로 최종 생산품의 품질과 공정 효율 개선을 위해서는 양질의 원료가 요구된다.¹⁾ 골판지 상자는 라이너지와 골심지로 이루어진 구조체로서 거의 모든 상품의 포장에 사용되며, 크라프트지는 주로 동물의 사료 및 곡물, 시멘트 등을 포장할 때 사용된다. 골판지 상자는 최근 전자상거래 및 택배산업의 활성화로 인해 꾸준히 그 소비량이 증가하고 있다. 또한 최근 플라스틱 재질의 포장 폐기물로 인한 환경문제가 대두되면서 슈퍼마켓이나 마트에서 구매한 물품을 담은 비닐류의 무상보급이 중단됨에 따라 이를 대체할 수 있는 크라프트지의 용도가 확대될 것으로 예상된다.

국내 포장용지 원료는 주로 미표백 크라프트 펄프(unbleached kraft pulp, UKP)와 국내산 폐 골판지(Korean old corrugated container, KOCC)를 활용하여 제조된다. 포장용지 제조 원료 중 80% 이상을 차지하는 KOCC는 2017년 기준 사용량이 6,917,591톤이며 회수율은 89.2%로 국내에서 생산된 대부분의 포장용지가 회수되어 원료로 재활용되고 있다. 포장용지의 특성상 포장된 물품의 훼손을 방지하기 위해 높은 강도가 요구되나, KOCC는 가정 혹은 직장에서 분리수거 되어 별도의 분급 과정을 거치지 않은 채로 다량의 이물질과 함께 유입되어 종이 재활용 공정의 오염을 조장할 뿐만 아니라 여러 차례 재활용 공정을 거치면서 반복적인 건조-습윤 과정으로 섬유 성상이 조악해지고, 미세분이 다량 생성되기에 공정 효율뿐만 아니라 최종 생산품의 품질에도 악영향을

미친다.²⁾ 이러한 KOCC의 한계를 극복하기 위한 다양한 연구가 수행되어 왔으나 KOCC가 가지고 있는 고질적인 문제점을 극복하기에는 한계가 있다고 판단된다.³⁻⁵⁾

종이 멸균팩은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 5-6겹의 복합재질로 이루어진 소재이다. 종이 멸균팩의 종이 층을 수분으로부터 보호하기 위해 저밀도 폴리에틸렌 필름이 종이 층 바깥쪽 면에 코팅되어 있고, 산소 및 수분에 의한 음식물의 변질을 막기 위한 알루미늄 층이 폴리에틸렌 필름을 매개로 종이 층과 맞닿아 있으며, 알루미늄 층의 안쪽 면 즉, 내용물이 알루미늄 층과 접촉하는 부분도 폴리에틸렌으로 라미네이팅 되어 있다. 일반적으로 종이 멸균팩의 종이 층을 구성하는 원료는 100% 미표백 크라프트 펄프이며 구성 비율은 전체 중량의 약 80%이다.⁶⁾ 종이 멸균팩 유래 펄프의 활용 가능성은 Seo 등⁶⁾에 의해 실험실적으로 평가된 바 있으며, 기존에 재활용되고 있는 폐지에 비해 성상이 우수하고 사용된 종이 멸균팩(used aseptic carton, UAC) 유래 섬유의 배합비가 증가할수록 종이 강도 특성이 개선된다는 장점을 가지고

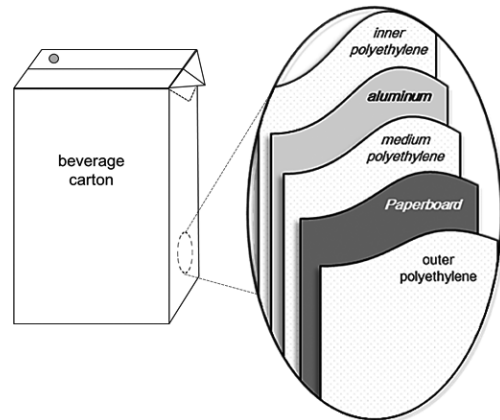


Fig. 1. Structure of aseptic carton.

있다. 또한 UAC를 재활용할 경우 환경오염을 저감하고 종이 생산 원가를 절감할 수 있으며 온실가스 배출량의 저감에도 기여할 수 있다는 연구도 보고되고 있다.⁷⁾

이에 본 연구에서는 UAC 유래 재활용 섬유를 포장용지 생산용 원료로 적용하기 위한 방안을 마련하기 위해 파일럿 규모의 지료 조성 설비를 이용하여 UAC의 재활용성을 평가하고 재활용 과정을 통해 얻어진 섬유 특성을 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

공시재료는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 사용 후 수거된 종이 멸균팩(used aseptic carton, UAC)과 우유팩

(used gable top, UGT), 수입 재활용 크라프트지(double lined kraft, DLK), 미표백 크라프트 펄프(unbleached kraft pulp, UKP)를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 종이 멸균팩의 해리 특성 비교 분석

Fig. 3에 나타난 바와 같이 공시재료를 각각 300 g씩 Fig. 3의 실험실용 고농도 펄퍼(high-density pulper, Daeil Machinery, Korea)를 이용하여 Table 1의 조건으로 해리하고, 0.15 mm 너비 slot의 섬머빌 스크린(Somerville screen, Daeil Machinery)로 미해리분(flake)과 섬유분(fibers, fine)을 분리하였다. 섬유분은 다시 200 mesh 스크린을 활용하여 섬유(fibers)와 미세 섬유(fines)로 분리한 후 각각의 무게를 산출함으로써 해리 특성을 비교 분석하였다.

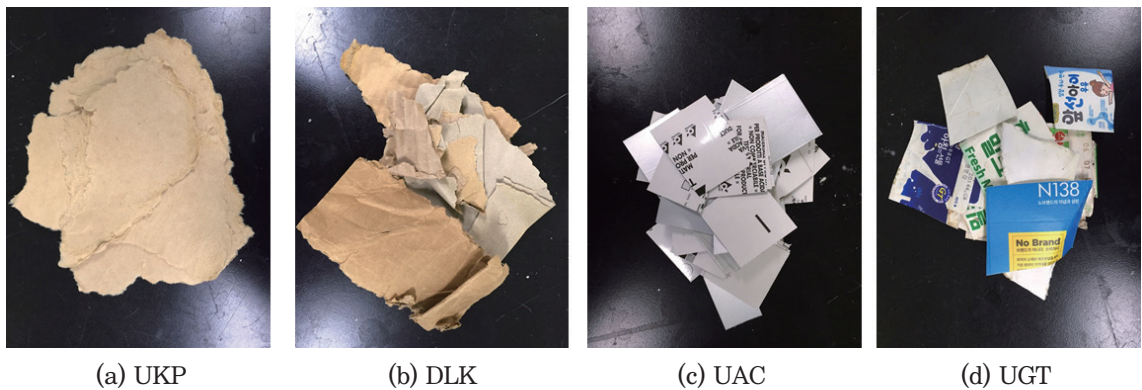


Fig. 2. Raw materials for the evaluation of recyclability.

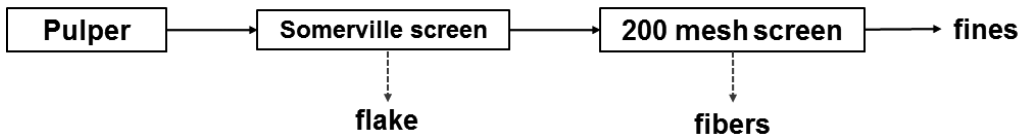


Fig. 3. Lab-scale experimental scheme for evaluation of recyclability of the raw materials.

Table 1. Pulping conditions of the raw materials

Raw materials	Dosage of NaOH [*]	Consistency, %	Pulping time, min	Temperature, °C	Rotation, rpm
UKP	–	5	10	Room temperature	450
DLK	3.0%	5	40		
UAC	–	10	40		
UGT	2.5%	10	40		

^{*} based on dry weight of the raw materials

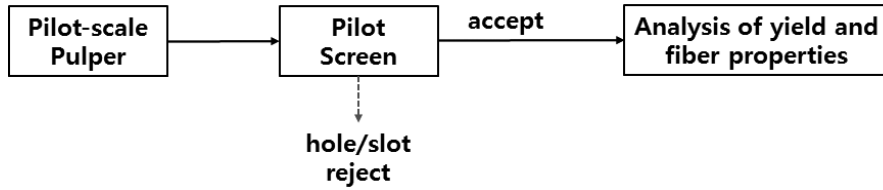


Fig. 4. Evaluation of recyclability of the raw materials.

2.2.2 파일럿 지료 조성 설비를 이용한 수율 분석

파일럿 지료 조성 설비를 활용한 공시재료의 재활용성 평가 과정을 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 펄퍼에서 해리한 지료를 파일럿 스크린으로 처리하여 섬유보다 큰 물질을 slot과 hole 리젝트(reject)로 분리하고, 스크린 처리 후 분급된 엑셉트(accept)는 200 L 용량의 체스트에 보관하였다. 파일럿 스크린 처리 후 분급된 엑셉트와 slot 및 hole 리젝트의 전건 무게를 측정하여 각 공시재료의 재활용 수율을 비교 분석하였다. 또한 섬유장 분석기(Fiber tester plus, Lorenzen & Wettre, Sweden)로 스크린 엑셉트 분에 포함되어 있는 섬유의 길이(numerical weighted average fiber length) 및 폭을 분석하였으며, ISO 5267-2:2001 및 ISO 23714:2014에 의거하여 여수도 및 보수도를 측정하였다. 파일럿 펄퍼는 총 용량 50 L, 스테인리스 재질로 제작되었으며 해리 시 지료의 흐름을 원활하게 하기 위한 baffles가 설치되어 있다. 각 공시재료의 해리조건은 Table 1과 같다. 파일럿 스크린은 섬유의 크기에 따라 지료 구성 성분을 분리하기 위한 공정으로 펄핑공정 후 지료의 미해리분을 분리하게 된다. 본 연구에 사용된 파일럿 스크린은 Fig. 5에 나타난 바와 같이, 펌프의 구동력에 의해 지료가 유입되면 스크린 하부의 직경 3 mm hole을 거쳐 스크린 내부로 이동하게 된다. 스크린 내부로 이동된

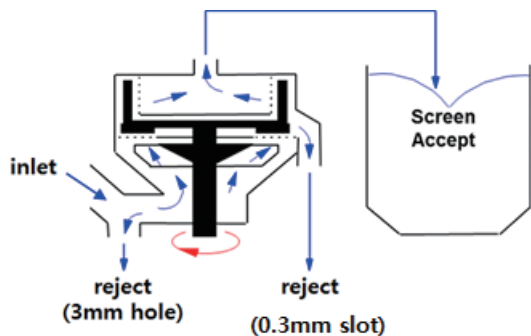


Fig. 5. Flow scheme in pilot screen.

지료는 포일(foil)의 회전력으로 형성된 구심력에 의해 0.3 mm 너비의 슬롯(slot)을 통과하여 엑셉트로 분리되며, 그렇지 못한 지료 성분은 slot 리젝트로 배출된다.⁸⁾

3. 결과 및 고찰

3.1 UAC의 재활용 특성

UKP, DLK, UAC, 그리고 UGT 각각의 공시재료를 실험실용 고농도 펄퍼로 해리한 후 섬유 및 200 mesh 스크린으로 분급한 미해리분, 섬유, 그리고 미세섬유의 비율을 Fig. 6에 나타냈다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 미해리분의 경우 DLK 18.5%, UGT 14.7%였으며 UAC의 경우 24.43%로 다른 공시재료에 비해 높게 측정되었다. Fig. 7에 나타난 바와 같이 섬유 및 스크린을 통과하지 못한 DLK의 미해리분은 모두 펄퍼에서 미처 해리되지 못한 상태로 관찰되었으나 UAC의 경우 섬유는 대부분 해리되어 0.15 mm 너비의 스크린 슬롯을 통과하였고, 통과되지 못한 미해리분에는 UAC 내부의 알루미늄 층과 플라스틱 성분 일부가 관찰되었다. UGT의 미해리분에는

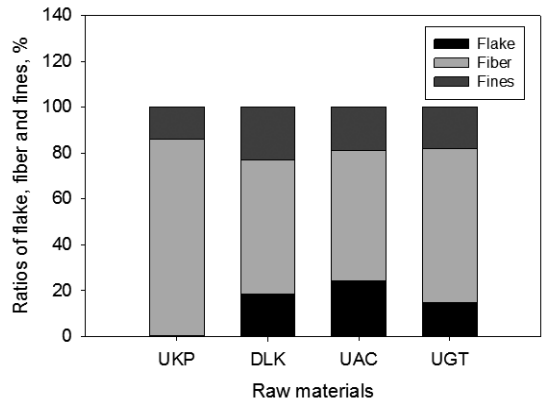


Fig. 6. Ratio of flake, fibers, and fines ratio of four kinds of raw materials after lab-scale pulping.

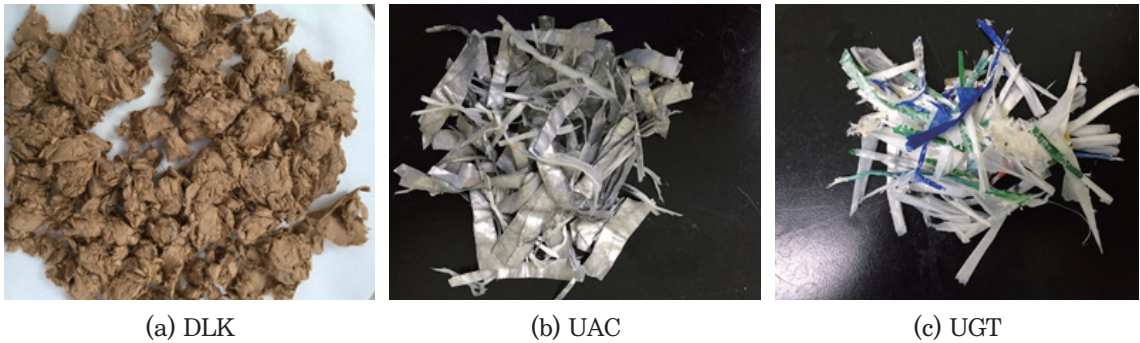


Fig. 7. Images of the flakes after separation with Somerville screen.

외부를 둘러싸고 있는 플라스틱 성분과 내부 종이 층에서 유래된 미해리분이 잔존하는 것을 관찰할 수 있었다. UAC의 경우 미해리분에 포함된 섬유 양이 적어 알칼리 없이도 해리가 용이하다고 분석되었으나, DLK와 UGT의 미해리분에 잔존하는 상대적으로 많은 양의 섬유가 관찰되었다. 이는 크라프트 및 살균팩 원지를 제조할 때 투입되는 습윤 지력증강제와 사이즈제 첨가로 인해 나타난 결과로 판단된다.

DLK의 섬유 비율은 58.4%, 미세섬유 비율 23.0%, UAC의 섬유 비율은 56.9%, 미세섬유 비율은 18.70%로 분석되었으며, UGT의 섬유 비율은 67.1%, 미세섬유 비율은 18.2%로 분석되었다. DLK의 경우 알칼리 투입 조건에서 해리를 실시한다 할지라도 높은 습윤 지력으로 인해 미처 해리되지 못하고 잔존하는 성분이 많을 뿐만 아니라, 물의 침투성 저하로 DLK가 잘 젖지(wetting) 않아 해리 시 펄퍼의 로터(rotor)에 의해 형성되는 전단력으로 DLK의 해리가 온전히 진행되지 못하고 섬유 및 종이 표면에서만 일부 조각들이 분리되어 미세분의 발생을 조장한 것으로 추정된다.

3.2 파일럿 설비를 활용한 종이 멸균팩의 재활용 특성 평가

파일럿 스크린은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 하부의 3 mm 직경의 hole을 거치면서 해리되지 못한 섬유 혹은 조대 이물질이 hole 리젝트로 분리한다. 하부의 hole을 통과한 지료 구성성분 중, 해리가 된 섬유(accept)는 상부의 0.3 mm 너비의 슬롯을 통과하여 분리되며, 0.3 mm 너비의 슬롯을 통과하지 못한 지료 성분은 slot 리젝트로 분리된다. 이에 Table 1의 조건으로 파일럿 펄퍼에서 해리가 완료된 지료를 파일럿 스크린 처리한 후, Fig. 8과

같이 엑셉트, hole 및 slot 리젝트의 비율을 측정함으로써 UAC의 해리 특성을 분석하였다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 DLK의 hole 리젝트 비율은 8.12%, UAC 26.78%, UGT 20.18%였으며 slot 리젝트는 DLK의 경우 1.01%로 가장 높았으며 나머지 공시재료의 slot 리젝트는 모두 0.5% 미만으로 분석되었다. UAC의 hole 리젝트가 가장 높게 측정된 이유는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 알루미늄 및 플라스틱 성분이 hole을 통과하지 못했기 때문이며, UGT의 경우 역시 플라스틱 성분과 미해리 섬유분이 hole 리젝트로 분급됨에 따라 나타난 결과이다. Fig. 9는 파일럿 및 섬머빌 스크린 처리 후 수율 비교 분석 결과이다. UKP, UAC, UGT의 섬머빌 스크린 수율이 파일럿 스크린 수율보다 높게 측정되었으나, DLK의 경우 파일럿 스크린 수율이 섬머빌 스크린 수율보다 높게 측정되었다. DLK의 경우 Figs. 6-7의 결과와는 다르게 해리 특성이 양호하지 않음에도 불구하고 hole 리젝트의 비율이 낮

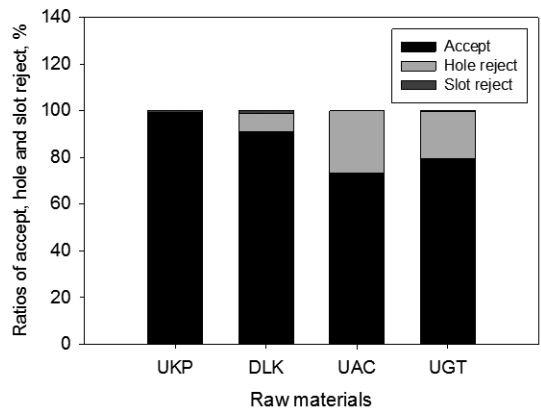


Fig. 8. Ratio of accept, hole, and slot reject after pilot-scale screening.

았다. 이는 펄퍼에서 해리되지 못한 섬유 번들(bundle)이 3 mm hole을 통과한 후, 스크린 내부에서 형성된 전단력에 의해 섬유 및 미세분으로 분리되어 나타난 결과로 판단된다. UAC의 경우 파일럿 스크린의 수율은 73.06%, 섬머빌 스크린의 수율은 75.57%로서 종이 멸균팩을 구성하는 종이 층의 섬유 중 약 90% 이상이 회수되었다고 볼 수 있다.

3.3 종이 멸균팩의 섬유 특성

Fig. 10에 나타난 바와 같이 UAC 섬유의 길이는 1.59 mm로 측정되었다. UKP의 섬유장은 2.37 mm로 가장 길었으며 DLK, UAC, UGT의 섬유장은 모두 유사하였다. Fig. 11의 UAC 섬유장 분포 분석 결과에 나타났듯이 0.5–1.5 μm 길이의 섬유 비율이 53%이고 2.0–4.0 μm

길이의 섬유는 26%였다. 섬유 폭은 Fig. 12에 나타난 바와 같이 UKP가 32.3 μm 로 가장 넓었으며, UAC는 27.5 μm 로 측정되었다. Fig. 13은 각 지료의 미세섬유 함량 분석 결과이다. Fig. 13에 나타난 바와 같이 DLK의 미세분이 47.9%로 가장 높았으며, UAC의 미세섬유 비율은 31.2%로 분석되었다. 보수도는 섬유가 물을 보유할 수 있는 능력의 척도로서 피브릴화를 평가하는 데 많이 사용된다. Fig. 14에 각 공시재료의 보수도 분석 결과를 나타냈다. Fig. 14에 나타난 바와 같이 UAC 유래 섬유의 보수도가 가장 높았다. 보수도의 경우 고해 처리된 섬유가 그렇지 않은 섬유에 비해 높게 나타나는데, 이는 섬유의 외부 피브릴화로 인해 2차 세포벽의 S2층이 노출되면서 셀룰로오스의 자유 수산기가 외부로 노출되고, 동시에 내부 피브릴화로 인해 섬유가 팽윤되면서 수소 결합 능

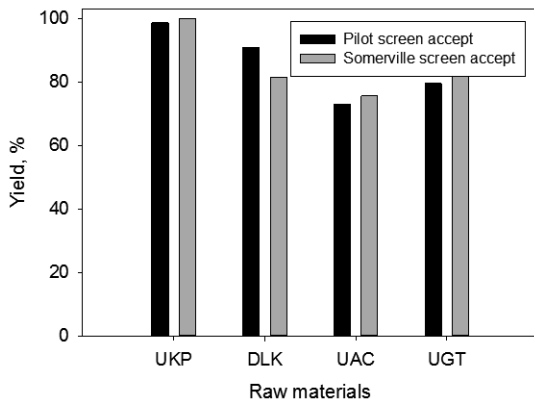


Fig. 9. Fiber yield comparison of pilot-scale and Somerville screens.

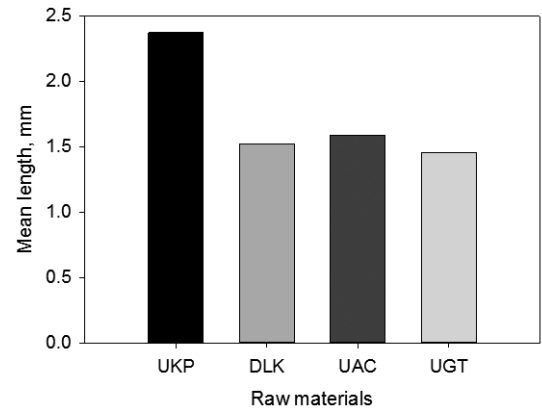


Fig. 10. Mean length of fibers obtained from four kinds of raw materials.

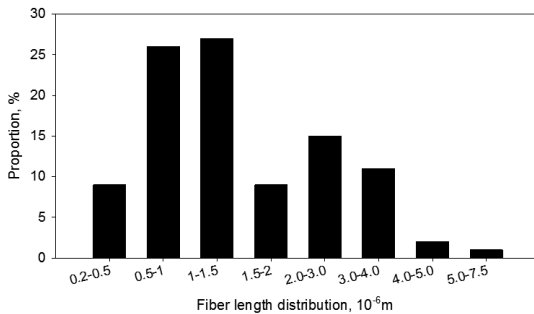


Fig. 11. Fiber length distribution of used aseptic carton.

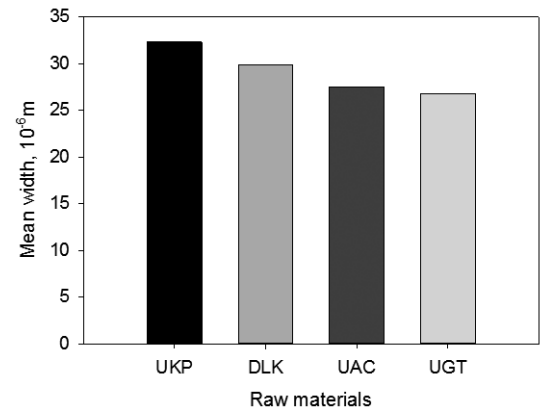


Fig. 12. Mean width of fibers obtained from four kinds of raw materials.

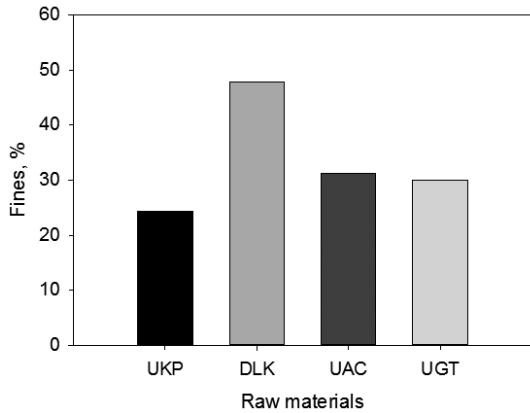


Fig. 13. Ratio of fines in the slurry obtained from four kinds of raw materials,

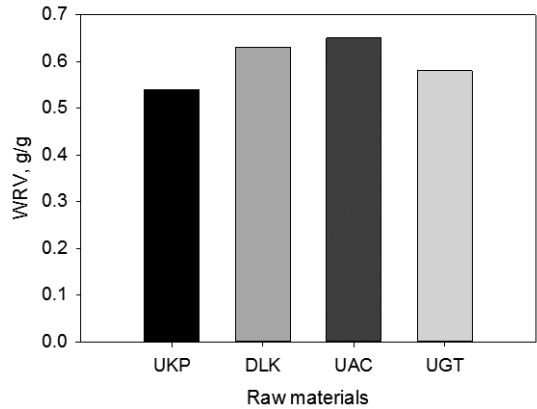


Fig. 14. Water retention value of the fibers obtained from four kinds of raw materials,

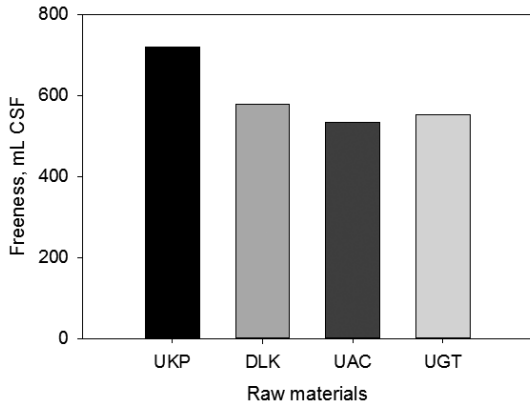


Fig. 15. Freeness of the fibers obtained from four kinds of raw materials,

력이 증가하기 때문이다.⁹⁾ UKP의 경우 고해를 실시하지 않은 섬유의 보수도 측정 결과이지만, UAC, UGT, DLK의 경우 종이 강도 향상을 위해 일정 수준의 고해 처리 후 종이를 제조하게 된다. 따라서 이를 재활용한 섬유는 고해 처리에 의해 이미 어느 정도 섬유가 피브릴레이션(fibrillation)이 되어 있기 때문에 UKP에 비해 보수도가 높게 측정된 것으로 판단된다.

여수도는 지료의 탈수성 및 고해도를 예측할 수 있는 평가지표로서 섬유의 종류, 미세섬유의 양과 성장, 고해 상태, 재활용의 정도에 따라 달라진다.¹⁰⁾ Fig. 15에 나타난 바와 같이 UAC 유래 섬유의 탈수성이 가장 낮았다. KOCC는 가격이 저렴하고 유통량이 많아 포장용지 생산의 주원료로 활용되고 있으나, 반복적인 재활용으로 인해 섬유의 성상이 조악하고 습윤과 건조 과정에 지속적으로

노출되면서 섬유가 각질화(hornification)되어 탈수 및 최종 생산품의 품질에 악영향을 미친다. 따라서 KOCC에 비해 수소 결합 능력 및 탈수성이 우수한 UAC 유래 섬유를 포장용지 제조용 원료로 재활용할 경우 초지 공정에서의 탈수성뿐만 아니라 최종 생산품의 강도도 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

포장용지의 수요가 증가하고 다양해지면서 크라프트지, 골판지와 같은 포장용지의 강도 향상을 위한 신규 원료 발굴 및 활용방안 연구에 대한 요구가 지속되고 있다. 본 연구에서는 파일럿 설비를 활용하여 UAC의 재활용에 따른 수율과 재활용 과정에서 얻어진 섬유의 특성을 UKP, DLK, UGT와 비교 분석함으로써 포장용지의 원료 적용 가능성을 평가하였다. 파일럿 펄퍼로 해리한 후 섬머빌 및 파일럿 스크린을 이용하여 수율을 분석한 결과 UAC의 재활용 수율은 73% 이상으로 UAC를 구성하는 알루미늄과 폴리에틸렌 필름을 제외한 대부분의 섬유가 회수되었다. 분급된 섬유장은 UKP에 비해 짧았으나 DLK와 UGT로부터 얻은 재활용 섬유에 비해 길었으며 미세분 함량은 31.2%로 나타났다. 무엇보다 섬유의 수소 결합능력을 간접적으로 비교 평가할 수 있는 보수도 분석 결과에서 UAC의 보수도가 UKP, DLK, UGT에 비해 높게 측정되었다. 이러한 UAC 유래 재활용 섬유의 특성으로 미루어 보아 UAC 재활용을 통해 회수한 섬유를

포장용지 생산을 위한 원료로 활용할 수 있을 것이라고 판단된다.

사 사

본 연구는 테트라팩(유)의 지원에 의해 수행된 연구임.

Literature Cited

1. Lee, T. J., Kim, H. J., and Lee, C. Y., A study on applicability of citrus sludge for the manufacture of corrugated medium, *Journal of Korea TAPPI* 42(5):47-53 (2010).
2. Bajpai, P. K., Solving the problems of recycled fiber processing with enzymes, *Bioresources* 5(2):1311-1325 (2010).
3. Ghosh, A., Thornton, B., and Hart, P. W., Effect of pH and enzymes on strength of recycled fibers during refining, *TAPPI Journal* 17(7):407-415 (2015).
4. Salgueiro, M. A., Evtuguin, J. A., Saraiva, J. A., and Almeida, F., High pressure-promoted xylanase treatment to enhance papermaking properties of recycled pulp, *Applied Microbiology and Biotechnology* 100:9885-9893 (2016).
5. Pelach, M. A., Delgado-Agular, M., Alcala, M., Puig, J., Blanco, A., and Mutje, P., New strategy for the production of packaging from recycled fibers, *Cellulose Chemistry and Technology* 50(3-4):449-454 (2016).
6. Seo, J. H., Lee, T. J., Lee, D. J., Lee, M. K., and Ryu, J. Y., Evaluation of recyclability at varied blending ratios of gable top and aseptic brik carton, *Journal of Korea TAPPI*, 47(6):123-129 (2015).
7. Mourad, A. L., Garcia, E. E., Vilela, G. B., and Von Zuben, F., Influence of recycling rate increase of aseptic carton for long-life milk on GWP reduction, *Resources, Conversion and Recycling* 52(4):678-689 (2008).
8. Lee, T. J., Nam, Y. S., Park, J. E., Cho, J. H., Ryu, J. Y., and Lee, H. S., Studies on the recovery of useful materials from disposable diaper waste using pilot stock preparation units, *Journal of Korea TAPPI* 47(4):66-75 (2015).
9. Gu, F., Wang, W., Cai, Z., Xue, F., Jin, Y., and Zhu, J. Y., Water retention value for characterizing fibrillation degree of cellulosic fibers at micro and nanometer scales, *Cellulose* 25(5):2861-2871 (2018).
10. Sha, J., Nikbakht, A., Wang, C., Zhang, H., and Olson, J., The effects of consistency and freeness on the yield stress of chemical pulp fiber suspensions, *Bioresources* 10(3):4287-4299 (2015).