

폐석고보드지의 재활용 방안 탐색을 위한 기초연구

이지영 · 윤경태¹ · 김철환 · 성용주^{2†} · 김병호 · 임기백 · 김선영
접수일(2013년 5월 7일), 수정일(2013년 5월 27일), 채택일(2013년 6월 5일)

Study on the recycling of gypsum board paper generated from construction wastes

Ji-Young Lee, Kyeong-Tae Yun¹, Chul-Hwan Kim, Yong Joo Sung^{2†}, Beong-Ho Kim,
Gi-Baek Lim and Sun-Young Kim

Received May 7, 2013; Received in revised form May 27, 2013; Accepted June 5, 2013

ABSTRACT

We investigated practical methods of using recycled gypsum board paper in the paper industry. Gypsum board paper is used to produce construction gypsum board, and can be recycled through the recycling process of construction wastes.

The experiments were carried out in two ways: One was the substitution of recycled gypsum board papers for KOCC, and the other was the use of recycled gypsum board paper powder. Recycled gypsum board paper was not disintegrated easily, but high temperature and the use of chemicals were able to improve their disintegration. The physical properties of handsheets made of the pulp of recycled gypsum board paper exhibited the same performance level as those made from KOCC except in the parameter of compressive strength. The powder of recycled gypsum board paper was manufactured using a grinder and handsheets were made with the powder and KOCC. The bulk was increased, but the strength properties were decreased by the addition of the powder.

Keywords : recycled gypsum board paper, powder, disintegration, bulk, strength

• 경상대학교 환경재료과학과/농업생명과학연구원 (Dept. of Environmental Materials Science/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

1 (주)에스엘

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

† 교신저자 (Corresponding author) : E-mail : yosung17@cnu.ac.kr

1. 서론

국내 건설폐기물의 재활용률은 약 13% 수준으로 폐콘크리트와 폐아스콘이 대부분을 차지하고 있다.¹⁾ 그런데 건설폐기물로 발생하는 자원 중에 석고보드(gypsum board)의 양면에 붙어 있는 석고보드원지(gypsum board paper)가 석고보드 재활용 과정에서 분리되게 되는데 이를 폐석고보드지(recycled gypsum board paper)라 한다. 일반적으로 석고보드원지는 건물의 단열을 위한 건축 마감재인 석고보드 생산시에 사용되는 지류제품을 말한다.²⁾ 폐석고보드지의 발생량에 대한 명확한 통계자료는 없으나 폐석고보드가 연간 3-40 만톤이 발생되고 이 중에서 5-10% 수준이 재활용된다고 보고되고 있어³⁾ 작지 않은 양의 폐석고보드가 발생하는 것으로 판단된다.

현재 국내·외 업체에서 폐석고를 재활용하는 사업을 진행하고 있는데 재활용 업체에서 폐석고보드지가 발생하는 과정은 다음과 같다.⁴⁾ 건설현장에서 폐석고를 수거하고 재활용공장의 석고창고로 이동시킨 후 호퍼(hopper)에 투입하여 폐석고를 잘게 분쇄한다. 이후 해머 크러셔(hammer crusher)에서 종이를 재생석고(recycled gypsum)를 분리하고 정선공정(screening)에서 선별작업을 실시하는데 이 때 재생석고와 분리된 종이 가 바로 폐석고보드지이다. 이러한 과정을 통해 재활용된 폐석고보드지는 석고보드 제조이전의 석고보드원지와 비교했을 때 표면에 석고분말이 붙어 있는 것 이외에는 그 특성이 차이가 거의 없는 것으로 판단된다. 이는 석고보드의 제조공정상에서 석고보드원지에 어떤 물리적·화학적 처리를 가해지지 않고 석고보드원지는 단순히 석고를 표면과 이면에서 보호하는 역할만을 수행하기 때문이다. 또한 석고보드를 생산하는 업체가 석고보드원지에 대한 매우 까다로운 품질 기준을 제시하고 있기 때문에 석고보드원지를 생산하는 제지업체에서도 품질관리가 엄격하기 진행되고 있다.²⁾ 그러나 현재 석고보드 재활용공정에서는 석고를 회수한 후 발생하는 폐석고보드지의 재활용 방안이 없기 때문에 대부분 폐기되고 있다. 또한 폐석고보드지가 제지용 원료로 재사용된 예가 전무하고 기초적인 조사나 연구가 진행된 바가 없다. 따라서 섬유자원인 폐석고보드를 제지산업에서 재활용하기 위한 기초연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 두 가지 방향으로 폐석고보드지의 활용성에 대해 조사를 진행하였는데 국산폐골판지의 대체 가능성과 분말상 부원료의 가능성을 각각 평가하였다. 재생펄프로서의 사용 가능성을 평가하기 위해 폐석고보드지의 해리특성을 조사하였고 최적의 조건에서 해리를 실시한 후 폐석고보드로 제조된 종이의 물성을 분석하였다. 또한 분말상 부원료로서의 사용 가능성을 평가하기 위해 폐석고보드를 분쇄기로 분쇄를 실시하여 분말을 제조한 후 폐석고보드지 입자의 특성과 이들을 포함하는 수초지의 물성변화를 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료

폐석고보드지(recycled gypsum board paper)는 국내 폐석고 재활용업체인 R사에서 발생하는 폐석고보드를 수거한 후 (주)에스엘에서 석고를 다량 제거된 폐석고보드를 사용하였다. 폐석고보드지와 물리적 특성을 비교하기 위해 D사의 국산폐골판고지(KOCC)를 사용하였다. 해리효율 향상을 위해 S사에서 해리촉진제를 분양받아 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 폐석고보드지 해리방법 및 해리조건

폐석고보드지는 석고가루를 포함하고 있어서 실험을 진행하기 전에 석고가루를 털어낸 후 실험을 진행하였는데 석고가루를 제거하기 이전에는 회분함량이 51.4%를 나타냈으나 털어낸 이후 회분함량이 30.0%를 나타내는 것으로 보아 다소 석고가루가 제거되었음을 확인할 수 있었고 실험에서는 털어낸 폐석고보드를 사용하였다. 재생고지의 해리특성을 향상시키기 위해서는 펄핑방법, 시간, 약품(가성소다, 해리촉진제) 등을 조절하는 것⁵⁾이 일반적이고 본 연구에서는 해리촉진제를 사용하여 폐석고보드지의 해리특성을 향상시키고자 하였다. 해리촉진제는 증류수를 이용하여 0.1%의 농도로 희석한 후 펄프슬러리에 투입하였다.

폐석고보드지를 해리(disintegration)하기 위해서 실험실용 해리기(disintegrator)를 사용하였는데 폐석고보드를 이용하여 농도 2%, 2L의 펄프슬러리를 제조한 후 해리를 진행하였다. 실험실용 해리기는 해리

Table 1. Disintegration condition of recycled gypsum board papers

Disintegrator revolution	Temperature	Chemical addition
60,000 rev.	25 °C	0.5% on o.d. fibers
90,000 rev.		1.0% on o.d. fibers
120,000 rev	60 °C	2.0% on o.d. fibers

정도를 해리기의 회전수로 조절하게 되는데 일반적으로 가장 많이 사용되는 고지인 KOCC의 경우에는 90,000 revolution(rev.)의 회전수로 충분히 해리된다. 본 실험에서는 해리기의 회전수를 60,000, 90,000, 120,000 rev.의 3가지 조건으로 진행하였다. 고지의 해리특성은 용수의 온도조건에도 많은 영향을 받기 때문에 본 실험에서는 25 °C와 60 °C 조건에서 해리를 진행하였다. 또한 해리촉진제의 투입량은 전건습유대비 0.5, 1.0, 2.0%로 투입하였다. 이상의 해리조건을 정리하면 Table 1과 같다.

2.2.2 해리된 폐석고보드지를 이용한 수초지 제조 및 물리적 특성 평가 방법

폐석고보드지의 재생펄프(recycled fibers)로서의 특성을 파악하기 위해서 최적의 해리조건에서 해리를 실시한 후 평량 100 g/m²의 수초지를 제작하였고 물성을 평가하였다. 폐석고보드지의 대조군으로 판지 생산시 가장 많이 사용되는 국산폐골판고지(KOCC)를 이용하여 수초지를 제작하였다. 제조된 두 종류의 수초지를 조습처리한 후 TAPPI Test Methods에 의거하여 평량, 두께, 회분함량, 인장강도, 압축강도, 압축강도를 각각 측정하였다.

2.2.3 폐석고보드지를 이용한 분말상 부원료 제조 방법

폐석고보드지의 활용성을 높이기 위해서 분말상 부원료로서의 사용가능성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 함수율이 10% 이하인 폐석고보드지를 핀크로셔(pin-crusher) 분쇄기로 분쇄를 실시하였고 핀크로셔 내부에 설치되는 스크린의 크기를 2.0 mm와 2.5 mm로 조절하여 분급을 실시함으로써 두 종류의 폐석고보드지 분말(2.0 hole/2.5 hole)을 제조하였다.

2.2.4 폐석고보드지 분말을 이용한 수초지 제조 및 물리적 특성 평가 방법

분말상 부원료의 효과를 파악하기 위해 실험실적으로 수초지를 제조하였다. KOCC를 이용하여 실험실용 해리기로 해리를 실시하여 지료를 조성하였고 KOCC와 폐석고보드지 분말의 혼합비율을 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50으로 하여 평량 100 g/m²의 수초지를 제조하였다. 수초지를 제조한 후 TAPPI Test Methods에 의거하여 평량, 벌크, 회분함량, 인장강도, 파열강도, 압축강도, 스티프니스를 측정하였다. 또한 분말상 입자의 형태와 종이내부에 분포하고 있는 분말상 입자를 관찰하기 위하여 주사전자현미경(JSM-6701F, JEOL, Japan)으로 이미지를 촬영하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 폐석고보드지의 해리특성 및 수초지의 물성 결과

신규 원료가 제지용 원료로 사용되기 위해서는 원활하게 해리되는 것이 중요하다. 만약 제지용 원료의 해리특성이 떨어질 경우 제지공정에서 미해리분 함량이 상승하여 생산공정을 악화시킬 뿐만 아니라 제품 품질에도 악영향을 주기 때문이다.⁶⁻⁸⁾ 따라서 신규 제지용 원료는 해리특성이 우수하거나 만약 그렇지 못하다면 해리특성이 우수한 조건이 파악되어야 한다. 다양한 조건에서 폐석고보드 원지를 해리한 후 제조된 수초지의 표면이미지를 촬영하였고 Figs. 1~2에 도시하였다. 용수의 온도 조건에서 살펴보면 온도가 높을수록 해리가 더 원활하게 진행되는 것을 볼 수 있었다. 이는 선행연구에서도 확인할 수 있는 기본적인 현상이다.⁸⁾ 또한 해리기의 회전수가 증가할수록 미해리분 함량이 감소하였다. 회전수의 증가를 생산현장과 연계시켜보면 펄퍼에서 체류시간의 증가를 의미하기 때문에 체류시간이 증가할수록 미해리분 발생이 줄어들게 된다. 해리촉진제 함량에 따른 해리특성을 살펴보면 해리촉진제의 투입량이 증가할수록 해리특성이 향상됨을 볼

수 있었다. 해리특성을 종합해 보면 지료의 온도가 높은 조건, 해리촉진제의 투입량 2.0%에서 회전수가 90,000 rev. 이상일 경우 해리특성이 가장 좋을 것으로 판단된다. KOCC와 비교해 보면 KOCC의 해리조건이 90,000 rev. 임을 감안해 볼 때 폐석고보드지의 해리특성은 다소 좋지 않은 것으로 판단된다.

수초지 제조 후 물성을 비교해 보면 Table 2와 같다. 해리된 폐석고보드지 펄프슬러리를 이용하여 제조된 수초지의 물성과 KOCC로 제조된 수초지의 물성을 비교해 보면 압축강도에서 폐석고보드로 제조된 수초지가 다소 열세를 나타냈으나 벌크, 인장강도, 파열강도는 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 폐석고보드를 원료로 사용할 경우 공정수의 온도가 높고 해리촉진제가 사용된다면 KOCC 수준의 역할을 담당할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 폐석고보드의 분말상 원료의 특성 평가 및 수초지 물성 결과

폐석고보드지 분말(Recycled gypsum board paper fiber; RGF)의 입자형태를 파악하기 위하여 주사전자현미경을 촬영하였고 이미지를 Fig. 3에 도시하였다. 이미지에서 볼 수 있듯이 폐석고보드지 분말입자는 섬유상 형태를 가지고 있음을 볼 수 있었다. 또한 섬유상 입자표면에 미세한 석고입자들을 관찰할 수 있었고 분쇄공정에서 발생하는 섬유표면상의 피브릴들도 관찰할 수 있었다.

폐석고보드 분말이 투입됨에 따른 수초지의 벌크와 회분함량의 변화를 Figs. 4~5에 도시하였다. 폐석고보드지 분말의 투입비율이 증가함에 따라 벌크는 직선적으로 증가하고 있음을 볼 수 있었다. 두 종류의 분말상 원료를 비교해 보면 2.5 mm 스크린으로 분급된 폐석고보드지 분말이 2.0 mm 스크린으로 분급된 분말보다 더 높은 벌크를 나타내었다. 이는 스크린 크기가 크면 분말상 입자의 크기가 더 크기 때문이라고 판단된다. 회분함량의 경우 폐석고보드지 분말의 투입량이 증가함에 따라 수초지의 회분함량도 거의 직선적으로 증가함을 볼 수 있었다. 이는 폐석고보드가 약 30%의 회분을 포함하고 있기 때문에 분말상 원료의 투입량이 증가함에 따라 수초지의 회분이 증가하게 되기 때문이다.

수초지의 인장강도, 파열강도, 스티프니스를 Figs.

6~8에 도시하였다. 폐석고보드지 분말의 투입비율이 증가함에 따라 인장강도와 파열강도는 거의 직선적으로 감소하였다. 압축강도는 전체적으로 KOCC 100%에 비해 낮으나 폐석고보드지 분말의 투입비율이 30%까지는 유지되다가 그 이상이 되면 직선적으로 감소하였다. 스티프니스는 20% 수준을 제외한 비율에서 폐석고보드지 분말의 비율이 증가하면서 직선적으로 감소하는 것으로 볼 때 전체적으로 폐석고보드가 투입

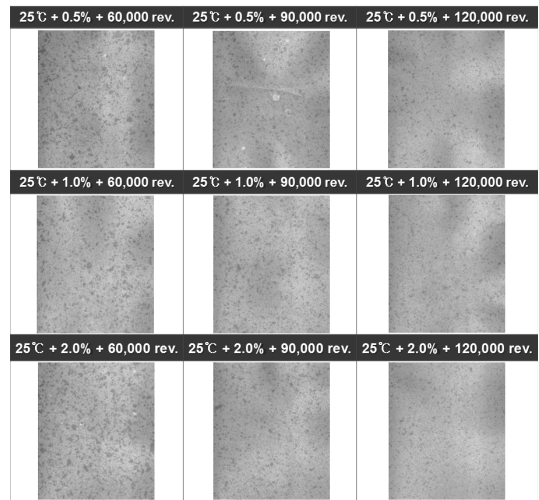


Fig. 1. Surface images of handsheets made of disintegrated recycled gypsum board paper at 25°C.

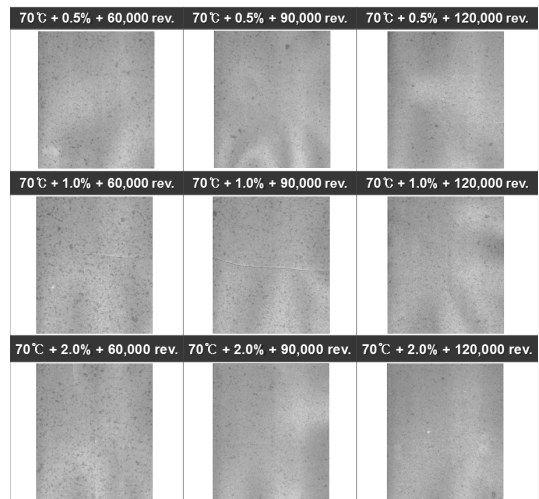


Fig. 2. Surface images of handsheets made of disintegrated recycled gypsum board paper at 70°C.

Table 2. Physical properties of handsheets made of recycled gypsum board paper and KOCC

Physical properties	RGB	KOCC
Basis weight (g/m ²)	94.1	97.3
Bulk (cm ³ /g)	2.03	2.06
Tensile strength (kN/m)	45.0	44.8
Compressive strength (N)	76.0	82.3
Burst strength (kg/cm ²)	1.3	1.4

*KOCC : Korean old corrugated container

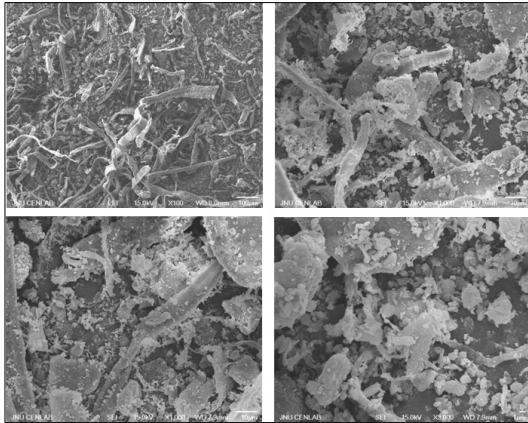


Fig. 3. Scanning electron micrographs of recycled gypsum board paper powder.

되면 스티프니스는 저하되는 것으로 판단된다. 분말의 종류에 따라 종이의 강도차이는 거의 나타나지 않았

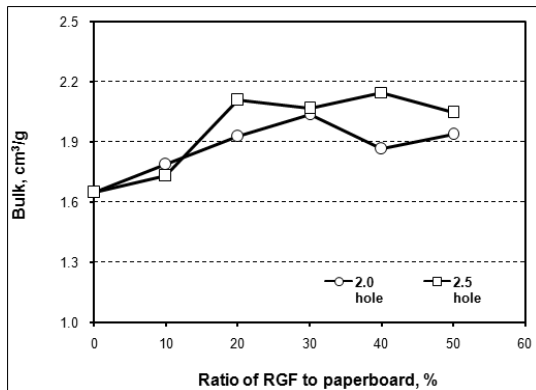


Fig. 4. Bulk of handsheet as a function of the ratio of recycled gypsum board paper powder to paperboard.

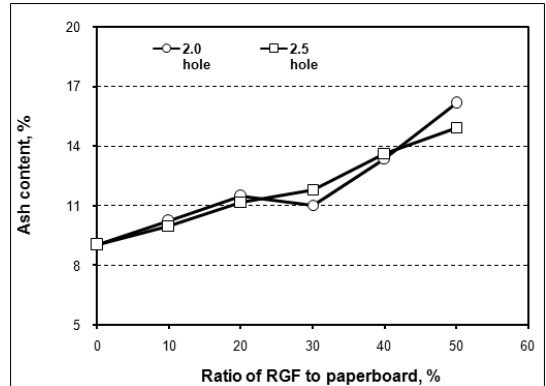


Fig. 5. Ash content of handsheet as a function of the ratio of recycled gypsum board paper powder to paperboard.

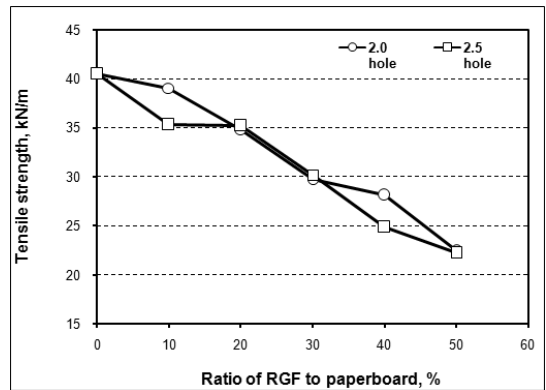


Fig. 6. Tensile strength of handsheet as a function of the ratio of recycled gypsum board paper powder to paperboard.

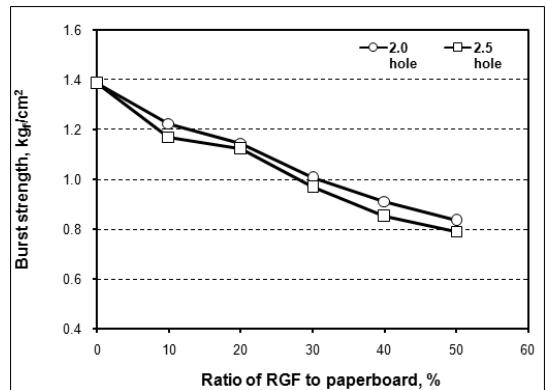


Fig. 7. Burst strength of handsheet as a function of the ratio of recycled gypsum board paper powder to paperboard.

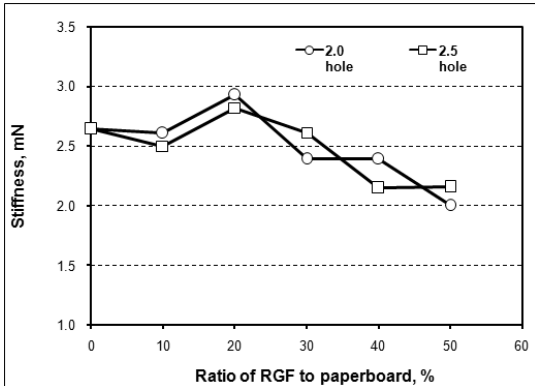


Fig. 8. Stiffness of handsheet as a function of the ratio of recycled gypsum board paper powder to paperboard.

다. 종이의 강도저하는 벌크상승에 따른 섬유간의 결합감소와 회분함량의 상승에 기인한다고 판단된다.⁹⁻¹¹⁾ 폐석고보드지 분말의 비율이 증가함에 섬유사이에 위치하는 분말입자의 함량이 증가하게 되고 섬유간의 간격을 높임으로써 종이의 벌크는 상승하게 되는 반면 섬유간의 결합을 방해하기 때문에 종이의 강도는 떨어지게 된다.

따라서 폐석고보드지 분말은 벌크가 중요한 판지제품의 경우에는 현재의 원료조건에서도 사용이 가능할 것으로 판단되나 폐석고보드지의 회분함량을 낮출 수 있는 기술이 추후 개발된다면 이들의 활용성이 매우 높아질 수 있을 것으로 판단된다.

3. 결론

건설폐기물 재활용공정에서 발생하는 폐석고보드는 석고보드 제조에 사용되는 종이로 우수한 섬유자원으로 판단되나 재활용 방안이 명확하게 나타나지 않아 단순 폐기되고 있다. 본 연구에서는 폐기되고 있는 폐석고보드를 활용할 수 있는 방안을 모색하기 위해 재생펄프로서의 활용성과 분말상 첨가제로 제조하여 부원료로의 활용성에 대해 조사를 진행하였다.

폐석고보드는 내침사이징 처리가 되어 있어 해리특성이 우수하지는 않았으나 공정수의 온도 상승과 함께 해리촉진제를 사용하게 되면 해리특성이 향상되는 것을 알 수 있었다. 또한 해리된 폐석고보드지 펄프를

이용하여 제조된 수초지의 물성과 KOCC로 제조된 수초지의 물성을 비교해 보면 압축강도에서 폐석고보드로 제조된 수초지가 다소 열세이었으나 벌크, 인장강도, 파열강도는 큰 차이를 나타내지 않았다. 폐석고보드지의 활용성을 높이기 위해 핀크로서 분쇄기로 분말상 첨가제를 제조하였다. 분쇄기를 이용하여 분말을 제조하는데 큰 문제는 발생하지 않았고 섬유상 입자로 제조됨을 확인할 수 있었다. 또한 분말상 첨가제를 KOCC와 혼합하여 수초지를 제조한 결과 벌크와 회분함량은 상승하게 되나 섬유간의 결합면적 감소와 회분함량 상승에 따라 강도는 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과로 볼 때 벌크가 중요한 지중에서는 폐석고보드가 신규 원료로 활용될 수 있을 것으로 판단되고 폐석고보드지의 회분함량을 낮추는 기술개발이 매우 필요한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 (주)에스엘의 지원에 의해 수행되었습니다.

Literature Cited

- Kim, Y.J. and Chung, M.H., Study on the recycling of the construction wastes and reformation of the system, J. of KORRA 20(2): 27-35 (2012).
- Asia Paper MFG CO, LTD., <http://www.asiapaper.co.kr>.
- 자원순환산업진흥협회 자료, <http://www.ripa.or.kr>.
- Boral Limited, <http://www.lafarge-gypsum.co.kr>.
- 조신환, 이종필, 구재은, 김현호, OCC 고지의 원료 특성 연구, 한국펄프·종이공학회 2000년 추계학술 발표논문집, 한국펄프·종이공학회, pp. 131-131 (2000).
- Howard, J.M. and Doshi, M.R., The contribution of different types of fines to the properties of handsheets made from recycled paper, In Recycled Paper Technology, TAPPI Press, pp. 253-262 (1994).
- Parel, M. and Trivedi, R., Variations in strength and bonding properties of fines from filler, fiber and their aggregates, Tappi J. 77(3): 185 (1994).
- Lee, H.L., Youn, H.J., Lee, S.G., Kanag, T.Y. and

- Heo, Y.D., Analysis of Disintegration Characteristics of OCC, J. Korea TAPPI 36(4): 1-8 (2004).
9. 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. 7(4): 4-10 (2008).
10. Mabbe, S. and Harvey, R., Filler flocculation technology - Increasing filler content without loss in strength or runnability parameters, 2000 Tappi Papermakers Conference and Trade Fair 2, pp. 797-809 (2000).
11. Lee, J.Y., Lee, E.K., Sung, Y.J., Kim, C.H., Choi, J.S., Kim, B.H., Lim G.B. and Kim, D.M., Application of new powdered additives to paperboard using peanut husk and garlic stem, J. Korea TAPPI 43(4): 40-48 (2011).