

산업용지의 벌크 향상 및 건조에너지 절감을 위한 분말상 첨가제 제조기술 개발 (I)

– 신규 유기물질 맥주박의 화학적·물리적 특성 평가 –

이지영 · 김철환[†] · 최재성 · 김병호 · 임기백 · 김다미

접수일(2012년 4월 2일), 수정일(2012년 4월 13일), 채택일(2012년 4월 18일)

Development of New Powdered Additive and Its Application for Improving the Paperboard Bulk and Reducing Drying Energy (I)

–Analysis of Chemical and Physical Properties of Brewers Grain –

Ji-Young Lee, Chul-Hwan Kim[†], Jae-Sung Choi, Byeong-Ho Kim, Gi-Baek Lim
and Da-Mi Kim

Received April 2, 2012; Received in revised form April 13, 2012; Accepted April 18, 2012

ABSTRACT

Brewers grain is a byproduct of beer brewing and consists primarily of grain husks, pericarp, and fragments of endosperm. Although this material is consumed by animals and used as fertilizer, a large amount of brewers grain is simply discarded. Therefore, new methods for utilizing this fibrous resource should be pursued. In this study, we examined the potential utilization of brewers grain as an additive in the paperboard industry by determining the chemical composition of brewers grain and the physical properties of brewers grain powders after grinding with two types of grinders. We found that brewers grain had a lower holocellulose content and higher lignin content and intermediate ash content when compared to other biomass materials, and did not contain any contaminants that would interfere with the papermaking process. Particles had a higher fiber length, less fiber width, and narrower shape factor distribution when ground by a blender type grinder than by a pin crusher type grinder. The blender type grinder was concluded to make regular brewers grain particles appropriate for papermaking.

• 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원(Dept. of Forest Products/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

[†] 교신저자(Corresponding author) : E-mail : jameskim@gnu.ac.kr

Keywords : brewers grain, additive, paperboard, blender, pin crusher

1. 서 론

국내 제지산업에서는 펄프섬유를 대체할 수 있는 신규 원료를 개발하기 위해 많은 노력을 진행하여 왔으나¹⁻³⁾ 현재 적용되고 있는 사례는 드물다. 이러한 다양한 노력들은 주로 신규 바이오매스를 이용하여 펄프를 제조하는 방향으로 진행되어 왔기 때문에 펄프제조 설비가 충분히 설치되어 있지 않는 국내 제지산업에서는 실제 적용하기 힘들다고 판단된다. 최근 들어 신규 원료와 관련해서 새로운 접근이 진행되었는데 폐지를 주원료로 사용하는 판지 생산업체에서 목질자원을 분말화한 내첨용 첨가제를 사용하여 생산되는 지류제품의 벌크를 향상시키고 있다.^{4,7)} 특히 분말상 첨가제는 현장적용에 있어 여러 장점들을 가지고 있기 때문에⁷⁾ 앞으로 활용성이 매우 높다고 할 수 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 분말상 첨가제는 주로 목질자원으로 제조됨에 따라 목질계 바이오매스를 활용하고 있는 신재생 에너지 분야와 중첩되기 때문에 향후 첨가제의 공급과 가격에 심각한 문제가 야기될 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 비목질계 바이오매스 자원을 활용할 수 있는 기술개발이 필요하다. 비목질계 바이오매스에는 팥콩박,⁴⁾ 벼짚,⁸⁻⁹⁾ 마늘대,⁴⁾ 유채대,¹⁰⁾ 맥주박¹¹⁻¹²⁾ 등이 있는데 이들은 대부분 목질자원과 활용분야가 중첩되지 않고 섬유질로 구성되어 있는 장점들을 가지고 있지만 현재 명확한 활용처가 발굴되지 않아 비생산적으로 처리되고 있다.

다양한 비목질계 자원 중에서 맥주산업에서 발생하는 맥주박에 주목하였고 맥주박을 이용하여 분말상 첨가제를 제조하는 연구를 수행하였다. 맥주박은 맥주나 엿기름 즙을 제조하는 과정에서 발생하는 맥아보리 또는 다른 곡류와 혼합되는 추출잔류물로 정의된다. 맥주박은 미네랄, 비타민 등이 풍부하고 식이섬유와 단백질 함량이 높기 때문에 주로 가축의 사료로 사용되고 있다.¹³⁻¹⁴⁾ 그러나 발생량에 비해 활용되는 양이 작기 때문에 발생량의 40%는 해양투기 되고 있다. 따라서 이를 제지용 원료로 활용할 수 있는 기술은 새로운 형태의 친환경 융복합 기술로 자리매김할 수 있을 것으로 판단

된다. 이를 위해서는 신규 유기물질에 대한 화학조성을 분석하여 제지용 첨가제로 활용성을 평가하고 분말상 첨가제로 제조하기 위한 가장 적합한 제조방법에 대한 조사가 진행되어야 한다.

본 연구에서는 맥주 생산업체에서 공급받은 맥주박을 이용하여 화학조성을 측정하고 문헌조사를 통해 주요 비목질계 바이오매스의 화학조성과 비교함으로써 제지용 첨가제로 적용성에 대해 평가를 실시하였다. 이후 두 종류의 분쇄기를 이용하여 맥주박 분말을 제조하여 분말상 입자의 물리적 특성을 분석·비교함으로써 제지용으로 가장 적합한 맥주박 분말을 제조하기 위한 조건에 대해 조사를 진행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에서 사용한 맥주박은 맥주 생산업체인 H사 청원공장과 거창공장에서 공급받았다. 맥주박의 화학조성을 분석하기 위해 에탄올, 벤젠, 가성소다를 사용하였다. 화학조성과 추출물의 분석시료는 40 mesh 표준체를 통과하고 60 mesh 표준체를 통과하지 못하는 분말을 선택하여 사용하였고 맥주박 분말을 제조하기 위해 맥주박을 105±3℃ 조건에서 3-4일 동안 전건시킨 후 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 맥주박의 화학조성⁴⁾ 및 추출물 분석방법

맥주박의 화학조성은 KS M 7035에 의거하여 분석하였다. 추출물 분석은 에탄올(95%)·벤젠 혼합액(1:2, v/v)으로 용매가 약하게 비등하여 약 10분간 1회 비율로서 사이펀관을 통과하여 환류하는 정도로 6시간 가열하여 추출하였다. 홀로 셀룰로오스(holocellulose)는 추출물이 추출되어 탈지된 시료로 아염소산염법(Wise법)으로 분석하였다. 홀로 셀룰로오스 식을 산출하여 리그닌 및 회분을 보정하였다. 또한 17.5% NaOH로 알파-셀룰로오스를 용해하여 정량하였다. 회분은

TAPPI T 211 om-93에 의거하여 시편이 들어있는 도가니를 525±25℃ 연소로에서 6시간 탄화시키고 0.1 mg 까지 무게를 측정하였다. 맥주박의 화학조성을 상대비교하기 위해 비목질계 바이오매스의 화학조성과 관련하여 문헌조사를 실시하였다.

열수 추출법은 TAPPI T 207 cm-99에 의거하여 진행하였다. 맥주박 시료 2 g에 증류수를 부어 20 ml의 슬러리를 제조한 후 항온수조에서 50±2℃, 75±2℃의 조건에서 3시간 동안 진행하였다. 각 추출이 진행된 후 2G3의 glass filter를 이용하여 여과를 하였는데 최초 여과된 상등액은 항온에서 보관하여 추출물질의 정전기적 특성인 양이온 요구량(cationic demand)을 측정하였다. 상등액을 채취한 후 증류수 200 ml를 부어 세척을 실시하고 105±3℃ 조건에서 전건 시킨 후 무게를 측정하여 추출물질의 함량을 평가하였다.

2.2.2 맥주박 분말의 제조 및 분급방법

다양한 형태와 크기를 가지는 분말상 첨가제를 제조하기 위해 실험실용 분쇄기인 블렌더(Wonder Blender, WB-01, Sanplatec, Japan)와 핀크로셔(Pin-Crusher, Daehwa, Korea)를 사용하여 거창공장에서 수집한 맥주박을 분쇄하였다. 분쇄된 시료들을 60, 100, 200, 400 mesh 표준체가 설치되어 있는 vibratory sieve shaker (J-VSS, Jisico, Korea)를 이용하여 분급을 실시하였고 각 분말의 무게를 측정하여 수율을 평가하였다(Fig 1). 분급된 시료의 명칭은 Table 1에 자세히 명시하였다.

2.2.3 맥주박 분말의 물리적 특성 분석방법

맥주박 분말의 물리적 특성을 분석하기 위해 섬유분

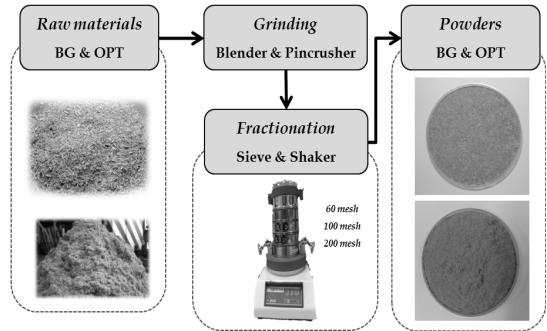


Fig. 1. Flow diagram of the preparation of BG (brewers grain) powders.

석기(fiber tester, Lorentzen& Wettre, Sweden)을 이용하여 섬유장(fiber length), 섬유폭(fiber width), 형상지수(shape factor)을 측정하였다. 그리고 맥주박 분말 입자의 형태를 파악하기 위해 주사전자현미경(JSM-5600LV, JEOL, Japan)을 이용하여 전체적인 입자 형태를 파악하기 위해 50배 확대하였고 상세 입자형태를 분석하기 위해 200배 확대하여 이미지를 촬영하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 맥주박의 화학조성 및 추출물 분석 결과

두 종류의 맥주박의 화학조성 측정결과와 조의 문헌¹⁵⁾을 통해 정리한 주요 비목질계 바이오매스의 화학조성을 Table 2에 나타내었다. 청원과 거창의 맥주공장에서 수집한 두 종류 맥주박을 비교해 보면 화학조성이 큰 차이를 보이지 않았다. 특히 섬유상 물질 함량을 나타내는 홀로 셀룰로오스 함량은 두 종류의 맥주박이 거의 동일한 값을 나타내었다. 다양한 종류의 비목질계 바이오매스와 비교해보면 맥주박이 섬유질이 다소 낮았고 리그닌 함량이 상대적으로 높은 수치를 나타내었다. 리그닌 함량이 높으면 섬유간의 결합을 방해하기 때문에 종이의 강도를 저하할 수 있지만¹⁶⁾ 셀룰로오스와 비교했을 때 상대적으로 소수성을 띠고 있기 때문에¹⁷⁾ 탈수나 건조에는 유리하다고 판단된다. 회분함량은 맥주박이 몇몇 비목질계 바이오매스에 비해 상대적으로 높은 값을 나타내었지만 짚(straw)과 갈대(reed)에 비해 그리 높지 않은 회분함량을 나타낸다고 판단된다.

Table 1. Ground and factionated BG powders

BG powder	Description
BG all	Whole powder or original ground BG powder
BG 60 on	Powder remaining on 60 mesh screen
BG 60-100	Powder passing through 60 mesh screen and remaining on 100 mesh screen
BG 100-200	Powder passing through 100 mesh screen and remaining on 200 mesh screen
BG 200-400	Powder passing through 200 mesh screen

Table 2. Chemical compositions of brewers grain and other biomass

Content, %		BG1a)	BG2a)	Strawb)	Baggasseb)	Bamboob)	Reedb)
Holo-cellulose	Alpha-cellulose	19.9	17.5	83.9	59	40-53	52-58
	Hemi-cellulose	20.5	20.6	40-43	32-33	30-40	33-43
	Lignin	41.5	45.1	-	17-26	23-24	18-22
	Extractive	12.8	12.2	-	-	-	-
	Ash content	5.3	4.6	14-20	2	1.1-1.5	3-6

(a : measured in laboratory, b : cited from references)

3.2 맥주박의 열수 추출과 정전기적 특성 분석 결과

제지공정은 용수를 많이 사용하는 공정이기 때문에 제지용 원료는 종이로 제조되기 전까지 물에 분산되어 있다. 따라서 원료에서 물에 용출되어 나오는 성분들이 있을 수 있는데 만약 추출물 함량이 높으면 생산 공정과 지류제품에 많은 부담을 주게 된다. 따라서 신규 첨가제의 적용성을 파악하기 위해서는 용수에 추출되어 나오는 추출물 함량과 추출물의 정전기적 특성을 파악하여야 한다.

두 종류의 맥주박 열수 추출량을 Table 2에 나타냈다. 온도가 50℃에서 75℃로 상승할 때 추출물 함량이 약 1% 정도 상승하였다. 맥주박 종류별로 살펴보면 종류에 관계없이 추출물 함량은 큰 차이를 보이지 않았다. 열수 추출량은 목재에 비해 상대적으로 높았으나¹⁸⁾ 왕겨¹⁹⁾나 옥수수 부산물²⁰⁾ 등과 같은 비목질계 바이오매스에 비해서는 높지 않음을 볼 수 있었다. 양이온 요구량은 온도와 맥주박 종류에 관계없이 약 19-20 µeq/L 수준을 나타내었다. 백상지, 도공지, BCTMP를 일정 비율로 혼합하여 2% 농도로 60℃ 조건에서 1시간 동안 교반한 여과액의 양이온 요구량이 93 µeq/L를 나타내었음²¹⁾을 볼 때 맥주박에서 유리한 추출물에 의한 양이온 요구량은 낮은 수준임을 확인할 수 있었다. 따라서 맥주박이 공정에 유입됨에 따라 추출량 상승에 따른 용수의 수질악화나 용수의 양이온 요구량에 악영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

3.3 블렌더와 핀크로셔를 이용하여 제조된 맥주박의 수율 및 섬유장 분석 결과

블렌더와 핀크로셔로 제조된 맥주박 분말을 표준체

Table 3. Hot water extraction and cationic demand

	Temperature, °C	Extraction, %	Cationic demand, µeq/L
BG1	50	4.97	21.7
	75	5.81	18.5
BG2	50	4.59	20.4
	75	5.73	19.6

60, 100, 200, 400 mesh를 이용하여 각 표준체의 수율을 측정하였고 결과를 Figs. 2~3에 도시하였다. 두 종류의 분쇄기로 분쇄된 맥주박은 60 mesh보다 큰 분말이 약 30% 이상 존재하고 있는 것을 볼 수 있는데 이렇게 큰 입자들이 첨가제로 사용되면 판지 표면에 돌출되어 나오는 문제를 야기하기 때문에 어떠한 방식으로 분쇄를 하더라도 60 mesh보다 큰 입자들은 제거되어야 한다. 블렌더와 핀크로셔를 비교해 보면 핀크로셔로 제조된 분말에서 60과 100 mesh 사이의 입자비율이 약 2% 더 높으나 100 mesh 이하 입자 비율을 살펴보면 블렌더로 제조된 분말에서 100과 200 mesh 사이의 입자비율이 11% 더 높은 결과를 보여주었다. 그러나 200 mesh 이하의 입자비율은 블렌더에 비해 핀크로셔에서 더 높게 나타났다.

종이 제조 시 섬유장, 섬유폭, 섬유형태는 종이의 물리적 특성에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다. 블렌더로 제조된 맥주박 분말과 핀크로셔로 제조된 맥주박 분말의 평균 섬유장을 Figs. 4~5에 도시하였다. 평균 섬유장을 비교해 보면 두 종류의 분쇄기로 제조된 맥주박 분말 중 BG all, BG 60 on, BG 60-100에서 섬유장이 비교적 크고 BG 100-200, BG 200-400은 섬유장이 비교적 작은 경향을 나타내었으나 전체적

으로 살펴보면 블렌더로 제조된 맥주박의 섬유장이 더 높게 나타났다. 두 분쇄기로 제조된 맥주박 분말(BG all)의 섬유장 분포를 Figs. 6~7에 도시하였는데 블렌더로 제조된 BG all은 0.5-1.5 mm의 섬유비율이 가장 높은 반면에 핀크로셔로 제조된 BG all은 다양한 섬유

장을 가지고 있는 섬유들로 구성되어 있는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과를 볼 때 섬유장이 다양한 입자들로 구성되어 있는 분말상 첨가제를 사용한다면 품질관리가 힘들기 때문에 분말을 제조하기 위해 핀크로셔 타입을 사용하는 것은 다소 불리할 것으로 판단된다.

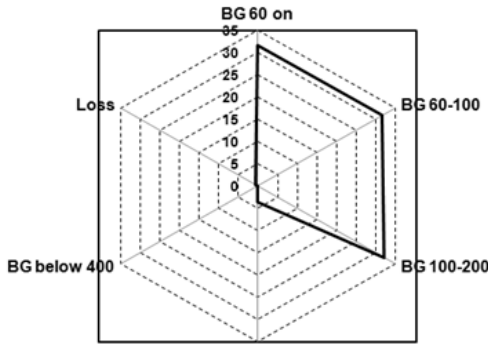


Fig. 2. Yield of BG powders ground by blender.

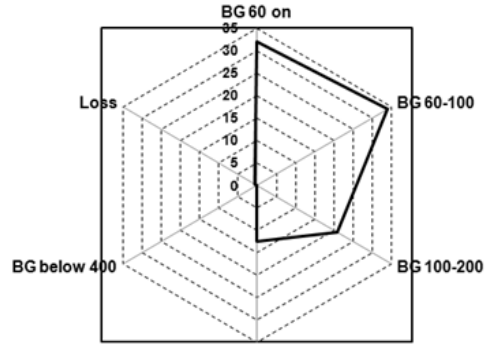


Fig. 3. Yield of BG powders ground by pincrusher.

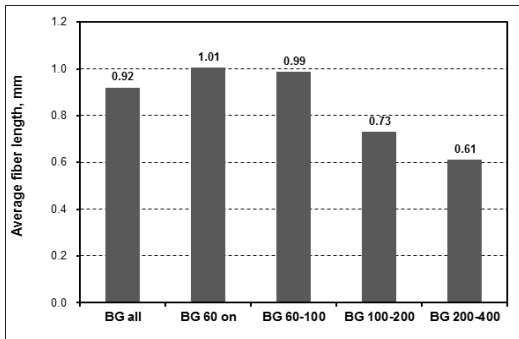


Fig. 4. Average fiber length of BG powders ground by blender.

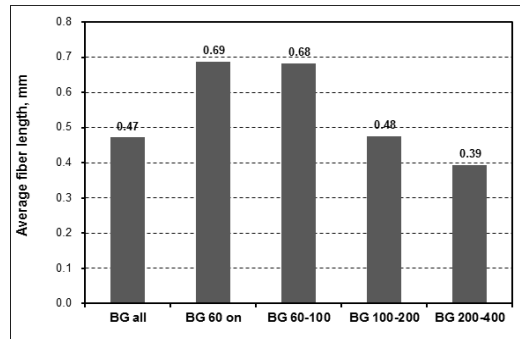


Fig. 5. Average fiber length of BG powders ground by pincrusher.

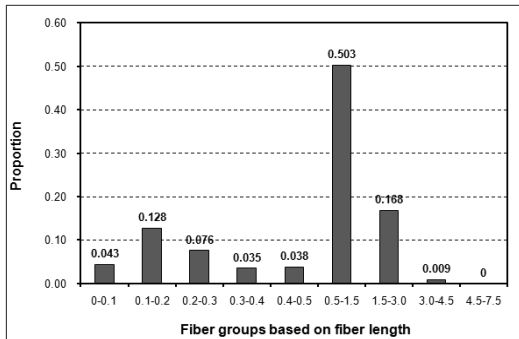


Fig. 6. Fiber length distribution of BG powders ground by blender.

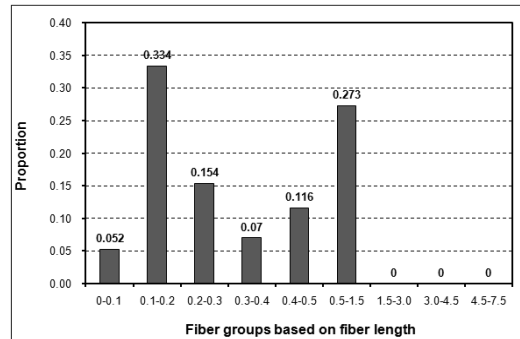


Fig. 7. Average fiber length of BG powders ground by pincrusher.

3.3 블렌더와 핀크로셔로 제조한 맥주박의 섬유폭과 입자형태 평가

두 종류의 분쇄기로 제조된 맥주박 분말의 평균 섬유폭을 Figs. 8~9에 도시하였다. 블렌더로 제조된 맥주박 분말의 평균 섬유폭은 BG all, BG 60 on이 유사한 값을 보였고 BG 60-100, BG 100-200이 가장 큰 섬유폭을 나타내었으나 최소 섬유폭과 최대 섬유폭의 차이가 5 μm 정도로 큰 차이는 보이지 않았다. 블렌더 섬유폭에 따른 BG all의 섬유폭을 Fig. 10에 도시하였는데 섬유장 비율이 가장 높은 0.5-1.5 mm의 섬유장 분포의 섬유폭이 약 21 μm 를 나타냈기 때문에 이 수준의 입자들에 의해 평균 섬유폭이 결정된 것으로 판단된다. 핀크로셔로 제조된 맥주박 분말의 평균 섬유폭과 섬유장에 따른 섬유폭의 분포도 Fig. 9와 Fig. 11에서 볼 수 있는데 평균 섬유폭과 섬유장에 따른 섬유폭은 블렌더와 동

일한 경향을 보였으나 전체적으로 핀크로셔로 제조된 맥주박 분말의 섬유폭이 블렌더에 비해 더 높게 나타났다. 본 연구에서는 형상지수의 분포를 통해 입자 형태의 균일성을 파악하고자 하였다. Figs. 12~13에서 맥주박 분말의 형상지수를 보면 블렌더는 분급별 최대값과 최소값의 차이가 3% 정도로 큰 차이가 없고 일정한 경향을 띄었으나 핀크로셔는 최대값과 최소값인 11%로 블렌더에 비해 큰 차이를 보였고 형상지수가 매우 다양하게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 블렌더로 분쇄한 분말이 핀크로셔로 분쇄한 분말보다 균일한 형상을 가지고 있다고 생각된다.

제지용 분말상 부원료를 제조하여 효율성을 높이기 위해서는 분쇄방식에 대한 연구를 통해 분말상 입자의 균일성을 평가할 필요가 있다. 그 이유는 분말상 입자가 균일할수록 판지의 벌크상승효과가 높고 분말상 첨가제의 생산공정에서 품질관리에 유리하기 때문이다. Figs. 14-15에서 두 종류의 맥주박(BG all)을 관찰한

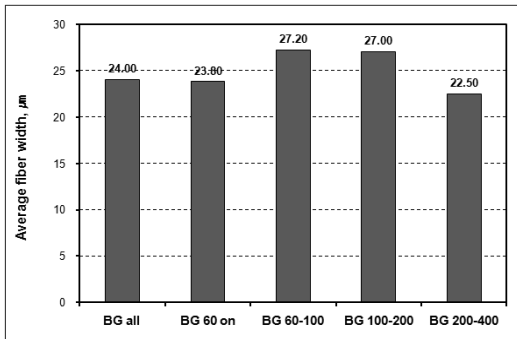


Fig. 8. Average fiber width of BG powders ground by blender.

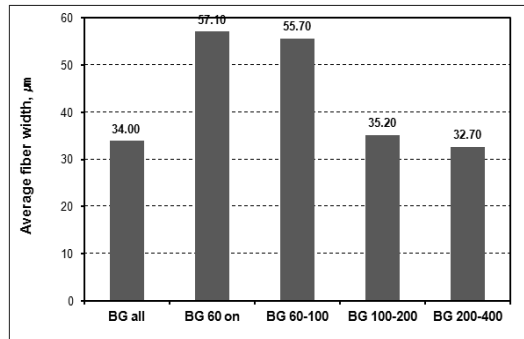


Fig. 9. Average fiber width of BG powders ground by pincrusher.

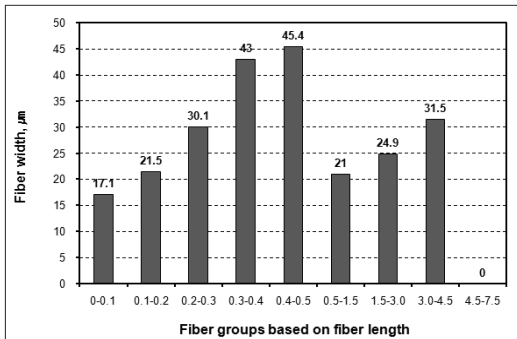


Fig. 10. Fiber width of BG powders ground by blender as a function of fiber length.

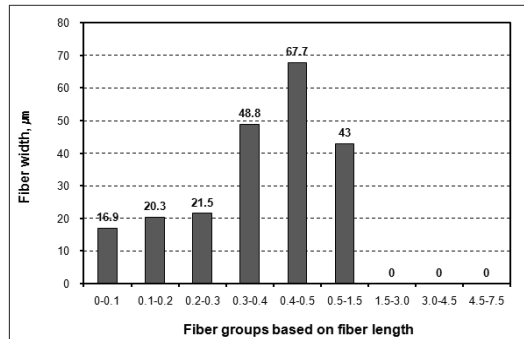


Fig. 11. Fiber width of BG powders ground by pincrusher as a function of fiber length.

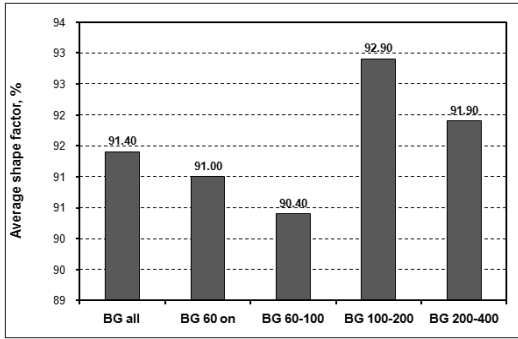


Fig. 12. Average shape factor of BG powders ground by blender.

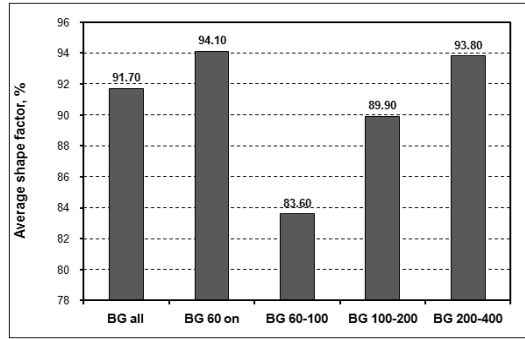


Fig. 13. Average shape factor of BG powders ground by pin crusher.

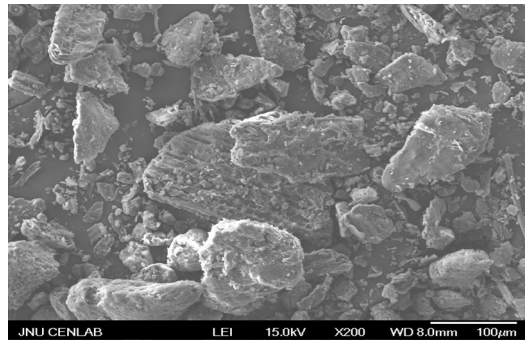
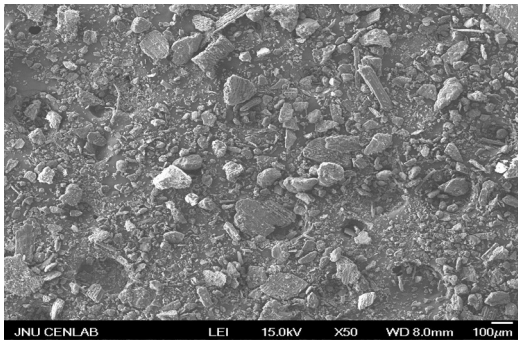


Fig. 14. Scanning electron micrographs of BG powder ground by blender (left:×50, right:×200).

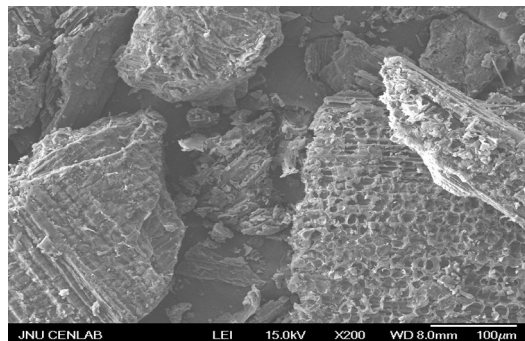
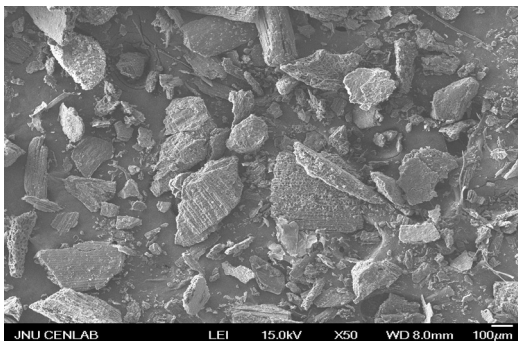


Fig. 15. Scanning electron micrographs of BG powder ground by pin crusher (left:×50, right:×200).

SEM 이미지를 나타냈는데 전체적으로 살펴보면 블렌더로 처리된 맥주박 분말의 입자가 상대적으로 작고 더 균일한 것을 볼 수 있었다. 또한 블렌더로 제조된 맥주박 입자보다는 핀크로셔로 제조된 입자의 종횡비 (aspect ratio)가 상대적으로 더 높은 것으로 판단된다.

4. 결론

제지용 분말상 첨가제를 제조하기 위해 신규 유기물 질로 맥주박을 발굴하였고 맥주박의 화학적 특성을 측정하여 제지용 원료로서의 적용가능성을 평가하였고

두 종류의 분쇄기를 이용하여 맥주박 분말을 제조하여 물리적 특성을 측정하여 제지용 분말상 첨가제로서 우수한 분쇄방식을 선정하고자 하였다.

맥주박은 다른 비목질계 바이오매스에 비해 낮은 섬유질 함량과 높은 리그닌 함량을 나타내었다. 회분함량은 몇몇 비목질계 바이오매스에 비해서는 높은 결과를 나타냈으나 갈대나 벧짚보다는 낮은 함량을 나타냈다. 또한 열수 추출과 추출물의 양이온 요구량을 측정한 결과 맥주박이 공정에 유입됨에 따라 추출량 상승에 따른 용수의 수질악화나 용수의 양이온 요구량에 악영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

블렌더와 핀크로셔로 제조된 맥주박 분말의 물리적 특성을 비교하면 섬유장은 블렌더가 핀크로셔보다 길고 섬유폭과 형상지수 분포는 핀크로셔가 블렌더에 비해 더 크고 넓게 나타났다. SEM 이미지를 통해 관찰한 입자 형태는 분쇄기 종류에 관계없이 유사한 경향을 나타내었다. 전체적으로 살펴보면 블렌더로 제조된 맥주박 분말은 입자 크기와 형태의 균일성이 핀크로셔에 비해 더 높게 나타났다. 균일성이 높을 경우 벌크상승 효과에 유리하고 생산공정에서 첨가제 제어가 편리하기 때문에 블렌더 타입의 분쇄기를 이용하여 분말상 첨가제를 제조하는 것이 다소 유리할 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0013720).

인용문헌

- Rodriguez, A., Moral, A., Serrano, L., Labidi, J. and Jimenez, L., Rice straw pulp obtained by using various methods, *Bioresource Technology*, 99(8): 2881-2886 (2008).
- Chen, R., and Tang, W., High-yield pulping of reed, *Cellulose Chemistry and Technology*, 30(3-4): 307-321 (1996).
- Won, J.M., and Kim, M.H., Pulping Characteristics of Bamboo(*Bambusa procera acher*) Grown in Vietnam, *J. Korea TAPPI*, 41(4): 52-57 (2009).
- 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).
- Kim, C.H., Lee, J.Y., Lee, Y.R., Jung, H.K., Baek, G.K., Lee, H.J., Gwak, H.J., Kang, H.R., Kim, S.H., Fundamental Study on Developing Lignocellulosic Fillers for Papermaking(II) - Effect of lignocellulosic fillers on paper, *J. Korea TAPPI*, 41(2): 1-6 (2009).
- Chae, H.J. and Park, J.M., Study on Drainage and Physical Properties of KOCC Handsheet Containing Pretreated Wooden Fillers, *J. Korea TAPPI*, 43(3): 21-29 (2011).
- 이지영, 서동준, 윤경태, 제지용 목분의 제조방법 및 이를 이용한 벌크가 증가된 제지의 제조방법, 등록번호 10-0898383 등록일자 2009년 5월 12일.
- Ahn, B.K. and Park, N.H. Studies on the Development of a Molded Packaging Material Using Rice Straw, *J. Korea TAPPI*, 27(1): 49-56 (1995).
- Kang, C.H. and Park, S.J. Development of Pulping Methods of Rice-straw Chemical Pulp with Higher Yield and Lower Kappa Number, *J. Korea TAPPI* 32(2): 58-67 (2000).
- Shin, J.D., Hong, S.G., Kwon, S.I., Park, W.K. and Park, S.W., Effect of Temperatures to Crude Oil Productions with Rapeseed Straw on Application of Hydro-thermal Liquefaction Technology, *유기성자원학회지*, 18(1): 104-109 (2010).
- 최재성 외, 산업용지의 분말상 부원료 제조를 위한 맥주박의 특성에 대한 연구, 2011 추계학술발표논문집, pp. 251-253 (2011).
- Lee, H.J., Kim, H.S., Jeon, S.W., Kim, K.S., Ki, K.K., Cho, J.S., Lee, H.G., Choi, Y.J., Effects of Various Additives for Spoilage Prevention on Brewers grain and Soymilk by-product, *J. of KOWREC* 10(3): 74-84 (2002).
- Polan, C.E., Herrington, T.A., Wark, W.A., and Armentano, L.E., Milk production response to diets supplemented with dried brewers grains, wet brewers grains, or soyahean meal., *J. Dairy Sci.* 68:2016-2026 (1985).
- Choi, S.H., Hwangbo, S., Kim, S.W., Sang, B.D., Kim,

- Y.K., and Jo, I.H., Effects of Total Mixed Ration with Wet Brewer's Grain on the Performance and Nutrient Utilization in Castrated Korean Black Goats, *J. Korean Grassl. Sci.* 26(4):199-206 (2006).
15. 조육기, 비목재 팔프에 관하여, *J. Korea TAPPI*, (1): 25-31 (1971).
 16. Casey, J.P., *Pulp and Paper; Chemistry and Chemical Technology*(3rd ed.), Wiley-Interscience Publication, New York, p. 915 (1980).
 17. Smook, G.A., *Handbook for Pulp & Paper Technology* (3rd ed.), Angus Wilde Publications Inc., Vancouver, p. 190 (2002).
 18. 황병호, 윤병호, 조남석, 이종윤, 제1장, 목재의 조성, 최신목재화학, 선진문화사, pp. 7-28 (2005).
 19. Sung, Y.J., Shin, S.J., Oh, M.T., Chemical Composition of Rice Hull and Morphological Properties of Rice Hull Fibers, *J. Korea TAPPI*, 41(3): 22-28(2009).
 20. Sung, Y.J., Kim, W.J., Kim, D.S., Seo, Y.B., and Shin, S.J., Evaluation of morphological properties and papermaking properties of corn biomass, *J. Korea TAPPI*, 42(2): 61-66 (2010).
 21. Lee, H.L., Ham, C.H., Lee, J.Y., Hwang, N.S., Lee, S.G., and Kim, J.M., Exploration of retention system for papermaking system closure, *J. Korea TAPPI*, 33(2): 1-7 (2001).