

기능성 유기충전제로서 오일팜 EFB 미세분 적용특성

김동섭 · 성용주[†] · 김철환¹ · 김세빈²

접수일(2014년 2월 12일), 수정일(2014년 2월 19일), 채택일(2014년 2월 20일)

Evaluation of the applicability of oil palm EFB fines as a functional organic filler

Dong-Seop Kim, Yong Joo Sung[†], Chul-Hwan Kim¹ and Se-Bin Kim²

Received February 12, 2014; Received in revised form February 19, 2014; Accepted February 20, 2014

ABSTRACT

The applicability of oil palm EFB(Empty Fiber Bunch) to the papermaking process as a functional organic filler was investigated in this study. Since the EFB has similar chemical composition to the lignocellulose materials such as wood fiber, the fines of EFB was applied to the handsheet paper as an alternative to wood powder which were used as an organic filler to improve water removal efficiency and bulk. The experiments showed that the EFB fines resulted in the higher water removal efficiency at the wet pressing process and led to the higher bulk than those of wood powder. In case of 10 % addition of organic filler, the strength properties were not significantly changed. Those results suggested that the EFB could be used as a new organic filler for improving water removal efficiency and bulk property.

Keywords: Oil palm biomass, Empty Fiber Bunch, organic filler, bulk, wood powder

1. 서론

국내 제지산업 특히, 고급인쇄용지 이외의 산업용지, 신문용지 및 포장용지 제조산업에서 고지는 주요한 원료이고 환경에 대한 관심 증대와 펄프가격의 상승

등으로 고지의 사용량은 점차 늘어나고 있는 상태이다. 실제 국내 고지회수율은 90%에 육박하며(한국제지공업연합회, 2012) 이렇게 회수된 고지는 다시 유사지종의 종이로 재활용됨으로써 실제 목재섬유의 과도한 재활용이 지속적으로 증가되고 있는 실정이다. 이

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

1. 경상대학교 임산공학과 (Dept. of Forest Products, IALS, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea)

2. 충남대학교 농업생명과학대학 산림환경자원학과 (Dept. of Environment & Forest Resources, College of Agriculture and Life Science, Chungnam Natl. Univ., Daejeon, Republic of Korea)

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

러한 반복적인 재활용 등으로 인해 고지 자체의 품질과 고지 내 목재섬유의 품질은 지속적으로 악화되고 있는데 실제 저급고지섬유의 적용으로 미세분 발생증가로 인한 탈수성 및 건조성 악화, 강도저하 및 벌크감소 이로 인한 품질저하, 추가적인 펄프의 사용량 증가 및 건조에너지 증가로 인한 생산비용 증가와 공정환경악화 등 다양한 문제들이 발생되고 있는 상황이다.¹⁾ 특히, 대부분 고지원료를 기반으로 제조되는 골판지 원지 등의 산업용지 제조에서 이러한 과도한 미세분에 의한 탈수성 악화와 구조 내 벌크의 감소로 인한 건조에너지 증가는 에너지 비용 증가 및 온실가스 배출관리 규제 등과 맞물려 현재 매우 중요한 이슈가 되고 있는 상황이다.²⁾

이러한 문제들의 해결을 다양한 기술들이 개발되어 왔는데 그중 대표적인 방법인 종이 구조내 벌크를 증가시켜줌으로써 공극성을 개선하고 이에 따라 탈수성 및 건조에너지를 향상시키는 벌크향상제의 적용이라고 할 수 있다.³⁾ 특히, 친환경적인 목재분말을 일반적으로 적용하는데 이외에도 다양한 무기 및 유기 벌크향상제의 적용을 위한 연구 및 기술개발이 지속적으로 진행되고 있는 실정인데, 실제 무기성 벌크향상제로는 펄라

이트, 인산석고와 유기성 벌크향상제로는 목분, 양겨 섬유, MDF 섬유 등의 다양한 원재료들의 적용기술과 적용효과 등이 연구되고 보고된 바 있다.^{4,6)}

현재 일반적으로 판지제조 등에 적용되고 있는 목분 기반 유기성 벌크향상제용 충전제의 경우 복합소재원료, 목재펠릿용, 축산용 등 다양한 분야에서 더욱 목분의 수요가 커지고 있기 때문에 가격상승요인이 크고 실제 추가적인 기능성을 확보하기 어려운 단점이 있다. 따라서 다양한 목분 대체 유기성 벌크향상 충전제에 대한 관심이 커지고 있고 이러한 목표로 본 연구에서는 상대적으로 발생량이 많고 경제성이 우수한 오일팜 EFB(Empty Fruit Bunch)의 적용성을 알아보고자 하였다.

오일팜 바이오매스 EFB(Empty Fruit Bunch)는 적도부근 열대지방에서 집중적으로 재배되는 오일팜 나무의 열매로부터 팜유를 생산하는 과정 중 발생하는 섬유물치로서 바이오에너지 원료 및 다양한 바이오매스 소재로서 활용을 위한 집중적인 연구와 기술개발이 이루어지고 있는 대표적인 바이오매스 자원이라고 할 수 있다(Fig. 1).⁷⁻¹⁰⁾

실제 말레이시아의 팜오일 산업 총괄기관인 MPOB

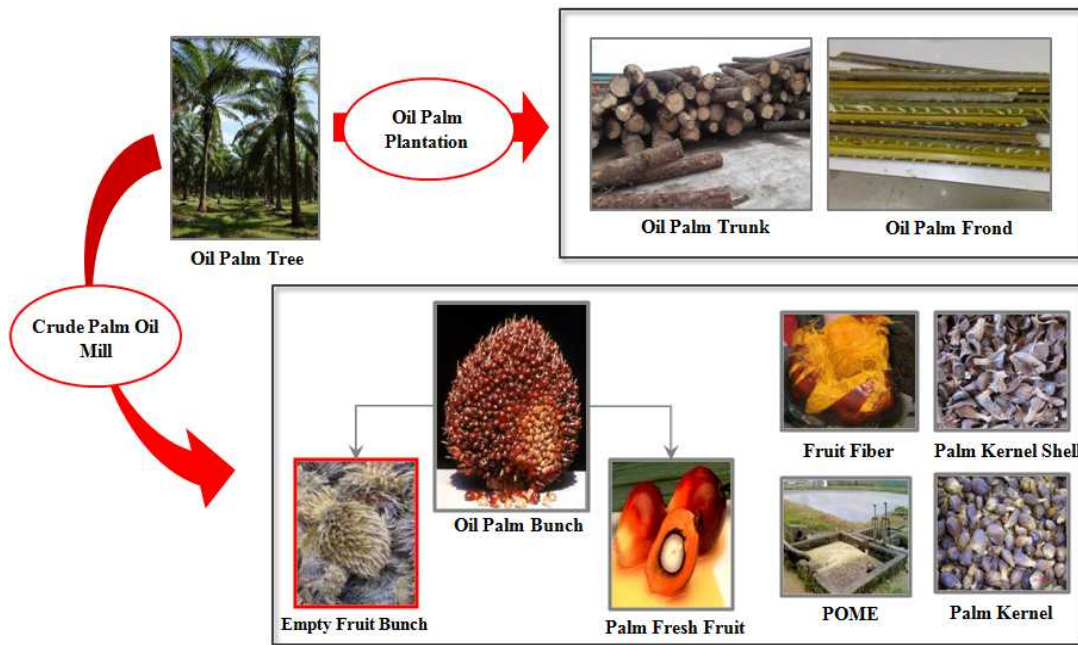


Fig.1. Types of the oil palm biomass.

(Malaysia Palm Oil Board)에 따르면, 오일팜 FFB(Fresh Fruit Bunch)의 생산량은 연간 10.59 Dry weight Tonne/ha 로써 EFB의 경우 약 2 Dry weight Tonne/ha 가 발생한다. 오일팜은 전세계 생산량의 80%가 말레이시아, 인도네시아 지역에서 생산되어 회수가 용F이며, 식재 면적이 2003년 1158만 ha에서 2009년 1450만 ha로 그 식재량은 점차 증가하고 있어 이를 활용하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다.¹¹⁻¹²⁾ EFB의 경우 Oil palm trunk 와 같은 다른 오일팜 기반 바이오매스(재식재 주기 25년 마다 발생)와는 다르게 팜오일(CPO: Crude Palm Oil) 생산 공장에서 상시 발생하는 특징이 있다. 이러한 EFB는 셀룰로오스 함량이 60% 이상, 리그닌 15% 가량의 리그노셀룰로오스성 자원으로써¹³⁾ 실제, EFB 섬유는 일회용품, 섬유 패널, 펄릿, 유기 비료 등의 원료로서 그 활용분야가 점차 넓어지고 있는 주요한 바이오매스로 관심의 대상이 되고 있다.

EFB를 주요한 섬유소재로 활용하기 위해 EFB를 기계적으로 해섬하여 DLF(Dried Long Fiber) 생산하는 1차 가공 섬유가공이 실시되고 있는데, 기계적으로 해섬된 DLF는 실제 미세한 섬유다발로 이루어진 개별섬유 형태를 가지는데 직접적으로 제지공정에 적용은 어려우나 기계적인 분쇄 또는 미분화를 통해 제지용 유기 충전제로서의 활용성은 높을 것으로 판단되어 진다.

본 연구에서는 EFB를 제지 충전제로써 활용하기 위해 분쇄를 통해 섬유입자상으로 제조하고 성분 조성을 조사하여 적용가능성을 평가하였으며, 기존에 사용되는 목분과의 차이점을 분석하기 위해 입도, 수초지의 물성 변화 및 건조 적성을 평가하여 제지산업에서 활용가능성에 대하여 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

2.1.1 EFB 미세분 및 목재분말

본 실험에서는 인도네시아 팜오일 생산공정에서 사출된 EFB 시료를 분양받아 활용하였으며, 대조구로서 국내산 목재를 사용하여 제조한 목분을 A사에서 분양받아 실험하였다. 실험에 적용된 EFB는 함유수분량 약 8%로 자연건조 실시한 후에 증심줄기와 미세줄기를 분리한 후 충분한 세척을 하여 자연건조 하였다. 기

건 상태의 EFB를 실험실용 분쇄기를 통해 선식 분쇄하여 EFB 미세분말을 제조하였고 또한 Valley Beater를 활용하여 습식으로 EFB 미세분을 각각 제조하였다. 제조된 습식 EFB 미세분은 상온(15~20℃)에서 건조하여 실험에 적용하였다.

본 연구에서는 이렇게 제조되는 방식에 따른 EFB 미세분의 적용특성을 비교평가하고자 하였다. 섬유상의 미세분의 적용시 과도한 입자로 인한 영향을 최소화하고자 각각의 EFB 미세분과 목분은 60 mesh로 조대한 입자를 제거한 후 적용하였다.⁴⁾ 이때 제조된 EFB 미세분 및 목분을 레이저회절입도분석기(Laser Scattering Particle Size Analyzer, 독일)를 활용하여 각 충전제 입도분포를 측정하였다.

2.1.2 지 료

실험에 사용된 지료는 국내 D 사에서 분양 받은 OCC 펄프를 활용하였다. 분양받은 지료를 Valley Beater를 이용하여 20분간 해리하였고 이를 통해 제조된 여수도 CSF 510 ml의 펄프지료를 본 실험에 이용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 EFB의 형태 및 성분 분석

EFB의 섬유 배열을 육안 평가를 통해 분석하였으며, EFB의 성분 조성을 분석하였다. 부위에 따라 화학적 조성이 다를 것으로 판단하여 내부에 위치한 장섬유와 외부에 분지상으로 배열된 섬유를 정선하여 성분분석을 실시하였다. 전건된 시료를 분쇄기로 분쇄하여 40-100 mesh로 입자크기를 조절한 뒤, 환류냉각기를 통해 4시간 동안 열수추출량을 평가하였다. 비극성 용매에 대한 추출특성을 평가하기 위하여 알콜벤젠 1:2 혼합용매에서 6시간 동안 Soxhlet 추출을 평가(TAPPI Standard Method T204 cm-97)하였으며, 무기물 함량 조사를 위해 525 ± 25 °C의 온도에서 4시간동안 연소시켜 Ash의 함량을 측정하였으며,(TAPPI Standard Method T211 om-02) 리그닌 함량은 Klason Lignin 평가법을 적용하여 측정하였다.(TAPPI Standard Method T222 om-98) 또한, Holo-Cellulose 및 α, β, γ -Cellulose의 함량을 TAPPI Standard Method T203 cm-99를 적용하여 측정하였다.

Table 1. Conditions for preparing the Handsheet Samples

| Symbol | Rate of addition (%) | | | |
|---------------------------------|----------------------|-------------|-------------|------------|
| | OCC | Wood Powder | Grinded EFB | Beaten EFB |
| Control | 100 | - | - | - |
| W ₂₀ | 80 | 20 | - | - |
| G ₂₀ | 80 | - | 20 | - |
| W ₁₀ | 90 | 10 | - | - |
| G ₁₀ | 90 | - | 10 | - |
| W ₁₀ G ₁₀ | 80 | 10 | 10 | - |
| B ₂₀ | 80 | - | - | 20 |
| B ₁₀ | 90 | - | - | 10 |

2.2.2 수초지 제조 및 특성 평가

수초는 벌크형상이 필요한 재생용지인 OCC를 기반으로 원형수초지기를 통해 수초하였으며, 기존의 유기 충전제인 목분과 비교를 위해 Table 1의 조건으로 목분과 EFB 미세분의 비율을 조절하여 첨가하여 평량 80 g/m² 으로 제조하였다.(TAPPI standard T205 om⁻⁸) 수초지 제조시 압착탈수 방식은 현장 모사를 위해 실험실용 롤프레스 압력 700kg/cm², 압착속도 40mm/s 의 조건으로 2회 적용하였다. Couch 이후 및 1차, 2차 압착탈수 이후의 수초지 고형분을 측정하여 탈수도를 평가하였다. 또한, 수초지 표면을 사진촬영을 통해 유기 충전제의 형성 형태를 관찰하였고, L&W tensile Tester를 활용해 인장강도를 측정하였으며, L&W Micrometer를 이용하여 두께를 측정을 통한 밀도 및 벌크를 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 EFB의 형태적 특성 평가

본 실험에서는 적용된 오일팜 EFB의 형태적 특징을 면밀히 관찰하였는데 오일팜 EFB는 긴섬유의 다발형태로 형성되어 있으며, 전체 다발의 90% 이상이 섬유상으로 형성되어 있음을 확인하였다. Fig. 2의 C에서 나타난바와 같이 긴 섬유가 중심다발에서 가지다발로 이어져 하나의 번치로 형성되는 것을 알 수 있다. 가지다발 외부에는 오일팜 열매가 있었던 주변으로 진갈색의 피질이 형성되어 있으며, D에서 보이는 바와 같이 중앙의 줄기에서 바깥쪽으로 이어지는 세부줄기는 내



Fig. 2. Morphological Properties of Oil Palm EFB (A: EFB, B: Cross-Section of EFB, C and D: Connected parts of the Core Stem and the branch stems, E: Separated Parts of EFB, F: Shredded EFB).

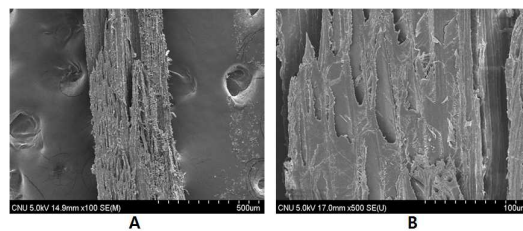


Fig. 3. SEM Image of EFB individual Fiber, (A: Cross-Section of the EFB fiber, B: Close View Image of A).

부적으로 연속적인 같은 형태의 섬유 다발로 이루어진 것이 확인되었다. 즉, EFB는 중심줄기와 외부줄기 모두 같은 형태의 섬유다발이 90% 이상을 차지하고 약 5% 미만의 표면 피질 및 꽃잎 잔재물 등으로 구성되어 있는 것을 알 수 있었다. 또한 한 가닥의 EFB 섬유다발은 여러 미세 섬유관의 집합체로 형성되고 있는 것으로 관찰되었다.

Fig. 3에서는 EFB 섬유 한가닥의 SEM 이미지를 보이고 있다. EFB 한가닥의 섬유는 도관을 형성하는 미세 도관섬유의 집합으로 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다.¹⁴⁾ 제지 충전제로 활용하고자하는 EFB 미세분은 이러한 미세 도관 섬유로써 섬유상의 미세입자 형태로 형성되어 있음을 알 수 있었다.

3.2 EFB 미세분과 목분의 입도 분포

수초에 사용된 EFB 미세분의 경우 약 200 μ m 크기의 미세분이 가장 많은 분포를 차지하고 있었고, 대조구인 목분의 경우에는 약 100 μ m의 평균입자 크기를 나타내는 것을 알 수 있었다. 목분의 경우 보다 다양한 크기의 입자들이 폭넓게 분포하고 있었으나, EFB 미세분의 경우 150~230 μ m 크기 사이에 대부분의 미세분들이

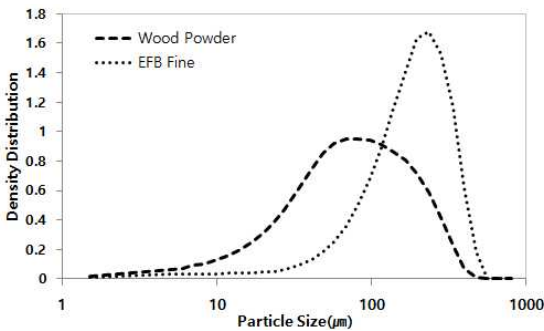


Fig. 4. Particle size distribution of the wood powder and EFB fines.

분포되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 이는 EFB가 목분에 비해 형태학적으로 보다 긴 미세섬유의 집합으로 형성됨에 따라 분쇄시 목분은 입자형태, EFB는 장 섬유형태로 형성되기 때문에 EFB의 밀도분포가 보다 큰 형태로 분석된 영향으로 판단된다.

3.3 EFB의 구성성분 조성

EFB는 일반적으로 홀로셀룰로오스가 70%이상의 리그노셀룰로오스계 유기물로써 외부에 위치한 가지 다발의 경우에는 리그닌 함량 및 무기물 함량이 내부의 중심다발 섬유에 비해 다소 높은 것을 알 수 있다.(Table 2). 또한 오일팜 열매 등이 위치하였기 때문에 오일성분 등이 잔류하여 유기용매 추출량이 다소 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 결과적으로 중심다발의 경우 상대적으로 높은 홀로셀룰로오스 함량을 나타내는 것을 볼 수 있다. 실제 가지다발에 존재하는 무기물과 오일성분 등은 EFB 섬유의 품질특성을 감소시킬 수 있기 때문에 향후 활용에서는 EFB의 바깥쪽에 존재하는 피질층 등의 제거가 필요할 것으로 판단되었다.

3.4 목분과 EFB 미세분 초지 적용특성 비교

본 실험에서는 기존에 사용되는 유기충전제인 목분과 EFB 미세분을 OCC 지료에 각각 투입하여 수초지를 제조하면서 탈수도 변화 정도를 평가하였다. 실제 수초지를 수초한 후 고압축 압착탈수 전후의 고형분 함량 변화를 측정함으로써 종이 구조 변화에 따른 압착탈수 효율 변화를 비교 평가하였다. Fig. 5에서 1차 압착탈수 이후 고형분 함량 변화를 나타내고 있는데, EFB 미세분이 20% 첨가되었을 때, OCC 펄프 지료 단독으로 제조된 수초지에 비해 약 1.6% 건조도가 향상된 결과를 나타내었다. 이는 목분 20%를 첨가한 경우에 비해 고형분이 약 1%가량 더 향상된 결과로서, 목분 10%를 첨가하였을 때 탈수도 변화는 미비하였으나, EFB

Table 2. Composition of EFB Fibers depending on the part of EFB (w.t.%)

| | Ash | Hot Water Extract | Alcohol-benzenen extract | Klason Lignin | Holo Cellulose | in Holo-Cellulose | | |
|---------------|-----|-------------------|--------------------------|---------------|----------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | | | | | | α - Cellulose | β - Cellulose | γ - Cellulose |
| Stem Fibers | 1.3 | 3.1 | 1 | 17.2 | 76.5 | 60.2 | 4.6 | 35.2 |
| Branch Fibers | 3.7 | 3.6 | 1.3 | 23.5 | 69.5 | 54.5 | 8.7 | 36.8 |

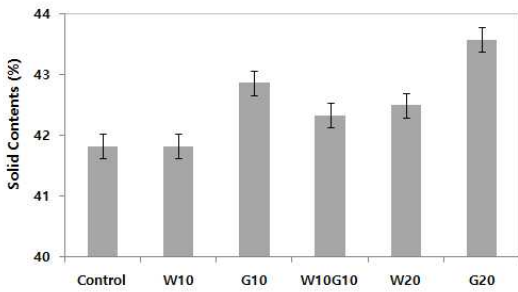


Fig. 5. Changes in the solid content after the 1st wet pressing depending on the types of the organic fillers.

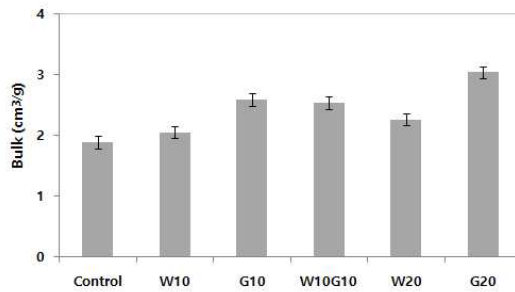


Fig. 7. Changes in bulk depending on the types of the organic fillers.

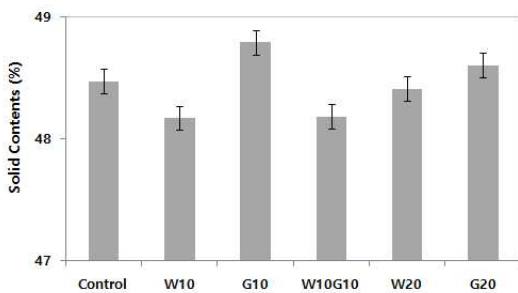


Fig. 6. Changes in the solid content after the 2nd wet pressing depending on the types of the organic fillers.

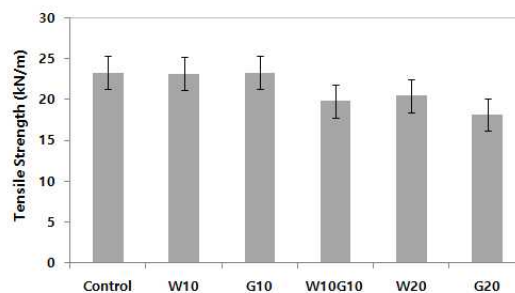


Fig. 8. Changes in tensile strength depending on the types of the organic fillers.

10% 첨가시에는 목분 20% 첨가의 경우보다 향상된 압착탈수특성을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

2차 압착탈수 이후 모든 조건에서 각 시료의 최종 건조도가 약 48.5±0.2% 정도를 나타냄으로써 큰 차이를 나타내지 않았지만, EFB 미세분을 벌크 향상 충전제로 활용 하였을 때, 상대적으로 다소 증가된 압착탈수 특성을 가져올 수 있을 것으로 판단되었다(Fig. 6).

최종 수초지의 벌크는 EFB 미세분을 20% 첨가하였을 때 가장 크게 향상되는 것을 볼 수 있었다. 목분의 첨가시 보다 EFB가 더 높은 벌크 향상을 보였으며, 이는 입자상인 목분에 비해 침상 섬유형태를 가진 EFB 미세분에 의한 효과인 것으로 판단되었다(Fig. 7). 또한 EFB 미세분은 부피에 비해 밀도가 낮은 특성을 가짐으로써 동일 평량의 수초지에서 보다 벌크가 향상된 것으로 판단된다.

인장강도의 경우, 목분 및 EFB를 첨가하였을 때 전체적으로 하락하는 경향을 나타내는 것을 볼 수 있었

다. 특히, 유기충전제 20%를 첨가하였을 때 인장강도가 감소 정도가 다소 높게 나타났지만, 10%의 첨가시에는 미첨가와 비교하였을 때 유의한 차이를 나타내지 않는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 8).

3.5 EFB 미세분 제조방식에 따른 적용성 비교

3.4절에서 EFB가 기존의 목분보다 높은 성능의 벌크향상 효과를 가져오지만, 강도적 측면에서는 상대적으로 강도의 감소폭이 큰 것을 확인할 수 있었다. 본 실험에서는 EFB의 분쇄방식을 달리하였을 때, 이러한 강도저하를 완화할 수 있는지에 대해 평가하여 보았다. 고해기를 적용한 습식 미세분화를 통해 EFB 미세분을 제조한 경우에는 그라인더를 적용하여 건식 분쇄를 한 경우와는 다른 특성이 나타나는 것을 볼 수 있었다. Fig.9에서 보이는 바와 같이 동일한 60 mesh 통과분을 적용하였으나, 육안상으로도 습식 고해된 EFB 미세분이 보다 더 미세한 입자형태를 가지고 있는 것으로 관찰되었다. 압착탈수시의 탈수적성의 경우 습식



Fig. 9. Grinded EFB and Beaten EFB.

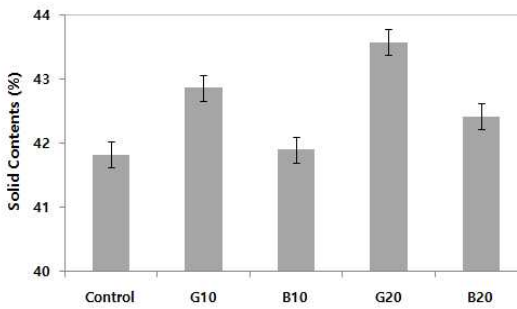


Fig. 10. Changes in the solid content after the 1st wet pressing depending on the grinding methods.

EFB 미세분의 적용 시 건식분쇄 분말보다 탈수 적성이 약 0.5~0.7% 가량 낮아 목분과 유사한 탈수 특성을 나타내었다. 실제로 Fig.10과 Fig.11에서 볼 수 있듯이 EFB 미세분의 적용시 압착탈수 후 건조도가 증가되는 것을 확인할 수 있으며 1차 압착 탈수시에는 20%의 첨가시 높은 건조도를 나타내지만 2차 압착탈수 후 최종 건조도에서는 10% 첨가시에 더 높은 건조도를 나타내

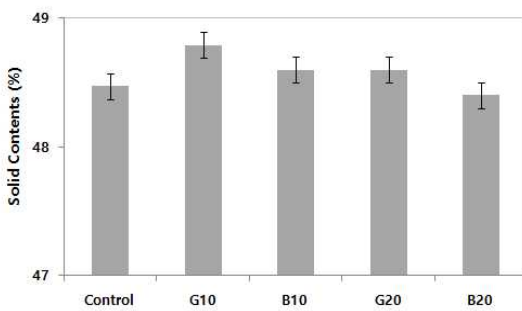


Fig. 11. Changes in the solid content after the 2nd wet pressing depending on the grinding methods.

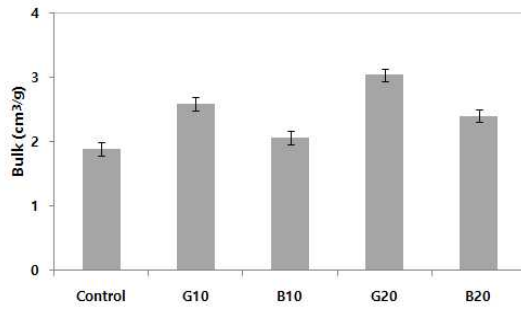


Fig. 12. Changes in bulk depending on the grinding methods.

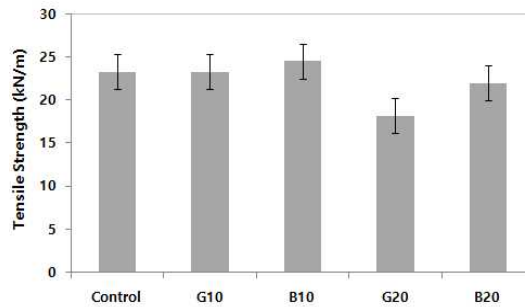


Fig. 13. Changes in tensile strength depending on the grinding methods.

는 것을 확인할 수 있었다.

수초지의 벌크 특성 변화를 EFB 미세분 제조 방식에 따라 비교해 보았을 때, 건식 분쇄 방식이 보다 높은 벌크 향상 효과를 나타내는 것으로 관찰되었다(Fig. 12). 건식 분쇄분이 습식 분쇄분에 비해 크고 굵은 섬유상 입자로 종이 구조내 공극성을 증가시켜 나타난 결과로 판단된다(Fig. 9).

최종 제품의 강도적 특성을 비교하여 보았을 때는 Fig. 13에서 볼 수 있듯이 습식 EFB 미세분의 경우에서 목분 혹은 건식 분쇄분의 적용때 보다 우수한 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 습식 분쇄분의 경우 건식 분쇄분 보다 미세한 피브릴화가 발생되고 이로 인해 지필 구조내 섬유간 결합 면적의 증대와 섬유간의 기계적 결합의 증가 등으로 인해 강도 증가 효과 나타나는 것으로 판단되었다. 이로써 습식 EFB 미세분의 10% 적용시 강도의 감소없이 지필의 벌크 향상 효과를 가져올 수 있는 것으로 판단되었다.

4. 결론

현재 말레이시아 및 인도네시아에서 상당한 양으로 발생되고 있는 오일팜 바이오매스는 기존의 다양한 목질자원을 대체할 수 있는 자원으로 많은 관심의 대상이 되고 있다. 특히, 섬유상 형태를 내부적으로 가지고 있는 오일팜 EFB의 경우 90% 이상의 섬유 다발로 형성된 유기 소재로서 다양한 용도로 활용이 가능한 바이오매스이다. 본 연구에서는 이러한 EFB의 새로운 용도로서 재활용 고지 등의 탈수적성과 벌크특성을 향상시키는 유기충전제로서 적용성을 알아보기 위하여 현재 유기충전제로 일반적으로 적용되고 있는 목재분말과 EFB 미세분을 각각 적용하여 압착탈수 특성 및 종이품질에 미치는 영향을 비교 평가하여 보았다. 그 결과 EFB 미세분은 기존의 유기 충전제인 목분과는 다르게 입자형태가 미세 섬유 형태로 형성되어 있어 목분보다 높은 탈수성 증대 효과를 가져오며, 벌크 향상 효과도 우수한 것으로 나타났다. 하지만 EFB 미세분 20% 첨가시에는 인장강도의 감소폭이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었는데 실제, 10% 첨가 범위 이내의 경우에는 강도특성 저하가 뚜렷하지는 않는 것으로 보아 10% 이내 범위에서 적용 시 강도 감소를 최소화하고 탈수성 및 벌크를 향상시킬 수 있는 충전제로써 활용 가능성이 높은 것으로 판단되었다. 또한 EFB의 습식 분쇄를 통해 보다 섬유상으로 유기충전제를 형성할 수 있으며, 이를 통해 강도 및 벌크의 향상을 가져올 수 있는 것을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 EFB 미세분은 기존의 목분을 충분히 대체할 수 있는 소재로 활용할 수 있음을 알 수 있었고, 향후 물리적 전처리 뿐만 아니라 화학적 개질 처리 등의 추가적인 적용을 통해 다양한 제지분야로의 적용도 가능할 것으로 기대할 수 있었다.

사 사

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호: S111212L070100)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다. 지원에 감사드립니다.

Literature Cited

1. Shin, T.G., Kim, C.H., Chung, H.K., Seo, J.M. and Lee, Y.R., Fundamental Study on Developing Lignocellulosic Fillers for Papermaking (I), Journal of Korea TAPPI 40(2): 8-15 (2008).
2. Seo, D.J., Promote Energy Saving Trend in Paper Industry, 2009 Korea TAPPI Colloquium, Journal of Korea TAPPI, 47-67 (2009).
3. Lee, J.Y., Kim, C.H., Kim, S.Y., Kim, B.H., Lim, G.B. and Kim, J.S., Development of New Powdered Additive and Its Application for Improving the Paperboard Bulk and Reducing Drying Energy (II), Journal of Korea TAPPI 45(2): 33-40 (2013).
4. Lee, J.Y., Lim, G.B., Kim, Y.H., Lee, S.R., Kim, M.Y., Kim, C.H., Kim, S.Y. and Kim, J.S., Evaluation of the physical properties of organic fillers made from agricultural byproducts, Journal of Korea TAPPI 45(4): 34-41 (2013).
5. Lee, J.Y., Lee, E.K., Lee, D.Y., Yun, K.T. and Sung, Y.J., Study on the Application of Inorganic Byproduct from Fertilizer Manufacture Process as an Alternative Filler, Journal of Korea TAPPI 44(1): 52-57 (2012).
6. Chae, H.J., Park, J.M., Study on Drainage and Physical Properties of KOCC Handsheet Containing Pretreated Wooden Fillers, Journal of Korea TAPPI 43(3) (2011).
7. Kim, C.H., Kim, D.S., Sung, Y.J., Hong, H.E. and Kim, S.B., Evaluation of Defiberation by Organosolv Ethanolamine Pulping for Integral Utilization of Oil Palm EFB, Journal of Korea TAPPI 45(1): 67-74 (2013).
8. Kim, D.S., Sung, Y.J., Kim, C.H. and Kim, S.B., Effects of Pre-treatments on the Oil Palm EFB Fibers, Journal of Korea TAPPI 44(6): 36-42 (2012).
9. Sung, Y.J., Kim, C.H., Cho, H.S., Sim, S.W., Lee, G.S., Cho, I.J. and Kim, S.B., Study of Oil Palm Biomass Resources (Part 1), Journal of Korea TAPPI 45(1): 13-20 (2013).
10. Sung, Y.J., Kim, C.H., Cho, H.S., Kim, S.H., Sim, S.W., Yim, S.J., Lee, J.Y. and Kim, S.B., Study of Oil Palm Biomass Resources (Part 2), Journal of Korea TAPPI 45(1): 42-51 (2013).

11. Yamada, H., Tanaka, R., Sulaiman, O., Hashim, R., Hamid, Z. A. A., Yahya, M. K. A. and Mori, Y. Old oil palm trunk: a promising source of sugars for bio-ethanol production. *Biomass and bioenergy*, 34(11): 1608-1613 (2010).
12. Shinoj, S., Visvanathan, R., Panigrahi, S. and Kochubabu, M. Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review, *Industrial Crops and Products*, 33(1): 7-22 (2011).
13. Sreekala, M. S., Kumaran, M. G. and Thomas, S., Oil palm fibers: Morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 66(5): 821-835 (1997).
14. Law, K. N., Daud, W. R. W. and Ghazali, A., Morphological and chemical nature of fiber strands of oil palm empty-fruit-bunch (OPEFB), *BioResources*, 2(3): 351-362 (2007).