

# 오일팜 바이오매스 EFB 고도 활용을 위한 Organosolv 에탄올아민 펄핑에 따른 섬유화 특성평가

김철환 · 김동섭<sup>1</sup> · 성용주<sup>1†</sup> · 홍해은<sup>1</sup> · 김세빈<sup>2</sup>

접수일(2013년 2월 9일), 수정일(2013년 2월 17일), 채택일(2013년 2월 19일)

## Evaluation of Defiberation by Organosolv Ethanolamine Pulping for Integral Utilization of Oil Palm EFB

Chul-Hwan Kim, Dong-Seop Kim<sup>1</sup>, Yong Joo Sung<sup>1†</sup>, Hae-Eun Hong<sup>1</sup> and Se-Bin Kim<sup>2</sup>

Received February 9, 2013; Received in revised form February 17, 2013; Accepted February 19, 2013

### ABSTRACT

Organosolv ethanolamine pulping for oil palm empty fruit bunches(EFB) were evaluated in this study. The screen yield by the ethanolamine pulping were higher than that by the soda pulping at the same operation conditions. The higher concentration of ethanolamine solvent resulted in the higher yield and the lower contents of residual lignin. The EFB pulp fibers were the narrower in fiber width but the higher in coarseness than those of the hardwood pulp fiber, while the fiber length of the EFB pulp fiber were similar to that of the hardwood fiber. The intrinsic zero span tensile testing showed the EFB pulp fiber by the 80% ethanolamine pulping were the stronger than the fiber by the soda pulping. The results of this study supported that the ethanolamine pulping could be used as an alternative pulping method for the EFB.

**Keywords** : Oil palm biomass, empty fruit bunch, Ethanolamine pulping, Fiber properties, intrinsic zero span tensile strength.

---

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

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

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

† Corresponding author: [yosung17@cnu.ac.kr](mailto:yosung17@cnu.ac.kr)

## 1. 서론

지속가능한 성장을 위한 재생가능한 자원의 활용은 국내외에서 더욱 중요한 이슈가 되고 있다. 이와 함께 산업용, 에너지용 목질바이오매스 관심의 급등과 중국, 인도 등 국가의 경제발전에 따른 수요증가 등으로 전 세계적으로 목질자원 확보는 더욱 어려워지고 있는 실정이다. 뿐만 아니라 전 세계적인 관점에서 지구환경보존 및 산림부국의 자원보호 정책 등 세계 산림자원에 대한 보호가 증대됨에 따라 목질자원을 대체할 수 있는 비목질 자원의 발굴도 시급한 상황이다. 이에 따라 국내에서는 동남아시아 및 중남미 등으로 해외조림사업을 확대하여 부족한 목질 바이오매스를 확보하기 위한 해외자원투자가 지속적으로 진행되고 있다. 특히, 신재생에너지 원료의 확보를 위한 오일팜 조림을 중심으로 한 바이오에너지 조림 사업의 경우 자원의 확보와 수익 창출 등의 이유로 더욱 많은 관심과 투자의 대상이 되고 있다. 현재 코린도, LG 상사, 대우인터내셔널, 대상 홀딩스 등 많은 기업에서는 인도네시아 등의 동남아 국가를 중심으로 다양한 오일팜 조림사업 투자를 활발히 진행하고 있는 실정이다.

이러한 오일팜 조림 및 관련 산업은 팜오일 이외에도 매우 많은 양의 바이오매스의 발생을 가져오게 된다. 대체로 팜오일 1 kg 생산시 약 10 kg의 부산물 바이오매스가 발생하는 것으로 알려져 있는데<sup>1)</sup> 오일팜 조림의 지속적 증가와 함께 팜오일 부산물 바이오매스의 발생량도 더욱 커질 것으로 예상되고 있다. 상대적으로 풍부하게 발생하는 오일팜 바이오매의 적절한 활용은 다양하게 수요가 커지고 있는 목질자원 대체용으로 관심의 대상이 있다. 다양한 오일팜 바이오매스 중 팜오일 추출공정에서 매일 지속적으로 발생하는 EFB (Empty Fruit Bunch)는 구조적으로 섬유상을 가지고 있으며 풍부한 셀룰로오스 함량을 지니고 있어 목질대체자원으로써 그 가치는 상당히 높은 것으로 알려져 있으나,<sup>2,4)</sup> 현지에서는 외부에 방치되거나 멀칭 등의 비료로써 활용되는 등 저급한 용도로 활용되고 있는 실정이다.<sup>5)</sup>

이러한 EFB의 섬유화를 통해 펄프제조용 원료로 활용하기 위한 지속적인 연구들이 진행되어 왔는데 소다-안트라퀴논 펄핑<sup>6)</sup> 또는 크라프트 펄핑<sup>7)</sup> 방법을 적용하여 EFB 펄프를 제조하여 종이의 원료로 활용하기 위한

연구 이외에도 알콜, 글리콜, 에테르 등의 유기용매를 적용하여 EFB 펄프를 제조하기 위한 연구들이<sup>8,9)</sup> 진행되었다. 특히, 유기용매를 적용하는 오르가노졸(Organosolv) 펄핑의 경우 전체 공정에서 용매와 물을 함께 사용하고 펄핑 후 증류를 통해 용매를 회수하여 다시 사용함으로써 용수사용량을 감소시킬 뿐만 아니라 황을 사용하지 않아 상대적으로 친환경적이고 흑액으로부터 다양한 부산물의 회수를 용이하게 함으로써 적용된 바이오매스의 각 성분별 분리 및 활용을 가능하게 하는 장점을 지니고 있어 최근 많은 관심의 대상이 되고 있다.<sup>10-12)</sup>

친환경적 특성과 부산물의 뛰어난 활용성으로 관심의 대상이 되고 있는 유기용매 기반의 펄핑의 적용을 위해서는 추가적인 시설 투자 및 펄핑시 상대적으로 높은 압력을 필요로 하는 단점이 있지만 에탄올아민(Ethanolamine)과 같은 높은 끓는점을 갖는 용매를 적용하는 경우 이러한 단점을 극복할 수 있을 것으로 생각되고 있다.<sup>13)</sup> 따라서 본 연구에서는 상대적으로 우수한 공정상의 장점을 가지는 오르가노졸 에탄올아민 펄핑 조건에 따른 EFB 섬유의 섬유화 특성 및 섬유특성의 변화를 기존의 소다펄핑 처리와 비교하여 평가하였다. 본 연구를 통해 향후 목질대체 원료로 가능성 높은 EFB의 활용성을 높일 수 있는 펄핑공정에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

인도네시아 오일팜 농장에서 재배되어 수확된 후 팜 오일 추출 공정 이후 배출된 EFB 시료를 분양받아 실험에 활용하였다. 함유 수분량 약 8%로 자연건조를 실시한 후에 기계적으로 섬유를 해리한 후, 정제된 시료를 준비하는 경우 모래 등의 불순물을 제거하기 위해 증류수로 세척을 여러 번 실시한 후 자연건조 하여 시료로 사용하였다.

### 2.2 원료의 화학적 조성 분석

EFB의 공정 특성상 외부에 방치되기 때문에 시료 자체에 모래 및 기타 이물질이 다량 포함되어 있다. 이러한 이물질들은 실제 EFB의 활용에 있어 많은 영향을 미칠 수 있기 때문에 그 영향정도 등을 고려한 평가를 위

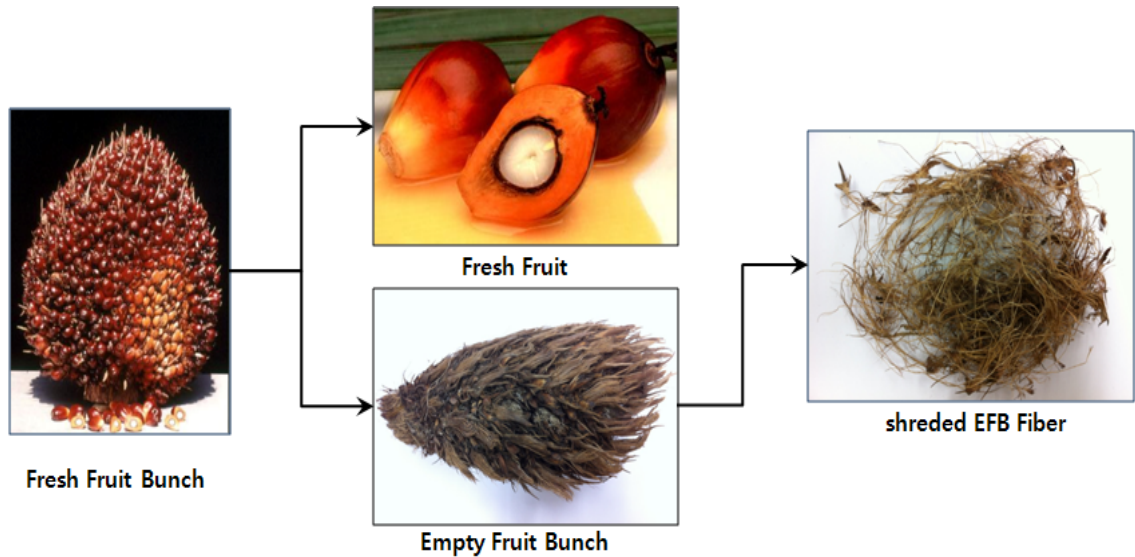


Fig. 1. Oil Palm EFB and shredded EFB fibers

해서 시료의 특성을 분석하기 위해 이물질 제거를 위한 세척 전처리를 한 시료와 실시하지 않은 시료로 나누어 2 가지 시료에 대한 성분분석을 진행하였다. 전건된 시료를 분쇄기로 분쇄하여 40-100 mesh로 입자크기를 조절한 뒤, 환류냉각기를 통해 4 시간 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 4 시간동안 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.

### 2.3 에탄올아민 펄핑 및 소다 펄핑

EFB의 섬유화는 20L Batch reactor를 이용하여 유기용매 펄핑을 시행하였으며, 사용 용매는 에탄올 아민 (Ethanolamine)을 적용하였다. 본 실험에서는 60%와 80%의 두가지 농도의 용매를 각각 적용하였으며, 온도는 170 °C, 펄핑 시간은 90 분, 반응 액비는 6 :1로 각 용매의 농도, 온도, 증해 시간, 액비를 조절하여 실험을 실시하였다. 오르가노솔 펄핑과 비교하여 기존의 소다 펄핑을 같은 공정조건에서 실시하여 펄핑효율성을 비교평가 하였다. 본 실험에서 적용된 각각의 펄핑조건은 Table 1에 정리하여 나타내었다. 펄핑 후 고압수 세척을 실시하였으며, 해리기를 통해 1200 rpm에서 30 분

Table 1. Conditions of organosolv ethanolamine pulping and soda pulping.

Symbol	Solvent	Solvent	Temperature	Cooking time	Liquid/solid ratio
		Concentration			
		(%)	(°C)	(min)	
N	NaOH	20			
E60	Ethanolamine	60	170	90	6:1
E80		80			
E60a	Ethanolamine + Anthra Quinone*	60			

\* Anthra-Quinone : 0,5% on oven dried raw material

간 해리를 진행하였다. 이후, 100 - 200 mesh로 분급하여 섬유화가 진행되지 않은 미증해분을 해리 및 제거하고 펄프 수율을 측정하였다.

### 2.4 펄핑효율 및 섬유특성평가

EFB의 에탄올아민 펄핑의 효율성 평가를 위하여 각각의 펄핑 이후 총 수율 및 스크린 수율을 측정하였고, 섬유 특성 평가를 위해 Canadian Standard Freeness를 통한 여수도 측정 및 Klason lignin법을 이용하여 펄프의 잔류 리그닌 함량 변화를 측정하였다. 펄프내 잔류 무기물 함량 측정을 통해 펄프 성분 특성을 분석하였다. EFB 펄프 섬유의 표면성분변화는 FT-IR Spectroscopic (ALPHA-P, Bruker Optic GmbH 사)을 사용하여 평가하였다. 섬유장, 조도 등 섬유의 형태적 특성을 섬유장분석기(Morfi Analyzer, L&W)를 이용하여 분석하였다.

각 펄핑 조건에 따른 4가지의 EFB 펄프 지료를 가지고 평량 60 g/m<sup>2</sup>으로 수초지를 제조하여(TAPPI standard T205 om 8), 인장강도측정기(L&W Tensile Tester)를 활용해 각각의 수초지 강도를 비교분석 하였으며, 밀도 등의 변화를 측정하였다. 섬유자체의 강도적 특성변화의 평가를 위해 zero span 강도를 zero span tensile tester(MTS 4/ML)를 사용하여 평가하였으면 이때 6단계의 미세간격별 강도를 평가하여 고유섬유자체강도(intrinsic zero span strength)를 비교평가하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 화학적 조성 분석

비세척 시료의 경우 부산물의 야적/방치에 따라 모래 등의 이물질이 다량 포함되기 때문에 높은 회분함량을 나타내는 것을 알 수 있다. 세척시료의 경우 온수추출 및 유기용매 추출량이 상대적으로 낮은 것은 세척과정을 통해 표면에 잔류하는 오일성분과 수용성 성분 등이 제거되기 때문으로 판단되었다. EFB의 Lignin 함량은 목재보다 낮은 것을 알 수 있는데, 이로서 EFB의 섬유화시 좀 더 완화된 조건에서의 섬유화가 가능할 것으로 판단되었다. EFB는 대체로 60% 이상의 높은 홀로셀룰로오스 함량을 지니고 있었고, 그 중 60% 가량의 α-셀룰로오스를 포함하여 셀룰로오스 자원으로써 활용 가치가 높은 것으로 판단되었다. (Table 2)

### 3.2 펄핑 특성 평가

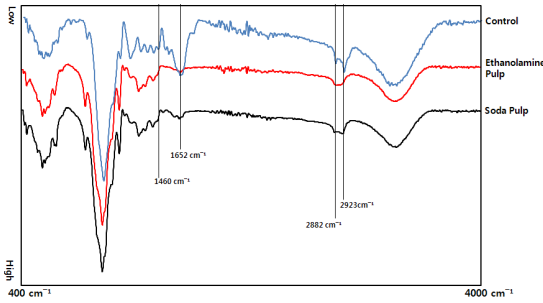
각 펄핑 조건에 따른 EFB 펄프 수율, 여수도, 리그닌 함량, 회분 함량 변화를 Table 3에 나타내었다. 에탄올아민을 적용한 경우 펄핑효율 면에서 같은 펄핑공정 조건의 소다펄핑 보다 개선된 수율을 보였으며, 에탄올아민 80%를 적용하였을 때 수율이 상대적으로 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 같은 농도의 약액을 사용하였을 때 안트라퀴논 0.5% 적용 시 수율이 약 4% 가량 개

**Table 2. Chemical composition of washed and non-washed EFB fiber.**

	Ash	Hot Water Extract	Alcohol-benzene extract	Klason Lignin	Holo-Cellulose			
					Holo Cellulose	α-Cellulose	β-Cellulose	γ-Cellulose
Washed	4.75	9.67	0.98	18.01	66.93	59.98	5.30	35.58
Non-Washed	12.79	13.37	2.38	19.49	52.64	61.96	6.67	29.52

**Table 3. Properties of EFB pulp obtained with Ethanolamine pulping and soda pulping.**

	Pulping Yield		Freeness	Lignin	Ash
	Screen yield (%)	Total yield (%)	CSF	(%)	(%)
NaOH	32.8	34.0	640	6.6	2.7
E60	38.5	41.1	656	5.4	2.8
E80	44.2	45.1	721	1.3	3.7
E60a	42.9	43.7	680	4.1	3.0



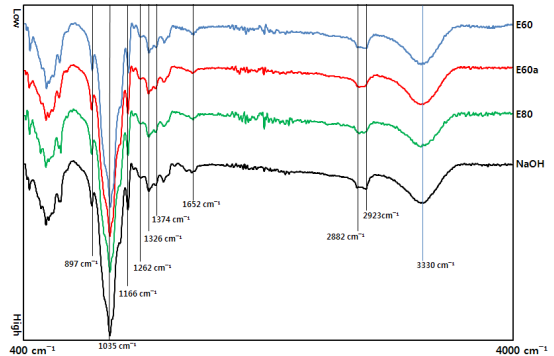
**Fig. 2. FT-IR ATR spectra of EFB fibers depending on the pulping methods**

선되는 것을 확인할 수 있었다. EFB 펄프는 전체적으로 높은 여수도 값을 나타내는 것을 볼 수 있었으며 80% 에탄올아민 적용 시 가장 높은 여수도 값을 나타내었다. 잔류 리그닌 함량 측정결과에 있어서도 에탄올아민 80%를 적용하였을 때 가장 많은 리그닌이 제거되는 것을 알 수 있었으며, 동일 에탄올아민 약액 조건에서 안트라퀴논을 적용 시, 탈리그닌성이 높아지는 것으로 나타났다. 또한 전체적으로 소다펄핑의 경우보다 에탄올아민 펄핑시 리그닌 제거 효율이 상대적으로 높음을 알 수 있었다.

### 3.3 EFB 펄프의 섬유특성 평가

#### 3.3.1 섬유 형태적 특성 변화

각각의 펄핑 조건별로 얻어진 EFB 펄프섬유와 상업적 크라프트 펄핑방법으로 제조된 기존 목재펄프 섬유의 형태적 특성을 섬유장분석기를 통해 비교분석하였



**Fig. 3. FT-IR ATR spectra of EFB fibers depending on pulping conditions**

다.(Table 4) EFB 펄프 섬유는 활엽수 섬유와 유사한 섬유길이를 가지고 있는 것으로 나타났으나 상대적으로 좁은 섬유 폭을 가지고 있었다. 그러나, EFB 섬유는 좁은 섬유 폭에 비해 활엽수보다 높은 조도를 가지고 있어서 섬유의 유연성이 낮고 상대적으로 섬유 간 결합면적이 낮게 나타날 것으로 판단되었다. 실제, EFB 펄핑 조건에 따른 섬유자체의 형태적 차이는 크게 나타나지 않는 것을 알 수 있었다.

#### 3.3.2 EFB 섬유의 표면화학 특성

EFB 섬유의 펄핑 방법과 조건에 따른 표면화학특성의 변화를 FT-IR을 활용하여 분석하였다. Fig. 2은 각각의 펄핑 방법에 따른 표면특성의 차이를 보여주고 있다. 1460  $\text{cm}^{-1}$  파장에서 펄핑 이후 CH기의 변형기인  $\text{CH}_3$ -기와  $-\text{CH}_2$ -기가 제거되는 것이 확인되는데 이는 펄핑

**Table 4. Comparison of fiber morphological properties between wood fibers and EFB fibers obtained with various pulping conditions.**

	Wood Fiber		EFB Fiber			
	Hardwood (HW-BKP)	Softwood (SW-UBKP)	NaOH	E60	E80	E60a
Average length weight in length ( $\mu\text{m}$ )	657	1914	648	632	601	635
Width ( $\mu\text{m}$ )	20.4	26.7	14.3	13.8	13.9	13.7
Coarseness (mg/m)	0.1	0.2	0.1216	0.1215	0.1324	0.1292
Curl (%)	6.2	15.4	4.6	4.2	4.1	4.3
Fine elements (% in length)	29.9	18.5	41.8	41.2	42.1	44.3
Percentage of fines (% in area)	9.9	2.3	6.65	8.08	9.1	11.4

에 의해 섬유표면 리그닌 구조가 변화되고 또한 탄화수소계 추출물의 감소로 인해 나타나는 결과로 판단된다. 1650cm<sup>-1</sup> 스펙트럼에서 C-O 결합과 O-H 결합이 펄핑 후 감소하는 경향을 보이는데, 펄핑 공정에 의해 셀룰로오스 및 헤미셀룰로오스 사이에 존재하는 C-O 결합이 끊어지는 영향으로 인해 발생하는 것으로 보여진다.<sup>14)</sup>

펄핑조건에 따른 EFB 펄프 섬유의 표면화학특성 변화를 FT-IR 분석기로 평가하여 Fig. 3에 나타내었다. 실제 서로 다른 펄핑조건에서 제조된 EFB 펄프섬유의 표면화학 특성에서는 뚜렷한 차이를 발견하지 못하였다..

### 3.3.3 펄핑방법에 따른 EFB 펄프 섬유의 자체 강도 변화

펄핑방법에 따른 각각의 EFB 섬유 자체 강도의 평가를 위하여 Zero span 강도를 측정하여 Fig. 4에 나타내었다. 각 6단계의 간격별로 강도를 평가하였는데 간격이 좁아 질수록 섬유자체의 절단에 의한 파괴가 발생함으로써 강도값은 높아지고 이러한 경향을 바탕으로 고유섬유강도(intrinsic zero span tensile strength)를 추정하였다. 에탄올아민 60% 처리한 EFB 섬유와 안트라퀴논을 첨가하여 처리한 섬유 그리고 소다펄핑을 실시하여 얻어진 섬유사이에는 유의한 강도적 차이는 보이지 않았으나 에탄올아민 80%의 조건으로 펄핑된 섬유의 강도는 상대적으로 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.4 제지적성 평가

각각의 펄핑조건으로 제조된 EFB 펄프의 제지적성을 평가하기 위하여 평량 60 g/m<sup>2</sup>의 수초지를 각각 제조하여 밀도 및 강도적 특성을 평가하였다. Table 6에서 볼 수 있듯이 소다펄핑을 적용한 펄프로 제조된 EFB 펄프의 인장강도가 에탄올아민 펄핑으로부터 제조된 EFB 펄프보다 높은 강도적 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 실제 섬유자체 강도의 경우 zero span 강도의 평가에서 보여지듯이 에탄올아민 80%에서 가장 높은 특성을 나타내었으나 섬유간 결합력과 결합면적 등이 작용하는 인장강도의 특성에서는 안트라퀴논을 적용하여 에탄올아민 펄핑을 실시한 경우에 상대적으로 우수한 강도적 특성을 보여주는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 수초지의 신장력이 높게 나타나 인장력의 흡수정도(Tensile Energy Adsorption)가 상대적으로 높은 값을 나타내는 특성을 확인할 수 있었다. 각 수초지에서 밀도 등 구조적인 특성에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

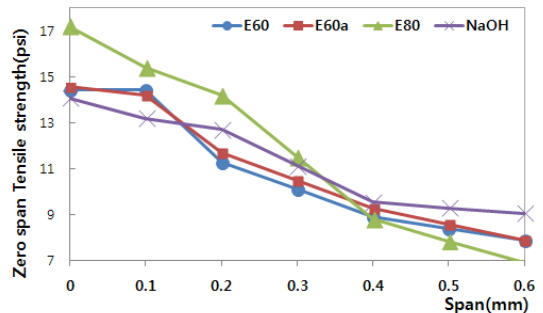


Fig. 4. Zero span tensile strength and intrinsic zero span tensile strength of EFB pulp fibers depending on the pulping methods

Table 6. Tensile strength, density and bulk of handsheet samples made of EFB pulp.

	NaOH	E60	E80	E60a
Tensile IND (Nm/g)	14.84	12.74	13.1	16.4
Breaking L (km)	1.51	1.3	1.34	1.67
Elongation (mm)	1.2	1.03	1.11	1.39
Tensile Energy Adsorption (J/m <sup>2</sup> )	6.55	4.72	5.48	8.93
E-Modulus (Gpa)	0.585	0.525	0.494	0.679
Tens. STIFF (kN/m)	122.3	111.4	110.6	137.5
Density (g/cm <sup>3</sup> )	0.29	0.29	0.29	0.31
Bulk (cm <sup>3</sup> /g)	3.43	3.42	3.50	3.26

## 4. 결론

본 연구에서는 팜오일 제조과정에서 발생하는 EFB의 고도활용을 위한 방안으로서 오르가노졸 에탄올아민 펄핑 적용특성을 알아보았다. 상대적으로 높은 끓는 점을 가지는 특성으로 기존 소다펄핑과 같은 펄핑조건에서 적용이 가능한 에탄올아민 펄핑의 경우 같은 공정 조건의 소다펄핑법에 비해 높은 펄프 수율과 리그닌 제거효율이 나타나는 것을 확인할 수 있었고 에탄올아민의 농도가 높을수록 그 효과가 큰 것을 알 수 있었다. 펄핑후 얻어진 EFB 섬유의 형태적 특성을 기존 목질섬유와 비교하였을 때 활엽수와 유사한 섬유장을 가지지만 섬유폭이 좁고 조도가 높은 특성을 가지고 있는 것을 알 수 있었다. 좁은 섬유 폭에 비해 활엽수보다 높은 조도를 가지고 있어서 섬유의 유연성이 낮고 상대적으로 섬유 간 결합면적이 낮게 나타날 것으로 판단되었다. 실제, EFB 펄핑조건에 따른 섬유자체의 형태적 차이는 크게 나타나지 않는 것을 알 수 있었다. Zero span 강도의 평가를 통해 EFB 섬유 자체강도의 변화를 평가하였을 때 에탄올아민 80% 조건에서 가장 우수한 강도적 특성을 나타내는 것을 확인되었으나, 인장강도의 평가에서는 에탄올아민과 안트라퀴논을 함께 처리한 EFB 섬유가 가장 우수한 값을 나타내었다. 에탄올아민 펄핑의 경우 기존의 소다펄핑과 비교하였을 때 수율과 EFB 펄프 섬유자체의 특성면에서 상대적으로 우수한 결과를 가져올 수 있음을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다. 향후 에탄올아민 펄핑 흑액으로부터 리그닌 및 기타 성분의 회수 및 재활용 가능성을 고려할 때 최적공정조건 도출과 약액회수 방법 등이 보완된다면, EFB의 통합적 활용을 위한 방안으로 에탄올아민 펄핑의 적용가능성이 높을 것으로 판단되었다.

## 사 사

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

## 인용문헌

1. Chan, K.W. Biomass production in the oil palm industry. In oil palm and the environment-A Malaysian Perspective. Malaysian Oil Palm Grower's Council, (1999).
2. M. S. SREEKALA, M. G. Kumaran1, Sabu Thomas, Oil palm fibers : morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties, Journal of Applied Polymer Science, 66(5): 821-835 (1997).
3. Kim, D-S. Sung, Y.J., Kim, C-H., Kim, S-B., Effects of pre-treatments on the oil palm EFB fibers, Journal of KTAPPI, 44(6): 36-42 (2012).
4. Kwei-Nam Law. Wan Rosli Wan Daud, Arniza Ghazali, Morphological and chemical nature of fiber strands of oil palm empty fruit bunch, Bioresources, 2(3):351-362 (2007).
5. Prasertsan, S., Prasertsav, P., Biomass residues from palm oil mills in Thailand: an overview on quantity and potential usage, Biomass and Bioenergy, 11(5): 387-395 (1996).
6. L. Jimenez, L., Serrano, L., Rodriguez, A., Sanchez, R., Soda-anthraquinone pulping of palm oil empty fruit bunches and beating of the resulting pulp, Bioresource Technology, 100: 1262-1267, (2009).
7. TANAKA, R., WAN ROSLI W. D., MAGARA, K., IKEDA, T., HOSOYA, S., Chlorine-free bleaching of Kraft Pulp from oil palm empty fruit bunches, JARQ, 38 (4): 275-279 (2004).
8. Gonzalez Alriols, M., Tejado, A., Blanco, M., Mondragon, I., Labidi, J., Agricultural palm oil tree residues as raw material for cellulose, lignin and hemicelluloses production by ethylene glycol pulping process, Chemical Engineering Journal, 148 : 106-114 (2009).
9. Rodriguez. A., Serrano, L., Moral, A., Jimenez, L., Pulping of rice straw with high-boiling point organosolv solvents, Biochemical Engineering Journal, 42 : 243-247 (2008).
10. Belgacem, M.N., Blayo, A., Gandini, A., Organosolv lignin as a filler in inks, varnishes and paints, Industrial Crops and Products, 18 : 145-153 (2003).

11. Alriols, M.G., Garcia, A., Llano-ponte, R., Labidi, J., Combined organosolv and ultrafiltration lignocellulosic biorefinery process, *Chemical Engineering Journal*, 157 :113-120 (2010).
12. Ferrera, A., Vegab,A., Rodríguez, A., Jiménez, L., Acetosolv pulping for the fractionation of empty fruit bunches from palm oil industry, *Bioresource Technology*, 132 : 115-120 (2013).
13. Jime'nez, L., Angulo, V., Caparro's, S., Ariza, J., Comparison of polynomial and neural fuzzy models as applied to the ethanalamine pulping of vine shoots, *Bioresource Technology* 98 : 3440 - 3448 (2007).
14. Muller, G., Schopper, C., Vos, H., Kharazipour, A., Polle, A., FTIR-ATR spectroscopic analyses of changes in wood properties during particle - and fibre board production of hard-and soft wood trees, *Bioresources*, 4(1) : 49-71(2009).