

# 해외 바이오매스 에너지자원 확보를 위한 기초조사 1 - 팜 바이오매스<sup>1</sup>

이 형 우<sup>2,†</sup>

## Basic Study on Oversea Biomass Energy Resources 1 - Palm Biomass<sup>1</sup>

Hyoung Woo Lee<sup>2,†</sup>

### 요 약

2012년 신재생에너지공급의무화제도 시행으로 국내 목재펠릿 수요가 급증하고 있으나, 현재 우리나라의 목재펠릿 자급률은 10% 수준에 머물러, 급증하는 수요를 충족하기 어려울 것으로 예상된다. 따라서 안정적인 공급과 가격이 보장될 수 있는 새로운 바이오매스의 발굴을 통하여 목재펠릿에 대한 폭발적인 수요를 대체하는 일은 우리뿐만 아니라 세계적으로 시급한 과제라 할 수 있다. 본 연구의 분석결과 고체 팜 바이오매스 중 대표적인 EFB (empty fruit bunch) 와 MF (mesocarp fiber)의 2012년도 연간 발생량(함수율 10% 기준)이 말레이시아와 인도네시아에서 각각 약 2,800만 톤과 2,000만 톤으로, 두 지역에서만 연간 총 4,800만 톤이 발생되는 것으로 추정된다. 연료적 특성에 있어서도 EFB의 발열량이 목재의 90% 수준을 상회하므로 목재펠릿을 대체할 수 있는 우수한 바이오매스 에너지자원이라 할 수 있다. 다만, 높은 회분함량으로 인하여 주택이나 온실의 난방용으로는 부적합하지만 발전용이나 산업용으로는 충분히 사용 가능할 것으로 판단된다.

### ABSTRACT

RPS (Renewable Portfolio Standard) has increased wood pellet demand dramatically in recent years in Korea where self-supply rate of wood pellet is not more than 10%. However global production capacity of wood pellet is prospected to be unable to meet the global demand after 2020. Therefore it is urgently needed to develop new sustainable biomass energy resources which can replace wood pellet at lower cost. As a result of this study EFB (empty fruit bunch) and MF (mesocarp fiber), the representative solid palm biomass, are estimated to be generated at the rate of 20 and 28 million tons per year (based on 10% moisture content) in Malaysia and Indonesia, respectively in 2012. Total annual generation rate of EFB and MF is estimated as 48 million tons per year only in Malaysia and Indonesia in 2012. With calorific value of over 90% of wood pellet EFB is expected to be a excellent biomass energy resource which can

<sup>1</sup> Date Received February 4, 2014, Date Accepted April 16, 2014

<sup>2</sup> 전남대학교 산림자원학부. Division of Forest Resources, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 이형우(e-mail: hwlee@jnu.ac.kr)

replace wood pellet. EFB can be utilized as fuel for power generation or industrial purpose. However EFB may not be a proper fuel for domestic and greenhouse heating because of its high ash content.

**Keywords :** biomass, bio-energy, palm, palm biomass, empty fruit bunch, pellet

## 1. 서 론

2009년 우리 정부는 녹색성장정책을 수립하여 2009년 당시 총 1차 에너지 소비량의 2.5% 수준인 신재생에너지 비율을 2020년까지 10% 수준으로 높인다는 목표를 설정하였다. 특히, 신재생에너지 공급 의무화(RPS: Renewable Portfolio Standard) 제도를 수립하여 바이오에너지에 의한 발전량을 2008년 대비 2020년까지 20배 정도를 증가시키는 방안을 제시하였다.

본 제도는 일정규모 이상의 발전설비를 보유한 발전사업자에게 총 발전량의 일정량 이상을 신재생에너지로 생산한 전력을 공급토록 의무화한 제도이다(신재생에너지 개발/이용/보급 촉진법 제12조의 5). 본 제도를 통하여 발전사에게 직접적으로 신재생에너지 공급을 의무화함으로써 보급을 촉진하는 것이 주목적이다. 이를 통하여 신재생에너지의 조속한 산업화와 시장 확대 등으로 산업 경쟁력 강화와 일자리 창출을 도모하고자 하였다. 한편으로는 당시까지 신재생에너지 보급에 중추적인 역할을 하고 있던 발전차액(FIT) 제도 이행비용을 전력시장을 통하여 보전함으로써 정부예산을 절감하고자 하는 목적도 있었다.

본 제도가 적용되는 공급의무자로는 신재생에너지 설비를 제외한 설비규모 50만 kW 이상의 발전설비를 보유하는 업체 및 K-water와 한국지역난방공사 등 총 13개사가 포함되었다. 그러나 2012년도에 공급의무대상자들은 공급의무량 대비 약 64.7%만을 이행하였으며 태양광발전은 95.7%인 반면 비태양광 부문은 63.3%로 저조하였다. 따라서 총 253억여 원의 과징금이 부과되는 상황으로까지 이어졌다.

이와 같이 비태양광 신재생에너지부문의 실적이 저조한 것에는 여러 가지 원인이 있을 수 있으나 바이오매스의 경우 현재 대부분의 공급의무대상자들이

목재펠릿에만 의존하고 있는 실정을 들 수 있다. 2013년 국내 목재펠릿 총 생산량은 약 8만여 톤 수준인 반면 발전용으로 사용된 펠릿의 양은 약 40만 톤에 이르는 것으로 추정하고 있다. 실제 지난해 거의 50만 톤에 이르는 목재펠릿이 해외로부터 수입된 것으로 보고되고 있다(Ahn 등 2013; Han 2013). Lee (2012)는 현재의 RPS제도가 지속될 경우 2020년 우리나라의 목재펠릿 소요량을 500만 톤 이상으로 예상한 바 있으나 우리 정부는 2020년 국내 목재펠릿 자급 목표량을 100만 톤으로 확정된 바 있다(Han 2013). 결국 앞으로도 최소 80% 이상의 고품 바이오 연료를 해외로부터 도입해야만 국내 소요량을 충족시킬 수 있음을 알 수 있다.

세계 목재펠릿 시장에 대해 제시한 전망은 Table 1과 같다(Poyry 2012). 2010년도 전 세계의 목재펠릿 생산량은 16.60백만 톤이었으며, 15.51백만 톤이 소비되어 비교적 균형을 이루었다. 한편, 본 자료에서는 중국이 자국 수요량의 100%를 자체적으로 공급할 수 있다는 가정을 하고 있으나 이는 매우 실현이 불가능한 상황이라 판단된다. 2020년도 서유럽 전체의 수요량이 23.80백만 톤으로 예상되는 반면, 중국은 서유럽의 42% 수준인 10백만 톤 규모로 예측되고 있다. 만일 중국의 자체 공급능력이 크게 저하될 경우 전 세계적으로 심각한 공급 부족 사태가 초래될 것으로 예상된다.

2011년 기준으로 전 세계 목재펠릿 제조공장은 870여 개로 파악되고 있으며, 이 중 70% 이상이 연간 생산능력 5만 톤 미만의 중소형 규모를 나타내고 있다(Arnold, H, NA). 약 20% 정도인 150~160개 공장이 연간 생산능력 5~10만 톤 규모이며, 최근 들어 연산 10만 톤 이상의 초대형 목재펠릿 제조공장이 준공되거나 계획되는 사례가 크게 증가하고 있다. 향후 2015년까지 펠릿 수요량이 약 2배 증가할 것으로 예상되며, 그에 따라 생산능력도 증가될 것으

**Table 1.** Status and Prospects of global wood pellet market

(Unit : million tons/year)

Region	Production (P)			Consumption (C)			P-C		
	2010	2015	2020	2010	2015	2020	2010	2015	2020
North America	4.90	8.50	11.00	3.40	4.30	5.60	1.50	4.20	5.40
South America	0.10	3.00	4.40	0.05	0.12	0.20	0.05	2.88	4.20
West Europe	7.70	10.70	13.00	10.80	16.40	23.80	-3.10	-5.70	-10.80
East Europe	2.20	2.80	3.30	0.40	0.60	0.80	1.80	2.20	2.50
Russia	0.80	1.40	1.60	0.03	0.05	0.05	0.77	1.35	1.55
China	0.60	3.00	10.00	0.60	3.00	10.00	0.00	0.00	0.00
Korea/Japan	0.10	0.40	1.10	0.20	3.80	5.50	-0.10	-3.40	-4.40
Oceania	0.20	0.40	0.80	0.03	0.06	0.13	0.17	0.34	0.67
Total	16.60	30.20	45.20	15.51	28.33	46.08	1.09	1.87	-0.88

(Source : Poyry, 2012)

로 예상한 결과 2015년에도 균형을 이룰 수 있을 것으로 예상하고 있다. 그러나 2020년에는 그 균형이 깨져 공급 부족의 상황을 예측하고 있다. 공급부족의 주된 원인은 중국을 비롯한 한국과 일본의 수요가 크게 증가하기 때문인 것으로 예측되고 있다.

Table 1에 나타난 바와 같이 공급과 수요의 차이가 크면 대상물의 가격상승은 필연적인 현상이다. 연료가격의 급격한 상승은 결국 다른 연료들에 대비한 해당 연료의 경제적 타당성이 크게 손상되어 고려대상에서 제외될 가능성이 높아지게 될 것이다. 이와 같은 상황은 곧 신재생에너지로서 목재펠릿 나아가 바이오매스 연료 또는 고품 바이오연료에 대한 기피 현상을 초래할 수 있다. 따라서 안정적인 수급과 가격수준으로 목재펠릿을 대체할 수 있는 새로운 연료용 바이오매스 자원의 발굴과 개발이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 우선 세계적으로 많은 관심이 집중되고 있는 팜 바이오매스의 발생현황과 이용 가능성에 대하여 조사하고 그 활용 가능성을 분석하고자 하였다.

## 2. 세계 팜유산업 현황

2007년 기준 세계의 팜 재배면적은 주요 식물성 오일 작물 재배면적의 4.8%에 지나지 않지만 식물성 오일 총 생산량의 거의 35%에 이를 정도로 생산성이 우수하다. 예를 들어 팜, 유채, 해바라기 및 대두의 1 ha 당 연간 오일 생산량은 각각 3.66톤, 0.6톤, 0.46톤 및 0.36톤일 정도로 팜유의 생산성이 매우 높다. 또한, 생산된 오일을 에너지로 환산한 양(output energy)과 오일 생산을 위해 투입된 에너지(input energy)에 대한 비율을 보면 팜 9.58배, 유채 3.04배, 및 대두 2.50배 등으로 팜유의 에너지수지(energy balance)가 매우 우수하다(RSPO, NA). 따라서 적도 부근의 팜 재배가 가능한 국가들은 경쟁적으로 팜 재배를 하고 있다.

2011년 세계 식물성 오일 소비량의 32.8%를 차지한 팜유는 대두유(28.4%), 유채씨유(16.0%) 및 해바라기씨유(8.6%) 등 주요 식물성 오일에서 가장 높은 비율을 나타내고 있다. 팜유의 약 3/4는 식품제조에 사용되고 있으며, 그 나머지는 화학제품, 동물사료 및 연료 등의 산업에 사용되고 있다. 2010년도 세계의 연간 식물성 오일 수요는 1억2천만 톤이었으나

**Table 2.** Global supply and demand of palm oil (2005~2012)

(Unit : million tons/year)

Supply								
Year	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Indonesia	15.2	15.5	15.3	17.7	21.0	22.1	23.9	24.9
Malaysia	13.5	15.5	16.7	18.9	17.6	17.0	18.8	18.7
Others	4.7	5.0	5.7	6.0	6.7	6.8	7.3	7.6
Total	33.4	36.0	37.7	42.6	45.3	45.9	50.1	51.2
Growth (%)	11.7	7.8	4.8	12.8	6.3	1.3	9.3	2.1
Demand								
Year	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Europe	4.2	4.4	4.5	4.9	5.6	5.7	5.4	5.5
China	4.3	5.2	5.5	5.7	6.0	6.0	6.2	6.6
India	3.4	2.9	3.7	4.9	6.6	6.8	6.7	7.0
Indonesia	3.5	3.7	3.9	4.4	4.8	5.4	6.2	6.8
Malaysia	1.9	2.2	2.2	2.4	2.4	2.1	2.0	2.1
Others	15.4	17.0	17.7	19.0	20.0	20.5	22.2	23.0
Total	32.7	35.4	37.5	41.3	45.4	46.5	48.7	51.0
Growth (%)	11.4	8.4	5.9	10.1	8.7	2.4	4.8	4.4

(Source: European Union Delegation to Malaysia, 2012)

2050년에는 2억4천만 톤으로 2배 정도까지 증가할 것으로 예상되고 있다. 따라서 팜유 역시 2012년 5천1백만 톤에서 2050년 7천5백만 톤으로 증가될 전망이다(European Union Delegation to Malaysia, 2012).

Table 2를 보면 인도네시아가 2012년도 기준 세계 팜유공급량의 약 49%를 담당할 정도로 세계에서 가장 큰 팜유 공급 국가이며 그 뒤를 말레이시아(2012년도 기준 약 37%)가 잇고 있음을 알 수 있다. 두 국가는 세계 팜유 공급량의 85% 이상을 담당하고 있다. 지난 수십 년간 세계의 팜유 수요량은 연평균 230만 톤씩 증가하여 왔다.

말레이시아의 팜 조림면적은 2011년 5백만 ha에 도달하였다. 2010년에 비하여 약 3% 정도 증가한 것으로 주로 보르네오 사라왁 지역의 경작면적 증가에

의한 것이다. 한편, 말레이시아의 팜 경작면적 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 지역은 보르네오 사바주로 전체의 약 28.6%(143만 ha)에 이르며, 그 다음이 20.4%(102만 ha)인 사라왁 지역이다. MPOB (Malaysian Palm Oil Board)에 따르면 말레이시아에서 팜 재배가 가능한 최대면적은 560만 ha이며 현재까지 500만 ha가 경작되고 있어 추가적으로 재배가 가능한 면적은 60 ha만이 남았다고 할 수 있다 (MPOB 2011).

인도네시아는 말레이시아의 팜유산업 성장을 표본으로 하여 지난 십 수년 간 팜 경작면적을 크게 확장하여 왔으며, 그 결과 경작면적이 연평균 37만 ha씩 증가되었다. 2011년도 현재 765만 ha에서 팜이 경작되고 있으며, 인도네시아 정부소유 토지 중 2,450만 ha가 팜 경작에 적합한 판정을 받은 것으로 보고되고

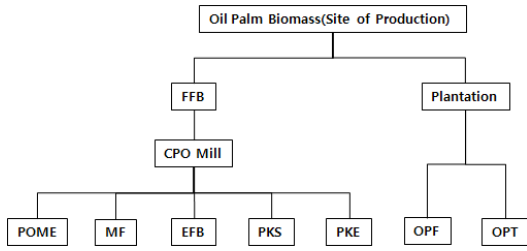


Fig. 1. Generation of palm biomass.

있다. 2012년까지 신규로 토지 용도변경을 허가해준 면적도 650~700만 ha에 이르며, 2020년까지 팜 경작면적이 1,300만 ha로 증가될 것으로 예상되고 있다. 그러나 최근 환경에 대한 관심이 높아지면서 노르웨이와 인도네시아 정부 사이에 팜 조림면적의 급속한 확대를 지연하기 위한 협약이 이루어지기도 하였다. 한편, 인도네시아에서도 수마트라 지역의 팜 원유생산량이 인도네시아 전체 팜 원유생산량의 65%에 이를 정도로 수마트라 지역이 팜유산업의 중심이 되고 있다(PwC Indonesia 2012).

UNEP (2011)의 분석에 의하면 향후 팜 경작면적 증가의 가능성이 가장 큰 지역으로 브라질의 아마존 강 유역을 들고 있다. 말레이시아와 인도네시아는 이미 포화상태에 있으나 브라질과 콩고가 팜 경작이 가능한 열대림 지역을 가장 많이 보유하고 있는 것으로 파악되고 있다.

### 3. 팜 바이오매스의 발생과 분류

오일팜(oil palm (*Elaeis guineensis*))은 아프리카 서부와 중부에서 자생하는 African oil palm으로 알려져 있다. 오일팜으로부터 발생하는 팜 바이오매스는 발생장소에 따라 Fig. 1과 같이 분류할 수 있다.

오일팜 재배현장에서는 주기적으로 팜나무의 수간인 OPT (oil palm trunk)와 줄기인 OPF (oil palm frond)가 발생된다. 만일 OPT의 수액(sap)을 이용하여 바이오에탄올을 생산한다면 압착에 의한 수액채취과정에서 고체인 섬유상 물질이 발생된다. OPF의 경우에도 건조와 분쇄과정을 거치면 섬유상 물질을

얻을 수 있다.

재배현장에서 수확된 FFB (fresh fruit bunch)는 CPO (crude palm oil) 공장으로 수송되어 팜원유 생산 공정에 투입된다. 우선 FFB로부터 열매(fruit)가 분리되고 이 과정에서 EFB (empty fruit bunch)가 발생된다. 분리된 열매는 압착과정을 통하여 과육으로부터 팜원유가 생산되고 여기서 팜유박이라 할 수 있는 섬유상의 MF (mesocarp fiber)가 발생된다. 한편, 열매의 과육으로부터 분리된 씨앗은 파쇄과정을 거쳐 다시 PKS (palm kernel shell)와 kernel로 분리된다. kernel로부터도 압착과정을 거쳐 kernel oil을 생산한다. 역시 이 과정에서 PKE (palm kernel expeller)가 발생된다. kernel oil은 의약품 등 매우 부가가치가 높은 제품의 원료가 되며, PKE는 우수한 동물사료의 원료가 된다. 한편, 본 과정에 투입된 대량의 물은 공정 중 발생하는 팜원유 및 잔사들과 섞여 폐수의 형태로 배출되며 이를 POME (palm oil mill effluent)라 한다. POME는 혐기성 발효과정을 통하여 바이오가스 생산에 활용될 수 있다.

따라서 팜 바이오매스는 고체, 액체 및 기체 등 여러 가지 형태로 발생되며 특히, 고체 바이오매스로는 EFB, MF, OPT와 OPF의 섬유, PKE 및 PKS를 들 수 있다.

### 4. 팜 바이오매스 발생량

경작지 가지치기와 재조림에 의해 각각 발생하는 OPF의 발생량은 말레이시아의 경우 각각 연간 9.8 ton-dry/ha와 14.9 ton-dry/ha 수준이라고 보고되고 있다. OPF 중량의 약 25%가 헤미셀룰로오스이므로 이는 바이오연료 등에 중요한 자원이 될 수 있을 것이다. 그리고 재조림 과정에서 발생하는 OPT의 발생량은 연간 62.8 ton-dry/ha 수준인 것으로 조사되었다 (Aljuboori, NA).

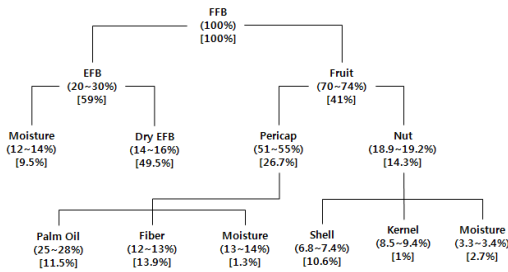
한편, 팜유공장에서 발생하는 주요 바이오매스들에 대한 공정상 투입 중량은 FFB의 중량을 기준으로 한다. 말레이시아의 경우 FFB 투입량 1톤당 EFB, MF, PKS 및 POME는 각각 18%, 13%, 5.4% 및 64% 수준으로 알려져 있다. 팜원유 생산공장에서 1

**Table 3.** Generation of palm biomass in Malaysia, 2011

(Unit: ten thousand tons/year)

Palm biomass	Generation (dry basis)
OPF (from pruning)	4,365
OPF (from 5% replantation)	340
OPT (from 5% replantation)	1,547
EFB	640
MF	613
PKS	388
POME (67% of FFB)	5,570

(Source: May and Aziz, 2012)



**Fig. 2.** Generation rate of palm biomass according to the quality of FFB.

(( ) high quality, [ ] low quality)

(Source : Prasertsan and Prasertsan, 1996)

톤의 팜 원유 생산을 위해서는 5.0~7.5 m<sup>3</sup>의 물이 필요하며 이 중 50% 이상이 POME로 배출되게 된다. 처리되기 전의 POME에는 고농도의 유기물질이 포함되어 있으므로(COD 69,500 mg/l, BOD 25,000 mg/l) 이를 이용하여 바이오가스의 생산도 가능할 것이다(Prasertsan과 Prasertsan 1996).

Fig. 2는 FFB의 품질에 따라 팜 부산물의 발생률이 달라짐을 보여주고 있다. FFB의 품질은 FFB 단위중량 당 열매 총 중량의 비로 판정하는 것이 일반적이며 따라서 FFB의 품질이 저하될수록 팜유 수율은 하락하는 반면 팜 부산물의 발생률은 증가되기 마련이며, 팜유 생산 공정의 효율과 적용기술에 따라서도 달라질 수 있다.

Table 3은 May와 Aziz (2012)가 보고한 2011년도 말레이시아의 팜 바이오매스 발생량 현황이다. 이 자

료에서 EFB의 발생량은 418개 팜유공장에서 83백만 톤의 FFB를 처리할 경우를 기준으로 하였다. 한편, FFB 투입량에 비하여 EFB 등 고체 바이오매스의 발생량이 적은 것은 발생된 고체 바이오매스의 일부를 팜유공장의 자체 연료로 사용하였기 때문으로 판단된다.

Singh (2011)은 2010년 말레이시아 팜유 산업에서 발생된 고체 바이오매스가 건량기준으로 약 8천만 톤에 달하였으며, 액체 바이오매스인 POME도 6천만 톤 수준이었다고 보고하였다. 이는 Table 3의 2011년도 통계와 유사한 수준이나 2020년까지 말레이시아의 팜 바이오매스 발생량은 고체와 액체(POME) 모두 최대 1억1천만 톤/년으로 증가될 것으로 예상하고 있다.

Table 2의 2012년도 세계 팜유생산량을 기준으로 하여 팜 바이오매스 발생량을 추정한 결과는 Table 4와 같다. 팜원유 수율이 FFB 투입량 1톤당 평균 14%로 가정하면 연간 총 투입된 FFB는 약 3,200만 톤이 된다. 여기서 EFB, MF 및 PKS의 발생률을 각각 FFB 투입량의 23%, 12% 및 6%로 가정하였다.

따라서 전 세계에서 연간 약 1억5천만 톤(습량기준) 규모의 팜 바이오매스가 팜유공장 자체에서 발생하는 것으로 추정할 수 있다. 이 중 약 56%를 EFB가 차지하고 있으며, EFB의 함수율을 60%(습량기준)로 가정할 때 함수율 10%기준 건조 EFB의 연간 발생량은 약 3,700만 톤/년으로 추산된다. 여기에 MF 연간 발생량 약 1,900만 톤/년(함수율 10%기준)을 더하면 건량기준 연간 약 5,600만 톤/년의 섬유상

**Table 4.** Estimation of annual palm biomass generation in the world, 2012

(Unit : ten thousand tons/year)

Region	Indonesia	Malaysia	Others	Total
Crude palm oil production	2,490	1,870	760	5,120
FFB	17,786	13,357	5,429	36,571
Palm biomass generation	7,292	5,476	2,226	14,994
EFB	4,091	3,072	1,249	8,411
MF	2,134	1,603	651	4,389
PKS	1,067	801	326	2,194

**Table 5.** Estimation of annual generation of oil palm trunk and oil palm frond in Indonesia and Malaysia, 2011

(Unit : ten thousand tons/year)

Region	Indonesia	Malaysia	Total
Green OPT	2,367	1,547	3,914
<u>Green OPF</u>	<u>7,199</u>	<u>4,705</u>	<u>11,904</u>
sub-total	9,566	6,252	15,818
Dried OPT	355	232	587
<u>Dried OPF</u>	<u>1,080</u>	<u>706</u>	<u>1,786</u>
Sub-total	1,435	938	2,373

팜 바이오매스(EFB와 MF)가 팜유공장 자체에서 발생된다고 할 수 있다. 한편, 인도네시아의 팜 바이오매스 발생량이 전 세계 발생량의 약 49%를 차지하고 있다.

Carl Bro Intelligent Solutions (2004)의 분석에 의하면 투입된 FFB의 70% 정도가 폐기물로 배출된다. 이들이 제시한 팜유공장 자체의 에너지원으로 재활용하는 대안에서는 EFB가 투입 FFB의 약 23% 수준으로 발생하는 것으로 가정하고 있다. 즉, 습량기준 1톤의 FFB가 0.73톤의 증기와 함께 투입되면 140~220 kg의 팜유가 생산된다. 이때 230 kg의 EFB가 MF와 PKS 190 kg이 함께 발생되고 이들을 모두 이용하게 되면 120 kWh의 에너지 생산이 가능하다. 동시에 600~700 kg의 POME가 발생되며 이를 이용하면 20 m<sup>3</sup>의 바이오가스도 생산할 수 있다고 가정하고 있다. 한편, FFB 1톤당 처리공정에 요구되는 에너지는 20~25 kWh이므로 잉여 에너지의 판매도 가능하게 된다.

Patumsawad (2002)에 의하면 태국의 팜 바이오매

스 발생률은 말레이시아와 다른 수준을 보이고 있다. 투입된 FFB의 습량기준 중량을 기준으로 EFB, MF 및 PKS가 각각 28%, 12% 및 8% 발생된다고 한다. 이처럼 팜 바이오매스의 발생률은 각 국가별로 식재되어 있는 팜 종자 및 가공방법과 적용기술 수준에 따라 달라짐을 알 수 있다.

OPT와 OPF는 재배현장에서 발생되어 채취와 수집에 많은 어려움이 있지만 이 역시 대량으로 발생하는 팜 바이오매스라 할 수 있다. 말레이시아와 인도네시아의 2011년도 팜 재배면적은 각각 500만 ha와 765만 ha이며, 2012년도 말레이시아의 OPT와 OPF 발생량인 1,547만 톤과 4,705만 톤의 발생비율을 인도네시아에 동일하게 적용할 경우 각각 2,367만 톤과 7,199만 톤이 발생하는 것으로 추정할 수 있다. 이때 OPT와 OPF의 함수율을 최고 85%(습량기준)로 적용하면 말레이시아와 인도네시아의 OPT와 OPF의 건량기준(함수율 105) 발생량은 Table 5와 같이 추산된다. 따라서 두 나라로부터 OPT와 OPF를 이용하여 생산이 가능한 고형연료자원은 최대 2,373

**Table 6.** Fuel characteristics of EFB pellet, wood pellet and bagasse pellet

Item	EFB pellet	Bagasse pellet	Wood pellet
C (%)	47.2	48.2	50.4
H (%)	6.0	6.1	5.9
N (%)	0.6	0.3	< 0.1
O (%)	38.2	44.3	43.3
Ash (%)	7.9	1.1	0.3
S (%)	0.12	0.03	< 0.01
Cl (%)	0.46	0.05	< 0.01
Moisture (%)	11.0	9.7	7.5
GHV <sup>*1</sup> (MJ/kg)	19.35	19.26	20.27
NHV <sup>*2</sup> (MJ/kg)	18.05	17.93	18.99
Particle density (kg/m <sup>3</sup> )	1152	1049	1013
Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	630	590	600

(\*<sup>1</sup> Gross heat value, \*<sup>2</sup> Net heat value)  
(Source : Erlich and Fransson, 2011)

**Table 7.** Fuel characteristics of palm biomass pellet, rice straw pellet and wood pellet

Item	Straw pellet	Wood pellet	Palm biomass pellet
Moisture (%)	7.5	7.5	5.9
Volatile materials (%)	71.3	82.8	88.2
Ash (%)	12.8	1.2	4.2
Fixed carbon (%)	8.4	8.5	1.6
Particle density (kg/m <sup>3</sup> )	1060	1265	982
NHV (MJ/kg)	15.8	19.1	19.7

(Source : FRIM, 2011)

만 톤/년(OPT 587만 톤/년, OPF 1,786만 톤/년)에 이를 것으로 추정된다.

## 5. 팜 바이오매스의 연료적 특성

### 5.1. EFB

팜 바이오매스에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 EFB의 일부는 지금까지 파쇄와 건조를 통하여 매트리스용 DLF (dried long fiber)로 가공되어 특히 중국을 중심으로 대량 수출되어 왔으나 불안정한 품질과 극심한 경쟁으로 최근 수요가 크게 줄고 있다. 또한, 말레이시아에서 EFB를 섬유판이나 플라스틱복합재료 등으로 개발하였으나 세계 건축경기 침체로 이 역시 EFB 활용의 대안이 되지 못하고 있다. 따라서 말레이시아와 인도네시아 등 대표적인 팜유 생산국

들에서는 대량으로 발생하는 EFB의 새로운 활용방안 모색이 중요한 현안이 되고 있다.

Erlich와 Fransson (2011)은 직경 6 mm EFB 펠릿을 제조하여 목재펠릿 및 bagasse 펠릿과의 연료특성을 비교하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다. EFB 펠릿은 거의 대부분의 특성에서 목재펠릿과 유사한 수준의 품질특성을 보여주고 있다. 다만, EFB 펠릿의 회분함량이 다른 펠릿들에 비하여 높게 나타나고 있는 점은 유의해야 할 것이다. 특히, EFB 자체에 대한 회분함량이 5~6% 수준임에도 EFB 펠릿의 회분함량이 거의 8% 수준으로 나타난 것은 EFB의 취급과정에서 보다 철저한 관리가 요구된다는 점을 의미한다고 할 수 있다. EFB 발생장소나 수집과정에서 토양에 노출된 야적장 등에서 원료가 관리된다면, 인위적인 요인에 의한 회분 함량 상승은 불가피한 결과이다.



**Table 8.** Fuel characteristic of OPT, MF, Jatropha press cake and rice husk pellet

Biomass	Ash (%)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	NHV (MJ/kg)	Specific pelletizing energy (kWh/kg)
OPT	3.1	0.75	17.0	2.56
MF	12.2	0.53	17.1	1.37
Jatropha press cake	8.6	0.63	16.3	0.56
Rice husk	-	0.68	15.1	1.37

(Source : Yoshida, NA)

FRIM (2011)이 각종 팜 바이오매스를 혼합하여 제조한 펠릿의 특성을 벗짚 펠릿과 목재펠릿에 비교한 결과는 Table 7과 같다. 이 자료를 보면 팜 바이오매스 펠릿이 목재펠릿에 비하여 전반적으로 연료적 특성이 불량하지만 벗짚 펠릿에 비해서는 상당히 우수함을 알 수 있다. 특히, 회분함량과 발열량에서 그 차이가 현격히 나타나고 있다.

## 5.2. OPT와 OPF

OPT (oil palm trunk)의 활용에 대해서도 많은 연구가 진행되어 왔다. Erwinsyah (2008)은 OPT의 목재로서의 활용을 위한 연구에서 OPT의 물리적 특성에 대하여 분석한 결과 함수율은 부위와 계절에 따라 50~80%에 이를 정도로 매우 높은 편임을 확인한 바 있다. 또한, 밀도는 0.16~0.23 g/cm<sup>3</sup> 수준으로 일반 목재에 비하여 낮은 수준임을 보고하였다. 따라서 OPT를 에너지원으로 사용할 경우 높은 함수율과 낮은 밀도가 장애요인으로 작용할 수 있음을 예상할 수 있다.

Yoshida 등(NA)이 OPT, MF, Jatropha press cake 및 왕겨를 이용하여 제조한 펠릿의 특성을 비교한 결과는 Table 6과 같다. 이 자료를 보면 OPT 펠릿이 월등히 낮은 회분함량과 높은 겉보기밀도를 나타내어 펠릿의 품질이 우수함을 알 수 있다. 그러나 OPT의 경우에는 함수율이 매우 높고 원목으로부터 톱밥 형태의 입자로 분쇄해야 하기 때문에 건조와 분쇄 공정 등에 많은 에너지가 소모되므로 펠릿생산에 소요되는 에너지가 가장 높았다.

Trangkraprasith와 Chavalparit (2011)은 태국산

OPF (oil palm frond)를 이용한 펠릿의 발열량 향상을 위한 방법을 모색한 바 있다. 이들은 OPF 입자에 바이오디젤 제조공정으로부터 발생하는 글리세롤 폐기물을 1:1 비율로 첨가하여 펠릿을 제조함으로써 겉보기밀도 994~997 kg/m<sup>3</sup>, 순발열량 17.78~20.51 MJ/kg, 함수율 2.12~4.35% 및 회분함량 11.3~16.0% 수준의 OPF 펠릿을 얻을 수 있었다고 보고한 바 있다. 이 자료에서 특기할 사항은 겉보기밀도와 회분이 매우 높다는 점이며, 이는 글리세롤 첨가의 영향으로 생각된다.

## 6. 결 론

본 연구에서 해외 도입이 가능한 바이오매스 에너지자원 중 우선적으로 팜 바이오매스를 조사대상으로 선택한 것은 인도네시아와 말레이시아라는 일부 지역에서 집중적이며 안정적으로 발생되기 때문이다. 본 연구의 분석결과 팜유공장의 고체 팜 바이오매스의 2012년도 연간 발생량(습량기준)이 말레이시아와 인도네시아에서 각각 약 5,400만 톤과 7,300만 톤으로, 두 지역에서만 연간 약 12,700만 톤이 발생되는 것으로 추정된다. 가지치기나 재조림 등의 간헐적인 작업에서 발생하는 OPT와 OPF, 그리고 이미 중국, 일본 및 유럽뿐만 아니라 말레이시아와 인도네시아 자국에서 사용량이 증가하고 있는 PKS를 제외한 EFB와 MF만으로도 두 나라의 연간 발생량은 함수율 10% 기준 약 4,800만 톤에 이른다.

연료적 특성에 있어서도 EFB의 발열량이 목재의 90% 수준을 상회하므로 목재펠릿을 대체할 수 있는 우수한 바이오매스 에너지자원이라 할 수 있다. 다

만, 높은 회분함량으로 인하여 주택이나 온실의 난방 용으로는 부적합하지만 발전용이나 산업용으로는 적합할 것으로 판단된다.

공급과 수요의 불균형으로 인하여 목재펠릿의 가격이 상승하고 있고, 그 상승 추세가 갈수록 심각해질 것으로 예상되므로 RPS제도 관련 발전사들의 바이오매스에 대한 경제적 타당성에 대한 부정적 반응도 증대될 것이다. 결과적으로 바이오매스 에너지의 활용도가 낮아지게 되면 국내 바이오매스 관련 산업에도 치명적으로 영향을 미치게 될 것이다. 따라서 팜 바이오매스와 같이 안정적 공급과 가격이 보장될 수 있는 새로운 바이오매스 에너지자원을 발굴하고 개발하는 일이 매우 시급한 일이라 하겠다.

## 사 사

이 연구는 2013년도 전남대학교 연구년제 연구교수 연구지원비에 의하여 수행되었음.

## REFERENCES

- Ahn, B.J., Kim, Y.S., Lee, O.K., Cho, S.T., Choi, D.H., Lee, S.M. 2013. Wood pellet production using domestic forest thinning residues and their quality characteristics. *Journal of Korean Wood Science and Technology* 41(4): 346-357.
- Aljuboori, A.H.R. NA. Oil palm biomass residue in Malaysia: Availability and sustainability. *Industrial Journal of Biomass & Renewables*.
- Carl Bro Intelligent Solutions. 2004. Applicability of European Technologies in ASEAN market. EC-ASEAn COGEN Programme(COGEN 3).
- Erlich, C., Fransson, T.H. 2011. Downdraft gasification of pellets made of wood, palm-oil residues respective bagasse: Experimental study. *Applied Energy* 88: 899-908.
- Erwinsyah. 2008. Improvement of oil palm wood properties using bioresin. Ph.D. Thesis, Technische Universitat Dresden.
- European Union Delegation to Malaysia. 2012. The Malaysian palm oil sector - Overview. Report courtesy of Trade and Economic Section, EU Delegation to Malaysia.
- FRIM. 2011. EU-Malaysia biomass entrepreneurs nurturing programme (EUM-BENP). Forest Research Institute Malaysia.
- Han, G.S. 2013. Korea wood pellet market in 2013 - Status and future. Chungbuk National University.
- Lee, H.W. 2012. Biomass demand in Korea. *CanBio* 2012, Nov. 2012, Vancouver, Canada.
- May, C.Y., Aziz, A.A. 2012. Adding value to biomass utilization in the oil palm industry. *ASM International Conference(ASMIC) 2012*, Jul. 10 ~12, 2012, Kuala Lumpur, Malaysia.
- MPOB. 2011. Briquetting of empty fruit bunch fibre and palm shells using piston press technology. MPOB TT No. 456.
- Patumsawad, S. 2002. Fluidized bed combustion of oil palm solid waste. *The Journal of KMITNB* 12(2): 15-20.
- Poyry. 2012. Biomass imports to Europe and global availability. IEA 2nd Workshop - Cofiring biomass with coal.
- Prasertsan, S., Prasertsan, P. 1996. Biomass residues from palm oil mills in Thailand: An overview on quantity and potential usage. *Biomass and Bioenergy* 11(5): 387-395.
- PwC Indonesia. 2012. Palm oil plantation: Industry landscape, regulatory and financial overview, 2012 Update. PwC Indonesia.
- RSPO. NA. Palm Oil : It has the scent of violets, the taste of olive oil and a colour which tinges food like saffron but is more attractive. RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil) Fact Sheet.
- Singh, K.J. 2011. National biomass strategy 2020: New wealth creation for Malaysia's palm oil industry. AGENSI INOVASI MALAYSIA.

Trangkprasith, K., Chavalparit, O. 2011. Heating value enhancement of fuel pellets from frond of oil palm. IPCBEE 1: 302-306.

UNEP. 2011. Oil palm plantations: Threats and opportunities for tropical ecosystems. UNEP Global

Environmental Alert Service(GEAS).

Yoshida, T., Tetsuya, S., Koichi, Y., Erliza, H. NA. Characteristics of pellet from oil palm, jatropha, and rice residues. NA.