

열대산 미이용 수종의 해부 및 연소특성 분석

Anatomical and combustion characteristics of unused wood grown in Indonesia

장재혁^{1*}, 권구중¹, 권성민¹, Fauzi Febrianto², 김남훈¹

(¹강원대학교 산림환경과학대학 산림바이오소재공학과, ²Bogor Agricultural University)

1. 연구목적

현재 우리나라는 장기적인 유가상승에 대비하여 산림을 통한 대체에너지 개발과 관련 산업육성을 위한 기반 및 탄소배출권을 확보하고자 해외산림자원 개발에 본격적으로 나섰다. 올해에 우리나라와 인도네시아 사이에 『목재바이오매스 에너지산업 육성협력에 관한 양해각서』 체결을 시작으로 다각적으로 해외산림의 효율적인 이용을 위해 노력하고 있다. 이러한 해외산림자원 개발 확대, 수입목재의 합리적인 이용 기술 개발은 자원의 안정적 공급과 관련 산업의 지속적인 발전을 도모하는데 중요한 과제일 것이다. 최근 들어 전 세계의 산림자원은 매년 감소하는 추세로 인해 안정적인 목재공급이 점점 어려워지고 있다. 특히 열대재는 상업용 목재생산을 위한 과도한 벌채 및 무분별한 산림개발로 인해 열대우림면적도 급속하게 감소되고 있다. 또한, 지금까지 원목 수출에 치중해 오던 산림자원 보유국들이 자국의 목재자원을 보호하고 이익을 극대화하기 위해 원목 수출을 억제하거나 금지시켜 목재가공을 자국내에서 생산하도록 하는 산림공업화정책을 실시하고 있다. 따라서 세계목재시장의 여건변화에 관계없이 목재의 안정적 확보를 위해서는 산림자원이 풍부한 자원 보유국과 협력관계를 강화하는 것도 중요하겠지만, 지금까지 목재의 성질이 밝혀져 있지 않거나 이용가치가 낮아 용재로서 사용하고 있지 않은 미이용 수종에 대한 목재성질의 구명을 통한 적정용도개발과 유용목재자원 수종의 확대를 안정적 목재자원 공급기반을 확충해야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 인도네시아에서 자생하는 미이용 수종을 선정하여 해부학적 특성 및 목재 펠릿화를 위한 기초 연소특성을 조사하여 목질계 바이오매스 자원으로서의 활용 가능성을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 공시재료

본 실험에서는 인도네시아에서 자생하고 있는 10개 수종을 공시목으로 이용하였다(Table 1). 일반적으로 열대재는 계절의 변화가 적기 때문에 연륜이 불분명하고, 작은 입자가 융합하여 만들어진 실리카는 톱날이나 대팻날의 손상을 주어 원활한 목재칩 및 펠릿화가공을 저해하는 요소로 작용하기도 하는 특징이 있다.(권, 2008).

Table 1. Sample trees

Species	Height(m)	DBH(cm)
Gandaria (<i>Bouea macrophylla</i>)	27	30-55
Kupa (<i>Syzygium polycephalum</i>)	8-20	50
Mangga (<i>Mangifera indica</i>)	20-25	100-120
Mangium (<i>Acacia mangium</i>)	30	80-199
Gmelina (<i>Gmelina arborea</i>)	20	50-80
Rambutan (<i>Nephelium lappaceum</i>)	10-20	15
Jengkol (<i>Pithecelobium jiringa</i>)	6-20	25
Durian (<i>Durio zibethinus</i>)	20-30	70-100
Nangka (<i>Artocarpus integrata</i>)	15	90
Jeunjing (<i>Paraserianthes falcataria</i>)	3-8	30-60

2.2 실험방법

2.2.1 해부학적 특성

각 수종별 3단면을 구분하여 광학현미경(Nikon ECLIPSE, E600) 및 주사전자현미경(JEOL, JSM-5510)으로 관찰하였다.

2.2.2 발열량 측정

열량계(Parr 6300 calorimeter)에 전건 시료 0.5g을 넣고 450psi의 산소압력 하에서 점화하여 연소 전후의 온도변화로부터 열량을 계산하였으며, 동일 시료에 대하여 3회 반복 실시하였다.

2.2.3 회분율 측정

회분율은 국립산림과학원 고시 제2009-2호에 따라 측정하였다(국립산림과학원, 2009).

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100$$

A : 회분율, m_1 : 도가니의 무게, m_2 : 도가니 + 시료의 무게, m_3 : 도가니 + 회분의 무게

3. 결과 및 고찰

3.1 해부학적 특성

Table 2. A summary of anatomical characteristics

Species	classification by size of ray*		vessel multiple pore in tangential direction	apotracheal parenchyma		paratracheal parenchyma				Inclusion in parenchyma	
	diseriate	multiseriate		diffuse-in- aggregates	banded apotracheal parenchyma	AP**	BP	CP	VP	crystalliferous cell	silica
<i>B. macrophylla</i>	○					○	○	○		○	
<i>S. polycephalum</i>		○ (2-4)							○		
<i>M. indica</i>		○ (2-3)			○	○				○	○
<i>A. mangium</i>	○		○		○	○	○				
<i>G. arborea</i>		○ (2-6)					○				
<i>N. lappaceum</i>	○					○		○	○	○	
<i>P. jiringa</i>	○	○ (2-4)		○						○	
<i>D. zibethinus</i>		○ (2-5)						○		○	
<i>A. integra</i>		○ (2-5)				○		○			
<i>P. falcataria</i>								○		○	○

*uniseriate ray was observed in all species.

**AP : aliform parenchyma, BP : banded paratracheal parenchyma, CP : confluent parenchyma, VP : vasicentric parenchyma.

공시재료는 모두 산공재로 이루어져 있었으며, *A. mangium*에는 방사 및 접선 복합관공이 혼재해 있는 반면, 그 외 수종에서는 방사복합관공만이 관찰되었다. *P. jiringa*에서 짧은 접선상유조직이 관찰되었고, 독립대상유조직은 *M. indica*와 *A. mangium*에서 관찰되었다. *G. arborea*와 *N. lappaceum*에는 동성형방사조직형이 존재하였고, *P. falcataria* 외 5개 수종에서 결정세포가 관찰되었으며 특히 *P. falcataria*과 *M. indica*에는 다량의 실리카가 함께 관찰되었다. 접선단면에서 방사조직 분포는 모두 산재방사조직으로 단열에서 다열까지 다양한 형태를 나타낸 것으로 관찰되었다.

3.2 발열량 및 회분율

Table 3은 공시목의 변-심재를 구분하여 전건 후, 측정된 발열량 및 회분율 결과이다. 발열량은 변재와 심재간 차이가 크지 않았으며 *S. polycephalum*의 심재부가 4,481kcal/kg으로 가장 높았으며, *P. falcataria*의 심재부가 3,716kcal/kg으로 가장 낮게 나타났다. 권 등(2009)은 국내에서 시판중인 목재펠릿과 수입산 목재펠릿의 특성을 비교한 결과, 인도네시아산 목재펠릿의 발열량이 4,235kcal/kg이라고 보고한 바 있으며, 본 연구는 이와 유사한 수치를 나타내었다. 저자 등(장 등, 2010)은 활엽수재의 수종별 발열량의 차이가 침엽수보다 크다고 보고한 바 있으며, 이는 목재내 화학조성분의 차이 및 추출물에 의해서도 발열량이 영향을 받는 것으로 생각된다. Tsoumis(1991)는 lignin 함량과 발열량간의 관계를 검토한 결과, 특별한 상관관계가 없는 것으로 보고하였다.

Table 3. Combustion properties of wood samples

Species	<i>B. macrophylla</i>		<i>S. polycephalum</i>		<i>M. indica</i>		<i>A. mangium</i>		<i>G. arborea</i>	
	SW*	HW	SW	HW	SW	HW	SW	HW	SW	HW
Heating value (kcal/kg)	4,292	4,297	4,365	4,481	4,253	4,213	4,262	4,428	3,885	3,919
Ash content (%)	1.97	1.54	1.55	1.51	2.22	2.13	0.87	1.28	1.93	1.81
Species	<i>N. lappaceum</i>		<i>P. jiringa</i>		<i>D. zibethinus</i>		<i>A. integra</i>		<i>P. falcataria</i>	
	SW	HW	SW	HW	SW	HW	SW	HW	SW	HW
Heating value (kcal/kg)	4,056	3,850	4,190	4,316	3,929	3,891	4,252	4,389	3,992	3,716
Ash content (%)	2.01	2.26	1.90	1.66	3.06	3.27	1.11	1.72	2.62	2.43

*SW : Sapwood, HW : Heartwood

회분율은 발열량과 마찬가지로 변-심재간의 차이가 크지 않았으며, 발열량과의 상관관계는 없는 것으로 나타났다. *A. mangium*의 변재부가 0.87%로 가장 낮았고, *D. zibethinus*의 심재부가 3.06%로 가장 높았으며 대체적으로 1~3%의 회분율을 갖는 것으로 조사되었다.

4. 결론

인도네시아산 미이용 수종에 대한 해부학적 특성 조사 결과, 횡단면 상에서 산공재와 고립관공 그리고 방사복합관공이 공통적으로 관찰되었으며 Jengkol에서 짧은 접선상유조직이, Mangga와 Mangium에서 독립대상유조직이 나타났다. 결정세포는 Jeunjing, Mangga, Gandaria, Jengkol, Rambutan, Durian에서 관찰되었고, Jeunjing과 Mangga에서는 다량의 실리카가 관찰되었다. 접선단면에서 방사조직 분포는 모두 산재방사조직으로 단열에서 다열까지 다양한 형태를 나타낸 것으로 관찰되었다. 발열량은 변재와 심재간 차이가 크지 않았으며, 평균 약 4,100kcal/kg으로 산림청 고시 목재펠릿 품질규격(2009) 3급에 해당하였다. 이 중 Kupa는 변-심재 평균 약 4,400kcal/kg으로 1급 규격에 해당하였다. 회분율은 발열량과 마찬가지로 변재와 심재간 차이가 크지 않았으며 평균 약 2%로 품질규격 2~3급에 해당하였다. 이상의 결과들은 해외산림의 목질계 바이오매스 자원으로의 효율적인 활용방안에 기초 자료를 제공할 것으로 생각된다.

5. 참고문헌

- 1) 국립산림과학원. 2009. 목재펠릿 품질 규격. 국립산림과학원 고시 제2009-2호.
- 2) 권구중, 김남훈, 차두송. 2009. 국내 시판중인 목재펠릿의 특성. Journal of Forest Science. Vol.25(2): 127-130.
- 3) 권주혁. 2008. 권주혁의 실용 수입목재 가이드. 나무신문사. pp.44-47.
- 4) 장재혁, 권구중, 권성민, 김남훈. 2010. 미활용 목질계 바이오매스 자원에 대한 연료로서의 가치평가. 한국산림바이오에너지학회 2010년도 학술발표회. pp.145-155.
- 5) Tsoumis, G. 1991. Science and technology of wood; Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold. New york. pp 200-201.