

목질펠릿으로 제조한 탄화물의 특성*1

한 규 성*2† · 김 병 로*2

Characteristics of Charcoal from Wood Pellet*1

Gyu-Seong Han*2† · Byung-Ro Kim*2

요 약

목질펠릿을 탄화하여 탄화물의 이용가능성을 알아보기 위하여 밀도, 수율, 원소조성, 발열량, 메틸렌블루흡착량 등의 특성을 분석하였다. 목질펠릿은 현사시, 일본잎갈나무, 잣나무, 소나무, 졸참나무의 수피를 포함한 톱밥을 이용하여 제조하였다. 목질펠릿으로부터 0.5~0.7 g/cm³의 고밀도 탄화물을 얻을 수 있었으며, 탄화온도가 증가하면 탄화물의 탄소함량과 발열량이 증가하였다. 목질펠릿으로부터 얻어진 탄화물의 메틸렌블루 흡착 특성은 목재의 것과 거의 유사하였다.

ABSTRACT

The objective of this research is to develop the technique for carbonization of wood pellet and analyze a possibility for the utilization of carbonized wood pellet. The properties of wood pellet charcoals, such as density, yield, elemental composition, higher heating value, and methyleneblue adsorption, were analyzed. Wood pellet was made of sawdust of Hyunsasi-poplar, Japanese larch, Korean pine, Korean red pine, and Jolcham-oak (serrate oak), respectively. The high density charcoal (0.5~0.7 g/cm³) was yielded from densified wood pellet. The carbon contents and calorific values of wood pellet charcoals were increased with the increase of carbonization temperature. The methyleneblue adsorptivity of wood pellet charcoal was similar to that of wood charcoal.

Keywords: wood pellet, charcoal, carbonization, elemental composition, higher heating value, methyleneblue adsorption

* 1 접수 2006년 4월 10일, 채택 2006년 4월 12일

이 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

* 2 충북대학교 산림과학부 School of Forest Resources, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

† 주저자(corresponding author) : 한규성(e-mail: wood@chungbuk.ac.kr)

1. 서 론

고형 연료로서의 바이오매스의 이용은 목재의 이용 중 가장 일반적인 형태로서 아직도 세계 각지에서 널리 이용되고 있다. 상품화 된 고형연료로는 칩의 형태의 이용이 일반적이지만, 최근에는 이용편의성 등의 이점 때문에 고밀화 한 목질펠릿의 이용이 점차 늘고 있다. 오일쇼크가 있었던 1970년대 이후 이들 고밀화연료가 개발되기 시작한 후 현재 북미와 유럽을 중심으로 가정용 및 산업용으로의 이용량이 꾸준히 증가하고 있으며, 일본에서도 1980년대 초 이후 재차 펠릿연료에 대한 관심이 높아지고 있다. 최근에는 고밀화연료를 이용하여 산업용 또는 가정용의 열 생산 외에도 열병합발전에도 이르기까지 그 규모가 점차 확대되고 있어, 목질펠릿연료의 경우 현재 북미지역과 스웨덴에서 각각 연간 70만 톤 정도 소비되고 있는 것으로 알려지고 있다.

또한 목질펠릿연료는 목재 폐기물 또는 산림잔재를 원료로 사용할 수 있고, 국내에서 생산·소비를 할 수 있다는 점에서 눈길을 끌며, 자원 활용의 차원에서도 재생가능하며 환경친화적이라는 점에서 유용한 이용법이 될 수 있다. 이러한 목질펠릿연료와 관련하여, Lehtikangas (2001)는 종류가 다른 원료로 제조된 펠릿연료의 연료적 특성에 대하여 보고하였으며, 한 등(2002, 2003)은 현사시 톱밥으로 제조한 고밀화연료의 특성에 대하여 보고하였다.

한편, 인류가 목탄을 사용한 이래 목탄은 우리의 생활과 매우 밀접한 관계를 유지해 오고 있다. 최근 들어 목탄의 갖가지 효능을 이용한 웰빙관련 상품의 급증은 목탄에 대한 인기를 증명해 주고 있다. 최근 들어 이들 목탄의 제조와 관련해서는 기존의 목재 원료 뿐만 아니라(Fuwape and Akindele, 1997), 리그노셀룰로오스를 함유하는 다양한 종류의 바이오매스 자원이 그 대상이 되고 있다(김 등, 1999, 2006; 공 등, 2002; Cordero *et al.*, 2001; Demirbas, 2001; Katyal *et al.*, 2003).

따라서 본 연구에서는 임산부산물을 가공하여 제조한 목질펠릿으로부터 그 형상을 유지한 새로운 형태의 탄화물로 제조하고자 그 가능성을 모색하였으며, 목질펠릿의 탄화특성 및 탄화물의 물성에 대하여 조

사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

시료는 현사시(Hyunsasi-poplar, *Populus alba* × *P. glandulosa*), 일본잎갈나무(Japanese larch, *Larix kaemferi*), 잣나무(Korean pine, *Pinus koraiensis*), 소나무(Korean red pine, *Pinus densiflora*), 졸참나무(Jolcham-oak (serrate oak), *Quercus serrate*)의 수피를 포함한 톱밥을 이용하였다.

2.2. 목질펠릿의 제조

8메쉬 표준체를 통과한 기건 상태의 톱밥을 피스톤 타입의 펠릿제조기를 이용하여, 온도 180°C, 압력 1500 kgf/cm², 3분간 압축하여, 지름 6.5 mm, 길이 10~30 mm의 펠릿을 제조하였다.

2.3. 탄화

목질펠릿을 탄화기를 이용하여 탄화온도 400°C와 600°C에서 4시간, 6시간씩 탄화하였으며, 탄화 전후의 중량비로 탄화수율을 산출하였다.

2.4. 원소분석

전건시료 1.5 mg을 원소분석기(CE Instruments의 EA1110)를 이용하여 탄소(C), 수소(H), 질소(N) 원소를 정량하였다. 산소(O)는 100%에서 C, H, N 함량을 감하여 구하였으며, 같은 시료에 대해 3번 측정하여 그 평균으로 나타냈다.

2.5. 열량 분석

전건시료 1 g을 열량계(Parr Instrument Co.의 1341 Oxygen Bomb Calorimeter)에 넣고 산소를 충전하고 점화하여 연소전후의 온도 변화로부터 전건열량(HHV, higher heating value)을 계산하였으며, 동일 시료에 대하여 3회 반복 실험하였다.

2.6. 공업분석

60 mesh를 통과하도록 분쇄한 시료를 KS E 3705 석탄류 및 코크스류의 공업분석방법(2003년 3월 21일 폐지)에 따라 수분, 회분, 휘발분 및 고정탄소를 측정하였다. 수분은 107°C에서 가열 건조하였을 때, 그 감량의 시료에 대한 무게백분율로 구하였다(KS E ISO589 무연탄-총 수분 함량의 측정 참조). 회분은 시료를 공기 중에서 815°C로 가열 회화하여, 잔류하는 재량의 시료에 대한 무게백분율로 구하였다(KS E ISO 1171 고형광물 원료-재 함량 측정 참조). 휘발분은 시료를 뚜껑이 있는 도가니에 넣고 공기와의 접촉을 피하도록 하여 900°C에서 7분 동안 가열한 후, 시료 무게에 대한 가열 감량 백분율을 구하고 여기에서 수분을 감하여 구하였다(KS E ISO 562 무연탄과 코크스-휘발성 물질의 결정 참조). 고정탄소는 100%에서 수분, 회분, 휘발분을 제하여 구하였다.

2.7. 메틸렌블루 흡착 시험

60 mesh를 통과한 탄화물에 대하여 KS M 1802 활성탄 시험 방법에 따라 메틸렌블루 흡착량을 측정하였다. 시료에 메틸렌블루 용액을 가하여 흡착시킨 후 여과하여 파장 665 nm에서 여과액의 흡광도를 측정하고, 잔류농도(미리 작성한 검정곡선으로부터 구함)에서 메틸렌블루 흡착량을 구하여 흡착등온선을 작성하고, 그 흡착등온선에서 메틸렌블루의 잔류농도 0.24 mg/L일 때의 흡착량을 구하여 메틸렌블루 탈색력으로 구하였다.

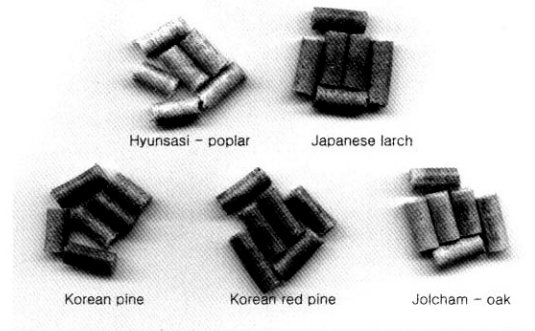


Fig. 1. Wood pellets.

3. 결과 및 고찰

3.1. 목질펠릿의 특성

피스톤식 펠릿제조기로 제조한 목질펠릿은 Fig. 1과 같으며, 다섯 수종 모두 우수한 펠릿 성형성을 지녔다.

현사시, 일본잎갈나무, 잣나무, 소나무, 졸참나무의 원소 조성과 열량을 분석한 결과를 Table 1에 나타냈다. 다섯 수종 모두 탄소(C)가 46.71~48.96%를 나타냈고, 산소(O)가 41.61~43.82%로 90% 이상을 차지하고 있었다. 수소(H)는 약 6%, 질소(N)는 약 3%의 원소 조성을 보였다. 이들 원소조성의 값은 수종간에 큰 차이를 나타내지 않았다.

전건한 목질펠릿의 열량은 19.58~20.93 MJ/kg으로 다섯 수종 간에 차이가 거의 없었다. 즉 일반적인 목재의 열량 범위에 포함되는 수준이었다.

Table 1. Elemental composition and higher heating value of wood pellet

Species	Elemental analysis				HHV ^b (MJ/kg)
	C (%)	H (%)	N (%)	O ^a (%)	
Hyunsasi-poplar	46.91	6.05	3.23	43.81	19.58
Japanese larch	47.80	5.96	3.12	43.12	20.39
Korean pine	48.96	6.18	3.25	41.61	20.83
Korean red pine	48.53	6.27	3.07	42.13	20.93
Jolcham-oak	46.71	5.96	3.51	43.82	19.72

^a Calculated by difference.

^b Higher heating value.

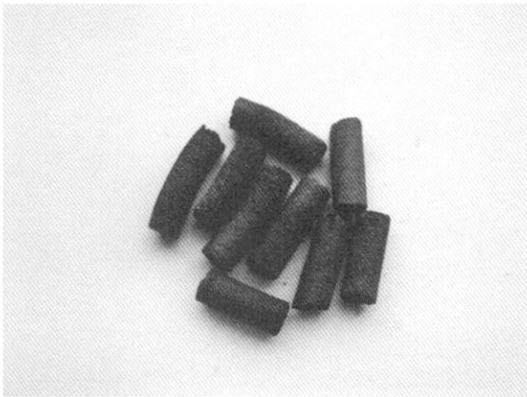


Fig. 2. Carbonized pellets.

3.2. 탄화물의 밀도와 탄화수율

목질펠릿을 탄화한 결과 Fig. 2와 같이 펠릿의 형상을 그대로 유지한 고밀도의 탄화물을 얻을 수 있었다.

탄화 전의 목질펠릿의 밀도는 1~1.2 g/cm³ 정도였으나, 탄화 후의 밀도는 Table 2와 같이 0.5~0.7 g/cm³ 정도로 낮아졌다. 그런데 이 밀도는 보통의 목재를 탄화하였을 때의 밀도보다는 훨씬 큰 값으로서(김 등, 1999), 같은 부피에서 비교할 때 총열량이 매우 크다는 것을 의미한다. 즉, 고급 연료용 탄화물의 특성을 지닌다고 할 수 있다. 또한 탄화물의 밀도는 탄화 시간에 의해서는 큰 영향을 받지 않았으나, 탄화온도가 증가함에 따라 크게 감소하였다.

Table 3은 400°C와 600°C에서 4시간과 6시간씩 탄화된 목질펠릿의 탄화수율을 나타낸 것이다. 탄화수율은 탄화온도가 400에서 600°C로 증가하면 약 30%로부터 약 20%로 크게 감소된 반면, 탄화시간이 증가

하여도 탄화수율의 변화는 미미한 편이었다. 수종별로는 일본잎갈나무의 탄화수율이 다른 수종보다 약간 높았지만 대체로 균일한 탄화수율을 얻을 수 있었다.

이는 같은 수종의 목재시편 탄화수율과는 약간 다른 경향이었다(김 등, 1999). 목재의 경우 탄화온도가 400에서 600°C로 증가하면 탄화수율이 크게 감소하여 본연구와 같은 경향을 나타냈다고 보고하였다. 그러나 탄화시간과 관련해서는 600°C에서는 변화가 없었으나, 400°C에서는 탄화시간이 증가할수록 탄화수율이 크게 감소하는 경향을 보였다고 했다.

3.3. 탄화물의 특성

3.3.1. 수분, 회분, 휘발분 및 고정탄소

탄화물을 공업분석(proximate analysis)한 결과, Table 4와 같은 결과를 얻었다. 수분은 모든 수종에서 5% 미만을 나타냈으며, 회분은 1.4~5.0%를 나타냈는데 잣나무와 졸참나무가 다른 수종에 비해 다소 높은 편이었다. 휘발분은 탄화온도가 높아지면 급격히 감소하는 경향을 나타냈으며, 그만큼 고정탄소량은 증가하였다. 그러나 탄화시간이 길어져도 휘발분 및 고정탄소량은 거의 변하지 않았다. 600°C에서 4시간 탄화한 탄화물의 고정탄소량은 85% 이상으로 높게 나타난 바, 4시간의 탄화시간으로도 충분히 정련된 탄화물을 얻을 수 있음을 나타내는 것이다. 김 등(1999)은 목재탄화물의 공업분석에서 고정탄소가 현사시나무 73.9%, 일본잎갈나무 81.8%, 잣나무 83.1%, 소나무 81.8%라고 보고한 바 있다.

Table 2. Effects of carbonization temperature and times on the density of carbonized wood pellets

Species	Density (g/cm ³)			
	at 400°C, 4 hr	at 400°C, 6 hr	at 600°C, 4 hr	at 600°C, 6 hr
Hyunsasi-poplar	0.58	0.57	0.51	0.48
Japanese larch	0.72	0.70	0.53	0.54
Korean pine	0.64	0.61	0.52	0.48
Korean red pine	0.67	0.64	0.53	0.52
Jolcham-oak	0.66	0.65	0.56	0.53

Table 3. Effects of carbonization temperature and times on the yield of carbonized wood pellets

Species	Yield (%)			
	at 400°C, 4 hr	at 400°C, 6 hr	at 600°C, 4 hr	at 600°C, 6 hr
Hyunsasi-poplar	285	272	185	182
Japanese larch	328	325	229	223
Korean pine	314	307	210	204
Korean red pine	299	295	206	201
Jolcham-oak	301	299	215	210

Table 4. Proximate analysis of carbonized wood pellets

Species	Condition	Proximate analysis (%)			
		Moisture ^a	Ash ^b	Volatile matter ^b	Fixed carbon ^{b, c}
Hyunsasi-poplar	400°C, 4 hr	2.8	1.5	30.2	68.3
	400°C, 6 hr	3.7	1.5	29.1	69.4
	600°C, 4 hr	3.0	1.6	12.0	86.4
	600°C, 6 hr	2.0	1.9	13.0	85.1
Korean pine	400°C, 4 hr	3.1	2.4	29.0	68.6
	400°C, 6 hr	4.0	3.6	26.7	69.7
	600°C, 4 hr	3.2	2.6	11.3	86.1
	600°C, 6 hr	2.5	2.6	12.9	84.5
Jolcham-oak	400°C, 4 hr	4.0	2.6	25.8	71.6
	400°C, 6 hr	4.5	2.5	25.2	72.3
	600°C, 4 hr	4.1	5.0	10.0	85.0
	600°C, 6 hr	3.1	3.0	10.9	86.1
Japanese larch	400°C, 4 hr	2.8	1.4	30.1	67.9
	400°C, 6 hr	3.7	1.5	29.1	69.4
	600°C, 4 hr	3.0	1.6	12.0	86.4
	600°C, 6 hr	2.0	1.9	13.0	85.1
Korean red pine	400°C, 4 hr	3.1	1.5	28.6	69.9
	400°C, 6 hr	3.8	1.6	28.0	71.4
	600°C, 4 hr	3.5	1.9	10.6	87.5
	600°C, 6 hr	2.3	1.6	13.5	84.9

^a As received basis.

^b Moisture free basis.

^c Calculated by difference.

3.3.2. 발열량과 원소 조성

탄화되지 않은 목질 펠릿의 발열량은 Table 1과 같

이 약 20 MJ/kg이다. 탄화된 목질 펠릿의 발열량을 측정
한 결과, 탄화조건에 따라 발열량이 달랐는데, 400
°C에서는 약 28.5~30 MJ/kg, 600°C에서는 약 31~35

MJ/kg로 나타났다. 즉, 탄화된 목질펠릿의 발열량은 탄화되지 않은 펠릿의 발열량보다 훨씬 높은 값을 나타냈으며, 탄화온도가 증가할수록 발열량도 증가하였으나 탄화시간과는 특별한 관계를 보이지 않았다.

탄화물의 원소 조성은 Table 5와 같이 탄화 전의 목재나 목질펠릿과는 전혀 다른 값을 나타냈는데, 탄화에 의해 탄소의 구성비가 매우 커지는 대신 산소 함량은 크게 줄어들었다. 탄소함량은 공업분석으로 얻어진 Table 4의 고정탄소량보다 다소 높은 값을 나타내기는 하지만 대략 일치하는 경향을 보였다. Cordero 등(2001)은 원소 조성에 따른 발열량의 연구에서 발열량은 탄소 함량에 비례하고 산소 함량에 반비례한다고 하였다. 이는 Table 5에서도 확인할 수 있는데, 낮은 온도에서 탄화한 시료는 탄소함량이 낮은 동시

에 산소 함량이 높아 발열량이 낮게 나타났다.

3.3.3. 탄화물의 메틸렌블루 흡착량

탄화물의 흡착 능력을 알아보기 위하여 메틸렌블루 흡착량을 조사한 결과 Table 6의 결과를 얻었다. 탄화온도 및 탄화시간이 증가함에 따라 탄화물의 메틸렌블루 흡착량은 증가하는 경향을 보였다. 그러나 절대적인 값으로 볼 때 0.01~3.08 mg/g의 비교적 낮은 값을 나타냈으며 보통목재의 탄화물과 비슷하였다. 이는 400°C와 600°C에서 탄화한 탄화물은 대체로 3 mg/g 이하의 메틸렌블루 흡착량을 나타내고 800°C 이상에서 탄화한 탄화물의 메틸렌블루 흡착량이 크게 증대된다는 결과(공 등, 2002)와 일치한다.

Table 5. Elemental composition and higher heating value of carbonized wood pellets

Species	Condition	Elemental analysis				HHV ^b (MJ/kg)
		C (%)	H (%)	N (%)	O ^a (%)	
Hyunsasi-poplar	400°C, 4 hr	75.87	3.31	0.02	20.80	29.95
	400°C, 6 hr	76.78	3.30	0.03	19.89	28.46
	600°C, 4 hr	89.22	2.06	0.10	8.62	33.46
	600°C, 6 hr	87.52	1.94	0.12	10.43	32.94
Korean pine	400°C, 4 hr	75.46	3.33	0.19	21.03	30.19
	400°C, 6 hr	77.80	3.37	0.19	18.64	29.95
	600°C, 4 hr	87.38	2.00	0.30	10.31	33.45
	600°C, 6 hr	88.50	1.90	0.30	9.30	33.62
Jolcham-oak	400°C, 4 hr	74.79	3.21	0.66	21.34	29.88
	400°C, 6 hr	75.87	3.23	0.67	20.22	29.87
	600°C, 4 hr	84.79	1.83	0.56	12.82	31.43
	600°C, 6 hr	86.59	1.81	0.56	11.04	32.15
Japanese larch	400°C, 4 hr	76.45	3.33	0.13	20.09	29.36
	400°C, 6 hr	75.53	3.24	0.17	21.05	29.55
	600°C, 4 hr	87.23	2.04	0.18	10.55	31.50
	600°C, 6 hr	86.31	1.99	0.24	11.46	31.93
Korean red pine	400°C, 4 hr	75.68	3.32	0.08	20.92	29.45
	400°C, 6 hr	76.69	3.35	0.08	19.89	30.05
	600°C, 4 hr	87.97	2.06	0.17	9.80	34.76
	600°C, 6 hr	87.69	1.93	0.13	10.25	32.89

^a Calculated by difference.

^b Higher heating value.

Table 6. Methyleneblue adsorption capacity of carbonized wood pellets

Species	Adsorption of methyleneblue (mg/g)			
	400°C, 4 hr	400°C, 6 hr	600°C, 4 hr	600°C, 6 hr
Hyunsasi-poplar	0.73	1.43	1.71	1.92
Korean pine	0.66	1.01	1.87	2.12
Jolcham-oak	0.10	0.97	1.87	3.08
Japanese larch	0.41	1.22	1.52	1.73
Korean red pine	0.01	0.66	1.44	1.91

4. 결 론

현사시, 일본잎갈나무, 잣나무, 소나무, 졸참나무의 수피를 포함한 톱밥을 이용하여 제조한 펠릿을 400°C와 600°C에서 4시간, 6시간씩 탄화할 때의 탄화 특성 및 이들 탄화물의 특성을 조사한 결과 다음과 결론을 얻었다.

1. 탄화온도가 400에서 600°C로 증가하면 탄화수율은 약 30%로부터 약 20%로 크게 감소된 반면, 탄화시간이 증가하여도 탄화수율의 변화는 미미하였다.
2. 목질펠릿으로부터 0.5~0.7 g/cm³의 고밀도 탄화물을 얻을 수 있었으며, 수종에 따른 탄화수율의 차이는 거의 없었다.
3. 탄화온도가 증가하면 탄화물의 탄소함량과 발열량이 증가하여, 600°C에서 탄화한 것의 탄소함량은 85% 이상, 발열량은 약 31~35 MJ/kg으로 나타났다.
4. 목질펠릿으로부터 얻어진 탄화물의 메틸렌블루 흡착특성은 목재의 것과 거의 유사하였다.

참 고 문 헌

1. Cordero, T., F. Marquez, J. Rodriguez-Mirasol, and J. Rodriguez. 2001. Predicting heating values of ligno-

cellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. *Fuel* 80: 1567~1571.

2. Demirbas, A. 2001. Carbonization ranking of selected biomass for charcoal, liquid and gaseous products. *Energy Conversion and Management* 42: 1229~1238.
3. Fuwape, J. and S. Akindele. 1997. Biomass yield and energy value of some fast-growing multipurpose trees in Nigeria. *Biomass and Bioenergy* 12(2): 101~106.
4. Katyal, S., K. Thambimuthu, and M. Valix. 2003. Carbonation of bagasse in a fixed bed reactor: influence of process variables on char yield and characteristics. *Renewable Energy* 28: 713~725.
5. Lehtikangas P. 2001. Quality properties of pelletized sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy* 20: 351~360.
6. 공석우, 김병로. 2002. 국산 주요 수종 및 목질재료 탄화물의 흡착특성. 목재공학 30(4): 33~40.
7. 김병로, 공석우. 1999. 미이용 목질 폐잔재의 탄화 이용 개발(1). 목재공학 27(2): 70~77.
8. 김병로, 이재용. 2006. 수피의 탄화 이용에 관한 연구, 목재공학 34(1): 40~51.
9. 한규성, 최돈하. 2002. 포플러로부터 고밀화연료의 제조. 임산에너지 21(3): 59~65.
10. 한규성, 여진기. 2003. 고밀화에 의한 현사시 톱밥의 고품 연료화. 임산에너지 22(2): 54~59.