국산 주요 수종 및 목질재료 탄화물의 흡착 특성(II)*¹

이 동 영*² · 김 병 로*^{2†}

Adsorption Characteristics of Charcoal from Major Korean Wood Species and Wood-based Materials (II)*¹

Dong-Young Lee*² · Byung-Ro Kim*^{2†}

요 약

본 연구에서는 한국산 주요 수종의 간벌재 및 목질재료의 탄화물로의 개발을 위해 이들을 탄화하여 기본물성 및 흡착 특성을 분석하였다. 탄화수율은 모든 수종과 목질재료에서 탄화온도 상승과 함께 감소했다. 정련도는 400°C에서는 9.0, 600°C에서는 3.3~5.0, 800°C에서는 0으로 나타났고, 수종 간 차이가 적은 것으로 나타났다. 고정탄소량은 탄화온도가 상승함에 따라 증가하였으며, 수종 간 침엽수재 탄화물이 활엽수재 탄화물 보다 높은 경향을 보였다. 비표면적은 탄화온도가 증가할수록 증가하였고, 수종 간 비표면적은 침엽수재가 활엽수재 탄화물보다 높게 나타났으며, 리기다소나무 탄화물이 733.9 m²/g으로 가장 높은 비표면적을 나타낸다. 포름알데히드 제거율은 탄화 온도 간에는 탄화온도가 증가할수록 높았으나 600과 800°C 사이에서는 600°C가 높은 것과 800°C가 높은 것이 공존해 나타났고, 수종 간은 잣나무, 졸참나무 및 MDF 탄화물이 600°C에서 높은 제거율을 나타냈다. 에틸렌가스 제거율은 탄화온도가 증가할수록 높은 제거율을 나타냈고, 수종 간에는 리기다소나무, 아카시나무 탄화물이 가장 높은 제거율을 나타낸다.

ABSTRACT

We analyzed the basic characteristics and adsorption property of carbonized materials from thinning byproducts of major Korean wood species for evaluating as charcoal making raw material. Yield of charcoal was decreased with increasing the carbonization temperature for all wood species. Refining degrees was 9.0 at 400°C, 3.3~5.0 at 600°C and 0 at 800°C, and was no

*¹ 접수 2011년 3월 7일, 채택 2011년 5월 19일

이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

*² 충북대학교 목재·종이과학과, Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 김병로(e-mail: brkim@chungbuk.ac.kr)

difference among wood species. With increasing the carbonization temperature, the fixed carbon content was also increased, and charcoal from softwoods had more fixed carbon content than that from hardwoods. Specific surface area was increased with increasing the carbonization temperature, softwood charcoal had more specific surface area than that of hardwood. *Pinus rigida* showed the highest specific surface area. In formaldehyde removal by charcoal, some materials had highest at 600°C and the others had highest at 800°C. *Pinus koraiensis*, *Quercus acutissima* and MDF showed maximum formaldehyde removal ability at 600°C. Ethylene gas removal ability of charcoal was increased with increasing the carbonization temperature, and the charcoal from *Pinus rigida* and *Robinia pseudoacacia* had higher ethylene gas removal ability than the other species.

Keywords: charcoal, Formaldehyde removal, Specific surface, Refining degrees, Ethylene gas removal, Fixed carbon content

1. 서 론

목탄은 주로 연료로서 옛날부터 이용되어 왔지만, 최근 목탄의 미세 다공성에 의한 고흡착력이 알려지면서 흡착제로의 이용 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 새집증후군의 원인이 되는 포름알데히드 흡착, 과일 및 야채의 선도유지를 위한 에틸렌가스 흡착, 음료수 중의 미량유기화합물 흡착, 가옥의 조습과 탈취 등의 흡착제로서 이용이 이루어지고 있다. 이로 인해 목탄의 생산이 2007년 기준 국내생산이 흑탄이 3,238 M/T, 백탄이 8,686 M/T (산림청, 2008) 정도로 최근 증가세를 보이고 있으며, 전국 100여 곳에 전통 숯가마의 부활과 여러 곳의 공업적 탄화로가 증설되고 있는 실정으로 우리나라의 목탄 산업은 앞으로 더욱 활성화 될 것으로 여겨진다.

목탄의 흡착성이 높은 것은 다공성에 의한 높은 비표면적을 가지기 때문이다. 목탄의 비표면적은 흑탄의 경우 일반적으로 200~300 m²/g정도이다(岸本 등 1964). 하지만 비표면적의 값은 탄화온도나 탄화시간 또는 수종에 따라 다양하게 변화하며, 활성탄 이상의 값을 보이기도 한다(김 등, 2002; 조 등, 2007). 이렇듯 목탄을 흡착제로 이용하기 위해서는 목탄의 흡착특성과 이와 관련한 비표면적, 총세공용적, 평균세공직경 등의 기초물성 조사가 필수적이라 생각한다. 그러나 현재 우리나라에서는 국내산 수종과 폐

기 목질재료 탄화물에 대한 조사는 거의 없고 목탄에 대한 이해는 왜곡돼 효능 검증 없이 참숯만을 고집하고 있는 실정이다. 따라서 목탄산업을 발전시키기 위해서는 수종에 따른 목탄의 성질과 제조특성을 조사하여 이들 목탄이 이용목적에 적합하게 사용되어져야 할 것으로 생각한다.

현재 국내 조립목이 대부분 간벌시기를 맞이하고 있어 많은 간벌소경목이 발생하고, 또한 파티클보드, MDF, 섬유판 등 목질재료가 앞으로 목질폐잔재의 주류를 이룰 것으로 생각된다. 이러한 간벌소경목이나, 특히 재활용이 어려운 폐기 목질재료(PB, MDF 등)를 탄화물로 제조하여 이용하면 목질폐잔재에 의한 쓰레기화를 방지하여 환경친화적일 뿐만 아니라 경제적 산출로 일석이조의 효과가 있으리라 생각된다.

따라서 본 연구에서는 전보(공 등 2002)에 이어 자원 면을 고려한 수종들과 여러 종류의 목질재료들을 선정 탄화하여, 이들에 대해 세공분석 및 포름알데히드 및 에틸렌가스 흡착 특성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

본 실험에서는 자원면을 고려해 선정한 침엽수 4 수종(소나무, 낙엽송, 잣나무, 리기다소나무), 활엽

Table 1. Type and manufacturing method of charcoal

	Type	Manufacturing method	Materials
Charcoal	Softwood (4 species)	Electric muffle furnace	Manufactured
	Hardwood (5 species)		
	Wood-based materials (3 products)		

Note : See Table 2 for the information on wood species of softwood, hardwood and wood-based materials.

Fig. 1. Electric muffle furnace.

Fig. 2. Experimentally prepared charcoal.

수 5수종(굴참나무, 상수리나무, 졸참나무, 아까시나무, 버즘나무), 목질재료 3종류(합판, 파티클보오드, MDF)를 전기로에서 각 조건으로 탄화하여 60 mesh로 분쇄 후 사용하였으며 제조법, 전기로 및 숯의 형태는 Table 1 및 Figs. 1~2와 같다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 탄화수율 및 비중, 정련도, 경도, 공극율

선정된 수종에 대해 $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$ 의 블록을 제작해 도가니($102 \times 102 \times 50 \text{ mm}^3$)에 넣어 뚜껑을 닫고 전기로(Thermolyne, Type 6000)에서 불활성가스 공급 없이 공기 중에서 탄화했다. 전기로의 온도를 1분에 10°C 의 속도로 각각 저온(400°C), 중온(600°C), 고온(800°C)까지 상승시켜 그 온도에서 6시간 유지해 냉각한 후 탄재를 꺼내 탄화온도에 따른 수율을 조사하고, 또 탄화의 정도를 알아보기 위해 목탄정련계(삼양전기제작소 FA 56형, Japan)와 경도계(삼양

전기제작소, Japan)로 정련도 및 경도를 측정하고 또한 기건비중과 공극율을 측정하였다. 그들을 60 mesh로 분쇄 후 아래의 시료로 사용하였다.

2.2.2. 공업분석

60 mesh의 시료에 대해 KS E 3705 석탄류 및 코크스류의 공업분석방법(2003년 3월 21일 폐지)에 따라 수분(KS E ISO589 무연탄-총 수분 함량의 측정 참조), 회분(KS E ISO 1171 고정탄분 연료-재 함량 측정 참조), 휘발분(KS E ISO 562 무연탄과 코크스-휘발성 물질의 결정 참조) 및 고정탄소를 분석하였다.

2.2.3. 세공분석

60 mesh의 시료에 대해 비표면적, 총 세공면적, 평균 세공직경 및 세공분포를 측정하였다. 세공 분석을 위한 기기로는 비표면적 및 기공측정장치(Accelerated Surface Area and Porosimetry)의 일종인 ASAP 2010 (Micromeritics Co. U. S. A)를 이용하였다. 분

Table 2. Properties of charcoal at each carbonization temperatures

Species	Abb.	400°C-6 h				600°C-6 h				800°C-6 h			
		Specific gravity	Refining degree	Hardness	Porosity (%)	Specific gravity	Refining degree	Hardness	Porosity (%)	Specific gravity	Refining degree	Hardness	Porosity (%)
<i>Pinus densiflora</i>	PD	0.24	9	1	85.2	0.32	33	1	82.3	0.33	0	7	80.3
<i>Larix kaempferi</i>	LL	0.38	9	7	75.9	0.39	4.7	7	79.1	0.45	0	12	71.3
<i>Pinus koraiensis</i>	PK	0.30	9	1	80.4	0.22	4.5	1	84.6	0.25	0	7	85.4
<i>Pinus rigida</i>	PR	0.35	8.5	5.7	77.5	0.36	5.0	7	80.9	0.36	0	7	81.8
<i>Quercus variabilis</i>	QV	0.50	9	7	67.7	0.46	5.0	8.7	71.5	0.43	0	12	74.2
<i>Quercus acutissima</i>	QA	0.57	9	12	67.3	0.67	4.5	12	68.2	0.54	0	12	67.4
<i>Quercus serrata</i>	QS	0.46	9	12	70.7	0.43	4.5	12	73.7	0.42	0	12	74.8
<i>Robinia pseudoacacia</i>	RP	0.43	9	12	70.9	0.34	5.0	12	83.6	0.40	0	12	72.7
<i>Platanus occidentalis</i>	PO	0.50	9	7	69.1	0.47	4.5	7	72.8	0.43	0	12	70.0
Plywood	PW	0.39	9	7	75.1	0.35	4.5	12	80.3	0.38	0	12	77.2
Particle-board	PB	0.44	9	12	72.2	0.48	4.5	12	72.6	0.48	0	12	70.4
Medium density fiberboard	MDF	0.46	9	12	70.5	0.46	4.5	12	74.4	0.46	0	12	68.3

Note. Abb. : Abbreviation.

석시료는 300°C에서 전처리한 다음 분석을 실시하였고, 분석온도는 77 K이며, 액체질소를 이용하여 온도를 유지하였다. 흡착 가스는 N₂를 사용하였는데 한 분자의 단면적을 0.162 nm로 계산하였다. 비표면적의 계산은 BET (Bunauer-Emmett-Teller)식을 이용하였으며, 비표면적 및 기공측정장치에서 상대압력에 따른 흡착량을 측정하여 흡착등온선을 구하였고, BET plot을 통해 기울기와 Y절편 값을 얻었다. 기울기와 Y절편을 이용하여 단분자층 흡착능(V_m)을 구하고 비표면적을 산출하였다. 자동흡착장치를 이

용하여 BET으로 비표면적을 산출하였다. BET plot은 BET범위(p/p⁰)가 0.2 미만이 되도록 하였다.

2.2.4. 포름알데히드 흡착

60 mesh의 시료에 대해 포름알데히드 흡착성능을 측정하였다. 흡착 시험은 데시케이터법(KS M 1998-4, 2005)과 Mori 등(2000)을 응용하여 시료 2.0 g과 포름알데히드 발생원(7.31 mg/0.5ml), 증류수 300 ml를 데시케이터 안에 넣고 48시간 후 방산된 포름알데히드를 포집하고 있는 증류수에서 25 ml를 채취하여

Fig. 3. Charcoal yield at each carbonization temperatures.

아세틸 아세톤-아세트산암모늄용액 25 ml와 혼합시켜 415 nm에서 분광 광도계를 가지고 흡광도를 측정하여 대조군(시료가 들어 있지 않는 데시케이터)과 비교를 통해 탄화물의 포름알데히드 제거율을 가지고 흡착 성능을 나타냈다.

2.2.5. 에틸렌가스 흡착

60 mesh의 시료에 대해 에틸렌 가스 흡착량을 측정 하였다. 주입구가 달려 있는 20 l의 데시케이터에 에틸렌가스의 농도가 23 ppm이 되도록 가스토시린지로 주입하여 준 후 한시간 가량 교반스티어로 회전시키 농도를 안정화 시켜 준다. 완전화가 되면 시료 5 g을 넣고 5, 15, 30, 60, 120분에 달한 시점에 가스채취기(GASTEC製)와 가스검지관(GASTEC製, No. 172L)을 이용하여 데시케이터 내의 에틸렌가스 잔류 농도를 조사하여 제거율을 구하였다.

또한 에틸렌가스 제거율을 구한 후 직접 과일(바나나)을 이용해 선도실험을 하였다. 방법은 에틸렌가스 제거율이 가장 좋은 800°C의 탄화물 50 g을 데시케이터에 넣고, 색도가 일정한 바나나를 넣은 후 14일간의 과숙 상태를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 탄화수율 및 비중, 정련도, 경도, 공극율

Fig. 3은 침엽수(소나무, 낙엽송, 잣나무, 리기다소나무) 4수종, 활엽수(굴참나무, 상수리나무, 졸참나무, 아까시아나무, 버즘나무) 5수종, 목질재료(합

판, 파티클보ورد, MDF) 3종류에 대해 각 온도에서 6시간 동안 탄화 후의 탄화수율을 나타낸 것이다. 모든 수종과 목질재료에서 수율은 탄화온도 상승과 함께 감소했다. 침엽수, 활엽수 모두에서 탄화온도 400°C에서는 약 30%의 수율을 나타냈으며, 탄화온도 600°C에서는 수율 약 20%로 400°C에 비해 10% 낮았지만, 탄화온도 800°C에서는 600°C에 비해 약 2~3% 차이로 큰 차이를 나타내지 않았다. 목질재료의 수율은 침엽수, 활엽수에 비해 각 온도에서 약간 높은 수율을 나타냈는데 이는 목질재료 제조 시 첨가되는 충전재 및 접착제에 의한 것으로 사료된다.

권 등(2006)의 연구에 의하면 질소분위기에서 탄화온도별 굴참나무의 수율은 340°C에서는 약 22%, 540°C에서는 약 20%, 740°C에서는 약 16%로 보고하고 있으며 본 실험의 굴참나무 수율과 비교해 본 결과 본 실험의 굴참나무 수율이 약간 더 높은 것으로 나타났다.

Table 2는 각 탄화물의 비중, 정련도, 경도 및 공극율을 나타낸 것이다. 정련도는 탄화온도 600°C에서 소나무가 3.3으로 낮았고, 나머지는 4.5~5.0범위를 나타내었으며, 800°C에서는 모든 수종 및 목질재료 탄화물에서 0으로 나타났다. 이 등(2010)은 시판용 목탄의 정련도는 9를 나타내고 백탄의 경우는 0을 나타낸다고 하였는데, 시판용 목탄의 경우는 400°C 범위에서 탄화된 것이 아니가 추측된다. 경도는 일반적으로 비중이 낮은 침엽수재(1-7)에 비해 활엽수재(7-12)가 높게 나타났으며, 탄화온도가 증가할수록 경도도 증가하는 경향을 보였다. 岸本(1991)도 침엽수보다 활엽수의 경도가 높다고 보고하고 있다.

비중은 각 온도에서 활엽수가 침엽수 보다 높은 경향을 나타냈고, 공극율은 반대의 경향을 나타냈다. 온도에 따른 비중과 공극율은 특정한 경향을 나타내지 않았다. 목질재료 탄화물의 경우도 온도에 따른 비중과 공극율은 특정한 경향을 나타내지 않았다.

3.2. 공업분석

Table 3은 탄화시간 6시간에서 탄화온도별 공업분석치를 나타낸 것으로 탄화온도 400°C에서 수분은

Table 3. Proximate analysis of charcoal at each carbonization temperatures

Species	400°C-6 h				600°C-6 h				800°C-6 h			
	MC (%)	Ash (%)	Volatile matter (%)	Fixed carbon (%)	MC (%)	Ash (%)	Volatile matter (%)	Fixed carbon (%)	MC (%)	Ash (%)	Volatile matter (%)	Fixed carbon (%)
PD	5.7	11	329	603	63	15	178	743	63	13	103	821
LL	4.9	0.8	340	603	48	0.8	142	802	64	10	116	810
PK	6.1	0.9	329	601	53	15	149	783	59	11	87	842
PR	7.0	12	342	576	60	12	173	755	7.7	18	117	788
QV	5.0	20	289	640	68	3.1	155	746	7.6	4.2	108	77.5
QA	5.8	16	352	574	3.8	19	145	79.7	84	25	98	793
QS	5.8	16	304	622	4.7	16	160	77.7	95	17	86	802
RP	4.9	16	320	615	5.5	20	179	746	8.2	23	118	77.7
PO	6.8	20	318	594	5.5	26	149	77.0	8.2	3.2	105	78.2
PW	6.9	24	322	584	5.0	3.7	165	748	6.0	4.2	9.1	80.7
PB	6.2	4.7	327	564	8.4	6.4	166	68.7	7.5	6.2	10.0	76.3
MDF	5.8	1.5	21.8	57.4	4.9	2.4	19.7	73.0	8.3	1.7	10.5	79.5

모든 수종 및 목질재료에서 7% 이하를 나타냈으며, 회분은 0.9~4.7%의 범위로 목질재료 탄화물이 높게 나타났다. 휘발분은 굴참나무를 제외하고는 모두 30% 이상을 나타내었으며, 고정탄소량은 56.4~64.0% 범위로 나타났다. 600°C에서는 수분이 몇 수종을 제외하고는 6% 이하를 나타냈으며, 회분은 0.8~6.4%의 범위로서 400°C와 마찬가지로 목질재료인 합판, 파티클보드 탄화물에서 높은 값을 나타내었고 낙엽송, 잣나무 등 낮은 값을 나타내었다. 휘발분은 14~119%의 범위로 나타났으며 MDF 탄화물이 19.7%로 가장 높았으며 다음으로는 리기다소나무 탄화물이 17.3%였으며, 낙엽송 탄화물이 14.2%로 가장 낮게 나타났다. 고정탄소량은 68.7~80.2%의 범위로서 낙엽송 탄화물이 80.2%, 상수리나무 탄화물이 79.7%로 그 뒤를 이었다. 파티클보드 탄화물은 68.7%로 가장 적은 값을 나타내었다. 800°C에서는 수분이 5.9~9.5%로 400, 600°C에 비해 높은 수분량을 나타냈으며, 회분은 1.0~6.2%의 범위로 여기서도 목질재료인 합판, 파티클보드 탄화물에서 높은 값을 나타내었고 낙엽송, 잣나무, 굴참나무 탄화물 등이 낮은 값을 나타내었다. 휘발분은 8~11%의 범위로 나타났으며 아까시나무 탄화물이 11.8%로 가장 높았으며

다음으로는 리기다소나무 탄화물이 11.7%였으며 굴참나무 탄화물은 8.6%로 가장 낮게 나타났다. 고정탄소량은 76~84%의 범위로서 잣나무 탄화물이 84.2%로 가장 높게 나타났으며, 파티클보드 탄화물은 76.3%로 가장 적은 값을 나타내었다.

위 실험 결과 탄화온도가 올라감에 따라 고정탄소량은 증가하였으며, 상대적으로 회분과 휘발분은 감소하는 경향을 나타내었다. 수종 간에는 침엽수의 고정탄소량이 활엽수의 고정탄소량보다 높은 경향을 보였고, 목질재료는 수종보다 작은 경향을 나타냈다. 김 등(1999; 2000)의 미이용 목질 폐잔재의 탄화 이용 개발에서도 본 결과와 비슷한 공업분석치를 나타내었다.

3.3. 세공분석

Table 4는 탄화물의 비표면적, 총세공용적 및 평균세공직경을 나타낸 것이다. 탄화 온도가 증가함에 따라 비표면적과 총세공용적도 증가하는 경향을 보였으나 평균세공직경은 작아지는 경향을 보였다. Figs. 4~6은 탄화 온도별 비표면적 및 총세공용적, 평균세공직경을 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보는

Table 4. Porosimetry of charcoal at each carbonization temperatures

Species	BET surface area (m ² /g)			Total pore volume (cc/g)			Average pore diameter (Å)		
	400°C	600°C	800°C	400°C	600°C	800°C	400°C	600°C	800°C
PD	13.2	430.9	560.2	0.02	0.23	0.26	54.5	21.6	18.1
PR	*	457.3	733.9	*	0.20	0.40	*	17.4	21.1
QA	42.4	418.4	481.7	0.03	0.19	0.22	25.6	17.7	18.0
QS	56.4	432.2	526.0	0.04	0.19	0.24	25.5	17.7	17.8
PO	44.1	422.0	540.3	0.05	0.18	0.25	42.0	17.4	18.2
PW	2.4	*	477.3	0.03	*	0.23	432.5	*	20.2

Note. *: impossible of measurement.

Fig. 4. Surface area of charcoal at each carbonization temperatures.

Fig. 6. Average pore diameter of charcoal at each carbonization temperatures.

Fig. 5. Total pore volume of charcoal at each carbonization temperatures.

바와 같이 탄화온도가 높아짐에 따라 비표면적도 증가하는 경향을 보였으며, 탄화온도 400°C에서는 2.4~56.4 m²/g 범위로 나타났으며, 600°C에서는 418.4~457.3 m²/g 범위로 급격히 높아졌으며, 800°C에서는 477.3~733.9 m²/g 범위로 완만하게 높아졌다. 공등(2002)의 연구에서도 간벌재 및 목질재료 탄화물은 잣나무와 아까시나무 탄화물을 제외하고는 탄화온도가 높아짐에 따라 비표면적도 증가하는 것으로 보고하였으며, 石原(1996)도 탄화온도가 1,000°C까지는 탄화온도가 높아질수록 비표면적이 증가한다고

하였다. Blankehorn 등(1978)과 Pulido-Novicio 등(2001)도 목탄의 비표면적은 탄화온도가 크게 관여하며, 탄화온도가 올라가면 비표면적이 넓어진다고 하였다. 수종 간에는 리기다소나무 탄화물이 높았으며 800°C에서 733.9 m²/g로 가장 높게 나타났다. 침엽수재와 활엽수재 탄화물간에는 침엽수재 탄화물이 활엽수재의 탄화물에 비해 약간 높은 비표면적을 나타내었다.

총세공용적은 탄화온도 400°C에서는 0.02~0.05 cc/g 범위로 나타났으며, 600°C에서는 0.18~0.23 cc/g 범위로 비표면적과 같이 급격히 높아졌으며, 800°C에서는 0.22~0.40 cc/g 범위로 완만하게 높아졌다. 수종 간에는 비표면적과 같이 리기다소나무 탄화물이 높았으며 800°C에서 가장 높은 0.40 cc/g로 나타났으며 전체적으로 비표면적과 같은 패턴을 보였다.

평균세공직경은 탄화온도 400°C에서는 25.5~54.5 Å 범위로 나타났으며, 600°C에서는 17.4~21.6 Å 범위로 탄화온도 600°C까지는 세공직경이 급격히 작

Fig. 7. Formaldehyde removal ratios of charcoal at each carbonization temperatures.

아저 micropore가 발달하는 경향을 보였으며, 탄화 온도 800°C에서는 17.8~21.1 Å으로 600°C 탄화물과 큰 차이를 보이지 않았다. 수종 간에는 400°C에서만 소나무와 버즘나무 탄화물이 다른 탄화물에 비해 높게 나타났으나, 600과 800°C에서는 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.4. 포름알데히드 흡착

Fig. 7은 탄화시간 6시간에서 탄화온도별 포름알데히드 제거율을 나타낸 것이다. 탄화온도 간에는 탄화온도가 올라갈수록 포름알데히드 제거율이 소나무, 굴참나무, 상수리나무 탄화물은 높게 나타났으나, 낙엽송, 잣나무, 리기다소나무, 졸참나무아카시아, PB, MDF 탄화물의 경우는 800°C 보다 600°C에서 더 높은 포름알데히드 제거율을 나타내는 등, 600과 800°C 사이에서는 600°C가 높은 것과 800°C가 높은 것이 공존해 나타났다. 따라서 주요 수종 및 목질재료 탄화물을 포름알데히드 제거에 이용 시는 적절한 온도로 탄화에 이용하는 것이 효율적인 것으로 생각된다. 본 연구에 앞서 이루어진 이 등(2010)의 전통숯의 포름알데히드 제거율과 비교해 본 결과 주요 수종 및 목질재료는 탄화온도 600과 800°C에서 전통숯 백탄(17.9~34.9%)과 비슷한 제거율을 보였고, 400°C는 흑탄(11.4~26.7%)과 비슷한 제거율을 보였다. 이 등(2007)은 목탄 모르타르에 의한 포름알데히드 제거율은 목탄함유량이 많을수록 높다고 하였으며, 결론적으로 포름알데히드 제거율에 우수한 제품이라고 하였다.

수종 간에는 그림에서 보는 바와 같이 우선 침엽

Fig. 8. Ethylene gas removal ratios of charcoal at each carbonization temperatures.

수, 활엽수, 목질재료 탄화물간의 제거율은 비슷한 경향을 나타냈다. 수종 간, 목질재료 간에는 잣나무, 졸참나무 및 MDF 탄화물이 600°C에서 가장 높게 나타났다. 따라서 앞에서도 언급 했지만 탄화물로 포름알데히드 제거용으로 이용 시는 탄화온도 뿐만 아니라 수종도 고려하면 더욱 효율적인 것으로 생각된다.

또한 이 등(2010)의 시판되는 전통숯의 비표면적이 본 간벌재 탄화물 비표면적의 1/100 수준인데 비해 간벌재 탄화물과 같은 포름알데히드 제거율을 보인 것으로 보아, 기상의 흡착력은 액상의 흡착력과는 달리 비표면적과 함께 다른 요인이 관여하지 않나 생각된다. 현재로서는 목탄표면의 관능기가 작용하지 않나 생각하고 있는데 이는 더 조사가 되어야 할 것으로 생각한다.

3.5. 에틸렌가스 흡착

Fig. 8은 탄화시간 6시간에서 탄화온도별 에틸렌가스 제거율을 나타낸 것이다. 탄화온도가 올라갈수록 에틸렌가스 제거율은 모든 수종과 목질재료 탄화물에서 높아졌다. 각 탄화온도 간에는 400°C에서는 10.9~30.4%, 600°C에서는 34.8~52.2%, 800°C에서는 39.1~56.5%로 탄화온도 600°C까지는 제거율이 급격히 증가하다 그 후 증가폭이 감소되는 경향을 나타내었다. 이는 탄화온도와 함께, 탄화온도가 높아지면 비표면적도 높아지는 영향이라고 생각된다.

수종 간에는 그림에서 보는 바와 같이 우선 침엽수, 활엽수, 목질재료 간의 제거율은 비슷한 경향을 나타냈고, 수종 간, 목질재료 간에는 차이를 나타내었다. 리기다소나무, 아까시나무, 합판의 탄화물이

-1st day-

-14th day-

Pinus koraiensis charcoal *Pinus densiflora* charcoal *Pinus rigida* charcoal *Quercus variabilis* charcoal *Robinia pseudoacacia* charcoal White charcoal Black charcoal Non-treatment

Fig. 9. Ethylene gas absorption and change of freshness of banana using different charcoal.

800°C에서 56%로 이상으로 가장 높은 제거율을 나타냈다. 이는 비표면적의 영향으로 생각되며 리기다소나무 탄화물의 800°C시의 비표면적이 733.9 m²/g로 가장 높은 값을 나타냈고, 아까시나무 탄화물이 670.1 m²/g(공 등, 2002)로 두 번째 값을 나타냈다. Fig. 9는 본 연구의 주요 수종 탄화물과 전통숯을 이용한 바나나의 신선도 조사로, 에틸렌가스 흡착 성능을 나타낸 것으로, 여기서도 리기다소나무와 아까시나무 탄화물을 흡착제로 처리한 것에서 타 수종의 목탄들에 비해 바나나의 과숙의 진행속도가 느리게 나타난 것을 볼 수 있었다. 따라서 주요 수종 및 목질재료 탄화물을 에틸렌가스 제거용으로 이용 시는 탄화온도는 800°C 이상의 고온탄화가 좋을 것 같고, 수종은 리기다소나무, 아까시나무가 좋을 것으로 생각된다. 특히 이 두 수종은 자원은 많으나 효율적인 이용 방법을 찾지 못해 국가적으로도 고민되는 수종으로 이들을 탄화하여 과일, 채소 등의 선도유지용 등으로 사용하면 좋을 것으로 생각된다.

4. 결 론

한국산 주요수종 및 목질재료의 탄화물로의 개발을 위해 이들을 탄화하여 기초물성 및 흡착 특성 분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 탄화수율은 모든 수종과 목질재료에서 탄화온도 상승과 함께 감소했다. 침엽수재, 활엽수재 모두에서 탄화온도 400°C에서는 약 30%, 600°C에서는 약 20%, 800°C에서는 약 18%로 나타났다. 수종 간 탄화수율은 차이가 없었으며, 목질재료의 수율은 수종에 비해 약간 높은 수율을 나타냈다. 정련도는 400°C에서는 9, 600°C에서는 3.3~5.0, 800°C에서는 0으로 나타났고, 수종 간 차이가 적은 것으로 나타났다.

2) 탄화온도가 올라감에 따라 고정탄소량은 증가하였으며, 상대적으로 회분과 휘발분은 감소하는 경향을 나타내었다. 수종간은 고정탄소량이 침엽수재 탄화물이 활엽수재 탄화물 보다 높은 경향을 보였고, 목질재료 탄화물이 수종의 탄화물 보다 작은 경향을 나타냈다.

3) 비표면적은 탄화온도가 증가할수록 증가하였다. 수중 간 비표면적은 침엽수재가 활엽수재 탄화물보다 높게 나타났으며, 리기다소나무 탄화물이 733.9 m²/g으로 가장 높은 비표면적을 나타냈다.

4) 포름알데히드 제거율은 탄화 온도 간에는 탄화온도가 증가할수록 높았으나 600과 800°C 사이에서는 600°C가 높은 것과 800°C가 높은 것이 공존해 나타났다. 수중간은 잣나무, 졸참나무 및 MDF 탄화물이 600°C에서 높은 제거율을 나타냈다.

5) 에틸렌가스 제거율은 탄화온도가 증가할수록 높은 제거율을 나타냈다. 수중 간에는 리기다소나무, 아카시나무 탄화물이 가장 높은 제거율을 나타냈다.

참 고 문 헌

- 권성민, 김남훈. 2006. 목재의 탄화기구 해석(I). 목재공학 34(3): 8~14.
- 공석우, 김병로. 1999. 미이용 목질폐잔재의 탄화 이용 개발(I)-수종의 간벌재 탄화와 탄화물의 특성-. 목재공학 27(2):70~77.
- 공석우, 김병로. 2000. 미이용 목질잔폐재의 탄화 이용 개발(II)-수종의 목질재료 탄화와 탄화물의 특성-. 목재공학 28(2): 57~65.
- 공석우, 김병로. 2002. 국산 주요 수종 및 목질재료 탄화물의 흡착 특성. 목재공학 30(4): 33~40.
- 산림청. 2008. 임업통계연보 38: 324.
- 이동영, 김병로. 2010. 국내 시판용 목탄의 흡착 특성(I). 목재공학 38(1): 27~35.
- 이오규, 최원준, 조태수, 백기현. 2007. 목탄계 건축자재에 의한 포름알데히드 흡착. 목재공학 35(3): 61~69.
- 조태수, 최원준, 이오규. 2007. 탄화온도가 목탄의 물리·화학적 특성에 미치는 영향. 목재공학 35(3): 53~60.
- 岸本定吉, 阿部房子. 1964. 市販木炭の比表面積. 日本木材學會誌. 第10卷, 第3号: 120~122.
- 岸本定吉. 1991. 木炭の新用途とその現況. 日本木質成形燃料工業協同組合 160.
- 石原茂久. 1996. 木質係炭素材料素在開發の新しい展開. 목재학회지 42(8): 717~723.
- Blankehorn, P. R., D. P. Barnes, D. E. Kline, and W. K. Murphey. 1978. Porosity and pore size distribution of black cherry carbonized in an insert atmosphere. Wood Sic. 11(1): 23~29.
- Mori, M., Y. Saito, S. Shida, and T. Arima. 2000. Adsorption properties of charcoal from wood-based materials. Mokuzai Gakkaishi 46(4): 355~362.
- Pulido-Novicio L., T. Hata, Y. Kurimoto, S. Doi, S. Ishihara, and Y. Imamura. 2001. Adsorption capacities and related characteristics of wood charcoals carbonized using a one-step or two-step process. J. Wood Sic. 47: 48~57.