

## 폐목재를 이용한 KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub> 화학적 활성화로 생성된 바이오차의 흡착특성에 관한 연구

원민희, 조우리, 장진만, 이재영\*

서울시립대학교 환경공학부  
02504 서울특별시 동대문구 서울시립대로 163

(2023년 12월 11일 접수; 2023년 12월 19일 수정본 접수; 2023년 12월 19일 채택)

## Adsorption Characteristics of Biochar from Wood Waste by KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub> Chemical Activation

MinHee Won, WooRi Cho, Jin Man Chang, and Jai-young Lee\*

Department of Environmental Engineering, University of Seoul  
Seoulsiripdaero 163, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Korea

(Received for review December 11, 2023; Revision received December 19, 2023; Accepted December 19, 2023)

### 요 약

흡착을 이용한 오염물질 정화 방법에 많은 관심이 집중되고 있으며, 최근에는 바이오차를 이용하여 유기 및 무기오염물질 제거에도 이용할 수 있다는 연구가 진행되고 있다. 특히 폐자원 바이오매스로 폐목재는 바이오매스 재활용 방안이 필요한 상황으로 폐목재를 이용하여 생성된 바이오차를 흡착용량을 증가하기 위한 방법이 필요하다. 저온고압을 이용하여 에너지 소비가 낮고 수분 제거 전처리가 필요없는 열수가압탄화(Hydrothermal Carbonization, HTC)를 이용하여 탄화하여 바이오차를 생성하고, KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub> 약품을 이용한 화학적 활성화법으로 생성된 바이오차를약품별 활성화에 따른 요오드 흡착능, 비표면적, 세공크기, 세공부피, 세공분포 및 SEM을 분석하여 흡착특성을 파악하였다. HTC 300°C, 4 hr에서 생성된 바이오차를 KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub> 약품별로 활성화로 생성된 바이오차 중 요오드흡착능이 높은 바이오차를 선정하여 비표면적, 세공부피, 세공크기 및 세공분포를 분석한 결과, 비표면적은 774~1.387 m<sup>2</sup>/g으로 활성탄과 같은 높은 비표면적을 나타냈으며, 평균세공크기 21~24 Å 범위의 미세공이 형성되었음을 확인하였다. 또한 SEM 관찰한 결과 활성화에 따라 표면이 일정한 형태의 균일한 세공이 발달되고 세공의 수가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

주제어 : 흡착, 바이오차, 폐목재, 화학적 활성화

**Abstract :** There is a lot of interest in methods for pollutants using adsorption, and recent research is being conducted to show that biochar can be used to remove organic and inorganic pollutants. In particular, wood waste as waste biomass requires a biomass recycling method, and a method to increase the adsorption capacity of biochar produced using wood waste is needed. Biochar is created by Hydrothermal carbonization (HTC) using , which uses low temperature and high pressure, has low energy consumption and does not require moisture removal pretreatment, and biochar is created through chemical activation using KOH, NaOH, and ZnCl<sub>2</sub> chemicals. The adsorption characteristics of biochar were determined by analyzing iodine adsorptivity, specific surface area, pore diameter, pore volume, pore distribution, and SEM according to the activation. The results of analyzing the selecting biochar by activating the biochar produced at HTC 300°C, 4 hr by KOH, NaOH, and ZnCl<sub>2</sub> chemicals , the specific surface area was 774~1.387 m<sup>2</sup>/g, showing a high specific surface area similar to activated carbon, and it was confirmed that micropores with an average pore diameter in the range of 21~24 Å were formed. As a result of SEM observation, the surface was uniform with a certain shape depending on activation. It was confirmed that one pore was developed and the number of pores increased.

**Keywords :** Adsorption, Biochar, Wood waste, Chemical activation

\* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: leejy@uos.ac.kr; Tel: +82-2-6490-2864; Fax: +82-2-6490 5407

doi: 10.7464/ksct.2023.29.4.272 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

흡착을 이용한 오염물질 정화 방법에 많은 관심이 집중되고 있으며, 높은 흡착효율, 에너지 소비 감소, 양호한 수율, 사용 용이성으로 바이오차 흡착에 대한 관심이 증가하고 있다. 최근에는 바이오차를 이용하여 농약, 염료, 항생제, 산업용 화학물질, 휘발성유기화합물(VOCs) 등 오염물질뿐 아니라 중금속과 같은 무기오염물질의 제거에도 이용할 수 있다는 연구가 진행되고 있다[1].

바이오차는 산소가 제한된 환경에서 바이오매스를 300~800°C로 열분해시켜 얻는 고체 물질이라고 할 수 있다[2]. 벚짚 및 포도 찌꺼기와 같은 농업 폐기물과 코코넛 껍질과 같은 임업 부산물의 바이오매스로 생성된 바이오차는 흡착성능이 있는 것으로 연구되고 있다. 벚짚을 이용하여 생산된 바이오차는 저비용의 농약 흡착제로 사용할 수 있다고 연구되었다[3]. 또한 포도 찌꺼기를 이용하여 350°C, 550°C, 750°C로 탄화하여 생성된 바이오차는 살균제인 사이모사닐(cymoxanil)의 흡착 특성을 분석한 연구에서 350°C에서 탄화한 포도 찌꺼기 바이오차에서 높은 흡착률을 나타냈고, 표면의 작용기가 흡착에 영향을 줄 수 있다는 것을 확인하였다[4]. 700°C에서 탄화시킨 코코넛 껍질을 인산 및 수산화나트륨으로 화학적 산화시켜 생성된 바이오차는 다이아지논(diazinon) 흡착에 적합한 소재임을 확인한 연구사례가 있다[5].

바이오매스 원료로는 목재가 가장 많이 사용되는 것으로 알려져 있다[6]. 목재 중 폐기물로 관리되는 폐목재는 재활용 방법이 마련되지 않아 주로 소각 또는 매립처리 하고 있어 재활용 방안이 필요한 상황이다. 이러한 폐목재는 열분해를 이용하여 바이오차 생성이 가능한 폐자원 바이오매스이다. 또한 폐목재를 이용하여 생성된 바이오차는 활성화 방법으로 세공을 확대시켜 흡착용량을 증가하여 흡착제로 사용하기 위한 방법이 시도되고 있다[7,8]. 바이오차를 생성하는 열분해 방법 중 열수 가압탄화(Hydrothermal Carbonization, HTC)는 180~250°C에서 수증기압을 이용하여 바이오차를 생성하는 기술로 수분 제거 전처리가 필요없는 방법이다[9,10]. 이 HTC 공법은 비교적 저온으로 바이오차를 생성하는 기술로 기존 열분해 공정보다 에너지 소비가 낮아 경제적인 방법으로 볼 수 있다. 이 공법으로 생성된 바이오차는 탄화물에 화학약품을 침적 후 가열하여 세공구조를 발달시키는 화학적 활성화 방법으로 비표면적과 세공을 확대시킬 수 있다. 화학적 활성화 방법이 물리적 활성화 방법보다 미세공 형성이 더 유리하고[11], 목재 이용시 주로 화학적 활성화법을 이용한다고 알려져 있다[12].

따라서 본 연구에서는 자원재활용이 가능한 폐목재를 이용하여 열분해 공정 중 에너지 소비가 적은 경제적 방법인 HTC 공법과 화학적 활성화 방법으로 바이오차를 생성하였다. 또한 생성된 바이오차를 약품에 따라 요오드흡착능, 비표면적, 세공크기, 세공부피, 세공분포 및 SEM을 분석하여 흡착특성을 비교하여 흡착성능을 평가하였다.

## 2. 연구방법 및 내용

### 2.1 폐목재의 HTC 공법을 이용한 탄화 및 화학적 활성화 방법

본 연구에서 사용하는 폐목재는 폐기물관리법에서 재활용이 가능한 폐목재로, 경기도에 위치한 폐목재 재활용 업체로부터 제공을 받았다. 폐목재는 실험을 위하여 4.75 mm 이상 10 mm 이하 일정한 크기로 파쇄 및 선별하고 수분을 제거하지 않은 상태에서 실험하였다.

폐목재는 탄화방법으로 HTC 공법을 이용하였으며, 200°C, 250°C, 300°C 반응온도에서 각 2 hr, 4 hr, 6 hr, 8 hr으로 반응 시간을 조절하여 조건을 달리하면서 바이오차를 생성하였다.

생성된 바이오차 중 활성화에 유리한 조건인 탄소 함량이 높고 회분 함량이 낮은 바이오차를 선정하여 화학적 활성화를 실시하였다. 활성화 조건은 Table 1과 같이 제시하였다. 활성화제는 KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub>를 사용하였으며, 활성화제와 탄화물 중량비를 0.5, 1, 1.5로 침적하였다. 활성화 온도는 700°C, 750°C, 800°C, 850°C로 설정하였고, 각 활성화 온도에서 활성화 시간 30 min, 60 min, 90 min으로 활성화 조건을 다르게 설정하여 활성화하였다. 활성화한 바이오차는 활성화제별로 흡착성능이 높은 1개의 바이오차를 선정하여 입상형태로 8×30 mesh(1.5~1.7 mm) 크기로 균일하게 하여 비표면적, 세공크기, 세공부피, 세공분포 및 SEM 분석을 실시하였다.

**Table 1.** Activation conditions of biochar in this study

Items	Conditions
Agent of chemical activation	KOH, NaOH, ZnCl <sub>2</sub>
Ratio of chemical activation (biochar : activation agent)	1.0:0.5, 1.0:1.0, 1.0:1.5
Temperature of activation (°C)	700, 750, 800, 850
Time of activation (min)	30, 60, 90

### 2.2 원료 및 HTC 반응으로 생성된 바이오차 특성분석

원료와 HTC 반응으로 생성된 바이오차의 성분변화를 살펴 보기 위한 공업분석으로 수분, 휘발분, 회분, 고정탄소 함량을 측정하였고, 원소분석기기를 이용하여 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N)의 함량을 분석하였다. 공업분석은 천연흑연공업 분석(KS E 3804) 방법에 따라 분석하였고, 원소분석은 분석기기인 Thermal Electron Corporation사의 FlashEA(CHNOS-O)를 사용하였다.

### 2.3 화학적 활성화로 생성된 바이오차 흡착특성 분석

KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub> 활성화로 생성된 바이오차는 요오드흡착능, 비표면적, 세공부피, 세공크기 및 SEM 분석하여 흡착특성을 파악하였다. 요오드흡착능은 한국산업표준(KS M 1802) 활성화 시험방법에 따라 측정하였다. BET 비표면적은 Japan Inc 사의 BELSORP-MAX를 사용하여 비표면적, 세공크기, 세공부피, 세공분포를 측정하였으며, 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)은 HITACHI 사의 S-4800을 사용하

여 표면을 관찰하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 폐목재 HTC 반응으로 생성된 바이오차 공업분석 및 원소 분석

HTC 공법으로 생성된 바이오차의 공업분석 결과는 Figure 1에서 제시하였다. 반응온도 200°C, 250°C, 300°C에서 각 반응 시간 2 hr, 4 hr, 6 hr, 8 hr 따라 생성된 바이오차의 수분 함량은 반응온도가 높을수록 낮게 나타나 300°C에서 가장 낮았다. 반응온도에 따른 수분 함량은 6 hr이 경우에 가장 높았으며, 2 hr 일 때 가장 낮게 나타났다. 휘발분 함량은 수분함량과 비슷한

경향으로 반응온도가 높을수록 감소하였다. 회분 함량은 1~3 wt%의 범위로 낮게 나타났으며, 200°C와 300°C에서 4 hr인 경우에 가장 낮은 것으로 나타났다. 수분 함량, 휘발분 함량, 회분 함량을 토대로 고정탄소 함량을 산출한 결과는 200°C, 250°C, 300°C에서 6 hr인 경우에서 고정탄소 함량이 가장 낮게 나타났고, 8 hr인 경우 가장 높은 것으로 나타났다. 고정탄소 함량은 반응온도가 높고 반응시간이 길수록 증가하였으며, 이는 목재의 구성분인 수분과 휘발분이 열분해로 감소하면서 증가하는 것으로 보인다.

Table 2는 폐목재와 HTC 공법으로 생성된 바이오차의 원소 분석 결과를 나타내었다. 바이오차 탄소(C) 함량은 원재료 폐목재보다 최대 2배 이상 증가하였으며, 반응온도가 높고 반응

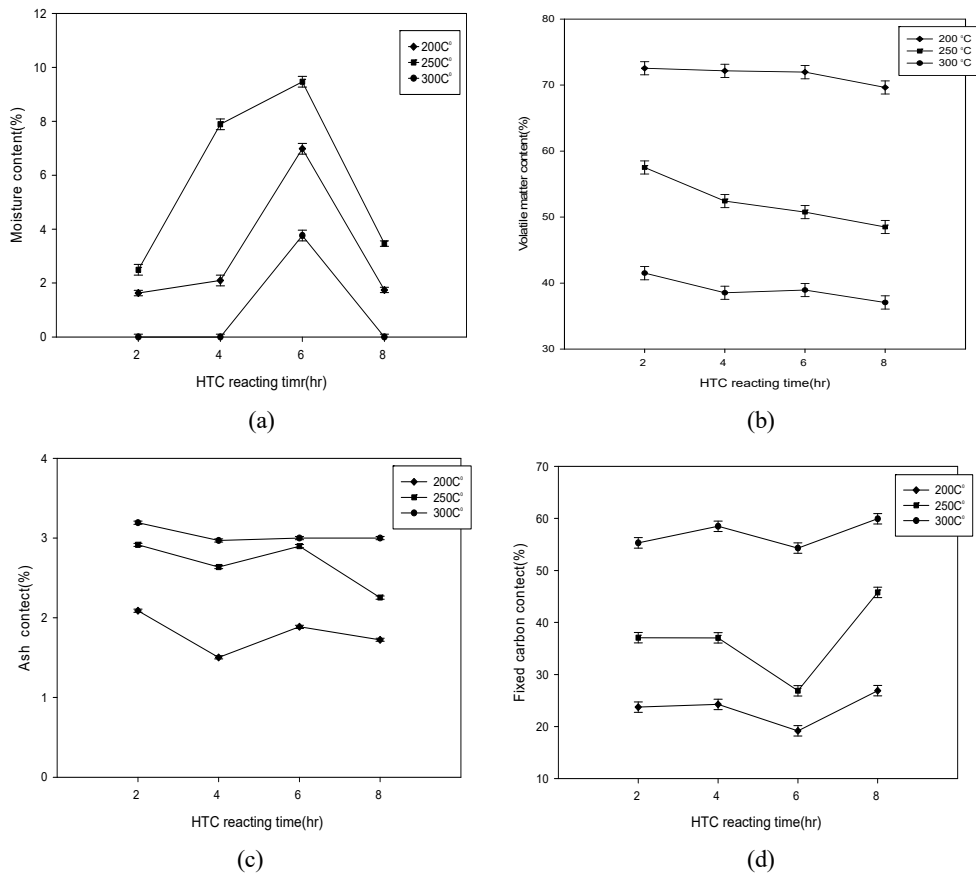


Figure 1. Proximate analysis of biochar various temperatures and time by HTC (a) moisture content, (b) volatile matter content, (c) ash content, (d) fixed carbon content.

Table 2. Elementary analysis of biochar and feedstock various temperatures and time by HTC

Proximate analysis content	Feed stock	200°C				250°C				300°C			
		2 hr	4 hr	6 hr	8 hr	2 hr	4 hr	6 hr	8 hr	2 hr	4 hr	6 hr	8 hr
Moisture (wt%)	19.4	1.6	2.1	7.0	1.7	2.5	7.9	9.5	3.5	0.0	0.0	3.8	0.0
Volatile matter (wt%)	41.2	72.6	72.2	72.0	69.6	57.5	52.4	50.8	48.5	41.5	38.5	38.9	37.1
Ash (wt%)	1.9	2.1	1.5	1.9	1.7	2.9	2.6	2.9	2.3	3.2	2.9	3.0	3.0
Fixed carbon (wt%)	37.5	23.7	24.3	19.2	26.9	37.1	37.0	26.9	45.8	55.3	58.5	54.3	59.9

시간이 길수록 증가하는 경향을 보였다. 산소(O) 함량은 원재료 산소 함량 절반 수준으로 감소하였고, 수소(H)와 질소(N) 함량은 반응온도와 반응시간에 따라 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

### 3.2 화학적 활성화를 위한 최적 바이오차 선정

화학적 활성화는 탄소 함량이 많고 활성화를 방해하는 회분 함량이 적을수록 유리하므로 이 조건에서 선정된 바이오차를 최적 바이오차로 선정하였다. 탄소 함량은 300°C에서 생성된 바이오차가 많았고, 회분 함량이 낮은 300°C 중에서 4 hr에 가장 낮았다. 이 결과를 토대로 300°C, 4 hr에서 생성된 바이오차를 활성화를 위한 최적 바이오차로 선정하였으며, 이 반응조건에서 생성된 바이오차로 화학적 활성화를 실시하였다.

### 3.3 화학적 활성화에 의한 요오드흡착능

요오드흡착능은 활성탄 품질을 나타내는 항목으로 흡착성질을 간접적으로 확인할 수 있는 보편적인 방법으로 표면적 정도를 알 수 있다. Figure 2는 KOH로 활성화한 바이오차 요오드흡착능 결과를 나타낸 것으로, 700°C, 750°C, 800°C, 850°C에서 활성화 시간이 증가할수록 요오드흡착능이 증가하는 경향을 나타냈다. Figure 3과 Figure 4는 NaOH 및 ZnCl<sub>2</sub>로 활성화한 바이오차 요오드흡착능 결과를 나타낸 것으로, KOH로 활성화한 바이오차 요오드흡착능과 유사한 경향성을 보였으며, 700°C, 750°C, 800°C, 850°C에서 활성화 시간이 증가할수록 요오드흡착능이 증가하였다. KOH 및 NaOH로 활성화시 탄소를 소비하면서 미세세공을 형성하게 되어 흡착능이 증가한 것으로 알려져 있으며[13], 활성화제가 많이 첨가될수록 가스화 반응이 촉진되어 요오드흡착능이 증가한 것으로 보인다. ZnCl<sub>2</sub>로 활성화시 무기물 용출로 세공이 형성되어 비표면적이 증가하면서 요오드흡착능이 증가하는 것으로 알려져 있다[14].

KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub> 활성화제 침적비율에 따른 활성화 온도 및 활성화 시간에서 요오드흡착능이 다르게 나타내는 것을 알 수 있었다. KOH 및 NaOH로 활성화시 요오드흡착능은 침적비

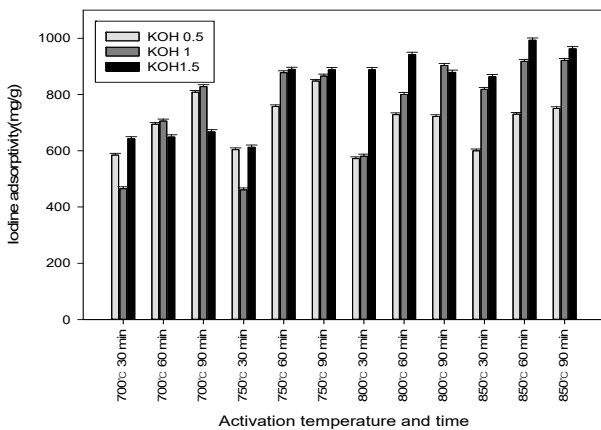


Figure 2. Iodine adsorptivity of KOH activated biochar obtained under various activation temperatures and activation time.

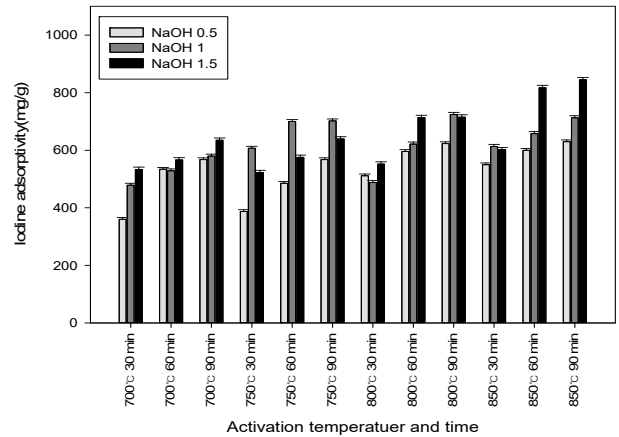


Figure 3. Iodine adsorptivity of NaOH activated biochar obtained under various activation temperatures and activation time.

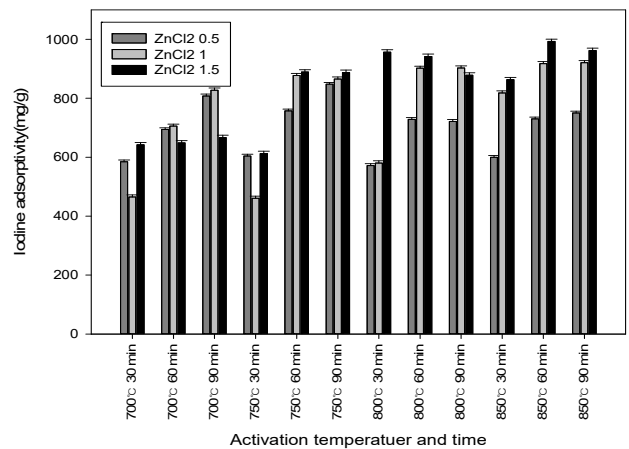


Figure 4. Iodine adsorptivity of ZnCl<sub>2</sub> activated biochar obtained under various activation temperatures and activation time.

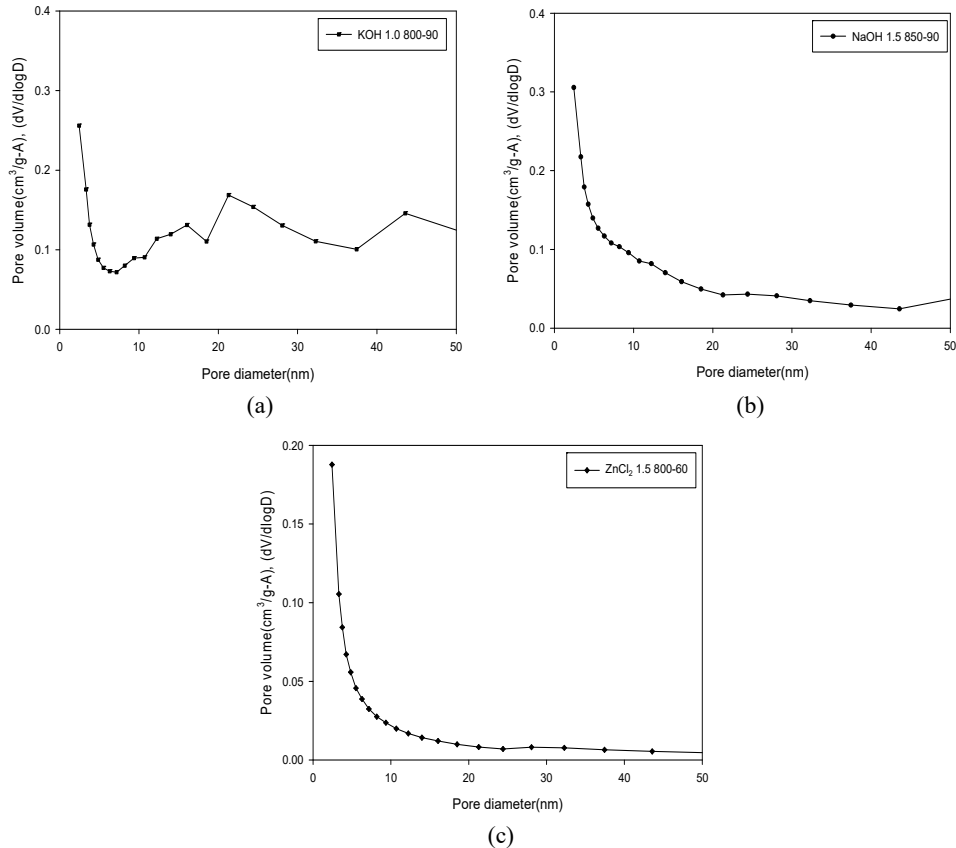
율이 1.5에서 800°C 및 850°C에서 높게 나타나 비교적 고온에서 약품 침적비율이 높을수록 요오드흡착능이 높은 결과를 나타냈다. ZnCl<sub>2</sub>로 활성화시 요오드흡착능은 침적비율 1.5에서 700°C, 750°C, 800°C에서는 요오드흡착능이 높았고, 850°C에서는 침적비율 1.0에서 요오드흡착능이 높은 결과를 나타나 고온보다는 비교적 저온에서 약품 침적비율이 높을수록 요오드흡착능이 높은 결과를 나타냈다.

### 3.4 화학적 활성화에 의한 비표면적, 세공부피, 세공크기 및 세공분포

KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub>로 활성화한 바이오차의 세공특성을 확인하기 위하여 활성화제별로 요오드흡착능이 큰 시료를 Table 3과 같이 선정하여 비표면적, 세공부피, 세공크기 및 세공분포를 측정하였다. HTC 공법으로 300°C, 4 hr 탄화로 생성된 바이오차의 비표면적은 1 m<sup>2</sup>/g로 화학적 활성화로 최대 1,387 m<sup>2</sup>/g로 증가하였고, 세공부피는 0.01 cm<sup>3</sup>/g에서 최대 0.80 cm<sup>3</sup>/g로 증가하였다. 세공크기는 189 Å에서 21 Å로 감소하였다. 이와같이 HTC 공법으로 생성된 바이오차는 화학적 활성화로 기공이

**Table 3.** Sample of high Iodine adsorptivity and comparison of specific surface area, total pore volume and average pore diameter

Activated biochar sample name	Activation ratio	Activation temperature (°C)	Activation time (min)	Iodine adsorptivity (mg/g)	Specific surface area (m <sup>2</sup> /g)	Single point total pore volume (cm <sup>3</sup> /g)	Average pore diameter (Å)
HTC 300°C,4 hr biochar	-	-	-	-	1	0.01	189
K 1 800-90	KOH 1	800	90	902.70	1,387	0.80	23
N 1.5 850-90	NaOH 1.5	850	90	844.85	774	0.47	2
Z 1.5 800-60	ZnCl <sub>2</sub> 1.5	800	60	819.14	1,033	0.54	21

**Figure 5.** Pore size distribution of (a) KOH activated biochar, (b), NaOH activated biochar, (c) ZnCl<sub>2</sub> activated biochar.

발달하여 비표면적과 세공부피가 증가하였고 미세공이 형성되어 세공크기가 감소한 것을 알 수 있었다.

비표면적은 활성화제에 따라 차이를 보였으며, KOH 및 ZnCl<sub>2</sub>로 활성화한 바이오차 비표면적은 각 1,387 m<sup>2</sup>/g, 1,033 m<sup>2</sup>/g으로 1,000 m<sup>2</sup>/g 이상을 나타내었고, NaOH 약품으로 활성화한 바이오차는 774 m<sup>2</sup>/g을 나타냈다. 활성화한 바이오차의 비표면적은 NaOH < ZnCl<sub>2</sub> < KOH 순으로 크게 나타내었으며, 이는 요오드흡착능 크기와 동일한 순서이다.

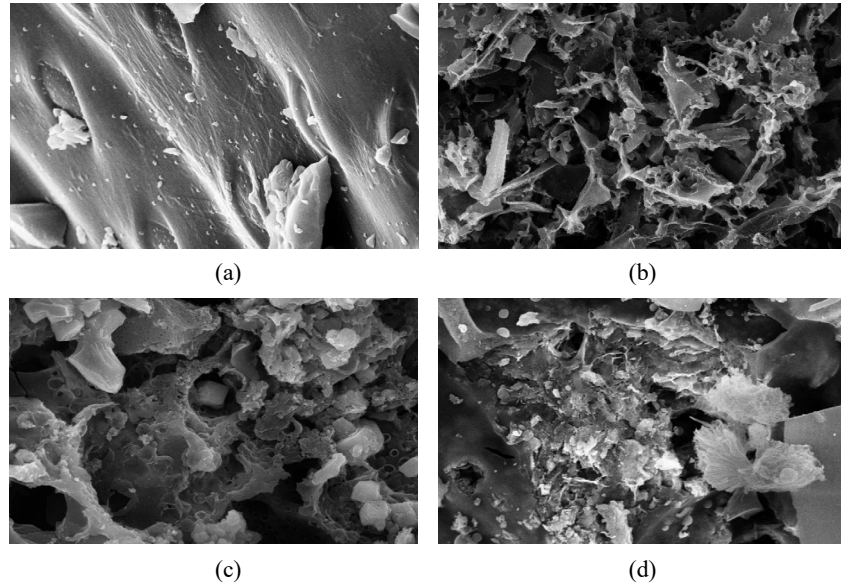
세공크기는 KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub>로 활성화한 바이오차 모두 20 Å 범위의 미세공을 형성됨을 알 수 있었다. 활성화로 비표면적이 커지고 세공크기가 20 Å 범위의 미세공이 형성되었고, 목탄계 상업용 활성화탄과 같이 미세공이 비교적 많이 발달한 것으로 보였다.

Figure 5는 세공분포를 나타낸 것으로 활성화제에 따라 경향성이 다르게 나타났다. KOH로 활성화한 바이오차는 20 Å 미세

공과 20~500 Å 중간세공이 존재하였고, NaOH와 ZnCl<sub>2</sub>로 활성화한 바이오차는 주로 20 Å 미세공이 발달한 것을 알 수 있었다. IUPAC(International Union of Pure and Applied Chemistry)에서 흡착질 세공을 크기에 따라 미세공(7~20 Å), 중간세공(20~500 Å), 대세공(500 Å 이상)으로 분류하고 있다. 식물계 원료인 왕겨를 화학적 활성화제로 제조한 활성화탄은 15~40 Å 범위의 세공이 발달한다고 연구되었으며[15], 목탄계 상업용 활성화탄은 20~500 Å 중간세공이 대부분을 차지한다고 연구[16]한 바 있다. 본 연구에서 폐목재는 화학적 활성화로 세공크기 20~23 Å 범위의 세공이 형성되어 왕겨 및 목탄계 상업용 활성화탄과 같은 미세공이 발달한 것을 알 수 있었다.

### 3.5 SEM 표면관찰

주사전자현미경(SEM)으로 표면의 세공을 관찰한 결과는



**Figure 6.** SEM picture for magnification×5,000 of (a) 300 °C, 4 hr HTC biochar, (b) KOH activated biochar, (c) NaOH activated biochar, (d) ZnCl<sub>2</sub> activated biochar.

Figure 6에 제시하였다. HTC 반응으로 생성된 바이오차와 활성화에 따른 바이오차의 SEM 표면을 보면 KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub> 활성화로 표면 세공형태가 뚜렷해지고 세공이 발달한 것을 확인할 수 있었다. KOH로 활성화한 바이오차는 일정한 형태의 균일한 세공이 발달하였고 미세한 크기의 기공수가 증가한 것을 관찰할 수 있었으며, NaOH와 ZnCl<sub>2</sub>로 활성화한 바이오차는 KOH 약품으로 활성화한 활성 바이오차 만큼 균일하지는 않지만, 일정한 형태의 기공이 형성됨을 관찰할 수 있었다.

#### 4. 결 론

폐목재는 저온고압을 이용한 HTC 공법으로 바이오차를 생성하고 KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub>로 활성화하여 흡착특성을 파악하였다. HTC 공법으로 200°C, 250°C, 300°C에서 각 2 hr, 4 hr, 6 hr, 8 hr 탄화하여 생성된 바이오차 중 탄소 함량이 높고 회분 함량이 적은 HTC 300°C, 4 hr에서 생성된 바이오차를 최적 바이오차로 선정하여 KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub>로 침적비율, 활성화 온도 및 활성화 시간을 다르게 하여 활성화 하였다. 활성화로 생성된 바이오차는 오드흡착능이 높은 바이오차를 선정하여 비표면적, 세공부피, 세공크기 및 세공분포를 분석하였다. 비표면적은 KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub>로 활성화시 각 1,387 m<sup>2</sup>/g, 1,033 m<sup>2</sup>/g, 774 m<sup>2</sup>/g으로 나타났다. 이는 활성탄과 같은 높은 비표면적을 나타낸 것으로 KOH로 활성화한 바이오차 비표면적이 가장 크게 나타났다. 세공크기 21~24 Å 범위의 미세공이 형성되었음을 확인하였으며, 세공분포를 통해 KOH 활성화한 바이오차는 20 Å 미세공과 20~500 Å 중간세공이 존재하는 것을 알 수 있었으며, NaOH 및 ZnCl<sub>2</sub> 활성화한 바이오차는 주로 20 Å 미세공이 형성된 것을 알 수 있다. 또한 SEM 표면을 관찰한 결과 활성화에 따라 표면이 일정한 형태의 균일한 세공이 발달되고 세공의 수가 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, KOH로 활성화한 바이오차가 NaOH 및 ZnCl<sub>2</sub>로 활성화한 바이오차보

다 일정한 형태의 기공이 형성됨을 관찰할 수 있었다. 이와 같이 KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub>로 활성화한 바이오차는 비표면적과 미세공이 증가하여 흡착능이 높아진 것을 확인할 수 있었으며, KOH로 활성화한 경우가 NaOH 및 ZnCl<sub>2</sub>로 활성화한 경우보다 흡착능이 가장 높은 것을 확인할 수 있었다.

따라서 폐목재는 HTC 공법을 이용한 탄화와 KOH, NaOH, ZnCl<sub>2</sub>를 이용한 화학적 활성화로 흡착특성을 파악하여 폐기물 바이오매스인 폐목재의 활용 가치 확대가 가능할 것으로 보이며, 오염물질 처리를 위한 흡착제 적용을 위한 연구가 추가하여 흡착능을 증명하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### References

1. Inyang, M. and Dickenson, E., "The Potential Role of Biochar in the Removal of Organic and Microbial Contaminants from Potable and Reuse Water: A Review," *Chemosphere*, **134**, 232-240 (2015).
2. Pourhashem, G., Hung, S. Y., Medlock, K. B., and Masiello, C. A., "Policy Support for Biochar: Review and Recommendations," *GCB Bioenergy*, **11**, 364-380 (2019).
3. Mandal, A., Singh, N., and Purakayastha, T. J., "Characterization of Pesticide Sorption Behaviour of Slow Pyrolysis Biochars as Low Cost Adsorbent for Atrazine and Imidacloprid Removal," *Sci. Total Environ.*, **577**, 376-385 (2017).
4. Yoon, J. Y., Kim, J. E., Song, H. J., Oh, K. B., Jo, J. W., Yang, Y. H., Lee, S. H., Kang, G., Kim, H. J., and Choi, Y.-K., "Assessment of Adsorptive Behaviors and Properties of Grape Pomace-derived Biochar as Adsorbent for Removal of Cymoxanil Pesticide," *Environ. Technol. Innov.*, **21**, 101242 (2021).
5. Baharum, N. A., Nasir, H. M., Ishak, M. Y., Isa, N. M., Hassan, M. A., and Aris, A. Z., "Highly Efficient Removal

- of Diazinon Pesticide from Aqueous Solutions by Using Coconut Shell-modified Biochar,” *Arab. J. Chem.*, **13**, 6106-6121 (2020).
6. Jirka, S. and Tomlinson, T., “2013 State of the Biochar Industry,” *International Biochar Initiative*, 1-61 (2014).
  7. Chung, C.-k., “A Study on the Low Temperature Pyrolysis of Discarded Tree Debris for Commercial Production of Activated Carbon,” *Journal of Institute of Industrial Technology*, **16**, 315-326 (2011).
  8. Won, M. H., Cho, W. R., Chang, J. M., Park, J. S., and Lee, J. Y., “Characterization of Waste Wood Biochar-Based Activated Carbon Synthesized by Hydrothermal Carbonization,” *J. Korea Soc. Waste Manag.*, **39**, 280-289 (2022).
  9. Woo, R. J., “The Characteristics of Biochar with Food Waste by Hydrothermal Carbonization,” Master Thesis, University of Seoul (2015).
  10. Park, H. W., Oh, N. A., Oh, S. J., Cho, W. R., Chang, J. M., and Lee, J. Y., “Recycling Organic Sludge into Modification Block by Hydrothermal Carbonization (HTC),” *Clean Technol.*, **29**, 102-108 (2023).
  11. Park, Y. T., “Activated Carbon Technology,” Donghwa, Gyunggi (2007).
  12. Sevilla, M. and Fuertes, A. B., “Chemical and Structural Properties of Carbonaceous Products Obtained by Hydrothermal Carbonization of Saccharides,” *Chemistry A European Journal*, **15**, 4195-4203 (2009).
  13. Marsh, H., Crawford, D., O’Grady, T. M., and Wennerberg, A., “Carbons of High Surface Area, A Study by Adsorption and High Resolution Electron Microscopy,” *Carbon*, **20**, 419-426 (1982).
  14. Lee, W. H. and Reucroft, P. J., “Vopar Adsorption on Coal and Wood-based Chemically Activated Carbon (II) Adsorption of Organic Vapor,” *Carbon*, **37**, 15-20 (1999).
  15. Kim, S. C. and Hong, I. K., “Manufacturing and Physical Properties of Coal Based Activated Carbon,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **20**, 745-754 (1998).
  16. Lee, S. W., Moon, J. C., Lee, C. H., Ryu, D. C., Choi, D. H., Ryu, B. S., and Song, S. K., “Analysis of Pore Characteristics between Commercial Activated Carbons and Domestic Anthracite-based Activated Carbon,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **23**, 1211-1218 (2001).