

페타이어로부터 활성탄 제조에 관한 연구

김진욱¹, 임기혁¹, 손병현^{1*}
¹한서대학교 환경공학과

A study on preparation of activated carbon from waste tire

Jin-Uk Kim¹, Ki-Hyuk Lim¹ and Byung-Hyun Shon^{1*}

¹Environmental Engineering, Hanseo University

요 약 본 연구에서는 페타이어 열분해 잔류물(char)을 이용하여 활성탄을 제조하기 위한 연구를 수행하였다. 활성탄 제조는 고정층 석영관 반응기에서 수증기를 이용한 물리적 활성화 방법을 사용하였으며, 주요한 실험 변수는 활성화 온도, 활성화 시간, 승온속도 및 활성화제의 주입량 등이다. 활성탄 제조 후 세공분포를 분석한 결과, 활성화 온도 850℃, 승온속도 5℃/min, 활성화 시간 3 hr의 조건에서 제조한 활성탄이 미세세공(micropore), 중간세공(mesopore) 및 거대세공(macropore)이 가장 많이 발달함을 알 수 있었다. 본 연구결과, 페타이어 열분해 잔류물을 이용한 활성탄 제조의 최적 조건은 활성화 온도 850℃, 활성화 시간 3 hr, 승온속도 5℃/min, 활성화제 공급량 3 g H₂O/char-g·hr 등으로 조사되었다. 이 조건에서 제조한 활성탄의 BET 비표면적은 517.6 m²/g, 총 세공부피 0.648 cm³/g으로 나타나 활성탄으로서의 사용 가능성을 확인할 수 있었다.

Abstract In this study we investigated the manufacturing method for the activated carbon using the char from the pyrolysis of waste tire. The physical activation method using the steam in the fixed-bed quartz reactor was used for preparation of activated carbon. The primary experiment parameters are the activation temperature, activation time, heating rate, and the injection quantity of active agent. From the results of pore distribution of activated carbon, the micropore which was made in 850℃ of activation temperature, 5℃/min of heating rate, and 3 hours of activation time was developed in biggest quantity, and mesopore and macropore were developed in the biggest quantity too. The optimum conditions for producing the activated carbon using the pyrolysis residue were 850℃ of activation temperature, 3 hours of activation time, 5℃/min of heating rate, and 3 g H₂O/char-g·hr of active agent through this study. The produced activated carbon in these conditions showed that the potentiality of utilization as activated carbon because the BET specific surface area was 517.6 m²/g and total pore volume was 0.648 cm³/g.

Key Words : Activated carbon, Waste tire char, Activation, Pyrolysis

1. 서론

최근 전 세계적으로 페타이어의 발생 및 처리에 관한 문제가 날로 심각해지고 있다. 이를 해결하기 위해 많은 재활용방법이 활용되고 있지만 여러 가지 문제점이 있다. 첫째, 부피가 커서 매립지 확보가 곤란하고, 둘째, 연소 시 SO_x 등의 발생으로 2차 환경오염의 우려, 셋째, 자동차 산업의 발달로 인해 페타이어 발생량이 해마다 크게

증가하고 있다는 점에서 페타이어의 처리 방법에 대한 연구개발의 중요성이 날로 증대되고 있다[1].

현재 국내 페타이어 재활용은 크게 원형이용, 가공이용, 열원이용 등 세 가지 방법이 있는데 이 중 열원이용이 페타이어를 대량 처리할 수 있으며, 에너지 절약 측면에서 가장 경제적이지만 단순 소각에 의한 열원 이용이라는 점에서 2차 환경오염에 대한 문제점이 있다. 따라서 이러한 처리방법들의 단점을 보완하기 위하여 단순 소각

본 연구는 2011년도 한서대학교 교비 학술연구지원사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

*교신저자 : 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

접수일 12년 01월 10일

수정일 (1차 12년 01월 18일, 2차 12년 01월 31일)

게재확정일 12년 02월 10일

방법보다 열분해 공정이 더 적합한 것으로 보고되고 있다[2]. 이 공정의 장점은 황 및 중금속 성분이 생성되는 회분에 고정되는 비율이 높고 SOx, NOx, HCl, 중금속 등을 포함하는 배가스량을 최소화할 수 있으며 보조연료가 필요하지 않다는 것이다[2].

페타이어 열분해 생성물질은 oil, gas, char로 구성된다. 이 중 oil은 43 MJ/kg의 높은 열량을 가지고 있어 적절한 정제작업이 이루어지면 좋은 연료로 사용할 수 있고, gas의 경우 CO, H₂, CH₄로 구성되어 있어 좋은 에너지로 사용 가능하다[3, 4]. 그러나 다른 연소기술에 비해 공정비용이 높다는 단점이 있다. 따라서 페타이어 열분해 기술의 보급을 위해서는 열분해 부산물로 생성되는 char에 대한 상업적 활용이 매우 중요하다고 할 수 있다. 열분해 char 중에는 타이어 제조 시 들어간 각종 무기화합물들이 ash로 존재하여 char의 질을 저하시켜 현재로서는 타이어 제조에 사용하는 상용 카본블랙으로 사용하기에도 약간의 문제가 있다. 그러나 페타이어 char는 고정탄소 함량이 높고, 열분해 과정에서 휘발성 물질이 제거되면서 약간의 세공이 발달하기 때문에 활성탄의 재료로 사용가능할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 페타이어를 재활용하고 기존의 활성탄을 대신할 수 있는 저비용, 고효율 흡착제를 개발하기 위해 페타이어 열분해 char를 수증기를 이용한 물리적 활성화를 이용하여 활성탄을 제조한 후 비표면적과 세공 구조 및 질소흡착등온선 등의 관찰을 통하여 페타이어 활성탄의 최적 제조 조건을 확립하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 실험 재료

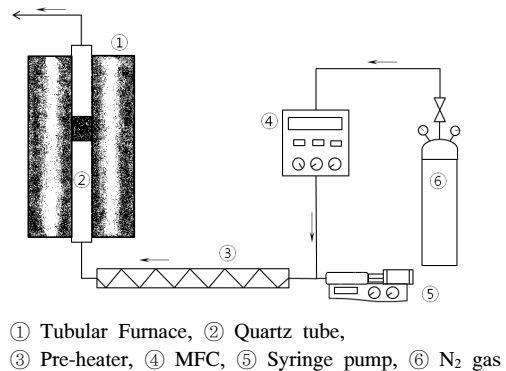
본 연구에 사용된 원료는 국내 경기도의 W업체에서 조업 중인 페타이어 열분해 시설에서 발생하는 char를 이용하였다. 이 공장에서의 열분해 조업 조건은 온도 400~600℃, 체류시간 1시간 및 24.2 kg/hr의 페타이어를 처리할 수 있는 열분해 플랜트이다.

2.2 실험장치 및 실험방법

실험장치를 그림 1에 도시하였고, 실험장치의 구성은 크게 불활성 운반가스 유입장치, 스팀 발생장치, 전기로 및 반응기 등 크게 3개 부분으로 구성하였다. 운반기체인 질소가스 유입장치는 압력이 약 50 kgf/cm²인 봄베(bomb)에서 MFC(Mass flow controller)를 이용하여 압력과 유량을 조절하여 스팀 발생기에서 만들어진 스팀을 석영반응기로 운반하는 역할을 하도록 설계하였으며 유

량은 5~200 ml/min로 조절하였다.

반응기의 재질은 석영관(직경 20 mm, 길이 500 mm)을 사용하였으며, 반응기의 중간 지점에 다공판(perforated plate)을 설치하였다. Char와 수증기의 반응을 원활하게 하고 편류를 방지하기 위해 다공판 위에 석영섬유(quartz wool)를 약 1 cm 정도로 설치한 후 그 위에 char를 장착하였다. 고정층 반응기에 char를 충전한 후 질소와 수증기를 반응기 하부에서 주입하여 분말형태의 char가 충분히 반응할 수 있도록 구성하였다.



[그림 1] 실험장치의 개략도.

[Fig. 1] Schematic diagram of experimental apparatus.

반응온도는 비례식 미적분 제어기로 조절하였고 반응기의 중앙에서 K-type 열전대로 온도를 측정하였다. 활성화 실험에 필요한 온도에 도달할 때까지 환원분위기를 유지하기 위하여 질소가스를 주입(약 60 ml/min)하였으며 실험온도에 도달하면 예열기를 통해 수증기를 주입하였는데 이때 예열기의 온도는 300℃ 정도를 유지하였다. 공급되는 물은 미량주사기로 조절하였고 예열기를 통과하면서 생산된 수증기는 운반가스와 함께 반응기로 유입되도록 설계하였다.

2.3 물리적 특성 분석

2.3.1 비표면적 및 기공 분포

비표면적 측정은 기기를 사용하여 CO₂ 및 N₂ 등 피흡착 가스로 일정온도(N₂: -196℃, CO₂: 0℃)에서 가스의 압력을 1~760 mmHg의 범위로 변화시켜가며 흡착등온식을 측정하고 기체운동론과 흡착평형관계 및 고체 표면에 관한 몇 가지 가정으로부터 유도된 B.E.T식으로 구한다. 또한 기공 특성은 mercury porosimetry에 의한 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 BET Surface Area and Porosimetry Analyzer ASAP-2020(USA, Micromeritics Instruments)를 이용하여 분석하였다.

2.3.2 전자 주사 현미경(SEM)

전자 현미경은 일반적으로 고체 입자 표면의 상태를 조사하기 위하여 널리 이용된다. 본 연구에서는 HITACHI S-400 (Japan, SEM/KEVEX EDX SPECTROMETER) 분석기를 이용하여 시료를 약 1,000 ~ 10,000배로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 원료의 물성

표 1과 같이 페타이어 열분해 잔류물(char) 분석 결과 수분은 0.4%, 회분은 15.2%, 휘발분은 10.2%, 고정탄소 74.2%로 나타났다. 성분분석 결과 회분은 열분해 잔류물(char)이 무연탄과 유연탄보다 5~10.6% 정도 높게 나타났으며, 휘발분은 무연탄보다 7.8% 높고, 유연탄에 비해 상대적으로 26.3%정도 낮게 나타났다. 고정탄소는 무연탄보다는 낮고 유연탄보다는 다소 높게 분포되어 있는 것으로 조사되었다[5].

[표 1] Char, 무연탄 및 유연탄의 물리적 특성.

[Table 1] Physical properties of char, anthracite, and bituminous.

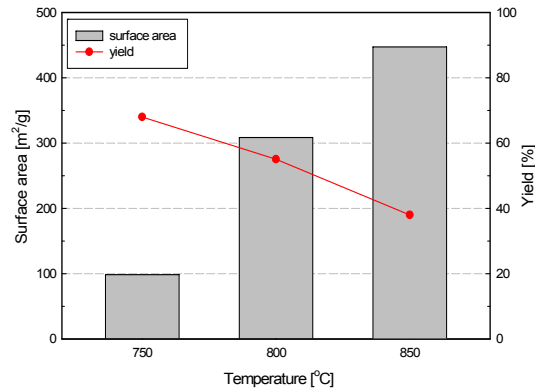
Raw material	Moisture	Volatile matter	Fixed carbon	Ash
Char	0.4	10.2	74.2	15.2
Anthracite	4.0	2.4	82.2	10.4
Bituminous	4.5	36.5	55.0	4.0

Char의 원소 조성은 탄소, 수소, 질소, 황이 각각 82.69%, 0.36%, 0.49%, 3.53%이었다. 활성탄의 골격구조는 원료의 구조로부터 이어 받기 때문에 원료의 선택은 매우 중요하다. 회분함량이 높으면 상대적으로 흡착력과 재생능력이 저하되므로 회분함량이 낮은 것이 활성탄 제조 원료로 적합하다.

3.2 활성화 조건에 따른 비표면적 변화

그림 2는 활성화 온도변화에 따른 활성탄의 표면적과 수율 변화를 나타낸 것이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 수율은 온도의 증가에 따라 급격히 감소하였는데 이는 고정탄소가 수증기와 반응하여 CO와 CO₂로 휘발되기 때문으로 사료되며, 850℃에서의 활성탄 수율은 38.2% 정도로 나타났다. 활성화 온도를 750℃에서 850℃까지 상승 시킴에 따라 비표면적은 급격히 증가하여 850℃에서 비표면적이 447.3 m²/g으로 가장 높게 나타났으며, 이는 Allen 등의[6] 연구(탄화 800℃, 활성화 온도 800℃, 표면

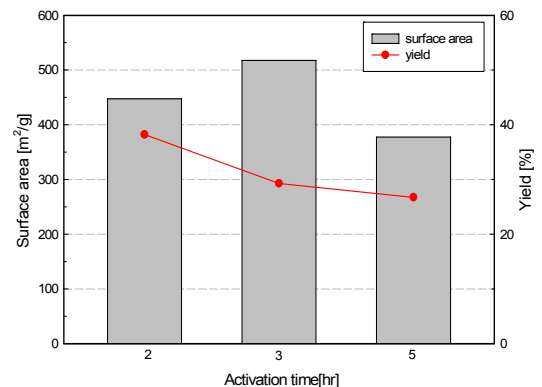
적 528 m²/g)와 유사한 결과를 나타내었다. 일반적으로 세공이 적은 페타이어 char의 BET 비표면적은 8~135 m²/g로 알려져 있으며[7], 활성화 과정을 거치면서 많은 비표면적이 증가되었음을 알 수 있다.



[그림 2] 활성화 온도변화에 따른 표면적과 수율변화.

[Fig. 2] Effects of activation temperature on surface area and yield.

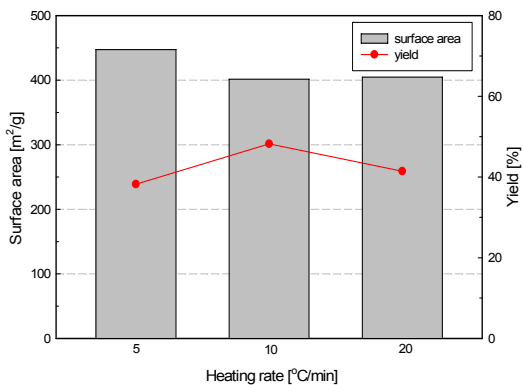
그림 3은 활성화시간에 따른 활성탄의 물리적 특성을 나타낸 그림이다. 활성화시간이 2시간일 경우 비표면적은 447.3 m²/g, 3시간일 경우 517.6 m²/g으로 최대를 나타내었고, 3시간이후 부터는 감소하기 시작하여 5시간일 때 377.3 m²/g으로 2시간일 때 보다 비표면적이 감소하였고 수율 또한 감소하였다. 대부분 활성탄은 비표면적의 증가에 따라 반비례적으로 수율은 감소해야 하나, 활성화 3시간 이후에 결과는 예상과 다른 모습을 보여주고 있는데 이것은 활성탄의 공극이 주변 공극과 연결되는 cross-link가 붕괴된 현상 때문이라고 사료된다[8].



[그림 3] 활성화 시간에 따른 표면적과 수율변화.

[Fig. 3] Effects of activation time on surface area and yield.

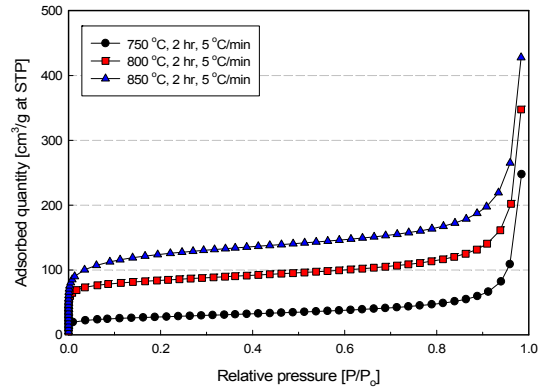
그림 4는 승온속도에 따른 비표면적 및 수율 변화를 나타낸 것이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이, 승온속도에 따른 활성탄 제조 영향은 활성화 온도에 비하여 현저한 차이를 보이지는 않지만 승온속도가 낮을수록 비표면적은 증가하는 것을 볼 수 있다. 승온속도 5 °C/min일 경우 비표면적은 447.3 m²/g으로 가장 높았으며, 10 °C/min과 20 °C/min일 경우 각각 401.4 m²/g, 404.6 m²/g으로 비표면적에 큰 차이는 나타나지 않았다. 수율은 10 °C/min 및 20 °C/min의 경우 각각 48.2%, 41.4%로 일시 증가한 후 다시 감소하는 것을 볼 수 있다.



[그림 4] 승온속도에 따른 표적면적과 수율의 변화.
[Fig. 4] Effects of activation heating rate on surface area and yield.

3.3 질소흡착등온선 비교

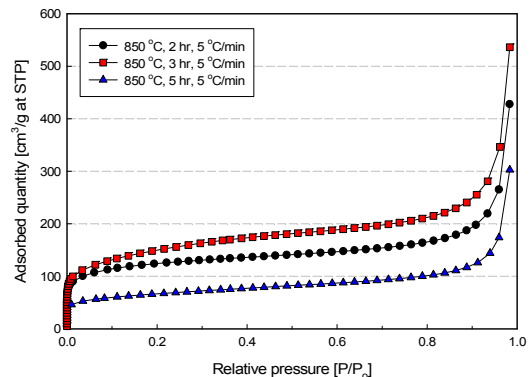
그림 5는 활성화 온도에 따른 질소 흡착 등온선을 나타낸 것이다. 미세세공을 많이 가지고 있는 활성탄은 질소흡착실험에서 평형에 도달하는데 비교적 많은 시간이 걸리며, 그림 5에서 상대압력(P/P₀)이 0.1이하의 부근에서 급속한 흡착량 변화가 나타나는데 이는 질소가스를 응축할 수 있는 미세세공이 발달한 것을 의미하고, 이 등온선의 유형은 S형과 유사한데 이런 형태는 미세세공보다 더 큰 중간세공 및 거대세공이 발달하였기 때문이다. 또한 온도 증가에 따라 질소흡착등온선의 형태는 비슷하나 흡착량에 대한 차이는 확실히 나타났으며, 이는 최종 비표면적을 좌우하며 활성탄의 흡착능을 알 수 있는 중요한 척도가 된다. 750 °C, 800 °C, 850 °C, 각각의 조건에서의 질소 흡착량은 247.6 cm³/g과 347.4 cm³/g으로 나타났으며, 850 °C 조건에서 427.6 cm³/g으로 최대의 흡착량을 보여주었고, 상대압력(P/P₀) 0.1이하에서 115.7 cm³/g으로 미세세공이 가장 많이 발달함을 확인할 수 있었다.



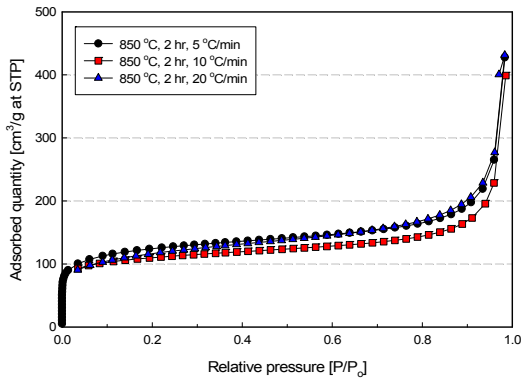
[그림 5] 활성화 온도에 따른 질소흡착 등온선.
[Fig. 5] N₂ isotherm plots of activated carbon as a function of activation temperature.

그림 6은 활성화 시간에 따른 질소흡착능을 보여주고 있으며, 활성화 조건을 850 °C, 5 °C/min로 고정한 상태에서 활성화 시간을 2~5 hr로 변화를 주었다. 활성화 시간의 증가에 따라 질소흡착과 미세세공이 증가하였고, 3시간일 때 536.2 cm³/g로 최대를 나타내었으나, 3시간 이후에는 질소흡착량이 감소하여 5시간에서는 302.7 cm³/g로 상당량 감소하는 것을 볼 수 있었다. 3시간 동안 활성화한 활성탄의 등온선을 보면 다른 실험의 등온선보다 기울기가 큰 것을 볼 수 있는데 이는 다른 조건의 활성탄보다 중간세공이 더 발달했다는 것을 나타내고 있다[9, 10].

그림 7에서는 승온속도에 따른 질소흡착능을 보여주고 있는데, 활성화 온도 및 활성화 시간의 조건에 비해 승온속도는 질소흡착능에 크게 기여를 하지 않는 것으로 보이며, 미세세공 또한 큰 차이는 보이지 않았다.



[그림 6] 활성화 시간에 따른 질소흡착 등온선.
[Fig. 6] N₂ isotherm plots of activated carbon as a function of activation time.

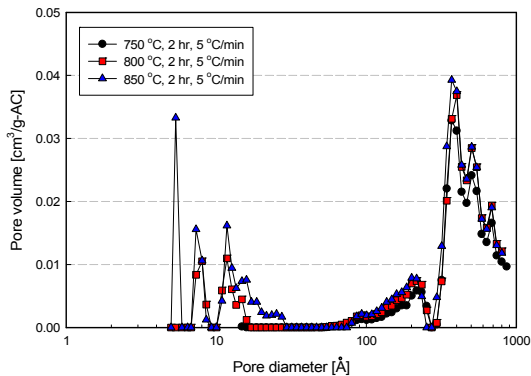


[그림 7] 승온속도에 따른 질소흡착 등온선.
[Fig. 7] N_2 isotherm plots of activated carbon as a function of heating rate.

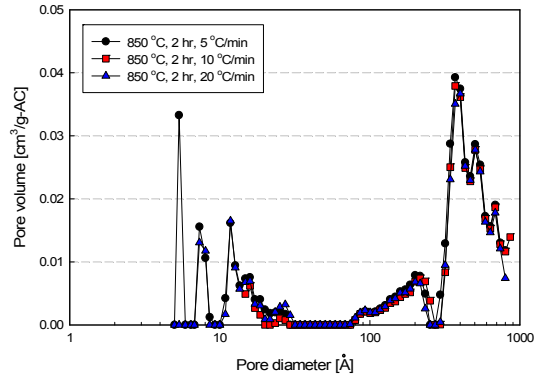
3.4 세공구조에 미치는 영향

그림 8은 활성화 온도에 따라 변화하는 세공분포를 나타낸 것이다. 750℃에서 활성화한 활성탄은 미세세공인 직경 20 Å 이하의 세공분포는 발달하지 않았으며, 800℃에서부터 온도가 증가할수록 미세세공이 발달하는 것을 볼 수 있고, 중간세공(20 ~ 500 Å)과 500 Å 이상의 거대세공은 활성화 온도에 따라 조금씩 증가하지만 그 범위는 크지 않아 활성화 온도에 따라 변화하는 세공분포는 거대세공보다 미세세공에 미치는 영향이 큰 것으로 사료된다.

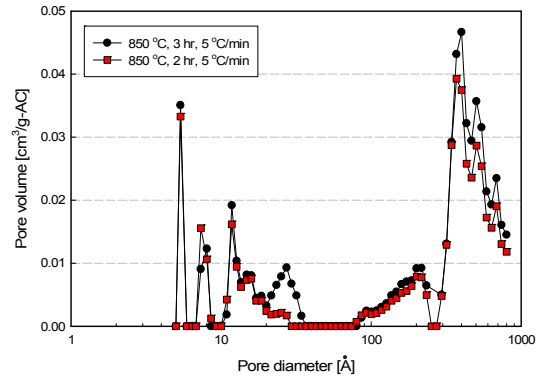
그림 9는 활성화 승온속도에 따른 세공분포를 나타내는 것으로서, 활성화 온도 850℃에 도달하기 까지 5 °C/min, 10 °C/min, 20 °C/min의 속도로 실험하였다. 승온속도에 따라 중간세공 및 거대세공의 변화는 차이가 없었으며, 20 Å 이하의 미세세공은 승온속도가 늦을수록 발달하였고, 5 °C/min에서 최대에 미세세공 분포를 나타내었다.



[그림 8] 활성화 온도의 영향에 따른 세공분포.
[Fig. 8] Effect of activation temperature on the pore volume and pore size distribution.



[그림 9] 승온속도의 영향에 따른 세공분포.
[Fig. 9] Effect of activation heating rate on the pore volume and pore size distribution.



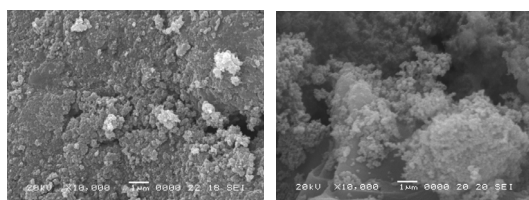
[그림 10] 활성화 시간의 영향에 따른 세공분포.
[Fig. 10] Effect of activation time on the pore volume and pore size distribution.

그림 10은 활성화 시간에 따른 세공분포를 나타내는 것으로서, 850℃, 5 °C/min의 조건에서 활성화 시간을 2 hr, 3 hr으로 조절하여 활성탄을 제조한 것이다. 활성화 시간이 증가할수록 미세세공, 중간세공 및 거대세공 모두 발달되는 것을 볼 수 있었고, 특히 중간세공과 거대세공은 2 hr일 때 보다 더 증가한 것으로 나타내었다. 활성화 조건에 따라 활성탄의 세공분포는 모두 유사한 모양의 그래프를 보여주고 있는데, 거대세공의 경우 활성화 온도에 도달하기까지의 열적반응으로 인해 휘발성물질과 타르성분의 유출로 인해 생성된 것으로 판단되며, 미세세공과 중간세공의 발달이 석탄계 활성탄 및 식물계활성탄보다 다소 낮은 것은 회분함량이 5~10% 정도 높아 공극의 발달이 저하된 것으로 판단된다. 전체적으로 보았을 때, 8가지 활성탄의 세공분포를 비교해보면 활성화 온도 850 °C, 5 °C/min 조건에서 3 hr동안 활성화한 활성탄이 미세

세공이 가장 많이 발달하였고, 중간세공과 거대세공 또한 가장 많이 발달하였다. 활성탄의 표면적과 흡착능을 높여 주는 미세세공은 많이 발달되지 않았지만 거대세공이 많이 발달된 것으로 보아 유기물 흡착 및 중금속 흡착에 대한 제거능력은 우수할 것으로 사료된다[11, 12].

3.5 표면관찰

물리적 활성화로 제조된 활성탄의 표면을 관찰하기 위하여 SEM 사진(배율 X10,000)을 비교하였다. 그림 11(a)는 char의 표면을 나타낸 것인데 평평한 구조를 보였으며 미세세공의 발달보다는 중간세공 및 거대세공의 발달이 활발하게 이루어진 것으로 보이며, 이는 페타이어 열분해를 거치면서 휘발성물질의 휘발로 인한 중간세공 및 거대세공이 발달된 것으로 판단된다. 그림 11(b)는 850℃에서 5 ℃/min, 3 hr 동안 활성화를 거친 활성탄의 표면구조를 나타낸 것이다. 페타이어 열분해 char에 비하여 거칠어진 구조를 되어 있음을 확인할 수 있으며, 세공의 크기 및 형태가 불규칙적인 구조로 된 결합체를 관찰할 수 있었다. 또한 세공 및 사공간의 연결통로를 확인할 수 있었으며 이는 무정형 탄소의 집합체의 특징이라 할 수 있다. 이 세공의 형태는 열분해를 통해 생겨난 기존의 틈이 확대되었다고 생각하며, 활성탄 표면에 거칠기 또한 많이 증가된 것으로 보아 세공이 새로 형성되었음을 확인할 수 있었다. 활성화 과정을 거쳐 제조된 활성탄에서 많은 세공이 형성됨을 SEM 사진을 통해 확인 할 수 있었고 이 결과는 N₂ adsorption isotherm 결과와도 일치하였다.



(a) char

(b) char

[그림 11] 페타이어 char(a) 및 활성탄(b)의 SEM 사진.
[Fig. 11] SEM photographs of char(a) and activated carbon(b) prepared from waste tire char.

4. 결론

페타이어 열분해 잔류물인 char을 이용하여 활성탄 제조에 대해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 페타이어 열분해 잔류물(char)을 유연탄 및 무연탄과 비교한 결과 회분이 5~10% 높고, 휘발분은 무연탄보다 7.8% 높았으며, 고정탄소는 무연탄보다는 낮고 유연탄보다는 다소 높게 분포하고 있었다.
2. 물리적 활성화를 통해 활성탄을 제조한 결과, 활성화 온도 850℃, 활성화 시간 3시간, 수증기 공급량 3 g H₂O/char-g-hr의 조건에서 비표면적 517.6 m²/g을 갖는 활성탄을 제조할 수 있었다. 또한 수율은 활성화 온도 및 활성화 시간에는 반비례하였으나 승온속도에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
3. 동일한 활성화 조건에서 총 세공부피는 활성화 온도가 증가할수록 micropore는 많이 증가하였다. Mesopore와 macropore는 온도증가에 따라 증가하였지만 micropore에 비하여 많이 증가하지는 않았다.
4. 활성탄의 질소흡착량은 활성화 온도 850℃, 반응 시간 3시간 조건에서 536.2 cm³/g으로 최대의 흡착량을 보여주었고, 상대압력(P/Po) 0.1이하에서 133.7 cm³/g으로 미세세공이 가장 많이 발달하였다. 온도 증가에 따라 질소흡착등온선의 형태는 비슷하나 온도가 높아질수록 질소흡착량 또한 증가하였다.
5. SEM 사진 분석 결과, 열분해과정에서 형성된 세공이 수증기 활성화에 의해 더욱 확대되고 또한 새로 형성됨을 확인할 수 있었다.

References

- [1] Jin-kuk Kim, Daeseok Bang, "Development of mass production of the thermoplastic elastomer using waste tire", Cyeongsang University a master dissertation, (2010)
- [2] C. I. Sainz-Diaz, A. J. Griffiths, "Activated carbon from solid wastes using a pilot-scale batch flaming pyrolyser", Fuel, vol. 79, pp.1863-1871, (2008)
- [3] C. Roy, A. Chaala, H. Darmstadt, "The vacuum pyrolysis of used tires: End-uses for oil and carbon black products", Journal of analytical and applied pyrolysis, vol. 51, pp.201-221, (1999)
- [4] Suat Ucar, Selhan Karagoz, Ahmet R. Okan, Jale Yanik, "Evaluation of two different scrap tires as hydrocarbon source by pyrolysis", Fuel, vol. 84, pp.1884-1892, (2005)
- [5] Donghoon Choi, "A study on manufacture of activated carbon and Adsorption characteristics of organic matter based coal", Chonbuk University a doctoral dissertation, (2001)

- [6] Allen JL, Gatz JL, Eklund PC, "Applications for activated carbons from used tires: butane working capacity", Carbon, vol. 37, pp.1485-1489, (1999)
- [7] G. San Miguel, G.D. Fowler, "The leaching of inorganic species from activated carbons produced from waste tyre rubber", Water research, vol. 36, pp.1939 - 1946, (2002)
- [8] Young-tae Park, "Activated carbon technology", Donghwa technology publishing Co, pp.157-164, (2007)
- [9] Juan F. Gonzalez, Jose' M. Encinar, Carmen M. González-García, "Preparation of activated carbons from used tyres by gasification with steam and carbon dioxide", Applied Surface Science, vol. 252, pp.5999 - 6004, (2006)
- [10] P. Ariyadejwanich, W. Tanthapanichakoon, K. Nakagawa, S.R. Mukai, H. Tamon, "Preparation and characterization of mesoporous activated carbon from waste tires", Carbon, vol. 41, pp.157 - 164, (2003)
- [11] Artur P. Terzyk, "The influence of carbon surface chemical composition on the adsorption of acetaminophen (paracetamol) in vitro: Part II. TG, FTIR, and XPS analysis of carbon and the temperature dependence of adsorption kinetics at the neutral pH", Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects, vol. 177, pp.23-45, (2001)
- [12] A. G. Rowley, F. M. Husband, A. B. Cunningham, "Mechanisms of metal adsorption from aqueous solutions by waste tire rubber" Water research, vol. 18, pp.981-984, (1984)

임 기 혁(Ki-Hyuk Lim)

[준회원]



- 2011년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과(공학석사)

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리

손 병 현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리

김 진 욱(Jin-Uk Kim)

[준회원]



- 2010년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과(공학석사)

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리