

Optimization of hydrochar generated from real food waste using titration methods

Minseon Choi, Seong-Eun Choi, Sol Han and Sunyoung Bae[★]

Department of Chemistry, Seoul Women's University Nowon-Gu Hwarangro 621, Seoul 139-774, Korea

(Received September 19, 2014; Revised January 12, 2015; Accepted January 12, 2015)

음식물폐기물-하이드로숄 최적 반응조건 도출을 위한 적정법 응용

최민선 · 최성은 · 한 솔 · 배선영[★]

서울여자대학교 화학과

(2014. 9. 19. 접수, 2015. 1. 12. 수정, 2015. 1. 12. 승인)

Abstract: Hydrochar has been generated from food waste via hydrothermal carbonization (HTC) reaction. As a solid product of HTC reaction, hydrochar has a great potential as an adsorbent of pollutants from the various media. The surface area and pore volumes are very important parameters to be served as an adsorbent. It requires an expensive equipment and consumes time to measure those parameter. Therefore, titration methods including iodine and methylene blue adsorption were evaluated to be correlated with that of BET analysis. Even though the absolute values of the computed surface area and pore volumes were not able to be matched directly, the patterns of change were successfully correlated. Among the reaction conditions, the reaction time and temperature at 230 °C for 4 h was determined as an optimization condition, which confirmed by titration method and BET analysis. Titration method for surface area and pore volumes computed by combination of iodine and methylene blue adsorbing values would be a simple and fast way of determining the optimization condition for hydrochar as an adsorbent produced by HTC reaction.

요 약: 하이드로숄은 음식물폐기물과 같이 수분을 함유하고 있는 바이오매스의 열수가압탄화반응을 통해 얻어질 수 있다. 열수가압탄화반응의 고체 생성물인 하이드로숄은 다양한 오염물질의 흡착제로서 훌륭한 잠재가능성을 가지고 있다. 흡착제의 표면적과 기공의 부피는 흡착능을 결정하는 매우 중요한 요소 중 하나로 알려져 있다. 이를 측정하기 위해서 고가의 장비 구비 및 숙련된 전문가를 필요로 하며 장비를 갖추지 못한 경우 샘플 측정료 등의 부담이 따르기 때문에 어느 곳에서나 사용하기가 힘들다. 본 연구에서는 요오드와 메틸렌블루 흡착을 통한 적정법을 이용하여 표면적 및 기공 부피를 측정하였으며 BET 분석 결과와 관련성을 평가하였다. 적정법을 통하여 계산된 표면적 및 기공 부피와 실제 수치는 정확하게 일치하지는 않지만 그 경향은 유사하다. 그 결과로 흡착제로서의 활용을 위한 하이드로숄의 최적 조건은 반응온도 230 °C, 반응시간 4 시간으로 결정하였다. 표면적 및 기공 부피의 계산은 아이오딘과 메틸렌블루의 흡착값의 조합을 이용하여 가능하고, 이 적정법을 이용하는 표면적 측정방법은 간단하고 빠르게 최적조건을 결정할 수 있다.

Key words: hydrochar, iodine number, methylene blue number, surface area, pore volume, adsorbent, hydrothermal carbonization reaction

[★] Corresponding author

Phone : +82-(0)2-970-5652 Fax : +82-(0)2-970-5972

E-mail : sbae@swu.ac.kr

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

현재 국내 음식물류 폐기물 발생량은 1 일 13,429 톤에 달한다.¹ 이는 전체 생활폐기물 발생량의 27.3%에 해당하는 양이며 2005년 이후 생활폐기물의 25% 이상을 차지하고 있다. 그러나 음식물 폐기물은 다량의 폐기물 자체로 인한 문제뿐만 아니라 음식물 폐기물로부터 유발되는 침출수의 악취, 토양오염, 해충 발생 등 2 차 오염을 유발한다. 또한 2013년부터 런던의 정서(2006년)의 발표로 음폐수의 해양 투기가 전면 금지됨에 따라 음식물폐기물로 인한 문제는 더욱 악화될 것으로 예상된다. 이러한 문제를 막기 위하여 폐기물의 감소를 위한 다양한 정책과 지원을 위한 여러 가지 연구가 이루어지고 있다. 다양한 연구 중 바이오매스를 바이오 연료로 전환하기 위한 전처리 방법으로 고온열분해법(High temperature pyrolysis)을 많이 사용하고 있다. 근래에는 고온열분해법 보다 비교적 낮은 온도(180 °C-230 °C) 열분해 시키는 열수가압탄화반응(Hydrothermal Carbonization, HTC)이 보고되었다.^{4,9,12,13} 열수가압탄화반응은 수분을 60% 이상 다량 함유하고 있는 바이오매스의 탄화를 별도의 전처리 없이 탄화하는 데에 매우 적합하며, 자생적으로 형성되는 높은 압력 하에서 하이드로쿼(hydrochar), 바이오리퀴드(bio-liquid), 가스가 생기는 반응이다. 생성된 하이드로쿼는 적절한 후처리를 통하여 이산화탄소 격리, 토양에 적용되어 비료나 중금속 흡착의 흡착제로 사용되고, 대체 연료로 사용하기 위해 연구가 이루어지고 있다.¹⁴⁻¹⁶

특히, 탄소의 함량이 높은 하이드로쿼를 중금속 등의 환경오염물질의 흡착제로 사용하기 위해 표면적이나 혹은 미세 기공의 분포 등이 그 흡착력을 좌우한다. 비표면적 분석을 통하여 표면적의 크기를 측정할 수 있는데, 본 실험에서는 분석 장비를 사용하지 않고 고체 흡착제의 표면적을 요오드가와 메틸렌블루가를 측정하여 표면적과 총 pore 부피를 측정하였다.

표면적 측정은 많은 연구에서 분석기기를 이용한 BET (Brunauer, Emmett, Teller)의 흡착용법의 원리를 기초로 하여 측정되고 있다.^{7,8} 기기를 이용한 측정은 정확한 수치의 데이터 생성, 시료가 가지고 있는 pore의 종류 유추, 시료의 재사용 가능 등의 장점을 가지지만 장비의 구비뿐만 아니라 숙련된 전문가가 기기를 작동해야하기 때문에 어느 곳에서나 사용하기 힘들다. 또한 이러한 장비를 갖추지 못한 경우에는 샘플 측정

료 등의 부담이 따른다. 이 외에도 기기적 측정이 아닌 간단한 적정을 이용한 Iodine Number and Methylene Blue Number (IN and MBN), Methylene Blue Number (MBN), Iodine Number (IN) 방법인 적정법을 통해 표면적을 확인할 수 있다. 적정법은 누구나 손쉬운 방법으로 실험 가능하며 기기 구입이나 전문가가 아니더라도 표면적을 유추할 수 있다. 또한 선행 연구에 따르면 표면적 뿐만 아니라 pore의 부피 측정 또한 가능하여 여러 면에 응용될 수 있다.^{2,3} 기존 연구에 따르면 methylene blue number는 mesopore capacity와 용액 상에서의 medium size의 유기성분 흡착의 지표로 사용되었다.⁵

본 연구에서는 음식물폐기물을 열수가압탄화반응을 통하여 다양한 반응조건에서 하이드로쿼를 생성한 후 흡착제로 사용하기 위한 반응의 최적조건을 결정하기 위하여 기기적 방법과 적정법을 이용하여 표면적과 총 pore 부피를 계산하여 비교하였다. 도출된 결과를 통하여 최적조건을 결정하기 위한 표면적 계산을 위한 적정법의 유용성을 제안하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료 준비

노원구 W식당으로부터 공급받은 실제 음식물폐기물의 조성비를 확인하기 위하여 곡류, 채소류, 육류, 과일, 그 외 물질로 나누어 각각의 질량 조성을 계산하였다. 음식물폐기물의 수분 함량을 확인하기 위해 분쇄기를 이용하여 고르게 분쇄한 후, 대기 중에서 건조하여 질량을 측정 하였다.

2.2. 하이드로쿼 생성반응

Bae와 Koh (2011)방법에 따라, 실험실에서 자체 제작한 반응기에 음식물폐기물 40 g을 넣어 반응 조건을 달리 하여 하이드로쿼를 생성하였다. 반응은 선행연구에서 보고된 최적반응 조건인 220 °C와 사용한 반응기의 최고반응온도인 230 °C에서, 반응 시간은 각 반응 온도에서 1 시간, 2 시간, 4 시간, 6 시간, 8 시간 동안 반응기를 온도가 일정한 오븐에 넣고 열수가압탄화하였다. 반응이 종결된 반응기는 수냉하여 생성된 기체의 부피를 측정하고 감압 여과하여 하이드로쿼를 분리하였다. 이때 여과된 액체를 바이오리퀴드로 정하여 질량을 측정하였다. 분리된 하이드로쿼에 20 mL의 아세톤을 넣어 24 시간 교반해 준 후, 감압 여과하여 하이드로쿼를 분리한 후, 110 °C에서 1 시간 동안 건조하여 추후 실험에 사용하였다.

2.3. 요오드가 측정 (IN)

표면적 확인을 통한 하이드로좌 생성 반응 조건의 최적화를 위하여, BET (Brunauer, Emmett, Teller) 측정으로 얻어지는 비표면적과 관련이 있는 요오드가를 측정하였다. 요오드가는 요오드용액을 표준화된 sodium thiosulfate 용액으로 적정하여 시료 1.0 g당 흡착된 요오드의 양(mg/g)을 구하여 표면적을 예상할 수 있다. 다른 온도와 시간에서 생성된 하이드로좌 0.3 g에 0.1 N 요오드 용액 30 mL를 가하고 실온에서 30분간 혼탕 시켜준 뒤 membrane filter를 이용하여 여과하였다. 여과한 용액 중 10 mL를 취하여 0.1 N sodium thiosulfate 용액으로 적정하고 요오드의 황색이 없어졌을 때 1% 녹말 지시약 용액 1 mL를 가한 후 다시 적정을 계속하여 청색이 없어지는 때를 종말점으로 하였다. 요오드가는 식 (1)를 이용하여 구하였다.

$$IN(mg/g) = \frac{(10 - B \times f \times 12.69 \times 5)}{S} \quad (1)$$

B : 적정에 사용한 0.1N sodium thiosulfate 용액의 양(mL)

f : 0.1N sodium thiosulfate의 용액의 농도계수

S : 시료의 질량 (g)

2.4. Methylene blue 흡착값 측정 (MBN)

Methylene blue number는 1.0 g의 흡착제에 최대 흡착할 수 있는 염료의 양을 나타낸다. Methylene blue 용액을 각각 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000 mg/L 농도로 제조한 뒤, 0.0100 g의 하이드로좌와 혼합한 후 24 시간 동안 정치한다. 그 후 membrane filter를 이용하여 여과한 용액을 UV/Vis spectrophotometer (Shimadzu, Japan)로 분석하였다. 등온흡착실험을 통해 하이드로좌의 표면에 흡착된 메틸렌블루 흡착값을 구할 수 있고 이는 식 (2)을 통하여 계산하였다. 최대흡착량은 등온흡착곡선 모델 중 Freundlich 모델을 선택하였다.

$$MBN(mg/g) = (C_0 - C_e) \times V/M \quad (2)$$

C_0 : 초기의 methylene blue 용액 농도 (mg/L)

C_e : 평형상태에서의 methylene blue 용액 농도 (mg/L)

V : methylene blue 용액 부피 (L)

M : 하이드로좌의 질량 (g)

2.5. 하이드로좌 표면적 측정 및 표면 관찰

Brunauer, Emmett, Teller (BET) 비표면적 측정에 사용한 장비는 일본 BEL Japan, INC사의 BELSORP-

mini II 이었으며, 사용된 가스는 액체질소(99.999%)이며, 온도는 77 K 이었다. 또한 Scanning Electron Microscope (SEM) 분석은 주사전자 현미경(MIRA LMH, Tescan Co., Czech)을 이용하였으며 최적조건에 따른 하이드로좌와 음식물폐기물의 표면구조를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시료 조성

노원구 W식당에서 얻어진 음식물 폐기물을 수거하여 성분 조사를 하였다. 본 연구에 사용되었던 음식물 폐기물은 주로 곡물류와 채소류가 많이 포함되어 있었는데, 성분의 구성은 곡물은 41.5%, 채소류 18.4%, 어육류 4.5%, 과일류 24.5%, 기타(음식물 속에 포함된 종이, 달걀껍질 등)으로 이루어져 있었다. 또한, 실제 음식물 폐기물의 8일간 항온에서 질량 변화를 확인하여 얻어진 실제 음식물폐기물의 수분 함량은 81.33% ($\pm 1.06\%$)로 측정되었다. 음식물폐기물은 다량의 수분을 함유하고 있는 것을 확인하였으며, 하이드로좌를 생성할 수 있는 충분한 수분 함량을 가지고 있어 다른 전처리 없이 열수가압탄화 반응에 사용하였다.

3.2. 열수가압탄화반응의 수득률

다양한 반응온도와 반응시간의 HTC 반응으로부터 얻어진 세가지 생성물인 하이드로좌, 바이오리퀴드, 가스의 수득률을 계산하였다. 하이드로좌의 수득률을 비교해보면, 대체적으로 온도가 높고 반응시간이 증가할수록 생성량이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 1). 이는 음식물폐기물의 유기성 성분이 HTC 반응이 진행될수록 가수분해, 카르복실화 반응, 축합반

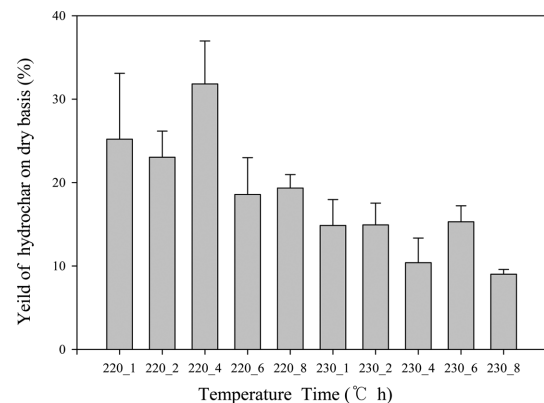


Fig. 1. Yield of hydrochar production on dry basis at 220 °C and 230 °C for 1 h, 2 h, 4 h, 6 h and 8 h from real food waste.

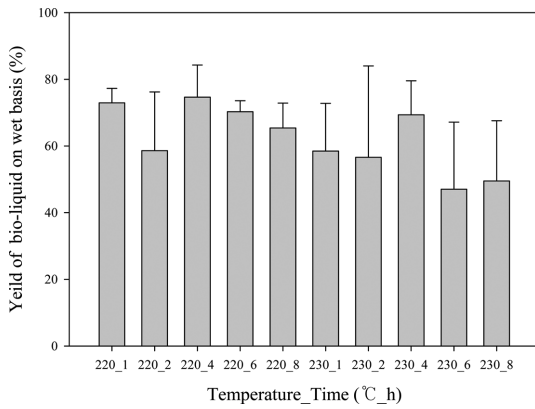


Fig. 2. Yield of bio-liquid production on wet basis at 220 °C and 230 °C for 1 h, 2 h, 4 h, 6 h and 8 h from real food waste.

응 등의 화학반응을 거쳐 액체나 기체로 변화하기 때문이라 사료되었으며 이전의 연구 결과와 비슷한 경향을 보였다.^{9,10} 바이오리퀴드의 수득률은 전체적으로 반응온도가 낮을수록 증가하고 반응시간에 따라서는 현저한 차이가 없음이 관찰되었다(Fig. 2). 가스 생성은 초기의 음식물폐기물의 총 질량에서 생성된 하이드로쿼, 바이오리퀴드의 질량을 빼줌으로써 계산하였다. 이를 통하여 가스의 생성은 반응온도가 높을수록 생성량이 더 큰 것으로 확인되었다.

즉, HTC 반응조건 중, 반응온도 220 °C, 230 °C에서 반응시간 1, 2, 4, 6, 8 시간을 반응시킨 결과 세 가지 성분의 생성물의 수득률 경향은 반응시간이 길고 온도가 높을수록 하이드로쿼의 수득률은 줄어드는 반면, 가스의 양이 많아진다. 하이드로쿼의 최대 수득률을 위한 최적의 반응조건은 220 °C 나 230 °C에서 4 시간 동안의 반응조건이고, 바이오리퀴드의 수득률

은 220 °C에서 4 시간 이후, 가스는 220 °C, 6 시간으로 결정되었다. 따라서, 음식물 폐기물의 HTC 반응을 통한 세 가지 상태의 생성물의 활용도에 따라 반응성 및 수득률을 고려한 반응의 최적 조건을 선정하는 것이 중요하다고 사료되었다. 각 상태의 성분 분석 및 활용도는 실험 중에 있으며, 본 논문의 주제와 맞지 않아 자세히 다루지 않았다.

3.3. 하이드로쿼의 표면 관찰

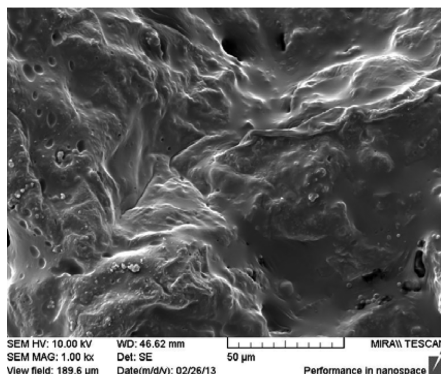
실제음식물폐기물(Real Food Waste, RFW)과 230 °C에서 4 시간 HTC 반응을 통해 생성된 하이드로쿼의 표면 상태를 관찰하기 위하여 전자주사현미경을 이용하여 표면 변화를 확인하였다. Fig. 3에서 RFW와 하이드로쿼를 비교하여보면 음식물폐기물의 경우 굴곡이 매끈하고 완만한 반면, 하이드로쿼의 경우 많은 굴곡과 기공(pore)이 많이 형성되어있어 비교적 울퉁불퉁한 모습을 보인다.⁶

다른 연구자들의 발표와 같이 HTC 과정을 통한 공극의 형성과 굴곡의 변화로 인한 표면적의 변화는 하이드로쿼와 흡착 물질의 접촉 면적을 증가시키므로 하이드로쿼가 흡착제로서 이용되는데 효과적일 것으로 사료된다.^{4,9}

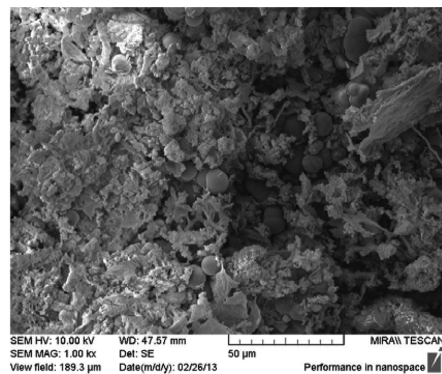
3.4. 요오드가, 메틸렌블루 흡착, BET 측정

하이드로쿼의 요오드가는 반응온도가 높을수록 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4). 모든 실험 조건 중, 230 °C, 4 시간동안 반응하여 생성된 하이드로쿼가 954.66(±7.09) mg/g 로 가장 높은 요오드가를 나타내었다. 이는 RFW의 요오드가의 1.75 배에 해당된다.

반응 온도 220 °C 조건에서는 하이드로쿼(220 °C, 2 h)의 MBN이 2.174 mg/g으로 측정되었다. 반면 230 °C



(a)



(b)

Fig. 3. SEM images of (a) real food waste and (b) hydrochar.

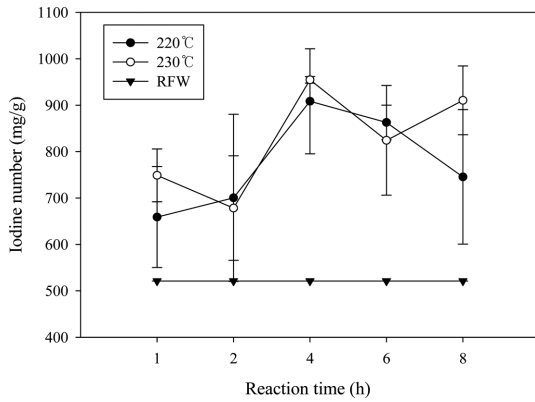


Fig. 4. Iodine number of hydrochar and real food waste.

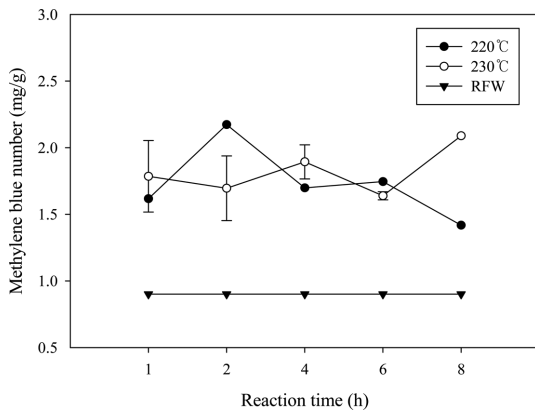


Fig. 5. Methylene blue number of hydrochar and real food waste.

조건에서 하이드로좌(230 °C, 8 h)의 MBN이 가장 큰 값인 2.090 mg/g을 나타내었으며, 메틸렌블루 흡착량은 1.419~2.174 mg/g 범위에 분포함을 알 수 있다 (Fig. 5). 최대 메틸렌흡수흡착을 보이는 하이드로좌 (220 °C, 2 h)는 RFW의 2.41 배에 해당하는 결과이다.

표면적에 대한 기학적 측정인 BET법을 이용한 실제 음식물폐기물, 하이드로좌의 비표면적, 총 기공 부피 (total pore volume), 총 meso pore (세공직경 20-500 Å) 부피를 Fig. 6에서 Fig. 8에 나타내었다. 열수가압탄화를 통해 얻어진 하이드로좌의 비표면적은 실제음식물 폐기물에 비해 최대 200 배 이상 증가되었으며 기공의 부피도 최대 100 배 정도로 크게 증가되었다. 비표면적의 증가는 Fig. 3의 SEM 표면관찰로부터 반응에 따른 표면의 변화에 의하여 수많은 기공이 형성된 결과에 의한 것으로 보여 진다.

요오드가, 메틸렌 블루 흡착, 그리고 BET 측정 결과를 비교하여 보면, Fig. 6(a)를 통해 같은 시간 조건

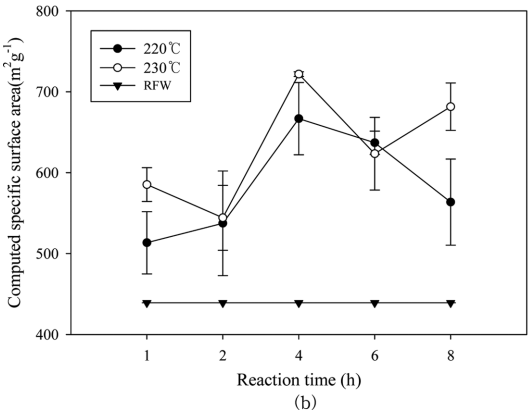
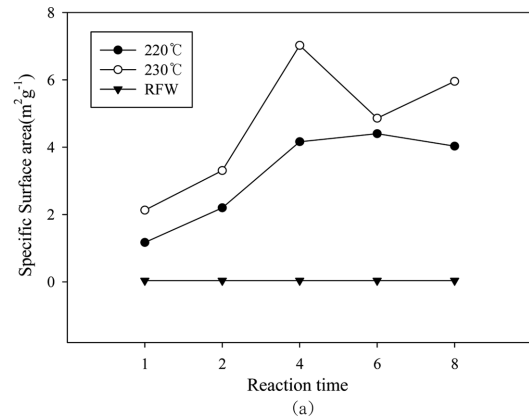


Fig. 6. (a) Specific surface area of real food waste and hydrochar at 220 °C and 230 °C for 1 h, 2 h, 4 h, 6 h and 8 h from real food waste measured by BET, (b) Computed specific surface area of real food waste and hydrochar at 220 °C and 230 °C for 1 h, 2 h, 4 h, 6 h and 8 h from real food waste computed by IN and MBN values.

에서 온도가 높을수록 표면적이 더 넓은 것을 확인할 수 있으며, 표면적은 하이드로좌(230 °C, 4 h)에서 가장 크다. Fig. 7(a)와 Fig. 8는 같은 경향을 보이며, total pore volume과 micro pore volume은 반응온도보다 반응시간에 더 큰 영향을 받으며 4시간, 8시간과 같은 비교적 긴 반응시간에서 더 큰 값을 갖는다.

2.5. 표면적 및 총 pore 부피 계산

Nunes *et al.* (2011)에 따르면 얻어진 요오드가와 메틸렌블루 흡착값을 이용하여 BET를 이용한 비표면적 분석 없이도 물질에 대한 표면적과 pore 부피의 측정이 가능함을 발표하였다. 본 실험에서는 이 연구 결과에 기초하여 하이드로좌의 표면적 (S), 총 pore 부피 (V), micropore 부피 (V_m)을 구할 수 있다. 각각의 값

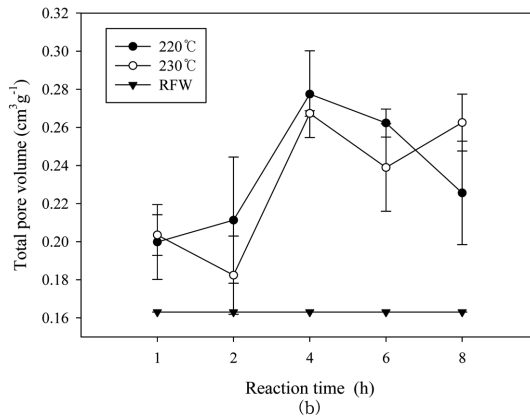
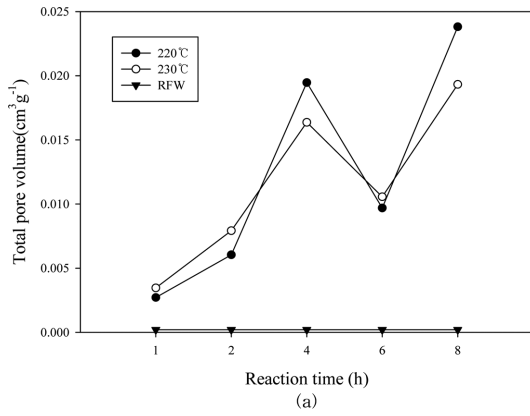


Fig. 7. (a) Total pore volume of real food waste and hydrochar at 220 °C and 230 °C for 1 h, 2 h, 4 h, 6 h and 8 h from real food waste measured by BET, (b) Total pore volume of real food waste and hydrochar at 220 °C and 230 °C for 1 h, 2 h, 4 h, 6 h and 8 h from real food waste computed by IN and MBN values.

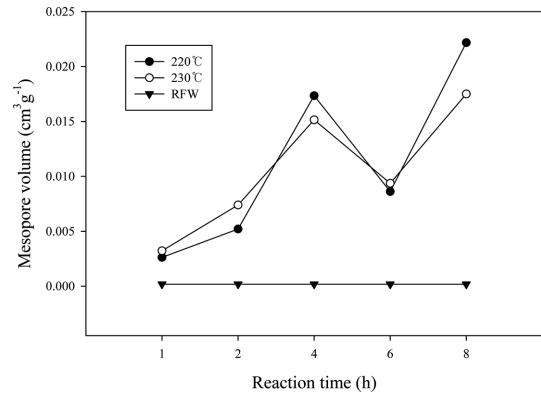


Fig. 8. Mesopore volume of real food waste and hydrochar at 220 °C and 230 °C for 1 h, 2 h, 4 h, 6 h and 8 h from real food waste measured by BET.

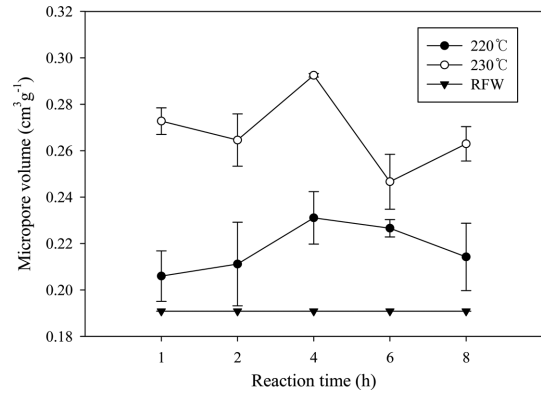


Fig. 9. Micropore volume of real food waste and hydrochar at 220 °C and 230 °C for 1 h, 2 h, 4 h, 6 h and 8 h from real food waste computed by IN and MBN values.

은 식 (3), 식 (4), 식 (5)를 통하여 구할 수 있다.

$$S(m^2g^{-1}) = 2.28 \times 10^2 - 1.01 \times 10^{-1}MBN + 3.00 \times 10^{-1}IN + 1.05 \times 10^{-4}MBN^2 + 2.00 \times 10^{-4}IN^2 + 9.38 \times 10^{-4}MBN \times IN \quad (3)$$

$$V_t(cm^3g^{-1}) = 1.37 \times 10^{-1} + 1.90 \times 10^{-3}MBN + 1.00 \times 10^{-4}IN \quad (4)$$

$$V_m(cm^3g^{-1}) = 5.60 \times 10^{-1} - 1.00 \times 10^{-3}MBN + 1.55 \times 10^{-4}IN + 7.00 \times 10^{-6}MBN + 1.00 \times 10^{-7}IN^2 - 1.18 \times 10^{-7}MBN \times IN \quad (5)$$

표면적 값을 나타내는 Fig. 6(b)에서도 하이드로찰 (230 °C, 4h)에서 가장 큰 표면적 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 또한 총 pore volume은 Fig. 7(b)에서 하이드로찰(230 °C, 4 h), (220 °C, 4 h)에서 가장 큰 값을 가

지는 것을 알 수 있다. Fig. 8에서 BET 측정에 의한 mesopore 부피를 나타내었다. 음식물 폐기물이 열수압탄화 반응을 거쳐 하이드로찰을 형성하였을 때, mesopore가 형성됨을 알 수 있고, 4 시간까지 mesopore 부피가 증가하다 감소됨을 알 수 있었다. Micropore 부피 또한 이와 비슷한 경향이 나타남을 확인할 수 있고, 이는 하이드로찰(230 °C, 4 h)에서 가장 큰 값을 가진다 (Fig. 9).

적정법의 220 °C, 8 시간의 하이드로찰을 제외한 모든 하이드로찰의 수치적 비교가 기기법에서 확인한 순위와 유사한 순위를 갖는다. 수치적인 데이터 비교에서 그 값은 10~100 배 정도의 차이로 적정법의 값이 더 크게 나타나지만, 순위적 비교에 있어 각 시료 간의 순위가 유사하게 나타나므로 이를 통해 표면적의 최대 값을 이용하여 최적화를 하고자 할 때 최종

결정이 가능하다.¹¹

3.4. 하이드로찰 최적 조건 결정

하이드로찰가 흡착제로서의 역할을 하기 위해서는 흡착제가 흡착물과 접촉 및 반응할 수 있는 표면의 상태와 그 크기와 직접적인 연관이 있는 표면의 형태와 표면적의 넓이와 pore 분포가 중요한 요소이다.

표면적의 넓이 확인을 위하여 BET 분석과 요오드가 및 메틸렌블루 흡착값을 통해 다양한 반응 조건의 하이드로찰 표면적을 확인하였다. 두 방법에서 모두 하이드로찰(230 °C, 4 h) 가 가장 큰 값을 가지는 것으로 확인되었다. 수치적 크기의 비교에는 무리가 있지만 경향성을 근거로 판단하였다. 또한 표면 형태 확인을 위하여 SEM 측정 결과, 여러 배율에서 pore가 형성된 것을 확인할 수 있었다. 그 결과, 흡착제로서의 활용을 위한 하이드로찰의 최적 조건을 반응시간 230 °C, 4시간으로 결정하였다. 요오드가와 메틸렌블루 흡착량으로 계산된 표면적값은 721.84 (±2.88) m²g⁻¹, 총 pore 부피는 0.29248 (±0.00000) cm³g⁻¹, micropore 부피는 0.26732 (±0.00000) cm³g⁻¹ 이었다.

4. 결 론

1. 흡착제로서의 활용을 위한 실제 음식물폐기물을 이용하여 열수가압탄화 반응을 통해 얻어진 하이드로찰 생성의 최적 조건은 반응온도 230 °C, 반응시간 4시간으로 결정하였다.

2. 최적 조건하에 생성된 하이드로찰의 표면 변화를 확인하여보면 열수가압탄화 반응의 결과로 비교적 깨끗하고 굴곡이 적은 음식물폐기물의 표면이 기공의 형성으로 거칠고 굴곡이 심한 표면으로 변화된 것을 확인하였다. 이는 표면적이 증가되는 결과를 가져오게 되며, 표면적의 증가는 흡착제로서의 효율에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

3. 흡착제로서 활용을 위한 하이드로찰의 최적조건을 결정하기 위하여 표면적 측정은 필수적이다. 표면적 측정을 위하여 기기적인 방법인 BET와 간단한 적정법인 요오드가 측정과 Methylene Blue 흡착을 비교하였다. 두 방법에서 수치적인 크기의 차이는 있지만 경향성이 유사하게 나타나 최적 조건의 하이드로찰을 결정할 수 있었다. 실험실 내에서 손쉽고 빠르게 할 수 있는 적정법을 표면적을 결정하는데 이용 하면 비용과 시간을 절감할 수 있는 효과가 있다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단(2012R1A1A3014875)의 지원을 받아 수행되었음.

References

1. Ministry of Environment, *Environmental Statistics Yearbook*, **25**(1), 34, Korea (2012).
2. C. A. Nunes and M. C. Guerreiro, *Quim. Nova*, **34**(3), 472-476 (2011).
3. F. Raposo, M. A. De La Rubia and R. Borja, *J. Hazard. Mater.*, **165**(1-3), 291-299 (2009).
4. S. Bae and E. Koh, *J. Kor. Soc. Environ. Anal.*, **14**(4), 228-233 (2011).
5. A. A. El-Hendawya, S. E. Samrab and B. S. Girgis, *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Aspects*, **180**(3), 209-221 (2001).
6. J. Lehmann and S. Joseph, 'Biochar for environmental management: Science and technology', p120, UK and USA, 2009.
7. A. Mukherjee, A. R. Zimmermann and W. Harris, *Geoderma*, **163**(3-4), 247-255 (2011).
8. S. Brunauer, P. H. Emmett and E. Teller, *J. Am. Chem. Soc.*, **60**(2), 309-319 (1938).
9. J. A. Libra, K. S. Ro, C. Kammann, A. Funke, N. D. Berge, Y. Neubauer, M.-M., Titirici, C. Fhner, O. Bens, J. Kern and E. K-Heinz, *Biofuels*, **2**(1), 89-124 (2011).
10. J. G. Lynam, M. T. Reza, W. Yan, V. R. Vsquez, C. J. Coronella, *Biomass Conv. Bioref.*, DOI 10.1007/s13399-014-0137-3, 1-9 (2014).
11. C.-X. Chen, B. Huang, T. Li and G.-F. Wu, *Biore-sources*, **7**(4), 5109-5116 (2012).
12. Z. Liu, A. Quek, H. S. Kent and R. Balasubramanian, *Fuel*, **103**, 943-949 (2013).
13. S. M. Heilmann, H. T. Davis, L. R. Jader, P. A. Lefebvre, M. J. Sadowsky, F. J. Schendel, M. G. Von Keitz and K. J. Valentas, *Biomass Bioenergy*, **34**(6), 875-882 (2010).
14. Y. Xue, B. Gao, Y. Yao, M. Inyang, M. Zhang, A. R. Zimmerman, K. S. Ro, *Chem. Eng. J.*, **200**(15), 673-680 (2012).
15. R. Pusker, G. M. Jose Luis, K. Sandeep, C. Xiaoyan, M. Jingdong and S. Gary, *J. Environ. Manage.*, **109**, 61-69 (2012).
16. E. Marris, *Nature*, **442**, 624-626 (2006).