

음식물쓰레기를 K_2CO_3 로 약품활성화하여 제조한 활성탄의 특성

강화영[†]

한영대학 호텔조리영양과

Characterization of Activated Carbon Prepared from Wasted Food by Chemical Activation with K_2CO_3

Hwa-Young Kang[†]

Department of Hotel Culinary Arts and Nutrition, Hanyeong College

Abstract

The potential of an activated carbon prepared from wasted food for the purification of water was investigated. In chemical activation, K_2CO_3 was used as chemical agent. Pure nitrogen with a flow rate of 100 mL/min was used as the inert gas flushing through the reactor right from the beginning of the activation process. The effects of impregnation ratio, activation temperature and time were investigated. The produced activated carbons were characterized by measuring their iodine and methylene blue number, the BET surface area. The maximum iodine number and specific surface area of the activated carbon were 930 mg/g and 1,020 m^2/g at 700°C for 60 min and at an impregnation ratio of 0.75 of K_2CO_3 , respectively. The maximum methylene blue number of the activated carbon was 180 mL/g at 800°C for 90 min and at an impregnation ratio of 1.0 of K_2CO_3 .

Keywords : Wasted food, Activated carbon, Chemical activation, Iodine number, Surface area

1. 서론

음식물쓰레기는 식품의 생산, 유통, 가공, 조리과정에서 발생하는 농·축·수산물 쓰레기와 먹고 남은 음식찌꺼기 등을 말하며, 푸짐한 상차림과 국물 음식을 선호하는 우리의 음식문화와 생활여건의 향상, 식생활의 고급화 등 음식물 낭비요인의 증가로 인해 음식물쓰레기 발생량이 전체 생활쓰레기 발생량의 27% 정도로 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다¹⁾.

이러한 음식물쓰레기 발생은 일반가정 및 소형음식점에서 70%이상 발생하는 것으로 나타났으며, 그 다음으로 대형음식점, 집단급식소, 유통과정 순으로 많이 배출되고 있어 모든 분야에서 음식물쓰레기 발생을 줄이기 위한 적극적인 노력이 필요하다. 특히 우리나라 음식물쓰레기는 80% 이상의 높은 함유율로 인해 부패로 인한 악취를 발생하므로 취급과 수집, 운반 및 처리에 많은 어려움을 겪고 있으며, 염분 함유량도 높아 재활용에도 많은 제약을 받고 있다.

[†]Corresponding author E-mail: khy9792@hanmail.net

Table 1. Proximate analysis of coconut shell and foods

Raw material	Moisture	Volatile matter	Fixed carbon	Ash
Wasted foods	2.3	69.8	14.3	13.6

2012년 국내 음식물쓰레기 처리 현황을 보면 전체 발생량 13,209톤/일 중 12,675톤/일인 96% 정도가 재활용되고 있으며, 재활용 방법으로는 퇴비화와 사료화가 주된 방안으로 이용되고 있다. 그러나 음식물쓰레기의 퇴비화 및 사료화는 높은 염분함량으로 인해 토양 및 작물의 성장 피해와 동물의 성장피해도 우려되어 수요처를 찾기 어려운 문제점을 가지고 있다²⁾. 2013년 환경부에서 발표한 ‘음식물류 폐기물 처리시설 설치·운영 현황’ 자료에 따르면 음식물쓰레기로 만든 퇴비의 30.1%와 사료의 22.9% 많이 유상판매되었고, 나머지는 자가이용 되거나 무상거래된 것으로 나타났다. 따라서 음식물쓰레기의 퇴비화 및 사료화에 따른 문제점을 해결할 수 있는 좀 더 적극적인 재활용 방안이 요구되고 있다.

본 연구는 활성탄 제조를 위한 원료물질로는 높은 탄소함량과 충분한 휘발분 함량이 있으면 가능하다는 것에 착안하여 음식물쓰레기를 K_2CO_3 로 약품활성화하여 활성탄을 제조하였다. 이미 농업부산물을 이용한 활성탄 제조에 관한 연구는 국내외에서 활발히 진행되고 있으며³⁻⁸⁾, 그 가능성을 여러 연구를 통해 확인하였다. 그러나 음식물쓰레기를 활용한 활성탄 제조에 관한 연구는 일부 발표되기는 했으나 활발하지는 못한 편이다^{2,9-11)}. 따라서 본 실험에서는 활성화 온도와 시간, 그리고 약품 함침비 등을 변수로 하여 음식물쓰레기로 활성탄을 제조하였으며, 제조한 활성탄의 요오드 및 메틸렌블루 흡착능, 비표면적 등을 측정하여 적정 활성탄 제조 조건을 도출하였다.

2. 연구방법

2.1. 실험재료

활성탄 제조를 위해 본 연구에 사용된 음식물쓰레기는 여름철에 아파트 음식물쓰레기 분리수거함에서 수거하여 자연상태에서 충분히 건조한 후, 건조기로 105℃에서 24시간 재건조하여 사용하였다.

Table 1은 본 연구에 사용된 음식물쓰레기의 공업분석 결과를 보여주고 있는 것으로, 고정탄소 함량은 14.3%로 나타났으며, 휘발분 함량은 활성탄 제조시 열분해 및 가스화가 원활하게 이루어질 정도로 충분히 높은 함량을 보여주고 있어 활성탄 제조를 위한 재료로서 충분히 적합함을 알 수 있었다.

2.2. 활성화 장치

음식물쓰레기로 활성탄을 제조하기 위하여 로터리킬른형태의 노를 제작하였으며, 장치도는 Fig. 1과 같다. 실험장치는 크게 불활성가스 유입장치, 반응로, 발생가스 응축장치 등의 3개 부분으로 구성되어 있다. 질소가스 유입장치는 질소(N_2)가스가 약 20 kg/cm³으로 충전된 봄베(Bombe)와 봄베에서 나온 가스의 압력 조절장치 그리고 질소가스의 유량을 측정할 수 있도록 100-200 mL/min 범위의 유량계를 설치하였다.

반응로의 재질은 인코넬을 사용하였고, 길이는 160 cm, 내경은 7 cm로 하였다. 정확한 온도제어를 위하여 세 영역에서 세라믹으로 절연된 칸탈 전열선을 사용하여 비례식 미적분 제어기로 온도를 제어하였다. 반응로의 온도 상승은 1,200℃까지 가능하며, 온도 조절장치는 실험수행 조건에 따라 온도 상승속도 및 지속시간을 인위적으로 설정할 수 있고, 질소와 수증기는 반응기의 우측 부에서 주입

되어 좌측 부로 방출되었으며, 활성화 과정에서 발생된 타르와 수증기 유해가스는 냉각수가 순환되는 트랩장치를 통하여 제거하였다.

2.3. 실험방법

활성탄 제조시 세공발달에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 약품함침비와 활성화 온도 그리고 활성화 시간으로 알려졌다¹²⁾, 특히 이 중 약품함침비와 활성화 온도가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려졌다. 따라서 본 논문에서는 활성화 온도, 약품 함침비 그리고 활성화 시간을 변화시켜 음식물쓰레기로 활성탄을 제조하였다. 활성탄 제조를 위한 약품 함침비, 활성화 온도, 활성화 시간 변화는 다음과 같다.

- 약품함침비 : K_2CO_3 /음식물쓰레기(wt%) = 0.25/1.0, 0.5/1.0, 0.75/1.0, 1.0/1.0, 1.25/1.0
- 활성화 온도 : 500, 600, 700, 800, 900°C
- 활성화 시간 : 30, 60, 90, 120, 150분

활성화 반응 후 질소가스를 연속적으로 주입하면서 반응로를 상온까지 냉각한 다음, 제조한 활성탄을 뜨거운 물과 찬물로 연속하여

수회 세척하여 활성화 약품과 다른 무기물 이온을 제거하였다. 세척 후 활성화된 시료는 110°C 건조기에서 24시간 건조하여 활성탄 제조를 완료하였으며, 제조한 활성탄은 분석을 위해 시료보관함에 보관하였다. 이렇게 제조한 음식물쓰레기 활성탄의 요오드가와 메틸렌블루 그리고 비표면적의 측정을 통하여 음식물쓰레기의 활성탄 제조를 위한 최적 제조 조건을 도출하였다.

2.4. 분석방법

시료의 공업분석은 ASTM D3173, 3174, 3175 방법에 의해 결정하였다. 요오드가 (흡착능) 및 메틸렌블루 가(탈색능)는 KSM 1802 시험법에 의해 결정하였다. 요오드 가 및 메틸렌블루 가는 음식물쓰레기로부터 제조한 활성탄 g당 흡착된 요오드의 mg 및 메틸렌블루의 ml로 정의한다. 비표면적은 ASAP 2010 Sorptometer(Micromeritics Instrument Corp. Norcross, GA)로 액체질소온도에서 측정된 질소 흡착-탈착 등온선을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

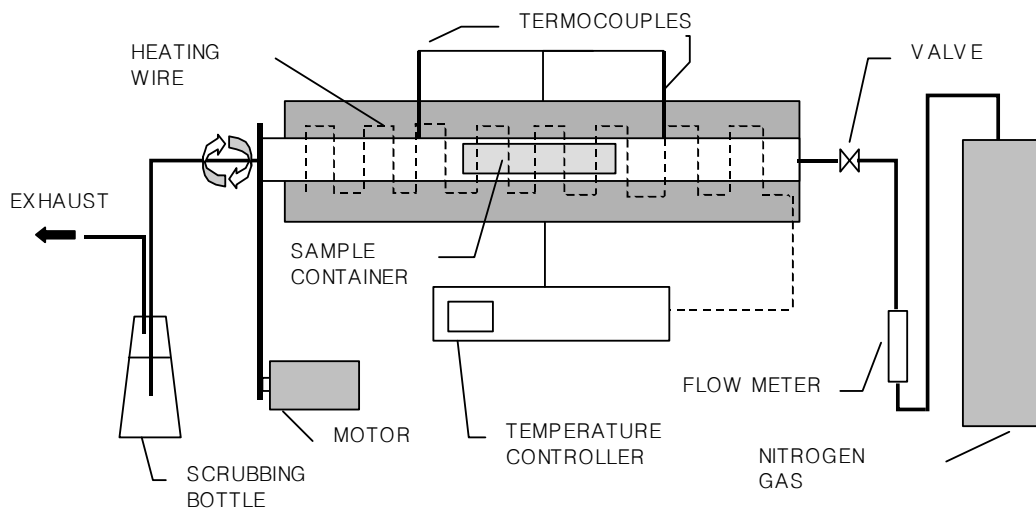


Fig 1. Schematic diagram of activation kiln..

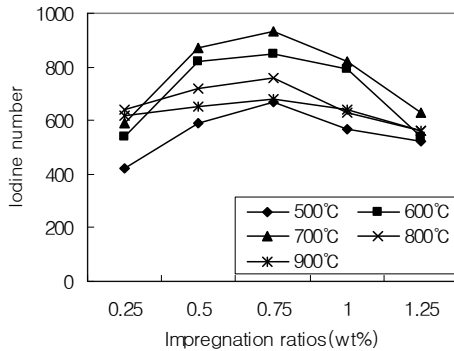


Fig. 2. Effect of impregnation ratio of K₂CO₃ and activation temperature on development of iodine number of activated carbon prepared from wasted food(activation time : 1hrs).

3.1. 요오드 가(흡착능)

요오드 흡착능은 10 Å 이상의 세공을 가진 표면을 의미하며 요오드 흡착능은 물에서 색체를 제거할 수 있는 활성탄의 흡착능 자료를 제공해 준다¹³⁾.

Fig. 2는 음식물쓰레기에 탄산칼륨 첨가(K₂CO₃/음식물쓰레기 = 0.25-1.25/1.0)를 달리하여 혼합한 시료를 500°C-900°C에서 1시간 동안 약품활성화하여 제조한 음식물쓰레기 활성탄의 요오드 흡착능 값을 보여주고 있다. 음식물쓰레기 활성탄의 요오드 흡착능 값은 약품첨가비와 활성화 온도가 증가함에 따라 증가하기 시작하여, 약품첨가비 0.75/1.0, 활성화 온도 700°C에서 930 mg/g으로 가장 높은 흡착능 값을 나타냈으며, 그 이상의 약품 첨가비와 활성화 온도에서는 오히려 요오드 흡착능 값이 감소하는 결과를 나타냈다. 이러한 결과를 통해 활성탄 제조시 약품첨가비와 활성화 온도가 활성탄의 세공발달에 중요한 역할을 하지만, 지나친 약품첨가와 너무 높은 활성화 온도는 오히려 타르류를 과용출 시키고, 탄소구조를 수축시켜 이미 형성된 세공구조를 파괴시키는 결과를 초래함을 알 수 있었다.

Fig. 3은 Fig. 2의 실험결과에서 확인한 적정 약품첨가비(K₂CO₃/음식물쓰레기 = 0.75/

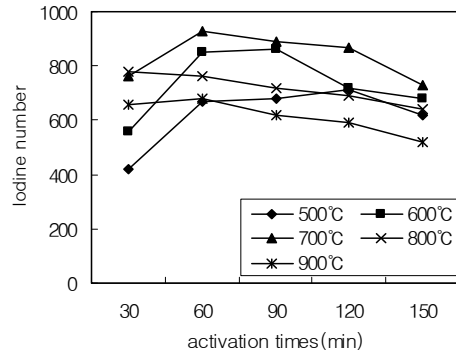


Fig. 3. Effect of activation temperature and time on development of iodine number of activated carbon prepared from wasted food(impregnation ratio : 0.75 wt%).

1.0)에서 활성화 온도와 활성화 시간이 활성탄의 세공발달에 미치는 영향을 보여주고 있다. 실험결과 요오드 흡착능 값은 시간의 증가에 따라 증가하여 최대값(반응시간 60분, 700°C에서 930 mg/g)까지 증가한 다음 활성화 시간을 더욱 더 증가시키면 감소하기 시작하였다. 이러한 흡착능의 감소는 반응시간을 증가시킴에 따라 궁극적으로 세공의 붕괴를 일으키는 탄소구조 사이의 교차결합을 파괴시키는 원인이 되어 세공구조가 파괴되거나 또는 확장되었기 때문으로 판단된다.

3.2. 메틸렌블루 가(탈색능)

메틸렌블루는 요오드와 비교하여 상대적으로 큰 색체 분자로 비록 가스처리를 위해서는 높은 비표면적을 가진 활성탄이 무엇보다 필요하지만 물을 정화하기 위해서는 큰 세공 또한 중요하다. 따라서 메틸렌블루 흡착능은 요오드 흡착능과 마찬가지로 물에서 색체를 제거할 수 있는 활성탄의 탈색능 자료를 제공해 준다.

Fig. 4는 음식물쓰레기에 탄산칼륨 첨가(K₂CO₃/음식물쓰레기 = 0.25-1.25/1.0)를 달리하여 혼합한 시료를 500°C-900°C에서 1시간 동안 약품활성화하여 제조한 음식물쓰레기

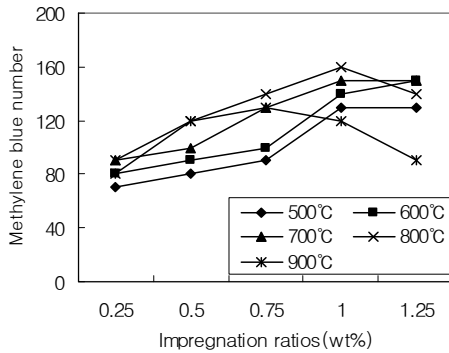


Fig. 4. Effect of impregnation ratio of K_2CO_3 and activation temperature on development of methylene blue number of activated carbon prepared from wasted food(activation time : 1 hrs).

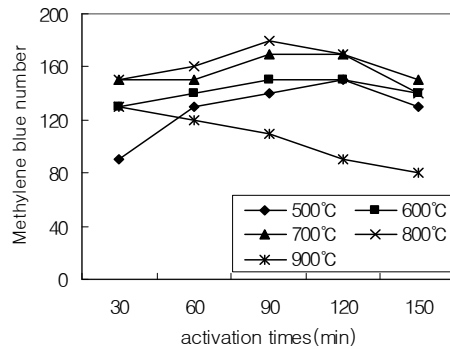


Fig. 5. Effect of activation temperature and time on development of methylene blue number of activated carbon prepared from wasted food(impregnation ratio : 1.0 wt%).

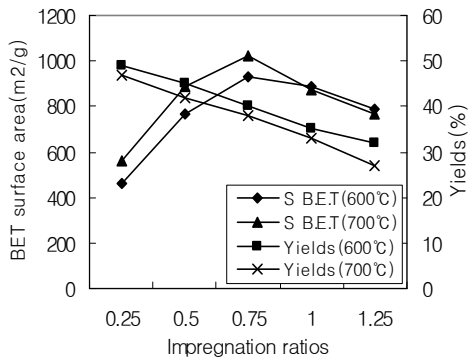


Fig. 6. Effect of impregnation ratio of K_2CO_3 and activation temperature on B.E.T surface area and yield of activated carbon prepared from wasted food(activation time : 1 hrs).

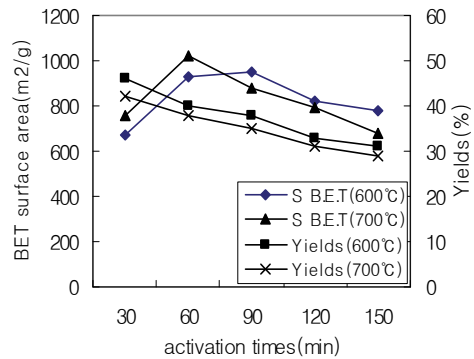


Fig. 7. Effect of activation temperature and time on B.E.T surface area and yield of activated carbon prepared from wasted food(impregnation ratio : 0.75 wt%).

활성탄의 메틸렌블루 탈색능 값을 보여주고 있다. Fig. 2-3에서 요오드 흡착능 값은 K_2CO_3 /음식물쓰레기 = 0.75/1.0로 혼합된 시료를 700°C에서 60분간 활성화하여 제조한 활성탄에서 가장 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 그러나 메틸렌블루 탈색능은 K_2CO_3 /음식물쓰레기 = 1.0/1.0로 혼합한 시료를 800°C에서 활성화 할 경우 가장 높은 탈색능(140 mL/g)이 나타난 것을 Fig. 4의 실험을 통해서 알 수 있었다. 이러한 현상은 K_2CO_3 의 첨가와 활성화 온도를 증가시킴으로써 세공이 합체 또는 확장되어 비교적 큰 세공으로

전환되기 때문에 요오드 흡착능 값은 감소한 반면, 상대적으로 큰 색체분자인 메틸렌블루 탈색능 값은 증가한 것으로 판단된다. 그리고 약품 첨가비 1.25/1.0과 900°C의 활성화 온도에서는 메틸렌블루 탈색능도 감소하는 것으로 나타났는데, 이것은 과활성화로 인해 세공이 파괴되었기 때문으로 판단된다.

Fig. 5는 Fig. 4의 실험결과에서 확인한 메틸렌블루 탈색능이 높은 활성탄을 제조하기 위한 적정 약품첨가비(K_2CO_3 /음식물쓰레기 = 1.0/1.0)에서 활성화 온도와 활성화 시간이 활성탄의 세공발달에 미치는 영향을 보여주고

있다. 일반적으로 메틸렌블루의 최적 탈색을 위해서는 요오드 또는 작은 분자의 최적 흡착을 위해 요구되는 것보다 세공의 직경이 다소 커야 한다. 따라서 세공을 확장하여 최대 요오드 흡착능을 가진 활성탄에서 최대 메틸렌블루 탈색능 값을 가진 활성탄으로 전환하기 위해서는 좀더 긴 체류시간이 필요한 것으로 알려졌다. 실험결과 메틸렌블루 탈색능 값은 시간의 증가에 따라 증가하여 반응시간 90분에서 최대값(180 mL/g)까지 증가한 다음 활성화 시간을 90분 이상으로 더욱 더 증가시키면 세공이 합체 또는 확장되어 거대 세공으로 전환됨으로서 메틸렌블루 탈색능도 감소하기 시작하였다.

3.3. 비표면적과 수율

질소의 횡단면적은 $16.2 \text{ \AA}^2$ 으로 가스처리를 위해서는 높은 비표면적을 가진 활성탄이 무엇보다 필요하다.

Fig. 6은 음식물쓰레기에 탄산칼륨 첨가($\text{K}_2\text{CO}_3/\text{음식물쓰레기} = 0.25\text{--}1.25/1.0$)를 달리 하여 혼합한 시료를 600°C와 700°C로 1시간 동안 약품활성화하여 제조한 음식물쓰레기 활성탄의 비표면적 값을 보여주고 있다. 음식물쓰레기 활성탄의 요오드 흡착능 값과 마찬가지로 비표면적 값도 약품첨가비와 활성화 온도가 증가함에 따라 증가하기 시작하여, 약품첨가비 0.75/1.0, 활성화 온도 700°C에서 $1,020 \text{ m}^2/\text{g}$ 으로 가장 높은 비표면적 값을 나타냈으며, 그 이상의 약품첨가비와 활성화 온도에서는 세공이 합체 또는 확장되어 비표면적 값이 감소하는 결과를 나타냈다. 그리고 이때 수율의 변화를 보면 약품첨가비가 0.25-1.25배로 증가함에 따라 600°C에서는 49%-32%, 700°C에서는 47%-27%로 나타났다.

Fig. 7은 음식물쓰레기에 0.75배로 탄산칼륨을 첨가한 시료에 대해 600°C와 700°C에서 활성화 시간을 변화시켜 가면서 제조한 활성탄의 비표면적 값의 변화를 보여주고 있다.

비표면적 값은 700°C에서 60분 동안 활성화했을 경우 최대값 까지 증가한 다음 활성화 시간을 더욱 더 증가시키면 감소하기 시작하였는데, 이러한 비표면적의 감소는 활성화 반응시간을 증가시킴에 따라 탄소구조 사이의 교차결합이 파괴되어 세공이 붕괴되었기 때문으로 판단된다. 그리고 이때 수율의 변화를 보면 반응시간이 30분에서 150분으로 증가함에 따라 600°C에서는 46%-31%, 700°C에서는 42%-29%를 나타냈다.

4. 결론

음식물쓰레기의 효율적인 재활용 방안을 제시하기 위하여 본 연구에서는 탄산칼륨(K_2CO_3)으로 음식물쓰레기를 약품활성화하여 활성탄을 제조하였으며, 제조한 활성탄의 요오드 흡착능 및 메틸렌블루 탈색능, 그리고 비표면적을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 음식물쓰레기의 공업분석 결과 활성탄의 주성분인 고정탄소 함량은 14.3%로 비교적 높았으며, 휘발분 함량 또한 69.8%로 활성탄 제조시 열분해 및 가스화가 원활하게 이루어질 정도로 충분히 높은 함량을 보여주고 있어 활성탄 제조를 위한 재료로서 충분히 적합함을 알 수 있었다.
- 2) 음식물쓰레기에 탄산칼륨을 0.75배 함침한 시료를 대상으로 700°C에서 60분 동안 활성화하여 제조한 음식물쓰레기 활성탄의 요오드 흡착능과 비표면적 값은 각각 930 mg/g and $1,020 \text{ m}^2/\text{g}$ 로 가장 높게 나타났다. 반면에 메틸렌블루 탈색능의 경우 탄산칼륨을 1.0배 함침한 시료를 대상으로 800°C에서 90분 동안 활성화하여 제조한 활성탄에서 180 mL/g 로 가장 높게 나타났다.
- 3) 음식물쓰레기로 제조한 활성탄의 세공 발달은 활성화약품 함침비, 활성화 온

도, 그리고 활성화 시간 모두의 영향을 받은 다는 것을 확인하였으며, 탄산칼륨을 이용하여 음식물쓰레기를 적절한 조건에서 활성화하여 활성탄을 제조 할 경우 유용한 흡착제로 전환될 수 있음을 확인하였다.

References

1. 환경부(2013), 2012 폐기물통계자료
2. 남정광, 박승조(2007), 탄화기술을 이용한 음식물류 폐기물 활성탄 제조 및 특성, 한국폐기물학회지, 24(6), pp. 562-568.
3. Demiral, H., and Gündüzoğlu, G.(2010), Removal of nitrate from aqueous by activated carbon prepared from sugar beet bagasse, Bioresource Technology, 101(6), pp. 1675-1680.
4. Spahis, N., Addoun, A., Mahmoudi, H., and Ghaffour, N.(2008), Purification of water by activated carbon prepared from olive stones, Desalination, 222(1), pp. 519-527.
5. Ang ı n, D., Köse, T. E., Selengil, Uğur. (2013), Production and characterization of activated carbon prepared from safflower seed cake biochar and its ability to absorb reactive dyestuff, Applied Surface Science, 280, pp.705-710.
6. Erdoğan, S., Önal, Y., Akmil-Başar, C., Bilmez-Erdemoğlu, S., Sar ı c ı -Özdemir, Ç., Köseoğlu, E., İçduygu, G.(2005), Optimization of nickel adsorption from aqueous solution by using activated carbon prepared from waste apricot by chemical activation, Applied Surface Science, 252(5), pp.1324-1331.
7. Miao, QQ, Tang, YM, Xu, J., Liu, XP, Xiao, LR, Chen, QH.(2013), Activated carbon prepared from soybean straw for phenol adsorption, Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical Engineers, 44(3), pp. 458-465.
8. Dijlani, C., Zaghdoudi, R., Modarressi, A., Rogalski, Marek., Djazi, F., Lallam, A.(2012), Elimination of organic micro-pollutants by adsorption on activated carbon prepared from agricultural waste, Chemical Engineering Journal, 189, pp.203-212.
9. 강화영, 이영동, 김세훈, 박성봉, 정재성, 박상숙(2008), 염화아연 약품활성화를 이용한 음식물쓰레기로부터 활성탄 제조, 대한환경공학회지, 130(9), pp. 900-906.
10. 강화영, 오태선, 박상민, 정재성, 박상숙 (2009), 황화칼륨 활성화를 이용하여 음식물쓰레기로부터 제조한 활성탄의 흡착특성 및 다공성 분포, 한국폐기물학회지, 26(1), pp. 44-51.
11. 이성현(2005), 음식물쓰레기를 이용한 활성탄 제조에 관한 연구, 인제대학교 석사학위논문
12. Hwa-Yoyng, K., Sang-Sook, P., Yu-Sup, R.(2006), Preparation of activated carbon from paper mill sludge by KOH-activation, Korean J. Chem. Eng., 23(6), pp. 948-953.
13. Satya Sai, P. M., Jaleel Ahmed(1997), Production of Activated Carbon from Coconut Shell Char in a Fluidized Bed Reactor, Ind. Eng. Chem. Res. 36, pp. 3625-3630.