



ISSN 1225-8024(Print)
ISSN 2288-8403(Online)

〈연구논문〉

한국표면공학회지

J. Korean Inst. Surf. Eng

Vol.54, No.4, 2021.

<https://doi.org/10.5695/JKISE.2021.54.4.209>

전기 응고법을 이용한 커피박의 전처리 및 기능성 필터 특성 연구

박수빈^a, 한하늘^a, 박하늘^a, 임승현^a, 유봉영^{a,*}, 윤상화^{a,**}

^a한양대학교 재료화학공학과

A Study on the Pretreatment of the Spent Coffee Grounds using Electrocoagulation and Its Filter Characteristics

Soobin Park^a, Haneul Han^a, Haneul Park^a, Seunghyun Lim^a,
Bongyoung Yoo^{a,*}, and Sanghwa Yoon^{a,**}

^aDepartment of Materials Science and Chemical Engineering, Hanyang University,
Ansan 15588, Republic of Korea

(Received 26 August, 2021 ; revised 29 August, 2021 ; accepted 30 August, 2021)

Abstract

As coffee consumption per person increases annually to 323 cups in 2018, treating the spent coffee ground has arisen because spent coffee ground results in soil and air pollution. The demands of air purification filters are increasing more and more because the air pollution due to the fine dust has become worse. The spent coffee grounds had a porous structure, however, the pore was blocked by organic oil compounds. Electrocoagulation, which is one of the electrochemical methods, has the potential to remove the organic compounds. The surface area of spent coffee grounds increased effectively after the electrocoagulation treatment, and surface morphology and surface area were confirmed using SEM and BET, respectively. Using the FT-IR, both the spent coffee grounds and the electrocoagulated spent coffee grounds were characterized. The filter characteristics were examined by the adsorption test using formaldehyde, one of the air pollutants.

Keywords : Spent coffee ground, Electrocoagulation, Filter

1. 서 론

최근 중국 발 미세먼지로 인해 대기 오염 문제가 심각해짐에 따라 호흡기 질환에 대한 관심이 높아지고 있다. 미세먼지에 노출 될 경우 면역력 저하로 인한 감기, 천식, 기관지염 등의 호흡기 질환 발생률이 증가 될 뿐만 아니라 심혈관 질환, 피부 질환 및 안구 질환 등의 각종 질병에 발병 할 수 있다. 특히 직경 2.5 μm 이하의 초 미세먼지는 기관지 및 폐 깊숙한 곳까지 침투하기 쉽다. 이에 따라,

사람들의 공기청정기에 대한 관심이 높아져 미세먼지 및 초 미세먼지를 거를 수 있는 기능성 필터에 대한 수요가 증가하고 있다.

한편, 한국인의 1인당 연간 커피 소비량은 2012년 288잔에서 2018년 323잔으로 해마다 증가 하고 있으며, 이는 세계 평균 소비량인 132잔의 약 2.7배에 달하는 수치이다. 이에 따라, 해마다 버려지는 커피박은 약 27만톤에 이르러 환경 오염의 주범으로 손꼽히고 있다. 이렇게 배출된 커피박은 매립 및 소각 과정에서 토양오염과 대기오염을 야기하기 때문에, 버려지는 커피박 (Spent Coffee Ground (SCG))를 활용하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다[1-3].

*Corresponding Author: : Bongyoung Yoo, Sanghwa Yoon
Department of Materials Science and Chemical Engineering,
Hanyang University
Tel: +82-31-400-5229, +82-31-400-4694
E-mail: byyoo@hanyang.ac.kr, indada@naver.com

커피박은 다공성 구조를 갖고 있어 비표면적이 넓기 때문에 필터 재료로서 활용 가능하지만, 원두를 추출하고 커피를 추출하는 과정에서 발생하는 식물성 기름에 의해 공극이 막혀있다. 이를 해결하기 위해 전기 응고법 (Electrocoagulation (EC))을 활용하고자 한다[4-5]. 전기 응고법은 폐수 처리 과정에서 기름을 제거하기 위한 방법으로 널리 사용되고 있으며, 양극에서는 금속의 산화 반응을, 음극에서는 물 분해를 통한 수산화 이온을 발생시켜 기름 성분을 침전 시키는 방식이다. 전기 응고법을 통해 커피박 내부의 기름을 제거한다면 기능성 필터로의 응용이 가능할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 전기응고법을 통해 커피박의 기름 성분을 제거하여 기능성 필터로 활용했다. 전기 응고법을 통해 처리된 커피박은 주사 전자 현미경 (Field Emission-Scanning Electron Microscope (FE-SEM))을 통해 표면 형상의 변화를 관찰했고, 기공도 측정을 위해 Brunauer-Emmett-Teller (BET) 분석을 수행했다. 또한 푸리에 변환 적외선 분광법 (Fourier Transform-InfraRed (FT-IR))을 통해 유기물 제거 여부를 확인 했고, 포름알데히드 흡착 실험을 통해 기능성 필터 특성을 확인 했다.

2. 실험방법

전기 응고법은 그림 1과 같이 수행 했으며, 양극과

음극은 스테인리스 스틸을 사용했다. DI water, 염화 칼륨, 수산화칼륨을 사용해 수용액을 제작 했다. 전기 응고법을 위해 DI water에 염화 칼륨을 0.1 M, 수산화칼륨을 0.05, 0.1 M을 넣어 수용액을 만들었다. 전기 응고법 수행 전, 스테인리스 스틸을 사용한 양극과 음극은 10 % 염산에 1 분간 침지해 전처리 하여 표면 산화막을 제거해 사용했다. 커피 박 5 g을 수용액에 넣어 수용액에 분산시켜 전기 응고법을 수행 했다. 전기 응고법은 상온의 온도에서 실시했으며, 전기 응고법이 실행되는 동안 자석 막대를 사용해 200 rpm으로 용액을 교반 시켰다. 또한, 전기 응고법은 2-전극 시스템으로 구성했으며, 20 mA/cm²의 전류밀도를 30 분간 인가 했다. 0.05, 0.1 M의 수산화칼륨에 30 분간 침지시킨 시편과, DI water와 염화 칼륨만 넣은 수용액에서 전기 응고법을 30 분 수행한 시편을 만들어 수용액 특성 및 전기 응고법 수행에 따른 효과를 비교 했다. FE-SEM을 통해 전 처리 방법에 따른 표면 형상 변화를 관찰 했고, BET를 통해 기공도를 확인 했다. FT-IR을 통해 전처리 여부 및 종류에 따른 표면 결합 상태를 확인 해 유기물 제거 여부를 확인 했다.

시편의 기능성 필터 특성을 위해 필터링 공정을 통해 부직포에 흡착 시켰다. 시료의 흡착성을 향상시키기 위해 물에 전분을 풀고 시료를 섞어 점도를 높인 뒤, 부직포에 흡착 시켰다. 필터 특성은

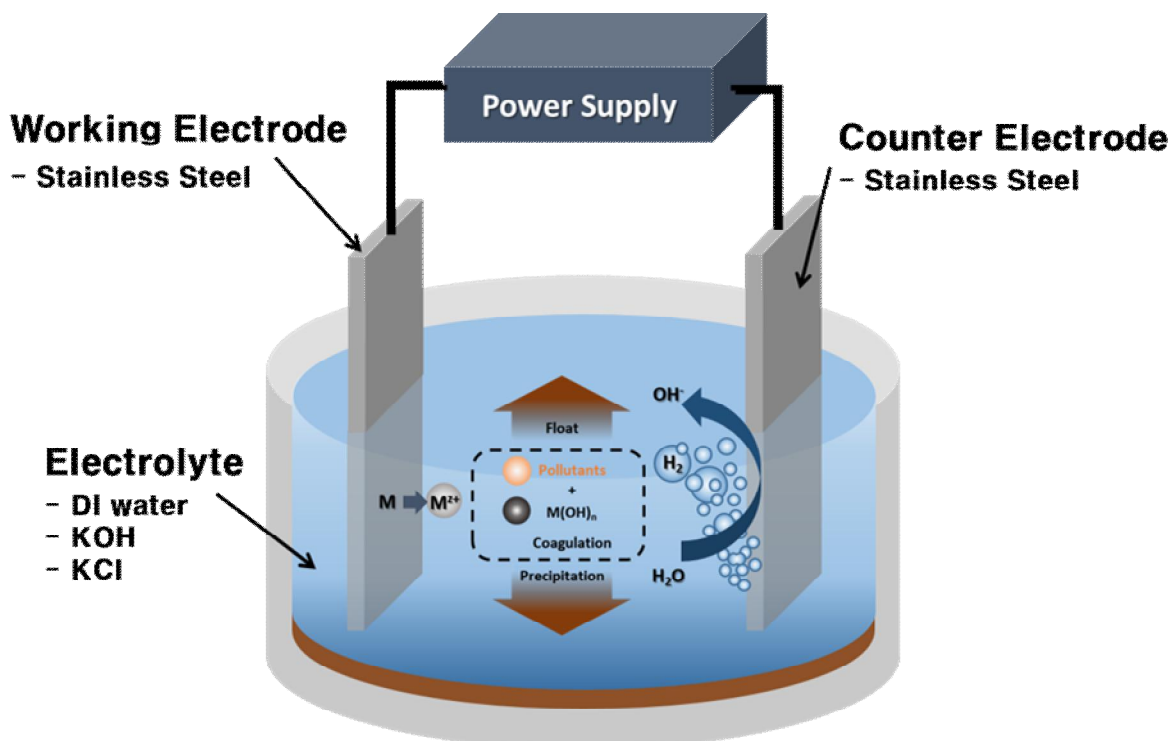


Fig. 1. Schematic illustration of electrocoagulation method.

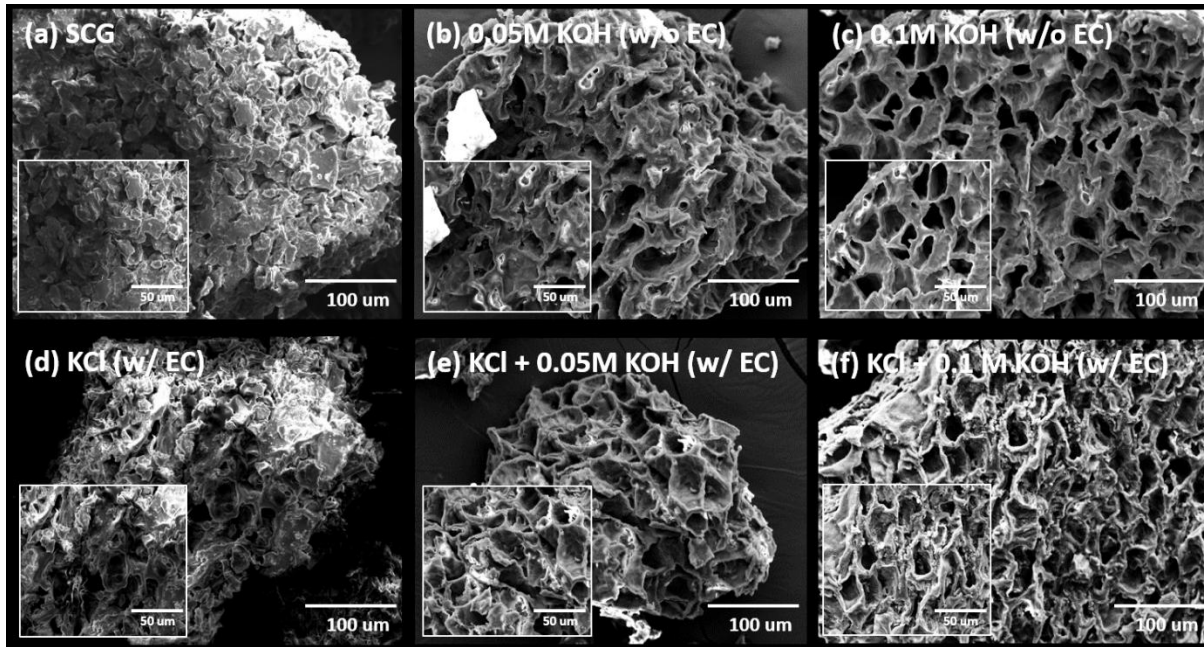


Fig. 2. The surface morphology using scanning electron microscope of (a) spent coffee grounds, (b) after dipping in the 0.05 M of KOH, (c) after dipping in the 0.1 M of KOH, (d) electrocoagulated SCG in KCl electrolyte, (e) electrocoagulated SCG in KCl and 0.05M of KOH electrolyte, (f) electrocoagulated SCG in KCl and 0.1M of KOH electrolyte.

미세먼지에 포함된 독성 물질인 포름 알데히드 흡착 특성을 통해 확인했다. 전처리 전후에 따른 특성 변화를 관찰 했으며, 2시간 동안 포름 알데히드를 필터에 노출시켜 흡착된 양을 측정했다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 주사전자현미경을 통해 관찰된 시편의 표면 형상이다. (a)는 전처리 전의 커피박, (b)는 0.05 M, (c)는 0.1 M의 수산화칼륨 수용액에 침지시킨 시편이고, (d)는 물과 염화 칼륨으로 이뤄진 수용액에 전기 응고법을, (e)는 0.05 M, (f)는 0.1 M의 수산화칼륨을 첨가하여 전기 응고법을 실행 한 시편의 표면 형상이다. 그림 2의 (a)의 경우 전처리 과정을 거치지 않았기 때문에, 기름에 의해 공극이 막혀 있는 것을 알 수 있다. 그림 2의 (b)와 (c)의 경우 전기 응고법을 하지 않았지만, 알칼리 용액인 수산화칼륨으로 인해 유기물이 제거 돼 공극이 드러남을 알 수 있었다. 한편, DI water에 염화 칼륨만을 넣은 수용액에서 전기응고법을 실시한 그림 2의 (d)는 전기응고법에 의해 유기물이 일부 제거 됐지만, 완벽히 제거되지 않아 대부분 유기물에 의해 막혀 있음을 확인할 수 있었다. DI water, 염화 칼륨, 그리고 수산화칼륨으로 이뤄진 수용액에서 전기응고법을 수행한 그림 2의 (e)와 (f)에서는 수산화칼륨과 전기응고법의 효과로 인해 유기물이 제거 돼, 수산화칼륨에 침지 시킨 시편보다 많은 양의 공극이 형성 됐음을 알 수 있었다. 이를 통해 전기

응고법을 통해 유기물 제거가 가능 함을 확인 할 수 있었다.

그림 3은 BET를 이용해 각 시편의 비표면적 특성을 나타낸 그래프이다. 전처리를 하지 않은 커피박의 경우, 유기물에 의해 공극이 막혀 있어 BET를 통한 비표면적이 측정되지 않았다. 수산화칼륨 0.05 M에 30분간 침지 시켰을 경우, 0.0816 m^2/g 의 비표면적 특성이 나타났고, 수산화칼륨 0.05 M에 전기응고법을 수행한 시편의 경우 0.0151 m^2/g 의 비표면적 특성이 나타났다. 수산화칼륨 0.1 M에 침지 한 시편은 0.1679 m^2/g 의 비표면적 특성이 나타났고, 수산화칼륨 0.1 M에 전기 응고법을 수행한 시편의 경우 1.0536 m^2/g 의 비표면적 특성이 크게 향상 돼,

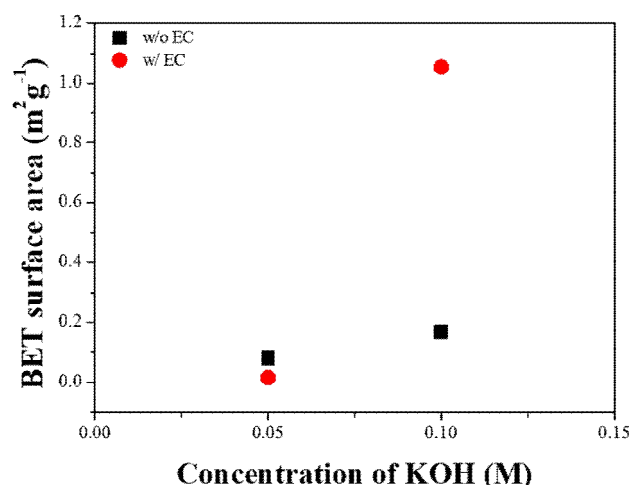


Fig. 3. Graph of the BET surface area.

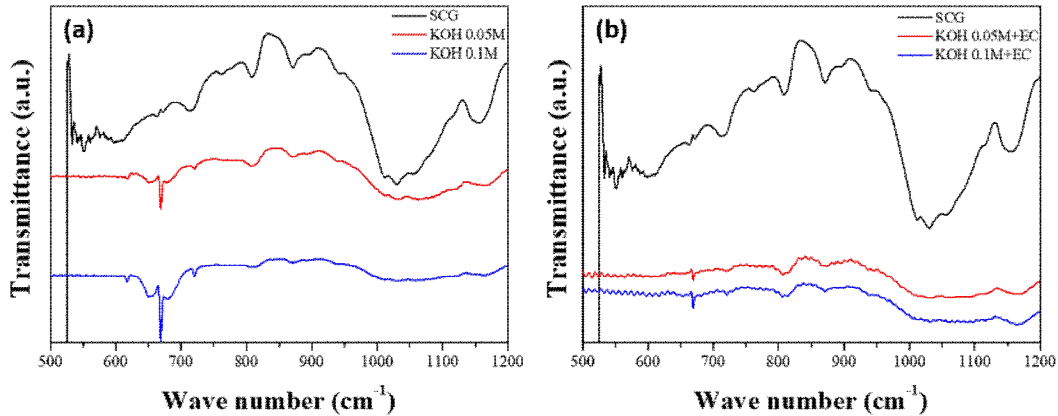


Fig. 4. Graph of FT-IR characteristics. (a) Pretreatment in KOH electrolyte without electrocoagulation, (b) pretreatment in KCl and KOH with electrocoagulation.

유기물이 효과적으로 제거됐음을 알 수 있었다. 이는 그림 2의 표면 형상을 관찰한 결과와 일치한다. 따라서 수산화칼륨을 사용해 알칼리 환경에서 전기응고법을 수행할 경우, 효과적으로 기름 성분을 제거해 비표면적 특성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

그림 4는 FT-IR을 이용해 전처리 방법에 따른 특성을 확인한 그래프이다. 전처리 전 커피박의 경우 lipid를 포함한 식물성 기름 성분을 포함하고 있어, C-OH 결합을 나타내는 1154, 1164 cm^{-1} 의 피크와 황 화합물과 질소 화합물을 나타내는 543.24, 549.64 cm^{-1} 피크가 각각 확인 됐다[6-9]. 전 처리 과정을 거친

시편의 경우, 수산화칼륨 침지 조건과 전기 응고법을 수행한 시편 모두 앞서 확인 된 기름 성분을 나타내는 C-OH 결합과 황 화합물, 질소 화합물의 피크가 나타나지 않았다. 전 처리 과정을 통해 기름 성분이 커피박 표면에서 제거 됐음을 FT-IR 분석을 통해 알 수 있었으며, 그림 2에서 확인 된 공극 형성 및, 그림 3에서 확인한 비표면적 특성 향상은 커피박의 공극을 막고 있던 기름 성분이 제거 되었기 때문임을 알 수 있었다.

그림 5의 (a)는 전처리 전후에 따른 필터 특성 실험 그래프이다. 전기 응고법을 거쳐 전 처리된 커피박

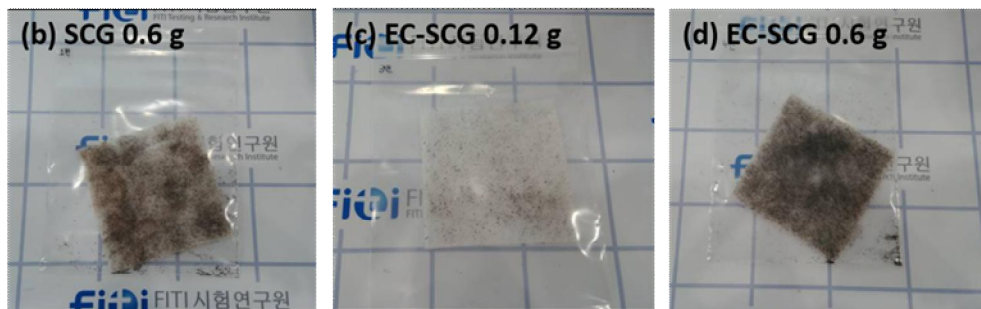
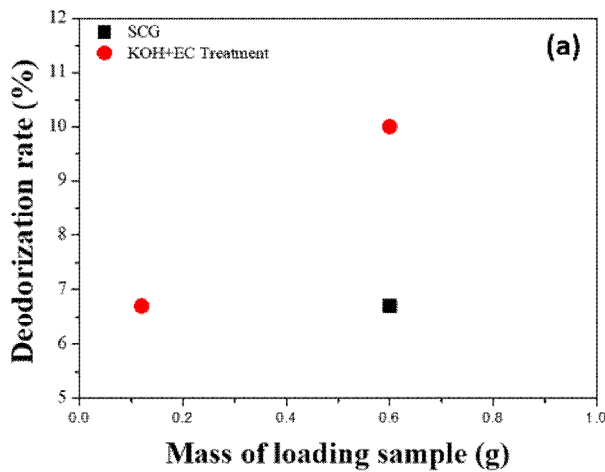


Fig. 5. (a) Graph of the filter characteristics using formaldehyde adsorption test, (b) the image of the filter with the 0.6 g of untreated SCG, (c) the image of the filter with 0.12 g of electrocoagulated SCG, (d) the image of the filter with 0.6 g of electrocoagulated SCG.

시편은 0.6 g을 사용 했을 때 약 10 %의 흡착 특성을 나타냄을 확인했다. 또한, 전기 응고법을 사용한 커피박을 0.12 g의 적은 양을 사용 했을 경우에도 6.7 %의 포름알데히드 흡착 특성을 나타냄을 확인 했다. 전 처리를 하지 않은 커피박 시편의 경우 0.6 g의 양을 사용해 필터를 제작 했지만, 동일 양의 전기 응고법을 사용한 시편에 비해 낮은 6.7 %의 포름알데히드 흡착 특성을 나타냈다. 전기 응고법을 사용 할 경우, lipid로 대표되는 식물성 기름 성분이 커피박으로부터 제거 돼, 막고 있던 공극을 활성화 시켜 비표면적 특성이 향상된다. 증가 된 비표면적을 통해 포름알데히드를 시편 표면에 효과적으로 흡착시켜, 같은 양의 시료를 사용 했을 때, 전 처리 하지 않은 시편 보다 우수한 필터 특성을 나타냄을 알 수 있었다. 이를 통해 전기 응고법을 통해 커피박을 전처리 할 경우, 효과적으로 기름 성분을 제거해 비표면적 특성을 향상 시키고, 유해물질 제거를 위한 필터로 적용 가능성을 알 수 있었다.

4. 결 론

기능성 필터 제작을 위해 커피박을 활용했으며, 그 특성을 향상 시키기 위해 전기 응고법을 이용했다. 전기 응고법을 사용 할 경우, 커피박 내부의 기름이 제거 되는 것을 확인 했고, 수산화칼륨과 같이 전기 응고법을 실행 했을 때, 보다 많은 양의 기름이 제거되어 비표면적 특성이 월등히 향상됨을 확인 했다. 전처리 전후에 따른 FT-IR 분석을 통해 기름 성분의 유기물이 제거 됐음을 알 수 있었다. 전처리 전후의 시료를 사용해 필터를 제작하여 대기 중 유해 물질인 포름알데히드 흡착 특성을 확인했다. 전기 응고법을 이용해 전처리 된 시료의 경우, 보다 적은 양으로도 포름알데히드의 흡착 특성을 나타냈으며, 동일 중량을 사용 시, 우수한 유해물질 흡착 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

Acknowledgement

This research was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF)(No. NRF-2020R1A2C2009462). Also this research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the

Ministry of Science, ICT & Future Planning(No. 2015R1A5A1037548)

References

- [1] N. Azouaou, Z. Sadaoui, A. Djaafri, H. Mokaddem, Adsorption of cadmium from aqueous solution onto untreated coffee grounds: Equilibrium, kinetics and thermodynamics, *J. Haz. Mats.* , 184 (2010), 126-134
- [2] Mizuho Hirata, Naohito Kawasaki, Takeo Nakamura, Kazuoki Matsumoto, Mineaki Kabayama, Takamichi Tamura, Seiki Tanada, Adsorption of Dyes onto Carbonaceous Materials Produced from Coffee grounds by Microwave Treatment, *J. Colloid Interf. Sci.* , 254 (2002), 17-22
- [3] Hiroki Akasaka, Tomokazu Takahata, Ikumi Toda, Hiroki Ono, Shigeo Ohshio, Syuji Himeno, Toshinori Kokubu, Hidetoshi Saitoh, Hydrogen storage ability of porous carb on material fabricated from coffee bean wastes, *Int. J. Hydrogen Energy*, 36 (2011), 580-585
- [4] Jean Nepo Hakizimana, Boudhaib Gourich, Mohammed Chafi, Youssef Stiriba, Christophe Vial, Patrick Drogui, Jamal Naja, Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches, *Desalination*, 404 (2017), 1-21
- [5] Chunjiang An, Gordon Huang, Yao Yao, Shan Zhao, Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: A review, *Sci. Total Env.* , 579 (2017), 537-556
- [6] Changqing Fu, Meng Xu, Zhe Yang, Qungui Lv, Liang Shen, Emulsifier-Free Core-Shell Hybrid Latexes from Castor Oil-Based Waterborne Polyurethane and Polyacrylate Containing Fluorine and Silicon, *Adv. Mat. Research*, 690 (2013), 1620-1623
- [7] C. D. Shaji Selvin, A. Kottai Muthu, D. Satheesh Kumar, Isolation of Active

Components Derived from Whole Plant of *Borreria hispida*, *Int. J. Ayurvedic and Herbal Med.* , 2 (2012), 240-247

- [8] H. Ezzaier, Regis Guegan, Fabric Muller, M. Ben Haj Amara, H. Ben Rhaiem, Dielectric properties of ZnS filled polystyrene nanoparticles, *Int. J. Innovat. and Ap. Studies*, 9 (2014), 29-36
- [9] Modher Y. Mohammed, Ayad S. Hameed, Adnan A. Hamada, Synthesis and Characterization Complexes of Cobalt(II), Nickel(II), Copper(II) and Palladium with [N'-(2-(4-isobutyl-phenyl)-propionyl)pyridine-4-carbohydrazide], *Tikrit J. Pure Sci.* , 22 (2016), 92-98