

# Characteristics of Hydrothermally Synthesized Carbon Sphere from Spent Coffee Biomass

SoHyun Im, Youngsang Chun\*

Dept. of Advanced Materials Engineering, Shinhan University

e-mail: sohy1755@shinhan.ac.kr, chunys@shinhan.ac.kr

## 바이오매스 유래 수열합성 탄소 특성 연구

임소현, 전영상\*

신한대학교 첨단소재공학과

### Abstract

This study investigates the characteristics of carbon spheres synthesized via hydrothermal carbonization (HTC) using spent coffee grounds (SCG) as a biomass precursor. The carbonization process was carried out at 190°C for 10 hours, followed by activation at 900°C. Structural and morphological analyses were conducted using SEM, XPS, and FT-IR, confirming the formation of carbon spheres with oxygen-containing functional groups. Furthermore, the material showed promising adsorption capabilities and uniform particle size distribution as revealed by DLS analysis. These results suggest that SCG-derived carbon spheres have great potential for application in eco-friendly carbon materials and advanced environmental technologies.

## 1. Introduction

지속가능한 자원순환과 탄소중립실현을 위한 친환경소재기술의 개발은 현대산업과 환경이슈에서 핵심과제로 부상하고 있다. 특히 식품산업과 가정에서 대량으로 발생하는 폐커피는 탄소함량이 높은 바이오매스로서, 이를 활용한 고부가가치 소재개발은 경제성과 환경성을 동시에 확보할 수 있는 방법으로 주목받고 있다. 그러나 기존 바이오차 기반탄소 소재는 형태와 구조의 불균질성으로 인해 정밀 응용분야에 적용이 제한적이라는 한계를 가진다. 이에 본연구에서는 생물전환 기술을 통해 폐 커피로부터 고순도 단당류(Glucose, Mannose)를 회수하고, 이를 바탕으로 수열합성법을 적용하여 균일한 구형 탄소중합체를 제조하였다. 더불어 제조된 탄소체의 물리적, 화학적, 광학적 특성을 다각도로 분석하고, 특히 탄소양자점 특성을 확인하여 나노소재로서의 응용 가능성을 검토하였다.

## 2. Experimental

### 2.1 탄소 합성

폐커피 유래 바이오매스는 알칼리전처리(KOH 2.3%, 99.7°C, 2.4시간) 후 효소복합체를 활용하여 효율적인 가수분해를 진행하였다. 회수된 단당류를 기반으로 수열합성반응은 Teflon-lined

autoclave 내에서 190°C에서 10시간 반응 후 자연냉각 방식으로 수행되었다. 이후 생성된 탄소중합체는 900°C의 질소분위기에서 2시간 동안 열처리를 통해 탄화시켰다.

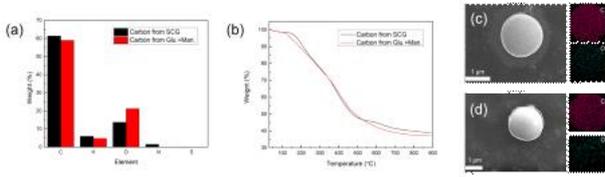
### 2.2 탄소 특성 분석

제조된 탄소소재의 형상과 입자크기는 주사 전자현미경(SEM)과 동적광산란(DLS) 분석을 통해 확인하였으며, 화학구조는 Fourier 변환 적외선분광법(FT-IR) 및 X-선광전자분광법(XPS)을 이용하여 분석하였다. 또한 열적 특성은 열중량분석기(TGA)를 활용하여 고온안정성을 평가하였고, 자외선 영역에서의 발광특성을 통해 탄소양자점(Carbon Dots)의 존재여부를 확인하였다.

## 3. Discussions

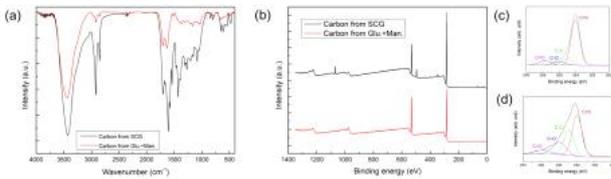
주사전자현미경 분석결과, 수열합성된 탄소소재는 평균 500~800nm 크기의 구형입자로 형성되었으며, 탄화 후에는 300~600nm로 수축된 형태를 보였다. FT-IR 분석을 통해 1600 cm<sup>-1</sup> 및 1510 cm<sup>-1</sup>에서 C=C 방향족 고리 신축 진동 피크가 확인되었고, 780 cm<sup>-1</sup>에서 C-H 굽힘진동, 1695 cm<sup>-1</sup>에서 C=O 신축진동, 그리고 3600~3000 cm<sup>-1</sup> 사이에서 O-H 작용기의 광범위한 밴드가 관찰되어 다양한 작용기의 존재

를 확인하였다.



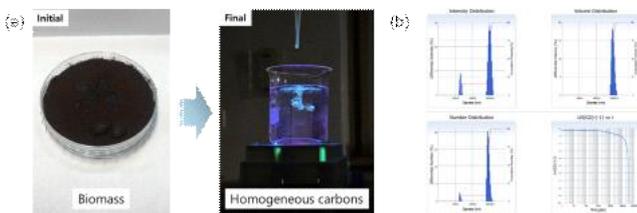
[Fig. 1] 대조군과 실험군의 물리적 특성 분석; (a) 원소분석, (b) 열중량분석, (c) 주사전자현미경과 EDS.

XPS 분석에서는 SCG(Spent Coffee Grounds) 유래탄소체가 높은 비율의  $sp^2$  C=C 결합을 가지며, glucose-mannose 혼합물 기반 대조군에 비해 C-O 및 C=O 피크의 강도가 낮은 것으로 나타났다. TGA 결과, 탄화된 시료는 900°C에서도 약 35%의 질량을 유지하여 열적안정성이 뛰어난 것을 보였다.



[Fig. 2] Figure 2. 대조군과 실험군의 물리적 특성 분석; (a) FT-IR, (b) XPS spectra, (c) 실험군의 C1s peak (d) 대조군의 C1s peak.

또한 자외선하에서 발광현상이 확인되었으며, 이는 탄소양자점의 특성이 존재함을 시사한다. DLS 분석을 통해 입자크기 분포에 편차가 존재함을 확인하였으며, 이는 당화액 농축 조건과 반응시간의 조절을 통해 개선이 가능하다.



[Fig. 3] (a) 폐커피 바이오매스로부터 균일탄소 중합체의 carbon dot 특성, (b) 실험군의 크기 분포 및 분산.

#### 4. Conclusions

본 연구에서는 폐커피 바이오매스를 활용한 생물전환 및 수열합성 기반의 연계공정을 통해 균일한 구형 탄소중합체를 성공적으로 제조하였다. 제조된 탄소소재는 뛰어난 열안정성, 다양한 작용기, 자외선 발광특성을 기반으로 탄소양자점으로서의 활용가능성을 확보하였다. 이러한 특성은 본 소재가

에너지 저장소자, 바이오센서, 친환경 화장품 등의 다양한 고부가가치 분야에 적용될 수 있음을 시사한다. 본연구는 폐기물 저감과 자원순환 기술 발전에 기여할 수 있는 탄소중립 대응형 친환경 소재기술로서의 활용 가능성을 제시하였다.

#### References

[1] OOD Afolabi, M Sohali, YL Cheng, "Optimisation and characterisation of hydrochar production from spent coffee grounds by hydrothermal carbonisation", Renewable Energy, Vol.147, pp. 1380-1391, March, 2020.

[2] L. Hadebe, Z. Cele, B. Gumbi, "Properties of porous carbon electrode material derived from biomass of coffee waste grounds for capacitive deionization", Materialstoday: Proceedings, Vol. 56, pp. 2178-2183, 2022