

# 폐커피부산물 기반 고성능 수처리용 흡착제의 제조 및 특성에 관한 검토

곽호석<sup>1</sup>, 김종규<sup>2</sup>, 전영상<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>동양미래대학교 바이오융합공학과, <sup>2</sup>신한대학교 에너지공학과, <sup>3</sup>신한대학교 첨단소재공학과

## A review: preparation and characterization of high-performance spent coffee grounds based adsorbent for water treatment

Ho Seok Kwak<sup>1</sup>, Jong Kyu Kim<sup>2</sup>, Youngsang Chun<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Bio-Convergence Engineering, Dongyang Mirae University

<sup>2</sup>Department of Energy Engineering, Shinhan University

<sup>3</sup>Department of Advanced Materials Engineering, Shinhan University

**요약** 산업 발전으로 인한 수질 오염 문제는 전 세계적으로 지속 가능한 발전에 심각한 장애물이 되고 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 비용 효율적이고 성능이 우수한 흡착 재료의 개발이 필요하며, 전체 공정 비용 감소를 위한 부산물 유래 재료에 대한 활발한 연구가 필요하다. 풍부한 탄소 함량과 기능성 화학 물질의 존재를 고려할 때, 커피부산물은 물에서 오염 물질을 효과적으로 제거하기 위한 잠재적인 흡착제로 간주된다. 본 연구에서는 커피부산물을 기반으로 한 수처리 흡착제 개발에 중점을 두고 탄화 및 화학적 개질 공정을 통해 고성능 흡착제를 생성하는 방법론을 탐구한다. 구체적으로, 커피 부산물 기반 흡착제의 제조방법과 성능평가, 화학적 및 물리적 특성 분석을 포괄한다. 연구 결과는 수질 오염 문제에 대한 지속 가능하고 경제적인 해결책을 제공할 수 있는 흡착제의 잠재력을 시사한다.

**Abstract** Water pollution resulting from industrial development poses a significant barrier to environmental sustainability. Addressing this challenge necessitates the development of cost-effective and high-performance adsorbent materials and active research on by-product-derived materials to reduce overall process costs. Given their high carbon and functional chemical contents, spent coffee grounds (SCG) are regarded a potential adsorbent for effectively removing contaminants from water. This review study focuses on the development of SGG-based water treatment adsorbents and methods of preparing high-performance adsorbents through carbonization, chemical modification, and magnetization. Specifically, it focuses on methods of producing adsorbents based on SCG and the performances and chemical and physical properties of the materials produced. The study suggests these adsorbents have the potential to provide a sustainable, economical solution to the problem of water pollution.

**Keywords** : Spent Coffee Grounds, Adsorbent, Water Treatment, Pyrolysis, Surface Modification

### 1. 서론

산업화와 도시화 과정에서 증속, 염료, 화학물질 등

난분해성 물질을 포함하여 수자원을 오염시키는 다양한 오염물질이 유입되고 있으며, 이는 낮은 농도에서도 인 간의 건강과 다른 유기체에 위협이 된다[1]. 이러한 다양

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2022-00165814).

\*Corresponding Author : Youngsang Chun(Shinhan Univ.)

email: chunys@shinhan.ac.kr

Received April 3, 2024

Accepted June 7, 2024

Revised May 20, 2024

Published June 30, 2024

한 오염물질로 인한 환경오염을 완화하기 위해 흡착, 화학적 침전, 이온교환, 응고 및 응집, 막여과, 전기화학적 공정, 생물학적 방법 등 여러 가지 처리기술이 적용되고 있다[2]. 이 중 흡착을 기반으로 한 방법은 단순성, 고효율, 비용 효율성 및 지속적인 사용을 위한 흡착제 재생 가능성으로 인해 관심을 끌고 있다.

흡착은 수용성 오염물질이 화학적 또는 물리적 흡착을 통해 흡착제 표면에 부착되는 표면 현상이다[3]. 흡착공정에 사용되는 고체 물질을 흡착제라고 하며, 흡착제 표면에 부착된 용해된 오염물질을 흡착질이라고 한다. 다양한 형태, 재질, 크기의 흡착제가 개발되고 있다. 탄소 나노튜브(CNT), 그래핀, 금속유기골격체(MOF)와 같은 나노 크기의 물질은 높은 비표면적과 화학적 특성으로 인해 우수한 흡착 성능을 나타내는 것으로 입증되었다[4]. 그러나 대량생산의 어려움과 높은 비용 등이 상용화의 걸림돌이다. 또한, 활성탄(AC)은 제조 용이성과 비용 효율성으로 잘 알려진 시판 흡착제로 수용액에서 오염물질을 제거하기 위한 효과적이고 접근 가능한 산업 재료 역할을 한다. 그럼에도 불구하고, 지속 가능한 사회를 구축하고 흡착 기술과 관련된 전체 비용을 절감하기 위한 세계적인 노력의 일환으로 산업 부산물, 농업/식물 잔류물, 해산물 폐기물, 음식물 쓰레기, 토양 등을 포함한 저가형 흡착제에 대한 연구가 진행되고 있다.

현재 연구에 따르면 다양한 부산물은 화학적 및 생물학적 처리를 통해 광범위한 응용 분야에 저렴한 대체 재료를 제공할 수 있다[5]. 특히 상당한 양의 음식물 쓰레기를 발생시키는 가장 일반적인 산업에는 포도, 사탕무, 올리브 찌꺼기 생산과 관련된 산업뿐만 아니라 잼, 주스, 젤리 산업(사과, 바나나, 감귤류, 복숭아, 블루베리, 그리고 망고), 또한 당근, 토마토, 감자, 카사바의 부산물도 주목할 만하다[6]. 식품의 생산 및 가공 과정에서 발생하는 부산물은 셀룰로오스, 전분, 펙틴, 식물성 단백질 등의 생체분자와 섬유질을 함유하고 있어 다양한 응용에 유용한 귀중한 자원으로 간주된다[7]. 또한, 이러한 폐기물을 효율적으로 활용하면 폐기와 관련된 비용 및 환경 영향을 잠재적으로 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

본 리뷰에서는 다양한 부산물 중 커피찌꺼기를 활용하여 목속의 오염물질을 제거하기 위한 흡착제 개발에 중점을 두고 있다. 구체적으로 (i) 열분해, 화학적 변형, 자화 과정을 통해 커피 찌꺼기의 흡착 성능을 향상시키는 실험 방법을 기술하고, (ii) 변화된 화학적, 물리적 특성을 평가하고, (iii) 고효율 성능을 비교한다.

## 2. 폐커피 흡착제의 제조 및 특성

### 2.1 폐커피 분말 (Spent coffee ground)

많은 생물학적 공급원료와 마찬가지로 SCG의 구성도 양조 방법, 커피 재배 조건, 사용된 커피 종류 등 다양한 요인에 의해 영향을 받아 상당한 변동성을 나타낼 수 있다[8]. 그럼에도 불구하고 대부분의 SCG 샘플에서 조성의 공통성이 관찰되며 다당류는 주로 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스가 SCG 건조 질량의 약 50%를 차지한다. 헤미셀룰로오스의 주요 당에는 만노스, 갈락토스, 아라비노스가 포함되며, 셀룰로오스는 주로 포도당으로 구성된다. 다당류에 이어 리그닌과 단백질이 그 다음으로 가장 널리 퍼져 있는 성분으로, 각각 SCG 건조 중량의 약 20%를 구성한다. 이 구성은 SCG가 천연 고분자 재료의 원천이라는 잠재력을 나타낸다. 또한 SCG에는 재, 폐놀 화합물, 미네랄, 카페인, 탄닌과 같은 미량 원소가 포함되어 있어 잠재적인 응용 분야로 더욱 확장이 가능하다 [9].

### 2.2 폐커피로부터 흡착제 준비

#### 2.2.1 열분해에 의한 제조

전통적인 흙, 벽돌, 강철 가마에서 바이오 숯을 생산하기 위해 수천 년 동안 사용된 방법인 열분해는 현대 연구에서 바이오매스를 바이오 숯, 바이오 오일, 바이오 숯과 같은 고부가가치 제품으로 열화학적으로 전환하는 데 필수적인 기술로 인식되었다. 합성 가스. 기술 발전으로 인해 열분해는 반탄화, 열수탄화(HTC), 느린 열분해, 빠른 열분해, 순간 탄화 등 다양한 범주로 다양화되었다. 이러한 분류는 사용된 반응기 유형, 작동 온도, 체류 시간 및 수분 함량과 같은 반응 조건의 차이를 기반으로 한다[7].

고온, 산소 제한 조건에서 바이오매스를 열화학적으로 분해함으로써 다공성이며 탄소가 풍부한 바이오 숯을 얻을 수 있다. 또한, 바이오 숯은 수산기, 카르복실기 및 지방족 이중 결합이 풍부한 표면 구조를 가지고 있다[10]. Table 1은 수처리를 위한 열분해 기술로 얻은 바이오 숯을 요약하고 비교한 것이다. Ronixet al. [11]은 커피 찌꺼기를 하이드로차를 생산하기 위한 전구체로 활용했으며, 잘 발달된 표면적을 가진 하이드로차를 얻기 위한 실험 조건을 최적화하기 위해 반응 표면 방법론(RSM)을 적용했다. RSM은 온도와 시간을 결과에 영향을 미치는 중요한 요인으로 식별했다. 최적의 조건은 온도 210°C, 지속 시간 243분, 물:전구체 비율 3.4:1로 결정되어 BET 표

Table 1. Preparation and adsorption capacity of thermochemically treated SCG-based adsorbents for removing various contaminants in aqueous solution.

Coffee residue	Pyrolysis type	Pyrolysis process	Contaminant	Capacity (mg/g)	Ref.
coffee husk	Hydrothermal carbonization	Operating temperature: 210 °C // Heating rate 20 °C/min // residence time: 243 min // ratio of water and feedstock: 3.4:1	methylene blue	34.85	11
spent coffee ground	Slow pyrolysis	Operating temperature: 500 °C // Heating rate: 10 °C/min // atmosphere: N <sub>2</sub> // flow rate: 0.5 L/min // residence time: 2h	tetracycline	39.22	12
spent coffee ground	Slow pyrolysis	Operating temperature: 400 or 500 10 °C // residence time: 2h	sulfonamide antibiotics	* sulfadiazine: 121.5 µg (at 500 °C) *sulfamethoxazole: 130.1 µg (at 400 °C)	13
coffee husk	Hydrothermal carbonization	Operating temperature: 160 °C // residence time: 6h or 10h // ratio of water to feedstock: 1:10	sulfonamide antibiotics	* sulfadiazine: 82.2 µg (10h) *sulfamethoxazole: 85.7 µg (6h)	14
arabica coffee husk	Slow pyrolysis	Operating temperature: 350 °C or 600 °C // heating rate: 10 °C/min // residence time: 4h	Fe(2)	110	15
coffee husk	Slow pyrolysis	Operating temperature: 600 °C // heating rate: 10 °C/min // atmosphere: N <sub>2</sub> // flow rate: 0.15 L/min // residence time: 2h	Pb(2), As(4)	* Pb(2): 3.27 * As(4): 2.87	16

면적이 31.3m<sup>2</sup>/g인 하이드로차를 생성했다. 최대 흡착 용량은 34.85 mg/g인 것으로 나타났다. 열수 탄화는 또한 설펜아미드 음이온 흡착을 위한 하이드로차를 제조하는 데 사용되었다[14]. 긴 체류 시간은 흡착제의 물리적 특성을 변화시키는 BET 및 기공 부피 증가에 영향을 미쳤다. 그러나, 느린 열분해를 통한 바이오 숯은 유기 흡착을 위한 파이 상호 작용 및 O 함유 그룹을 포함한 표면 특성으로 인해 하이드로 숯보다 더 높은 흡착 용량을 나타냈다[12]. 또한, 테트라사이클린 흡착제에 대한 바이오차에서도 비슷한 결과가 관찰되었다. Nguten et al. [13]은 500°C에서의 느린 열분해를 통해 O 함유 그룹을 만들어 흡착제와 흡착물 사이의 수소 결합 및 정전기적 상호 작용을 유도하였고 FT-IR에 의해 특성을 확인한 연구를 발표하였다.

### 2.2.2 향상된 흡착능을 위한 표면개질

흡착제의 흡착 특성은 근본적으로 비표면적, 기공 크기 분포, 기공 부피와 같은 물리적 특성에 의해 영향을 받는다. 일반적으로 비표면적이 클수록 활성 부위가 더 많다는 것을 의미하며 이는 흡착 용량이 더 높다는 것을 의미한다[15,16]. 물리적 구조 외에도 표면 화학도 흡착제 성능에 큰 영향을 미친다. 질소 함유 작용기는 탄소 표면의 극성을 증가시켜 탄소 표면과 흡착물 사이의 상호 작용을 향상시킨다[17]. 산소 함유 작용기는 표면의 산성도를 높여 친수성 흡착물의 부착을 촉진한다.

Table 2는 SCG로부터 강화된 흡착제를 제조하기 위

한 표면 개질 방법을 요약한 것이다. 탄화 과정을 통해 생성되는 표면은 카르복실, 페놀, 락톤과 같은 산성 기능이 부여되지만, 구연산, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl 및 폴리 에틸렌아민과 같은 화학 시약을 사용하여 더 많은 카르복실기 또는 아민기를 도입하여 특정 오염물에 대한 흡착 능력의 증가를 유도할 수 있다. 이는 흡착제와 다양한 흡착물 사이의 상호 작용을 증가시켜 원래의 바이오차보다 더 다양하고 강력한 오염 제거 능력을 나타낼 수 있다.

Cerino-Cordova et al. [18]은 표면의 카르보닐기 수가 처리되지 않은 흡착제보다 흡착 능력이 5배 더 향상되었음을 보여주었다. 향상된 pb 제거를 위해 HCl 처리된 흡착제에서도 유사한 흡착 용량이 관찰되었다[12]. 또한 표면 개질 방법을 포함한 여러 연구에서 금속, 유기물 및 염료 흡착에 대한 높은 성능을 보여주었다 [18-23].

### 2.2.3 효율적 사용을 위한 자성화

자성나노입자(MNP)는 자기공명영상(MRI), 표적 약물 전달, 분리, 수처리 및 많은 촉매 공정에서 조제제로서의 사용을 포함하여 광범위한 응용 분야에서 엄청난 잠재력으로 인해 상당한 관심을 불러일으켰다 [24]. 이 중 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 나노입자(NP)는 상온에서의 높은 자화, 풍부함, 무독성 및 무해성, 생체 적합성, 간단한 준비 및 저렴한 비용으로 인해 가장 광범위하게 활용되고 있다. 특히, 중금속 흡착에서 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NP는 매우 작은 입자 크기와 높은 표면적 대 부피 비율로 인해 중요한 역할을 하며, 이는 큰 제거 능력, 빠른 동역학 및 오염 물질 제거에 대한 높

Table 2. Preparation, surface characterization, and adsorption capacity of chemically modified SCG-based adsorbents for various contaminants in aqueous solutions

Reagent	Enhancement	Modification process	Contaminant	Capacity (mg/g)	Ref.
citric acid	The number of carboxyl groups that improve metal adsorption capacity has been increased in modified coffee grains.	The residue was immersed in citric acid solution and treated at 60 °C for 12h followed by the temperature was increased up to 100 °C.	Cu(II), Pb(II)	* control: 12.92 (Cu(II)) 49.71 (Pb(II)) * 0.6 M citric acid: 104.04 (Cu(II)), 159.54 (Pb(II))	18
NaOH	As the number of oxygen-containing functional groups on the surface decreases, the surface polarity decreases, resulting in increased hydrophobicity.	The residue was immersed in 20% of NaOH solution for 24h with a rate of 165 rpm at ambient temperature.	Nitrobenzene	*Boehm method represented that the amount of acidic functional groups of control and NaOH modified residue had 0.44 mmol/g and 1.49 mmol/g, respectively.	19
Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) cetylpyridinium chloride (CPC)	Cationic head group of surfactant directing toward the bulk of solution increase adsorption of anionic adsorbates.	The residue was immersed in 0.027 mol/l surfactant solution followed by the mixture was agitated with a rate of 220 rpm for 48h at 25 °C.	methyl orange	62.5	20
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Negative surface charge of the modified residue in a wide range of pH achieved strong electrostatic interaction with adsorbates.	The residue was immersed in sulfuric acid followed by the mixture was stirred at 70 °C for 3h.	Methylene blue tetracycline Cr(VI)	*methylene blue: 812 *tetracycline: 462 *Cr(VI):302	21
HCl	Acid treatment of the residue was activated for increasing the adsorption capacity.	The residue immersed in HCl was boiled for 2h in a water bath.	Pb(II) fluoride	*Pb(II): 61.6 at 30 °C, 62.0 at 40 °C, 63.6 at 50 °C, 65.4 at 60 °C *fluoride: 9.05 at 30 °C, 9.3 at 40 °C, 9.55 at 50 °C, 9.75 at 60 °C	22
polyethyleneimine, glutaraldehyde	Positive charge of PEI on the modified residue increased the electrostatic interaction with anionic dyes.	The residue was immersed in PEI solution at 65 °C for 6h, followed by the addition of glutaraldehyde to the mixture.	Reactive Black 5, Congo Red	* Reactive Black 5: 77.52 *Congo red: 34.36	23

Table 3. Magnetized modification process and adsorption capacity of magnetic SCG-based adsorbents for various contaminants in aqueous solutions

Coffee residue	Reagent	Modification process	Contaminant	Capacity (mg/g)	Ref.
spent coffee grounds	Iron oxide nano particle (10-20 nm)	Residue was immersed in ferrofluid consisting of magnetic iron oxide nanoparticles for 1h.	Acridine orange	73.4	26
			Amido black 10B	1.24	
			Bismarck Brown	69.2	
			Congo red	9.43	
			Crystal violet	68.1	
			Malachite green	43	
			Safarinin O	59	
spent coffee ground	FeCl <sub>3</sub>	Residue was immersed into FeCl <sub>3</sub> solution at 80 °C for 2 h and dried at 50 °C for 24 h followed by pyrolyzing the biomass mixture in a furnace at 700 °C with the flow of N <sub>2</sub> or CO <sub>2</sub> for 2 h	As(V)	13.8 by N <sub>2</sub> -assisted	27
				9.0 by CO <sub>2</sub> -assisted	
Spent coffee bean waste	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	The residue was immersed into Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> and FeCl <sub>3</sub> solution for 30 min and added NH <sub>4</sub> OH solution to adjust the basic pH of the solution followed by stirring 2h under N <sub>2</sub> atmosphere at 80 °C.	Pb(II)	41.15 at 25 °C	28
	FeCl <sub>3</sub>			43.86 at 35 °C	
				48.78 at 45 °C	

은 반응성에 기여한다 [25]. 또한, 자성 특성으로 인해 빠르고 효율적인 분리가 가능하다. 자기 분리는 폐수에서 나노 크기의 흡착제를 분리하기 위한 정교한 막 여과에 대한 비용 효율적이고 편리한 대안을 제공하여 상당한 운영 비용을 절감하고 흡착제의 효과적인 재활용을 가능하게 한다.

Safariket al. [26] 자성 산화철 나노입자로 구성된 자성유체에 1시간 동안 담가서 자성 커피 찌꺼기를 준비했다. 간단한 변형으로 물리적 성질을 변화시켜 쉽게 자기 분리를 할 수 있다. 간단한 변형만으로 물성을 변화시켜 쉽게 자기분리를 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 Acridine Orange, Amido Black 10B, Bismarck Brown, Congo Red, Crystal Violet, Malachite Green, Safranin O 등 다양한 염료가 흡착제에 의해 제거되는 것으로 확인되었다. 염료 오염물질과 함께 수중 금속 이온도 SCG 기반 자성 철 나노 입자를 함유한 흡착제에 의해 쉽게 처리되었다[27,28].

### 3. 결론

글로벌 산업 활동이 계속 확장되면서 깨끗한 물에 대한 수요가 증가하고 있으며, 이는 혁신적인 수처리 솔루션의 필요성이 부각되고 있다. 발전에도 불구하고 전통적인 흡착제는 지속 가능 사회를 이룩하기 위한 기술의 부재와 비용 효율성의 문제 해결이 필요하다. SCG는 폐기물 감소와 탄소 중립에 기여하는 수처리 응용 가능성을 지닌 유망한 자원으로 주목받고 있다. 이 리뷰에서는 보다 효율적인 정수를 위해 SCG 기반 흡착제의 성능을 향상시키기 위해 고안된 세 가지 선구적인 기술을 요약한다. 첫 번째 접근법은 SCG에서 물리화학적 변화를 일으키는 열분해 과정을 포함한다. 이 방법은 흡착 표면을 증가시킬 뿐만 아니라 표면 조성을 변화시켜 오염 물질 제거 효율을 크게 향상시킨다. 두 번째 전략은 흡착제의 표면 활성을 증가시키도록 고안된 화학적 표면 변형 기술을 포함한다. 이러한 개선은 수용액으로부터 다양한 오염물질을 흡착하는 능력의 개선과 직접적인 관련이 있다. 마지막 방법은 SCG 기반 흡착제 내에서 자성을 제공하는 것이다. 이는 흡착능력을 높일 뿐만 아니라 분리과정을 단순화시켜 사용자 편의성과 작업 효율성을 획기적으로 높인다. 강화된 SCG 기반 흡착제의 효과는 철저하게 평가되었으며 물에서 염료, 금속 및 유기 오염물질을 제거하는 탁월한 능력이 입증되었다. 이러한 발견은 수

처리를 위한 실행 가능한 재료로서 SCG의 잠재력을 검증할 뿐만 아니라 추가 연구의 필요성을 시사한다. 향후 연구는 SCG 기반 흡착제의 산업적 활용을 촉진하기 위해 경제적 타당성 및 대량 생산을 평가하고 포괄적인 검증 연구를 수행하는 데 중점을 두어야 한다. 이러한 접근 방식은 환경 지속 가능성과 자원 효율성이라는 더 넓은 목표에 부합하는 수질 정화에 대한 새로운 접근 방식을 실현하는 데 필수적이다.

### References

- [1] X. Su, A. Kushma, C. Hallida, J. Zhou, J. Li, T. Hatton, "Electrochemically-mediated selective capture of heavy metal chromium and arsenic oxyanions from water" *Nature Communication*, Vol.9, pp.4701, Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07159-0>
- [2] J. Ighalo, F. Omoarukhe, V. Ojukwu, K. Iwuozor, C. Igweabe, "Cost of adsorbent preparation and usage in wastewater treatment: A review", *Cleaner Chemical Engineering*, Vol.3, pp.100042, Sep. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100042>
- [3] T. Wang, M. Jiang, X. Yum N. Niu, L. Chen, "Application of lignin adsorbent in wastewater treatment: A review", *Separation and Purification Technology*, Vol 302, pp. 122116, Dec. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122116>
- [4] M. Nasrollahzadeh, M. Sajjadi, S. Iravani, R. Varma, "Carbon-based sustainable nanomaterials for water treatment: state-of-art and future perspectives", *Vol.263*, pp.128005, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128005>
- [5] T. Saleh, "Protocla for synthesis of nanomaterials, polymers, and green materials as adsorbents for water treatment technologies", *Environmental Technology & Innovation*, Vol.24, pp.101821, Nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101821>
- [6] I. Sani, M. Masoudpour-Behabadi, M. Sani, H. Botalebinejad, A. Juma, A. Asdagh, H. Eghbaljoo, "Value-added utilization of fruit and vegetable processing by-products for the manufacture of biodegradable food packaging films" *Food Chemistry*, Vol 405-B, pp. 134964, Mar. 2023.
- [7] Y. Chun, S. Lee, H. Yoo, S. Kim, "Recent advancements in biochar production according to feedstock classification, pyrolysis conditions, and applications: A review" *Bioresources*, Vol 16, pp.6512, Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.16.3.Chun>
- [8] R. Campos-Vega, G. Loarca-Pina, H. Vergara-Castaneda, B. Oomah, "Spent coffee grounds: a review on current research and future prospects" *Trends in Food*

- Science & Technology, Vol.45, pp. 24-36, Sep. 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>
- [9] Y. Chun, Y. Ko, T. Do, Y. Jung, S. Kim, U. Choi, "Spent coffee grounds: massively supplied carbohydrate polymer applicable to electrorheology" *Colloid and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 562, pp.392, Feb. 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.11.005>
- [10] J. Shin, S. Lee, S. Kim, D. Ochir, Y. Park, J. Kim, Y. Lee, K. Chon, "Effects of physicochemical properties of biochar derived from spent coffee grounds and commercial activated carbon on adsorption behavior and mechanisms of strontium ions" *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 28, pp.40623, July 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10095-6>
- [11] A. Ronix, O. Pezoti, L. Souza, I. Souza, K. Bedin, "Hydrothermal carbonization of coffee husk: optimization of experimental parameters and adsorption of methylene blue dye" Vol. 5, pp. 4841, Aug. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.08.035>
- [12] X. Zhang, Y. Zhang, H. Ngo, W. Guo, H. Wen, D. Zhang, C. Li, L. Qi, "Characterization and sulfonamide antibiotics adsorption capacity of spent coffee grounds based biochar and hydrochar" *Science of the Total Environment*, Vol.716, pp.137015, Jan. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137015>
- [13] V. Nguten, T. Nguyen, C. Chen, C. Hung, T. Vo, J. Chang, C. Dong, "Influence of pyrolysis temperature on polycyclic aromatic hydrocarbons production and tetracycline adsorption behavior of biochar derived from spent coffee grounds" *Bioresource Technology*, Vol.284, pp.197, Mar. 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.096>
- [14] T. Guimaraes, A. Teixeira, A. Olivera, R. Lopes, "Biochar obtained from arabica coffee husks by a pyrolysis process: characterization and application in Fe removal in aqueous systems" *New Journal of Chemistry*, Vol.44, pp.3310, Jan. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1039/C9NJ04144C>
- [15] G. Cruz, D. Mondal, J. Rimaycuna, K. Soukup, M. Gomez, J. Solis, J. Lang, "Agro waste derived biochars impregnated with ZnO for removal of arsenic and lead in water" *Journal of Environmental Chemical Engineering* Vol.8, pp.103800, Feb. 2020.
- [16] X. Zhang, B. Hao, A. Creamer, C. Cao, Y. Li, "Adsorption of VOCs onto engineered carbon materials: A review" vol.338, pp.102, Sep. 2017.
- [17] X. Man, L. Li, Z. Zeng, R. Chen, C. Wang, K. Zhou, C. Su, H. Li, "Synthesis of nitrogen-rich nanoporous carbon materials with C<sub>3</sub>N-type from ZIF-8 for methanol adsorption" *Chemical Engineering Journal*, Vol.363, pp.49, May. 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.132>
- [18] F. Cerino-Cordova, P. Diaz-Flores, R. Garcia-Reyes, E. Soto-Regalado, R. Gomez-Gonzalez, m. Garaza-Gonzalez, E. Bustamante-Alcantara, "Biosorption of Cu and Pb from aqueous solutions by chemically modified spent coffee grains" *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol.20, pp.611, Feb. 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0198-z>
- [19] Y. Dai, D. Zhang, K. Zhang, "Nitrobenzene-adsorption capacity of NaOH-modified spent coffee grounds from aqueous solution" *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol.68, pp.232, Sep. 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.08.042>
- [20] R. Lafi, A. Hafiane, "Removal of methyl orange from aqueous solution using cationic surfactants modified coffee waste" *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol.58, pp.424, July 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.06.035>
- [21] Md. Ahsan, V. Jabbari, Md. Islam, H. Kim, J. Hernandez-Viezcas, Y. Lin, "Green synthesis of a highly efficient biosorbent for organic, pharmaceutical, and heavy metal pollutants removal: Engineering surface chemistry of polymeric biomass of spent coffee waste" *Journal of Water Process Engineering*, Vol.25, pp.309, Aug. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.08.005>
- [22] A. Babu D. Reddy, G. Kumar, K. Ravindhranath, G. Mohan, "Removal of lead and fluoride from contaminated water using exhausted coffee grounds based bio-sorbent" *Journal of Environmental Management*, Vol.218, pp.602, Apr. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.091>
- [23] S. Wong, N. Ghafar, N. Nadi, F. Razmi, I. Inuwa, R. Mat, N. Amin, "Effective removal of anionic textile dyes using adsorbent synthesized from coffee waste" Vol. 10, pp.2928, Feb. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60021-6>
- [24] T. Marin, P. Montaya, O. Arnache, R. Pinal, J. Calderon, "Development of magnetite nanoparticles/gelatin composite films for triggering drug release by an external magnetic field" *Materials & Design*, Vol 152, pp.78, Aug. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.04.073>
- [25] S. Shi, C. Xu, X. Wang, Y. Xie, Y. Wang, Q. Dong, L. Zhu, G. Zhang, D. Xu, "Electrospinning fabrication of flexible Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> fibers by sol-gel method with high saturation magnetization for heavy metal adsorption" *Materials & Design*, Vol. 186, pp.108298, Jan. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108298>
- [26] I. Safarik, K. Horska, B. Svobodova, M. Safarikova, "Magnetically modified spent coffee grounds for dyes removal" *European Food Research and Technology*, Vol.234, pp.345, Dec. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1641-3>
- [27] A. Edathil, I. Shittu, H. Zain, F/ Namat. M. Haija, "Novelmagnetic coffee waste nanocomposite as effective bioadsorbent for Pb removal from aqueous solutions" Vol. 6, pp. 2390, Mar. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.041>

- [28] D. Cho, K. Yoon, E. Kwon, J. Biswas, H. Song, "Fabrication of magnetic biochar as a treatment medium for As via pyrolysis of FeCl<sub>3</sub>-pretreated spent coffee ground" Environmental Pollution, Vol.229, pp.942, Aug. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.079>
- 

곽 호 석(Ho Seok Kwak)

[정회원]



- 2017년 2월 : 고려대학교 화공생 명공학과 공학박사
- 2017년 8월 : 고려대학교 화공생 명공학과 Post Doc.
- 2017년 9월 ~ 현재 : 동양미래대학교 바이오융합공학과 부교수

<관심분야>

미세조류, 바이오소재, 배양, 이산화탄소저감

---

김 종 규(Jong Kyu Kim)

[정회원]



- 2012년 7월 : University College London, Civil and Environmental engineering. 공학박사
- 2015년 3월 ~ 2020년 2월 : 경남대학교 토목공학과 조교수
- 2020년 3월 ~ 현재 : 신한대학교 에너지공학과 부교수

<관심분야>

물, 수처리, 흡착, 광촉매

---

전 영 상(Youngsang Chun)

[종신회원]



- 2022년 2월 : 고려대학교 화공생 명공학 공학박사
- 2022년 3월 ~ 2023년 2월 : 동양미래대학교 바이오융합공학과 조교수
- 2023년 3월 ~ 현재 : 신한대학교 첨단소재공학과 조교수

<관심분야>

바이오매스, 기능성 소재, 효소, 탄소소재