

커피 추출 폐기물 재활용 현황과 기술 동향 분석

홍현선[†] · 김율이 · 오민주 · 이유미 · 이혜지 · 차은서

성신여자대학교 청정융합에너지공학과

(2018년 8월 6일 접수, 2018년 9월 4일 수정, 2018년 9월 10일 채택)

Overview for Coffee Grounds Recycling Technology and Future Concerns

Hyun Seon Hong[†] · Yuli Kim · Min Joo Oh · Yu Mi Lee · Hye Ji Lee · Eun Seo Cha

Department of Environment & Energy Engineering, Sungshin Women's University

(Received 6 August 2018 : Revised 4 September 2018 : Accepted 10 September 2018)

Abstract

The coffee grounds generated during the coffee extraction process contain several resources, but the technology for their recycling has not been commercialized yet, causing various environmental problems. Due to the recent increase in coffee consumption worldwide, the amount of coffee grounds produced has been continuously increasing, reaching more than 750 million tons. In Korea, about 120,000 tons of coffee waste are annually generated; however, most of them are landfilled or incinerated. Although there is still a shortage of coffee waste recycling technologies compared to the amount of coffee grounds produced, various recycling approaches are being actuated in many countries including Korea. In this study, the generation of coffee grounds at home and abroad, the status of coffee grounds recycling, and the associated technology development trends were investigated. The coffee grounds recycling has been studied in the fields of energy, adsorbent, construction, agriculture, and bio-foods. Research is most active in the energy and biotechnology areas; in particular, since the oil in the coffee grounds is valuable as a feedstock for biomass energy, the technology related to energy recovery is currently under development worldwide. Removed because confusing and unnecessary.

Key Words : Coffee grounds, Coffee waste, Recovery, Recycling, Bio energy

I. 서 론

커피 찌꺼기(coffee grounds)는 원두에서 커피를 추출한 성분을 제외한 나머지를 일컫는 커피 추출 폐기물이다. 커피 찌꺼기는 탄소, 유기물과 풍부한 섬유소를 포함하고 있어 재활용 가치가 높은 유가성 자원이지만 현재까지는 가치를 활용하지 못하고 많은 양이 일반 생활 쓰레기로 버려지고 있다. 따라서 유가성 자원의 폐기와 일반 쓰레기 증가라는 두 가지의 문제가

대두되고 있다. 특히, 전 세계적으로 커피 수요가 꾸준히 증가하고 있는 실정이며 커피 찌꺼기의 발생량 또한 매년 증가하고 있어 이를 재활용할 필요성이 점차 확대되고 있다.

현재 커피 찌꺼기 재활용에 대하여 다양한 연구가 시도되고 있지만 대부분은 아직까지 원천기술개발 수준이고 여전히 실용화 및 활성화에 대한 문제가 남아 있다. 커피 찌꺼기와 관련된 국내외 논문 발표 현황을 살펴보면 단순히 다방면으로 기술개발을 시도하고 이에 대한 특성을 파악해보는 수준에 머물러 있다. 국내의 경우 커피 찌꺼기의 다양한 자원가치, 발생 및 처리 현황, 재활용 기술의 수준 등을 조사 연구한 사례를 찾아볼 수 없으며, 따라서 현재 기술 수준을 제고하고 새로운 기술을 활성화하기 위해선 기존의 커피 찌꺼기의

First author and [†]Corresponding author : Hyun Seon Hong, Prof., Sungshin Women's University, hshong@sungshin.ac.kr, 02-920-2753

Co-author : Yuli Kim, Min Joo Oh, Yu Mi Lee, Hye Ji Lee, Eun Seo Cha, Undergraduate student, Sungshin Women's University

발생 및 처리 현황과 특성부터 조사 분석할 필요가 있다고 판단된다.

본 연구에서는 현재 여러 분야에서 독립적으로 진행되는 커피 찌꺼기 재활용 관련 개별 정보들을 종합적으로 조사하여 재활용의 현황과 개발특성을 분석하였다. 이를 위해 재활용과 관련된 국내외 통계자료, 보고서, 논문을 내용별로 또 연도별로 조사하였다. 연구개발 특성은 국내외에서 다양하게 진행된 커피 찌꺼기 재활용 연구들을 에너지 기술, 바이오 기술, 배지 및 퇴비화 기술, 흡착제 기술 등의 분야로 나누어 연구 현황을 알아보았다. 그리고 국내외의 커피 찌꺼기 재활용의 연구개발 사례를 비교 분석함으로써 커피 찌꺼기 재활용 산업 발전을 위해서는 어떠한 방향으로 연구가 진행되어야 하는지 그 방향성을 조사하고, 실용화 기술 개발 가능성을 살펴보았다. 본 연구에서 도출된 커피 찌꺼기의 재활용 현황, 기술개발 사례, 산업 전망 등의 정보는 고부가가치 실용적 연구 및 새로운 기술 개발에 기여할 것으로 생각된다.

II. 커피 추출 폐기물 발생 현황

1. 국내 커피 생산량, 수입량 및 소비량 현황

국내 커피류(생두, 원두, 인스턴트커피, 커피 조제품) 수입량을 Table 1에 종류별로 정리하여 제시하였다. 우리나라 2016년 커피류 총 수입량은 15만 9천톤으로 사상 최대치의 수입량을 기록하였는데, 이는 2014년, 2015년과 비교하여 꾸준히 증가한 모습이다. 가공하기 전의 커피 열매를 뜻하는 생두(green bean)는 2016년에 14만 3천톤 수입하였는데 이는 전체 커피류 수입량의 89.7%를 차지하는 양이다. 또한, 커피콩을 말려서 볶은 것을 의미하는 원두(coffee bean)는 전체 커피류 수입량의 6.3%인 1만톤을 수입하였다. 이밖에 인스턴트커피는 4천 5백톤, 커피 조제품(Coffee-based preparation)은 천 8백톤이 수입되었다¹⁻²⁾. 국내 커피 생산의 경우 강릉과 제주도 등지의 일부 농가에서 커피 원두가 재배되지만, 생산량은 농가당 수백 kg 정도로 수입

량에 비해 무시할 수 있는 적은 양이다.

한편, 커피 소비의 경우 2016년에 우리나라 20세 이상 어른 한명의 연간 커피 소비량은 377잔으로 2012년 이후 연평균 7%씩 증가하고 있다. 이 1인당 연간 커피 소비량과 통계청에 등록된 20세 이상 성인 인구수를 곱하여 이 연령대의 전체 커피 소비량을 계산하여 보면 2016년 기준 약 157억 잔으로 추정된다³⁾. Fig. 1에 커피 한잔을 만드는데 원두 10g이 필요하다고 가정하여 연도별 국내 커피 소비량을 질량으로 환산하여 제시하였다. 2016년에 소비된 원두의 양은 15만 7천톤으로 한 해 우리나라 수입량과 거의 일치하는 수치를 보이고 있다.

2. 글로벌 커피 생산량 및 소비량 현황

2016년 기준 세계 커피 생산량은 Fig. 2에 나타나 있듯이 9백만톤이 넘는다. 구체적으로 살펴보면 브라질이 330만톤으로 총 커피 생산량의 약 35%를 차지하고 있으며, 베트남이 153만톤으로 총 커피 생산량의 16% 정도를 차지하고 있다. 즉, 브라질과 베트남이 전 세계 커피의 절반 이상을 생산하고 있다. 또한, 콜롬비아가 87만톤으로 3위, 인도네시아가 68만 9천톤으로 4위, 온두라스가 34만 5천톤에서 46만톤으로 5위이다⁴⁻⁵⁾.

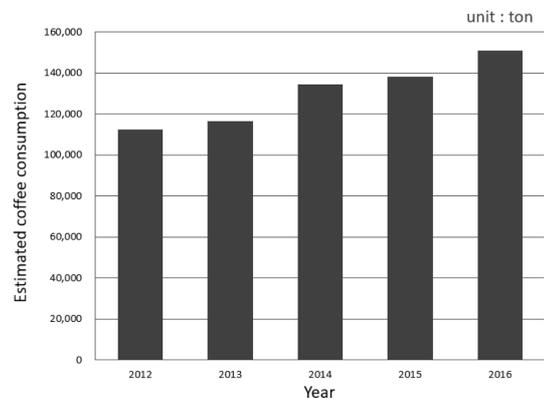


Fig. 1. Estimated amounts of domestic coffee consumption in 2016.

Table 1. Amounts of imported coffees in Korea¹⁾

(Unit : ton)

Classification	2014	2015	2016
Green beans	126,000	130,000	143,000
Coffee beans	7,100	8,200	10,000
Instant coffee	4,200	4,600	4,500
Coffee-based preparation	1,500	1,500	1,800
Total	139,000	144,000	159,000

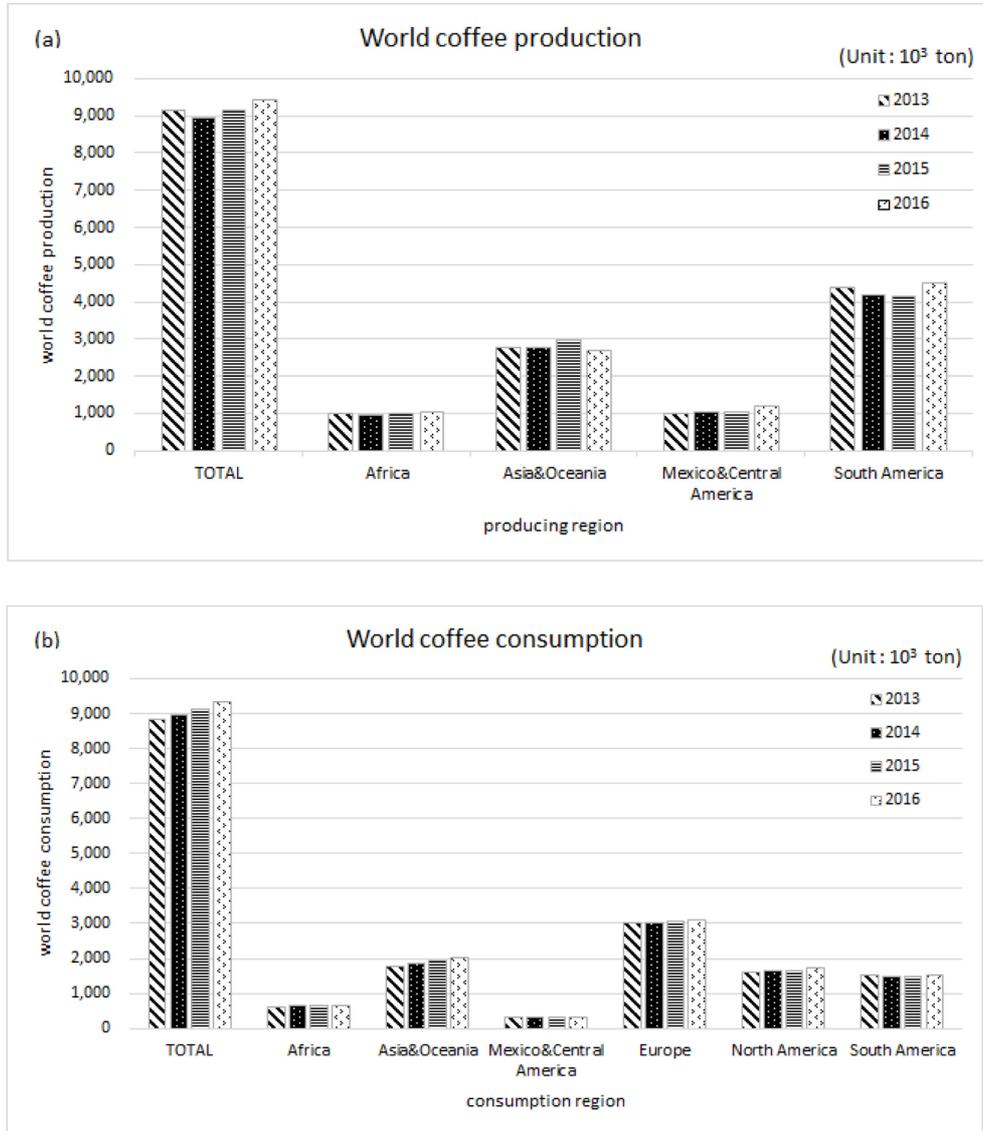


Fig. 2. Amounts of world wide (a) coffee production and (b) coffee consumption.

전 세계적으로 커피 소비는 꾸준히 늘고 있는 추세이다. 그중에서도 유럽연합이 250만톤으로 가장 많은 커피를 소비하고 있으며, 미국이 150만톤으로 2위, 브라질이 120만톤으로 3위이다. 이어서 일본이 40만톤으로 4위, 인도네시아가 20만톤으로 5위를 차지하고 있다. 한편, 1인당 커피 소비량 상위 국가는 주로 유럽 국가이며, 특히 북유럽 국가들의 커피 소비량이 큰 것으로 나타나고 있다. 1인당 커피 소비량 1위인 핀란드는 2017년 2월 기준 9.6 kg에서 12 kg으로 1년 사이에 25%가 증가했으며, 2위인 노르웨이도 7.2 kg에서 9.9

kg으로 무려 37.5%가 증가했다⁶⁾. 이는 커피 소비가 빠르게 증가하고 있으며, 북유럽 국가들이 커피 소비량이 높다는 사실을 보여 준다. 참고로 우리나라는 2016년 기준 1인당 연간 3.77 kg을 소비하고 있다³⁾.

3. 커피 추출 폐기물 발생과 처리 현황

3.1. 국내 커피 추출 폐기물 현황

실제로 커피를 만드는 데에는 원두의 0.2%밖에 사용하지 않기 때문에 사용된 원두의 대부분은 커피 찌

꺼기 즉 커피 추출 폐기물 형태로 배출된다⁷⁾. 현재 우리나라에서 커피 찌꺼기의 처리과정을 살펴보면 음식물 쓰레기가 아니고 생활 쓰레기로 취급되어지고 있다. 환경부 음식물 쓰레기 처리 기준에 따르면 동물들이 사료로 먹을 수 있는지의 여부를 기준으로 판단하는데, 동물이 먹을 수 있다고 판단되면 음식물 쓰레기로 분류된다. 커피 찌꺼기의 경우에는 과잉 섭취했을 때에 건강 문제가 발생할 수 있기 때문에 생활쓰레기로 분류된다. 따라서 커피 추출 폐기물의 경우 생활폐기물과 함께 종량제봉투에 섞여서 수거된 후 소각되고 있는 실정이다.

국내 커피 찌꺼기 발생량은 폐기물 통계에서 커피 찌꺼기 발생량만을 따로 수집하고 있지 않기 때문에 추정으로 계산할 수밖에 없다. 국내 커피 수입량(2016년, 15만 9천톤)¹⁾에서 증발량(생두에서 원두로 변하며 20%의 수분증발)과 커피추출액(원두 중 0.2%)을 제외하여 건조된 찌꺼기 양을 추정하였다. 2016년에 전국에서 발생한 커피 찌꺼기의 양은 완전하게 건조되었을 때를 기준으로 약 12만 4천톤이 발생한 것으로 추정할 수 있다.

공식적인 통계자료로 커피 찌꺼기가 버려지는 양은 서울시에서 하루 동안 140톤 이상 버려지는 것으로 보고되고 있다⁸⁾. 2017년 서울시에 따르면 2016년 8월부터 12월까지 서울시에서 일부매장에 대해 커피 찌꺼기 재활용에 관한 시범사업을 진행하였다⁸⁾. 이 사업이 시행되기 전에는 대부분의 커피 찌꺼기가 소각되거나 버려졌다. 2017년 환경부 자료 ‘커피 찌꺼기, 재활용 자원으로 변신’에 따르면 2016년에 스타벅스에서 버려지는 커피 찌꺼기 4,417톤 중에 약 2,200톤을 퇴비로 만들어 농가나 고객에게 무상으로 제공하고, 꽃 화분을 만들어 총 3,411톤(총 배출량의 77%)을 재활용한 것으로 보고되었다⁹⁾.

3.2. 국외 커피 추출 폐기물 현황

전 세계 커피 찌꺼기 발생량 역시 폐기물을 따로 수집하고 있지 않기 때문에 추정으로 계산할 수밖에 없다. 2016년 전 세계 생산량 940만톤에서 20%의 수분증발과 0.2% 커피농축액을 제외하여 커피 찌꺼기 발생량을 계산하였다. 2016년에 전 세계에서 발생한 커피 찌꺼기의 양은 완전하게 건조되었을 때를 기준으로 약 750만톤이 발생한 것으로 추정할 수 있다.

국외의 경우 커피 찌꺼기가 음식물 쓰레기로 분류되어 버려지는 경우가 있다. 대표적인 국가인 영국과 미국의 일부 주인데, 영국 루이스의 경우에는 지역 홈페이지에 커피 찌꺼기를 음식물 쓰레기로 분류하여 버리라고 명시되어 있다. 또한, 워싱턴 D.C의 음식물쓰레

기 규정을 확인한 결과 이 지역 또한 커피 찌꺼기를 음식물 쓰레기로 분류하여 버리고 있다. 이는 워싱턴 D.C의 경우에는 음식물 쓰레기를 매립하기 때문인 것으로 보인다.

영국 커피 협회에 따르면, 영국은 하루 평균 무려 5,500만 잔의 커피를 소비하며, 런던에서만 연간 배출되는 커피 찌꺼기 양은 약 20만톤에 달한다고 보고하였다¹⁰⁾. 한편, 영국 바이오빈(Bio-Bean, 2013년 설립)에 따르면 영국에서는 일년에 약 50만톤의 커피 찌꺼기를 발생시키고 대부분이 매립지에 버려진다고 하였다. Bio-Bean에서는 버려지는 커피 찌꺼기의 일부를 이용해 coffee log로 만들어 팔며 커피 찌꺼기를 재활용하고 있다. 바이오빈은 전국 800개 코스타 커피(Costa coffee)에서 연간 3천톤의 커피 찌꺼기를 수집하며, 네트워크 레일을 이용하는 수천 명의 승객들이 생산하는 수백톤의 커피 찌꺼기도 수집한다.

호주의 경우 비영리 환경단체인 Planet Ark Environmental Foundation에 따르면 시드니의 카페에서 일년 동안 나오는 약 3,000톤의 커피 찌꺼기 중 7%만 재활용에 사용하고 나머지 93%는 모두 매립지에 버려진다고 보고하고 있다. 미국, 영국, 호주의 경우에서 보듯이 아직까지 다른 나라에서도 커피 추출 폐기물에 대한 처리는 재활용 같은 친환경적 처리 보다는 대부분 매립으로 처리되고 있는 것으로 보인다.

III. 커피 추출 폐기물 재활용 기술개발 현황

1. 커피 추출 폐기물 재활용 기술개발 현황

현재 커피 찌꺼기는 여러 가지 분야에서 다양하게 재활용되고 있다. 커피 찌꺼기 활용 분야를 알아보기 위해 국내와 국외의 커피 찌꺼기 재활용 기술 논문을 검색한 결과, 국내의 경우 64편, 국외의 경우 179편의 논문을 확인할 수 있었다. 논문 검색 결과 커피 찌꺼기 재활용은 Fig. 3에서 정리된 것처럼 크게 에너지 기술, 흡착제 기술, 바이오 기술, 토양 기술(배지 및 퇴비화) 등으로 분류할 수 있었다. 논문 검색은 NDSL 사이트(www.ndsl.kr)와 Google 학술검색 사이트(<https://scholar.google.es>)에서 진행하였고, 커피찌꺼기, 커피박, coffee grounds, coffee waste, spent coffee, coffee residue, 재활용, 재이용, recycling 등의 키워드로 검색하였다.

국내논문의 경우 Fig. 3(a)에서 정리되어 있듯이 에너지화 기술, 식품바이오 기술, 농업과 토양 기술 관련 논문이 가장 많이 검색되었다. 12건이 검색된 에너지화 기술에서는 반탄화로 인한 커피 찌꺼기 연료의 특성이 연구되어 지고 있으며, 주로 커피 찌꺼기를 원료

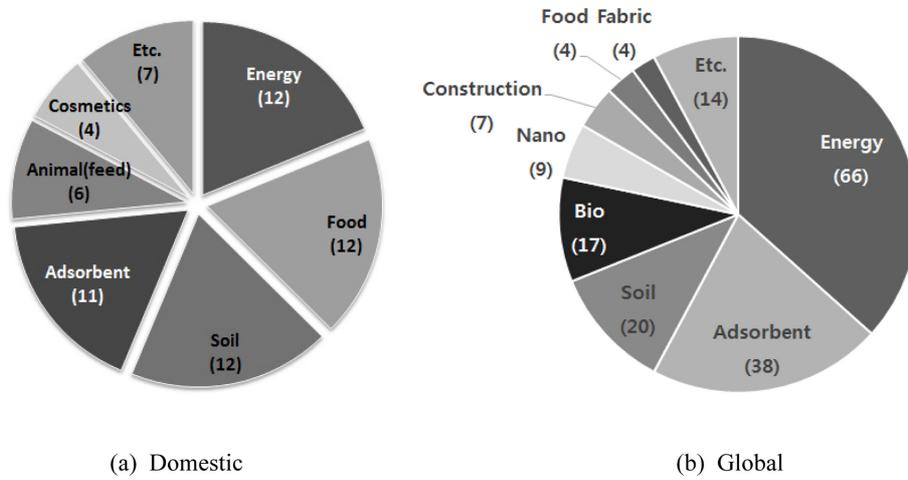


Fig. 3. Analysis of publication status of papers (a) in Korea and (b) world wide.

로 한 바이오디젤의 생산의 연구가 이루어지고 있다.

같은 건수로 검색된 식품, 식재료의 사용은 양갱, 돈족, 머핀, 쿠키 등 다양한 식품에 커피 찌꺼기가 첨가되며 이루어지고 있다. 커피 찌꺼기로부터의 생리활성 물질과 커피 찌꺼기의 항산화 특성이 식재료로의 사용을 가능하게 하는 가장 대표적인 특성이다.

토양분야에서도 배지 및 친환경퇴비로 커피 찌꺼기가 사용되며 이는 커피 찌꺼기의 영양분이 식물의 생장에 긍정적인 영향을 미치는 것의 발견에서부터 이루어지고 있다.

다음은 12건과 비슷하게 많이 11건 검색된 흡착제 사용이 있다. 커피 찌꺼기를 첨가하여 중금속 등의 흡착능력을 얻을 수 있음이 확인되어 폐수의 중금속(Ni, Pb, Cr, Cd) 제거에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그리고 이와 같은 특성이 활용되어 커피 찌꺼기로 제조한 바이오 차의 흡착/제거 특성도 연구되어 지고 있다.

커피 찌꺼기를 첨가한 동물 사료나 커피 찌꺼기의 항산화 기능과 항균 효과를 고려해 생산한 화장품 등도 각각 6건과 4건으로 검색되었다. 이 외에도 건축, 염색, 약품 그리고 섬유 등 다양한 분야에서 커피 찌꺼기가 재활용 되고 있는 현황을 국내 논문 검색을 통해 확인할 수 있었다.

국외의 경우 Fig. 3(b)에 제시된 것처럼 총 179여 편의 논문을 9개의 카테고리 분류하였다. 광범위한 분야에서 커피 찌꺼기의 재활용가치가 발휘되고 있음을 알 수 있다. 그중 커피 찌꺼기를 활용한 바이오디젤, 바이오가스, 바이오에탄올, 바이오연료, 에너지 회수, 연료전지, 가스화, 에너지의 원료 등 에너지와 관련된 분야가 가장 활발하게 연구되고 있었으며, 그중에서도 바이오디젤과 관련된 논문이 가장 두드러지게 진행되

고 있었다.

최근 들어, 국외에서는, 특히 호주에서 커피 찌꺼기가 도로 건설 재료 및 건축자재로 재활용되고 있다는 점이 국내와 다르게 최신 트렌드로 새롭게 성장하고 있는 것으로 보인다. 그밖에도 양자점과 나노분야에서도 커피 찌꺼기를 활용한 연구논문이 발표되어 첨단과학 분야와도 융합이 되고 있음을 알 수 있다.

2. 기술개발 사례 분석

2.1. 에너지 분야 기술개발

현재 커피 찌꺼기를 활용한 에너지와 관련된 논문 현황을 보면 국내 논문 64편에서 12편으로 바이오 분야와 비슷하였지만 해외에서 조사된 논문은 179편에서 66편으로 다른 분야들보다 월등하게 많았다. 이는 다른 분야들에 비해 에너지로 활용하려는 움직임이 크다는 것을 뜻하고, 활용도가 높다는 것을 나타낸다. 국내에서 커피 찌꺼기를 에너지로 연구한 분야에는 바이오디젤, 바이오 원유, 바이오 연료, 고품 연료로 다양하다. 국외 논문도 국내 논문과 마찬가지로 여러 분야에 대해 연구하였지만 그중에 바이오 디젤에 관한 연구가 가장 많이 진행되고 있었다.

먼저 국내에서 진행되어 온 커피 찌꺼기를 활용하여 바이오 디젤로 만드는 논문들에 대해 살펴보면 다음과 같다. 2000년 Kim et al.의 커피 찌꺼기 바이오 디젤 생산 가능성 연구¹¹⁾에 따르면, 커피 찌꺼기로부터 추출되는 기름의 양은 약 10.7%이다. 일반 커피 원두에서 추출한 기름의 양이 약 10%인 것과 비교해보았을 때 큰 차이가 존재하지 않았다. 하지만 기름 함유량이 높아 바이오디젤로 각광을 받고 있는 식물인 자트로파로

부터 얻는 기름의 양이 대략 33%인 것에 비해서는 양이 적은 것으로 보고되었다. 추출된 기름의 질량 대비 바이오 디젤의 수율은 커피 찌꺼기 기름에서 75% 정도가 나왔지만 이는 자트로파유가 대략 100%인 것을 보면 낮은 수치이다. 그러나 커피 찌꺼기로부터 얻은 바이오 디젤은 자트로파유 바이오 디젤의 발열량과 유체싸유, 팜유 바이오 디젤 등 다른 유지 작물로부터 얻어지는 디젤의 발열량과 크게 다르지 않은 것으로 조사되었다.

또한, 기름 추출 효율 향상에 대한 연구도 진행되었는데, 2010년 Lee et al.의 추출 효율연구¹²⁾에 의하면 일반적인 커피 기름을 추출하는 방법과 비교하여 초음파 에너지로 커피 기름을 추출할 때는 낮은 온도에서 추출시간을 줄일 수 있다고 보고하였다. 초음파에너지를 이용하여 추출된 커피 기름의 산가와 점도 그리고 고위 발열량을 측정해 보았을 때 정제 과정 후 커피 기름을 바이오 디젤 등으로 이용할 수 있을 것으로 보인다.

커피 찌꺼기로부터 바이오 디젤과 바이오 에탄올을 순차적으로 생산하는 것에 대한 연구 또한 진행되었다. 2013년 Kwon et al.의 바이오 디젤과 바이오 에탄올 동시 생산 연구¹³⁾에 따르면 커피 찌꺼기로부터 바이오 에탄올을 직접 변환하는 것은 원료에 존재하는 중성지방과 유리산에 있는 느린 효소 때문에 바람직한 선택이 아닌 것으로 나타났다. 마찬가지로 첫 번째 원유 액체를 추출하지 않고 사용된 커피 찌꺼기를 바로 바이오 에탄올로 변환시키는 것도 실현가능한 대안이 아닌 것으로 나타났다. 그러나 사용된 커피 찌꺼기로부터 추출된 원유 액체는 자체로 지방산 메틸 에스테르와 지방산 에틸 에스테르로 변환되어서 커피 찌꺼기가 바이오 에탄올과 바이오 디젤을 생산하기 위한 강력한 후보가 될 수 있다고 보고되고 있다. 한편 2016년 Han et al.

의 커피 부산물의 Pyrolysis Reaction 연구¹⁴⁾에 의하면 커피 찌꺼기 바이오 원유의 발열량은 목질계 바이오매스로 생산한 바이오원유보다 높게 나타났다. 그리고 커피 찌꺼기 바이오 원유와 목질계 바이오 원유를 비교했을 때 에너지 수율은 큰 차이를 보이지 않는 결과를 보였다.

실용화 및 경제성 측면에서 고찰해 보면, Kwon et al.¹³⁾의 연구 결과처럼 바이오 디젤이나 바이오 에탄올을 순차적으로 생산할 수 있다면 실용화 단계에서 경제성을 높일 수 있을 것으로 보인다. 또한, Han et al.¹⁴⁾의 연구에는 커피박 시료의 열분해 장점과 바이오원유의 제조 가능성을 확인할 수 있었다. 높은 열량과 저가공급의 장점은 기존의 목질계 바이오매스의 단점을 해결할 수 있는 방법이 될 수 있을 것이다. Fig. 4는 본 논문에서 여러 연구를 분석하여 제안한 커피 찌꺼기 재활용 순차공정도를 보여주고 있다. 여기에서는 바이오 디젤, 바이오 에탄올 그리고 바이오 고형 연료의 순차적 제조를 제안하고 있다.

바이오 디젤 또는 바이오 에탄올만큼 반탄화(torrefaction) 반응을 활용한 바이오 연료에 관한 연구도 많이 진행되고 있다. 커피 찌꺼기의 경우에 커피를 로스팅하는 과정에서 반탄화와 유사한 방법이 적용된다. 반탄화 연료는 일반 목재와 숲의 장점을 살려서 만든 친환경 에너지 자원이다. 반탄화 연료는 기존 목재연료와 비교해서 발열량과 과쇄성이 우수하고 습기에 강해 저장과 이용에 유리하다. 2016년 Kim et al.의 연구¹⁵⁾에 따르면 커피 찌꺼기의 경우에는 로스팅 과정에서 에너지 밀도를 높일 수 있고, 연료의 가공, 운송 및 보관이 용이하다. 그렇기에 커피 찌꺼기의 5~10%를 발전소 석탄과 섞어 연료로 이용하는 것은 적합하다고 보고되고 있다. 그러나 연료의 성상에 따라서 결과가 다르기에 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

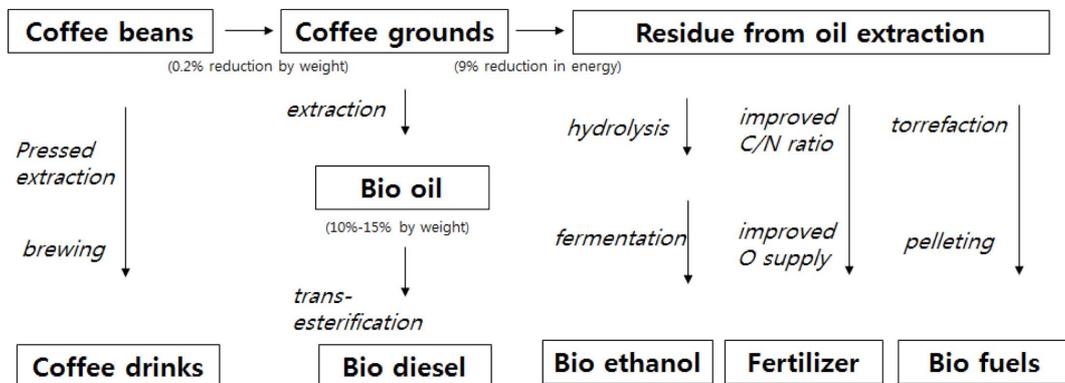


Fig. 4. Proposed sequential process for coffee grounds recycling for energy recovery.

한편 커피 찌꺼기는 에너지 고형연료로도 활용될 수 있다는 연구결과가 보고되었다. 2016년 Lee et al.의 커피 찌꺼기 고형 연료화 연구¹⁶⁾에서 커피 찌꺼기와 우분을 섞어 고형연료로서의 적합성 여부를 조사하였는데, 여러 비율로 우분과 커피 찌꺼기를 섞어 연료로서의 적합함을 비교한 결과 5:5로 우분과 커피 찌꺼기를 섞은 것이 고형연료로써 가장 우수한 결과를 나타내었다. 우분과 커피 찌꺼기를 혼합하여 고형연료를 만들면 폐기되는 자원을 줄일 수 있어 환경에 부담이 줄어들고, 경제적으로도 수요자가 값싸게 연료를 받을 수 있다는 장점이 있다.

해외에서 진행되고 있는 연구로는 바이오 디젤, 바이오 에탄올, 연료 등 여러 가지 분야가 있다. 해외에서도 한국과 마찬가지로 바이오 디젤에 관한 연구가 가장 활발하게 진행되고 있었다. 먼저, 2010년 Burton et al.의 효소 촉매를 활용한 커피 찌꺼기에서 바이오 디젤 생산 연구¹⁷⁾에 따르면 미국재료시험협회 표준 바이오 디젤을 생산하기 위한 원재료로 커피 찌꺼기에서 추출한 커피 기름 사용 적합성에 관한 연구가 진행되고 있다. 현재 바이오 디젤 산업계에서는 기름 함유량이 높으나 식용이 아닌 작물을 찾고 있으며, 더 나아가 작물이 아닌 폐기물 추출 기름 원료에 대해서도 연구 중에 있다. 커피 찌꺼기는 음식이 되지 않는 작물일 뿐만 아니라 폐기물에도 포함되어 재료로 사용하기 좋다. 또한, 효소 촉매제를 사용한 전환율 98.5%를 달성하여 바이오 디젤 생산을 위한 커피 찌꺼기로부터 품질의 커피 기름을 만드는 과정에 도달할 가능성이 있다는 것을 입증했다.

일반적으로 커피 찌꺼기로부터 커피 기름을 10~15% 정도 생성할 수 있다고 많은 논문들이 발표하였다. 이 기름을 바이오디젤로 변환한 것은 상온에서 1개월 이상 안정적인 것으로 확인되었다. Kondamudi에 의하면 전 세계적으로 12억 8천만 리터의 바이오 디젤이 커피 찌꺼기로 만들어질 수 있을 것으로 추정된다고 하였다¹⁸⁾. 2008년 Misra et al.의 커피찌꺼기 Biodiesel Fuel화 연구에 의하면 커피 찌꺼기로 만든 바이오 디젤의 경우에는 커피의 높은 산화 방지제 성분 덕분에 다른 전통적인 바이오 디젤에 비해 더 안정적이라는 주요한 이점이 있다¹⁹⁾.

기름을 추출한 후의 커피 찌꺼기는 정원비료, 에탄올의 공급원료, 그리고 연료펠릿으로 사용할 수 있는 이상적인 재료이다. 특히, 기름 추출 후 남은 커피 박은 탄소와 질소의 좋은 비율과 생물학적으로 향상된 산소 공급으로 인하여 정원 비료로는 이상적인 재료이다²⁰⁾. 또한, 기름을 추출하고 남은 커피 찌꺼기의 경우에 열량이 약 9% 정도만 감소했으므로, 기름 추출 후

잔여 커피 찌꺼기를 최소한의 부분적인 열과 에너지를 요구하는 연료펠릿으로 사용하기에도 적절하다²¹⁾.

커피 찌꺼기로 연료 펠릿을 만드는 연구도 있다. 2012년 Limousy et al.의 spent coffee grounds pellets 관련 연구²²⁾에 따르면 커피 찌꺼기 또는 소나무 톱밥과 혼합하여 생산된 농업 펠릿들은 우수한 에너지 특성과 연소가 보여진다. 커피 찌꺼기 펠릿을 유망한 대체 원료로 보는 것은 타당하지만, 커피 찌꺼기를 소나무 톱밥과 50%까지 섞어야 프랑스의 기준을 충족할 수 있다. 그래서 소나무 톱밥을 섞은 펠릿 생산이 커피 찌꺼기로 만든 연료의 중요한 이슈가 될 것으로 보인다.

2.2. 흡착제(Adsorbent) 분야 기술개발

우리 주변에서 쉽게 구할 수 있는 폐기물인 커피 찌꺼기를 흡착제로 재활용하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 국내에서는 11편의 논문이, 국외에서는 38편의 논문이 조사 분석되었다. 대표적인 예로, 1995년 Rim et al.이 발표한 커피 찌꺼기를 이용한 폐수 중의 Pb 등 중금속 제거 연구²³⁾, 2012년 Kim et al.이 발표한 커피슬러지의 Cu와 Cd 흡착제거 연구²⁴⁾, 2017년 Park et al.이 저술한 커피찌꺼기 바이오-char를 이용한 구리의 흡착특성²⁵⁾, 1998년 Lee et al.의 커피 찌꺼기를 이용한 흡착제 제조와 Trichloroethylene 제거 연구²⁶⁾, 2006년 Utomo et al.의 폐수 중 중금속 흡착 연구²⁷⁾, 2011년 Castro et al.이 저술한 커피 찌꺼기를 활용한 페놀 흡착 연구²⁸⁾ 등의 논문이 국내외에서 최근까지 발표되고 있다. 흡착제로의 재활용 연구논문 수가 상당히 많은 것으로 보아, 커피 찌꺼기가 흡착제로 재활용될 수 있다는 가능성이 현저히 높아 보이는 것으로 판단되나 아직까지 상용화 기술에 이르지 못한 것으로 판단된다.

하지만 실제로 산업적으로 실용화하기 위해 노력이 진행되고 있는데, 최근 2016년에 발표된 ‘커피 찌꺼기에 흡착된 은 이온의 탈착 및 재생 특성²⁹⁾’이라는 논문에서는 커피 찌꺼기를 이용하여 산업폐수 내에 포함되어 있는 은(Ag) 이온을 효율적으로 흡착할 수 있다는 결과가 보고된 바 있다. 이 연구에는 커피 찌꺼기에 흡착된 은 이온을 질산용액을 이용해 탈착시켜 효율적으로 회수하는 연구까지 진행되었다²⁹⁾. 따라서 커피 찌꺼기로 만들어진 흡착제의 흡착 특성을 이용해 물질로부터 귀금속이나 희소금속 등을 선택적으로 흡착한 후 이를 효율적으로 탈착할 수 있는 연구까지 진행될 수 있다면, 향후 실제로 커피 찌꺼기의 실용화 가치가 매우 높아질 것이라고 판단된다. 더불어 커피 찌꺼기가 흡착제로써 크게 주목받을 수 있는 하나의 유용한 재료로 발전할 수 있을 것으로 보여 진다.

실용화 측면에서 보면, 수질에서뿐만 아니라 대기에서도 커피 찌꺼기가 오염물질 흡착제로써 연구가 진행될 경우 대기환경에도 긍정적인 영향을 미칠 것이라고 기대할 수 있다. 결과적으로 커피 찌꺼기라는 폐기물을 별다른 효용 없이 버리지 않고, 이를 흡착제로 재활용하여 폐수의 중금속을 비롯한 오염물질을 제거함으로써 환경을 보존하는 데 커피 찌꺼기가 큰 역할을 해낼 수 있을 것이라고 판단된다.

2.3. 퇴비 및 배지 분야 기술개발

커피 찌꺼기를 재활용하는 기술로 토양 분야인 퇴비 및 배지로의 사용에 대한 기술을 분석하였다. 국내 논문 검색 결과 12건이 조사되어 비교적 높은 비율을 차지하고 있었다. 현재 국내 논문에서는 커피 찌꺼기를 사용한 친환경 퇴비와 커피 찌꺼기를 혼합한 인공토양에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있었다. 퇴비로 재활용하는 기술의 경우 연구뿐만 아니라 실제로 일부 커피전문점과 서울시 그리고 사회적 기업이 공동으로 커피 찌꺼기를 사용하여 버섯 재배 배지와 친환경 퇴비를 제조하는 등의 움직임이 보고되고 있는 실정이다.

국내 연구의 경우, 2006년 Kim et al.의 커피 찌꺼기 퇴비 추출물의 항균력 연구³⁰⁾, 2013년 Kim의 커피부산물물의 퇴비 적합성 연구³¹⁾, 2014년 Kim의 커피박 퇴비의 식물 성장 연구³²⁾ 등과 같이 퇴비화 자체의 연구가 진행되고 있다. 또한, 2016년 Kim et al.의 커피박 퇴비와 벨벳콩을 이용해 호박의 뿌리혹선충 방제효과를 평가하는 연구, 2012년 Choi et al.의 새송이버섯 균사체 배양 시 커피박 첨가에 의한 균사체 생육에 관한 연구, 2012년 Lee et al.의 구름버섯 균사체 성장에 커피박이 미치는 영향에 대한 연구, 2014년 Ryu et al.의

커피 부산물 첨가에 따른 밀싹의 성장변화 연구 등에 의하면 다양한 식물들 성장에 미치는 영향을 분석하는 연구가 보고되고 있다³³⁻³⁸⁾.

이러한 연구 결과들을 실용화 측면에서 보면, 커피 찌꺼기의 이화학적 분석결과 유기물 재료로 사용하기에도 적합하고 주요 식물병원균에 대해 항균력이 높은 것으로 보아 토양 개량과 토양병 방제를 위한 퇴비의 개발이 가능할 것으로 생각된다. 그리고 커피 찌꺼기로 퇴비를 만든다면 메탄가스나 이산화탄소 등을 감소시킬 수 있으며, 특히 커피는 식물이기 때문에 다시 식물을 살리는 역할을 하고 유기농법을 활용하여 농산물을 생산하여 먹거리로 재활용된다는 점에서 의미를 부여할 수 있다.

퇴비 및 배지로 커피 찌꺼기를 재활용하는 현황은 국외에서도 국내와 크게 다르지 않다. 국외에선 179편의 커피 찌꺼기 재활용 기술 관련 논문 검색결과 중 20건이 퇴비 및 배지로 사용되고 있는 것을 확인 할 수 있었는데, 이는 비율적인 측면으로는 큰 비율을 차지하는 것처럼 보이지 않을 수 있으나 더 광범위하고 다양한 분야의 연구가 이루어지는 국외의 현황을 고려한다면 퇴비 및 배지로의 활용 기술은 그 가운데 일정 부분의 영역을 차지하고 있고 계속해서 연구가 이루어지고 있는 분야임을 확인할 수 있다.

실제 연구가 진행되고 있는 현황을 논문을 통해 살펴보면 다음과 같다. 2017년 Zhang et al.의 연구나 2017년 Emmanuel et al.의 연구와 같이 소의 배설물이나 가금류 비료와 커피 찌꺼기를 혼합해 퇴비화하는 연구가 진행되었다³⁹⁻⁴⁰⁾. 또한, 이러한 커피 찌꺼기를 다른 비율로 혼합해 그에 따른 여러 퇴비들이 미치는 영향을 각각 알아보는 것과 같이 커피 찌꺼기를 혼합

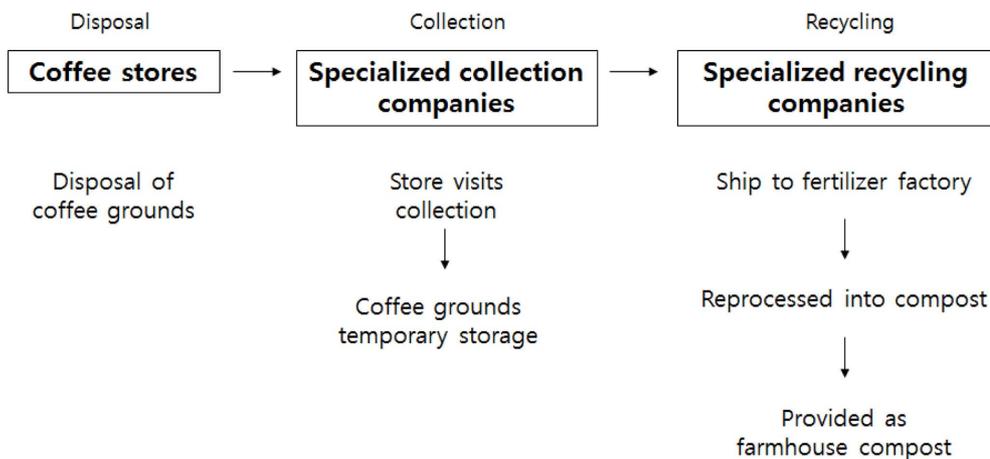


Fig. 5. Collection and recycling process of coffee grounds for compost in Korea

한 퇴비에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다⁴¹⁻⁴²⁾. 이와 더불어 국내 현황과 유사하게 커피 찌꺼기가 혼합된 토양에서 기른 상추에 대한 성분이나 커피 찌꺼기가 혼합된 배지에서의 종자 발아에 대한 연구와 같이 퇴비뿐만 아니라 커피 찌꺼기가 활용된 배지에 대한 연구도 진행되고 있다⁴³⁻⁴⁴⁾.

2.4. 건축분야 기술개발

커피 찌꺼기 활용 관련 논문 중 건축 분야는 국내 논문 3, 국외 논문 7건으로 국내외 둘 다 다른 분야에 비해 많은 논문이 검색되진 않았다. 하지만, 논문을 연도별로 정리해 보면 꾸준히 연구가 지속되어 온 것을 알 수 있다. 1998년 Ahn이 커피 찌꺼기 속에 들어 있는 섬유질과 에테르에 지방성분으로 천연 소포체를 회수하여 이용하는 방법을 연구하는 것을 시작으로⁴⁵⁾ 2010년 Kim et al.은 위험 폐기물로 간주되는 플라이에시와 커피 찌꺼기로 벽돌을 만드는 방법을 연구하였다⁴⁶⁾.

또한, 소량의 커피 찌꺼기는 점토 벽돌에서 연속 기포 다공성을 형성하는데 효과적이지만 기계적 및 열적 절연 특성이 약화되는 반면에 많은 양의 커피 찌꺼기로 만들어진 벽돌에서는 뛰어난 기계적, 물리적, 열적 특성을 보여 주는 최적의 결과가 발견되었다⁴⁷⁾. 유사한 연구로 Eliche-Quesada et al.의 연구⁴⁸⁾에서 세라믹 벽돌을 제조하는 과정에 커피 찌꺼기, 폐수 등을 찌꺼기와 혼합하여 세라믹 벽돌을 만들었다. 커피 찌꺼기로 만든 세라믹 벽돌은 폐기물이 없는 벽돌과 유사한 압축 강도 값과 열전도도 향상을 보였다. 이후 2015년에도 Muoz Velasco et al.의 커피 찌꺼기로 경량 벽돌을 만들어 기존의 벽돌의 열 속성을 개선하는 유사한 연구가 있었다⁴⁹⁾.

2016년에는 Kua et al.의 폐기물 부산물의 지속가능한 사용에 초점을 맞춰 커피 찌꺼기와 고로 슬래그, 플라이에시를 지속가능한 지하 구조물 건축 자재로 결합할 수 있는지 평가하는 연구⁵⁰⁾와 Kua et al.의 연구에서 안정화된 커피 찌꺼기는 매립지로 처리되는 대신에 지하 구조물로 사용될 가능성이 있다는 연구 결과가 나왔다⁵¹⁾. 이어서 2017년에는 Kua et al.의 연구에서 커피 찌꺼기, 플라이에시, 슬래그의 다양한 혼합 설계로 구성된 지오 폴리머가 알칼리 활성화를 통해 개발되어 전통적인 폐기물 재료에서 녹색 건축 자재를 만들었으며⁵²⁾, Suksiripattanapong et al.의 연구에서 커피 찌꺼기와 쌀가루 재를 이용해서도 재활용 포장재로 사용할 가능성이 있는 지속가능한 녹색 건축 자재 개발에 대한 연구가 보고되었다⁵³⁾.

2.5. 바이오-식품분야 기술개발

커피 찌꺼기 활용 사례에 대한 논문을 조사한 결과 국내 64편의 논문 중 12편이 바이오-식품에 해당하는 것으로 에너지, 토양과 함께 가장 많은 수를 차지하고 있다. 그러나 국외 논문의 경우 조사된 179편의 논문 중에서 바이오-식품 관련 내용은 단 4편으로 국내보다는 그 비중이 적은 것으로 나타났다.

국내 논문을 먼저 살펴보면, 2008년에 Kim의 연구를 통해 커피 추출물의 항산화능에 대한 연구가 발표되었다⁵⁴⁾. 이 연구는 빠른 지방 산화로 인해 저장성과 품질 저하에 있어 문제점을 가지고 있는 간고당의 제조에 커피박이 도움이 될 수 있다는 결과를 얻었다. 2009년에는 2008년에 발표된 논문과 이어져 Joo의 커피 추출의 Physiological Activities 논문을 통해 커피박 추출물이 생선저장 품질에 미치는 영향에 대한 연구가 이루어졌고⁵⁵⁾, Song et al.의 커피박 추출물의 생리활성에 관한 연구 논문이 발표되었다⁵⁶⁾.

그 이후부터는 다양한 식품들에 커피 찌꺼기를 식품 첨가물로서 사용하는 형태의 연구들이 진행되었다. 2010년에는 Jung의 커피 찌꺼기 식품화 연구가 발표되어 커피 분말대신 커피 슬러지를 사용하여 만든 쿠키는 카페인 함유량이 현저히 적은 것으로 나타나 커피박의 활용성을 증명했다⁵⁷⁾. 이 외에도 2011년에는 Yoo et al.이 커피 찌꺼기를 이용한 초콜릿 제조 특성⁵⁸⁾, 2012년에는 Yoo가 커피박을 이용한 막걸리의 품질특성에 관한 연구⁵⁹⁾, 2014년에는 Park이 커피박으로 제조한 식혜의 품질 및 항산화 연구⁶⁰⁾, 2016년에는 Lee가 다양한 커피박을 첨가한 쿠키의 품질특성 연구⁶¹⁾와 Choi et al.이 커피박 첨가 돈족의 품질 특성⁶²⁾, 그리고 Kim et al.이 커피박 첨가 양갱 품질특성 연구 논문들이 발표하였다⁶³⁾. 또한, 2016년에 발표된 Jo et al.의 bioactive compounds의 고온수 추출 연구를 통해 최근 까지도 바이오분야 연구가 지속되는 것을 확인하였다⁶⁴⁾.

국내 논문들을 살펴본 결과 단순히 제품에 첨가해 품질을 향상시키는 첨가물의 형태로 커피 찌꺼기를 사용하는 것뿐만 아니라 그 자체의 기능과 효능을 알아 보려는 연구들도 진행됨을 알 수 있다. 특히 커피 찌꺼기의 생리활성 기능에 초점을 맞춰 연구들이 이루어지고 있다. 그 예로 마지막에 언급한 2016년 발표된 Jo et al.의 논문에 의하면 커피 찌꺼기로부터 항산화물질을 생산하여 식품 또는 화장품의 소재로 사용할 가능성이 있어 커피 찌꺼기 재활용 산업이 긍정적이라는 것을 알 수 있었다.

국외 논문 현황을 보면 2007년에는 Xu et al.의 연구를 통해 커피 부산물을 혼합 사일리지에 첨가하여 그 품질을 향상시키는 연구가 진행되어 사료와 비료로의

사용을 긍정적으로 바라봄으로써 커피 부산물의 첨가물 기능에 관심을 보였다⁶⁵⁾. 2014년에 Cruz et al.의 커피 부산물에 의한 vegetables elemental quality 향상 연구가⁶⁶⁾ 발표되었는데 이는 앞서 언급한 2007년에 발표된 논문과 관련된 연구이다. 최근 들어 2017년에 커피 부산물을 베이커리의 한 재료로 활용하는 연구⁶⁷⁾와 커피 찌꺼기의 항산화능과 소화 발효에 관한 기능을 탐구하는 연구⁶⁸⁾가 발표되었는데 이 연구들은 국내에서도 진행된 연구로서 국내외적으로 협업이 가능한 분야라는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 커피추출 공정에서 발생하는 슬러지 형태의 공정폐기물인 커피 찌꺼기의 발생 및 처리현황을 조사하였고, 재활용하기 위한 기술을 분석하였다. 커피 수요의 증가로 인해 커피 찌꺼기도 매년 발생량이 증가하고 있는데, 국내에서는 한 해 동안 약 12만톤, 전 세계적으로는 약 750만톤의 커피 찌꺼기 슬러지가 발생한다. 하지만 커피 찌꺼기는 음식물 쓰레기로 처리되지 못하고 생활 쓰레기로 처리할 수밖에 없어 환경적인 문제를 야기하고 있는 실정인 것으로 파악되었다.

이러한 문제점에 따라 현재 국내외에서 커피 찌꺼기 재활용을 위한 다각적인 기술개발이 시도되고 있다. 국내의 커피 찌꺼기 재활용 관련 논문의 현황 분석 결과 다양한 응용 분야를 갖고 있으며, 에너지, 바이오-식품, 흡착제, 건축, 농업 분야에서 활발히 연구되는 것을 확인할 수 있었다. 향후 고품위 재활용 방안이 개발되어야 하는데 이러한 고부가가치의 잠재적 가능성이 있는 분야는 에너지 회수기술 개발이라 할 수 있다. 커피 찌꺼기에는 활용도가 높은 기름과 탄소가 함유되어 있어 커피 찌꺼기의 가치를 높일 수 있을 것으로 보여진다. 이처럼 에너지 회수 관련 분야가 전 세계적으로 활발히 연구되고 있음을 미루어 봤을 때, 커피 찌꺼기를 활용한 친환경 재활용 기술은 경쟁력 있는 기술로 성장할 것으로 예측된다. 커피 찌꺼기 재활용의 필요성 및 중요성이 점점 높아지고 있는 현시점에서 본 논문에서 조사된 자료들은 향후 다양한 고부가가치 기술개발에 기초자료로 활용될 것이다.

전문용어 정리

커피류: 커피나 커피차를 통틀어 이르는 말. 생두, 원두, 인스턴트 커피 등이 포함됨

생두(green beans): 가공하기 전의 커피콩으로 커피 열매인 체리에서 과육을 없애 씻어서 말린 상태. 매우

연한 녹색을 띄고 있음

원두(coffee beans): 커피나무 열매의 씨앗으로 생두를 말려서 로스팅(불로 가열하여 볶음)한 것으로 갈색을 띠

커피 추출 폐기물(coffee grounds): 커피 박, 커피 찌꺼기, 커피 슬러지, 커피 부산물과 같은 말로 커피를 추출한 후 버려지는 폐기물

커피 박: 커피 제조 시 버려지는 추출 폐기물. 커피 찌꺼기, 커피 슬러지, 커피 부산물이라고도 함

바이오 펠릿: 부산물과 같은 잔재들을 모아 건조·성형한 후, 고온·고압으로 압축하여 가공한 고품연료

바이오 디젤: 콩, 유채, 쌀겨 등에서 추출된 식물성 기름을 원료로 제조한 바이오 연료

바이오 에탄올: 당질이나 전분질이 풍부한 사탕수수, 옥수수 따위의 작물을 발효시켜 정제된 휘발성 액체

배지: 식물 또는 세균 등을 기르는 데 필요한 영양소가 함유된 고체나 액체물질.

소포제: 액체를 휘 저을 때 생기는 유해한 거품의 발생을 방해하는 물질

생리활성 물질: 소량으로 생체의 기능이나 생리에 영향을 줄 수 있는 물질.

사 사

“이 논문은 2018년도 성신여자대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음”

References

1. Korea Customs Service : Coffee imports, annual peak, Press Releases (2017)
2. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation : Processed food subdivision market status-coffee market, aT Report 11-1543000-001743-01 (2016)
3. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Republic of Korea : 377 cups of annual coffee consumption per adult in Korea, Press Releases (2017)
4. International Coffee Organization : Coffee market report, October 2017, pp.1-7 (2017)
5. Hong, S. D. : World coffee industry production and consumption trends, World Agriculture, Vol. 198, pp. 47-68 (2017)
6. Worldatlas : Top 10 coffee consuming nations, <https://www.worldatlas.com/articles/top-10-coffee-consuming-nations.html> (access date: January 05, 2018)
7. Nam, G., Kim, M. and Ahn, J. W. : Analyses for

- current research status for the coffee by-product and for status of coffee wastes in Seoul, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 26, No. 4, pp. 14-22 (2017)
8. Seoul City : Seoul city makes discarded coffee grounds recycling system, *Press Releases* (2017)
 9. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Republic of Korea : Coffee grounds, transformed into recyclable resources, *Press Releases* (2017)
 10. Independent : UK coffee week 2018 : Brits now drinking 95 millions cups of coffee a day survey finds, <https://www.independent.co.uk/life-style/uk-coffee-week-2018-british-people-drinking-millions-cups-day-consumption-rise-a8307206.html> (access date: April 16, 2018)
 11. Kim, T. S., Kim, K. H., Han, G. S., Choi, I. G. and Choi, J. W. : Evaluation of possibility of spent coffee grounds for biodiesel production, *Journal of Korea Society of Waste Management*, Vol. 27, No. 8, pp. 694-699 (2010)
 12. Lee, S. B., Kim, H. J. and Lee, J. D. : Ultrasonic assisted solvent extraction of function oil from waste ground coffee, *Journal of Korea Society of Waste Management*, Vol. 27, No. 4, pp. 304-309 (2010)
 13. Kwon, E. E., Yi, H. and Jeon, Y. J. : Sequential co-production of biodiesel and bioethanol with spent coffee grounds, *Bioresource Technology*, Vol. 136, pp. 475-480 (2013)
 14. Han, S. Y., Choi, Y. S., Choi, S. K., Kim, S. J. and Jeong, W. J. : A study on the kinetics of pyrolysis reaction of coffee ground residue and biocrude-oil production by fast pyrolysis, *Journal of Korea Society of Waste Management*, Vol. 33, No. 8, pp. 786-795 (2016)
 15. Kim, H. H. : A study on combustion characteristics of coffee residues as blended fuels with coals in power plants, *Master's Dissertation*, Chungnam National University, Korea (2016)
 16. Lee, H. S., Hwang, D. H. and Kim, Y. J. : Availability of mixture of cattle manure and used coffee grounds as solid refuse fuel, Vol. 16, No. 2, pp. 201-205 (2016)
 17. Burton, R., Fan, X. and Austin, G. : Evaluation of two-step reaction and enzyme catalysis approaches for biodiesel production from spent coffee grounds, *International Journal of Green Energy*, Vol. 7, pp. 530-536 (2010)
 18. Kondamudi, N., Mohapatra, S. K. and Misra, M. : Spent coffee grounds as a versatile source of green energy, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 56, No. 24, pp. 11757-11760 (2008)
 19. Misra, M. : Waste coffee grounds offer new source of biodiesel fuel, *American Chemical Society* (2008)
 20. Misra, M., Kondamudi, N., Mohapatra, S. K. and John, S. E. : High quality biodiesel production from spent coffee grounds, *Clean Technology*, pp. 39-42 (2008)
 21. Obruca, S., Benesova, P., Svoboda, Z., Eremka, L. and Marova, I. : Utilization of oil extracted from spent coffee grounds for sustainable production of polyhydroxyalkanoates, *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 98, No. 13, pp. 5883-5890 (2014)
 22. Limousy, L., Jeguirim, M., Dutoumie, P., Kraiem, N., Lajili, M. and Said, R. : Gaseous products and particulate matter emissions of biomass residential boiler fired with spent coffee grounds pellets, *Fuel*, Vol. 107, pp. 323-329 (2012)
 23. Rim, S. H., Jeong, M. S. and Park, S. H. : A study on removal of Pb, Cr, Cd in wastewater using exhausted coffee, *Korean Journal of Environmental Health Society*, Vol. 21, No. 1, pp. 21-28 (1995)
 24. Kim, B. M., Kang, C. H., Yang, J. K., Na, J. K., Jung, J. A., Jung, H. J., Lim, J. H., Ko, K. M., Kim, W. H. and Chang, Y. Y. : Cu and Cd sorption of the biochar derived from coffee sludge, *Journal of Soil and Ground Water Environment*, Vol. 17, No. 2, pp. 47-53 (2012)
 25. Park, J. H., Kim, H. C., Kim, Y. J., Kim, S. H. and Seo, D. C. : Adsorption characteristics of copper using biochar derived from exhausted coffee residue, *Korean Journal of Environmental Agriculture*, Vol. 36, No. 1, pp. 22-28 (2017)
 26. Lee, H. S., Kang, J. W., Yang, W. H. and Jeong, M. S. : A study on preparation of adsorbent from coffee grounds and removal of trichloroethylene in water treatment, *Korean Journal of Environmental Health Society*, Vol. 24, No. 2, pp. 20-31 (1998)
 27. Utomo, H. D. and Hunter, K. A. : Adsorption of heavy metals by exhausted coffee grounds as a potential treatment method for waste waters, *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, Vol. 4, pp. 504-506 (2006)
 28. Castro, C. S., Abreu, A. L., Silvia, C. L. and Guerreiro, M. C. : Phenol adsorption by activated carbon produced from spent coffee grounds, *Water science and technology*, *Journal of the International Association on Water Pollution Research*, Vol. 64, No. 10, pp. 2059-2065 (2011)
 29. Jeon, C. : Characteristics of desorption and recycling capacity for previously adsorbed silver into waste coffee grounds, *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, Vol. 24, No. 3, pp.

- 15-21 (2016)
30. Kim, M. J., Shim, C. K., Kim, Y. K., Park, J. H., Han, E. J. and Kim, S. C. : The antifungal activity of coffee ground compost extract against plant pathogens, *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association*, Vol. 24, No. 4, pp. 85-94 (2016)
 31. Kim, H. N. : Plant growth in artificial soils mixed with composted coffee grounds at various rates, Master's Dissertaion, Sungkyunkwan University, Korea (2014)
 32. Kim, H. S. : Using environmentally friendly composting coffee byproducts, Master's Dissertaion, Kwangwoon University, Korea (2013)
 33. Kim, M. J., Shim, C. K., Kim, Y. K., Hong, S. J., Park, J. H., Han, E. J., Huh, C. S., Ryu, Y. H., Jee, H. J. and Kim, S. C. : Control effect of coffee ground compost and velvet bean against root-knot nematode, *meloidogyne incognita* in pumpkin, *The Korean Journal of Pesticide Science*, Vol. 20, No. 1, pp. 47-55 (2016)
 34. Choi, J. W., Shin, D. I., and Park, H. S. : Enhancement of growth and bioactivity of *pleurotus eryngii* mycelia by spent coffee ground, *Journal of Agriculture & Life Science*, Vol. 46, No. 6, pp. 157-163 (2012)
 35. Lee, M. K., Shin, D. I., and Park, H. S. : Acceleration of the mycelial growth of *trametes vericolor* by spent coffee ground, *The Korean Journal of Mycology*, Vol. 40, No. 4, pp. 292-295 (2012)
 36. Zhang, X. X. : Growth responses of native and foreign berry species in the artificial soils mixed with composted coffee ground, Master's Dissertaion, Sungkyunkwan University, Korea (2012)
 37. Ryu, E. M., Choi, H. S. and Shin, H. J. : Effect of coffee grounds' residue on the growth and chlorophyll content of Korean wheat sprout, *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal*, Vol. 29, No. 2, pp. 106-111 (2014)
 38. Kim, H. S. : A study on effect of horticultural crops growth by mixing ratios of coffee residue compost, Master's Dissertaion, Hansei University, Korea (2016)
 39. Zhang, L. and Sun, X. : Using cow dung and spent coffee grounds to enhance the two-stage co-composting of green waste, *Bioresource Technology*, Vol. 245, pp. 152-161 (2017)
 40. Emmanuel, S. A., Yoo, J., Kim, E. J., Chang, J. S., Park, Y. I. and Koh, S. C. : Development of functional composts using spent coffee grounds, poultry manure and biochar through microbial bioaugmentation, *Journal of Environmental Science and Health*, Vol. 52, No. 11, pp. 802-811 (2017)
 41. Santos, C., Fonseca, J., Aires, A., Coutinho, J. and Trindade, H. : Effect of different rates of spent coffee grounds (SCG) on composting process, gaseous emissions and quality of end-product, *Waste Management*, Vol. 59, pp. 37-47 (2017)
 42. Liu, K. and Price, G. W. : Evaluation of three composting systems for the management of spent coffee grounds, *Bioresource Technology*, Vol. 102, No. 17, pp. 7966-7974 (2011)
 43. Cruz, R., Baptista, P., Cunha, S., Pereira, J. A. and Casal, S. : Carotenoids of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on soil enriched with spent coffee grounds, *Molecules*, Vol. 17, No. 2, pp. 1535-1547 (2012)
 44. Cochran, D. R. and Gu, M. : Effect of coffee grounds on seed germination, *Combined Proceedings*, Vol. 60, pp. 596-601 (2010)
 45. Ahn, S. M. : Recovery and antifoming mechanism of natural antifoamer from coffee-spent, p. 50. KIST, Korea (1998)
 46. Kim, T. E., Jeong, J. A. and Lee, W. K. : Preparation of brick from MSWI fly ash and coffee sludge, *Journal of Korea Society of Waste Management*, Vol. 27, No. 8, pp. 687-688 (2010)
 47. Eliche-Quesada, D., Perez-Villarejo, L., Iglesias-Godino, F. J., Martinez-Garcia, C. and Corpas-Iglesias, F. A. : Incorporation of coffee grounds into clay brick production, *Advances in Applied Ceramics*, Vol. 110, No. 4, pp. 225-232 (2011)
 48. Eliche-Quesada, D., Martinez-Garcia, C., Martinez-Cartas, M. L., Cotes-Palomino, M. T., Perez-Villarejo, L., Cruz-Perez, N. and Corpas-Iglesias, F. A. : The use of different forms of waste in the manufacture of ceramic bricks, *Applied Clay Science*, Vol. 52, No. 3, pp. 270-276 (2011)
 49. Muñoz Velasco, P., Mendivil, M. A., Morales, M. P. and Munoz, L. : Eco-fired clay bricks made by adding spent coffee grounds: a sustainable way to improve buildings insulation, *Materials and Structures*, Vol. 49, No. 1-2, pp. 641-650 (2015)
 50. Kua, T., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Du, Y. and Shen, S. : Strength assessment of spent coffee grounds geopolymers cement utilizing slag and fly ash precursors, *Construction and Building Materials*, Vol. 115, pp. 565-575 (2016)
 51. Kua T., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Du, Y. J. and Suksiripattanapong, C. : Engineering and environmental evaluation of spent coffee grounds stabilized with industrial by-products as a road subgrade material, *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 19, No. 1, pp. 63-75 (2016)
 52. Kua, T., Arulrajah, A., Mohammadinia, A., Horpibulsuk,

- S. and Mirzababaei, M. : Stiffness and deformation properties of spent coffee grounds based geopolymers, *Construction and Building Materials*, Vol. 138, pp. 79-87 (2017)
53. Suksiripattanapong, C., Kua, T., Arulrajah, A., Maghool, F. and Horpibulsuk, S. : Strength and microstructure properties of spent coffee grounds stabilized with rice husk ash and slag, *Geopolymers*, Vol. 146, pp. 312-320 (2017)
54. Kim, J. Y. : Food materialization of spent coffee ground extracts and variation of coffee antioxidant ability according to extraction process, Master's Dissertation, Pukyong National University, Korea (2008)
55. Joo, Y. J. : Study on physiological activities of the extract of coffee residue, Master's Dissertation, Hankyong National University, Korea (2009)
56. Song, E. J., Kim, J. Y., Lee, S. Y., Kim, W. B. W. R., Kim, S. J., Yoon, S. Y., Lee, S. J., Lee, C. J. and Ahn, D. H. : Effect of roasted ground coffee residue extract on shelf-life and quality of salted mackerel, *Journal of Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol. 38, No. 6, pp. 780-786 (2009)
57. Jung, S. : Quality characteristics of cookie with flour partly substituted by coffee sludge, Master's Dissertation, Kyungpook National University, Korea (2010)
58. Yoo, K. M., Song, M. R. and Ji, E. J. : Preparation and sensory characteristics of chocolate with added coffee waste, *Journal of Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol. 24, No. 1, pp. 111-116 (2011)
59. Yoo, S. H. : Quality characteristics of unsterilized makgeolli prepared with spent coffee grounds, Master's Dissertation, Sejong University, Korea (2012)
60. Park, L. Y. : Quality characteristics and antioxidant activity of sikhe prepared using hot water extracts of roasted coffee ground residue, *Korean Journal of Food Science and Technology*, Vol. 46, No. 4, pp. 470-476 (2014)
61. Lee, C. S. : Physiological properties of various coffee bean residues and quality characteristics of American cookies with coffee bean residues, Master's Dissertation, Kwangju Women's University, Korea (2016)
62. Choi, S. B., Lee, M. H. and Ahn, S. R. : Quality characteristics of pettitoes (Jokbal) added with coffee meal, *Culinary Science & Hospitality Research*, Vol. 22, No. 2, pp. 115-124 (2016)
63. Kim, B. G., Park, L. Y. and Lee, S. H. : Quality characteristics of Yanggaeng with extracts and powder of roasted coffee ground residue, *Korean Journal Food Preserv*, Vol. 23, No. 5, pp. 631-637 (2016)
64. Jo, J., Kim, S., Min, B., Jung, H., Han, Y. and Kim, J. : Optimization of hot-water extraction conditions of bioactive compounds from coffee residue extracts, *Chemical Engineering Research*, Vol. 55, No. 3, pp. 358-362 (2016)
65. Xu, C. C., Cai, Y., Jhang, J. G. and Oqawa, M. : Fermentation quality and nutritive value of a total mixed ration silage containing coffee grounds at ten or twenty percent of dry matter, *Journal of Animal Science*, Vol. 85, No. 4 (2007)
66. Cruz, R., Morais, S., Mendes, E., Pereira, J. A., Baptista, P. and Casal, S. : Improvement of vegetables elemental quality by espresso coffee residues, *Food Chemistry*, Vol. 148, pp. 294-299 (2014)
67. Martinez-Saez, N., Garcia, A. T., Perez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesias, M., Morales, F. J., Martin-Cabrejas, M. A. and Castillo, M. D. : Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products, *Food Chemistry*, Vol. 216, pp. 114-122 (2017)
68. Panzella, L., Perez-Burillo, S., Pastoriza, S., Martin, M. A., Cerruti, P., Goya, L., Ramos, S., Rufian-Henares, H. A., Napolitano, A. and d'Ischia, M. : High antioxidant action and prebiotic activity of hydrolyzed spent coffee grounds (HSCG) in a simulated digestion-fermentation model: Toward the development of a novel food supplement, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 65, No. 31, pp. 6452-6459 (2017)