

음식물 쓰레기 및 황토 혼합물의 열분해를 통한 수질정화용 다공성 담체 개발

김상범 · 이명화 · 김용진 · 박철환* · 이종래** · 김경수†

한국생산기술연구원 환경에너지본부 · *광운대학교 화학공학과 · **G · U(주)

(2006년 9월 21일 접수, 2007년 2월 28일 채택)

Development of Porous Media for Sewage Treatment by Pyrolysis Process of Food Wastes with Loess

Sang Bum Kim · Myong-Hwa Lee · Yong Jin Kim · Chulhwan Park* · Jong Rae Lee** · Gyung Soo Kim†

Environment and Energy Division, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH)

*Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University · **Golden Universal Co., Ltd.

ABSTRACT : Porous media for sewage treatment were developed through a pyrolysis process of food wastes with loess in the study. This work was carried out in two consecutive stages; in the first stage, new porous media were prepared through a high temperature pyrolysis process, and then the resultant media were applied to a simple lab-scale sewage treatment process in the second stage. To determine the optimum operating conditions of pyrolysis and mixing ratio of materials, physical properties such as specific surface area, porosity and compressive strength of final products were analyzed. The removal efficiencies of TOC and COD were measured to evaluate the effectiveness of resultant porous media. As a result of the experiment, we found that the best mixing ratio of food wastes to loess was 1:1 at 1,100°C. Average porosity of the developed media was 37.0%, in which pore size ranged from 1 to 20 μm, showing quite vigorous microbial activation. After immersing the media into a reactor for sewage treatment for eight days, removal efficiencies of TOC and COD were 87.3% and 85.0%, respectively.

Key Words : Pyrolysis, Food Waste, Loess, Porous Media, Sewage Treatment

요약 : 본 연구에서는 음식물 쓰레기를 황토와 혼합하여 고온 열분해 과정을 거쳐 다공성 담체를 제조하고, 이를 하수처리용 담체로 적용하고자 하였다. 이에 열분해 장치를 이용하여 다공성 담체를 제조하는 1단계 실험과 실험실 규모의 하수처리 장치에 이 다공성 담체를 충전하여 수처리 효율을 분석하는 2단계로 실험을 진행하였다. 다공성 담체 제조를 위한 열분해 장치의 최적 운전조건을 결정하기 위하여, 1단계 실험에서 열분해 장치의 온도조건과 음식물 쓰레기와 황토의 혼합비를 달리하여 각각의 조건에서 제조된 다공성 담체의 비표면적, 기공률, 압축강도 등의 물리적 특성을 확인하였다. 그 결과로서 음식물 쓰레기와 황토의 혼합비 1:1, 열분해 온도조건 1,100°C가 최적 운전조건인 것으로 나타났다. 2단계 실험에서는 제조된 다공성 담체에 대하여 수질정화용으로서의 적용가능성을 평가하였으며, 그 결과 실험시작 8일째부터 TOC 87.3%, COD 85.0%의 처리효율을 가지는 것으로 나타났다. 또한 전체 기공률 37.0%와 1~20 μm 사이의 기공크기를 가지는 구조내에서 미생물 활성화가 활발하게 이루어지고 있는 것을 확인할 수 있었다.

주제어 : 열분해, 음식물 쓰레기, 황토, 다공성 담체, 수질정화

1. 서론

1995년도부터 전국적으로 실시된 쓰레기 종량제와 재활용품 분리수거 정책의 확대에 따라 생활쓰레기 중 음식물 쓰레기(Food Wastes)의 발생량이 차차하는 비율은 상대적으로 감소되어 가고 있지만, 산업화로 인해 생활수준이 높아지고 도시로의 인구집중에 따라 음식물 쓰레기 처리문제는 새로운 환경문제로 대두되고 있다.

음식물 쓰레기는 일반적으로 식품의 생산·유통·가공·조리과정에서 발생하는 농·수·축산물류 쓰레기와 먹고 남긴

음식찌꺼기 등으로 정의하고 있다.¹⁾ 2004년 현재 하루에 발생하는 음식물 쓰레기의 양은 1만 1,464톤으로 8톤 트럭 1,435여대에 달하며, 1년에 발생하는 음식물 쓰레기의 양은 약 418만여 톤에 이르는 실정이다.²⁾ 음식물 쓰레기의 재활용 처리량은 1997년도 이후 두드러진 증가율을 보이고 있으며, 내용별로 자원화가 가능한 사료화나 퇴비화가 선호되고 있고, 기타 여러 가지 방법들이 실험적으로 시도되고 있다. 그러나 사료화와 퇴비화의 경우 분리수거에 의한 원활한 음식물 쓰레기 공급이 선행되어야 하는 어려움과 함께, 수집, 운반과정에서 악취발생, 과도한 염분 등의 문제들로 인하여 현실적인 측면에서 여러 가지 제약조건들을 가지고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하며 음식물 쓰레기를 자원화 할 수 있는 방법으로서 최근에는 열분해 공정이 각광을 받고 있다.³⁾

† Corresponding author
E-mail: gskim@kitech.re.kr
Tel: 041-589-8531

Fax: 041-589-8580

열분해 공정이란, 무산소 또는 저산소 상태에서 유기물을 열에 의하여 분해시켜 char, tar, gas 등 여러 가지 형태의 에너지 물질로 전환시키는 물리·화학적 공정⁴⁻⁶⁾이라고 정의할 수 있다. 슬러지를 원료로 사용하는 열분해 공정은 1982년 Bayer와 Kutubuddin에 의하여 최초로 시도되었고,⁷⁾ 최근에는 열분해 기술이 도시쓰레기의 무해화 및 감량화 뿐만 아니라 에너지 회수 측면에서도 장점이 있는 것으로 알려져 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다.⁸⁾ 열분해 공정은 소각공정과 비교하여 무산소 또는 저산소 분위기에서 이루어지므로, 대상물질의 분해로 인한 배기가스의 처리용량이 적으며 환원성 분위기이므로 산화물 형태(SOx, NOx 등)의 대기오염을 야기하는 물질의 생성이 적다는 장점을 가지고 있다.

이와 같은 열분해 부산물은 비교적 높은 비표면적을 가지고 있으므로, 미생물의 성장에 필요한 영양분을 공급할 수 있는 매체와 혼합된다면 미생물 담체로서의 사용이 가능할 것으로 판단되어, 본 연구에서는 우수한 통기성을 가지고 환경친화적인 물질로서 각광받고 있는 황토를 미생물의 미네랄성분의 공급매체로 채택하였다. 음식물 쓰레기와 황토를 적절한 조건에서 열분해시켜 담체를 제조할 경우, 쓰레기 감량화와 더불어 다공성을 지닌 황토의 특성으로 인하여 미생물의 부착정도 및 활성화도를 향상시킬 수 있다는 장점이 있으므로 이를 본 연구에서 활용하고자 하였다.

특히, 본 연구에서는 수질정화용 다공성 담체의 개발을 위하여 음식물 쓰레기와 황토의 혼합비율을 달리하면서 무산소 고온조건의 열분해 공정을 활용하고, 이를 통해 생성된 산물의 특성을 파악하여 최적 열분해 조건을 도출하고자 하였다. 또한, 하수처리 공정을 대상으로 총유기탄소(TOC) 및 화학적산소요구량(COD)으로 대표되는 유기물질 제거 경향을 파악하여 상용화된 담체와의 비교를 통하여 개발된 다공성 담체의 성능을 확인하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 실험장치

본 연구에서는 음식물 쓰레기와 황토를 혼합하기 위한 전처리 장치와 이를 이용하여 다공성 담체를 제조하기 위한 열분해 장치가 사용되었으며, 다공성 담체를 적용한 하수처리의 효율을 파악하기 위해서 실험실 규모로 제작된 간이 하수처리 장치를 이용하여 실험을 수행하였다. 전처리 장치는 파쇄기, 혼합기 및 압축성형기로 구성되어 있으며, 파쇄기는 용량 0.5 ton/day 규모의 스크류식 벨트구동형이며, 혼합기는 음식물 쓰레기와 황토의 균일한 혼합을 위해 용량 0.5 ton/day 규모의 원통형 킬른형식으로 되어 있다. 그리고 음식물 쓰레기 및 황토로 혼합된 시료를 일정 압력과 시간에서 압축·성형하기 위해 최대 120 kgf/cm² 용량의 압축성형기를 사용하여 원기둥형태의 시료(직경 30 mm × 높이 30 mm)를 제작하였다.

Fig. 1에는 본 실험에 사용된 회분식 열분해 장치를 나타내었다. 열분해 장치는 회분식으로서 용량은 1 ton/day이며,

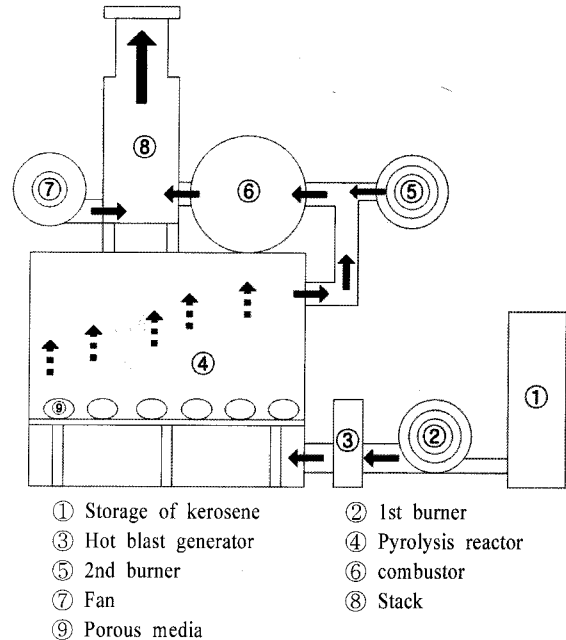


Fig. 1. Schematic diagram of a pyrolysis device.

철구조물로 내부에 내화재 마감으로 외부공기의 유입 차단 및 단열을 유지시켰으며, 열분해실, 연소실, 송풍구 등으로 구성되어 있다. 열분해에는 7 L/hr의 등유연료를 사용하는 버너가 이용되었다. 열분해 장치내 온도는 상온~1,100℃의 범위로 조절가능하며, 가스 체류시간은 1초 이상으로 유지시켰다. 열분해에 의하여 발생된 가스는 연소실에서 다시 연소되어 송풍구를 통해 배출된다.

열분해 과정을 거친 다공성 담체의 하수처리 효율을 측정하기 위해서 사용된 간이 하수처리 장치를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)는 미생물 고정화 반응조를 나타내고 있으며, 반응조는 두께 10 mm, 상부덮개두께 5 mm의 투명 아크릴 판으로 제작되었다. 반응조 규격은 400 mm(W) × 400 mm(L) × 600 mm(H)이며, 담체를 충진할 수 있도록 만든 지지대는 산기관에서 발생된 기포가 담체에 충분히 접촉할 수 있도록 반응조 바닥에서 200 mm 상부지점에 설치하였다. 기포발생기는 담체내에 미생물을 고정화시킬 뿐만 아니라 공기를 공급하는 역할을 한다. 담체지지대는 아크릴 재질로써 그 간격이 10 mm가 될 수 있도록 만들었다. 또한 고정화 반응조에서 미생물이 충분히 고정화될 수 있도록 담체에 활성슬러지를 지속적으로 공급하였다.

Fig. 2(b)는 미생물 배양조 및 하수처리를 위한 실험장치의 전체적인 흐름도를 나타내고 있다. 미생물 배양에 사용된 반응조의 재질은 미생물 고정화용 반응조와 동일하게 10 mm 두께를 갖는 투명 아크릴이며, 반응조 규격은 250 mm(W) × 250 mm(L) × 250 mm(H)이다. 담체를 충진할 수 있도록 만든 지지대도 미생물 고정화용 반응조와 동일하게 반응조 바닥에서 100 mm 상부지점에 설치하였다. 기포발생기를 설치하여 공기를 주입하였으며, 일정량의 처리대상 하수를 하루에 두번씩 교체해 주어 미생물을 배양시켰다. 최종적으로 준비된 담체를 처리대상 하수에 주입시켜 수처리 특성을 파

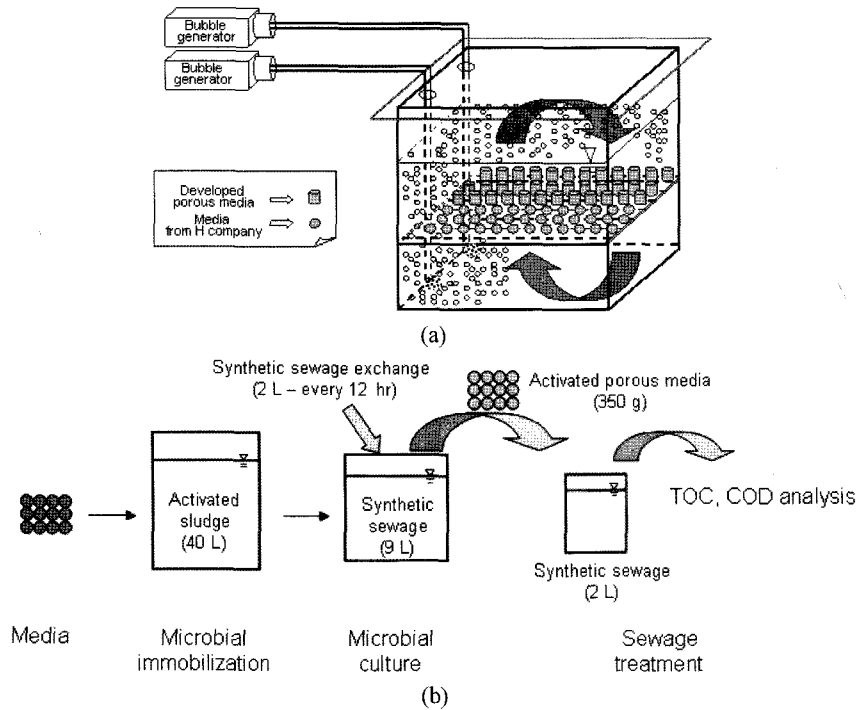


Fig. 2. Lab-scale sewage treatment system. (a) microorganism immobilization reactor, (b) batch-type sewage treatment process.

악하였다.

2.2. 실험재료

본 연구에 시료로 사용된 음식물 쓰레기는 K연구원내 구 내식당에서 선택적으로 수거되어 연구에 활용되었다. 연구에 활용된 황토는 1 mm 이하의 입자 크기를 가질 수 있도록 전처리하여 이용하였으며, 이를 음식물 쓰레기와 혼합하여 다공성 담체를 제조하였다. 또한, 미생물 고정화를 위한 초기 주입용 슬러지는 천안시 하수종말처리장의 활성슬러지(MLSS: 약 5,000 mg/L)를 이용하였다. 또한, 처리대상 하수는 TOC 100~120 mg/L, COD 270~300 mg/L의 성상을 지니는 합성시료를 활용하였다. 본 연구를 통하여 개발된 다공성 담체의 효율성은 현재 시판되고 있는 H사의 담체(주성분: 황토-원구형)의 유기물질(TOC, COD)의 제거효율과 비교되었다.

2.3. 실험방법

2.3.1. 전처리 실험

전처리 실험에서는 음식물 쓰레기와 황토를 균일한 크기로 분쇄하는 파쇄과정과 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7의 5가지 혼합비율로 혼합하는 혼합과정, 그리고 일정한 압력과 금형내에서 시료를 성형하는 압축·성형과정을 거치게 된다. 특히, 황토는 파쇄과정을 통하여 1 mm 이하의 입자크기를 형성할 수 있도록 하였으며, 무산소, 고온 열분해 조건을 적용함과 동시에 이처럼 생성된 시료내 유기물질의 분해를 통하여 담체에 공극을 형성시킬 수 있도록 하였다. 또한, 황토는 적절한 강도 유지 및 미네랄 공급의 역할을 하게 되며, 혼합비는 열분해 후 담체의 구조형성에 영향을 미치는 중요한 인자이므로, 상기와 같은 5가지 혼합비에 대하여 실험을 수행하였다.

2.3.2. 열분해 장치를 이용한 다공성 담체의 제조

혼합비에 따라 압축·성형된 담체를 각각의 온도조건에서 열분해하여 수질정화용 다공성 담체를 제조하였다. 열분해 장치 내에 충전되는 담체는 내화벽돌을 일정간격으로 설치해 놓은 지지대위에 위치시켰다.

시료는 각각의 열분해 온도(900, 1,000, 1,100℃)에 도달하기에 앞서 150~200℃에서 30분 동안 건조시켰다. 설정된 온도에서 시료는 열분해가 진행되고, 최종적으로 생산된 담체에 대하여 물리적 특성분석이 이루어졌다. 특히, 다공성 담체는 큰 기공률을 나타내면서 적절한 강도 및 기공크기를 가져야 하며,⁹⁾ 미생물의 부착초기에는 담체표면의 표면거칠기나 미세기공과 같은 요소들이 큰 영향을 미치므로 미세기공이 많거나 담체의 표면이 거칠어야 한다.^{10,11)} 그러므로 다공성 담체를 평가하는데 주요한 인자로 담체의 종류, 강도, 거칠기, 기공률, 기공크기, 비표면적 등이 있으며,¹²⁾ 이들 인자들은 미생물 체류특성과 생물막 반응기의 성능에도 큰 영향을 주게 된다.¹³⁾

본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 다공성 담체가 가지고 있는 비표면적, 기공률, 압축강도와 같은 물리적 특성분석을 통하여 최적의 혼합비율과 온도조건을 결정하였다.

2.3.3. 다공성 담체를 적용한 하수처리

다공성 담체의 수처리 성능평가를 위해 최적의 열분해 조건에서 제조된 다공성 담체는 간이 하수처리 장치(용량: 0.096 m³)에 장치 실용적의 약 40% 정도로 장치 바닥면에서 200 mm 정도의 높이에 충전되었다. 기포발생기는 장치 바닥면의 한쪽에 부착시켜 폭기시에 공기의 흐름이 처리장치 내에서 순회될 수 있도록 하였다. 본 실험에서는 상부덮개가 닫힌 상태로

24시간 동안 폭기를 실시하여 미생물 고정화를 진행하였다.

영양성분으로 일정한 조성의 인공시료를 지속적으로 주입하여, 고정화된 미생물 및 반응기내 미생물을 성장 및 분열시켰으며, 이들 미생물들이 배양된 담체를 수질정화 효율성 실험에 이용하였다. 육안으로 관찰하였을 때, 미생물 배양 정도를 파악할 수 있을 정도로 담체 내·외부와 기공 사이에 두꺼운 플러크가 생성된 것을 볼 수 있었으며, 이는 시간이 지나면서 더욱 두껍게 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

본 실험에서 사용된 미생물 배양용 시료는 미생물의 성장을 위해 일정 농도를 지속적으로 유지할 수 있도록 인공하수를 이용하여 준비하였고, Fig. 2(b)와 같이 배양용 장치(용량: 15 L)내에 인공하수 9 L를 채웠으며, 매일 제조한 인공하수 2 L를 12시간 마다 한번씩, 하루 두 번 교체해 주면서 배양을 계속 진행하였다. 미생물이 배양된 다공성 담체는 처리대상 인공하수에 주입하여 시간별 유기물(TOC, COD) 제거효율을 측정하였으며, 매일 새로운 인공하수(TOC 100~120 mg/L, COD 270~300 mg/L)를 주입하여 시간별 TOC, COD의 변화를 측정하여 미생물의 활성화도를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 음식물 쓰레기 및 황토의 혼합비율별 함수율

음식물 쓰레기와 황토는 각각 5가지의 비율로 혼합을 하였으며, 압축, 성형 전·후의 함수율을 Table 1에 나타내었다. 각각의 함수율 분석결과 음식물 쓰레기의 경우 81%의 함수율을 나타내었으며, 황토는 2%의 함수율을 갖는 것으로 분석되었다. 이들을 혼합했을 때 함수율의 변화는 음식물 쓰레기와 황토의 혼합비가 3 : 7인 경우 25% 정도로 초기 음식물 쓰레기가 갖는 함수율에서 약 69% 정도 감소되는 것으로 분석되었다. 혼합된 시료들을 압축·성형하였을 때의 함수율의 변화는 혼합비(음식물 쓰레기:황토)가 5 : 5, 6 : 4, 7 : 3인 시료들의 함수율이 혼합 전과 혼합 후에 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 혼합비에 관계없이 30분 동안 압축성형을 하였기 때문에 해당 시간내에 시료속에 존재하고 있는 수분이 충분히 배출되지 않은 것으로 확인됨에 따라, 일정한 형태로 성형이 된 시료들에 대해 자연상태에서 하루정도 건조시킨 후에 열분해 실험을 수행하였다.

Table 1. The water contents at each mixing ratio before and after the compression

| Mixing ratio (Food wastes : Loess) | Before compression (%) | After compression (%) |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| (0 : 10) | 2.01 | - |
| (3 : 7) | 25.40 | 13.37 |
| (4 : 6) | 33.59 | 13.84 |
| (5 : 5) | 39.86 | 31.16 |
| (6 : 4) | 47.11 | 33.72 |
| (7 : 3) | 53.09 | 44.36 |
| (10 : 0) | 81.26 | - |

3.2. 다공성 담체 제조를 위한 열분해 조건 최적화

온도범위 150~200°C에서 준비된 시료를 30분간 재건조하여, 3가지의 열분해 온도조건(900, 1,000, 1,100°C)에서 최적 운전조건을 결정하고자 열분해 장치를 운전하였다. 최적 운전조건을 결정하기 위하여 생성된 담체의 압축강도, 기공률, 비표면적 등의 물리적 성상을 파악하였으며, 분석결과를 Fig. 3에 나타내었다.

비표면적은 900, 1,000, 1,100°C의 모든 열분해 온도에서 1 m²/g 이하로 비슷한 결과를 나타내었다. 또한 공극률은 열분해 온도와는 상관없이 혼합비에 의해 결정됨을 알 수 있었다. 혼합비가 3 : 7에서 20% 이하의 공극률을 보였으며, 6 : 4에서 가장 높은 약 70%의 공극률을 나타내었다. 이와 더불어 하수처리용으로 사용하기 위한 중요한 조건의 하나

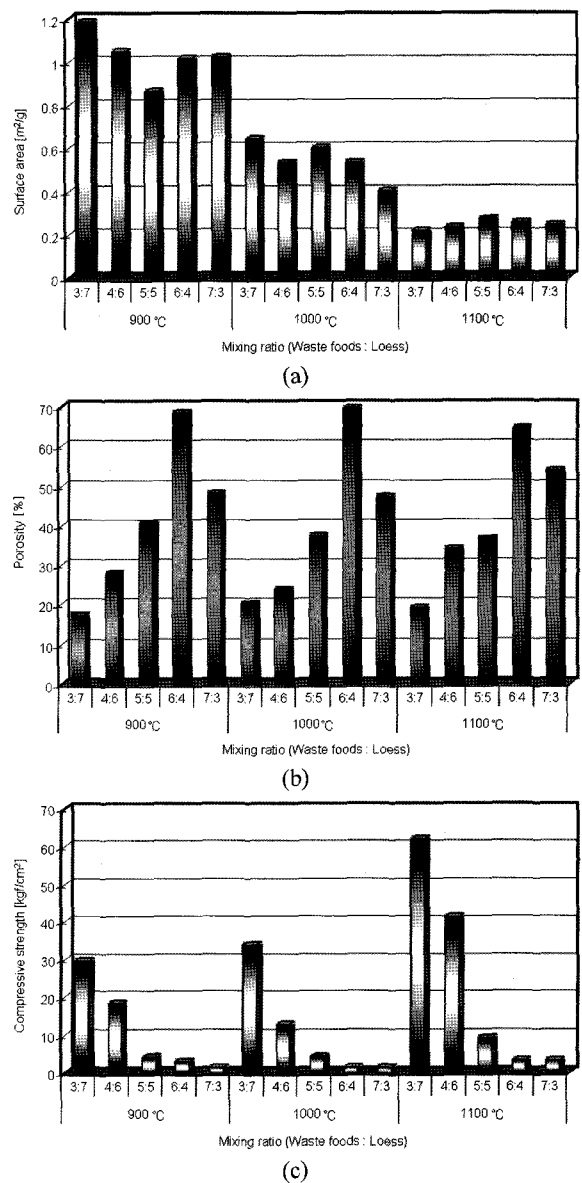


Fig. 3. Effect of mixing ratio on the physical properties of developed media at each pyrolysis temperature. (a) specific surface area, (b) porosity, (c) compressive strength.

인 압축강도(즉, 담체강도) 측정에서는, 열분해 온도가 증가할수록 압축강도가 증가하였으며, 음식물의 혼합비율이 높을수록 압축강도는 저하된다는 것을 확인할 수 있었고, 이와 더불어 공극률과 압축강도는 상충관계에 있음을 확인하였다.

이러한 결과들을 바탕으로 본 열분해 장치에서 다공성 담체 제조를 위한 운전조건으로 1,100℃에서 5:5의 혼합비 및 5시간을 열분해 반응의 최적조건으로 도출하였다. 이 조건에서의 공극율은 37.0%, 압축강도 9.3 kgf/cm²의 값을 나타내었다.

3.3. 다공성 담체를 적용한 하수처리 비교 연구

미생물이 부착된 다공성 담체를 인공하수에 적용하여 그에 따른 하수처리 효율을 측정하고자 시간별로 시료를 채취하여 TOC, COD 변화를 관찰하였다.

Fig. 4(a)에서는 다공성 담체의 시간별 총유기탄소(TOC)의 농도변화를 나타내고 있다. 초기 0.5시간에서 시간이 지날수록 하수의 TOC가 점차적으로 감소되는 것을 확인하였으며, 4일의 운전이 지난 시점부터 50% 이상의 처리효율을 나타내었다. 또한, 운전 8일 후, 87%의 처리효율을 보였으며,

반응 4일이 지나는 시점을 기준으로 공정이 안정화됨을 확인할 수 있었다. 반면, 본 연구에서 개발된 다공성 담체와 비교하여 Fig. 4(b)에 보여주고 있는 H사 제품의 시간별 TOC 농도변화의 경우에는 시간이 경과함에 따른 유기물의 제거효율이 상대적으로 미약함을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 제품의 물리적 성상 분석 결과의 관점에서, 미생물이 효율적으로 서식할 수 있는 적절한 기공크기와 기공률 등의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 5에는 제조된 다공성 담체와 H사 제품의 시간별 COD 변화를 보여주고 있으며, COD 농도변화도 TOC 농도변화와 유사한 경향을 보였으며, 본 연구에서 개발된 담체의 경우 공정 운전 4일 후, 급격한 COD 감소를 보인 반면 상용화된 제품(H사)의 경우 상대적으로 완만한 감소경향을 보였다.

3.4. 담체의 성상 비교 및 고정화 미생물 확인

담체 내에 고정화된 미생물을 일정한 농도조건에서 매일 배양하여 각각의 담체에서의 미생물 성장정도 및 개체군 파악과 생물막 형성여부를 SEM분석을 통하여 파악하였다. 즉, 하수처리 전후의 담체를 채취하여 내외부 표면상태를 관찰하였다.

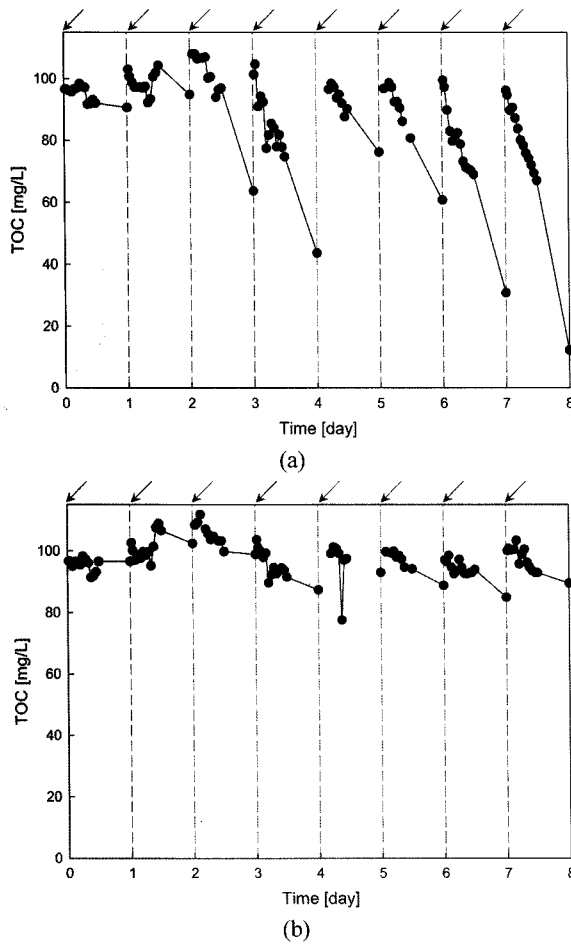


Fig. 4. TOC changes by treatment time. (a) developed media, (b) media from H company(↙: spike time).

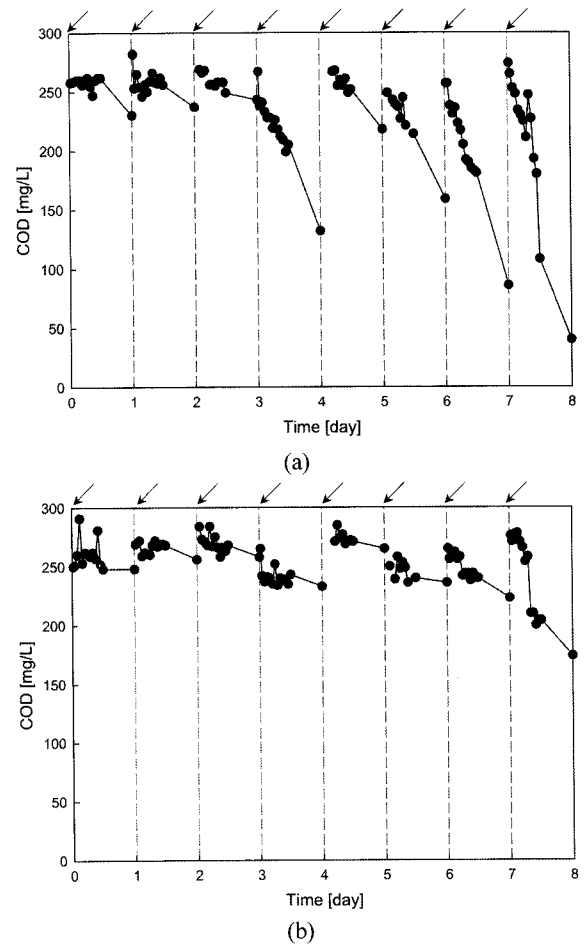


Fig. 5. COD changes by treatment time. (a) developed media, (b) media from H company(↙: spike time).

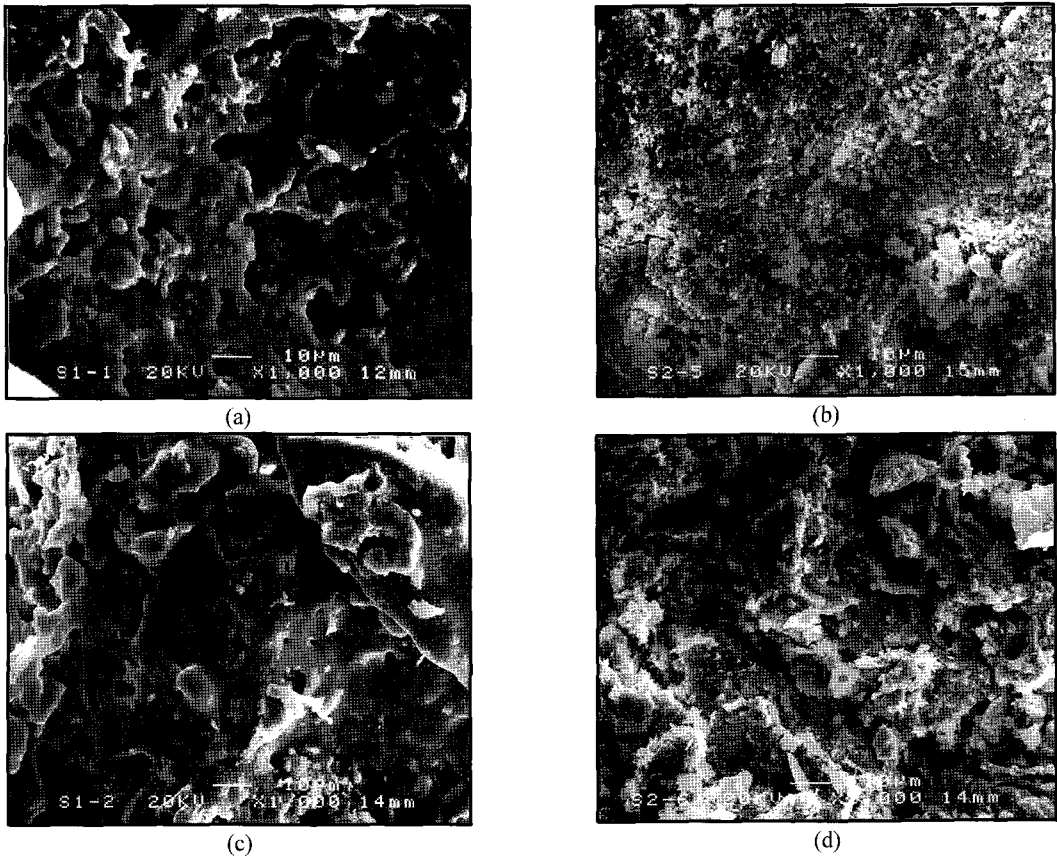


Fig. 6. SEM images on the media surface prepared by a pyrolysis process and from H company. (a) outer surface of developed media, (b) outer surface of the media from H company, (c) inner surface of developed media, (d) inner surface of the media from H company.

하수처리 공정 적용 전의 다공성 담체와 H사 제품의 표면 구조를 Fig. 6에 나타내었다. 다공성 담체의 경우 내외부 표면기공크기는 1~20 μm 사이에서 다양하게 나타났으며, 전체 기공률은 37.0%로 측정되었다. 반면 H사 제품의 경우 외부 표면측정 결과 전체 기공률은 21.4%, 기공크기는 대부분 5 μm 이하로 분석되었으며, 내부 표면측정 결과는 외부 표면의 기공구조와 큰 차이가 없었고, 기공크기를 식별하기가 어려웠다. 이는 하수처리에 사용되는 미생물의 크기가 1~10 μm 정도¹⁴⁾인 점을 감안할 때, 본 연구에서 개발한 다공성 담체가 상용화되어 시판중인 H사의 담체와 비교하여 상대적으로 미생물이 부착 및 성장하기에 유리한 표면환경 조건을 지니는 것으로 판단된다.

Fig. 7에서는 하수처리공정 적용 후의 다공성 담체의 표면구조를 보여주고 있으며, SEM 분석결과, 다공성 담체에서 미생물 활성도가 활발하게 진행되고 있는 것을 확인할 수 있었으며, 다공성 담체의 표면전체에 양호한 형상의 생물막이 관찰되었다. 또한, 하수처리 후, 담체의 외부표면에서 발견된 미생물종은 Arcella로 확인되었으며(Fig. 7(a)), 이 종은 처리 효율이 양호할 때 출현하는 것으로 보고되고 있다.¹⁵⁾ Fig. 7(c)의 경우, 담체내부에서의 생물막 형성과 미생물의 성장정도를 보여주고 있으며, 담체내부에서도 담체외부에서와 동일한 Arcella종이 검출되었으며, 그 크기는 서로 상이하였다. 이는

서로 다른 성장속도에 기인한 것으로 판단되며, 또한, 담체의 내외부 기공의 크기 및 분포 정도의 차이로 일어난 현상으로 판단된다. 본 연구에서 개발된 다공성 담체와 비교대상으로 활용된 H사 제품의 경우, 동일한 Arcella종이 확인되었으나, 전체적인 미생물의 고정화 측면(생물막의 형성)에서 상대적으로 효율이 낮음을 확인할 수 있었다. 또한, 본 연구에서 개발된 담체 및 상용화된 담체의 경우, 전체 반응기내의 MLSS의 농도는 각각 2,010 mg/L~3,100 mg/L 및 1,990 mg/L~2,700 mg/L 수준으로 유사한 경향을 보였으나, 담체에 고정화된 미생물(MLSS 기준)의 경우, 1,180 mg/L~1,810 mg/L 및 610 mg/L~830 mg/L 수준으로 약 2배의 차이를 보임을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 음식물 쓰레기를 황토와 혼합하여 고온열분해 과정을 거쳐 다공성 담체를 제조하고, 이를 통해 하수정화용 담체로서의 적용가능성을 파악하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 열분해 전에 다공성 담체의 함수율을 측정된 결과, 혼합비에 따른 함수율에서 음식물 쓰레기의 함유비가 높을수록

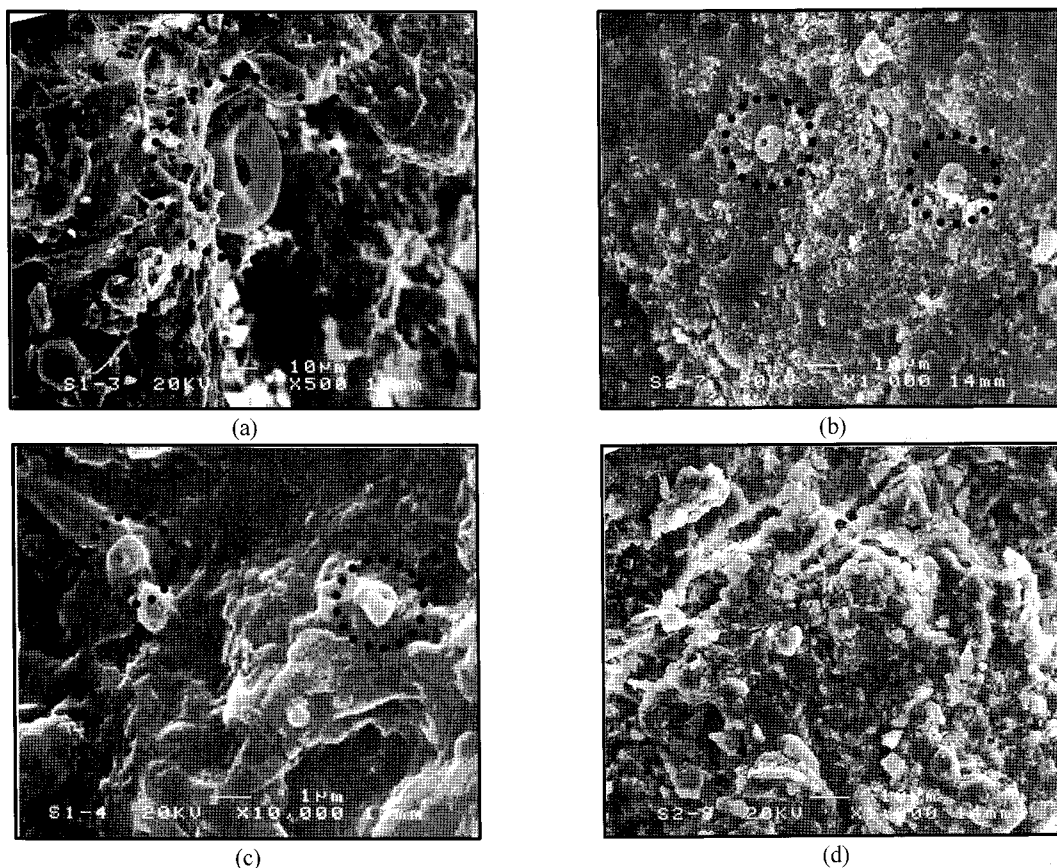


Fig. 7. SEM images on the media surface after sewage treatment. (a) outer surface of developed media, (b) outer surface of the media from H company, (c) inner surface of developed media, (d) inner surface of the media from H company.

함수율도 증가하는 경향을 보였다. 음식물 쓰레기의 함수율이 81.3%, 황토의 함수율은 2.0%, 혼합비에 따른 함수율은 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3(음식물 쓰레기:황토)에서 각각 25.5, 33.5, 39.9, 47.1, 53.1%의 값을 보였다.

2) 시료를 온도 150~200℃에서 30분간 건조시키고, 900℃, 1,000℃, 1,100℃에서 열분해하였을 때, 담체의 물리적 성상 분석결과 1,100℃, 혼합비 5:5에서 비교적 양호한 공극률과 압축강도를 나타내었다.

3) 열분해 실험을 통해 제조된 다공성 담체를 이용하여 수질정화용으로서의 효율성을 평가한 결과, TOC의 경우, 반응 4일 및 8일 후, 각각 50% 이상 및 87%의 처리효율을 보였으며, COD의 경우에도 TOC와 유사한 경향을 나타내었으며, 각각에 대해 50% 이상 및 85%의 처리효율을 나타내었다.

4) 개발된 다공성 담체의 기공이 1~20 µm 범위에 걸쳐 다양하게 분포되어 있고, 기공율도 37.0%로 나타났다. 이 담체에 미생물을 배양 및 수처리에 적용한 후 그 표면상태를 SEM으로 관찰한 결과, 미생물 활성화가 활발하게 진행되고 있는 것을 확인할 수 있었고, 생물막 또한 표면에 고르게 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

5) 음식물 쓰레기와 황토 혼합물의 열분해 공정에 의해 개발된 다공성 담체는 상용화된 미생물 담체(H사)와 비교하였을 때, 유기물 처리효율 및 생물막 형성 측면에서 상대적으로 우수함을 확인할 수 있었다.

6) 이러한 관점에서 볼 때, 본 연구에서 개발된 다공성 담체는 쓰레기 배출량의 감소 및 자원재활용의 장점을 지니는 동시에 하수처리공정 적용시 전반적으로 우수한 유기물 제거효율을 보여 다양한 하폐수 처리공정으로의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국생산기술연구원에서 지원하는 생산기술연구사업(과제번호: 01-GT-1-0019) 및 청정생산기술개발사업(과제번호: 05-CU-2-0010)의 재정적인 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 환경부, “음식물쓰레기 수집·운반 및 재활용촉진을 위한 조례준칙 개정안,” 제2조 제1항(1999).
2. 환경부, “2004 전국 폐기물 발생 및 처리현황,” p. 34(2005).
3. 이건모, 심장현, 정현오, 이재기, 염태영, “하수 슬러지의 연속식 열분해,” 대한환경공학회지, 15(6), 799~809(1993).
4. U.S. EPA, “Preliminary Environmental Assessment of Biomass Conversion to Synthetic Fuels,” EPA-600/17-78-204 (1978).

5. U.S. EPA, Seminar Publication "Municipal Wastewater Sludge Combustion Technology," EPA-162514-851105 (1985).
6. Inguanxo, M., Dominguez, A., Menendez, J. A., Blanco, C. G., Pis, J. J., "On the pyrolysis of sewage sludge : the influence of pyrolysis on solid, liquid and gas fractions," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **63**, 209~222(2002).
7. Bayer, B. and Kutubuddin, M., "Low temperature conversion of sludge and waste to oil," Proceedings of the International Recycling Congress, Berlin, pp. 314~318 (1982).
8. 김홍열, 정영현, 이협희, 오광중, "국내도시쓰레기의 압축 열분해 특성에 관한 연구," 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집(II), **5**, pp. 3~4(2002).
9. Iwai, S. and Kitao, T., "Wastewater Treatment with Microbial Films," Technomic Publishing Company, Inc., pp. 85~89(1994).
10. 박영식, 서정호, 송승구, "담체의 소수성과 표면거칠기가 미생물 부착에 미치는 영향," 한국환경과학회지, **6**(6), 689~696 (1997).
11. 이채남, 박영식, 최윤찬, 송승구, "담체의 표면거칠기와 전단응력이 미생물 부착에 미치는 영향," 부산대학교 환경연구보, **13**, pp. 39~43(1995).
12. Daniels, S. L., "The adsorption of microorganisms onto solid surfaces : A review," *Dev. Ind. Microbiol.*, **13**, 211~251(1971).
13. Anderson, G. K., Kasapgil, B., and Ince, O., "Comparison of porous and non-porous media in upflow anaerobic filters when treating dairy wastewater," *Water Res.*, **28**(7), 1619~1624(1994).
14. Bitton, B., "Wastewater Microbiology," Willy-Liss, Inc., pp. 150~155(1994).
15. Chen, S., Xu, M., Cao, H., Zhu, J., Zhou, K., Xu, J., Yang, X., Gan, Y., Liu, W., Zhai, J., Shao, Y. "The activated-sludge fauna and performance of five sewage treatment plants in Beijing, China," *European Journal of Protistology*, **40**, pp. 147~152(2004).