

# 목질바이오칩에 의한 음식물쓰레기 발효-소멸반응에서의 아데노신3인산의 변화 Variation of Adenosine tri-Phosphate(ATP) in Fermentation-Extinction of Food Wastes with Wood Bio-Chip

오정익  
Jeong-ik Oh

한국토지주택공사 토지주택연구원  
Land & Housing Institute, Korea Land & Housing Corporation

(2009년 8월 17일 접수, 2010년 4월 14일 채택)

**ABSTRACT** : The overall indicator of microbial activity in the fermentation-extinction reaction of food waste by using bio wood-chips were investigated by considering adenosine tri-phosphate(ATP). Degradation rate of organic compounds, which was represented by chemical oxygen demand(COD) and total nitrogen(TN), was increased with the concentration of adenosine tri-phosphate during fermentation-extinction reaction of food waste by using bio-wood chips. With this view, the ATP would be one of the overall evaluation indicator of organic degradation in the species of bio-wood chip for the fermentation-extinction of food waste.

**Key Words** : Fermentation-extinction, Food waste, Adenosine tri-phosphate, Organic degradation

**요약** : 본 연구에서는 아데노신3인산의 측정을 통하여 음식물 쓰레기의 발효-소멸반응에서의 미생물이 발생 및 활성정도를 총괄할 수 있는 인자를 도출할 수 있었다. 목질바이오칩을 이용한 음식물 쓰레기의 발효-소멸에서 무게감량 및 유기물 분해율이 높아질수록 아데노신3인산의 농도가 증가하였다. 아데노신3인산은 목질바이오칩의 종류별 유기물 분해 및 무게 감량에 대한 성능 선택성 설정에 유용한 인자로 활용 기대된다.

**주제어** : 발효-소멸, 음식물 쓰레기, 아데노신3인산, 유기물 분해

## 1. 서론

음식물 쓰레기란 농축수산물 유통과정 중에서 버려지는 쓰레기, 가정, 음식점 등에서 조리과정 중 식품을 다듬고 버리는 식품쓰레기, 먹고 남긴 음식물찌꺼기, 보관했다가 그냥 버려지는 식품폐기물을 말한다. 우리나라의 음식물 쓰레기는 수분이 80~90%에 달하고, 부패하기 쉬운 특성을 가지고 있어 처리처분에 많은 어려움이 있다. 또한 저장, 수거, 운반 과정에서는 악취와 침출수로 인하여 심미적인 악영향을 미칠 뿐만 아니라 다른 쓰레기와 혼합되면 일반 쓰레기까지 습윤시키고 악취를 발생시켜 재활용성을 떨어뜨려 결과적으로 처리량을 증대시킨다<sup>1~5)</sup>. 특히, 음식물쓰레기를 소각할 경우에는 다량의 수분 때문에 발열량이 낮아지고 자체 발열량으로는 일정한 소각온도의 유지가 어려워 화석연료를 사용량이 증대되어 에너지가 낭비되고, 대기 오염물질의 방출을 증가시키는 요인이 되고 있다. 한편, 음식물쓰레기를 매립할 경우 침출수의 발생으로 지하수 및 토양 오염을 야기할

뿐만 아니라 무기물 또는 부패하지 않은 물질을 매립하는 경우와 달리 매립지의 안정화 기간이 길어 관리에 어려움이 있다<sup>6~8)</sup>.

음식물 쓰레기는 폐기물 자원화 정책에 연계되어 주로 사료화나 퇴비화와 같은 물질 순환계 재활용에 국한되어 추진되었으나 2005년부터는 사도 지역의 매립지내 음식물 쓰레기의 직매립이 금지되어 기존의 획일적인 관리방법(사료나 퇴비를 이용한 자원화)만으로는 오히려 심각한 환경적경제적 손실을 초래할 우려가 있다<sup>9~10)</sup>. 현재, 국내 여건상 음식물 쓰레기는 자원화 산물의 수요한계에 부딪히고 있으며 이에 대한 적정 방안의 모색이 필요한 실정이다. 또, 분리배출, 주민 편이성, 환경 보전성, 쾌적한 삶의 질 등을 종합적으로 판단할 때, 음식물 쓰레기의 발생원에서의 궁극적으로 저에너지, 무취, 최종산물활용도, 환경부담 저하, 간단 처리구조의 기술개발 및 적용함으로써 음식물 쓰레기의 운반 및 최종처분에 대한 비용부담을 절감시키고 자원화 효율향상을 도모함이 절실히 필요하다.

\*Corresponding author : E-mail : ojip@jugong.co.kr Tel : 031-738-4689 Fax : 031-738-4700

음식물 쓰레기의 감량기술로는 여러 가지 기술이 개발되고 있으나 본 연구에서는 목질바이오칩을 이용한 발효-소멸 방식을 중심으로 주요영향인자를 도출하고자 하였다. 일반적으로 음식물쓰레기 발효-소멸반응에서 목질바이오칩은 극소미생물의 서식 공간제공 및 반응의 촉진조건 도출이 가능한 고밀도 바이오코로니(Bio-Colony)를 형성시켜 주는 매개체이다<sup>11)</sup>.

본 고에서는 발생원에서의 감량기술로서 목질바이오칩을 이용한 음식물 쓰레기의 발효-소멸기술을 중심으로 주요 목질바이오칩의 종류별 음식물 쓰레기의 감량실험을 수행하여 효율을 비교하고, 발효-소멸반응에 필요한 영향인자를 도출시키고, 주요 발효-소멸매커니즘을 설명하여 향후 효율적인 음식물 쓰레기 감량 및 처리방안 도입을 위한 자료로 삼고자 한다.

## 2. 실험방법 및 재료

### 2.1. 음식물쓰레기의 발효-소멸실험 방법

A 바이오칩, B 바이오칩 그리고 C 바이오칩에 대한 음식물 쓰레기의 무게감량효과를 발효-소멸장치를 이용하여 실험하였다. 실험에 사용한 발효소멸장치는 Fig. 1에 나타내었다.

바이오칩에 의한 음식물쓰레기의 최적 발효소멸조건인 습도상태가 30%~70%, 발효조의 온도가 30℃~50℃를 유지할 수 있도록 설계되었다.

음식물쓰레기 발효소멸장치에 대한 기계적 특성, 전기적 특성, 교반특성, 온습도 조절 및 기타 안전 등의 설계항목을 Table 1에 나타내었다.

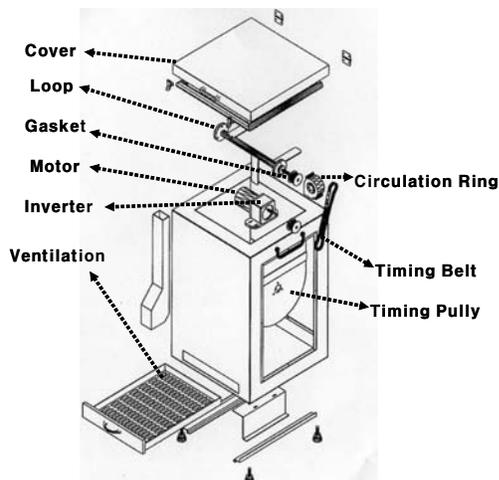


Fig. 1. Fermentation-extinction installations of food waste.

Table 1. Condition of fermentation-extinction installations for weight loss of food waste

Item	Contents	
Mechanic	Shape	500 mm(W)×392 mm(D)×720 mm(H)
	Weight	25 kg
	Circulation wing	4th, angle 90°
	Circulation velocity	2 rpm
Electricity	Electrode	220 V, 60 Hz
	Energy	normal 13W/ maximum 180W
	Noise	less than 40 dB
Circulation mode	First mode	forward(5th)→reverse(2th) →forward(4th)→reverse(2th)
	Standard mode	forward(1th)→reverse(1th)
	Humidity control	forward(5th)→reverse(2th) →forward(4th)→reverse(2th)
Temperature & humidity	Temperature sense	every time sensing operation of pan and heater after comparing standard temperature (10℃, 25℃, 35℃)
	Humidity sense	Sensing during circulation operation of pan and heater after comparing standard temperature(30%, 70%)
Etc	Odor control	deodorization pack set-up
	Safety	circulation operation is stopped when cover is open

주입하는 음식물쓰레기는 가정용 및 식당용 음식물쓰레기를 매일 700~1,500 g를 15일간 투입하였으며 무게변화는 주입음식물량과 잔류량을 측정하여 조사하였다. 여기서 바이오칩은 기본적으로 1,500 g를 주입하였다. 단, 음식물쓰레기의 주입량이 바이오칩의 양보다 적게 주입하는 것으로 하였다.

실험 사용된 목질바이오칩은 3 종류로서 A바이오칩은 미생물이 혼합된 목질바이오칩이고, B바이오칩은 이산화황으로 무균 처리한 목질세면에 효소가 첨가된 바이오칩이며 C 바이오칩은 침엽수계열의 목질세면이다.

### 2.2. 분석방법

#### 2.2.1. 화학적 성상

화학적 성상에 대한 분석항목으로는 화학적 산소요구량(COD, Chemical Oxygen Demand), 총 질소(TN, Total Nitrogen) 및 아데노신3인산(ATP, Adenosine Tri-Phosphate)을 분석하였다.

시료의 전처리하는 분석용 시료를 막자사발에서 갈아 0.075

mm(200 메쉬)의 표준체로 체걸음 한 후, 105°C의 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시키고, 건조시료 1 g를 정확하게 취해 1%의 황산용액 100 mL에 넣고 완전 혼합시킨 후 상등액을 채취하여 분석하는 방법을 취하였다<sup>12)</sup>.

화학적 산소요구량(COD)은 시료를 황산산성화하여 과망간산칼륨 일정과량을 넣고 30분간 수욕 상에서 가열반응시킨 다음 소비된 과망간산칼륨 량으로부터 상당하는 산소의 양을 측정하는 방법으로 분광광도계(DR-4000, HACH)를 이용하여 측정하였으며 COD농도의 측정범위는 0~150 mg/l COD이었다. 그리고 시료 중 질소화합물을 알칼리성 과황산칼륨의 존재하에 120°C에서 유기물과 함께 분해하여 질산이온으로 산화시킨 다음 산성에서 자외부 흡광도를 측정하여 질소를 정량하는 방법으로 분광광도계(DR-4000, HACH)를 이용하여 총질소(TN)의 농도를 10~150 mg/l TN 범위에서 측정하였다<sup>13)</sup>.

### 2.2.2. 아데노신3인산

아데노신3인산(ATP, Adenosin Tri Phosphate)은 생물 세포 내에서의 유기화합물 분해로 방출된 에너지가 일단 ADP를 인산화시켜 아데노신3인산의 고에너지 인산결합의 형태로 저장되었다가 필요에 따라 방출되어 생물체의 여러 가지 생활 활동에 사용된다. 아데노신3인산은 미생물 세포 수의 증식을 나타내며 활발한 미생물의 활동성 지표로 사용된다.

아데노신3인산 측정은 DKK TOA사의 AF-50 을 사용하여 측정하였다. 측정감도는 0.1 pg 아데노신3인산 ( $2 \times 10^{-16}$  mol~0.2 moleATP, 23°C)이며 측정용기 DISPOTUBE (12 mm×55 mm)에 시료를 넣고 Luciferase, Luciferin에 의한 생물화학발광법으로 측정하였다. 측정온도범위는 5°C ~35°C이며 측정시료 1 g를 1%황산용액 10 mL에 용해시키고 증류수로 100배 희석한 용액의 상등수 200 μL을 채취하여 아데노신3인산을 측정하였다.

### 2.2.3. 세공구조

바이오칩의 세공구조는 고체상태의 미세조직과 형상을 관찰하는 데에 다양하게 쓰이는 분석기기로서 50 Å 정도의 해상력을 지닌 것이 상품화되어 있고, 최근 고분리능 SEM은 10 Å 이하의 해상력을 가지고 있는 전계방출주사현미경(FE-SEM, Field Emission Scanning Electron Microscopy, S-4800, Hitachi)에 의해서 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 음식물쓰레기 감량효과 비교

Fig. 2에서 A 바이오칩을 이용한 음식물쓰레기의 감량 실험 결과를 도시하였다. 시험일수는 15일로서 음식물 쓰레기의 총 투입량은 누적 무게로 6,700 g이었으나 최종 잔류량은 2,500 g이었다. 단, 최종잔류무게에는 최초에 주입된 바이오칩 1,500 g이 포함되어 있으므로 투입 음식물쓰레기의 발효소멸 후의 잔류량은 1,000 g이었으며 J 바이오칩에 의한 음식물쓰레기의 감량효율은 85%로 나타났다.

B 바이오칩을 이용한 음식물쓰레기의 감량 실험 결과를 Fig. 3에서 도시하였다. 시험일수는 15일로서 음식물 쓰레기의 총 투입량은 누적 무게로 5,200 g이었으나 최종 잔류량은 2,100 g이었다. 단, 최종잔류무게에는 최초에 주입된 바이오칩 1,500 g이 포함되어 있으므로 투입 음식물쓰레기의 발효소멸 후의 잔류량은 570 g이었다. 그러므로 C 바이오칩에 의한 15일간 투입한 음식물쓰레기의 감량효율은 약 90%로 조사되었다.

Fig 4에서 C 바이오칩을 이용한 음식물쓰레기의 감량 실험 결과를 도시하였다. 시험일수는 5일로서 음식물 쓰레기의 총 투입량은 누적 무게로 4,700 g이었으나 최종 잔류량은 1,900 g이었다.

최종잔류무게에는 최초에 주입된 바이오칩 1,500 g이 포함되어 있으므로 투입 음식물쓰레기의 발효소멸 후의 잔류량은 800 g이었으며 C 바이오칩에 의한 음식물쓰레기의 감량효율은 80%로 나타났다. C 바이오칩의 경우에도 음식물쓰레기의 발효소멸 반응이 진행되는 동안 양호한 감량효율을 나타내어, 음식물쓰레기의 감량에 적용이 가능하였다.

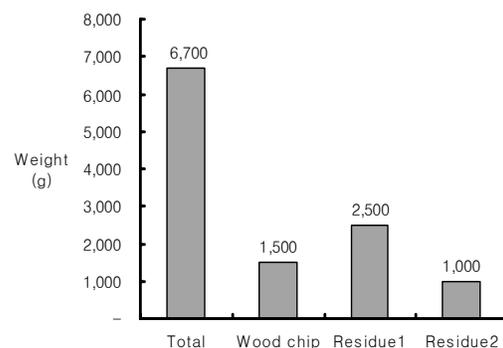


Fig. 2. Weight loss of food waste in the experiment of fermentation-extinction by using the A bio-wood chip.

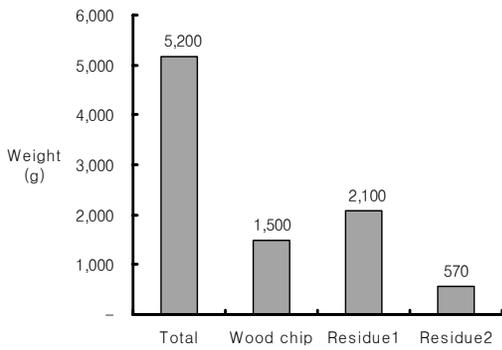


Fig. 3. Weight loss of food waste in the experiment of fermentation-extinction by using the B bio-wood chip.

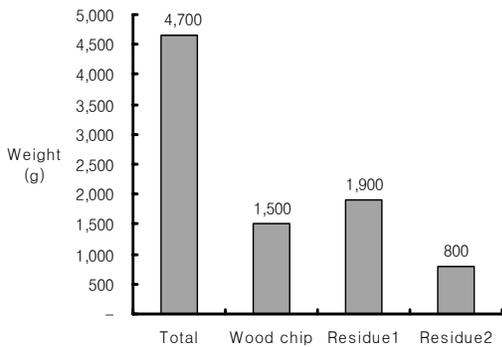


Fig. 4. Weight loss of food waste in the experiment of fermentation-extinction by using the C bio wood chip.

Fig. 5는 바이오칩의 종류별 세공구조를 SEM으로 관찰한 결과이다. A 바이오칩은 목질세편에 미생물이 주입한 혼합형 칩으로 미세한 구조의 세공이 다량 존재하는 형태로 존재하고 있었으며 음식물쓰레기의 발효-소멸반응에서 미생물의 발생 및 서식이 가능한 구조로 사료되었다. 특히 칩 사이에 둥근 형태의 구조를 가진 물질들은 일반적으로 효모 구조와 유사하였다. B 바이오칩의 경우, 침엽수계열의 목질세편을 이산화황으로 무균화 처리하여 효소를 첨가한 칩으로서 0.1 μm 이하의 미세공 구조가 관찰되었으며 음식물쓰레기의 발효소멸반응에서 미생물이 발생 및 서식이 가능한 구조를 가지고 있는 것으로 사료되었다. C 바이오칩은 일반적인 침엽수계열의 톱밥이며 세공의 크기는 약 2 μm로서 다른 종류의 목질바이오칩과 비교해서 상대적으로 미세한 구조의 세공은 보이지 않았다. C 바이오칩은 음식물쓰레기의 발효-소멸반응에서 미생물이 발생 및 서식이 가능한 구조로는 미흡할 우려가 있었으며 무게감량효율도 A 바이오칩 B 바이오칩에 비교하여 상대적으로 저조하였다.

목질바이오칩은 고밀도 바이오코로니(Bio-Colony)를 형

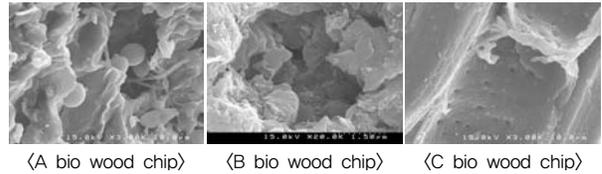
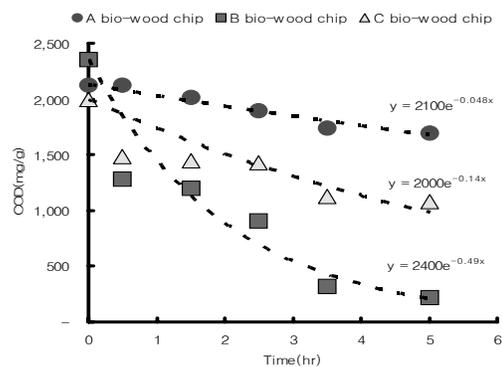


Fig. 5. Pore structure of bio-chip observed by SEM.

성시켜 주는 매개체로 음식물쓰레기의 발효소멸반응에서 이용된다고 판단된다. 그러므로 미세공구조를 가진 목질바이오칩일수록 바이오코로니 형성과 무게감량 및 유기물감량에 유리한 것으로 사료된다.

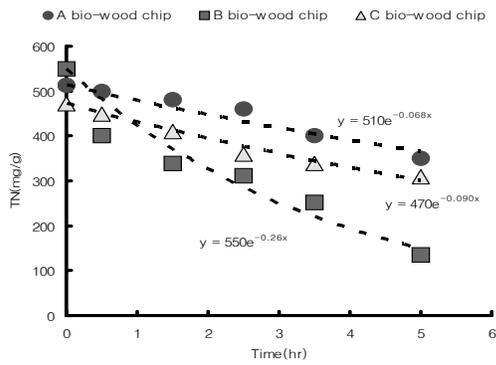
### 3.2. 유기물 분해

우리나라 음식물쓰레기는 염분이 많고 유기물농도가 하수의 약 2,000배로 분해하기 힘든 성상으로 존재한다. Fig. 6과 Fig. 7에 A, B, C 목질바이오칩에 따른 음식물쓰레기 발효-소멸에서의 유기물농도의 주요지표 중의 화학적산소요구량(COD)과 총 질소(TN) 농도변화를 도시하였다. 음식물쓰레기의 COD 및 TN성분의 분해는 음식물 쓰레기 1회 투입 후 약 6시간동안 관찰하였다. 전체적으로 COD 및 TN의 농도가 감소하는 경향을 보였으나, 바이오칩의 종류에 따라서 감소되는 진행속도가 상이하였다. 특히 B 바이오칩은 COD 농도가 91% 분해되었으며, A 바이오칩, C 바이오칩의 COD 분해율이 20%, 46%에 비교하여 상대적 분해효율이 높았다. 또한, TN의 경우에도 B 바이오칩이 76%의 분해율을 나타내



		Time(hr)				
		0	0.5	1.5	2.5	3.5
COD (mg/g)	A bio-wood chip	2,100	2,100	2,000	1,900	1,700
	B bio-wood chip	2,400	1,300	1,200	910	320
	C bio-wood chip	2,000	1,500	1,500	1,400	1,130

Fig. 6. Degradation of chemical oxygen demand(COD) in the fermentation-extinction reaction for food waste at different biochip species.



		Time(hr)	0	0.5	1.5	2.5	3.5	5
TN (mg/g)	A bio wood chip		510	500	480	460	400	350
	B bio wood chip		550	400	340	310	250	140
	C bio wood chip		470	450	410	360	340	310

Fig. 7. Degradation of total nitrogen(TN) in the fermentation-extinction reaction for food waste at different bio wood chip species.

있으며 A 바이오칩, C 바이오칩의 TN 분해율이 32%, 34%에 비교하여 상대적 분해율이 높았다.

음식물쓰레기의 발효-소멸반응에서 COD 및 TN 농도가 감소하는 현상으로부터 무게감량 뿐만 아니라 유기물 분해도 동시 진행되고 있음을 알 수 있었다.

Table 2에서 목질바이오칩 종류에 따른 음식물 쓰레기 COD 및 TN의 감량속도를 비교하였다. 음식물쓰레기의 발효소멸에서 유기물의 감량추이는 1차 반응으로 일치하였다. 특히, B 바이오칩의 경우 COD 및 TN의 반응속도상수가 각각 0.49, 0.26로서 A 바이오칩, C 바이오칩의 COD 및 TN 반응속도상수에 비하여 상대적으로 높았다. 즉, 반응속도상수가 높음으로서 유기물의 분해속도가 빠르게 진행되며 B 목질바이오칩의 경우 약 5시간 내에 유기물이 91% 분해될 수 있었다.

Table 2. Degradation rate of chemical oxygen demand(COD) and total nitrogen(TN) in the fermentation-extinction reaction for food waste at different bio-wood chip species

구 분	Chemical oxygen demand(COD)		Total Nitrogen(TN)	
	degradation rate (%)	degradation coefficient (hr <sup>-1</sup> )	degradation rate (%)	degradation coefficient (hr <sup>-1</sup> )
A bio-wood chip	20.0	0.048	32.0	0.068
B bio-wood chip	91.0	0.49	76.0	0.260
C bio-wood chip	46.0	0.14	34.0	0.090

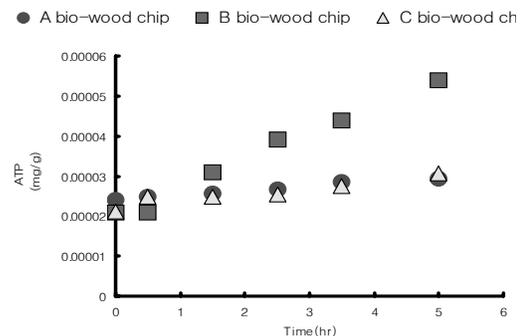
### 3.3. 아데노신3인산의 영향

목질바이오칩의 종류에 따른 유기물 분해속도가 달라진 점으로 보아 미생물이 활발히 음식물의 발효-소멸반응에 영향을 미친 것으로 예상되었으며 미생물의 활동성을 아데노신3인산(ATP)와 미생물 세포수의 분석으로 검증하였다.

Fig. 8에서 음식물쓰레기의 발효-소멸반응에서의 시간에 따른 아데노신3인산 농도변화를 도시하였다. 음식물쓰레기의 발효-소멸반응이 진행됨에 따라, 아데노신3인산 농도는 증가하는 경향을 나타내었다. A, B, C 목질바이오칩의 경우 아데노신3인산 농도가 운전초기에 비해서 각각 1.2배, 2.6배, 1.4배가 증가하였다. 즉, B 목질바이오칩의 경우 COD 및 TN의 반응속도상수가 높으며 유기물의 분해속도가 빠르게 진행되며 이에 따른 미생물의 활발한 활동으로 인한 아데노신3인산농도가 증가하였다고 볼 수 있었다.

아데노신3인산의 농도가 음식물쓰레기의 발효-소멸반응 시간이 경과됨에 따라 다량 발생하는 현상은 반응을 빠르게 진행시킨다고 할 수 있다. 아데노신3인산은 미생물의 증식을 돕는 효소의 주성분으로서 아데노신3인산 농도가 높을수록 미생물의 활동을 활발히 촉진시킬 수 있으며, 음식물 쓰레기의 발효소멸에 적절한 조건을 제공할 수 있다고 판단되었다.

Fig. 9에서 음식물쓰레기를 투입하여 발효-소멸반응이 진행되기 전의 목질바이오칩 종류별 미생물 세포수와 발효-소멸반응이 진행된 후의 미생물 세포수를 비교하였다. A, B, C 바이오칩의 경우, 음식물쓰레기 투입 전의 미생물 세포수는 1,100~1,200 cells/g이었다. 5시간 후의 발효-소멸반응이 진행된 후의 잔류하는 미생물 세포수는 A 바이오칩이



		Time(hr)	0	0.5	1.5	2.5	3.5	5
ATP (10 <sup>-5</sup> mg/g)	A bio-wood chip		2.4	2.5	2.6	2.7	2.9	2.9
	B bio-wood chip		2.1	2.1	3.1	3.9	4.4	5.4
	C bio-wood chip		2.1	2.5	2.5	2.6	2.8	3.1

Fig. 8. Concentration change of ATP in the fermentation-extinction reaction for food waste at different bio wood chip species.

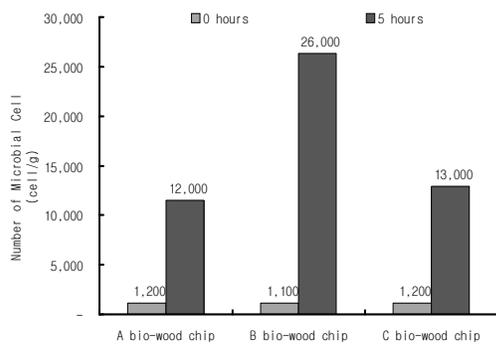


Fig. 9. Variation of microbial cell-number during the fermentation-extinction reaction for food waste at different bio wood chip species.

12,000 cells/g, B 바이오칩이 26,000 cells/g, C 바이오칩이 13,000 cells/g으로 B 바이오칩이 가장 많은 미생물을 보유하고 있었다. 이는 아데노신3인산의 농도와 미생물세포수의 증식률과의 밀접한 관계가 있다고 분석되었다.

한편, 아데노신3인산은 탄소 10분자, 수소 16분자, 질소 5분자, 산소 13분자, 인 3분자의  $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$ 의 구조를 가진다. 아데노신3인산은 생물 세포 내에서의 유기화합물 분해로 방출된 에너지가 일단 ADP를 인산화시켜 아데노신3인산의 고에너지 인산결합의 형태로 저장되었다가 필요에 따라 방출되어 생물체의 여러 가지 생활 활동에 사용된다. 외부로부터 섭취한 먹이 속의 탄수화물, 지방, 단백질 등은 생물세포에서 1차적으로 포도당, 아미노산, 지방산 등의 소분자 유기화합물로 소화되며 이들은 세포 속에서 산소호흡을 통하여 2차적으로 분해되어 궁극적으로는 물과 이산화탄소가 되는 과정으로 유기물이 분해된다. 유기물 분해과정에서는 다량의 에너지가 방출되며 에너지를 저장 수단물질로서 소량으로 대량 에너지 보유, 에너지 방출의 용이성의 특징을 가진 아데노신3인산이 주요물질로 사용된다.

그러므로 아데노신3인산은 미생물 세포수의 증식을 나타내며 활발한 미생물의 활동성 지표로 활용할 수 있다. 목질 바이오칩에 발효-소멸반응에서 아데노신3인산의 농도변화는 유기물 분해속도 및 음식물쓰레기 감량효율을 판단할 수 있으며 반응의 촉진시킬 수 있는 복합효소군의 최적 투입량을 예측 및 모니터링 등에 활용할 수 있다고 사료되었다.

#### 4. 결론

종래 음식물쓰레기 발효-소멸 등에서는 미생물의 균주분리, 식종구분 등에 관심을 둔 연구와 달리, 본 연구에서는 아

데노신3인산의 측정을 통하여 음식물 쓰레기의 발효-소멸 반응에서의 미생물이 발생 및 활성정도를 총괄할 수 있는 인자를 분석할 수 있었다. 아데노신3인산은 목질바이오칩을 이용한 음식물 쓰레기의 발효-소멸에서 무게감량 및 유기물 분해를 예측하고 최적의 목질바이오칩의 선택성 설정에 유용한 인자로 활용이 기대되었다.

KSEE

#### 참고문헌

1. 김응호, “일본에서의 음식물 쓰레기 문제와 하수도,” 한국물환경학회지, **18**(1), 1~7(2002).
2. 박순남, 권성환, 이동훈, “음식물 쓰레기 가정용 처리기의 효율성 평가,” 한국폐기물학회 2002추계학술발표논문집, pp. 291~294 (2002).
3. 박종용, 박상철, 권기홍 “음식물 쓰레기 분리수거에 따른 주택 유형별 생활폐기물의 발생특성,” 한국폐기물학회지, **17**(2), 166-176(2000).
4. 박종용, 김민철, 송주형, 임점호, “음식물 쓰레기의 발생원 및 계절별 특성에 관한 연구,” 한국폐기물학회지, **18**(7), 595~603 (2001).
5. 배재근, “음식물 쓰레기 자원화 사업의 문제점 도출과 개선방안 검토” 폐기물자원화, **11**(2), 14~31(2003).
6. 손영목, “국내 음식물 쓰레기 자원화 사업의 문제점 및 개선방안,” 유기물자원학회, **12**(1), 34~46(2004).
7. 윤하연, 김경미, 이광표, 유명진, “음식물 쓰레기 배출원별 원단위 배출량 및 물리적 성상분석” 한국폐기물학회지, **19**(4), 503~509(2002).
8. 주홍수, 류재영, 배재근, “음식물 쓰레기의 자원화를 위한 배출업종별 성상 및 특성의 비교분석,” 폐기물자원화, **9**(4), 117~124 (2001).
9. 지재성, “2005년 매립 금지되는 음식물 쓰레기 처리방안” 토목기술기사, **52**(2) 35~39(2004)
10. 최훈근, 오길중, 김규연, 박찬희, 박경연, 김성범, 배재근, 정재춘 (2002) “음식물 쓰레기 자원화 시설의 효율적 운영에 관한 연구” 폐기물학회 2002추계학술발표논문집, pp.151~161(2002).
11. Bench, M. L., Woodard, R., Harder, M.K. and Stantzos, N., “Waste minimisation: Home digestion trials of biodegradable waste,” *Res., Conservation and Recycling*, **45**, 84~94(2005).
12. 환경부, 폐기물공정시험법(2008).
13. 대한주택공사, 아파트 음식물쓰레기의 효율적 감량요소기술의 개발(2003).