

음식물쓰레기 산발효공정에서 우점하는 세균의 동정 및 효율적인 VFA 생산을 유도하는 세균의 선별

김태호[†] · 조희경* · 송영훈* · 안승구*

은평수도사업소 · *서울시립대학교 환경공학과

(2005년 7월 13일 접수, 2005년 9월 30일 채택)

Identification of Bacteria Occurred Dominantly and Screening of Best VFAs Producing Bacteria in Food Waste Fermentation Process

Tae-Ho Kim[†] · Hee-Kyung Cho* · Young-Hoon Song* · Seoung-Koo Ahn*

Office of Waterworks Seoul Metropolitan Government, Eunpyung water supply office

*Department of Environmental Engineering, University of Seoul

ABSTRACT : We studied on screening and isolation of dominant bacteria in the food waste fermentation process and on effective production of VFAs by isolated bacteria. In the result of study, bacteria of twelve species were isolated by anaerobic medium. Among the 12 isolated species including *Escherichia coli*, *Clostridium formicoaceticum*, *C. butyricum*, *C. acetobutyricum*. *E. coli* and *Clostridium* spp. were occurred dominantly in the fermentation process and regarded as best VFAs producing bacteria.

Acetic acid are produced 287 mg/gTS(8,176 mg/L) by *E. coli* in concentration of 6×10^8 cells/gTS, 551 mg/gTS(15,715 mg/L) by *Clostridium formicoaceticum* in concentration of 5×10^4 cells/gTS. Three times as much acetic acid were produced as blank. Butyric acid are produced 214 mg/gTS(6,106 mg/L) by *C. butyricum* in concentration of 2.5×10^5 cells/gTS and produced 254 mg/gTS(7,261 mg/L) by *C. acetobutyricum* of concentration of 1.5×10^5 cells/gTS. Two times as much butyric acid were produced as blank.

Key Words : Food Wastes, Fermentation, VFA, *Clostridium Formicoaceticum*, *Clostridium Butyricum*

요약 : 본 연구에서는 산발효 공정에 관여하는 세균들을 조사 분리하고 분리된 세균들을 이용한 VFAs의 생산효율 증가 효과를 검토하였다.

연구 결과는 다음과 같다. 음식물쓰레기 산발효 공정에서 혐기성배지를 이용하여 분리된 주요 세균은 *Escherichia coli*, *Clostridium formicoaceticum*, *Clostridium butyricum*, *Clostridium acetobutyricum* 등 12 종이며 *Escherichia coli*와 *Clostridium* spp.가 우점종을 차지하고 있는 것으로 나타났으며 VFAs 생산에 주도적 역할을 하는 것으로 판단되었다. 아세트산의 생성 효율 향상에 관한 실험에서 *E. coli*를 6×10^8 cells/gTS의 농도로 접종하였을 때 287 mg/gTS(8,176 mg/L)이 생산되었고 *Clostridium formicoaceticum*을 5×10^4 cells/gTS의 농도로 접종하였을 때 551 mg/gTS(15,715 mg/L)이 생산되어 대조군과 비교하여 3배의 높은 생산성을 보였다. 부틸산의 생산에 대한 실험에서 *Clostridium butyricum*을 2.5×10^5 cells/gTS의 농도로 접종하였을 때 214 mg/gTS(6,106 mg/L)이 생성되었고 *Clostridium acetobutyricum*을 1.5×10^5 cells/gTS의 농도로 접종하였을 때 254 mg/gTS(7,261 mg/L)이 생성되어 대조군과 비교하여 2배의 생산성을 나타내었다.

주제어 : 음식물쓰레기, 산발효, VFA, *Clostridium formicoaceticum*, *Clostridium butyricum*

1. 서론

우리나라 음식물 쓰레기는 수분함량이 높고 소각 처리 비용이 높아 대부분 매립 처분되고 있으며 이로 인한 침출수와 악취발생 등 이차적인 오염을 유발할뿐 아니라 또한 2005년도부터 폐기물관리법에 의하여 음식물쓰레기의 매립처분이 금지되고 있어 이에 대한 대책수립이 시급한 실정이다. 사료화는 이썩시개, 은박지, 비닐 포장재 등의 이물질이 상당량

포함되어 있고 음식물쓰레기를 사료화하면 영양가가 균형을 이루지 못해 시행이 어렵다. 퇴비화의 경우 높은 염분 농도로 인한 작물의 성장 저해를 유발한다.¹⁾ 또한 혐기성 소화는 처리기간이 긴 단점을 가지고 있다.²⁾ 따라서 음식물쓰레기를 구성하는 다량의 유기물을 재활용할 수 있는 효과적인 방안의 모색이 필요하다. 현재 그 방안으로 아세트산 또는 프로피온산을 생산하여 부식성이 낮은 제설제로 활용하는 방법,²⁾ 질소, 인 제거를 위한 하수고도처리 공정의 외부 탄소 원으로서 이들 VFAs(volatile fatty acids)활용에^{2,3)} 관한 연구 등이 수행되고 있다. 그러나 현재 음식물쓰레기를 이용한 VFAs의 생산성 향상에 대한 연구는 전처리 단계를 제어하는 연구에 국한되었고 그 공정에 직접 관여하는 세균에 관한 연구는

† Corresponding author

E-mail: gomdung1@hanmail.net

Tel: 016-469-1776

Fax: 02-397-0688

아직 미흡한 실정이다.

본 연구의 목적은 음식물 쓰레기를 이용해 산발효시 VFAs의 생산에 관여하는 우점 세균을 분리 동정하고 아울러 분리된 세균이 산발효공정에서의 효율적인 생산을 야기하는지를, 즉 생물증대(bioaugmentation)⁴⁾효과를 유발하는지를 검토하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험장치 및 운전

음식물쓰레기 산발효공정의 우점세균을 관찰하기 위해 5 L 용량의 교반장치, 자동온도 조정장치가 장착된 발효조(Fermenter, BioG-Micom, ROK)를 이용하였으며 전체적 구성은 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 기질로 사용된 시료는 서울시립대학교 교내식당에서 배출되는 잔반인데 과도한 수분을 제거하기 위하여 24시간 동안 증류탈수 한 후 가정용 분쇄기(FM681, Hani)로 1000 rpm, 5분 동안 분쇄하고 증류수로 2배 희석, 반응조에 투입하였다. 산발효 효율을 높이기 위해 음식물 쓰레기 총고형물(Total Solid, TS) g당 0.05 g NaOH로 가수분해시킴^{2,3)} 10일간 운전하였다. 발효조의 운전조건은 Table 1과 같고 실험에 사용된 음식물쓰레기의 화학조성은 Table 2와 같다.

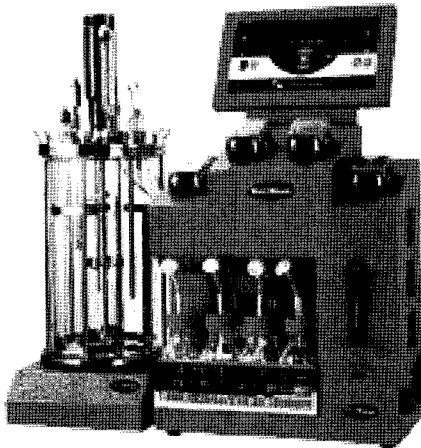


Fig. 1. Photograph of fermenter structure.

Table 1. Operation conditions of food waste fermenter

Temp.(°C)	35
Reactor Volume(L)	5
Mixing Speed(RPM)	200
Operation Time(days)	10
NaOH Dosing Amount(g/gTS)	0.05

Table 2. Characteristics of food waste

Items	TS(%)	VS(%)	TCOD _{Cr} (mg/L)	SCOD _{Cr} (mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)
Food waste	5.7	5.1	59,000	23,629	1,200	184

운전기간 중 24시간 마다 1회 시료를 채취하여 화학적 조성변화의 관찰 및 멸균 회석수로 회석하여 해당 배지에 배양하였다. 분석항목은 온도(iD50, ROK), TS(Drying 105°C, 2 hr), VS(550°C ignition), COD_{Cr}(Closed Reflux Method), SCOD(Closed Reflux Method), pH(IQ-240, USA), VFA(Younglin GC M600D, ROK)이며 VFA의 분석은 시료를 원심분리하여 상등수만을 취하고 여과한 후 분석하였다.

2.2. 세균의 분리

24시간마다 채취한 시료를 1~10⁹배까지 멸균 회석수로 희석하고 산발효에 관여하는 세균을 분리하기 위해 해당 고체 분리 배지에 접종하고 35°C에서 48시간 동안 배양한 후 계수하고 세균을 다시 순수분리 하였다. 각 세균의 배양은 세균의 글루코즈 산발효 산물에 대해 연구한 Anthony Gaudy의 문헌⁵⁾을 참고하였고, 배지는 *Handbook of Microbiological media*⁶⁾을 참고하여 선택하였다. 각 세균 분리, 계수를 위해 선정된 배지는 Table 3과 같고 배지를 혐기성상태로 만들기 위해 Cysterin-HCl · 2H₂O, Na₂S · 9H₂O의 환원제를 첨가하였으며 배지의 혐기성 상태를 확인하기 위해 Rezasurin의 지시약을 첨가하였다.

Table 3. Composition of medium used for bacteria incubation (g/L)

Contents	Yeast Medium	SF Broth	YESLM	EC Broth	Contents	Clostridium medium
Agar	20	20	15	20	Agar	20
Glucose	10	5			Yeast extract	4
Pancreatic digest of casein		20	10	20	Alanine	3
Neopeptone	5				Peptone	3
Malt extract	3				Cysteine	0.2
Yeast extract	3		10		MgSO ₄	0.05
Cysterin-HCl · 2H ₂ O	0.5	0.5	0.5	0.5	FeSO ₄	0.01
Na ₂ S · 9H ₂ O	0.5	0.5	0.5	0.5	Potassium phosphate buffer	5 mL
Rezasurin	0.002	0.002	0.002	0.002	CaSO ₄	2.5 mL
NaCl		5		5	Sodium thioglycollate	2
K ₂ HPO ₄		4	2.5	4	Rezasurin	0.002
KH ₂ PO ₄		1.5		1.5		
Bromcresol Purple		0.032				
NaN ₃		0.5				
Sodium lactate			10			
MnSO ₄			0.005			
Lactose				5		
Bile salts mixture				1.5		

Table 4. Inoculated concentration of bacteria

Reactor	1~10	11~20	21~30	31~40
Bacteria	<i>Escherichia Coli</i>	<i>Clostridium formicoaceticum</i>	<i>Clostridium butyricum</i>	<i>Clostridium acetobutyricum</i>
Concentration (cells/gTS)	0	0	0	0
	2.0×10^6	1.0×10^2	5.0×10^2	3.0×10^2
	1.0×10^7	5.0×10^2	2.5×10^3	1.5×10^3
	2.0×10^7	1.0×10^3	5.0×10^3	3.0×10^3
	1.0×10^8	5.0×10^3	2.5×10^4	1.5×10^4
	2.0×10^8	1.0×10^4	5.0×10^4	3.0×10^4
	6.0×10^8	3.0×10^4	1.5×10^5	9.0×10^4
	1.0×10^9	5.0×10^4	2.5×10^5	1.5×10^5
	1.6×10^9	8.0×10^4	4.0×10^5	2.4×10^5
	2.0×10^9	1.0×10^5	5.0×10^5	3.0×10^5

2.3. 세균의 동정

각 배지에서 순수 분리된 세균은 Sherlock System (MORE database Version 3.9, GC-6890, Agilent, USA)을 이용하여 동정하였다.

2.4. 세균 접종에 의한 VFAs의 생산

분리 동정한 세균 중 아세트산 및 부틸산 생산성이 우수한 종으로 알려진^{3,7,8)} *Escherichia coli*(similary index : 0.835), *Clostridium formicoaceticum*(similary index : 0.741), *C. acetobutyricum*(similary index : 0.713), *C. butyricum*(similary index : 0.672)등 4종을 선정하고 액체배지에⁶⁾ 대량 순수 배양하였다. 배양된 각 세균을 2000G에서 10분 원심분리하고 멸균수로 세척하고 현탁액을 멸균 희석수에 여러단계로 희석하여 고체배지에 접종하고 배양하였다. 이 중, 계수가 가능한 배지를 선택하고 계수하여 현탁액의 세균농도를 측정한 후 접종균주로 사용하였다.

잘 분쇄된 음식물쓰레기를 300 mL의 삼각 플라스크에 50 g씩 투입하여 증류수로 두 배 희석하고 가수분해 후 배양한 각 세균 현탁액을 반응조에 농도를 달리하여 접종하였고 반응조에 접종한 세균의 농도는 Table 4와 같다. 35°C에서 6일간 진탕배양 후 각 반응조의 VFAs 농도를 가스 크로마토그래피(GC M600D, Younglin, ROK)로 정량 분석하였다. 실험대조군의 실험조건은 세균을 접종하지 않은 것을 제외하고는 모두 동일한 상태이며 동시에 35°C에서 6일간 진탕 배양 후 VFAs를 정량 분석 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. pH와 VFA의 변화

Fig. 2에 산발효 공정 중 생성되는 VFAs 조성과 pH 변화를 나타내었다. 아세트산과 부틸산이 주요 발효 산물로 나타났고 프로피온산은 비교적 적은 양이 생성되었는데 이는 pH가 산발효 공정 동안 프로피온산 생산의 적정 pH 8-9를 크게 벗어났기 때문으로 판단된다. VFA는 초기에 급

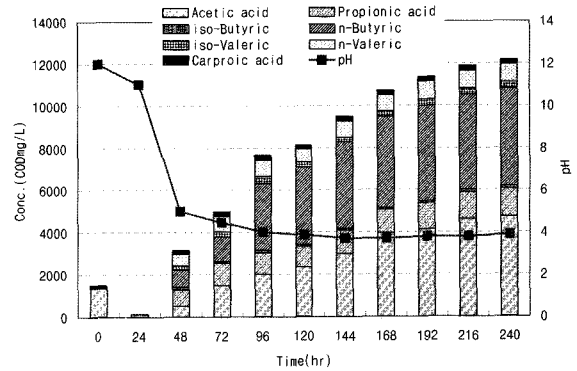


Fig. 2. The variations of VFAs concentration and pH.

격하게 증가하였으나 96-120시간 경과 후에는 증가가 둔화되었다. 이는 초기 곡류 성분에 의한 1차 산발효의 결과 축적된 유기산이 세균 대사의 저해 물질로 작용한 탓으로 판단된다.^{9,10)}

pH는 VFA가 증가하기 시작하는 24-48시간에 급격히 감소가 나타났다. 또한 96-168시간에 주된 산발효 산물이 아세트산으로 점차 변화되는 경향으로 나타나는 바 이는 한등이^{9,11)} 주장한 곡류성분에 의한 1차 산발효후 셀룰로즈 성분과 단백질 성분이 체류시간이 증가함에 따라 이용이 가능한 성분으로 분해(전환) 되었기 때문이며 두 번째 유기산의 증가는 야채류와 육류성분이 분해되었기 때문으로 생각된다.^{9,11)}

3.2. 기질의 성상 변화

Fig. 3과 Fig. 4는 산발효 공정 중 TCOD, SCOD, VS의 변화를 나타내었다.

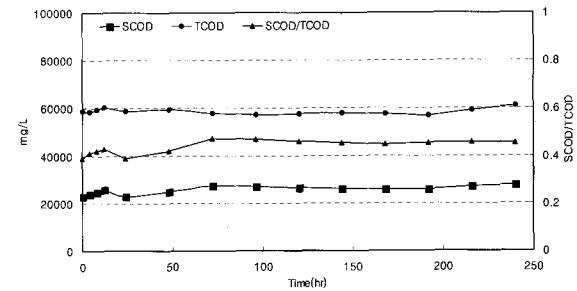


Fig. 3. The variations of TCOD, SCOD and the ratio of SCOD/TCOD.

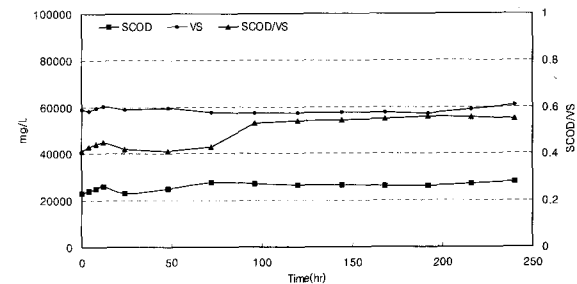


Fig. 4. The variations of SCOD, VS and the ratio of SCOD/VS.

Table 5. Identified bacteria species occurred dominantly in the fermentation reactor and their incubation medium

Isolation medium	Microorganisms
EC Medium	<i>Escherichia coli</i>
YEMEG agar	<i>Saccaromyces minuta</i>
Clostridium Medium	<i>Clostridium butyricum</i>
	<i>C. acetobutyricum</i>
	<i>C. formicoaceticum</i>
	<i>C. thermoaceticum</i>
	<i>C. bifermentans</i>
	<i>C. propionicum</i>
YESL Medium	<i>Propionibacterium arabinosum</i>
SF Broth	<i>Streptococcus faecalis</i>
	<i>Lactobacillus buchneri</i>
	<i>Bifidobacterium sp.</i>

3.3. 세균종의 구성

발효조에서 우점적으로 출현했던 세균의 종구성(=조성)은 Table 5와 같다.

VFAs가 크게 증가한 72시간과 92시간 운전 후 혐기성 배지에서 분리 동정된 우점 세균은 총 12 종인데 그 중 *Escherichia coli*와 *Clostridium spp.*의 경우 음식물쓰레기 산발효 공정 중 VFAs 생산에 우점종으로 관여하는 것으로 나타났다는데, 그 이유는 *E. coli*의 경우 통성혐기성 세균(facultative anaerobes)으로 산소의 유무에 관계없이 성장하므로 다른 세균보다 음식물쓰레기 발효에 유리하기 때문에 판단되며 *Clostridium spp.*은 자신이 생산하는 유기산과 낮은 pH에 대한 내성을 가지고 있기 때문에 판단된다.⁵⁾

3.4. 세균 접종에 의한 VFAs 생산능

3.4.1. 아세트산의 생산

분리 동정된 세균 중 아세트산 생산능이 우수하다고 판단되었던^{5,7,8)} *Escherichia coli*, *Clostridium formicoaceticum*과 부틸산 생산능이 우수하다고 판단되었던^{5,7,8)} *C. acetobutyricum*, *C. butyricum* 일정량을 각각 음식물쓰레기현탁액에 접종하여 이들의 VFAs 생성능을 조사한 결과는 다음과 같다.

Fig. 5는 *E. coli*를 접종하여 발효시켰을 때 아세트산과 부틸산의 생산능을 조사한 결과로 접종하지 않은 대조군의 경우 아세트산의 생성은 5,019 mg/L였지만 접종 개체수가 증가할수록 아세트산 생산이 증가하는 경향으로 나타났다. 아세트산은 TS(g) 당 6×10^8 cells를 접종하였을 때 8,176 mg/L로 최대 생산성을 나타내고 음식물쓰레기 TS(g) 당 287 mg의 아세트산이 생산되었다. 그러나 세균농도를 6×10^8 cells/gTS 이상으로 접종하였을 때는 오히려 생산능이 감소하는 것으로 나타났다. 부틸산은 대조군의 경우 2,408 mg/L 였지만 *E. coli*의 접종 세균수가 증가함에 따라 오히려 생산이 감소하였고 2×10^7 cells/gTS 이상 접종되었을 경우 생산되지 않았다. 이는 한정된 기질에 과다한 세균의 증식으로 상호 경쟁관계에 의한 저해작용이 일어났기 때문에 판단된다.

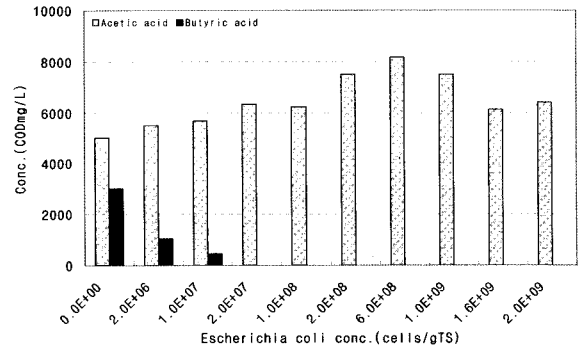


Fig. 5. The production of acetic acid by *Escherichia coli* inoculation.

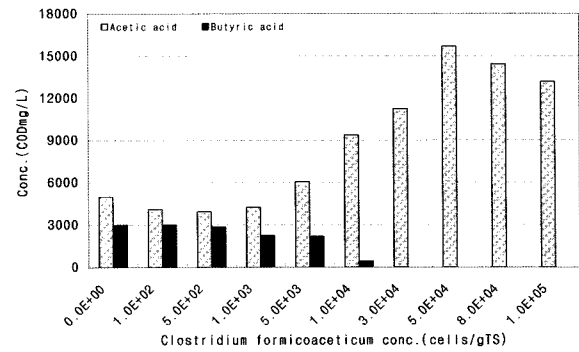


Fig. 6. The production of acetic and butyric acid by *Clostridium formicoaceticum* inoculation.

Fig. 6는 *Clostridium formicoaceticum*을 접종하여 발효시켰을 때 아세트산과 부틸산의 생산능을 도시한 결과이다. 아세트산은 *E. coli*를 접종하였을 때와 같이 접종량을 증가시켰을 때 생산량이 증가하였다. 즉 *C. formicoaceticum*의 경우는 개체수를 TS(g) 당 5×10^4 cells를 접종하였을 경우 최대인 15,715 mg/L까지 생산되었고 이를 환산하면 음식물쓰레기 TS(g) 당 551 mg이 생산된 셈이다.

그러나 5×10^4 cells/gTS 이상 접종하였을 경우에 *E. coli* 접종에서와 같이 저해 작용이 나타났다. 또한 부틸산의 경우 접종된 세균의 개체수가 증가할수록 생산량이 감소하였고 3×10^4 cells/gTS 이상 접종하였을 경우에 부틸산을 생산되지 않았다. 결과적으로 접종량이 증가할수록 부틸산의 생산은 감소하고 아세트산의 생산량은 증가하였는데 이는 음식물쓰레기가 다른 세균에 의해 이용되기 전에 *C. formicoaceticum*이 우점하면서 기질을 우선적으로 에너지원으로 활용하여 아세트산 생산 물질대사에 이용하기 때문으로 판단된다.

이 결과는 *E. coli*에 비해 약 2배 정도의 높은량(15,715 mg/L)이 생산되었는데 이는 음식물쓰레기 산발효에 *C. formicoaceticum*을 추가로 접종하면 부틸산의 생산은 억제되고 높은 양의 아세트산을 생산할 수 있는 가능성을 시사해 주는 결과이다.

3.4.2. 부틸산의 생산

*C. butyricum*을 산발효 초기에 접종한 결과는 Fig. 7과 같

다. 대조군의 경우 부틸산과 아세트산은 각각 3,008 mg/L와 5,019 mg/L가 생산되었지만 세균의 접종량이 증가할수록 부틸산과 아세트산의 생산이 증가하는 경향성으로 나타났다.

*C. butyricum*을 TS g 당 2.5×10^5 cells를 접종하였을 때 부틸산과 아세트산의 양은 각각 6,106 mg/L과 6,203 mg/L까지 증가하였고 음식물쓰레기 TS(g) 당 214 mg의 부틸산이 생산되었다. 그러나 그 이상의 세균을 접종하였을 때 두 유기산의 생산량 증가는 크지 않았다. 또한 아세트산은 대조군에 비하여 1000 mg/L의 생성 증가를 보인 반면 부틸산은 대조군에 비하여 2배 이상의(대조군: 3008 mg/L, *C. butyricum*: 6,106 mg/L) 생성 증가를 보였다.

*C. acetobutyricum*을 산발효 초기에 접종하여 아세트산과 부틸산의 농도 증가를 조사한 결과는 Fig. 8과 같다. 음식물쓰레기 TS(g) 당 1.5×10^5 cells를 접종하였을 때 부틸산은 7,261 mg/L까지 증가하였고 이는 환산하면 음식물쓰레기 TS(g) 당 254 mg의 부틸산이 생산된 셈이다. 그러나 그 이상 접종하였을 때 부틸산의 증가는 거의 일어나지 않았다. 또한 아세트산은 세균 접종량을 증가시켜도 증가하지 않았다. 결과적으로 *C. butyricum*과 *C. acetobutyricum*의 접종은 대조군에 비하여 2배 이상의 부틸산 증가를 가져왔고 특히 *C. acetobutyricum*의 접종은 부틸산 생산량을 향상시켰다. 최적 세균 접종량과 지방산 생산량은 Table 6과 같다. 본 실험의 결과는 신¹⁾ 등이 가수분해단계에서 NaOH 주입에 따른 산발효율 향상의 관한 연구와 비교하여 아세트산과 부틸산의 생산에서 2~3배 높은 생산량을 나타내었다.

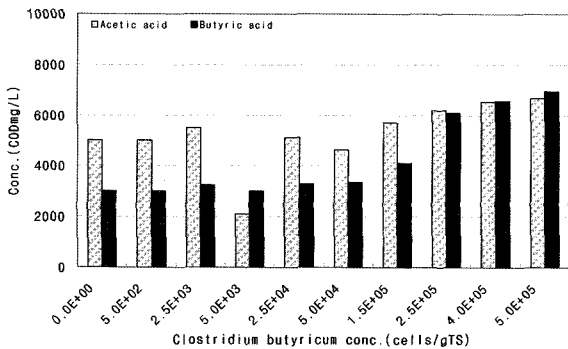


Fig. 7. The production of butyric and acetic acid by *Clostridium butyricum* inoculation.

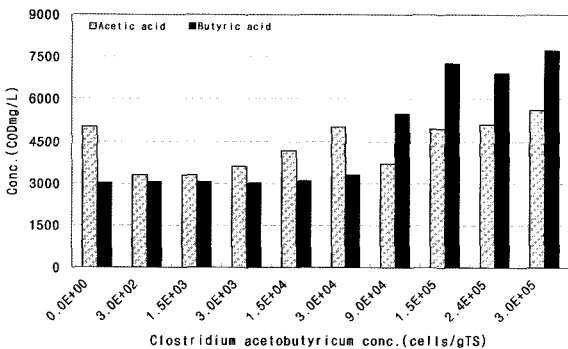


Fig. 8. The production of butyric and acetic acid by *Clostridium acetobutyricum* inoculation.

Table 6. VFAs production by optimum inoculation

VFAs	Microorganisms	Blank production (mg/L)	Optimum inoculation (cell/gTS)	Optimum production (mg/L)
Acetic acid	<i>Escherichia coli</i>	5,019	6×10^8	8,176
Acetic acid	<i>Clostridium formicoaceticum</i>	5,019	5×10^4	15,715
Butyric acid	<i>Clostridium butyricum</i>	3,008	2.5×10^5	6,106
Butyric acid	<i>Clostridium acetobutyricum</i>	3,008	1.5×10^5	7,261

4. 결론

1) 음식물쓰레기 유기산 발효공정에서 분리된 주요 세균 종은 *Escherichia coli*, *Saccaromyces minuta*, *Clostridium butyricum*, *C. acetobutyricum*, *C. formicoaceticum*, *C. thermoaceticum*, *C. bifementans*, *C. propionicum*, *Propionibacterium arabinosum*, *Streptococcus faecalis*, *Lactobacillus buchneri*, *Bifidobacterium* sp. 등 12종이었으며 *E. coli*, *Clostridium* spp. 등이 음식물쓰레기 산발효 공정중 VFAs 생산에 우점적으로 관여하는 것으로 나타났다.

2) *C. formicoaceticum*을 분쇄 음식물쓰레기 TS(g) 당 5×10^4 cells 접종하였을 때 아세트산이 15,715 mg/L이 생성되었고, 이는 환산하면 음식물쓰레기 TS(g) 당 551 mg이 생성된 셈이다.

3) *C. butyricum*을 분쇄 음식물쓰레기 TS(g) 당 2.5×10^5 cells 접종하였을 때 6,106 mg/L, TS(g) 당 214 mg을 생성하였고 *C. acetobutyricum*을 1.5×10^5 cells/gTS 접종하였을 때 7,261 mg/L이 생성되었고, 이는 환산하면 음식물쓰레기 TS(g) 당 254 mg의 부틸산이 생성된 셈이다.

결론적으로 음식물쓰레기를 이용해 아세트산 효율을 높이려면 *C. formicoaceticum*을 접종시키고 이들의 우점화를 유도하면 아세트산의 생산효율이 증가될것으로 판단된다. 또한 부틸산의 경우, *C. butyricum*이나 *C. acetobutyricum*을 접종시키고 이들의 우점화를 유도하면 부틸산의 생산 효율이 증가될 것으로 판단된다. 본 연구를 통하여 음식물쓰레기 산발효 공정 중 해당 유기산 생성이 우수한 세균을 추가시켜 주면 생물증대(bioaugmentation)⁴⁾ 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 음식물쓰레기라는 기질은 균질하지 못하여 기질 당 산물의 생산량이 적은 문제점이 있었다. 향후 효율향상을 위한 발효조건을 정립하기위한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2001년도 서울시립대학교 연구비 지원에 의해 이루어 졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 신창민, "음식물쓰레기 발효산물을 이용한 하수 고도 처리 특성 연구," 서울시립대학교 대학원 석사학위논문(2001).
2. 이백석, 윤현희, 김은기, "음식물쓰레기를 이용한 젖산 생산의 최적화," *Korean J. Biotechnol. Bioeng.*, **23**, 178~183(2001).
3. 권미경, 정용준, 이민재, 도중호, 민경석, "음식물 쓰레기와 하수 일차 슬러지의 혐기성 산 발효," 대한환경공학회 2001 춘계학술연구발표회 논문집(2001).
4. Gabriel Bitton, John Wiley and Sons, Encyclopedia of Environmental Microbiology, Inc.,(2002).
5. Anthony Gaudy, Elizabeth Gaudy, Microbiology for environmental scientists and engineers, McGraw-Hill Book Company, 523~521(1980).
6. Ronald M. Atlas, Handbook of microbiological media, CRC Press(2000).
7. Ravinder, T., Swamy, M. V., Seenayya, G., Gopal, R., "Clostridium lentocellum SG6 - a potential organism for fermentation of cellulose to acetic acid," *Bioresource Technol.*, **80**, 171~177(2001).
8. Huang Yu Ling, Mann Klaus, Novak Jonathan M., Yang Shang-Tian, "Acetic acid production from fructose by Clostridium formicoaceticum immobilized in a fibrous-bed bioreactor," *American Institute of Chemical Engineers*, **14**, 800~806(1998).
9. 신항식, 한선기, 송영채, 이채영 "음식물쓰레기를 처리하는 산발효조의 효율향상 연구(I) : 식종균의 효과," 폐기물자원화, **8**(3), 112~117(2000).
10. Zeotemeyer, R. J., Matthijsen, A. J. C. M., Cohen, A., and Boelhouwer, C., "Product inhibition in the acid forming stage of the anaerobic digestion process," *Water Res.*, **16**, 633~639(2001).
11. 한선기, 신항식, 김상현, 김현우 "음식물쓰레기의 구성성분에 따른 산발효조의 거동특성," *J. of KOWREC*, **10**(2), 65~70(2002).
12. 김병홍, 미생물생리학, 제2개정판, 아카데미서적(2000).
13. 김창한, 일반 미생물학, 서울, 237~279(2000).
14. 유명진, 환경화학, 동화기술, 서울, 154~163(1991).
15. Raina, M. Maier, Ian L. Pepper, Charles P. Gerba, Environmental Microbiology, Academic Press(2000).
16. Richard E. Speece, Anaerobic biotechnology, Archac Press (1996).
17. 矢田美恵子 등, 廢棄物の Bioconversion(有機性廢棄物の Recycle), 地人書館(1996).