

단상 혐기성 소화공정에서의 동력학적 연구

조 관 형 · 조 영 태*
청운대학교 토목환경공학과 · 충청대학 환경공학과*
(1999년 8월 11일 접수)

A Study on Kinetics in One-Phase Anaerobic Digestion

Kwan-Hyung Jo and Young-Tai Cho*
Dept. of Civil and Environmental Engineering, Chungwoon University
*Dept. of Environmental Engineering, Chungcheong College
(Manuscript received 11 August, 1999)

Kinetic data for the acid phase anaerobic digestion were presented in this study and the constants were determined with acid production rate and gas production rate. Process models based on continuous culture theory were used to describe the characteristics of the acid forming microorganisms and to enable further development toward utilization of the process in a more rational manner. Acid phase digestion can be separated with appropriate manipulation of hydraulic retention time in anaerobic digestion. Kinetic analysis of data from the various hydraulic retention times using a phase specific model obtained from the acid phase indicated maximum specific growth rate of 0.40/h, saturation constant of 2,000mgCOD/ℓ, yield coefficient of 0.35 mgVSS/mgCOD utilized and decay constant of 0.04/h for the acid production rate. Similar analysis of data for the gas production rate indicated maximum specific growth rate of 0.003/h, saturation constant of 2,200mgCOD/ℓ, yield coefficient of 0.0035 mgVSS/mgCOD utilized and decay constant of 0.06/h.

Key words : kinetics, anaerobic digestion, acid phase, volatile acid

1. 서 론

일반적으로 도시하수나 각종 유기성폐수를 처리하는 방법으로서 호기성 미생물을 이용한 다양한 생물학적 처리법들이 이용되고 있다. 이들 처리법에서는 미생물의 증식이나 생명유지를 위해 분자상 산소가 필요하다. 이들 처리시설의 운전에는 필요한 동력의 대부분은 액중에 산소를 공급하기 위한 폭기에 쓰여지고 있다. 활성슬러지법의 경우 하수처리장에서 소요되는 전체에너지의 약 37%는 산소공급에 사용되고 있다. 또한 호기성 처리법은 필연적으로 증식된 미생물이 슬러지로써 대량 발생한다. 슬러지는 그대로는 탈수처리가 곤란하기 때문에 약품용집, 열처리 혹은 냉동처리 등의 전처리가 필요하다. 하수처리장에서 슬러지 처리에 소요되는 에너지는 산소공급에 소요되는 에너지보다 조금 많은 약 38%이다. 이것은 처리장의 운전관리비의 증가로 직결되므로, 에너지 소비가 적은 처리방법이 요구되는데 대체프로세스의 하나로서 혐기성 미생물을 이용한 하폐수의 직접처리 즉, 혐기성소화 처리법이 오래 전부터 주목을 끌고 있다.

혐기성소화처리는 유기물을 메탄, 탄산가스, 암모니아 등으로 산소없이 안정화시키는 처리법이다. 혐기성 소화처리법의 장점으로서 산소공급의 불필요, 최종반응생

성물로 발생하는 메탄가스의 에너지원으로서의 재 이용, 최종 소화슬러지의 양이 적어서 이의 처리 및 처분에 소요되는 경비의 절감, 최종 소화슬러지의 토양개량제로의 이용, 그리고 여러 가지 병원성 미생물에 대한 높은 소독효과 등을 들 수 있으며, 위에 열거한 장점들은 처리장 운영경비의 절감으로 귀결될 수 있다. 그러나 호기성 처리법에 비해 소화실패(failure)의 위험이 크고, 일단 소화실패가 발생하면 이의 회복이 어려운 점이 있고, 반응속도가 호기성 소화에 비해 매우 느려 대용량의 시설이 필요하므로 초기투자비가 크며, 최종유출수의 유기물 농도가 비교적 높은 처리상의 난점이 있다. 최근에는 혐기성 생물막법을 이용하여 생활하수, 축산폐수 및 산업폐수를 상온에서 짧은 수리학적 체류시간으로 처리가 가능한 것이 보고되었다.¹⁾ 이와 함께 짧은 수리학적 체류시간에서도 많은 종류의 혐기성 미생물의 부착고정, 자기조립 및 다량의 미생물을 혐기성소화조에 유지시키려는 연구가 진행되고 있다.²⁻⁴⁾

혐기성 소화는 크게 산생성단계와 메탄생성단계로 구분되는데 산생성균의 반응산물인 휘발성산은 메탄생성균의 기질로 작용하지만 고농도로 존재할 때 메탄생성균의 성장을 저해하는 요인으로 작용하기 때문에 두 반응

사이의 균형유지가 혐기성 소화에서 가장 어려운 점이라 할 수 있다. 이러한 문제점들을 개선하는 여러 가지 대안들이 제시되고 있는데, 그 중에서 대표적인 것이 산생성반응과 메탄생성반응을 분리하는 2단(two-phase) 소화이다.

혐기성처리시 미생물의 특성조사와 합리적인 공정설계를 위해서는 실험에 의한 동력학적 연구가 필요한데, 이들 미생물과 기질에 관한 동력학적 연구가 Lawrence와 McCarty⁵⁾와 Ghosh 등⁶⁾에 의하여 인공시료와 실제 슬러지 등을 이용하여 수행된 바 있으나 그 수가 적을뿐더러 동력학 상수들의 차이가 매우 큰 경향을 나타내고 있다. 대체적으로 동력학 상수를 추정하기 위해 기질 제거율 데이터를 이용하는 것이 많이 보고되어 왔지만, 본 연구에서는 휘발산 및 가스생성 반응시의 수학적 기본모델을 수립하여 동력학 상수들을 추정하는 것이 본 연구의 특이성이라 할 수 있으며, 이를 위해 인공기질을 이용하여 산발효시의 동력학 상수들을 추정하여 기존의 결과들과 비교 및 검토하고자 한다.

2. 휘발산 및 가스생성 동력학 모델

혐기성소화공정에서 용존성 유기물질의 제거는 미생물의 대사작용에 의존하는 다른 생물학적 처리공정과 유사하다. 그러므로 산생성반응과 메탄생성반응에 관여하는 미생물군의 처리특성을 설명하기 위해 비슷한 속도방정식이 개발될 수 있었다.

산생성균은 비교적 높은 유기물질농도에 의하여 영향을 받지 않으므로 그 비성장속도를 Monod식으로 표시할 수 있다. 이때의 성장제한기질은 휘발산에 의한 COD를 제외한 생물학적 분해가능 COD로 표시될 수 있다. 따라서 산생성균에 대한 비성장속도식은 다음과 같다.

$$\mu = \frac{\mu_m}{1 + \frac{K_s}{S}} \tag{1}$$

여기서, μ = 비성장속도 (1/h)
 μ_m = 최대비성장속도 (1/h)
 K_s = 반속도상수 (mg/l)
 S = 기질농도 (mg/l)

산생성 혐기성 소화조를 시간에 따른 용적의 변화가 없는 연속류형 완전혼합 반응조라고 가정하고 산생성반응조에 관계된 미생물에 대한 물질수지식은 다음과 같다.

$$V \left(\frac{dX}{dt} \right) = QX_0 + RQX_R + V \left(\frac{dX}{dt} \right)_{growth} - V \left(\frac{dX}{dt} \right)_{decay} - (1 + R)QX \tag{2}$$

여기서, V = 반응조 용적 (l)
 X_0 = 유입수내 산생성균농도 (mg/l)
 X = 처리수내 산생성균농도 (mg/l)
 X_R = 반송수내 산생성균농도 (mg/l)
 Q = 유입유량 (l/h)
 R = 반송비

또한 산생성반응조에 관계된 기질에 대한 물질수지식은 다음과 같다.

$$\left(\frac{dS}{dt} \right) = QS_0 + RQS - V \left(\frac{dS}{dt} \right)_{growth\&decay} - (1 + R)QS \tag{3}$$

여기서, S_0 = 유입수내 기질농도 (mg/l)
 S = 처리수내 기질농도 (mg/l)

특히 휘발산 농도, 기질 제거율, 휘발산 생성율, 가스발생율에 대한 물질수지로부터 동력학 상수를 구하는 식은 다음과 같다.

첫째 COD제거량으로부터 휘발산으로의 전환율(ρ)은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\rho V \frac{k X S}{K_s + S} = Q(A - A_0) \tag{4}$$

여기서, $\rho = \frac{\text{휘발산생성량}}{\text{COD제거량}} = \frac{A - A_0}{S_0 - S}$

$$k = \frac{\mu_m}{Y}$$

Y = 미생물 생성계수

A_0 = 유입수내 휘발산 농도 (mg/l)

A = 유출수내 휘발산 농도 (mg/l)

위 식을 수리학적 체류시간(θ)로 나타내어 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{X\theta}{A - A_0} = \frac{K_s}{\rho k} \frac{1}{S} + \frac{1}{\rho k} \tag{5}$$

두번째로, 미생물수지로부터 기질제거속도(r_s)를 구하는 식은 다음과 같다.

$$-r_s = \frac{Q}{V} (S_0 - S) = \frac{Q}{V} \frac{(A - A_0)}{\rho} \tag{6}$$

식(6)을 미생물생성계수(Y)와 미생물사멸계수(k_d)에 관한 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$QX = V \left(Y \frac{Q}{V} \frac{A - A_0}{\rho} - k_d \cdot X \right) \tag{7}$$

$$\frac{1}{\theta} = \frac{Y}{\rho} \frac{A - A_0}{X\theta} - k_d \tag{8}$$

세번째로, 기질과 가스발생율에 대한 물질수지로부터 동력학 상수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\omega V \frac{k X S}{K_s + S} = G \tag{9}$$

여기서, $\omega = \frac{\text{가스발생량}}{\text{COD제거량}}$

G = 가스발생율 (ml/h)

위 식을 재정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{XV}{G} = \frac{K_s}{\omega k} \frac{1}{S} + \frac{1}{\omega k} \tag{10}$$

기질제거속도(r_s)를 가스발생율에 대해 표현하면 다음의 식과 같다.

$$-r_s = \frac{Q}{V} (S_0 - S) = \frac{G}{\omega V} \tag{11}$$

식(11)을 미생물생성계수(Y)와 미생물사멸계수(k_d)에 관한 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$QX = V \left(Y \frac{G}{\omega V} - k_d \cdot X \right) \tag{12}$$

$$\frac{1}{\theta} = \frac{Y}{\omega} \frac{G}{XV} - k_d \tag{13}$$

휘발산 농도와 기질제거율에 관한 물질수지와 미생물수지로부터 동력학 상수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$-r_s = \frac{kXS}{K_s + S} = \frac{S_0 - S}{\theta} = A - \frac{A_0}{\rho\theta} \quad (14)$$

위 식에서 유출수내 기질농도는 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = S_0 - A - \frac{A_0}{\rho} \quad (15)$$

식(15)를 식(14)에 대입하여 정리하면,

$$-r_s = \frac{kX(\rho S_0 + A_0 - A)}{\rho K_s + \rho S_0 + A_0 - A} = \frac{S_0 - S}{\theta} \quad (16)$$

$$\frac{X\theta}{S_0 - S} = \frac{K_s}{k} \frac{1}{\rho S_0 + A_0 - A} + \frac{1}{k} \quad (17)$$

$$\frac{1}{\theta} = Y \frac{S_0 - S}{X\theta} - k_d \quad (18)$$

휘발산 농도와 휘발산생성율에 대한 물질수지식과 미생물수지식으로부터 동력학 상수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$-r_s = \frac{kXS}{K_s + S} = \frac{A - A_0}{\rho\theta} \quad (19)$$

위 식에서 유출수내 미처리 기질농도는 식(15)와 같이 나타낼 수 있는데, 식(15)를 식(19)에 대입하여 정리하면,

$$-r_s = \frac{kX(\rho S_0 + A_0 - A)}{\rho K_s + \rho S_0 + A_0 - A} = \frac{A - A_0}{\rho\theta} \quad (20)$$

$$\frac{X\theta}{A - A_0} = \frac{K_s}{k} \frac{1}{\rho S_0 + A_0 - A} + \frac{1}{\rho k} \quad (21)$$

$$\frac{1}{\theta} = \frac{Y}{\rho} \frac{A - A_0}{X\theta} - k_d \quad (22)$$

가스발생율과 휘발산농도에 대한 물질수지식과 미생물수지식으로부터 동력학 상수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$G = \omega V \frac{kX(\rho S_0 + A_0 - A)}{\rho K_s + \rho S_0 + A_0 - A} \quad (23)$$

$$\frac{VX}{G} = \frac{K_s}{\omega k} \frac{1}{\rho S_0 + A_0 - A} + \frac{1}{\omega k} \quad (24)$$

$$\frac{1}{\theta} = \frac{Y}{\omega} \frac{G}{VX} - k_d \quad (25)$$

위에서 유도한 식들로부터 휘발산농도, 기질제거율, 휘발산생성율, 그리고 가스발생율에 관한 동력학 상수들을 구할 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1. 실험장치

본 연구에 사용된 혐기성 소화조는 Fig. 1에 표시되어 있다. 반응조는 유효용량 3.2ℓ의 아크릴제 원통으로 제작하였고, 외부와의 공기 유출입을 완전히 차단하였으며 날개가 부착된 기계식 혼합기를 이용하여 혼합이 양호하게 이루어지고 미생물플럭에 전단력을 주지 않는 50rpm으로 소화조 혼합액을 교반하였다. 인공기질은 peristaltic 펌프를 설치하여 연속적으로 주입하였다. 소화조의 온도는 온도감지센서, 비례제어식 온도조절기와 water bath incubator를 사용하여 항상 35±1℃를 유지하였다. 가스 포집기는 발생된 소화가스의 용해를 방지하기 위하여 포화식염수에 황산을 가하여 하부용기에 채웠으며, 부상식 상부의 무게를 보정하기 위하여 동일무게의 counter weight를 설치하였다.

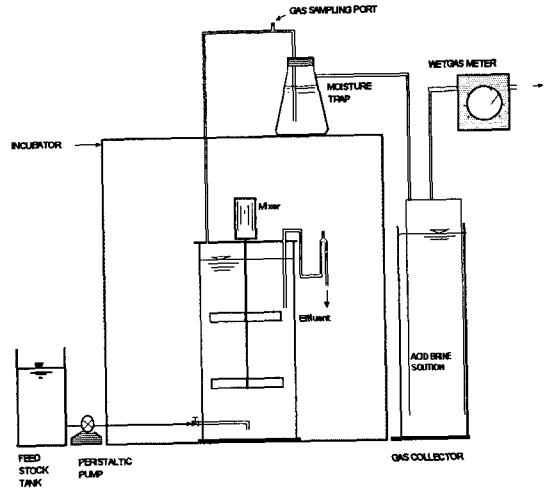


Fig. 1. Schematic diagram of the anaerobic digester.

3.2. 실험방법

본 연구에 사용된 기질은 인공기질을 사용하였으며, 탄소원은 조성변화를 최소화하기 위하여 4℃로 보관하였고 유입직전에 온도영향을 줄이기 위해 35℃ 부근까지 가온하여 주입하였다. 영양염류는 상온에 보관하여 탄소원과 별도로 유입시켰다. 실험에 사용된 인공기질 중의 탄소원과 영양염류의 조성은 Table 1과 같다. 기질의 COD는 이론치로 4g/ℓ로 하였으며, 질소와 인은 C : N : P가 20 : 3 : 1이 되도록 조정하였다. 또한 vitamin source로 yeast와 peptone을 미량 첨가하였으며, 반응시 pH의 급격한 변화를 막기 위하여 NaHCO₃를 첨가하였다. 유입기질의 pH는 7.6으로 조정하였고, 알칼리도는 CaCO₃로써 3,500mg/ℓ로 조정하였다.

혐기성 소화조는 35℃의 중온으로 운전하였으며, 수리학적 체류시간(hydraulic retention time, HRT)은 12, 18, 24, 그리고 48시간으로 고정하여 4조의 반응조를 동시에 운전하였다. 식품물질로는 하수처리장의 혐기성 소화를 거친 슬러지를 glass wool로 거른 후 완전혼합하여 각각의 반응조에 주입하였다. 반응조에 넣은 후 새로운 환경에 적응하도록 3일간 공회전을 하였다. 그 후 인공기질에 적응시키기 위하여 35℃에서 COD 4g/ℓ, HRT 2일의 부하로 반연속식으로 30일간 운전하여 본실험에 들어가기 전에 반응조 내의 불활성 고형물이 최대한 배제되도록 하였다. 이후, 설정 수리학적 체류시간으로 반응조를 운전하여 pH, COD, 총휘발산 농도, 휘발성부유물질 농도, 알칼리도, 소화가스 발생량 및 가스조성 등 소화조의 운전결과가 동일하게 유지된다고 판단되었을 때 정상상태로 간주하고 data 수집을 하였다. 반응조들의 처리효율을 평가하기 위하여 행해진 모든 분석은 미국공중보건협회⁷⁾의 표준시험법에 따라 행하였다. 특히 휘발산농도는 증류후적정법(direct distillation method)⁷⁾으로 측정하였고, 가스조성은 Orsat법⁷⁾으로 분석하였다.

Table 1. Chemical composition of synthetic substrate

CHEMICALS	CONCENTRATION(g/ℓ)
GLUCOSE(MONOHYDRATE)	4.0
YEAST EXTRACT	0.03
PEPTONE	0.002
NaHCO ₃	4.2
NH ₄ Cl	0.94
KH ₂ PO ₄	0.25
K ₂ HPO ₄	0.12

4. 결과 및 고찰

앞에서 제시한 동력학 모델에 기초하여 혐기성 소화 공정에서 산발효과정에 대한 동력학적 분석을 한 결과는 다음과 같다. 여기서 소화조의 유출수에 잔류하는 기질의 농도는 유출수의 용존성 COD와 휘발산 농도로부터 환산한 COD(COD_{VA})의 차이로 나타내었다. 또한 유출수의 COD_{VA}를 제외한 용존성 COD는 산생성균의 기질로 이용 가능하다고 가정하였다. 앞에서 유도한 동력학 모델에 관한 선형관계식으로부터 회귀분석을 하여 산생성 반응에 관한 동력학 상수들을 구하였다. 산생성단계에서 사용된 기질을 이용하여 처리온도 35℃에서 수리학적체류시간을 각각 12, 18, 24, 48시간으로 운전하여 정상상태에 도달하였을 때의 분석결과는 Table 2와 같다.

Table 2에 나타낸바와 같이 휘발산에 의한 COD 농도가 1,700~2,000mg/ℓ 수준으로 pH의 저하와 더불어 반응조로부터 생성되는 CO₂ 가스는 유기물의 분해과정에서 생성될 뿐만 아니라 pH가 낮은 조건에서 중탄산이온(HCO₃⁻)으로부터 H₂CO₃가 생성되고 다시 이것으로부터 CO₂가스가 화학적평형에 의해서 생성될 수 있다. 실험결과에서 볼 수 있듯이 반응조 내의 휘발산에 의한 COD 농도가 증가함에 따라 CO₂ 함유율이 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 수리학적체류시간이 12시간인 반응조의 휘발산에 의한 COD는 2,000mg/ℓ를 약간 상회하였고, 휘발성고형물농도, 가스발생속도 및 알칼리도 등이 매우 낮은 수준을 유지하였으나 치명적인 wash-out 현상은 관찰되지 않았다. 이들 결과로부터 휘발산에 의한 COD가 증가함에 따라 가스발생량 및 COD 제거율이 감소함으로써 휘발산 생성물에 의한 저해 현상을 증명하고 있다. 또한 알칼리도가 높을수록 휘발산 생성물에 의한 저해를 완화시킬 수 있는 능력이 큰 것으로 보인다. 위의 Table 2와 Fig. 2 및 3에 나타내었듯이 기질제거율, 휘발산 생성율, 가스발생율 및 휘발성고형물 농도 사이에는 서로 밀접한 상관관계를 보이는 것은 기질제거율과 휘발산 및 가스의 생성율이 모두 미생물에 의한 생물학적 반응의 결과이기 때문이다. 본 실험에 적용된 수리학적 체류시간 내에서는 수리학적 체류시간이 증가할수록 휘발산 COD의 전환율이 증가되었다. Fig. 2와 3은 이들 사이에 서로 높은 선형상관성이 존재함을 보여주고 있어 흥미로운데, 산생성균이 글루코스를 섭취하여 휘발산, CO₂ 및 H₂로 분해함으로써 기질소비율(COD 소비율)과 휘

발산생성을 그리고 가스발생율 사이에는 일정한 비례관계가 성립되는 것으로 추정된다. 즉 발효균의 비성장속도는 감소하고 휘발성고형물 농도도 감소하게 된다. 이것은 기질소비율을 저하시킴으로서 반응조 내의 기질농도가 높아지는 결과를 초래하는데 미생물이 Monod식을 따른다고 가정하면 기질농도가 높아짐에 따라 비성장속도는 다시 증가하게 된다.

Table 2. Experimental results of acid-phase anaerobic fermentation

HRT(Hydraulic Retention Time), hour	12	18	24	48	
Influent	COD, mg/ℓ	3960	4142	4065	4082
	Alkalinity, mg/ℓ as CaCO ₃	2389	2394	2320	2403
Effluent	COD	3160	2920	2680	2350
	Alkalinity, mg/ℓ as CaCO ₃	1320	2350	1400	1450
Gas	Volatile acid COD, mg/ℓ	2034	1942	1856	1750
	Volatile Suspended Solids, mg/ℓ	370	420	520	750
	pH	5.80	6.22	6.25	6.36
	Production Rate, ml/h	30	60	80	135
	CO ₂ , %	20	41	45	35

실험을 통하여 얻은 결과로부터 기질제거율과 산생성율 및 가스발생율 사이의 관계를 Fig. 2와 3에 나타내었으며, 여기서 식(1) 및 식(6)에 나타낸 ρ와 ω 값을 구한 결과는 각각 0.58 mgVA/mgCOD와 0.14mlGAS/mgCOD이었다. 이 결과치를 비교하여 보면 COD로부터 휘발산으로의 전환율이 가스로 전환되는 율보다 약 4배정도 큼을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 본 실험조건은 산발효과정에 있었음을 보여주고 있다.

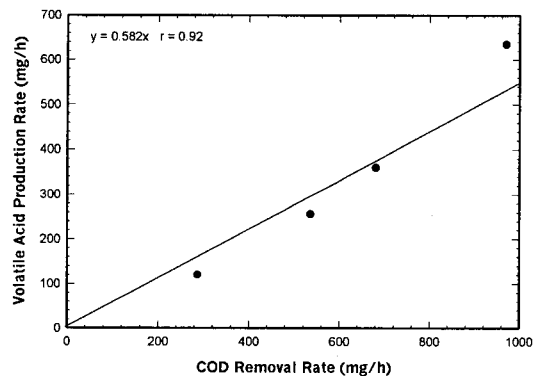


Fig. 2. The relationship between COD removal rate and volatile acid production rate.

또한 Fig. 3에서는 산생성율과 가스발생율간의 관계를 나타내고 있는데 식(20)에서 제시한 ω/ρ 값을 구한 결과치는 0.24mlGAS/mgVA이었다. 이 값을 ω값(0.14ml GAS/mgCOD)과 비교하여 보면 COD로부터 직접 가스로 전환되는 율보다 휘발산에 의하여 가스로 전환되는 율이

크다는 것을 알 수 있었다. 이것은 다른 연구자들의 연구결과에서 알 수 있듯이, 유기물이 휘발산으로 전환된 후 다시 가스로 최종분해 된다는 것을 입증하고 있다.

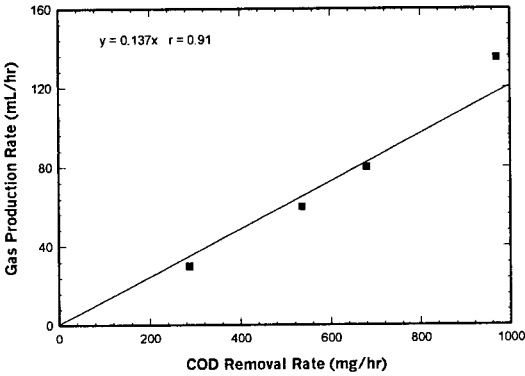


Fig. 3. The relationship between COD removal rate and gas production rate.

위에서 구한 결과들로부터 산생성을 기준에 대한 동력학 상수를 Fig. 4와 6에 나타내었으며, 가스발생율에 대한 동력학 상수는 Fig. 5와 7에 나타내었고, 이들을 요약한 것이 Table 2이다.

Table 2. Comparison of kinetic constants between acid production rate basis and gas production rate basis for this study, and between this study and other references which used glucose as substrate

Basis	Temp. (°C)	μ_m (1/h)	K_s (mgCOD/l)	Y (mg/mg)	K_d (1/h)
Acid production rate*	35	0.40	2,000	0.35	0.04
Gas production rate*	35	0.003	2,200	0.003	0.06
Ghosh ⁹⁾	36.5	1.25	23 (as glucose)	0.17	6.14
Massey and Pohland ⁹⁾	37	2.7	2,583	0.31	1.56
Noike et al. ¹⁰⁾	35	2.76	70.6	-	-
Andrews and Pearson ¹¹⁾	38	≥ 0.005	-	0.54	0.87
Ghosh and Klass ¹²⁾	35	0.3	400	0.15	-

* Results of this study.

Table 2에 나타낸 산생성율과 가스발생율 기준으로부터 구한 동력학 상수들을 포도당을 기질로 한 다른 연구자들의 산생성 혐기성소화 결과와 비교하였을 때, 최대비성장속도(μ_m)는 0.05~2.7/h 이었는데 본 연구에서 구한 값은 이들 값의 중간부분에 해당되며, Ghosh와 Pohland¹³⁾의 1.25/h와 Massey와 Pohland⁹⁾의 2.7/h의 값보다는 큰 수준이었다. 참고로 메탄발효시의 최대비성장속도(μ_m)는 0.56/h, 혐기성소화시에는 0.003~0.02/h, 호기성처리시에는 0.03~0.05/h이었는데, 본 연구에서 구한 최대비성장속도(μ_m) 값은 산산성을 기준으로 구한 경우 Ghosh와

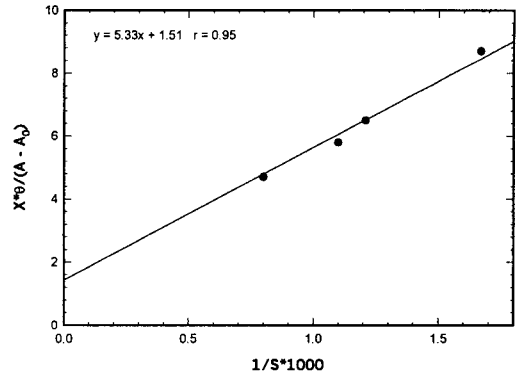


Fig. 4. Determination of the maximum specific growth rate and half-saturation constant based on the acid production rate.

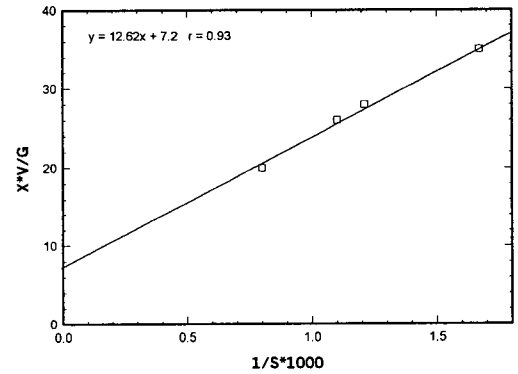


Fig. 5. Determination of the maximum specific growth rate and half-saturation constant based on the gas production rate.

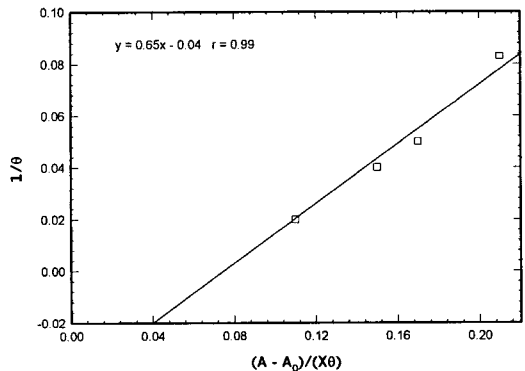


Fig. 6. Determination of the yield coefficient and decay rate constant based on the acid production rate.

Klass¹²⁾의 연구결과와 유사하였고, 가스생성율 기준으로 구한 최대비성장속도(μ_m)값은 Andrews와 Pearson¹¹⁾의 결과치와 유사하였다. 반속도상수(K_s)는 Massey와 Pohland⁹⁾

가 제시한 값보다는 작은 수준이고 다른 연구자들의 값 보다는 훨씬 높은 수준이었다. 또한 본 연구 결과는 일반적인 메탄소화시의 동력학 상수와 비교해 볼 때 전체적으로 큰 경향이 있었으나 혐기성소화시의 동력학 상수에 비하여서는 반속도상수(K_s) 값이 대체적으로 작은 수준이었다. 그러나 호기성처리에서의 반속도상수(K_s) 값 보다는 훨씬 큰 수준이었다.

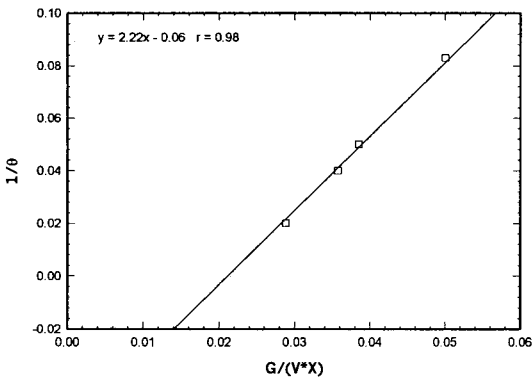


Fig. 7. Determination of the yield coefficient and decay rate constant based on the gas production rate.

5. 결 론

인공기질을 대상으로 단상 혐기성 소화공정에 의한 산생성 소화시, 휘발산의 농도와 가스발생량을 기초로 하여 동력학적 모델을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 휘발산의 생성율과 가스발생율과의 관계를 묘사하는 정상상태 모델식의 선형화가 가능하였다.
- 2) 기질제거율, 휘발산 생성율 및 가스발생율간에는 서로 일정한 상관관계가 있다.
- 3) 인공기질의 중온소화시 단위제거유기물질 그램당 휘발산생성량은 0.58g, 가스발생량은 0.14 l 이었고, 단위제거휘발산 그램당 가스발생량은 0.24 l 이었다.
- 4) 산생성율을 기준으로 하여 구한 최대비성장속도(μ_m), 미생물 사멸계수(k_d), 미생물생성계수(Y), 반속도상수(K_s)는 각각 0.40/h, 0.04/h, 0.35mgVA/mgCOD, 2,000mg/l 이었고, 가스발생율을 기준으로 구한 최대비성장속도(μ_m), 미생물 사멸계수(k_d), 미생물생성계수(Y), 반속도상수(K_s)는 0.003/h, 0.04/h, 0.003mg/mg, 2,200mg/l 이었다.

감사의 글

이 논문은 1998년 청운대학교 학술조성 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) Urano, K., M. Tomita, and T. Kameya, 1991, Recent researches and developments on anaerobic wastewater treatment: Biofilm reactor, *Water and Wastes*, 33(12), 1025~1040.
- 2) Bernet, N., N. Delgenes, and R. Moletta, 1996, Denitrification by anaerobic sludge in piggery wastewater, *Environmental Technology*, 17, 293~300.
- 3) Van Den Berg, L., K. J. Kennedy, and R. Samson, 1985, Anaerobic downflow stationary fixed film reactor: Performance under steady state and non-steady state conditions, *Water Sci. Technol.*, 17(10), 89~102.
- 4) Yong, H. W., and J. Young, 1988, Hydraulic characteristics of upflow anaerobic filters, *J. Env. Eng., ASCE*, 114(3), 621~638.
- 5) Lawrence, A. W., and P. L. McCarty, 1969, Kinetics of methane fermentation in anaerobic fermentation, *J.WPCF*, 41(2), R1~R17.
- 6) Ghosh, S., J. R. Conrad, and D. L. Klass, 1975, Anaerobic acidogenesis of waste water sludge, *J.WPCF*, 47(1), 1126~1140.
- 7) APHA, AWWA, and WEF, 1995, Standard methods for the examination of water and wastewater (19th ed.), Washington, D. C.
- 8) Ghosh, S., 1971, Kinetics of substrate assimilation and product formation in anaerobic mixed culture system, ACS, 162nd Natl. Meeting, Washington, D.C.
- 9) Massey, M. L., and F. G. Pohland, 1978, Phase separation of anaerobic stabilization by kinetic control, *J.WPCF*, 50, 2204~2222.
- 10) Noike, T., G. Endo, J. E. Chang, and J. I. Yaguchi, 1985, Characteristics of carbohydrate degradation and the rate-limiting step in anaerobic digestion, *Biotech. Bioeng.*, XXVII, 1482~1489.
- 11) Ghosh, S., and F. G. Pohland, 1974, Kinetics of substrate assimilation and product formation in anaerobic digestion, *J.WPCF*, 45(4), 748~759.
- 12) Ghosh, S., and D. L. Klass, 1978, Two-phase anaerobic digestion, *Process Biochem.*, April, 15~24.
- 13) Andrews, J. F., and E. A. Pearson, 1965, Kinetics and characteristics of volatile acid production in anaerobic fermentation process, *Int.J.Air & Water Pollution*, 9, 439~461.