

바이오가스와 균체단백질 생산을 위한 유기질 폐기물의 미생물 전환 연구

권 순 찬·김 진 상
부산수산대학교 자연과학대학 미생물학과

Microbial Conversion of Organic Wastes for Production of Biogas and Algal Biomass

Soon Chan Kwon and Jihn Sang Kim

Department of Microbiology, College of Natural Science,
National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

ABSTRACT

Raw cow manure was treated by a 4-step integrated system with phase separation anaerobic digestion and algal culture. When the first methane fermentation was performed by the effluent from the acid fermenter with retention time of 4 days, the average biogas production rate was 977ml/l culture/day. Gas productivity compared to conventional single-stage anaerobic digestion increased up to 31.4 %. As the 2nd methane fermenter was fed by the effluent from the first methane fermenter with 4 days of retention time, average amount of 428ml/l culture/day of biogas was produced. The reduction rate of COD in the effluent from the acid fermenter, the 1st and the 2nd methane fermenter were 71.8 %, 42.6% and 24.0% respectively. Finally, we examined algal treatment process for the effluent from the 2nd methane fermenter. A semi-continuous culture of *Chlorella* sp. PSH3 was conducted by feeding the effluent with retention time of 10days. In this process, the production rate of algal biomass and COD reduction rate were averaged 1.8g/l culture/day(2.8×10^6 cells/ml) and 73%, respectivery. Through the 4-setp treatments, the total chemical oxygen demand was reduced from 51,300ppm to 85ppm. Therfore, the reduction rate of total chemical oxygen demand reached about 99.8%. The results indicate that the integrated system could be applicable for treatment of organic wastes, concurrently producing biogas and algal biomass.

서 론

에너지와 식량 그리고 환경공해문제는 오늘날 당면한 범지구적 중대과제이며, biomass는 에너지, 식료, 화학공업원료로서의 복합이용이 가능하다. 합리적인 biomass이용의 한 방법으로서 유기질 폐기물의 협기소화-미세조류 배양을 결합한 복합처리법이 폐기물 처리와 더불어 지역 에너지와 식·사료문제의 해결에 유익할 것으로 전망되고 있다(1, 2). 축

분 등의 농산폐기물은 재이용이 가능한 주요 바이오매스자원이며, 그 협기소화에 의한 바이오가스 생산에 관하여 지금까지 많은 연구가 수행되어 왔다(3-7). 한편 재래식인 단일조형 협기발효의 효율 개선책으로 협기발효를 산 생성과정과 메탄 생성과정으로 분리하여 실시하는 상분리발효법이 Ghosh 등(8)에 의해 제안된 이래, 그에 대한 관심이 고조되어 그 연구가 활발해졌다(9-12). 특히 Maekawa 등(13)은 돈분의 중온발효에 있어서 기질의 체류시

간을 조절함에 의해 상분리 협기발효를 시도하여 유기물 투입량을 3~5kg VS/m³/day로 높이고, 기질의 평균체류시간을 7~11일로 단축함과 동시에 가스수율도 향상됨을 보고하였다.

일반적으로 축분 등의 협기소화액에는 초발유기물의 30~50%가 잔존하므로 재처리를 필요로 하며, 미세조류 중에는 광합성적 자가영양증식 외에도 glucose, acetate 등의 저분자 유기화합물을 이용하여 종속영양적 또는 광합성 종속영양적으로 증식하는 종류가 알려져 있으므로 (*Chlorella* 등), 그러한 조류의 배양에 의해 폐수 중의 N, P 등의 영양염류와 함께 유기물의 제거가 가능하다(14). 협기발효와 미세조류배양의 결합에 의한 축분의 복합처리에 있어서 Yang와 Nagano(15)는 양돈장폐수를, Mahadevavaswamy와 Venkataraman(16)은 계분을 각각 이용하여 바이오가스의 생산과 공해처리가 가능함을 보고하였다. 한편 연구자 등(17)은 우분을 이용한 협기발효-광합성세균-*Chlorella* 배양의 3단계 처리에 의해 바이오가스와 균체단백질 생산 및 공해처리에 대한 기초연구를 통해 복합처리계의 구성이 가능함을 보고한 바 있다.

본 연구에서는 유기질 폐기물의 보다 효율적 처리를 위하여 우분을 원료로 한 협기발효를 산생성발효와 메탄생성발효로 분리하는 2단분리(상분리) 발효를 실시하는 한편, 발효폐액의 2차처리로서 미세조류(*Chlorella*)를 배양하여 바이오가스와 조제를 생산함과 더불어 폐기물 처리를 완결하는 복합처리계(integrated system)의 확립을 위한 기초연구를 수행하였기에 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

단계별 처리원료

Fig. 1은 본 실험에 있어서 우분을 출발점으로 한 4단계-복합처리계의 개요를 나타낸 것이며, 각 단계별 처리원료는 다음과 같다. 부산시 대연동 소재의 젖소 사육 농가에서 배출되는 생우분을 물로 3배 희석하여 거친 잔사를 가제로 여과 제거하고 총고형물(TS)을 7%로 조절한 것을 산발효 또는 단일조식 메탄발효의 원료로 사용하였다. 산발효액을 가제로 여과한 여액(TS : 1.8%)을 상분리 1차 메탄발효의 원료로 이용하였고, 1차 메탄발효의 배액은 전처리 없이 그대로 2차 메탄발효의 원료로 이용하였다. 2차 메탄발효 과정에서 배출되는 배액은 물로 적절히 희석하여 *Chlorella*의 회분배양에 이용하였고, 그 4

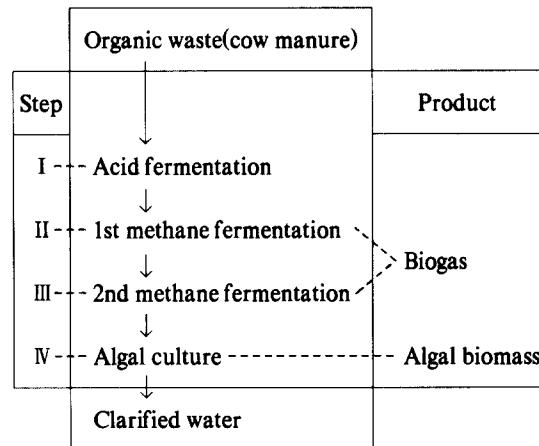


Fig. 1. Schematic flow diagram for integrated 4-step treatment process of raw cow manure.

배 희석액은 *Chlorella*의 반연속처리 실험의 원료로 사용하였다.

사용주조 및 메탄발효 종모액

부산 근교의 수역에서 분리·보존중인 *Chlorella* sp. PSH3을 조류처리실험에 사용하였다. 메탄발효의 종모액은 부산시 용호동 하수종말처리장의 메탄발효액(TS, 1.1%, pH 8.0)을 이용하였다.

배지

Chlorella 배양을 위한 기초배지는 Allen과 Stanier 배지(18)를 사용하였다.

실험장치

산발효에는 ø15cm, 높이 27cm의 유리용기(4ℓ)를 발효조로 하고, 조의 상부에 원료주입구와 가스출구를 설비한 고무전을 부착하였고, 가스출구는 가스생산량을 측정하기 위하여 중류수를 채운 2ℓ 용량의 역위 삼각플라스크(19)와 연결하였다.

단일조식 메탄발효와 상분리 메탄발효(1차 및 2차 발효)에 있어서는 모두 ø9cm, 높이 22cm의 유리용기(1.2ℓ)를 발효조로 이용하였고, 조의 상부에 원료주입구와 가스출구를 설비한 고무전을 부착하였다. 가스출구는 습식가스메터(Shinagawa, W-NK 1A, Japan) 또는 중류수를 채운 역위 삼각플라스크(1ℓ)와 연결하여 가스 생산량이 측정되게 하였다.

Chlorella 배양실험에는 공기의 주입과 배출을 위한 유리관과 면전관을 부착한 고무전을 설비한 1.3ℓ

용량의 유리용기(20cm×13cm, 광투과 깊이 5cm)를 배양조로 이용하였다.

방법

산발효는 원료 3,000ml를 발효조에 투입한 후, 기상부를 N₂가스로 치환한 혼기조건으로 35°C 수조 중에서 실시하였다. 메탄발효는 처음 개시시에 3배 희석 생우분을 종모액과 9:1로 혼합한 액 1,000ml씩을 각 발효조에 투입한 후 조내의 기상부를 N₂가스로 치환한 혼기조건으로 35°C의 수조 중에서 발효를 개시하였다. 발효가 정상상태에 달하고부터(약 40일 후) 발효액의 일부를 배출하고 동일량의 원료를 각기 주기적(1회/1일)으로 공급하여 1,000ml의 발효액량을 유지시키는 반연속 메탄발효를 실시하였다. 이때 상분리 1차 메탄발효에는 산발효액을, 2차 메탄발효에는 1차 메탄발효의 배액을, 단일조식 메탄발효에는 3배 희석 생우분을 각각 공급하였다.

Chlorella 배양조에는 물로 4배 희석한 2차 메탄발효배액 1,000ml를 주입하고, Allen과 Stanier 배지에서 광합성적으로 순수배양한 *Chlorella* sp. PSH3을 접종($A_{660nm} = 0.5$ 의 균액 20ml)한 후, 35°C 유리수조 중에서 형광등에 의해 8~9Klux로 광조사하고, aerator로 통기(0.8vvm)한 조건으로 회분배양 및 반연속배양을 실시하였다. 반연속배양시는 배양이 정상기 초기에 달하고부터 2차 메탄발효의 배액을 주기적(1회/1일)으로 배양액의 일부와 교체공급하여 1,000ml 배양을 유지시켰다.

분석

*Chlorella*의 증식은 Spectrophotometer(Bausch & Lomb, Spectronic 20, U.S.A.)를 이용한 A_{660nm} 의 흡광도 측정과 건조중량 측정 및 colony count에 의해 측정하였다.

발효에 의해 발생되는 가스의 성분 조성은 배양조의 기상부로부터 가스분석용 주사기에 의해 시료(100 $\mu\ell$)를 채취하여 Gas chromatography(Shimadzu, GC-8A, Japan)에 의하여 분석하였다. CH₄의 검출을 위하여 Molecular sive 5A를, CO₂의 검출을 위하여 Polapark Q를 충전한 Column을 각각 50°C로 유지하였고, 열전도 검출기(TCD)는 80°C, bridge current는 70mA로 조절하였으며, helium gas를 carrier(flow rate : 50ml/min)로 사용하였다.

조제의 Chlorophyll 함량은 *Chlorella* 배양액을 원심집균(8,000×g, 10분)한 후, 98% acetone으로

Chlorophyll을 추출하여 Arnon(20)의 방법으로 흡광도에 의해 측정하였다.

총고형물(TS), 휘발성 고형물(VS), 휘발성 지방산(VFA), 총질소(T-N) 그리고 COD는 모두 Standard Methods(21)에 의해 측정하였고, carbohydrate의 함량은 Wood 등(22)에 의한 비색법으로 측정하였다.

결과 및 고찰

발효원료의 성분 조성

발효원료로 이용한 생우분의 분석에 의한 성분조성은 Table 1과 같다. 이는 채집시기가 서로 다른 원료의 7회 반복 분석결과의 평균치로서 T-C:T-N으로 본 C/N ratio가 28이며, 이는 혼기발효의 유효범위 이내이므로 다른 성분의 가감없이 물로 적절히 희석하여 그대로 발효원료로 이용하였다.

단일조식 혼기발효

상분리 혼기발효와의 효율 비교를 위하여 먼저 전통적인 단일조식 발효를 시도하였다. 발효를 개시하고부터 40일 후 정상상태에 달한 메탈발효조에 3배 희석 생우분을 75ml/l culture/day씩 공급하여 발효를 유지시킨 결과는 Fig. 2와 같다. 평균 3.3g VS/l culture/day의 유기물을 투입으로 평균 670ml/l culture/day의 속도로 바이오가스가 생산되었고, 203ml/g VS loaded의 가스생산성을 나타내었다. 또한 발생가스 중의 평균 CH₄ 농도는 61.7%였다. 발효액의 pH는 7.0~7.2의 범위로 유지되었고, 이 과정에서 배출되는 폐액의 분석결과 잔존 COD는 평균 24,024ppm으로 초발 3배 희석 생우분의 COD 51,300ppm으로부터 유기물 제거율은 53.2%였다. 가축분뇨의 바이오가스 생산성은 종온발효에 있어서 Hill과 Kayhaniane(7)에 의하면 130~320ml/g

Table 1. The composition of raw cow manure.

Component	Content
Total nitrogen(T-N, mg/l)	4,000
Total carbohydrate(T-C, mg/l)	112,000
Chemical oxygen demand(COD, ppm)	154,500
Total solid(TS, g/l)	214.1
Volatile solid(VS, g/l)	132.1
Volatile fatty acid(VFA, mg/ml)	14
Moisture(%)	78.6

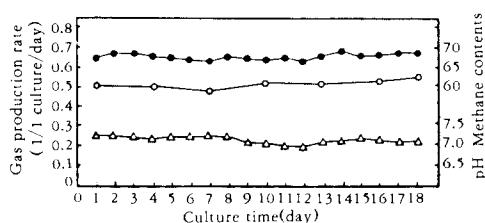


Fig. 2. A semi-continuous single-stage anaerobic digestion of raw cow manure at a retention time of 13.3 days at 35°C (●: Gas evolution rate, ○: Methane contents, △: pH).

VS loaded의 범위이므로 본 실험의 결과는 비슷한 경향을 보였다.

상분리 혼기발효

험기발효의 효율 향상을 도모하고자 발효를 산생성발효(산발효)와 메탄생성발효(메탄발효)의 양과정으로 분리하는 상분리 혼기발효를 실시하였다. Fig. 3은 3배 희석 생우분을 35°C의 중온역에서 혼기조건으로 실시한 산발효의 경과과정을 나타낸 것이다. 발효시간의 경과와 더불어 발효액 중의 회발성 지방산(VFA) 함량이 점차 증가하였고, 발효 6일 후에 산생성이 11.2mg VFA/ml로 최고에 달하였다. 산이 생산됨에 따라 발효액의 pH는 초발 6.8에서 최저 5.2까지 저하되었다. 발효과정에서 평균 46ml/l culture의 속도로 가스가 발생되었고, CO₂가 87.5%, CH₄가 8.2%의 가스조성을 보였다. Vrati와 Verma

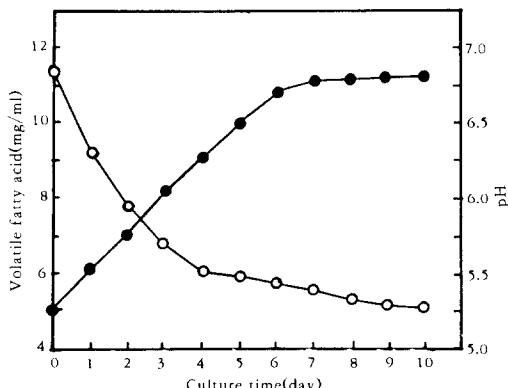


Fig. 3. Anaerobic batch acidogenesis of raw cow manure at 35°C.
●: Volatile fatty acid, ○: pH

(23)는 10%(전중량: W/V)의 우분현탁액을 45°C에서 10일간 발효시켰을 때, 5일째에 산 생성이 최고에 달하였음을 보고하였다. 본 실험의 결과는 주어진 조건에서 산발효가 원활히 진행되고 있으며, 생우분을 6일간 발효처리함이 최적임을 나타낸다.

Fig. 4는 6일간 발효한 산발효액을 수리학적 체류일수 4일로 조절하여 공급한 반연속 메탄발효(1차 발효)의 경과과정을 나타낸 것이다. 평균 4.0g VS/l culture/day의 유기물 투입에 의해 평균 977ml/l culture/day의 속도로 거의 일정하게 바이오가스가 생산되었다. 발생가스 중의 평균 CH₄농도는 64.9%였으며, 발효액의 pH는 7.0~7.3으로 유지되었다.

Maekawa 등(13)은 돈분의 상분리 메탄발효에서 5.0kg VS/m³/day의 유기물 투입으로 400ml/g · VS의 가스수율을 얻었고, 유기물 제거율은 평균 40%였다. 본 연구의 우분을 원료로 한 상분리 메탄발효에서는 가스수율이 236ml/g · VS이며, 평균 43%의 유기물 제거율을 나타내었다.

이상의 결과는 유기물의 수리학적 체류일수의 조절, 즉 산발효과정에서 3배 희석 생우분의 체류일수를 6일로 하고, 메탄발효과정에서는 산발효액의 체류일수를 4일로 조절함에 의해 상분리 혼기발효가 원활히 진행됨을 나타낸다. 산발효과정에서 발생가스 조성이 CO₂가 87.5%, CH₄가 8.2%였으며, 산생성에 의해 발효액의 pH가 최저 5.2로 저하되는 점, 메탄발효과정에서는 발생가스 중의 CH₄농도가 약 65%였고, 발효액의 pH가 7.0~7.3으로 유지되는

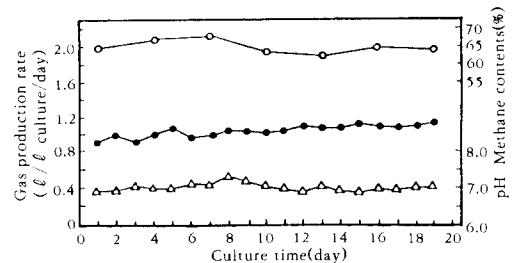


Fig. 4. Biogas production rate, methane contents, and pH variation profiles during semi-continuous the first methane phase fermentation of the effluent from the acid fermenter at a retention time of 4 days(○: Methane contents, ●: Biogas production rate, △: pH variation).

점은 산발효와 메탄발효가 명확히 분리되어 진행되고 있음을 나타내는 것이다.

그러나 상분리 협기발효의 메탄발효(1차 발효) 과정에서 배출되는 배액의 분석결과 잔존 COD는 평균 3,648ppm으로 유기물 함량이 너무 높아 다음단계의 *Chlorella* 처리에 적합치 않았다. 잔존 유기물로부터 최대한의 CH₄를 회수함과 동시에 유기물의 농도를 낮추어 *Chlorella*처리를 원활히 하기 위하여 2차 메탄발효를 시도하였다. 먼저 2차 메탄발효의 최적 원료 공급조건을 알기 위하여 준비한 3조의 발효조(발효액 각 1,000ml)에 1차 메탄발효조에서 유출되는 배액을 200ml(1.38g VS), 250ml(1.73g VS), 300ml(1.89g VS)씩 각기 공급하여 반연속발효를 실시하였다. Fig. 5에서와 같이 4일의 체류시간에서 최고의 가스생산성을 보였다. 그러나 1차 메탄발효를 거친 배액의 재처리 과정인 본 실험조건에 있어서 가스수율은 1차 발효시의 1/2 이하로 현저히 감소되었고, 가스생산성은 체류일수에 따라 다소 민감한 변화를 나타내었다. 이러한 경향은 더이상 분석하지는 않았지만, 메탄생성균군을 위한 잔존 영양분의 균형이나 농도가 상호관련하여 일어나는 현상인 것으로 생각된다. Fig. 6은 유기물 체류일수를 4일로 운전한 2차 발효의 경과과정을 나타낸 것이

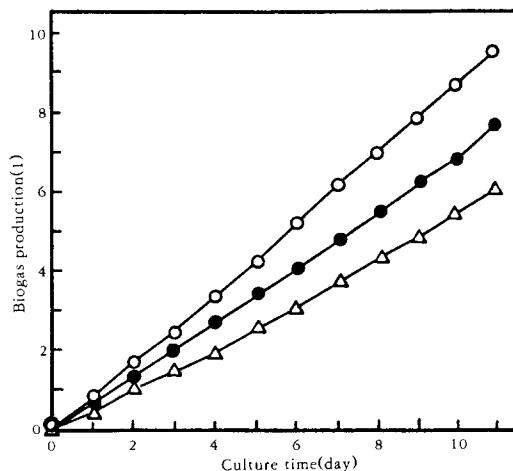


Fig. 5. Comparison of biogas production during semi-continuous methane phase fermentation operated with the effluents from the first methane phase fermenter at various retention times(3(●), 4(○) and 5(△) days of retention time).

다. 평균 1.73g VS/l culture/day의 유기물 투입으로 428ml/l culture/day의 속도로 가스생산이 지속되었고, 발생가스 중의 평균 CH₄농도는 63.4%여서 1차 발효시와 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 COD는 초발 2,134ppm에서 발효 후 평균 1,630 ppm으로 감소되었다. 이들 결과는 2차 메탄발효가 잘 유지되고 있음을 나타낸다.

Table 2는 단일조식 메탄발효와 상분리 협기발효의 결과를 요약한 것이다. 단일조식 메탄발효의 유

Table 2. Summary data on methane Fermentation of raw cow manure.

	I	II	III
Retention time(day)	13.3	4	4
Biogas production rate (ml/l culture/day)	670	977	428
Methane contents(%)	61.7	64.9	63.4
Gas yield(ml/g · vs)	203	236	247
VS loading rate (g/l culture/day)	3.3	4.0	1.73
COD removal rate(%)	53.2	42.6	24.0

I : Single-stage methane fermentation,

II : First methane phase fermentation,

III : Second methane phase fermentation

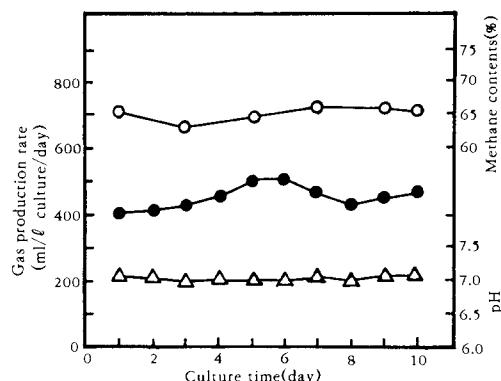


Fig. 6. The rate of biogas production, methane contents and pH variation profiles during semi-continuous second methane phase fermentation operated with the effluent from the first methane fermenter at a retention time of 4 days(○:Methane contents, ●:Biogas production rate, △:pH variation).

기물 체류일수는 13.3일이고, 상분리 발효에서는 산발효에서 2차 메탄발효까지 도합 14일이어서 서로 큰 차이가 없으나, 가스 생산성은 상분리 발효에서 1차 발효의 경우 단일조식에 비해 31.4%가 증가하였다. 그리고 COD제거율은 단일조식 발효가 53.2%인데 반해, 상분리 발효에 있어서는 산발효의 원료인 3배회석 생우분의 COD 51,330ppm에서 2차 메탄발효 후의 COD가 1,630ppm으로 감소되어 전체 COD 제거율이 95%에 달했다. 이상의 결과는 본 실험조건에 있어서 상분리 메탄발효가 가스수율면, 유기물 처리 측면에서 재래의 단일조식 발효보다 효율적 발효법임을 나타내는 것이다.

*Chlorella*에 의한 메탄발효 폐액의 처리

*Chlorella*의 광합성 종속영양적 증식 특성을 이용하여 2차 메탄발효의 배액을 처리함에 있어서 발효폐액에서 증식력이 우수한 조주로 선별된 *Chlorella* sp. PSH3을 이용하여 그 처리조건을 조사하였다.

Fig. 7은 물로 4배 회석한 발효폐액 1,000ml를 배지로하여 PSH3을 35°C에서 8~9 klux 광조사 조건에서 회분배양한 결과이다. 배양 4~5일 후에 조체증식이 최고에 달하였고, 조체가 증식함에 따라 algal chlorophyll의 양도 함께 증가하였다. 이는 접종한 조체가 폐액 중에서 잘 증식하고 있음을 입증하는 것이기도 하다. 여기서 그 결과는 제외되었으

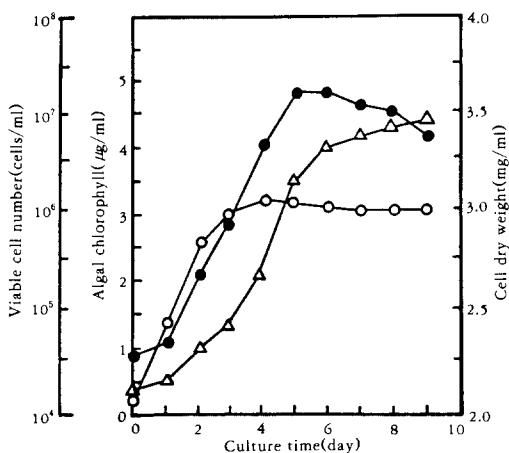


Fig. 7. Batch culture of *Chlorella* sp. PSH3 performed with 4-fold diluted effluent from the second methane fermenter(●: Algal cell number, ○: Dry weight of algal cell, △: Contents of algal chlorophyll).

나 발효폐액의 2배 회석액에서는 유기물 농도가 높아 조체가 거의 증식하지 않았고, 6배 회석액에서는 4배 회석액에서와 거의 같은 정도로 증식하였으나 회석수를 줄여 배양조의 크기를 축소시키는 점에서 발효배액을 4배 회석하여 이용하기로 하였다.

발효폐액을 *Chlorella* sp. PSH3으로 처리함에 있어서 그 반연속배양의 최적 유기물 체류시간을 알기 위하여 4배 회석 2차 메탄발효폐액(COD, 약 400mg/l)을 1,000ml 배양당 각기 167ml, 125ml, 100ml 씩 공급(1회/day)하여 반연속배양을 실시하였다. 40일간 배양한 결과는 Table 3에서와 같이 10일의 유기물 체류시간으로 배양하는 것이 조체증식과 유기물 제거율이 가장 높았다. Fig. 8은 10일의 유기물 체류시간으로 *Chlorella* sp. PSH3을 반연속 배양한 경과과정을 나타낸 것이다. 평균 1.8g dry algae/l culture/day(생조체수, 2.8×10^6 cells/ml)의 조체생산성을 나타내었고, 배양폐액의 분석결과 조체

Table 3. Comparision of viable cell count, filtrate COD and pH of the effluents from the semi-continuous culture of *Chlorella*.

Retention time (day)	Filtrate COD (mg/effluent*)	Viable cell count (cells/ml)	pH
6	29.4	1.07×10^6	7.63
8	15.0	2.0×10^6	8.71
10	8.5	2.8×10^6	8.30

The cultures were fed by the effluents from the second methane fermenter at various retention times.

*The effluents were collected from each of 1,000ml of algal culture.

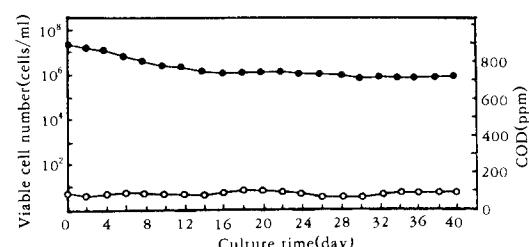


Fig. 8. A semi-continuous culture of *Chlorella* sp. PSH3 with 4-fold diluted effluent from the second methane fermenter at a retention time of 10 days(●: Number of viable algal cell, ○: Variation of COD).

Table 4. Summary of four-stage treatment system of raw cow mamure at steady state.

	Acid fermentation		1st methane fermentation		2nd methane fermentation		Algal treatment	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
PH	6.6	5.2	6.5	7.1	7.1	7.9	7.9	8.3
Total COD(mg/ml)	51,330	14,450	6,350	3,684	2,134	1,630	337	314
filtrate COD(mg/l)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	85
TS(g/l)	71.3	18.6	11.8	9.4	7.7	7.1	3.74	4.2
VS(g/l)	44	16.1	9.2	6.9	4.9	4.2	ND	ND
VFA(mg/ml)	4.7	11.2	7.0	5.5	3.9	3.3	1.1	1.2
Total nitrogen(mg/l)	1333	230	ND	ND	ND	ND	ND	52
Dry cell mass(g/l)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.8
Algal chlorophyll(mg/l)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.17
CDO reduction rate(%)	71.8		42.6		24.0		73.0	
Reduction rate of filtrate COD(%)	ND		ND		ND		74.7	
Retention time(day)	6		4		4		10	

를 여과에 의해 제거한 filtrate COD는 평균 85mg/l였다. 조체생산성에 관하여 Goldman(24)에 의하면 *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Spirulina*의 옥외배양에 있어서 최고 생산성의 범위는 15~30g dry algae/m²/day이다. 직접비교는 어려우나 본 실험에서 5cm 광투과 깊이의 배양조를 이용하였으므로 위의 생산성 범위를 수십 5cm의 algal pond로 환산하면, 0.3~0.6g dry algae/l/day이다. 본 실험의 결과는 그 이상의 생산성을 나타내지만 순수배지의 이용과는 달리 발효폐액에 증식한 조체의 원심집균시 불용성 부유물의 제거가 사실상 불가능하여 그가 건중량에 반영된 것으로 보이며, colony count에 의한 생세포 수(2.8×10^6 cells/ml)가 실제의 값으로 생각된다.

Table 4는 본 실험의 4단계 처리과정의 분석결과를 요약한 것이다. 초발원료인 3배 희석 생우분의 COD 51,300mg/l로부터 최종단계인 *Chlorella* 처리 후에는 COD가 85mg/l로 감소되어 전과정의 총유기물 제거율은 99.8%에 달하였다. 조류처리 결과(Table 4)에 있어서 influent COD가 33.7mg/100ml이고 effluent COD가 31.4mg/100ml이어서 처리 후의 총 COD값이 감소되지 않음은 증식조체의 바이오매스가 COD에 반영되기 때문으로 생각되며, 실제로 조체를 제거한 filtrate COD값은 8.5mg/100ml이며, 이때의 유기물 제거율은 73%였다. 한편, 유기물 체류시간으로 본 각 단계별 처리조의 용적비는 산발효조: 1차 및 2차 메탄발효조 : *Chlorella* 처리조에 있어서 각각 1.5:1:1:10인 것으로 추정된다.

이상의 4단계 처리계에 있어서 우분의 산 발효단계에서 3배의 희석수를, 그리고 2차 메탄발효폐액의 *Chlorella* 처리단계에서 4배의 희석수를 필요로 한다. 본 처리계의 최종처리단계인 조류배양 처리 후의 유출수를 각 처리단계의 희석수로 이용한다면 보다 완전한 순환처리계가 구성될 수 있을 것이다. 또한, 우분의 산발효과정에서 약 80%의 CO₂ 함유 발효가스가 생산되므로 이를 *Chlorella*처리계에 흡수시켜 조체증식을 촉진시킴과 동시에 대기중의 CO₂가스의 방출을 줄이는 방법을 아울러 모색함이 더욱 바람직하다고 생각한다.

요 약

유기질 폐기물을 보다 효율적으로 처리하고자, 상분리 혼기발효와 *Chlorella* 배양에 의한 생우분의 4단계-복합처리를 시도하였다. 3배 희석 생우분을 6일간 산발효시킨 발효액을 4일의 수리학적 체류시간으로 1차 메탄발효조에 공급했을 때, 평균 977ml/l culture/day의 바이오가스가 생산되었고, 1차 발효폐액을 역시 4일의 체류시간으로 2차 메탄발효조에 공급했을 때 평균 428ml/l culture/day의 바이오가스가 생산되었다. 1차 메탄발효의 바이오가스 생산성은 재래의 단일조식과 비교했을 때 31.4% 증가

되었다. 또한 산발효과정, 1차 및 2차 메탄발효과정의 유기물 제거율은 각기 71.8%, 42.6% 그리고 24.0%였다. 한편, 2차 메탄발효폐액은 *Chlorella* sp. PSH3에 의해 10일의 체류시간으로 반연속배양 처리한 결과, 평균 $1.8\text{ g/l culture/day}$ ($2.8 \times 10^6 \text{ cells/ml}$)의 조제가 생산되었고, 이 과정의 유기물 제거율은 73%였다. 이상의 4단계 처리과정을 통하여 초발원료인 3배 회석 생우분의 COD가 51, 300ppm에서 최종단계인 *Chlorella*의 처리에 의해 평균 85ppm으로 감소되어 총유기물 제거율이 99.8%에 달하였다. 이들의 결과는 유기질 폐기물의 효율적 처리와 더불어 바이오가스와 균체단백질을 생산하는 복합처리계의 구성이 가능함을 나타낸다.

감 사

본 연구는 1991년도 교육부지원 학술진흥재단의 지방대학 육성 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. K. Ueno(1977), *Kogay and Daisaku*, **13**, 866.
2. S. G. Yamazawa(1982), in Biomass Energy S. G. Yamazawa ed, 40, Asakura Shouten Co., Tokyo Japan.
3. V. H. Varel and A. G. Hashimoto(1981), *Appl. Environ. Microbiol.*, **29**, 34.
4. 藤田正憲(1980), 水處理技術, **21**, 313.
5. D. T. Hill(1983), *Agricultural Wastes*, **5**, 205.
6. J. K. Parikh, and K. S. Parikh(1977), *Energy*, **2**, 441.
7. D. J. Hills and M. Kayhanian(1985), Methane from settled and Filtered Flushed Dairy Wastes, 1985 American Society of Agricultural Engineers 001-2351/85, 2803-086550200, **28**, 865.
8. S. Ghosh, J. R. Conrad and D. L. Klass (1975), *J. WPCF*, **47**, 30.
9. M. L. Massey and F. G. Pohland(1978), *J. WPCF*, **50**, 2204.
10. S. Ghosh, A. Sajjad and M. Henry(1983), *Biotechnol. Bioeng. Symp.*, **No. 13**, 351.
11. A. W. Khan, S. S. Miller and W. D. Murray (1983), *Biotechnol. Bioeng.*, **25**, 1571.
12. R. A. Baccay and A. G. Hashimoto(1984), *Biotechnol. Bioeng.*, **26**, 885.
13. T. Maekawa(1982), in Biomass Energy,(S. G. Yamazawa ed), 143, Asakura Shouten Co., Tokyo Japan.
14. M. R. Droop(1974), in Algal physiology and Biochemistry.(W. D. P. Stewart ed), 530, Blackwell, Scientific pub. Oxford.
15. P. Y. Yang and S. Y. Nagano(1984), Integrating anaerobic digestion and algal biomass treatment processes for swine wastewater. *Proc. Ind. Waste Conf.*(1983), **38th**, 141.
16. M. Mahadevaswamy and L. V. Venkataraman (1986), *Agric. Wastes.*, **18**, 93.
17. J. S. Kim, J. C. Kim, J. U. Chung, J. K. Cho and C. K. Kim(1988), 한국폐기물학회지, **5**, 67.
18. M. M. Allen and R. Y. Stanier(1968), *J. Gen. Microbiol.*, **51**, 203.
19. J. S. Kim, K. Ito and H. Takahashi(1981), *J. Ferment. Technol.*, **59**, 185.
20. D. I. Arnon(1949), *Plant Physiol.*, **24**, 1.
21. A. E. Greenberg, J. J. Connors and D. Jenkins(1985), Standard Methods for the Examination of waste and waste water, 16th ed, 90, American public Health Association, Washington D. C.
22. W. A. Wood, R. S. Hansen and J. A. Phillips (1981), Manual of Methods for General Bacteriology(P. Gerhardt, R. G. E. Murray, R. N. Costilow, E. W. Nester W. A. Wood, N. R. Krieg, G. B. Phillips, ed), 333, *American Society for Microbiology*, Washington D. C.
23. S. Vrati and J. Verma(1983), *J. Ferment. Technol.*, **61**, 15.
24. J. C. Goldman(1978), *Water Research*, **13**, 1.