

벼짚의 혐기성소화시 소화가스 생성에 관한 연구

박종안 · 허준무*

순천향대학교 환경보건학과 · *(주)새로운환경 기술연구소

A Feasibility Study on Biogas Production from Anaerobic Digestion of Straw

Jong An Park and Joon Moo Hur*

*Dept. of Environmental Health Science, Soonchunhyang University · New Research Engineering Co.

ABSTRACT

Quantity and composition of biogas from semi-continuous anaerobic digestion of straw were obtained experimentally in laboratory scale digesters fed with 1 liter of 5% straw-water mixture and maintained at 35°C. Experiments were carried out for hydraulic retention time(HRT) of 8, 10 and 15days, respectively. The amount and composition of biogas produced were measured until steady-state was achieved for each run. The amount of biogas and methane percent go through a maximum and decrease continuously towards the steady-state after three times operation of hydraulic retention time(HRT). Methane gas production rates at steady-state increase with the increasing of HRT. Biogas production of 0.45 liter/day with 25% methane, 0.42 liter/day with 33.7% methane and 0.492 liter/day with 31.7% methane were obtained for 8, 10 and 15days of HRT, respectively. The high proportion of soluble carbohydrates present in straw makes the volatile fatty acids to build up within the digester causing a drop in pH that inhibits digestion. Regular control of pH is therefore necessary by adding alkalinity. Reductions in COD increase with increase in HRT. The stratification of plant material within the digester is different from that of manure, and modifications in design and operation of digesters may be necessary if they are fed with plant matter.

Keyword : Anaerobic digestion, Straw, Methane content, Soluble carbohydrate

I. 서 론

혐기성소화는 용존산소가 존재하지 않는 상태에서 유기물이 미생물에 의하여 분해되어 최종적으로 메탄과 이산화탄소로 전환되는 과정을 말한다. 혐기성소화에 의한 유기물의 분해과정은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이

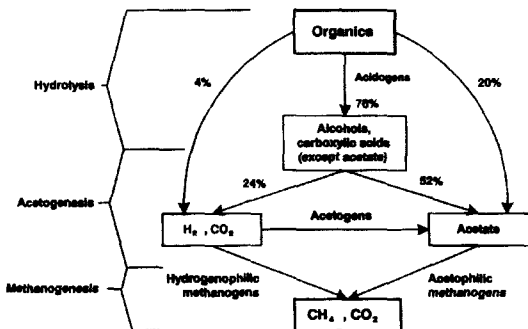
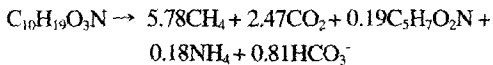


Fig. 1. Steps in the anaerobic digestion process.

가수분해단계, 산생성단계 및 메탄생성단계의 세 단계로 크게 나눌 수 있으며, 분해생성물은 이들 세 가지 단계에 관여하는 서로 다른 미생물에 의하여 이루어지며 이들은 서로 유기적인 관계가 있다. 한편, 유기물의 주된 제거과정은 메탄생성단계에서 유기산이 메탄가스로 전환됨으로써 이루어지며, 혐기성소화가 호기성소화에 비하여 지나는 장점은 첫째, 유용한 자원인 메탄가스를 생성한다. 둘째, 유기물을 분해해서 안정화시키기 위한 에너지가 호기성공법에 비해 적게 든다. 셋째, 병원균의 사멸률이 높다. 네 번째 소화 후 발생하는 슬러지발생량이 적다. 다섯째, 소화슬러지는 탈수하기 쉽고 비료 또는 토양개량제로서 이용 가능하다. 다섯째 동력비 및 유지관리비가 적게 든다는 등의 잇점을 지니고 있다. 반면에 단점은 소화온도가 비교적 높은 35°C나 55°C를 요구한다는 것인데 이는 소화과정에서 발생하는 메탄가스를 이용함으로써 해결이 가능하다. 또한 미생물의 성장속도가 느리기 때문에 초기 운전이나 온도, 부하량의 변화 등 운전조건 및 환경조건에 매우 민감

하다는 것이다.

한편, 혐기성소화는 유기물을 안정화시키는데 있어서 유리산소가 주입되지 않기 때문에 유기물의 안정화는 메탄의 생성을 통해서만 일어나며, 이때 생성되는 메탄과 미생물의 양은 양론식에 의하여 예측이 가능하다. McCarty(1974)에 의하면 체류시간 20일인 혐기성소화조에서 하수슬러지소화시 일어나는 반응식은 다음과 같으며, 210g의 하수슬러지가 혐기성 분해되면 5.78몰(129 liters)의 메탄과 0.19몰(21.5 g)의 미생물 그리고 0.81몰(40.5 g as CaCO_3)의 알카리도가 생성된다. 또한 소화가스중의 메탄의 몰구성비는 70%정도이다.



이상에서와 같이 혐기성소화는 유기물제거뿐만 아니라 최종산물로서 유용한 메탄가스를 얻을 수 있기 때문에 에너지의 유효이용이라는 측면에서 많은 연구가 진행되어 왔다. 즉, 돈분 등 축산폐기물의 소화가스생성에 관한 연구는 상당수 진행되어져 왔으며(Jones et al., 1968; Converse et al., 1977; Sievers et al., 1979; Smith et al., 1979; Hill et al., 1981), 볏짚 등의 농업부산물을 대상으로 한 연구 등이 수행되어왔다(Badger et al., 1979; Klass and Ghosh, 1979; Corder et al., 1985; Hashimoto, 1992).

혐기성소화는 일반적으로 회분식 또는 연속식으로 운전되나, 생성되는 메탄가스를 에너지원으로 이용하기 위하여 대규모로 운전할 경우에는 투입되는 노동력, 발생가스의 양, 발생가스의 지속성 및 반응조용적을 고려하여 연속식이 채택된다(Tosun et al., 1987). 그러나 볏짚을 혐기성소화시킬 경우에 연속식으로 운전한 예는 거의 없는 실정이며(Corder et al., 1985; Hashimoto, 1992), 따라서 혐기성소화가스생성에 관한 제반 연구가 필요하다.

Hashimoto(1992)는 볏짚의 혐기성 소화시 메탄생성율을 알아보기 위하여 볏짚과 돈분의 혼합비율을 각각 90%, 75% 및 50%로 한 후 총고형물 농도를 5%로 맞추어 수리학적 체류시간 6~15일, 운전온도 35°C 및 55°C에서 반연속식(semi-continuous)으로 실험하였으나 운전온도, 수리학적 체류시간(hydraulic retention time; HRT) 및 물리적 전처리가 혐기성 소화시 메탄생성율에 미치는 연구를 수행하였다. Corder 등(1985)은 옥수수대를 가루로 만들어 반연속식 혐기성 소화실험을 수행하였다. 소화온도 35°C, 수리학적 체류시간 20~100일에서 운전한 결과, 체류시간에 따라 메탄함량이 증가했고, 연속유입이 메탄가스생성에 매우 효과적이라고 보

고하였다. 이상에서와 같이 농업부산물에 대한 몇몇 연구가 진행되었으나, 현재까지 볏짚만을 대상으로 반연속식으로 혐기성소화를 행한 예는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 우리나라에서 생산되는 농업부산물인 볏짚을 혐기성 소화하여 생성되는 소화가스량과 소화가스내 메탄함량을 알아보고 유효에너지원으로서의 효용성을 검토하고자 하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험장치

본 실험에 사용된 반연속식 혐기성 소화시스템은 Fig. 2와 같으며, 소화시스템은 유효용적은 1리터 혐기성반응조와 최대가스포집용량 2리터 가스포집기로 구성되어져 있고 총3조를 운영하였다. 반응조는 외부에 heating band를 감은 후 비례제어식 온도조절장치를 부착하여 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 가 유지되도록 가온하였다. 혐기성 반응조내 혼합액의 혼합을 용이하게 하기 위하여 magnetic stirrer를 이용하였다. 가스포집기는 평형추가 부착된 부상형 원통으로 상부원통에 발생하는 소화가스를 포집하였다. 하부의 원통에는 가스포집시 소화가스의 용해를 방지하기 위하여 황산이 첨가된 포화식염수로 채웠으며, 정기적으로 용액을 보충해주었다.

2. 실험재료

본 실험에 사용된 볏짚(straw)은 농촌지역에서 흔히 발생하는 것을 사용하였으며, 실험에 사용하기 위하여 실온상태에서 약 1주일간 풍건하고 직경 0.5mm이하로 분쇄한 후 혼합을 용이하게 하기 위하여 표준체 #20을 통과시켜 거대입자 및 협잡물을 제거하였다. 기질로서 유입되는 볏짚의 물리적 및 화학적 성상은 Table 1과 같다. 한편, 본 실험에 사용하기 위하여 볏짚은 수도수

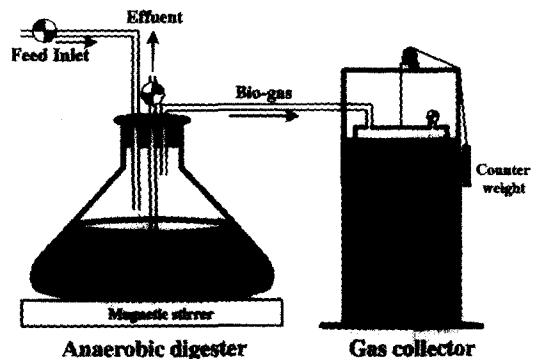


Fig. 2. Anaerobic digestion system used in this study.

Table 1. Physical and chemical characteristics of straw

Ultimate analysis(dry basis, weight %)	
C	44.49
H	5.85
O	41.98
N	0.55
P	0.06
Ash	7.07
Proximate analysis(weight %)	
Moisture content	7.24
Volatile matter	70.64
Ash	7.07
Fixed carbon	15.05
Organic component(weight %)	
Crude protein	3.44
Cellulose	28.71
C/N ratio	80.9

Table 2. Characteristics of 5% straw-water mixture fed to the anaerobic digester

Total solids(g/l)	50.0
Volatile solids(g/l)	35.32
COD(g/l)	59.33
Total kjeldahl Nitrogen(g/l)	0.28
Alkalinity(gCaCO ₃ /l)	0.71
pH	7.2
Carbon(g/l)	22.50
C/N ratio	80.90

를 이용하여 믹서기로 혼합, 반응조내 유입기질로 사용하였으며 기질로서 유입되는 볏짚-수도수혼합물의 특성은 Table 2와 같다.

3. 운전 및 분석방법

3개의 혐기성 반응조에 대한 식중(seeding)은 기존에 35°C로 A하수처리장에서 운전되는 혐기성 소화조의 혼합액을 채취하여 사용하였다. 반응조내 식중을 실시한 후 첫 3일간은 기질(볏짚-수도수 혼합물)을 투입하지 않고 환경변화에 적응할 수 있는 충분한 시간을 두었다. 3일이 지난 후 준비된 기질을 약 50 ml를 투입한 후 발생하는 가스량 및 pH를 관찰하였으며, 소화가스가 발생하여 일단 기질의 투입에 따른 영향은 없는 것으로 판단하고 매일 50 m³씩, HRT 20일로 순용기간을 거쳤다. 약 한달간의 순용기간을 거친 후 본 실험에 들어가 기 위하여 HRT를 15일로 낮추어 반연속식 일일주입-

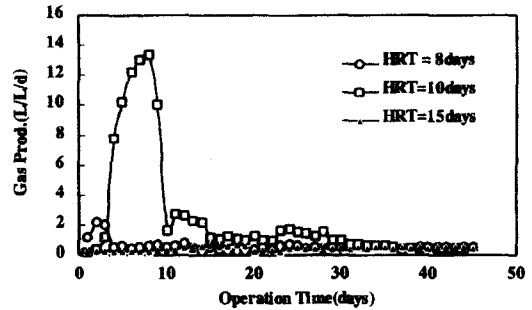


Fig. 3. Variation of volumetric gas production from the anaerobic digester treating straw-water mixture at each operating HRTs.

완전혼합형 (semi-continuous completely mixed daily-fed) 반응조 형태로 운전하였다. 각 체류시간별 정상상태의 파악은 일반적으로 문헌에 보고되듯이 설정된 HRT의 3배 이상을 운전한 후에 판단하였다(Stronach et al., 1986). 그리고 이기간 동안에 반응조의 혼합은 120 rpm을 유지하였으며, 발생하는 가스량을 일별로 기록하였다. 그리고 때때로 반응조내 pH가 6.5 이하로 하강할 경우에는 정상적인 메탄발효가 저해를 받지 않도록 하기 위하여 중탄산나트륨(sodium bicarbonate)를 주입하여 pH를 중성부근 (약 7.0)으로 조정하였다.

반응조내 유입기질 및 각 HRT별 유출수에 대한 소화특성을 알아보기 위하여 pH, ORP, COD, TS, VS, TKN 및 알카리도 등을 분석하였으며, 분석방법은 미국 공중보건협회의 표준시험법(APHA, 1995)에 따라 행하였다. 발생하는 소화가스의 분석은 TCD검출기가 부착된 가스크로마토그래피를 이용하였으며, 충전물질은 Porapak Q(80/100 mesh)를 사용하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 소화가스발생량 및 메탄함량

소화온도가 35°C이고, HRT가 각각 15, 10, 8일 때, 운전기간에 따른 소화가스의 발생량은 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 보듯이 HRT 10일의 경우 초기 순용기간 이후 정상운전 기간 초기에 소화가스의 발생량이 급격히 증가하였다가 운전기간 10일 부근에서 급격히 감소하여 15일 이후부터는 안정적인 가스발생량을 나타내고 있다. 이는 타 반응조에 비하여 HRT 10일이 가장 먼저 신선한 식중물질로 식중을 실시한 후 운전을 시작하였기 때문이라고 판단되며, 식중물질이 초기 환경변화에 적응하면서 급격한 가스발생에 기여하였을 것으로 사료된다. 이러한 현상은 도시하수슬러지를 대상

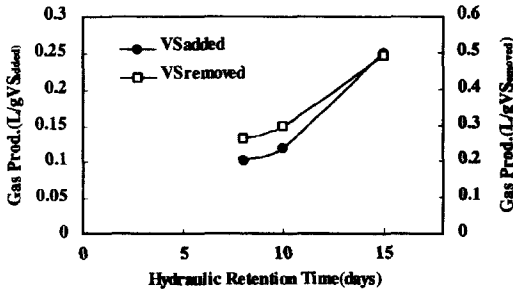


Fig. 4. Variation of gas production rate with time at each operating HRTs.

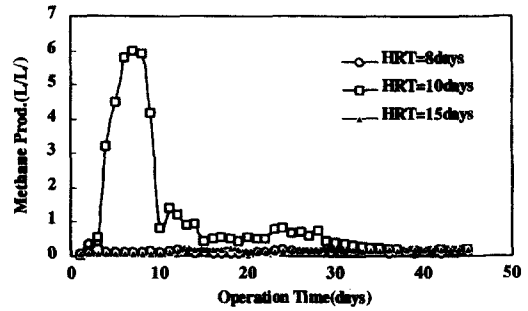


Fig. 5. Variation of methane gas production with time.

으로 중온에서 혐기성소화를 실시한 한장운(1993)의 연구결과와 비슷한 양상을 보인다. 한편, 가스발생량은 운전기간이 설정된 HRT의 3배 이후에 안정된 경향을 보이고 있는데 운전기간 30일 이후부터는 매우 안정적인 가스발생량을 보이고 있으며, HRT 15일로 운전한 반응조가 타 반응조에 비하여 많은 가스발생량을 보여 하수슬러지의 혐기성 소화와 비슷한 양상이며(한, 1993; Torpey, 1984), 체류시간을 길 때 반응조내 유입되는 수용성 탄수화물의 양이 줄어들어 산생성균과 메탄생성균간의 활동에 조화가 이루어졌기 때문이다.

소화가스의 일 평균 가스발생량을 총휘발성유기물 투입당(L/gVSadded) 및 총휘발성유기물 제거당(L/gVSremoved)가스발생량과 HRT의 관계를 살펴보면 Fig. 4와 같다. 운전 HRT 15, 10, 8일에서 가스발생량을 살펴보면 일평균 총휘발성유기물 투입당 가스발생량은 각각 0.102, 0.12 및 0.25 L/gVSadded였으며, 총휘발성유기물 제거당 소화가스발생량은 0.266, 0.297 및 0.492 L/gVSremoved이었다. 가스발생량은 HRT가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 특히 HRT가 15일 경우에는 타 HRT에서 발생하는 소화가스량에 비하여 두배 이상을 나타내고 있어 가스발생 측면만을 고려할 경우, HRT를 15일로 운전하는 것이 투입되는 볏짚의 생분해성을 증가시켜 발생가스량이 많으므로 소화가스를 에너지원으로 할 경우 경제적인 것으로 판단된다.

한편, 반응조가 반연속식으로 운전되어 HRT가 짧을 때 유입되는 기질-반응조액간의 농도차에 의한 기질의 분해율이 증가할 것으로 기대하였으나, 유입수내 분해가 용이한 수용성 탄수화물이 산생성균에 의하여 빠르게 휘발산으로 전환되어 결국은 메탄생성균의 기질이 용출을 감소시켜 전체적으로 가스발생량이 감소하는 결과를 초래하였다. 이러한 결과는 Stronach 등(1986)의 연구결과와도 잘 부합된다.

한편, 전체 소화가스중 메탄함량은 Fig. 5와 Fig. 6과

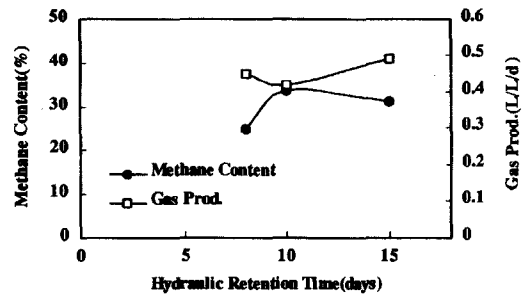


Fig. 6. Variation of methane content in biogas from the anaerobic digester treating straw-mixture at each operating HRTs.

같다. HRT별 운전기간에 따른 메탄가스의 발생량 추이는 전체 가스발생량과 비슷하여 HRT가 증가할수록 메탄가스발생량 및 메탄함량이 증가하는 양상을 나타내었다. HRT별로 메탄함량의 차이가 전체 메탄발생량의 차이를 초래하였다. HRT 8일, 10일 및 15일 메탄가스 발생량은 반응조 용적당 평균 0.113, 0.142, 및 0.154 L/L/d로 발생하였고, 발생 소화가스중 메탄가스의 평균 함량은 HRT 8일, 10일 15일에서 각각 25%, 33.7% 및 31.2%로 다소 낮게 나타나고 있으며, HRT 10일에서의 발생량이 HRT 15일에 비하여 다소 높은 메탄함량을 나타냈었으나 이는 미미한 수준이며, HRT 8일에서 매우 낮은 메탄함량을 나타내고 있는 이유는 휘발산으로 전환율이 빠른 탄수화물이 유입수내 상대적으로 많이 포함되어 있었기 때문에 혐기성 반응의 마지막 단계인 메탄생성균(methanogenic bacteria)에 의한 메탄생성단계와의 균형유지가 다소 어려웠기 때문이다. 아울러 메탄함량이 낮은 또다른 이유는 볏짚성분내에 일반적으로 혐기성 분해가 어렵다고 알려져 있는 셀룰로오스가 많이 포함되어 있어 가수분해효율이 낮아졌기 때문이며 Stronach 등(1986)이 제시하듯이 볏짚의 가수(hydrolysis)분해단계가 전체 혐기성 반응속도 지배

하는 율속단계(rate-limiting step)인 것으로 사료된다.

전체적으로 메탄합량은 일반적으로 문헌에서 제시되고 있는 함량에 비하여 낮은 결과를 보이고 있으며, Hashimoto(1992)가 돈분의 혼합비율을 각각 90%, 75% 및 50%로 한 후에 총고형물농도를 5%로 맞추어 수리학적 체류시간 6~15일, 운전온도 35°C에서 반연속식(semi-continuous)으로 운전하였을 때 발생한 가스 발생량보다 낮은 것이었다. 이렇게 가스발생량이 낮은 이유는 유입되는 볏짚의 성상이 대부분의 경우 단위 g 당 가스발생량이 적은 탄수화물을 많이 포함하고 있기 때문이다. 소화가스발생량은 유입기질내 성분에 따라 달라지게 되는데 볏짚의 경우 가스발생량이 높은 조단백질을 많이 포함하고 있지 않기 때문이다. 즉, 볏짚의 경우 C/N비가 80으로 일반적으로 혐기성 소화에 적합하다고 알려진 25에 비하여 매우 큰 수치로 질소성분이 상당히 부족하였다. 그리고 이러한 연구결과는 우리나라 도시하수슬러지를 혐기성소화할 경우에 2차슬러지내 다량으로 포함된 단백질성분이 메탄합량을 높게 나타나게 하였다고 보고하고 있는 허(1994)와 Topy (1984)의 연구결과와 잘 부합하는 것이었다. 그리고 반응시간동안에 가스의 조성변화를 살펴본 결과 조성의 두드러진 변화는 없었다. 이상의 결과로 살펴볼 때 볏짚의 혐기성 소화시 발생하는 소화가스를 이용할 경우, 에너지원으로 사용하기에는 다소 부적합하며 것으로 판단되나 C/N비를 조절하여 기질특성을 변화시킬 경우 가능할 것으로 사료된다.

2. 기질제거특성

초기운전기간 약 한달 이후 정상상태하에서 혐기성 반응조의 각 체류시간별 소화액의 특성은 Table 3과 같다. 운전초기에는 반응조내 pH가 약 6.7부근에서 운전되어 중탄산나트륨을 이용하여 중화한 후 정상적인 pH 범위인 약 7.3부근에서 HRT에 관계없이 운전되었으나, 때때로 pH가 저하하였다. 하지만 Malina와 Pohland (1992)가 제시하는 최적의 혐기성 소화조 운전범위인 6.8~7.4부근에서 운전되어 정상적으로 소화가 가능하였다. 아울러 ORP는 모든 반응조에서 -280mV이상으로 양호한 상태를 나타내었으며, 메탄생성균의 성장에 저해를 주지 않기 위해서는 -100 mV를 유지하는 것이 좋다고 보고한 Mosey와 Huges(1975) 및 Malina와 Pohland(1992)의 결과와 잘 부합하였고, 전체 소화기간 중 내부미생물의 신진대사의 급격한 변화에 의한 수소분압의 차이에 의한 ORP의 두드러진 변화는 없었다.

휘발산은 일반적으로 혐기성 반응단계인 두 번째 단계에서 생성되는데 이론적으로 안정적인 혐기성 소화

를 진행하기 위해서는 pH가 6.5이하로 하강해서는 정상적인 소화가 어려운데 본 실험결과, Meynve(1976) 및 Trevelyan(1975)의 연구에서의 같이 유입수내 포함된 수용성탄수화물이 빠르게 휘발산으로 전환되어 소화에 저해를 일으킨다고 알려진 3,000 mg/l를 훨씬 초과하는 상태가 발생하였다. 아울러 메탄생성균에 의한 휘발산이용을 저해하여 점점 pH가 저하는 경향을 나타내었다. 따라서 정상적인 소화를 진행하기 위하여 중탄산나트륨으로 중화하였으며, 중화 후 Table 3에서 보듯이 알칼리도가 17,000 mg/l이상으로 증가하여 반응조내 휘발산대 알칼리도의 비가 0.2이하로 유지되었다.

한편, 정상상태에서 혐기성 소화조에 의한 COD 및 총휘발성고형물(VS)제거효율을 살펴보면 Fig. 7과 같

Table 3. Steady-state effluent characteristics of anaerobic digester fed with 5% straw-water mixture at steady state conditions[(range), average \pm S.D.*]

Parameters	HRT(days)		
	8	10	15
Total solids(g/l)	(46.1~49.8) 48.7 \pm 0.9	(47.8~50.9) 49.1 \pm 0.99	(46.9~49.3) 48.0 \pm 1.1
Volatile solids(g/l)	(19.0~23.2) 21.8 \pm 1.1	(20.98~22.9) 21.3 \pm 0.9	(20.2~22.1) 21.0 \pm 0.5
COD(g/l)	(27.9~30.9) 29.8 \pm 1.0	(25.5~27.2) 26.0 \pm 1.1	(19.2~21.8) 20.0 \pm 0.8
TKN(g/l)	(0.24~0.26) 0.252 \pm 0.02	(0.44~0.49) 0.469 \pm 0.04	(0.39~0.48) 0.434 \pm 0.04
Alkalinity (gCaCO ₃ /l)	(1.66~1.78) 1.72 \pm 0.7	(1.66~1.72) 1.70 \pm 0.9	(1.68~1.91) 1.78 \pm 0.88
pH**	(7.0~7.5) 7.3 \pm 0.4	(7.0~7.4) 7.3 \pm 0.3	(7.2~7.5) 7.3 \pm 0.2
Carbon(g/l)	(18.8~21.3) 19.85 \pm 1.1	(18.8~20.8) 19.1 \pm 0.8	(17.9~18.9) 18.25 \pm 0.5

*S.D. means standard deviation.

**Based on the pH after addition of alkalinity.

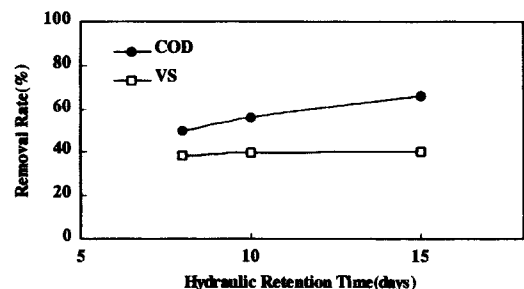


Fig. 7. Average COD and VS removal rate at each operating HRTs.

다. HRT가 증가할수록 유기물제거효율이 증가하는 경향을 나타내며, 이는 가스발생특성과도 일치한다. 즉, 유기물의 제거효율 증가는 발생하는 소화가스량의 증가와 일치하며 본 연구에서는 COD 및 VS의 제거효율이 발생가스량 및 메탄가스발생량과 비례하였다. HRT 8일, 10일 및 15일에서 COD의 평균 제거효율은 각각 49.8%, 56.2% 및 66.3%를 나타내었고, VS의 제거효율은 38.3%, 39.7% 및 40.5%였다. COD와 VS의 제거효율이 다소 차이가 발생하는 이유는 벚짚의 성분내에 수용성 물질 뿐만 아니라 리그닌과 같은 불용성의 유기물이 많이 포함되어 있기 때문이라고 판단된다. 이러한 리그닌 성분은 일반적으로 알려진 바와 같이 혐기성 반응단계중 가수분해단계에서 수용성의 휘발산으로 잘 전환되지 않기 때문에 판단되며, 가수분해효율을 감소시킴으로써 전체 혐기성 반응의 효율을 감소시키는 역할을 한 것으로 사료된다. 이러한 결과는 유입 기질에 포함된 TKN성분이 소화되면서 탈아미노기 현상에 의하여 증가한 현상이며, 벚짚을 혐기성 소화시킨 소화액이 비료로서의 가치가 증가하는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

벚짚의 혐기성 분해과정에서 발생하는 소화가스의 양과 조성을 조사하여 생분해정도를 파악하고, 에너지원으로서의 이용성을 알아보기 위하여 벚짚을 수리학적 체류시간 8~15일, 소화온도 35°C의 중온조건하에서 반연속식으로 운전하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 소화가스 발생량과 소화가스중 메탄함량은 운전초기에는 최고치를 나타내었으나 설정된 수리학적 체류시간의 3배 이상을 운전하여 혐기성 반응조가 정상상태에 도달하면서 점점 줄어들어 안정된 상태를 나타내었다.

2. 메탄가스발생량은 수리학적 체류시간이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으며, COD, 총휘발성고형물의 제거효율도 증가하였다. 소화가스중 메탄함량은 수리학적 체류시간에 관계없이 25%이상을 나타내었으며, COD 및 총휘발성고형물 제거효율 50% 및 38%이상을 나타내었다.

3. 소화가스발생량 및 메탄함량은 낮았는데 이는 벚짚의 C/N비가 80으로 매우 높았기 때문이며, 에너지원으로서 메탄가스의 이용은 메탄함량이 낮아서 경제성이 없다고 판단된다.

4. 벚짚과 수도수의 혼합물중에 포함된 수용성 탄수화물은 유기산으로 쉽게 전환되어 pH를 저하시켰고 메탄생성균에게도 저해를 주었다. 따라서 소화정도에 따

라 알카리도 물질을 투입하여 pH를 조절하여야 정상적인 소화가 가능하다.

참고문헌

- 1) 한장운 : 도시하수슬러지의 혐기성소화시 고액분리특성에 미치는 온도의 영향. 전국대학교 석사학위논문, 전국대학교대학원, 1993.
- 2) 허준무 : 도시하수슬러지의 혐기성연속회분식 공정에 의한 소화. 전국대학교 석사학위논문, 전국대학교대학원, 1994.
- 3) American Public Health Association, Water Environment Federation, American Water Works Association. : Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th Edition, APHA, WEF, AWWA, Washington. D.C., U.S.A., 1995.
- 4) Badger, D. M., Bouge, M. J., and Stewart, D. J.: Biogas production from crops and organic wastes ; Results of batch digestion. New Zealand Journal of Science, **22**, 11-22, 1979.
- 5) Converse, J. C., Zeikus, J. G., Graves, R. E., and Evans, G. W.: Anaerobic degradation of dairy manure under mesophilic and thermophilic temperatures. Journal of Water Pollution Control Federation, **42**, 2, 203-210, 1981.
- 6) Corder, R. E., Clausen, E. C., Gaddy, J. L.: Methane from agricultural residues. Proceedings of the 7th Miami International Conference on Alternative Energy Source, 9-11 December, University of Miami, Florida, 1984.
- 7) Hashimoto, A. G.: Conversion of straw-manure mixture to methane at mesophilic and thermophilic temperature. Biotechnology and Bioengineering, **25**, 185-200, 1992.
- 8) Hill, D. T., Young, D. T., and Nordstedt, R. A.: Continuously expanding anaerobic digestion ; A technology for the small animal producer. Transactions of the American Society of Civil Engineering, 731-736, 1981.
- 9) Jones, D. D., Jones, B. A., and Day, D. L.: Anaerobic digestion of cattle waste. Transactions of the American Society of Civil Engineering, 757-761, 1968.
- 10) Klass, D. L., and Ghosh, S.: Methane production by anaerobic digestion of bermuda grass. 177th National Meeting on Biomass as a Nonfossil Fuel Source, American Chemical Society, 230-249, 1979.
- 11) Malina, J. F., and Pohland, F. G.: Design of anaerobic process for the treatment of industrial and municipal wastes. Technomic Publishing Inc., Lancaster, Pennsylvania, U.S.A., 1992.
- 12) McCarty, P. L.: Anaerobic process ; Short course on design aspects of biological treatment. Inter. Assoc. of Wat. Pollut. Res., Birmingham, United Kingdom, 1974.
- 13) McCarty, P. L.: Anaerobic waste treatment fundamentals II ; Environmental requirements and control. Public Works for October, 123-126, 1964.

- 14) Meynell, P. J.: Methane planning a digester. Prism Press, Dorset, England, 1976.
- 15) OECD : Biomass for energy. OECD, Paris, p 23, 1984.
- 16) Siever, P. M. and Brune, D. E.: Carbon to nitrogen ratio and anaerobic digestion of swine waste. Transactions of the American Society of Civil Engineering, 537-541, 1979.
- 17) Smith, R. T., Hein, M. E., and Creiner, T. H.: Experimental methane production from animal excreta in pilot and farm-size units. Journal of Animal Science, **8**, 1, 202-217, 1979.
- 18) Stroanch S. M., Rudd, T., and Lester, J. N.: Anaerobic digestion process in industrial wastewater treatment. 1st Edition, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1986.
- 19) Torpey, W.N.: Effect of multiple digestion of municipal sludge. Journal of Water Pollution Control Federation, **56**, 1, 62-68, 1984.
- 20) Tosun, A., Nevin, S., and Soyupak, S.: Biogas production from agricultural wastes. Proceedings of the 8th Miami International Conference on Alternative Energy Source, 5-10 December, University of Miami, Florida, 1987.
- 21) Trevelyan, W. E.: The methane fermentation : Discussion papers. Tropical Science, **17**, 4, 193-209, 1975.