



## 혐기성 소화를 통한 유가공 폐기물의 에너지원으로의 재활용과 오염 감소 방안에 관한 연구

임사무엘 · 임현지 · 정국진<sup>1,\*</sup>

민족사관고등학교, <sup>1</sup>파스퇴르유업(주)

### A Study of Milk Waste Recycling as an Energy Source and Reduction of Pollution by Anaerobic Digestion

Samuel Lim, Hyun-Ji Lim and Kook-Jin Jung<sup>1,\*</sup>

Korean Minjok Leadership Academy, Heongsung 225-823, Korea

<sup>1</sup>Pasteur Milk Co., Ltd, Heongsung 225-823, Korea

#### ABSTRACT

We confirmed methane production and reduction of pollution during anaerobic digestion of milk waste and analyzed the economic potential of using milk waste as a renewable energy source. The milk waste sludge was obtained from the Pasteur milk factory and processed by anaerobic digestion to produce methane. The methane production from two completely mixed tank reactors with an effective capacity of 6 ℓ, 15 days of hydraulic retention time (HRT), and a mid-temperature of 35°C averaged 4.11 ℓ/day. The total chemical oxygen demand (TCOD) during production decreased from an initial 31,416 mg/ℓ to 13,500 mg/ℓ, showing a maximum TCOD removal efficiency of 60%. When HRT was reduced to 12 days, methane production increased by 44% under a high-temperature condition of 55°C. An economic analysis based on these results was applied to a Korean milk factory of typical size and demonstrated that the installation of an anaerobic digester could provide sufficient economic profit.

Keywords : milk waste, methane production, anaerobic digestion

#### 서 론

현재 국내 유제품 생산량은 2007년 기준으로 3백만 톤에 달하며(한국유가공협회, 2007), 우유 1톤을 생산하기 위해 평균 약 2.4톤의 폐수가 발생한다는 연구 결과에 의하면 매년 약 720만 톤 가량의 유가공 폐수가 발생하고 있음을 추정할 수 있다(Verheijen *et al.*, 1996). 2006년 기준으로 전 세계의 우유 생산량은 5억 5천만 톤을 상회하며, 전과 같은 비율을 적용하면 전 세계에서 발생하는 유가공 폐수의 양은 연간 13억 톤에 달하는 것으로 예상할 수 있다(CLAL, 2006).

유가공 폐수는 불순물과 고형분을 정화한 후 대부분을 하수로 방류하고 있으나 이러한 처리 과정에서 오염도가 높은 슬러지가 발생하게 된다. 이러한 슬러지는 <Table 1>과 같이 유지방, 카세인, 단백질, 유당, 무기염류 등을 다량 함유하고 있다.

<Table 1>에 제시된 바와 같이 우유 폐기물은 우리가 일반적으로 마시는 우유와 구성 성분이 유사하나, 세정 과정에서 첨가물이 추가되어 재활용하지는 못하며, 오염도를 낮추는 처리를 한 후 일부는 비료성분으로 사용되고 있지만 대부분은 매립되거나 해양에 투기되고 있다. 그러나 2005년부터 함유율이 높은 유기성 폐기물의 직매립이 금지되었고, 2012년부터 런던협약 96 의정서에 의거하여 해양투기 역시 제한될 예정이다. 이처럼 기존의 유가공 폐기물 처리방식을

\* Corresponding author: Kuk-Jin Jung, Pasteur Milk Co., Ltd., 1334 Sosa, Anheung, Heongsung, Gangwon 225-823, Korea. Tel: +82-17-226-6402, E-mail: sportsmad@hanmail.net

Table 1. Ingredients of milk waste sludge<sup>1,2)</sup>

성분명	합량	성분명	합량
단백질	16 g	마그네슘	40 mg
지방	25 g	칼륨(K)	590 mg
탄수화물	53 g	나트륨	180 mg
회분	3.5 g	염소	320 mg
칼슘	580 mg	구리(Cu)	320 mg
인(P)	340 mg	요오드	50 µg
철(Fe)	7 mg	망간(Mn)	30 µg
아연(Zn)	3 mg	비타민C	50 mg

<sup>1)</sup> 본 연구에서 실험대상 시료로 이용한 강원도 횡성 소재 파스퇴르공장에서 수집한 우유폐기물에 대한 성분분석 결과임.

<sup>2)</sup> 제시된 자료는 100 ml의 샘플을 기준으로 성분을 표시한 것임.

유지하기가 어려워짐에 따라 보다 친환경적인 처리방안이 절실하게 요구되고 있다.

현재 연구되고 있는 여러 대체 에너지원 중 바이오매스로부터 발생하는 메탄을 이용하는 방법은 경제성과 함께 교토의정서 체제하에서 도입되는 온실가스 배출 거래권 제도에 적합한 친환경적 에너지원이다. 폐기물로부터 메탄을 추출하는 방법으로 혐기성 처리방법이 널리 이용되며, 음식물이나 축산폐기물 등을 대상으로 메탄을 생산해 내는 대안으로 적용되고 있다. 유럽 등지의 선진국에서는 이미 2005년 기준으로 2,500개 이상의 혐기성 소화조가 운영되고 있으며, 국내에서도 재생에너지 보급 확대 계획에 따라 혐기성 바이오메탄을 이용한 에너지 공급을 증대시킬 예정이다(Philipp *et al.*, 2006). 그러나 현재까지 국내에서는 많은 양이 발생하고 있는 유가공 폐기물로부터 에너지를 회수하는 방안에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 않은 상태이다. 유가공 폐기물을 재활용하여 오염물질을 감소시키고 대체 에너지를 효율적으로 생산해낼 수 있다면 환경 보전과 에너지 생산이라는 두 가지 측면 모두에서 사회에 큰 도움이 될 것이다.

이에 본 연구의 목적은 유가공 폐기물을 혐기성 처리하였을 때 생성되는 메탄의 양과 폐기물의 오염도 감소 수준을 알아보고, 발생되는 메탄을 에너지원으로 사용하였을 때의 경제성을 확인하는 것이다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 대상 시료

본 연구에 사용된 유가공 폐기물은 강원도 횡성군에 위치한 파스퇴르우유 공장에서 탈수 과정에 들어가기 전 단계의 농축조에서 수거하였다. 채취한 폐기물의 고형물 농도(TS), 휘발성 고형물 농도(VS), 총 화학적 산소요구량(TCOD),

Table 2. Characteristics of milk sludge sample

TCOD	31,416 mg/ℓ
SCOD	3,657 mg/ℓ
TS	23,766.7 mg/ℓ
VS	17,873.3 mg/ℓ

용존성 화학적 산소요구량(SCOD)에 대한 분석 결과는 <Table 2>와 같다.

### 2. 실험 장치

혐기성 소화는 저산소 조건에서 미생물에 의한 유기물의 분해를 수반하는 생물학적 과정이다. 일반적으로 혐기성 소화처리는 오염도가 높은 산업폐수에 대해 적용되어 오염수준을 크게 낮추어 주며, 유기물을 제거하는 과정에서 메탄이 생성된다. 폐기물에 대한 기본적인 전처리와 혐기적 처리를 위한 소화조의 구성은 <Fig. 1>과 같다(안재환 등, 2007). 혐기적 처리에서 유기물은 크게 가수분해, 산 생성, 그리고 메탄화의 단계를 거쳐 메탄으로 변화하게 된다(Krich *et al.*, 2005). 가수분해와 산 생성 과정에서 나온 중간 생성물은 메탄균에 의해 혐기성 조건하에서 메탄가스와 탄산가스 및 소량의 암모니아와 H<sub>2</sub>S로 분해되어진다. 메탄균은 증식속도가 낮고 온도, pH 등 외부 조건에 의해 민감하게 반응함으로 메탄 생성균을 안정화시키는 것이 혐기성 소화과정에서 중요한 과제이다(박주량 등, 2003).

본 연구의 실험은 인하대학교 환경공학부 실험실에서 이루어졌으며, 실험에 사용된 혐기성 소화조는 원통형의 아크릴 재질의 완전혼합형 반응조이다. 반응조의 유효 용적은 6 ℓ이며, 폐기물의 유입과 유출은 매일 1회 실시하였다. 본 실험을 위하여 2개의 소화조(R1, R2)를 설치하였으며, 실험 초기 단계에 메탄균이 유가공 폐기물과 실험조건에서 쉽게 적응할 수 있도록 안정화된 메탄균을 식중하였다. 투입된 메탄균은 인천 서구 소재 수도권 매립지의 음식물 소화조에서 채취한 것이다. 실험 초기 단계에서 매일 0.4 ℓ/day의 폐기물을 유입·유출시켜 15일의 수리학적 체류시간(HRT: Hydraulic Retention Time) 조건을 유지하였고, 이러한 feeding 과정 후에 포집된 가스의 성분을 분석하였다. 두 소화조 모두 온도 조건 유지를 위

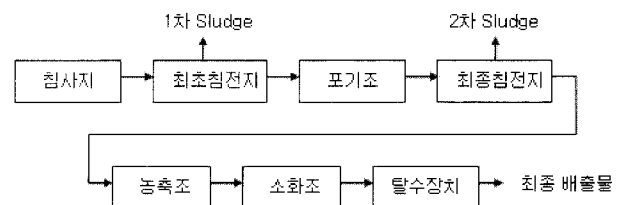


Fig. 1. Steps of milk waste treatment by anaerobic digestion.

해 항온실에서 운전하였으며, 공기가열식 히터로 실험기간 동안 35±1℃로 일정하게 온도가 유지되도록 하였다. 실험 개시 후 21일째 부터는 1번 반응조에 덮개를 씌워 55℃의 고온 조건을 유지하도록 하였다. 발생된 가스는 원형통에 포집하여 가스량을 측정하였고, 가스 포집시 가스의 용해를 막기 위하여 황산을 가한 포화식염수(pH 2 이하)를 채웠다.

### 3. 실험 방법

본 연구에서는 유가공 폐기물의 혐기성 소화를 통한 메탄 발생량을 알아보기 위하여, 2기의 혐기성 소화조(R1, R2)를 설치하였고, 3단계로 실험을 진행하였다. 1단계에서는 초기 실험 시작 후 20일째까지로 두 소화조 모두 35℃의 중온조건과 15일의 HRT를 유지하였다. 실험 2단계인 21일째 부터는 R1을 55℃의 고온으로 높혀 온도의 변화에 따른 메탄 생산량과 유기물 제거율의 변화를 R2와 비교하였다. 3단계인 28일째부터는 온도조건은 2단계에서와 같이 유지한 채로 두 소화조 모두의 HRT를 12일(매일 0.5 l/day의 폐기물을 유입·유출)로 감소시켜 유기물 부하를 증가시켰을 때의 변화를 확인하였다.

### 4. 분석 방법

실험 과정에서 혐기성 소화의 조건별 효율을 파악하기 위하여 TCOD, SCOD, TS, VS, 암모니아 농도 등의 화학적 특성을 분석하였다. 화학적 특성에 대한 구체적인 분석은 APHA/AWWA/WEF(1995)의 표준기법과 환경부의 수질오염공정시험방법(2000)에 제시된 절차에 따라 이루어졌다. APHA/AWWA/WEF의 표준기법은 미국의 American Public Health Association, American Water Works Association과 Water Environment Federation에서 공동으로 인정한 수질오염물질에 대한 생화학적 연구에 이용되는 표준화된 분석기법이다. 이러한 기법에 따라 먼저 COD는 시료를 증크롬산칼륨을 이용하여 산화시킨 뒤 2시간 동안 가열한 후 분광학적 방법으로 측정하였다. TS와 VS는 증발접시를 이용하여 시료를 건조, 강열시켜 무게를 달아 측정하였다. 암모니아의 농도는 이온전극법에 따라 시료에 수산화나트륨을 넣어 pH를 11~13 수준으로 맞추고, 암모늄이온을 암모니아로 변화시킨 다음 암모니아 이온전극을 이용하여 측정하였다. 소화 가스의 메탄 조성 분석은 GC-TCD를 이용하여 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 메탄 생성

본 실험 결과, 전체 가스 발생량 대비 메탄 발생량은 약 70%로 비교적 일정하게 유지되었으며, 초기 20일까지의 1일 메탄

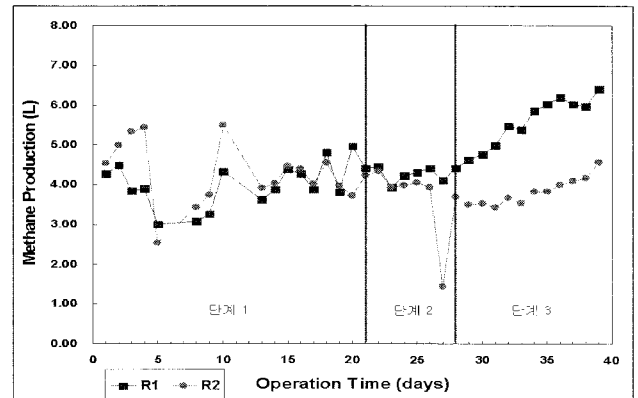


Fig. 2. Methane production over the time.

발생량은 3 l/day에서 6 l/day 사이로 나타났다. <Fig. 2>는 본 실험에 이용된 두 개의 반응조인 R1과 R2의 메탄 발생량을 반응시간에 따라 나타낸 것이다. 이 기간 동안 평균 메탄 발생량은 R1이 3.99 l/day, R2가 4.23 l/day로 비슷한 값을 보인다. 1단계에서 R1과 R2는 같은 조건 하이드로 두 값을 평균할 시 전체 1일 평균 메탄 발생량은 4.11 l/day이다.

21일부터 27일까지 진행된 2단계 실험과정에서 R1을 55℃의 고온상태로 변화시킨 결과, 그래프에서 볼 수 있듯이 R1의 메탄 발생량이 R2보다 약간 높게 나타났다. R1의 평균 메탄 발생량은 4.27 l, R2는 4.08 l(실험오차로 생각되는 27일 데이터 제외)로 R1이 R2에 비해 약 5% 많은 메탄이 발생하였다. 이는 중온조건과 비교했을 때 고온 미생물이 상대적으로 더 높은 기질 이용성을 가진다는 기존의 연구 결과와 일치하는 결과이나 온도조건의 변화만으로는 메탄 발생량에 유의한 영향을 주지는 못하는 것으로 나타났다(김문일, 2004).

실험의 3단계에 해당되는 28일째부터의 데이터는 R1을 고온, R2를 중온상태로 유지시킨 상태에서 두 반응조 모두 HRT를 15일에서 12일로 줄인 상태로 R1에서 보다 많은 메탄 발생량을 보이는 것을 알 수 있다. 3단계에서의 1일 평균 메탄 발생량은 R1이 5.51 l, R2가 3.82 l로 R1이 R2보다 약 44% 가량 많은 것으로 나타나 온도와 HRT의 영향이 복합적으로 나타남을 알 수 있다. 즉, HRT가 감소하면 유기물 부하가 늘어나게 되고, 고온인 R1은 기질 이용성이 높으므로 이를 대부분 소화시켜 메탄 발생량이 증가하지만 중온상태인 R2의 경우 늘어난 유기물 부하에 적응하지 못하면서 오히려 단계 1이나 2에서보다 더 적은 메탄 발생량을 보이는 것으로 판단된다. 따라서 온도 증가만으로는 메탄 발생량의 변화를 가져오기 어려우며 HRT의 감소가 수반되는 경우 많은 메탄 발생량을 가져올 수 있음을 확인하였다.

위 결과로부터의 메탄 생성량을 초기 투입량 VS 대비 부

피(VSa)로 나타내면, 단계 1에서의 평균값은  $0.57 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$  VSa이다. 얻어진 메탄 생성량을 완전혼합형 반응조를 사용한 타 연구 결과와 비교하면, TS 대비 VS 비율이 82~87%인 도시고형폐기물(MSW: Municipal Solid Waste)의 경우 14~20일 HRT의 중온조건에서 유기물 부하에 따라  $0.39\sim 0.43 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$  VSa의 메탄 생성량을, 과일류 음식물 폐기물의 경우 16일 HRT의 중온조건에서  $0.25 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$  VSa을, 감자 음식물 폐기물의 경우 20일 HRT의 중온조건에서  $0.426 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$  VSa의 메탄을 생성하는 것으로 보고되었다(Gunaseelan, 1997). 본 연구에서 얻어진 15일 HRT의 중온조건에서  $0.57 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$  VSa의 메탄 생성량은 다른 폐기물 대비 상대적으로 높은 양으로 유가공 폐기물에서의 메탄 생성은 다른 종류의 폐기물과 비교하여 상대적으로 높은 효율을 보임을 예상할 수 있다.

**2. 반응 중 화학적 특성**

본 실험에서의 암모니아의 농도는 21일까지의 데이터에서는 농도가 약  $200\sim 300 \text{ mg-N/l}$ 로 일정한 값을, 그 이후 R1의 경우  $400\sim 700 \text{ mg-N/l}$ , R2의 경우  $300\sim 500 \text{ mg-N/l}$ 로 증가했다. 그러나 이러한 수준은 암모니아가 혐기성 소화에 저해작용을 한다고 알려진  $700 \text{ mg-N/l}$  보다 적은 값으로, 유가공 폐기물에 대한 본 실험에서 암모니아에 의한 저해효과는 크지 않음을 알 수 있다. 한편, 실험 과정에서의 pH는 모든 단계에서 두 반응 조 모두 약 7.0에서 8.0 사이의 값으로 유지되어 메탄 생성의 최적조건인 6.6~7.8 범위에 부합하는 것으로 나타났다.

**3. 유기물 제거**

<Fig. 3>과 <Fig. 4>는 반응시간에 따른 TCOD 변화와 그 제거 효율을 나타낸다. TCOD 값은 1단계 실험이 진행되면서 초기  $31,416 \text{ mg/l}$ 에서 20일째에는 약  $13,500 \text{ mg/l}$ 로 감소하여 약 60%의 제거 효율을 보이고 있다. R1을 고온처리한 21일부터는 R1의 TCOD에는 큰 변화가 없으나, R2의 TCOD는 다소 높아진 것으로 나타났다. HRT를 15일에서 12일로 줄인 3단계의 28일째부터는 R1과 R2 모두 TCOD가 증가하였다. 하지만 R1의 경우 약  $16,000\sim 17,000 \text{ mg/l}$  부근에서 일정하게 유지되는 반면, R2의 경우에는 약  $23,000 \text{ mg/l}$  수준까지 증가하는 것을 볼 수 있다.

이는 고온으로 분해율이 높은 R1의 경우는 HRT의 증가에 의해 유입량이 늘어난 유기물을 소화시켜 일정한 오염도를 유지시킬 수 있지만, R2는 유입된 유기물을 충분히 소화시키지 못하고 분해되지 않은 유기물이 축적되어 TCOD가 증가한 것으로 해석할 수 있다. 고온의 R1에서 TCOD는  $17,000 \text{ mg/l}$ 로 유지되어 약 50%의 제거 효율을 보였지만

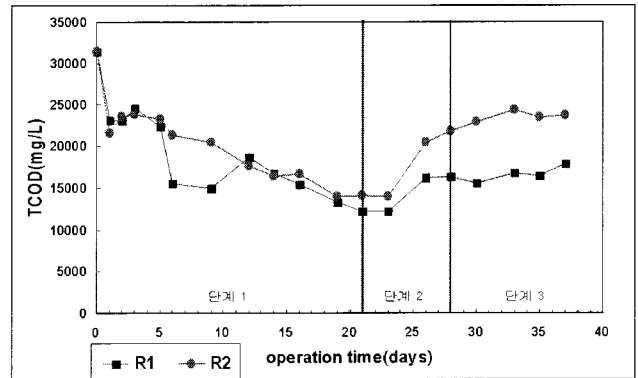


Fig. 3. TCOD level (in mg/ l ) over the operation time.

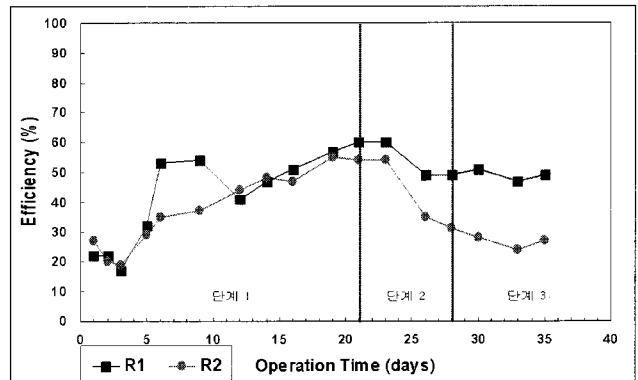


Fig. 4. TCOD removal efficiency (%) over the operation time.

1단계에서 R1과 R2에서 나타난 오염도 제거 효율인 60%에는 다소 떨어지는 값이다. 따라서, 12일의 HRT의 고온 조건에서는 메탄 발생량은 늘어나지만 늘어난 유기물 부하로 인해 상대적으로 유기물 제거 효율은 다소 떨어짐을 알 수 있다.

**4. 경제성 분석**

본 실험 결과에 따르면 유가공 폐기물에 대한 혐기성 소화를 통해 많은 메탄이 발생함을 알 수 있었다. 하지만 이를 상업적인 목적으로 적용하기 위해서는 발생하는 메탄의 양과 투입 비용 등을 고려한 경제성 분석이 필요하다. 즉, 이와 같은 시설을 실제 우유공장에서 설치하여 활용하는 경우, 혐기성 소화장치의 설치 및 유지비와 같은 투자 대비 발생하는 메탄으로부터의 수익을 비교하여 이익이 발생해야 한다.

본 연구 결과, 메탄 발생의 최적조건은 HRT 12일의 고온 조건이나 유기물 제거의 최적조건은 HRT 15일의 중온조건으로 다소 상충되는 것으로 나타났다. 이에 경제적 고찰을 위해 HRT를 15일로 유지한 중온조건에서 혐기성 소화조를 유지하는 경우(조건 A)와 HRT를 12일로 유지한 고온조건

의 경우(조건 B)를 소화조 미설치시와 비교하여 분석하기로 한다. 경제성 분석을 위하여 고려한 비용 및 수익 요인으로 는 시설투자 및 유지비용, 고품화된 탈수 케이크에 대한 처리비용, 메탄의 에너지화에 의한 수익을 고려하였다.

1) 분석 대상이 되는 유가공 생산시설

본 경제성 분석에서의 대상 시설은 1일 유제품 생산량은 약 400톤, 연간 생산량은 약 10만 톤(연간 250일의 가동일 기준)이며, 이는 국내 유제품 생산의 약 3.3%를 점유하는 양이다. 2007년 기준 국내 총 유제품 매출의 3.3%를 가정하면, 상기 대상 시설은 2007년 기준 연간 약 1,500억원 정도의 매출을 올리는 생산규모임을 추정할 수 있다(한국유가공협회, 2007). 이와 같은 규모에 해당되는 파스퇴르우유 공장의 사례를 보면 매일 약 1,000톤 정도의 폐수가 발생하며, 정화처리 후 약 5톤 정도의 슬러지가 발생한다. 우리나라의 전체 유가공 시설을 대상으로 이 비율을 적용하면 현재 국내에서는 하루 약 150톤 정도의 슬러지가 발생하는 것으로 추정할 수 있다.

2) 탈수케이크의 처리비용

경제성 분석을 위해서 고려해야 하는 요인 중 첫 번째는 슬러지에 대해 탈수처리를 거친 후에 발생하는 탈수케이크의 처리비용이며, 이를 위해 먼저 발생하는 탈수케이크의 양을 추정해야 한다. 파스퇴르우유 공장의 내부 분석자료에 의하면 탈수처리 후 생성되는 케이크의 양은 투입된 슬러지의 약 1/2 수준으로 감소하여, 1일 5톤의 슬러지에서 약 2.5톤의 케이크가 발생하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 진행한 탈수케이크에 대한 혐기성 소화 처리 후에는 TS와 고형물의 양이 감소함에 따라 처리해야 하는 탈수케이크의 양도 줄어들게 된다. 본 연구 결과, 조건 A(15일의 HRT와 중온조건)의 평균 TS는 16,482 mg/ℓ였으며, 조건 B(12일의 HRT와 고온조건)에서의 TS는 15,775 mg/ℓ로 나타나 실험을 하기 전의 23,766 mg/ℓ 대비 각각 30.6%와 33.6%가 감소하는 것으로 나타났다. 이상의 자료를 이용해 대해 탈수케

이크의 양을 추정하면 조건 A에서는 1일 1.735 ton, 조건 B에서는 1.66 ton의 탈수케이크가 발생하는 것으로 추정할 수 있다. 탈수케이크의 처리비용은 약 40,000원/ton으로 산정하여 계산하였다.

3) 시설투자 비용

유가공 폐기물 처리를 위한 반응조 설치에 필요한 투자비로는 건설비와 유지비용을 고려하여야 한다. 1일 130 m<sup>3</sup>의 탈수슬러지를 처리하는 소화조의 건설비를 m<sup>3</sup>당 1억원으로 추정하여 130억으로 예상한 2005년 부천시 자료를 바탕으로 본 연구에서 대상으로 하는 반응조의 건설비용은 약 2억원으로 추정하였다(부천시, 2005). 반응조 유지에 드는 연간 유지관리비는 약 3백만원을 책정하였으며, 조건 B의 경우 반응조를 고온으로 유지하기 위하여 추가적인 비용을 감안하였다.

4) 메탄가스 발생량과 예상 수익 계산

실험을 통해 얻어진 메탄 발생량은 조건 A에 해당하는 초기 20일까지의 데이터가 4.11 ℓ/day, 조건 B에 해당하는 28일부터의 데이터가 5.51 ℓ/day였다. 실험에 이용한 일일 폐기물의 양은 각각 0.4 ℓ/day와 0.5 ℓ/day였으므로, 1일 5 t/day의 유량에 해당하는 메탄 발생량의 예측값은 조건 A의 경우 51.375 m<sup>3</sup>, 조건 B의 경우 55.1 m<sup>3</sup>이다. 메탄의 발열량은 35,800 KJ/m<sup>3</sup> = 8,556 kcal/m<sup>3</sup>이므로 조건별 전체 발열량은 각각 439,565 kcal와 471,436 kcal이다. 발생한 메탄가스를 에너지원으로 보일러 가열에 사용한다고 가정하면, 보일러에 사용되는 등유의 발열량이 8,900 kcal/ℓ이므로 등유의 양으로 환산시 각각 49.39 ℓ, 52.97 ℓ이고, 등유의 가격이 2009년 2월 기준으로 약 930원/ℓ임을 감안하면 하루 수익은 각각 45,932원과 49,262원으로 추정할 수 있게 된다. 이상의 분석결과를 정리하여 조건별로 연간 경제성을 분석하면 <Table 3>과 같은 결과가 나타난다.

<Table 3>에서 보면 유가공 폐기물을 혐기성 소화처리하여 발생한 메탄을 에너지원으로 이용했을 경우 그렇지 않

Table 3. Economic analysis for three conditions

구분	조건 A	조건 B	소화조 미가동	
탈수케이크	발생량	434 ton/년	625 ton/년	
	처리비용	-1,736만원/년	-1,660만원/년	-2,500만원/년
메탄가스	발생량	12,844 m <sup>3</sup> /년	13,775 m <sup>3</sup> /년	0
	회수이익	1,148만원/년	1,232만원/년	0
운영비	-300만원/년	-420만원/년	0	
연간 총 비용 (소화조 미가동시 대비)	-888만원/년 (1,612만원/년)	-848만원/년 (1,652만원)	-2,500만원/년	

은 경우보다 높은 경제적 이득을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 두 반응조의 조건을 비교하면 조건 A보다는 조건 B에서 많은 수익을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 즉, 12일의 HRT와 55°C의 고온조건이 반응조를 고온으로 유지하는 비용을 감안하더라도 효율적임을 알 수 있다. 또, 반응조를 운영하는 경우, 탈수케이크량이 약 30~33% 가량 감소하여 이로 인한 환경보호 효과도 동시에 얻을 수 있으며, 2012년 이후 폐기물의 해양투기가 금지되면 폐기물 처리비용이 더욱 높아지게 될 것임을 감안한다면 혐기처리에 의한 우유폐기물 처리방법의 도입을 적극 검토하여야 할 것이다.

## 요 약

본 연구의 목적은 유가공 폐기물에 대한 혐기성 소화를 통해 바이오메탄의 생성을 확인하고, 생성된 메탄의 에너지원으로의 사용 가능성과 오염도 감소의 정도를 확인하는 것이며, 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수리학적 체류시간(HRT)을 15일로 유지시키고 35°C의 중온 조건에서 유가공 폐기물을 혐기성 소화시킨 결과 평균 4.11 l/day의 메탄이 전체 가스의 70% 성분비를 유지하며 일정하게 발생하였다. 이는 다른 폐기물을 이용한 연구 결과와 비교하였을 때보다 상대적으로 높은 값으로, 유가공 폐기물에 대한 혐기성 소화처리를 통해 높은 효율의 에너지원으로 확보할 수 있음을 보여준다. TCOD는 초기 투입된 원수에서의 약 31,000 mg/l에서 13,500 mg/l 이하까지 줄어 최대 60%의 TCOD 제거 효율을 보여주었다.

2. HRT를 15일로 유지한 상태에서 온도를 55°C의 고온으로 변화시킨 경우, 메탄 발생량이 약 5% 가량 증가하였다. 온도의 변화만으로는 메탄 발생량에 큰 영향을 주지 못하였으나, HRT를 15일에서 12일로 감소시킨 경우에는 고온의 경우가 중온의 경우보다 약 44% 가량 많은 메탄 발생량을 보였다.

3. 이상의 결과를 통하여 알아낸 메탄 발생량과 오염 감소율을 토대로 바이오메탄을 에너지원으로 이용했을 경우의 경제성을 분석한 결과, HRT 12일의 고온 조건에서 유가공 폐기물을 혐기성 소화시키는 것이 기업에 많은 경제적 이익을 가져다 주는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. APHA, AWWA and WEFW. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater 19th edition. Washington DC, USA.
2. CLAL. 2006. World report on milk production and population. URL: [http://www.clal.it/en/index.php?section=produzioni\\_popolazione\\_world](http://www.clal.it/en/index.php?section=produzioni_popolazione_world)
3. Gunaseelan, V. N. 1997. Anaerobic digestion of biomass for methane production: A review. *Biomass & Bioenergy*. 13(1-2): 83-114.
4. Krich, Ken, Augenstein, D., Batmale, J. P., Benemann, J., Rutledge, B. and Salour, D. 2005. Biomethane from dairy waste: A sourcebook for the production and use of renewable natural gas in California. Prepared for Western United Dairymen.
5. Philipp, W., Ade-Kappelmann, K., Drca, M., Lorenz, H. and Böhm, R. 2006. Hygiene rules for anaerobic digestion plants in the future. *Proceedings of ORBIT Conference*. pp. 729-734.
6. Verheijen, L. A. H. M., Wiersema, D., Hulshoff Pol, L. W. and J. De Wit. 1996. Management of waste from animal product processing. International Agriculture Centre. URL: <http://www.fao.org/docrep/004/X6114E/x6114e00.HTM>
7. 김문일. 2004. 중온 및 고온 혐기성 소화공정 특성. 대한환경공학회 2004년도 춘계학술연구발표회 논문집. pp. 1-8.
8. 박주량, 범봉수, 민달기. 2003. 폐기물 처리공학. 세화, 서울, pp. 248-256.
9. 부천시. 2005. 하수종말처리시설 혐기성 소화조의 운영 타당성 조사.
10. 안재환, 김미경, 배재호, 김희준. 2007. 혐기성 소화효율 향상을 위한 초음파를 이용한 슬러지 전처리 및 ADM1 모의. *대한환경공학회지* 29(1):98-105.
11. 한국유가공협회. 2007. 2007년 원유 및 유제품수급실적. URL: <http://www.koreadia.or.kr>
12. 환경부. 2000. 수질오염공정시험방법.

(2009년 3월 17일 접수; 2009년 5월 4일 채택)