



칼로리/수분 (C/W)비를 고려한 고온호기 처리법에서의 처리량 증가

Increase of treatment amount of thermophilic oxic process considering calorie/water (C/W) ratio

전경호* · 최동윤 · 송준익 · 박규현 ·곽정훈 · 김재환 · 강희설

Kyoungho Jeon* · Dongyoon Choi · Junik Song · Kyuhyun Park · Junghoon Kwag · Jaehwan Kim · Heesul Kang

농촌진흥청 국립축산과학원

(2010년 1월 19일 접수 ; 2010년 4월 2일 수정 ; 2010년 4월 9 일 채택)

Abstract

The signification of calorie/water (C/W) ratio was investigated in the treatment of highly concentrated organic wastes by thermophilic oxic process (TOP). Swine waste was used in this study. When C/W ratio was 1.6, most of swine waste was decomposed and all water was evaporated in the 24-h injection cycle. To improve treatment efficiency of TOP treating swine waste, the effect of shortening the swine waste injection cycle was examined. The shortening of injection cycle was conducted to stimulate the activity of thermophilic bacteria. A high temperature in the reactor was maintained by shortening of the injection cycle. When the swine waste injection cycle was shortened, the C/W ratio was fixed at 1.6. As a result, by shortening the swine waste injection cycle from 24-h to 12 and 6-h, the maximum loading rate of swine waste per day could be improved 1.9 and 3.5 times, respectively.

Key words : Thermophilic oxic process, C/W ratio, Injection cycle, Balance of carbon, moisture, and calorie, Treatment efficiency

주제어 : 고온호기처리법, C/W비, 투입사이클, 탄소 수지, 수분 수지, 열 수지, 처리량 증가

1. 서론

우리나라의 축산업은 1990년대부터 사육두수가 꾸준히 늘어나, 2007년에는 1954년에 비해 한우 2.9 배, 젓소 1,567 배, 돼지 10.2 배, 닭 21.8 배 등으로 증가하였고, 사업형태도 전업화, 대규모화 되었다. 이중 돈분뇨의 경우에는 1일 평균 발생량이 3.46 kg/두/일 (분 1.07 kg, 뇨 2.39 kg)로서 BOD 96,335 mg/L의 분뇨가 2008년에는 연간 13,931천톤이 발생되었고, 매년 증가추세를 나타내고 있어 수질오염원에서 차지하는 비중도 점차 커지고 있다 (농촌진

흥청, 2008).

수질오염의 또다른 원인이 되는 고농도 유기물질로서는 폐식용유를 들 수 있다. 일반적으로 식용유의 BOD는 약 90 만 ppm으로, 한 숟갈 (약 20 cc)의 식용유를 물고기가 살 수 있는 물의 BOD인 5 ppm이하로 정화하기 위해서는 단순 계산으로 4,000 L의 물이 필요하게 된다. 이와같이 BOD부하가 높은 식용유로 인한 수질오염을 막기 위해서는 폐식용유의 효율적인 재활용을 실용화하거나 하천으로 방류되기 전 분리수거하여 처리하는 방법 등의 연구가 필요할 것이다.

이러한 고농도 유기물들을 안정적으로 처리하기 위한 방

* Corresponding author Tel:+82-31-290-1709, Fax:+82-31-290-1731, E-mail: jeon21@korea.com(Jeon, K.)

법으로 고온호기처리법을 이용할 수 있다. 고온호기처리법은 유기물의 완전 분해와 수분의 완전증발이 가능하며, 처리 후 배출수가 발생하지 않는 장점 때문에 음식물 쓰레기, 축산분뇨 등 고농도 유기물의 처리를 위한 연구 및 실용화의 검토가 이루어지고 있다. 고온호기처리법의 기본적인 원리는 반응조내의 담체에 부착된 고온호기성 미생물을 이용하여, 투입된 유기물을 이산화탄소와 수분으로 완전 분해하는 것이다. 이때 고온호기성 미생물에 의해 유기물이 분해될 때 발생하는 열로 반응조 내부의 온도가 약 60 °C 이상의 고온 영역까지 상승한다. 유기물중 포함되어 있는 질소성분은 절반정도는 가스형태로 증발되고, 나머지 질소성분과 인 등의 영양염류는 담체에 축적된다. 이러한 고온호기처리법의 특징은 반응조에의 유기물 투입속도를 미생물에 의한 분해속도와 같도록 제어하여 효율적인 처리가 이루어지도록 하는 것과 유기물 분해시에 발생하는 열로 유기물 중의 수분을 모두 증발시키는 것, 그리고, 기질의 섭취속도와 분해속도가 빠른 호열성미생물을 이용하여 유기물 분해를 빠르게 진행시키는 것 등이 있다 (Lee, 1998; Jeon, 2005; 전, 2007). 그러나, 고온호기법에서 돈분뇨만을 단독으로 투입할 경우에는 열량이 부족하여 유기물의 완전분해와 수분의 완전증발이 이루어지기까지 많은 시간이 필요하게 된다. 따라서, 높은 칼로리에 비해 수분이 포함되어 있지 않은 재료인 식용유를 보조열원으로서 돈분뇨와 함께 첨가하면, 미생물의 유기물 분해에 의해 높은 열량이 발생하게 되고, 이로 인해 반응조 내부가 고온으로 유지되어, 유기물의 분해속도와 증발속도가 빠르게 진행된다 (藤田, 1993; Liu, 1994; Lee, 1998; Jeon, 2005).

본 연구에서는 유기물의 부하조건 중에서 돈분뇨의 투입간격에 초점을 맞추어, 기존의 1일 1회 투입사이클의 조건에서 투입된 유기물이 완전분해, 완전증발 되는 처리조건을, 반응조내를 고온으로 유지시켜 분해율과 증발율을 높일 수 있도록, 1일 2회와 4회로 단축시켜 실험을 행하였다. 이때의 결과를 각각 비교하여 유기물의 투입간격의 단축이 처리성

능에 미치는 영향에 대하여 검토하였다. 또, 각각의 투입조건에 따른 탄소, 수분, 열수지의 계산을 통해 처리량 증가 가능성을 비교, 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에서는 양돈장에서 분과 뇨를 각각 수거하여 1:1로 섞은 뒤, 4 °C의 냉장고에 보관하며 실험재료로 사용하였다. 보조열원으로는 조리용 식용유를 사용하였고, 반응조의 담체는 시판되고 있는 음식물쓰레기 콤포스트 처리용 삼나무 톱밥(Mitsubishi)을 사용하였다.

2.2 실험장치

고온호기 처리실험은 내경 310 mm, 폭 250 mm, 유효용량 19 L의 원통형의 실험장치를 사용하였다. 돈분뇨는 반응조의 상부를 통해서 투입시켰고, 반응조의 하부로부터는 일정량의 공기가 공급되도록 하였다. 반응조 내부의 온도 변화에 따라 증발되는 수분과 유기물 분해에 의해 발생하는 가스는 상부의 유기물 투입구를 통해서 배출되도록 하였다. 반응조를 저울위에 설치하여 돈분뇨 투입 전후의 중량변화를 연속 측정하였다. 실험장치의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다.

2.3 실험방법

Fig. 1과 같은 반응조를 3개 준비하여 각각에 담체 2.3 kg을 충전하였고, 양돈장에서 가져온 중균 콤포스트를 300 g씩 첨가하였다. 그 후, 초기습수율을 50 %로 조절한 뒤, 돈분뇨와 보조열원의 투입을 실시하였다. 유기물 투입 후, 약 10분간 교반을 실시하여 담체와 유기물이 잘 섞이도록 하였고, 반응조 하부로부터 100 L/m³/min의 공기가 일정하게 공급 되도록 하였다 (Lee, 1998; Jeon, 2005; 中, 崎, 1993; 1996).

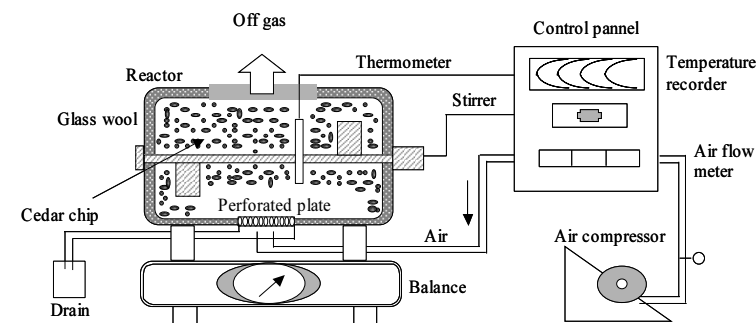


Fig. 1. Schematic diagram of the reactor

2.3.1 투입간격에 따른 고온호기처리실험

돈분뇨의 투입간격 단축에 따른 처리량 증가의 변화를 비교하기 위해서 각 반응조에 따라 투입 간격을 달리하면서 고온호기처리법 실험을 실시하였다.

Run 1은 24시간을 1사이클로 하여 1일 1회씩 돈분뇨 300 g과 식용유 45 g씩 투입 하였다 (Lee, 1998; Jeon, 2005). Run 2는 12시간을 1사이클로하여 1일 2회씩 돈분뇨 280 g과 식용유 42 g을 투입해, 각각의 1일 총 투입량을 560 g, 84 g으로 하였다. Run 3은 6시간을 1사이클로 하여, 1일 4회씩 돈분뇨 260 g과 식용유 39 g을 투입해, 각각의 1일 총 투입량을 1,040 g, 156 g으로 하였다. 이때, Run 2, 3의 경우에는 5일간은 기존의 돈분뇨에대한 고온호기처리가 안정적으로 진행되는 것으로 증명된 24시간 투입사이클로 운전을 하여 반응조내의 처리조건을 안정화 시킨 후 (Lee, 1998; Jeon, 2005), 6일째부터 각각 1일 2회와 4회로 투입간격을 단축시켰다.

투입간격 단축에 따른 유기물의 투입량의 결정은 온도에 따른 미생물의 활성에 관한 기존의 연구를 참고로 설정하였다. 본 연구의 목적은 투입간격의 단축을 통해 반응조를 고온으로 유지시키고, 이로부터 미생물을 활성화시켜 처리량을 증가시키는 것이다. 그러나, 기존의 연구에서 고온호기성 미생물의 최적온도는 약 55~65℃정도로 알려져 있으며, 온도가 70℃이상이 되면, 오히려 미생물 활성이 떨어지는 것으로 알려져 있다 (Jeon, 2005; 濱中, 2005). 따라서, 투입간격이 2배, 4배로 증가 시켜도 처리량이 같은 비율로는 증가하지 않을 것으로 판단되어, 투입간격의 증가 비율보다는 작은 값을 투입비율로 결정하여 실험을 실시하였다.

2.3.2 각 반응조의 탄소, 수분, 열 수지의 계산

각각의 반응조에서 탄소, 수분, 열수지를 계산하여, 처리량 증가를 비교평가하였다. 우선 탄소수지를 계산하기 위해 고온호기처리 후, 담체에 축적된 유기물의 TOC를 측정하였다. 실험 후의 담체 5 g을 200 ml의 증류수에 넣고, 교반기 (Rotary Shaker, Taitec)를 이용하여 4℃에서 2시간 동안 교반시켜 담체중에 축적된 유기물을 용해 시킨뒤, TOC-5000 (Shimadzu)을 이용하여 축적된 TOC를 측정하여 반응중의 탄소수지를 계산하였다.

반응조내 담체로부터 함수율의 연속적인 변화를 측정하였고, 저울을 이용하여 전체 담체의 중량변화를 측정하였다. 이러한 데이터를 이용하여 반응조내에서 미생물에 의해 분해된 유기물량을 계산하였고, 수분수지와 열수지를 계산하였다.

2.4. 분석방법

돈분뇨와 식용유의 성분분석은 하수시험 방법을 이용하

여 측정하였다 (日本下水道協會, 1997). 돈분뇨와 식용유의 칼로리는 Digital Calorie-Meter (Shimadzu)로 측정하였고, T-N과 T-P는 Auto-Analyzer (Shimadzu)를 이용하여 측정하였다. 반응조내 혼합물의 함수율은 콤포스트 약 3 g을 채취하여, 105℃에서 3시간정도 건조시킨 후, 전후의 중량차이로부터 구하였다. 반응 온도에 대해서는 반응조의 3곳에 설치한 자동온도 측정장치를 이용하여 평균값을 구하였고, 중량변화는 돈분뇨 투입직전에 측정하였다. 돈분뇨와 식용유의 성상을 Table 1에 나타냈다.

반응조내 미생물의 활성을 알기 위해 Run 1, 2, 3의 실험 14일째 담체를 이용하여 24시간 동안의 ATP농도의 추이를 측정했다. 반응조로부터 채취한 5g의 샘플을 100 ml의 멸균수에 넣어 1분간 초음파(W-220, Heat Systems Ultrasonic INC)로 처리를 한 뒤, 상등액의 ATP를 측정했다. ATP의 측정은, ATP 측정용 키트 (Lucifer, Meidensha)와 광전자 계수기(UDP-8000, Meidensha)를 이용했다.

Table 1. Properties of swine waste and cooking oil

Item	Swine waste	Cooking oil
BOD (mg/L)	40,000	900,000
TOC (mg/L)	53,000	728,900
T-N (mg/L)	5,000	ND
T-P (mg/L)	1,900	ND
Water Contents (%)	90	0
Calorie (Kcal/Kg-solid)	4,500	9,000

ND : Not Detected

3. 결과 및 고찰

3.1. 열/수분 비 (C/W 비)를 이용한 투입용량 결정

고온호기처리법은 유기물이 미생물에 의해 분해될 때 발생하는 열에 의해 수분이 증발되는 원리이므로, 처리과정의 안정적이고 지속적인 유지를 위해서는 투입된 수분만을 완전히 증발시킬 수 있는 적절한 열량의 투입이 필요하다. 따라서, 투입된 수분량과 열량과의 비인 C/W비가 중요한 인자가 된다 (梁, 1995). 본 연구에서는 돈분뇨와 식용유의 투입간격 단축으로부터 처리량 증가를 향상시키기 위한 실험을 실시하였고, 투입간격 단축시, 증가 가능한 처리량은 C/W비를 기준으로 정하였다.

유기물이 호기성미생물에 의해서 분해 될 경우에는 이산화탄소와 함께 수분이 발생하게 되는데, 돈분뇨의 경우 1 Kg의 고형물이 분해되면 약 0.6 Kg의 수분이 발생하며, 식용유의 경우는 1 Kg이 분해되면 약 1 Kg의 수분이 발생된다

(Jeon, 2005). 기존의 연구에서 완전 처리가 가능했던 결과인 1 일 1 회 투입에서의 투입량은 돈분뇨 300g, 식용유 45g 이었다. 따라서, 1일 1회의 투입조건에서는 투입된 돈분뇨에 포함된 수분인 270 g (함수율 90%)과 돈분뇨와 식용유의 분해로부터 각각 발생한 18 g, 45 g의 수분량을 투입 수분량으로 계산하게 되어, 투입 총 수분량은 333 g이 되고, 투입 총 열량은 540 Kcal로 계산된다. 이와 같은 계산으로부터 Run1에서의 C/W비를 계산하면, 1.6이 되었다. 이로부터, 본 실험에서 사용한 반응조로 돈분뇨와 보조열원인 식용유의 처리를 할 경우에는 1.6의 C/W비를 처리 기준으로 정할 수 있었다. 이는 처리량을 증가시키기 위해 반응조의 운전 조건에 어떤 변화를 가하더라도 C/W비를 고정하여 투입하면 안정적인 처리조건이 될 수 있을 것으로 판단했다. 본 실험에서 투입간격을 단축시켜 투입량을 증가시킬 때에는 이 C/W비를 1.6으로 유지하는 상태에서 결정하였고, 각각의 투입조건은 **Table. 2**에 나타내었다.

또, 기존의 연구에서 1일 돈분뇨의 투입량이 300 g 일때, 보조열원인 식용유의 투입량은 최대 60 g에서 최소 45 g까지 모두 안정적으로 처리가 되었다 (濱中, 2005). 식용유 투입량이 늘어나면 C/W비도 증가하지만, 보조열원의 투입량을 줄이는 것이 경제성 면에서도 유리할 것으로 판단하여 본 실험에서는 45 g의 투입을 기준으로 하였고, C/W비도 이로부터 계산하였다.

Table 2. Variation of injection cycle and C/W ratio

Item	Run1	Run2	Run3
Calories (Kcal/Kg _{solid})	540	1,008	1,872
Water (g)	333	622	1,154
C/W ratio	1.6	1.6	1.6

3.2. 투입간격단축에 따른 처리량 증가의 비교

각각 다른 투입조건으로 실제 고온호기 처리실험을 실시하여, 각 운전조건에 따른 처리량 증가를 비교 하였다. 실험에서는 반응조 내부의 평균온도, 실험실의 온도, 담체의 함수율, 반응조의 중량변화로부터 계산한 값인 중량감소율의 변화를 측정하였다. 투입된 돈분뇨와 식용유 중, 반응조 밖으로 배출된 유기물은 없었다.

Fig. 2에서는 유기물의 투입간격을 24시간으로 1일 1회씩 투입하여 21일간 실험한 Run1의 실험결과를 그래프로 나타냈다. 실험 시작부터 온도는 서서히 상승해, 5일째부터는 60 °C를 넘어 6일째부터는 71 °C까지 상승했다. 그 후 실험종료의 21일째까지 최저 약 34 °C에서 최고 약 75 °C까지 규칙적인 변화를 보이며 평균 온도는 약 54 °C가 되었다. 함수율은 최초 4일간 반응조 온도가 높지 않을 때에는 약

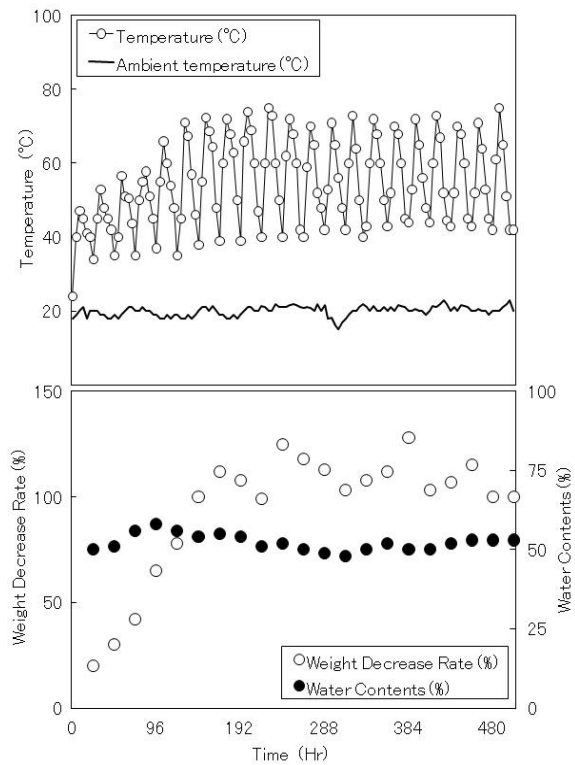


Fig. 2. Variation of temperature, decrease in weight, and water content in 24 hours of injection cycle

58 %까지 상승 하였지만, 규칙적인 온도변화에 의해 50~53 %의 범위에서 안정되었다.

Run1에서는 투입된 유기물은 반응조 밖으로 전혀 배출되지 않았고, 21 일간 총 돈분뇨가 6,300 g, 식용유는 945 g이 투입되었다. 중량 감소율은 실험 시작일부터 5 일간은 증가추세였으나, 6 일째부터는 100 %의 중량 감소를 나타내었다. 함수율이 약50 %의 범위에서 일정하고, 중량의 변화가 없는 것으로부터 투입된 유기물이 매 사이클마다 안정되게 분해, 증발되고 있음을 알 수 있었다.

Fig.3에서는 유기물의 투입간격을 12시간으로 1 일 2회씩 투입하여 21일간 실험한 Run2의 실험결과를 그래프로 나타냈다. Run1의 실험에서보면 운전초반에는 반응조의 온도가 점차 상승되어 5일째부터 반응조의 온도가 60°C를 넘는 것을 알 수 있었다.

따라서, 반응조내부의 상태를 안정화시키기 위해서 처음 5일간은 24시간간격으로 유기물을 투입하여 처리하였고, 온도가 고온을 유지하기 시작하는 6일째부터 12시간 간격으로 투입을 실시하였다. 그 결과, 투입된 유기물의 분해가 종료되어 반응조의 온도가 떨어지기 시작할 때, 다음 사이클의 유기물 투입이 이루어지기 때문에 반응조의 온도가 떨어

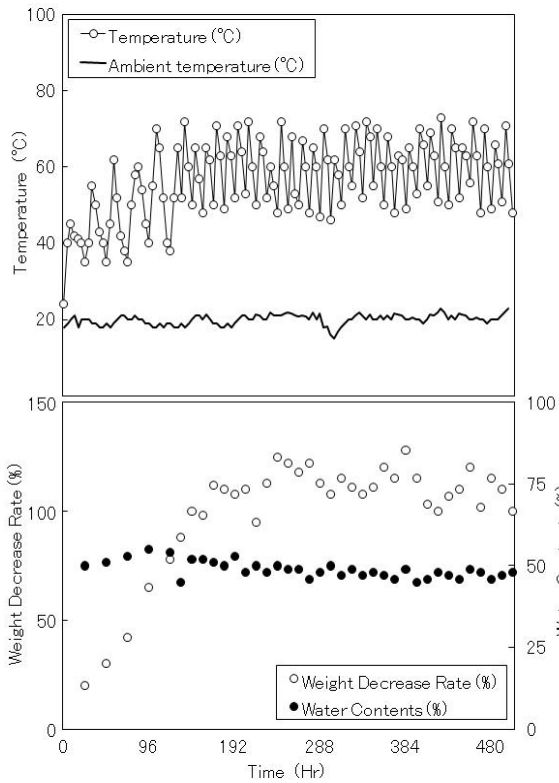


Fig. 3. Variation of temperature, decrease in weight, and water content in 12hours of injection cycle

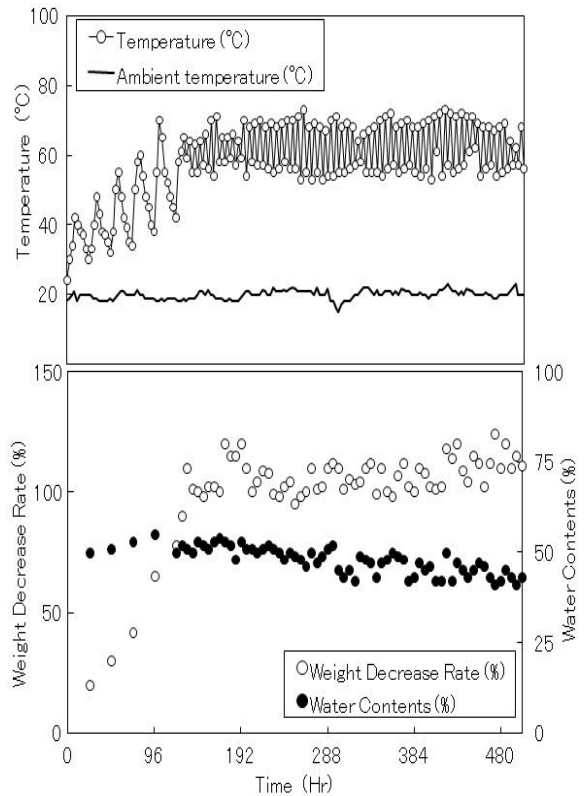


Fig. 4. Variation of temperature, decrease in weight, and water content in 6hours of injection cycle

지지 않고, 6일째부터 실험종료의 21일째까지 최저 약 46 °C에서 최고 약 73 °C까지 규칙적인 변화를 보이며 투입간격이 단축된 16일간의 평균 온도는 약 57 °C가 되었다.

Run2에서도 투입된 유기물은 반응조 밖으로 배출되지 않았고, 투입간격이 단축된 16일간, 총 돈분뇨가 8,960 g, 식용유는 1,344 g이 투입되었다. 6일째부터의 중량 감소율은 100% 이상의 중량 감소를 나타내었다. 이는 투입된 유기물 외에도 담체중의 수분도 증발하고 있음을 나타낸다. 그 결과 전체 함수율은 약48~50%범위에서 나타났다.

Fig.4에서는 유기물의 투입간격을 6시간으로 1일 4회씩 투입하여 21일간 실험한 Run3의 실험결과를 그래프로 나타냈다. Run2와 같은 원리로서 투입된 유기물의 분해가 끝나 반응조의 온도가 떨어질 때 다음 단계의 유기물이 투입되므로 반응조내부는 항상 높은 온도를 유지할 수 있었다. Run2와 같은 방법으로 처음 5일간은 24시간간격으로 유기물을 투입하여 처리하였고, 온도가 고온을 유지하기 시작하는 6일째부터 6시간 간격으로 투입을 실시하였다. 그 결과, 반응조 내부를 항상 고온으로 유지할 수가 있어 반응조의 온도가 떨어지지 않고, 6일째부터 실험종료의 21일째까지

최저 약 53°C에서 최고 약 73°C까지 규칙적인 변화를 나타냈으며, 16일간의 평균 온도는 약 58°C가 되었다. Run3에서도 투입된 유기물은 반응조 밖으로 배출되지 않았고, 투입간격을 단축시킨 16일간 총 돈분뇨가 16,640 g, 식용유는 2,496 g이 투입되었다. 전체 중량 감소율은 102%로, 투입된 유기물 외에도 담체중의 약간의 수분도 함께 증발하였음을 알 수 있었다. 각각의 반응조의 운전조건을 Table 3에 나타내었다.

3.3. 각 투입조건에 따른 ATP량의 변화

24시간(Run 1), 12시간(Run 2) 및 6시간(Run 3)의 유기물투입 사이클에서 1사이클에 있어서의 ATP농도와 온도 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 샘플은 14일째의 반응조내 담체이며, 그 시점에서 1일 동안의 돈분뇨와 식용유의 투입량은 Run 1에서는 각각 300 g과 45 g, Run 2에서는 560 g과 84 g, Run 3에서는 1,040 g과 156 g 이었다. Run1에서는 ATP농도가 반응 온도의 변화에 따라 증감하고 있는 것에 비해, Run 2, 3에서는 높은 값을 유지하고 있는 경향을 얻을 수 있었다. 기존의 연구에서는 호열성미생물은 중온성

Table 3. Variation of injection amount and average temperature

Item	Run1	Run2	Run3
Injection amount of swinewaste (g)	300	280	260
Injection amount of cookingoil (g)	45	42	39
Injection Cycle in a day	1	2	4
Total injection amount of swinewaste (g)	300	560	1,040
Total injection amount of cookingoil (g)	45	84	156
Average temperature (°C)	54	57	58

미생물보다도 자기증식과 유기물분해에 우수한 것으로 알려져 있다 (大島, 1978; Couillard, 1989). 따라서, 유기물 처리량이 Run 3, 2, 1의 순서로 높게 나타난 것은 ATP농도에서 나타난 것처럼 호열성 미생물의 활성이 항상 높게 유지되었기 때문이라고 말할 수 있다.

고온호기처리법에 있어서, 그 반응온도는 미생물의 먹이가 되는 유기물이 처음 투입되면 유기물의 분해에 따라 온도가 증가하지만, 분해가 어느정도 진행되어 유기물이 부족하게 되면 온도가 서서히 저하하게 된다 (Jeon, 2005). 24시간 사이클에서는 유기물 투입사이클이 길어 온도저하폭이 큰 것에 비해, 6시간 사이클에서는 온도가 크게 저하하지 않았을 때에 다음 유기물이 투입되기 때문에 항상 고온이 유지되게 된다. 유기물 투입사이클의 단축에 의해, 투입사이클이 짧은 고온호기 처리에서는 반응조의 온도가 항상 고온영역으로 유지되었고, 이러한 고온영역의 유지에 의해 호열성미생물의 활성의 차이가 발생하여 처리량의 변화가 나타나게 되는 것을 알 수 있었다.

3.4. 탄소, 수분, 열수지 계산을 통한 처리량 증가의 비교

전체 처리기간 중, 투입간격에 따른 처리량 증가를 비교하기 위해서 각각의 반응조에서 각각 다른 투입조건으로 변경하기 직전인 5일째까지의 반응조내 담체에 축적된 TOC를 측정하고, 21일간의 처리반응이 끝난 후의 TOC를 측정하였다. 21일간의 축적 TOC에서 5일간의 축적 TOC를 뺀 것으로부터 각각 투입간격을 다르게 할 경우의 총탄소 축적값을 계산하였다. 또, 같은 시기의 반응조내 담체의 중량과 함수율의 측정으로부터 반응과정 중의 탄소, 수분, 열수지를 계산하였다.

3.4.1 탄소 수지

투입조건을 다르게 조절하기 전인 5일째까지의 축적된 총탄소량은 Run1, 2, 3의 반응조에 각각 200 g-TOC, 202 g-TOC, 194 g-TOC으로 나타났다. 이후, 투입간격을 다르게 한 6일째부터 21일째까지 총 투입된 탄소는 각각 792

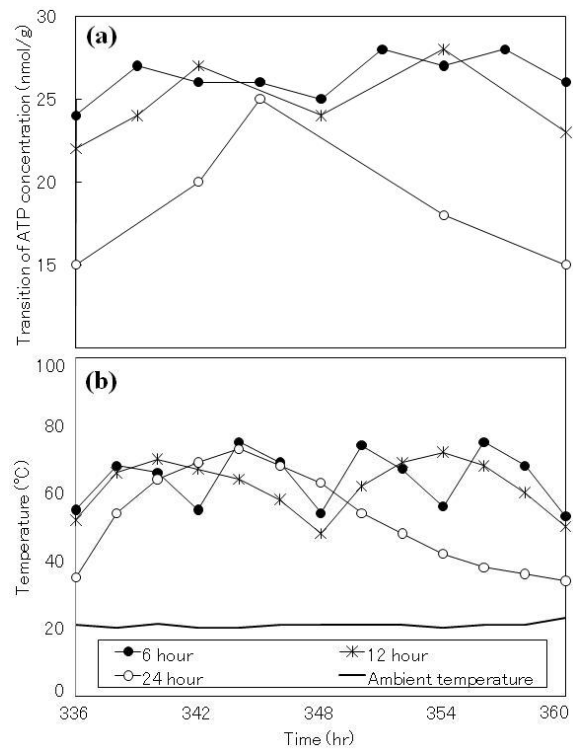


Fig. 5. Variation of parameters in different operating cycle (a) ATP concentration, (b) Temperature

g-TOC, 1,479 g-TOC, 2,746 g-TOC로 계산되었다. 투입된 유기물은 모두 담체에 흡수되어 반응조 밖으로 배출되지 않고, 반응조내부에서 호기성 미생물에 의해 이산화탄소와 물로 분해되거나, 미생물의 증식에 사용되었고, 분해되지 못한 유기물은 담체에 축적되었다. 21일간의 실험이 끝난 뒤 담체에 축적된 탄소량으로부터 5일째까지 축적된 탄소량을 뺀 값, 즉 16일간 축적된 탄소량은 측정결과 Run1, 2, 3 이 각각 198 g-TOC, 340 g-TOC, 549 g-TOC 이며 투입량에 따른 축적비율은 각각 약 25%, 23%, 20%로 투입간격이 단축될수록 축적량이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 반응조의 온도가 높을수록 고온호기성 미생물의 분해가 활발했기 때

문인 것으로 판단된다. 실험기간 중 전체 투입된 탄소량에서 축적된 탄소량을 뺀 값을 미생물에 의해 분해된 탄소량으로 정의할 수 있으며, 각각 594 g-TOC, 1,139 g-TOC, 2,197 g-TOC 이었고, 이 값으로부터 발생한 열량을 구할 수 있다. 각 실험계의 탄소수지를 Fig. 6 에 나타내었다.

3.4.2 수분 수지

6일째부터 각각의 투입간격의 변화가 이루어진 실험기간 중, 총 투입된 수분량은 Run1, 2, 3 에서 각각 4.32 Kg, 8.06 Kg, 14.98 kg 이 되었다. 탄소수지에서 계산한 분해된 TOC값으로 부터 분해된 유기물량을 계산하여, 분해된 유기물로부터 발생한 수분량을 산출하였다. 그 결과, Run1, 2, 3 에서 각각 0.76 Kg, 1.45 Kg, 2.80 Kg의 수분이 발생하였다. 전체투입된 수분량과 분해에 의해 발생한 수분량의 합에서 축적된 수분량을 뺀 값을 증발된 수분량으로 정의할 수 있으며, 그 값은 Run1, 2, 3이 각각 5.1 Kg, 9.64 Kg, 18.03 Kg으로 나타났다. 각각 실험계의 수분수지를 Fig.7 에 나타내었다.

3.4.3 열 수지

6일째부터 각각의 투입간격의 변화가 이루어진 실험기간

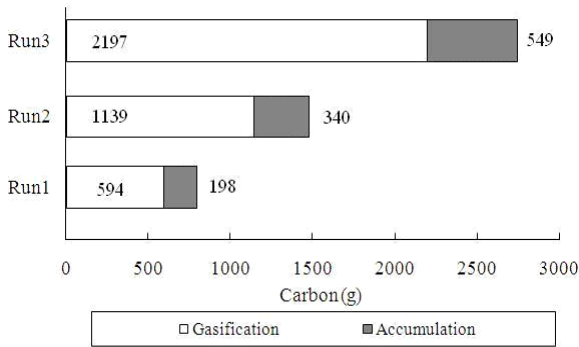


Fig. 6. Carbon balance in thermophilic oxid process

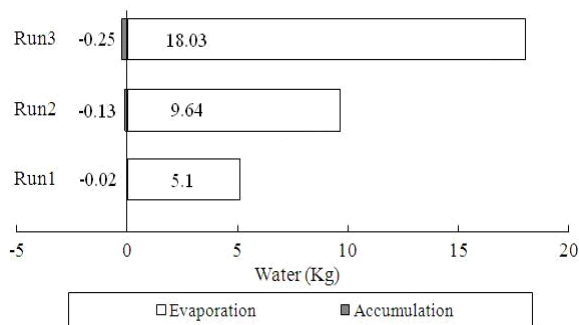


Fig. 7. Water balance in thermophilic oxid process

중 총 투입된 열량은 Run1, 2, 3 에서 각각8,640Kcal, 16,128Kcal, 29,952Kcal가 투입되었다. 탄소수지에서 측정된 축적 TOC량 으로부터 미분해 유기물량을 계산할 수 있고, 이로부터 미반응 열량을 계산한 결과 Run1, 2, 3 에서 각각 2,160Kcal, 3,709Kcal, 5,990Kcal로 나타났다. 투입된 열량중 미반응 열량을 제외한 나머지가 반응조내 담체온도를 상승시키거나, 수분의 증발, 공기의 출입, 반응조 표면 으로부터 손실된다. 수분의 증발로인해 손실된 열량은 Eq 1로부터 계산하면, Run 1, 2, 3 에서 각각 2,904Kcal, 5,488Kcal, 10,262Kcal로 평균 온도가 높은 Run 3의 반응조가 수분증발량이 크고, 그에 따른 열손실이 큰 것을 알 수 있었다. 또, 담체의 온도를 올리기 위해 사용된 열량을 Eq 2로부터 구해서 빼면, 나머지가 처리기간 중 공기의 입출과 반응조 표면으로부터 손실된 열량이 된다. 이와같은 Run1, 2, 3의 열수지를 Fig. 8 에 나타내었다 (梁, 1995; Lee, 1998 Jeon, 2005).

$$E_w = \theta_w \times W_{ew} \quad (Eq 1)$$

E_w : the calorie loss from the evaporation of moisture (Kcal),

θ_w : moisture evaporation latent heat (569.1 kcal:kg-H₂O⁻¹)

W_{ew} : the amount of moisture evaporated (Kg)

$$E_s = (W_{wr} \times \phi + W_{cr} \times \delta) \times \Delta T \quad (Eq 2)$$

E_s : Calorie used in the rise of chip temperature in the reactor (Kcal)

W_{wr} : Amount of moisture in the reactor (kg)

ϕ : Specific heat for the moisture (0.999 kcal:kg-H₂O⁻¹.deg.⁻¹)

W_{cr} : Amount of cedar chip in the reactor (kg)

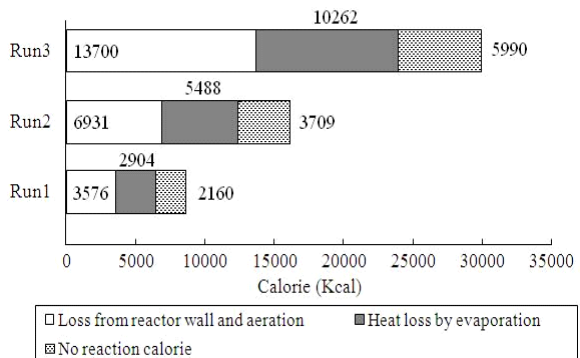
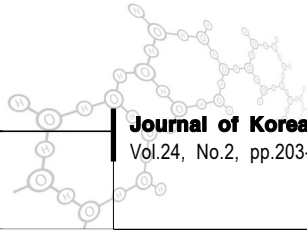


Fig. 8. Calorie balance in thermophilic oxid process



δ : Specific heat for the cedar chip (0.6 kcal·kg⁻¹·cedar chip⁻¹·deg.⁻¹)
 ΔT : Temperature variation (deg.)

4. 결론

돈분뇨 투입사이클 단축에 의한 고온호기처리법의 처리량 증가에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

돈분뇨의 고온호기처리에 있어서 24시간의 유기물 투입 사이클에서는 돈분뇨 300 g과 보조열원인 식용유 45 g의 투입조건이 완전분해, 완전증발이 가능한 안정적인 운전 조건이었고, 이때의 C/W비는 1.6이었다. 투입간격 단축에 의한 처리량 증가를 검토하기 위하여 12 시간, 6 시간 사이클로 투입 사이클을 단축시킬 때에도 C/W비가 1.6이 되도록 하였다. 그 결과, 돈분뇨와 식용유의 처리량은 24시간 사이클의 경우보다 12시간, 6시간 사이클의 조건에서 각각 1.9, 3.5 배까지 처리량을 증가시킬 수 있었다. 유기물투입 사이클의 단축에 의한 처리량이 증가하게 된 이유는 각각의 투입 조건에 따른 ATP농도의 변화로부터 반응온도가 고온영역으로 유지되어 호열성세균의 활성이 항상 높게 유지되었기 때문인 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과로부터 투입간격을 더욱 단축 할 경우에도 C/W비 1.6을 유지하면, 반응조 내부는 고온으로 유지되어 처리량을 더욱 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

농촌진흥청, (2008), 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정.
전 경호, (2007), 왕겨를 이용한 담체의 통기성 개선시 고온호기처리법의 처리효율상승에 관한 평가, 한국폐기물학회, 24(8),

752-758.

Couillard.D., Griepy.S. and Tran. F.T., (1989), Slaughter house effluent treatment by thermophilic aerobic process, *Wat. Res.*, 23(5), 573-579.

Jeon, K. H., (2005), Development and Application of Simulation Model Considering Influence of Temperature and Water contents during Swine Waste Decomposition in Thermophilic Oxidic Process, *IWA*.

Lee, C. W., Tada, C and Sudo, R., (1998), Treatment characteristics of swine waste by thermophilic oxidic process in long-term operation, *Japan Journal Process of Engineering Research*, 35, 21-27.

Liu, B.G., Cai, H. and Mori, T., (1994), Complete decomposition of swine waste by thermophilic oxidic process, *Japan Journal Process of Engineering Research.*, 31, 209-214.

中崎清彦, 片岡稔, 倉富英一, (1996), 高温条件下でのコンポスト化における初期の昇温度と種菌の添加が有機物の分解におよぼす影響, *廃棄物学会誌*, 7(5), pp.225-233.

中崎清彦, 渡辺淳, 片岡稔, 久保田宏, (1993), コンポストにおける種菌の繰り返し使用の効果, *用水と廢水*, 35(6), 32-37.

日本下水道協会, (1997), 下水試験方法.

大島泰郎, (1978), 高熱性細菌, 東京大学出版?会

梁左環, (1995), 高濃度有機排水の高温好気処理におけるカロリー/水(C/W)比の重要性, *水環境学会*, 18(7), 583-588.

濱中俊輔, (2005), 廢棄物投入サイクルの短縮による高温好気処理の改善効果, *土木学会論文集*, 783(34), 51-59.

藤田賢二, (1993), コンポスト化技術.