

# 嫌氣性消化槽의 高溫에로의 轉換

## Conversion of an Anaerobic Digester to Thermophilic Range

張	德*
Chang,	Duk
鄭	泰**
Chung,	Tai Hak

### Abstract

Conversion of anaerobic mesophilic digestion to thermophilic range has been investigated using a synthetic sludge. When temperature was raised at a rate of 2, 1, and 0.5°C per day with continuous feeding, a lower reaction rate was observed with a high rate of temperature change. Although methane fermentation ceased completely for all digesters at thermophilic temperature, acid fermentation continued. Methane fermentation was never achieved even with neutralization during 6 months of resting. The methane formers were completely inactivated by the temperature shock and accumulation of volatile acids due to continuous feeding, while the acid formers lost biological activity quickly, but gradually acclimated to a high temperature. When temperature was raised without feeding, successful thermophilic digestion was achieved with 1 day of resting at thermophilic temperature at a rate of 1°C per day, and also achieved with 20 days of resting at a direct increase. Conversion to a thermophilic range is easily achieved with resting. A short period of resting is required at a low rate of temperature increase, while a long period of resting enough to balance methane formers with acid formers makes a conversion possible when temperature is raised at a high rate. Soured thermophilic digesters were recovered after seeding of mesophilic sludges, and sludge seeding could be a good method of start-up, conversion, or recovery of a thermophilic digester. Significant amount of thermophiles seemed to be present in the mesophilic digesters.

### 要 旨

人工슬러지를 이용하여 嫌氣性中溫消化의 高溫消化에로의 轉換方法에 대하여 연구하였다. 負荷를 계속하며 溫度增加率 2, 1 및 0.5°C/day 로 온도를 상승시킨 결과, 溫度增加率이 클 수록 메탄醱酵가 급속하게 악화되었으며, 세경우 모두 高溫에 도달하였을 때는 메탄醱酵가 중지되고 酸醱酵만이 일어났다. 이러한 酸醱酵狀態에서 負荷를 끊고 中和를 행한 후 6個月間的 休止期間中에도 메탄醱酵는 이루어지지 않았다. 이로부터 메탄生成菌은 溫度衝擊의 크기에 비례하여 급

\* 正會員·建國大學校 工科大学 助教授, 環境工學科

\*\* 正會員·서울大學校 工科大学 副教授, 土木工學科

속하게 活性을 잃는 반면 酸生成菌은 영향을 덜 받아 高温下에서 적용될 수 있다고 판단할 수 있다. 반면에 無負荷狀態下에서 溫度를 상승시켰을 때, 正常的인 高温消化가, 溫度增加率  $1^{\circ}\text{C}/\text{day}$ 의 경우 高温에 도달한 후 1일의 休止期間으로 가능하였고, 一時에 상승시킨 경우도 20日間の 休止期間으로 가능하였다. 따라서 高温에로의 轉換은 無負荷狀態下에서 容易함을 알 수 있는 동시에, 溫度增加率이 작은 경우 高温도달 후 짧은 休止期間으로 轉換이 가능하며, 溫度增加率이 매우 커서 급격한 溫度衝擊이 발생하는 경우에도 메탄生成菌이 酸生成菌과 균형을 이루기에 충분한 休止期間이 주어지면 高温消化에로의 轉換이 가능함을 알 수 있다. 한편 酸酵狀態의 高温消化槽에 中温消化슬러지를 植種한 결과 신속하게 正常的인 高温消化가 이루어질 수 있었다. 따라서 中温消化슬러지에 의한 植種은 高温消化의 初期運轉時나 正常的인 消化의 停止時 매우 有效한 轉換 및 回復方法이 될 수 있을 것이다. 또한 溫度上昇 및 中温슬러지植種에 의한 正常的인 高温消化結果로부터 中温下에서도 相當量의 高温菌이 존재하고 있음을 알 수 있다.

## 1. 序 論

嫌氣性消化法은 슬러지 및 廢棄物處理에 있어 주요한 工法으로 이용되고 있는데, 과거의 연구가 中温消化에 집중되었던데 반하여 최근에는 高温消化의 長點에 대한 인식이 새로와지고 있다. 高温嫌氣性消化의 基礎的 研究는 이미 1920年代부터 시작되었으나 최근에 이르러서야 中温消化에 대한 高温消化의 長點이 본격적으로 연구, 확인되고 있다<sup>(1,2,3)</sup>. 즉 高温消化의 中温消化에 대한 상대적인 長點으로는 病原菌의 높은 死滅率, 有機物質除去效率의 向上, 消化슬러지의 脫水性向上, 가스發生量의 증가, 높은 有機物負荷의 가능함 등이 보고되고 있고, 短點으로는 높은 에너지要求度, 工程의 安定性부족 등이 보고되고 있다. 그러나 일부 長短點에 대하여 연구자에 따라 상이한 결과를 얻는 등, 아직까지 체계적인 연구를 통한 명확한 長短點의 규명이 부족한 실정이다<sup>(4)</sup>. 또한 高温消化의 實用化를 위하여 가장 선행되어 연구되어야 하는 분야로 初期 高温消化槽의 運營方法을 들 수 있는데, 이제까지의 연구에 있어 주로 이용된 방법은 高温嫌氣性菌을 植種(seeding)하거나<sup>(5,6)</sup>, 中温消化槽의 溫度를 高温으로 상승시키는 방법<sup>(7,8,9,10)</sup>이었다. 그러나 이제까지의 연구는 그 初期舉動에 관한 구체적인 고찰이 아니었기 때문에 이 분야에 있어서도 체계적인 연구가 되어 있지 않을 뿐 아니라, 效果的인 轉換方法에 대한 比較研究도 행하여진 바 없다.

高温消化槽의 初期運轉法中 高温嫌氣性菌의 植種에 의한 轉換은 植種物質의 공급이 용이한 경우 가장 신속하고 이상적인 방법이라 할 수 있으나, 高温消化가 널리 이용되고 있지 못한 현재로서는 매우 많은 불편이 따르기 때문에, 이제까지 가장 많이 이용된 방법은 中温消化의 高温消化에로의 溫度轉換法이었는데, 이러한 溫度轉換法에 의한 高温消化運轉事例는 다음과 같다. Pfeffer<sup>(7)</sup>는 체류시간 30일로 負荷를 계속 하면서 溫度增加率  $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}/\text{week}$ 로  $35^{\circ}\text{C}$ 부터  $60^{\circ}\text{C}$ 까지 매  $5^{\circ}\text{C}$ 마다의 定常狀態를 확인하면서 溫度를 상승시켜 溫度轉換에 성공하였고, Garber等<sup>(8)</sup>은 체류시간 20일로 계속 負荷를 가하면서 溫度增加率  $0.6^{\circ}\text{C}/\text{day}$ 로  $36^{\circ}\text{C}$ 에서  $49^{\circ}\text{C}$ 까지 상승시켰는데, 高温도달 후 상태가 악화하였기 때문에 소화조상태에 따라 負荷를 감소시키는 동시에 溫度를 增減시켜 장기간이 소요된 후에야 정상적인 溫度消化에로의 轉換에 성공하였으며, Cooney等<sup>(9)</sup>은 체류시간 30일로 계속 負荷를 가하면서 溫度增加率  $1^{\circ}\text{C}/\text{week}$ 로  $37^{\circ}\text{C}$ 부터  $65^{\circ}\text{C}$ 까지 상승시켰는데, 溫度轉換中에 消化의 阻害가 다소 발생하였으나 高温도달 후에는 정상적인 消化가 가능하였다. 또한 藤田<sup>(10)</sup>은 체류시간 32일로 계속 負荷를 가하면서 溫度增加率  $2^{\circ}\text{C}/\text{day}$ 로  $39^{\circ}\text{C}$ 부터  $55^{\circ}\text{C}$ 까지 상승시켰는데 큰 消化阻害없이 高温消化에 도달하였고, Rimkus等<sup>(9)</sup>은 체류시간 14일로 負荷를 계속하면서 溫度增加率  $0.6^{\circ}\text{C}/\text{day}$ 로  $3^{\circ}\text{C}$ 를 올린 후 2~3주간 일정온도를 유지하는 방법으로  $34^{\circ}\text{C}$

에서 53°C 로의 高温轉換을 성공시켰다.

以上の事例에서 볼 수 있는 바와 같이, 대부분의 研究가 負荷상태하에서의 溫度轉換法으로 행하여졌고 溫度增加率이 매우 相異하며 轉換에 매우 장기간이 소요된 것을 알 수 있다. 즉 轉換時 일정한 기준없이 研究者의 판단에 따라 試行錯誤의인 방법을 적용하였다.

따라서 本 研究에서는 이제까지 소홀히 취급되었던 기초적인 轉換方法에 대한 主要代案을 비교, 각 방법적용시의 動的變動을 분석하여 기존연구에서의 임의성을 극복할 수 있는 보다 합리적이고도 용이한 轉換方法을 검토하기 위하여 다음의 세방법에 의한 效果를 研究하였다.

- (1) 負荷를 계속하여 溫度를 상승시키는 방법
- (2) 負荷를 중단하고 溫度를 상승시키는 방법
- (3) 高温消化의 植種物質로서 中溫슬러지를 이용하는 방법

## 2. 實驗材料 및 方法

本 研究에 이용된 消化槽는 有效容量 4l 의 아크릴製 円型反應槽로서, 混合은 자석교반기를 이용하였고 溫度調節은 反應槽外部에 加熱팬드를 설치, 比例制御式 溫度調節器를 이용하였다. 溫度調節의 편차는  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  以下이었고 가스捕集은 counter weight 이 설치된 floating cover system 을 이용하였으며 슬러지의 流入 및 流出은 1日 1회로 행하였다.

本 研究에서는 研究結果의 分析을 보다 정확히 하기 위하여 組成이 均一한 人工슬러지를 사용하였으며 그 組成은 表 1 과 같다.

주된 有機物質인 飼料(dog food)는 건조후 파쇄하여 사용하였으며(標準체 #20(0.84mm) 통과), 알칼리도를 보충하기 위하여  $\text{NaHCO}_3$  및

表 1. 人工슬러지의 組成

Composition	Concentration (g/l)
Dog Food	30.0
Paper	2.5
Soap	1.0
Corn Oil	1.5
$\text{NaHCO}_3$	2.9
$\text{MgCO}_3$	1.8

$\text{MgCO}_3$  를 이용하였고 모든 첨가물은 mixer 로 물과 完全混合한 후 투입되었다. 이러한 人工슬러지의 pH 는 平均 8.1, 알칼리도(pH 4.5 까지) 5,530mg/l as  $\text{CaCO}_3$ , COD 38,350mg/l, TS 36,400mg/l, VS 는 TS 의 83% 이었다.

消化槽運轉中の 測定項目은 pH, 알칼리도, 揮發性有機酸(volatile organic acids: 揮發酸)濃度, 가스發生量(가스온도 20°C 基準), 가스組成( $\text{CO}_2\%$ ), COD, TS, VS 等이고 이중 揮發酸은 distillation 法으로, 가스組成은 Orsat 法으로 分析하였으며, 모든 分析은 Standard Methods<sup>(1)</sup> 에 따라 행하였다.

## 3. 實驗結果 및 討論

### 3.1 계속적인 有機物質荷下에서의 溫度轉換

高温에로의 溫度轉換을 위하여 水理學的 滯留時間 20日, 有機物負荷 1.51gVS/l·d, 消化溫度 38°C 의 中溫消化槽를 約 4個月間 운영하였는데, 定常狀態(steady state)下에서의 가스發生量은 1gVS 除去當 0.85l, 1gCOD 除去當 0.67l 이었으며 發生가스中的  $\text{CO}_2$  는 36%, 揮發酸濃度/알칼리도比(VA/Alk.)는 0.06 으로 正常的인 消化가 이루어졌다. 이러한 定常狀態로 부터 同一한 有機物負荷를 계속 가하며 溫度增加率( $dT/dt$ ) 2.0°C/day, 1.0°C/day 및 0.5°C/day 로 56°C 까지 溫度를 上昇시켰을 때의 各種項目의 動的變化狀態는 그림 1 에서와 같다.

溫度上昇시작후, 溫度增加率이 클수록 pH, 알칼리도 및 가스發生量 등이 보다 빨리 감소하였으며, 揮發酸,  $\text{CO}_2\%$ , COD 및 VS 등은 보다 빨리 증가하였다. 즉 溫度增加率이 클수록 消化狀態가 단시간내에 급속하게 악화되는 것을 알 수 있는데, 이는 中溫消化의 定常狀態에서 均衡을 이루던 酸生成菌과 메탄生成菌이 溫度增加率의 크기에 비례하여 그 均衡을 빨리 잃으며, 특히 메탄生成菌이 溫度衝擊에 급속하게 活性을 잃은 반면, 酸生成菌은 상대적으로 溫度衝擊의 영향을 덜 받아 揮發酸이 溫度增加率이 클수록 단시간내에 축적되기 때문이라고 할 수 있다. 그러나 溫度增加率의 크기에 따른 動的轉換期의 차이에 무관하게 세경우 모두 56°C 에 도달하였을 때는 모두 메탄醱酵가 중단되고 酸醱酵만이

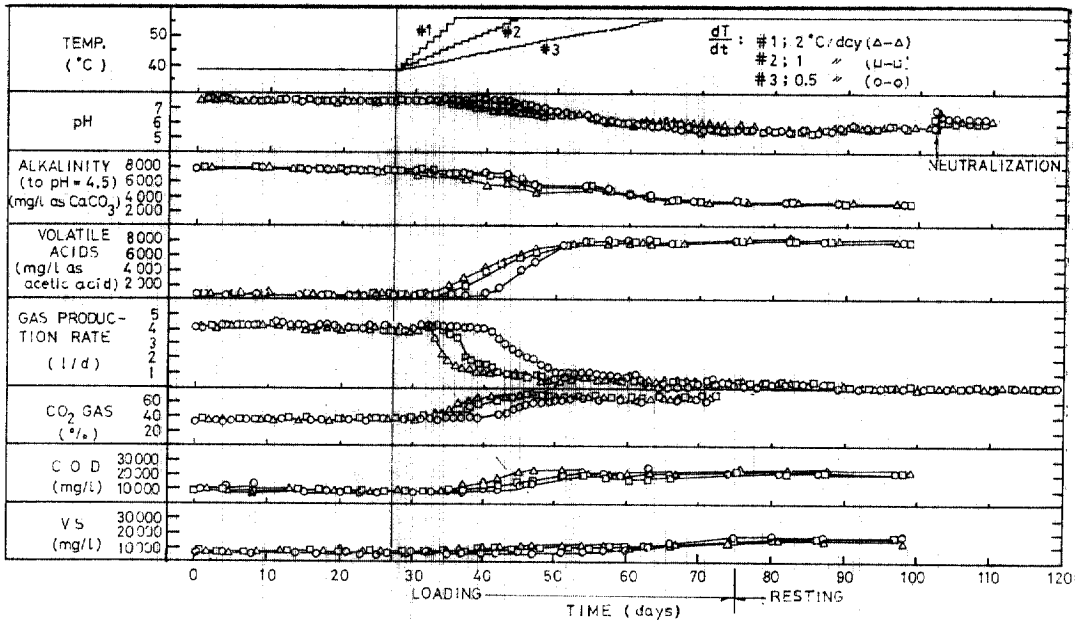


그림 1. 계속적인 有機物負荷下에서 高温에로의 轉換時 發生되는 動的變化

일어났다. 이는 溫度轉換期間中에도 1.51gVS/l·d의 負荷를 동일하게 가하여, 溫度增加率이 작은 경우에도 酸生成菌의 活動이 메탄生成菌의 活動보다 우세하여 두 菌間의 均衡이 깨어져 揮發酸의 축적이 야기되고, 높아진 揮發酸濃度는 다시 메탄生成菌의 작용을 阻害하였기 때문이다. 일반적으로 VA/Alk. 비가 0.8 이상인 경우 메탄生成이 증지되고<sup>(12)</sup> 非이온화揮發酸(UVA)濃度가 30~60mg/l 이상이면 메탄菌에 有害하다고 보고되었는데<sup>(13)</sup>, 本 研究에서의 VA/Alk. 비는 中溫消化의 定常狀態에서는 0.06이었으나 酸醱酵狀態下에서는 平均 2.31이라는 큰 값을 가졌고, UVA도 揮發酸濃度和 pH로 부터 추산하면 中溫消化에서는 約 0.73mg/l이었으나 56°C下의 酸醱酵狀態에서는 約 1,080mg/l에 이르러 메탄生成은 완전히 阻害되고 있었다.

이와같이 溫度增加率 2, 1 및 0.5°C/day의 세 경우에 있어 溫度轉換期中에는 溫度增加率이 작을 수록 메탄醱酵의 停止가 지연되었으나 결국 모두 거의 같은 상태로 메탄醱酵가 停止하였고, 계속되던 負荷를 끊은 후 1個月間의 休止期 및 NaOH에 의한 中和後 6個月間의 休止期間中에도 正常的인 高温消化에로의 轉換은 불가능하였

다.

한편 그림 1에서의 動的變化는 流入, 流出의 差異와 反應에 의한 變化가 합하여진 결과로서 溫度變化에 따른 總括的인 영향(overall effects)만을 나타내는 것이다. 따라서 動的變化期의 反應만에 의한 有機物의 變化率( $r$ )을 구하기 위하여 消化槽를 CFSTR(完全混合連續流型反應槽)이라고 가정하고 COD에 대한 物質收支式을 세우면 다음과 같다.

$$V \frac{dC}{dt} = QC_i - QC - Vr \quad \dots (1)$$

여기서,  $V$ : 消化槽容積

$C$ : 消化슬러지의 COD

$t$ : 時間

$Q$ : 流入, 流出슬러지의 流量

$C_i$ : 流入슬러지의 COD

$r$ : 反應에 의한 單位時間當 COD의 變化率(反應速度)

따라서, 反應速度를 구할 수 있는 다음 式이 성립한다.

$$r = \frac{Q}{V}(C_i - C) - \frac{dC}{dt} \quad \dots (2)$$

溫度轉換에 따른 COD의 變化和 各點에서 式

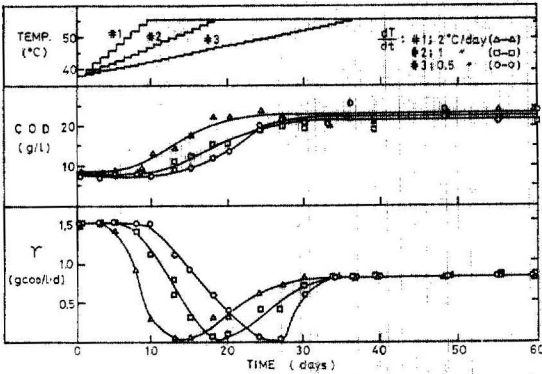


그림 2. 지속적인 有機物負荷下에서의 溫度轉換에 따른 COD 및 反應速度的 變化

(2)에 의하여 계산된 反應速度  $r$  값을 그림으로 나타내면 그림 2와 같다. 이로부터 溫度轉換期中 酸發酵의 轉換以前에 反應速度가 最小로 되는 점이 존재하는 것을 알 수 있는데, 溫度上昇 시작후 反應速度가 최소로 되는 시간은, 2°C/day의 경우 約 14日, 1°C/day의 경우 約 19日, 0.5°C/day의 경우 約 27日로 溫度增加率이 클수록 짧아졌다. 그러나 溫度上昇 시작후 約 35日以後에는 세 경우 모두 같은 水準의 反應速度를 유지하였다. 이것은 溫度衝擊에 의하여 메탄生成菌과 酸生成菌이 모두 阻害를 받고 그 阻害速度는 溫度增加率에 비례하나, 酸生成菌은 다시 적응되어 酸生成反應단이 활발히 일어나는 것을 보다 명확히 보여주고 있다.

따라서 1.51gVS/l·d의 負荷를 지속하는 상태하에서는 0.5°C/day의 낮은 溫度增加率에서도 正常的인 高溫消化에로의 轉換이 불가능함을 알 수 있다.

### 3.2 無負荷下에서의 溫度轉換

高溫에로의 溫度轉換을 위하여 水理學的 滯留時間 10日, 有機物負荷 3.03gVS/l·d, 消化溫度 35°C의 中溫消化槽를 約 3個月間 運營하였는데, 定常狀態下에서의 가스發生量은 1gVS除去當 0.97l, 1gCOD除去當 0.73l이었으며 發生 가스中の CO<sub>2</sub>는 35%, VA/Alk.比는 0.07로 正常的인 消化가 이루어졌다. 이러한 定常狀態로부터 負荷를 중단하고 溫度增加率 1.0°C/day 및 一時에 55°C까지 上昇시키고, 溫度上昇 시작

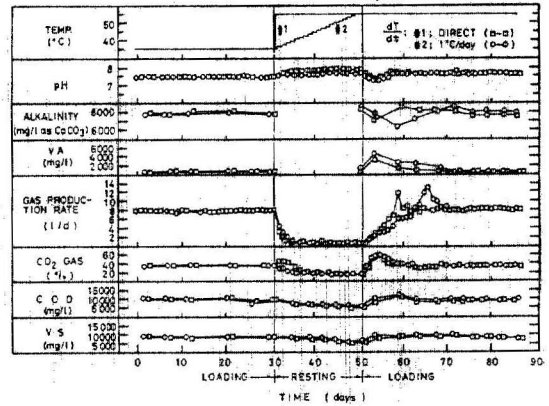


그림 3. 無負荷下에서 高溫에로의 轉換時 發生되는 動的變化

20日後부터 다시 3.03gVS/l·d의 負荷를 가했을 경우의 動的變化狀態는 그림 3과 같다.

高溫에 도달된 후 負荷를 다시 가하기 전까지 55°C에서의 休止期間은 一時에 상승시킨 경우 20日이었고 1°C/day로 상승시킨 경우 1日이었다.

두 경우에 있어 休止期間中の COD 및 VS의 감소는 거의 동일하였던 반면, 一時에 상승시킨 경우 休止期間初期에 CO<sub>2</sub> 가스組成이 46%까지 증가하였으나 단기간내에 다시 감소하였고, pH는 初期低下現象없이 1°C/day 경우보다 급속히 증가하였다. 이는 一時에 상승시킨 경우 급격한 溫度衝擊에 의하여 메탄菌의 活性이 일시적으로 阻害를 받아 CO<sub>2</sub>%가 증가되나, pH는 高溫으로 인하여 CO<sub>2</sub>의 溶解度가 감소하는 동시에 揮發酸의 이온化常數가 작아짐으로써 초기부터 오히려 증가하는 것으로 추정된다. 한편 休止後 負荷를 다시 가했을 때, 두 경우 모두 일시적으로 pH와 알칼리도가 감소하고 揮發酸濃度, CO<sub>2</sub>%, COD 및 VS가 증가하여 衝擊負荷에 의한 일시적인 消化阻害가 발생하였다. 특히 CO<sub>2</sub>%는 두 경우 모두 60%까지 증가하였다. 그러나 一時에 상승시킨 경우에는 負荷再開後 約 15日後, 1°C/day의 경우 約 20日後부터 正常的인 高溫消化가 가능하였는데, 1°C/day의 경우 상대적으로 회복이 느림은 가스發生量面에서 볼 때 더욱 명확히 알 수 있다. 한편 休止期間以外的 消

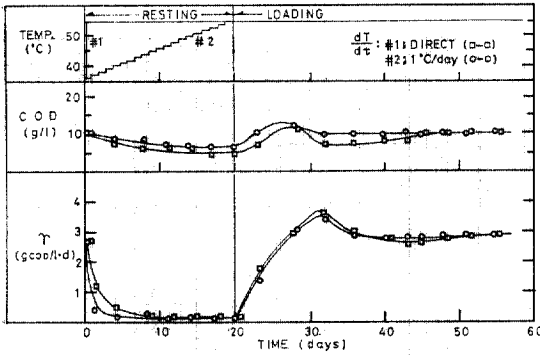


그림 4. 無負荷下에서의 溫度轉換에 따른 COD 및 反應速度的 變化

化槽負荷가 3.1의 負荷下에서의 轉換에 비하여 두배나 큼에도 불구하고 轉換에 성공한 사실은, 轉換中의 負荷有無가 매우 중요하다는 것을 보여주고 있다.

그림 4는 式(2)를 이용하여 反應速度的 變化를 나타낸 것으로 休止期間後 負荷初期에 反應速度가 급격히 증가하는 것을 보여주고 있는데, 負荷前後의 COD의 變化보다 反應速度的 變化가 더욱 큰 것은, 休止期間中 生物學的分解可能物質이 대부분 分解되었고 負荷開始初期에 微生物이 對數成長을 시작하였기 때문이라고 추정된다. 또한 負荷開始後 反應速度가 最大인 점이 존재하는 것은, 負荷初期의 높은 基質濃도에 비례하여 反應速度와 微生物量이 급격히 증가하나 分解가 계속됨에 따라 基質濃도가 낮아져 反應速度가 다소 감소하기 때문이라고 판단된다.

이상과 같은 성공적인 高溫消化에로의 轉換結果로부터 中溫에서도 高溫嫌氣性菌이 존재한다는 것을 확인할 수 있는데, 이는 中溫下에서의 中溫菌과 高溫菌의 個體比率를 연구, 中溫슬러지內에도 高溫菌이 約 10% 존재하고 있음을 밝힌 Chen<sup>(14)</sup>의 최근 결과를 재입증하는 것이다. 또한 高溫에로의 轉換은 無負荷狀態下에서 容易함을 알 수 있는 동시에, 一時에 上昇시킨 경우에도 高溫消化가 가능할 뿐 아니라 1°C/day 경우보다 외부에 소요되는 시간이 짧은 사실로부터, 溫度增加率이 큰 경우 溫度增加率보다 溫度上昇後의 高溫下에서의 休止期間이 더욱 중요함을 알 수 있다.

즉 無負荷下에서의 高溫에로의 轉換時, 溫度增加率이 작은 경우 高溫도달후 짧은 休止期間으로 轉換이 가능하며, 溫度增加率이 매우 커서 급격한 溫度衝擊이 발생하는 경우에도 中溫下에서 존재하던 高溫메탄生成菌과 酸生成菌과의 均衡을 이루기에 충분한 休止期間이 주어지면, 高溫에로의 轉換이 가능함을 알 수 있다.

### 3.3 中溫슬러지植種에 의한 轉換

中溫消化의 高溫消化에로의 溫度轉換時 계속되는 負荷下에서는 메탄生成이 中止되고 酸酸酵만이 이루어졌다. 이러한 경우 正常的인 高溫消化에로의 轉換을 위한 代案으로는 (1) 高溫下에서 正常的인 메탄酸酵가 이루어 질 때까지 負荷를 중단하고 高溫狀態를 계속 유지시키는 方案, (2) 稀釋하는 方案, (3) 中和하는 方案, (4) 植種하는 方案 등이 있을 수 있다.

本 研究에서는 그림 1에 표시된 바와 같이 1차적으로 메탄生成停止後 負荷를 중단하고 1個月間 休止後, 다시 NaOH로 中和를 행하여 pH를 5.8에서 7.0으로 상승시켰으나 전혀 狀態는 개선되지 않았다. 그후 6個月間 負荷를 中止한 상태로 55°C를 유지하면서 休止시켰으나 正常的인 高溫消化는 불가능하였다. 따라서 다음 改善案인 植種을 1個消化槽에 대하여 행하였는데 高溫消化슬러지를 이용치 않고, 本 研究에서 이용된 基質에 적용된 상태로 35°C下에서 滯留時間 20일로 운전되고 있는 消化槽의 消化슬러지를 植種物質로 이용하였다. 이러한 高溫消化槽에의 中溫消化슬러지에 의한 植種은 中溫슬러지內에도 高溫菌이 존재한다는 Chen<sup>(14)</sup>의 연구보고에 의하여 그 타당성이 더욱 명확히 입증될

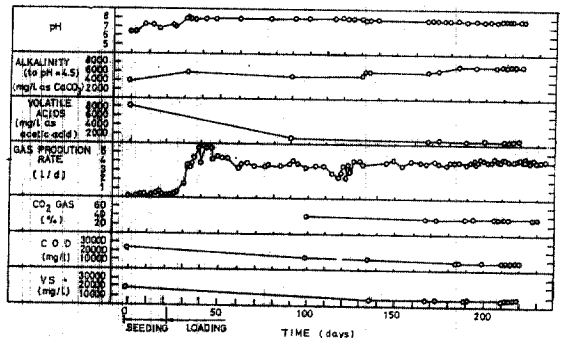


그림 5. 中溫슬러지植種에 의한 高溫消化運轉結果

수 있다. 그림 5는 酸醱酵狀態에 있는 高温消化槽에 中温消化슬러지를 植種하여 운전한 결과이다.

無負荷狀態下에서 3주간에 걸쳐 高温消化槽 容量의 約 1.4 배에 해당하는 量을 中温消化슬러지로 평균 1일투입량 0.12 l/l digester·d로 교체한 후, 滯留時間 20日, 有機物負荷 1.51g VS/l·d로 운전한 결과, 급속하게 正常的인 高温消化로 접어드는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 中温에서도 高温嫌氣性菌이 존재한다는 것을 증명하는 것이며, 中温슬러지內的 高温菌이 高温消化運轉에 매우 有効하게 이용될 수 있음을 보여주고 있다. 中温슬러지植種에 의하여 이와 같이 용이하게 高温메탄醱酵가 이루어 질 수 있었던 것은, 中温슬러지內的 高温菌이 負荷가 없는 상태에서 연속적으로 다량 투입되었기 때문으로 추정되는데, 一時에 高温으로 上昇시킨 후 20日間の 休止期間으로 正常的인 高温消化가 가능했던 것과 그 機作은 같다고 할 수 있다. 따라서 中温消化슬러지의 植種은 메탄生成이 停止된 中温消化槽뿐 아니라 高温消化의 運轉初期 또는 正常的인 消化의 停止時에도 매우 有効하고도 便利한 轉換 및 回復方法이 될 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 結 論

人工슬러지를 이용한 嫌氣性中温消化의 高温消化에로의 轉換時, 各 負荷狀態 및 溫度增加率에 따른 動的變化와, 高温消化槽에 대한 中温消化슬러지의 植種效果를 分析하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 有機物負荷를 계속하는 狀態에서 溫度增加率 2,1 및 0.5°C/day로 溫度를 상승시켰을 때, 溫度增加率이 클 수록 메탄醱酵가 급속하게 악화하였으며 세경우의 溫度增加率에 있어 모두 高温에 도달하였을 때는 메탄醱酵가 中止되고 酸醱酵만이 일어났다. 이로부터 메탄生成菌은 溫度衝擊의 크기에 비례하여 급속하게 活性을 잃은 반면, 酸生成菌은 영향을 덜 받아 高温下에서 適應될 수 있다고 판단된다. 메탄醱酵가 中止된 이유는 溫度增加에 따라 메탄生成菌과 酸生成菌의 均衡이 깨어지는 상태하에서 계속

負荷를 가함으로써 揮發酸의 蓄積이 야기되고 높아진 揮發酸濃度는 溫度衝擊과 더불어 다시 메탄生成菌의 作用을 阻害하였기 때문이라 추정된다.

(2) 無負荷狀態에서 溫度를 上昇시켰을 때, 溫度增加率 1°C/day의 경우 總休止期間 20日中 高温에 도달한 후 1日의 休止期間으로도 正常的인 高温消化가 가능하였고 一時에 上昇시킨 경우도 20日間の 休止期間으로 正常消化가 가능하였다. 따라서 高温에로의 轉換은 無負荷狀態下에서 容易함을 알 수 있는 동시에, 溫度增加率이 작은 경우 高温에 도달한 후 짧은 休止期間으로 轉換이 가능하며, 溫度增加率이 매우 커서 급격한 溫度衝擊이 발생하는 경우에도 메탄生成菌과 酸生成菌이 均衡을 이루기에 충분한 休止期間이 주어지면 高温에로의 轉換이 가능함을 알 수 있다.

(3) 酸醱酵狀態의 高温消化槽에 中温消化슬러지를 植種한 결과, 신속하게 正常的인 高温消化로 접어들었다. 이로부터 中温消化슬러지에 의한 植種은 高温消化의 初期運轉時나 正常的인 高温消化의 停止時에 매우 有効하고도 便利한 轉換 및 回復方法이 될 수 있음을 알 수 있다.

#### 參 考 文 獻

1. Buhr, H.O., and Andrews, J.F., "Review Paper, The Thermophilic Anaerobic Digestion Process", *Water Research*, Vol. 11, pp.129~143, (1977).
2. Garber, W.F., "Operating Experience with Thermophilic Anaerobic Digestion", *J. Water Pollut. Control Fed.*, Vol. 54, No. 8, pp.1170~1175, (1982).
3. Rimkus, R.R., et al., "Full-Scale Thermophilic Digestion at the West-Southwest Sewage Treatment Works, Chicago, Illinois", *J. Water Pollut. Control Fed.*, Vol. 54, No. 11, pp. 1447~1457, (1982).
4. van Velsen, A.F.M., and Lettinga, G., "Effect of Feed Composition on Digester Performance", in *Proceedings of the First International Symposium on Anaerobic Digestion*, Wales, pp.

- 113~130, (1979).
5. 古屋昇 外, “下水汚泥の高温嫌気性消化”, 日本下水道協会誌, Vol. 16, No. 183, pp. 36~45, (1979).
  6. Varel, V.H., *et al.*, “Effect of Temperature and Retention Time on Methane Production from Beef Cattle Waste”, *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 40, pp. 217~222, (1980).
  7. Pfeffer, J.T., “Temperature Effects on Anaerobic Fermentation of Domestic Refuse”, *Biotech. Bioengr.* Vol. 16, pp. 771~787, (1974).
  8. Garber, W.F., *et al.*, “Thermophilic Digestion at the Hyperion Treatment Plant”, *J. Water Pollut. Control Fed.*, Vol. 47, No. 5, pp. 950~961, (1975).
  9. Cooney, C.L., and Wise, D.L., “Thermophilic Anaerobic Digestion of Solid Waste for Fuel Gas Production”, *Biotech. Bioengr.* Vol. 17, pp. 1119~1135, (1975).
  10. 藤田正憲, “省資源・省エネルギーからみたメタン醗酵について”, 水処理技術, Vol. 21, No. 4, pp. 13~32, (1980).
  11. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 15th ed., American Public Health Asso. (1981).
  12. *MOP 16: Anaerobic Sludge Digestion*, WPCF, p. 14, (1968).
  13. Kroeker, E.J., *et al.*, “Anaerobic Treatment Process Stability” *J. Water Pollut. Control Fed.*, Vol. 51, No. 4, p. 718, (1979).
  14. Chen, M., “Adaptation of Mesophilic Anaerobic Sewage Fermentor Populations to Thermophilic Temperatures”, *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 45, No. 4, pp. 1271~1276, (1983).

(接受: 1986. 8. 18)