

# 固形 廢棄物내의 生物學的으로 分解不能한 有機物質의 含量的 決定에 관한 研究

Methods of Determination of Nonbiodegradable Organic Contents in Solid Wastes

崔 義 昭\*  
Choi, Eui So

## Abstract

Laboratory aerobic and anaerobic digesters were operated to determine the nonbiodegradable fractions in PS (Primary Sludge) and WAS (Waste Activated Sludge) from a municipal wastewater treatment plant in Seoul. Nonbiodegradable fractions were determined to be 45 to 47% in PS and 58 to 68% in WAS. Ultimate  $CH_4$  gas production rates were estimated to be 0.76 for PS and 0.54  $m^3/kg$  VS removed for WAS.

$CH_4$  contents were respectively 63% for PS and 65% for WAS.

## 要 旨

都市下水 處理施設로부터 生産되는 1次와 2次 슬러지의 生物學的 分解不能程度를 實驗室 好氣性과 嫌氣性 消化槽를 運轉시켜 比較하였다.

1次 슬러지의 分解不能 含量은 45~47%, 2次 슬러지는 58~68%로 나타났으며 最大  $CH_4$  가스 生産量은  $kgVS$ 除去당 1次的 境遇에는 0.76  $m^3$ , 2次的 境遇는 0.54  $m^3$  이었다. 1次와 2次 슬러지의 消化가스 內的  $CH_4$  含量은 63%와 65%였다.

## 1. 序 論

效果的인 汚染管理는 各種 廢棄物을 適切히 管理하는데 달려 있다. 특히 都市下水 處理施設로부터 生産되는 슬러지를 適切히 管理하지 못하는 境遇에는 目標로 하는 下水處理의 效果를 얻을 수 없게 될 것이다. 本 研究는 下水슬러지에 있어서 好氣性과 嫌氣性 狀態에서 分解 不可能한 物質의 程度를 서로 比較한 것으로써 슬러지의 消化效率과 아울러 埋立時에 窮極的으로 發生possible한 가스 生産量등의 算定에 決定的인 資料를 提供할 것이다.

## 2. 實 驗

生物學的 分解不能(Nonbiodegradable; NBD) 物質의 含量을 決定하는 方法으로는  $K_2Cr_2O_7$  에 의한 COD와 最終 BOD의 차이를 利用하는 方法과 生物分解를 통한 物質收支를 利用하는 方法으로 大別될 수 있다. 本 實驗에서 最終 BOD의 測定은 O.I. Corporation\* 製品인 Electrolytic BOD Respirometer를 使用하였으며 生物分解를 통한 物質收支 方法을 위해서는 好氣性과 嫌氣性 消化法이 利用되었다.

\* 正會員·高麗大學校 工科大学 教授, 土木工學科

\*Graham at Wellborn, P.O. Box 2980, College Station, Texas 77841, USA

本 研究에 利用한 實驗室用 消化槽는 1日 1回 슬러지를 注入시키며 排出시키는 完全混合形으로 好氣性의 境遇에는 2~2.5l의 消化槽가 20度에서, 嫌氣性의 境遇에는 6l의 消化槽가 35度에서 運轉되었다. 消化槽의 混合方式는 好氣性의 境遇에는 注入空氣에 의해 混合하였으며, 嫌氣性의 境遇에는 motor에 2개의 paddle이 연결된 機械式 混合裝置에 의해 混合하였다.

實驗에 使用된 슬러지는 서울의 청계천 下水 處理場의 1次와 2次 施設로 부터 採取하여 24時間 濃縮시킨 것이었다.

슬러지의 濃度を 비롯한 모든 水質分析은 *Standard Methods*<sup>(1)</sup>에 準하였다

### 3. 結果 및 結果分析

#### 3.1 下水슬러지의 性狀

表1은 實驗에 使用된 1次와 2次 슬러지의 性狀을 나타내 주고 있으며 그림1은 BOD Respirometer<sup>(2)</sup>에 의한 經過日數에 따르는 累積 酸素所要量을 나타내고 있다. 1次 슬러지는 一般的으로 豫測되는 酸素所要量을 나타내고 있으나 2次슬러지의 境遇는 解釋이 困難한 樣狀을 나타내고 있다.

表 1. 實驗에 使用된 슬러지의 性狀—平均値(g/l)

슬러지	Solids				COD		BOD		Respirometer	
	TS	VS	TSS	VSS	Tot- al	Solu- ble	Tot- al	Solu- ble	5- days	20- days
1次	51.7	34.6	45.9	29.7	57.4	1.9	24.5	6.6	24.2	37.5
2次	32.5	20.2	31.5	19.3	32.8	1.65	7.6	0.75	4.9	14.0

表1에서 1次 슬러지의 濃度を 볼때 約5%로 美國의 슬러지<sup>(2)</sup>의 濃縮된 濃度보다는 낮은 편이나 2次的 境遇에는 우리나라가 3.2%로 一般的인 1%<sup>(2)</sup>보다 매우 높은데 그 理由는 2次 슬러지 內의 많은 無機物 含量 때문인 것으로 思慮된다.

1次 슬러지의 VS/TS比는 0.67, 2次的 境遇에는 0.62程度로 나타나고 있다.

#### 3.2 嫌氣性 消化

그림2와 그림3은 각각 1次와 2次 슬러지

를 完全混合 嫌氣性 消化槽로 運轉한 結果로서 滯留時間의 逆數에 따르는 COD와 VS의 除去 效率을 나타내고 있다.

滯留時間이 無限히 길어지는 境遇에 VS와 COD의 除去效率이 1次 슬러지의 境遇 53%와 73%, 2次 슬러지의 境遇에는 32%와 31%程度로 推定되는데, 이 값들이 生物學的 分解可能

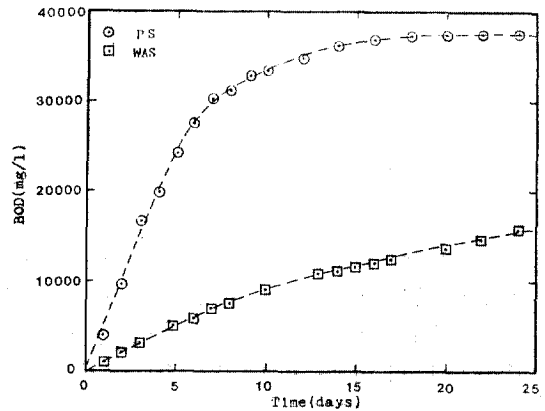


그림 1. Respirometer에 의한 산소 소요량

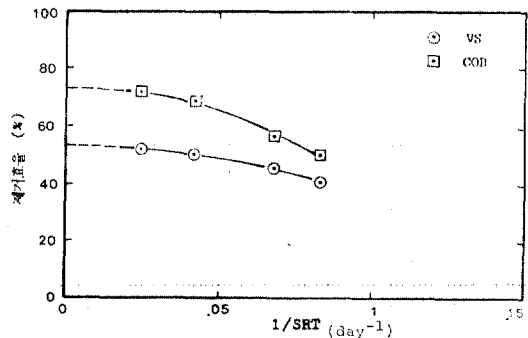


그림 2. 혐기성 소화에 의한 1차슬러지의 제거효율

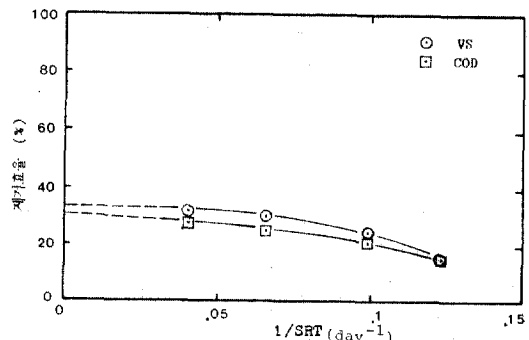


그림 3. 혐기성 소화에 의한 2차슬러지의 제거효율

부분을 말해주고 있다. 事實上 이 값들에는 合成된 微生物이 包含되고 있어 實際的인 分解可能部分은 增大될 수 있으나 그 量은 그리 크지 않으므로 이를 無視하여도 무방할 것이다.

한편 그림 4와 그림 5는 滯留時間에 따르는 BOD, COD, 그리고 VS 除去(BOD<sub>rm</sub>, COD<sub>rm</sub>, VS<sub>rm</sub>)당 生産되는 CH<sub>4</sub>가스 生産量을 나타내고 있다. 表 2는 그림 4와 5로부터 滯留時間이 無限히 길어지는 境遇에 있어서의 除去量比를 計算한 것이다.

表 2. 가스 資料에 의한 1차와 2차슬러지의 除去量比 (嫌氣性 消化)

區 分	COD/BOD	VS/BOD
1 차	1.74	0.73
2 차	1.73	1.09

그림 4와 5에서 1차 슬러지의 最適滯留 期間을 18日, 2차 슬러지의 境遇에는 13日로 할 때에 있어서의 VS 除去效率는 각각 45%와 28%였으며, kg VS 除去당 가스 生産量은 각각 1m<sup>3</sup>과 0.75m<sup>3</sup>이었다. 1차와 2차 슬러지의 CH<sub>4</sub>가스 含量은 각각 63%와 65%였다<sup>(3)</sup>.

### 3.3 好氣性 消化

그림 6과 그림 7은 각각 1차와 2차 슬러지를 完全混合 好氣性 消化槽로 運轉한 結果로서 滯留時間의 逆數에 따르는 COD, BOD 및 VS의 除去效率를 나타낸 것이다. 그림 6과 7에서 滯留時間이 無限히 길어지는 境遇에 VS와 COD의 大略的인 除去 效率는 1차 슬러지가 55%와

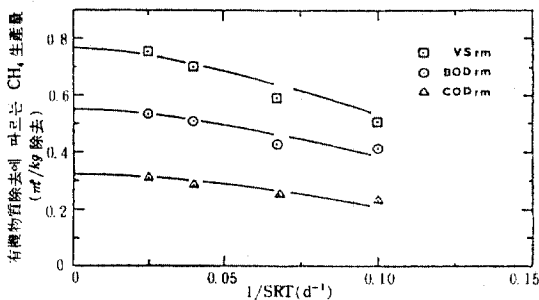


그림 4. 1/SRT에 따르는 CH<sub>4</sub>가스生産量(1차슬러지)

68%, 2차 슬러지는 42%와 44%이다. 이 除去效率도 嫌氣性에서와 마찬가지로 實際로는 微生

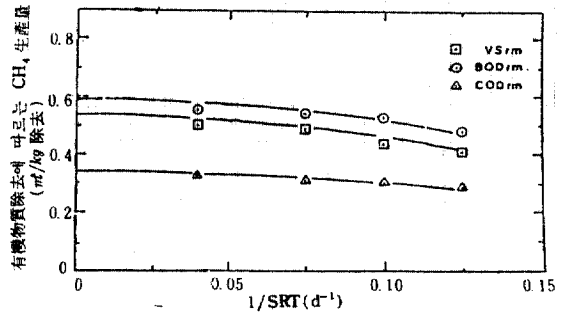


그림 5. 1/SRT에 따르는 CH<sub>4</sub>가스生産量(2차슬러지)

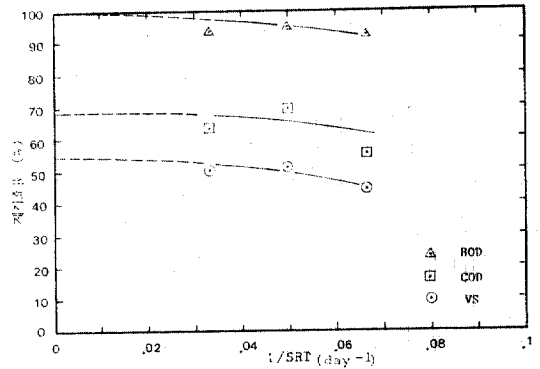


그림 6. 호기성 소화에 의한 1차 슬러지의 제거 효율

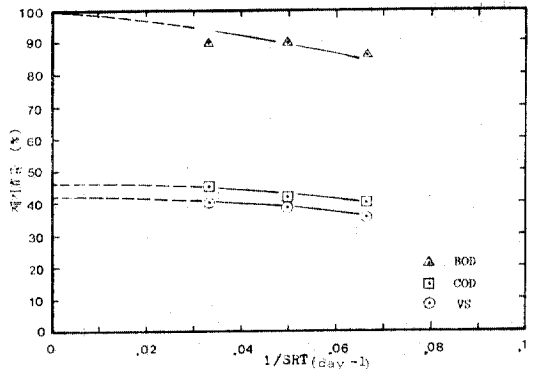


그림 7. 호기성 소화에 의한 2차슬러지의 제거 효율

物로 殘存하는 部分이 包含된 값이므로 實際의 效率는 實測值보다 높아야 할 것이다. 上記 除去 效率로 부터 除去量比를 計算한 것이 表 3 이다. 여기서 BOD 除去效率는 100%로 假定하였다.

表 3. 1次와 2次 슬러지의 除去量比(好氣性 消化)

슬러지	COD/BOD	VS/BOD
1 차	1.59	0.78
2 차	1.9	1.1

### 3.4 生物學的 分解不能 物質 含量

生物學的 分解可能한 COD를 BD COD, 分解不能한 COD를 NBD COD라 하고 溶解性(Soluble)을 S, 非溶解性(Insoluble)을 I로 表示할 때 다음과 같은 相關關係가 成立된다.

$$\text{NBD COD} = \text{COD} - \text{最終 BOD} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{BD COD} = \text{最終 BOD} = \text{BOD} \times k \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{BOD} = \text{IBOD} + \text{SBOD} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{COD} = \text{ICOD} + \text{SCOD} \dots\dots\dots(4)$$

여기서  $k$ 는 常數이며 VSS는 ICOD와 같은 物質을 다른 方法으로 表示한 것이므로

$$\text{NBD VSS} = \text{VSS} \times \text{NBD ICOD} / \text{ICOD} \dots\dots(5)$$

로 나타낼 수가 있다.

表 1로 부터 1次 슬러지의 境遇의  $k$  값은 1.5 가량으로 計算되나 嫌氣性과 好氣性 消化의 境遇에는 表 2와 3으로 부터 각각 1.74와 1.59로 나타나고 있다.

한편 2次 슬러지의 境遇에는 Respirometer에 의한 最終 BOD가 얼마인지 알 수 없는데 20日 BOD를 基準으로 Standard Methods와 Respirometer에 의한 5日 BOD의 값이 각각 7.6과 4.9g/l이므로  $k$  값은 1.84와 2.86으로 計算된다. 이 값은 2차 슬러지에 있어서 嫌氣性 消化와 好氣性 消化의 境遇는 1.73과 1.9로 나타나고 있어 Standard Methods에 의해 測定된 5日 BOD가 合理的인 것 같으나 最終 BOD를 假定하여 使用하였으므로 앞으로 Respirometer와 Standard Methods에 의한 測定值의 보다 廣範圍한 比較가 要望된다. 最終 BOD의 값은 窒酸化에 의하여 그 크기가 增大될 수

있으며 또한 使用되는 種菌 등에 따라서도 영향을 받을 수도 있으므로 嫌氣性이나 好氣性 分解에 의한 物質收支에 의한 方法에 의해 假定하는 것이 보다 正確하리라고 推定된다. 그러나 이 境遇에 있어서도  $k$  값이 서로 다른 理由는 有機 物質의 除去에 따르는 合成된 微生物이 COD 除去效率 算定時에 未除去量으로 算定되며 아울러 合成된 微生物 중 20%가량이 NBD 物質로 殘存되는 理由<sup>(4)</sup>, 消化槽 運轉에 使用된 슬러지의 性狀이 運轉期間 內에 變化되기 때문인 것으로 推定된다.

參考적으로 合成되는 微生物의 量은 好氣性이 嫌氣性보다 크며 窒酸化問題가 있기 때문에 誤差가 好氣性에 있어서 더 크리라 推測된다.

一般下水에 있어서  $k$  값은 1.5가 通用되고 있으나 이는 實測值로써 微生物合成에 의한 誤差를 除外시킨 理論值는 1.72라고 McKinney<sup>(6)</sup>는 主張하고 있다.

嫌氣性 消化에 있어서 (2)식에 表 2의 資料를 代入하여 最終 BOD를 구한 후, (2)식을 利用하여 NBD COD를 구하면 1次的 境遇에는 COD의 約 26%, 2次的 境遇에는 60%가 NBD COD 部分으로 計算된다. 또한 表 2의 VS/BOD를 利用하여 NBD VS含量을 구하면 1次와 2次的 境遇에 각각 48%와 59%로 計算된다.

이상 計算된 NBD 物質의 含量을 比較한 것이 表 4인데 實測方法에 따라 약간의 誤差가 있는데 그 理由는 이미 說明한 微生物合成量의 大小<sup>(4)</sup>등과 아울러 本 實驗에 使用된 슬러지의 性狀을 長期間의 運轉 期間동안 항상 같게 維持할 수 없었던 點이 큰 原因으로 생각된다.

大體的으로 1次와 2次 슬러지의 NBD含量은 COD의 境遇에 30%와 60%內外, VS의 境遇에는 각각 45%와 65%內外로 推定된다. 이 값은 美國의 境遇<sup>(6)</sup>와 比較할 때에 2次 슬러지의 COD에만 차이가 나고 大體的으로 類似한 性質을 나타내고 있다.

表 1에서 VSS와 VS의 濃度 차이가 그리 크지 않으므로 이를 같다고 假定하고 表 4의 代表值를 (5)식에 代入하여 NBD ICOD를 計算해보면 1次와 2次 슬러지인 境遇에 각각 20.5g/l와 20.2g/l로 計算된다. 따라서 1次와 2次

表 4. 各 實測方法에 의한 슬러지 內의 NBD 含量(%)

슬러지	Respirometer	好氣性消化	嫌氣性消化連續運轉가스資料	推定美國代表值 <sup>(6)</sup>
1次 VS	—	45	47 48	45 45
COD	35	32	27 26	30 40
2次 VS	—	58	68 59	65 65
COD	—	56	69 60	65 31

表 5. SCOD의 分解程度의 決定

1次 슬러지	NBD	BD
ICOD(g/l)=45.5 =20.5+25.0		
SCOD(g/l)=11.9=-3.2+15.1		
COD(g/l)=57.4 =17.2+40.2		
2次 슬러지	NBD	BD
ICOD(g/l)=31.15=20.2+10.95		
SCOD(g/l)= 1.65= 1.1+ 0.55		
COD(g/l)=32.8 =21.3+11.5		

슬러지에 있어서 SCOD의 分解 可能量을 計算해 보면 表5와 같다.

즉 1次 슬러지의 溶解性 COD는 大部分 分解 可能한 物質이며 2次 슬러지의 境遇는 大部分 分解不能 物質로 나타나고 있다. 2次 슬러지의 境遇에 溶解性 COD가 大部分 NBD 物質인 것은 포기조에서 大部分의 BOD가 除去되었기 때문인 것으로 생각된다. 事實上 2次 슬러지의 非溶解性 COD는 微生物로서 曝氣○의 SRT에 따라 微生物 自體의 分解程度가 決定<sup>(7)</sup>되기 때문에 曝氣槽의 SRT가 一般적으로 우리나라보다 짧은 美國에 있어서 VS除去效率이 우리와 같게 나타난 것에 대해 綿密한 檢討가 必要하다고 생각된다. 一般적으로 美國<sup>(8)</sup>은 日平均 下水量에 대해 曝氣○의 크기를 決定하며 우리나라<sup>(8)</sup>는 日最大 流量에 대해 設計하기 때문에 우리나라의 境遇가 SRT가 길게 될 것이기 때문이다.

또한 理論적으로 볼때에 生物學的 處理에 있어서 微生物 生産量이 好氣性的 境遇에 크므로 好氣性이나 嫌氣性에서 生産된 微生物의 20%程

度가 NBD 物質로 남는다고 假定<sup>(4)</sup>할 때에 最終적으로 남는 VS중의 NBD 含量이 好氣性에서 더 커야한다. 따라서 表4의 結果를 이와 같은 觀點에서 볼 때에 嫌氣性的 境遇가 NBD含量이 더 크므로 VS中 好氣性으로 分解 可能한 部分이 嫌氣性으로는 分解가 안되고 있다는 假定도 成立될 수 있는지 모른다. 앞으로 보다 綿密한 檢討가 要望된다.

#### 4. 結 論

서울시 청계천 下水 處理場으로 부터 採取한 下水슬러지 內의 生物學的 分解不能 物質을 好氣性和 嫌氣性 分解를 통하여 實測한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) COD와 最終 BOD의 차이에 의한 方法은 試料의 種類에 따라 解釋이 어려운 結果를 나타낼 수 있는 반면에, 生物分解를 통한 物質收支에 의한 方法은 보다 신뢰성이 있는 分解不能 物質의 決定方法이었다.
- (2) 그러나 1次와 2次 슬러지에 있어서 好氣性 消化로 부터 算出된 分解不能物質의 含量이 嫌氣性 消化로 부터 算出된 境遇보다 낮았는데 이는 好氣性 조건에서 보다 슬러지 生産量이 크다는 사실을 토대로 할 때에 解釋이 어려운 樣狀이었다. 이 事實은 好氣性으로 分解 可能한 슬러지의 어느 部分이 嫌氣性으로는 分解不能하다는 것을 暗示해 주고 있는지도 모른다.
- (3) 大體적으로 1次 슬러지 內의 VS중 分解不能 物質의 含量은 45~47%, 2次 슬러지의 境遇는 58~68%로 나타났다. 이 事實은 1次 슬러지를 消化시키는 境遇에 最大 約 60%內外, 2次 슬러지의 境遇에는 最大 30~40%의 除去效率에 불과하다는 것을 말해 준다.
- (4) 1次와 2次 슬러지로 부터 生産 可能한 CH<sub>4</sub> 가스量은 kgVS 除去당 0.76m<sup>3</sup>와 0.54 m<sup>3</sup>이었다.

#### 參 考 文 獻

1. APHA, AWWA, WPCF, *Standard Methods for*

- the Examination of Water and Wastewater*, 16th Ed., 1985
2. WPCF, MOP 8, *Wastewater Treatment Plant Design*, 1977
  3. 張 謹, 우리나라 下水슬러지의 嫌氣性 消化槽를 위한 基礎設計要素 檢討研究, 高麗 大學校 碩士學位 論文 1987
  4. McKinney, R.E., *Microbiology for Sanitary Engrs*, McGraw Hill, 1964
  5. McKinney, R.E., N.T. Veatch Professor of Civil Engg, Univ of Kansas, Lawrence, Personal Communication, 1983
  6. Loehr, R.C. et al, Liquid Sludge Stabilization Using Vermistabilization, *JWPCF*, 57, 7, 817 1985
  7. EPA Process Design Manual, *Sludge Treatment and Disposal*, EPA Technology Transfer 625/1-79-011 1979
  8. 建設部, 下水道 設計基準, 1980
  9. Clark, J.W., Continuous and Recording BOD Determination, *Water & Sewage Works*, 107, 4, 140, 1960

#### 感謝의 말

本 研究는 1986 年度 韓國 學術振興 財團의 自由課題 學術研究費에 의해서 遂行되었습니다. 아울러 高麗 大學校 大學院 環境工學專攻의 張 謹, 崔 俊基君 등의 노고에 感謝를 포함합니다.

(接受 : 1988. 3. 16)