

京都大学 正員 平岡 正勝

武田 信生

学生員 王 偉

1 はじめに

エネルギー資源の重要性が叫ばれる今日、汚泥処理の分野において、下水汚泥消化ガス発電システムが注目されている。このシステムの実用化へ向けての課題の1つは、嫌気性消化プロセスの効率を向上させることにあると考える。消化プロセスの高率化をはかる1つの方法として、消化過程における生物分解性の低い余剰汚泥に熱処理を施すことの有効性が実証されつつある。本研究はこのプロセスについて実験的に検討したものである。

2 熱変性効果に関する検討

本研究では、SSからDSへの移行で固形物の可溶化現象をとらえ、熱処理前後のSSの減少率を可溶化率として定義し、可溶化率で評価した。可溶化率と熱処理温度の関係は図-1に示される。この図からわかるように、可溶化率は処理温度の上昇と共に増大する。可溶化反応に対する影響因子として処理時間、嫌気性、好気性雰囲気の違いについて検討した結果、熱処理による固形物の可溶化の程度に対しては、熱処理温度の影響が最も大きいことがわかった。

次に、熱処理の過程で生成する低級脂肪酸について検討した。まずK処理場に設置されているパイロットプラントで採取した汚泥の分析を行った。余剰濃縮汚泥に比べて、その熱処理汚泥中の低級脂肪酸濃度が5倍近い増加を示している。一方、熱処理実験の結果から、高温域、特に140℃熱処理での低級脂肪酸の増加傾向及び60℃の低温域での好気性処理により低級脂肪酸が生成する可能性のあることがわかった(図2, 3参照)。

汚泥中の脂質、特に高級脂肪酸に対する熱処理効果を検討するために、余剰汚泥、余剰熱処理汚泥、消化汚泥についてGFA, FFAを分析した。熱処理前後でGFAについては、各GFAのオレイン酸としてのトータル濃度で約1000mg/lの減少を示し、FFAは約50mg/lの増加を示している。この結果は熱処理過程でのGFAからFFAへの加水分解を示唆するものである。

次に、ゲルクロマトグラフィーを用いて、分子量分布の変化から、熱処理過程での固形性有機物の可溶性、溶解性有機物の低分子化、及び溶解性有機物の除去特性を評価した。熱処理温度の上昇に伴う分子量分布の変化は表-1のようにまとめることができる。全体を5つの画群に分割し、画群内のフラクションのTC値の合計を表中に示した。60℃-80℃の低温域の熱処理では、画群ⅡのTC成分の増加が顕著であり、これは低温域でも十分可溶化する成分であると言える。処理温度が120℃-160℃の間での画群Ⅰ, Ⅱの高分子側のTC成分の増加は、低温域で溶出しえなかった固形性有機物の可溶化によるものであると言える。180℃以上の高温域では、画群Ⅰ, ⅡのTC成分は減少傾向を示し、これは画群Ⅲ, Ⅳへ移行する。つまり低分子化が起こることがわかった。消化前後におけるクロマトグラムの変化の一例として120℃条の投入汚泥と消化汚泥のクロマトグラムを示す(図-4)。

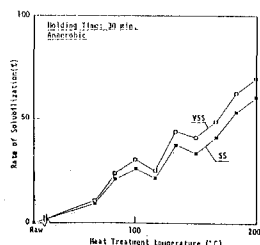


Fig. 1 - Relationship between Heat Treatment Temperature and Rate of Solubilization (Run 5-1)

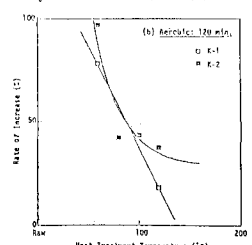
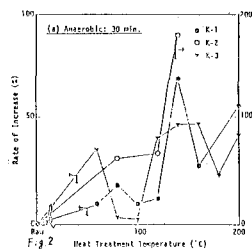


Fig. 2 - Rate of Increase in VFA (Run 6-1, 2, 3)

Table 1 Summary of GC Chromatogram of TC, (Heat Treated Sludge Filtrate)

Sample	I	II	III	IV	V
Raw	144	81	1293	68	30
60°C	426	110	2697	155	37
80°C	401	153	2368	209	114
100°C	690	278	3048	274	116
120°C	1099	402	2049	244	118
140°C	2122	1260	1346	328	180
160°C	4530	1910	2170	000	490
180°C	2190	1930	1950	070	400
200°C	1090	1910	2490	1430	960

3 熱変性汚泥の嫌気性消化特性

熱変性汚泥と無変性汚泥の消化過程における利用特性の相異、また異なった条件で熱処理した污泥間での利用特性の相異を明らかにするために、投入基質として、無処理汚泥、60℃熱処理汚泥、120℃熱処理汚泥、180℃熱処理汚泥を用いたバッチ式の嫌気性消化実験を行った。

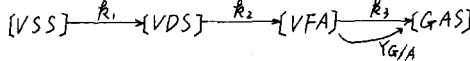
まずガス発生量に関しては、図-5にまとめられている。無処理系に対してガス生成量の累積値は、60℃系で33%、120℃系で52%、180℃系で65%の増加が見られ投入有機物当りのガス発生量も同様の傾向を示している。

低級脂肪酸の経時変化についても、各培養系間の酸発酵過程の比較を行った。各培養系における酸生成過程の相異は反応初期における低級脂肪酸の蓄積量の差として明確にあらわれている(図-6)。

4 速度論的考察及び結論

まず、汚泥中の有機物総量をVTSでとらえ、VTSの分解速度が、残存するVTS量に比例するとする一次反応を仮定し反応速度定数を推定した。図-7から、VTS分解速度、及び最終分解率に関して、各培養系間の相異が明らかになった。

次に固形性有機物の可溶性、酸発酵、メタン発酵と進行する基質分解-ガス化の反応に対して、逐次反応を仮定し、それぞれの速度定数及び揮発酸からガスへの転換効率 $Y_{G/A}$ を推定した。逐次反応モデルは、次のようになる。



反応速度式

$$\frac{d[S]}{dt} = -k_1[S] \quad (1)$$

$$\frac{d[D]}{dt} = k_1[S] - k_2[D] \quad (2)$$

$$\frac{d[A]}{dt} = k_2[D] - k_3[A] \quad (3)$$

$$\frac{d[G]}{dt} = Y_{G/A} k_3[A] \quad (4)$$

以上の結果から、無処理系の消化過程では、VSSからVDSへの加水分解反応が消化反応全体の律速段階となり、一方、熱処理系では、メタン発酵の速度が全体の速度に影響していることがわかった。すなわち熱的前処理は、VSSからVDSへの加水分解反応も含めた酸生成過程の反応促進に対する効果が大きいと言える。

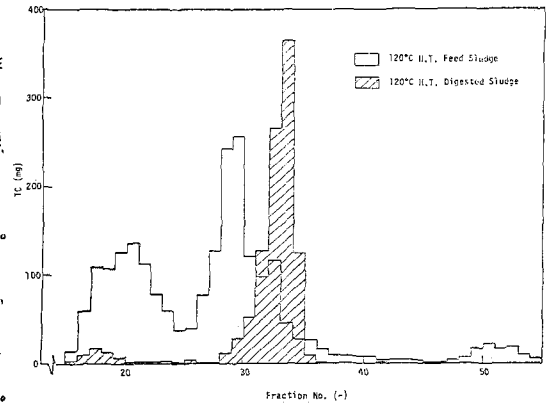


Fig. 4 Comparison between Feed Sludge and Digested Sludge

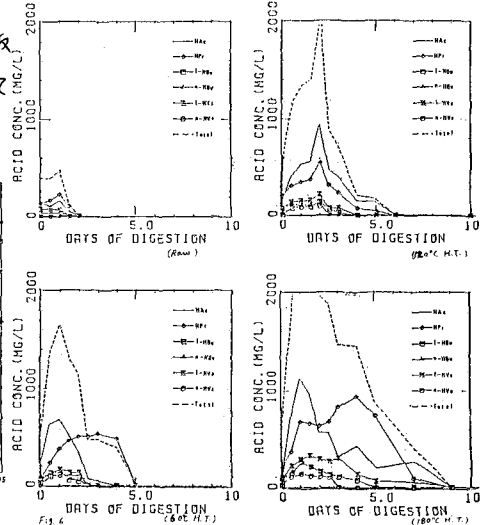


Fig. 5 Accumulated Gas Production (ml/g VS)

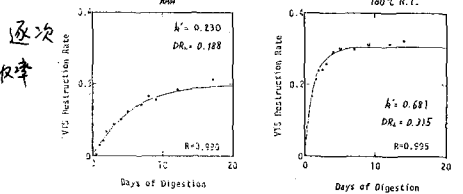


Fig. 6 Acid Concentration (mg/L) vs Days of Digestion

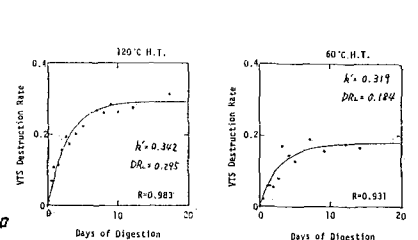


Fig. 7 Change of VTS Destruction Rate