

# 슬러지의 好氣性 堆肥化

## Aerobic Composting of Waste water Sludge

李	燦	基*
Lee,	Chan	Ki
金	榮	來**
Kim,	Young	Rai

### Abstracts

The purpose of this study was to know reduction of organic matter, degree of humification and composting period by composting of night soil sludge.

Laboratory reactor was used for this study. Samples being used in this experimentation was sludge of night soil treatment plant. The degree of composting was investigated by changing moisture content.

The laboratory study indicated that the degree of humification was about 175, C/N ratio was about 11~13, composting period was about 10 days and COD reduction was 37mg/l/day in case of 60% moisture content.

### 要 旨

本 研究는 糞尿슬러지를 堆肥化시켜 有機物의 減少, 腐蝕比度와 堆肥化期間을 알아보는데 그 目的이 있으며 實驗室 反應槽가 利用되었다.

實驗에 使用된 試料는 糞尿處理場 슬러지로서 含水比를 段階的으로 變化시켜 堆肥化程度를 알아보았다. 含水比가 60%에서 堆肥化期間이 약 10일로 나타났고 COD는 37mg/l/day(1gr 건조 重量중)減少하였으며, C/N는 약 11~13, 腐蝕比度는 175程度로 나타났다.

### 1. 序 論

都市下水 및 糞尿處理場에서 排出되는 슬러지는 高濃度의 有機物을 含有하고 있기 때문에 適切히 處理하지 않으면 二次의 汚染을 일으킬 可能性이 있다.

現在 우리 나라의 슬러지 處理過程은 濃縮 후 脫水過程을 거쳐 埋立하거나 農作物에 利用되고

있다. 그러나 적당한 埋立場所가 制限되어 있으므로 슬러지를 적당히 加工處理하여 土地에 利用하는 것이 바람직하다고 생각된다. 이러한 슬러지를 堆肥化하는 方法은 1930年代初 Howard와 Albert<sup>(1)</sup>에 의해 研究된 이래로 1970年代 Maryland주 Beltsille의 U.S.D.A. Agricultural Research Center에서 Epstein<sup>(2,3)</sup> 등에 의한 Pilot-Scale 方法을 始初로 New Hampshire주의 Wolf<sup>(4)</sup>, Ontario주의 Heaman<sup>(5)</sup> 등에 의해 여러가지 形態로 研究되었으며 요즘은 農産廢棄

\* 正會員·江原大學校 工科大學 副教授, 土木工學科

\*\* 正會員·江原大學校 大學院

物에 대한 堆肥化研究가 활발히 進行되고 있다.

우리 나라에서는 1982~1983 年度에 國立環境 研究所에서 糞尿를 堆肥化하기 위한 여러가지 問題點을 研究하였다<sup>(6,7)</sup>.

糞尿는 下水處理場에서 生産되는 슬러지와 그 性質이 類似한 點이 많은데 美國의 境遇에 있어서, 1970 年代의 總生産되는 下水슬러지의 1/3 인 年間 120 만톤(乾燥重量)의 슬러지를 農耕地나 山林地域에 투입하고 있는데, 그 量은 1990 年代에는 年間 560~760 만톤으로 增加되리라고 한다<sup>(8)</sup>.

現在 우리나라의 糞尿處理施設은 161 개소의 糞尿終末處理場이 運營되고 있으며 여기서 排出되는 슬러지는 약 202 ton/day 정도가 排出되고 있고, 糞尿處理場建設로 인하여 終末處理 슬러지는 계속 증가할 전망이다<sup>(9)</sup>.

따라서 本 研究는 嫌氣性 消化슬러지(糞尿處理場슬러지)를 好氣性 상태하에서 堆肥化시켜 土地에 再利用함으로써 農業生産性을 높이는 同時에 슬러지에 의한 2次的 汚染을 防止하는데 그 目的이 있다.

## 2. 實驗裝置 및 實驗方法

### 2.1 實驗裝置

本 研究에 使用된 反應槽는 總用量이 13.5l 이고 有效用量은 10.5l 인 亞크릴製 圓筒形管으로 製作되었다.

反應槽는 일정한 溫度維持 및 열손실 방지를 위하여 恆溫水槽를 利用하였는데 溫度變化는 50 ± 2°C 로 維持시켰다. 反應槽의 공기注入은 bio oxidation console 을 利用하였으며, 유입 공기량은 8~12 ft<sup>3</sup>/hr 이었다. 實驗裝置는 그림 1 과 같

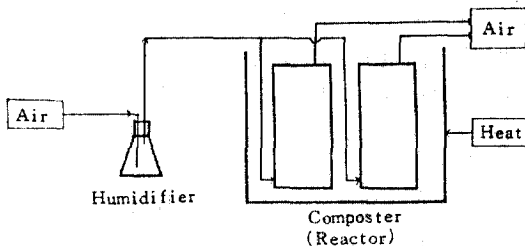


그림 1. 實驗裝置

은 構造로 設置되었다.

### 2.2 實驗方法

本 實驗의 運轉方法은 糞尿슬러지와 既存生性된 堆肥를 약 30~40% 混合하여 含水比를 50 ± 2%, 60 ± 2%, 70 ± 1%, 80 ± 3%로 運轉하여 反應前과 反應後의 關係를 比較分析하였다.

分析項目은 COD는 Dry Weight 0.05gr을 증류수 100ml에 희석하여 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Reflux Method<sup>(10)</sup>에 의해 測定하였으며, 대장균은 EC 배지법,<sup>(10)</sup> T.C는 Tyurin's Method<sup>(11)</sup>, T.K.N은 살리실산-황산법<sup>(12)</sup>, P는 비색법<sup>(12)</sup>, K·Ca·Mg은 원자흡광분광법<sup>(12)</sup>, 腐蝕程度를 나타내는 腐蝕比度는 Kaila 簡便法<sup>(13)</sup>에 의한 方法을 利用하였다.

### 2.3 試料의 特性

本 實驗에 使用된 試料는 春川市 糞尿處理場의 슬러지를 利用하여 適當한 水分含量으로 試料를 製造하였으며, Bulking Agent 로써 既存生性된 堆肥를 添加하였다.

本 實驗에 使用된 試料의 特性을 分析한 結果는 표 1 과 같다.

표 1. 슬러지 構成物質

구 성 물 질	농 도
COD*	1044~1072(mg/l)
pH	6.5~7
T·C	34~36%
TKN	2.0~2.2%
C/N 비	15~17
VS**	42~45%
P	0.39~0.41%
K	0.5~0.7%
Ca	2.6~2.9%
Mg	0.51~0.53%
대장균	9.65 × 10 <sup>5</sup> /g

\* Dry sludge 1gr 을 1l 에 희석

\*\* Dry Base 에서 무게 비율

## 3. 實驗結果 및 分析

### 3.1 溫度와의 관계

堆肥化에 있어서 堆肥化 정도는 含水比와 밀접한 關係가 있는 것으로 實驗結果 나타났다.

그림 2는 含水比別 堆肥化 時間에 따르는 溫

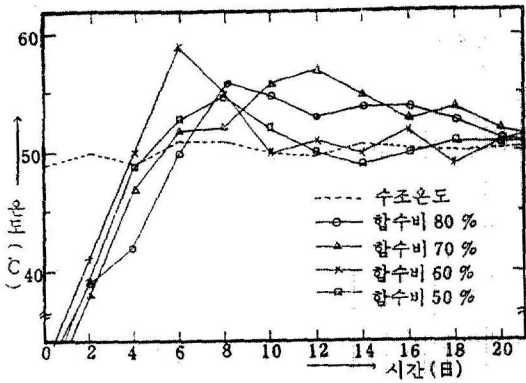


그림 2. 含水比別 堆肥化 時間에 따른 溫度變化

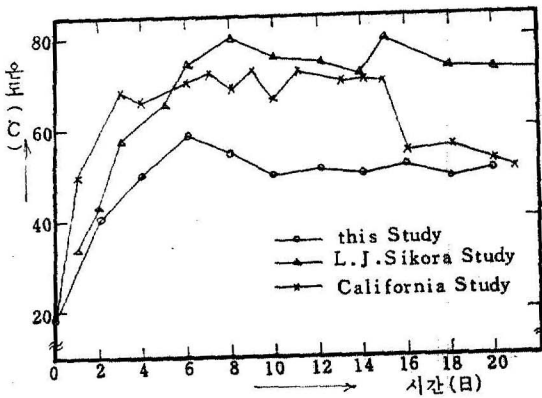


그림 3. 堆肥化 時間에 따른 溫度變化

도와의 관계를 나타낸 것으로 함수비가  $50 \pm 2\%$ 와  $60 \pm 2\%$ 의 경우 運轉初期에는 溫度가 上昇하였다가 6~7 일경을 기점으로 서서히 내려와 10 일경부터는 水槽筒의 溫度(그림 2의 점선부분)와 비슷하게 나타났다. 堆肥化日數 14日에서 18日의 경우 외부수조 온도보다 반응조의 온도가 약간 낮은 경우가 있었는데 이것은 공기배출에 의한 외부로의 열손실이나 측정상의 오차인 것으로 생각된다. 含水비가  $70 \pm 1\%$ 와  $80 \pm 3\%$ 의境遇 溫度의 上昇과 下降이 느린 것으로 나타났는데, 이것은 反應槽 內에서 공기의 流通이 잘 안되어 공기부족 狀態가 되어 反應이 長期化하는 것으로 思料된다.

McGauhey, Goluek<sup>(14)</sup>와 L.J. Sikora<sup>(15)</sup> 등의 實驗에 의하면 運轉後 2~3日에  $50^\circ\text{C}$ 까지 상승하여 그 후 最高  $75 \sim 80^\circ\text{C}$ 까지 올라갔으나, 본

實驗에서는 最高  $70^\circ\text{C}$ 까지 밖에 올라가지 않았으며 溫度變化의 곡선모양은 그림 3에서와 같이 비슷한 形態로 나타났다.

堆肥化의 程度는 溫度가 급상승한 후 서서히 내려가 약  $45 \sim 50^\circ\text{C}$ 가량이 되면 堆肥化가 거의 完成된 狀態로 看做하게 된다.<sup>(16)</sup> 그림 2의 境遇, 含水비가  $50 \pm 2\%$ 에서는 약 12日, 含水비가  $60 \pm 2\%$ 인 境遇는 약 10日 程度에서 堆肥化가 되는 것으로 나타났으며, 含水비가  $70 \pm 1\%$ 와  $80 \pm 3\%$ 인 境遇에는 20日 이상 長期化하는 것으로 나타났다. E.P.A Manual<sup>(8)</sup>에 의하면 適正含水比의 範圍는  $50 \sim 60\%$  정도라고 한다. 그러나 본 實驗의 境遇에는 含水비가 50%보다 60%의 경우가 堆肥化期間의 짧았다. 機械的인 방식에 의한 堆肥化期間은 R.R. Cardenas<sup>(17)</sup>와 M.J. Satriana<sup>(18)</sup>에 의하면 3~10日 範圍이었는데 본 實驗에서는 약 10日로 나타났다.

### 3.2 腐蝕比度와의 관계

腐蝕比度란 堆肥化의 進行程度를 나타내는 상대적인 指數로서, 腐蝕比도와 堆肥化 時間과의 관계는 그림 4와 같다. 含水비 60%인 境遇, 堆肥化가 거의 完成되는 10日 程度에서의 腐蝕比도는 약 175 程度로 나타났다.

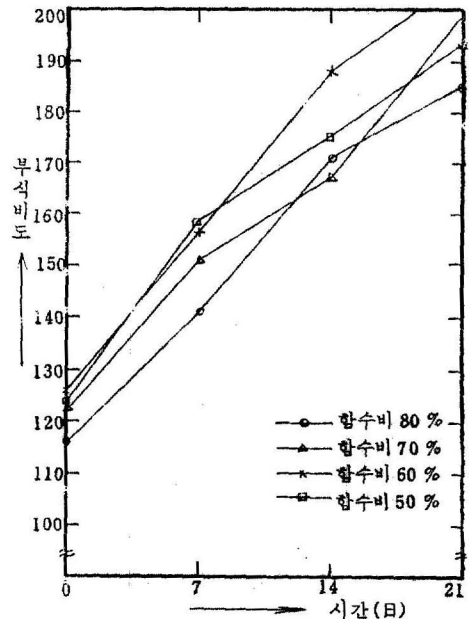


그림 4. 含水比別 堆肥化 時間에 따른 腐蝕比度

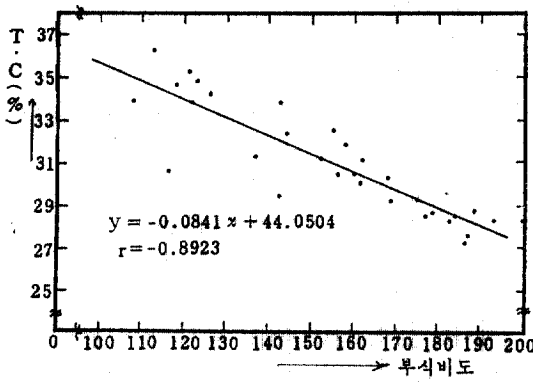


그림 5. 腐蝕比度和 T.C 와의 관계

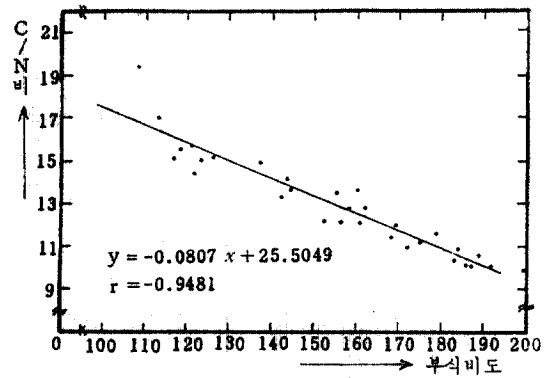


그림 6. 腐蝕比度和 TKN 과의 관계

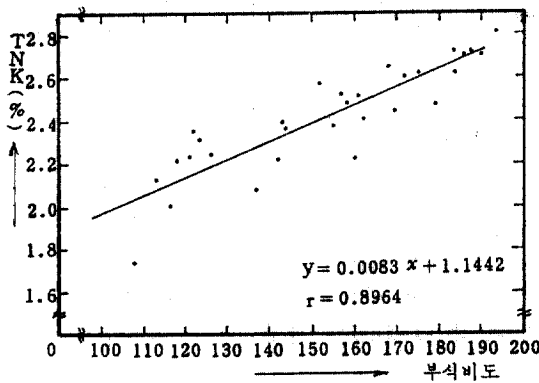


그림 7. 腐蝕比度和 C/N 와의 관계

堆肥化 過程中 T.C, TKN, C/N 比의 變化와 腐蝕比度와의 關係를 알아보기 위해 回歸直線을 이용하여 각 項目間的 相關性을 分析하였다. 그림 5는 腐蝕比度和 T.C의 相關關係를 나타낸 것으로 그림으로부터의 回歸直線式은  $y = -0.0841x + 44.054$  로 나타났다. 堆肥化期間 10日程度에서의 T.C는 29%이었으며 腐蝕比度는 178.9이었다. 이 경우 相關係數(R)는  $-0.8923$  으로 T.C비율이 減少하면 그에 비례하여 腐蝕比度는 增加하고 있다.

그림 6으로부터 腐蝕比度和 TKN 과의 回歸直線式을 구한 結果  $y = 0.083x + 1.1442$  로 나타났다. 이 式에 의한 推定腐蝕比度는 堆肥化期間 10日의 경우 TKN 2.6%에서 175로 나타났다.

相關係數(R)는 0.8964로 TKN의 比率이 增加할수록 腐蝕比度도 따라서 增加하는 傾向을

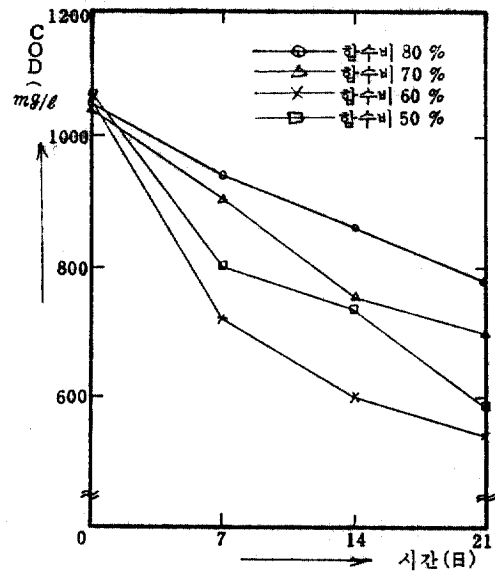


그림 8. 含水比別 堆肥化 時間에 따른 COD의 變化

나타냈다.

腐蝕比度和 C/N 比와의 關係를 回歸直線式으로 나타내면 그림 7과 같이  $y = -0.0807x + 25.5049$  이었다. 이 式에 의한 推定腐蝕比度는 堆肥化期間 10日, C/N 比 11에서 179.9로 나타났다. 相關係數(R)는  $-0.9841$ 로 C/N 比의 減少는 腐蝕比度の 增加와 關係가 있음을 나타내고 있다.

### 3.3 有機物, 大腸菌 및 pH 變化

그림 8은 堆肥化 時間에 따른 COD의 減少를 나타낸 그림으로, 含水比가  $60 \pm 2\%$ 인 境遇

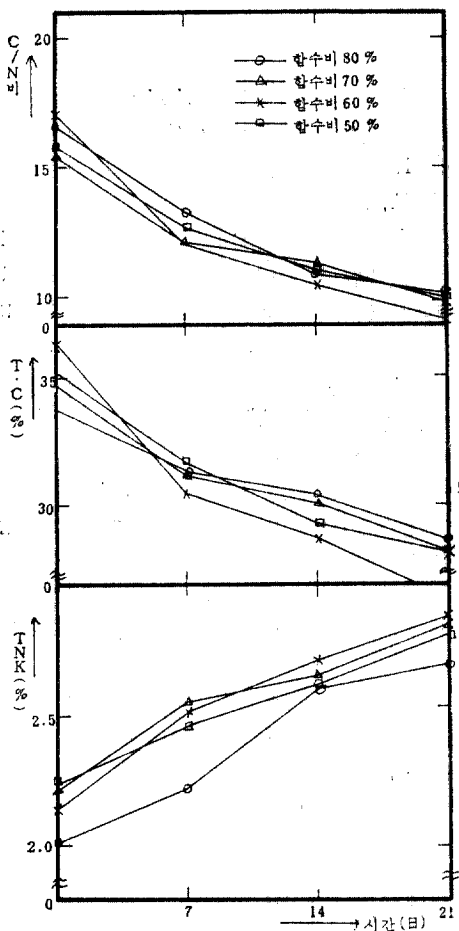


그림 9. 含水比別 堆肥化 時間에 따른 T.C, TKN, C/N 比의 관계

에 가장 많은 減少效果를 나타내었다. 含水比 60±2%, 堆肥化期間 약 10 日인 경우의 COD 減少는 37mg/l/day 정도이었다. 이때 Sludge의 색깔은 黃色에서 진한 黑褐色으로 變化되었고 惡臭도 거의 發生하지 않았으며 試料의 부피는 약 20%정도 減少하였다.

그림 9는 堆肥化 時間에 따르는 T.C, TKN, C/N 比의 關係를 나타낸 것이다. T.C와 C/N 比는 堆肥化가 進行되면서 T.C는 약 0.6%/day, C/N比는 0.5/day 정도 減少하는 것으로 實驗結果 나타났으며, 堆肥化後의 C/N 比는 11~13 程度였다. 조(21)에 의하면 C/N비 약 10 日 경우가 퇴비화가 적당하다고 하며, C/N비 30 이상이면 질소기아현상이 일어난다고 한다. 金(19)에 의한 都市廢棄物의 C/N比는 11~20 範圍

로, 本 實驗의 경우는 C/N 比가 약간 작은 값으로 나타났다.

糞尿 슬러지인 原試料의 대장균은  $9.65 \times 10^5$ /gr 이었으며 堆肥化후에는  $5 \times 10^3$ /gr 으로서 약 99.48%의 대장균 減少率을 나타내었다.

堆肥化 期間中 pH는 6.5~7.5 程度로, 堆肥化가 되면서 조금씩 增加하는 것으로 나타났다. 이것은 Mckinney(20) 등에 의한 pH 6~9의 範圍內이었다.

#### 4. 結 論

實驗室反應槽를 利用하여 糞尿슬러지를 堆肥化시켜 有機物의 減少, 含水比의 變化에 따른 堆肥化 期間, 腐蝕比度 및 C/N 比 등을 分析한 結果 다음과 같았다.

(1) 含水比 60%인 境遇 堆肥化 期間은 약 10 日로 나타났으며, 含水比 50%인 境遇는 약 12 日로 나타났다.

(2) 含水比 60%, 堆肥化期間 10 日에서의 腐蝕比度は 약 175 정도이었고 腐蝕比도와 T.C, TKN, C/N 比와의 相關關係는 약 90%程度이었다.

(3) 堆肥化 後의 C/N 比는 약 11~13 範圍로 나타났으며 堆肥化 進行期間中 pH는 6.5~7.5 範圍이었다.

(4) 堆肥化가 進行되면서 COD는 37mg/l/day (1gr 건조중량중)의 減少를 보였다.

#### 謝 辭

本 研究는 1986 年度 文敎部 學術研究助成費에 의하여 遂行되었으므로 이에 感謝를 드립니다.

#### 參 考 文 獻

1. Howard & Albert, "The Waste Products of Horticulture and their Utilization as Humus," Sci. Horticulture, 1935.
2. Epstein, E. and G.B. Willson, "Composting Raw Sludge," Proc. National conference on Municipal Sludge Management and Disposal, Information Transfer Inc., August, 1974, p. 245.
3. Epstein, E., G.B. Willson, W.E. Burge, D.C.

- Mullen, and N.K. Enkiri, "A Forced Aeration System for Composting Wastewater Sludge," *Journal Water Pollution Control Federation*, Vol. 48, No. 4, April, 1976, pp. 688.
4. Wolf, R., "Mechanized Sludge Composting at Durham, New Hampshire," *Compost Science Journal of Waste Recycling*, November-December, 1977.
  5. Heaman, J. "Windrow Composting-A Commercial Possibility for Sewage Disposal" *Water and Pollution Control*, January, 1975.
  6. 崔義昭, 林秀吉, 李柄憲, "糞尿의 衛生的 處理의 堆肥化에 관한 研究", 國立環境研究所報, 第4卷, 1982, pp. 241~246.
  7. 鄭南朝, 裴佑根, 李燦基, "糞尿의 肥料化에 관한 研究", 國立環境研究所, 第5卷, 1983, pp. 205~214.
  8. "Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal," E.P.A 625/1-79-011, 1979.
  9. "糞尿終末處理施設 設置現況", 環境廳.
  10. M.C. Rand, Arnold E. Greenberg, Michael J. Taras, "Standard Methods," APHA, AWWA, WPCF, 15th Ed., 1981.
  11. Palmer, R.G. and Troeh. F.R, "Introductory Soil Science Laboratory Manual," Iowa State University Pres, 1977.
  12. "肥料檢查要領", 國立農業資材檢查所, 1977.
  13. Kaila, A, "Determination of the Degree of Humification in Peae Samples," *J. Agr. Sci.: Finland*, 28, 1956.
  14. McGahey, P.H. and C.G. Golueke, "Reclamation of Municipal Refuse by Composting," *Tech. Bull. No. 9, Sanit. Eng. Research Lab., Univ. of Calif., Berkeley*, June, 1953.
  15. L.J. Sikora, G.B. Willson, D. Colacicco and J.F. Parr, "Materials Balance in Aerated Static Pile Composting," *Journal WPCF*, Vol. 53, No. 12, December, 1981.
  16. David Gordon Willson, "Handbook of Solid Waste Management," Van Nostrand Reinhold Company, 1977.
  17. R.R. Cardenas, Jr., L.K. Wang, "Composting Process in Handbook of Environmental Eng." *Human Press*, Vol. 2, 1980, pp. 269~327.
  18. M.J. Satriana, "Large Scale Composting," Noyes Date Corp. Park Ridge, New Jersey and London, 1974.
  19. 金丙泰, "우리나라 都市固形廢棄物의 堆肥化에 관한 研究", 環境保全協會報, 第60號, Vol. 6, No. 2, 1975, pp. 29.
  20. McKinney, R.E., N.T., Veatch Professor of Civil Eng., University of Kansas, Lawrence, Personal Communication, 1983.
  21. 조성진, "신코비료학," 향문사, 1978, pp. 92~93

(接受: 1987. 8. 5)