農畜産廢棄物의 堆肥化에 관한 基礎的 硏究

Basic Study of Composting on Agricultural Animal Waste

鄭 鳳 守*
Jung, Bong Soo
姜 龍 太**
Gang, Yong Tae

Abstract

Pig manure mixed with straw, sawdust, packing paper and chaff was composted in a batch type enclosed composter without regular mixing for 1 week.

The maximum decomposition was obtained in the temperature of 70°C with an initial moisture content of 50 to 65 %, initial pH of 7 to 8, 0.7 to 2.0 *l*/min·kg per volatile matter of air supplied and C/N ratio of 60 to 70.

The maximum carbon dioxide content in the produced gas was 65 to 85 mg/hr-vm at 45 to 53°C.

要 旨

本 硏究에서는 農畜産 廢棄物인 豚糞에 짚, 톱밥, 包裝紙 等을 添加物로 混合하여 速成 堆肥化하는데 重要한 作用을 하는 含水率, 送風量, pH, 孔隙率, C/N比 等에 對한 最適値의 範圍를 規明하고자 製作된 小型 回分式 實驗裝置에 混合物을 投入한 後 1週間씩 連續 好氣性分解 實驗을 行하였다.

實驗結果에 依하면 滿足한 堆肥化가 이루었을 때의 投入時 含水率은 50~65%이었고, pH는 7~8이었다.

또한, 이 때의 送風量은 0.7~2.0 *l*/min·kg-vm이었고, 最高 溫度는 70°C에 到達하였다. 한편, C/N比가 110인 톱밥과 102.50인 包裝紙는 速成 堆肥化를 이룰 수가 없었으며 가장 適當한 C/N比의 範圍는 60~70 以下로 나타났다.

CO_2 發生量의 變化에 따라 微生物의 活動狀態를 알 수 있었고, 45~53°C 範圍에서 CO_2 發生量이 65~85 mg/hr-vm로 最大를 이루었다.

*正會員·晋州農林專門大學 敎授
**正會員·東亞大學校 [illegible]

1. 序 論

오늘날 우리의 當面課題는 資源問題, 自然環境問題 等이 論議되고 이와 關連된 固形 廢棄物의 處理는 埋立으로 因한 2次的 汚染과 位置選定의 어려움이 따르고 乾燥 燒却方法의 經濟的 與件 等으로 漸次 深刻한 問題로 되어가고 있다. 이러한 問題解決의 한 方法으로 于先 有機物을 大量 含有한 固形廢棄物을 堆肥化하여 農地改良과 作物의 肥料供給을 할 수 있고 날로 汚染되어가는 自然環境을 保護할 수 있다는 側面에서 볼 때 重要한 意義를 가진다.

本 硏究에서는 製作된 小型 回分式 機器裝置에 依해서 農畜產 廢棄物을 速成 堆肥化하는데 重要한 作用을 할 수 있는 含水率, 送風量, pH, C/N 比, 孔隙率, 重量 等에 對한 最適値의 範圍와 分解狀態를 究明하고자 1週間씩 連續 好氣性分解實驗을 行하였다.

2. 硏究의 背景

嫌氣性 狀態의 堆肥化는 發生熱의 損失이 많고 長時間을 要하기 때문에 速成化할 수 있는 方法으로서 好氣性 分解로 堆肥化하는 硏究가 시작되었다.

乾草나 都市 廢棄物을 速成 堆肥化하기 위해 3~5週 또는 5~7日 사이에 廢棄物을 週期的으로 뒤집었고[1,2,3] 材料의 混合과 空氣供給에 대한 硏究는 캘리포니아 大學에서 시작되었으며, 또한 堆肥化는 酸素量이 適當해야 乾草를 完全하게 堆肥化할 수 있다는 것을 알았다[4]. 堆肥는 堆肥化하는 筒의 쇠살대 밑바닥으로부터 送風機에 依해 間歇的으로 送風하여 都市 固形廢棄物을 堆肥化하는 過程을 發表하였다[5].

그 때의 含水率은 適當한 含水濃度에서 堆肥化를 維持하기 위하여 때때로 물을 뿌렸다. 이 시스템은 自動化로 含水率과 溫度를 測定할 수 있었고, 氣象條件에 關係없이 24時間 사이에 80°C의 溫度를 얻을 수 있었다. 또한 自動化로 溫度에 對한 送風의 影響과 酸素 消費率을 나타내어 一般化된 曲線을 나타내었으며, 送風量이 매우 낮을 때 嫌氣性 狀態의 限界를 糾明하였다[6].

溫度는 보통 2~3日 사이에 最高에 到達하며 好熱性 微生物은 40~50°C 또는 70°C에서 作用한다고 하였다[7].

堆肥 속의 溫度는 含水率과 酸素의 有效性과 微生物 活動에 影響을 받는다고 하였으며, 溫度는 역시 有機質의 含量에 따라 달라지며 溫度가 40°C 以上 上昇하기 시작하면 微生物은 構造物의 구석까지 擴散하면서 活動이 旺盛해진다고 하였다[8,9,10]. 또한 最適 溫度는 탄산가스 發生量과 有機質의 酸化에 根據를 두고 60~70°C 範圍라고 하였으며, 이 安定된 溫度에서 서서히 冷却된다고 하였다. 堆肥化에 관한 適當한 含水率의 條件은 混合物의 構成狀態에 依存하며, 만약 有機體 物質의 含水率이 40% 이하라면 速成 堆肥化를 이룰 수가 없다. 또한 有機體 含水率의 最適範圍는 50~60% 사이라고 하였으며, 이 範圍에서 가장 滿足할만한 堆肥化가 이룩되었다고 하였다[11~14]. 適當한 送風下에서 投入時의 含水率과 排出時의 含水率은 비슷하게 나타났으며, 農產 廢棄物을 連續 送風할 때의 重量損失은 週期的 混合으로서 空氣量의 變化에 따른다[12,15].

pH는 堆肥化의 特性과 分解過程에 影響을 주며 pH값이 낮은 石灰의 添加物은 固形物을 高速 堆肥化할 수 없고 pH값이 8에 가까운 것은 1回로서 끝나는 堆肥化에 가장 適當하다고 報告되었다[16]. 堆肥化에 대한 孔隙率은 32~40% 範圍內에서 가장 適當하다고 하였으며, 一般的으로 낮은 孔隙率과 높은 含水率은 더 높은 好氣가 必要하다고 하였다[11,12,17]. 溫度와 탄산가스 生成量은 送風量에 따라 크게 달라지며, pH값, 容積重量, 混合物의 粒度와 分布狀態에 따라서 影響을 미친다. 溫度의 急上昇은 堆肥化하는 物質의 效率과 安定된 程度를 나타내며, 有機體 物質의 分解는 55~70°C의 溫度에서 가장 活潑히 일어난다고 하였다[11,12,17].

堆肥化에 있어서 C/N比는 材料와 送風量의 變化에 따라 影響을 받으며 C/N比가 낮은 混合物인 경우 더 높은 送風量이 要求된다[18~20]. 만약, C/N比가 50을 超過하면 堆肥化하는 時間이 길어지며 適當한 送風狀態下에서 理論上 C/N比는 30程度라고 하였다[21,22].

3. 使用材料 및 實驗方法

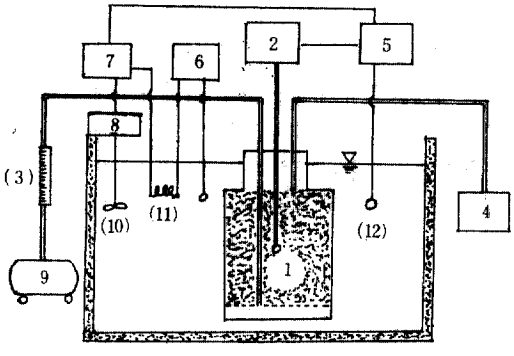
3.1 使用材料

本 實驗에 使用된 材料는 豚糞에 添加物로 볏짚, 보리짚, 왕겨, 톱밥 및 包裝紙 等을 使用했다.

3.2 實驗方法

3.2.1 實驗裝置

本 實驗에 使用된 實驗裝置는 그림 1과 같다.



1. Composter
2. Temp, recorder
3. Air flow meter
4. CO_2
5. Temp, controller
6. Over heat proof
7. Mercury relay
8. Motor
9. Air compresser
10. Stirrer
11. Heater
12. Plenum chamber

그림 1. Composter

그림 1에서 Composter의 規格은 22 cm(D)×25 cm(H)인 鐵板으로 製作되었으며 容量은 약 6.5 l이다.

Composter의 바닥에서 3 cm 높이에 直經 3 mm의 구멍을 均一하게 뚫은 鐵板을 設置하고 그 下部에 空氣室을 만들었다. Composter의 溫度 損失을 防止하기 위해 設置된 水槽의 周圍에 保溫材를 使用하였다. 또한 Composter 內 溫度가 上昇함에 따라 水溫도 自動的으로 上昇하겠금 Temperature controller, Relay, Heater 等을 裝置하였으며, 溫度의 下降에 따른 自動調節도 可能하도록 하였다.

CO_2 損失을 防止하기 위해 Flask를 2段으로 設置하여 包集하였다.

2.2.2 材料別 成分分析

各 材料別 成分을 分析한 結果는 表 1과 같으며 다음 方法에 依해서 分析하였다.

含水率 : 試料 약 2 gr을 電氣 Drying oven에서 105°C로 하여 2時間 동안 乾燥시킨 後 材料의 含水率을 測定하였다.

pH : 약 5 gr의 材料를 30 ml의 蒸溜水에 넣고 充分히 흔들어 pH meter에 依해서 測定하였다.

有機物 : 다음 式에 依하여 有機物을 測定하였다.

$$\text{Volatilo matter content}(\%) = (m_1 - m_2/m_1 - m_3) \times 100$$

여기서 m_1=試料와 容器重量(gr)

表 1. Analysis for Characteristics of Raw Material

Determinasions	Manure	Barley straw	Rice straw	Packing sheet	Sawdast	Chaff
Moisture content(%)	76.00	10.55	12.90	7.91	8.50	11.00
pH(−)	8.0	7.60	7.40	7.20	4.70	7.40
Ash(%)	21.72	6.80	14.00	7.85	0.62	13.60
Volatile solids(%)	78.28	93.17	86.00	92.15	99.37	86.40
Cabon(%)	32.58	31.89	30.79	31.79	32.99	41.40
Nitrogen(%)	1.10	0.41	0.34	0.31	0.30	0.67
C/N(−)	29.36	76.59	70.60	102.50	109.97	61.30
Particle size(mm)	0.3	20～40	20～40	30～40	2.0	6.0

m_2=700°C에서 2時間 동안 燃燒시킨 後 Ash 및 容器重量(gr)

m_3=容器重量(gr)

C 및 N; 土壤有機物 測定方法에 依하여 C 및 N을 測定하였다.

C 또는 N(%)={55(g)×土壤 50 gr과 有機資源 5 g混合時 C 또는 N含量(%)}−{土壤 50(gr)×對照區土壤中 C 또는 N含量(%)/有機資源 5

(gr)

CO_2 : 100 ml의 蒸溜水에 0.2 N-NaOH를 加하여 包集시킨 CO_2[23]를 算出하였다.

容積重量 : 單位容積當 混合物의 濕潤重量으로 나타내었다.

容積密度 : 容積重量에 乾燥重量을 乘하여 百分率로 나타낸 것으로 式은 다음과 같다.

容積密度=(容積重量(gr/cm³)×乾燥重量(%))
×100

孔隙率 : 물과 空氣에 依해 차지된 空間으로서 式은 다음과 같다.

孔隙率(%)=(1−容積密度/比重)×100

比重 : 固形物에 依해 置換된 물의 單位容積當 材料의 乾燥重量으로 나타내었다.

4. 結果 및 考察

各 材料別로 含水率을 달리한 混合物을 投入한 後 1週間 堆肥化를 實施한 結果 物理的 特性은 表 2 및 3과 같다. 또한 送風量을 달리한 溫度의 變化狀態는 그림 2, 3, 4 및 5와 같으며 溫度 上昇에 따른 CO_2 發生量은 그림 6 및 7과 같다.

4.1 含水量

表 2.1에서 알 수 있는 바와 같이 混合物 投入時 含水率의 範圍는 40~70%이었으나 排出時의 含水率 減少는 No. B_3로서 0.03%이었고 No. A_3는 20.7%이었다. 또한 平均 含水率의 減少는 4.8%로 나타났다.

No. B_3의 경우 送風量 0.05 l/min·kg-vm 狀態下에서는 送風量의 不足으로 嫌氣性 狀態를 이루어 水分蒸發 損失이 거의 없었으며, 그림 3 및 그림 7에서 보는 바와 같이 溫度의 急上昇이나 CO_2 發生量이 적어 滿足할 만한 堆肥化를 이룰 수가 없었다. No. A_3인 경우 送風量 3.5 l/min·kg-vm는 過大한 送風으로 因한 20.7%의 水分蒸發 損失을 가져왔고, 또한 表 3, A_3에서 33%의 容積重量을 나타내었다. No. B_1이나 No. E_2는 含水率의 不足 또는 含水率의 過大로 因한 速成 堆肥化를 이룰 수가 없었다.

따라서, 好氣量 0.7~1.85 l/min·kg-vm 範圍에서 含水率의 變化는 大體로 7~10%로서 微生物의 活動이 活潑히 움직이고 있음을 알 수 있고 滿足할 만한 堆肥를 만들기 위한 含水率의 範圍는 50~65%로 나타났다.

또한 表 2 및 3은 含水率의 變化에 따른 投入時 및 排出時의 各 重量과 孔隙率 等의 變化를 나타내었다.

4.2 送風量과 溫度

送風量 0.05~3.5 l/min·kg-vm 範圍에서 實施한 結果 그림 2의 A_1, A_2, 그림 3의 B_2, 그림 5의 E_1 等에서 알 수 있는 바와 같이 含水率, 送風量, pH, C/N比 等 各 因子들이 適當한 條件下에서는 混合物 投入 後 1~2日 사이

表 2. Physical characterstics for Initial and Produced Compost

No. of tests	Bulking agents	Aeration rate(l/min-kg-cm)	Moisture content(%) percent			Wet weight(kg) Percent			Dry weight(kg)	
			Inf.	Eff.	reduction(%)	Inf.	Eff.	reduction(%)	Inf.	Eff.
A_1	Rice straw	0.85	62.3	60.2	3.3	2.2	2.01	8.6	0.83	0.84
A_2	Rice straw	1.02	58.2	55.5	4.6	1.9	1.77	7.3	0.79	0.79
A_3	Rice straw	3.50	65.7	52.1	20.7	1.95	1.47	25.0	0.67	0.70
B_1	Barley straw	0.40	40.7	39.1	3.9	2.25	2.02	10.0	1.33	1.30
B_2	Barley straw	0.70	60.0	57.0	5.0	2.15	2.00	7.0	0.86	0.86
B_3	Barley straw	0.05	63.4	63.2	0.03	2.00	1.98	1.0	0.73	0.73
C	Sawdast	0.60	67.5	65.6	2.8	2.24	2.16	3.6	0.76	0.40
D	Packing sheet	1.85	50.7	47.2	6.9	2.36	2.12	10.02	1.16	0.70
E_1	Chaff	1.20	60.0	58.2	3.0	2.30	2.12	7.8	0.92	0.89
E_2	Chaff	0.80	70.0	69.5	0.03	3.55	3.28	2.1	1.01	0.97

表 3. Physical Characteristics Initial and Produced Compost

No. of tests	Bulk weight (g/cm³)		Bulk density (g/cm³)		porsity (%)	
	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.
A_1	0.33	0.30	0.12	0.12	37.7	39.8
A_2	0.29	0.27	0.12	0.12	41.8	44.5
A_3	0.33	0.23	0.10	0.11	34.3	47.9
B_1	0.35	0.31	0.14	0.18	59.3	60.9
B_2	0.33	0.30	0.13	0.18	40.0	43.0
B_3	0.31	0.30	0.11	0.11	36.6	36.5
C	0.34	0.33	0.11	0.11	32.5	32.4
D	0.26	0.33	0.13	0.17	49.3	52.8
E_1	0.35	0.33	0.14	0.14	40.0	41.8
E_2	0.52	0.50	0.16	0.15	30.0	30.5

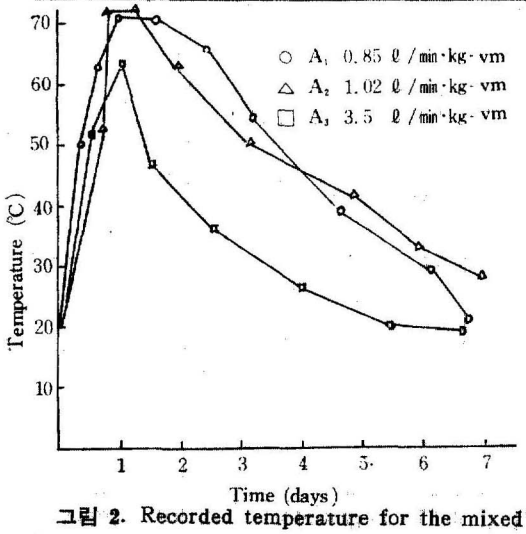


그림 2. Recorded temperature for the mixed manure and rice straw

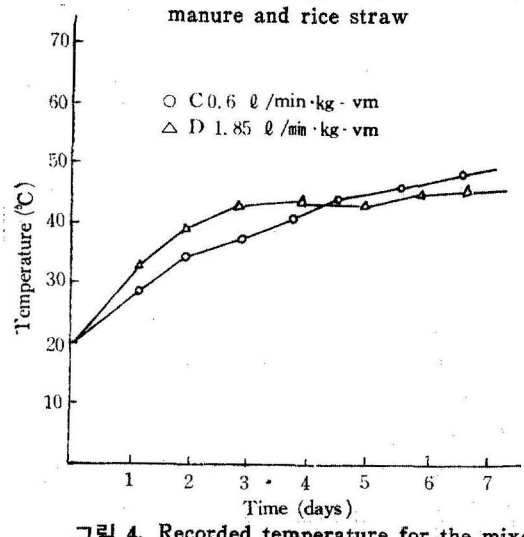


그림 4. Recorded temperature for the mixed manure and balking materials

에 溫度는 70°C에 到達하였다.

앞서 含水率에서 論한 바 있는 送風量 3.5 *l*/min·kg-vm에서는 그림 2의 A_3에서 알 수 있는 바와 같이 最高 溫度에 到達한 後 急降下하는 冷却曲線을 나타내고 있다. 이는 바로 水分蒸發로 因한 含水率 不足에서 오는 結果라고 볼 수 있다.

또, 送風量 0.05 *l*/min·kg-vm에서는 그림 3의 B_3에서 보는 바와 같이 嫌氣性 狀態를 이루어 微生物의 活動이 活潑치 못하고 溫度上昇이 緩慢하여 速成 Compost가 되지 않았다. 따라서, 好氣性 分解로 速成 堆肥化할 수 있는 送風量의

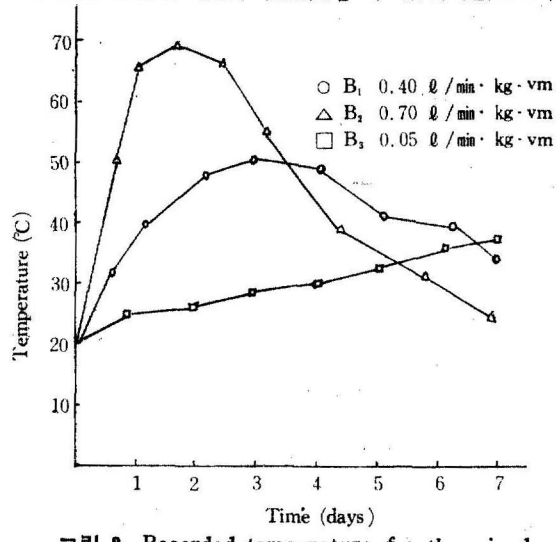


그림 3. Recorded temperature for the mixed manure and rice straw

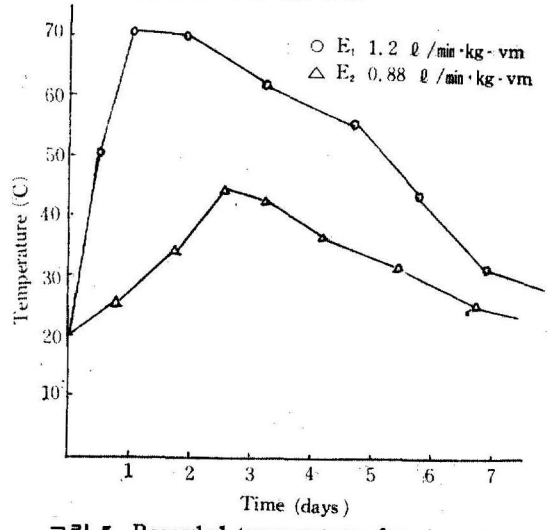


그림 5. Recorded temperature for the mixed manure and rice straw

範圍는 0.7~2.0 l/min·kg-vm가 適當하다.

그림 2의 3C와 그림 5의 E_2에서는 混合物의 粒子가 작고 均一하거나, 容積重量이 큰 경우 送風을 放害하므로 充分한 送風을 해야 할 것으로 思料된다.

4.3 CO_2發生量과 溫度

混合物 投入 後 溫度變化에 따른 CO_2發生量은

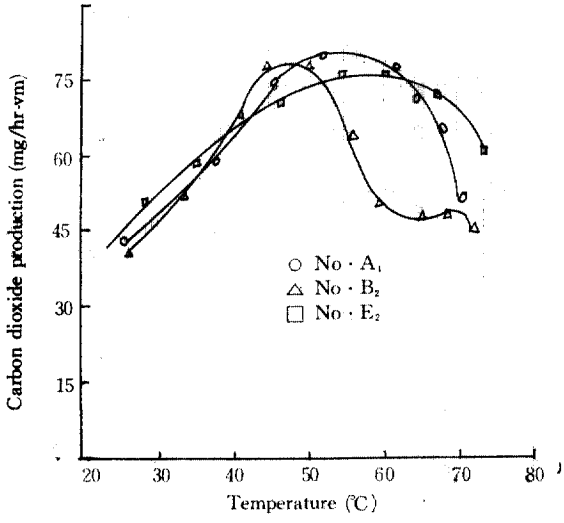


그림 6. Relationship between carbon dioxide production and temperature under suitable conditions

그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 各 因子가 適當한 條件下에서 溫度上昇에 따른 CO_2發生量은 계속 增加하여 45~53°C範圍에서는 65~85 mg/hr-vm로 最大를 이루었다가 다시 下降曲線을 나타내고 있는 것을 볼 때 微生物의 活動이 가장 活潑한 溫度는 50°C範圍로 볼 수 있다.

그림 7에서는 溫度 上昇에 따른 CO_2發生量은 크게 增加하지 않고 緩慢한 狀態를 나타내었다. No. B는 送風量의 不足, No. E_2는 過大한 含水率의 경우이고, No. C와 No. A_2는 pH값이 낮고 微細한 粒度와 過大한 送風量이 原因이라고 볼 수 있다.

4.4 pH값의 變化와 影響

表 4는 混合物의 投入 前과 排出時의 pH값 變化를 나타내고 있다. 投入時 混合物의 pH값은 5.1~8.1範圍인데 比해 排出時의 pH값은 6.3~9.0으로서 投入時보다 全體的으로 높게 나타났다. 그림 4의 C에서 알 수 있는 바와 같이 톱밥을 混合한 pH 5.1은 溫度의 急上昇없이 緩慢한 曲線을 나타내고 있으며, 그림 7의 No.C에서는 溫度 上昇에 따른 CO_2發生量은 거의 없이 進行하다가 50°C 附近에서 上昇曲線을 나타내고 있는 것으로 보아 速成 堆肥化를 이룰 수가 없었다. 따라서, 連續 好氣性 分解로 速成 堆肥化할 수 있는 pH값의 最適 範圍는 7~8에 가까워야 한다.

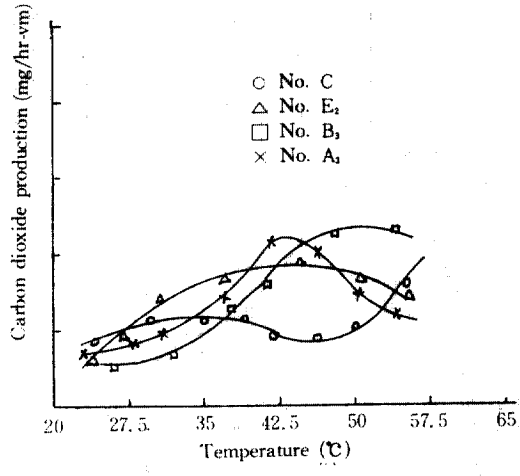


그림 7. Relationship between carbon dioxide production and temperature under unsuitable conditions

表 4. pH of Composting Material

No. of tests	Initial	produced	No. of tests	Initial	produced
A_1	8.1	9.0	B_3	7.9	7.8
A_2	7.9	7.8	C	5.1	6.3
A_3	7.3	8.3	D	7.8	8.2
B_1	7.8	8.5	E_1	7.9	8.4
B_2	7.6	8.0	E_2	7.6	8.3

4.5 C/N比

表 1에서 보는 바와 같이 各 材料의 C/N比는 30~110範圍로서 가장 높은 것은 包裝紙와 톱밥이었다.

그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 包裝紙와 톱밥은 溫度의 急上昇없이 緩慢한 狀態를 나타내고 있으며, CO_2發生量도 增加하지 않은 것을

볼 때 速成 堆肥化를 이룰 수가 없었다. 또한 有機固形物에 있어서 C/N 값은 混合物의 材料와 送風量에 따라 달라지며 堆肥의 分解程度를 보아 發生한 CO_2는 腐植性의 指標가 될 수 있다. 따라서, C/N 比는 使用 材料의 性質, 含水率, 送風量 等에 따라 달라지며 適當한 條件下에서 C/N 값은 60~70 % 以下로 볼 수 있다.

4.6. 容積重量과 孔隙率

容積重量의 增加는 混合物 다짐의 程度와 含水率의 增加에 따라 變한다. 表 4 및 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 含水率 70 %인 E_2는 含水率의 過大와 粒子의 均一性으로 因한 送風의 不充分 때문에 滿足할 만한 堆肥化를 이룰 수가 없었다. 따라서, 容積重量이 增加하면 할수록 높은 送風量을 供給해야 하며, 따라서 速成 堆肥化에 적당한 孔隙率의 範圍는 35~45 %로 볼 수 있다.

5. 結 論

小型 實驗裝置로 速成 堆肥化하기 위해 豚糞에 볏짚, 톱밥, 包裝紙, 왕겨 等을 混合할 때 含水率을 다르게 하여 投入하고, 送風量을 달리한 堆肥化에서 pH, C/N 比, 重量 等이 미치는 影響과 그 變化狀態를 觀察하고 各 因子들의 最適條件의 範圍를 알고자 1週間씩 連續 好氣性 分解實驗을 實施한 바 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 含水率 40~70 % 範圍에서 實施한 바 40 %인 경우 含水率의 不足, 70 %인 경우 含水率의 過多로 滿足할 만한 堆肥化를 이룰 수가 없었으며 最適 範圍는 50~65 %로 나타났다.

2. 送風量 0.05~3.5 l/min·kg-vm 範圍에서 實施한 바 0.05 l/min·kg-vm 에서는 嫌氣性 狀態를 이루었고, 3.5 l/min·kg-vm 에서는 過大한 通氣로 因한 水分蒸發 損失이 많았다. 따라서, 送風量의 適當한 範圍는 0.7~2.0 l/min·kg-vm 이다.

3. 含水率, 送風量, pH, C/N 比 等 各 因子들의 適當한 條件下에서는 混合物 投入後 1~2日 사이에 溫度는 70°C 前後에 到達하였고, CO_2發生量은 45~53°C 範圍에서 65~85 mg/hr-vm 로 最大를 이루었다.

4. 投入時 混合物의 pH는 5.1~8.1 인데 排出時의 pH는 6.3~9.0으로서 全體的으로 높게 나타났으며, 또한 pH 5.1인 톱밥은 速成 堆肥化할 수 없어 適當한 pH 값의 範圍는 7~8로 나타났다.

5. C/N 比 110인 톱밥과 102.50인 包裝紙는 速成 堆肥化를 이룰 수가 없었으며 適當한 C/N 比는 60~70 範圍 以下로 나타났다.

6. 單位容積當 重量은 0.26~0.35 kg/l, 孔隙率은 35~45 %, 粒子의 分布는 粗細粒이 均一하게 分布되어야 滿足할 만한 堆肥化를 얻을 수 있다.

參 考 文 獻

1. Rodale, J.I., *Campost and how to make it.* Rodale Press, Emmaus, P.A., 1945, p. 63.
2. Stutzenberger, F.J., Cellulolytic Activity in Municipal Refuse Composting Bacteriol. Proc. 1969, p. 16.
3. Gaby, N.S., L.L., Greek and W.L. Gaby. *A study of the Bacterial Ecology of composting and the Use of Prateus as an Indicator Organism of Solid Waste Develop.* Ind. Microbiol. 13 : 1972, pp. 24~29.
4. U.S. public health serv. Tennessee Valley Authority *Composting Project U.S. public Health Serv.* Cooperative project agreement. Johnson City, Tenn. TV-272 46A, 1966.
5. Golueke, C.G., *Composting; A study of the process and its principle,* Rodale Press, Emmaus, PA. 1972, p. 54.
6. Wilson, G.B., and J.W. Hummel. Aeration Rates for Rapid Composting Dairy Manure. 1972, pp. 145~158. In; *Proc. Agric. Wastes Manage.* Conf. Conell Univ., Ithaca, NY.
7. Olds, J., Houston Compost Plant-2nd Year Report. *Compost Sci.* 9(1) : 1968, pp. 18~19.
8. Merkel, J.A., *Composting,* 1981, pp. 306~324. In; Managing ljvestock wastes. AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.
9. Wiley, J.S., and G. Pierce. Apreliminary study of high rate Composting. *Proc. Am. Soc. Civil Eng. J.* Saint. Gen Div. 81; 1955, 846~850.
10. Schulze, K.L., Relationship between moisture

content and activity of finished compost. *Compost Sci.* 2(2) : 1961, pp. 32~34.

11. Jeris, J.S., and R.W., Regon, Controlling environmetal parameters for optimum composting Ill. The effect of pH, nutrients, storage and paper content relative to composting. *Compost Sci.* 14(3) : 1973, pp. 16~22.
12. Schulze, K.L., Continuous thermophilic composting *Compost Sci.* 3(1) : 1962, pp. 22~33.
13. Kimura, T. and H. Shimizu. Basic studies on composting of animal wastes II. Limited air flow for fermentation during ventilating at room. *J. Soc. of Agri. Mach.* Japan 43(2) : 1981, pp. 475~480.
14. Torisu, R., S. Kimura and K. Tashiro. Effect of Moisture Content and Air Flow Rate on High Rate Composting of Cattle Manure. *J. Soc. of Agri. Mach.* Japan, 42(1) : 1980, pp. 135~140.
15. Chang, C.S., F.S., Lai and B.S. Miller. Composting of Grain Dust. *TRANSACTIONS of the ASAE* 23(3) : 1981, pp. 709~711.
16. W.W. Rose, J.E. Chapman. Composting fruit and vegetable refuse. *Compost Sci.* 6(2) : 1965, pp. 13~25.
17. Jeris, J.S., and R.W. Regan. Controlling environmental parameters for optimum composting II. moisture, free air space and recycle, *Compost Sci.* 14(2) : 1973, pp. 8~15.
18. J.H. Hong, J. Matsuda, Y. Ikeuchi. High Rapid Composting of Dairy Cattle Manure with Crop and Forest Residues. *TRANSACTIONS of the ASAE* Vol. 26, No. 2, 1983, pp. 533~541.
19. Mercer, W.A., W.W. Rose, J.E. Champman and A. Katsuyama. Aerobic composting of vegatable and fruit wastes. *Compost Sci.* 3(3) : 1962, pp. 9~19.
20. Gilbertson, C.B., T.M. Mcalla and A.T. Sobel. *Analyzing Physical and Chemical Properties of Solid Wastes.* 1975, pp. 183~196. In: Standardizing properties and analytical methods related to animal wastes research special publication. SP-0275, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
21. Poincelot, R.P., A scientific examination of the principles and practice of composting. *Compost Sci.* 11(1) : 1974, pp. 17~20.
22. Mcgauhey, P.H., and C.G. Goulueke. *Reclamation of Municipal Refuse by Composting.* Univ. of Calif. Berkeley, Sanit. Eng. Res. Proj. Tech. Bull. 9. 1953, p. 30.
23. 田邊市郎, 渡邊嚴. 土壤微生物作用의 測定法. 日土肥誌. 1966, 37(1) : 46~54.

(接受 : 1985. 2. 18)