

공단 폐수 슬러지의 퇴비화 최적조건

이 홍 재 · 조 주 식 · 허 중 수
경상대학교 농화학과 · 경상대학교 공동실험실습관
(1997년 9월 10일 접수)

Study on Optimum Conditions for the Composting of Industrial Wastewater Sludge

Hong-Jae Lee, Ju-Sik Cho, and Jong-Su Heo

Dept. of Agricultural Chemistry, Central Laboratory Gyeongsang National University, Chin Ju, 660-701, Korea
(Manuscript received 10 September 1997)

To study the optimum conditions of composting with industrial wastewater sludge, the variations of temperature and CO₂ generation amount during the composting periods were investigated. The conditions were that industrial wastewater added to bulking agents such as sawdust and rice hull was used, and differently treated with microorganism seeding or not, initial C/N ratios, air flow rate and initial moisture contents, respectively. The results were summarized as follows ;

Seeding 5% of microorganism was higher the temperature than not seeding. And using sawdust as bulking agents, and adjusting 30~40 of initial C/N ratio, 200ml / l · min. of air flow rate and 67~68% of initial moisture contents were higher the temperature than any other conditions.

Seeding 5% of microorganisms was higher CO₂ generation amount than not seeding. And that was much in the order of 7~40, 30~34 and 22~23 of initial C/N ratio.

Judging from the results, it should be considered that the optimum conditions in the composting of industrial wastewater sludge were seeding of 5% microorganisms, and adjusting 30~34 of initial C/N ratio, 200ml / l · min. of air flow rate and 67~68% of initial moisture contents.

The contents of inorganic matters and C/N ratio during the composting periods at optimum condition were a little increased, and heavy metals contents after composting were lower than standard for fertilizer.

Key words : industrial wastewater sludge, composting, temperature, CO₂ generation, C/N ratio

1. 서 론

폐·하수슬러지 등 유기성 폐기물의 현행 처리방법은 주로 매립, 소각 및 해양투기 등의 방법으로 처리되고 있으나, 매립처리는 지역이기주의 현상으로 매립지의 확보가 어려울 뿐만 아니라 침출수로 인한 토양 및 지하수의 오염이 큰 문제이며, 소각처리는 처리비용이 과다할 뿐만 아니라 대기오염을 유발시키며, 해양투기는 해양오염을 유발시키는 등 현행 폐기물처분방법은 2차, 3차의 환경오염을 유발시켜 여러가지 면에서 많은 문제점을 안고 있다(정봉수 등, 1986; Tadahiro et al., 1981).

이와 같은 문제를 해결하는 방법으로 유기성 폐기물의 농경지사용은 환경오염물질의 처리와 자원의 재활용이라는 양장점을 지니고 있으며, 이의 사용으로 농업의 생산성 향상을 꾀할 수 있으므로 중금속 등 유해물질로 인한 토양환경을 오염시키지 않는 한 가장 바람직한 방

법일 것이다. 공단폐수슬러지는 일반폐기물로서 다른 슬러지에 비하여 유기물 함량이 높고, 질소 및 인산 등의 무기원소를 다량 함유하고 있는 것으로 알려져 있으나(Maccala et al., 1977) 중금속 등의 유해물질도 함유될 가능성이 있기 때문에 슬러지의 농경지사용은 토양 및 작물오염이 우려된다. 따라서 그 사용은 신중히 고려하지 않으면 안될 것이다.

일반적으로 폐기물을 퇴비화시키지 않고 농경지에 그대로 사용하면 유기성물질의 분해로 인한 암모니아의 과다 발생, 각종 유기산 등 독성물질 생산, 호기성 분해시 토양산소의 고갈, 혐기성 분해시 악취 발생, 병원성 미생물에 의한 농경지 오염, 높은 함수율로 인한 취급불편 및 잡씨앗의 활성화 등 여러가지 문제점이 발생되기 때문에 폐·하수슬러지의 농경지사용은 퇴비화과정이 필수적으로 수행되어야 하는 것으로 알려져 있다(Tadahiro et al., 1981; Chino et al., 1983).

Table 1. Physico-chemical properties of the sludges, bulking agents and seeding materials used in the experiment

	pH	Moisture	T-C		T-N	C/N ratios	Av.-P ₂ O ₅	Ex.-cations		
			----- (%) -----					----- (%) -----	K ₂ O	CaO
Industrial wastewater sludge	6.4~7.0	68.3~74.0	24.3~25.7	0.81~1.06	24.1~30.0	0.15	0.16	3.63	0.05	
Fish sludge	5.6~7.2	77.6~80.3	46.1~47.8	4.87~5.26	10.8~11.7	6.46	0.74	.37	0.35	
Sawdust	-	-	49.8~52.6	0.10~0.23	350~498	-	0.10	0.13	0.04	
Rice hull	-	-	43.2~47.2	0.21~0.45	212~223	-	0.50	0.13	0.04	
Seeding materials	7.6~8.4	64.8~67.2	53.2~54.6	4.03~4.61	14.0~14.5	1.56	0.41	0.12	0.08	

(mg/kg · dry weight)

	Heavy metals					
	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
Industrial wastewater sludge	27.9	1,409	2.45	105	77.2	4.7
Fish sludge	5.3	203	1.06	9.7	0.3	2.1

따라서 본 연구는 소형 퇴비화조를 이용하여 공단폐수슬러지에 어분슬러지를 첨가하여 혼합하고 여기에 수분조절제인 톱밥 또는 왕겨를 처리 혼합한 다음, 미생물제제 처리유무, 초기 C/N율, 공기 및 초기 수분함량조절 등의 처리조건을 달리 처리하여 퇴비화과정중 온도변화 및 CO₂ 발생량 등을 조사함으로써 공단폐수슬러지의 최적퇴비화조건을 구명하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

공시 공단폐수슬러지는 경남 진주시 환경관리공단 폐수종말처리장에서 활성오니법으로 처리된 슬러지를 사용하였으며, 슬러지에 첨가재료로 사용한 어분슬러지는 경남 사천시 (주)범해물산의 수산가공 폐수슬러지를 사용하였고, 수분조절제로 사용한 톱밥과 왕겨는 일반 농가에서 구입하여 사용하였다. 그리고 슬러지의 퇴비화를 촉진시키기 위한 미생물접종제제는 기존 퇴비공장의 퇴비화과정중 미생물활성이 가장 활발한 시기의 퇴비시료를 채취하여 미생물만 분리한 다음 미강에 접종하여 수분을 포장상태로 유지시키면서 2일간 배양하여 사용하였다.

공시 공단폐수슬러지, 어분슬러지, 톱밥, 왕겨 및 미생물접종제제의 이화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같다.

2.2 퇴비화장치 제작, 설치 및 운전

본 실험에 사용한 퇴비화 장치 및 공정은 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 퇴비화조는 Fig. 1의 7에서 보는 바와 같이 두께 5mm의 아크릴판으로서 30.3 l 용량(25cm × 25cm × 50cm)이 되게 제작하였으며 보온을 위하여 외벽에 30cm × 30cm × 50cm의 크기로 이중벽을 설치한 다음 이중벽 사이에 보온제로서 스티로폼을 충진시켜 퇴비화과정중 발생하는 열손실을 최대한 방지시켰다. 퇴비화조내에 공기가 주입되기전 먼저, CO₂ 및 수분제거장

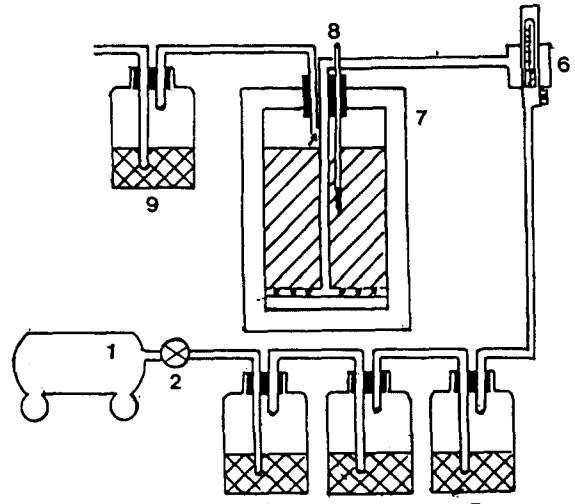


Fig. 1. Systemic diagram of compostor.

- 1. Air compressor 2. Needle valve 3. Dust removal 4. CO₂ removal 5. Moisture removal 6. Rota meter 7. Composter 8. Thermometer 9. CO₂ collector

치를 각각 설치하여 공기를 정화시킨 후 주입시켰다. 정화된 공기를 퇴비화조내에 일정하게 주입시키기 위하여 퇴비화조 하부에 아크릴아마이드판으로 5cm의 공간을 확보하였으며 아크릴아마이드판에는 직경 1mm의 구멍을 뚫고 다시 공간내에는 직경 10mm PVC파이프 약 1m를 설치하여 일정한 공기압을 유지시켰다. 그리고 퇴비화과정중 퇴비화조에서 발생하는 CO₂의 분석을 위하여 퇴비화조 상부를 밀폐시켜 발생하는 배출가스를 CO₂ 포집기내의 NaOH에 포집되도록 하였다. 포집된 CO₂의 분석은 NaOH에 흡수된 CO₂를 BaCl₂로 침전시킨 다음 남은 NaOH를 phenolphthalein지시약을 사용

Table 2. Conditions for composting of industrial wastewater sludge

Bulking agents	Microorganism seeding (5%)	Conditions		
		Initial C/N ratios	Air flow rate (m ³ /ℓ · min.)	Initial moisture(%)
Sawdust	without, with	23, 30, 37	200, 400	56, 67, 74
Rice hull	without, with	22, 34, 40	200, 400	57, 68, 76

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge.

Table 3. Physico-chemical properties of composting materials of industrial wastewater sludge before composting

Conditions	pH	Mo- isture	T-C (%)	T-N	C/N ratio	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	

Sawdust										
Microorganism seeding (5%)	without	8.4	63.2	34.9	0.94	37.1	0.24	0.19	2.57	0.09
	with	8.5	68.4	34.6	1.12	30.9	0.39	0.23	2.86	0.08
Initial C/N ratios	23	8.1	64.5	36.5	1.62	22.5	0.46	0.20	2.62	0.10
	30	7.4	68.3	34.2	1.16	29.5	0.45	0.27	2.53	0.11
	37	7.6	67.2	41.2	1.11	37.1	0.32	0.24	2.83	0.10
Air flow rate (m ³ /ℓ · min)	200	7.2	66.9	37.9	1.27	29.8	0.45	0.27	2.53	0.11
	400	7.2	66.9	37.9	1.27	29.8	0.45	0.27	2.53	0.11
Initial moisture (%)	56	8.4	56.2	37.5	1.37	26.1	0.56	0.30	2.32	0.12
	67	7.4	66.8	34.3	1.06	32.4	0.50	0.30	2.19	0.14
	74	7.9	73.8	36.5	1.17	31.2	0.48	0.29	1.09	0.10
Rice hull										
Microorganism seeding (5%)	without	8.2	67.1	33.0	1.14	28.9	0.31	0.37	2.64	0.08
	with	8.2	66.6	35.4	1.30	27.3	0.39	0.37	2.37	0.07
Initial C/N ratios	22	8.3	66.3	33.1	1.53	21.6	0.41	0.37	2.86	0.09
	34	7.2	67.3	42.5	1.24	34.3	0.42	0.50	2.58	0.10
	40	7.2	66.7	37.9	0.95	39.9	0.50	0.42	2.62	0.09
Air flow rate (m ³ /ℓ · min)	200	7.0	66.3	35.3	1.19	29.7	0.42	0.50	2.58	0.10
	400	7.0	66.3	35.3	1.19	29.7	0.42	0.50	2.58	0.10
Initial moisture (%)	57	7.7	56.7	33.6	1.06	31.7	0.44	0.50	2.41	0.10
	68	7.2	67.9	31.6	1.14	27.7	0.47	0.53	2.32	0.10
	76	7.3	75.7	32.6	1.12	29.1	0.50	0.54	2.60	0.12

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge

하여 HCl로 역적정하여 CO₂ 발생량을 구하였다. 그리고 퇴비화과정중 퇴비화조내의 온도변화는 퇴비화조 내부의 3개 지점에 수온온도계를 설치하여 조사하였다.

2.3 최적퇴비화를 위한 운전조건 및 처리

공단폐수슬러지의 최적퇴비화 조건을 구명하기 위한 운전조건 및 처리는 Table 2에서 보는 바와 같이 공단 폐수슬러지 각각에 어분슬러지를 습윤중량으로 30%첨가하여 고르게 혼합한 후 수분조절제로서 톱밥 또는 왕겨를 첨가한 다음 미생물접종제제의 처리유무, 초기 C/N율, 공기량 및 초기 수분함량조절 등을 각각 달리하였다. 미생물첨가 유무에 따른 퇴비화효율 조사는 슬러지 및 수분조절제를 혼합한 다음 퇴비재료를 이등분하여 한부분의 퇴비재료에는 미생물접종제제를 5%첨가하고 다른 부분의 퇴비재료는 그대로 퇴비화조에 각각 투입시켜 조사하였다. 그리고 퇴비재료의 C/N율 조절은 각 처리조건에 따라 수분조절제 혹은 요소를 첨가하여 조절하였으며 공기량은 Needle valve로 조절하였고 초기

수분함량조절은 각 처리조건에 따라 시료를 건조시키거나 증류수를 첨가하여 조절하였다.

2.4 분석방법

공시 공단폐수슬러지, 톱밥, 왕겨, 미생물접종제제 및 혼합퇴비재료의 분석은 토양화학분석법(1989) 및 비료 검사요령(1986)에 준하였다. pH는 각 시료를 1:5(W/V)의 비율로 혼합후 30분간 정지 한 다음 초자전극법, 수분함량은 중량법, 총탄소는 회화법으로 분석하였으며, 시료 1g을 습식분해액(HClO₄ : H₂SO₄ : H₂O = 2 : 2 : 1)으로 분해시켜 T-N는 Kjeldahl법, 유효 P₂O₅은 Lancaster법, 그리고 치환성 K₂O, CaO 및 MgO는 1N-NH₄OAC(pH 7.0)로 침출하여 그 여액을 atomic absorption spectrophotometer (Shimadzu AA-680, Japan)로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 처리조건별 이화학적 특성

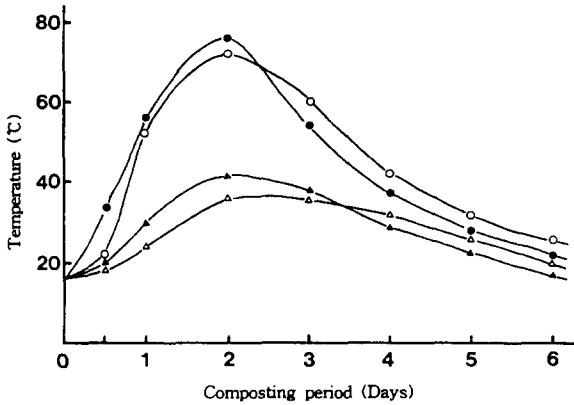


Fig. 2. Changes of temperature in composting materials of sludge added with or without seeding during composting period. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge.

- △: Without seeding, sawdust
- ▲: Without seeding, rice hull
- : With seeding, sawdust
- : With seeding, rice hull

공단폐수슬러지의 최적퇴비화를 위한 처리조건별 퇴비재료의 이화학적 특성을 조사한 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다.

수분조절제로 톱밥을 처리한 처리조건에서 pH는 7.2~8.4, 수분함량은 수분함량조절을 위한 처리조건을 제외하고는 63~68%, 총탄소는 34~41%, C/N율은 C/N율 조절을 위한 처리조건을 제외하고는 26~32, 유효인산은 0.24~0.56%, 치환성 카리는 0.19~0.30%, 치환성 석회는 1.09~2.86%, 치환성 고토는 0.08~0.14%이었으며, 수분조절제로 왕겨를 처리하였을 경우 치환성 카리의 함량은 톱밥사용시에 비하여 약간 높았으나 그의 성분은 거의 비슷하였다. 축성퇴비화에 영향을 미치는 인자인 C/N율은 공단폐수슬러지가 28로서 이미 보고된(백영민 등, 1994; 서정운, 1989) 퇴비화 최적 C/N율 20~35내에 있었으나 수분조절제인 톱밥이나 왕겨의 처리로 약간 높아졌으며, 수분함량은 약 68~74%로서 기보고된(Toritsu et al., 1980) 최적 함수율 50~60%보다 다소 높아 최적퇴비화를 위하여 이들 인자들을 조절할 필요가 있는 것으로 사료되었다.

3.2 최적퇴비화를 위한 처리조건별 온도 및 CO₂ 발생량 변화

3.2.1 온도변화

퇴비화과정중 온도는 미생물의 활동에 의하여 상승되는 것으로 알려져 있으며(최홍립 등, 1991), 퇴비화 지표로서 이용될 정도로 중요하다. Finstein 등(1982)은 퇴비화과정중 온도가 상승하면 유기물의 분해속도가 빨라지고 병원성 미생물도 사멸하게 되지만 퇴비화미생물도 사멸하게 된다고 하였다. 퇴비화과정중 온도가 20°C 이하로 내려가면 퇴비화는 어렵게 되고 20°C 이상 미생물

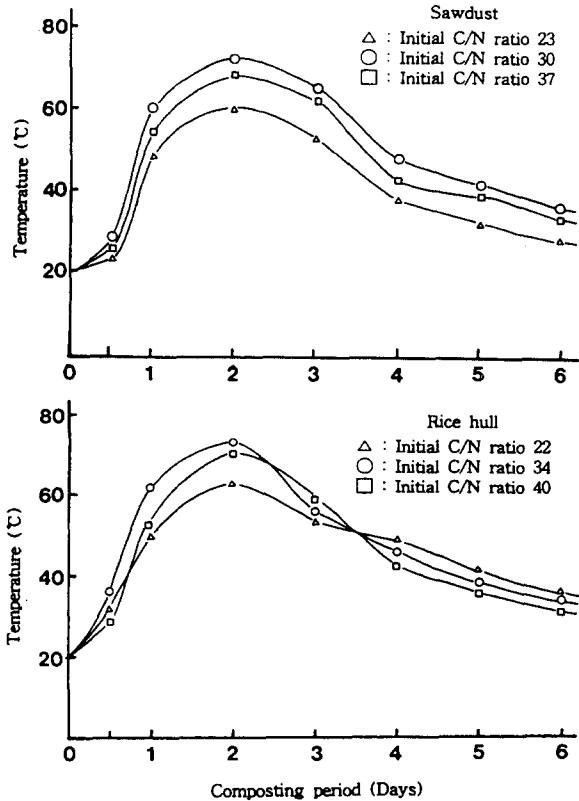


Fig. 3. Changes of temperature in composting materials of sludge according to initial C/N ratios during composting period. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.

의 생육적온까지는 온도가 증가할수록 퇴비화속도가 빠르게 증가하며, 일반적으로 40°C 이상에서는 중온성미생물은 활동이 억제되며 고온성미생물은 활동이 촉진되나, 60°C 이상에서는 고온성미생물도 활성이 감소되므로 퇴비화 최적온도는 50~60°C인 것으로 알려져 있다. Willson 등(1991)은 생물학적으로 달성 가능한 최고온도는 82°C이며 이 온도에서 미생물활동과 대사에 의한 발열작용이 중지된다고 하였으며, Ishii 등(1991)은 60°C 이상의 온도에서 씨앗이 불활성화되며 병원성 미생물이 사멸된다고 하였다.

미생물 처리(5%) 유무에 따른 공단폐수슬러지의 퇴비화과정중 온도변화를 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 미생물을 첨가하고 수분조절제로 톱밥을 사용하였을 때 온도는 퇴비화 2일까지 급격히 상승하여 최고온도인 76°C에 도달하였으며, 그후 감소하여 퇴비화 6일 후 38°C였고, 미생물을 첨가하지 않고 수분조절제로 톱밥을 사용하였을 때 퇴비화조내의 온도는 퇴비화 2일까지 서서히 증가하여 35°C로 증가되었다가 그후에 서서히 감소하였다. 미생물을 첨가하고 수분조절제로 왕겨를 사용하였을 경우, 퇴비화과정중 온도변화 경향은 톱밥을 사용하였을 경우와 비슷한 경향이었으나

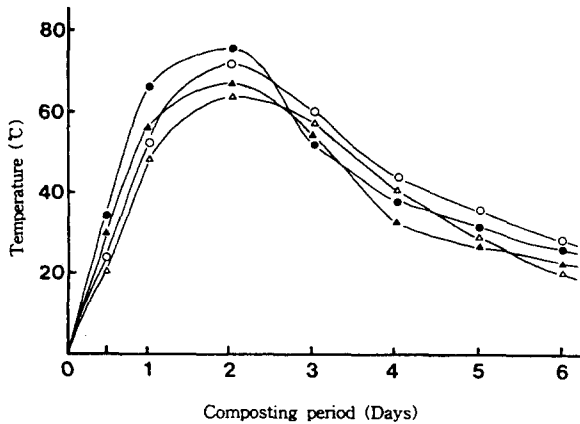


Fig. 4. Changes of temperature in composting materials of sludge according to air flow rate during composting period. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding. C/N ratios of the materials were controlled to 30~34.
 ○ : 200ml air / l · min, sawdust
 ● : 200ml air / l · min, rice hull
 △ : 400ml air / l · min, sawdust
 ▲ : 400ml air / l · min, rice hull

미생물처리 및 무처리 퇴비화조 공히 온도상승시에는 톱밥에 비하여 상승속도가 빨랐으나 온도하강시에는 빠른 속도로 감소하였다. 이러한 결과는 수분조절제인 톱밥과 왕겨의 비중이나 통기성의 차이인 것으로 생각되었다.

미생물을 5% 처리한 후 수분조절제인 톱밥이나 왕겨로서 초기 C/N율을 조절함으로써 퇴비화과정중 온도변화를 조사한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같다.

수분조절제로서 톱밥을 사용하여 초기 C/N율을 23, 30 및 37로 조절하였을 때 전반적으로 온도변화 경향은 비슷하였으나 퇴비화 전기간 동안 초기 C/N율이 30 > 37 > 23순으로 온도가 높았다. 수분조절제로서 왕겨를 사용하였을 경우 초기 C/N율을 22, 34 및 40으로 조절하였을 때 최고온도상승시까지의 초기 C/N율이 34 > 40 > 22순으로 높았으며, 이후에는 초기 C/N율이 22 > 34 > 40순으로 온도가 높았다.

미생물을 5%로 처리하고, 초기 C/N율을 30~34로 조절한 후, 공기주입량 및 초기 수분함량 등을 조절하여 퇴비화과정중 온도변화를 조사하였다.

퇴비화조내 공기주입량에 따른 퇴비화과정중 온도변화를 조사한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 전반적으로 퇴비화조내 공기주입량을 200ml / l · min.로 조절하였을 경우에 400ml / l · min.로 조절하였을 경우에 비하여 온도가 높았으며, 이미 보고된(Miller et al., 1985 ; Shada et al., 1988) 슬러지의 퇴비화 최적공기량과 비슷하였다. 퇴비화최적공기량은 슬러지의 종류, 수분조절제의 종류 및 퇴비화공법에 따라 다르며 퇴비화 초기에는 많은 양의 공기가 필요하며 공기주입량이

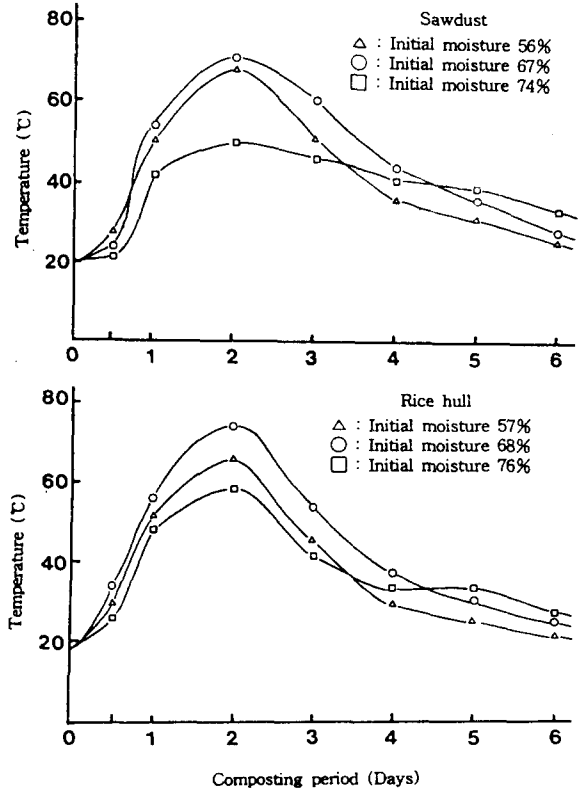


Fig. 5. Changes of temperature in composting materials of sludge according to initial moisture contents during composting period. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding. C/N ratios of the materials were controlled to 30~34. Air inflow rate into the composter was controlled to 200ml / l · min.

적을 경우 퇴비화조 내부가 혐기성상태가 되어 악취가 발생하고 공기주입량이 많을 경우 과도한 열손실로 정상적인 퇴비화가 진행되기 어려우며, 함수율이나 밀도가 높은 슬러지는 공기를 많이 공급해야 한다고 하였다. 또한 Shoda등(1988)은 하수슬러지의 퇴비화를 위한 반응조의 온도가 50~60℃로 제어될 때 최적공기공급율은 50~200ml / l · min.이며, 유기물의 분해속도를 증가시키기 위하여 퇴비화시기별 공기공급율을 달리하는 것이 바람직하다고 하였다. 본 실험에서의 퇴비화과정중 최적공기주입량은 200ml / l · min.인 것으로 나타났다.

초기 수분함량 조절에 따른 퇴비화과정중 온도변화를 조사한 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 초기 수분함량을 수분조절제인 톱밥 또는 왕겨를 처리하여 시료를 건조시키거나 증류수를 첨가하여 56~57%, 67~68% 및 74~76%으로 조절하여 퇴비화과정중 온도변화를 조사한 결과 전반적으로 온도변화 경향은 비슷하였으나 초기 수분함량을 67~68%로 조절하였을 경우

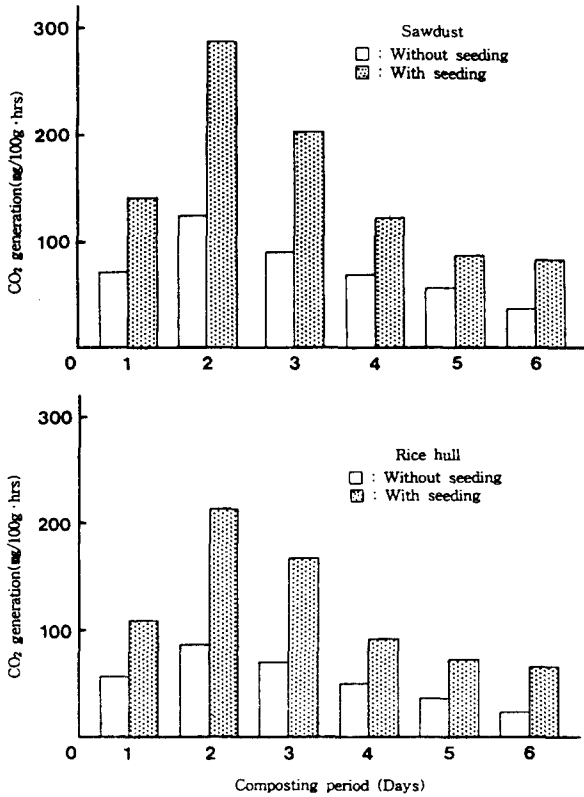


Fig. 6. CO₂ generation out of then composting materials of sludge added with or without seeding during composting period. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge.

에 온도가 가장 높았다. 따라서 퇴비화과정중 온도변화로 판단한 최적함수율은 67~68%였으며 이것은 이미 보고된(Toritsu et al., 1980 ; 강창민 등, 1994) 슬러지의 퇴비화과정중 최적함수율 50~60%에 비하여 높게 나타났으며, 이는 수분조절제와 슬러지를 고르게 혼합함으로써 퇴비화조내의 통기성이 양호하였기 때문인 것으로 생각되었으며, 이등(1996)도 수분함량 70% 이상에서는 퇴비화가 잘 이루어지지 않는 것은 수분과다로 인한 공기의 확산이 저해되어 미생물 성장에 지장을 주기 때문이라 하였다.

3.2.2 CO₂발생량

슬러지 등 유기물은 퇴비화가 진행됨에 따라 분해 안정화되며 분해최종산물로 발생하는 CO₂는 퇴비화과정중 온도변화와 더불어 퇴비화의 진행상태를 파악하는 중요한 지표로 이용될 수 있다(Sikoka et al., 1982).

미생물 첨가유무에 따른 퇴비화과정중 CO₂발생량을 조사한 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 수분조절제로 톱밥 또는 왕겨를 처리하였을 경우 모두 퇴비화 2일까지 급격히 증가하였으며 그후부터 점점 감소하는 경향이었고, 전반적으로 수분조절제로 톱밥을 처리한 것

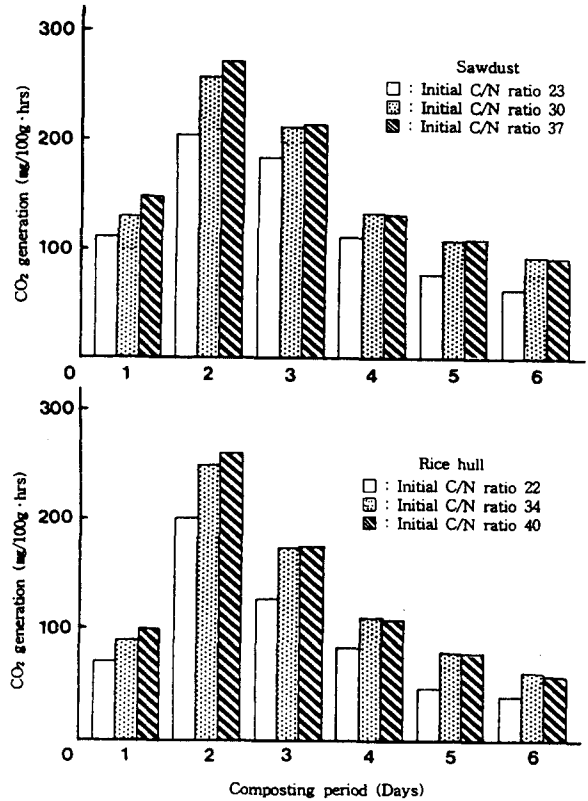


Fig. 7. CO₂ generation out of then composting materials of sludge according to initial C/N ratios of the materials during composting period. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.

이 왕겨를 처리한 것에 비하여 CO₂발생량이 약간 증가하였다. 그리고 미생물을 첨가했을 경우와 미생물을 첨가하지 않았을 경우의 CO₂발생량의 경향은 비슷하였으나 미생물을 첨가한 경우가 미생물을 첨가하지 않은 경우에 비하여 CO₂발생량은 월등히 증가하였다.

공단폐수슬러지의 초기 C/N을 조절에 따른 퇴비화과정중 CO₂발생량을 조사한 결과는 Fig. 7에서 보는 바와 같다. 수분조절제로 톱밥 또는 왕겨를 처리하였을 경우 초기 C/N율을 22~23, 30~34 및 37~40로 조절하였을 때 CO₂발생량은 대체적으로 초기 C/N율이 37~40 ≥ 30~34 > 22~23순이었으며, 톱밥처리한 것이 왕겨를 처리한 것에 비하여 CO₂발생량이 많았다.

3.3 퇴비화 후 최적조건에서의 이화학적 특성

공단폐수슬러지의 퇴비화후의 최적조건에서의 이화학적 특성을 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 퇴비화 후에 초기에 비하여 pH는 수분조절제의 종류에 상관없이 큰 폭으로 증가하였으나, 수분함량은 수분조절제로 톱밥 및 왕겨 처리시 각각 약 13 및 16% 감소되었으며, C/N율은 톱밥 또는 왕겨 처리 공히 약간

Table 4. Physico-chemical properties of composting materials of industrial wastewater sludge at optimum conditions after composting

Bulking agents	pH (1:5)	Mo-isture	T-C	T-N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
		(%)	-----	-----	ratio	-----	(%)	-----	-----
Sawdust	9.1	59.6	32.2	0.93	38.9	0.61	0.28	2.87	0.14
Rice hull	9.1	56.7	40.1	0.99	31.1	0.54	0.50	2.53	0.09

Table 5. Heavy metals contents in composting materials of industrial wastewater sludge at optimum conditions after composting

Bulking agents	Heavy metals (mg/kg · dry weight)					
	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
Sawdust	18.0	785	1.50	52.1	43.1	3.69
Rice hull	15.2	746	1.72	57.6	48.5	3.46

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge

증가하였다. 또한 P₂O₅, K₂O, CaO 및 MgO함량은 퇴비화 전에 비하여 후에 대체적으로 약간 증가하였다. 이와 같은 결과는 퇴비화과정중 퇴비재료중의 유기물이 분해 소실됨으로써 상대적으로 무기성분함량이 증가한 것으로 생각되었다.

공단폐수슬러지의 퇴비화후의 최적조건에서의 중금속함량을 조사한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 수분조절제로 톱밥 및 왕겨 처리시 Cu, Cd, Pb 및 Cr 함량은 각각 약 15~18, 1.5~1.7, 52~58 및 43~49mg/kg이었다. 국내 비료공정규격(1996)에는 퇴비중 Cu, Cd, Pb 및 Cr함량을 각각 500, 5, 150 및 300mg/kg이하로 규정하고 있으나, 본 실험의 퇴비화 최적조건에서 생산된 퇴비는 이 기준치에 훨씬 못미치는 수준이었다. 따라서 본 실험에 사용한 퇴비중 중금속 함량은 이들 규정에 비하여 매우 낮았으나 토양에 사용 여부는 다양한 토양조건 및 작물을 대상으로 시험을 수행한 후에야 내릴 수 있을 것으로 생각되었다.

4. 결 론

공단폐수슬러지의 최적퇴비화조건을 구명하기 위하여 소형 퇴비화조를 제작 이용하여 슬러지에 어분슬러지를 첨가하여 혼합하고 여기에 수분조절제인 톱밥 또는 왕겨를 처리 혼합한 다음 여기에 미생물 처리유무, 초기 C/N율, 공기 및 초기 수분함량조절 등의 조건을 달리 처리하여 퇴비화과정중 온도변화 및 CO₂발생량 등을 조사함으로써 공단폐수슬러지의 최적퇴비화조건을 조사한 결과는 다음과 같다.

퇴비화과정중 온도는 퇴비재료에 미생물을 5%처리하여 퇴비화하는 것이 미생물처리하지 않았을 경우에 비하여 높았고, 수분조절제로 톱밥을 처리하였을 경우가 왕겨처리시에 비하여 높았으며, 퇴비재료의 초기 C/N율 30~34, 공기주입량을 200ml/l · min., 초기 수분함량을 67~68%로 조절하는 것이 다른 조건에 비하여 퇴비화과정중 온도가 높았다.

퇴비화과정중 CO₂발생량은 미생물을 5%처리하여 퇴비화하는 것이 미생물을 처리하지 않았을 경우에 비하여 많았다. 그리고 초기C/N율에 따른 CO₂발생량은 초

기 C/N율이 7~40 > 30~34 > 22~23순이었다.

따라서 공단폐수슬러지의 최적퇴비화조건을 퇴비화과정중 온도 및 CO₂발생량으로 미루어 볼때 퇴비재료에 미생물을 5%정도 첨가하고, 초기 C/N율을 약 30~34, 퇴비화조내 공기주입량은 200ml/l · min., 그리고 초기 수분함량은 67~68%로 조절하는 것이 퇴비화의 최적조건이라 판단되었다.

퇴비화 최적조건에서의 퇴비화과정중 무기성분함량 및 C/N율은 약간 증가하였으며, 퇴비화 후의 중금속함량은 국내 비료공정규격보다 매우 낮았다.

참 고 문 헌

강창민, 김병태, 김창욱, 1987, 농수산폐기물의 적정온전조건에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 4(1), 27~35.
 비료검사요령(국립농업자재검사소 고시 제 86-8호), 1986, 국립농업자재검사소.
 백영민, 정재춘, 1994, 집단급식소의 음식쓰레기 퇴비화에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 11(1), 29~40.
 서정운, 1989, 폐기물의 퇴비화과정중 물질 변화, 3. C/N율의 변화, 한국환경농학회지, 8(1), 56~59.
 이태영, 허창두, 1996, 산업체 피혁가공폐기물의 퇴비화, 환경관리학회지, 37~52.
 정봉수, 강용태, 1986, 하수오니에 왕겨 및 톱밥을 혼합한 호기성 퇴비화, 한국환경공학회지, 28(3), 99~106.
 최홍림, 김현태, 하호성, 남상일, 서형덕, 장원준, 정영륜, 1991, 진주 상평공단내 제지공장에서 배출되는 폐수슬러지케이크의 퇴비화를 위한모형 실험, 경상대학교 농자원이용연구소보, 25(2), 215~261.
 토양화학분석법, 1989. 농촌진흥청 농업기술수련소.
 비료공정규격, 1996, 농림수산부.
 Chino, M., C. K. Shirohiro, M. Tadahiro, A. michio and K. Bunzaemon, 1983, Biochemical studies on composting of municipal sewage

- sludge mixed with rice hull. *Soil Sci. plant Nutr.* 29(2), 159~173.
- Finstein, M. S., K. W. Lin and G. E. Fischler, 1982, Sludge composting and utilization : review of the literature on the temperature inactivation of pathogens, New Btunswick, NJ.
- Ishii, H., K. Tanaka, T. Aoki, T. Murakami and M. Yamada, 1991, Sewage sludge composting process by static pile method. *Wat. Sci. Tech.* 23, 1979~1989.
- Maccala, T.M., J. R. Patterson and C. Leu-Hing, 1977, Properties of agricultural and municipal waste, *American Society of Agronomy, Ins.* 9~43.
- Miller, F. C. and M. S. Finstein, 1985, Material balance in the composting of wastewater sludge as affected by process control strategy, *J. WPCF.* 57(2), 1240~1245.
- Sikoka, L. J. and G. B. Willson, 1981, Materials balance in aerated static pile composting, *J. WPCF.* 53(12), 123~132.
- Shoda and Phae, 1988, Composting of sewage sludge : Its trend and controlling factors. *Environ. Pro. Res. Insti. Dong-A Univ.*, 11(2), 327~333.
- Tadahiro, M. T., A. Narita, A. Toshilhiro and C. Mitsuo, 1981, Composting of municipal sewage sludge mixed with rice hulls. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 27(4), 477~486.
- Toritsu, R., S. Kimula and K. Tashiro, 1980, Effect of moisture contents and flow rate on the high rate composting of cattle manure, *J. Soc. of Agri.*, 42(1), 135~140.
- Willson, G. B., J. F. Parr., E. Epsten, P. B. Marsh and S. Hornie, 1991, *Manual for composting sewage sludge by the beltstyle aerated pile method*, US Governments Printing Office.