

## 축분의 퇴비화를 위한 최적 환경조건

임재명·한동준\*·강현재\*\*

### Optimum Environmental Conditions for Composting of Livestock Manure

Jay-Myung Rim · Dong-Joon Han \* · Hyun-Jay Kang \*\*

---

#### ABSTRACT

The composting process is a suitable to dispose the livestock manure in terms of resources recovery. However the performance of composting process is greatly affected by the environmental conditions such as characteristics of manure, type of the bulking agent, initial moisture contents, temperature, recycle and so on. The purpose of this study is to evaluate the optimum environmental conditions of composting process for livestock manures.

The analytical results indicated that no bulking agent was necessary for the cow manure because of the proper C/N ratio. However the pig manure required a bulking agent since the pig manure had not only low in C/N ratio but poor ventilation characteristics. In addition, the initial moisture content for optimum composting appeared to be about 60%. The temperature control was also an essential factor to enhance the activity of thermophilic microorganisms in the laboratory composting unit. It was further found that the recycle of composts may contributed the completion of composting process as well as C/N ratio reduction and moisture control.

---

강원대학교 공과대학 환경공학과 부교수

\* 강원대학교 공과대학 토목공학과 대학원 박사과정

\*\* 강원대학교 공과대학 토목공학과 대학원 석사과정

## 1. 서 론

유기성 폐기물중 축산농가에서 배출되는 축분은 과거부터 현재에 이르러 직접 생분을 토양에 시비하여 비료 및 토양개량제로 이용하여 왔다. 이 방법은 토양개량 및 경작에 어느정도 도움을 가져다 주었으나 경작지에 시비할 수 없는 시기에 저장시 발생하는 환경오염문제와 시비후의 토양에서의 2차 발효에 의한 농작물에 많은 피해를 유발하므로 인하여 그 이용에 많은 제약을 받고 있는 실정이다. 또한 화학비료 및 농약의 과도한 사용으로 토양의 산성화와 토양미생물의 활성 저해로 농지의 지력감퇴가 심화되므로써 최근 유기농법을 이용한 농작물재배를 서두르고 있는 실정이다. 특히 유기농법을 위해서는 퇴비의 이용이 절대적으로 필요하므로 이에 농촌과 관계가 가장 밀접한 축산 폐기물을 비교적 운전이 용이하고 경제적 부담이 적은 퇴비화 공정을 통하여 발생원에서 직접 처리하여 농경지로 환원되어야 함이 필수적이라 하겠다.

따라서 본 연구에서는 축산농가에서 배출되는 축분을 효율적으로 자원화, 재활용 및 감량화를 이룰 수 있는 퇴비화공정을 수행함에 있어 공정에 영향을 주는 주요 환경인자, 즉 축분 및 bulking agent의 성상, 초기수분 함량, 온도제어, 퇴비재순환의 영향등에 대하여 lab-scale 반응기를 이용하여 최적 운전조건 도출에 역점을 두었다.

## 2. 실험

### 1) 시료의 성상

본 실험의 대상폐기물인 우분은 한우 20두 규모의 농장을 대상으로 축사 내에서 직접 채취하였으며, 돈분의 경우는 400두 규모의

돈사에서 청소시 분리되는 분을 채취하였다. 분의 신선도를 유지하고 실제 배출시의 성장조건에서의 실험을 위하여 시료 채취한 후, 즉시 반응 실험을 실시하였다. <Table 1>은 본 실험에 이용된 축분 및 bulking agent의 성상을 평균 값으로 나타낸 것이다.

Table 1. Characteristics of livestock manure and bulking agent.

(Unit : %)

Items	Livestock Manure		Bulking Agent	
	Cow	Pig	Husk	Sawdust
Moisture	83.6	78.0	12.7	11.1
pH	7.7	8.5	7.6	7.2
VS	81.3	77.0	88.2	78.4
T-C	45.2	42.8	34.5	36.7
T-N	1.61	2.80	0.47	0.22
T-P	0.56	2.52	0.023	0.041
C/N	28.1	15.3	73.4	166.8

### 2) 실험 장치

퇴비화공정을 위한 실험장치는 batch type으로 설계되었으며, 우분용과 돈분용으로 각각 분리하여 동일한 규모로 제작하였다. 각 실험장치에는 2개의 반응조가 설치되었으며, 반응조의 규모에 있어 용량은 17L, 깊이는 40cm, 직경은 24cm인 원통형으로 스텐레스 재질로 제작되었다. 온도 및 공기량의 조절은 flow meter를 이용하여 일정한 공기량이 주입되도록 하였으며, 일정온도 제어 실험시에는 부착된 온도controller를 이용하여 2개의 flow meter가 작동되므로써 공기량으로 온도가 자동 제어되도록 하였다. 공기의 주입 방법은 compressor를 이용하여 반응조 바닥에서 공급되는 upflow system으로 하였으며, 반응조내의 교반을 위하여 상부 축을 중심으로 패들을 부착, 1일 1-2회 수동으로 교반을 실시하였다. 반응

조 상부에는 3개의 vent를 설치하여 gas방출 및 온도 기록장치를 연결할 수 있게 하였고 내부 가온장치 및 보온장치도 설치하

였다. 다음(Fig. 1)은 본 실험을 실험을 위하여 제작된 실험장치의 모형을 나타내고 있다.

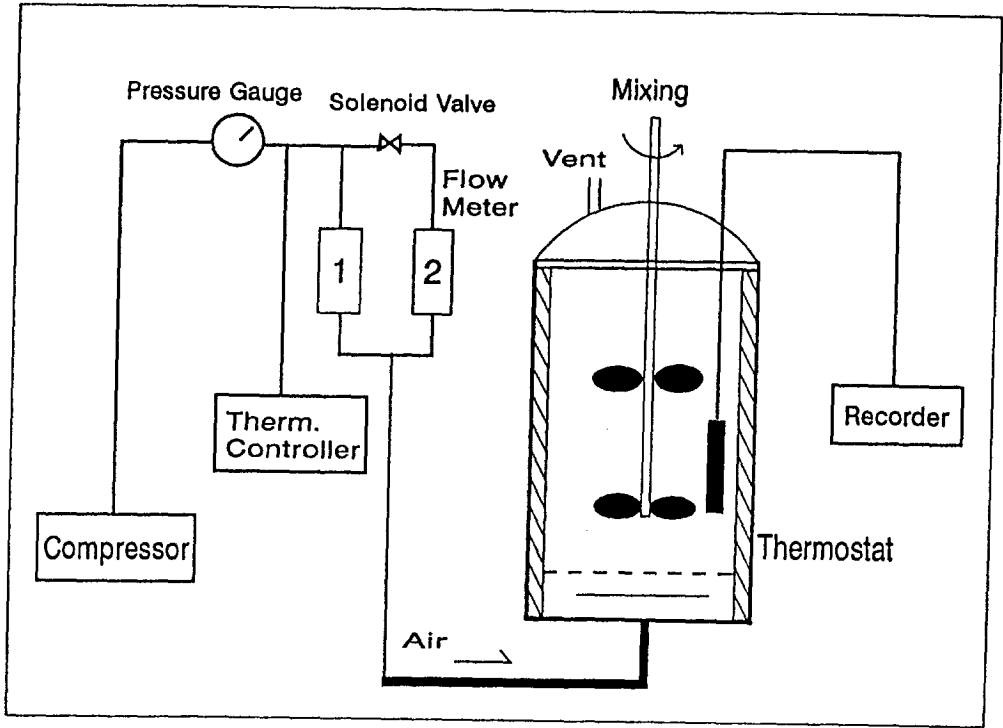


Fig. 1. Schematic of reactor for composting experiment.

### 3) 실험조건

퇴비화에 있어 가장 영향이 크다고 판단되는 bulking agents, 수분함량, 온도제어, 생산퇴비의 재순환등 4가지로 크게 분류하였으며, 각각 이들 인자에 대하여 세부 물리적, 화학적 변화로 인한 반응실험을 실시하였다.

Bulking agent의 변화는 본 실험에서 선정한 톱밥과 왕겨를 대상으로 bulking agent 사용의 타당성과 필요시 적정 bulking agent

의 선택에 대한 고찰을 목적으로 하였으며, 수분함량 변화 실험은 축분 퇴비화에 있어 미생물의 활동도를 최적화하고 bulking agent의 사용량등을 파악하기 위함이다. 또한 온도제어 및 퇴비의 재순환 실험은 미생물의 확보 및 활동도 증진, 반응 시간의 단축, 미분해된 퇴비의 분해 촉진등의 조건을 고찰하기 위해서 수행하였다.

이들 각 영향인자의 변화에 대한 실험에 있어 반응조 및 축분의 초기조건을 요약하면 다음 <Table 2>와 같다.

**Table 2.** Environmental conditions for composting experiment

Conditions	Raw Materials	Run No.	Bulking Agent	Moisture Content (%)	Initial pH	Mixing Rate (Raw : B, A : comp.)
Run 1, 2 Bulking Agents	Cow Manure	C - 1	Husk	60	7.6	1 : 0.3 : 0.3
		C - 2	Sawdust	65	7.1	1 : 0.3 : 0.3
	Pig Manure	P - 1	Sawdust	60	7.2	1 : 0.2 : -
		P - 2	Husk	63	7.3	1 : 0.2 : -
Run3, 4, 5 Moisture Controls	Cow Manure	C - 3	Husk	60	7.6	1 : 0.3 : 0.3
		C - 4	-	70	8.2	1 : - : 0.1
		C - 5	-	50	8.1	1 : - : 0.4
	Pig Manure	P - 3	Sawdust	50	7.8	1 : 0.4 : -
		P - 4	Sawdust	55	8.0	1 : 0.3 : -
		P - 5	Sawdust	60	7.6	1 : 0.2 : -
Run 6, 7 Temperature Controls (50°C)	Cow Manure	C - 6	50°C	50	8.0	1 : - : 0.3
		C - 7	-	50	8.0	1 : - : 0.3
	Pig Manure	P - 6	50°C	60	7.2	1 : 0.2 : -
		P - 7	-	60	7.2	1 : 0.2 : -
Run 8, 9 Temperature Controls (60°C)	Cow Manure	C - 8	60°C	50	7.7	1 : - : 0.3
		C - 9	-	50	7.7	1 : - : 0.3
	Pig Manure	P - 8	60°C	62	7.2	1 : 0.2 : -
		P - 9	-	62	7.2	1 : 0.2 : -
Run10, 11 Compost Recycle	Cow Manure	C - 10	55°C	60	7.8	1 : - : 0.5
		C - 11	55°C	65	6.3	1 : 0.3 : -
	Pig Manure	P - 10	-	55	7.2	1 : 0.1 : 0.3
		P - 11	-	55	7.2	1 : 0.07 : 0.8

#### 4) 분석

본 연구에 있어 분석은 퇴비화 진행과정을 알 수 있는 분석과 최종퇴비질 변화를 파악하기 위한 분석으로 구분하여 실시하였으며, 분석항목은 퇴비화과정 중에는 온도, pH, 수분함량, 유기물함량, T-C, T-N등을 분석하였고 퇴비종료 후에는 P, K, Mg, Ca 등을 분석하였다. 분석 방법은 국립농업자재검사소의 “비료검사분석법”과 농업기술연구소의 “토양화학분석법”, 미국의 “Standard Methods”에 준하여 실시하였다<sup>1), 2), 3)</sup>.

#### 3. 결과 및 고찰

현실적으로 축산 폐기물이 지니고 있는 환경 오염 측면에서 야기되는 심각한 문제는 악취발생과 그외 불안정한 상태에서 처리등을 들 수 있다. 일반적으로 퇴비화의 공정은 1차 발효와 2차 발효로 구분 되어 반응 되는 것으로 알려져 있는데 본 연구에서 실험한 바에 의하면 2차 발효까지 소요되는 퇴비화 기간은 약 3주 이상이 소요되며, 그 이후 많은 숙성 기간이 요구 되는 것으로 고찰 되었다. 또한, 기계적 퇴비화 장치에서 완전한 퇴비의 생산은 시설 규모의 극대화과 장기간

의 시간 소요, 경제적 부담등 많은 문제점이 도출된다. 그러므로 본 연구에서는 축산폐기물로 인한 환경오염을 가장 효율적으로 극소화 할 수 있는 관점에서 최소의 비용과 시간으로 축분의 악취제거와 안정된 물질로의 전환이 이루어 질 수 있도록 최적 반응 조건 및 기간을 고찰하였다.

### 1) 축분 및 Bulking Agents의 성상

본 연구에서 수행된 축분의 성상분석 결과는 앞에서 제시된 <Table 1>로서 최근 국외 자료와 비교하여 볼 때, 미국의 축분 성상은 우분의 경우 C/N비가 13-18의 범위이고 수분함량은 79-83% 범위이며 돈분은 C/N비 9-19, 수분함량 65-91%로 제시된 바<sup>4)</sup>, 본 실험결과에서 제시된 우분의 C/N비가 약간 높은 것으로 나타났으며, 돈분의 경우는 비슷한 경향을 나타내었다. 우분 C/N비의 차이는 사육방법, 사육소의 종류 및 사료등에 의한 영향을 판단된다. 일본에서 연구되어진 영양소의 함량자료는 우분의 T-N 2.10%, T-P 0.90%, 돈분은 T-N 2.86%, T-P 1.87%로서 본 실험결과와 거의 유사한 경향을 보여주고 있다. bulking agent인 왕겨와 톱밥의 함량실험 결과, 수분함량은 모두 10% 내외로 나타났으며 pH의 경우는 각각 7.6, 7.2로서 왕겨가 약간 높게 나타났다. 유기물(VS) 함량과 T-N, T-P의 영양소 함량은 전

체적으로 왕겨가 톱밥보다 많은 것으로 나타났으며 C/N비의 경우는 왕겨가 73.4 톱밥이 166.8로서 톱밥의 C/N비가 약 2.3배 높은 것으로 나타났다. 따라서 우분의 경우는 C/N비가 약 24-31의 범위이므로 C/N비의 조절이 거의 필요 없으며, 퇴비화 공정상 문제가 될 수 있는 수분함량의 조절이 요구되며, 가능한 한 생분을 건조하여 적정 수분함량으로 조절하는 방법을 이용하면 bulking agent 없이도 퇴비화 공정이 가능할 것으로 사료된다. 돈분의 경우는 C/N비 분석결과 약 10-20의 낮은 범위이므로 bulking agent 및 amendment의 사용이 필수적이라 할 수 있다. 특히 돈분에 대한 bulking agent 사용의 필요성은 돈분입자가 다른 폐기물 보다 미세함으로 건조에 어려움이 있고, 실제 호기성 공정시 통기성에 대하여 큰 문제점이 있으므로 원활한 퇴비화 공정을 위해서는 어느 정도 bulking agent의 사용이 필요할 것으로 판단된다.

### 2) Bulking Agent에 따른 영향

Bulking agent에 대한 실험 Run 1, 2의 결과는 우분의 경우 C-1, C-2, 돈분은 P-1, P-2로 구분하여 <Table 3>에 각각 제시하였다. 또한 퇴비화 진행 과정중의 온도, pH 및 C/N비의 변화를 측정하여 <Fig. 2>와 <Fig. 3>에 각각 그래프로 나타내었다.

Table 3. Results of composting livestock manure with bulking agent. (Run 1, 2)

Run	Compost	Moisture Content (%)	pH	C/N Ratio	Fin. C/N / Ini. C/N	Time required to reach peak temperature (h)	Time maintained 60°C or peak temperature (h)	Composting Time (day)
C-1	Initial	60	7.6	33.2	0.75	12	24	5
	Final	52	9.1	25.0				
C-2	Initial	65	7.1	43.2	0.88	20	16	5
	Final	62	9.0	38.0				
P-1	Initial	60	7.2	21.8	0.78	12	36	5
	Final	56	8.9	17.0				
P-2	Initial	63	7.3	17.8	0.85	12	36	5
	Final	59	9.1	15.1				

우분에 대한 실험(C-1, C-2) 결과, 왕겨를 사용한 C-1의 경우는 초기 C/N비가 약 33.2였으며 5일후 생산된 퇴비에서는 약 25.0으로 25%의 C/N비 감소가 있었으며, 수분함량은 초기 약 60%에서 52%정도로 8%정도가 감소함을 나타내었다. 반면, 톱밥을 사용한 C-2실험은 초기 C/N비가 왕겨를 사용한

C-1 실험과 동일 무게의 bulking agent를 첨가하였음에도 불구하고 약 43.2로서 훨씬 높게 나타났다. 이는 톱밥자체의 C/N비가 왕겨보다 상대적으로 2배이상 높기 때문이다. C/N비 감소율에 있어서도 C-2실험은 약 12%로서 C-1실험보다 작았으며, 수분함량의 감소도 작게 나타났다.

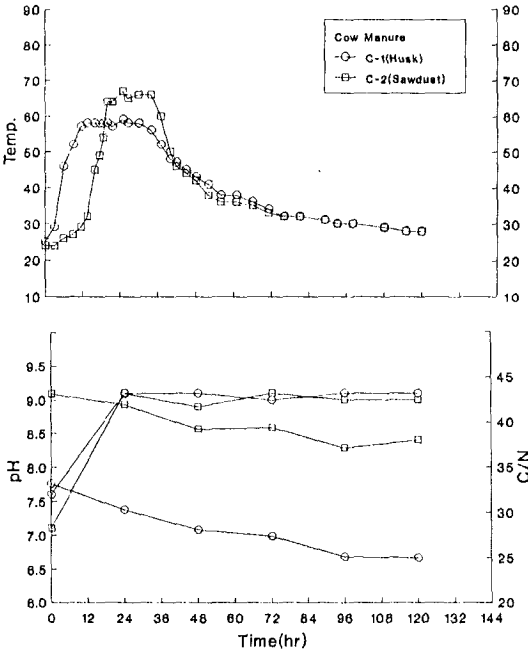


Fig. 2. Variations of temperature, pH and C/N ratio with bulking agent. (C-1, C-2)

<Fig. 2>에 나타난 퇴비화 진행동안의 온도 및 pH의 변화를 살펴보면, 왕겨를 사용한 C-1실험의 경우 최고 온도가 약 60°C 내외였으며, 최고 온도점까지 도달하는데 소요된 시간은 12시간 정도였다. 그러나 C-2 실험에 있어서는 최고 온도가 약 65°C 내외로 C-1보다 높았으며 최고 온도점까지의 소요시간은 약 20시간으로 왕겨보다 톱밥을 사용한 경우가 더 많은 시간이 요구되는 것을 알 수 있었다. 또한 최고온도의 유지시간에

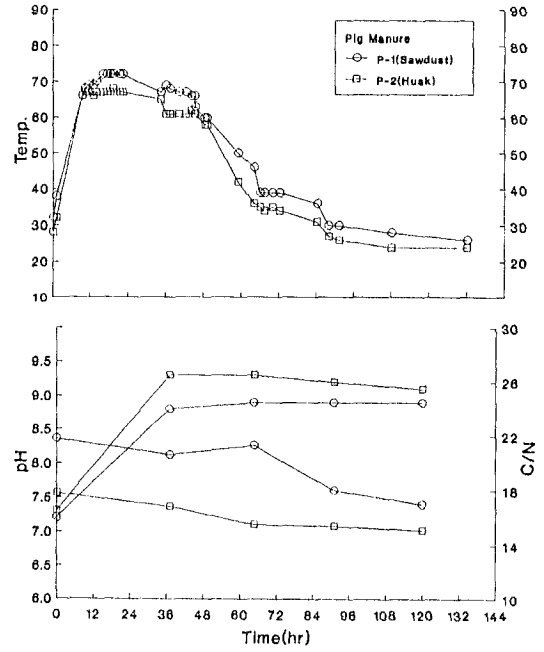


Fig. 3. Variations of temperature, pH and C/N ratio with bulking agent. (P-1, P-2)

있어서는 C-1은 24시간 정도, C-2는 16시간 정도로 왕겨의 경우가 지속시간이 길게 나타났다. 그러나 최종 온도가 하강하는 시간은 모두 같게 나타났다. pH의 변화는 초기 pH가 C-1은 7.6, C-2는 7.1로서 서로 상이하게 측정되었으며, 이들은 모두 초기 24시간 이내에 약 9.0내외로 급상승하는 경향을 나타냈었고, 결국 최종 pH는 C-1이 9.1, C-2가 9.0으로 서로 비슷하게 나타났다.

돈분에 대한 실험 P-1, P-2의 퇴비화 진

행중 온도 변화의 형태는 비슷한 경향을 나타내고 있으나 최고 도달 온도는 톱밥의 경우 (P-1) 약 70°C 이상이었고 왕겨의 경우 (P-2)는 약 65°C내외로 측정되었다. 또한 각 실험의 최고점 도달시간은 약 12시간으로 동일하였으며, 최고온도의 유지시간도 모두 36시간 정도로 비슷함을 나타내었다. 그러나 초기 C/N비에 대한 최종 최비의 C/N비 변화는 톱밥을 사용한 P-1실험의 약 22%가 감소된 17.0으로 분석되었고, 왕겨를 사용한 P-2실험에서는 약 15%가 감소된 15.1로서 P-1실험에서 C/N비의 감소가 더 크게 나타났

다. pH 변화는 P-1, P-2실험의 초기치가 7.2, 7.3으로 다소 차이가 있었으며, 최종퇴비의 pH에서는 8.9, 9.1로 톱밥을 사용한 P-1실험이 P-2실험보다 pH변화 폭이 다소 작게 나타났다. 따라서 돈분의 퇴비화에 있어 bulking agent의 선택은 왕겨나 톱밥모두 온도, pH변화, 최고 온도, 최고온도 유지시간 등에 있어 뚜렷한 차이는 없었으나, 원분의 C/N비가 비교적 낮으므로 bulking agent의 사용이 반드시 필요하다면 돈분의 경우는 톱

밥을 이용함이 바람직할 것으로 사료된다.

Run 1, 2 실험을 종합적으로 검토하면, 축분 퇴비화에 있어 bulking agent의 사용이 반드시 필요한 것은 아니다. 단순히 수분함량 조절 및 통기성 향상이 목적이려면 우분의 경우는 생분의 성분 형태가 일반적으로 벧짚과 같은 비교적 큰 고형물을 포함하고 있고, 퇴비화 공정에서 요구되는 적정 C/N비를 어느정도 만족하므로써 생분을 그대로 건조하여 적정 수분함량을 보유할 수만 있다면 bulking agent 사용 없이도 충분히 가능할 것으로 판단된다. 또한 건조에 의한 수분 조절 방법 이외에 생산퇴비를 재이용한 수분 조절도 가능할 것이다. 따라서 퇴비재순환에 대한 영향은 Run 10실험에서 수행되었다.

### 3) 수분함량에 따른 영향

수분함량 변화실험은 Run 3, 4, 5에서 수행되었으며, 초기 수분함량의 변화는 우분의 경우 50%, 60%, 70%로 각각 변화하였고, 돈분은 50%, 55%, 60%에서 실시하여 다음 (Table 4)와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 4. Results of composting livestock manure with moisture content. (Run 3, 4, 5)

Run	Compost	Moisture Content (%)	pH	C/N Ratio	Fin, C/N / Ini, C/N	Time required to reach peak temperature (h)	Time maintained 60°C or peak temperature (h)	Composting Time (day)
C-3	Initial	60	7.6	40.3	0.79	14	30	5
	Final	50	9.1	31.7				
C-4	Initial	70	8.2	42.6	0.92	24	10	5
	Final	62	9.1	39.4				
C-5	Initial	50	8.1	48.1	0.90	12	20	5
	Final	40	8.9	43.2				
P-3	Initial	50	7.8	23.0	0.95	24	10	5
	Final	47	9.0	21.8				
P-4	Initial	55	8.0	23.7	0.84	24	40	5
	Final	50	9.1	20.0				
P-5	Initial	60	7.6	28.0	0.75	24	50	5
	Final	54	9.1	21.1				

우분 퇴비화 실험의 결과로서 C/N비의 감소율은 수분함량이 60%인 C-3실험이 약 21%의 높은 감소율을 보였으며, 50%인 C-5실험에서 약 10%, 70%인 C-4실험은 약 8%로서 비교적 적은 감소율을 나타내었다. 그러나 pH의 경우 서로 초기치가 상이하게 나타났으나 최종 퇴비화 진행 후 pH는 8.9-9.1

로서 비교적 비슷하게 나타났다. 따라서 수분함량의 변화는 최종 퇴비의 pH에는 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 퇴비화 진행중의 온도, pH 및 C/N비 변화는 <Fig. 4>에 그래프로 나타내었다. 각 수분함량에 따른 온도 변화는 서로 약간의 차이를 보여 주었는데 최고 온도까지 도달하는 시간에 있어

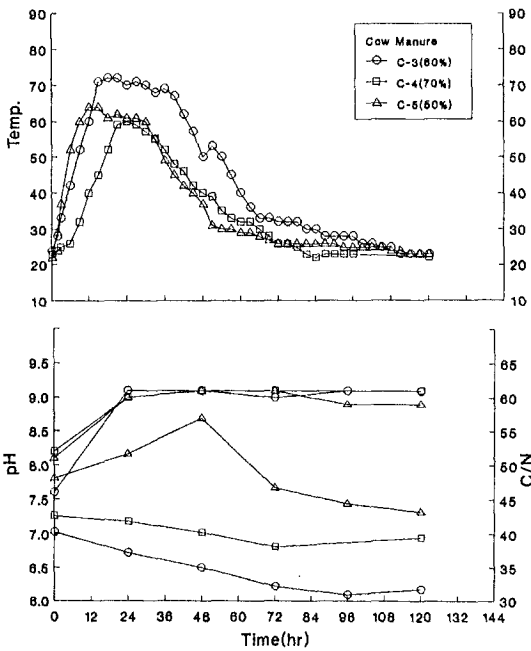


Fig. 4. Variations of temperature, pH and C/N ratio with water content. (C-3, C-4, C-5)

서는 수분함량 50%인 C-5실험이 약 12시간으로 가장 짧은 시간이 소요되었으며, 60%인 C-3실험은 약 14시간으로 C-5실험과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 수분함량이 70%로 가장 높은 C-4실험은 약 24시간이 소요되어 가장 길게 나타났다. 또한 최고온도에 있어서는 수분함량 60%일때가 약 70°C로서 가장 높았으며, 그 다음이 50%, 70

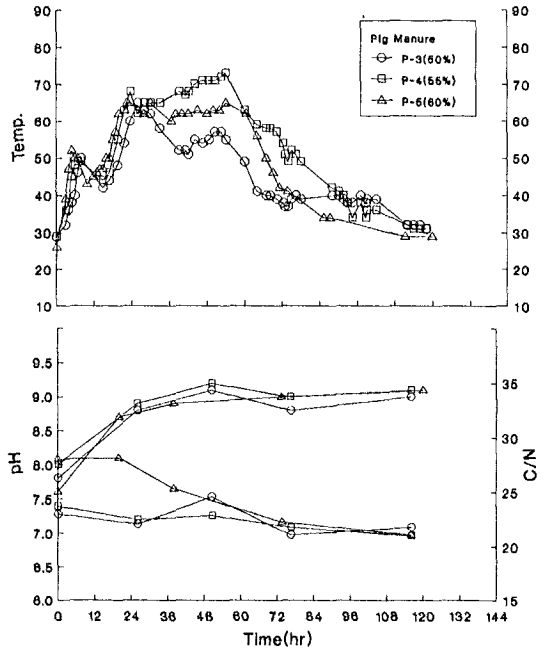


Fig. 5. Variations of temperature, pH and C/N ratio with water content. (P-3, P-4, P-5)

%였다. 최고 온도의 지속시간은 C-3실험의 경우 약 30시간 계속되었고, C-4실험은 약 10시간, C-5실험은 약 20시간 정도로 나타났다. 그러나 최종 실내온도까지의 온도하강은 약 5일 정도로 모두 비슷하였다. pH의 변화도 초기 약 24시간 동안은 모두 급격히 증가함을 보여 주었으나 그 이후 약 9.0 부근에서 큰 변화를 보여주지 않았다.



따라서 우분 퇴비화에 있어 수분함량은 퇴비질의 변화와 숙성도에 큰 차이가 있음을 알 수 있었으며, 60% 이상의 수분을 함유할 경우 미생물의 활동이 둔화되어 온도 상승 및 유기물의 분해에 악영향이 있는 것을 또한 알 수 있었다. 우분 퇴비화에 있어 적정 수분함량은 비교적 온도상승이 빠르고 유기물 분해 및 숙성이 활발히 진행된 약 60%가 최적인 것으로 판단된다.

〈Table 4〉에 제시된 수분함량 변화에 대한 돈분 퇴비화 실험 결과, C/N비 감소율에 있어 큰 차이를 보여 주었는데 수분함량이 60%인 P-5실험에서 약 25%가 감소하여 가장 분해가 활발히 이루어졌음을 알 수 있었다. 또한 pH는 초기에 7.6-8.0의 범위이었으나 퇴비화 진행 후 9.0-9.1의 범위로 pH가 높아졌으며, 이는 우분의 경우와 비슷한 형태를 나타냈다. 〈Fig. 5〉에 제시된 퇴비화 진행동안의 온도변화를 살펴보면 P-3, P-4, P-5실험 모두 최고 온도까지 도달하는데 약 24시간이 소요되었고, 최고온도는 대체적으로 60~70°C 범위였다. 그러나 최고온도의 지속 시간은 수분함량에 따라 각각 달리하였는데 수분함량이 50%인 P-3실험은 초기 최고온도에서 약 10시간 정도 지속되었으나 바로 50°C내외로 약간 낮은 온도를 유지하였으며, 그 후 온도 하강속도가 느리게 나타났다. 반면 P-4실험에서는 70°C이상에서도 계속적으로 온도가 상승하였으며, 70°C 내외의 최고온도가 약 40시간 정도 지속되었으며, P-5실험은 60°C 내외의 온도에서 거의 변화폭이 없이 안정된 상태를 유지하였고 지속 시간은 약 50시간으로 가장 길게 나타났다. 또한 P-5실험의 온도 하강은 다른 실험보다 빨리 나타났는데 이는 고온에서의 미생물에

의한 분해가 활발히 진행된 것으로 추측된다.

따라서 돈분퇴비화에 있어 수분함량의 조절은 C/N비의 변화등의 결과를 검토할때 우분과 마찬가지로 약 60%내외가 가장 적절한 것으로 판단된다.

#### 4) 온도제어에 따른 영향

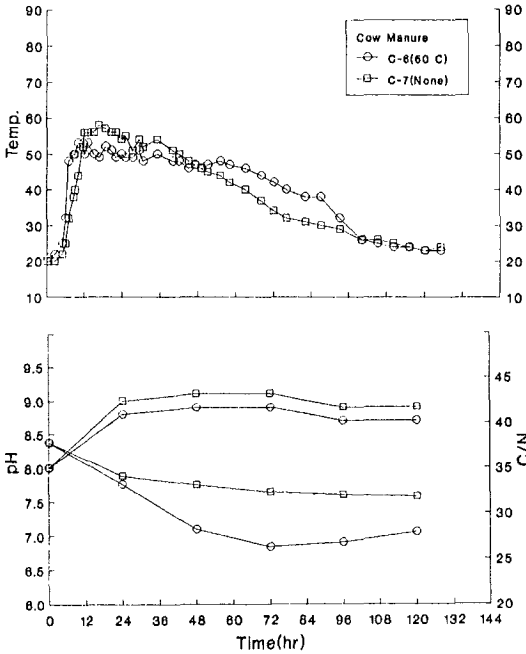
퇴비화기간 동안 발생하는 높은 온도는 병원성 미생물의 멸균과 퇴비화 고형물로부터 수분증발의 조장, 퇴비화 물질에서 유기물의 분해 촉진등에 효과적이다. 미생물의 활동도는 온도에 의해 영향을 받기 때문에 여러 연구자들은 퇴비화에 대한 최적 온도를 찾기 위해 노력했다. 과거에는 무조건 고온이 퇴비화에 있어 최적조건이라고 알려졌으나 최근 많은 연구가에 의하여 미생물의 활동이 활발히 일어날 수 있는 적정 온도에 대한 연구가 이루어지고 있다<sup>6), 6), 7), 8), 9)</sup>. 따라서 본 연구에서도 축분의 효율적 퇴비화를 위하여 발생온도를 제어하므로서 유기물의 분해가 활발히 이루어질 수 있는지의 여부를 고찰하고 적정 제어온도를 설정, 퇴비화의 최적조건을 도출하고자 하였다. 온도제어는 반응기에 설치된 밸브의 작동에 의하여 다량의 공기가 주입되므로서 자동조절될 수 있도록 하였다.

##### (1) 50°C 온도제어

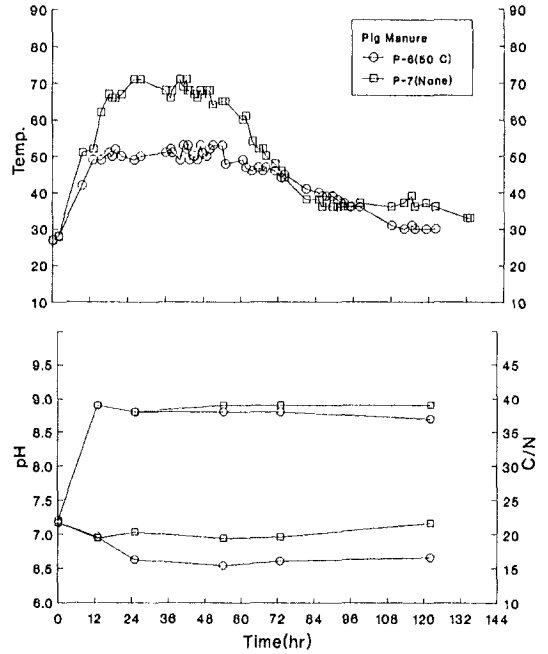
온도제어 실험Run 6, 7에서 Run 6은 50°C로 제어한 실험이며, Run 7은 제어하지 않은 실험이다. 우분과 돈분을 대상으로 실시한 Run 6, 7실험의 결과는 다음〈Table 5〉에 제시되었으며, 〈Fig. 6〉과 〈Fig. 7〉에는 퇴비화 진행중의 온도, pH 및 C/N비 변화를 그래프로 나타내었다.

**Table 5.** Results of composting livestock manure with 50°C controlled. (Run 6, 7)

Run	Compost	Moisture Content (%)	pH	C/N Ratio	C/N		Time required to reach peak temperature (h)	Time maintained 60°C or peak temperature (h)	Composting Time (day)
					Fin. C/N	Ini. C/N			
C-6	Initial	50	8.0	37.8	0.74		12	50	5
	Final	42	8.7	27.9					
C-7	Initial	50	8.0	37.8	0.84		12	35	5
	Final	40	8.9	31.8					
P-6	Initial	60	7.2	21.7	0.76		12	60	5
	Final	53	8.7	16.6					
P-7	Initial	60	7.2	21.7	0.90		18	40	6
	Final	55	8.9	19.6					



**Fig. 6.** Variations of temperature, pH and C/N ratio with temperature control. (50°C : C-6, C-7)



**Fig. 7.** Variations of temperature, pH and C/N ratio with temperature control. (50°C : P-6, P-7)

우분인 C-6, C-7실험 결과를 살펴보면, 온도제어를 한 C-6실험에서는 C/N비의 감소율이 약 26%정도로 나타났으나, 제어를 하지 않은 C-7실험에서는 약 16%로 나타나 온도제어에 의해 미생물의 활동이 활발하였

음을 알 수 있었다. pH 변화에 있어서는 C-6의 실험의 경우, 최종 pH가 8.7이였으나 C-7실험에서는 8.9로서 온도 제어를 하였을 경우 pH변화가 적게 나타났다. 퇴비화 진행 중 초기 온도상승의 형태는 비슷하였으며,

최고 온도 및 제어 온도에 도달하는 시간도 12시간 정도로 같게 나타났다. 그러나 최고 온도의 지속시간에 있어서는 C-6실험은 50℃내외에서 약 50시간 정도 지속되었으며, C-7실험은 60℃내외에서 약 35시간 정도 유지하였다. 온도의 하강경향도 50℃로 제어한 C-6실험에서 완만함을 나타내었고 C-7실험에서는 C-6실험보다 빨리 하강하는 경향을 보여 주었다.

돈분은 온도제어를 실시한 P-6실험에서는 수분함량이 약 7%정도 감소함을 보였으며, 초기 C/N비에 대한 최종 C/N비의 감소율은 약 24%로서 온도제어를 실시하지 않은 P-7실험에서의 10%감소보다 훨씬 감소폭이 큰 경향을 나타내었다. 이는 유기물 분해를 하는 미생물의 활동이 온도제어에 따라 더욱 더 활발하였음을 알 수 있다. pH 변화는 우분에서와 마찬가지로 온도 제어를 한 P-6실험에서의 변화폭이 온도제어를 하지 않았을

경우(P-7)보다 작게 나타났다. 온도 변화에 있어 P-6실험은 제어온도인 50℃까지 도달하는데 약 12시간이 소요되었으며, P-7실험에서는 50℃까지 P-6실험과 마찬가지로 약 12시간이었으나 계속적으로 온도가 상승하여 약 65℃이상의 최고온도를 나타내었으며, 최고 온도까지 도달하는 데는 약 18시간이 소요되었다. 또한 최고 온도의 지속시간은 50℃로 제어된 P-6실험은 약 60시간 동안 지속적으로 50℃내외를 유지하였으며, P-7실험에서는 약 40시간으로 제어할 경우와 하지않을 경우 약 20시간의 차이를 보여주었다. 따라서 돈분의 경우도 온도제어를 하므로써 더욱 더 미생물의 활동이 활발하였음을 알 수 있었다.

## (2) 60℃ 온도제어

60℃ 온도 제어실험은 Run 8, 9로서 실험 방법은 Run 6, 7과 동일하게 실시하였으며 결과는 다음<Table 6>과 같다.

Table 6. Results of composting livestock manure with 60℃ controlled. (Run 8, 9)

Run	Compost	Moisture Content (%)	pH	C/N Ratio	Fin, C/N / Ini, C/N	Time required to reach peak temperature (h)	Time maintained 60℃ or peak temperature (h)	Composting Time (day)
C-8	Initial	50	7.7	32.1	0.64	3	30	6
	Final	40	8.9	20.4				
C-9	Initial	50	7.7	32.1	0.85	3	30	6
	Final	41	9.0	27.3				
P-8	Initial	62	7.2	22.2	0.74	12	25	4
	Final	53	8.8	16.5				
P-9	Initial	62	7.2	22.2	0.82	12	35	6
	Final	57	8.8	18.2				

우분인 C-8, C-9 실험 결과는<Table 6>에 나타난 바와같이 C/N비가 C-8실험은 20.4 C-9실험은 27.3으로 감소하여 각각 36%, 15%의 감소율을 나타내었다. 또한 온도제어를 한 C-8실험에서의 수분함량은 약 10%정도

감소함을 알 수 있었다. 따라서 C/N비의 감소율을 감안할때 우분 퇴비화에 있어 60℃부근이 최적 온도임을 추측할 수 있었고, 미생물의 활동도 활발하였음을 간접적으로 알 수 있었다.

(Fig. 8)에 제시된 온도 변화를 살펴보면 최고온도의 유지시간은 약 30시간으로 서로 비슷하게 나타났으나 온도 하강속도는 60°C로 제어한 C-8실험이 빠르게 나타났다. 그러나 최종적으로 온도가 외부온도와 일치하게 되는 시간은 같게 나타났는데 C-8의 경우 비교적 완만한 경사를 이루었으며, C-9실험을 계속적으로 급한 경사를 이루면서 하강하였다. 따라서 일정 온도를 제어할 경우, 미생물에 의하여 분해가능한 유기물은 일정한 지속 온도에서 대부분 분해되어 온도제어를 하지 않았을 경우보다 더 빨리 안정된 물질로 전환될 수 있음을 알 수 있었다.

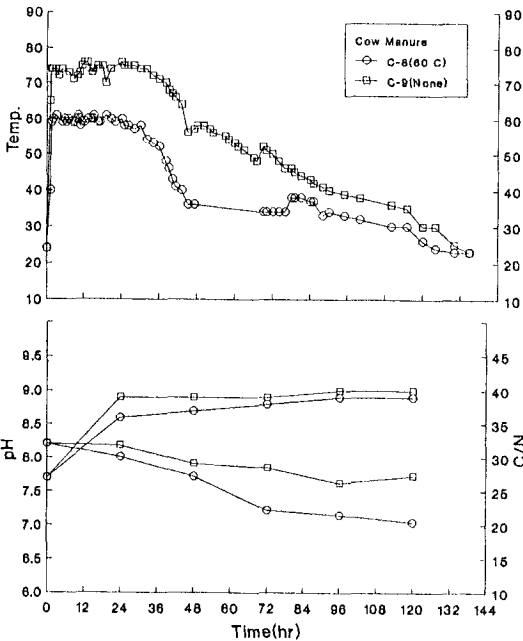


Fig. 8. Variations of temperature, pH and C/N ratio with temperature control. (60°C : C-8, C-9)

적정온도는 퇴비화 원재료의 초기조건등에 따라 달라질 수 있겠으나 본 실험결과에서는 우분과 돈분 모두 60°C부근임을 알 수 있었다.

돈분의 경우 온도제어를 한 P-8실험의 C/N비 감소율은 약 26%로서 최종퇴비의 C/N가 16.5로 분석되었고, P-9실험은 약 18%가 감소한 18.2로 나타났다. 따라서 온도제어를 실시함에 따라 C/N비의 감소폭이 크고 퇴비화 진행시간도 4일 정도로 온도제어를 실시하지 않은 P-9실험보다 2일 정도 빠른 경향을 보였다.

Run 6, 7, 8, 9실험을 종합하여 보면, 축분의 퇴비화에 있어 온도제어는 고온성 미생물의 활동환경을 촉진시킬 수 있는 것으로 고찰되었으며, C/N비의 감소에서도 그 효과가 인정되었다. 그러나 온도제어를 위한

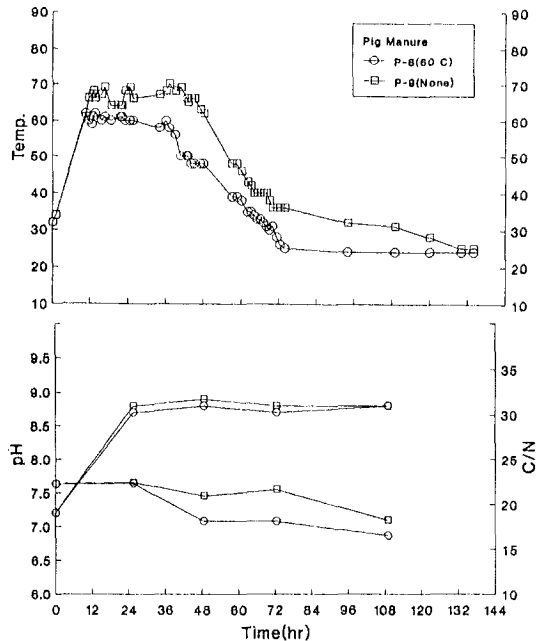


Fig. 9. Variations of temperature, pH and C/N ratio with temperature control. (60°C : P-8, P-9)

##### 5) 퇴비 재순환에 따른 영향

생산된 퇴비의 재순환은 퇴비화공정에 있어 초기 미생물 활성화를 통한 숙성된 퇴비 생산을 위하여 수행되어질 수 있다<sup>10)</sup>. 또한

또한 일반적으로 수분함량을 조절하기 위하여 bulking agent만을 주입할 경우 bulking agent의 확보를 위한 경제적 부담등을 가져올 수 있다. 따라서 생산된 퇴비를 재순

환함으로써 초기 미생물의 확보와 bulking agent의 절감등의 효과가 있을 것으로 판단된다.

Table 7. Results of composting livestock manure with compost recycle. (Run 10, 11)

Run	Compost	Moisture Content (%)	pH	C/N Ratio	Fin, C/N Ini, C/N	Time required to reach peak temperature (h)	Time maintained 60°C or peak temperature (h)	Composting Time (day)
C-10	Initial	60	7.8	36.1	0.70	12	60	5
	Final	48	9.0	25.2				
C-11	Initial	65	6.3	42.8	0.82	24	35	6
	Final	55	8.9	35.1				
P-10	Initial	55	7.2	25.3	0.73	12	15	4
	Final	53	8.7	18.5				
P-11	Initial	55	7.2	24.0	0.76	12	15	5
	Final	52	8.6	18.3				

〈Table 7〉에 제시된 바와같이 퇴비화가 완료된 후 우분의 C/N비 감소율은 퇴비 재순환을 한 경우 약 30%로 높게 나타났으며, 재순환을 하지 않은 경우는 약 18%로서 현저한 차이를 나타내었다. 수분함량의 변화는 C-10, C-11실험 모두 약 10%내외로 감소하였으며 초기 pH에 있어서는 서로 큰 차이를 보여 주었으나 최종 생산퇴비에 있어서는 8.9-9.0으로 비슷하게 나타났다.

〈Fig. 10〉에서 제시된 퇴비화가 진행되는 동안 온도변화는 퇴비재순환을 실시한 C-10 실험이 최고온도에 도달하는데 약 12시간이 소요되었으며, bulking agent를 이용한 C-11실험은 약 24시간이 소요되어, 퇴비 재순환을 실시한 경우 초기 미생물의 용이한 확보로 인하여 온도상승이 빨리 일어남을 알 수 있었다. 제어 한계온도인 55°C의 지속시간은 C-10실험의 경우 약 60시간으로 길게 나타났으나 C-11실험에서는 약 35시간으로 현저한 차이를 보여주었다. 또한 온도하강 곡선을 살펴보면 퇴비 재순환을 실시할 경우

(C-10) 초기 고온성 미생물에 의하여 분해가 활발히 이루어져 비교적 빨리 온도가 하강하였다. 따라서 퇴비의 재순환을 실시하면 초기 고온성 미생물의 활동을 증가시키고 빠른 분해속도를 가져올 수 있다고 판단된다.

돈분에 있어 퇴비재순환은 P-10과 P-11 실험에서 수행되었는데 C/N비의 감소율을 재순환율이 30%인 P-10실험에서 약 27%의 감소율을 보여 주었으며, 80% 재순환을 실시한 P-11실험에서는 약 24%로서 P-10실험에서보다 작게 나타났다. 따라서 C/N비 감소율을 볼때 재순환 퇴비량이 많을 수록 퇴비화 공정에 반드시 유리한 것이 아니라는 것을 보여주었다.

〈Fig. 11〉에 나타난 온도 변화를 살펴보면 최고온도까지 도달하는데 소요시간은 약 12시간 내외로 비슷하게 나타났으며, 최고온도는 반송 퇴비량을 30%로 한 P-10실험에서 약 70°C 내외로 P-11보다 높게 나타났다. 최고온도의 지속시간은 약 15시간으로 같게

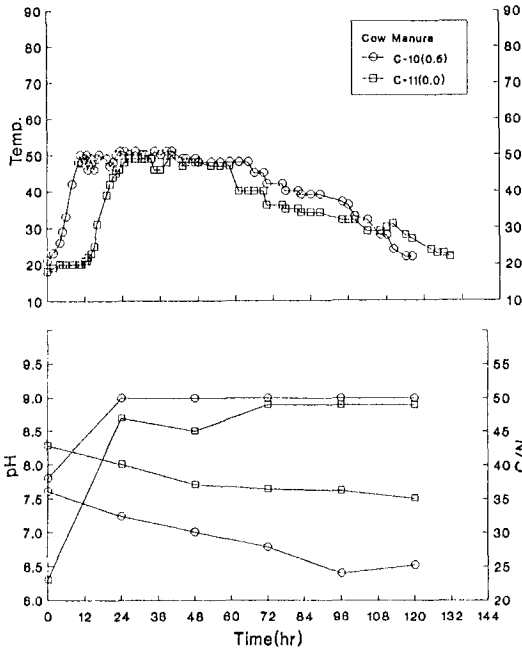


Fig. 10. Variations of temperature, pH and C/N ratio with compost recycle. (C-10, C-11)

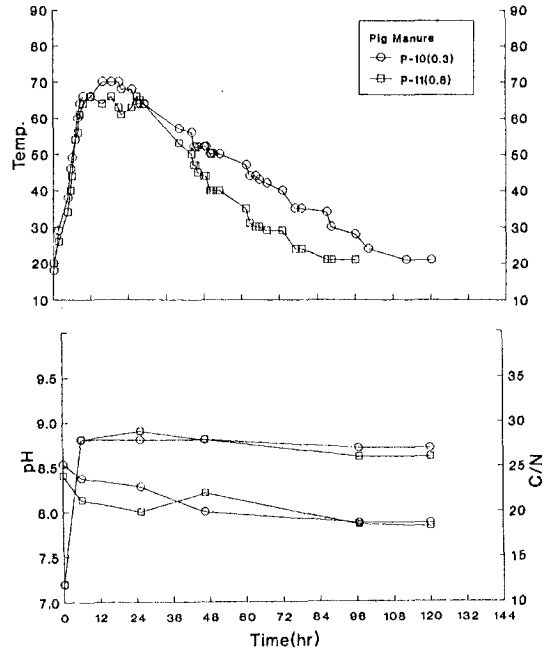


Fig. 11. Variations of temperature, pH and C/N ratio with compost recycle. (P-10, P-11)

나타났으며, 온도 하강속도는 P-11실험이 P-10실험보다 빠르게 나타났다. pH변화는 온도변화와 마찬가지로 초기 12시간 이내에 급격히 증가하였으며, 최종 pH는 8.6-8.7로서 비슷함을 보여주었다.

이상에서 돈분 퇴비화에 있어 재순환율이 높더라도 최종퇴비의 질에는 큰 변화를 주지 않는다는 것을 알 수 있었다. 따라서 돈분의 경우는 적정 수분함량과 C/N비 조절을 위하여 적정 bulking agent량 결정과 함께 최적 재순환량을 결정함이 바람직하다.

본 실험결과에서 얻어진 바에 의하면 bulking agent의 량을 최소화하고 최적 퇴비화를 위해서는 원분 투여량의 약 30-50%(중량비)를 재순환하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

- (1) 축분의 물리, 화학적 성상은 가축의 종류 및 사육방법, 급이사료등에 따라 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.
- (2) bulking agent로 선정된 왕겨가 톱밥보다 C/N비에 있어 약 2.3배 높은 것으로 나타났다.
- (3) bulking agent의 필요성은 우분의 경우 퇴비화에 필요한 C/N비가 적정 수준이므로 bulking agent의 첨가가 필요없으며, 돈분의 경우는 우분과 달리 C/N비가 낮고 통기성이 불량하여 이를 만족시키기 위한 bulking agent의 사용이 필요하다.
- (4) C/N비 감소율을 우분과 돈분의 초기 수분함량이 동일한 60%에서 각각 21%, 25%의 최대 감소율을 보여 주었다.

- (5) 퇴비화 진행동안 반응기내의 온도 제어는 고온성 미생물의 활동 환경을 촉진시킬 수 있고, C/N비의 감소에서도 큰 영향이 있는 것으로 나타났다.
- (6) 생산퇴비의 재이용은 초기 미생물의 확보등으로 바른 분해속도를 기대할 수 있으며 완전한 퇴비의 실현과 폐기물의 계속적인 감량, 수분조절 등에 기여를 하는 것으로 나타나, 축분의 경우 원 축분 무게의 약 30-50% 내외의 재순환이 바람직할 것으로 판단된다.

### Reference

1. 농촌진흥청, 토양화학 분석법, (1988)
2. 국립농업자재검사소, 비료 검사 요령.
3. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th, Ed., American Public Health Asso., (1992)
4. Robert Rynk, et. al., On-Farm Composting Handbook, NRAES-54, (1992)
5. Nakasaki, K., M. Shoda, and H. Kubota, Effect of Temperature on Composting of Sewage Sludge, Appl. Environ. Microbiol. 50 : 1526-1530, (1985)
6. Golueke, C. G., Biological reclamation of solid wastes, Rodale Press, Inc., Emmaus, Pa., (1977)
7. McKinley, V.L., and J.R. Vestal, Biokinetic analyses of adaptation and succession : microbial activity in composting municipal sewage sludge, Appl. Environ. Microbiol. 47 : 933-941, (1984)
8. Hunter, K., and A. H. Rose, Influence of growth temperature on the composition and physiology of microorganisms, J. Appl. Chem. Biotechnol. 22 : 527-540, (1972)
9. L. J. Sikora, et al., Effect of Temperature Control on the Composting Process, J. Env. Qual., Vol. 14, No. 3, (1985)
10. Nakasaki, K., M. Sasaki, M. Shoda, and H. Kubota, Effect of seeding during thermophilic composting of Sewage sludge, Appl. Environ. Microbiol. 49 : 724-726, (1985)