

豚糞 堆肥化 工程에서 石膏 및 石炭灰의 添加效果

劉賢哲 · 金正燮 · 郭明和 · 李熙寅* · *朴勝祚

*金輪株式會社, 東亞大學校 地球環境工學部

Effect of Adding Gypsum and Coal Fly Ash on Composting Process of Pig Manure

Hyun-Chul Yu, Jung-Sup Kim, Myung-Hwa Kwak, Hee-In Lee* and *Seung-Cho Park

*Kum Ryun Co.LTD,

Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Pusan 604-714, Korea

요 약

이 연구는 돈분, 석고와 석탄회를 혼합물을 퇴비화한 것이다. 실험에 사용한 A 시료(PM:SD=6:4)와 C 시료(PM:SD:GS:CFA=6:2:1:1)를 사용하여 퇴비화 실험결과 A, C 시료의 초기 수분함량은 64, 50% 이었고 온도, pH 에서도 A시료와 비교했을 때 큰 차이는 없었으나 A,C 시료의 최종 TOC 는 약 5550, 2900 mg/kg 이었다. 양이온 교환능은 A, C 시료와는 크게 차이는 없었으나 CEC 값으로 보아 숙성에 더 많은 시간이 필요할 것으로 생각된다. 그러나 석고와 석탄회 첨가는 돈분 퇴비화 과정에서 첨가제로서의 역할이 있음을 알 수 있었다.

주제어: 석탄회, 총유기탄소(TOC), 양이온교환능(CEC), 석고, 퇴비화

ABSTRACT

This study was conducted to compost the mixture of pig manure, gypsum and fly ash. Initial moisture contents of sample A (pig manure : saw dust = 6 : 4) and C (pig manure : saw dust : gypsum : coal fly ash=6 : 2 : 1 : 1) in the reactor were 64 and 50%. Also temperature and pH of samples in the reactor was nearly the same. Total Organic Carbon (TOC) concentration of sample A and C were about 5500, 2900 mg/kg respectively. This sample was needed a lot of time to mature as viewing cation exchange capacity (CEC) after experiment was over. However added with gypsum and coal fly ash in process of pig manure composting process was suggested that gypsum and coal fly ash have a roles of additive agent.

Key words: coal fly ash, total organic carbon (TOC), cation exchange capacity (CEC), gypsum, composting

1. 서 론

FAO 발표에 의하면 1994년 현재 세계의 양돈수는 약 9억 마리로 추산되며 전체의 50%가 아시아에 집중되고 있어 양돈산업에서 돼지가 생산하는 폐기물 처리에 대한 문제가 급증하고 있다.¹⁾ 1996년 말 우리나라의 축산농가는 총 70 만 호이며 발생하는 축산분뇨는 소, 돼지, 936 만두에서 일일 175000 m³의 오수가 발

생하며 이것은 전체 오폐수량의 0.7%에 불과하나 축산분뇨의 농도 특성상 오염 부하량은 약 8% 정도로 높은 오염 기여도를 나타내고 있다.²⁾ 한편 1998년 말 국내에서 연간 2,204톤의 석고와 10대 화력발전소에서 생성되는 4,000톤의 석탄회가 재활용되지 못한 채 야적되어 있다.³⁾ 산업 부산물인 석고와 석탄회는 작물 생육에 필요한 유효성분을 함유하고 있다. 그러므로 질소 성분을 다량 함유하고 있는 돈분에 석고와 석탄회를 첨가할 경우 퇴비화에 미치는 효과를 알아 보았다. 따라서 본 연구에서 돈분, 석고, 석탄회를 혼합하여 퇴비화하는 과정

* 2001년 11월 15일 접수, 2001년 12월 17일 수리

* E-mail: sjpark@mail.donga.ac.kr

에서 온도, 수분함량, pH, 유기물 함량, 총 질소 함량 간의 관계를 검토하였다.

2. 실험

2.1. 장치

실험 장치는 스테인레스 강판을 이용하여 제작한 음식물 쓰레기 처리용 기계를 개량하여 사용하였다. 장치의 크기는 285×340×700 mm 이며 내부에는 회전축을 설치하여 3 rpm으로 교반하고 발생하는 기체는 외부로 배출할 수 있도록 구성하였다. 실험에 사용한 장치의 개략도는 Fig. 1에 제시하였다.

실험에서 사용한 시료 중 돈분은 경상남도 김해시에서 발생된 분뇨를 전처리 없이 그대로 사용하였고 석탄회는 한국전력 삼천포 화력본부에서 석고는 남해화학에서 발생하는 것을 전처리 없이 그대로 사용하였다. 돈분시료는 PM(pig manure, PM), 석고는 GS(gypsum, GS), 석탄회는 CFA(coal fly ash, CFA), 톱밥 SD (saw dust, SD)로 표기하였다. Table 1에 시료로 사용한 돈분, 석탄회, 석고, 톱밥의 수분함량과 pH를 제시하였다.

돈분 시료의 수분함량은 90% 이상이고 pH는 중성 부근이었지만 석고는 수분함량과 pH가 낮았으며 석탄회는 낮은 수분함량과 높은 pH 값을 나타내었다. 시료의 중금속 농도를 Table 2에 제시하였다.

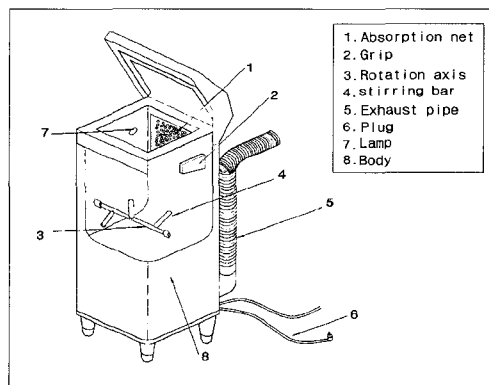


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1. Characteristics of SL, SD, GS and FA

Item	PM	SD	GS	CFA
Moisture (%)	90-94	10-15	10-15	0.3-0.5
pH	7.2-6.4	5.4-5.7	3.0-5.0	12-13

Table 2. Concentration of heavy metals in mixture samples. (Unit : mg/kg)

Item	Zn	Cu	Fe	Cd	Pb	Cr
A	153	33	79	/ND	10	ND
C	65	23	90	ND	54	ND
Standard	-	≤ 500	-	≤ 5	≤ 150	≤ 300

Table 3. Mixing ratio of pig manure, sawdust, gypsum and coal flyash

Item Sample	PM	SD	GS	CFA	Remark
A	6	4	-	-	volume ratio
C	6	2	1	1	

Table 2에 제시한 우리 나라 퇴비 유해물질 관리기준으로 볼 때 시료중에 존재하는 중금속농도는 기준치 이내이었으나 아연과 철에 대한 국내 기준은 없다.⁴⁾

2.3. 방법

실험에 이용한 시료의 혼합비율은 부피 비율로 하였으며 시료 제조 방법은 Table 3에 정리하였다.

토양 개량제 제조장치에 투입한 시료량은 10 L 이었으며 A, C 시료의 초기 수분함량은 각각 64%, 50% 이었다. 수분함량을 유지하기 위하여 2일 간격으로 1.5 L씩 토양 개량제 제조장치에 수분을 공급하여 수분함량을 40~60% 이었다. 실험기간중 시료를 토양오염 공정시험법에 따라 수분함량, pH, TOC, T-N, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, CEC 등을 분석하였다. CEC 측정은 1 N acetic acid(pH 2.31) 침출법으로 건조한 토양 5.0 g을 100 mL 삼각 플라스크에 넣고 1 N acetic acid(pH 2.31)용액 50 mL를 첨가한 다음 30분간 진탕 후 pH를 정확히 측정하여 CEC=(sample pH-2.31)×22 식으로 산출하였고 이외의 시료는 토양오염공정시험법과 standard method에 준하였다.⁵⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 온도와 pH 변화

퇴비화 기간 중 반응기를 설치한 실험실 외기와 실험장치내 시료의 온도변화를 측정하여 Fig. 2에 도시하였다.

Fig. 2를 보면 외기온도[ambient temperature(Amb.)]는 15°C 이내로 안정적이었다. 이것은 실험 장치를 실내에 설치하였기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 A 시

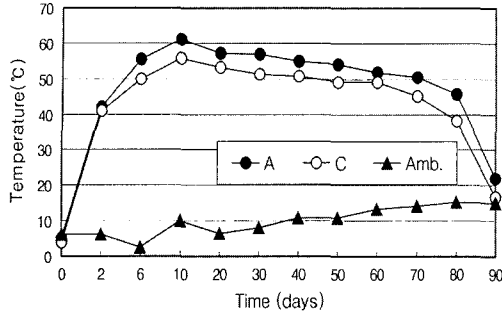


Fig. 2. Changes in temperature of ambient and sample of reactor.

료(PM : SD=6 : 4)와 C 시료(PM : SD : GS : CFA=6 : 2 : 1 : 1)는 반응개시후 온도가 급격히 상승하다가 10일 부근에서 55~62°C가 되었으며 10~70일간은 서서히 온도가 감소하였고 80일 후에는 급격히 감소하였다. 이러한 온도변화는 퇴비화 과정에서 나타나는 발열단계(thermophilic stage), 냉각단계(cooling stage), 숙성단계(maturing stage)와 유사한 변화를 나타내어 본 실험의 목적인 돈분 퇴비화가 순조롭게 진행되는 것으로 판단하였다. 또한 퇴비화 과정에서 A, C 시료간 온도차이는 시료에 첨가한 석고나 석탄회의 영향일 것으로 생각되나 석고와 석탄회의 어떠한 성질 때문에 발생하는 효과인지는 알 수 없다. 퇴비화 반응 개시후 시간 경과에 따른 수분함량 변화를 Fig. 3 나타내었다.

수분 함량은 반응개시 10일 후 15~25%로 감소하였는데 이는 반응열에 의한 것으로 생각되어 수분함량인 40~50%로 유지시키기 위해 2일 마다 1.5 L의 수분을 보충하였다. 수분함량이 많으면 수분의 영향으로 혐기성 조건을 형성한다고 Tiquia⁶⁾는 주장하였으나 실험결과 퇴비화에 적합한 수분함량은 평균 40% 일 경우도 가능하다고 생각된다. Bertoldi⁷⁾는 수분 함량이 적은 경

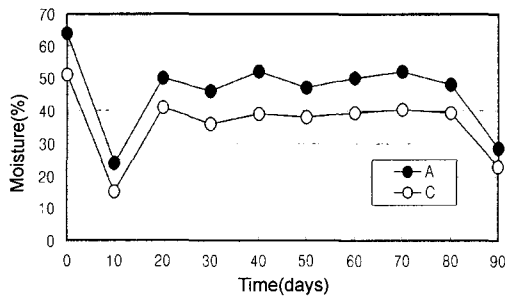


Fig. 3. Relationship between moisture contents and reaction time.

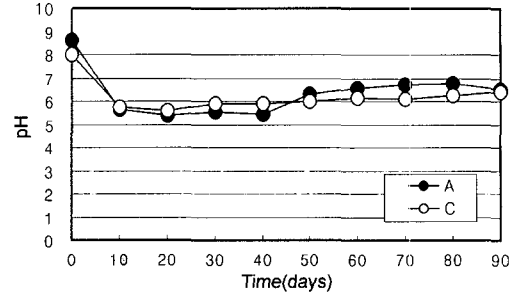


Fig. 4. Relationship between pH and reaction time.

우에는 생물반응이 일어나고 있는 시료의 조기 건조가 원인이 되어 물리적으로는 안정적이나 생물학적으로는 불안정하게 되나 장치를 사용하여 퇴비화 할 경우에는 영향이 별로 없다고 하였다. 퇴비화 반응시작 80일 후에는 수분함량이 급격하게 20~30%로 감소하여 퇴비화 반응이 숙성단계로 진입한 것으로 생각된다. 퇴비화 과정에서 pH 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4를 보면 퇴비화 초기에는 pH 값은 8~9로 상승했다가 반응시작 10일 이후에는 감소하였으며 그 후에는 서서히 증가하여 최종에는 6~7이 되었다. A, C 시료간에는 pH의 차이가 크지 않았으나 A 시료는 C 시료에 비해 pH 값이 작은 쪽으로 변화가 있었다. 이것은 시료에 함유된 돈분, 석고, 석탄회의 상호작용에 의하여 물질간의 생물화학적 반응때문인 것으로 생각되나 석고의 영향이 클 것으로 생각된다. 이것은 돈분 퇴비화시 화학적 물성변화에 대한 Tiquia의 연구에서 제시한 pH 변화와 유사한 결과를 나타내었다.⁶⁾

3.2. 질소함량의 변화

퇴비화 기간중 시간 경과에 따른 시료중에 함유된 암모니아성 질소 농도 변화를 Fig. 5에 도시하였다.

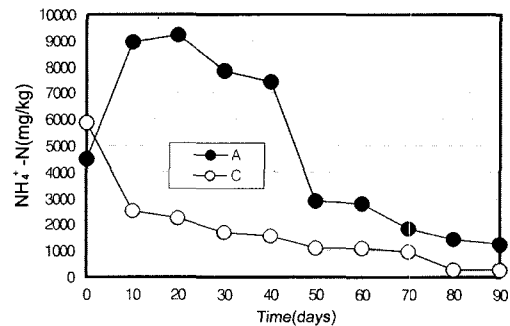


Fig. 5. Changes in concentration of ammonium nitrogen.

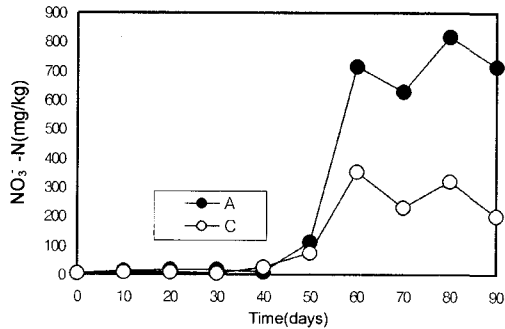


Fig. 6. Relationship between concentration of nitrate and reaction time.

Fig. 5 를 보면 A 시료는 반응개시 후 20일까지는 암모니아성 질소농도는 계속 증가하였으나 그 이후부터는 서서히 감소하여 50일 이후에는 3000 mg/L 이하로 감소하였으나 C 시료는 반응 개시 10일 이후부터 계속하여 감소하였다. 이것은 퇴비화 시작 50일 후에는 반응온도가 50~60°C 이고 pH 6.0~6.4 이었던 것을 고려해 보면 A, C 시료에서는 반응시작 50일 후 암모니아성 질소가 질산화 과정에 의하여 질산성질소로 전환되어 암모니아성 질소 농도가 감소한 것으로 생각된다. 퇴비화 기간중 질산성질소 농도변화를 Fig. 6 에 도시하였다.

Fig. 6 을 보면 돈분과 톱밥만으로 이루어진 A 시료와 석고와 석탄회를 첨가한 C 시료에서 반응시작 40일까지 질산화는 미미하였으나 50일 이후에는 C 시료보다 A 시료가 질산화가 활발히 진행되어 질산성 질소의 농도가 증가하였다. 질산화 반응은 생물반응으로서 유기물을 많이 함유하고 있는 A 시료에서의 질산화 반응이 C 시료에서 보다 효과적으로 진행되었다고 생각된다. 퇴비화 기간중 총 질소농도 변화를 Fig. 7 에 도시하였다.

Fig. 7 을 검토하여 보면 총 질소는 실험 개시 후 10

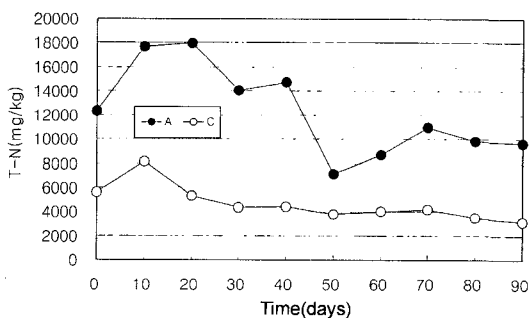


Fig. 7. Relationship between total nitrogen concentration and reaction time.

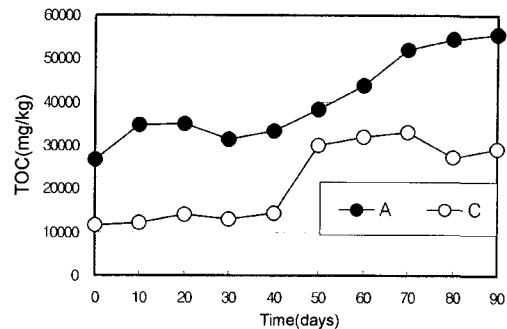


Fig. 8. Relationship between TOC and reaction time.

일까지는 A, C 시료 모두가 증가하였으나 A 시료는 20일 이후에 C 시료는 10일 이후에 서서히 감소하였다. 총 질소 농도는 시간이 경과함에 따라서 A 시료는 급격하게 C 시료는 서서히 감소하여 반응시작 80일 이후에는 안정되었으며 A, C 시료의 총질소 농도는 약 10000, 3000 mg/Kg 이었다.

3.3. TOC 농도변화

퇴비화 기간중 A,C 시료중에 함유된 총 유기탄소 (TOC) 농도를 측정하여 반응시간 경과에 대한 TOC 변화를 Fig. 8 에 나타내었다.

Fig. 8 을 보면 반응시작 50일까지 A, C 시료중에 TOC 농도는 증가하였으나 50일 후 A 시료중의 TOC 는 급격히 증가한 반면 C 시료중의 TOC 는 큰 변화가 없었다. 유기물 성분이 풍부한 A 시료가 반응시작 50일 후 TOC 농도가 증가한 것은 돈분과 톱밥 성분이 분해했기 때문인 것으로 생각된다. 한편 유기물 성분이 상대적으로 적은 C 시료는 A 시료보다 TOC 농도 증가율이 저조하였다.

3.4. 양이온 교환능 (CEC)

퇴비화 기간중 시간의 경과에 따른 양이온 교환능을 측정하여 반응시간 경과에 따른 CEC 변화를 Fig. 9 에 나타내었다.

Fig. 9 를 보면 반응 시작 90일 경과후 돈분과 톱밥만으로 이루어진 A 시료의 CEC는 50 meq/100 g 이었으나 석고와 석탄회가 첨가된 C 시료는 33 meq/100 g 이었다. CEC는 유기물 성분이 풍부한 A 시료가 상대적으로 유기물 성분이 부족한 C 시료보다 증가하였다. Harada⁸⁾등은 CEC가 60 meq/100 g 이상이 되면 속성도는 최저치라고 하였다. 이것을 기준으로 한다면

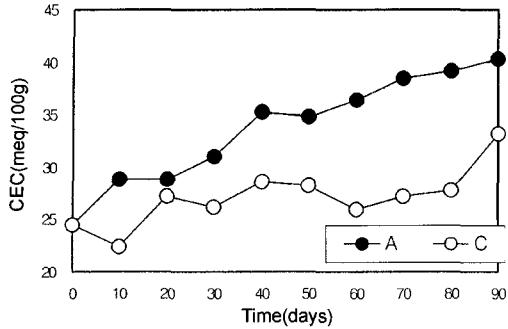


Fig. 9. Relationship between CEC and reaction time.

반응시작 90일 후에 A, C 시료의 CEC가 40,33 meq/100 g 이었으므로 충분히 숙성된 퇴비라고는 할 수 없다. 그러나 돈분 퇴비화 과정에서 석고와 석탄회는 첨가제로서의 역할을 할 수 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

실험에 사용한 A 시료(PM : SD=6 : 4)와 C 시료(PM : SD : GS : CFA=6 : 2 : 1 : 1)를 사용하여 퇴비화 실험결과 A, C 시료의 초기 수분함량은 64, 50% 이었고 온도, A 시료와 비교했을 때 pH 값은 큰 차이는 없었으나 A,C 시료의 최종 TOC는 약 5550, 2900 mg/kg로서 C 시료가 낮았다. A, C 시료간의 양이온 교환능은 크게 차이는 없었으나 CEC 값으로 보아 숙성에 더 많은 시간이 필요할 것으로 생각된다. 따라서 전체적으로 종합하여 볼 때 돈분 퇴비화 과정에서 석고와 석탄회는 첨가제로서의 역할이 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. M. Imbeah : "Composting piggery waste : A Review, Bioresources Technology, 63, 197-203 (1998).
2. 진양오, 박승조 : "양돈폐수중에 함유된 암모니아성 질소 제거", 한국폐기물학회지, 17(7), 856-861 (2000).
3. 남해화학 : "석고 석탄회의 농업적 대량활용 기술개발". 1-2 (2000. 3).
4. 농촌진흥청농업과학기술원 : "친환경 농업을 위한 가축분뇨 퇴비 액비제조와 이용", 59 (1999. 12).
5. APHA, AWWA and WPCF : "Standard Methods for Examination of Water and Waster", 19th ed., Washington, D.C., USA (1995).
6. S. M. Tiquia, N. F. Y. Tam, and I. J. Hodgkiss : "Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents", Agriculture, Eco-systems and Environment. 67, 79-89 (1998).
7. M. Bertoldi : "The biology of composting, Waste Manage", Res. 1, 157-176 (1983).
8. Y. Harada, A. Inoko, M. Tadaki and T. Izawa : "Maturing process of city refuse compost during piling", Soil Sci. Plant Nutr. 27, 357-364 (1981).



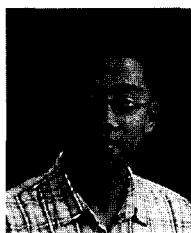
金正燮

• 동아대학교 환경공학과 대학원 석사 과정 재학중



劉賢哲

• 동아대학교 환경공학과 대학원 석사 과정 재학중



郭明和

• 동아대학교 환경공학과 대학원 박사 과정 재학중

李熙寅

• 서울대 농대졸
• 금륜 고분

朴勝祚

• 本學會志 第9卷 6號(2000년 12月) 14page 參照
• 현재 동아대학교 환경공학과 교수