

총진재의 생분해도가 돈분 퇴비화 효율에 미치는 영향에 관한 연구

김성균 · 최경호 · 정문식
서울대학교 보건대학원

A Study on the Effect of the Biodegradability of the Composting Bulking Agent in the Swine Manure-Composting

Sung-Kyoon Kim, Kyung-Ho Choi and Moon-Shik Zong
Department of Environmental Health, School of Public Health,
Seoul National University

ABSTRACT

A study on the effect of the biodegradability of the composting bulking agent in the swine manure-composting was carried out in a batch system. The purpose of this study is to prove the effect of the biodegradability of the composting-bulking agent on the efficiency of the composting. In this study, it is the lignin_s : Klason-Lignin in the volatile solid that the index of the biodegradability of the composting-material mixes which are pig manure-rice straw; pig manure-sawdusts; pig manure-mixture of rice and ricestraw (2:1); pig manure-mixture of rice and sawdust (1:1). It was carried out in the same condition (moisture contents, air supply rate, C/N ratio, initial input weight, porosity-structure) except the biodegradability of the raw material mixes. One of the results from this study is that the biodegradability of the bulking agent in the sense of the VS lignin content is not an insignificant factor in composting reaction. The less contents of the lignin in VS, the more efficiencies of the composting reaction in use of these parameters for the degree of the reaction : temperature, the trends of the ash contents, the change pattern of the C/N ratio. Under some assumptions, it is able to induce rough model on the relation of the VS lignin contents with the efficiency of the degradability. In this model, the biodegradability of the bulking agent is not an insignificant factor ; however, it is flexible within some degrees of range.

Keywords : Composting, Bulking agent, Biodegradability, Porosity, Lignin

I. 서 론

퇴비화(composting)¹⁾²⁾란, 음식물이나 가축의 분뇨등 고난위 유기물을 박테리아의 이화 및 동화작용으로 감량화·안정화시키는 전체공정을 말한다. 현재 퇴비화는 주로 음식물 쓰레기의 관리 대안으로 연구 및 실용화 단계에 있고, 축산 및 제지공장의 폐기물에 대한 처리에 응용하기 위한 연구도 활발히 진행되고 있다. 현재 퇴비화를 이용한 유기성 폐기물의 처리는 구미 선진국 등지에서는 이미 실용화 단계에 접어들었지만 우리 나라에서 발생하는 폐기

물의 특성상 우리 실정에 맞는 처리방안이 연구되어야 할 필요성이 있다.

퇴비화 반응은 미생물학적인 반응이기에 온도, 수분, 입도(particle size), 공기 공급량, C/N비, pH 등의 요소에 영향을 받고 있다. 지금까지 알려진 적정 퇴비화 초기조건으로 퇴비화 대상물질(raw material mixes)의 C/N비가 25~30, 수분함량은 50~60% 등으로 알려져 있는 한편, 탄소원(carbon source)의 분해도가 낮은 경우 C/N비를 상향 조정할 필요가 있다고 알려져 있다. 특히, 유기성 폐기물 자체의 C/N비가 7~14 정도로 낮고 수분함량도 높기 때문

에 미생물이 활동하기에 부적절하다. 이를 위해 소위 충전재(bulking agent)을 적절히 첨가하여 퇴비화반응의 초기조건을 맞추어 그 처리효율을 높이고 있다.⁴⁾

충진재는 유기탄소의 비율을 높여 C/N비를 개선하고, 수분흡수와 구조성 유지를 통한 공극확보의 기능을 한다. 현재까지 C/N비 및 충전재 첨가의 영향에 관하여 많은 연구가 진행되어졌으나, 충전재 첨가로 인한 반응항상이 통기성의 조절에 기인하고 있는지, 혹은 탄소첨가에 그 원인이 있는지가 아직 밝혀지지 않고 있으며, C/N비의 영향에 있어서도 첨가물질의 생분해도에 따라 적정치에 차이가 있으므로 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.⁵⁾

충진재의 재료로는 다양한 물질들이 사용되고 있으나 현재 우리 나라에서 주로 사용되고 있는 충전재는 톱밥과 볏짚, 왕겨 등이며 이외에도 나무조각 등도 활용되고 있고, 최근 신문에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.⁶⁾ 여기서 주목할 만한 것은 퇴비화에 이용되는 물질들의 다양한 생분해성에 있다. 음식물 및 가축분(家畜糞) 등 퇴비화 원재료 뿐만 아니라 충전재로 사용되는 것의 생분해도 역시 다양한 스펙트럼을 보이고 있다.

본 연구에서는 퇴비화 충전재가 영양원으로서의 기능을 함과 동시에 구조성 확보의 기능도 한다는 가정에서 출발한다. 즉, 충전재는 C/N비를 개선시킴으로써 미생물의 탄소원(C-source) 제공의 기능을 함과 동시에 구조성 확보로써 원활한 산소공급을 가능케 하는 이중 기능을 하는 것이다. 퇴비화에 있어 공극의 확보는 구조성 확보의 개념과 같다고 할 수 있다. 그래서 다음과 같이 실험 설계를 하였다. 즉, 서로 다른 생분해도를 갖는 충전재를 첨가하여 퇴비화를 진행시키되, 퇴비화 대상물질(raw material mixes)의 구조성을 같은 조건으로 맞추고, 일반적으로 알려진 적정 수분함량 및 적정 C/N비에서 반응을 진행시킴으로써 충전재의 생분해도가 퇴비화 반

응에 유의한 차이를 주는 요인인가 하는 점을 구명하고자 한다. 흔히 사용되는 충전재를 같은 조건에서 투입함으로써 서로 다른 반응 효율을 나타낸다면 퇴비화에 있어 충전재의 생분해도는 무시할 수 없는 요인(factor)이며 생분해도를 감안한 C/N비를 찾기 위한 노력을 기울여야 할 것이다. 역으로, 흔히 사용되는 충전재들 간의 생분해도가 퇴비화 효율에 큰 영향을 미치는 것이 아니라면, 우리는 기존의 적정 C/N비보다 구조성 확보의 측면에 연구를 더 기울여야 할 것이다. 본고는 이런 충전재의 이중 기능에 대한 연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

II. 실험내용 및 방법

실험에서 살펴보고자 한 것은 돈분을 퇴비화 시킴에 있어 서로 다른 리그닌 함량을 갖는 충전재를 각각 투입하였을 때, 반응효율이 유의한 차가 나타나는가 하는 것이다.

1. 실험 재료

돈분은 서울대 부속 실험목장의 일반 돈사에서 신선분을 채취하여 사용하였으며, 쌀밥은 일반미를 사용하여 익힌 것을 햇빛에 건조 후 사용하였다. 볏짚은 가축사료로 쓰이는 것을 역시 서울대 실험목장에서 취하였고, 톱밥은 서울대병원 근처의 한 목공소에서 소나무를 가공하고 나온 것을 취하여 이용하였다. 실험에 사용된 물질의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

2. 반응조의 초기 조건

4개의 반응조를 준비하여 생분해도가 서로 다른 퇴비화 대상물질이 각각 들어가게 하고, 각각의 C/N비를 25, 수분함량 60%, 공기공급량 0.4Lpm/kg_d, 공극률 0.85~0.90을 초기조건으로 하여 3주간 반

Table 1. The physicochemical properties of the raw material*

Material	MC (%)	C (%)	N (%)	C/N	VS (%)	Ash (%)	Density (g/cm ³)
Pig Manure	69.70	45.00	2.97	15.15	80.90	19.10	0.96
Rice Straw	9.50	48.74	0.89	54.76	87.70	12.30	0.07
Sawdust	8.20	55.19	0.08	726.16	99.30	0.70	0.05
Cooked Rice	62.10	55.30	1.24	44.60	99.50	0.50	0.70
Polyethylene Straw	0.30	100.00	-	-	99.40	0.60	0.10

MC : Moisture Content, VS : Volatile Solid

*raw material : the elementary material constituent of the composting reaction

응을 진행시켰으며 반응 1주 동안에는 주 2회, 이후 주 1회 보정(calibration)을 실시하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 반응조를 나타낸 것이다.

반응조는 두께 1.5, 외경 25, 높이 30 (단위 : cm)의 속빈 원주형 투명 아크릴을 가공하여 사용하였으며, 반응조 아래위로 공기의 분산을 유도하기 위해 공기실을 마련하였고 스티로폼으로 단열하였다.

충진재로는 단일 볏짚과 단일 톱밥 및 혼합충진재(쌀밥을 볏짚과 톱밥으로 각각 2대 1 및 1대 1로 섞은 것)를 사용하였으며, 신속하고 효율적인 반응을 위해 본 실험과 유사한 초기조건에서 3주간 실시한 예비실험에서 얻은 반송 퇴비를 사용하였다. 각 충진물질은 1~2cm 이하의 길이로 잘라 투입하였다. 볏짚과 톱밥을 사용한 이유는 많이 사용되는 퇴비화 충진물이기 때문이었고, 쌀밥을 사용한 이유는 탄소원으로 기능하면서 생분해도가 높은 물질이라는 실험적인 편의 때문이었다. Table 2와 Table 3은 실험에 사용한 혼합비와 충진재 및 공극률을 나타낸 것이다.

한편, 각 반응조의 공극(porosity)을 일정하게 맞추어 주기 위해, 폴리에틸렌 재질의 빨대(지름 : 0.5

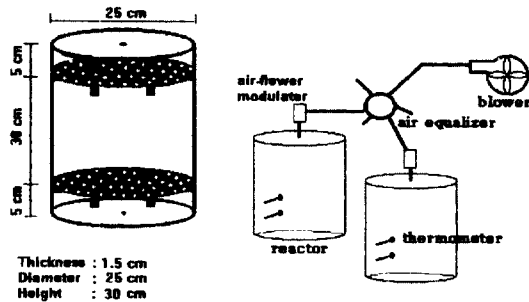


Fig. 1. The scheme of the reactor

Table 2. The recipes of the reactors

No. React	Mixing Weigh ^a (g)						C/N Ratio	MC (%)	net Wt. ^b (g)	Po
	PM	RS	SD	CR	Seed	PE				
1	350.0	386.0			74.0		26.7	53.1	681.2	0.88
2	420.0		231.0		65.0		26.7	59.1	689.5	0.90
3	390.0	152.0		304.0	85.0	360.0	25.3	55.3	788.5	0.87
4	390.0		147.0	147.0	68.0	82.9	24.8	57.4	717.6	0.86

PM : Pig Manure, RS : Rice-Straw, SD : Sawdust, CR : Cooked Rice, PE : Polyethylene Straw, MC : initial Moisture Content (The MC was adjusted to 60% in the next day), net Wt. : initial net weight of compost material, Po : Porosity,

^aThe Mixing Weight is on the basis of dryness. ^bThe Net Weights are also on the basis of dryness; however, they are the quantities which are actually taken into the reactors from primary mixture with the mixing ratio of the Mixing Weight.

cm)를 0.7 cm 정도로 썰어 투입하였다. 공기공급은 송풍기(blower)를 사용하여 교반 및 시료채취하는 시간 이외에 연속적으로 공급하는 방식을 취하였다. 또 반응조 내부의 반응을 균질화시키고 고른 산소공급을 위한 목적으로 실시하는 교반(turn-over)은 매일 1회씩 손으로 충분히 실시하였다.

3. 측정 항목 및 분석 방법

1) 공극률 결정방법

각 반응조의 초기 조건을 동일한 조건에서 이루어 지도록 공극도 비슷한 범위에 맞추기 위해 공극률을 측정하였다.

공극률은 총공극률 (total porosity fraction)을 사용했으며, 이것은 다음식에 의해 구해졌다.⁷⁾

$$\text{Total porosity} = 1 - \frac{\text{bulk density}}{\text{particle density}}$$

일반적으로 유기물질의 입자밀도 (particle density)는 1.4이지만, 여기서는 Archimedes의 원리를 이용하여 직접 측정하였다.⁸⁾

2) 매일 측정 항목

매일의 반응 양상을 파악하기 위해 다음과 같은 항목을 측정하였다.

Table 3. The porosity of the material of the reactors

No. of Reactor	Particle Density (g/cm ³)	Bulk Density (g/cm ³)	Porosity
1	1.44	0.17	0.88
2	1.33	0.13	0.90
3	1.07	0.17	0.87
4	1.15	0.19	0.86

* Total porosity : 1-(bulk density/particle density)

① 온도 : 1일 3회 6시간 간격으로 반응조의 측면 2지점에서 측정, 평균하여 사용하였다.

② 수분함량 : 폐기물 공정시험법에 준하되 10 g이상의 습윤 상태의 시료를 취해, 교반 한 후 여러 군데에서 취하여 섞어 측정했으며 110°C로 조절된 오븐(Thelco[®], Precision Scientific Co.)을 이용하였다.

③ 회분함량 : 폐기물 공정시험법에 준하되 시료는 1 g 이상을 취하여 전기로(Dongyang Scientific Co.)를 사용하였으며, 채취한 시료는 200 mesh이하로 갈아 균질화(homogenization) 시켜 사용했다.⁹⁾

④ TOC (total organic carbon) 함량 : 회분함량을 구하여 다음 식을 이용하였다.¹⁰⁾

$$\text{Total Organic Carbon} = \frac{1 - \text{ash fr.}}{1.8}$$

3) 주 1회 및 최초·최종 시료의 측정 항목

주 단위로 반응이 진행되는 것을 C/N비 감소로 살펴기 위해 고형물의 TKN과 유기탄소 함량을 측정했으며, 원재료 및 초기·최종 시료의 생분해도 측정을 위해 리그닌 함량을 측정하였다.

① TKN(total Kjeldahl nitrogen) : Standard Method에 준하여 semi-micro Kjeldahl법을 이용하였다.¹¹⁾

② 리그닌(lignin) 분석방법 : Klason법

리그닌 분석을 위해 분쇄기(milling machine)로 입자의 평균 크기가 1 mm이하로 거칠게(coarsely) 같고, 180 mesh체로 쳐서 통과하지 않는 것을 이용하여 72%황산으로 4시간 처리하고, 이후 3%로 희석하여 4시간 가열하는 방식으로 Klason법에 준하여 실시하였으되 180 mesh의 스테인레스 철망을 여과 장치에 설치한 뒤 감압 여과하고, 8시간 이상 건조시킨 다음 잔사의 무게를 측정하고 다시 이 filter와 잔사 복합체를 600°C 전기로에서 측정한 회분함량을 제하여 구하였다.^{12,13)}

4) 자료의 분석 방법

대부분의 실험 자료는 3회 이상 반복 측정하여 이상치(outlier)로 판정된 것을 버리고 평균하여 사용하였으며, 통계처리 및 분석 프로그램으로는 Origin(MicroSoft, 3.0)과 SPSS ver 7.0을 사용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

일반적으로 생분해도는 리그닌 함량으로 결정된

다.¹⁴⁾ 일찌기 Chandler 등은¹⁵⁾ 메탄생성에 관한 연구를 하면서 유기물의 리그닌 함량으로 그 생분해도를 예측하는 모델을 개발한 바있다. 이것은 다양한 재료를 사용하고 많은 사례(case)를 통해 산출해낸 회귀함수(Regression function)이지만, 혐기성 상태에서 90일간 반응시킨 것이기에, 일반적으로 3주 이내에 호기성 상태로 진행되는 퇴비화 반응에 적용하기는 적절치 못하다고 사료된다.

충진재가 퇴비화 효율에 미치는 영향에 관한 기존의 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Nakasaki 등은¹⁶⁾ 주방 쓰레기(garbage)를 대상으로 쌀밥의 투입량을 다르게 하여 C/N비 13.9, 22.4, 30.9 등으로 조절하여 1주간 실험하였는데, C/N비 22.4로 맞춘 것이 탄소의 전화율(final conversion)이 가장 좋았으며, 과도한 쌀밥을 첨가한 것(C/N비 30.9)은 반응을 저해한다는 결과를 얻었으며, 약간의 이분해성(easy-degradable) 물질의 존재가 퇴비화 효율을 증대시킨다는 결론을 내렸다.

신 등은¹⁷⁾ 음식물 쓰레기에 쌀밥과 같이 생분해도가 높은 물질을 첨가하여 퇴비화 반응을 시키면서 최적C/N비가 20.9임을 확인하였지만, 톱밥과 같이 생분해도가 낮은 물질을 충진재로 쓸 경우에는 충진재의 투입량을 높여(물론 적정 수분함량의 범위 내에서) C/N비를 높여주어야만 반응이 향상된다는 결과를 얻었다. 그는 일반적으로 활용되는 충진재의 투입이 C/N비 개선의 효과보다 통기성 개선의 효과를 반영하는 것이라고 결론 내리면서, 일반적인 C/N비는 생분해성의 관점에서 재고될 필요가 있다고 지적하였다. 또한 충진재의 첨가율을 결정하는데는 문헌상의 최적 C/N비 값을 무조건적으로 참고하기보다 좀더 폐기물의 물리적 특성과 관련을 갖는 수분함량의 조절에 주목할 필요성을 제기하였다.

위의 신 등이 연구한 내용은 국내에서 본격적으로 충진재의 생분해도와 수분과의 관계를 구명하여 구체적인 혼합비 결정방법에 접근한 의의가 있다고 할 수 있겠다. 그러나 그의 연구는 생분해도가 높은 물질에서 산출해낸 적정 C/N비와 톱밥같이 생분해도가 떨어지는 충진재 투입에서(물론 적정 수분을 맞춘 조건에서 진행했지만) 얻은 적정 C/N비가 서로 차이나는 점에 대한 해석에 있어 몇가지 고려하지 못한 부분이 있었다고 사료된다. 과연 쌀밥만으로 C/N비를 맞추었을 때의 공극(porosity)과 톱밥을 넣었을 때의 공극이 서로 같았겠는가하는 점이다. 또 위의 Nakasaki 등의 연구 역시 공극(porosity)을

고려하여 실험하였다는 언급은 없었다. 상기 연구에서도 밝혀졌듯이 보다 효율적인 퇴비화를 위해 통상적으로 알려진 퇴비화 운전 C/N비와 생분해도를 고려한 C/N비와 구분할 필요가 있으며, 다양한 퇴비화 대상물질 및 충전재의 생분해도를 고려한 퇴비화 반응에 대한 연구가 필요하다고 하겠다.

본 연구에서는 생분해도의 지표로서 강열감량 (Volatile Solid : 이하 VS) 중 리그닌 함량으로 하였다. Table 4는 퇴비화 원재료 및 각 반응조의 초기시료의 리그닌 함량을 분석한 것이다.

퇴비화의 진행 정도를 보기 위한 지표로 온도와 회분함량의 증가추세를 살펴본 것은 Fig. 2와 Fig.

3과 같다.

실험기간 중 외기 온도는 $26.9 \pm 1.41^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지되었다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 리그닌 함량이 적은 3번과 1번 반응조의 온도가 상대적으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히 온도 증감곡선을 보면, 최초 반응일로부터 1주일 간의 적분값이 리그닌 함량이 적은 순서인 3번(261.35), 1번(234.84), 4번(227.86), 2번(213.25)의 순으로 나타나고 있고 50°C 이상의 고온 부위의 영역도 그 순서를 따른다는 것을 확인할 수 있다. 이로부터, 리그닌 함량이 적은 것일 수록 초기 분해가 빠르게 일어나 온도도 높이 상승하고 유지되나, 그 역인 경우 중온부위

Table 4. The contents of the VS and lignin_s of the material (initial condition)

		Ash (%)	VS (%)	Lignin Contents (%)	Ratio of Lignin_s/VS
Raw Material	Pig manure	19.10	80.90	37.12	0.459
	Rice-Straw	12.30	87.70	46.10	0.526
	Saw-Dust	0.70	99.30	72.04	0.725
	Cooked Rice	0.50	99.50	0.20	0.002
Reactor	1	14.90	84.50	41.83	0.495
	2	11.20	87.40	49.50	0.566
	3	12.20	88.80	25.47	0.287
	4	13.30	86.30	46.55	0.539

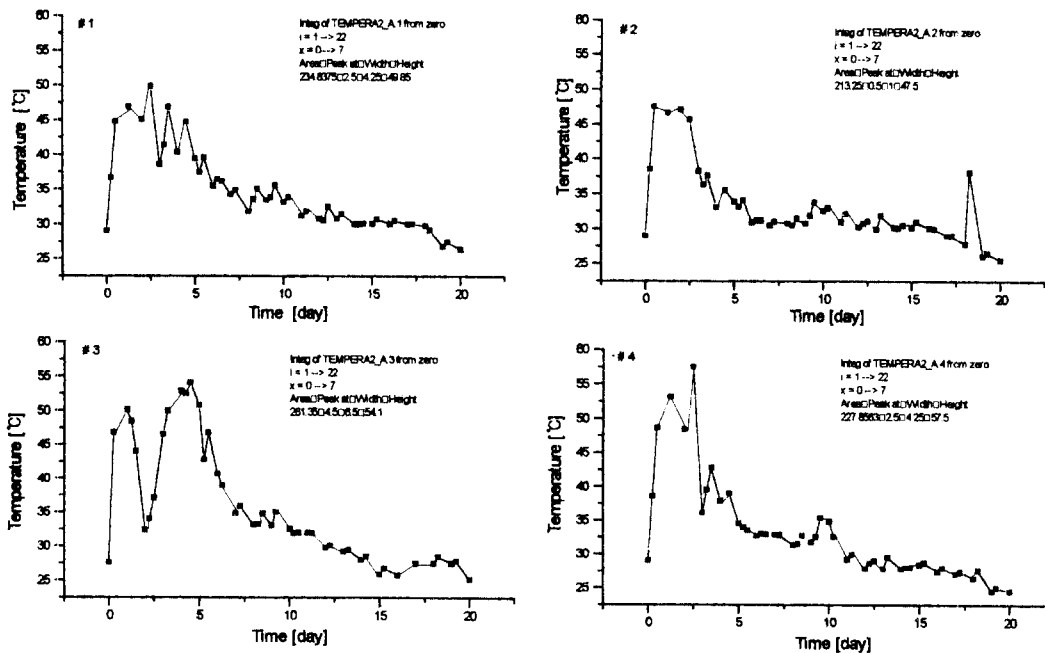


Fig. 2. The trends of the temperature of each reactor.

left top : reactor #1, left bottom : reactor #2, right top : reactor #3, right bottom : reactor #4

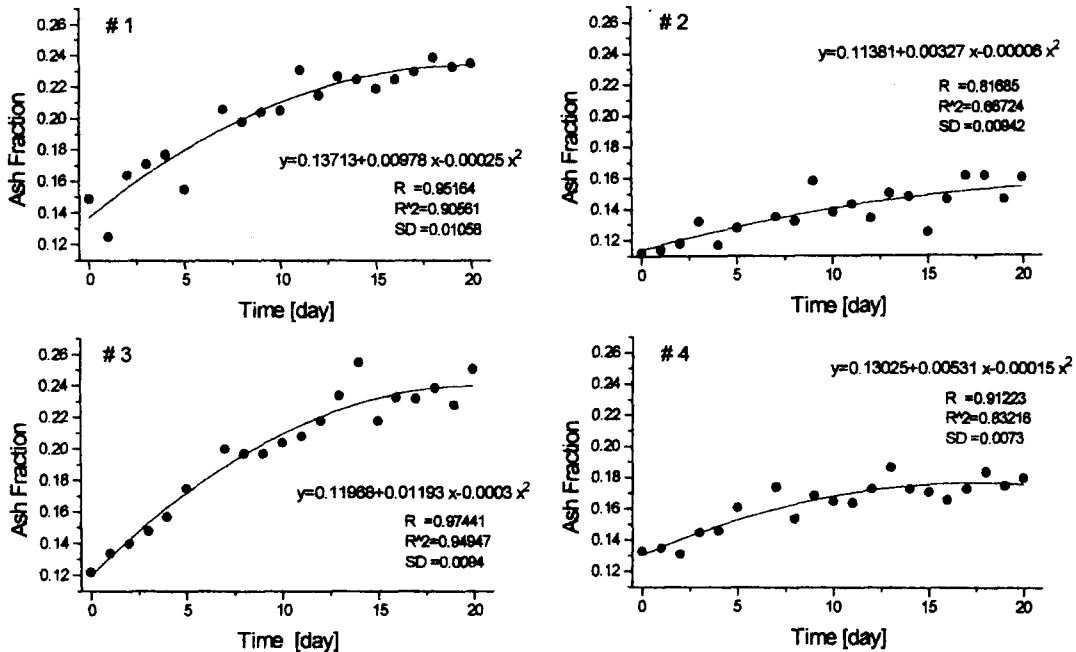


Fig. 3. The trends of the increased of ash contents of each reactor.

left top : reactor #1, left bottom : reactor #2, right top : reactor #3, right bottom : reactor #4.

가 반응 기간에 걸쳐 넓게 분포하고 있음을 알 수 있다. 이것은 리그닌 또는 리그노-셀룰로스의 분해가 반응후기에 천천히 일어나고 있음을 반영하는 것이다.

이와 같은 경향은 분해 가능한 유기물의 분해와 역상관의 관계에 있는 회분함량의 증가를 나타내는 Fig. 3에도 잘 나타나 있다.

한편, 회분함량의 증가 추세를 살펴보기 위해 다항 회귀(polynomial regression)분석을 실시하고 그 2차 항 계수의 절대값으로서 반응의 정도를 판단하였다.¹⁾ 역시 리그닌 함량이 적은 3번 반응조가 $2.95 \times E-4$, 1번 반응조 $2.48 \times E-4$, 4번 반응조 $1.51 \times E-4$ 등의 순이었으며, 리그닌 함량이 제일 많은 2번 반응조가 $0.63 \times E-4$ 으로 가장 낮게 나타났다.

다음은 C/N비이다. C/N비의 감소정도는 퇴비화 반응의 안정화 정도를 나타내 주는 수치로서 일반적으로 20이하면 부숙된 것으로 판정할 수 있다. 반응이 완결된 것의 C/N비가 15 이하이면 아주 좋은 것이지만, 비교적 부숙단계에 가까운 것도 C/N비가 20을 넘을 수 있다. 이것은 퇴비화 대상물질 중의 유기탄소 성분의 생분해도가 낮은 것이기 때문이다.¹⁰⁾ Fig. 4는 C/N비의 감소 추세를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 확인할 수 있듯이, 역시 리그닌 함량이 적은

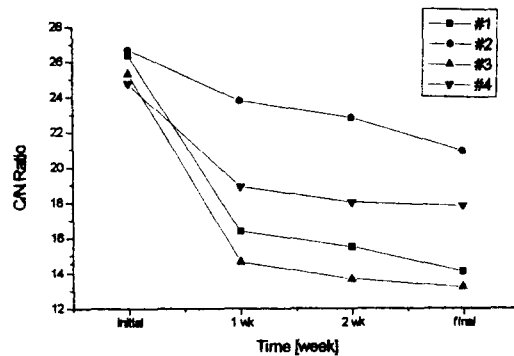


Fig. 4. The trend of decrease of the C/N ratios of each reactor.

3번과 1번 반응조가 반응초기 C/N비가 신속하게 떨어지고 이후 완만하게 감소하지만, 리그닌 함량이 많은 2번 반응조는 아주 완만하게 감소되고 있다. 4번 반응조의 초기 C/N비 감소가 2번의 그것에 비해 뚜렷이 차이나는 것은 반응초기에 쉽게 분해되는 쌀밥이 존재하기 때문으로 사료된다. 한편, Table 5의 최종 C/N비의 값을 보면 3번이 13.21, 1번이 14.08, 4번이 17.83, 2번이 20.90으로 나타났다. 색깔과 냄새등으로 미루어 볼 때, 4개 반응조 모두 반

Table 5. C/N Ratios and compost maturity

No. Reactor	Initial C/N Ratio	Final C/N Ratio	Final C/N Initial C/N
1	26.36	14.08	0.53
2	26.69	20.90	0.78
3	25.31	13.21	0.52
4	24.75	17.86	0.72

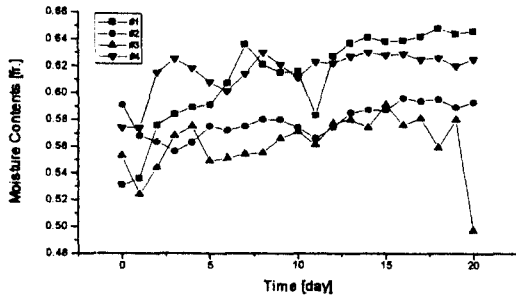


Fig. 5. The trends of the moisture contents of each reactors

응 2주 후부터는 부숙 단계에 있는 것으로 판단되어 졌으나 C/N비의 값이 이렇게 차이나는 것은 생분해도를 좌우하는 VS 중의 리그닌 함량에 때문임을 알 수 있다.¹⁹⁾

한편, Jiménez 등이¹⁶⁾ 120일간 퇴비화 하였을 때 (C/N Final)/(C/N Initial)의 비가 0.75미만이면 부숙된 것으로 볼 수 있다는 연구결과를 발표했는데 이에 비추어 보더라도 본 실험의 반응은 부숙 단계에 접어들거나 한참 진행된 것으로 볼 수 있다고 할 수 있겠다.

한편, 수분함량에 대한 것은 Fig. 5에 나타나 있다. 일반적인 퇴비화 반응에 있어 수분함량은 감소한다. 본 실험에서는 수분함량이 실험 기간내에 50~65%의 범위에서 유지되었으며, 조금씩 증가하는 추세를 보이고 있다. 초기 수분조건을 60%로 맞추어 주기 위해 반응개시 후 1일, 물을 공급한 뒤 추가적으로 물을 공급하지 않았는데에도 수분함량이 증가하는 것은 반응이 밀폐된 회분(batch) 시스템에서 이루어졌고, 퇴비화 반응에서 발생한 수분의 배출이 원활치 못했으며, 반응조가 위치한 장소의 공기가 높은 습도를 유지하여 송풍기를 통해 수분이 연속적으로 공급되었기 때문으로 사료된다. 퇴비화 반응기간 동안의 수분함량은 퇴비화 반응에 관여하는 미생물의 활동에 적절한 적절한 수분함량이었다.⁴⁾

수분함량이 일정하게 유지되고 통기성도 일정하게

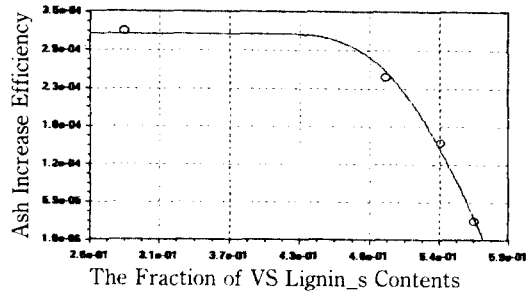


Fig. 6. The relation of VS solid lignin_s content with the efficiency of degradation

유지시킨 조건에서 생분해도를 다르게 조성하여 반응시킨 퇴비화 반응을 종합적으로 고려해 볼 때, 다음과 같은 관계를 유추해 낼 수 있었다. Fig. 6은 VS의 리그닌 함량과 회분함량의 증가 곡선의 기울기 (gradient)를 나타낸 그래프이다. 실험에 투입된 사례 (case) 수가 단지 4개 밖에 안되기 때문에 회귀분석을 하는 것에 큰 의미 부여를 하기 어렵지만, 개괄적인 추세를 살펴 두 변수간의 상관관계를 보고자 하였다. 회귀 모델에서 사용한 함수는 Weibull Model이었다.

$$Y = a - be^{-cx^a} \quad Y : \text{gradient of ash increase} \\ X : \text{VS Lignin}_s \text{ content}$$

Fig. 6을 보면 VS내 리그닌 함량이 어느 정도(대략 VS의 45% 까지) 증가하더라도 퇴비화 효율에는 큰 영향을 미치지 않는다는 가설을 유도할 수 있다. 즉, VS 중의 리그닌 함량이 증가할 수록 유기물의 분해 정도는 떨어지지만, 리그닌 함량은 어느 정도까지는 퇴비화 효율에 큰 영향을 주지 않는다는 것이다. 하지만 추후 더 많은 사례에 대한 연구가 반드시 필요하다고 할 수 있겠다.

한편, Nakasaki 등¹⁶⁾과 신 등¹⁷⁾의 연구에서 과도한 이분해성 탄소원(easy-degradable C-source)을 첨가하면 오히려 반응을 저해한다고 했지만 본 연구에서 공극(porosity)를 동일하게 제어하고 실험하였을 때, 쉽게 분해되는 물질의 양이 많을 수록 퇴비화 효율이 잘 일어남을 관찰할 수 있었다.

IV. 요약 및 결론

퇴비화 물질의 생분해도가 퇴비화효율에 미치는 영향을 고찰하기 위해, 1996년 9월 2일부터 동년 9월 22일까지, 돈분을 퇴비화 대상으로 하고 충전재로서 벗짚과 톱밥 그리고 인공 충전재 (쌀밥과 벗짚

의 2:1 혼합물, 쌀밥과 톱밥의 1:1 혼합물)를 넣어 각각의 생분해도를 다르게 하여, 수분함량, 공극률, 공기공급량, 초기 투입량, C/N비 등을 동일하게 조성하여 3주간 반응을 진행시켜 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 퇴비화 대상물질 (raw material mixes)의 생분해도는 자체내의 VS함량 중의 리그닌(lignin)함량에 의해 결정된다고 가정하고, 서로 다른 생분해도를 갖는 충전재를 사용하여 돈분 퇴비화를 진행시켰을 때, '온도증감 추이', '회분함량 증가추세', 'C/N비 감소 추세' 등에 있어 뚜렷한 차이가 존재하며, 리그닌 함량이 적은 물질일 수록 퇴비화 효율이 좋은 특성이 있음을 관찰할 수 있었다.

2. 반응의 최종 C/N비와 초기 C/N비를 분율(fraction)로 나타내어 부숙(maturity) 정도를 판정해 볼 때, 3주의 반응으로 상당한 부숙효과를 볼 수 있었다.

3. 퇴비화에서 충전재의 생분해도는 무시할 수 없는 요소이나 일정범위에서 리그닌 함량을 조절할 경우, 결정적인 제한 요인(critical factor)으로 작용하지 않는다.

퇴비화 반응 효율을 회분함량의 증가에 대한 회귀모델링을 실시했을 때, 2차식으로 회귀함을 볼 수 있었으며, 2차항의 계수로써 효율을 평가하였을 때, VS 내의 리그닌 함량을 독립변수로 하여 추이를 살펴보면, 리그닌 함량이 적을 수록 반응효율이 좋으나 퇴비화 대상물질(raw material mixes)의 리그닌 함유량이 VS 중 45%에 이를 때까지, 퇴비화 효율에 큰 영향을 주지 않는다는 가설을 얻었지만, 보다 정교한 모형(model)을 산출해 내기 위해 다양한 사례에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

4. 본 연구에서는 공극을 일정한 범위에 들도록 고정시킨 상태에서 충전재의 생분해도를 연구한 것이기 때문에 충전재 투입에 의한 퇴비화 효율에 있어 공극이 변수로 작용할 경우에 대한 연구가 필요하다.

5. 이전의 연구에서와는 달리, 퇴비화 대상물질 (raw material mixes)의 공극(porosity)을 동일한 조건으로 제어하여 실시할 경우, 쉽게 분해되는 물질이 많을 수록 퇴비화 효율은 증가하였다.

참고문헌

- 1) 환경부 : 환경백서, 284-292, 439-442, 517-520, 1996.
- 2) 한신호, 정영륜, 조천희, 강문희, 오세균 : 제지슬러지의 퇴비화를 위한 반응변수 연구. 한국 유기성폐기물 자원화 협의회 2(2), 19-30, 1994.
- 3) 농림수산부 : 축산분뇨처리사업 기술교본, 농림수산부, 19-28, 1995.
- 4) Robert Rynk, Maarten van de Kamp, George B. Wilson, Mark E. Singley, Tom L. Richard, John J. Kolega, Francis R. Gouin, Lucien Laliberty Jr., David Kay, Dennis W. Murphy, Harry A.J. Hoi-tink, William F. Brinton : On-farm Composting Handbook, Northeasth Regional Agricultural Engineering Service 54, 6-11, 1992.
- 5) 한국 폐기물 학회 : 폐기물처리기술과 재활용. 한국폐기물학회, 동화기술, 서울, 387-428, 1995.
- 6) 정문식, 박석환, 최경호, 양원호, 강주원, 손현석, 김성균, 박지영 : 돈분과 폐지류의 혼합물 퇴비화에 있어서 공기공급량이 퇴비화효율에 미치는 영향. 한국환경위생학회 22(2), 58-68, 1996.
- 7) Martin R. Carter : Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Pub. Boca Raton. 536. 1993.
- 8) C.A. Black, D.D. Evans, L.E. Ensminger, J.L. White, F.E. Clark : Methods of Soil Analysis. 5th-ed. Part 1. American Society of Agronomy, Inc., Pub. Madison, 371-373, 1979.
- 9) 환경부 : 수질오염. 폐기물 공정시험법, 3판, 동화기술, 496, 1995.
- 10) 노재성, 강호, 홍성수, 이상운, 이병재 : 무기계 고형 폐기물을 수분조절재와 탄소공급원으로 한 축분의 퇴비화에 관한 연구. 한국폐기물학회지, 11(3), 388-397, 1994.
- 11) Andrew D. Eaton, Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg : Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 19th-ed. American Public Health Association. New York, 1995.
- 12) 일본목재학회, 박상진, 이종윤, 조남석, 조병목 共譯 : 목재과학실험서. 광일문화사, 서울, 480-481, 1993.
- 13) 맹원재, 신형태, 윤광로, 김대진 : 사료분석실험, 재판, 선진문화사, 서울, 155-174, 1996.
- 14) George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel Vigil : Integrated Solid Waste Management. International Editions, McGraw-Hill, Inc., New York, 88-89, 1993.
- 15) Jeffrey A. Chandler, William J. Jewell, James M. Gossett, Perer J. Vansoest, James B. Robertson : Predicting Methane Fermentation Biodegradability. Biotechnology and Bioengineering Symp. John Wiley & Sons, Inc. 10, 93-107, 1980.
- 16) Kiyohiko Nakasaki, Hideki Yaguchi, Yasushi Sasaki, Hiroshi Kubota : Effects of C/N Ratio on Thermophilic Composting of Garbage. Journal of Fermentation and Bioengineering 73(1), 43-45, 1992.
- 17) 신항식, 황응주, 정연구 : 음식쓰레기 퇴비화시 bulk-ing agent의 적정 첨가량 결정에 관한 연구. 한국 유

- 기성 폐기물 자원화 협의회 2(1), 75-86, 1994.
- 18) Emererio I. Jim mez, Victor P. Garcia : Evaluation of City Refuse Compost Maturity : A Review. Biological Wastes 27, 115-142, 1989.
- 19) 축협중앙회 : 퇴비화시설의 설계, 축산업협동조합중앙회, 55-58, 1994.