

## 음식쓰레기 퇴비화 과정에서 석탄회 첨가 효과

성순희 · 김우성 · 서정운

### Effects of Coal Fly Ash on Composting Process of Household Garbage

Soon-Hee Seong, Woo-Seong Kim, Jeung-Yoon Seo

Because of the high water content of the household garbage, it is difficult to compost it. Therefore, this study was conducted to investigate the possibility of using coal fly ash as humidity conditioner for the household garbage composting. The summarized results are as follows :

1. The maximum temperatures were 35°C in spring, 47°C in summer, and 43°C in winter during the composting periods.
2. The mass was reduced to 70.5% after 60 days. The average volume reduced down to 74.7% after 60 days.
3. The seasonal variation of pH values showed a similar tendency and reached 8.5 after 60 days.
4. The water content was reduced at an early stage of composting and not much changed thereafter. It had 49.7% in spring, 33.9% in summer, and 56.5% in winter after 60 days. Ash contents were not much changed during the composting periods.
5. The contents of inorganic compounds were in the range of 0.06~4.03% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.01~2.87% CaO, 0.18~1.43% MgO, and 0.39~2.03% K<sub>2</sub>O. Heavy metal contents were in the range of ND~14.08 Hg µg/kg, ND~0.80 Cd mg/kg, 4.99~28.95 Cu mg/kg, ND~242.62 Cr mg/kg, ND~20.24 Pb mg/kg, and ND~59.87 Zn mg/kg.

## 서 론

우리나라의 음식 쓰레기는 외국의 음식 쓰레기와는 달리 약 80% 이상의 수분을 함유하고 있어 수분조절 없이 원활한 퇴비화를 기대하기 어렵다.

최근 발표된 석탄회(Coal Fly Ash)의 농업적 이용에 관한 연구 결과에 의하면 석탄회를 논과 밭에 사용하여 상당한 증수효과를 올릴 수 있었다고 보고하고 있다<sup>1)</sup>.

따라서 본 논문은 이러한 연구결과를 토대로, 가정에서 발생하는 음식 쓰레기의 퇴비화를 위한 수분 조절제로써 화력발전소의 심각한 산업폐기물인 석탄회를 이용하여 퇴비화의 가능성을 연구하고자 하였다.

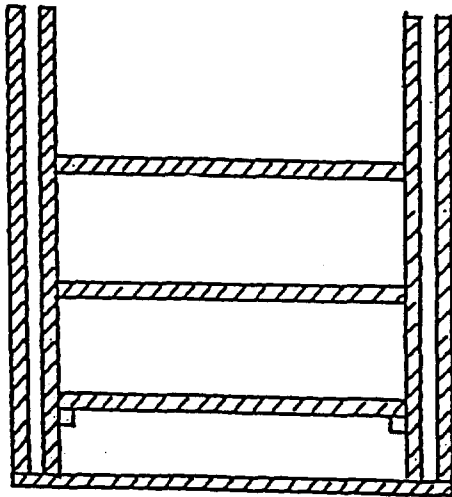


Fig. 1. Composter

## 실험 방법

### 1. 소형퇴비화용기

소형퇴비화용기는 음식쓰레기 발생량을 1일 1인 2.1 kg으로 예상하여 제작된 5인가족의 가정용으로, 실용적이 가로·세로 40cm, 높이 85cm인 사각통이며 스

테인레스 재질이다. 용기의 측면벽은 이중으로 하고 내부벽은 직경 2mm 구멍을 10mm 간격으로 뚫어 다공성으로 하여 퇴비더미속으로 산소공급이 원활하도록 하였다. 그 형태는 Fig. 1에 나타내었다.

### 2. 실험기간

가정에서 배출되는 음식쓰레기가 계절별 성상이 다를 것으로 예상되고, 계절별 기온의 변화가 뚜렷한 점을 고려하여 봄·여름·겨울 3계절별 각각 60일간 퇴비화 실험을 실시하였다. 실험기간은 Table 1과 같다.

Table 1. Experimental period

Season	Winter	Spring	Summer
Period	'95.1.3.~3.4.	'95.3.21.~5.20.	'95.6.18.~8.17.

### 3. 퇴비원료물질

퇴비원료물질은 주거형태가 다른 아파트와 단독주택의 한 가정을 각각 선정하여 매일 발생하는 음식쓰레기를 학교실험실에 설치되어 있는 소형퇴비화용기에 투입하였다. 이때 투입되는 퇴비원료물질은 음식쓰레기와 석탄회를 무게비로 대략 4 : 1 정도로 혼합하여 퇴비화 적정 수분함량으로 조절하였다. 처음 투입할 때 퇴비화용기 맨 밑층은 왕겨를 약 10cm 정도로 채우고 그 바로 위 한 층에 퇴비원료물질을 약 10cm 두께로 투입하므로서 첫시료층이 가급적 외부의 직접적인 영향을 받지않도록 하였다. 투입 시료량은 입의 조절없이 발생하는대로 즉시 투입하고, 10일씩 다공성 분리판으로 층을 구분하였다.

### 4. 실험방법

온도측정은 자동온도측정 기록계를 사용하였고, pH 측정에는 젖은 시료 50g에 증류수 125ml를 넣고 잘 교반하여 30분 방치 후 pH-meter로 측정하였다. 회분량

은 600°C에서 3시간 회화시켜 잔류성분량의 무게로서 측정하고, 무기성분 및 각종 중금속은 토양화학분석법<sup>2)</sup>에 따라 시료를 전처리 한 후 원자흡광광도법<sup>3)</sup>에 의하여 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 온도변화

Fig. 2는 퇴비화 기간에 따른 퇴비중의 온도변화를 나타낸 것으로, 계절별 최고 상승온도가 봄철 35°C, 여름철 47°C, 겨울철 43°C로 각각 나타났다. 이는 동일한 소형퇴비화용기를 사용하여 실시할 실험실 조건에서의 서등<sup>4)</sup>의 최고 온도보다 낮은 것으로 퇴비원료물 질량과 투입 시기를 임의의 조절없이 가정에서 발생 되는대로 실험이 행하여졌음으로 실제규모와 실험규모가 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한 최고온도가 병원균의 완전한 사멸을 보장하기 어려움으로 병원균사멸 및 냄새 억제를 위한 최적의 온도인 55~60°C 유지를 위해 보온이 필요할 것으로 예상되었다<sup>5)</sup>. 한편 봄철 최고온도가 겨울철 최고온도보다 오히려 낮은 원인은 명확하게 규명할 수 없었다.

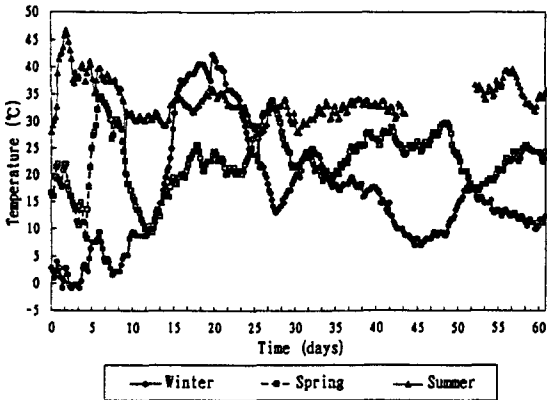


Fig. 2. Seasonal temperature evolution in the composter during the experimental period.

일반적으로 퇴적방식(퇴비원료물질을 더미로 쌓아 퇴비화하는 방법)으로 퇴비화할 경우, 옮겨 쌓기를 해주지 않으면 초기에는 온도가 상승하였다가 최고 온도 도달후 하강하는 것으로 알려져 있으나<sup>6)</sup> 본 퇴비화용기에서는 상승·하강이 반복되는 양상을 보였다. 이러한 결과는 퇴비더미를 옮겨 쌓아준 직후에 온도가 상승하는 것과 같은 효과로 예상되어 본 실험에 사용된 용기에서는 퇴비화에 필요한 산소가 상당히 원활하게 공급되었음을 확인시켜 주었다.

### 2. 질량 및 부피변화

Fig. 3은 퇴비화 기간에 따른 퇴비 물질의 질량 감소 경향을 나타내었다. 이 결과는 분해가 일어나지 않아서 질량 차이가 없는 석탄회의 투입량은 제외시키고 순수한 음식 쓰레기만의 질량 감소율을 나타낸 것이다. 그러나 수분은 포함된 질량이며, 이는 서등<sup>4)</sup>의 실험결과와 비교하기 위함이었다.

계절별 질량 감소율이 상당한 차이를 보였지만, 3계절 모두 동일하게 퇴비화 진행 10일경에 급격히 감소하였다가 이후에는 완만한 감소 경향을 보였다. 겨울철이 봄철보다 최고 상승온도가 높음에도 불구하고 질량 감소율이 낮은 것은 계절별 음식 쓰레기의 특성에 기인된 것으로 추측되었다. 또 여름철에는 10일경에 질량감소율이 90%로 이미 유기물 분해가 거의 완

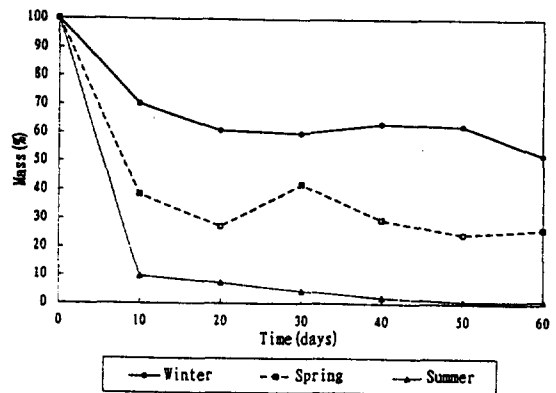


Fig. 3. Mass evolution of the compost during the experimental period.

료된 것을 볼 수 있었다. 따라서 음식쓰레기의 특성에 따른 분해속도에 관한 더 깊은 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

퇴비화 진행 60일 후 질량변화를 살펴보면 겨울철은 47.5% 감소되었고, 봄은 73.6%, 여름은 90.3% 감소되어 평균 70.5%의 질량감소율을 보였다. 이는 서등<sup>4)</sup>의 평균 62.5%보다 8% 더 많은 질량감소가 있었다. 이것은 수분 조절의 효과로 퇴비화 과정중에 호기성을 유지할 수 있어 호기성 미생물의 활동이 활발하였음을 간접적으로 나타내고 있다.

한편, 퇴비화 진행과정에 따른 부피변화는 Fig. 4에 나타내었으며, 전반적으로 초기 10일경에 급격한 감소 현상을 보였다. 이는 질량감소율에서 알 수 있듯이 초기에 유기물 분해가 활발하여 질량감소와 더불어 부피의 감소도 큰 것임을 알 수 있다. 또한 새로운 퇴비물질의 지속적인 투입으로 인하여 윗층의 무게에 의한 물리적 압축 역시 부피를 감소시키는 원인으로 작용한 것으로 사료되었다.

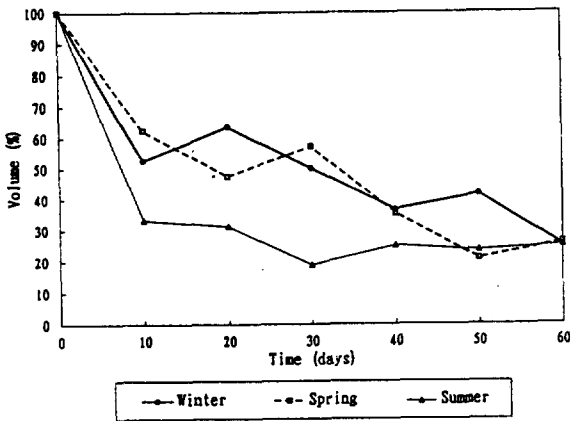


Fig. 4. Volume evolution of the during the experimental period.

### 3. pH 변화

퇴비화 과정 중의 pH변화는 Fig. 5에서 볼 수 있는 것과 같이 3계절 모두 퇴비화 진행 20일경까지 빠른 증가의 양상을 보였으나, 그 이후 부터는 증가의 폭이

다소 완만하게 나타났다. 이는 유기물 분해 속도가 가장 왕성할 때 나타나는 경향으로 미생물의 활발한 활동으로 인하여 유기물이 분해될 때 생성된 암모니아에 의한 영향으로 알려져 있다.

대체적으로 음식쓰레기만의 pH가 5.2-6.8 정도로 비교적 산성이며 경우에 따라서는 4정도까지의 pH를 나타내므로 활발한 미생물 활동에 저해요인으로 작용할 것으로 예측되었다. 그러나, 초기 pH조절을 위해 탄산칼슘, 생석회 또는 수산화 칼슘등을 첨가하여 실험한 결과 퇴비화 진행에는 그다지 큰 영향을 미치지 못했다는 연구 결과에<sup>7)</sup> 의한다면 퇴비화 진행에 따른 pH 상승의 요인으로 석탄화가 pH조절의 역할보다 유기물의 빠른 분해 촉진에 더 큰 영향을 끼쳤음을 알 수 있었다.

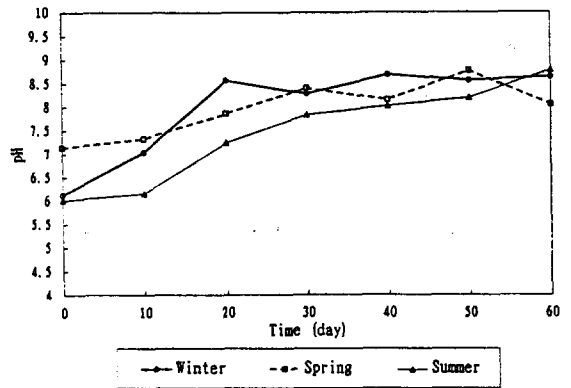


Fig. 5. pH value evolution of the compost during the experimental period.

### 4. 수분 및 회분 함량 변화

Fig. 6은 퇴비화과정중의 수분함량 변화를 나타낸 것으로, 겨울철과 봄철은 퇴비화 진행 20일까지 감소 경향을 보인 후 일정하게 유지되었으며, 여름철은 퇴비화 초기 10일까지 급격한 감소후 일정하게 유지되었다. 겨울철과 봄철에 퇴비화 진행 20일까지 대략 68%에서 55%까지 감소한 것은, 퇴비화 초기의 최고 온도상승으로 인한 약간의 수분 증발이 원인으로 추측되었으며 그 이후 일정하게 유지된 것은 유기물 분

해서 생성된 수분량과 증발된 수분량이 거의 동등하여 수분함량의 변화가 없었던 것으로 추측되었다. 반면 여름철에 퇴비화 진행 10일만에 급격한 수분감소가 일어난 것은 여름철 퇴비원료물질의 대부분이 수분함량이 높은 과일껍질로 빠른 유기물 분해와 동시에 과다한 수분 발생으로 아래로 흘러내리는 현상이 눈으로 확인되었으므로 열에 의한 수분증발보다는 수분유실이 주원인으로 작용하였다. 또한 퇴비화 경과 20일경부터 최종 60일까지 수분함량이 34%로 거의 일정하게 유지되어 활발한 미생물 활동에 저해요인이 될 가능성이 있지만 이미 10일경에 빠른 유기물 분해가 이루어졌으므로 원활한 퇴비화 진행 과정에는 그다지 큰 악영향을 미치지지는 못했다. 퇴비화 진행 60일 후 최종 생성된 퇴비의 수분함량은 겨울철에는 56.5%이었고, 봄철은 49.7%였으며 여름철은 33.9%이었다.

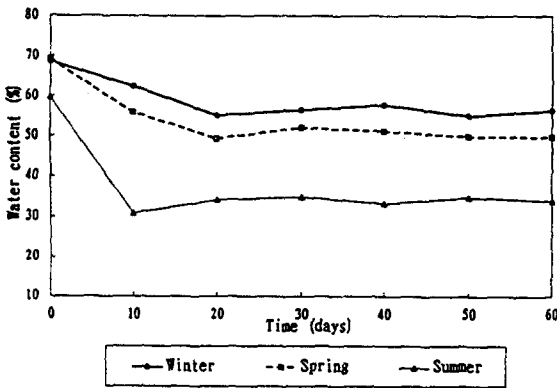


Fig. 6. Water content evolution of the compost during the experimental period.

Fig. 7에는 퇴비화 기간의 경과에 따른 회분함량을 나타내었다. 3계절 모두 비슷한 양상으로 완만하게 증가하였다. 특히 여름철에 높은 회분함량을 나타낸 것은 유기물의 분해가 여름철에 활발했던 원인도 있지만 다른 계절에 비하여 수분함량이 높았으므로 석탄회의 첨가량이 증가되었기 때문이었다.

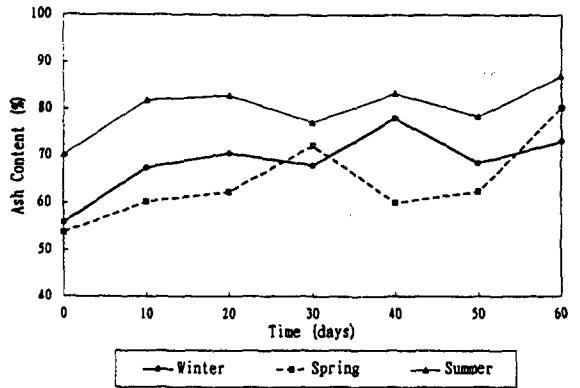


Fig. 7. Ash content evolution of the compost during the experimental period.

### 5. 무기성분 및 중금속함량

Table 2는 퇴비화 기간의 경과에 따른 각종 무기성분함량을 나타낸 것으로 석탄회를 첨가하지 않은 서등<sup>4)</sup>의 결과와 비교했을 때 거의 비슷하거나 약간 낮은 경향을 보였다. 계절별 각종 무기성분의 함량을 보면, 봄철은 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.20~2.48%, CaO 0.47~2.87%, MgO 0.52~1.43%, K<sub>2</sub>O 1.15~2.03%이었고 여름철 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.51~0.95%, CaO 0.12~1.87%, MgO 0.21~0.58%, K<sub>2</sub>O 0.39~1.06%이었으며, 겨울철은 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.06~4.03%, CaO 0.01~2.30%, MgO 0.18~0.56%, K<sub>2</sub>O 0.56~1.40%으로 대체로 여름철이 다른 계절에 비해 낮은 함량을 나타내었다.

Table 3에는 퇴비중의 각종 중금속함량을 나타내었다. 계절별 큰 차이는 없었지만 여름철에 Cr 함량이 비교적 높았으나, 본 실험에서의 계절별 중금속 함량은 봄철에는 Hg ND, Cd ND~0.59mg/kg, Cu 9.26~15.32mg/kg, Cr 20.29~242.62mg/kg, Pb 0.47~20.24 mg/kg, Zn 7.98~59.87mg/kg이었고, 여름철은 Hg 6.67~14.08μg/kg, Cd ND, Cu 4.99~13.08mg/kg, Cr ND~170.93mg/kg, Pb ND~6.45mg/kg, Zn 18.20~38.56mg/kg이었으며, 겨울철에는 Hg ND~0.06μg/kg, Cd ND~0.80mg/kg, Cu 15.42~28.95mg/kg, Cr 3.11~29.13mg/kg, Pb ND~3.2mg/kg, Zn ND~11.87

Table 2. Inorganic compound content evolution of the compost during the experimental period.

	Time(day)	0	10	20	30	40	50	60
winter	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	1.78	2.84	2.74	1.62	4.03	0.06	1.17
	CaO(%)	1.44	1.13	1.15	1.86	2.30	0.01	1.55
	MgO(%)	0.32	0.56	0.43	0.47	0.43	0.18	0.31
	K <sub>2</sub> O(%)	0.75	1.40	0.95	0.58	0.89	0.56	0.63
spring	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	1.20	1.67	1.28	2.48	1.40	1.56	1.42
	CaO(%)	1.07	1.79	2.20	2.87	1.09	0.47	0.97
	MgO(%)	0.52	0.93	0.60	1.43	0.56	0.78	0.53
	K <sub>2</sub> O(%)	2.03	1.64	1.54	1.89	1.66	1.25	1.15
summer	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.68	0.82	0.72	0.58	0.95	0.64	0.51
	CaO(%)	0.28	0.60	0.56	0.12	1.87	0.46	0.16
	MgO(%)	0.28	0.33	0.24	0.34	0.58	0.29	0.21
	K <sub>2</sub> O(%)	0.97	0.39	0.82	0.76	1.06	0.66	0.79

Table 3. Heavy metal content evolution of the compost during the experimental period.

	Time(day)	0	10	20	30	40	50	60
winter	Hg( $\mu$ g/kg)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
	Cd(mg/kg)	0.80	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00
	Cu(%)	21.27	23.70	23.09	28.95	24.56	15.42	22.67
	Cr(%)	7.28	11.61	13.92	25.60	29.13	3.11	9.45
	Pb(%)	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Zn(%)	11.87	0.00	2.37	7.79	8.41	0.00	1.00
spring	Hg( $\mu$ g/kg)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cd(mg/kg)	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59
	Cu(%)	10.42	14.67	15.32	10.60	9.26	14.74	13.55
	Cr(%)	72.24	195.23	149.63	242.62	74.08	146.54	20.29
	Pb(%)	10.31	20.24	0.47	15.62	15.99	18.10	18.88
	Zn(%)	59.87	54.76	7.98	50.98	25.81	40.93	54.32
summer	Hg( $\mu$ g/kg)	7.90	8.71	6.67	10.89	10.01	8.04	14.08
	Cd(mg/kg)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cu(%)	9.48	13.08	4.99	12.70	6.21	5.58	8.88
	Cr(%)	8.37	20.05	76.48	170.93	32.43	0.00	18.19
	Pb(%)	0.00	0.69	0.00	6.45	3.37	0.00	0.97
	Zn(%)	30.61	38.56	18.20	34.22	27.04	18.37	30.57

mg/kg으로 측정되었다.

한편 석탄회를 첨가하지 않은 서등<sup>4)</sup>의 중금속함량과 비교시 다른 중금속함량은 거의 비슷하였으나 Hg과 Cd의 함량이 특히 낮게 나타났다. 명확한 원인을 규명하기 위하여 석탄회와 증류수를 1 : 10의 비율로 용출실험을 실시한 결과, 1ppm의 Hg은 6시간 진탕후 5.1ppb로 검출되었고 1ppm의 Cd는 불검출되었으며, 4ppm의 Cr은 3.6ppm으로 거의 그대로 검출되었다. 이 실험으로 석탄회가 Hg 및 Cd을 선택적으로 흡착함을 알 수 있었다.

### 요 약

가정에서 발생하는 음식쓰레기의 높은 수분함량 때문에 원활한 퇴비화가 어렵다. 따라서 본 논문은 가정쓰레기 퇴비화 수분조절제로서 석탄회의 이용가능성을 알아보고자 하였다. 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 퇴비화기간동안 최고 상승온도는 봄철 35°C, 여름철 47°C 그리고 겨울철 43°C이었다.
2. 질량은 60일후 70.5% 감소되었으며, 부피는 평균 74.7% 감소되었다.
3. pH의 변화는 3계절 모두 비슷한 경향을 보였으며, 60일 후의 pH는 8.5 였다.
4. 수분함량은 퇴비화 초기에 감소 경향을 보인 후 점차 거의 일정하였다. 60일 후 퇴비의 수분함량은 봄철 49.7%, 여름철 33.9%, 겨울철 56.5%였다. 회분함량은 퇴비기간동안 큰 변화가 없었다.

5. 무기성분 함량은 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.06~4.03%, CaO 0.01~2.87%, MgO 0.18~1.43%, K<sub>2</sub>O 0.39~2.03%였다. 각종 중금속 함량은 Hg ND~14.08µg/kg, Cd ND~0.80mg/kg, Cu 4.99~28.95mg/kg, Cr ND~242.62mg/kg, Pb ND~20.24mg/kg, Zn ND~59.87mg/kg이었다.

### 참 고 문 헌

1. 한국전력공사 기술연구원(1994). 토지개량제로서의 석탄회 이용 연구 최종보고서.
2. 농업기술연구소 농촌진흥청(1978). 토양화학분석법
3. 수질오염·폐기물 공정시험방법(1992). 도서출판 동화기술
4. 서정윤, 주우홍(1994). 가정용 소형 퇴비화 용기에 의한 부엌쓰레기의 분산식 퇴비화 I. 실험실 조건에서 퇴비화 연구, 한국환경농학회, **13**(3) : 321-337.
5. Goluek, C. G.(1986). Compost research accomplishments and needs, *Biocycle*, **27**(4) : 40-43.
6. Ralf Gottschall(1985). *Kompostierung*. Verlag C. F. Mueller Karlsruhe.
7. K. Nakasaki, H. Yaguchi, and H. Kubota.(1992). Effect of C/N Ratio on Thermophilic Composting of Garbage, *J of Ferment Bioengineering*, **73** : 43-45.