

야채쓰레기의 효율적 퇴비화를 위한 운영조건

최정영, 남궁 완

건국대학교 공과대학 환경공학과
서울특별시 성동구 모진동 93-1(우 133-701)

Conditions Affecting Vegetable Waste Composting

Jung-Young Choi, Wan Namkoong

Department of Environmental Engineering, College of Engineering Kon-Kuk
University, Seoul 133-701, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the feasibility of composting of vegetable wastes containing high moisture. The parameters investigated were the effect of energy source addition, difference in bulking agent and recirculation of leachate produced during composting. Laboratory scale composting reactors were used in this study. Chinese cabbages were used as a vegetable waste. Dog food was added to the vegetable waste as a energy source. Wood chips and leaves of platan were used as bulking agents. There may be an appropriate amount of energy source to be added for composting high moisture content vegetable waste. In this study, the appropriate amount of energy source was 20% of the vegetable waste by weight basis. Recirculation of total amount of leachate produced each day on the same day may not be an appropriate approach due to the significant heat-quenching effect. When the total amount of leachate produced was equally devided and recirculated everyday through the whole composting period, the heat-quenching effect was comparatively less significant. There were no notable differences in the temperature profile and the CO₂ evolution rate when leaves were used instead of wood chips as bulking agents. Considering waste recycling, it is desirable to use leaf waste as bulking agents if available, because the leaves are also wastes to be disposed of.

초 록

본 연구의 목적은 수분함량이 높은 야채쓰레기의 퇴비화 가능성을 실험적으로 규명하고자 한 것이다. 실험은 에너지원의 첨가에 따른 영향, 침출수 재순환에 따른 영향, 공극개량물질의 변화에 따른 영향 등에 대

하여 살펴보았다. 본 연구에는 실험실 규모의 퇴비화반응조를 이용하였다. 야채쓰레기로는 배추를 이용하였고 에너지원으로 개사료를 이용하였다. 공극개량물질로는 나무조각과 낙엽을 이용하였다. 수분함량이 높은 야채쓰레기의 퇴비화시에는 적정량의 에너지원이 첨가가 필요하다. 본 연구에서는 야채쓰레기의 약 20%정도 첨가하는 것이 적당하였다. 생성된 침출수의 당일 전량 재순환은 커다란 열손실로 인하여 적당하지 않았다. 침출수를 균등배분하여 일정량씩을 매일 균일하게 재순환한 경우에는 열손실이 상대적으로 크지 않았다. 낙엽을 공극개량물질로 사용한 경우 온도의 변화와 CO₂의 방출량에 큰 차이는 없었다. 공극개량물질로 흔히 쓰이는 나무조각 대신 일종의 폐기물인 낙엽을 이용하여 야채쓰레기를 퇴비화하는 것도 가능하다.

핵심용어 — 야채쓰레기, 퇴비화, 공극개량물질, 침출수재순환

1. 서 론

쓰레기 처리문제가 세계적으로 커다란 사회문제로 대두되고 있으며 국내 생활쓰레기는 특히 음식쓰레기가 상당 부분을 차지하고 있어 이의 적절한 처리가 요구된다. 쓰레기의 처리는 재활용 및 자원화가 바람직하며 분해가능한 쓰레기를 퇴비화하는 것은 매우 바람직하며 이의 적극적인 연구가 전세계적으로 활발하게 진행되고 있다(Bertoldi, 1987; Diaz, 1993; Polprasert, 1989).

국내의 음식쓰레기 중에는 아래의 Table 1과 같이 야채성분의 조성 비율이 매우 높은 것을 알 수 있다(구, 1992). 야채성분의 비율은 특히 가정에서 64.1%로 가장 높게 나타났으며 급식소에서

59.0%로 다음으로 높게 나타났다. 과일 및 야채의 평균 비율은 65.4%로 과일을 포함할 경우 이들이 차지하는 비중이 다른 성분에 비하여 상대적으로 매우 높은 것으로 나타났다. 이와같이 음식쓰레기 중 야채성분이 평균 약 65% 이상이므로 음식쓰레기의 퇴비시 야채성분의 퇴비화에 대한 고찰이 선행되어야 할 것으로 판단된다(최, 1993).

따라서, 본 연구에서는 수분함량이 높은 야채쓰레기의 퇴비화가능성에 대하여 다음 사항들을 실험적으로 규명하고자 하였다.

- (1) 순수한 야채쓰레기만의 퇴비가능성
- (2) 에너지원의 첨가에 따른 영향
- (3) 침출수의 재순환에 따른 영향
- (4) 공극개량물질(Bulking Agent)의 변화에 따른 영향

Table. 1 Composition of Food Waste from Different Sources

Component(%)	Source				
	Household	Market	Restaurant	Mess hall	Average
Grains	5.2	0.5	28.2	23.4	15.7
Fruits	18.0	14.7	7.0	5.8	14.3
Vegetables	64.1	47.5	40.4	59.0	51.1
Fish & Meat	12.7	37.3	24.4	11.8	18.9
C/N Ratio	11.4	10.2	10.5	11.1	11.2

2. 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 퇴비화반응조는 원통형의 아크릴을 이용하여 지름 19cm, 높이 30cm의 크기로 만들었으며, 밑부분에 공기를 주입하기 위하여 다공판을 설치하고, 쓰레기가 밑으로 떨어지는 것을 막기 위하여 다공판 위에 망을 설치하였다. 공기의 주입은 콤프레서를 이용하였고, 주입공기는 유량계를 통과시키며 양을 조절하였다. 침출되는액은 바닥부분에 설치된 배수코르크를 이용하여 하루에 한번씩 확인 후에 침출수를 제거하였으며, 퇴비화반응조 중간부분에 온도계를 설치하여 온도변화 모니터링이 가능하도록 하였고 쓰레기층을 통과한 배기가스는 상부의 코르크를 통하여 배출되도록 하였다.

2.2 실험 재료 및 성상

실험에 이용한 쓰레기로는 배추와 개사료(Dog Food)이었고 공극개량물질(Bulking Agent)로는 낙엽과 나무조각을 이용하였다. 배추는 Table 2에서 볼 수 있는 것처럼 수분이 많으므로 적당한 공극을 유지하고 수분을 조절하기 위하여 공극개량물질로 나무조각을 이용하였는데 톱질에 의하여 생긴 나무조각을 체를 통과시켜 10-20mm 사이의 크기를 가진 것만을 이용하였다. 낙엽은 건국대학교 교정내의 플라타너스 잎만을 가을철에 따로 모아 실험실에 보관해 두었던 것을 이용하였다. 플라타너스 잎을 실험대상으로 한 이유는 서울시 가로수 중 플라타너스의 비율이 가장 높아 가을철에 가장 많은 낙엽을 발생시키는 수종이기 때문이다.

배추와 낙엽은 균질성을 유지하고 실험실 규모의 실험에 맞도록 2cm정도가 되도록 썰어서 일정한 크기가 되도록 하여 이용하였다(Kuter, et al., 1985; Suler and Finstein, 1977). 퇴비화시 배추내의 분해용이한 유기물 함량이 적어 적

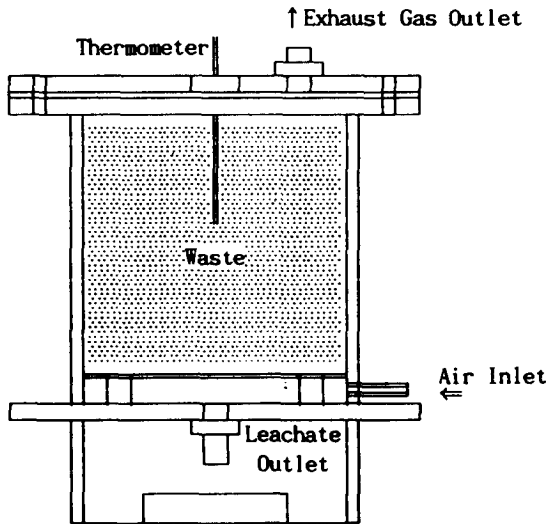


Fig. 1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

Table. 2 Characteristics of Materials Used in This Study

Material	Moisture Content (%) (wet basis)	N(%) (dry basis)	C/N Ratio	VS(%) (dry basis)
Vegetable	90-95	3.1	14	85
Leaf	40-43	0.6	95	65
Dog Food	7-8	3.3	15	76
Wood Chip	35-45	2.6	120	92

정한 에너지원을 공급해 줄 필요가 있다(Ishii, et al., 1991; MacGregor, et al., 1981). 본 연구에서는 에너지원(분해가 용이한 유기물)을 대신한 유기성쓰레기로 개사료(Dog Food; 퓨리나사의 Dog Menu)를 이용하였다.

2.3 운전조건 및 방법

반응조가 소규모인 관계로 많은 열손실이 있어 반응조를 일정한 온도의 항온조($40 \pm 1^\circ\text{C}$) 안에 넣은 상태에서 실험하였다(Haug, 1979; Sikora, et al., 1989). 공기주입량은 분당 650-800cc(0.6-0.74 m³/min/dry ton)로 유지시켰다. 또한 유기물의 분해를 촉진시키고 반응조내 내용물의 균질화를 위하여 3일에 한번씩 시료채취

를 할 때 반응조 내용물을 전체적으로 뒤집어 주었다. 각 반응조 내용물 조성 및 실험 조건을 Table 3에 나타내었다. 나무조각과 낙엽의 양은 수분의 조절과 공극을 유지하기 위한 목적으로 부피기준으로 전체 부피의 1/3 가량을 사용하였다. 낙엽의 경우 퇴비화가 끝나면 낙엽을 퇴비의 일부로 간주하였으나 나무조각의 경우는 반송을 하여 이용하였다. 수분함량이나 VS 측정시 나무조각은 제외시켰다. 이는 나무조각은 반응에 참여하지 않는 것으로 간주하여 데이터를 해석했음을 의미한다. 그러나 나무조각의 수분함량은 모든 실험에서 일정하도록 조절하였다. 낙엽을 이용한 실험에서는 낙엽도 퇴비화되는 것으로 간주하여 수분함량이나 VS 측정시 낙엽도 포함시켰다.

Table. 3 Waste Composition and Conditions for Each Experiment

Experiments	Energy Source(g)	Vegetable (g)	Bulking Agent	Moisture Content(%)	pH	VS (%)	TKN (%)	TOC (%)	C/N Ratio
ES0	0	1000	Wood Chips	95	7.5	85	3.1	46	14.8
ES10	100	1000	Wood Chips	88	7.0	79	3.2	49	15.3
ES20	200	1000	Wood Chips	83	7.0	78	3.2	50	15.6
ES30	300	1000	Wood Chips	78	7.6	78	3.2	50	15.6
ES50	500	1000	Wood Chips	70	5.8	77	3.2	50	15.6
LR30	300	1000	Wood Chips	78	6.8	78	3.2	50	15.6
LRE30	300	1000	Wood Chips	78	5.8	78	3.2	50	15.6
BA20	200	1000	Leaves	83	5.8	74	2.3	52	22.6
BA50	500	1000	Leaves	70	5.7	73	2.7	52	19.3

각 시료의 pH는 5.8-7.5로 다소 차이가 있었으나 이러한 pH 변화는 미생물의 성장 또는 퇴비화 과정에 크게 차이는 없는 것으로 생각된다. VS는 개사료가 많이 들어간 경우에 상대적으로 낮게 나타났다. 실험초기의 C/N비는 대개 15-23의 범위를 나타냈으며 공극개량물질로 나무조각 대신에 낙엽을 사용하였을 때인 BA 실험의 경우 낙엽의 높은 C/N비의 영향으로 반응조내 혼합물의 C/N비가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

2.4 분석방법

수분함량은 3일에 한번씩 폐기물공정시험방법(환경처, 1991)에 의하여 실시하였으며, 온도의 측정은 하루 2회(오전 8±1시와 오후 8±1시) 측정하였고, pH는 수분 측정용 시료를 이용하여 측정하였다. pH측정은 토양화학분석법(농업기술연구소, 1988)에 따라 고형물과 증류수의 비율을 1:5로 하였다. VS, TKN, TOC 등은 실험의

처음과 끝에 실시하였다. VS는 폐기물공정시험방법에 의하여 실험하였고 TKN, TOC는 토양화학분석법의 환원증류법 및 Walkly Black법에 의하여 각각 실험하였다. 탄산가스분석은 하루에 1번 Orsat Gas Analyser를 이용하여 분석하였다(APHA, et al., 1989).

3. 결과 및 고찰

3.1 에너지원의 첨가에 따른 영향

퇴비화 기간 중 에너지원(분해용이한 유기물) 첨가에 따른 퇴비반응조내의 온도에 대한 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 온도의 상승은 ES20과 ES30에서 가장 높았던 것으로 나타났다. 3일째 되는 날과 6일째 되는날에 온도가 다소 떨어졌는데 이것은 퇴비단을 뒤집을 때 발생된 열손실에 의한 것으로 온도는 그 후 곧 회복되었다. 에너지원을 전혀 첨가하지 않고 배추와 나무조각 만으로 퇴

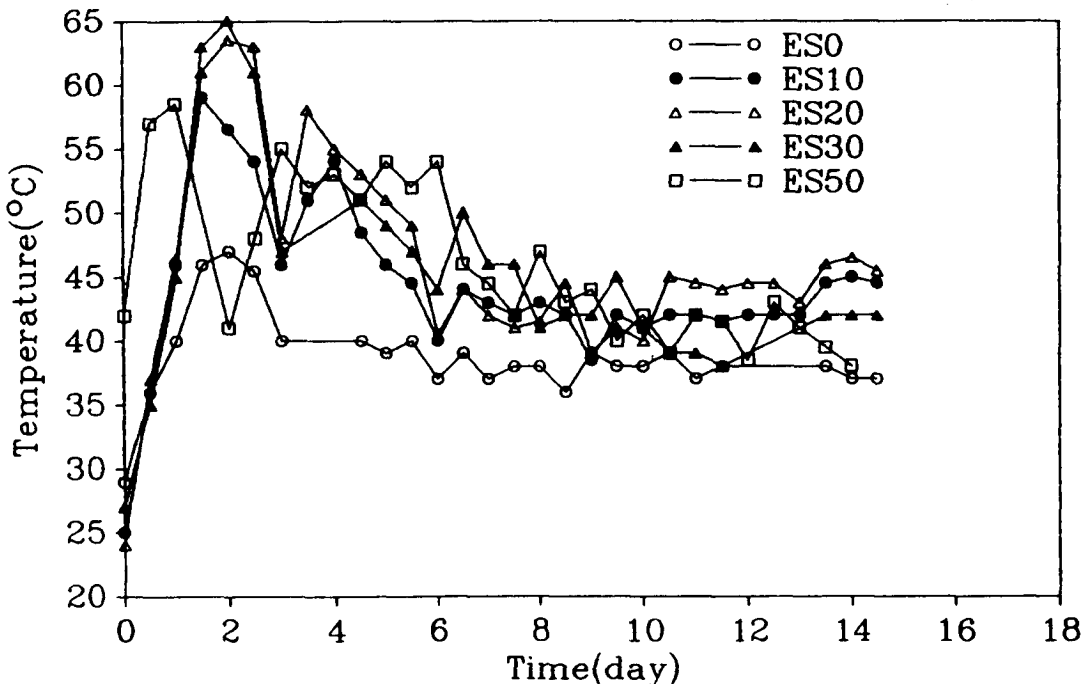


Fig. 2 Change in Temperature for Energy Source Addition Experiments

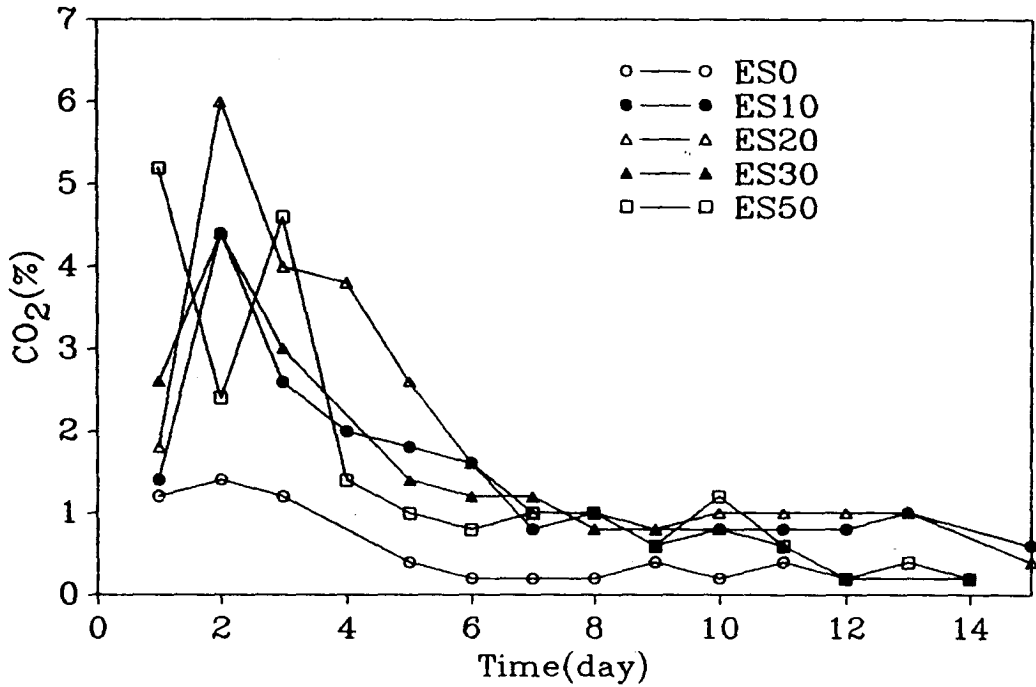


Fig. 3 CO₂ Evolution for Energy Source Addition Experiments

비화 시킨 ES0의 경우 온도가 2일후에 47℃까지 올라갔으나 3일후 퇴비단을 뒤집은 후에는 온도의 재상승이 나타나지 않았다(N'Dayegamiye and Isfan, 1991).

ES10은 온도의 상승이 상대적으로 높지 않았고 온도의 하강이 일찍 나타난 것과 CO₂의 생성량이 적었던 것으로 볼 때 분해가능한 유기물의 양이 적었던 것으로 판단된다(MacGregor, et al., 1981). ES50의 경우는 에너지원의 양이 너무 많아 공기공급이 원활하지 못하였거나 퇴비단내에서 일시적인 혐기성 상태로 되면서 온도의 상승이 상대적으로 낮았던 것으로 판단된다.

Fig. 3은 에너지원 첨가에 따른 탄산가스의 농도를 나타낸 것이다. 에너지원 첨가량이 가장 많은 ES50에서 탄산가스 방출량이 가장 많을 것으로 예상하였으나 ES20에서 가장 높았으며, ES10과 ES30의 경우도 상대적으로 높게 나타났다. ES50의 경우 2일째에 탄산가스의 방출량이 갑

자기 떨어진 것은 음식쓰레기의 과다에 따른 일시적인 혐기성 상태가 원인이었다는 것으로 판단된다. ES0의 경우 CO₂의 최고치가 1.5%에도 못 미치는 미미한 양이었다.

실험기간중 pH의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 최종 pH가 8.2-9.0을 나타냈으며(MacGregor, et al., 1981; Suler and Finstein, 1977), 다른 연구에서 발견된 초기 2-3일내의 pH의 하강은 본 실험에서는 목격되지 않았다(Polprasert, 1989).

3.2 침출수의 재순환에 따른 영향

수분함량이 많은 배추를 퇴비화하는데 있어 그 생성되는 침출수를 별도로 처리하는 것이 문제가 될 수도 있을 것으로 판단되어 퇴비반응조에서의 재순환에 의한 침출수처리가능성에 관한 실험을 행하였다. LR 실험은 발생된 침출수를 하루에 한번씩 전량을 퇴비단의 상층부로 재순환시켰고,

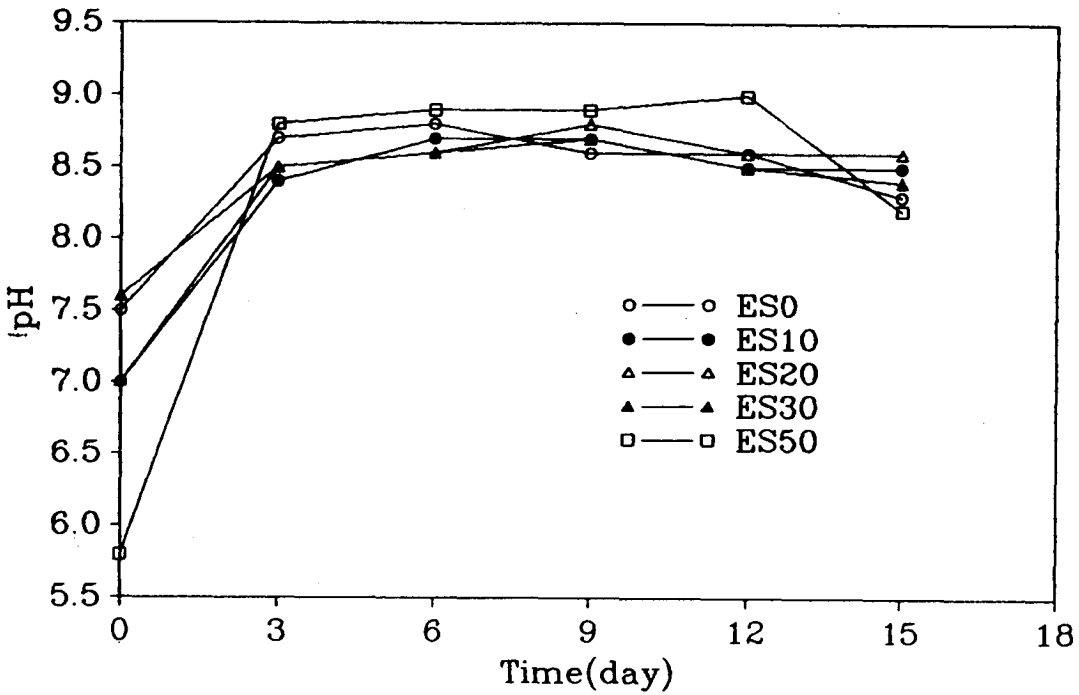


Fig. 4 Change in pH for Energy Source Addition Experiments

LRE 실험은 생성되는 침출수를 모아 매일같이 10mL 씩만 퇴비단 상부로 재순환하였다. LRE 실험은 침출수를 일정량 균일하게 여러번에 나누어 반송하므로써 퇴비단의 수분과다 문제를 해결하여 온도의 상승을 이루고, 보다 효과적인 퇴비화가 이루어 질 수 있을지를 검토한 실험이다.

Table 4는 LR30 및 LRE30 실험에서 발생된 총 침출수량을 보여주고 있다. LR30의 경우가 LRE30의 경우에 비하여 총 침출수 발생량이 큰

이유는 LR30의 경우 반송된 침출수가 다시 침출되었기 때문일 것으로 추측된다. LRE30의 침출수 발생량을 보면 2일에 53mL, 3일에 31mL, 4일에 24mL, 5일에 17mL, 6일에 5mL로 총 130mL이었다.

Fig. 5는 LR30, LRE30 및 ES30 실험에서 시간의 경과에 따른 온도의 변화를 보여주고 있다. Fig. 5에서 보듯이 LR30 및 LRE30의 온도가 ES30 보다 낮은 온도를 나타내고 있는데 이러한

Table. 4 Amount of Leachate Generated During Leachate Recirculation Experiments(LR30 and LRE30) and Leachate Recirculation Schedule

Exp.	Total Leachate Volume(mL)	Leachate Recirculation (day)												
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
LR30	267	78	67	88	34									
LRE30	130	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

(unit : mL)

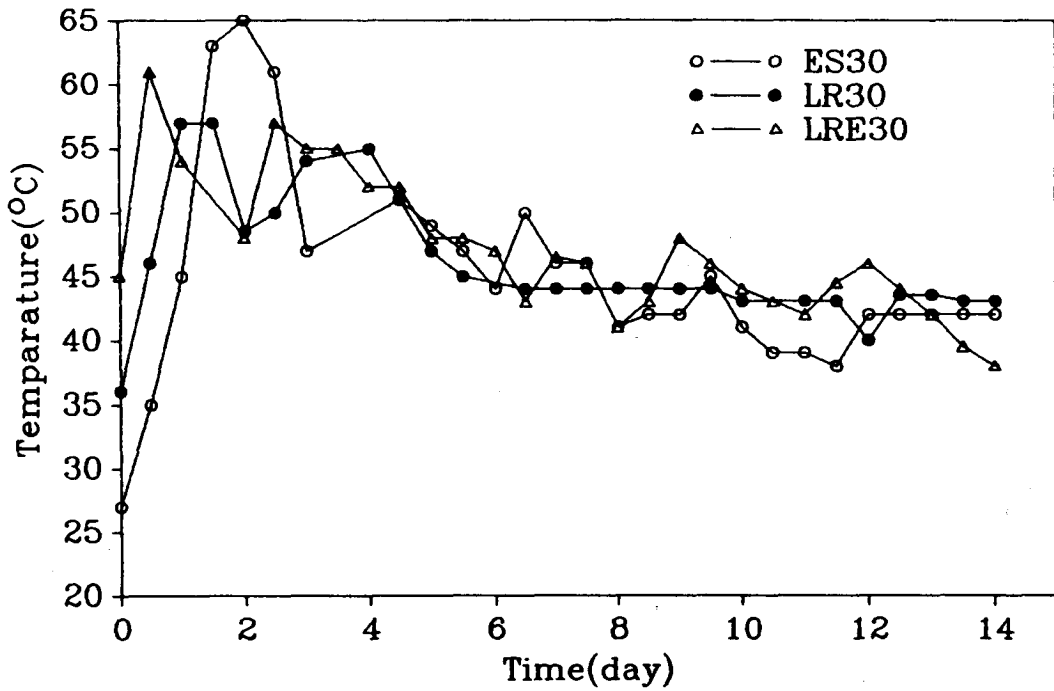


Fig. 5 Change in Temperature for Leachate Recirculation Experiments

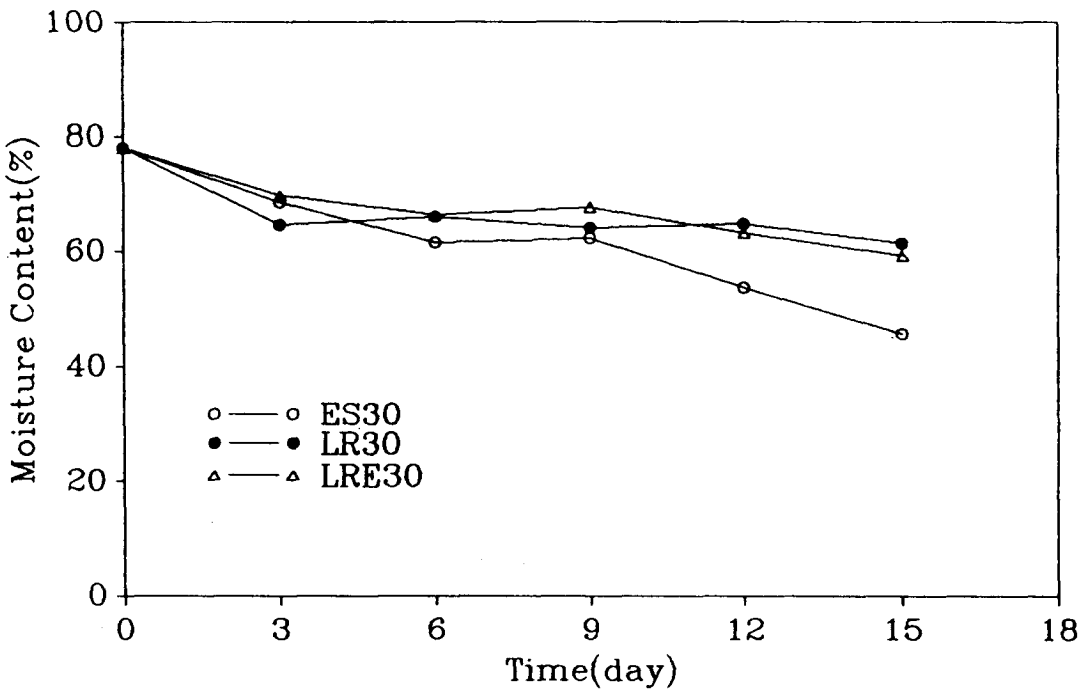


Fig. 6 Change in Moisture Content for Leachate Recirculation Experiments

결과는 침출수의 반송에 의한 것으로 판단된다. LRE30의 실험에서 온도가 55℃를 넘는 일수는 3일 정도로 LR30 실험에 비해 높은 온도가 오래 지속되어 유기물분해율도 높고 병원균에 대해서도 안전할 것으로 판단된다.

CO₂ 방출량은 LRE30이나 ES30의 경우 거의 유사하게 나타나서 침출수가 소량씩 재순환 될 경우 유기물 분해에 커다란 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 그러나 LR30의 경우 4일째와 9일째 상대적으로 높은 CO₂ 방출을 보였는데 본 연구의 데이터만으로는 해석하기 어려운 부분이다(최, 1993). 수분함량의 변화는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 ES30에서 수분함량이 가장 많이 감소하는 것으로 나타났으며 침출수를 반송시킨 LR30과 LRE30의 경우는 수분함량이 높은 것으로 나타나 후속과정에서 추가적 건조기간이 필요할 것으로 판단된다.

3.3 공극개량물질(Bulking Agents)의 변화에 따른 영향

공극개량물질로 나무조각 대신에 낙엽을 사용하여 퇴비화가 진행되는 과정을 살펴본 결과 첨가제로 낙엽을 사용한 실험에서 온도의 상승이 다소 늦게 나타남을 볼 수 있었다. 이것은 ES 실험들의 경우 공극개량물질로 사용된 나무조각이 반송될 때 충분한 미생물식종이 가능하였으나 BA 실험들의 경우 낙엽에 의한 미생물의 식종이 미미했기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 8은 공극개량물질의 변화에 따른 탄산가스 방출량을 나타낸다. ES20과 BA20을 비교하여 볼 때 탄산가스 방출량이 거의 비슷하였으나 나무조각을 공극개량물질로 사용한 경우가 초기 피크는 다소 높은 것으로 나타났다. ES50과 BA50의 경우는 BA50의 경우에 상대적으로 많은 탄산가스 방출이 4일 이후 발생하였다(최, 1993). 이는 흔히 쓰이는 나무조

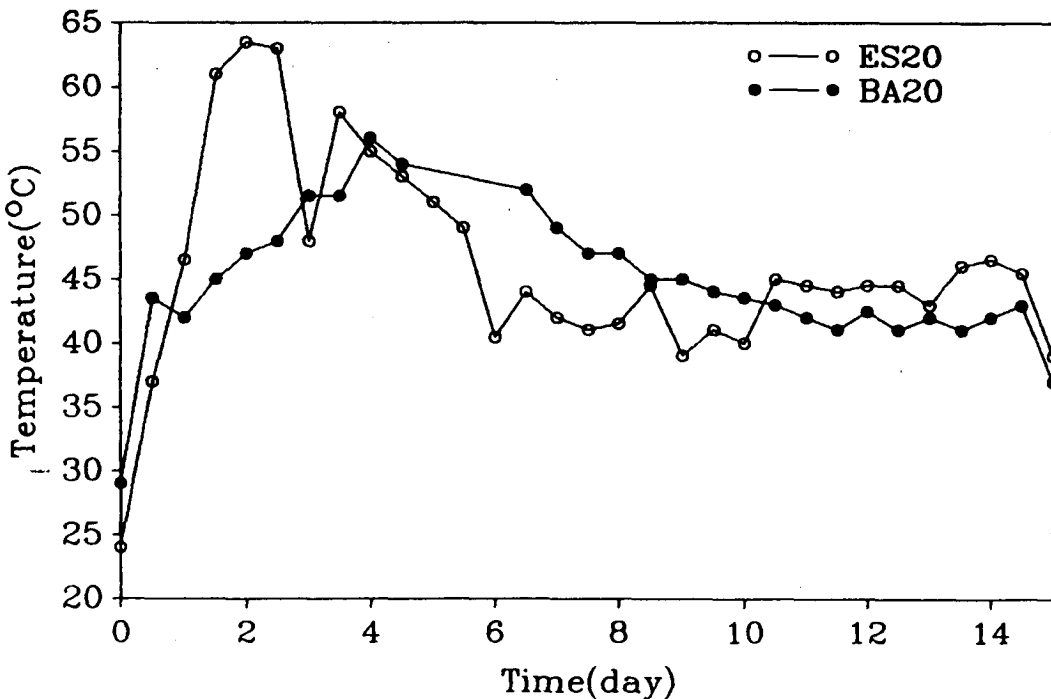


Fig. 7 Change in Temperature for Bulking Agent Addition Experiments

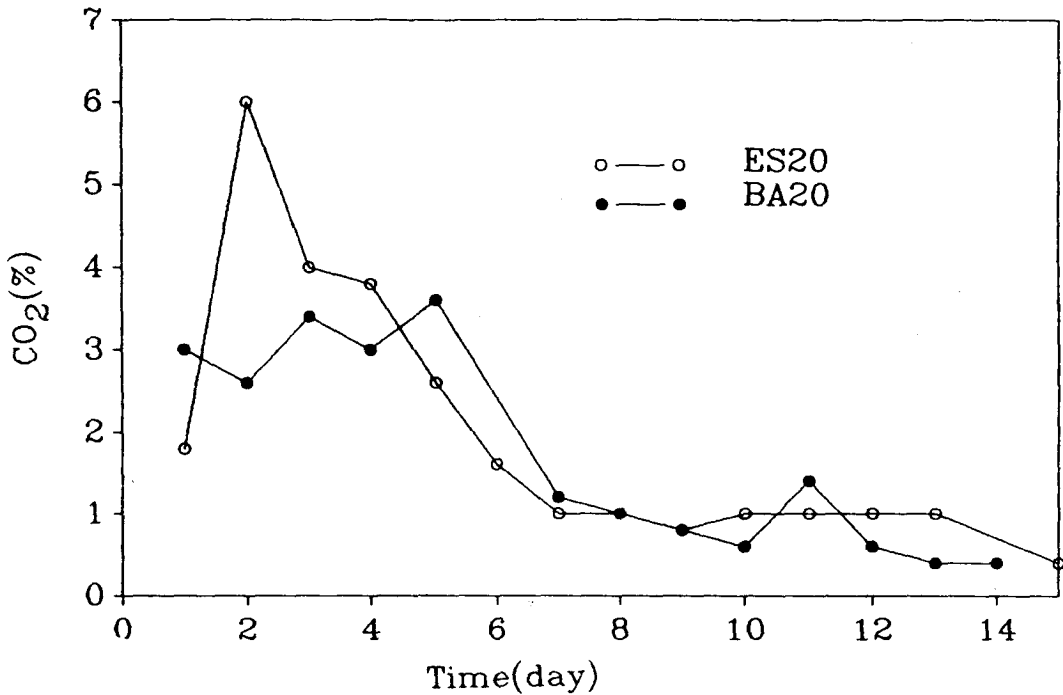


Fig. 8 CO₂ Evolution for Bulking Agent Experiments

각 대신 일종의 쓰레기인 낙엽도 공극개량물질로 사용 가능함을 의미한다.

4. 결 론

본 연구는 야채쓰레기의 퇴비화 가능성에 관한 연구로서 효율적인 운영조건을 검토하여 보고자 에너지원의 첨가, 침출수의 재순환, 공극개량물질의 변화 등에 따른 영향을 살펴보았다. 본 연구에서 얻어진 결론을 요약하면 아래와 같다.

1. 배추 등 야채쓰레기의 퇴비화시에는 적절한 양의 쉽게 분해가능한 유기물 즉 에너지원의 적정량 첨가가 필요하다. 본 연구에서는 야채쓰레기의 20% 정도 첨가하는 것이 바람직하였다. 그러나 열수지차이 등으로 인하여 실제 규모의 퇴비장치에서는 적정 첨가량이 다를 수도 있다.

2. 배추 등 야채쓰레기만의 퇴비화는 수분함량

이 너무 높고 또한 에너지원(분해가 용이한 유기물) 함량이 적은 관계로 적당하지 않았다.

3. 발생된 침출수의 당일 전량 반송시 온도의 상승이 방해되어 적절한 운영방법이 못된다. 침출수의 균등반송은 전체적으로 커다란 차이는 없었으며 하나의 대안으로 고려할 만하다.

4. 공극개량물질로 흔히 쓰이는 나무조각 대신 일종의 쓰레기인 낙엽을 이용하여 야채쓰레기를 퇴비화하는 것도 가능하다.

참 고 문 헌

- 1) 구자공(1992), "유기성 폐기물처리기술의 기술적, 경제적 비교분석", 유기성폐기물의 자원화 기술, 한국과학기술원, pp IV-1 ~ IV-32
- 2) 농업기술연구소(1988), "토양화학 분석법"

- 3) 최정영(1993), "야채폐기물의 퇴비화 가능성", 건국대학교 대학원 석사학위 논문
- 4) 환경처(1991), "폐기물공정시험방법"
- 5) APHA, AWWA, WPCF.(1989), "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater", 17th ed.
- 6) Bertoldi, M. K. (1987), "Compost : Production, Quality and Use", Elsevier Applied Science Publishers
- 7) Diaz, L. F. (1993), "Composting and Recycling Municipal Solid Waste", Lewis Publishers
- 8) Haug, R. T. (1979), "Engineering Principles of Sludge Composting", J.WPCF, Vol.51, No.8, pp2189~2206
- 9) Ishii, H., K. Tanaka, M. Aoki, T. Murakami and M. Yamada(1991), "Sewage Sludge Composting Process by Static Pile Method", Wat. Sci. Tech. Vol.23, pp1979-1989
- 10) Kuter, G. A., H. A. J. Hoitink, L. A. Rossman(1985), "Effects of Aeration and Temperature on Composting of Municipal Sludge in a Full-Scale Vessel System", J.WPCF, Vol.57, No.4, pp309-315
- 11) MacGregor, S. T., F. C. Miller, K. M. Psarianos, and M. S. Finstein(1981), "Composting Process Control Based on Interaction Between Microbial Heat Output and Temperature", Applied and Environmental Microbiology, Vol.41, No.8, pp1321-1330
- 12) N'Dayegamiye, A., D. Isfan(1991), "Chemical and Biological Changes in Compost of Wood Shaving, Sawdust and Peat Moss", Canadian Journal of Soil Science, Vol.71, pp475-484
- 13) Polprasert, C. (1989), "Organic Waste Recycling", John Wiley & Sons
- 14) Sikora, L. J., M. A. Ramirez, and T. A. Troceschel(1983), "Laboratory Composter for Simulation Studies", J. Environ. Qual., Vol. 12, No. 2, pp219-224
- 15) Suler, D. J. and M. S. Finstein(1977), "Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ Formation in Bench-Scale, Continuously Thermophilic Composting of solid Waste", Applied and Environmental Microbiology, Vol. 33, No. 2, pp345-350