

음식쓰레기 퇴비화시 bulking agent의 적정 첨가량 결정에 관한 연구

신항식, 황응주, 정연구

한국과학기술원 토목공학과 환경공학연구실
대전시 유성구 구성동 373-1(우 305-701)

Optimum Mixing Ratio of Bulking Agent for Garbage Composting

Hang-Sik Shin, Eung-Ju Hwang, Yeon-Koo Jeong

Environmental Technology Research Laboratory, Department of Civil
Engineering, Korea Advanced Institute of Science & Technology
Taejeon 305-701, Korea

ABSTRACT

Garbage composting was studied in a controlled batch reactor with the addition of cooked rice as a biodegradable carbon source to find the effect of C/N ratio control on composting. And composting of bulking agents such as sawdust and wheat straw were tested with the addition of ammonium sulfate as a nitrogen source. As expected, biodegradation of the garbage having low C/N ratio was improved to some extent when foreign carbon was added. But bulking agents used in this study exerted slightly biodegradable carbon potential, indicating that the estimation of the dose of additional carbon considering desirable C/N ratio was not reasonable when lignocellulosic bulking material was added to garbage.

It was found that the optimum moisture content increased with sawdust addition meaning the C/N ratio increment. Considering the above results, it was suggested that 78g sawdust per 100g garbage should be mixed to make C/N ratio to 25 and moisture content to 56% for effective composting of the garbage studied in this paper.

초 목

우리나라에서 발생하는 음식쓰레기는 퇴비화 처리시 높은 수분함량과 낮은 C/N비를 적정 수준으로 조절하기 위해 bulking agent를 첨가함이 필수적이며 그의 정확한 첨가량을 계산하는 것은 퇴비화에 소요되는

비용을 결정하는데 중요한 요소로 작용하게 된다(Hay et al., 1988). 그러나 bulking agent의 첨가량을 계산하기 위한 기준지표 중의 하나인 C/N비의 경우 혼합되는 bulking agent의 분해정도가 고려되지 않은 총 탄소와 질소의 비에 기준하여 적정 첨가비율이 정해지고 있기 때문에 실제 요구되는 탄소와 질소의 양을 초과 또는 미달하는 경우가 발생할 수 있으며, 이는 곧 bulking agent의 과다첨가 또는 반응속도 저하로 인한 처리비용의 상승과 직결될 수 있다. 본 연구에서는 음식쓰레기의 퇴비화를 위한 bulking agent의 정확한 첨가량을 정량적으로 제시하기 위하여 bulking agent의 첨가로 인한 반응향상 여부와 그 원인을 분석하여 이를 바탕으로 적정 첨가량 결정법을 제안하였다.

그 결과 실질적으로 분해가능한 탄소원을 포함하고 있는 쌀밥의 첨가는 C/N비가 낮은 음식쓰레기의 퇴비화반응을 향상시킬 수 있으나, 분해가 쉽지 않은 톱밥을 bulking agent로 첨가할 경우는 음식쓰레기에 탄소원을 제공함으로써 반응을 향상시킨다기 보다는 음식쓰레기의 통기성을 개선하여 줌으로써 활발한 퇴비화 반응을 유도한다는 사실을 확인할 수 있었다. 따라서, bulking agent는 그 첨가량을 많이 할수록 퇴비화반응에 유리하며, 일반적인 적정 C/N비값 이상의 첨가율에서도 반응 향상이 가능한 것으로 예상된다. 또한 bulking agent 첨가량의 증가로 인한 통기성의 향상효과는 해당 조건하에서의 적정 수분함량값 증가요인으로 작용하는 것으로 나타나 이를 종합적으로 고려한 bulking agent첨가량 결정이 필요함을 알 수 있었다.

이상과 같은 실험적 분석의 결과를 종합할 때, 음식쓰레기 100g당 78g의 톱밥을 첨가하여 C/N비를 25 수분함량을 56%로 각각 조절하는 것이 본 연구에서 다루어진 음식쓰레기의 활발한 퇴비화를 위해서는 적절하며, 이러한 첨가량의 계산법은 실제 퇴비화시설의 적정 운전을 위해서 적용함이 바람직한 것으로 판단되었다.

핵심용어-음식쓰레기, 퇴비화, bulking agent, 생분해성 탄소함량, 생분해성 C/N비, 적정 첨가량

1. 序 論

최근 폐기물처리 문제가 심각히 대두되면서 종합적인 안목의 폐기물 관리대안에 대한 국민적 여망이 날로 증가되고 있다. 특히, 유기성 폐기물의 일부로 분류되는 쓰레기중의 음식물류, 종이류, 나무류 등의 발생이 매우 빠르게 증가하는 추세에 있어 이의 적절한 처리가 폐기물처리의 중요 현안으로 제기되고 있는 상황이다. 이런 시점에서 유기성 폐기물의 최후적 처리대안인 동시에 자원 재이용이라는 또 다른 장점을 지닌 퇴비화기술의 적용이 활발히 시도되고 있는 것은 매우 긍정적인 일이라 하겠다.

현재 퇴비화에 관한 연구는 크게 다음의 세가

지 분야로 진행되고 있다. 첫째는 외국에서 실용화되고 있는 대단위 퇴비화시설을 국내실정에 맞게 변화시켜 적용하는 방안에 관한 연구이고, 둘째는 고효율 퇴비화시스템의 개발에 관한 연구로서 발효미생물, 효소, 발효기 등의 개발이 여기에 속한다. 마지막으로 퇴비제품의 질 향상에 관한 연구로 토양에 무해하며 나아가서는 작물생산에 획기적인 효과를 거둘 수 있는 퇴비를 만들어내는 기술이 이에 해당되나 이분야에 대해서는 연구가 아직까지 미흡한 실정이다. 이 중에서 가장 시급한 연구과제는 역시 기존에 개발되어진 기술을 국내실정에 맞게 적용하는 방안을 연구하는 것이며, 이를 위해서는 퇴비화의 운전인자에 대한 확실한 이해와 이를 바탕으로한 퇴비화시설 설계기법의 습득이 선행되어야 한다. 그러나, 퇴비화기술이 비

교적 잘 알려진 기술이고 외견상 쉽게 접근할 수 있다는 점 때문에 이러한 점이 등한히 다루어지고 있는 것이 사실이고, 확실한 이론의 뒷받침없이 무분별하게 외국기술을 수입하려는 경향이 일부 있기 때문에 오히려 관련 연구분야에 혼란을 가져오기도 하는 상황이다. 여기서 반드시 지적해야 할 것은 현재 외국의 실용화된 대단위 퇴비화시설에서 채택하고 있는 퇴비화방식이 대부분 우리가 익히 잘 알고 있는 매우 평범한 기술이라는 것이며, 특히 주목해야 할 사실은 이러한 평범한 기술자체도 우리가 제대로 소화해낼 수 없다는 점이다. 이것은 우리나라에서 발생하는 유기성 폐기물이 외국의 그것과는 다르기 때문이며, 또한 평범한 기술이라 할지라도 충분한 시행착오와 진지한 이론적 접근없이 정복할 수 없기 때문이기도 하다.

따라서, 유기성 폐기물의 퇴비화에 대한 연구 및 기술개발에 있어 가장 중요시 되어야 할 문제는 국내실정에 맞는 기술을 어떻게 하면 지속적이고 안정적으로 운영할 수 있는가 하는 것이다. 1991년 현재 쓰레기중의 28.5% 정도에 달하고 있는 음식쓰레기의 경우, 외국과 비교할 때 정도의 차이는 약간 있지만, 높은 수분함량 및 강한 부패성과 그로 인한 악취발생의 우려가 퇴비화처리시 쉽게 예견가능한 우리만의 독특한 문제라 할 수 있다. 이에 대한 해결책의 일환으로 bulking agent의 첨가가 필수적이며, 한편으로는 이를 통해 음식쓰레기의 낮은 C/N비를 적정한 수준으로 조절할 수 있으리라 예상되나, 실제 퇴비화과정에서 그 분해도가 극미하여 C/N비 조절의 효과는 기대하기 어려울 것으로 판단된다. 또한, 실제 퇴비화공

정의 운영에서 초기 퇴비화 대상물질의 혼합비를 결정할 때 기존의 적정 수분함량과 적정 C/N비 조건을 동시에 만족시키지 못하는 경우가 쉽게 발생될 것으로 예상된다(Rynk, 1992).

본 연구에서는 음식쓰레기의 퇴비화를 위한 bulking agent의 정확한 첨가량을 정량화하기 위하여 우선적으로 퇴비화과정중 그 분해도를 측정하고, 탄소원으로 쌀밥과 톱밥을 첨가하여 C/N비를 조절한 경우를 각각 비교함으로써 bulking agent 혼합으로 인한 C/N비 조절의 의미를 규명하였다. 그 다음으로 bulking agent의 적정 첨가량 결정법을 제안하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

2.1 試料

퇴비화 대상물질로서 음식쓰레기는 한국과학기술원의 구내식당으로부터 폐기되는 음식물을 노천 건조 후 1mm이하로 분쇄한 것을 사용하였다. 사용된 음식쓰레기의 특성은 시료 채취기간별로 심한 변동폭을 보였으나 평균적으로는 Table 1에서와 같이 건조전 수분함량 85%, 건조후 수분함량 22.7%, C/N비 9.42, 유기물함량이 건조중량기준으로 82.5% 정도의 수치를 나타내었다. 음식쓰레기를 건조하여 실험한 것은 시료의 분쇄가 용이하고 이를 조성의 변화없이 장기보관할 수 있으며 초기 퇴비화 대상물질의 수분함량을 자유자재로 조절할 수 있기 때문이었다.

Table. 1 Composition of garbage(% of dry solid)

Moisture content	V.S.	C	H	N	S
85	82.5	47.1	6.8	5.0	0.7

a : wet base

2.2 堆肥化 實驗裝置

일반적으로 실험실 규모의 퇴비화 장치는 30L의 용량을 전후로 제작 실험되어지고 있다. 이러한 장치는 비교적 반응기를 자동적으로 제어할 수 있고 채취시료의 대표성을 확보할 수 있는 반면, 시료의 양을 많이 필요로 하고 운전이 까다로워지는 단점때문에 여러개의 반응기를 동시에 운전하기가 용이하지 않았다. 따라서 실험변수 선택의 여지가 적고, 엄밀히 말하자면 실험변수를 제외한 초기조건이 같아야함에도 불구하고 여러번에 나누어 실험을 해야되기 때문에 그렇지 못한 상황에서 실험이 수행되어질 가능성이 있었다(Nakasaka et al., 1986; 1992). 본 연구에서는 1L 크기의 소형 반응시스템을 사용하여 동시에 여러가지 인자를 변화해가며 실험함으로써 이를 극복할 수 있었다. 기존의 연구에서는 30L 전후의 반응기가 한번의 실험에서 3-4개 정도 운전되어졌으나, 본 연구에서는 한 실험에서 5-7개의 반응기를 운전하였다.

다만, 반응기의 갯수가 많고 시료량이 적기때문에 퇴비시료를 전량 꺼내어 수작업으로 교반하거나 별도의 교반기를 반응기내에 설치할 수 없다고 판단되어 퇴비시료를 반응기내에 그대로 둔채

시료를 채취하였으며, 따라서 균일한 공기공급에 특별히 주의할 필요가 있었다. 이에 대한 대책으로 Fig. 1의 반응기를 12시간 주기로 전치하고 공기의 유입 유출구를 서로 바꾸어 산소공급함으로써 호기성 조건을 고르게 유지하고자 하였으며, 또한 유입된 공기는 반응기내 통풍관 측면의 배출공으로도 일부 통풍되도록 하여 균일한 산소공급에 최선을 다하였다. 유입공기는 0.4mL/min./g-ds의 비율로 일정하게 공급하였다.

분석항목으로는 가스중의 이산화탄소 농도와 암모니아 농도를 GC와 흡수용액을 사용하여 측정하였고(Nakasaka et al., 1992), 쌀밥을 첨가한 실험에서는 1일간격으로 반응기 내용물을 전량 꺼내어 교반해줌과 동시에 고체시료를 채취하여 pH, 용존상 암모니아, 질산염, 유기물, 수분 함량 등을 측정하였다. 그리고, 약 20일간의 반응을 끝으로 시료를 채취 분석하고 최종 이산화탄소의 발생을 주요 지표로 하여 실험결과를 분석하였다.

2.3 實驗條件

실험은 크게 3가지 단계로 나누어 진행하였다 (Table 2). 첫번째의 실험에서는 쌀밥을 탄소원

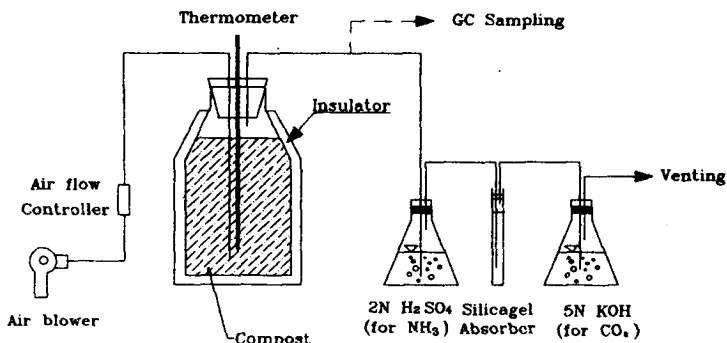


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system

으로 첨가하여 C/N비를 조절했을 때의 효과를 살펴봄으로써 생분해성 탄소와 질소비의 중요성을 검토하였다. 두번째 실험의 목적은 크게 두가지로서, 첫번째 실험에서 얻어진 C/N비 조절의 효과가 톱밥이나 밀짚과 같은 bulking agent첨가의 경우도 재현될 것인가와 톱밥혼합비의 증가로 인한 반응향상의 원인등을 검토하여 bulking agent 혼합비 결정인자로서 C/N비의 의미를 재평가하였다. 마지막으로는 일정 bulking agent혼합비 하에서 수분함량 변화에 따른 이산화탄소 발생률을 비교함으로써 bulking agent혼합비와 최적 수분함량간의 변화관계를 도출하였으며 이를 근거로 하여 최종적인 적정 첨가량을 결정하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 生分解性 C/N比 調節效果

생분해가 용이한 탄소원으로서 쌀밥의 혼합비를 변화시켜가면서 음식쓰레기의 C/N비를 조절하였을 때 퇴비화 반응기내 평균온도, 유기물분해율, 탄소전환율, 누적 이산화탄소 발생속도, pH, 질소전환율 변화를 각각 Fig. 2, 3, 4에 도시하였다.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 C/N비를 20.9로 조절하였을 때 본격적인 퇴비화기간 중 온도의 평균값과 유기물 분해율, 탄소 전환율등 퇴비화반응기내의 제반 효율이 최대로 유지되었다. 이는 첨가

Table. 2 Experimental conditions

Test Parameters		C/N ratio	Moisture content (%)	Carbon source	Nitrogen source	G : R : S : C*
1	C/N 12.7	12.7	50	-	G & C**	1.00:0.00:0.00:0.40
	C/N 15.5	15.5	"	Rice	G & C	1.00:1.06:0.00:0.40
	C/N 20.9	20.9	"	"	G & C	1.00:2.24:0.00:0.40
	C/N 25.0	25.0	"	"	G & C	1.00:3.48:0.00:0.40
	C/N 30.1	30.1	"	"	G & C	1.00:5.68:0.00:0.40
2	BCP-1***	20.5	56.0	Wheat straw	(NH ₄) ₂ SO ₄	
	BCP-2	20.5	"	Sawdust	(NH ₄) ₂ SO ₄	
	C/N-20.3	20.3	"	"	G & C	1.00:0.00:1.39:0.40
	C/N-24.9A	24.9	"	"	G & C	1.00:0.00:1.95:0.40
	C/N-24.9B	25.2	60.2	"	G & C	1.00:0.00:1.97:0.40
	C/N-29.9	29.9	56.0	"	G & C	1.00:0.00:2.58:0.40
3	MC 52****	30.1	51.5	Sawdust	G & C	1.00:0.00:2.61:0.40
	MC 55	30.1	55.0	"	G & C	1.00:0.00:2.61:0.40
	MC 60	29.9	60.2	"	G & C	1.00:0.00:2.58:0.40
	MC 67	30.1	67.0	"	G & C	1.00:0.00:2.61:0.40

* : Garbage/rice/sawdust/compost mixing ratio ** : Garbage & compost
 *** : Biodegradable carbon potential **** : Moisture content

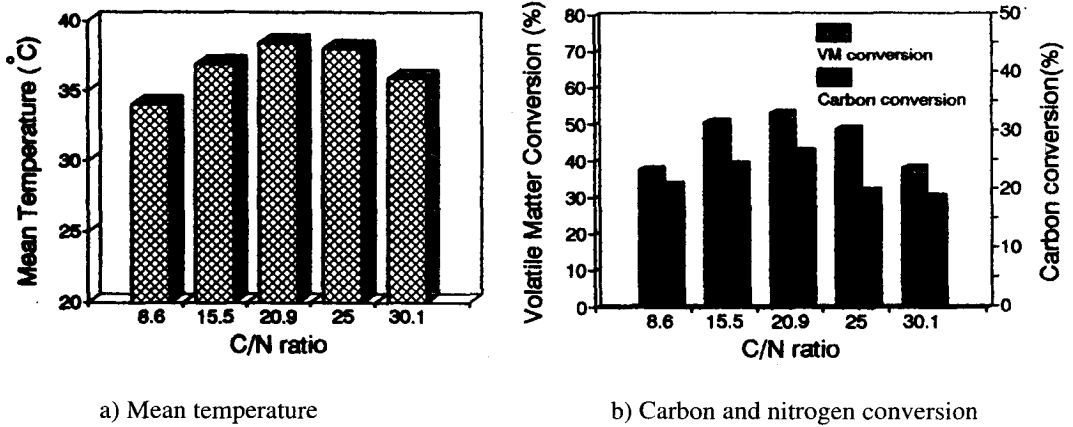


Fig. 2 Effect of biodegradable carbon addition on composting reaction\

된 쌀밥의 높은 생분해도에 의한 것으로 단순히 이 결과만으로는 음식쓰레기 자체의 분해가 활성화되었다고 판단할 수는 없다 하겠다. 그러나 C/N비가 25와 30인 경우 초기 많은 쌀밥의 함유에도 불구하고 반응효율이 저하된 것은 과도한 생분해성 탄소의 첨가는 오히려 퇴비화반응에 역효과를 가져온다는 사실을 시사하는 것으로, 본 실험의 C/N비 20.9와 같이 그 적정 첨가수준이 존재함을 알 수 있었다(Nakasaki et al., 1992). 그 원인은 Fig. 2의 누적 이산화탄소발생과 Fig. 4의 a) pH변화를 비교 관찰하면 쉽게 알 수 있는 바, 유기물분해로 인해 암모니아가 발생되면서 잇따라 pH가 상승되는 현상과 첨가된 쌀밥의 분해로 인하여 유기산 등 중간생성물이 축적되고 그에 따라 pH가 저하되는 두 현상간의 상쇄작용때문에 쌀밥이 과도하게 첨가된 경우 pH가 급격히 하락하여 반응이 저해되었던 것으로 사료된다.

C/N비를 증가시킴으로써 암모니아가스의 발생을 감소시키게되는 효과는 Fig. 4의 b)와 같다. 여기서는 음식쓰레기 자체만을 퇴비화한 C/N비 8.6의 경우 질소의 초기함량이 탄소에 비하여 상

대적으로 많았기 때문에 질소화합물의 분해가 지배적으로 이루어져 암모니아 축적과 pH 상승현상이 발생되었지만, 쌀밥의 첨가량이 증가하면서 즉, C/N비가 증가하면서는 이러한 현상이 점차 감소되는 경향이 관찰되었다. 이는 생분해성 탄소 첨가로 인한 pH 하락효과때문에 발생·축적된 암모니아의 탈기현상이 감소된데 원인이 있는 것으

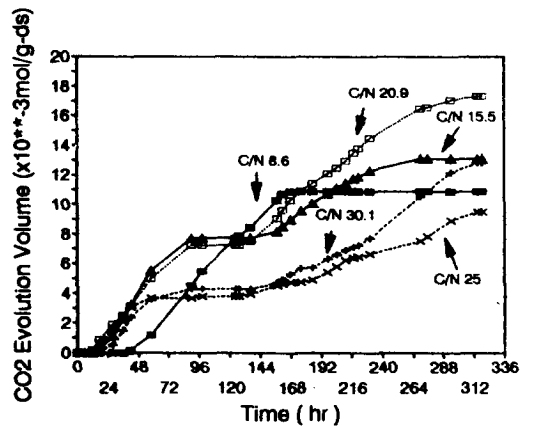


Fig. 3 Cumulative CO₂ evolution at various C/N ratios

로 탄소 대 질소의 분해균형이 적절히 유지된 C/N 비 20.9에서부터는 미량의 암모니아가스만이 발생되었다. 한편, 그림의 막대 전체길이에 해당되는 질소의 무기화율(질소의 암모니아가스로의 전환율과 퇴비내의 용존 암모니아 및 질산염으로의 전환율을 합산한 값)도 같은 감소경향을 보였는데, 이는 생분해성 탄소첨가로 인한 활발한 미생물증식과 그에 따른 질소의 세포내 고정화작용(immobilization) 증대때문인 것으로 사료된다. 이것은 통상적인 C/N비 조절과 암모니아가스 발생간의 관계를 설명하는 원리와 일치하는 것으로서, C/N비 조절로 인하여 질소의 유실이 감소되는 현상은 앞서 언급한 pH 감소와 질소고정화작용의 증대 등 두가지 원인 모두로 설명이 가능하다 하겠다.

이상의 결과로부터, 생분해성 탄소의 첨가를 통해 C/N비 20.9까지는 퇴비화반응을 활성화하고 암모니아가스의 발생을 감소시킬 수 있다 결론 지을 수 있다.

3.2 Bulking agent 混合比 決定 因子로서 C/N 比의 意味

일반적으로 bulking agent는 단어가 의미하는대로 퇴비화 대상물질의 구조적인 안정성을 개선하여 통기성을 개량할 목적으로 사용되어지고 있다(Nakasaka et al., 1986; Rabbani et al., 1983). 이같은 면에서 볼 때는 bulking agent에 존재하는 탄소가 퇴비화과정에서 특별한 역할을 한다고 할 수는 없으며, 따라서 이의 첨가로 앞 절의 결과와 같은 실질적 의미의 C/N비 조절 효과를 기대할 수는 없다. 물론 첨가되는 bulking agent의 종류에 따라서는 그것이 퇴비화과정에서 상당한 생분해도를 보이는 경우도 있으나, bulking agent로서 일반적으로 사용되어지고 있는 종이, 나무조각, 톱밥, 밀짚, 기타 목질계 원료는 리그노셀룰로스(lignocellulose)를 다량 함유하고 있는 이유로 생화학적 분해가 어려울 뿐더러 분해가 가능하다 해도 여기에 상당한 기간이 소요되는 것으로 알려져 있다. 따라서, 이러한 bulking agent를 첨가하여 C/N비를 증가시켰다고 해도

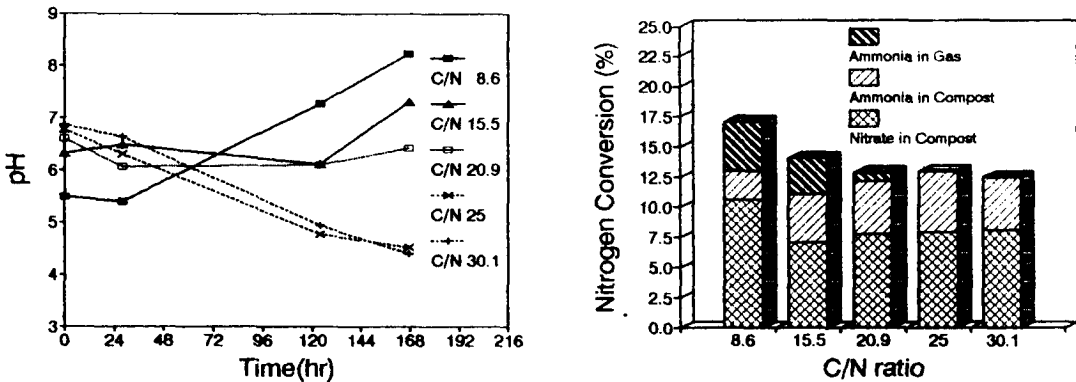


Fig. 4 pH and nitrogen conversion at various C/N ratios

실질적인 의미의 C/N비는 증가하였다고 볼 수 없으며, 이와 같은 이유에서 볼 때 bulking agent 첨가로 인한 퇴비화반응 향상은 통기성의 향상과 같은 다른 원인에 기인하는 것이라 하겠다. 그렇기 때문에 bulking agent의 첨가율을 결정하는데는 문헌상의 최적 C/N비 값을 무조건적으로 참고하기 보다는 좀더 폐기물의 물리적 특성과 관련을 갖는 수분함량의 조절에 주목할 필요가 있다.

본 절에서는 이의 확인 실험결과를 Fig. 5에 도시하였다. 각각 밀짚과 톱밥의 생분해성 탄소함량 (biodegradable carbon potential)을 평가한 BCP-1과 BCP-2의 결과는 예상했던 바대로 매우 적은 이산화탄소 발생을 나타내었다. 또한 같은 그림에서 C/N비의 증가로 간접 표현되는 bulking agent 첨가율의 증가에 따라 이산화탄소의 발생이 증가하는 경향을 관찰할 수 있다.

여기서, bulking agent 첨가율이 증가함에 따라 퇴비화반응이 향상된 결과를 설명하기 위해서는 쌀밥 첨가의 경우와 같이 탄소와 질소의 비가 적절히 조절됨으로써 반응이 향상된다는 사실을 적용해야 되겠으나, 본 실험에서 나타난 바와 같이 톱밥이나 밀짚 등 분해가 쉽지 않은 bulk-

ing agent의 첨가를 통해서도 실질적인 의미의 C/N비 조절에 큰 효과를 기대할 수 없다는 사실을 감안하면 다른데서 그 반응향상의 원인을 찾아야 할 것이며, 톱밥 또는 밀짚의 구조적 안정성은 이들의 첨가 혼합으로 인한 통기성 개선과 그에 따른 퇴비화반응의 향상 가능성을 충분히 뒷받침할 만한 근거로 작용할 수 있다 하겠다.

이상의 사실을 종합할 때 bulking agent 첨가율의 증가로 인한 퇴비화반응의 향상은 C/N비의 조절 효과라기보다는 통기성 개선의 결과임을 유추할 수 있다.

3.3 Bulking agent 混合比와 最適 水分含量과의 關係

본 절에서는 C/N비 이외의 또다른 결정인자인 수분함량에 관한 연구결과를 논하였다(Fig. 6). 퇴비화에 적절한 수분함량은 주로 폐기물의 물리적 특성과 관계되어지는 것이기 때문에 bulking agent의 첨가율이 변함에 따라 적정 수분함량조건에도 변동이 있을 것으로 예상할 수 있다. Fig. 5의 C/N 24.9A와 C/N 24.9B의 비교, 그리고 Fig 6을 자세히 관찰하면 어떠한 관계를 도출할

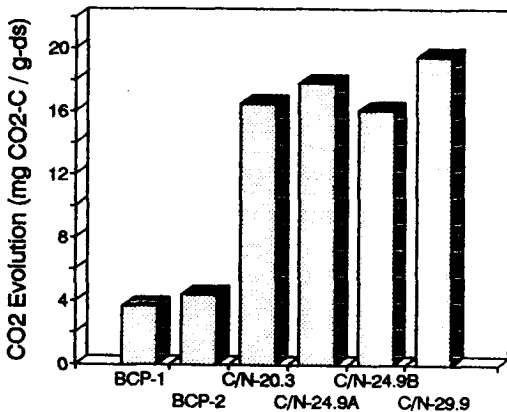


Fig. 5 Effect of bulking agent on CO₂ evolution

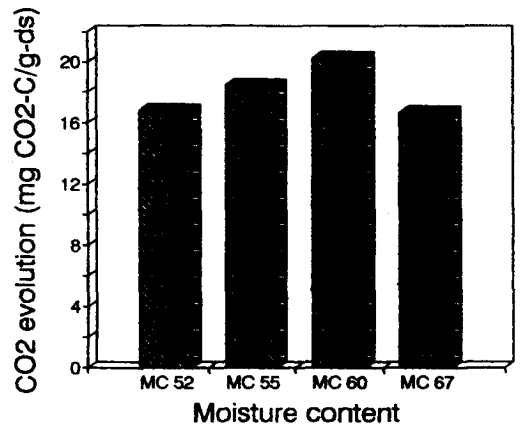


Fig. 6 Effect of moisture content on CO₂ evolution

수 있는데, 그것은 바로 bulking agent의 첨가율이 증가함에 따라 최적 수분함량이 증가한다는 사실로서, C/N비 24.9일 때와 C/N비 30일 때 각각 55%와 60%의 수분함량조건에서 최대 이산화탄소 발생이 있었던 결과로부터 이에 대한 유추가 가능하다. 즉, 많은 양의 bulking agent 첨가로 인해 통기성이 개선된 상황에서는 좀더 기질 전달이 용이한 높은 수분함량 조건하에서도 산소 전달이 저해받지 않게 된다. 지금까지 수행되어진 다른 연구(Suler, Finstein, 1977)에서는 C/N비와 수분함량의 적정치를 각각 독립적으로 구하려 하였다는데 문제점을 지니고 있기 때문에 본 실험에서 확인된 이러한 관계는 bulking agent의 혼합비 결정에 새로운 관점을 제공할 수 있을 것이라 사료된다. 즉, 3절에서 논의한 바대로 bulking agent는 많이 넣으면 넣을수록 통기성이 향상되므로 퇴비화에 이로우나, bulking agent가 많이 첨가될수록 혼합 퇴비화대상물질의 수분함량은 낮게 되는 반면, 적정 수분함량값은 증가하게 되기 때문에, 너무 많은 bulking agent를 첨가하면 퇴비화 비용상승과 함께 미생물로의 물질전

달이 저해를 받게 될 것이며, 너무 적은 bulking agent를 첨가하면 통기성이 저해를 받게 될 것이다(Fig. 7). 따라서, 그사이에 존재하는 최적의 bulking agent 첨가비율을 정량적으로 찾을 수 있을 것이다. 이를 근거로 한 bulking agent 첨가율 결정절차를 다음에서 논하였다.

3.4 Bulking agent 混合比 決定法 例

통상적인 bulking agent의 첨가량 결정절차는 각각 적정 C/N비와 적정 수분함량으로 조절하는데 소요되는 양을 계산한 후 두값의 차가 클 경우는 폐기물의 특성상 우선적으로 고려되어야할 인자를 위주로 이를 조절토록하고 있다(Rynk, 1992). 즉, 수분함량이 낮은 폐기물은 C/N비를 우선으로 하여 계산한 후 수분을 첨가하여 적정 수분함량이 되도록 하고, 반면 수분함량이 매우 높은 폐기물의 경우는 수분함량의 적정치를 이룰 수 있는 첨가량을 결정한 후 이를 크게 변화시키지 않은 범위에서 적정 C/N비에 가깝도록 재계산하고 있다. 그러나, 전자의 경우는 보통 C/N비 조절에 소요되는 bulking agent량이 수분함량 조절의 경우보다 많기 때문에, 필요이상의 많은 소요 첨가량때문에 그에 따른 비용이 증가하게 될 가능성이 있다. 또한 C/N비는 첨가되는 bulking agent의 생분해성이 어느 정도 크지 않을 경우는 실질적 의미의 C/N비 조절인자로서의 의미를 지니기보다는 일정 수분함량하의 건조고형물간 최적 혼합비를 간접적으로 나타내는 지표라 할 수 있으므로 어느 경우에서나 수분함량을 주된 결정인자로 고려함이 바람직하지만, 현재까지는 앞서 예를 들었던 것처럼 구체적인 기준이나 절차를 따르기 보다는 주로 경험에 근거한 시행착오법적 계산에 의존하고 있는 상황이다(Rynk, 1992).

본 연구에서는 지금까지의 결과로부터 Fig. 8과 같은 구체적 혼합비 결정법을 제시하였다. MCop & C/Nop 관계곡선은 적정 수분함량 조

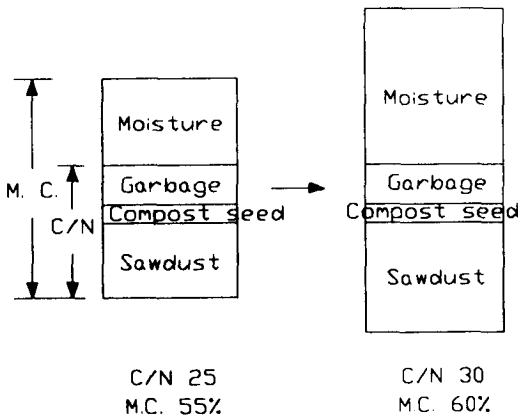


Fig. 7 Relationship between mixing ratio of bulking agent and optimum moisture content

Table. 3 Base data for determination of amounts of bulking agent

	Moisture content (%)	C(% d.s.)	N(% d.s.)
Garbage	76* (22.7)**	47.1	5.0
Compost	40* (51.1)**	19.7	3.5
Sawdust	35* (44.9)**	56.2	0.11
Rice	- (11.8)**	60.3	1.2

Compost recycling ratio 0.5g compost/g garbage (dry weight)

* : Representative value in common composting plants

** : Real value in three experiments

건과 적정 C/N비(엄밀히 정의하면 적정 bulking agent 혼합비) 조건간의 관계를 나타내는 곡선으로서 C/N비가 증가하면 그 때의 적정 수분함량도 증가하게 된다는 3절에서 도출된 결과를 이용하여 작성하였다. 즉, 적정한 수분과 C/N비 조건의 쌍으로 얻어진 두점을 연결한 직선이 곧 MCop & C/Nop 관계곡선이며, 점선으로 표시된 부분은 이 곡선이 C/N비 25이하에서도 그대로 적용될 수 있다는 가정하에 그려졌다. 그림의 또 다른 곡선인 operating curve는 실제 퇴비화 시설에 도입될 수 있는 음식쓰레기, 반송퇴비, 톱밥 등의 수분함량과 C/N비 자료(Table 3)를 바탕으로 작성된 실제의 운전조건곡선이다.

Fig. 8의 Case A에 대응되는 bulking agent를 첨가할 경우는 수분함량이 적정조건보다 너무

높아서 통기성에 문제가 있게 된다. 반면 Case B가 되도록 bulking agent를 첨가하면 퇴비화 대상물질이 최대한 지닐 수 있는 양보다 적은 수분량을 갖게 되어 기질, 산소 등이 미생물로 전달되는데 저해를 받게 되어 반응이 저하될 뿐만 아니라 과도한 톱밥첨가로 인한 비용상승 또한 문제가 된다. 따라서, operating curve를 따라 이동하다가 이 곡선이 MCop & C/Nop 관계곡선과 만나는 점, 즉 C/N비 25와 MC 56이 해당 폐기물에 알맞는 bulking agent 혼합비 결정조건이라 할 수 있다. 이에 근거하면 음식쓰레기의 78%에 해당하는 톱밥을 첨가해야 한다고 최종적으로 결론지을 수 있다. 물론, 이러한 절차는 bulking agent의 첨가량을 보다 합리적으로 결정하기 위하여 모범적으로 제시된 절차에 불과하다는 한계

Table. 4 Conditions of composting reaction according to the alternatives for determination of bulking agent mixing ratio.

	Bulking agent Mixing ratio (sawdust/garbage)*	C/N ratio	Moisture content (%)	Reaction condition
Case A (C/N ratio control)	1.02	30.0	53.9	Limiting mass transfer
Case B (M.C, control)	0.48	18.9	60.0	Limiting aeration

* : Wet weight ratio

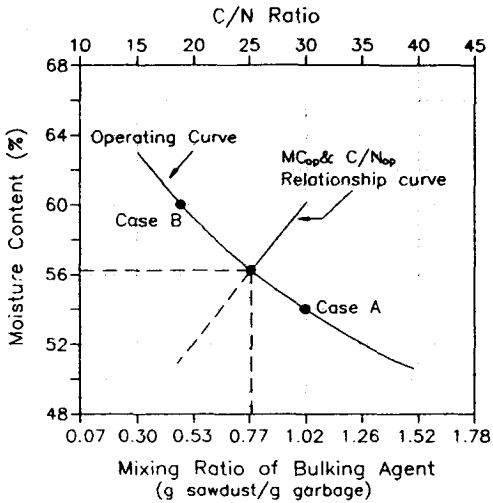


Fig. 8 Graphical analysis of optimum bulking agent demand

를 갖지만, 본 연구에서 사용한 자료가 대표적인 퇴비화시설에서의 수치라는 면에서 (Hay et al., 1988; Rynk, 1992; Rabbani et al., 1983; Hay et al., 1993) 이를 현장에 직접 적용하는 데는 큰 무리가 없을 것이라 판단되는 바이다.

4. 結 論

1. 생분해성 탄소원인 쌀밥의 첨가를 통해 C/N 비 20.9까지는 퇴비화반응의 활성화와 암모니아 가스 발생의 감소효과를 거둘 수 있었다.
2. 암모니아가스 발생의 감소는 생분해성 탄소 첨가로 인한 pH 감소효과와 미생물 동화작용의 활성화로 설명가능하다.
3. Bulking agent는 퇴비화과정중 탄소원공급의 역할보다는 오히려 통기개선의 역할을 담당하였다.
4. C/N비는 bulking agent의 첨가율을 간접적으로 나타내는 지표로서 생분해성 C/N비와는 구분되어야 한다.

5. Bulking agent첨가량의 증가에 따라 최적 수분함량은 증가하며 이러한 관계를 bulking agent 혼합비결정에 이용할 수 있다.

6. 본 연구에서 가정한 조건하에서 수분함량 75%, C/N비 9.42인 음식쓰레기를 퇴비화할 때, 수분함량 35%, C/N비 511인 톱밥(Table 3, 참고문헌 2)의 적정 첨가량은 습윤중량을 기준으로 음식쓰레기의 78%이다.

참 고 문 헌

- 1) Hay, J., Ahn, H., Chang, S., Caballero, R., and Kellogg, H., (1988), "Alternative Bulking Agent for Sludge Composting - Part I", Biocycle, vol. 29(9), pp.48-52.
- 2). Rynk, R., (1992), "On-Farm Composting Handbook", Northeast Regional Agricultural Engineering Service.
- 3) Nakasaki, K., Shoda, M., and Kubota, H., (1986), "Effect of Bulking Agent on the Reaction Rate of Thermophilic Sewage Sludge Composting", J. Ferment. Technol., vol. 64, pp.539-544.
- 4) Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y., and Kubota, H., (1992), "Effect of C/N Ratio on Thermophilic Composting of Garbage", J. Ferment. Bioengineering, vol. 73, pp.43-45.
- 5) Rabbani, K. R., Jindal, R., Kubota, H., Obeng, L., (1983), "Composting of Domestic Refuse", Environmental Sanitation Reviews, (10/11), pp.48-49, Environmental Sanitation Information

- Center.
- 6) Suler, D. J., Finstein, M. S., (1977), "Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ Formation in Batch-Scale, Continuously Thermophilic Composting of Solid Waste", Applied and Environmental Microbiology, vol. 33, pp.345-350.
 - 7) Haug, R. T., (1979), "Engineering Principle of Sludge Composting", J. Wat. Pollut. Control. Fed., vol. 51, pp.2189-2206.
 - 8) Hay, J., Ahn, H., Chang, S., Caballero, R., and Kellogg, H., (1988), "Alternative Bulking Agent for Sludge Composting - Part I", Biocycle, vol. 29(10), pp.46-51.
 - 9) Shin, H. S., Hwang, E. J., Jeong, Y. K., (1993), "Mixing Ratio of Bulking Agent for Moisture Content and C/N Ratio Control in Garbage Composting", Proceedings of the Third NTU-KU-KAIST Tri-Lateral Seminar/Workshop on Civil Engineering, pp.260-267.
 - 10) Shin, H. S., Hwang, E. J., Jeong, Y. K., (1993), "Effect of Bulking Agent on Garbage Composting", 66th Annual Conference & Exposition on Water Environment Federation, (Post Paper Presentation).