Korean J. Environ. Agric.
Vol. 7, No. 2, December 1988

폐기물의 퇴비화 과정중 물질 변화

1. 탄소화합물 변화

서 정 윤*

Changes of Chemical Compounds in Compost of Municipal Refuse

1. Changes of Carbon Compounds

Jeoung-Yoon Seo*

Abstract

To investigate the seasonal changes of various organic and inorganic compounds in compost, carbon compounds in compost were analyzed at various composting periods.

Contents of organic matter, cellulose, total carbon, organic carbon and biodegradable carbon in compost were decreased with the progress of composting. In contrast, contents of lignin and nonbiodegradable carbon were increased a little with the progress of composting, but effective contents of lignin were decreased with the lapse of composting time, while effective contents of nonbiodegradable carbon were not changed. Total carbon contents in organic matter in compost were decreased within 9 weeks after composting, and then increased thereafter. Difference between average values of total and biodegradable carbon contents was 6.2%.

Actual decay rates of all the carbon compounds were higher than decay rates of the compounds at all the experimental periods. Both of actual decay rate and decay rate of all the carbon compounds were increased rapidly within 2 weeks after composting, and thereafter the rates were increased slightly with the lapse of composting time. Especially the decay rates of cellulose were increased from 9 to 21 weeks after composting.

Actual degradation capacity showed the same tendency to degradation capacity of all the carbon compounds in compost. Decay rate and degradation capacity of lignin in compost had minus values, while actual decay rate and actual degradation capacity had plus values.

Highly positive correlations were observed among organic matter, cellulose, total carbon and biodegradable carbon one another. Nonbiodegradable carbon showed highly negative correlation with organic matter, cellulose, total carbon, organic carbon and biodegradable carbon, respectively. The same tendencies were observed between lignin and organic matter, cellulose, total carbon, organic carbon and biodegradable carbon. Highly positive correlation was observed between lignin and nonbiodegradable carbon in compost.

*베를린 공과대학교 환경보전연구소 *Fachgebiet Abfallwirtschaft, Institut für Technischen Umweltschutz, Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, 1000 Berlin 12, West Germany*

서 론

오늘날 서독 가정에서 발생하는 쓰레기는 총 29.2백만톤/년에 이르고 처리 현황을 보면 주로 위생적인 매립과 소각방법에 의존하고 있고 퇴비화가 차지하는 비율은 불과 2%에 해당하지만 이 분야의 기술 개발이 활발하게 진행되고 있으며 다른 쓰레기 처리방법들은 후차적인 환경오염을 발생시키는 단점을 가지고 있으므로 더욱 관심이 집중되고 있다.

퇴비화 방법은 냄새를 발생시키는 단점을 제외하고는 환경오염을 초래하지 않는 방법이며 생성된 물질은 퇴비로서 토양의 지력이 증진되므로 토양개량제로서이용될 수 있다. 일반적으로 퇴비화의 장점을 보면 최종 처리해야 할 쓰레기 량 감소(약50%), 퇴비화 과정에서 인위적으로 최적조건을 유지해줌으로서 자연상태에서 대단히 완만한 폐기물의 분해 속도가속화, 폐기물에 함유되어있는 병원성 미생물의 살균, 다용도로 이용할 수 있는 퇴비생산, 퇴비중에 함유되어 있는 각종 물질의 자연 순환 과정에의 재 복귀 등을 들 수가 있다.

퇴비화는 유기물의 생물학적인 호기적 분해과정을 이용한 것으로 주로 유기물질의 분해과정이다. 이러한 유기물질의 생물학적 분해과정은 각종 물질 상호간에 밀접한 관계를 가지므로 퇴비화 기간에 따라 각종 생성 및 분해물질의 함량에 현저한 차이가 예상된다.

퇴비화에 관여하는 호기적 미생물은 타급 영양 미생물로서 자신들의 생명을 유지하기 위한 에너지를 유기물 중의 탄소 산화로 부터 공급받게 된다. 그러므로 탄소화합물은 미생물의 에너지원으로 중요한 위치를 차지하며 소모되는 탄소량의 20%만이 자체 체세포 형성에 이용되고 나머지 65~80%가 자체 생명 유지 에너지원으로 이용되기 때문에 일반적으로 퇴비화 과정중 전체 탄소함량은 감소할 것이지만 탄소화합물의 종류에 따라 미생물에 의한 이용 정도가 다르기 때문에 이들 성분함량 변화에 다양성을 보여주게 될 것이다.

이와같은 각종 물질의 시기적인 함량 변화는 생성 퇴비의 부숙도와 화학적 성질을 결정하는 하나의 좋은 지표가 될 수 있기 때문에 본 실험에서는 이러한 물질들의 퇴비화 과정 중 각종함량을 분석 하므로서 시기별 함량 변화와 상호관계를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 퇴비원료물질의 생산공정

퇴비원료물질의 생산공정은 그림1과 같다. 즉 각 가정으로 부터 수집 차량에 의하여 수집된 폐기물은 본 퇴비공장의 일정 장소에 모아져서 퇴비화할수 없는 물질중 일부는 소각되고 소각할 수 없는 물질들은 매립장으로 운반되어 위생적인 매립 처리방법에 의하여 처리되었다. 퇴비화가능 물질들은 분쇄 및 여과공정으로 이동되어 체를 통과한 물질들은 자석식 벨트에 의하여 이동되는 동안에 자석에 부착되는 금속물질들이 제거되고 수분 함량 약 60%로 탈수된 오리와 적정 비율로 혼합되어 중간 퇴적장에 보관되었다. 이곳에서 잘 혼합된 후 탑(Mulltibacto silo digester)으로 계속 이동되며 탑에서의 물질 투입은 탑 상부에서 행해지며 약 10단계 층을 거치는 동안 물질 분해, 혼합, 분쇄가 이루어졌다. 본 탑에서의 온도는 60℃이상이 유지되고 외부 공기를 인위적으로 공급하여 계속 호기적 상태가 지속되며 체류시간은 약20시간 이었다. 탑에서 발생되는 폐기 가스는 퇴비 여과기를 통하여 처리 되었다. 탑을 통과한 것들은 탑 하부에 연결된 배출구를 통하여 다시 여과 공정을 거쳐서 목적에 따라 각종 크기의 체눈을 가진 체에 의하여 여과되고 여과부분은 다시 분해 불가능한 이물질 제거공정을 거친 후 생퇴비가 생산되었다. 이렇게 하여 생산된 생퇴비를 본 실험의 초기 원료물질로 사용하였다. 퇴비원료물질 생산공정에서의 물질수지는 다음과 같다.

Input :	
Haushold refuse	50,000 ton/year
Bulk and commercial waste	15,000 ton/year
Sewage sludge	6,000 ton/year
Sum	71,000 ton/year
Output :	
Cotmbustion	18,000 ton/year
Deposit	30,000 ton/year
Fresh compost	20,000 ton/year
Rest	3,000 ton/year
Sum	71,000 ton/year

2. 퇴비화 방법

그림1의 생산공정을 거친 퇴비의 원료물질을 삼각더미(지면 가로 2.5m×지면 세로 30m×높이 2m)로 야적하여 자연상태에서 퇴비화를 진행시켰다. 퇴비더미의 이적은 처음 야적 후 4주 및 16주에 기계적으로 실시하였으며 분석용 시료 채취는 0, 6/7, 2, 5, 6, 9, 17, 21, 30

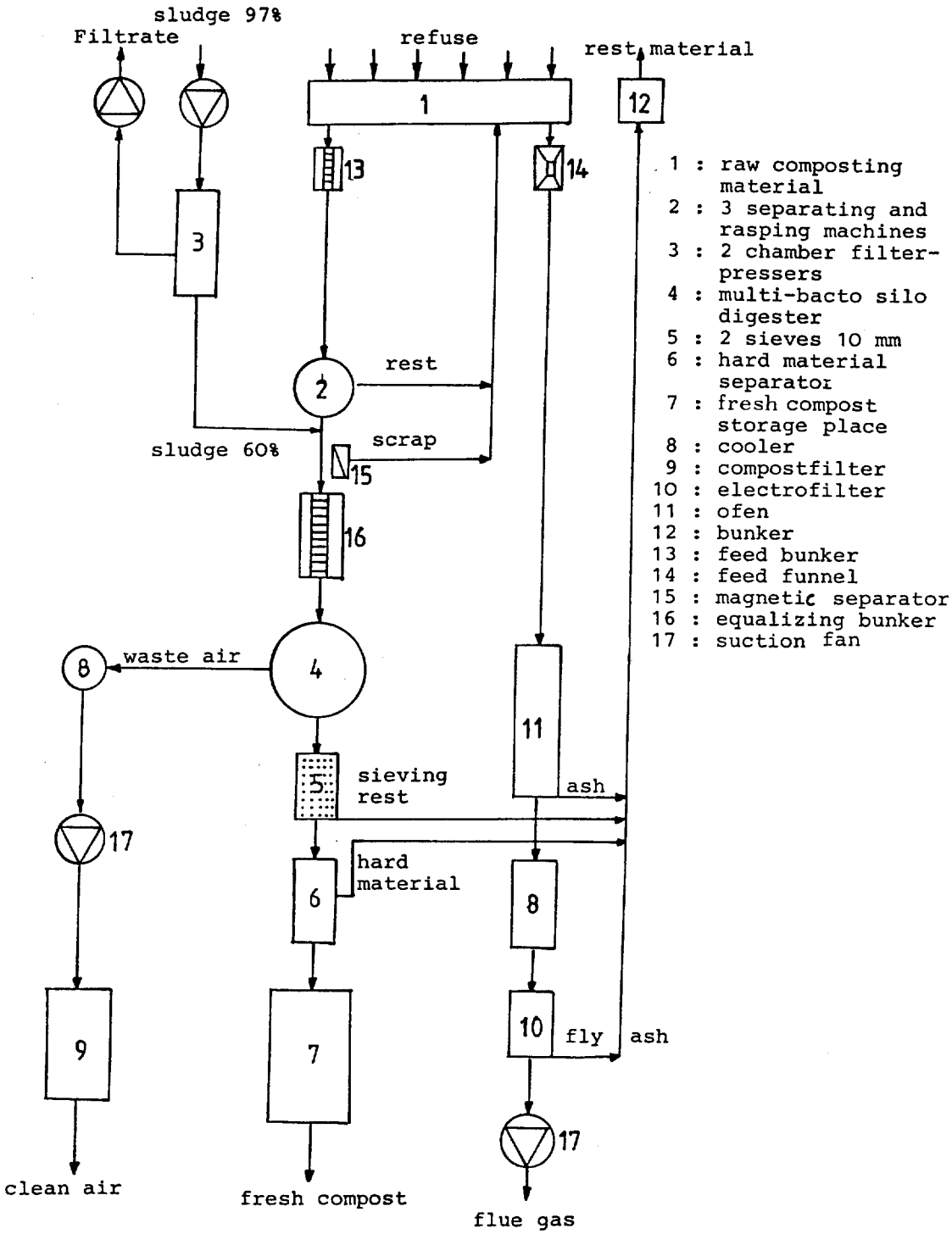

Fig. 1. Process of fresh compost production (compost plant Heidelberg in Deutschland)

주에 각각 실시하되 퇴비더미중 10개소를 채취 혼합하였다. 야적 30주 후 투입된 원료물질과 생성된 퇴비의 물질 수지는 다음과 같다.

Input :	
Fresh compost	20,000 ton/year
Output :	
digestion loss	4,000 ton/year
rest	11,000 ton/year
Compost	5,000 ton/year
Sum	20,000 ton/year

3. 분석 방법

채취된 시료는 105℃에서 건조후 1mm 이하로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다.

1) 유기물(organic matter)

회분량은 600℃에서 3시간 동안 회화시켜 측정하고 측정 시료에서 회분량을 제한량을 유기물량으로 환산하였다.

2) Cellulose

본 분석 방법은 Finn Alstin[1]의 방법으로 시료 1g에 acid detergent solution 100㎖에서 가하여 환류 냉각기에서 정확히 1시간 끓인 후 G2 유리 여과기로 감압 여과하고 잔유물을 뜨거운 물로 2~3번 세척한 후 다시 아세톤으로 2번 세척하고 잔유물을 함유한 G2 여과기를 온도 105℃에서 정확히 8시간 건조한 후 측량(W_1)하고 다시 G2 여과기 잔유물은 72% H_2SO_4로써 3시간 동안 매시간 1번씩 저어주면서 섬유소를 산 분해시킨 후 G2 여과기를 감압 여과하고 3번 뜨거운 증류수로 세척하고 다시 105℃에서 잔유물이 남은 G2 여과기를 정확히 4시간 건조한 후 측량(W2)하여 W1에서 W2의 무게를 뺀 값을 Cellulose량으로 하였다.

3) 리그닌(lignin)

Cellulose 분석 후 G2 여과기에 남은 잔유물을 다시 회화로에 넣어 온도 500℃에서 3시간 회화후 그 무게 감량을 리그린량으로 환산하였다.[1]

4) 총 탄소(total carbon)

건조 회화법으로서 독일 공업규격(DIN 51721)[2]에 따라 행하였다. 즉 회화시 발생하는 가스중 탄산가스 이외의 물질은 제거하고 Sodium Asbest에 이산화 탄소를 흡착시켜 중량차에 의하여 이산화탄소량을 측정하고 이산화탄소량에서 탄소량으로 환산하였다.

5) 미생물에 의한 분해 불가능한 탄소(nonbiodegradable carbon)

먼저 시료를 Merkblatt M6[3]에 의하여 전처리하여 미생물에 분해 가능한 탄소를 제거하고 잔유물 중의 탄소를 총 탄소 분석과 동일 방법으로 분석하였다.

6) 무기 탄소(inorganic carbon)

본 탄소는 건조 회화법을 사용하지 않고 습식 분해 방법으로 시료에 묽은 과산화염소 용액으로 습식 분해하여 발생되는 가스 중의 이산화 탄소를 총 탄소와 동일 방법으로 측정하여 무기 탄소로 환산하였다.[4]

4. 계산 방법

1) 미생물에 의한 분해 가능한 탄소(biodegradable carbon)

미생물에 의한 분해 가능한 탄소=총 탄소-(미생물에 의한 분해 불가능한 탄소+무기 탄소)

2) 유기 탄소(organic carbon)

유기 탄소=총 탄소-무기 탄소

3) 분해율(decay rate)

$$\text{분해율}(\%) = \frac{A-B}{A} \times 100$$

A=퇴비 원료 물질중 어느 성분 함량(%)

B=어느 기간 후 퇴비 중의 어느 성분 함량(%)

4) 분해 능력(degradation capacity)

$$\text{분해 능력}(\%/\text{일정 기간}) = \frac{\text{분해율}(\%)}{\text{퇴비화 기간}}$$

5) 실제 분해율(actual decay rate)

상기의 분해율 및 분해 능력에서는 퇴비화 기간 중에 유실되는 유기물 량이 고려되지 않았으나 실제 분해율은 분석 당시의 어느 성분함량을 퇴비 원료 물질을 기준으로 다시 환산하여 이 성분 함량을 유효성분 함량으로 하였고 그 계산은 다음과 같이 하였다.

$$EB = \frac{100-O}{100-P} \times B$$

EB=어느 성분의 유효 함량(%)

O=퇴비 원료 물질 중의 유기물 함량(%)

P=퇴비 중 어느 기간 후 유기물 함량(%)

B=퇴비 중 어느 기간 후 어느 성분 함량(%)

$$\text{실제 분해율} = \frac{EB-C}{C} \times 100$$

EB=퇴비 중 어느 기간후 어느 성분의 유효 함량(%)

C=퇴비 원료 물질 중의 어느 성분 함량(%)

6) 실제 분해 능력(actual degradation capacity)

$$\text{실제 분해 능력(\%/일정 기간)} = \frac{\text{실제 분해율(\%)}}{\text{퇴비화 기간}}$$

결과 및 고찰

퇴비화 기간 중의 각종 성분 함량 변화는 표1과 같으며 무기 탄소 함량을 제외한 나머지 성분 함량은 증가 또는 감소의 뚜렷한 경향을 보여 주고 있다.

이들과는 반대로 퇴비 중 리그닌 함량은 퇴비화 기간 중 약간의 증가현상을 보였다. 이것은 퇴비화 기간 중 리그닌 전체 총량이 증가한 것이 아니라 전체 총량은 감소하더라도 상대적으로 다른 유기물량이 감소하기 때문에 약간의 상대적인 증가 현상을 보인 것이며 이것으로 역시 리그린은 퇴비중의 미생물에 의하여 분해되기 어려운 탄소원이라는 것을 다시 확인할 수 있었다.[6]

퇴비 중의 탄소 함량은 퇴비의 부숙도를 결정하는 지표가 될 수 있을 뿐만 아니라 퇴비화의 최적 조건 중의 하나인 C/N율을 결정하는 요소가 되기 때문에 본 시험에서는 각종 탄소들의 함량을 조사하였다.

Table 1. Changes of organic and inorganic compound contents in compost at different comosting periods.

composting Periods (Weeks)	OM (%)	Cellulose (%)	Lignin (%)	TC (%)	OC (%)	NBC (%)	IC (%)	BC (%)
0	68.3	28.9	8.9	29.9	27.8	3.8	2.1	24.0
6/7	64.8	26.7	9.3	26.0	25.1	4.6	0.9	20.5
2	60.9	25.8	10.4	22.2	21.0	4.9	1.2	16.1
5	59.2	24.9	10.5	21.0	19.9	5.1	1.1	14.8
6	57.2	24.8	10.8	21.6	20.6	4.7	1.0	15.9
9	56.0	24.1	11.0	19.7	19.0	5.1	0.7	13.9
17	42.8	9.5	11.7	19.3	18.7	5.2	0.6	13.5
21	38.5	7.3	11.9	18.6	17.1	5.1	1.5	12.0
30	39.1	8.4	12.2	16.5	15.0	5.9	1.5	9.1

OM : organic matter TC : total carbon OC : organic carbon NBC : nonbiodegradable carbon
IC : inorganic carbon BC : biodegrable carbon

유기물 함량 변화는 전체 탄소 화합물의 변화를 나타내기 때문에 퇴비화 기간에 따라 점차 감소하며 이와 같은 감소 경향을 본 표에서 분명히 볼 수 있었다. 일반적으로 식물에 퇴비를 시용했을 때 피해를 주지않는 유기물 함량 50%에 까지 감소하는데 약 17주의 기간이 소요되었다.[5]

Cellulose 함량은 퇴비화 기간 중 역시 감소 현상을 볼 수 있으나 유기물 함량과는 약간 다른 감소 경향을 보여주고 있다. 퇴비화 초기기간 동안에는 꾸준한 감소 현상을 보이다가 9주와 17주 사이에 급격한 감소 현상을 보여 주었으며 이것은 퇴비화 초기에는 퇴비 중에 미생물이 Callulose보다 이용하기 쉬운 탄소원이 충분량 존재하기 때문에 주로 Callulose 이외의 탄소원을 이용했기 때문이며 9주와 17주 사이의 급격한 감소 경향은 미생물이 용이하게 이용할 수 있는 탄소원이 거의 소모된 후 Cellulose를 탄소원으로 이용했기 때문인 것으로 생각되며 17주후의 완만한 감소 현상은 활발한 유기물 분해 과정이 거의 끝난 상태에 도달한 것으로 볼 수 있을 것이다.

총 탄소, 유기 탄소, 미생물에 의한 분해 가능한 탄소들의 함량은 퇴비화기간 중 감소하였으나 미생물에 의한 분해 불가능한 탄소 함량은 약간의 증가 현상을 보여주었으며 이것은 다른 유기물 함량이 감소했기 때문에 상대적으로 증가되었으며 자체의 전체량은 미생물이 이용할 수 없기 때문에 퇴비화 기간 중 항상 일정량이 유지되어야 할 것이다.

퇴비 중의 C/N율은 실제 미생물이 이용할 수 있는 탄소량을 측정하여 계산하여야 하나 본 시험에서는 미생물에 의한 분해 가능한 탄소와 총 탄소량을 분리 정량하였던 바 두 탄소 함량간에 평균 6.2%의 차이를 볼 수 있었다.

그림 2에는 퇴비화 기간에 따른 유기물 중의 총 탄소, 리그닌 및 Cellulose가 차지하는 백분율 변화를 나타내었다. 유기물 중 총 탄소 함량은 9주까지는 약간 감소하다가 약간의 증가 현상을 보였으며 Cellulose함량은 9주

까지 거의 변화가 없이 일정하게 유지하다가 이후부터 급격한 감소 현상을 보이다가 17주 후에는 다시 일정하

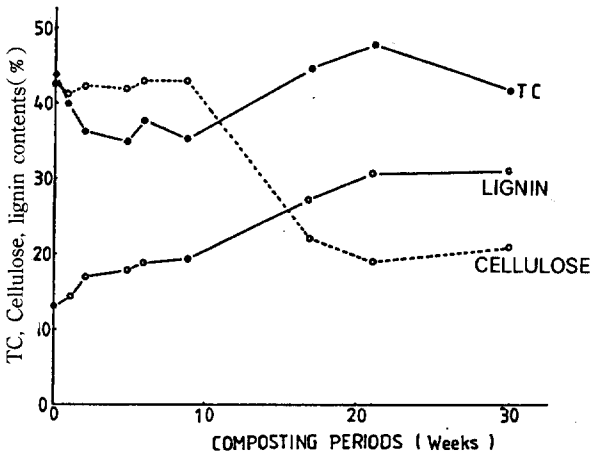

Fig. 2. Changes of TC, cellulose and lignin contents in organic matter at different composting periods.

게 유지하는 경향을 볼 수 있었다. 그러나 유기물 중 리그닌 함량은 꾸준한 증가 현상을 보였으며 특히 9주 이후부터 총 탄소 함량과 비슷한 증가 경향을 보이고 있다. 이것은 9주이후 Cellulose의 급격한 분해로 상대적으로 리그린 함량이 증가했고 또한 Cellulose보다는 리그린이 많은 탄소를 함유하고 있기 때문에 리그린 함량의 증가와 함께 총 탄소 함량이 증가했고 초기에서의 총 탄소 함량이 감소한 것은 비록 리그닌 함량이 증가하더라도 전체 유기물량이 많기 때문에 리그린의 증가분이 전체 탄소 변화에 크게 영향을 미치지 못한 것으로 생각된다.

지금까지의 성분 함량 변화에서는 일정 기간 후 퇴비 중의 당시 성분함량을 나타낸 것으로 퇴비화 중 유기물의 분해에 의한 유실량을 고려하지 않았기 때문에 분해 정도를 상호간에 비교하는 것이 불가능하므로 각 성분 함량을 초기 원료 물질을 기준으로 하여 다시 계산하고 이렇게 하여 얻어진 성분 함량을 유효 성분 함량이라 하였다. 계산 방법은 퇴비화 기간 중 회분 절대량은 항상 일정하게 유지되지만 유기물은 분해 유실되어 절대량이 계속 감소하기 때문에 회분 함량은 퇴비화 기간중 계속 증가하게 되고 이 증가 비율로 부터 초기 원료 물질에 대한 각 유효 성분 함량을 계산하였으며[7] 그 결과는 표3과 4와 같다.

그림3을 보면 유기물 유효 성분 함량은 퇴비화 기간 중 68.5%에서 30주 후에 20.5%로 감소하였으며 초기 2주까지 급격한 감소 이후 약간 완만한 감소 현상을 보이다가 Cellulose분해가 활발해지는 9주부터 둘 다 비슷한 감소 경향을 보였다. 이것은 이미 언급한 바와같이 9주이전에 분해하기 용이한 유기물은 거의 분해되었으며 이 시점부터 미생물이 탄소 공급원으로 Cellulose를 이용한 것으로 생각된다.

한편 표 1에서는 퇴비화 기간 중 퇴비 중의 리그닌 함량이 약간 증가 현상을 보였으나 여기서는 초기 8.9%의 유효 함량에서 30주후 6.4%로 감소한 것을 분명히 볼 수 있었으며 따라서 분해 정도를 비교하기 위해서는 퇴비 중의 성분 함량들을 다시 유효 성분 함량으로 계산해야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

그림 4에서는 각종 탄소들의 퇴비화 기간 중 분해 경향을 나타낸 것으로 총 탄소, 유기 탄소, 미생물에 의한 분해 가능한 탄소는 거의 같은 감소 경향을 보여주고 있으나 미생물에 의한 분해 불 가능한 탄소는 거의 변화 없이 일정하게 유지하고 있음을 잘 보여주고 있다.

그림 5에서는 퇴비화 기간 중 각 성분들의 분해율과 분해 능력을 나타낸 것으로 초기 퇴비 원료 물질을 기

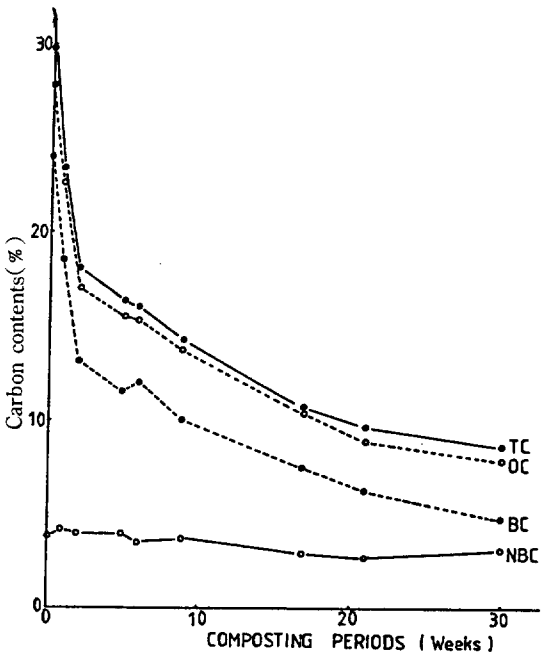

Fig. 4. Changes of carbon contents in compost at compostiong periods based on composting material started.

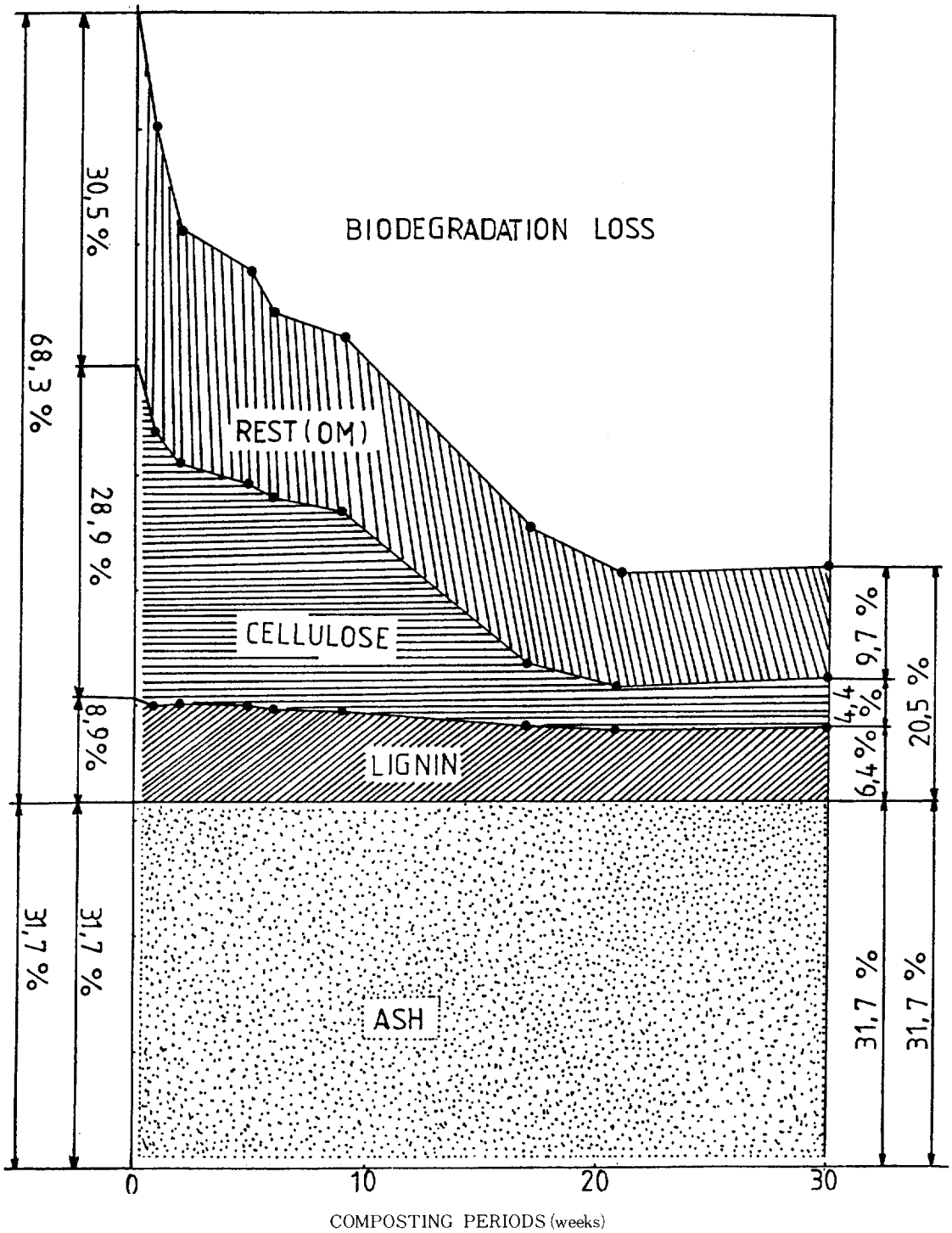

Fig. 3. Changes of some compound contents in compost at composting periods based on composting material started.

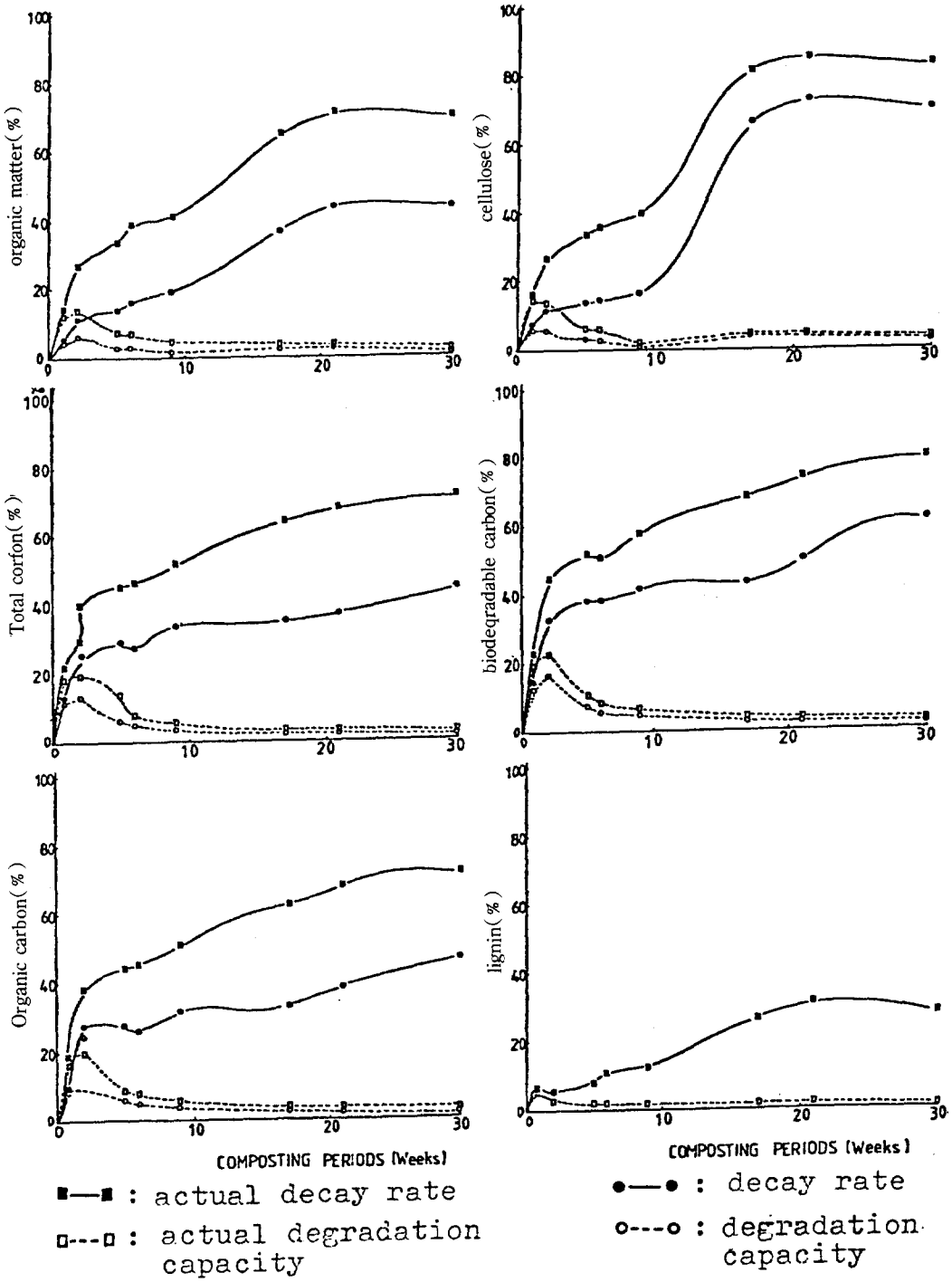

Fig. 5. Changes of decay rate and degradation capacity of some compounds in compost at various composting periods, and actual decay rate and degradation capacity of the compounds in compost based on composting material started.

준으로 한 실제 분해율 및 실제 분해 능력과 퇴비화 기간 중 당시 퇴비 중의 성분 함량으로 부터 계산한 분해율 및 분해 능력 사이에는 분명한 차이를 보여주고 있으며 실제 분해율과 실제 분해 능력이 분해율과 분해 능력 보다 훨씬 높았다. 더욱이 리그닌이 있어서는 분해율과 분해 능력이 마이너스 값을 가졌기 때문에 본 그림에는 나타내지 않고 실제 분해율과 실제 분해 능력만을 표시하였다. 조사된 물질들 모두가 퇴비화 기간 2주까지 왕성한 분해 경향을 보였으며 2주부터 6주 사이에 큰 감소 현상을 보이다가 이후 부터는 대단히 완만하게 감소하였다. 그러나 Cellulose는 처음에 급격한 분해경향을 보였다가 9주 후에 다시 증가하는 경향을 보인후 감소하는 경향으로 이것은 이미 앞에서 설명한 바와 같이 유기물 상호간의 미생물에 의한 이용 정도의 차에서 온 것으로 생각된다.

표 2는 퇴비와 과정 중 각 성분 함량을 상호간에 상관을 계산한 것이며 상호간에 고도의 유의성을 보여주고 있다.

탄소 함량은 퇴비화에 따라 감소되었고 리그닌, 미생물 이용 불가능 탄소함량은 약간 증가 되었다.

2. 총 탄소와 미생물 분해가 가능 탄소 함량과 차이는 6.2% 였다.
3. 유기물질의 실제 분해율은 분해율보다 큰 증가 현상을 보였다.
4. 모든 탄소화합물의 실제 분해 능력은 분해능력과 유사하였다.
5. 리그닌의 분해율 및 분해능력은(-)값을 보였으나, 실제 분해율 및 실제분해 능력은(+)값을 가졌다.
6. 퇴비중 유기물, 섬유소, 총탄소, 유기탄소, 미생물 이용 가능 탄소간에 고도의 유의성있는 정의 상관이있었다.
7. 미생물 분해불가능 탄소와 유기물, 섬유소, 총 탄소 유기탄소 및 미생물 분해가능 탄소와는 부의 상관이 있었다.
8. 퇴비중 리그닌과 미생물에 분해 불가능 탄소와도 고도의 정의 상관이 있었다.

Table 2. Regression equation and correlation coeffients among some organic compounds.

	OM (×)	Cel (×)	Lig (×)	TC (×)	OC (×)	BC (×)
OM (Y)						
Cel (Y)	0.778x−22.029 (r=0.98**)					
Lig (Y)	-0.095x+15903 (r=-0.95**)	-0.111x+12.96 (r=-0.874**)				
TC (Y)	0.306x+4.941 (r=0.87**)	0.346x+14.70 (r=0.753*)	-3,495x+59.17 (r=-0.968**)			
OC(Y)	0.307x+3.847	0.344x+13.57	-3,383x+56.80	0.954x−0.177		
BC	(r=0.88**)	(r=0.779*)	(r=-0.972**)	(r=0.994**)		
BC (Y)	0.347x−3.233 (r=0.87**)	0.389x+7.735 (r=0.776*)	-3.821x+56.57 (r=-0,966**)	1.085x−7.937 (r=0.994**)	1.137x−7.934 (r=0,999**)	
NBC (Y)	-0.039x+7.078 (r=-0,786*)	-0.045x+5.835 (r=-0,708*)	0.438x+0.225 (r=0,874**)	-0.131x+7.759 (r=-0,945)**	-0.135x+7.703 (r=-0,939**)	-0.121x+6.810 r=-0,954**

Cel : Cellulose Lig : Lignin

요 약

도시폐기물의 퇴비화 과정중 퇴비중의 탄소화합물 함량을 시기별로 조사한 결과 다음과 같다.

1. 유기물, 섬유소, 총 탄소, 유기탄소, 미생물 분해가능

참 고 문 헌

1) Finn Alstin(1983) : Appendix to Fibertec Manual (Firmendruckschrift), p. 2-9

2) DIN 51721(1950) : Bestimmung des Gehaltes an

Kohlenstoff und Wasser.

3) Jäger, B.(1983) : Bestimmung der Zusammensetzung fester Abfallstoffe ; Straub, H., Schenkel, W. und Hősel, G. : Müll-und Abfallbeseitigung-Müllhandbuch-KZ 1720

4) Schweizer, W.(1983) : Kostengünstiges Schnellverfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffs unterschiedlicher Bindungsart in Abfällen, CIT Fachz. Lab., 9/83, p. 712-721

5) Merkblatt 10(1985) : Qualitätkriterien und Anwendungsempfelungen für Kompost aus Müll und Müll/Klärschlamm : Straub, H., Schenkel, W. und Hösel, H. : Müll-und Abfallbeseitigung-Müllhandbuch-KZ 6856

6) Thomé-Kozminsky, K. J.(1985) : Kompostierung von Abfällen 1, EF-Verlag für Energy-und Umwelttechnik GmbH, p.341-348

7) Spörr, U.(1977) : Cellulosebestimmung, Eine überarbeitete Untersuchungsmethode zur Beurteilung von Kompostproben : Müll und Abfall,5/77, p.149 ~153