

폐기물의 퇴비화 과정중 물질 변화

2. 질소화합물 변화

서 정 윤*

Changes in Chemical Compounds of the Compost of Municipal Refuse

2. Changes in Nitrogen Compounds

Jeoung-Yoon Seo*

Abstract

In order to examine the seasonal variation of organic and inorganic nitrogen compounds, nitrogen compounds in compost were determined at various composting periods.

Total nitrogen, organic nitrogen and biodegradable nitrogen contents in compost were almost not changed, while nonbiodegradable nitrogen contents were increased a little with the lapse of composting time. But effective contents of total nitrogen, organic nitrogen and biodegradable nitrogen were decreased with the progress of composting, while effective contents of nonbiodegradable nitrogen were not changed during composting.

Ammonium nitrogen contents in compost were highest at the start of composting, and then the contents were decreased with the lapse of composting time. But after turning the contents were increased again, and thereafter the contents were decreased with the progress of composting.

Nitrate contents showed a tendency adverse to ammonium nitrogen contents.

Organic nitrogens in organic matter in compost were increased slowly within 9 weeks after composting, and thereafter the contents were increased rapidly to 21 weeks after composting.

Total nitrogen contents determined by Förster Method were higher than those determined by Kjeldahl Method. Total nitrogen contents determined by Kjeldahl Method were 6% higher than biodegradable nitrogen contents determined by Förster Method.

Loss of nitrogen in compost was highest at early periods of composting and its losses determined by Kjeldahl Method and Förster Method in 30 weeks after composting were 50% and 48% of total nitrogen, respectively.

Highly positive correlations were observed among total nitrogen determined by Kjeldahl Method, biodegradable nitrogen determined by Kjeldahl Method, total nitrogen determined by Förster Method and biodegradable nitrogen determined by Förster Method one another.

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

서 론

질소는 탄소 산소와 같이 유기물 합성에 필요한 중요한 구성 성분으로서 자연계에서는 유기태 또는 무기태로 존재할 수 있다.

비록 대기 중에 약 79%라는 다량의 분자형 질소가 존재하지만 이러한 질소를 단백질 합성에 이용할 수 있는 미생물은 한정되어 있기 때문에 퇴비화 기간중에 이용될 수 있는 질소원은 퇴비 초기 원료 물질에 함유되어 있는 질소에 의존하게 된다.

퇴비 초기 원료 물질에 함유되어 있는 질소들은 단백질, 단백질 분해 중간 물질, 펩타이드 및 아미노산 등이며 퇴비화에 관여하는 대부분 타급영양 미생물들에 의하여 탄소, 질소 및 에너지원으로 이용되게 된다. 이러한 질소들이 퇴비화 미생물들에 의하여 이용되기 위해서는 우선 체외효소에 의하여 간단한 물질로 분해되어야 하며 분해된 물질의 일부는 미생물의 체세포 형성에 이용되고 나머지는 에너지 원으로 이용된 후 부산물로 암모니움 이온이 생성된다. 이렇게 생성된 암모니움 이온은 다시 질소 원으로 이용될 수 있고 또한 질소 산화 미생물들에 의하여 아질산을 거쳐 질산까지 산화되던가 그렇지 않으면 여러가지 퇴비화 조건에 따라 암모니아 형태로 대기 중으로 유실된다. 유실되는 질소는 단지 암모니아 뿐만 아니라 일산화 질소 이산화 질소 및 분자형 질소로써 이들은 퇴비중 항상 전부분이 호기적 상태가 유지되지 않기 때문에 혐기적 상태에서 아질산과 질산이 환원됨으로써 생성되며 이렇게 생성된 질소들이 퇴비화의 조건에 따라 유실되며 퇴비화 기간 중 총 질소 유실량은 경우에 따라 상당한 차이가 있으나 평균 20%~35% 정도에 이르게 된다.¹⁾

이상과 같이 퇴비화 기간 중 퇴비 중의 질소가 유실됨에도 불구하고 퇴비중 질소 함량에는 큰 차이가 없어 거의 일정하게 유지되며 이것은 동시에 다른 유기물이 감소하여 상대적으로 질소 함량이 높아지기 때문으로 따라서 질소 손실 경향을 파악하기 위해서는 초기 원료 물질을 기준으로 한 질소 유효 함량을 다시 계산하여야 할 것이다.

또한 퇴비 원료 물질에 함유되어 있는 전 질소가 퇴비화 미생물에 의하여 질소원으로 이용될 수 없기 때문에 퇴비화 조건을 결정하는 C/N 율을 계산하기 위해서는 미생물이 이용할 수 있는 질소 함량을 측정하여야 하며 아질산 및 질산태의 질소도 미생물이 이용할 수 있는 질소 임에도 불구하고 일반적으로 질소 분석에 사

용되는 Kjeldahl분석법은 이와 같은 질소가 동시에 측정되지 않기 때문에 이러한 질소도 동시에 측정되는 Förster법으로 병행해서 질소 함량을 측정함으로써 분석방법간 퇴비중 총 질소와 미생물이 이용할 수 있는 질소 함량 차이 퇴비화 과정에 따른 질소 함량 변화 및 유실량 등을 본 논문에서는 조사하고자 한다.

실험 방법

1. 퇴비원료물질의 생산공정 및 퇴비화 방법

본제 제1보에서와 같음

2. 분석 방법

채취된 시료는 105°C에서 건조 후 1mm이하로 분쇄하여 분석에 사용했다.

1) 총 질소(total nitrogen)

Kjeldahl방법과 Förster방법으로 분석하였으며 Förster방법에 있어서는 질소 분해 장치에서 분해하기 전 환원제로서 Na₂S₂O₃를 사용하여 아질산과 질산을 암모니움태로 전환시킨 후 분해하여 질소를 측정하였다.²⁾

2) 미생물이 이용할 수 없는 질소(NBN : nonbiodegradable nitrogen)

미생물이 이용할 수 없는 질소를 측정하기 위해서는 제1보 미생물에 의하여 분해 불가능한 탄소 측정시와 같이 Merckblatte M6³⁾에 의하여 시료를 전처리하여 얻은 잔유물 중의 질소 함량을 Kjeldahl 방법과 Förster 방법에 의하여 측정하였다.

3) 암모니움태 질소

시료 10g에 증류수 400ml를 가하여 한시간 동안 진탕후 여과하고 여액중의 질소함량을 VDI 2461방법에 의하여 측정하였다.⁴⁾

4) 질산태 질소

시료 10g에 증류수 400ml를 가하여 한 시간 동안 진탕 후 여과하고 여액 100ml에 5ml Al₂(SO₄)₃ 용액을 가한 후 탄산칼슘 용액으로 pH 8.5~9로 조정 한 후 멤브란 필터로 여과하고 질산태 질소의 함량에 따라 여액 2~15ml를 취하여 1ml H₂SO₄(3+1)과 1g 아미도 슬폰산 혼합물을 가한 후 온도 70~80°C의 수욕상에서 15분간 항온시켰다가 40ml Sn-H₂SO₄를 가한 후 수욕상에서 냉각시켰다. 완전히 냉각된 후 2ml 1M+Fluorphenol 용액을 가하여 한시간 상온에서 방치한 후 증류장치에서 증류하여 증류액을 슬피트를 함유한 4N 가성소다 용액에 받은 후 이 황색용액을 다시 150ml메스플라스크에 채워

서 반시간 방치 후 파장 420nm에서 흡광도를 측정하였다.⁵⁾

3. 계산 방법

1) 미생물이 이용할 수 있는 질소(BN : biodegradable nitrogen)

미생물이 이용할 수 있는 질소(%) = 총 질소(%) - 미생물이 이용할 수 없는 질소(%)

2) 유기성 질소(organic nitrogen)

유기성 질소(%) = 총 질소(%) - (암모늄태 질소(%) + 질산태 질소(%)), Kjeldal 방법에서는 질산태 질소 O.

3) 실제 분해율(actual decay rate) 및 실제 분해 능력(actual degradation capacity)

제1보에서와 같음

결과 및 고찰

표1에서 볼 수 있는 바와 같이 퇴비중 질소 함량은 퇴비화 기간에 무관하게 일정하며 이것은 이미 서론에서 언급한 바와 같이 상대적으로 유기물 함량이 감소했기 때문이다.

Förster 방법에 의한 퇴비 중 각 질소 함량이 kjeldahl방법에서 보다 분명히 높았으며 퇴비중 총 질소 함량은 kjeldahl 방법에 의하여 0.9709~1.115%, Förster 방법에 의하여 1.004~1.214%로서 이것은 독일 가정 쓰레기로 만든 퇴비중의 질소 함량 평균치에 해당한다.⁶⁾

퇴비중 미생물이 이용할 수 있는 질소 함량에 있어서는 Kjeldahl 방법에 의하여 0.781~1.011% Förster 방법에 의하여 0.863~1.079%였다. 퇴비중 미생물이 이용할 수 없는 질소 함량이 퇴비화 기간 중 약간 증가하는 경향을 보인 것은 상대적으로 유기물 함량이 감소했기 때문이며 전 퇴비화 기간 중 전체량이 일정하게 유지된다는 사실은 그림 2와 3에서 잘 볼 수가 있었다.

표 2를 보면 암모늄태 질소는 초기에서 2주까지 감소하다가 2주와 6주 사이에 급격한 증가 현상을 보인후 그 후 부터는 감소하다가 약간 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 이것은 퇴비화 초기 및 4주후 퇴비 이적으로 유기물 분해가 활발히 일어났기 때문이다. 그러나 질산태 질소는 2주 후에 생성되었다가 다시 6주 후부터 점차 증가 현상을 보였으며 암모늄태 질소와는 반대 경향을 볼 수 있었다. 이와같은 현상은 유기물 분해가 왕성하면 생성되는 암모늄태 질소가 질산태 질소로의 산화량보다

Table 1. Changes in nitrogen contents of compost according to analyzing methods.

composting periods (Weeks)	Kjeldahl				Förster			
	TN (%)	NBN (%)	BN (%)	ON (%)	TN (%)	NBN (%)	BN (%)	ON (%)
0	1.081	0.072	1.009	1.004	1.131	0.074	1.057	1.054
6/7	0.986	0.081	0.905	0.922	1.078	0.092	0.986	1.014
2	1.035	0.089	0.946	0.997	1.046	0.105	0.941	1.006
5	0.959	0.099	0.860	0.861	1.021	0.112	0.909	0.923
6	0.985	0.081	0.904	0.872	1.053	0.099	0.954	0.940
9	0.907	0.126	0.781	0.867	1.004	0.141	0.863	0.962
17	1.028	0.121	0.907	0.986	1.085	0.147	0.938	1.036
21	1.115	0.104	1.011	1.059	1.214	0.135	1.079	1.137
30	1.043	0.093	0.950	0.984	1.069	0.163	0.906	1.006

TN : total nitrogen BN : biodegradable nitrogen ON : organic nitrogen
NBN : nonbiodegradable nitrogen

Table 2. Changes in NH₄-N and NO₃-N contents of compost at composting periods(dry weight basis).

composting periods (Weeks)	0	6/7	2	5	6	9	17	21	30
NH ₄ -N (mg/kg)	768	645	382	980	1129	405	419	564	586
NO ₃ -N (mg/kg)	-	-	20	-	5	13	74	207	45

많기 때문에 암모늄태 질소가 축적되며 반대로 유기물 분해가 왕성하지 못하면 유기물의 분해로 인한 암모늄태 질소의 생성에 비하여 질산태 질소로 산화되는 양이 많기 때문에 질산태 질소의 함량이 증가된 것으로 생각된다.⁷⁾

그림1에서는 퇴비의 유기물 중 유기성 질소의 백분율을 나타낸 것으로 퇴비화 기간 중 계속 증가 현상을 볼 수 있으며 특히 9주와 21주사이에 급격한 증가 현상을 볼 수 있다. 이것은 퇴비화 기간 중 퇴비중의 리그린 함량 증가와 새로 생성되는 Humus 물질의 증가에 기인한 것으로 초기의 완만한 증가 현상은 퇴비 중 유기물 함량이 많기 때문에 이들 함량 증가분이 전체 유기물 함

량에 크게 영향을 주지 못했기 때문이며 후기에 크게 증가한 것은 이들 함량의 상대적인 증가와 또한 퇴비화가 진행됨에 따라 퇴비중의 리그린과 Humus 자체내의 질소 함량이 증가하기 때문인 것으로 생각된다.⁸⁾

표 3에서는 두 질소 분석방법에 따른 질소 함량의 차이를 계산한 것으로 Förster 방법에 의한 퇴비중 총 질소 함량이 Kjeldahl 방법에 의한 것 보다 6.2% 높았으며 C/N을 측정을 위하여 일반적으로 사용하는 Kjeldahl 방법에 의한 총 질소 함량과 Förster 방법에 의한 미생물이 이용할 수 있는 질소 함량(정확한 C/N을 측정을 위해서는 본 질소 함량을 측정해야 함)의 차이는 평균 0.056%로서 백분율로 6%이었다.

Table 3. Comparison between various types of nitrogens in compost determined by different methods of analysis

	$\frac{TN(F)}{TN(K)}$ (%)	$\frac{TN(F)}{BN(F)}$ (%)	$\frac{TN(K)}{BN(K)}$ (%)	$\frac{BN(F)}{BN(K)}$ (%)	$\frac{TN(K)}{BN(F)}$ (%)
average	1.062 (6.2)	1.125 (12.5)	1.106 (10.6)	1.045 (4.5)	1.060 (6.0)

TN(F) : total nitrogen by Förster Method
TN(K) : " by Kjeldahl Method

BN(F) : biodegradable nitrogen by Förster Method
BN(K) : biodegradable nitrogen by Kjeldahl Method

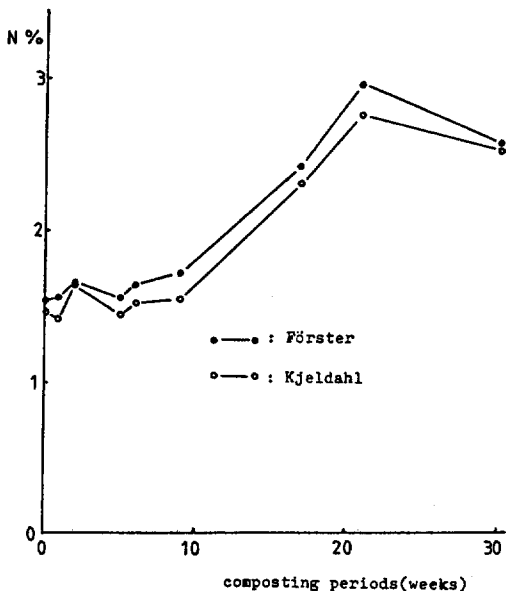


Fig. 1. Changes in organic nitrogen contents of organic matter in the compost by analyzing methods at composting periods.

그림 2와 3에서는 퇴비 중 유효 질소 함량 변화를 표시한 것으로 퇴비화 기간 중 계속하여 질소가 손실된다는 것을 잘 볼 수 있으며 역시 퇴비화 초기 기간에 많이 손실된다는 것을 알 수 있었다. 퇴비화 기간 30주 후 Kjeldahl 방법에 의하여서는 50% Förster 방법에서는 48%의 퇴비 중 총 질소가 손실되었으며 Otto에 의한 30%보다 훨씬 많이 손실되었다.¹⁾

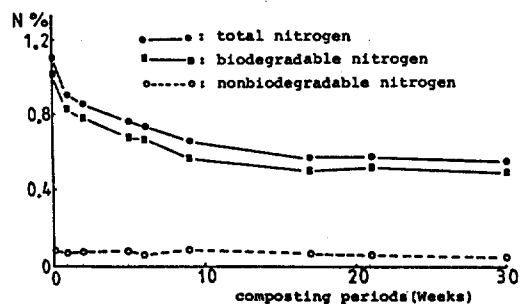


Fig. 2. Changes in nitrogen contents of compost by Kjeldahl Method at composting periods based on 100% of composting material started.

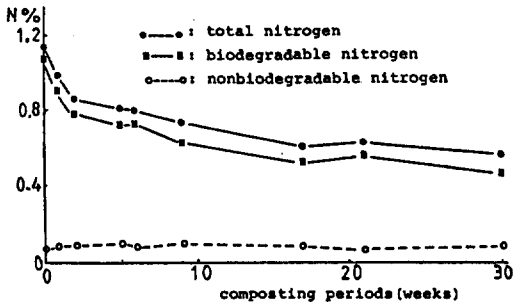


Fig. 3. Changes in nitrogen contents of compost by Förster Method at composting periods based on 100% of composting material started.

그림 4와 5는 두 질소 분석 방법에 의한 퇴비 중 질소의 실제 분해율과 실제 분해 능력을 나타낸 것으로 역시 초기 2주 내에 퇴비중 질소 손실이 급격하게 일어났다는 것을 잘 보여주고 있다.

Kjeldahl방법에 의한 퇴비 중 총 질소와 미생물이 이용할 수 있는 질소의 실제 분해율은 서로간에 차이가 일정하지 않는 반면 Förster방법에 있어서는 퇴비화 기

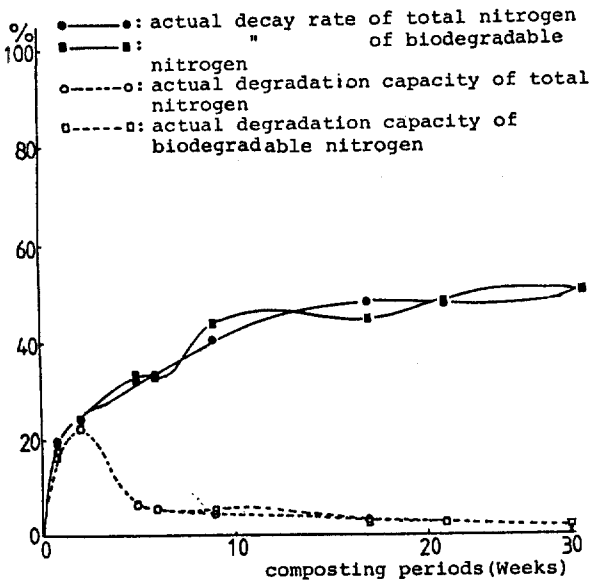


Fig. 4. Changes in actual decay rate and actual degradation capacity of nitrogen in compost by Kjeldahl Method.

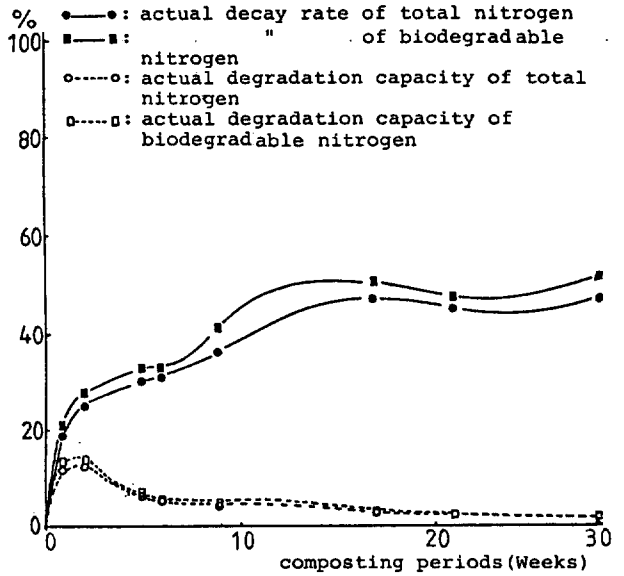


Fig. 5. Changes in actual decay rate and actual degradation capacity of nitrogen in compost by Förster Method.

간 중 계속하여 퇴비중 미생물이 이용할 수 있는 질소의 실제 분해율이 총 질소의 실제 분해율 보다 높았다.

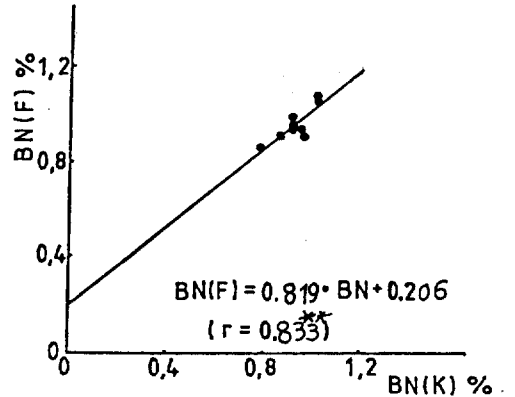
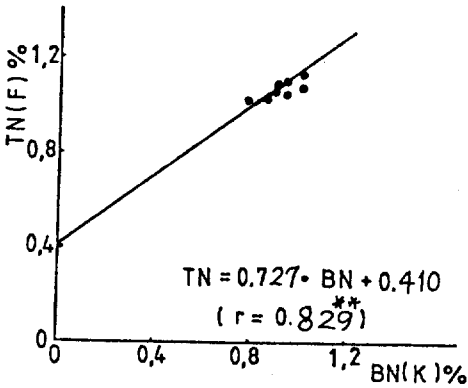
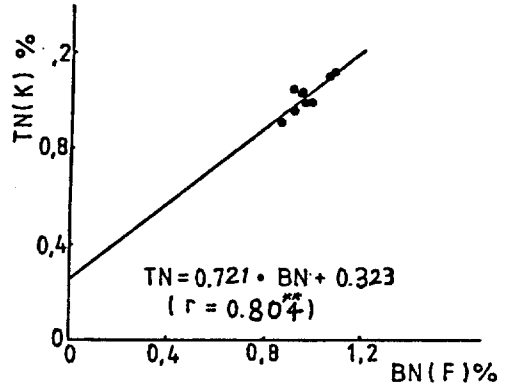
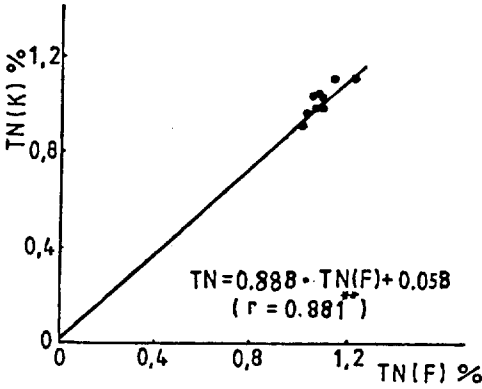
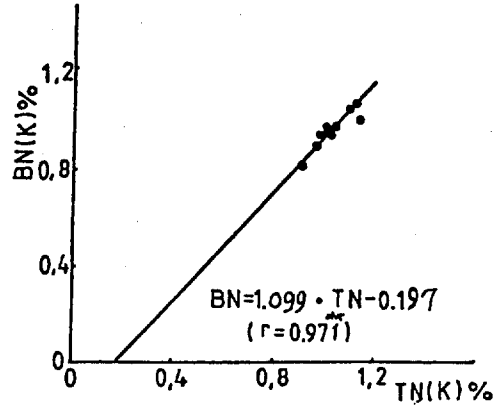
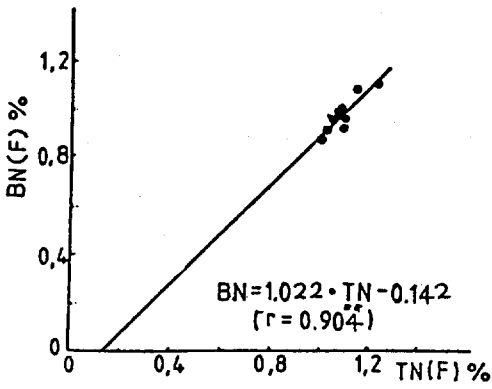
실제 분해 능력에 있어서는 두 질소 분석 방법에 있어서 공히 초기 2주까지 급격한 증가와 2주에서 5주까지의 급격한 감소후 계속하여 완만한 감소 경향을 보였다.

그림 6에서는 두 분석 방법에 의한 퇴비 중 총 질소와 미생물이 이용할 수 있는 질소간의 상관관계, 상관관계를 계산한 것으로 Kjeldahl방법에 의한 퇴비 중의 총 질소, 미생물이 이용할 수 있는 질소, Förster 방법에 의한 퇴비 중의 총 질소, 미생물이 이용할 수 있는 질소 상호간에 고도의 유의적인 정(+)의 상관관이 있었다.

요 약

도시 폐기물의 퇴비화 과정중 퇴비중의 질소 화합물 함량을 시기별로 조사한 결과 다음과 같다.

1. 총 질소, 유기성 질소 및 미생물 이용 가능 질소 함량은 거의 변화가 없었으며 미생물 이용 불가능 질소 함량은 약간 증가하였다. 그러나 총 질소, 유기성 질소 및 미생물 이용 가능 질소의 유효성분 함량은 감소하였으며 미생물 이용 불가능 질소의 유효 성분 함량은 거의



TN(K) : total nitrogen by kjeldahl Method
 TN(F) : " by Förster Method
 BN(K) : biodegradable nitrogen by kjeldahl Method
 BN(F) : " by Förster Method

Fig. 6. Relationship between each nitrogen form in compost.

일정하였다.

2. 암모늄태 질소 함량은 초기에 높았다가 퇴비화가 진행됨에 따라 감소 하였으며 이적을 한 후에는 다시 증가하다가 감소하였다.

3. 질산태 질소 함량은 암모늄태 질소 함량과 반대 경향을 보였다.

4. 유기물 중 유기성 질소 함량은 증가하였으며 초기에는 완만한 증가현상을 보이다가 9주와 21주 사이에 급격히 증가하였다.

5. Förster 방법에 의한 총 질소 함량이 Kjeldahl 방법에 의한 것보다 높았으며 Kjeldahl 방법에 의한 총 질소 함량이 Förster 방법에 의한 미생물 이용 가능 질소 함량보다 6% 높았다.

6. 30주 후 총 질소 손실량은 Kjeldahl 방법으로 측정 한 결과 50% Förster 방법으로 측정한 결과 48% 이었으며 초기 2주 내에 급격한 질소 손실이 일어났다.

7. Kjeldahl 방법에 의한 총 질소, 미생물 이용 가능 질소, Förster 방법에 의한 총질소 및 미생물 이용 가능 질소 상호간에 유의적인 정(+)의 상관성이 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Otto, P.(1981) : Behandlung und Verwertung von Wirtschaftdüngern ; Willi, J. und Von Staa, H. ; Ökologie Landschaft, Kongreb-bericht "Grünes Form Alpach 1980," p. 71-86
- 2) Schmidt, L.(1954) : Die Untersuchung von Düngermitteln, Methodenbuch Band II, Neuman Verlag Radebeul und Berlin.
- 3) Jäger, B.(1988) : Bestimmung der Zusammensetzung fester Abfallstoffe ; Straub, H., Schenkel, W. und Hösel, G. ; Müll-und Abfall-beseitigung-Müllhandbuch-KZ 1720
- 4) VDI 2461(1974) : Messen der Ammoniak-Konzentration, Indophenol-Verfahren.
- 5) Bidlingmaier, W.(1980) : Faktor zur Steuerung der gemeinsamen Kompostierung von Abwasserschlämme mit organischen Strukturmitteln, Stuttgarter Bericht zu Abfallwirtschaft, Band 12.
- 6) Merkblatt 10(1985) : qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost aus Müll und Müll/Klärschlamm ; Straub, H., Schenkel, W. und Hösel, G. ; Müll-und Abfallbeseitigung-Müllhandbuch-KZ 6856
- 7) Gottschall, R.(1984) : Kompostierung, Verlag C.F. Müller Karlsruhe.
- 8) Grabbe, K.(1978) : Untersuchung zum Stoffumsatz hochmolekularer Fraktionen im Flüssigmist, Gröndl. Landtechnik Bd. 28 Nr. 2, p. 64-69