

퇴비의 부숙도 평가에 있어서 CO₂ 발생량과 발아지수와의 상관성 연구

백창현 · 이명규* · 김창한**

건국대학교 농축대학원

Studies on the Correlation between Germination Index and CO₂ Emission for Evaluation of the Maturity of Compost Products

Paik Chang-Hyun, Lee Myung-Gyu* and Kim Chang-Han**

Graduate School of Agriculture and Animal Science, Kon-Kuk University

Summary

This study was carried out to elucidate the correlation between Germination Index(G.I.) and CO₂ emission for evaluation of the maturity of compost products. 13 compost samples was used for this experiment. The G.I. test was carried out on the basis of T-N 200ppm. As a result of this research, we found that CO₂ emission method was good simple indicator for evaluation of maturity of compost materials, in spite of G.I. The obtain results are summarized as follows;

1. The correlation value between the G.I. and the CO₂ emission was $R^2 = 0.776$.
2. The correlation value between EC(Electric Conductivity) and G.I was $R^2 = 0.7$.
3. The equation calculated from G.I. and CO₂ emission was $G.I. = -16.7(\ln CO_2) - 6.87$.
4. From these results, we found the possibility of estimation for the value of G.I.(T-N 200ppm) from CO₂ emission volume under specific condition.

(Key words: Germination Index(G.I.), CO₂ Emission, Compost maturity)

서론

우리나라는 70년대 이후 고도의 산업화에 따라 대부분의 도시가 인구 밀집형 거대도시화 되었고, 동시에 도시 폐기물의 발생량은 증가

하여 폐기물 처리가 심각한 사회문제로 대두되었다²⁰⁾. 발생 폐기물중 상당부분을 차지하고 있는 유기성 폐기물의 처리방법은, 자원의 순환 측면에서 볼 때 퇴비화하여 농경지에 투입하는 방법이 환경문제와 유기질원이 부족한 국내 경

* 상지대학교 환경공학과(Dept. of Environment Engineering, Sang Ji university)

** 건국대학교 축산학과(Dept. of Animal Science, Kon Kuk University)

작지의 문제를 동시에 해결할 수 있는 하나의 해결책으로 인식되고 있다⁹⁾. 유기질 비료는 농지에 환원했을 때 토양물리성, 토양산성화, 토양생태 환경개선 등 많은 장점이 있음에도 불구하고 널리 사용하지 않는 이유로, 유기질 비료제품으로서의 선호도나 가격이 화학비료보다 못하기 때문이다¹⁵⁾. 특히, 미부숙된 퇴비화 제품을 토양에 시비하였을 경우에 근권토양의 혐기화, 질소기아, 토양의 이상환원에 의한 작물의 생육저하 등의 장애를 가져올 수 있으므로 정확한 부숙도를 판정하여 사용해야 될 것이다^{7,14)}.

유기질 비료로 생산된 각종 퇴비의 품질조건에는 함수율, 악취 등을 고려한 취급의 용이함과, 시용 후 급격한 분해를 일으키지 않으며, 생육장애 물질, 유해물질, 식물병원균, 가생충, 잡초종자를 포함하지 않는 등 토양과 작물에 대하여 유효한 구비조건을 갖추어야 한다^{19,20)}. 이러한 조건은 퇴비화시 여러 적정조건 -C/N 비, 함수율, 적절한 통기, 온도, pH, 중금속 함량 등 -을 충족시켜야 제대로 된 비료가 생산될 수 있는데, 여러 성상에 따라 많은 연구자들이 적절한 운영조건과 적절한 공정을 개발하였지만 유기성 폐기물의 종류가 매우 많아 적절한 조건 및 공정을 모두 개발하기는 쉽지 않고, 영세규모로 운영하여 판매하고 있는 실정이다.

또한 유기질 비료를 토양에 시용할 때에는 부숙도 평가를 통해 사용하는 것이 필수적이지만 지금까지의 부숙도 평가는 퇴비의 성상의 다양성, 퇴비화 공정의 상이성 등으로 인해 정형화된 평가방법이 없는 이유로 과중 1개월 전에 토양에 시비하고 나서 과중하는 방법을 관행적으로 실시한다⁵⁾.

이에 본 연구는 퇴비화 과정중의 각 단계별 시료를 사용하여 발아테스트와 일정온도에서 미생물 활성을 추정할 수 있는 CO₂ 발생량^{6,15)}과의 상관관계를 분석하여, 간이 부숙도평가법 개발을 위한 기초자료로 삼고자 한다.

재료 및 방법

1. 시료의 채취

연구에 사용되어진 시료는 경기도내 5군데 부산물 비료공장에서 처리공정별로 채취된 13종으로, A, B는 우분과 톱밥 그리고 제지슬러지로 구성되었으며, C, D 그리고 E는 돈분과 분쇄왕겨로 제조되었고, F, G는 돈분과 톱밥, H, I 그리고 J는 계분과 톱밥, K, L, M은 건조계분이다(Table 1). 각 시료는 종류별로 임의의 시점에서 각 단계별로, 동시에 채취된 것으로 시료간의 부숙정도는 서로 다르다.

Table 1. The characterization of samples used

Animal	Samples	Component
Cow (CSP)	A	Cow manure + Saw dust + Paper sludge
	B	Cow manure + Saw dust + Paper sludge
Swine (SG)	C	Swine manure + Grinded rice hull
	D	Swine manure + Grinded rice hull
	E	Swine manure + Grinded rice hull
Swine (SS)	F	Swine manure + Saw dust
	G	Swine manure + Saw dust
Poultry (PS)	H	Poultry manure + Saw dust
	I	Poultry manure + Saw dust
	J	Poultry manure + Saw dust
Poultry (DP)	K	Dried Poultry manure
	L	Dried Poultry manure
	M	Dried Poultry manure

2. 시료의 분석방법

채취된 시료의 분석방법은 먼저 시료의 전질소(T-N) 및 이화학적 분석을 실시하였고, 250ml bottom flask에 T-N 200ppm이 되도록 시료를 넣은 후, 증류수로 정량 희석하였다(a). 60°C shaking water-bath에 100rpm, 3시간 진탕 교반(b)한 후에 10,000rpm 10분간 원심분리하여 상등액(c)을 발아실험에 이용하였다.

Table 2. Methods for physico-chemical analysis of samples

Item	Methods	Equipment
pH	pH electrode	Orion Model 420A
EC	EC electrode	TOA Model CM-7B
NO ₃ -N	Brucine	Shimadzu UV-160A
NO ₂ -N	Diazoa	Shimadzu UV-160A
NH ₄ -N	Indophenol-Blue	Shimadzu UV-160A
TKN	Kjeldahl	
PO ₄ -P	Ascorbic acid	Shimadzu UV-160A
K	Standard Method 4110	Perkin elmer 5100 PC
Ca	Standard Method 4110	Perkin elmer 5100 PC
Mg	Standard Method 4110	Perkin elmer 5100 PC
Na	Standard Method 4110	Perkin elmer 5100 PC

3. 발아지수 시험방법

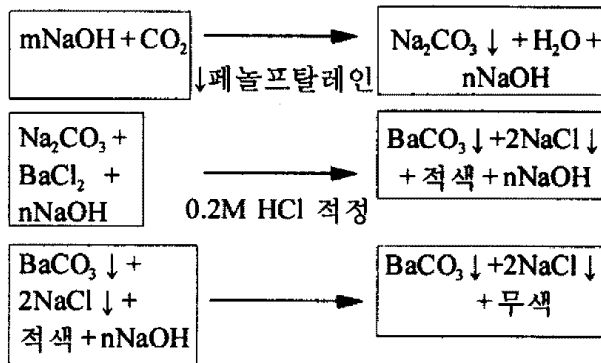
Whatman filter paper(No. 2) 2매가 깔린 petridish에 배추종자 10립씩을 넣은 후 TKN 200ppm의 sample(a)을 60℃에서 추출한 전처리 상등액(c)을 20ml 씩 넣은 후, 30℃, 암상태의 Incubator에 5일간 배양하였다. Control 및 시료 구 모두 5반복의 결과를 평균하여 구하였다. 발아지수(G.I.; Germination Index)는 뿌리길이 생장율에 발아율을 곱한 값을 이용하였다.

- 뿌리길이 생장율 = (처리구의 뿌리길이) / (대조구의 뿌리길이) × 100
- G.I = 발아율 × 뿌리길이 생장율

4. CO₂ 발생량 측정방법

CO₂ 발생량의 측정은 일본 토양비료학회의 토양표준 분석 측정법의 石澤의 方法을 이용하였다¹⁸⁾. 각 sample은 T-N기준으로 약 3l 용기에 100ppm(w/v)이 되도록 Sample을 사용하였는데 0.2M NaOH 20ml가 든 혐기성용기(DIFCO사 Fig. 1)를 이용하였다. 용기는 투명 아크릴재질로서 원통형으로 제작되었고, 압력계가 있어 내부압력을 측정할 수 있도록 제작되었다. 특히, 퇴비화공정중에서 고온기에 CO₂

발생량이 가장 높은¹⁹⁾, 60℃(± 0.5℃)로 셋팅된 Incubator에 시료가 든 용기를 넣고, 2시간동안 발생된 CO₂량을 0.2M NaOH(20ml)에 흡기한 후 BaCl₂(2ml)으로 고정시킨다. 페놀프탈레인 지시약(0.5ml)으로 적색을 만든 후, 0.2M HCl로 적정하여 발생된 CO₂량을 측정하였다. 이 실험의 반응식은 다음과 같다.



$$\text{CO}_2(\text{mol}) = \frac{(T_b - T_x)H}{2,000}$$

T_b = blank 적정치(ml), T_x = 시료의 적정치(ml), H = 0.2M 염산의 농도의 검정치

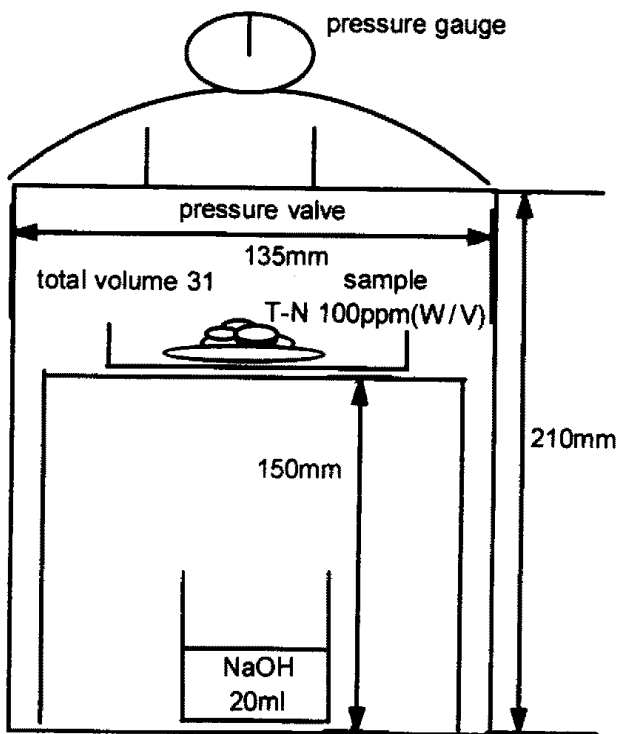


Fig. 1. Anaerobic Jar apparatus for analysis of CO₂ emission.

결과 및 고찰

1. 시료의 물리화학적 분석결과

본 실험에 공시된 시료의 물리화학적 분석결과 pH는 7.9~9.75로서 약알칼리에서 강알칼리 범위로 나타났고 염의 농도를 종합적으로 알 수 있는 EC는 3.1~6.5로 고르게 분포하였다.

건조계분인 경우 Ca와 K가 각각 78,000ppm~92,200ppm, 18,000~30,600ppm으로서 다른 Sample에 비해 고농도로 나타났는데, 이것은 건조계분의 일반적인 양이다¹⁾. 또한 질소 형태별로 무기태 질소가 총 질소의 2% 이하로 측정되어 대부분이 유기태 형태로 존재함을 알 수 있었다. 본 실험에 사용된 시료의 각각의 화학적 분석결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Physico-Chemical properties of raw materials

(unit : ppm, D.M.)

Sample	Item	pH (1:10)	EC (1:10) (ms/cm)	Moisture (%)	T-N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	Mg	Ca	Na	K
CSP	A	8.32	6.5	47	12,122	0.7	25	296	50	1,805	8,050	2,903	10,988
	B	7.9	5.5	27	13,581	0.8	21	159	103	2,175	9,687	3,484	14,203
SG	C	8.92	3.1	26	19,968	0.5	13	154	86	2,576	15,482	3,044	13,818
	D	8.78	3.35	23	20,379	0.6	18	160	96	2,591	15,326	3,041	14,494
	E	8.75	3.3	23	21,103	0.7	16	186	93	2,526	14,555	2,998	14,038
SS	F	9.25	3.55	41	17,332	4.1	37	91	111	3,107	129,093	2,868	11,164
	G	9.75	3.3	47	17,730	0.2	34	196	97	1,720	19,408	2,098	7,548
PS	H	9.08	4.35	37	18,007	0.2	26	281	59	2,736	51,840	2,477	13,537
	I	8.95	5.3	46	19,219	0.9	18	400	56	2,711	41,003	2,720	14,329
	J	8.86	3.4	45	26,958	0.7	13	244	44	2,571	55,335	2,276	12,035
DP	K	9.64	4.5	40	26,003	0.5	14	288	49	2,967	77,516	3,918	18,120
	L	9.65	4.5	18	24,356	0.7	23	132	89	4,369	92,204	5,230	30,630
	M	9.63	4.15	28	25,160	0.5	16	143	66	3,908	77,932	4,807	25,907

CSP : Cow manure + Saw dust + Papper sludge.

SG : Swine manure + Grinded rice hull.

SS : Swine manure + Saw dust.

PS : Poultry manure + Saw dust.

DP : Dried poultry manure.

2. 발아지수 테스트

Table 4는 배추종자(*Brassica campestris* L.)를 이용하여 G.I.를 도출한 결과이다. G.I. 실험은 각종 퇴비의 부숙도와 식물에 대한 안전성을 동시에 평가할 수 있는 적절한 퇴비 부숙도 평가법이다. 퇴비시료의 물추출물 조제를 위하여 퇴비시료 1g에 대하여 25ml 증류수를 가한 다음 60℃에서 3시간동안 환류냉각하에서 추출하는 방법은 함수율과 각 무기성분이 다른 퇴

비로 인하여 결과를 동일하게 적용할 수 없기 때문에, 본 실험에서는 TKN 200ppm을 기준으로 추출하여 실험하였다. 이 등은 채소류별로 17.5kg-N/10a~25.2kg-N/10a의 권장 시비량을 보고하였다¹²⁾. 일반적으로 배추종자는 식물 독성물질에 대해 비교적 저항성이 큰 종자로 인정되어 G.I. 실험에 많이 사용된다. 본 실험에서의 발아율은 대조구에 비해 약간 낮은 수치를 나타내었고, 뿌리의 생장은 대조구에 비해 낮게 나타났고, 뿌리의 기형과, 장애정도가 심

하게 나타난 실험구도 있었다.

본 실험결과에서는 대조구를 기준으로 0~86까지의 G.I. 결과를 도출하였는데 우분에 톱밥과 산업폐기물인 제지슬러지를 첨가한 A, B인 경우 0, 17로 나타났고, 돈분에 분쇄왕겨만을 첨가한 C, D, E는 36, 39, 29로 나타났다. 돈분에 톱밥만을 첨가한 F, G는 32와 86으로, 계분

에 톱밥을 첨가한 경우인 H, I, J는 각각 8.5, 11, 18이었다. 계분만을 건조한 시료 K, L, M은 각각 7.7, 21, 23 이었다. 돈분에 톱밥만을 첨가한 시료 G를 제외한 나머지 시료는 부숙이 덜 된 시료임을 알 수 있었다⁴⁾. 발아지수의 순서는 G > D > C > F > E > M > L > J > B > I > H > K > A 이었다.

Table 4. Effect of the water extract of compost materials on seed germination and root elongation of *Brassica campestris* L.

Sample	Cont- rol	CSP		SG			SS		PS			DP		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
GR (%)	100	33	47	67	69	57	78	76	32	62	52	57	53	78
Root (cm)	1	0	0.35	0.54	0.56	0.51	0.41	1.13	0.27	0.17	0.35	0.14	0.4	0.3
GI (%)	100	0	17	36	39	29	32	86	8.5	11	18	7.7	21	23

CSP : Cow manure + Saw dust + Paper sludge.

SG : Swine manure + Grinded rice hull.

SS : Swine manure + Saw dust.

PS : Poultry manure + Saw dust.

DP : Dried poultry manure.

GR : Germination Ratio.

GI : Germination Index.

3. CO₂ 발생량

한편, 약 5일간의 시간을 필요로 하는 발아 실험을 대체하여 연구되어진 CO₂ 발생량 측정 은 최근에 Dewar Test Kit의 개발¹⁾ 및 William F. Brinton²⁾에 의해 실제 퇴비화의 진행과정 연구에서 적용성이 높은 것으로 인식되어진 방법이다. 각 Sample의 부숙과정중 고온 발효기간이 얼마나 진행되었는지, 최고 온도는 얼마까지 상승했는지 알 수는 없었으나, 인위적으로 고온을 맞추어 주었을 때 각각의 CO₂ 발생량을 Table 5에 나타내었다. William F. Brinton²⁾의 미

생물 호흡에 의한 CO₂ 발생량에 따른 부숙도 평가에 의하면, 34℃에서의 CO₂ 발생실험에서 0.1molCO₂-C/kg/2hr 이하면 분해가 거의 끝난 상태의 퇴비이고, 1.7molCO₂-C/kg/2hr 이상이면 분해가 활발히 진행중인 퇴비라고 하였다. 본 실험에서는 60℃에서의 CO₂ 발생량을 측정하였기에 전술한 수치를 그대로 적용할 수 없지만, 발아시험과 관련하여 G.I. 80 이상인 경우 0.013mol/kg/2hr 이었다. CO₂ 발생량이 많은 순서는 I > H > A > J > M > K = L > B > C > F > E > D > G 이었다.

CO₂ 발생이 많은 경우는 미생물이 활발히 생

Table 5. The evolution of carbon dioxide at each sample in 60℃

(unit : 10⁻²mol/kg/2hr)

Sample	CSP			SG		SS		PS			DP		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Measure	41.0	14.0	10.0	3.8	5.5	7.0	1.3	53.1	58.3	35.0	20.0	20.0	33.0

CSP : Cow manure + Saw dust + Paper sludge.

SG : Swine manure + Grinded rice hull.

SS : Swine manure + Saw dust.

PS : Poultry manure + Saw dust.

DP : Dried poultry manure.

육하고 있음을 의미하며^{2,8,10,16}, 이것은 sample 이 아직 안정화되지 않아 미생물의 분해가 활발히 이루어지고 있음을 나타내고 있다^{12,23}. 이렇게 미부숙된 퇴비는 토양시비 후 작물의 생육에 장애를 주게 되는데 특히 뿌리쪽에 많은 영향을 주는 것으로 나타났다¹³.

4. 발아지수와 CO₂ 발생량과의 상관관계

위 실험에서 얻어진 결과(Table 4, 5)를 기초로 G.I.와 CO₂ 발생량간의 상관관계를 얻기 위하여 통계 패키지인 lotus 123을 이용하여 관계식을 구하였다.

Fig. 2는 전질소기준 200ppm 일 때의 GI와

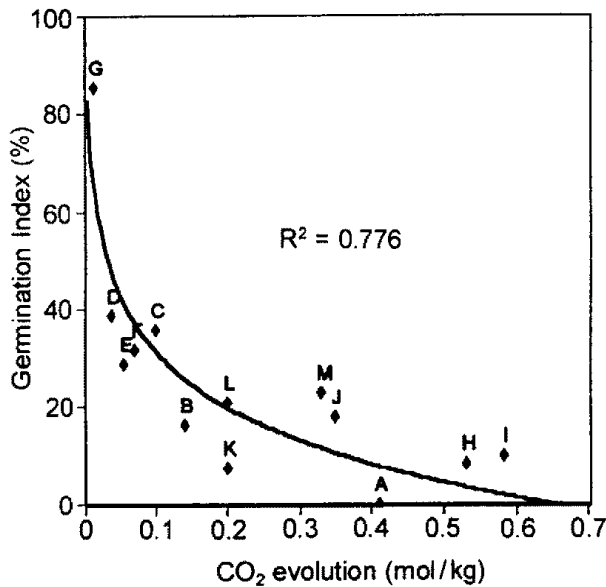


Fig. 2. Correlation between G.I. and CO₂ evolution.

CO₂ 발생량과의 관계를 나타낸 것이고, 그 때의 상관관을 나타낸 식은 $G.I. = -16.7(\ln CO_2) - 6.87$ (수식 1)이었다. 즉 G.I.(200ppm TKN)은 60℃, 2hr 동안 측정된 CO₂ 값을 이용하여 대수값으로 구할 수 있으며, 이 때의 R²은 0.776이었다. 수식 1을 이용하여 CO₂ 발생량을 기초로 하여 역으로 G.I.를 추정할 결과를 Table 6과 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3을 통해 알 수 있듯이 60℃에서의 CO₂ 발생량으로 실제 G.I.와 추정된 G.I.는 매우 근접한 경향을 가지고 있어 T-N 200ppm 일 때의 G.I.를 CO₂ 발생을 통해 구할 수 있는 가능성을 시사하였다.

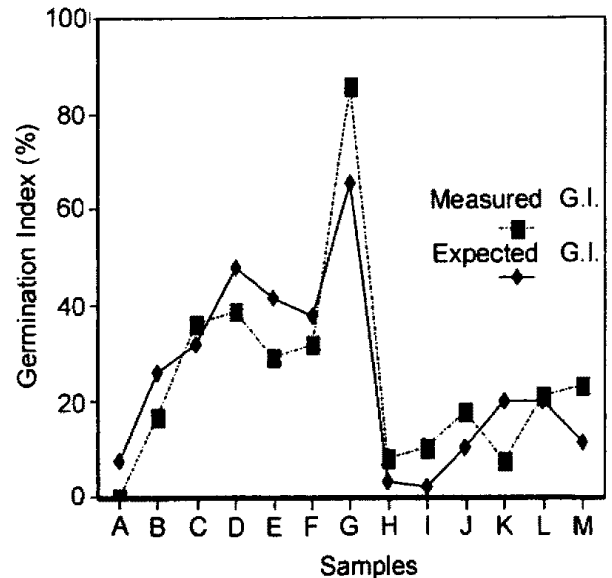


Fig. 3. Comparison the measured G.I. with the expected Gi by equation 1.

Table 6. Expection value of G.I. by equation 1 using CO₂ concentration evolved

Sample	CSP		SG			SS		PS			DP		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CO ₂ (mol/kg/2hr)	0.41	0.14	0.1	0.0383	0.055	0.07	0.013	0.531	0.583	0.35	0.2	0.2	0.33
G.I.	0	17	36	39	29	32	86.6	8.5	11	18	7.7	21	23
G.I. by Equation 1	8.0	26	31.6	47.6	41.6	37.5	65.7	3.7	2.1	10.7	20	20	11.6

CSP : Cow manure + Saw dust + Paper sludge.

SG : Swine manure + Grinded rice hull.

SS : Swine manure + Saw dust.

PS : Poultry manure + Saw dust.

DP : Dried poultry manure evolution.

5. G.I.와 염 농도와의 관계

발아테스트 실험결과는 발아율과 뿌리 생장율을 측정하였는데, 실험방법으로는 기존의 방법¹³⁾을 응용하였다. Table 4는 높지않은 발아지수를 보였는데, 본 연구에서는 낮은 발아지수에 대한 직접적인 이유는 알 수 없었다. 그러나 이명규 등¹¹⁾에 의하면 G.I. 80을 기준으로 볼 때 제한인자로서 sample의 염류 함량이 Mg는 50ppm 이상, K는 400ppm, Na는 600ppm 이상, Ca는 3,000ppm 이상에서 한계농도를 나타내는 것으로 보고하고 있으나 본 실험에 사용된 sample은 지적되어진 한계농도 이하로 희석되어져 있어서 그에 따른 영향은 없는 것으로 사료된다(Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7). Fig. 8.은 시료중의 염의 농도를 종합적으로 알 수 있는 EC와 G.I.와의 관계를 나타낸 것으로 상관성으로 볼 때 퇴비내의 EC는 G.I.와 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

이상의 실험에서는 CO₂ 발생량을 통해 발아 실험결과(Table 6, Fig. 3)를 예측하였는데, 실제적으로 적용하기에는 시료수가 적어 수식을 현장에 적용하기에는 다소 무리가 있다고

보여지나, 추후 많은 시료를 이용한 실험을 통해 보다 정확한 결과를 도출할 수 있다고 사료된다. 또한 G.I.에 미치는 염류, EC, 중금속 농도 등과 같은 영향인자에 관하여 향후 구체적인 연구가 수행되어져야 할 것으로 사료된다.

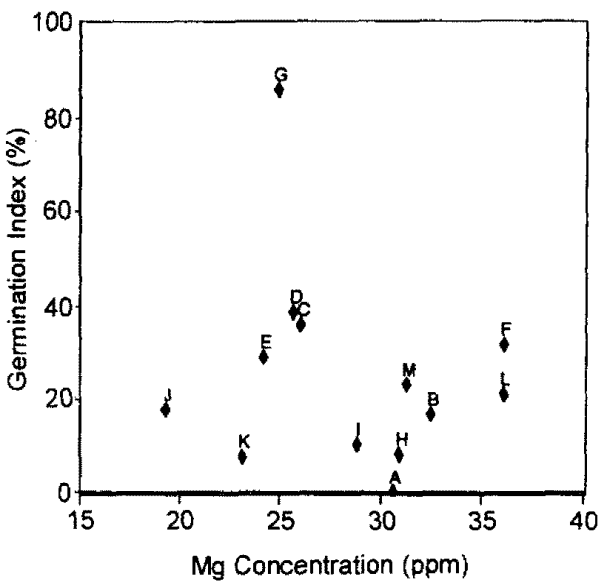


Fig. 4. Correlation between G.I. and Mg concentration (limitation conc. 50ppm¹³⁾).

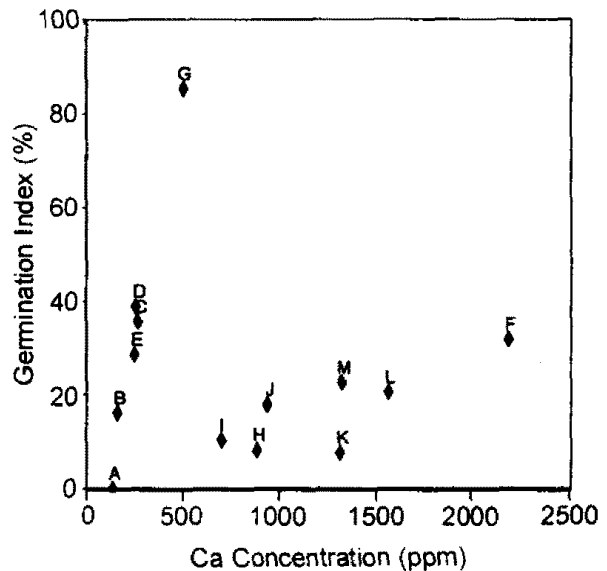


Fig. 5. Correlation between G.I. and Ca concentration (limitation conc. 3,000 ppm¹³⁾).

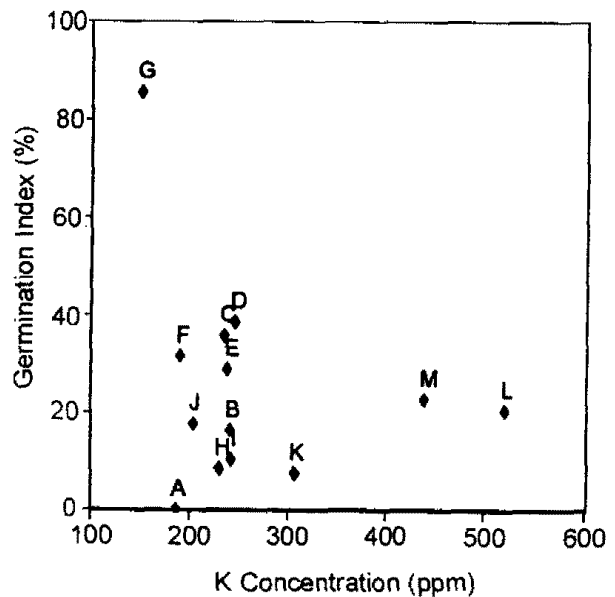


Fig. 6. Correlation between G.I. and K concentration (limitation conc. 400ppm¹³⁾).

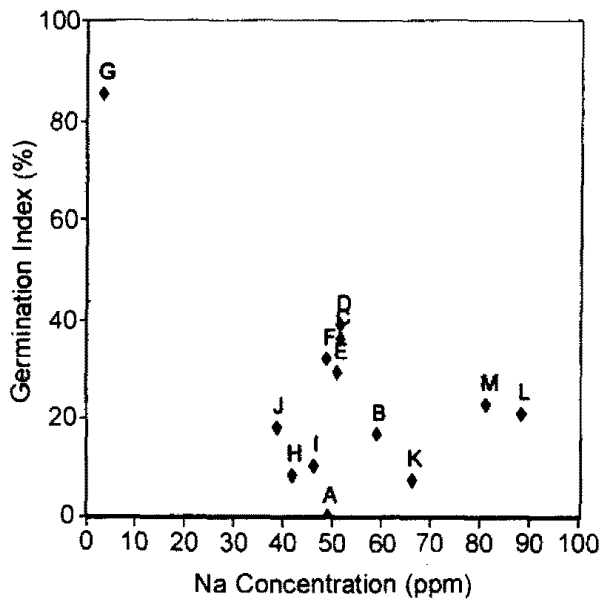


Fig. 7. Correlation between G.I. and Na concentration (limitation conc. 600ppm¹⁰).

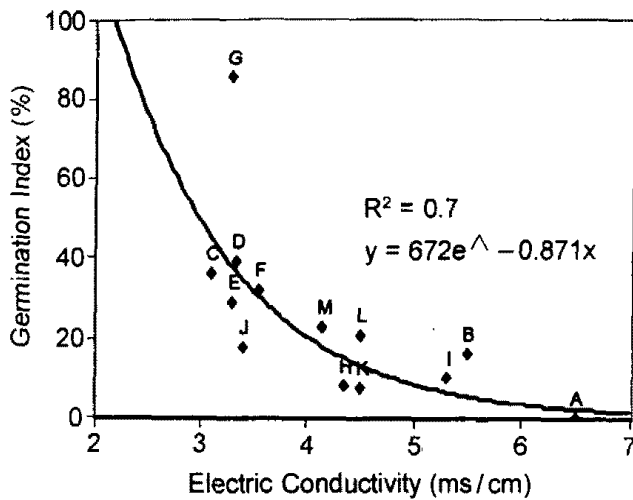


Fig. 8. Correlation between G.I. and EC.

적 요

유기성 폐자원은 퇴비화하여 농업으로의 비료자원으로 이용되어지는 것이 적극 추천되어지고 있다. 그러나 적절치 못한 운영은 오히려 농작물에 피해를 주는 실정이다.

기존의 부숙도 측정은 여러 연구자들에 의한 다양한 방법이 개발되었지만, 원료의 다양성과 퇴비화 공정의 상이성 등으로 인해 아직 정형

화된 방법이 없는 실정이다. 그러나, 발아실험은 거의 모든 퇴비평가에 적용할 수 있고, 실제 시비했을 때의 식물의 생육을 예측할 수 있기에 많이 연구되고, 실제로 적용되고 있는 방법이다.

경기도내 5개 부산물 퇴비생산업체로부터 샘플을 채취하여 물리화학적 성상을 분석하였고, 발아테스트와 60℃ Incubator에서의 CO₂ 발생량을 측정한 본 연구는 퇴비의 부숙도를 측정함에 있어 범용적으로 사용되어지는 발아지수와 미생물 활성지표로 사용되어지는 CO₂ 발생량과의 상관관계를 알아보고자 실시하였다. 각각의 발아지수는 5반복을 하여 평균으로 구하였고, CO₂ 발생량은 3반복을 하여 평균을 구하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 질소기준 200ppm으로 시료를 조제하여 발아테스트를 측정한 결과 발아지수 100을 기준으로 0부터 86까지 분포하였으나 낮은 값에 편중됨을 보였다.

2. CO₂ 발생량과 G.I.는 부의 상관관계 (R² = 0.776)가 있는 것으로 나타났고, 관계식은 G.I. = -16.7(lnCO₂) - 6.87이었다.

3. EC(Electric Conductivity)와 G.I.(Germination Index)는 부의 상관관계(R² = 0.7)를 보여주었다.

4. 본 실험의 결과 CO₂ 발생량의 측정을 통해 G.I.(T-N 200ppm)를 추정할 수 있었다.

인 용 문 헌

1. Bill Seekins. 1996. Field test for compost maturity, *Biocycle*, 8, pp. 72-75.
2. Hiroyuki Hattori. 1992. Influence of heavy metals on soil microbial activities, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38(1):93-100.
3. William, F. Brinton. 1997. Basis for interpretation of waste and compost tests, *Journal of the Woods End Research Laboratory*.

4. Zimenez, E. I. and Garcia, V. P. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity : A Review. *Biological Wastes*.
5. 가정 및 축산폐기물의 퇴비화. 1995. 한국 유기성폐기물자원화협의회, 동화기술.
6. 김남천. 1994. 퇴비화의 이론, 유기성폐기물자원화 학회지, 2(2):161-176.
7. 김필주, 장기운, 민경훈. 1995. 음식물 찌꺼기 고속발효기에 의해 처리된 퇴비의 안정성 검토, 유기성폐기물자원화, 3(1):35-42.
8. 노재성, 강 호, 홍성수, 이상운, 이범재. 1994. 무기계 고형폐기물을 수분 조절재와 탄소 공급원으로 한 축분의 퇴비화에 관한 연구, 한국폐기물학회지 11(3):388-397.
9. 신항식. 1996. 축산폐기물 퇴비화의 현황 및 활성화 방안, 월간폐기물, 1, pp. 74-80.
10. 윤하연, 유기영, 박후원, 김갑수, 유명진. 1994. 음식물쓰레기 호기성 퇴비화시설의 설계변수 및 운전조건 도출에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 11(3):377-387.
11. 이명규, 신미영. 1997. G.I.(Germination Index)의 영향 인자에 대한 고찰, 상지대학교, 환경과학연구소 3(1):27-33.
12. 이춘수, 허범량, 송요성, 곽한강. 1994. 토양 검정에 의한 채소류의 3요소 시비량 조정, 한국토양비료학회지 27(2):85-91.
13. 장기운, 이인복, 임재신, 임현택. 1996. 부숙과정중 음식물찌꺼기의 식물독성 평가, 한국토양비료학회지 20(3):312-320.
14. 장기운, 임재신. 1994. 유기성 폐자원을 이용한 퇴비제품화요건, 유기성폐기물자원화 2(1):121-134.
15. 정재춘, 홍지형. 1994. 퇴비화의 이화학적 지표 및 공정관리, 유기성폐기물자원화, 2(2):99-127.
16. 차병훈, 이시진, 김남천. 1996. 음식물 쓰레기 고속퇴비화 공법에 있어 효과적인 Bulk-ing Agent에 관한 연구 I. 한국폐기물학회지 13(4):514-521.
17. 축산업협동조합중앙회. 1991. 가축배설물 처리이용기술.
18. 土壤標準分析測定法, 日本土壤肥料學會 監修, 塙友社.
19. 한국 유기성폐기물자원화협의회. 1994. 유기성 폐기물의 퇴비화 기술, 동화기술.
20. 환경백서. 1997. 환경부.
21. 황경숙, 장기운. 1996. 축산폐기물의 퇴비화 과정중 미생물상의 변동, 한국토양비료학회지 29(3):303-311.