J. Kor. Soc. Environ. Eng., 36(10), 667~671, 2014
Original Paper
http://dx.doi.org/10.4491/KSEE.2014.36.10.667
ISSN 1225-5025

식물의 발아지수를 이용한 음식물 퇴비의 부숙도 평가

Evaluation of Foodwaste-compost Maturity with the Seed Germination Index of Plants

윤은주† · 오정익 · 윤정현*
Eun Joo Yoon† · Jeong-ik Oh · Jeon Hyun Yoon*

한국토지주택공사 토지주택연구원 · *(주)에코트로닉스
*Land & Housing Institute, Korea Land & Housing Corporation · *Ecotronics*

(Received September 2, 2014; Revised October 13, 2014; Accepted October 16, 2014)

Abstract : By analyzing seed germination indexes of cabbage and radish, this study aims to evaluate the toxicity of food waste compost, which is produced by fermentation-extinction technology with bio wood chips. In the experimental results, the seed germination index of food waste compost for cabbage and radish was shown in the range of a minimum 104 and maximum 170. It was satisfied with the over 70 criteria in the level of the Korea fertilizer process specification. Consequently, the food waste compost from fermentation-extinction reaction with bio wood chips was evaluated by the appropriate compost maturity for the plantation.
Key Words : *Fermentation-extinction, Food Waste, Compost Maturity, Germination Index*

요약 : 본 연구는 발효-소멸 기술을 통해 생산한 음식물 퇴비의 독성여부를 분석하고자 하는 것으로 무와 얼갈이 배추 종자를 대상으로 발아지수 분석을 통해 퇴비 독성을 분석하였다. 실험결과, 음식물 퇴비의 발아지수는 무, 배추 종자 모두 최소 104, 최대 170으로서 비료 공정규격에서 정한 기준이 70을 크게 상회하는 것으로 나타나 발효-소멸기술에 의한 음식물 퇴비가 퇴비로 사용하기에 적절한 수준으로 부숙이 이루어진 것으로 분석되었다.
주제어 : 발효-소멸, 음식물쓰레기, 부숙도, 발아지수

1. 서 론

환경부 자료에 따르면 우리나라 음식물쓰레기 배출량은 약13,209톤/일로서 전체 생활폐기물 발생량의 27%에 달할 정도로 그 비중이 크다.[1] 이에 정부에서도 음식물쓰레기 줄이기 종합대책 등을 통해 쓰레기 발생량을 줄이는 정책을 추진하고 있는데, 우리나라 특유의 국물 위주 음식문화에 기인한 발생량을 단기간에 줄이는 것은 무리가 있어, 발생량 감소정책과 더불어 이를 자원화하는 기술 개발에도 중점을 두고 있다. 우리나라의 음식물쓰레기는 특히 수분함량이 높고 쉽게 부패하여 악취가 심하기 때문에 소각이나 매립을 통한 처리방식은 심각한 환경오염문제를 야기할 수 있어 환경적 영향이 비교적 적은 재활용방법이 대안으로 검토되고 있다. 음식물쓰레기를 재활용하는 대표적인 방법으로 가축사료 또는 퇴비사용[2]을 들 수 있는데, 사료의 경우에는 신선한 재료에 한해 가능한 방법이기 때문에 부패 가능성이 높은 음식물쓰레기의 경우, 퇴비화 하는 것이 현실적 방안으로 부각되고 있다.

이에 따라 건조, 탈수, 액상분해, 발효소멸 기술[3~5]등 음식물쓰레기를 퇴비화하는 다양한 기술 개발이 진행되고 있는데, 퇴비화에 필요한 기술 뿐만 아니라 해당 기술을 통해 생산된 퇴비가 제 기능을 하기 위해서는 몇 가지 선결되어야 할 문제점이 있다. 대표적인 문제점으로 염분함량과 발효정도[6,7]를 들 수 있는데, 염분함량의 경우, 비료공정규격상의 기준 적용을 통해 기준 농도 이하로 퇴비를 제조토록 관리하고 있으나 발효정도에 대해서는 퇴비종류나 구성성분별로 차이가 크기 때문에 단일규정을 통해 관리하는데 한계가 있다. 발효가 제대로 되지 않은 미숙퇴비 사용시 심각한 생육장애를 유발할 수 있어 퇴비종류별로 적정 부숙기간[8]에 대한 충분한 검증이 선행되어야 하는데 관련 연구동향을 살펴보면 대부분 음식물쓰레기 원재료를 대상으로 자연부숙에 소요되는 기간[9,10]이나 부숙 환경 조성,[11,12] 퇴비의 물리화학적 성상[13,14] 등에 대한 내용 위주로써 실제 식물을 대상으로 한 독성여부나 생장특성을 분석한 경우는 거의 없었다. 또한 최근 처리기술의 발달로 거의 완제품 수준의 퇴비 생산이 가능한 기술수준을 감안하여 부숙과정을 거친 완성단계의 퇴비를 대상으로 한 독성분석을 통해 퇴비의 안전성을 검증할 필요가 있으나 이 역시도 부족한 편으로 퇴비의 이·화학적 특성을 위주로 한 분석과는 별로도 실제 식물을 대상으로 한 독성검증이 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 최근 실용화 가능성이 높은 기술로 평가받고 있는 발효-소멸기술[3]을 적용해 생산된 완성단계의 음식물쓰레기 부숙퇴비를 대상으로 발아 실험을 통해 퇴비 부숙도를 시험해보고자 하였다. 식물 종자를 대상으

† Corresponding author E-mail: yoonej@lh.or.kr Tel: 042-866-8680 Fax: 042-866-8431

로 한 발아실험[15]은 미숙퇴비 중에 존재하는 여러 가지 독성물질에 의한 피해를 간접적으로 측정하는 것으로 종자 발아율과 뿌리생장률을 통해 독성여부를 평가하는 방법이다.

2. 시험재료 및 방법

2.1. 시험재료

본 연구에서 사용한 퇴비는 서울 소재 모 아파트단지에 설치한 음식물 발효-소멸 장치에서 생산된 음식물 퇴비를 이용하였다. 해당 장치는 목질바이오칩과 음식물쓰레기를 퇴비생산에 적합한 형태로 개발된 발효소멸장치로서 2007년 특허를 받은 기술을 적용하여 습도 30~70%, 온도 30~35℃ 조건에서 혼합하여 발효 · 소멸시키는 기술을 적용한 장치로서 장치 내에서 충분한 발효과정이 진행되기 때문에 별도의 부숙과정을 거칠 필요가 없는 퇴비[3]이다. 기타 비교실험을 위해 가축분 퇴비를 추가로 사용하였으며, 시판 중인 제품 중 (주)녹색비료의 가축분 퇴비 제품 '대풍이'를 선택하였다.

발아실험에 사용한 식물종자는 대표적인 근채류와 엽채류인 무와 얼갈이 배추 종자를 사용하였으며, 실험유형별로 각각 100개씩의 씨앗을 선별하여 파종하였다.

퇴비유형과 퇴비 사용량에 따른 발아율 차이를 분석하기 위해 Table 1. Experimental Cases에서 보는바와 같이 (a)~(e)까지 총 5가지 유형으로 구분하여 실험을 진행하였다. 실험유형은 육묘상자에 퇴비를 추가하지 않고 일반상토 500 g만 채운 무처리군, 일반상토 500 g에 음식물 퇴비를 추가한 음식물퇴비 처리군, 일반상토 500 g에 가축분 퇴비를 추가한 가축분퇴비 처리군 등 3가지 범주로 구분하였고, 퇴비사용량에 따른 영향을 분석하기 위해 음식물 퇴비와 가축분 퇴비 사용량은 10 g, 20 g의 두 가지 경우로 구분하였다.

퇴비 사용량은 농업진흥청 국립농업과학원의 시비처방 기준[16] 상 음식물 퇴비와 유사한 성분인 퇴구비의 시비량으로 설정하였으며, 해당 기준에서는 노지지배시를 대상으로 하기 때문에 무게가 아니라 평면면적을 기준으로 시비량을 제시한 것이나 정확한 실험을 위해 해당 기준에서 제시한 산출식과 유사 연구사례[17]를 참고로 이를 무게로 환산하여 시비량을 결정하였다. 일반토양 1 kg 기준으로 퇴비 20 g을 적정량으로 제시한 해당 기준을 근거로 토양 500 g 기준으로 적정 퇴비량인 10 g을 기준 사용량으로 설정하였고, 퇴비사용량에 따른 영향을 파악하기 위해 기준 사용량의 2배인 20 g의 경우도 추가하였다.

Table 1. Experimental cases

Types	Amount of compost per nursery box soil 500 g	Number of sowed seeds
(a) Control	-	White radish seeds 100 Chinese cabbage seeds 100
(b) Livestock manure (10 g)	10 g	White radish seeds 100 Chinese cabbage seeds 100
(c) Livestock manure (20 g)	20 g	White radish seeds 100 Chinese cabbage seeds 100
(d) Food waste compost (10 g)	10 g	White radish seeds 100 Chinese cabbage seeds 100
(e) Food waste compost (20 g)	20 g	White radish seeds 100 Chinese cabbage seeds 100

식재된 육묘상자는 반그늘상태에 배치하고, 2014년 6월 14일부터 6월 20일까지 7일간 생육하고 마지막날 발아식물을 채취하여, 각 유형별로 발아개체수와 무게, 뿌리길이를 측정하였다.

2.2. 분석방법

퇴비의 유해성 평가는 미숙퇴비로 인한 퇴비독성 평가가 주를 이루는데, 미숙퇴비는 식물종자의 발아와 식물생장에 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.[18] 퇴비의 부숙도는 식물의 생장과 종자발아에 영향을 미치며 환경적 유해성과도 연관성이 높기 때문에 퇴비의 품질 향상 및 안전한 사용에 필수요소라고 할 수 있다.[19~21]

따라서 본 연구에서도 음식물 퇴비를 대상으로 해당 퇴비가 식물발아 및 생장에 미치는 영향을 분석하고자 하였으며, 평가도구로는 기본적인 생장특성 확인을 위해 발아율, 평균무게, 평균 뿌리길이 등을 측정하였고, 부숙도는 퇴비 부숙도 평가에 주로 사용되는 발아지수(germination index)를 사용하였다. 발아지수는 식 (1)에서 보는 바와 같이 식물종자의 발아정도와 초기 생육상태를 이용해 계산하는 산식으로서 발아율과 뿌리생장률을 곱한 값(%)으로 계산된다. 지수의 해석과 관련해서는 비료 공정규격상 70 이상의 기준을 충족하도록 규정되어 있다.[22,23]

$$\text{Germination rate} = (\text{발아율} / \text{control 발아율}) \times 100$$

$$\text{Relative} = (\text{뿌리길이} / \text{control 뿌리길이}) \times 100$$

$$\text{Germination index} = \text{Germination rate} \times \text{Relative} / 100 \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 퇴비유형별 발아개체수 및 생육 특성

파종 이후 7일째 5개 실험유형별로 무와 배추의 발아개체수, 평균무게, 평균뿌리길이를 측정하였다. 발아개체수는 실험유형별로 파종한 100개의 종자 중 발아한 개체의 개수, 평균무게는 각 유형별로 총무게를 발아개체수로 나누어 계산하였으며, 평균 뿌리길이는 발아개체의 뿌리길이를 모두 측정한 후 합산한 다음 발아개체수로 나누어 산출한 값이다.

Fig. 1. Yield of white radish.

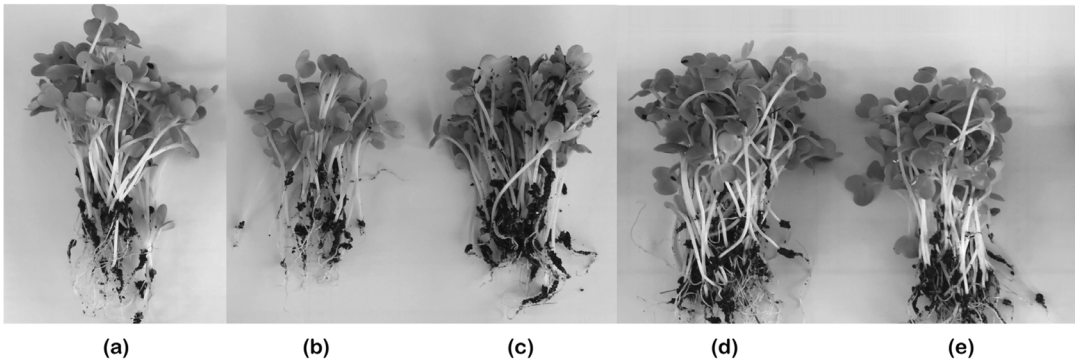

Fig. 2. Yield of Chinese cabbage.

Table 2. The experimental results of seed germination by using food waste compost and livestock manure

Types	No. of germination (ea)		Average weight (mg)		Average root length (mm)	
	White radish	Chinese cabbage	White radish	Chinese cabbage	White radish	Chinese cabbage
(a) Control	70	69	200	101	39.7	45.3
(b) Livestock manure (10 g)	42	31	167	65	25.7	27.5
(c) Livestock manure (20 g)	33	64	152	94	19.7	20.4
(d) Food waste compost (10 g)	80	**98**	200	**133**	45.3	**54.2**
(e) Food waste compost (20 g)	**82**	92	**220**	109	**53.2**	35.5

그 결과, Fig. 1, 2와 Table 2에서 보는 바와 같이 발아개체수는 무, 배추 종자 모두 대조군이 전체 파종량의 약 70%가 발아한 것에 반해 음식물 퇴비((d), (e))는 80~98%까지 높은 발아율을 보였고, 가축분 퇴비((b), (c))는 31~64%로 퇴비종류간의 발아율 차이가 컸다. 평균 무게 및 뿌리길이 등 생장상태 측면에서도 실험유형별로 차이가 있었는데 우선 평균무게의 경우, 무 종자는 대조군 평균 200 mg, 음식물 퇴비((d), (e)) 200~220 mg인 것에 반해 가축분 퇴비((b), (c))는 152~167 mg 수준이었고, 배추 종자는 대조군 평균 101 mg, 음식물 퇴비((d), (e)) 109~133 mg, 가축분 퇴비((b), (c)) 65~94 mg으로 무 종자와 마찬가지로 음식물 퇴비의 평균무게가 가장 무거웠다. 다음으로 평균 뿌리길이의 경우, 무 종자는 대조군 평균 39.7 mm, 음식물 퇴비((d), (e)) 45.3~53.2 mm, 가축분 퇴비((b), (c)) 19.7~25.7 mm 수준이었고, 배추 종자는 대조군 평균 45.3 mm, 음식물 퇴비((d), (e)) 35.5~54.2 mm, 가축분 퇴비((b), (c)) 20.4~27.5 mm으로 무 종자와 마찬가지로 음식물 퇴비 사용시의 평균 뿌리길이가 가장 길었고, 가축분 퇴비의 경우, 그 생육정도가 좋지 않은 편이었다. 이와 같이 무, 배추 종자 모두 음식물 퇴비를 사용한 경우가 대조군이나 가축분 퇴비에 비해 발아정도와 개체 생육상태가 훨씬 더 우수한 것으로 나타났으며 종자유형별로는 무 종자의 경우에는 (e) 음식물 퇴비 20 g을 사용한 경우에 발아개체수, 평균무게, 평균뿌리길이 모두 가장 우수했고, 배추 종자의 경우에는 (d) 음식물 퇴비 10 g을 사용한 경우에서 발아 및 생육상태가 가장 나은 것으로 나타났다.

다만, 위의 결과에서 음식물 퇴비가 그 사용량에 상관없이 모두 가축분 퇴비에 비해 발아율과 생육상태면에서 모두 현저히 좋은 결과를 보였는데, 이는 두 퇴비간의 성능 차이에 기인한 결과라고 해석하는 것은 무리가 있으며 본 실험에 사용한 가축분 퇴비가 충분한 부숙이 이루어지지 않은 탓으로 판단된다. 또한 식물종별로 음식물 퇴비 사용량에 따라 발아율과 생육상태 모두 상이한 결과에 보였는데, 엽채류인 배추에 비해 비교적 양분 요구도가 높은 근채류인 무 종자의 특성[24]과도 상관이 있는 것으로 보인다.

3.2. 퇴비유형별 발아지수

앞서 측정한 발아개체수 및 생육특성자료를 이용하여 무와 배추 종자의 발아율, 뿌리지수, 발아지수를 계산하면 Table 3과 같다. 발아율(germination rate, %)은 무 종자의 경우에는 음식물 퇴비군((d), (e)) 모두 대조군을 기준으로 114%, 117%의 발아율을 보였고 배추 종자의 경우, 각각 142%, 133%로 모두 양호한 발아율을 보였다. 뿌리지수(relative)의 경우에는 무 종자의 경우, 음식물 퇴비군((d), (e)) 모두 대조군 대비 114%, 134%로 모두 양호한 값을 보인 반면, 배추 종자의 경우에는 각각 120%, 78%로 음식물 퇴비 20 g을 사용한 경우에 비교적 낮은 값을 보였다. 마지막으로 발아율과 뿌리지수를 곱한 값인 발아지수(germination index)의 경우, 앞서 정리한 값과 유사한 경향을 보여, 무 종자의 경우, 음식물 퇴비군((d),(e))의 값은 131, 157로 나타났고, 배추 종자의 경우, 각각 170, 104로 나타나 비료공정규격에서 정한 기준인 70을 월등히 상회하는 값을 보여 퇴비로 사용하기에 충분한 부숙이 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

Table 3. The result of germination index by Compost type

Types	Germination rate (%)		Relative (%)		Germination index (%)	
	White radish	Chinese cabbage	White radish	Chinese cabbage	White radish	Chinese cabbage
(a) Control	-	-	-	-	-	-
(b) Livestock manure (10 g)	60	45	65	61	39	27
(c) Livestock manure (20 g)	47	93	50	45	23	42
(d) Food waste compost (10 g)	114	**142**	114	**120**	131	**170**
(e) Food waste compost (20 g)	**117**	133	**134**	78	**157**	104

기타 일반퇴비와의 비교를 위해 실험유형에 포함시킨 가축분 퇴비군((b), (c))의 경우, 무와 배추 종자 모두 70 미만의 값을 보여, 비료 공정규격을 충족하지 못하는 것으로 나타났는데, 이는 앞서 언급한 바대로 해당 퇴비를 구입 후 별도의 부숙과정 없이 바로 사용한 것이 주요 원인으로 사료된다. 음식물 퇴비의 사용량과 관련해서는 앞서 정리한 생육특성과 마찬가지로 근채류인 무 종자는 20 g 사용시, 엽채류는 10 g 사용시에 더 나은 결과를 보였다.

4. 결 론

종래 음식물 퇴비에 대한 연구는 초기단계로서 퇴비의 이·화학적 특성 위주의 분석을 통해 독성여부를 분석하는 것이 대부분으로 본 연구와 같이 실제 작물을 대상으로 발아실험을 실시한 경우는 거의 없었다. 본 연구는 실제 생육환경과 비슷한 조건 하에서 진행된 발아실험을 통해 실질적인 퇴비독성과 초기 식물 생육에 미치는 영향을 분석했다는 점에 연구의 의의가 있다.

또한 퇴비 사용량에 대한 개략적인 결과를 도출하였는데, 실험결과, 일반상토 500 g 기준으로 음식물 퇴비 10 g 사용시 생육에 기여하는 것으로 나타났다. 이는 일반토양 1 kg 기준시 적정 퇴비사용량을 20 g을 제시한 농진청 국립농업과학원의 시비처방 기준[16]과 유사한 것으로 퇴구비의 사용법에 준해 사용가능함을 확인할 수 있었다. 다만, 본 연구는 시비량에 관한 기초적인 연구로서 음식물 퇴비 사용이 활성화 되기 위해서는 작물 유형별 실험을 통해 보다 구체적인 적정 시비량을 제시할 필요가 있다.

KSEE

Reference

1. Ministry of Environment, Survey on the Generation of the National waste and Disposal Status, pp. 3~33(2013).
2. Shin, D. M., "Plan for making efficient organic composts by using food wastes," Master's degree thesis of Hanyang University(2005).
3. Choi, M. S., Oh, J. I. and Kim, J. H., Development for Essential Reduction Technology of Food Wastees from Apartment Complexes-Focusing on the Extinction of Food Wastes using Wood Bio-chip-, LHI, pp. 47~69(2006).
4. Oh, J. I., Kim, H. J., Kong, Y. H., Lim, C. Y., Bae, S. W., Gil, M. S., Choi, J. I., Lee, G. Y., Kim, J. Y., Park, J. H. and Lee, J. W., A Study on On-site Practicalization of Food Waste Zero House System by using Fermentation Extinction Technology, LHI, pp. 31~35(2012).
5. Oh, J. I., "Variation of Adenosine tri-Phosphate (ATP) in Fermentation-Extinction of Food Wastes with Wood Bio-Chip," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **32**(4), 363~368(2012).
6. Kwak, H.-K., Seong, K.-S., Lee, N.-J., Lee, S.-B., Han, M.-S. and Roh, K.-A., "Changes in Chemical Properties and Fauna of Plastic Film House Soil by Application of Chemical Fertilizer and Composted Pig Manure," *Kor. J. Soil Sci. Fert.*, **36**(5), 304~310(2003).
7. Kim, J.-H., Cho, C.-H. and Phae, C.-G., "The Effect of Composting Reaction by the Optimal Mixing Ratio, Compost Addition and Kinds of Bulking Agents in the Mixture of Food Waste and Pig's Feces," in Proceedings of the Korea Organic Resource Recycling Association, Spring, pp. 103~108(2004).
8. Park, C. G., Lee, Y. S., Cho, K. R., Won, S. H. and Chio, Y. J., "Effects of Maturation Periods of Pig Manure Composts on Growth of Leaf Lettuce (*Lactuca sativa L.*)," *Kor. J. Organic Agric.*, **9**(1), 19~29(2001).
9. Kang, S. J., Lee, C. H. and Seo, S. H., "Effect of Water-Extracts from Sludge Compost on Seed Germination," *J. Bio-Environ. Control*, **16**(4), 407~414(2007).
10. Oh, T.-S., Kim, C.-H., Hong, C.-G., Cho, Y.-K. and Kim,

Y.-W., "Effect on Component Change, Growth Stage and Germination of Plants Depending on Decomposition Period of Agricultural Organic Reduced Substances," *Kor. J. Intl. Agric*., **25**(4), 442~447(2013).
11. Jung, J. Y., Jung,. K. Y. and Park, W. K., "Studies on the Optimun Activation Condition for Food Waste Composting by Microorganism in Food Waste," *Kor. J. Environ. Agric.*, **18**(3), 272~279(1999).
12. Jung, J. Y., Jung,. K. Y. and Nam, S. S., "Evaluation of Compost Qualities with or without Microbial Inoculation for Food Waste Composting," *Kor. J. Environ. Agric.*, **18**(3), 280~286(1999).
13. Park, S. Y., Rhu, Y. S., Jung, D, H., Lee, J. and Kim, M. I., "Physicochemical Effect on Ultra Thermophilic Aerobic Composting Process," *J. Kor. Geo-Environ. Soc.*, **11**(11), 27~36(2010).
14. Park, J.-W. and Seo, J.-Y., "Mass Reduction and Physicochemical Properties of the Produced Compost during Composting Domestic Food Wastes in a Small Composter," *Kor. J. Environ. Agric.*, **20**(4), 238~243(2001).
15. Paik, C.-H., Lee, M.-G. and Kim, C.-H, "Studies on the Correlation between Germination Index and CO_2 Emission for Evaluation of the Maturity of Compost Products," *J. Kor. Soc. Livestock Housing Environ.*, **4**(2), 183~191(1998)
16. National Academy of Agricultural Science, RDA, Standard Fertilizer Prescription, pp. 106~108(2010).
17. Lim, H.-Y., Park, E.-H., Park, S.-N. and Kim, K.-H., "The Evaluation of Food Waste Compost and Effects on Soil Environment," in Proceedings of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer, Autumn, p. 61(2002).
18. Morel, J. L., Colin, F., Germon, J. C., Godin, P. and Juste, C., "Methods for the evaluation of the maturity of minicipal refuse compost," In Composting of Agriculture and Other Waste, ed. J.K. Gasser. Elsevier Applied Science, New York, USA, pp. 56~72(1985).
19. Bertoldi, M. N., Citemesi, U. and Griselli, M., "Bulking agent in sludge composting," *Compost Sci.*, **21**, 32~36(1975).
20. Chen, Y. and Aviad, T., "Effect of humic substances on plant growth. In : P. MacCarty, C. E. Clapp, R. L. Malcolm and P. R. Bloom (eds.) humic substances in soil and crop science : Selected readings," Proceedings of a symposium cosponsored by the International Humic Substances Society, Chicago, IL. pp. 161~186(1990).
21. Chen, K. S., Lo, Y. G., Chang, C. H. and Yang, S.S., Utilization of thermophilic actinomycetes in agricultural waste treatement. In : Abstracts of the 2nd International Conference on Environmental Chemistry and Geochemistry in the Tropics. p. 24(1997). Ed. by Tahir, N.M. Kuala Lumpur, Malaysia.
22. Oh, T.-S., Kim, C.-H., Hong, C.-G., Cho, Y.-K., and Kim, Y.-W, "Effect on Component Change, Growth Stage and Germination of Plants Depending on Decomposition Period of Agricultural Organic Reduced Substances," *Kor. J. Intl. Agric*., **25**(4), 442~447(2013).
23. Wong, M. H., "Effects of animal manure composts on tree (Acasia confusa) seedling growth," *Agric. Waste*, **13**, 261~272(1985).
24. National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA Home Page, http://www.nihhs.go.kr, August(2014).