

수생식물 고사체의 농업적 재활용을 위한 퇴비화 가능성 평가

최익원[†] · 서동철[†] · 강세원 · 서영진 · 이상규 · 강석진¹ · 임병진² · 이준배² · 허종수³ · 조주식*

순천대학교 생물환경학과, ¹농촌진흥청 국립축산과학원, ²국립환경과학원 영산강 물환경연구소,
³경상대학교 응용생명과학부 (BK21 농업생명산업 글로벌 인재 육성 사업단) & 농업생명과학원

Evaluation of Possibility of Water Plant Wastes in Composting for Agricultural Recycling

Ik-Won Choi[†], Dong-Cheol Seo[†], Se-Won Kang, Young-Jin Seo, Sang-Gyu Lee, Seog-Jin Kang¹,
Byung-Jin Lim², Jun-Bae Lee², Jong-Soo Heo³, and Ju-Sik Cho*

Department of Bio-Environmental Sciences, Sunchon National University, ¹National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, ²Yeongsan River Environmental Research Center, ³Division of Applied Life Science (BK21 program) & Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University

To evaluate the possibility of water plant wastes in composting for agricultural recycling, *Phragmites communis* (PHRCO), *Typha orientalis* (TYHOR) and *Zizania latifolia* (ZIZLA) were used as a compost materials. In composting basin, cumulative oxygen consumptions of the compost used by water plant wastes were rapidly increased at the early stage and slightly decreased in around 15 days. Cumulative oxygen consumptions under different water plant wastes were higher in the order of TYHOR > ZIZLA > PHRCO. Temperature changes during composting process were rapidly increased at the early stage and then slowly decreased to 30 ~ 40 °C. The maximum temperatures were higher in the order of ZIZLA (72.2 °C at 11 days after starting composting) > TYHOR (70.2 °C at 10 days after starting composting) > PHRCO (66.5 °C at 7 days after starting composting). Oxygen consumptions at maximum temperature were higher in the order of TYHOR (12,485 mg O₂ kg⁻¹) > ZIZLA (12,400 mg O₂ kg⁻¹) > PHRCO (9,340 mg O₂ kg⁻¹). Organic matter contents, moisture contents and OM/N rates in the compost ranged 39.5 ~ 44.8%, 29.6 ~ 35.6% and 27.9 ~ 32.9, respectively. Considering that water plant waste can supply some of the nutrient requirements of crops and is a valuable fertilizer.

Key words: Recycling, Water plants, Sawdust, Compost

서 언

우리나라 대부분의 인공습지 등 하천등지에 생육하는 갈대, 부들, 줄 등의 수생식물은 수중에 함유되어 있는 질소와 인과 같은 영양염류를 식물체내에 흡수하여 영양소로 이용한다. 특히 수생식물의 성장기에는 수중에서 많은 양의 영양염류를 흡수하여 체내에서 이용되는데, 이렇게 흡수된 식물체내 영양염류는 식물체가 고사되는 경우에는 다시 수중으로 방출되기도 한다 (Hill, 1986). 따라서 수계에 존재하는 수생식물들을 고사 전후로 하여 제거함으로써 수생식물체내에 존재하는 영양염류가 수중으로 되돌아가는 현상을

막을 수 있다 (Park et al., 2009). 현재 우리나라에 인공습지는 수질정화를 위해 조성된 습지로 수질의 효율적인 관리 측면에서 유지 관리되어 지고 있다. 특히 침전된 오염물질, 흡수된 질소 및 인을 효과적으로 처리하기 위하여 각종 수생식물들을 식재하여 운영하고 있다 (Han et al., 2011; Choi et al., 2006; ME, 2004). 이들 수생식물들은 기온이 낮은 겨울철에는 활발한 생육을 하지 못하고 대부분이 고사체로 존재한다. 따라서 수질관리와 미관적인 측면에서 고사된 수생식물을 절취하여 인공습지 주변에 야적 및 방치하고 있다. 이렇게 방치된 수생식물들은 강우시 침출수 등으로 인하여 2차오염이 야기되기도 한다 (Han et al., 2011). 이러한 문제점들을 사전에 방지하기 위해서 수생식물을 재활용하기 위한 여러 방안이 필요하다. 수질관리를 위해서 제거된 대부분의 수생식물들은 질소와 인을 다량으로 함유하고 있기 때문에 이를 농업적으로 이용할 경우 상당한 효과가 있다 (Choi, 2010).

접수 : 2012. 2. 19 수리 : 2012. 3. 22

*연락처 : Phone: +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

[†]공동 제1저자

따라서, 본 연구는 겨울철 고사된 수생식물체들의 퇴비화 가능성을 검토하고, 퇴비 제조시의 산소소비량 및 산소소비패턴 측정을 통하여 퇴비화 특성 및 제조된 퇴비의 주 성분과 유해성분을 조사하여 퇴비 품질을 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료 수생식물체 퇴비화 과정 중 산소 소비량과 소비패턴을 조사하기 위한 식물체 퇴비화 재료는 식물이 고사된 11월에 수확한 갈대, 부들 및 줄을 사용하였으며, 각 식물체 시료의 물리화학적 특성은 Table 1과 같다.

실험방법 수생 식물체 퇴비화 과정 중 산소소비량 및 소비패턴을 측정하기 위한 퇴비화 반응조 시스템 개요도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 밀봉된 유리반응조에 각 퇴비시료 200 g을 넣고 산소를 3 psi 압력으로 공급하면서 미생물 호흡측정장치에 연결하여 소비되는 산소량을 측정하였다. 산소소비량 측정을 위한 반응조는 총 24개의 퇴비화 반응조로 구성되어 6 반복씩 측정하였으며, 반응조 내 퇴비의 체

류시간은 40일로 운전하였다. 수생식물체별 퇴비화과정 중 산소소비량 및 소비패턴 측정을 위한 갈대, 줄, 부들 식물체 퇴비재료의 처리조건은 Table 2에서 보는 바와 같다. 퇴비 재료 식물체의 입자크기는 절단기를 이용하여 모두 30~50 mm 크기로 절단하여 사용하였고, 수생식물만으로는 퇴비화가 느리게 진행되어 퇴비화를 촉진시키기 위한 미생물 제제를 주입하였다. 각각의 식물체에 기존의 퇴비재료를 습윤증량으로 10%가 되게 고르게 혼합한 후 수분함량은 별도의 수분조절제를 첨가하지 않았다. 갈대에는 물을 가하고, 부

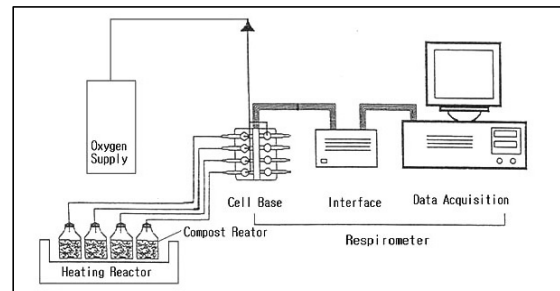


Fig. 1. Schematic diagram of composting reactor for detecting oxygen consumption.

Table 1. Chemical characteristics of compost used in the experiment.

Items	Water plants			
	PHRCO	TYHOR	ZIZLA	
Principal components				
OM (%)	92.13	90.61	91.80	
Hazardous components	As (mg kg ⁻¹)	1.13	1.47	1.77
	Cd (mg kg ⁻¹)	-	-	-
	Cu (mg kg ⁻¹)	39.60	43.01	46.32
	Cr (mg kg ⁻¹)	8.96	12.07	8.33
	Hg (mg kg ⁻¹)	-	-	-
	Ni (mg kg ⁻¹)	-	-	-
	Pb (mg kg ⁻¹)	-	-	-
Zn (mg kg ⁻¹)	44.58	41.86	22.32	
Other components	OM/N	44.16	67.07	56.59
	NaCl (%)	0.01	0.01	0.01
	Water content (%)	50.22	74.38	66.90

PHRCO : *Phragmites communis*, TYHOR : *Typha orientalis*, ZIZLA : *Zizania latifolia*

Table 2. Treatment conditions under different water plants for composting.

Items	Water plants		
	PHRCO	TYHOR	ZIZLA
Water content (%)	60.2	62.4	62.9
Particle size (mm)	30~50	30~50	30~50
OM/N	52.76	58.96	56.55
T-N (%)	1.76	1.42	1.37

PHRCO : *Phragmites communis*, TYHOR : *Typha orientalis*, ZIZLA : *Zizania latifolia*

들과 줄은 자연건조하여 적정 수분함량으로 조절하였으며 조정된 전체적인 수분함량은 60~63% 범위였다. 퇴비화조에서 40일간 제조된 퇴비의 비료성분 함량과 유해성분 함량을 조사하여 부산물비료 공정규격 (NIAST, 2012)에 제시된 퇴비의 품질기준에 만족여부를 판단하였다.

분석방법 퇴비화기간동안 퇴비의 분석은 105°C에서 24시간 건조 후 분쇄기 (MF 10 basic, IKA, Germany)로 분쇄하여 사용하였다. pH와 EC측정은 퇴비시료 5 g에 증류수 50 mL를 가하여 160 rpm에서 30분간 진탕 (JEIO TECH SK-760M)하여 pH, EC meter (Seven Multi, METTLER TOLEDO)로 측정하였다 (NIAST, 2000). 총 질소분석은 황산으로 습식분해한 후 Kjeldahl 증류법으로 분석하였으며, 유기물 측정은 20 g 내외의 퇴비시료를 도가니에 취하여 550°C 전기로에서 4시간 탄화시킨 다음 데시게이터에서 냉열 후 무게를 측정하였다 (Peters et al., 2003). 유해 중금속함량 (As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni 및 Zn) 분석은 1 g 내외의 퇴비시료를 분해용 튜브에 취하고, 황산 10 mL과 과염소산 10 mL를 가하여 가열하고 과염소산의 흰 연기가 발생하면 건조에 가깝도록 농축 방냉 후 증류수로 100 mL 표선을 하였다. 표선한 여액의 일부를 취하여 ICP (ICPE-9000, Shimadzu)로 측정하였다 (NIAST, 1996). 퇴비화 반응조내 산소 소비량은 미생물 호흡측정기 (AER-208, Challenge Environment System, Inc, Arkansas, USA)를 이용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

수생식물체별 퇴비화 과정 중 산소소비패턴 및 온도변화 수생식물체별 퇴비화 과정 중 산소소비량을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 모든 수생식물의 퇴비화조에서 퇴비화 초기에 누적산소소비량이 급격하게 증가하여 약 15일째에 들어서 누적산소소비량의 증가가 둔화되는 경향이있

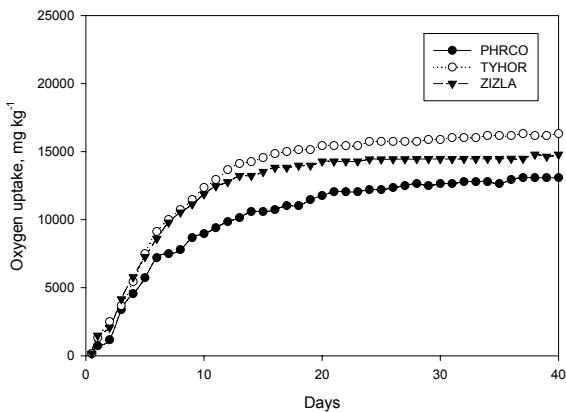


Fig. 2. Cumulative oxygen consumption during composting process used by water plants.

다. 각각의 수생식물별로 누적산소 소비량은 초기에는 비슷한 소비량을 보이거나 퇴비화가 진행되면서 부들 > 줄 > 갈대 순으로 높은 소비량이 나타났고, 40일째의 누적산소소비량은 부들 16,324 mg kg⁻¹, 줄 14,791 mg kg⁻¹, 갈대 13,089 mg kg⁻¹ 순으로 많이 나타났다.

수생식물체별 퇴비화 과정 중 산소 소비패턴을 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 전반적으로 퇴비화 초기에 산소소비량이 많은 것으로 나타났는데, 대부분의 산소소비는 20일째까지 진행되었고, 20일째 이후에는 산소소비가 거의 일어나지 않았다. 수생식물별로 산소소비패턴을 보면 퇴비화 진행과 동시에 모든 수생식물 퇴비화조에서 산소소비량이 증가하였다. 갈대 퇴비화조의 경우는 3일째 산소소비량이 최대를 나타내었고, 그 이후 급격히 감소되어 7일째부터 산소소비량이 상당히 줄어든 것을 보여주었다. 줄 퇴비화조의 경우는 갈대의 경우와 마찬가지로 3일째 산소소비량이 최대를 나타내었고, 그 이후 감소되어 15일째 산소소비량이 상당히 줄어든 것을 보여주었다. 부들 퇴비화조의 경우는 5일째 산소소비량이 최대를 나타낸 후 감소되었는데, 산소소비량이 감소되는 경향이 다른 수생식물 퇴비화조에 비해서 늦게 나타났다. 퇴비

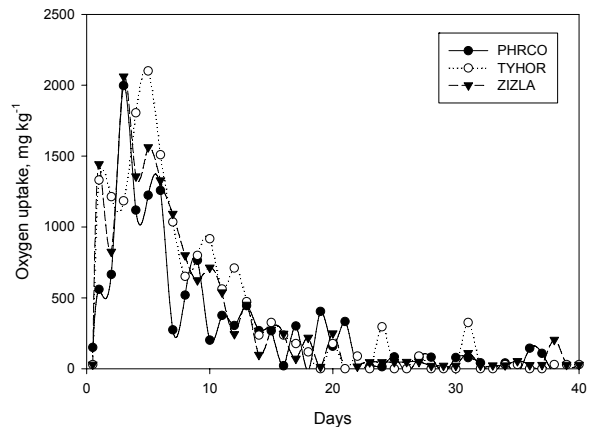


Fig. 3. Oxygen consumption patterns at different stages during composting process used by water plants.

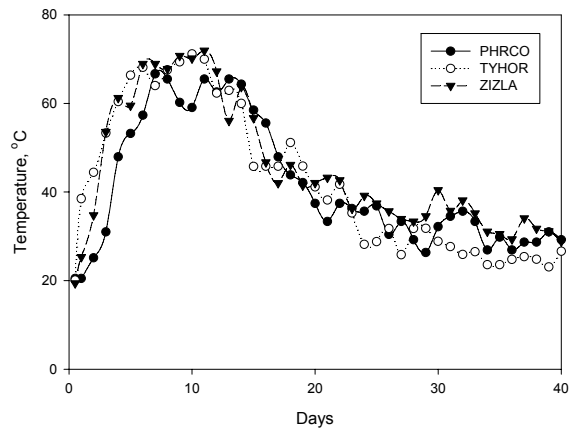


Fig. 4. Temperature changes during composting process used by water plants.

화 과정 중 필요로 하는 산소량은 퇴비재료의 종류 및 퇴비화 공정 등에 따라 다르나 일반적으로 퇴비화 초기에 많은 양의 산소를 필요로 하고 퇴비화가 진행되면서 필요로 하는 산소량이 줄어드는 것으로 보고되고 있다(Lee et al., 1997; Chino et al., 1983).

수생식물체별 퇴비화 과정 중 온도변화를 조사한 결과는 Fig. 4와 같다. 퇴비화 중의 온도변화는 퇴비화가 진행되면서 초기에 급격하게 증가된 후 서서히 감소되어서 약 30~40°C 정도로 안정화 되었다. 갈대 퇴비화 반응조내 최고온도는 퇴비화 7일째에 최고온도 66.5°C에 도달하였고 최고온도 도달 시까지 소비된 산소량은 약 9,340 mg O₂ kg⁻¹이었다. 일반적인 퇴비화 최적온도로 알려진 55~65°C를 유지한 기간은 퇴비화 5일째에 55°C에 도달하여 11일 동안 55°C 이상을 유지하였으며 이 기간 동안 약 6,245 mg O₂ kg⁻¹의 산소를 소비하였다. 부들 퇴비화조는 10일째에 최고온도 70.2°C에 도달하였으며, 최고온도 도달시까지 산소소비량은 12,485 mg O₂ kg⁻¹이었다. 줄 퇴비화조의 퇴비화 최적온도인 55~65°C범위 유지기간은 퇴비화 3일째에 55°C에 도달하여 11일 동안 55°C 이상을 유지하였으며 이 기간 동안 약 11,850 mg O₂ kg⁻¹의 산소를 소비하였다. 줄 퇴비화조내 최고온도는 11일째에 최고온도 72.2°C에 도달하였으며, 최고온도 도달시까지 산소소비량은 12,400 mg O₂ kg⁻¹이었다. 퇴비화 최적온도인 55~65°C 범위 유지기간은 퇴비화 4일째에 55°C에 도달하여 11일 동안 55°C 이상을 유지하였으며 이 기간 동안 9,150 mg O₂ kg⁻¹의 산소를 소비하였다. 최고온도 도달까지 소비된 산소량은 부들 > 줄 > 갈대 순으로 나타났는데, 이는 누적산소소비량의 경향과 일치하였다.

각 수생식물체의 퇴비화에서 최고온도까지 도달하는데

걸린 기간은 갈대 (7일) > 부들 (10일) > 줄 (11일) 순으로 나타났고, 퇴비화조 최고온도는 걸린 기간과 반대로 줄 (72.2°C) > 부들 (70.2°C) > 갈대 (66.5°C) 순으로 나타났다. 이는 퇴비화 과정 중에 수생식물체별 비중이나 통기성의 차이 때문인 것으로 판단되었다 (Lee et al., 1997).

수생식물을 이용하여 제조된 퇴비의 성분 제조된 퇴비의 비료성분 함량 및 유해성분 함량을 나타낸 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다. 부산물비료 공정규격 (NIAST, 2012)에서 퇴비의 유기물함량 기준은 50% 이상이나 본 연구에서 제조한 수생식물을 이용한 퇴비의 유기물함량은 39.5~44.8%로 수생식물만을 이용한 퇴비는 부산물 공정규격 중 퇴비의 유기물 규격함량에 미달하였다. 부산물비료 공정규격에서 퇴비에 함유할 수 있는 유해성분인 As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb 및 Zn의 함량을 조사한 결과 모든 수생식물 처리구에서 각각의 성분함량이 부산물비료 공정규격의 기준치 이하로 적합하였다. 그 외의 유해성분으로 병원성 미생물, 대장균 및 살모넬라의 경우는 특별히 수생식물에서 유해 미생물이 생육하지 않을 것으로 판단되어 본 연구에서는 실시하지 않았다. 부산물비료 공정규격의 유기물 대 질소의 비는 50이하로 갈대 처리구에서는 31.97, 부들 처리구에서는 32.94 및 줄 처리구에서는 27.93으로 나타나서 부산물비료 공정규격에서 퇴비의 공정규격을 만족시켰다. 염분 (NaCl) 함량은 부산물비료 공정규격에서 2.0% 이하로 규정하고 있는데 모든 수생식물 처리구에서 0.01%로 규격을 만족시켰다. 수분함량은 갈대 처리구에서는 31.97%, 부들 처리구에서는 32.94% 및 줄 처리구에서는 27.93%로 모든 처리구에서 퇴비 공정규격인 55% 이하를 만족하였다.

Table 3. Evaluation of fertilizer values under different water plants.

Items	Official standard for product fertilizer (Compost) [†]	Water plants			
		PHRCO	TYHOR	ZIZLA	
Principal components	OM (%)	> 50	43.8	44.8	39.5
Hazardous components	As (mg kg ⁻¹)	< 45	1.23	-	1.51
	Cd (mg kg ⁻¹)	< 5	-	0.17	-
	Cu (mg kg ⁻¹)	< 400	42.57	41.10	47.13
	Cr (mg kg ⁻¹)	< 250	9.35	10.92	9.10
	Hg (mg kg ⁻¹)	< 2	-	-	-
	Ni (mg kg ⁻¹)	< 45	-	-	-
	Pb (mg kg ⁻¹)	< 130	-	0.34	0.14
Other components	Zn (mg kg ⁻¹)	< 1,000	48.96	57.81	24.51
	OM/N	< 50	31.97	32.94	27.93
	NaCl (%)	< 2.0	0.01	0.01	0.01
	Water content (%)	< 55	29.6	35.6	34.2

PHRCO : *Phragmites communis*, TYHOR : *Typha orientalis*, ZIZLA : *Zizania latifolia*

[†]Official standard from Rural Development Administration (NIAST, 2012).

따라서 본 연구에서 제조한 수생식물을 이용한 퇴비는 부산 물비료 공정규격에서 퇴비의 규격에서 유기물함량을 제외한 유기물대 질소비, 염분함량, 수분함량 및 유해성분 (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb 및 Zn)의 항목에서 퇴비규격에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 수생식물 이외의 물질 첨가 등을 통해서 퇴비화 후의 유기물 함량을 높인다면 수생식물을 이용한 퇴비의 상품화도 충분히 가능할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 공시 수생식물체 퇴비화 과정 중 산소 소비량과 소비패턴을 조사하기 위하여 식물이 고사된 11월에 수확한 갈대, 부들, 줄을 사용하여 퇴비화를 제조하였다. 수생식물체별 퇴비화 과정중 산소소비량을 조사한 결과 모든 수생식물의 퇴비화조에서 퇴비화 초기에 누적산소소비량이 급격하게 증가하여 약 15일째에 들어서 누적산소소비량의 증가가 둔화되는 경향이였다. 각각의 수생식물별로 누적산소소비량은 초기에는 비슷한 소비량을 보이나 부들 > 줄 > 갈대 순으로 나타났다. 수생식물체별 퇴비화 과정중 온도변화는 퇴비화가 진행되면서 초기에 급격하게 증가된 후 서서히 감소되어서 약 30~40°C 정도로 안정화 되었다. 각 수생식물체의 퇴비화에서 최고온도까지 도달하는데 걸린 기간은 갈대 (7일) > 부들 (10일) > 줄 (11일) 순으로 나타났고, 퇴비화조 최고온도는 걸린 기간과 반대로 줄 (72.2°C) > 부들 (70.2°C) > 갈대 (66.5°C) 순으로 나타났다. 최고온도 도달 시까지 소비된 산소량은 부들 12,485 mg O₂ kg⁻¹ > 줄 12,400 mg O₂ kg⁻¹ > 갈대 9,340 mg O₂ kg⁻¹ 순으로 나타났는데 이는 각각의 식물체별 비중과 통기성에 따른 것으로 판단된다.

본 연구에서 제조한 수생식물을 이용한 퇴비는 유기물함량이 39.5~44.8%로 부산물비료 공정규격의 퇴비의 규격 50% 이상에 미치지 못하였으나 함유할 수 있는 유해 성분 (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb 및 Zn) 함량이 규격 이하로 적합하였고, 그 밖의 규격에서 염분(NaCl) 함량 0.01%, 수분함량 29.6~35.6% 및 유기물대 질소의 비 27.93~32.94로 퇴비 규격에 적합하였다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ008239) 과 농림수산식품부 농림기술개발사업 (과제번호: 20090423) 의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Chino, M., C.K. Shinhiro, M. Tadahiro, A. Michio, and K. Bunzaemon. 1983. Biochemical studies on composting of municipal sewage sludge mixed with rice hull. *Soil Sci. Plant Nurt.* 29(2):159-173.
- Choi, I.W. 2010. A study on the improvement of water quality in closed systems using bioremediation. Ph.D. Thesis, Osaka Prefecture University, Japan.
- Choi, S.H., Y. An, and H.I. Kim. 2006. Evaluation of water purification in the constructed wetland. *Korean Society on Water Quality and Korean Society of Water Wastewater Meeting Conference Proceedings*. Korea National Open University, Incheon. p. 349-356.
- Han, J.H., D.C. Seo, S.W. Kang, I.W. Choi, W.T. Jeon, U.G. Kang, S.J. Kang, J.S. Heo, S.D., Kim, and J.S. Cho. 2011. Evaluation of fertilizer value of biochars using water plants. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5): 794-800.
- Hill, B.H. 1986. The role of aquatic macrophytes in nutrient flow regulation in lotic ecosystems. *American Society for Testing and Materials, Philadelphia*, p. 157-167.
- Lee, H.J., J.S. Cho, H.B. Choi, and J.S. Heo. 1997. Development of operating parameters for composting of municipal sewage sludge. *Korean J. Environ. Agric.* 16(4):382-389.
- ME. 2004. *Environment a while book*. p. 399-429. Ministry of Environment, Korea.
- Park, H.K., M.S. Byeon, M.J. Choi, S.H. Yun, and N.H. Jeon. 2009. Effect of cut-off intervals on nutrients removal efficiency in hydrophytes at the artificial vegetation island. *J. Korean Soc. Wat. Qual.* 25(2): 221-226.
- Peters, J., S.M. Comb, B. Hoskins, B. J. Jarman, M.E. Watson, A.M. Wolf, and N. Wolf. 2003. *Recommended methods of manure analysis*. Cooperative Extension Publishing, Madison, WI, USA. pp. 18-43.
- NIAS. 1996. *The official test methods for the fertilizer quality and sampling guideline*, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 2000. *Methods of soil and crop plant analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 2012. *Official standard setting and designation by fertilizer*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.