ORIGINAL PAPER 원저

저탄소녹색마을내 혐기소화액 순환이용에 대한 논토양 환경 영향 비교

홍승길†, 신중두, 권순익, 박우균, 허정욱, 방혜선, 윤영만*, 강기경
농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화생태과, 국립한경대학교 바이오가스연구센터*
(2011년 3월 14일 접수, 2011년 3월 25일 수정, 2011년 3월 26일 채택)

Comparative Environmental Effects of Digestates Application to the Rice Paddy Soil in Bioenergy Village : Field trial

Seung-Gil Hong†, JoungDu Shin, Soon-Ik Kwon, Woo-Kyun Park, Jeong-Wook Heo, Hea-Son Bang, Youngman Yoon* and Kee-Kyung Kang

Climate Change & Agroecology division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration,
Biogas Research Center, Hankyong National University*

ABSTRACT

Objectives of this study were to compare the environmental effects of digestates produced in bioenergy village on the rice paddy field for recycling. Digestates were applied to the soils and the soil properties and the crop responses were analyzed according to the standard methods of soil evaluation. Plant height and the number of tiller showed similar results in both the conventional and digestate treated field, and the yield of rough rice was higher in the field treated with digestates than that with chemical fertilizer. The amounts of nitrogen absorbed in straw and grain were larger in the digestates-treated field than chemical fertilizer-treated one, and efficiency of nitrogen applied was shown to be the highest in 100% treated digestate of the pig manure. Exchangeable cation and pH increased in the soil treated with digestate after harvesting, but salt was not accumulated. With these results, it was concluded that resource recycling in green town can be facilitated through the securement of arable lands for the application of digestates and the proper use of these fertilizers. Long-term effects of digestate application on the soil environment should be sustainingly studied.

Keywords : Paddy Rice, Digestate, Bioenergy Village, Resource Cycling

초 록

바이오가스를 위주로 에너지자립을 추구하는 저탄소녹색마을 내에서 발생하는 혐기소화액을 순환 이

†Corresponding author : dewyhong@rda.go.kr

용함에 있어서 벼 재배시 통합혐기소화액과 돈분혐기소화액 시용의 영향을 비교하였다. 토양검정분석을 통해 혐기소화액을 시용하고 토양 특성과 벼의 생육을 조사하였다. 벼의 생육은 화학비료구와 혐기소화액 처리구가 유사한 경향을 보였으며 수확량에서는 화학비료구에 비해 혐기소화액 처리구에서 모두 수량이 높게 나타났으며, 통합혐기소화액은 200%, 돈분혐기소화액은 100% 처리구에서 높은 수량을 보였다. 알곡과 볏짚의 질소흡수량은 화학비료구에 비해 혐기소화액 처리구에서 많았으며 흡수된 질소 효율은 화학비료 처리구에서 가장 높았으며 시용된 질소량의 이용 효율면에서는 돈분혐기소화액 100% 처리구가 가장 높았다. 수확후 토양에서는 혐기소화액을 처리한 구에서 pH와 치환성 양이온이 증가하였으며 염류 집적은 나타나지 않았다. 혐기소화액을 활용할 수 있는 적정 농경지 확보와 토양검정을 통한 적정 양분 시용으로 저탄소녹색마을에서의 자원 순환을 추구할 수 있을 것으로 판단되며, 장기적인 관점에서 농경지 환경과 논 생태계에 미치는 영향에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

핵심용어 : 벼, 혐기소화액, 저탄소녹색마을, 자원순환

1. 서론

전 세계적으로 지구의 환경변화를 최소화하면서 동시에 지속가능한 발전을 이루려는 움직임이 증가하고 있다. 우리나라도 이미 녹색성장을 신성장동력의 패러다임으로 선언하고 앞장서서 나가고 있다. 최근 정부에서는 2020년까지 600개의 저탄소 녹색마을 건설 계획을 수립하였고 이미 각 부처별 유형에 따라 진행되고 있다[1]. 유형에 따라 차이는 있겠지만 궁극적인 목적에는 마을에서 발생하는 부산물 자원을 마을내에서 재이용하는 "자원순환" 개념이 포함되어 있다.

가장 먼저 바이오에너지 마을이 건설된(완공 56개, 건설중 16개) 독일은 태양열, 목재 펠렛, 가축분뇨, 에너지작물 등 마을의 여건에 맞는 방법을 통해 에너지 자립을 달성하고 있으며 특히 발효과정에서 발생하는 부산물을 유기비료로 활용하여 초지에 살포하고 있다[2]. 바이오매스타운 300개소를 건설하겠다는 일본도 바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오가스, 바이오플라스틱, 목재펠렛 등을 연계하여 마을내에서 순환시키는 구조를 정착시키고 있다[3].

그러나 현재 국내에서 추진중인 저탄소 녹색마을의 유형은 혐기성소화를 통한 바이오가스 시설에 편중되어 있으며, 부산물로 발생되는 혐기소화액에 대한 이용 측면도 정립되지 않은 실정이다. 특히 바이오가스 효율을 높이는 동시에 폐기물을 처리하기 위해 음식물류폐기물을 혼합하는 시설도 계획중에 있다.

연간 5백만톤 발생하는 음식물류 폐기물[4]은 염분 농도가 높아서 토양에 유입되면 삼투압에 의한 수분 흡수 저해, 나트륨과 염소에 의한 직접 저해, 양분 불균형으로 인한 성장 지연이나 괴사, 수분 이동이나 통기성을 저해하여 뿌리 신장 억제 등 토양 물리성을 악화시킨다고 알려졌다[5),6)]. 따라서 비료공정규격에서는 퇴비에 대해서는 건물 기준 2%로, 가축분뇨발효비료(액)에 대해서는 0.3%로 염분 농도를 제한하고 있다.

돈분뇨와 음식물류폐기물을 혼합하여 발효시킨 통합혐기소화액을 화학비료의 대체제로서의 가능성을 확인한 이전 연구 결과[7]를 토대로 본 연구에서는 바이오가스 시설을 통한 저탄소 녹색마을에서 부산물로 발생하게 되는 혐기소화액을 마을내에서 순환 이용하기 위해 농경지에 시용할 때 돈분혐기소화액과 음식물류폐기물을 혼합한 통합혐기소화액의 영향을 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험재료

시험에 사용된 혐기소화액으로는 가축분뇨와 음식물류폐기물을 70:30(v/v) 혼합하여 운영하는 P 바이오가스시설에서 발생하는 통합혐기소

화액과 돈분뇨를 이용하여 운영하는 A 바이오가스시설에서 발생하는 돈분혐기소화액을 사용하였다. 혐기소화액의 이화학적 특성은 [Table 1]에 나타나 있다.

2.2 포장시험

돈분혐기소화액과 통합혐기소화액 이용 벼 재배시 논토양에의 영향을 분석하기 위하여 경기도 수원시 국립농업과학원 농업생물부 포장내에 벼를 재배하였다. 공시품종은 새추청벼로 2010년 5월 29일 이앙하였다. 처리구는 무시용구, 화학비료, 돈분혐기소화액 100%, 돈분혐기소화액 200%, 통합혐기소화액 100%, 통합혐기소화액 200%의 6개 처리구를 두었으며, 시비는 토양검정을 통해 해당 혐기소화액을 검정시비량으로 처리하고 부족한 성분을 화학비료로 보충하였는데 200% 시용구는 질소기준으로만 처리하였다. 처리구는 각각 180 m^2로 나누었다. 시험전 토양의 이화학적 특성은 [Table 2]에 나타내었다.

처리간 벼의 생육 차이를 보기 위해 이앙 후 50~60일 사이에 초장, 분얼수를 조사하였고, 수확기에 수량과 수량구성요소는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준에 준하여 조사하였다[8]. 혐기소화액중 무기 성분의 지하수로의 이행을 조사하기 위하여 이앙 직후 토층 30 cm, 60 cm, 90 cm 깊이에 각각 porous ceramic cup(Irrometer Co.)을 설치 후 1주 간격으로 침투수를 채취하였다.

2.3 이화학적 분석 및 통계처리

토양 시료는 시험 전·후에 채취한 토양을 풍건시킨 후 2mm 체를 통과시켜 pH 와 EC는 토양과 증류수를 1:5로 하여 각각 초자전극법(model 720A+)과 EC meter(model 145A+)를 사용하여 측정하였고, 유기물은 Turin법, 유효인산은 Lancaster법, 전질소는 Kjeldahl법으로 측정하였다. 치환성양이온은 1N-NH_4OAc 용액(pH 7.0)으로 침출하고 중금속은 0.1N HCl로 침출하여 유도결합플라즈마발광광도계(ICP, GBC Integra XMP)를 이용하여 분석하였다[9]. 침투수중의 NO_3-N는 IC(Dionex)를 이용하여 분석하였다.

식물체의 전질소는 micro-Kjeldahl법으로 정량하였고, 인산, 칼리, 석회, 고토 등의 양분과 중

[Table 1] Physico-chemical Properties of Digestates

Liquid fertilizer†	pH	EC (dS/m)	N_{tot}	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	NaCl
			(%)					
CD	8.02	30.6	0.38	0.04	0.18	0.08	0.01	0.3
PMD	8.03	26.2	0.41	0.14	0.10	0.13	0.06	0.1

Liquid fertilizer	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Mn
	(mg/kg)‡						
CD	0.08	8.4	16.0	nd	0.22	0.26	6.4
PMD	0.08	17.3	132.1	0.08	0.53	0.39	19.1

†CD represents co-digestate, PMD represents pig manure digestate
‡0.1 N HCl extractable for heavy metals.

[Table 2] Physico-chemical Properties of Soil Before Experiment

	pH	EC (dS/m)	OM (g/kg)	N_{tot} (%)	P_2O_5 (mg/kg)	Ex.Ca	Ex.Mg	Ex.K	Ex.Na
						($cmol^+/kg$)			
Top soil	5.99	0.36	17.3	0.09	26.14	4.57	1.54	0.48	0.17

	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Mn
	(mg/kg)†						
Top soil	0.25	5.43	20.45	8.64	0.67	0.30	136.4

†0.1 N HCl extractable for heavy metals.

금속은 시료 일정량을 Microwave로 분해하여 유도결합플라즈마발광광도계(ICP, GBC Integra XMP)를 이용하여 분석하였다[9].

혐기소화액은 공정시험법[10]에 준하여 수행하였는데, 혐기소화액의 pH와 EC는 각각 초자전극법(Model 720A+)과 EC meter(Model 145A+)를 사용하여 측정하였으며, 시료를 105℃에서 2시간 건조하여 전고형물 함량(TS)을 정량하였고, 다시 550℃에서 4시간 회화하여 남은 회분을 감하여 휘발성고형물(VS)을 계산하였다. 전질소는 micro-Kjeldahl법으로 정량하였고, 인산, 칼리, 석회, 고토 등의 양분과 중금속은 시료 일정량을 Microwave로 분해하여 유도결합플라즈마발광광도계(ICP, GBC Integra XMP)를 이용하여 분석하였다.

본 시험에서의 유의성 분석은 통계패키지인 SAS(Enterprise Guide 4.2, SAS Institute Inc. 2010)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

생육시기별 벼의 생육상황은 [Table 3]에서 보듯이 유수형성기에 경수는 무비구에서 가장 적었고 돈분혐기소화액 200%에서 가장 많았으며 다른 처리구간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 초장의 경우는 수확기에 혐기소화액을 질소기준으로 2배 시용한 두 처리구에서의 초장이 화학비료 처리구에 비해 약 4 cm 크게 나타났다. 이는 양분 공급면에서는 질소를 지속적으로 공급해 줄 수 있는 혐기소화액을 많이 시용하는 것이 효과적일 수 있으나[11] 웃자람에 의한 도복 발생 가능성을 고려하여야 할 것이다. 권 등[12]의 연구에서는 화학비료 시용이 다른 유기자재에 비해 초기 신장 촉진 효과가 크다고 하였으나 본 시험에서는 통합혐기소화액 시용에 의한 초기 신장 촉진이 가장 크게 나타났다.

수확후 벼의 생산량을 보면[Table 4], 등숙률과 천립중은 화학비료구와 혐기소화액 처리구에

[Table 3] Plant Height and Number of Tillers at the Different Growth Stages

Treatment†	Panicle formation stage (2010.7.7.)		Harvesting stage (2010.10.14)	
	Height (cm)	No. of tiller	Height (cm)	No. of tiller
None	69.8±2.82	11±3.7	94.4±3.74	11±3.5
CF	81.9±3.16	17±3.8	104.8±3.48	15±3.8
CD100	84.3±3.26	17±4.7	105.9±3.26	14±3.2
CD200	84.8±2.56	17±3.1	108.9±4.27	14±3.0
PMD100	78.1±3.41	17±4.1	103.6±3.37	14±3.9
PMD200	83.4±16.0	18±4.5	108.7±3.09	16±4.6

†CF means chemical fertilizer, CD represents co-digestate and PMD pig manure digestate.

[Table 4] Crop Responses and Yield of Paddy Rice at the Harvesting Stage

Treatment†	Ripeness (%)	1,000 grain weight (g)	Rough rice (ton ha^{-1})	Harvest Index‡
None	87±7.5	23.6±0.47	3.31±0.040	65.8b
CF	89±3.9	22.3±0.22	5.03±0.042	100a
CD100	90±1.5	23.3±0.45	5.27±0.025	104.8a
CD200	88±4.7	22.6±0.37	6.07±0.097	120.7a
PMD100	84±3.1	22.2±0.44	6.05±0.030	120.3a
PMD200	88±3.5	22.6±0.28	5.70±0.066	113.3a

†CF means chemical fertilizer, CD represents co-digestate and PMD pig manure digestate
‡DMRT at 95% significant level.

서 처리간의 차이를 보이지 않았다. 반면 수확량을 보면 화학비료구에 비해 혐기소화액 처리구에서 모두 수량이 높게 나타났으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다.

수확기에서의 시비질소 흡수량, 이용율 및 효율은 [Table 5]에 나타나 있다. 볏짚의 질소흡수량은 화학비료구에 비해 혐기소화액 처리구에서 많았으며 특히 통합혐기소화액 100% 처리구에서 가장 많았다. 알곡에서도 볏짚과 유사하게 혐기소화액 처리구에서의 질소흡수량이 화학비료구에 비해 높았는데, 볏짚과 달리 통합혐기소화액을 질소 기준으로 200% 시용한 처리구에서 가장 높게 나타났으며 돈분혐기소화액을 100% 처리한 시험구가 다음으로 나타났다. 흡수된 질소 효율은 화학비료 처리구에서 가장 높았으며 혐기소화액 처리구에서는 통합혐기소화액 100%를 제외한 처리구에서 차이가 보이지 않아, 임 등[11]의 연구와 유사한 경향을 보였다. 반면 시용된 질소량의 이용 효율면에서는 돈분혐기소화액 100% 처리구가 가장 높았으며 질소기준 2배를 시용한 처리구들에서는 이용 효율이 급감하는 것으로 나타났다. 바이오에너지마을에서 자원을 순환 이용할 때에도 질소 과량 시비보다는 적정한 시비량을 준수하는 것이 자원 순환의 효율 측면이나 식물 이용 측면에서도 유리하다는 것을 보여주고 있다.

혐기소화액을 토양에 순환 이용하였을 때 미량성분의 유효도가 높은 반면 중금속이나 잔류성 오염물질의 문제가 발생할 수 있다고 보고되었는데[13], 유수형성기 토양에서의 양이온 및 중금속 함량을 분석한 결과[Table 6]에서는 Na와 구리의 함량이 혐기소화액 시용에 따라 약간 증가하는 경향을 보였으나 큰 차이를 보이지는 않았다. 수확 후 토양에서는 혐기소화액을 처리한 구에서 pH와 치환성 양이온이 증가하는 것으로 나타나고 있었다[Table 7]. 특히 음식물류 폐기물이 혼합된 통합혐기소화액 시용에 의해서 Na 함량이 증가할 것으로 예상하였으나 다른 처리구와 차이가 보이지 않는 것으로 나타나 염류 집적의 영향은 없는 것으로 판단되어졌다. 하지만 혐기소화에 사용된 음식물류 폐기물의 높은 염분 함량을 고려할 때 시용량이 많아지면 염류 장해가 발생할 우려가 있기 때문에[5),6)] 장기적인 영향에 대한 평가가 필요할 것으로 사료된다. 토양의 EC(전기전도도)의 경우에 0.24 dS/m이하에 머물러 있어 작물 생육에는 영향이 없을 것으로 판단되었다. 돈분 유래 혐기소화액 시용에 의해 구리와 아연의 집적이 예상되었으나 다른 처리구와의 차이가 보이지 않았다.

지하수 오염의 지표가 되는 질산태질소의 특성을 파악하기 위해 침투수중 질산태 질소의 농도를 이앙후 6주간 깊이별 농도를 합산한 결과 표토층에서 질산태 질소의 농도가 높게 나타났으나

[Table 5] Efficiency of Nitrogen Absorbed and Applied by Paddy Rice at the Harvesting Stage

Treatment†	N amount absorbed (kg ha^{-1})			Efficiency of N absorbed♪	Efficiency of N applied♫
	straw‡	grain	total		
None	27.88b	44.01c	71.90	–	–
CF	45.74ab	61.33b	107.07	48.91	19.11
CD100	54.08a	79.73a	133.81	31.66	21.78
CD200	48.69a	89.84a	138.52	41.42	15.33
PMD100	50.35a	88.61a	138.96	40.86	30.44
PMD200	51.29a	80.59a	131.89	39.84	13.28

† CF means chemical fertilizer, CD represents co-digestate and PMD pig manure digestate
‡ DMRT at 95% significant level
♪ Efficiency of N absorbed = (Yield of N applied plot − yield of control plot) / (Absorption amount of N applied plot − absorption amount of control plot)
♫ Efficiency of N applied = (Yield of N applied plot − yield of control plot) / (Amount of N applied).

[Table 6] Contents of Exchangeable Cations and Heavy Metals in Soil at the Stage of Panicle Formation

Treatment†	Ex.Ca	Ex.Mg	Ex.K	Ex.Na	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	——— ($cmol^+/kg$) ———				——— (mg/kg) ———					
None	3.76a	1.23bc	0.39bc	0.15b	0.20a	0.38a	4.93cd	0.60a	8.15a	5.92a
CF	3.74a	1.22c	0.38c	0.15b	0.21a	0.36a	4.80d	0.59a	8.01a	4.72b
CD100	4.14a	1.41abc	0.44abc	0.15b	0.20a	0.33a	5.21bc	0.61a	8.26a	3.97b
CD200	4.10a	1.41abc	0.44abc	0.16ab	0.22a	0.37a	5.42ab	0.68a	8.25a	4.01b
PMD100	4.13a	1.48a	0.46a	0.17a	0.21a	0.33a	5.31b	0.64a	8.21a	4.03b
PMD200	4.02a	1.44ab	0.45ab	0.18a	0.23a	0.34a	5.68a	0.65a	8.26a	4.75b

† CF means chemical fertilizer, CD represents co-digestate and PMD pig manure digestate
‡ DMRT at 95% significant level.

[Table 7] Physico-chemical Properties of Paddy Soil After Harvesting

Treatment†	pH	EC	OM	N_{tot}	P_2O_5	Ex.Ca	Ex.Mg	Ex.K	Ex.Na
		(dS/m)	(g/kg)	(%)	(mg/kg)	——— ($cmol^+/kg$) ———			
None	5.68a	0.19ab	18.3ab	0.27b	1.77ab	2.9b	1.2b	0.38b	0.13a
CF	5.77a	0.23a	18.1ab	0.28ab	2.07a	3.0ab	1.3b	0.41b	0.13a
CD100	5.90a	0.19ab	17.7ab	0.29ab	1.69ab	3.2ab	1.4ab	0.43ab	0.13a
CD200	6.05a	0.15b	17.1b	0.29ab	1.39b	3.2ab	1.4ab	0.45ab	0.14a
PMD100	5.96a	0.24a	16.9b	0.31a	2.21a	3.4a	1.5a	0.49a	0.15a
PMD200	5.77a	0.21ab	18.8a	0.28ab	1.90ab	3.2ab	1.4ab	0.43ab	0.14a

Treatment	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
	——— (mg/kg)‡ ———						
None	0.19b	0.31a	4.47a	102.43ab	0.60b	6.55a	5.24a
CF	0.21ab	0.33a	4.48a	106.62a	0.71ab	6.58a	5.02a
CD100	0.19ab	0.27a	4.81a	104.47ab	0.74ab	6.70a	5.27a
CD200	0.21ab	0.27a	4.80a	88.83b	0.73ab	6.49a	4.81a
PMD100	0.22ab	0.33a	4.64a	97.51ab	0.81a	6.86a	4.25a
PMD200	0.24a	0.33a	4.82a	110.56a	0.78ab	7.28a	4.03a

† 0.1 N HCl extractable for heavy metals
‡ CF means chemical fertilizer, CD represents co-digestate and PMD pig manure digestate
♪ DMRT at 95% significant level.

심토층에서는 낮게 나타나 지하수로 이행이 많이 진행되지 않은 것으로 분석되었다[Table 8]. 다만 돈분혐기소화액 200%를 시용한 처리구의 90cm 깊이에서 상당량의 질산태 질소가 축적된 것으로 나타났으나 편차가 크게 나타나 이 부분에 대한 신뢰성은 없는 것으로 판단되었다. 다만 이 부분에 대해서는 향후 추가적인 규명이 필요할 것으로 사료되었다.

4. 결론

바이오매스를 활용한 바이오가스 시설로 에너

[Table 8] Changes of Cumulative NO_3-N Concentration in Infiltrated Water During Growth Stage of Paddy Rice

		Treatment‡				
		CF	CD 100%	CD 200%	PMD 100%	PMD 200%
Nitrogen basal applied (kg/ha)		90	90	180	90	180
NO_3-N† (㎎/ℓ)	30cm	1.06±0.038	0.92±0.271	0.93±0.452	0.46±0.384	0.92±0.400
	60cm	0.75±0.164	0.64±0.087	0.74±0.535	0.24±0.040	0.51±0.276
	90cm	0.49±0.037	0.54±0.060	0.14±0.001	0.23±0.045	2.05±2.155

† NO_3-N was calculated from the cumulation of the concentration for 6 weeks at each depth.
‡ CF means chemical fertilizer, CD represents co-digestate and PMD pig manure digestate.

지 자립을 추구하는 바이오에너지마을 개념은 특히 미래의 우리 농촌에 적합한 모델이다. 하지만 여기서 발생하는 혐기소화액을 활용할 수 있는 적절한 방법이 반드시 동반되어야 한다. 토양 검정을 통해 화학비료와 혐기소화액을 시용하고 벼의 생육과 토양의 특성을 조사하였다. 벼의 초장과 분얼수는 화학비료와 혐기소화액 처리구에서 유사한 경향을 보였으나 수확량에서는 혐기소화액 처리구에서 더 높게 나타났다. 특히 통합혐기소화액 200% 처리구와 돈분혐기소화액 100% 처리구에서의 수확량이 화학비료 처리구 대비 20% 증가하였다. 볏짚과 알곡에서의 질소 흡수량 역시 혐기소화액 처리구에서 높았으며 질소 이용 효율은 돈분혐기소화액 100% 처리구에서 가장 높게 나타났다. 혐기소화액 처리구에서 치환성 양이온과 pH가 증가하였으나 염 집적은 나타나지 않았다. 농경지에 화학비료를 대체하면서 살포하는 것도 순환 활용이라는 측면에서 바람직하지만 작물 성장에 필요한 양분의 적정량만을 시용하여 작물 생육과 동시에 토양 환경의 건전성을 함께 추구하는 것이 필요하며, 장기적인 관점에서 농경지 환경과 논 생태계에 미치는 영향에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 최인수, "도농복합형 녹색에너지자립마을의 의미와 조성사례", 유기성자원학회「저탄소녹색마을 조성 현황과 미래전망」에 대한 한일국제심포지엄 및 춘계학술발표회, pp. 145~161 (2010).
2. http://www.wege-zum-bioenergiedorf.de/bioenergiedoerfer/
3. Saito, M., "Biomass strategy and biomass town project in Japan", in proceeding of 2009 International workshop on developing bioenergy and conserving the natural ecosystem in APEC member economies. RDA-APEC, pp. 36~44 (2009).
4. 환경부, 환경백서 2007 (2008).
5. Bernstein, L., "Effects of salinity and sodicity on plant growth", Annual Review Phytopathology 13, pp. 295~312 (1975).
6. Shannon, M.C., "Adaption of plants to salinity". Advanced in Agronomy 60, pp. 75~120 (1997).
7. Hong SG., Shin JD., Kwon SI., Park WK., Lee DB. and Kim JG., "Effects of Co-digestate application on the Soil Properties, Leachate and Growth Responses of Paddy Rice" J.of KORRA 18(4), pp. 31~37 (2010).
8. 농촌진흥청, 농사시험연구조사기준 (1995).
9. 농업과학기술원, 토양 및 식물체 분석법. 농촌진흥청 (2000).
10. APHA, Standard method for the examination of water and wastewater (1998).
11. 임동규, 박우균, 권순익, 남재작, 박백균, 김승

환, “벼에 대한 돈분뇨 혐기성 소화액비의 시용기준 연구”, 한국환경농학회지 21, pp. 255~260 (2002).
12. 권순익, 소규호, 홍승길, 김건엽, 이정택, 성기석, 김권래, 이덕배, 정광용, “음식물류폐기물 활용 퇴비의 장기 시용이 논 농업환경에 미치는 영향”, 유기물자원화17(3), pp. 55~70 (2009).
13. Lukehurst, C.T., Frost P. and Al Seadi T., Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser, IEA bioenergy task 37 (2010).