



돈분퇴비가 사용된 논외양분유출 저감을 위한 저류지 효과

김민경, 김명현[†], 최순균, 조광진, 홍성창, 정구복, 소규호

국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과

(2014년 10월 20일 접수, 2014년 11월 11일 수정, 2014년 11월 12일 채택)

Reduction of Pollutant Load by Small Pond in a Rice Paddy Applied with Pig Manure Compost

Min-Kyeong Kim, Myung-Hyun Kim[†], Soon-Kun Choi, Kwang-Jin Cho, Seong-Chang Hong, Goo-Bok Jung, and Kyu-Ho So

Climate Change and Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA

ABSTRACT

Pig slurry has been considered as environmental waste to be treated in an appropriate manner. Moreover, water-borne pollution loads by agricultural non-point source(NPS) pollution are expected to become intensified due to ongoing precipitation change. This study was conducted to develop a best management practice to reduce NPS pollution load by agricultural activity with pig manure compost. An eco-friendly way, small drainage pond, was suggested in this study to avoid direct drainage of agricultural runoffs and eventually reduce the amount of pollutants discharged into the surrounding aqua-environment. A small pond(12 m²) was constructed at the corner of a rice paddy field(1,715 m²) located in Suwon, Korea. Water was allowed to drain only via a small drainage pond. Sampling was repeatedly made at two locations, one from an entrance and the other from an exit of a pond, during the rice cultivation period(May to October, 2013). Generally, sampling was made only when runoff water drained through a pond, such as during and/or after rain(irrigation). The water quality analysis showed that all quality parameters(SS, COD_{Mn}, T-N, and T-P) were improved as water passed through the pond. The amount of runoff water was reduced by 67.8%. Suspended solids and COD_{Mn} concentrations were reduced by 79.8% and 71.9%, respectively. In case of T-N and T-P amounts, the reduction rates were 73.6% and 74.9%, respectively. Our data implies that agricultural NPS pollution from rice paddy fields with pig manure-based fertilizer can be effectively managed when an appropriate drainage water management practice is imposed.

[†]Corresponding author(wildflower72@korea.kr)

Keywords : Pig manure compost, Non-point source pollution, Rice paddy field, Small scale pond

초 록

양돈분뇨의 처리는 환경문제 해결과 자원으로서 이용 등이 중요한 의미가 있다. 따라서 본 연구는 이 두 가지 문제를 동시에 해결하고자 돈분퇴비가 사용된 논외 배수의 오염부하 저감을 위한 저류지 효과를 구명하고자 수행하였다. 경기도 수원시 권선구 서둔동 국립농업과학원 기후변화생태과 시험포장(1,715 m²)에서 배수로 말단에 논 저류지(12 m²)를 조성하였다. 2013년 5월부터 10월까지 영농기간 동안 강우사상시 저류지 유입 전인 논 배출수와 저류지를 통과한 배출수의 토사 및 COD_{Mn}, T-N, T-P의 부하량을 평가하여 저류지의 효과를 평가하였다. 영농기간 동안 논 저류지를 이용한 논외 유출량은 67.8% 저감되었고 토사를 포함한 부유물질과 COD_{Mn}의 총 부하량은 각각 79.8%와 71.9% 저감되었다. 또한 T-N과 T-P의 총 부하량은 각각 73.6%와 74.9% 저감되었다. 따라서 경지 기반 정리되어 가축분뇨 퇴액비 사용이 용이한 논외 경우에는 외부 수계로 배출되기 전 저류지를 설치하면 영양염류의 배출이 저감될 것으로 생각된다.

주제어 : 돈분퇴비, 비점오염, 논토양, 저류지

1. 서론

2012년부터 가축분뇨의 해양배출이 전면 중단되면서 가축분뇨 자원화 확대를 위한 자연순환 농업 기술보급 및 확산이 강조되고 있다. 또한 2014년 환경부는 가축분뇨 관리 선진화를 위한 '가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률' 시행령 및 시행규칙을 일부 개정하였다. 개정되는 안을 통하여 가축분뇨 관리를 강화함으로써 국민이 체감하는 수질오염과 생활악취가 개선될 것으로 기대하고 있다.

최근 우리나라 축산업 규모의 확대로 인해 가축분뇨의 발생량이 급격한 증가하고 있다. 지난 2012년 기준으로 총 46,489천 톤의 가축분뇨가 발생하였으며 이 중 88.7%는 퇴액비화 방법에 의해 처리되고 있다¹⁾. 이와 같이 가축분뇨의 이용을 확대하기 위해서는 인근 경종농가, 특히 벼 재배 농가에 이용하는 방안을 강구해야 한다. 우리나라 농경지의 약 62%를 차지하는 논에 재배되고 있는 벼의 양분원으로 가축분뇨를 자원화하여 이용할 수 있다면 이는 살포 경지면적을 확대

하는 의미가 되는 동시에 자원을 더욱 효율적으로 활용하게 되는 것이다²⁻⁴⁾.

그러나 영농활동을 위해 농경지에 사용되는 가축분뇨 퇴·액비, 비료 등이 비점오염원으로 작용하여 이로 인한 비점오염 부하 기여율이 높은 편이다. 다른 영농형태와 달리 논은 재배작물과 투입자재가 단일 및 표준화되어 있어 비점오염원 관리가 비교적 용이하나 우리나라 전체 농경지면적의 60% 이상을 차지하고 있고 관개와 낙수라는 특수한 물관리가 이루어지기 때문에 배출 변화의 폭이 크다⁵⁻⁷⁾. 이러한 비점오염원 부하 저감을 위해서 인공습지, 식생여과대, 저류지, 그리고 여과조, 침투조와 같은 물리적 여과장치 등이 이용되고 제거효과에 대한 과학적인 검증을 위한 연구는 매우 다양하게 이루어져 왔다^{8,9)}.

따라서 본 연구는 현장 적용이 용이한 비구조적인 비점오염 저감 방법인 저류지를 이용하여 화학비료 대체 돈분퇴비를 사용한 논으로부터 배출되는 배수를 관리하고자 국립농업과학원 기후변화생태과 시험포장에 특별한 장치나 저감 시설이 필요하지 않는 저류지를 논외 배수 물꼬 전에

설치하고 2013년 5월부터 10월까지 영농기간 동안 그 효과를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사지역 개요

본 연구를 위해 조성된 저류지(12 m²; 4×3×0.7 m)는 2012년 4월에 경기도 수원시 권선구 서둔동 국립농업과학원 기후변화생태과 시험 포장인 논(1,715 m²; 37°16′28.72″N, 126°59′10.53″E)의 말단부에 논 배출수가 외부 수계로 배출되기 전에 조성하였다. 본 연구의 영농활동은 화학비료 대체 돈분퇴비를 5월 초순에 경운 후 기비로 투입하고 담수 후 이앙을 하였으며 5월 하순에 분얼비와 8월 중순에 이삭비를 각각 투입하였는데 재배기간 동안 질소와 인 시비량은 각각 90 kg/ha과 30 kg/ha이 되도록 농촌진흥청 흙토람의 비료사용처방서를 이용하여 살포량을 결정하였다.

조사지역의 토양은 미농무성의 삼각좌표 분류법에 의해 미사질 양토(Silt loam)이었다. 시험 전 논토양의 유기물 함량은 13 g/kg이었고, 유효인산 함량은 71.0 mg/kg으로 우리나라 논토양의 평균함량¹⁰⁾보다 낮았다. 본 연구에 사용된 가축분뇨는 시판되는 돈분퇴비로 그 화학적 조성은 건물중으로 T-C가 35.3%이고 T-N가 2.3%으로 C/N율이 15.4%이었으며 이외에 인산과 칼리 등이 다량 함유하고 있었다[Table 1].

2.2 수문관측 자료수집

시험포장에 수문관측 시설을 설치하였는데 먼

저 조사지역의 강수량을 측정하기 위해 시험포장 인근에 강우량계(260-2501 Novalynx Co., USA)를 설치하여 현장에서 직접 강수량 자료를 수집하였다. 또한 시험포장인 논과 저류지의 유출량을 조사하기 위해 유출구에 위어(Weir)를 설치하고 초음파 수위센서(280-IRU-94 Novalynx Co., USA)를 설치하여 10분 간격으로 유출수의 수위를 관측하였다[Fig. 1].

2.3 시료채취 및 분석

토양은 시험 전 채취하여 분석하였는데 토양의 pH와 EC는 각각 pH meter(Model 720A, Orion)와 EC meter(Model 145A, Orion)를 사용하여 측정하였다¹¹⁾. 토양 중 유기물은 Turin 법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성 양이온은 1N NH₄OAc 용액(pH 7)으로 침출하여 유도결합플라즈마분광기(ICP-OES, GBC Integra XMP, Australia)를 이용하여 분석하였다¹¹⁾.

퇴비의 총질소는 Micro-Kjeldahl 법으로 정량하였고, 인산 및 칼리는 시료 1.0 g을 H₂SO₄-SClO₄ 법으로 습식 분해하여 인산은 Vanadate법으로 비색 정량하였고 칼리는 유도결합플라즈마분광기(ICP-OES, GBC Integra XMP, Australia)를 이용하여 분석하였다¹¹⁾.

물시료는 강우로 인해 논과 저류지의 유출이 각각 발생한 경우 유출지점에서 시료를 채취하였다. 수질분석은 표준분석법¹²⁾과 수질오염공정시험기준¹³⁾에 의해 COD는 과망간산칼륨법, T-N은 자외선흡광도법, T-P는 아스코르빈산환원법 그리고 부유물질(SS, Suspended solids)는 유리섬유여지법에 준하여 분석하였다.

[Table 1] Properties of the Pig Manure Compost Used in this Experiment

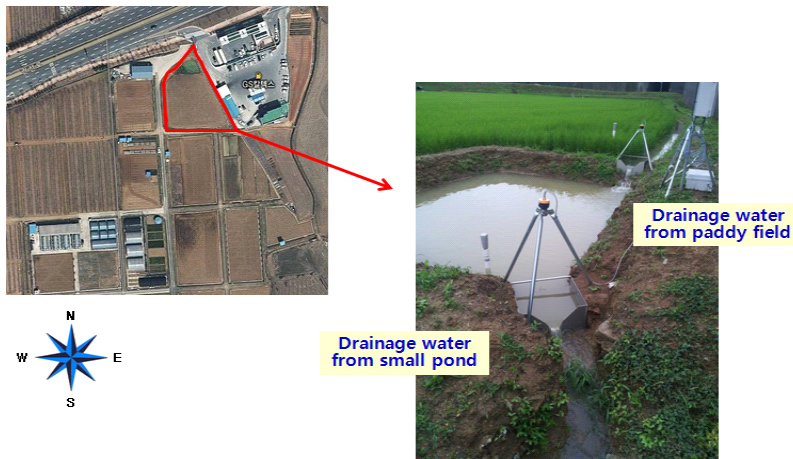
	T-C	T-N	C:N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Na
	----- (%) -----			----- (cmol/kg) -----				
Pig manure compost	35.3	2.3	15.4	1.53	2.81	15.2	3.31	1.03

3. 결과 및 고찰

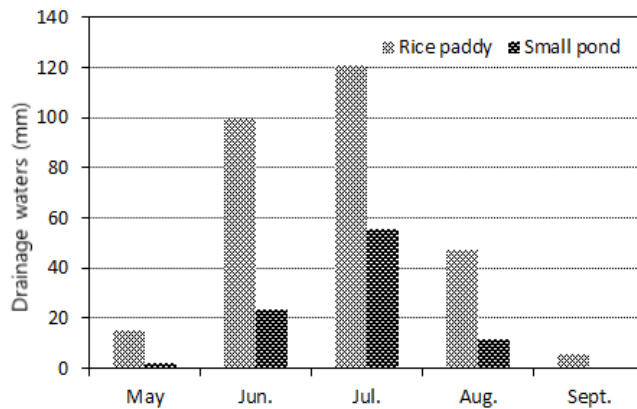
본 연구의 조사기간인 2013년 5월부터 10월까지 강우량은 951 mm이었으며, 2013년 전체 강우량(1,240 mm)도 평년 강우량(1,312 mm)에 비해 작았다. 또한 조사기간의 강우량은 전체 강우량의 76.6%를 차지하여 영농기에 집중되는 전형적인 우리나라 강우패턴이었다. 특히 강우량이 많고 요수량이 커 담수심이 높은 7월과 8월에 논 배출수량도 많았는데 이는 강우량과 지표 배

출수량은 고도의 정의상관이 있다는 연구결과⁶⁾와 비슷하였다.

조사기간 동안 저류지 유입 전인 논과 저류지의 총 배출수량은 각각 288.3과 92.7 mm이었다. 영농초기인 5월에는 벼의 물 요구량이 많으면서 강우량이 적어 논에서의 지표 배출은 없었고 9월 중순부터 물떼기를 하여 지표 배출이 가장 적었으며 10월에는 지표 배출이 전혀 없었다[Fig. 2]. 그러나 7월의 논 배출수량과 저류지의 배출수량은 각각 120.6과 55.4 mm로 가장 많았고,



[Fig. 1] Monitoring site of rice paddy field located in national academy of agricultural science in suwon, korea.



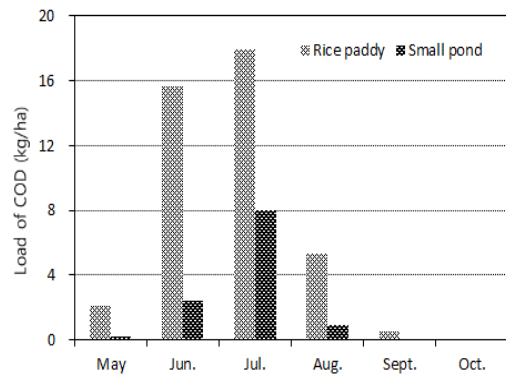
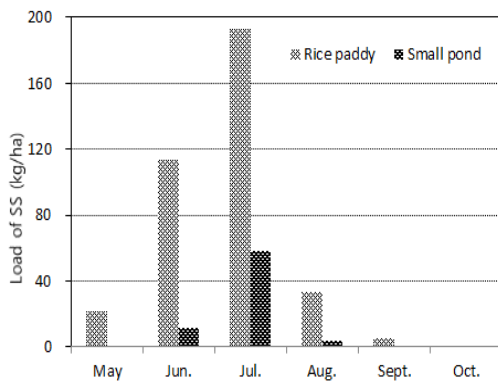
[Fig. 2] Comparison of the amount of drainage water at an entrance and an exit of a small pond in rice paddy with pig manure compost.

그 다음은 6월과 8월 순이었다. 따라서 영농기간 동안 논 저류지를 이용한 논 배출수량의 저감 효과는 우선적으로 강우량이나 논외 물관리 형태에 따라 상이하았겠으나 저류지의 크기에 따른 배출수의 체류시간에 따라라도 상이할 것으로 생각된다.

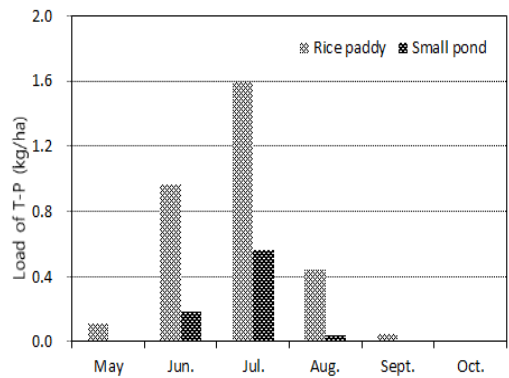
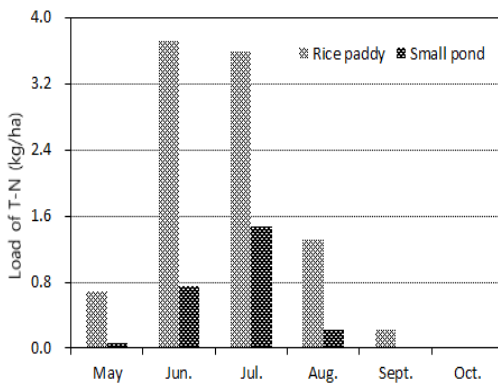
조사기간 동안 저류지의 유입 부하량인 논과 저류지의 SS와 COD_{Mn} 배출 부하량을 비교한 결과[Fig. 3] SS의 경우 유입 총 부하량이 366 kg/ha 였는데, 유출 총 부하량은 평균 73.8 kg/ha로 낮아져 79.8%의 높은 정화효율을 보였다.

다. 이는 저류지를 통과하면서 체류시간을 증가시켜 유속을 느리게 하여 부유성 오염물질을 침강시키는 저류지의 기능¹⁴⁾이 있는 것으로 생각된다. COD_{Mn}의 경우도 유입 총 부하량이 41.6 kg/ha이었고 유출 총 부하량이 11.7 kg/ha로 낮아져 71.9%의 높은 정화효율을 보였다. 이와 같이 농도가 높은 논 배출수가 저류지를 통과하면 유기물도 많이 정화되는 것으로 생각된다.

조사기간 동안 저류지의 유입 부하량인 논과 저류지의 T-N과 T-P 배출 부하량을 비교한 결과[Fig. 4] T-N의 경우 저류지 유입과 배출



[Fig. 3] Comparison of suspended solids(left) and chemical oxygen demands(right) loads in drainage water at an entrance and an exit of the small pond in rice paddy with pig manure compost.



[Fig. 4] Comparison of total nitrogen(left) and total phosphorus(right) loads in drainage water at an entrance and an exit of the small pond in rice paddy with pig manure compost.

총 부하량이 각각 9.52와 2.52 kg/ha로 영농기간 동안 73.6%의 높은 정화효율을 보였다. T-P의 경우에도 저류지 유입과 배출 부하량이 각각 3.16과 0.80 kg/ha로 영농기간 동안 74.9%의 높은 정화효율을 보였다.

일반적으로 인공 습지나 저류지에서 질소의 제거 효율은 탈질에 의해서 60~95%가 제거되고 식물과 조류를 포함한 미생물에 의해 흡수되어 1~34%가 제거된다는 보고^{15,16)}가 있으나 본 연구는 저류지 조성 초기이므로 식물이나 미생물에 의해 흡수되어 제거되었기 보다는 저류지내 흡착에 의해 제거된 것으로 생각된다. 또한 인의 제거 기작은 흡착, 침강, 조류 및 습지식물의 흡수 등 여러 물리적, 화학적, 생물학적 과정에 의해 이루어지는데¹⁷⁾, 일반적으로 습지나 저류지를 장기간 운영하게 되면 퇴적물의 축적과 오염물질의 포화로 인해 그 효율성이 저하된다는 보고¹⁸⁾도 있으나, 본 연구에서는 저류지 조성 초기이므로 저류지 내 침강되거나 저류지내 토양에 흡착되어 의해 인의 정화효율이 높았던 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구는 화학비료 대체 돈분퇴비를 전량 사용한 논에 배수로부터 외부 수계로의 오염부하를 저감하기 위해 저류지를 설치하고 그 효과를 구명하고자 하였다. 저류지는 경기도 수원시 권선구 서둔동 국립농업과학원 기후변화생태과 시험포장(1,715 m²)에서 배수로 말단에 논 저류지(12 m²)를 조성하였다. 2013년 5월부터 10월까지 영농기간 동안 논 저류지를 이용한 논에 유출량은 67.8% 저감되었고 토사를 포함한 부유물질과 COD의 총 부하량은 각각 79.8%와 71.9% 저감되었다. 강우량 등과 같은 자연적인 요인과 저류지 크기, 투입자재 등의 인위적인 요인 등에 따라 수질에 대한 오염물질의 정화효율은 달라지겠지만 화학비료를 대체하여 전량 가축분뇨 퇴비를 사용한 논에서도 질소와 인의 제거 효과는 높았다. 본 연구에서는 벼 생산성을 고려하여 저류

지를 조성하였기에 다양한 크기의 저류지를 조성하고 그에 따른 오염물질 정화 효과를 평가하지 못하였다. 추후 현장에서 적용이 쉬운 논 비점오염 저감 방안으로 저류지를 설치하기 위해서는 저류지 크기에 따른 오염물질의 정화 효과 분석 연구도 필요할 것으로 생각된다. 2014년 개정되는 법률에 따라 가축분뇨 관리가 더욱 엄격해지게 되면 농경지에 살포한 가축분뇨가 강우시 외부 수계로 유출되기 전에 저류지를 통과하게 되면 비점오염물질을 정화할 수 있는 긍정적인 영향이 있을 것으로 생각된다. 특히 경지기반 정리되어 가축분뇨 퇴액비 사용이 용이한 논에 경우에는 외부 수계로 배출되기 전 저류지를 설치하면 영양염류의 배출이 저감될 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호:PJ00919807)의 지원에 의해 이루어진 결과입니다.

참고문헌

1. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Outcome of animal waste generation and recycling('06~'12), (2013).
2. Alburquerque J. A., Fuente, de la., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli, C., Caravaca, F., Roldán, A., Cegarra, J. and Bernal, M.P., "Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties", EUR J AGRON., 43, pp. 119~128. (2012).
3. Kim, H. C., Yeo, J. K., Koo, Y. B., Shin, H., Choi, J. Y. and Lee, H. H., "Growth and Biomass Production of Fast Growing Tree Species Treated with Slurry Composting and Biofiltration Liquid Fertilizer", Korean J. Soil

- Sci. Fert., 44, pp. 206~214. (2011).
4. Kim, H. Y., Gwak, K. S., Kim H. Y., Ryu, K. O., Kim, P. G., Cho, D. H., Choi, J. Y. and Choi, I. G., "Effect of Treatment amounts of slurry composting and biofiltration liquid fertilizer on growth characteristics and bioethanol production of yellow poplar", J. Korean Wood Sci. Technol., 39, pp. 459~468. (2011).
 5. Takeda, I., Kunimatsu, T., Kobayashi, S. and Maruyama, T., "Pollutants balance of a paddy field area and its loadings in the water system—Studies on pollution loadings from a paddy field area(II)", Trans. of the JSIDRE., 153, pp. 63~72. (1991).
 6. Kim, M. K., Roh, K. A., Lee, N. J., Seo, M. C. and Koh, M. H., "Nutrient load balance in large-scale paddy fields during rice cultivation", Korean J. Soil Sci. Fert., 38, pp. 113~171. (2005).
 7. An, I. S., Kim, Y. C. and Lee, D. R., "Discharge of the pollutants from rice paddies during the period of cultivation", J. of KSWQ., 23, pp. 266~273. (2007).
 8. Kim, M. K., Kwon, S. I., Kang, S.S., Jung, G. B., Hong, S. C., Chae, M. J. and So, K. H., "Minimizing nutrient loading form SCB treated paddy rice fields through water management", Korean J. Soil Sci. Fert., 45, pp. 671~675. (2012).
 9. Kim, M. K., Kwon, S. I., Jung, G. B., Hong, S. C., Chae, M. J., Yun, S. G. and So, K. H., "Small-Scale Pond Effects on Reducing Pollutants Load from a Paddy Field", Korean J. Environ Agric., 32, pp. 347~350. (2013).
 10. Rural Development Administration, 2011 Annual Report of the Monitoring Project on Agro-Environment Quality, RDA, Suwon, Korea, (2011).
 11. National Institute of Agricultural Science and Technology, Methods of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea, (2002).
 12. American Public Health Association, Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater, 20th edition, Washington D.C., USA, (1998).
 13. Ministry of Environment, Standard methods of water sampling and analysis, Ministry of Environment, Incheon, Korea, (2008).
 14. Mitsch, W. J. and Gosselinl, J. G., Wetlands, 3rd edition by Mitsch, W. J., Gosselinl, J. G., John Wiley & Sons, New York, USA, (2000).
 15. Cooke, J. G., "Nutrient transformations in a natural wetland receiving sewage effluent and the implications for waste treatment", Wat. Sci. Tech., 29, pp. 209~217. (1994).
 16. Spieles, D. J. and Mitsch, W., "The effects of season and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetlands: a comparison of low and high nutrient riverine systems", Ecol. Eng., 14, pp. 77~91, (2000).
 17. Kim, H. C., Yoon, C. G., Um, H. Y., Kim, H. J. and Haam, J. H., "Analysis of treatment efficiency according to open-water in constructed wetland", J. of KSWQ., 24, pp. 709~717, (2008).
 18. Machlum, T., Warner, W. S., Staalnacke, P., and Jenssen, P. D., Leachate treatment in extended aeration lagoons and constructed wetlands in Norway, CRC Press, Florida, USA, (1998). 