우분 퇴비를 사용한 논에서의 유출수 특성

Runoff Characteristics in Paddy Field using Cow Manure Compost Fertilizer

최진규* · 손재권* · 윤광식** · 이현정*** · 김영주*†

Choi, Jin Kyu · Son, Jae Gwon · Yoon, Kwang Sik · Lee, Hyun Jeong · Kim, Young Joo

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the runoff characteristics in paddy field using livestock compost fertilizer. Irrigation, runoff and water quality data in the paddy field were analyzed periodically from May to September in 2011. The observed amounts of rainfall, irrigation, runoff for the experimental paddy field during the irrigation period were 1,148.2 mm, 523.9 mm, and 344.7 mm, respectively. T-N concentrations ranged from 2.28 mg/L to 11.75 mg/L, which was generally higher than the quality standard of agricultural water (1.0 mg/L). T-P concentrations ranged from 0.018 mg/L to 0.241 mg/L and the average was 0.122 mg/L. The runoff loads of T-N and T-P were 15.7 kg/ha and 0.4 kg/ha, respectively. The runoff pollutants loadings in T-N and T-P in this study were much lower values than the loads of T-N and T-P from the paddy field presented by others' studies. We are considering that these results were affected by rainfall as well as hydrological condition, irrigation water, fertilizer application, rice straw and plowing.

Keywords: Compost fertilizer; livestock, paddy field; pollutant loadings, runoff

1. 서 론

우리나라는 근대화와 산업화와 더불어 경제성장도 빠르게 이루어졌으나 경제 성장의 이면에는 주변 환경과 생태에 대한 관심은 미흡한 면이 있어 이러한 결과로 최근에는 생활하수, 공장 폐수, 축산폐수 등과 같은 오염원들이 하천이나 수계에 많은 문제점을 초래하고 있다 (Kim et al., 2009). 경제성장은 식생활 개선과 소득수준의 향상을 가져오고 이에 따른 육류 소비량이 증가되면서 가축사육규모가 커지고 집단화되면서 가축분뇨량이 과다하게 발생하여 관심의 대상이 되고 있다. 우리나라의 연간 가축분뇨 발생량은 $31,862 \times 10^3$ ton/year 정도이며 가축분뇨 생산 농가의 약 86 %가 자원화시설을 갖추고 있는 실정이지만 가축분뇨가 적절히 처리되지 못할 경우 농업의 비점오염으로 작용하여 지표수 및 지하수의 오염의 원인이 되기도 하고 악취발생 등의 위생학적인 문제를 유발시키기도 한다 (RDA, 2002).

퇴비에 의한 유출수의 오염부하에 관한 연구들은 보면, Oa (2010)은 현장 인공 강우 시험을 통하여 액비, 퇴비의 농지 주입시 토양에 미치는 영향을 파악하고자 농지를 조성하여 옥수수를 재배하면서 계절별로 인공강우로 인한 표면 유출수와 지하수 시료를 채취하여 오염물질의 거동과 유출 특성을 파악하여 농지에서의 자원화물에 의한 유출을 연구하여 대부분 유출은 토사유출로 진행되며 총질소와 총인의 영양물질과 농지 유출비는 각각 0.015와 0.029이었으며 지하수 유출은 77.5 %로 보고하였다. Lee et al. (2010)은 가축분뇨 발효 액비를 활용한 벼 재배 현장 평가를 통하여 가축분뇨 발효액비의 사용이 토양 화학성, 벼의 생육특성, 수량구성요소, 수량, 도복 및 쌀 품질에 미치는 영향에 대해 연구하였다. Yang et al. (2007)은 하해혼성층 평야지 논토양에서 부산물 퇴비 사용시기에 따른 토양 이화학학적 특성변화, 양분이용율, 품질 및 수량성에 미치는 영향을 고찰하여 화학비료 대체 및 적정 사용방법을 규명하고자 하였으며, 한편, Jung and Park (2000)은 식물생육에 필요한 양분을 다량 함유하고 있는 가축분 퇴비는 농경지에 활용시 퇴비의 양분 함량과 작물별 양분요구량을 고려하여 사용량을 결정해야 한다고 하였으며, Kang et al. (2011)은 상추를 대상으로 우분, 돈분, 계분 등 축종별 가축분 퇴비를 인산질 비료 대체원으로 사용하여 친환경적인 가축분 퇴비와 화학비료의 혼용 처방기분을 개발하고자 하였다. 또한, 국내의 가축분 퇴비에 관한 연구들은 논이나 밭, 과수원 등의 토양의 질소 흡착의 변화, 양분 이용 및 여러 재배작물의 퇴

* 전북대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과, 농업과학기술연구소

** 전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과, 농업과학기술연구소

*** 전북대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과

† Corresponding author Tel.: +82-63-270-2515

Fax: +82-63-270-2517

E-mail: swcejoo@hanmail.net

2012년 2월 17일 투고

2012년 4월 27일 심사완료

2012년 5월 2일 게재확정

비와 수량성 관계 조사 등을 중심으로 이루어지고 있다 (Yoon et al., 2010). 이렇듯 가축분뇨를 이용한 퇴비와 액비 등을 논, 밭, 시설재배 및 원예작물지에 시비하여 각각의 작물 재배에 필요한 퇴·액비의 적정 사용량에 대한 연구는 이루어지고 있으나, 가축분뇨를 이용한 퇴비를 시비한 논에서 유출되는 배수가 하천이나 수계로의 유입되어 오염부하에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 가축분뇨 퇴비를 이용한 벼 시험논의 현장 모니터링을 통해서 가축분뇨 퇴비 시용이 가져오는 토양의 화학성 및 논 유출수의 영양물질 농도 특성을 분석하여 축산분뇨에 의한 비점오염원 관리에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장 선정

본 연구인 새만금유역 축산 비점오염원 관리방안 연구를 위해 논에서 배수로를 통해 유출되는 유출수의 가축분 퇴비의 오염을 평가하기 위해 시험포장을 선정하고자 새만금 유역내 여러 대상 논 지구를 논 면적, 토지 이용, 접근성, 주변 환경 등의 요소를 고려하여 가장 적합한 최종 시험포장을 선정하였다. 선정된 시험포장으로는 새만금유역중 만경강 수계인 전라북도 덕진구 덕진동에 위치한 전북대학교 농업생명과학대학 내 농장의 논을 선정하였으며, 그 규모는 1000 m²의 필지는 (JAP)으로 2011년 5월부터 9월까지 수문 및 수질 모니터링을 실시하였다 (Fig. 1). 논에서의 축산 부산물에 의한 비점오염원을 영농기간을 중심으로 파악하기 위해 논의 배수로를 통해 유출되는 논 배수의 유출량을 조사하였다. 그리고 영농에 필요한 양분 공급을 위해 시험 논에 가축분 퇴비를 시비한 후 논물가두기와 써레질을 실시한 후 기계를 이용하여 모내기를 실시하였다.

Fig. 1 Location of the study area

2. 강수량 및 수문관측 시설

시험포장에 설치된 수문관측 시설중에서 강수량은 직접 측정을 목표로 시험포장에 강우량계 (CASELLA CEL, UK)를 설치 운영하여 강수량 자료를 획득하여 분석하였다. 그리고 시험포장에 공급되는 관개용수의 관개시스템은 관정을 통한 관개수를 논에 직접 공급하는 형태이며, 유출공은 위어 (Weir)를 설치하여 필지 논으로부터 배수로로 빠져나오는 시스템으로 구성되어 있어 시험논의 유출량을 측정하기 위해 유출공이 접한 배수로에 수위계를 설치하였다. 논 배수로 유출 수위를 측정하기 위해서 음파 수위계 (USN-1000, Korea)를 설치한 후 연속적으로 수위를 측정하였으며, 각각의 유출이 발생하여 배수로에 유출이 발생할 때마다 회전식 유속계 (Valeport 002, UK)를 이용하여 유속을 측정하고 그 때의 수위를 관측하여 수위-유량 관계식을 산정하여 연속적인 유출량을 계산하였다.

3. 시험 논 토양 및 유출수 분석

시험논의 토양의 물리성 분석용 시료는 표토 (0~20 cm)와 심토 (20~40 cm)로 구분하여 채취하여 입도분석은 입도분포를 구하기 위하여 KS F 2302, 2309 규정에 준하여 No. 200체에 남은 시료는 체분석으로, No. 200체의 통과분은 비중계 분석을 실시하여 분석하였다. 토성은 입도분석의 결과인 입경분포율을 분석한 뒤 미 농무성의 토양삼각도법으로 판정하였다. 한편, 시험토양의 이화학적 분석은 퇴비를 시비하기 전·후의 표토와 심토를 채취한 후 건조하여 토양시료를 조제하여 분석을 실시하였다. pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5로 하여 pH는 pH meter (TOA, HM-21P)로 측정하고, EC는 EC meter (TOA, CM-14PW)를 이용하여 EC 측정값을 5배수하여 EC값을 정하였으며, 유효 인산은 Lancaster법, 토양유기물은 Tyurin법을 이용하여 측정하였다. 또한, 시험 논에서 유출수의 분석은 강우시 유출이 발생할 때마다 시험논의 유출구에서 채수하여 4 °C 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 분석 항목인 T-N, NO₃-N, NH₄-N, T-P, COD, TOC, SS의 분석은 표준분석법 (APHA-AWWA-WEF, 1998)과 환경부 수질오염공정시험방법 (환경부, 2007)에 의거하여 분석하였다.

4. 시험 논 퇴비 시비

시험논의 시비된 퇴비는 전북 완주군 고산농업협동조합 경축순환자원센터에서 제조된 가축분 부숙비료인 가축분퇴비 (전북 완주 14-가-20101호)이며 원료명 및 배합비율은 우분뇨 70 %, 계분 10 %, 팽연왕겨 10 % 및 톱밥 10%로 구성되어 있다. 우분이 주성분이 퇴비 1포는 20 kg의 중량으로 40 포대인 800

Table 1 Characteristic of compost used in the experiment

Item	Moisture	Organic mater	OM/N	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr
	(%)			(mg/kg)					
JAP	55.0	30.0	40.0	5.0	360.0	900.0	130.0	45.0	200.0

kg의 퇴비를 5월 말에 시험논에 전층 시비한 후 논갈이와 썩레질을 실시한 후 담수를 시킨 후 6월 초에 재식 거리 15 cm×30 cm, 1주당 3~5본씩 기계 이앙을 실시하였다. 가축분 퇴비의 보충 성분량인 유기물, 수분량, 유기물대질소비 및 유해 성분량은 Table 1과 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 강수량

시험 구역에서의 강수량계를 이용하여 직접 2011년 1월 1일부터 12월 31일까지 1년 동안의 일별 강수량을 측정하여 수집하였으며, 전주기상관측소의 자료와 시험구역의 2011년 월별 강수량은 Table 2와 같다. 시험논의 영농기간인 5월에는 123.8 mm, 6월 129.8 mm, 7월 435.6 mm, 8월 395.4 mm, 및 9월 63.6 mm의 강수량을 나타내었다. 2011년의 시험 논에서의 연간 강수량은 1,469.5 mm이었으며, 참고 자료인 전주기상관측소의 연 강수량은 1,618.7 mm로 관측 지점의 상대적인 거리의 차

Fig. 2 Rainfall of the Paddy field

이에 의해 강수량의 편차를 나타내었다. 2011년 일 강수량을 측정한 결과 2011년 8월 9일에 181.4 mm로 가장 많은 일 강수량을 기록하였으며, 그 다음으로 7월 10일에 있었던 134.0 mm를 나타내었다 (Fig. 2). 한편, 강수량이 가장 많았던 7월은 435.6 mm로 연 강수량 1,469.5 mm의 29.6 %로 나타났다.

2. 관개량 및 유출량

논에서의 관개용수는 벼 재배기간에 공급된 관개수의 양을 측정하였으며, 논에서의 관개량은 경작자에 필요에 의해 관행적으로 이루어지고 있는 실정이나 본 연구에서는 일반 관행적인 물 관리와 달리 벼농사 준비 기간에 썩레질 용수량과 영농 초기 이앙용수량을 공급하였으며, 모내기 이후에 논의 담수심을 고려하여 관개수가 필요하다고 판단될 때 인위적으로 공급된 관개수량이 포함된 수량이다. 따라서, 관개수의 공급은 주로 비 강우기에 논 담수심이 현저히 낮아 벼 생육에 수분 공급을 위해 최소한의 양을 공급하였으며, 이는 논 유출에는 영향을 미치지 않았다. 2011년 시험 논에서의 6월부터 9월까지의 총 관개 담수 깊이는 523.9 mm이었고 그중에서 썩레질 및 초기 이앙 용수량으로 필지에 공급된 용수량이 232.8 mm이었으며, 6월, 7월 및 8월에 공급된 관개수량은 논 담수심에 따라 인위적으로 공급된 수량이다 (Table 3). 한편, 시험 논의 영농기간의 총 유출량은 400.0 mm이었으며 같은 기간에 강수량은 1,024.4 mm로 강수량에 대한 유출량 비율은 0.39로 나타났다. 영농 초기인 6월에는 46.2 mm의 유출량을 나타내었고, 강수량이 가장 많았던 7월에는 180.1 mm의 유출량을 보였다. 필지논의 높은 담수심과 관개수가 공급되는 시기를 제외하고는 강수에 의한 논에서의 유출이 발생하는 현상은 선행 강수량을 제외하면 25 mm 이상의 강수시에는 유출이 일어나는 것으로 나타났다. 한편, Kwun and Yoo (1989)는 경기도 화성군의 논에서 관개수량과 유출량을 각각 715.4 mm와 1,060 mm로 보고하였으며, Han (2011)은 충남 공주시 저수지 상류 유역에 위치한 경지정리 된 논지구의 2개 필지 논에서 관개수량은 223.2 mm와 238.5 mm를, 유출수량은 825.4 mm와 883.5 mm를 보고하였다. 이렇듯 연구자별로 차이가 나타나는 이유는 시험지구의 기상조건과 경작자의 물 관리 형태, 작물 재배 방식 및 관개 용수원 등이 지역적으로 다른 특성을 가지고 있기 때문으로 생각된다.

Table 2 Rainfall status of the study area

(Unit : mm)

Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Experiment	4.6	58.2	22.4	77.6	123.8	129.8	435.6	395.4	63.6	33.2	118.3	7.0	1,469.5
Jeonju	4.5	58.4	23.5	80.8	122.8	151.8	467.0	477.8	71.2	34.6	118.9	7.4	1,618.7
Average	4.6	58.3	23.0	79.2	123.3	140.8	451.3	436.6	67.4	33.9	118.6	7.2	1,544.1

Table 3 Irrigation water of paddy field (JAP) (2011)

Date (yy/mm/dd)	Irrigation time (hr)	Irrigation water (m ³)	Irrigation depth (mm)
11/06/07	8.0	230.4	232.8
11/06/12	1.5	43.2	43.7
11/06/16	2.0	57.6	58.2
11/06/19	1.1	33.6	34.0
11/07/18	2.5	72.0	72.8
11/07/26	1.3	38.4	38.8
11/08/05	1.5	43.2	43.7
Total	17.9	518.4	523.9

Table 4 Irrigation water of paddy field (JAP) (2011)

Date (Month)	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Runoff ratio (%)
6	129.8	46.2	0.36
7	435.6	180.1	0.41
8	395.4	155.9	0.39
9	63.6	17.8	0.28
Total	1,024.4	400.0	0.39 (Average)

Fig. 3 Drainage water of paddy field (JAP) (2011)

3. 논토양 특성

시험논의 토양의 물리성을 분석하기 위해 표토와 심토로 구분하여 시료를 채취하여 입도 분석 시험을 실시한 결과는 Table 5와 같다. 시험포의 입도분석의 결과를 토양삼각도표법으로 분류한 토성은 표토와 심토 모두 사질식 양토 (Sandy clay loam)로 분류되었다. 한편, 시험지구 논에서의 2011년 6월 논토양을 심도별로 10 cm와 20 cm로 구분하여 시료를 채취하여 논 토양을

Table 5 Physical properties of the experimental soils before crop cultivation at the experimental of the paddy field

Site	Depth (cm)	Particle (%)			Soil texture
		Sand	Silt	Clay	
Paddy (JAP)	0~20 (A)	58.8	32.0	9.2	sandy clay loam
	20~40 (B)	61.4	31.0	7.6	"

분석한 결과, 토양심도 (10 cm)의 T-N은 900.0 mg/kg, T-P는 325.9 mg/kg이었다. 그리고 토양심도 (20 cm)는 T-N은 925.0 mg/kg, T-P는 331.2 mg/kg이었다. 논 토양의 주요 이화학적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다 (Table 6).

4. 유출수 수질변화

논에서 가축분뇨 퇴비의 영향에 의한 유출수 성분을 조사하기 위해 위어를 통해 배출되는 논 유출수를 채취하여 분석하였다. 시험 논 (JAP)에서의 2011년의 수질 샘플링을 실시하여 조사한 결과, 조사기간 동안 수온의 범위는 계절적인 변화와 유사하게 19.0~27.5 °C의 범위로 평균 23.3 °C를 나타냈었으며, 수소가 온농도 (pH)는 6.28~7.12의 범위로 평균 6.60을 나타내었다. 전기전도도 (EC)의 경우에는 46.1~178.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 평균 105.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 나타났다. 총질소 (T-N)의 조사 기간 동안 2.28~11.75 mg/L로 평균 4.79 mg/L를 나타내었으며, 암모니아태질소 ($\text{NH}_4\text{-N}$)는 0.86~5.96 mg/L이고 평균 3.06 mg/L로, 질산태질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$)는 0.46~5.93 mg/L이며 평균 1.28 mg/L로 나타났다. 우리나라 호소 수질환경기준에는 4등급인 농업용수의 T-N 기준이 1.0 mg/L 이하로 정해져 있는데 본 연구에서는 이 기준치를 모든 기간에 초과하는 것으로 나타났다. 시기별 총질소의 농도는 퇴비가 시비되어 이양용수가 공급되어 유출이 발생한 6월에 높았다가 벼 생육기간동안 완만하게 7월 초까지 낮아진 후 다시 8월 말까지 점차 증가하는 경향을 보여주다가 이후에는 일정한 값을 유지하는 양상을 나타내었다. 질소의 화학적 형태별 함량을 비교한 결과는 암모니아태질소가 질산태질소와 비슷한 경향으로 수질변화를 보였으며 8월에는 질산태질소가 암모니아태질소보다 더 높게 나타났다. 총인 (T-P)의 경우에는 0.018~0.241 mg/L로 평균 0.122 mg/L의 값을 보여주었으며, 용존성 인 (Dissolved-P)은 0.0040~0.0222 mg/L이고 평균 0.0130 mg/L의 값을, 입자성 인 (Particle-P)은 0.009~0.221 mg/L이고 평균 0.101 mg/L의

Table 6 Physiochemical properties of paddy soil

Layer	pH	EC	T-N	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	T-N (O)	T-P	Avail-P	O-M	CEC
10 cm	6.33	199	900.0	35.9	14.5	763.3	325.9	38.3	2.99	8.38
20 cm	6.19	227	925.0	35.6	9.7	758.4	331.2	32.5	2.53	11.57

Fig. 4 Changes of water quality in paddy drainage water (2011)

값을 나타내었다. 수질악화의 원인인 부영양화를 일으키는 T-P의 함량은 우리나라 호소 수질환경기준인 4등급 농업용수의 기준으로 0.1 mg/L 이하로 정해져 있으며 전체 영농 기간 중에서 초기 영농기간인 모내기 이후인 6월 중순에 일시적으로 높았으며 6월부터 8월 중순까지는 상승하는 경향을 보여주며 기준치에 약 2배 가량 높은 값을 나타내었다. 한편, 총유기탄소 (TOC)의 농도는 7.69~25.36 mg/L로 평균 12.05 mg/L로 나타났으며, 부유물질 (SS)의 수질 농도는 156.7~636.6 mg/L로 평균 361.3

mg/L를 나타냈었고, 화학적산소요구량 (COD)의 농도변화는 1.69~22.15 mg/L로 평균 10.34 mg/L를 나타내었다.

5. 논 유출부하량 특성

논에서의 배수로를 통해 유출이 발생할 때 유출수의 T-N과 T-P의 수질 농도와 유출 수량을 곱하여 유출부하량을 산정하였으며, T-N과 T-P의 유량과 부하량의 관계 곡선은 Fig. 6에

Fig. 5 Relationship between runoff and loads in paddy field

Fig. 6 Loads of T-N and T-P in experimental paddy field during 2011

나타내었다. 논 배수로의 T-N 유출부하량은 6월 0.13 kg, 7월 0.89 kg, 8월 0.52 kg, 9월 0.01 kg이었고, T-P 유출부하량은 6월 0.01 kg, 7월 0.03 kg, 8월 0.01 kg이었으며, T-N과 T-P의 전체 기간 동안의 유출부하량은 각각 1.55 kg과 0.04 kg이었다. 한편, 시험논의 유출 부하량을 기본 구획면적인 1 ha의 면적으로 환산하여 부하량을 계산한 결과는 2011년 영농기간에 시험 논에서의 유출부하량은 T-N 부하량 15.7 kg/ha, T-P 부하량 0.4 kg/ha의 결과를 나타내었다. 한편, 논에서의 유출오염부하량에 대한 선행 연구를 보면, 먼저 Choi et al. (2001)이 전라북도 진안군 마령면에서 단일 필지 논 0.5 ha의 면적을 대상으로 영농기간인 153일 동안 논 배출수에 의한 영양물질 유출량을 조사하였더니 T-N는 48~52 kg/ha, T-P의 경우는 1.1~1.6 kg/ha의 유출부하량이 발생한다고 하였으며, Kim and Cho (1995)는 경기도 화성군 반월면의 논지에서 벼 재배기간에 농업 배수에 의한 영양물질 유실량을 조사하여 T-N 15 kg/ha, T-P 0.59 kg/ha로 보고하였으며, Han (2011)은 관개기간인 114일 동안 곡간지 유역의 단일 필지 논에서의 유출부하량을 산정한 결과 T-N 34.4 kg/ha, T-P 1.0 kg/ha의 유출부하량이 발생한다고 하였다. Choi et al. (2000)은 대호 지구 간척농지의 38.5 ha의 논에서 유출되는 부하량은 T-N 49.5 kg/ha/yr, T-P 3.2 kg/ha/yr로 영양 물질에 의한 유출부하량이 발생한다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서의 T-N과 T-P의 두 항목의 유출부하

량은 위의 선행 연구결과들보다 비교적 작게 산출되었다. 이는 영농 초기에만 퇴비를 시비한 후 영농 기간에는 화학비료를 사용하지 않은 결과로 사료된다. 또한, 논에서의 유출부하량에 영향을 주는 요인들인 논에서의 관개용수량 및 관개횟수, 강우의 횟수와 시기, 비료의 종류 및 사용량, 시비방법, 시비시기 등 지역적인 특성과 영농 기작의 차이로 인하여 영양물질의 유출부하량의 차이가 발생한 것으로 사료되며, 차후 유출부하량의 장기간 모니터링을 통한 여러 유역의 논에서 부하량을 산정할 필요성이 있다고 판단된다. 향후 수계에서의 부하량 산정시 유역의 특성과 식생분포, 토양특성, 지구구획의 형상 등의 차이에 의해 유출 현상이 다양하게 표현되어 여러 형태의 유출부하량 값을 활용한다면 유역에서의 오염총량관리의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 가축분뇨 퇴비를 이용한 벼 시험논의 현장 모니터링을 통해서 가축분뇨 퇴비 사용이 가져오는 토양의 화학성 및 논 유출수의 영양물질 농도 특성을 분석하고자 하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

시험 지구의 2011년 5월부터 9월까지 총 강수량은 1,148.2 mm이며 최대 일 강수량은 2011년 8월 9일에 181.4 mm이었

다. 영농 기간의 관개량 및 유출량은 각각 523.9 mm와 344.7 mm였으며, 관개량은 이양용수량과 필지에 공급된 재배관리 용수량이며 유출량은 강수에 의한 논에서의 유출 발생량으로 선행 강수를 제외하면 25 mm 이상의 강수시에는 유출이 일어나는 것으로 나타났다.

시험논의 토양의 표토와 심토의 삼각좌표법에 의해 토양 물리성을 분석한 결과는 표토와 심토 모두 사질식 양토로 분류되었다. 논 토양의 이화학적 특성은 표토의 T-N은 900.0 mg/kg, T-P는 325.9 mg/kg이었고, 심토의 T-N은 925.0 mg/kg, T-P는 331.2 mg/kg이었다. T-N의 경우에는 표토가 심토에 비해 높게 나타났으며, T-P는 심토가 표토보다 높게 나타났다.

시험논의 우분 퇴비를 시비한 후 영농활동 중 논 유출수 성분의 분석 결과, 수온은 19.0~27.5 °C, 평균 23.3 °C, 수소이온 농도는 6.28~7.12, 평균 6.60, 전기전도도 46.1~178.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 평균 105.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 총질소 2.28~11.75 mg/L, 평균 4.79 mg/L, 총인의 경우에는 0.018~0.241 mg/L, 평균 0.122 mg/L, 총유기탄소 7.69~25.36 mg/L, 평균 12.05 mg/L, 부유물질 156.7~636.6 mg/L, 평균 361.3 mg/L, 화학적 산소요구량 1.69~22.15 mg/L, 평균 10.34 mg/L를 나타내었다. 총질소의 농도는 이양 초기인 6월에 높았다가 7월 초까지 낮아진 후 7월 말까지 점차 증가하는 경향을 보여주었으며, 총인은 모내기 이후인 6월 중순에 일시적으로 높았으나 조사 기간 초기부터 7월 말까지 약간 상승하는 경향을 나타내었다.

시험 논에서의 2011년 유출부하량은 T-N 15.7 kg/ha, T-P 0.4 kg/ha의 유출을 나타내었으며, 이는 유출부하량을 산정하는 논에서의 관개용수량 및 관개횟수, 강우의 횟수와 시기, 비료의 종류 및 시용량, 시비방법, 시비시기 등 지역적인 특성과 영농기작의 차이로 인하여 영양물질의 유출부하량의 차이가 발생한 것으로 사료되며 차후에는 차별화된 유역의 논을 대상으로 장기간 모니터링과 유출부하량을 산정할 필요성이 있다고 판단된다.

따라서, 향후 수계에서의 부하량 산정시 유역의 특성과 식생 분포, 토양특성, 지구 구획의 형상 등 차별화된 유출 현상을 다양한 방법으로 모니터링하여 활용한다면 농업 비점오염 저감기법의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 “새만금유역 농업비점오염 저감기법개발 공동연구 제6세부 「새만금 간척농지 비점오염 저감기술 개발」” 과제의 일부 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

1. APHA, AWWA, WEF, 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
2. Choi, I. U., B. H. Park and S. K. Kwun, 2000. Runoff of pollutants in a reclaimed paddy field. *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference*, 10 Issues 637-642 (in Korean).
3. Choi, J. K., J. W. Koo, J. G. Son, K. S. Yoon, and J. Y. Cho, 2001. Nutrient balance and runoff loading during cropping period from a paddy plot in maryeong irrigation district. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(5): 153-162 (in Korean).
4. Han K. H., 2011. Characteristics of non-point sources pollutant loads at paddy plot located at the valley watershed during irrigation periods. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 18(1): 94-102 (in Korean).
5. Jung, Y. G. and B. K. Park, 2000. Determination of the guideline for application rate of compost and liquid manure on crops. Livestock Research Institute, RDA, Suwon. pp. 139-164 (in Korean).
6. Kang, C. S., A. S. Roh, S. K. Kim, and K. Y. Park, 2011. Effects of the application of livestock manure compost on reducing the chemical fertilizer use for the lettuce cultivation in green house. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 44(3): 457-464 (in Korean).
7. Kim, B. Y., and J. K. Cho, 1995. Nutrient effluence by the outflowing water from the paddy field during rice growing season. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 2(2): 150-156 (in Korean).
8. Kim, H. C., J. K. Yeo, Y. B. Koo, J. H. Park and E. S. Baik, 2009. Juvenile growth characteristics of fast growing tree species treated with liquid pig manure. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 42(5): 323-329 (in Korean).
9. Kwun, S. K., and M. H. Yoo, 1989. Establish prevention of eutrophication and environmental pollution of reservoirs(II), Korean Rural Community and Agricultural Corporation (in Korean).
10. Lee, K. H., J. H. Yoo, E. J. Park, Y. I. Jung, S. C. Tipayno, C. C. Shagol, and T. D. Sa, 2010. Effect of swine liquid manure on soil chemical properties and growth of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of the Korean*

- Society of Soil Science and Fertilizer* 43(6): 945-953 (in Korean).
11. Ministry of Environment, 2007. The Standard method of water analysis. Incheon, Korea (in Korean)
 12. Oa, S. W., 2010. Runoff characteristics of the livesock manure as fertilizer at farmland. *Journal of the Korean Society of Water Quality* 26(5): 775-780 (in Korean).
 13. R.D.A, 2002. Guidelines for Applying livestock manure (Liquid pig manure). Rural Development Administration, Suwon, Korea.
 14. Yang, C. H., B. S. Kim, C. H. Yoo, W. K. Park, Y. S. Yoo, J. D. Kim, and K. Y. Jung, 2007. Composting impacts on soil properties and productivity in a fluvio-marine deposit paddy field. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 40(3): 181-188 (in Korean).
 15. Yoon, H. B., Y. Lee, C. Y. Yu, J. E. Yang, S. M. Lee, J. H. Shin, S. C. Kim, and Y. B. Lee, 2010. Soil nitrogen mineralization influenced by continuous application of livestock manure compost. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 43(3): 329-334 (in Korean).