

## 액비 및 유기농법 적용에 따른 농경지에서의 오염부하 원단위 평가

소현철 · 장태일<sup>†</sup> · 홍승길<sup>\*</sup>

전북대학교 지역건설공학과 · <sup>\*</sup>농촌진흥청 국립농업과학원

## Assessing unit load in farmland by application of liquid manure and organic farming

Hyunchul So · Taeil Jang · Seung-Gil Hong<sup>\*</sup>

*Department of Rural Construction Engineering, Chonbuk National University*

*\*National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration*

**ABSTRACT** : National Institute of Environmental Research (NIER) has proposed new methodology for estimating unit load in order to overcome the limitations of past unit load based on short-term and local area based data. In the case of agricultural land, however, the results presented by NIER are still limited because of various agricultural activities and farmland characteristics. In this study, liquid manure treated paddy field and organic farming upland were selected for considering agricultural diversity. Four different methods for evaluating unit load were used for comparing previous research results. The results of different methods presented various trends compared with those of existing studies. Paddy field treated liquid manure was 1.3 times higher for T-N load and 3.1 times for T-P load than conventional paddy field. Conventional upland was 4.4 times higher for T-N load and 1.8 times higher for T-P load than organic farming upland. In the case of non-conventional farmland, this study showed different values with the unit loads presented by NIER. This implies that it is necessary to review and apply the unit loads considering various agricultural conditions when establishing environmental policy and rural planning.

**Key words** : EMC (Event Mean Concentration); Liquid Manure; Organic Farming; Unit Load

### 1. 서 론

비점오염원은 논, 밭, 임야, 대지, 도로 등 다양한 배출지점에서 빗물과 함께 불특정하게 배출되고 있다. 그 중 농경지에서는 다양한 영농형태에 따라 비점오염원의 발생 양상이 상이하게 나타나고 있다. 최근 농업은 무기질비료를 사용하는 전통적인 관행농업에서부터 친환경농업, 그리고 유기농업에 이르기까지 다양한 방식의 영농형태를 보여주고 있어 농촌 환경 관리와 계획을 위하여 이러한 경향을 고려한 비점오염원의 모니터링과 평가가 필요하다.

가축분뇨의 해양투기가 금지된 이후 농림축산식품부

는 가축분뇨의 자원화 촉진을 통한 경축순환농업을 활성화하고 있다. 환경부에서 담당하고 있는 공공처리되는 전체 가축분뇨처리량의 6.8 % 수준에 지나지 않으며 대부분 자원화(퇴액비)되고 있는 실정이다(NIER, 2011). 또한 정부의 다양한 친환경농업 육성 정책과 농업인의 적극적 호응의 결과로 친환경농산물 인증제가 도입된 2001년 이래 친환경농산물 재배면적과 농가 수는 꾸준히 증가하여 왔다(Jung, 2017). 하지만, 친환경적 농작물 재배 시 사용되는 유기농자재는 비점오염원의 주요 원인이 될 수 있다. 우리나라의 친환경농업 관련 연구는 주로 유기농자재 사용에 따른 작물생산성 증대 효과 또는 방제 효과 등이며 비점오염원에 의한 오염물질 부하량 산정 및 환경특성 변화 등에 대한 연구 결과는 미흡하다. 따라서 최근의 기후변화와 다양한 영농형태에 따른 농업환경 여건변화에 따른 농경지에서의 비점오염원의 모니터링이

Corresponding Author : Jang, Taeil

Tel : +81-63-270-2518

E-Mail : Tjang@Jbnu.Ac.Kr

필요한 실정이다.

환경부에서는 1995년 비점오염원 조사연구 사업을 통해 강우시 비점오염을 실측하여 유효우량비 방법으로 도시용지, 논, 밭, 목장용지, 산지의 유출부하 원단위를 제시하였다(Shin, 2007). 하지만 단기적이고 특정 지역에서의 자료를 이용하여 원단위를 산정하였기 때문에 다양한 비점오염원의 유출 특성을 충분히 반영하지 못한 약점이 있다. 이에 국립환경과학원(2009, 2012)에서는 “강우유출수 조사방법(이하, NIER 방법)”의 제정을 통해서 조사방법과 원단위 산정방법을 통일하였으며, 토지이용별로 계급별 강수량과 EMC, 유출율을 이용하는 원단위 산정방법을 제안하였다. 그러나 농경지의 경우 토양특성, 지형특성, 작물특성 등 영농환경이 다양하여 환경부에서 수행한 환경기초조사사업에서의 연구결과로 농경지에서의 원단위를 대표하기에는 한계가 있다. 또한 축산분뇨 등 유기질 비료 사용에 따른 비점오염원 부하량 평가 등 영농여건변화에 따른 수환경과의 상관관계에 대한 연구는 미흡한 실정이다. Choi et al.(2007)은 환경부에서 제안한 방법을 이용하여 논에서의 원단위를 평가하여 영농활동(비료의 종류, 시비시기, 살포량, 이앙일자)을 반영하지 못함으로 인한 제한적인 결과 도출이 나타난다고 판단하여 제시된 범용식의 수정을 제안한 바 있다.

토지지목별 원단위 산정과 관련하여 Kim et al.(2007)은 10년 평균 일 강수량과 유량가중평균농도, 토지이용형태별 유출율을 이용하여 공업용지, 상업용지, 주거용지, 주차장, 도로에서 BOD, SS, T-N, T-P의 원단위를 제시하였다. Song et al.(2012)은 산림복합 소유역에서의 비점오염원 부하량 산정을 위하여 강우유출 특성분석과 EMC를 산정하였으며, Jung et al.(2014)은 확률분포를 이용한 EMC와 대표 유출율을 이용하여 논에서의 원단위를 산정하였다. 논에서의 원단위 산정을 위하여 Choi et al.(2015)은 NIER 방법을 포함한 대표적인 4가지 방법을 이용하여 각 결과를 비교하고 NIER 방법의 적용성을 검

토하였다. 밭 포장에 대한 연구는 비점오염원 저감방법에 따른 부하량 평가 연구가 수행된 바 있으며(KRC RRI, 2014), 밭에서의 EMC를 이용한 원단위 연구는 미흡한 상황이다. 축산 및 농업 비점오염원과 관련하여 Jeon et al.(2010)은 원단위 배출부하량을 이용한 농업 비점오염원의 배출특성을 분석하였으며, Woo et al.(2015)은 토지이용 형태, 토지계 및 축산계 부하량, 강우량 등 유출 특성을 고려하여 비점오염원 영향을 평가하였다. Jang et al.(2016)은 축산 퇴액비 시비에 따른 농경지에서의 수계로 유출되는 비점오염원의 특성을 비료성분별로 차이점을 분석하였다. 유기 논에서의 토양의 물리·화학적 특성의 비교 연구는 수행된 바 있으나(Park et al., 2015; Gu et al., 2017), 유기 농경지에서의 원단위 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존 원단위 산정의 기준이 된 관행적인 농경지뿐만 아니라 가축분뇨 액비사용 논과 유기농법 적용 밭 등 다양한 영농환경에 따른 농경지에서의 원단위를 평가하였다. 기존 농경지 부하량 평가 연구는 각기 다른 원단위 산정방법을 사용하여 결과의 직접적인 비교에는 어려움이 있다. 연구결과의 정량적 비교를 위하여 가장 많이 사용되고 있는 대표적인 4가지 원단위 산정방법(즉, 실측부하량 년 평균치를 이용하는 방법, 산술평균 EMC와 산술평균 유출율을 이용하는 방법, 확률분포에 따른 EMC 중앙값과 대표유출율을 이용하는 방법, NIER 방법)을 이용하여 결과를 분석하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상지구

본 연구는 기존 원단위 산정을 위하여 관행적으로 관리하고 있는 논 및 밭 포장과 그 특성이 다른 농경지를

Table 1. Descriptions of treatment, fertilizer rate, monitoring system in study plots.

Classification	Paddy fields	Upland fields
Treatment (plot 1)	P_B: Liquid manure	U_A: Organic fertilizer + Pesticide-free
Control (plot 2)	P_A: Mineral fertilizer	U_B: Organic fertilizer + Pesticide
Crop	Rice	Sweet potato
Fertilizer rate	Basal N:P=88.9:40.4 kg/ha Panicle N:P=48.5:26.3 kg/ha	Basal N:P=11.1:22.0 kg/ha
Monitoring period	2015-2017 (23 rainfall events)	2016 (14 rainfall events)
Monitoring target	Hydrology + Water quality (BOD, T-N, T-P, TOC)	Hydrology + Water quality (T-N, T-P, COD)

대상으로 진행하였다. 논인 경우 가축분뇨 액비시용 논 포장, 밭인 경우 유기농법을 적용한 밭 포장을 선정하였다. 논 포장은 전북대학교(전북 전주시 덕진구) 내 시험포장으로 관행인 무기질비료를 시비한 논 대조구(P\_A)와 돈분 액비를 시비한 논 처리구(P\_B) 각 1포장으로 구성하였다. 밭 포장은 전라북도 순창군 순창읍에 위치한 관행인 제초제를 살포한 밭 1대조구(U\_B)와 유기농법(무제초제)을 적용한 밭 3처리구(U\_A)로 구성하였다(Table 1). Figure 1은 논 및 밭 포장의 처리구별 구성과 설치된 관측 장비를 보여주고 있다.

논 포장의 토성은 P\_A의 경우 Silt Loam(모래 23%, 실트 71%, 미사 6%), P\_B 경우는 Silt Loam(모래 42%, 실트 54%, 미사 4%)로 분석되었다. 밭 포장의 토성은 B

의 경우 Sandy Loam(모래 62%, 실트 22%, 미사 16%), P\_A의 경우 Sandy Loam(모래 81%, 실트 8%, 미사 11%)으로 나타났으며 각각 평균 6.7도의 유사한 경사도를 유지하고 있다. P\_A와 P\_B의 토양 중 T-N의 함량은 각각 1,014 mg/kg과 1,054.0 mg/kg, T-P의 함량은 각각 364.1 mg/kg과 431.5 mg/kg로 나타나 두 처리구간 큰 차이는 나타나지 않았다. 밭의 경우, U\_A와 U\_B의 토양 중 T-N의 함량은 각각 873 mg/kg과 690 mg/kg, T-P의 함량은 501.5 mg/kg과 247.3 mg/kg로 나타나 U\_B 포장에서 T-N 및 T-P의 농도가 상대적으로 높게 나타났다. 유기농법 적용 특성상 두 처리구간 일정한 거리를 유지해야하기 때문에 현실적으로 유사한 토양분석 결과를 유지하기는 어려웠으며, 원단위 평가시 이러한 차이는 유의한 결과

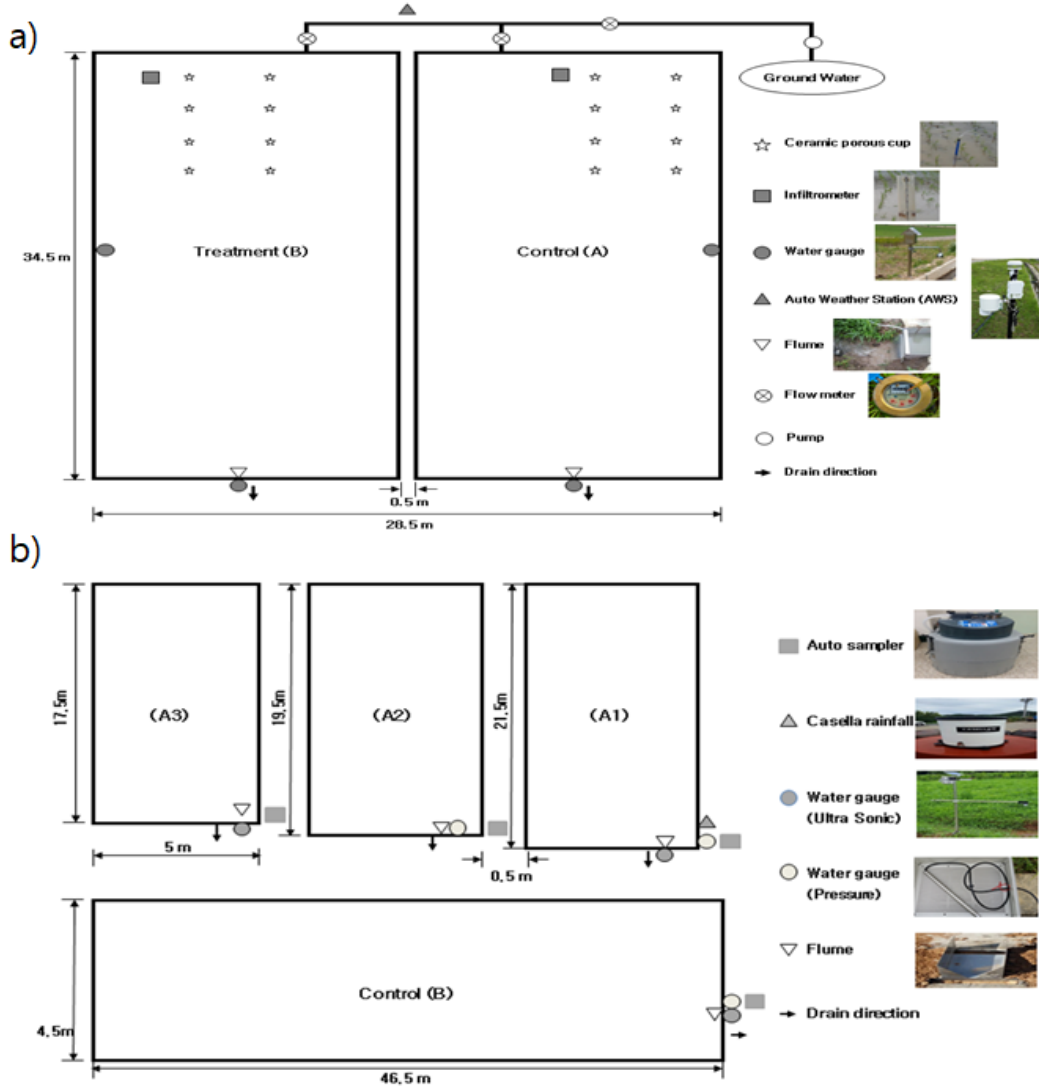


Figure 1. Schematic diagram of a) paddy fields and b) upland fields including monitoring facilities

로 나타나지 않았다.

## 2. 수문 및 수질 조사

논 시험포장의 기상자료를 관측하기 위하여 자동기상 관측기(AWS)를 사용하였고, 관행적으로 사용하고 있는 지하수의 관개량 측정을 위하여 펌프에 수도미터 계량기를 사용하였다. 또한 유출구에는 사각형 위어를 설치하고, 부자식 및 압력식 수위계(Orpheus mini, OTT, Germany)를 각 처리구별로 설치하였다.

밭 시험포장의 기상자료는 기상청 자료를 활용하였으며, 강수량은 시험포장 인근에 강수량계(TBRG, Casella, UK)를 설치하여 측정하였다. 유출구에는 삼각형 위어 및 압력식 수위계를 설치하여 측정하였다.

강우시 유출수의 시료 샘플을 위해 배수로 말단에 자동채수기(ISCO 6712, Teledyne Isco, USA)를 설치하여 1 시간 간격을 유지하면서 시료를 채취하였으며(NIER, 2012), 채취된 시료는 수질공정시험법에 의거해 분석하였다(MOE 2008).

## 3. 원단위 산정방법

원단위 산정방법은 기존 연구에서 Choi et al.(2015)이 사용한 4가지 방법인 1) 관측치 연평균 부하량을 이용한 원단위 산정방법(M 1), 2) 산술평균 EMC와 유출율을 이용한 원단위 산정방법(M 2), 3)확률분포 EMC를 이용한 원단위 산정방법(M 3), 4) NIER 방법(NIER, 2012) (M 4)을 본 대상지구에서 관측한 결과에 적용하여 평가하였다 (이하 각 방법은 M 1, M 2, M 3, M 4로 기술). 그중 국립환경과학원에서 제시한 방법(NIER, 2012)은 강우의 특

성을 반영하기 위하여 강우계급별로 대표 유출율과 대표 EMC를 산정하는 방법으로 각 강우계급별 EMC에 계급별 강우량비를 계산함으로써 대표 EMC를 산정한다. 원단위는 대표 유출율과 대표 EMC, 대표 강수량의 곱으로 산정하고, 전국 평균 원단위 산정을 위해 유출율과 수질 자료는 관측지역 자료를 이용하며, 강수량은 각 수계별 자료를 이용하여 수계별 원단위 산정 후 이를 평균하여 계산한다. 따라서, M 4 방법은 강우시 발생하는 유출 특성(수질, 유량)만을 고려한다. 기타 각 방법별 자세한 내용은 Choi et al.(2015)에 제시되어 있다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 수문분석

조사기간(매년 6월-9월) 중 논에서의 강수량은 2015년 370.8 mm, 2016년 582.8 mm로 평년대비 가뭄으로 인하여 상대적으로 적은 강수량을 보여주고, 관개량은 P\_A에서 평균 251.7 mm, P\_B에서 평균 290.9 mm로 조사되었다. 밭의 경우 또한 가뭄으로 인하여 강수량은 433.1 mm로 평년 대비 낮게 관측되었다.

Table 2는 국립환경과학원에서 제시한 방법(NIER, 2012)에 따라 10년의 강우자료를 바탕으로 총 4단계의 강우계급을 구분하여 전주의 관측자료와 함께 논에서의 대표유출율을 산정한 결과이다. 0-10 mm의 강우계급 구간의 경우 가뭄으로 적정조사 횟수를 만족하기 못하였다. 각 처리구별 유출율은 전체적으로 차이가 없으나 50 mm 이상 강우계급 구간에서 P\_A의 유출율이 0.56으로 P\_B 대비 1.14배 높게 나타났다. 대표유출로 환산한 경

Table 2. Monitoring number and runoff ratio in paddy fields of rainfall classes according to NIER method.

Rainfall class	0-10 mm		10-30 mm		30-50 mm		50 mm 이상	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Monitoring number	2		10		3		8	
Runoff ratio	0.38	0.41	0.24	0.23	0.37	0.39	0.56	0.49
Classified rainfall amount	236.7		375.9		304.0		331.7	
Rainfall ratio in Jeonju	0.19		0.30		0.24		0.27	
Representative runoff ratio	0.07	0.08	0.07	0.07	0.09	0.09	0.15	0.13

A: Mineral fertilizer plot

B: Liquid manure plot

Table 3. Monitoring number and runoff ratio in upland fields of rainfall classes according to NIER method.

Rainfall class	0-10 mm		10-30 mm		30-50 mm		50 mm 이상	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Monitoring number	4		6		2		2	
Runoff ratio	0.32	0.28	0.30	0.64	0.26	0.70	0.22	0.58
Classified rainfall amount	235.7		325.6		266.7		315.9	
Rainfall ratio in Sunchang	0.21		0.28		0.23		0.28	
Representative runoff ratio	0.07	0.06	0.08	0.18	0.06	0.16	0.06	0.16

A: Organic plot  
B: Non-organic plot

우 그 차이는 더 좁혀지는 것으로 나타났다. 인접 논 특성상 토성 및 경사도 등이 유사하여 두 처리구간 유출율에서의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

Table 3은 10년의 강우자료를 바탕으로 총 4단계의 강우계급을 구분하여 순창의 관측자료와 함께 밭에서의 대표유출율을 산정한 결과이다. 포장 현지사정으로 연속적인 모니터링의 수행이 어려워 2016년의 자료만으로 대표유출율 등을 산정하였다. 본 결과의 경우 국립환경과학원에서 제시한 적정조사 횟수를 만족하지 못하여 M 4 방법의 결과 해석에 제한적일 수 있어 다양한 방법을 통하여 비교하여 그 처리구에 따른 경향을 파악하였다. 각 처리구별 유출율은 0-10 mm 강우계급을 제외하면 U\_A가 U\_B 보다 각각 0.47배, 0.37배, 0.38배 유출이 낮게 나타났다. 이는 일반적으로 유기밭의 경우 지표의 잡초 관리가 제대로 이루어지지 않기 때문이며(또는 관행적으로 일부 잡초를 제거하지 않거나 주기적으로 벌초하는 영농형태를 보여줌), 본 유기농법을 적용한 밭포장의 경우 또한 지표의 잡초 등이 필터 역할을 하여 유출율이 상대적으로 낮게 나타났다.

## 2. 수질분석

시험포장의 수질농도를 처리구별로 비교하기 위하여 Figure 2와 Figure 3과 같이 박스도표(Box plot)를 사용하였다. Figure 2를 보면, 자료기간 동안 논 포장의 T-N 평균수질농도는 P\_A에서 1.25 (중간값 0.72) mg/l, P\_B에서 2.65 (중간값 1.77) mg/l로 나타났다. T-N의 최고수질농도는 P\_A와 P\_B에서 각각 9.91 mg/l와 22.43 mg/l로 나타났다. P\_A 대비 P\_B 처리구에서 평균값 기준 2.1배, 최고값 기준 2.26배 높게 나타났다.

T-P의 평균수질농도는 P\_A에서 0.15 (중간값 0.11) mg/l, P\_B에서 1.97 (중간값 0.78) mg/l로 나타났다. T-P

의 최고수질농도는 P\_A, P\_B에서 각각 1.89 mg/l와 11.50 mg/l로 나타났다. P\_A 대비 P\_B 처리구에서 평균값 기준 13.3배 높게 나타났다. 이는 액비의 시비 기준을 질소 기준으로 산정하였기 때문에 상대적으로 T-P에서 높은 차이를 보여주고 있다.

TOC의 평균수질농도는 P\_A에서 12.9 (중간값 8.3) mg/l, P\_B에서 21.4 (중간값 14.5) mg/l로 나타났으며, P\_A 대비 P\_B 처리구에서 평균값 기준 1.6배 높게 나타났다. BOD의 평균수질농도는 P\_A에서 3.2 (중간값 2.4) mg/l, P\_B에서 5.7 (중간값 3.2) mg/l로 나타났으며, P\_A 대비 P\_B 처리구에서 평균값 기준 1.8배 높게 나타났다.

Figure 3에서와 같이, 자료기간 동안 밭 포장의 T-N 평균수질농도는 U\_A에서 2.00 (중간값 1.66) mg/l, U\_B에서 4.54 (중간값 3.49) mg/l로 나타났다. T-N의 최고수질농도는 U\_A, U\_B에서 각각 3.93 mg/l와 11.76 mg/l로 나타났으며, U\_A 대비 U\_B 대조구에서 평균값 기준 2.3배 높게 나타났다. T-N의 평균수질농도가 U\_B에서 높게 나타난 것은 잡초 등의 지표피복 차이에 따른 유출량의 상대적 증가로 인한 질소의 용탈이 더 크기 때문으로 추정된다. 재배 전후의 T-N 토양분석 결과, U\_A에서는 477 mg/kg 축적된 것으로 나타났으나 U\_B에서 80 mg/kg 감소한 것으로 나타나 지표피복 정도에 따른 영양물질의 용탈이 다른 것으로 판단된다.

T-P의 평균수질농도는 U\_A에서 0.33 (중간값 0.33) mg/l, U\_B에서 0.33 (중간값 0.24) mg/l로 나타났으며, 최고수질농도는 U\_A, U\_B에서 각각 0.66 mg/l와 0.79 mg/l로 나타났다. COD의 평균수질농도는 U\_A에서 20.3 (중간값 18.9) mg/l, U\_B에서 20.1 (중간값 23.0) mg/l로 나타났으며, U\_A 대비 U\_B 처리구에서 평균값 기준 0.99배로 유사한 수준으로 나타났다.

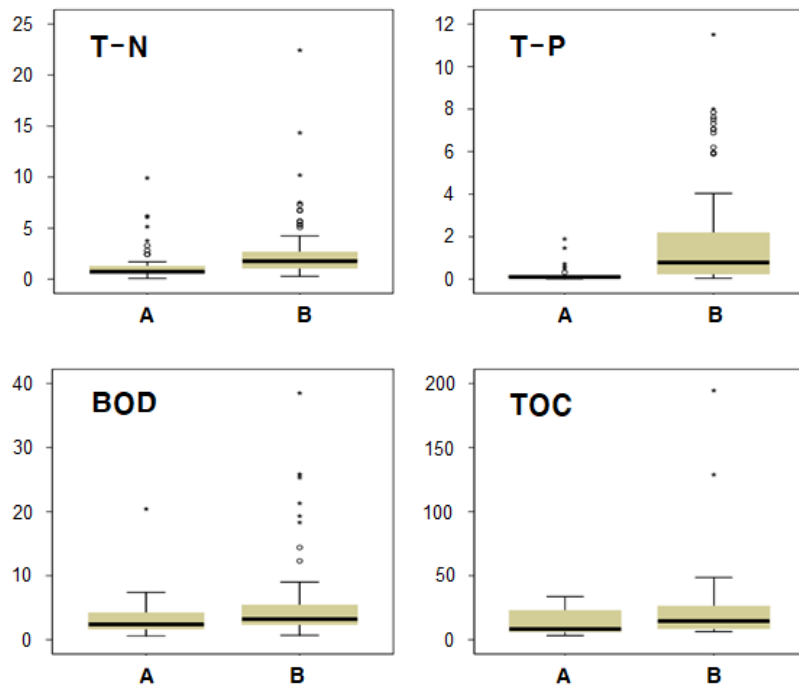


Figure 2. Box-plot of water quality concentrations in paddy fields for study period (A means mineral fertilizer treated plot and B means liquid manure treated plot.)

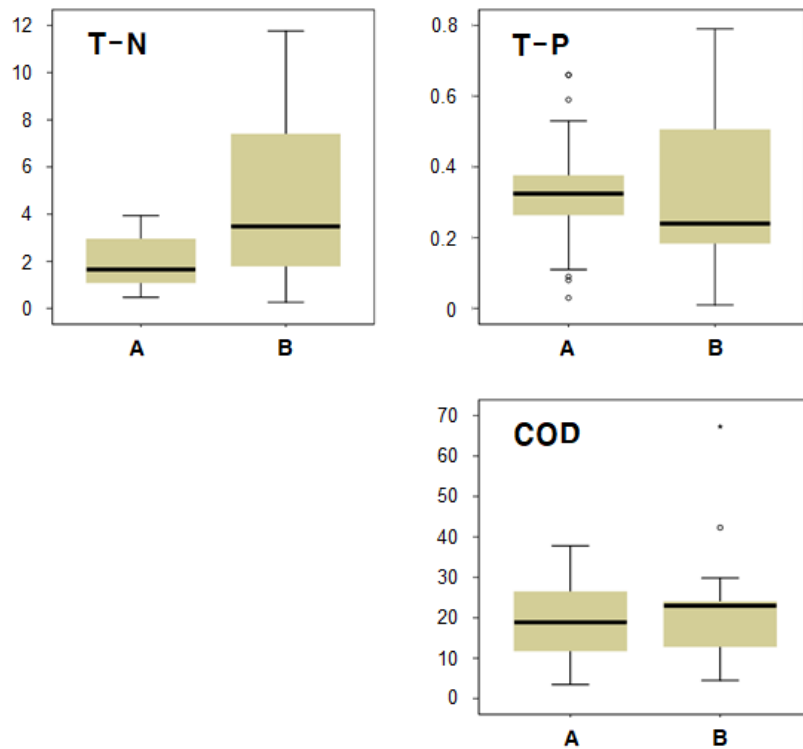


Figure 3. Box-plot of water quality concentrations in upland fields for study period (A means organic plot and B means non-organic plot.)

### 3. 원단위분석

각 시험포장에서 15분 간격의 유량자료와 1시간 또는 2시간 단위의 수질분석 자료를 이용하여 실측 모니터링 부하량과 원단위를 평가하였다. 논에서의 T-N 부하량은 P\_B가 P\_A 보다 2015년에는 2.27 kg/ha로 2.5배 높았지만, 2016년에는 1.79 kg/ha로 1.0배, 2017년 7.52 kg/ha로 1.2배로 나타났다. T-P의 부하량은 P\_B가 P\_A 보다 2015년에는 1.51 kg/ha로 25.5배 높았고, 2016년에는 0.45 kg/ha로 1.9배, 2017년 0.54 kg/ha로 1.1배로 나타났다. 이는 액비 살포 후 강우량, 강우강도, 강우시기 등 강우특성이 매년 다른 형태로 나타났기 때문에 연도별 처리구에서의 차이가 나타났으며, 관측기관 동안의 T-P의 부하량은 P\_B가 P\_A 보다 3.1배 높게 나타났다. 밭 포장의 경우 T-N의 부하량은 P\_B가 P\_A 보다 6.37 kg/ha로 4.4 배 높았고, T-P의 부하량은 0.56 kg/ha로 1.8배 높게 나타났다. 각각의 부하량을 단위면적당 일 부하량 단위로 환산하여 비교하면 Table 4 및 Table 5와 같다.

Table 4에서와 같이, 논에서의 실측 부하량(M 1 방법)은 P\_B가 P\_A 보다 BOD에서 1.3배, T-N에서 1.3배, T-P에서 3.1배, TOC에서 1.1배로 나타났다. T-P에서 상대적으로 높게 나타난 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 액비의 시비량이 질소기준으로 살포되었기 때문이다. M 2 방법은 BOD를 제외하면 P\_B에서 각 수질항목별로 과대하게 평가되었으나 P\_A에서는 과소하게 산정되었다. M 3 방법을 적용하기 위하여 Kolmogorov-Smirnov 검증 방법으로 적합성을 확인하였으며, 그중 Log-Normal 분포모

형과 Gamma 분포모형에서 적합성이 있는 것으로 나타났다. M 3 방법은 BOD의 P\_A와 T-P의 두 처리구에서 유의한 수준을 벗어난 것으로 평가되었으며, 전체적으로 과소하게 산정되었다. M 4 방법이 다른 방법에 비하여 시험포장의 실측 부하량에 가장 근접하게 평가된 것으로 나타났다. BOD를 제외하면 P\_A에서는 실측 부하량에 근접한 것으로 나타난 반면, 액비시비구인 P\_B에서는 T-N, T-P, TOC에서 1.9배, 2.1배, 2.3배 높게 산정되었다.

Choi et al. (2015)의 연구결과(관행 논)에 의하면, M 2 방법은 T-N, T-P, TOC에서 약 1.2배로 산정되어 본 연구결과와 상반된 경향을 보였다. 이는 논에서의 유출은 강우의 패턴에 큰 영향을 받으며, 본 연구기간은 가뭄이 심각한 2015-2017년 동안 수행된 결과로 원단위 산정에 필요한 대표 EMC의 기준값이 평년에 비하여 다른 분포를 보여주기 때문으로 보인다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 NIER 방법은 강우등급을 구분하여 원단위를 산정하고 있다. M 3 방법은 수질항목별 약 0.8배로 과소하게 산정되어 본 연구결과와 같은 경향을 보였다. 본 연구결과 중 M 4 방법에 의한 결과는 관행논의 경우 유사한 경향을 보여주고 있으나, 액비처리구의 경우 BOD를 제외하면 Choi et al.(2015)과 NIER(2015)의 연구결과에 비하여 2배 이상의 차이를 보여주고 있다.

본 연구의 M 1의 연구방법으로 측정된 선행연구(Cho and Choi, 2001; Cho and Han, 2002; Yoon et al, 2008)의 경우 T-N은 8.3-31.2 kg/km<sup>2</sup>/year, T-P는 0.4-1.01 kg/km<sup>2</sup>/year로 나타났으며, 다른 선행연구 결과(Choi et al. 2015)는 T-N은 3.1-19.9 kg/km<sup>2</sup>/year, T-P는 0.3-2.5

Table 4. Comparison of unit load results of water quality contents in paddy fields determined by four different methods.

Classification	BOD		T-N		T-P		TOC		
	A	B	A	B	A	B	A	B	
M 1	7.75	10.06	3.02	3.86	0.27	0.84	15.56	17.62	
M 2	3.90	5.06	1.68	6.00	0.17	1.79	9.50	33.00	
M 3	Log Normal	3.23**	3.90*	1.14*	1.43*	0.14*	0.29*	8.56**	10.87**
	Gamma	3.51*	4.20*	1.26**	1.56*	0.16*	0.43*	9.20**	11.62**
M 4	4.97	5.40	2.15	7.3	0.24	1.80	13.58	40.5	
Choi et al. (2015)	5.46 (M1)		3.99 (M1)		0.55 (M1)		11.91 (M1)		
	5.92 (M4)		3.31 (M4)		0.56 (M4)		12.49 (M4)		
NIER (2015)	4.24 (1.44-11.96)		2.92 (-)		0.47 (0.14-1.34)		-		
	references: 5.5-25.90		references: 19.30-50.00		references: 0.04-16.40		-		

See chapter 3.3 for abbreviations of M 1, M 2, M 3 and M 4.  
 A means mineral fertilizer plot and B means liquid manure plot.  
 Significant level = \*: 0.05, \*\*: 0.01, \*\*\*: <0.001  
 Unit: kg/km<sup>2</sup>/year

Table 5. Comparison of unit load results of water quality contents in upland fields determined by four different methods.

Classification		COD		T-N		T-P	
		A	B	A	B	A	B
M 1		17.62	44.99	1.46	6.37	0.31	0.56
M 2		24.79	22.00	2.56	5.12	0.31	0.30
M 3	Log Normal	20.33*	17.37***	2.00*	3.03*	0.34*	0.25*
	Gamma	21.62*	18.15***	2.15*	3.45*	0.36*	0.27*
M 4		18.00	40.88	1.70	7.30	0.30	0.70
NIER (2015)		-		3.15		1.40(0.32-10.90)	
				references: 1.28-912.0		references: 0.30-3.98	

See chapter 3.3 for abbreviations of M 1, M 2, M 3 and M 4.  
 A means organic plot and B means non-organic plot.  
 Significant level = \*: 0.05, \*\*: 0.01, \*\*\*: 0.001.  
 Unit: kg/km<sup>2</sup>/year

kg/km<sup>2</sup>/year로 다양하게 나타났다. 이는 기존 연구결과에는 기저유출에 의한 부하량을 포함하는 경우와 포함하지 않는 경우에 따른 차이가 가장 큰 것으로 보인다. 본 연구결과는 물꼬관리를 통하여 기저유출이 거의 없는 경우에 해당하여 상대적으로 작게 나타났다. Cho and Han(2002)의 경우 질소의 시비량이 173 kg/ha로 다른 연구에 비하여 상대적으로 많은 양이 투입되어 부하량에 큰 영향을 미친 것으로 나타났으며, Cho and Choi(2001) 경우는 물꼬높이에 대한 정보는 없으나 유출량이 1329mm로 다른 포장보다 높게 나타났다.

본 연구는 NIER 방법 기준으로 일부 강우계급 구간에서 적정 자료횟수에 미치지 못하지만 액비비시와 같은 농업특성에 따른 부하량의 경향성 비교는 가능한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 농업 특성상 물관리 형태, 비료의 종류 및 반응특성, 작물, 시비시기 등에 따라 다양한 결과로 나타날 수 있음을 보여주는 것으로 현재 사용되고 있는 농경지에서의 원단위는 향후 이러한 농업의 다양성을 반영할 수 있는 방향으로의 방안 검토와 보완이 필요할 것으로 판단된다.

밭 포장의 경우 현지 여건(포장 임대 문제)과 가뭄으로 인하여 NIER 방법의 적정조사 횟수에 미치지 못하지만 유기농의 유출 특성을 반영한 원단위의 산정과 각 방법별 비교를 통하여 유기 농경지에서의 발생부하량의 경향을 비교하였다. Table 5에서와 같이, 밭에서의 실측 부하량(M 1 방법)은 U\_B가 U\_A 보다 COD에서 2.6배, T-N에서 4.4배, T-P에서 1.8배로 나타나 논에 비하여 두 처리구간 차이가 높게 나타났다. 이는 앞서의 수문 및 수질 분석 결과에서 보듯이 수질의 차이보다는 유출의 차이가 더 크기 때문이다. M 2 및 M 3 방법에서는 T-P

를 제외하면 U\_B에서는 과소하게 평가되었고, 유기농인 U\_A에서는 과대하게 산정되었다. 반면 M 4 방법은 수질항목별 0.9에서 1.3배로 다른 방법에 비하여 시험포장의 실측 부하량에 가장 근접하게 평가된 것으로 나타났다. COD를 제외하면 U\_A에서는 실측 부하량에 근접한 것으로 나타난 반면, U\_B에서는 COD, T-N, T-P에서 1.9배, 2.1배, 2.3배 높게 산정되었다. NIER(2015)에서 제시한 밭 포장에서의 평균 원단위보다 T-N은 54%, T-P는 20% 수준으로 낮게 나타났다.

비록 모니터링 기간의 제한과 포장의 지역적 특성(경사도 6.7도)의 한계는 있을 수 있으나 유기 밭 포장에서 상대적으로 부하량이 작게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 논에서와 마찬가지로 농업의 다양한 특성을 고려한 원단위의 산정과 농경지에서의 비점오염원 발생량 산정시 정책적인 고려가 필요할 것으로 보인다.

액비비시 논인 경우, 강우량, 강우강도, 강우시기에 따라 매년 나타나는 부하량의 경향이 다르게 나타났으며, 강우특성을 고려한 액비의 살포(영농활동)가 비점오염원 관리에 중요한 것으로 보인다. 유기농경지의 경우 적정 잡초의 관리가 비점오염 저감에 중요한 인자로 평가되었으며, 유기농 밭에서 부하량이 작게 나타난 이유는 잡초 등에 의한 지표피복 영향으로 유출율이 낮았기 때문이다. 다만, 이를 위하여 고령화에 따른 제조작업 등 노동력 문제, 작물과의 양분 결합 등 작물재배 여건과 수환경과의 상관관계 등 추가적인 고찰이 필요하다. 따라서 현행 원단위의 한계를 최소화하고 농경지에서의 정량적인 원단위 산정을 위해서는 다양한 영농환경을 고려한 추가적인 모니터링과 원단위 산정 연구가 필요할 것으로 판단된다.



#### IV. 요약 및 결론

최근 농경지에서는 가축분뇨 유래 액비의 시용이 증가하고 있으며, 유기농업에 대한 관심 또한 증대되고 있는 등 농업환경이 다양하게 변화하고 있다. 본 연구에서는 농경지에서의 기존 원단위와 다양한 여건의 농경지에서의 수질항목별 원단위를 평가하였다. 본 연구에서는 원단위를 산정하기 위해 실측 자료를 이용한 연평균 부하량 산정방법, 수질항목별 산술평균 EMC와 유출율을 이용하는 방법, 확률분포 모형의 EMC와 유출율을 이용하는 방법, NIER 방법에 의한 원단위 산정방법(강우 계급과 강우가중치 이용)을 비교 분석하였다.

논과 밭에서 처리구별 및 산정방법별로 원단위를 평가한 결과는 기존 연구결과와 다른 다양한 경향을 보여주었다. 논에서의 처리수준별 비교 결과는 액비 처리구 논에서 상대적으로 높게 평가되었다. 밭의 경우, 처리방법별 산정 결과는 유사하나 유기농 밭에서의 부하량이 상대적으로 낮게 나타났다. 각 방법 중 국립환경과학원에서 제시한 NIER 방법이 논과 밭 모두에서 각 처리구별 실측 부하량에 가장 근접한 값을 보여주었다. 액비시비 논, 유기농법 적용 밭 등 관행농이 아닌 경우 환경부에서 제시한 원단위와 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 수질오염총량제와 같이 환경정책을 수행할 경우 다양한 영농환경을 고려한 원단위의 검토와 적용이 필요하다는 것을 의미한다. 이러한 연구를 위해서는 다양한 영농환경을 고려한 장기간의 지속적인 모니터링과 결과의 분석이 필요하다.

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01086 1052017; 과제명: 유기농법 적용에 따른 수질환경 영향 평가)의 지원에 의해 이루어진 것임.

#### References

1. Cho, J.Y., Choi, J.K., 2001, Nitrogen and phosphorus losses from a broad paddy field in central Korea. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 32, 2395-2410.
2. Cho, J.Y., Han, K.W., 2002, Nutrient losses from a paddy field plot in central Korea. *Water Air Soil, and Pollution*, 134, 215-228.
3. Choi, W.J., Kwak, J.H., Jung, J.W., Yoon, K.S., Chang, N.I., Huh, Y.J., 2007, Application of simple regression models for pollutants load estimation of paddy to Yeongsan and Seomjin river watersheds. *Journal of the Korean Society Agricultural Engineers*, 49(1), 89-97.
4. Choi, D., Jung, J.W., Yoon, K.S., Choi, W.J., Cho, S., Beom, J., Yoo, S., 2015, Comparison of unit load from paddy field by various estimation methods. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 24(5), 407-419.
5. Gu, B.W., Lee, T.G., Kang, K., Hong, S.G., Hong, S.G., Jang, T., Kim, J.H., Park, S.J., 2017, Comparison of soil chemical properties and heavy metal contents in organic and conventional paddy of Yongin and Anseong. *Journal of the Korean Society Agricultural Engineers*, 59(3), 1-10.
6. Jang, J.R., Hong, E.M., Song, I.H., Kang, M.S., Kang, Cho, J.Y., Cho, Y.K., 2016, Impact of different fertilizer types on nutrient pollutant loads from rice paddy fields in South Korea. *Irrigation and Drainage*, 65(S2), 105-111.
7. Jeon, J.H., Kim T.I., Choi, D.H., Lim, K.J., Kim, T.D., 2010, Hydrologic calibration of HSPF model using parameter estimation (PEST) program at Imha watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 26(5), 802-809.
8. Jung, J.W., Choi, D.H., Yoon, K.S., 2014, Selecting probability distribution of event mean concentrations from paddy fields, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 23(4), 285-295.
9. Jung, K.S., 2017, Environment-friendly agriculture, consider its safety and environment. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 59(2), 2-9.
10. Kim, M.R., Shin, D.S., Kinag, H.S., Rhw, D.H., 2007, An analysis of discharge unit-load impervious land uses. *Seoul Studies*, 8(2), 187-196.
11. KRCC RRI, 2014, Development of agricultural nonpoint source pollution reduction measures on the Saemangeum watershed. Korea Rural Community Cooperation (KRCC) Rural Research Institute (RRI).
12. MOE, 2008, Standard methods of water sampling and analysis. Ministry of Environment.
13. NIER. 2009, Rainfall-runoff survey method. National Institute of Environmental Research (NIER).

14. NIER, 2012, Rainfall-runoff survey method. National Institute of Environmental Research (NIER).
15. NIER, 2015, Results of nonpoint sources pollution survey and its direction. National Institute of Environmental Research (NIER).
16. Park, J.S., Wang, L., Kang, K., Gu, B.W., Kim, H.J., Hong, S.G., Hong, S.G., Park, S.J.. 2015, Comparison of soil chemistry and environmental characteristics of organic paddy and conventional paddy before basal fertilizer application. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 57(6), 47-57.
17. Shin, D.S., 2007, Basic monitoring concept for revised unit-load on NPS. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 23(4), 429-433.
18. Song, I.H., Kang, M.S., Hwang, S.H., Song, J.H., 2012, Characteristic and EMCs of NPS pollutants runoff from a forest-paddy composite watershed. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 54(4), 9-17.
19. Woo, H.J., Jang, T., Choi, J.K., Son, J.K., 2015, Prioritizing subwatersheds for non-point source pollution management in Saemangeum watershed using AHP technique. *Journal of the Korean Society of Rural Planning*, 21(3), 101-112.
20. Yoon, K.S., Cho, J.Y., Choi, J.K., Son, J.G., 2006, Water management and N, P losses from paddy fields in Southern Korea. *Journal of American Water Resources Association*, 42, 1205-1216.

- 
- Received 31 October 2017
  - First Revised 9 November 2017
  - Finally Revised 10 November 2017
  - Accepted 10 November 2017