

영농형태별 영농기간 동안 비강우시 논 유출수의 수질 항목별 확률분포 추정

최동호 · 허승오 · 김민경¹ · 엽소진 · 최순군*

국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과, ¹농촌진흥청 기술협력국 국제기술협력과

The Estimation of Probability Distribution by Water Quality Constituents Discharged from Paddy Fields during Non-storm Period. DongHo Choi (0000-0001-7327-0624), Seung-Oh Hur (0000-0001-5388-9657), Min-Kyeong Kim (0000-0003-4148-055X)¹, So-Jin Yeob (0000-0002-4732-6273) and Soon-Kun Choi (0000-0003-3494-5371)* (Climate Change & Agroecology Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea; ¹International Technology Cooperation Center (ITCC), Rural Development Administration, Jeonju 54875, Republic of Korea)

Abstract Analysis of water quality distribution is very important for river water quality management. Recently, various studies have been conducted on the analysis of water quality distribution according to reduction methods of nonpoint pollutant. The objective of this study was to select the probability distributions of water quality constituents (T-N, T-P, COD, SS) according to the farming forms (control, slow release fertilizer, water depth control) during non-storm period in the paddy fields. The field monitoring was conducted monitoring site located in Baeksan-myun, Buan-gun, Jeollabuk-do, Korea during non-storm period from May to September in 2016. Our results showed that there were no differences in water quality among three different farming forms, except for SS of control and water depth control. K-S method was used to analyzed the probability distributions of T-N, T-P, COD and SS concentrations discharged from paddy fields. As a results of the fitness analysis, T-N was not suitable for the normal probability distribution in the slow release fertilizer treatment, and the log-normal probability distribution was not suitable for the T-P in control treatment. The gamma probability distribution showed that T-N and T-P in control and slow release fertilizer treatment were not suitable. The Weibull probability distribution was found to be suitable for all water quality constituents of control, slow release fertilizer, and water depth control treatments. However, our results presented some differences from previous studies. Therefore, it is necessary to analyze the characteristics of pollutants flowing out in difference periods according to various farming types. The result of this study can help to understand the water quality characteristics of the river.

Key words: probability distribution, non-storm period, paddy fields

서 론

Manuscript received 5 November 2018, revised 3 December 2018,
revision accepted 13 February 2019
* Corresponding author: Tel: +82-63-238-2504, Fax: +82-63-238-3823,
E-mail: soonkun@korea.kr

수계로 유입되는 토지계의 비점오염원은 꾸준히 증가하여 2020년에 BOD는 71.2%, T-P는 68.6%까지 증가할 것으로 보고되고 있다 (Relevant Ministerial Consortium,

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

2012). 특히, 농업에서 하천의 오염부하에 미치는 기여도는 약 30% 이상을 차지하는 것으로 보고되고 있어 수질 개선을 위해서는 농업 부분의 관리가 필요하다(Choi and Jang, 2014). 특히, 수계로 유입된 오염원의 정화 및 개선은 어렵기 때문에, 농업비점오염의 발생을 최소화하기 위한 발생원관리가 요구되고 있다(Relevant Ministerial Consortium, 2012).

비점오염원은 강우시 수계로 유입되는 오염원으로 규정되고 있지만, 관개가 이루어지는 논에서의 강우시 유출 외에도 비강우시에 유출이 발생한다(Lee *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2014, 2017). 이는 현재 평수기와 저수기의 수질과 유량을 이용하여 하천의 건전성을 평가하는 국내의 수질오염총량제에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서, 신뢰성 있는 자료를 이용한 하천의 건전성을 평가를 위해서는 비강우시에 논에서 유출되는 오염물질의 유출 특성 파악을 통한 접근이 필요하다(Kim *et al.*, 2016; Choi *et al.*, 2017b).

논에서는 오염부하 저감을 위해 영농방식의 전환이 필요하며, 대표적으로 절수관개(SRI), 완효성비료 시비, 물꼬관리 등이 있다(Relevant Ministerial Consortium, 2012). 최근, 영농형태별로 유출되는 오염물질을 정량화하기 위한 연구가 수행되고 있으며, Seo *et al.* (2016)은 시험포 구축을 통한 SRI 방법 적용에 따른 논 유출수의 EMC를 분석한 결과 관행논에 비해 생물화학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 총부유물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P) 농도는 19~47%의 저감률을 보이며, 유량과 비점오염부하 사이에 상관관계가 높기 때문에 유출관련인자를 제어하면 비점오염 저감효과를 높일 수 있음을 보고하였다. Kim *et al.* (2016)은 관행구(이하, 대조구)와 물꼬관리처리구, 완효성비료처리구에 따른 T-N, T-P의 유출 특성을 분석한 결과 대조구에 비해 두 처리구 모두 오염부하 저감효과가 있는 것으로 보고하였다. Joo (2018) 역시 토양검정처리구와 완효성비료처리구, 물꼬관리처리구에서 오염물질의 저감효과를 보이는 것으로 보고하였다. 하지만, 선행연구는 물꼬관리 적용과 완효성비료 사용에 따른 오염물질의 양을 평가하는 연구에 집중되었으며, 수질의 분포를 고려한 적정확률분포 선정에 관한 연구는 수행되지 않았다.

논에서 유출수의 수질 특성 분석을 통한 확률분포모형을 선정한 연구사례를 살펴보면, Jin *et al.* (2010)은 논 유출수의 BOD EMC는 Normal, Log-Normal, Gamma, Weibull 분포모형 모두에서 적합성이 있는 것으로 보고하였으며, Jung *et al.* (2014)은 논 유출수의 T-N, T-P, COD, SS의 확률분포를 선정하였으며, 선정된 논 확률분포모형과 하천 수질과 연계하면 확률적으로 논 유출수가 하천 수질에 미

치는 영향을 평가할 수 있다고 하였다. 하지만 논 유출수의 확률분포모형 선정을 위한 연구는 대부분 관행논에서 강우시에 수행이 되었다.

수질 항목별 분포 형태의 분석은 결정론적 모델(해석해 또는 수치해)과 연계하여 모의결과의 불확실성 및 신뢰성 분석 등 지표수 수질관리에 사용이 될 수 있기 때문에 중요하다(Melching and Yoon, 1996; Han *et al.*, 2007). 따라서, 본 연구에서는 영농형태별(대조구, 물꼬관리처리구, 완효성비료처리구) 논에서 영농기간 동안 비강우시에 유출되는 수질의 적정 확률분포를 제시함으로써, 하천과 호소의 수질관리시 활용 가능한 기초자료를 제공함에 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 시험지구

본 연구의 시험지구는 동진강 수계에 위치한 전라북도 부안군 백산면 용계리를 선정하였으며, 대조구, 물꼬관리, 완효성비료 시용구 등 총 3개의 시험지구를 구성하였다. 토성은 미사질 양토이며, 처리구별 면적은 각각 대조구 5.2 ha, 물꼬관리 4.2 ha, 완효성비료 5.6 ha이다. 시험지구의 관개용수는 한국농어촌공사 부안지사에서 관리하는 팔왕양수장(최대 양수량 $0.833 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$, 관개면적 385.2 ha)에서 공급받으며(Fig. 1), 사용되지 못한 용수는 배수로를 통해 하천으로 배수되며, 이는 다시 관개용수로 사용되는 순환관개 시스템으로 구성되어 있다. 대조구와 물꼬관리처리구, 완효성비료처리구의 성공적인 시험포장 운영을 위해서는 농민의 참여가 필수적이다. 따라서, 물꼬관리처리구는 일정 높이의 물꼬관리의 필요성 교육 후 농민에 의해 조절하였으며, 완효성비료는 영농 초기 1회 투입을 권고하였다. 대조구는 농민이 관행적으로 시비 되는 양을 투입하였다.

2. 시료채취 및 분석

본 연구는 영농형태별(대조구, 물꼬관리처리구, 완효성비료처리구)로 2016년 5월부터 9월까지 영농시기에 배수로 말단에서 비강우시 주 1회 모니터링을 수행하였다. 영농형태별로 각각 16회 모니터링을 수행하였으며, 채취된 수질은 국립농업과학원 첨단정밀분석연구동으로 운반 후 수질공정시험법에 준하여 분석하였다. T-N(총질소) 농도와 T-P(총인) 농도는 여과하지 않은 수질시료 50 mL를 취하여 T-N은 알칼리성 과황산칼륨용액 10 mL와 함께 분해병에 넣고 고압증기멸균기(120°C)에서 30분 동안 가열분해 후 자외선흡광광도법으로 비색 정량하였으며, T-P 농도

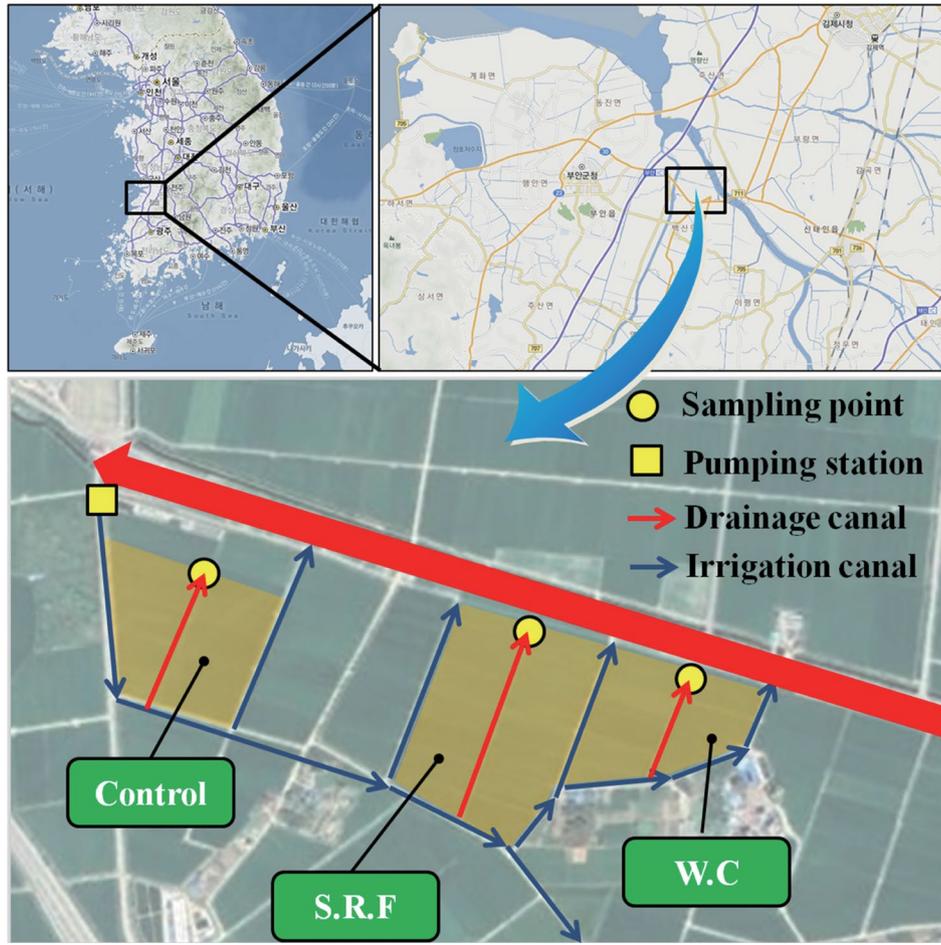


Fig. 1. Location and sampling sites: Control, S.R.F. (slow release fertilizer) and W.C (water depth control).

는 과황산칼륨용액 (4 W/V%) 10 mL와 함께 분해병에 넣고 고압증기멸균기 (120°C)에서 30분 동안 가열분해 후 ascorbic acid reduction법으로 비색 정량하였다. COD (화학적산소요구량) 농도는 0.025N-과망간칼륨과 0.025N-수산화나트륨 용액 각각 10 mL를 넣고 100°C에서 30분 가열한 후 0.025N-과망간산칼륨으로 역적정하였다. SS는 500 mL의 시료를 유리섬유지에 여과한 후 105~110°C에서 2시간 건조한 다음 여과전 유리섬유지와 무게 차이로 정량하였다.

3. 확률분포모형

본 연구에서는 수질 항목별 적절한 확률분포 선정을 위해 여러 연구에서 활용된 VFIT (A routine for fitting homogeneous probability density functions)을 이용하여 정규분포, 대수정규분포, Gamma 분포, Weibull 분포모형의 적합성을 검증하였다(Cooke, 1993).

정규분포의 확률밀도함수는 식 (1)과 같고, 대수정규분포의 평균 및 표준편차를 μ 와 σ , 대수를 취한 확률변수에 대한 평균 및 표준편차를 λ 및 ζ 라 하면 각 확률변수 간의 관계는 식 (2), (3)과 같고, 대수정규분포의 확률밀도함수는 식 (4)와 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (1)$$

$$\mu = \exp\left(\lambda + \frac{1}{2}\zeta^2\right) \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \mu^2[\exp(\zeta^2) - 1] \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

Gamma 분포의 확률밀도함수는 식 (5)와 같으며, Weibull 분포의 확률밀도함수는 식 (6)과 같다.

$$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right) \quad (5)$$

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right) \quad (6)$$

여기서 x 는 확률변수, Γ 는 Gamma 함수, α 및 β 는 매개 변수이다.

결과 및 고찰

1. 영농형태별 수질농도 비교

대조구와 물꼬관리처리구, 완효성비료처리구의 T-N, T-P, COD, SS의 최소, 최대, 평균농도는 Table 1과 같다. T-N의 평균농도는 물꼬관리처리구(6.22 mg L^{-1})에서 가장 높았으며, 대조구(5.23 mg L^{-1})에서 가장 낮은 농도를 보였다. T-P의 평균농도는 대조구(0.57 mg L^{-1})에서 가장 높은 농도를 보인 반면, 물꼬관리처리구(0.37 mg L^{-1})와 완효성비료처리구는 큰 차이를 보이지 않았다. SS의 평균농도는 물꼬관리처리구(87.80 mg L^{-1})로 가장 높은 농도를 보였으며,

대조구에서 가장 낮은 농도를 보였다. COD의 경우 완효성비료처리구(16.2 mg L^{-1})에서 가장 높은 농도를 보인 반면, 대조구(14.7 mg L^{-1})에서 가장 낮은 농도를 보였다. 선행연구 결과와 비교해 보면, Kim *et al.* (2016)이 제시한 대

Table 1. Characteristics of water quality constituents by farming form (unit: mg L^{-1})

Variable	Farming form	N	Range (min-max)	Average (standard error)
T-N	Control	16	1.92~13.04	5.23 (0.95)
	S.R.F*	16	2.04~23.16	6.10 (1.50)
	W.C**	16	2.10~18.24	6.22 (1.13)
T-P	Control	16	0.003~2.69	0.57 (0.15)
	S.R.F	16	0.002~0.63	0.38 (0.05)
	W.C	16	0.001~0.72	0.37 (0.06)
OCOD	Control	16	6.8~30.2	14.7 (1.4)
	S.R.F	16	7.4~26.8	16.2 (1.6)
	W.C	16	7.0~26.1	15.4 (1.5)
SS	Control	16	4.0~124.2	31.6 (7.6)
	S.R.F	16	8.0~122.0	50.4 (7.7)
	W.C	15	14~312.2	87.8 (20.8)

*Slow-Release Fertilizer, **Water control

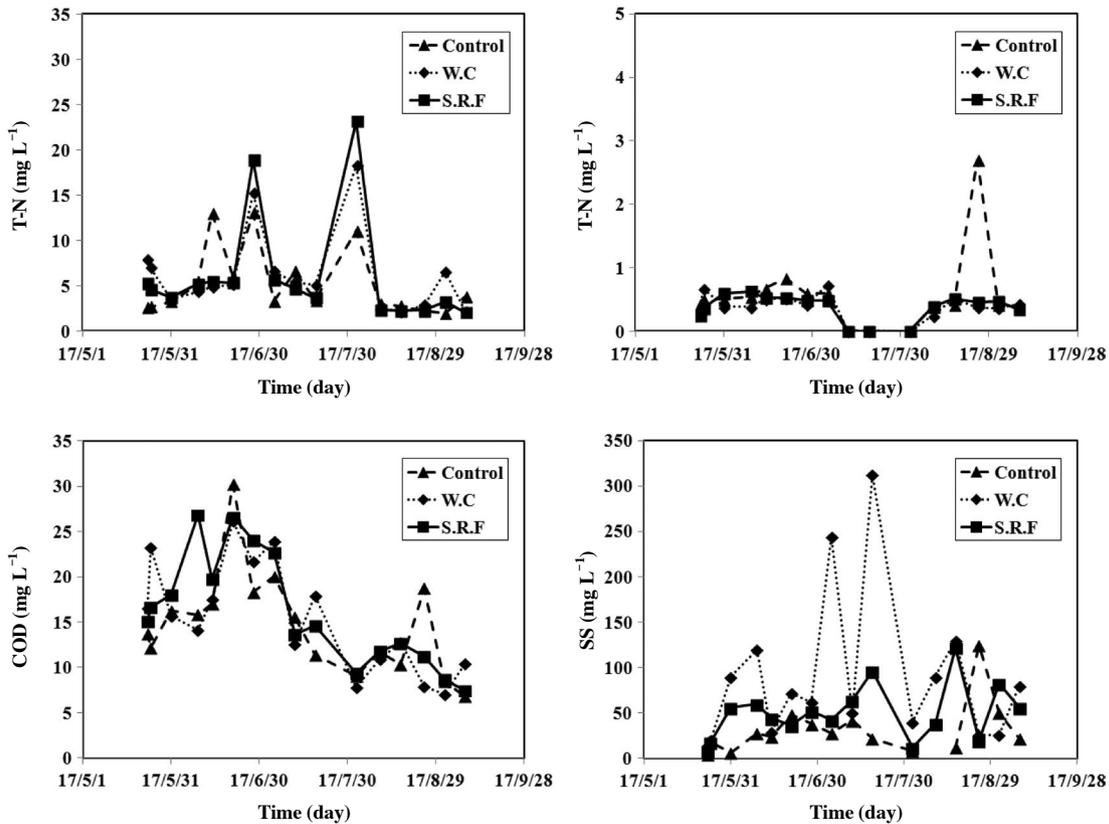


Fig. 2. Comparison of water quality constituents at three different farming forms during non-storm season in agricultural activity period.

조구, 완효성비료처리구, 물꼬관리처리구의 T-N의 농도는 10.10 (0.73~82.97) mg L⁻¹, 6.73 (0.85~16.74) mg L⁻¹, 4.58 (0.57~24.27) mg L⁻¹였으며, T-P 농도는 0.58 (0.06~4.07) mg L⁻¹, 0.58 (0.12~2.92) mg L⁻¹, 0.33 (0.06~2.96) mg L⁻¹으로 T-N의 경우 본 연구 결과보다 큰 것으로 나타난 반면, T-P농도는 비슷한 결과를 보였다.

시기별 영농형태별 농도변화를 살펴보면, T-N, T-P, COD의 변화는 영농형태별로 비슷한 경향을 보이지만, SS의 경우 영농형태별로 다르게 나타났다(Fig. 2). 이는 장마 전, 중간낙수 기간에 이루어지는 배수 형태에 따라 다르게 나타난 것으로 판단된다. 또한, T-N의 경우 3번의 농도가 높아지는 시기가 보이는데, 1회만 시비를 권고했던 완효성비료처리구에서도 높아지는 결과를 보였다. 완효성비료의 특성상 지속적으로 양분이 공급이 되지만, 농민의 관행적인 습관으로 추가적인 시비가 이루어졌기 때문으로 판단된다(Joo, 2018).

유출되는 수질의 질소와 인은 토양 특성, 비료 특성(완효성, 속효성), 비료 투입 시기, 물관리에 따라 다양하게 나타나는 것으로 보고되고 있다(Jung *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2016). 인의 경우 산화환원 조건에 따라 토양에 흡착 또는 용출이 되며(Chung, 2009; Choi *et al.*, 2017a), 질소의 경우 산화환원 조건에서 질산화와 부동화, 탈질화에 따라 다양하게 변형이 된다(Yeongsang and Seomjin River Management Committee, 2014). 따라서, 본 연구에서는 논 영농형태별 수질농도의 동질성을 분석하기 위해 수질 항목별로 대조구 vs. 물꼬관리, 대조구 vs. 완효성비료처리구, 물꼬관리처리구 vs. 완효성비료처리구를 구분하여 F-검정을 수행하였으며, 처리구간 평균의 차이를 분석하기 위해 T-검정을 분석하였다.

T-N과 COD의 경우 처리구별로 분산은 같고 처리구별 농도의 차이도 유의미하지 않은 것으로 나타났다(p > 0.05). T-P의 경우 완효성비료처리구와 물꼬관리처리구는 분산의 차이가 없는 것으로 반면, 대조구와 물꼬관리처리구, 대조구와 완효성비료처리구는 차이가 있는 것으로 나타났다. 하지만, 처리구별 평균농도는 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다(p > 0.05). SS의 경우 대조구와 완효성비료처리구는 분산의 차이가 없는 반면, 대조구와 물꼬관리처리구, 물꼬관리처리구와 완효성비료처리구는 분산의 차이가 있는 것으로 나타났다. 평균의 통계적 차이는 대조구와 물꼬관리처리구에서는 차이가 있는 반면, 대조구와 완효성비료처리구, 물꼬관리처리구와 완효성비료처리구는 차이가 없는 것으로 나타났다. Kim *et al.* (2016)은 T-N은 대조구, 완효성비료처리구, 물꼬관리처리구 모두 통계적으로 유의하지 않았으며, T-P의 경우 대조구와 물꼬관리처리

구는 유의한 차이를 보이지 않았지만, 대조구와 완효성비료처리구에는 차이가 있는 것으로 보고하여 본 연구 결과와 유사하였다.

2. 영농형태별 적정 확률분포모형 선정 및 중앙값

T-N의 경우 대조구는 Normal, Log-normal, Weibull 분포모형에서 적합성이 있는 것으로 나타났으며, 완효성비료처리구의 경우 Log-normal, Weibull, Gamma 분포 모형에서 적합성이 있는 것으로 나타났다. 물꼬관리처리구의 경우 모든 확률분포모형에서 적합성이 있는 것으로 나타났다. T-P의 경우 대조구에서는 Normal, Weibull 분포모형에서 적합성이 있는 것으로 나타났으며, 완효성비료처리구에서는 Normal, Log-normal, Weibull 분포모형에서 적합성이 있는 것으로 나타났다. 물꼬관리처리구의 경우 모든 확률분포모형에서 적합성이 있었다. COD와 SS는 모든 처리구에서 Normal, Log-Normal, Weibull, Gamma 분포 모두에서 적합성이 있는 것으로 나타났다(Table 2). 논에서의 확률분포모형 선정에 관한 연구사례를 살펴보면, Jung *et al.* (2014)은 강우시 논 유출수의 COD, SS, T-N, T-P의 확률분포모형을 분석하였으며, Weibull 분포모형과 Log-Normal 분포모형이 적합하다고 하였으며, Jin *et al.* (2010)은 강우시 논 유출수의 BOD EMC는 Normal, Log-normal, Weibull, Gamma 분포모형 모두에서 적합성이 있는 것으로 나타났지만, 최대편차를 고려할 경우 Gamma 분포모형이 적합한 것으로 판단하였다. 또한, 수질관리를 위해 EMC를 적용할 경우 유역 특성에 맞는 확률분포 적용이

Table 2. Goodness of fit analysis of probability distribution by water quality constituents according to farming form. O: satisfaction, X: dissatisfaction.

Variable	Farming form	Distribution			
		Normal	Log-Normal	Weibull	Gamma
T-N	Control	○	○	○	×
	S.R.F	×	○	○	○
	W.C	○	○	○	○
T-P	Control	○	×	○	×
	S.R.F	○	○	○	×
	W.C	○	○	○	○
COD	Control	○	○	○	○
	S.R.F	○	○	○	○
	W.C	○	○	○	○
SS	Control	○	○	○	○
	S.R.F	○	○	○	○
	W.C	○	○	○	○

*Slow-Release Fertilizer, **Water control

Table 3. Median concentration of probability distributions by water quality constituent according to farming form. X: Dissatisfaction of probability distribution model (unit: mg L⁻¹)

Variable	Farming form	Observed	Distribution			
			Normal	Log-normal	Weibull	Gamma
T-N	Control	5.23	5.23	4.28	4.67	×
	S.R.F*	6.10	×	4.62	5.00	4.88
	W.C**	6.22	5.62	5.11	5.55	5.30
T-P	Control	0.57	0.57	×	0.33	×
	S.R.F	0.38	0.38	0.18	0.26	×
	W.C	0.37	0.37	0.17	0.25	0.19
COD	Control	14.7	14.7	13.8	14.5	13.9
	S.R.F	16.2	16.2	15.1	16.1	14.4
	W.C	15.4	15.4	14.2	15.3	14.4
SS	Control	31.6	31.6	22.4	25.4	23.8
	S.R.F	50.4	50.4	40.5	45.8	42.2
	W.C	87.8	87.8	64.1	69.2	65.6

*Slow-Release Fertilizer, **Water control

바람직하다고 하였다.

관측된 T-N, T-P, COD, SS의 산술평균농도와 확률분포 모형으로 추정된 중앙값은 Table 3과 같다. 모든 처리구의 수질 항목별 확률분포는 Weibull 분포모형에서 적합성이 있는 것으로 나타났으며, COD는 관측값과 비슷한 수치를 보인 반면 T-N, T-P, SS는 관측값과 차이를 보였다.

적 요

본 연구에서는 영농기간 동안 비강우시에 영농형태에 따른 논에서 유출되는 T-N, T-P, COD, SS의 적정 확률분포를 분석하기 위해 2016년 전라북도 부안군 논 유역에서 모니터링을 수행하였다. 확률분포모형 선정을 위해 Kolmogorov-Smirnov 검정방법을 적용한 결과 Weibull 분포모형에서 대조구, 완효성비료처리구, 물꼬관리처리구의 모든 수질 항목에서(T-N, T-P, COD, SS) 적합성이 있는 것으로 나타났다. 이는 강우시에 모든 수질 항목에서 Log-Normal 분포모형과 Gamma 분포모형에서 적합성이 있는 것으로 보고한 선행연구 결과와는 다른 특성을 보였다. 따라서, 하천의 수질관리를 위해서는 시기별 적합한 확률분포모형을 적용해야 한다. 본 연구 결과에서 분석된 비강우시 영농형태별(대조구, 완효성비료처리구, 물꼬관리처리구) 확률분포모형에 의해 선정된 수질 항목별 중앙값과 하천의 수질을 연계 분석한다면 논에서 유출되는 수질이 하천에 미치는 영향을 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

저자기여도 과제관리 및 연구 구상(최순군), 자료수집 및

분석(최동호), 해석(최동호), 방법론(엽소진), 원고 작성, 교정 및 검토(허승오, 김민경, 엽소진, 최순군)

이해관계 없음

연구비 본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ012549)의 지원으로 수행되었습니다.

사사 자료수집을 위해 함께 수질 모니터링 및 분석을 해주신 김은아 선생님, 이수영 선생님, 엄정연 선생님께 감사드립니다.

REFERENCES

- Choi, D.H., S.H. Cho, J.W. Jung, H.K. Park, W.J. Choi, K.S. Yoon and Y.S. Kim. 2017a. Variations of Dissolved and Total Phosphorus Concentrations in Irrigation, Flooding, and Drainage Water of Paddy Fields. *Journal of Korean Society on Water Quality* **23**(4): 434-440.
- Choi, D.H., S.H. Cho, T.H. Hwang, Y.S. Kim, J.W. Jung, W.J. Choi, H.K. Park and K.S. Yoon. 2017b. Characteristics of Biochemical Oxygen Demand Export from Paddy Fields during Storm and Non-storm Period and Evaluation of Unit Load. *Journal Korean Society on Water Environment* **33**(5): 531-537.
- Choi, K.S. and J.R. Jang. 2014. Selection of Appropriation Plant Species of VFS (Vegetative Filter Strip) for Reducing NPS Pollution of Uplands. *Journal of Korea Water Resources Association* **47**(10): 973-983.
- Chung, J.B. 2009. Effect of Nitrate on Iron Reduction and Phos-

- phorus Release in Flooded Paddy Soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **28**(2): 165-170.
- Cooke, R. 1993. VTFIT: A Routine for Fitting Homogeneous Probability Density Function, Software Help. Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, VA.
- Han, K.H., J.H. Kim, K.S. Yoon, J.Y. Cho, W.I. Kim, S.G. Yun and J.T. Lee. 2007. Effluent Characteristics of Nonpoint Source Pollutant Loads at Paddy Fields during Cropping Period. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* **40**(1): 18-24.
- Jin, S.H., J.W. Jung, K.S. Yoon, W.J. Choi, D.H. Choi, S.D. Kim, J.H. Kang and Y.J. Choi. 2010. Probability Distribution of BOD EMC from Paddy Fields. *Journal of the Environmental Sciences* **19**(9): 1153-1159.
- Joo, S.H. 2018. Implementation Effect of Paddy Best Management Practice on Non-point Source Pollutant Reduction. Master's thesis. Kangwon National University.
- Jung, J.W., D.H. Choi and K.S. Yoon. 2014. Selecting Probability Distribution of Event Concentrations from Paddy Fields. *Journal of Environmental Impact Assessment* **23**(4): 285-295.
- Jung, J.W., K.S. Yoon, W.J. Choi, S.H. Joo, S.S. Lim, J.H. Kwak, S.H. Lee, D.H. Kim and N.I. Chang. 2008. Improvement Measures of Pollutants Unit-Loads Estimation for Paddy Fields. *Journal of Korean Society on Water Quality Environment* **24**(3): 291-296.
- Kim, K.U., M.S. Kang, I.H. Song, J.H. Song, J.H. Park, S.M. Jun, J.R. Jang and J.S. Kim. 2016. Effects of Controlled Drainage and Slow-release Fertilizer on Nutrient Pollutant Loads from Paddy Fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* **58**(1): 1-10.
- Lee, J.B., J.Y. Lee, S.H. Li, J.R. Jang, I.G. Jang and J.S. Kim. 2014. Nutrient Balance in the Paddy Fields Watershed with a Source of River Water. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* **56**(5): 11-19.
- Lee, J.B., J.Y. Lee and J.S. Kim. 2017. SS and COD Runoff from Rice Field Watershed during Storm Events in the Growing and Non-growing Seasons. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* **59**(2): 91-99.
- Lee, K.S., J.W. Jung, D.H. Choi, K.S. Yoon, W.J. Choi, S.M. Choi, S.S. Lim, H.N. Park, B.J. Lim and G.W. Choi. 2011. Characteristics of Suspended Solids Export from Paddy Fields. *Journal of Korean Society on Water Environment Quality* **27**(6): 868-876.
- Melcing, C.S. and C.G. Yoon. 1996. Key Sources of Uncertainty in QUAL2E Model of Passaic River. *Journal of Water Resources Planning and Management* **122**(2): 105-113.
- Relevant Ministerial Consortium. 2012. The 2nd Comprehensive Plan on Nonpoint Source Management, 11-1480000-001222-01. Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- Seo, J.Y., B.K. Park, W.J. Park, K.S. Yoon, D.H. Choi, Y.S. Kim, J.C. Ryu and J.D. Choi. 2016. Evaluation of SRI Water Management on the Reduction of Irrigation Supply and NPS Pollution in Paddies. *Journal of Korean Society on Water Environment* **32**(2): 183-190.
- Yeongsan and Seomjin River Management Committee. 2014. Development of Water Contamination Source Tracing Technology in Multi-Land Use Watershed Using Stable Isotope Technique.