

Research Paper

논으로부터 배출되는 유량가중평균 수질농도의 적정 확률분포 선정

정재운*** · 최동호** · 윤광식**

국립환경과학원 영산강물환경연구소*, 전남대학교 지역바이오시스템공학과**

Selecting probability distribution of event mean concentrations from paddy fields

Jaewoon Jung*** · Dongho Choi** · Kwangsik Yoon**

Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research*,
Department of Rural & Bio-Systems Engineering, Chonnam National University**

요약 : 본 연구는 논으로부터 배출되는 오염물질항목별(COD, TOC, T-N, T-P, SS) 농도 분포에 적합한 확률분포모형을 분석하고 실측 평균 EMC와 확률분포 모형을 통해 추정된 중앙값 EMC(EMC₅₀)값과 비교하였다. 이를 위해 2008년부터 2011년까지 전라남도 함평군에 위치한 논에서 모니터링을 수행하였다. 그 결과 COD는 3가지 확률분포모형(Normal, Log-Normal, Gamma), T-N은 4가지 확률분포모형(Normal, Log-Normal, Gamma, Weibull), T-P와 TOC는 3가지 확률분포모형(Log-Normal, Gamma, Weibull), SS는 2가지 확률분포모형(Log-Normal, Gamma)에서 적합한 것으로 나타났다. 특히, Log-Normal과 Gamma 확률분포모형은 모든 수질항목에 적합한 확률분포모형인 것으로 나타났다. 한편, 강우시 논 유출수의 수질항목별 평균값과 확률분포모형을 통해 추정된 EMC 중앙값과 비교한 결과 COD는 Gamma, TOC, T-N, T-P, SS는 Log-Normal 확률분포모형의 값과 비슷하게 나타났다.

주요어 : 유량가중평균농도(EMC), 확률분포모형, 논

Abstract : In this study, we analyzed probability distribution of EMCs (Event Mean Concentration) of COD, TOC, T-N, T-P and SS from rice paddy fields and compared the mean values of observed EMCs and the median values of estimated EMCs (EMC₅₀) through probability distribution. The field monitoring was conducted during a period of four crop-years (from May 1, 2008, to September 30, 2011) in a rice cultivation area located in Emda-myun, Hampyeong gun, Jeollanam-do, Korea. Four probability distributions such as Normal, Log-normal, Gamma, and Weibull distribution were used to fit values of EMCs from rice paddy fields. Our results showed that the applicable probability distributions were Normal, Log-normal, and Gamma distribution for COD, and Normal, Log-Normal, Gamma and Weibull distribution for T-N, and Log-normal, Gamma and Weibull distribution for T-P and TOC, and Log-normal and Gamma distribution for SS. Log-normal and

Gamma distributions were acceptable for EMCs of all water quality constituents(COD, TOC, T-N, T-P and SS). Meanwhile, mean value of observed COD was similar to median value estimated by the gamma distribution, and TOC, T-N, T-P, and SS were similar to median value estimated by log-normal distribution, respectively.

Keywords : EMC (Event Mean Concentration), probability distribution, rice paddy fields

I. 서론

과거 우리나라에서는 점오염원을 중심으로 수질관리가 이루어져 왔지만, 급속한 산업화와 도시화로 인해 토지이용의 변화가 발생하고, 대지, 도로, 주차장 등 불투수층 면적이 증가함에 따라 강우 시 발생하는 비점오염원에 의해 하천 및 호소 수질이 큰 영향을 받는다. 환경부 물관리기본계획에 따르면 비점오염 부하량(BOD)은 토지계 이외에 하수관거누수, 미처리 가축분뇨의 영향 등을 포함할 경우 권역별로 '03년까지 42~69%에 달하며, 2015년까지 65~70%까지 증가할 것으로 추정되고 있으며, 비점오염원은 지형적 특성, 기상조건 등에 따라 매우 상이하게 나타나기 때문에 실측하지 않으면 오차는 상당히 커질 가능성이 크다(Sungduk Roh *et al.*, 2006; Jaeyoung Park *et al.*, 2001; Youngtaek Oh *et al.*, 2004; Hyungdong Lee *et al.*, 2001; Seongho Jang and Jinsick Park, 2004). 따라서 효과적인 수질을 관리하기 위해서는 토지이용별 강우시 배출되는 오염물질의 양을 정량적으로 산정하고 이동 경로를 파악하는 것이 필수적이며(Younhee Park *et al.*, 2004; Hyewon Lee *et al.*, 2011), 오염물질을 정량화 하는 방법에는 실측에 의한 방법, 모델링 및 확률분포 형태를 파악하여 추정하는 방법 등이 있다. 하지만, 실측에 의한 방법은 많은 비용이 소요되며, 모델링을 통하여 오염물질을 정량화 하는 방법은 입력자료의 구축이 어려운 단점이 있다(Jihyoung Park *et al.*, 2007; Jaewoon Jung *et al.*, 2009). 따라서, 하천 및 호소의 효율적인 수질관리를 위해서 강우시 비점오염원으로부터 유출되는 수질항목별 확률분포형태 파악이 중요하다(Kyungsub Kim and Taejin Ahn, 2009). 또한, 수질항목의 확률분포는 해석해 또는 수치해로 구성된 결정론적 모델과 연계하여 모의결과

의 불확실성 및 신뢰성 등 지표수 수질관리에 효율적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라(Kunyeun Han *et al.*, 2001; Kyungsub Kim and Taejin Ahn, 2009), 현재 우리나라 수질오염총량관리제에서 추진하고 있는 목표수질 달성여부의 신뢰성 또는 불확실성을 확률적으로 설명할 수 있어 더욱 과학적인 하천 수질관리가 가능하다(Kyungsub Kim and Taejin Ahn, 2009). 이에, 다양한 연구자들에 의해 특정유역에 대한 수질항목별 확률분포모형을 선정하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔다. Daegy Choi *et al.*, (2008)은 도시지역 비점오염원 관리를 위해 기존의 1변수 지수 PDF(Probability Density Function)를 복잡한 강우 현상을 반영하기 위해 3변수 지수 PDF를 모의한 바 있으며, Kyungsub Kim and Taejin Ahn (2009)은 안성천 유역의 BOD 농도에 정규분포, 대수정규분포, Gamma 분포 및 Weibull 분포모형을 적용하였다. Sohyun Jin *et al.*, (2010)은 정규분포, 대수정규분포, Gamma, Weibull 분포 모형을 적용한 유출수 중 BOD의 적합한 확률분포모형을 제시하였지만, 우리나라 주요 비점오염원 중의 하나인 논 유출수의 COD, TOC, T-N, T-P, SS의 적정 확률분포 모형을 분석한 연구는 매우 부족하다.

또한, 강우시 유출되는 오염부하량을 산정하기 위해서는 강우의 특성을 반영하고 있는 유량가중평균 농도가 매우 중요하다(John, J. Sansalone *et al.*, 1997). 최근 국립환경과학원에서는 토지피복별 중분류 토지이용에 대해서 모니터링을 수행하고 있으며, 모니터링 매뉴얼 “강우유출수 조사방법(2009)” 제시를 통해 유량과 수질 자료를 획득하고 있으며, 이를 이용하여 EMC를 산정하고, 산정된 EMC와 강우량, 유출율을 이용하여 토지피복별 원단위를 산정하고 있다. Chulhee Won *et al.*, (2011)은 일반 밭과 고랭지 밭의 EMC를 제시하고 이를 이용하여 원단위를

산정하고, SS와 T-N의 EMC 농도가 크게 차이남을 보여 일률적인 원단위 적용에는 어려움이 있을 것으로 판단하였다. Jechan Jeon *et al.*, (2013)은 시설재 배지의 EMC를 산정하고, 원단위 산정 방법 차이에 따른 원단위 값을 제시하였다. Jeongsuk Hwang *et al.*, (2012)은 축사주변의 EMC 값을 산정하였으며, 유출량과 상관관계가 높은 것으로 제시하였다. Jungsun Hong *et al.*, (2012)은 지붕 유출수의 EMC 값을 산정하고, 평균 EMC를 산정하기 위해서는 최소 8회 이상 모니터링을 수행해야 한다고 하였다. 이처럼 다양한 토지이용에 대해 EMC 산출에 대한 연구가 수행되고 있지만, 논에 대한 EMC 값 산정에 관한 연구사례는 드물다.

따라서, 본 연구에서는 비점오염원 중 하나인 논 유출수의 COD, TOC, T-N, T-P, SS에 적합한 확률분포 모형을 분석하고, 확률분포모형을 통해 추정된 중앙값(초과확률 50%)을 강우사상 평균농도(Event Mean Concentration, EMC) 대표값으로 산정한 후 비교 분석을 통해 논 유출수의 오염부하 정량화를 위한 EMC 정보를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 유역 현황

전라남도 함평군 임다면 화양리의 논지구(이하 '학야지구', Figure 1)를 대상으로 2008년부터 2011년까지의 수문·수질 모니터링을 실시하였다. 학야지구의 관개용수는 한국농어촌공사 함평지사에서 관리하는 대동저수지(관개면적 992.3 ha, 저수용량 5,309 천 m³)이다. 학야지구는 동쪽에 함평천이 흐르며 서쪽에는 주 배수로가 위치하며, 유역면적은 13.7 ha이며, 용수로와 배수로가 분리되어 있고 접근성이 좋아 관측이 용이한 시험지구이다. 학야지구의 토성은 미사질양토(모래 11.7%, 실트 61.4%, 점토 26.9%)로 조사되었다.

2. 수문 및 수질분석

학야지구의 강우량을 조사하기 위해서 시험지구 인근에 강우량계(CASELLA, UK)를 설치하여 실측 강우량 자료를 수집하였으며, 수위자료는 배수로 말단에 독일 OTT사의 공기방울 압력식 전자수위계인 Orphimedes 수위데이터 로거(logger)를 설치하여 수위자료를 수집하였다. 또한 배수로 말단에 수위별 유량을 측정하였고, 수질샘플링은 유량측정 지점에

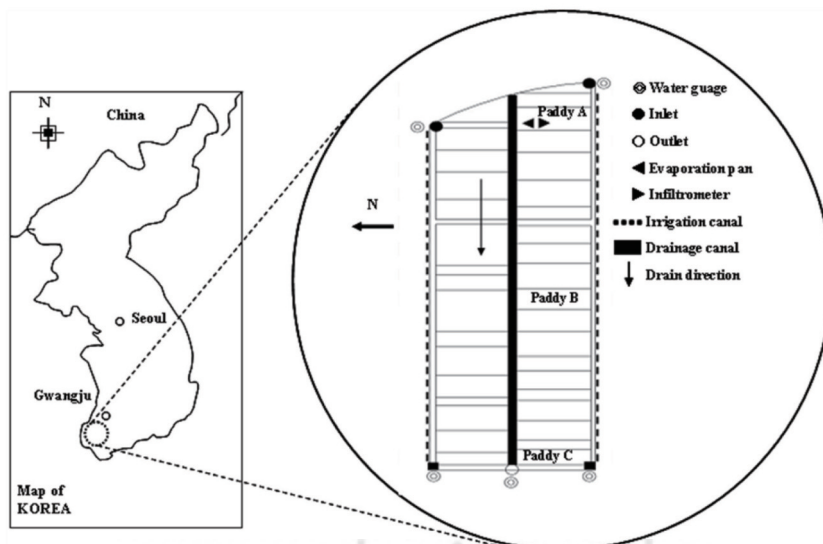


Figure 1. Location and monitoring system of the study site.

자동채수기(ISCO 6712)를 설치하여 일정간격을 유지하면서 시료를 채취한 후, 환경부 수질공정시험법에 준하여 수질분석을 실시하였다.

3. EMC 분석

유량가중평균농도(EMC, Event Mean Concentration)는 강우유출수 조사방법(국립환경과학원, 2009)에서 제안한 식 (1)을 이용하여 산정하였다.

$$EMC_x = \frac{\sum_{i=0}^T (Q_i \times C_i)}{\sum_{i=0}^T Q_i} \quad (1)$$

여기서 t 는 유출시점으로부터의 경과시간, Q_t 는 시간 t 에서의 유출 유량(m^3/s), C_t 는 시간 t 에서의 오염물질 농도(mg/L)이다.

4. 연속형 확률분포형

본 시험지구의 수질항목별 최적 확률분포모형을 파악하기 위해서 수질항목 분포특성에 많이 사용되는 정규분포, 대수정규분포, Gamma 분포, Weibull 분포를 이용하였다.

정규분포의 확률밀도함수는 식 (2)와 같고, 대수정규분포의 평균 및 표준편차를 μ 와 σ , 대수를 취한 확률변수에 대한 평균 및 표준편차를 λ 및 ζ 라 하면 각 확률변수간의관계는 식 (3), (4)과 같고, 대수정규분포의 확률밀도함수는 식 (5)와 같다.

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

$$\mu = \exp\left(\lambda + \frac{1}{\zeta^2}\right) \quad (3)$$

$$\sigma^2 = \mu^2[\exp(\zeta^2) - 1] \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

Gamma 분포의 확률밀도함수는 식 (6)과 같으며, Weibull 분포의 확률밀도함수는 식(7)과 같다.

$$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\Gamma(\alpha)} \quad (6)$$

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \quad (7)$$

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

III. 결과 및 고찰

1. 유량가중 평균농도(EMC)

2008년부터 2011년까지 영농기간(5월~9월)동안 모니터링을 통해 관측된 자료를 식 (1)을 이용하여 EMC를 산정하였다. COD, SS, T-N, T-P, TOC 수질항목별 농도범위는 각각 4.79~17.25, 3.24~722.84, 0.01~8.88, 0.06~1.29, 2.2~14.50 mg/L로 나타났으며, 각각의 평균 농도는 10.67, 82.94, 2.42, 0.47, 7.23 mg/L로 나타났다(Table 1). 비점

Table 1. Descriptive statistics of observed data(2008~2011)

	n of event	min	max	average
COD	39	4.79	17.25	10.66
SS	38	3.24	722.84	82.94
T-N	39	0.01	8.88	2.42
T-P	38	0.06	1.29	0.47
TOC	32	2.2	14.5	7.23

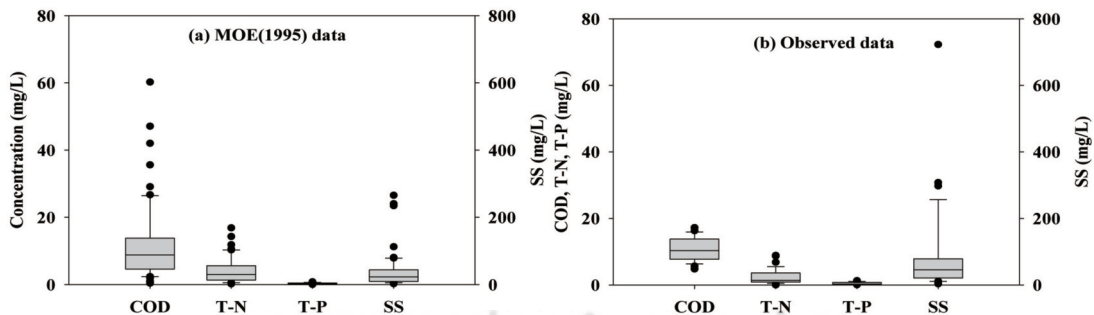


Figure 2. Concentrations of water quality constituents.

오염원 조사연구사업 보고서(환경부, 1995)에서는 논에서의 COD, SS, T-N, T-P의 농도범위는 각각 0.39~60.23, 2.44~265.50, 0.19~16.86, 0.04~0.80 mg/L, 평균 농도는 각각 11.34, 37.84, 4.19, 0.30 mg/L로 나타난다고 보고하였는데, 본 연구와 비교해 볼 때 관측치가 과거 측정자료에 비해 COD, T-N은 낮고, T-P, SS는 높은 것으로 나타났다(Figure 2).

2. 확률분포 모형 적합도 분석

수질항목별 확률분포형태를 파악하기 위해서 Cooke(1993)이 개발한 VTFIT(A routine for fitting homogeneous probability density functions)를 이

Table 2. Goodness of fit analysis of probability distribution

	Normal	Log-Normal	Gamma	Weibull
COD	○	○	○	-
TOC	×	○	○	○
T-N	○	○	○	○
T-P	×	○	○	○
SS	×	○	○	×

용하였으며, 확률분포 모형의 적합성을 확인하기 위해서 Kolmogorov-Smirnov 검증 방법을 사용하였다. 조사된 수질항목별 EMC 변화추세와 정규분포, 대수정규분포, Gamma 및 Weibull의 누적분포함수(Cumulative Distribution Function, CDF)을 통해 추정된 수질항목별 EMC 변화추세는 Figure 3~7과 같다. 조사된 수질항목별 EMCs는 대수정규분포 및 Gamma 분포가 실측자료에 비교적 잘 적합한 것으로 나타났다. 한편, 적합성 검증결과 T-N은 4개의 확률분포모형(Normal, Log-Normal, Gamma, Weibull)에서 모두 적합성이 있는 것으로 나타났고, COD는 Weibull 확률분포 모형을 제외한 3개의 확률분포모형(Normal, Log-Normal, Gamma)에서 적합성이 있는 것으로 나타났다. SS는 Log-Normal과 Gamma에서, T-P와 TOC는 Log-Normal, Gamma, Weibull 모형에서 적합성이 있는 것으로 나타났다. 특히, Log-Normal과 Gamma 확률분포 모형은 모든 수질항목에 적합한 확률분포모형인 것으로 나타났다(Table 2).

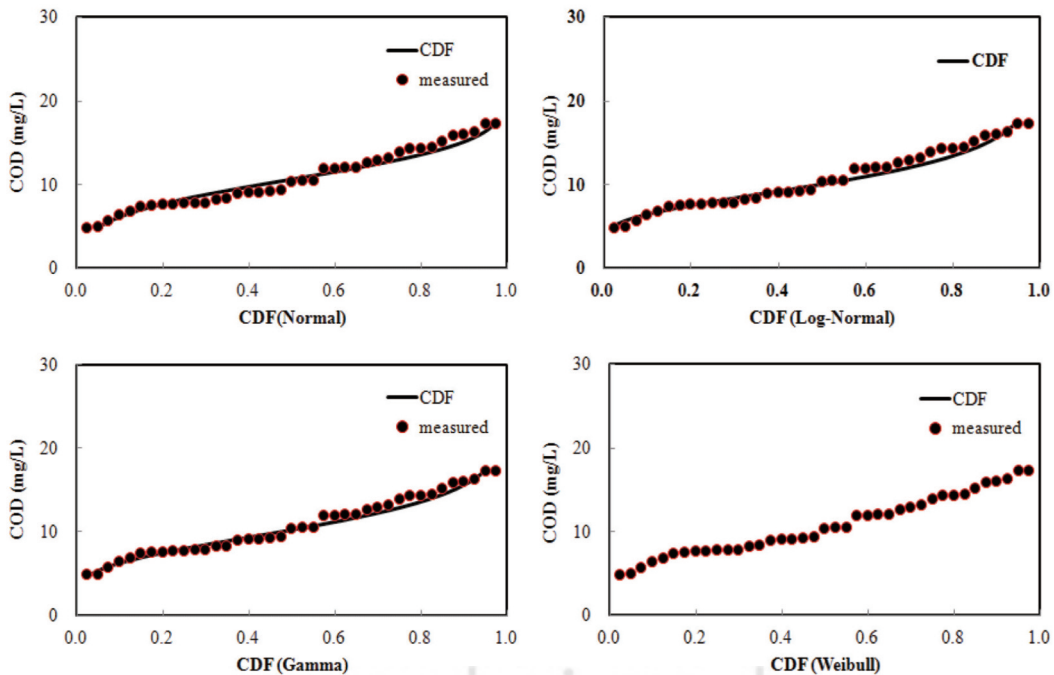


Figure 3. Cumulative density function of COD EMC.

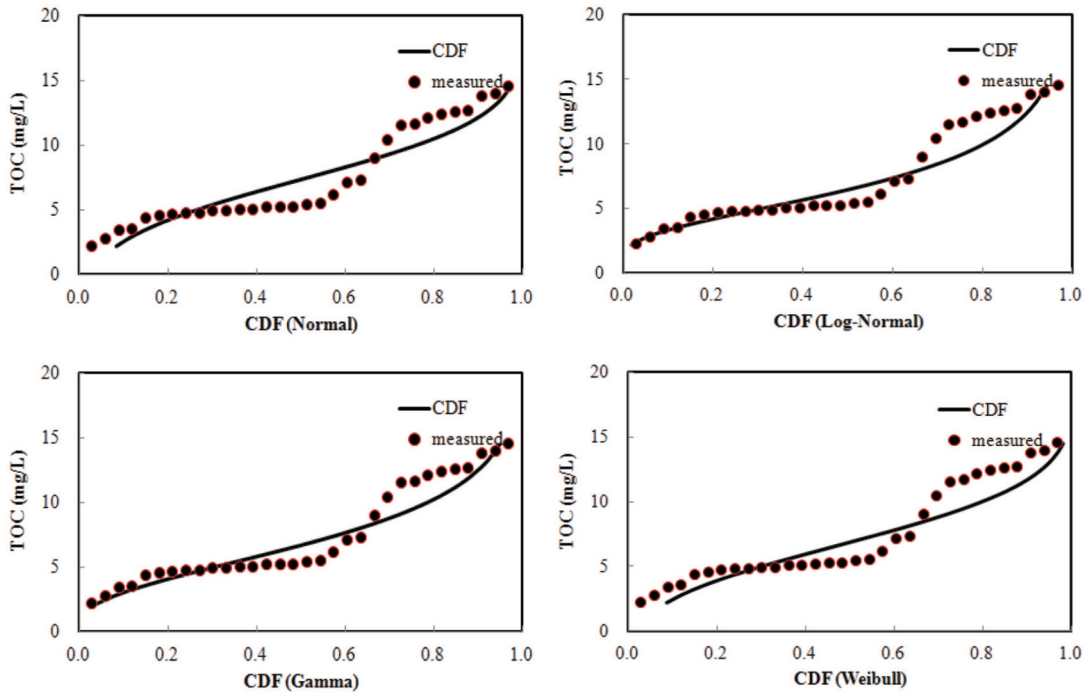


Figure 4. Cumulative density function of TOC EMC.

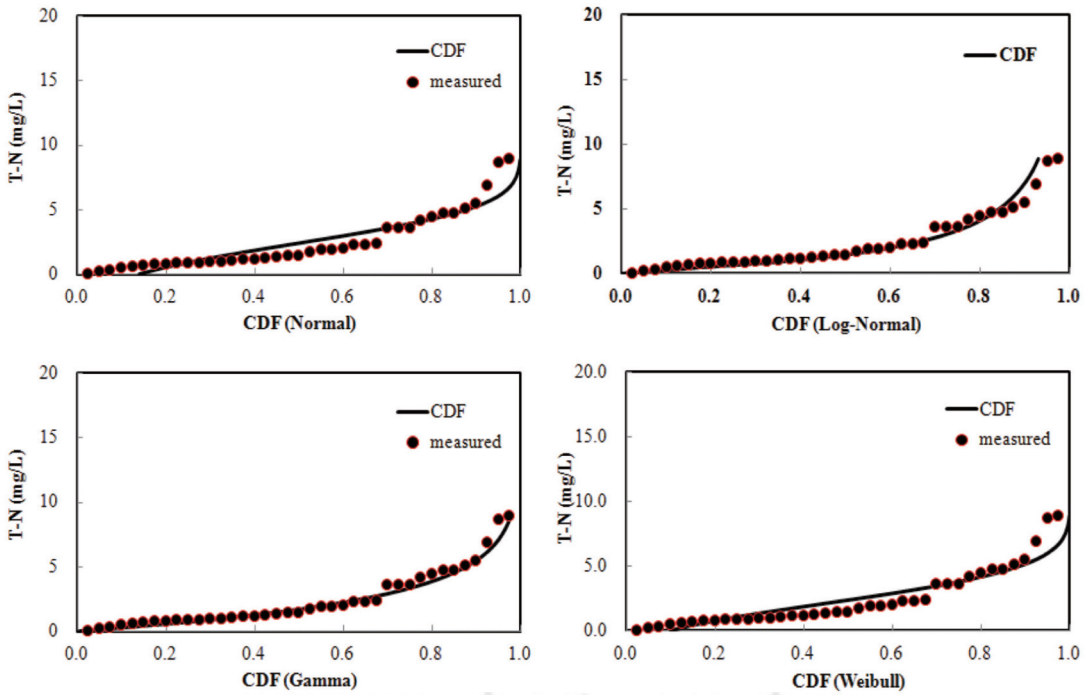


Figure 5. Cumulative density function of T-N EMC.

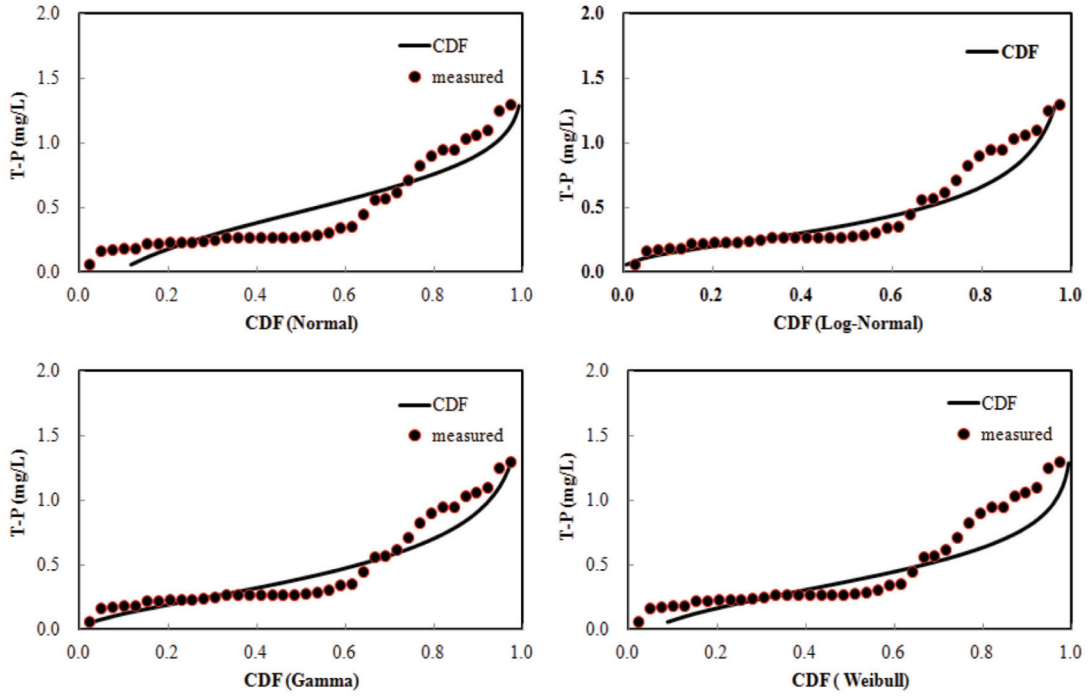


Figure 6. Cumulative density function of T-P EMC.

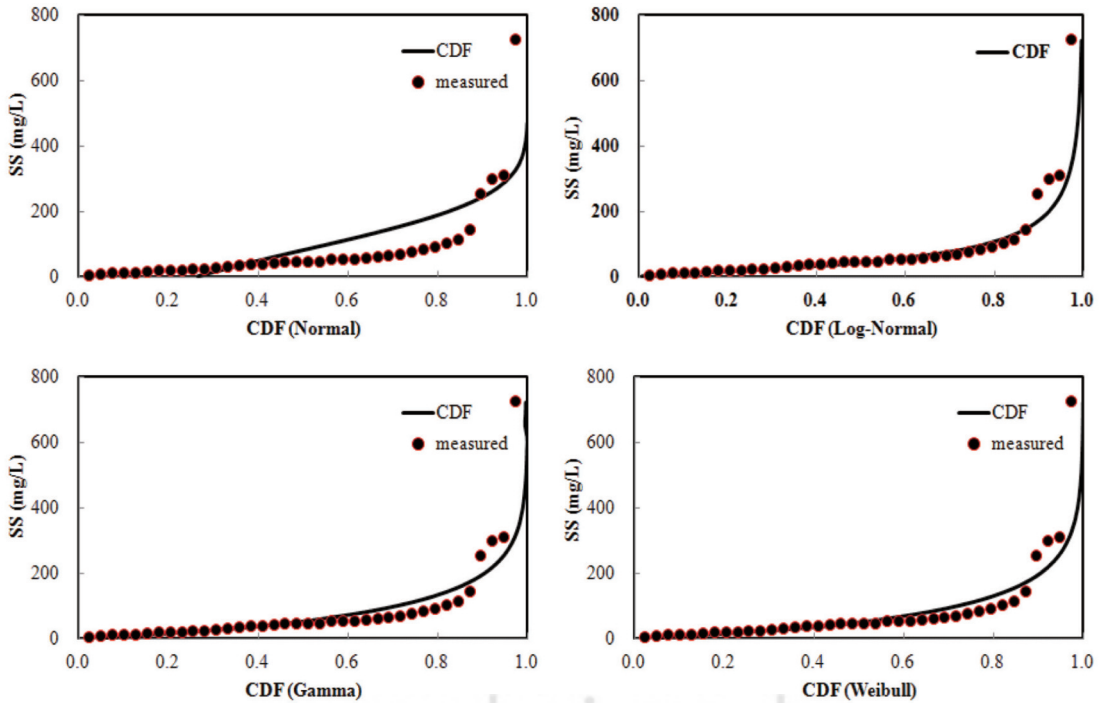


Figure 7. Cumulative density function of SS EMC.

Table 3. Probability distribution of median EMC(unit: mg/L)

	Observed (mean)	Median EMC			
		Normal	Log-Normal	Gamma	Weibull
COD	10.67	10.67	10.08	10.24	-
TOC	7.23	7.37	6.48	6.71	6.87
T-N	2.42	2.42	1.47	1.71	2.37
T-P	0.47	0.47	0.37	0.40	0.38
SS	82.94	82.94	44.87	54.18	388.78

■ : Accept, □ : Reject

Table 4. EMCs of paddy field according to exceedance probability by log-normal distribution(unit: mg/L)

Exceedance probability(%)	COD	TOC	T-N	T-P	SS
10	6.49	3.37	0.31	0.15	11.57
20	7.55	4.21	0.53	0.20	18.43
30	8.42	4.95	0.77	0.25	25.77
40	9.24	5.69	1.08	0.31	34.32
50	10.08	6.48	1.47	0.37	44.87
60	11.00	7.37	2.00	0.44	58.66
70	12.07	8.47	2.79	0.52	78.13
80	13.46	9.95	4.11	0.66	109.27
90	15.66	12.46	7.04	0.91	174.00

3. 확률분포모형을 통해 추정된 중앙값 EMC과 실측 평균 EMC의 비교

각 확률분포모형(Normal, Log-Normal, Gamma, Weibull)을 통해 추정된 중앙값 EMC값과 실측 평균 EMC값은 Table 2와 같다. 확률분포모형을 통해 추정된 COD, SS, T-N, T-P, TOC의 median EMC 값은 Normal의 경우 각각 10.67, 82.94, 2.42, 0.47, 7.37 mg/L로 나타났고, Log-Normal의 경우 각각 10.08, 44.87, 1.47, 0.37, 6.48 mg/L로 나타났다. Gamma 확률분포는 각각 10.24, 54.18, 1.71, 0.40, 6.71 mg/L, Weibull 확률분포모형에서는 T-N, T-P, TOC의 경우 각각 2.37, 0.38, 6.87 mg/L로 나타났다. 수질항목별 평균값과 확률분포모형을 통해 추정된 중앙값을 비교한 결과 COD는 Gamma, SS, T-N, T-P, TOC는 Log-Normal 확률분포모형의 값과 비슷하게 나타났으며(Table 3), 적합성이 인정된 확률분포간 EMC 중앙값은 T-N을 제외하고는 유사한 값을 보였다.

Table 4는 대수정규분포에 따른 COD, TOC, T-N, T-P, SS의 초과확률 각 10분위에 따른 값을 보

여주고 있다. 대수정규분포에서 초과확률 10%, 90%의 COD 농도는 6.49, 15.66 mg/L 였으며, TOC의 경우 3.37, 12.46 mg/L 였다. T-N의 경우 0.31, 7.04 mg/L, T-P의 경우 0.15, 0.91 mg/L 였으며, SS는 11.57, 174.0 mg/L로 나타났다(Table 4).

IV. 결론

하천 및 호소의 효율적 수질관리를 위해서는 강우 시 비점오염원으로부터 유출되는 오염물질의 정량적 파악이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 비점오염원 중 하나인 논 유출수의 COD, SS, T-N, T-P, TOC의 농도 분포에 적합한 확률분포모형을 선정하고 선정된 확률분포로부터 중앙값을 추정하여 수질항목별 평균 EMC와 비교하였으며, 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 강우 시 논 유출수의 수질항목에 따른 적합한 확률분포 모형을 Kolmogorov-Smirnov 검정방법을 통해 선정한 결과 T-N은 Normal, Log-Normal, Gamma, Weibull 확률분포모형에서

- 모두 적합성이 있는 것으로 나타났고, COD는 Normal, Log-Normal, Gamma, SS는 Log-Normal과 Gamma, T-P와 TOC는 Log-Normal, Gamma, Weibull 확률분포모형에서 적합성이 있는 것으로 나타났다. 특히, Log-Normal과 Gamma 확률분포모형은 모든 수질항목에 적합한 확률분포모형인 것으로 나타났다.
- 2) 적합성이 인정된 확률분포 간 EMC 중앙값은 T-N을 제외하고는 유사한 값을 보였으며, Log-normal 분포를 이용한 경우 논 유출수 대표 COD, TOC, T-N, T-P, SS EMC는 각각 10.08, 6.48, 1.47, 0.37, 44.87 mg/L 였다.
- 3) 본 연구에서 파악한 논 유출수의 수질항목별 확률분포를 하천 수질과 연계 적용할 경우 논 유출수가 하천수질에 미치는 영향을 확률적으로 설명할 수 있을 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 영산강·섬진강 수계 환경기초조사사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

인용문헌

- 국립환경과학원. 2009. 강우유출수 조사 방법. 국립환경과학원.
- 김경섭, 안태진. 2009. 안성천 유역의 BOD농도 확률분포 특성. 한국물환경학회지. 25(3): 425-431.
- 노상덕, 김장현, 이대근, 김선주, 손병용, 진양근. 2006. 횡성호 유역의 비강우시 및 강우시 오염물질 유출특성. 한국물환경학회지. 22(4): 67-77.
- 박연희, 박석순. 2004. 강우강도에 따른 토지이용별 비점오염원 부하량 산정 함수 연구. 대한환경공학학회지. 26(10): 1070-1078.
- 박지형, 공동수, 민경석. 2007. 유역형상과 수리특성을 고려한 경험론적 유달부하식 개발. 한국물환경학회지. 23(6): 913-919.
- 박재영, 오종민, 김영철. 2001. 삼교호 유입하천에서 강우시 주요 오염물질의 유출특성. 한국유수학회지. 34(1): 62-69.
- 오영택, 박제철, 김동섭, 류재근. 2004. 강우시 소옥천에서의 비점오염원 유출특성. 한국물환경학회지. 20(6): 657-663.
- 이현동, 안재환, 배철호, 김운지. 2001. 강우시 유출 부하량을 이용한 팔당상수원 유역이 비점오염원 원단위와 발생량 추정. 한국물환경학회지. 17(3): 313-326.
- 이혜원, 최남희, 이용석, 최정현. 2011. 강우강도와 토지이용을 고려한 비점오염물질 부하량 산정에 관한 연구. 대한환경공학학회지. 33(8): 572-577.
- 원철희, 최용훈, 신민환, 신동석, 강동구, 최종대. 2011. 강우시 밭의 비점오염물질 유출 특성. 한국물환경학회지. 27(5): 572-579.
- 장성호, 박진식. 2004. 직지사천에서의 강우시 비점오염 물질의 유출특성. 수처리기술. 12(3): 109-115.
- 전세찬, 군구호, 이상협, 이재운, 권헌각, 민경석. 2013. 강우시 시설재배지역의 오염물질 유출 EMC 및 원단위 산정. 한국습지학회지. 15(4): 555-566.
- 정재운, 윤광식, 주석훈, 최우영, 이용운, 류덕희, 이수용, 장남익. 2009. 회귀식을 이용한 황룡A 유역에서의 유황별 유달용 산정. 한국농공학회논문집. 51(6): 25-31.
- 진소현, 정재운, 윤광식, 최우정, 최동호, 김상돈, 강재홍, 최유진. 2010. 논 유출수 BOD의 유량가중평균농도(EMC) 확률분포. 한국환경과학학회지. 19(9): 1153-1159.
- 최대규, 조덕준, 한수희, 김상단. 2008. 3변수 혼합지수 확률밀도함수를 이용한 도시지역 강우 유출수의 해석적 확률모형 개선. 한국물환경학회지. 24(3): 345-353.
- 홍정선, Franz Kevin F. Geronimo, Jean Margaret R. Mercado, 김이형. 2012. 강우시 지붕유출수의 EMCs 및 특성비교. 한국습지학회.

- 14(4): 657-665.
- 환경부. 1995. 비점오염원 조사연구사업 보고서. 환경부.
- 황정석, 박영기, 원찬희. 2012. 축사 주변지역 비점 오염물질 유출특성. 대한환경공학회. 34(8): 557-565.
- Cooke, R.. 1993. VTIFIT: A Routine for fitting homogeneous probability density function. Department of Agricultural Engineering Virginia Polytechnic Institute.
- Han, Kunyeun, Sangho Kim, Deghye Bae. 2001. Stochastic water quality analysis using reliability method. Journal of the American Water Resources Association. 37(3): 695-708.
- Sansalone, John. J., Buchberger, Steven. G.. 1997. Partitioning and First Flush of Metals in Urban Roadway Storm Water. Journal of Environmental Engineering, ASCE.. 123: 134-143.
- ### References
- Choi, Daegy, Deokjun Jo, Suhee Han, Sangdan Kim. 2008. Improvement of Analytical Probabilistic Model for Urban Storm Water Simulation using 3-parameter Mixed Exponential Probability Density Function. Journal of Korean Society on Water Quality. 24(3): 345-353.
- Cooke, R.. 1993. VTIFIT: A Routine for fitting homogeneous probability density function. Department of Agricultural Engineering Virginia Polytechnic Institute.
- Han, Kunyeun, Sangho Kim, Deghye Bae. 2001. Stochastic water quality analysis using reliability method. Journal of the American Water Resources Association. 37(3): 695-708.
- Hong, Jungsun. Franz Kevin F. Geronimo, Jean Margaret R. Mercado, Leehyung Kim. Characteristics of EMCs for Roof Runoff. Korean Wetlands Society. 14(4): 657-665.
- Hwang, Jeongsuk, Youngki Park, Chanhee Won. 2012. Runoff Characteristics of Non-Point Source Pollution in Lower Reaches of Livestock Area. Korean Society of Environmental Engineers. 34(8): 557-565.
- Jang, Seongho. Jjinsick Park. 2004. Runoff Characteristics of Non-point Source According to Rainfall in Jikjisa Watershed. Journal of Korea Technological Society of Water and Waste Water Treatment. 12(3): 109-115.
- Jeon, Jechan, Koocho Kwon, Sanghyeub Lee, Jaewoon Lee, Heungag Gwon, Kyungsok Min. 2013. EMC and Unit Loads of Pollutants Generated from Tomato Cultivation during Rainfall. Korean Wetlands Society. 15(4): pp. 555-566.
- Jin, Sohyun, Jaewoon Jung, Kwangsik Yoon, Woojung Choi, Dongho Choi, Sangdon Kim, Jaehong Kang, Yujin Choi. 2010. Probability Distribution of BOD EMC from Paddy Fields, Journal of the Environmental Society. 19(9): 1153-1159.
- Jung, Jaewoon, Kwangsik Yoon, Seukhun Joo, Wooyoung Choi, Yongwoon Lee, Doughee Rhew, Suwoong Lee, Namik Chang. 2009. Estimation of Pollutant Loads Delivery Ratio by Flow Duration Using Regression Equation in Hwangryong A Watershed. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers. 51(6): 25-31.
- Kim, Kyungsub, Taejin Ahn. 2009. Characteristics of Probability Distribution of BOD Concentration in Anseong Stream Watershed.

- Journal of Korean Society on Water Quality. 25(3): 425-431.
- Lee, Hyungdong, Jaehwan Ahn, Chulho Bae, Woonji Kim. 2001. Estimation of the Unit Loading and Total Loading of Nonpoint Source in Paldang Watershed by Runoff Loading during the Rainfall. Journal of Korean Society on Water Quality. 17(3): 313-326.
- Lee, Hyewon, Namhee Choi, Yongseok Lee, Junghyun Choi. 2011. Estimation of Pollutants Loading from Non-Point Sources Based on Rainfall Event and Land use Characteristics. Korean Society of Environmental Engineers. 33(8): 572-577.
- National Institute of Environmental Research. 1995. Rainfall-runoff survey method. National Institute of Environmental Research.
- National Institute of Environmental Research. 2009. Rainfall-runoff survey method
- Oh, Youngtaek, Jechul Park, Dongsup Kim, Jaekeun Rhyu. 2004. Pollutant Characteristics of Nonpoint Source Runoff in Okcheon Stream. Journal of Korean Society on Water Quality. 20(6): 657-663.
- Park, Jihyoung, Dongsoo Kong, Kyungsok Min. 2007. Development of the Empirical Model for Estimating the Delivered Pollutant Loads Considering Geomorphic and Hydraulic Characteristics. Journal of Korean Society on Water Quality. 23(6): 913-919.
- Park, Jaeyoung, Jongmin Oh, Yyoungchul Kim. 2001. Runoff Characteristics of Major Pollutants at the Inflow Stream to Lake Sap-Kyo in Rainy Periods. Korean Society of Limnology. 34(1): 62-69.
- Park, Younhee, Seoksoon Park. 2004. Research Paper : Development of Non-Point Source Pollution Loading Function Base on Rainfall Intensity and Land Use Type. Korean Society of Environmental Engineers. 26(10): 1070-1078.
- Roh, Sungduk, Janghyun Kim, Daekeun Lee, Seonjoo Kim, Byeongyong Sohn, Yangkum Chun. 2006. Characteristics of Pollutant Discharge from Hoengseong Watershed during the Dry and Rainy Season. Journal of Korean Society on Water Quality. 22(4): 67-77.
- Sansalone, John. J. Buchberger, Steven. G.. 1997. Partitioning and First Flush of Metals in Urban Roadway Storm Water. Journal of Environmental Engineering. ASCE.. 123: 134-143.
- Won, Chulhee, Yonghun Choi, Minhwan Shin, Dongsuk Shin, Donggu Kang, Joongdae Choi. 2011. Research Paper : Runoff Characteristics of NPS Pollution on Field in Rainy Season. Journal of Korean Society on Water Quality. 27(5): pp.572-579.