

강우-유출 채수간격이 복합지목 유역의 BOD, T-P 부하량 산정에 미치는 영향

박현규·범진아·최동호*·정재운**·정민혁·김영석***·최유진****·조영준*****·윤광식†

전남대학교 지역바이오시스템공학과

*국립농업과학원 기후변화생태과

**전라남도 환경산업진흥원

***국립환경과학원 영산강물환경연구소

****국립환경과학원

*****한국농어촌공사

Effect of Sampling Frequency for the Storm Runoff on BOD, T-P Loads Estimation of the Mixed Landuse Watershed

Hyunkyoo Park·Jina Beom·Dongho Choi*·Jaewoon Jung**·Minhyuk Jeung·Youngsuk Kim***·Yujin Choi****·Youngjun Jo*****·
Kwangsik Yoon

Department of Rural & Bio-systems Engineering Chonnam National University

**National Institute of Agricultural Sciences*

***Jeollanamdo Environmental Industries Promotion Institute*

****Yeongsan River Environment Research Center*

*****National Institute of Environmental Research*

******Korea Rural Community Corporation*

(Received : 14 June 2018, Revised: 08 October 2018, Accepted: 08 October 2018)

요약

비점오염원을 정량화하기 위해 국립환경과학원의 강우유출수 조사방법은 복합토지이용 유역 모니터링 방법으로 유출 초기 24시간동안은 1시간간격으로 채수 하는 것을 제안하였다. 그러나 고빈도 샘플링은 현장 및 분석 인력 및 비용이 과다해질 수 있다. 따라서, 본 연구는 1시간 간격 샘플링 방식에 비해 더 긴 샘플링 간격이 부하 추정에 미치는 영향을 조사하기 위해 풍영정천 유역을 토지이용현황에 따라 농촌 소유역, 도시 소유역, 유역말단으로 구분하여 채수 1시간간격과 다른 채수 시간간격에 따른 부하량의 차이를 비교하였다. BOD와 T-P는 4시간 간격까지는 부하량의 차이가 통계적으로 유의하지 않았지만, 1시간 간격 채수에 따른 부하량과 다른 채수간격 부하량의 차이가 10% 이하가 합리적이라고 판단 할 때 BOD와 T-P 모두 3시간 간격의 채수가 적합한 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 효과적인 모니터링 체계를 구축하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 비점오염원, 강우유출수, 채수간격, 부하량

Abstract

In order to quantify nonpoint source pollution, it was proposed to sample at regular intervals of 1 hour for the first 24 hours of storm runoff process by National Institute of Environmental Research for the mixed landuse watershed. However, high frequency sampling requires intensive laboratory analysis and labor costs. In order to investigate the effect of longer sampling interval on the load estimation compared to the 1 hour sampling method, analysis was conducted using monitoring data from rural subwatershed, urban subwatershed, and outlet of the Pungyeongjeongcheon watershed. Statistical analysis revealed that mean of load estimation was not significantly different up to 4 hour sampling frequency. However, 3 hour sampling interval was found to be appropriate for the BOD and TP when it is judged that 10% or less of the difference in loading amount between the 1 hour and other sampling interval is reasonable. The results of this study can be used to conduct an effective monitoring system.

Key words : Nonpoint source, Rainfall runoff, Sampling interval, Load estimation

† To whom correspondence should be addressed.
Department of Rural & Bio-systems Engineering Chonnam National University
E-mail: ksyoon@chonnam.ac.kr

1. 서 론

비점오염은 평상시 쌓였던 오염물질이 강우 시 유출되어 하천에 유입되는 현상으로 다양한 강우특성에 따라 유출특성이 다르게 나타난다. 특히, 하천의 수질은 토지 이용 및 관리, 대기, 용수 및 기후의 통제 요인의 변화 등 다양한 요인의 영향을 받기 때문에(Beman et al., 2005), 지속적인 모니터링을 한 후 강우 시 유량 및 수질변화를 분석을 통한 오염원의 정량화가 필요하다(Jang et al., 2010). 우리나라의 경우 1980년부터 비점오염원 배출량을 조사하였으나 토지이용별 오염부하가 다양하고, 배출지점이 광범위하며 계절적 범위가 큰 비점오염원의 불확실성으로 장기적인 모니터링이 지속적으로 필요하다.(Jeon et al., 2018).

환경부는 비점오염 모니터링 방법으로 국립환경과학원의 '강우유출수 조사방법(2012)'을 복합지목유역의 모니터링 방법으로 제시하고 있으며, 모니터링 연 횟수를 6회 이상으로 지정하고, 유출 초기 24시간동안은 1시간 간격, 유출지속시간이 24시간을 초과하는 경우 6시간 간격, 48시간을 초과하는 경우 연구자의 임의 조정하여 채수를 실시하도록 하고 있다. 고빈도의 채수 간격은 수질변화의 복잡한 패턴을 보여주고 영양물질 변동의 시간적 다양성을 제공할 수 있지만(Halliday et al., 2012), 유역 모니터링 시 고빈도 채수의 간격은 현장 및 분석 인력, 수질 분석 비용이 증가하기 때문에 경제적이고 효율적인 모니터링 방법을 모색하는 것이 필요하다.

수질의 특성을 파악과 경제적인 채수를 위해 미환경부(USEPA, 1993)는 강우 사상별 최소 부분시료 개수를 최소 10개 이상으로 제시하였고, 캘리포니아주는 강우 유출수 채수방법으로 수동채수는 초기 1시간동안 15분간격으로 실시하고, 자동채수는 유량 대비 혼합 채수를 실시하도록 하고 있다(환경부, 2007).

Thompson et al. (2014)는 실측 15분간격 SS농도를 참값으로 보고 채수간격의 영향을 살폈으며, 최적 측정 간격을 7시간으로 제시하였다. Defew et al.(2013)은 유량과 인 농도를 측정하여 2시간 간격 샘플링과 일일, 주간, 복합 표본 조사 방식의 샘플링 방법을 비교하였으며, 2시간 간격에서 총인(T-P)부하량은 459kg으로 나타났고 주간, 일일 및 복합 표본 조사방식에 따라 산정된 부하량은 22~5,028kg로 큰 차이가 나타났다. 따라서 정확한 부하량 산정을 위해서는 고빈도 모니터링이 필요하다고 하였다. King and Harmel (2003)은 부하량의 정확도를 산정하기 위해 채수시간과 유속을 이용하여 45가지의 채수방법을 평가한 연구를 실시하였고 15분 이하의 짧은 채수간격이 질소와 인의 부하량을 정확하게 추정함을 확인하였다. Bowes et al.(2009) 와 Jordan et al.(2012)은 농촌 저수지에 유입되는 인 부하량은 강수량과 이에 따른 지표 유출수에 관련이 있음을 보고하였다. 특히 연간 인 부하량의 80% 이상이 2~3개의 큰 강우사상과 그에 따른 고유량에서 발생되기 때문에 고유량 구간이 포함된 모니터링의 중요성을 제시하였다.

Choi et al. (2017)은 비점오염원의 효율적 관리를 위한 기초조사를 위해 도시지역의 토지이용별 비점오염물질의 유출특성을 파악하고 연 적정 모니터링 횟수를 조사하여 공업지역 11~14회, 교통지역 12~14회, 상업지역 11~13회, 주거지

역 22~25회로 분석하였다. Kal et al.(2017)은 낙동강 수계의 금호강유역을 대상으로 하여 침투 수질을 이용한 모니터링 및 비점오염 관리방안을 도출하기 위해 총 89회의 모니터링을 실시하였으며 금호강유역의 경우 강우 유출수 조사를 3~8월 선행 무강우 일수가 4일 이상, 강우량이 89 mm이상의 큰 강우사상을 대상으로 최소 12시간이상 조사하는 것이 타당한 것으로 분석하였다. 농경지의 경우 Kim (1999)은 충북의 광역논 배수로 말단에서 2~6시간 간격 채수를 통해 유출량, COD T-N, T-P의 농도변화를 조사한바 있으며, Han 과 Kim (2005)은 전라북도 진안군에 위치한 경지정리가 된 논에서 강우 유출 발생 시 집중 채수와 그렇지 않은 경우의 부하량을 산정한 후 수질 자료 수에 따른 부하량 차이를 비교하였다. 이로부터, 부하량 산정 차이가 10% 이내인 강우사상의 샘플수로 T-N, T-P는 6회, SS는 유출지속시간에 따라 4~11회로 제시하였다. 환경부 (2017)의 연구에서는 전주천의 비도시유역(시가화 면적 25%미만)을 대상으로 HSPF모형을 사용하여 BOD, T-N, T-P 수질을 모의하고 1시간간격으로 모의된 값과 2시간 간격부터 5시간 간격의 모의된 값을 이용하여 부하량을 산정하고 비교한 결과, 유역면적이 20~300 km² 인 경우 3시간 간격, 300 km² 이상의 유역에서 4시간 간격으로 채수를 할 때도 연간부하량의 오차가 10% 미만으로 나타났다.

다양한 수문 상황에서 장기간에 걸친 유역 모니터링은 강우 발생하는 오염원과 오염경로의 특성을 보여준다(Kirchner et al., 2000; 2004). 한정된 수질자료를 이용하여 오염부하 산정할 때와 집중적으로 채수된 많은 시료를 이용하여 산정된 부하량 사이에 어느 정도 차이를 갖는지를 규명하는 것은 모니터링에 따른 오염부하량 산정 결과의 신뢰 범위 파악뿐만 아니라 경제적인 수질 시료 채수 빈도 수립에 꼭 필요하다(Han and Kim, 2005).이 연구에서는 복합지목 유역의 오염부하 추정을 위한 합리적인 수질시료 채수 간격을 분석하기 위해 초기 24시간의 채수 간격을 조정했을 때 Biochemical Oxygen Demand(BODs), Total Phosphorous(T-P)의 토지이용별 부하량의 추정값 차이를 고찰하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험지구

연구대상지는 풍영정천 유역으로 전라남도 장성군 진원면에서 발원하여 상류부에서 산정천과 평산천, 중류에서 하남 안청리와 비아 도촌리, 말단부에서 장수천과 합류하는 광주지역 하천으로, 유역의 면적은 68.93 km²이며 유로길이는 14 km으로 상류부에는 농경지, 하류부에는 주거단지가 분포하고 있다(Fig.1). 풍영정천을 토지이용별로 WJ(농촌소유역), JS(도시소유역), PYJ(유역말단) 유역으로 구분하였다. 소유역별 토지이용현황을 살펴보면 WJ 유역은 농경지 62.2%, 도시 6.2%로 구성되어 있으며, JS 유역은 농경지 28.8%, 도시 36.0%로 구성되어 있다. JS 유역은 주로 합류식 관거로 이루어져 있다. PYJ(유역말단)은 농경지 46.9%, 도시 25.7%로 구성되어 있다.

Table 1. Landuse of Pungyeongjeongcheon watershed.

watershed	Paddy	Upland	Urban	forest	Etc	Total
WJ	12.6 (36.1)	9.1 (26.1)	2.17 (6.2)	8.4 (24.0)	2.67 (7.7)	34.9 (100.0)
JS	1.0 (12.5)	1.3 (16.3)	2.9 (36.0)	1.6 (20.0)	1.2 (15.3)	8.0 (100.0)
PYJ	16.9 (24.5)	15.4 (22.4)	17.7 (25.7)	11.0 (16.0)	7.9 (11.4)	68.9 (100.0)

Unit : km²(%)

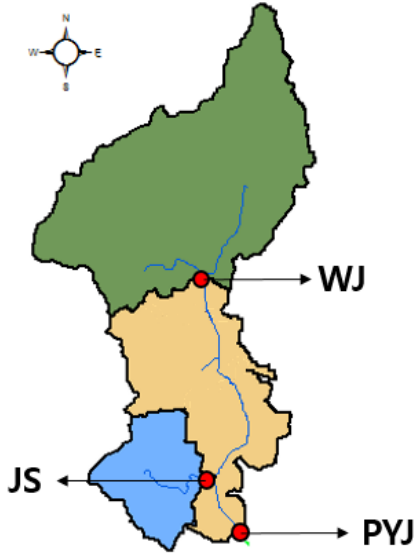


Fig. 1. Layout of study watershed and sampling points.

2.2 기상 및 수문모니터링 방법

WJ(농촌소유역) 유역은 광주지방기상청의 광주과기원 기상자료를 사용하고 JS(도시소유역)유역과 PYJ(유역말단)은 광주기상청의 광산기상자료를 사용하였다. 또한 소유역

별 유량을 산정하기 위하여 WJ와 JS 유역에 수위표와 자동 수위계를 설치하였고, 자동수위계 설치지점의 하천단면을 측량하고, 유속을 측정한 뒤 수위-유량 관계식 이용하여 유량을 산정하였다. PYJ(유역말단)은 국토해양부에서 관리하는 수위국의 유량 자료를 이용하였다.

2.3.1 수질모니터링 방법 및 부하량 산정

현장 모니터링은 Autosampler(ISCO, 1570)를 이용하여 2015년부터 2017년까지 13개의 강우사상을 대상으로 국립환경과학원의 강우유출수 조사방법에 따라 수행하였다. 채수된 시료는 수질오염공정시험기준(MOE, 2014)에 따라 BOD₅는 20°C에서 5일간 항온 배양 시 호기성 미생물의 호흡작용에 의하여 소비된 용존산소의 양을 격막전극법을 이용하여 측정하였으며, T-P는 연속흐름법(BLTEC, STYNCA)을 사용하여 측정하였다. 부하량 산정에는 각 강우사상 실측 농도값에 채수 시 유량 값을 곱하여 강우사상별 부하량을 산정하였다.

2.3.2 채수간격에 따른 부하량 비교

채수간격에 따른 부하량의 차이를 알아보기 위해 Fig. 2.와 같이 채수간격을 조정하였다. Fig. 2. (a)는 2015년 10월 01에 강우유출수 조사방법으로 1시간간격으로 채수된 초기 24시간의 실측자료를 보여주고 있으며, Fig. 2.(b)와 (c)는 측정된 자료를

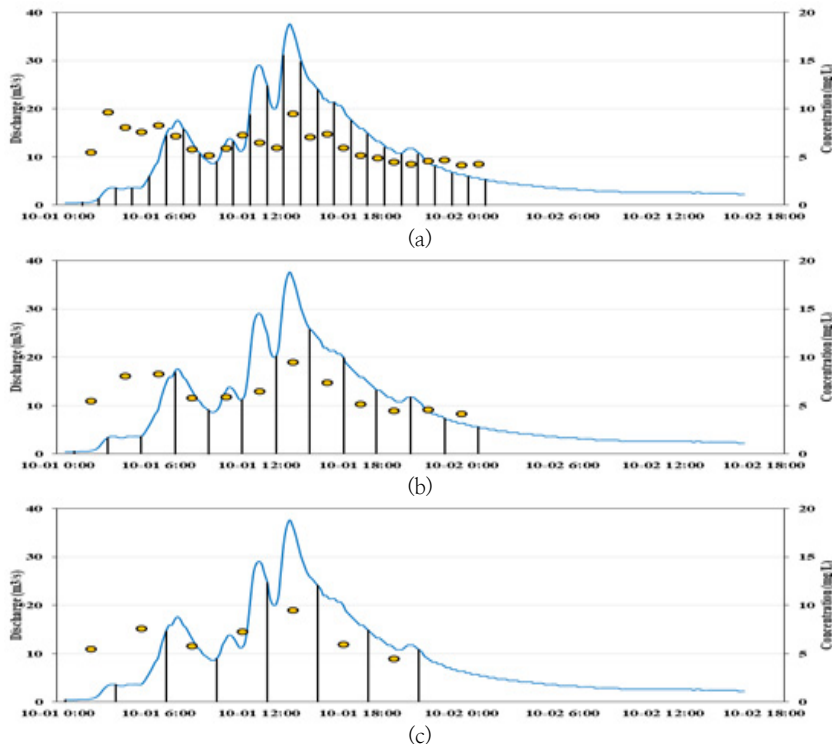


Fig. 2. Load estimation method according to sampling by (a) 1hr interval, (b) 2hr interval, (c) 3hr interval.

바탕으로 2시간 또는 3시간으로 채수간격을 조정한 것을 보여주고 있다. 이와 같은 방법으로 4시간, 6시간까지 채수 간격을 조정하여 부하량을 산정한 뒤 1시간간격 부하량과 비교 분석하였다.

2.3.3 통계분석

R을 활용하여 채수간격별 산정된 부하량 평균의 차이를 분석하였다. 정규성 검정p-value값이 0.05 이상일 경우 정규성을 따르며 t-test를 실시하고 정규성을 따르지 않는 경우 Wilcox 검정을 실시하여 채수간격별로 유의성을 검정하였다. 채수간격에 따른 유의성 검정은 귀무가설은 '1시간 간격 채수간격과 다른 채수간격과의 부하량 차이가 없다'로 지정하고 대립가설은 '1시간 간격 채수간격과 다른 채수간격과의 부하량 차이가

있다.'로 지정하였다. p-value > 0.05 일 때 귀무가설이 성립되어 1시간채수를 하였을 때 부하량 차이는 채수간격에 따라 부하량과 다른 채수간격 간에 부하량의 차이가 없는 것으로 판단하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 모니터링 결과

Table 2는 풍영정천 유역의 2015년부터 2017년까지의 모니터링 한 결과를 평균(최소~최대)로 나타낸 것이다. 총 시료개수는 284개이며 강우량은 3.2~52.5 mm, 강우강도는 0.22~4.36 mm/hr로 조사되었다. 각 소유역별 유출량은 WJ

Table 2. Observed rainfall, runoff amounts and BOD, T-P concentrations of the rainfall event.

Site	Event (Date)	Rainfall (mm)	Runoff (m ³ /s)	Rainfall intensity (mm/hr)	BOD (mg/L)	T-P (mg/L)
WJ (Rural)	event-1 (2015.04.03)	11.5	29.4	4.36	4.9 (3.8~5.7)	0.219 (0.146~0.286)
	event-2 (2015.05.11)	27.5	66.78	1.96	4.8 (2.0~7.6)	0.242 (0.186~0.300)
	event-3 (2015.07.11)	43.5	148.79	0.99	3.6 (2.4~4.6)	0.286 (0.170~0.436)
	event-4 (2015.08.11)	22.0	51.92	0.96	2.7 (1.8~4.2)	0.192 (0.124~0.335)
	event-5 (2015.09.23)	14.0	24.05	0.42	2.8 (1.6~3.3)	0.025 (0.015~0.043)
	event-6 (2015.10.01)	54.0	250.35	2.43	4.8 (2.4~7.9)	0.054 (0.024~0.073)
	event-7 (2016.04.27)	51.5	209.46	1.39	4.4 (2.5~5.8)	0.245 (0.110~0.397)
	event-8 (2016.08.26)	27.0	107.46	1.08	2.7 (1.9~3.3)	0.161 (0.107~0.274)
	event-9 (2016.09.28)	5.5	35.94	0.22	2.7 (1.9~3.4)	0.128 (0.112~0.148)
	event-10 (2016.10.16)	52.5	230.15	2.02	3.5 (1.6~5.4)	0.088 (0.236~0.508)
	event-11 (2017.04.10)	9.0	45.13	1.13	7.9 (6.5~11.1)	0.220 (0.185~0.263)
	event-12 (2017.05.10)	15.0	80.09	0.52	9.0 (6.5~11.6)	0.233 (0.178~0.275)
	event-13 (2017.07.07)	28.5	186.83	1.30	8.1 (3.1~26.1)	0.214 (0.128~0.515)
JS (Urban)	event-1 (2015.04.03)	11.5	1.6	4.36	14.7 (4.1~44.8)	0.233 (0.057~0.584)
	event-2 (2015.05.11)	27.5	65.17	1.96	6.1 (2.0~12.1)	0.197 (0.130~0.312)
	event-3 (2015.07.11)	43.5	82.61	0.99	4.2 (2.7~8.8)	0.166 (0.092~0.411)
	event-4 (2015.08.11)	22.0	38.05	0.96	2.8 (3.2~42.4)	0.344 (0.147~0.644)
	event-5 (2015.09.23)	14.0	14.01	0.42	12.5 (3.9~23.0)	0.046 (0.015~0.071)
	event-6 (2015.10.01)	54.0	162.85	2.43	13.9 (2.2~57.8)	0.024 (0.008~0.059)
	event-7 (2016.04.27)	51.5	138.32	1.39	6.7 (3.2~15.2)	0.457 (0.149~1.785)
	event-8 (2016.08.26)	27.0	47.74	1.08	5.1 (2.5~15.3)	0.158 (0.090~0.442)
	event-9 (2016.09.28)	5.5	3.96	0.22	6.5 (4.2~12.6)	0.192 (0.148~0.293)
	event-10 (2016.10.16)	52.5	158.69	2.02	4.1 (1.9~10.7)	0.375 (0.200~0.729)
	event-11 (2017.04.10)	9.0	5.76	1.13	7.3 (5.8~10.4)	0.234 (0.140~0.315)
	event-12 (2017.05.10)	15.0	13.45	0.52	15.85 (3.9~45.5)	0.208 (0.072~0.673)
	event-13 (2017.07.07)	28.5	12.54	1.30	7.9 (3.5~23.4)	0.308 (0.108~1.714)
PYJ (Mixed)	event-1 (2015.04.03)	11.5	50.94	4.36	13.8 (4.0~42.7)	0.436 (0.162~0.647)
	event-2 (2015.05.11)	27.5	608.45	1.96	7.9 (3.4~26.4)	0.264 (0.133~0.522)
	event-3 (2015.07.11)	43.5	1190.15	0.99	4.8 (2.0~8.2)	0.229 (0.143~0.330)
	event-4 (2015.08.11)	22.0	488.68	0.96	6.2 (3.3~19.3)	0.304 (0.139~0.605)
	event-5 (2015.09.23)	14.0	217.25	0.42	6.3 (1.8~10.4)	0.045 (0.023~0.070)
	event-6 (2015.10.01)	54.0	2182.07	2.43	6.0 (2.9~9.7)	0.057 (0.025~0.098)
	event-7 (2016.04.27)	51.5	2479.4	1.39	6.9 (4.5~12.0)	0.270 (0.092~0.397)
	event-8 (2016.08.26)	27.0	976.73	1.08	5.6 (2.0~19.5)	0.178 (0.119~0.378)
	event-9 (2016.09.28)	5.5	75.39	0.22	3.3 (2.1~4.9)	0.088 (0.069~0.101)
	event-10 (2016.10.16)	52.5	2189.52	2.02	3.3 (1.5~5.2)	0.271 (0.064~0.475)
	event-11 (2017.04.10)	9.0	180.8	1.13	9.3 (6.0~17.5)	0.249 (0.197~0.352)
	event-12 (2017.05.10)	15.0	227.66	0.52	18.2 (4.9~43.0)	0.420 (0.134~1.212)
	event-13 (2017.07.07)	28.5	1328.16	1.30	10.3 (6.6~19.0)	0.285 (0.139~0.610)

() : min~max

(농촌소유역)에서 24.1~250.4 m³/s로 나타났고 JS(도시소유역)에서 1.6~162.9 m³/s, PYJ(유역말단)은 50.9~2479.4 m³/s로 나타났다. BOD 농도는 WJ 소유역에서 4.9(1.6~26.1) mg/L, JS 소유역에서 8.8(1.9~57.8) mg/L, PYJ 유역에서 8.0(1.5~43.0) mg/L로 나타났다. T-P는 WJ 소유역에서 0.195(0.015~0.515) mg/L, JS 소유역에서 0.238(0.008~1.785) mg/L, PYJ 유역에서 0.248(0.023~1.212) mg/L로 나타났다.

3.2 채수간격에 따른 강우사상 부하량의 차이 분석

Fig. 3은 강우크기와 채수간격에 따른 부하량 산정값을 나타낸 것이다. 채수간격별 부하량의 차이는 강우크기와는 뚜렷한 관계를 나타내지 않았다. WJ 소유역의 경우 JS 소유역 보다 BOD, T-P 부하량이 작게 산정되었으며, 채수간격별 부하량의 차이는 WJ 소유역 보다 JS 소유역에서 크게 나타났다. 이와같은 이유는 WJ는 농촌유역으로 시간간격에 따른 농도

의 차이가 크게 발생하지 않지만, JS 소유역은 도시유역으로 초기에 고농도로 유출되고 시간이 경과함에 따라 저농도로 유출되기 때문에 판단된다. Table 3은 초기 24시간의 총 강우사상의 유출량과 농도의 중간값과 편차를 나타내었다. 도시소유역의 경우 농도편차가 크게 나타나 Ahn 등(2012)의 연구 결과와 동일하게 불투수성 지역이 많을수록 비점오염물질이 다량 유출되기 때문에 농도 편차가 큰 것으로 나타났다.

Table 3. Median and standard deviation of runoff, BOD and T-P concentrations of different landuse watersheds.

	WJ(Rural)	JS(Urban)	PYJ(Mixed)
Runoff(m ³ /s)	0.9±1.0	0.3±1.4	2.7±9.3
BOD(mg/L)	4.1±2.7	6.0±7.9	6.1±7.1
T-P(mg/L)	0.20±0.10	0.17±0.22	0.22±0.18

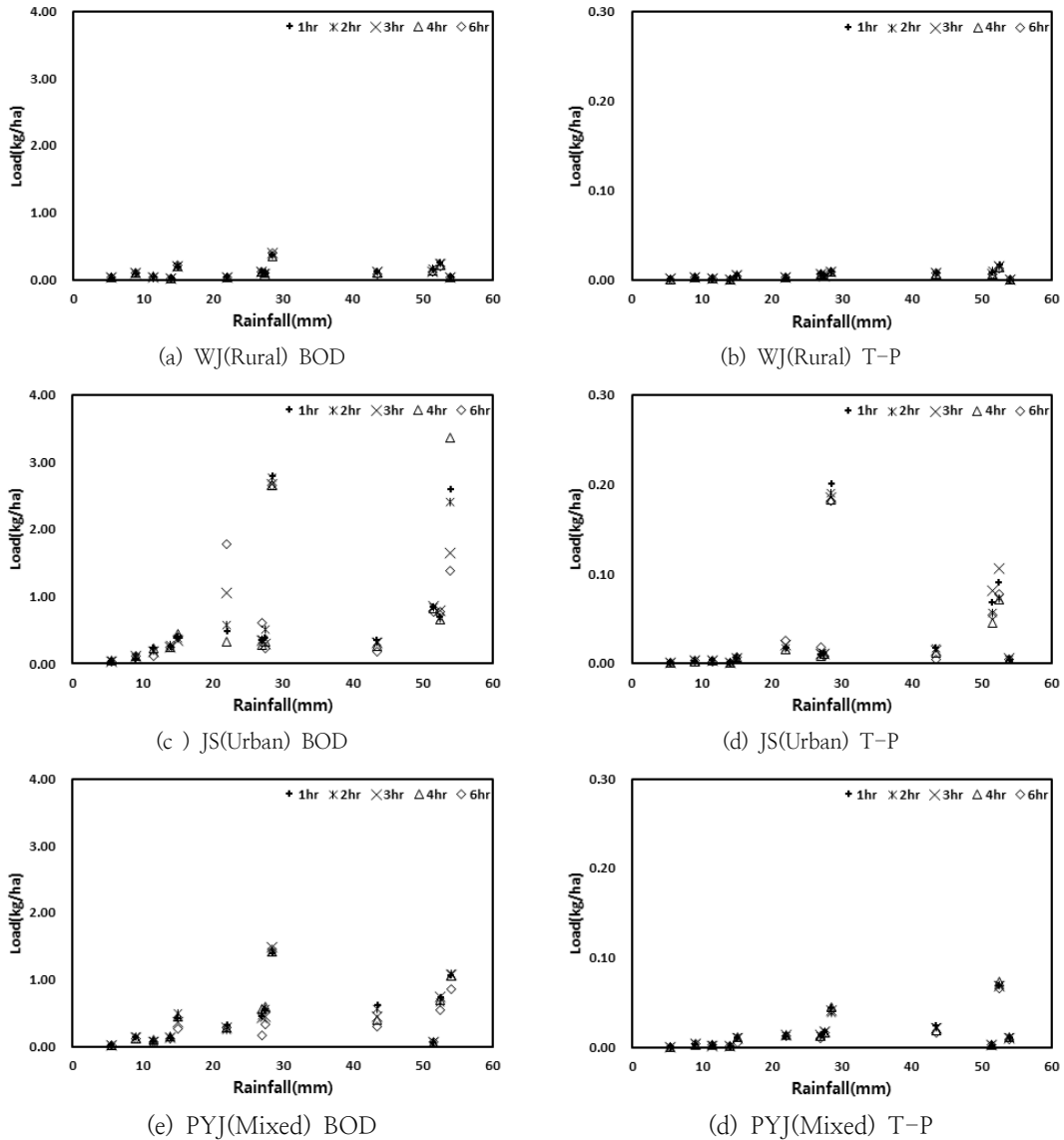


Fig. 3. Rainfall amounts and load estimations by different sampling frequency.

Table 4. Significance analysis of the difference between the load of 1 hour interval and the load of 2,3,4,6 hour sampling intervals.

Watershed	Water Quality constituent	Load difference compared to 1hr sampling scheme			
		2hr	3hr	4hr	6hr
WJ	BOD	×	×	×	×
	T-P	×	×	×	×
JS	BOD	×	×	×	×
	T-P	×	×	×	×
PYJ	BOD	▨	▨	▨	○
	T-P	×	×	×	○

▨ t-test, □ Wilcox test

Table 4는 1시간 채수간격과 2,3,4,6시간 채수를 하였을 때 부하량 차이에 대한 통계 분석결과를 보여주고 있다. WJ과 JS의 경우 BOD, T-P 모두 1시간 채수간격과 6시간까지 채수간격 부하량이 통계적으로 유의 차이가 없는 것으로 나타났다. PYJ의 경우 BOD, T-P 모두 1시간간격 채수와 4시간 간격까지 채수의 부하량은 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았으며, 6시간 간격 채수 시 부하량이 1시간 간격 채수 시 부하량과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 5는 총 13개의 각 강우사상별 1시간 채수간격과 채수간격별 부하량 차이 중앙값을 비교한 결과를 보여주며, BOD는 WJ(농촌소유역)의 경우 6시간간격, JS(도시소유역)은 2시간간격, PYJ(유역말단)의 4시간 채수간격 부하량과 1시간 채수 간격 부하량 차이의 중앙값이 10% 이내로 나타났다. T-P의 경우 WJ 소유역은 4시간 간격, PYJ 유역은 6시간 간격도 부하량의 차이 중앙값이 10% 이내로 나타났고 JS 소유역의 경우에는 2시간 채수 간격에서 10% 내외로 나타났다.

BOD와 T-P 모두 도시 토지이용 비율이 커질수록 채수 간격별 부하량 차이가 커지는 것으로 나타났다. 특히, JS 소유역의 경우 채수간격이 커짐에 따라 부하량의 차이가 크게 나타났는데 이는 불투수층이 많아 초기에 고농도로 유입되어 측정시간대에 따라 농도 차이가 많이 나는 것으로 판단된다. 또한, 통계적으로는 채수간격별 유출 평균의 차이가 나타나지 않지만 채수간격이 길어질수록 편차가 커

지는 것으로 나타났다.

3.3 채수간격에 따른 토지이용별 강우사상 부하량 총 합 차이 분석

Fig. 4는 채수간격에 따른 13개의 강우사상의 부하량 합 의 차이를 나타낸 것이다. BOD는 WJ 소유역에서 2시간 간격에서 1시간에 비해 부하량 차이가 5%이하로 나타났고 6시간 간격에서도 PYJ 유역을 제외한 WJ 소유역과 JS 소유역에서 차이가 10%이하로 나타났다. T-P의 경우 농촌유역인 WJ의 경우 채수간격이 길어질수록 부하량의 차이가 크게 나타났지만, 3시간 간격에서는 WJ, JS, PYJ 모두 10% 이하의 차이를 나타냈다. 환경부(2017)의 모델링 연구에서 유역면적이 20~300 km²인 비도시복합유역은 BOD, T-N, T-P항목에서 3시간 채수간격 부하량이 10% 이내의 차이를 나타냈으며, 토지이용이 비슷한 본 연구지역인 WJ(농촌소유역)에서도 3시간 채수간격에서 10% 차이를 만족하였다. 본 연구에서는 풍영정천 유역을 대상으로 13개의 강우사상을 이용하여 분석을 하였기 때문에 더욱 더 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위하여 추가적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다. 하지만, 유역 특성에 맞는 경제적 채수빈도를 추정하는 접근 방법은 지류총량제 등에서 오염지역 파악과 수질개선 효과를 평가하는데 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

Table 5. Median and standard deviation of load estimation difference among 1hour vs 2hour, 3hr, 4hr, 6hr sampling interval of storm runoff events.

(Unit: %)

BOD	2hr	3hr	4hr	6hr
WJ(Rural)	2.91±1.97	4.86±6.14	7.87±5.37	4.58±10.89
JS(Urban)	7.39±12.28	13.61±33.27	15.07±14.61	38.96±71.53
PYJ(Mixed)	8.16±7.33	7.87±7.45	10.16±13.37	18.19±19.29

(Unit:%)

T-P	2hr	3hr	4hr	6hr
WJ(Rural)	3.9±4.17	5.03±7.89	7.05±7.11	10.31±9.67
JS(Urban)	5.24±8.53	17.19±14.00	9.76±9.63	20.52±29.32
PYJ(Mixed)	3.88±4.7	4.48±4.83	7.32±6.72	6.73±16.79

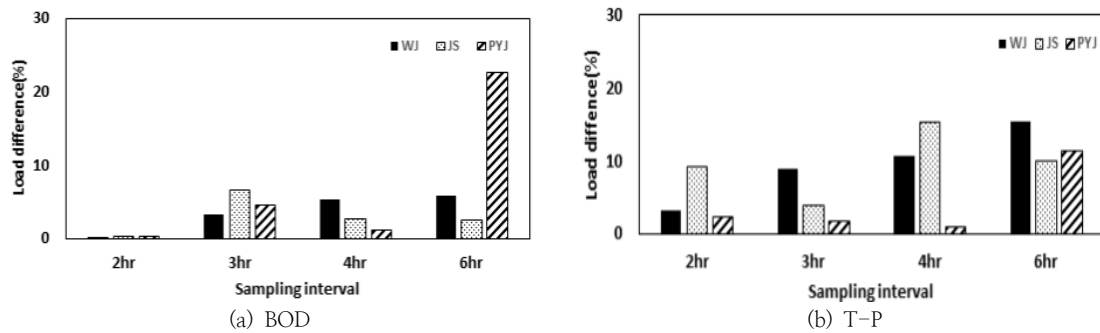


Fig. 4. Total load(sum of 13 events) difference(%) of 1hr sampling interval vs. 2hr, 3hr, 4hr and 6hr interval sampling.

4. 결 론

본 연구에서는 토지이용현황에 따라 풍영정천 유역을 WJ(농촌소유역), JS(도시소유역), PYJ(유역말단)으로 구분하고 2015년부터 2017년까지 강우유출수 조사방법으로 수행된 모니터링 자료를 이용하여 초기 24시간동안 채수간격을 1시간 간격 채수간격 부하량과 2시간, 3시간, 4시간, 6시간 채수간격의 부하량의 차이를 비교하였다.

1시간 간격 채수 부하량과 다른 채수간격별 부하량의 차이를 분석한 결과, 유역말단의 6시간 간격 부하량을 제외하고 통계적으로 평균의 차이는 나타나지 않았지만 채수간격이 길어질수록 부하량 추정 차이는 커지는 것으로 나타났다. 모든 강우사상의 부하량을 합하여 토지이용별로 채수간격에 따른 차이를 비교한 결과 농촌소유역(WJ)의 경우 BOD와 T-P 모두 채수간격이 길어질수록 부하량의 차이가 커지는 것으로 나타났지만, 도시소유역(JS)의 경우는 일정한 경향을 나타나지 않았다.

또한, 강우가 작을 때에는 배출되는 부하량도 적어 채수간격별 차이가 있더라도 연간 총 부하량으로 보았을 때에는 영향이 적은 것으로 나타났다.

강우유출수 조사법에서 제시된 1시간 간격 채수빈도와 부하량 차이를 10%이하로 산정할 수 있는 채수간격을 적정 채수빈도라고 가정할 때, 조사된 모든 소유역에서 3시간 간격으로 채수를 하는 것이 BOD, T-P 부하량 산정에 합리적으로 판단된다.

사 사

이 논문은 영산강·섬진강수계 재원으로 영산강유역환경청 및 국립환경과학원의 지원(NIER-05-01-015 or NIER-05-01-008)과 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2017R1D1A3B03029713)

References

Ahn, T. W., Kim, T. H., Oh, J. M., (2012). Analysis of first

- Flushing Effects and EMCs of Non-point Pollutants from Impervious Area during Rainfall. *Korean J Limnol*, 45(4), PP.459-473, doi:10.11614/KSL.2012.45.4.459
- Beman, J. M., Arrigo, K. R., and Matson, P. A. (2005). Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean, *Nature*, 434, pp. 211-214, doi:10.1038/nature03370
- Bowes, M. J., Smith, J. T., and Neal, C. (2009). The value of high resolution nutrient monitoring: a case study of the River Frome, Dorset, UK. *J. of Hydrology* 378, pp.82-96, doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.015
- Choi, J. H., N, E.H (2017). Determination of the number of storm events monitoring considering urban stormwater runoff characteristics, *J. of Wetlands Research*. pp.515-522, doi:10.17663/JWR.2017.19.4.515
- Defew L. H., L. May, and K. V. Heal. (2013). Uncertainties in estimated phosphorus loads as a function of different sampling frequencies and common calculation methods, *J. of Marine and Freshwater Research*. pp.373~386. doi: 10.1071/MF12097
- Han, K. H., Kim, J. H., (2005). Effect of Sampling Frequency During Storm Period on Estimation of Pollutant Load from Paddy Field. *J. Korean of Environmental Agriculture Vol. 24, No. 1*, pp.17-23. DOI: 10.5338/KJEA.2005.24.1.017
- Halliday, S. J., Wade, A. J., Skeffington, R. A., Neal, C., Reynolds, B., Rowland, P., Neal, M., and Norris, D. (2012). An analysis of long term trends, seasonality and short-term dynamics in water quality data from Plynlimon, Wales, *Sci. Total Environ.*, 434, pp. 186-200. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.10.052
- Jang, I. H., Lee, H. J., Kim, H. K., Park, J. H., Kim, J. H., Rhew, D. H. (2010). Improvement of Water Quality and Streamflow Monitoring to Quantify Point and Nonpoint Source Pollutant Loads. *J. of Korean Society on Water Quality*, 26(3), pp. 860-870.
- Jeon, J. C., Jung, J. H., Kim, Y. S., Kim, L. H., (2018). A Review of Research Trend Related to NPS and Suggestion for Research. *J. of Wetlands Research, Vol. 20, No. 1, February 2018*, pp.80-93 Doi :

[10.17663/JWR.2018.20.1.080.](#)

Direction in the Future

- Jordan, P., Melland, A. R., Mellander, P.-E., Shortle, G., and Wall, D. (2012). The seasonality of phosphorus transfers from land to water: implications for trophic impacts and policy evaluation. *The Science of the Total Environment* 434, pp.101–109. [doi:10.1016/j.scitotenv.2011.12.070](#)
- Kal, B. S., Park, J. B., Kwon, H. K., Im, T. H., Lee, J. H. (2017). A study on the Management of Non-point Source Using Peak Water Quality Concentration. *J. of Wetlands Research Vol. 19, No. 3*, August 2017, pp. 287–295, [doi : 10.17663/JWR.2017.19.3.287](#)
- Kim, J. S., S. Y., and Kim, K. S. (1999). Characteristics of concentration and load of nitrogen and phosphorus in paddy field areas, *J. of Korean Society of Agricultural Engineering*. 41(4), pp. 47–56.
- King, K. W., and Harmel, R. D. (2003). Considerations in selecting a water quality sampling strategy. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 46, pp. 63–73.
- Kirchner, J.W., Feng, X. H., and Neal, C. (2000). Fractal stream chemistry and its implications for contaminant transport in catchments, *Nature*, 403, pp. 524–527, [doi:10.1038/35000537](#)
- Kirchner, J. W., Feng, X. H., Neal, C., and Robson, A. J. (2004). The fine structure of water-quality dynamics: the (highfrequency) wave of the future, *Hydrol. Process.*, 18, pp.1353–1359. [doi:10.1002/hyp.5537](#)
- Ministry of Environment (MOE). (2017). *Monitoring of demonstration facilities of nonpoint source pollution monitoring network and optimization of network*.
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2007), *Evaluation of Non-Point Sources Pollution – Stormwater Monitoring*, 11-1480523-000219-01, National Institute of Environmental Research (NIER).
- Thompson, J., Cassidy, R., Doody, D. G., Flynn, R. (2014). Assessing suspended sediment dynamics in relation to ecological thresholds and sampling strategies in two Irish headwater catchment. *Science of the Total Environment*, 468-469(15), pp. 345–357. [doi:10.1016/j.scitotenv.2013.08.069](#)
- USEPA (1993). *NPDES Storm Water Sampling Guidance Manual*.800B93001. *Office of Water*, Washington DC, USA.