

기저유출을 고려한 비점오염 유출특성 분석과 원단위 검증에 관한 연구

박재범·갈병석·이철구*·홍선화*·최무진*

(주)다운솔루션

*국립환경과학원 금강물환경연구소

A Study on the Analysis of Non-point Source Runoff Characteristics and Verification of Unit Pollutant Load Considering Baseflow Runoff

Jaebeom Park·Byungseok Kal·Chulgu Lee*·Seonhaw Hong*·Moojin Choi*

Daon Solution Co., Ltd

*Geum River Environment Research Center, National Institute of Environment Research

(Received : 17 July 2017, Revised: 28 July 2017, Accepted: 28 July 2017)

요약

본 연구에서는 기저유출을 고려한 관측 자료 기반 오염부하량을 이용하여 비점오염 유출특성과 신규 원단위의 활용 가능성을 검토하였다. 이를 위해 금강 수계 주원천 지역의 9개 강우사상을 대상으로 디지털 필터 기법을 이용하여 유출 성분을 분리하고 수치적분법을 적용하여 비점오염부하량을 산정하였다. 연구결과 비점오염 평균 기여율은 BOD 31.34%, T-N 58.94%, T-P 50.42%로 BOD의 경우 기저유출의 영향이 큰 것으로 분석되었다. 또한, 신 원단위를 적용한 오염부하량이 구 원단위를 적용한 경우에 비해 관측부하량에 근접하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 효율적인 지역의 수질관리를 위해서는 직접유출에 따른 오염부하뿐만 아니라 기저유출에 따른 오염부하 관리도 필요함을 의미한다.

핵심용어 : 기저유출, 디지털필터, 비점오염원, 유출특성, 원단위

Abstract

In this study, the characteristics of non-point source pollution runoff and the possibility of using new unit load were investigated by using pollutant load based on monitoring data considering baseflow. For this purpose, the components of hydrograph were separated by using digital filter method and the numerical integration method was applied to calculate the non-point source pollutant load for nine rainfall events in Juwon river in the Geum River basin. As a result of this study, the mean contribution rate of non-point pollutant was 31.34% for BOD, 58.94% for T-N, and 50.42% for T-P and BOD was more influenced by baseflow pollutant. Also, it was analyzed the pollutant load using the new unit load is closer to the observation load than the old unit load. This result implies that it is necessary to manage not only pollutant load due to direct runoff but also pollutant load due to baseflow runoff for efficient water quality management of the watershed.

Key words : Baseflow, Digital Filter, Non-Point Source, Runoff Characteristic, Unit Load

1. 서론

하천유역의 수질개선을 위한 정부의 수질오염관리 정책은 점오염원 위주의 관리에서 비점오염원을 통합한 종합적인 관리 정책으로 변화되고 있다. 비점오염원은 토지이용특성, 강우사상, 지역별 우수·우수 관리시스템 등 다양한 요인에 따라 발생정도가 다르므로 시간적·공간적 특성에 따

른 발생오염에 대한 정량화가 매우 어렵다(Ahn et al., 2013). 또한, 개발에 따른 불투수층의 면적 비율이 높아 강우유달 시간이 짧고, 유량 및 오염물질이 다량 유출되는 현상이 나타난다. 이 외에 하수관거 오점, 관거 누수, 우수토실의 월류(CSOs) 등으로 인해 하수가 섞인 빗물이 하천으로 방류되는 경우가 발생되고 있으며, 하수관거에 쌓인 퇴적물이 강우 시 빗물에 씻겨 하천으로 유입된다(Shin, 2007).

종합적인 하천관리를 위해서는 오염부하량을 정량적으로 산정하는 것이 필수적이다. 이를 위해 우리나라는 광범위 또는 미계측 지역의 비점오염원을 정량화하기 위한 물관리 정책의 도구로써 원단위를 1980년대부터 활용하고 있다. 1995년 전국을 4대강 수역으로 구분하고 대지, 논, 밭, 임

* To whom correspondence should be addressed.
Geum River Environment Research Center, National Institute of Environment Research
E-mail: lcg279@korea.kr

야 등 5개 토지이용별 비점오염원 유출량을 실측 조사한 자료가 현재 사용 중인 비점오염원 원단위의 근거가 되고 있다. 현재 원단위는 10여년 경과됨에 따라 생활환경, 토지 이용 변화 등으로 인한 비점오염원 발생 및 유출특성 변화를 미반영하고 있다. 또한, 수질오염총량제 시행과정에 있어서 “대지” 원단위 과대로 인해 개발사업량 협의 지연 등 지자체의 할당 부하량 관리의 어려움을 호소하고 있다. 위의 문제점 해결을 위해 2008년부터 환경기초조사사업의 비점오염원 유출 장기 모니터링 사업 추진을 통해 2014년 대분류 및 중분류 토지피복에 따른 신규 원단위를 제안하였다 (Ministry of Environment, 2014).

환경부에서 제시하고 있는 원단위는 기저유출이 배제된 직접 유출 부하량을 산정한 값으로 해당 값을 검증하기 위해서는 수문곡선으로부터 유출성분을 분리하고 비점오염부하량을 산정하는 것이 필수적이다. 수문곡선에서 직접유출 및 기저유출을 분리하기 위한 방법으로 HYSEP(Hydrograph separation program) (Sloto and Crouse, 1996), BFLOW 필터(Arnold and Allen, 1999; Lyne and Hollick, 1979) 등 많은 기법들이 있다. 그러나, HYSEP은 프로그램에 필요한 입력자료 및 시행에 있어 많은 어려움이 있으며, 디지털 필터 기반의 BFLOW 필터는 유역내 대수층 특성을 전혀 고려하지 않는 단점이 있다. 이에 BFI_{max} (Baseflow index max)를 이용하여 유역 내 대수층 특성을 고려하여 기저유출을 분리하고 사용자의 주관적인 요소를 배제하여 사용할 수 있는 Eckhardt 필터를 이용한 기법이 비점오염 평가에 활용되고 있다(Choi et al., 2014; Choi et al., 2015; Hong et al., 2015; Jung et al., 2014).

본 연구에서는 금강 수계 주원천 유역의 9개 강우사상을 대상으로 Eckhardt 필터 기법을 이용하여 유출성분을 분리하고 수치적분법(Numerical Integration, NI)을 적용하여 관측 오염부하량을 산정하였다. 또한, 대표 EMC (Event Mean Concentration)법, 원단위법을 이용하여 오염원별 오염부하량을 산정하였다. 이를 통해 오염원별 비점오염유출 특성을 분석하고 신규 원단위의 적용성을 검토하였다.

2. 연구방법

2.1 오염부하량 산정방법

오염부하량 산정을 위한 방법으로는 수치적분법(Numerical Integration, NI), 원단위법, 대표 EMC법 등이 있으며, 해당 기법별 세부내용은 다음과 같다.

수치적분법은 관측 유량과 수질을 이용하여 오염부하량을 산정하는 해석 기법으로 Eqn. 1과 같이 정의할 수 있다. NI방법은 임의 지점에서의 관측 유량과 수질농도를 이용하여 오염부하량을 산정할 때 전체 유량 구간을 수질 샘플링 시점을 기준으로 분리한다. 오염부하량을 산정하기 위한 구간 구분은 수질 샘플링 이전 및 이후 기간 사이의 중간지점을 기점으로 구분하며, 대표농도는 해당 구간의 수질 샘플링 농도를 이용하여 산정한다.

$$Load = \sum_{i=1}^n c_i q_i t_i \quad (1)$$

여기서, c_i 는 i 번째 샘플의 농도, q_i 는 i 번째 유량, t_i 는 i 번째 샘플로서 표현되는 시간구간으로 $(t_{i+1} - t_{i-1})/2$ 를 의미한다.

원단위법은 토지이용 면적과 해당 단위면적당 발생부하량인 원단위를 이용하는 방법으로 Eqn. 2와 같이 정의할 수 있다.

$$Load = \sum_{i=1}^n (L_{PU} \times A_U) \quad (2)$$

여기서, L_{PU} 는 토지이용 U 에 해당하는 원단위($kg/km^2 \cdot day$), A_U 는 토지이용 U 에 해당하는 면적을 의미한다.

대표 EMC법은 강우사상 전체에 대한 평균농도인 EMC와 토지이용별 유출계수, 강우량을 이용하는 방법으로 Eqn. 3과 같이 정의할 수 있다. 토지이용별 EMC와 유출률에 토지이용 면적을 곱하고 해당 소유역의 전체면적으로 나누어 면적가중 EMC와 유출률을 산정한다.

$$Load = P \times E \times R_V \quad (3)$$

여기서, P 는 강우량($mm/year$), E 는 면적가중 EMC(mg/L), R_V 는 면적가중 유출률을 의미한다.

2.2 디지털필터에 의한 유출성분 분리

디지털 필터 방법은 전자신호를 해석하고 처리하는데 사용하는 방법으로 높은 신호(고주파)와 낮은 신호(저주파)를 분리한다. 이 방법은 수문곡선 상에서 높은 신호인 직접유출과 낮은 신호인 기저유출을 필터를 통해서 분리하는 방법이다(Cho et al., 2007).

본 연구에서는 BFI_{max} 를 이용하여 유역 내 대수층 특성을 고려하여 기저유출을 분리하여 사용자의 주관적인 요소를 배제하여 사용할 수 있는 Eqn. 4와 같은 Eckhardt 필터를 이용하여 기저유출을 분리하였다.

$$b_t = \frac{(1 - BFI_{max})\alpha + b_{t-1} + BFI_{max} Q_t}{1 - \alpha BFI_{max}} \quad (4)$$

여기서, b_t 는 t 시간에서 분리된 기저유출량(m^3/s), b_{t-1} 은 $t-1$ 에서 분리된 기저유출량, α 는 필터 매개상수, Q_t 는 t 시간에 전체 하천유출량, BFI_{max} 는 오랜 기간 동안 총 하천유출량과 기저유출량 비의 최대값을 의미한다.

Eckhardt 필터의 변수인 BFI_{max} 는 주관적인 요소로 작용하여 기저유출 분리결과에 영향을 준다. 정확한 기저유출 분리를 위해서는 대상유역의 대수층 특성에 적합한 BFI_{max} 를 선정해야 한다. Eckhardt(2005)는 항류하천(perennial streams) 0.8, 간헐하천(ephemeral streams) 0.5, 항류하천의 화강암지대(hard rock aquifer) 0.25로 대표적 대수층에 대한 BFI_{max} 값을 제안하였다.

3. 연구결과

3.1 대상지점

금강수계에 위치하고 있는 주원천 유역을 대상으로 모니터링을 수행하고 오염부하량을 산정하였다. 주원천 유역은 국가하천과 지방하천으로 나누어져 있으며 지방하천 구간에 대한 유로연장과 유역면적은 6.92km, 8.28km²이다. 또한, 주원천 전구간은 상수원수 1급 자연환경보전 대상으로 보호되어 있다. 주원천 유역의 모니터링 지점과 토지이용 현황은 Fig. 1과 같다.

3.2 관측자료를 이용한 오염부하량 산정

디지털 필터법을 이용하여 모니터링을 수행한 9개 강우사상에 대한 유출성분을 분리하고 수치적분법을 적용하여 관측오염부하량을 산정하였다. 총 유출량 중 직접유출 성분비는 20.13~21.09%(평균 20.23%)로 산정되었다. 유출성분에 따른 평균 오염부하량은 BOD 총유출 75.67kg, 직접유출 23.72kg, 기저유출 51.96kg, T-N 총유출 159.06kg, 직접유출 93.76kg, 기저유출 65.30kg, T-P 총유출 1.57kg, 직접유출 0.79kg, 기저유출 0.78kg, SS 총유출 141.82kg, 직접유출 114.21kg, 기저유출 27.61kg로 산정되었다. 비점오염원 부하량의

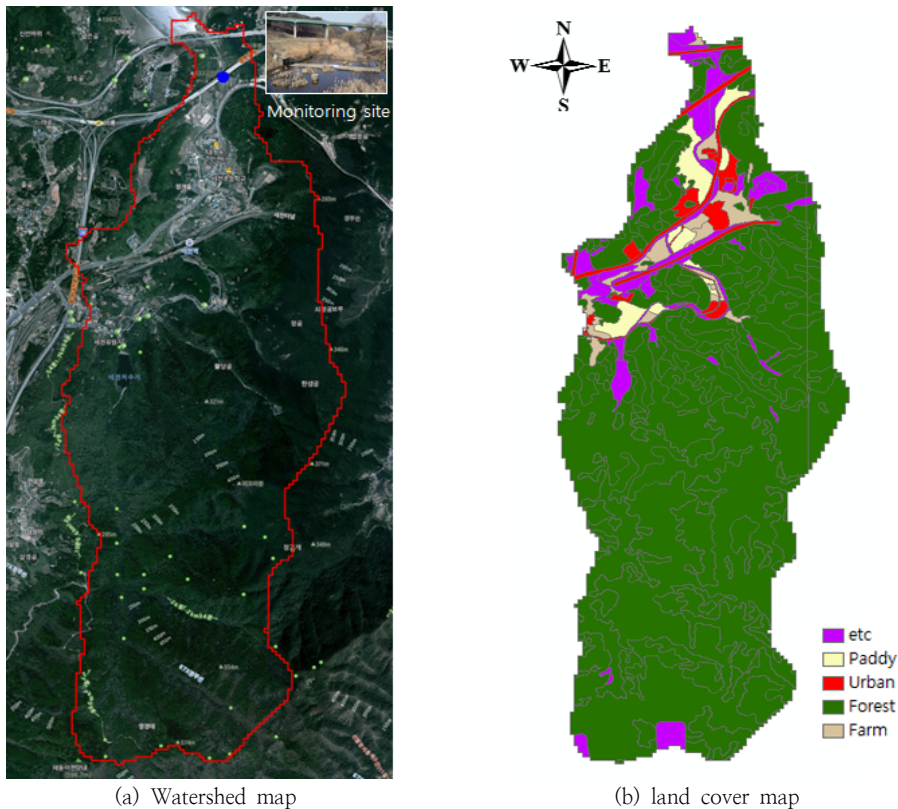


Fig. 1. Watershed and land cover map of study area

Table 1. Estimation of pollutant load using monitoring data(BOD, T-N)

Rainfall event	BOD(kg)				T-N(kg)			
	Total	Direct runoff	Baseflow	Contribution rate(%)	Total	Direct runoff	Baseflow	Contribution rate(%)
e1	53.54	24.66	28.88	46.06	42.03	17.31	24.72	41.19
e2	41.43	17.53	23.90	42.32	60.17	36.46	23.71	60.59
e3	126.71	33.60	93.11	26.52	380.25	264.88	115.37	69.66
e4	165.80	50.08	115.73	30.20	420.22	221.27	198.95	52.66
e5	33.65	10.57	23.08	31.42	51.12	16.00	35.12	31.29
e6	33.31	8.18	25.13	24.56	62.07	17.44	44.63	28.09
e7	9.72	3.95	5.77	40.66	13.69	4.46	9.23	32.56
e8	30.00	14.47	15.54	48.21	31.56	18.25	13.32	57.81
e9	186.89	50.43	136.46	26.98	370.44	247.75	122.69	66.88
Average	75.67	23.72	51.96	31.34	159.06	93.76	65.30	58.94

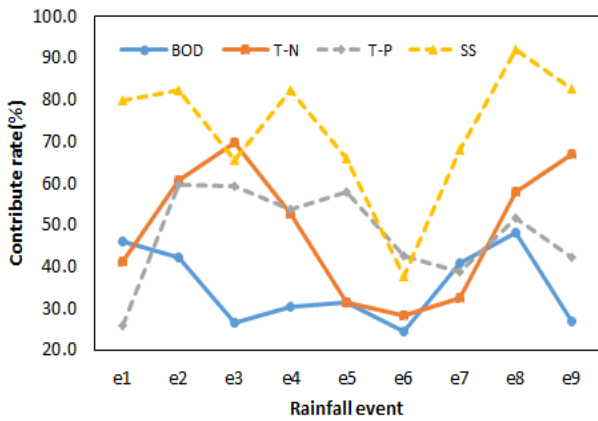


Fig. 2. Analysis of contribution rate of non-point source pollutant

기여율 범위(평균)는 BOD 24.56~48.21%(평균 31.34%), T-N 28.09~69.66%(평균 58.94%), T-P 25.82~59.55%(평균 50.42%), SS 37.66~91.93%(평균 80.53%)로 산정되었다.

이러한 결과는 오염물 BOD, T-N, T-P의 경우 기저유출의 영향이 크며 유기물과 영양염류의 40% 이상이 강우-유출 과정을 통해 유입하는 것을 의미한다. 따라서, 주원천 유역의 수질관리를 위해서는 직접유출에 따른 오염부하뿐만 아니라 기저유출에 따른 오염부하 관리도 필요할 것으로 판단된다.

3.3 원단위를 이용한 오염부하량 산정

주원천 유역의 대분류 토지피복(Fig. 1)은 도시 0.28km²(3.44%), 밭 0.2km²(2.46%), 전 0.21km²(2.51%), 산림 6.99km²(84.46%), 기타 0.59km²(7.13%)로 분석되었다. 2014년

Table 2. Estimation of pollutant load using monitoring data(T-P, SS)

Rainfall event	T-P(kg)				SS(kg)			
	Total	Direct Runoff	Baseflow	Contribution rate(%)	Total	Direct Runoff	Baseflow	Contribution rate(%)
e1	0.45	0.12	0.34	25.82	47.47	37.84	9.63	79.72
e2	0.92	0.55	0.37	59.55	60.01	49.39	10.62	82.30
e3	3.12	1.85	1.27	59.29	98.33	64.47	33.86	65.57
e4	2.95	1.58	1.37	53.59	237.69	195.60	42.08	82.29
e5	0.66	0.38	0.28	57.74	27.04	17.81	9.23	65.87
e6	0.83	0.35	0.48	42.57	16.12	6.07	10.05	37.66
e7	0.20	0.08	0.12	38.54	9.64	6.56	3.08	68.09
e8	1.14	0.59	0.55	51.65	73.16	67.26	5.90	91.93
e9	3.87	1.63	2.23	42.26	706.91	582.86	124.05	82.45
Average	1.57	0.79	0.78	50.42	141.82	114.21	27.61	80.53

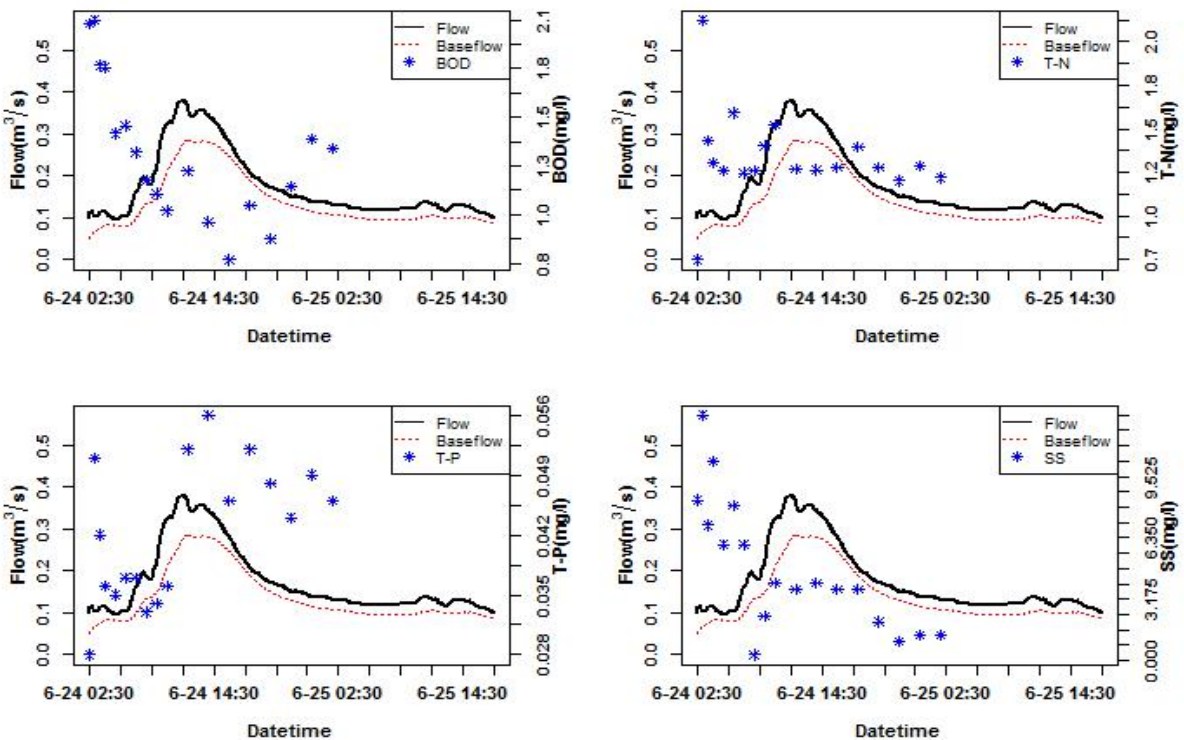


Fig. 3. Hydrograph with baseflow separation and water quality(event 8).

토지피복도에 구 원단위(1995)를 적용 결과 BOD는 32.34kg/day, T-N은 23.03kg/day, T-P는 2.76kg/day, SS는 696.02kg/day, 신 원단위를 적용한 결과 BOD, T-N, T-P, SS 오염부하량은 18.24kg/day, 22.64kg/day, 1.02kg/day, 282.02kg/day로 산정되었다.

따라서, 구 원단위 보다 BOD는 44%, T-N은 2%, T-P는 63%, SS는 59% 작게 산정되는 것으로 나타났다. 도시, 논, 밭, 산림, 기타 지역의 원단위의 기여율을 살펴보면, 구 원단위 적용시 BOD의 경우 도시 75.67%, 논 1.02%, 밭 1.45%, 산림 20.11%, 기타 1.75%로 나타났다. 하지만 신 원단위 적용시

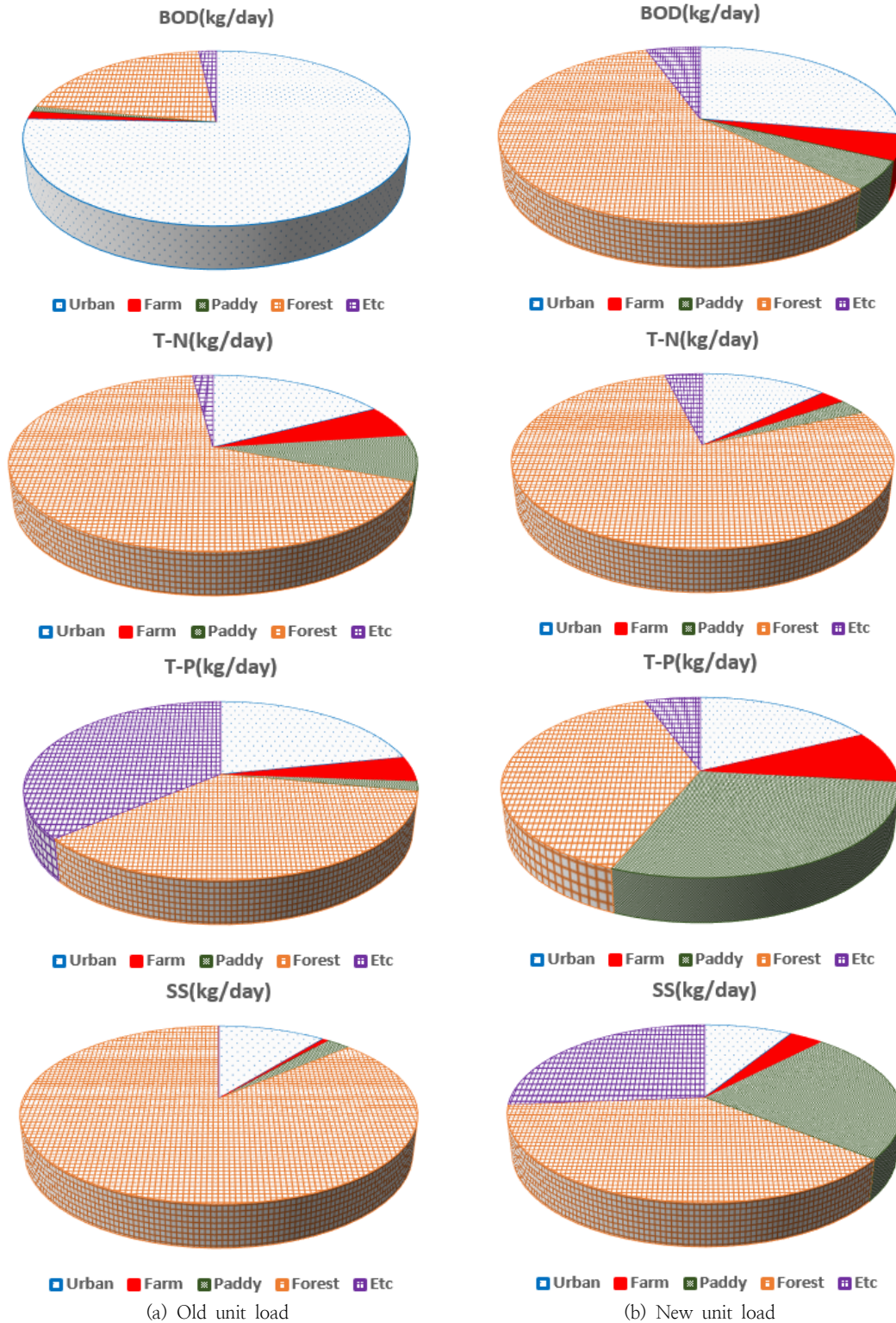


Fig. 4. Comparison of contribution rate of pollutant load

Table 3. Estimation of pollutant load using unit load(Unit: kg/day)

Land cover	Area (km ²)	BOD		T-N		T-P		SS	
		Old	New	Old	New	Old	New	Old	New
Urban	0.28	24.47	5.06	3.90	2.89	0.60	0.18	72.49	24.34
Farm	0.20	0.47	0.86	1.34	0.59	0.12	0.10	4.01	9.37
Paddy	0.21	0.33	0.95	1.96	0.65	0.05	0.30	16.68	67.99
Forest	6.99	6.50	10.42	15.39	17.64	0.98	0.39	602.84	106.30
Etc	0.59	0.57	0.94	0.45	0.86	1.00	0.06	0.00	74.63
Sum	8.28	32.34	18.24	23.03	22.64	2.76	1.02	696.02	282.62

BOD의 경우 도시지역 27.74%, 논 5.20%, 밭 4.73%, 산림 57.14%, 기타 5.18%로 나타났다. 신 원단위 적용시 도시지역 BOD 기여율은 감소하였으며, 논, 밭 기여율은 크게 증가하였다. T-N의 경우 구 원단위 적용시 도시 16.93%, 논 8.51%, 밭 5.8%, 산림 66.81%, 기타 1.95%, 신 원단위 적용시 도시 12.77%, 논 2.88%, 밭 2.63%, 산림 77.91%, 기타 3.81%로 산림과 기타 지역의 기여율은 증가하였지만, 다른 지목에서는 감소하였다. T-P의 경우 구 원단위 적용시 도시 21.71%, 논 1.81%, 밭 4.51%, 산림 35.34%, 기타 36.44%, 신 원단위 적용시 도시 17.63%, 논 29.2%, 밭 9.32%, 산림 38.41%, 기타 5.44%로 도시지역의 기여율은 감소한 반면, 논 지역의 기여율은 크게 증가하였다. SS의 경우 구 원단위 적용시 도시 10.41%, 논 2.4%, 밭 0.58%, 산림 86.61%, 기타 0%, 신

원단위 적용시 도시 8.61%, 논 24.06%, 밭 3.32%, 산림 37.61%, 기타 26.41%로 산림 지역의 기여율은 크게 감소한 반면, 논 지역의 기여율은 크게 증가하였다.

3.4 대표 EMC와 유출률을 이용한 부하량 산정

17개 중분류 EMC와 유출률을 토지피복별 면적을 이용하여 가중한 후 대표 EMC와 대표 유출률을 Fig. 5와 같이 산정하였다. 산정결과(Table 4)는 유출물 0.29, BOD, T-N, T-P, SS의 대표 EMC 1.85mg/L, 2.75mg/L, 0.15mg/L, 38.45mg/L로 나타났다. 오염원별 대표 EMC는 BOD의 경우 도시>전>담>기타>산림, T-N의 경우 전>도시>산림>담>기타, T-P의 경우 전>담>도시>기타>산림, SS의 경우 전>담>기타>도시>산림 순으로 감소하였다. 대상 지역에 위치하고 있는 세천 기상관측소의

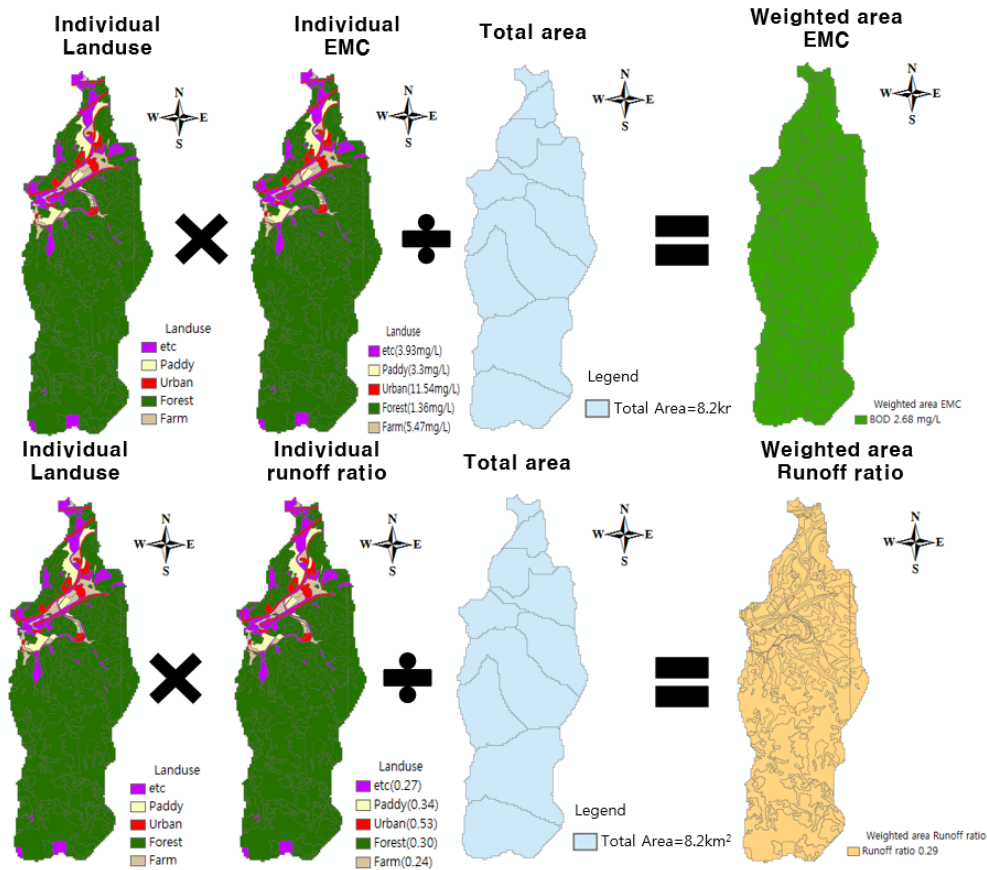


Fig. 5. Flow chart of estimation of representative EMC and runoff rate

Table 4. Estimation of representative EMC and runoff rate

Land cover	Area(km ²)	EMC(mg/L)				Runoff rate
		BOD	T-N	T-P	SS	
Urban	0.28	6.03	3.70	0.24	29.80	0.53
Farm	0.21	3.30	2.50	0.36	63.27	0.34
Paddy	0.20	6.58	7.30	2.28	820.54	0.15
Forest	6.99	1.42	2.66	0.07	15.56	0.29
Etc	0.59	2.70	1.91	0.22	35.45	0.18
Representative value	8.28	1.85	2.75	0.15	38.45	0.29

Table 5. Result of verification for unit load by water quality

Water quality		Old unit load	New unit load	EMC	Observation
Pollutant load (kg/ha)	BOD	14.25	8.04	6.24	3.10(9.35)
	T-N	10.15	9.98	9.30	10.54(18.54)
	T-P	1.215	0.449	0.494	0.105(0.205)
	SS	306.82	124.59	129.93	12.82(15.89)

Notes) () : the sum of baseflow load and direct flow Load

2016년도 강우량을 이용하여 강우변동에 따른 오염부하량을 산정 결과는 BOD 6.24kg/ha, T-N 9.30kg/ha, T-P 0.494kg/ha, SS 129.93kg/ha로 나타났다.

3.5 오염원별 원단위 검증

토지피복도에 구 원단위(1995) 적용 결과 BOD는 14.25kg/ha, T-N은 10.15kg/ha, T-P는 1.215kg/ha, SS는 306.82kg/ha로 산정되었다. 신 원단위를 적용한 결과 BOD, T-N, T-P, SS 원단위는 8.04kg/ha, 9.98kg/ha, 0.449kg/ha, 124.59kg/ha로 나타나 구 원단위 보다 BOD는 44%, T-N은 2%, T-P는 63%, SS는 60% 작게 산정되는 것으로 나타났다.

주원천 말단에서 수행한 모니터링 결과와 원단위를 이용하여 산정한 부하량은 상대적으로 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 원단위의 경우 년 단위의 모든 강우사상에 대한 개념을 포함하고 있으나 관측부하량은 해당 관측년도의 일부 강우사상만을 고려하기 때문이다. 이를 보완하기 위해 관측년도의 강우의 변동성을 고려한 대표 EMC 부하량을

추가적으로 검토하였다. 대표 EMC 부하량은 신 원단위 부하량과 더 유사한 값을 나타내고 있으며, BOD와 T-N의 경우 22.39%, 6.81% 작게, T-P와 SS의 경우 10.02%, 4.29% 크게 산정되었다. 이와 같이 신 원단위 부하량이 대표 EMC 부하량과 관측부하량에 유사한 값을 나타내고 있으며 구 원단위 부하량 보다 더 적합한 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구의 목적은 기저유출을 고려한 관측자료 기반 오염 부하량을 이용하여 비점오염 유출특성 해석과 신규 원단위의 활용 가능성을 검토하는데 있다. 수문곡선 분리를 위해 Eckhard 필터를 이용한 디지털 필터 기법을 적용하여 주원천 유역의 9개 강우사상의 유출 성분을 분리하였으며, 강우시 직접유출에 의한 비점오염부하량의 기여율을 정량적으로 산정하였다. 또한, 신규 원단위와 대표 EMC를 이용한 오염부하량을 산정하고 주원천 말단에서 수행한 모니터링 결과와 비교하여 신 원단위의 적용가능성을 검토하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 관측부하량을 이용하여 산정한 비점오염원 부하량의 기여율 범위(평균)는 BOD 24.56~48.21%(평균 31.34%), T-N 28.09~69.66%(평균 58.94%), T-P 25.82~59.55%(평균 50.42%), SS 37.66~91.93%(평균 80.53%)로 산정되었다. 이러한 결과는 오염물 BOD, T-N, T-P의 경우 기저유출의 영향이 크며 유기물과 영양염류의 40% 이상이 강우-유출 과정을 통해 유입하는 것을 의미한다.

(2) 구 원단위(1995)를 적용한 결과 BOD는 32.34kg/day, T-N은 23.03kg/day, T-P는 2.76kg/day, SS는 696.02kg/day, 신 원단위를 적용한 결과 BOD, T-N, T-P, SS의 오염부하량은 18.24kg/day, 22.64kg/day, 1.02kg/day, 282.02kg/day로 산정되었다. 신 원단위 적용시 오염부하량은 구 원단위 보다

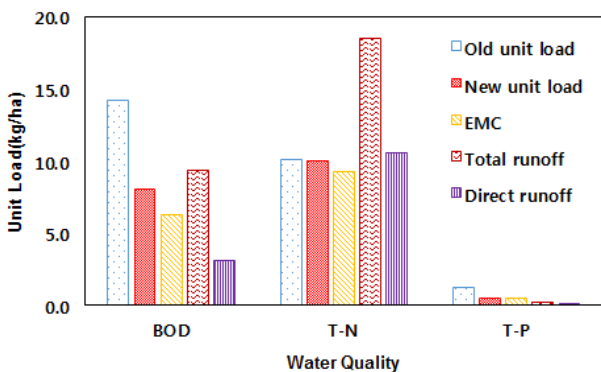


Fig. 6. Comparison of unit load by technique

BOD는 44%, T-N은 2%, T-P는 63%, SS는 59% 작게 산정 되는 것으로 나타났다.

(3) 주원천 말단에서 수행한 모니터링 결과와 원단위를 이용하여 산정한 부하량은 상대적으로 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 원단위의 경우 년 단위의 모든 강우사상에 대한 개념을 포함하고 있으나 관측부하량은 해당 관측년도의 일부 강우사상만을 고려하기 때문이다. 이를 보완하기 위해 관측년도의 강우의 변동성을 고려한 대표 EMC 부하량을 추가적으로 검토하였다. 대표 EMC 부하량은 신 원단위 부하량과 더 유사한 값을 나타내고 있으며, BOD와 T-N의 경우 22.39%, 6.81% 작게, T-P와 SS의 경우 10.02%, 4.29% 크게 산정되었다. 이와 같이 신 원단위 부하량이 대표 EMC 부하량과 관측부하량에 유사한 값을 나타내고 있으며 부하량 산정시 더 적합한 것으로 분석되었다.

(4) 이러한 결과는 환경부에서 제시한 신 원단위가 관측 오염부하량을 적절하게 반영하고 있으며 효율적인 유역의 수질관리를 위해서는 직접유출에 따른 오염부하뿐만 아니라 기저유출에 따른 오염부하 관리도 필요함을 의미한다.

사 사

이 논문은 국립환경과학원 금강물환경연구소의 『금강수계 환경기초조사사업』의 『비점오염원 종합 모니터링 및 관리방안 연구』를 통해 도출된 결과물입니다.

References

- Ahn, TW, Bum, BS, Kim, TH, Choi, IS, Oh, JM. (2013). An analysis of first flush phenomenon of non-point source pollution during rainfall-runoff events from impervious area, *the Korean Society of Environmental Engineers*, 35(9), pp. 643-653. [Korean Literature]
- Arnold, J. G. and Allen, P. M. (1999). Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records, *J. of the American Water Resources Association*, 35, pp. 411-424.
- Cho, YS, Lee, HS, Jung, YR, Choi, JK, Chung, SW (2007). Separation of runoff components using digital filter method and non-point source load estimation, *J. of Korea Water Resource Association, Proceedings of the 2007 Conference of the Korea Water Resource Association*, pp. 2069-2073. [Korean Literature]
- Choi, YH, Park, YS, Ryu, JC, Lee, DJ, Kim YS, Choi, JD, Lim, KJ. (2014). Analysis of baseflow contribution to streamflow at several flow stations, *J. of Korean Society on Water Environment*, 30(4), pp. 441-451. [Korean Literature]
- Choi, YH, Kum, DH, Ryu, JC, Jung, YH, Kim, YS, Jeon, JH, Kim, KS, Lim, KJ (2015). A study of total nitrogen pollutant load through baseflow analysis at the watershed, *J. of Korean Society on Water Environment*, 31(1), pp. 55-66. [Korean Literature]
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation, *Hydrological Processes*, 19, pp. 507-515
- Hong, JY, Lim, KJ, Shin, YC, Jung, YH (2015). Quantifying contribution of direct runoff and baseflow to rivers in Han River System, South Korea, *J. of Korea Water Resource Association*, 48(4), pp. 309-319. [Korean Literature]
- Jung, YH, Lim, KJ, Kim, HS (2014). Estimation of baseflow considering recession characteristics of hydrograph, *J. of Wetlands Research*, 16(2), pp. 161-171. [Korean Literature]
- Lyne, V. D. and Hollick, M. (1979). Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling, *Proceedings of Hydrology and Water Resources Symposium, Institution of Engineers Australia*, Perth, pp. 89-92.
- Ministry of Environment(2014). Revised contents for non-point source unit load and application plan, *Non-point source workshop*. [Korean Literature]
- Shin, DS (2007). Basic monitoring concept for revised unit-load on nps, *J. of Korean Society on Water Quality*, 23(4), pp. 429-433. [Korean Literature]
- Sloto, R. a. and Crouse, M. Y. (1996). HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis, U.S. Geological Survey Water-resources Investigations Report 96-4040, *United States Geological Survey*, Reston, Virginia, pp. 1-54.