한국방재학회논문집
제8권 6호 2008년 12월
pp. 149 ~ 153

비점오염원의 정량화방안에 따른 적정 설계용량결정

Estimation of Optimal Size of the Treatment Facility for Nonpoint Source Pollution due to Watershed Development

김진관*
Kim, Jin Kwan

Abstract

The pollutant capacity occurred before and after the development of a watershed should be quantitatively estimated and controlled for the minimization of water contamination. The Ministry of Environment suggested a guideline for the legal management of nonpoint source from 2006. However, the rational method for the determination of treatment capacity from nonpoint source proposed in the guideline has the problem in the field application because it does not reflect the project based cases and overestimates the pollutant load to be reduced. So, we perform the standard rainfall analysis by analytical probabilistic method for the estimation of an additional pollutant load occurred by a project and suggest a methodology for the estimation of contaminant capacity instead of a simple rational method. The suggested methodology in this study could determine the reasonable capacity and efficiency of a treatment facility through the estimation of pollutant load from nonpoint source and from this we can manage the watershed appropriately. We applied a suggested methodology to the projects of housing land development and a dam construction in the watersheds.When we determine the treatment capacity by a rational method without consideration of the types of projects we should treat the 90% of pollutant capacity occurred by the development and to do so, about 30% of the total cost for the development should be invested for the treatment facility. This requires too big cost and is not realistic. If we use the suggested method the target pollutant capacity to be reduced will be 10 to 30% of the capacity occurred by the development and about 5 to 10% of the total cost can be used. The control of nonpoint source must be performed for the water resources management. However it is not possible to treat the 90% of pollutant load occurred by the development. The proper pollutant capacity from nonpoint source should be estimated and controlled based on various project types and in reality, this is very important for the watershed management. Therefore the results of this study might be more reasonable than the rational method proposed in the Ministry of Environment.

***Key words* :** nonpoint source, quantitative analysis ,design discharge

요 지

개발에 따른 수질오염을 최소화하기 위해서는 사업 전·후에 발생하는 오염량을 정량적으로 산정하여 관리할 필요가 있다. 점오염원(point source)은 발생대상과 규모가 확정적이므로 법률적으로 강화된 기준에 의하여 충분한 대책을 수립할 수 있다. 이에 반해 비점오염원(non-point source)은 점오염원을 제외한 모든 오염원으로 발생기구나 전파경로에 대한 관리가 점오염원의 경우보다는 어렵다. 기존의 비점오염원 관리를 위한 강우량의 규모결정은 단순히 손실우량을 가정하여 이보다 큰 강우량을 이용하였으나 이는 연간 발생횟수나 지속시간에 대한 항은 거의 고려하지 못하는 실정이다. 이를 해결하기 위해서는 적정 설계강우량의 크기를 연간 발생횟수나 지속시간을 고려하여 결정하고 초기손실량, 유출률, 연간강우량, 연간강우횟수에 대한 적절한 민감도 분석(sensitivity analysis)이 동시에 수행 되어야한다. 본 연구에서는 평상시 강우의 발생특성에 대한 해석 기법연구와 해석적 확률기법(analytical probabilistic method)을 도입하고 공학적으로 합리적인 정량적 산정방법 및 최적환경용량 산정기법에 대하여 제시하여 실제 개발사업에서 합리적인 비점오염원 처리시설의 용량 및 효율을 결정할 수 있도록 하여 최적의 유역관리가 가능하도록 제안하였으며, 이를 위한 실증적 적용결과 분석을 위하여 유역자체개발에 의한 택지개발사례를 검토하였다. 앞으로도 개발은 계속 이루어질 수밖에 없으며, 개발에 따른 영향을 최소화하여 지속가능한 개발을 이루어야 한다. 특히 수자원의 이용에서 유역자체 개발과 더불어 수자원자체 개발에서도 점오염원의 관리만으로는 수질관리가 불가능한 것으로 판단되었다. 비점오염원의 관리 시스템은 지속적으로 개발되고 있으나 정량적인 환경용량 산정 없이 편의적 접근이 시도되는 현실에 비추어 보다 공학적이고 정확한 판단이 필요한 시점이다. 이러한 일련의 기작으로 개발에 의하여 추가 발생되는 비점오염원의 양을 정량적으로 산정하여 자연상태보다 적극적인 대책을 수립하면 개발에 따른 오염원의 최소화뿐만 아니라 자연상태보다 효율적인 유지관리가 가능하다.

핵심용어 : 비점오염원, 정량화, 설계유량

*정회원・고려대학교 사회시스템공학과・연구교수 (E-mail: kjkwater@naver.com)

1. 서 론

기존의 비점오염원 관리를 위한 강우량의 규모결정은 단순히 손실우량을 가정하여 이보다 큰 강우량을 이용하였으나 이는 연간 발생횟수나 지속시간에 대한 항은 반영되지 못한 결과이다. 따라서, 이를 반영하기 위해서는 적정 설계강우량의 크기를 연간 발생횟수나 지속시간을 고려하여 결정하고 초기손실량, 유출률, 연간강우량, 연간강우횟수에 대한 적절한 민감도 분석(sensitivity analysis)이 동시에 수행 되어야한다. 본 연구에서는 평상시 강우의 발생특성에 대한 해석기법인 해석적 확률기법(analytical probabilistic method)을 도입하고자 한다.

환경부에서는 비점오염원 처리의 중요성을 인식하여 2000년부터 환경영향 평가시에 비점오염원 처리시설 도입을 유도하였다. 그러나 개발・후에 유입 오염부하량의 변화에 따른 허용부하량 및 목표삭감 부하량의 정의없이 초기에는 하천을 횡단하는 교량에만 설치하도록 하였으며, 용량결정에서도 시간에 대한 개념 없이 전체 발생면적에 5 mm를 적용하도록 하였다. 또한 수년간의 검토후 발표한 "비점오염원관리업무편람(환경부, 2005)"에서도 목표삭감 부하량의 기준이 없으며, 제시된 용량산정 방법도 합리식에 해당지역 강우량 기준으로 80% 확률에 해당하는 강우 중 최대강우강도를 설계 강우강도로 제시하여 치수적인 계획을 수립하여 과다한 용량이 산정되게 하였다.

본 연구와 관련된 기존의 연구로는 Thornton과 Saul(1987)이 First flush가 강우사상에서 강우 초기에 유역을 흐르는 고농도 초기유출수라는 단순한 의미만을 부여하였다. First flush를 정의하기 위한 다른 접근들 또한 양적인 개념으로 접근을 하였으며 강우사상 초기부분의 부분적인 부하량 산정이라는 뜻으로 접근이 이루어졌다. Geiger(1987)는 표준 누적부피곡선과 표준 누적 오염물질곡선을 그려서 초기부분의 경향이 45%이상 선을 넘어갔을 때 그 중에서 45% 선과 최대로 벌어진 시간까지 부분을 First flush로 지칭하였다. Vorreiter와 Hickey(1994)는 강우 유출수 중에서 초기 25%에 해당하는 부분에 오염물질 부하량이 높다는 것에 착안하여 이 기준까지를 First flush 현상이라고 명명하였다.

Bertrand-Krajewski 등(1998)은 Mass first flush 명칭을 사용하였는데, 이는 Rational method가 표준 오염물질 부하량 곡선과 상관관계에 있다는 의미에서 출발하여 정의하였다. Deletic(1998)은 Multiple regression model을 포함하는 표준 통계학적 방법을 사용하여 계산하였으며, 유출수의 양적인 면을 고려하여 초기 20%에 강우 유출수에 포함되어 이동되는 오염물질의 양을 First flush라고 정의하였다.

Saget 등(1995)과 Bertrand-Krajewski 등(1998)은 전체 강우 유출수중 30%의 유출수가 흘러나갈 때 최소한 전체 부하량 중에서 80% 이상의 오염물질이 유출될시 이 현상을 First flush라고 정의하였다. Sansalone과 Buchberger(1997)가 결론짓기를, 결국 First flush는 어떠한 제한적인 기준을 줄 필요가 없으며 표준 누적 오염물질 부하량곡선이 표준 누적 유출수곡선을 초과할 시 이를 First flush라고 정의하였다.

Ma 등(2002)은 Mass first flush를 결정하기 위해서 MFFn ratio를 사용하기를 제안하였다. 여기서 n은 %단위의 유출수 부피를 표시한다. Ratio의 값은 전체 유출수중의 n% 유출이 발생했을 때 유출된 오염물질의 양이다. 예를들어, MMF10과 MFF30 이 2.5와 1.5라면, 이것은 25%의 오염물질이 유출수의 초기 10%에 유출되었다는 것을 의미하며 45%의 오염물질이 초기 30% 유출수가 유출될 시 이동되었다는 것을 의미한다. 그는 이러한 정의를 제안하기 위해서 52개의 강우사상을 조사하였으며 30개의 수질항목에 적용시켜, 최종적으로 MFF20의 범위는 2.5에서 1.0이라고 결론지었다.

본 연구에서는 용량산정오류 및 목표삭감 부하량 미비에 대하여 공학적으로 합리적인 정량적 산정방법 및 최적환경용량 산정기법을 제시하고 실제 개발사업에서 합리적인 비점오염원 처리시설의 용량 및 효율을 결정할 수 있도록 하여 최적의 유역관리가 가능하도록 하였다. 결과적으로 본 연구의 목적을 간략히 기술하면 다음과 같다.

1) 유역개발에 따른 유출 비점오염원량의 정량화
2) 수질관리를 위한 목표삭감부하량 산정
3) 환경부 제시 비점오염원 처리용량 결정 기법의 과대산정 오류분석
4) 비점오염원 처리시설의 적정용량 및 위치산정기법 제시

2. 연구방법

2.1 대상 유역의 위치 및 특성

대상 지역인 인천광역시 남동구 고잔동 591번지 일원 (주)한화의 공장부지는 인천광역시의 이전 요청에 의한 공장 이전이 결정됨에 따라 주거 및 상업용지로의 계획이 추진되고 있다. 본 연구에서는 사업지구에서 쾌적한 수환경조성과 공공복리 증진을 위하여 적절한 비점오염원 대책인 초기우수 저감시설에 대한 조사를 수행하였으며 이를 위하여 본 연구의 조사내용은 다음과 같다.

- 초기우수에 의한 수질 영향 조사
- 비점오염원 관리 기술 일반 조사
- 비점오염원 저감시설 조사
- 사업지구내 초기우수 발생량 산정
- 초기우수 처리를 위한 배수구역 산정

2.2 IETD 개념을 이용한 강우분석

본 연구에서는 대상유역 내 인천기상관측소의 1962년~2002년까지 41년간의 시강우자료를 이용하여 강우의 특성분석을 실시하였으며, 분석결과를 이용하여 6시간을 강우사상간의 적정 무강우시간으로 결정하였다. 무강우시간이 6시간이면 강우사상을 서로 각각의 사상으로 분리하여 다음과 같은 IETD별 강우특성 결과를 산정하였다.

6시간을 무강우시간(InterEvent Time, IET)으로 강우사상을 분리하여 표준 강우사상의 강우특성을 분석한 결과 다음과 같은 특징을 나타낸다.

(1) 강우는 평균적으로 연간 56회 발생한다.

(2) 강우는 평균적으로 1회 9.9시간 지속된다.
(3) 강우는 1회발생시 평균적으로 19.6 mm가 발생한다.
(4) 강우당 평균 강우강도는 2 mm/hr이다.
(5) 호우사상간 평균 무강우 시간은 63.3시간이다.

2.3 유출분석

본 연구에서는 유역개발에 의한 목표삭감부하량 산정을 위하여 표준강우사상에 의한 개발전・후의 유출량을 산정하고 이에따른 발생부하량을 EMC를 적용하여 산정하였다. 더불어 환경부에서 제시한 시강우 계열 80%를 적용하는 방법으로 표준강우사상에 의한 유출량과 비교・분석하였다.

환경부의 시강우계열 80%를 설계강우강도로 적용하여 산정한 초기우수처리장치용량 2.1 m^3/sec 대비 본 연구에서 산정한 목표삭감부하량 처리용량은 0.55 m^3/sec로 26.2%의 비율이다. 실제 설계시에는 여유율을 고려해야 하지만 도시화된 유역일수록 강우발생 30%시점에 80%이상의 오염원이 유입되는 것을 감안 하면 초기우수장치의 용량이 무조건 커야만 안전하지는 않다. 특히 유지관리나 시공의 차원에서 용량이 너무 커지면 어려움이 많다.

2.4 초기우수처리장치 설치 지점 및 용량

초기우수 처리장치는 유역말단에 대규모로 1개소 설치하는 방법보다는 각 소유역별 관거의 합류지점에서 소규격으로 처리하는 것이 부지확보나 유지관리차원에서 훨씬 경제적이다. 본 연구에서는 환경부의 지침대로 첨두유출량을 산정하고 이를 설계에 적용하기 위해 소유역별 용량을 SWMM모형으로 모의하였다. 더불어 본 연구에서 제시한 목표삭감 부하량에 대응되는 유량을 소구역 지점별로 비교하여 타당성을 검증하였다. 초기우수처리장치는 단순여과 방식으로는 용존되어 있는 오염원 처리가 불가능 하므로 수질개선을 위해서는 필터나 여재형식이 필요하며, 이러한 형식은 최소 1~10분이상의 체류시간이 필요하다.

최소의 체류시간 1분을 적용하였으나, 환경부 지침대로 설계할 경우 설계용량은 평균 13이며 맨홀정도의 규격을 고려하여 평균직경 2 m를 적용하면 처리시설의 깊이가 평균 4 m이며, 최대 9m의 장치가 필요하게 된다. 높이가 4 m이상일 경우 토압 등으로 규모가 거대해지며, 부지확보 및 유지관리에 어려움이 따른다. 반면에 본 연구에서 제안된 방법으로 설계할 경우 설계용량은 평균 3.5이며 평균직경 2 m를 적용하면 처리시설의 깊이가 평균 1.1 m이며, 최대 2.3 m의 장치가 필요하게 된다.

2.5 개발전・후 유출농도 변화산정

1) 발생원단위변화

개발에 의한 토지이용 변화는 발생원단위 변화로 연 총량적인 산정이 가능하나 실제 오염원 발생은 강우에 의한 유출에 의해 발생하므로 이론적 수치이다.

2) 확률론적 평균강우로 인한 유출농도 변화

본 지역의 확률론적 평균강우를 이용하여 개발전・후의 유출변화 및 토지이용상태를 고려하여 연간 발생 오염총량을 산정하였다.

2.6 경제성 비교

상수원수 수질확보를 위해서 비점오염원 관리는 필수적이지만 환경부에서 제시하는 방법으로 설계할 경우 사업의 종류나 위치에 상관없이 약 90%의 제거효율을 요구하게 되어 지나친 규제가 될 수 있다고 생각된다. 실제로 2005년 택지나 산업단지에 환경부에서 제시한 합리식으로 비점오염원의 처리용량을 결정할 경우 전체 총공사비 대비 비점오염원 처리시설의 비용이 32%에 달하여 실제 시공은 어려울 것으로 보인다. 이렇게 처음부터 무리하게 규제를 할 경우 비점오염원 처리시설의 체류시간을 낮추어 공사비를 저감하는 편법이 발생될 소지가 크며, 이렇게 될 경우 오히려 실제 비점오염

표 1. 유출분석 CASE

구 분		강우강도 (mm/hr)	지속시간 (hr)	비 고
CASE-	시강우 80% 강우강도적용	3.3	24.0	환경부
CASE-	강우-유출모형	표준강우 (19.6 mm)	9.9	본연구제안
CASE-	SWMM모형	3.3	24.0	설계적용비교 소유역별산정

표 2. 목표삭감부하량 처리를 위한 최소 초기우수 처리시설 용량

구 분	효율 (%)	유효강우 (mm)	발생강우 (mm)	유출량 (m^3/sec)	목표삭감부하량 (ton/년)
개발후	0.36	5.62	8.88	0.55	0.91

표 3. 초기우수처리장치의 설치용량비교

지 점		NG2	NG3-1	NG3-2	NG3-3		NG3-4		NG4		NG5	
관 번호		1000	2000	3000	4140	4000	5120	5000	6180	6000	7120	7000
계산용량 (m^3/sec)		0.19	0.14	0.03	0.03	0.46	0.14	0.30	0.12	0.45	0.08	0.27
환경부	설계용량 (m^3/sec)	0.19	0.14	0.10	0.10	0.46	0.14	0.30	0.12	0.45	0.10	0.27
	최소체적 ()	11.4	8.4	6.0	6.0	27.6	8.4	18.0	7.2	27.0	6.0	16.2
	처리시설규격 (높이 m)	3.6	2.7	1.9	1.9	8.8	2.7	5.7	2.3	8.6	1.9	5.2
본연구	설계용량 (m^3/sec)	0.05	0.04	0.03	0.03	0.12	0.04	0.08	0.04	0.12	0.03	0.07
	최소체적 (m^3)	3.0	2.4	1.8	1.8	7.2	2.4	4.8	2.4	7.2	1.8	4.2
	처리시설규격 (높이 m)	1.0	0.8	0.6	0.6	2.3	0.8	1.5	0.8	2.3	0.6	1.3

주) 체류시간 1분, 처리시설 직경 2 m적용시

표 4. 개발 전 · 후 발생원단위에 의한 오염발생량

구 분	개발전 토지이용(%)	BOD	SS	T-N	T-P
		(kg/일)			
논	0.7	0.04	0.30	0.11	0.01
밭	1.0	0.04	1.92	0.23	0.01
임야	46.4	1.11	284.18	2.44	0.16
대지	23.5	48.32	48.50	7.70	1.18
기타	28.4	0.68	0.86	0.04	0.02
계		50.19	335.77	10.52	1.37
구 분	개발후 토지이용(%)	BOD	SS	T-N	T-P
		(kg/일)			
논	0	0.00	0.00	0.00	0.00
밭	0	0.00	0.00	0.00	0.00
임야	47.7	1.14	292.15	2.51	0.16
대지	52.3	107.54	107.94	17.14	2.63
기타	0	0.00	0.00	0.00	0.00
계		108.68	400.09	19.65	2.79
개발전·후 대비		216.5%	119.2%	186.8%	203.1%

표 5. 개발전 · 후 평균강우에 의한 오염발생량

구 분	토지이용(%)		항목	유출발생량(kg)		대비 (%)
	개발전	개발후		개발전	개발후	
주 거	0.0	47.6	BOD	654.72	720.00	110.0
상 업	0.0	4.7	SS	1140.48	2419.20	212.1
공 업	87.8	0.0	T-N	16.90	21.60	127.8
녹 지	12.2	47.7	T-P	4.43	8.93	201.6
계	2,393,748					

원 처리 효율은 감소하게 되어 궁극적인 비점오염원 관리는 어렵게 된다.

이러한 부작용을 제거하기 위해서는 본 연구에서 제시한 대로 사업에 의하여 추가 발생되는 비점오염원의 유출부하량을 정량적으로 분석하여 이에 대응하는 처리용량을 사업자가 관리하도록 해야한다. 여기서 가장 중요한 원칙은 비점오염원의 처리용량을 무조건 90%로 규제하는 것은 적절하지 않고, 실제 효율적인 관리를 위해서는 유역개발에 따른 비점오염원의 유출부하량을 사업특성, 토지이용, 유출특성 등 종합적 판단에 기초하여 산정하고 관리하는 것이 바람직하다.

2005년 유역개발중 단지개발의 경우 지역적인 토지비용의 차이는 있겠지만 개략적인 지수파악을 위하여 단순화 시켜보면, 개발면적은 평균 94 ha, 총공사비 는 평균 310억원이다. 여기에 환경부에서 제시한 비점오염원 처리용량을 적용할 경우 처리비용은 건당 94억으로 총공사비 대비 32%에 이른다. 본 연구에서 제시한 유역개발에 의한 추가 유출부하만을 관리할 경우에도 공사건당 약 34억원(총공사비 대비 11%)으로 추정되었다. 이러한 비점오염원 설치비용을 유역개발 면적비 및 효율로 환산하면 택지개발의 경우 개발면적 ha당 약 1억원으로 전체 비점오염원 유출부하량의 90% 저감효율을 얻을 수 있다.

유역개발중 근래 적극적으로 개발되는 골프장의 경우 개발면적은 평균 30만평(100ha)이며, 공사비는 평균 1,000억원이다. 여기에 환경부 제시 비점오염원 처리용량(ha당 1개소)을 적용하면 100개의 처리시설이 필요하고 비용은 약 100억이 소요되어 총공사비 대비 10%가 비점오염원 관리비로 산정되는 문제가 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 유역개발에 따른 환경영향을 정량적으로 산정하는 기법을 제시하고, 목표량을 설정한 후 유역관리를 위한 비점오염원 처리시설의 최적용량 선정기법을 제안하여 개발후, 보다 개선된 체계적인 오염원 관리 시스템을 구축하여 환경친화적인 개발이 가능하도록 하고자 하였다. 비점오염원은 토지이용의 변화에 따라 발생부하량이 변화하지만 실제 유출발생 전까지는 유출 가능성에 대한 지표이다. 실제 비점오염원의 유출은 강우에 의해 시작되며 강우강도나 지속시간, 무강우시간 등의 요소에 의해 발생부하량이 결정된다. 즉 비점오염원 관리를 위해서는 우선 강우에 대한 이해가 필수적이다. 본 연구에서는 비점오염원의 영향을 정량화하기 위하여 상시강우를 무강우시간을 고려하여 확률통계 분석후 표준화하였다.

전국 우량관측소 지점에 대한 분석결과 전국 평균강우량은 22.7 mm, 전국 평균지속시간은 15.7시간이며 이에 따른 전국 평균 강우강도는 1.5 mm/hr, 평균강우간 무강우시간은 91.0시

간으로 분석되었다. 전기간 강우자료의 지역적 상관성은 특별히 도출되지 않았다. 이것은 본 연구에서의 수문특성분석이 무강우시간을 고려한 전기간 강우자료의 강우사상 분할로 치수분석을 위한 적정설계 빈도를 산정하는 첨두홍수량 기준이 아니므로 당연한 결과이다.

유역개발에 따른 환경영향을 정량화하기 위해서는 개발전·후의 토지이용에 따른 유출부하량의 변화를 비교하여야 하며, 이를 위해 먼저 산정된 표준강우사상(평균강우량, 지속시간, 강우강도, 연간발생횟수 등)을 이용하여 상시 유출특성을 분석해야 한다. 비점오염원의 유출부하산정은 분석된 표준유출량에 지역특성에 따라 조사된 EMC(Event Mean Concentrations)를 적용하여 산정하고, 이렇게 표준강우에 의해 분석된 표준유출부하량에 연간 발생횟수를 곱하면 연간 총발생부하량이 산정된다. 개발전·후의 총발생부하량의 차이가 유역개발에 따른 추가 발생부하량이 되며, 최소한 이 부하량을 관리하는 것이 유역관리의 기본이 된다. 유역개발은 크게 택지와 같이 유역자체 토지이용의 변화가 발생되는 형태와 댐 개발과 같이 토지이용의 변화는 없으나 댐건설로 호수의 환경용량변화가 발생하는 형태가 있다. 본 연구의 성과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 강우는 평균적으로 연간 56회 발생하고, 지속시간은 1회 9.9시간, 강우량은평균 19.6 mm 발생, 강우강도 2 mm/hr, 호우사상간 평균 무강우시간은 63.3시간으로 분석되었다.

(2) 유역개발에 의한 목표삭감부하량 산정을 위하여 표준강우사상에 의한 개발전·후의 유출량을 산정하고 이에 따른 발생부하량을 EMC를 적용하여 산정하였다. 분석결과 개발후 토지이용 변화에 따라 첨두 유출은 20% 증가하나, 발생부하의 증가와 복합적인 작용으로 연 유출부하량은 128%가 증가 되었다. 여기서 개발전·후의 연 유출부하량의 차이 0.91 ton/년이 목표삭감 부하량이 되며, 이 부하량에 대응되는 유출량이 사업에 의해 추가 유출되는 오염부하량을 제거하기 위한 비점오염원 처리시설의 최소 용량이 되는 것이다. 환경부에서 시강우계열의 80%를 설계강우강도로 적용하여 산정한 초기우수처리장치용량 2.1/sec 대비 본 연구에서 산정한 목표삭감부하량 처리용량은 0.55 m^2/sec로 26.2%의 비율이다. 처리용량이 크면 오염원 관리 측면에서 유리하겠지만 유역개발이 환경용량 변화에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여 적정 목표삭감부하량을 설정하고 경제성 및 시공성 등을 고려하여 이에 맞는 최적의 유역관리를 실시하는 것이 타당하다고 생각된다.

상수원수 수질확보를 위해서 비점오염원 관리는 필수적이지만 환경부에서 제시하는 방법으로 설계할 경우 사업의 종류나 위치에 상관없이 약 90%의 제거효율을 요구하게 되어 지나친 규제가 될 수 있다.

2005년 유역개발(30여개 사업)중 단지개발의 경우 지역적인 토지비용의 차이는 있겠지만 개략적인 지수파악을 위하여 단순화 시켜보면, 개발면적은 평균 94 ha, 총공사비는 평균 310억원이다. 여기에 환경부에서 제시한 비점오염원 처리용량을 적용할 경우 처리비용은 건당 94억으로 총공사비 대비 32%에 이른다. 본 연구에서 제시한 유역개발에 의한 추가 유출부하만을 관리할 경우에도 공사건당 약 34억원(총공사비 대비 11%)으로 추정되었다.

참고문헌

환경부 (2005) 비점오염원관리업무편람.

Bertrand-Krajewski, J., Chebbo, G., and Saget, A. (1998) Distribution of Pollutant Mass vs Volume in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomenon. *Wat. Res.*, Vol. 32, No. 8, pp. 2341-2356.

Deletic, A. (1998) The First Flush Load of Urban Surface Runoff. *Wat. Res.*, Vol. 32, No. 8, pp. 2462-2470.

Geiger, W. (1987) Flushing Effects in Combined Sewer Systems. *Proceedings of the 4th Int. Conf. on Urban Drainage*, pp. 40-46, Lausanne, Switzerland.

Ma, M., Khan, S., Li, S., Kim, L-H., Ha, S., Lau, S., Kayhanian, M., and Stenstrom, M.K. (2002) First flush phenomena for highways : how it can be meaningfully defined. *Proceedings of 9th International Conference on Urban Drainage*, September, Portland, Oregon.

Saget, A., Chebbo, G., and Bertrand-Krajewski, J. (1995) The first flush in sewer system. *Proceeding of the 4thInt. Conf. on Sewer Solids-Characteristics, Movement*, Effects and Control, pp. 58-65, Dundee, UK.

Sansalone, J.J., and Buchberger, S.G. (1997) Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water. *J. of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 2, pp. 134-143.

Thornton, R.C., and Saul, A.J. (1987) Temporal variation of pollutants in two combined sewer systems. *Proceedings of the 4th Int. Conf. on Urban Drainage*, pp. 51-52, Lausanne, Switzerland.

Vorreiter, L., and Hickey, C. (1994) Incidence of the first flush phenomenon in catchments of the Sydney region. *National Conf. Publication-Institution of Engineers*, Vol. 3, pp. 359-364, Australia.

◎ 논문접수일 : 08년 11월 10일
◎ 심사의뢰일 : 08년 11월 10일
◎ 심사완료일 : 08년 11월 27일