

연구논문

유역모형을 이용한 비점배출계수 적용성 평가

이은정 · 김태근

청주대학교 환경공학과

(2012년 2월 16일 접수, 2012년 4월 6일 승인)

Evaluation of Applicability for Nonpoint Discharge Coefficient using Watershed Model

Lee Eun Jeong · Kim Tae Geun

Department of Environmental Engineering, Cheongju University

(Manuscript received 12 February 2012; accepted 6 April 2012)

Abstract

Total maximum daily load have been implemented and indicated that nonpoint discharge coefficients in flow duration curve were 0.50 of Normal flow duration (Q_{185}) and 0.15 of low flow duration (Q_{275}). By using SWAT, nonpoint discharge coefficients are studied with the conditions of the instream flow and the rainfall in two study areas. The nonpoint discharge coefficient average of BOD and TP for normal flows duration in 3 years are 0.32~0.36 and 0.28~0.31. For the low flow duration, the nonpoint discharge coefficient average of BOD and TP were 0.10~0.12 and 0.10~0.11. These are lower than the coefficients of total maximum load regulation. There are big differences between one of regulation and one of SWAT for the normal flow duration. With the consideration of rainfall condition, the nonpoint discharge coefficient of flood flow duration are influenced on the amount of rainfalls. However, the nonpoint discharge coefficients of normal flow duration and low flow duration are not effected by the rainfall condition. Since the spatial distribution and geomorphological characteristics could be considered with SWAT, the estimation of nonpoint discharge coefficient in watershed model is better method than the use of the recommended number in the regulation.

Keywords : Nonpoint discharge coefficient, SWAT model, TMDL

I. 서론

현재 우리나라에서 시행되고 있는 수질오염총량 관리제는 수계 구간에 목표수질을 설정하여 해당 유역에서 배출되는 오염물질의 배출총량이 목표수질을 달성 및 유지할 수 있도록 유역으로부터 배출할 수 있는 오염물질의 총량을 할당하여 관리하는 제도이다. 수질오염총량관리를 위한 목표수질의 설정 및 오염부하량의 할당은 수질모델링을 통해서 이루어지며, 수질모델링을 수행하기 위해서는 특정 시기의 유량인 기준유량 시기에 대한 배출부하량을 산정한다(EPA, 1977; 국립환경과학원, 2010).

제1단계 수질오염총량관리제에서의 기준유량 시기에 대한 배출부하량 산정 방법은 기준유량과 하천유량 관측값을 비교하여 기준유량과 가장 유사한 하천유량을 나타내는 월(月)을 선정한 후 해당 월의 배출부하량을 적용하였다. 이 방법은 수질모델링을 단독으로 수행하는 단위유역의 경우에는 크게 문제가 되지 않지만 수질모델링 구간에 2개 이상의 단위유역이 포함되거나, 단위유역간 기준유량 시기가 서로 다르게 나타나는 경우에는 시기별 강수량에 따라 비점배출부하량의 차이가 많기 때문에 수질모델링에 대한 일관성을 유지하기가 어렵다(박준대 등, 2008).

이러한 이유로 제2단계 수질오염총량관리제부터는 수질모델링을 위한 배출부하량 산정시 비점배출부하량 산정과정을 용이하게 하기 위해 기준유량별 비점배출계수(Nonpoint Discharge Coefficient)를 연평균 비점배출부하량에 곱하여 산정하도록 제2단계 수계오염총량관리기술지침(국립환경과학원, 2008)에 명시하였다. 이 지침에서 제시하고 있는 비점배출계수는 박준대 등(2008)이 낙동강, 금강 및 영산강 등 3대강 수계의 14개 강우관측소와 8개 수위관측소에서 연도별 및 기준유량 시기별 강우배출비를 산정하여 제시한 갈수기 0.10, 저수기 0.15, 평수기 0.50, 풍수기 1.15를 토대로 하고 있으며, 2011년부터 시행되는 제2단계 수질오염총량관리제의 각종 계획 수립시 기준유량인 저수량과 평수량 시기의 비점배출계수는 각각 0.15와 0.50을 적용하고 있다. 하지만 현 지침의 비점배출계수는 3대강

수계에서 공통적으로 사용할 수 있도록 이들 지역의 강우배출비를 평균한 값이기 때문에 각 유역의 비점오염물질 배출특성을 적절히 반영할 수 없다는 한계를 가지고 있다.

또한 강우시 유출되는 비점오염물질은 부하가 빠르게 변할 수 있으나, 일시적인 영향을 유발하지 않을 경우 만성적인 특성이 있어 침전물을 계속 이동시켜 축적하게 된다. 이러한 경우 장기간 누적된 부하 및 수체 반응을 모의할 수 있는 유역모형을 이용하는 것이 보다 적합한 것으로 평가되고 있다(한국환경정책·평가연구원, 2002; 환경부, 2006).

따라서 본 연구에서는 강수량, 토질 및 유역경사와 같은 자연적인 조건과 토지이용상태 등의 인위적인 조건에 따라 변화가 심한 비점오염물질의 유출량을 정량화할 수 있는 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형을 이용하여 금강상류 유역의 비점배출계수를 산정하고, 이를 현재 수질오염총량제에서 적용하고 있는 비점배출계수와 비교하여 적용성을 평가하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구지역

본 연구에서는 금강상류 유역 중 금본A와 초강A 단위유역을 연구대상지역으로 선정하였다. 금본A 유역은 금강의 발원지에서부터 용담호 유입부까지이고, 유역면적은 299.5 km²이며, 유역내의 행정구역은 전라북도 장수군, 진안군 일부를 포함하고 있으며, 주요하천으로는 금강본류와 장계천 등이 있다. 또한 초강A 유역의 주요하천은 금강의 1차 지류인 초강과 석천 등이 있으며, 발원지인 충청북도 영동군 상촌면 물한리에서 북류하면서 9개의 지류가 합류되어 금강본류로 유입된다. 유역면적은 665.5 km²이며, 유역내의 행정구역은 충청북도 영동군과 경상북도 상주시 일부를 포함하고 있다. 연구지역의 유역특성 및 토지이용 현황은 표 1과 같으며, 금본A와 초강A 모두 임야와 농경지 점유율이 91% 이상인 농촌·산간지역이다.

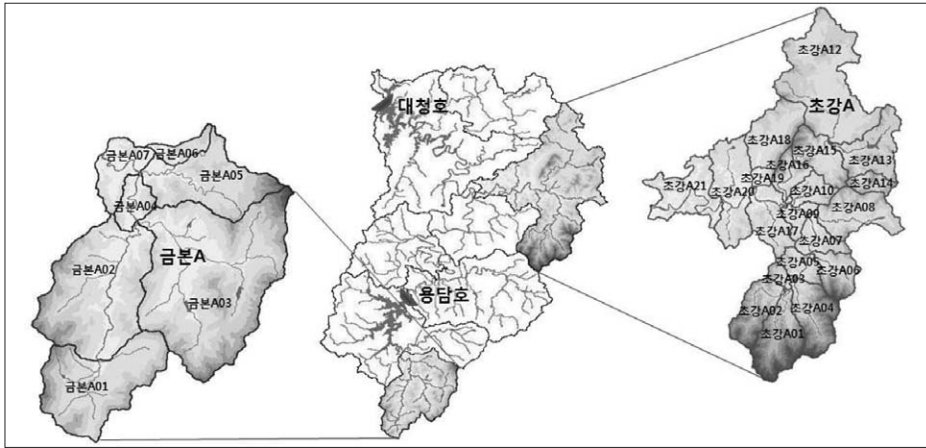


그림 1. 연구지역 위치도

표 1. 연구지역의 유역특성

유역명	평균경사 (%)	평균표고 (El. m)	하천밀도 (L/L ²)	토지이용(km ²)					
				전	답	임야	대지	기타	합계
금본A	34.6	539.9	2.97	24.1	30.2	218.1	13.1	14.1	299.5
초강A	34.5	369.8	2.23	48.0	61.7	502.2	21.1	32.5	665.5

2. SWAT 모형의 구축

SWAT 모형은 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사, 비료, 농약 등 오염물질의 거동을 예측하는 모형으로서(Neitsch *et al.*, 2001) 하천의 수리 및 수질모의(Karim *et al.*, 2006), 유역 내 점·비점오염배출량 산정(Migliaccio *et al.*, 2006), BMPs(Best Management Practices)를 이용한 오염물질 저감효과 모의(Mahesh and Roy, 2009) 등을 수행할 수 있는 통합 유역모형이다. 최근 국내에서도 그 적용사례가 증가하고 있는 추세로 1990년대 후반 이후, 유출량 해석을 중심으로 연구가 시작되어 최근에는 비점오염관리를 위한 수질 모의와 모형내 알고리즘 개선 등에 관한 연구가 진행되고 있으며, 연구 대상지역도 소하천 유역에서 다목적댐을 대상으로 하는 대규모 유역에 이르기까지 다양한 유역 규모를 대상으로 연구가 수행되고 있다(김철겸 등, 2008; 장재호 등, 2010).

본 연구에서는 1:25,000의 수치지도를 이용하여 등고자료를 추출한 후 GIS 분석도구인 Arcview에

서 30×30m DEM을 생성시켜 SWAT 모형에서 소유역을 분할하는데 기초자료로 활용하였다. SWAT 모형에서 소유역 구분은 DEM으로부터 Flow Direction과 Flow Accumulation을 계산하여 하천망을 생성시킨 후 유역의 최종 출구지점을 outlet으로 지정하여 분할하고, 분할된 소유역의 지형학적 특성인자를 계산하여 소유역별 면적, 유역경사, 하천길이, 하천평균 폭, 하천 평균 깊이 등의 자료를 획득하였다. 본 연구에서 SWAT 모형의 소유역은 수질오염총량관리상의 가장 작은 규모인 세유역(細流域)을 중첩시킨 후 각각의 세유역 말단지점에 outlet을 지정하여 세유역과 유사하게 분할하였다.

토지피복도는 환경부에서 2007년도에 제작한 자료를 이용하였으며, 토양도는 농업과학기술원에서 제작된 1:50,000 개략토양도이다. SWAT 모형에서는 강우, 풍속, 기온, 태양복사량, 상대습도 등의 기상자료를 입력하여 유출 및 증발산 등의 수문성분을 계산하게 된다. 본 연구에서는 금본A 유역에 대하여 거창, 금산, 임실, 장수, 전주 등 5개 기상관측소의 관측자료와 초강A 유역의 거창, 금산, 보은, 장수, 추풍령 등 5개 기상관측소 및 황간 강우관측

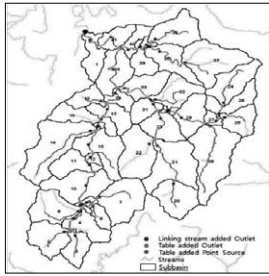


그림 2. 금본A의 inlet/outlet

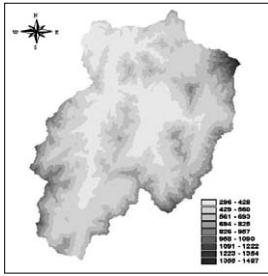


그림 3. 금본A의 DEM



그림 4. 금본A의 토지이용도

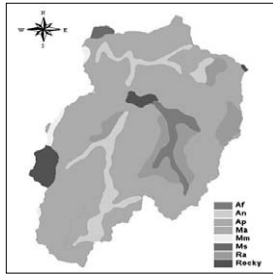


그림 5. 금본A의 토양도

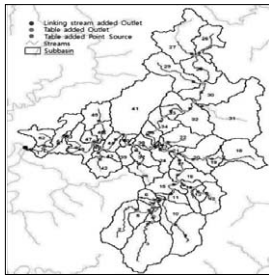


그림 6. 초강A의 inlet/outlet

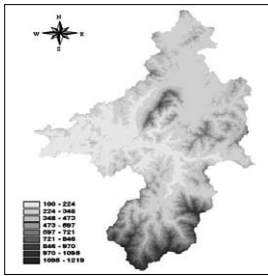


그림 7. 초강A의 DEM

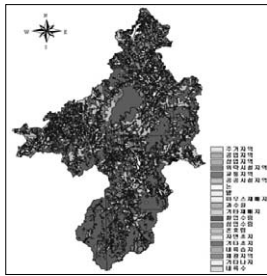


그림 8. 초강A의 토지이용도

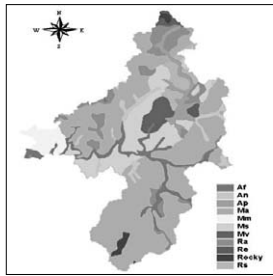


그림 9. 초강A의 토양도

소에서 1996년 1월 1일부터 2008년 12월 31일까지 측정된 일별 기상자료를 수집하여 입력하였다.

또한 소유역별 점오염원의 오폐수 발생량과 배출 부하량 자료는 2007년도를 기준년도로 한 전라북도 2단계 오염총량관리 기본계획 최종보고서(전라북도, 2009)와 충청북도 2단계 오염총량관리 기본계획 최종보고서(충청북도, 2009)를 이용하였다.

3. 모형의 보정 및 검증

본 연구에서 모형의 보정은 2007년도의 유량과 수질자료를 사용하였고, 검증은 2006년도 자료를 이용하였다. 유량은 금본A 유역의 경우 천천수위관측소, 초강A 유역은 송천수위관측소의 관측자료이고, 수질은 금강물환경연구소가 각 단위유역의 말단지점에서 8일 간격으로 측정된 자료를 이용하였으며, 보정과 검증을 시행한 수질항목은 SS, BOD, TP이다. 매개변수 보정 방법에는 크게 시행착오법, 최적화기법에 의한 자동보정법 그리고 이 두 가지를 병행하는 방법이 있지만, SWAT 모형과 같이 보정해야 할 매개변수가 많고 복잡한 모형에서는 여전히 시행착오법이 유용하게 적용되고 있다(Feyen et al., 2000). 따라서 본 연구에서는 시행착오법에

따라 먼저 유출과 관련된 매개변수를 보정한 후 SS, BOD, TP 순으로 보정을 실시하였다. 또한 SWAT과 같은 장기유출모형은 안정화 기간이 필요하기 때문에 본 연구에서는 2000~2008년을 모의 기간으로 설정하고 이중 초기 반응계수 안정화를 위한 기간을 2000~2002년으로 지정하였다.

4. 비점배출계수 산정

본 연구에서 비점배출계수는 아래의 식(1)과 같이 SWAT 모형에서 모의된 소유역별 비점배출량을 수계오염총량관리기술지침(국립환경과학원, 2008)에 따라 원단위법으로 계산된 소유역별 연평균 비점배출량으로 나누어 산정하였다. 산정 시기는 오염총량관리의 기준유량인 저수량과 평수량에 해당하는 시기로 구분하였는데 금강수계 제2차 수질오염총량관리 기준유량 설정연구(국립환경과학원, 2006)를 근거로 기준유량 시기에 해당하는 월을 선정한 후 이 때의 비점배출량을 산정하였다.

식(1)에서 SWAT 모형의 소유역별 비점배출량은 소유역별 측정자료가 전무한 상태이기 때문에 보정 및 검증이 완료된 SWAT 모형에 점오염부하량을 값을 "0"으로 입력한 후 재구동하여 산정하였다.

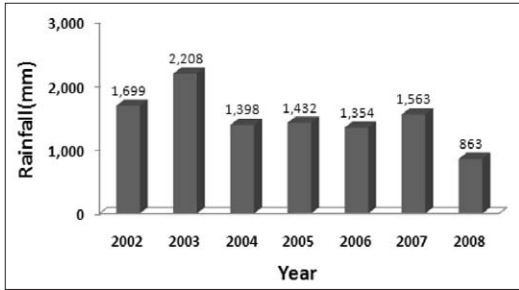


그림 10. 장수관측소의 연도별 강수량

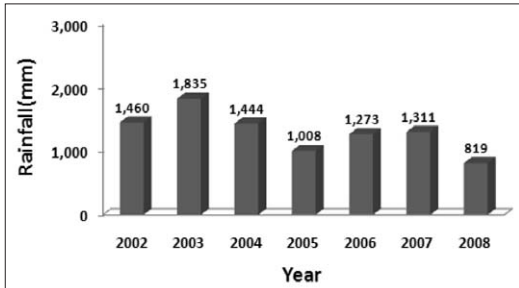


그림 11. 추풍령관측소의 연도별 강수량

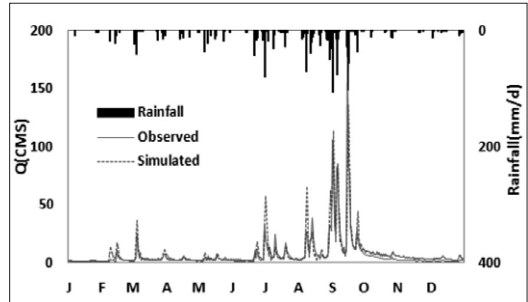
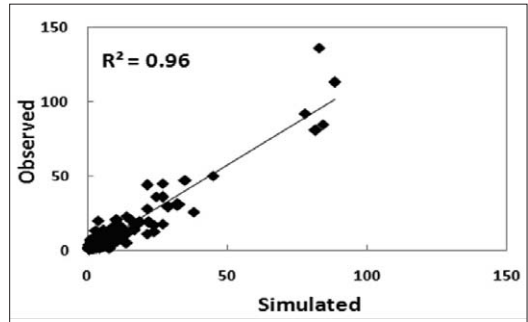


그림 12. 금본A 유역의 유량 보정 결과



비점배출계수

$$= \frac{\text{소유역별 SWAT모형의 비점배출량}}{\text{소유역별 원단위 연평균 비점배출량}} \quad (1)$$

또한 연 강수량의 많고 적음에 따른 비점배출계수의 변화를 알아보기 위하여 2000년부터 2008년까지의 모의기간 중 연강수량이 가장 많았던 2003년과 가장 적었던 2008년의 기상자료를 보정과 검증이 완료된 2007년 SWAT 모형의 input file에 입력한 후 SWAT 모형을 재구동하여 강우조건별 비점배출계수를 산정하였다. 그림 10~그림 11은 금본A 유역과 초강A 유역을 대표할 수 있는 장수강우관측소와 추풍령강우관측소에서 측정한 2002~2008년까지의 연간강수량 자료이다.

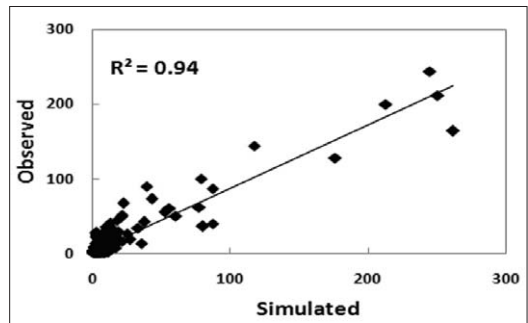
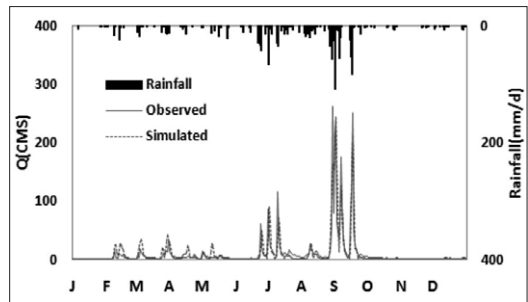


그림 13. 초강A 유역의 유량 보정 결과

III. 연구결과

1. 모형의 보정 및 검증결과

1) 유량 보정 및 검증

금본A 유역내 천천수위관측소와 초강A 유역내 송천수위관측소의 2007년 유량자료를 기준으로 보

정을 실시하였다. 연구대상지역에 대한 유량 보정 결과 금본A의 상관결정계수(R^2)는 0.96, 초강A는 0.94로 모의치가 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 유량검증은 2006년의 수위관측소별 유량

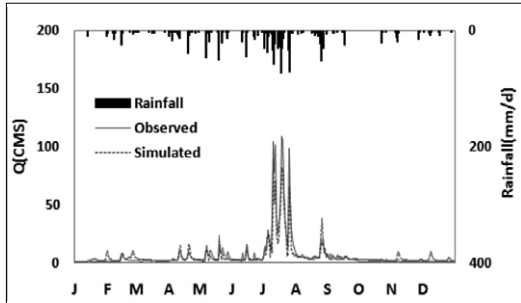


그림 14. 금본A 유역의 유량 검증 결과

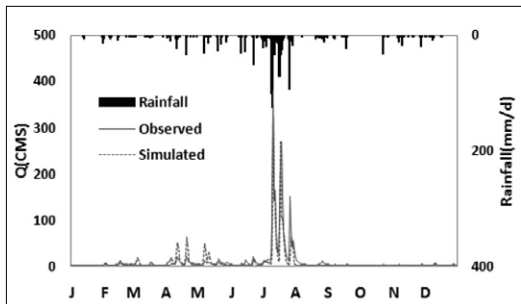


그림 15. 초강A 유역의 유량 검증 결과

자료를 이용하였으며, 금본A 유역과 초강A 유역의 검증결과에 대한 R^2 는 모두 0.92로서 보정결과보다 다소 낮게 나타났으나 유량에 대한 모형의 모의치가 현재의 유량을 잘 재현하고 있는 것을 볼 수 있다.

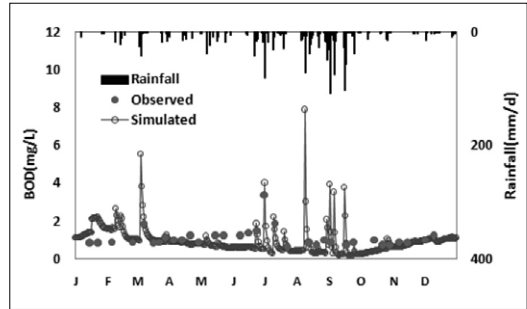


그림 16. 금본A 유역의 BOD 보정 결과

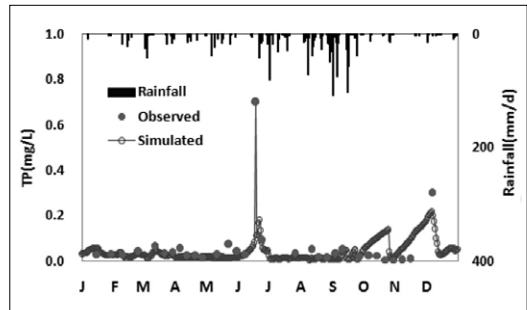


그림 17. 금본A 유역의 TP 보정 결과

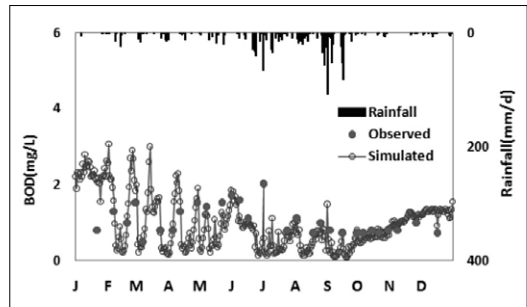


그림 18. 초강A 유역의 BOD 보정 결과

2) 수질 보정 및 검증

수질 보정방법은 먼저 SS를 보정한 후 BOD와 TP를 보정하였다. 금본A와 초강A에 대한 2007년도의 단위유역 말단 수질자료를 이용하여 보정한 결과 R^2 는 BOD의 경우 금본A 0.59, 초강A 0.57, TP는 금본A 0.90, 초강A 0.68로서 TP가 BOD보다 보정이 잘 이루어졌다. 또한 2006년의 수질자료를 사용하여 수질을 검증한 결과 BOD의 R^2 는 금본A 0.72, 초강A 0.51, TP는 금본A 0.54, 초강A 0.47로 산정되었다. 검증 시의 R^2 는 보정 시보다 다소 낮았지만 전반적으로 자연현상을 잘 반영하는

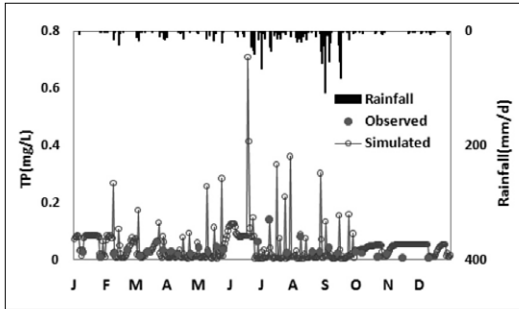


그림 19. 초강A 유역의 TP 보정 결과

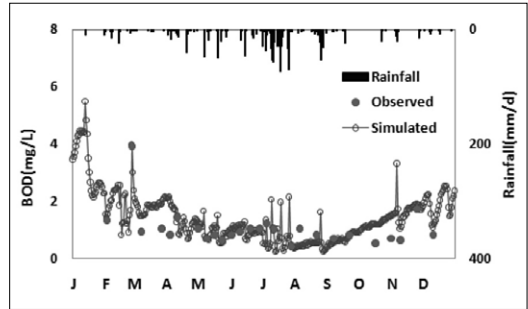


그림 20. 금본A 유역의 BOD 검증 결과

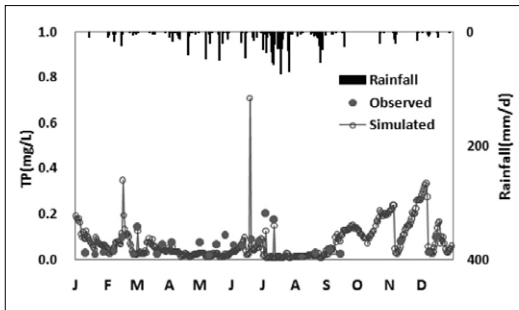


그림 21. 금본A 유역의 TP 검증 결과

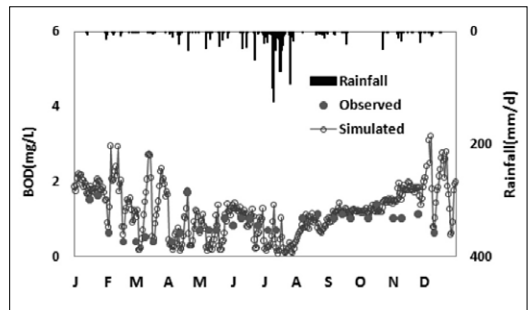


그림 22. 초강A 유역의 BOD 검증 결과

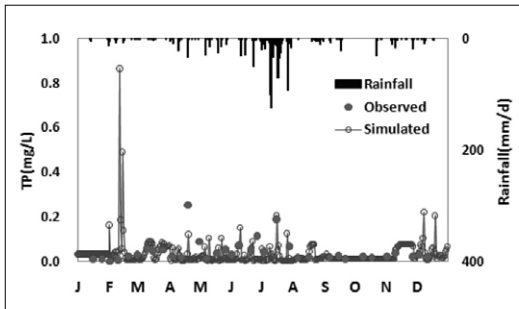


그림 23. 초강A 유역의 TP 검증 결과

것으로 나타났다.

수질의 보정 및 검증은 3개 항목에 대하여 실시하였으나 본 연구에서 다루는 총량관리 대상물질은 BOD와 TP이기 때문에 이들 두 항목에 대한 보정 및 검증 결과만을 그림 16~그림 23에 도시하였다.

2. 비점배출량 산정

본 연구에서는 금본A와 초강A 유역의 비점배출량을 산정하기 위해 보정과 검증이 완료된 SWAT 모형에 점오염부하량 값을 “0”으로 입력한 후 재구동하여 얻은 결과 값을 이용하였다. 연구의 기준년

도인 2007년의 다른 조건은 동일하게 하고, 연구기간 중 강수량이 가장 많았던 2003년과 강수량이 가장 적었던 2008년의 기상자료를 2007년의 SWAT 모형 input file에 입력하여 산정한 총 배출량 및 비점배출량을 그림 24~그림 35에 도시하였다. 그림을 보면 강수량이 많은 여름철에는 비점오염원이 수질에 미치는 영향이 크고, 강수량이 적은 겨울철에는 점오염원의 영향이 큰 것으로 나타났으며 또한 BOD와 TP 모두 강우의 유무에 따라 민감하게 변화하지만 총 배출량의 변동 폭은 두 유역 모두 TP에 비해 BOD가 큰 것으로 나타났다.

또한 그림 24~그림 35로부터 산정한 금본A와 초강A 유역의 연간 총 오염물질 배출량과 비점배출량 및 비점점유율은 그림 36~그림 39와 같다. 금본A 유역의 연간 비점배출량은 BOD의 경우 기준년도인 2007년에 180.5톤이었고, 2003년 기상자료를 입력하였을 때는 347.9톤 그리고 2008년의 기상자료를 입력한 결과 83.7톤으로 산정되어 연간 비점배출량은 강수량에 비례하였으며, TP도 BOD와 같은 추세를 보여 연간 비점배출량이 2007년

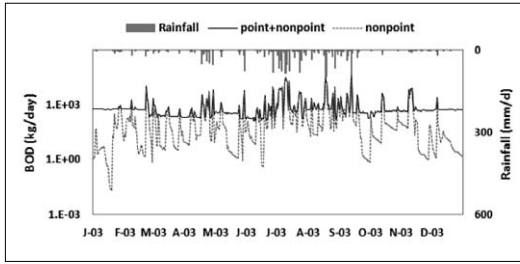


그림 24. 금본A 지역의 BOD 총/비점배출량(2003년)

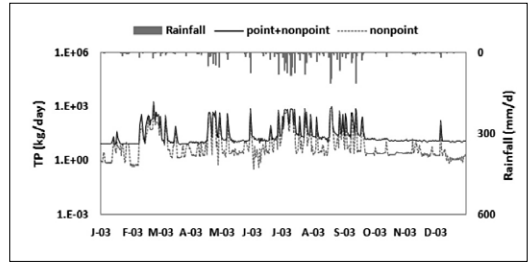


그림 25. 금본A 지역의 TP 총/비점배출량(2003년)

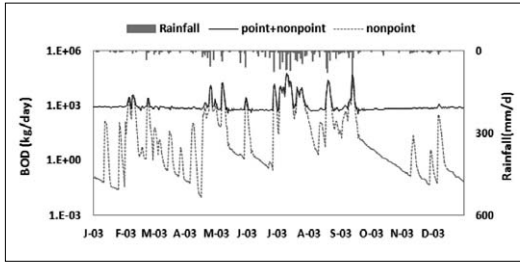


그림 26. 초강A 지역의 BOD 총/비점배출량(2003년)

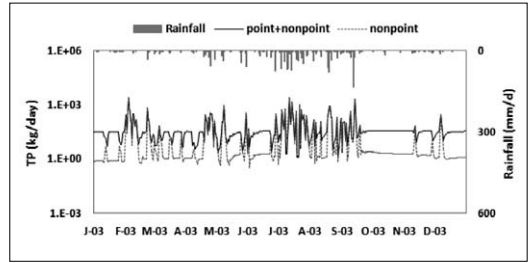


그림 27. 초강A 지역의 TP 총/비점배출량(2003년)

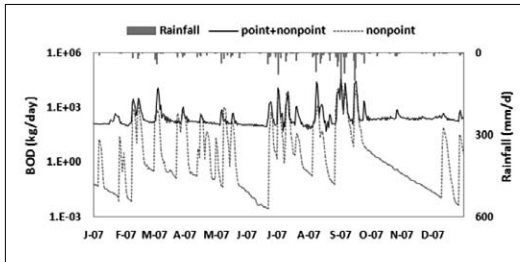


그림 28. 금본A 지역의 BOD 총/비점배출량(2007년)

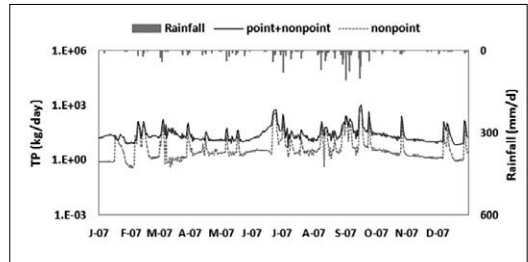


그림 29. 금본A 지역의 TP 총/비점배출량(2007년)

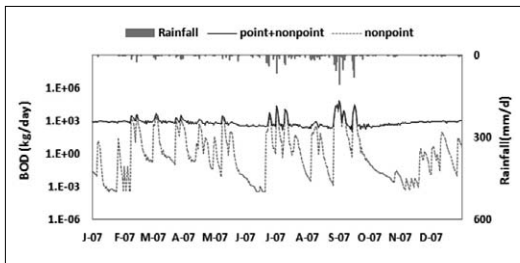


그림 30. 초강A 지역의 BOD 총/비점배출량(2007년)

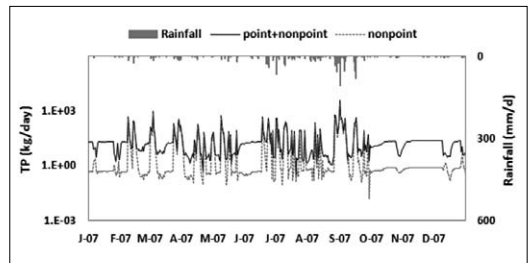


그림 31. 초강A 지역의 TP 총/비점배출량(2007년)

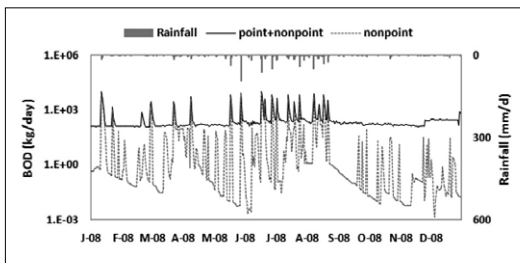


그림 32. 금본A 지역의 BOD 총/비점배출량(2008년)

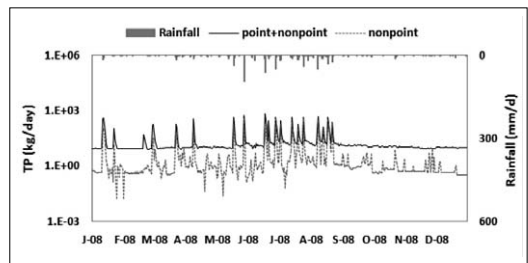


그림 33. 금본A 지역의 TP 총/비점배출량(2008년)

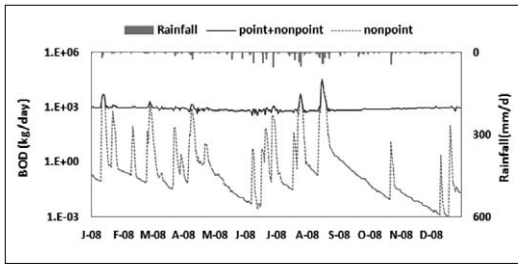


그림 34. 초강A 유역의 BOD 총/비점배출량(2008년)

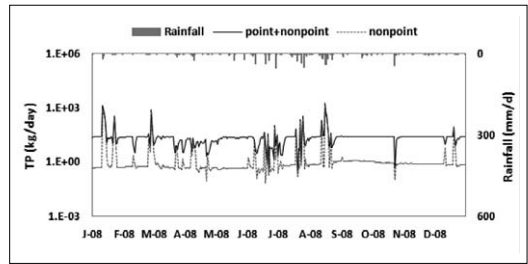


그림 35. 초강A 유역의 TP 총/비점배출량(2008년)

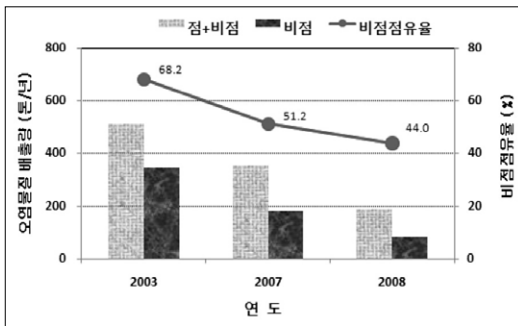


그림 36. 금본A 유역의 연도별 BOD 배출량 및 비점점유율

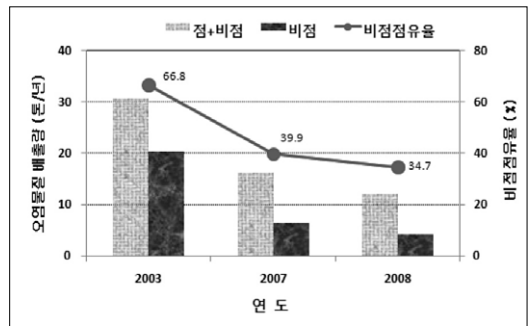


그림 37. 금본A 유역의 연도별 TP 배출량 및 비점점유율

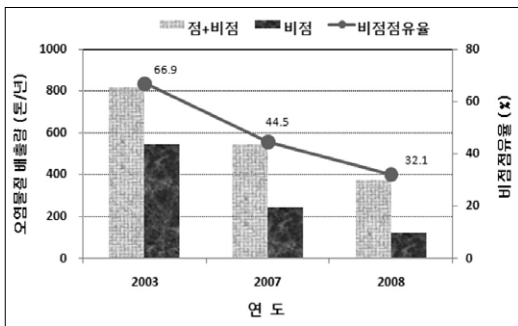


그림 38. 초강A 유역의 연도별 BOD 배출량 및 비점점유율

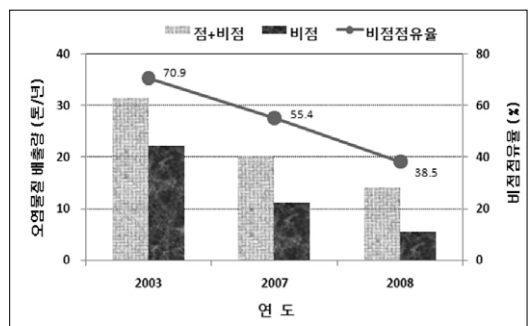


그림 39. 초강A 유역의 연도별 TP 배출량 및 비점점유율

6.5톤, 2003년 20.5톤, 2008년에는 4.2톤이었다. 초강A 유역도 금본A 유역과 동일한 추세를 보여 BOD의 연간 비점배출량은 2007년 241.7톤, 2003년 545.8톤, 2008년 121.0톤이었고, TP의 연간 비점배출량은 2007년 11.2톤, 2003년 22.4톤, 2008년 5.5톤으로 각각 산정되었다.

연간 총 오염물질 배출량에 대한 비점배출량의 비인 비점점유율을 보면 금본A 유역의 BOD는 2007년에 51.2%, 2003년 68.2%, 2008년 44.0%였고, TP는 2007년에 39.9%, 2003년 66.9%, 2008년 34.7%였으며, 초강A 유역의 경우 BOD는 2007년에 44.5%, 2003년 66.9%, 2008년 32.1%

였고, TP는 2007년에 55.4%, 2003년 70.9%, 2008년 38.5%로서 강수량이 많은 해는 총 오염물질 배출량이 증가하지만 비점배출량도 증가하기 때문에 비점점유율 또한 증가하는 결과를 얻었다.

이는 삼교호 및 대청호 유입하천을 대상으로 연도별 비점배출율을 산정한 결과 총강수량의 크기에 비례하였고, 월별 비점배출율은 6~9월에 높게 산정되어 대부분의 하천에서 강우강도가 높을수록 비점배출율도 높았지만, 유입하천길이와 해당 유역면적, 토지이용도 등 유역특성에 따라 다양한 값을 나타낸 선행연구와 같은 결과이다(신명철, 2009; 유혜은, 2007).

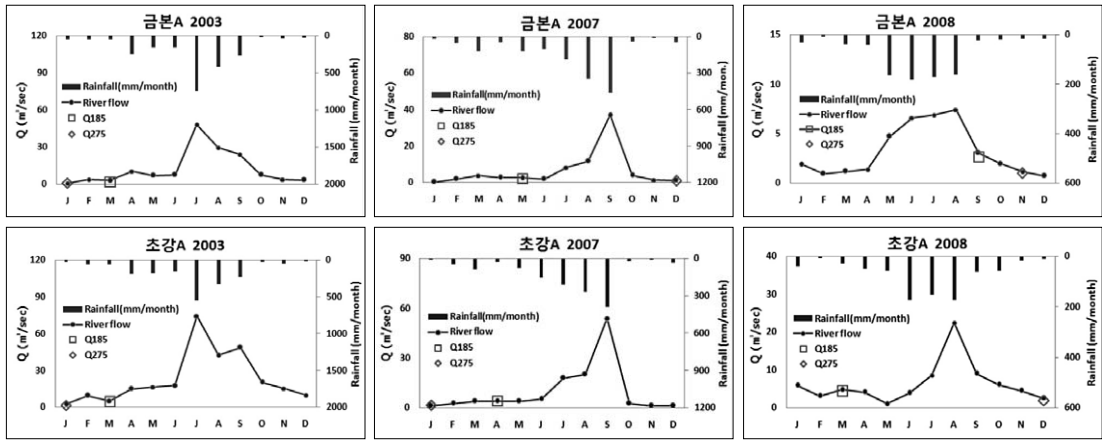


그림 40. 연구지역의 연도별 기준 월 선정

표 2. 기준 월의 유량 및 강수량
(단위 : m³/sec, mm/month)

연도	구분	구분	금본A	초강A
2003	평수기	기준 월	3월	3월
		유량	3.02	5.16
		강수량	49.50	50.60
	저수기	기준 월	1월	1월
		유량	1.45	2.63
		강수량	42.50	20.90
2007	평수기	기준 월	5월	4월
		유량	2.94	4.94
		강수량	121.50	24.20
	저수기	기준 월	12월	1월
		유량	1.18	1.87
		강수량	47.50	9.80
2008	평수기	기준 월	9월	3월
		유량	2.36	4.62
		강수량	21.70	27.70
	저수기	기준 월	11월	12월
		유량	1.05	1.96
		강수량	15.30	9.20

2. 비점배출계수 산정

1) 기준 월 선정

우리나라의 수질오염총량관리제에서 수질모델링을 수행하기 위해서는 먼저 기준유량 산정이 필수적이며, 이는 대상물질별로 다르게 적용되고 있다. 연구지역의 대상물질은 BOD와 TP로써 BOD의 기준유량은 10년평균저수량(Q₂₇₅)이고, TP는 10년평

균저수량 및 10년평균평수량(Q₁₈₅)을 동시에 적용하도록 규정되어 있다(환경부, 2006).

본 연구에서는 금본A와 초강A 유역의 기준유량별 비점배출계수를 구하기 위해 금강수계 제2차 수질오염총량관리 기준유량 설정연구(국립환경과학원, 2006)의 단위유역별 기준유량을 사용하였다. 본 연구의 기준년도인 2007년과 연구기간 중 강수량이 가장 많았던 2003년 그리고 강수량이 가장 적었던 2008년의 해당 월을 선정한 결과는 그림 40과 같으며, 연도별 기준 월의 유량과 월 누적강수량은 표 2와 같다. 그림과 표를 보면 평수기의 기준 월은 2008년에 금본A 유역을 제외하고 모두 봄철인 3~5월 사이이며, 저수기는 대부분 겨울철에 포함되어 있다.

2) 비점배출계수 산정

본 연구에서 비점배출계수 산정시 SWAT 모형의 모의결과는 각 소유역별 출구에서 유출되는 부하량이기 때문에 해당 유역의 유달부하량과 같은 개념이지만 본 연구에 적용한 총량관리 소유역은 대부분 면적이 작게 세분되어 있고, 하천의 유하거리도 짧아 자정작용의 영향이 미미하다고 판단하여 모형의 결과를 소유역별 비점배출량으로 하였다.

그림 1에서와 같이 금본A의 7개 소유역과 초강A의 21개 소유역에 대하여 강우조건별 비점배출계수를 산정한 결과는 그림 41~그림 48과 같으며, 강우조건에 따른 소유역별 비점배출계수를 평균한 값은

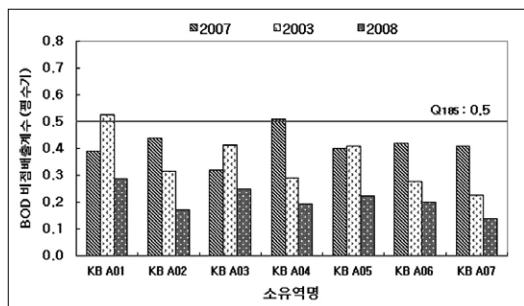


그림 41. 금본A의 평수기 BOD 비점배출계수

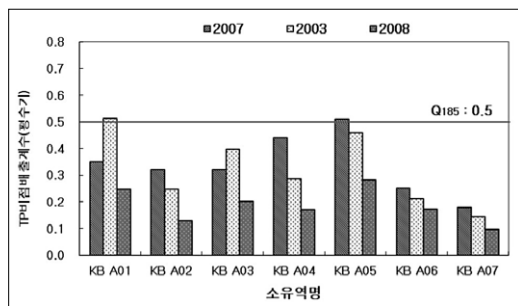


그림 42. 금본A의 평수기 TP 비점배출계수

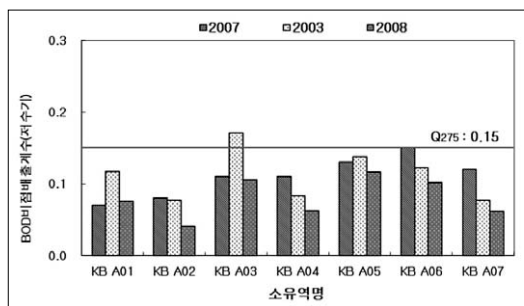


그림 43. 금본A의 저수기 BOD 비점배출계수

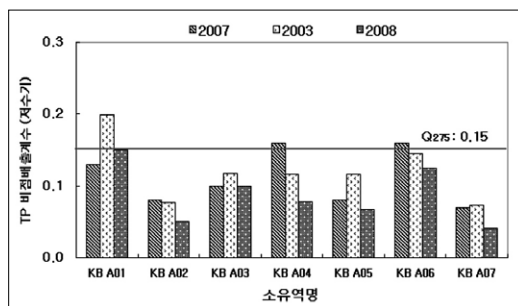


그림 44. 금본A의 저수기 TP 비점배출계수

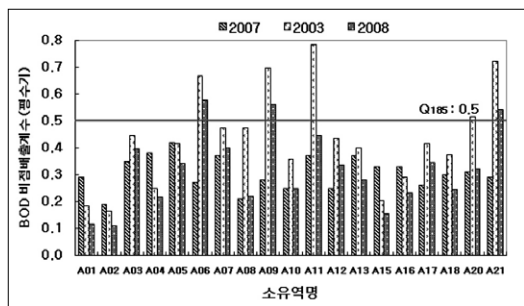


그림 45. 초강A의 평수기 BOD 비점배출계수

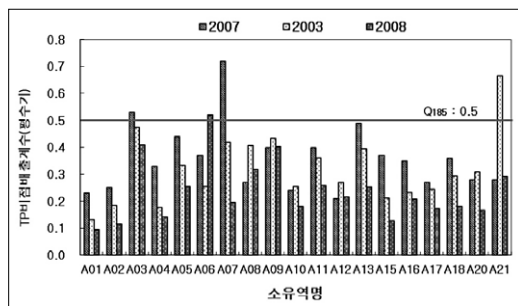


그림 46. 초강A의 평수기 TP 비점배출계수

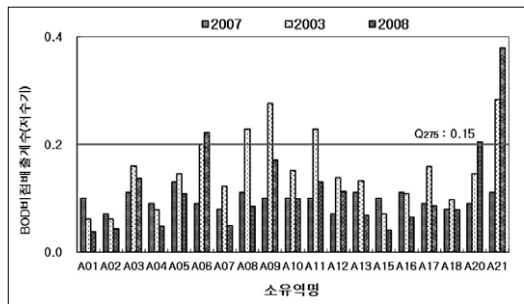


그림 47. 초강A의 저수기 BOD 비점배출계수

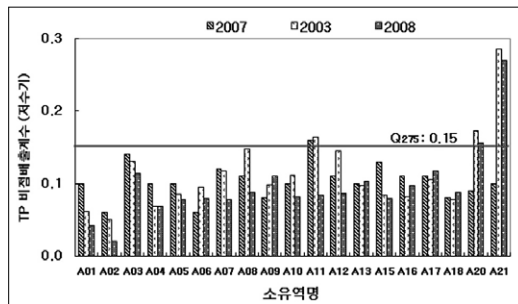


그림 48. 초강A의 저수기 TP 비점배출계수

표 3과 같다. 그림을 보면 각 단위유역내에서도 소유역별로 비점배출계수 값이 다양하게 산정되었는데 이는 소유역의 유역면적, 토지이용현황 및 유역 경사

도 등 각각의 유역특성에 따른 것으로 판단된다.

표 3에서와 같이 금본A의 경우 연간 강수량이 가장 많은 2003년의 BOD 비점배출계수가 2007년보

표 3. 연구지역의 연도별, 기준유량 시기별 비점배출계수

년 도	금본 A				초강 A			
	평수기		저수기		평수기		저수기	
	BOD _{mean}	TP _{mean}	BOD _{mean}	TP _{mean}	BOD _{mean}	TP _{mean}	BOD _{mean}	TP _{mean}
2003	0.35	0.32	0.11	0.12	0.44	0.32	0.15	0.11
2007	0.41	0.34	0.11	0.11	0.31	0.36	0.10	0.10
2008	0.21	0.19	0.08	0.09	0.32	0.24	0.12	0.10
평균	0.32	0.28	0.10	0.11	0.36	0.31	0.12	0.10

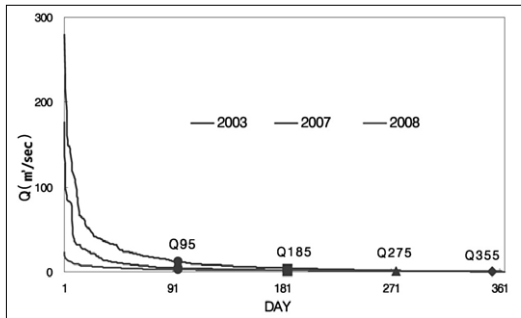


그림 49. 금본A 유역의 강우조건별 유행곡선

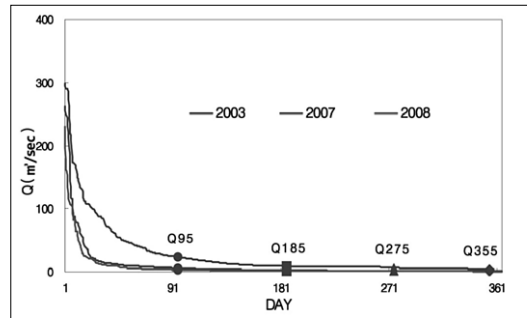


그림 50. 초강A 유역의 강우조건별 유행곡선

표 4. 연구지역내 연도별 유행분석결과

(단위 : m³/sec)

유역	연도	풍수량(Q ₉₅)	평수량(Q ₁₈₅)	저수량(Q ₂₇₅)	갈수량(Q ₃₅₅)	연강수량(mm/yr)
금본A	2003	11.98	4.66	1.62	0.80	2209.1
	2007	4.80	2.10	1.20	0.40	1563.3
	2008	2.93	1.60	0.91	0.65	863.4
초강A	2003	24.23	9.12	6.50	4.51	1835.3
	2007	5.80	2.70	1.40	1.10	1311.0
	2008	3.18	1.45	0.99	0.49	818.5

다 낮게 산정된 것은 2007년도 평수기에 해당하는 5월의 강수량은 121.5 mm였으나 2003년에 평수기로 선정된 3월의 강수량은 49.5 mm로서 해당 월의 강수량 차이에 기인한 것으로 판단된다. 이는 연간 총 비점배출량은 연간 총 강수량에 따라 큰 차이를 보였으나 기준유량 시기인 평수기 및 저수기에는 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 그림 49~그림 50에서의 유행분석 결과를 보면 최고 강수량과 유행곡선상에서 풍수량은 강수량 조건에 따라 큰 차이를 나타내고 있으나 기준유량시기로 설정되어 있는 평수량과 저수량 그리고 갈수량은 근소한 차이를 나타냈으며, 강수량 조건에 따른 전체 유출량에 대한 평수량과 저수량이 차지하는 비율 또한 미미한 차이를 보였다. 이러한 이유로 2개의

연구지역에서 강수량 조건에 따라 3개년에 대해 비점배출계수를 산정한 결과 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 판단된다.

현재 비점배출계수는 3대강 유역 및 대상물질에 공통적으로 적용하고 있으나, 위의 결과와 같이 단위유역별, 수질항목별로 다르게 나타났으며, 수질 오염총량관리제에서 적용하고 있는 비점배출계수인 평수기 0.50, 저수기 0.15와 비교하였을 때 저수기에는 큰 차이를 보이지 않지만 평수기에는 많은 차이를 보이고 있다.

IV. 결론

우리나라에서 시행되고 있는 수질오염총량관리

제는 수질모델링을 위한 배출부하량 산정시 비점배출부하량 산정과정을 용이하게 하기 위해 평수기에는 0.50, 저수기에는 0.15의 비점배출계수를 사용하고 있다. 본 연구에서는 SWAT 모형을 이용하여 유역특성이 비슷한 2개의 연구지역을 대상으로 기준유량별, 강우조건별 비점배출계수를 산정하고, 이를 수질오염총량제에서 적용하고 있는 비점배출계수와 비교하여 적용성을 평가하였다. 연구결과 2개 유역의 기준유량별 3년 평균 비점배출계수는 평수기에 BOD 0.32~0.36, TP 0.28~0.31였고, 저수기에는 BOD 0.10~0.12, TP 0.10~0.11로서 현재 수질오염총량관리제에서 적용하고 있는 비점배출계수보다 낮았으며, 특히 평수기에는 큰 차이를 보였다. 강수량 조건에 따른 비점배출계수 산정결과 강수량이 많거나 적으면 풍수량이 많은 차이를 보이지만 기준유량인 평수량과 저수량은 큰 차이가 없어 강수량 조건에 따른 비점배출계수는 큰 차이를 나타내지 않았다. 유역특성이 비슷하여도 비점배출계수는 기상조건에 따라 차이를 보이기 때문에 현재 우리나라에 획일적으로 적용되고 있는 비점배출계수는 오염원의 공간적인 분포와 지형특성 등을 고려하여 모의할 수 있는 유역모형을 이용하여 산정하는 것이 보다 과학적인 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 국립환경과학원, 2008, 수계오염총량관리기술지침.
- 국립환경과학원, 2006, 금강수계 제2차 수질오염총량관리 기준유량 설정연구.
- 국립환경과학원 금강물환경연구소, 2006, 비점오염모델링 기술을 이용한 유역 오염물질 배출해석.
- 국립환경과학원, 2010, 미국의 TMDLs 수립 안내서.
- 김철겸 · 김남원, 2008, 충주댐 유역의 오염원에 따른 오염부하량 발생 특성, 한국물환경학회지, 24(4), 465-472.
- 박준대 · 박주현 · 류덕희 · 정동일, 2008, 수질오염총량관리를 위한 비점배출계수 산정, 한국물환경학회지, 24(4), 452-457.
- 유혜은, 2007, SWAT 모형을 이용한 대청호 유역의 오염물질 유달을 산정, 청주대학교 대학원 석사학위논문.
- 신명철, 2009, 삽교호 유입하천의 비점오염특성 및 오염물질 유달에 관한 연구, 한서대학교 대학원 석사학위논문.
- 전라북도, 2009, 전라북도 2단계 오염총량관리 기본계획 최종보고서.
- 장재호 · 윤춘경 · 정광욱 · 김형철, 2010, SWAT 모델을 이용한 경안천 유역의 수질관리 영향 평가, 한국물환경학회지, 26(3), 387-398.
- 충청북도, 2009, 충청북도 2단계 오염총량관리 기본계획 최종보고서.
- 환경부, 2006, 금강수계 오염총량관리 기본방침.
- 한국환경정책 · 평가연구원, 2002, 비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안.
- 환경부, 2006, 비점오염원 업무편람.
- US EPA(1977). Technical Guidance manual for Developing Total Maximum Daily Loads.
- Neithsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. and Williams, J. R., 2001, Soil and Water Assessment Tool; The theoretical documentation, U.S. Agricultural Research Service.
- Feyen, L., Vazquez, R., Christianens, K., Sels, O. and Feyen, J., 2000, Application of distributed physically-based hydrological model to a medium size catchment. Hydrology and Earth System Science, 4(1), 47-63.
- Karim C. Abbaspour, Jing Yang, Ivan Maximov, Rosi Siber, Konrad Bogner, Johanna Mieleitner, Juerg Zobrist, and Raghavan Srinivasan, 2006, Modelling hydrology and water quality in the pre-

- alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Hydrology*, 333, 413-430.
- Migliaccio, K. W., Chaubey, I., and Haggard, B. E., 2006, Evaluation of landscape and instream modeling to predict watershed nutrient yields. *Environmental Modeling and Software*, 22, 987-999.
- Mahesh Sahu, and Roy R, Gu., 2009, Modeling the effects of riparian buffer zone and contour strips on stream water quality. *Ecological Engineering*, 35, 1167-1177.

최종원고채택 12. 04. 20