

# 분산형 수질모형을 이용한 담수호 유입 오염 부하량 산정

임경호<sup>1)</sup> ○정승권<sup>2)</sup> 윤종호<sup>3)</sup>

## 1. 서 론

유역에서 유입되는 오염물질은 강우-유출과정에서 지표유출로 용해되거나, 토사에 부착되어 유실토양과 함께 하천이나 호소로 유입된다. 유역은 여러 종류의 토지이용이 결합된 모자이크 형태로 이루어져 있으며, 토지이용의 구성형태에 따라 오염물질의 발생 및 유출특성도 달라진다. 특히 일부 비점오염원의 농도는 토지이용의 고도화에 따라 점오염원의 농도보다 높은 항목도 존재하며, 강우 시 유입량도 막대하여 수질환경에 큰 영향을 끼치게 된다.

한편, 서산 A, B지구(간월호 및 부남호)는 주변지역에 농·축산업이 발달하여 오염원이 많고, 수계의 경사가 완만하여 자정능력이 약하다. 서산시의 꾸준한 인구증가와 각종 산업시설의 구축으로 생활하수 및 공장폐수가 하천 및 해역으로 유입되고 있어 수질개선을 위한 노력이 매우 절실한 실정이다. 상류지역의 하수처리를 또한 아직까지는 미흡한 실정이어서 호소수의 수질은 점차 악화되고 있는 실정이다. 더욱이 최근 들어 계속된 가뭄으로 인해 A, B지구의 수질은 최악의 상태에 직면해 있다.

따라서 본 연구에서는 서산 A, B지구에 대한 점오염원과 비점오염원의 유출특성을 파악하고, GIS(Geographic Information System) 데이터를 이용하여 분산형 수질모형인 AGNPS(AGricultural Non-Point Sources)를 구동함으로써 유역의 각 지점에서 발생하여 담수호, 즉 간월호, 부남호로 유입되는 비점오염 부하량을 산정하고자 하였다. 또한 평·갈수기와 홍수기 때의 담수호 유입 오염부하량 현황을 파악하여 강우사상에 따른 담수호 유입 오염 부하량을 분석, 예측하고자 하였으며 더 나아가 서산 A, B지구의 중·장기 토지이용계획에 따른 담수호 유입 오염부하량의 변화를 모의하여 중·장기 담수호 수질관리 방안의 수립에 기초자료를 제시하고자 하였다.

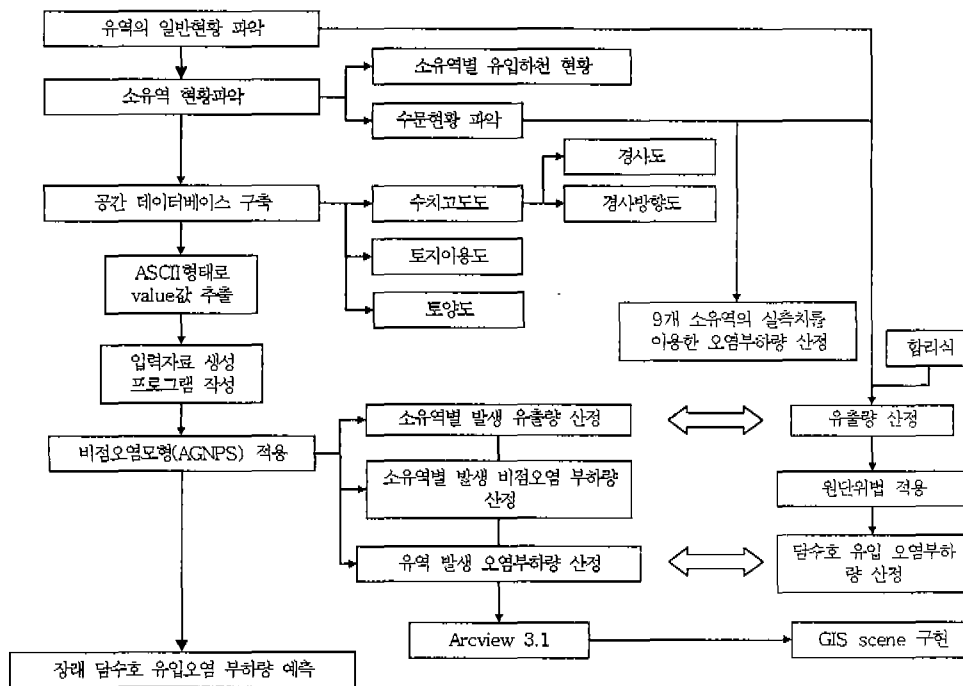
1) 공주대학교 토목환경공학과 교수

2) 한국건설기술연구원 토목연구부 위촉연구원

3) 신성대학 환경공학과 교수

## 2. 분산형 수질모형의 적용

본 연구는 자정능력이 약하고, 상류지역에서의 하수처리율이 낮은 서산 A, B지구의 소유역별 발생 오염부하량을 산정하고자 서산 A지구(간월호)의 6개 유역, 서산 B지구(부남호)의 3개 유역에 대해 유역분할을 하여, 각 소유역에 대한 발생 오염부하량을 모의하고, 이를 실측치와 비교함으로써 모형에 대한 검증을 실시하였다. 검증된 모형의 매개변수를 이용하여 서산 A지구와 B지구에 대한 발생 오염부하량을 산정하였고, 흐름추적을 통해 담수호로 유입되는 오염부하량을 <그림 1>의 과정을 통해 모의, 산정하였다.



<그림 1> 담수호 유입 오염부하량 산정을 위한 연구 진행 흐름도

본 연구에서는 소유역 발생 오염부하량과 담수호 유입 오염부하량을 산정하기 위해 원단위법과 분산형 수질 모형인 AGNPS 모형을 이용하였다. 원단위법은 <식 1>에서와 같이 1995년 환경부에서 고시한 토지이용별 오염물질의 유출계수와 서산 A, B지구의 1999년 한해동안의 월별 강우량을 이용하여 유출량을 산정하였고, 이에 환경부에서 측정 고시한 간월호, 부남호의 수질농도를 적용하여 원단위를 산정하였다.

AGNPS 모형은 단일 호우사상에 대한 분산형 매개변수 모형으로, 우선 서산 A지구와 B지구의 9개 소유역에 대한 발생 오염부하량 산정을 모의하는데 이용하였고, 간월

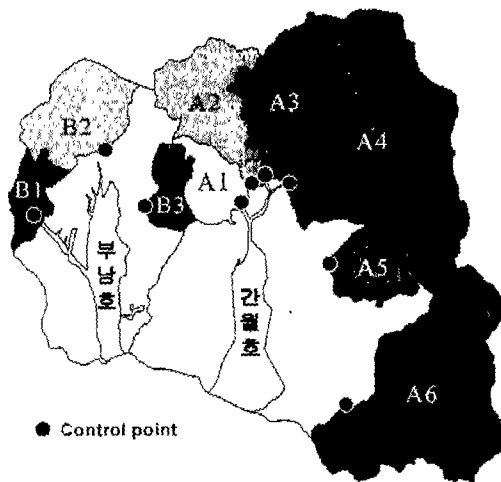
호 및 부남호로 유입되는 오염부하량을 산정하는데도 사용되었다.

$$\text{원단위(kg/ha/yr)} = \frac{\sum c_i q_i}{A} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $c_i$  =  $i$  번째 측정농도,  $q_i$  =  $i$  번째 측정 유출량,  $A$  = 전체 유역면적

### 3. 대상 소유역 현황

본 연구에서는 서산 A, B지구내 9개의 실측지점으로 유하하는 해당유역을 구분하고 지형도 내의 등고선 자료를 이용하여 소유역을 구분하였다. 이들 소유역에 대해서는 실측자료를 이용하여 오염 부하량을 산정하였고, 이를 모형에 의한 결과치와 비교하였다. 구분된 소유역은 <그림 2>에 나타낸 바와 같다.



<그림 2> 서산 A, B지구의 실측지점별 소유역 구분

## 1. 결과 및 고찰

### 1.1 소유역 발생 오염부하량

본 연구에서는 서산 유역에서 발생하는 오염부하량을 산정하기 위하여 서산유역에 대한 1999년의 월별 강우사상과 <표 1>에 나타낸 2000년도의 8개의 강우사상을 바탕으로 비점오염 모델링을 시행하였다.

<표 1> 실측기간에 대한 9개 소유역의 수문자료

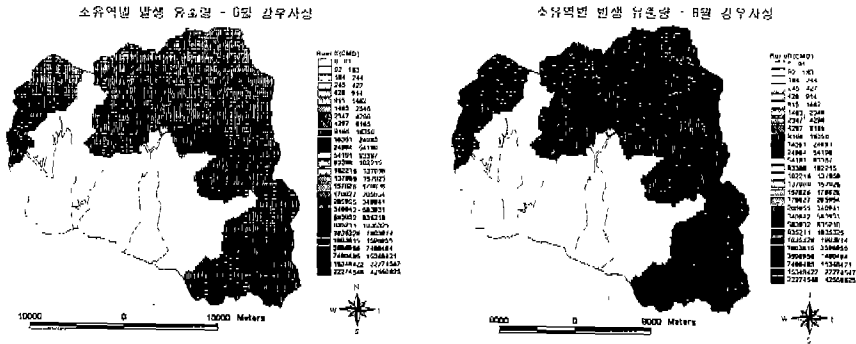
실측일	선행강우량(mm)	지속기간(day)	지속시간(hr)	비 고
2000. 3. 9	0.6	3. 8	24	
2000. 4. 8	1.2	3. 27	24	
2000. 5. 23	1.2	5. 18 ~ 19	48	
2000. 6. 24	42.6	6. 22 ~ 24	72	
2000. 7. 19	2.7	7. 15 ~ 17	72	
2000. 8. 31	384.9	8. 23 ~ 28	144	
2000. 9. 30	9.94	9. 1 ~ 9. 30	24	선행강우량이 매우 작아 월 강우량의 평균값 이용
2000. 10. 21	1.11	10. 1 ~ 10. 31	24	

<그림 3>은 각 소유역에서 발생하는 유출량을 GIS scene을 이용하여 나타낸 것이다. 서산 유역에서 발생한 가뭄으로 인하여 본 연구에서는 6월과 8월의 강우사상을 바탕으로 모형에 적용하여 그 결과를 도시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 강우사상에 의해 유역 각 지점에서 발생하는 유출량이 분명한 차이를 보이고 있으며, 특히 A-4와 A-6 유역에서 유출이 크게 발생하고 있음을 알 수 있었다.

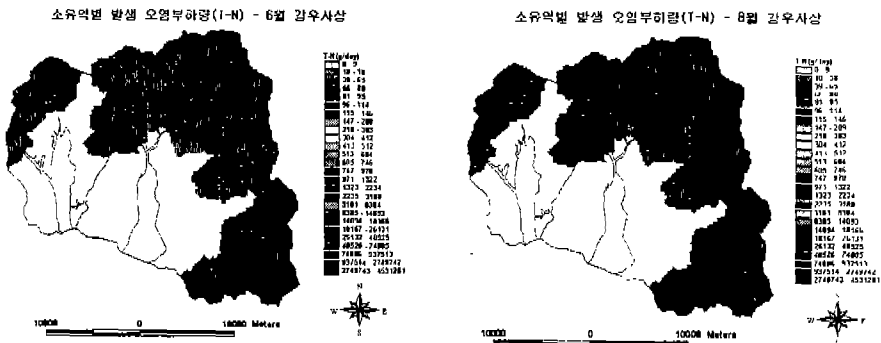
각 소유역에서 발생하는 오염부하량을 각각 T-N, T-P, COD로 구분하여 산정하였는데 <그림 4>는 T-N에 대한 결과를 GIS scene으로 나타낸 것이다. 유출량과 마찬가지로 유역에서 발생하는 오염부하량도 A-4와 A-6 유역에서 크게 나타났고, B지구에서는 B-1 유역에서 가장 많은 양의 오염물질이 발생하는 것으로 나타났다. <표 2>에서는 오염부하량의 월별 변화를 보기위해 9개 소유역에서 발생하는 오염부하량을 합산하여 A지구(간월호)와 B지구(부남호)로 구분하여 나타낸 것이다.

<표 2> 월별 발생오염부하량(kg/day)

오염부하량	담수호	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
T-N	간월호	25.33	45.59	57.54	678.80	143.85	13626.86	891.14	41.796
	부남호	5.92	10.66	12.28	158.74	27.48	2582.61	339.65	56.8
T-P	간월호	6.93	9.01	9.98	36.75	23.50	31.15	42.28	12.34
	부남호	0.34	0.44	0.50	1.79	1.16	6.08	2.21	0.62
COD	간월호	571.21	1256.66	1394.69	15422.68	3641.61	1028957.98	17213.88	1723.38
	부남호	113.29	249.24	229.41	3058.82	566.65	185604.30	3450.13	311.11



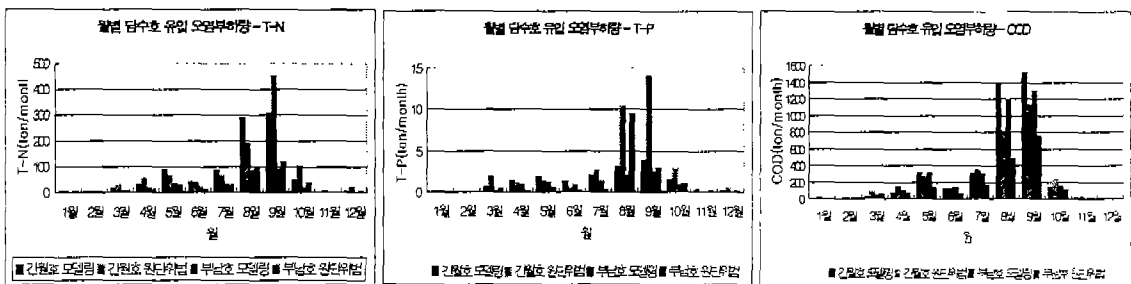
<그림 3> 소유역별 발생 유출량



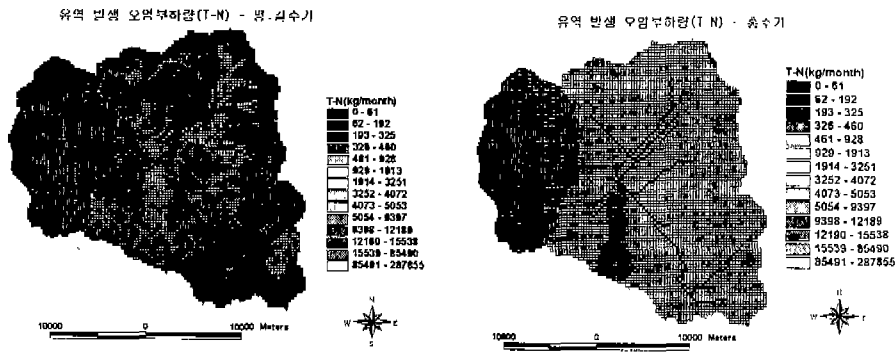
<그림 4> 소유역별 발생 오염부하량

## 4.2 담수호 유입 오염부하량

<그림 4>는 원단위 및 AGNPS 모형을 통해 산정된 월별 담수호 유입 오염부하량을 간월호와 부남호로 구분하여 나타낸 것이다. 담수호 유입 오염부하량 산정은 서산 A지구와 B지구를 하나의 유역으로 분류하여 유역의 각 지점에서 발생하는 오염부하량을 흐름추적을 통해 담수호 유입 지점으로 모았으며, <그림 5>는 이를 GIS scene으로 구현한 것이다.



<그림 4> 월별 담수호 유입 오염부하량



<그림 5> 담수호 유입 오염부하량

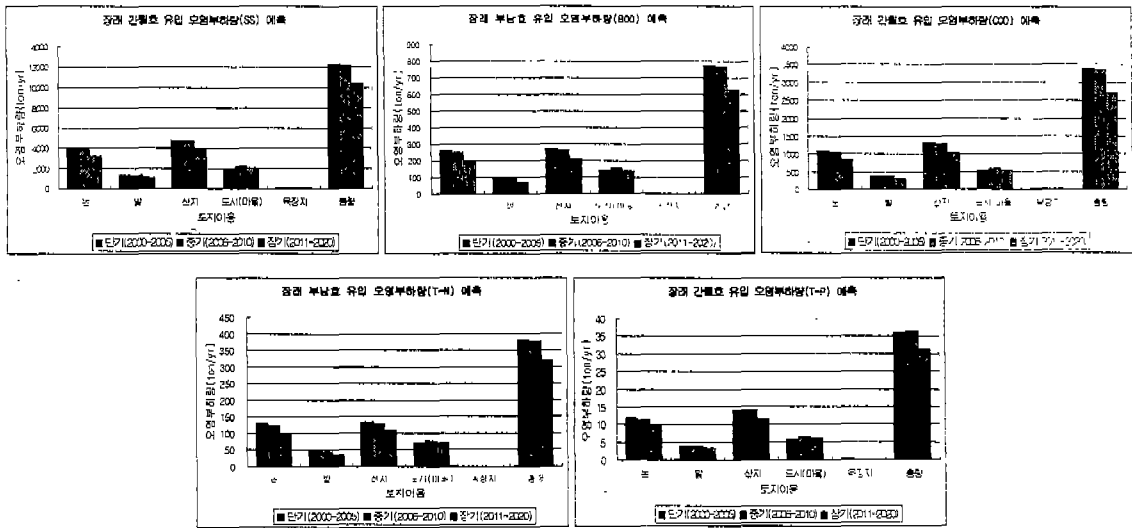
### 4.3 담수호의 장·단기 유입 오염부하량 예측

본 연구에서는 장래 유입 오염부하량 예측을 하기 위해 장래 토지이용변화에 따른 오염부하량을 산정하고자 하였다. 특히 대부분이 농업지역으로 이루어진 서산유역의 경우는 토지이용 상태에 따라 발생 오염부하량이 크게 좌우되기 때문에 본 연구에 있어서 토지이용변화의 고려는 불가피한 것이다. 서산 유역은 점유율이 43.44%를 차지하는 산림지역을 제외하고는 논이 27%, 밭이 11% 순으로 점유율을 나타내고 있다. 그러나 공장용지, 도로, 제방 등 사회간접자본 시설에 소요되는 토지가 증가함에 따라 서산유역의 토지이용특성이 변하고 있다. 게다가 현대의 서산농장 매각으로 인해 향후 서산유역의 토지이용현황은 크게 변화할 것으로 전망된다.

본 연구에서는 서산유역의 토지이용변화에 따른 담수호 유입 오염부하량 예측을 위해 충청남도에서 발주하고 KAIST에서 연구수행한 '서산 A,B지구 담수호 수질보전 및 용수관리방안'에서 제시된 토지이용계획을 바탕으로 단기(현재~2006년), 중기(2006년~2010년), 장기(2011~2020)로 나누어 발생오염부하량을 예측해 보았다. <그림 6>은 그 결과로써 오염물질별 토지이용변화에 따른 발생오염부하량의 예측값이다. 한편, 단기, 중기, 장기 토지이용 계획에 적용된 토지이용면적은 <표 3>과 같다.

<표 3> 장래 유입 오염부하량 예측시 적용된 토지이용면적(ha)

담수호	토지이용계획	논	밭	산지	목장지	도시(마을)	총면적
간월호	단기	13410	5293	15085	386	6621	40795
	중기	13021	5267	14875	350	7256	40769
	장기	12508	5047	14058	300	8016	39929
부남호	단기	7685	3225	7349	27	4158	22444
	중기	7317	3125	7294	21	4548	22305
	장기	7114	2974	7109	19	5018	22234



<그림 4> 장래 담수호 유입 오염부하량 예측

## 5. 결론

본 연구의 목적은 분산형 수질모형을 이용, 서산 A·B지구에서 발생하는 오염부하량과 발생 후 담수호로 유입되는 오염부하량을 산정하고, 수문현상 및 공간정보 등의 변수를 반영하는 장래 유입 오염부하량을 예측함으로써 유역관리방안의 수립에 도움을 주는데 있다. 하지만 본 연구에서는 유역으로부터 발생하여 간월호, 부남호로 유입되는 유출량 자료 등 대상유역에 대한 자료의 미비로 인해 부득이 합리식을 이용해 산정한 유출량과 토지이용별 원단위를 통해 산정된 담수호 유입 오염부하량을 모형의 결과 값과 비교하는 방법을 이용하였다. 또한 연구기간을 전후로 계속된 가뭄으로 인하여 유역 내의 수질농도가 비교적 높게 측정되므로써 유역별 발생 오염부하량에 대한 모형 결과 값과 다소의 차이를 나타내는 등 비교에 어려운 점이 있었다. 하지만 유역의 공간정보를 이용하여 대상유역의 강우사상별 또는 토지이용별 발생 오염부하량을 유역의 각 지점별로 산정하고, 여러 제반여건에 따라 변화되는 유역의 오염물질 발생현황을 파악할 수 있다는 것은 큰 성과라고 사료된다.

더욱이 공간정보 및 유역현황의 조건 변화를 통해 향후 유역에서 발생하는 오염부하량을 예측하여 담수호로 유입되는 오염부하량을 산정 함으로써 담수호 수질보전을 위한 각종 오염방지시설의 필요성을 제기하고 시설 후에도 이들의 효과까지 예측할 수 있을 것으로 사료된다. 향후, 유역의 공간정보를 이용한 오염발생현황 및 예측에 관한 연구결과가 보다 실용적으로 이용되기 위해서는 보다 세밀한 유역의 공간정보자료 확보와 실측지점의 현황을 보다 면밀하게 대표할 수 있는 수질 및 유출량 측정이 이루어져야 할 것으로 사료된다.