

간월호 및 부남호의 유입 오염부하량 산정

Estimation of Pollutant Loadings from Watershed into Lakes of Ganwol and Boonam

임 경 호* / 이 영 신** / 김 이 형***+

Lim, Kyeong-Ho* / Lee, Young-Sin** / Kim, Lee-Hyung****

:: Abstract ::

The water of rivers and lakes in Korea is the main sources for drinking, industrial and agricultural purposes. However, various pollutants washed-off from watershed area make worse and worse the water quality. Particularly, the changes of land uses in watershed area is the main pollutant sources in many cases in Korea, it is usually called to nonpoint pollution sources. In this reason, the Ministry of Environment are programing the total maximum daily load for four major large rivers in order to improve the water quality by controlling the watershed area. Therefore, this research was performed to estimate the total pollutant input from watershed areas to lakes of Ganwol and Boonam located in Chungnamdo. The AGNPS water quality model and monitoring were used to estimate the pollutant loading rates with unit pollutant concentration of each land use. The main landuse of the research area are forest, wet and dry paddy field and small urban area. The research shows that the pollutant sources in Ganwol and Boonam lakes are from the various landuses. In this manuscripts, the results will provide important informations for mitigating the pollutants to the lakes.

Keywords: AGNPS, Nonpoint pollution source, Reservoir

1. 서 론

유역(watershed area)은 인간에 의한 다양한 토지이용(land use)으로 건조지 많은 오염물질들의 축적이 일어나는 지역이며, 강우의 발생

과 함께 다량의 오염물질들이 인근 수계로 유입되게 된다. 대부분의 유역은 다양한 종류의 토지 이용이 결합된 모자이크 형태로 이루어져 있으며, 토지이용의 구성형태에 따라 오염물질의 종류 및 유출특성도 달라진다. 유역에서 유출되는

+ Corresponding author, leehyung@kongju.ac.kr

* 정회원·공주대학교 건설환경공학부·방재연구센터

** 비회원·한서대학교 환경공학과

*** 정회원·교신여자공주대학교 건설환경공학부 방재연구센터

오염물질들은 강우 및 강우 유출과정에서 용해상태 또는 토사 입자에 흡착된 상태로 하천이나 호소로 유입되어 수질오염 및 생태계 파괴의 근원이 되고 있다. 따라서 최근 들어 이러한 토지이용의 고도화로 발생하는 비점오염물질(nonpoint pollutants)의 관리에 대하여 국내외적으로 관심이 매우 크다(Kim et al., 2005). 특히 환경기초시설의 확대보급으로 인하여 점오염원(point source)에 기인하는 오염물질들의 유출은 상대적으로 줄어들고 있는 반면, 강우에 의하여 다양한 토지이용에서 유출되는 비점오염물질의 양은 점차 증가하고 있는 추세이다. 이러한 비점오염원의 중요성에 기인하여 환경부는 국내 4대강 유역에 오염총량(total maximum daily load, TMDL)관리제를 도입하여 점오염원과 더불어 비점오염원 관리를 위한 법적 및 행정적 제도를 정착화 시키기 위하여 노력하고 있다. 특히 비점오염물질들은 대부분 강우에 의하여 유출되기에 유역 및 강우특성에 따라서 유출 오염물질의 형태 및 부하량에 큰 차이가 나는 불확실성(uncertainty)이 매우 큰 오염물질이다. 따라서 부하량의 차이가 매우 큰 비점오염원 관리는 점오염원 관리에 비하여 어렵기에 세밀한 모니터링 및 모델링만이 불확실성을 줄일 수 있는 매우 중요한 도구이다(김 등, 2004).

따라서 본 연구에서는 충청남도 서산시에 위치하고 있는 간월호 및 부남호 유역을 대상유역으로 선정하여 이러한 불확실성이 높은 비점오염물질 부하량의 효과적 산정을 하고자 하며, 그 결과는 향후 효과적인 호소 및 유역관리에 도움을 주고자 한다. 간월 및 부남호 주변지역은 농업 및 축산업이 발달하여 이로 인한 오염원이 많이 존재하고 있는 지역이다. 또한 최근 들어 서산시의 꾸준한 인구증가와 각종 산업시설의 구축으로 미처리된 생활하수 및 공장폐수가 하천 및 호소지역으로 유입되고 있기에 수질개선을 위한 노력이 매우 절실한 실정이다. 이러한 영향은 간월 및 부남호 수질의 상태에서도 나타나고 있다(충청남도, 2001). 따라서 본 연구에서는 대상지

역의 점오염원과 비점오염원의 유출특성을 파악하고, 원단위법과 분산형 수질모형을 이용하여 비점오염물질 부하량을 산정하여 그 값을 비교하고자 한다. 또한 평수기, 갈수기 및 홍수기 때의 담수호 유입 오염부하량 현황을 파악하여 강우사상에 따른 담수호 유입 오염 부하량을 분석 및 예측하고자 하였으며, 더 나아가 서산 A(간월호 유역) 및 B(부남호 유역)지구의 증장기 토지이용계획에 따른 담수호 유입 오염부하량의 변화를 모의하여 증장기 담수호 수질관리 방안의 수립에 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 대상지역 및 실험방법

2.1 유역 특성, 소유역 구분 및 모니터링 지점

본 연구의 조사대상 지역은 간월호 및 부남호로 명명된 서산 A·B지구로서 농지개발사업에 의해 각각 1982년과 1984년에 간척사업이 완공된 호소 유역이다. 대상유역의 총면적은 739.21 km²를 나타내고 있다. 간월호의 경우, 청지천, 도당천, 해미천, 둔당천 등이 합류하여 호소 상부로 유입되고 있으며, 유역면적은 453 km²를 나타내고 있다. 또한 토지이용 현황을 살펴보면 전 11.2%, 답 45.0%, 대지 2.0% 및 임야가 31.2%로서 농경지 비율이 매우 높은 지역이다. 부남호의 경우, 북부 태안의 백화산과 오석산을 원류로 소하천인 태안천, 상옥천, 흥인천이 합류하여 담수호의 상류부로 유입되고 있으며 서산시 인지면에서 발원한 장검천이 유입되고 있는 지역이다. 유역면적은 137 km²를 나타내고 있으며, 유역의 토지이용 현황은 전 16.5%, 답 50.8%, 대지 1.7% 및 임야 19.5%로 논밭의 비율이 상대적으로 높은 지역을 보인다. 간월호 및 부남호로 유입되는 하천의 오염 부하량을 측정하기 위해 9개 중요지점을 설정하고, 9개의 실측지점으로 유하하는 해당유역을 구분하고자 지형도 내의 등고선 자료를 이용하여 소유역을 구분하였다. 이들 소유역에 대해서는 실측자료를 이용하여 오

염 부하량을 산정하였고, 이를 모형에 의한 결과치와 비교하였다(그림 1).

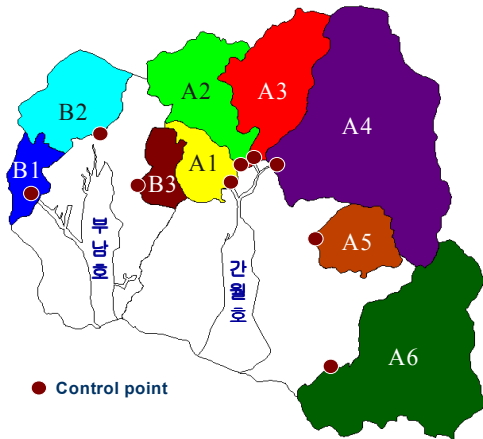


그림 1. 간월호 및 부남호 유역의 유역도 및 모니터링 지점

모니터링 지점은 간월호 유입지역에 6개 지점, 그리고 부남호 유입지역에 3개의 지점을 선정하여 모니터링을 수행하였다. 조사기간은 2000년 3월부터 10월까지이며 평수위·저수위시(무강우시)와 고수위시(강우시)로 구분하여 월 1회 유량

과 수질을 측정 및 분석하였다. 유량측정은 현장 답사 및 단면측량을 통해 월 1회 유속계를 이용하여 측정하였으며, 채취된 수질 시료에 대해서는 pH, DO, 수온, 입자상 물질, 유기물질, 질소와 인 등의 영양염류 등에 대하여 분석을 시행하였다.

2.2 분산형 수질모형의 적용

연구 대상지역인 서산 A 및 B지구의 소유역별 발생 오염부하량을 산정하고자 A지구의 6개 유역, B지구의 3개 유역에 대해 유역분할을 하여, 각 소유역에 대해 발생 오염 부하량을 모의하였다. 또한 이를 실측치와 비교함으로써 모형에 대한 검증은 실시하였다. 검증된 모형의 매개변수를 이용하여 A지구와 B지구에 대하여 발생 오염 부하량을 산정하였고, 흐름추적을 통해 담수호로 유입되는 오염부하량을 그림 2와 같은 과정을 통해 모의 및 산정 하였다. 소유역 발생 오염부하량과 담수호 유입 오염부하량을 산정하기 위해서는 원단위법과 분산형 수질 모형인 AGNPS 모형을 이용하였다.

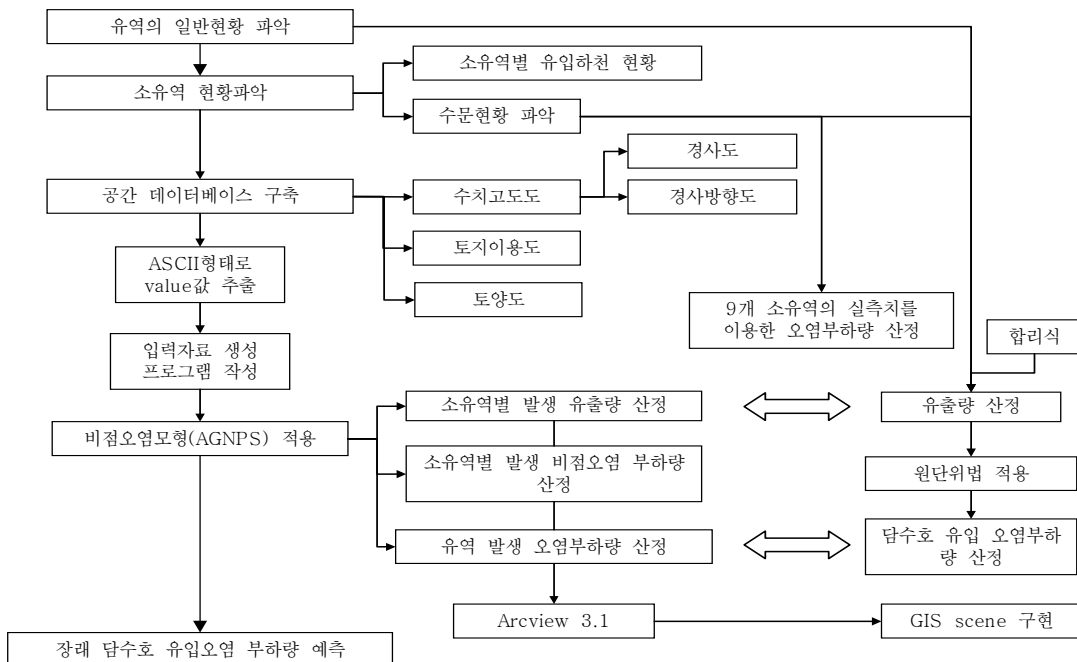


그림 2. 오염물질 부하량 산정과정

3. 결과 및 고찰

3.1 유역 발생 오염부하량

그림 3은 A 및 B지구에서 발생하는 총 오염 부하량을 토지이용 면적으로 나누어 산정한 토지 이용별 오염물질 유출 원단위를 나타내고 있다.

산정된 원단위의 범위는 A지구의 경우 T-N이 27.2-21.62 kg/ha-yr, T-P가 0.92-0.73 kg/ha-yr, COD가 83.62-72.49 kg/ha-yr로 나타났으며, B지구에서는 T-N이 17.28-13.79 kg/ha-yr, T-P가 0.75-0.59 kg/ha-yr, COD가 89.8-71.6 kg/ha-yr로 나타났다.

그림 4는 각 소유역에서 발생하는 유출량을 GIS scene을 이용하여 나타낸 것으로, 2000년

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 T-N, T-P, COD의 발생부하량을 산정하였는데, 그림 5는 T-N에 대한 결과를 나타낸 것이다. 유출량과 마찬가지로 유역에서 발생하는 오염부하량 역시 A-4와 A-6 유역에서 크게 나타났으며, B지구에서는 B-1 유역에서 가장 많은 양의 오염물질이 발생하는 것으로 나타나고 있다.

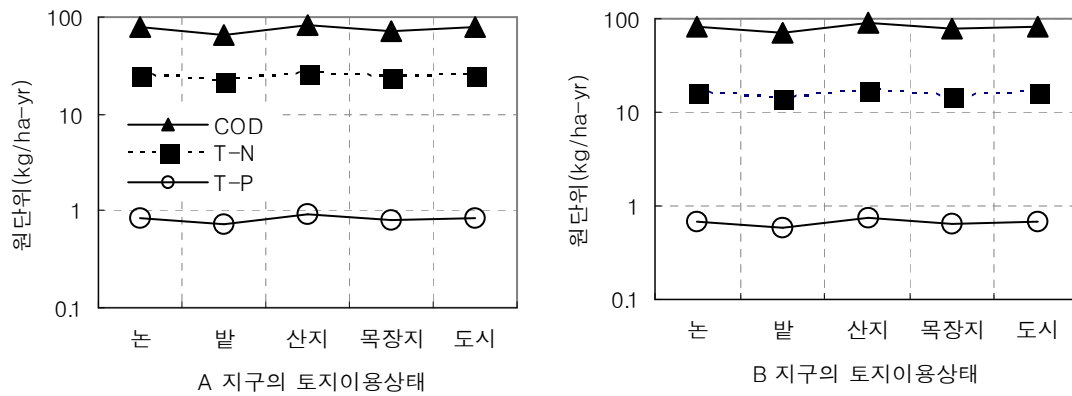


그림 3. 오염물질의 단위배출량

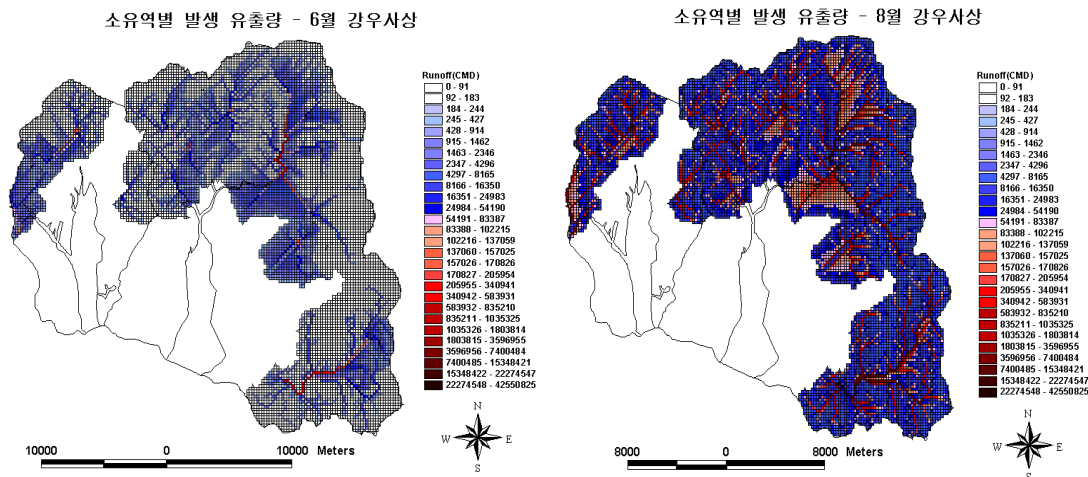


그림 4. 소유역에서 배출되는 유출을

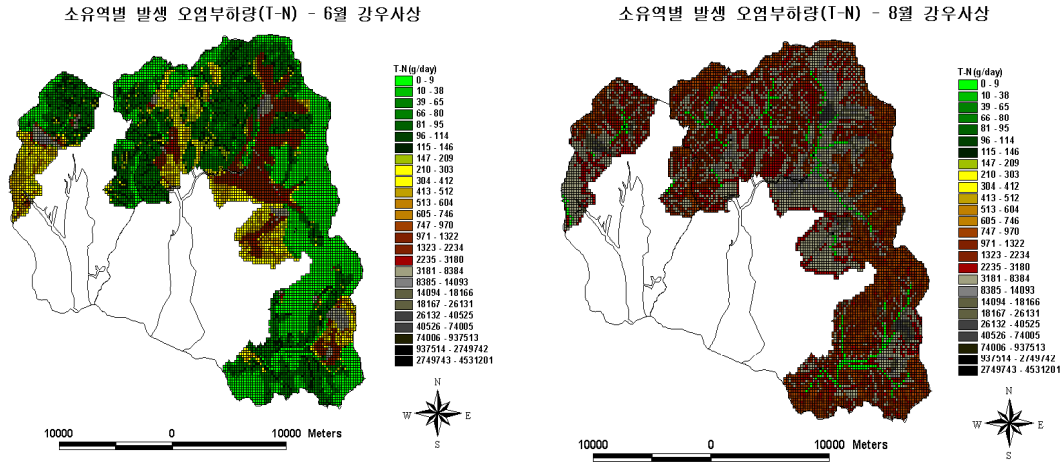


그림 5. 소유역에서의 T-N 발생부하량 산정

3.2 담수호 유입 오염부하량

담수호 유입 오염부하량 산정은 A지구와 B지구를 하나의 유역으로 분류하여 유역의 각 지점에서 발생하는 오염부하량을 흐름추적을 통해 담수호 유입 지점으로 모아 산정하였으며, 그림 6은 그 결과를 GIS scene으로 구현한 것이다.

그림 7은 원단위 및 AGNPS 모형을 통해 산정된 월별 담수호 유입 오염부하량을 간월호와 부남호로 구분하여 나타낸 것이다. 건기시에는 원단위법과 AGNPS법으로 구한 값의 차이가 크게 나타나지 않았지만 강우가 집중하는 7-9월에

는 대체적으로 원단위 산정값이 높게 나타났다. 또한 소유역에 대한 오염부하량 산정은 2000년에 발생한 강우량을 바탕으로 모의하였기 때문에 강우량이 적었던 7월의 경우 6월이나 8월에 비하여 유입 오염부하량이 적게 나타났다.

3.3 담수호의 장·단기 유입 오염부하량 예측

장래 유입 오염부하량 예측 위해서는 토지이용 변화를 이용하여 오염부하량을 산정하였다. 대부분이 농업지역으로 이루어진 연구 대상유역의 경우는 토지이용 변화에 따라 발생 오염부하량이

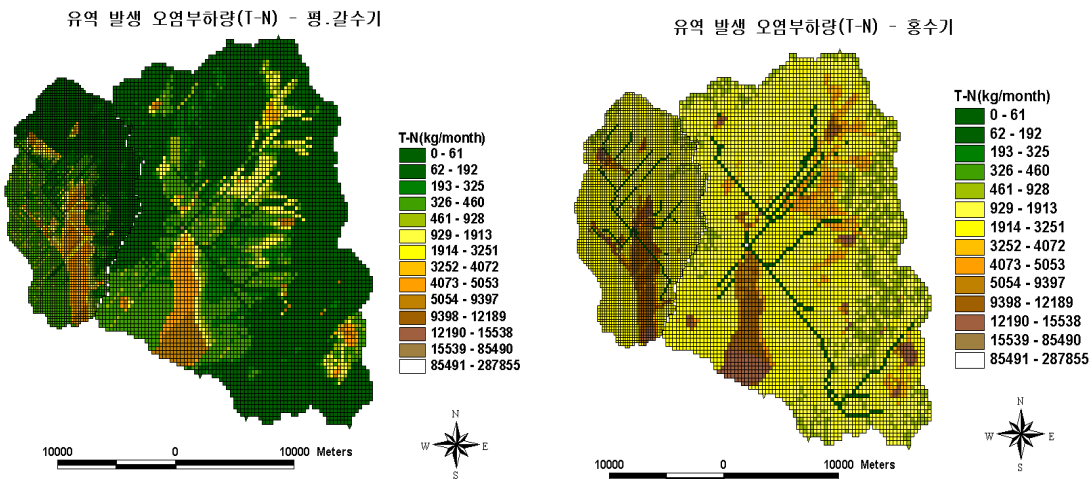


그림 6. 유역에서 배출되는 T-N의 배출부하량 산정

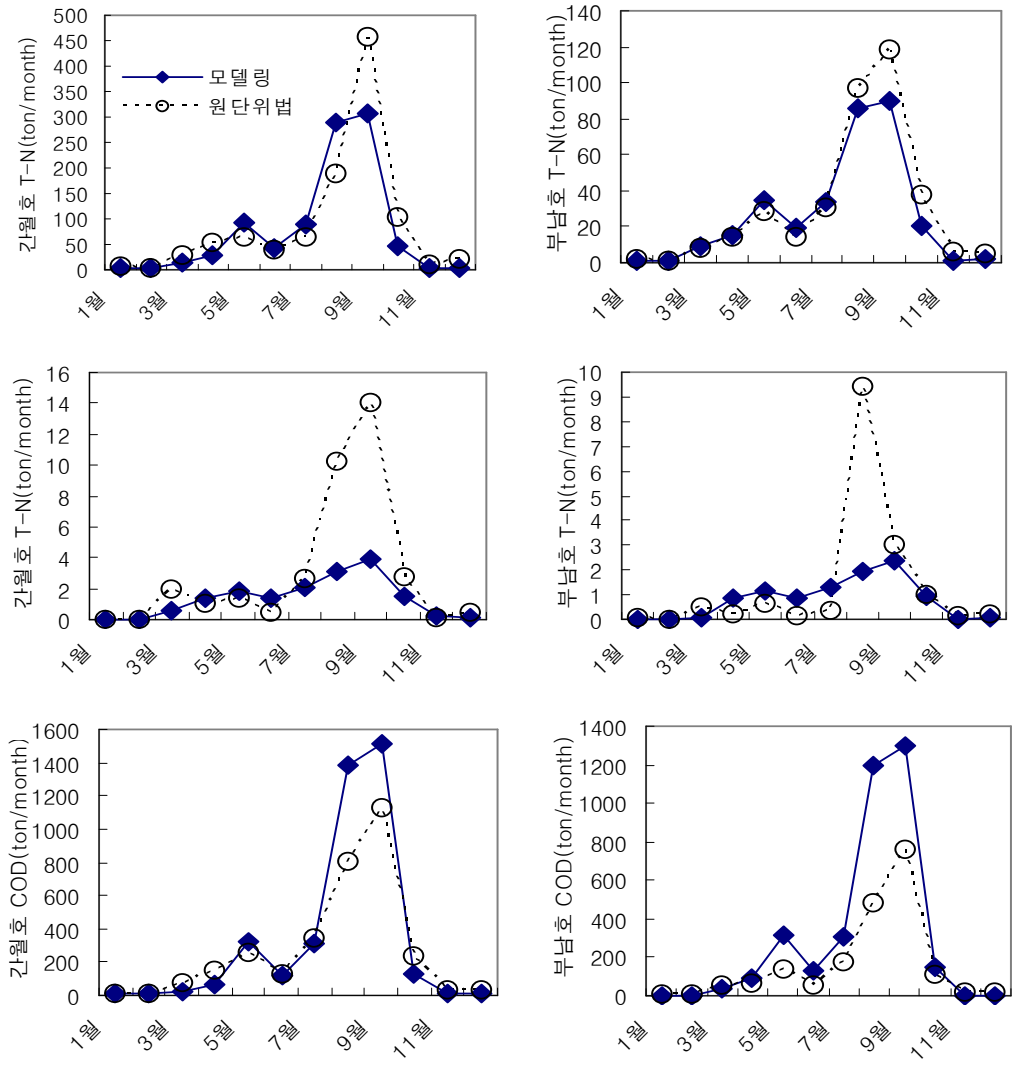


그림 7. 간월호 및 부남호의 월별 오염물질 부하량

크게 좌우되기 때문에 본 연구에 있어서는 토지 이용변화의 고려는 매우 필수적이라 할 수 있다. 본 대상 유역은 점유율이 43.4%를 차지하는 산림지역을 제외하고는 논이 27%, 밭이 11% 순으로 점유율을 나타내고 있다. 그러나 공장용지, 도로, 제방 등 사회간접자본 시설에 소요되는 토지가 증가함에 따라 유역의 토지이용특성이 점점 변하고 있다.

유역의 토지이용변화에 따른 담수호 유입 오염 부하량 예측을 위해 '서산 A, B지구 담수호 수질보전 및 용수관리방안' (충청남도, 2001)에

제시된 토지이용계획을 바탕으로 단기(현재-2006년), 중기(2006-2010년), 장기(2011-2020)로 나누어 발생오염부하량을 예측해 보았다. 단기, 중기, 장기 토지이용 계획에 적용된 토지이용면적은 표 1과 같다.

그림 8은 그 결과로써 오염물질별 토지이용변화에 따른 발생오염부하량의 예측치를 나타낸 것이다. 오염물질 발생 부하량은 전체 대상유역의 점유율 중 약 70%를 차지하는 산림지역과 논에서 가장 높게 발생되었다. T-N의 경우 논에서 131.29-101 ton/yr, 밭에서 47.01-36.21 ton/

표 1. 유역에서의 토지이용의 변화

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

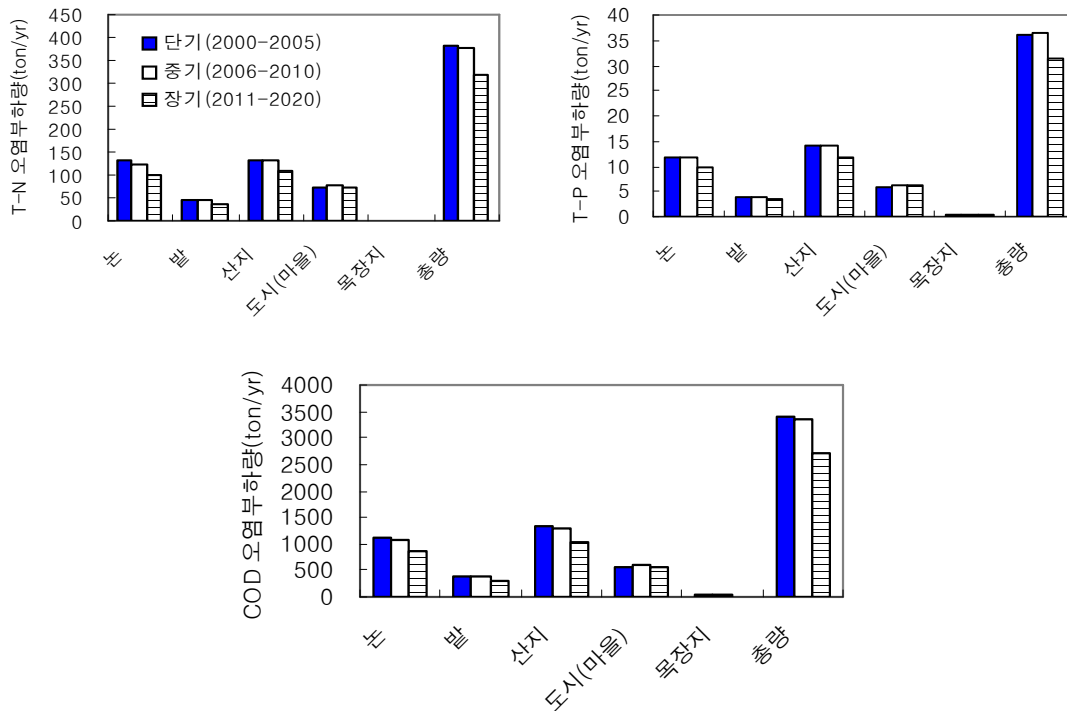


그림 8. 유역에서의 오염물질 부하량 예측

yr, 산지에서 134-108.31 ton/yr 그리고 도시 지역에서 71.04-71.64 ton/yr로 발생되었다. T-P의 경우 논에서 6.06-5.33 ton/yr, 밭에서 2.17-1.90 ton/yr, 산지에서 6.16-5.16 ton/yr, 도시지역에서 3.28-3.76 ton/yr의 범위로 발생되었다. COD의 경우는 논에서 677.43-526.34 ton/yr, 밭에서 242.34-187.49 ton/yr, 산지에서 691.24-561.15 ton/yr, 도시지역에서 366.5-371.27 ton/yr로 발생하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 간월호 및 부남호 유역의 현 토지이용에서의 발생부하량 및 호내 유입부하량 산정을 위하여 GIS를 이용하였으며, 장래 토지이용 변화에 따른 발생부하량의 예측을 위하여 AGNPS 수질 예측 모델을 이용하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 산정된 원단위의 범위는 간월호 지구의 경우, T-N이 27.2-21.62 kg/ha-yr, T-P가 0.92-0.73 kg/ha-yr, COD가

83.62-72.49 kg/ha-yr로 나타났으며, 부남호 지구에서는 T-N이 17.28-13.79 kg/ha-yr, T-P가 0.75-0.59 kg/ha-yr, COD가 89.8-71.6 kg/ha-yr로 나타났다.

- 2) 원단위 및 AGNPS 모형을 통해 산정된 월별 담수호 유입 오염부하량을 간월호와 부남호로 구분하여 나타낸 결과, 건기시에는 원단위법과 AGNPS법으로 구한 값의 차이가 크게 나타나지 않았지만 강우가 집중하는 7-9월에는 대체적으로 원단위 산정값이 높게 나타났다.
- 3) 장래 토지이용 현황을 고려하여 발생오염 부하량을 산정한 결과 전체 대상구역의 점유율 중 약 70%를 차지하는 산림지역과 논에서 가장 높은 오염물질 발생 부하량이 나타났다. 그 이유는 이러한 토지이용 면적이 상대적으로 가장 크게 차지하고 있으며 오염물질의 유출이 큰 지역이기 때문으로

판단된다.

참고문헌

- 김이형, 강주현 (2004). “고속도로 강우 유출수 내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정”, 한국물환경학회지, 20(6), pp. 631-640.
- 충청남도, KAIST (2001). “서산 A, B지구 담수호 수질보전 및 용수관리방안”, pp. 39-247.
- Kim, L-H., Kayhanian, M., Lau, S-L., Stenstrom, M.K. (2005). “A new modeling approach in estimating first flush metal mass loading”, Wat. Sci. & Tech. 51(3-4), pp. 159-167.