

오염물질 유달 특성을 이용한 오염원별 기여도 평가

Contribution assessment of each pollutant source to total loads using delivery characteristics

김철겸*, 김남원**
Chul Gyum Kim, Nam Won Kim

요 지

충주댐 유역을 대상으로, SWAT-K 모형의 적용을 통해 신뢰성 있는 장기간의 유량 및 수질모의자료를 기반으로 오염물질의 거동 특성을 파악하는 한편, 각 하천구간내 오염물질의 침식과 퇴적, 생물학적 변환 및 자정작용 등을 고려한 하천구간별 유달율을 산정하였으며, 각 하천구간별 유달 특성을 이용하여 점원·비점원에 의한 배출부하량 및 토지이용별(논·밭·산림) 배출부하량이 유역 하류측 충주댐 지점에서의 총 유달 부하량에 미치는 영향을 평가하였다. 오염원별 기여도 분석 결과, 전체 유사량의 84%, 총질소의 93%, 총인인 92% 정도가 비점오염원에 의한 영향으로 나타났으며, 토지이용별로는 유사나 총인은 밭의 기여도가 높게 나타난 반면, 총질소는 유역내 면적비중이 큰 산림에 의한 영향이 가장 큰 것으로 나타났다.

핵심용어 : 유달율, 충주댐, SWAT-K, 기여도, 비점오염

1. 서 론

현재 국내에서 수행중인 수질오염총량관리제도의 기술지침(환경부, 2004)에서는 수질모델링을 통해 산정된 총량관리단위유역별 유달부하량이 할당부하량을 만족할 수 있도록, 각 단위유역별 배출부하량에 안전율을 적용하여 할당부하량을 산정하고 있는데, 각 토지이용별, 유역특성별, 유황별 유달율에 대한 명확한 기술은 되어 있지 않으며, 현재로서는 유달부하량과 할당부하량의 비교를 통해 총량제를 수행하고 있다. 또한, 여전히 원단위를 통한 발생부하량 및 배출부하량을 산정하고 있기 때문에, 비교적 연중 일정한 발생 및 배출특성을 나타내는 생활하수, 축산폐수, 산업폐수 등의 점오염원에 대해서는 적절한 값을 얻을 수 있으나, 도시·도로·농지·산지 등 주로 토지계에서 나타나는 비점오염원은 유역 특성 및 기상 조건에 따른 강우-유출에 의해 크게 좌우되기 때문에 원단위를 통한 발생 및 배출부하량의 산정은 현실적으로 맞지 않으며, 연중 유황변화가 심한 국내 유역 특성을 고려할 때 더욱 적용 곤란한 상황이다. 비교적 관측이 용이한 점오염원과 달리 비점오염원은 그 특성상 발생에서 유출까지의 경로 파악이 어렵고, 다양한 강우와 다양한 유역조건에 따른 관측자료의 확보가 어렵기 때문에, 주로 모델링을 통해 다양한 유역조건과 기상조건에 따른 거동 특성을 분석하는 연구가 많이 수행되어 오고 있다. 현재 국내의 오염총량관리 목표수질 설정 및 할당부하량 결정에 있어 중요한 요소인 유달율 또한 지역적인 특성, 하도내 특성, 기상학적 특성 등 많은 인자들에 의해 영향을 받기 때문에 실측에 의한 정량화가 어려워, 모델링을 통한 방법론이 점차 제기되고 있는 상황이다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원 · E-mail : cgkim@kict.re.kr
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구위원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr

본 연구에서는 충주댐 유역을 대상으로 유역모형인 SWAT-K(한국건설기술연구원, 2008)를 이용하여 오염부하량의 거동 특성 규명은 물론, 유역내 각 소유역별 하천구간에 대해 유달율을 산정하고, 각 하천구간별 유달 특성을 이용하여 점원·비점원에 의한 하천으로의 배출부하량 및 토지이용별(논·밭·산림) 배출부하량이 유역 최종 출구점인 충주댐 지점에서 나타나는 총 유달부하량에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 대상유역 및 모형 구축

충주댐 유역의 유역면적은 6,648 km²이며, SWAT-K 모형의 적용을 위해 김철겸 등(2007)을 비롯한 기존 연구들에서 구축한 DEM·토양도·토지이용도 등의 GIS 입력자료를 활용하였으며, 환경부 8일 간격 관측자료와의 비교를 위해 그림 1과 같이 오염총량관리 단위유역의 수질측정망과 주요 합류점을 기준으로 11개 소유역으로 구분하였다. 또한, 유량 및 증발산량 산정에 필요한 강우량과 기상자료들은 비교적 양질의 자료가 구축되어 있는 기상청 관할의 5개 관측소(대관령, 원주, 영월, 충주, 제천)의 지점별 일 관측자료를 활용하였다.

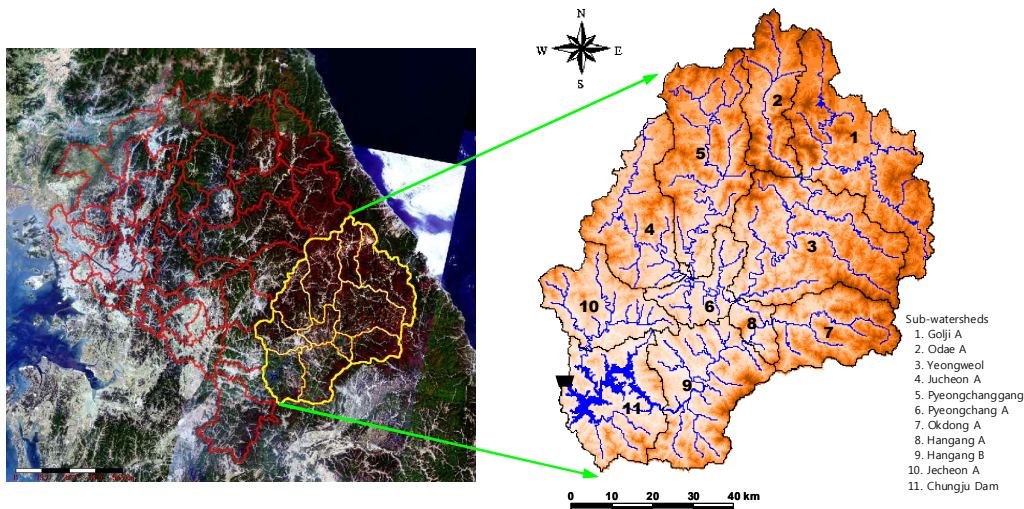


그림 1. 충주댐 유역 및 소유역 구분

그림 2는 충주댐 지점에서의 유량 모의결과 중 2008~2009년 자료를 나타낸 것이며, 분석기간인 2002~2009년의 일유량에 대한 결정계수(R^2)와 Nash & Sutcliffe(1970) 모형효율계수(ME)는 각각 0.76과 0.75로서 장기 모의에서의 충분한 신뢰성을 확보할 수 있었다.

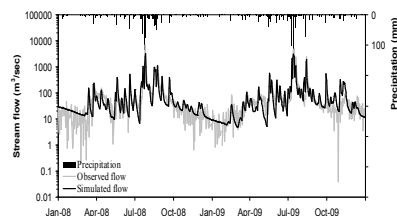


그림 2. 충주댐 지점에서의 유량 모의 결과(2008~2009년)

수질에 대한 보정은 기존 김철겸 등(2007)과 김철겸과 김남원(2009)에서 언급한 바와 같이 하류측 한강B 및 충주댐 지점은 상류 유입량 보다 하류인 댐 저수량에 따라 영향을 받아 실제 수량에 비해 유량이 작게 나타날 수 있지만, 모형에서는 댐 영향을 고려하지 못하고 하천수로 인식하기 때문에 실제보다 많은 부하량이 산정되는 문제가 있어, 댐 영향을 받지 않는 한강A 지점을 중심으로 상류측 지점들에 대해 보정을 수행하였다.

유사 및 수질에 대한 보정을 위해 김철겸과 김남원(2009)의 연구와 같이, 환경부에서 2004년 이후 8일 간격으로 관측하고 있는 수질자료를 활용하여 연속부하곡선을 유도한 후 모형 결과치와 비교함으로써, 관련 매개변수를 보정하였다.

3. 연구 결과

3.1 소유역 하천구간별 유달을 산정

그림 3과 같이 각 소유역별 대표 하천으로 유입되는 부하량과 소유역 하천 말단에서의 부하량과의 비교를 통해 하도구간별 유달을 산정하였다. 항목별로는 유사가 13~109%, 총질소 89~97%, 총인 84~103%의 분포를 보이고 있는데, 값의 차이가 있지만, 대체로 유사와 총인의 유달율이 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이는 유사에 흡착된 인의 거동에 따른 영향으로 판단된다.

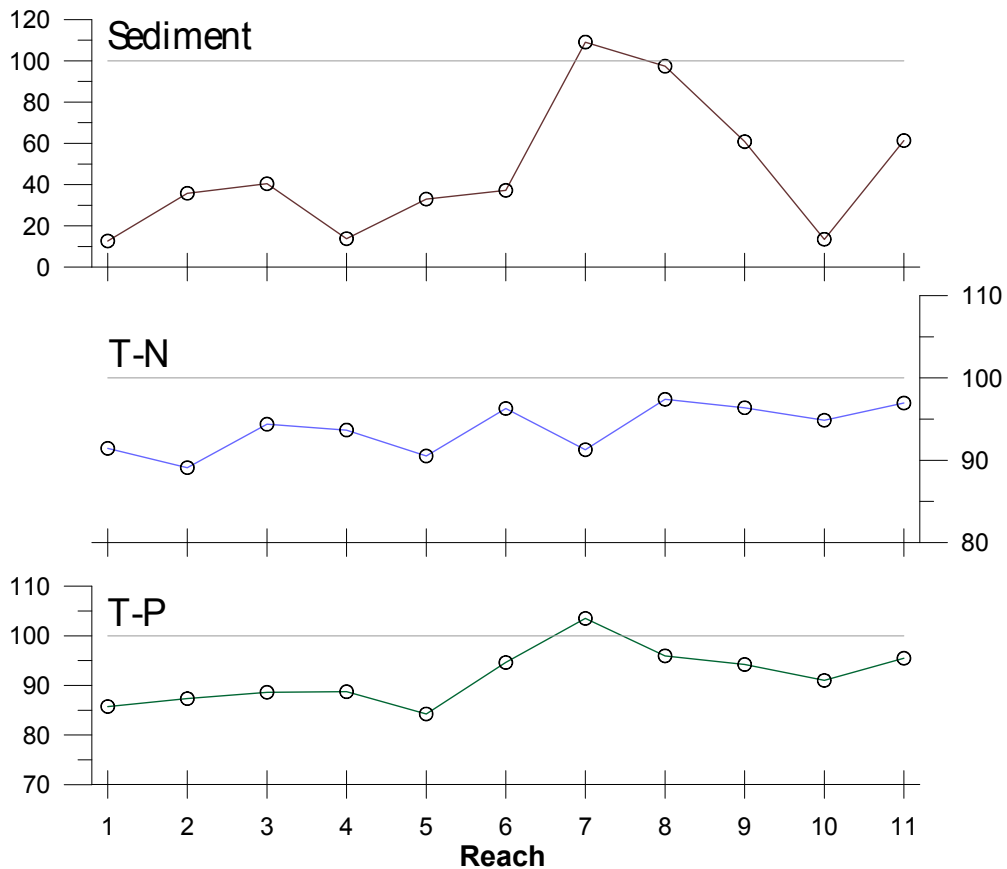


그림 3. 하도구간별 유달율

3.2 점·비점오염원 기여도 산정

각 하천구간별 유달 특성을 바탕으로, 각 소유역에서 발생하는 점원과 비점오염원에 의한 부하량이 유역 최종출구인 충주댐에서의 총 부하량에 대한 기여도를 산정하였다.

그림 4는 이에 대한 결과로서, 유사량의 84%, T-N의 93%, T-P의 92% 정도가 비점오염원에 의한 부하량으로 분석되었다. 이 결과는 김철겸과 김남원(2008)의 선행 연구 결과에서 나타난 유사 99%, T-N 97%, T-P 93%와 비교하여 유사에서 다소 차이가 크게 나타나고 있는데, 이는 방법론적인 차이에서 발생된 것으로 유달 특성을 이용한 경우, 상류측에서 발생한 양이 하류측으로 이동하면서 통과 하천구간에서 퇴적의 영향을 받아 다소 감소한 것으로 판단된다.

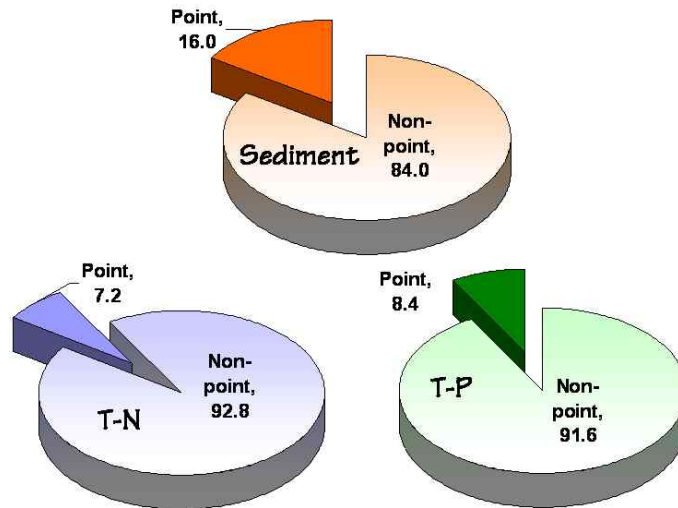


그림 4. 유역 총 오염부하량에 대한 오염원별 기여도

3.3 토지이용별 기여도 산정

그림 5는 유역 총 부하량에 대한 토지이용별 기여도를 나타낸 것이다. 유사나 T-P는 단위면적당 발생량이 높은 밭의 기여도가 높은 것으로 나타났으며, T-N은 전체 면적 비율이 높은 산림의 기여도가 높은 것으로 나타났다. 면적이 작은 논의 기여도는 높지 않은 것으로 나타났다.

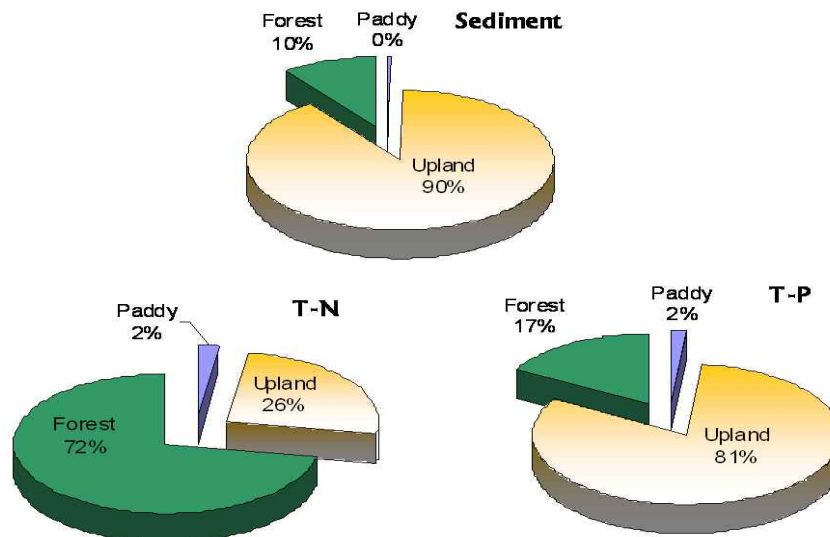


그림 5. 유역 총 오염부하량에 대한 토지이용별 기여도

4. 요약 및 결론

충주댐 유역을 대상으로, SWAT-K 모형의 적용을 통해, 오염물질의 거동 특성을 파악하는 한편, 각 하천구간별 오염물질 유달 특성을 분석하였으며, 이 유달 특성을 기반으로 점원·비점원에 의한 부하량 및 토지이용별 부하량이 하류측 충주댐 지점의 수질에 미치는 영향을 평가하였다.

오염원별 기여도 분석 결과, 유사량의 84%, 총질소의 93%, 총인인 92% 정도가 비점오염원에 의한 영향으로 나타났으며, 토지이용별로는 유사나 총인은 밭의 기여도가 높게 나타난 반면, 총질소는 유역내 면적이 넓은 산림의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김철겸, 김남원, 2008. 충주댐 유역의 오염원에 따른 오염부하량 발생 특성. 수질보전 한국물환경학회지, 24(4), pp. 465-472.
2. 김철겸, 김남원, 2009. 환경부 8일 간격 유량·수질 관측자료와 분포형 모형을 이용한 연속오염 부하곡선의 유도. 수질보전 한국물환경학회지, 25(1), pp. 125-135.
3. 김철겸, 이정은, 김남원, 2007. 충주댐 상류유역의 유사 발생에 대한 시공간적인 특성. 한국수자원학회논문집, 40(11), pp. 887-898.
4. 한국건설기술연구원 (2008). 수자원의지속적확보기술개발사업: 지표수 수문성분 해석시스템 개발, 과학기술부.
5. 환경부, 2004. 수질오염총량관리 업무편람. 발간등록번호 11-1480000-000712-01.
6. Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I-A: Discussion of principles. Journal of Hydrology, 10(3), pp. 282-290.