

AnnAGNPS 모델을 이용한 수변구역의 비점오염물질 제거능 산정

박윤희¹⁾ · 김태근²⁾

¹⁾ 국립환경과학원 환경총량관리연구부 · ²⁾ 청주대학교 환경공학과

Estimation of Nonpoint Pollutant Removal Capacity in the Buffer Strip with AnnAGNPS Model

Park, Yun Hee¹⁾ and Kim, Tae Geun²⁾

¹⁾ Environmental Cap System Reach Department, NIER,

²⁾ Department of Environmental Engineering, Chongju University.

ABSTRACT

AnnAGNPS model would be applied to simulate the pollutant removal capacity with the buffer strip in the Deacheong reservoir watershed. In 2002, 2,270 tons of TN and 221 tons of TP were discharged from the nonpoint source pollutants in this watershed. During the rainy season, from June to September, 66.4% of TN and 71.9% of TP resulted from nonpoint source loads. AnnAGNPS model was also used to simulate the nutrients removal capacity from the buffer strip under the condition that the present landuse would be changed to forest. As the result of simulation, the removal rates of nutrients from the buffer strip of Daecheong reservoir watershed are 406 tons of TN, 39 tons of TP, which means reduction rates are TN 17.9%, TP 17.8%, respectively.

Key Words : *AnnAGNPS model, Buffer strip, Nonpoint source, Landuse, Nutrients.*

I. 서 론

비점오염원은 토지이용 형태에 따라 오염원이 광역적으로 산재하여 오염물질의 발생이 어느 특

정지점이 아닌 면적(面的)으로 분포되고, 오염물질의 유출은 강우 및 강설 시에 발생하는 오염원으로서 발생원의 확인이 곤란하다. 따라서 오염물질의 이동경로가 명확하지 않기 때문에 수질오

Corresponding author : Kim, Tae Geun, Dept. of Environmental Engineering, Cheongju University,
Tel : 82-43-229-8575, E-mail : ktkenv@cju.ac.kr

Received : 2 August, 2006. **Accepted** : 21 October, 2006.

염 방지를 위한 효과적인 관리가 어려운 오염원이다.

과거 우리나라에서 인공호에 대한 수질보전 계획은 점오염원으로부터 배출되는 오염물질을 저감하는 방향으로 수립되어 있어, 비점오염원의 관리에는 소홀한 측면이 있었다. 그러나 최근에는 정부에서도 호수의 효과적인 수질관리를 위하여 유역 수질관리의 사각지대였던 비점오염원의 관리대책에 많은 관심을 기울이고 있다. 이러한 대책의 일환으로 정부(2000)에서는 “대청호등 금강수계 물관리 종합대책”에 신규오염원의 입지를 원천적으로 제한하고, 비점오염원에 의한 오염물질 유입을 최소화할 수 있는 수변구역을 설정하는 등 과거 수질관리대책 수립 시 점오염원만을 관리대상으로 하였던 정책에서 비점오염원도 포함하는 진일보한 정책을 내놓은바 있다.

수변구역과 관련된 연구는 수변구역에 대한 각종 지원책 및 인센티브 제도가 구축된 미국에서 가장 활발하게 진행되고 있다(최지용·정유진, 2000). Maurizio and Elisa(2002)는 수변구역을 조성할 때 식생의 종류에 따른 질산염의 제거율에 대하여 연구하였고, Mersie et al(2003)은 두 종류의 식생을 대상으로 유출속도 변화에 따른 오염물질 제거율 산정과 제거량을 비교하였으며, Leeds-Harrison *et al.*(1998)은 잔디로 조성된 수변구역에서 질산염의 제거율을 산정하였다.

국내에서 수변구역에 관련된 연구사례를 보면 홍진표(2000)는 모형을 이용하여 수질보호를 위한 수변 식생완충지대의 적정 폭을 산정하기 위한 연구를 하였으며, 김재훈(2000)은 AGNPS 모형을 이용하여 식생완충지대를 설계한 연구 등이 있다. 또한 GIS 기술을 이용하여 보다 효율적인 수변구역의 경계설정을 위한 방법론을 제시한 연구사례(한혜진, 2000)가 있을 뿐 수변구역의 설치에 따른 비점오염물질의 제거효율에 대한 실질적인 연구는 거의 이루어지지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 미국농무부(USDA)에서

개발한 AnnAGNPS(Annual-Agricultural Nonpoint Source Pollution Model) 모형을 이용하여 수계에 수변구역이 조성될 경우 강우 시 수변구역에서 비점오염물질의 제거효율을 산정하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상지역

본 연구의 대상지역은 대청호 유역 중 용담댐 하류부터 대청댐까지이며, 유역내 행정구역은 전북 진안군과 무주군, 충남 금산군, 충북 영동군, 옥천군, 보은군 및 청원군, 경북 상주시 및 대전광역시 동구와 대덕구의 전부 또는 일부가 포함되어 있고, 연구지역의 유역면적은 3,204km²이다. 유역내의 주요 1차 지류는 상류로부터 무주남대천, 봉황천, 영동천, 초강, 보청천 및 옥천천이 있고 이들 중 유역면적이 가장 큰 지류는 초강천이다.

연구지역내에는 대규모 인구 밀집지역이나 공업단지 등 대형 점오염원은 없으며, 연구지역의 토지이용 현황은 농경지와 산림지역이 91.7%인 반면 대지는 1.6%에 불과한 전형적인 농촌·산간지역이다.

2. 소유역 구분

AnnAGNPS 모형의 구동을 위하여 연구지역을 Figure 1과 같이 7개의 소유역으로 구분하였다. 소유역은 모형의 보정에 필요한 유량자료를 얻기에 용이하도록 금강분류와 지류에 위치한 수위관측소를 기준으로 구획하였다.

7개의 소유역 중 본류1 유역은 용담댐 직하류~수통수위관측소, 본류2 유역은 수통수위관측소~호탄수위관측소, 본류3 유역은 호탄수위관측소~보청천 합류점까지 3개로 구분하였고, 주요 1차 지류 중 초강 유역, 보청천 유역 및 옥천천 유역 등 3개로 나누었으며, 마지막으로 보청천 합류점~대청댐까지는 대청호 자체유역으로 구분하였다.

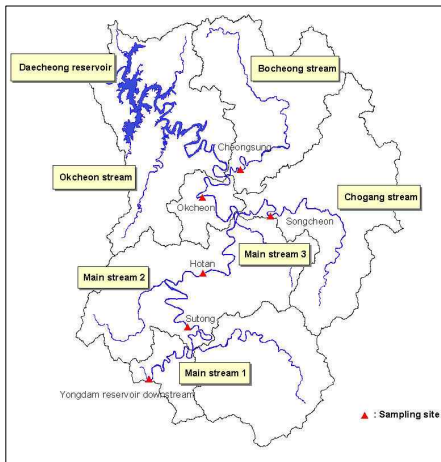


Figure 1. Division of sub-watersheds and sampling sites.

3. 적용모형의 개요

본 연구에 적용한 AnnAGNPS 모형은 단일 강우사상만 모의할 수 있었던 AGNPS 모형의 간략함을 유지하고 있지만, 연속 강우사상의 모의에 필요한 특성들을 강화하여 미계측 농경유역으로부터 장기간의 유사량과 질소, 인 및 농약성분의 이송을 모의하기 위하여 미국농무부에서 개발하였다(Darden and Herring, 1999).

AnnAGNPS 모형의 공간 기본단위인 격자(cell)는 지형의 변이성을 나타내는 데에 사용되며, 각각의 격자는 지형에 관련된 모든 정보의 표현에서 동질의 특징을 갖는다. 오염물질의 모의는 유역내의 발생지점으로부터 유출이 시작되어 수계내에 퇴적되거나 유역 밖으로 완전히 유출되기 때문에 이 모형은 격자를 기본단위로 하여 유역관리 정책의 시·공간적인 변이성을 반영할 수 있다(Bingner and Rheurer, 2001). AnnAGNPS 모형은 일별 유출량과 일별 침식량을 산정하기 위하여 SCS 곡선식과 RUSLE식이 결합되어 있으며(Renard *et al.*, 1997; USDA, 1972), 모형의 입력자료는 「AnnAGNPS 입력자료 파일」, 「기상자료 입력파일」 및 「AnnAGNPS 입력자료의 이름을 포함한 파일」 등 3개의 파일로 구성되어 있다.

AnnAGNPS 모형의 한계점으로는 모의가 가능한 최소 시간 단위가 1일이기 때문에 경시변화가

심한 강우사상을 정확히 반영할 수 없고, 미국의 평탄한 농경지에서 개발되었기 때문에 산악지형이 발달한 우리나라의 댐 상류 지역에는 적용성에 어려움이 있으며 또한 AnnAGNPS 모형은 기저유출을 모의할 수 없기 때문에 유역과 수체에서 오염물질의 변화기작이 거의 반영되지 않는다.

4. 유량 및 수질 조사

본 연구에서는 AnnAGNPS 모형의 보정을 위하여 6개 지점에서 유량과 수질을 조사하였다. 조사지점은 Figure 1에서와 같이 본류의 수위관측소 3개 지점, 지류의 수위관측소 2개 지점 및 용담댐 직하류 지점이고, 조사시기는 2002년 5월부터 2002년 11월까지이다.

유량에 대한 조사방법은 본 연구의 특성상 강우 시의 유량자료가 필요하기 때문에 연구자의 안전을 위하여 수위관측소의 시간별 관측수위와 수위-유량관계식(rating curve)으로부터 유량을 산정하였으며, 용담댐 직하류의 유량은 용담댐의 일평균 방류량 자료를 사용하여 점오염원으로 처리하였다.

수질은 수위관측소가 위치한 지점에서 직접 시료를 채취하여 분석하였다. 강우시 시료 채취는 강우개시 전부터 채수를 시작하여 강우초기부터 침투유량까지는 1시간 간격, 침투유량 이후에는 1~3시간 간격으로 시료를 채취하였다. 또한 기저유출부하량을 산정하기 위하여 비강우시에도 선행 강우일수와 유역내 오염물질의 유출이 강우의 영향을 받지 않는 시기를 고려하여 매월 1회씩 유량과 수질을 동시에 측정하였으며, 수질조사 항목은 TN(Total Nitrogen)과 TP(Total Phosphorus)로 하였다.

5. 모형의 공간자료 및 입력인자

AnnAGNPS 모형의 공간 기본단위인 격자의 크기는 모델링의 목적, 정밀도양도의 축척, 모델의 1회 구동시간을 고려하여 결정해야 하는데, 본 연구에서는 수변구역의 폭을 고려하여 처음에

격자의 크기를 100×100m로 하여 모의하였으나 자료의 용량이 너무 큰 관계로 구동이 불가능하여 최종적으로 250×250m로 결정하였다.

모형의 구동에 필요한 공간자료는 수치표고자료, 토양도, 토지이용도, 유향 및 길이-경사자료 등으로서 Figure 2~Figure 6에 나타내었다. 수치표고자료는 1/50,000 축척의 수치지형도로부터 1초 간격으로 작성하여 이로부터 유향도와 길이-경사도를 구축하였고, 토양도는 농업과학기술원의 1/25,000 축척의 정밀토양도를 이용하였으며, 토지이용도는 환경부의 토지피복분류도중 대분류 자료로부터 AnnAGNPS 모형에서 모의할 수 있는 토지이용형태를 고려하여 5개 항목으로 분류하였다. 또한 모형의 입력자료에 필요한 기상

자료는 보은, 금산, 대전관측소의 2002년도 일별 자료를 이용하였으며, 연간 비료 및 농약 사용량은 관련 통계자료를 참고하였다.

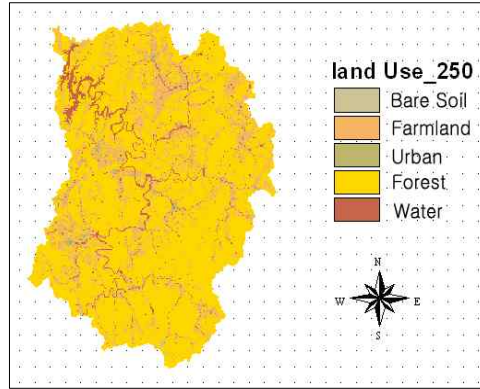


Figure 4. Landuse data of study area.

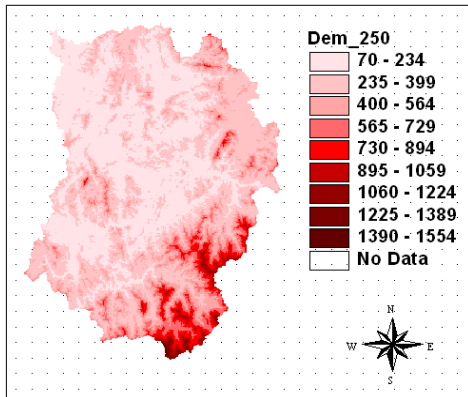


Figure 2. DEM data of study area.

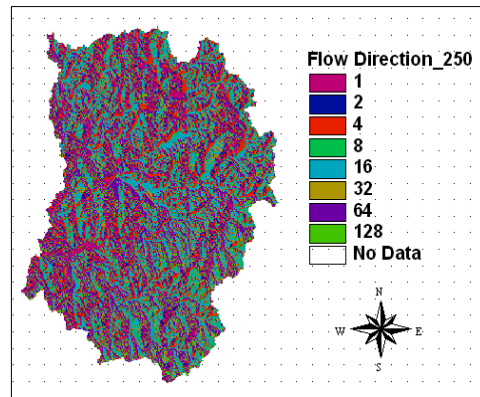


Figure 5. Flow direction data of study area.

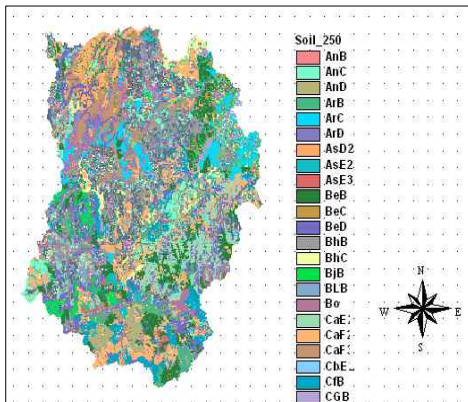


Figure 3. Soil data of study area.

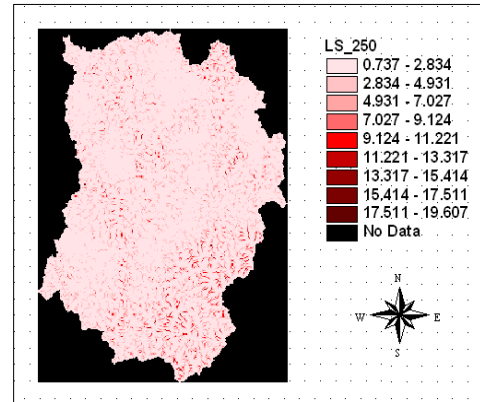


Figure 6. Length-Slope data of study area.

III. 결과 및 고찰

1. 모형의 보정

1) 모형의 보정자료

본 연구에서 모형의 보정을 위해 강우 시 조사한 유량과 수질자료중 보정에 사용한 자료는 6개의 조사지점 가운데 본류의 최하류인 옥천지점과 지류인 보청천의 청성지점 및 초강천의 송천지점 등 3개 지점으로 한정하여 수행하였다. 이러한 이유는 2002년도에 시행된 하천공사의 영향으로 본류에 위치한 수통과 호탄 수위관측소의 유량자료를 사용할 수 없었기 때문이며, 이들 3개 지점

에서 강우시 조사한 유량과 수질자료를 도시한 결과는 Figure 7~Figure 12와 같다. 조사지점의 유량과 수질변화를 종합적으로 살펴보면 강우시 토지로부터 유출되는 영양염류의 최대 농도는 유량의 첨두피크와 약간의 시차를 두며 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 유역면적, 유하거리, 토지피복, 토지이용형태, 강우강도 및 선행 무강우 일수 등에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Decoursey, 1985). 수질항목별 유출특성은 TP의 경우 유량증가와 함께 급격한 증가형태를 보이지만 TN은 상대적으로 유량변화에 민감한 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다.

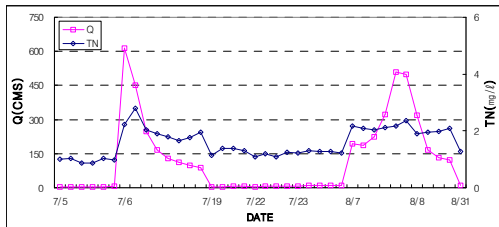


Figure 7. Variation of flow and TN concentration at Songcheon site.

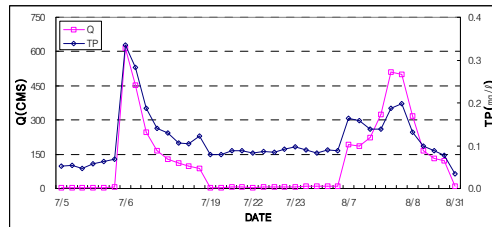


Figure 8. Variation of flow and TP concentration at Songcheon site.

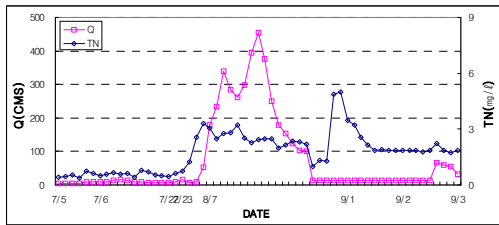


Figure 9. Variation of flow and TN concentration at Cheongsung site.

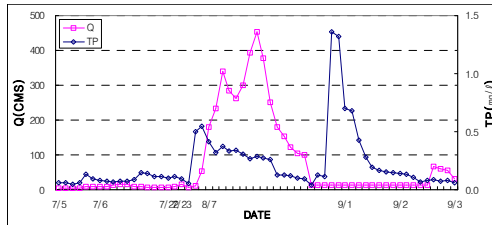


Figure 10. Variation of flow and TP concentration at Cheongsung site.

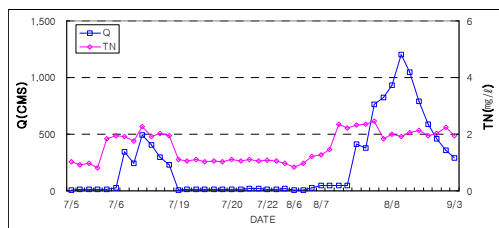


Figure 11. Variation of flow and TN concentration at Okcheon site.

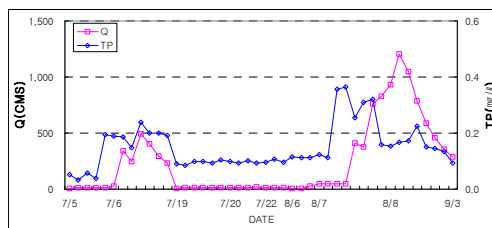


Figure 12. Variation of flow and TP concentration at Okcheon site.

2. 모형의 보정결과

본 연구에서 유량과 수질인자의 보정은 1회 강우에 대한 총량분석 방법을 사용하였다. 이는 AnnAGNPS 모형의 최소 시간단위가 일 단위이기 때문에 여기에서 생기는 유출시간 격차를 극복할 수 있는 방법이라고 판단되었기 때문이다. 즉 1회 강우 시 유출된 총 유량과 TN, TP의 총 부하량으로 각 항목에 대한 보정을 실시하였다.

유량의 보정은 연구기간중 모형에서 유출이 일어난 날짜의 유량과 해당일자의 관측유량을 추세분석하여 보정이 이루어졌다. TN, TP의 보정은 유량 보정지점과 동일한 장소에서 강우 시 50여개의 시료를 일정시간별로 채수하여 분석한 결과와 유량의 곱으로부터 유량가중부하량을 산정하여 보정자료로 준비하였으며, 보정일자는 강우 시 수질시료 채취일중 모형에서 유출이 발생한 일자와 일치하는 시기를 선정하였다.

보정지점은 전술한 바와 같이 6개의 조사지점 중 3개 지점에서 수행하였으며, 대청호 자체유역과 옥천천 유역은 보정을 위한 유량 및 수질데이터의 측정이 불가능하여, 이 두 유역에 대한 보정은 가장 가까운 유역인 보청천 유역에 대한 보정을 완료한 후 보청천 유역의 인자 및 계수를 사용하여 부하량 모의를 실시하였다.

유량의 보정은 주로 CN(Curve Number)값을 변화시켜 보정하였으며, 3개 지점에 대한 유량보정 결과는 Figure 13~Figure 15와 같다.

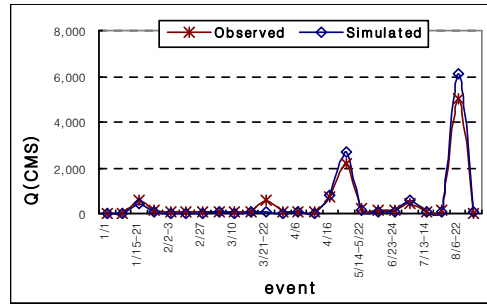


Figure 13. Calibration results of flow at Okcheon site.

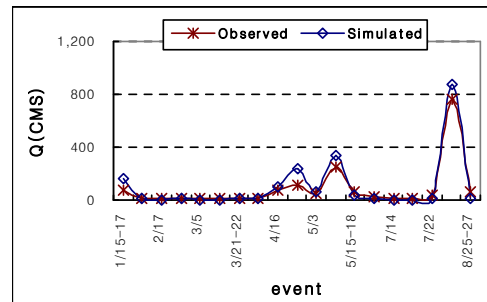


Figure 14. Calibration results of flow at Cheongsung site.

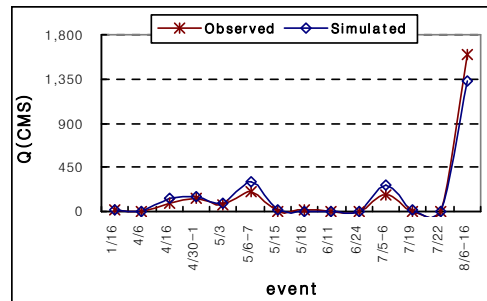


Figure 15. Calibration results of flow at Songcheon site.

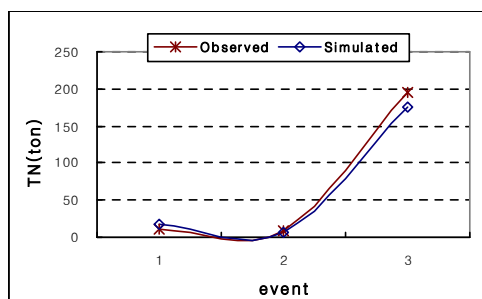


Figure 16. Calibration results of TN at Okcheon site.

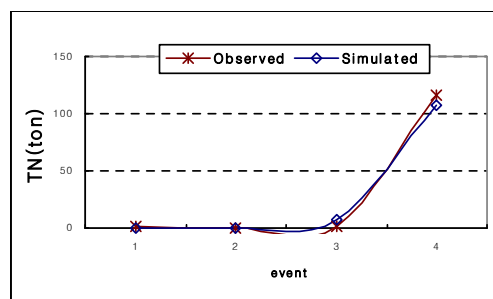


Figure 17. Calibration results of TN at Cheongsung site.

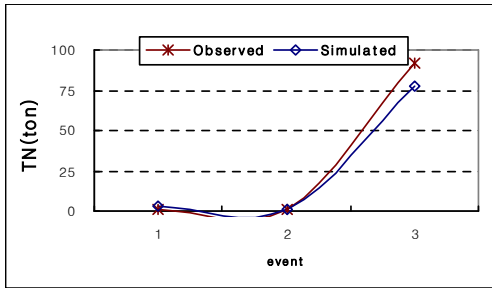


Figure 18. Calibration results of TN at Songcheon site.

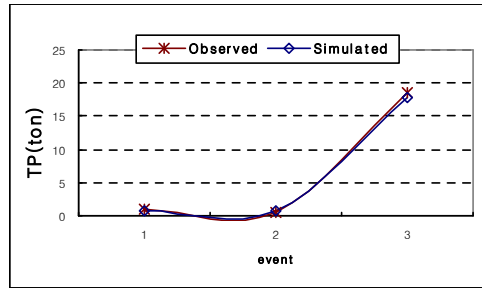


Figure 19. Calibration results of TP at Okcheon site.

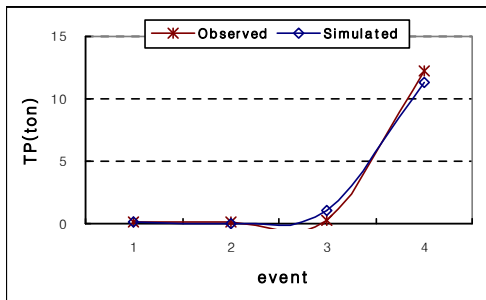


Figure 20. Calibration results of TP at Cheongsung site.

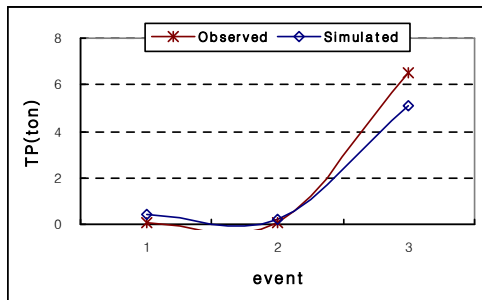


Figure 21. Calibration results of TP at Songcheon site.

TN과 TP에 대한 보정은 Input File의 Simulation Period Data에서 “Cropland Line”과 “Non-Cropland Line”에 있는 인자를 변화시켜 보정하였고, 보정 결과는 Figure 16~Figure 21에 나타내었으며, TN과 TP의 보정결과는 3개 지점 모두 패턴이 매우 유사하게 나타났다.

3. 대청호 유입부하량 산정

AnnAGNPS 모형에 의해 모의된 비점오염부하량에는 기저유출부분이 포함되어 있다. 따라서

강우에 의한 순수한 비점오염부하량을 산정하기 위해서는 모형에 의해 모의된 부하량에서 기저유출부하량을 감해주어야 한다. 본 연구에서는 강우개시 전에 측정된 유량과 수질을 곱하여 기저부하량을 먼저 산정하고, AnnAGNPS 모형으로 소유역별 부하량을 모의한 후 이 값에서 기저부하량을 삭감하여 강우 시의 비점오염부하량을 구하였다.

보정된 AnnAGNPS 모형을 이용하여 2002년도에 대청호로 유입되는 월별 TN, TP 부하량을

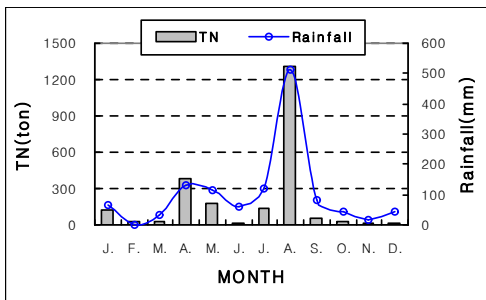


Figure 22. Monthly input loading of TN into Daecheong reservoir.

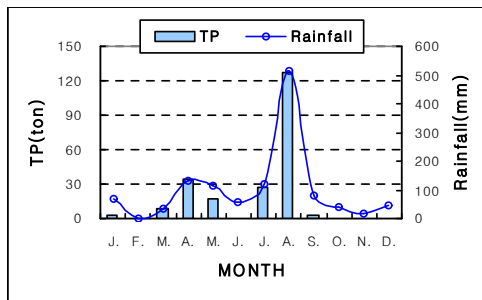


Figure 23. Monthly input loading of TP into Daecheong reservoir.

산정한 결과는 Figure 22, Figure 23과 같다. 그림에서와 같이 2002년도에 대청호로 유입되는 연간 총 비점오염부하량은 TN 2,270톤, TP 221톤으로 모의되었다. 월별 유입부하량을 강우기와 비강우기로 구분해 보면 우기인 6~9월까지 4개월 동안의 TN, TP 부하량은 각각 1,507톤과 159톤으로서 연간부하량에 대한 강우기의 점유율은 TN 66.4%, TP 71.9%로 산정되어 TP가 TN보다 강우에 의한 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다.

4. 수변구역의 비점오염물질 제거능 산정

본 연구의 최종목적은 수변구역의 비점오염물질 제거능력을 산정하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 1/25,000 수치지도로부터 ArcView GIS 3.2의 'create buffer' 기능을 이용하여 대청호 유역에 대한 수변구역 대상지역을 Figure 24와 같이 구획하였다. 수변구역의 폭은 "대청호등 금강수계 물관리 종합대책"에 대청호는 호소경계로부터 1km, 특별대책지역내 금강본류는 하천경계로부터 양안 1km, 특별대책지역 밖 상류의 금강본류는 하천경계로부터 양안 500m 그리고 1차 지류는 하천경계로부터 양안 300m로 규정되어 있으며, 이들 지역 중 상수원보호구역, 도시지역,

하수처리구역, 개발제한구역, 자연부락, 취락지구 및 군사시설보호구역 등은 수변구역에서 제외되기 때문에 Figure 24에서 이들 지역은 수변구역에 포함되지 않는 것으로 처리하였다.

수변구역의 비점오염물질 제거능력은 Figure 4의 토지이용도에서 수변구역 제외지역을 뺀 나머지 지역중 임야인 지점은 현재의 피복상태를 그대로 유지하고, 논, 밭 등 농경지와 나대지는 산림지역으로 피복상태를 변경하여 AnnAGNPS 모형으로 TN, TP에 대한 유출량 변화를 모의하여 수변구역 조성 전후의 부하량 비교를 통해 산정하였다.

Figure 25와 Figure 26은 수변구역 조성 전후의 TN, TP 부하량을 나타낸 그림이다. 수변구역이 조성될 경우 비점오염물질의 제거율이 가장 높은 소유역은 대청호 자체유역으로서 TN, TP의 제거율이 각각 42.7%, 42.3%였고, 다음으로 본류 3, 본류2 순이었으며, 제거율이 가장 낮은 소유역은 1차 지류인 보청천과 초강 유역으로 TN, TP의 제거율은 모두 10% 미만으로 모의되었다. 이러한 결과는 수변구역의 규모에 따른 것으로 판단되며, 여기에 1차 지류의 수변구역 폭을 300×300m 대신 250×250m로 구획한 요인과 이들 지류의 수변구역에는 현재 임야가 많이 차지하고 있는 점 등이 복합적으로 작용하였기 때문이다.

용담댐 하류로부터 대청댐까지 수변구역이 조성될 경우 2002년도의 강우조건에서 비점오염물질의 제거량은 TN 406톤, TP 39톤으로 모의되어 TN, TP의 평균제거율은 각각 17.9%와 17.8%로 산정되었다. 이 제거율은 AnnAGNPS 모형의 특성상 강우시에 유출되는 비점오염물질에 국한되고, 또한 수변구역에 식재할 수종 및 수목의 배치 등을 적용할 수 없는 한계를 가지고 있기 때문에 수변구역이 가지고 있는 실제의 비점오염물질 제거율보다 다소 낮게 산정된 것으로 판단된다.

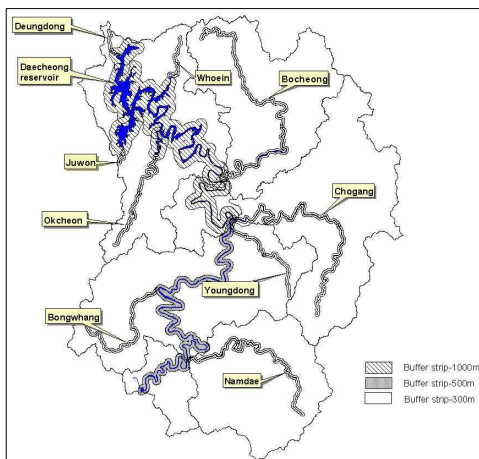


Figure 24. Division of buffer strip in Daecheong reservoir watershed.

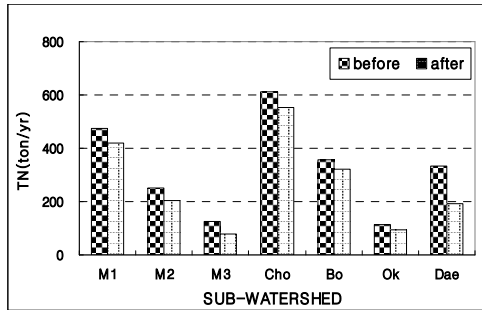


Figure 25. Comparison of TN load between before and after buffer strip installation.

M1 : Main stream 1 , M2 : Main stream 2, M3 : Main stream 3, Cho : Chogang stream, Bo : Bocheong stream, Ok : Okcheon stream, Dae : Daechong reservoir

IV. 결 론

AnnAGNPS 모형을 이용하여 대청호 유역에 조성될 수변구역의 비점오염물질에 대한 제거능력을 모의한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2002년도에 대청호로 유입된 연간 총 비점오염물질은 TN 2,270톤, TP 221톤으로 모의되었다.
2. 2002년도에 대청호로 유입된 비점오염부하량 중 강우기인 6~9월의 점유율은 TN 66.4% TP 71.9%로 모의되어 TP가 TN보다 강우에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타났다.
3. 대청호 유역에 수변구역이 조성될 경우 2002년도 강우조건에서 비점오염물질의 제거량은 TN 406톤, TP 39톤으로 모의되어 TN, TP의 평균제거율은 각각 17.9%와 17.8%로 산정되었다.

인 용 문 헌

- 김재훈. 2000. Effects of vegetated buffer strips on water quality using AGNPS model. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
- 정부합동. 2000. 중부권의 젓줄 금강 살리기 -대청호 등 금강수계 물관리 종합대책.
- 최지용 · 정유진. 수질개선을 위한 수변녹지의 조성 및 관리방안 연구. 한국환경정책 · 평

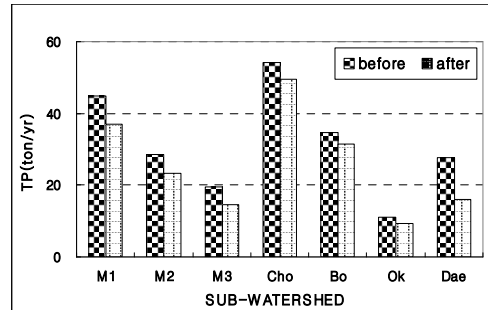


Figure 26. Comparison of TP load between before and after buffer strip installation.

M1 : Main stream 1 , M2 : Main stream 2, M3 : Main stream 3, Cho : Chogang stream, Bo : Bocheong stream, Ok : Okcheon stream, Dae : Daechong reservoir

가연구원 보고서.

한혜진. 2000. GIS 와 AHP 이론을 이용한 수변구역 산정에 관한 연구. 이화여자대학교 대학원 석사학위 논문.

홍진표. 2000. 수질보호를 위한 수변 식생완충지대 적정 폭 산정에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.

Bingner, R. L., and F. D. Rheurer. 2001. AnnAGNPS Technical Processes. pp.1-45.

Darden, R., and G. Herring. 1999. AGNPS98 Input Data Preparation Model User's Guide. USDA.

Decoursey, G. D. 1985. Mathematical models for nonpoint water pollution control. Journal of Soil and Water Conservation. September-October pp.408-413.

Leeds-Harrison, P. B., J. N. Quinton., M. J. Walker., C. L. Sanders and T. Harrod. 1998. Grassed buffer strips for the control of nitrate leaching to surface waters in headwater catchments. Ecological Engineering 12 : pp.299-313.

Maurizio Borin and Elisa Bigon. 2002. Abatement of NO₃-N concentration in agricultural waters by narrow buffer strips Environmental Pollution 117 : pp.165-168.

Mersie, C. A., C. M. Seybold and M. A. Lawson.

2003. Abating endosulfan from runoff using vegetative filter strips : the importance of plant species and flow rate. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97 : pp.215-223.
- Renard, K. G., G. R. Foster., G. A. Weesies., D. K. McCool and D. C. Yoder. 1997. Predicting Soil Erosion by Water : A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. USDA Handbook. No.703.
- USDA. Soil Conservation Service. 1972. National Engineering Handbook. Hydrology Section 4. Washington DC. pp.16-19.