

Digital Filter 기법을 이용한 유출성분 분리 및 비점오염부하량 산정

Separation of Runoff Components using Digital Filter Method and Non-point Source Load Estimation

조영식*, 이흥수**, 정용탁***, 최정규****, 정세웅*****

Young Sik Cho, Heung Soo Lee, Yong Rak Jung, Jung Kyu Choi, Se Woong Chung

요 지

효과적인 저수지 수질관리 대책을 수립하기 위해서는 상류 유역으로부터 오염원의 유출특성에 대한 정확한 이해가 필요하다. 강우시 대부분 유입하는 비점오염원은 실측에 많은 비용과 시간이 소요되어 부하량 산정에 어려움이 있어 전체 부하량에서 차지하는 기여도를 파악하는데 어려움이 있었다. 본 연구의 목적은 Digital Filter 기법을 이용하여 댐 유입량 수문곡선으로부터 유출성분을 분리하고, 강우시 유출하는 비점오염 부하량을 산정하는 방법을 개발하는데 있다. 연구대상지역은 대청호를 선택하였다. 유출성분별 오염부하량을 정량화하기 위해 댐 유입량을 각각 지표유출, 중간유출 및 기저유출 성분으로 분리하고, 강우시 지표유출과 중간유출을 합하여 비점오염원 부하량(직접유출)으로 산정하였다. 유출성분별 일별 부하량은 실측된 유량 및 수질자료로부터 유도된 유량-부하량의 상관관계식을 적용하였다. 연구결과 대청호 유입량의 유출성분비는 각각 지표유출 49.2%, 중간유출 25.5% 및 기저유출 25.4%로 산정되었다. 2001년 옥천지점에서 유출성분분리 결과, 총 유출량 중 기저유출, 지표유출, 중간유출의 비가 각각 35.1%, 39.5%, 25.5%로 산정되었고, 청성지점은 각각 39.7%, 36.1%, 24.2%로 나타났다. 2001~2005년까지 유출 성분별 비점오염원 부하량을 산정한 결과, 대청호에 비점오염원 부하량 기여율의 범위(평균값)는 각각 BOD 65.2~88.0%(평균 83.5%), COD 68.1~89.3%(평균 86.8%), T-N 60.4~88.6%(평균 84.2%), 그리고 T-P 77.7~96.6%(평균 94.3%)로 산정되었다. 이러한 결과는 대청호로 유입하는 유기물과 영양염류 연간 부하량의 80% 이상이 강우-유출과 함께 유입하는 것을 의미하며, 저수지 수질관리를 위해서는 유역차원의 비점오염원 관리가 시급함을 시사한다.

핵심용어 : Digital filter, 유출성분분리, 오염부하량 산정, 비점오염부하량

1. 서 론

최근 정부의 수질오염관리정책은 점오염원 관리 위주에서 비점오염원 관리를 통합하는 종합적인 관리정책으로 변화되고 있다. 특히, 저수지와 같은 정체성 수역에서는 점오염원과 비점오염원의 차단에 대한 종합적인 관리가 더욱 필요하다(국립환경연구원, 2003). 본 연구의 대상인 대청호 유역은 강우 시 유역으로부터 토사와 비점오염원을 대량 유입시켜 저수지 물질순환과 성층구조를 교란하는 등 저수지 수질과 생태계에 매우 큰 영향을 미친다(정 등, 2005; 천 등, 2006; 정 등, 2007). 따라서 효과적인 저수지 수질관리 대책을 수립하기 위해서는 상류 유역으로부터 오염원의 유출특성에 대한 정확한 이해가 필요하다. 비점오염부하량 산정

* 정회원 · 한국수자원공사 조사기획처 · E-mail : jyslord@kwater.or.kr

** 정회원 · 충북대학교 환경공학과 · E-mail : lhs092311@hotmail.com

*** 정회원 · 충북대학교 환경공학과 · E-mail : jjangi98@nate.com

**** 정회원 · 충북대학교 환경공학과 · E-mail : chongiudae@nate.com

***** 정회원 · 충북대학교 환경공학과 · E-mail : schung@chungbuk.ac.kr

방법은 원단위법, 유역모델에 의한 방법 등을 들 수 있으나 실측에 많은 비용과 시간이 소요되고, 제반 입력 자료의 미비로 부하량 산정과 적용에 많은 어려움이 따른다. 특히, 수질관리 실무자를 위해 복잡한 유역모델을 사용하지 않고 비점오염물질의 부하특성과 강우-유출 현상이 연계된 간단한 오염부하량 산정방법의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Digital Filter 기법을 이용하여 댐 유입량 수문곡선으로부터 유출성분을 분리하고, 강우시 유출하는 비점오염부하량을 산정하는 방법을 개발하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구대상

대청댐은 금강유역의 최대상수원으로써 1981년에 준공된 이후, 용수공급, 홍수피해 경감 및 수력발전 등을 담당하고 있다. 댐 정상표고 EL. 83.0 m, 높이 72.0 m, 길이 495.0 m, 체적 $1,234 \times 10^3 \text{ m}^3$ 의 콘크리트 중력식과 사력식 복합형 댐이다. 총 유역 면적은 $3,204.0 \text{ km}^2$ 이고 저수지의 표면적은 72.8 km^2 로서 유역면적/저수면적의 비는 44.0이다. 연평균 강수량과 유입량은 각각 $1,230.0 \text{ mm}$ ($694.0 \sim 1,822.0 \text{ mm}$), $95.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 이고, 총 저수량은 $1,490 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이며, 유효저수량은 $790 \times 10^6 \text{ m}^3$ 에 해당한다(Table 1). 평균 수심은 18.6 m이고, 최대 수심이 55.0 m로 수심에 비해 저수지 폭이 상대적으로 작은 특징을 가진다. 대청호 상류유역의 주요 유입하천은 무주남대천, 봉황천, 영동천, 초강천, 보청천 등이 있으며 지천으로는 옥천천(소옥천), 회인천, 주원천, 품곡천, 삼산천 등이 있다. Fig. 1에 한국수자원공사의 월간측정과 주간측정지점인 장계교(St. 4), 대정리(St. 6), 회남교(St. 5) 및 댐 앞(St. 2)과 상수원수를 취수하는 대전취수탑(St. 1)과 대청취수탑(St. 3)을 나타내었다.

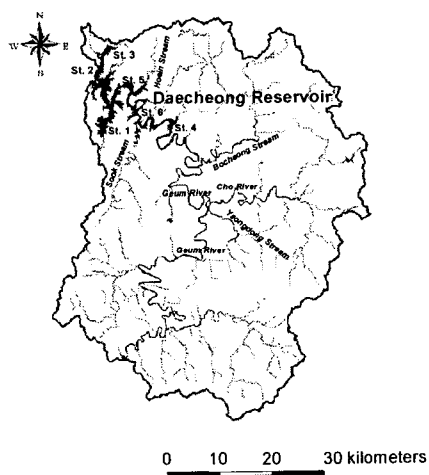


Figure 1. Location of study site for Daecheong Reservoir watershed.

Table 1. General limnological characteristics of the Daecheong Reservoir watershed.

| Attributes | Daecheong Reservoir |
|--|---------------------|
| Dam Crest Elevation (m) | EL. 83.0 |
| Dam height (m) | 72.0 |
| Dam length (m) | 495.0 |
| Functions | Multi-purpose |
| Annual mean rainfall (mm) | 1,230.0 |
| Mean influent water (m^3/s) | 95.6 |
| Watershed area (km^2) | 3,204.0 |
| Reservoir surface area (km^2) | 72.8 |
| Reservoir storage volume ($\times 10^6 \text{ m}^3$) | 1,490.0 |
| Active storage volume ($\times 10^6 \text{ m}^3$) | 790.0 |

2.2 Digital Filter에 의한 유출성분 분리

Digital Filter 방법은 전자신호를 해석하고 처리하는데 사용되는 방법으로 높은 신호(고주파)와 낮은 신호(저주파)를 분리한다. 이 방법은 수문곡선 상에서 높은 신호인 직접유출과 낮은 신호인 기저유출을 필터를 통해서 분리하는 방법이다. 식 1과 2에 각각 유출성분들을 분리하는 필터 방정식과 총 유량에서 분리하고 남은 유량식을 나타내었다.

$$q_t = \beta q_{t-1} + (1 + \beta)/2 \times (Q_t - Q_{t-1}) \quad (\text{식 1})$$

$$b_t = Q_t - q_t \quad (\text{식 2})$$

여기서, q_t 는 필터링된 지표유출(quick response), Q 는 총 유출량, β 는 필터 매개변수 0.925 (Nathan and McMahon., 1990)를 나타낸다. 또한, 총 3번의 패스(전진, 후진, 다시 전진)를 통해서 수문곡선을 분리하고, 첫 번째 패스를 통해서 지표유출이 분리되며, 세 번째 패스를 통해서 기저유출이 분리된다(Arnold et al., 1995). 중간유출은 총 유출에서 첫 번째 패스한 유출과 세 번째 패스된 유출을 제외한 값을 사용한다.

2.3 적용방법

대청호로 유입되는 금강분류 및 지류를 대상으로 오염원별 부하량을 정량적으로 파악하고자 유입량 자료와 유역면적비를 이용하여 일별유출량을 산정하였고, 유출성분별 일별 부하량은 실측된 유량 및 수질자료로부터 유도된 유량-부하량의 상관관계식을 적용하였다. 또한, 유출성분별 오염부하량을 정량화하기 위해 Digital Filter 기법을 적용하여 하천의 유출량을 각각 지표유출, 중간유출 및 기저유출성분으로 구분하였고, 강우시 지표유출과 중간유출의 합을 비점오염원 부하량(직접유출)으로 산정하였다. 성분별 유출량 산정은 2001년 ~ 2005년까지 옥천수위표지점, 청성수위표지점, 소옥천, 회인천, 주원천, 품곡천에 대하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유출성분 분리

Digital Filter 기법을 이용하여 유출성분을 분리한 결과, 2001년 ~ 2005년까지 대청호 유입량의 총 유출량 중 전체 평균 유출성분비는 각각 지표유출 49.2%, 중간유출 25.5% 및 기저유출 25.4%로 산정되었다. 또한, 2001년의 경우 옥천지점에서 유출성분분리 결과, 총 유출량 중 지표유출, 중간유출 및 기저유출의 비가 각각 39.5%, 25.5%, 35.1%로 산정되었고, 청성지점은 각각 36.1%, 24.2%, 39.7%로 나타났다(Fig. 2). 2001년은 강우량이 적어 기저유출 비율이 증가한 것으로 판단된다.

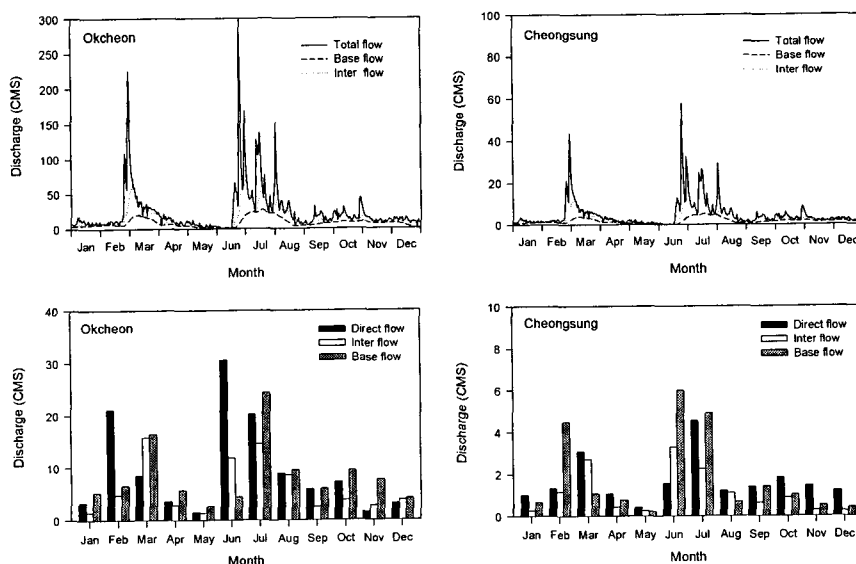


Figure 2. Daily(above) and monthly(below) runoff components estimated using digital filter method in Okcheon and Cheongsung stations during 2001.

3.2 유량과 오염부하량 상관관계

금강분류 옥천지점과 보청천의 청성지점에서 유량과 오염부하량의 관계식은 부하량 L, 유량 Q 일 때 $\ln(L)=\ln(a)+b\ln(Q)$ 의 형태인 유량-부하량 관계식을 $\ln(L)=y$, $\ln(Q)=x$, $\ln(a)=m$, $b=n$ 이라고 일차식 $y=mx-n$ 으로 나타내면 실측된 유량 및 수질 자료로부터 유도된 옥천지점과 청성지점의 BOD, COD, T-N 및 T-P의 선형회귀 분석결과는 Fig. 3과 같다.

2001년부터 2005년까지 옥천지점에서 유량과 BOD, COD, T-N 및 T-P의 비례상수는 각각 1.15, 1.29, 1.18 및 1.63으로 나타났고, 결정계수(coefficient of determination)가 각각 0.86, 0.95, 0.91 및 0.91로 분석되었다. 또한, 청성지점에서 유량과 BOD, COD, T-N 및 T-P의 비례상수는 각각 1.09, 1.22, 1.12 및 1.37로 나타났고, 결정계수가 각각 0.95, 0.96, 0.94 및 0.89로 분석되었다. 따라서 저수지 조류성장에 가장 중요한 제한영양인자인 T-P의 부하량은 유량증가에 매우 민감하게 반응하여 증가하는 것으로 나타났다.

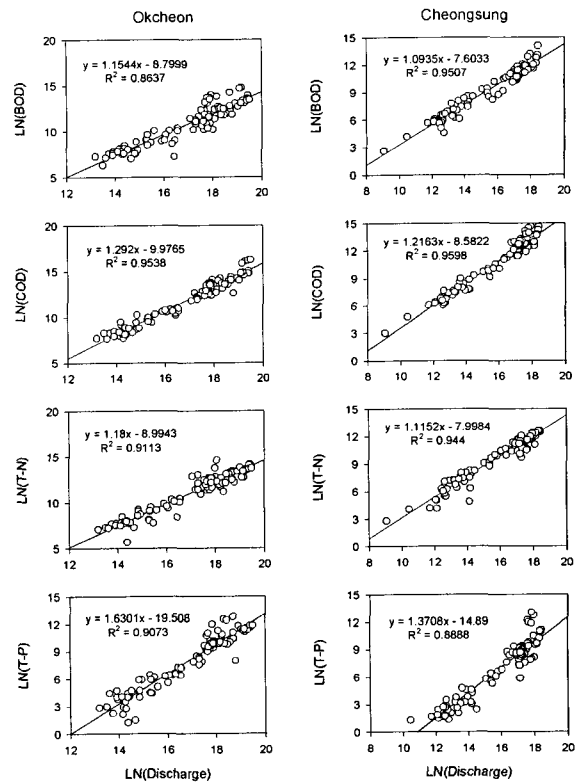


Figure 3. Relationships between Discharge and water quality in Okcheon and Cheongsung during 2001 to 2005.

3.3 비점오염부하량 산정

유량과 오염부하량의 상관관계식에 따라 일별 유량에 해당하는 일별 부하량을 산정하고 2001년에서 2005년까지 유출성분에 따라 기저부하량과 비점오염원 부하량을 산정하였다. 금강분류의 옥천지점, 보청천의 청성지점과 대청호내 주요지류인 소옥천, 주원천, 품곡천, 회인천의 경우 BOD, COD, T-N, T-P에 대하여 총부하량, 비점오염원부하량, 기저부하량, 비점오염원 부하율에 대하여 정리하면 다음과 같다.

대청호 전체의 부하량 중 비점오염원의 부하량이 차지하는 기여율은 BOD의 경우 2001년 65.2%, 2002년 78.6%, 2003년 86.0%, 2004년 88.0%, 2005년 79.2%, 전체평균 83.5%로 산정되었다. COD의 비점오염원 기여율은 2001년 68.1%, 2002년 85.5%, 2003년 87.1%, 2004년 89.2%, 2005년 89.3%, 전체평균 86.8%로 산정되었다. T-N은 2001년 60.4%, 2002년 88.6%, 2003년 86.9%, 2004년 83.0%, 2005년 77.8%, 전체평균 84.2%로 산정되었고, T-P는 2001년 77.7%, 2002년 96.6%, 2003년 93.3%, 2004년 95.7%, 2005년 94.7%, 전체평균 94.3%로 산정되었다(Fig. 4). 비점오염원의 기여율이 그 동안 문헌에 알려진 값 보다 비교적 크게 나온 이유는 유출성분 분리시 지표유출에 의한 부하량뿐만 아니라 강우 종료 후에도 일정기간 유출하는 중간유출에 의한 부하량을 모두 비점오염원으로 고려하였기 때문이다. 한편, 대청호 유역과 같이 토지이용이 대부분 임야와 농촌 지역인 경우, 비점오염부하량의 기여율이 매우 높은 것이 타당하지만 원단위를 이용한 산정에서는 이를 과소평가하는 경향이 있었다. 또한 강우시 유량과 수질 측정 자료를 사용하지 않고, 월별 수질측정망 자료를 이용하여 부하량을 산정할 경우 비점오염부하량을 상당히 과소산정 할 수 있다.

유량-부하량 상관관계식에 따라 일별 유량에 해당하는 일별 부하량을 산정하고 2001년에서 2005년까지 유출성분에 따라 기저유출부하량(점오염부하량)과 강우시 유출하는 직접유출부하량(비점오염부하량)을 산정한 결과 대청호의 비점오염원 부하량 기여율은 BOD 65.2%~88.0%, COD 68.1%~89.2%, T-N 60.4%~88.6%, T-P 77.7%~96.6%범위로 산정되었다.

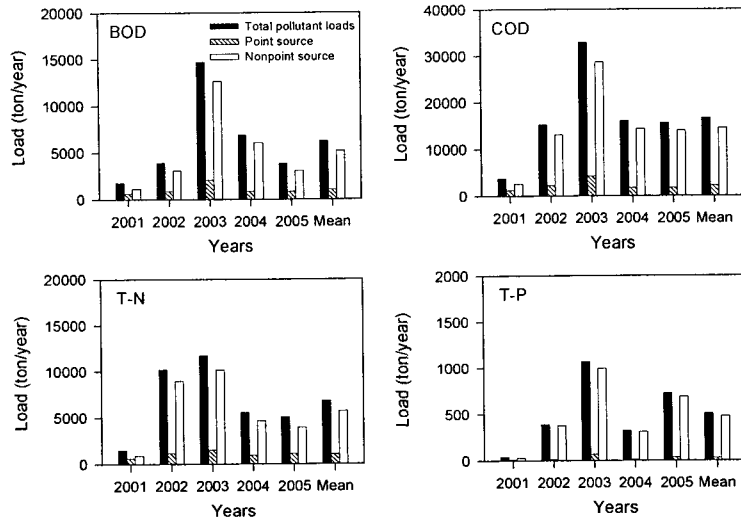


Figure 4. Annual pollutant load and source compositions in Daecheong Reservoir.

4. 결론

본 연구에서는 대청호로 유입되는 주요지점의 유량과 오염부하량의 상관관계식을 개발하고 일단위 유입 부하량을 산정하였다. 그리고 수문곡선 분리를 위한 Digital filter 기법을 적용하여 일별 유출 성분을 분리하였으며, 강우시 직접유출에 의해 부하되는 비점오염원부하량의 기여율을 정량적으로 산정하였다. 2001~2005년까지 유출 성분별 비점오염원 부하량을 산정한 결과, 대청호에 비점오염원 부하량 기여율의 범위(평균값)는 각각 BOD 65.2~88.0%(평균 83.5%), COD 68.1~89.3%(평균 86.8%), T-N 60.4~88.6%(평균 84.2%), 그리고 T-P 77.7~96.6%(평균 94.3%)로 산정되었다. 또한, 비점오염원의 오염부하 기여율은 매년 특성이 다르나 COD의 경우 지표유출부하량은 40~60%, 중간유출부하량은 23~27% 및 기저유출부하량은 18~38% 정도로 산정되었다. 연구결과는 대청호 수질관리를 위해서는 유역차원의 비점오염원 관리가 시급함을 시사한다.

참고 문헌

1. 국립환경연구원(2003). 비점오염모델을 이용한 대청호의 비점오염물질 유입량 산정
2. 정세웅, 오정국, 고익환(2005). CE-QUAL-W2 모델을 이용한 저수지 탁수의 시공간적분포 모의, 한국수자원학회 논문집, 제38권 제8호, pp. 655-664.
3. 정세웅, 박재호, 김유경, 윤성원(2007). 대청호 부영양화 모의를 위한 CE-QUAL-W2 모델의 적용, 한국물환경학회지, 23(1), pp. 52-63.
4. 천세억, 이재안, 이재정, 유영복, 방규철, 이열재(2006). 대청호 유입유량 변동과 수질 및 조류증식의 관계, 한국물환경학회지, 22(2), pp. 342-348.
5. Arnold, J. G., Allen, P. M., Muttiiah, R. S. and Bernhardt, G(1995). Automated Baseflow Separation and Recession Analysis Technique, Groundwater., 33(6), pp. 1010-1018.
6. Nathan, R. J. and McMahon, T. A.(1990). Evaluation of Automated Techniques for Baseflow and Recession Analysis, Water Resour. Res., 26(7), pp. 1465-1473.