

소유역의 오염부하 유출특성

Characteristics of Pollutant Load from Watershed

이요상¹⁾ · 강병수 · 박종근

1. 서 론

댐저수지 상류유역에서 발생하는 오염부하는 크게 점오염원과 비점오염원으로 나눌 수 있다. 점오염원에 대한 연구와 조사는 부분적으로 활발히 진행되고 있으나 비점오염원에 대한 조사는 최근에 들어서 많아지고 있다. 점오염원으로부터 유출되는 부하는 강우에 영향을 크게 받지 않으나 비점오염 물질은 대부분 강우시에 유출되므로 하수처리율이 향상되고 경제활동수준이 증가하고, 토지이용이 고도화 될수록 수질에 미치는 영향의 상대적인 비율이 높아지고 있다. 특히 농촌 지역에서는, 축산에 의한 비점오염원이 일부 점오염원보다 고농도의 오염물을 유출시키기도 하고, 농지의 경우 비록 농도는 낮더라도 면적이 넓어 총부하량이 큰 비중을 차지한다. 이와 같이 최근의 수질오염에서 도시강우 유출수, 농지 등의 비점오염원에 의한 광역적 수질오염이 갈수록 문제가 되고 있다. 점오염원의 처리가 어느 수준까지 도달한 선진국에서는 비점오염원이 중요한 오염원으로 대두되고 있으며, 비점오염원 규제를 위한 토지이용관리를 위해 더욱 노력하겠다는 것이 우리 정부의 입장이다. 따라서 본 연구에서는 섬진강다목적댐 저수지 상류유역에서 발생하는 오염부하의 유출특성을 조사하였으며 이를 토대로 오염부하 발생저감을 위한 관리방안에 이용할 수 있도록 하고자 하였다.

2. 조사 및 방법

2.1 조사지점

섬진강댐 저수지(옥정호) 상류 유역은 면적이 763km²로 크지않은 면적이나 유역의 대부분이 200m 이상의 고도에 위치하는 지역이며 경사도가 5° 이상 25° 미만인 지역이 75.1%정도를 차지할 정도로 경사지가 많은 지역이다.(수자원연구소, 1999) 옥정호로 유입되는 하천은 Fig. 1에 나타난바와 같이 호소 좌우로 조원천과 추령천이 있으며 수질조사는 주요 유입하천에서 6지점(관촌, 용산교, 성수산, 쌍치, 덕암교, 매죽교)을 조사지점으로 하였다. 성수산지점은 최상류하천 지점으로 산속깊이 위치하여 오염이 되지 않은 지점이므로 대조지점으로 운영하고 관촌과 용산, 덕암교 지점은 조원천의 오염부하산정을 위하여 조사지점으로 선정하였으며, 쌍치와 매죽교지점은 추령천의 부하산정을 위하여 조사지점으로 선정하였다.

1) 한국수자원공사 수자원연구소 수자원연구부 호소수질팀 선임연구원

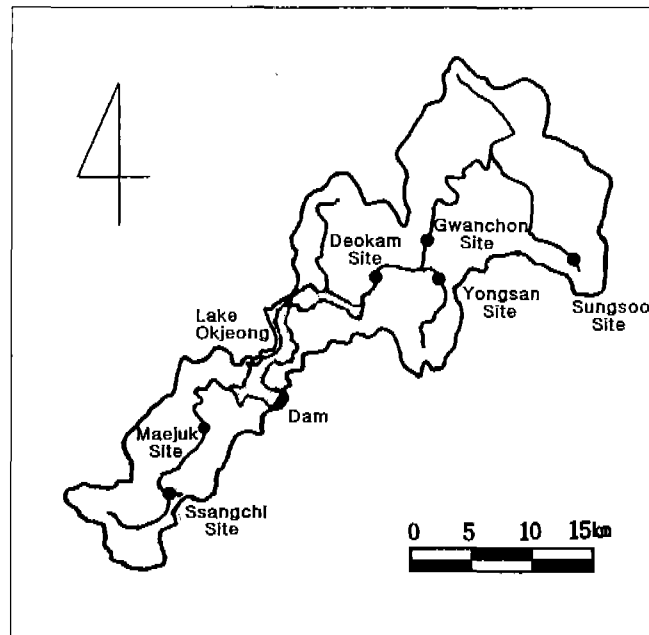


Fig. 1. Map of sampling sites

2. 2 유입오염부하 조사

오염부하산정을 위하여 강우기와 비강우기로 나누어서 조사를 실시하였다. 일반적으로 비강우 기시에 하천에서의 수질농도는 큰 변화가 없으므로 각 수질조사 지점에서 매월 측정된 수질자료를 이용하여 오염부하를 산정 하였다. 현장에서는 4가지 수질항목(수온, pH, DO, Cond.)에 대한 측정을 하고 채취한 수질시료는 즉시 실험실로 옮겨와 실험실에서 10가지 항목(COD, SS, BOD, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P, T-P, T-N, chl.-a)에 대하여 분석을 실시하였다. 실험방법은 수질오염 공정시험방법에 따라 실험을 실시하였다.

Table 1 Discharge at rainfall event

Rainfall event	Duration	Discharge(m ³)
1st	99. 6. 16. ~ 6. 21. (5days)	5,935,680
2nd	99. 6. 23. ~ 6. 30. (8days)	20,926,080
3rd	99. 7. 1. ~ 7. 6. (6days)	15,266,880
4th	99. 7. 9. ~ 7. 14. (6days)	8,320,320
5th	99. 7. 26. ~ 7. 29. (4days)	11,465,280
6th	99. 8. 2. ~ 8. 10. (9days)	37,661,760
7th	99. 8. 20. ~ 8. 25. (6days)	1,978,560

강우기시 수질조사는 옥정호 상류하천의 관촌지점, 용산교지점과 쌍치지점에서 실시하였다. 강우사상은 Table 1 에 나타난바와 같이 6월 16일에 발생한 강우를 시작으로 7회의 강우사상에 대하여 조사를 실시하였으며 강우발생후 유출이 시작되면 4시간 간격으로 유출이 완료될 때까지 연속적으로 수질 조사를 실시하였다. 현장과 실험실에서 수질조사 방법과 항목은 비강우기시와 동일하다.

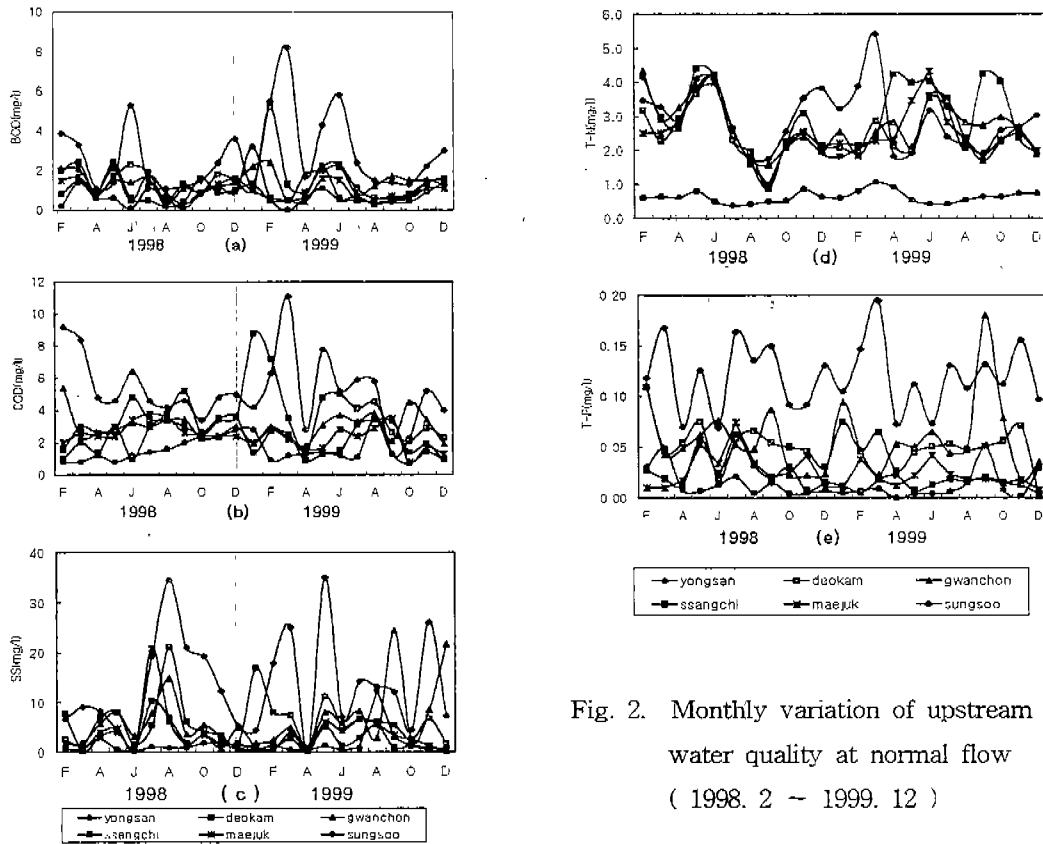


Fig. 2. Monthly variation of upstream water quality at normal flow (1998. 2 ~ 1999. 12)

3. 결과 및 고찰

비강우기시에 조사된 유입하천의 각 조사 지점별 수질항목별 농도를 살펴보면 Fig. 2 에 나타 난 바와 같이 상대적으로 인구나 가축등 오염원이 많은 입실천의 용산교지점에서 가장 높게 나타 났으며 대조지점으로 선정된 성수산 지점의 수질이 가장 좋은 것으로 나타났다. BOD, COD, SS 등의 수질항목은 시기에 따라 매우 증기도하고 오염도가 상당히 높게 나오기도 하면서 대조지점 과 비교가 되나, 특히 총질소와 총인의 경우(Fig. 2(d), 2(e))에는 인간의 활동에 의해 부하 되는

오염부하가 수질에 미치는 영향을 매우 뚜렷이 나타내고 있다. 총질소의 경우에는 대조지점이 월 평균 0.62mg/l 의 농도를 나타낸 반면 하류지점들은 2.48~2.95mg/l 로 높아진 것으로 나타났으며 유량이 적은 동절기에는 점오염원이 가장 많이 분포한 용산교지점의 농도가 3~5mg/l로 매우 높아진 것으로 조사되었다. 총인은 입실군의 용산교 지점이 항상 가장 높은 농도로 조사되어 점오염원에 의한 인의 유입이 심각함을 보여주고 있으나 상대적으로 쌍치지점은 수질 상태가 좋은 것으로 나타났다. 따라서 하류에 위치한 옥정호 수질관리를 위해서는 우선 입실군으로부터 발생하는 생활하수와 축산폐수를 처리할 수 있는 시설의 설치가 시급한 것으로 평가되었다.

강우기시 유입부하는 매번 조사시기에 따라 다르게 나타나며 강우량과 강우강도 그리고 선행 강우상태 등에 따라서도 다르게 나타난다. 따라서 몇 회의 조사로 유출경향을 결정 짓는 것은 어려운 일이며 수년간 조사한 자료를 이용한다면 보다 정확한 경향분석이 가능할 것으로 보인다. 1999년에 조사된 자료를 이용하여 수질변화를 살펴보면 조사기간 중 측정된 최고 수질농도를 비 강우기시에 매월 측정한 평균 수질농도와 비교할 때 BOD는 약 2.26~2.92배, COD는 1.71~2.78배, SS는 7.90~24.31배, T-N은 3.36~5.05배, T-P는 4.95~31.3배 증가하는 것으로 조사되었다(Table 2). 1999년에 7차례의 강우사상에 대하여 조사를 실시했으며 그 중에서 유입수량이 가장 많았던 2차와 6차에서 가장 큰 유입부하를 나타냈다. 조사한 자료로부터 5가지 수질항목에 대한 부하량을 산정 하였으며 산정된 결과를 살펴보면 부하는 유입량에 비례하는 것으로 나타났고 Fig. 3에 나타난 것과 같이 유입초기에는 유입농도가 급격히 증가하다 유입량이 줄어드는 기간에는 서서히 감소하는 것으로 나타났다.

Table 2. Variation of upstream concentration at rainfall event (Unit : mg/l)

Site	BOD	COD	SS	T-N	T-P
Yongsan	0.10~6.35	3.90~14.74	5.5~121.6	2.04~14.9	0.062~0.688
Gwanchon	0.05~4.30	1.40~ 8.15	2.5~154.4	2.72~12.2	0.036~0.477
Ssangchi	0.05~2.60	0.93~ 3.84	0.5~ 28.5	1.68~9.81	0.027~0.626

1998년과 1999년에 산정한 월별 오염부하는 1998년의 오염부하가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 1998년의 월평균 유입 총량이 842.2cms 였고 1999년에는 583.9cms로 유입량 차이에 의해 나타난 현상이며 수질농도에서는 별 차이가 없었다. 1999년 월별부하를 살펴보면 하절기인 6~9월 사이에 부하되는 양이 BOD는 63.7%, COS는 75.5%, SS는 90.7%, TN은 78.4%, TP는 81.0%로 나타났으며 1998년에는 BOD는 68.2%, COS는 78.5%, SS는 85.5%, TN은 66.7%, TP는 69.2%를 나타냈다. 이로부터 총부하중 하절기 유입부하가 매우 많은 부분을 차지하는 것을 확인할수 있었다.

또한 7차례의 강우기간중 산정된 총부하량을 1999년에 발생한 총 부하와 비교해보면 Table 3에 나타난 바와 같이 BOD는 28.5%, COD는 28.3%, SS는 72.8%, T-N은 49.3%, T-P는 49.9%에 해당되는 것으로 나타났다. 조사된 7회의 강우량은 1999년 총강우량 대비 17.5%의 강우이나 그

부하는 BOD, COD가 약28%로 약 1.6배 높은 것으로 나타났으며, 댐저수지 부영양화에 주요한 요인으로 평가하는 T-N과 T-P는 각각 49.3%과 49.9%로 나타나 매월 평수기때 1회측정한 값으로 계산한 일년 총부하량의 50%에 육박하는 것으로 나타났고 SS는 72.8%로 나타나 강우시에 유입되는 양이 매우 큰 것을 확인할 수 있었다. 따라서 호소로 유입되는 유입부하를 정확히 산정하기 위해서는 강우기시에 수질측정을 반드시 실시해야 할 것으로 판단되며 유역에서 발생하는 오염부하를 산정할수 있는 방안의 강구가 필요하다. 그러나 강우시 유출되는 비점오염물질은 지형 및 지질특성, 오염물질의 확산·유입특성, 기후조건, 토지이용의 형태에 따라 변화되므로 정량화 하기가 매우 어렵다.(Beaulac, M.N, 1982; Mayer H.Y.F, 1993; Takeo Hama, 1990) 따라서 정확성을 높이기 위해서는 지속적인 연구가 필요하며 재현성을 포함한 정량화에 많은 노력을 하여야 할 것으로 판단된다.

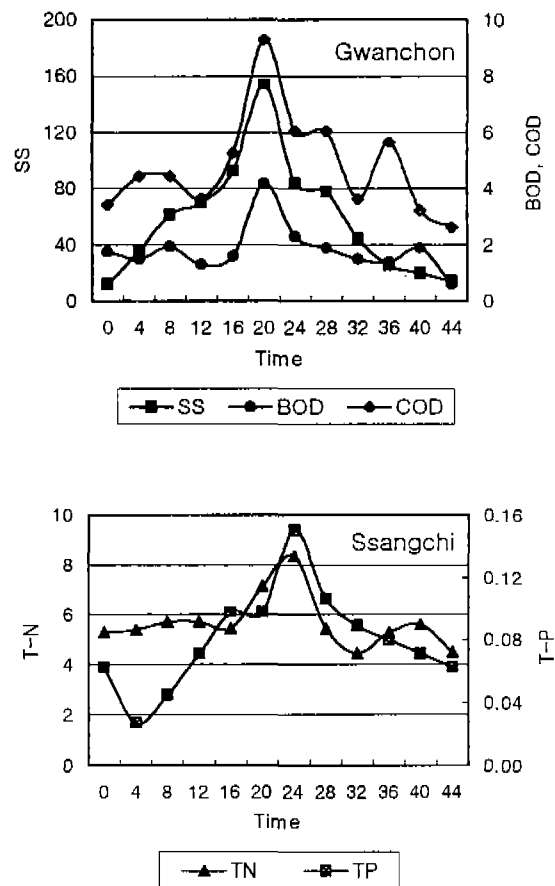


Fig. 3. Variation of discharge concentration at rainfall event

Table 3. Comparison of pollutant loading

Pollutant loading / (Unit)	BOD	COD	SS	T-N	T-P
Total Discharge Loading at 1999 (A) / (kg)	545,695	1,780,218	7,392,412	1,907,946	34,130
Total Discharge Loading at 7 Rainfall event (B) / (kg)	155,368	503,632	5,380,250	940,064	17,035
Ratio (B)/(A) / (%)	28.5	28.3	72.8	49.3	49.9

4. 결 론

섬진강댐 저수지 상류유역에 대한 시기별 오염부하를 산정한 결과 하절기 유입유량은 연간 유입량 대비 높은 비율을 나타냈다. 1999년 강우가 예년에 비해 조금 늦게 시작되었으나 7~9월 사이에 년중 강우량의 61%가 집중되었다. 강우기와 비강우기에 유입하천에서의 수질농도는 큰 차이를 나타냈는데 1999년 강우기간 중 측정된 최고 수질농도를 비강우기시에 매일 측정된 평균 수질농도와 비교할 때 BOD는 약 2.26~2.92배, COD는 1.71~2.78배, SS는 7.90~24.31배, T-N은 3.36~5.05배, T-P는 4.95~31.3배 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 볼 때 강우기에 유입되는 부하는 비강우기의 부하에 비해 큰 비율을 차지하는 것을 예상할 수 있었으며 1999년에 발생한 7차례의 강우기간중 강우량은 1999년 총강우량 대비 17.5%의 강우이나 그 부하는 BOD, COD가 약 28.5%와 28.3%로 약 1.6배 높은 것으로 나타났다. 댐저수지 부영양화에 주요한 요인으로 평가하는 T-N과 T-P는 각각 49.3%과 49.9%로 나타나 매일 평수기때 1회측정한 값으로 계산한 일년 총부하량의 50%에 육박하는 것으로 나타났고, SS는 72.8%로 나타나 특히 강우기시에 유입되는 양이 매우 많은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 평가해 볼 때 유역으로부터 유입되는 정확한 오염물질 유입부하 조사를 위해서는 반드시 강우기시 조사가 필요한 것으로 평가되었다.

5. 참고문헌

- 수자원연구소 (1999). "섬진강 다목적댐 수질관리 기법 연구(2차년도)".
- Mayer H. Y. F. Ng. and Marsalek J., (1993). "Phosphorus Transport in Runoff from a Small Agricultural Watershed", Water Science Technology, Vol. 28, No. 3-5, pp. 451~460.
- Novotny, V. and Chesters G., (1981). Handbook of nonpoint pollution: sources and management, Van Nostrand Reinhold CO. N. Y., 312-390.