강우시 소옥천에서의 비점오염원 유출 특성

오영택 · 박제철 · 김동섭*† · 류재근**

금오공과대학교 환경공학과
*한국수자원공사 수자원연구소
**한국환경기술진흥원

Pollutant Characteristics of Nonpoint Source Runoff in Okcheon Stream

Young-Taek Oh · Je-Chul Park · Dong-Sup Kim*† · Jae Keun Rhyu**

Department of Environmental Engineering Kumoh National University
**Korea Water Resource Corporation Water Resources Research Institute*
***Korean Institute of Environmental Science and Technology, Seoul*
(Received 3 September 2004, Accepted 20 October 2004)

Abstract : The aims of this study are the characterization of runoff from nonpoint source, the analysis of the pollutant loads and an establishment of a management plan for nonpoint source of Okcheon. For this purpose the basin of the stream So-okcheon was selected to the investigated. During the period from May 29 to July 21 in 2003, the water automatic sampler system has been installed in Okkagkyo and parameters such as SS, COD, TOC, TP and TN were analyzed. The pollutants of nonpoint source seem to be washed out along the stream water in the beginning of rainfall, remain in water and cause the stream pollution. The runoffs during heavy rainfall, especially, much higher concentration of SS than those during dry period. With respect to the annual loading of pollutants of the nonpoint source, the COD was 124 ton/yr, TOC 396 ton/yr, TN 1,429 ton/yr and TP 4.2 ton/yr in the year 2002. With respect to the pollutants loading of the nonpoint source, the COD was 375 ton/yr(95% of the total COD loading of 394 ton/yr), TOC 844 ton/yr(96% of the tatal TOC loading of 876 ton/yr), TN 1,985 ton/yr(96% of the total TN loading of 2,062 ton/yr) and TP 37.1 ton/yr(92% of the total TP loading of 40.3 ton/yr) in the year 2003.

keywords : Nonpoint source, Pollutant loading, Okcheon, Rainfall, Runoff

1. 서 론

경제발전과 더불어 인구의 증가, 도시화, 산업화에 따라 공공수역으로 유입되는 오염물질의 양이 수체의 자정능력을 초과하면서 수질오염이 심각해지고 있다. 공공수역으로 유입되는 오염물질은 크게 점오염원(point pollutants source)과 비점오염원(nonpoint pollutants source)으로 구분 할 수 있다. 이중 점오염원은 환경기초시설의 설치로 크게 감소하고 있으나 비점오염원은 오염 발생량 및 배출특성의 파악이 매우 어렵고, 발생량이 매우 불규칙하여 저감대책이 미흡한 실정이다(한국수자원공사, 2003). 특히 오염물질중 질소와 인 등의 영양물질이 많이 포함되어 있어 하천이나 호소의 부영양화를 일으키는 원인으로 잘 알려져 있다(Ichiki and Yamada, 1999; Pegram et al., 1999; 안, 2000). 비점오염원은 강우량에 비례하여 유출되므로 강우량의 계절변동이 큰 우리나라의 실정에서는 비점오염원의 유출이 계절적으로 크게 변동 할 수밖에 없다(국립환경연구원, 1997). 강우시 지표면의 비점오염원이 유출되는 강우유출수는 다양한 오염물질을 포함하고 있으며, 유출오염부하는 하수처리장에 의한 것보다 매우 높은 것으로 보고 되고 있다(Sartor and Buchberger, 1997).

강우유출수내 오염물질의 농도는 기상조건, 수리조건, 지리조건과 토지이용특성에 따라 영향을 받는다. 도시지역의 경우 배출량에 영향을 미치는 요소는 강우강도와 강우지속시간, 토지이용형태, 최종강우 후의 경과일수, 불법적인 오염물질 투입상태 등에 따라 변동된다(라와 김, 1996; Sartor et al., 1974). 개발에 따른 불투수층의 면적비율이 높아 강우유달시간이 짧고, 유출율이 커서 강우초기에 유량 및 오염물질이 다량 유출되는 현상을 가지고 있다(방 등, 1997; Field and O'Shea, 1993; Nix, 1994; Novotny and Chesters, 1981). 논 및 밭 등 농경지에서의 오염물질 발생은 비료, 퇴비, 지형, 지질, 기후 등에 의해 영향을 받고, 산림지역은 낙엽등이 썩으면서 형성된 유기물층이 주 영향요소로 작용한다(라와 김, 1996; Loehr, 1977). 일반적으로 강우유출수에 함유된 오염물질 농도는 강우초기에 매우 높고 후반부

† To whom correspondence should be addressed.
kimds@kowaco.or.

로 갈수록 낮아지는 특성을 띄는데, 이러한 현상을 초기세척효과(first-flushing effect)라 한다. 강우초기에 고농도의 오염물질을 포함하는 초기우수는 단시간에 많은 양의 오염물질을 배출하여 수계의 심각한 오염을 초래하기 때문에 이에 대한 적절한 제어대책이 필요하다. 최근 들어 비점오염원에 의한 영향을 저감시키기 위한 투자와 연구가 많은 국가에서 활발히 진행되고 있다. 국내의 경우에는 이에 대한 관심 및 체계적인 연구가 상대적으로 미흡하며, 특히 도시지역 강우유출수에 대한 관심은 주로 첨두유출 저감등의 치수대책에 편중되어 비점오염원에 의한 수질문제는 소홀히 다루어지고 있는 실정이다.

본 연구에서는 유역으로부터 발생되는 비점오염원의 특성을 조사하기 위하여 소옥천 수계에 대표지점을 선정하여 정기적으로 수질을 모니터링하였으며, 강우시 발생되는 오염물질의 부하량을 산정하기 위하여 자동채수기를 소옥천 수계 옥각교지점에 설치하여 강우가 시작되는 시점부터 강우가 종료되는 시점까지 수질을 조사하여 강우 사상에 따른 오염물질의 발생 특성을 고찰하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구대상지는 대청호로 유입되는 금강의 제1지류에 속하는 하천으로 본류수계는 소옥천(국가하천)과 추풍천(지방2급하천)으로 구성되어 있다(Fig. 1). 소옥천(OK1～OK4)은 금강과 합류되는 하류지점으로 유로연장 29 km, 유역면적 537 km^2인 전원하천에 가까운 특성을 보이고 있었다(건설교통부, 2000). 추풍천(CH1～CH3)은 소옥천의 본류로써 상·하류 구간의 천변에 농경지가 넓게 분포하고 있었고, 상하류 구간에 콘크리트형 농업용 취수보가 설치되어 있어 소형저류지를 형성하는 지점이 많았다. 금구천(KG1～KG5)은 상류에 넓은 면적의 농경지와 축사를 포함하는 농촌 주거지가 분산되어 있고, 하류지역은 옥천읍을 관통하는 도시하천의 특성을 보이고 있다. 소옥천 하류지점에는 대청호 유역에서 가장 큰 규모의 옥천하수처리장이 위치하고 있으며, 하루에 18,000 m^3의 하수처리수를 하천으로 배출하고 있다(옥천군, 2004).

소옥천 수계의 수질조사는 2002년 4월에서 2003년 7월까지 정기적으로 강우시와 비강우시로 나누어 pH, DO, SS, COD, TOC(총유기탄소), TN, TP를 측정하였다. 평수기 수질조사는 총 6회에 걸쳐 소옥천 수계의 금구천과 추풍천을 중심으로 조사를 실시하였으며, 비점오염원 특성조사는 소옥천 수계의 옥각교 지점에 2003년 5월 29일부터 2003년 7월 21일까지 자동채수기(Auto Sampler-ISCO3700)를 설치하여 강우시 3～6시간간격, 비강우시 12～24시간 간격으로 채수를 하였다.

수질분석 항목중 SS, COD는 수질오염공정시험법(환경부, 1996)에 따라 측정을 하였고, TP는 persulfate 분해 후에 ascorbic acid법으로 측정하였으며, TN은 원시료를 alkaline persulfate 분해 후에 cadmuim reduction법으로 측정하였다. TOC는 시료에 염산(2 N)을 첨가하여(pH를 2이하로 맞춤)

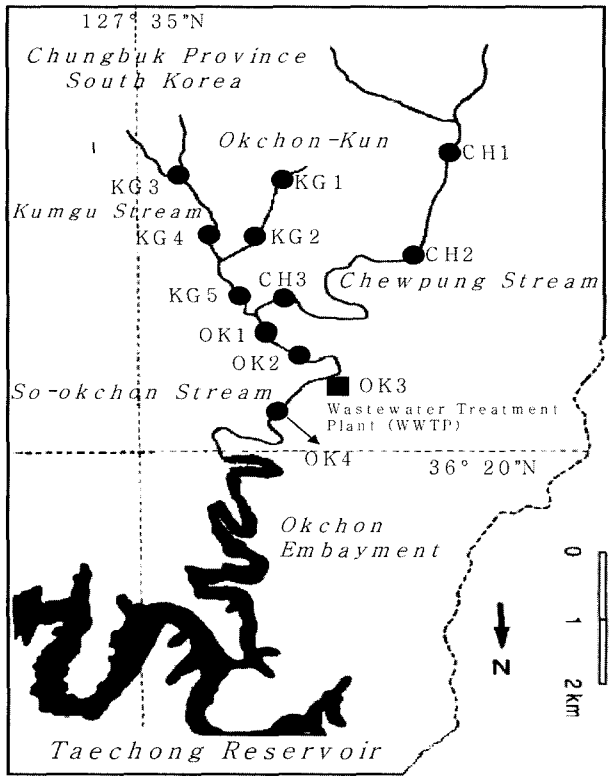

Fig. 1. Location of sampling stations in Okcheon stream.

Table 1. Hydrological characteristics and estimation of inflow in Okcheon stream

Drainage area of Lake Daechung (km^2)	4,134
Yearly Inflow (10^6 m^3/yr)	3,016
Drainage area of Okcheon stream (km^2)	139
Yearly Inflow (10^6 m^3/yr)	191
Factor of inflowing rate equation, f	0.54

Air Zero가스로 포기시켜 CO_2를 미리 제거한 후 고온(680 ℃) 촉매(백금촉매)가 내장된 TOC-5000A로 측정하였다. 수질오염공정시험법에 제시되지 않은 측정항목은 Standard Method (APHA, 1995)에 따라 측정하였다. 유량산정은 합리식을 이용하여 소옥천수계의 가장 가까운 지역에서 수집한 강우량 자료로부터 계산하였으며, 강우강도가 도달시간 이상기간 동안 일정하다고 가정하였다. 소옥천 유입유량이 대청호 유역의 연간 강수량과 같다는 가정하에 대청호의 총유입량을 대청호 유역면적에 대한 소옥천 유역의 유역면적비로부터의 연간 총 유입량을 추정하였다. 소옥천 유입유량 산정을 위한 제원 및 계산 유입량은 Table 1에 나타내었다(국립환경연구원, 1997; 한국수자원공사, 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1. 평수기 수질 현황

소옥천 수계의 평수기 수질조사 결과는 Table 2, 3에 나타내었다. pH는 하천의 하류로 갈수록 증가하는 경향으로

상류인 추풍천 수계(CH1～CH3)가 7.3～7.8의 범위였고, 하수처리장 방류수(OK3)를 제외한 소옥천 하류수계(OK1～OK4)가 7.9～8.0의 범위를 나타냈다. 도시하천인 금구천의 pH는 상·하류가 비교적 높고 중류수계가 낮은 값을 보였다. DO는 pH와 비슷한 변화 양상을 나타냈으며, 소옥천 수계의 DO가 연평균 10 mgO_2/L 이상을 유지하는 이유는 여름철에 높은 수온임에도 불구하고 부착조류의 광합성이 매우 활발하여 과포화 현상을 초래했기 때문인 것으로 사료되었다(신 등, 2003). SS는 추풍천, 소옥천에서 각각 5.2～8.6 mg/L, 6.5～7.2 mg/L 범위였고, 전반적으로 하천 하류로 이동하면서 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 금구천은 하류지역의 하천정비 공사로 하류의 SS가 31 mg/L로 높았으며, 그 밖의 구간은 3.4～5.8 mg/L로 본류수계보다 낮은 농도를 나타냈다(Table 2).

Table 2. Mean(±SD) values of pH, DO and SS concentrations in the Okcheon stream during May 2002 to August 2003

Sampling Station	pH	DO (mg/L)	SS (mg/L)
CH 1	7.6±0.3	12.3±2.1	8.6±7.7
CH 2	7.3±0.5	10.5±1.8	5.2±5.0
CH 3	7.8±0.3	11.5±1.8	7.8±11.5
OK 1	7.9±0.3	11.5±1.7	7.0±7.2
OK 2	8.0±0.3	11.9±1.8	7.2±5.4
OK 3	7.2±0.2	10.0±1.3	4.3±2.2
OK 4	8.0±0.5	12.2±2.8	6.5±6.1
KG 1	7.6±0.1	12.0±2.5	5.8±2.8
KG 2	8.3±0.6	12.6±2.9	4.8±2.0
KG 3	7.5±0.3	9.9±1.5	5.2±2.4
KG 4	8.0±0.4	12.0±2.9	3.4±2.2
KG 5	8.3±0.6	11.8±1.9	31.1±24.7

Table 3. Mean(±SD) values of COD, TOC, TN and TP concentrations in the Okcheon stream during May 2002 to August 2003 (Unit : mg/L)

Sampling Station	COD	TOC	TN	TP
CH 1	2.9±0.8	2.3±1.0	9.5±2.9	0.061±0.046
CH 2	2.6±1.1	2.1±0.7	8.7±3.3	0.046±0.040
CH 3	2.4±0.9	2.3±0.9	8.7±3.3	0.037±0.035
OK 1	2.5±0.4	2.9±1.2	8.3±3.3	0.038±0.033
OK 2	2.5±0.6	2.4±0.9	9.3±2.7	0.049±0.042
OK 3	7.3±1.2	5.7±1.4	13.4±2.4	0.609±0.314
OK 4	2.9±0.9	2.8±1.1	8.6±3.2	0.055±0.043
KG 1	3.5±1.5	3.6±1.9	10.7±2.8	0.084±0.053
KG 2	3.7±1.7	3.5±1.4	9.7±3.2	0.064±0.045
KG 3	6.1±2.2	6.0±4.4	9.6±2.9	0.134±0.084
KG 4	6.0±2.4	5.9±3.9	9.7±2.9	0.141±0.097
KG 5	4.2±1.6	4.7±2.8	9.5±3.0	0.098±0.058

유기물 오염도를 나타내는 COD, TOC의 최대농도는 하수처리장 방류수로 각각 7.3±1.2 mg/L, 5.7±1.4 mg/L 였고, 도시하천인 금구천(KG5)과 하수처리장(OK3)의 영향을 받는 OK1, OK4에서 약간 높게 나타났다. 금구천(KG1～KG5)의 유기물 오염도는 소옥천 본류수계보다는 전반적으로 높은 농도를 나타냈다. 특히 본 연구대상 수계에서의 유기물을 탄소량으로 비교해 볼 때, COD/TOC 비가 0.46～0.65 범위를 나타내 COD로 정량할 수 없는 난분해성 유기물이 약 50% 정도 되는 것으로 추정되었다(Table 3).

총질소(TN)는 본류에서 8.3～9.5 mg/L 농도범위로 상하류의 농도차가 크지 않았으며, 지류인 금구천은 9.5～10.7 mg/L 범위로 본류수계보다 약간 높은 농도를 나타내고 있었다. 동일시기의 금강본류의 농도와 비교하여 소옥천수계가 높은 농도를 나타내고 있었다(환경부, 2003).

총인(TP) 농도는 하수처리장의 방류수의 농도가 소옥천 수계보다 약 10배 정도 높은 농도를 배출되고 있어 하류수계에 미치는 영향이 클 것으로 예상되었다. 또한 도시하수가 많이 유입되는 금구천도 0.064～0.141 mg/L 농도범위로 본류수계 0.037～0.061 mg/L 농도범위보다 높은 농도를 보이고 있었다. 하천 하류로 이동할수록 하폭이 넓어지면서 체류시간이 길어지는 하구에서는 인의 공급이 증가할수록 부영양화 가능성이 높아지기 때문에 하수처리장 및 금구천의 높은 TP 농도는 소옥천 하류수역의 수질오염을 가중시킬 것으로 판단되었다.

이상의 결과를 고찰해 볼때 추풍천 발원지(CH1)의 경우 유역의 농경지 및 축사로부터 유입되는 고농도의 영양염류 영향으로 부착조류가 증가하여 pH 및 SS 농도를 증가시키는 원인이 되고 있었으며, 도시하천의 특성을 보이는 금구천의 경우 도시(옥천읍)내의 토지이용의 효율성을 증대시키기 위하여 하천부지를 복개하여 도로, 주차장, 상가등으로 이용하고 있어 하천생태계의 구조와 기능이 인위적인 교란에 의해 많이 상실하였고, 하수관거의 누수로 인한 도시하수의 유입으로 수질오염이 악화되는 경향을 나타내었다.

3.2. 비점오염물질 유입 특성

소옥천 수계의 비점오염물질 유입 특성조사는 옥각교 지점(OK1)에 자동 채수기를 설치하여 강우시 3～6시간 간격, 비강우시 12～24시간 간격으로 시료를 채취하여 분석하였다. 조사기간 동안의 오염물질 농도는 강우량에 비례하여 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 2). 각 수질항목의 변동을 보면, SS의 최대 농도는 일강우량이 193 mm로 가장 많았던 7월 10일경에 3,020 mg/L로 가장 높은 값을 나타냈으며, COD, TOC 및 TP는 일강우량이 89 mm 정도일 때 각각 19.1 mg/L, 9.1 mg/L, 0.969 mg/L로 최대농도를 보였다. TN의 경우 강우시에 증가하는 경향은 있었지만 강우강도에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, 최대 강우량이 관측된 7월10일에 12.0 mg/L로 최대농도를 보였다.

강우강도에 따른 오염물질의 변동은 Fig. 3～4에 나타낸 바와 같다. 일평균 강우량에 따라 15～20 mm를 R I (6월

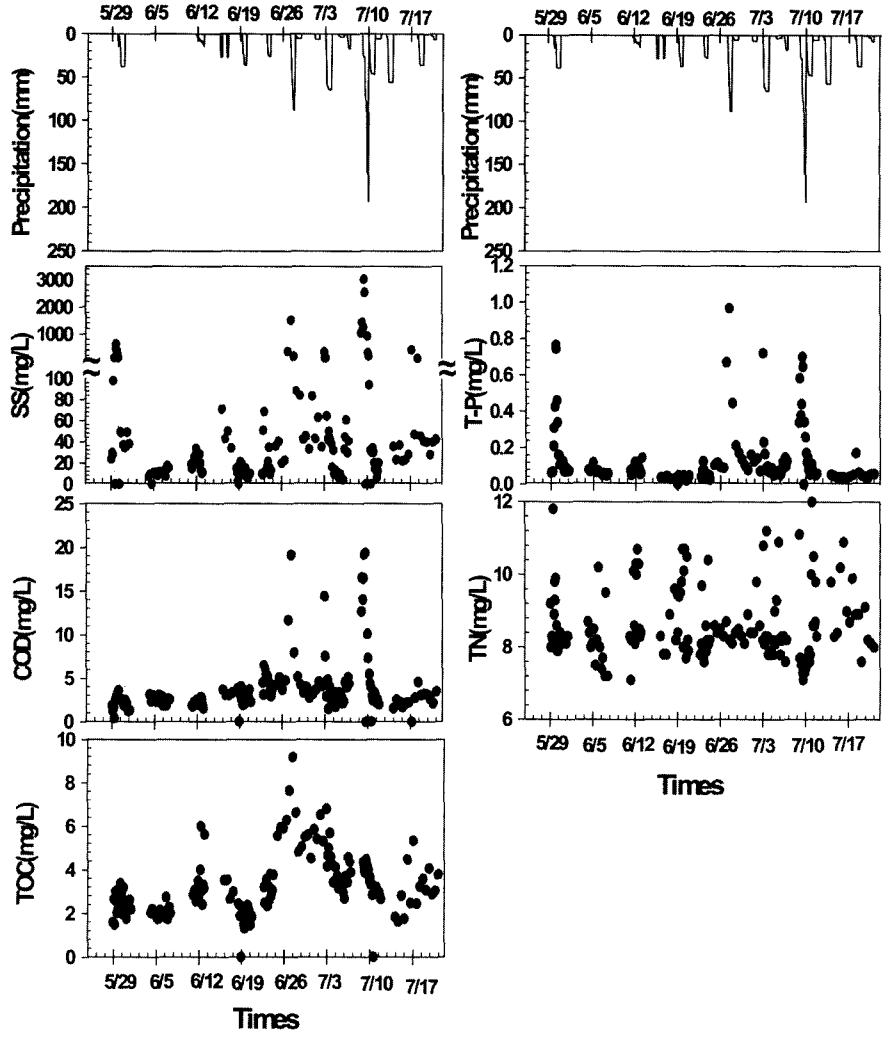

Fig. 2. Variation of pollutant concentrations during rainfall runoff in Okcheon stream.

11일~13일), 30~40 mm를 RⅡ (5월 29일~31일), 100 mm 이상을 RⅢ (7월 7일~16일)로 분류하여 오염물질의 유입특성을 분석하였다.

강우량이 38 mm/d 정도 관측되었던 기간(RⅡ)에는 이전의 비강우 기간이 길어 비교적 적은 강우에도 SS와 TP 농도는 각각 23.5~631.5 mg/L, 0.064~0.766 mg/L 변동범위로 변화폭이 큰 반면에 COD, TOC 및 TN 농도는 각각 1.2~3.0 mg/L, 2.5~3.9 mg/L, 7.9~11.8 mg/L 범위로 SS와 T-P 농도 변동에 비해 변화가 작게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 강우가 시작되기 전 비강우 기간이 길수록 강우초기에는 강우강도에 관계없이 초기강우(flushing)에 의해 입자형태(SS, TP)의 오염물질들이 유기물형태(COD, TOC) 오염물질보다는 영향을 크게 받고 있는 것으로 나타났다.

이후 일강우량이 약 16 mm 정도로 강우량이 적었던 기간(RⅠ)에는 RⅡ 강우시보다 오염물질의 발생이 크게 감소하였다. 특히 입자형태로 발생하는 SS(10.0~36.5 mg/L)와 TP(0.052~0.123 mg/L) 농도의 감소가 두드러졌으며, 유기오염도를 나타내는 COD와 TOC 농도는 약간 증감하는 경향을 보였지만 변동범위는 RⅡ 강우시기와 별 차이가 없는 것으로 나타났다. TN 농도 또한 1차 강우시 결과와 비슷한 농도범위에서 변동하였다.

강우강도가 193 mm/d로 최대강우량이 관측된 기간(RⅢ)에는 유역으로부터의 오염물질이 크게 발생하여 하천의 오염도를 크게 증가시켰다. 주로 입자형태로 하천으로 유입되는 SS 농도는 3,020 mg/L까지 크게 증가하였고, TP의 최대농도는 RⅡ 결과와 비슷한 0.701 mg/L로 RⅠ 결과보다는 높은 값을 보였다. COD 농도는 최대 강우량이 관측된 날로부터 서서히 증가하여 1~2일 정도 지난 후 최대농도(19.3 mg/L)를 나타냈다. 그러나 TOC는 RⅠ, RⅡ 기간보다 강우량은 크게 증가하였지만 농도변화는 거의 없는 것으로 나타났다. TN 농도 또한 강우량이 크게 증가함에 따라 약간 증가하는 경향을 보였지만 RⅠ, RⅡ 결과와 큰 차이를 보이지 않았다.

본 연구대상지에서의 오염물질 발생은 강우강도가 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 경향을 보였지만 각 수질항목에 따라 약간은 다른 특성을 나타냈다. 입자형태로 유입되는 SS와 TP 경우, SS는 강우강도가 증가함에 따라 비례하여 농도가 증가하는 경향을 보였지만, TP는 40 mm 이상으로 강우강도가 강해져도 거의 농도변화가 없는 것으로

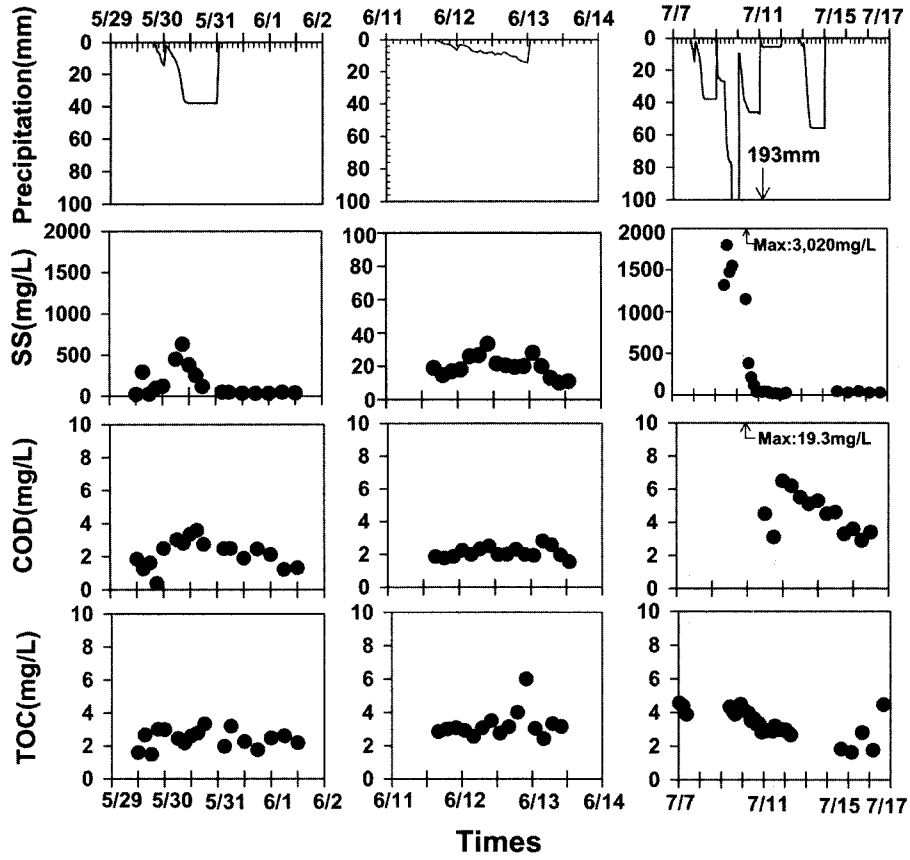

Fig. 3. Variation of SS, COD and TOC concentrations during various rainfall runoff in Okcheon stream.

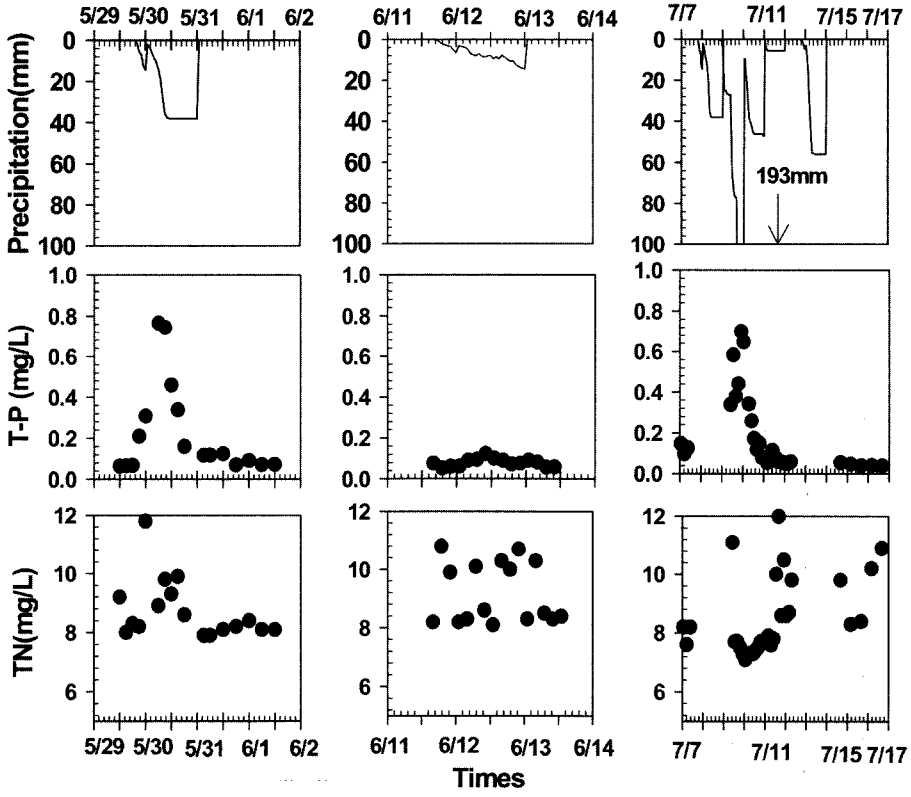

Fig. 4. Variation of T-N, T-P concentrations during various rainfall runoff in Okcheon stream.

나타났다. 용존형태로 유입되는 유기물(COD, TOC)과 TN의 경우에는 강우강도가 증가하면 농도가 약간 증가하는 추세지만 뚜렷한 증가는 관측되지 않았다. 이러한 결과로 볼 때, 강우가 100 mm 이상 내릴 때는 비점오염물질의 관리가 어렵겠지만 비강우 기간이 10일 이상 지속되고 강수량이 40 mm/d 이하 정도로 예측 되었을 때는 초기 강우의 50%정도만 처리해도 하천 및 호소의 수질개선에 크게 기여할 것으로 판단되었다.

3.3. 오염부하량 평가

소옥천 수계의 오염부하량은 점오염원과 비점오염원으로 나누어 평가하였다. 점오염원의 평가는 소옥천 하류로 직접 유입되는 옥천하수처리장을 대상으로 하였고, 소옥천 유역에서 차집 · 이송되어 하수처리장으로 유입되지 않는 점오염원에 대해서는 월류수가 대부분이므로 하천을 통하여 유입되는 비점오염원으로 간주하였다. 본 연구에서 점오염원 부하량은 옥천하수처리장의 자료를 이용하여 산정하였고(옥천군, 2004), 비점오염원 부하량은 강우시와 비강우시로 나누어 소옥천으로부터 대청호로 유입되는 유량(Table 1)과 소옥천 수질분석결과(Table 2～3, Fig. 2)로부터 산정하였다(Table 4).

COD의 총부하량은 2002년에 144 ton/yr, 2003년에는 394 ton/yr로 계산되었다. 소옥천 수계에서 발생하는 오염부하량이 대청호에 미치는 영향을 부하율로 산정하면, 점오염원은 2002년에 14%, 2003년에 9%였고, 비점오염원은 비강우시에 2002년 21%, 2003년 10%, 강우시에 2002년 65%, 2003년 85%로 강우시 발생하는 오염원의 영향이 큰 것으로 평가되었다.

TOC의 총부하량은 2002년에 427 ton/yr, 2003년에는 876 ton/yr로 계산되었다. 소옥천 수계가 대청호에 미치는 영향은 강우시에 발생하는 비점오염원이 대부분으로 2002년 70%, 2003년 82%를 차지하고 있었다.

총질소(T-N)의 경우 소옥천에서 대청호로 유입되는 부하량이 2002년 1,512 ton/yr, 2003년 2,062 ton/yr이 유입되는 것으로 계산 되었다. 이중 2002년에는 비점오염원이 95%(강우시 63%, 비강우시 32%)로 차지한 반면에 점오염원은 5%의 기여도를 보였다. 2003년에도 2002년의 결과와 비슷한 결과를 보였다.

대청호로 유입되는 TP의 부하량은 2002년 7.8 ton/yr, 2003년 40.3 ton/yr으로 계산 되었다. 점오염원과 비점오염원의 부하율은 2002년에 점오염원이 46%, 비점오염원이 54%(강우시 6%, 비강우시 48%)였으며, 2003년에는 점오염원이 8%, 비점오염원이 92%(강우시 5%, 비강우시 87%)를 차지하는 것으로 나타났다. 2002년에는 하수처리장을 배출원으로 하는 점오염원 기여도가 비교적 높게 나타났으나, 강우량의 증가로 하천의 유량이 크게 증가했던 2003년에는 비점오염원의 기여도가 92%로 강우에 의한 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 전체적으로 강우빈도가 적고 장마기간이 짧았던 2002년보다 강우빈도가 크고 장마기간이 길었던 2003년도에 비점오염원에 의한 기여율이 대체로 높게 나타나는 경향을 보였다. 대청호내 소옥천수계의 경우 매년 남조류에 의한 조류 대발생지역으로 대청호의 주된 조류발생원으로 평가되고 있다. 소옥천수계에서의 조류발생을 근본적으로 억제하기 위해서는 비교적 연중 높은 TP 부하량를 유지하고 있는 점오염원(하수처리장 처리수)의 유입을 비강우시에 가장 먼저 차단을 하여야 할 것으로 판단되며, 이렇게 인이 제한영양염류로 알려진 국내의 호소 및 정체수역에서는 강우시 발생되는 탁류와 함께 대량 유입되는 총인에 의해 부영양화를 일으키는 원인이 되므로 처리장의 하류에 생물학적인 처리시스템의 도입 등 적절한 대책이 필요할 것으로 보인다.

4. 결 론

1. 금구천 상류수계의 유역은 산림과 농경지로 구성되어 농촌하천의 특성을 보이지만 중 · 하류수계는 도시하천의 성격을 띄고 있어 강우시 유량변동이 심한 특징을 나타내었으며, 도시하수의 유입으로 인한 수질오염이 심각한 것으로 판단된다.
2. 추풍천수계의 유역은 대부분 산림으로 구성되어 있으며, 하천연장이 비교적 길어 적은 강우량에 대해서는 유량변동이 크게 나타나지 않았다. 따라서 초기강우에 대한

Table 4. Annual loading of water pollutants in Okcheon stream watershed (unit : ton/yr)

Year	Sources		COD	TOC	TN	TP
2002	Point source (wastewater treatment plant)		20 (14%)	31(7%)	83(5%)	3.6(46%)
	Nonpoint source	Drought period	30 (21%)	99(23%)	479(32%)	0.5(6%)
		Rainfall period	94 (65%)	297(70%)	950(63%)	3.7(48%)
	Annual loading		144 (100%)	427(100%)	1,512(100%)	7.8(100%)
2003	Point source (wastewater treatment plant)		19 (5%)	34(4%)	77(4%)	3.2(8%)
	Nonpoint source	Drought period	40 (10%)	122(14%)	331(16%)	2.0(5%)
		Rainfall period	335 (85%)	720(82%)	1,654(80%)	35.1(87%)
	Annual loading		394 (100%)	876(100%)	2,062(100%)	40.3(100%)

완충능력이 금구천보다 높아 수질의 변동폭도 크지 않은 것으로 평가되었다. 하지만 집중호우의 40 mm 이상 강우에서는 금구천과 비슷하게 유량 및 수질이 빠르게 변동하는 것으로 나타났다.

3. 강우시 발생되는 오염물질 중에서 SS와 TP 농도는 입자형태이기 때문에 강우강도에 비례하여 증가하는 경향을 보였고, 유기물(COD, TOC)과 TN 농도는 강우 강도가 강해짐에 따라 약간 증가는 하였지만 큰 변화는 없는 것으로 평가되었다.
4. 소옥천에서 대청호로 유입되는 유기물 부하율은 점오염원이 약 10% 정도였고, 나머지 90%는 비점오염원의 영향으로 나타났다. TN 부하량 또한 유기물과 유사한 경향으로 95% 이상을 비점오염원이 차지하고 있었다. TP의 경우에는 강우량이 적었던 2002년에 점오염원 46%, 비점오염원이 54%를 차지하고 있었으나 강우량이 많았던 2003년에는 점오염원이 8%, 비점오염원이 92%로 계산되었다.
6. 비점오염원에 의한 수질오염은 일평균 100 mm 내외로 내렸던 집중호우시에 가장 큰 것으로 나타났지만 40 mm 이하의 비가 내릴 때는 오히려 강우시작 전 비강우기간이 길수록 초기강우에 의해 수질오염을 가중시키는 것으로 나타났다. 따라서 강우가 100 mm/d 이상 내릴 때에는 비점오염원 관리가 어렵겠지만 비강우 기간이 10일 이상 지속된 후 강우량이 40 mm/d 정도 예측되었을 때는 초기 강우의 50% 정도만 처리 가능하다면 하천 및 호소의 수질개선에 크게 기여할 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 2002년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

참고문헌

건설교통부, *한국하천일람*, pp. 167-193 (2000).

국립환경연구원, 하천·호수의 수질보전과 유역관리에 관한 한·일 공동 세미나, pp. 43-177 (1997).

라덕관, 김기성, 수질에 미치는 비점오염원의 영향, *공업기술연구소 논문집*, **10**(10), pp. 139-149 (1996).

방기웅, 이준호, 유명진, 도시소유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, *한국수질보전학회지*, **13**(1), pp. 79-99 (1997).

신재기, 김동섭, 이혜근, 맹승진, 황순진, 옥천천(만) 유역 하천과 만입부의 수환경 평가, *한국육수학회지*, **36**(2), pp. 181-190 (2003).

안재환, 비도시지역에서 강우사상에 따른 비점오염원 유출특성 연구, *건설기술정보지*, 2 (2000).

옥천군, http://okcheon.chungbuk.kr (2004).

한국수자원공사, 대청호 수질개선을 위한 소옥천 환경조사 보고서, pp. 37-70 (2002).

한국수자원공사, 대청호 수질개선을 위한 소옥천 환경조사 보고서Ⅱ, pp. 39-41 (2003).

환경부, 대청호 및 금강하구의 수질변화에 관한 조사연구, pp. 1-115 (2003).

환경부, *수질오염공정시험법* (1996).

APHA-AWWA-WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (15th ed.), APHA, AWWA and WEF, Washington D.C. USA (1995).

Field R., and O´Shea M. L., *Integrated stormwater management*, Lewis pub Ann Arbor. pp. 3-120 (1993).

Ichiki, A., and Yamada, K., "Study on characteristics of pollutant runoff into lake Biwa Japan," *Water Sci. Technol.*, **39**(12), pp. 17-25 (1999).

Loehr, R. C., *Pollution Control for Agriculture*, Academic Press (1977).

Nix S. J., *Urban stormwater modeling and simulation*, Lewis pub, Ann Arbor, pp. 15-84 (1994).

Novotny V., and Chesters G., *Handbook of nonpoint pollution ; source and management*, Van Nostrand Reinhold Co. N.Y., pp. 312-390 (1981).

Pegram, G. C., Quibell, G., and Hinsch, M., "The nonpoint source impacts of peri-urban settlements in South Africa : implications for their management," *Water Sci. Technol.*, **39**(12), pp. 283-290 (1999).

Sartor, J. D., Boyd, G. B., and Agardy, F. J., Water pollution aspects of street surface contaminants, *Journal of WPCF*, **46**(3), pp. 458-467 (1974).

Sartor, J. D., and Buchberger, S. G., Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water, *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, **123**(2), pp. 134-143 (1997).