

삽교호 유입하천에서 강우시 주요 오염물질의 유출 특성

박재영 · 오종민* · 김영철¹

(경희대학교 환경학과, 환경·응용화학부 및 환경연구소
¹한서대학교 환경공학과)

Runoff Characteristics of Major Pollutants at the Inflow Stream to Lake Sap-Kyo in Rainy Periods. Park, Jae-Young, Jong-Min, Oh* and Young-Chul, Kim¹ (Dept. of Env. Science, Dept. of Env. Science & Applied Chemistry & Institute for Env. Studies, Kyunghee University, Yongin 449-701 and ¹Dept. of Env. Eng. Hanseo University, Chungnam, 356-820)

This study was investigated discharge and water quality for rainy days at the inflow streams (Gog-Kyo, Mu-Han, Sap-Kyo and Nam-Won) into Lake Sap-Kyo from June to November of 1999. The eventual aim of this study was to improve the water quality of Lake Sap-Kyo. Therefore, in order to reduce inflow pollutants loading into Lake Sap-Kyo, we investigated characteristics of stormwater runoff and estimated pollutant loading for the rainy season. The results of that Sap-Kyo stream is 5.75 m³/sec flow and influences water quantity of Lake Sap-Kyo greatly during the dry weather. Gog-Kyo stream influence to quantity of Lake Sap-Kyo greatly for the rainy days. Gog-Kyo stream and Sap-Kyo stream are 12.13 m³/sec and 8.49 m³/sec, respectively. The reason is that the watershed area of Gog-Kyo stream is larger than other streams. When we prepare to plan management to improve the water quality of Lake Sap-Kyo, we have to consider that runoff characteristics by land use. Among the annual total pollutants loading inflow Lake Sap-Kyo, the ratio of non-point pollutants loading estimated that SS, BOD, T-N and T-P are 62%, 43%, 41% and 27%, respectively. Therefore, in order to improve water quality of Lake Sap-Kyo, we have to reduce non-point pollutants loading.

Key words : Lake Sap-Kyo, Stormwater runoff, Non-point pollutants loading, Water quality

서론

현재, 농업용수로 이용되고 있는 삽교호는 무기영양물질의 과다 유입으로 부영양화 현상이 빈번히 발생하여 호소로 유입되는 부하량을 감소시키기 위해 많은 노력과 비용을 투자하고 있으나 수질은 크게 개선되지 않고 있다. 이는 대상 유역의 특성과 오염 부하량 산정 등의 정확하고 세밀한 기초자료 조사 부족에서 그 원인을 찾

을 수 있다. 삽교호 수질농도는 1999년 기준으로 SS 13.6~64.3 mg/L, COD 9.8~13.3 mg/L, T-N 3.70~6.06 mg/L 및 T-P 0.34~0.44 mg/L로 조사되어 호소의 농업용수 수질기준인 IV급수를 초과하는 실정이다(농어촌진흥공사, 1999)

강우시 주로 유출되는 비점오염원은 주로 기후에 의해 간헐적이고, 분산된 형태로 호소로 유입되며, 오염원이 분산되어 분포하기 때문에 유입 경로를 파악하기 어렵고, 측정 및 영향 평가가 용이하지 않아 많은 연구가

* Corresponding author: Tel: 031) 201-2461, Fax: 031) 203-4589, E-mail: jmoh@khu.ac.kr

수행되지 않았다 (Adamkus, 1976; Bedient *et al.*, 1978; Hunter *et al.*, 1979; Novotny *et al.*, 1981).

따라서 최근까지는 주로 토지이용에 따른 원단위를 사용하여 비점오염부하량을 추정하는 경우가 빈번하였으나, 비점오염부하량은 유역의 토지이용형태, 지표퇴적물량, 강우량 및 강우강도 등에 따라 상당한 차이가 발생하기 때문에 조사지역에서 직접 실측하지 않으면 오차는 상당히 커질 가능성이 있다 (Bedient *et al.*, 1980; 海老瀬潛一, 1989; 방 등, 2000).

본 연구는 강우시 유입하천 유출수가 삼교호 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 강우시 유입하천에서의 유량 변화와 오염물질의 유출특성을 분석하고, 유역의 토지이용형태 (도시지역, 농촌지역)에 따른 유출수 특성을 비교하였다. 또한, 강우시 삼교호 오염부하량 및 실측 자료를 통한 비점오염부하량의 기여율 추정 자료는 삼교호 수질정화 및 수계관리 대책수립에 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

삼교호는 충청남도 천안시, 아산시, 예산군, 당진군, 홍성군, 연기군 및 청양군 등 7개 시·군의 전체 또는 일부지역을 포함하며, 최하류에는 하구언을 두고 있어 주위에 습지가 다수 존재하고, 이 지역에 농업용수로 이용된다. 그러나 삼교호 상류부에 위치한 유입하천을 통해 주거지와 축산단지 및 공장단지 등의 점오염원에서 비롯되는 가정하수, 축산폐수 및 공장폐수가 무분별하게 배출되고, 강우시에는 유역에 산재된 농경지, 임야, 도시지역 등에서 유출수가 전량 유입되고 있다.

삼교호 유역은 총면적 1,639.6 km², 유로연장 63.5 km로서 삼교호, 삼교천유역, 무한천유역, 곡교천유역 및 남원천유역으로 구성된다. 삼교천은 충남 홍성군 기러기재에서 발원하여 홍성읍과 삼교읍을 거쳐서 무한천, 곡교천 등의 지류와 합류하여 서해로 흐르고, 하천 분류 및 지류 연변에 농경지가 넓게 발달된 예당평야가 펼쳐져 있다. 삼교호 유역 남·동쪽에 위치한 무한천 및 곡교천 유역은 차령산맥의 말단부로서 하천 주위의 농경지를 제외하고는 대부분이 산악지형으로 이루어져 있으며, 무한천 상류부 (충남 예산군)에는 예당저수지가 위치하고 있다. 삼교호 유역의 서쪽 (당진군)에서는 남원천이 유입되고 있으며, 삼교호 유역의 개황과 유입하천의 조사지점을 나타낸 것은 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Map of sampling sites at inflow rivers of Sap-Kyo lake.

2. 조사지점 및 실험방법

1) 조사 지점 선정

본 연구에서 주요 조사하천은 삼교호로 직접 유입되는 곡교천, 무한천, 삼교천 및 남원천과 곡교천 상류부에 위치하고 천안시를 관통하는 천안천을 포함하여 총 5개 하천으로 하였다. 조사지점은 강우시 시료를 용이하게 채취할 수 있으며, 바람이나 강우에 의해 유량 측정에 방해되지 않는 지점을 선정하였다. 따라서 하폭이 넓은 특성으로 인해 주로 교각 (橋脚)이 있는 곳에서 실시하였다. 무한천과 삼교천의 경우, 건설교통부 (금강홍수통제소)의 유량 측정지점인 예산대교 (원평관측소)와 충의대교 (수춘관측소)를 각각 선정하였다.

2) 조사시기 및 분석방법

강우에 의한 유출수가 하천 유량에 영향을 줄 수 있다고 생각되는 강우사상을 고려하여 99년 7월 9일~10일 (1차), 7월 27일~30일 (2차)의 2회 강우시 관측된 자료를 이용하였다. 본 조사 기간동안의 강우 자료는 조사지역 내에 위치한 천안관측소에서 수집하였다.

시료채취시간은 강우시작 직전 (본 논문에서는 평상시 수질과 유량자료로 사용함)과 하천의 유량 변화가 현저하게 발생할 때마다 평균 1~4시간 간격으로 채취하였으며, 종료시기는 강우 전 하천유량에 도달하고 수위의 변화가 없을 때 종료하였다. 강우사상별로 평균 15~22개의 시료를 하천의 중심부근에서 폴리에틸렌용기 (10L)을 이용하여 채취하였다.

유량 관측은 시료채취와 동시에 실시하였으며, 무한천과 삼교천에서는 수위만을 측정하여 기 조사된 수위-유량 관계식을 이용하여 산출하였고 (건설교통부, 1998), 천

안천, 곡교천 및 남원천은 수위와 저수로 폭 및 유속을 실측하였다. 유속은 유속계 (광전전기식 OT-1305, No. 1983)와 봉부자를 이용하여 측정하였고, 현장에서 수온, pH, EC 및 DO는 시료채취 즉시 측정하였고, 채취된 시료는 실험실에서 즉시 (시료 채취 후 10일 이내) SS, BOD, COD, T-N, 및 T-P 등을 분석하였다.

각 항목별 분석은 수질공정시험법 (최규철 등, 1999)에 따라 실시하였고, 수온, pH는 pH meter (WTW pH330, Germany), EC는 EC meter (Hanna HI 9033, Portugal) 및 DO는 윙클러-아지드화나트륨 변법으로 하였다. 또한, SS는 유리섬유 여지법, BOD는 5일 용존산소소비량, COD는 산성 100°C에서 과망간산칼륨에 의한 화학적 산소요구량, T-N은 자외선 흡광광도법 및 T-P는 아스코르빈산 환원법을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 삼교호 유역의 기하학적 특성 및 토지이용

삼교호 유입하천 중 곡교천의 유역면적이 604.5 km²으로 가장 넓고, 삼교천 (569.9 km²), 무한천 (465.2 km²) 순이며, 유로 연장은 삼교천이 63.5 km로 가장 길고, 유역 평균폭은 12.2 km로 곡교천이 가장 넓은 기하학적 특성을 나타낸다. 본 논문에서 남원천은 유역이 뚜렷이 구분되지 않아 삼교천유역에 포함하여 나타내었고, 천안천은 곡교천 상류부에 위치하고 있어 곡교천유역에 포함하여 Table 1에 제시하였다.

삼교호 유역의 토지이용은 논 406.7 km², 밭 202.5 km²을 포함하여 농경지가 609.2 km²이며, 대지 56.0 km², 임야 741.2 km², 기타 233.5 km²으로 구성되어 있다 (Table 2). 토지이용 구성비는 총면적 대비 농경지 37.2%, 대지 3.4%, 임야 45.2%, 기타 14.2%로서 농경지와 임야가 82.4%로서 유역의 대부분을 차지하고 있다 (농어촌진흥공사, 1997).

2. 조사기간 중 발생한 강우 특성

강우에 따른 하천의 유량의 변화와 오염물질의 농도는 유역의 토지이용형태와 강우량, 강우지속시간, 강우강도, 선행강우량, 무(無)강우일수 등에 따라 많은 차이가 발생함 (Rimer *et al.*, 1978; 松浦茂樹 *et al.*, 1987)으로 조사기간 중 발생한 강우특성을 분석하였고, 그 결과는 Table 3과 같다.

조사기간 중 발생한 강우는 1차 조사시에 강우량 30.5 mm, 강우지속시간은 16 hr으로, 평균강우강도는 1.91 mm/hr로 조사되었다. 1차 조사시에 평균강우강도가 2차 조사시 (1.56 mm/hr)보다는 많았으며, 강우량과 강우지속시간은 2차조사시에 각각 50 mm, 32 hr으로 나타나 강우시 하천으로 유입되는 유출수량은 2차 조사시에 더 많을 것으로 예측할 수 있다.

강우 유출수에 의한 오염물질 부하에 큰 영향을 미치는 요인인 지표면에 쌓인 퇴적물량은 선행강우 (Antecedent rainfall)에 의한 유출 후 지표면에 잔존해있는 퇴적물과 선행강우 (조사 강우 이전에 발생한 강우) 후 맑은 기간 동안에 새로이 발생하여 지표면에 퇴적된 양

Table 1. Geometric characteristic of Lake Sap-Kyo watershed.

Characteristics	Drainage area, A, (km ²)	Stream length, L, (km)	Average width, A/L, (km)	Shape factor, A/L ²	Stream density, L/A, (km ⁻¹)	Slope (%)
Streams						
Gog-Kyo	604.5	49.5	12.2	0.247	0.08	19.9
Mu-Han	465.2	48.3	9.6	0.199	0.10	23.3
Sap-Kyo	569.9	63.5	9.0	0.141	0.11	16.7

Table 2. Land use of Lake Sap-Kyo watershed.

(Unit : km², (%))

Land use	Agriculture			Forest	Lot	Etc.	Total
	Paddy field	Crop field	Sum				
Gog-Kyo	66.9 (11.1)	121.7 (20.1)	188.6 (31.2)	294.1 (48.7)	25.3 (4.2)	96.7 (6.0)	570.0 (100)
Mu-Han	47.0 (10.1)	83.9 (18.0)	130.9 (28.1)	262.4 (56.4)	9.8 (2.1)	62 (13.3)	465.2 (100)
Sap-Kyo	88.6 (15.5)	201.1 (35.3)	289.7 (50.8)	294.1 (48.7)	25.3 (4.2)	96.7 (6.0)	604.5 (100)

Table 3. Characteristics of stormwater in Lake Sap-Kyo watershed at July, 1999.

Storm events	Date	Rainfall (mm)	Duration (hrs)	Average rainfall intensity (mm/hr)	Antecedent rainfall (mm)	Antecedent rainless day (days)
1st	July 9~10	30.5	16	1.91	73.0	15
2nd	July 27~29	50.0	32	1.56	38.0	3

Table 4. Summary of Flow and Event Mean Concentration (EMC) for inflowing streams into Lake Sap-Kyo at July, 1999.

Streams		Gog-Kyo		Mu-Han		Sap-Kyo		Nam-Won	
Storm events		1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
Flow	Average flow (m ³ /hr)	48,420	65,177	15,480	16,034	40,549	38,363	13,593	32,549
	Peak flow (m ³ /hr)	95,226	151,967	23,480	31,252	52,023	74,652	22,223	104,548
	Total flow (10 ³ m ³)	2,114	5,823	543	1,294	1,460	3,419	505	2,990
	Dry flow (m ³ /hr)	9,000	15,353	10,243	12,449	24,913	23,293	2,693	7,459
EMC (mg/L)	SS	29	61	126	139	36	90	39	132
	COD	13	9	9	6	9	8	13	13
	T-N	7	8	5	7	7	9	7	10
	T-P	1.38	1.15	1.20	1.10	1.70	0.50	1.21	1.40

을 더한 값이 되며, 다음 강우(조사기간 중 발생한 강우)에 의한 유출시의 초기조건이 된다(海老瀬潜一, 1989). 1차 조사시에 선행강우량이 73 mm로 2차 조사시보다 많았고, 무강우일수(Antecedent rainless days)는 1차 조사시에 15일로 2차 조사시보다는 5배 정도 길었다. 따라서 Table 3의 자료를 이용하여 지표면에 퇴적된 양의 대소(大小)를 예측하기에는 어려움이 있으며, 강우 발생 후 유실되고 지표면에 잔존하는 퇴적물량과 맑은 날 매일 퇴적되는 양에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다(Sartor *et al.*, 1974; Ball *et al.*, 1998).

3. 강우시 발생된 유입하천의 유출유량 및 오염물질 평균 농도

1차, 2차 강우시에 조사된 유입하천의 유출유량과 각 오염물질의 평균농도를 Table 4에 나타내었으며, 강우시 발생된 총유출량은 시간에 따라 관측된 유량을 이용하여 hydrograph를 작성하여 그 때 면적으로 산정하였다. 또한 강우시 발생되는 유출수의 오염물질의 농도는 유량에 따라 큰 차이가 발생되므로 오염물질의 평균농도는 유량을 고려한 농도 즉 EMC (Event Mean Concentration)로 나타낸다(U.S. EPA, 1983; Water Quality Management Library, 1995; Sansalone *et al.*, 1997; Smullen *et al.*, 1999). 각 강우사상에 대한 유출 오염물

질의 EMC는 다음의 Eq. 1과 같이 계산된다.

$$EMC \text{ (mg/L)} = (\sum Q_i \cdot C_i) / \sum Q_i \quad \text{Eq. 1}$$

여기서, Q_i 는 각 강우사상에서 i 번째 관측된 유출 유량, (m³/hr), C_i 는 각 강우사상에서 i 번째 관측된 오염물질 농도, (mg/L)이다.

삼교호로 유입되는 하천 중 강우가 없는 평상시 삼교호 수량에 가장 많은 영향을 미치는 하천은 삼교천으로 평균 유량이 5.75 m³/sec였으며, 곡교천(3.66 m³/sec), 무한천(3.30 m³/sec) 및 남원천(2.47 m³/sec) 순으로 관측되었다. 그러나 강우시에는 곡교천에서 평균 유량이 12.13 m³/sec로 삼교천의 8.49 m³/sec보다 많았으며, 이는 곡교천의 유역면적이 604.5 km²으로 삼교천(569.9 km²)보다 넓고 상류부에 불투수층이 다수 분포하고 있는 천안시(도시지역)가 위치하기 때문으로 사료된다. 남원천에서는 강우시 평균 유량이 5.89 m³/sec, 무한천에서는 4.26 m³/sec로 평상시 삼교호에 미치는 영향과는 다른 결과를 보였으며, 이는 무한천 상류부에 위치한 예당저수지에서 강우시 물을 저류시키기 때문으로 판단된다.

강우 유출수에 포함된 오염물질의 평균 농도, EMC는 SS을 제외하고는 각 유입지천에서 큰 차이를 보이지 않았으며, COD는 6~13 mg/L, T-N과 T-P 각각 5~10 mg/L, 0.5~1.70 mg/L의 범위로 관측되었다. 무한천에서

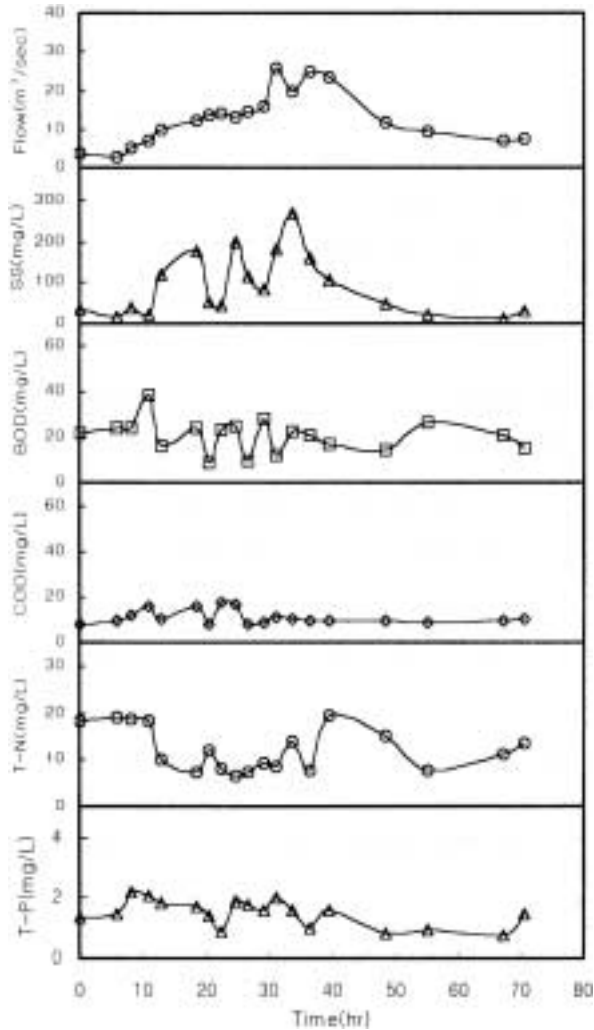


Fig. 2. The variation of flow and concentration pollutant in Chun-An stream (Sampling point: Hu-Dae Bridge) during the rainy season.

발생한 유출수의 SS 농도와 곡교천의 SS 농도를 비교하면, 1차 강우시에는 4.3배, 2차 강우시에 2.3배로 무한천에서 높게 관측되었으며, 이는 무한천 상류부에 위치한 해당저수지에서 강우 유출수가 일부 저류되어 하류부의 농경지에서 발생된 SS를 희석시키는 비율이 곡교천보다는 활발하지 않았기 때문이며, 이것은 유역면적에 비해 강우시 유출되는 유량이 무한천에서 상당히 낮은 것으로 추측 가능하다.

4. 토지이용형태에 따른 강우시 유출 유량과 오염물질 유출특성

유역의 도시지역(천안시)을 약 20%를 포함하고 있는 천안천(휴대교)지점과 유역의 농경지의 비율이 약 42%

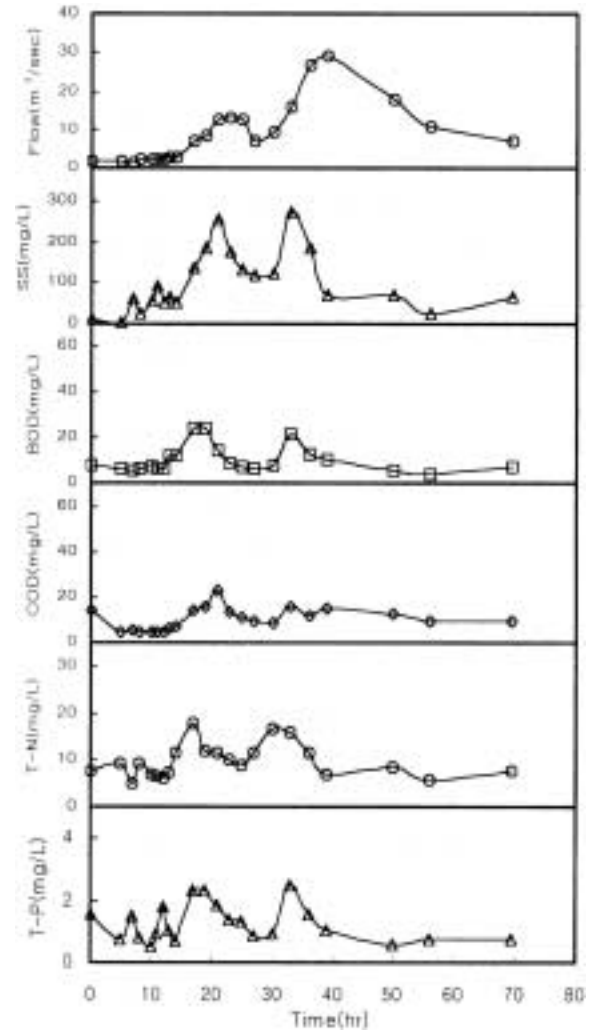


Fig. 3. The variation of flow and concentration pollutant in Nam-Won Stream (Sampling point: Buk-Chung Bridge) during the rainy season.

(당진군 순성면 일대)로 이루어진 남원천(북창교)지점에서 2차 강우사상시 조사된 시간에 따른 유출유량과 오염물질(SS, BOD, COD, T-N, T-P)의 농도 변화를 비교하여 토지이용형태에 따른 유출 특성을 분석하였다. 천안천의 휴대교지점과 남원천의 북창교지점에서 강우가 32 hr 동안 50 mm 내렸던 2차 강우시에 시간에 따른 유량과 오염물질의 변화를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

강우 유출수의 영향으로 시간에 따라 변화되는 각 조사지점에서의 유량 변화를 살펴보면, 천안천(휴대교지점)의 경우, 강우 시작 후 현저한 유량의 변화가 관찰되는 시간(강우시작 8 hr 경과 후)이 남원천(북창교지점-강우시작 14 hr 경과 후)에서보다는 약 6 hr 정도 빠르게 나타났다. 첨두유량(peak flow)은 천안천의 경우, 강우시

작 31 hr 후에 나타났고, 남원천은 39 hr 후에 발생하는 것으로 관측되어 8 hr 정도의 차이를 나타냈다.

강우 유출수에 의한 하천에서의 유량의 변화와 침투 유량이 나타나는 시간은 강우량과 강우강도(rainfall intensity) 및 유역 경사(slope) 등에 따라 다르지만, 천안천에서 남원천보다 조기에 강우 유출수에 의한 유량변화 및 침투유량을 볼 수 있는 것은 유역의 토지이용형태가 농경지 등의 자연토양층보다 불투수층(콘크리트, 아스팔트 등)의 도시지역을 다수 포함하고 있기 때문이다(和田安彦, 1989). 즉, 불투수 지표에 내린 강우 유출수가 토양이나 지하수로 흡수되지 않고 하천으로 유입되는 양이 농촌지역보다 도시지역에서 상대적으로 많고, 표면 유출수의 유속이 농경지에서는 식물 및 제방 등에 의해 감소되어질 수 있는 경우가 상대적으로 도시지역보다 농촌지역이 많기 때문에 이와 같은 현상을 보이는 것으로 판단된다.

2차 강우(강우량 50 mm, 강우지속시간 32 hr)에 의해 발생된 총유출량(강우에 의한 영향을 강우 시작 후 70 hr 까지로 가정)은 천안천 휴대교지점에서 3,039 ton (43.4 ton/hr), 남원천 북창교지점에서 2,990 ton (42.7 ton/hr)으로 거의 비슷하였다.

천안천과 남원천에서 강우 전 SS 농도가 각각 35 mg/L, 13 mg/L로 하천 수질환경기준(환경정책기본법 제 10 조)으로 농업용수(IV등급-100 mg/L 이하)에 적합한 농도를 보였으나, 강우시작 33 hr 경과 후에 나타난 침투 SS농도가 강우 전 농도보다 각각 766% (268 mg/L), 2,100% (274 mg/L) 증가된 농도를 보였다. 강우시 평균 SS 농도, EMC는 천안천, 남원천에서 각각 91 mg/L, 132 mg/L로 관측되어 강우 유출수에 의한 하천 및 호소의 생태계 교란과 삼교호 퇴적물에 직접적인 악영향을 미칠 것으로 추정된다.

천안천에서 시간 경과에 따른 SS 농도 변화는 유량이 상승하는 강우시작 36 hr 후까지 불규칙적인 피크를 보였는데, 이는 노면 등에 쌓인 퇴적물이 유실되어 본 조사지점까지 도달되는 시간이 거리에 따라 약간의 차이를 두고 유입되기 때문으로 생각된다.

남원천에서 SS 농도 변화는 유량의 변화 유형과 비슷한 경향을 보였고, 유량의 피크보다는 약간 이른 시간에 SS농도 피크를 볼 수 있으며, 이는 일본(海老瀬潜一, 1989)에서 조사된 내용과 일치한다. 그 외 다른 오염물질(BOD, COD, T-N, T-P)도 SS와 같은 경향을 나타내는데, 이는 유역이 농경지로 이루어진 하천에서 볼 수 있는 전형적인 모습으로(김 등, 2000), 농경지의 표면 유실이 발생되어 본 조사지점으로 유입되기 때문으로 사

료된다.

천안천의 T-N 농도 변화는 강우 유출수에 의한 영향이 미비하고 비강우시 T-N 농도인 18 mg/L보다 강우시 평균 T-N 농도(EMC)가 12 mg/L로 낮아지는 것으로 보아 강우에 의한 유출수가 희석작용 역할을 하는 것으로 생각된다(오 등, 1999). 그러나 강우 유출수에 포함된 질소성분은 강우시 유량이 수십 배 증가되기 때문에 T-N 오염부하량을 증가시키는 요인으로 작용한다. 또한, 강우 시작 40 hr 경과 후에 T-N 농도가 강우 전 농도로 회복되는 것을 볼 수 있는데, 이는 유역의 면(面)에 산재한 비점오염원의 유출, 도시의 우수관과 측구 등에 쌓인 퇴적물의 유출 또는 본 조사지점과 500 m 떨어진 상류부에 위치한 천안시 하수종말처리장에서 강우시 월류(overflow)된 하수가 방류구를 통해 본 조사지점으로 유입되었을 가능성을 생각해 볼 수 있다.

남원천에서 T-N 농도 변화는 강우 전 8 mg/L에서 강우 시작 17 hr 후에 침투 T-N 농도가 16~18 mg/L로 증가되어 천안천과 상반된 결과를 보이며, 이는 농경지에 사용된 질소 비료가 농지와 농작물에 침착되어 있다가 강우에 의해 세척되어 유출수와 함께 하천으로 유입되기 때문으로 생각된다. 따라서 유역에 농경지가 산재한 하천에 비점오염 정화기술 도입시 SS 뿐만 아니라 질소에 대한 처리 시설도 함께 마련되어야 할 것으로 판단된다.

천안천에서 침투 유량과 각 오염물질의 침투 농도 발생 시간은 T-P>BOD>COD>유량>SS>T-N 순이고, 남원천에서는 T-N>BOD>COD>SS = T-P>유량 순으로 유역의 토지이용형태에 따라 유출 특성의 현격한 차이가 관측되었다.

5. 강우시 각 유입 하천에서 발생한 오염부하량 추정

각 하천에서 삼교호로 유입되는 4개 하천(곡교천, 무한천, 삼교천 및 남원천)의 유량 측정지점에서 강우사상별로 유출된 오염부하가 전량 삼교호로 유입된다고 가정하면, 각 강우사상에서 삼교호로 유입된 오염부하량을 Table 5와 같이 나타낼 수 있다. 삼교호로 유입된 오염부하량은 강우시 발생한 총 유출량과 EMC를 곱한 후 4개의 하천에서 발생한 오염부하량을 합하여 계산한 양이다.

강우량 및 강우지속시간이 길었던 2차 강우사상(50 mm, 32 hr)이 1차 강우사상(30.5 mm, 16 hr)보다 SS, BOD, T-N 및 T-P의 오염부하량이 각각 6.1, 2.1, 3.7 및 2.1배 높은 1,238 ton, 151 ton, 116 ton 및 14.3 ton에 해당하였다. 다른 오염물질보다 특히 SS 부하는 강우량에 거의 비례하여 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났다.

Table 5. Pollutant loading discharged into Lake Sap-Kyo for each storm event at July, 1999. (Unit : ton)

Items		SS	BOD	T-N	T-P
Storm events	Gog-Kyo	61	46	15	3.0
	Mu-Han	68	5	3	0.7
	Sap-Kyo	53	14	10	2.4
	Nam-Won	20	7	3	0.6
	Sum	202	72	31	6.7
1st	Gog-Kyo	355	81	46	7.0
	Mu-Han	180	15	9	1.4
	Sap-Kyo	308	21	31	1.7
	Nam-Won	395	34	30	4.2
	Sum	1,238	151	116	14.3

Table 6. Estimated annual point and non-point pollutant loading (1998, total rainfall-1,581 mm).

Items		SS	BOD	T-N	T-P
(Unit : ton/year, (%))					
Pollutant loading					
Point pollutant loading		11,854(38)	4,206(57)	2,586(59)	596(73)
Non-point pollutant loading		19,051(62)	3,017(43)	1,780(41)	224(27)
Total		30,905(100)	7,223(100)	4,366(100)	820(100)

Table 3과 Table 5에 제시된 실측자료를 이용하여 1998년 1년간 삼교호로 유입된 점오염부하량과 비점오염부하량을 추정하여 Table 6에 제시하였다. 점오염부하량은 강우 시작 직전과 비강우시 5회에 걸쳐 조사된 유량과 오염물질 농도자료를 이용하여, 1년(365일)으로 환산 후 4개 하천에서 발생된 오염부하량을 합하여 산정하였으며, SS, BOD, T-N 및 T-P의 점오염부하량은 각각 11,854 ton/year, 4,206 ton/year, 2,586 ton/year 및 596 ton/year로 조사되었다.

비점오염부하량은 본 조사 2회(1차, 2차) 강우시 발생된 부하량(강우시에는 점오염부하와 비점오염부하가 동시에 발생됨) 중 점오염부하량을 뺀 양을 비점오염부하량이라고 가정하여 그때 강우량으로 나누어 단위 강우량(1 mm)에 해당하는 발생량으로 나타낸 후 1998년에 내린 총강우량 1,581 mm을 곱하여 연간 발생된 비점오염부하량으로 계산하였다. 추정 결과 총 오염부하 중 비점오염부하가 차지하는 비율은 SS 62%, BOD 43%, T-N 41%, T-P 27%로 계산되었다.

강우시 하천이나 호소로 유출되는 오염부하량은 평상

시의 수집 배에서 수백 배에 달하는 것으로 알려져 있으며, 강우시 유출부하가 평가되지 않으면 폐쇄성 수역에 대한 오염부하는 과소 평가될 우려가 있다. 강우 유출수에는 강우 자체에 포함되어 있는 성분, 지붕과 식생을 비롯하여 지표면에 존재하고 있는 물질, 토양층에 존재하고 있는 물질, 맑은 날에도 배출되는 점오염원으로부터의 배출물질, 맑은 기간에 수로와 하천 내에 침전·억류되어 있던 물질 등이 유출된다. 또한 유출수에 포함된 오염물질이 저농도라 할지라도 강우시에는 유량이 풍부하므로 오염부하량은 상당히 많아질 가능성이 크다(海老瀨潛一, 1989).

강우시 유출되는 비점오염부하가 수질에 미치는 영향은 하수처리율이 향상되고 경제활동수준이 높아질수록 증가하고 있으며, 토지이용이 고밀도로 이용되고 있는 미국 유역의 경우 총 수질오염부하의 50% 정도가 비점오염원에 의한 것으로 조사되고 있다(Novotny and Chesters, 1981). 수도권 주민의 주상수원인 팔당호 및 상류지역에 대한 수질오염원 조사결과, 1997년 말 기준으로 총 배출오염부하량(BOD 기준) 199.4 m³/day 중 생활하수, 산업폐수, 축산폐수 등 점오염원에서 배출되는 오염부하량은 65.8%인 131 m³/day이고, 비점오염원에서 배출되는 오염부하량은 34.2%인 약 68.4 m³/day로서 비점오염원이 수질오염에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다(환경백서, 1999).

도시지역에 인접한 하천(한강)의 경우, 연간 총오염부하량 중 비점오염부하량의 기여율은 SS의 경우 28%, COD는 15%로 나타났으며(최 등, 1999), 불투수층으로 이루어진 도시지역의 합류식 하수구에서 측정된 비점오염부하의 기여율(연간 강우량 1,373 mm 일 때)은 SS, COD, T-N 및 T-P가 각각 45%, 22%, 12% 및 9%로 조사된 바 있다(오 등, 1999).

본 연구에서도 유입지천에서 발생되어 삼교호로 유입되는 연간 비점오염부하 기여율이 SS, BOD, T-N 및 T-P 각각 61%, 43%, 41% 및 27%로 관측되어 삼교호 수질을 농업용수로 사용할 수 있는 호소수질 환경기준 IV등급 이상으로 유지하기 위해서는 점오염물질 뿐만 아니라 강우시 발생하는 비점오염물질에 대한 관리 대책이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 삼교호 유입지천(곡교천, 무한천, 삼교천, 남원천)에서 강우시 유량 및 수질 관측을 1999년 6월부터 11월까지 실시하여 분석한 것이다. 연구의 최종 목적은

삼교호 수질을 개선시키는 것이며, 그 일환으로 삼교호 유입지천의 오염부하를 저감시키기 위해 강우시 유입되는 비점오염물질의 유출 특성 및 오염부하량을 산정하는데 본 연구의 목적이 있다.

조사 결과, 평상시 삼교호 수량에 가장 많은 영향을 미치는 유입지천은 삼교천이며, 강우시에는 유역면적이 가장 넓은 곡교천이 삼교호 수량에 가장 큰 영향을 미쳤다. 유역의 토지이용형태에 따른 유출 특성에 현격한 차이를 보여 수질 관리를 위한 대책 수립시 고려되어야 할 인자로 도출되었다.

삼교호로 유입되는 연간 총오염부하량 중 강우시 발생하는 비점오염부하량의 기여율은 SS, BOD, T-N 및 T-P 각각 62%, 43%, 41% 및 27%으로 추정되어 삼교호 수질을 개선하는데 유입부하를 감소시키기 위한 관리 기법을 도입할 때 점오염원과 비점오염원에 대한 부하량 저감대책을 함께 수립해야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농어촌진흥공사(현재, 농업기반공사) 농어촌 연구원의 유입하천·호소 퇴적물 조사 및 강우시 수질조사(1999년)로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 건설교통부 금강홍수통제소. 1998. 삼교천 유역 유량 측정조사 보고서 부록. pp. 77-79.
- 국제환경문제연구소. 1998. 환경관계법규 환경정책기본법 제 10조. 동화기술. pp. 2: 13.
- 김진수, 오승영, 김규성, 이종진, 오광영. 2000. 강우시 광역논으로부터의 영양염류의 유출 특성, 한국수자원학회 학술 발표회 논문집. pp. 726-731.
- 농어촌진흥공사. 1997. 농업용수 수질정보 종합관리시스템 개발 1차년도 연구보고서, pp. 27-47.
- 농어촌진흥공사. 1999. 삼교지구 유입하천·호소퇴적물 조사 및 강우시 수질조사 연구보고서. pp. 132-141.
- 방기용, 이준호, 최중수. 2000. 강우시 산업단지에서의 오염물질 유출특성, 대한환경공학회지 22: 341-353.
- 오종민, 박재영. 1999. 불투수지역에서 오염물질의 유출 형태, 환경과학회 '99 봄 학술대회 논문집. pp. 91-96.
- 오종민, 박재영, 장정렬. 2000. 삼교호 유입하천에서 강우시 오염물질의 유출 특성, 한국물환경학회 2000년도 공동 국제 학술 발표회 논문집. pp. 323-326.
- 최규철 등. 1999. 수질오염 공정시험법주해. 동화기술, pp. 159-285.
- 천안기상관측소. 1999. 1999년 7월 기상자료.
- 최지용, 신은성, 이동훈. 1999. 서울 도시지역의 비점오염원 유출 특성에 관한 연구, 한국물환경학회지 15: 315-323.
- 환경부. 1999. 환경백서, pp. 419-420.
- 松浦茂樹, 谷本光司. 1987. 雨天時汚濁流出とその抑制對策に関する研究, 土木研究所報告 174: 1-65.
- 海老瀬潛一. 1989. 河川汚濁のモデル解析. 國松孝男·村岡浩爾 編著, 技報堂出版, pp. 121-124.
- 和田安彦. 1989. 河川汚濁のモデル解析. 國松孝男·村岡浩爾 編著, 技報堂出版, pp. 117-119.
- Ball, J.E., R. Jenks and D. Aubourg. 1998. An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces. *The Science of the Total Environment* 209: 243-254.
- Bedient, P.B., D.A. Harned and W.G. Characklis. 1978. Stormwater analysis and prediction in Houston. *J. Envir. Eng., ASCE*. 104: 1087-1100.
- Bedient, P.B., J.L. Lambert and N.K. Springer. 1980. Stormwater pollution load-runoff relationship. *J. WPCF* 52: 2396-2404.
- Hunter, J.V., T. Sabatino, R. Gomperts and M.J. Mackenzie. 1979. Contribution of urban runoff to hydrocarbon pollution. *J. WPCF* 51: 2129-2038.
- Smullen, J.T., A.L. Shallcross and K.A. Cave. 1999. Updating the U.S. nationwide urban runoff quality data base. *Wat. Sci. Tech.* 39: 9-16.
- Rimer, A.E., J.A. Nissen and D.E. Reynolds. 1978. Characterization and impact of stormwater runoff from various land cover types. *J. WPCF* 50: 252-264.
- Sansalone, J.J. and S.G. Buchberger. 1997. Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water. *J. Envir. Eng.* 123: 134-143.
- Sartor, J.D., G.B. Boyd and F.J. Agardy. 1974. Water pollution aspects of street surface contaminants. *J. WPCF* 46: 458-467.
- Water Quality Management Library Vol. 9. 1995. Nonpoint Pollution and Urban Stormwater Management, p. 57-62. In: Statistical characteristics of diffuse loads-Event Mean Concentrations (V. Novotny, eds). Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster, Pennsylvania.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1983. National Urban Runoff Program, Vol. I. NTIS PB84-185552, U.S. EPA, Washington, D.C.

(Received 1 Nov. 2000, Manuscript accepted 5 Feb. 2001)