

# 화성호 비점오염물질 저감을 위한 유입하천의 오염부하량 유달을 산정

## Study on delivery pollutant ratio assessment of inflow stream for non-point pollutants decrease of Hwaseong lake

우수혜\*, 최이송\*\*, 최준혁\*\*\*, 오종민\*\*\*\*

Su Hye Woo, I Song Choi, Jun Hyog Choi, Jong Min Oh

### 요 지

우리나라는 산업화 이후 많은 인공 저수지를 건설하였으며, 이후 부영양화 등의 수질 악화로 하천 및 호소의 오염은 심각한 상황에 놓여있다. 이에 대해 점오염원에 대한 대책을 마련하였지만, 하천 및 호소의 오염저감에 한계를 드러내었으며 그 원인을 비점오염원에서 오염물질이 대량으로 하천 및 호소에 유입되기 때문인 것으로 추정하고 있다. 이에 본 연구에서는 화성호의 주요 유입하천(남양천, 자안천, 어은천) 유역의 오염원 조사와 유입하천의 강우시기별 수질 및 유량조사를 통하여 오염부하량의 산정 및 유입하천의 오염부하량 유달율을 산정함으로써, 비점오염원에 대한 보다 명확한 대책 마련을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다. 강우시 수질 및 유량조사 결과, 유입하천의 유량은 강우 사상과 매우 큰 관계를 지니며, 강우 강도 및 강우 지속 시간 등의 변화에도 많은 유출 특성의 변화가 일어나는 것으로 조사되었다. 월별 유달율 산정 결과 홍수기에 가장 높았으며, 이는 강우의 집중으로 인한 비점오염물질에 의한 영향으로 판단된다. 강우시의 유달율이 높게 나타난 것은 강우시에는 점 및 비점오염원 모두에서 비점오염 형태로의 유출 가능성이 커 이에 대한 집중적인 관리가 필요할 것으로 판단되며, 유달율 산정으로 하천 수계 특성에 적합한 소유역의 유달율 적용을 통해 점 및 비점오염원에 대한 효율적인 관리를 위한 자료로 이용함으로써 하천 및 수계 관리를 위해 보다 실효성 있는 관리 방안을 마련할 수 있을 것이다.

**핵심용어 : 유달율, 오염부하량, 비점오염원**

### 1. 서 론

경기도 화성시에 위치한 화성호는 담수호로서 해안에서 유역경계까지의 거리가 짧아 유량이 풍부한 하천은 없으며 수리상 빈약한 남양천, 자안천, 어은천 등 3개의 준용하천과 농경배수로 또는 세천에 의해 화성호로 유입되고 있다. 유역내에는 남양동과 우정읍 등 6개의 면이 있으며 생활오수와 산업폐수 및 축산폐수에 의해 영향을 미치고 있다. 최근 화성시의 급격한 도시개발로 인해 화성호 주요 유입하천 유역의 오염원 증가와 비점오염원이 점차 증가되는 추세에 있다. 이중 남양동과 우정읍은 유역 내에서 집중적인 오염원의 형태를 띠고 있으며 수계의 수질에 영향을 미치고 있어 하수종말처리시설을 준공 중에 있다. 하지만 화성시 도시개발로 인한 토지사용의 변화와 더불어 급격한 불투수층의 증가로 오염물질 유출에 대한 비점오염원의 비율이 높아지는 반면 그에 대한 적절한 처리대책은 아직 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 화성호의 주요 유입하천(남양천, 자안천, 어은천) 유역의 오염원 조사와 유입하천의 강우시기별 수질 및 유량조사를 통하여 오염부하량의 산정 및 유입하천의 오염부하량 유달율을 산정함으로써, 비점오염원에 대한 보다 명확한 대책 마련을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

\* 비회원경희대학교 환경응용과학과 석사과정E-mail : bluetg@hannmail.net

\*\* 정회원경희대학교 환경연구센터 선임연구원

\*\*\* 비회원농업기반공사 농어촌연구원

\*\*\*\* 정회원경희대학교 환경응용화학부 교수

## 2. 재료 및 방법

본 연구에서는 평상시와 강우시로 나누어 수질 및 유량조사를 하였다. 조사지점은 화성호의 주요 유입하천인 남양천, 자안천, 어은천의 하류에서 실시하였다. 강우시 현장조사는 7월 8 ~ 10일에 걸쳐 실시하였으며, 선행무강우일수는 5일이고 총 강우량 42.5mm로 약 12 ~ 15회 동안 조사하였다. 평상시와 강우시 조사에서 시료채취 후 실험실로 가져와 수질공정시험법에 준하여 SS, BOD, COD, T-N, T-P를 실험하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 화성호 주요 유입하천 오염부하량 산정

#### 3.1.1 평상시 오염물질 부하량 조사

조사결과 유기오염물질의 기준항목인 BOD는 평균 3.2 mg/L로 비교적 낮은 값을 보였다. 영양염류는 하천수질기준항목에는 없지만, 하천수가 화성호로 유입되기 때문에 이를 조사하는 것은 장래 호소수질을 위해서 중요한 판단자료로 활용할 수 있다. T-N의 농도는 5.5 ~ 9.2 mg/L로 나타났으며, 남양천은 5.566 mg/L, 자안천은 6.970 mg/L, 어은천은 9.159 mg/L로 나타났다. T-P의 농도는 0.2 ~ 0.5 mg/L로 나타났으며, 남양천은 0.298 mg/L, 자안천은 0.334 mg/L, 어은천은 0.432 mg/L로 나타났다. 3개 하천의 질소와 인 농도는 전체적으로 높고 남양천과 어은천에는 인구증가와 더불어 생활하수 유입 증가 등으로 인해 화성호에 영향을 미칠 것으로 예상되므로 환경기초시설의 영양염류 처리가 중요할 것으로 판단된다.

조사하천의 오염물질 농도와 부하량을 표 1.에 나타내었다.

표 1. 화성호 유입하천의 평상시 오염물질 농도(mg/L)와 부하량(kg/day)

농도(mg/L)	남양천	자안천	어은천	부하량(kg/day)	남양천	자안천	어은천
BOD	6.3	2.9	3.9	BOD	32	96	45
T-N	15.7	7.0	9.2	T-N	802	230	107
T-P	1.3	0.3	0.4	T-P	64.7	11.0	5.0

#### 3.1.2 강우시 오염물질 부하량 조사

1회 강우사상에 따른총오염부하량은 EMC 농도를 구한 후 총유출유량을 곱하고 총강우지속시간을 곱하여 산정하였다. 점오염원량은 강우 시작 전 평상시에 측정된 값을 기초로 산정되었으며, 총오염부하량에서 점오염원값을 빼준 값을 비점오염원 값으로 산정하였다. 산정된 각 지점별 총 오염부하량 및 점오염부하량과 비점오염부하량 값의 계산 결과는 표 2.와 같다.

표 2. 강우시 동안의 오염부하량

하천	부하량	BOD	T-N	T-P
남양천	총오염부하량 (kg)	1019 (100%)	1011(100%)	157.4 (100%)
	비점오염부하량 (kg)	863 (84.7%)	695 (68.7%)	140.4 (89.2%)
	점오염부하량 (kg)	156 (15.3)	317 (31.3%)	16.9 (10.8%)
자안천	총오염부하량 (kg)	147 (100%)	249 (100%)	28.0 (100%)
	비점오염부하량 (kg)	18 (11.9%)	27 (10.6%)	13.1 (46.7%)
	점오염부하량 (kg)	130 (88.1%)	222 (89.4%)	14.9 (53.3%)
어은천	총오염부하량 (kg)	378 (100%)	260 (100%)	65.7 (100%)
	비점오염부하량 (kg)	317 (83.9%)	115 (44.3%)	58.9 (89.6%)
	점오염부하량 (kg)	61 (16.1%)	145 (55.7%)	6.8 (10.4%)

남양천의 경우 강우시 동안 비점오염부하량이 전체의 80% 이상을 차지하였다. 이는 남양동의 개발로 인한 불투수층의 증가가 비점오염부하량에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 이러한 비점오염부하량에 대한 저감방안을 위한 대책을 마련해야 할 것이다. 자안천의 경우 BOD와 T-N, T-P가 차지하는 비점오염부하량이 비교적 낮았다. 이는 자안천의 긴 체류시간과 수풀로 우거진 특성 때문에 N, P 부하량이 낮은 것으로 판단 할 수 있다. 하지만 자안천 유역은 대부분이 논과 밭 등의 농경지로 구성되어 있어 이를 고려하여 비점오염원에 대한 저감대책을 마련해야 할 것이다. 어은천의 경우는 T-N을 제외하고는 비점오염원이 차지하는 부하량이 매우 높았다. 어은천 유역도 개발이 이루어지고 있는 실정이라 남양천과 마찬가지로 불투수층의 증가로 인한 비점오염부하량 증가가 우려되고 있는 바 이에 대한 적절한 대책을 마련해야 할 것이다.

### 3.1.3 연간 총오염부하량 산정

연간 점오염원 및 비점오염원량은 1차 및 2차 강우시 측정자료를 근거로 2005년, 1년 동안의 부하량을 산정하였다. 비점오염부하량은 화성시의 강우사상(1998-2003년)을 기준으로 작성되었으며, 비점오염부하량의 산정은 강우시 오염부하량의 총량에 대한 강우량의 비를 이용하여 산정하였다. 표 3.은 화성호 유입하천의 연간 오염부하량을 예측 산정한 것이다.

표 3. 화성호 유입하천의 연간 오염부하량

하천	부하량	BOD	T-N	T-P
남양천	연간 오염총량 (kg/yr)	69,194 (100%)	101,971 (100%)	7,507 (100%)
	연간 비점오염총량 (kg/yr)	27,046 (39.1%)	16,670 (16.3%)	2,940 (39.2%)
	연간 점오염총량 (kg/yr)	42,148 (60.9%)	85,301 (83.7%)	4,567 (60.8%)
자안천	연간 오염총량 (kg/yr)	48,104 (100%)	63,135 (100%)	5,362 (100%)
	연간 비점오염총량 (kg/yr)	13,169 (27.4%)	3,263 (5.2%)	1,338 (25.%)
	연간 점오염총량 (kg/yr)	34,935 (72.6%)	59,872 (94.8%)	4,024 (75.%)
어은천	연간 오염총량 (kg/yr)	51,683 (100%)	43,232 (100%)	4,167 (100%)
	연간 비점오염총량 (kg/yr)	35,292 (68.3%)	4,241 (9.8%)	2,328 (55.9%)
	연간 점오염총량 (kg/yr)	16,391 (31.7%)	38,991 (90.2%)	1,839 (44.1%)

연간 오염부하량을 예측 산정한 결과 강우시 오염부하량 산정과 마찬가지로 유기물이나 영양염류에 대한 비점오염원이 차지하는 부하량이 높은 것으로 나타났다. 따라서, 연간 오염부하량의 예측을 바탕으로 하여 각 하천의 상황에 적합한 비점오염물질 저감대책을 마련해야 할 것이다.

## 3.2 화성호 주요 유입하천 오염물질 유달을 산정

### 3.2.1 화성호 주요 유입하천 오염물질 월별 유달을 산정

오염물질 발생 부하량과 화성호 유입하천의 유입 부하량을 산정한 결과를 바탕으로 화성호 유입하천의 오염물질 월별 유달을 산정하였다. 산정방법은 화성호 유입 오염물질 부하량(kg/mon)을 유역 내 오염물질 발생 부하량(kg/mon)으로 나눔으로써 산정하였으며 표 4.에 나타내었다.

표 4. 화성호 주요 유입하천 오염물질 월별 유달을 산정

	하천	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
BOD	전체	0.015	0.015	0.015	0.018	0.019	0.023	0.034	0.037	0.026	0.016	0.015	0.015
	남양천	0.014	0.014	0.015	0.018	0.019	0.024	0.036	0.040	0.027	0.016	0.015	0.014
	자안천	0.013	0.013	0.013	0.014	0.015	0.017	0.021	0.023	0.018	0.013	0.013	0.013
	어은천	0.012	0.013	0.013	0.015	0.017	0.020	0.030	0.034	0.023	0.014	0.013	0.012
T-N	전체	0.049	0.049	0.050	0.052	0.053	0.056	0.064	0.067	0.058	0.051	0.050	0.049
	남양천	0.066	0.066	0.066	0.070	0.071	0.076	0.089	0.094	0.079	0.068	0.066	0.065
	자안천	0.035	0.035	0.035	0.036	0.036	0.037	0.039	0.040	0.037	0.035	0.035	0.035
	어은천	0.034	0.034	0.034	0.036	0.037	0.039	0.046	0.049	0.041	0.035	0.034	0.034

T-P	전체	0.026	0.026	0.027	0.033	0.036	0.044	0.066	0.075	0.049	0.030	0.027	0.026
	남양천	0.043	0.043	0.043	0.046	0.048	0.052	0.064	0.069	0.055	0.045	0.043	0.042
	자안천	0.011	0.011	0.012	0.015	0.016	0.020	0.031	0.035	0.023	0.013	0.012	0.011
	어은천	0.021	0.022	0.023	0.032	0.036	0.049	0.082	0.095	0.057	0.027	0.023	0.021

화성호로 유입되는 유입하천의 오염물질에 대한 월별 유달율을 산정한 결과 남양천의 유달율이 가장 높았고 어은천, 자안천의 순이었다. 또한 대체적으로 건기보다는 우기 때에 최고 0.095로 더 높은 것으로 나타났다. 우기 때에 유달율이 높은 이유는 강우 집중시 점오염물질 뿐만아니라 비점오염물질의 유입이 단시간에 집중되어 유입되고, 강우로 인한 유속 및 유량 증가로 인해 오염물질의 양은 많고 체류시간은 감소하여 자정작용에 필요한 시간이 부족하게 되어 유달율이 높은 것으로 판단된다. 유달율이 높으며, 오염물질이 자정작용을 충분히 거치지 못하고 하천 하류로 흘러와 화성호로 유입되므로 이러한 사항을 고려하여 하천에 적합한 대책마련이 필요할 것이다.

### 3.2.2 화성호 주요 유입하천 오염물질 연간 유달율 산정

화성호 유입하천의 연간 오염물질 발생부하량과 화성호로 유입되는 오염물질의 연간부하량을 구한 후 화성호 유입하천의 오염물질에 대한 연간 유달율을 산정하였다. 산정방법은 화성호 유입 오염물질 부하량(kg/yr)를 유역 내 오염물질 발생부하량(kg/yr)으로 나눔으로써 산정하였으며 표 5.와 그림 1.에 나타내었다.

표 5. 화성호 주요 유입하천 오염물질 연간 유달율 산정

	BOD	T-N	T-P
전체	0.021	0.054	0.039
남양천	0.021	0.073	0.049
자안천	0.015	0.036	0.017
어은천	0.018	0.038	0.041

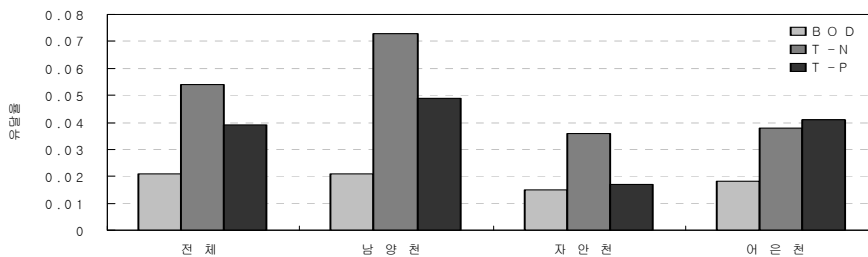


그림 1. 화성호 주요 유입하천 오염물질 연간 유달율

산정 결과 화성호 유역 내 전체 연간 유달율은 BOD, T-N, T-P가 각각 0.021, 0.054, 0.039로 나타났다. BOD 유달율은 남양천에서 0.021, 자안천에서 0.015, 어은천에서 0.018로 나타났으며, T-N은 남양천이 0.073으로 비교적 높았으며, 자안천과 어은천이 각각 0.036, 0.038로 나타났다. T-P 역시 남양천이 0.049로 세 하천 중 가장 높았으며, 어은천이 0.041, 자안천이 0.017로 나타나 연간 T-P의 유달율은 자안천이 가장 낮은 것을 알 수 있었다. 이를 통하여 자안천의 자정능력이 가장 뛰어난 것으로 판단하였으며, 남양천의 경우 자정능력을 높일 수 있는 방안 또는 오염물질을 인위적으로 처리함으로써 하천 내로 유입되는 오염물질의 농도를 저감시킬 수 있는 방안이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.2.3 유달율에 대한 기여율의 산정

화성호 유입하천의 부하량과 오염물질 발생부하량을 이용하여 유달율을 산정한 후 점오염원과 비점오염원에 대한 기여율을 산정하였다. 산정방법은 각각에 대한 점오염부하량과 비점오염부하량을 구한 후 각각에

대한 유달율을 산정한 후에 전체 유달율에 대한 점오염과 비점오염에 대한 기여율을 산정하였으며, 표 6.과 그림 1.에 나타내었다.

표 6. 유달율에 대한 기여율 산정

	BOD		T-N		T-P	
	점	비점	점	비점	점	비점
전체	65.4	34.6	90.0	10.0	61.0	39.0
남양천	61.4	38.6	88.0	12.0	83.6	16.4
자안천	78.3	21.7	96.2	3.8	57.3	42.7
어은천	63.3	36.7	87.5	12.5	43.5	56.5

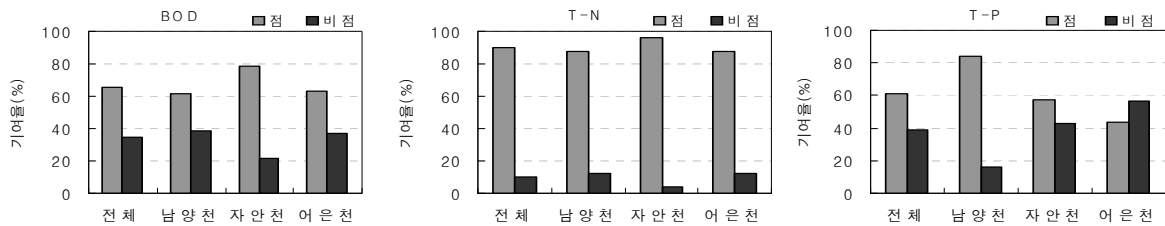


그림 2. 유달율에 대한 기여율

기여율 산정 결과 전체적으로 점오염물질의 유달율이 전체 유달율에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. BOD의 경우 전체 하천에서 기여율이 1~2배 사이로 점오염물질에 대한 영향이 큰 것으로 나타났으며, T-N의 경우에는 점오염물질에 대한 영향이 월등히 높은 것을 알 수 있었다. 반면, T-P에 대한 기여율은 남양천의 점오염물질이 차지하는 비율이 월등히 높았으며, 자안천은 큰 차이를 보이지 않았으며, 어은천은 오히려 비점오염물질에 대한 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

화성호 유입하천의 오염물질에 대한 오염부하량과 유달율 그리고 유달율에 대한 기여율을 산정하였다. 오염원이 집중되어 있는 남양천과 어은천에서는 대체적으로 높은 값을 나타내었으며, 강우가 집중되는 시기에는 비점오염물질에 대한 유달율과 기여율이 평소에 비해 두 배 이상 높게 나타났다. 이는 남양천과 어은천은 오염원이 집중되어 있으나 하천이 직선화되어 있고, 자정작용을 위한 조건이 미비하기 때문으로 판단되며, 이들 하천에 대한 자정능력을 증가시킬 수 있는 대책 마련이 필요할 것이다. 자안천은 주변에 농경지와 산업단지가 근접해 있지만, 하폭이 넓고 유속이 느려 하천 내에 수초가 많이 자생하고 있어 자정작용은 다른 하천에 비해 잘 이루어지고 있는 것으로 판단되며, 산업단지에서 유출되는 오염물질의 처리와 농경지의 비료 등에 대한 처리 및 관리가 철저히 이루어진다면 화성호 오염에 미치는 자안천의 영향을 감소시킬 수 있을 것이다. 점오염물질에 대한 처리는 기존의 하수처리장과 현재 준공 중인 하수처리장의 용량으로 안정적으로 처리할 수 있을 것으로 판단되며, 비점오염물질에 대한 처리는 하천 특성에 맞게 적절히 고려해야 할 것으로 판단된다. 특히, 강우시 오염물질의 유출은 점오염원과 비점오염원 모두에서 비점오염의 형태로 유출될 수 있으므로 이러한 유출에 대한 집중적인 관리를 행한다면 화성호의 안정적인 수질 확보는 충분히 가능할 것이다. 따라서, 이러한 유달율 산정을 통해 하천 수계 특성에 적합한 소유역의 유달율 적용을 통해 점 및 비점오염원에 대한 효율적인 관리를 위한 자료로 이용함으로써 하천 및 수계 관리를 위해 보다 실효성 있는 관리 방안을 마련할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

농업기반공사 농어촌연구원, 2004, 화성지구 간척지개발사업 담수호 수질관리조사보고서  
경기도, 2002, 화성호 수질개선대책