

강우사상이 도시하천의 수질오염에 미치는 영향 분석

Effect of Rainfall Event on Water Quality in An Urban River Basin

서순석*, 송창준**, 김수전***, 김덕길****, 김형수*****

Soon Seok Seo, Chang June Song, Soo Jun Kim, Duck Gil Kim, Hung Soo Kim

요 지

도시하천에서 실제적으로 비점오염원 유입에 의한 수질오염은 분석이 용이하지 않기 때문에 본 연구에서는 강우사상에 따른 도시하천의 수질변화에 대한 연구를 통해 수질오염을 분석하고자 하였다.

본 연구는 도시하천에서의 강우사상이 수질오염에 막대한 영향을 끼친다는 기본적인 개념을 바탕으로 강우사상에 따른 수질변화를 분석하는 것이 목적이다. 대상지역은 이미 도시화가 많이 진행되어 도시하천의 특성을 가진 인천에서 시작해 김포에서 끝나는 굴포천 유역을 대상지역으로 설정하였으며 XP-SWMM을 이용하여 1994년~2009년의 유출량을 모의하고 교차상관분석(Cross Correlation)을 통해 수질과 유량의 상관성을 분석한 결과 6개월 간격으로 강한 음의 상관성을 갖는 것을 알 수 있었다. 또한, 최근 우리나라에서도 적용하기 위해 검토 중인 수질오염총량제에서 적용하는 TMDL(Total Maximum Daily Load)의 기본개념을 이용하여 오염원의 총량을 산정하였다.

핵심용어 : 수질변화, 굴포천, COD, TSS, TP

1. 서론

우리나라는 현재까지도 지속적인 도시화로 인하여 도시하천에 해당하는 유역의 수가 증가하였고, 도시하천의 증가로 인하여 비점오염원 유입이 증가하게 되었다. 본 연구에서는 비점오염원의 특성을 분석하기 위하여 강우사상에 따른 월 평균 유출량과 월 단위 수질 자료를 분석하고 최종적으로 월별 수질오염총량을 산정하였다. 이와 관련된 연구로 양우석(1994)은 안성천 유역을 대상으로 QUAL2E를 이용하여 유량변화에 따른 수질 오염도를 분석하였고 홍준범(2005)은 굴포천 유역을 대상으로 굴포천의 방수로를 개방하기 전·후에 대한 유량을 분석하여 비점오염원을 모의하였으며, 김동필(2006)은 설마천 시범유역을 대상으로 유량과 수질인자의 상관관계를 분석하였다. 하지만 이러한 연구는 수질의 농도에 따른 분석을 실시한 것이기 때문에 유량에 영향을 많이 받으므로 수질을 오염시키는 오염원 자체에 대한 총량을 설명하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 수질 오염정도를 판단하던 농도(mg/L, PPM)개념이 아닌 오염원의 총량(kg)적인 개념을 적용하기 위해 현재 환경부에서 적용 검토 중인 수질오염총량제의 TMDL(Total Maximum Daily Load)의 기본개념을 이용하였다. TMDL(Total Mean Daily Load)이란 비점오염원 관리를 위해 미국 환경청(US EPA)에서 1999년에 제시한 것으로 하루 동안에 발생된 오염원의 총량을 통하여 오염정도를 판단하는 제도적 장치이다. 기본적인 개념은 수질을 총량(kg)적인 개념으로 수질을 오염시키는 오염원의 총량을 산정하는 개념이다(국립환경연구원, 2004). 본 연구에서

* 비회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 석사과정 · E-mail : sss840729@nate.com
** 비회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 석사과정 · E-mail : genius0315@nate.com
*** 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정 · E-mail : sccjunny@empal.com
**** 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정 · E-mail : k1004dk@hanmail.net
***** 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수 · E-mail : sookim@inha.ac.kr

는 도시하천의 홍수를 유발하는 강우에 대한 비점오염원 증가량 산정을 위하여 적용하였다.

2. 대상유역과 유출량 산정

2.1 대상유역

표 1. 굴포천의 제원

| 하천정보 | | 기점 및 종점정보(계획빈도) | | | 하천제원 | |
|------|------|-----------------|-------------------|-----------------|------|----------------------|
| 하천명 | 굴포천 | 기점 및 종점위치 | 기점 | 종점 | 하천경사 | 1/5000 ~1/15000 |
| | | | 인천광역시 남동구 간석동 철마산 | 경기도 김포군 고촌면 신곡리 | | |
| 권역 | 한강 | 계획빈도 | 100년 | | 유로연장 | 20.73km |
| 수계 | 한강수계 | | | | 유역면적 | 133.8km ² |
| 하천등급 | 지방2급 | | | | | |

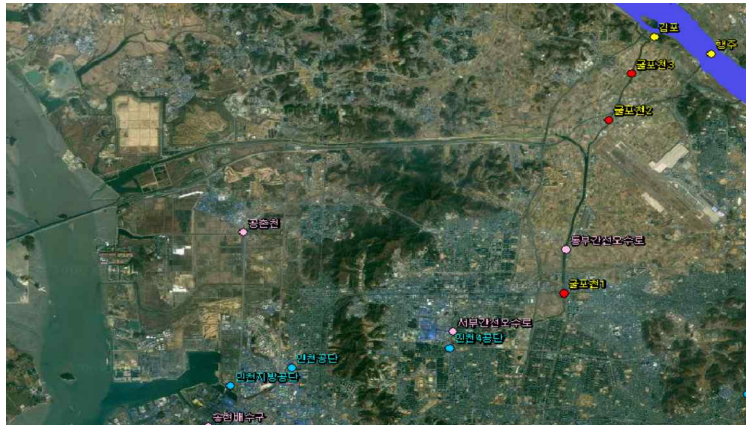


그림 1. 굴포천 위성지도

대상유역은 굴포천 유역인근의 거주지역이 가장 많은 중류지점을 선정하였다. 굴포천은 <표 1>과 같은 제원을 가지고 있으며, <그림 1>과 같이 상류부터 하류로 내려가는 굴포천 1지점에 위치한 수질관측소에서 1994년 1월부터 2009년 12월의 월 단위 수질자료를 수집하였다. 또한 유출량을 산정하기 위하여 동일기간에 해당하는 인천 강우관측소의 강우량 자료를 이용하였다.

2.2 유출량 산정

본 연구에서 굴포천의 1994년 1월부터 2009년 12월 동안의 유출량을 산정하기 위하여 도시하천의 유출모의에 최적인 모형인 XP-SWMM을 이용하여 유출량을 산정하였다.

아래 <그림 2>는 굴포천을 대상으로 XP-SWMM을 이용하여 1994년~2009년까지의 일강우량을 이용하여 유출량을 모의해 본 결과 중에 2005년~2009년의 유출량 결과를 나타낸 그림이다.

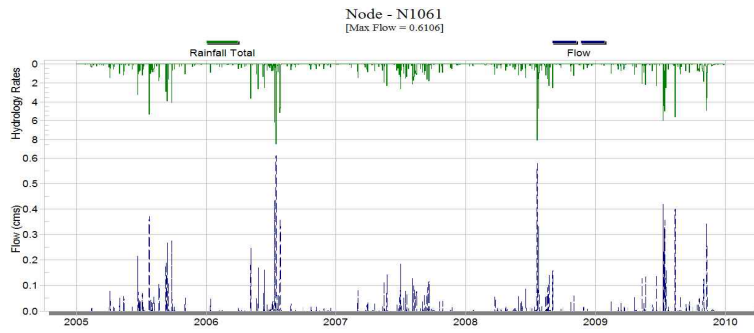


그림 2. 2005~2009년 강우 및 유출량

3. 월별 수질변화분석(1994년~2009년)

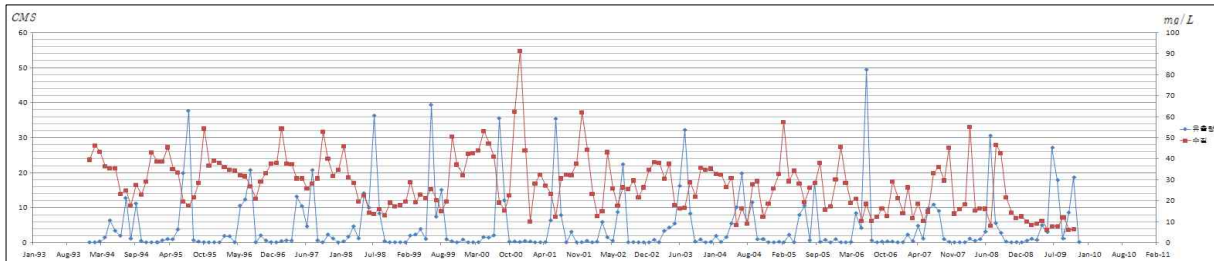


그림 3. 1994~2009년 발생한 유출량에 따른 COD의 농도변화

그림 3.은 1994년 1월부터 2009년 12월까지의 굴포천 지역의 유출량과 COD자료의 관계를 나타내며, 여기서 유량이 증가함에 따라 COD의 농도가 희석되는 경향을 볼 수 있다. 이러한 경향을 확인하기 위하여 두 개의 변수간의 상관성을 분석할 수 있는 교차상관분석(Cross Correlation) 실시하기 위해 통계모형인 SPSS를 이용하여 <그림 4>와 <그림 5> 같은 결과를 나타내었다.

| Lag | Cross Corr. | Stand. Err. | -1 | -.75 | -.5 | -.25 | 0 | .25 | .5 | .75 | 1 |
|-----|-------------|-------------|----|------|-----|------|---|-----|----|-----|-----|
| -6 | .145 | .074 | | | | | | | | | *** |
| -5 | .056 | .073 | | | | | | | | | * |
| -4 | .129 | .073 | | | | | | | | | *** |
| -3 | .013 | .073 | | | | | | | | | . |
| -2 | -.075 | .073 | | | | | | | | | ** |
| -1 | -.261 | .073 | | | | | | | | | ** |
| 0 | -.296 | .072 | | | | | | | | | *** |
| 1 | -.216 | .073 | | | | | | | | | ** |
| 2 | -.110 | .073 | | | | | | | | | ** |
| 3 | .085 | .073 | | | | | | | | | . |
| 4 | .132 | .073 | | | | | | | | | . |
| 5 | .150 | .073 | | | | | | | | | *** |
| 6 | .122 | .074 | | | | | | | | | ** |

그림 4. SPSS를 이용한 CCF 분석(a)

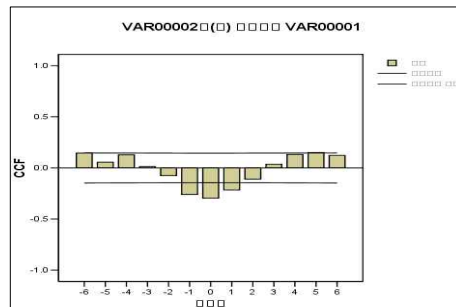


그림 5. SPSS를 이용한 CCF 분석(b)

<그림 4>와 <그림 5>는 월별 COD자료와 유출량 자료를 분석한 결과로써 1월부터 12월을 Lag.-6~Lag.6으로 봤을 때 수질과 유량은 Lag. 0 즉, 약 6월쯤에서 가장 강한 음의 상관성을 갖으며 6개월 간격의 양의 상관성을 갖는다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 6월 정도에는 유출량과 COD의 관계가 반비례 관계이고, 대략적으로 1월~4월, 9월~12월에 유출량과 COD는 비례 관계인 것을 알 수 있다.

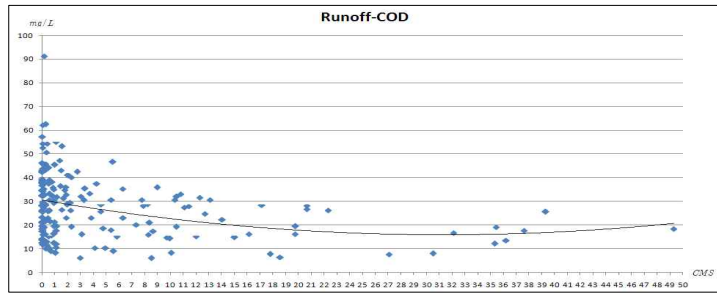


그림 6. 유출량과 COD

<그림 6>은 이러한 경향을 회귀분석 하여 나타낸 결과로써 유량과 수질이 반비례 관계인 것을 설명한다. 하지만 이러한 관계는 농도(mg/L)개념으로써 유량에 따라 측정된 COD의 수치가 다르기 때문에 비점오염원 유입으로 인한 영향을 설명하기에는 부적합하다. 도시하천에 비점오염원이 유입되었는지를 판단하기 위해서는 기존의 오염정도를 판단하는 기준으로 제시된 농도(mg/L)개념이 아닌 총량(kg)적인 개념을 적용해야 된다고 판단되어 TMDL(Total Mean Daily Load)의 기본 개념을 적용하였다.

$$1 \text{ mg/L} = 1000 \text{ mg/m}^3 = 1 \text{ g/m}^3 = 0.001 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{식 1})$$

$$1 \text{ cms} = 1 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$1 \text{ day} = 86400 \text{ sec}$$

$$0.001 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m}^3/\text{sec} \times 86400 \text{ sec} = 86.4 \text{ kg/day}$$

본 연구에서는 TMDL의 개념을 적용하기 위해서 <식 1>과 같이 하루 동안에 유입되는 단위오염량에 대한 값을 산정하고 1994년부터 2009년까지의 월별 총 유출량과 COD 자료를 곱한 값에 단위오염량을 곱하여 COD 총량을 산정하였다.

4. 월별 총량 오염원산정

<그림 8>은 1994년~2004년의 월 평균 유출량 자료와 도시하천에서는 발생하는 수질오염원의 총량을 나타낸 것이다. <그림 8>와 같이 강우사상이 상대적으로 많은 5월~10월에 오염원의 총량이 상대적으로 많이 발생하는 것을 볼 수 있는데 이러한 경향은 도시하천의 비점오염원 유입특성을 나타낸 것이라고 판단된다.

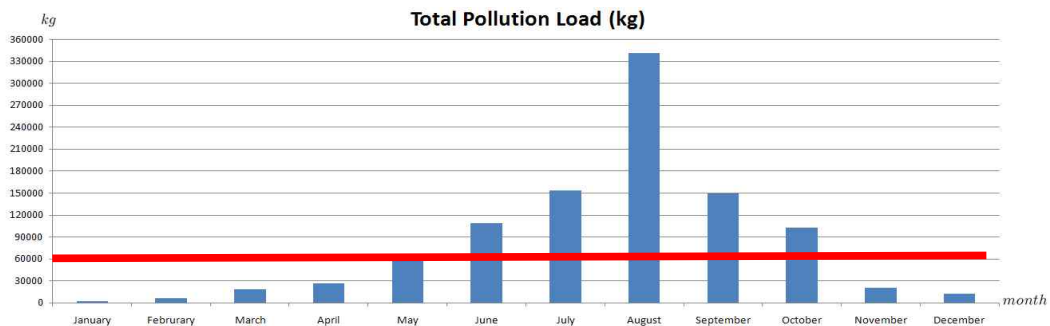


그림 8. 월별 수질 오염원 총량(1994년~2009년)

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 유출량에 의한 COD변화의 상관성과 강우사상의 계절적인 특성에 의한 COD 총량의 변화를 분석해 보았다. <그림 8>에서는 도시하천에서 강우가 증가하는 5월~10월에 COD의 총량이 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이러한 경향은 <그림 9>에서 설명하고 있는 First-Flush 현상이 중요한 영향을 미치는 것으로 판단된다.

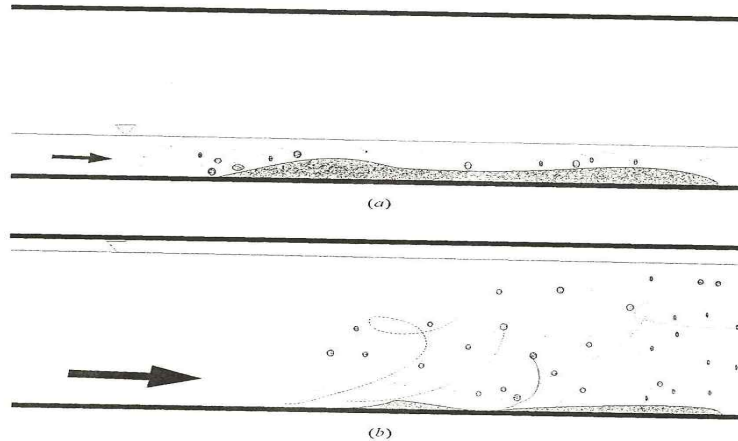


그림 9. 관거 내의 First-Flush 현상(Barry J. Adams. 2000)

First-Flush란 강우가 없는 기간 동안 관거 내에 퇴적되어진 오염물질들이 강우에 의해 유출량이 증가되면서 쓸려내려감에 따라 오염물질들이 하천 내에 유입되는 현상을 말하는데 이러한 현상은 도시하천에서 비점오염원이 유입되는 주된 원인이 된다. 이러한 연구가 지속적으로 진행되어 진다면 앞으로 실행되어질 수질오염총량제에 관련하여 가이드라인을 제시하고 비점오염원 관리 및 처리에 큰 기여를 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김동필, 김성훈(2007). 2006년 설마천 시험유역의 유량과 수질인자의 상관관계 분석, 한국수자원학회 2007년도 학술발표회 논문집, pp. 865-869.
2. 홍준범(2005). XP-SWMM을 이용한 도시 하천에서의 홍수소통능력평가, 석사학위논문, 인하대학교.
3. 정영훈(2004). 갈수시 하천수질과 필요유량 관계 연구, 한국수자원학회 2004년도 학술발표회, pp. 748-752
4. 최한규(2002). 유량변동에 따른 소양강유역 수질의 통계학적 해석. 대한토목학회 논문집: Vol.22 No.2-B. pp. 117~124.
5. Adams, B.J., Papa, F.(2000). Urban Stormwater Management Planning With Analytical Probabilistic Models. pp.8~10.
6. 강태호(1999). 도시하천에서의 강우, 유출 및 수질예측 (II)-추계학적 모의강우를 이용한 유출 및 수질 예측. 대한토목학회 논문집 : Vol.19 No.II-1. pp. 35~45.
7. 양우석(1994). 유량 변화에 따른 수질 오염도 분석, 한국수자원학회 1994년도 수공학연구발표회 논문집: pp.147-152, 1994년 2월.
8. 국립환경연구원(2004) 미국에서의 영양물질 TMDL