

소하천 유역에서의 강우-오염부하량 상관관계 분석

Analysis of occurred flow change on dry section in Anyangcheon

김만식*·이동률**·김영철***

Kim, Man Sik·Lee, Dong Ryul·Kim, Young Chul

요 지

어떤 강우사상에 대해서 특정유역으로부터의 오염물질 유출특성은 첨두농도, 산술 평균농도, 첨두 오염물질 부하량, 평균 오염물질 부하량 또는 총 유출 부하량 등으로 나타낼 수 있다(이재수 등, 2001). 그러나, 대부분의 경우 강우시 발생하는 총 부하량이 개개의 농도 또는 첨두 부하량보다 더욱 중요하다. 그 이유는 유출사상이 비교적 짧고, 강우 유출수가 유입되는 수체, 특히 저수지나 댐 내에서는 어느 정도의 혼합 현상이 수반되므로 저수지내의 오염물질 농도는 강우로 인한 유출수(저수지로 유입되는)내 개개의 농도변화보다는 결국 총 부하량의 반응이기 때문이다.

특히, 저수지나 호수에서 질소와 인과 같은 영양염류에 대해서 총 부하량은 가장 중요한 수질영향 및 결정 변수일 수밖에 없다. 이와 같은 이유로 강우사상에 대한 평균농도 또는 유량가중 평균농도(EMC, event mean concentration)는 비점원 오염물질의 유출을 평가하는데 가장 적절한 인자로 인식되고 있으며, 가장 널리 이용되고 있다 (EPA, 1983).

본 연구에서 소하천 유역을 대상으로 유량과 수질농도를 실측하여 대상하천에 대한 수문자료를 구축하고, 오염부하량의 모형을 통해 대상유역에서의 강우사상별 오염부하량을 모의하였는데 모형의 보정은 실측된 유량자료를 활용하였으며, 실측된 수질농도자료와 유량자료로 산정한 오염부하량 자료를 통해 검증하였다. 검증된 모형에 대하여 100개의 강우사상에 대한 무작위 모의를 수행하였고, 결과자료를 활용하여 대상하천에 대한 강우-오염부하량의 상관관계식을 도출하였다.

핵심용어 : 소하천유역, 오염부하량, 상관관계

1. 연구의 개요

어떤 강우사상에 대해서 특정유역으로부터의 오염물질 유출특성은 첨두농도, 산술 평균농도, 첨두 오염물질 부하량, 평균 오염물질 부하량 또는 총 유출 부하량 등으로 나타낼 수 있다(이재수 등, 2001). 그러나, 대부분의 경우 강우시 발생하는 총 부하량이 개개의 농도 또는 첨두 부하량보다 더욱 중요하다. 그 이유는 유출사상이 비교적 짧고, 강우 유출수가 유입되는 수체, 특히 저수지나 댐 내에서는 어느 정도의 혼합 현상이 수반되므로 저수지내의 오염물질 농도는 강우로 인한 유출수(저수지로 유입되는)내 개개의 농도변화보다는 결국 총 부하량의 반응이기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 강우사상에 따른 유역내의 오염부하량을 측정하고, 강우량과 오염부하량의 상관관계를 규명하기 위하여 유역발생 오염부하량 모의를 통해 다양한 강우사상에 대한 발생 오염부하량을 산정하였다. 이를 통해 상관관계식을 유도하고, 타 유역에의 적용을 통해 관계식을 검증하였다.

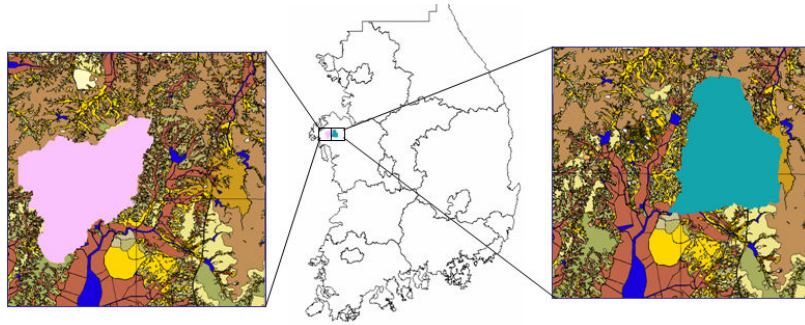
* 신성대학 도시건설과 조교수·kmspj@shinsung.ac.kr

** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원·dryl@kict.re.kr

*** 한서대학교 환경공학과 조교수·ykim@hanseo.ac.kr

2. 대상유역

본 연구의 대상유역은 충남 서산시에 위치한 소하천유역으로 도당천 유역과 청지천 유역이다. 도당천은 서산시 해미면과 운산면 일부에 위치하는 금강서해권역 지방 2급하천으로 유로연장 17.1km, 유역면적 120.4km²으로 이루어져 있다. 은봉산을 발원지로하여 상암저수지-대교천-홍천천-동암천, 변양천, 해미천, 신장천과 합류하고 서산 A,B 지구 중 간월호로 유입된다. 청지천은 서산시와 음암면 일부를 걸쳐 흐르는 금강서해권역에 위치한 지방 2급하천으로 유로연장 11.0km, 유역면적 42.23km²로 이루어져 있다. 발원지인 성왕산을 시점으로 잠홍저수지, 잠홍천, 석림천, 대남천을 합류하여 간월호로 유입된다.



<그림 1> 대상유역도

3. 공간정보 구축

3.1 GIS 기본도 구축

3.1.1 DEM(Digital Elevation Model)

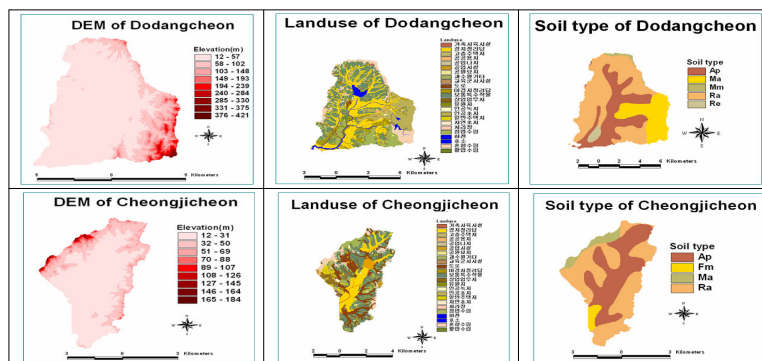
본 연구에서 사용된 그림 2의 DEM 자료는 Resolution 30m의 정보를 갖고 있으며, 대상유역인 도당천과 청지천 유역은 각각 12~421m, 12~184m의 고도값을 갖는다. 대상유역의 DEM 자료는 TOPAZ의 알고리즘을 적용하여 대상유역의 최종 출구점을 산정하고, 유역 각 지점으로부터 유역출구까지의 거리 및 배수면적을 산정하였다<그림 3>

3.1.2 토지이용도

토지이용도는 유역의 토지이용특성을 분류하여 유역분포현황을 보여주는 자료로서 본 연구에서는 유출곡선지수(CN)와 SWAT 매개변수 산정을 위한 자료로 활용된다. 본 연구에서는 국립지리원에서 작성한 1:25,000 토지이용도를 이용하였다<그림 2>.

3.1.3 토양도

토양도는 토양 특성에 따라 토양형을 분류한 공간자료로 유출곡선지수(CN)를 산정하는데 활용되며 1:250,000 개략토양도를 이용하였다<그림 2>.



<그림 2> 대상유역에 대한 GIS 기본도

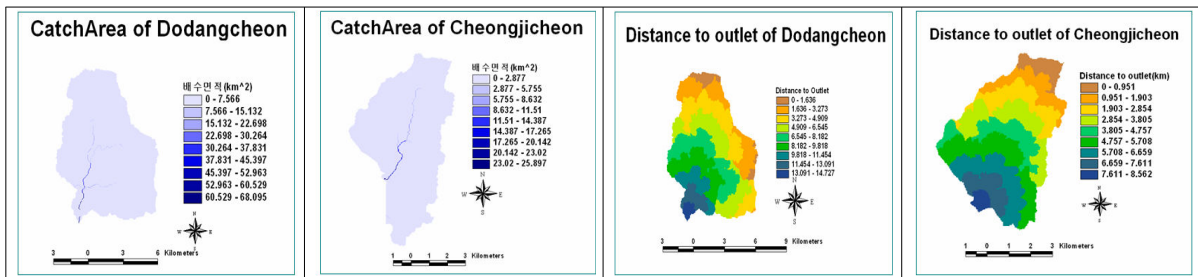
3.2 공간 수문정보 구축

3.2.1 배수면적

배수면적은 그림 2의 DEM자료 분석을 통해 산정된 유역내 최종 출구점까지의 각 격자별 흐름유하면적을 의미하며, 이를 그림 3의 배수면적도와 같이 표현할 수 있다. 배수면적은 유역 유출량을 산정하기 위한 도달시간, 지체시간 등을 계산하기 위한 매개변수로 활용된다.

3.2.2 하천길이를

하천길이는 각 격자에서 최종출구점까지의 하천유하길이를 나타내는 자료로 그림 3과 같다. 하천길이는 배수면적과 함께 유역내 도달시간, 지체시간 등의 매개변수 산정에 활용되어 침투유량 등을 산정하게 된다.

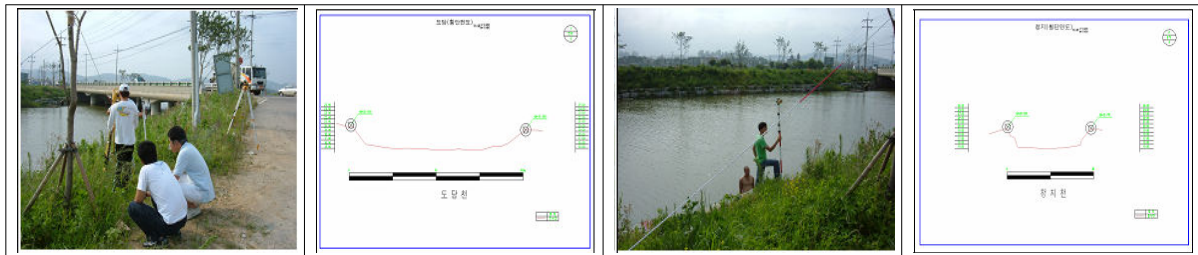


<그림 3> 대상유역에 대한 공간 수문정보도

4. 유량측정자료 구축

4.1 횡단측량자료

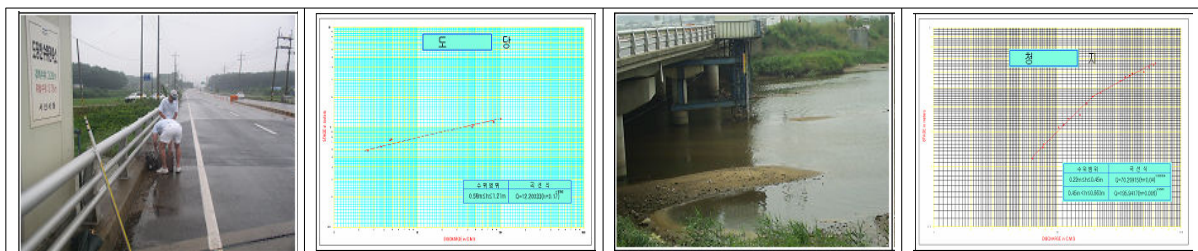
유량 자료 구축을 위한 유량측정은 대상유역인 도당천, 청지천의 주요 지점에서 각각 18회 실시하였으며, 유량측정을 위한 선행과정으로 이루어진 하천횡단측량을 수행하였다. 하천횡단측량을 통해 산정된 하천 횡단면도는 그림 4와 같다.



<그림 4> 대상유역 횡단측량성과

4.2 유량측정

유량측정은 2005년 7월부터 8월까지의 호우기동안 총 36에 걸쳐 도당천과 청지천에서 수행하였으며, 측정결과를 통해 그림 5와 같은 수위-유량관계식을 도출하였다.

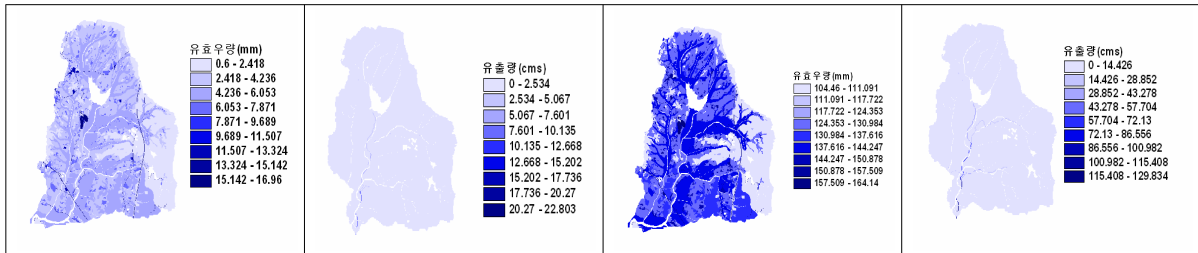


<그림 5> 대상유역 유량측량성과

5. 연구결과

5.1 공간 유출량 산정

본 연구에서는 기 구축된 토지이용도와 토양도 등의 공간자료를 활용하여 유출곡선지수(CN)을 산정하고, 미국 자연보전국(NRCS: National Resources Conservation Service)가 개발한 총우량과 유효우량과의 관계식에 따라 산정하였다. 산정된 강우사상에 유효우량과 침투유량은 그림 6과 같은데 적용한 4개의 강우사상 중 2005년 7월 9일과 11일의 강우사상에 대하여만 제시하였다.

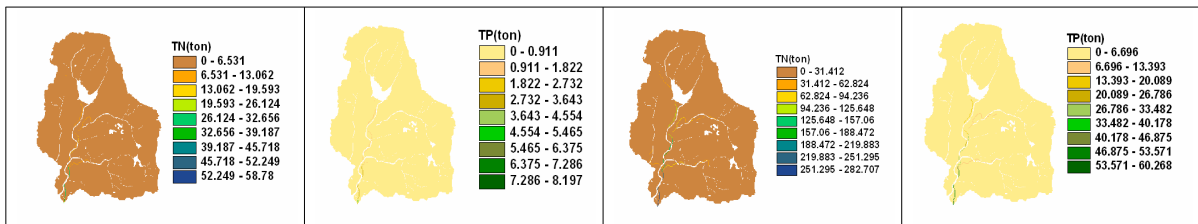


<그림 6> 적용 강우사상에 대한 유효우량 및 침투유출량

5.2 공간 오염부하량 산정

오염원은 일반적으로 토사에 흡착되어 이동하거나 물에 용해되어 이동하는 것으로 볼 수 있기 때문에 오염부하량 산정을 위해서는 강우시 발생하는 토사발생량의 산정이 무엇보다 중요하다.

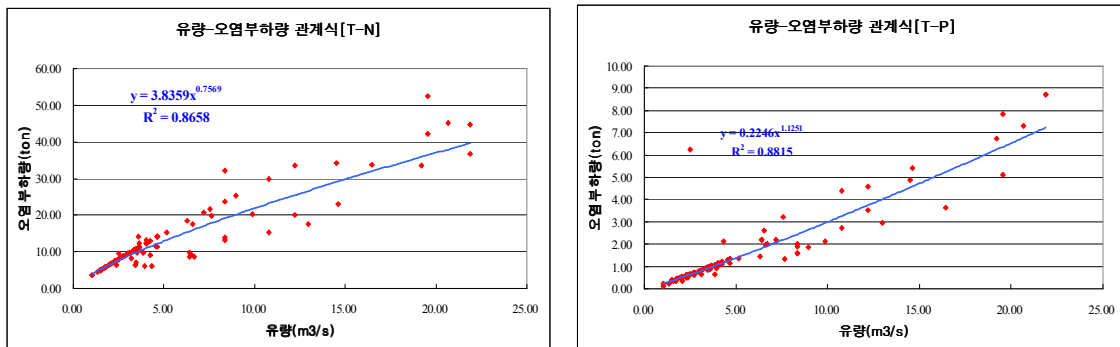
그림 7은 강우시 발생하는 총 질소 및 총 인의 현황을 분포형으로 표현한 것으로, 공간 오염부하량 산정으로 표현하였다.



<그림 7> 적용 강우사상에 대한 총 질소부하량 및 총 인부하량

5.3 유량-오염부하량 관계식

4개의 강우사상을 통해 보정된 모형을 이용하여 대상유역에 대하여 다양한 강우사상에 대한 오염부하를 모의하고, 이러한 과정을 통해 유출량과 오염부하량의 상관관계식을 도출하였다. 그림 8은 총질소(T-N)과 총인(T-P)에 대한 유량과의 상관관계식을 나타낸 것으로서 이러한 관계식 도출을 위해 총 100회의 강우사상에 대한 유출 및 오염부하량 모의를 수행하였다.



<그림 8> 유량-오염부하량 관계식

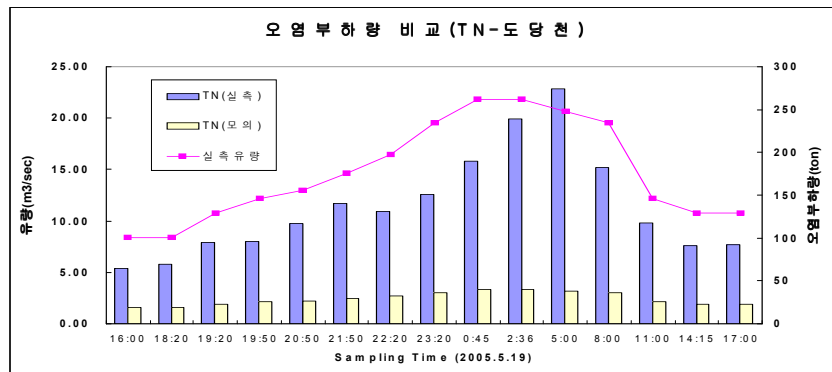
5.4 자료 비교를 통한 오염부하량 평가

그림 9에서와 같이 산정된 유량-오염부하량관계식을 이용하여 대상유역에서 발생한 강우사상에 대한 실측오염부하량을 평가해보았다. 이러한 과정은 본 연구에서 도출한 유량-오염부하량 상관관계의 평가기준이 될 수도 있으며, 현장에서 측정한 수질자료에 대한 평가도 될 수 있다.

표 1은 도당천 유역에서 2005년 5월 19일에 측정한 수질자료에 대한 오염부하량과 모형모의를 통해 산정된 오염부하량 자료를 나타낸 것으로 지면 여유상 일부만을 제시하였다. 그림 9는 시간대별 오염부하량 발생현황을 도시한 것이다

표 1. 자료비교를 통한 오염부하량 평가(도당천 - 2005. 5. 19)

Date.	No.	Sample Time	Height (m)	실측유량 (m³/s)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TN(ton)		TP(ton)	
							실측	모의	실측	모의
05/5/19	6	21:50	0.86	14.62	9.63	0.35	140.78	29.22	5.07	4.59
	7	22:20	0.88	16.45	7.98	0.34	131.30	31.94	5.56	5.24
	8	23:20	0.91	19.54	7.71	0.39	150.58	36.39	7.52	6.37
	9	0:45	0.93	21.87	8.66	0.49	189.41	39.62	10.82	7.22
	10	2:36	0.93	21.87	10.93	1.04	239.00	39.62	22.83	7.22
	11	5:00	0.92	20.68	13.26	1.11	274.19	37.98	23.00	6.78
	12	8:00	0.91	19.54	9.31	0.68	182.00	36.39	13.27	6.37
	13	11:00	0.83	12.20	9.68	0.77	118.06	25.48	9.45	3.75



<그림 9> 오염부하량 비교 그래프

6. 결과분석 및 고찰

오염 부하량의 가장 정확한 산정방법은 실측이다. 그러나 실측의 경우 선행강우의 여부, 수체의 정체현상, 하천유지유량의 확보현황 등 수변환경에 따라 수질측정에 있어 많은 변수가 작용하며, 동일지점, 동일시기의 유량과 수질의 동시 측정이 기본적으로 이루어져야 하는 어려움이 있기 때문에 현장자료의 측정에는 해결해야 할 많은 문제점들이 수반된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 의사결정자의 여러 가지 환경 판단을 통해 지속적으로 현장 실측자료를 구축하고, 실측자료를 통해 모형을 보정하여 대상유역에 최적화된 모형을 구축하여 다양한 강우사상에 대한 오염부하량을 모의함으로써 유량-오염부하량 상관관계식을 도출하여야 한다. 도출된 소하천유역별 유량-오염부하량 상관관계식은 수자원관리를 위한 지표로서 활용될 수 있으며, 최적의 값을 도출하기 위해서는 지속적인 모니터링과 모델링이 동시에 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-5-2 등)에 의해 수행되었습니다.