

## 경안천 유역의 도시화에 따른 수문학적 특성 변화 연구

김정진<sup>1</sup>, 김태동<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 환경기술연구소, <sup>2</sup>안동대학교 환경공학과

### Characterizing Hydrological Process Driven by Urbanization at the Kyoung-An Basin

JungJin Kim<sup>1</sup>, TaeDong Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Environmental Technology, SeoulTech

<sup>2</sup>Department of Environmental Engineering, Andong National University

**요약** 도시화와 관련된 토지이용 변화는 경안천 유역과 같은 도시-농촌지역의 유출과 비점오염발생에 영향을 미친다. 본 연구는 경안천 유역의 잠재적 수문학적 특성과 수질 영향을 분석하기 위해 L-THIA 모형을 사용하여 유출 흐름과 BOD, TN, TP, SS와 같은 비점오염물질을 모의하고, 1985년, 1990년, 2000년, 2007년의 토지이용 자료를 이용해 도시화에 따른 유출량과 비점오염 발생량의 변화를 분석하였다. 연구 결과, 지속적인 도시화에 따른 토지이용 변화는 유출량 증가와 잠재적 수질오염의 위험을 높이는 데 기여할 수 있음을 보여주었다. 1985년 토지피복도를 이용해 모의된 유출량과 비점오염 발생량을 2007년 토지피복도를 이용하여 모의한 결과와 비교 하였을 때 유출수는 49.5% 증가하였고, BOD, TN, TP 및 SS등의 비점오염물질은 2007년에 각각 154%, 135%, 139% 및 91% 증가하는 것으로 나타났다.

**Abstract** Land use changes associated with urbanization affect local hydrology and nonpoint source (NPS) pollution at the rural-urban interface, such as in the Kyung-An basin, Republic of Korea. Streamflow and NPS pollutants, such as BOD, TN, TP, and SS, were simulated using the Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) model to characterize hydrological processes and water quality potential in this basin. Information on land use changes in 1985, 1990, 2000, and 2007 was incorporated to evaluate how urbanization can be parameterized in the L-THIA modeling framework. The study shows that land use changes associated with urbanization can contribute to flow augmentation and pollution risks over time. As a result, simulated runoff gradually increased by 49.5%, while NPS pollutants, characterized by BOD, TN, TP, and SS, increased by 154%, 135%, 139%, and 91%, respectively, in 2007 compared to 1985.

**Keywords** : Urbanization, Water Quality, Watershed Management, Nonpoint Source Pollution, Hydrology, L-THIA

본 논문은 안동대학교 기본연구지원사업에 의하여 연구 되었음.

\*Corresponding Author : TaeDong Kim(Andong National Univ.)

email: tdkim@andong.ac.kr

Received September 20, 2023

Accepted December 8, 2023

Revised October 20, 2023

Published December 31, 2023

## 1. 서론

우리나라는 1960년대 산업화 이후 급격한 인구증가와 경제발전에 따른 도시화로 유역의 수문학적 특성변화에 큰 영향을 주고 있다. 특히, 2005년까지의 도시화율의 경우 약 89.5%로 분석되어 경제협력개발기구(OECD) 국가 중 가장 높은 도시화 성장비율을 보여주고 있으며 [1], 현재에도 지속적으로 도시화율이 증가하고 있다. 도시화는 토양의 불투수층을 증가시켜 기저유량 감소, 최대유량 빈도증가, 돌발홍수, 하천 황폐화, 토양침식 등 수환경에 부정적 영향들을 초래한다[2]. 하지만, 도시화에 따른 토지이용 변화는 불가피하므로 도시지역의 수문학적 특성을 이해하고 비점오염원을 처리하기 위한 수자원 관리에 큰 관심을 가질 필요가 있다. 특히, 우리나라의 수질 오염원 중 큰 비중을 차지하는 비점오염원의 경우는 도시지역뿐만 아니라 농촌지역에서도 가장 큰 관심을 가지고 있는 오염물질이다. 비점오염원은 강우량에 따라 배출량이 변화될 뿐만 아니라 공간적, 계절적 편차도 뚜렷하며 유출 지점을 명확하게 예측하기 어려운 특징을 가지고 있다[3]. 또한, 유역에서 하천으로 배출되는 비점오염원의 경우 부영양화와 같은 2차 환경문제를 야기하여 수질오염과 생태기능 저하에 원인이 된다. 이러한 비점오염원의 부정적 영향을 완화하기 위하여 우리나라는 미국 환경보호청(US EPA)에서 개발한 환경 프로그램을 도입하여 주요 하천 유역의 비점오염원의 배출 특성과 잠재적 부하량을 예측 분석하고 있다[4]. 국내에서 유량, 하천수질 및 유역의 오염물질 예측 분석을 위해서는 HSPF(Hydrologic Simulation Fortran Program)와 SWAT(Soil Water Assceement Tool) 모형들이 주로 사용되고 있다[5,6]. 하지만, SWAT나 HSPF 경우 모형을 실행하기 위해 많은 양의 입력 데이터와 모의 시간, 모형 보정을 위한 전문적 지식들이 필요하다는 단점들을 가지고 있다. 하지만 Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) 모형은 실행이 간단하고 비점오염원 모의를 쉽게 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. L-THIA 모형은 지리정보 시스템 (GIS: Geographic information system) 데이터를 입력자료로 사용하여 토지변화에 따른 수문학적 영향을 평가할 수 있으며, 많은 연구자들이 L-THIA 모형을 이용해 비점오염원을 모의하거나 [7-9], 도시화로 인한 수문 환경 변화를 분석하거나 [10], 다양한 유역 관리 시나리오를 조사하고[11,12], 직접 유출을 시뮬레이션 하는데 널리 사용되고 있다 [13]. 또한 [7] 연구는 CN (Curve Number) 값을 최적

화하고 한국 중분류 토지이용과 4대강 주요 유역에 대한 관측된 EMC(Event Mean Concentration) 값을 사용하여 비점오염원 예측을 위한 L-THIA의 신뢰성을 제시하였다. 하지만 L-THIA 모형을 이용해 토지이용 변화에 따른 유량과 수질오염의 시/공간적 변화 분석에 관한 연구는 부족할 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 수정된 L-THIA 모형을 이용하여 경안천 유역의 1985년, 1990년, 2000년, 2007년에 대한 토지피복도를 이용하여 비점오염 발생의 공간 분포 및 유출 특성을 평가하는 데 있다. 본 연구결과는 향후 도시화에 따른 수질오염 발생 부하량을 개선하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 경안천 유역을 선정하였다(Fig. 1). 경안천 유역은 한강의 가장 상류에 위치하고 있으며 유역면적 558km<sup>2</sup>, 주요 하천 길이는 50km를 형성하고 있다. 이 유역의 주요 도시지역은 용인, 광주, 수원이며 이들 도시들은 인구증가로 지속적인 도시화가 발생하고 있는 지역입니다. 한편, 경안천은 하천 중심으로 발달된 농업활동으로 인해 높은 총인 (TP), 총질소 (TN)가 지속적으로 방류수와 비점오염원으로 유출되어 유역의 하류에 위치한 팔달호의 부영양화에 큰 영향을 미치고 있다. 또한, 강우시 하천 주위의 병목현상으로 인해 하천 바닥과 보에 버려진 부유물질이 팔달호로 지속적으로 유입되는 문제점들을 보여주고 있다[14]. 따라서, 특히 하천 주변의 환경 문제는 도시화로 더불어 이 지역의 주요 관심사 중 하나입니다.

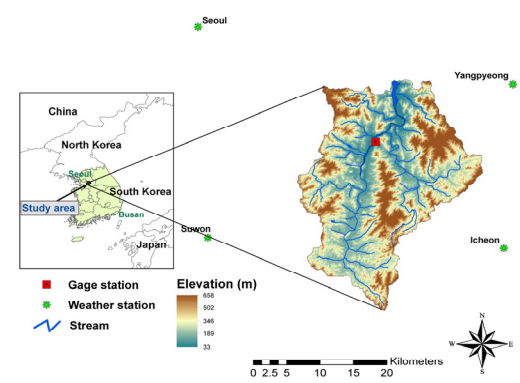


Fig. 1. Study area.

### 2.2 L-THIA 구축

우리나라의 23개의 중분류 토지피복도와 토양도를 이용하여 경안천 유역의 유출량과 비점오염원 유출 특성을 모의 할 수 있게 수정된 L-THIA 모형을 이용하였다[7]. 수정된 L-THIA 모형은 최적화된 CN 값과 중분류 토지피복도를 적용하여 연간 비점오염원 부하와 직접 유출량을 모의할 수 있는 모형이다. 비점오염원 모의는 L-THIA를 통해 모의된 직접 유출량과 [15]에서 적용된 EMC값을 이용해 예측할 수 있다. 지역 비점오염 모니터링 정보를 기반으로 해당 토지피복도에 따른 적용되어지는 EMC 값은 [7] 연구와 동일하게 우리나라의 실측 비점오염 자료를 이용하였지만, 목초지, 기타 초지, 불모지 등 일부 토지이용 유형에 대한 값은 데이터가 충분하지 않아 참고문헌에서 제공하는 값들을 이용하였고 자세한 결과 값과 적용방법은 [7] 연구에서 확인 할 수 있다. 유출수 및 비점오염물질 모의를 위한 입력자료는 기상청의 일강수량, 유출량 관측자료, 물관리정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 수문 기상자료를 이용하였다. 토지이용 데이터는 환경부에서 제공하는 1985년, 1990년, 2000년, 2007년의 토지피복도 데이터를[16] 이용하여 토지변화에 따른 유출과 수질변화의 영향을 분석하였다 (Fig. 2).

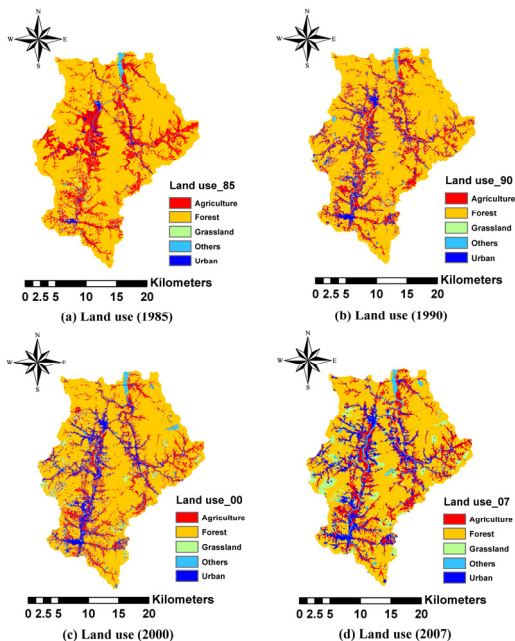


Fig. 2. Land use from 1985, 1990, 2000, and 2007.

### 2.3 CN 값 최적화 및 L-THIA 모형 적용

수정된 L-THIA 적용 방법은 SCE-UA 알고리즘과 연결된 L-THIA 모델을 사용하여 월별 직접 유출수를 보정하고 검증한 다음, 수정된 L-THIA 모형을 사용하여 연간 유출 및 비점오염원을 모의하였다. SCE-UA 알고리즘은 수학적 최적화 문제를 해결하기 위한 메타휴리스틱 최적화 알고리즘을 이용해 복잡한 함수 및 시스템의 최적화 문제를 해결하는 데 사용되는 방법으로 애리조나 대학교에서 이 알고리즘을 이용해 수문모형의 유출수를 자동 보정하기 위한 최적화 도구를 개발해 관측된 하천 흐름을 기반으로 연구지역의 각 토지피복도에 대한 최적의 CN 값을 찾아준다[17]. 초기 CN 값은 토지피복도 및 토양도 데이터를 중첩하여 얻을 수 있다. 이후, 21년(1995~2015년) 동안의 월별 직접 유출량과 2007년 토지이용도 데이터를 SCE-UA 알고리즘에 적용하여 CN 값을 보정하였다. 보정된 CN 값은 모델 검증에 위해 15년(1980~1994년) 동안의 월별 직접 유출자료와 1985년 토지피복도를 이용하여 모형의 성능을 평가하였다.

검보정이 끝난 최적화된 CN 값은 수정된 L-THIA 모형을 적용하여 강수량 데이터(1981~2012년)와 도시화율 변화가 뚜렷하게 구분되는 1985년, 1990년, 2000년, 2007년의 토지피복도 데이터를 사용하여 연평균 유출량과 비점오염원 발생량을 모의해 경안천 유역이 토지이용 변화에 따라 강우 유출수와 비점오염원 발생량이 어떻게 영향을 미치는지 분석하였다 (Fig. 3).

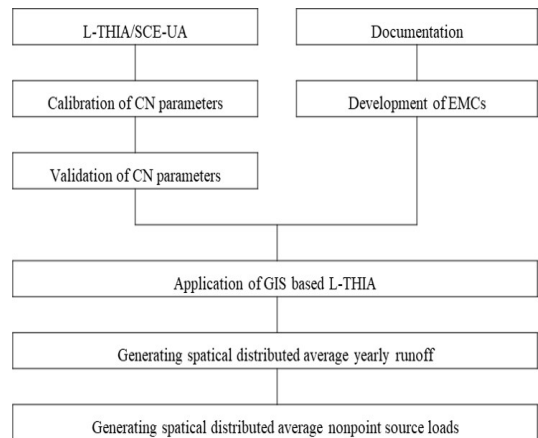


Fig 3. Flow chart of typical L-THIA application [7].

### 3. 결과

#### 3.1 검/보정 및 최적화된 CN값

경안천 유역에서 1980년부터 2015년까지의 연구기간 동안의 유출량에 대한 보정 및 검증 결과는 Table 1에서 보여주고 있다. 보정결과 R<sup>2</sup> [18]와 NS[19]는 모두 0.96으로 나타났으며, 검증 결과 R<sup>2</sup> 와 NS는 각각 0.96와 0.90으로 분석되어 [20]가 제안한 모형의 성능분석 자료에 따라 수정된 L-THIA 모형은 신뢰할 수 있는 모의 결과를 보여주었다. 따라서, 보정된 CN 값은 경안천 유역의 수문학적 특성을 잘 보여주는 것으로 판단된다.

Table 1. Calibration and validation results of CN values.

Performance criteria	Calibration (1995-2015)	Validation (1980-1997)
R <sup>2</sup>	0.96	0.94
NS	0.96	0.90

Table 2. Optimized CN values for the L-THIA model.

	Hydrologic soil group			
	A	B	C	D
Residential area	90 (2.2%)	93 (1.1%)	95 (1.1%)	96 (1.0%)
Other urban area	94 (1.1%)	95 (-)	96 (-)	97 (-)
Paddy field	69 (20.3%)	79 (-8.9%)	86 (4.7%)	89 (4.5%)
Upland	69 (-)	83 (-)	91 (1.1%)	94 (-)
Other crops area	69 (-)	83 (-)	91 (1.1%)	94 (1.1%)
Deciduous forest	34 (-11.8%)	62 (3.2%)	71 (2.8%)	77 (3.9%)
Coniferous forest	45 (-)	71 (-)	82 (-)	89 (-)
Mixed forest	43 (2.3%)	68 (2.9%)	79 (3.8%)	85 (2.4%)
Pasture	53 (-)	74 (-)	85 (-)	91 (1.1%)
Open space	48 (-2.1%)	66 (-)	74 (-1.4%)	78 (-1.3%)
Water	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)
5-day rainfall (mm)	Dormant season	< 23.6		AMC I
		23.6 - 26.3		AMC II
		26.3 <		AMC III
	Growing season	< 0.6		AMC I
		0.6 - 0.7		AMC II
		0.7 <		AMC III

(-) Percent of CN value change comparing with [7] study.

SCE-UA 알고리즘을 사용하여 최적화된 CN 값은 Table 2에서 확인 할 수 있다. [7]의 선행 연구와 비교하였을 때, 도시지역과 논지의 토양도 A 지점의 경우 증가된 CN 값들을 보여주었고, 산림지역의 경우는 토양도 A에서 11.76% 감소된 결과를 보여주었다. 그리고, 경안천 유역의 주요 토지인 임야의 경우, 선행 연구와 동일한 CN값이 사용되었고, 낙엽활엽수림, 침엽수림, 혼효림 등 지정된 산림 유형에 따라 최적화된 CN 값들이 적용되었다.

#### 3.2 경안천 유역의 토지이용변화

1985년부터 2007년까지 도시지역, 초지, 기타는 각각 581.75%, 89.84%, 159.27% 증가하였다. 농업지역과 산림의 경우 1985년에 비해 2007년에 각각 26.06%, 13.43% 감소한 것으로 나타났다 (Table 3). 1985년부터 2007년까지의 토지이용 변화에서 주목할 만한 점은 도심지역 증가에 따라 농경지가 크게 감소된 것인데 이는 도시화에 따른 불투수층 증가로 경안천 유역의 평균 CN 값이 1985년에 비해 2007년도에 9.54% 증가하였다.

Table 3. Land use classification, average CN, and yearly runoff in the study area over the years, 1985, 1990, 2000, and 2007.

		1985	1990	2000	2007	Changes between 1985 and 2007
Land use	Urban (km <sup>2</sup> )	9.9 (1.8%)	30.7 (5.5%)	39.3 (7.0%)	67.3 (12.0%)	57.4 (10.2%)
	Agric ulture (km <sup>2</sup> )	120.2 (21.4%)	97.9 (17.5%)	94.4 (16.8%)	88.9 (15.8%)	-31.3 (-5.59%)
	Forest (km <sup>2</sup> )	405.2 (72.2%)	387.6 (69.1%)	361.6 (64.4%)	350.8 (62.5%)	-54.4 (-9.7%)
	Grassl and (km <sup>2</sup> )	18.4 (3.3%)	32.5 (5.8%)	46.1 (8.2%)	34.9 (6.2%)	15.5 (3.0%)
	Others (km <sup>2</sup> )	7.4 (1.3%)	12.4 (2.2%)	19.7 (3.5%)	19.3 (3.4%)	11.8 (2.1%)
	Average CN	52.2	53.2	54.4	57.1	6.4 (9.5%)
Mean annual rainfall (mm)	1369.06				-	

### 3.3 유출량 및 비점오염원 분석결과

수정된 L-THIA 모형을 이용한 연간 유출량 분석 결과 1985년 132.75mm에서 2000년 152.98mm를 거쳐 2007년 198.50mm로 약 49.53% 유출량이 증가한 것으로 나타났다 (Table 4). 또한, 1985년도 부터 지속적인 토지이용 변화에 따른 BOD, TN, TP, SS에 대한 비점오염원 발생량 분석결과 BOD, TN, TP, SS 발생량이 점차적으로 증가하였고, 2007년에는 비점오염원 발생량이 각각 BOD 154.05%, TN 135.12%, TP 138.76%, TP 90.88% 증가 되었다 (Table 4). Fig. 4는 1984년 토지이용에서 1990년, 2000년, 2007년 토지이용의 변화에 따라 모의된 BOD, SS, TP, TN 발생량의 공간적 발생량 분포변화를 보여주고 있다. 그 결과, 도시지역이 발달되는 지역 위주로 비점오염원 발생량이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 도심 지역 개발로 인해 불투수층이 증가되어 높은 유출량을 야기하고 이에 따른 높은 비점오염원 배출에 기여한 것으로 보인다. 따라서 잠재적 도시개발 시 불투수층의 증가에 따른 유출량 및 비점오염원 발생량을 저감하거나 개선 시킬 수 있는 관리계획을 신중하게 고려하여야 한다.

Table 4. Simulation results of nonpoint source load from L-THIA model.

	Land use over the years				Changes between 1985 and 2007
	1985	1990	2000	2007	
Mean annual runoff (mm)	132.8	142.0	152.9	198.5	65.8 (49.5%)
BOD (x10 <sup>3</sup> kg)	777	1,298	1,528	1,976	1,198 (154%)
TN (x10 <sup>3</sup> kg)	170	284	329	401	230 (135%)
TP (x10 <sup>3</sup> kg)	26	41	48	63	36 (139%)
SS (x10 <sup>3</sup> kg)	4,306	5,307	6,193	8,220	3,913 (91%)

### 4. 결론

본 연구는 경안천 유역의 도시화에 따른 토지이용 변화가 지역 강우 유출 및 비점오염원 발생량에 미치는 영향을 평가하기 위해 경안천 유역에 최적화된 CN값과 수정된 L-THIA 모형을 이용하였다. 보정기간(1995-2015년)과 검증기간(1980~1997년)을 통한 CN값을 최적화시키고, 관측된 EMC 값을 수정된 L-THIA에 적용하여 비점오염원과 유출량을 모의하였다. 모형의 검/보정 결과 보정기간과 검증기간 동안 각각  $R^2=0.96$ ,  $NS=0.96$ ,  $R^2=0.94$ ,  $NS=0.90$ 으로 경안천 유역의 유출 특성을 잘 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 검/보정된 L-THIA모형을 이용해 토지이용 변화에 따른 유출량 및 비점오염원 모의결과 2007년 토지의 연간 유출량이 1985년 토지이용에 비해 43.95% 증가하였고 BOD, TN, TP 및 SS 발생량은 1985년 조건에 비해 각각 최대 154%, 135%, 138% 및 90%까지 증가하였다. 이러한 결과는 경안천 유역의 경제발전으로 인해 2007년 도시지역 비율이 1985년 대비 10.23% 증가되었는데, 증가된 면적의 대부분이 임야 또는 농경지에서 변경되어 불투수층 면적이 크게 증가한 것이 원인으로 판단된다. 본 연구의 결과는 도시화에 따른 토지이용 변화가 비점오염원 부하 발생량과 강우 유출 과정에 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다. 특히 도시지역 증가로 인한 비점오염원 발생량 증가는 도시지역의 수질오염 문제를 야기 할 수 있어 도시계획 및 수자원 관리를 위한 세심한 고려가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구의 결과는 수질 모니터링, 저영

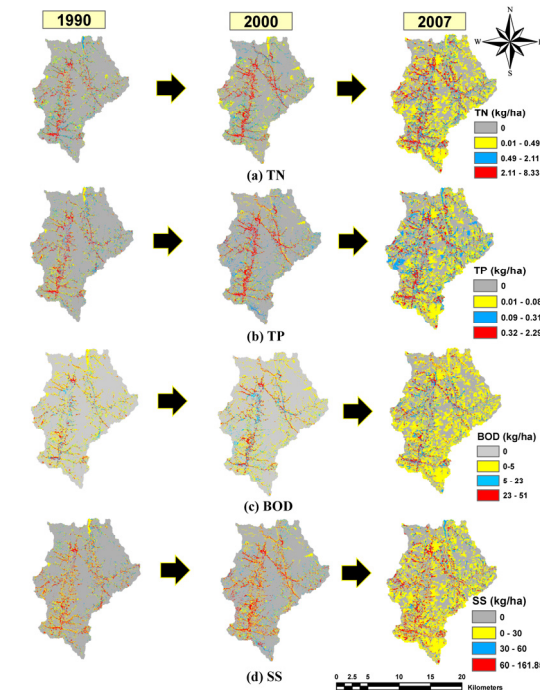


Fig. 4. Spatial distribution of higher NPS loads in 1990, 2000, 2007 than that in 1985.

향 개발(LID)를 위한 최적 오염지역 위치선정, 강우 유출 예측을 통한 비점오염원 관리를 촉진하고 잠재적 위험을 저감시킬 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## References

- [1] W. S. Lee, "Trends and Characteristics of South Korea Urbanization for the results of 2005 population Census, Territorial Policy 160", Korea Research Institute for Human Settlements. 2006. Available From: <https://www.krihs.re.kr/eng/> (accessed May 15, 2018).
- [2] S. Y. Lee, Y. J., Lee, C. M. Marla, L. H. Kim, "Determination of Pollutant Unit Loads from Various Transportation Landuses", Journal of Korea Water Resources Association, Vol 24 No.5, pp. 543-549. Oct. 2008. <https://kiss.kstudy.com/Detail/Ar?key=2723787>
- [3] Korea Ministry of Environment (KME). Interagency Working on Nonpoint Source Load Measure for Major Four River Watersheds.
- [4] U. S. EPA. Compendium of Tools for Watershed Assessment and TMDL Development, pp.1-4, 2018.
- [5] Y-H. Choi, Y-H. Jeong, H-H.T. Nguyen, S .H. Yoon, I. G. Yi, D. H. Kwak, "Evaluation of Non-Point Source Pollution Load Characteristics and Identifying Management Sub-Basin ARea and Best Management Practices using HSPF Model in Yongdam Dam Watersehhd", Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol 54, No.2, pp65-80. Feb. 2023. DOI: <https://doi.org/10.4491/KSEE.2023.45.2.65>
- [6] Y. Jeong, D. Lee, H. Kang, W. S. Jang, J. Hong, K. J. Lim, "Efficiency Evaluation of Vegetative Filter Strip for Non-point Source Pollutant at Dense Upland Areas-Focused on Non-point Source Management Area Mandas, Gaa, and Jaun Basins", Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol.64, No.4, pp1-10.July. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5389/KSAE.2022.64.4.001>
- [7] J. J. Kim, T. D. Kim, D. H. Choi., K. J. Lim, E. A. Bernard. J. H. Jeon, "L-THIA Modification and SCE-UA Application for Spatial Analysis of Nonpoint source Pollution at Gumho River Basin", Journal of Korea Water Resources Association, Vol.25, No.2, pp. 311-321. Jan. 2009.
- [8] K. J. Lim, B. A. Engel, Y. S. Kim, J. D. Choi, K. S. Kim, "L-THIA/NPS to Assess the Impacts of Urbanization on Estimated Runoff and NPS Pollution", Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol.45, No.4, pp78-88. Jul. 2003.
- [9] J. Ryu, E. Kim, M. Han, Y. S. Kim, D. Kum, K. J. Lim, B. K. Park, "Enhancement of Estimation Method on the Land T-P Pollutant Load in TMDSs Using L-THIA", Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol.36, No.3, pp162-171. Feb. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4491/KSEE.2014.36.3.162>
- [10] W. S. Lee, Trends and Characteristics of South Korea Urbanization for the results of 2005 population Census, Territorial Policy 160. Korea Research Institute for Human Settlements.
- [11] Z. Tang, B. A. Engel, K. J. Lim, B. C. Pijanowski, "Minimizing the impact of urbanization on long term runoff", Journal of the American Water Resources Association, Vol.41, No.6, pp.1347-1359 Dec., 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03804.x>
- [12] Z. Tang, B. A. Engel, B. C. Pijanowski, K. J. Lim, "Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale", Journal of Environmental Management, Vol.76, No.1, pp.35-45. Jul. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.01.006>
- [13] J. K. Kim, K. J. Lim, Y. S. Park, J. H. Park, J. H. Ahn, K. S. Kim, J. D. Choi, "The Effect of Slop-based Curve Number Adjustment on Direct Runoff Estimation by L-THIA", Journal of Korea Water Resources Association, Vol.23, No.6, pp. 897-995. Nov. 2007.
- [14] S. S. Kim, J. S. Kim, G. S. Pang, G. M. Kwon, W. J. Jung, "The estimation of the Unit Load Characteristic of Non-Point Source Discharge According to Rainfall in Kyongan Watersheds", Journal of Korean society of Environmental Engineering, Vol.24, No.11, pp.2019-2027. Sep. 2002.
- [15] J. K. Kim, Y. S. Park, J. H. Jeon, B. A. Engel, J. H. Ahn, Y. K. Park, K. S. Kim, J. D. Choi, K. J. Lim, "Research Paper: Evaluation of L-THIA WWS Direct Runoff Estimation with AMC Adjustment", Journal of Korea Water Resources Association, Vol.23, No.4, pp.474-481. Jun. 2007.
- [16] Korean Ministry of Environment (KME), Landuse data[Internet]. KME, 2018, Available from: <https://egis.me.go.kr/> (accessed May 15, 2018)
- [17] Q. Duan, S. Sorooshian, V. K. Gupta, "Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models", Journal of Hydrology, Vol.158, pp.265-284, Jun. 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90057-4)
- [18] R. G. D. Steel, J. H. Torrie, Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences., McGraw Hill, 1960, 481 pages.
- [19] J. E. Nash, J. V. Sutcliffe., "River flow forecasting through conceptual models: Part I—A discussion of principles." Journal of Hydrolog, Val.10, No.3. pp282-290. Apr. 1970. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- [20] A. S. Donigian, Watershed Model Calibration and Validation: The HSPF Experience, National TMDL Science and Policy Specialty Conference 2002. Water Environment Federation, Phoenix, Arizona. Vol. 2002. No.8, pp44-73. Jan. 2002.

---

김 정 진(JungJin Kim)

[정회원]



- 2007년 8월 : 안동대학교 환경공학과 (공학사)
- 2010년 2월 : 안동대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2017년 8월 : 미국 아이다호 대학교 생물농업공학 (공학박사)

- 2017년 9월 ~ 2020년 7월 : Texas A&M AgriLife Research 박사후 연구원
- 2020년 8월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 환경기술연구소 연구교수

<관심분야>

환경모델링, 수문학, 수자원관리

---

김 태 동(TaeDong Kim)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울시립대학교 환경공학과 (공학사)
- 1992년 3월 : 동경공업대학대학원 Biotechnology (공학석사)
- 1995년 3월 : 동경공업대학대학원 Biotechnology (공학박사)
- 1995년 4월 ~ 1997년 2월 : 일본 국립공중위생원 연구원

- 1997년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 환경공학과 교수

<관심분야>

수질 및 수처리공학, 폐기물공학, 생물공학