

# CAT 모형의 설마천 유역 적용 및 평가

## Analysis & Evaluation of CAT(Catchment hydrologic cycle Analysis Tool) on Seolma-cheon Catchment

이용준\*, 김현준\*\*, 노성진\*\*\*, 장철희\*\*\*\*

Yong Jun Lee, Hyeon Jun Kim, Seong Jin Noh, Cheol Hee Jang

### 요 지

물순환계를 종합적으로 관리하기 위해서는 물순환계의 모니터링과 해석모형의 구축이 필요하다. 실측자료만으로는 복잡 다양한 물순환계 구조 및 인과관계를 규명할 수 없기 때문에 시간적·공간적으로 변화하는 다양한 수문현상을 일관된 하나의 시스템으로 이해하기 위해 물순환 해석모형을 구축하여 검토할 필요가 있다. CAT(Catchment hydrologic cycle Analysis Tool)은 수문학적으로 균일하게 판단되는 범위를 소유역으로 분할하여 지형학적 요인에 의한 유출 특성을 객관적으로 반영할 수 있게 하며, 토양층에 따라 침투, 증발, 지하수 흐름 등의 모의가 가능하도록 하는 Link-Node 모형으로, 증발산은 기준 증발산을 외부에서 직접 입력하거나, Penman-Monteith 방법을 선택할 수 있으며, 침투는 토양의 수리전도도에 따른 연직방향 침투 및 사면방향 복귀류를 고려할 수 있다. 노드의 지하수 유거를 고려하여 기존 노드-링크 방식 모형의 장기 유출 해석시 제한점을 보완하였으며, Muskingum, Muskingum-Cunge, Kinematic wave 방법을 이용하여 하도추적을 모의할 수 있다. 또한 GUI를 통해 사용자가 손쉽게 모형을 적용하고 관리할 수 있도록 하고, 여러 시나리오를 적용함에 있어서 편리하도록 개발 중인 모형이다.

본 연구에서는 개발 중인 CAT 모형을 평가 하기 위해 시험 유역으로 운영 중인 설마천 유역에 적용하여 소유역 분할(노드수), 계산 시간 간격(일/시단위) 등에 따른 적용성을 평가하였다. 관측 자료를 통해 구축 가능한 물리적 매개변수를 통해 해당 유역을 단일 노드 및 다중 노드로 간단히 모형화할 수 있었으며, 모의 결과, 관측 유량과 적절히 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 1시간 단위에 대한 모의에서도 유출을 적절히 모의할 수 있었으며, 소규모 유역에 대한 정밀한 물순환 해석이 가능할 것으로 평가되었다.

**핵심용어 : 물순환, CAT, GUI, 수문해석 모듈**

## 1. 서 론

물순환계는 치수, 각종 용수와 재생 가능한 에너지원으로서의 이용 등, 안전하고 쾌적하며 풍요로운 인간생활을 위하여 이용되고 있다. 그러나, 도시로의 급격한 인구 및 산업의 집중과 도시지역의 팽창, 산업구조의 변화, 인구의 증가 및 고령화, 기상 이변, 유역의 무계획적인 개발 등의 이유로 물순환계가 영향을 받고 있다.

유역의 물순환계를 종합적으로 관리하기 위해서는 물순환계의 모니터링과 해석 모형의 구축이 필요하다. 시공간적으로 변화하는 다양한 수문 현상을 하나의 시스템으로 이해하기 위해서는 먼저 어느 경로로

\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원·E-mail : [dydwms@kict.re.kr](mailto:dydwms@kict.re.kr)

\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 책임연구원·E-mail : [hjkim@kict.re.kr](mailto:hjkim@kict.re.kr)

\*\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원·E-mail : [sjnoh@kict.re.kr](mailto:sjnoh@kict.re.kr)

\*\*\*\*정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원·E-mail : [chjang@kict.re.kr](mailto:chjang@kict.re.kr)

어떤 수질의 물이 얼마만큼 이동하는 가를 실측해야만 한다. 그러나 실측 데이터만으로는 복잡한 물순환계의 구조와 인과관계를 알 수 없으므로 물순환 모델이 필요하다. 이에 따라 다양한 관측 결과를 기초로 물순환계를 구성하는 인자간의 관계를 정량적으로 명시하고 유역 물순환계의 특징을 이해함과 동시에 물순환계의 일부 변화가 다른 부분에 미치는 영향을 평가할 수 있게 된다. 또한, 유역 전체의 건전한 물순환 체계를 위한 대책을 검토할 수 있게 된다. 이러한 물순환 모델은 다양한 이해관계를 갖는 사람들에게 공통의 검토 수단이 되고, 구체적인 대책을 결정하는 과정에 있어서도 의견을 모으는 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 개발중인 CAT(Catchment hydrologic cycle Analysis Tool) 모델을 평가 하기위해 시험 유역으로 운영 중인 설마천 유역에 적용성을 평가 하고자 한다.

## 2. CAT 모형의 개요

본 연구에서 사용하는 CAT(Catchment hydrologic cycle Analysis Tool) 모형은 현재 한국건설기술연구원 에서 개발 중인 모형으로 도시 개발 지역 혹은 기존의 도시 유역에서 장기간에 걸친 물순환의 변화를 예측하고 물순환을 개선시키는 대안 시설의 효과를 사전에 평가하는 것을 목표로 하고 있다. CAT모형은 대상지역에 대한 공간적 해석이 가능하되, 최소한의 자료와 노력으로써 어느 정도의 결과를 보장할 수 있는 모형이며, 모형의 구조는 개념적 강우-유출 모형 보다는 물리적 매개변수를 사용함으로써 도시개발에 따른 수문모형의 매개변수를 정량적으로 추정할 수 있도록 개발 하였다.

CAT모형은 해당유역을 수문학적으로 균일하게 판단되는 범위를 소유역으로 분할하여 지형학적 요인에 의한 유출 특성을 객관적으로 반영할 수 있게 하며, 토양층에 따라 침투, 증발, 지하수 흐름 등의 모의가 가능하도록 하였다. 개발되는 모형의 기본구조는 SHER(일본국토교통성, 2001) 모형을 따르되 SHER모형 내에 충분히 고려되지 못한 증발산 산정 부분과 하도 추적 부분을 보완하였다. 또한 물순환 대안 시설들의 선택 폭을 다양하게 제시 하도록 하였고, 추후에는 도시 물순환 분석에 필수적인 관개용수나 침투 시설, 저류 시설 등을 고려하여 보다 현실에 가까운 모의가 가능하도록 하고자 한다. 이 모델에서는 유역을 지하수 심도나 지형 등에서, 수문학적으로 균일하다고 보는 Block으로 구분하여 분석하며 Block 내의 물의 흐름을 나타내면 그림 1과 같다.

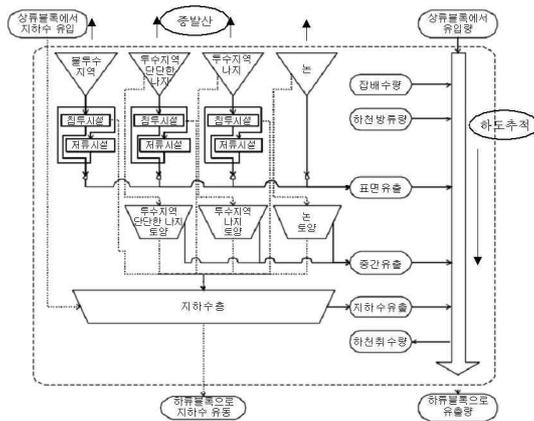


그림 1. Block 내의 물의 흐름 개요도

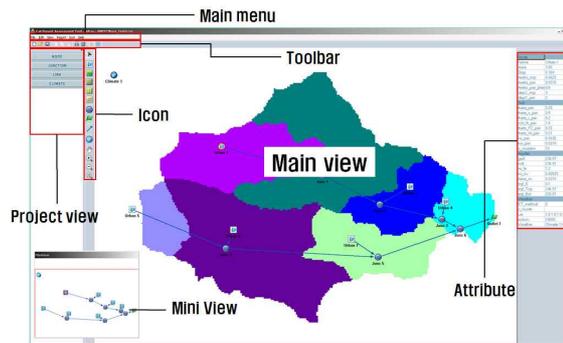


그림 2. 개발중인 도시 물순환 해석 모형의 기본 화면

## 3. 대상유역

모형 적용을 위해 선정된 설마천 유역은 임진강 상류부에 위치하고 있으며, 그림 3에 나타난 바와 같이 유역 출구점인 전적비교 상류를 기준으로 유역면적은 대략 8.5 km<sup>2</sup>이다 (한국건설기술연구원, 2007). 유역내 토지이용은 산지가 99.5%, 논이 0.4%, 초지 및 나지가 0.1%로, 유역의 대부분은 산악지형으로 이루어져 있으며, 동쪽엔 유역에서 가장 높은 감악산 (EL. 675m)이 위치하고 있고, 전반적으로 개발이 많이 이루어지지 않은 유역으로, 앞으로도 자연 상태의 산지하천의 특성을 유지할 것으로 판단된다.

하천의 형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태를 보이고 있으며, 도로를 따라 위치하는 주 하천은 그림 3의 유역도에서 보는 바와 같이 전형적인 곡류 하천의 형태를 보이고 있다.

유역내 수문관측망은 그림 3과 같이, 2003년 12월을 기준으로 우량관측소 6개소 (전적비교, 비룡포대, 설마리, 범륜사, 감악산, 빈베이), 수위관측소 2개소 (전적비교, 사방댐) 및 기상관측소 1개소 (비룡포대)가 설치되어 있으며, 10분 단위로 관측 운영되고 있다.

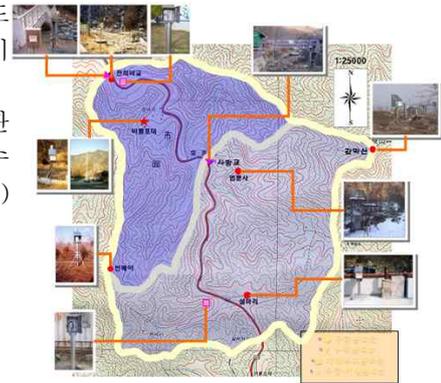


그림 3. 대상 유역

## 2. 자료 구축 및 방법

설마천 유역을 단일 노드, 다중 노드의 두 형태로 나누어 입력자료를 구축하였다. 단일 노드 및 다중 노드에 의한 노드-링크 구성은 다음의 그림 4~5와 같다. 노드별 입력자료로는 지형특성자료, 토양자료, 대수층자료, 기상자료, 지하수유거자료가 필요하다. 설마천 유역의 노드별 면적 및 불투수율은 수치고도도모형(DEM) 및 토지이용자료로부터 산출되었으며, 토양자료 중 포화수리전도도, 토양깊이 등은 정밀토양도로부터 산정하였다. 대수층자료는 기초자료가 부족하여 모형 보정을 통해 추정되었다. 기상자료 중 강우자료는 설마천 시험유역(범륜사 지점)에서 측정된 자료를 사용하였으며, 증발자료는 설마천 유역에서 측정된 자료가 없어, 인근 동두천 관측소(기상청)의 소형증발량(팬 증발량) 자료에 월별 계수를 적용하여 계산되었다.

2001년 1월 1일부터 2007년 12월 31일까지 7년을 모의하였다. 이 중 2001년은 초기토양수분 등 초기조건에 영향을 고려하여 비교에서 제외하였으며, 2002~2004년까지는 보정기간으로, 2005~2007년까지는 검정기간으로 각각 설정하여 비교하였다. 모의 시간 간격은 1시간 및 1일 간격의 두 가지 경우에 대해 모의되었으며, 각각의 시간간격에 대해 단일 노드, 다중 노드의 두 가지 경우가 모의되어, 총 네 가지 경우에 대해 모의하여 결과를 비교하였다.

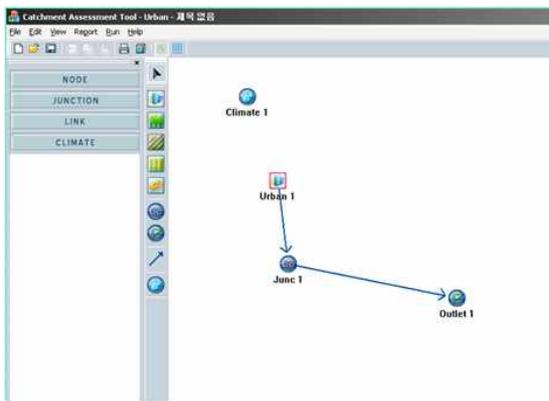


그림 4. 노드-링크 구성(단일 노드)

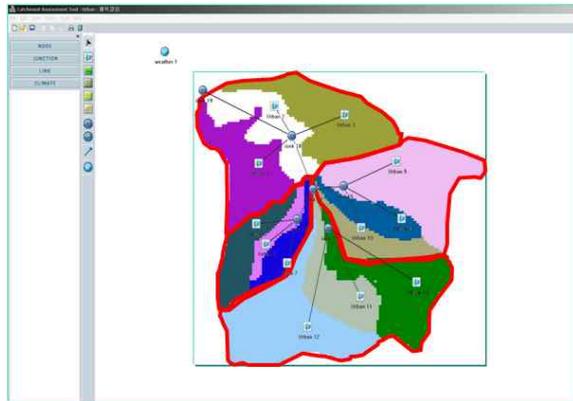


그림 5. 노드-링크 구성(멀티 노드)

## 3. 결과 및 고찰

일단위로 모의된 단일 노드, 다중 노드에 의한 하천 유출 결과는 다음의 그림 6과 같다. 그림에서 보정기간에 대한 하천 유출 결과를 살펴보면, 단일 노드 및 다중 노드의 모의 결과 모두 관측 유량과 비슷한 거동을 보여 적절히 모의되었음을 알 수 있다. 다중 노드가 단일 노드에 의한 결과보다 비강우시 유출곡선의 하강을

전반적으로 잘 모의하였으며, 특히 2003년 10~12월 사이 단일 노드의 결과는 극심한 하강을 나타내지만, 다중 노드는 관측 유량과 비슷한 거동으로 모의되어, 다중 노드에 의한 해석이 단일 노드에 비해 안정적인 결과를 도출하는 것으로 분석된다. 시간위에서는 관측 유량과 비슷한 양상으로 적절히 모의되었음을 알 수 있다. 하지만, 비강우시 수문곡선의 감쇄부분이 단일 노드에서는 과대하게, 다중 노드에서는 과소하게 모의되었는데, 이는 일단위 모의에서 보정된 매개변수를 그대로 적용하였기 때문이며, 시간단위 모의에 대한 추가적인 매개변수 보정이 필요한 것으로 분석된다.

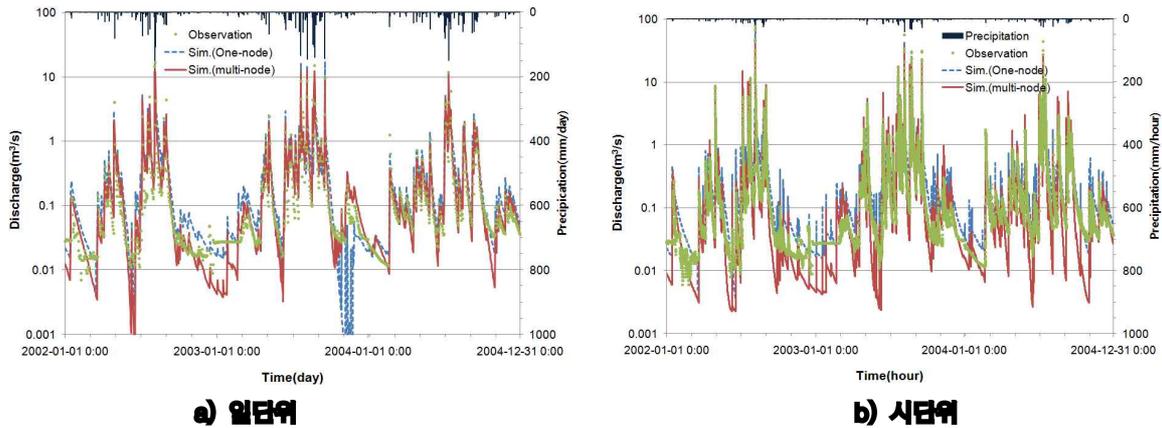
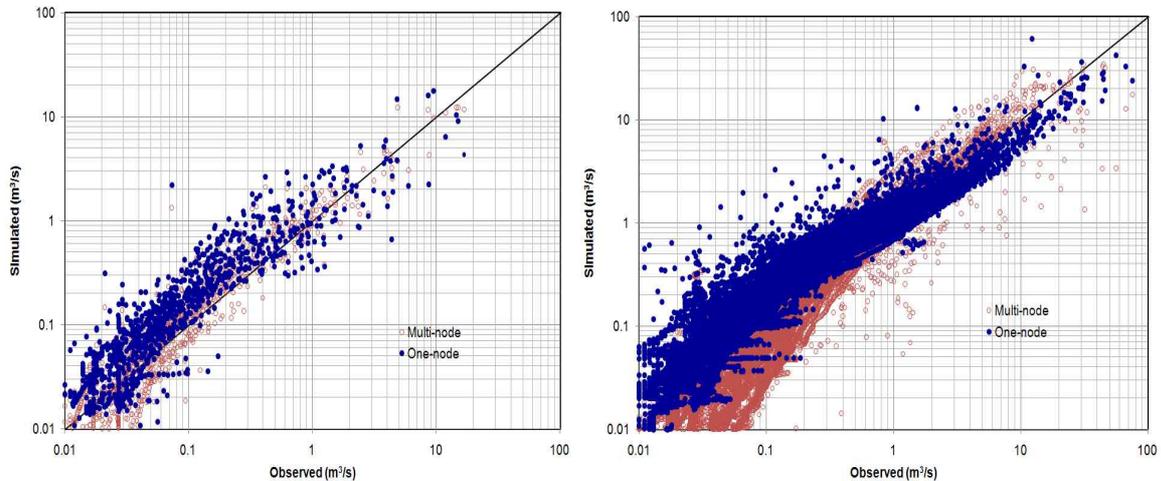


그림 6. 설마천 하천 유출 비교(2002~2004년)

표 1. 유역 모의 결과 물수지 비교

		Calibration 2002-2004 (Runoff ratio(%))	Validation 2005-2007 (Runoff ratio(%))	
Daily time step	Precipitation	1,604	1,285	
	Runoff	Obs.	1,130 (70.5)	
		1 node	1,384 (86.3)	808 (62.9)
Multi node	1,241 (77.4)	1,053 (82.2)		
Hourly time step	Precipitation	1,604	1,285	
	Runoff	Obs.	1,130 (70.4)	808 (62.9)
		1 node	1,375 (85.7)	1,056 (82.2)
Multi node	1,254 (78.2)	937 (72.9)		

관측 및 모의에 대한 1:1 비교 그림 7을 살펴보면, 단일 노드, 다중 노드 두 경우 모두 보정 및 검증기간에 대해 적절한 해석되었음을 알 수 있으며, 일단위의 경우, 단일 노드에 비해 다중 노드의 결과가 1:1 라인에 밀집하게 분포하여 보다 향상된 모의 결과임을 확인할 수 있었다. 시간위 1:1 비교그림에서는 단일 노드와 멀티 노드에서 차이를 보이고 있는데, 저유량의 경우에는 멀티노드가 약간 낮은 값의 경향을 단일 노드에서는 약간 높게 모의 되는 경향을 나타 내었고, 실측 유량이 높은 경우에는 반대의 경향이 나타났다. 추가적인 매개변수 보정이 필요한 것으로 분석된다.



a) 일단위

b) 시단위

그림 7. 관측 및 모의 1:1 비교

표 2. 설마천 유역 모의 결과 통계값 비교

			Calibration 2002-2004	Validation 2005-2007
Daily time step	1 node	NSE	0.533	0.712
		RMSE	0.776	0.383
	Multi node	NSE	0.865	0.896
		RMSE	0.417	0.230
Hourly time step	1 node	NSE	0.750	0.888
		RMSE	0.765	0.306
	Multi node	NSE	0.801	0.783
		RMSE	0.684	0.426

## 6. 결 론

개발중인 CAT 모형을 자연유역인 설마천 유역에 적용하여 소유역 분할(노드수), 계산 시간 간격(일/시단위) 등에 따른 모형 거동을 분석을 통하여 적용성을 평가하였다. 관측 자료를 통해 구축가능한 물리적 매개변수를 통해 해당 유역을 단일 노드 및 다중 노드로 간단히 모형화할 수 있었으며, 모의 결과, 관측 유량과 적절히 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 1시간 단위 이하에 대한 모의에서도 유출을 적절히 모의할 수 있었으며, 소규모 유역에 대한 정밀한 물순환 해석이 가능할 것으로 평가되었다.

## 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 : 2-6-3)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 일본국토교통성, SHER Model User's Manual, 2001.7.
- 한국건설기술연구원 (2008). 시험유역의 운영 및 수문특성 조사, 한국건설기술연구원.
- 한국건설기술연구원 (2009). 도시유역 물순환 해석모형의 개발 및 적용(2차년도), 한국건설기술연구원.