



# 유역 물순환 해석 및 개선시설 평가 소프트웨어 - CAT (Catchment hydrologic cycle Assessment Tool) -



**김 현 준 |**  
한국건설기술연구원 수자원연구실 연구위원  
hjkim@kict.re.kr



**장 철 희 |**  
한국건설기술연구원 수자원연구실 전임연구원  
chjang@kict.re.kr



**노 성 진 |**  
한국건설기술연구원 수자원연구실 전임연구원  
sjnoh@kict.re.kr

에서부터 물의 순환을 고려하려는 시도가 이루어지고 있다. 국토해양부, 환경부, 소방방재청 및 지방자치단체들은 법령, 기준, 지침 및 조례 등을 제정하거나 개정하여 도시개발 이전의 물순환 상태가 유지될 수 있도록 시설 설치를 유도하고 있다. 그러나 개별 시설들의 조합이 유역규모의 물순환에 미치는 영향 평가는 이루어지고 있지 못한 실정이다.

종래에는 홍수저감을 목적으로 홍수저류지와 침투 시설을 계획하였으나 장기적인 관점에서 물순환 개선 시설의 효과까지 평가하여 도시 계획 단계에서 반영하지 못하였다. 그리고 이들 개별 물순환 개선시설(침투, 저류 등)에 대한 단위시설의 규모 설계에 국한하였기 때문에 개선 시설이 다중으로 조합되어 분산 계획되었을 경우, 유역 규모에서 물순환의 긍정적인 변화를 판단하기는 어려운 형편이었다.

반면에 선진국에서는 도시지역에서의 물순환 및 물질순환, 열순환 해석 등과 관련된 연구가 활발하게 추진되고 있으며, 설계 및 계획 프로그램들이 출시되고 실무에 사용되고 있다. 그러나 해외에서 개발된 기술은 국내의 유역 환경을 충분히 반영하기 어렵고, 저수지 혹은 하천에서의 취수 등과 같이 국내의 복잡한 물순환 형태를 반영하는데 한계가 있으며, 필요시 적절한 소스 코드의 수정이 어렵다. 또한, 기존의 강우-유출모형에 의한 물순환 개선시설을 계획하는 방법은 홍수저감에 국한되어 있고, 하천 유량이나 지하수위 측정 자료가 부족한 대상지역에 대한 장기간의 물순환 및 도시 개발과 같은 토지이용 변화가 물순환에 미치는 영향을 해석하는데 있어 제한이 있으며, 개별적으로 설치된 개선시설들이 유역 전체의 물순환을 개

## 1. 개발 배경

도시가 개발됨에 따라 불투수 면적이 확대되면 빗물이 토양 속으로 침투되지 못하기 때문에 도시 지역의 지하수위가 낮아지고 하천의 건천화가 촉진되고 있다. 도시개발이 하천환경에 미치는 피해를 최소화하고 지속가능한 도시 환경을 구축하기 위해서는 인위적 개발로 인한 자연적 물순환의 왜곡을 정량적으로 평가하고 물순환 개선시설의 적정 규모와 배치 계획을 위한 장기적이고 통합적인 유역 물순환 해석이 필요하다.

최근 녹색도시를 지향하면서 도시 내에서의 물의 순환에 대한 관심이 높아지고 있으며 도시계획 단계



선하는 효과를 종합적이고 정량적으로 구현하는데 한계가 있다.

CAT (Catchment hydrologic cycle Assessment Tool)은 21세기 프론티어연구개발사업의 “수자원의 지속적확보기술개발 사업단”의 지원(3단계, 2007.4 ~2011.3)으로 국내 기술에 의해 개발된 유역 수문해석(물순환 해석) 모형이다. 특히, 도시개발 등 유역의 인위적 개발에 있어서 물순환의 변화를 최소화 하고자 물순환을 정량적으로 해석하고, 개선시설의 분산 배치에 따른 영향을 종합적으로 평가하는 장점이 있다.



Catchment Hydrologic Cycle Assessment Tool

그림 1. CAT 모형의 로고

모형의 개발에 앞서서 도시유역의 물순환 해석에 필요한 기술을 정립하였고 이를 바탕으로 모형을 개발하였다. 신도시 개발지구, 산지유역, 농업용저수지 유역 및 대규모 댐 유역 등 다양한 유역조건에서 모형의 적용성을 입증하였다.

개발된 모형은 노드와 링크로 연결되는 시스템으로 구성되었으며 물순환 개선시설들의 선택 폭을 다양하게 제시하였다. 모형의 인터페이스는 사용자가 손쉽게 모형을 적용·관리하고, 여러 시나리오를 동시에 효과적으로 모의하여 분석할 수 있도록 설계되었다. 지역설명회, 사용자교육 및 전시회 등을 통하여 개발된 모형의 소개와 기술이전을 추진하였다(김현준, 2011).

## 2. CAT 특성 및 주요 기능

CAT 모형은 유역에서의 강우-유출 과정을 물리적 매개변수를 이용하여 해석하도록 하였다. 투수지역과 불투수지역으로 유역을 구분하였으며, 우리나라 유출 특성중 하나인 논에서의 유출 과정을 반영하였다. 또한, 외부에서의 물공급과 상수도 관망 등에서의 누수

도 고려하였다. 투수지역은 1개의 토양층과 1개의 불압대수층으로 구성되었고, 유출기여역과 함양역으로 유역을 분할하여 적용할 수 있도록 하였으며, 대수층을 통하여 지하수의 흐름을 산정할 수 있게 하였다. 또한, 물순환 개선시설들의 선택 폭을 다양하게 제시할 수 있게 하였으며, 도시 물순환 해석에 필수적인 침투시설, 저류시설 등을 고려하여 보다 현실에 가까

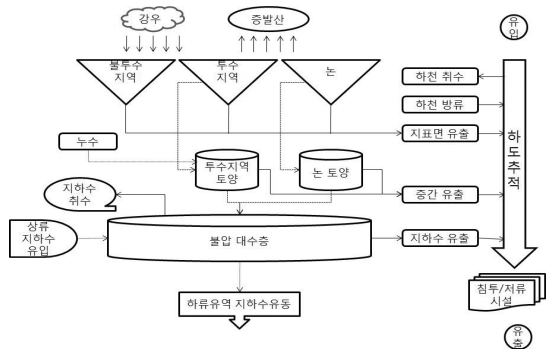


그림 2. 유역 물순환 해석을 위한 흐름도



그림 3. CAT 모형에서 적용된 유역 분할 개념

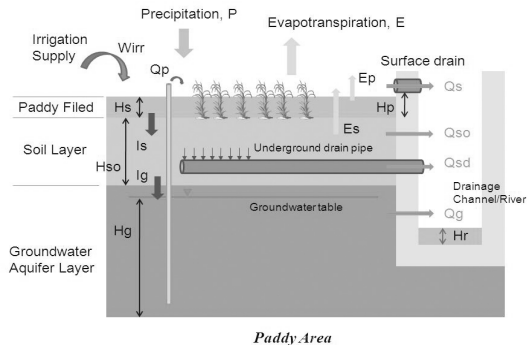


그림 4. 논에서의 유출 모식도

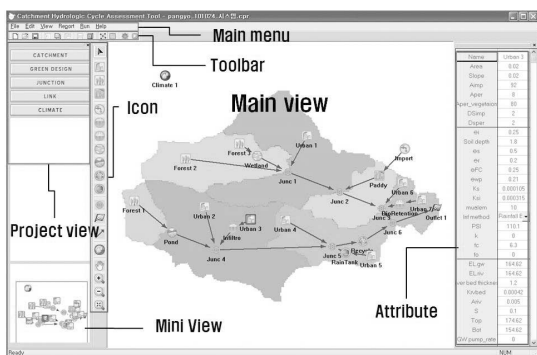


그림 5. 개발된 CAT 모형의 주 화면

운 모의가 가능하도록 하였다.

CAT 모형은 노드와 링크로 연결되는 시스템으로 구성되었다. 노드에는 강우와 기상자료로부터 유출을 계산하는 유역(catchment) 노드와 물순환 개선시설(green design) 노드로 구성되어 있다.

모형의 인터페이스는 사용자가 직관적으로 시스템을 구축하고, 여러 시나리오를 동시에 효과적으로 모의하여 분석할 수 있도록 설계되었다. 모든 입력 출력 자료를 Microsoft Excel이나 텍스트 형식과 연동되도록 하여 프로젝트별 매개변수 관리가 용이하도록 하였다.

특징을 요약하면 다음과 같다.

- ▶ 물리적 매개변수 기반의 링크-노드 방식 모형
- ▶ 개발 전·후의 장·단기 물순환 변화 특성을 정량적으로 평가
- ▶ 투수지역과 불투수지역을 구분한 유출 모의
- ▶ 토양층, 식생, 지하대수층에 따른 침투, 증발, 지하수 흐름해석 및 하도추적 모의
- ▶ 우리나라 논을 특성을 반영한 논 유출 모의
- ▶ 물순환 개선시설의 설계 및 평가에 필요한 다양한 정보 제공
- ▶ 수 분~24시간 까지 적용 가능한 모의시간 간격
- ▶ 대상지역의 소유역 구분에 따른 공간적 해석
- ▶ 물리적 매개변수의 사용으로 도시개발에 따른 매개변수의 정량적 추정
- ▶ 직관적이며 이해가 용이한 사용자 편의 시스템
- ▶ 다양한 형태의 표와 그림으로 결과 제공

### ▶ 물순환 개선시설의 최적 배치

물순환 해석을 위한 증발산, 침투, 유역 유출, 지하수 유거, 하도추적 모듈의 세부 내용은 다음과 같다.

- ▶ 증발산은 잠재 증발산량을 외부에서 계산하여 입력하거나, Penman-Monteith 방법을 선택할 수 있으며, 엽면적지수(LAI)도 적용 가능하다.
- ▶ 침투는 토양의 수리전도도에 따른 연직방향 침투 및 사면방향 흐름을 고려할 수 있다. 침투량 산정을 위하여 Rainfall Excess 방법, Horton 방법과 Green-Ampt 방법 중 선택적으로 사용할 수 있다.
- ▶ 노드 간의 지하수 유거를 고려하여 기존 노드-링크 방식 모형의 장기 유출 해석시 제한점을 보완하였으며,
- ▶ 하도에서 홍수과의 이동 해석을 위하여 Muskingum, Muskingum-Cunge, Kinematic wave 방법 등의 하도추적 방법 등이 제공된다.
- ▶ 논에서의 유출과정은 월별로 관리되는 물꼬높이와 암거배수 및 배수관 등을 반영하였다.

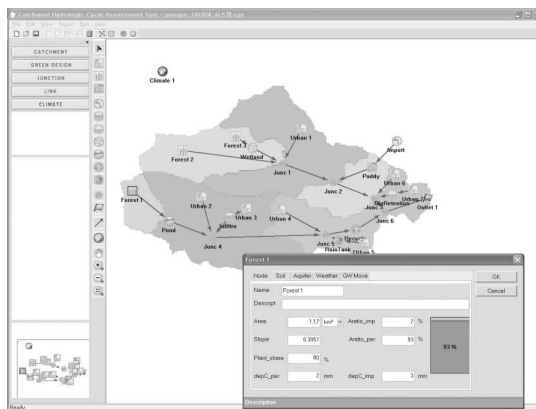


그림 6

- ▶ 물순환 개선 시설이란 빗물을 흡수하고 저류할 수 있는 도시녹지시설 혹은 구조물로써 도심 내의 불투수면을 저감시키고 유출수를 줄이면서 동시에 녹지를 확보하여 물순환 기능에 영향을 미치는 시설들이다. CAT 모형은 침투시설, 침투녹지, 저류시설, 습지, 빗물이용시설 및 하천



표 1. CAT 모형의 유역 노드 및 물순환 개선시설 노드의 종류

노드명	기호	기능
Urban		도시 유역(블럭) : 강우 및 기상자료와 토지이용, 토양, 대수층 자료로부터 유출량, 증발산, 침투량 등을 산정
Forest		산림 유역(블럭) : 강우 및 기상자료와 토지이용, 토양, 대수층 자료로부터 유출량, 증발산, 침투량 등을 산정
Paddy		논 유역(블럭) : 강우 및 기상자료와 토지이용, 토양, 대수층, 논 의 속성 자료로부터 유출량, 증발산, 침투량 등을 산정
Infiltro		침투 트렌치 : 인접지역으로부터 유출수를 받아 계획침투량을 반영하여 토양으로 침투시키고 지하대수층으로의 함양량을 산정
Bioretention		침투녹지 : 인접지역으로부터의 유출수를 받아 계획침투량을 반영하여 토양으로 침투 및 지하대수층으로 함양량을 산정하며, 식생으로부터의 증발산을 산정
Pond		저류지 : 유역내의 홍수량을 일시 저류시키는 저류지로서 하천내에 설치되는 online 저류지와 하천외에 설치되는 offline 저류지로 구성
Wetland		습지 : 유역내의 습지를 반영
RainTank		빗물탱크 : 인접지역으로부터 유입되는 빗물을 저류하여 활용
Recycle		리사이클(취수) : 하천내에서 취수하여 필요한 지역으로 공급하는 시설을 반영
Import		광역급수 : 외부에서 유역내로 공급되는 시설을 반영

에서의 취수와 도수에 의한 물순환의 변화를 해석할 수 있도록 지원한다.

- ▶ 침투시설은 계획(설계) 침투량을 반영하며 토양으로의 침투와 지하수로의 이동을 모의한다. 침투트렌치(Infiltro)와 침투녹지(Bioretention)가 있다.
- ▶ 저류시설은 하도 내에 위치한 online 저류지와 하도 외에 위치한 offline 저류지로 구분하고 저류지 수면의 증발량과 취수량을 고려하며, 방류구를 통한 방류량을 반영하였다. offline 저류지의 경우는 본류 하도 내의 유량 규모에 따라서 일정량을 초과하는 경우만 offline 저류지로 유입될 수 있도록 하였으며 하루 하천으로의 방류를 반영하여 홍수 후에 저류지가 비워지도록 하였다.
- ▶ 습지는 식생과 수면에서의 증발산을 반영하였다. 습지의 저류능력을 넘는 양은 월류되어 하류로 유출되며, 방류구를 통한 방류량을 반영하였다. 저류시설 및 습지에서 지하대수층으로의 함양도 고려할 수 있도록 하였다.
- ▶ 빗물저장시설의 경우는 초기우수와 같은 일정량 이하의 유입량과 시설용량을 초과하는 양은 방류하도록 하였고, 물 사용량을 반영하였다.
- ▶ 리사이클은 하천 내에서 취수하여 용수 이용

목적에 따라 필요지역으로 공급되는 것으로써, 취수되어 상류 혹은 하류의 임의 지역으로 공급될 수 있도록 하였다. 또한, 유역 외부로부터 광역으로 급수되는 공급량도 반영하였다.

- ▶ 모형의 결과들은 다양한 방법으로 제시된다. 해당 유역 노드나 개선시설 노드에서 유출 성분별로 다양한 속성을 그래프로 출력할 수 있으며, 시계열 자료로 저장도 가능하다.
- ▶ 또한, 유역 물순환 해석에서 많이 다루어지는 강우, 증발산, 토양수분과 유출량의 변화를 다중그래프에 동시에 표출함으로써 비교가 용이하도록 하였다.

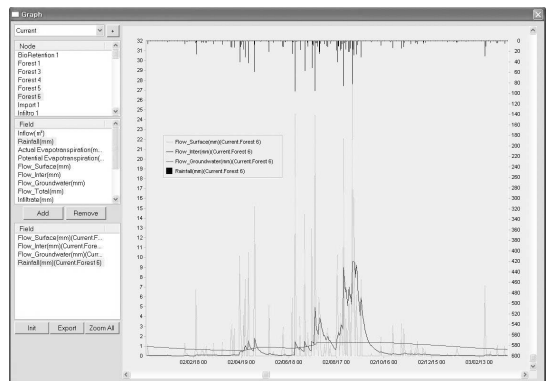


그림 7. 유출성분 별로 제시된 그래프 출력

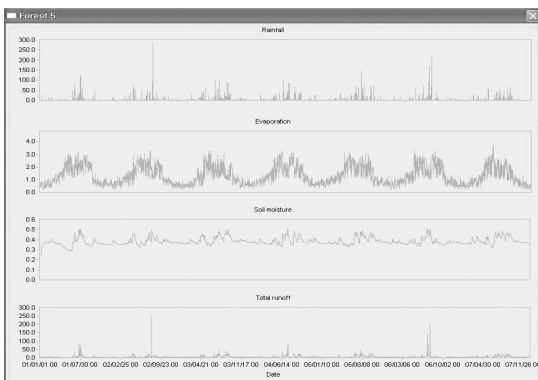


그림 8. 강우/증발산/토양수분/유출 다중그래프

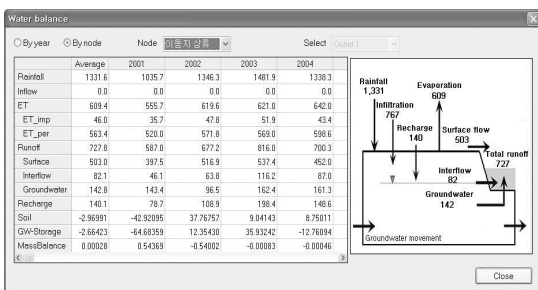


그림 9. 연간 물수지 결과

- ▶ 연간 물수지 결과를 표와 모식도로 제공함으로써 총괄적인 분석이 가능하도록 하였고, 이들 자료들은 Report 기능을 통하여 보고서 작업을 수월하게 할 수 있도록 지원한다.

### 3. 상용화 전략 및 전망

CAT 모형은 2009년 3월 ver. 0.1이 소개된 이후에 지속적인 보안을 거쳐서 2010년 12월에 ver. 1.5를 인터넷 홈페이지를 통하여 공개하였으며, 데모 버전을 다운로드하여 사용할 수 있다(온/오프 라인을 통하여 810 copy 제공).

CAT 모형과 관련하여 2건의 특허가 출원중이며(10-2009-0110446, 10-2011-0025028), 1건의 상표가 등록(40-0861900-0000) 되었다. 2011년 3월에 한국토코넷(주)과 CAT 모형의 국내 판매에 대한 기술실시계약이 이루어졌고, 상용화 버전(ver 2.0) 출

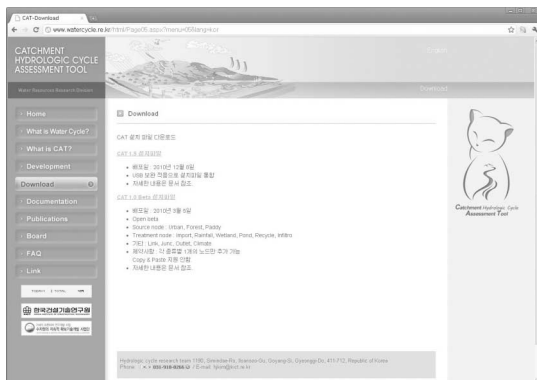


그림 10. CAT 모형 소개 홈페이지 (www.watercycle.re.kr)

시를 위한 “매뉴얼” 및 “도움말” 보완 작업이 마무리되는 8월 이후에 판매가 가능할 것이다.

사용자들의 관심과 이해를 높이기 위하여 도시유역 물순환 해석기술 지침서, 사용자 지침서 및 워크북 2종을 발간한 바 있다.

- ▶ 도시유역 물순환 해석기술 지침서
- ▶ 도시유역 물순환계 정량화 방법
- ▶ 도시물순환 해석모형 사용자 지침서(ver. 1.0)
- ▶ 도시물순환 해석모형 사용자 지침서(ver. 1.5)
- ▶ 도시물순환 해석모형 워크북(기초편, 고급편)

CAT 모형 지역설명회(4회, 2010.6~7)를 개최하였으며, 6회의 전시회 및 3회의 사용자 교육(2010.6~2011.2)을 통해서 이론과 적용 사례를 소개하였고 사용방법을 익힐 수 있도록 교육을 실시하였

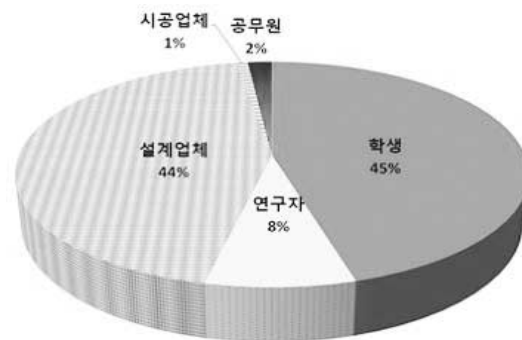


그림 11. 지역설명회 및 워크북 참여자





다. 수자원, 환경, 조정, 건축 등 다양한 분야의 설계 실무자와 연구자 및 대학원생들이 많은 관심을 가지고 참여하였다.

CAT 모형을 사용하여 도시유역의 물순환 체계를 진단하고, 물순환 개선시설의 효과를 평가할 수 있게 됨으로써 향후 도시유역의 물순환 정상화를 실현하기 위한 정책 수립에 필요한 기초 자료를 제공하고, 설계 실무에 활용될 수 있게 되었다. 또한, 신도시 개발, 지역혁신도시 개발 등의 대규모 토지이용변화가 예상되는 개발지역에 대한 물순환 평가 및 개선 기술을 제공함으로써 신도시 지역의 물순환 건전화를 위한 설계에 직접적으로 활용될 수 있을 것이다. 아울러 대학에서 수문학, 수자원공학, 환경공학, 도시계획 등의 전공 수업 중 유역물순환의 모형화에 대한 학생들의 이해를 높일 수 있는 보조 교재로도 활용될 수 있을 것이다.

향후 물질순환 해석모듈과 모형의 입력매개변수를 수치지도(DEM, 토지이용, 토양 등)로부터 자동으로 추출할 수 있는 GIS 활용 기술을 추가하고자 한다.

이들 기술이 완성된다면, 수질관리, 비점오염원관리는 물론 지속가능한 개발을 위한 최적관리(BMPs, Best Management Practices)와 저영향개발(LID, Low Impact Development)를 위한 계획 및 평가 기술로 발전할 수 있을 것이다.

위와 같은 후속 연구를 추진하기 위하여 국가 R&D 사업으로 제안하고 있으며, 해외 사용자를 위한 영문 매뉴얼도 제공될 예정이다. CAT 모형의 상용화 이후에 한국건설기술연구원의 연구팀과 기술이전 업체의 개발진에 의한 유지관리와 업그레이드가 지속적으로 이루어질 것이며, 제품의 가격 및 무상/유상 유지관리 비용 등에 대한 내용이 판매와 함께 안내될 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보 기술 개발 사업단의 연구비 지원(과제번호 : 2-6-3)에 의해 수행되었습니다. 🍵

### 참고문헌

1. 김현준(2011), 도시유역 물순환 해석모형 개발 및 적용, 최종보고서, 교육과학기술부