

# SWMM 5의 매개변수 추정지원 시스템 개발

## Development of a Parameter Estimation Support System for SWMM 5

정태훈\*, 이상호\*\*  
Jung Tae Hun, Lee Sangho

---

### 요 지

미국 환경청의 SWMM 5(storm water management model 5)는 유역의 홍수유출 모의 및 연속 유출 모의를 할 수 있는 모형으로서 국내뿐만 아니라 세계적으로 많이 사용되고 있는 모형이다. SWMM 5와 같은 유역 유출모형에서 결과의 적절성을 향상시키기 위해서는 모형에 사용되는 매개변수를 올바르게 추정할 필요가 있다. 하지만, 외국의 정교한 유역 유출모형들이 우리나라에서 제대로 적용되고 있지 못하는 이유 중 하나는 적절한 매개변수의 추정이 이루어지지 못하고 있는 점이다. 이러한 문제를 해결하고자 SWMM 5의 매개변수 추정 지원 시스템을 개발하였다. SWMM 5의 매개변수 추정지원 시스템은 민감도 분석, 최적화 기법에 의한 모형 자동보정, 매개변수 할당 및 도움 모듈로 이루어져 있다. SWMM 5의 매개변수 추정 지원 시스템에 사용되는 최적화 기법은 전역최적화 기법 중 하나인 SCE-UA(shuffled complex evolution-University of Arizona)이다. SWMM 5의 매개변수 추정 지원 시스템의 개발은 국내 수자원 기술자들의 SWMM 5에 대한 이해 및 활용도를 더욱 향상시켜줄 것으로 기대한다.

**핵심용어** : SWMM 5, SCE-UA, 매개변수 추정

### 1. 서론

SWMM 5는 국내에서 유역 유출 계산 및 침수 분석 등에 널리 활용되고 있는 모형이다. SWMM 5에서 유역 유출을 계산하기 위해 필요한 매개변수는 유역 면적, 불투수 면적비 등 GIS프로그램 및 수치지도 등을 통해 쉽게 구할 수 있는 것과 요지 저류량(depression storage), 유역의 조도계수 등 불확실성이 높아 쉽게 추정하기 어려운 매개변수로 구분 될 수 있다. 불확실성이 높은 매개변수의 경우 모형 보정의 과정을 통해 추정해야 한다. 하지만 SWMM 모형에서 추정해야 하는 매개변수의 수가 많아 시행 착오법으로 보정하기에 많은 노력과 시간이 소요되며, 모형 수행자의 역량에 따라 그 결과가 차이 날 수 밖에 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 SWMM 5의 매개변수 추정 지원시스템을 개발하였다. SWMM 5의 매개변수 추정 지원 시스템은 전역최적화 기법인 SCE-UA방법을 이용하여 지정된 목적함수 값을 최소화 시키도록 매개변수를 추정, 모형을 보정해 주는 기능을 가지고 있다. 본 연구에서는 SWMM 5의 매개변수 추정 지원시스템의 기능과 적용 예를 소개하고자 한다.

### 2. SCE-UA

본 연구에서는 자동 보정에 집합체 혼합진화 알고리즘을 사용하였다. 자연 진화의 과정을 최적해의 탐색 과정에 도입한 집합체 혼합진화 알고리즘은 Duan(1991)에 의해 개발되고, Duan 등(1992; 1994)에 의해 연

---

\* 부경대학교 공과대학 토목공학과 박사수료 · E-mail: [jthwise@pknu.ac.kr](mailto:jthwise@pknu.ac.kr)

\*\* 정희원 · 부경대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail: [peterlee@pknu.ac.kr](mailto:peterlee@pknu.ac.kr)

구된 전역 최적화 알고리즘이다. Duan 등(1992)에 따르면, 집합체 혼합진화 알고리즘은 Nelder와 Mead(1965)의 심플렉스 방법(simplex procedure)과 Price(1987)의 조절 난수 탐색 방법(controlled random search), Holland(1975)의 경쟁적 진화 방법(competitive evolution)의 강점과 집합체 혼합(complex shuffling)이라는 새로운 개념을 결합하여 구성된 알고리즘이다.

Duan 등(1994)에 따르면, 상기의 네 가지 개념을 합성한 집합체 혼합진화 알고리즘은 다음과 같은 특성을 갖는다. (1) 확정론적이고 확률론적인 접근 방법의 결합(combination of deterministic and probabilistic approaches), (2) 전역해 탐색을 위한 점들로 구성된 집합체의 조직적 진화(systematic evolution), (3) 경쟁적 진화(competitive evolution), (4) 집합체의 혼합(complex shuffling)이다. (1)~(3)에 관한 개념은 기존 연구(Holland, 1975; Price, 1983; Manetsch, 1990; Wang, 1991)에서 성공적임이 입증된 개념이고, (4)의 개념이 Duan 등(1992)이 제시한 개념이다.

집합체 혼합진화 알고리즘은 개발된 이후, 알고리즘의 효과와 효율이 알려지면서 다양한 유역유출 모의 모형의 자동 보정과 최적화 해석에 관한 연구에서 활용되었다. 실제로 집합체 혼합진화 알고리즘은 미국 국립 기상국 NWSRFS(National Weather Service river forecasting system)의 보정 모듈로 사용되고 있다(Duan 등, 1994).

### 3. SWMM5의 매개변수 추정지원 시스템 개발

SWMM 5의 매개변수 추정 지원 시스템은 내부 엔진은 Fortran으로, 프로그램의 GUI는 python flask와 html언어로 개발되었다. 프로그램은 총 7단계로 순차적으로 진행하도록 되어 있으며 이는 표 1 및 그림 1과 같다.

표 1. SWMM 5의 매개변수 추정 지원 시스템을 이용한 모형 보정의 과정

구분	단계 명칭	설명
Step 1.	Select SWMM 5 input file	SWMM 5의 입력파일 선택 및 확인
Step 2.	Select observed data and node for model calibration	모형보정에 사용할 관측자료 및 관측지점 선택
Step 3.	Select calibration parameter group	자동 보정을 통해 추정할 매개변수의 선택
Step 4.	SCE-UA option	목적 함수, 탐색 범위 등의 설정
Step 5.	Summary of calibration option	선택된 모든 자동 보정의 조건 확인
Step 6.	Now calibrating	자동 보정 시작 및 보정 과정 확인
Step 7.	Calibration result	최종 결과 확인, 자동보정 된 입력파일 저장

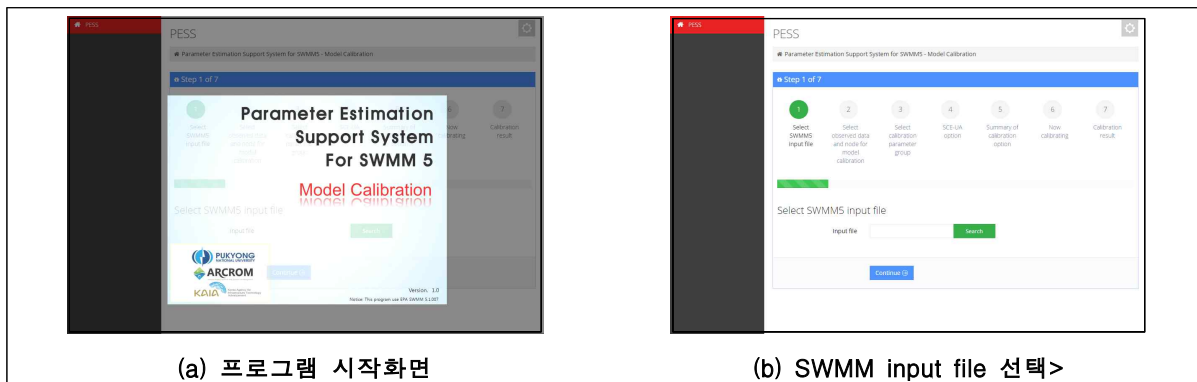
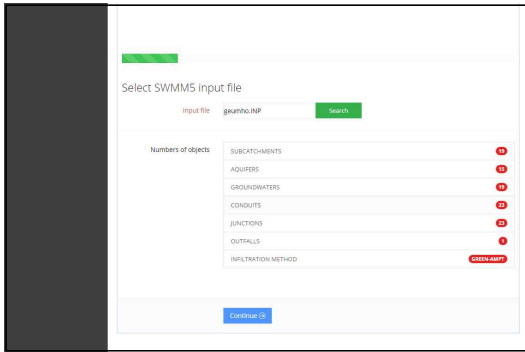
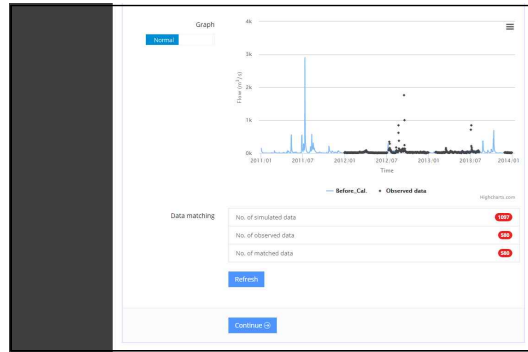


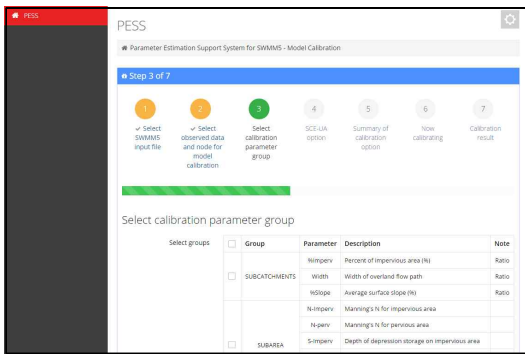
그림 1. SWMM 5의 매개변수 추정 지원 시스템 실행 과정



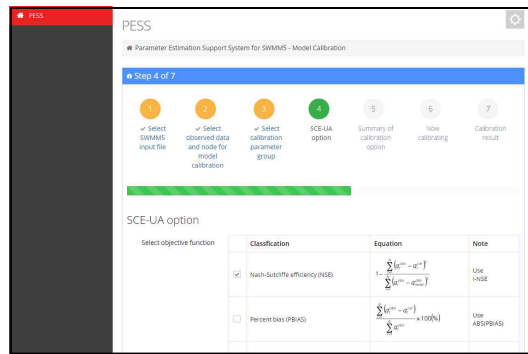
(c) 선택된 input file의 상태 확인



(d) 관측값과 보정전 모의 결과 비교



(e) 추정할 매개변수의 그룹 선택

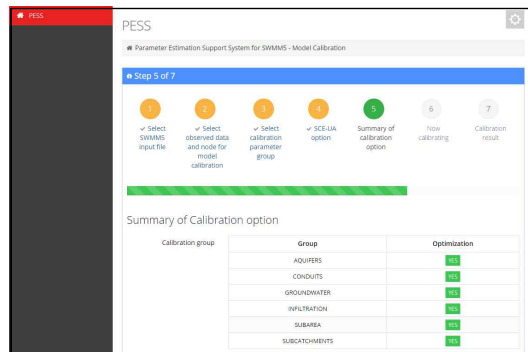


(f) 목적함수 선택

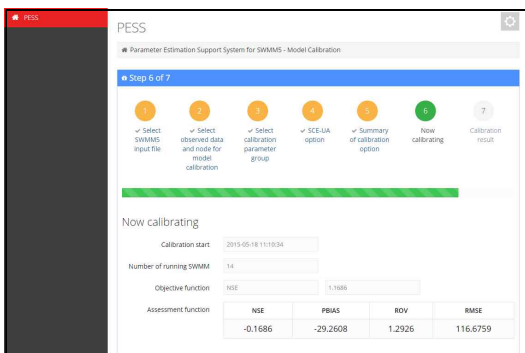
Parameter setup

Parameter	Initial	Lower Boundary	Upper Boundary
Nimperv	1	0.8	1.2
Width	1	0.8	1.2
Nslope	1	0.8	1.2
Nimperv	0.013	0.01	0.016
Nperv	0.2	0.15	0.4
Simperv	2	1.6	3.8
Sperv	5	3.8	6.4
NZeroimperv	20	10	30
Suction	90	88.9	110
HysCon	5	3.3	10.92
RMmax	0.375	0.25	0.5
RN	0.458	0.483	0.463
WP	0.1	0.085	0.116
FC	0.21	0.19	0.232
HysCon	5	3.3	10.92
Nslope	5	1	10
Tslope	3000	1000	5000
LEF	0.7	0.5	0.8
LED	3	1	8

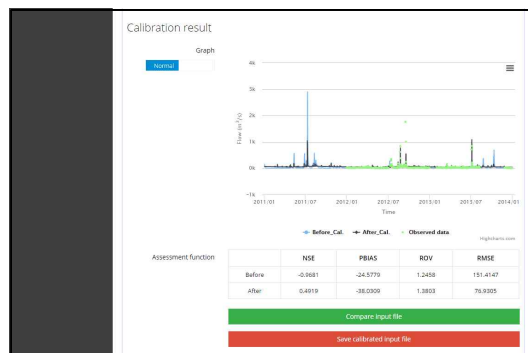
(g) 추정할 매개변수의 탐색 범위 설정



(h) 모형 보정 설정 값 종합 확인



(i) 자동 보정 진행 중



(j) 모형 보정 결과의 확인

그림 1. SWMM 5의 매개변수 추정 지원 시스템 실행 과정(계속)

#### 4. SWMM5의 매개변수 추정지원 시스템을 이용한 모형 자동 보정의 예

자동 보정의 적용 예시 유역은 동향 수위관측소 유역이다(그림 2 (a)). 유역면적은 약 160 km<sup>2</sup> 으로 총 23개의 소유역으로 구성되어 있다. 침투계산식은 SCS방법을 사용하였고, 시간단위 강우자료를 이용하였다. 자동 보정에 사용된 목적함수는 평균제곱근 오차이며, 보정기간은 2009년, 검증기간은 2010년이다. 자동 보정 및 검증 결과는 그림 2 (b), (c) 및 표 2와 같다. 표 2를 보면 자동 보정의 결과 중 NSE는 0.95로 매우 좋음을 알 수 있고, 검증결과도 NSE가 0.89로 모의 결과가 관측값을 아주 잘 모사함을 알 수 있다.

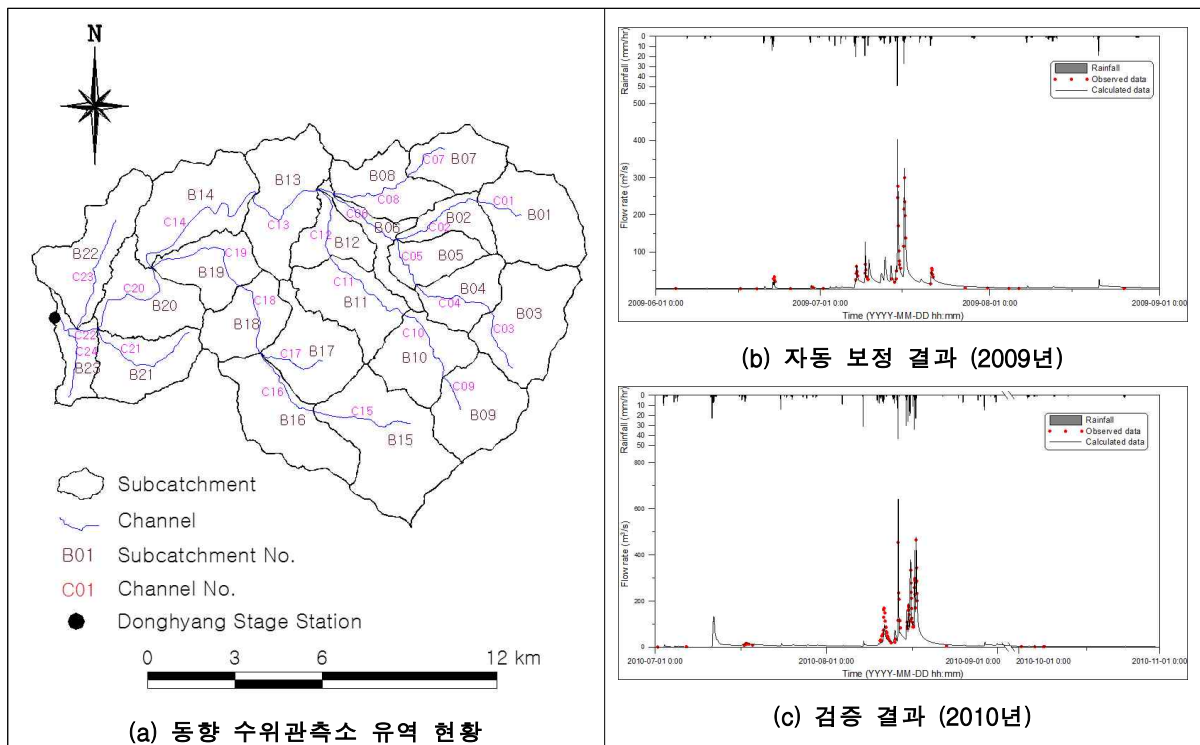


그림 2. SWMM5의 매개변수 추정지원 시스템을 이용한 자동 보정의 적용 예

표 2 자동 보정 및 검증 결과

Classification	Simulation Period	Number of Measured Data	RSR	NSE	PBIAS (%)	Observed Maximum Flow(m <sup>3</sup> /s)		
						Occurrence Time	Absolute Error(m <sup>3</sup> /s)	Relative Error(%)
Calibration	2009.03.01. ~2009.12.31	67	0.23 (Very good)	0.95 (Very good)	2.64 (Very good)	2009.07.16. 10:00	5.23	1.74
Verification	2010.01.01. ~2010.12.3.	89	0.34 (Very good)	0.89 (Very good)	12.54 (Good)	2010.08.17. 06:00	12.77	2.75

#### 5. 결론

SWMM 5의 매개변수 추정지원 시스템은 관측값을 이용하여 사용자가 기 구축한 SWMM 모형을 편리하게 자동으로 보정해주는 기능을 가지고 있다. 현재 추정가능 한 매개변수의 종류는 총 22개이며, 향후

LID 관련된 매개변수 및 수질관련 매개변수도 추정가능 하도록 개발될 것이다. SWMM 5의 매개변수 추정지원 시스템의 개발은 국내·외 수자원 관련 기술자들의 SWMM에 대한 이해도 및 활용성을 높여줄 것으로 기대한다.

## 감 사 의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11 기술혁신 C06)에 의해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Duan, Q. (1991). *A global optimization strategy for efficient and effective calibration of hydrologic models*. Ph.D. dissertation, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.
2. Duan, Q., Gupta, V., and Sorooshian, S. (1994). "Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models." *Journal of Hydrology*, Vol. 158, pp. 265-284.
3. Duan, Q., Sorooshian, S., and Gupta, V. (1992). "Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models." *Water Resources Research*, Vol. 28, No. 4, pp. 1015-1031.
4. Holland, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor.
5. Manetsch, T.J. (1990). "Towards efficient global optimization in large dynamic systems - The adaptive complex method." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 20, No. 1, pp. 257-261.
6. Nelder, J.A., and Mead, R. (1965). "A simplex method for function minimization." *Computer Journal*, Vol. 7, No. 4, pp. 308-313.
7. Price, W.L. (1983). "Global optimization by controlled random search." *Journal of Optimization Theory Applications*, Vol. 40, No. 3, pp. 333-348.
8. Price, W.L. (1987). "Global optimization algorithms for a CAD workstation." *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol. 55, No. 1, pp. 133-146.
9. Wang, Q.J. (1991). "The genetic algorithm and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models." *Water Resources Research*, Vol. 27, No. 9, pp. 2467-2471.