

SWAT 모형을 이용한 제주도 하천의 유출량 모의

정우열 · 양성기

제주대학교 토목공학과

(2009년 7월 22일 접수; 2009년 8월 17일 수정; 2009년 9월 10일 채택)

Simulation on Runoff of Rivers in Jeju Island Using SWAT Model

Woo-Yul Jung and Sung-Kee Yang

Department of Civil Engineering, Cheju National University, Cheju-Do 690-756, Korea

(Manuscript received 22 July, 2009; revised 17 August, 2009; accepted 10 September, 2009)

Abstract

The discharge within the basin in Jeju Island was calculated by using SWAT model, which a Semi-distributed rainfall-runoff model to the important rivers. The basin of Chunmi river of the eastern region of Jeju Island, as the result of correcting as utilizing direct runoff data of 2 surveys, appeared the similar value to the existing basin average runoff rate as 22% of average direct runoff rate for the applied period. The basin of Oaedo river of the northern region showed R^2 of 0.93, RMSE of 14.92 and ME of 0.70 as the result of correcting as utilizing runoff data in the occurrence of 7 rainfalls. The basin of Ongpo river of the western region showed R^2 of 0.86, RMSE of 0.62 and ME of 0.56 as the result of correcting as utilizing runoff data except for the period of flood in 2002~2003. Yeonoae river of the southern region showed R^2 of 0.85, RMSE of 0.99 and ME of 0.83 as the result of correcting as utilizing runoff data of 2003. As the result of calculating runoff for the long term about 4 basins of Jeju Island from the above results, SWAT model wholly appears the excellent results about the long-term daily runoff simulation.

Key Words : SWAT model, RMSE, ME, Runoff simulation, Jeju Island

1. 서론

제주도는 연평균 강우량이 1,975 mm에 달하는 우리나라 최대의 다우지역이며, 투수성이 좋은 다공질 화산암류 및 화산회토로 이루어져 있어 총 강우량의 48.5%에 이르는 빗물이 지하로 침투하여 대부분의 하천들은 건천을 이루고 있다¹⁾.

제주도의 143개 하천 중 6개의 하천을 제외한 대부분의 하천들은 건천의 형태를 이루고 있어 지

표수의 발달이 매우 빈약하다. 따라서 제주도민의 생활 및 산업활동에 필요한 용수는 전적으로 지하수에 의존하고 있다²⁾.

제주도의 지하수에 관한 조사 및 연구는 1960년대 초반부터 여러 연구기관과 개인 연구자들에 의해 진행되기 시작하였으며, 2007년 현재까지 제주도전역에는 4,936공의 지하수 관정이 개발되어 지하수 개발량이 거의 한계에 달하고 있는 실정이다. 또한 제주도는 고도성장파와 대형 관광단지의 개발에 따른 인구, 토지이용 등의 증가로 인하여 용수 수요가 날로 급증하고 있는 추세이며, 이같이 늘어나는 용수수요의 추세와 수자원을 확보하기 위해 제주도

Corresponding Author : Sung-Kee Yang, Department of Civil Engineering, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea
Phone: +82-64-754-3451
E-mail: skyang@jejunu.ac.kr

의 지표수 개발이 절실하게 필요한 실정이다³⁾.

지표수자원 개발을 위해서는 제주도 하천에 대한 수문조사가 필수적이며, 특히 주요하천에 대한 수문조사를 실시하기 위해서는 많은 장비와 인력이 추가되어야만 한다. 또한, 제주도 주요하천의 연속적인 정밀 유출량을 산정하기 위해서는 하천을 대상으로 한 수문모형을 개발·적용하여 지속적인 유출량 자료를 확보하여야만 한다.

Soil and Water Assessment Tool(SWAT) 모형은 물리적 기반 모형으로서 과거부터 최근까지 GIS로 구축된 자료로부터 토양, 토지이용, 지형정보를 추출하여 입력자료로 사용함으로써 자세하고 정확한 모의가 가능하다. SWAT에서 일별 지표면 유출량은 SCS 방법을 이용하여 산정하여, 측방유출량은 Kinematic Storage Model을 이용하고 침투는 토층을 최대 10개 층까지 세분화하여 선형저수량 추적기법을 사용하여 계산한다. SWAT은 지하수를 두 개의 대수층으로 구분하였다. 즉 유역의 하천에 회귀수를 공급하는 얇은 비피압 대수층과 유역 밖의 하천에 대한 회귀수에 기여하는 깊은 피압 대수층으로 나누어 물수지에 의해 계산된다.(Arnold et al., 1993). 또한 GIS로 작성하며 토지이용자료를 사용하기 때문에 토지이용의 공간적 변화가 유출에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 수 있는 특징이 있다. 또한, 대상유역을 HRU (Hydrologic Response Unit)라는 계산단위로 나눠 수문모의를 함으로서 소유역부터 대유역까지 모의가 가능하다는 장점이 있다⁴⁾.

최근 SWAT 모형을 제주도 하천에 적용한 연구⁵⁾와 SWAT 모형과 3차원 지하수 유·모형인 MODFLOW 모형의 완전 연·형 결합모형인 SWAT-MODFLOW 모형을 개발하여 제주도 천미천 유역을 대상으로 진행하고 있다⁶⁾. 이외에도 SWAT-k모형을 다양한 분야에서 개발·적용하여 우수한 결과와 활발한 연구들이 진행 중에 있다.

본 연구에서는 장기 강우-유출 모형인 SWAT2000을 적용하여 제주도 주요하천에 대한 유출량을 산정하고자 한다. 이러한 연구는 제주도의 지속 가능한 수자원 개발 및 지하수 자원의 감소에 대처할 수 있는 지표수 자원의 이용·개발에 관한 위한 기초적인 연구이며, 향후 제주도의 중·단기 종합적 수자원 연구와 지역혁신 산업인 물산업 육성을 위

한 그 첫 연구단계로서 매우 중요한 의의를 가지게 될 것이다.

2. 자료 및 방법

제주도 하천은 한라산 정상부를 중심으로 남북 방향으로 발산하는 형태로 분포하고 있으나, 서부 지역은 한라산 능선의 발단부에 위치하면서 사면경사가 완만할 뿐만 아니라 비교적 평탄한 용암대지로 이루어져 있어 상대적으로 하천의 발달이 미약한 편이다⁷⁾. 따라서 제주도의 하천은 제주와 서귀포를 중심으로 남·북부 지역에 지방하천과 소하천을 포함하여 총 143개가 분포하고 있다⁷⁾. 이들 하천 중 천미천과 상시유출 하천인 외도천, 옹포천, 연외천을 연구대상유역으로 선정하여 SWAT 모형을 적용하였다(Fig. 1).

연구 대상유역에 대한 SWAT 모형의 입력자료인 수문·기상자료(Precipitation, Solar Radiation, Wind Speed, Climate, Humidity)와 지형자료(Digital Elevation Model(DEM), Land Use, Soil Type)를 구축하고, 모형의 보정 및 검증에 위해 4개 하천 유역의 실측 유출 자료를 수집하여 정리하였다. 모형의 보정을 수행한 결과를 바탕으로 하여 4개 하천 유역의 유출모의 결과를 분석하고, 향후 제주도에 필요한 연구결과 활용방안에 대하여 검토하였다. 연구내용의 흐름도는 Fig. 2와 같다.

3. 입력자료의 구축

3.1. 입력자료

3.1.1. 대상유역의 수문·기상자료

SWAT 모형에서 유출량 산정에 사용되는 기본적인 수문·기상자료는 강우, 최고·최저기온, 태양복사량, 풍속, 습도 등이 있다. 이외에도 관측소의 위치정보를 나타내는 입력자료 및 관측 유출량 자료 그리고 저수지 수위 등에 따라 선택적으로 요구된다. SWAT 모형은 소유역 각각에 대한 수문자료와 기상자료가 입력 자료로서 사용되지만, 대상유역의 소유역에 대한 각각의 입력 자료는 존재하지 않는다. 이런 경우 SWAT 모형에서는 각 소유역의 출구지점에서 인접한 기상관측소의 자료를 각 소유역별 수문·기상자료로 산정하였다.

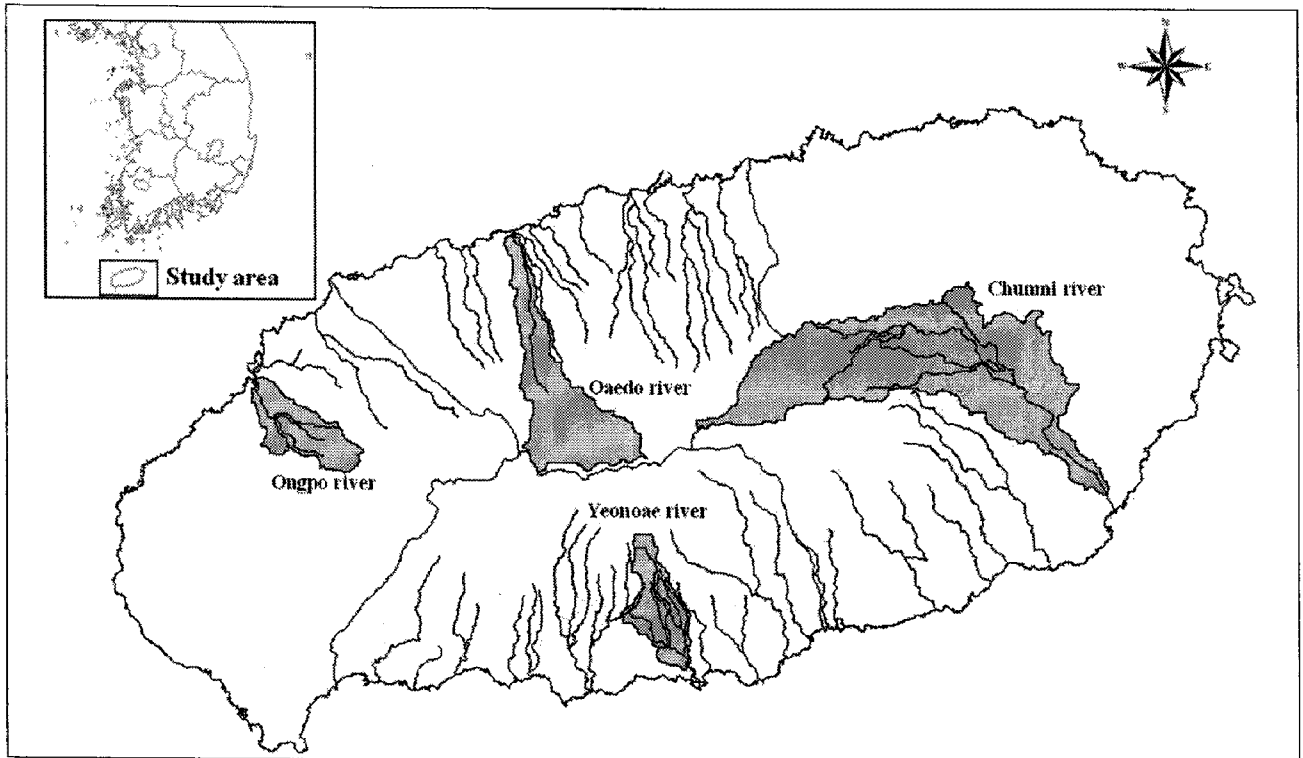


Fig. 1. Watershed for the study.

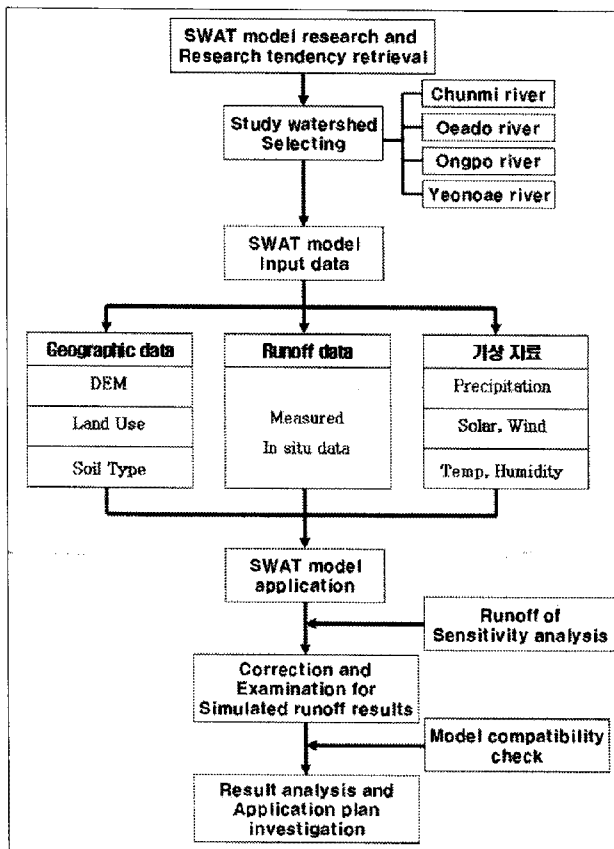


Fig. 2. Flow chart of the study contents.

연구대상유역의 기상관측 자료는 제주·서귀포·성산포·고산 관측소의 자료를 사용하였으며, 각 관측소의 현황은 Table 1과 같다. 강우량 자료는 기상관측소 관측자료와 제주도재난안전대책본부 관측자료를 이용하여 모형의 입력자료로 사용하였다.

3.2.2. 대상유역의 GIS 입력자료 구축

유역의 물리적 특성을 반영하는 모형의 효율성을 높이기 위해서는 GIS와 연계된 자료의 구축이 매우 중요하다. SWAT 모형에 필요한 GIS 입력자료는 크게 5가지(DEM, 토지피복도, 토양도, 유역의 경계, 하천의 형태) 나누어진다. 유역의 경계와 하천의 형태는 모형 내부에서도 모의되기 때문에 DEM, 토지피복도, 토양도 자료를 구축하였다.

대상유역의 DEM은 환경부에서 제공하는 30m×30 m 해상도의 DEM을 arcInfo를 이용해 가공하여 사용하였다. 분석결과 제주도는 0~1950 m의 표고를 가지고 있으며, 유역 평균표고는 283.69 m, 유역의 평균 경사는 9.04%로 확인되었다(Fig. 3).

토지피복도는 환경부에서 제공하는 2000년 Landset 위성영상을 이용하여 피복분류한 자료를 이용하여 Arcview 프로그램을 이용하여 100m×100m 격자크

Table 1. Status of meteorological station of the study watershed

| Observation station | Latitude | Longitude | Sea-level elevation(m) | Observation beginning date |
|---------------------|------------|-------------|------------------------|----------------------------|
| Jeju | 33° 30 ' N | 126° 32 ' E | 20.0 | 1923. 5 |
| Seogwipo | 33° 15 ' N | 126° 34 ' E | 50.5 | 1961. 1 |
| Sungsanpo | 33° 23 ' N | 126° 53 ' E | 18.6 | 1971. 5 |
| Gosan | 33° 29 ' N | 126° 16 ' E | 71.0 | 1988. 5 |

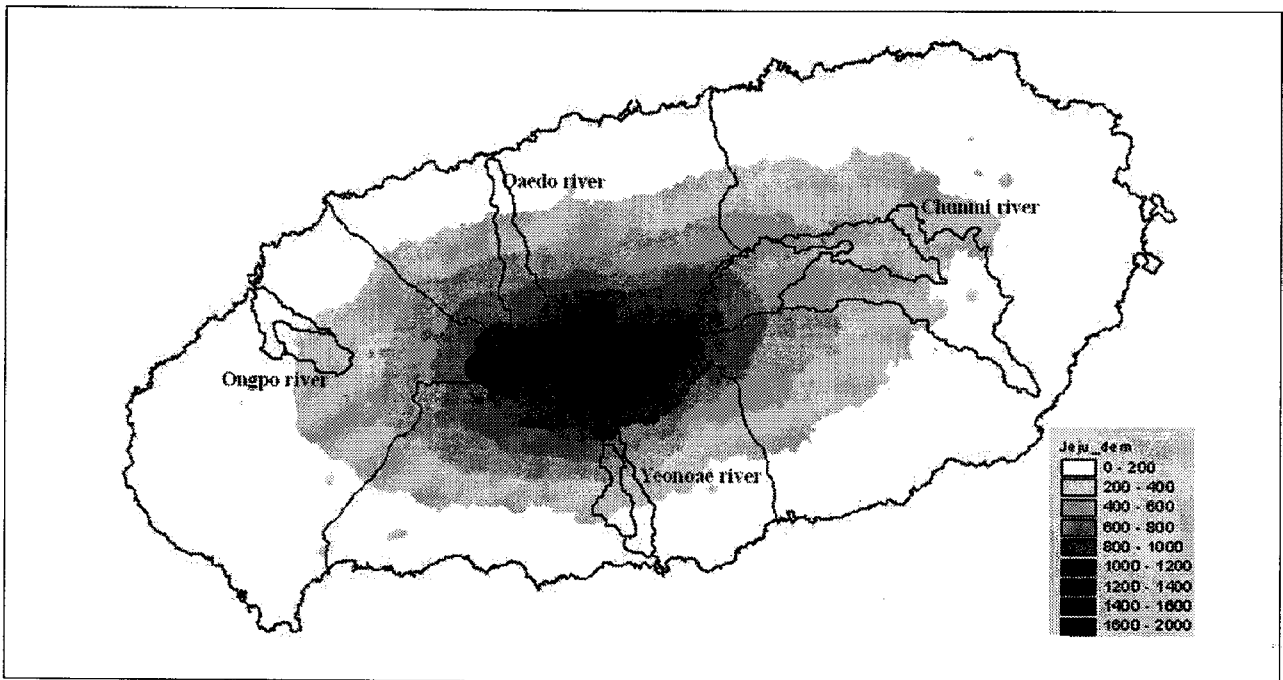


Fig. 3. DEM of the study watershed.

기로 구축하여 모형의 입력자료로 사용하였다(Fig. 4). 외도천 유역은 산림지역이 전체의 70.77%, 천미천 유역은 산림지역이 전체의 68.05%, 옹포천 유역은 밭이 전체의 68.87%, 연외천 유역은 산림지역이 전체의 62.91%로 나타났다(Table 2).

토양도(Soil Type Map) 자료는 농업과학기술원에서 제공하는 농업토양정보시스템(ASIS) 제공하는 1:25000 정밀 토양도를 토양통별로 구분하여 Arcview 프로그램을 이용하여 100 km × 10 km 격자의 크기로 구축하여 모형의 입력자료로 사용하였다(Fig. 5).

외도천 유역은 31개의 토양통 중에서 흑악토이 27.69% 차지하고 있으며, 오라, 한경, 적악, 군산 토이 비교적 많은 분포를 보이고 있다. 천미천 유역은 35개의 토양통 중에서 평대토이 27.15%를 차지하고 있으며, 노로, 미악, 남원, 녹산 토이 비교적 많은 분포를 보이고 있다(Table 3). 또한 옹포천 유역은 25

개의 토양통 중에서 구좌토이 24.29%로 가장 많은 비율을 보이고 있으며, 중염, 오라, 사라, 동귀 토이 많은 분포를 보이고 있으며, 연외천 유역은 30개의 토양통 중에서 흑악토이 20.69%로 가장 많은 비율을 보이고 있으며, 오라, 아라, 제주, 중문 토이 많은 분포를 보이고 있다(Table 4).

4. SWAT 모형에 의한 유출량 모의

4.1. 천미천 유역

천미천 유역에 적용한 모델의 결과를 보정 · 검증하기 위하여는 실측 유량 관측 자료가 필요하다. 그러나 천미천 유역은 항시 건천의 형태를 띠기 때문에 연속적인 하천 유출의 자료는 확보할 수 없었다. 따라서 2006년 직접 실측한 2회의 관측 자료를 사용하여 모델 결과를 보정하였다. 모델의 결과치가 직접유출 실측치에 비해 비교적 높은 값을 보이

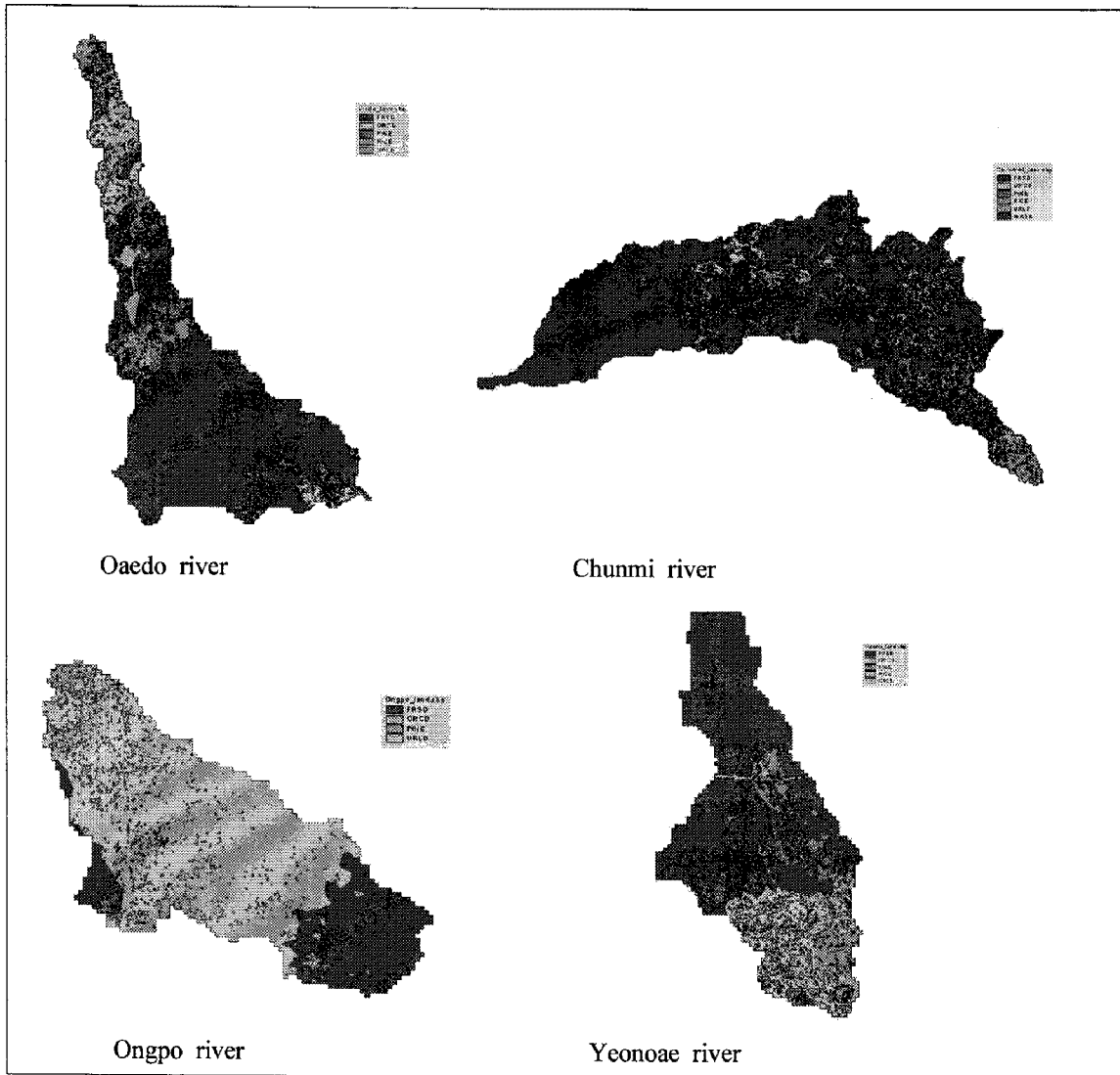


Fig. 4. Land-cover map of the study watershed.

Table 2. Ground coverage state at the watershed to be studied

| | Oaedo river | | Chunmi river | | Ongpo river | | Yeonoae river | |
|-------------|------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|----------|
| | Area(km ²) | Ratio(%) | Area(km ²) | Ratio(%) | Area(km ²) | Ratio(%) | Area(km ²) | Ratio(%) |
| Paddy field | 0.07 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | - | - | 3.68 | 0.14 |
| Grassland | 4.71 | 10.58 | 11.14 | 8.73 | 0.30 | 1.48 | 2.22 | 11.32 |
| field | 7.31 | 16.42 | 25.4 | 19.9 | 13.84 | 68.87 | 1.35 | 18.78 |
| Forest | 31.52 | 70.77 | 86.86 | 68.05 | 4.56 | 22.70 | 12.37 | 62.91 |
| City | 0.92 | 2.07 | 4.24 | 3.32 | 1.40 | 6.95 | 0.03 | 6.86 |

고 있고 선행강우가 존재하였기 때문에 제주지역의 건천 및 상시하천 유역에 대한 민감도 분석 결과⁵⁾를 이용하여 가장 민감한 매개변수의 CN2 값을 줄여서 고정한 후, 매개변수 SOL_AWC와 ESCO 를 조정하여 모델의 결과를 보정하였다.

SWAT 모델을 제주도에 적용함에 있어 모의결과와 적합성을 판단하기 위해서 평균제곱근오차(RMSE)와 모형 효율성 계수(ME)를 목적함수로 사용하였으며, 보정 결과 1999년부터 2006년까지 실측에 의한 평균 직접유출율은 22% 였으며 2회의 평균제곱근

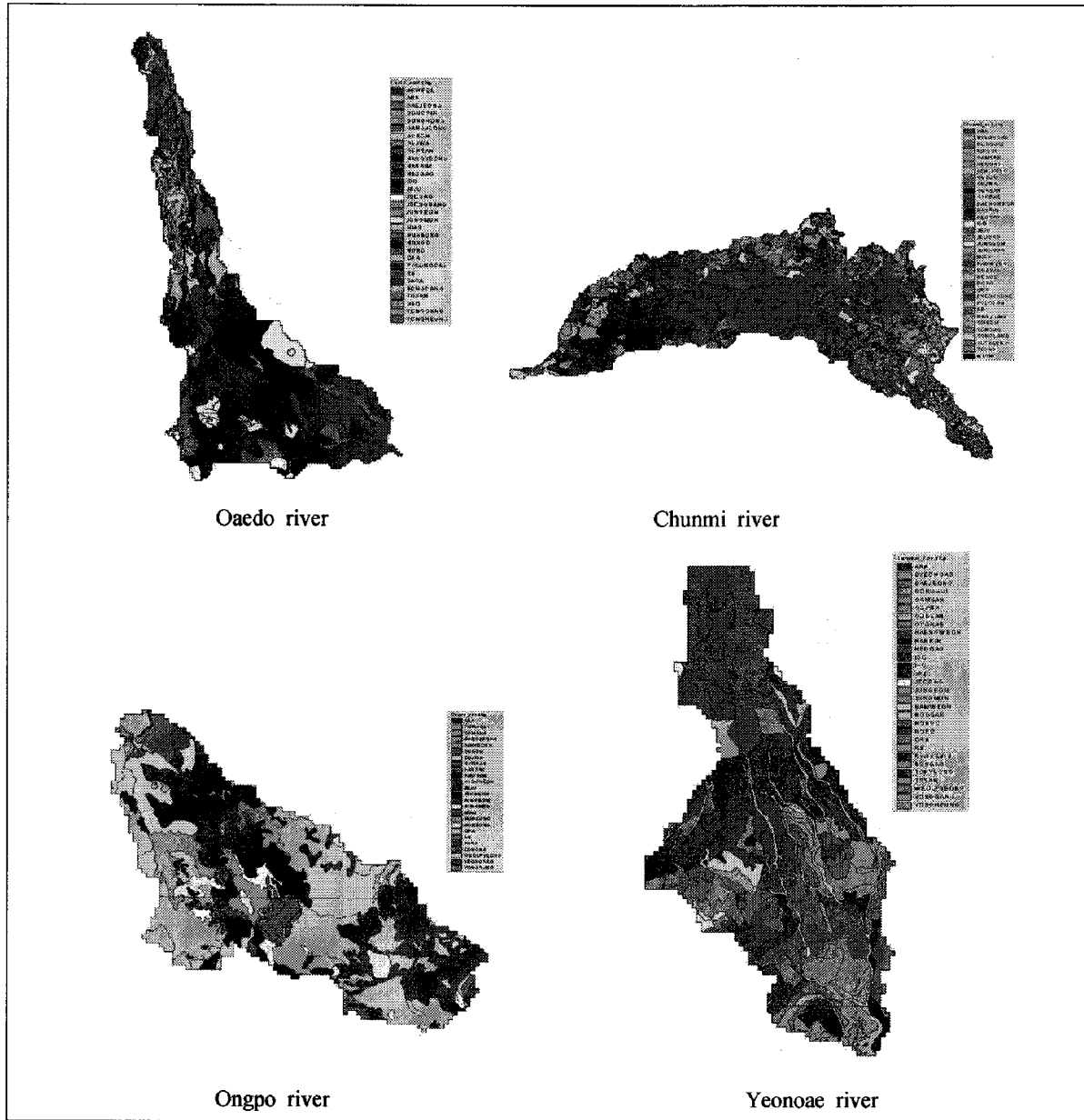


Fig. 5. Soil map of the study watershed.

오차는 13.09였다. 실측자료의 부재로 인하여 2회의 평균제곱근 오차(RMSE)는 계산하였으나, 연간 통계치의 평균제곱근 오차(RMSE)와 모형의 효율성 계수(ME)는 계산할 수 없었다.

그러나 실측 유출자료가 부족한 친미천 유역에 대한 모형의 적용성을 판단할 수 있는 지표로는 년도별 직접유출율(%) 자료 밖에 없는 실정이다. 기존의 1993~2002년 의 직접유출율의 폭은 17~31%이며, 평균치는 22%이며²⁾, 모형의 보정 결과 1999~2006년의 직접유출율 폭은 13~28%이며, 평균치는

22%로 나타났다(Table 5). 모형의 직접유출율은 비교적 일치하고 있으나, 이러한 결과는 많은 실측 자료를 바탕으로 하여 결과치를 검증해야만 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

4.2. 외도천 유역

강우발생시 직접 실측한 관측자료(2007년 7회 관측)를 바탕으로 보정을 하였다. 모형의 결과치와 실측 자료를 비교해본 결과 직접유출에 대한 결과치가 실측치보다 높게 나왔으며, 외도천은 상시 유출

Table 3. Rate and dimension by soil series at the study watershed

| Chunmi river | | | Oaedo river | | |
|--------------|------------------------|----------|-------------|------------------------|----------|
| Region | Area(km ²) | Ratio(%) | Region | Area(km ²) | Ratio(%) |
| GUJWA | 3.51 | 2.75 | HEUGAG | 12.33 | 27.69 |
| MIAG | 10.20 | 7.99 | GUNSAN | 2.80 | 6.28 |
| GIMYEONG | 1.56 | 1.22 | RB | 1.75 | 3.92 |
| PYEONGDAE | 34.65 | 27.15 | TOSAN | 2.01 | 4.51 |
| JUNGEOM | 3.36 | 2.63 | NORO | 1.79 | 4.01 |
| GUEOM | 0.65 | 0.51 | NONGO | 2.05 | 4.61 |
| RB | 4.19 | 3.28 | JEONGGAG | 3.01 | 6.76 |
| JEJU | 6.39 | 5.01 | SARA | 0.55 | 1.24 |
| JUNGMUN | 0.40 | 0.31 | DAEJEONG | 0.14 | 0.31 |
| IDO | 0.32 | 0.25 | YONGGANG | 0.01 | 0.03 |
| ORA | 2.23 | 1.75 | ORA | 3.10 | 6.96 |
| GEUMAG | 0.37 | 0.29 | AEWEOL | 0.49 | 1.1 |
| GYORAE | 0.82 | 0.64 | GUJWA | 0.08 | 0.17 |
| HAENGWEON | 0.69 | 0.54 | DONGGUI | 1.23 | 2.77 |
| EUIGUI | 0.10 | 0.08 | GUEOM | 0.07 | 0.16 |
| ARA | 0.08 | 0.06 | GANGJEONG | 0.26 | 0.59 |
| SONGAG | 1.16 | 0.91 | JUNGMUN | 1.60 | 3.6 |
| NAMWEON | 8.39 | 6.57 | HANRIM | 1.46 | 3.28 |
| NOGSAN | 6.55 | 5.13 | YONGHEUNG | 1.03 | 2.32 |
| PYOSEON | 1.53 | 1.2 | MUREUNG | 0.29 | 0.64 |
| SONGDANG | 3.32 | 2.6 | ARA | 0.49 | 1.1 |
| TOPYEONG | 4.60 | 3.6 | JEJU | 1.39 | 3.12 |
| WUIMI | 0.70 | 0.55 | IDO | 0.01 | 0.03 |
| GAMSAN | 0.87 | 0.68 | JUNGEOM | 0.08 | 0.17 |
| SINEOM | 1.42 | 1.11 | JEONGBANG | 0.08 | 0.17 |
| Rocky Land | 0.15 | 0.12 | UDO | 0.70 | 1.57 |
| DONGGUI | 0.49 | 0.38 | DONGHONG | 0.05 | 0.12 |
| HEUGAG | 5.14 | 4.03 | PYEONGDAE | 2.50 | 5.61 |
| NORO | 13.91 | 10.9 | HANGYEONG | 3.05 | 6.84 |
| JEONGGAG | 5.13 | 4.02 | SONGDANG | 0.03 | 0.06 |
| HANRIM | 0.20 | 0.16 | MIAG | 0.12 | 0.26 |
| NONGO | 3.06 | 2.4 | | | |
| BYEONGGAG | 0.06 | 0.05 | | | |
| TOSAN | 1.11 | 0.87 | | | |
| GUNSAN | 0.31 | 0.24 | | | |

이 발생하는 하천이므로 다음과 같이 모형을 보정 하였다.

모형의 보정 순서는 먼저 유역 출구 지점에서의 총 유출량을 보정한 후 CN2값을 -6정도 줄여서 고정한 후 ALPHA_BF 값을 하한값인 0.02에 조절하고, SOL_AWC +0.03, ESCO +0.45 상향하여 보정하였다. 보정 결과 평균제곱근오차(RMSE)는 14.92로 나타났으며, R²는 0.93, 모형효율성계수(ME)는 0.70으로 나타났다(Fig. 7).

4.3. 옹포천 유역

옹포천 유역은 2002~2003년의 유출량 자료⁸⁾를 이용하여 보정·검정을 하였다. 옹포천의 관측값 대부분은 기저유출성분으로서, 관측값이 모의값에 비하여 조금 큰 경향을 보인 옹포천 유역에는 CN2를 -7, SOL_AWC를 -0.05, REVAPMN을 +250, ESCO +0.95 상승하여 모의 결과값을 보정하였다. 보정 결과 RMSE 0.62, R² 0.86, ME 0.56로 나타났다. 옹포천 유역은 관측값이 33회 정도로 비교적 많은

Table 4. Rate and dimension by soil series at the study watershed

| Ongpo river | | | Yeonoae river | | |
|-------------|------------------------|----------|---------------|------------------------|----------|
| Region | Area(km ²) | Ratio(%) | Region | Area(km ²) | Ratio(%) |
| GUJWA | 4.88 | 24.29 | JUNGEOM | 0.78 | 3.96 |
| DONGGUI | 1.56 | 7.77 | JEJU | 2.01 | 10.25 |
| JUNGMUN | 1.01 | 5.02 | ORA | 2.93 | 14.92 |
| GUEOM | 0.37 | 1.86 | BYEONGAG | 0.50 | 2.55 |
| SARA | 1.76 | 8.74 | IHO | 0.24 | 1.2 |
| GYORAE | 0.30 | 1.48 | IDO | 0.02 | 0.11 |
| SONGAG | 0.48 | 2.41 | YONGHEUNG | 0.95 | 4.84 |
| JUNGEOM | 3.04 | 15.14 | RB | 0.94 | 4.77 |
| ORA | 2.59 | 12.9 | HANRIM | 0.75 | 3.82 |
| JEJU | 0.93 | 4.61 | WEOLPYEONG | 0.03 | 0.14 |
| HAWEON | 0.39 | 1.96 | DONGGUI | 0.05 | 0.28 |
| HANRIM | 0.01 | 0.07 | DAEJEONG | 0.09 | 0.46 |
| ARA | 0.91 | 4.51 | HEUGAG | 4.06 | 20.69 |
| GIMYEONG | 0.01 | 0.03 | GUNSAN | 0.37 | 1.91 |
| GAMSAN | 0.06 | 0.31 | JEOGAG | 0.04 | 0.21 |
| MIAG | 0.01 | 0.03 | NORO | 0.19 | 0.95 |
| YONGDANG | 0.35 | 1.75 | TOSAN | 0.27 | 1.38 |
| JOCHEON | 0.03 | 0.14 | NONGO | 0.04 | 0.21 |
| WEOLPYEONG | 0.23 | 1.14 | JUNGMUN | 1.57 | 7.99 |
| RB | 0.02 | 0.1 | ARA | 2.81 | 14.32 |
| HYOCHEON | 0.22 | 1.1 | GAMSAN | 0.36 | 1.84 |
| MUREUNG | 0.88 | 4.37 | NOGSAN | 0.08 | 0.42 |
| YEONGRAG | 0.06 | 0.28 | HAENGWEON | 0.06 | 0.32 |
| | | | Rocky Land | 0.04 | 0.18 |
| | | | SONGAG | 0.02 | 0.11 |
| | | | NAMWEON | 0.10 | 0.53 |
| | | | GUJWA | 0.32 | 1.63 |

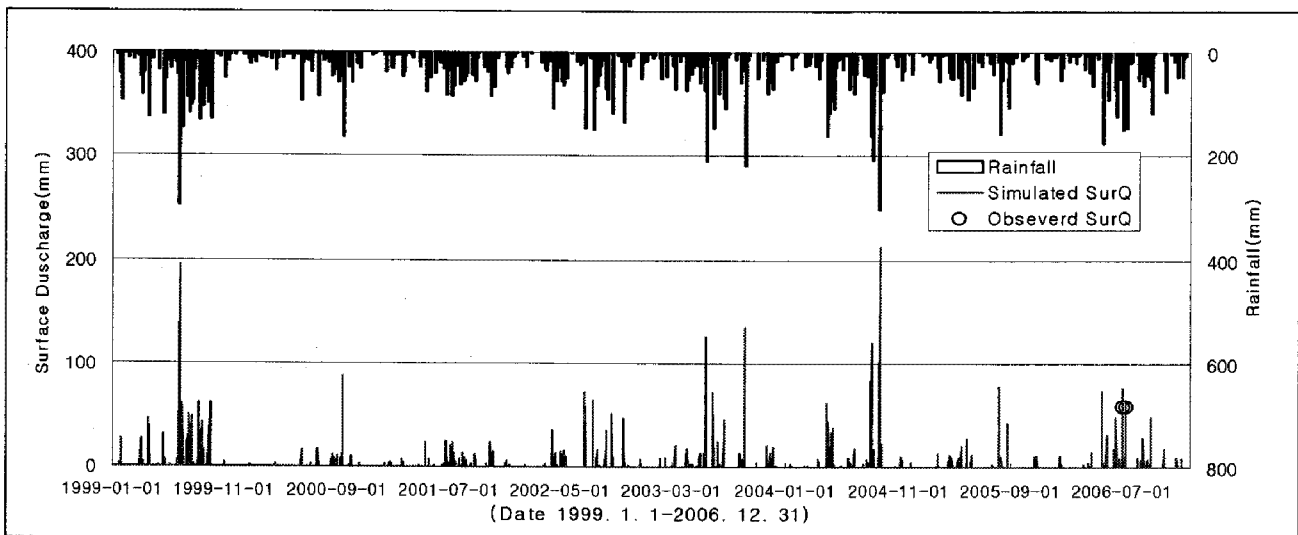


Fig. 6. Result of simulated runoff for the Chunmi watershed.

Table 5. Yearly simulation results at the Chunmi watershed

| Year | Rainfall (mm) | Direct runoff (mm) | Year | Rainfall (mm) | Direct runoff (mm) |
|------|---------------|--------------------|------|---------------|--------------------|
| 1999 | 3584.6 | 998.89 | 2003 | 3001.18 | 743.12 |
| 2000 | 1651.49 | 222.58 | 2004 | 3030.7 | 835.68 |
| 2001 | 2317.09 | 304.23 | 2005 | 1879.23 | 320.76 |
| 2002 | 2443.89 | 513.89 | 2006 | 2568.09 | 576.45 |

관측값을 보유하고 있으나, 관측값 대부분이 1~4 mm로서 매우 적은 값을 보이고 있다. 현재 옹포천 유역은 홍수시에 유출량을 관측하지 않으므로 평상시의 유출량 즉, 기저유출량을 가지고 보정을 실시 하였으므로 모형효율성계수(ME)값은 높게 나타나지 않았다. 그러나 비강우시 유출량에 대해서는 많은 관측자료를 바탕으로 하여 R² 값이 0.86에 이르는 높은 수치를 보이기 때문에 강우 시 발생하는 유출량 자료를 보완하여 모형을 구축한다면 더욱 좋은 결과를 보일 것으로 사료된다.

4.4. 연외천 유역

연외천 유역은 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(III)의 유출량 자료²⁾와 2003년 유출량자료⁸⁾를 이용하여 모형의 적용결과를 보정·검정 하였다. 모형의 보정 순서로는 먼저 유역의 출구 지점에서의 총 유출량을 보정한 후에 CN2값 모든 소유역에 대하여 하향 조정하여 고정 시켰다. SOL_AWC 값을 -0.05 하향, REVAPMN 450 상향, ESCO +1 상

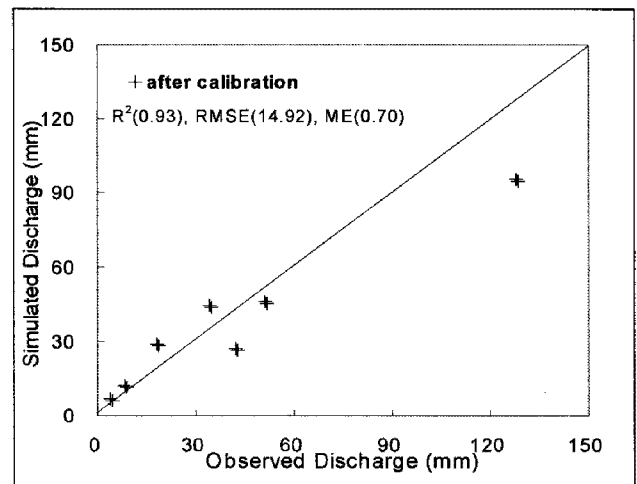


Fig. 7. Corrected result of the model for the Oaedo watershed.

향, GW_REVAP 하한값으로 조정하여 모형을 보정 하였다. 연외천 유역은 관측값의 대부분이 기저유출량이지만 2003년 23회 정도를 보유하고 있으며, 2~10 mm정도의 관측값을 보이므로 모형은 좋은 결

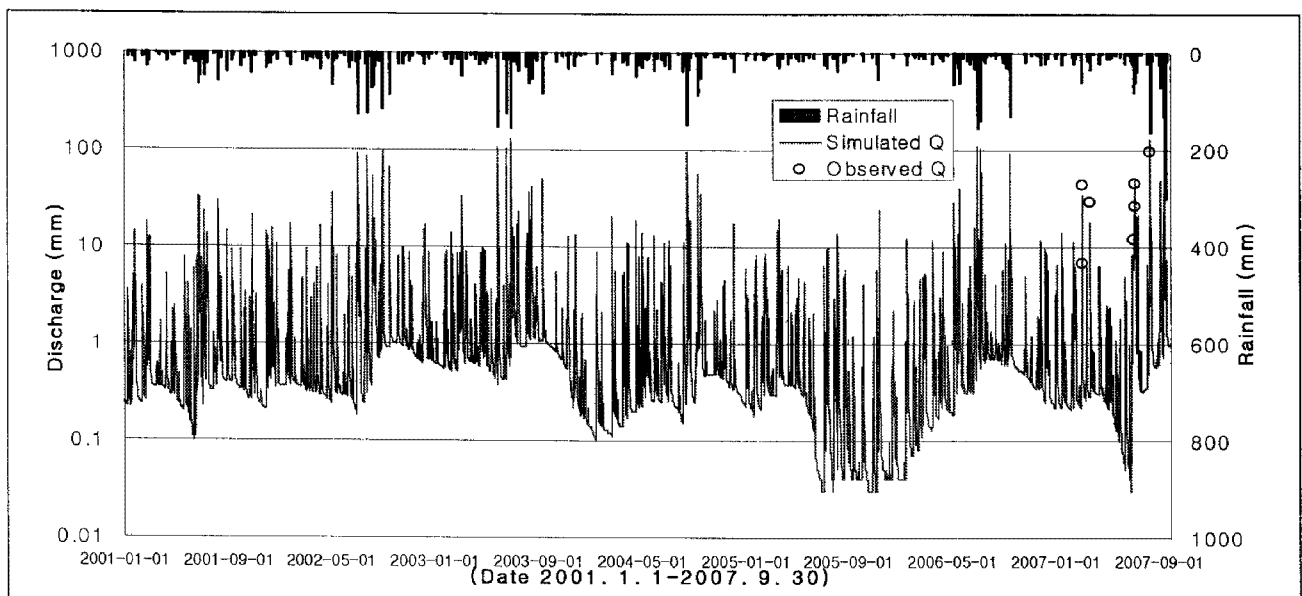


Fig. 8. Result of runoff simulation for the Oaedo watershed.

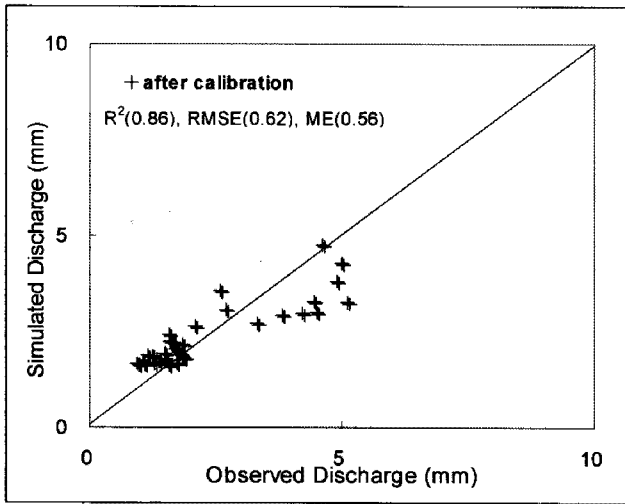


Fig. 9. Corrected result of the model for the Ongpo watershed.

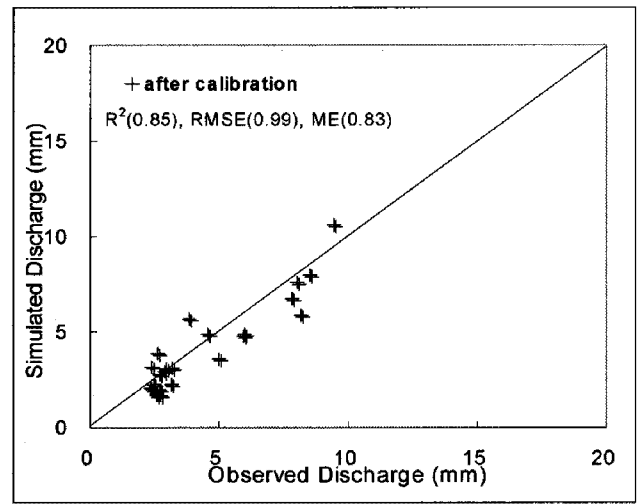


Fig. 11. Corrected result of the model for the Yeanoae watershed.

과를 보였다. R^2 값이 0.85, 평균제곱근오차(RMSE) 값이 0.99, 모형효율성계수(ME) 값이 0.83 에 이르는 모의 결과가 나왔다. 그러나 연외천 유역 역시 많은 강우발생시의 유출량 자료가 존재하지 않아 홍수시의 모의 결과값과는 검증할 수 없었다. 홍수시의 유출량 자료가 보완되어 모델을 정확하게 검증한다면 연외천 유역에서 모형의 활용성은 대단히 좋을 것이라 사료된다.

5. 결 론

제주도 수자원은 육지부와는 매우 상이한 수문지

질학적 특성으로 인해 대부분 지하수에 의존하고 있으나, 지표수의 이용과 개발, 하천에 대한 유량관측과 수문모형을 적용하여 하천 유출량을 산정한 연구는 거의 없는 편이다. 준분포형 강우-유출 모형인 SWAT 모형을 제주도 주요 하천인 천미천, 외도천, 응포천, 연외천에 적용하여 유역내의 유출량을 산정한 결과는 다음과 같다.

천미천 유역은 평상시 건천의 형태이므로 하천으로 연속적인 실측 직접유출량의 자료는 확보 할 수 없었다. 2006년 2회의 직접유출 실측한 관측 자료를 이용하여 보정하였으며, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ)의 표선유역 직접유출과 비교

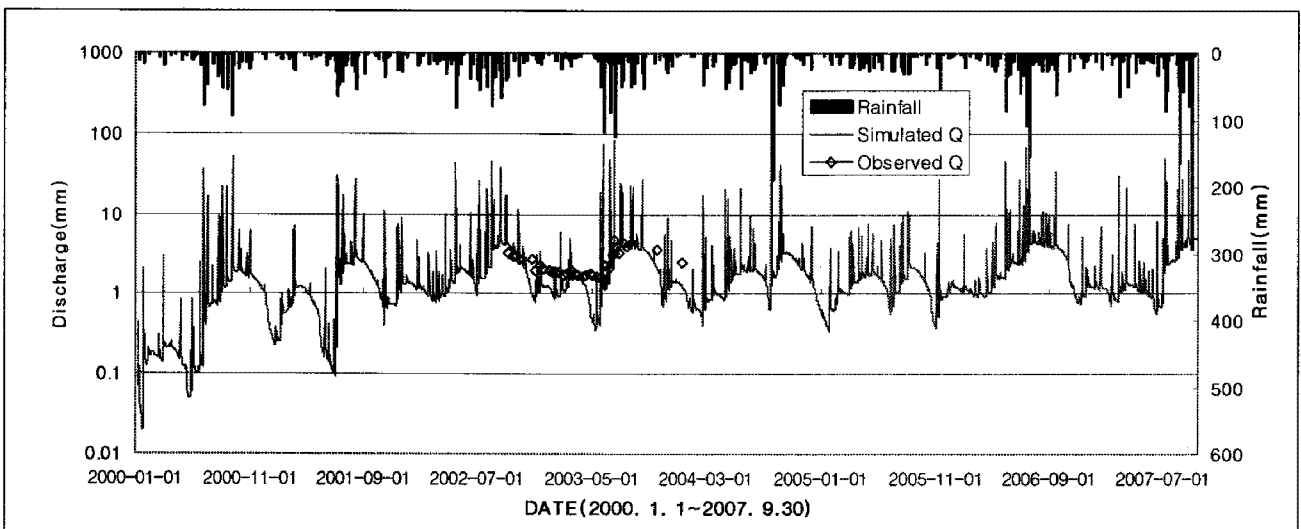


Fig. 10. Result of runoff simulation for the Ongpo watershed.

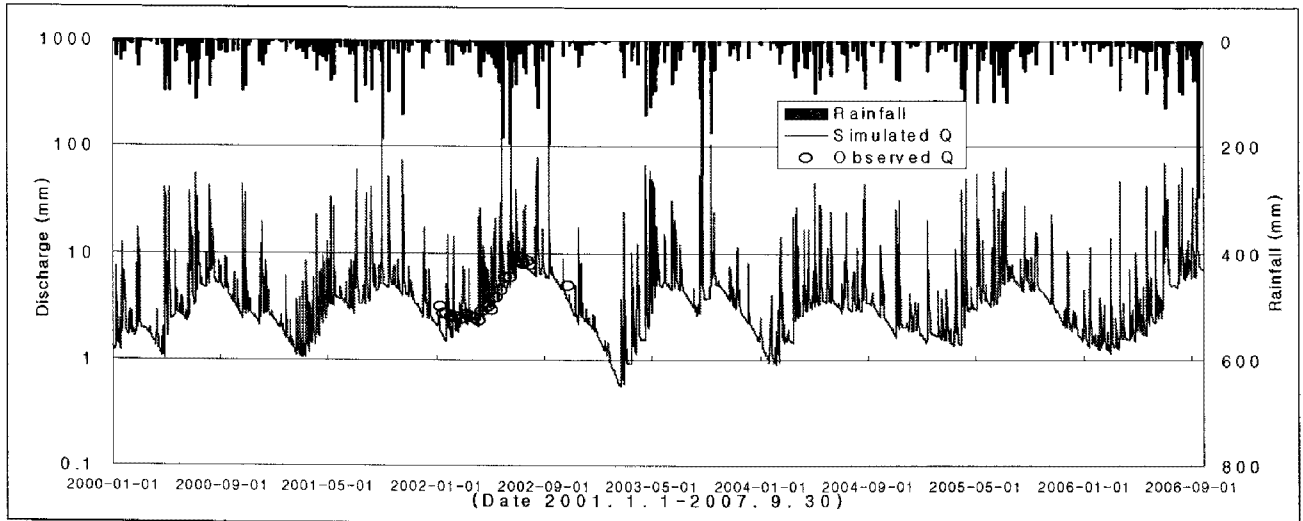


Fig. 12. Result of runoff simulation for the Yeanoae watershed.

· 검정한 결과 적용기간의 평균 직접유출율은 22% 정도로 기존의 표선유역 평균 유출률(22%)과 일치하는 값을 보였다.

의도천 유역은 평상시 하류지점에서 0.084 m 정도의 수위를 유지하면서 유출이 계속하여 발생하고 있으나, 하류지점의 수위-유량곡선은 정확도 부족으로 인하여 2007년 7회 강우 발생 시의 유출 자료를 이용하여 보정하였다. 그 결과 R^2 는 0.93, RMSE 는 14.92, ME 0.70 으로 나타났다. 관측 자료와 모의 결과는 서로 유사한 경향을 보이고 있으나, 연속적인 수위 자료가 확보 되고 난 후 정밀한 수위-유량 곡선을 통하여 보다 정확한 보정·검정을 실시하여 산정하여야만 한다.

용포천 유역은 2002~2003년 비홍수시의 유출량 자료를 이용하여 모형을 보정·검정한 결과 상관계수 R^2 0.86, 평균제곱근오차(RMSE)은 0.62로 나타났다. 그러나 관측 값의 대부분이 1~4 mm의 기저유출량이기 때문에 모형효율성계수(ME) 0.56으로서 매우 작게 나타났다.

연의천 유역은 2003년 유출량 자료를 이용하여 모형을 보정·검정한 결과 상관계수 R^2 0.85, 평균제곱근오차(RMSE)는 0.99로 나타났다. 1~10 mm 내외의 관측값을 이용하여 검정하였으며, 모형 효율성계수(ME)는 0.83 으로 나타났다.

이상의 결과들로부터 제주도 하천에 대하여 SWAT모형을 적용한 결과 장기 일 유출량 모의에 대하여 전체적으로 우수한 결과를 보이고 있다. 그

러나 제주도 하천에 대한 직접 관측한 유출량의 자료가 매우 빈약한 것은 매우 유감스러운 일이다. 향후 보다 많은 유출량 자료를 확보하여 본 연구의 결과와 비교·검정하여 SWAT 모형을 구축한다면, 제주도 하천의 장기 일 유출량에 대한 모의의 정도를 더욱 높일 수 있을 것으로 판단된다.

제주도의 하천유출은 대부분 1일 전후로 발생하는 특이성을 가지므로 보다 상세한 유출기구를 규명하기 위해서는 향후 최소모의 시간단위가 일단위 보다는 시간위로 해석하여야만 하겠다.

참고 문헌

- 1) 양성기, 2007, 제주도의 하천관리와 개선방안, 하천과 문화, 한국하천협회, 3(4), 104-115.
- 2) 제주도·한국수자원공사, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(Ⅲ) 보고서, 18-28.
- 3) 제주도, 2001, 제주도 수자원 종합개발계획 보완 보고서, 182-251.
- 4) 장대원, 2004, GIS기반의 SWAT 모형을 이용한 하천 유출량 모의, 석사학위논문, 토목공학과, 인하대학, 인천.
- 5) 정우열, 양성기, 2008, 제주도 하천에 대한 SWAT 모형의 적용, 한국환경과학회지, 17(9), 1043-1049.
- 6) 한국건설기술연구원, 2009, 제주 지역 지표수-지하수 연계 해석, 제3회 SWAT-KOREA 컨퍼런스, 31-36.
- 7) 김미령, 2003, 제주도 하천의 하계망 분석, 석사학위논문, 지리교육과, 제주대학, 제주.
- 8) 문덕철, 양성기, 고기원, 박원배, 2005, 제주도 주요 하천의 기저유출량 산정에 관한 연구, 한국환경과학회지, 14(4), 405-412.