

SWAT모형을 이용한 영월 유역의 유량자원 분석

라일호* · 유동선 · 김종건 · 박윤식 · 신용철 · 허성구 · 김기성 · 최종대 · 임경재†

강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부

Analysis of Flow-Resources Using the SWAT Model in the YeongWol Watershed

Yil-ho Ra* · Dong-sun Yoo · Jong-gun Kim · Youn-sik Park · Yong-chul shin
· Sung-Gu Heo · Ki-Sung Kim · Joong-dae Choi and Kyoung-jae Lim†

Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea

ABSTRACT

우리나라를 물 부족 국가로 분류한 상황에서 물에 대한 관심은 더욱 커지고 있다. 유동성 있는 물에 대한 관리는 현대에 들어와 크게 부각되고 있는 실정이다. 이에 물을 효율적인 사용이 절실하다. 또한, 본 연구에서는 강원도 영월 지역의 유량을 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형을 통해 모의 해보고 실측유량과 비교하여 2003년 1월부터 2004년 12월까지의 보정결과(Calibration)와 함께 2005년 1월부터 2006년 12월까지의 검정결과(Validation)를 통해 SWAT모형의 정확성을 평가하였으며, 이후 본 연구의 대상지역인 영월 유역의 유량을 모의 하였다. 그 결과 연별 일평균유량이 적게는 200,000m³/d 많게는 800,000m³/d 이상의 값을 얻었다. 따라서 유량이 비교적 풍부함을 알 수 있었다.

그리하여 본 연구에서는 유량자원 분석에 있어 SWAT 모형의 적용성이 높다는 것을 알 수 있었고, 본 연구 결과를 통해 유량자원의 효율적인 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Key words : SWAT(Soil and Water Assessment Tool), 유량분석

I. 서론

유출량 분석은 어떤 특정지역에 대한 유량의 부존상태 및 연간 변동성을 파악하기 위한 것으로서 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량 등이 있다. 이들은 수위 및 유량 관측소가 설치되어 정확한 실측자료를 보유한 지점에 대해서 최근 10개년의 유량자료 분석에 의하여 작성된 유황 곡선 상에서 산정하

게 된다. 유황 결정 기준에는 평균 갈수량(유황 곡선 상에서 355일에 해당하는 유량), 기준 갈수량(최근 10년간의 갈수량 중에서 최저 1,2위의 갈수량), 저수량(유황 곡선 상에서 275일에 해당하는 유량), 평수량(유황 곡선 상에서 185일에 해당하는 유량), 풍수량(유황 곡선 상에서 95일에 해당하는 유량) 등이 있다. 일반적으로 유역상의 특정 지점을 통과하는 유량자료를 얻기 위해서는 해당지점

* Corresponding author: Kyoung-Jae Lim, Tel: +82-33-250-6468, Fax: +82-33-251-1518, E-mail: kjlim@kangwon.ac.kr

에 수위를 관측하고 수위-유량관계 곡선으로부터 유량을 환산하게 된다. 이와 같이 특정 유역 내에 유량 측정 성과가 있는 경우에는 직접 이용이 가능하지만 유역면적이 작아 유량 측정 성과가 없는 경우에는 유역의 형상, 임상 상태, 하천 구배, 지형, 토질 및 유로 상황 등이 유사한 타 지역 중의 실측 자료를 분석하게 되며, 유량을 효율적으로 사용하기 위해서는 유량 분석이 필요하다. 그리고 유량 분석의 방법으로 (Soil and Water Assessment Tool) SWAT모형을 사용하고 있으며, 미국에서는 많은 모형들을 개발하여 유역단위의 수문 및 수질 모의를 수행하고 있다. 최근에는 미국 농무성 농업 연구국에서 개발된 (Soil and Water Assessment Tool) SWAT모형이 미국에서 뿐만 아니라 (Soil and Water Assessment Tool)SWAT은 강우-유출 모델과 수질모델이 GIS와 연계된 호환모델로서 장기 유량과 수질을 모의 할 수 있다. 또한, 지역에서도 모의가 가능하며, 경작형태나 기후, 식생 등의 변화에 따른 수질의 상대적 효과도 정량화 할 수 있는 특질을 지니고 있다. SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형을 이용하여 수문 및 수질을 시, 공간적으로 분석하기 위해서 시간적으로 변화하는 기상자료(일 강우량, 기온, 풍속, 일조량, 상대습도)와, 공간적으로 변화하는 토지 이용현황, 토양속성, 그리고 지형자료 등을 필요로 하며, 유역에서의 토지이용에 따라 발생하는 비점오염원과 유역 내 소하천별, 소유역별, 그리고 소유역내 수문학적 반응단위별 유출량, 토양유실을 모의 할 수 있다(박 등, 2007).

따라서 본 연구의 목적은 물을 효율적으로 활용하기 위하여 SWAT모형을 통하여 영월 유역의 유량 자원을 분석하는데 있다.

II. 연구 방법 및 분석

1. 연구 지역 선정

연구 대상지역은 강원도 영월군 영월읍 삼옥2리 유역으로 위도 37-13-6.5, 경도 128-30-48.2에 위치

하며, 연장거리 동서간 86.3km 남북간 51.1km로 영월군의 총면적은 1,127.12km²로서 농경지 100.95km², 임야 962.56km², 기타 63.61km²로 구성되어 있다. 토지이용상황을 보면 임야가 전체의 85%를 차지하고 농경지는 논·밭을 합쳐 총면적의 9%에 불과한 실정이다. 농경지중 논이 17.11km², 밭이 83.84km²이며 이는 10년 전에 비해 면적으로 8.76km², 구성비(比)에서 0.8포인트 낮아진 수치이다. 그 밖에 과수원 0.33km², 목장용지 2.26km², 대지 6.69km², 공장 및 학교용지 1.67km², 도로 및 철도용지 10.44km², 하천 및 제방 구거(溝渠)등 시설용지 38.93km², 대지 6.69km², 기타 3.29km²의 구성비를 나타내고 있다.

영월군 내 9개 읍·면별 면적을 보면 총 면적 1,127.12km²중에서 영월읍이 16%인 172.25km², 상동읍이 12% 139.48km²로서 도시화 진전에 따라 10년 보다 조금씩 면적이 늘어났다. 또 중동면이 11%인 125.19km², 하동면이 15%인 170.99km², 북면이 10%인 111.33km², 남면이 7%인 82.00km², 서면이 6%인 69.87km², 주천면이 9%인 102.69km², 수주면이 14%인 153.34km²이다. 면적상으로는 하동면이 가장 넓고 서면이 가장 좁으며 면지역은 전반적으로 조금씩 줄었다(영월군청, <http://www.yw.go.kr>).

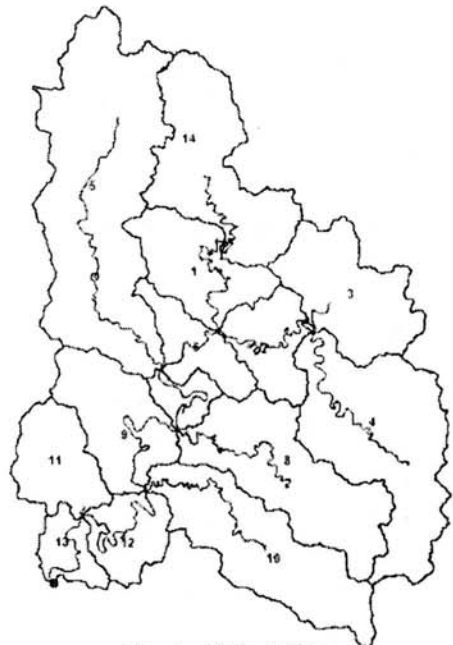


Fig 1. 영월 유역도

Fig.1은 영월 지역의 유역도를 보여주는 그림이다.

2. SWAT모델의 적용

1) SWAT모델의 개요

SWAT 모델은 미국 농무성의 농업 연구국에서 개발한 유역단위의 모델이다. 이 모델은 미국 농무성에서 개발하여 이용해 온 CAEAMS 모델, GREAMS 모델 및 EPIC 모델과 같은 농업 연구국 모델들을 결합하여 만들었다. 이는 강우-유출모델과 수질모델이 GIS와 연계된 호환모델로서 장기 유량과 수질을 모의 할 수 있으며, 미계측 지역에서는 모의도 가능하며, 경작형태나 기후, 식생 등의 변화에 따른 수질의 상대적 효과도 정량화 할 수 있는 특징을 가지고 있다. SWAT모델을 이용하여 유량을 시. 공간적으로 분석하기 위해서 시간적으로 변화하는 기상자료 (일 강우량, 기온, 풍속, 일조량, 상대습도)와 공간적으로 변화하는 토지이용현황, 토양속성, 그리고 지형자료 등이 필요하다. SWAT 모델은 유역에서의 토지이용에 따라 발생하는 비점오염원과 유역 내 소하천별, 소유역별, 그리고 소유역내 수문학적 반응단위별 유출량, 토양유실을 모의 한다(신 등, 2007).

2) SWAT 모델의 입력자료

(1) 기상자료

SWAT모형에 필요한 기상자료에는 일 강우(Precipitation), 일 풍속(Wind speed), 일 일조량(Solar Radiation), 일 최고온도(Maximum Temperature), 일 최저기온(Minimum Temperature), 일 습도(Humidity)이다. 이 자료에 대하여 영월 기상청의 실측자료를 바탕으로 하여 구성하였으며, 본 연구에서는 1988년1월부터 2006년 12월까지 총 18년의 기상자료를 바탕으로 하여 영월 지역의 기상자료를 구축하였다. 또한, 영월 유역에서의 기상현상에 따른 수문 및 유량 발생을 정확하게 모의하기 위하여 영월 지역과 인접지역의 강우 관측소에서 측정한 자료(국가 수자원 관리 종합정보시스템(WAMIS: <http://wamis.go.kr>)을 이용하였고, 아래 Fig.2을 보면 2003년에 태풍 루사와 태풍 매미로 인하여 2004년에 비해 많은 강수가 발생하였음을 확인할 수 있다. 또한 계절에 따른 강우량과 강수 패턴의 시간적, 공간적 차이가 모델에 반영되었기 때문에 보다 정확한 수문모의가 가능해 질 것이라 판단된다(허 등, 2007b).

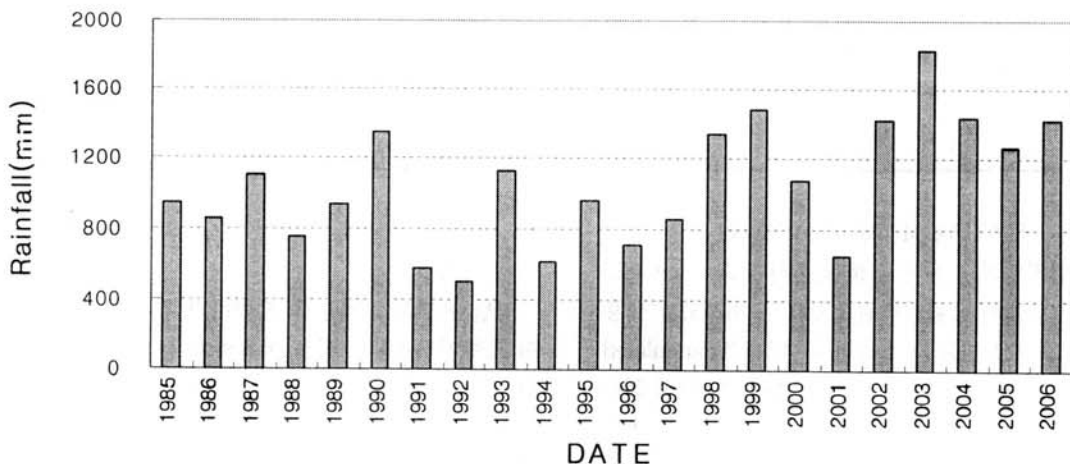


Fig. 2. 영월유역 연도별 강수량 비교

(2) 토양도 및 토지이용도

SWAT 모델을 이용하여 공간적으로 변화하는 유역 내 수문 현상 및 유사발생을 모의하기 위해서 필요한 자료 중 토양도와 토지이용도가 있다. 본 연구에서는 농촌진흥청의 정밀 토양도 (1:25000)와 국가 수자원관리 종합 정보 시스템 (<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공하는 토지 이

용 자료를 이용하여 유역 내 유출 특성을 모의 하였다(박 등, 2007).

또한, 영월지역 수계 내 토지이용은 산림이 약 (75.8 %)를 차지하고 농업지역이 (13.985)% 수역이 (0.363)%, 사가화 (0.15)%, 나지 (4.69)%, 초지가 (4.24)%를 각각 차지하고 있다.

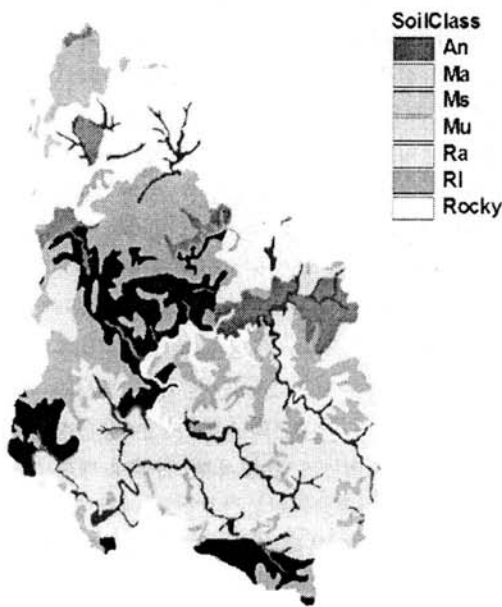


Fig. 3. 영월지역 토양도

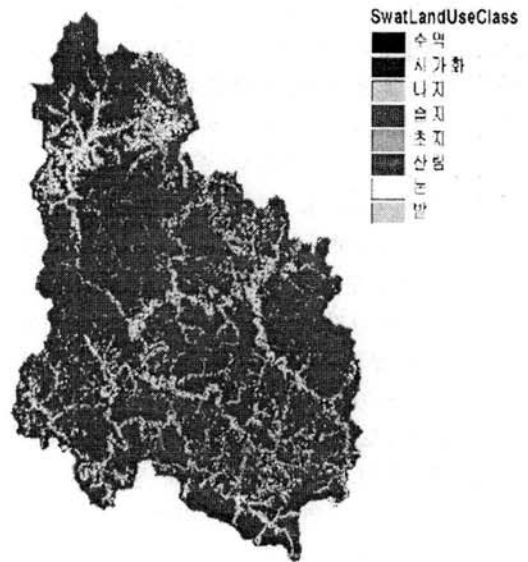


Fig. 4. 영월지역 토지이용도

표 1. 영월지역 토지이용현황

(%)

토지이용	사가화	수역	초지	나지	농경지	산림
면적 (%)	0.15	0.36	4.24	4.69	13.98	75.81

(3) DEM (Digital Elevation Model)

영월지역의 소유역 구분을 위하여 Arcview GIS 프로그램에서 국립지리원 1:5,000 수치지도를 이용하여 등고선 자료를 추출한 후 이를 Triangulated Irregular Network (TIN)으로 변환한 후 다시 20m의 격자 형식의 Digital Elevation model (DEM)으로 변환 하였다(Fig.5).

(4) 입력자료에 의한 연구지역의 유출량산정 방법

영월 유역의 유출량을 모의하기 위하여 유역단위 모형인 SWAT모형을 이용하여 산정하였다. 영월 기상대의 1985년 1월부터 2006년 12월까지의 자료를 바탕으로 하여 월별 유출량을 산정하였으며, 이중 3년 치의 강우량 자료는 모델이 값을 인식하는 과정을 고려하여 제외하였다.

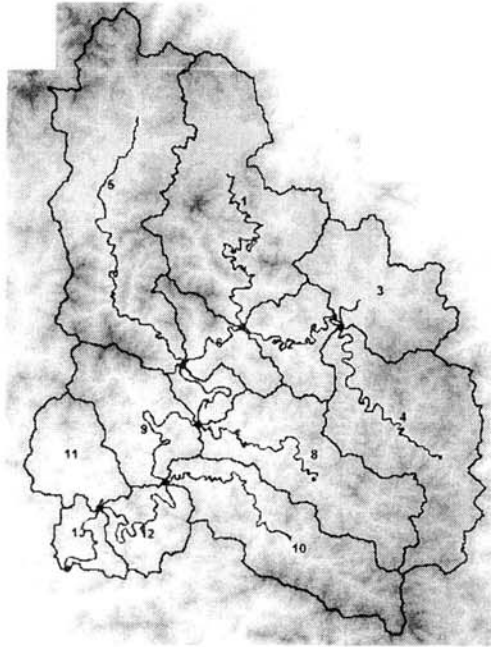


Fig. 5. Digital Elevation model (DEM)

이들 자료 중 강우 자료는 유량을 예측하는데 있어서 매우 중요한 자료이다. 영월 유역면적 내에 여러 지점의 강수량 관측소가 존재할 경우 각각의 측정소에서 측정된 강수량 자료가 유기적으로 관계

되어 해당 지역에서의 유량곡선이 작성된다.

영월 유역의 유량이 풍부함을 현장조사와 답사를 통해 확인 되었으며, 영월 유역에 대해 SWAT 모형을 이용하여 유량을 분석하였다.

Ⅲ. 결과

1. SWAT 수문 보정과 검증

본 연구에서는 영월 관측소의 실측 유입량 자료 (국가 수자원관리 종합 정보 시스템, <http://www.wamis.go.kr>)를 이용하여 SWAT 모형의 정확성을 평가 하였다. 또한, 영월유역 실측 유입량 자료에서의 유출량 자료를 비교하여 SWAT모형의 정확성을 평가 하였다 실측유량과 모의 유량을 비교한 곡선은 Fig.6 에서 보는 바와 같다. 모형의 예측유량과 실측유량이 비교적 유사하게 나타났다.

본 연구에서는 강원도 영월군 영월읍 삼옥2리유역에 위치한 영월2 관측소에서 실측 된 실측 유량

자료와 SWAT모형을 통해 모의 된 모의 유량을 비교 분석 하였다. 모의 기간은 2003년 1월부터 2006년 12월까지이다. 이 중 2003년 1월부터 2004년 12월까지의 실측값과 모의 값을 이용하여 월별 유량을 보정한 결과 결정계수(R^2)=0.76 이며, 유효지수 (Nash-Sutcliffe)=0.73 으로 보정된 데이터에 대해 유사한 결과를 얻을 수 있다. 보정 매개 변수를 적용하여 모형 검증 기간인 2005년 1월부터 2006년 12월을 적용해본 결과 결정계수(R^2)=0.87 이며, 유효지수(Nash-Sutcliffe)=0.83로 SWAT모형이 유역 내 수문 현상을 잘 모의 하는 것으로 나타났다. 따라서 보정된 SWAT 모형은 영월 유역의 유량을 모의 하는데 상당히 적합한 것으로 판단된다.

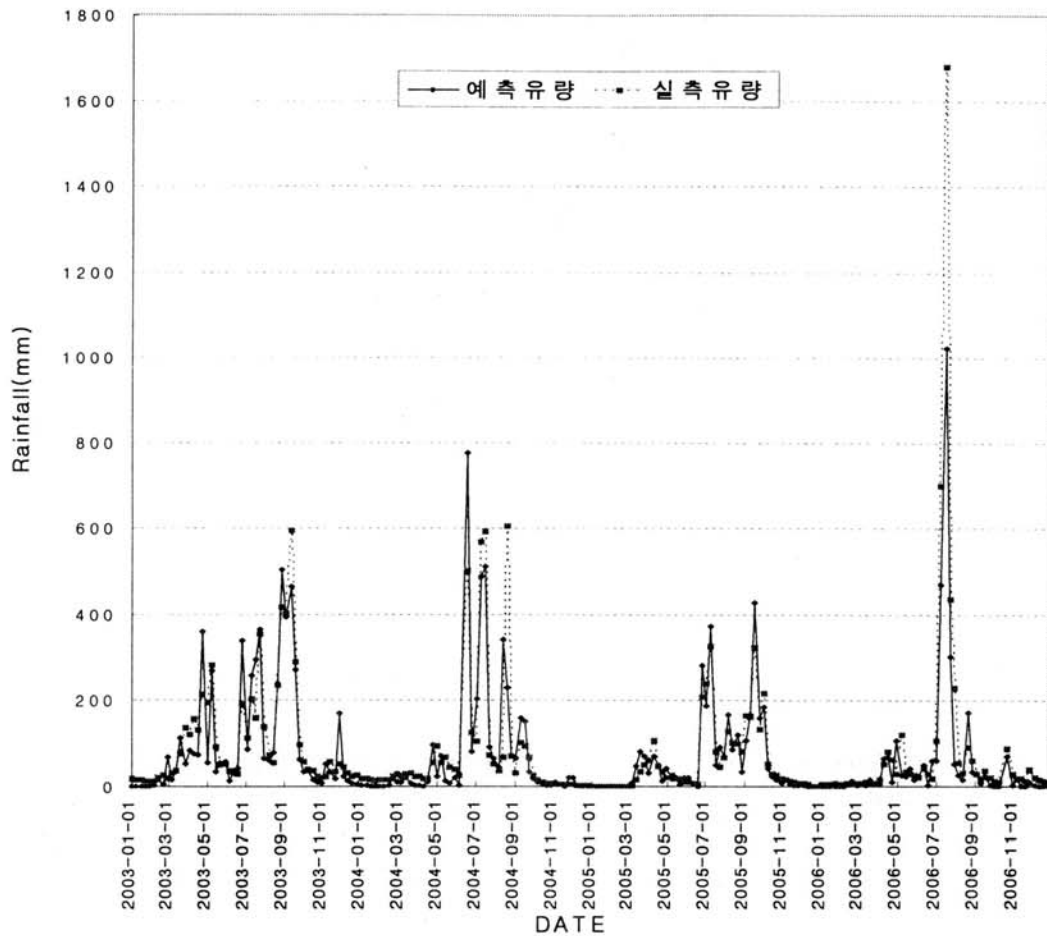
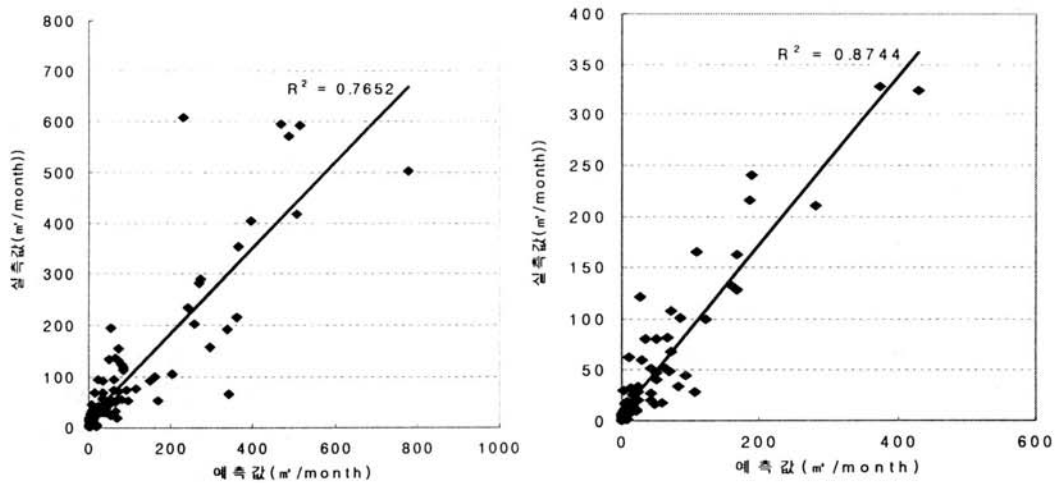


Fig. 6. 예측유량과 실측유량 비교



(a) 2003~2004년 보정 결과

(b) 2005~2006년 검정 결과

Fig. 7. 영월지역 실측치와 모의의 비교 분석 결과

이를 바탕으로 영월지역의 유량과 강우량의 관계를 살펴 볼 수 있었으며 그 결과 Fig.8은 2003년부터 2006년까지의 유출량과 강수량 자료를 통한 영월 유역의 유량 지속곡선을 보여주는 그림이다. 그림에서 보이는 바와 같이 강수량이 증가함에 따

라 유출량이 증가하는 경향을 보여주고 있다. 특히 상위 5% 기간에 해당되는 고유량 자료의 경우 집중호우에 의해서 발생된 유출량이기 때문에 강수량에 따른 유출량의 특성을 알 수 있다.

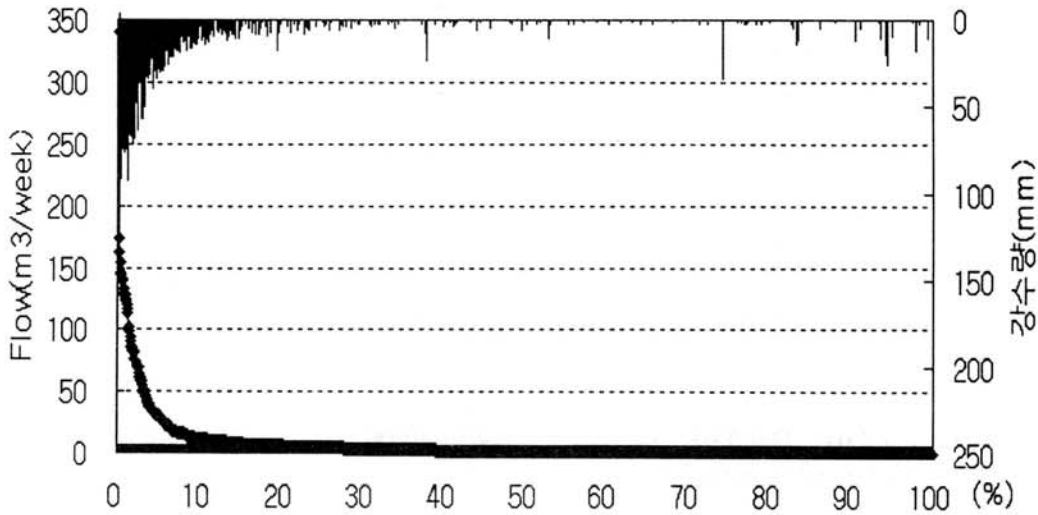


Fig. 8. 영월유역 유량지속곡선

또한 Fig.9에서는 1996년부터 2006년까지 11년간의 영월 유역의 연별 일 평균유량을 분석한 그래프이다. 이를 통해 영월지역 유량이 적게는

200,000m³/d 많게는 800,000m³/d 이상임을 확인하였다.

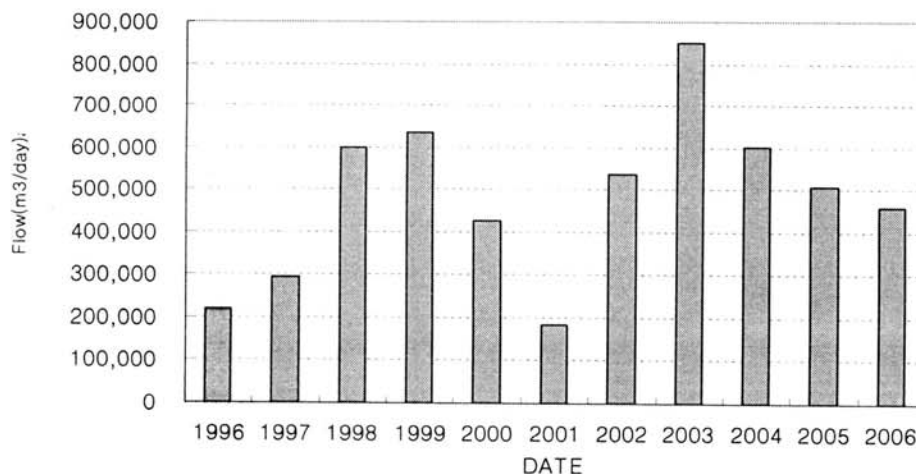


Fig.9. 영월 유역 연도별 일 평균 유량

IV. 결 론

인구 증가와 산업화로 물에 대한 수요가 계속 증가하고 있는 반면 수질오염 및 수자원 고갈로 물 공급능력은 오히려 감소할 가능성이 크기 때문에 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 대책이 필요하다. 또한 우리나라는 연평균 강수량은 500~1,500mm로 비교적 습윤한 지역에 속한다. 강수량은 계절적 분포가 균등하지 않고 우기와 건기가 뚜렷이 구별되는데 일 년 강수량 대부분이 여름철에 집중되고 겨울 동안의 강수는 매우 적다. 그리고 보통 6, 7, 8월에 집중되는 연 강수량은 이 기간 동안에 약 50~60% 정도가 집중된다. 따라서 이러한 유량에 대한 예측을 하기 위해 SWAT모형을 적용하였고, 유량의 관리 및 활용방안을 모색해 보았다. 본 연구의 결과에서 볼 수 있듯이 SWAT모형을 이용하여 영월지역 유량 자원을 비교 분석한 결과 2003년 1월부터 2004년 12월까지의 보정결과 결정계수(R^2)는 0.76이며, 유효지수(Nash-Sutcliffe)는 0.73의 값으로 실측치와 유사함을 보였으며, 2005년 1월부터 2006년 12월까지의 검정결과 결정계수(R^2)는 0.87이며, 유효지수(Nash-Sutcliffe)는 0.83의 값이 산출되어 상당히 유사한 것으로 나타났다. 이는 SWAT 모형이 영월유역 유출 모의에 있어 적용성이 있는 것으로 판단되며, SWAT 모형이 유량자원 분석에 비교적 잘 맞음을 알 수 있다.

이를 통해 영월 유역의 연도별 일 평균 유량이 적게는 200,000m³/d 많게는 800,000m³/d 이상임을 알 수 있었다. 그리하여 이를 바탕으로 유량의 확보가 가능함을 확인 하였으며, SWAT모형을 이

용하여 산출 된 유량이 비교적 많은 양이었다. 그러므로 향후 영월 지역 유량의 효율적인 이용이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 유량자원 분석 시 SWAT 모형의 적용성이 높다는 것을 알 수 있었고, 영월 지역의 유량이 풍부하다는 것을 확인하였다. 이에 향후 이 지역의 유량 활용에 있어서 유리한 지역이라고 판단된다.

V. 참고 문헌

- 박윤식, 김종건, 박준호, 전지홍, 최동혁, 김태동, 최중대, 안재훈, 김기성, 임경재, 임하담 유역의 유사 거동 모의를 위한 SWAT 모델의 적용성 평가, 한국 물 환경 학회지, 23(4), pp.467~473 (2007).
- 신용철, 신민환, 김웅기, 임경재, 최중대, 가지야마 공식과 SWAT모형을 이용한 유출량 산정, 한국 물 환경 학회지, pp.66~73 (2007).
- 허성구, 김기성, 안재훈, 윤정숙, 임경재, 최중대, 신용철, 유창원, FRACSTATS 모형을 이용한 도암댐 유역의 산림 파편화 분석, 한국지리정보학회, 10(1): pp. 10-21 (2007a).
- 허성구, 김기성, 안재훈, 윤정숙, 임경재, 최중대, 신용철, 유창원, GIS 기반의 모형을 이용한 도암댐 유역의 산림 파편화에 따른 수(水)환경 영향 평가, 한국지리 정보학회, 9(4), pp. 81~94 (2007b).