

# SWAT2000 모형을 이용한 금강하구호의 유출량 및 영양염류 부하량 산정

Streamflow, Nutrients loading estimation for KEUMGANG estuary using SWAT2000 model

문종필\* · 김태철 (충남대)

Moon, Jong Pil\*Kim, Tai Cheol

## Abstract

SWAT2000 model directly estimate the loading of water, and nutrients from land areas in a watershed. it allows to add nutrient loading from the point source like a sewage treatment plant and it also has a GIS interface which can easily see the spatial relationship between subbasins. For better assessment of nutrients loading to KEUMGANG estuary, SWAT2000 model applied to KEUMGANG estuary watershed.

Model calibration and verification was firstly performed at Gongju site during the period 1999 ~ 2003.  $R^2$  value was 0.96 for streamflow, 0.94 for T-N load and 0.52 for T-P load.

The accuracy of the model at Gongju site suggest that the SWAT2000 can be available to estimate streamflow, Nutrients loading to the KEUMGANG estuary.

*Keywords* : SWAT2000 model, Streamflow, Nutrients, KEUMGANG estuary,  $R^2$  value

## 1. 서론

비점오염원의 발생은 농경지에서 주로 발생하며 특히 작물을 고랑재배하는 경우 자연적인 상태로 재배하는 경우 보다 5배내지 6배이상의 비점오염원의 발생을 증가시키며 영농체계 및 작부체계가 주원인인 것으로 알려져있다. 또한 하천 및 관개저수지의 수질악화 및 부영양화의 원인이 되고 있는 영양염류(질소,인)는 그 토양내에서의 순환과정과 하천으로의 유출과정이 복잡하고 그 오염원이 불특정 다수이므로 그 부하량을 산정하는데 매우 어려움이 있는 것이 사실이다

이런 점들을 고려하여 최근 사회적으로 문제시되고 있는 하구호의 수질관리, 특히 시화호나 새만금호와 같이 폐쇄성 수역에서는 그 심각함이 현실적으로 드러나는 지역이라 할수 있다.

이 연구에서는 금강하구호의 수질관리를 위해서 우선적으로 금강수계중 대청댐부터 금강하구호까지의 중간지점인 공주시점을 중심으로 유출량과 영양염류 부하량 산정을 위해 SWAT2000모형을 적용하여 그 적용성 여부를 판단하고 최종적으로 금강하구호로 유입되는 영양염류 부하량을 산정하고자 한다.

## 2. 금강 유역의 지형적 특성

금강유역의 동서장은 약 120km, 남북장은 약 160km 정도이고, 유역면적은 9,843.2 km<sup>2</sup>, 유로연장은 393.9km 이며, 유역평균폭은 25km, 형상계수 0.063인 유역으로서 산지가 많고 대부분 산지는 하천에 의해서 현저히 절개되어 표토가 얇으며 급경사를 이루고 있다.

대청댐에 유입된 금강본류는 서쪽으로 흐르며 갑천과 합류한후 미호천과 합류하여 남서방향으로 흐르며 공주시점을 지나 유구천, 지천, 금천, 석성천등과 차례로 합류하고 규암지점을 지나 강경부근에서 논산천과 합류하여 금강 하구둑에 유입된다.

## 3. 금강유역의 오염원 현황

대청댐 하류지점의 금강 중·하류의 지천인 25개 지류의 소유역에서 발생하는 생활, 산업, 축산 폐수를 원단위를 적용하여 부하량을 산정하여 발생오염원으로 입력하기 위해 오염원 현황을 조사하였다.

표.1 대청댐 하류지역의 시·군별 생활인구, 폐수발생량, 가축수

구분	총인구	총하수처리인구	하수종말처리인구	구분	업소수(개수)	발생량(m <sup>3</sup> /일)	구분	계	젖소·소	말	돼지
금강청계	4,285,220	2,425,730	2,391,345	금강청계	4,114	658,442	금강청계	24,036	5,176	4,432	14,428
대전시	1,390,510	1,292,729	1,279,232	대전시	1,126	81,190	대전시	120	9	74	37
동구	253,256	253,256	253,256	동구	206	897	동구	175	1	10	165
중구	267,794	267,794	267,794	중구	228	16,708	중구	7	0	7	0
서구	477,978	443,425.6	443,425.595	서구	240	2,497	서구	47	4	35	8
유성구	159,285	101,577.8	101,577.846	유성구	134	10,029	유성구	36	5	30	2
대덕구	232,197	224,235.3	224,235.268	대덕구	318	51,059	대덕구	9	0	0	9
충청남도	1,930,234	478,313	460,100	충청남도	2,012	456,078	충청남도	19,821	4,125	3,292	12,404
천안시	425,135	279,191	268,891	천안시	351	16,294	천안시	1,750	469	102	1,179
공주시	135,931	60,575	60,445	공주시	125	3,964	공주시	2,376	250	378	1,748
보령시	118,721	0	0	보령시	173	5,683	보령시	1,472	216	277	979
아산시	185,847	80,553	76,553	아산시	234	36,774	아산시	1,827	751	35	1,041
서산시	150,329	515	0	서산시	83	15,241	서산시	930	238	304	388
논산시	142,828	412	0	논산시	191	6,381	논산시	1,502	218	212	1,072
계룡출장소	27,578	24,747	24,747	계룡출장소	12	128	계룡출장소	23	4	3	16
금산군	64,785	0	0	금산군	82	2,540	금산군	2,422	106	106	2,210
연기군	80,851	30,819	29,464	연기군	136	29,335	연기군	880	210	140	530
부여군	92,842	1,069	0	부여군	109	11,224	부여군	819	105	221	493
서천군	75,400	0	0	서천군	75	18,658	서천군	336	75	83	178
청양군	41,093	148	0	청양군	50	4,948	청양군	589	93	202	294
홍성군	95,600	0	0	홍성군	88	704	홍성군	3,383	252	441	2,690
예산군	101,692	224	0	예산군	106	2,720	예산군	1,706	494	336	876
당진군	122,818	60	0	당진군	100	288,517	당진군	396	146	119	131
태안군	68,784	0	0	태안군	50	9,517	태안군	2,423	535	324	1,564
충청북도	964,476	654,688	652,013	충청북도	976	121,174	충청북도	4,095	1,042	1,066	1,987
청주시	582,758	539,465	539,465	청주시	367	26,091	청주시	142	85	39	19
청원군	124,958	5,913	4,073	청원군	225	75,838	청원군	1,592	473	425	694
보은군	43,326	14,446	13,724	보은군	57	849	보은군	525	151	196	179
옥천군	61,081	32,011	31,898	옥천군	89	6,432	옥천군	273	32	159	82
영동군	58,758	19,961	19,961	영동군	66	1,082	영동군	397	52	131	214
진천군	61,131	19,000	19,000	진천군	145	9,454	진천군	857	231	82	545
증평출장소	32,464	23,892	23,892	증평출장소	27	1,428	증평출장소	309	19	34	255

자료 : 금강권역 환경통계 자료집, 2002, 금강환경관리청

#### 4. SWAT 모형의 적용

##### 4.1 GIS 기본 입력자료

가) 금강유역에 대한 GIS 자료 구축

SWAT 모형실행을 위한 GIS 자료를 구축하였으며 금강유역 전제에 대한 수치표고모형(DEM) 자료와 토지피복자료(중분류)는 환경부에서, 개략도양도(1:250,000)는 농촌진흥청 농업과학기술원에

서 제공받았다. 또한 수계도는 한국수자원공사로부터 제공받아 연구수행을 위한 GIS 자료를 구축할 수 있었다.

- (1)수치표고자료(DEM) (2)토지피복도(중분류) (3)개략토양도 (4) 수계도

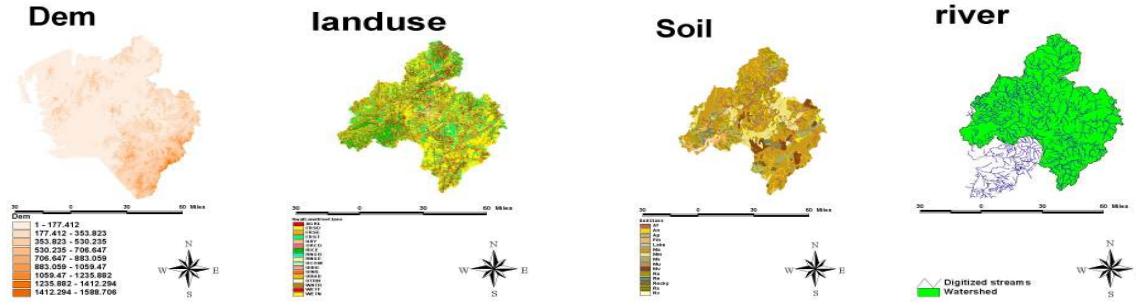


그림 1. 수치표고모형자료 (DEM)

그림 2. 토지피복도(중분류)

그림 3. 개략토양도

그림 4. 수계도

#### 4.2 수문기상자료

금강유역의 전체에 분포하는 기상대와 건설부 그리고 수자원공사에서 운영하는 47개 지점의 강수량 관측소의 자료중 이 연구와 관련된 20개 지점의 일별강수량자료인 1999년 1월부터 2003년 12월까지의 자료를 입력자료로 생성하였으며 기상자료로서 기온자료(최대, 최소) 4지점과 풍속 4지점, 일사량 2지점, 상대습도 4지점자료를 입력자료로 사용하였다. 입력자료로 구축된 강수량 및 기후 자료는 다음 그림과 같다.

- (1) 강우관측소 (2) 기온 관측소 (3) 상대습도 관측소 (4) 일사량 관측소

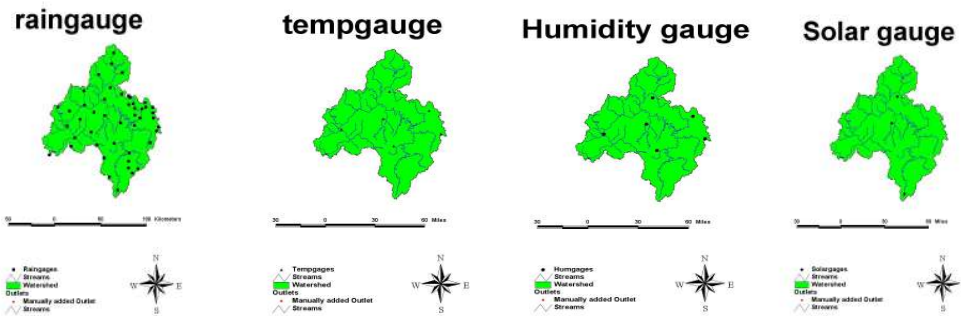


그림 5. 강수량 관측소의 위치도

그림 6. 기온측정지점 위치도

그림 7. 상대습도 관측소 위치도

그림 8. 일사량 관측소 위치도

#### 4.3 점오염원 발생부하량 산정

표.2 생활하수, 산업폐수, 축산폐수 T-N, T-P 부하량 (단위 : kg/ day)

번호	소유역	생활하수		산업폐수		축산폐수	
		T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
1	백곡천	193.9	20.6	141.8	18.9	279.7	10.2
2	보강천	480.5	57.0	227.7	30.4	417.8	16.8
3	병천천	433.0	44.6	636.5	84.9	492.1	20.3
4	초평천	512.9	55.3	513.0	55.3	512.9	55.3
5	무심천	4,513.1	578.3	1758.3	234.4	313.8	15.4
6	미호천	5,056.3	600.2	1473.1	196.4	2190.0	84.1
7	갑천상류	6,344.2	823.3	587.1	83.5	332.5	15.3
8	갑천하류	1,816.9	238.8	1608.4	214.4	21.1	0.6
9	대전천	3,811.3	507.7	345.4	46.0	191.6	7.6
10	유등천	4,185.2	529.9	1034.3	227.4	2272.9	90.1
11	조천	1,133.1	123.2	1620.3	534.3	801.5	34.9
12	월하천	2,322.3	287.9	1487.1	490.0	574.3	24.0
13	금강분류1	2,007.7	246.0	3011.7	481.1	403.7	22.5
14	대교천	619.0	70.4	220.9	134.8	415.7	24.9
15	정안천	871.4	104.0	871.4	104.1	871.4	104.0
16	유구천	494.8	55.2	34.5	9.2	344.4	24.7
17	금강분류2	710.1	73.3	126.4	20.0	730.9	34.0
18	지천	370.2	35.3	103.0	13.7	487.9	16.8
19	금천	458.2	43.8	128.0	17.1	401.9	14.2
20	석성천	464.8	45.8	95.7	13.5	288.6	15.6
21	강경천	352.7	33.6	72.7	9.7	145.2	10.3
22	노성천	235.3	23.5	39.2	5.9	116.3	8.3
23	논산천	845.3	80.7	170.6	33.1	575.6	32.6
24	길상천	588.1	56.0	335.8	44.8	273.6	9.5
25	금강분류4	799.8	76.4	338.9	45.2	524.8	18.8

#### 4.4 SWAT 모형 실행

가) 수치고도자료(DEM)를 이용하여 금강수계 대침댐 하류지역 유역결정

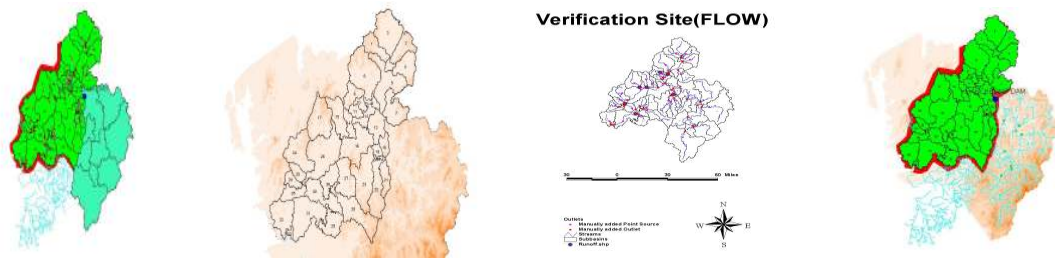


그림 9. 하류지역의 유역 결정

그림 10. 소유역분할

그림 11. 유출량, 영양염류 검정지점

그림 12. 점오염원 입력지점

나) 소유역 분할

시험대상유역은 대침댐 하류지역을 중심으로 하는 36개의 소유역으로 분할하였다.

다) 유출량 및 영양염류 부하량 검정 지점

검정지점은 공주, 규암지점으로 설정하였고 이 지점은 환경부 수질측정지점과 매우 근접하여 있으므로 이 지점들을 수질검정지점으로도 활용하였다.

### 5. SWAT2000모형의 매개변수 예민도

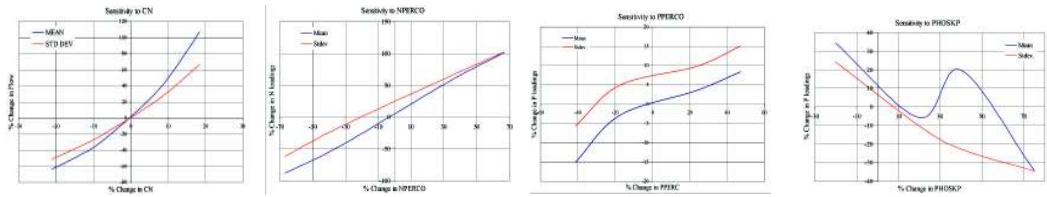


그림14. CN(유출지수) 예민도 그림 15. 질산침투계수 예민도 그림16. 인침투계수 예민도 그림 17. 토양-인 분류계수 예민도

### 6. 모형의 보정 및 검정

공주지점의 일별유출량 및 수질자료를 가지고 1999년- 2003년까지의 자료를 가지고 모형에 대한 보정 및 검정을 실시하였다.

BASEFLOW 프로그램에 의하여 공주지점의 기저일수(BASEFLOW DAYS) 및 감수곡선계수(ALPHA FACTOR)가 각각 58일 및 0.0170으로 분석되어 SWAT 모형의 INPUT 파일인 GW화일의 매개변수인 GW\_DELAY 및 ALPHA\_BF에 각각 입력하여 보정 및 검정을 실시하였다.

#### 가) 공주지점의 월별 유출량 매개변수 보정

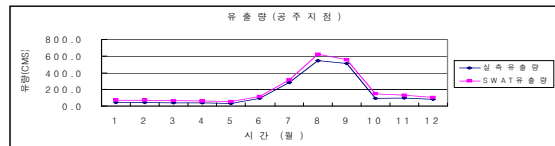


그림 . 실측유출량과 SWAT 유출량의 비교(1999)

표3. 지표면유출 매개변수 최적치

매개변수	범위	최적치
유출지수(CN)	35-98	소유역별 HRU초기값 + 8

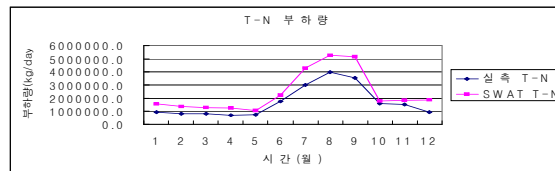


그림. 실측질소부하량 SWAT 질소부하량의 비교(1999)

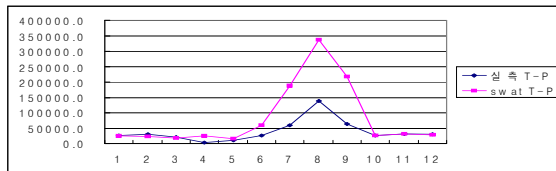


그림. 실측인부하량과 SWAT 인부하량의 비교(1999)

표.4 총질소 부하량 매개변수 최적치

매개변수	범위	최적치
질산염 침투계수 (NPERCO)	0.01-1.0	0.20

표.5 총인 부하량 매개변수 최적치

매개변수	범위	최적치
인침투계수 (PPERCO)	10-17.5	10
인토양분리계수 (PHOSKD)	0-175	175

### 7. 결론

금강하구호의 유입량과 영양염류 유입부하량을 최종적으로 산정하기 위하여 SWAT2000모형을 1999년부터 2003년까지 공주지점에 우선적으로 적용하여 모형보정 및 검정을 실시하였고 모형의 적용성여부를 확인하였으며 공주지점에 적용한 결과는 다음과 같다.

1. 공주지점에 SWAT2000모형을 적용한 결과 유출량에 대한 결정계수는 0.96로서 매우 양호한 결과를 보였다. 영양염류 부하량은 총질소가 결정계수 0.94이고 총인이 0.52 이었다.
2. 공주지점에 적합한 유출매개변수는 유출곡선지수는 각소유역별 HRU 초기값에 8을 더한

값이었으며 지하수유출에 관여하는 기저일수는 기저일수(BASEFLOW DAYS) 및 감수곡선계수(ALPHA FACTOR)가 각각 58일 및 0.0170으로 분석되었다.

3. 공주지점에 적합한 총질소 및 총인 매개변수는 NPERCO 가 0.20이었고 PPERCO가 10이고 PHOSKD가 175였다.

### 참 고 문 헌

1. 장철희, 김현준, 김남원, 2003, 용담댐 유역의 장기-유출 분석을 위한 AVSWAT2000 모형의 적용. 한국수자원학회 학술발표회 논문집 p 40~49
2. 김태철, 1997, DAWAST모형을 이용한 유출곡선번호 추정, 한국수자원 학회지30(5), p 423~430
3. 문종필, 2000, 중·소하천 및 관개저수지의 실시간 홍수예측모형, 충남대학교 박사학위논문
4. 김선미, 1995, QUAL2E 모델을 이용한 금강 하류의 수질 변화에 관한 연구, 충남대학교, 석사학위논문
5. 충청남도, 2003, 금강 환경친화적 하천종합계획 종합보고서
6. 금강환경관리청, 2002, 금강권역 환경통계 자료집,
7. 최지용, 1994, 중·소수계의 수질관리를 위한 장기 비점오염원 모델의 개발, 한국과학기술원 박사학위 논문
8. 동화기술, 1999, 축산폐기물 자원화,
9. 농업기반공사, 2000~2003, 금강지구대단위농업종합개발사업 금강호 환경조사보고서
10. 농어촌진흥공사, 1998~1999, 금강지구대단위농업종합개발사업 금강호 환경조사보고서
11. Di Luzio, M., R. Srinivasan, and J.G. Arnold. 2001. Soil and Water Assessment Tool ArcView Interface Manual. Version 2000. Temple, TX: Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station.
12. Di Luzio, M., R. Srinivasan, and J.G. Arnold. 2002. Integration of watershed tools and SWAT model into BASINS. Journal of American Water Resources Association 38(4): 1127-1141.
13. Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, and J.R. Williams. 2001. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Version 2000. Temple, TX: Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station.
14. J. Moon, R. Srinivasan and J. H. Jacobs, 2004, Stream Flow Estimation Using Spatially Distributed Rainfall in the Trinity River Basin, Texas, Transaction of The ASAE 47(5). p.1445-1451