

# 유출관리모형을 활용한 수문학적 공간정보 분석

## (Analysis of Hydrologic Geo-Spatial Information Using Runoff-Management Model)

이 상 진\*    노 준 우\*\*    안 정 민\*\*\*    김 주 철\*\*\*  
 (Sang Jin Lee) (Joon woo Noh) (Jung Min Ahn) (Joo cheol Kim)

**요약** 현재 GIS는 유역의 지형학적 분석분야에서 뿐만아니라 유역의 수문학적 분석분야에서도 유용한 도구로 활발하게 활용되고 있다. 본 연구에서는 SSARR모형을 기반으로한 유역유출분석 모형을 활용하여 금강유역을 대상으로 장기유출량을 산정, 검증하고 이를 토대로 강우-유출 관리 모듈과 연계하여 신뢰도 있는 수문정보를 산정하여 사용자에게 제공코자 하였다. 모의와 검증을 거친 적정한 토양습윤지표, 용수이용량, 직접 및 기저유출량 등의 다양한 수문성분들이 GIS Tool의 활용을 통하여 소유역 단위의 유용한 수문학적 공간정보로서 생산되었다. 또한 사용자의 편의를 위하여 Graphic User Interface를 설계하여 다양한 수문정보를 도시함으로써 향후 효율적 유역수문관리를 지원하는 Toolkit으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**키워드** : 강우-유출, 토양습윤지표, GIS, SSARR

**Abstract** GIS (Geographic Information System) is very useful in describing basin wide geographic characteristics and hydrologic analysis. This study estimated long term hydrologic variations in the Geum river basin using the SSARR rainfall runoff simulation model to provide reliable hydrologic information associated with rainfall runoff management module. Calibrated various hydrologic information such as soil moisture index, water use, direct and base flow are generated using GIS tools to display spatial hydrologic information in the unit of subbasin of target watershed. In addition, the graphic user interface toolkit designed for data compilation is expected to support efficient basin wide rainfall runoff analysis.

**Keywords** : Rainfall-Runoff, Soil Moisture Index, Geographic Information System, SSARR

### 1. 서론

4계절이 뚜렷하고 이에 따라 홍수, 가뭄현상이 빈번한 기상수문 특성을 지니고 있는 우리나라에서는 한정된 수자원을 효율적으로 활용하는 관리방안의 수립이 매우 시급하고 중요한 사안중 하나이다. 이를 위해 우선적으로 댐과 같은 수공구조물이 축조되어 있는 유역의 경우에는 유역관리 차원에서 정확한 유출량산정 등 신뢰성있는 기초 수문정보 제공이 선행되어야 한다.

유역유출관리를 위한 통상적인 방법중 하나는 주요지점의 관측유량을 유사하게 모의 가능하도록 강우-유출모형을 구축한 후, 해당 모형에서 제공하는 유출결과를 활용하는 것이다. 그러나 모형에 의한 유출결과는 단편적인 유출총량에 대해서만 검증된 결과이기 때문에 유출성분별

적정성 여부에 대한 의문이 남아있다. 따라서 유역의 효율적인 수자원관리 의사결정을 지원하기 위해서는 단순 유출모의 결과 뿐만 아니라 유역상태, 강우특성, 유출성분 등 신뢰성 있는 유역 유출지표의 제시가 필요하다.

최근에는 과학과 기술의 발전으로 시·공간에 대한 해답과 측정된 자료의 정확성 향상, 수문학적 자료(강우, 온도, 유출 등) 등 수문현상의 분석을 위한 기초자료들이 증가하여 이전에는 접근하기 어려웠던 GIS를 이용한 수문모델링 영역에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. GIS를 활용한 수문모델링 연구는 공간적 변동성을 나타내는 능력을 높일 수 있고, 유출에 관계되는 매개변수들의 수문모형에 대한 적용성도 확장될 수 있다. GIS 형식으로 이루어진 많은 양의 자료들을 활용할 수 있게 되었다는 측면에서, 수문학적 수치모형들을 GIS에 접목시키

† 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의지속적확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

\* 수자원공사 Kwater연구원 책임연구원, sjlee@kwater.or.kr

\*\* 수자원공사 Kwater연구원 선임연구원, jnoh@kwater.or.kr(교신저자)

\*\*\* 수자원공사 Kwater연구원 위촉연구원, ahn2510@kwater.or.kr, kjoocheol@kwater.or.kr

는 시도가 증가되고 있다. 또한 컴퓨터 관련기술의 발전과 정보화 기술의 발달로 공간 정보의 획득이 용이해졌기 때문에 유역의 수문현상자료들을 효과적으로 다룰 수 있게 되었다. 일반적으로 공간적인 구성요소를 포함하는 수자원관리, 환경관리 등을 위한 수자원 통합 모형은 수문기상, 지형, 토지이용, 토양, 지질, 용수이용, 하천유량 등과 같은 복합적인 자료유형들을 필요로 한다.

본 연구는 첫째, 고도에 따른 강우량의 분포차이에 대한 수문학적 공간분석을 위해 DEM을 이용해 고도별 강우가중치를 산정하였고 둘째, SSARR모형을 이용하여 급강유역을 대상으로 '01년부터 '07년까지 7년간 모의하고 그 결과를 토대로 GIS tool에 적용하여 강우에 따른 유역내 토양수분지표(Soil Moisture Index)의 변화 양상을 제시하였으며 셋째, 모형의 결과로부터 얻을 수 있는 다양한 수문현상을 나타내는 주요 지수인 토양수분지표, 생·공·농 용수이용상황, 직접유출 및 기저유출 등의 신뢰도 높은 수문정보를 GUI(Graphical User Interface)로 구축하여 사용자에게 제공하고자 하였다.

## 2. 연구동향

수문학에 있어서 GIS의 초기적용은 생활용수 및 공업용수 등을 공급하는 국가기관과 지자체 등에서 주로 이루어졌다(Wallis, 1988). 영국의 Thames Water Authority (TWA)는 용수공급의 조사기록을 효과적으로 갱신하고, 홍수 및 오염피해를 평가하며, 실시간 은 라인 예보를 위해서 GIS를 적용하였다. 미국에서는 Connecticut Natural Resource Center에서 토양의 종류, 유역경계, 100년 및 500년 홍수위험지구 등을 도시하고, 토지이용상황, 지적 및 소유주 현황, 지표수 및 지하수에 대한 수량과 수질정보 등의 목적에 GIS를 이용하였다. Zhang(1990)과 Schultz(1993)은 GIS와 연계한 수문모형에 대한 검토를 실시하였고, DeVantier와 Feldman (1993)은 강우-유출모형, 홍수관리 및 홍수예보모형, 유사이송 및 관리, 수질예측 및 관리, 배수시설관리 등의 분야에 대한 GIS 적용을 검토하였다. Ross와 Tara(1993)는 수문모형과 GIS를 결합하여 유역의 수문학적 평가를 상세화하고, 신뢰도 높은 수문정보를 생산함으로써 사용자와 효율적인 유역관리를 위한 Toolkit으로 활용하였다. Warwick과 Haness(1994)는 GIS를 이용하면 상세한 공간정보들이 좀 더 복잡한 수문모형들의 실행과 관리를 합리적으로 가능하게 할 것이라고 지적하였다.

국내에서는 1990년대 중반부터 GIS를 이용한 수문모형의 적용 및 유역관리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 한순석(1994)은 지형공간정보체계를 이용한 한강유역의 수문정보 관리에 관하여 분석하였으며, 최철관 등(2000)은 하천유량관리를 위한 GIS 하도단면 구축에 관해서 연구하였다. 이정규(2005)는 GIS와 WMS를 이용하여 지형특성 인자값을 산정하고 유역특성인자들을 HEC-HMS 수문 모형을 이용하여 수문곡선을 모의하여 유역의 적절한 DEM 격자크기를 결정하였고 배명순 등(2007)

은 유역에 적합한 수질모형을 구축하고 결과로 도출된 수문정보를 활용하여 유량배분 산정방안에 대하여 분석하였다. 김성준 등(2006)은 홍수관련 컨텐츠로서, 유역의 토양관련 주제도, 도시의 도로망을 고려한 DEM, 시간별 도시유출 분포도, 주요 도시내 도로 및 유역 하천지점의 유출수문곡선 등의 수문정보를 산정하였다.

## 3. 연구내용

### 3.1 모형 및 이론적 배경

SSARR모형은 다른 모형에 비해 저수지 연계운영·조작 및 실무적용이 용이할 뿐만 아니라, 이수관리의 근간이 되는 수계 저수유출 모의가 가능하고 국내외에서 이미 타당성을 인정받은 모형이다. 강주환 등(1998)은 한강 및 낙동강유역에 SSARR모형을 적용하고 유역내 용수이용을 수요측면에서 산정된 용수수요량을 이용하여 유역에 대한 물수지분석을 실시하였으며, 류경식 등(2007)은 급강유역을 대상으로 SSARR모형을 통해 세분화된 유출성분에 따른 유출특성과 유역내 물수지를 분석하였다. SSARR모형에서 유역추적과 저수지 추적은 연속방정식과 선형저수지를 이용한 저류방정식(식 1, 2)에 의해 이루어지며 유역은 한 개의 band로 구성되고 최대 20개의 band와 각 band는 600 m 고도 간격으로 분할된다. 증발산량은 Thornthwaite 공식으로 산정되고 PET(cm/day) 양과 토양함수량으로부터 산정된다(식 4).

$$I_t - O_t = \frac{dS_t}{dt} \tag{1}$$

$$S_t = T_s O_t \Rightarrow \frac{dS}{dQ} = T_s \quad \therefore S = T_s Q \tag{2}$$

$$ET = PET \cdot DKE \tag{3}$$

$$PET = 1.6 \left( \frac{10T}{I} \right)^a \tag{4}$$

여기서 PET : 월별 잠재증발산량

T : 온도

I : Thornthwaite의 年熱지수

a : Thornthwaite의 계수

토양함수량-유출의 관계에서 토양에 유입된 총수분량 중 유출에 기여하는 양은 SMI-ROP 관계곡선으로 결정된다. SMI는 토양의 습윤상태에 관한 지표로서 이를 통해 유출량이 결정되는데 이는 강우 또는 강설과 같이 토양에 제공되는 수분에 의해 증가하고 증발산에 의해 감소된다. 토양수분지수(SMI(in); Soil Moisture Index)에 따른 유출 계산은 식 5와 같으며 증발산을 통하여 제거될 수 있는 토양층 내에 저류된 물의 가중평균치이며 연속적인 증발산 손실을 모의한다(USACE, 1991).

$$SMI_2 = SMI_1 + (MI - RGP) - \frac{PH \cdot ETI}{24} \tag{5}$$

$$ROP = f(SMI, I) \text{ or } f(SMI) \tag{6}$$

$$RGP = ROP \cdot MI \tag{7}$$

- 여기서  $MI$  : 계산시간간격의 수분입력( $in$ ) → 차단손실제외
- $RGP$  : 계산시간간격의 유출수분( $in$ ) → 증발산손실제외
- $PH$  : 계산시간간격( $hr$ )
- $ROP$  : 유출(백분)율
- $SMI_1$  : 초기 설정된 SMI 값
- $SMI_2$  : MI, RGP, PH, ETI 등에 의해 영향을 받은 후 SMI 값

3.2 대상유역

본 연구에서는 다년간 유역정밀조사(한국수자원공사, 2004a)를 통해 SSARR모형의 기반이 되는 매개변수 및 수분기초자료를 금강유역에 최적화 하였다. 금강유역은 유역면적이 9,810.4km<sup>2</sup>이고 하도길이가 395.9km인 대유역으로, 장기용수공급계획 측면(건설교통부, 1997)과 유역종합개발계획 측면(한국건설기술연구원, 2004), 그리고 방재종합대책 측면(한국수자원공사, 1996) 등을 종합적으로 고려하여 분석대상 유역을 14개의 소유역으로 분할하였으며(그림 1(a)), 1:25,000의 수치지도를 활용하여 30m×30m DEM 자료를 작성(그림 1(c))하였고 동일축척의 토양도(개략토양도) 및 토지이용도를 활용하여 모형의 중요 매개변수에 해당되는 유역 및 하도의 특성인자를 추출하였다. 일반적으로 1:5000 및 1:25000 수치지형도 등은 등고 간격에서 영향등고선 간격에 의한 차이 때문에 수치지도를 제작할 때 인정되는 한계오차가 있다. 따라서, 본 연구에서는 30m×30m 간격으로 하였다.

3.3 연구내용

강우-유출모형의 해석에서 큰 비중을 차지하고 있는 강우량 산정은 유역을 단순한 평면으로 간주하는 티센법을 이용한 유역평균강우량으로 산정하고 있으나 본 연구에서는 이것을 개선하기 위해 유역의 고도에 따라 시·공간적으로 분포하는 강우량의 차이에 대한 수문학적 반응을 포함하기 위하여 DEM을 이용해 분석하고 고도별

강우가중치를 적용하였다. 또한 최적화 기법을 통해 1983년부터 2000년까지 18년간 모의하여 산정된 주요지점 및 소유역별 연간 유출율과 관측치를 이용하여 모형의 검증 및 검증을 수행하였다(한국수자원공사, 2004b).

금강유역에 '01년부터 '07년까지 7년간 모의한 후, 이를 토대로 강우에 따른 모의결과를 이용해 유역의 SMI 변화 및 용수이용 등의 수문자료를 GIS Tool을 이용해 제시하였다. 또한, 합리적인 공간적 유역습윤상황을 분석하고, 소유역별 용수이용 정보를 제공하여 효율적 유출관리 지원을 위한 기초 수문정보로 활용하기 위해 GUI를 구축하였다. 구축된 GUI를 통해 물수지 분석을 하였으며 이는 가뭄('01년)과 홍수('03)와 같은 기상상황의 변화에 따른 분석결과와 차이를 파악할 수 있고 SMI에 따른 유출과 현재 기여하고 있는 주요 유출성분 및 규모 등을 예측할 수 있다.

3.4 자료구축

3.4.1 고도별 강우가중치

지형특성 및 고도에 따라 강우량의 차이가 나타나므로 3.2절에서 구축된 DEM 자료를 이용하여 대상 유역의 소유역별 고도에 따른 누가 면적비와 고도 1m 증가에 따른 강우량 증가량(mm)을 보완하기 위해 가중계수를 산정하였다. 표 1은 소유역별 고도에 따른 누가면적비이며 각 소유역에서 관측소 평균표고에 해당하는 고도에서의 고도별 강우가중치를 100%로 하고 고도에 따른 연도별 강우가중치를 보정계수를 이용해 표 2와 같이 ELPP 도표로 부여하였다. 즉, '83년~'88년까지 1번 소유역의 관측소 평균표고는 356.0m 이며 보정계수는 0.3298(한국수자원공사, 1996)이므로 356.0m 에서의 강우가중치는 100이 되도록 200m와 400m에서의 강우가중치를 선형보간에 의해 각각 96과 101로 부여하였다. 한편 하절기의 강우량이 동절기에 비해 월등히 많기 때문에 보정계수는 하절기의 값으로 통일하였다.

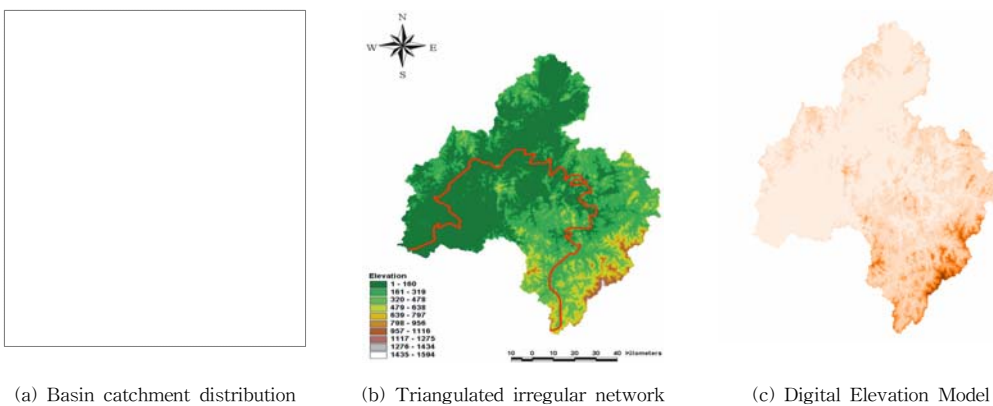


그림 1. 금강유역의 소유역분할 및 DEM

표 1. 소유역별 고도누가 면적

(단위 : km<sup>2</sup>)

DEM (EL.m)	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11	B12	B13	B14
0 - 100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.508	123.583	254.056	853.346	230.906	478.090	231.762	495.193	487.020
0 - 200	0.000	0.000	0.000	21.904	121.967	263.220	579.812	508.792	1,470.826	359.678	836.256	337.442	564.342	528.179
0 - 400	39.488	17.392	231.662	235.626	333.356	806.206	1,095.412	726.057	1,820.036	411.533	1,090.345	430.736	582.232	531.818
0 - 600	197.250	95.427	414.579	424.754	373.140	966.545	1,189.346	747.331	1,849.226	419.908	1,114.117	461.409	582.654	531.828
0 - 800	267.792	123.501	461.281	534.815	374.795	1,027.664	1,198.874	750.527	1,849.269	420.838	1,114.215	467.320	582.654	531.828
0 - 1000	287.798	142.840	472.173	597.220	374.795	1,052.821	1,199.614	750.732	1,849.269	420.838	1,114.215	467.429	582.654	531.828
0 - 1200	290.668	157.720	473.076	619.666	374.795	1,058.194	1,199.629	750.732	1,849.269	420.838	1,114.215	467.429	582.654	531.828
1200 이상	291.251	165.515	473.076	626.695	374.795	1,058.194	1,199.629	750.732	1,849.269	420.838	1,114.215	467.429	582.654	531.828
AREA	291.251	165.515	473.076	626.695	374.795	1058.20	1199.63	750.732	1849.27	420.838	1114.22	467.429	582.654	531.828

표 2. 소유역별 고도별 강우가중치

(단위 : %)

소유역	0	200	400	600	800	1000	1200	1400
1	92	96	101	106	110	115	119	124
2	92	96	101	106	110	115	119	124
3	92	96	101	106	110	115	119	124
4	93	98	103	107	112	117	122	127
5	96	100	105	109	113	118	122	127
6	96	100	104	109	113	118	122	127
7	97	101	105	110	114	119	123	127
8	99	103	107	111	115	119	124	128
9	99	103	106	110	114	118	122	125
10	99	103	106	109	113	116	119	123
11	99	103	106	110	113	117	120	124
12	98	101	105	108	111	114	117	121
13	99	103	107	110	114	117	121	125
14	99	106	114	122	130	138	145	153

3.4.2 SMI-ROP

SSARR모형에서 가장 민감한 변수 중 하나인 SMI-ROP 도표를 유역별로 산정하기 위하여 우선 초기치로서 금강유역의 토지이용도와 토양도를 이용하였으며 GIS

Tool을 이용해 CN값을 산정하고 유역별 SMI-ROP 도표를 표 3과 같이 결정하였다. 즉, 총 12개 소유역의 CN값에 따라 3개의 중유역으로 나누어 CN값이 68~70인 1번 소유역에서 5번 소유역까지는 SMI-a, CN값이 71~

표 3. 소유역별로 산정된 SMI-ROP 도표

SMI (cm)	ROP(%)		
	SMI-a	SMI-b	SMI-c
0	7	8	9
1	18	19	21
2	41	43	49
3	65	68	79
4	83	85	91
5	91	93	98
10	100	100	100
999	100	100	100

73인 6번 소유역에서 9번 소유역까지는 SMI-b, 그리고 CN값이 74 이상인 나머지 소유역은 SMI-c 곡선을 각각 적용하였다. SMI와 CNdml 관계는 최적화 기법을 이용하여 SSARR 모형으로 Calibration 하여 산정하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 모델의 장기유출량 검증

본 연구에서 적용한 모델이 장기유출모형임을 감안하여 유역의 연간 유출율을 산정하고 관측값과 비교·분석하였다. '01년 1월~'07년 12월 기간을 중심으로 주요지점인 용담댐, 옥천, 대청댐, 공주지점의 년별 유출율을 산정하였다. 표 4에서 Observed는 지점별 관측유량(Rating Curve) 유출량을 나타내며, Simulted는 일단위 유출 모의 결과이다. 지점별 평균을 볼 때 금강유역의 관측 및 모의 연유출율은 각각 53.6% 및 51.8%인 것으로 나타났다. 이 값은 비교적 큰 값으로서 미국이나 유럽에 비해 상대적으로 유역이 작고, 유역경사가 급하며, 유로연장이 짧은 지형특성과 집중호우에 의해 일시에 다량 유출되는 수문특성을 반영하는 것으로 판단된다. 수자원장기종합개발보고

서(건설교통부, 2000)에 의하면 '66년~'98년 동안 분석한 한국의 주요 4대유역중 하나인 금강유역의 연유출량은 66억m<sup>3</sup>으로 한국의 연평균 강우량 1,276억m<sup>3</sup>과 비교할 때 연유출율은 약 53%정도인 것으로 분석되어 본 연구에서 적용한 모형의 유출율은 적절한 것이라고 할 수 있다.

4.2 년단위 물수지 분석

구축된 GUI상의 수문정보를 이용하여 SSARR모형에 적용한 후, 모의결과를 이용하여 물수지 분석을 수행하였다. 모의기간은 대표적인 가뭄년('01년)과 홍수년('03년)을 포함하는 '01~'07년으로 하였고 모의결과를 토대로 7년간 년단위 물수지 분석을 하였으며 각 년도의 비교·분석을 통해 가뭄과 홍수에 따른 유역 물수지 변화를 파악하는데 큰 도움을 줄 것으로 판단된다. 금강유역 연별 물수지 분석결과와 소유역별 평균 물수지 분석결과는 표 5와 같다.

과거 23년간의 금강유역 연별 강우량은 690~1,758mm로 나타났으며 연평균강우량은 1,250mm로서 국내 연평균 강우량과 유사하였다. 7년간의 분석기간 중 '01년 850mm는 과거 강우 중 극히 적은 강우로서 극한가뭄에 해당하

표 4. 주요지점 및 소유역 연간 유출율(2001~2007,%)

년도	용담		옥천		대청		공주	
	Observed	Simulated	Observed	Simulated	Observed	Simulated	Observed	Simulated
2001	-	-	44.70	41.61	39.06	27.14	51.80	41.08
2002	76.60	66.23	38.23	43.36	56.05	48.21	41.92	42.44
2003	84.72	72.84	72.34	60.01	79.81	62.51	69.83	63.95
2004	56.86	61.23	46.38	40.49	54.65	55.11	51.89	48.86
2005	60.90	70.30	40.39	48.82	51.70	55.81	50.61	49.60
2006	56.36	48.13	42.93	39.58	60.80	47.67	55.87	52.78
2007	56.31	59.89	35.82	41.95	60.28	52	51.42	45.65
Average	62.96	64.41	42.53	43.25	56.70	51.76	52.32	47.87

표 5. '01~'07년 물수지분석 결과

Year	Mean of rainfall (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Unit	Losses		Runoff				
			Intercept	Evaporation	Surface	Subsurface	Baseflow	Lower zone	Total
2001	8813.4	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,163.0	3,447.0	391.9	924.7	884.9	1,464.7	3,666.1
		%	25.0	39.0	4.0	10.0	10.0	17.0	42.0
2002	14221.1	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,844.2	4,897.7	1,143.3	2,673.3	1,395.4	1,357.3	6,569.8
		%	20.0	34.0	8.0	19.0	10.0	10.0	46.0
2003	15255.1	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,955.9	4,631.3	1,366.7	3,242.0	1,908.3	1,740.8	8,257.9
		%	19.0	30.0	9.0	21.0	13.0	11.0	54.0
2004	14239.5	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,641.4	4,438.1	1,352.4	3,095.7	1,309.6	1,555.0	7,312.6
		%	19.0	31.0	9.0	22.0	9.0	11.0	51.0
2005	14014.8	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,449.3	4,723.5	1,252.3	2,843.2	1,335.2	1,585.1	7,015.5
		%	17.0	34.0	9.0	20.0	10.0	11.0	50.0
2006	11405.7	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,559.6	3,700.1	917.7	2,114.0	1,140.0	1,424.0	5,595.6
		%	22.0	32.0	8.0	19.0	10.0	12.0	49.0
2007	14489.1	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,961.3	4,569.2	1,259.1	2,919.7	1,461.0	1,411.9	7,051.8
		%	20.4	31.5	8.7	20.2	10.1	9.7	49.0
Mean	12991.6	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2,602.2	4,306.3	1,070.7	2,482.2	1,328.9	1,521.2	6,402.9
		%	20.0	33.0	8.0	19.0	10.0	12.0	49.0

는 가뭄년이며 2003년 1,459mm는 비록 극한 홍수라 하기에는 다소 적은 강우지만 홍수년으로 볼 수 있을 것이다. 따라서 가뭄년인 표 5의 '01년 물수지 분석결과는 손실율이 평균치보다 10% 크게 나타났으며 유출량중에서는 지하회귀수의 유출비중이 가장 큰 것으로 나타났고 홍수년인 '03년 물수지 분석결과는 손실율이 평균치보다 4% 작게 나타났으며 유출량중에서는 복류수에 의한 유출이 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

4.3 유출 지표 선정

모형에 의해 모의된 금강유역 습윤상황을 GIS를 이용하여 14개 소유역별 유역습윤상황을 분석하였다. 그림 2는 월별 소유역별 습윤상황을 SMI(Soil Moisture Index)로 GIS Tool을 이용해 나타낸 것으로 '07년 1월~12월 기간의 유역상황을 나타낸 것이며 그림 3은 SMI-ROP결과를 도시한 것이다. SMI는 유역내 토양습윤상태에 따른 유출율을 산정하는 매개변수이기 때문에 강우로 발생하는 유출의 정량적 결정에 직·간접적인 영향을 주는 것으로 유역의 습윤상황을 대변한다고 할 수 있다. 겨울철 부족한 강우(1~3월)는 봄이 되면서 강우확보로 인하여 유역 전반에 걸쳐 습윤상황으로 변화하고 있으며, 홍수기(7월~8월)에는 유역 습윤 포화가 커지고 있음을 알 수 있다. 또한 그림에서 '07년의 4월~5월은 평년보다 강우량이 적어 상대적으로 예년보다 낮은 습윤상황을 반영하고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 소유역내에서 발생된 유출량 대비 계획된 목

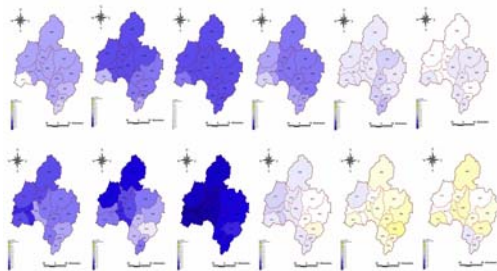


그림 2. 소유역별 토양습윤지표 (Soil Moisture Index)

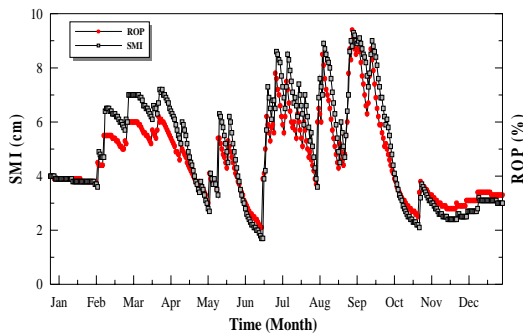


그림 3. 모의된 SMI 및 ROP (2007년, 대청저점)

적을 위해 사용된 수량의 비를 나타내는 용수소모지수를 월별 소유역 현황으로 분석한 것이다. 용수소모지수가 1 이상인 소유역은 해당월 총유출량으로 용수소요량을 자체적으로 만족시키지 못하는 소유역이기 때문에 용수소모지수가 1이상인 소유역은 부족수량에 대해 타소유역에서 공급을 받거나 자체 소유역내 저류시설물을 통해 공급받고 있는 실정임을 나타내고 있다.

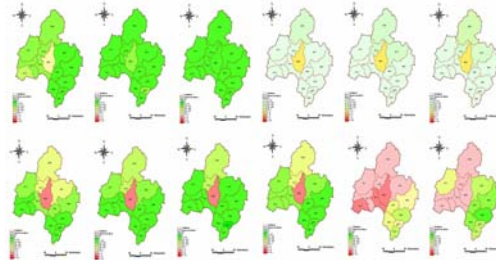


그림 4. 소유역별 용수이용지표

4.4 수문정보 제공 GUI 구성

이와 같이 강우-유출 관리 모듈을 연계하여 모형을 통해 모의된 수계별 하천현황, 강우, 유출, 용수 이용량, 수문지표 등의 기초수문자료와 분석결과를 GUI 상으로 자료를 제공하였다. 그림 5는 각각 모형 수행을 위한 수문



그림 5. 수문정보(유입량 및 용수이용) GUI 설계

정보를 GUI 형태로 사용자의 편의를 위한 Windows상에 나타난 일예로 GIS Tool과의 연동을 통해 효율적인 유출관리 계획과 수행을 할 수 있다.

5. 결론

유역의 효율적인 물관리를 위해서는 유역내 주요 지점의 유출량과 유출성분과 같은 상세 유출정보 제공이 무엇보다 중요하다. 따라서 SSARR모형을 금강유역에 적용하여 '01~'07년의 유출율을 산정하여 모형을 검증하였다. 표 5와 6에 제시한 검증 결과에서 지점별 평균을 볼 때 금강유역의 관측 및 모의 연유출율은 각각 53.6% 및 51.8%인 것으로 나타났다. 이 값은 비교적 큰 값으로서 미국이나 유럽에 비해 상대적으로 유역이 작고, 유역경사가 급하며, 유로 연장이 짧은 지형특성과 집중호우에 의해 일시에 다량 유출되는 수문특성을 반영하는 것으로 판단된다. 한국의 연평균 강우량 1,276억m<sup>3</sup>과 비교할 때 연유출율은 약 53%정도인 것으로 분석되어 본 연구에서 적용한 모형의 유출율은 적절한 것으로 사료되며 모의결과를 이용하여 '01년부터 '07년까지 7년간 유출지표를 산정하고 물수지분석을 수행하였으며 그림 4, 표 5, 표 6에 도시하였다. 이를 바탕으로 합리적인 공간적 유역습윤상황의 분석, 소유역별 용수이용 정보의 파악, 효율적 유출관리 지원을 위한 기초 수문정보로 활용할 수 있도록 하였다.

검정과 검증을 거쳐 신뢰성이 확보된 모형을 이용해 산정한 토양습윤지표(Soil Moisture Index), 용수이용량, 직접 및 기저유출량 등의 다양한 수문성분은 GIS Tool을 활용하여 소유역 단위의 유용한 수문학적 공간정보로 생산하였으며 사용자의 편의를 위하여 GUI로 설계하여 다양한 수문정보를 도시함으로써 효율적 유역수문관리를 지원하는 Toolkit으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후, 모형화에 있어 모형의 보정을 지속적으로 수행하여 결과 값의 신뢰성을 향상시키고 강우량 산정을 위한 기법으로, 본 연구에서 적용한 선형보간을 이용한 고도별 가중치 외 다른 기법들도 장·단점을 연구하여 금강유역에 가장 적합한 강우량 산정기법을 개발해야한다. 또한, SMI와 CN과의 상관관계를 분석하여 제시하고 GIS와 GUI간 연계의 확대를 통해 공간정보를 활용하여 수문정보 및 유역정보를 포함한 모형을 구축한다면 효율적 유출관리 계획과 수행을 함에 있어 기초자료로 활용가치가 높아질 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[ 1 ] Wallis, J.R., "GIS/hydrology interface: The present and future." Environmental Software, Vol. 3, No. 4, 1988, pp. 171-173.  
 [ 2 ] Zhang, H., Haan, C.T., and Nofziger, D.L. "Hydrologic modeling with GIS: An overview." Applied Engineering in Agriculture, ASAE, Vol.

6, No. 4, 1990, pp. 453-458.  
 [ 3 ] Schultz, G.A., Application of GIS and Remote Sensing in Hydrology. IAHS Publication, No. 211, 1993, pp. 127-140.  
 [ 4 ] DeVantier, B.A and Feldman, A.D., "Review of GIS applications in hydrologic modeling." Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 119, No. 2, 1993, pp. 246-261.  
 [ 5 ] Ross, M.A. and Tara, P.D., "Integrated hydrologic modeling with geographic information systems." Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 119, No. 2, 1993, pp. 129-140.  
 [ 6 ] USACE. "The Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation (SSARR) Model" U.S. Army Corps of Engineers North Pacific Division, 1991.  
 [ 7 ] Warwick, J.J. and Hanes, S.J., "Efficiency of ARC/INFO GIS application to hydrological modeling." Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 120, No. 3, 1994, pp. 366-381.  
 [ 8 ] 한순석, "지형공간정보체계를 이용한 한강유역의 수문 정보에 관한 연구", 석사학회논문, 연세대학교, 1994  
 [ 9 ] 최철관, 김상호, 배덕효, 한건연. "하천유량관리를 위한 GIS 하도단면 구축." 한국 GIS학회지, 제8권, 제1호, 2000, pp. 131-140.  
 [10] 이정규, 장홍준, 최병렬. "DEM 격자크기에 따른 강우-유출 모델링", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 2005, pp. 1169-1173.  
 [11] 배명순, 하성룡, 박정하. "수문정보를 이용한 유량배분 분석", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 2007, pp.162-167.  
 [12] 김성준, 박근애등, "웹 홍수정보시스템 프로토타입 개발", 과학기술부, 2006  
 [13] 강주환, 이길성, 김남일. "ssarr-8 모형을 이용한 낙동강 수계의 저수유출 해석", 한국수자원 학회논문집, no 1, 1998, pp. 71-84.  
 [14] 류경식, 황만하, 맹승진, 이상진. "유역관리모형을 이용한 금강유역 물수지 분석", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 2007, pp. 1742-1746.  
 [15] 2004년 금강유역조사 보고서, 한국수자원공사, 2004,  
 [16] 기존댐 용수공급 능력 조사(금강수계) 보고서, 건설교통부, 1997  
 [17] 수자원장기종합개발보고서, 건설교통부, 2000  
 [18] 지표수 수문성분 해석기술 개발 보고서, 과학기술부. 한국건설기술연구원, 2004.  
 [19] 낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템 개발(분석 모델부분). 한국수자원공사, 1996  
 [20] 2004년도 실시간 물 관리 운영 시스템 구축 기술 개발 보고서, 21세기 프론티어 연구개발사업단, 한국수자원공사, 2004



이 상 진

1995년 부산대학교 토목공학과 졸업  
(학사)  
2004년 부산대학교 토목공학과 수공학 졸업  
(박사)  
2002년~현재 한국수자원공사 Kwater연구  
구원 책임연구원



김 주 철

1993년 충남대학교 토목공학과 졸업(학사)  
2004년 충남대학교 토목공학과 수공업 졸업  
(박사)  
2004년~2008년 충남대학교 산업기술연구  
소 연구원  
2008년~현재 한국수자원공사 Kwater연구  
원 위촉연구원

원 위촉연구원



노 준 우

1996년 경북대학교 토목공학과 졸업(학사)  
1998년 경북대학교 토목공학과 석사  
2003년 콜로라도 주립대  
(colorado state univ.) 졸업 (박사)  
2004년~현재 한국수자원공사 Kwater연구  
구원 선임연구원



안 정 민

2006년 창원대학교 토목공학과 졸업(학  
사)  
2008년 창원대학교 토목공학과 석사졸업.  
2008년~2009년 수자원공사 수자원연구  
원 위촉연구원  
2009년~현재 (주)수성엔지니어링

2009년~현재 (주)수성엔지니어링