

# 농촌용수 물수요량 추정을 위한 GIS/RS 기반의 통합시스템 정보체계

## GIS/RS based Integrated Information System for Estimation of Rural Water Demend

김 성 준\*

Kim, Seong Joon

### 1. 서 론

우리나라 농촌용수는 농업기반공사가 관리하는 저수지만으로도 3,323개 지점에서 공급되고 있으며, 이 중 저수량 10만<sup>3</sup> 이상의 저수지 1,272개가 전국적으로 분포하고 있다. 이와 같이 공간적으로 넓게 분포한 정보들을 체계적으로 그리고 효율적으로 관리하고 분석하기 위해서는 GIS(Geographic Information System; 지리정보시스템) 기반의 정보시스템과 더불어 21세기 우주개발시대를 맞이하여 그 활용성이 가속화되고 있는 위성영상을 이용하는 RS (Remote Sensing; 원격탐사)기법의 도입이 기대된다.

GIS는 우리나라에서는 1990년 초부터 관심이 일기 시작하여 현재는 국가차원의 NGIS 사업이 계획대로 진행되면서 우리나라의 사회 기반산업으로 그 자리를 확고히 다진 상태이다. RS는 시기적으로 늦은 감이 있으나, 1999년 12월 한국항공우주연구소에서 다목적 실용위성 아리랑 1호(KOMPSAT-1, 공간해상도 6.6m)

를 발사하여 현재 한반도 주변의 위성영상을 저가로 공급하고 있으며, 2005년에는 1m 공간해상도를 가지는 KOMPSAT-2를 발사할 계획에 있어, 이를 이용하는 응용분야에서의 활발한 연구가 기대된다. 특히 농업분야는 RS기법을 활용하는데 무한한 잠재력을 가지고 있는 응용분야이다. 예를 들어 위성영상을 활용한 구름 및 강우분포, 홍수와 가뭄 피해지역, 작물의 생육 상태와 수확량, 토양수분과 증발산량의 파악, 생태환경의 변화, 수질오염 감시 등 무궁무진하다.

우리나라에서도 이제는 GIS와 RS가 수자원 분야에 응용되는 널리 알려진 기법으로 현재 수문모델링 등에 많이 이용되고 있다. 수자원분야에서 이들 기법을 이용하는 것은 주로 원격탐사 자료와 GIS에서 얻어진 분석결과를 수문모델의 입력 자료로서 사용하는 것이다. 앞으로는 어떻게 하면 통합된 분석시스템 내에 이 두 가지 기법을 수문모델과 연계시킬 것인가에 연구의 초점이 맞추어지고 있다. 인공위성으로는 시간과 공간적으로 광범위한 지역을 규칙적으로 관

\*건국대학교 생명환경과학대학(kimsj@konkuk.ac.kr)

찰하고, 레이더나 항공사진으로는 필요한 시기의 강우 그리고 특정지역의 동적인 자료를 얻게 된다.

농업에서의 수자원, 이 중에서도 농촌용수의 수요량을 파악하기 위해서는 우선 농경지 분포 및 시기적 변동이 직접적인 관련이 있다. 따라서 농경지의 정확한 공간적 분포와 경지내 작물재배상황의 파악이 필수적인데, 이를 위해서는 RS 기반의 정기적인 자료 획득 및 갱신이 요구된다. 다음 단계에서는 농경지에서의 담수상태(논) 및 토양수분(밭 및 과수)을 관리하기 위한 GIS 기반의 분석이 필요하다고 할 수 있다.

본 고에서는 ① 지금까지 GIS/RS 기반의 농촌용수 수요량 관련 연구들을 살펴보고, ② 수요량을 산정하기 위하여 가장 기본적이라 할 수 있는 작물의 재배면적을 파악하기 위해서는 우리나라 실정에 맞는 위성영상의 공간 해상도가 어느 정도면 되는지?, ③ 다음으로는 수요량을 산정하기 위한 GIS/RS 기반의 정보시스템은 어떠한지 하는지를 제안하고자 한다.

## 2. GIS/RS기반의 농촌용수 수요량 관련 연구

### 가. 원격탐사에 의한 증발산량 추정

증발산은 하천 유역의 물수지 모델링을 수행하는 경우에 대단히 중요한 요소이지만, 원격탐사기법을 이용하여 직접 관측할 수는 없다. 그러나 에너지 수 지식을 이용하여 증발산을 계산하는데 필요한 매개변수 및 변수 (태양복사량, 지표면 알베도, 지표면 온도, 토지피복, 식생밀도 및 토양수분)들은 원격탐사자료를 이용하여 추정할 수 있다. 원격탐사자료를 이용한 국내의 최근 증발산량 관련연구는 신사철(1996), 채효석 등(1999)에서 찾아볼 수 있다. 채효석 등(1999)은 인공위성 영상자료로부터 작성한 토지피복도에서 각 토지피복별로 알베도 값과 지중열 계수 등을 이용하고, DEM을 이용하여 일사량을 보정하여 유역의 공간적인 증발산량을 파악할 수 있는 격자형 증발산량 산정 모델을 개발하였다(그림 1). 개발된 알고리즘은 Morton 법을 이용하는 보완관계식에 의한 실제 증발산량

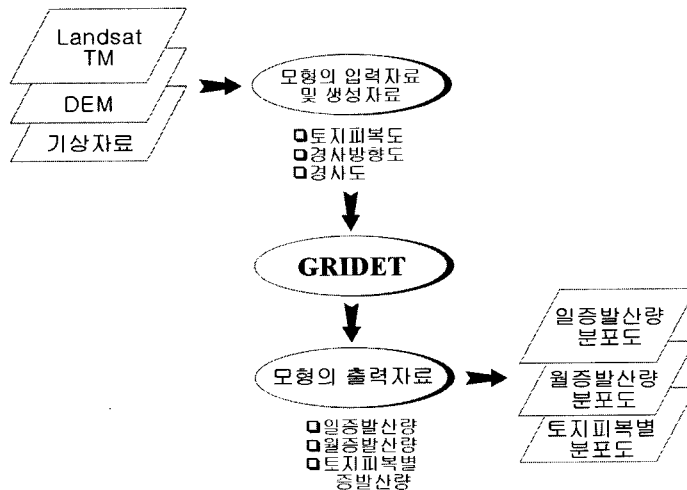


그림 4. 원격탐사에 의한 증발산량 추정 흐름도

산정식을 이용하였으며, 엘고리즘의 타당성과 적용성을 검토하기 위하여 1995년도 보청천 유역에서의 토지피복별 일 증발산량을 계산하였다. 개발된 격자형 증발산량 산정 모델은 분포형 수문모델과 통합할 수 있는 장점을 가지고 있다.

#### 나. 원격탐사에 의한 토양수분 추정

토양수분은 수문, 농업, 기상 및 기후연구에 있어 중요한 변수이다. 토양수분의 현장계측은 시간과 노동력이 요구될 뿐만 아니라 유역 전체에 고르게 분포시켜 계측한다는 것은 매우 어렵다. 원격탐사기법은 지표면 근처의 토양수분을 대상으로 공간적으로 분포된 자료를 수집할 수 있는 가능성을 제공한다.

지표면 근처의 토양수분에 대한 원격탐사 관측은 다음과 같이 이루어질 수 있다. ① 가시 및 근적외 영역에서 나지 토양의 반사율을 계측한다. 토양반사는 토성 및 토양의 색깔에 의하여 크게 영향을 받기 때문에, 이 자료는 토양수분정보를 제대로 제공하지 못한다. ② 열적외 영역에서 지표면 온도를 계측한다. 이는 구름, 식생, 각종 기상요인에 의하여 계측에 한계가 있다. ③ 극초단파 영역에서 밝기온도 (brightness temperature)를 계측한다. 이 수동기법은 지표토층 약 5cm내에서의 토양수분을 결정하기 위하여 물과 건조토양에 대한 유전상수의 현저한 차이를 이용한다 (Schmugge, 1985; Jackson, 1993; Hollenbeck 등, 1996). 식생밀도가 증가함에 따라 극초단파 복사의 감쇠는 증가하므로, 이 방법은 식생밀도가 낮은 지역에서만 유효하다. ④ 능동 극초단파 센서로 후방산란 (backscattering) 계수를 계측한다. 지표면 근처의 토양수분을 관측하는 기

술을 개발하기 위하여 MACHYDRO'90, MACEUROPE'91, EMAC'94 등의 연구가 수행되고 있다. 극초단파 주파수의 선택, 지표면의 조도 및 식생피복의 영향을 정량화하는데 진전이 있어 왔다 (Ulaby 등, 1978; Ulaby 등, 1984). 최근에는 간헐적으로 탐사된 지표면 토양수분자료로부터 토양수분의 프로파일 일을 모델링 하는 과정이 개발되고 있다.

#### 다. GIS기법에 의한 토양수분 모델링

토양수분을 예측하기 위한 기법은 주로 격자화된 자료를 입력 자료로 하는 분포형 모형의 개발 및 적용과 관련된 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 국외의 대표적인 분포형 모형으로는 ANSWERS (Beasley, et al., 1980), TOPMODEL (Beven, et al., 1979, 1984), AGNPS (Young, et al., 1989) 등이 있는데, 이 모형들에 대한 자세한 내용은 Singh(1996)의 "Computer Models of Watershed Hydrology"에서 찾아볼 수 있다. 국내에서는 김성준 등(2000)이 격자 물수지 기법을 이용하여 유역내의 토양수분 변화를 일단위로 추적할 수 있는 격자기반의 일 유출 모델을 개발하고, 래스터 GIS 소프트웨어인 GRASS를 이용하여 모델의 입력자료를 추출하는 모델의 전처리 과정과 모델의 결과를 시간적·공간적으로 표현해 주는 후처리 과정을 개발하였다. 또한 Kim et al.(2003)은 논의 유출기작을 고려할 수 있도록 기 개발한 모델을 보완한 바 있다. 한편 이들 모형들은 대부분 소유역(수십 km<sup>2</sup> 이내)을 대상으로 개발된 모형이므로, 이 분야에서 해결해야 할 가장 큰 숙제로 삼고 있는 규모(scale)의 확대문제와 특히 우리나라 고유의 지형 및 토지이용을 고려한 토양수분 예측기법이 요구된다.

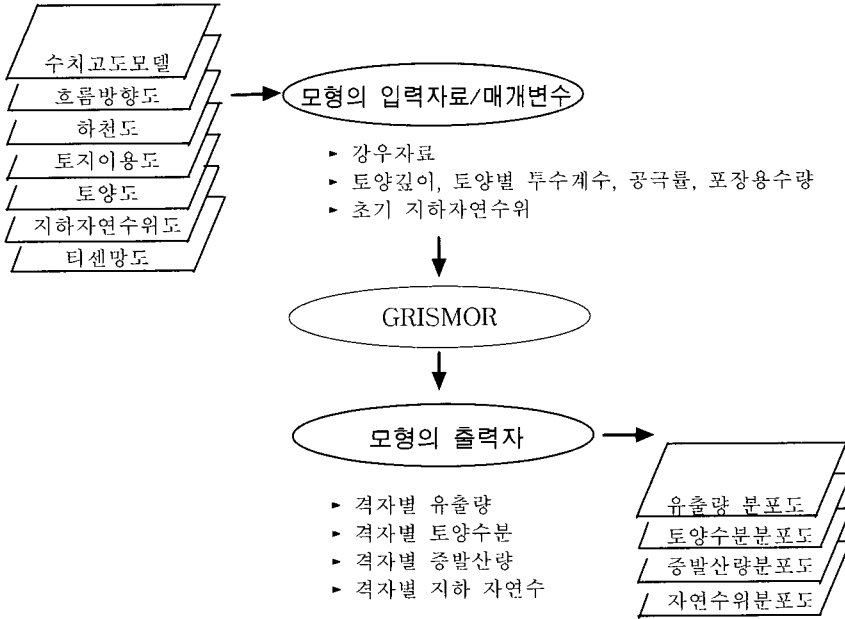


그림 2. 토양수분 추적모델의 흐름도

**라. 농촌용수 물수요량 관리의 현대화**

농촌용수의 평가는 농촌용수의 지속가능한 개발, 관리, 제어에 대한 평가가 가능하다는 기반 하에 농촌용수의 양, 질, 그리고 이용성을 평가하는 것이다. 견고한 농촌용수 평가는 양질의 유역수문/환경자료의 확보와 적절한 모델링 기법의 적용을 모두 요구한다. 초점이 지표수에만 집중되어 있는 경우, 또는 지하수에만 집중되어 있는 경우에는 적절한 모델링 도구는 개념적인 집중형 강우-유출모델 또는 전형적인 2차원 지하수모델을 적용하는 것이 일반적이다. 지표수와 지하수의 상호관계가 중요한 경우에는 물리적인 기반의 분포형 유역통합모델과 같은 보다 포괄적인 모델링 도구가 요구된다.

특히 농업에 있어서 농촌용수 관개(irrigation)

분야는 몇몇 특출한 예를 제외하고는 수문(hydrology)보다는 훨씬 낮은 기술수준에 머무르고 있다고 평가된다. 따라서 현대기술을 활용한 보다 향상된 관개관리에 대한 잠재력은 경제 및 환경 측면에서 엄청나다고 할 수 있다. 이와 같은 시도는 집중물관리 즉 TC/TM을 통하여 이루어지고 있다. 관개관리의 현대화, 즉 TC/TM에 의한 농촌용수 공급 및 수요량의 정보화를 위한 필요조건은 다음과 같은 내용으로 정리할 수 있다. ① 최신 센서, 실시간 자료전송, 원격탐사자료로부터의 공간정보를 포함한 보다 향상된 자료수집기술. ② 해당 지역의 공간적 분포에 기반을 둔 토양수분과 지하수 상태를 전반적으로 묘사할 수 있는 자세한 수문/수리 모델링뿐만 아니라, 배분체계와 배수로 시스템에서의 흐름과 저류에 대한 동력학적 모델링.

### 3. 우리나라 실정에 맞는 위성영상의 공간 해상도 수준

그림 3과 표 1은 과학기술부 “원격탐사 3단계 기술개발사업”에서 건국대학교가 수행하고 있는

“농작물관리시스템 개발”의 1차년도 연구 결과를 인용한 것이다. 이 연구에서 우리나라 농작물의 재배현황(경계 및 종류)을 파악할 수 있는 적합한 공간해상도를 결정하기 위하여 IKONOS-2 Pan & M/S Fusion (1m×1m),



그림 6. 다양한 위성영상의 공간해상도별 농업정보

표 1. 위성영상별 판독 가능한 농업정보의 공간해상도 비교

구분		1m×1m	4m×4m	6m×6m	15m×15m	30m×30m
논	경지정리논	●	●	●	●■	●■
	비경지정리논	●	●	■◎	◎	◎
	비닐하우스	●	●	■	◎	◎
밭	멀칭	●	■◎	×	×	×
	밭	●■◎	■◎	◎	×	×
	과수원	■◎	■◎	◎	◎	×
초지	목장	●■	●■	■◎	◎	×
	초지	■◎	■◎	◎	×	×
	골프장	●	●	●	■	■
저수지	소규모	●	●	●	■◎	◎
	중규모	●	●	●	●	●
	보	●■◎	●■◎	■◎	◎	×
용수로	간선	●	●	◎	◎	×
	지선	●	●■	◎	◎	×
	지거	■◎	◎	×	×	×
	식생	●■	■◎	×	×	×
도로	지방도	●	■	◎	×	×
	농도	●	■◎	◎	×	×

※ 비교: (●) 육안판독가능, (■) 탐지가능, (◎) 추정가능, (×) 추정 또는 판독불능

※ 비교영상: (해상도순서대로) IKONOS-2 Fusion Color, IKONOS-2 MS, KOMPSAT Fusion Color, ASTER VNIR, Landsat 7 ETM+ MS

IKONOS-2 M/S(4m×4m), KOMPSAT-1 EOC & ASTER VNIR Fusion(6m×6m), Landsat 7 +ETM 등의 영상을 이용하여 해상도별 추출 가능한 농업정보를 육안판독 가능, 탐지 가능, 추정 가능, 추정 또는 판독불가의 4가지 항목으로 구분하여 평가하였다.

주요 결과로는 논외의 경우 4m 이상의 해상도에서 미경지 정리 및 경지정리 지역의 파악이 용이하였으며, 밭은 경우 1m Panchromatic 영상과 4m Multi-spectral 영상을 융합하여 분석하는 것이 유리하였다.

이상의 결과로부터 1m 컬러 융합영상을 이용하여 RS분석기법에 의하여 그림 4와 같은 세분류 농업토지피복 분류도를 작성할 수 있었다.

#### 4. GIS/RS기반의 농촌용수 관련 정보시스템 제안

##### 가. GIS/RS기반의 논관리 시스템

우리나라 전체용수의 약 50%를 차지하고 있고, 전국에 걸쳐 광범위하게 분포되어 있는 논을 대상으로 수요량 변화를 시공간적으로

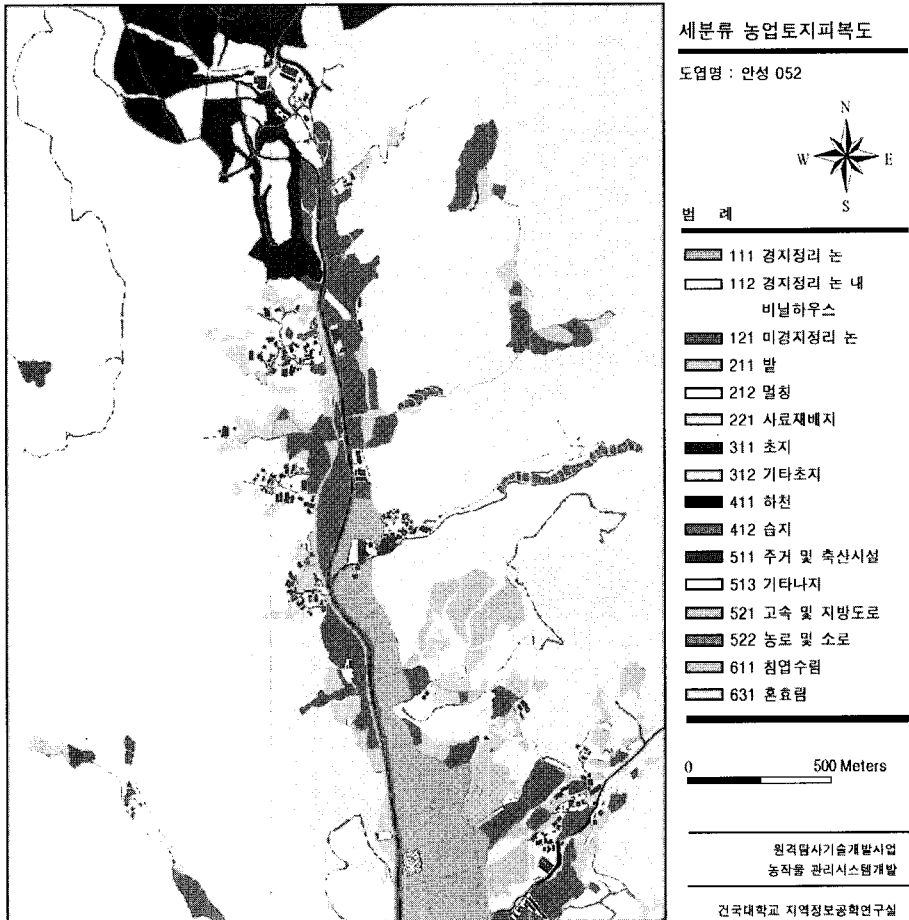


그림 7. 고해상도 위성영상으로부터 작성된 세분류 농업토지피복도  
 (1:5,000 도엽명 : 안성052)

관리할 수 있는 시스템의 개발이 요구된다. 경지정리는 매년 대규모로 실시되고 있어 1년 단위의 공간적인 변화의 파악이 필요하고, 특히 논내의 비닐하우스 재배는 신고제로서, 현재 지역적인 통계자료가 없는 상태이므로, 영상자료의 도입 및 활용이 최적이라고 판단된다.

이 시스템의 최종 목표는 논외의 경지정리지역, 논내의 비닐하우스 재배현황도 제작을 통한 논 관련 토지이용 및 수자원 관리시스템 개발이다. 연구내용으로는 적절한 인공위성영상의 선정 및 DB화 기준 (도엽번호 및 촬영시기) 설정, 좌표체계 정립(geo-referencing)을 위한 기준점(ground control points) 설정 및 GPS 측량, 해상도 향상을 위한 기법(filtering) 개발, 해당시기의 논면적 및 비닐하우스 재배면적 추출 기법 개발, GPS 측량 및 용배수로 추출기법 개발, 논 관리시스템 모듈 설계 및 개발, 논 관련 분석시스템 개발 (관개현황, 논 배수가 하천수질에 미치는 비율분석) 등이다.

이 시스템의 결과는 최신의 경지정리지구 파악자료, 논내의 비닐하우스 재배현황 통계자료, 논에서의 배수가 하천수질에 미치는 영향분석 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 인공위성영상자료를 이용한 논외의 관리현황 및 통계자료 수집방법의 정보화 확립, 논외의 담수현황 파악을 통한 가뭄의 정도 파악, 논내의 비닐하우스 재배현황 파악을 통한 지자체별 비닐하우스 최적관리를 기대할 수 있다.

#### 나. GIS/RS기반의 논 담수심 및 토양수분 예측시스템

농민에게 자신의 경작지에 대한 수자원 및 토양의 기본지식을 함양시켜 최적의 경작지 관리 및 작물 재배관리에 도움을 주는 한편, 작물

의 정상적인 발육을 도모하기 위한 차기 관개시기 및 관개량 판단을 위한 의사결정 자료의 제공이 요구된다. 농지관련 정책결정자에게는 토양별 토성을 고려한 토지등급 구분정보의 제공 및 가뭄정도를 판단할 수 있도록 논 담수심 및 토양수분상태 정보시스템을 개발할 필요가 있다.

이 시스템의 연구내용으로는 GIS자료의 구축(DEM, 하천도, 토양도, 토지이용도, 기상관측소, 지하수위 분포도 등), RS 자료의 분석(전처리, 논 담수심 및 토양수분 현황분석), 분포형 모델의 개발 및 적용(공간 증발산량, 논 담수심 및 토양수분 예측), GUI 시스템 개발 등이다.

이 시스템의 결과는 단기 관개계획, 지하수 충전량 추정, 단기 가뭄예보 등에 활용될 수 있을 것으로 생각되며, 농업 수자원 분야의 정량적 정책대응논리 개발, 농경지관련 자원(기상정보, 토지이용/피복, 토양정보, 수자원정보: 부존량, 지하수 충전량 등)의 정보화로 효율적인 농경지관리, 농경지 정보 및 분석체계가 타분야와 대등하게 발전될 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 결 론

이제는 농촌용수의 관리 및 개발계획은 현실성이 있어야 한다. 무조건 모든 종류의 시스템을 계획하기보다는 실현 가능한 주요한 분석시스템을 선정하여 개발하는 것이 바람직하다고 본다. 시스템은 남한 전체를 대상으로 어느 지역을 선택하더라도 적용이 가능하도록 개발되어야 함을 간과해서는 안 된다. 이는 시스템의 프로그램들이 되도록 물리적인 기반의 프로그래머가 하고, 프로그램 개발을 위해서는 여러 전문가들이 컨소시엄을 이뤄 장기간에 걸쳐 개발

되어야 한다. 외국의 유명한 프로그램들을 보더라도 잘 이해가 될 것이다. 또한 농촌용수 확보에서 보다 관심을 기울여야 할 부분은 과거부터 현재까지 산림이 지니는 수자원 함양량의 변화가 농업용 저수지에 미치는 영향과 특히 논이 지니는 다기능 중에서 논이 담수가 생태계에 미치는 효과 및 홍수시 논내 저류에 의한 치수능력을 계절별로 보다 구체적으로 정량화할 필요가 있다.

## 참고문헌

1. 김성준, 1998, 격자기반의 운동과 강우유출모형 개발(I)-이론 및 모형-, 한국수자원학회논문집, 31(3), pp.303-308.
2. 김성준, 채효석, 신사철, 1998, 격자기반의 운동과 강우유출모형 개발(II)-적용예-, 한국수자원학회 논문집, 31(3), pp.309-315.
3. 김성준, 채효석, 2000, 격자기반의 토양수분추적에 의한 지하수함양량 추정기법 개발, 한국수자원학회 논문집, 33(1), pp.61-72.
4. 김성준, 2003, 농작물 관리시스템 개발 1차년도 보고서, 원격탐사 3단계 기술개발사업, 과학기술부
5. 신사철, 최윤수, 안기원, 1996, NDVI를 이용한 한반도의 피복분류, 대한토목학회 논문집, 16(III-2), pp.139-146.
6. 채효석, 김성준, 정관수, 1999, 격자기반의 일 증발산량 추정모형 개발, 한국수자원학회논문집, 32(6), pp.721-730.
7. Beasley, D. B., L. F. Huggins and E. J. Monke, 1980, ANSWERS: A model for watershed planning. Trans. of ASAE, 23(4), pp.938-944.
8. Beven, K. J. and M. J. Kirkby, 1979, A physically-based variable contributing area model of basin hydrology, Hydro. Sci. Bull., 24, pp.43-49.
9. Beven, K. J., M. J. Kirkby, N. Schofield and A. F. Tagg, 1984, Testing a physically-based flood forecasting model (TOPMODEL) for three UK catchments. J. of Hydrology, 65, pp.119-143.
10. Hollenbeck, K. J., T. J. Schugge, G. M. Hornberger and J. R. Wang, 1996, Identifying soil hydraulic heterogeneity by detection of relative change in passive microwave remote sensing observations. Water Resources Research, 32(1), pp.139-148.
11. Jackson, T. J., 1993, Measuring surface soil moisture using passive microwave remote sensing, Hydrological Processes, 7(2), pp.139-152.
12. Kim, Seong J. H. S. Chae, C. S. Yoo, and S. C. Shin, 2003, Stream discharge Prediction via a grid-based soil water routing with paddy fields, AWRA, 39(5), pp.1143-1156.
13. Schugge, T. J., 1985, Remote sensing of soil moisture, in M. G. Anderson and T. P. Burt (eds.). Hydrological Forecasting, John Wiley and Sons, Chichester, pp.101-124.
14. Singh, V. P., 1995, Computer Models of Watershed Hydrology, WRP, Colorado.
15. Ulaby, F. T., P. P. Batlivala and M. C. Dobson, 1978, Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture, and soil texture, Part I, Bare soil, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 16, pp.286-295.
16. Ulaby, F. T., C. T. Allen and G. Eger, 1984, Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index, Remote Sensing Environ. 14, pp.113-133.
17. Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch and W. P. Abderson, 1989, AGNPS: a nonpoint source pollution model for evaluating agricultural watersheds. J. of Soil and Water Conservation. 44, pp.168-173.