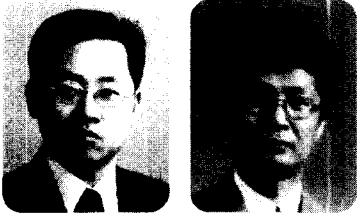


수문모델링을 위한 원격탐사 적용의 최근 동향



김 성 준 | 부교수, 건국대학교 지역건설환경공학과, kimsj@konkuk.ac.kr

신 사 철 | 조교수, 안동대학교 토목공학과, scshin@andong.ac.kr

1. 머리말

하천에 대한 수문학적 모델링은 사용하는 자료의 질에 따라 그 결과가 크게 영향을 받는다는 것은 이미 알고 있는 사실이다. 여러 수문관련 연구에서 문제시 되고 있는 것은 적절한 정확도로써 수문과정을 양적으로 표현하기에 충분한 자료가 없다는 것이다. 대유역에서 토지이용 및 기후변화에 따른 수문학적인 영향을 규명하기 위해서는 지형, 지질, 토양, 식생, 기상에 대한 자세한 정보가 없이는 불가능하다. 원격탐사기법이 발전되면서 다양한 센서로부터 대유역에 관련된 수문 정보들을 획득할 수 있게 되었다. 원격탐사 자료를 최대한 활용하기 위해서는 수문관련 연구 및 모델에 이러한 자료들을 효과적으로 접합시키는 방법을 강구해야 한다(Peck 등, 1981; Rango, 1987; Schultz, 1988; Engman과 Gurney, 1991).

기존의 자료수집 방법과는 달리, 원격탐사기법의 주요 장점은 ① 자료수집 장치와 관측 과정 사이의 장애요소가 없으며, ② 점 관측이 아닌 면적개념의 분포된 관측이며, ③ 공간 및 시간적으로 높은 해상도를 가지며, ④ 수치 자료형태이며, ⑤ 접근이 불가능한 지역에서도 정보수집이 가능하다는 것이다. 반면, 주요 단점으로는 센서가 직접 수문모델링에 필요한 형태로서 자료를 제공하지 못한다는 것이다. 센서로부터 획득된 정보는 전자기 신호로 이루어져 있으므로

수문자료로서의 활용을 위해서는 변환 과정이 필요하다. 원격탐사자료를 수문학적인 정보로 해석하기 위한 기술은 아직 개발단계에 있다. 수문과정의 연구를 위한 가장 적합한 스펙트럼 자료의 선택, 그리고 적절한 방법에 의한 자료의 해석은 반드시 해결하여야 할 어려운 문제로 남아 있다.

수문 및 수자원 관리와 관련된 원격탐사의 가장 기본적인 적용 중의 하나는 토지이용분류(land use classification)라고 할 수 있다. 가시 및 근적외 파장대의 관측으로서 광범위한 지역(예, 광역하천유역)을 대상으로 수문 모의에 중요한 지표면 특성을 추출할 수 있다. 그러나 지표면과 대기간의 교환기작의 규모 문제(동수역학을 유역 및 지역 규모로 전환하는 문제)를 제대로 이해하지 못하여 더 이상의 진전이 없는 실정이다. 지표면의 토양수분은 대기와 지표면 사이의 물과 에너지 교환에 지배되므로, 수문모의에서 이러한 규모문제를 해결하기 위해서는 토양수분의 극초단파 원격탐사가 그 해결방법일 수 있다. 토양수분 함량이 지표 토양층의 유전특성에 영향을 주기 때문에, 극초단파 원격탐사로 지표 토양수분의 관측이 가능하다. 총 20년 계획으로 현재 지표면 토양수분 관측을 위한 능동 및 수동 극초단파 센서가 운용 중이다. 극초단파 원격탐사 프로젝트(예, MACHYDRO'90, EMAC'94)를 이용한 캠페인을 통하여 토양수분 관측 및 검색을 위한 시험 및 보정이 가능하게 되었다. 특

히, 위성을 이용한 능동 극초단파 탐사는 높은 시간 및 공간관측해상도 때문에 관심이 집중되고 있다. 현재 여러 인공위성이 지구의 광역 지역을 대상으로 SAR (Synthetic Aperture Radar) 자료를 생산하고 있다(예, ERS-1, ERS-2, JERS-1, RADARSAT).

본 고에서는 우선 수문 및 수자원분야에 대한 원격탐사의 응용과 관련된 기술적인 현황을 살펴보고 각종 참고문헌을 제시하여 관련 연구를 수행하고자 할 때 도움을 줄 수 있도록 하고자 한다.

2. 유역 수문연구를 위한 원격탐사

2.1 원격탐사에 있어서 물리적인 고려사항

원격탐사는 관측장비를 물체에 접촉시키는 현장관측과는 달리, 물리적인 접촉 없이 대상물의 정보를 획득하는 기술이다. 현재, 대부분의 원격탐사 시스템에 의하여 관측되는 값은 물체로부터 나오는 전자기 에너지의 양이다. 원격탐사 시스템은 능동 및 수동시스템으로 대별할 수 있다. 수동시스템에서는 대상물로부터 전달되는 자연적인 에너지를 단순히 감지하여 기록하는 것인 반면, 능동시스템은 전자기적 신호를 전달하여 되돌아오거나 반사되는 신호를 관측하는 것이다.

전자기 복사는 전자기 에너지가 파의 형태로 전파되는 것을 말한다. 복사는 어떠한 파장을 가지고 매체(예, 물 또는 대기) 또는 진공(예, 우주공간)을 통하여 이동할 수 있는 에너지의 형태이기 때문에, 원격탐사에서는 매우 중요한 부분이다. 복사는 절대기온이 0℃ 이상의 모든 물체에서 방출되며, 대상물체의 물리적인 특성을 결정지을 수 있는 지표이다. 이러한 지표는 파장(또는 주기)과 위상으로 특징지을 수 있다.

파장과 관련된 전자기 복사의 성질은 다음과 같다. ① 파장이 짧을수록 에너지는 커진다. ② 물체의 절대온도가 높을수록 총 에너지는 커지고 방출되는 침투 파장은 짧아진다. ③ 물체와의 에너지 상호작용은 파장에 지배된다. 복사에너지가 물체에 부딪힐 경우, 전달(transmission), 흡수(absorption), 반사(reflection),

산란(scattering)의 네 가지 상호작용이 발생한다. 원격탐사기법에 의하여 물체의 성질을 분석하기 위해서는 가장 적합한 파장대를 선정하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 상기의 네 가지 상호작용간의 혼합 효과에 대한 충분한 이해가 있어야 한다.

2.2 수문연구를 위한 원격탐사 자료원

2.2.1 센서와 플랫폼

수문연구를 위하여 일반적으로 사용되는 원격탐사 센서는 다음과 같이 6개의 그룹으로 나눌 수 있다.

- ① 사진 카메라(photographic camera). 가장 간단한 형태로서 전자기 스펙트럼의 가시 및 근적외 영역을 이용하여 지도제작 목적으로 활용된다.
- ② 비디콘 카메라(vidicon camera). 연속적인 전기신호 형태로 전달 및 저장하기 위하여 전자적으로 주사한 광전도 표면에 초점을 맞추어 일시적으로 저장시킨 광학 이미지이다.
- ③ 주사 복사계(scanning radiometer). 궤도(path)를 따라 플랫폼이 진행하면서 목표지역을 주사하여 피자료를 구축하도록 센서의 일부를 회전 또는 진동시켜 수신신호의 위상을 조절하여 사용한다. 이 복사계는 가시, 적외 및 극초단파 파장영역을 위하여 제작되어 왔다. Landsat의 MSS (Multispectral Scanner), NOAA (US National Oceanic and Atmospheric Administration)의 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), DMSP (US Defence Meteorological Satellite Program)의 SSM/I (Spectral Sensor Microwave Imager)가 이 유형의 센서이다.
- ④ 푸쉬브room(pushbroom). 확장배열이 요구될 때 발생하는 기하 및 기계적인 복잡성을 줄이기 위하여 개발되었다. 이름이 말해주듯이, 반도체를

이용한 확장배열이 위성의 궤도를 따라 점진적으로 지표면을 주사하는 선단에 탑재되어 있다. 이 방식은 입체영상을 제작할 수 있는 SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre)에 적용되어 왔다.

- ⑤ 분광계(spectrometer). 대상물의 분광특성을 보다 자세하게 분석할 수 있는 다분광 자료를 제공하기 위하여 프리즘, 거울, 회절격자, 필터를 이용하여 선별하고 이산시킨다.
- ⑥ 극초단파 레이더(microwave radar). 다른 센서와는 달리 능동 복사시스템이며, 기구 자체로부터 방출되는 복사의 반향을 측정한다. 레이더는 극초단파 복사의 일부 파장대에서 대기 중에 포함된 수분에 의해 크게 영향을 받지 않기 때문에 특히 구름이 많은 지역에서 유용하다. 유럽의 ERS-1과 ERS-2, 일본의 JERS-1, 캐나다의 RADARSAT에 탑재된 SAR가 이에 해당된다.

수문연구를 목적으로 다음과 같은 플랫폼들이 필요하다: ① 지상관측 플랫폼(예, 기상 레이더시스템), ② 공중 플랫폼: 기구, 고도 약 30km까지 가능, 항공기: 지형조사, 재해조사(예, 홍수), 재해평가 및 수문연구, 고도 약 15km까지 비행사 탐승, ③ 우주 플랫폼: shuttle spacecraft(200~300km), 인공위성, 저고도 극궤도위성(800~1,500km) 또는 고고도(지구정지궤도) 적도궤도위성(35,500km).

2.2.2 원격탐사 위성시스템

수문학에 있어서 대부분의 실용적인 목적을 위해서는 일반적인 두 가지 부류의 위성인 지구자원탐사 위성과 환경관측 위성을 구분하는 것은 매우 간단하다. 전자의 경우는 상대적으로 높은 공간해상도로서(예, Landsat) 수일 주기로 같은 지역을 관측하여 지구 표면의 물체나 상태에 대한 정보를 수집하고, 그에 따른 지도 제작의 목적으로 사용된다. 후자의 경우는 상대

적으로 낮은 공간해상도로서 같은 지역을 몇 시간 주기로 빈번하게 관측하여 방대한 스케일의 지구 표면 상태(NOAA/AVHRR)나 기상상태(Meteosat, GOES)에 대한 정보를 획득할 수 있다.

>> 지구자원탐사 위성

- ① Landsat MSS, TM: 미국의 NASA (National Aeronautics and Space Administration)에 의해 운용중인 Landsat 위성은 1972년 이래(Landsat 1, 2, 3) 80m의 공간해상도를 가진 MSS (multispectral scanner) 센서의 4개 밴드와 1984년 이래(Landsat 4, 5) 30m의 해상도를 가진 TM (Thematic Mapper) 센서의 7개 밴드(6번 밴드는 120m의 해상도)로서 식생, 농작물, 토지피복에 대한 정보를 제공하고 있다. 1993년 8월에 발사된 Landsat 6호는 Landsat 5호의 7개의 밴드에 15m×15m 공간해상도의 panchromatic 밴드를 추가한 ETM (Enhancement Thematic Mapper)을 탑재하였으나 발사 직후 추락하였다(Dornier, 1993). 1999년 4월 15일 Landsat 7호가 캘리포니아 반덴버그 공군기지에서 성공적으로 발사되었으며, 2000년 10월 미 지질조사국(USGS)이 Landsat 7호의 운영권을 인계받았다. Landsat 7호 ETM+센서의 밴드 1에서부터 5까지는 Landsat 4호와 5호에서 볼 수 있었던 것들과 동일하며, 공간해상도도 30m×30m로 동일하며, 밴드 6의 열적외선 자료는 60m×60m의 공간해상도를 가지고 있어 Landsat 4호와 5호보다 향상되었다. 가장 주목할 만한 변화는 15m×15m의 공간해상도를 가지는 panchromatic 영상자료이다.

- ② SPOT: SPOT 1호는 1986년 프랑스의 CNES (Centre National d'Etudes Spatiales)에 의해 발사되었다. 이 위성은 10m 공간해상도의 panchromatic 밴드와 20m 공간해상도의 다중광 밴드로서 원격탐사 분야에 있어서 매우 중요

한 정보를 제공하며, 지형학에 있어서도 중요한 자료원이다. 또한 거의 모든 지구표면에 대하여 매우 유동성 있는 데이터 획득 및 입체적인 관측 능력이 있으며 훌륭한 기하학적 정확도를 가지고 있다. SPOT-2, SPOT-3은 HRV1 (High Resolution Visible imagers)과 HRV2 센서를 탑재하고 있고, 각 센서들은 독립적인 기능을 가지고 있다. HRV 센서들은 10m 공간해상도의 panchromatic 밴드와 20m 공간해상도의 다중광 밴드의 두 개의 관측 모드로서 운용할 수 있게 설계되었다. SPOT Image사는 1998년 3월 24일 SPOT 4호를 발사하였다. SPOT 4호는 식생이나 토양수분 등에 적용하기 위한 1.58~1.75 μm 의 단파장 적외선(SWIR), 10m와 20m 모드에서 모두 작동되는 0.61~0.68 μm 의 밴드 2, 소규모 식생, 전지구적 변화와 해양분야 연구를 위한 독립적인 센서의 탑재가 주요 특징이라 할 수 있다. 2002년 5월 4일 발사된 SPOT 5호는 10m×10m 3개의 스펙트럼 밴드, SWIR 20m×20m 밴드, 2.5m×2.5m의 panchromatic 밴드, 그리고 Vegetation 센서 등을 포함하고 있다.

③ ERS-1/SAR: 1991년 ESA (European Space Agency)에 의해 발사된 ERS (European Remote Sensing Satellite) 1호기는 지구의 모든 기상현상을 관측할 수 있는 발전된 극초단파 기술로서 전지구적으로, 반복적으로 관측한다. ERS-1에는 SAR (Synthetic Aperture Radar)와 wind scatterometer의 기능을 결합한 AMI (Active Microwave Instrument)를 탑재하고 있다. SAR는 VV 편파(vertical transmission and vertical receiving)를 가지고 있는 C-밴드(5.3GHz) 레이더이며, 넓은 관측폭으로서 관측하기 위하여 이미지 모드(image mode)에서 작동하며, 해양, 극지방, 연안, 내륙 표면의 모든 기상 이미지를 수집할 수 있다. 1995년 4월에 ERS-1과 같은 센서를 탐

재한 ERS-2가 성공적으로 발사되었다. ERS/SAR는 일본의 JERS-1과 캐나다의 RADARSAT과 흡사하다. JERS-1은 1992년에 발사되었으며, L-밴드(1.275GHz) SAR를 탑재하고 있다. 1995년 11월에 센서의 관측각의 변경이 가능한 C-밴드 SAR를 탑재한 RADARSAT-1이 발사되었다. 2004년 초에 발사예정인 RADARSAT-2(수명: 7년, 고도: 798km, 주기: 3일)는 20, 100, 500km의 관측 폭으로 각각 3, 28, 100m의 공간해상도를 가지는 HH, VV, HV 편광 SAR 자료를 제공할 예정이다.

>> 환경관측위성

- ① NOAA/AVHRR: 1978년 이래 NOAA/AVHRR은 1.1km 공간해상도의 5개 분광밴드로서 수문학적, 해양학적, 기상학적 연구를 위한 정보를 제공해왔다.
- ② 정지기상위성: ESA의 Meteosat, 서부 및 동부를 관측하는 미국의 GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) 2기, 일본의 GMS (Geostationary Meteorological Satellite), 인도의 INSAT이 정지기상위성에 포함된다.
- ③ DMSP: 1978년 이래 미국의 Air Force Defence Meteorological Satellite Program (DMSP) F8과 F10 위성은 수문학적 연구에 매우 중요한 센서를 탑재하였다. SSM/I 센서는 4개의 밴드(다중 편파(dual polarization)인 3개 밴드(19.35, 37.0, 85.5GHz)와 수직 편파(vertical polarization)인 1개 밴드(22.23GHz)로서 이루어진 7 채널)로서 해양표면의 풍속, 빙하지역과 그 역사, 구름에 포함된 물의 양, 강수 및 토양수분을 관측하도록 설계되었다.

3. 원격탐사자료의 수문학적 적용

3.1 강수

강우추정기술을 위한 원격탐사는 지상 레이더에 의한 방법과 가시/적외 및 수동 극초단파 위성관측에 의한 구름지수화 방식이 있다(Browning과 Collier, 1989). 강우 모니터링에 의한 지상 레이더의 적용사례는 주로 홍수예측을 위하여 Klatt와 Schultz(1983), Collinge와 Kirby(1987)가 시도한 바 있다. 전자기 스펙트럼의 가시/적외영역을 이용한 기술은 구름의 상층부 복사에 의존한다. 수동 극초단파 자료에 의한 기술은 강우특성의 보다 직접적인 관측이 가능하다. 약 20GHz 이하의 극초단파 영역에서는 흡수 및 방출 기작으로 강우를 추정하며, 60GHz 이상에서는 특히 산란 기작으로 강우를 추정한다. 수동 극초단파 기술은 가시/적외자료에 의한 기술보다 월등하다고 알려져 있다(Barrett, 1993).

3.2 눈과 얼음

산악지역의 눈은 봄과 여름 동안 하천수의 주요 제공원이 된다. 눈은 접근이 용이하지 않은 광범위한 지역에 분포되어 있어 현지 관측이 매우 어렵고, 이를 파악하기 위해서는 상당한 경비가 소요되므로, 원격탐사 기법의 적용이 적합한 수단으로 평가되고 있다. 지난 20년 동안 진척된 이 분야의 기술은 가시 및 SAR 센서에 의한 적설분포도 작성, 극초단파 센서에 의한 적설량, 눈과 물의 등량, 눈의 알베도 계측/추정, 그리고 수문모델과 원격탐사자료로부터 도출된 적설분포 감소곡선과 결합한 용설-유출예측 등을 들 수 있다(Chang 등, 1991; Martinec과 Rango, 1991; Rango, 1993).

3.3 증발산

증발산은 하천 유역의 물수지 모델링을 수행하는 경우에 대단히 중요한 요소이지만, 원격탐사기법을

이용하여 직접 관측할 수는 없다. 그러나 에너지 수지식을 이용하여 증발산을 계산하는데 필요한 매개변수 및 변수들(태양복사량, 지표면 알베도, 지표면 온도, 토지피복, 식생밀도 및 토양수분)은 원격탐사자료를 이용하여 추정할 수 있다. 여러 연구(Menenti, 1983; Nieuwenhuis, 1986; Seguin 등, 1990; Feddes 등, 1993)에도 불구하고, 원격탐사기법에 기반을 둔 실질적인 증발산량 결정방법이 아직은 없다.

3.4 토양수분

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 5cm 내에서의 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 기술을 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 토양수분 자료로부터 토양수분의 프로파일을 모델링하는 과정이 개발되고 있다(Ragab, 1995).

3.5 지표수 및 유출

원격탐사자료는 일반적으로 지표수 분포의 변화 탐지, 홍수로 인한 범람지역 및 피해액 산정, 내륙수의 효율적인 관리 등 지표수와 관련된 기존의 자원조사 방법을 개선하는데 기여할 수 있다. 원격탐사가 유출을 직접 계측하지는 못하더라도, 분포형 수문모델에 입력자료 제공, 토양수분과 같은 상태변수 계측, 모델의 매개변수 추정에는 매우 중요한 역할을 하며, 이를 통하여 유출이 보다 정확하게 모의될 수 있다.

3.6 유역특성

위성기반의 원격탐사는 지리정보시스템과 연계하여 유역특성자료를 제공할 수 있다(Su 등, 1992; Su와 Schultz, 1993). 원격탐사된 유역특성을 수문모델링에 적용할 경우에는 시간/공간해상도 뿐만 아니라 모델의 구조 또한 신중히 고려하여야 한다. 원격탐사 자료는 그 자체가 공간적으로 분포되어 있으므로 분포형 모델을 적용하는 것이 가장 적합할 수 있다. 그러나 원격탐사자료는 대개 지표특성을 보여주기 때문에, 지표하 과정과 관련된 모델의 매개변수들은 소유역에 대한 수문관측(예, 하천유출량)을 통하여 보정해 주어야 한다. 이와 같은 경우에는 반 분포형 모델이 적합하다. 대용량의 자료를 효율적으로 사용하고 모델의 복잡성을 감소시키기 위하여, “수문학적 유사단위(hydrologically similar units)”, “대표기본면적(representative elementary areas)” (Wood 등,

1988) 또는 “그룹반응단위(grouped response units)” (Kouwen 등, 1993)로 픽셀들을 재분류하는 방법이다.

4. 맺음말

본 고에서는 센서, 플랫폼, 원격탐사 시스템을 포함한 수문학에 있어서의 원격탐사의 적용뿐만 아니라 강우, 눈, 얼음, 증발산, 토양수분, 지표 유출, 유역 특성과 관련된 학문에의 원격탐사 자료의 적용성에 대하여 살펴보았다.

수문학에 있어서의 최근 원격탐사 실험으로서 MACHYDRO'90, MACEUROPE'91, EMAC'94, SIR-C/X-SAR 계획 등이 있었으며, 이러한 실험들로부터 수문학적인 모의에 있어서 원격탐사에 의한 토양수분의 적용이 가능하다는 것을 확인하였다. 요약하자면, 원격탐사 자료는 분포형 모델에 있어서 여러 분야에 유용하다: ① 수동 원격탐사로부터 주로 획득되는 토양 특성, 토지 이용과 같은 토지 피복특성과 지상의 기상 레이더시스템으로부터 주로 획득되는 강우자료와 같은 입력 자료, ② 능동 극초단파 센서에 의해서 관측되는 초기 유역 습윤(wetness)과 같은 초기 상태 자료, ③ 증발산과 관련된 토양수분 및 작물 상태, 적설 지역과 같은 수문학적인 상태를 나타내는 변수로서 사용된다. 앞으로도 원격탐사로부터 획득된 이러한 자료들을 보정하는 방법은 계속 개발될 것이다.

본 고를 통하여 독자들이 수문학에 있어서 원격탐사의 현 적용성을 수월하게 포괄적으로 이해할 수 있기를 바란다. 특히, 현재 혹은 미래의 원격탐사 캠페인의 결과로서 기본적인 수문학적 과정을 이해할 수 있기를 기대한다.

참고문헌

Barrett, E.C.(1993), Runoff production and flood frequency in catchments of order n: An alternative approach, in V.F. Gupta (ed.), Scale

Problems in Hydrology, D. Reidel, Norwell, Mass, pp.107-131
Browning, K.A. and Collier, C.G.(1989), Nowcasting

- of precipitation series, *Rev. Geophysics* 27(3), pp.345-370
- Chang, A.T.C., Foster, J.L., Rango, A. and Joseberger, E.G.(1991), The use of microwave radiometry for characterizing snow storage in large river basins, *IAHS Publ.* 205, pp.73-80
- Collinge, V. and Kirby, C.(1987), *Weather Radar and Flood Forecasting*, John Wiley and Sons. Chichester
- Dornier(1993), *Erderkundungs-Daten-Service: Landsat 6 Informationen*, Dornier GmbH.
- Engman, E.T. and Gurney, R.J.(1991), *Remote Sensing in Hydrology*, Chapman and Hill, London
- Feddes, R.A., Menenti, M., Kanbat, P. and Bastiaanssen, W.G.M.(1993), Is large scale inverse modelling of unsaturated flow with areal average evaporation and surface soil moisture as estimated from remote sensing feasible?, *J. Hydrol.* 143, pp.125-152
- Hollenbeck, K.J., Schmutge, T.J., Hornberger, G.M. and Wang, J.R.(1996), Identifying soil hydraulic heterogeneity by detection of relative change in passive microwave remote sensing observations, *Water Resources Research* 32(1), pp.139-148
- Jackson, T.J.(1993), Measuring surface soil moisture using passive microwave remote sensing, *Hydrological Processes* 7(2), pp.139-152
- Klatt, P. and Schultz, G.A.(1983), Flood forecasting on the basis of radar rainfall measurements and rainfall forecasting in hydrological applications of remote sensing and remote data transmission, *LAHS Publ.* no. 145, pp.307-315
- Kouwen, N., Soulis, E.D., Pietroriniro, A., Donald, J. and Harrington, R.A.(1993), Grouped response units for distributed hydrologic modelling, *J. Water Res. Planning and Management* 119(3), pp.289-305
- Martinec, J. and Rango, A.(1991), Indirect evaluation of snow reserves in mountain basins, *IAHS Publ.* no. 205, pp.111-119
- Menenti, M.(1983), A new geophysical approach using remote sensing techniques to study groundwater table depths and regional evaporation from aquifers in deserts, *ICW Report* 9, Wageningen
- Nieuwenhuis, G.J.A.(1986), Integration of remote sensing with a water balance simulation model (SWATRE), *ICW Techn. Bulletin* 59, Wageningen
- Peck, E.L., Keefer, T.N. and Johnson, E.R.(1981), Strategies for using remotely sensed data in hydrologic models, *NASA-CA-66729*
- Ragab, R.(1995), Towards a continuous operational system to estimate the root-zone soil moisture from intermittent remotely sensed surface moisture, *J. Hydrol.* 173, pp.1-25
- Rango, A.(1987), New technology for hydrological data acquisition and applications, *LAHS Publ.* No. 164, pp.511-517
- Rango, A.(1993), Snow hydrology processes and remote sensing, *Hydrological Processes* 7, pp.121-138
- Schmutge, 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
- Schultz, G.A.(1988), Remote sensing in hydrology, *J. Hydrol.* 100, pp.239-265
- Seguin, B., Savane, M. and Guillot, B.(1990), Estimation of large area evaporation from thermal infrared meteorological satellite data: A case study with Meteosat and NOAA for France, *Proc. Int. Symp. Remote Sensing and Water Resources*, Enschede, pp.215-228
- Su, Z., Neumann, P., Fett, W., Schumann, A.S. and Schultz, G.A.(1992), Application of remote sensing and geographic information systems in hydrological modelling, *EARSeL Adv. Remote Sensing* 1(3), pp.180-185

Su, Z. and Schultz, G.A.(1993), A distributed runoff prediction model developed on the basis of remotely sensed information, Proc. EARSel Specialist Meeting, Dundee, pp.50-64

Ulaby, F.T., Batlivala, P.P. and Dobson, M.C.(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

Ulaby, F.T., Allen, C.T. and Eger, G.(1984), Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index, Remote Sensing Environ. 14, pp.113-133

Wood, E.F., Sivapalan, M., Beven, K. and Band, L.(1988), Effects of spatial variability and scale with implications to hydrological modelling, J. Hydrol. 102, pp.29-47

화보 3 : 우수박스와 유적(2004. 3. 10)

수표교 좌안에서 상류쪽(무교동쪽)을 바라보고 찍은 것이다. 우수박스 공사가 수표교 바로 앞까지 완성되어 있다. 콘크리트 박스 옆쪽에는 홍수시 하천쪽으로 물이 넘치도록 창문처럼 구멍이 뚫려 있다. 아래쪽을 자세히 보면 조선시대에 쌓아 놓은 호안석이 보인다. 이 유적을 보전하기 위하여 금년에 홍수가 날 수도 있다.

