

수문분야에 대한 원격탐사의 전망

Remote Sensing Applications to Hydrology : Future Impact

김 성 준*
Kim, Seong-joon

1. 서론

원격탐사는 수문분야에 큰 기대와 함께 다가왔으나 원격탐사자료는 그 가치를 발휘하는데 있어 당초의 예상보다는 훨씬 느린 발전속도를 보이고 있다. 그 이유는 응용 또는 공업수문학에서 기존의 기법이나 자료들만으로 그 응용면에 부족함을 느끼지 못하였기 때문이다. 그러나 현재 수문분야에서 원격탐사기법이 활발히 적용되고 있는 분야는 기존의 방법으로는 접근이 어렵거나 충분한 자료가 확보되지 않은 지역 수문 분석 분야이다. 이러한 분야는 GCM(General Circulation Model)의 토지관련 매개변수화, 강설 수문분야, 토양수분 관측 등이다.

이와 같은 분야의 연구가 활발히 진행되고 있지만, 다음과 같은 이유만으로도 원격탐사가 수문분야에 적용될 수 있는 잠재력은 매우크다 할 것이다.

- 1) 점자료가 아닌 공간자료 제공
- 2) 토양수분, 적설량과 같이 기존의 방법으로 는 가능하지 못한 수문변수의 광범위한 관측
- 3) 장기간 그리고 접근할 수 없는 지역을 포함한 지구적 관측 등이다.

따라서 본 논문은 수문분야와 관련된 앞으로의 연구과제와 원격탐사가 이들을 어떻게 도와 줄 수 있는지에 대하여 언급하고자 한다. 주요 내용은 자료의 필요도와 새로운 위성들의 수문

활용 가능성이라 할 수 있다.

2. 수문분야 연구의 현황

수문관련 연구는 다양한 물리적 과정을 이해하고 현혹적인 결과물을 만들어 내는 수많은 복잡한 분석기법들이 개발되면서 빠르게 발전하고 있다. 그러나 이들은 일관성있게 향상된 정확도를 보여주지 못해왔고, 이러한 복잡한 과정의 모델들이 기존의 간단한 모델보다 더 낫다고 말할 수 있는 단계도 아니다.

예를 들어, Naef(1981)는 유출 모의 실험에서 간단하거나 복잡한 모델들을 비교하였다. 그의 결론은 수문예측에 사용된 세계기상기구(World Meteorological Organization)의 개념적 모델의 비교연구와 스위스의 소유역에 대한 강우-유출모델에 관한 연구를 통하여 간단한 모델들이 오히려 나은 결과를 보였다는 것이다. 그러나 간단하거나 복잡한 모델 모두가 강우-유출과정을 적절하게 표현하지 못한 것이 실패의 원인이라고 덧붙였다. 따라서 이 연구에서는 복잡한 모델이 간단한 모델보다 모델효율이 좋다는 것을 증명하지 못한 것이다.

Loague & Freeze(1985)는 산지 소유역을 대상으로 269개의 강우사상을 가지고 세가지 강우-유출모델들을 비교하였다. 이들은 회귀모델, 수문단위모델, 물리적인 기반의 모델로서,

* 건국대학교 농업생명과학대학

결과는 놀랍게도 세 모델 모두 낮은 모델효율을 보였다. 물리적인 기반의 모델이 그다지 만족할 만한 결과를 보이지 못한 이유로는 모델오류와 입력자료의 정확도가 떨어진 데에서 찾을 수 있다. Loague & Freeze는 물리적인 기반의 모델을 적용하는데 있어 커다란 장애물은 강우와 물리적인 토양특성의 공간적 분포를 관측하지 못한 규모문제(Scale problem)라고 주장하였다. 이러한 이유 등으로 입력자료가 간단한 모델들이 물리적인 기반의 모델보다 나은 결과를 보였다.

최근의 연구로서 Grayson 등(1992a,b)은 분포형 모델들이 그 가치를 제대로 확보하려면 모델의 기본적인 알고리즘과 가정들이 검증되어야 한다고 의문을 제기하였다. 이들은 '복잡하게 구성된 모델일수록 긍정적인 결과를 제공한다는 잘못된 인식이 모델의 능력과 제약에 대한 올바른 판정을 악화시키며, 보다 복잡한 모델로의 매력은 유역의 공간정보를 제공하는 능력이 있지만, 현재 과정기반의 모델에서 사용하고 있는 정보들은 정확한 결과를 얻기에는 아직은 미숙한 예비연구들이다'라고 결론지었다.

또 다른 연구로서 Jakeman & Hornberger(1993)는 '과연 어떠한 자료들이 강우-유출 모델을 복잡하게 구성하여 해석하고자 하는데 걸림돌이 되고 있는가?'라는 의문을 제기하였다. 이들은 덧붙여 '강우-유출과정을 재현하기 위하여 개발된 개념적인, 물리적인 기반의 모델들은 너무 많은 매개변수들로 구성하는 경향이 있다. 이들은 간단한 모델에서 사용하는, 가용 자료로부터 결정할 수 있는 매개변수들보다 더 유용하다고 말할 수 없다'(Jakeman & Hornberger, 1994).

이러한 예로부터, 우리는 보다 복잡한 모델과 혁신적인 분석기법의 개발은 유출을 예측하는데 있어 그다지 향상된 능력을 보여주지 못하였고 단정할 수도 있다. 그러나 다음과 같은 질문

을 생각해볼 수 있지 않은가? 왜 보다 복잡하고 물리적인 기반의 모델들이 보다 나은 유출예측 결과를 주지 못하고 있는가?

이에 대한 명쾌한 답변은 없다. 그러나 우리는 자료의 양이 충분한지, 어떠한 자료가 빠지는 않았는지에 대하여 반문해 볼 수 있다. 원격탐사는 복잡한 모델들을 보다 쉽게 사용하고 성능도 향상시킬 수 있는 새로운 유형의 자료들을 제공해 줄 수 있다. 예를 들면 원격탐사는 유역의 공간적 변화를 나타내 줄 수 있는 유일한 접근 방법이다. 이는 공간적으로 분포하는 정보와 더불어 새로운 형태의 관측자료를 얻을 수 있는 것이 원격탐사의 특징이기 때문이다.

3. 과학 수문학 (Scientific Hydrology)

1970년도에 시작하여 지금까지 수문학은 지속적으로 눈부시게 발전하여 왔다. 이러한 발전은 새로운 기법과 타 분야에서의 필요성에 의한 것이라고 할 수 있다. 따라서 새로운 기법에 미치는 가장 중요한 요인은 다음과 같다. 향상된 성능과 값싼 컴퓨터와 주변기기 시대의 도래, 계측기기의 발전, 자료처리, 저장, 전송 방법의 향상, 원격탐사 등이다. 타 분야에서의 필요성은 수질과 관련하여 시작되었으며, 특히 홍수유출 및 지하수 경로의 해석을 필요로 하는 비점원오염에 의해 영향 받았다. 현재 수문학 연구의 새로운 방향은 대기과학과 관련이 많다고 볼 수 있으며, 이들은 지점, 지역, 지구적 순환 규모에서 대기와 지표면간의 에너지와 물의 이동을 이해하고 매개변수화하려는 필요에 의한 것이다.

이러한 새로운 요구는 수문학을 좁은 분야에서 보다 넓은 분야로 확대시키고 있다. 수문학이 진정한 지구과학의 방향으로 발전되고 있다는 가장 뚜렷한 특징은 시간과 공간의 규모를 계속 확장하고 있다는 것이다. 지난 반세기동안

우리는 수문학이 하천·유역관리에서부터 대륙 수문과정 그리고 지구적 물수지 문제로 이동하고 있는 것을 알고 있다. 이러한 추진은 기후변화에 대응하기 위한 것이기도 하다. Chahine (1992)에 의하면 기후의 변화에 따른 수문순환은 강우, 증발, 유출 등과 같은 고전적인 지표 수문학을 포함하여 연구되고 있다고 언급하였다. 지표면 과정과 더불어 수문학의 과학화는 구름, 일사, 강수, 해양 그리고 대기수분과의 상호작용에 초점이 맞추어져야 한다. 이와 같은 수문순환의 개념은 지구적 시스템에서의 물의 이동과 저장 뿐만 아니라 상태간의 에너지교환 관계 구명을 요구하고 있다.

최근의 과학적인 수문학은 「Opportunities in the Hydrological Sciences」(NRC, 1991)의 출판과 함께 유일한 지구과학으로 인식되고 있다. 이 책은 수문과학의 명쾌한 원칙을 내세운 것과 더불어 해결해야 할 과제, 자료와 관련한 문제, 교육과 관련한 문제들을 제시하였다. 해결해야 할 과제로는 새롭게 단장해야 할 수문과학을 조명하면서 전반적인 연구과제를 제시하고 있다. 이에 대한 내용은 다음과 같은 것들이다(NRC, 1991). '대자연의 이질성을 어떻게 하면 다양한 공간과 시간의 규모로 수문과정의 동적인 거동을 해석할 수 있을까?' '지표수문학에서 대기동력학과 기후변화에 대한 적응인자는 무엇인가? 그리고 이들은 계절과 지형에 따라 어떻게 변화하는가?' '수분상태와 식생형태의 평형과 안정에 대하여 우리는 그 무엇을 얻어낼 수 있는가? 이는 혼돈인가 아니면 예측가능인가?' '지구적 수자원의 상태와 시간적·공간적 변화 그리고 이들의 흐름은 어떠한가?' 이상의 해결해야 할 문제들을 한 문장으로 표현하면 다음과 같다. 과학적인 수문이 직면한 주요 과제는 지구 수문과정의 거대한 공간적·시간적 다양성이다.

따라서 응용수문과 오늘날 과학수문의 필요성

을 구분짓는 것은 기본적으로 규모효과(Scale effect)이다. 그러나 좀 더 깊게 들여다보면 지금까지는 잘 해결되어 왔던 문제와는 대조적으로 수문과정에서 해결하여야 할 중간단계가 많다. 이러한 문제들은 침식, 수질, 생태시스템 등 물과 관련된 문제들을 해결하는데 있어서 수문학의 역할이라고 할 수 있다. 따라서 과학적인 수문에 있어 단 한방울의 물이 과연 어디에 잔류하고 있으며, 이 물이 지구적 시스템에서 얼마나 오랫동안 그리고 어떻게 움직이고 있는지를 해결하여야 한다. 이에 더하여 대기와 결합한 지표면의 반응기작, 생태역학과 생태화학적 순환에 있어 수문의 역할을 정량화하여야 할 것이다.

4. 수문학에 있어서 자료문제

현재의 개발 모델들이 복잡하게 구성·접근함에도 불구하고 좀 더 나은 결과를 주는 도구로서 제공되지 못하고 있고, 새로운 수문과학이 매우 복잡한 시스템으로부터 보다 많은 결과를 요구하고 있는 현 상황을 받아들일 때, 현대 수문학이 성공적으로 헤쳐 나아가기 위해서 가장 필요로 하는 것은 무엇인가? 이는 아마도 보다 많은 질 좋고 다양한 자료라고 할 수 있겠다. 이는 단지 관측의 횟수가 아니라 제대로 된 관측이어야 한다. 그 누가 단지 강우자료만을 이용해서 관측된 수문곡선과 비교하여 검증하므로써 소위 모든 수문과정을 설명하고자 하는 물리적인 기반의 분포형 모델을 신뢰하겠는가?

자료문제에 관해서는 「Opportunities in the Hydrological Sciences」(NRC, 1991)에서 언급하였듯이 '수문과학을 위해서는 보다 많은 양의 자료가 필요하다'는 논의를 생각하지 않을 수 없다. 즉 현재까지의 수문자료들은 수문과학에 대응하는 자료가 아닌 수자원문제를 다루기 위한 자료들을 수집하여 왔다는 것을 인

정할 필요가 있으며, 이러한 관점에서 수문과학이 필요로 하는 자료들에 대하여 이 보고서는 논의하고 있다. Dozier(1992)는 과거의 자료들이 수문에서 야기되는 다양하고도 폭넓은 공간적·시간적 규모의 자료로서 표현되지 못해왔던 것을 지적하였다. 그 결과 당시의 모델들은 실세계를 단지 간단하고 균질한 상태로 취급하게 된 것이다. 그는 '이러한 강압적인 단순화는 과학의 이해와 수자원 관리를 방해할 뿐이다'라고 결론지었다.

새로운 수문과학이 과거의 응용수문학으로부터 진정 벗어나게 되려면 수많은 일반적이고 특정한 자료들이 필요하게 되고 해결되어야 할 것이다. 다시 한번 "Opportunities in the Hydrological Sciences" (NRC, 1991)에서는 이러한 요구에 대하여 다음과 같이 언급하고 있다.

'수문자료는 수문과정에서 물의 흐름과 저장의 관측과 더불어 다양한 시간적·공간적 규모에서 수문변화를 모니터링하여야 한다.' '수문변화를 파악하기 위해서는 혁신적이고도 국제적인 장기간의 노력과 엄격한 기준범위에 드는 자료이어야 한다.' '모델과 자료간의 상승효과를 위해서는 문제 해결을 위한 효과적인 자료수집의 노력과 설계가 필요하다.' '대부분의 수문자료를 사용함에 있어 기본적인 결림들은 관측지점별 자료와 자료간의 상호연계에 대한 지식 부족이라 할 수 있다.'

이러한 수문 자료의 수집에 대한 필요성이 "결과론"이라고만 할 수 없는 매우 설득력 있는 경우들이 발생되고 있다. 이에 더하여 자료의 입수와 관리문제 또한 자료문제의 일부로 일반화되고 있다. 이는 전 세계의 모든 다양한 자료들이 접근 가능하지 않으면 쓸모가 없을 뿐만 아니라 자료의 저장, 전송, 출력, 분석기법 등이 매우 빠르게 변화되고 있기 때문에 특별히 중요한 문제이다. 이렇게 빠르게 변화하는 발전을 우리 수문학자들은 뒤지지 않고 따라가야만

하는 상황이다.

그러면 이제 다음과 같은 질문이 나올만 하다. 만약 수문과학을 위한 자료들은 불충분한 상태로 받아들인다면 이를 위하여 무엇을 해야만 하는가? 두 가지 문제를 해결해야 하는데, 그 하나는 전통적인 수문계기로는 수문과정의 공간적 변화를 파악할 수 없다는 점과, 다른 하나는 공간과 시간규모에서의 불균형 문제이다. 원격탐사가 이들을 해결할 수 있다. 원격탐사는 공간적인 불균질성과 규모에 있어서의 불균형문제를 해결할 수 있다. 예를 들어 원격탐사는 유역자료가 공간 그 자체이므로, 배수구역 특성과 수문 과정의 공간적 변화를 다룰 수 있는 실질적이고도 유일한 접근방법이다. 위성탐재 관측기구는 지역관측에서부터 지구적 관측에 이르기까지 다양한 규모의 관측이 가능하다.

5. 원격탐사 자료의 본질

원격탐사자료를 수문분야에 적절하게 적용하기 위해서는 우선 원격탐사자료의 특성을 파악하여야 하고, 또 이들이 수문에 대한 우리의 이해와 능력을 어떻게 향상시킬 수 있는지를 생각해야 한다. 원격탐사는 다음과 같이 수문과학을 발전시킬 수 있는 네 가지 주요 특징이 있다.

가. 시스템 상태의 관측(Measuring System States)

지표면 온도, 토양수분, 적설량과 같이 수문에 중요한 지표특성을 획득할 수 있는 열적외선 및 극초단파 원격탐사는 시스템의 상태를 직접 관측하는 능력을 가지고 있다. 그러나 이와 같은 시스템의 상태 자료를 사용하기 위해서는 새로운 자료형태를 수용할 만한 새로운 모델이 필요하다. 이러한 모델들은 구조적으로 시뮬레이션 모델의 형태를 보이겠지만, 공간적 변이와

변화를 보다 많이 설명해 줄 수 있을 것이다. 또한 침투, 증발산 등과 같은 수문인자들을 위한 알고리즘들이 원격탐사자료를 사용하기 위한 형태로 개발될 것이다.

나. 면과 점자료(Area vs. Point Data)

공간적 변이를 면적으로 표현하는 자료의 사용은 수문시스템의 규모, 규모간 종속성을 이해하고 해결하기 위한 중요한 수단으로 제공될 수 있다. 전자에 의한 규모의 대·소 조정능력은 수문과학에서 대두될 규모문제를 해결할 수 있는 새로운 아이디어를 창출해 낼 수 있을 것이다.

다. 시간적 자료(Temporal Data)

인공위성으로부터의 원격탐사자료는 수문학적인 사용을 위한 독특한 시계열 자료를 제공할 수 있다. 관측주기는 위성의 센서와 궤도의 형태에 따라 다양하다(연속~2주~). 이러한 방법은 매우 넓은 지역에 대한 다양한 수문상태와 수문의 동적 특성을 모니터링하는 경제적이고도 효과적인 방법으로 인식되고 있다. 따라서 시간적인 관측자료는 수문학적인 유추해석 수단으로도 제공될 수 있다. 예를 들어, 토양수분의 시간적 변화를 관측하는 것은 토양의 종류와 투수계수와 같은 수리학적 정보들을 제공할 수 있다는 것이다. 사실 실험실이나 현장관측에 의한 점자료로서의 가치보다는 원격탐사로부터 토양 특성을 해석하는 면자료로서의 가치가 높기 때문에 수문에서는 아주 유용하다고 할 수 있다.

라. 새로운 자료의 형태(New Data Forms)

서로 다른 파장, 편광, 시각 등을 가진 여러 자료들을 합성하므로써 새로운 자료가 생성되며, 이들로부터 전혀 새로운 수문 매개변수들

(원격탐사만이 가지는 독특한 특성으로 개발)이 제공된다. 원격탐사자료와 토양도와 같은 공간 자료 또는 자료동화기법·GIS 등을 이용한 점 자료를 합성하여 또 다른 새로운 자료를 생성시킬 수도 있다.

이러한 아이디어들은 원격탐사와 수문모델을 통합하는 연구들을 수행하므로써 가능해진다. 각각의 연구들로부터 수문학자들은 단순한 사진 측량을 접목시키는 정도를 능가하는 다양한 기회를 가지게 될 것이다. 원격탐사는 여러 가지의 요소들을 동시에 관측하는 종합관측이다. 원격탐사는 상대적으로 넓은 지역을 대상으로 그 지역에 대한 정보를 통합하므로써 과거에는 생각하지 못했던 색다른 관점을 제공한다. 다양한 원격탐사 장비로부터 획득한 복잡한 반응들을 적절하게 해석하기 위해서는 보다 많은 연구 및 투자가 필요하다. 따라서 이러한 자료들을 효과적으로 활용하기 위해서는 새로운 개념의 개발이 요구되며, 과거의 수문과정을 개념화하는 방법에서 탈피해야 한다.

6. 기존 및 공인된 센서들

수문관측에 유용한 기존의 수많은 센서들과 앞으로 발사에정인 센서들이 있다. 이들은 원칙적으로 최소한 모든 수문변수들을 관측할 수 있는 센서들이다. 그러나 불행하게도 관측이 가능하다는 것은 인공위성 원격탐사의 일부분에 지나지 않는다. 즉 우리는 관측 주기 뿐만 아니라 공간 해상도를 고려해야만 한다. 예를 들어 1.4 GHz의 JERS-1 SAR는 토양수분 관측에는 유용한 기구이지만, 46일이라는 반복주기는 토양수분에 대한 유용한 정보를 얻기에는 그 가치가 떨어진다고 볼 수 있다. 이와 유사하게 SSM/I의 19 GHz 채널은 적설심에 대한 유용한 정보를 제공해 주지만 너무 낮은 해상도로 인해 알프스 지역의 적설심 관측에는 미흡하다.

〈표 - 1〉 현재 수문학적 변수들의 관측에 활용되고 있는 인공위성 센서들

변 수	인공위성/센서 시스템
적 설	AVHRR, LANDSAT, SPOT, SSM/I, STSR/ERS1, ATSR/ERS2, RADARSAT
수 심	TOPEX-POSEIDON
강우강도/강우량	GOES, SSM/I
토양수분	AMI/ERS1, ANU/ERS2, JERS-1, SSM/I, RADARSAT
일사량	METEOR/SLARAB
지표면 알베도	AVHRR, ASTR/ERS2, GOES
토지피복/이용/지표	AVHRR, LANDSAT, SPOT, ATSR/ERS2
지표면 온도	AVHRR, LANDSAT TM

비록 기존의 모든 센서들이 수문적용에 이상적이지 못하더라도, 현재의 기구들은 수문응용에 매우 유용한 자료들을 제공하고 있다는 것은 의심할 여지가 없다. 불행하게 현재의 센서들 중에는 수문학적인 목적을 중심으로 설계된 센서는 없다. 그 결과 어떤 목적에 부합되는 최적의 자료를 기대하는 것은 어렵지만 다음과 같이 매우 유용하게 사용되어 왔다(표 - 1).

7. 계획, 공인된 센서들

현재의 위성센서들은 수문학에 최적인 조건으

로 활용되지 못했다. 그러나 앞으로의 위성센서들은 수문과학 발전에 혁신적인 기여를 할 것으로 기대된다. 이는 향상된 공간 해상도, 좁지만 보다 특수한 분광영역, 더욱 중요한 것은 대부분의 센서들이 극초단파 영역에서 작동되도록 고안되고 있다는 것이다. 극초단파 영역은 기상 조건에 구애를 받지 않고 자기만의 고유한 관측 기회를 제공하게 된다.

〈표 - 2〉는 활용중이거나 앞으로 계획된 인공위성/센서들을 정리한 것이다. 이들 중 일부는 계획완료 및 공인단계에 있으며, 일부는 계획초기 단계에 있는 것도 있다.

〈표 - 2〉 향후 수문학적 변수들의 관측을 위하여 활용되고 있거나 계획중인 인공위성 센서들

변 수	인공위성/센서 시스템
적 설	MODIS, AVHRR, ATSR, MIMR, SSM/I, ICESTAR
수 심	ALT, SSALT, RA, GEOSAT
강우강도/강우량	TRMM, AMSU, SSM/I, VISSR, GOMS
토양수분	HYDROSTAR
일사량	CERES, POLDER, SLARAB, GERBI
지표면 알베도	MODIS, AVHRR, ASTR, POLDER, GOES, VISSR
지표 피복/이용/지표	MODIS, AVHRR, ATSR, AATSR, OCTS/GLI, POLDER, ASTER, TM
지표면 온도	MODIS, AVHRR, OCTS/GLI, GOES, MVIRI/SEVIRI, GOMS-BTVK

8. 현장 집중연구

기존의 그리고 계획되고 있는 현장연구들의 수행은 원격탐사와 전통적인 수문자료간의 조화를 통하여 모델의 개발 및 검증에 최대한 활용될 것이다. 심도있는 현장 집중연구는 수문모델 개발자들의 요구에 부합하는 자료수집 프로그램을 계획하고 수행하는 기회를 제공할 것이다. 현재까지는 일반적으로 이들이 원격탐사자료를 수문에 적용하기 위한 경우들이 아니었다. 대부분의 연구들이 수문학자들에게 양보를 요구하였고, 그 결과 관측주기, 공간 해상도, 센서의 파장면에서 수문응용에는 적합하지 않은 자료를 사용하게 되었다.

현장 집중연구는 진정 수문학적인 필요성이 절실한 지역과 시기의 자료를 수집할 수 있는 기회를 제공한다는 장점이 있다. 이에 더하여 새로이 개발된 센서들을 인공위성에 탑재하여 시험할 수 있는 기회 또한 제공한다. 좋은 예로는 MONSOON 90의 PBMR, MONSOON 91의 ESTAR, WASHITA 92 집중연구에서의 토양수분 관측을 들 수 있다(Jackson et al., 1995). 현재로서는 단주기의 장파 극초단파 기구가 탑재된 위성이 없으므로 위성관측에 의한 자료수집은 되지 않고 있다. 아직 이러한 자료들은 항공탐재에 의해서만이 수집 가능하다.

이러한 자료들의 가치를 간과해서는 안될 것이다. 이들은 비록 극히 제한된 지역을 대상으로 단지 수일 동안만 관측하지만, 머지 않은 장래에는 실용 가능한 자료의 유형들을 시험하는 기회를 제공한다. 수문자료와 함께 수집된 자료들은 현장집중 관측의 수문학적 가치를 평가하고, 원격탐사자료 정보를 최대한 활용할 수 있는 기반을 마련해 줄 것이다. 수문학에 있어서 이와 같은 새로운 관측의 가치를 확인하는 것은 앞으로의 인공위성에 우리의 센서를 탑재하는 필수적인 과정 중의 하나이다.

현재 시행중이거나 계획중인 국제적인 그리고 지역별 현장집중연구들이 많이 있다. 이 중에서 잘 알려진 수문 현장집중연구들을 정리하면 <표-3>과 같다.

9. 앞으로의 전망

Landsat, SPOT 위성으로부터의 고해상도 자료, Special Sensor/Microwave Imager (SS/MI)로부터의 수동 극초단파 자료, NOAA, GOES, GMS 등의 기상위성영상자료가 지속되는 한 원격탐사기술은 꾸준히 발전·확장될 것이다. 특히 극초단파 영역을 위한 새로운 센서들은 수문응용에 엄청난 잠재력을 가지고 있다. 이러한 위성으로는 유럽 Space Agency에서 발사된 ERS-1/2, 일본의 JERS-1, 캐나다의 RADARSAT이 있다. 이들은 단일편광, 단일주파 SARs를 동반한다. 또한 수문학자들의 관심사로 떠오르고 있는 계획위성으로는 Tropical Rainfall Measurement Mission(TRMM)이 있다(Simpson et al., 1988).

EOS(Earth Observational System)(Butler et al., 1988)와 그의 유럽 및 일본 기반은 수문을 포함한 지구과학의 이해에 큰 발전을 가져다 줄 것이다. 수문학자들에게 가장 큰 관심거리인 EOS 기구는 MODIS와 MIMR(지표면 토양수분자료를 제공하는 C 밴드 복사계를 가진 극초단파 기구)이다. EOS는 또한 시계열 자료가 충분한 정보시스템 등 지구과학과 관련된 타조직을 포함한다. 이러한 자료시스템은 수치모델들을 보정하거나 모델의 일부로 구축하기 위한 다양한 자료의 형태를 제공할 것이다.

앞으로의 위성 시스템에는 흥미로운 수문순환 관측시스템들이 많이 있다. 예를 들어 HYDRO-STAR는 지구적 토양수분관측을 수행하기 위해 L 밴드 복사계를 탑재한 소형 인공위성이

〈표-3〉 최근의 대규모 수문 현장 집중연구 사업 내용

연구사업명	내 용	기간
GCIP	미시시피강 유역 : 대기와 수문을 결합시킨 현상에 대한 양적인 예측을 향상시키기 위하여 지역-대륙규모로 지구-대기를 결합시키는 연구	1995 2000
BALTEX	발트해지역 : 발트해 · 상류 하천유역의 에너지와 물수지를 결정하기 위하여 육지, 바다, 빙하, 대기순환간의 수문학적 과정을 결합시킨 연구	1997 2001
NOPEX	스칸디나비아 보릴 산림 : 산재된 산림, 농업지역, 호수간의 수문기상학적 교환과정 연구	1995 ?
BOREAS	캐나다 보릴 산림 : 보릴산림과 대기간의 에너지, 물, 탄소 및 흔적성분으로 구성된 과정기반의 모델들을 향상시키고, 이들을 대규모 지역에 적용시키는 방법을 개발하는 연구	1994 1997
MAGS	멕시코지강 유역 : 캐나다 북극지역의 물과 에너지 수지를 위한 통합된 수문학적 모델링과 기작 연구	1994 1997
LAMBADA	아마존 지역 : 지역의 대기순환으로 에너지, 습도, 탄소수지를 결합시키고, 이를 차후에 강도 높은 생태기후로 연계시키는 연구	1997 1998
GAME	아시아 몬순지역 : 동 유라시아 대륙에서의 네가지 다양한 기후지역에 대한 대기와 육지간의 물과 에너지 수지 연구	1998 1999

다. 토양수분이나 눈의 상태와 같은 새로운 자료형태들을 분석·사용하기 위해서는 새로운 모델들이 개발되어야만 할 것이다. 원격탐사는 전통적인 기존의 자료들을 보완할 수 있는 다양한 자료들을 제공함으로써 수문학을 새로운 방향으로 확장하도록 할 것이며, 또한 과거와는 전혀 다른 새로운 자료를 제공함으로써 이전에는 해결하지 못했던 문제들을 해결하는데 틀림없이 도움을 줄 것이다.

수문과학 발전의 관건은 모델 개발과 검증에 적합한 자료들이 얼마나 있는지에 달려있다고 할 수 있다. 원격탐사는 이러한 발전에 핵심적인 역할을 할 수 있고, 또한 해야만 한다. 원격탐사가 없는 수문과학의 발전은 심각하게 지연될 것이 분명하다.

참고문헌

- Butler, D. et al., 1988. From Pattern to Process: The Strategy of the Earth Observing System, NASA, Washington, DC, USA.
- Chahine, M. T., 1992. The Hydrologic Cycle and Its Influence on Climate. Nature 359, pp.373~380.
- Dozier, J., 1992. Opportunities to Improve Hydrologic Data. Rev. Geophys. 30(4), pp.315-331.
- Federal Council for Science and Technology, 1962. Scientific Hydrology, Washington, DC, USA.
- Grayson, R. B., Moore, I. D. & McMahon, T. A., 1992a. Physically Based Hydrologic Modeling: 1. A Terrain-based Model for Investigative Purposes. Wat. Resour. Res. 28(10), pp.2639~2658.
- Grayson, R. B., Moore, I. D. & McMahon, T. A., 1992b. Physically based Hydrologic Modeling: 2. Is the Concept Realistic? Wat. Resour. Res.

- 26(10), pp. 2659~2666.
7. Hornberger, G. M., 1994. Hydro-logic Science: Keeping Pace with Changing Values and Perception. In: Proc. Sustaining Our Water Resources, Water Science and Technology Board, Tenth Anniversary Symposium.
 8. Hornberger, G. M., 1994. Data and Analysis Note: A New type of Article for Water Resources Research. *Wat. Resour. Res.* 30(12), pp.3241~ 3242.
 9. Jackson, T. J., LeVine, D. M., Swift, C. T., Schmugge, T. J. & Schiebe, F. R., 1995. Large Area Mapping of Soil Moisture Using the ESTAR Passive Microwave Radiometer in Washita '92. (accepted by) *Remote Sens. Environ.*
 10. Jakeman, A. J. & Hornberger, G. M., 1993. How Much Complexity is Warranted in a Rainfall-runoff Model? *Wat. Resour. Res.* 29(8), pp.2637~2649.
 11. Loague, K. M. & Freeze, R. A., 1985. A Comparison of Rainfall-Runoff-modeling Techniques on Small Upland Catchments. *Wat. Resour. Res.* 21(2), pp. 229~248.
 12. Naef, F., 1981. Can We Model the Rainfall-runoff Process Today? *Hydrol. Sci. Bull.* 26(3), pp.281~289.
 13. NRC(National Research Council), 1991: Opportunities in the Hydrological Sciences. National Academy Press, Washington, DC, USA.
 14. Simpson, J, Adler, R. F. & North, G. R., 1988. A Proposed Tropical Rainfall Measuring Mission(TRMM) Satellite. *Bull. Am. Met. Soc.* 69, pp.278~95.