IT와 수공학

유철상 ▷▷
고려대학교 사회환경시스템공학과 교수
envchul@korea.ac.kr

1. 서론

지난 수년간은 아마도 대부분 학문분야들에 있어 IT(Information Technology: 정보기술)에의 관심이 가장 크게 고조되었던 시기가 아닌가 싶다. 대학이나 연구소의 연구자들뿐만 아니라 정부 관료들, 기업가들이나 투자자들에게 있어서도 IT는 많은 관심의 중심이었다. 이러한 추세는 현재에도 여전히 유효하며 앞으로도 더욱 심화 될 것이라는 것이 중론이다. IT 강국이라는 우리나라에서도 이러한 분위기가 크게 고조되어 있는 것이 사실이며, 수공학 분야도 예외는 아니다.

IT는 정보의 수집(collection), 저장(storage), 배포(dissemination) 및 관리(management) 등을 포함한다. 세계는 점차 정보화의 사회로 바뀌어 가고 있으며, 정보분야(information sector)의 중요성도 초기 경제 및 경영 분야에서 다른 모든 산업, 문화, 연구개발, 교육 등 분야로 급격히 확대되고 있다(WHO, 1998). 수공학 분야에서만 보더라도 IT는 각종 자료 및 정보 D/B의 설계 및 개발에 필요하며, 강우-유출해석, 범람해석 및 결과 도시, 홍수예측 등에 필요한 모의모형(simulation model)을 보다 효과적으로 운영하는데도 필요하다. Internet과 World Wide Web은 특정지역의 수문기상 현황 및 예측 결과를 일반 대중에게 알려주는데 매우 중요한 수단이 되며, 아울러 재해 및 재난관리를 맡고 있는 부서가 현장상황을 신속히 파악하고 또 재해내용을 신속하게 알리는 데도 도움을 준다. IT는 또한 GIS(Geographic Information System)나 MIS(Management Information System)의 설계 및 개발에 도움을 주고, 이들은 궁극적으로 재해의 관리에 도움을 준다. 따라서 급속히 발전하고 있는 IT가 수공학 분야를 급속히 변화시키고 있는 것이 현실이다.

본 고에서는 이와 같은 IT의 역할 및 범위를 수공학 분야와 관련지어 살펴보는 것을 목적으로 한다. 먼저, 수공학 분야에서의 IT의 역할을 특정 기관 및 재해분야를 예로하여 간단히 살펴볼 것이다. 다음으로 IT의 세부 분야에 해당하는 관측분야(원격탐사), 예측모형 및 자료동화, 정보통신 및 유비쿼터스, 마지막으로 D/B, 통합정보시스템, 그리고 GIS에 대해 간단히 살펴볼 것이다.

2. 수공학 분야에서의 IT의 역할 및 범위

수공학 분야에서 IT의 역할 및 범위는 기관의 특성이나 대상 분야의 특성에 따라 달라진다. 그럼에도 불구하고 보편적인 IT의 역할인 자료의 수집, 저장 및 가공, 관리 등이 제외되는 경우는 거의 없다. 본 논고에서는 먼저 IT의 역할 및 범위 등에 대한 개괄적인 이해를 돕기 위해 기관 또는 단체의 예로서 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 경우(NOAA, 2000)와 적용분야로서 재해관리 분야를 간단히 살펴보기로 한다.

미국 NOAA는 국가 (과학)연구기관으로서 수많은

정보 또는 이를 분석한 결과를 수집하고, 가공하며, 배포하고, 또 적절히 목록화하여 저장하는 역할을 한다. 우리나라의 기상청과 홍수통제소가 합쳐진 형태인 NWS(National Weather Service)도 NOAA의 산하기관이다. 기관의 특성상 주어진 임무의 성공여부는 IT의 활용과 밀접한 관련이 있다.

먼저, IT는 수집되는 관련 자료의 양과 질을 획기적으로 증가시킨다. 이는 IT 자체가 레이더, 소나(sonar), 인공위성 등 다양한 자료관측 또는 수집 시스템의 통합체(integral part) 역할을 하기 때문이다. 일단 관측된 자료는 평가 및 가공과정을 거쳐 유용한 정보로 활용되게 된다. 이 과정에는 첨단의 컴퓨터 기술(computer technology)이 활용되는데, 기상 또는 기후예측과정이 이와 관련된 좋은 예가 된다. 이렇게 만들어진 정보는 전문가 또는 일반 대중에게 제공된다. 제공되는 자료는 시의 적절해야(timely) 하며, 대체로 실시간(real-time) 자료일 경우가 많다.

IT 기술은 장기간의 관측 자료를 생산하거나 또는 저장하는 데에도 이용된다. 아울러, 장기간의 연속적인 관측이 필요한 부분과 그렇지 않은 부분을 판단하는데 필요한 정보도 제공될 수 있어야 한다. 관측되는 정보의 양 자체가 방대하므로 자료를 분류하고 저장하는 시스템은 향후 이용을 고려하여 적절히 설계되어야 한다.

마지막으로 NOAA는 다양한 역할을 하는 크고 작은 여러 기관들로 구성되어 있다. 따라서 IT는 이들 기관사이의 원활한 연계를 통해 정보의 효율적인 교류를 가능하게 해 준다. 인터넷 통신이나 화상회의 등도 이와 관련된 부분이다. 인터넷 및 인터넷 네트웍은 수집된 정보를 모으거나 또는 일반 대중 및 관련 전문가에게 제공하는데 중요한 역할을 한다. 다양한 종류의 web page를 통해 정보를 공개하고 있으며, 특히 기상악화 등으로 인한 재해의 위험이 가중되는 시점에 있어서는 그 사용(접속)이 폭증하게 된다. 이와 같은 다양한 목적을 위해 다양한 전산기, 즉 슈퍼컴퓨터, 워크스테이션, PC 등이 이용된다. 슈퍼컴퓨터는 주로 예측 모형의 개발 및 운영에 이용되고, 워크스테이션은 주요 계산 및 인터넷 서버로 많이 사용된다. 날로 그 성능이 향상되고 있는 PC는 전통적인 워크스테이션 및 PC의 역할을 두루 소화하고 있다. 특정 적용분야로서 재해관리 분야를 예로 든다면(Mathew, 2004), 관련되는 IT 분야는 크게 D/B의 설계 및 개발, 지식기반의 전문가 시스템 및 GIS 등으로 나누어 살펴볼 수 있다. 재해의 가능성이 있는 지역 또는 마을에 대한 D/B는 컴퓨터 하드웨어(computer hardware), 정보 소프트웨어(information software), 아울러 원격통신(telecommunication)을 이용하여 모의되고, 설계되고, 또한 개발될 수 있다. 따라서 재해의 가능성이 큰 지역을 한정할 수 있고, 그 위험도를 평가할 수도 있으며, 아울러 그 대처 방안도 마련될 수 있다. 인터넷의 활용을 통해 지식기반의 전문가 시스템 구현도 가능하다. 현장의 재해 전문가는 필요한 정보, 자료 및 재해와 관련된 사항들을 그들의 web 상에서 살펴볼 수 있고, 아울러 필요한 자료를 내려 받을 수도 있다. 전문가 시스템은 가능한 방안들을 평가하고 결정하는데 유용하며, 재해관리를 위해 적절한 판단을 신속하게 하는데 도움이 된다. 마지막으로, 인공위성을 통한 공간관측과 GIS 기술의 결합을 통해 특히 지표면의 상황에 대한 자료의 생산, 저장, 추출, 해석 등이 훨씬 용이해 진다. 이들 자료를 GIS 환경 하에서 분석하면 주어진 상황판단, 위험도 평가, 공간적 모형화, 재해지역 도시, 기타 필요한 모의 등의 수행이 가능해 진다. 이들 모두는 재해시의 대처능력을 향상시키는데 도움이 된다. GIS로 처리된 정보는 정책결정을 보다 효과적으로 하는데 필요한 D/B로 활용되기도 한다.

이상과 같이 살펴본 두 가지의 예는 수공학 분야의 일부분에 지나지 않는다. 수공학 분야는 수문학, 수문기상학, 수리학, 수자원공학, 환경공학, 해안 및 항만공학 등까지 다양한 분야를 포괄하고 있다. 이러한 분야는 다양한 시-공간적인 차원을 가지고 있으며, 아울러 그 자체가 비선형의 특성을 가지고 있는 경우가 많다. 특히 차원의 문제는 시간적으로는 수초에서 수백만년까지로 다양할 수 있으며, 공간적인 차원의

경우에도 수 mm 이하에서부터 수백 수천 km까지 광범위하다. 따라서 이들 분야에 있어 대용량의 자료는 매우 일반적이며 그 내용도 현장에서의 직접관측을 통해 얻은 것에서부터 인공위성을 이용하여 대규모로 획득한 자료에 이르기까지 다양하다. 특히, 매 순간마다 변화하는 현상을 대상으로 하는 수공학의 경우에 있어서는 관측된 자료의 연속적인 공급 또한 중요한 부분이 되며, 따라서 이들 자료의 처리 및 저장 자체가 큰 부담으로 작용할 수 있다. 아울러 이들 자료를 기초로 한 다양한 해석 및 예측모형의 개발/적용은 현재 가용한 관련분야(전자, 전산)의 능력을 상당히 초과하는 수준에까지 이르고 있는 실정이다. 따라서 IT의 발전에 따른 양질의 대규모 자료 공급 및 처리기술의 발달로 수공학 분야의 획기적 발전이 가능할 것이며, 그 중심을 IT가 자리 잡게 될 여지가 매우 크다고 할 수 있다.

3. 원격탐사

3.1 원격탐사의 도입

지구상의 특정 지점에서의 강우, 수심, 수온, 유속, 유량 등과 같은 수문학적 인자들을 현장 관측하는 것은 가능한 일이다. 예를 들어, 미국의 지질조사국(U.S. Geological Survey; USGS)은 주요 하천에 대하여 연속적인 수위 및 유량자료를 제공하는 밀도 높은 관측망을 운영하고 있다. 환경청(Environmental Agency)에서는 강, 호소, 저수지, 하구에서의 수질자료를 수집하고 있다. 그러나 이와 같은 점(point) 관측을 통해 충분한 양 및 정도의 자료를 확보한다는 것은 사실상 비현실적이며 비경제적이다. 따라서 중요한 수량 및 수질 관련 인자들의 공간적 관측이 가능한 원격탐사기법이 적극적으로 도입되는 것은 당연한 일이다. 점 관측과 비교하여 단점이 전혀 없는 것은 아니지만 원격탐사기법의 도입이 더 많은 장점을 갖는 것은 사실이며, 그 이용은 앞으로도 더욱 증가할 것이다. 수공학 분야에서만 보더라도 다양한 인공위성 자료나 레이더 강우의 활용이 매우 활발해 지는 것을 살펴볼 수 있다.

공간관측뿐만 아니라 점 관측에서조차도 발전된 센서기술을 이용하여 원격관측하려는 시도가 빈번해 지고 있다. 소위 첨단 관측이라고 불리는 방법들은 대부분 비접촉식 방법(non-contact method)으로서 사람이 현장에서 직접 기기를 조작하여 관측하는 것을 지양하고, 현장에 설치된 또는 무선으로 조작되는 이동식 기기를 이용하여 수위, 유량, 하천 단면적 등이 관측되도록 하는 방법들이다. 초음파(acoustic), 레이저(laser), 레이더(radar) 등의 다양한 센서 기술이 적용·평가되고 있으며, 현재는 주로 레이더 기술을 이

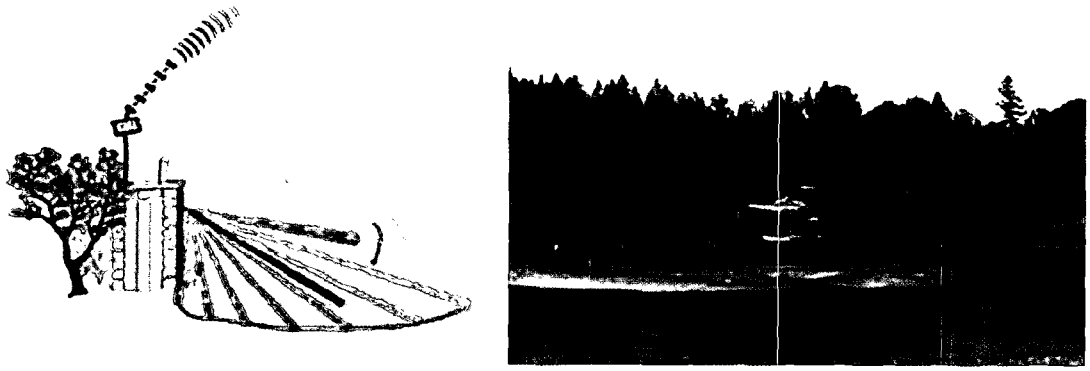

그림 1. 비접촉식 유량관측의 개념 및 헬리콥터에 장착된 레이더를 이용한 유량관측

용한 관측기술이 부각되고 있는 상황이다. 참고로 아래 그림 1은 USGS의 비접촉식 방법의 개념도 및 무선으로 조작되는 헬리콥터에 레이더를 장착하여 유량관측을 수행하는 장면을 나타낸다.

3.2 레이더를 이용한 강우관측

레이더(radio detection and ranging)는 지향성 안테나로 극초단파(microwave)를 발사하여 어떤 물체로부터 발생하는 반사파의 시간차를 이용한다. 이 시간차로부터 어떤 물체까지의 거리와 방향을 알게 되므로 초창기에는 주로 대상체의 위치를 추적하거나 항해를 위한 목적으로 이용되어왔다(Jenson, 2000). 즉, 레이더는 전자기에너지의 방사 및 목표로부터 돌아오는 에코(echo)의 검출에 근거하여 동작하는 것으로서 대기 중에 존재하는 물체의 존재위치, 강도, 종류 등을 분석·파악해내는 원격탐사 장비이다. 목표물의 범위, 거리 등을 에코 신호를 분석하여 알 수 있으며 해상도가 좋은 레이더는 목표물의 크기, 형태 등의 판별도 가능하다. 개발 초기에는 군사용으로만 쓰이던 레이더 기술이 기상학에도 적용되어 매우 유용하게 활용되고 있는 실정이다(엄원근, 1995; 건설교통부, 2002).

수공학 분야에서 주로 사용되는 레이더는 기상레이더와 수문레이더로 나뉜다. 물론 지하투과레이더(ground penetrating radar, GPR)를 이용하여 지하수면을 추정하는 연구사례(박인찬 등, 2004)도 있으며, SAR(synthetic aperture radar, 합성구경레이더)를 이용하여 홍수로 인한 피해지역을 분석한 연구사례도 있지만(이규성 등, 2000), 대부분의 레이더 관련 연구는 강우량을 추정하거나 단시간강우예측을 위한 분야에 집중되고 있다. 기상레이더는 관측범위 내의 강수구름의 동태를 추적하여 게릴라성 집중호우 등과 같은 단시간 기상예측에 활용하는 것을 목적으로 하는 반면, 수문레이더는 강수구름 자체보다는 지상에 직접 떨어지는 강수입자를 포착하는데 목적이 있다. 따라서 하천유역의 면적강우량 산정 및 단시간 강우를 예측하여 홍수예·경보 업무에 직접 활용이 가능하다. 이와 같이 기상레이더와 수문레이더는 관측하는 방식이 서로 상이할 뿐만 아니라 관측자료를 처리하는 소프트웨어도 근본적으로 다르다(표 1; 이명섭, 2000).

수공학 분야에 레이더를 적용한 가장 대표적인 사례로 미국의 NEXRAD(Next Generation Radar System)을 들 수 있을 것이다. NEXRAD는 미국 내 발생하는 악기상의 추적 및 시민들에게 예·경보를 보다 신속히 하기 위해 개발되었다. 과거 수치기상모의 및 이를 활용한 예·경보시스템의 한계를 극복하기 위한 방안으로 실시간 정밀관측을 이용하는 방안이 대두되었고, 그 결과로서 이러한 관측체계가 확립된 것이다. WSR-88D(Weather Surveillance Radar - 1988 Doppler; 그림 2)라고도 알려진 NEXRAD는 전 세계적으로도 가장 앞선 기상레이더로서 폭풍의 내면을 살필 수 있는 능력을 가지고 있다. 과거의 레이더로는 획득하기 어려웠던 대기난류(atmospheric turbulence)의 반사도(reflectivity), 속도(velocity) 및 스펙트럼의 폭(spectrum width)과 같은 자료를 이용하여 보다 정밀한 기상의 예측이 가능해진 것이다. 현재 미국 및 기타 지역에 총 158개의 NEXRAD 레이더 시스템이 운영 중인데, 대부분이 상무성(DOC, 121개소), 교통성(DOT, 12개소), 및 국방성(DOD, 22개소) 소속이다. NEXRAD 레이더의 최대 관측범위는

표 1. 기상레이더와 수문레이더의 비교

구 분	기상 레이더	수문 레이더
목 적	• 기상예보 보조자료 제공	• 단기간 강우예보 • 유역강우량 산정
출력자료	• 상층풍, 구름높이 등 예보 보조자료	• 유역강우량자료 • 단시간 강우량 예측자료

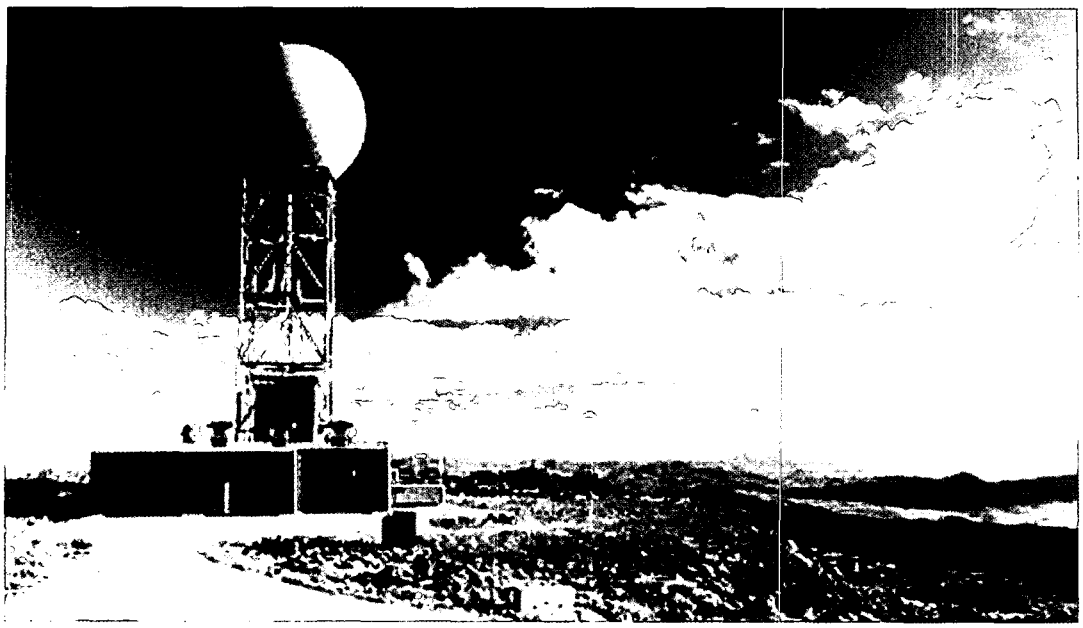

그림 2. WSR-88D NEXRAD 모습

250 mile 정도로서, 특히 악기상 및 돌발홍수 예보의 정도를 획기적으로 높이는데 기여한 것으로 알려져 있다. 기타, 항공기 관련, 재해관련, 군사부문 등 여러 분야에도 활용되고 있다.

3.3 인공위성을 이용한 수문관측

현재에도 수문해석에 있어 인공위성 자료의 이용이 매우 활발하다. 특히 점 관측으로 쉽게 파악하기 힘든 식생이나 토지이용 등에 대한 정보는 현재 대부분 인공위성 영상을 이용하여 추출하고 있는 실정이다. 가장 많이 사용되고 있는 LANDSAT이나 NOAA 이외에도 SPOT, IKONOS, 국내에서 개발된 KOMPSAT 위성영상 등도 그 사용이 증가하고 있다. 최근에는 증발산이나 가뭄 등 다양한 해석을 위한 인공위성 자료의 이용이 모색되고 있는 상황이다. 그림 3은 LANDSAT 영상의 예를 보여주고 있다.

그러나 수문이나 기상관측이라는 측면에서만 살펴보면 기상분야의 GOES나 NOAA 등으로 매우 제한된 위성만이 운영되고 있으며, 아울러 보다 과학적인 연구목적을 갖는 위성은 적도지방의 열대강우 관측을 목적으로 하는 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission) 위성 정도가 유일한 것으로 조사된다. 수문분야에서는 대륙규모의 토양수분 관측을 위한 계획이 진행되고 있는 것으로 알려져 있으나, 구체적인 일정은 아직 명확하지 않다.

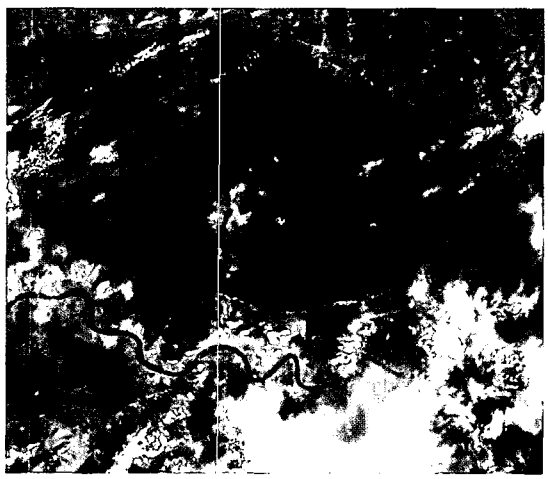

그림 3. LANDSAT 위성에서 촬영한 미국 뉴올리언즈 (태풍 카트리나 이후)

4. 예측모형 및 자료동화

예측모형은 기상학 및 수공학 분야 모두에서 중요하다. 그러나 수공학 분야로 한정하여 살펴보면 각 모형의 중요성은 유역의 규모에 민감하다. 예를 들어, 유역이 클수록 수문모형의 중요성이 커지며 반대로 유역이 작을수록 기상모형의 중요성이 커지게 된다. 이는 유역이 커서 유출의 도달시간이 길 경우에는 정확한 관측 자료를 가지고도 주어진 시간 내에 유출해석이 가능하기 때문이며, 반대의 경우에는 관측자료를 가지고 유출 해석을 할 경우에는 충분한 대비시간을 확보할 수 없어, 결국 기상예측자료를 보다 적극적으로 활용할 수밖에 없기 때문이다. 돌발홍수나 도시지역의 홍수재해 문제도 모두 후자에 속하는 문제들이다. 본 논고에서는 먼저 기상학 분야에서의 예측모형에 대해 살펴보고, 다음으로 수공학 분야에서의 예를 살펴보기로 한다.

기상분야에서의 수치예보모형은 예보 영역에 따라 전구모형(global model)과 지역모형(regional model)으로 나뉜다. 가능하다면 전구모형과 지역모형을 동시에 가동시키는 것이 일반적이다. 우리나라의 기상청에서도 두 모형을 함께 운영하고 있으며 전구모형으로 GDAPS(Global Data Assimilation and Prediction System; 해상도 약 110km 정도)를 지역모형으로 RDAPS(Resional Date Assimilation and Prediction System; 해상도 약 40km 정도)를 사용하고 있다. 기본적으로 전구모형은 전 지구를 예보 대상으로 하며, 주로 중기예보(10일)와 장기예보(1개월)를 수행한다. 반면에, 지역모형은 특정지역만을 대상으로 하며(우리나라의 경우 한반도 및 한반도 주변), 주로 단기 예보(수 일 이하)를 목적으로 한다. 경우에 따라 수 시간이내의 예보를 위해 초단기 예보모형을 운용하기도 한다(국립방재연구소, 2002).

전구모형은 예보기간을 길게 할 수 있다는 장점이 있다. 반면에 지역모형의 경우는 동서-남북방향으로 경계가 있기 마련이고, 영역 내에 존재하는 현상들은 대략 수일이 지나면 영역 바깥으로 방출되어 버린다. 따라서 지역모형은 예보기간을 길게 잡을 수 없다. 따라서 지역모형의 경우 예보를 하는 도중에 경계에서의 시간적인 변화를 지속적으로 보충해주어야만 한다. 여기에 사용되는 경계 자료는 전구모형으로 부터 받게 된다. 전구모형은 경계가 없기 때문에 예보의 결과만 정확하다면 얼마든지 오랜 기간을 수행할 수 있는 장점이 있다.

이러한 모형은 물질 및 에너지 흐름의 지배방정식에 수치해석기법을 적용하여 해를 구하는 형태로 되어 있어 전산시간이 길다. 지구 대기의 여러 가지 현상에 대한 이론적인 모형화 방법이 다를 경우 다른 결과가 나올 수 있으며, 아울러 모형의 해상도에 따라서도 그 결과가 다를 수 있다. 현재 이러한 모형의 운영을 위해 슈퍼컴퓨터가 이용되고 있으며, 컴퓨터의 성능이 모형 결과의 정도와 밀접한 관련이 있게 된다. 물론 풍부하고 정밀한 관측자료의 공급 정도도 모형 결과에 결정적인 영향을 미치게 된다.

수치예보는 기본적으로 초기값 문제이며 주어진 관측자료를 모델의 격자점에 할당하는 동시에 변수들 간에 역학적 물리적 평형을 이루도록 하여야 하는데 여기서 사용되는 기법이 자료동화이다. 즉 기존의 객관분석(objective analysis; Cressman, 1959)과 초기화과정(initialization; Miyakoda and Moyer, 1968)이 복합된 개념이라 할 수 있다(박선기, 2002; 이미선 등, 2002). 자료동화를 위한 기법들 중 변분자료동화(variational data assimilation)는 1950년대 후반에 Sasaki에 의해 기상학 분야에 처음 적용된 후(Sasaki, 1955; 1958) 최근에는 4차원 변분자료동화(four-dimensional variational data assimilation: 4D-Var)기법으로 발전되었다. 4D-Var에서는 우선 모델의 해와 관측값과의 제곱거리를 모델영역의 전 격자점 및 주어진 시간간격(즉 동화간격)에 대해 적분한 비용함수(J)를 정의하고, 변분법을 이용하여 그 비용함수를 최소화시키는 최적초기조건을 얻어낸다. 이를 위해 최소화(또는 최적화) 알고리즘이 필요하고 이 알고리즘의 입력자료의 하나인 비용함수의 경도값(ΔJ)을 계산하기 위해 주로 수반모

델(adjoint model; Errico, 1997)을 이용한다. 하지만 이러한 전통적인 4D-Var 기법은 비용함수를 최소화시키는 과정에서 수십 내지 수백 회의 반복계산이 필요하여 현업활용을 위해서는 아주 뛰어난 성능의 전산기를 요구하게 된다(박선기, 2002).

최근 계산시간을 줄이면서 전통적인 4D-Var의 결과와 유사한 정도로 비용함수를 최소화시키는 기법들이 개발되었는데 그 대표적인 것들로 Incremental 4D-Var(Coutier et al., 1994), Poor Man's 4D-Var(PMV; Huang et al., 1997), 그리고 Inverse 3D-Var(I3D-Var; Kalnay et al., 2000) 등이 있다. 최근에는 이러한 경제적인 기법들과 전통적인 4D-Var 기법을 복합한 hybrid 기법들이 소개되기도 했다(Li et al., 2000). 그림 4는 자료동화 기법을 적용하기 전과 후의 결과차이를 보여주는 하나의 예이다.

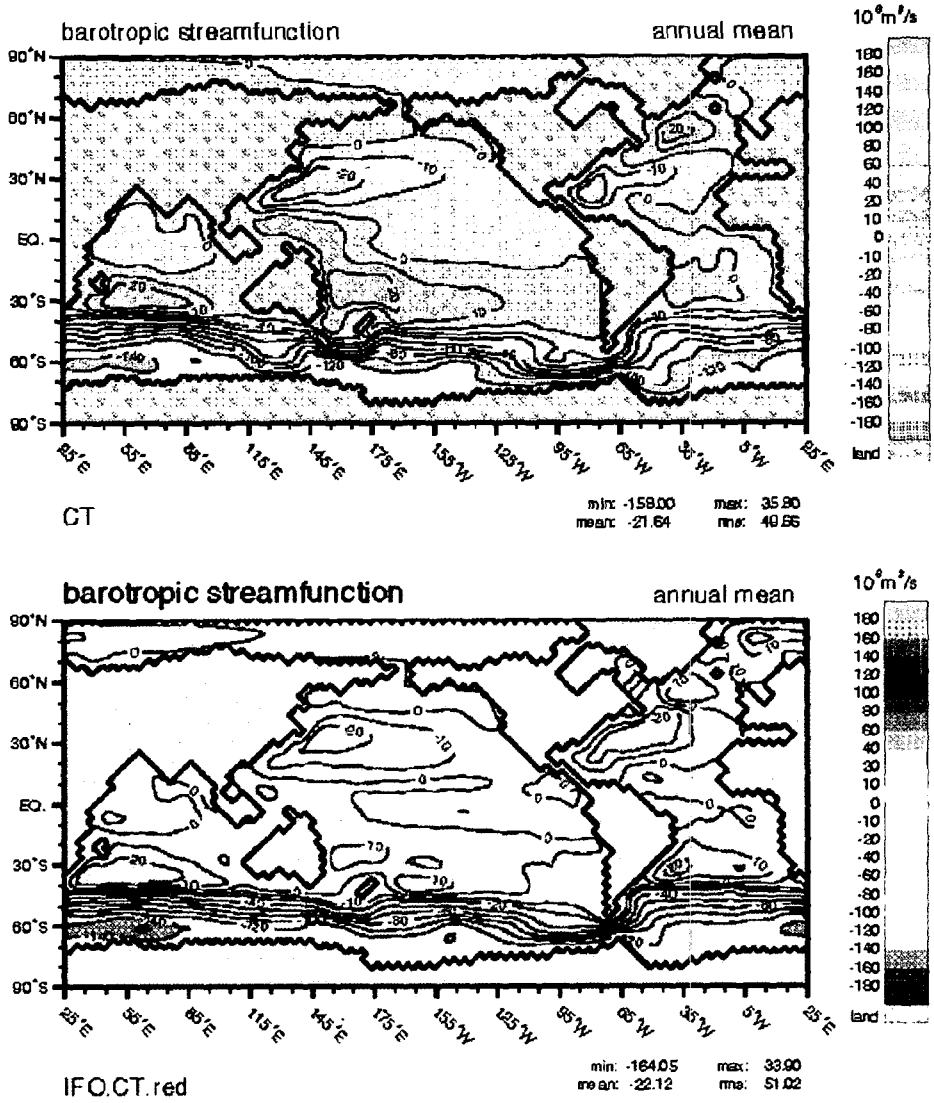

그림 4. 자료동화 전(위)과 후(아래)의 결과 차이(4D-Var 적용)

원격탐사 기술은 수공학자들이 흥미를 가지는 지표의 다양한 변화와 관련된 많은 형태의 스펙트럼 자료를 제공한다. 하지만, 이러한 정보들 중에 수공학적 목적에 바로 이용될 수 있는 자료는 극히 드물다. 이러한 스펙트럼 자료를 수문학적 변수로 변환시키는 데는 다양한 형태의 자료보정방법이 필요하다. 이와 같이 원격탐사로부터 얻어진 자료를 수공학 분야에 적용 가능한 자료로 변환시키기 위한 방법의 하나로 자료동화기법이 이용된다(Entekhabi et al., 1999).

과거 기상학과 해양학에서 주로 사용되던 자료동화기법이 수공학 분야에 많이 사용되는 이유는 수문학적 제 과정 및 자료출처의 특성이 자료동화 기법에 잘 부합되기 때문이다. 예를 들어, 식생의 canopy구조는 계절의 규모로 변화하는 반면, 지표의 온도와 토양수분은 매일 변한다. 따라서 canopy의 간섭정도와 지표방사를 동시에 추정해야 하는 문제라면 일시적으로 변화하지 않는 canopy 매개변수는 그대로 유지하면서 고주파 복사관측치를 이용하는 형태의 자료동화 기법이 적용 가능하다(Entekhabi et al., 1999). 또 다른 장점은 현장관측으로부터 얻어진 보조 자료가 원격탐사 신호의 보정과정에 중요한 정보를 제공한다는 것이다. 예를 들어, 자료동화알고리즘은 토양측정치, 지표 미세기상학, 토지이용에 대한 현장관측자료 등을 원격탐사측정치와 통합시킬 수 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 수공학 분야에서의 자료동화는 기상학이나 해양학 분야 등에서 개발한 방법을 응용하는 정도에 머물고 있다. 또한 기상학 분야에서 자료동화 기법은 예측의 정도를 높이기 위한 수단으로 주로 개발되고 적용되어 왔으나 수문학 분야에서는 주로 토양수분 관측의 시-공간적 한계를 극복하고자 하는 수단으로 이 기법이 응용되고 있다. 적용 대상에 따라 동화과정이 다르기 때문에 사용되는 기법도 다른데, 주로 초기의 자료동화 기법이 적용되어 검토되고 있는 상황이다. 하지만, McLaughlin(2002)은 이와 관련하여 '수문학에서 사용되는 대부분의 자료동화기법이 전통적인 linear Gaussian estimation method의 확장형이다' 라고 지적한 바 있다. 대부분의 수문학적 문제들이 비선형이라는 것을 고려하면 더욱 발전된 자료동화 기법 또는 모형이 필요함을 짐작할 수 있다(Troch et al., 2003).

간단한 예로서 passive microwave radiance를 이용한 토양수분 보정방법을 살펴볼 수 있다. 이 방법은 passive microwave radiance로 부터 얻어지는 상부 토양층(보통 상부 5 cm)의 토양수분 정보를 가지고 토양층(보통 1 - 2 m) 내 토양수분의 분포를 추정하기 위한 것이다. 토양수분의 연직분포에 대한 정보는 증발산, 지면에서의 에너지 분포, 지하수의 함양 등을 추정하는데 중요한 역할을 한다. 그림 5는 이러한 과정을 보여주는 예로서, 초기치가 임의로 입력된 후 원격탐사된 관측치를 이용하여 갱신되어가는 모습을 나타내고 있다.

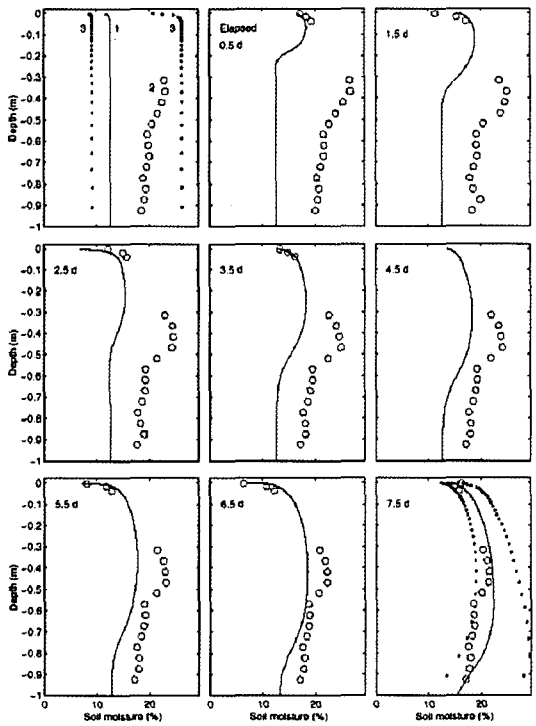

그림 5. 원격탐사된 상부 토양층의 토양수분자료를 이용하여 토양층 전체의 토양수분 분포를 추정하는 과정

5. 정보통신과 유비쿼터스

지식기반사회에서는 사회의 성장과 발전이 국토의 넓이나 자원의 많고 적음이 아니라 지식과 정보의 창출 및 유통 정도에 따라 결정되기 때문에, 초고속정보통신망으로 대표되는 통신네트워크가 사회의 기본 인프라가 될 수밖에 없다. 이는 산업시대의 기본 인프라가 고속도로와 같은 사회기간망이었던 것과 마찬가지다. 따라서 정보인프라를 생산하고 서비스하는 정보통신산업이 성장하고 고용을 이끄는 주도적인 역할을 떠맡게 되는 것은 당연한 결과일 것이다. 엘빈 토플러는 또한 최근 그의 강연에서 다음과 같은 점을 언급한 바 있다. '소비자와 컴퓨터로 연결되지 않은 기업은 무력해질 수밖에 없다. 또 전자거래가 서류거래보다 비중이 높아질 것이다. 전자거래는 은행 도매업 관광 오락 광고 등을 구조조정시킨다. IMF 때문이 아니라 전세계경제가 새로운 단계에 진입했기 때문에 구조조정을 해야 하는 것이다. 이 모든 것은 초일류 인프라를 갖춰야 가능하다. 미래를 준비하는 것을 게을리 해서는 안 된다.'

이상과 같은 내용이 다만 국가 경제나 산업부문에만 한정되는 것은 물론 아니다. 이미 우리는 수공학의 여러 분야에서 이미 이러한 것들이 실현되어가고 있는 것을 보고 있다. 하나의 예로서 이동통신망을 활용한 홍수예·경보시스템의 도입을 들 수 있다. 한국수자원공사는 휴대폰을 이용한 홍수예·경보시스템을 개발 시험운용에 들어갔는데, 이는 댐 방류에 대한 사전정보를 댐 하류의 주민들에게 무선통신망을 통해 알려줌으로써 홍수피해를 사전에 예방하는 시스템을 말한다. 향후 IMT2000의 상용화에 따라 댐 상류 현장상황을 영상으로 담아 직접 전달하는 입체적인 경보국 운영도 가능하게 될 것이다. 또한, 지금까지 전국 각 댐에 활용되고 있는 홍수예·경보시스템이 주로 160MHz대의 초단파(VHF) 무선망 또는 전용회선/일반국선 방식에서 주위 산악지형의 영향을 받지 않는 인공위성방식으로 변경되고 있는 것도 이와 관련한 변화의 하나로 이해될 수 있다.

그러나 이러한 정보통신망 변화의 중심에 유비쿼터스가 있음을 간과할 수 없다. 유비쿼터스(ubiquitous)란 라틴어로 '편재하다(보편적으로 존재하다)' 라는 의미이다. 모든 곳에 존재하는 네트워크라는 것은 지금처럼 책상 위 PC의 네트워크화뿐만 아니라 휴대전화, TV, 게임기, 휴대용 단말기, 카 네비게이터, 센서 등 PC가 아닌 모든 비 PC 기기가 네트워크화 되어 언제, 어디서나, 누구나 대용량의 통신망을 사용할 수 있고, 아울러 낮은 요금으로 커뮤니케이션 할 수 있는 것을 가리킨다.

유비쿼터스의 핵심 기술은 인간의 삶의 질을 높일 것이라고 학자들은 예측하고 있다. 그러나 그에 앞서 이러한 기술들이 수공학 분야나 방재 분야에 먼저 시험되고 적용될 수 있을 것이라는 것을 쉽게 짐작할 수 있다. 최근 대중 매체를 통해 자주 접하고 있는 유비쿼터스 아파트, 유비쿼터스 도시건설 등의 개념이 수공학 분야 또는 재해관련 분야에 얼마나 효과적으로 적용될 수 있는지는 어렵지 않게 짐작할 수 있다. 이는 먼 미래의 일이 아니라 지금 진행되고 있는 엄연한 현실이다.

6. D/B, 종합정보시스템 및 GIS

자료관리 및 이용 효율성은 D/B의 설계문제, IT 보안(IT security) 문제, 자료관리 조직의 문제, 각종 소프트웨어의 문제 등을 포함하며, 아울러 외부에서의 접속 효율 증대 등 자료 이용 효율을 높이기 위한 각종 문제들이 포함된다. 이런 대부분의 내용이 수공학과 직접적인 관련이 없어 보이는 것도 사실이나, 반대로 수공학에 대한 지식이나 이해 없이 이러한 작업이 이루어 졌을 경우에 발생 가능한 문제 또한 쉽게 예상할 수 있다. 즉, 이러한 문제를 더 이상 수공학 분야 밖의 문제라고 치부할 수는 없게 되었다. 공동작업의 형태로 또는 다른 협조체제 속에서 수공학 분야의 연구자들이 밀접하게 관여할 수밖에 없는 문제가 되어 있는 것이 현실이다.

이러한 문제의 중심에 있는 것이 IT 설계(IT architecture)이다. IT 설계는 관련 부서에서의 업무의 연관성, 사용하는 정보의 종류 및 필요로 하는 IT의 종류를 설명한 것으로 요약할 수 있다. IT 설계에는 향후 새로운 또는 향상된 시스템의 조달 및 설계에 필요한 표준과 방침(standards and principles)까지도 포함한다. 따라서 적절한 IT 설계를 통해 내부적으로 정보의 공유를 보다 용이하게 할 수 있으며, 아울러 필요한 정보 시스템의 규모를 경제적으로 줄일 수도 있다. IT 보안의 문제나 관련 조직의 구성 문제, 또는 관련 소프트웨어의 문제 등도 중요하게 결정되어야 할 문제이다. 마지막으로 새롭게 구성된 시스템이나 보다 향상된 시스템에 대한 접근 용이성의 문제도 중요하게 고려되어야 할 문제가 된다.

이러한 종합정보시스템의 대표적인 예가 미국 EPA의 STORET이다(www.epa.gov/storet). 미국 EPA의 STORET는 'storage and retrieval'의 약자로 EPA에서 가장 큰 환경자료체계이다. 이 시스템은 EPA의 중앙 자료저장소의 역할을 하고 있으며 전국적인 수질자료, 생물학적 자료, 물리적 자료 등을 저장하고 있다. 주 단위의 EPA뿐만 아니라 다른 연방기관이나 대학, 연구소, 아울러 일반 개인들까지도 쉽게 접근하여 정보를 이용할 수 있다. STORET는 주로 1999년 이후의 자료들을 저장하고 있으며, LDC(Legacy Data Center)에 저장되어 있는 이전의 자료들도 일부 저장하여 접근이 가능하게 하고 있다. 당초 1990년대 mainframe system으로 개발되었던 것을 보다 접근성이 용이한 PC-기반 시스템으로 변화시켜 전문가 또는 일반인의 접근을 제고하였다. LDC 및 STORET 모두 web 상에서 시스템간의 상호작용이 가능하며, 필요한 자료를 모아 따로 파일로 저장하고 또 이를 개인용 PC로 내려 받는 것도 가능하도록 되어 있다. 아래 그림 6은 STORET의 로고를 나타낸다.

미국 EPA의 STORET과 유사한 성격의 것으로 우리나라의 WAMIS(Water Management Information System; http://www.wamis.go.kr)를 들 수 있다. WAMIS는 물 관련 정보를 체계적으로 조사·관측하고, 통합 D/B 및 다양한 정보체계를 구축하여 정책결정, 업무처리를 지원하고 정보서비스를 실시하는 것을 목적으로 한다. WAMIS의 추진 이전에도 다양한 분야에 필요한 종합시스템이 개발되었거나 개발되고 있는데, 건설교통부의 사업만을 살펴보더라도 수자원관리 종합정보시스템, 지하수 정보시스템, 광역상수도 종합관리시스템, 하천 GIS, 통합 홍수예경보시스템 등이 있다. 이 외에도 수자원 8개 분야의 기초자료를 제공하는 기초자료시스템 구축(수자원단위지도DB관리, 기상·수문·수질 정보관리, 하천관리, 유역조사 지원 등), 수문, 수량, 수질분석시스템, 최종적으로는 각종 수자원정책지원시스템 구축을 추진하고 있다.

그림 6. 미국 EPA의 STORET 로고

마지막으로, 수공학 분야에서는 GIS의 중요성을 간과할 수 없다. 수공학 분야로 한정한다고 해도 유역의 다양한 특성들을 가장 효과적으로 정리할 수 있는 방법은 GIS를 이용하는 것이다(Tim and Mallavaram, 2003). 과거 특정분야로 한정되어 적용되기도 했고, 아울러 가용한 공간자료의 제한으로 인해 그 효용성이 떨어져 보이기도 했으나, 이제는 소위 유비쿼터스 IT의 핵심부분으로 자리 잡고 있는 것이 사실이다. 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어의 발전, 원격탐사를 이용한 대용량 수치자료의 생산, GIS 형식 및 언어의 표준화, 인터넷 상에서의 실시간 해석 및 현장 정보입력의 필요성 증가 등이 GIS의 수요 및 사용을 증가시키는 원인이기도 하다. 유역관리의 차원에서 보면 과거

GIS의 활용이 유역자료의 정리 및 유역특성의 정량화 수준에 머물러 있던 것에서 최근에는 유역 모형화 및 전략적 의사결정 지원시스템으로 그 역할이 변화되고 있는 상황이다. 따라서 과거 연구자들이나 설계실무자들에 한정되어 사용되었던 GIS는 이제 수자원 계획이나 수자원 정책 담당자에게 까지 확대되고 있다.

GIS는 기술이 아직까지 발전 단계에 있는 기술이기 때문에 장래의 업무에 현재보다 폭넓은 이용이 기대된다. 특히 지리정보시스템 기술의 주변 기술로 있는 원격 탐사기술이나, GPS, 네트워크기술, 전문가 시스템 등의 급속한 발달에 따라 보다 폭넓게 사용가능할 것이다. 그러나 국내 GIS 시장은 아직까지 대부분 선진국의 기술력에 의존하고 있으며, 이용 측면에서도 고가의 소프트웨어를 구입해야 하는 문제점을 안고 있다. 그럼에도 불구하고 정보화 시대에 있어서 GIS 구축은 사회간접자본 시설로 인식해야 할 필요성이 있다. 국가적 차원으로도 행정업무 쇄신과 대민 서비스향상을 위해 GIS의 도입이 필요하며 중앙정부와 지자체간의 GIS업무 협조 및 추진 과정에서도 위상정립이 시급하다고 할 수 있다. 이를 위해서는 GIS 전담조직은 물론 지속적이고 계획적인 투자, 교육, 조직관리가 필요할 것이다.

7. 결론 및 제언

IT 문제는 21세기에 있어서 인류가 해결하길 기대하는 중요한 10가지의 도전과제와 깊은 관련이 있다(Krishtalka, 2001). 먼저 그 과제들을 간단히 살펴보면 첫 번째는 우주의 기원과 구조 및 운명이 무엇이냐 하는 것이고, 두 번째는 물질과 에너지의 구조는 무엇이냐 하는 것이다. 다음 다섯 가지 과제는 지구환경에 대한 이해 및 모형화에 관한 것으로, 지구의 기후, 지질, 수문, 해양 등 지구의 물리적 시스템에 대한 이해, 생물 다양성에 대한 이해(왜 이렇게 다양한 생물종이 존재하는지 그들의 역할은 무엇인지 등의 질문이 여기에 해당), 진화의 근원 및 생물종 간의 관계, 그리고 생명의 언어(language of life)를 이해하는 것이 포함된다. 이러한 이해의 바탕위에 적절한 모형화가 가능하며, 궁극적으로는 지구의 기후, 해양, 수문 등의 물리적 시스템과 생명의 다양성 및 진화와 같은 생물학적 시스템이 어떤 관계를 가지고 있는지를 이해할 수 있을 것이다. 이것이 일곱 번째 도전과제이다. 여덟 번째는 인간에 관한 것으로 인간(사회) 시스템(또는 인간 생태학)에 대한 것이고, 아홉 번째는 신경과학에 관한 것으로, 특히 뇌에 관한 연구가 포함된다. 마지막으로 열 번째는 이러한 문제들을 해결하는데 필요한 복잡계(complex system)에 대한 것이다. 이 열 번째 도전과제는 특히 앞의 아홉 가지 문제를 해결하는데 결정적인 역할을 하는 문제로 인식되고 있다. 예를 들어 지구 시스템과 인간 시스템을 어떤 식으로 결합하여 예측모형을 만들 것이며, 이를 지구 환경의 관리문제에 어떻게 이용할 것이냐 하는 것이 가능한 질문에 포함된다.

그러나 여기에 한 가지의 과제를 더 추가할 수 있는데, 그것이 바로 IT와 직접적인 관련이 있다. 즉, 관련 정보의 수집, 저장, 가공, 전달 등의 문제이다. 각 분야에서 무한대의 규모로 수집될 정보를 타 분야에서 쉽게 또한 효과적으로 사용할 수 있도록 하는 시스템의 구축 없이 위 열 가지의 도전과제는 쉽게 해결될 수 없는 것이다. 이는 수공학 분야와 기상학 분야의 관계를 통해서도 쉽게 이해할 수 있다. 기상예측의 문제, 이를 수재해의 예측으로 전환하는 문제, 예측된 재해를 예방하고 대비하는 문제, 재해 발생 후의 처리 문제 등이 효과적으로 이루어지기 위한 시스템의 구축을 위해서는 IT의 도움이 절대적이다. 보다 큰 시스템을 살펴보면, 기후변화의 문제가 인간(사회) 시스템에 어떤 영향을 미치게 될 것이며, 또한 생물 다양성을 어떤 식으로 변화시킬 것이고, 이러한 변화는 다시 지구 환경에 어떤 변화를 주고, 궁극적으로 이에 대비하기 위해서는 어떤 조치가 필요한지를 예상할 수 있어야 한다. 이러한 해석 및 예측이 IT의 수준과 밀접한 관련이 있음은 쉽게 짐작할 수 있다.

지금도 그렇지만 가까운 미래에 우리는 다양한 학

문분야에서는 다양한 그리고 엄청난 양의 자료와 정보를 생산해 내게 될 것이다. 그러나 이러한 자료 및 정보의 생산보다 더 중요한 문제는 바로 그 자료 및 정보를 어떻게 쉽고 효율적으로 다루느냐 하는 것으로, 이 모두가 바로 IT의 역할인 것이다.

현재 다양한 분야에서 IT 관련 연구 및 개발이 붐을 이루고 있다. 이러한 IT 관련 프로젝트들은 대체로 성능 좋은 컴퓨터, 대용량 저장장치, 빠른 네트웍, 국가 차원의 자료 관리, 다양한 시각화 도구, 다양한 서버간의 원활한 연계 등을 기본 요건 또는 전제 조건으로 거론한다. 그러나 이러한 자원들에 대한 투자 및 관리를 위한 행정체계 이외에도, 그 효용성을 높이기 위해서는 필요시 즉각 접근성이 보장되어야 하고, 실시간 응답체계가 구축되어야 하며, 원격관측의 강화로 원하는 정보의 획득이 신속해야 하고, 아울러 다양한 환경/여건 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 능력이 있어야 한다. 이러한 내용들을 총체적으로 사이버기반시설(cyberinfrastructure)이라 부르기도 한다.

그러나 현재까지는 여러 정부부처 및 관련 기관들에서의 중복투자, 표준의 부재 및 원활하지 못한 연계성으로 인한 정보 효용성의 감소, 주요 핵심기술의 개발 또는 적용, 기 개발된 사이버기반시설의 유지관리에 필요한 지원 미비 등 다양한 문제점들을 보여주고 있는 것 또한 사실이다. 아울러 앞으로도 더욱 빠른 기술발전으로 인해 (기술적으로나 주변 여건 등이) 안정된 상황에서의 사이버기반시설 설계나 배치 등이 더 어려운 문제가 될 것이라는 전망도 있다. 이렇게 되면 새로 구축한 시스템의 전체적인 효용성이나 관련분야에의 파급효과도 아주 쉽게 또한 급격히 감소할 수도 있다. 물론 이런 문제에도 효과적으로 대처해야 하는 것이 관련 기술자들의 임무일 것이다.

참고문헌

건설교통부(2002). 한강홍수예보, 244p.

국립방재연구소(2002). 국지성 집중호우 예측기법 개발 및 강우기록 활용도 개선방안, 321p.

박선기(2002). 4차원 변분자료동화의 최근 개발동향, 한국기상학회지, 제12권, 제2호, pp. 10-11.

박인찬, 김지태, 조원철(2004). "지하투과레이더를 이용한 비피압대수층의 지하수면 추정." 한국수자원학회 학술발표회논문집, p. 174.

엄원근(1995). 레이더 기상학, 영재사.

이규성, 김양수, 이선일(2000). "시계열 위성레이더 영상을 이용한 침수지 조사." 한국수자원학회논문집, 제33권, 제4호, pp. 427-435.

이명섭(2000). 수문레이더를 이용한 임진강유역 홍수예경보시스템 구축, 한국수자원학회지, 제33권, 제1호, pp. 58-62.

이미선, 임은하, 조주영, 이천우(2002). 기상청 지역예보시스템에서 자료동화과정의 개선: 연속자료동화와 IAU, 한국기상학회논문집, 제12권, 제3호, pp. 148-151.

Courtier, P., Thepaut, J.N., and Hollingsworth, A.(1994) A strategy for operational implementation of 4DVAR using an incremental approach, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., Vol. 120, pp. 1367-1387.

Cressman, G(1959). An objective analysis system, Mon. Wea, Rev., Vol. 87, pp. 367-374.

Entekhabi, D., Asrar, G.R., Betts, A.K., Beven, K.J, Bras, R.L., Duffy, C.J, Dunne, T, Koster, R.D., Lettenmaier, D.P., McLaughlin, D.B., Shuttleworth, W.J., van Genuchten, M.T., Wei, M.Y., and Wood, E.F.(1999). An Agenda for Land Surface Hydrology Research and a Call for the Second International Hydrological Decade. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 80, No. 10, pp. 2043-2058.

Errico, R.M.(1997) What is an adjoint model?, Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 78, pp. 2577-2591.

Huang, X.Y., Cederskov, A., Kallen, E.(1997).

Using an adjoint model to improve and optimum interpolation-based data assimilation system, Tellus, Vol. 49A, pp. 161-176.

Jensen, J.R.(2000). Remote sensing of the environment-An earth resource perspective, Prentice Hall, New Jersey.

Kalnay, E., Park, S.K., Pu, X.Y., and Gao, J.(2000). Application of the quasi-inverse method to data assimilation, Mon. Wea. Rev., Vol. 128, pp. 864-875.

Krishtalka, L.(2001). Information technology and the ten grand research challenges for the 21st century, 26th Annual AAAS Colloquium on Science and Technology Policy, Washington D.C.

Li, Z., Navon, I.M., Courtier, P., and Gauthier, P.(2000). Performance of 4D-Var with different strategies for the use of adjoint physics with the FSU Global Spectral Model, Mon. Wea. Rev., Vol. 128, pp. 668-688.

Mathew, D.(2004). Information technology and public health management of disasters - A model for South Asian countries, Prehospital and Disaster Medicine, 20(1), 54 - 60.

McLaughlin, D.(2002). An integrated approach to hydrologic data assimilation: Interpolation, smoothing and filtering. Advances in Water Resources, Vol. 25, pp. 1275-1286.

Miyakoda, K., and Moyer, R.(1968). A method of initialization for dynamical weather forecasting, Tellus, Vol. 20, pp. 115-128.

NOAA(2000). NOAA Strategic Information Technology Plan(FY 2001 - 2005).

Sasaki, Y.(1955). A fundamental study of the numerical prediction based on the variational principle, Journal of Meteorology Society Japan, Vol. 33, pp. 262-275.

Sasaki, Y.(1958). An objective analysis based on the variational method, Journal of Meteorology Society Japan, Vol. 36, pp. 77-88.

Tim U.S. and Mallavaram, S.(2003). Application of GIS in watershed management and decision making, Watershed Update, 1(5), pp. 1-6.

Troch, P.A., Paniconi, C., and McLaughlin, D.(2003). Catchment-scale hydrological modeling and data assimilation. Advances in Water Resources, Vol. 26, pp. 131-135.

World Health Organization(WHO, 1998). Health Agenda for the 21st Century, Chapter 8. World Health Report of 1998.