

실시간 수문자료 관측 및 관리를 위한 IT 기술의 활용



김남일 >>

(주)웹솔루스 대표이사, 공학박사
utopia@websolus.co.kr



이경도 >>

(주)웹솔루스 시스템사업부 3팀장
kdl@websolus.co.kr

수자원 전문가는 물론 국민들이 해결점 모색을 위하여 함께 노력해야한다.

건설교통부에서는 이러한 노력의 일환으로 2005년 6월 1일 '수문조사 선진화 5개년 계획'을 확정, 발표하였다. 이 계획에서는 ① 물정보 관리 조직의 전문화, ② 선진형 수문정보 인프라 확충, ③ 실시간 물관리 시스템 구축, ④ 수문조사 기술의 첨단화를 위한 연구촉진 등을 골자로 하고 있으며, 이들 중 실시간 물관리 시스템 구축과 수문조사 기술의 첨단화를 위한 연구촉진 등은 수자원 관리의 가장 기본이 되는 것이라 할 수 있으며, 이는 수자원분야에 IT 신기술의 도입을 의미하는 것이다. 특히 실시간 물관리 시스템 구축을 위해서는 주요하천에서 관측되는 수문자료의 실시간 전송, DB화를 통한 체계적인 관리 및 관측자료의 검·보정 등이 반드시 수반되어야 하며, 이를 위해서는 첨단기술의 도입이 필수적이다. 우리나라 IT 기술의 발달은 정밀하고 신뢰도 높은 데이터의 송·수신이 가능하도록 하고 있으며, 시간적·공간적인 제약을 극복하고, 인터넷이 연결되어 있는 어디에서나 데이터의 활용과 관리가 가능한 환경을 제공하고 있다.

수자원관리 효율성의 극대화를 위한 수자원-IT 통합 기술의 일부분을 간단히 제시하면 다음과 같다.

- IT 기술을 활용한 원격유량측정 및 송수신
- 개인휴대용단말기(PDA) 등 모바일 기술을 활용한 수문자료 전송 및 관리
- 수량·수질, 지표수·지하수 등을 통합한 종합 유역 수자원관리 정보망 구축
- 관측된 자료의 실시간 수문모니터링 시스템 구축
- 지리정보시스템(GIS) 및 원격탐사(Remote Sensing) 등의 인프라를 활용한 수문정보 시스템 구축

1. 서언

인간생활의 가장 중요한 요소 중의 하나인 물의 역사는 기원전 3,500년경부터 시작되어 왔다. 어느 나라나 그 문명은 큰 하천을 중심으로 발전되어 왔으며 하천으로부터 공급된 물을 안전하고 편리하게 사용할 수 있도록 많은 노력을 경주해왔다. 하지만 지구환경의 변화 및 산업화, 도시화 등의 영향으로 지구촌 곳곳에서 물로 인한 자연재해는 증가하고 있다. 2000년 제2차 세계 물 포럼(Second World Water Forum)에서도 제시된 바와 같이 물 관리의 소홀로 인하여 향후 생태계의 악화와 후세대의 생존이 위협을 받게 될 것이라는 경고 메시지를 물 위원회의 보고서(World Water Council)를 통해서 전달하고 있다.

지금까지 우리나라에서의 물 관리 즉, 수자원관리는 제방축조, 댐건설 등을 통하여 수요자에게 원활히 물을 공급하는 것에 초점이 맞춰져왔다. 그러나 물 기근이 예상되는 현 시점에서는 인류의 산업 및 문화활동으로 인하여 변화된 물 순환과정을 바로잡는데

본 고에서는 수자원-IT 통합 기술 중에서 수자원 관리의 기초가 되는 실시간 수문자료 관측 및 관리를 위한 IT 기술에 대해 실제 사례를 중심으로 소개하고자 한다.

2. 실시간 수문자료 관측 및 관리 기술

2.1 실시간 수문모니터링 시스템

하천유역에 설치되어 있는 다양한 수문 계측장비를 통하여 측정된 수문 데이터를 중앙의 서버로 전송하고 DB에 저장된 자료를 실시간으로 조회·검색할 수 있도록 구축된 시스템을 실시간 수문 모니터링 시스템이라 한다. 그림 1은 실시간 수문모니터링 시스템의 구조를 나타낸 것이다.

수문현황을 실시간으로 모니터링하기 위해서는 다음과 같은 일련의 과정과 함께 IT 기술의 개발이 요구된다.

- ① 센서로부터 측정되어 현장의 데이터 로거에 저장된 자료를 실시간으로 중앙의 서버로 전송하

기 위한 데이터 송수신 모듈 기술: 양방향 소켓(socket) 프로그램 개발

- ② 강우, 수위, 유량 등의 실시간 자료와 수질 등의 비실시간 자료를 수집, 저장, 관리할 수 있는 DB 구축 기술
- ③ DB의 수문 자료를 사용자가 원하는 형태로 가공하여 웹 또는 오프라인을 통해 제공할 수 있는 수문자료 해석 프로그램의 개발 기술

(1) 소켓을 이용한 데이터 송·수신 기술

수문데이터 관측센서로부터 측정되어 데이터 로거에 저장된 자료를 실시간으로 중앙의 서버로 전송하기 위한 데이터 송수신 모듈 기술은 측정된 데이터를 현장의 데이터 로거에 저장하고 인터넷 통신(TCP/IP)을 통해서 중앙의 서버로 전송하는 것을 말한다. 이처럼 네트워크로 연결되어 있는 두 호스트 간의 데이터를 송수신하기 위해 소켓(socket)을 이용한 네트워크 프로그램 기술이 필요하다. 소켓은 네트워크를 통한 입·출력을 하기 위해 사용자에게 필요한 수단을 제공하는 응용 프로토콜 인터페이스로서 현장의 계측장비와 중앙의 서버 사이의 소켓

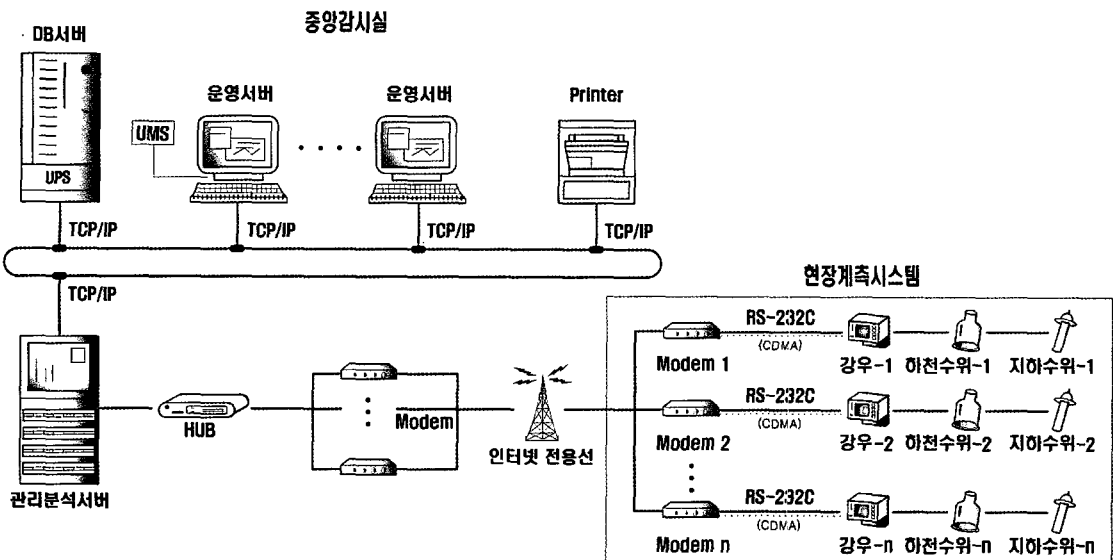


그림 1. 실시간 모니터링 시스템 구조도

통신을 위해서는 다음과 같은 5가지 기본 요소가 필요하다.

- 프로토콜(Protocol) : 연결형(TCP) 또는 비연결형(UDP)
- 소스 IP 주소(Source IP Address) : Host를 구분
- 소스 포트 번호(Source Port Address) : Host 내의 process를 구분
- 목적지 IP 주소(Target IP Address) : Host를 구분
- 목적지 포트 번호(Target Port Address) : Host 내의 process를 구분

소켓으로 데이터를 송수신 하는 방식에는 stream socket 방식과 datagram socket 방식이 있다. 수문관측 데이터 송수신은 신뢰성 있고 정확도 높은 데이터 전송이 요구되므로 이러한 특징을 가진 TCP 프로토콜을 사용하는 연결형(connection-oriented)의

stream socket 방식이 적합하다. 두 가지 전송방식의 특징은 다음 표 1과 같다.

(2) 수문자료의 수집·관리를 위한 DB의 설계 및 구축 기술

현장의 계측기로부터 실시간으로 전송되어 수집된 수문자료를 효율적이고 체계적으로 저장, 관리하기 위해서는 안정적이고 효율적인 DB 시스템의 설계와 구축 기술이 요구된다. 특히 수문 자료 DB는 서비스를 이용하는 많은 사용자가 다양한 환경 하에서 접속하여 다양한 자료를 요구한다. 사용자의 상이한 모든 욕구를 만족시켜 주기 위해서는 다양한 사항이 고려되어야 하기 때문에 복잡한 구조로 DB가 설계되므로 일련의 DB 설계 계획이 필요하다. 유역에서 관측되는 강우, 수위, 유량, 수질 등 수문자료의 효율적인 저장·관리를 위한 DB 설계는 다음 그림 2과 같은 절차에 따라 계획되어야 할 것이다.

표 1. 소켓을 활용한 데이터 송·수신 방식에 따른 특징

데이터 송·수신 방식	전송방식의 특징
Stream socket 방식	<ul style="list-style-type: none"> - 연결형(connection-oriented)으로 TCP 프로토콜 사용 - 신뢰성이 있고, 다량의 데이터 전송에 적합하며 패킷(packet)은 보내어진 순서대로 중복 없이 도착되도록 보장됨 - 패킷 경계선이 없는 계속적인 양방향 스트림 데이터를 송·수신 - 4계층인 TCP는 연결 설정된 상대방 주소와 포트를 관리하여 받은 패킷의 상대방 주소와 포트가 "연결 설정된 것"과 같으면 주소, 포트 정보를 뺀 데이터만 상위 계층에 올려 보내고 틀리면 그 패킷은 버림
Datagram socket 방식	<ul style="list-style-type: none"> - 비연결형(connectionless)이라고도 하며 UDP 프로토콜 사용 - 신뢰성이 없고, 소량의 데이터 전송에 적합하고 자율적인 네트워크 사용 - 패킷이 보내진 순서대로 도착하지 않을 수도 있으며 중복 또는 전혀 도착하지 않을 수도 있다. 그래서 패킷의 데이터 헤더에 보내는 데이터가 몇 번째 블록인지 설정해서 보내야 상대방이 순서대로 정렬 가능(응용 프로그램을 활용한 처리) - 패킷 단위로 데이터가 끊어져서 읽히게 됨 - 4계층의 UDP는 연결 설정된 주소 및 포트가 없으므로 내 포트로 도착한 모든 패킷(상대방 주소, 포트 포함)을 그대로 상위 포트에 올려 보냄. UDP 상위 계층은 받은 패킷 크기로 Datagram이 전달. 즉, recvfrom, sendto를 이용할 때마다 상대편 주소와 포트정보를 주고받아야 함.

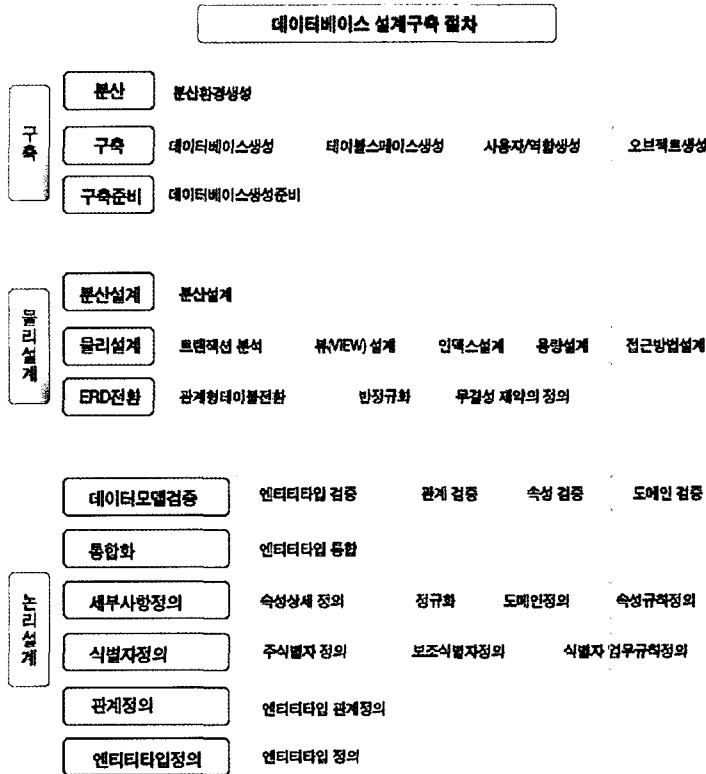


그림 2. 수문자료 DB 설계 지침

(3) 웹 기반의 실시간 수문 모니터링 시스템 구축 기술

현장의 계측 장비로부터 측정된 수문 데이터를 중앙의 서버로 전송하고 DB에 저장된 자료를 실시간으로 조회·검색할 수 있는 실시간 수문 모니터링 시스템을 구축을 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 현장의 데이터 로거와 중앙의 서버가 쌍방향으로 통신할 수 있는 소켓 프로그램의 개발과 수문자료를 효율적이고 체계적으로 저장, 관리할 수 있는 DB의 구축이 필요하다. DB에 구축된 실시간(혹은 비실시간) 수문 자료는 웹 페이지를 통해 텍스트, 그래프, 물지도 등의 다양한 형태로 수자원 전문가를 비롯하여 일반인에게 수문정보를 제공하게 된다. 또한 현장의 계측기로부터 수집된 수문 자료를 사용자가 원하는 형태로 가공하여 웹 또는 오프라인을 통해 제공하기 위해서는 자료를 수집, 저장, 처리, 해석, 배포할 수 있는 데이터 프로세싱 모

듈이 필요하며, 수문자료의 수집 단계부터 시작하여 DB 저장, 필터링, 통계분석, 웹을 통한 배포 등의 일련의 자료 처리 과정을 수행할 수 있는 수문자료 해석 프로그램 개발 또한 필요하다.

(4) 실시간 수문모니터링 구축 사례

2003년부터 현재까지 21세기 프론티어연구사업과 관련하여 구축·시범운영하고 있는 “안양천 실시간 통합 수문모니터링 시스템”은 안양천 유역내에서 관측된 수문 데이터 송수신을 위하여 신뢰성 있고 정확도가 높은 데이터 전송 방식인 TCP 프로토콜을 사용하는 연결형(connection-oriented)의 stream socket 방식을 활용하고 있다.

“안양천 실시간 통합 수문모니터링 시스템”은 안양천 유역내의 강우량, 하천수위, 지하수위, 하수관거유량 등 수문 상황을 실시간으로 모니터링함으로써

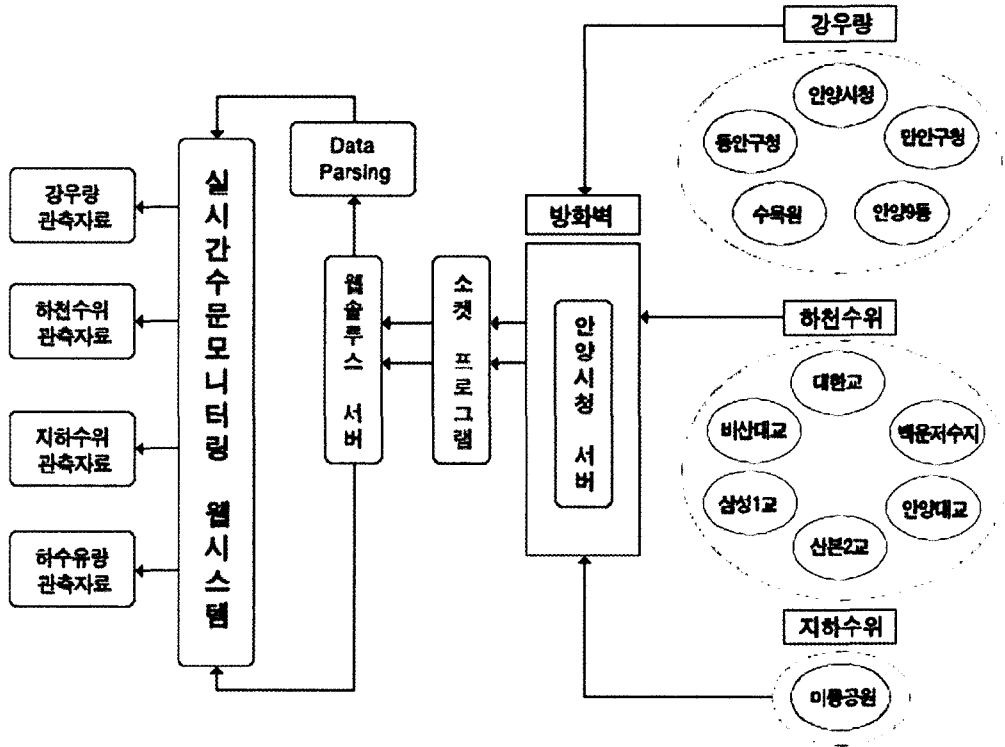


그림 3. 안양천 통합 수문모니터링 시스템 모식도

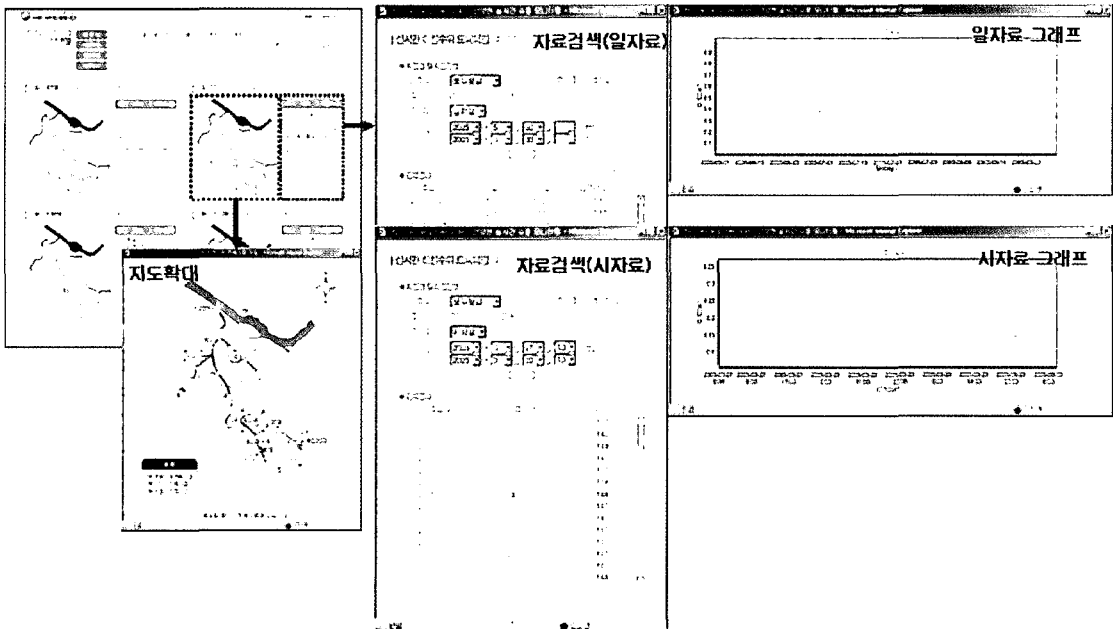


그림 4. 안양천 수문모니터링 웹 시스템의 활용

유역내의 수문자료를 구축함은 물론 지하수위와 하천 수위와의 연관성, 하천유량 증가로 인한 하수관로의 우수유입량 등의 분석을 통해 유역 전반에 걸친 물순환체계에 대한 해석과 평가를 지원하도록 시스템이 구축되어 있다. 또한 주요 지점에 수문 모니터링 장비를 설치하고, 통신모듈을 통해 현장에서 서버로 모니터링 자료를 실시간으로 전송하고 있으며, 전송된 자료를 웹상에서 보여줌으로써 유역관리자의 의사결정 지원 자료로 활용할 뿐만 아니라 일반인들에게 거주지역내 하천에 대한 정보를 제공할 수 있게 시스템이 구축되어 있다.

특히 안양시청을 시범 행정기관으로 선정하여 안양시에서 운영하고 있는 실시간 수문모니터링 자료를 취합하여 웹상에서 공유할 수 있도록 시스템을 통합하는 기술을 개발하였으며, 통합 수문 모니터링 시스템 모식도는 그림 3에 나타난 바와 같다. 그리고 그림 4와 같이 안양천 실시간 모니터링 시스템은 안양천 홈페이지(<http://anyang.river.or.kr>)에서 구현되고 있다.

2.2 유량측정 및 관리를 위한 무선 PDA 기술의 활용

PDA(Personal Digital Assistant)는 손에 들고 다닐 수 있는 크기의 초소형 컴퓨터로 개인용이나 업무용으로 계산, 정보저장, 검색기능 등을 갖춘 손바닥 크기의 소형장치를 총칭한다. PDA는 간단한 문서기능과 일정관리 및 메모 등의 정보를 관리하는 용도로 사용되고 있다. 그리고 PC와 호환이 가능하고 다양한 어플리케이션을 통해 인터넷, GPS, 전자수첩 등으로 사용이 가능하다. 또한 터치스크린과 스타일러스 펜으로 직접 화면에 기입하거나 소형 키보드를 부착하여 입력수단으로 활용하고 있다. 이러한 다양한 기술은 수자원 분야에서 응용이 가능하다. 그 예로써 'PDA를 활용한 유량측정 관리 시스템'과 'ADCP를 활용한 유량측정에서의 PDA 활용' 등을 들 수 있다.

(1) PDA를 활용한 유량측정 관리 시스템

지금까지 일반하천에서의 유량측정으로부터 수집된 자료들의 신뢰도 문제는 수많은 언급되어 왔다. 측정 자료의 신뢰도 저하는 측정 수행자의 잦은 교체 등에 따른 조사역량 부족, 수행자별 유량측정 및 분석방법 상이, 장비의 유속검정 등 관리미흡 및 성능저하, 유량측정 상당시간 경과 후 유량측정성과 정리로 오류 수정 곤란, 유량측정성과의 체계적인 관리미흡 등에 원인이 있다. 이러한 문제점을 실시간으로 자료 전송이 가능한 PDA를 활용함으로써 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

무선 PDA를 활용한 유량측정은 웹 시스템을 통해 유량측정 지점 및 측정회수, 유량측정 계획 등을 확인하고 현장에서 측정된 유량을 PDA에 입력하여 입력된 값을 서버에 전송하게 된다. 전송된 측정유량과 인근 관측소의 실시간 관측유량(참조유량)의 상대오차가 계산되어 PDA를 통해 그 값을 확인할 수 있다. 계산된 상대오차를 활용하여 오차의 원인분석과 재 측정 여부의 판단이 가능하며, 동시에 유량측정성과를 사무실에서 확인 및 출력을 가능하게 한다(그림 5).

한국수자원공사에서는 2002년부터 2003년까지 수자원과 IT기술 통합을 위하여 'PDA를 활용한 유량측정 신뢰도 향상 시스템'을 (주)웹솔루스와 공동으로 개발하여 2004년부터 13개의 댐과 1개의 국가하천 등 총 58개의 지점에서 적용한 결과 1,353개의 현장 측정자료를 실시간으로 DB화 하였으며, 이와 함께 현장 측정 자료의 신뢰도를 향상시키는데 기여하고 있다.

(2) ADCP를 활용한 유량측정에서의 PDA 활용

ADCP는 우리나라에 1990년대 후반부터 도입되기 시작하여 하천에서의 유량측정에 활용되고 있다. 이는 기존 유속계와 비교하여 간편하게 유량을 측정할 수 있는 장점이 있지만 복잡한 절차를 거쳐 유량을 계산하므로 현장 상황과 흐름 상태에 따라 적절한 운용 방법이 요구되는 실정이다. ADCP를 활용한 유량측정시 측정결과를 현장에서 보다 간편하게 조회하

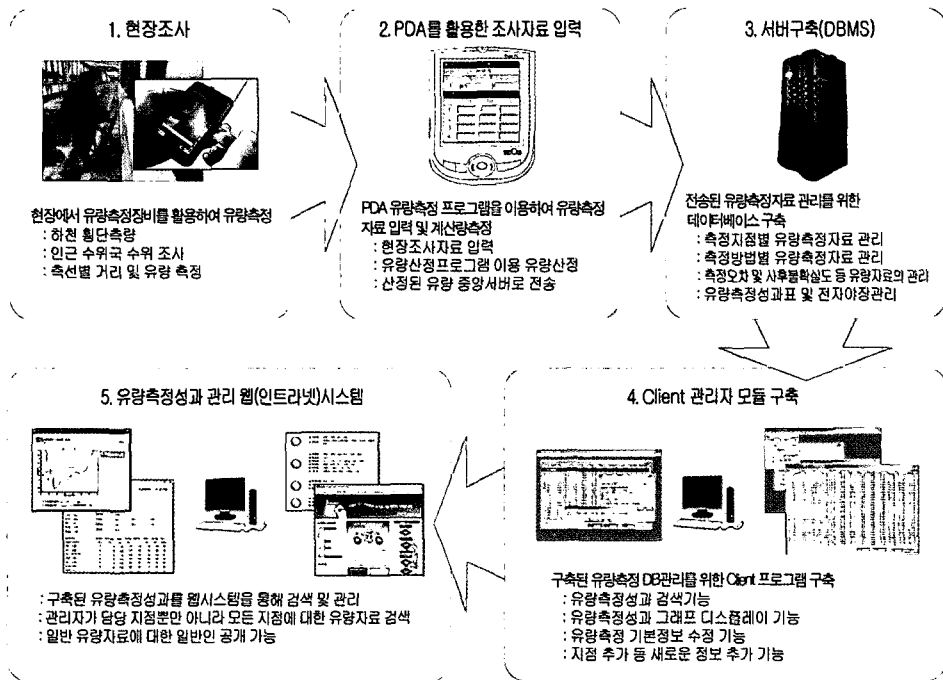


그림 5. PDA를 활용한 유량측정 관리 시스템 구성도



그림 6. ADCP 유량측정시 PDA의 현장 적용

고 과거자료와의 비교, 그리고 현장에서 DB로의 전송이 가능하다면 관측자료의 재측여부와 자료의 보존 측면에서 유용할 것이다. 이는 계측기와 무선 PDA 기술을 활용하여 쌍방향 통신을 통해 데이터를 송·수신하고 수신된 자료를 PDA에서 확인, 관리함으로써 가능해진다.

일례로, 미국 RD Instrument사에서 개발된 StreamPro ADCP에는 PDA 기술을 활용하여 데이터 수집 및 분석이 이루어지고 있다(그림 6). RD Instrument사에 따르면 PDA를 활용시 계측기 및 소프트웨어 셋팅과 사용자의 활용이 편리하며 관측 데이터의 손쉬운 관리와 빠른 분석이 이루어진다고

말하고 있다.

StreamPro의 PDA 기술의 활용은 현장정보를 PDA에 셋팅하는 자가진단 모드에서 출발한다. 이는 현장정보에 대한 파일을 PDA에서 로딩하여 StreamPro 관측 방향별 셀 사이즈, 셀 개수, 단위, 수면에 잠긴 계측기 높이 등에 대한 정보를 셋팅하거나 이러한 정보를 현장에서 직접 입력하는 등 두 가지 방법으로 이루어진다. 그리고 PAD와 ADCP 간의 송·수신 테스트(start ping)를 통하여 테스트된 데이터와 하천 양안에서의 최소 깊이를 검증하므로써 기본적인 셋팅을 마치게 된다. 유량측정이 이루어지면 관측 데이터는 자동으로 PDA로 수신이 되며 관측이 끝난 후에는 현장에서 평균유량, 유속 등의 통계적 분석과 함께 관측자료를 도식적으로 분석이 가능하다. 현장에서의 이동성과 자료의 관리 등을 이루어 볼 때 PDA와 ADCP의 통합 기술은 유량측정에 있어 많은 편리성을 제공할 것으로 판단된다.

2.3 지리정보시스템(GIS) 인프라를 활용한 수문 정보 시스템 구축

GIS는 미국을 필두로 외국 선진국가의 국가기관이나 지방자치정부가 넓은 영토를 효율적으로 관리하기 위하여 도입하게 되었다. GIS 기술이 발전함에 따라 단순한 지도화 및 관리에서 벗어나 수리·수문분야에서의 GIS에 대한 공학적인 적용 가능성에 대한 관심은 점차 증가하게 되었다. 초기에는 배수분구의 구역도식과 수치지도를 활용한 유출흐름 경로의 도식에서 시작하여 최근에는 유역단위의 홍수예정보 및 주요지점에서의 수리·수문자료와 연계하여 활용되고 있다. 이러한 형태로 1980년대 후반부터 선진외국에서는 GIS에 많은 관심을 가지고 적용과 투자가 동시에 이루어져왔다. 대표적인 사례로 미국의 하천예보센터(RFC, River Forecast Center)의 AHPS(Advanced Hydrologic Prediction Service)를 들 수 있다.

AHPS는 웹 시스템을 기반으로 각 예보정보들을 GIS를 활용하여 사용자에게 웹 상에서 정확한 지점

정보와 함께 제공하고 있으며, 홍수 및 가뭄 발생의 크기와 불확실도에 대하여 한 시간 및 한 달 정보를 그래픽을 이용하여 제시하고 있다. 이러한 그래픽 정보들은 경계 및 긴급 상황을 관리하는 관리자들에게 매우 유용한 정보로 활용되고 있다. 생산되는 많은 정보들은 정부기관 및 사기업, 개인이 홍수와 가뭄에 따른 위험정도를 예측하고, 피해저감 정책 및 활동에 대한 의사결정에 활용된다.

현재 AHPS에서 생산되는 정보는 한 시간에서 몇 달 동안의 예보자료를 포함하고 있다. 또한 이는 홍수와 가뭄 발생 가능성에 대한 수치적인 정보를 포함하고 있다. 그리고 하천의 최저 홍수량, 평균 홍수량, 최대 홍수량의 초과 가능 예보정보, 최근 90일 동안의 하천에서의 특정 지점별 수위, 부피, 유량을 초과할 가능성에 대한 정보, 그리고 홍수 발생전 혹은 발생시의 주요 하천지점 주변의 시설물에 대한 정보를 지도에서 제공하고 있다. 또한 AHPS 웹페이지를 통하여 하천을 따라 유역내 다양한 지점별로 다양한 수문학적 정보를 제공하고 있다. 미국전역에 대하여 홍수위험에 대한 예·경보의 정보를 웹 상에서 GIS정보와 함께 도식적으로 제공하고 있다. 그 단계는 홍수발생 가능, 홍수발생 예상, 홍수발생임박 등 3단계로 나누어서 예·경보를 하고 있다. 그리고 대유역에 속해 있는 각 지류의 홍수발생에 대한 정보 제공을 위하여 GIS를 활용한 웹 시스템을 구축하여 운영 중에 있다. 사용자가 원하는 지류의 주요 지점을 클릭하면 관측된 자료를 근간으로 수문곡선 정보를 제공하며 또한 강우예보자료를 활용하여 산정된 수문곡선을 표현함으로써 현재의 수문현황과 과거의 수문현황을 알 수 있다. 이러한 자료는 전문가들이 향후 특정지역의 홍수발생 가능성 및 예·경보 발령을 위한 지표로 활용하고 있다. 이러한 AHPS의 웹 시스템은 미국 전역의 하천 유역에서 관측 지점정보와 함께 관측된 수리수문정보를 GIS 기술과 함께 웹 기술을 연계하여 웹을 통하여 대국민 서비스를 실시하고 있다.

3. 결론

우리나라의 수문자료의 관측과 관리의 문제점은 오랫동안 제기되고 논의되어 왔다. 수자원의 확보와 관리를 위해서는 정확한 수문자료의 관측과 효율적 관리의 필요성은 누구나 알고 있는 사실이다. 지금까지 수자원 학계나 업계에서 이를 위하여 많은 노력을 경주해 왔으며, 향후에는 기상-수자원-IT 등 기술간의 연계와 함께 산·학·연 간의 연계 또한 필요하다. 수자원 분야에서의 IT 기술의 활용과 기상분야와의 연계는 지금보다 더 양질의 수문자료를 생산, 관리할 수 있도록 할 것이다. 앞서 기술된 수자원-IT 기술 통합 사례들은 우리나라 현 단계에서 적용하기 좋은 사례라 사료되며, 적용효과도 기대할만하다. 앞으로 수자원에서의 IT 기술의 활용을 위한 다양한 시도가 이루어진다면 국민과 실무자 및 연구자에게 양질의 서비스를 제공할 뿐만 아니라 우리나라의 물부족 문제와 자연재해를 해결하는데 많은 기여를 할 것으로 사료된다. 또한 수자원 관리와 관측을 위한 첨단화 기술 도입과 활용은 건교부의 '수문조사 선진화

5개년 계획'에서도 언급되듯 지금보다 더 활발한 수자원-IT 통합이 필요함을 단적으로 보여주는 것이며, 이를 통해 도출되는 결과에 대하여 많은 기대를 가져본다.

참고문헌

- 과학기술부(2005). "안양천유역의 물순환 건전화기술 개발"
- 건설교통부(2006). "수문(水文) 조사 선진화 5개년 계획"
- 미국 하천예보센터(RFC). <http://www.noaa.gov/nwsrhc.html>
- 수자원공사(2004). "수문조사 표준화 및 신뢰도 향상 방안"
- 안양천천살리기 기술지원 사업. <http://anyang.river.or.kr/>
- TELEDYNE RD Instruments. <http://www.rdinstruments.com/>