

침단기술을 이용한 하천조사기술 개발



정 창 삼 |

인덕대학교 토목환경설계과 교수
csjeong@induk.ac.kr

1. 서론

최근 대규모 하천 공사에 따라 변화된 수문자료에 대한 요구와 이를 활용한 침단 하천운영의 필요성이 대두되고 있으며, 이런 기술 수요에 부응하기 위해 작년 12월부터 “침단기술기반 하천운영연구단”이 구성되어 관련 연구를 시작한 것은 매우 시기적절한 일이라 할 수 있다. 하천운영의 선진화를 위해서는 다양한 연구가 필요하겠지만, 그 무엇보다 우선하여야 하는 것은 자료의 취득과 후처리를 담당하는 조사기술이라 할 수 있다.

하천 자료의 취득과 관련하여 과거 우리나라는 1911년에 경상남도 산청군 남강변에 위치한 산청수위표를 운영한 이래로 100년의 수문조사 역사를 지니고 있으며, 최근 들어 수자원 분야에 관심이 집중되며 큰 기술적 발달을 이루고 있다. 국내 수문조사와 관련이 있는 행정적 변화의 계기로는 1967년 한국수자원공사 설립, 2005년 하천정보센터 설립, 2007년 유량조사사업단의 설립을 들 수 있다. 기술

적 변화의 계기를 살펴보면 2000년까지는 기존의 강우관측, 수위관측, 봉부자와 유속계를 이용한 아날로그적 조사의 한계를 크게 벗어나지 못하고 있다가, 2001년 들어 “수자원의 지속적 확보기술개발사업단”, 2010년 “차세대홍수방어기술개발 사업”과 같은 R&D사업을 통해 도약이 이루어지고 있다. 이런 상황에서 전년도부터 시작된 “침단기술기반 하천운영연구단 사업”은 다양한 침단 하천조사기술과 네트워크기술을 한 단계 더 도약시키는 계기가 될 것으로 기대되고 있다. 최근 네트워크와 LBS (Location Based Service)로 대변되는 스마트 기술과 각종 침단 센서의 개발은 하천조사 및 네트워킹 기술을 세계적 수준으로 업그레이드하는 원동력이 되고 있으며, 관련 연구를 통해 침단하천운영을 위한 조사기술의 실무화, 표준화, 표준 네트워크 기술 개발 등이 이루어지고 있다.

따라서 본고에서는 “침단기술기반 하천운영연구단 사업”의 세부연구사업인 “침단기술을 이용한 하천조사기술 개발”의 연구내용을 중심으로 하천기술의 연구동향과 연구방향을 소개하고자 한다.

2. 하천조사기술의 변화

하천조사기술은 오랜 역사를 지니고 있으며, 우리나라도 과거에는 측우기, 수표의 발명과 운영 기

록을 통해 수문조사 선진국으로서의 위상을 가지고 있었다. 역사적으로 이정표가 될 만한 기술을 살펴보면 나일강의 수위를 기록하기 위한 Nilometer의 설치 운영(기원전 2000년경), 측우기와 수표의 발명(1441년), 이탈리아인 Leonardo da Vinci(1500년경)의 봉부자 개념 제시, Castelli의 $Q = AV$ 개념 정립(1628년), Woltman의 수평측 유속계 제작 (1790년), Henry의 수직측 유속계 제작 (1868년, 독일인 Ott의 범용 수평측 유속계 발명 (1881년), 미국인 Price의 범용 수직측 유속계 발명 (1882년), Parmer의 자기수위계 발명(1831년), 등을 들 수 있다. 19세기 수문계측기의 발명 이후 일시적인 기술의 정체기가 있었으나, 최근 첨단 센서 및 컴퓨터 기술의 발달로 새로운 도약을 시도하고 있다. 최신의 기술사례를 살펴보면 과거 선형적인 유속 측정과 달리 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)의 개발을 통해 공간 개념의 유속측정으로 변화하여, 측정의 편리성과 정확도 개선의 중요한 계기가 되고 있다. 또한 GPS센서를 통

한 공간정보의 생성과 3G와 LTE로 대변되는 데이터 네트워킹 기술은 실시간 현장 측정과 자료전송을 가능하게 해주는 핵심 기술이 되고 있다.

3. 해외 첨단하천조사 네트워킹 기술 사례

국내뿐 아니라 해외에서도 첨단센서와 통신 및 GIS기술이 연계된 하천조사기술이 많이 연구되어지고 있다. 본 고에서는 첨단 계측센서 네트워킹 분야에 대한 연구사례로 미국 UIUC의 Barbara S. Minsker교수팀의 “Virtual sensor networking” 사례를 소개하고자 한다. Minsker 교수팀은 스마트 기술의 발달로 수자원 계측은 새로운 단계에 진입하고 있다는 판단 하에, 과거에는 구현하기 어려웠던 측정과 네트워크가 가능하여, 기초 수문관측(수위, 유속, 등)과 더불어 수질, 인공위성, 레이더, 수처리 시설, 농업계측시설 등이 모두 통합되어 운영되는 시스템을 구상하고 있으며(그림 2), 현재 관

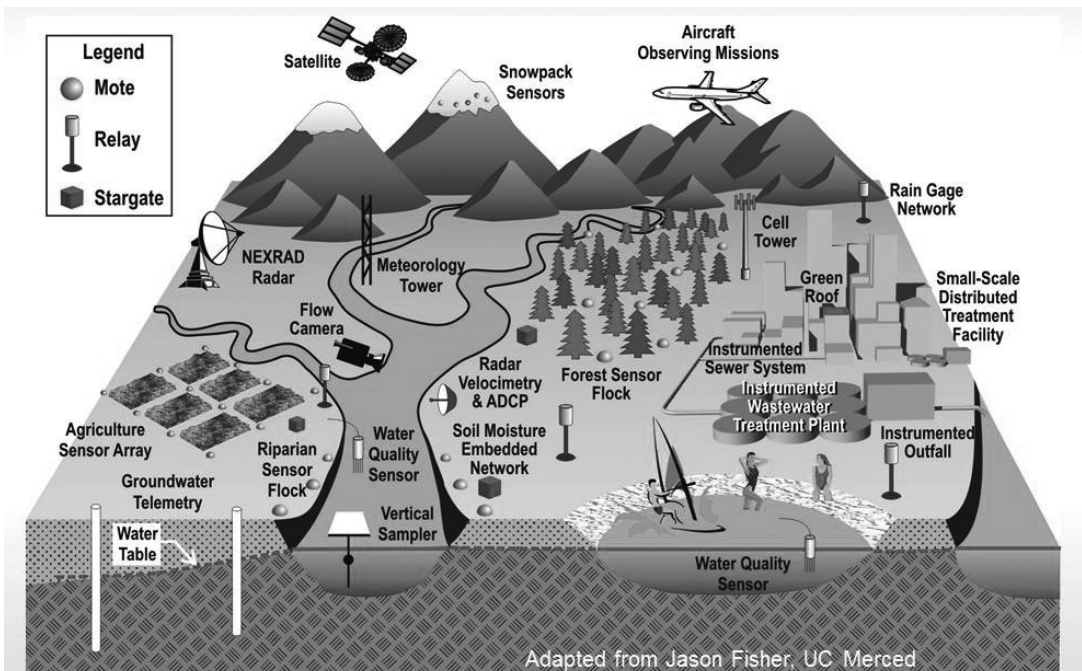


그림 1. 현재 구상 중인 자료 관측 네트워크

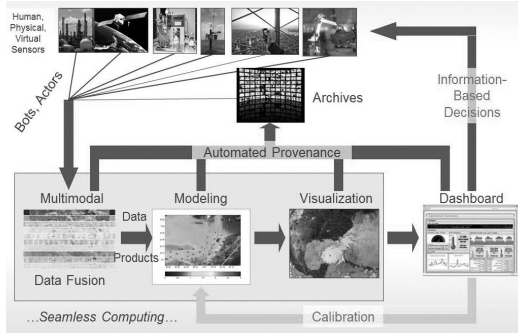


그림 2. 관측에 기반한 의사결정 시스템



그림 3. KML기반 virtual sensor technology

측네트워크와 분석모델이 결합하는 통합 의사결정 시스템의 구성을 목표로 연구가 진행 중에 있다(그림 3).

주목할 만한 기술은 관측 자료를 LBS기반으로 표출하는 “virtual observatory & virtual sensor technology”를 들 수 있다. 현재 미국에서도 연구가 진행 중인 과제로, KML(Keyhole Markup Language) 포맷으로 구글 지도 기반으로 각종 계측 센서 자료를 LBS기반으로 표출하고, 이를 재분석하여 표출하는 시스템으로 구성되어 있다(그림 4). 아직 개발단계에 있으며 시험 운영을 하고 있는 단계로 개발진행 내용을 웹으로 확인할 수 있다(<http://cet.ncsa.uiuc.edu/projects/treccChicagoWatershed.html>). 다만, 미국에서도 아직 연구가 진행되고 있어 우리의 기술개발에 좋은 비교대상이 될 것으로 판단된다.

이외에도 수문계측분야에서는 최근 ADCP를 이용하여 유량 측정 목적 외에도 유속이나 난류 측정, 유사 농도 측정 등에 응용하는 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 최근에 이루어진 연구 가운데 몇 가지를 살펴보면 Adler and Nicodemus (2001)은 평균 유속 벡터를 계산하기 위해 ADCP로 측정된 자료를 후처리 하는 소프트웨어를 개발하였으며, Muste et al. (2002)는 ADCP 측정 결과를 후처리하여 유속 벡터를 산출하는 연구를 수행한 사례가 있다. Barua and Rahman (1998)은 인도 Bramaputra 강에서의 측정을 통해 난류 강도와

같은 모멘트를 산정하기 위해서는 고정된 위치에서 15분 이상의 지속적인 측정이 필요함을 지적하였으며, Muste et al. (2002, 2004)은 고정식으로 ADCP를 운용하고 적절한 후처리 과정을 거칠 경우 난류를 산정할 수 있음을 보여주었다. Nystrom et al. (2002)는 ADCP가 가지는 기기상의 특성으로 인해 발생하는 난류 측정시의 오차를 지적하였으며, 최근에는 ADCP의 반사파(backscatter) 강도를 이용하여 소류사의 이동속도나 부류사의 농도를 측정하는 시도가 이루어졌다(Rennie et al., 2002; Holmes and Garcia, 2002; Nystrom and Gary, 2003). 이러한 연구 이외에도 다양한 연구가 이루어지고 있으며, 다양한 사례에 대한 기술 조사가 이루어지고 있다.

4. 첨단기술을 이용한 하천조사기술 연구사업

작년 12월부터 “첨단기술기반 하천운영연구단”의 세부 연구로 “첨단기술을 이용한 하천조사기술” 개발 과제가 진행 중에 있다. 본 연구과제의 목표는 최신 기술로 개발되고 있는 각종 수자원 계측 기술을 현장에 접목하여, 이를 실무에서 직접 활용할 수 있는 기술을 개발하는 것이다. 이를 위해서는 크게 두 가지의 기술이 필요한데, 하나는 현장계측기에서 생성되는 정보에 대한 사후 처리기술의 개발이며, 다른 하나의 기술은 처리되거나 원시 생성된 정

보를 실시간으로 **네트워킹** 하여 온라인화 하는 기술이다.

수자원 계측은 크게 고정식과 이동식으로 구분되는데, 고정식은 하천의 교량 등에 설치된 수위계, 유량계, 수질 측정기 등을 들 수 있으며, 이동식은 수자원 프론티어 사업에서 개발된 R2V2나 각종 이동식 유속계, 수질측정기 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 고정식 계측기보다 최근 개발이 집중되고 있는 **이동식 계측기**에 집중하고 있다. 이동식 계측기의 경우 과거에는 야장이나 현장 데이터 로거, 노트북 등과 결합하여 수많은 수작업을 통해 자료를 온라인화 하였지만, 본 연구에서는 최신 스마트 기술을 활용하여 실시간으로 측정 자료를 온라인화 하는 기술을 개발하고 있다. 최근 스마트폰을 통해 상용화된 LBS(Location Based Service)와 같은 실시간 위치정보를 계측정보와 결합하여 살아있는 수문정보를 누구나 쉽게 생성하고 또한 이를 쉽게 활용할 수 있도록 자동화하는 기술로 스마트폰으로 촉발된 스마트 혁명을 수자원분야에서 적용하는 기술이다.

1차년도에는 4대강 공사 이후 관심이 집중되고 있는 하상모니터링 분야에 대해 ADCP센서의 측정 자료를 후처리하여 하상변화 및 유속정보를 생성하고 정확도를 개선하는 기술개발과 이를 Geo-tagging이라 명명한 LBS 기술로 실시간 전송하는 네트워킹 기술 개발에 연구 역량을 집중하고 있다.

4.1 ADCP의 정확도 개선 및 활용 기술 개발 (후처리 기술 개선)

최근 ADCP를 이용하여 하천을 횡단하면서 유속 프로파일과 수심을 측정하여 유량을 측정하는 방법이 널리 활용되고 있다. 하지만, ADCP를 하천에서 이용할 때 수면하 10%, 하상위 10%는 ADCP를 이용하여 정확하게 유속을 측정하기가 어렵기 때문에 이론적인 가정에 근거한 유량산정 방법을 통하여 구하고 있다. 따라서 최신의 유량측정 방법이라고

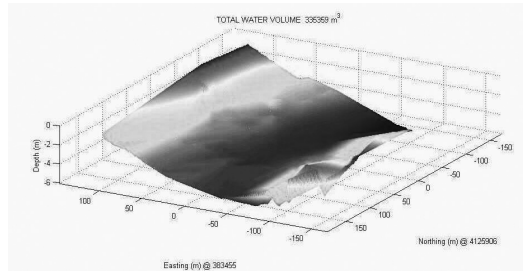


그림 4. 본 과제에서 개발 중인 하상변동 모니터링 기술

하더라도 기본적으로 20% 정도의 유량측정 에러를 포함할 가능성이 많고 실제로도 5-15% 정도의 측정오차를 갖는 것이 일반적이다. 이러한 오차 개선에 관한 연구는 ADCP와 같은 첨단장비의 활용도를 높이는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 판단하여 본 연구에서는 ADCP와 프론티어 사업을 통해 개발된 원격유량계측보트를 이용하여 하천의 유량 측정 정확도를 확보할 수 있는 기술과 더불어 하상 변화도 동시에 모니터링 할 수 있는 기술을 개발하고 있다.

4.2 LBS기술을 활용한 Geo-Tagging기술 (현장 측정자료 실시간 네트워킹 기술) 개발

일반적으로 하천 계측기는 고정식과 이동식으로 구분할 수 있는데, 고정식의 경우 위치 정보가 고정되어 분석이 용이한 반면, 이동식의 경우 계측지점에 대한 정확한 위치정보를 얻기 어려워 오차가 발생되는 단점이 있다. 하지만, GPS의 상용화와 스마트폰의 보급으로 인한 LBS(Location Based Service) 기반의 정보생성이 가능하여 이동식 계측의 혁신이 이루어지고 있다. 또한 고정식의 경우 유무선 네트워킹이 이루어지고 있는데 비해 이동식의 경우 야장이나 데이터로거, 노트북 등에 의해 자료를 수집 후 실내에서의 후처리를 통해 이루어졌지만, 최근 3G 데이터 통신 기술과 LTE 등의 기술보급으로 실시간 데이터 네트워킹을 위한 기반이 갖추어진 상황이다. 따라서 이러한 LBS기반의 이동식 계측기의 실시간 네트워킹을 구현하기 위해서는

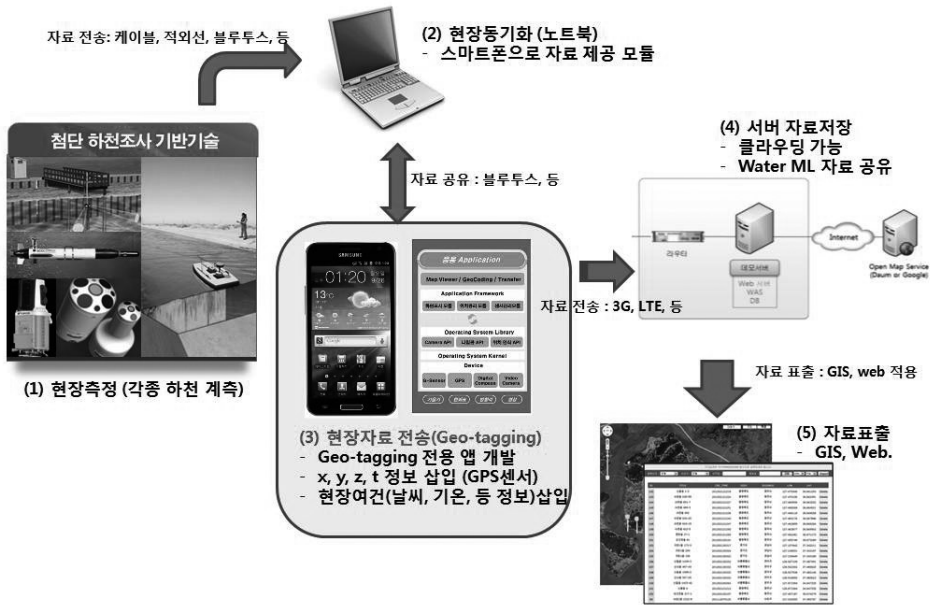


그림 5. Geo-tagging 기술의 개념도

아래와 같은 몇 가지 기술이 필요하다.

- 1) 현장 측정 지점에 대한 위치 정보 취득: 위치 정보 (x,y,z), 시간, 현장 상황, 등 (아래 3)
- 2) 측정 자료와 위치정보의 결합 및 실시간 전송 : Geo-tagging기술, 3G, LTE, 등 통신 기술
- 3) 전송된 정보의 후처리 및 저장 : 서버 관리기술, 이상치 자동 필터 기술, 등 (아래 4)
- 4) 후처리된 정보의 표출 : Google 맵 등 GIS 표출 기술, KML layer 표출 기술 (아래 5)

이를 좀 더 세밀히 살펴보면

- 스마트폰의 센서를 이용하여 측정 장소의 경위도 좌표, 방위정보 등의 위치정보를 수집
- 스마트폰은 또한 측정 현장의 사진, 날짜, 시간, 위도 등 현장의 부가 정보를 수집할 수 있으며, 작성자 및 계측장비 등 추가정보를 입력할 수 있음
- 계측장비의 측정 자료와 이에 대한 위치, 영상, 추가 정보 등이 결합되어 3G, 혹은 LTE

통신을 통해 서버로 전송되어 DB에 저장되고 관리됨

- 스마트폰의 자료를 서버로 전송하기 위해 스마트폰-서버간의 통신 서비스가 정의되며, 정의된 웹서비스에 의해 관련 기능이 구현되고 자료 전송이 이루어짐
- 현장의 계측정보와 부가정보를 관리하고 서비스하기 위한 데모서버가 구축되며, 서버는 크게 WEB서버, WAS서버, DB서버로 구성됨
- LBS 기반의 서비스를 위한 맵 서비스는 Goole맵 (KML) 또는 Daum에서 제공되는 Open Map API를 사용하게 됨
- 서버에 저장된 정보를 서비스하기 위해 홈페이지가 운영되며, 지도 화면을 통해 측정 위치를 확인하고 상세내용 확인을 위해 특정 자료를 선택할 수 있음
- 선택된 측정 위치에 대한 날짜, 시간, 작성자 등 부가 정보를 조회할 수 있도록 제공하며, 해당 위치에서 계측 장비를 통해 측정된 계측 정보를 사용자의 PC로 전송

현재 본 연구팀에서는 이러한 일련의 과정을 **Geo-tagging 기술**로 명명하고 시범 시스템을 구축 중에 있으며 시범 시스템이 구축되고 나면 향후에는 시스템의 개선과 표준화, 활용성 개선, 범용성, 등에 주안점을 맞추고 연구를 진행할 예정이다.

5. 결론

앞에서 살펴본 바와 같이 다양한 첨단기술을 이용하여 하천운영을 선진화하기위한 수문조사 및 네

트기술이 개발되어지고 있다. 현재의 연구 시도가 이미 타 분야에서 개발된 기술이라고 하거나 실효성이 떨어진다는 지적을 할 수도 있겠지만, 저자가 판단하기에는 아직 하천의 첨단 운영을 위해 국내에서 실시간 네트워킹과 첨단계측이 실제 적용된 사례는 전무한 편이다. 첨단 하천운영이 단기간에 정착되기에는 어려움이 있겠지만, 본 연구를 통해 표준안을 마련하고 실용성과 정확도 개선 노력을 통해 4대강 공사 이후 사회가 우리 수자원 분야에 요구하고 있는 하천관리 선진화의 숙제를 해결해 나가기 위해 최선을 다할 것이다. ☺

참고문헌

1. Adler, M. and Nicodemus, U. (2001). "A new computer model for evaluation of data from acoustic doppler current profiler (ADCP)." *Physics and Chemistry of the Earth(C)*, 26(10-12), 711-715.
2. Muller, D. S. (2002). "Field assessment of acoustic-doppler based discharge measurements" *Hydraulic Measurements & Experimental Methods*, ASCE-IAHR Joint Conference, Estes Park, CO.
3. Muste, M, Yu, K., Pratt, T. C. and Abraham, D. (2002). "ADCP measurements at fixed river locations." *Hydraulic Measurements & Experimental Methods*, ASCE-IAHR Joint Conference, Estes Park, CO.
4. Muste, M, Yu, K., Pratt, T. C. and Abraham, D. (2004). "Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; part I :moving-vessel measurements." *Flow Measurement and Instrumentation*, 15(1), 1-16.
5. Nystrom, E. A., Oberg, K. A. and Rehmann, C. R.(2002). "Measurement of turbulence with acoustic Doppler current profilers-Source of error and laboratory results." *Hydraulic Measurements & Experimental Methods*, ASCE-IAHR Joint Conference, Estes Park, CO.
6. Nystrom, E. and Wall, G. (2003). "ADCP measurement of suspended sediment in the tidal Hudson River." *USGS Surface Water Conference*.
7. Rennie, C. D., Millar, R. G. and Church, M. A. (2002). "Measurement of bedload velocity using an acoustic Doppler current profiler." *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(5), 473-483.