

수문관측 자동화 기술



김 원 >>

한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원, 공학박사
wonkim@kict.re.kr



김치영 >>

한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원
cy_kim@kict.re.kr

1. 머리말

수문관측은 우량, 수위, 유량 등을 측정하는 것으로 물관리를 위해 가장 기초적이면서도 중요하다고 할 수 있다. 우리나라에서는 조선시대에 측우기를 시작으로 오래 동안 수문관측을 실시하고 있다. 수문관측의 결과는 매우 중요하게 사용되기 때문에 충분하면서도 정확한 자료가 필요하다. 많은 나라에서 이와 같은 요구를 충족하기 위해 노력하고 있지만 수문관측은 여러 가지 근본적인 한계를 지니고 있는 것이 사실이다.

수문관측의 가장 큰 한계가 자연현상의 불규칙성이다. 공장이나 실험실에서는 모든 불필요한 조건을 제한하기 때문에 매우 정확한 계측이 이루어질 수 있지만 하천과 같은 자연조건에서 정확한 측정을 수행하는 것은 매우 어렵다. 수위나 유속의 경우 하상이라는 경계조건에 따라 계속해서 변화하며, 시간에 따라 일정하지 않고 연속적으로 변화한다. 또한 홍수와 같이 예측할 수 없는 외부변수가 많아서 일정한 측정

의 한계로 작용하고 있다. 이로 인해 지금까지 수문관측을 위해서는 많은 사람과 시간, 비용이 소요되었으며, 충분한 정확도를 확보하지도 못하였다.

최근들어 전세계적으로 수문관측과 관련하여 진행되고 있는 큰 변화의 방향은 자동화이다. 전자, 전기 기술과 정보통신 기술의 발달을 수문관측 분야에 적용하여 자동적으로 수문관측이 이루어지고 실시간으로 모든 정보가 수집되는 시스템을 구성하려는 연구가 진행중이다. 모든 측정을 자동화하여 사람이 필요한 부분을 최소화하면서도 정확도를 향상시키려는 노력이 전세계적으로 진행중에 있다.

본 고에서는 수문관측 자동화와 관련하여 최근에 개발된 기술을 살펴보고자 한다.

2. 자동 수문관측 기술

2.1 영상수위계

영상수위계는 최근에 많이 일반화되고 있는 영상처리기술을 이용하여 자동적으로 수위를 측정하는 장비이다. 이 장비는 최근에 한국건설기술연구원에서 하이테크시스템(주)와 공동으로 개발한 것이다. 영상수위계는 카메라에 의해서 수위표를 촬영하여 직접 수위값으로 변환하는 원리를 사용하고 있어서, 기존 수위측정 시설과는 달리 수위표를 직접 눈으로 확인할 수 있는 장점이 있다.

영상수위계는 카메라가 상하로 이동하면서 수위표를 촬영하여 수면 위치를 인식하고, 인식된 수면부근의 수위표 영상을 취득한 후 수면부근의 수위표 문자를 인식한다. 인식된 문자와 수면 위치에 대한 정보

로부터 수위값으로 전환하여 하천 수위를 획득한다. 이와 같은 과정은 카메라가 수위표를 촬영하는 즉시 이루어지기 때문에 바로 수위값으로 전환되어 사용자에게 전달된다. 또한 필요한 경우 조명을 이용하기 때문에 야간 수위측정에 문제가 없으며, 비가 오는 중에도 측정할 수 있다. 영상 수위계는 홍수시와 같이 수면 파랑이 심한 경우에도 일정 시간동안 연속적으로 촬영하여 평균된 값을 수위로 측정하기 때문에 홍수시에도 정확한 측정이 가능하다.

영상수위계는 카메라로 수위표를 촬영하여 수위를 측정하기 때문에 수위값 뿐만 아니라 수위표 영상을 동시에 취득할 수 있는 장점을 지니고 있다. 이로 인해 수위표를 육안으로 확인할 수 있기 때문에 측정된 수위를 검증할 수 있어 수위측정의 정확성을 한층 높일 수 있다. 그리고 수위표 영상과 더불어 수위표 주

변의 전체 영상을 동시에 촬영하여 실시간으로 전송하기 때문에 홍수시에 하천 상황에 대한 모니터링의 목적으로 사용될 수 있다.

또한 영상수위계는 우물통 등을 이용하는 기존 방법과 비교하여 구조물이 필요 없어 설치 비용이 저렴하고, 영상에 의한 하천 모니터링 기능을 자체적으로 가지고 있기 때문에 효율적이라고 할 수 있다.

영상수위계는 기존 수위측정 방법과는 달리 영상에 의해 측정하기 때문에 기존 방법이 가지고 있지 못한 육안 확인 가능, 하천 모니터링 동시 수행, 경제적 비용 절감, 비접촉 방식으로 홍수에 대한 수위계의 안정성, 온도와 같은 주변 상황 변화에 무관 등 여러 가지 장점을 지니고 있다. 이와 같은 장점을 이용할 경우 방재, 홍수관리, 물관리, 수질관리 등에 효과적으로 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

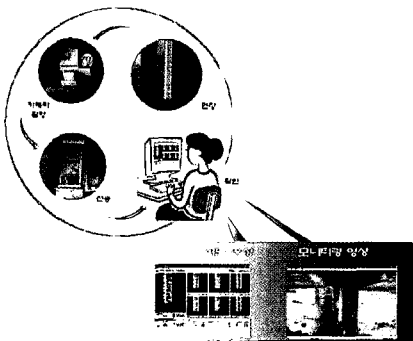


그림 1. 영상수위계 운영

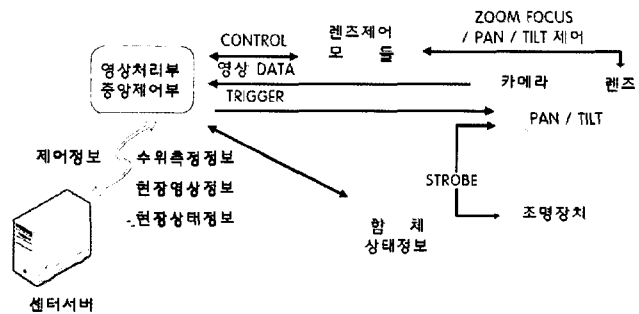
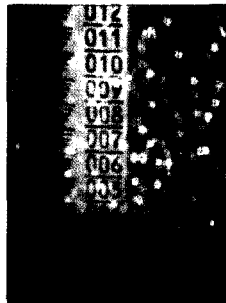


그림 2. 영상 수위계의 구성



야간영상



우중영상



주간영상

그림 3. 상황에 따른 영상수위계 영상

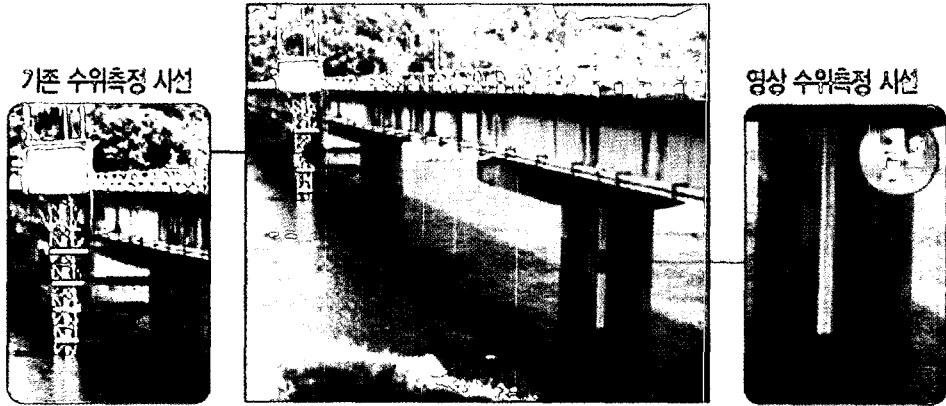


그림 4. 영상 수위 측정 시설과 기존 측정시설

2.2 유속지수법

최근에 초음파 유량계와 더불어 자동 유량측정 기법으로 각광을 받고 있는 기법이 유속지수법(index velocity method)이다. 유속지수법의 원리는 매우 간단하다. 수위 기록을 통하여 수위-면적 관계로부터 유수 단면적을 구할 수 있고, 유속이 단면의 평균 유속과 관계지어질 수 있다면, 유수 단면적과 평균 유속에 의해 연속적으로 유량을 구할 수 있다. 수위-단면적 관계는 측량을 통하여 구할 수 있고, 유속지수-평균유속 관계는 유량측정과 유속지수의 동시 측정을 통하여 구할 수 있다.

유속지수법에서 가장 중요한 것이 전체 평균 유속을 대표할 수 있는 지표 유속을 정확하고 효율적으로 측정하는 것이다. 유속지수법에 의한 연속 유량측정 목적으로 최근에 ADVM(Acoustic Doppler Velocity Meter)이 개발되어 이용되고 있다. ADVM은 수중에 초음파를 발사해서 산란체에서 반사되어 돌아오는 초음파의 주파수 편이, 즉 도플러 효과를 이용하여 유속을 측정하는 유속계이다.

유속지수법을 활용하면 기존의 수위만을 이용한 유량산정보다 더 정확하게 유량을 연속적으로 산정할 수 있는 장점이 있다. 유속지수법의 정확도는 지점 특성에 따라 다르지만 기존 방법에 비해 정확한 것으로 알

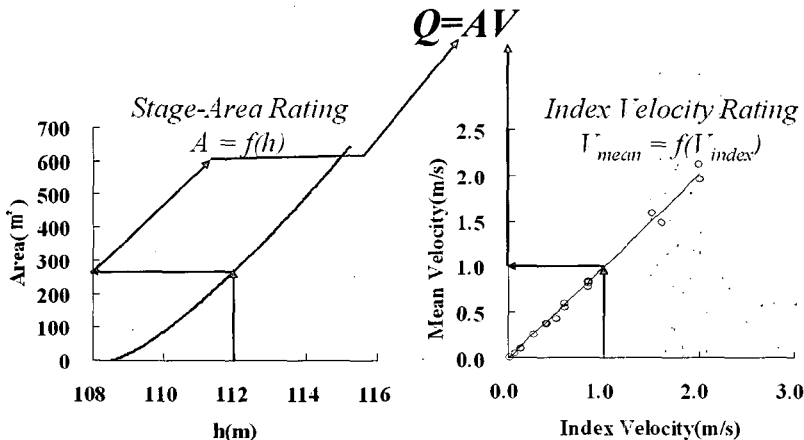


그림 5. 유속지수법의 측정 원리

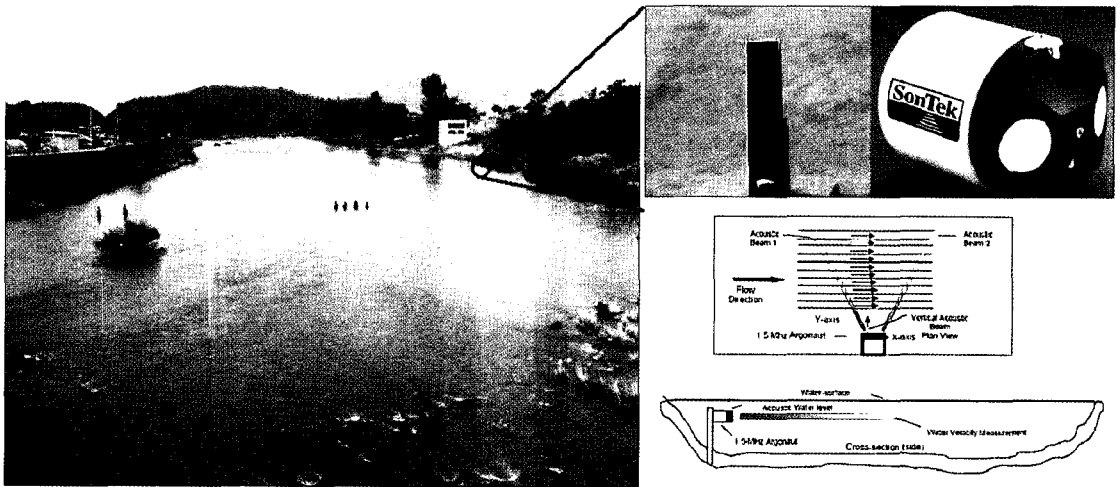


그림 6. 유속지수법 설치 사례

려져 있다. 또한 수위-유량 관계가 고리형으로 나타나는 경우에도 효과적으로 적용할 수 있는 장점이 있다.

2.3 ADCP

ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)는 유수의 흐름을 방해하지 않으면서 수중에 발사된 음파의 도플러 효과를 이용하여 유량을 측정하는 장비이다. ADCP를 이용한 유량측정은 하천을 횡단하면서 유량을 측정하므로 유속-면적법에 의한 유량측정에 비해 인력과 시간이 절감되어 미국과 유럽 등의

외국에서는 평·저수기 유량측정에 점차 활용이 늘어나고 있다. 국내에서도 90년대 후반에 도입되어 수년간 측정이 이루어졌으며, 최근 여러 기관에서 사용하여 정확성과 적용성이 평가되고 있다.

ADCP 측정 방법은 이동 측정법(moving-vessel method)과 정지 측정법(fixed-vessel method)이 있다. 이동 측정법은 하천을 횡단하면서 유량을 측정하는 방법으로 도플러 효과를 이용하여 하천의 유속의 결정하기 위해서는 하상추적 혹은 GPS 추적에 의해 보트 이동속도를 결정해야 한다. 정지 측정법은 통상적인 유속-면적법처럼 ADCP를 일정한 간격의

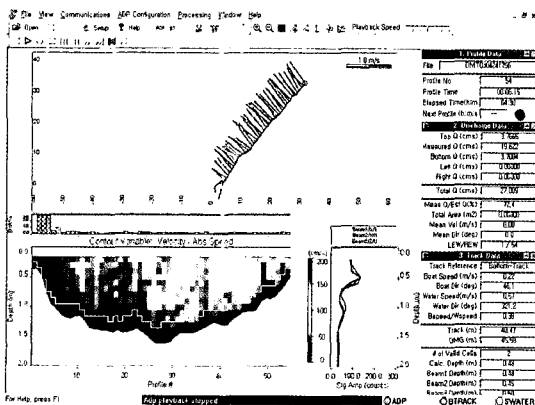


그림 7. ADCP 측정 결과

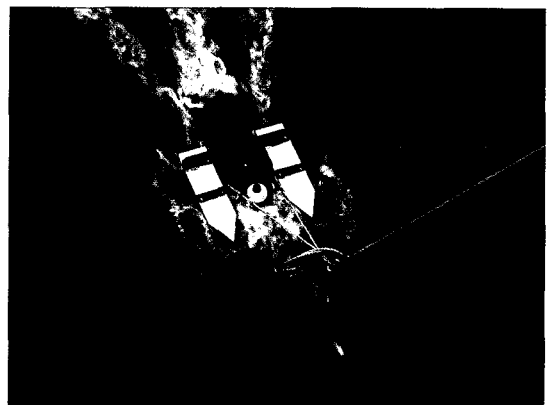


그림 8. ADCP 정지측정법

측선에 고정시켜 놓고 유량을 측정하는 방법이다. 정지 측정법은 이동 측정법 사용에 어려움이 있는 홍수 측정이 가능하다는 장점을 지니고 있고, 이동 하상에서도 측정할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 하지만

유속-면적법과 마찬가지로 20개 이상의 측선에서 측정을 수행해야하기 때문에 시간이 다소 많이 소요된다는 단점을 지니고 있다.

최근의 연구에 의하며 ADCP는 댐방류량 대비 약 5% 정도의 오차를 지니고 있어 비교적 정확하게 유량을 측정할 수 있는 것으로 평가받고 있다(이찬주 등, 2005).

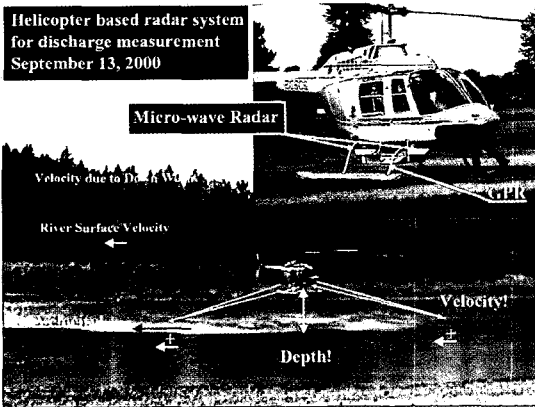


그림 9. 헬기에 의한 유량측정

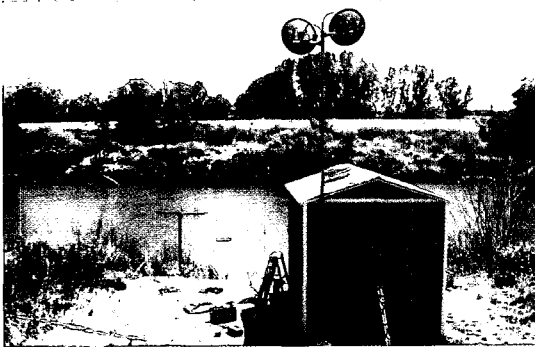


그림 10. 레이더 유속계

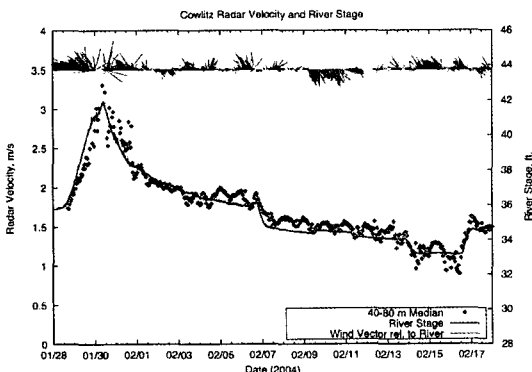


그림 11. 레이더 유속계 측정사례

2.4 헬기를 이용한 유량측정

최근 개발되고 있는 신기술 중 하나는 레이더 기술을 이용하여 수위, 하상단면, 유속을 측정하는 기술이다. GPR(ground-penetrating radar)과 레이더를 이용한 유량측정 방법 중 대표적인 것이 헬기에 GPR과 레이더를 동시에 탑재하여 헬기가 하천을 횡단하게 되면 하천 단면자료와 표면 유속자료가 바로 수집되는 방법이다.

비접촉식 GPR에 의해 하상단면을 얻는데 성공한 대표적인 경우는 미국 USGS에서 유량측정을 하는 동안 저주파 레이더(100kHz)로 하상형상을 측정하는 것이다. 이 방법은 헬기를 이용하는 만큼 헬기의 횡단속도와 수면으로부터 높이가 매우 중요하다. 이상적인 헬기속도는 3knot이고, 수면으로부터 높이는 3~5m인 것으로 나타났으며, 미국 Cowlitz강에서 유속-면적법, ADCP 측정결과와 비교한 결과 약 5% 정도의 상대오차를 지닌 것으로 나타났다. 또한 이 연구는 일본에서도 진행 중인데 최적의 레이더 주파수를 설정하는 것과 신호분산에 대한 전기적인 전도도의 영향을 결정하는 것이다(과학기술부, 2004).

2.5 GPR과 레이더 유속계를 이용한 유량측정

GPR과 레이더 유속계를 이용한 비접촉 유량측정 방법 중 다른 하나는 하천에 레이더 유속계를 고정 설치하고 GPR을 이용해 하천 단면 자료를 획득하는 방법이다. 이 방법은 홍수시 유량측정이 용이하고 GPR을 이용하므로 빠른 시간에 비접촉으로 하도를



그림 12. 표면유속 측정 개념

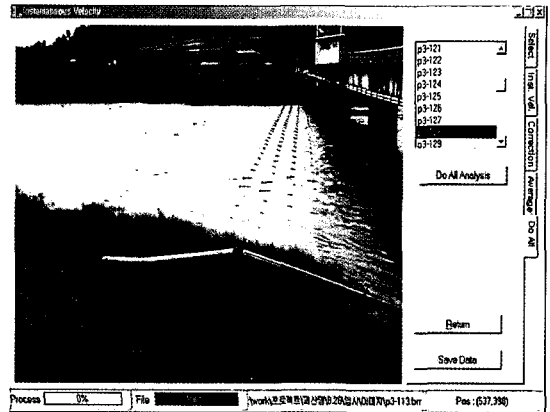


그림 13. LSIV에 의한 표면유속 측정

횡단함으로써 하상의 형태를 파악하고 측량할 수 있다. 그리고 하도횡단 측량과 유속측정이 동시에 이루어지므로 홍수시 하상이 심하게 변하는 하천에서 사용하기에 적합하다.

이 방법은 먼저 측정된 표면유속을 평균유속으로 환산하여야 하는데 환산계수는 일반적으로 0.85가 사용된다. 미국 Skagit 강에서 GPR과 레이더 유속계로 측정된 결과와 ADCP 측정결과를 비교한 결과 평균 4.7%의 차이를 나타낸 것으로 보고되었다. 이 방법은 평균 유속 환산 방법의 개선이 필요하며, 바람벡터를 이용해서 표면유속, 평균유속 환산 관계를 보다 정확하게 산정하는 것도 필요하다(과학기술부, 2004).

2.6 LSIV

LSIV(Large Scale Image Velocimetry)는 영상 분석을 통한 유속 측정 기법인 PIV(Particle Image Velocimetry)기법을 실제 하천에 적용하여 유속을 측정하기 위한 새로운 영상 측정 기법의 하나이다. PIV기법은 영상획득 및 영상처리, 유속장 추출 등 일련의 분석 과정을 효과적으로 수행하기 위해서는 디지털 영상처리기술 및 고속의 처리속도를 필요로 한다. 최근 디지털 영상처리기술은 컴퓨터 관련기술과 병행하여 급속도로 발전하여 왔으며, 유동장의 영상 처리를 신속하고도, 정도 높게 그리고 경제적으로 수

행할 수 있게 되었다(한국건설기술원, 2006).

LSIV기법은 PIV기법을 하천 현장에 적용함으로써, PIV 기법이 갖는 측정의 장점을 최대한 이용하여 유속을 측정하기 위한 기법이다. 하천에 PIV 기법을 적용하기 위해서는 카메라의 촬영과정에서 발생하는 영상왜곡을 처리하는 기술, 특별한 추적입자의 사용 없이도 표면유속을 산정하는 기술 등이 필요하다.

LSIV는 댐 방류량과 비교한 결과 7%의 내외의 오차가 발생하는 것으로 나타났으며, 평균오차 4% 정도의 정확도를 보이는 것으로 나타났다(노영신, 2004). LSIV는 대하천에 대한 적용, 야간 측정, 악천후시 적용 등을 위한 연구가 진행중으로 이와 같은 문제를 해결하면 매우 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 마무리

본 고에서는 최근에 전세계적으로 진행되고 있는 수문조사 자동화 기술에 대해서 살펴보았다. 전기, 전자 기술, IT 기술의 발달과 더불어 과거에는 불가능한 것으로 생각했던 수문관측의 자동화가 활발하게 진행되고 있다. 영상처리 기술을 활용하여 유속이나 수위를 측정하는 방법, 하천 단면에 대한 3차원 유속을 측정하고 이를 이용하여 바로 유량을 산정하는 방

법, 유량측정을 위해 헬기를 사용하는 방법, 레이더 기술을 이용하는 방법 등은 수문관측의 오랜 역사에 새로운 전기를 제공하고 있다.

아직까지 첨단기술이 적용되는 부분은 넓지 않으며, 적용성에도 한계를 지니고 있는 것이 사실이나 '수문관측 자동화'라는 큰 방향은 확실하게 정해졌으며, 이를 위한 많은 기술이 개발되고 있다. 우리나라는 전자 기술이나 정보통신 인프라가 매우 잘 발달되어 있기 때문에 수문관측 자동화를 위한 충분한 잠재성을 보유하고 있다. 현재의 상황에서 수문관측 분야를 발전시킬 수 있는 것은 전자기술 자체라기 보다는 발달된 전자기술을 수문관측에 충분히 활용하려는 시도일 것이다. 수문관측과 전기/전자 기술의 융합, 수문관측과 정보통신기술의 융합과 같이 기존 기술의 활용을 통해서 수문관측 분야도 많은 발전이 이루어질 것으로 전망되고 있다.

참고문헌

- 과학기술부(2004). 지표수 조사기술 개발보고서, 21세기 프론티어 연구개발사업-수자원의 지속적 확보기술개발사업단
- 한국건설기술연구원(2005). 지표수조사시스템 적용-요약보고서, 21세기 프론티어 연구개발사업-수자원의 지속적 확보기술개발사업단
- 한국건설기술연구원(2006). 지표수조사시스템 적용-요약보고서, 21세기 프론티어 연구개발사업-수자원의 지속적 확보기술개발사업단
- 노영신(2004). 영상해석 기술을 이용한 하천 유량측정 기법 개발, 박사학위 논문, 명지대학교
- 이찬주, 김원, 김치영, 김동구 (2005). ADCP를 이용한 유속과 유량측정, 한국수자원학회 논문집, 제 38권, 제10호, pp 811-824