

## 새로운 수문관측 기술의 개발



김 원 ▶▶▶

한국건설기술연구원  
하천·해안연구실 책임연구원  
wonkim@kict.re.kr



김 치 영 ▶▶▶

한국건설기술연구원  
하천·해안연구실 연구원  
cy\_kim@kict.re.kr



이 찬 주 ▶▶▶

한국건설기술연구원  
하천·해안연구실 연구원  
c0gnitum@kict.re.kr



김 동 구 ▶▶▶

한국건설기술연구원  
하천·해안연구실 연구원  
kimdg@kict.re.kr

### 1. 서 론

수문관측은 우량, 수위, 유량 등을 측정하는 것으로 물관리를 위해 가장 기초적이면서도 중요하다고 할

수 있다. 우리나라에서는 조선시대에 측우기를 시작으로 오랜 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 측정이 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 측정의 한계로 작용하고 있다. 이로 인해 지금까지 수문관측을 위해서 많은 사람과 시간, 비용이 소요되었지만 충분한 정확도를 확보하지는 못하였다.

최근 들어 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 진행 중이다. 모든 측정을 자동화하여 사람이 필요한 부분을 최소화하면서도 정확도를 향상시키려는 노력이 전세계적으로 진행 중에 있다. 본 고에서는 국내에서 진행되고 있는 새로운 수문관측 기술을 소개하고자 한다.

## 2. 새로운 수문관측기술

### 2.1 영상수위계

영상수위계는 최근에 많이 일반화되고 있는 영상 처리기술을 이용하여 자동적으로 수위를 측정하는 장비이다. 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 정보로부터 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 정확한 측정이 가능하다.

영상수위계는 1mm 단위로 측정할 수 있는 측정 정밀도를 가지고 있고, 수위표를 직접 촬영하여 측정하기 때문에 정확성을 확보할 수 있다. 또한 수위표

를 육안으로 확인할 수 있기 때문에 수위계가 수위를 정확하게 측정하고 있는지를 실시간으로 확인할 수 있다. 영상수위계는 비접촉식인 장점을 지니고 있으며, 기온, 대기압 등 주변환경에 영향을 전혀 받지 않기 때문에 보다 정확한 측정이 가능하다. 동절기 결빙에 의한 센서 손상의 우려가 없기 때문에 동절기에도 운영이 가능하고, 국내 개발 제품으로 유지관리 용이성이 있으며, 유지관리 비용도 절감할 수 있다. 무엇보다 CCTV를 활용하여 수위측정과 하천 화상 감시가 동시에 가능해 매우 효율적인 방법이다. 영상수위계는 관측소 구조물 설치비가 절감되기 때문에 수위관측소 설치비 비용을 획기적으로 낮출 수 있다. 이와 같은 장점을 이용할 경우 방재, 홍수관리, 물 관리, 수질 관리 등에 효과적으로 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

### 2.2 방오수위표

해양 및 일반 하천의 수위의 상시 측정을 위해 자동 측정방식을 채택하여 수위를 측정하고 있다. 그러나 이러한 자동 수위 측정 장치들은 기준값에 의한 보정이 필요하다. 이러한 기준 수위계는 육안으로 관측할 수 있는 목자판이 보편적으로 이용되어왔다. 그러나 하천에 설치된 목자판은 조류 혹은 부착 오염물질에 의해 쉽게 오염이 되어 육안으로 식별을 할 수 없는 경우가 많기 때문에 육안 관측을 위해 주기적으로 현장

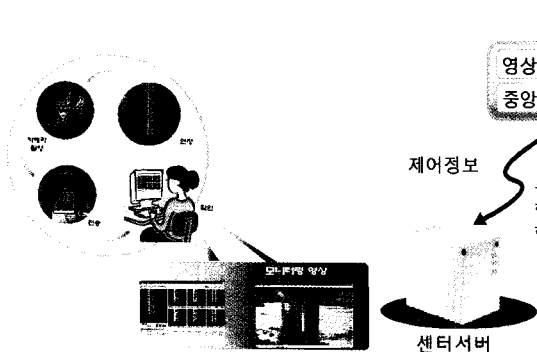


그림 1. 영상수위계 운영

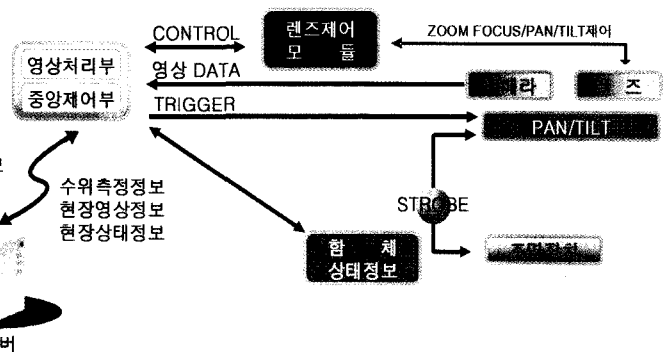


그림 2. 영상수위계 구성

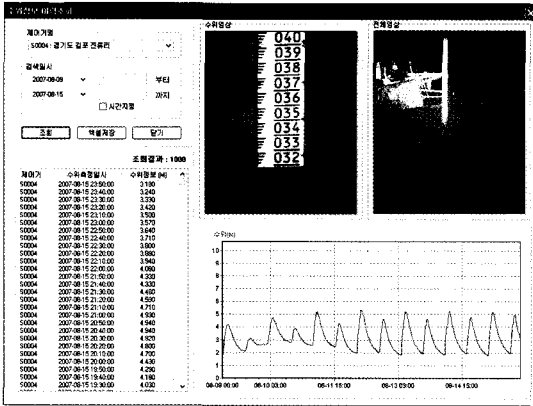


그림 3. 한강 전류지점 운영결과

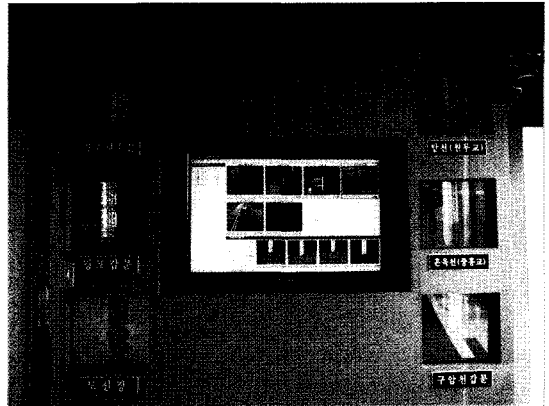


그림 4. 군산시청 영상수위계측시스템

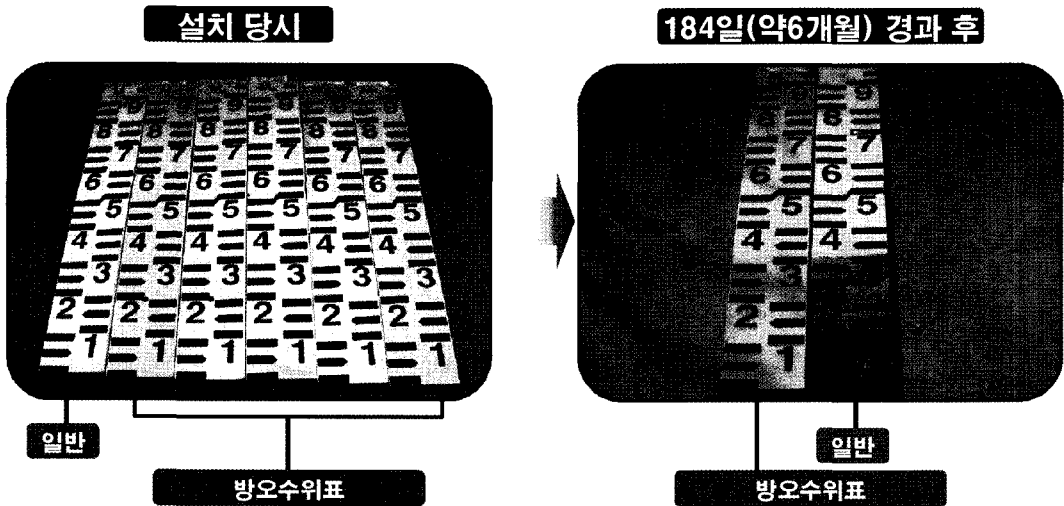


그림 5. 방오수위표 성능 시험 결과(곡률천)

을 방문하여 청소하고 있다.

일반적으로 하천, 댐 수위를 측정하는 목자판은 알루미늄 판, 스테인레스 판, 혹은 철판에 수위를 측정할 수 있도록 도료로 눈금을 표시하고, 뒷판에 목재를 덧대어 강도를 증가시키고 있다. 최근에는 하천 유속 및 유사에 의한 굽힘 현상을 방지하기 위해 표면을 법랑질 처리하여 그 기능을 향상시키고 있다. 하지만 이들 수위표는 조류가 수위표 표면에 착생하

여 눈금을 읽을 수 없는 한계를 지니고 있다.

방오수위표는 조류의 성장과 부착 방지를 위하여 특수 음이온 세라믹 분말을 사용하여 광촉매와 같이 하이드록실 라디칼 이온과 수퍼 옥사이드 이온을 방출시키지만 광촉매보다 다량의 음이온을 방출시키고, 특수물질을 첨가하여 보다 그 기능이 강화된 수위표이다.

### 2.3 유속지수법 적용 기술

최근에 초음파 유량계와 더불어 자동 유량측정 기법으로 주목을 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(그림 6).

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.

유속지수법에서 가장 중요한 것은 평균유속을 대표할 수 있는 지표유속을 정확하고 효율적으로 측정하는 것이다. 유속지수법을 활용하면 기존의 수위만을 이용한 유량산정보다 더 정확하게 유량을 연속적으로 산정할 수 있는 장점이 있다. 유속지수법의 경우 연속적으로 유속을 측정하기 때문에 홍수기에 수위-유량관계가 고리형으로 나타나는 경우에도 효과적으로 적용할 수 있는 장점이 있다.

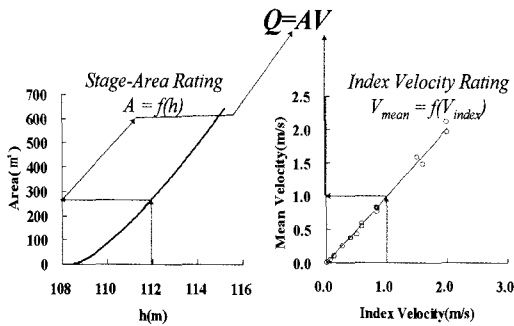


그림 6. 유속지수법의 측정 원리

### 2.4 초음파 유량계 적용 기술

이동 시간차 방식의 초음파 유속계(UVM)와 수위

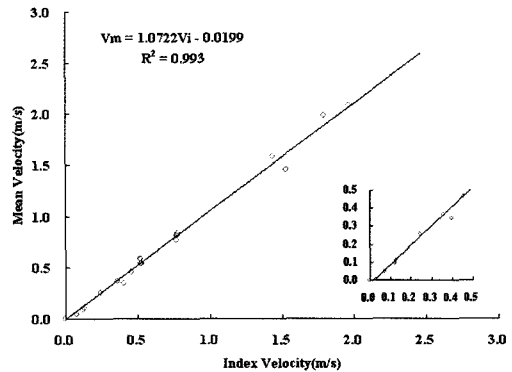


그림 7. 유속지수-평균유속 관계(괴산)

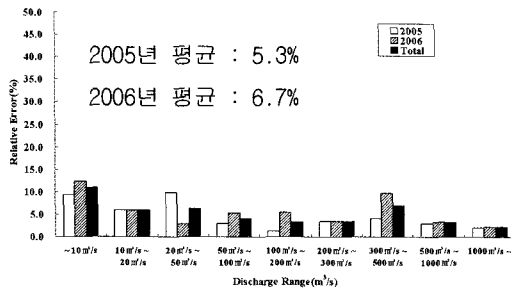


그림 8. 유속 지수법

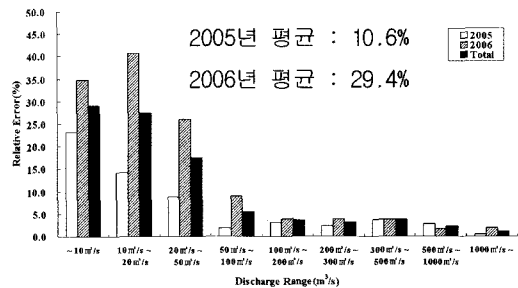


그림 9. 수위-유량 관계 곡선법

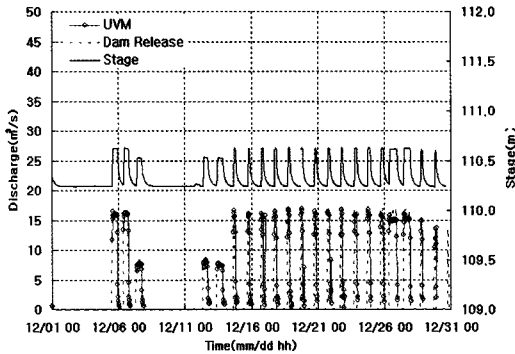


그림 10. 유량측정 결과(2005년 12월)

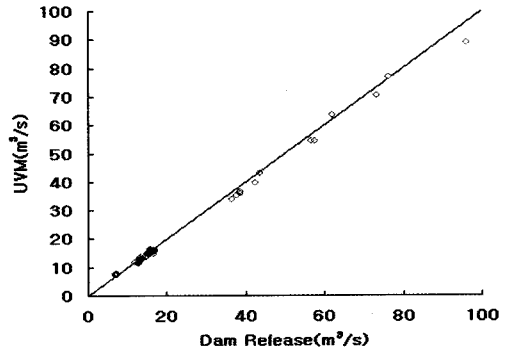


그림 11. 측정 유량 VS. 방류량 비교

계를 이용하여 실시간으로 유량을 측정하는 방법이 초음파 유량계(Ultrasonic Flow Meter)이다. 초음파 유속계는 하천 반대편에 흐름방향에 경사지게 초음파를 발사하여 반대편 변환기에서 수신하고, 다시 반대편으로 초음파를 발사하여 수신한 시간차를 기록하여 주어진 깊이에서 유속을 측정하는 기법이다. 하류로 내려가는 음파는 음향 축선과 평행한 유속성분 때문에 상류로 올라가는 음파보다 빠른 속도를 가진다. 이를 이용하여 주어진 깊이의 횡단선을 따른 유속을 측정한다. 현장 적용 결과에 의하면 5-10%의 불확실도에 의해 유량측정이 가능한 것으로 나타났다.

### 2.5 기존보를 이용한 유량측정 기술

하천의 임의 단면을 흐르고 있는 하천 유량을 직접 연속적으로 측정한다는 것은 기술적으로 뿐 만 아니라

경제적인 면에서 대단히 어려운 일이다. 따라서 비교적 연속 측정이 용이한 하천 수위를 연속적으로 측정하여 수위-유량관계에 의해 유량으로 환산하여 사용하는 것이 보편적이다. 그러나 이러한 수위-유량관계는 통계특성의 변화 등으로 인해 변화하고, 이러한 관계가 변하면 새로운 수위-유량관계를 개발하여야 한다.

기존보를 이용한 유량측정 기술은 하천을 횡단하는 구조물에 의해 수위-유량관계가 규정되기 때문에 홍수 등으로 인한 하상변동이 없다. 따라서 한번 개발된 수위-유량관계는 시간적으로 변화하지 않기 때문에 매우 경제적인 방법이다.

기존보를 이용한 유량측정 기술 중 하나로 한계류가 발생하는 보마루에 연직 유속분포와 수위를 측정할 수 있는 장치를 설치하여 유속면적법에 의해 유량을 산정하는 방법이 있다. 이 방법은 센서의 측정 가능

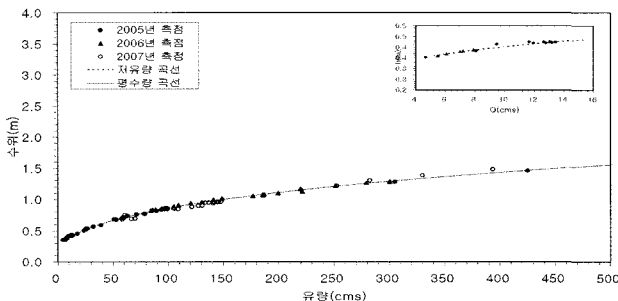


그림 12. 수위-유량관계 곡선 개발 및 적용(달천 대수보)

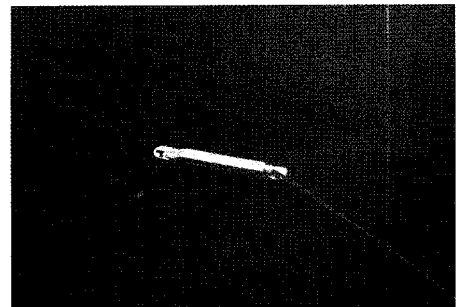


그림 13. 유속실측 유량계산 장치

범위에서 수위에 관계없이 측정이 가능하며, 별도의 유량측정이 필요 없어 경제적으로 유리하다. 또한 보에 의한 통제로 인해 하상 변화 등에 의한 흐름 특성 변화가 없기 때문에 안정적이면서 지속적으로 측정이 가능한 특성을 지니고 있다.

### 2.6 ADCP를 이용한 유량측정 기술

ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)는 유수의 흐름을 방해하지 않으면서 수중에 발사된 음파의 도플러 효과를 이용하여 유속과 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. 또한 ADCP는 수위와 유량 변화가 급격하여 신속한 측정이 필요한 지점이나 일반적인 유속-면적법의 적용이 곤란한 대하천의 유량 측정에 널리 사용되고 있다. 2005년 기준으로 미국 USGS에서는 전체 유량측정 지점의 약 23%에서 ADCP를 적용하여 유량 측정을 실시하고 있거나 실시하였다. 국내에서도 90년대 후반에 도입되어 수 년간 측정이 이루어졌으며, 최근 여러 기관에서 사용하여 정확성과 적용성이 평가되고 있다.

ADCP를 이용한 유량측정 방법은 이동측정법(moving-vessel method)과 정지측정법(fixed-vessel method)으로 구분된다. 이동측정법은 하천을 횡단하면서 유량을 측정하는 방법으로 신속한 측정,

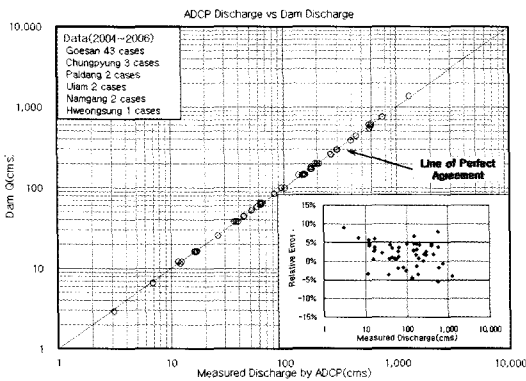


그림 14. 댐방류량과 ADCP의 비교

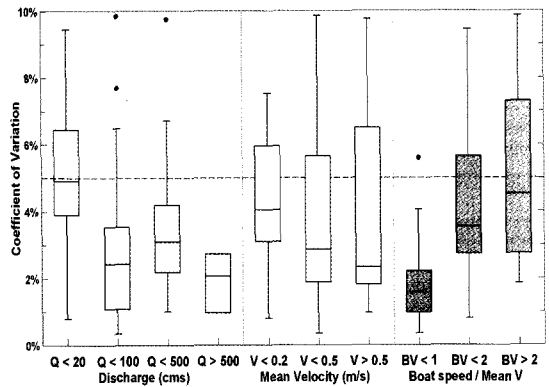


그림 15. 유량, 유속, 보트속도와 변동계수

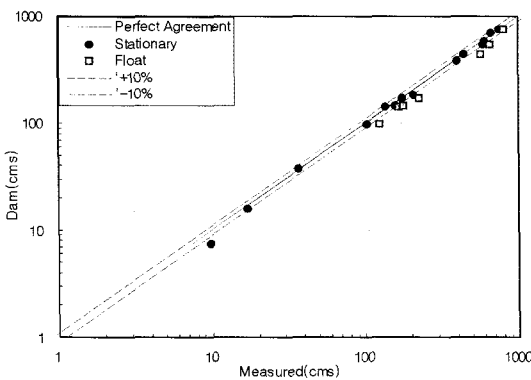


그림 16. 댐방류량과 정지측정법 비교

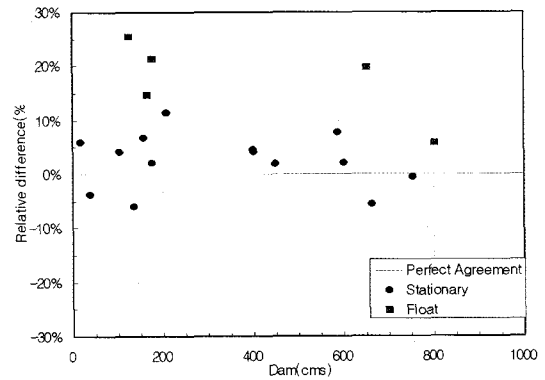


그림 17. 정지측정법과 부자법의 비교

대하천 측정, 감조구간 측정이 가능한 방법이다. 정지측정법은 이동측정법 사용이 곤란한 홍수시에도 측정이 가능한 방법으로서 유속-면적법의 개념을 응용한 방법이다.

### 2.7 전자부자

부자에 의한 유량측정은 일정거리를 유하하는 부자의 유하시간을 측정하여 평균유속을 구하고, 사전에 측량된 횡단면으로부터 유하한 개별 부자의 해당 단면적을 구하여 부분 단면적을 구한다. 구해진 개별 부자의 평균유속과 부분 단면적을 곱하여 부분유량을 산출한 후, 각 부분유량을 합하여 전체 유량을 계산한다. 이와같은 부자법은 유속-면적법이 가지고 있는 흐름 단면적 계산, 평균유속 계산의 불확실도 이외에 유하경로에 의한 불확실도, 부자 유하 시간의 불확실도, 유속 보정 계수의 불확실도 등을 포함한다.

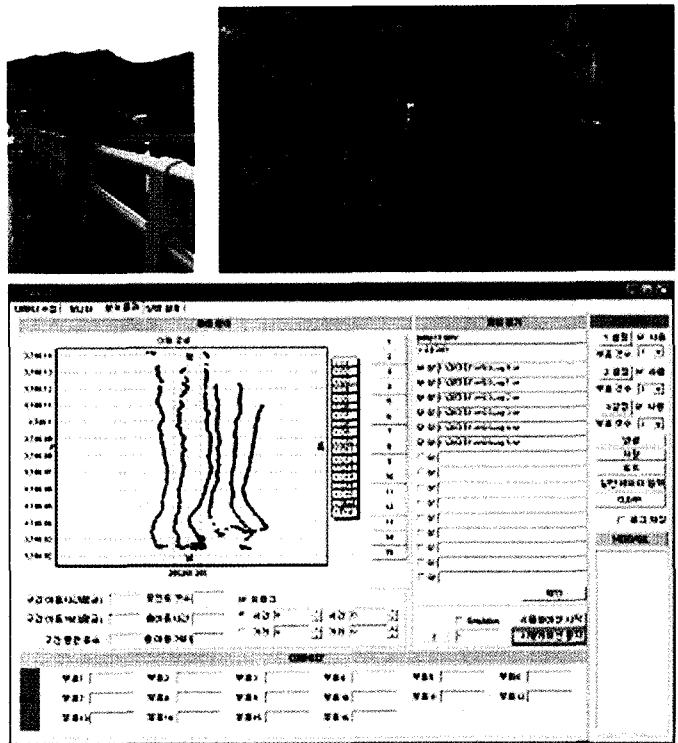
기존 홍수 유량측정에 사용하고 있는 부자법은 육안에 의해 부자의 위치를 파악하고, 가상의 횡단선을 통과할 때 육안으로 관측하여 유하시간을 측정하는 방법이기 때문에 정확한 유량측정에 한계가 있다. 뿐만 아니라 측정에 다수의 인원이 필요하며, 홍수시 많은 비가 내리거나, 야간에 측정하는 경우에는 부자의 식별이 곤란하고 측정 여건이 불량하기 때문에 측정에 큰 애로가 있다.

GPS를 이용한 전자부자는 자동으로 유속을 측정하기 위해 기존 홍수유량 측정에 사용하던 부자에 전자장치를 추가하는 것을 말한다. 전자부자는 기존 육안에 의한 방식보다 자동으로 정확한 유속 측정이 가능하며, 동시에 여러 개의 봉부자 사용이 가능하여 측정시간 절감이 가능하고, 비가 내리거나 야간에도 자동으로 측정이 가능한 특징을 지니고 있다.

### 2.8 LSPIV를 이용한 유량측정 기술 개발

LSPIV(Large Scale Particle 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 영상처리를 신속하고도, 정도 높게 그리고 경제적으로 수행할 수 있게 되었다.

하천에 PIV 기법을 적용하기 위해서는 카메라의 촬영과정에서 발생하는 영상왜곡을 처리하는 기술, 특별한 추적입자의 사용없이도 표면유속을 산정하는 기술 등이 필요하다(그림 19, 20). LSPIV는 현재 대



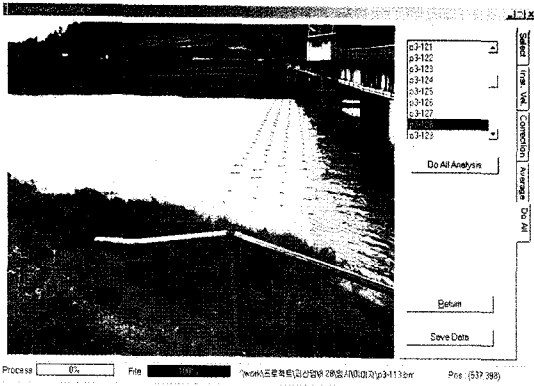


그림 19. LSPIV에 의한 표면유속 측정

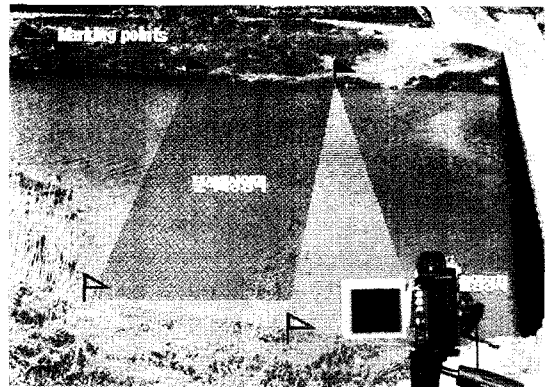


그림 20. LSPIV의 개념

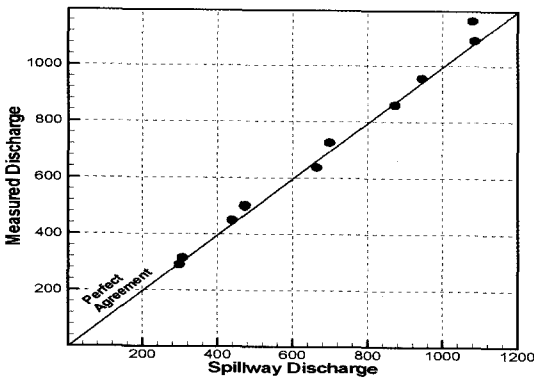


그림 21. 댐방류량과 LSPIV 비교

하천에 대한 적용, 야간 측정, 바람에 의한 영향 고려, 악천후시의 적용 등을 위한 후속 연구가 진행되고 있으며, 이같은 문제를 해결하면 매우 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 3. 결론

본 고에서는 최근에 개발된 국내에서 개발되거나 연구중인 수문관측 기술에 대해 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 유속

을 측정하고 이를 이용하여 바로 유량을 산정하는 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.

### 강사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다(과제번호 2-1-3).