

# 영상수위계 실용화

## Practical Application of Image Stage Gauge

김 원\*, 김치영\*\*, 이찬주\*\*\*, 김동구\*\*\*\*

Won Kim·Chi Young Kim·Chan Joo Lee·Dong Gu Kim

### 요 지

하천 수위 측정을 위해서 우물통을 기본으로 하는 부자식, 초음파식, 기포식, 압력식, 레이더식 등 다양한 장비가 사용되고 있다. 이와 같은 장비는 모두 간접적인 방법으로 수위를 측정하기 때문에 기준값을 바탕으로 보정이 필요하며, 장비의 특성에 따라 여러 가지 장단점을 지니고 있다. 부자식의 경우 오래 전부터 사용되어 안정적으로 수위를 측정할 수 있는 것으로 평가되고는 있으나 우물통 막힘 등으로 인해 오측 혹은 결측이 발생하는 경우가 있다. 최근에 많이 사용되고 있는 센서식 장비의 경우에는 센서에 대한 정기적인 보정이 필요하며, 일부 장비의 경우 온도에 따라 측정값이 변화하는 단점이 있다. 수위 측정 방식은 접촉식과 비접촉식으로 나누어 볼 수 있다. 접촉식의 경우 물속에 센서가 위치하고 있기 때문에 홍수시 센서 유실 및 고장의 우려가 있으며, 잦은 고장의 원인이 되기도 한다. 비접촉 방식인 초음파나 레이더 수위계의 경우 온도에 따라 보정이 필요하거나 수면과의 거리에 커지면 오차가 커지는 경향을 지니고 있다. 또한 이와 같은 간접방식에 의한 수위측정 방법은 수위가 많이 변화하는 경우 실제 수위와 측정되는 수위가 일치하는지를 확인하는 것이 불가능한 단점도 있다.

본 연구에서는 최근에 많이 일반화되고 있는 영상처리 기술을 이용하여 자동적으로 수위를 측정하는 장비인 영상수위계를 개발하였다. 영상수위계는 카메라(CCTV 포함)에 의해서 수위표를 촬영하여 직접 수위값으로 변환하는 원리를 사용하고 있어서 기존 수위측정 시설과는 달리 수위표를 직접 눈으로 확인할 수 있는 장점이 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 주변의 전체 영상을 동시에 촬영하여 실시간으로 전송하기 때문에 홍수시 하천 상황에 대한 모니터링 목적으로 사용될 수 있다.

본 연구에서 개발한 영상수위계는 한강홍수통제소 관할의 전류, 청담대교 등 4개소, 낙동강 홍수통제소 2개소, 지차채 등에 적용되었으며, 적용 결과 비교적 안정적이면서 정확하게 수위를 측정하는 것으로 나타났다. 한편 기존 CCD 카메라 이외에 CCTV를 이용한 영상수위계를 개발하여 영상의 화질 개선뿐 아니라 하천 화상 감시 기능을 강화하였다.

**핵심용어** : 수위계, 영상처리, 화상감시, CCTV

### 1. 서 론

하천의 수위는 물의 양을 파악하기 위한 목적 뿐만 아니라 홍수예보, 제방 등 하천시설물 설계, 방재업무, 수질관리 등을 위해 매우 중요한 정보이다. 수위자료의 중요성은 오래전부터 인식되어 많은 수위 측정 장비가 개발되어 운영되고 있다. 현재 하천 수위 측정을 위해서는 우물통을 기본으로 하는 부자식, 초음파식, 기포식, 압력식, 레이더식 등 다양한 장비가 사용되고 있다. 이와 같은 장비는 모두 간접적인 방법으로 수위를 측정하기 때문에 기준값을 바탕으로 보정이 필요하며, 장비의 특성에 따라 여러 가지 장단점을 지니

\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원·공학박사·Email : wonkim@kict.re.kr  
\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·Email : cy\_kim@kict.re.kr  
\*\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·Email : c0gnitum@kict.re.kr  
\*\*\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·Email : kimdg@kict.re.kr

고 있다. 부자식의 경우 오래 전부터 사용되어 안정적으로 수위를 측정할 수 있으나 우물통 막힘 등으로 인해 오측이나 결측이 발생하는 경우가 있다. 최근에 많이 사용되고 있는 센서식 장비의 경우는 센서의 정기적인 보정이 필요하며, 일부 장비의 경우 온도에 따라 측정값이 변화하는 단점이 있다. 또한 대부분의 경우 물속에 센서가 위치하고 있기 때문에 홍수시 센서 유실 및 고장의 우려가 있으며, 잦은 고장의 원인이 되기도 한다. 이와 같은 간접방식에 의한 수위측정 방법은 수위가 많이 변화하는 경우 실제 수위와 측정되는 수위가 일치하는지를 확인하는 것이 불가능한 단점도 있다.

최근에는 모든 정보의 수집, 관리 등이 첨단기술에 의해 이루어지고 있다. 영상수위계는 기존 수위계의 단점을 보완하기 위해 영상처리(image processing) 기술을 이용하여 자동적으로 수위를 측정하는 장비이다.

## 2. 측정원리

### 2.1 측정과정

영상수위계는 카메라가 촬영한 영상을 분석하여 수면을 인식하고, 수위표의 수치와 비교하여 수위를 숫자로 변환하는 기본원리를 바탕으로 개발되었다. 영상수위계의 측정원리 및 절차는 다음과 같다(그림 1 참조).

- ① 카메라가 상하로 이동하면서 수위표를 촬영하여 수면 위치를 인식한다.
- ② 수면이 위치한 부분을 촬영한다.
- ③ 촬영된 영상을 이진화 영상으로 전환한다.
- ④ 이진화된 영상에서 수면의 위치를 인식한다.
- ⑤ 이진화된 영상에서 수위표 문자를 인식한다.
- ⑥ 수면의 위치를 수위값으로 전환한다.

이와 같은 과정은 카메라가 수위표를 촬영하는 즉시 이루어지기 때문에 바로 수위값으로 전환되어 사용자에게 전달된다. 필요한 경우 자동적으로 조명을 점멸하기 때문에 야간에도 수위를 측정할 수 있다. 또한 CDMA, 전용선 등을 통해 측정된 결과(수위값, 수위표 영상, 수위표 주위 전체 영상 등)를 실시간으로 전송한다. 영상수위계는 홍수시와 같이 수위가 일정하지 않고 변화가 심할 경우에는 사용자에게 의해 지정된 시간 동안 연속적으로 촬영하여 평균된 값을 수위로 측정하기 때문에 홍수에도 정확한 수위측정이 가능하다.

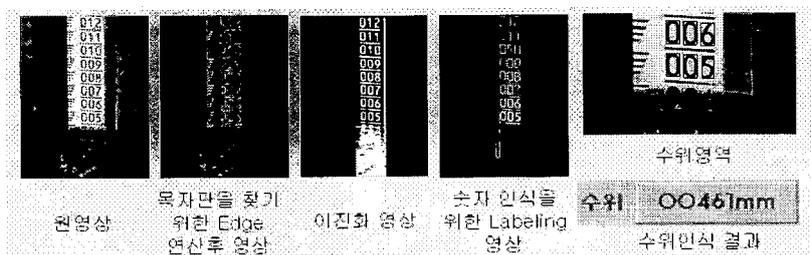


그림 1 영상을 숫자로 인식하는 과정

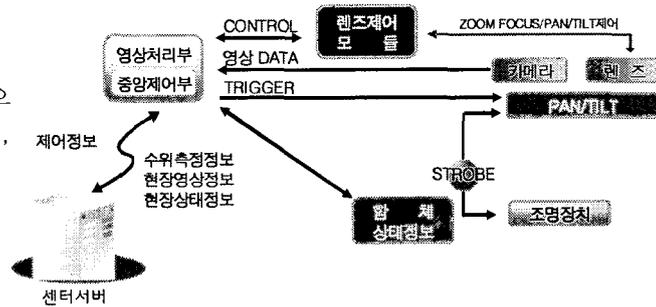
### 2.2 측정결과

영상수위계는 카메라로 영상을 촬영하여 수위를 측정하기 때문에 수위값 뿐만 아니라 수위표 영상을 동시에 측정하는 장점이 있다. 영상수위계에 의해 측정되어 사용자에게 실시간으로 전달되는 결과는 다음과 같다.

- ① 수위값 - 카메라가 촬영한 수위표의 영상을 바탕으로 인식된 현장 수위값
- ② 수위표 영상 - 수면이 위치하고 있는 수위표의 영상
- ③ 수위표 주위 영상 - 수위표가 위치하고 있는 주위 전체 영상

### 3. 시스템 구성

영상수위계의 구성은 다음 그림 2와 같으며, 크게 센터 서버부, 영상처리 및 제어부, 카메라부로 구성된다.



### 4. 영상수위계 특징

그림 2 영상수위계 시스템 구성

영상수위계는 현장의 수위표를 직접 눈으로 확인할 수 있기 때문에 결측이나 오측을 크게 줄일 수 있으며, 과거에 촬영된 영상을 이용하여 측정된 수위정보의 정확도를 확인할 수 있는 장점도 있다. 영상수위계의 장점은 다음과 같이 정리될 수 있다.

- ① 정확성 - 영상수위계는 1mm 단위로 수위를 측정할 수 있으며, 눈으로 수위표를 직접 볼 수 있기 때문에 정확한 수위를 측정할 수 있다.
- ② 효율성 - 수위와 영상을 동시에 측정하기 때문에 효율적으로 수위를 측정할 수 있다.
- ③ 경제성 - 우물통과 같은 기존 방법에 비해 경제적이다.

### 5. 영상수위계 측정결과 비교

#### 5.1 수위 측정 결과

영상수위계는 우물통과 같은 구조물을 이용하여 정수 상태에서 측정하는 것이 아니기 때문에 수위 측정시 반드시 수면진동이 동반된다. 이러한 수면진동의 범위는 홍수기와 같이 유량이 증가하면 수면 진동이 커지는 경향을 나타낸다. 영상수위계는 이러한 수면 진동이 존재하는 상황에서 해당 시점의 평균 수위를 획득하기 위해 20회 이상 촬영하여 측정값을 평균하도록 시스템이 구성되어 있다.

그림 6과 그림 7은 해당 시점에 측정된 20개의 자료를 연속적으로 도시한 것이다. 그림 6의 한 측정 자료를 검토해보면 평균 수위 0.339m에 대하여 수면진동으로 최대 0.346m, 최소 0.330m, 표준편차 0.004m로 평균에 대하여 산포함을 알 수 있다. 마찬가지로 그림 7에서 나타냈듯이 평균수위 0.481m 사상은 산포 범위가 증가하여 표준편차 0.009m를 나타냈다.

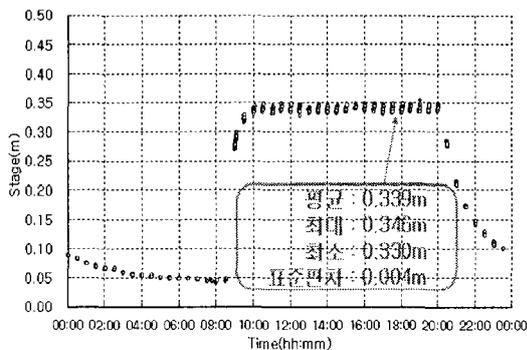


그림 3 수위측정 및 수면진동 평균

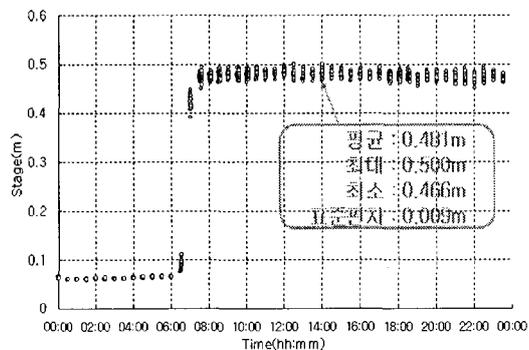


그림 4 수위측정 및 수면진동 평균

## 5.2 수위 측정 결과 비교

영상 수위계를 2005년 9월에 설치하여 현재까지 운영하고 있으며, 운영 결과는 2005년 측정 결과는 그림 5에 건교부 부자식 수위계와 같이 제시하였다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 비교적 안정적으로 운영되고 있으며, 건교부 부자식 수위계와 비교했을 때 정확하게 측정되는 것으로 평가된다. 그림에서 확인되듯이 낮은 수위에서 측정된 결과가 TM 관측 수위와 약간의 차이를 보이는 것은 무방류 상태에서 부자식 수위계가 0.08m 아래로 낮아지지 않는 것에서 기인한다.

그림 6은 2006년도 홍수기 주요 측정 자료를 나타낸 것이다. 그림 6은 영상수위계 측정지점에 부자식, 기포식 등의 수위계를 추가로 설치하여 비교한 것이다. 그림 6에서 볼 수 있는바와 같이 각종 수위계로 측정된 결과가 거의 일치하는 경향을 나타내고 있다.

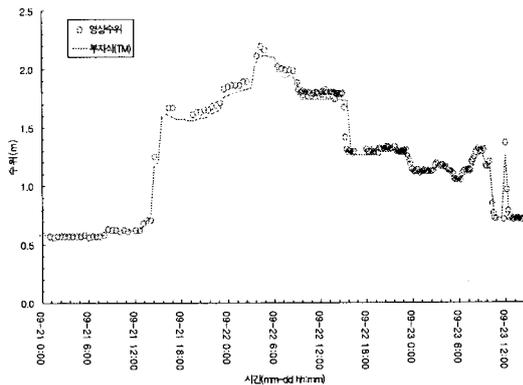


그림 5 측정결과(2005년 9월 홍수 사상)

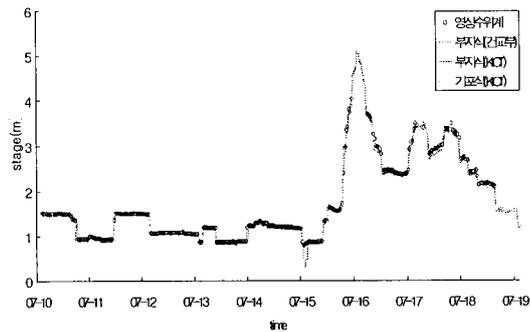


그림 6 측정결과(2006년 7월 홍수 사상)

## 6. 영상수위계 실용화

### 6.1 CCTV를 이용한 영상수위계 개발

본 연구에서 개발된 영상수위계의 성능 개선을 위해 칼라 CCTV를 도입하였다. 기존에는 CCTV에 의한 화상 감시와 별도 수위계를 통한 수위측정이 별도로 이루어졌으나 본 연구에서 CCTV를 이용한 영상수위계를 개발함에 따라 화상감시, 수위측정이 동시에 가능하여 보다 경제적이고 효율적인 하천 관리가 가능해졌다. 또한 카메라 제어의 횟수가 현저히 줄어들게 되어 카메라의 내구성도 커지는 효과를 얻을 수 있으며, 저조도 촬영 및 모니터링이 가능하여 운영비용 절감 효과를 거둘 수 있었다.

### 6.2 영상수위계 실용화

본 연구에서 개발한 영상수위계는 한강 유역의 전류지점, 청담대교 지점, 영월 거운교, 옥동지점과 낙동강 유역의 호포대교, 달천의 괴산댐 지점에 설치되어 운영 중에 있다. 그림 7 ~ 그림 8은 설치지점 중 전류지점과 청담대교 지점의 측정 사례를 나타낸 것으로 조위영향으로 수위가 상승, 하강을 반복하는 것을 볼 수 있다. 각 지점의 화면에서 볼 수 있는 것과 같이 수위표 화면과 화상 감시 화면이 동시에 출력되며, 화면의 하단에는 측정된 수위의 이력을 나타낸 것이다.

영상수위계를 다양한 지점에 적용한 결과, 현장 여건을 고려하여 알맞게 수위표를 설치하고, 주변 여건을 고려하여 보정이 이루어진 경우 수위를 정확하게 측정하는 것으로 나타났다.

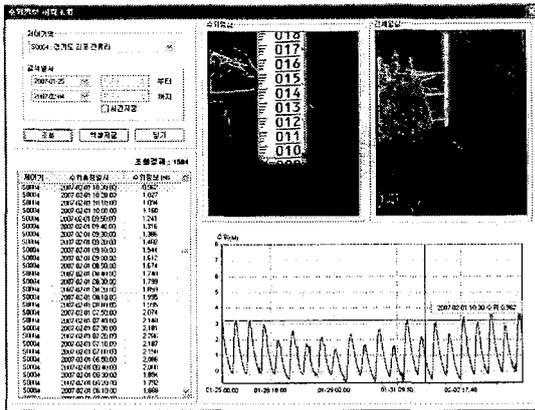


그림 7 한강 전류지점

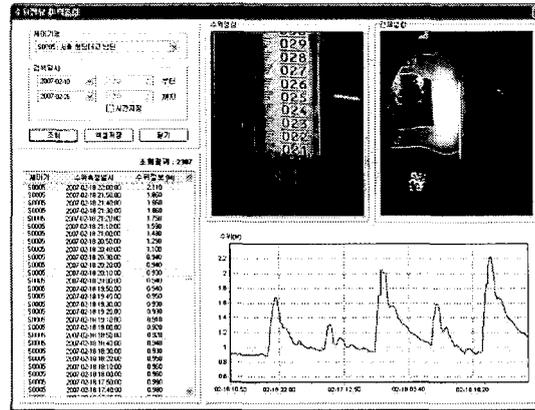


그림 8 한강 청담대교 지점

## 7. 결론

본 연구에서 사진촬영을 통해 수위를 측정할 수 있는 영상수위계를 개발하였다. 영상수위계는 1mm 단위로 측정하고, 수위표를 직접 촬영하여 측정하기 때문에 정확성을 확보할 수 있으며, 육안에 의한 수위표 확인이 가능하기 때문에 상시적으로 측정 정확도를 확인할 수 있다. 괴산지점에 시험 적용하여 TM 수위계와 자체 설치한 각종 수위계와 비교한 결과 수위를 정확하게 잘 측정하는 것으로 나타났다.

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.

본 연구에서 칼라 CCTV를 이용한 영상수위계를 도입하여 저조도에서 촬영이 가능하도록 하였고, 칼라 영상을 도입하여 하천 모니터링 영상의 질을 향상시켰다. 또한 CCTV를 이용하여 넓은 화각으로 촬영이 가능하여 보다 넓은 영역의 하천 모니터링이 가능하며, CCTV를 통한 실시간 연속 모니터링이 가능해 기존 CCTV에 의한 하천모니터링을 완전 대체 할 수 있도록 하였다. 또한 CCTV를 도입하여 기존 흑백 디지털 카메라를 이용한 영상수위계에 비해 경량화, 저가화를 실현해 영상수위계의 실용성을 한층 높였다.

본 연구에서 개발한 영상수위계는 한강 유역 전류 지점들을 포함하여 6개 지점에 시험 설치되었으며, 초기 운영결과 현장 여건을 고려하여 알맞게 수위표를 설치하고, 주변 여건을 고려하여 보정이 이루어진 경우 수위를 정확하게 측정하는 것으로 나타났으며, 일부 오착이 발생한 경우에도 육안으로 정확한 수위를 확인할 수 있어 활용성이 큰 것으로 나타났다.

## 감 사 의 글

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

## 참 고 문 헌

1. 과학기술부(2004). 지표수 조사기술 개발보고서, 21세기 프론티어 연구개발사업-수자원의 지속적 확보 기술개발사업단.
2. 한국건설기술연구원(2005) 지표수조사시스템 적용-요약보고서, 21세기 프론티어 연구개발사업-수자원의 지속적 확보기술개발사업단.
3. 과학기술부(2007) 지표수조사시스템 적용 2단계 보고서, 21세기 프론티어 연구개발사업-수자원의 지속적 확보기술개발사업단.
4. 김원, 김치영, 김동구, 이찬주(2006). 영상처리기술을 이용한 영상수위계 개발, 2006년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 500-504