수면 영상의 시간적 픽셀농도변화를 이용한 수위계측방법

Water Level Measurement Method Based on Temporal Variation of Water Surface Pixel Arrangement in Successive Images

권 성 일* / 김 원** / 이 찬 주*** / 김 승 동****

Kwon, Sung Ill / Kim, Won / Lee, Chan Joo / Kim, Seung Dong

Abstract

A new method for water level measurement method and its verification results are described. In this method, water surface in motion can be detected by temporal variation of pixel arrangement in successive digital images including the boundary between the staff gauge and the water surface. Laboratory and field tests were conducted for the two cases in which the staff gauge was contaminated by dirt or transparent due to clear water. The result shows water level can be accurately measure by this method for these two cases. It is expected that the accuracy of previous image stage gauge will be improved by the new method.

Keywords : image stage gauge, water level measurement, temporal variation of pixel arrangement

요 지

본 논문에서는 목자판과 수면이 포함되도록 촬영된 두 장 이상의 연속적인 영상으로부터 수면의 연속적인 움직임에 의해 픽셀의 농도변화가 발생하는 지점을 수면으로 인식하여 수위를 계측하는 방법을 개발하였다. 이 방법의 성능을 검증하기 위하여 목자판이 오염된 경우와 물이 투명하여 물속이 투시되는 경우에 대하여 실내 및 현장 실험을 실시하였다. 두 경우의 실험결과에서 모두 기존 수면인식방법에서는 오염된 부분과 물속 투시된 부분을 수면으로 잘못 인식하였으나, 새로운 방법에서는 수면을 정확하게 인식하여 올바른 수위를 측정할 수 있었다. 따라서 새로운 수면인식방법을 이용하면 기존 영상수위계의 수면인식 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 영상수위계, 수위관측, 픽셀의 농도변화, 수위계

1. 서 론

우리나라는 장마기의 집중호우로 인한 수해와 봄 가뭄으로 인한 물 부족 등 물 문제가 발생하기 쉬운 기후조건을 가지고 있기 때문에, 오래전부터 국가차원에서 수위, 유량 등의 수문현상을 관측하고 관측 자료를 수집 및 관

리하는 업무를 수행하여 왔다. 특히 수위는 유량 산정의 기초 자료일 뿐만 아니라 홍수예보 및 수리시설물 설계 등에 필수불가결한 자료이므로 수위관측을 위한 장비가 전국적으로 보급, 설치되어 있다.

현재 수위관측에는 부자식, 초음파식, 기포식, 압력식, 레이다식 등의 다양한 장비가 사용되고 있다. 이 중 부자

* 교신저자, 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 박사후연구원 (e-mail: ksi1973@kict.re.kr)

Post-Doc., River, Coastal and Harbor Research Division, Korea Institute of Construction Technology

** 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 연구위원 (e-mail: wonkim@kict.re.kr)

*** 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 전임연구원 (e-mail: c0gnitum@kict.re.kr)

**** (주)하이테크 시스템 과장 (e-mail: sdkim@hitecom.co.kr)

식, 기포식 및 압력식 수위 측정 방식은 흐르는 물속에 센서나 구조물을 설치해야 하기 때문에 고장이나 오작동이 발생할 가능성이 있고, 구조물의 설치비용이 높아질 수 있다. 초음파 수위 측정 방법은 교량 등에 간편하게 설치할 수 있지만, 수면이 불규칙하게 변화하거나 온도 변화가 있는 경우에 센서의 오차가 증가하여 정확도가 떨어질 수 있다. 센서를 이용하는 간접적인 수위 측정 방법은 측정지점의 수위 상황을 직접 육안으로 확인할 수 없으므로 센서의 작동여부를 시각적으로 확인할 수 없다는 제한이 있다.

이러한 기존 수위계의 한 가지 대안으로서 별도의 센서를 직접 설치하지 않고 카메라 (CCTV 포함)에 의해서 목자판과 수면이 포함되도록 촬영한 영상을 흑백으로 이진화한 후 경계부를 추출하는 엣지 (edge)처리방법에 의해 자동적으로 수위를 계측하는 방법이 수년 전에 개발되었다 (김원 등, 2006; 김원 등, 2007). 외국에서도 영상수위계와 유사한 수위 측정 방식이 Takagi et al. (1998)과 高木陽市 등 (2000)에 의해 개발되었다. 이 방법은 목자판과 경사판을 수중에 설치하고 수면을 기준으로 경사판의 경사모양이 굴절되거나 반사되는 원리에 착안하여 촬영된 영상에서 수면을 인식하는 방법이다.

영상에 의한 수위 측정방법은 카메라와 목자판만으로 이루어진 간단한 시스템과 육안에 의해 수위를 직접 확인할 수 있다는 장점을 가지고 있음에도 불구하고 실제 하천에서 장기간 운영시 목자판이 하천수와 직접 접촉하면서 필연적으로 발생하는 오염, 훼손, 부유물 부착 및 걸림 등의 이유로 목자판의 시인성이 떨어지고 그에 따라 오측이 증가하는 문제점이 노출되었다 (김치영 등, 2007). 이러한 문제점은 高木陽市 등 (2000)이 개발한 수위 측정방법을 검토한 岩橋政宏 (2007)의 연구에서도 밝혀진 바 있다. 또한 제방이나 호안의 법면에 설치된 목자판을 수직적으로 위쪽에서 촬영할 경우에는 목자판의 오염 여부와는 관계없이 투명한 물로 인해 수면 인식도가 떨어지는

문제점도 노출되었다.

본 연구에서는 기존 영상 수위 측정방법의 수면 인식과 관련된 문제점을 해결할 수 있는 방법으로서 새로운 수면 인식방법을 제시하였다. 이 방법은 목자판과 수면이 포함되도록 촬영된 연속적인 영상에서 시간적 픽셀농도변화를 감지하여 움직이지 않는 목자판과 지속적인 움직임이 있는 수면 간의 경계를 찾아내는 방법이다.

2. 기존 수면인식방법에 대한 검토

영상에 의한 기존의 수면인식방법은 카메라가 촬영한 영상을 분석하여 수면을 인식하고, 목자판의 숫자를 판독하여 수위를 숫자로 변환하여 수위값을 얻는다 (김원 등, 2006). 이 방법에 의한 수면인식과정은 다음과 같다.

- ① 카메라가 촬영한 영상에서 목자판 영역만 추출한 후 색농도의 변화량에 의해 수면위치를 찾는다. 이때 목자판 영역이나 수면 위치를 찾지 못하였을 경우에는 최상위 위치값과 최하위 위치값 내에서 카메라부의 틸트를 조절하여 수위표를 재촬영한다.
- ② 촬영된 영상을 이진화된 (binarized) 영상으로 전환하고 엣지 (edge) 처리를 실시하여 횡으로 가장 긴 선인 수면위치를 추출한다.
- ③ 또한 이진화된 영상에서 수위표의 숫자와 숫자가 아닌 영상을 판독하는 라벨링 (labeling) 작업과 숫자의 특징부를 추출하여 인식하는 숫자인식작업을 실시하여 숫자를 인식한다.
- ④ 인식된 숫자와 수면위치를 이용하여 수위를 산출한다.

이와 같은 영상처리과정은 카메라가 수위표를 촬영함과 동시에 이루어지기 때문에 수위값을 바로 얻을 수 있으며, 수위값과 목자판 영상 및 주변환경 영상은 CDMA나 전용선 등을 통해 실시간으로 사용자에게 전달된다.

(a) Inaccuracy Due to Contamination

(b) Inaccuracy Due to Transparency

Fig. 1. Errors of Water Surface Recognition

기존의 수면인식방법은 목자판이 정상적으로 유지되는 경우에는 측정에 문제가 없으나 다음의 경우에는 수면을 정확하게 인식할 수 없는 한계가 있다. 첫째는 부유사 및 부유물이 목자판에 부착되고 정체되거나 오염된 물속에서 미생물, 조류가 번식하여 목자판에 부착되는 경우로 물과 접촉하는 목자판 부분을 알아볼 수 없게 되는 경우이다. 이 경우 오염된 부분의 상단 혹은 하단을 수면으로 잘못 인식할 수 있다 (Fig. 1(a)). 둘째는 물이 맑고 투명하여 수면 경계가 인식되지 못하는 경우이다. 이때는 수중 또는 수면 위의 특정 부분이 오염될 경우 그 부분을 수면으로 잘못 인식할 수 있다 (Fig. 1(b)).

3. 시간적 픽셀농도변화를 이용한 수면인식방법

영상에 의한 기존의 수면인식방법은 목자판이 오염되는 경우나 물이 투명하여 물속 목자판이 투시되는 경우에 영상의 픽셀농도변화에 의해서만 수면을 인식하기 때문에 수면을 잘못 인식할 수 있다. 이런 문제점을 개선하고자 본 연구에서는 새로운 수면인식방법을 개발하였다. 이 방법은 영상에서 물의 흐름이 있는 수면부는 시간에 따라 계속해서 픽셀농도가 변하는 반면, 목자판은 시간에 따라 픽셀농도가 크게 변하지 않는다는 점에 착안하여 목자판과 수면부의 경계를 수면으로 찾아내는 방법이다. 이 방법에 의한 수면인식과정은 다음과 같다.

- ① 시간 (t)이 1인 경우에 대하여, 카메라가 영상을 촬영하고 이 영상에서 수위표 영역만 추출한다. 그리

고 영상을 그레이 (gray) 영상으로 처리한 후 이진화한다.

- ② 이진화된 영상에서 Eq. (1)과 같이 목자판의 수직방향 (Y방향)의 모든 픽셀에 대하여 동일한 Y방향에 위치한 목자판의 수평방향 (X방향) 모든 픽셀의 값을 합산 (Y_j^1)한다 (Fig. 2).

$$Y_j^1 = \sum_{i=1}^m (x_i)_j \quad j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

여기서, i 는 목자판 수평방향의 픽셀 위치값, j 는 목자판 수직방향의 픽셀 위치값이다.

- ③ ②단계에서 계산된 Y방향의 각 픽셀의 값 (Y_j^1)을 이용하여 히스토그램 데이터를 작성한다 (Fig. 3 (b)).
- ④ 시간적으로 전·후 관계를 갖는 영상의 Y_j^1 과 Y_j^2 에 대한 히스토그램 데이터를 비교하여, 히스토그램 데이터의 증가값이 설정값 (R) 이상으로 차이가 발생하기 시작하는 Y방향의 픽셀위치를 수면의 위치값 (P_H)으로 취득한다 (Fig. 3 (c)).
- ⑤ 기존 영상처리방법에서 픽셀당 수위값 (h_p)을 산출하고, 수면위치 (P_H)와 수위 (h)를 인식한다.
- ⑥ ④단계에서 취득된 수면위치 (P_H)와 ⑤단계에서 인식한 수면위치 (P_h)의 차이에 해당하는 픽셀 개수 (N_p)를 계산한다. 이 픽셀 개수와 ⑤단계에서 산출된 픽셀당 수위값 (h_p)으로부터 ⑤단계의 수위를 보정하기 위한 값 (C_H)을 계산한다.

(a) Pixel Arrangement of Original Image

(c) Water Level Measurement by Pixel Counting

Fig. 2. Pixel Arrangement of a Part of the Staff Gauge for Image Processing

First(1)

Second(2)

(a) Captured Images

(b) Histogram for Y_j^t

(c) Absolute Deviation of Y_j^t

Fig. 3. Detection of Water Surface from a Pair of Successive Images

Fig. 4. Process of Water Level Measurement

$$C_H = N_p \times h_p$$

(2)

$$H = h \pm C_H$$

(3)

⑦ ④단계의 수위 (h)에 ⑥단계에서 계산된 보정값 (C_H)을 적용하여 실 수위값 (H)을 산출한다.

이와 같은 수면인식방법에 의해 수위 값을 산출하는 절차를 간단히 나타내면 Fig. 4와 같다.

4. 수면인식방법의 성능 검증 및 고찰

목자판이 오염되는 경우와 물이 투명하여 물속 목자판이 투시되는 경우에 발생하는 수면 오인식의 문제점을 해결하기 위하여 개발된 수면인식방법의 성능을 검증하기 위하여 실내와 현장에서 검증 실험을 실시하였다.

4.1 실내테스트

실내 검증 실험은 한국건설기술연구원의 유속계 검정 수조와 간이 수조에서 실시하였다. 유속계 검정 수조(가로 150m×세로 1.2m×높이 2m)에는 물이 바닥에서부터 1.8m 정도까지 채워져 있다. 검정 수조는 인위적인 교란이 없을 경우 수면의 움직임이 없기 때문에 수면을 연속적으로 움직이도록 에어콤프레서의 토출구를 수중에 삽입하여 공기 거품을 발생시키면서 수면을 요동시켰다. 또한, 목자판이 오염된 상황을 연출하기 위해서 목자판에 청색테이프를 붙였다. 이 실험에서는 새로운 수면인식방법을 사용할 경우 연속적인 수면 움직임으로부터 수면 인식이 가능한지, 오염된 목자판에 대해 새로운 방법과 기존 영상처리방법(previous method) 사이의 정확도는 어떤지를 비교, 검토하였다.

유속계 검정 수조에서의 실험은 1초에 1회 수면을 인식하도록 설정한 상태에서 약 70초 동안 실시하였고, Fig. 5(a)는 촬영한 영상과 이진화 영상을 보여주며, Fig. 5(b)는 약 70초 동안 연속 측정된 결과를 보여준다. Fig. 5(b)의 기존 영상처리방법에 의한 수위 값은 70초 내내 테이

프를 부착한 부분의 상단인 7.17m를 나타내고 있는데, 이는 Fig. 5(a)의 이진화 영상으로부터 알 수 있듯이 영상의 농도변화에 의해서만 수면을 인식하기 때문이다. 이에 반해 새로운 방법은 요동하는 수면을 정확하게 인식하였기 때문에 6.96m 내외의 값을 나타내고 있다. 이와 같이 새로운 방법으로 측정된 수위 값이 6.96m 부근에서 계속 변동하는 것은 1초라는 순간적인 시간에 요동하는 수면을 추적하여 측정하기 때문이다.

두 번째 실험은 실내에 간이 수조(가로 1.01m×세로 0.74m×높이 0.36m)를 설치하고 물을 약 0.20m 정도 채운 후 실시하였다. 이때 유속계 검정 수조에서의 실험과 마찬가지로 목자판의 오염 상황을 연출하기 위하여 색지를 부착했고, 에어콤프레서를 이용하여 공기 거품을 만들어 수면을 움직이게 하였다. 역시 1초에 1회 수면을 인식하도록 설정하여 실험을 실시하였다. 수면 인식 결과를 보여주는 영상은 Fig. 6(a)에 제시되어 있고, 약 100초간 연속해서 수면을 인식한 결과가 Fig. 6(b)에 제시되어 있다. 이 실험에서도 새로운 방법으로 측정된 수위가 6.11m 부근에서 약간 상하 변동하는 결과를 나타내고 있어 기준 수위값인 6.11m를 정확하게 찾아낸다는 것을 알 수 있다. 반면에 기존 방법은 색지로 가려진 부분의 상단인 6.23m를 수면으로 인식하여 부정확한 결과를 나타내고 있다. 이 실험 결과에서도 유속계 검정 수조에서의 실험 결과와 마찬가지로 새로운 방법으로 측정된 수위값이 1초라는 순간적인 시간에 변동하는 수면을 추적하여 인식하기 때문에 계속 변동하였다.

(a) Captured/Binarized Images

(b) Measured Water Level for 70 Seconds

Fig. 5. Test Result in Current Meter Calibration Basin

(a) Captured Image

(b) Measured Water Level for 100 Seconds

Fig. 6. Test Result in Water Basin

4.2 현장테스트

현장 실험은 충북 괴산군 칠성면 율원리의 달천 강변에 설치한 경사식 영상수위계를 이용하였다. 이 지점에는 송동보 직상류의 우안 제방 법면에 목자판이 부착되어 있고, 카메라는 수직 위쪽 약 5m 높이에 설치되어 있다. 이와 같이 목자판과 수면을 수직방향으로 위에서 촬영할 경우 물이 맑을 때는 수면과 목자판의 경계가 거의 구분되지 않는다. 심지어 영상을 육안으로 보는 경우에도 그 경계를 판독하기 어려운 정도이다. 이는 교각 등에 부착하여 세워져 있는 목자판과 수면 사이에 음영 차이가 커서 수면이 인식되는 경우와는 완전히 다른 경우이다.

본 연구에서는 위와 같은 영상수위계의 설치조건에서 새로운 방법에 의해 수면이 올바르게 인식되는지를 알아보기 위해 실험을 실시하였다. 이 실험에서도 경사식 영상수위계의 하단부에 물이 고여 있기 때문에 수면을 연속적으로 움직이게 하기 위하여 에어콤프레서를 사용하였다. 그리고 현장 실험은 주간과 야간에 실시하였고, 기존 방법과 새로운 방법을 각각 적용하여 수면 인식의 정확도를 조사하였다.

새로운 수면인식방법을 적용하여 주간에 실시한 실험 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 기존 방법을 이용할 경우, 공기 거품에 의해 수면이 계속해서 움직였으나 물속 투시된 부분 중에 이물질로 오염된 부분인 0.78m를 수위로 잘못 인식하였다. 이에 비해 새로운 방법은 실제 수위 값인 1.19m를 수면으로 올바르게 인식하였다. 이 자료 3초 전의 결과 (Fig. 7의 오른쪽 그림에서 점선)에서도 기존

Fig. 7. Test Result of New Method in Daytime (in Sloping System)

방법은 0.77m, 새로운 방법은 1.18m를 수면으로 인식하였다.

야간 실험의 경우, 영상을 촬영하는데 필요한 광량의 부족으로 시간에 따라 영상의 픽셀농도변화가 주간보다 심하게 나타났다. 이로 인해 새로운 방법을 적용하여도 수면을 정확하게 인식할 수 없었다. 이를 해결하기 위하여 새로운 수면인식과정 중에서 영상을 이진화로 전환한 후에 엣지(edge) 처리를 한 번 더 실시하도록 개선하였다.

이렇게 추가적인 처리 절차를 적용한 방법과 기존 방법의 수면인식 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 새로운 방법에서는 수면을 1.19m로 정확하게 인식하였으나, 기존 방법

Fig. 8. Test Result of New Method in Nighttime (in Sloping System)

은 물속에 투시된 부분인 0.8m를 수면으로 잘못 인식하였다. 이 자료 3초전의 결과 (Fig. 8의 오른쪽 그림 중 점선)에서도 새로운 방법은 1.18m, 기존 방법은 0.75m를 수면으로 인식하였다.

5. 결 론

영상수위계는 카메라로 촬영한 목자판 영상을 처리하여 수위를 자동으로 계측하는 시스템으로 기존 수위계와는 달리 영상으로부터 직접 수위를 확인할 수 있는 장점이 있다. 그러나 영상수위계를 운영하는데 있어 목자판이 오염되거나 물이 투명하여 물속이 투시되는 경우에 기존 수면인식방법은 수면을 올바르게 인식하지 못하는 문제점이 있었다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자 목자판과 수면이 포함된 연속적인 영상으로부터 시간에 따른 픽셀 농도변화를 이용하여 수면을 인식하는 방법을 개발하였다. 그리고 실내 및 현장에서 이 방법의 성능 검증 실험을 실시하였다. 그 결과 새로운 수면인식방법을 적용할 경우 수면을 정확하게 인식하는 것을 확인할 수 있었다. 앞으로 본 연구에서 개발한 수면인식방법을 적용한다면 영상 수위계의 정확도를 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 검증 실험을 실시한 두 경우 이외에도 홍

수 시 목자판에 부유물이 걸리는 경우나 목자판이 다단으로 설치되어 있는 경우 등에서 기존 방법이 수면을 올바르게 인식하지 못하는 것을 확인하였다. 이런 경우에도 새로운 수면인식방법의 적용이 가능한지에 대한 검증 실험을 추후에 실시할 계획이다.

감사의 글

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

참고문헌

- 김원, 김치영, 김동구, 이찬주 (2006). “영상처리기술을 이용한 영상수위계 개발.” **2006년 한국수자원학회 학술 발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 500-504.
- 김원, 김치영, 이찬주, 김동구 (2007). “영상수위계 실용화.” **2007년 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 560-564.
- 김치영, 김원, 이찬주, 김동구 (2007). “하천수위측정을 위한 방오수위표 개발.” **2007년 대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 2605-2608.
- 岩橋政宏 (2007). 人と環境にやさしいintelligent・video sensor・networkの構築. **河川整備基金調整事業報告書**, 長岡技術科學大學, pp. 29-37.
- 高木陽市, 米丘孝幸, 森英雄, 辻川秋雄, 齋藤健, 輕部勝敏 (2000). “視覚センサによるダムの水位計測技術の研究.” **環境システム計測制御學會誌**, 第5巻, 第2号, pp. 179-188.
- Takagi, Y., Tsujikawa, A., Takato, M., Saito, T., and Kaida, M. (1998). “Development of a noncontact liquid level measurement system using image processing.” *Water Science and Technology*, Vol. 37, No. 12, pp. 381-387.

논문번호: 10-037	접수: 2010.04.23
수정일자: 2010.07.13/08.23	심사완료: 2010.08.23