

목자판 표면 상태에 적응적인 영상 기반 수위 계측 기법

김재도*, 한영준**, 한현수***

Image-based Water Level Measurement Method Adapting to Ruler's Surface Condition

Jaedo Kim*, Youngjoon Han**, Hernsoo Hahn***

요약

본 논문은 수위 측정 영역의 오염 상태에 적응적인 영상 기반 수위 계측 기법을 제안한다. 수위를 측정하기 위해 사용되는 목자판이 진흙, 부유물, 조명의 강한 반사에 의해 얼룩진 경우, 목자판 내부의 수평 성분 패턴이 유지되는 영역의 최종 위치와 목자판과 수면의 색상 차를 이용하여 얻어진 대략적인 수위 위치인 참조 수위와의 거리 차를 측정하여 목자판의 오염 여부를 판단하는 기법을 사용한다. 목자판이 오염되지 않은 경우에는 수평 성분이 유지되는 최종 위치의 근방 하단 영역에서 수평 성분의 분포를 분석하여 히스토그램이 가지는 최대값의 30%이상의 값을 가지는 위치를 수위로 검출하고, 목자판이 오염된 경우는 참조 수위 근방의 색상 변화의 국지적인 정점과 골을 검출한 후 그 변화가 가장 큰 위치를 수위로 검출한다. 검출된 영상 수위는 영상에 보이는 목자판의 눈금을 기준으로 생성한 맵핑 테이블을 이용하여 실제 수위로 변환된다. 제안한 방법의 적용 가능성과 일반성을 평가하기 위하여 실제 교량에 측정 시스템을 구축하고 같은 위치에 기존에 설치된 초음파 기반 측정 시스템과 그 측정치를 비교하였다.

Abstract

This paper proposes a image-based water level measurement method, which adapt to the ruler's surface condition. When the surface of a ruler is deteriorated by mud, drifts, or strong light reflection, the proposed method judges the pollution of ruler by comparing distance between two levels: the first one is the end position of horizontal edge region which keeps the pattern of ruler's marking, and the second one is the position where the sharpest drop occurs in the histogram which is construct using image density based on the axis of image height. If the ruler is polluted, the water level is a position of local valley of the section having a maximum difference between the local peak and valley around the second level. If the ruler is not polluted, the water level is detected as the position having horizontal edges more than 30% of histogram's maximum value around the first level. The detected water level is converted to the actual water level by using the mapping table which is construct based on the making of ruler in the image. The proposed method is compared to the ultrasonic based method to evaluate its accuracy and efficiency on the real situation.

· 제1저자 : 김재도 교신저자 : 한현수

· 투고일 : 2010. 07. 05, 심사일 : 2010. 07. 26, 게재확정일 : 2010. 08. 10.

* 숭실대학교 전자공학과 박사과정 ** 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수 *** 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수

※ 이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010- (C1090-1021-0010)). 또한 이 논문은 2010년 정부 교육과학기술부(한국학술진흥재단)의 2단계 BK21사업의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임.

▶ Keyword : 수위계측(water level measurement), 환경인식(environment recognition), 패턴분석(pattern analysis), 히스토그램 분석(histogram analysis), 원격감시(remote surveillance)

1. 서론

생물의 생명 유지에 가장 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 국가의 주요 기초 자원이 되는 것이 바로 수자원이다. 따라서 이러한 수자원에 대한 효율적인 사용과 관리에 대해 끊임없이 관심을 가지고 연구해 오고 있다. 또한 태풍과 국지성 폭우로 인해 갑작스런 강의 범람과 홍수로 인해 수많은 인명 피해와 재산의 손실이 전 세계적으로 매년 발생하고 있어 재해 상황에 대해 대처할 수 있도록 수량을 제어하고 강의 범람을 미리 예측하여 대비할 수 있도록 하는 문제에 대한 관심 또한 증대되고 있다. 수자원 관리와 재해 예측에 있어 가장 기초적인 정보는 바로 수위 정보이다.

기존에 연구된 수위 측정 시스템들은 그 형태와 센서의 종류에 따라서 압력식, 초음파식, 영상 정보를 이용한 방식 등 크게 3부류로 구분될 수 있다. 압력식은 수면에 부표의 띄워 그 위치 변화를 측정하는 형태[1]의 고전적 방법과 압력센서를 이용한 방법[2]이 현재 보편적으로 사용되고 있다. 하지만 이러한 시스템은 부표의 위치를 고정하기 위한 파이프를 설치하여야 하며, 대부분 수압에 의존하고 있고, 장기간 사용할 때 자주 센서를 교체해야 하는 단점이 있다. 두 번째는 초음파 센서를 이용한 시스템으로, 수면에 초음파를 발사하여 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 수위를 측정한다[3-5]. 이 시스템의 경우 그 정확도가 우수하다고 평가되고 있으나 초음파는 입사각, 온도, 습도 등에 따라 그 특성이 변하므로 온도, 습도, 진동 등을 측정할 별도의 측정계를 필요로 하며, 설치 장소에 따라 설치 위치 설계가 복잡하다.

위 두 방법의 경우 측정 오류가 발생하였을 시 그 오류를 판단하기 힘들고, 그 발생 시기 또한 쉽게 확인할 수 없어 시스템의 유지, 보수 시간이 오래 걸리게 된다. 이에 반해 영상 정보를 이용한 방식은 수위 측정의 기준이 되는 목자판 영상을 직접 눈으로 확인이 가능하므로 시스템의 오류를 판단하기 쉽고 제공된 영상에는 주변 환경의 광역 정보가 포함되어 있어 보다 신뢰성을 높일 수 있다. 또한 영상을 실시간으로 전송함으로써 현장에 방문하지 않고 주변 상황을 모니터링 할 수 있는 장점이 있다[6-7]. Takagi[8-9]는 수위를 검출하기 위해 목자판에 사선을 표시하고, 그 사선이 굴절되는 곳, 즉, 사선이 끝나는 위치를 검출하는 영상 인식 알고리즘을 제안하였다. 그러나 이 방법의 경우, 그 성능에 있어 사선이 얼룩진

경우 매우 민감하며, 물살에 의해 생길 수 있는 사선 잡음을 막기 위한 별도의 조치가 필요하다. Tsunashima[10] 에지 검출 기반의 간단한 방법을 제안하였다. 이는 물이 흐를 때 수면에서 나타나는 수평 에지를 검출하는 방법을 제안하였다. 또한 이 방법은 수로의 벽에 수평 줄무늬와 같은 수평선과 같은 잡음에 강인하게 하기 위해 영상 프레임 간의 차영상을 이용하였다. 하지만 차영상을 이용할 경우 비나 눈에 의해 발생되는 움직임에 매우 민감하다. Iwahashi[11]는 수평 에지 검출과 일정 프레임의 평균영상을 사용하는 방법을 제안하였다. 이 논문에서 육지와 수면이 만나는 경계선을 수위로 인식하였다. FIR필터를 사용하여 그 경계선을 나누었다. 그러나 육지와 수면의 질감이 확연히 차이가 날 경우에만 정확한 경계선을 찾을 수 있는 단점이 있다.

영상 기반 기법들에 의해 측정된 수위는 실제 수위로 변환될 필요성이 있다. 실제 수위로 변환하기 위해 카메라 보정 기법이 필요하다. 대표적인 카메라 보정 방법은 Tsai[12]와 Zhang[13]이 제안한 방법들이다. 그러나 Tsai의 방법의 경우 카메라와 대상 물체의 위치와 운동에 관한 정확한 데이터를 필요로 하며, Zhang의 방법의 경우 위치 등에 관한 정확한 정보를 요구하지 않지만 Tsai의 방법에 비해 더 복잡하고 많은 연산량을 필요로 한다. 이를 간단히 하기 위해 K. J. Kim은[14] 영상 픽셀당 실제 거리를 테이블로 만들고, 영상에서 기준패턴을 검출하여 수위와의 픽셀 거리차를 계산한 후 테이블을 사용하여 이를 실제 수위로 변환하는 방법을 제안하였다. 그러나 촬영 영역이 크기 때문에 영상에서 한 픽셀당 나타나는 실제거리가 너무 크게 되므로 오차의 크기 또한 크게 된다.

위에서 기술한 기존 기법들의 경우, 수면 영역과 그 비교 대상이 되는 목자판, 수로의 벽, 육지의 환경 변화에 민감하게 반응할 뿐만 아니라, 계속된 수위에 대한 신빙성을 부여하지 못하는 문제를 가진다. 따라서 본 논문에서는 목자판의 오염 상태에 따른 영상 기반 수위 계측 시스템을 제안한다. 제안하는 기법의 전체 흐름도는 그림 1과 같다.

먼저 수위 측정에 앞서 초기 설정 단계에서는 카메라의 이동 위치를 설정하고, 이동 위치에 따른 카메라의 자세(좌우 이동, 상하 이동, 확대, 조짐), 관심 영역, 맵핑 테이블을 설정하고 저장한다. 영상 전처리 단계에서는 전체 영상에서 관심영역만을 저장하며, 이를 이용하여 평균영상을 생성한다. 목자판 오염 판단 단계에서는 목자판에 존재하는 수평 성분들

의 패턴을 분석하여 그 패턴이 유지되는 영역을 검출하고, 목자판과 수면의 색상차를 이용하여 대략적인 수위인 참조 수위를 검출한다. 이 두 위치의 거리 차를 기준으로 목자판의 오염 상태를 양호와 불량으로 나눈다. 목자판이 오염되지 않은 경우, 수평 에지 기반 수위 계측을 수행하며, 목자판이 오염된 경우, 색상 기반 수위 계측을 사용하여 수위를 측정한다. 마지막으로 맵핑 테이블을 사용하여 측정된 영상을 실제 수위로 변환하는 과정을 수행한다.

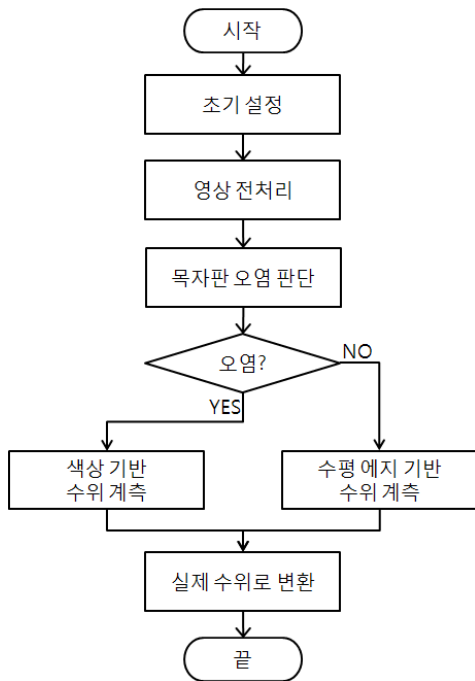


그림 1. 제안하는 기법의 전체 흐름도
Fig 1. Overall flow chart of proposed method

이후 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 시스템의 초기 설정에 대해 기술하고, 3장에서는 목자판의 수평 성분과 목자판과 수면의 색상 차를 이용하여 어떻게 목자판 표면의 오염을 판단할 수 있는지 설명한다. 4장에서는 목자판이 오염된 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 수위 검출 기법을 기술하고, 5장에서는 다양한 환경에 대한 실험 결과와 초음파 기반 수위 계측 방법과의 비교 결과를 보여준다. 마지막으로 6장에서 결론을 기술하면서 본 논문을 끝맺는다.

II. 초기 설정

2.1 카메라 제어 설정

목자판 전체의 영상을 하나의 영상에 담을 경우, 영상의 한 픽셀이 차지하는 실제 길이는 커지므로, 이로 인해 한 픽셀 당 오차 또한 커지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 일정한 높이의 목자판 영상을 얻을 수 있도록 카메라의 자세, 확대 정도, 초점 등을 시스템의 최초 설치 시 환경에 따라 사전에 수동으로 설정한다. 목자판의 일부분을 촬영하기 때문에 수위가 변함에 따라 카메라의 자세를 변경할 필요가 있다. 카메라의 이동은 그림 2(a)와 같이 임의의 자세를 미리 지정한다. 지정된 카메라의 위치에 따라 그림 2(b)와 같이 영상은 320×240 픽셀의 크기를 가지며 목자판의 실제 길이 80cm 가량만을 영상에 획득할 수 있도록 확대 정도와 초점을 함께 조정한다. 즉, 카메라의 지정된 위치마다 확대 정도, 초점을 함께 설정하여 저장한다.

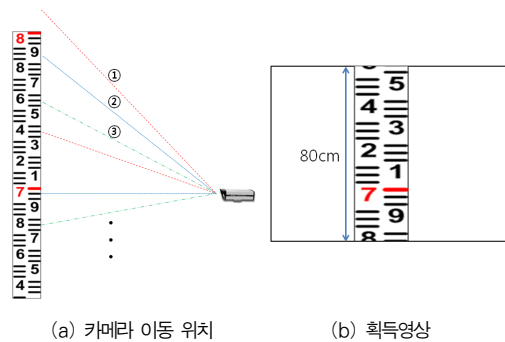


그림 2. 카메라 제어 설정
Fig 2. Camera's control setting

2.2 관심영역 설정 및 맵핑 테이블 생성

카메라 위치에 따라 확대 정도와 초점을 설정하는 동시에 관심영역을 지정하고, 맵핑 테이블을 생성한다. 관심 영역은 영상에서 목자판의 영역만을 지칭하는 것으로, 추후 영상 처리 시간의 단축과 외부 영역에서 나타나는 잡음을 제거하기 위해 설정한다. 그림 3(a)는 전체 영상 중 관심영역을 표시하고 있으며, 그림 3(b)는 분리된 관심영역만을 보여준다. 분리된 관심영역은 이후 단계에서 입력으로 사용되는 평균 영상을 생성하는데 쓰이기 때문에 일정량의 순차적 관심영역 영상은 메모리에 저장한다.



그림 3. 관심영역 설정
Fig 3. ROI setting

맵핑 테이블은 영상을 이용한 수위 계측이 끝난 후 검출된 영상 수위를 실제 수위로 변환하기 위해 생성한다. 앞에서 설명한 카메라 제어 단계에서 카메라의 자세를 미리 지정할 수 있으므로 서론에 기술한 복잡한 카메라 보정 기법을 사용하지 않고 간단히 영상 수위를 실제 수위로 변환할 수 있는 맵핑 테이블을 만들 수 있다. 맵핑 테이블은 카메라의 위치에 따라 확대 정도, 초점, 관심 영역과 함께 설정되어 저장된다. 그림 4는 맵핑 테이블 생성을 위해 가상의 지시자를 설정하는 것을 보여주고 있다. 적색 사각형은 영상에서 보여지는 목자판을 기준으로 50cm 영역을 표시한 것이고, 적색 사각형 안에 보이는 노란색 점선은 10cm 단위의 선을 나타낸다. 지정된 카메라 위치에 의해 적색 사각형의 시작점 위치에서의 실제 높이를 알 수 있으므로 이를 기준으로 각 점선의 실제 위치를 알 수 있다. 따라서 영상 수위가 검출 되었을 때, 그 위치에 따른 실제 높이를 바로 구할 수 있게 된다. 또한 적색 사각형의 외부에서 수위가 검출될 경우 카메라의 위치를 이동하게 된다. 그림 2(a)에서와 같이 카메라의 위치가 어느 정도 겹쳐지는 것은 항상 수위가 영상의 중심 부근에서 나타나게 하기 위함이다.

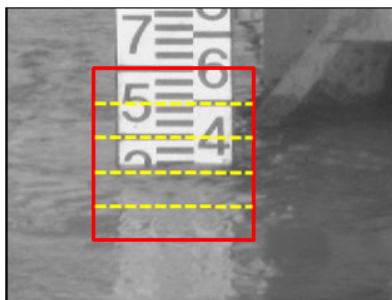


그림 4. 맵핑 테이블 생성
Fig 4. Mapping table generation

III. 목자판 상태 판단

영상을 이용한 수위 계측 시스템에서 수위를 찾기 위해 가장 문제가 되는 것은 목자판의 훼손, 오염, 그리고 가려짐이다. 더불어 조명의 반사로 인해 목자판의 내부 특징들이 사라지게 된다. 그림 5는 목자판이 오염되거나 조명 반사에 의해 내부 특징을 잃어버린 예를 보여준다. 조명 반사의 경우, 조명의 세기가 변하기 때문에 단기간의 오차를 야기시키지만 목자판이 가려지거나 오염된 경우, 장시간 동안 측정 오류가 나타나게 된다. 이렇게 목자판의 상태가 불량한 경우, 문자 인식이나 가로 성분 검출과 같은 영상 처리 기법을 사용하여 바로 수위를 검출할 수 없는 문제점이 있다. 또한 검출된 수위의 정확도와 신뢰성을 보장할 수 없게 된다. 따라서 목자판의 상태를 판단하여 현재 검출된 수위에 대한 신뢰성을 보장함과 동시에 측정 오류를 판단하고 이를 신속히 사용자에게 알리는 것이 측정 시스템의 유지, 보수에 있어 중요하다.



(a) 목자판 오염 (b) 조명반사

그림 5. 목자판 상태 불량 의 예
Fig 5. Bad conditions of ruler

본 논문에서는 수위 계측을 위한 영상처리에 앞서 목자판의 상태를 판단하여, 양호한 경우의 수위 계측 방법과 불량한 경우의 수위 계측 방법을 따로 적용할 것이다. 오염과 조명 반사의 경우 공통적으로 나타나는 특징은 목자판 내부의 특징, 즉, 문자 및 가로 성분이 사라지는 것이다. 또한 내부 특징이 남아 있는 위치와 실제 수위가 거리 차를 보인다는 것이다. 이 두 특징을 이용하여 손쉽게 목자판의 상태를 판단할 수 있다.

3.1 양호한 목자판 영역 검출

양호한 목자판 영역은 간단히 가로 성분이 잘 나타나는 영역이라고 말할 수 있다. 또한 그 가로 성분이 일정한 간격을 가지고 나타난다. 그러나 가로 성분은 물결에 의해 수면에서도 많은 양이 검출되므로 물결에 의한 가로 성분을 제거하기 위해 일정 수의 연속된 영상의 평균 영상을 생성한다. 평균

영상을 생성하기 위해 20 프레임의 연속된 영상을 사용하였다. 이렇게 얻어진 그림 6(a)와 같은 평균 영상에서 중앙에서 나타나는 가로 성분만을 대상으로 소벨 에지 검출기(Sobel Edge Detector)를 사용하여 수평 에지를 검출한 후 그림 6(b)와 같이 이진화를 수행한다. 검출된 가로 성분들을 모폴로지 기법 중 클로징 연산을 수행하여 그림 6(c)와 같이 하나의 영역으로 통합시키게 된다. 중앙의 수평 성분은 목자판 너비의 25% 가량을 차지하므로 얻어진 통합 영상에서 영상의 상단부터 하단으로 내려가면서 관심 영역 너비의 25% 이하인 최초의 위치를 검출하고, 이를 양호한 목자판 영역의 끝점으로 간주한다. 그림 6(c)의 적색 직선은 검출된 끝점 위치를 나타낸다. 그림 6의 상단은 목자판이 양호한 경우이고, 하단은 불량한 경우의 예이다.

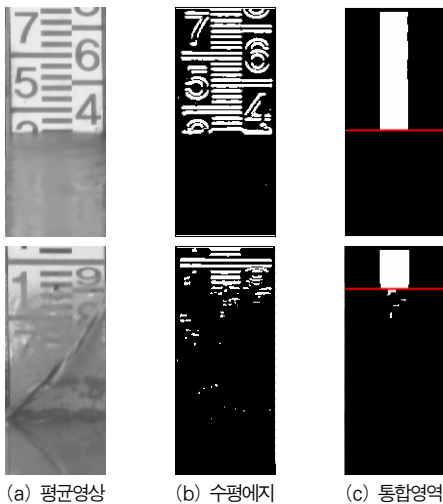
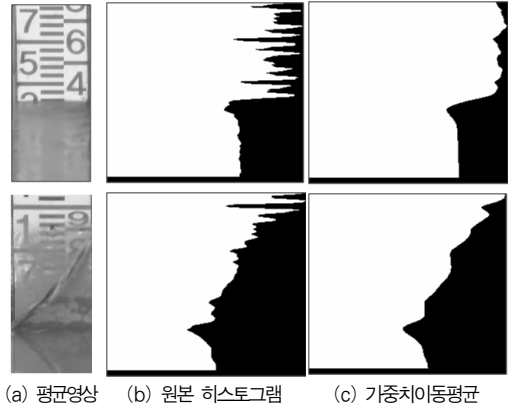


그림 6. 목자판의 양호한 영역 검출
Fig 6. Detection of unstained region on ruler

3.2 참조수위 검출

기본적으로 영상에서 목자판과 수면은 큰 색상 차이를 가지게 된다. 따라서 관심영역에서 색상이 급격히 변하는 위치가 나타나게 된다. 이는 대략적인 수위 위치 나타내며 이를 참조수위로서 목자판의 상태 판단 및 수위 계측에 이용한다. 물살에 의해 나타날 수 있는 잡음을 제거한 평균영상의 밝기값을 영상의 높이 축을 기준으로 누적하여 정규화하면 그림 7(b)와 같다. 그러나 그림에서 보여 지듯이 목자판의 눈금의 의해 색상이 급격히 변하는 부분이 많이 나타나게 된다. 전체적인 히스토그램의 모양은 유지하면서 목자판에서 나타나는 잡음

부분을 제거하기 위해 가중치 이동 평균(weighted moving average) 기법을 사용하여 그림 7(c)와 같이 부드러운 영상을 만든다.



(a) 평균영상 (b) 원본 히스토그램 (c) 가중치이동평균

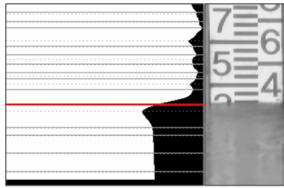
그림 7. 히스토그램 생성
Fig 7. Histogram generation

가중치 이동 평균 기법은 현재 데이터를 기준으로 일정거리 내의 이웃한 좌, 우로 데이터들에 대해 거리 차에 따라 가중치를 달리 주어 평균을 내는 방법을 말한다. 이를 수식으로 나타내면 아래의 수식 (1)과 같다.

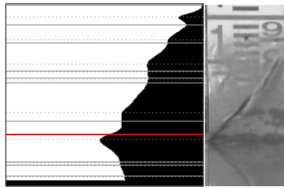
$$D'_i = \frac{1}{(N+1)^2} \sum_{j=-N/2}^{N/2} \{(N-|j|+1) \cdot D_{i+j}\} \quad \dots\dots (1)$$

여기서, i 는 현재 데이터의 인덱스이고, N 은 평균을 취할 데이터의 개수이다. D'_i 는 가중치 평균을 나타낸다.

다음으로 참조 수위를 검출하기 위해 색상이 갑자기 변하는 위치를 찾기 위해 히스토그램에서 국지적 정점과 골을 찾는다. 위, 아래 각각 10개의 주변 값들과 비교하여 자신이 가장 크면 정점으로, 가장 작으면 골로 간주한다. 다음으로 정점과 그 하단의 골에서의 히스토그램 값 차이가 '30'이상이면, 그 값이 히스토그램 내 최대인 구간을 구한다. 이 구간 안에 실제 수위가 존재하는 것으로 간주한다. 찾아진 구간의 골의 위치를 기반으로 가중치 이동 평균 방법에 의한 영향을 감안하여 보정하여 참조 수위를 정한다. 그림 8은 선택된 정점과 골을 보여 주고, 검출된 참조 수위를 보여준다. 두 경우 모두 검출된 참조 수위는 실제 수위 근처에서 나타남을 알 수 있다.



(a) 목자판이 양호한 경우



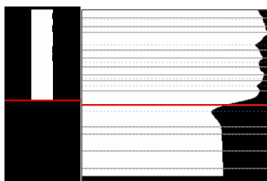
(b) 목자판이 불량한 경우

그림 8. 참조수위 검출

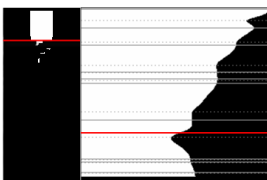
Fig 8. Detection of reference water level

3.3 목자판 상태 판단

목자판의 상태 판단은 앞에서 구한 목자판의 양호한 영역의 위치와 참조 수위를 비교함으로써 이루어진다. 그림 9와 같이 목자판이 양호한 경우 두 위치의 거리차는 매우 작고, 목자판이 오염된 경우 두 위치의 거리차는 매우 큼을 알 수 있다. 허용 가능한 오차의 범위를 영상의 중앙에 나타나는 눈금 사이의 간격을 허용 간격으로 정하면, 실제 길이는 4cm이다. 영상 3픽셀이 실제 길이 1cm에 해당하므로 총 12픽셀 이하의 거리차를 가진다면 목자판의 상태가 양호한 것으로 판단하고, 그렇지 않은 경우를 불량한 것으로 판단한다.



(a) 목자판이 양호한 경우



(b) 목자판이 불량한 경우

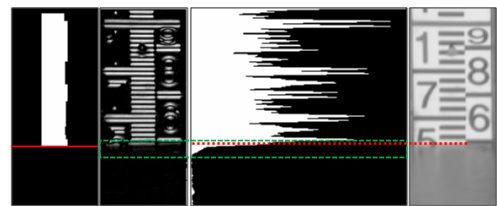
그림 9. 목자판 상태 판단

Fig 9. Judgment of ruler's condition

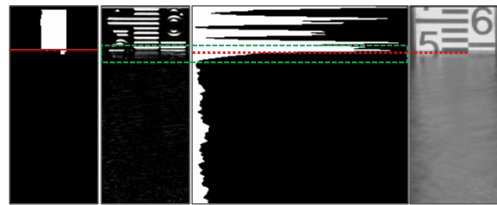
IV. 수위 검출

4.1 목자판이 양호한 경우의 수위 검출

목자판의 상태가 양호한 경우, 목자판의 수평 성분들이 일정하게 나타나는 영역의 끝점 부근에서 실제 수위는 나타나게 된다. 따라서 5픽셀 위쪽부터 15픽셀 아래까지의 수평 에지 성분을 영상의 높이 축을 기준으로 히스토그램을 생성하고 하단부터 검사하여 수평 성분의 값이 히스토그램 최대값의 30% 이상이 되는 최초의 위치를 수위로 검출한다. 목자판의 수평 에지 성분과 관계없이 목자판과 수면의 경계선에서 히스토그램의 30% 이상이 검출됨을 실험적으로 확인하여 이를 기준으로 하였다. 그림 10은 목자판이 양호한 경우의 주간과 야간의 수위 검출 예를 보여준다.



(a) 주간



(b) 야간

그림 10. 목자판이 양호한 경우의 수위 검출 예

Fig 10. Water level detection under good condition

4.2 목자판이 불량한 경우의 수위 검출

목자판의 상태가 불량하다고 판단된 경우, 앞에서와 같이 목자판의 수평성분을 이용하여 정확한 수위를 검출할 수 없으므로 참조 수위를 포함하는 국지적 정점과 골 구간 주변을 수위 검출 가능 영역으로 판단하고, 정확한 수위를 검출하기 위해 이 영역에서의 원본 히스토그램을 세밀히 분석한다. 참조 수위를 구할 때에는 달리 가중치 이동 평균을 구하지 않은 원

본 히스토그램에서 국지적 정점과 골을 검출한 후 검출 가능 지역 내에서 그 차이가 최대인 구간을 찾고, 그때의 골을 정확한 수위로 판단한다. 그림 11은 목자관이 불량한 경우의 수위 검출 예를 보여준다.

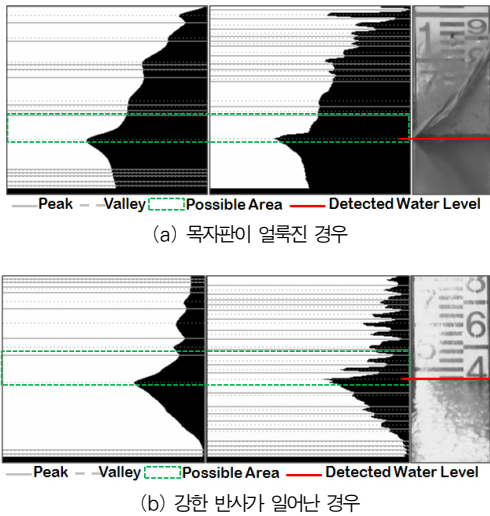


그림 11. 목자관이 불량한 경우의 수위 검출 예
Fig 11. Water level detection under bad condition

V. 실험 및 결과

실험은 실제 하천에 그림 12와 같이 목자관, 카메라, 측정 시스템을 설치하여 진행하였다. 영상은 카메라로부터 320×240 크기의 영상을 획득하여 사용하였다.

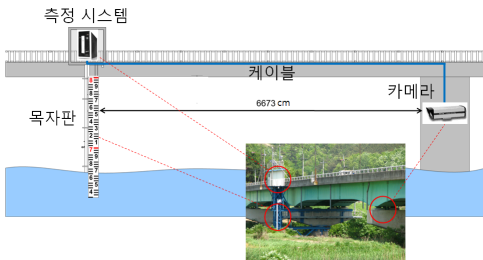


그림 12. 시스템 설치 환경
Fig 12. Installation environment of proposed system

단기간 동안 제안하는 방법의 정확도를 확인하기 위해, 초당 1 프레임의 속도로 샘플링하여 120개의 프레임으로 이루

어진, 즉, 120초간의 비디오 클립(Video Clip)을 만들어 실험하였다. 목자관이 양호한 경우와 오염된 경우 각각 20개의 비디오 클립을 사용하였다. 각 비디오 클립은 영상에서의 다른 수면 위치, 주간, 야간, 흐린 날씨, 맑은 날씨, 강한 반사, 오염된 목자관 등 다양한 환경을 가진다. 평균 영상을 만들기 위해 처음 20 프레임이 사용되므로 측정 수위의 개수는 100개이다. 야간의 경우 카메라에 부착된 조명 장치를 이용하여 영상을 획득하였다. 조명 장치의 사양은 표 1과 같다.

표 1. 조명 장치 사양
Table 1. Specification of lighting equipment

목록	사양
투광거리/파장대역	200m / 300W
수명	1000 Hours
입력전압	AC220V, 50/60Hz
중량	1.9kg
크기	208L×225H×223W

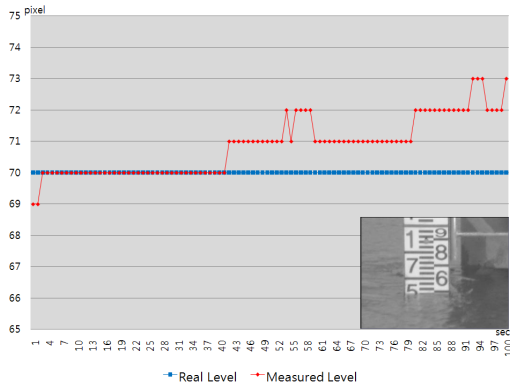
5.1 목자관 상태 판단의 정확도

목자관 상태 판단의 정확도를 측정하기 위해 양호한 목자관과 불량한 목자관의 비디오 클립을 사용하였다. 표 2는 각 목자관 상태에 따른 판단의 결과를 보여준다. 비디오 클립 당 100개의 판단 결과 중 판단 오류의 평균 빈도수와 최대 빈도수를 나타내었다.

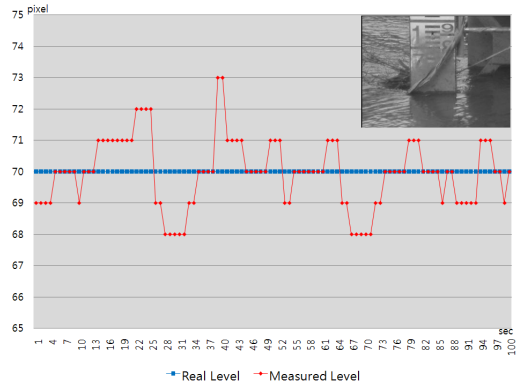
판단 오류의 원인으로는 목자관 상태가 양호함에도 물결의 일렁임이 거의 없어 수면에 목자관이 반사됨으로서 수면에 가로 성분이 나타나 목자관의 양호 부분이 수면 영역까지 확대된 경우, 목자관의 중앙 영역에서 극소한 부분이 오염되어 목자관의 양호한 부분 검출 시 그 영역이 분리된 경우, 또한 약한 오염으로 인해 빛의 반사로 인해 오염 부분이 사라지는 경우가 있었다.

표 2. 목자관 상태 판단의 정확도
Table 2. Judgment accuracy of ruler's condition

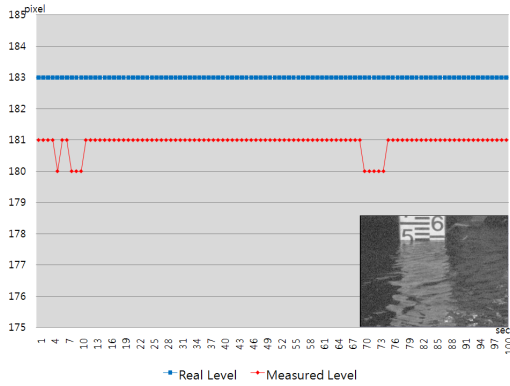
목자관 상태	목자관 상태 판단의 정확도	
	판단 오류의 평균 빈도수	판단 오류의 최대 빈도수
양호	5	19
불량	3	11



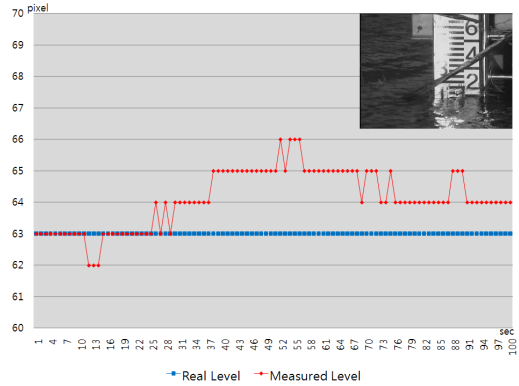
(a) 주간



(a) 목자판이 얼룩진 경우



(b) 아간



(b) 강한 반사가 일어난 경우

그림 13. 목자판이 양호한 경우의 측정 예
Fig 13. Measurement examples under good condition

그림 14. 목자판이 불량한 경우의 측정 예
Fig 14. Measurement examples under bad condition

5.2 수위 검출의 정확도

목자판의 상태를 먼저 판단한 후 다른 방식의 수위 검출 기법을 사용하므로, 두 가지의 경우로 나누어 수위 검출의 정확도를 확인하였다.

그림 13은 목자판의 상태가 양호한 경우의, 그림 14는 목자판의 상태가 불량한 경우의 단 기간 동안의 측정 결과를 보여주고 있다. 여기서 “Real Level”은 단 기간임을 감안하여 눈으로 측정한 영상 수위이며, “Measured Level”은 제안한 기법에 의해 측정된 영상 수위를 말한다.

측정된 수위의 정확도를 계산하기 위해 오차 허용 범위를 12픽셀 이내(실제 4cm이내)로 정하고 하나의 비디오 클립 당 허용 범위에 드는 프레임의 개수를 측정하고 이의 평균을 구하였다. 표 3은 그 결과를 보여주고 있다. 목자판이 양호한 경우의 비디오 클립에 대한 평균오차는 3 픽셀, 최대오차는 17 픽

셀이고, 목자판이 불량한 경우의 평균 오차는 4 픽셀, 최대오차는 20 픽셀로 나타났다. 표 3의 결과에서 보여 주듯이 목자판의 상태 판단 과정에서 잘못된 판단이 이루어진 경우에도 수위 측정에 있어 큰 오차를 보여주지 않음을 알 수 있다.

표 3. 수위 측정의 정확도
Table 3. Accuracy of water level measurement

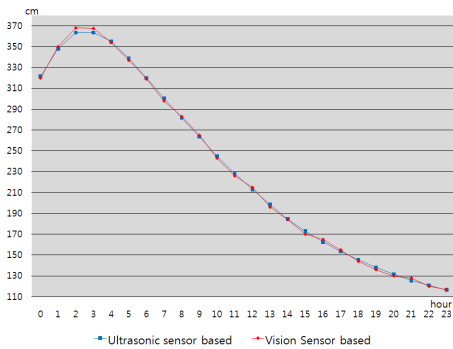
목자판 상태	수위 측정의 평균 정확도		
	평균 성공	평균 실패	성공률
양호	93	7	93%
불량	91	9	91%
전체	92	8	92%

5.3 초음파 센서 기반의 시스템과의 비교

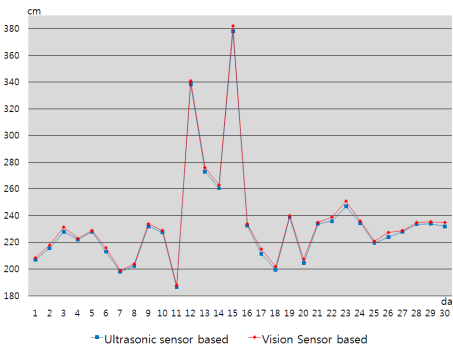
제안하는 기법의 장기간 동안의 정확도 및 안정성을 실험

하기 위해 정확한 수위 계측 성능을 보여주는 초음파 센서를 이용한 시스템과 비교하였다. 이 시스템은 같은 장소에 설치되어 현재 사용되고 있는 시스템이다. 비교 기간은 1일과 1달이며, 초음파 시스템은 10분 단위로 수위를 갱신하므로 10분 단위로 측정치를 사용하여 시간 평균, 1일 평균을 단위로 하여 비교하였다. 1달 동안의 경우, 목자관이 더럽혀진 경우도 포함되어 있다. 그림 15는 그 결과를 보여준다. 하루 동안의 시간단위 측정값의 평균 오차는 1.96cm이고, 최대 오차는 4.5cm이었으며, 한 달간의 일 단위 측정값의 평균오차는 2.16cm이고, 최대 오차는 4cm이었다.

측된 수위의 신빙성을 부여할 수 없었고, 오류 상황에서의 또 다른 측정 방법을 제안하지 않았다. 반면에 제안하는 방법은 목자관의 오염 상태를 판단하여 계측된 수위의 신빙성을 부여하고, 수위 계측 시스템의 유지, 보수가 신속히 이루어질 수 있게 하였고, 수위 측정 알고리즘에 있어 목자관의 상태에 따라 다른 최적화된 기법을 적용하여 목자관이 오염된 상태에서도 정확하고, 안정적인 수위를 검출할 수 있게 하였다. 제안한 기법의 시스템을 실제 하천에 설치하여 수위 측정의 정확도가 높은 초음파 기반의 측정 시스템과 비교한 결과, 평균 2cm정도의 작은 오차를 보였다. 따라서 그 성능이 우수하고 정확하다 할 수 있고, 장기간 동안의 실험결과에서 볼 수 있듯이 그 안정성도 우수함을 보였다.



(a) 1일간



(b) 1달간

그림 15. 초음파 기반 시스템과의 비교
Fig 15. Comparison with ultrasonic based system

VI. 결론

본 논문은 수자원 관리와 재해 예·경보의 기초 기술이 되는 영상 기반의 수위 계측 방법을 제안하였다. 기존의 수위 계측 연구들에서는 측정 시스템의 오류를 인지할 수 없어 계

참고문헌

- [1] 이부영, 박병운, “부력추를 이용한 지하수위 측정용 센서 개발,” 한국농림기상학회, 제 1권, 제 1호, 1-5쪽, 1999년 1월.
- [2] B. Y. Lee, B. Y. Park, “Development of High Precision Underground water level meter using a Buoyant Load Cell Technique,” Journal of the KSAFM, Vol. 1, No. 1, pp.1-5, 1999.
- [3] J. H. Um, “Inquiry of Special Quality of Supersonic Sensor for Water Level by Non-contact,” the bulletin of Korea Environment Engineers Association, Vol. 162, pp.30-36, 2000.
- [4] S. Y. Hwang, “The evaluation an uncertainly of measurement for underground water using an ultrasonic sensor,” Process control instrumentation technology, pp.102-107, 1999.
- [5] Jeong, D. H., “Water level measurement techniques by digital Way,” Proceeding of Instrumentation Technology, Vol. 13, No. 4, 2005.
- [6] Y. K. Park, et al., “Development of Real time Flood Monitoring System composed of CCD Camera and Water Level Gauge,” Fall Conference of Korea Society for Railway, pp.72-76, 2004.
- [7] W. Kim, et al., “Development of the Image Stage Gauge using the Image Process Technique,” Conference of Korea Water Resource Association, pp.500-5004, 2006.
- [8] Y. Takagi, A. Tsujikawa, M. Takato, T. Saito,

- M. Kaida, "Development of a non-contact liquid level measuring system using image processing," Water science and technology, Vol. 37, No. 12, pp.381-387, 1998.
- [9] Y. Takagi, T. Yoneoka, H. Mori, M. Yoda, A. Tsujikawa, T.Saito, "Development of a water level measuring system using image processing," The 1st IWA conference on instrumentation, control and automation, pp.309-316, 2001.
- [10] N. Tsunashima, M. Shiohara, S. Sasaki, J. Tanahashi, "Water level measurement using image processing," Information processing society of Japan, Research report, Computer vision and image media, Vol. 121, No. 15, pp.111-117, 2000.
- [11] Iwahashi M., Udomsiri S. "Water Level Detection from Video with FIR Filtering," the 16th International Conference on Computer Communication and Networks, pp.826-831, 2007.
- [12] Roger. Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-shelf TV Cameras and Lenses," IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 3, No. 4, pp.323-344, 1987.
- [13] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 11, pp.1330-1334, 2000.
- [14] K. J. Kim, N. K. Lee, Y. J. Han, H. S. Hahn, "Remote Detection and Monitoring of a Water Level Using Narrow Band Channel," The 6th WSEAS International Conference on Signal Processing, Robotics And Automation, pp.16-19, 2007.

저 자 소 개



김 재 도
 2007 : 숭실대학교 공학사
 2009 : 숭실대학교 공학석사
 2009 - 현재 : 숭실대학교 전자공학과
 박사과정
 관심분야: 패턴 인식, 컴퓨터 비전,
 영상 감시 및 측정 시스템



한 영 준
 1996 : 숭실대학교 공학사
 1998 : 숭실대학교 공학석사
 2003 : 숭실대학교 공학박사
 2003 - 현재 : 숭실대학교 정보통신
 전자공학부 부교수
 관심분야: 로봇 비전, 컴퓨터 비전,
 비주얼 서보잉



한 현 수
 1981 : 연세대학교 공학사
 1983 : 연세대학교 공학석사
 1991 : 남가주대학(USC) 공학박사
 1992 - 현재 : 숭실대학교 정보통신
 전자공학부 교수
 관심분야: 자동화 시스템, 센서 융합,
 로봇 비전, 비전 임베디드