

직사각형 검사영역의 상관도 분석을 통한 수면위치 탐색 방법

A Novel Water Surface Detection Method Based on Correlation Analysis for Rectangular Control Area

이 찬 주* / 서 명 배** / 김 동 구*** / 권 성 일****

Lee, Chan Joo / Seo, Myoung Bae / Kim, Dong Gu / Kwon, Sung Il

Abstract

In this study, a novel water surface detection method was proposed. In the method water surface is detected by analysis on correlation coefficients obtained from rectangular control areas of the same vertical position in two successive images including both water surface and staff gauge. Four methods respectively based on threshold, peak, slope and variance ratio, are used to identify water surface from vertical distribution of correlation coefficient. In addition, swaying correction algorithm and statistical filtering are applied to minimize outliers caused by positional image mismatch. Images taken from 28 different sites during low flow were tested to evaluate the method. Mean relative error to eye measurement was approximately from 3.4 to 5.7 cm. As long as water surface moves, this method can be used to improve image stage gauge by supplementing the previous water surface detection method.

Keywords : image stage gauge, image, correlation coefficient, control area, water surface detection

요 지

본 연구에서는 목자판과 수면이 포함되어 있는 시차를 가진 두 영상에 대해 직사각형 검사영역을 설정하고 그 상관계수를 분석하여 수면을 판단하는 새로운 수면인식 기법을 제안하였다. 상관계수의 수직적인 값들로부터 임계치, 첨두값, 기울기, 분산비 등 4가지 방법을 이용하여 수면의 위치를 판정하였다. 흔들림 등으로 인해 두 영상의 위치가 불일치하여 생기는 문제를 제거하기 위해 추가로 영상의 흔들림을 보정하는 알고리즘과 통계적 필터링 기법을 적용하였다. 저수시에 촬영한 28개 지점의 영상에 개발한 수면 인식 방법을 적용하였다. 이 방법으로 계산한 수면은 목측 수면과의 평균상대오차가 3.4~5.7 cm 정도로 나타났다. 수면의 요동이 있을 경우, 이 방법은 기존 방법을 보완하여 영상수위계의 수위 측정성능을 높이는데 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 영상수위계, 영상, 상관계수, 검사영역, 수면인식

* 교신저자, 한국건설기술연구원 하천해안연구실 수석연구원 (e-mail: c0gnitum@kict.re.kr, Tel: 031-910-0657)

Corresponding Author, Senior Researcher, River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

** 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 전임연구원 (e-mail: smb@kict.re.kr)

Research Specialist, ICT Convergence and Integration Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

*** 한국건설기술연구원 하천해안연구실 전임연구원 (e-mail: kimdg@kict.re.kr)

Research Specialist, River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

**** 한국건설기술연구원 하천해안연구실 박사후연구원 (e-mail: ksi1973@kict.re.kr)

Post-Doctoral Research Fellow, River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

1. 서 론

하천에서 수문 관측의 가장 기초적인 항목은 수위 측정이며, 이는 전통적인 우물통을 비롯한 센서 방식의 수위계를 이용하여 측정한다. 센서는 오작동, 파손 등과 같은 예외적인 상황을 제외하면 안정적으로 수위값을 제공하지만, 하천의 실제 환경으로 인해 오측이 발생하기도 한다. 수문 자료의 품질을 확보하기 위해 수위계를 이중화하여 운영하기도 하지만, 가장 확실한 방법은 사람이 육안으로 확인하는 것이다. 이러한 목적에서 주로 활용되는 것이 하천 영상감시 카메라이다.

감시 카메라를 이용하면 육안에 의해 수위 관측이 가능하며, 수위계의 정상 작동 여부를 판단할 수 있다. 아울러 홍수를 비롯한 유수의 상황, 하천 구조물의 상태, 하천변 시민들의 안전성 등을 확인하는데도 유용하다. 또한, 감시 카메라는 설치 및 운영비용이 저렴하다. 이러한 관점에서 보면, 카메라를 이용하여 하천을 감시함과 동시에 수위를 측정할 수 있다면 정확도가 매우 높지 않더라도 기존의 수위관측시설에 비해 경제적인 뿐만 아니라 하천 관리에 관계되는 다양한 정보를 동시에 제공한다는 측면에서 매우 효과적이고 유용하다고 볼 수 있다. 나아가 항만, 저수지, 운하 등 자유 수면의 위치를 파악해야 하는 지점에서 이 방법이 모두 적용될 수 있다.

카메라를 이용한 수위측정의 핵심 기술은 고정된 목자판(수위표)과 흐름이나 요동이 있는 유체가 만나는 수평적인 임계선으로 나타나는 수면을 인식하는 것이다. 영상에서 수면을 찾는 방식은 여러 가지가 제안되어 있다. 국내의 연구를 살펴보면, 김원 등(2006, 2007)은 영상을 이진화하고 수평 경계를 추출함으로써 수면을 인식하는 기법을 개발하여 이를 기초로 영상수위계를 실용화한 바 있다. 권성일 등(2010)은 수문 부근의 목자판에 오염때 등이 발생한 경우 수면 인식이 정확하지 못한 문제를 해결하기 위한 방법으로 목자판 영역은 움직임이 없으나 수면은 물의 흐름으로 움직임이 있다는 점에 착안하여 시차가 있는 두 영상의 픽셀농도값(그레이 영상 밝기값)의 차이를 계산하여 수면을 인식하는 기법을 제안하고 실험실 및 현장서 검증한 바 있다. 김재도 등(2010) 역시 오염된 목자판에서도 수위를 정확하게 인식하기 위한 방법으로 그레이 영상의 목자판 영역 밝기값을 수평방향으로 합산한 히스토그램을 작성하고 그 골과 마루를 분석하여 수면을 인식하는 기법을 제안하고 실제 사례에 적용하여 검증하였다.

외국에서도 다양한 수면 인식 기법이 제안되었는데, 그 중에 Takagi et al. (1998) and Takagi et al. (2000)은 하천

변 벽면에 수위표와 함께 빗금이 인쇄된 목자판을 설치하고 수면에서 빗금의 굴절과 반사를 판단하는 방식으로 수면을 판독하는 기법을 제시하였으며, 프랑스 중앙정부 도로 및 교량 건설 직종단(FRANCE ETAT PONTS CHAUSSEES, 2005)에서는 특정한 빛 파장에 대해 반사율이 높은 목자판을 설치하고, 레이저 광원 등 특수한 빛을 주사하여 수면과 목자판을 구분하는 방법을 제안하였다. 최근에 Saito and Iwahashi (2006)는 동영상 카메라를 이용한 기법 중에 하나로 프레임 단위로 동기화한 영상을 필터링한 후 히스토그램 분석을 통해 수면을 인식하는 방법을 제시하고 다양한 사례에 적용하여 그 성능을 확인한 바 있다.

이처럼 국내외에 여러 가지 수면인식 기법이 나와 있으나 하천 및 항만, 저수지 등에서 발생하는 다양한 환경으로 인해 모든 조건을 정확하게 측정하기는 어려운 것이 사실이다. 따라서 다양한 방식의 수면인식 기법을 함께 활용할 필요가 있다. 하천의 예를 보면, 고수위는 지속시간이 짧고 유속이 빠른 홍수의 특성상 목자판의 오염이 거의 없는데다가 탁도가 높으므로 상대적으로 수면 판단이 용이한 반면, 주로 수면 인식의 오차는 저수시에 화학적, 생물학적인 요인 등에 의한 목자판의 오염이나 부유토사, 부유물의 집적에 의한 오염 또는 수면의 난반사, 그림자 등과 관련하여 발생한다. 이러한 요인들에 의한 수면 인식의 오차는 적게는 십 수 cm에서부터 많게는 수십 cm에 이르기도 하는데, 이에 대해서는 김원 등(2011)에서 자세하게 다루고 있다. 따라서 높은 정확도로 수위를 측정하는 것도 필요하지만, 악조건에 의한 현저한 오차를 줄이고 수면인식 성능을 향상시키는데 기여할 수 있는 보완 기법도 필요하다. 본 연구에서는 수면에 흐름이 있다는 전제 하에 기존의 수면인식 기법을 보완하면서 실제 수위가 나타날 수 있는 범위를 좁힘으로써 수위 측정 성능을 높일 수 있는 시차에 기반한 새로운 수면인식 기법을 제안하고 그 잠재적인 성능을 다양한 조건에 적용하여 평가하고자 한다.

2. 제안된 수면인식 기법

2.1 알고리즘 개요

본 연구에서 새롭게 제안하고자 하는 수면인식 기법을 간단하게 살펴보면 다음과 같다. 먼저 수면 외에 고정된 부분(목자판, 교각 등)에서 빛의 노출정도, 반사정도, 목자판의 오염 상태 등 제반 조건이 동일하게 유지될 수 있는 매우 짧은 시간차(수 초 이내)를 두고 목자판과 수면이 포함되도록 한 쌍의 영상을 촬영하고 회색조(256색)로 변환한 후 두 영상을 비교한다. 두 영상은 시차가 매우 짧으

로 수면 영역만 픽셀밝기값이 변동한다고 볼 수 있다. 이렇게 촬영된 한 쌍의 영상에서 기본적인 에지(edge) 처리를 통해 수평길이에 비해 수직길이가 긴 목자판 영역만을 각각 추출하고 비교한다. 비교의 방법은 다음과 같다. 수평 크기는 목자판 폭 이내(수십~일백 수십 픽셀 정도), 수직 크기는 수십 픽셀 정도인 $M \times N$ 픽셀 크기의 직사각형 검사영역을 설정한다. 이 직사각형 검사영역은 목자판 상단부터 수면 영역이 포함되어 있는 영상의 하단까지 1픽셀 단위로 내려간다. 두 영상의 동일한 수직 위치에 있는 검사영역에 속하는 요소 픽셀에서 밝기값을 취한 후 이를 일대일 대응시켜 전체 요소에 대해 아래 식으로 상관계수를 계산한다(Fig. 1).

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

위 식에서 x 는 먼저 촬영한 영상의 검사영역에 속하는 요소 픽셀의 밝기값이고, \bar{x} 는 검사영역에 속하는 모든 요소의 평균값이다. y 와 \bar{y} 는 각각 나중에 촬영한 영상의 밝기값 및 평균값이다.

직사각형 검사영역의 수평, 수직 픽셀 크기는 사용자가 조절할 수 있지만, 상관계수 계산시 포함되는 x, y 변수의 수치 범위가 넓을수록, 즉, 0~255가 최대 범위인 회색조 밝기값에서 검사영역에 그 변화폭이 클수록 상관계수가 높게 계산될 가능성이 있으므로 목자판의 여백(백색) 및 눈금, 숫자 등이 골고루 포함되도록 수평, 수직 크기를 검사영역으로 설정하는 것이 바람직하다. 다만, 상관계수 계산시 검사영역의 수평크기와 수직크기의 곱으로 계산되는 요소(픽셀)의 개수가 너무 많을 경우 속도가 느려질 수 있는 점을 감안하

여 수평, 수직 방향으로 모든 픽셀을 다 사용하지 않고 특정한 간격을 띄고 요소를 사용하도록 조절할 수도 있다.

두 영상의 동일한 위치의 검사영역에서 산정되는 상관계수는 -1~1의 범위에 있으나 비교하는 두 영상이 완전히 음영이 바뀌는 일은 없으므로 음수로 나타나는 상관계수는 0으로 처리하여 유효한 상관계수의 범위는 0~1 범위로 한다. 이렇게 하면, 목자판 상단부터 하단까지 검사영역이 내려오면서 상관계수의 값이 변화하게 되는데, 이론상 시차가 있는 두 영상에서 수면 이외의 영역은 완전한 정(+)의 상관관계를 보이므로 상관계수가 1에 가깝다가 수면에서부터 물의 요동으로 인해 픽셀의 그레이 밝기값이 변화하므로 상관계수가 작아지기 시작하며 특정한 위치에서 극소값이 발생하며, 촬영영상의 하단부는 수면영역에 해당하므로 상관계수는 1보다 작은 값에서 변동하는 모습을 보인다. 따라서 상관계수가 1에서부터 급격하게 줄어드는 특성이 나타난다(Fig. 2). 이렇게 두 영상을 비교하여 수직적으로 상관계수의 분포를 계산한 후 극소값이나 변곡점 또는 목자판 영역과 수면 영역의 분산값을 분석하여 수면을 판단한다. 그리고 결과적으로 얻어지는 수면은 검사영역의 수평크기의 범위(목자판 폭에서 좌우 20픽셀씩을 제외한 범위)에서의 수면 위치를 의미한다.

2.2 수면 위치의 판단 기법

앞절에서 설명한 수면인식 기법에서 가장 중요한 점은 수면을 어떻게 판단하는가이다. 상관계수의 변동이 Fig. 2와 같이 눈으로 확인되지만 어떤 기준으로 이를 판단하는가에 따라 수위값이 달라질 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 4가지 방법으로 수면의 위치를 판단하고자 하였다.

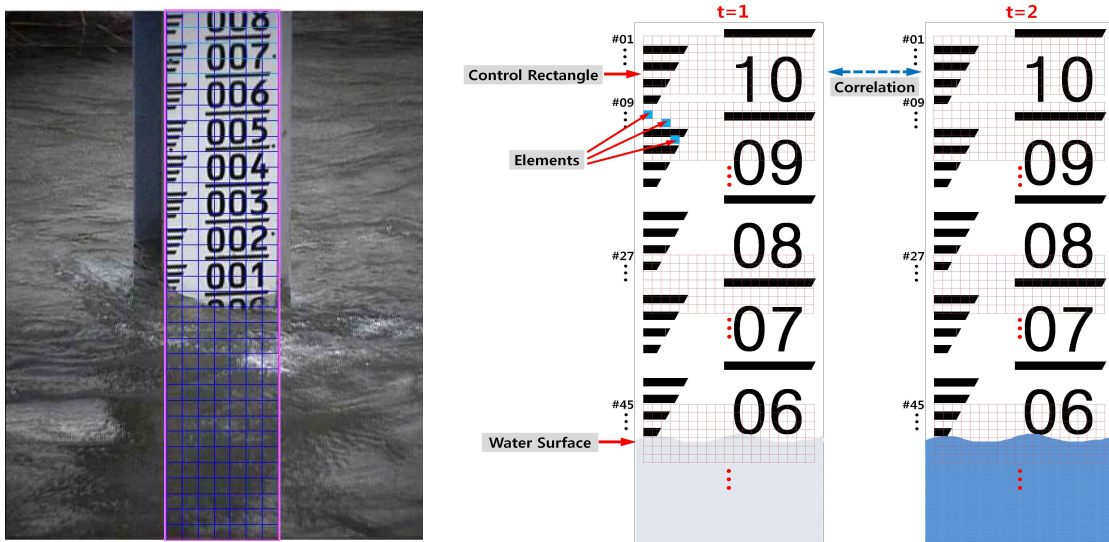


Fig. 1. A Staff Gauge (left) and a Conceptual Illustration of the Proposed Method (right)

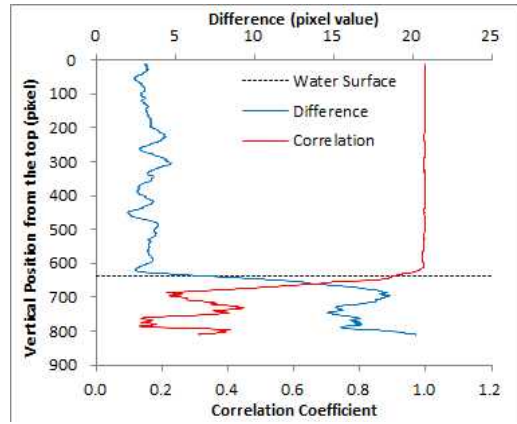


Fig. 2. Original and Staff Gauge Images and Vertical Profile of Correlation Coefficient (at Toegyewon Site)

2.2.1 특정한 임계치를 이용한 방법

이 방법은 임의의 임계치를 정하고 이보다 상관계수가 낮은 지점을 수면으로 판단하는 방법이다. 흔들림이 없는 영상에서 목자관 영역은 거의 1에 가까운 상관계수를 나타내지만 수면에서는 상관계수가 감소하기 시작한다. 본 연구의 기법은 수면의 변동이라는 영상의 특성을 이용하여 저수시 수위를 측정하는데 주목적이 있으므로 물이 접촉하지 않는 촬영된 목자관 영상의 상단부 10%에서 구한 상관계수의 평균값에 95% 또는 98%에 해당하는 값을 임계치로 정하여 사용하였다. 이때 수면 부근의 요동이 커서 상관계수의 변동범위가 큰 경우로서 최저값이 0.5 미만이거나 전체 상관계수의 평균값이 0.9 미만인 경우에는 95%를 사용하고, 상관계수의 변동범위가 작고(최저값 0.5 이상), 평균값이 0.9 이상인 경우에는 98%를 적용하였다.

아울러, 임계치인 95% 또는 98%는 침투값, 기온기 변화, 분산비 기법 등 이하에서 상술할 다른 기법을 이용한 수면 판단시 기준치로도 사용하였다. 따라서 이하의 세 가지 방법에서는 임계치보다 낮은 상관계수값 중에서 각 방법이 수면으로 판단하는 조건에 맞는 경우 수위로 인식된다.

이 방법은 임의적인 측면이 있으나 근본적으로 수면이 아닌 목자관 또는 기타의 영역에서는 두 영상 사이에 거의 완전한(1에 매우 가까운) 양의 상관성을 가지며, 밝기 값이 변동하는 수면에서는 상관도가 조금이라도 낮아질 수 있다는 것에 착안한 기법이다. 이에 비해 다른 방법들은 임계치 발생 지점 이하에서 수면이 발생할 것으로 기대하고 수학적, 통계적 방법을 응용하여 수면을 판단한다. 임계치 기법은 또한 영상이 흔들릴 경우 임계치 적용이 곤란해질 수 있으며, 임계치는 지점별 특성에 따라, 상단부에서 상관계수의 변동 범위를 분석 후에 조정될 수 있다.

2.2.2 침투값(peak)을 이용한 방법

이 방법은 앞절의 임계치 조건보다 상관계수가 낮은 값을 가진 수직 위치 중에서 첫 번째로 나타나는 상관계수의 극소값, 즉 뽀족한 부분(peak)을 수면으로 인식하는 방법이다. 이와 유사한 방법이 김재도 등(2010)에 의해 영상의 히스토그램에 대해 골과 마루를 판단하는데 사용된 바 있다.

실제 자료에 대해서 침투값을 판단할 때에는 다음의 단계를 거친다. i) 상관계수의 미세한 증감의 영향을 없애기 위해 해당 위치를 포함하여 상하 5개씩 총 11개 수직 범위의 상관계수를 이동평균한다. ii) 앞절의 임계치보다 상관계수가 낮은 수직 범위에서 상관계수가 감소하다가 증가하는 지점(극소값)을 찾는다. Fig. 2의 우측 그림에서 보듯이 침투값은 여러 개 나타날 수 있으므로 침투값 중에서 위에서부터 첫 번째 것을 수면으로 판단한다.

2.2.3 기온기의 변화를 이용한 방법

이 방법은 상관계수값의 기온기가 급격하게 변하는 지점을 찾아 수면으로 판단하는 방법이다. 역시 앞절의 임계치보다 상관계수가 낮은 수직 범위에서만 적용한다. 적용 순서는 i) 상하 11개 범위의 상관계수에 대해 이동평균을 구한다. ii) 상관계수를 1에서 빼서 작은 값을 취하고 아래로 내려가면서 누적값을 구한다. iii) 누적값의 변동량이 급격한 부분, 보다 상세히는 누적값 10개를 이용한 기온기가 급격하게 변하는 부분을 수면으로 판단한다. 이때 기온기의 급변점은 위에서부터 가장 먼저 나타나는 것을 수면으로 본다.

2.2.4 클래스내 분산과 클래스간 분산의 비율(분산비)을 활용한 방법

마지막으로 영상처리분야에서는 그 효율성이 높은 것으로

알려진 Otsu의 통계적 방법(Otsu, 1979)을 사용하여 수면을 판단하였다. 이 방법은 원래 영상에서 전경(foreground)과 배경(background)을 분리하기 위한 에지 추출 기법으로 활용되었으며, 영상수위계와 관련해서는 Saito and Iwahashi (2006) 역시 사용한 바 있다.

이 방법에서는 특정한 수직 기준 위치를 중심으로 그 위쪽과 아래쪽에 속하는 상관계수의 값들을 각각 하나의 클래스로 본다. 그리고 위쪽 클래스(클래스 1)와 아래쪽 클래스(클래스 2)에 대해 각각 클래스 내의 분산(Eq. (2))과 두 클래스 간의 분산(Eq. (3))을 구한다. 분산비(Eq. (4))는 클래스간 분산을 클래스내의 분산으로 나눈 값이다. 이때 수직 기준 위치를 위에서부터 아래로 점차 변경해 가면 위쪽 클래스와 아래쪽 클래스가 바뀌고 각 클래스에 속한 상관계수의 개수도 변한다. 즉, 분산비는 수직 기준 위치에 따라 달라지는데, 수직 기준 위치 중에 분산비가 최대가 되는 위치를 수면으로 인식하는 방법이다. 본 연구에서는 수직 기준 위치를 목자판 상단부로부터 100픽셀부터 시작하여 하단부 20픽셀 전까지 변경시켜가면서 분산비를 계산하였고, 두 개 이상의 첨두값이 나타나는 경우 첫 번째 첨두값을 수면으로 판단하였다.

$$\sigma_W^2 = \omega_1 \sigma_{c1}^2 + \omega_2 \sigma_{c2}^2 \quad (2)$$

$$\sigma_B^2 = \omega_1 \omega_2 (\mu_{c1} - \mu_{c2})^2 \quad (3)$$

$$\lambda = \sigma_B^2 / \sigma_W^2 \quad (4)$$

위 식에서 σ_W 는 클래스내 분산, σ_B 는 클래스간 분산, σ_{c1} , σ_{c2} 과 μ_{c1} , μ_{c2} 는 각각 클래스1과 클래스2의 상관계수의 표준편차와 평균이며, λ 는 분산비(ratio)이고, ω_1 과 ω_2 는 가중치로서 본 연구에서는 클래스1과 클래스2에 속하는

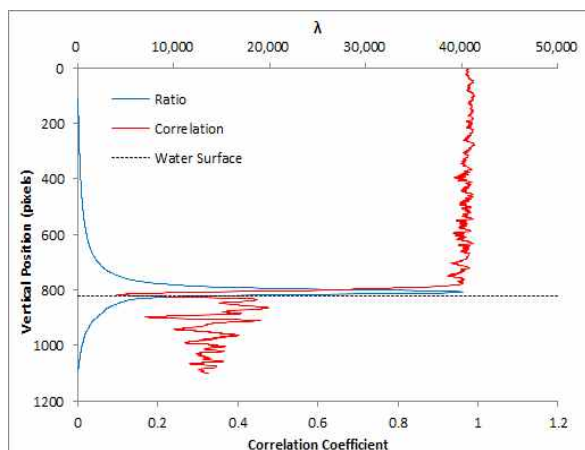


Fig. 3. An example of λ and Correlation Coefficient (Andong Experiment Facility)

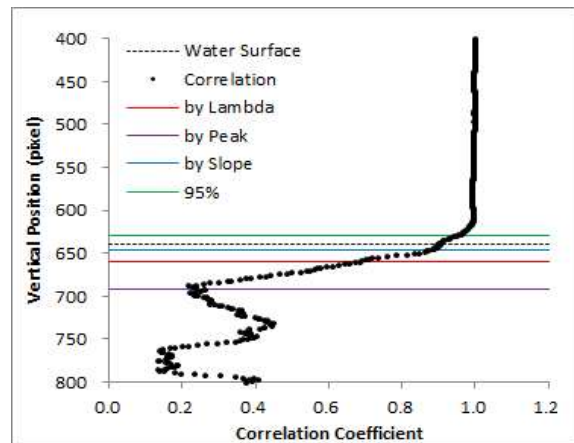


Fig. 4. An example of comparison of detected water surface by four methods

요소의 개수로 적용하여 산정하였다.

2.3 전후처리 기법

2.3.1 영상의 흔들림 보정 기법

앞절에서 기술한 수면인식 기법은 원칙적으로는 시차를 가진 두 영상은 모든 픽셀위치가 그대로 유지되며 흔들리지 않는다는 것을 전제로 한다. 대개 카메라를 견고하게 설치할 경우 영상은 시차가 있더라도 고정되며, 고해상도라고 해도 픽셀위치가 바뀌지 않는다. 하지만, 간혹 바람이 세게 불수도 있고, 교량이 진동할 수 있으므로 영상이 불가피하게 흔들리게 된다. 그러면 먼저 영상과 나중 영상에서 수면 이외의 곳의 픽셀 농도가 변하므로 본 기법의 전제가 성립되지 않는 조건이 된다. 따라서 이를 보정할 방법이 필요하다. 본 연구에서는 영상의 상단부에 물에 잠기지 않는 영역에 대해 직사각형의 흔들림 판정을 위한 별도의 직사각형 검사영역을 설정하고 두 영상을 좌우, 상하이동시키면서 차이값이 최소가 되는 좌우, 상하이동값을 픽셀 단위로 찾아내고 이를 나중 영상의 수평이동에 적용하도록 하는 기법을 적용하였다. 이 기법은 LSPIV를 이용하여 표면유속을 측정할 때 영상의 흔들림을 보정하는 방법으로도 활용된 바 있다(류권규 등, 2008). 픽셀값은 실제 흔들림과는 달리 이산적이므로 흔들림이 있더라도 픽셀값 이하의 변동은 무시되었다.

2.3.2 통계적 필터링 기법

촬영한 영상을 분석해 보면, 바람이 부는 경우 영상이 흔들리므로 앞절의 흔들림 보정이 필요하다. 하지만, 영상의 흔들림은 픽셀 크기 이하의 범위일 수도 있으며, 이 경

우 상하좌우의 그레이 밝기값이 번진 형태로 반영된다. 그 결과 시차가 있는 두 영상을 수평이동하여 보정하더라도 수면이 아닌 위치에서 밝기값이 크게 변동하는 결과를 가져온다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 상관계수 계산을 위한 직사각형 검사영역의 요소에 속하는 픽셀들에 대해 두 영상간의 차이값을 모두 구한 후 그 차이값들 중에 통계적인 이상치로 판단되는 것들을 제거하는 필터링 과정을 적용하였다. 필터링은 먼저 차이값들의 평균과 표준편차를 계산한 후, $\pm 2.58\sigma$ (99% 범위) 바깥에 해당하는 자료를 이상치로 판정하여 제거하였다. 그리고 평균 계산 시 이미 제외된 이상치가 포함되었으므로 이상치를 제외한 후 다시 평균을 하고, 역시 $\pm 2.58\sigma$ 범위 바깥쪽의 이상치를 제외하였다. 이러한 통계적 필터링 기법은 자연 하천에 대한 순간 유속 측정 결과의 이상치 제거 등에도 활용된 바 있는데, Dinehart and Burau (2005)의 경우 $\pm 2.5\sigma$ 를 기준값으로 정하였다.

2.3.3 좁은 색상범위 자료에 대한 상관계수 조정작업

상관계수는 그 특성상 비교 대상인 두 변수값의 변동범위 및 특정 지점에 몰려 있는가에 따라 상관계수가 다르게 나타난다. 원칙상 상관계수는 x, y 의 분포가 등분산성(homoscedasticity) 및 선형성(linearity)을 가져야 한다(Katsanos, 2008). 그러나 실제로는 x, y 의 범위가 목자판의 색상, 눈금의 형태와 수면 영역의 색상 등에 범위가 한정된다. 동일한 100개의 자료가 10 정도의 범위에 있는 경우와, 98개 자료가 동일한 범위 내에 있고, 2개의 자료가 100 정도(번) 범위에 있는 경우 후자의 상관계수가 훨씬 높아지는 왜곡성이 있다. 이러한 특성을 수위 측정 상황에 적용하면, 목자판 영역에는 여백(백색, 밝기값 255), 눈금(대체로 흑색, 밝기값 0), 여러 오염상태 및 번짐이 있으므로 변동범위가 0~255까지인데 비해 오염영역이나 수면의 경우 특정한 색상으로 인해 변동범위가 다소 좁게 되는 기본적인 특징이 있다. 이에 따라 수면이 아니면서도 토사가 집적되어 있는 목자판 부위에서는 밝기값 변화 범위가 좁게 나타나 수면과 같은 요동이 없어도 미세한 영상의 차이만으로도 상관계수가 낮아지는 경우가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 특정한 위치에서 검사영역의 색상범위가 좁을 것을 고려하여 자료 범위를 넓히기 위해 2개의 값을 추가하여 상관계수를 계산하였다.

2.3.4 여러 개의 영상에 대한 분석

마지막으로 흔들리는 등의 불량한 영상이 포함될 경우

특정 영상 쌍의 특성으로 인해 예기치 않게 상관계수가 영향을 받아 수면인식의 정확도가 낮아질 수 있으므로 시차가 크지 않은(최대 10초 이내) 여러 개의 영상 쌍을 이용하여 분석을 실시하였다. 이때 각 쌍별로 상관계수를 계산한 후 이를 기하평균함으로써 특정한 쌍의 영향을 줄

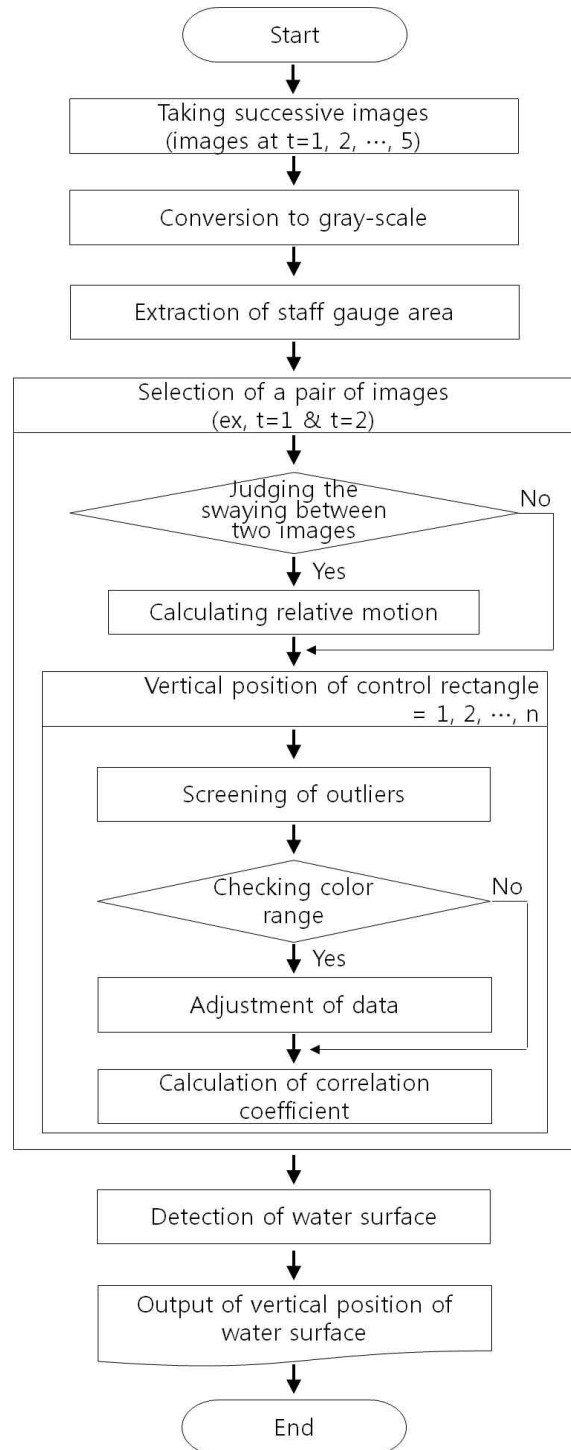


Fig. 5. Processes of the Proposed Method

이고자 하였다. 아울러, 상관계수의 수직적 분포를 계산할 때에도 특정한 이상치의 영향을 가급적 줄이기 위해 이동 평균을 계산하여 이용하였다.

본 연구에서 개발한 직사각형 검사영역에서 상관계수 기반 수면인식 기법의 전체적인 순서도는 Fig. 5와 같다.

3. 적 용

3.1 대상지점 및 특성

본 연구에서 개발한 수면인식 기법의 성능을 확인하기 위하여 28개 지점에서 촬영한 영상을 이용하여 분석을 수행하였다. 주된 촬영시기는 2012년 2~4월이며, 대상지점 및 특성은 Table 1 그리고 Fig. 6과 같다.

총 28개 지점을 간략하게 살펴보면, 26개 지점의 자료가 주간에 사진을 촬영하였으며, 야간 자료는 2011년에 홍천에서 실시한 자료만으로 분석하였다. 영상의 흔들림 여부를 보면, 11개 자료가 정지된 상태로 판단되었으며, 17개 자료가 흔들림이 있는 자료였는데, 이는 실제 영상 수위계처럼 카메라를 구조물에 고정할 수 없는 조건에서 촬영시 카메라가 바람, 자체 진동 등에 의해 흔들렸기 때문이다. 목자판의 길이를 보면, 25개 사진은 수위표의 눈금 범위가 3 m 이하인 것으로 근역 영상으로 분류하였고, 나머지 3개 지점은 3 m를 초과하는 긴 목자판 범위를 포함하여 전고 영상으로 분류하였다. 목자판 유형을 보면, 10개는 영상수위계 전용 목자판이었으며, 16개는 일반 수위관측소의 목자판, 1개는 초록색 바탕의 목자판, 1개는

Table 1. General Information on the Test Sites

번호	지 점	위 치	촬영시기	영상 및 환경특성
1	신정	서울특별시 양천구 신정동 오금교	2012.3.16.	주간, 흔들림, 근역, 고유속, 목자판오염
2	제궁보	경기도 양주시 장흥면 삼상리	2012.3.23.	주간, 정지, 근역, 저유속, 목자판오염
3	퇴계원	경기도 남양주시 퇴계원면 진관교	2012.3.8.	주간, 정지, 근역, 중유속, 목자판오염
4	매포	충북 청원군 부용면 노호리	2012.2.8.	주간, 흔들림, 근역, 고유속
5	청미1	경기도 여주군 점동면 원부리 원부교	2012.3.7.	주간, 정지, 근역, 저유속
6	청미2	"	2012.4.6.	주간, 흔들림, 근역, 중유속
7	안흥	강원도 횡성군 안흥면 안흥리 안흥교	2012.3.7.	주간, 흔들림, 근역, 중유속
8	용선	강원도 홍천군 내촌면 담풍리 용선교	2012.3.8.	주간, 정지, 근역, 중유속
9	안동실험장	경북 안동시 남후면 하아리	2012.4.3.	주간, 흔들림, 전고, 중유속
10	이포	경기도 여주군 금사면 이포리 이포대교	2012.2.8.	주간, 흔들림, 전고, 중유속
11	홍천	강원도 홍천군 홍천읍 연봉리 홍천교	2012.3.8.	주간, 정지, 근역, 중유속
12	흑천교	경기도 양평군 개군면 공세리 흑천교	2012.3.8.	주간, 정지, 근역, 중유속
13	죽전	경북 예천군 개포면 신음리 죽전	2012.4.3.	주간, 흔들림, 근역, 고유속
14	장호원교	경기도 이천시 장호원읍 장호원교(구)	2012.3.7.	주간, 흔들림, 근역, 중유속
15	점촌	경북 문경시 영순면 감용리	2012.4.3.	주간, 흔들림, 근역, 중유속
16	산양	경북 문경시 산양면 불암리 산양교	2012.4.3.	주간, 흔들림, 근역, 중유속
17	실내실험	한국건설기술연구원 내	2010.1.18.	주간, 정지, 근역, 고유속, 목자판오염
18	홍천실험(야)	경기도 여주군 홍천면 다대리 홍천대교	2011.2.22.	야간, 정지, 근역, 고유속, 목자판오염
19	홍천실험(주)	경기도 여주군 홍천면 다대리 홍천대교	2011.2.22.	야간, 흔들림, 근역, 고유속, 목자판오염
20	검백	전남 보성군 검백면 석호리 가장교	2012.3.12.	주간, 흔들림, 근역, 중유속
21	검백2	"	2012.3.12.	주간, 흔들림, 근역, 중유속
22	홍천	경기도 여주군 홍천면 다대리 홍천대교	2012.4.6.	주간, 흔들림, 전고, 고유속
23	남한강대교	강원도 원주시 부론면 법천리 남한강대교	2012.4.6.	주간, 흔들림, 근역, 고유속
24	삼합	경기도 여주군 점동면 삼합리 삼합교	2012.4.6.	주간, 흔들림, 근역, 고유속
25	삼지	전남 담양군 봉산면 삼지리 삼지교	2012.3.12.	주간, 정지, 근역, 중유속, 목자판오염
26	경안	경기도 광주시 쌍령동 경안교	2012.4.6.	주간, 흔들림, 근역, 중유속
27	군산도선장1	전북 군산시 금동	2012.4.25.	주간, 정지, 근역, 중유속, 목자판훼손
28	군산도선장2	"	2012.4.25.	주간, 정지, 전고, 중유속, 목자판훼손



Fig. 6. Images for the Selected Sites

교량에 칠해져 있는 수위표식으로 구분된다. 측정 당시의 유속을 보면, 9가지 경우에는 흐름이 대체로 빨랐으며, 15개는 흐름이 육안으로 확인되었고, 2개는 흐름이 미약한 것으로 나타났다. 마지막으로 목자판의 상태를 보면, 1개는 목자판의 수면에서 떨어진 중간부분이 오염되어 있었으며, 3개는 실제로 수면 부근이 오염되어 있었고, 1개는 중간부분에 부유물이 걸려 있었으며, 3건은 수면부근의 오염을 가정한 실험조건이었고, 2개는 목자판의 일부가 상한 상태였다. 나머지 18건은 대체로 정상적인 상태의 목자판으로 나타났다.

3.2 수면인식 알고리즘의 적용

28개 지점의 자료에 대해 본 연구에서 개발한 직사각형 검사영역에 대한 상관계수 분석에 기초한 수면인식 기법을 적용하였다. 다음은 알고리즘의 처리 단계별 적용 방식을 설명하였다.

본 연구에서는 상관계수 분석을 위해 시차가 있는 영상 총 4매를 사용하였다. 상관계수 분석을 위한 영상 쌍은 1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4, 3-4 등 6개 쌍을 구성하였으며,

각 지점별 영상별로 동일한 쪽에 대해 수위표 영역만을 추출하여 회색조로 변경한 후 사용하였다. 영상은 가급적 목자판 부분과 수면 부분의 비율이 적절하도록 촬영하였으나, 일부 전고 영상의 경우 목자판 부분이 상대적으로 길게 나타났다.

상관계수 분석을 위한 영상 쌍의 흔들림을 분석하기 위해 이미지의 상단으로부터 아래로 21픽셀에서 70픽셀까지 총 50픽셀의 수직길이와 수위표 영상의 가로 픽셀에서 좌우 20픽셀을 제외한 직사각형의 검사영역을 설정하여 비교하였다. 다만, 목자판 영상의 가로 픽셀이 70 미만인 경우 10픽셀만을 제외하였다. 이 때 시간적으로 앞선 영상(이하 $t=1$ 영상으로 한다)을 고정된 상태에서 나중 영상(이하 $t=2$ 영상이라 한다)을 좌우(x), 상하(y) ± 10 픽셀(가로 픽셀이 70 미만인 경우 ± 5 픽셀)의 범위에서 이동하면서 $t=1$ 영상과의 차이값이 최소화되는 x, y 값을 찾아내어 상관계수 계산 시에 위치 조정에 반영하였다. 28개 지점 중에 1개 픽셀 단위 이상의 흔들림이 확인된 지점은 17개 지점이며, 흔들림의 정도는 적은 지점에서 가로, 세로 모두 $-1 \sim 1$ 범위, 큰 지점에서는 가로 $-5 \sim 3$, 세로 $-6 \sim 3$ 정도

범위로 나타났다. 17개 지점 중 흔들림이 심한 지점 중에 이포의 경우 영상수위계 전용 목자판인데, 가로는 평균 2.5픽셀(최대 -5), 세로는 평균 3픽셀(최대 -6)의 흔들림이 있었는데, Fig. 7의 좌측과 같이 흔들림 보정 전후의 상관관계수가 차이가 매우 크게 나타났다. 이에 비해 목자판 눈금이 훨씬 적고 백색 여백이 많은 검백교각의 경우(Fig. 7 우측) 가로 평균 1픽셀(최대 2), 세로 평균 2픽셀(최대 3)로 이포를 제외한 다른 지점들보다는 많은 흔들림이 있었으나 상관관계수는 크게 보정되지는 않았다. 다만, Fig. 7의 우측에서 나타난 것처럼 중간 중간에 형성되었던 피크(이는 원영상에서 검은색으로 표시된 수위 눈금 부분으로 판단됨)가 없어진 것을 알 수 있다. 흔들림을 제거하는 필터링을 함으로써 임계치 산정의 기준이 되는 유수가 닿지 않는 목자판 상단부의 상관관계수값의 이상치를 제거할 수 있게 된다. 이와 함께 픽셀 단위 이하의 흔들림으로 인해 발생할 수 있는 영향을 감소시키고 이상치를 제거할 목적으로 앞절에서 언급한 통계적 필터링과 색상 범위의 조정을 적용하였다.

실제 수면을 인식하기 위한 상관관계수 분석 검사영역은 가로는 목자판 영상의 전체 가로 픽셀크기에서 좌우 20픽셀을 제외한 크기로 하였고(가로 70픽셀 미만의 목자판 영상에서는 좌우 10픽셀 제외), 세로는 모든 지점에서 30픽셀로 고정하여 분석하였다. 이는 상관관계수의 임계치를 이용하여 수면을 인식하고자 할 때, 검사영역은 목자판의 가로폭을 충분히 포괄할 수 있도록 넓게 하는 것이 좋다는 것이 확인되었기 때문이다(서명배 등, 2012). 다만, 검사영역이 커짐에 따라 계산 속도가 느려질 수 있으므로 검사영역의 가로, 세로 픽셀을 모두 사용하지 않았으며, 본 연구에서는 가로는 5간격으로 세로는 3간격으로 상관관계수 계산 요소를 추출하였다.

최종적인 상관관계수는 6개 영상 쌍에서 얻은 상관관계수를 기하평균한 후 상하 2개 검사영역의 값을 포함하여 5개 값의 이동평균을 구하였다.

마지막으로, 수면의 위치를 판단하기 위해 앞절에서 언급한 4가지 방법을 적용하였다. 28개 지점 중에서 21개 지점의 경우 4가지 방법 모두에서 수면 판단이 가능하였으나, 7개 지점의 경우 영상의 흔들림 등으로 인해 목자판 영역에서 상관관계수가 변동성이 큰 관계로 분산비 기법에 의해서만 수면을 판단하였다.

마지막으로, 본 연구의 알고리즘에 의해 계산된 수면의 위치는 실제 눈으로 원영상 및 현장에서 확인한 수면의 실제 위치와 비교함으로써 그 정확도를 분석하였다. 수면에는 요동이 있으므로 목자판에서 실제 수면을 확인할 경우 위치에 따라 다를 수 있으나 편의상 실측값(기준 수면)은 목자판 영상의 중앙부에서 확인한 수면의 위치를 사용하였다. 다만, 수면 요동의 영향을 줄이기 위해 영상 분석에 사용된 4매의 실측값을 평균하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 수면인식 결과

촬영된 영상은 총 28개 지점에 대해 각 4매씩 112매이며, 목자판과 수면을 포함하는 영역으로 잘라서 분석에 사용한 영상의 크기는 수평으로 40~328픽셀, 수직으로는 234~1,990픽셀이다. 28개 지점 중에 제궁보를 포함한 6개 지점은 가로 픽셀이 70 미만인 관계로 좌우 10픽셀만을 제외하고 분석하였다.

Table 2에 나타난 결과에 기초하여 4가지 수면판단 기법을 중심으로 전체적인 특성을 살펴보면, 절대값 평균으로 계산한 수면인식 오차는 임계치(95% 또는 98%) 기법

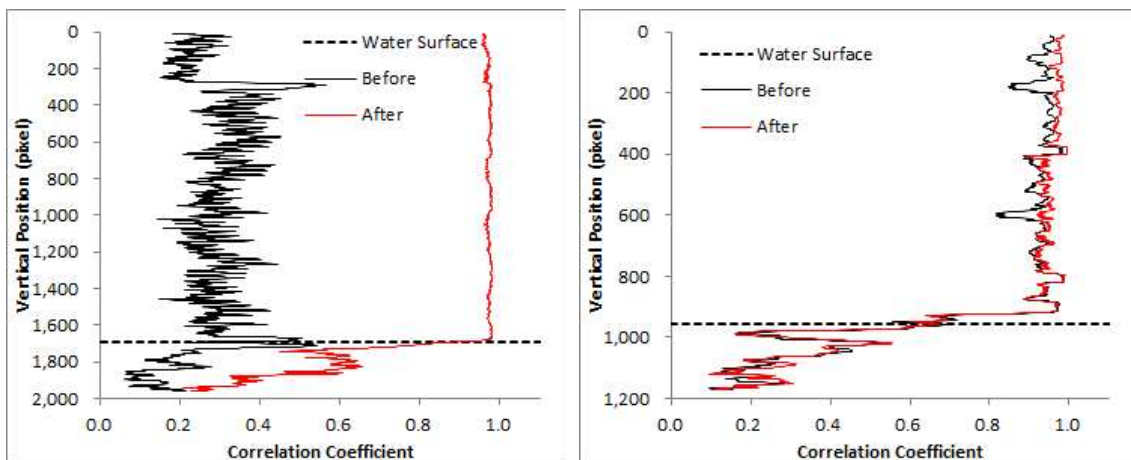


Fig. 7. Correlation Coefficient before and after Swaying Adjustment (Left: Ipo, Right: Gyeombaek2)

Table 2. Results of Application (6 underbared sites have narrow horizontal pixel size)

번호	지점	영상크기		수위표 범위 (cm)	실제 수위 (px)	평균 상관 계수	최저 상관 계수	적용 비율	인식수위(pixel)				수위오차(pixel)				수위오차(cm)			
		수평	수직						입계치	Peak	기울기	분산비	입계치	Peak	기울기	분산비	입계치	Peak	기울기	분산비
1	신정	104	1,123	200	746	0.816	0.130	0.95	739	791	736	750	7	-45	10	-4	1.9	-12.1	2.7	-1.1
2	채궁보	63	639	104	423	0.946	0.630	0.98	423	432	514	514	0	-9	-91	-91	0.0	-2.2	-22.4	-22.4
3	퇴계원	96	840	94	639	0.862	0.130	0.95	630	692	647	659	9	-53	-8	-20	1.3	-7.8	-1.2	-2.9
4	매포	240	480	40	357	0.819	0.100	0.95	337	368	341	348	20	-11	16	9	2.2	-1.2	1.8	1.0
5	청미1	129	480	57	251	0.959	0.960	0.98	260	268	302	298	-9	-17	-51	-47	-2.0	-3.9	-11.6	-10.7
6	청미2	110	345	45	187	0.809	0.150	0.95	180	226	184	202	7	-39	3	-15	1.7	-9.4	0.7	-3.6
7	안흥	90	620	74	439	0.902	0.500	0.98	413	454	442	446	26	-15	-3	-7	4.4	-2.5	-0.5	-1.2
8	용선	106	880	65	523	0.934	0.720	0.98	527	558	528	532	-4	-35	-5	-9	-0.5	-4.3	-0.6	-1.1
9	안동실협장	67	1,140	182	822	0.776	0.100	0.95	757	823	794	806	65	1	28	16	14.4	0.2	6.2	3.5
10	이포	84	1,990	658	1692	0.911	0.210	0.95	1,689	1,743	1,722	1,717	3	-51	-30	-25	1.2	-19.8	-11.7	-9.7
11	홍천	60	797	103	460	0.774	0.150	0.95	459	515	461	477	1	-55	-1	-17	0.2	-12.3	-0.2	-3.8
12	흑천	78	900	118	650	0.973	0.760	0.98	644	684	717	648	6	-34	-67	2	1.1	-6.2	-12.2	0.4
13	죽전	75	880	113	587	0.740	0.100	0.95	552	588	558	570	35	-1	29	17	6.7	-0.2	5.6	3.3
14	장호원	109	386	38	149	0.866	0.610	0.95	147	202		148	2	-53		1	0.5	-13.5		0.3
15	점촌	124	982	84	701	0.795	0.060	0.95	679	720	680	694	22	-19	21	7	2.6	-2.3	2.5	0.8
16	산양	40	705	190	471	0.704	0.110					468				3				1.2
17	살내실협	184	474	55	339	0.909	0.190	0.95	320	345	319	323	19	-6	20	16	3.1	-1.0	3.2	2.6
18	홍천실협(야)	183	638	75	463	0.870	0.390	0.95	416	488	467	462	47	-25	-4	1	7.6	-4.0	-0.6	0.2
19	홍천실협(주)	188	638	75	452	0.628	0.180					431				21				3.5
20	검백	67	970	155	732	0.784	0.050	0.95	699	735	699	714	33	-3	33	18	7.0	-0.6	7.0	3.8
21	검백교각	139	1,200	225	954	0.828	0.095					917				37				8.7
22	홍천	80	1,282	356	1007	0.885	0.153					997				10				3.5
23	남한강대교	68	234	36	101	0.811	0.340	0.95	97	103	118	122	4	-2	-17	-21	1.4	-0.7	-6.1	-7.5
24	삼합	70	1,100	230	873	0.827	0.074					869				4				1.1
25	삼지	76	1,226	187	962	0.869	0.083					969				-7				-1.4
26	경안	95	1,240	145	971	0.905	0.355	0.95	959	985	1039	991	12	-14	-68	-20	1.8	-2.1	-10.2	-3.0
27	군산도선정1	328	1,292	68	827	0.706	0.032	0.95	790	820	789	804	37	7	38	23	3.0	0.6	3.1	1.9
28	군산도선정2	74	1,294	305	965	0.799	0.065	0.95	935	968	934	948	30	-3	31	17	9.5	-0.9	9.8	5.4
	절대값평균												18.1	22.6	27.3	18.1	3.4	4.9	5.7	3.9

이 18.1픽셀, 침두값 기법이 22.6픽셀, 기울기의 변곡점을 이용한 기법이 27.3픽셀, 분산비 기법이 18.1픽셀로 나타났으며, 이를 목자판의 길이로 환산한 오차는 각각 3.4, 4.9, 5.7, 3.9cm로 나타나 대체로 약 5cm 정도의 오차 범위에 드는 것으로 나타났다. 이 범위는 저수위 값에서 측정된 결과로서 일반적인 센서형 수위계뿐만 아니라 기존의 영상수위계가 채택하고 있는 이진화에 의한 수평 에지 추출기법에 비하면 오차가 다소 크게 나타났다. 하지만, 이 오차값들은 기존 이진화 에지 기법의 영상수위계가 오염 조건에서 작게는 십 수 cm, 크게는 수 십 cm의 오차를

보인다는 점을 감안하면 상대적으로 작은 오차 범위라고 볼 수 있다. 한편, 4가지 방법 중에 가장 오차가 적은 방법은 임의적인 비율의 입계치(95% 또는 98%)를 적용한 것으로 나타났다. 이는 픽셀 변화가 없는 목자판 영역의 평균비율에서 조금만 상관계수가 낮아져도 수면의 특성이 반영된다는 것을 의미한다. 특히 목자판 부분의 흔들림으로 인해 상관계수의 진동이 심하여 입계치에 의한 수위가 작게 산정된 안동실협장 경우를 제외하면, 절대값 오차는 15.9픽셀, 목자판 기준오차는 2.8cm로 가장 좋은 결과를 보였다. 영상의 전경과 배경간

차이를 분석하는 분산비에 의한 기법 역시 임계치 기법 다음으로 오차가 작게 나타났는데, 이 역시 수면의 흔들림이 적으면서 수면 부근의 오염때에서 상관계수가 높게 나타나 오차가 크게 반영된 제공보 지점을 제외하면 14.6픽셀, 3.2cm로 수면 인식이 비교적 잘 되었음을 보여주었다. 한편, 침두값에 의한 기법이나 변곡점에 의한 기법이 상대적으로 크기는 하나 수면을 인식하는 성능이 크게 떨어지지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 28개 지점 중에 다른 지점들을 대표하는 특징이 있는 지점 9곳을 중심으로 목자관 상단으로부터 하단까지의 상관계수 분포와 실제 수면 및 4가지 방법에 의해 판단한 수면을 보여준다.

본 기법의 전제에 가장 잘 부합하는 가장 조건으로 흐름이 있고 목자관은 정상상태로 고정되어 있는 경우를 나타내는 것은 매포 지점 등이다. 이 경우 목자관 상단에서

부터 내려오면서 상관계수가 1에 가깝다가 수면에서 확연한 상관계수 감소를 보이는 것이다. 수위표 부근의 오염을 가정하였지만, 수면 요동이 심한 실내실험 역시 수면 바로 위에 약간의 상관계수 변동이 있으나 매포와 유사한 특성을 나타내고 있다.

제공보 지점의 경우 수면이 움직이기는 하지만 물결이 없는 조건에서 주변 환경의 영향으로 픽셀 농도의 변화가 작아 침두값의 상관계수가 상당히 높게 나타났다. 이로 인해 임계치 역시 높게(98%) 적용되었다. 그러나 분산비와 기울기 기법에 의한 수면 인식은 아래쪽으로 치우친 특성을 나타내고 있으며, 수면 인식의 오차도 20cm 이상으로 매우 크게 나타나고 있다. 이는 이 지점의 영상에서 수면 아래 부분에 흐름이 매우 미약하고 더구나 어두운 색으로 픽셀의 변동이 잘 확인되지 않는 특성과 상관계수가 점차 감소하는 특성으로 인해 기울기 변화가 약하고

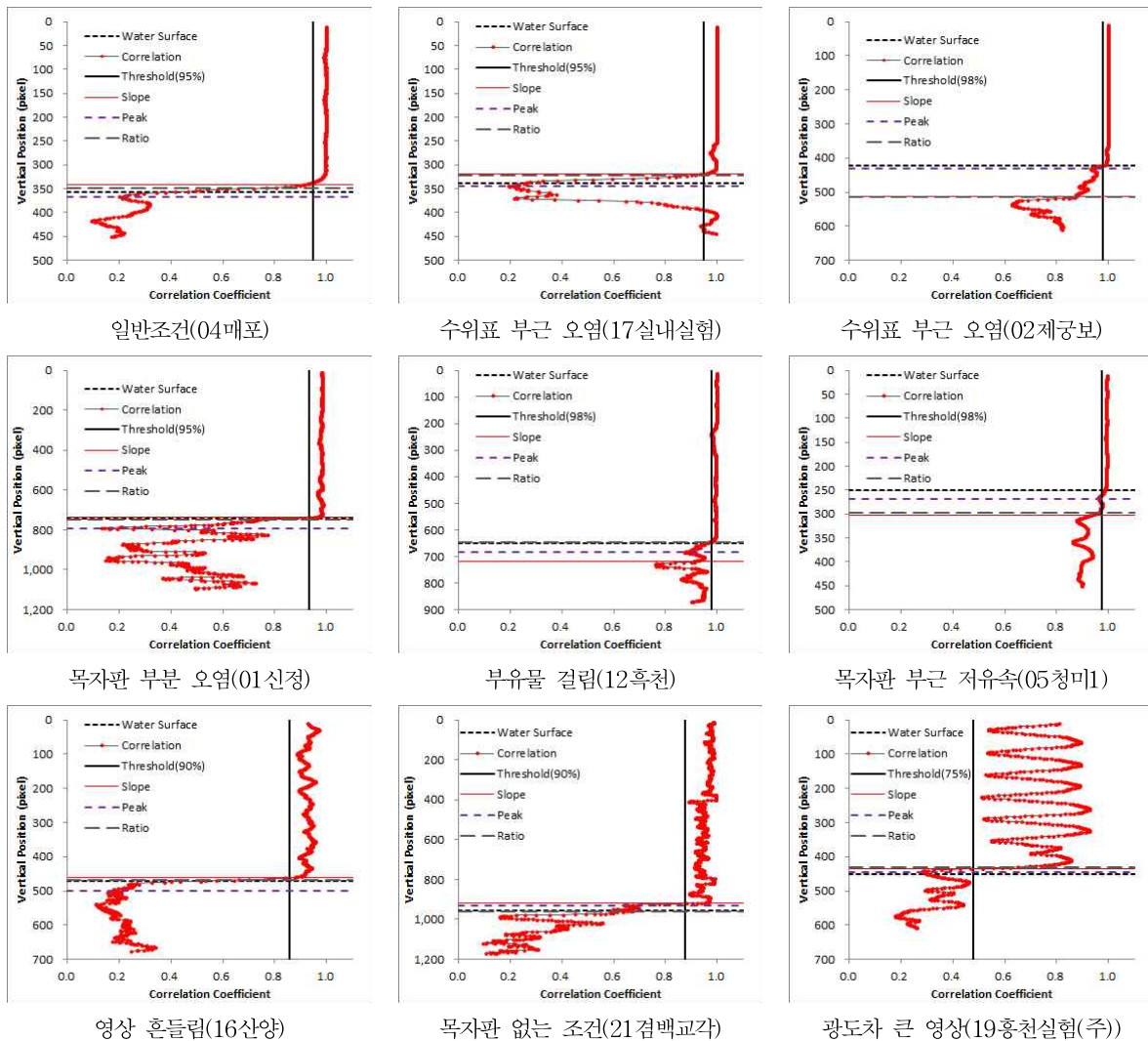


Fig. 8. Correlation Coefficient Profiles for Selected Sites

분산비가 뚜렷하게 확인되지 않는데 기인한다.

신정 지점의 경우 흐름이 빠른 조건으로 일반적인 경우와 비슷하나 목자관 중간부분이 일부 부유사로 오염되어 있다. 하지만, 상관계수의 약간의 변동이 있는 정도로 수면 인식에는 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 흑천 지점의 경우 목자관 중간쯤에 부유물이 걸려 있으나 이 역시 바람에 의한 약간의 흔들림 외에는 정지하고 있으므로 수면 인식에 영향을 주지 않고 있다. 그 대신 목자관에 접촉해 있는 수면이 잔잔하고 고요하여 수면 인식이 방법별로 차이가 있는 것으로 나타났다.

청미1 지점의 경우 목자관이 직사광선을 바로 받고 있는데다가 목자관 바로 앞에 접촉하는 흐름 또한 고요하여 상관계수의 변동이 적은 특성을 나타내고 있다.

산양 지점은 영상의 흔들림이 심한 지점으로 목자관 영역에서의 상관계수의 변동성이 다소 크게 나타났으며, 수면을 정상적으로 판단하기 위해서는 임계치를 90% 정도까지 낮추어 적용해야 하는 문제점이 있다.

일반적인 목자관이 아닌 교각에 수위표식이 칠해져 있는 검백교각 지점의 경우 눈금의 빈도가 적은 상황에서 배경색(백색)이 수면에 반사된 빛의 영향을 받고 또 영상 자체가 흔들린 관계로 목자관 영역에서 역시 상관계수의 진동이 크게 나타났다. 이에 따라 목자관 영역의 상관계수 변동성을 필터링하기 위해서는 임계치도 90%를 적용해야 하는 특성을 보인다.

마지막으로 홍천실협(주) 지점의 경우 가시광선 투광기에 대해 카메라가 조도조절이 부적절하게 된 결과 영상 4매의 광도차가 큰 특성을 갖고 있다. 이로 인해 목자관의 검은색 눈금이 뚜렷하게 보였다가 아니다가 하는 특성을 나타내는데, 이를 반영하여 주기적인 상관계수의 변동이 확인되었다. 그럼에도 불구하고 4가지 방법 모두가 비교적 정확한 수면 위치를 판단하고 있음을 확인하였다.

4.2 분석

영상에서 판독할 수 있는 수면과 수면 판단 기법을 적용한 수면의 차이 중에 특별한 점이 몇 가지가 있다. 그 중 하나는 실제 수면의 대부분은 임계치(95% 또는 98%) 아래에서 나타난다는 것이다. 임계치로 수면 판단이 가능한 22개 지점 중에 청미(-9픽셀, -2.0 cm)와 용선(-4픽셀, -0.5 cm)을 제외한 20개 지점은 모두 실제 수면이 임계치 아래에서 나타났다. 이와는 반대로 침두값 기법을 적용하여 인식한 수위는 군산도선장1 지점을 제외한 21개 지점에서 실제 수면이 계산값의 위쪽에 나타났다. 군산도선장1 지점의 경우 4개 영상에서 수면이 점차 하강(815 → 820 → 838 → 834)한 결과 실제 수면은 그 평균값인 827픽셀로 적용한 점을 고려하면 실제로 22개 지점 모두에서 실제 수면은 침두값 위에서 발생하였다는 것이 된다. 이는 목자관의 오염 여부에 관계없이 목자관에 접촉한 수역보다는 약간 떨어진 수역에서 침두값이 나타났다는 것을 의미하며, 적어도 침두값으로 판단한 수면 이하에서는 실제 수면이 나타나지 않을 것으로 판단할 수 있는 좋은 한계선이 된다. 요컨대, 임계치 기법과 침두값 기법을 공히 적용할 경우 실제 수위는 이 두 사이에 있으므로 이진화에 지 처리법과 같은 기존의 수면 인식기법이 수위를 오인식하여 이 범위를 넘지 않는 범위에서 수면을 찾아내도록 할 수 있을 것이다. 다만 수면의 요동이 보다 뚜렷하여 목자관에 접촉한 수면의 흐름이 확실하게 촬영될 경우 침두값이 실제 수면에 근접하게 위쪽으로 형성되고 유속이 느려서 수면 요동이 목자관으로부터 이격된 위치에서 나타날 경우 침두값은 아래쪽에 형성된다.

Table 3에서는 Table 1에서 제시한 각 지점별 영상의 흔들림, 유속의 고저, 목자관의 오염도에 따라 수면 판단의 정확도를 평균값으로 살펴보았다. 이때 영상의 흔들림은 흔들림 보정 알고리즘으로 계산할 때 1픽셀 이상의 수

Table 3. Comparison of Error according to Environmental Condition

조건	구분	임계치		침두값		기울기		분산비	
		픽셀 (pixel)	길이 (cm)	픽셀 (pixel)	길이 (cm)	픽셀 (pixel)	길이 (cm)	픽셀 (pixel)	길이 (cm)
영상의 흔들림 여부	정지	16.2	2.8	24.4	4.3	31.6	6.5	22.7	4.8
	흔들림	19.7	3.8	21.2	5.4	23.5	5.0	13.8	3.3
유속	고유속	22.0	3.8	15.0	3.2	16.0	3.3	11.4	2.6
	저유속	16.6	3.2	25.5	5.5	31.9	6.7	20.1	4.5
목자관 오염 여부	비오염	17.4	3.3	22.6	5.2	23.5	5.0	15.7	3.8
	오염	19.4	3.4	22.8	4.3	33.6	6.9	20.2	4.2

평, 수직 흔들림 발생 여부에 따라 구분하였다. 유속은 다소 임의성은 있으나 본 연구가 유속의 값에 따른 영향이 중요한 것은 아니므로 영상을 시각적으로 볼 때 수면에서 물결이나 요동이 뚜렷하게 확인되는 것은 고유속(Table 1의 중유속 포함), 그 외에는 저유속으로 구분하였다. 목자판 오염 역시 육안으로 목자판에 부유토사, 부유물, 오염띠 등이 포함된 경우와 그렇지 않은 경우로 구분하였다.

임계치 방법의 경우 고유속 조건을 제외하면 20픽셀 이내, 4cm 이내의 오차를 나타냈다. 영상이 흔들린 경우가 정지한 경우보다 오차가 크고, 오염된 경우가 오염없는 경우보다 오차가 커서 일반적인 예상과 부합하는 특성을 나타내고 있다. 하지만 유속에 따른 오차는 오히려 반대로 나타나는데, 이는 고유속 조건의 경우 수면은 절대값이 낮은 상관계수의 침두값에 근접함에 따라 95% 내지는 98%인 높은 상관계수값과 멀어지는 결과라고 보이며, 이는 침두값에 의한 수면 판단 중에 고유속 조건에서 오차가 가장 낮은 것과 관계가 있다.

침두값에 의한 수면 판단은 앞의 4.1절에서 지적한대로 대체로 실제 수면보다 아래쪽에 나타나면서 최저 수면 위치의 한계선으로 작용하고 있기에 실제 수면과의 상대오차는 음수값이 되고(Table 2), 절대값 오차 역시 다소 크게 나타났다. 다만, 수면의 요동이 뚜렷한 고유속 조건에서는 침두값이 실제 수면에 근접하여 오차가 상대적으로 많이 작아짐을 알 수 있는데, 안동실험장(1픽셀), 검백(-3픽셀), 남한강대교(-2픽셀) 등이 이를 잘 보여주고 있다. 기울기에 의한 수면 판단 역시 다른 조건에 비해 고유속 조건에서 오차가 작았으며, 이 역시 급격한 상관계수 감소가 나타나는 특성을 잘 보여주고 있다.

분산비에 의한 수면 판단의 경우 특정 지점에서 오차가 큰 경우가 있으나 전체적으로 상대오차가 가장 낮게 나타나고 있다. 침두값 및 기울기 기법과 마찬가지로 고유속 조건에서 가장 오차가 작은 특성을 나타내고 있으며, 흔들림 영상의 경우에도 다른 모든 경우에 비해 현저하게 낮은 오차를 보이고 있다. 이러한 결과는 유속이 빠를수록 수면부와 목자판 부분의 구별이 뚜렷해짐을 의미하며, 흔들린 영상에서도 클래스 내 분산으로 계산되는 흔들림에 의한 영향보다는 수면의 확연한 특성에 의해 갈리는 클래스간 분산이 더 크게 작용한다는 의미로 볼 수 있다.

조건에 따른 상대오차의 특성을 보면, 임계치를 제외한 3가지 기법에서 고유속일수록 오차가 작았고, 목자판이 오염되지 않을수록 오차가 작게 나타났다. 한편, 흔들린 영상이 정지 영상에 비해 오차가 감소하는 예상과는 상반된 결과를 보였는데, 이는 픽셀 단위 이상 흔들린 경우 보

정 알고리즘이 적용되어 영상처리가 된데 비해 픽셀 단위 이하의 미세한 흔들림은 보정되지 않기 때문인 것으로 풀이된다. 특히 정지 영상에는 픽셀 이하의 미세 진동이 포함되므로 정확도가 상대적으로 낮게 될 가능성이 있다.

본 연구에서 적용한 수면 판단 기법별, 영상 조건별 적용 결과를 요약하면 본 연구의 상관계수 분석 기법은 수면의 흐름이 빠르거나 거칠어서 픽셀이 크게 변동하는 경우에는 오염이나 영상의 흔들림 여부와 관계없이 보다 더 수면을 정확하게 찾을 수 있는 것으로 나타났다. 이는 본 기법이 전제하고 있는 조건에 부합할수록 수면인식 정확도가 높음을 의미한다.

본 연구에서 분석한 28개 지점 중에 목자판의 길이가 3m 이상으로 전고(full-scale) 영상으로 볼 수 있는 세 지점(이포전고, 군산도선장2, 흥천)만을 분석해 보았다. 이들 지점은 자료가 적은 관계로 근역에서 촬영한 영상의 결과와 직접 비교하기는 어렵지만, 수면판단 기법에 따라 16~30픽셀 정도의 오차가 있는 것으로 나타났는데, 이는 목자판을 기준으로 5.3~10.4cm 정도이다. 전고 영상에 대한 분석 기법은 카메라의 줌이나 팬틸트와 같은 조작없이 단순한 CCTV 감시카메라 등에 의해 촬영된 영상만으로도 수위를 측정하는데 활용될 수 있는데, 이 정도 범위의 수면 인식 오차는 강우에 따른 수위 변화를 판단하는 등의 목적으로는 충분히 활용될 수 있을 것이다.

야간 영상의 경우 본 연구에서는 1개 지점(흥천실험(야))만을 대상으로 했기에 일반화시키기는 어려우나 분석 결과를 보면 임계치 기법의 경우 수면보다 7.6cm 높게 오차가 발생했으나 침두값, 기울기, 분산비 기법의 경우 각각 -4.0, -0.6, 0.2cm의 오차를 보여 주간 영상과 비교하여 오차가 더 커지지는 않는 것으로 보인다. 이는 촬영 영상에서 수면의 요동이 비교적 심했던 데에 기인한다고 볼 수 있다. 다만, 영상수위계가 24시간 주야간 운영되어야 한다는 점을 고려하면 야간 영상에 대해 보다 많이 분석할 필요가 있다.

종합적으로 보면, 본 연구에서 제안한 상관계수 분석에 의한 수면인식 기법은 cm 이하의 정확한 수위값을 제공하는 어려우므로 픽셀 단위로 수면을 면밀하게 판단할 수 있는 기존의 에지(edge)처리 기법이나 픽셀변동 기법과는 정확성이 중요시 여겨지는 지점에서 단독적인 기법으로 사용하기는 어려울 것으로 판단된다. 이는 본 기법이 기본적인 알고리즘 특성상 일정한(보통 30픽셀) 수직 크기가 전제된 직사각형 검사영역을 기준으로 하는 특성 과도 관계가 있으며, 대부분의 수면의 요동이 고유속 조건 외에는 목자판 접촉부에서 확인하지 않은 목자판 주변

의 환경 특성과의 관계가 있다. 하지만, 이러한 단점이 있음에도 불구하고 수직적으로 한 두 픽셀 정도의 민감도에서 수면을 판단하는 기존의 에지 처리 기법이나 픽셀 변동 기법에 비해 민감도가 낮으며, 이로 인해 영상의 진동 등은 필터링 후 충분히 보정될 수 있고 수면 인식이 지장을 초래하지 않아 오차가 지나치게 확대되지 않을 가능성이 높다. 본 연구와 병행하여 기존에 제시된 픽셀농도 변화 기법(권성일 등, 2010)에 대해서도 재차 분석하였으나 픽셀농도 변화 기법은 수직크기가 1픽셀로 영상의 흔들림 등에 의해 오차가 보정에도 불구하고 크게 발생하는 문제가 확인된 바 있다(권성일 등, 2012). 본 연구에서 제안한 기법은 수면 인식의 민감도가 다소 상쇄되지만 목자판의 오염, 부유사/부유물의 집적 등이 있더라도 수면의 위치에서 크게 이탈하지 않는 대략적인 수면 범위를 판단해 줄 수 있다는 점에서 기존 기법이 오염이나 그림자 등에 의해 실제 수면에서 수십 cm 이상 상당히 동떨어진 곳을 수면으로 판단하는 경우에서 오는 부정확성을 차단하고 보완하는 기법으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 시차를 가진 두 영상에 대해 직사각형 검사영역을 설정하고 그 상관계수를 분석하여 수면을 판단하는 새로운 수면인식 기법을 제안하고 주로 주간, 저수시에 촬영한 28개 지점의 영상에 대해 적용하여 분석하고 그 결과를 제시하였다. 본 연구의 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서는 목자판과 수면을 포함하는 세로로 길고 시차를 가진 두 영상에 대해 동일한 위치의 직사각형 검사영역 간에 상관계수를 구하고 그 변화 특성으로부터 수면을 판단하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 수면 판단에는 임계치, 침투값, 기울기, 분산비 등의 기법을 적용하였으며, 분석의 정확성을 높이기 위해 흔들림을 보정하는 알고리즘 및 통계적 필터링 등을 적용하였다.
- 2) 주간 촬영한 영상을 중심으로 하는 28개 지점에 대해 이를 적용하였으며, 지점에 따른 편차가 있으나 절대값 평균으로 계산한 수면인식 오차는 임계치(95% 또는 98%) 기법이 18.1픽셀, 침투값 기법이 22.6픽셀, 기울기의 변곡점을 이용한 기법이 27.3픽셀, 분산비 기법이 18.1픽셀로 나타났으며, 이를 목자판의 길이로 환산한 오차는 각각 3.4, 4.9, 5.7, 3.9 cm로 나타나 대체로 약 5 cm 정도의 오차 범위에 드는 것으로 나

타났다.

- 3) 대부분의 경우 실제 수면은 임계치 기법으로 판단한 수면의 약간 아래에, 침투값 기법으로 판단한 수면의 약간 위에서 나타났으며, 이는 실제 수면이 두 기법에 의해 결정된 상하 범위 내에 있다는 것을 뜻한다. 따라서 이진화 에지 처리법과 같은 기존의 수면인식기법에 의해 측정된 수위가 이 상하 범위를 벗어나는 경우 수위 오인식을 판단할 수 있으며, 나아가 수위 탐색의 범위를 제한하여 정확도를 향상시키는 효과가 있을 것으로 기대된다.
- 4) 영상의 흔들림, 목자판 오염, 유속 등의 영향 인자를 고려한 결과 유속이 빠른 경우 상관계수의 구별이 뚜렷하여 수면 판단의 정확도가 높아지는 특성이 확인되었다.

결론적으로, 본 연구에서 제안한 상관계수 분석에 의한 수면인식 기법은 높은 정확성을 가지지는 않지만 수면에 흐름이 있다는 전제 하에 기존의 수면인식 기법을 보완하면서 실제 수위가 나타날 수 있는 범위를 좁힘으로써 영상수위계의 수위 측정 성능을 높일 수 있는 기법으로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업((12주요-시드)클라우드 기반 소형 저전력 영상수위계 개발)의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Dinehart, R.L., and Burau, J.R. (2005). "Repeated surveys by acoustic Doppler current profiler for flow and sediment dynamics in a tidal river." *Journal of Hydrology*, Vol. 314, pp. 1-21.
- FRANCE ETAT PONTS CHAUSSEES (2005). Water level measurement device for e.g. river, has storage and processing circuit processing image taken by camera to provide information representative of liquid level with respect to reference level, France Patent (FR 2865802A1).
- Katsanos, M. (2008). *Intermarket Trading Strategies*, John Wiley and Sons, Chichester, p. 412.
- Kim, J.D., Han, Y.J., and Hahn, H.S. (2010) "Image-based Water Level Measurement Method Adapting to

- Ruler's Surface Condition." *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 15, No. 9. pp. 67-76 (in Korean).
- Kim, W., Kim, C.Y., Kim, D.G., and Lee, C.J. (2006) "Development of the Image Stage Gauge using the Image Process Technique." Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference 2006, pp. 500-504 (in Korean).
- Kim, W., Kim, C.Y., Lee, C.J., and Kim, D.G. (2007) "Practical Application of Image Stage Gauge." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference 2007*, pp. 560-564 (in Korean).
- Kim, W., Kwon, S.I., Kim, D.G., Lee, C.J., Kim, Y.J., and Maeng, E.A. (2011). *Development and Operation of Image Stage Gauge*, Technical Report, TR 2011-13, SWRRC (in Korean).
- Kwon, S.I., Kim, W., Lee, C.J., and Kim, S.D. (2010) "Water Level Measurement Method Based on Temporal Variation of Water Surface Pixel Arrangement in Successive Images." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 9. pp. 791-787 (in Korean).
- Kwon, S.I., Lee, C.J., Kim, D.G., and Seo, M.B. (2012) "A Technique for Water Surface Level Detection by Analyzing Motion in Water Area." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference 2012* (in Korean).
- Otsu, N. (1979). "A threshold selection method from gray-level histograms." *IEEE Trans. Sys, Man, Cyber.* Vol. 9, No. 1, pp. 62-66.
- Ryou, K.K., Yoon, B.M., and Jeong, B.S. (2008) "A Surface Image Velocimetry Algorithm for Analyzing Swaying Images." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 8. pp. 855-862 (in Korean).
- Saito, A., Iwahashi, M. (2006). *Water level detection algorithm based on synchronous frame addition and filtering, Proceedings of the 19th workshop on circuits and systems in Karuizawa*, pp. 525-530 (in Japanese).
- Seo, M.B., Lee, C.J., Kwon, S.I., and Kim, D.G. (2012) "An Application and Evaluation of a Water Level Detection Method by Correlation Analysis for Successive Watermark Images." *Proceedings of Korea Computer Congress 2012*, Vol. 39, No. 1(B), pp. 43-45 (in Korean).
- 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.
- Takagi, Y., Yoneoka, T., Mori, H., Tujikawa, A., Saito, T., and Karube, K. (2000). "Research on dam water level measurement technology by means of a visual sensor." *The Society of Environmental Instrumentation, Control and Automation*, Vol. 5, No. 2, pp 179-188 (in Japanese).

논문번호: 12-061	접수: 2012.06.12
수정일자: 2012.07.23/08.17	심사완료: 2012.08.17