

시차가 있는 수위표 이미지의 상관분석을 통한 수면측정기법

서명배^{1*}, 이찬주², 김동구²

¹한국건설기술연구원 ICT융합연구실, ²하천해안연구실

A Water Surface Detection Method by Correlation Analysis of Watermark Images with Time Interval

Myoung-Bae Seo^{1*}, Chan-Joo Lee² and Dong-Gu Kim²

¹ICT Convergence and Integration Research Division, KICT

²River and Coastal Research Division, KICT

요약 본 논문은 목자판과 수면이 포함된 시차가 있는 연속적인 두 영상을 이용하여 수면위치를 탐색하는 방법과 그 적용성을 평가한 결과를 기술한다. 수위표 상단으로부터 특정 크기의 직사각형 검사영역을 설정하고 짧은 시차를 가진 두 영상의 동일한 위치의 검사영역에 대해 상관계수를 산정한다. 이렇게 함으로써 물의 흐름으로 픽셀 농도가 변화하는 수역과 픽셀 농도가 고정되어 있는 육역을 구분한다. 제안한 기법을 검증하기 위해 실험실에서 촬영한 사진을 분석하였다. 분석결과 검사영역의 크기에 따라 상관계수 특성이 달라짐을 확인하였으며, 검사영역이 수위표 전체 폭에 걸쳐 있는 경우에 상관계수에 따른 수면특성이 뚜렷이 나타나 제안된 기법이 수면을 찾는 데 활용될 수 있음을 확인하였다. 또한 시차가 있는 두 영상의 상관분석을 통한 수위측정방법을 통해 기존 영상수위계의 오염된 영상에서 오차범위가 10~42cm 발생했던 것을 2.6cm 이내로 줄일 수 있었다. 이 방법은 기존 영상수위계의 방법을 보완하여 수위 측정 성능을 높이는데 활용될 수 있을 것이다.

Abstract The aim of this study is to suggest a detection method of water surface location and its evaluation results of application for same vertical position in two successive images with time interval including both staff gauge and water surface. A specific rectangular inspection area is defined from the top of watermark and then the correlation coefficients for the inspection area of the same position of two images with short time interval is calculated. Accordingly, it is possible to identify differences between changing area and fixed area of pixel density by the water flow. The photographs taken in the laboratory were analyzed in order to validate the proposed technique. As the result of the experiment, it is identified that characteristic of correlation coefficients depends on the size of the inspection area. In the case that the inspection area is within the entire width of the watermark, water surface characteristic according to correlation coefficients is clearly noticeable. Thus, it is identified that the proposed technique can be utilized to search water surfaces. Besides, using correlation analysis of two images with time interval, it is identified that error range between 10 and 42cm was reduced in the level of 2.6cm or less in the contaminated photo of existing image stage gauge. Therefore, it is expected that the suggested method can be utilized to enhance image stage gauge performance improving the previous water surface detection method.

Key Words : Correlation analysis, Image processing, Image stage gauge, Water surface detection

본 논문은 한국건설기술연구원 주요사업(클라우드 기반 소형 저전력 영상수위계 개발)의 일환으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Myoung-Bae Seo (KICT)

Tel: +82-31-910-0051 email: smb@kict.re.kr

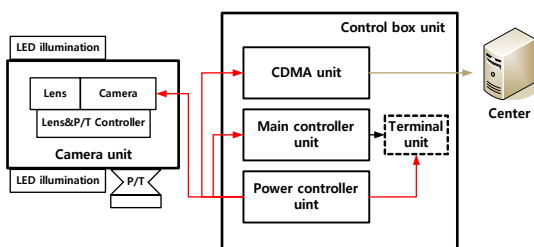
Received November 22, 2012 Revised December 12, 2012 Accepted January 10, 2013

1. 서론

중앙정부, 지방정부, 수자원공사, 농어촌공사 등 하천, 저수지 등 물을 관리하고 있는 기관에서는 홍수예방, 치수, 이수 등을 위해 수문관측(hydrologic measurement)을 수행하고 있다. 이러한 수문관측 항목 중 수위를 측정하는 일은 하천관리 및 홍수예방에 매우 중요하다. 최근 수위관측에는 부자식, 압력식, 기포식, 레이더 등 여러 종류의 장비가 사용되고 있는데, 이들은 센서에 의존하므로 오작동을 확인할 수 없어서 하천관리자는 육안에 의한 감시를 위해 영상카메라를 설치하는 일이 많아지고 있다. 뿐만 아니라 자동 수위관측시설이 설치되어 있지 않은 경우에도 하천 감시 및 수해예방을 위해 감시카메라가 널리 활용되고 있다. 따라서 하천감시와 동시에 수위를 측정하는 영상식 수위계는 활용도가 증가될 것으로 예상된다. 본 연구는 기존의 이진화 에지 기반의 수면인식 기법을 주로 활용하는 영상식 수위계의 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 수위측정 알고리즘을 제안하고 그 적용성을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 일반적인 영상수위계의 구성

영상수위계는 카메라가 촬영한 디지털 영상을 분석하여 수면을 인식하고, 목자판의 숫자 등을 판독하여 수위를 측정하는 수위계이다. 김원 등[1]이 개발한 영상수위계를 기준으로 영상식 수위계 시스템을 간략하게 소개하면 다음과 같다. 영상식 수위계는 크게 제어부, 카메라부, 서버 및 목자판으로 구성되어 있다(Fig 1). 제어부는 전원 장치와 시스템을 제어하는 제어기 및 촬영 영상을 분석하여 수위를 측정하고 저장하는 컴퓨터, 그리고 이를 관리자에게 전송하는 통신장치로 구성되어 있다. 카메라부는 렌즈를 포함한 CCD 카메라, 야간 촬영을 위한 조명장치, PT(pan/tilt) 및 PT 제어장치로 구성된다. 서버는 전송된 목자판 영상, 하천 영상 및 수위값을 수집하고 저장하며, 영상처리부와 중앙제어부의 제어정보를 조절한다.



[Fig. 1] Composition of image stage gauge system

3. 수면측정기법의 개요

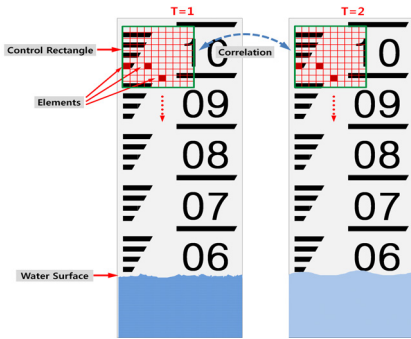
3.1 관련연구

현재 영상수위계는 전국 20여 지점에 설치된 바 있다. 기존 연구를 보면 일본에서는 초기에 Takagi 등[2]이 수위표의 빛금을 인식하여 수위를 측정하는 기법을 제안한 바 있고 수면인식의 정확성을 위해 동기가산 영상을 사용하는 기법도 나와 있다(Saito와 Iwahashi[3]). 프랑스에서는 특정 광원을 이용한 방법이 제시되었다(FRANCE ETAT PONTS CHAUSSEES[4]). 이에 비해 국내에서는 이진화 영상에 대한 에지처리 기법(김원 등[1])이나 목자판 영상에 대한 히스토그램 분석(김재도 등[5])이 제시되어 있고 최근에는 차영상을 활용하는 기법이 제안된 바 있다(권성일 등[6]). 이 중 현재 상용 영상수위계의 기법은 이진화 영상에 의한 기법이 주종인데, 이 기법은 목자판의 상태나 환경 조건에 따라 오측이 발생하는 등 모든 조건에서 에지처리 기법이 잘 적용되는 것은 아니므로 오측을 줄이고 정확도를 높이기 위한 새로운 기법의 수면인식이 필요하게 된다. 이러한 관점에서 본 연구는 새로운 개념을 활용하여 수면을 찾아내는 알고리즘을 제시하고자 한다.

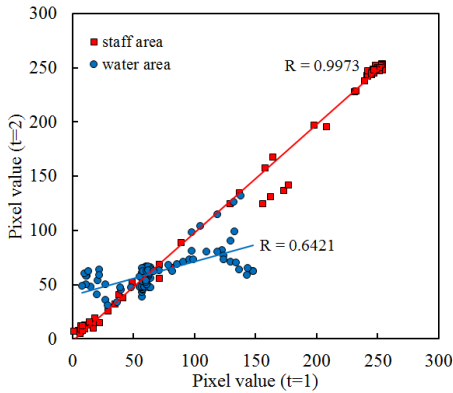
3.2 상관분석을 통한 수면인식 기법

본 연구에서 제안하는 새로운 수면인식 기법은 항상 흐르는 유체인 물로 인해 영상에서 수역의 픽셀농도는 짧은 시간 동안에도 지속적으로 변동되는데 비해 수위표나 교각 등과 같은 구조물은 픽셀농도가 변화되지 않는다는 특성을 이용하여 수면의 위치를 찾는 방법이다. 그 절차를 간단히 설명하면 다음과 같다. 먼저 목자판이 포함된 수 초 내외의 짧은 시차가 있는 두 매 이상의 영상이 촬영된다. 영상에서 수직 에지처리를 통해 목자판 영역만을 추출한다. 목자판 영역 영상에서 상단으로부터 아래로 가면서 직사각형의 검사영역을 시차가 있는 두 영상 사이에서 비교하여 상관계수를 계산한다. 마지막으로 상관계수가 급격하게 변하는 지점을 수면으로 판단한다(Fig 2).

이렇게 하면, 목자판 상단부터 하단까지 검사영역이 내려오면서 상관계수의 값이 변화하게 되는데, 이론상 영상의 흔들림이나 왜곡이 없을 경우 시차가 있는 두 영상에서 수면 이외의 영역은 완전한 정(+)의 상관관계를 보이므로 상관계수가 1에 가깝다가 수면에서부터 물의 요동으로 인해 픽셀농도가 변하므로 상관계수가 작아지기 시작한다. 이러한 특성을 이용하여 수면을 찾아내는 방법이다(Fig 3).



[Fig. 2] Concept of correlation analysis for two successive watermark images



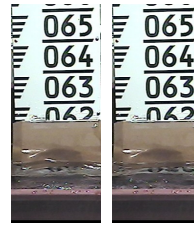
[Fig. 3] Comparison of correlation characteristics between watermark and water surface areas

4. 검사 영역에 따른 상관계수 특성

본 연구에서는 실험실에서 촬영한 시차가 있는 두 장의 영상에 대해 제안된 기법을 적용하였다(Fig 4). 이 영상은 2009년에 촬영한 것으로 수위표 하단에 특정한 영역이 부유사 등에 의해 오염된 경우를 상정한 것이며, 영상의 크기는 184×474 픽셀이고 24비트 색상이다.

실제 처리단계에서는 두 영상의 상관계수를 비교하기 위해 영상을 회색조(gray-scale)로 변환하였다. 이는 영상 수위계 특성상 연중 주야간 측정이 이루어지므로 회색조 영상으로도 충분한 분석이 가능하다는 점과 계산시간 단축 측면이 고려된 것이다. 적용 영상은 수역에서 물의 흐름을 모의하므로 인위적으로 물에 요동을 주는 방식으로 실험하여 수역을 처리하였다. 시차가 있는 두 영상의 상관계수 분석을 위해 직사각형 검사영역의 크기를 변화시켜 가면서 적용성을 분석하였다. 분석조건은 Table 1과 같으며 실험영상에서 수평위치에 따른 검사영역의 좌측

단 기준 수평픽셀범위는 Table 2와 같다.



[Fig. 4] Test photos in the laboratory

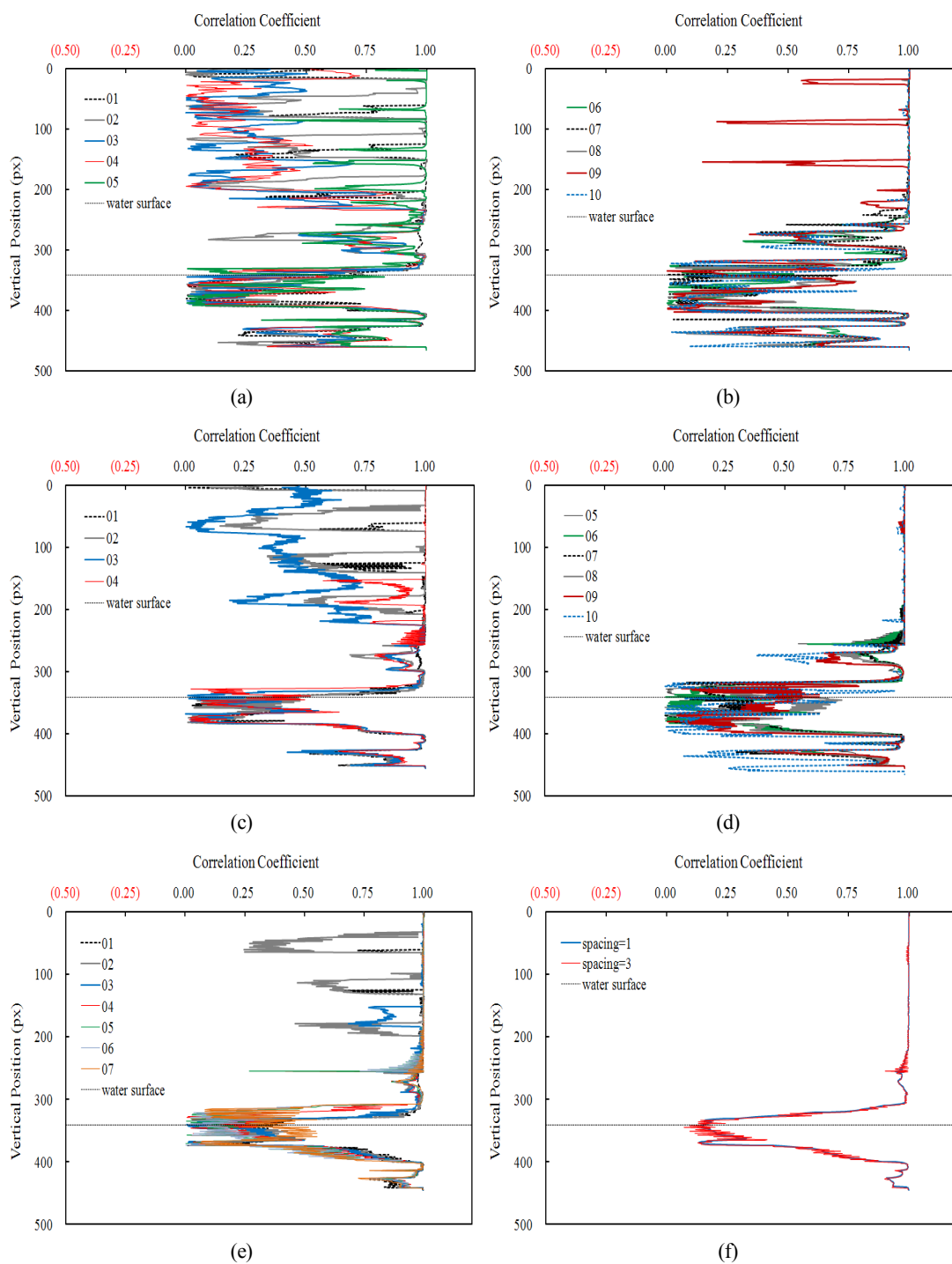
[Table 1] Analysis condition

| Condition | Inspection area size (W×H, px) | sample interval |
|-----------|--------------------------------|-----------------|
| Case01 | 10×10 | 1 |
| Case02 | 20×20 | 2 |
| Case03 | 30×30 | 3 |
| Case04 | watermark width × 30 | 1,3 |

[Table 2] Horizontal pixel range in the inspection area according to horizontal positions in the experiment images(Unit : pixel)

| Condition | Case01 (10×10) | | Case02 (20×20) | | Case03 (30×30) | | Case04 (Watermark Width x 30) | |
|-----------|----------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|-------------------------------|-----|
| | Start | End | Start | End | Start | End | Start | End |
| 01 | 21 | 30 | 21 | 40 | 21 | 50 | 21 | 160 |
| 02 | 31 | 40 | 31 | 50 | 31 | 60 | | |
| 03 | 41 | 50 | 41 | 60 | 41 | 70 | | |
| 04 | 51 | 60 | 51 | 70 | 51 | 80 | | |
| 05 | 61 | 70 | 61 | 80 | 61 | 90 | | |
| 06 | 71 | 80 | 71 | 90 | 71 | 100 | | |
| 07 | 81 | 90 | 81 | 100 | 81 | 110 | | |
| 08 | 91 | 100 | 91 | 110 | 91 | 120 | | |
| 09 | 101 | 110 | 101 | 120 | 101 | 130 | | |
| 10 | 111 | 120 | 111 | 130 | 111 | 140 | | |
| 11 | 121 | 130 | 121 | 140 | 121 | 150 | | |
| 12 | 131 | 140 | 131 | 150 | 131 | 160 | | |
| 13 | 141 | 150 | 141 | 160 | | | | |
| 14 | 151 | 160 | | | | | | |

Fig 5는 상관계수 산정을 위한 검사영역의 수평×수직 크기별 상관계수 특성을 나타낸 것이다. 이들 Fig은 검사 영역의 크기에 따라 상관계수를 이용하여 수면을 검출하는 기법이 적절하게 적용될 수 있는지를 보여주고 있다. Fig 5에서 나타난 기호 01, 02, 03, ..., 13, 14는 목자판 좌측끝으로부터 우측끝까지 가면서 검사영역의 위치를 나타낸다(단, 좌측끝의 20픽셀과 우측끝의 24픽셀은 여백이라 분석하지 않음). 즉, 기호 1은 목자판 가장 좌측의 가로 10 픽셀(또는 20, 30 픽셀 등 조건에 따라)의 수직적인 상관계수 변화를 나타낸다. 검사영역이 가장 작은 Case01의 경우(가로, 세로 각 10픽셀, 10×10), 가로 방향으로 총 14개의 위치에서 상관계수를 산정할 수 있는데,



[Fig. 5] Vertical distribution of correlation according to the horizontal position
 (a)Case01(Poor vertical distribution) (b)Case01(Good vertical distribution) (c)Case02(Poor vertical distribution)
 (d)Case02(Good vertical distribution) (e)Case03(01,02,03-Poor, Good in rest) (f)Case04(1,3 spacing)

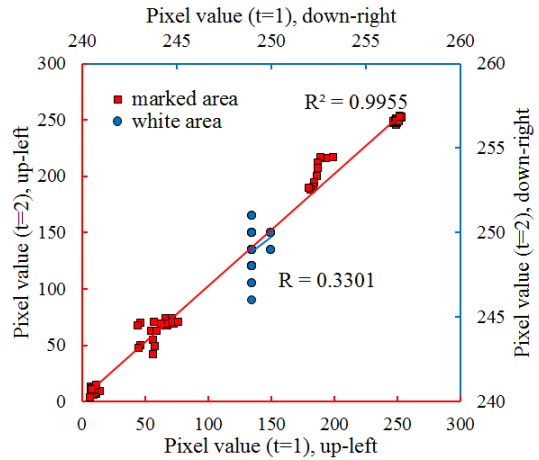
그 중 5개 위치(01, 02, 03, 04, 05)에서 육역부와 수역부의 상관계수 차이가 없는 관계로 수면인식을 하기가 거의 어려운 것으로 나타났다. 다만, 목자판 영상의 중간 부분인 06, 07, 08, 09, 10 구역에서는 상관계수 특성이 일부 수역/육역간 차이를 나타내고 있다.

검사영역이 다소 증가한 Case02조건(20×20)에서는 더 많은 구역에서 수면과 육역 사이에 상관계수 차이가 확인되었으나 여전히 목자판의 흰색 부분을 포함하는 4개 위치에서 상관계수가 구별되지 않았다. 30×30의 경우 전체 12개의 구역 중에서 9개 구역에서 상관계수에 의한 수면 판단이 가능할 것으로 나타났다.

직사각형의 검사영역을 가로, 세로 10픽셀로부터 30픽셀까지 변화시켜 본 결과, 공통된 특성을 확인할 수 있었다. 즉, 목자판의 바탕색인 흰색과 눈금이나 숫자의 색상인 흑색이 검사영역 내에 섞여 있는 경우 상관계수에 의한 육역/수역 구별이 보다 확실한 반면, 검사영역에 흰색 바탕만이 포함될 경우 상관계수에 의한 구별이 어렵다는 점이다(Fig 5). 이에 따라 검사영역의 크기가 증가할수록 흰색만을 포함하는 구역은 감소한다. 보다 자세히 살펴보면, 가로 크기를 기준으로 20~60픽셀에 해당하는 부분은 완전한 흰색구역으로 상관계수 구별이 거의 없으며, 그보다 우측 구역에서도 숫자 사이의 공간이 큰 부분에서는 세로 크기가 작은 경우 역시 흰색만이 검사영역에 포함될 수 있게 되어 상관계수가 낮게 나타난다. 이러한 특성은 직사각형 자체가 커지면서 점차 변화하여 30×30의 경우 완전히 흰색구역에 딱 맞는 경우가 아니면 Fig 5-e와 같이 육역/수역간 상관계수 차가 비교적 확연히 나타나는 결과를 보여주는 것이다.

마지막 조건인 Case04의 경우 검사영역의 크기를 정사각형으로 하지 않고 가로폭이 긴 직사각형으로 한 경우이다. 이 경우 검사영역에 목자판의 배경색 및 눈금, 숫자색이 충분히 포함됨으로 인해 다른 조건보다 훨씬 더 육역/수역간 상관계수 구별이 뚜렷한 것으로 나타났다.

Fig 6은 검사영역 위치에 따른 상관계수의 특성을 도식화한 것으로 눈금이나 숫자의 색상인 검정색(Marked area)은 상관계수가 높게 나타난 반면 바탕색인 흰색부분(White area)은 상관계수가 낮게 나타남을 알 수 있다. 이 결과를 토대로 보면, 상관계수에 의한 수면인식 기법은 가급적 다양한 색상을 포함하도록 검사영역을 충분히 크게 정할 필요가 있다고 추론할 수 있다. 다만, 이는 목자판의 배경색과 눈금/숫자 등의 상대적 분포 특성을 고려하여야 한다는 점이다.



[Fig. 6] Correlation characteristic by inspection area position

5. 적용 및 검증

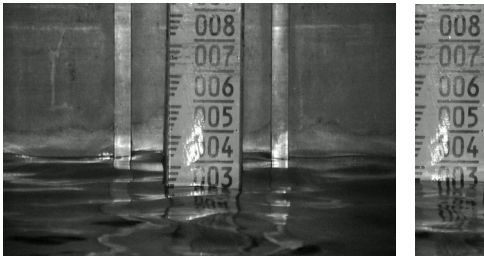
본 연구에서 개발한 시차가 있는 수위표의 상관분석을 통한 수면측정기법의 적용성을 평가하기 위해 앞절에서 분석된 결과를 근간으로 육역/수역간 상관계수 구별이 뚜렷한 Case04의 검사영역을 이용하여 주간 영상을 선별하여 결과를 검증하였다. 또한, 기존의 영상수위계에서 사용된 알고리즘과 본 논문에서 제시한 알고리즘의 수위 결과값을 상호 비교하여 성능 개선여부를 확인하였다.

5.1 주간, 야간영상 적용검증

주간영상은 경인아라뱃길에서 촬영한 영상을 사용하였으며 이미지 전체 크기는 2304*1296*24bit, 목자판 구역은 137*1295*24bit 이다. 야간영상은 실험실에서 촬영한 영상을 사용하였으며 이미지 전체 크기는 1920*1080*24bit, 목자판 구역은 333*1077*24bit 이다(Fig 7,8).

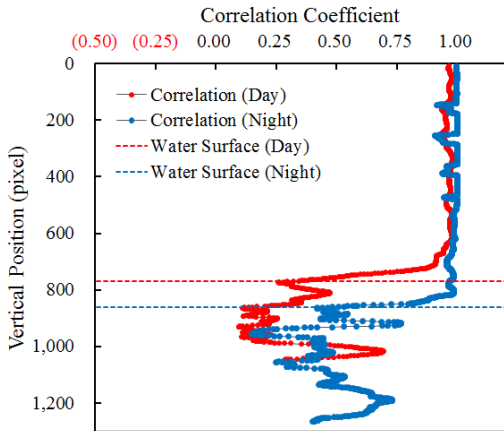


[Fig. 7] Daytime image (Seoul-Incheon ARA-waterway)



[Fig. 8] Nighttime image (Laboratory)

본 논문에서 제시한 방법을 통해서 수위를 측정할 결과 주간영상의 경우 상단부터 수직으로 800pixel의 위치에서 상관계수가 급격히 감소했으며 실제 수위도 800pixel 근처에서 확인되었다. 야간영상도 상관계수가 급격히 줄어드는 930pixel 근처에서 실제 수위가 확인되었다(Fig 9). 주야간 영상과 같이 이미지의 명암값의 차이가 있어도 수역과 같이 변위가 발생하는 부분이 정확히 관측될 수 있다고 하면 상관계수의 차이가 확연히 발생하기 때문에 본 논문에서 제시한 방법 적용시 정확한 수위를 측정할 수 있다.



[Fig. 9] Correlation distribution between daytime (Ara-waterway) and night(laboratory) image

5.2 기존 방법과의 성능 비교

기존 영상수위계는 단일영상을 근간으로 수위를 측정하고 있어 영상의 이진화를 통한 분석만을 실시하므로 오염된 영상에서 수위가 부정확하게 측정될 소지가 많다. Table 3의 경우 기존 영상수위계를 통한 수위측정 결과를 보여주며 호포대교, 구포대교, 수전교의 경우 오염띠가 형성되어 있어 실제수위와 측정수위의 오차가 최소 10cm에서 최대 42cm까지 발생하였다.

본 논문에서 제시한 알고리즘 검증을 위해 Table 3에

서 테스트한 영상과 동일한 영상을 이용하는게 최적이나 과거영상이 이미지 1장을 가지고 측정된 결과값이라 2장을 통해 시차를 통한 상관분석을 진행해야 하는 본 논문의 방법상 부득이하게 유사한 조건을 가진 5가지 영상을 선정(현장 2, 실험실 3)하여 실험을 진행하였다. 수위는 이미지 상단에서부터의 픽셀 길이로 측정하며, 수위 오차는 픽셀 및 수위표의 10cm 길이를 픽셀로 환산한 것을 기준으로 변환하여 오차를 계산하였다. 수위측정 결과는 Table 4와 같다.

[Table 3] Result of water level detection by existing image stage gauge system

| Place | HoPo bridge | GuPo bridge | Sujeon bridge | Indoor experiment in 2009 |
|----------------------|-------------|-------------|---------------|---------------------------|
| Image | | | | |
| Actual water level | 142cm | 213cm | 23cm | 611cm |
| Measured water level | 152cm | 231cm | 65cm | 624cm |
| Error | 10cm | 18cm | 42cm | 13cm |

[Table 4] Result of water level detection by improved algorithm

| 지점 | Samli Bridge | SinJeong Bridge | Indoor experiment in 2009 | Indoor experiment1 in 2012 | Indoor experiment2 in 2012 |
|---------------------------|--------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Image | | | | | |
| Actual water level (px) | 962 | 746 | 339 | 715 | 797 |
| Measured water level (px) | 969 | 750 | 323 | 709 | 785 |
| Error (px/cm) | 7/1.4 | 4/1.1 | 16/2.6 | 6/0.4 | 12/1.6 |

Table 4에서 확인할 수 있듯이 본 연구에서 제안한 새로운 방법에 의해 오차가 최대 3 cm 이내로 줄어들었음을 확인할 수 있다. 이는, 기존 방법에서 수위표가 보이지 않을 경우 10~42cm의 오차를 보이는 것에 비해 현저한 개선이 있다는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과로부터 동일한 사진임에도 시차가 있는 영상의 경우 수면상의 상관계수는 목자판보다 상대적으로 낮아 상관계수가 급격하게 변하는 곳을 수위로 인식하는 방법의 효율성이 입증되었다. 다만 2009년 실내실험의 경우 테이프를 수위표에 붙여 오염부위로 가정한 경우로서 수면 요동의 빛 반사 영향으로 오차가 약간 높게 산정되었다.

6. 결론

본 연구에서는 영상수위계에서 시차가 있는 두 영상의 상관계수를 분석하여 수면을 인식하는 기법을 제안하고 실험실 촬영 영상에 적용하여 그 적용 가능성을 검토하였다. 또한, 기존 영상수위계가 수위표 전체 폭에 대해 검사영역을 설정한 경우 상관계수 특성으로 수위를 찾아낼 수 있음을 확인하였다. 시차가 있는 두 영상의 상관분석을 통한 수위측정방법을 통해 기존 영상수위계의 오염된 영상에서 오차범위가 10~42cm 발생했던 것을 2.6cm (16pixel) 이내로 줄일 수 있었다.

이 기법은 향후 보다 세련된 형태로 개발될 필요가 있으며 영상수위계의 수면인식 기법 개선에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Won kim, ChiYoung Kim, DongGu Kim, ChanJoo Lee. "Development of the Image Stage Gauge using the Image Process Technique", Journal of Korea Water Resources Association, pp.500-504, 2006.
- [2] Takagi, Y., Tsujikawa, A. Takato, M., Saito, T., Kaida, M. Development of a noncontact liquid level measurement system using image processing, Water Science and Technology, Vol.37, No.12, pp.381-387, 1998.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00356-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00356-4)
- [3] Saito, A., Iwahashi, M.. 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), 2006.
- [4] 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).

- [5] Jaedo Kim, Yeongjoon Han, Hernsoo Hahn "Image-based Water Level Measurement Method Adapting to Ruler's Surface Condition", Jo2ural of Korea Society of Computer Information, Vol.15, No.9, pp. 67-76, 2010.
- [6] SungIll Kwon, Won Kim, ChanJoo Lee, Seung Dong Kim "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, 2010.

서 명 배(Myoung-Bae Seo)

[정회원]



- 2001년 2월 : 조선대학교 전자계산학과(이학석사)
- 2003년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 전임연구원

<관심분야>

CALS, BIM, 자산관리, 시멘틱 웹, 영상처리

이 찬 주(Chan-Joo Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 서울대학교 대학원 지리교육과 (교육학석사)
- 2007년 2월 : 서울대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2002년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 하천해안연구실 수석연구원

<관심분야>

하천지형학, 하천흐름계측

김 동 구(Dong-Gu Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 경북대학교 토목공학과 대학원 (토목공학석사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 하천해양연구실 전임연구원

<관심분야>

홍수 및 방재, 수치해석