

Accuracy Improvement of Water Level Measuring Method Using Stereo CCTV System

Kyu Jeon Kim^{1#}, Seok Keun Choi², Seung Ki Lee², Sang Wook Park², Won Tea Ahn^{2*}

¹ Korae Rural Community Corporation, Boeun District office, Chungbuk, Korea

² Chungbuk National University, Chungdearo 1, Seowon-gu, Cheongju, Korea

Abstract

Recently, problems have arisen in small and medium-sized reservoirs used for agriculture, such as cave-in incidents during local heavy rainfalls, owing to its deterioration and safety degradation. In this study, we acquired stereo images using stereo closed-circuit television (CCTV) and developed an automatic system that can measure water level changes in order to efficiently manage small and medium-sized reservoirs that are vulnerable to disasters. The system was developed using the unified modeling language (UML) and implemented by testing the CCTV. Epipolar geometry was utilized after reading the key points and conjugate points of the acquired images. The water level changes were then analyzed by producing a disparity map through the image matching using a normalized cross-correlation algorithm. The stereo CCTV-based automatic water level measurement system developed in this study exhibited a high accuracy compared to the conventional system.

Key words: stereo closed-circuit television, epipolar geometry, disparity map

1. 서론

저수지의 수위는 유량 산정의 기초자료로서 물 관리 업무에 가장 기초적이고 중요한 정보이다. 대규모 저수지는 여러 가지 계측장비가 설치되어 있어 관리에 문제가 없으나, 중·소규모 저수지는 짧은 시간에 문제가 발생하는 지형적 특성에도 불구하고 수위계측 시설이 미흡하여 재해 발생 시 신속한 대처를 못하고 있는 실정이다.

최근 조사 자료에 따르면 중·소규모 저수지의 수위계별 보수이력을 분석한 결과 95%가 압력식 수위계였으며, 또한 저수지 실측 수위가 불일치한 계측오차가 발생한 저수지가 25.6%로 조사되었다(KRC, 2017).

이와 같이 중·소규모 저수지에 설치된 자동수위계는 오작동 및 계측오차 등의 문제가 발생하여 보다 정확한 수위를 계측할 수 있는 시스템이 필요한 실정이다.

수위측정 연구에서 Lee *et. al.*,(1996)은 초음파 센서를 이용하여 5m, 10m, 30m급 수위계를 개발하였고,

The 1st author: Kyu Jeon Kim, Tel. +82-43-540-2501, Fax. +82-43-542-4513, e-mail. gikim1@ekr.or.kr

* Corresponding author: Won Tea Ahn, Tel. +82-43-261-2381, e-mail. gpsgeoid@hanmail.net

Kim *et. al.*,(2006)은 카메라, CCTV(closed circuit television) 등으로 수위표에 대한 영상정보를 취득하여 수위를 측정할 수 있는 영상수위계(image water level system)를 개발하여 하천모니터링 방법을 제시하였다.

Seo *et. al.*,(2013)은 시차를 가지는 수위표 영상을 측정하여 수위표에 대해 검사영역을 설정한 후 상관 계수 특성으로 수위를 결정하는 방법을 제시하였고, Lee *et. al.*,(2013)은 클라우드 기반의 소형 저전력 영상 수위계개발을 통하여 동영상을 실시간으로 제공할 수 있도록 CCTV 영상수위계를 개발하였다. 이와 같이 CCTV나 카메라를 이용하여 수위측정을 위한 연구가 이루어 졌으나, 주로 하천에 적용되었고, 정확도에도 일부 문제점이 있었으며, 중소규모 저수지와 같은 대상지역에는 적용되지 않았다.

본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 입체형 CCTV를 이용하여 영상취득하고, 저수지의 수위를 자동으로 측정할 수 있는 시스템을 개발하여 정확도를 확보하고자 수행하였다. 이를 위하여 시스템 개발은 UML(unified modeling language)를 이용하였고, 시스템 구현은 CCTV에서 좌·우 영상을 획득하여 영상의 특징점 및 공액점을 자동 독취한 후 에피폴라 기하를 구현하였으며, 영상정합은 표준상호상관성(normalized cross-correlation) 알고리즘을 이용하여 시차 맵(disparity map)을 제작하여 수위변화를 분석하고 현장에 적용하여 효율성을 분석하였다. 따라서, 본 연구는 CCTV를 이용하여 스테레오 영상처리에 의한 자동수위측정시스템을 개발하여 기존 수위계와 정확도를 비교·분석함으로써 수위계(water level meter)로서의 기능을 검증하고, 수위계가 미설치된 중소규모 저수지에 적용하여 효율적 저수지관리와 재해로 인한 인적·물적 피해를 최소화하는데 그 목적이 있다.

II. 이론적 배경

1. CCTV 및 영상정합

CCTV는 화상정보를 불특정 다수에게 전달하는 것이며, 기본구조는 촬상계, 전송계, 수상계 등으로 구성

되어 있다.

촬상계는 피사체를 촬영하여 전기신호로 변환하기 위한 CCD(charged coupled device) 카메라를 의미하며, 전송계는 복수 카메라의 전기신호를 원격지에 전송하여 임의의 모니터에 출력하는 영상 신호 전환기(matrix switcher)로 구성되며, 수상계는 4대의 컬러 카메라에서 전송되어 온 신호를 한 대의 모니터에 디스플레이 해주는 컬러 4화면 분할기(quadratic displayer) 등으로 구성 된다(www.itdaily.kr, 2017).

입체영상의 시각화(stereo vision)란 서로 다른 두 개의 영상에서 획득한 동일한 대상물 위치관계의 차이를 이용하여 영상의 3차원 깊이(depth) 정보를 추출하는 과정이다.

입체영상의 기하학적인 모델은 두 대의 카메라가 하나의 물체를 바라보고 있는 구조를 가지며, 응용분야에 따라 다양한 형태를 나타낸다. 3차원 좌표를 갖는 한 점은 카메라 렌즈의 광학 중심을 지나 영상 평면의 점에 맺힌다. 이 때 점의 좌표 값은 초점거리에 따라 달라지며, 초점 거리가 길면 영상 평면상의 x, y 좌표 값이 커지고, 초점 거리가 짧으면 영상 평면상의 x, y 좌표 값은 작아진다(V&GG, 2015).

동일 대상을 촬영한 두 장 이상의 영상은 좌측 카메라 중심의 한 점을 통과하는 직선과, 이 직선에 있는 모든 점에 대해 우측영상의 카메라 중심을 연결하는 직선을 구하면 우측영상에는 좌측영상과 동일한 직선이 <Figure 1>과 같이 나타나는데, 이를 에피폴라 기하

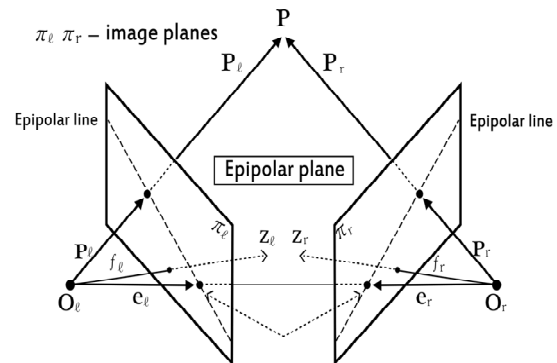


Figure 1. Epipolar geometry

(epipolar geometry)라 한다(AI Bovik, 2005).

3차원 공간상의 한 점 P가 영상 π_l 에서는 P_l 에 투영되고, 영상 π_r 에서는 P_r 에 투영된다. 또한 두 카메라의 원점을 잇는 선을 기선길이와 두 영상 평면의 e_l 과 e_r 을 에피폴(epipole)이라 한다. 카메라의 투영점인 P_l 과 P_r 이 영상평면의 점 e_l 과 e_r 의 직선을 에피폴라 선 이라고 하며, 3차원 대상물인 점 P와 카메라의 원점인 O_l, O_r 이 이루는 평면을 에피폴라 면이라 한다. 에피폴라 영상은 Y방향 시차가 존재하지 않는 상을 의미하며, 영상정합을 위한 각 영상의 한 점은 에피폴라 라인 상에 수평선으로 존재하게 되어 빠르게 탐색 영역을 설정할 수 있게 된다. 기준 영상 상의 한 점을 고정시킨 상태로 영상의 정합을 수행하기 때문에 에피폴라 라인의 탐색 범위 및 간격의 설정이 영상정합의 중요한 요소로 작용한다(Morgan, 2004).

영상정합(image matching)은 3차원 공간을 인식하는 인간의 시각 체계에서 서로 다른 위치에서 획득된 두 영상을 적절히 정합함으로써 거리 정보를 얻는 것이다. 영상정합에 사용되는 요소는 공액요소(conjugate entity), 정합요소(matching entity), 유사성 측정(similarity measure), 정합방법, 정합전략 등과 같이 5가지 요소가 있다. 공액 요소는 일반적으로 공액점이라고 불리며, 공액요소로는 영상 내에 점, 선, 면으로 이루어진 대상물의 형상 등을 이용할 수 있다.

입체 영상정합 방식에는 영상의 크기에 따라 지역기반 영상정합, 전역기반 영상정합 등으로 나누어진다. 지역기반 영상정합 방법은 각 영상의 화소 간의 다양한 정보를 이용하여 유사도 및 정합비용을 산정하여 결정하며 간단하고 정합속도가 빨라 실시간 응용에 적합하다. 전역기반 영상정합 방법은 MRF(markov random field) 기반의 에너지 함수를 최소화할 추정하며 신뢰확산이나 그래프 컷(graph cut) 등이 있다. 에너지 함수가 최적화 과정에서 영상 전체 화소 간 관계를 고려하기 때문에 정합속도가 상대적으로 느리다(Szeliski, 2008).

2. 수위계 현황분석

저수지의 수위계는 저수위 정보를 실시간으로 모니터링함으로써 가뭄, 홍수 등 재해를 예측하여 재해 발생시 대처방안을 마련하고, 수위측정업무의 표준화와 유지관리의 효율성 제고하기 위함이며, 자동수위계는 농어촌정비법 제17조 및 동법 시행령 제20조의 규정에 의거 농업기반시설로 등록(등록예정 포함)된 한국농어촌공사 및 시·군관리 저수지 중 유효저수량 10만 m^3 이상 저수지를 설치 대상으로 한다.

농업용 저수지의 자동수위계는 T/M(tele metering) 방식으로 운영되고 있고, 측정 형식에 따라 초음파식, 압력식, 음파식, 레이더식 등이 운영되고 있으며, 자동수위계는 취수시설 구조를 고려하여 형식을 결정하므로 중·소규모 저수지의 취수시설이 사통으로 되어 있어 수위계 형식은 압력식수위계가 70%에 달하고 있다.

2002년부터 설치된 1,700개소의 수위계에 대하여 2017년 일제조사·점검을 실시한 결과 계측오차 $\pm 0.2m$ 이상 수위계가 436개소로 전체 수위계의 약 25%에 달하고 있고, 최근 4년간 자동수위계 센서 보수한 내역을 살펴보면 압력식 수위계가 전체 보수 345건 중 330건으로 전체의 95% 정도를 차지하고 있다. 주요원인으로 수면접촉식으로 센서가 수중에 설치되어 미세 토사유입에 의한 오작동과 그로 인한 계측오차가 발생하였으며, 반면 비수면 접촉방식인 초음파식, 레이더식의 오류는 적게 나타나고 있다.

중·소규모저수지의 취수시설은 대부분 사통구조(70%)로 되어 있어 압력식 자동수위계가 많이 설치되어 있으며, 압력식수위계는 수중에 설치된 센서에 미세 토사 유입을 차단할 수는 없다는 것과 저수지의 취수시설이 사통구조에서는 압력식 자동수위계 외에는 대안이 없는 것이 문제점으로 나타나고 있다(KRC, 2017).

III. 실험 및 결과분석

1. 대상지역 현황

대상지역은 재해·재난에 취약한 중·소규모 농업



Figure 2. Image of study area

용저수지를 대상으로 본 연구에서 개발된 자동수위 측정시스템과 현장에 기 설치된 자동수위계와의 관측 자료를 비교할 수 있도록 선정기준을 결정하였다.

그 기준은 충북지역의 중소규모 농업용 저수지로서 자동수위계가 설치되어 있고, 년 중 전기 공급이 가능한 지역, 그리고 수위변화가 있는 대상지를 분석하여 음성군의 저수지를 <Figure 2>와 같이 선정하였다.

본 대상지는 중간간지역으로 급경사의 산악지형이며, 강우시 유달 시간이 빠르고, 저수지 담수가 비교적 양호하다.

본 대상지의 수위계는 압력식으로 2011년 설치되었고, 저수지 사통 경사면에 센서를 사수위 직상부까지 케이블로 연결하여 수압에 의해 측정하는 방식이다. 측정 자료의 전송 주기는 매 10분 단위이고, 실내에서 원격으로 전송주기를 조정할 수 있다.

2. 시스템 설계 및 구현

입체영상을 이용한 자동 수위측정 시스템은 운용상의 편의를 위하여 구동환경은 윈도우 7(OS)에서 동작 하도록 Visual C++와 오픈소스를 이용하였고, UML 통합모델링언어 기법을 활용하여 분석, 설계, 구현 및 테스트 등의 단계별로 개발하였다.

분석단계에서 시스템 정의 및 기능목록을 기반으로 액티가 갖는 유스케이스(use-case diagram)를 정의하여

구성하였다. 시퀀스 다이어그램(sequence diagram)은 모델링중인 시스템에서 사물 간의 제어 및 데이터 흐름을 강조하고, 객체가 메시지 순서로 서로 통신하는 방법 등을 보여주며, 본 연구에서는 유스케이스 다이어그램의 기능을 토대로 카메라 정보 설정 기능, 영상 조정 기능, 시차 계산 기능, 수위측정 기능 등의 시퀀스 다이어그램을 정의하였다.

<Figure 3>은 카메라정보 설정 시퀀스 다이어그램으로 각 카메라의 정보를 설정하고 카메라 검정파일의 내부표정요소, 왜곡보정요소, 카메라의 초점거리, 기선거리 값 등의 정보를 설정하는 기능이다.

<Figure 4>는 영상조정 및 변환 시퀀스 다이어그램으로 입력되는 좌·우 영상을 이용하여 촬영시의 자세정보를 획득하고, 각 특징점을 추출할 수 있는 기능이며, 에피폴라 기하로 구성된 영상의 y 시차가 제거

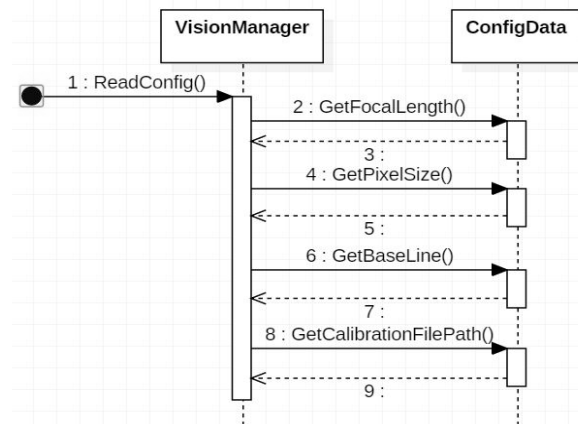


Figure 3. Sequence diagram for camera information setting

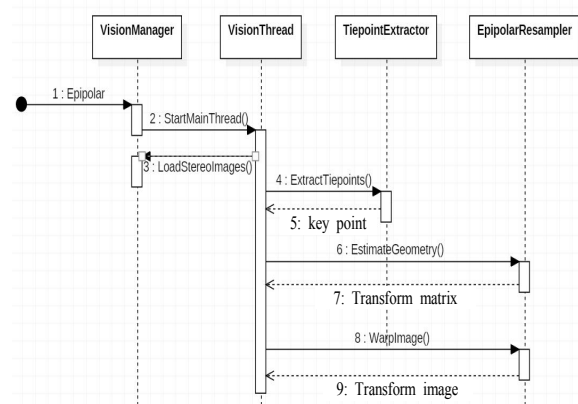


Figure 4. Sequence diagram for image control and transformation

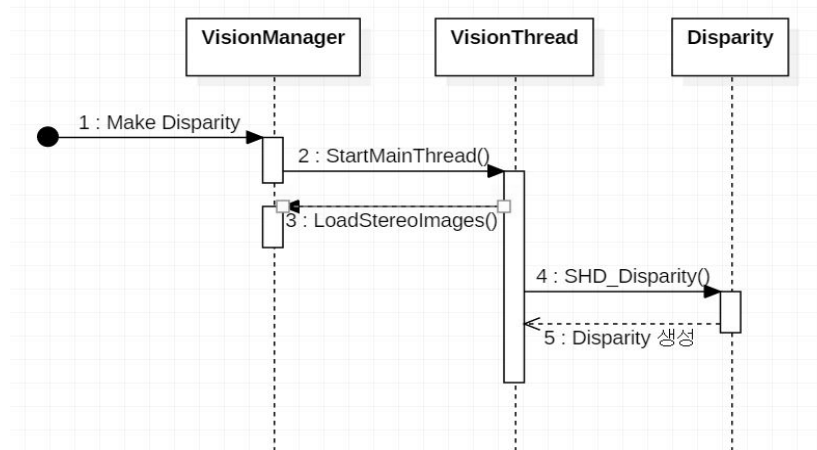


Figure 5. Sequence diagram for disparity Calculation

된 변환 영상을 포함한다.

<Figure 5>는 시차 계산 시퀀스 다이어그램으로 y 시차가 제거된 입체 영상으로부터 시차를 자동으로 계산하여 영상 픽셀에 대응하는 시차 맵을 생성하는 기능이다.

클래스 설계 단계에서는 시스템의 사용자 대화창 구성을 정의하고, 유스케이스 다이어그램에서 구성된 데이터 및 명령의 흐름을 구체화하였다(Kim, et. al., 2018).

자동수위측정시스템은 크게 CCTV 에서 얻어진 입체 영상의 입·출력, 처리 및 가공, 이미지분석과 3차원 정보로부터 수위를 측정하는 부분, 디스플레이부분 등으로 <Figure 6>과 같이 구성되어 있다.

입체영상처리 및 가공모듈은 CCTV에서 얻어지는 두 영상에서 특징점을 기반으로 좌·우 영상의 동일 공액점을 자동 추출하여 에피폴라 기하를 구성한다. 입체영상 이미지 분석 모듈은 에피폴라 기하 상태에서 두 영상의 정합과정을 거치면서 두 영상의 각 화소

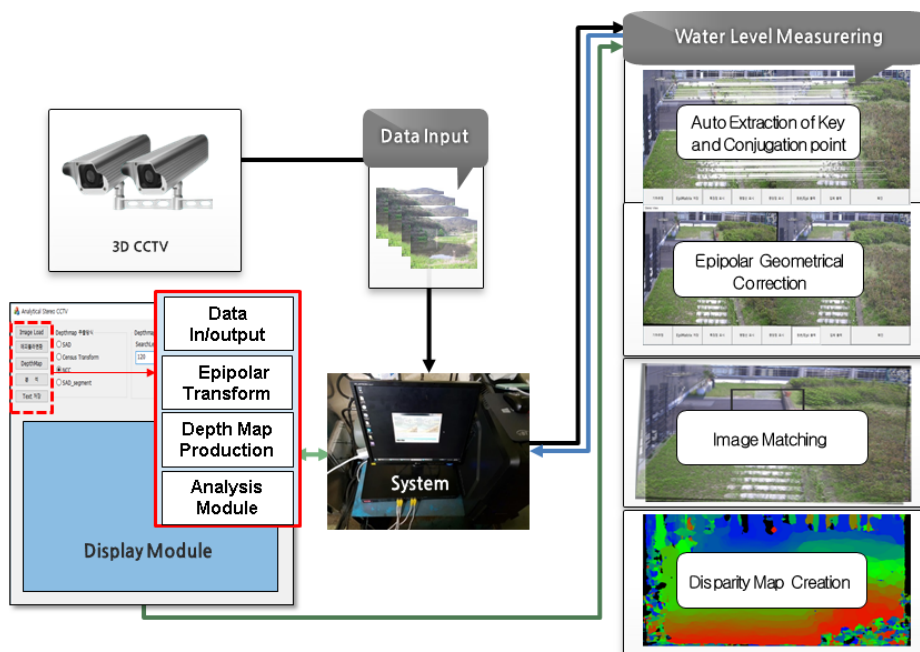


Figure 6. System construction

값에서 얻어진 시차정보를 이용하여 댁스맵을 생성한다. CCTV 수위측정 모듈은 기준수면으로부터 시차 변위에 따른 각 부표의 변화를 영상분석을 통하여 수위의 변화를 측정할 수 있도록 <Figure 6>과 같이 구현하였다.

데이터 입력은 CCTV에 찍힌 좌·우 영상을 동시에 획득하는 모듈이다. 본 연구에 이용된 CCTV는 네트워크를 통해 서버로 전송하는 방식이며, 파일 포맷은 JPG를 사용하였고, 영상 크기는 300~500KB, 영상 화소수는 1920×1080이다.

입체영상 처리 및 가공은 자동으로 특징점과 공액점을 추출하고, 에피폴라 영상을 생성한다. 에피폴라 기하 구현은 OpenCV에서 제공하는 스테레오 캘리브레이션 및 정밀기하보정모듈을 사용하여 좌·우 영상의 에피폴라 기하관계를 구현하였다.

입체영상 분석 및 정합은 3D 좌표를 갖는 입체영상의 각 화소를 이용하여 동일 위치에 시차정보를 입력하고, 에피폴라 기하 구현하여 대응점을 자동 정합한 후 시차정보를 획득하였다. 또한 시차정보를 이용하여 CCTV에서 대상물까지의 거리 및 시차 맵을 생성하였다.

3. CCTV 검정 및 영상처리

본 연구는 대상지에 CCTV를 설치하여 저수지에 부표를 띄우고 영상을 획득하였으며, 입체영상입력을 위해 사용된 CCTV는 FlexWatch FW7909 모델 2대이다.

본 연구를 위하여 CCTV 검정을 수행하고, <Table 1>

Table 1. Results of CCTV calibration

	Left CCTV		Right CCTV	
	f_x	f_y	f_x	f_y
focal length	7401.742	7424.456	7531.911	7544.098
principal distance	p_x	p_y	p_x	p_y
	987.071	466.842	967.036	487.846
distortion	k_1	k_2	k_1	k_2
	1.158855	0.336107	1.158855	0.336107
	p_1	p_2	p_1	p_2
	-0.009519	-0.007176	-0.009519	-0.007176

과 같은 결과 값을 얻었다.

CCTV 카메라는 초점거리 최대 22mm의 고배율을 사용하였고, 기선거리는 60cm이며, 화소 크기는 2.75 μm 로 <Figure 7>과 같이 현장에 설치하였다.

현장에 설치한 CCTV는 수면에서 반사 혹은 흡수되기 때문에 정확한 수위 정보를 획득하기 위한 표식으로 원형 부표 4개를 사용하여 <Figure 8>과 같이 서로 떨어지지 않도록 마름모꼴로 연결하였다.

본 연구는 CCTV를 이용하여 초당 8 프레임 촬영과 처리를 동시에 수행하여 좌·우 영상을 획득하였고, 촬영된 영상의 크기는 0.8~1.1 MB이며, 파일 포맷을 JPG로 저장하였다.

본 연구의 특징점 추출은 부표에 테이핑하여 특징점 혹은 공액점을 찾는 표식으로 사용하여 <Figure 9>와 같이 추출하였다.

에피폴라 기하를 생성하기 위해 2차원 평면위의 두



Figure 7. CCTV setting

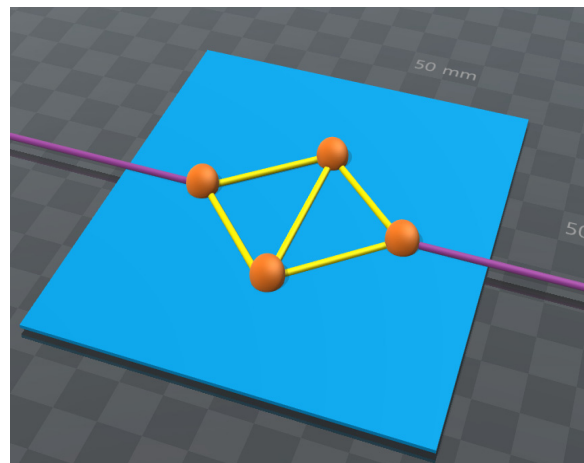


Figure 8. Marks of construction



Figure 9. Keypoint extraction of left and right images

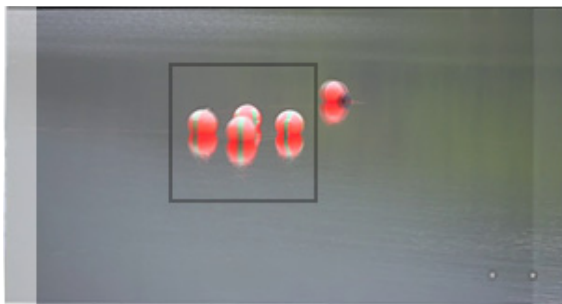


Figure 10. Results of image matching

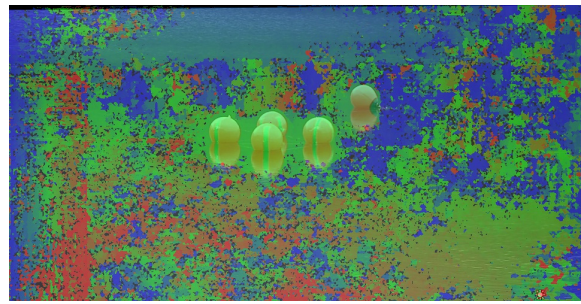


Figure 11. Production results of disparity map

영상이 표현되면 시스템상에서 에피폴라 기하가 생성되고, 에피폴라 기하보정된 영상에서 수직시차를 제거하여 영상정합과정을 통해 시차 맵을 생성하였다. 영상정합은 에피폴라 기하 보정된 입체영상을 표준화 상호 상관성 정합방법에 의해 정합한 결과 <Figure 10>과 같이 부표 부근의 정합 유사도가 가장 높게 나타났다.

시차 맵 생성 결과 <Figure 11>과 같이 영상정합의 유사도가 높은 부표 주변의 시차가 잘 맞는 것으로 나타났다.

4. 자료처리 및 정확도 분석

본 대상지는 수면표고가 상·하류에서 발생하는 것을 대비하기 위하여 <Figure 12>와 같이 상류부(A4, A5, A6), 중앙(A2), 여수토(A1), 사통주위(A3) 3지점



Figure 12. Measurement areas of mean water level

등 6개 지점을 수준측량하여 수면고를 결정하였다. 본 대상지의 수준측량 결과 상·하류부 간의 차이가 2mm로 나타나 수위차가 거의 없는 것으로 분석되었다.

농번기가 시작되는 5월은 저수지 수위변화가 많은 시기임으로 약 30일간에 걸쳐서 측량하였으며, <Table 2>

Table 2. Displacement of water level by levelling

date	GH (m)	difference (m)	date	GH (m)	difference (m)
5.11	208.117	0	5.24	206.876	-1.241
5.12	208.023	-0.094	5.26	206.672	-1.445
5.16	207.603	-0.514	6.01	206.163	-1.954
5.18	207.370	-0.747	6.05	205.938	-2.179
5.22	207.038	-1.079	6.08	205.819	-2.298
5.23	206.971	-1.146	6.10	205.670	-2.447

Table 3. Measurement data of pressure-type automatic water level meter

date	water level(m)	difference (m)	date	water level(m)	difference (m)
5.11	207.88	0	5. 24	206.81	-1.07
5.12	207.80	-0.08	5. 26	206.66	-1.22
5.16	207.46	-0.42	6. 01	206.16	-1.72
5.18	207.19	-0.69	6. 05	206.02	-1.86
5.22	206.88	-1.00	6. 08	205.89	-1.99
5.23	206.88	-1.00	6. 10	205.79	-2.09

Table 4. Results of water level by system

date	left image		right image	disparity (pixel)	displacement(m)
	x	y	x		
5. 12	857	468.5	729.3	127.8	-0.101
5. 16	924.8	585.8	792.6	132.2	-0.497
5. 18	922.67	621.5	792.7	130.00	-0.719
5. 22	863.8	757.8	725	138.8	-1.106
5. 23	895.7	748.7	760.8	134.8	-1.166
5. 24	831.5	770.2	694.7	136.8	-1.230
5. 26	946.8	826.2	811.8	135	-1.479
6. 01	881.3	952.8	743.8	137.5	-1.979
6. 05	1089.7	951	969.6	129.1	-2.180
6. 08	982.6	1046	853.4	138.2	-2.310
6. 10	1024.8	1026.8	900.8	133	-2.405

와 같이 수위변화 분석에서 최확값으로 이용하였다.

본 대상지는 2011년 10월 압력식 자동수위계가 설치되었고, 수위의 변화에 따라 수중에 설치된 수압 변화를 매 10분 단위로 측정하며, 실내에서도 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 설치되어 있다. 압력식 자동수위계의 관측자료는 <Table 3>과 같다.

본 연구에서 개발된 자동수위측정시스템은 기준수

Table 5. Comparative analysis of water level

date	water level displacement(m)			water level difference(m)	
	levelling(a)	water level gauge(b)	CCTV(c)	a-b	a-c
5.12	-0.094	-0.08	-0.101	0.014	-0.007
5.16	-0.514	-0.42	-0.500	0.094	0.014
5.18	-0.747	-0.69	-0.719	0.057	0.012
5.22	-1.079	-1.00	-1.106	0.079	-0.027
5.23	-1.146	-1.00	-1.166	0.146	-0.020
5.24	-1.241	-1.07	-1.230	0.171	0.011
5.26	-1.445	-1.22	-1.479	0.225	-0.034
6.01	-1.954	-1.72	-1.978	0.234	-0.024
6.05	-2.179	-1.86	-2.180	0.319	-0.001
6.08	-2.298	-1.99	-2.310	0.308	-0.010
6.10	-2.447	-2.09	-2.404	0.357	0.047
mean				0.182	0.019

위(208.117m)에서의 수위 변화를 측정하는 시스템으로, CCTV를 이용하여 서로 다른 4개 이상의 부표 수위를 수준측량 및 압력식수위계의 동일 관측 시간대에 촬영하여 시차 값을 수위로 변환한 평균 값을 <Table 4>와 같이 수위로 결정하였다.

본 연구는 수준측량 관측값을 최확값으로 압력식 자동수위계의 자료와 CCTV를 이용한 자동수위측정시스템의 수위 값을 비교하기 위해 동일한 시간대의 수위 변화값을 분석하였다. CCTV를 이용한 관측자료는 변위값으로 계산되기 때문에 각 시간대별로 <Table 5>와 같이 비교·분석하였다.

비교 결과 압력식 수위계는 수준측량 관측값과 최대 35.7cm, 평균 18.2cm가 나타났고, 본 연구에서 개발한 시스템은 최대 4.7cm, 평균 1.9cm의 차이를 나타내는 정확도를 나타냈다. 또한 기존 수위계와 본 시스템의 수위변화 누계값을 분석한 결과 <Figure 13>과 같이 수심 2.0m 지점에서 CCTV 시스템은 0.012m로 나타나 최확값과 일치하였으나, 자동수위계는 0.308m로 나타나 센서오류나 수중 압력변화로 인한 미세토사, 이물질 등으로 누적오차가 발생하는 것으로 분석되었다(Kim, 2019).

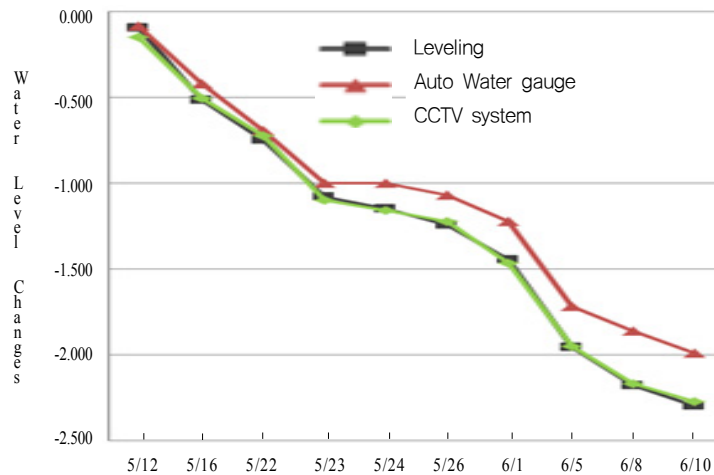


Figure 13. Accumulation analysis of water level

IV. 결론

본 연구는 최근 국지성 호우나 노후화로 인하여 안전성에 대한 많은 문제 나타나고 있는 중·소규모 저수지의 안전관리를 위하여 정확한 수위변화를 측정할 수 있는 CCTV를 이용한 자동수위측정시스템을 개발함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 개발된 CCTV 자동수위측정시스템을 이용하여 저수지 수위를 측정한 결과 오차는 0.001~0.047m로 나타났고, 기존 압력식 자동수위계는 0.014~0.357m로 나타나 입체형 CCTV 자동수위측정시스템이 높은 정확도를 나타냈다. 또한 압력식 자동수위계는 누적된 관측자료를 분석한 결과 오작동 및 압력변화로 인한 0.308m의 오차가 발생하였지만, 본 개발시스템은 누적오차 없어 기존 수위계 보다 정확한 결과 값을 얻을 수 있었다.

따라서, CCTV를 이용하여 좌우영상을 자동으로 입체화하고, 시차정보를 이용하여 영상기반의 자동수위측정시스템을 개발함으로써 실시간 수위변화 모니터링이 가능하여 재해예방시설이 부족한 중·소규모 저수지 관리에 효율적으로 활용하여 재해예방은 물론 재해위험 발생 시 인적·물적 피해를 최소화하는데 기여할 수 있을 것이다.

References

- Al Bovik. 2005. Handbook of Image & Video Processing, Elsevier ACADEMIC PRESS, Second Edition. 297-308.
- Kim, Kyu Jeon. 2019. Development of Automatic Water Level Measuring System Using Stereo CCTV, Ph. D. dissertation, Chungbuk National University. 10-102.
- Kim, Kyu Jeon and Ki Surk, Park and Kyeong Sik, Park and Seok Keun, Choi. 2018. Development of Automatic Water Level Measuring System Using Stereo Images, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*. 26(2): 77-86.
- Kim, Won and Chi Young, Kim and Chan Joo, Lee and Dong Gu, Kim, 2006. Practical Application of Image Stage Gauge. *Journal Of Korea Water Resources Association*. 560-564.
- Korea Rural Community Corporation. 2017. Performance and Management Status of Water Level Measuring System. 1-5.
- Lee, Yang Lae and Pil U, Heo and Jae Hyung, Kim and Wook Su, Ra and Eui Su, Lim. 1996. The Development of Ultrasonic Level Meter, Final Report, Ministry of Commerce & Industry. 5-87.
- Lee, Chan Joo and Hee Sung, Park and Myoung Bae, Seo and Sang Hwa, Jung and Dong Gu, Kim and Yong Jeon, Kim. 2013. Development of a Cloud-based Compact Image Level Gauge (RIVER EYE), Final Report, Korea Institute of Construction Technology. 1-5.
- Morgan, M. 2004. EPipolar Resampling of Linear Array Scanner

Scenes, Ph. D Dissertation, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada.

Seo, Myoung Bae and Chan Joo, Lee and Dong Gu, Kim. 2013. A Water Surface Detection Method by Correlation Analysis of Watermark Images with Time Interval. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*. 14(1): 470-477.

Szeliski, R and Zabih, R and Scharstein, D and Veksler, O and Kolmogorov, V and Agarwala, A and Rother, C. 2008. A comparative study of energy minimization methods for markov random fields with smoothness-based priors. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 30(6): 1068-1080.

Vision & Graphics Group Monthly Archives. 2015-02, Stereo Reconstruction.: 2783.

Korean References Translated from the English

김규전, 박기석, 박경식, 최석근. 2018. 스테레오영상을 이용한

자동수위측정시스템 개발. *한국지형공간정보학회*. 26(2): 77-86.

김규전. 2019. 입체형 CCTV를 이용한 자동수위측정시스템 개발. 공학박사 논문, 충북대학교 대학원.

김원, 김치영, 이찬주, 김동구. 2006. 영상처리기술을 이용한 영상수위계 개발. *한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집* pp.500-504.

서명배, 이찬주, 김동구. 2013. 시차가 있는 수위표 이미지의 상관분석을 통한 수면측정기법. *한국산학기술학회지*. 14(1): 470-477.

이양래, 허필우, 김제형, 라옥수, 임의수. 1996. 초음파수위측정기 개발. 산업자원부 보고서. pp.5-87.

이찬주, 박희성, 서명배, 정상화, 김동구, 김용진. 2013. 클라우드 기반 소형 저전력 영상수위계(River Eye)개발, 한국건설기술연구원 보고서. pp.1-5.

한국농어촌공사. 2017. 수위측정시스템 관리 및 운영 실태. pp.1-5.

Received: Mar. 29, 2019 / Revised: Apr. 19, 2019 / Accepted: Apr. 30, 2019

스테레오 CCTV 시스템을 이용한 수위측정 정확도 향상

국문초록 최근 농업용 중소규모 저수지는 노후화 및 안전성 저하 등으로 국지성 호우 발생 시 붕괴사고와 같은 문제가 발생되고 있다. 본 연구는 입체형 CCTV를 이용하여 입체영상을 획득하고, 자동으로 수위 변화를 측정할 수 있는 시스템을 개발하여 재해에 취약한 중소저수지를 효율적으로 관리하고자 한다. 이를 위하여 시스템 개발은 UMI(unified modeling language)를 이용하여 시스템을 개발하였고, 시스템 구현은 CCTV 검정, 취득한 영상의 특징점 및 공액점을 독취 후 에피폴라 기하관계 구현, 표준 상호 상관성(normalized cross-correlation) 알고리즘을 이용한 영상정합 등을 통하여 시차맵을 제작하여 수위 변화를 분석하였다. 그 결과 본 연구에서 개발한 입체형 CCTV 자동수위측정시스템의 정확도가 기존 시스템에 비하여 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

주제어 : 스테레오 CCTV, 에피폴라 기하, 시차 맵

Profiles **Kyu Jeon Kim** : He received his Ph.D. from Chungbuk National University, Korea in 2019. He is a branch manager of the Boeun branch at Korea Rural Community Corporation. His interesting subject and area of research is water level measuring and overcoming drought. He recently published a paper in journal about overcoming drought in agricultural reservoirs (gjkim1@ekr.or.kr).

Seok Keun Choi : He received his Ph. D. from Chungbuk National University, Korea in 1992. He is an professor of Department of Civil Engineering at Chungbuk National University(skchoi@cbnu.ac.kr).

Seung Ki Lee : He received his Ph.D. from Chungbuk National University, Korea in 2015. His interesting subject and area of research is remote sensing and deep learning(iruril@cbnu.ac.kr).

Sang Wook Park : He has a doctorate course in Chungbuk National University, Korea(psw5384@naver.com).

Won Tea Ahn : He has a doctorate course in Chungbuk National University, Korea(gpsgeoid@hanmail.net).