

하천 표면영상유속 측정을 위한 경사영상 왜곡 보정 기술 개발

이준형*, 김서준*, 노영신**

*명지대학교 토목환경공학과

**한국수자원조사기술원

e-mail:ncturne411@nate.com

Development of Distortion Correction Technique in Tilted Image for River Surface Velocity Measurement

Junhyeong Lee*, Seojun Kim*, Youngshin Roh**

*Dept. of Civil and Environmental Engineering, Myongji University

**Korea Institute of Hydrological Survey

요약

표면영상유속계는 영상을 이용한 비접촉식 유속계로 하천과 같은 넓은 범위의 표면유속을 쉽고 간편하게 측정할 수 있다는 장점이 있어 국내외에서 많은 연구가 수행되고 있다. 표면영상유속계를 이용한 하천 표면유속 측정 시 넓은 범위의 하천을 영상에 담기 위해서 기울여서 촬영하는데 이때 필연적으로 경사에 의한 영상 왜곡이 발생한다. 현재 이런 영상 왜곡을 보정하기 위해서 사용하고 있는 방법은 하천 제방에 설치한 최소 4개의 참조점을 이용한 2차원 투영 좌표 변환법이다. 하지만 2차원 투영 좌표 변환법은 각각의 참조점이 높이 차이가 있는 경우 좌표 변환의 정확도가 떨어진다. 또한 2차원 투영 좌표 변환법은 영상 내 참조점 내부 영역을 내삽하여 좌표 변환을 수행하기 때문에 영상 내 참조점 외부 영역은 영상 보정이 되지 않아 영상 분석이 가능한 하천 영역에 제한이 있다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 참조점 없이 카메라의 경사각만을 이용하여 기울어진 영상에 발생하는 왜곡을 보정하는 기법을 개발하였다. 그 결과 기존에 사용하던 영상 왜곡 보정 방법에 비해 넓은 영역에 대해 왜곡이 보정된 영상을 획득할 수 있음을 확인하였다. 따라서 향후 별도의 참조점 측량 및 촬영 없이 카메라 촬영 각도만으로 경사진 영상을 보정하여 간편하게 하천 표면유속을 측정할 수 있을 것으로 기대한다.

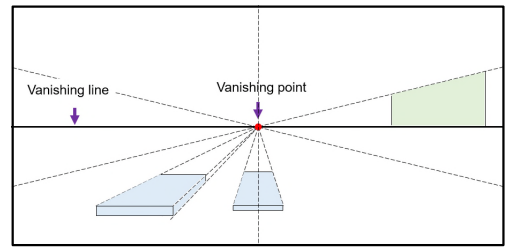
1. 서론

하천의 유량 측정은 수자원 계획 수립 및 하천 방재의 기초자료 수집을 위해 필수적이다. 기존에 국내에서는 하천 유량 측정을 위해 유속계 및 부자를 이용하고 있으며 홍수 시에는 안전상의 이유로 부자를 이용한 방법만으로 유량 측정을 수행하고 있다. 하지만 유속계를 이용한 방법은 고가의 장비와 인력이 필요하다는 단점이 있고, 부자를 이용한 방법은 측정자의 주관 및 측정 환경에 따른 오차 때문에 정확도가 높지 않다는 단점이 있다. 따라서 이를 극복하기 위해 영상을 이용한 표면영상유속계로 하천의 유량을 측정하는 연구가 활발히 진행 중이다.

표면영상유속계는 하천 영상 내 수표면의 움직임을 촬영한 영상을 이용하여 하천의 표면유속을 측정하는 기법이다. 표면영상유속계를 이용한 넓은 범위의 하천 표면유속 측정을 위해서는 카메라를 기울여서 촬영해야 하고 이때 필연적으로 경사에 의한 영상 왜곡이 발

생한다. 이에 지금까지는 2차원 투영 좌표 변환법을 이용하여 영상 왜곡을 보정하였다. 2차원 투영 좌표 변환법은 수표면과 동일한 평면에 존재하는 최소 4 개의 참조점을 이용하여 영상 왜곡을 보정하는 기법이다. 하지만 하천 수위가 변하는 경우 참조점이 수표면과 동일한 평면에 존재하지 않게 되어 투영 좌표 변환식을 이용해 구한 실제 좌표에 오차를 유발하여 유속 측정에도 영향을 미친다. 마찬가지로 4 개의 참조점에 높이 차이가 있는 경우 투영 좌표 변환 시 정확도가 떨어진다. 또한 참조점을 이용한 2차원 투영 좌표 변환법은 영상 내 참조점 내부 영역을 내삽하기 때문에 참조점 외부 영역은 보정이 되지 않는 문제가 있다. 이에 김희정(2018)은 2차원 투영 좌표 변환법을 개선하고자 수위보다 높게 설정된 참조점을 참조점 좌표 보정식을 통해 수면과 동일한 평면 상에 위치하도록 하는 참조점 보정식을 제안하였다. 또한 Fujita and Aya(2000)는 2차원 투영 좌표 변환법을 개선하고자 수위보다 높은 6 개의 참조점과 수면상의 임의의 3 개 이상의 점을 더

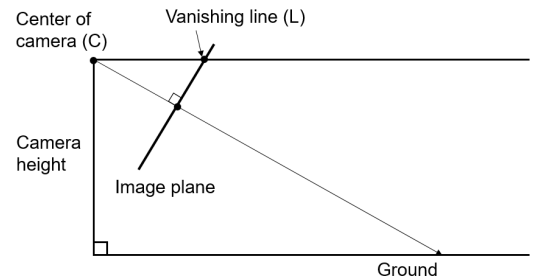
하여, 변하는 수위에 따라 영상 왜곡을 보정할 수 있는 3차원 투영 좌표 변환법을 개발하였다. 하지만 이 역시 참조점 외부 영역의 표면유속 분포를 얻을 수 없어 유속 분포 측정 범위에 제한이 있다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 참조점을 활용하지 않고 카메라의 경사각을 이용하여 경사진 영상을 정사영상으로 보정하는 기법을 개발하여 보다 넓은 범위의 표면유속 분포를 간편하게 얻을 수 있는 방안을 도출하고자 한다.



[그림 1] 소실점과 소실선의 예

2. 소실점의 개념을 이용한 영상 왜곡 보정 방법

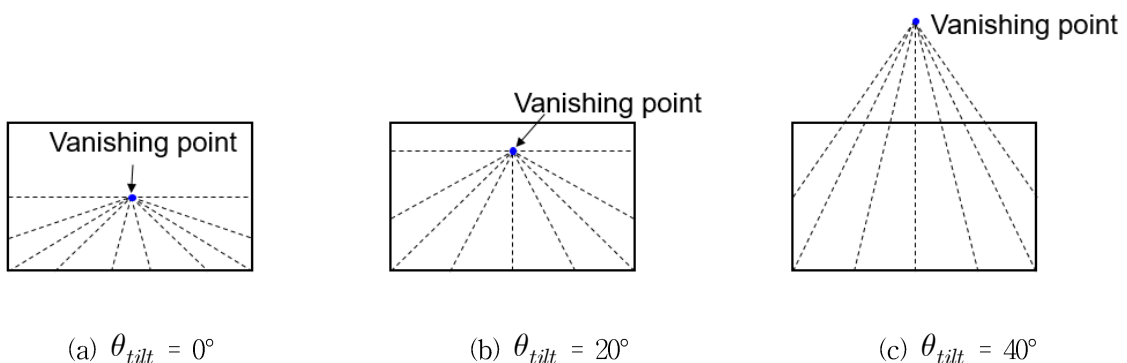
실세계에서 평행한 두 선은 절대 만나지 않는다. 하지만 실제로는 평행한 직선이 영상 내에서는 서로 만날 수 있으며 직선이 만나는 교점의 좌표도 구할 수 있다. 그 교점을 소실점(vanishing point)이라고 한다. 또한 동일 평면에 속한 소실점들은 모두 일직선상에 존재하게 되며 이 선을 소실선(vanishing line)이라고 한다(그림 1). 어떤 평면에 대한 소실선은 이 평면과 수평이고 카메라 렌즈의 중심을 지나는 평면이 이미지 평면과 만나서 생기는 교선이다(그림 2). [그림 2]에서 처럼 카메라 영상에서 소실선 및 소실점의 위치는 카메라의 경사에 의해 결정되며 소실점의 위치는 식(1)과 같다.



[그림 2] 소실선의 기하학적 특징

$$v_y = c_y + f \cdot \tan \theta_{tilt} \quad \text{식 (1)}$$

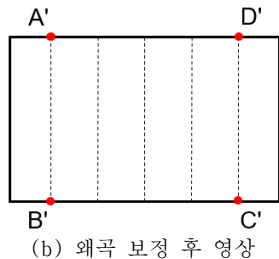
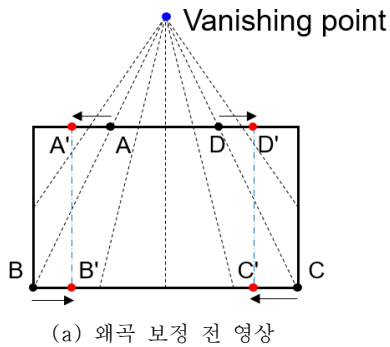
본 연구에서 경사진 영상을 정사영상으로 보정하기 위해 카메라의 경사각과 영상 내 소실점의 기하학적 성질을 이용하였다. 소실점은 실세계에서 평행한 직선이 기울어진 영상에서 만나 생기는 교점이다(그림 2). 소실점의 기하학적 특징에 의해 영상 내 소실점은 카



[그림 3] 카메라 경사각에 따른 소실점의 위치

메라 경사에 의해 위치가 정해진다. 소실점의 위치는 카메라의 경사가 커질수록 주점에서 멀어지며 경사가 일정 이상으로 커지면 영상 테두리를 벗어나 외부의 가상 영상 좌표에 형성될 수도 있다(그림 3).

이에 본 연구에서는 소실점의 좌표와 왜곡 영상의 기하학적 특징을 이용하여 경사에 의한 영상 왜곡을 보정하였다. 왜곡 보정의 개념도는 [그림 4]와 같다. 왜곡된 영상이 있을 때 [그림 4(a)]와 같이 영상 하단의 임의의 좌표 B, C에서 소실점의 좌표와의 연장선을 긋는다. 이 연장선이 영상 상단에서 만나는 좌표를 A, D 라 하면 와 는 실세계에서 평행한 선분이다. 따라서 A, B, C, D의 좌표를 [그림 4(a)]와 같이 평행한 선분인 과 의 A', B', C', D' 좌표로 투영 변환하면 [그림 4(b)]와 같이 경사에 의한 왜곡을 보정하여 정사영상으로 만들 수 있다.



[그림 4] 경사 왜곡 보정 개념도

3. 카메라 경사각에 따른 왜곡 보정 및 검증

본 연구에서 개발한 영상 왜곡 보정 방법을 이용하기 위해서 필요한 변수인 주점의 좌표, 카메라의 초점 거리는 카메라 캘리브레이션을 통해 도출하였고(표 1), 카메라 경사각은 핸드폰의 IMU센서로 측정이 가능하다. 본 절에서는 카메라의 경사각을 달리하여 영상 왜곡이 생기게끔 정사각형의 체스보드 패턴을 촬영한 뒤 본 연구에서 개발한 방법으로 영상을 보정하였다.

카메라 경사각은 30°와 45°의 두 가지 경우로 달리하여 촬영하였고 각각의 경우 영상 내 소실점의 좌표는 [표 2]에 정리하였다. 또한 각각의 영상에 발생한 경사 왜곡을 보정한 결과는 [그림 5]와 [그림 6]과 같다.

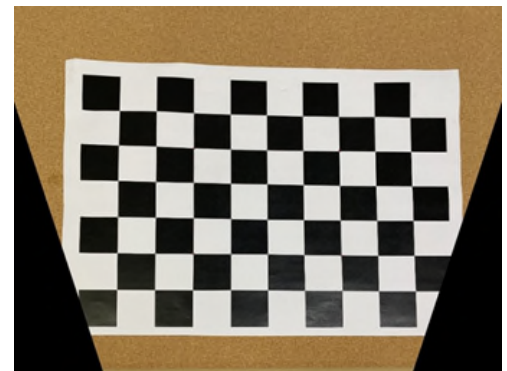
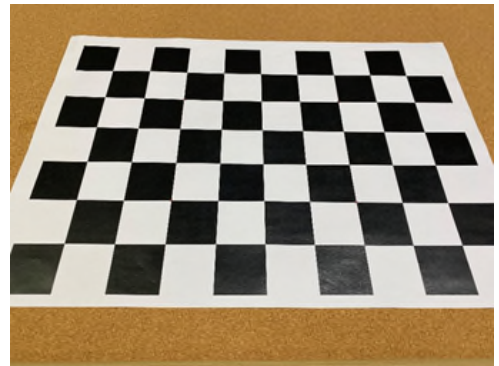
여기서 [그림 5(a)], [그림 6(a)]는 각각 경사각 30°와 45°로 촬영하여 왜곡된 영상이고 [그림 5(b)], [그림 6(b)]는 본 연구에서 개발한 방법으로 왜곡을 보정한 영상이다.

[표 1] 카메라 내부 파라미터

Intrinsic parameter	Value
f_x	3092.54
f_y	3083.73
c_x	1524.51
c_y	2034.49
k_1	0.1819
k_2	-0.6807
k_3	0.7909
p_1	0.0031
p_2	0.0036

[표 2] 카메라 경사각에 따른 소실점의 좌표

촬영각도	소실점의 좌표
30°	6880.95
45°	4617.05



[그림 5] 경사각 30°로 촬영한 체스보드의 왜곡 보정 전 후 영상

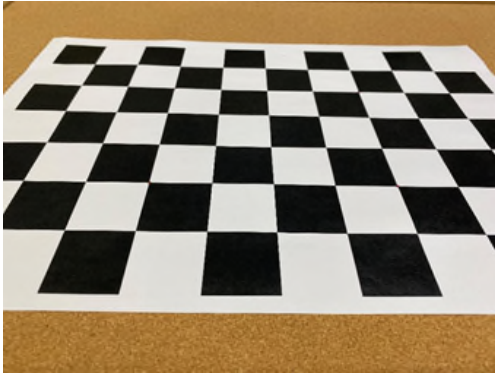
을 것으로 기대한다.

감사의글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥의 지원으로 수행되었음(과제번호 20DPIW-C153760-02).

참고문헌

- [1] 김희정. (2018). 수위 변화를 고려한 표면영상유속계의 영상 왜곡 보정 기법 개발. 석사학위논문, 명지대학교
- [2] Fujita, I., and Aya, S. (2000). Refinement of LSPIV technique for monitoring river surface flows. Proc. of Water Resources Engineering, Water Resources Planning & Management, Minneapolis, USA.



(a) 왜곡 보정 전



(b) 왜곡 보정 후

[그림 6] 경사각 45°로 촬영한 체스보드의 왜곡 보정 전 후 영상

본 연구에서 개발한 영상 왜곡 보정 방법의 검증에 위해 보정된 영상에서 체스보드 패턴의 정사각형 가로와 세로 변의 픽셀 수를 비교하였다. 검증 결과, 체스보드 정사각형 가로와 세로 변의 길이가 18 화소 이하의 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. IMU센서 및 카메라 경사의 불확도가 존재한다는 점과 영상 전체 화소 수가 약 4백만 픽셀인 것을 고려할 때, 평균 11 화소의 차이는 약 0.36 %의 오차를 보이며 허용할만하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서 개발한 영상 왜곡 보정 방법은 경사진 영상에서 발생하는 영상 왜곡을 잘 보정한다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 카메라 경사각만을 이용하여 소실점의 기하학적 특징을 이용해 경사진 영상에 발생하는 왜곡을 보정하는 방법을 소개하고 실내 실험과 현장 실험을 통해 검증하였다. 향후 참조점 측량 및 설치가 힘든 홍수기의 하천이나 대하천에서 표면유속을 구하고자 할 때 본 연구에서 개발한 기법을 활용하여 간편하게 영상 왜곡을 보정하고 표면유속을 산정할 수 있