

드론 기반 사진측량기법을 활용한 고압 송전선의 처짐량 측정 Electric Power Line Dips Measurement Using Drone-based Photogrammetric Techniques

김유종¹⁾ · 오재홍²⁾ · 이창노²⁾

Kim, Yu Jong · Oh, Jae Hong · Lee, Chang No

Abstract

High voltage power transmission lines have been to keep the proper dip for maintenance. Powerline dips at a random point are conventionally measured by the direct or indirect observation but it is not only unsafe but labor-intensive. Therefore in this study we applied the photogrammetric technique to remotely measure the powerline dips. Since it is not easy to extract conjugate points from linear powerlines, we exploited the epipolar lines acrossing the powerlines for 3D mapping of the powerlines and dip measurements. The vertical mapping accuracy estimated at two field-surveyed power line points was 15~16cm that are within 5% of deflection at the points and less than 3% of the powerline dip.

Keywords: Power Line, Dips, Photogrammetry, UAV, Epipolar

초 록

고압 송전선은 전선을 느슨하게 가선하여 약간의 이도를 유지하도록 되어있다. 현재 송전선의 이도를 측정하는 방법은 직접 측량에 의존하고 있고 비교적 정확한 값을 얻을 수 있지만, 송전탑에 직접 승탑하거나 가까이 접근해야 하는 위험성 및 어려움이 있다. 본 연구에서는 대상체에 접근하지 않고 3차원 측정을 수행하기 위해 저가의 드론을 활용한 항공사진측량 기법을 사용하였다. 선형 구조물인 송전선은 매핑을 위한 특징점이 존재하지 않기 때문에, 송전선의 방향과 수직이 되도록 에피폴라 라인을 형성하여 입체 사진 처리기법을 통해 송전선의 3차원 매핑을 수행하고, 송전선의 처짐량을 도출하였다. 사진측량기법에 의한 측정 결과 무타겟 토탈스테이션을 사용하여 직접 측정한 두 지점의 송전선의 처짐량과 비교하였을 때 수직 정확도가 15~16cm로 파악되었고 이는 해당 지점 처짐량 대비 5% 이내 및 대상 송전선 이도량의 3% 이내에 해당하는 값이다.

핵심어 : 송전선, 처짐, 사진측량, 무인항공기, 에피폴라

Received 2017. 09. 27, Revised 2017. 10. 17, Accepted 2017. 12. 13

1) Member, Dept. of Quality Management, Sampyo EM (E-mail: kyj2145@naver.com)

2) Member, Dept. of Civil Engineering, Chonnam National University (E-mail: ojh@jnu.ac.kr)

3) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology (E-mail: changno@seoultech.ac.kr)

1. 서론

최근 정보화 사회에서 풍부한 전력 수요는 더욱 필요하게 되었고, 안전하고 효율적인 전송을 위해 송전탑과 전선을 설치하여 전력이 필요한 공장이나, 가정으로 공급하고 있다. 송전선의 경우 송전탑 사이의 거리가 멀면 전선의 무게로 의해 아래로 처져 끊어질 수 있다. 하지만, 너무 가깝게 송전탑을 설치하면 개수가 증가하게 되어 설치비용이 기하급수적으로 증가하게 된다. 따라서 안전성과 경제성을 고려하여 적절한 간격으로 설치된다. 그러나 시간이 지남에 따라 전선의 무게나 주변 환경의 영향에 의해 수축과 팽창이 주기적으로 발생한다(Kim, 2008). 따라서 전선을 오래 사용하기 위해서는 송전선 처짐량에 대한 주기적인 모니터링이 필요하다(Im *et al.*, 2015). 현재 송전선 처짐량 측정법으로는 크게 직접법과 간접법으로 나눌 수 있는데, 직접법에는 등장법, 이상법, 각도법, 수평이도법 등이 있으며, 간접법에는 장력계법, 진동주기측정법, 충격파측정법 등이 있다. 직접법과 간접법을 활용한 측정은 직접 송전탑에 승탑하여 측정하고, 접선을 이용하여 측정 위치에 대한 처짐량 측정과 특징점의 처짐량을 측정하기 위해 줄자를 설치하여 측정하므로 기후에 영향을 받게 된다. 그러나 송전탑에 승탑하여 측정하는 방법은 매우 위험하고, 시간과 비용이 많이 소요되므로 송전탑 전선의 처짐을 측정하기 위해 고가의 측량장비와 전문적인 인력 없이 처짐량을 측정할 수 있는 해결 방안이 필요한 실정이다.

이에 본 연구는 사진측량기법을 활용하여 송전선 처짐량을 측정해보고자 한다. 기존의 처짐량 측정방법을 사용하지 않고 사진측량기법을 활용하면 전기원이 송전탑에 승탑하지 않아 안전을 보장 받을 수 있게 되며, 송전선 처짐량의 주기적인 모니터링이 가능하게 된다. 또한, 간격이 먼 송전탑을 신속하게 측량할 수 있고, 소수의 인력으로 운영이 가능하여 경제적이다. 이러한 장점을 바탕으로 현재 국내 외에서는 송전탑에 대해 무인항공기를 활용한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 무인항공기는 수치지도 갱신 등에도 활용되고 있으나(Lim *et al.*, 2015), 송전선 측정에 대한 연구들을 살펴보면, Bae *et al.*(2010)는 송전설비 순시점검 업무에 무인헬기를 활용하여 타당성을 조사하였는데, 데이터수집, 분석능력을 고려하였을 때 최적의 운송수단만 확보되면 기존 시행되는 업무 중 일부는 병행할 수 있을 것이라 판단하였다. Kim and Kang(2010)은 무인헬기를 활용하여 전력선 검출을 수행을 위해 Hough 변환 방식을 이용하여 직선 검출 방법으로 전력선을 찾는 방법을 제안하였다. Im *et al.*(2015)은 송전선과 송전탑 모니터링에 무인 탑재 라이다를 이용하여 측정해서 수

평위치는 2m정도의 오차, 수직위치로는 5m이내의 오차를 보였고 표준편차는 30cm이내의 값이 도출되었다. 라이다를 무인 헬기에 탑재하여 활용한 연구도 있다. 레이저를 통해 장애물을 회피할 수 있고, 3D 스캔이 가능하여 쉽게 넓은 면적을 점검할 수 있음을 확인하였고(Hrabar *et al.*, 2010), 헬리콥터에 라이다와 카메라를 활용한 전력선 매핑을 실시하여 거의 9000Km에 달하는 전력선에 대한 데이터를 획득한 사례도 있다(Kremer and Kreuztal, 2011).

사진측량기법을 활용한 송전선 처짐량 측정을 위해 지상 사진측량을 이용하는 경우에는 지상사진 촬영을 위해서는 송전탑 가까이 접근해야하며, 촬영을 위한 공간 확보 등이 쉽지 않다. 또한, 지상사진을 스테레오로 촬영 시 에피폴라 라인이 송전선과 평행방향이 되어 공역점을 찾아내기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 최근 활용도가 급증하고 있는 저가의 드론을 활용하여 항공사진측량 기법을 통해 송전탑 전선의 처짐량을 측정하기 위한 연구를 수행하였다. 비 측량용 카메라 왜곡을 보정하기 위해 카메라 캘리브레이션을 통해 내부표정요소를 검출한 후 촬영을 수행하여 번들조정을 수행하였다. 특징점이 존재하지 않는 송전선의 3차원 매핑을 위해서 에피폴라 기하를 바탕으로 송전선 매핑을 수행하여 송전선의 처짐량을 도출하였다. 최종적으로 정확도 비교를 위해 무타겟 토달스테이션을 활용한 직접측량을 통해 처짐량을 측정한 후 비교하여 정확성을 분석하였다.

2. 드론 기반 사진측량기법

본 연구는 저가의 드론을 이용하여 수직 항공영상을 촬영하고, 취득된 영상을 이용하여 3차원 송전선의 매핑을 수행한 후 처짐량을 측정하여 드론을 이용한 전선의 처짐량 모니터링 가능성 제시에 목적이 있다. 이를 위한 본 연구의 방법은 아래와 같다.

첫째, 송전탑이 잘 보이는 위치를 선정하고 연구 대상지역의 지형이나 송전탑 제원 등을 고려하여 사진촬영 계획을 수립한 후 계획에 따라 대상지에 대한 촬영을 수행한다.

둘째, 촬영에 사용될 카메라는 비측량용 카메라이므로 촬영영상의 왜곡이 발생하고 카메라 내부의 기하학적 특성을 보정을 수행하기 위해 투영중심 위치, 초점거리, 왜곡수치와 같은 내부표정요소를 검출한다. 또한 드론을 활용하여 획득한 입체영상으로부터 카메라의 3차원 위치를 결정하기 위해 촬영 당시 카메라 렌즈 중심에 대한 위치와 자세 값을 결정하기 위해 번들조정을 수행한다.

셋째, 입체 영상과 에피폴라 기하를 이용하여 송전선의 3

차원 매핑을 수행하고 송전선 처짐량을 도출한다.

넷째, 사진측량기법을 이용하여 측정한 송전선 처짐량의 정확도를 비교해보기 위해 무타겟 토탈스테이션을 활용한 직접측량을 통해 처짐량을 측정한 후 비교하여 정확성을 분석한다.

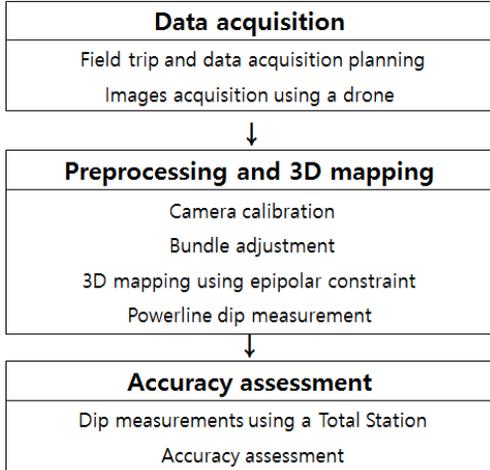


Fig. 1. Flowchart of the study

2.1 송전선 이도 측정

송전선 이도는 Fig. 2와 같이 송전선 양 끝단을 잇는 3차원 베이스 라인과 송전선간의 단순 최단거리가 아닌 중력방향의 최단거리로 측정된다. 양 송전탑을 잇는 송전선 끝단의 좌표를 (x_a, y_a, z_a) 및 (x_b, y_b, z_b) 라고 했을 때, 중간 지점 (x_j, y_j, z_j) 의 이도(D)는 Eq.(1)과 같이 도출할 수 있다.

여기서, 송전탑 양 끝단의 3차원 좌표 및 송전선의 좌표가 측정되어야 하며, 본 연구에서는 이를 드론을 이용한 사진측량기법을 통해 도출하였다.

$$D = z_a + \Delta z_{ja} - z_j \tag{1}$$

where, $\Delta z_{ja} = \frac{d_{ja}}{d_{ba}} \Delta z_{ba}$ and $d_{aj} = \sqrt{(x_j - x_a)^2 + (y_j - y_a)^2}$

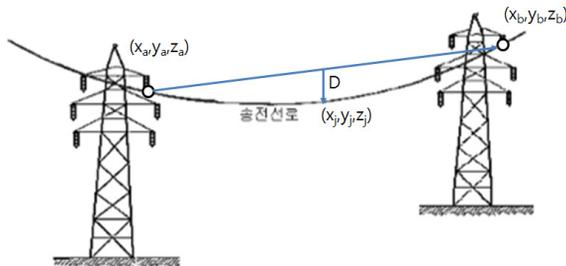


Fig. 2. Electric power line dip

2.2 카메라 셀프 캘리브레이션 및 번들 조정

지가의 드론에 장착되어 있는 비측정용 카메라를 이용하여 사진측량을 수행하기 위해서는 사진촬영을 통해 카메라 캘리브레이션을 수행해야 한다. 이를 셀프 캘리브레이션이라고 하며, 이를 위한 카메라 왜곡 모델은 1950년대부터 연구가 진행되어 왔으며, 현재는 기존의 8매개변수 식을 개선하여 초점거리(Focal length), 주점(Principal points), 렌즈 방사왜곡(Radial lens distortion), 렌즈 편심왜곡(Decentering distortion), 초점면 왜곡(In-plane distortion) 등으로 구성된 Fraser(1997)에 의해 제안된 Eq.(2)과 같은 10 매개변수 식을 널리 활용하고 있다. 셀프 캘리브레이션을 위해서는 지상 기준점을 활용하여야 하며, 상기 Eq.(2)을 외부표정요소, 내부표정요소 및 지상기준점을 미지수로 하여 테일러급수 전개를 통해 선형화하고 단일 최소제곱식(unified least square equation)을 구성하여 정규방정식을 통해 해법을 도출한다(Mikhail *et al.*, 2001).

$$\begin{aligned} x - x_0 + \Delta x_r(K_1, K_2, K_3) + \Delta x_d(P_1, P_2) + \Delta x_f(b_1, b_2) &= -f \frac{U}{W} \\ y - y_0 + \Delta y_r(K_1, K_2, K_3) + \Delta y_d(P_1, P_2) &= -f \frac{V}{W} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X - X_L \\ Y - Y_L \\ Z - Z_L \end{bmatrix}$$

where, x, y are photo coordinates, X, Y, Z are the ground coordinates, X_L, Y_L, Z_L are the perspective center coordinates, and M is the rotational matrix. f is the focal length, x_0, y_0 are the principal offsets, K_1, K_2, K_3 are the radial lens distortions, P_1, P_2 are the decentering distortions, b_1, b_2 are in-plane distortions.

2.3 에피플라 라인

고압 송전선은 선형 피쳐로서 입체쌍이 구성된다 하더라도 입체 영상에서 동일 지점을 찾아내는 것이 어렵기 때문에 에피플라 기하를 적절히 활용하여야 한다. 에피플라 기하는 기본적으로 좌우사진의 투영중심점, 하나의 지상점, 이에 대응하는 좌우사진의 사진점(공액점)이 모두 동일한 평면에 위치한다는 공면조건(coplanarity condition)에 의해 설명된다. 에피플라 평면은 두 사진의 투영중심점과 지상점에 의해 정의되며, 에피플라 라인은 에피플라 평면과 좌우사진면의 교선으로 정의된다.

좌우사진의 투영중심점과 한 쌍의 공액점으로부터 Eq.(3)와 같이 세 벡터를 정의하면,

$$v_{12} = \begin{bmatrix} X_{L2} - X_{L1} \\ Y_{L2} - Y_{L1} \\ Z_{L2} - Z_{L1} \end{bmatrix}, v_1 = M_1^T C \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}, v_2 = M_2^T C \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_0 + \Delta x \\ 0 & 1 & -y_0 + \Delta y \\ 0 & 0 & -f \end{bmatrix}$$

were '1' and '2' represent the left and right images, respectively. C

세 벡터는 공면조건식에 의해 같은 평면(에피폴라 평면)에 위치하여야 하므로 이들 벡터에 의한 행렬식, 즉, 삼중곱은 Eq.(4)에서와 같이 '0' 이어야 한다.

$$Det(v_1, v_{12}, v_2) = v_1^T \cdot (v_{12} \times v_2) = 0 \quad (4)$$

따라서, 좌측사진에서 송전선 중 한 점이 정해지면 우측사진에서 그 점에 대한 에피폴라 라인은 Eq. (5)에 의해 계산된다.

$$Det(v_1, v_{12}, v_2) = [x_1 \ y_1 \ 1] F \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = k^T \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \Rightarrow k_1 x_2 + k_2 y_2 + k_3 = 0 \quad (5)$$

were,

$$F = C^T M_1 V M_2^T C$$

$$V = \begin{bmatrix} 0 & -(Z_{L2} - Z_{L1}) & (Y_{L2} - Y_{L1}) \\ (Z_{L2} - Z_{L1}) & 0 & -(X_{L2} - X_{L1}) \\ -(Y_{L2} - Y_{L1}) & (X_{L2} - X_{L1}) & 0 \end{bmatrix}$$

The matrix F is called fundamental matrix.

핀더멘탈 행렬로부터 에피폴라 라인 식을 구할 수 있다. 에피폴라 라인을 적절히 이용하면 즉, 에피폴라 라인이 송전선을 가로지르는 방향으로 되도록 입체 쌍을 선택하면 송전선과 같은 선형 피쳐에서 동일 지점을 찾을 수 있다.

3. 사진측량기법에 의한 송전선 처짐량 측정 및 분석

본 연구는 전라남도 담양군 고서면을 연구대상지로 선정하였다. 연구대상물로 선정된 송전탑은 평탄한 농경지에 위치해 있으며, 한 경간의 거리는 약 300m이었다. Table 1에서와 같이 데이터 획득을 위해서 저가형 드론인 DJI Phantom 3 Professional을 이용하였으며, 카메라의 초점거리는 2.8mm이고, 1200만 화소의 센서를 탑재하고 있다. 해당 드론은 촬영시 드론의 진동을 최소화시키고 품질 좋은 영상을 취득하기 위해 짐벌이 설치되어 있다. 촬영일은 2016년 7월 6일 오후에 이루어졌으며, 촬영당시의 바람은 약하게 부는 상태였다. 사진촬영 시 GSD (Ground Sampling Distance)가 5cm가량인 고해상도 공간데이터를 획득하기 위해 촬영고도는 지상으로부터 70m로 설정하여 수행하였다. 일반적으로 송전탑의 높이가 지상 약 40m에 이르므로 안전을 확보하여 충분한 촬영고도를 유지할 필요가 있다. 중복도는 각각 중중복도 80%, 횡중복도 80%로 설정하였으며, Fig. 3와 같이 총 4개의 스트립을 이용하여 75장의 영상을 획득하였다. 취득된 영상의 처리를 위해서 EOS System의 PhotoModeler를 사용하였다.

Table 1. Specification of the tested drone and camera

UAV : PHANTOM 3 Professional		Camera : 4K Gimbal	
			
Weight	1280g	Focal Length	2.8mm
Max Speed	≤18m/s	FOV	90°
Flight Time	≤23min	ISO	100
Flight Altitude	≤6000m	Resolution	4,000×3,000
GPS Type	GPS/GLONASS		
Hover Accuracy	Vertical: ±0.1m		
	Horizontal: ±1.5m		



Fig. 3. Image acquisition grid (4 strips and 75 photos)

드론에 장착된 카메라는 비측량용 카메라로서 촬영영상의 왜곡이 많이 발생하므로 카메라 캘리브레이션을 수행하여 초점거리, 주점 이동량, 방사왜곡, 편심왜곡 등의 카메라 내부 파라미터 요소를 도출하였다. 보다 정확하고 빠른 셀프 캘

리브레이션을 위해 Fig. 4와 같이 캘리브레이션 필드 벽면에 Multisheet RAD (Ringed Automatically Detected Target) 타겟을 설치하여 활용하였다. 타겟으로부터 약 2m 거리에 떨어진 위치에서 가로 및 세로 각각 3장씩 총 6장의 영상을 취득하였다. 실험실 모서리에 타겟을 3차원으로 형성하여 초점거리 예측 정밀도를 향상시키고, 세로 사진을 추가하여 주점 이동량의 정밀도 또한 향상시키고자 하였다(Lee and Oh, 2012). 참고로 드론의 카메라의 탈부착이 불가능하기 때문에 캘리브레이션 사이트를 구축한 벽면을 기체를 들고 촬영하여 진행하였다. 셀프 캘리브레이션을 수행한 결과 Table 2와 같은 내부표정요소를 검출할 수 있었다. 초점거리는 스펙에 나온 초점거리보다 큰 값인 약 3.508mm로 도출되었고, 방사왜곡과 편심왜곡이 존재하는 것을 알 수 있었으며, 최종 결과 캘리브레이션의 정밀도는 RMSE로 0.30픽셀로 예측되어 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

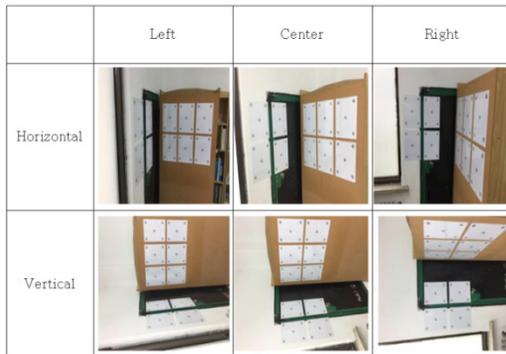


Fig. 4. Camera calibration field and RAD targets

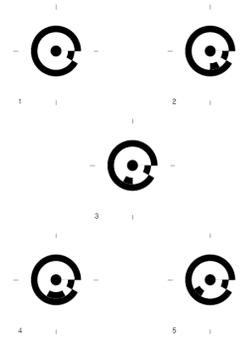


Table 2. Calibrated interior orientation parameters

Parameters	Description	Estimation
f	Focal length	3.508763 mm
Xp	Principal point offset	3.309147 mm
Yp		2.409410 mm
K1	Radial distortion	1.068E-003 mm ⁻²
K2		7.888E-005 mm ⁻⁴
K3		0.00E+00 mm ⁻⁶
P1	Decentering distortion	3.632E-004 mm ⁻¹
P2		-1.720E-004 mm ⁻¹
RMSE		0.30Pixel

번들 조정은 드론에 탑재된 GPS와 INS에 의해 획득된 위치/자세값을 초기치로 설정하고 자동매칭을 통해 생성된 접합점(tie points)을 활용하여 단일 최소제곱식(unified least square equation)에 기반한 번들조정 방식으로 수행되었다. 이때 모든 2차원 영상에서 총 1,290,211개의 특징점이 추출되었으며, 3차원 공간상으로 보았을 때, 특징점의 수는 342,891개였다. 번들 조정 결과 영상 좌표의 잔차는 0.6 픽셀로 1픽셀 이내의 정밀도를 확보할 수 있었다.

본 연구에서는 접근이 쉽지 않은 송전탑의 특징을 고려하여 사진측량기법을 보다 빠르고 편리하게 활용하기 위해 지상기준점의 활용을 사용하지 않았다. 따라서 무기준점 기반의 번들 조정을 통해 실제와 축척의 차이를 보일 수 있는 3차원 모델 공간이 형성되므로 미리 알고 있는 고압 송전탑 경간의 길이 정보를 사용하여 이를 통해 3차원 공간에 대한 축척 보정을 수행하였다. 무기준점 번들조정을 통해 구해지는 송전탑 한 경간의 길이는 301.359m이나, 실제 경간의 길이는 302.777m로 약 1m이상의 차이를 보였으며, 이에 대한 보정을 수행하였다.

다음으로 송전선 선형 피쳐를 입체영상으로부터 수동으로 추출하였다. 일반적으로 입체사진측량기법을 바탕으로 3차원 매핑을 수행하기 위해서는 두 개의 영상에서 동일한 공액점을

추출해야만 하나, 송전선의 경우 선형구조물로서 특징점을 알아내기가 쉽지 않다. 특히, 스페이서, 덤퍼, 애자 등과 같이 송전선 자체에 위치한 구조물 또한 없을 경우에는 이러한 어려움은 더욱 크다. 따라서 본 연구에서는 고압 송전선의 3차원 매핑을 위해 에피폴라 라인을 활용하였다. 이 때 송전선과 같이 선형 구조물의 경우에는 에피폴라 라인의 생성 시 유의해야 하는데, 에피폴라 라인이 송전선의 방향과 평행일 경우 매핑이 어려워지기 때문이다. 송전선과 에피폴라 라인이 평행일 경우 공액점을 찾아낼 수가 없게 되므로, 에피폴라 라인이 송전선을 가로지르는 방향으로 도출되도록 입체 쌍을 선택하여 고압 송전선의 3차원 매핑을 수행해야 한다.

Fig. 5의 위 그림에서 에피폴라 라인(굵은 검정색 직선)이 송전선 방향과 평행인 경우를 볼 수 있으며, 이 경우 A점과 동일한 위치를 우측사진에서 정확하게 찾아내기 힘들다. 에피폴라 라인을 활용한다 하더라도 평행선상에서 한 지점을 특정하기는 어렵다. 그러나 Fig. 5의 아래 그림에서와 같이 에피폴라 라인이 송전선을 가로지르는 방향으로 도출되도록 입체 쌍을 선택하게 되면, 스페이서와 덤퍼 등과 같은 특징점이 존재하지 않더라도 C점에 해당하는 동일 지점을 우측사진에서 D와 같이 위치를 특정할 수 있게 되어 3차원 위치를 도출이 가능해진다.



Fig. 5. Use of epipolar lines for 3D powerline mapping



Fig. 6. Powerline mapping

앞서 설명한 방법으로 고압 송전선의 3차원 매핑을 수행하였으며, Fig. 6과 같이 성공적으로 고압 송전선의 선형을 추출할 수가 있었다. 이로부터 송전선의 처짐량을 도출하기 위해 양쪽 송전탑 상부에 송전선 시점과 중점을 선정하고 이를 가상의 직선으로 연결한 선을 기준선으로 선정하였다. 이 기준선으로부터 3차원 매핑한 송전선까지의 거리를 중력방향으로 측정하였다. 그 결과 실험 대상지 송전선 경간의 중간부분(최대 처짐)의 처짐량은 약 8.19m로 도출할 수 있었다.

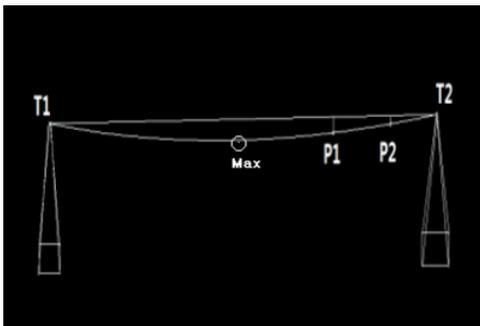


Fig. 7. Extracted 3D powerline points from the aerial photogrammetry

사진측량 기법을 통한 송전선 처짐량의 정확성을 알아보기 위해 무타겟 토탈스테이션 라이카 지오시스템 TS06(무타겟 최대 500m)을 활용하여 직접 처짐 측량을 수행하여 비교하였다. 지표에 두 로컬 기준점을 임의로 설치하여 로컬 3차원 지상좌표계를 설정한 후 양 송전탑의 송전선 지지부 및 송전선에 대한 3차원 좌표를 측정하였다. 토탈스테이션을 이용한 직접측량 시 대상지역 내의 송전선은 애자와 비슷한 특징점이 존재하지 않아 송전선 자체에 대한 측정을 시도하였으나 전선의 굽기가 얇고 바람에 의해 송전선이 약간씩 흔들리는 등 반사되지 않는 경우가 많아 측정이 쉽지 않아 Fig. 7와 같이 T2

송전탑에서 가까운 2점 (P1,P2)에 대해서만 직접측량을 수행할 수 있었다. 또한 송전선의 특징점인 스페이서와 덤퍼가 존재하지 않아 실측지점과 사진측량으로 도출한 지점의 정확한 비교가 어려워, 송전탑으로부터 거리를 기준으로 가장 유사한 지점에 대한 비교를 수행하였다. 즉, 지상측량으로부터 얻어진 T2송전탑으로부터 P1, P2지점까지의 수평 거리를 활용하여, 사진측량으로 얻어진 모델에서 T2송전탑으로부터 해당 거리에 해당하는 지점의 처짐량을 알아내어 이를 비교함으로써 정확도를 평가하였다.

사진측량 기법과 토탈스테이션을 활용하여 얻은 처짐량의 측정값의 차이는 Table 3에 나타내었다. 처짐량 비교 결과 약 15~16cm의 차이를 보임을 확인할 수 있었다. 처짐량 비교 지점의 처짐량이 3~5m인데 처짐 측정 정확도가 약 15cm이므로 3~5%의 정도를 보였다. 일반적인 송전 전력선의 이도는 설계 이도의 3%내를 허용치로 간주한다(Kesco, 2016). 본 실험 대상 송전선의 경우 약 8m가량의 이도이므로, 3%인 약 24cm의 차이를 탐지하는 것이 목적이 되며, 결과치는 이를 만족하는 것으로 판단된다. 또한 드론의 고도를 낮추거나 초점거리가 큰 카메라를 사용하는 등 공간해상도를 증가시킨다면 정확성을 더욱 증가할 것으로 보인다. 공간 해상도에 대비해서는 약 3~4픽셀에 해당하는 수치로서 1~2픽셀의 기대치보다는 낮았으나, 앞서 언급한 것과 같이 실측지점과의 정확한 비교가 어려웠으나 만족할만한 결과라고 판단된다.

Table 3. Accuracies of the powerline dips from photogrammetry

Deflection (Unit : m)		
	P1	P2
Total station	5.35	3.36
Photogrammetry	5.19	3.21
Difference	0.16	0.15
	3.0%	4.5%

4. 결론

본 연구에서는 주기적으로 모니터링이 필요한 고압 송전선의 처짐량(이도)를 비접촉식 기법인 사진측량기법을 활용하여 측정해보고자 하였으며, 특히 최근 활용도가 급증하고 있는 저가의 드론을 활용하여 항공사진측량 기법을 통해 송전탑 전선의 처짐량을 측정하기 위한 연구를 수행하였다. 비 측

량용 카메라 왜곡을 보정하기 위해 카메라 셀프 캘리브레이션 을 수행한 후 대상지에 대한 데이터 획득 및 번들조정을 수행 하여 전처리를 완료하였다. 다음으로 특징점이 존재하지 않는 송전선의 3차원 매핑을 위해서 에피폴라 기하를 활용하여 송 전선 매핑을 수행할 수 있었으며, 최종적으로 송전선의 처짐 량을 도출할 수 있었다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 저가의 드론 항공사진측량 기법을 활용하여 장 비 운용에 있어 간편함을 확인할 수 있었다. 둘째, 직접 측량 기법에 비해 드론을 이용한 측량 기법 활용 시 접근성 등의 측 면에서 높은 편리성을 확인할 수 있었다. 셋째, 고압 송전선의 3차원 매핑 및 처짐량의 정확성이 처짐량 대비 5% 이내 및 대 상체 이도량의 3% 이내를 보임으로서 실무 활용 가능성을 확 인할 수 있었다. 넷째, 측량 시 외업 시간이 짧고 한번 촬영하 면 영구적으로 보존이 가능하므로 현황파악이나 기록 등 자 료 관리에 있어 큰 장점이 있을 것으로 판단된다. 다섯째, 사 진측량기법의 활용 시 시설물에 가까이 접근하는 것을 최소 화하여 안전성을 확보하고 작업자의 개인오차를 최소화하여 객관성을 확보하며 작업 시간을 단축시켜 경제성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 본 연구에서는 정확성 검증을 위한 참조데이터의 개수를 많이 확보하지 못하였고, 송전선에 스페이서 등의 특징점이 존재하지 않아 직접적인 위치값 비교 를 수행하지 못한 것이 한계점이다. 따라서 향후 보다 더 심도 있는 연구로 많은 참조 데이터와의 세부적인 비교를 통해 연 구의 신뢰성을 확보할 예정이다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수 행되었습니다.

References

- Bae, S.G., Koo, H.G., and Hwang, K.S. (2010), Development for monitoring system for electric facilities using an unmanned helicopter, *2010 Conference of Korean Institute of Electrical Engineers*, Pusan, Korea, Jul. 14-16, pp. 282-283. (in Korean with English abstract)
- Fraser, C.S. (1997), Digital camera self-calibration, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 52, pp. 149-159.
- Hrabar, S., Merz, T., and Frousheger, D. (2010), Development of an autonomous helicopter for aerial powerline inspections, *1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry*, (CARPI 2010), Montreal, Canada, Oct. 2-7, pp. 1-6.
- Im, L.H., Choi, K.A., and Lee, I.P. (2015), Monitoring power transmission lines and towers using a uav mounted lidar, *KSCCE 2015 Convention*, Gunsan, Oct.28-30, pp. 3-4. (in Korean)
- Kesco (2016), *Guideline for 154kV Powerline Inspection*, Kesco KESG-I-W-18-2015, p. 6. (in Korean)
- Kim, D.W. and Kang, J.H. (2010), Powerline detection of aerial images using hough transform, *The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 5, No. 2, pp.171-179. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.D. (2008), A refurbishment life diagnosis for overhead transmission conductors using dip measurement, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 22, No. 4, pp. 139-146. (in Korean with English abstract)
- Kremer, J. and Kreuztal (2011), Power line mapping: data acquisition with a specialized multi-sensor platform, *Photogrammetric Week 11*, Stuttgart, Germany, Sep. 5-9, pp. 147-154.
- Lee, C.N. and Oh, J.H. (2012), A study on efficient self-calibration of a non-metric camera for close-range photogrammetry, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 6-1, pp. 511-518. (in Korean with English abstract)
- Lim, S.B., Seo, C.W., and Yun, H.C. (2015), Digital map updates with uav photogrammetric methods, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 33, No. 5, pp. 397-405. (in Korean with English abstract)
- Mikhail, E.M., Bethel, J.S., and McGlone, J.C. (2001), *Introduction to Modern Photogrammetry*, John Wiley & Sons Inc., New York, N.Y.