

# 디지털 지상사진을 이용한 해안사구의 고도측정

김민호

서울대학교 대학원 지리학과 대학원

## 1. 서론

지형의 단면을 측정하기 위해서 기존에는 측량기기를 이용한 수준측량이 일반적으로 이용되었다. 해빈지형의 변화량을 측정하는 연구에서도 수준측량이 이용되어 왔고(Plant and Griggs, 1992), 해안사구 지형의 변화량을 조사하기 위한 연구에서도 주로 특정 측선(transect)에 대한 수준측량을 실시하였다.

해안사구와 같이 역동적으로 변화하는 지형의 고도값 측정은 특정 지점에 대한 3차원 위치정보를 획득할 수 있는 수치사진측량(digital photogrammetry)을 통해 효율적으로 수행될 수 있다. 특히 지상사진(terrestrial photograph)을 자료로 하는 근거리 사진측량(close range photogrammetry)<sup>1)</sup>으로 지형의 3차원 위치정보를 측정할 경우 고해상도의 영상자료를 이용할 수 있고, 비교적 낮은 비용으로 연구를 수행할 수 있다는 장점이 있다. 지상사진을 촬영하는 사진기는 크게 측량용 사진기와 비측량용 사진기로 구분할 수 있다. 측량용 사진기는 주점 이동량과 초점거리, 렌즈 왜곡량 등의 검정자료를 포함하고 있으나, 비측량용 사진기는 이러한 정보를 제공하지 않는다. 과거에는 필름을 이용하는 아날로그 방식의 사진기가 주류를 이루었다. 그러나 필름기반의 아날로그 사진기는 인화된 사진을 스캐닝하여 디지털화하는 과정에서 사진의 필름 또는 사진의 변형, X, Y 수평축에 대한 비직교성 등으로 인해 왜곡이 발생할 수 있다. 이러한 왜곡은 영상점의 위치를 변화시켜 부정확한 결과를 초래할 수도 있다.

이 연구에서는 비측량용 디지털 사진기인 Canon Digital IXUS 300을 이용한 사진측량의 효용성을 검토하고자 한다. 이를 위해 Canon Digital IXUS 300으로 촬영된 디지털 지상사진으로부터 해안사구의 고도값을 계산하고, 실제 측량값과 계산값을 비교하였다. 연구에는 대상지역을 중복촬영한 지상사진의 입체쌍을 자료로 이용하였다. 번들조정(bundle adjustment)으로 외부표정요소의 최확값을 계산하였고, 공선조건식을 이용한 공간교차(space intersection)를 통해 대상지점의 고도값을 계산하였다.

## 2. 번들조정과 공간교차

### 1) 번들조정

번들조정은 최소제곱법으로 외부표정요소와 기준점의 최확값을 결정한다. 번들조정을 위한 수학모델은 선형화된 공선조건식과 외부표정요소, 기준점의 관측방정식(observation equation)으로 구성된다. 이 연구에서는 공간교차를 통한 해안사구의 3차원 위치를 계산하기에 앞서 번들조정으로 중복촬영된 좌·우측 사진의 외부표정요소 최확값을 계산하였다. 공선조건식은 Taylor 전개를 통해 선형화되어 번들조정을 위한 수학모델을 구성하게 된다. 번들조정 수학모델은 선형화된 공선조건식 이외에 기준점과 외부표정요소의 관측방정식을 필요로 한다.

번들조정의 연산에는 사진좌표, 지상좌표, 외부표정요소 등 실제 측정된 값이 입력되므로 측정값에 대한 가중치(weight)를 번들조정 수학모델에 포함시켜야 한다. 연산에 이용되는 가중치 행렬은 자료의 분산-공분산 행렬과 단위 가중치의 분산<sup>2)</sup>으로 구성된다(Wong, 1984). 번들조정이 최소제곱법에 의해

1) 근거리 사진측량은 100m이내의 대상지역에 대한 위치정보를 측정하기 위해 사진기를 측정대상에 근접시켜 촬영하는 기법이다(Cooper and Robson, 2001).

2) 단위 가중치의 분산에는 임의의 값이 부여될 수 있으나, 일반적으로 1의 값을 부여한다(Wolf and Dewitt, 2000, p.387).

풀이되므로, 조정을 위한 수학모델은 정규방정식(normal equation)으로 변환되어야 한다. 그리고 계산상의 편의와 연산과정에서 메모리 사용을 줄이기 위해 정규방정식을 축약정규방정식(reduced normal equation)으로 변환한다(Wong, 1984). 번들조정은 입력된 초기 근사값에 반복연산에 의해 도출된 보정값을 더하여 최확값을 계산하므로, 반복연산의 수렴을 위한 기준이 마련되어야 한다. 일반적으로 수렴 기준은 단위가중치의 표준오차(standard error of unit weight)를 이용하는데, 단위가중치의 표준오차에 대한 추정치( $m_0$ )와 실제값( $\sigma_0$ )으로 번들조정의 반복연산을 종료한다.

## 2) 공간교차

번들조정에 의해 결정된 사진의 외부표정요소는 특정 지점에 대한 고도값을 계산하기 위해 공간교차와 관련된 수식에 입력된다. 공간교차 관련식은 몇 가지가 있으나, 보다 정확한 해는 공선조건식을 이용한 최소제곱법을 통해 계산될 수 있다(박병욱, 1991). 즉 번들조정에 의해 각 사진의 외부표정요소가 결정된 이후 공선조건식으로 미지점에 대한 3차원 위치를 결정할 수 있다(Ghosh, 1988).

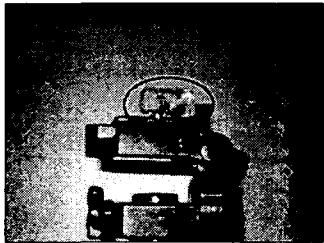
## 3. 해안사구의 고도값 측정

### 1) 화소크기 측정

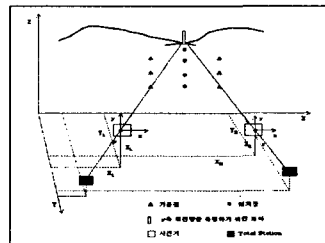
각 기준점에 대한 사진좌표는 화소단위(pixel unit)로 측정되었으나, 이러한 사진좌표는 번들조정을 위해 미터단위로 변환되어야 한다. 사진좌표를 화소단위에서 미터단위로 변환하기 위해서는 각 화소의 물리적인 크기를 알고 있어야 한다. 연구에 이용된 Canon Digital IXUS 300은 비측량용 디지털 사진기로서 검정자료(calibration report)를 제공하지 않으므로, 화소의 크기를 측정하기 위한 실험을 수행하였다. 실내의 벽면에 가로방향과 세로방향으로 각각 2개씩 모두 4개의 표정점을 설치하여 측정된 결과 Canon Digital IXUS 300 사진기 한 화소의 크기는  $2.1 \times 10^{-5}m$ 로 나타났다.

### 2) 지상사진 촬영 및 자료 획득

사진측량으로 해안사구의 고도값을 측정하는 이 연구에서는 디지털 지상사진의 입체쌍을 자료로 이용하였다. 사진 촬영에는 Canon Digital IXUS 300, 삼각대, 부착식 기포관 등이 이용되었다. 일반적으로 사진기 축의 회전량은 테오돌라이트를 통해 측정된다. 그러나 이러한 정밀측량기기를 사용하지 않고 실험을 수행하기 위해 지상사진 측량방법을 이용하였다. 즉 사진기에 부착한 기포관을 조정하여 사진축의  $\omega$ 와  $\kappa$ 를 대략  $0^\circ$ 로 조정하였고, 사진기 광축의 방위각을 측정하여 이를  $\phi$ 에 할당하였다. 사진촬영을 위해 이용된 기포관과 지상사진 측량방법은 각각 [그림 1]과 [그림 2]와 같다.



<그림 1> 부착식 기포관



<그림 2> 지상사진 측량방법

[그림 2]에서 보는 바와 같이 광축의 방위각을 측정하기 위해서 촬영지역에 설치된 측량편과 Total Station을 잇는 가상의 일직선과 사진기 광축을 대략적으로 일치시켰다. 사진촬영 당시 초점거리는

35mm로 고정하였고, 1600×1200의 화소수로 대상지역을 촬영하였다. 그리고 대상지점과 사진기까지의 거리는 대략 10m 정도이고, 좌측사진과 우측사진간 기선길이(baseline length)는 약 4m 정도로 설정하여 촬영하였다. Photoshop과 USB 인터페이스를 통해 컴퓨터로 전송된 디지털 지상사진은 비트맵형식의 영상파일로 저장되었다.

촬영대상 지역에는 기준점과 미지점<sup>3)</sup>의 지상좌표와 사진좌표를 확인하기 위해 표정점<sup>4)</sup>이 설치되었다. 표정점은 지름이 3cm인 원형으로 제작하였다. Total Station(SOKKIA SET 5FS)을 통해 각 지점의 3차원 지상좌표를 측정 한 이후 해당 지점에 표정점을 설치하였다. 각 사진촬영 지점의 지상좌표 또한 Total Station을 이용하여 측정되었다.

### 3) 실험결과

번들조정을 통해 각 사진의 외부표정요소에 대한 최확값을 결정하기 위해서는 외부표정요소의 초기 근사값(initial approximation)을 입력하여야 한다. 각 사진의 외부표정요소 중에서 촬영지점의 3차원 지상좌표 근사값은 공선조건식을 변형하여 결정하였고, 사진축 중  $\omega$ 와  $\kappa$ 의 근사값은 0의 값을 입력하였다. 그리고  $\varphi$ 의 근사값에는 측정된 방위각을 입력하였다. 좌측사진과 우측사진의 초기 근사값과 번들조정에 의해 결정된 최확값은 [표 1]과 같다.

	초기 근사값		최확값			
	좌측사진	우측사진	좌측사진	오차	우측사진	오차
$\omega$	0	0	-0.0024	-0.0024	-0.0012	0.0012
$\varphi$	0.3316	0.3290	-0.120427	-0.0022	-0.1207	-0.0002
$\kappa$	0	0	0.002967	0.0029	-0.00001	-0.00001
$X_L$	128367.900	128371.343	128367.906	0.006	128371.346	0.003
$Y_L$	372030.736	372030.559	372030.734	-0.0019	372030.561	0.002
$Z_L$	5.259	5.602	5.259	0.0004	5.602	0.0006

<표 1> 외부표정요소 초기 근사값과 최확값  
(회전량 단위: radian/지상좌표 단위 : m)

번들조정에 의해 결정된 좌측사진과 우측사진의 외부표정요소, 미지점 사진좌표는 공간교차 과정에 입력되어 대상지점의 3차원 지상좌표가 계산된다. 공간교차에 의해 계산된 미지점의 3차원 지상좌표, 측정값과의 오차는 [표 2]와 같다.

번호	X		Y		Z	
	계산값	오차	계산값	오차	계산값	오차
8	128370.463	-0.064	372036.037	-0.021	4.973	-0.020
9	128370.472	-0.089	372037.128	-0.089	5.145	-0.008
10	128370.415	0.047	372038.586	-0.063	5.540	0.045
11	128370.467	-0.001	372039.935	-0.000	6.042	0.095
12	128370.688	0.025	372040.893	-0.019	6.488	0.093

<표 2> 미지점의 계산값과 오차(단위 : m)

3) 미지점은 번들조정과 공간교차를 통해 고도값을 측정하기 위한 지점을 말한다.

4) 실험에는 총 22개의 표정점이 해안사구 지역에 설치되었다.

#### 4. 결론

해안사구의 고도값을 측정하는 실험결과, [표 2]와 같이 번들조정과 공간교차를 통해 계산된 미지점의 고도값과 측정값과의 오차는 10cm 이내로 나타나고 있다. 이는 해빈을 대상으로 한 기존의 연구(Holman 등, 1991; Plant and Holman, 1997; 김백운 등, 1998)와 유사한 오차를 보이고 있다. 그러나 미지점 8, 9, 10번의 경우 오차가 5cm 미만으로 나타나는데 비해, 미지점 11, 12번은 9.5cm와 9.3cm로 나타나고 있다. 일반적으로 렌즈의 왜곡은 사진의 중심에서 주변부로 갈수록 커지므로, 11번과 12번 미지점의 오차가 나머지 미지점보다 크게 나타난 것으로 생각된다.

이러한 결과를 살펴보면 Canon Digital IXUS 300 사진기를 이용한 사진측량 방법으로 해안사구의 고도값을 측정할 수 있을 것으로 보인다. 이 연구에서는 부착식 기포관을 이용하여 사진축을 조정하였고, 번들조정과 공간교차로 미지점의 고도값을 계산하였다. 그러나 테오돌라이트를 이용하여 사진축의 회전량을 정확히 측정하고, 부가번들조정(additional bundle adjustment)과 같은 관계식을 이용하여 초점거리, 주점 이동량, 렌즈 왜곡량 등을 검정하면 고도값의 측정값과 계산값의 오차는 줄어들 것으로 보인다.

#### 참고문헌

- 김백운 외, 1998, "사진측정법을 이용한 해빈단면의 추정", 한국해양학회지 바다, vol.3, pp.228-233.
- 박병욱, 1991, "SPOT 위성데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구", 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- Cooper, M.A.R. and Robson, S., 2001, Theory of Close Range Photogrammetry in Close Range Photogrammetry and Machine Vision, J.W. Arrowsmith Ltd., Bristol, U.K., pp.52-76.
- Ghosh, S.K., 1988, Analytical Photogrammetry : 2nd ed., Pergamon Press, New York, U.S.A., pp.141-158.
- Holman, R.A., Lippmann, T.C., O'Neil, P.V. and Hatchaway, K., 1991, "Video Estimation of Subarrial Beach Profiles", Marine Geology, vol.97, pp.225-231.
- Plant, N.G. and Griggs, G.B., 1992, "Interaction Between Nearshore Processes Beach Morphology Near a Seawall", Journal of Coastal Research, vol.8, pp.183-200.
- Plant, N.G. and Holman, R.A., 1997, "Intertidal Beach Profile Estimation Using Video Images", Marine Geology, vol. 140, pp.1-24.
- Wolf, P.R. and Dewitt, B.A., 2000, Elements of Photogrammetry : with Applications in GIS 3rd ed., McGraw-Hill Companies, Inc., Seoul.
- Wong, K.W., 1984, Basic Mathematics of Photogrammetry in Manual of Photogrammetry 4th ed., American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, U.S.A., pp.37-102.