

디지털 항공사진을 이용한 순천만 갯벌 DEM 제작

안기원* · 이효성**† · 김덕진***

*경상대학교 토목공학과, 경상대학교 공학연구원, **순천대학교 토목공학과, ***서울대학교 지구환경과학부

DEM Generation of Tidal Flat in Suncheon Bay Using Digital Aerial Images

Kiweon Ahn*, Hyoseong Lee**† and Duk-jin Kim***

*Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

**Department of Civil Engineering, Suncheon National University

***School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

Abstract : In this study, a digital elevation model (DEM) in tidal flat of Suncheon Bay, one of the most ecological preserved area in the world, was generated from digital aerial stereo-images. The focal lengths for the aerial stereo-images were adjusted using ground control points (GCPs) in order to improve the accuracy of camera parameters. We proposed matching sizes suitable for generating DEM in tidal flat and a method for eliminating excessive position errors using intersection-distance(P_R) threshold value. The accuracies of the DEM generated from the proposed method as well as the commercial S/W were compared with the elevation profiles measured by Total Station in the field. As the results, the DEM generated by the proposed method showed better result (maximum deviation is a -21 centimeters) with detailed topography than DEM by the commercial S/W in the region. These results suggest that the DEM of tidal flat, which hardly obtained with the traditional methods, can be generated from digital aerial images by applying the proposed method in this study. We believe that the generated DEM in tidal flat can be an essential data for monitoring the sediment erosion and deposit of the tidal flat.

Key Words : Aerial Stereo-images, DEM, Suncheon Bay Tidal Flat, Matching, Intersection-distance.

요약 : 본 연구는 디지털 항공사진으로부터 세계적 생태보존 지역인 순천만 갯벌의 퇴적·침식 변화를 탐지하는데 기초자료가 될 수 있는 DEM을 제작하였다. 이를 위해, 기준점으로 초점거리를 수정하고, 순천만 갯벌영상의 적합한 매칭사이즈를 제시하였으며, 불량매칭으로 인한 과대 위치오차 제거를 위해 교차거리(P_R) 임계치 적용방법을 제안하였다. 그리고 현지 중단측량 자료를 통해 제안방법으로 제작된 DEM을 기존 상용 S/W로 제작된 DEM과 비교하였다. 그 결과, 제작한 갯벌 DEM이 상용 S/W로 제작한 DEM 보다 해상도와 최대편차(-21cm)가 더 좋은 결과를 보였다. 이러한 결과를 토대로 향후, 본 연구에서 제안한 방법으로 갯벌 DEM을 제작할 수 있을 것이라 판단된다.

접수일(2011년 4월 27일), 수정일(1차 : 2011년 6월 18일), 게재확정일(2011년 6월 21일).

† 교신저자: 이효성(hslee@suncheon.ac.kr)

1. 서론

연안과 해안지역은 자연적·인공적 환경변화에 의해 끊임없이 변화하는 지역이며, 이에 따라 다양한 형태와 특성을 가진 토지유형이 나타나고 있어 여러 관련분야에서 그 관심이 증가되고 있다. 이러한 토지유형 중, 갯벌은 지구상에 존재하는 매우 독특한 제3의 생태환경이다. 갯벌은 만조 때 바닷물에 잠기고 간조 때 육지처럼 드러나면서 바다 속 해저가 하루에 두 번씩 육지가 되는 세계적으로 흔치 않은 자연경관이다. 또한 갯벌은 어패류의 산란·서식지 기능, 수질정화 기능, 생물종 다양성의 유지 기능, 홍수조절 기능, 여가활동과 관광자원 기능 등의 측면에서 중요한 가치를 지니고 있다(김계림 외, 2010; 유주형 외, 2005; Baker *et al.*, 2007). 한국의 갯벌은 생물종 다양성이 풍부한 생태계로 세계 5대 갯벌 중의 하나로 손꼽힌다. 이중, 순천만 갯벌은 우리나라 최초로 2006년 1월 랍사협약에 등록될 정도로 세계적 보존가치를 인정받고 있다. 순천만 갯벌의 면적은 28.0 km², 갈대밭 5.4 km², 평균수심 1.5 m, 남북 길이가 약 30 km, 동서 길이가 약 22 km로 넓은 갯벌과 갈대밭이 잘 발달되어 다양한 생물상이 군집하여 살아가고 있으며, 국제적으로 보호받고 있는 희귀철새 도래지이기도 하다(순천시, 2009).

순천만은 과거 육지로부터 유입되는 오폐수의 영향, 부적절한 도로개설과 시설물 건설로 인하여 갯벌환경이 악화되었던 시기도 있었지만 1990년대 후반부터 하수종말처리장 가동으로 생활하수가 정화처리 되고, 공장 폐수배출량 등이 현격히 줄어들면서 순천만의 생태계가 되살아나 멸종위기에 있는 국제적 희귀조류가 서식하는 갯벌생태계의 모범답안으로 변하고 있다(순천시 환경백서, 2005). 이러한 순천만의 지형적·환경적 특성을 파악하고, 이로부터 순천만 갯벌의 체계적 관리와 모니터링을 위해선 이 지역에 대한 3차원 공간정보 획득은 필수적이라 할 수 있다. 특히 순천만 갯벌 DEM(digital elevation model)은 연안관리, 수산활동 뿐만 아니라 자연적·인공적 영향에 의한 지형변화를 조사·연구하는 지구과학 분야에 매우 중요한 정보가 된다(Ryu *et al.*, 2008). 그럼에도 불구하고 순천만 갯벌은 필과 실트로 이루어진 퇴적층이 다른 갯벌에 비해 깊기 때문에(국토해양부, 2011) 현장접근에 의한 직접 측량이 용이

하지 않다. 따라서 순천만 갯벌의 3차원 매핑(mapping) 자료 획득에 있어서 주기적이면서 자동화된 비접근 방법을 모색할 필요가 있다.

기존 연구에서는 항공레이저 스캐너(Airborne Lidar) 방식이나 항공(또는 위성) 레이더 위상간섭(InSAR) 방식, 그리고 음향측심기를 이용하여 갯벌 DEM을 획득하였다(Wimmer *et al.*, 2000; Won *et al.*, 2003; Rosso *et al.*, 2006; 이윤경 외, 2006). Irish *et al.* (1999)은 해안지역에서 수심과 지형을 동시에 측량할 수 있는 SHOALS(scanning hydrographic operational airborne lidar survey)을 소개하였다. Kim *et al.* (2007)은 순천만 조간대의 수륙경계선(waterline)을 탐지하기 위해, airborne SAR 영상자료를 활용하였다. 그러나 SAR의 L밴드와 P밴드에 의한 순천만 수륙경계선의 차이를 발견하고, 조간대 지역은 수륙경계선 높이를 파악하는데 어려움이 있다고 전하였다. 항공기를 이용한 레이저 스캐너와 레이더 위상간섭 측량의 경우, 갯벌 측량만을 위해선 비용과 인력 소모가 많고, 지표잔존수가 많은 갯벌지역에서는 높이 값 측정이 어려울 가능성이 크다(Won *et al.*, 2003; Ryu *et al.*, 2008). 따라서 갯벌지역의 변화를 주기적으로 감시하고 관리하기 위한 수단으로는 적절하지 않다고 판단된다. 음향측심기의 경우, 수심이 낮으면 바닥 높이 측정이 어렵다는 단점이 있다(이효성 외, 2010). 이러한 제약들 때문에 현재는 위성영상을 이용한 수륙경계선 측량방법(Mason *et al.*, 1997; Choi *et al.*, 2010)이 널리 이용되어 왔었다. 기존연구에서, 광학영상을 이용한 수륙경계선 방법은 등고선을 대략 10 cm 내외의 정확도로 제작할 수 있다고 전한다(이윤경 외, 2006; Won *et al.*, 2003). 그러나 수륙경계선 기법에 의한 갯벌 DEM 제작 방법은 짧은 기간 다량의 영상자료를 필요로 하고, 많은 작업량이 필요할 뿐만 아니라 정확한 조위관측자료가 확보되어야 하며, 갯벌 지형이 갑자기 변하거나 혼탁류가 발생할 경우 경계선 추출이 힘들다(박성우 외, 2003; 이효성 외, 2010).

위성영상이나 디지털 항공사진과 같은 고해상도 광학영상의 경우, 수치자료 형태의 주기적인 영상을 제공하기 때문에 연안지역에 대한 안정적인면서 효율적인 감시활동이 가능하고, 해안선 변화 모델링 등과 같은 체계적 분석·관리에 활용될 수 있다는 장점이 있다. 고해

상도 광학영상을 이용한 측량은 지형도 제작을 비롯하여 3차원 가상도시 구축과 환경모니터링 등을 위해 2000년대 들어와 본격적으로 상업화 된 기술이지만 (ISPRS, 2008) 갯벌 DEM 제작 목적으로 사용된 사례가 거의 없기 때문에 이로부터 제작된 DEM의 제작 정밀도 또한 검증된 바 없다. 물론 이효성 외(2010)가 항공사진 측량용 카메라로부터 획득한 제부도 갯벌지역 스테레오 영상으로부터 갯벌 DEM 제작을 처음으로 시도하였으나 이에 대한 정확도는 제시되지 못하였다. 본 연구에서는 Vexcel UltraCam 항공사진 측량용 카메라로부터 획득한 순천만 갯벌지역 스테레오 영상을 이용하여 DEM 제작방법을 제시하고, 현지관측 자료로부터 제작한 DEM의 정확도를 제시하고자 한다. 또한 공간교차이론 적용에 있어서 제공되는 내·외부표정요소 오차와 불량 매칭쌍에 의해 발생하는 교차거리(P_R : 공선이 교차하는 지점에서 실제로 교차하지 않고 떨어진 거리)의 임계치를 이용하여 과대 위치오차 제거방법을 소개한다.

2. 순천만 갯벌 DEM 제작방법

다른 지역의 갯벌에 비해 순천만 갯벌은 수분함량과 펄층이 깊기 때문에 촬영된 영상에서 주위 화소값의 대비가 매우 낮고, 두드러진 특징을 가진 표면이 없기 때문에 육지처럼 특징지역의 경계나 관심점 추출이 쉽지 않다. 따라서 본 연구는 순천만 갯벌 스테레오 영상에 적합한 매칭 사이즈를 선정하고, 이로부터 영역기반매칭(ABM; area based matching) 방법을 적용한 후, 공간교차식의 교차거리 임계치로 과대 위치오차를 제거하여 DEM을 제작하였다(Fig. 1).

먼저 대상지역의 지상기준점(GCPs; ground control points) 획득을 위하여 GPS 측량을 실시하였으며, 디지털 항공사진에서 제공되는 내부표정요소(IOPs; interior orientation parameters; 카메라 렌즈의 초점거리, 주점변위량, 렌즈왜곡량)중, 초점거리의 정확한 값을 알 수 없으므로 이를 보정하기 위해 GCPs 활용하였다.

두 번째, 순천만 갯벌영상에 적합한 매칭사이즈를 결정하기 위해, 입체영상에서 일부지역만을 대상으로 영상을 절취한 후, 몇 가지 크기로 매칭을 실시하여 매칭

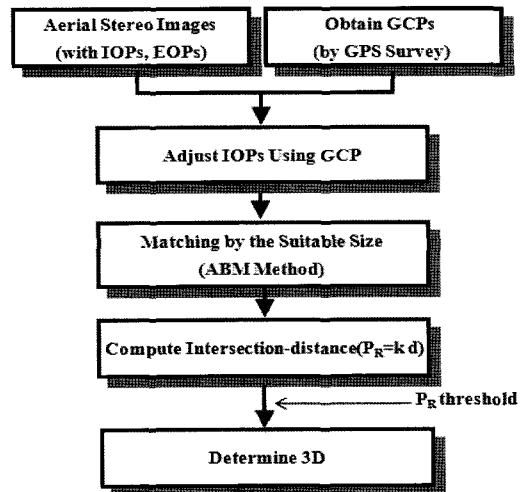


Fig. 1. Flowchart of this study.

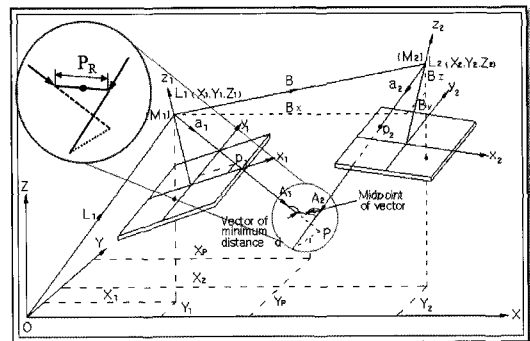


Fig. 2. Space intersection and intersection-distance(P_R) (Moffitt et al., 1980).

영역 크기별로 상관계수 영상, 라인시차 영상, 칼럼시차 영상을 출력하였다. 출력한 영상들을 별도의 통계적, 시각적 분석을 통해 최종 매칭사이즈를 결정하고, 이를 이용하여 ABM을 수행하였다.

세 번째, 제공되는 외부표정요소(EOPs; exterior orientation parameters; 카메라 렌즈중심의 위치와 자세)와 수정된 IOPs, 그리고 ABM으로 찾은 스테레오 영상의 동일 지점 영상좌표를 이용하여 두 영상에서 형성되는 공선사이의 기하학적 교차거리를 계산하였다(식 1). 교차거리를 좀 더 구체적으로 설명하면, 중복된 좌·우 영상에서 임의의 동일점을 찾았을 때 오차가 전혀 발생되지 않았다면 두 영상으로부터 두 개의 공선은 정확하게 교차하고, 교차거리는 0(영)이 되어야만 한다. 그러나 Fig. 2에서 보는바와 같이 실제로는 IOPs · EOPs 오차와 매칭오류 등의 피할 수 없는 오차들로 인하여 두

공선은 P_R 만큼 교차하지 않는다(Moffitt *et al.*, 1980). 이때 P_R 은 두 공선사이의 최단거리가 되며, 이를 본 연구에서는 교차거리로 정의하였다.

$$P_R = k \cdot \vec{d} \quad (1)$$

여기서, k 는 방향벡터 \vec{d} 의 스칼라(scalar), $\vec{d} = [d_x \ d_y \ d_z]^T$, $\begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ u_1 & v_1 & u_1 \\ u_2 & v_2 & u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 w_1 - u_2 w_1 \\ u_2 w_1 - u_1 w_2 \\ u_1 v_2 - u_2 v_1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \end{bmatrix} = M_1^T \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ f_1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{bmatrix} = M_2^T \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ f_2 \end{bmatrix}$, i, j, k 는 X, Y, Z방향의 단위벡터, M_1^T 와 M_2^T 는 좌·우 영상 EOPs에 의한 회전 행렬 요소($m_{11} \dots m_{33}$)로 구성된 3×3 정방형 전치행렬, x_1, y_1 와 x_2, y_2 는 좌·우 영상좌표, f_1 는 초점거리이다.

마지막으로, 계산한 P_R 값을 영상으로 출력시켜 히스토그램 분석을 실시한 후, P_R 값의 임계치를 지정하였으며, 3차원 위치(또는 지상좌표)계산을 위한 공간교차식(식 2) 적용은 지정한 P_R 값 임계치 이내의 동일 영상 좌표만 참여시키고, 임계치 이상 좌표들은 매칭오류로 가정하고 제외시켰다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{bmatrix} + \lambda \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \end{bmatrix} + \frac{1}{2} P_R \quad (2)$$

여기서, X, Y, Z는 지상좌표 X_L, Y_L, Z_L 는 좌측카메라

중심위치, λ 는 Fig. 2에서 좌측카메라 렌즈중심으로부터 영상 면까지의 벡터와 렌즈중심으로부터 대상 면까지의 벡터 비다.

3. DEM 제작

먼저, 순천만 지상기준점 획득과 현지조사를 위해, VRS(virtual reference station) 네트워크 방식의 GPS 수신기(수평, 수직측정 정밀도 각각 ± 1 cm 이내)를 이용하여 순천만 주변에 지상기준점 측량을 실시하였으며(Fig. 3), 이 결과는 WGS 84 타원체 기준의 TM 평면좌표와 정표고로 표시된다(Fig. 4에서 우측그림). 그리고 2010년 07월과 08월 각각 두 번에 걸쳐 토탈스테이션(Total Station)을 이용하여 갯벌 종단측량을 실시하였다(Fig. 4). 종단측량은 약 500 m의 제 1 종단선과 약 850 m의 제 2 종단선으로 나누어진다. 항공사진은 순천만 지역을 2010년 05월에 촬영한 12.5 cm 해상도의 가로(column) 9,420 화소×세로(line) 14,430 화소로 이루어진 UltraCam 디지털 스테레오 항공사진이다(Fig. 4). 이 영상들과 함께 WGS 84 타원체 기준의 TM 평면좌표와 정표고로 기록된 EOPs도 제공되어지며, IOPs(초점거리= 100.5 mm; 주점 변위량 x방향=0.144 mm, y방향=0 mm; 한화소의 실제크기=7.2 μ m)는

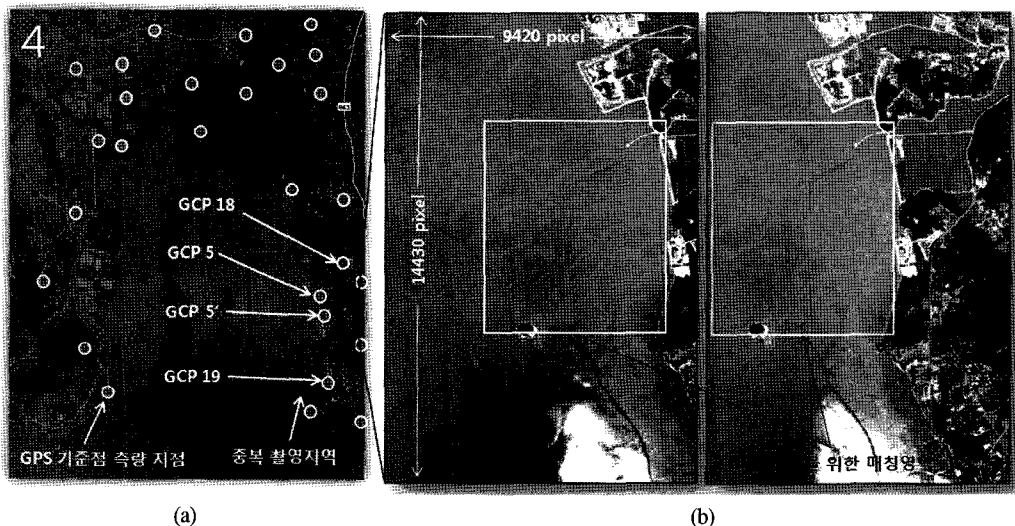


Fig. 3. (a) Area for GCPs survey and area to take images from UltraCam digital camera(a quadrangle). (b) Digital stereo images in the Suncheon Bay and area for tidal flat DEM(two quadrangle).

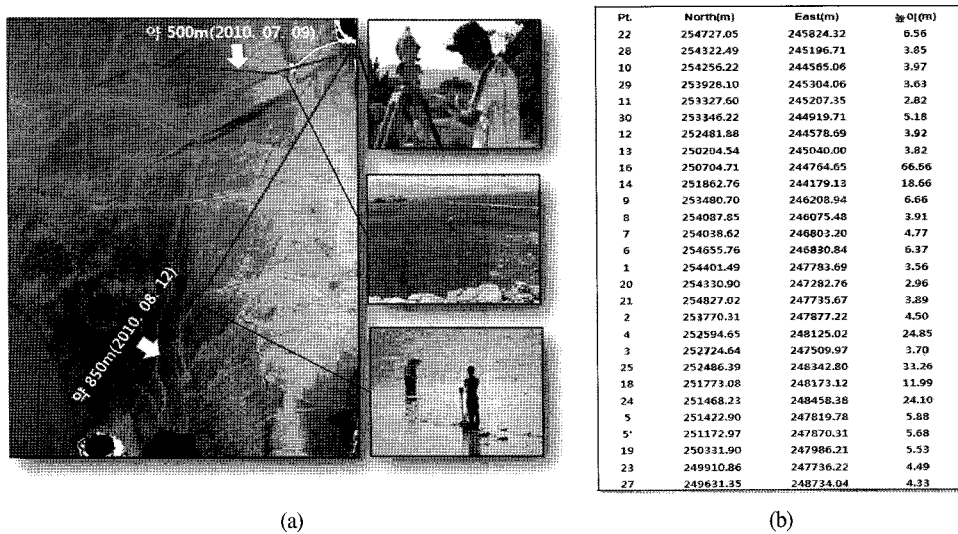


Fig. 4. (a) Area for DEM generation, field survey courses for heights in the intertidal zone and photos of field survey. (b) Position of GCP by GPS.

Vexcel사에서 제공하는 Calibration Report를 참조하였다. 한편, 제공되는 EOPs는 항공기에 탑재된 GPS와 IMU로부터 측정된 것이며, 이로부터 지상 기준점 없이 항공삼각측량방법으로 위치를 결정하면 평면에서 10 cm, 높이에서 30 cm 내외의 오차를 가진다(Smith et al., 2005). 중단측량은 기준점 5번과 5' 지점(Fig. 3)을 기선으로 하여 측정하였기 때문에 좌표계 통일이 가능하였고, 공선조건식을 토대로 EOPs, 지상기준점 2점(18, 19번; 5, 5' 점은 영상에서 식별불가)과 이에 대응되는 영상좌표를 이용하여 초점거리(100,435 mm)를 조정하였다.

두 번째, 매칭사이즈 결정을 위해, 갯벌영상의 일부 분만 400×400화소로 절취한 후, 기준영역 크기를 27×27부터 2화소씩 증가시켜 39×39까지(29×29와 33×33 크기는 제외) 상관관계수에 의한 ABM을 수행하였다. 그리고 상관관계수 영상을 출력하여 평균상관관계수를 계산하고, 라인과 칼럼시차 영상(라인과 칼럼증가에 따라 밝기 값 즉, 대응영상의 라인과 칼럼 값이 증가하는 영상)을 출력하여 시차영상에서 밝기 값이 갑자기 변하는 불량 매칭 점을 시각적으로 분석하였다. 그 결과, 37×37 크기부터 매칭결과가 양호해지기 시작했다. 그러나 순천만 갯벌은 펄층이 많아 화소 값 대비가 매우 낮기 때문에 이보다 4화소 더 여유 있는 41×41화소로 6500(line)×5500(column) 크기의 갯벌지역 스테레오

영상을 매 화소마다 매칭하였다. 매칭 후 상관관계수영상과 히스토그램(Fig. 5의 a)을 확인한 결과, 갯벌표면 상관관계수는 0.7에서 0.9 사이 값을 가졌으며, 전체 평균상관관계수는 0.76, 상관관계수 0.7 이상은 72% 정도였다.

세 번째, 제공되는 EOPs와 수정된 IOPs, 그리고 ABM으로 결정된 6500×5500 화소크기의 매칭점 영상 좌표를 이용하여 P_R 값을 계산하고, 이를 영상으로 출력한 후, 전체 P_R 에 대한 통계치를 분석하였다. 계산된 P_R 의 최소값은 -1.72 m, 최대값은 1.61, 평균값은 -0.02 m, 표준편차는 0.17 m 이었다(Fig. 5의 c). P_R 히스토그램은 대부분 0에 가까운 -0.06 m부터 0.03 m 사이 값으로 이루어졌다. 그리고 P_R 영상에서 바닷물 지역에 대한 값이 상대적으로 밝은 값과 어두운 값으로 이루어진 것을 볼 수 있는데(Fig. 5의 b), 이는 히스토그램상의 최대·최소값에 근접한 값이고, 이 지역은 불량 매칭지역임을 알 수 있다. 일반적으로 IOPs·EOPs가 정밀하고 정확한 매칭이 이루어진다면 P_R 이 해상도의 절반 크기 이상은 발생하지 않을 것이라고 판단하고 임계값을 정해볼 것 같다. 따라서 본 연구에서는 사용 항공사진 해상도의 절반에 해당하는 ± 0.06 m를 임계값으로 설정하여 이상의 매칭 점은 지상좌표 계산에 참여시키지 않았다.

마지막으로 대상지역에서 총 5가지 경우로 50 cm 격자간격의 DEM(가로 700 m×세로 830 m)을 제작하였

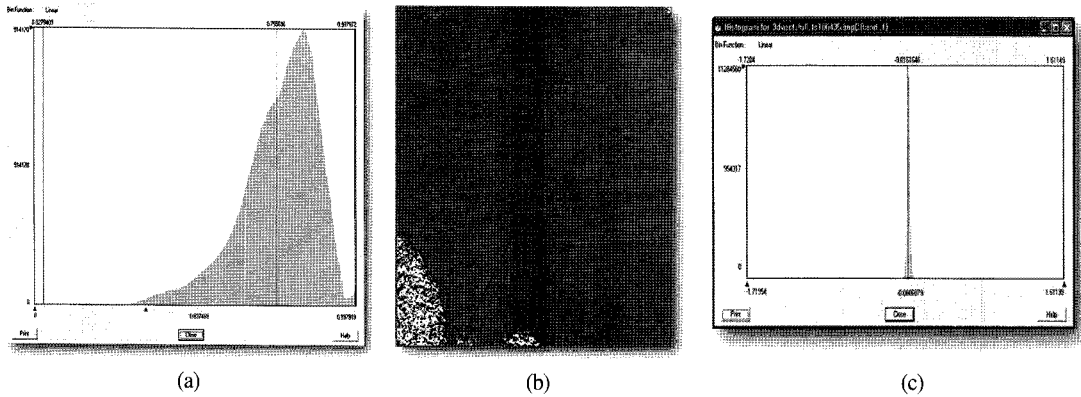


Fig. 5. Correlation histogram after matching (a), P_R image (b) and histogram of P_R image (c).

다. 먼저 Case 1은 초점거리 100.5 mm로 제작한 DEM 이고, Case 2는 조정된 초점거리 100.435 mm로 제작한 DEM이며, Case 3은 초점거리 100.435 mm로 $-0.06 \text{ m} \leq P_R \leq +0.06 \text{ m}$ 범위의 매칭 점을 이용하여 제작한 DEM이다. Case 4는 독일 Trimble INPHO 사에서 개발한 Match-T S/W를 이용하여 제작한 DEM이며, Case 5는 ERDAS IMAGINE S/W(이하 ERDAS)를 이용하여 제작한 DEM이다. Fig. 5의 바닷물 지역은 모든 Case의 DEM에서 오류가 발생하였으므로 이 지역은 높이를 0(영)으로 처리하여 마스크(mask) 처리하였다.

4. 결과분석

이상의 DEM에서, Case 1 등고선에 비해 Case 2, 3 등고선이 조정된 초점거리 때문에 전체적으로 이동되어 있다. Case 4의 경우, 제공업체에서 제작하였기 때문에 정확한 IOPs를 사용하였으리라 판단되며, 이 또한 Case 2, 3과 거의 동일한 위치에 등고선이 있음을 알 수 있다(Fig. 6의 f). ERDAS로 제작한 Case 5 DEM은 갯벌지형을 표현하지 못하고 있으며, 등고선도 제대로 표현하지 못하고 있다. ERDAS는 관성점 추출에 의한 포인트 매칭방법을 사용하므로 육지와 같이 두드러진 특성이 없고, 일정 패턴으로 이루어진 갯벌지역 매칭에는 부적합한 것을 확인할 수 있다(이효성 외, 2010). 그리고 현장측량에 근거하여, 대상지역 DEM은 갯벌지역이라 하더라도 높이 값은 정표고 1 m 이상의 값이 나와야 한다(Fig. 7). Fig. 7에서 보는바와 같이 조정되지 않은

IOPs와 EOPs를 고려하더라도 각 DEM의 표고는 0(zero) m 이상의 값을 가져야만 한다고 판단된다. 따라서 높이 0 m 이하의 높이오차 발생지점으로 판단할 수 있다. 높이오차 발생지점 수는 총 2,324,000 지점 중, Case 1 DEM의 경우 2617점, Case 2 DEM의 경우 1010점, Case 3 DEM의 경우 611점으로 IOPs 조정과 P_R 범위를 고려한 DEM이 가장 적게 나타났다. 또한 Case 1, 2 DEM은 최소 높이가 -10 m 이하인 과대오차 발생지점도 포함되어 있는 반면 Case 3 DEM은 과대오차가 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다(Fig. 6의 a, b, c, Table 1). 여기서, Case 3도 Case 4 DEM에 비해 -1 m 정도 오차가 더 포함되어 있으나(Table 1) 지형 표현에 있어서는 직접 제작한 Case 1, 2, 3 DEM이 Match-T S/W로 제작한 Case 4 DEM 보다 동일 격자간격으로 제작되었지만 갯벌의 물결모양을 더 섬세하게 표현하고, 해상도가 더 좋은 것을 알 수 있다. 이는 Match-T S/W도 ABM 방법을 적용 하지만 빠른 처리속도를 위해, 전체적으로 매 격자 간격마다 매칭을 수행하지 않는다는 것으로 해석할 수 있다.

Fig. 7은 갯벌현장에서 측량한 제 1, 2 종단선, 각각의 DEM에서 두 종단지점과 일치하는 위치로부터 획득한 종단선을 비교한 그래프다. 여기서, Case 5 DEM은 결과가 너무 좋지 않아 종단선 비교에서 제외하였다. Table 2는 Case 별 종단표고와 현장 종단표고 간 절대 표고차 및 유사도를 나타낸 것이며, Table 3은 Case 별 종단표고를 Table 2의 절대 표고차 평균만큼 이동시켜 비교한 상대 표고차를 나타낸 것이다.

제 1 종단선에서, 평균계급근오차는 Case 1이 가장

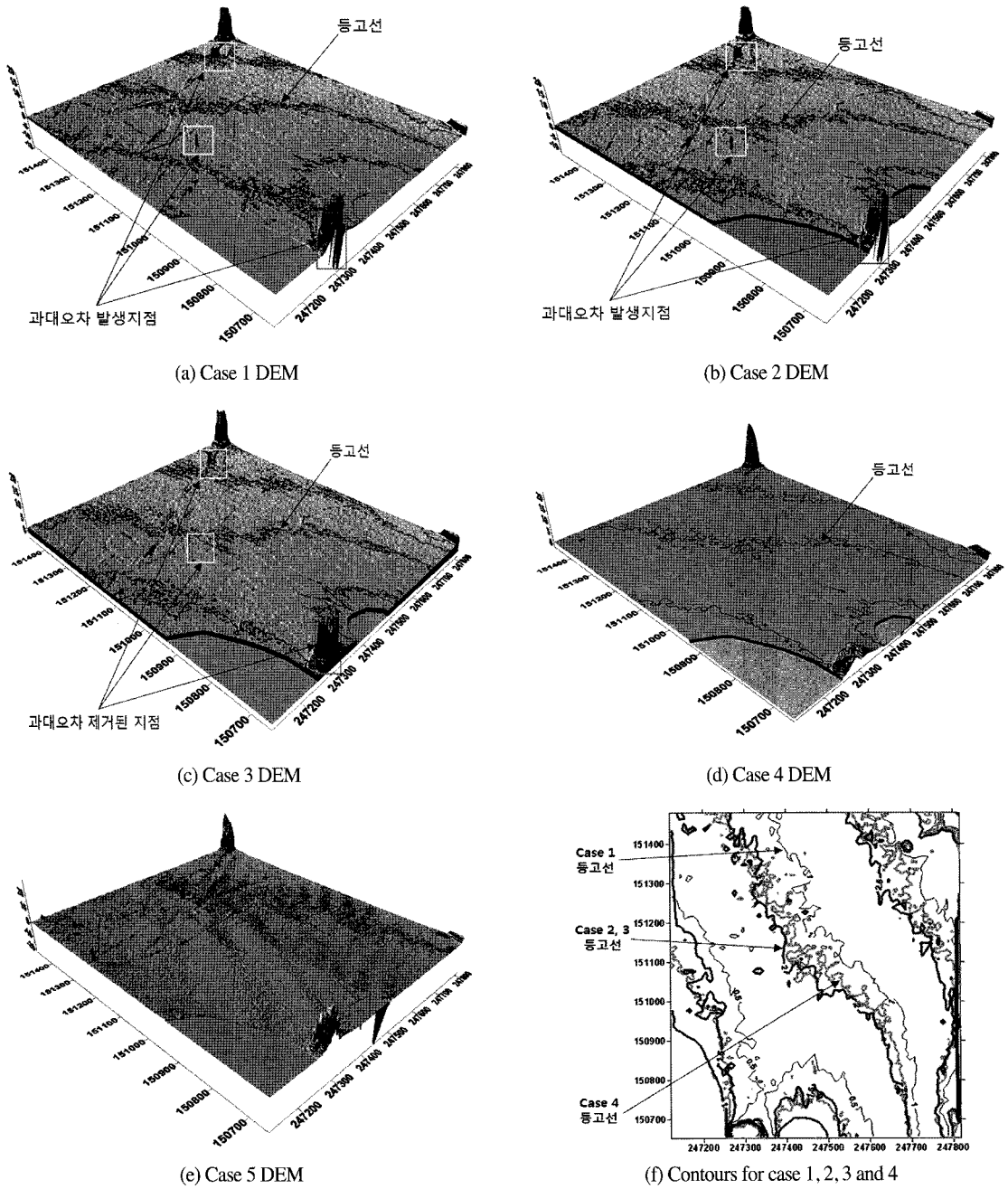


Fig. 6. DEMs and contours with a 0.5 m spacing for each case.

Table 1. Minimum height and maximum height for each DEM

Height \ DEM	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Min.	-13.5 m	-12.3 m	-2.0 m	-1.1 m	-21.6 m
Max.	17.9 m	19.0 m	18.5 m	24.0 m	31.0 m

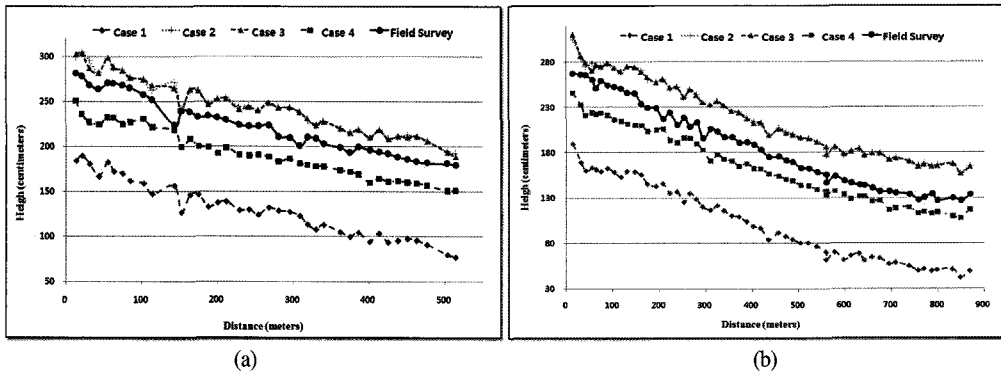


Fig. 7. Profiles of course 1 (a) and course 2 (b) by the field survey and each DEM.

Table 2. Absolute accuracy of profiles by the DEMs, similarity between profile by the field survey and profile by the DEMs

Profile	Course 1				Course 2				
	Errors	RMS(cm)	Ave.(cm)	Max.(cm)	Correlation Coefficient	RMS(cm)	Ave.(cm)	Max.(cm)	Correlation Coefficient
Case 1		95.4	-93.9	112.9	0.97	85.5	-84.4	105.6	0.99
Case 2		23.2	21.5	47.7	0.97	32.1	31.0	43.8	0.99
Case 3		22.6	21.0	40.9	0.97	32.2	31.0	43.6	0.99
Case 4		32.4	-31.1	43.7	0.98	24.0	-22.5	44.5	0.99

Table 3. Relative accuracy of profiles by the DEMs

Profile	Course 1			Course 2			
	Errors	RMS(cm)	Ave.(cm)	Max.(cm)	RMS(cm)	Ave.(cm)	Max.(cm)
Case 1		8.1	0.0	26.3	7.2	0.0	21.3
Case 2		8.1	0.0	26.2	7.2	0.0	21.2
Case 3		7.7	0.0	20.5	7.3	0.0	21.0
Case 4		7.3	0.0	25.3	8.0	0.0	22.1

크고, Case 3이 가장 적게 발생했으며, 최대오차도 Case 3이 가장 적었다. 제 2 종단선에서, 평균계곡근오차는 Case 1이 가장 크고, Case 4가 가장 적게 발생했으며, 최대오차는 Case 3이 가장 적었다. 각 Case 별 종단선형은 현지측량 종단선형과 거의 일치하였다(Fig. 7과 Table 2). Case 1을 제외한 나머지 종단선들은 대부분 30 cm 내외의 오차를 가지고 있다. 그 원인으로는 불량 매칭점이 없다는 전제하에, 제공되는 EOPs의 오차(Smith et al., 2005)와 IOPs 검정리포터의 불확실한 정보에 따른 것으로 판단된다. 따라서 현장측정자료에 근거하여 Table 2에서 제시한 절대 표고차의 평균만큼 각각의 종단선을 이동시켜 상대적인 표고차를 구하였다(Table 3). 그 결과, 모든 종단선의 RMS(route mean square)편차가 8 cm 이하로 줄어든 것을 볼 수 있고,

최대편차에서 Case 3 종단선 결과(약 21 cm)가 가장 적게 나타났다. 결국 소수의 지상 기준점을 통해 초점거리를 보정하고, P_R 을 고려하여 제작한 깃별 DEM이 고가의 상용 S/W로 제작한 DEM 보다 해상도와 정밀도에서 더 높은 결과를 보였다.

5. 결론

세계적 생태보존 지역으로 그 가치를 인정받고 있는 순천만 깃별은 체계적 보존·관리가 필요하다. 이를 위해 해선 우선적으로 주기적인 3차원 매핑 자료획득이 필수적이라 할 수 있다. 본 연구는 그 대안으로 순천만 깃별 지역의 디지털 항공사진으로부터 DEM 제작 가능성을

제시하였다. DEM 제작과정에서 기준점을 통한 초점거리를 수정하고, 순천만 갯벌영상에 적합한 41×41 화소의 매칭사이즈를 제시하였으며, 불량매칭으로 인한 과대 위치오차 제거를 위해 교차거리(P_R) 임계치 적용방법을 제안하였다. 그리고 현지 종단측량 자료를 통해 제작된 DEM을 기존 상용 S/W로 제작된 DEM과 비교하였다. 그 결과, 기준점으로 초점거리를 보정하고, P_R 을 고려하여 제작한 갯벌 DEM이 상용 S/W로 제작한 DEM 보다 해상도와 정밀도에서 더 높은 결과를 보였다. 이러한 결과를 토대로 향후, 본 연구에서 제안한 방법으로 기존에 활용되어온 갯벌 DEM 제작방법을 대체할 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2010-0021480). 그리고 DEM 제작을 위한 항공사진의 영상처리 작업은 본 연구진이 삼아항업(주) 사옥 내에서 수행한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 국토해양부, 2011. 갯벌정보시스템, <http://tidalflat.go.kr/infocenter/analysis.asp>.
- 김계림, 유주형, 김상완, 최종국, 2010. SAR 자료를 이용한 갯벌 퇴적환경 특성 연구, 대한원격탐사학회지, 26(5): 497-510.
- 박성우, 정종철, 2003. 위성영상을 이용한 강화도 남단갯벌의 DEM 추출, 한국 GIS 학회지, 11(1): 13-22.
- 순천시, 2009. 순천만의 효율적 관리 및 보전을 위한 기초환경 조사연구, 순천시.
- 순천시, 2005. 환경백서, 순천시.
- 유주형, 우한준, 박찬홍, 유홍룡, 2005. IKONOS 영상을 이용한 천수만 황도 갯벌 표층 퇴적상 분류, 한국습지학회논문집, 7(2): 121-132.
- 이운경, 유주형, 홍상훈, 원중선, 유홍룡, 2006. 수륙경계선 방법과 위상간섭기법을 이용한 강화도 남단 갯벌의 DEM 생성 연구, 한국습지학회논문집, 8(3): 29-38.
- 이효성, 안기원, 김덕진, 2010. 디지털 입체 항공사진의 영역기반매칭법에 의한 체부도 갯벌 DEM 제작, 한국지리정보학회지, 13(3): 42-52.
- Baker, C., R.L. Lawrence, C. Montagne, and D. Patten, 2007. Change detection of wetland Ecosystems using Landsat imagery and change vector analysis, *WETLANDS*, 27(3): 610-619.
- Choi, J.K., J.H. Ryu, Y.K. Lee, H.R. Yoo, H.J. Woo, and C.H. Kim, 2010. Quantitative estimation of intertidal sediment characteristics using remote sensing and GIS, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 88(1): 125-134.
- Irish, J.L. and W.J. Lillycrop, 1999. Scanning laser mapping of the coastal zone: the SHOALS system, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3): 123-129.
- ISPRS, 2008. Advances in photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 2008 ISPRS Congress Book, London, U.K.
- Kim, D.J., W.M. Moon, S.E. Park, J.E. Kim, and H.S. Lee, 2007. Dependence of water-line mapping on radar frequency used for SAR images in intertidal areas, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4(2): 269-273.
- Mason, D., D. Hill, I. Davenport, R. Flather, and G. Robinson, 1997. Improving inter-tidal digital elevation models constructed by the waterline technique, *Third ERS Symposium*, European Space Agency Publications Division, Florence, March, 14-21, pp.1079-1082.
- Moffitt, F.H. and E.M. Mikhail, 1980. *Photogrammetry*. Harper&Row, Inc., NewYork, USA.
- Ross, P.H., S.L. Ustin, and A. Hastings, 2006. Use of lidar to study changes associated with *Spartina* invasion in San Francisco Bay Marshes, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 100(3): 295-306.

- Ryu, J.H., C.H. Kim, Y.K. Lee, J.S. Won, S.S. Chun, and S. Lee, 2008. Detecting the intertidal morphologic change using satellite data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78: 623-632.
- Smith, M.J., K.S. Qtaishat, D.W.G. Park, and A. Jamieson, 2005. Initial results from the VEXCEL ULTRACAM D digital aerial camera, <http://www.isprs.org/publications/related/hannover05/paper/074-smith.pdf>.
- Wimmer, C., R. Siegmund, M. Schwäbisch, and J. Moreira, 2000. Generation of high precision DEMs of the Wadden Sea with airborne interferometric SAR, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(5): 2234-2245.
- Won, J.S., Y.H. Na, and S.W. Kim, 2003. Tidal flat DEM generation by satellite remote sensing, *Proc. of 2003 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Toulouse, July 21-25, pp. 2116-2118.