

디지털 입체 항공사진의 영역기반매칭법에 의한 갯벌 DEM 제작*

이효성¹ · 안기원² · 김덕진^{3*}

DEM Generation of Tidal Flat by the Area Based Matching Method Using Digital Aerial Stereo Images*

Hyo-Seong LEE¹ · Ki-Weon AHN² · Duk-Jin KIM^{3*}

요 약

본 연구는 항공디지털 스테레오영상으로부터 사진측량기법을 적용하여 한반도 서해안 갯벌중 하나인 제부도 갯벌에 대해 퇴적·침식의 변화를 탐지하는데 기초자료가 될 수 있는 DEM을 제작하였다. 이를 위해, 상호표정에 의한 에피폴라 선을 추출하였으며, 반사도 및 질감 등을 바탕으로 갯벌표면 분류영상을 제작하여, 각 표면 특성별 적합한 매칭사이즈를 선정하고, 이로부터 영역기반 매칭을 수행하였다. 결과적으로, 갯벌과 같이 고도의 변화가 미묘한 지역에서는 제안방법으로 제작한 DEM이 고정된 매칭사이즈로 제작한 DEM과 기존 상용 S/W에 의한 DEM 보다 더욱 세밀한 높낮이 변화를 보여주었다.

주요어 : 갯벌, 항공디지털 스테레오영상, DEM, 분류영상, 영역기반 매칭

ABSTRACT

The purpose of this study is to produce digital elevation model (DEM) in the Jebu tidal flat, one of the west coast of the Korean Peninsula, by means of photogrammetric techniques from aerial digital stereo-images. Produced DEM would be become the fundamental data for change detection of the sediment and erosion. To do so, epipolar line is established by relative orientation. Area-based matching is then carried out based on this line and matching size according to surface property of tidal flat after a classified image is produced from reflectance and texture of the surface. As the results, DEM

2010년 6월 16일 접수 Received on June 16, 2010 / 2010년 7월 20일 수정 Revised on July 20, 2010 / 2010년 9월 10일 심사완료 Accepted on September 10, 2010

* 이 논문은 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원 강화사업(RACS_2010-1008)의 지원으로 수행되었음.

1 순천대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Suncheon National University

2 경상대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Gyeongsang National University

3 서울대학교 지구환경과학부 School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

* 연락처자 E-mail : djkim@snu.ac.kr

generated by the proposed method showed subtle changes in height more precisely than DEM using the fixed matching size and DEM by the commercial S/W in the region, such as tidal flats having few level differences.

KEYWORDS : *Tidal Flat, Aerial Digital Stereo-images, DEM, Classified Image, Area-based Matching*

서론

갯벌은 과거 인류문명의 발달과 함께 경제적 가치가 적은 불길하고 금지된 곳으로 인식되어, 개척과 간척의 주요대상으로 다루어져왔다. 그러나 최근 들어 습지는 보존필요성이 높은 중요한 자연자원으로 인식되기에 이르렀다(구자용, 2004). 갯벌은 어패류의 산란·서식지 기능, 수질정화 기능, 생물종 다양성의 유지 기능, 홍수조절 기능, 여가활동과 관광자원 기능 등의 측면에서 중요한 가치를 지니고 있다(유주형 등, 2005; Baker *et al.*, 2007). 특히, 갯벌 DEM(digital elevation model)은 연안관리, 수산활동, 군사적 목적뿐만 아니라 자연적·인공적 영향에 의한 조간대의 해안선과 지형변화를 조사·연구하는 지구과학 분야에 매우 중요한 정보가 된다(Ryu *et al.*, 2008). 그럼에도 불구하고 갯벌은 펄과 실트, 모래, 습지식생 등과 같은 퇴적지형으로 이루어져 있기 때문에 현장접근에 의한 직접 측량이 용이하지 않다(이형석과 김인호, 2007; Ryu *et al.*, 2008).

기존 연구에서는 항공기, 위성과 같은 비접근 방법을 비롯하여 음향측심기와 같은 첨단 방법으로 갯벌 DEM을 획득하였다(Wimmer *et al.*, 2000; 이재원 등, 2008). 그러나 대부분의 항공 레이저 스캐너와 레이더 위상간섭 기법은 지표잔존수가 많은 갯벌지점에서는 높이 값 측정이 어려울 가능성이 크며(Won *et al.*, 2003), 음향측심기는 수심이 낮을 경우에는 바닥 높이 측정이 어렵다는 단점이 있다. 이러한 제약들 때문에 현재는 위성영상을 이

용한 수륙경계선(waterline) 측량방법이 널리 이용되고 있다(Mason *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 2007; 이홍로와 이재봉, 2005). 그러나 이 방법도 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.

디지털 항공사진의 경우, 기존 필름영상에 비해 영상 노이즈가 거의 없고, GPS와 INS로 획득한 카메라 외부표정요소를 직접 제공하며, 위성영상에 비해 해상도가 높다는 장점이 있다(ISPRS, 2008). 디지털 항공사진 측량기법은 지형도 제작을 비롯하여 3차원 가상도시 구축과 환경모니터링 등을 위해 2000년대 중반에 본격적으로 상업화 된 기술이지만(ISPRS, 2008) 갯벌 DEM 제작 목적으로 사용된 사례가 거의 없기 때문에 이로부터 제작된 DEM의 제작 정밀도 또한 검증된 바 없다. 또한 광학영상으로부터 DEM 자동제작을 위해선 우선적으로 제공되는 스테레오 영상으로부터 매칭(matching) 과정을 거쳐야만 한다. 그러나 DEM 제작을 위한 대부분의 스테레오 영상처리용 상용 S/W는 기존 육지에 적용하던 형상기반 매칭(FBM; feature based matching)방법 즉, 포인터(point) 매칭이나 에지(edge) 매칭방법에 의존하기 때문에 육지와 같이 두드러진 특성이 없고, 일정 패턴으로 이루어진 갯벌지역의 매칭방법으로는 적합하지 않다. 본 연구에서는 Vexcel Ultra Cam 항공사진 측량용 카메라로부터 획득한 제부도 갯벌지역영상의 스테레오 매칭을 위해,

영역기반 매칭(ABM; area based matching) 방법을 적용하고, 이로부터 갯벌지형의 표면 특성을 세밀하게 파악할 수 있는 DEM 제작 가능성 여부를 제시하고자 한다.

갯벌 DEM 제작방법

갯벌은 육지에 비해서 화소 값 대비가 크지 않고, 육지처럼 특정지역의 경계나 관심점 추출이 쉽지 않기 때문에 저자는 ABM 방법을 시도하였다. ABM 방법은 스테레오 영상에서 동일 지점에 해당하는 거의 모든 격자 쌍들을 찾아내는 매칭방법이며, 일반적으로 고정된 매칭사이즈로 매칭을 수행하여 왔다(이효성 등, 2009; Reinartz *et al.*, 2006). 그러나 밝기 값 대비가 낮은 갯벌지역 내에서도 다양한 갯벌표면 특성을 가질 수 있고, 빛의 반사도 또한 다를 수 있으므로 고정된 매칭사이즈로 매칭하면 갯벌표면 특성에 따라 DEM의 정확도도 다르게 나타날 가능성이 있다(이효성 등, 2009). 따라서 본 연구에서는 획득한 갯벌지역 영상을 표면특성별로 분류한 후, 분류항목별 가장 적합한 매칭사이즈를 선정하고, 이를 토대로 ABM 수행 프로그램을 개발하여, DEM을 제작하고자 하였다. 연구의 흐름도는 그림 1과 같으며, 구체적 내용은 다음과 같다.

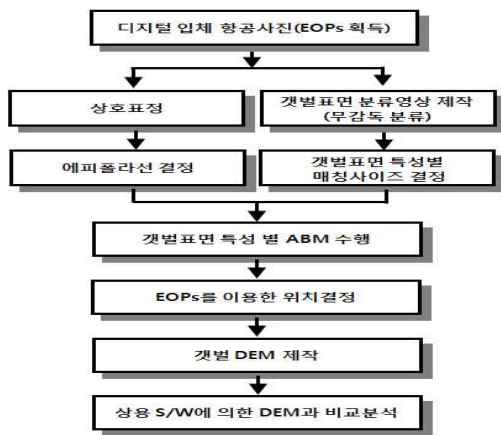


FIGURE 1. 본 연구의 흐름도

먼저 정확한 매칭을 위해, 디지털 항공사진에서 제공되는 외부표정요소(EOPs; exterior orientation parameters)와 공면조건식을 이용하여 중속적 상호표정을 실시한다. 공면조건은 그림 2와 같이 표현할 수 있으며, 이를 구성하는 벡터는 \vec{b} , \vec{a}_1 , \vec{a}_2 와 같다.

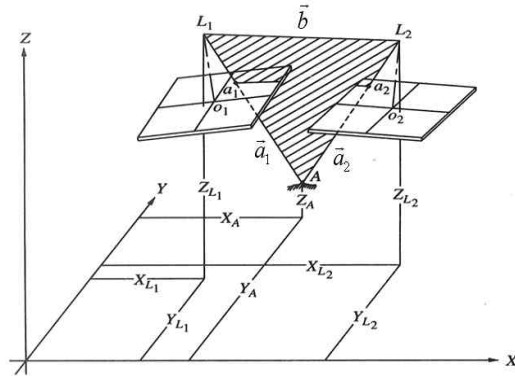


FIGURE 2. 공면조건(Wolf, 1983)

그림 2로부터 식(1)과 같이 표현할 수 있으며, 식(1)은 세 방향의 벡터가 같은 평면에 존재할 때 체적은 0(zero)이 된다는 근거에 의한 것이다. 식(1)을 최소제곱법과 선형화에 의한 반복계산 방법으로 왼쪽 영상(또는 오른쪽 영상) 대비 오른쪽 영상(또는 왼쪽 영상)의 위치편차(b_y, b_z)와 회전행렬 요소(ω, ϕ, κ)를 구할 수 있다(Ghosh, 1988).

$$\vec{b} \cdot (\vec{a}_1 \times \vec{a}_2) = \begin{vmatrix} b_x & b_y & b_z \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ u_2 & v_2 & w_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

여기서,

$$\vec{b} = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{L2} - X_{L1} \\ Y_{L2} - Y_{L1} \\ Z_{L2} - Z_{L1} \end{bmatrix},$$

$$\vec{a}_1 = \begin{bmatrix} u1 \\ v1 \\ w1 \end{bmatrix} = M_1^T \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{bmatrix}, \quad \vec{a}_2 = \begin{bmatrix} u2 \\ v2 \\ w2 \end{bmatrix} = M_2^T \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{bmatrix}_2$$

이며, $X_{L1}, Y_{L1}, Z_{L1}, X_{L2}, Y_{L2}, Z_{L2}$ 는 좌, 우 영상중심 위치, M_1, M_2 는 좌, 우 회전행렬, $x-x_0, y-y_0$ 는 왼쪽(또는 오른쪽) 영상좌표, f 는 초점거리이다.

다음은 공면조건으로 결정된 좌, 우 영상의 상대적 외부표정요소를 이용하여 에피폴라 선을 추출한다. 에피폴라 선은 공선조건식에 근거한 식(2)으로 결정할 수 있다. 결국, 식(2)에서 대상지역내 높이(Z)의 최소값(Z_{min})과 최대값(Z_{max}) 값만 선정하면 왼쪽 영상좌표에 해당하는 오른쪽 영상좌표의 최소, 최대값을 구할 수 있으며, 이로부터 직선의 방정식을 이용하여 에피폴라 선을 결정한 후, 매칭에 활용할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_i - x_{oi} &= -f \frac{B_1 \cdot Z + B_2}{B_5 \cdot Z + B_6}, \\ y_i - y_{oi} &= -f \frac{B_3 \cdot Z + B_4}{B_5 \cdot Z + B_6} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$: 외부표정요소와 공선조건식으로부터 유도되어진 에피폴라 방정식 계수

x_i, y_i : 임의 지상좌표와 일치하는 i 번째 영상의 영상좌표

x_{oi}, y_{oi} : i 번째 영상의 주점좌표

한편, 대부분의 디지털 항공사진이 컬러영상으로 제공되기 때문에 이로부터 갯벌표면분류영상도 제작이 가능하다. 물론 실험에 사용되어진 영상은 RGB 3개 밴드로만 조합되어서 정확한 분류는 힘들다. 갯벌표면 특성은 전반적으로 반영할 것으로 판단한다. 따라서 갯벌 DEM 대상지역을 선정·절취하고, 이로

부터 무감독 분류(현장조사한 경우 감독분류) 방법으로 빛의 반사도 또는 갯벌표면 특성별 분류영상을 제작할 수 있다.

그리고 제작한 갯벌표면 분류영상에서 각각의 표면특성 항목에 해당하는 대상지역과 동일한 지역의 왼쪽, 오른쪽 원 영상을 절취한다. 이때 절취한 영상은 단 밴드(일반적으로 red 밴드)이다. 절취한 스테레오 영상을 이용하여, 매칭사이즈를 일정한 간격으로 증가시키면서 에피폴라 선에 의한 매칭을 수행한다. 매칭사이즈별로 ABM을 수행하여 상관계수 영상과 라인(line)과 칼럼(column) 시차영상(오른쪽 영상의 임의지점에 대응되는 왼쪽 영상의 영상좌표를 화소 값으로 저장한 것)을 출력하여 매칭사이즈 결정을 위한 자료로 활용한다. 상관계수 영상의 경우, 평균상관계수 값이 가장 크게 나타난 매칭사이즈를 선택하면 되고, 시차영상의 경우, 대상지역이 연속성(continuous)의 표면이면 영상좌표가 증가할수록 시차영상의 화소 값 또한 일정하게 증가한다는 가정 하에 이전 화소 값에 비해 다음 화소 값 차이가 적을수록 정밀한 매칭이 이루어졌다고 본다.

마지막으로, 앞에서 구한 에피폴라 선, 갯벌표면 분류영상, 갯벌표면 특성별 매칭사이즈를 이용하여 대상지역의 ABM을 수행한다. 그림 3은 본 연구에서 개발한 ABM 프로그램의 전체적인 과정을 나타낸 것이다. 이것은 이효성 등(2009)이 지형에서 제안한 방법을 갯벌에 적용한 것으로서 그 구체적 방법은 촬영된 입체영상 중 하나를 기준영상으로, 나머지 영상은 검색영상으로 설정한 후, 기준영상 위치와 동일한 지점의 갯벌표면 분류영상 화소 값을 파악하여 매칭할 지역의 갯벌표면 특성이 임의 분류항목에 해당하면 그 갯벌표면 특성 값에 맞는 매칭 사이즈로 매칭을 수행하는 것이다.

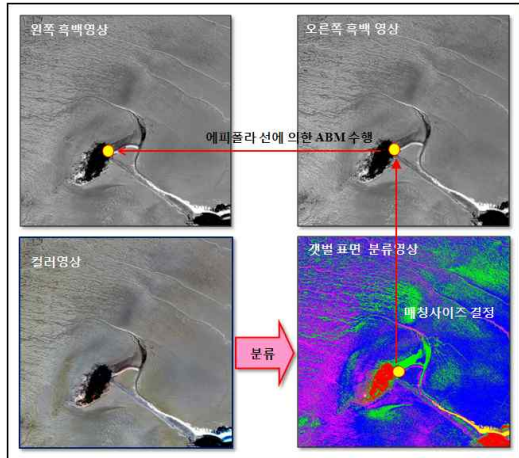


FIGURE 3. 컬러 항공사진으로 제작한 갯벌표면 분류영상과 이를 이용한 입체영상의 매칭과정

DEM 제작과 결과분석

사용된 자료는 제주도 지역을 2008년 01월 14일에 촬영한 20cm 해상도의 UltraCam

디지털 항공사진이다(그림 4). Ultra Cam 항공사진과 함께 제공하는 EOPs는 항공기에 탑재된 GPS와 IMU로부터 측정된 것이며, 이로부터 지상 기준점 없이 항공삼각측량방법에 의하여 위치를 결정하면 평면에서 10cm 내외, 높이에서 30cm 내외의 오차를 가진다 (Smith *et al.*, 2005).

먼저, 실험을 위해 제주도 갯벌지역 스테레오 영상(그림 4)의 EOPs와 카메라 요소(초점거리=100mm, x방향 주점변위량=0, y방향 주점변위량=0, 한 화소의 실제크기=0.0072mm)로 식(1)을 이용하여 왼쪽 영상 대비 오른쪽 영상을 상호표정한 후, 에피폴라 선을 추출하였다. 그림 5는 상호표정 전, 후에 대한 에피폴라 선과 왼쪽 영상좌표의 차이를 나타낸 것이다. 그림 5에서 상호표정한 에피폴라 선의 정확도가 상호표정 전에 비해 약간 향상되었음을 알 수 있으며, 특히, TP(tie point) 중, 6, 7, 8, 9번에서 대략 2내지 3화소 정도 오차가 줄어든 것을 볼 수 있다.

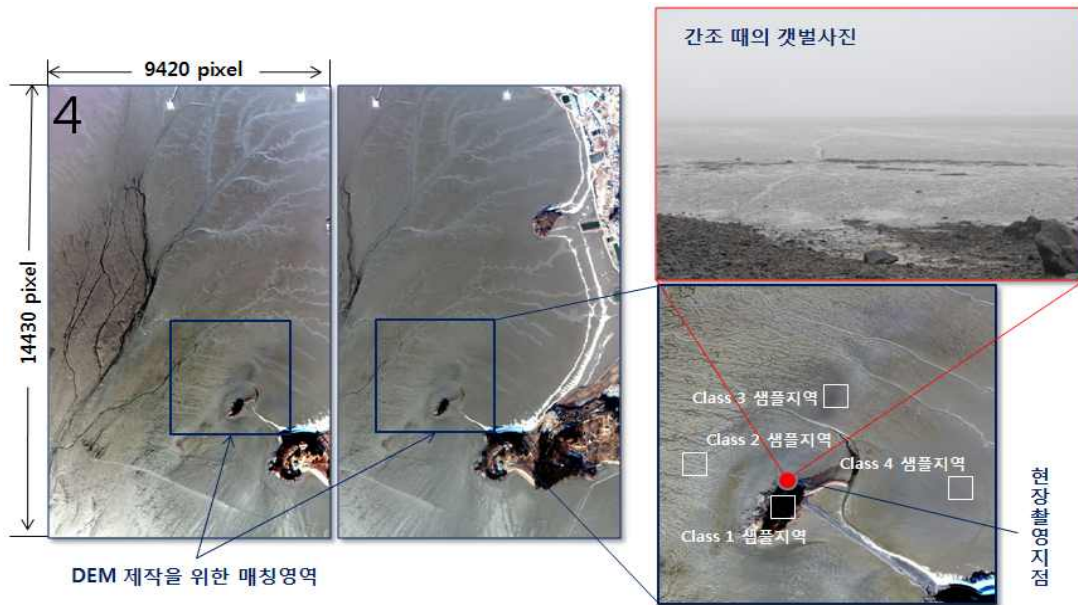


FIGURE 4. UltraCam 디지털 카메라로 획득한 제주도 오른쪽 지역의 좌·우 스테레오 항공사진, DEM 제작영역과 매칭사이즈 결정을 위한 좌·우 흑백영상 샘플링 지역, 간조 때의 갯벌 현장사진

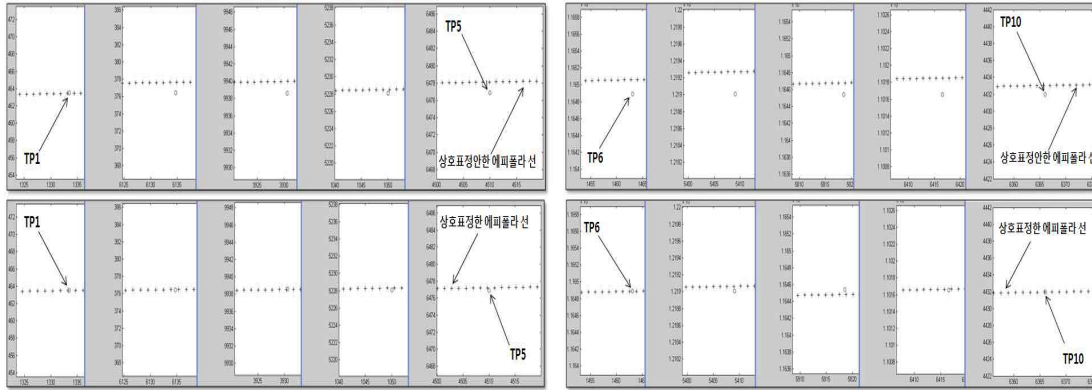


FIGURE 5. 좌측부터 오른쪽 영상좌표에 대응하는 왼쪽 영상좌표(TP1~TP10)와 에피플라 선(위쪽 그림은 상호표정 안한 에피플라 선이고, 아래그림은 상호표정한 에피플라 선)

다음으로, 제부도 갯벌지역을 3000 화소 × 3000 화소 크기(약 600m×600m)로 좌·우 영상 각각 절취하였으며(그림 4의 우측하단 그림), 절취한 우측영상을 무감독 분류로 4 항목의 갯벌지역 분류영상을 제작하였다. 영상을 통해 4항목의 특징을 살펴본 결과, 산림(Class 1), 빛의 반사도가 가장 큰 지역(Class 2), 빛의 반사도가 두 번째로 큰 지역(Class 3), 빛의 반사도가 가장 적은 지역(Class 4)으로 분류되어진 것으로 판단되었다. 절취한 좌·우 영상에서 각 항목의 특징을 가지고 있는 지역을 300 화소×300 화소 크기

로 재 절취하여(그림 6의 좌측그림) 우측영상은 기준영역, 좌측영상은 검색영역으로 설정한 후, 기준영역 15×15, 검색영역 31×31부터 5화소씩 증가시켜 기준영역 65×65, 검색영역 81×81까지 영역기반 매칭을 수행하였다. 그리고 매칭사이즈별 상관계수 영상과 시차영상을 출력하였다. 그림 6(우측그림)은 출력한 상관계수 영상들을 이용하여 앞에서 제시한 방법으로 매칭사이즈별 평균상관계수를 나타낸 것이고, 그림 7은 시차영상의 이전화소와 이후화소 값의 차이를 영상 전체로 표준편차를 계산하여 나타낸 것이다.

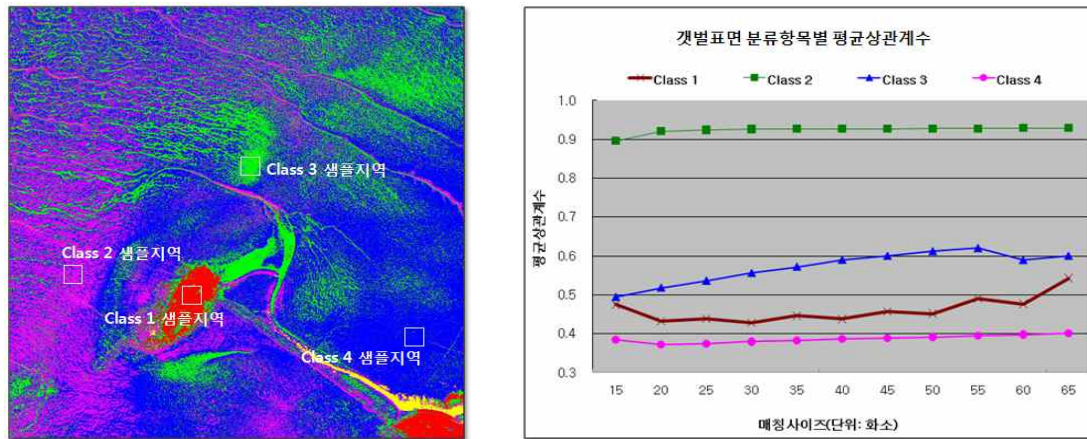


FIGURE 6. 갯벌표면 분류영상과 좌·우 흑백영상의 샘플링 지역(그림 4), 4개 갯벌표면 분류항목에 대한 매칭사이즈별 평균상관계수

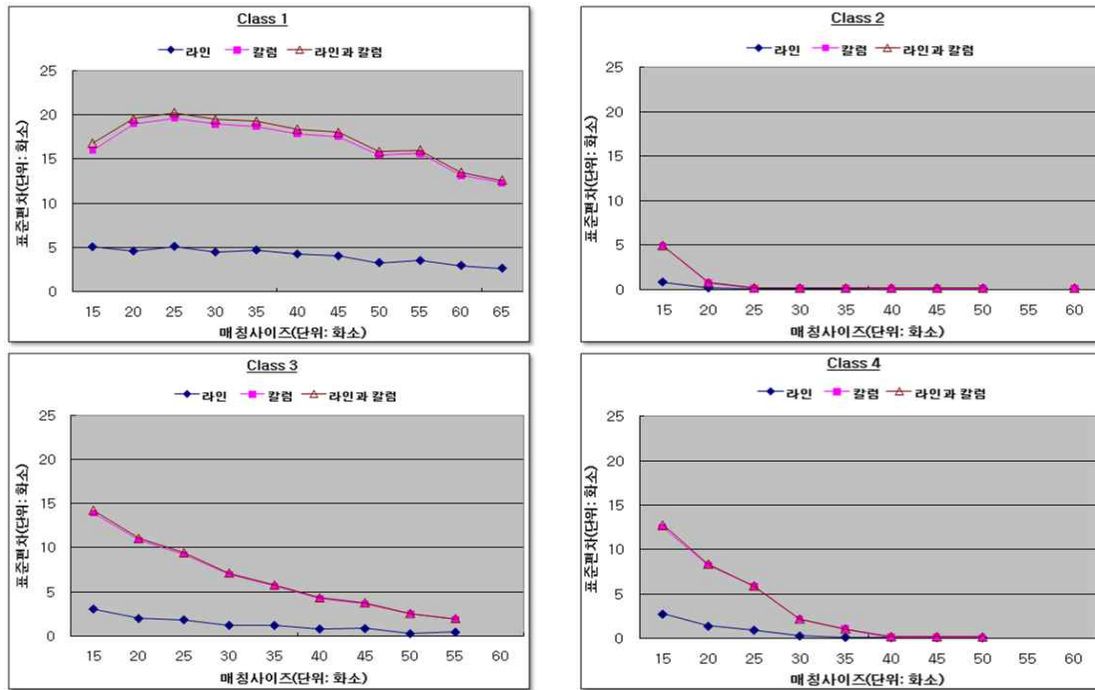


FIGURE 7. 4개 갯별표면 분류항목에 대한 매칭사이즈별 시차영상의 표준편차

그림 6, 7에서 Class 1은 매칭사이즈 65×65에서 평균 상관계수, 표준편차 각각 0.5 이상과 13으로 결과가 가장 좋고, 그 이상의 크기에서도 점진적으로 좋아질 가능성이 있지만 매칭사이즈가 너무 크면 계산속도가 느려지고, 잘못된 매칭이 될 가능성이 있으므로 그 이상의 매칭사이즈는 선택하지 않았다. Class 2는 평균상관계수, 표준편차 각각 0.9 이상과 0.2 이하로 나타났으며, 매칭사이즈 25×25 이상에서 더 이상 향상되지 않았다. Class3은 매칭사이즈 55×55 이후부터 평균상관계수와 표준편차 각각의 결과 값이 더 이상 좋아지지 않으며, Class 4는 매칭사이즈 40×40 이상부터는 큰 변동이 없다. 결국 그림자가 있는 산림지역(Class 1), 물결모양의 특징이 약간 있으면서 지표잔존수가 있는 지역(Class 3), 지표잔존수는 적으나 물결모양의 특징이 없는 지역(Class 4)에서는 매칭 정밀도가 떨어지는 것으로 나타났다. 특히, 빛의

반사도가 가장 적고, 표면 특징이 거의 없는 Class 4에서 매칭 정밀도가 급격히 저하되었다. 반면에 빛 반사도가 가장 크고, 물결모양 특징이 있으며, 지표잔존수가 적은 Class 2는 매칭 정밀도가 상당히 좋았다. 그리고 Class 1은 그림자 영향으로 칼럼시차의 표준편차가 10이상 크게 발생하였으나 Class 3, 4의 경우, 매칭 상관계수는 낮으나 칼럼시차의 표준편차는 점진적으로 0에 가까운 결과를 나타냈다. 이는 표면 특징이 없어서 상관계수는 떨어질 수 있으나 표면이 연속성이므로 매칭된 앞·뒤 영상좌표의 차이가 거의 없기 때문인 것으로 판단되며, 이는 어느 정도 좌·우 근사지점을 찾았다는 근거로 해석되어 진다.

마지막으로, 제작한 매칭프로그램을 이용하여 우측영상에서 좌측영상을 매칭시킬 때, 갯별표면 분류영상도 같이 입력하여 4가지 분류 항목을 1부터 4까지 갖는 변수로 참여시켜 앞에서 결정한 매칭사이즈를 자동판별하게 한

TABLE 1. 각각의 DEM 간 차이의 통계 값과 유사도

DEM	표준편차(m)	평균(m)	최대값(m)	최소값(m)	상관계수
Case 1 과 Case 2	0.7	0.0	10.9	-6.4	0.61
Case 1 과 Case 3	1.1	0.2	5.3	-15.0	0.73
Case 2 와 Case 3	1.6	0.2	6.3	-23.8	0.27

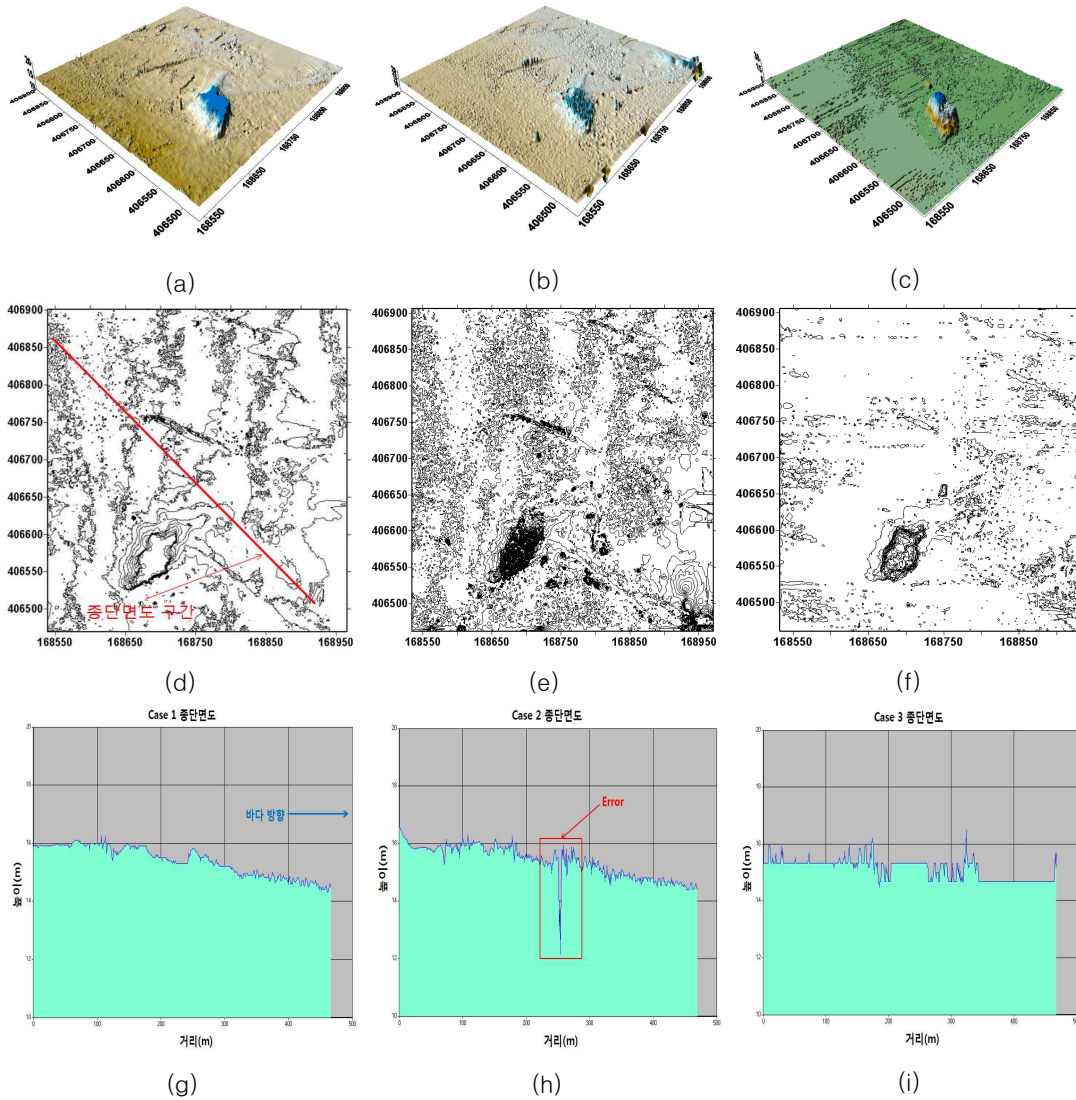


FIGURE 8. 1m 간격으로 제작된 Case 1, Case 2, Case 3 DEM(좌측으로부터 a, b, c)과 50cm 간격의 Case 1, Case 2, Case 3 등고선도(좌측으로부터 d, e, f) 그리고 (d)에서 표시한 선과 동일한 구간의 각 Case 별 종단면도

후, 에피폴라 선을 이용하여 상관계수 매칭을 실시하였으며, 이로부터 DEM을 제작하였다(Case 1). 그리고 고정된 사이즈로 매칭해온 기존방식에 근거하여, 갯벌표면 특성과는 상관없이 15×15화소의 고정 크기로도 매칭을 수행하여 DEM을 제작하였다(Case 2). 아울러 둘 방법과 비교하기 위해 프로그램의 완성도가 높고 세계적으로 널리 이용되고 있는 SOCET-SET 5.4 S/W를 이용하여 Case 1, 2와 동일한 지역의 DEM을 제작하였다(Case 3). 표 1은 각 Case 별 DEM 간 차이 값에 대한 통계값과 유사도를 나타낸 것이며, 그림 8은 Case 1, 2, 3의 DEM과 등고선도, 각 DEM의 동일구간에 대한 종단면도를 나타낸 것이다. 그림 8의 모든 DEM은 격자간격 1m로 제작되었으며, 등고선도는 50cm 높이 간격으로 제작되어진 것이다.

DEM의 정밀도 평가를 위해선 갯벌 지역에 대한 기준자료가 필요하나 본 연구에서는 제작한 DEM이 육지에서 바다 쪽으로 향할수록 높이가 낮아진다는 가정(조수간만 차이가 큰 지역이므로)과 갯벌표면 반영정도의 시각적 판단으로 평가를 시도하였다. 제작한 DEM을 살펴보면 Case 1은 갯벌표면의 모습이나 질감을 잘 반영하는 것으로 판단되었으며, Case 2는 갯벌표면이 거칠게 표현되고 높이 값 또한 튀는 점들이 많은 것으로 나타났다. Case 3도 갯벌표면을 잘 반영하지 못하는 것으로 판단된다(그림 8의 a, b, c).


등고선도의 경우, Case 1은 육지에서 바다 쪽으로 향할수록 점점 높이가 낮아지는 경향성을 파악할 수 있고, Case 2는 등고선으로 인식하기도 힘들뿐만 아니라 높이 값의 오차도 많은 것을 알 수 있다. Case 3은 높이 값 변화가 거의 없는 것으로 표현되었다. 등고선도를 좀 더 구체적으로 표현한 종단면도에서, Case 1과 Case 2의 경사는 전체적으로 유사한 경향성을 보이지만 Case 2의 경우 박스 부분과 같이 크고 작은 오차가 많이 발생하였

으며, Case 3은 다른 종단면도와 달리 경사가 거의 없는 것으로 나타났다.

또한 표 1에서 보는바와 같이, DEM간 표준편차는 Case 1과 Case 2 차이 값이 가장 적은 반면 Case 2와 Case 3 차이 값이 가장 크게 나타났다. 차이 값의 폭도 Case 1과 Case 2가 가장 적은 반면 Case 2와 Case 3의 값이 가장 크게 나타났다. 그러나 유사도의 경우, Case 1과 Case 3이 가장 높으며, Case 2와 Case 3은 가장 낮게 나타났다. 이상과 같은 결과에서 Case 1 DEM이 통계적으로는 Case 2와 유사하고(두 방법 모두 ABM 방법을 적용했기 때문인 것으로 판단됨), 전체적인 윤곽에선 상용 S/W로 제작한 DEM과 유사한 결과를 나타냈다. 따라서 갯벌표면 특성을 반영한 매칭 사이즈의 경우, 그렇지 못한 경우 보다 DEM 제작 정밀도가 높게 나타났고, 기존 상용 S/W는 영역기반 매칭방법이 아닌 포인터 매칭 또는 에지매칭 방법을 사용하기 때문에 항공사진으로 갯벌지역의 DEM 제작은 힘들었다. 그러나 개선된 ABM 방법이라 할지라도 일부지역에 대한 실험결과만으로는 갯벌 적용 타당성을 확립할 수 없으므로 향후 우리나라 서해안과 남해안에 넓게 분포하고 있는 다양한 갯벌을 대상으로 보다 많은 비교실험을 수행해보고자 한다.

결 론

기 확보된 스테레오 항공사진은 대부분 지형에 대한 공간정보 획득과 연구 목적으로 촬영되었으며, 갯벌에 대한 표면정보 분석이 주목적은 아니었다. 따라서 DEM 제작을 위한 상용 S/W도 주로 지형에 맞추어 개발되어 왔기 때문에 갯벌 DEM 제작용으로는 적합하지 않다. 본 연구에서는 제부도 갯벌지역에 대한 스테레오 컬러 항공사진으로부터 DEM 제작 가능성을 제시하고자 하였다. 이를 위해 상호 표정에 의한 에피폴라 선을 추출하였으며, 갯

별표면 분류영상을 제작하여 갯벌표면 특성별 적합한 매칭사이즈를 선정하고, 이로부터 상관계수를 이용한 ABM을 수행하여 DEM을 제작하였다. 그 결과, 갯벌표면 특성을 반영한 매칭 사이즈로 제작한 DEM은 고정된 매칭사이즈로 제작한 DEM과 기존 상용 S/W에 의한 DEM 보다도 더욱 세밀하고 정밀한 높낮이 변화를 보여주었으며, 갯벌표면의 모습이나 질감을 잘 반영하는 것으로 판단되었다. 물론 갯벌 DEM 제작 성공여부는 영상품질, 갯벌의 지표잔존수, 표면형태, 질감, 계절적 특성, 기후 등의 다양한 변수에 의해 결정되어 질 수 있으므로 모든 갯벌지역 항공사진에 일반화시키기에는 부족하다. 따라서 관련 분야 연구자들에 의해 더욱더 많은 갯벌지역 DEM 제작연구가 필요할 것으로 본다. 

참고문헌

- 구자용. 2004. 해안습지 지도화를 위한 위성영상 처리기법 연구. 상명대학교 사회과학 연구 보고서. 1-2쪽.
- 유주형, 우한준, 박찬홍, 유홍룡. 2005. IKONOS 영상을 이용한 천수만 황도 갯벌 표층 퇴적상 분류. 한국습지학회논문집. 7(2):121-132.
- 이재원, 김용석, 위광재. 2008. 항공 LiDAR 측량을 이용한 해운대 해안의 해안선 변화 분석. 대한토목학회논문집. 28(4):561-567.
- 이형석, 김인호. 2007. DGPS를 이용한 해안선 변화 조사 및 분석-강원도 강릉시 연안을 중심으로. 한국지리정보학회지 10(2):1-10.
- 이홍로, 이재봉. 2005. 다중시기 위성영상을 이용한 새만금 방조제 내측 해수면에 의한 심포항 연안의 간석지 지형 변화 탐지. 한국지리정보학회지 8(1):13-22.
- 이효성, 박병욱, 한동엽, 안기원. 2009. IKONOS 영상을 이용한 DEM 추출의 정확도 향상을 위한 토지피복도 활용 정합기법. 대한토목학회논문집. 29(1D):153-160.
- 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.
- Ghosh, S.K. 1988. Analytical photogrammetry 2nd ed. New York, USA. pp.266-270.
- ISPRS. 2008. Advances in photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences: 2008 ISPRS Congress Book. London, U.K. pp.45-62.
- Kim, D.J., W.M. Moon, S.E. Park, J.E. Kim and H.S. Lee. 2007. Dependence of waterline 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, 1997. pp.1079-1082.
- Reinartz, P., R. Müller, M. Lehner and M. Schroeder. 2006. Accuracy analysis for DSM and orthoimages derived from SPOT HRS stereo data using direct georeferencing, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 60:160-169.
- 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, 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. Schwabisch 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.
- Wolf, P.R. 1983. *Elements of photogrammetry with air photo interpretation and remote sensing* 2nd ed. McGraw-Hill Inc. USA. pp.367.
- Won, J.S., Y.H. Na and S.W. Kim. 2003. Tidal flat DEM generation by satellite remote sensing. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS Proceedings*. Toulouse, July 21–25, 2003. pp.2116–2118. **KAGIS**