

다중시기 위성영상의 무감독분류에 의한 갯벌의 입자 분포도

정 종 철

남서울대학교 지리정보공학과

Particulate Distribution Map of Tidal Flat using Unsupervised Classification of Multi-Temporary Satellite Data

Jong-Chul Jeong

Dep. of Geoinformatics Engineering, Namseoul University

Abstract : This research presents particulate distribution map of tidal flats of Hampyung bay using reflectance which extracted from satellite data and field survey data during same periods. The spectrum of particulate composition obtained from Landsat TM data was analysed and 7 scenes of satellite image were classified with ISODATA and K-MEANS methods. The results of unsupervised classification were estimated with in-situ data. The classification accuracy of ISODATA and K-MEANS methods were 84.3 % and 85.7 %.

For validation of classified results of multi-temporal satellite images, TM image of May 1999(reference data), which was classified with field survey data was compared with classified results of multi-temporary satellite data.

Key Words : Unsupervised Classification, Multi-temporary Satellite Data, Tidal Flats, Particulate Distribution Map.

요약 : 본 연구는 현장조사에서 얻어진 갯벌의 퇴적물 입자조성과 동일시기의 위성영상에서 추출된 반사치를 이용하여 함평만 갯벌의 입자분포도를 제시하였다. Landsat TM 자료에서 추출된 갯벌 입자조성에 따른 스펙트럼이 분석되었고, 7개의 위성영상은 ISODATA 와 K-MEANS 방법으로 분류되었다. 무감독분류된 결과는 현장관측치에 의해 분류 정확도가 평가되었으며, ISODATA와 K-MEANS 방법의 분류 정확도는 84.3%와 85.7%이다.

다중시기 위성영상 분류 결과를 검증하기 위해 현장조사 자료에 의해 분류된 1999년 5월 TM 영상을 참조자료로 하여 다중시기의 영상분류 결과를 비교하였다.

1. 서론

연안환경문제 중 갯벌의 매립과 연안개발의 문제는 예측할 수 없는 연안환경의 피해를 유발하고 있다. 또한, 연안갯벌의 매립으로 연안생태계의 광범위한 위협이 발생되고 있어서 국내에서도 습지보전법이 99년 8월부터 시행되고 있다. 그러나, 이러한 갯벌매립의 환경적 피해는 그 성격이 공간적으로 넓은 범위에서 장기간에 걸쳐 발생하는 특징으로 인해 현장조사만으로 갯벌환경변화의 명확한 파악에는 많은 어려움이 있다.

위성영상에 의한 갯벌의 환경변화 연구는 갯벌의 함수율, 지형특성, 입자의 크기와 종류, 세곡권의 유무 등에 의해 공간적인 갯벌 입자분포 환경을 다양한 시기에 의해 비교하기 어렵다. 그러나, 조석시간에 따른 갯벌의 분포를 시간적으로 다른 두 시점의 영상을 통해 무감독분류하여 갯벌 입자분포의 변화를 탐지하여 갯벌의 매립이나 입자조성의 공간적 변화를 평가하는 것은 의미가 있다고 판단된다.

본 연구에서는 위성자료로부터 갯벌의 퇴적물 입자조성 분포변화를 파악하기 위해 위성자료와 동일한 관측시점의 현장관측자료를 바탕으로 갯

벌의 입자분포를 해석하였다. 또한, 현장조사가 이루어지지 않은 과거시점의 갯벌 입자조성 분포를 평가하기 위해 현장조사 자료에 의한 입자 분석결과와 과거 영상의 스펙트럼을 이용한 위성영상 분류기법을 검증하였다.

2. 연구방법 및 범위

본 연구의 공간적 범위는 무안군, 지도, 함평군에 의해 둘러싸인 함평만 지역으로 만의 입구가 좁은 지형적 특성을 가지고 있으며, 수심이 얕고 조석의 차에 의한 갯벌이 잘 발달된 지역이다(Fig. 1).

현장조사 자료는 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구(해양수산부, 1999)에서 획득하였고, 1999년 5월 Landsat-5 TM (Path-Row: 116-036) 영상과 현장관측자료에 의한 갯벌의 퇴적물입자 분포를 구분하였다.

퇴적물 입자의 공간적인 분포를 구분하기 위해 적용된 방법은 무감독분류 방법인 ISODATA와 K-MEAN 분류를 실시하였고, 현장조사 자료를 바탕으로 분류된 클래스를 지표 클래스로 할당하였다.

다중시기 영상분석에 사용된 위성자료는 Table 1과 같으며, 기하보정 후 위성관측시점의 태양고도와 방위각을 이용하여 복사회도와 반사도를 구하고, 갯벌지역만을 마스킹하여 육지부를 제외하였다.

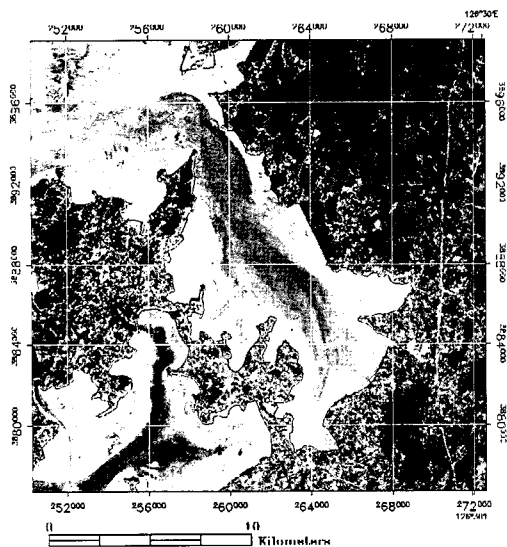


Fig. 1. Study area of Hampyung bay.

Table 1. Landsat images and sensor.

| Platform | Sensor | Acquisition Date |
|-----------|--------|------------------|
| Landsat 5 | TM | 1987. 10. 27 |
| | | 1988. 4. 4 |
| | | 1988. 9. 27 |
| | | 1999. 5. 5 |
| | | 2000. 3. 20 |
| | | 2000. 5. 07 |
| Landsat 7 | ETM+ | 2000. 10. 6 |

1999년 4월부터 8월 사이에 이루어진 현장조사에서 얻어진 갯벌 퇴적물 입자조성 분류에 의해 1999년 5월 영상으로부터 분류지역을 선정하였고, Folk(1968)의 퇴적물 분류방법의 결과에 의해 얻어진 퇴적물 입자의 스펙트럼에 의해 갯벌 입자분포도를 작성하였다.

위성영상의 분류결과는 분류된 클래스를 현장조사 결과와 비교하여 분류결과의 정확도를 획득하였고, ISODATA와 K-MEAN 분류에 의한 각 시점별 분석결과의 정확도를 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

경위도 좌표체계로 현장조사된 212개 정점의 자갈, 모래, 실트, 클레이(clay)의 조성비율에 의해 구분된 Folk(1968)의 표층퇴적물 입자구분을 M(Mud), (g)M(slightly gravelly Mud), (g)sM(slightly gravelly sandy Mud), gM(gravelly Mud), (g)ms(slightly gravelly mud Sand), gms(gravelly mud Sand), gS(gravelly Sand)와 같은 클래스로 나누었다.

위성영상에서 얻어진 반사치를 위의 212개 조사정점에서 추출하여 동일한 클래스의 평균을 구하였다. 이를 열적외선 밴드를 제외한 6개 밴드역으로 Fig. 2와 같이 파장영역에 따른 반사치의 스펙트럼을 비교하였다.

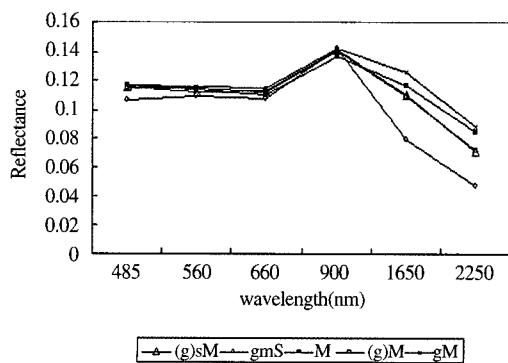


Fig. 2. Spectrum of the particles of tidal flat using Landsat TM reflectance.

1999년 5월 영상에 의한 Fig. 2의 반사치는 5번 밴드와 7번 밴드에서 각각의 입자 조성을 구분하고 있다.

조 등(1999)은 비계층적 클러스터링 ISODATA 방법에 의한 줄포만 미지형의 분류결과 미지형간의 변별력이 5번 밴드와 7번 밴드가 가장 높고 육지와 간석지의 경계를 4번 밴드가 가장 잘 구분해 준다고 보고하였는데, 본 연구의 Fig. 2는 이러한 결과가 함평만에서도 잘 나타나고 있음을 보여주고 있다.

본 연구에서는 현장조사와 동일한 시점의 1999년 5월 영상을 ISODATA 방법과 K-MEANS 방법으로 분류하였다. 분류된 결과를 현장조사 자료와 비교하여 Fig. 3과 같은 퇴적물 입자 분포도로 제시하였다.

현장조사 자료가 있는 1999년 5월 영상에 의한 분류결과는 영상자료에서 현장조사 자료와 비교 가능한 85개 정점에 대해 ISODATA 방법에 의해 84.3%의 분류 정확도(overall accuracy)를 나타내었고, K-MEANS에 의해 85.7 %의 분류 정확도를 나타냈다.

이러한 분류결과를 다양한 시점의 위성영상분

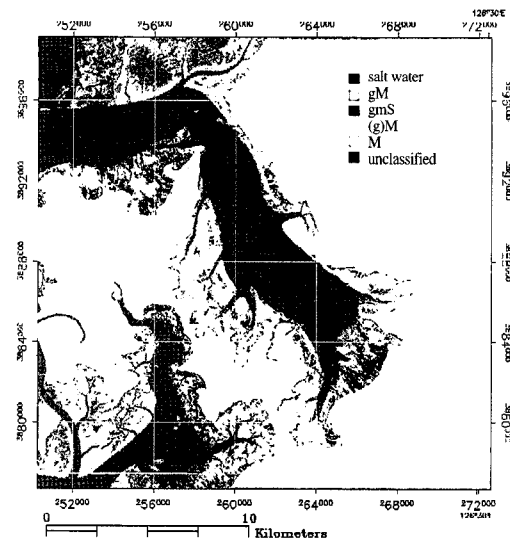


Fig. 3. Classification result obtained by K-MEANS method using TM data(May 5, 1999).

Table 2. Confusion matrix of K-MEANS obtained from Oct 27, 1987 data.

| Classification categories | Reference categories(pixels) | | | | | | Total |
|---------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | Unclassified | Class 1 | Class 2 | Class 3 | Class 4 | Class 5 | |
| Unclassified | 316389 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 316389 |
| Class 1 | 0 | 87463 | 2403 | 654 | 269 | 123 | 90912 |
| Class 2 | 0 | 3538 | 3692 | 2533 | 1152 | 423 | 11338 |
| Class 3 | 0 | 1540 | 3045 | 8630 | 9593 | 1998 | 24806 |
| Class 4 | 0 | 406 | 766 | 3560 | 21377 | 15356 | 41465 |
| Class 5 | 0 | 310 | 878 | 2334 | 12383 | 54210 | 70115 |
| Total | 316389 | 93257 | 10784 | 17711 | 44774 | 72110 | 555025 |

류결과와 비교하기 위해 Table 1의 1987년 10월부터 2000년 10월까지의 6개 영상을 참조자료인 1999년 5월 5일 영상과 동일하게 전 처리한 후 ISODATA 방법과 K-MEANS 방법으로 무감독분류하였다.

현장관측자료에 의해 분류된 클래스를 참조자료(Reference data)로 하여 각 시점의 분류된 결과를 Table 2와 같이 confusion matrix로 작성하였다. Table 2는 1987년 10월 27일 영상을 K-MEANS에 의해 분류한 후 1999년 5월 5일 영상을 K-MEANS에 의해 분류한 결과와 비교한 것이며, 연구지역의 725×725 픽셀 모두에 대하여 분류된 클래스별 분류정확도를 나타낸 것이다.

Unclassified는 마스크된 지역을 나타내며, 클래스 1은 해수(sea water)이다. 클래스 2부터 클래스 5는 함평만 갯벌의 퇴적물 입자를 구분한 결과이

며, 동일한 방법에 의해 ISODATA법에 의한 분류 결과를 비교한 결과를 Table 3에 제시하였다. Table 3에서는 본 연구에 사용된 영상의 시간적 순서에 따라 1987년, 1988년 영상과 2000년 영상을 무감독분류하고 각각의 분류결과를 비교한 것이다. 참조자료로 비교된 1999년 5월 영상에 의한 분류정확도 검증 결과는 K-MEANS 방법이 86.58%(평균)의 Overall Accuracy를 나타냈고, ISODATA 방법은 82.67%(평균)의 결과를 나타내고 있으며, 모든 시기의 분류결과가 K-MEANS 방법에 의해 더 높은 분류정확도 결과를 보여주고 있다.

분류방법의 정확도를 평가하는 Kappa coefficient도 K-MEANS 방법이 0.7848의 값을 나타냈고, ISODATA 방법은 0.7263의 값을 나타냈다. 결국, 본 연구지역은 무감독분류에 의한 갯벌 퇴적물 입자분포를 작성하는데는 K-MEANS 방법이

Table 3. Performance summary of ISODATA and K-MEANS methods.

| Date | K-MEANS | | ISODATA | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Overall Acc. | Kappa-coeff. | Overall Acc. | Kappa-coeff. |
| Oct 27, 1987 | 88.6016 | 0.8171 | 85.3565 | 0.7678 |
| Apr 4, 1988 | 87.4849 | 0.7992 | 83.6764 | 0.7414 |
| Sep 27, 1988 | 86.6401 | 0.7855 | 82.8037 | 0.7277 |
| Mar 20, 2000 | 86.3186 | 0.78 | 82.4718 | 0.7227 |
| May 7, 2000 | 87.0006 | 0.7921 | 83.6595 | 0.7419 |
| Oct 6, 2000 | 83.426 | 0.7354 | 78.0702 | 0.6564 |
| Average | 86.5785 | 0.7848 | 82.673 | 0.7263 |

ISODATA 방법 보다 적합한 것으로 판단된다.

또한, 연구에 사용된 7개 영상의 분류결과가 참조자료 시기(May 5, 1999)의 분류영상과 평균 83% 이상의 분류정확도를 나타내고 있어서 참조자료 시기의 분류결과를 통해 1987년을 비롯한 다른 6 시점의 갯벌 입자 분포도를 작성하는 것이 가능하다고 판단된다.

시기별 위성영상의 분류정확도를 K-MEANS 분류방법에 의해 평가한 결과는 각 분류 클래스별로 비교할 수 있는데, 이를 Fig. 4와 Fig. 5에 제시하였다. Fig. 4는 Story and Congalton(1986)가 제안한 사용자 정확성(User's Accuracy)의 결과를 나타낸 것이다. 또, Fig. 5는 생산자 정확성(Producer's Accuracy)을 통하여 분류된 클래스의 분류결과에 대한 정확성을 평가하였다. 사용자 정확성은 각 클래스에 정확히 분류된 픽셀 수를 그 클래스로

분류된 전체 픽셀 수로 나눈 값이며, 대상지역 전체가 얼마나 정확히 분류되었는지를 의미하며, 생산자 정확성은 각 클래스에 정확히 분류된 픽셀 수를 그 클래스로 분류된 모든 픽셀 수로 나눈 값이며, 주어진 클래스 종류의 훈련픽셀 값이 얼마나 정확히 분류되었는가를 평가해 준다.

사용자 정확성으로 분류된 각 시기의 영상은 클래스 별로 분류결과의 정확성에서 차이를 나타낸다. 클래스 1인 해수(sea water)는 87년 10월에 96.21%로 최고값을 2000년 3월에 83.77%로 최소값을 나타냈다. 6개 시점 모두에서 해수에 대한 분류는 정확히 이루어지고 있으며, 이를 통해 육지부를 마스크한 영상에서 갯벌과 해수영역을 구분하고 있다.

클래스 2는 gM으로 점토가 30% 이상이며, 자갈(gravel)이 10% 이상 포함된 지역이다. 분류된

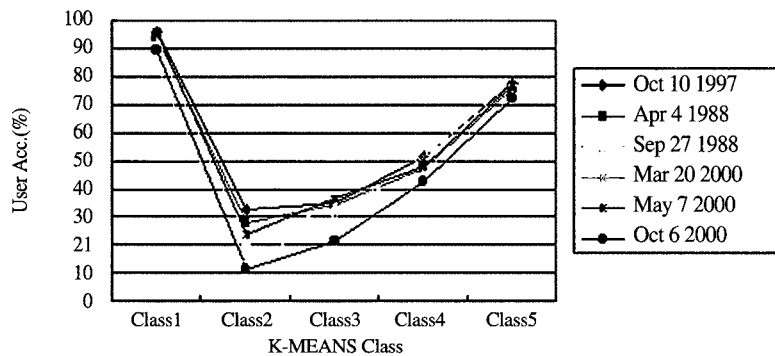


Fig. 4. Comparison of user's accuracy using K-MEANS of multi-temporary data.

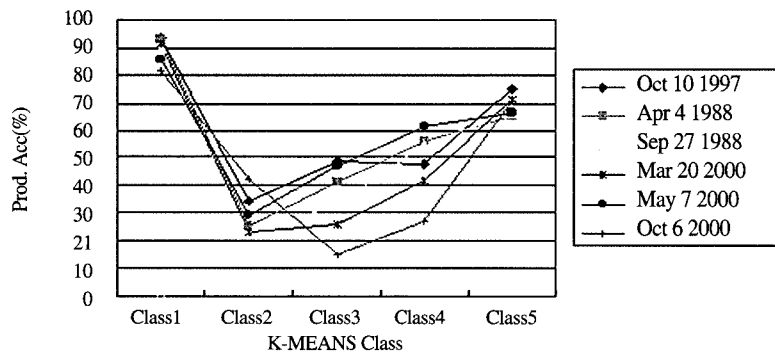


Fig. 5. Comparison of producer's accuracy using K-MEANS of multi-temporary data.

영상에서 클래스 2는 함평만 남부의 일부지역에서 관측되고 있다. 6개 시점의 분류영상에서 gM은 가장 낮은 사용자 정확성을 나타내고 있다. 특히, 2000년 3월과 2000년 10월에 분류정확성이 12.66%와 10.8%를 나타내어 gM의 분포에 많은 변화가 나타남을 예측할 수 있다. 또한, gM은 실트의 대부분을 차지하는 펄갯벌의 특성을 가지고 있어서 gravel의 작은 입자 조성변화에 의해 M로 분류될 가능성이 높기 때문에 Fig 4와 Fig. 5와 같이 6개 시점 모두에서 낮은 분류 정확성이 나타나는 것으로 판단된다.

클래스 3은 gms로 모래(sand)가 50%이상이며 자갈이 13% 이상 분포하는 지역이다. gms의 경우 모래에 의한 입자 특성으로인해 점토층이 적은 모래갯벌을 형성하는 지역에서 나타나는 입자 분포형이다.

분류결과에서 gms의 gravel, mud, sand의 다양한 혼합 특성에 의해 영상의 분류 정확성은 30-40%의 분포 범위를 나타내고 있다. 하지만, 다중시점의 분류 결과는 비교적 일정한 사용자 정확성을 나타낸다. 이에 반해 Fig. 5의 생산자 정확성에서는 14.9% - 47.8%의 정확성 분포 범위를 나타내고 있어서 각 시기별 분류에 대한 오차가 다른 4개 클래스에 비해 크게 나타남을 알 수 있다.

클래스 4는 (g)M으로 slightly gravelly Mud인 지역이다. (g)M은 실트가 61% 클레이가 30%를 차지하는 지역으로 펄갯벌에서 나타나는 입자 분포형이다. 클래스 4는 사용자 정확성이 43%에서 52%의 범위를 나타냈는데, 클래스 3보다 높은 분류 정확성을 나타내고 있다. 특히, Fig. 4와 Fig. 5에서 클래스 4는 뚜렷한 시기별 분류 정확성의 차이를 보이는데, 생산자 정확성이 클래스 4에서

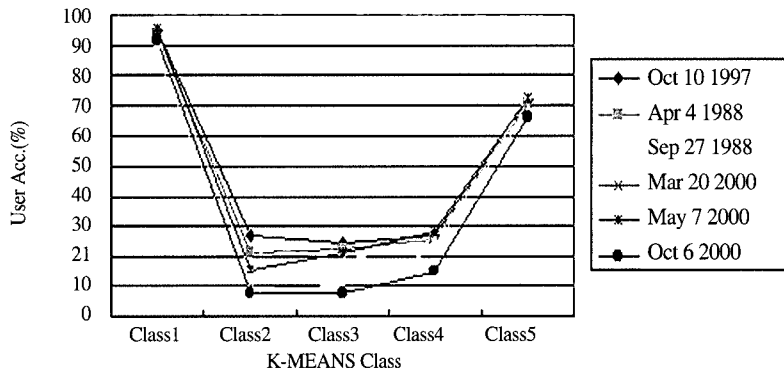


Fig. 6. Comparison of user's accuracy using ISODATA of multi-temporary data.

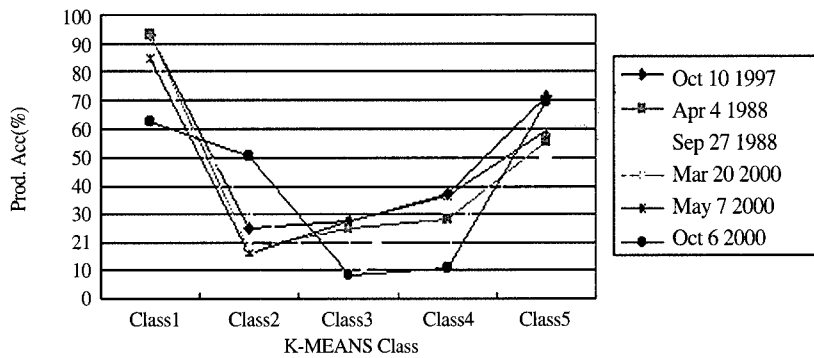


Fig. 7. Comparison of producer's accuracy using ISODATA of multi-temporary data.

26.3%부터 61.3%의 다양한 변화값을 나타내고 있어서 (g)M의 분류 특성이 참조자료 시기에 대한 변화가 크게 나타나는 것으로 판단된다. 반면에 사용자 정확성은 최소값 43%와 최대값 51.7%를 나타내어 대상지역의 분류는 잘 수행되었음을 알 수 있다.

클래스 5는 Mud의 분포를 나타내는 것으로 갯벌 입자 퇴적물의 80% 이상이 클레이로 구성된 입자 분포지역이다. M은 gM이나 (g)M과 Mud의 입자 특징을 잘 나타내는 펄갯벌이다. 클래스 5는 사용자 정확성에서 최소값 72%와 최대값 78%를 나타냈고, 생산자 정확성에서 최소값 65%와 최대값 75.2%를 나타냈다.

ISODATA 분류에 의한 클래스별 사용자 정확성과 생산자 정확성은 Fig. 6과 Fig. 7에 제시하였다. K-MEANS 방법에서 나타난 결과와 같이 클래스 1과 클래스 5는 다른 분류된 클래스에 비해 높은 정확성을 나타냈다. 특히, 사용자 정확성에서 클래스 2, 3, 4는 모두 30% 미만의 낮은 분류 정확도를 나타내었고, K-MEANS에서 클래스 3과 4가 30% 이상의 분류 정확성을 나타낸 것과는 대조적인 결과를 나타냈다.

생산자 정확성은 사용자 정확성 보다 낮은 분

류 결과를 나타내는데, 클래스 3과 4의 경우 20% 미만의 낮은 정확성을 보이고 있어서 클래스간의 분류 능력에 차이가 나타남을 확인하였다.

시기별 분류 결과의 차이는 2000년 10월 영상에서 해수의 구분과 클래스 2의 분류에 대한 결과가 생산자 정확성에서 크게 나타나는데, 참조자료로 사용된 1999년 5월의 분류결과에 대한 이러한 오차는 Fig. 8과 Fig. 9에서 제시한 갯벌 분포도에 의해 설명될 수 있다.

Fig. 8은 1999년 5월 TM 영상에서 추출한 갯벌의 공간적 분포를 벡터 지도화하여 제시한 것이며, Fig. 9는 2000년 10월 영상에서 추출된 갯벌의 공간적 분포이다. Fig. 8의 원으로 표현된 A와 B 지역을 Fig. 9에 사각형으로 표현된 A와 B 지역으로 비교하면, 해수와 갯벌의 공간적 분포에 차이가 나타남을 알 수 있다. Chen(1998)의 연구에서 수심이 낮은 이들 지역에서의 오차를 bottom reflectance에 의한 갯벌 분류의 오차로 설명하는데, 이러한 결과는 클래스별 입자 분포의 분류 정확도에 오차를 유발하게 되어 분류 정확도를 낮게 하는 원인으로 파악할 수 있다.

다중시기의 위성영상을 이용하여 갯벌의 공간적인 입자 분포도를 작성하기 위해 적용된 무감독

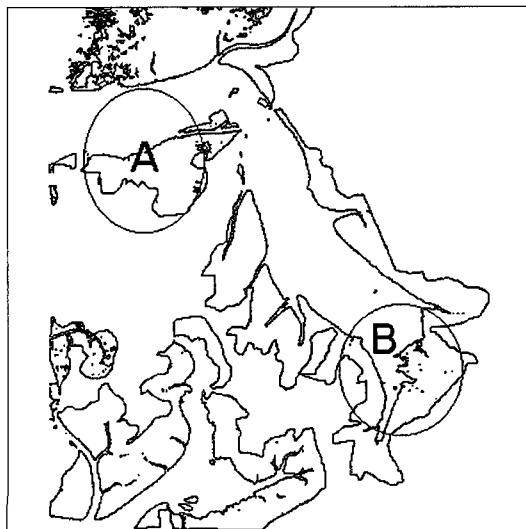


Fig. 8. Vector map of tidal flats in May 5, 1999.

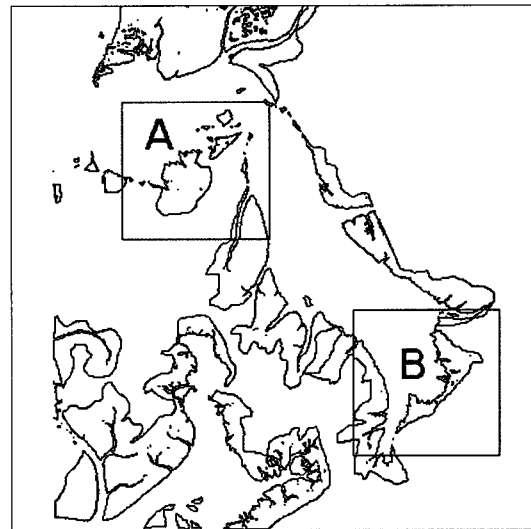


Fig. 9. Vector map of tidal flats in Oct 6, 2000.

분류기법은 갯벌 퇴적물 입자의 클래스별 구분에는 효과적인 결과를 획득하기 어렵지만, 육지부를 마스킹한 영상에서 해수와 Mud 지역을 잘 구분해 주고 있음이 파악되었다.

이러한 결과는 연구지역의 갯벌 입자가 갯벌의 표층입자조성에 의해 모래갯벌(sand flat), 펄갯벌(mud flat), 혼성갯벌(mixed flat)로 구분되는 우리나라 갯벌 입자 분포의 특성 중 펄갯벌에 속하는 지역이기 때문으로 판단된다.

갯벌의 퇴적물 조성은 해안의 물리적인 특성에 의해 좌우되기 때문에 해수의 유동이 심한 노출된 해안은 모래갯벌이 우세하고, 해면파로부터 보호된 만 내륙부는 펄갯벌이 우세하게 나타나기 때문에 함평만의 갯벌 입자 분포는 현장조사 자료와 같이 gms, gM, (g)M의 분포가 가장 넓은 영역으로 나타나고 있다.

Table 1의 1987년 10월부터 2000년 10월까지의 7개 영상에 대한 ISODATA 방법과 K-MEANS 방법의 적용은 무감독분류기법의 영상분류를 통한 갯벌 입자분포의 분류가 다양한 시기의 영상분류 결과에 적용 가능함을 판단할 수 있었다.

4. 결론

갯벌의 공간적 분포를 파악하고 갯벌의 표층입자에 대한 공간적인 분포를 파악하기 위해 본 연구에서는 다중시기의 위성영상을 무감독분류하여 표층입자 분포변화를 파악하였다. 특히, 현장관측 자료와 동일시기의 영상을 참조자료로 하여 분류 결과의 정확성을 평가하였고, 이를 다양한 시기의 분류된 영상에 적용하여 분류결과 오차를 해석하였다. 갯벌입자의 분류 정확도에서 오차가 낮은 입자분포형은 갯벌의 함수율, 지형특성, 세곡천의 유무와 같은 오차 요인에도 불구하고 장기적인 갯벌입자의 분포변화가 적은 공간적 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

본 연구의 갯벌입자 분포변화 결과와 향후 연구과제를 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 자갈, 모래, 실트(silt), 클레이(clay)의 조성 비율에 의해 구분한 현장조사의 퇴적물 구분에 기초하여 연구지역의 갯벌 표층입자를 M(Mud), (g)M(slightly gravelly Mud) gM(gravelly Mud), gms(gravelly mud Sand)로 구분하였으나, 함평만이 펄갯벌의 특성을 가지고 있어 표층입자 간의 특성을 구분하는 클래스별 분류의 정확도는 다중시기의 영상에서 40% 이하의 정확도를 나타냈다.

둘째, 본 연구에서 적용된 무감독 분류방법은 ISODATA 방법과 K-MEANS 방법으로 함평만의 경우 K-MEANS 분류방법이 86.58%, ISODATA 방법이 82.68%의 전체분류 정확도를 나타냈다. 또한, 무감독분류의 결과를 현장조사 자료와 검증하여 85%의 정확도를 얻었다.

셋째, 다중시기의 영상분류를 비교한 결과는 갯벌표층 입자분포의 시기적 변화와 갯벌의 공간적 분포를 파악하기 위한 연구에서 낮은 수심지역의 바닥 반사치를 고려할 수 있는 분류방법의 적용연구가 요구된다.

사 사

본 연구는 해양수산부 “갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구”와 남서울대학교 교내연구지원사업에 의해 수행되었으며, 해양연구원 재종길 박사님에게 감사드립니다.

참고문헌

조명희 외, 1999, 위성영상을 이용한 줄포만 간석지의 미지형분류와 지형적 특성, 대한원격탐사학회지, 15(3): 217-225.
해양수산부, 1999, 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구, pp.60-89.
Chen, L. C., 1998. Detection of shoreline changes for tideland areas using multi-temporal satellite

- images, *Int. J. Remote Sensing*, 19(17): 3383-3397.
- Folk, R. L., 1968. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill's, Austin, Texas, p.170.
- Ramsey, W. E., 1997. Comparison of Landsat TM and High Resolution Photography to identify change in complex coastal wetlands, *J. of coastal research*, 13(2): 281-292.
- Sader, A. A., 1995. Accuracy of Landsat TM and GIS rule-based methods for forest wetland classification in Maine, *Remote Sensing of Environment*, 53: 133-144.