

라이다와 광학영상을 이용한 토지피복분류 Land Cover Classification Using Lidar and Optical Image

조우석¹⁾ · 김유석²⁾ · 장휘정³⁾

Cho, Woo Sug · Kim, Yu Seok · Chang, Hwi Jung

Abstract

The advantage of the lidar data is in fast acquisition and process time as well as in high accuracy and high point density. However lidar data itself is difficult to classify the earth surface because lidar data is in the form of irregularly distributed point clouds. In this study, we investigated land cover classification using both lidar data and optical image through a supervised classification method. Firstly, we generated 1m grid DSM and DEM image and then nDSM was produced by using DSM and DEM. In addition, we had made intensity image using the intensity value of lidar data. As for optical images, the red, blue, green band of CCD image are used. Moreover, a NDVI image using a red band of the CCD image and infrared band of IKONOS image is generated. The experimental results showed that land cover classification with lidar data and optical image together could reach to the accuracy of 74.0%. To improve classification accuracy, we further performed re-classification of shadow area and water body as well as forest and building area. The final classification accuracy was 81.8%.

Keywords : LIDAR, Aerial CCD Image, Data fusion, Classification

초 록

라이다 데이터는 데이터 취득시간과 처리시간이 짧으며 높은 점밀도와 정확도를 가지고 있다. 그러나 광학영상과는 달리 3차원 형태의 비정규 점군의 형태이기 때문에 지표면에 대한 정확한 분류가 어렵다. 본 연구에서는 라이다 데이터와 광학영상을 동시에 이용해서 감독분류 기법을 통해 토지피복분류를 수행하였다. 먼저 라이다 데이터로부터 격자 크기가 1m인 DSM 영상과 DEM 영상을 제작하고 이를 이용하여 nDSM 영상을 제작하였다. 또한 라이다 데이터의 인텐시티(intensity) 정보를 이용해서 인텐시티 영상을 제작하였다. 광학영상의 입력데이터는 CCD 영상의 적색, 청색, 녹색 파장영역과 IKONOS 영상의 근적외선 파장영역이다. 그리고 CCD 영상의 적색광 파장영역을 이용해서 제작한 식생지수 영상이다. 광학영상과 라이다 데이터를 동시에 이용해서 토지피복분류를 수행한 결과 74%의 분류 정확도를 얻을 수 있었다. 추가적으로 그림자 지역의 재분류, 수계지역의 처리 그리고 숲과 건물의 오분류 수정 과정을 수행하여 최종적으로 81.8%의 분류 정확도를 얻을 수 있었다.

핵심어 : 라이다, 디지털 항공영상, 토지피복분류, 데이터 융합, 분류

1. 서 론

라이다(light detection and ranging) 시스템은 항공기에 탑재된 센서에서 레이저 펄스를 지표면에 주사하여 반사된 레이저파의 도달 시간을 측정해서 반사된 지표면의 3차원 위치좌표를 측정하는 시스템이다.

라이다 데이터를 이용한 연구는 다방면에서 이루어지고 있다. 라이다 데이터를 이용한 정사사진의 제작(김형태, 2002)뿐만 아니라 DTM의 제작(유환희 등, 2005)이 이루어지고 있다. 라이다 데이터를 이용한 수치지도의 건물 및 등고선레이어의 생성등에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다(이동천 등, 2005).

1) 정희원 · 인하대학교 토목공학과 부교수(E-mail:wcho@inha.ac.kr)

2) 연결저자 · 인하대학교 대학원 지리정보공학과 공학석사(E-mail:yudorian@nate.com)

3) 정희원 · 인하대학교 대학원 지리정보공학과 박사과정(E-mail:g2001330@inhavision.inha.ac.kr)

라이다 데이터를 이용해서 토지피복분류를 수행 할 경우 라이다 데이터의 원천적인 특징 때문에 정확한 분류가 불가능하다. 또한 광학영상만을 이용한 토지피복분류의 경우에도 지표면의 정확한 분류가 불가능하다. 본 연구에서는 라이다 데이터와 광학영상을 동시에 이용해서 토지 피복을 분류하고자 한다. 또한 동일 지역의 IKONOS 영상 중 적외선 파장영역을 함께 사용함으로써 토지피복의 분류정확도를 향상시키고자 한다.

라이다 데이터를 이용한 지표면의 분류에 관한 연구가 현재 활발히 진행 중이다. 이 중에서 Abdullatif Alhathy와 James Bethel(2002)은 라이다 데이터 분류 필터를 이용해서 3차원 객체를 추출하는 연구를 수행하였다. 최승식(2004)은 독일 지역의 라이다 데이터를 사용해서 ISPRS에서 제안한 필터에 대한 정성적인 평가와 정략적 평가를 수행하였다. Lai Xudong, Wan Youchuan(2005)은 라이다 데이터를 이용해서 제작한 인텐서티 영상에 대한 각종 필터링 알고리즘에 대해서 연구하였다. 라이다 데이터만을 이용할 경우 지표면의 정확한 분류가 어렵다는 것이 많은 연구를 통해서 발표되었다. 그 이유는 라이다 데이터는 점들의 군집으로 형성되기 때문에 이런 특성은 각 점들에 대한 토지피복의 분류를 어렵게 만든다. 이와 같은 라이다 데이터의 특징 때문에 보다 향상된 지표면 분류를 위해서 라이다 데이터와 광학영상의 융합, 즉 이종 센서들 간의 데이터 융합에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Norber Haala와 Claus Brenner(1999)는 다중분광 영상과 라이다 데이터를 통해서 제작된 DSM을 사용해서 건물과 나무의 분류를 수행하였다. Franz Rottemsteiner와 John Trinder(2004)는 다중분광 영상과 라이다 데이터를 Dempster-Shafer 알고리즘을 이용해서 데이터 융합을 해 주었다. 이와 같은 선행연구들을 바탕으로 해서 본 연구에서는 광학영상과 라이다 데이터를 동시에 이용해서 지표면의 분류를 수행하고자 한다.

본 연구는 크게 4단계로 이루어진다. 전처리(pre-processing) 및 초기 DEM(initial DEM) 제작은 라이다 데이터의 노이즈 제거와 초기 DEM을 제작하는 부분이다. 데이터 처리(data processing)는 라이다 데이터와 CCD 영상을 이용해서 분류의 입력데이터를 만드는 과정이다. 분류(classification)는 입력데이터를 바탕으로 지표면에 대한 분류를 수행하는 과정이다.

마지막으로 후처리(post-processing)는 분류 후 존재하는 오분류나 미분류 지역을 수정해 주는 과정이다. 그림

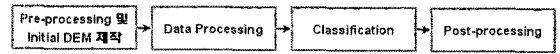


그림 1. 연구 흐름도

1은 본 연구의 연구과정을 보여준다.

2. 라이다데이터 및 영상 처리

2.1 라이다데이터 처리

2.1.1 노이즈 제거

라이다 시스템으로부터 취득된 데이터는 불규칙한 3차원 점 데이터로 이루어져있다. 이들을 효율적으로 처리하기 위해서는 점 데이터간의 인접관계를 규정해야 한다. 본 연구에서는 빠른 처리속도를 유지하면서 취득된 3차원 좌표 값을 보존하는 가상격자의 개념을 이용하여 점의 인접관계를 규정하였다(좌윤석, 2002).

라이다 데이터에 포함되어 있는 low-outlier와 high-outlier는 라이다 촬영 시 장비 및 주변환경의 영향으로 발생하는 두 가지 형태의 노이즈이다. Low-outlier는 실제보다 낮게 나오는 노이즈이고 High-outlier는 실제의 지형지물보다 높게 나오는 노이즈이다.

본 연구에서는 low-outlier와 high-outlier를 제거하기 위해서 가상격자의 높이차를 이용한 제거 방법을 이용하였다(정재욱, 2005). 이 방법은 우선 각각의 가상격자를 일정한 높이차이로 분할하고 히스토그램을 작성한다. 구간별로 해당 구간과 바로 위/아래 구간의 점 데이터의 빈도수를 비교한다. 3개의 구간의 점 데이터의 빈도수가 일정한 개수 이하이면 현재의 구간아래 구간은 노이즈로 판단한다. low-outlier 제거 시는 최저점을 high-outlier 제거 시는 최고점을 포함하는 구간을 시작으로 해서 위 과정을 반복함으로써 outlier들을 제거한다.

2.1.2 필터링

본 연구에서는 outlier가 제거된 라이다 데이터들을 지면점과 비지면 점으로 분리하는 과정을 필터링이라고 정의하였다. 필터링은 가로 방향, 세로 방향, 대각선 방향으로 이루어지며, 각 방향으로 인접한 점들 사이의 높이차가 기준 높이 이하이면 같은 속성을 가진 점들로 인식하여 하나의 세그먼트가 되고, 그 반대일 경우 새로운 세그먼트가 만들어 지게 된다(최승식, 2004).

필터링은 하나의 대상점과 진행방향으로 인접한 점들

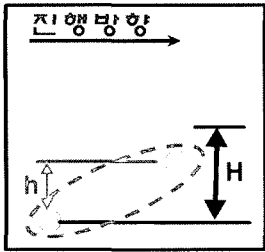


그림 2. 동일한 세그먼트

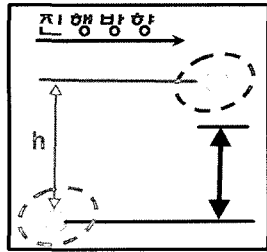


그림 3. 새로운 세그먼트

을 비교한다. 그림 2와 같이 계산된 높이차이(h)가 설정된 기준높이(H)보다 작으면 동일한 세그먼트가 된다. 만약 그 반대인 경우에는 그림 3과 같이 기준 높이(H)보다 크게 되면 새로운 세그먼트가 만들어진다.

2.1.3 라이다 데이터를 이용한 DSM, DEM, nDSM 제작

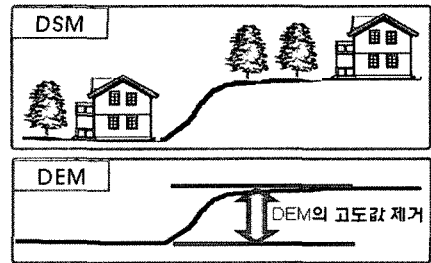
본 연구에서는 DSM(Digital Surface Model)을 지표면에 존재하는 모든 지형지물에 대한 고도값으로 정의하였다. 따라서 DSM은 원시 라이다 데이터에서 노이즈를 제거한 후 보간(interpolation)방법을 통해 정규 격자화된 자료이다.

DEM(Digital Elevation Model)이란, 지형의 고도값으로 지형의 형상 즉 인공지물과 자연지물이 제거된 자료이다. 본 연구에서는 원시 라이다 데이터에 대해서 노이즈를 제거 후에 지면점과 비지면점으로 분류된 상태에서 지면점 데이터를 보간해 줌으로서 초기 DEM을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 자료처리의 효율성을 고려하여 라이다 데이터를 8bit 영상으로 제작하였다. 따라서 DSM과 DEM은 모두 동일한 영상크기와 격자크기를 가지는 8bit 영상으로 제작되었다.

본 연구에서 사용한 nDSM(normalized Digital Surface Model)은 DSM의 고도값으로부터 DEM의 고도값의 차이를 나타내는 자료이다. 그림 4에서와 같이 전체적인 지표면의 지형지물을 가지는 DSM에서 지표면의 고도값을 가지는 DEM의 값을 빼주면 평평한 면에 나무나 건물과 같이 높이 값만을 가지는 특징적인 자료가 생성 된다. 본 연구에서는 제작된 DSM 영상에서 DEM 영상의 화소값을 제거해 주는 방식으로 nDSM 영상을 제작하였다.

2.1.4 라이다 인텐서티 영상제작

라이다의 인텐서티는 대상물체로부터 되돌아 오는 신호의 강도를 측정할 값으로서 라이다 시스템 제작업체에 따라서 인텐서티 측정범위는 다양하다. 라이다의 인텐서



▶ 대상물체의 바닥이 같은 고도에 위치함



그림 4. nDSM 개념도

티는 비행고도, 대기상태 및 대상물체의 반사방향 및 반사도 등 다양한 요인에 의하여 영향을 받는다. 인텐서티도 라이다 고도값과 비슷하게 노이즈를 갖고 있으며 이러한 노이즈는 대부분 건물의 옆면에서 반사되어 매우 높은 값을 가지고 있다. 본 연구에서는 원시 라이다의 인텐서티 중의 노이즈를 제거한 후 8bit 영상을 제작하였다.

2.2 영상처리

본 연구에 사용된 CCD 카메라는 Optech 사의 ALTM 4K02로서 프레임 카메라 형식을 취한다. ALTM 4K02의 특징은 다음과 같다.

표 1. ALTM 4K02 제원

Array size	4,092 x 4,079 pixels
Pixel size	0.009m
Filter array	color or color-IR
Lens	Zeiss Distagon 55.0m, 36°FOV
Shutter speed	1/125 ~ 1/4,000

식생지수영상은 CCD카메라의 적색광 영상과 IKONOS 영상의 근적외선 영상을 이용하여 제작한다. IKONOS 영상은 11bit 이고 CCD카메라의 적색광 영상은 8bit 이므로 IKONOS 영상을 8bit로 변환하여 식생지수영상을 제작한다.

식생지수는 정규 식생지수 $-1 \leq \text{식생지수} \leq 1$ 의 값을 가지며, 이들 범위의 값을 0~256범위의 화소값으로 변환하여 영상을 제작한다.

3. 토지피복분류 및 후처리

3.1 토지피복분류

본 연구에서는 nDSM 영상, 인텐시티 영상, 식생지수 영상 그리고 CCD의 칼라영상을 이용하여 토지피복분류를 실시하였다. 대상지역의 토지피복은 나무, 도로, 나대지, 수계, 초지, 건물, 그림자의 7개의 클래스를 감독분류 방법 중 최대우도분류를 이용해서 분류하였다.

그림 5는 분류 과정의 전체 흐름도이다. 이중 그림자 클래스의 경우에는 광학영상의 원천적인 특징 때문에 광학영상 촬영 시 항상 존재한다. 본 연구에서는 그림자를 하나의 클래스로 만들어 준 다음 후처리 과정을 통해서 일괄적으로 제거해 주었다.

3.2 후처리

3.2.1 숲의 분류 정확도 향상 방안

건물과 숲의 분류에 가장 큰 영향을 미치는 것은 nDSM이 제공하는 높이 정보와 근적외선 파장영역이 제공하는 식물에 대한 정보이다. nDSM과 근적외선 파장영역의 정보를 이용함으로써 건물과 나무의 분류가 가능하다. 그러나 일부 건물은 근적외선 파장영역에서도 높은 반사 특성을 보여주기 때문에 숲으로 오분류가 되는 현상이 발생한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서 제안하는 방법은 다음과 같다.

그림 6은 건물 내에 숲으로 오분류 되어있는 화소를 제거하는 알고리즘이다. 우선 분류된 영상에서 숲으로 분류된 화소들만을 추출한다. 그 뒤 3x3 윈도우를 적용하여서 숲으로 지정된 화소에 윈도우가 도착하면 주변의 8개의 화소를 검색한다. 이때 주변 8개의 화소 중 숲으로 지정되어있는 화소가 4개 이하이면 오분류로 결정하고 그 화

소를 제거 하게 된다.

nDSM 영상의 화소값은 높이값을 가지고 있는 건물 및 나무 그리고 그 외의 지형지물의 높이에 해당되는 값이다. 그림 7에서와 같이 nDSM영상에서 높이값이 3이상인 화소들만을 선택해 준다. 건물과 숲을 나누어주는 경계가 되는 값은 보통 3m이다. nDSM 영상에서 높이 값이 3이상인 화소만을 추출하면 이 화소값은 건물의 가능성이 높아진다.

따라서 nDSM에서 화소값들이 3이상인 화소들만을 추출하고 추출된 건물 후보 화소들과 오분류가 제거된 화소들을 비교한다. 만약 숲에 해당되는 화소의 위치에 건물에 해당되는 화소가 존재하면 이것들은 숲의 화소이기 때문에 숲으로 지정해 준다. 그림 8은 위와 같은 과정을 거쳐서 재분류 된 결과를 보여준다.

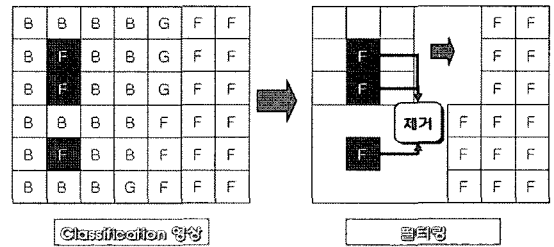


그림 6. 건물 내의 오분류 제거

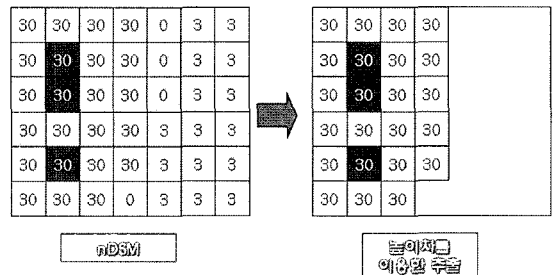


그림 7. nDSM 영상을 이용한 건물 추출

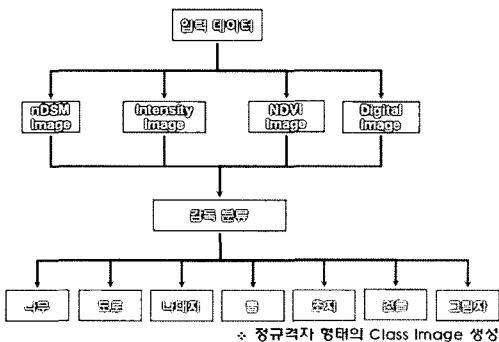


그림 5. 분류 과정 연구흐름도

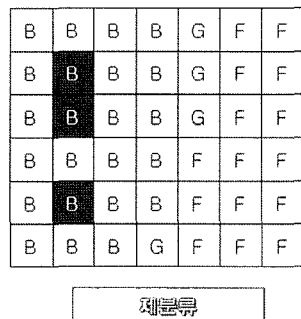


그림 8. 영상 재분류

3.2.2 수계지역의 재분류

수계지역을 결정해 주기 위해서 본 연구에서는 nDSM 영상과 적외선파장영역의 영상을 이용하였다. 수계의 경우 nDSM의 화소 값이 0과 적외선 파장영역의 화소 값이 0~10까지의 조건을 동시에 만족하는 화소를 찾아 재분류를 수행하였다.

3.2.3 그림자 영역의 재분류

광학영상을 이용하여 분류를 수행할 경우 그림자영역은 센서의 특성상 항상 존재하게 된다. 본 연구에서는 그림자 영역의 재분류를 통해서 보다 향상된 지표면의 분류를 수행하였다.

그림자영역의 재분류를 위해서 이용된 데이터는 라이다 인텐서티 영상이다. 라이다 데이터는 취득센서의 특징 때문에 그림자가 생기지 않는다. 광학영상에서는 그림자로 나타나는 지역이 인텐서티 영상에서는 그림자의 영향 없이 나타난다. 그림 9는 광학영상과 인텐서티 영상에서 그림자영역을 보여주고 있다. 왼쪽의 그림이 광학영상으로서 그림자가 나타난다. 오른쪽 그림은 동일지역에서의 인텐서티 영상이다. 인텐서티 영상에서는 그림자가 존재하지 않고 지표의 지형지물이 그대로 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 같은 인텐서티 영상의 특징을 이용해서 분류된 영상의 그림자 클래스를 재분류 해주었다.

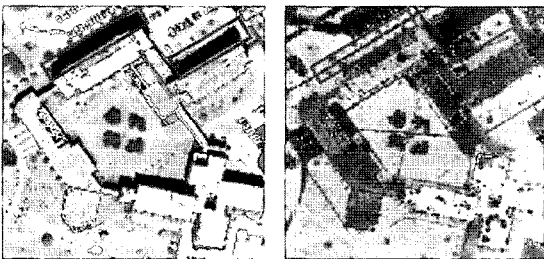


그림 9. 광학영상과 인텐서티 영상에서 그림자 영역 비교

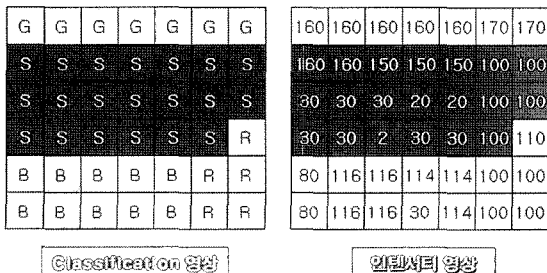


그림 10. 분류영상과 인텐서티 영상

그림 10에서 왼쪽의 분류된 영상에서 G는 잔디, S는 그림자, R은 도로, B는 건물로 분류된 것을 보여준다. 그림 10의 오른쪽은 그림자로 분류된 화소들과 같은 위치에 존재하는 인텐서티 영상을 보여준다. 인텐서티 영상에서 각 화소의 화소 값을 미리 준비한 지표면에 대한 인텐서티 강도 값과 비교하여 재분류를 시켜준다.

표 2는 연구지역에서 지표의 지형지물에 대한 인텐서티 값이다. 표 2와 같이 도로, 나대지, 잔디에 해당되는 인텐서티는 전체 감독분류의 결과 추출된 도로, 나대지, 잔디에 대한 인텐서티의 통계적인 값들로서 결정해 주었다. 인텐서티 반사 값은 촬영당시의 촬영고도, 촬영조건에 따라서 많은 영향을 받기 때문에 아래에 나온 값들은 다른 지역에 대한 인텐서티 값과는 다소 차이가 있을 수 있다. 표 2에 나타나 있는 인텐서티 반사 값과 그림자영역으로 분리된 화소들을 비교해서 새로운 분류 영상을 만들어 준다.

그림 11은 이와 같은 방법을 통해서 재분류 된 화소들을 보여준다.

4. 실험 및 결과

4.1 대상지역

본 연구에서는 전체 대전지역 중 일부의 관심지역만을 선별해서 실험을 수행하였다. 그림 12는 연구대상지역을 보여준다. 붉은 색으로 표시된 지역은 감독분류에 사용된 트레이닝(training) 지역이다.

표 2. 인텐서티 반사값

대상물	인텐서티 강도
도로	$0 \leq S < 50$
나대지	$50 \leq S < 130$
잔디	$130 \leq S < 256$

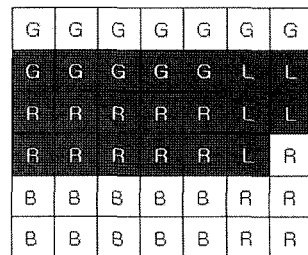


그림 11. 그림자 재분류



그림 12. 트레이닝 지역

4.2 광학영상을 이용한 분류

그림 13은 광학영상만을 이용한 분류 결과이다. 전체적인으로 건물에 대한 분류가 거의 이루어지지 않은 것을 알 수 있다. 그리고 수계의 분류 역시 미흡함을 알 수 있다. 잔디와 숲의 분류는 식생지수의 영향으로서 높은 분류 정확도를 나타냄을 알 수 있다. 그러나 그림자 지역이 거의 대부분 숲 지역으로 나오는 오분류 형태를 보여주고 있다.

4.3 라이다 데이터를 이용한 분류

그림 14는 라이다 데이터만을 이용한 분류의 결과이다. 분류 결과 건물의 분류는 광학영상을 이용한 분류의 결과 보다 뛰어나다는 것을 알 수 있다. 그러나 전체적인 분류

정확도가 낮음을 알 수 있다.

4.4 라이다 데이터와 광학영상을 이용한 분류

그림 15는 라이다 데이터와 광학영상을 이용한 분류의 결과영상이다. 광학영상만을 이용한 분류나 라이다 데이터만을 이용한 분류 영상과는 달리 전체적으로 정확한 분류가 이루어진 것을 확인 할 수 있다. 그러나 수계지역에 대한 분류가 전혀 이루어지고 있지 않다.

4.5 후처리를 적용한 분류

그림 16은 그림자영역과 수계, 건물의 오분류 수정후의 영상이다. 그림 16에서 보는 것과 같이 건물 내의 오분류 화소들이 상당수 제거된 것을 알 수 있다. 또한 라이다

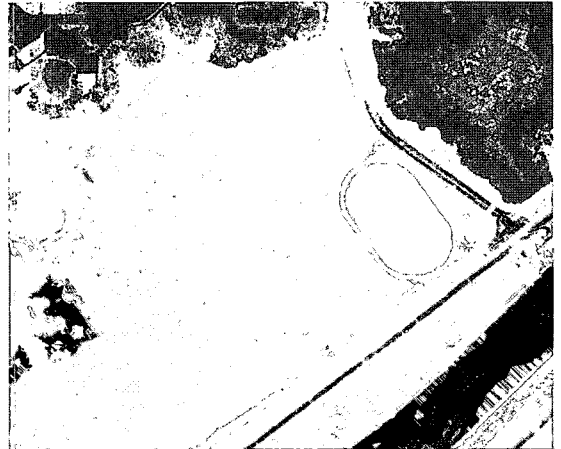


그림 14. 라이다 데이터를 이용한 분류

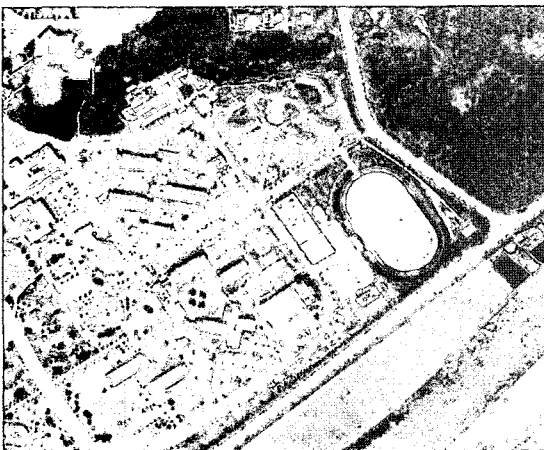


그림 13. CCD영상과 식생지수 영상을 이용한 분류 결과

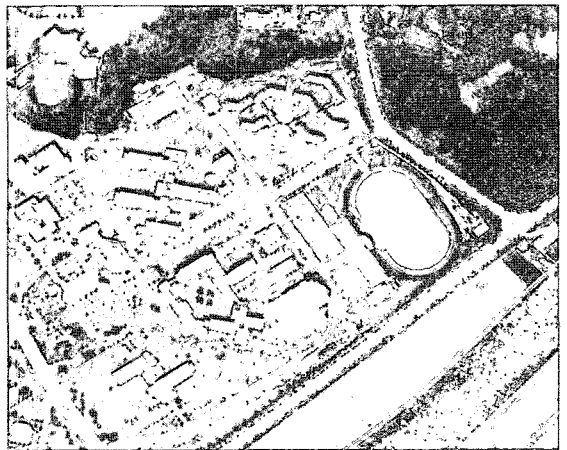


그림 15. 라이다 데이터와 광학영상을 이용한 분류

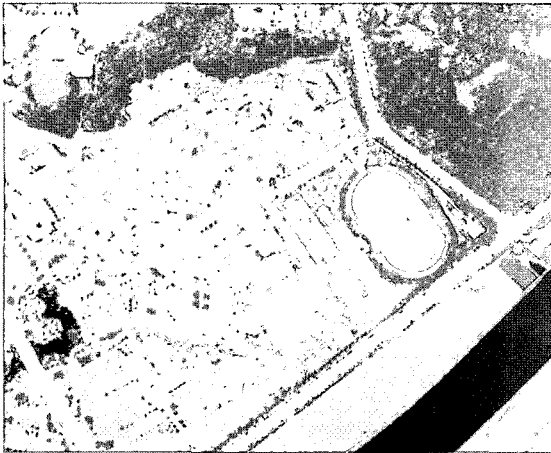


그림 16. 그림자영역과 수계, 건물의 오분류 수정 후 분류

데이터와 광학영상만을 이용해서 분류하였을 때 분류되지 않았던 수계영역이 수정되었음을 알 수 있다. 그리고 그림자 영역 역시 다른 새로운 클래스들로 변화되었음을 알 수 있다. 그러나 건물클래스 내에 숲 클래스가 존재하는 것을 확인 할 수 있다. 그림자 영역의 재분류 과정에서 인텐서티 데이터만을 이용한 단순 분류가 이루어졌기 때문에 오분류의 확률이 높다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구를 통해서 광학영상, CCD영상의 적색, 녹색, 청색 광 파장영역과 IKONOS영상의 근적외선 파장영역을 이용한 감독 분류의 결과 60.5%의 분류 정확도를 얻을 수 있었다. 또한 광학영상만을 이용해서 분류를 수행했을 경우 건물에 대한 정확도가 가장 낮았고 나대지에 대한 분류 정확도가 가장 높았다. 라이다 데이터만을 이용해서 감독결과를 수행한 결과 63.5%의 분류 정확도를 얻을 수 있다. 라이다 데이터를 이용한 분류의 결과 건물에 대한 분류 정확도가 가장 높다는 것을 알 수 있다. 반면에 나대지나 잔디와 같은 지형지물에 대한 분류 정확도는 낮다는 것을 확인하였다.

광학영상만을 이용하거나 라이다 데이터만을 이용한 분류의 결과 지표면을 이루는 모든 토지피복에 대해서는 정확한 분류가 부정확하다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 보완하기 위해서 광학영상과 라이다 데이터를 동시에 사용해서 감독 분류를 수행하였다. 광학영상과 라이다 데이터를 동시에 사용해서 토지피복 분류를 수행한 결과 74%의 분류 정확도를 획득하였다. 그러나 수계 영역

의 오분류, 건물과 숲의 오분류, 그림자 영역에 대한 문제가 여전히 존재하였다. 본 연구에서는 감독분류가 끝난 단계의 분류영상에 후처리 과정을 추가적으로 수행하여 보다 높은 정확도를 획득할 수 있었다. 분류 영상의 후처리단계까지 종료한 뒤 81.8%의 분류 정확도를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 광학영상과 라이다를 이용한 이중 센서 간의 융합이 이루어질 경우 토지피복분류에 향상된 결과를 제공할 수 있다는 것을 실험적으로 검증하였다.

감사의 글

본 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 김형태, 심용운, 박승룡, 김용일 (2002), LiDAR 데이터를 이용한 수치정사사진의 제작, 한국측량학회지, 제20권, 2호, 2002.
- 이동천, 염재홍 (2005), LiDAR 데이터를 이용한 수치지도의 건물 및 등고선 레이어 생성, 한국측량학회지, 제23권, 3호, pp. 313-322.
- 유환희, 김성삼, 정동기, 홍재민 (2005), LIDAR 자료를 이용한 DTM 생성 정확도 평가, 한국측량학회지, 제23권, 3호, pp. 261-272.
- 정재욱 (2005), LiDAR 데이터와 디지털 항공영상을 이용한 건물의 자동추출에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교.
- 좌운석 (2003), 항공 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 건물 자동추출에 관한 연구, 석사학위 논문, 인하대학교.
- 최승식 (2004), 항공 라이다 데이터 필터에 관한 연구, 석사학위 논문, 인하대학교.
- Alharthy A. and Bethel J. (2002), Heuristic filtering and 3D feature extraction from LiDAR data, ISPRS Comission III symposium.
- Brenner C. and Haala N. (1999), Extraction of building and trees in urban environments, *ISPRS Journal of photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 130-137.
- Franz R. and John T. and Simon C. and Kurt K. and Brian L. (2004), Building Detection by Dempster-Shafer Fusion of LiDAR Data and Multispectral Aerial Imagery, *Computer Society*, Vol. 2, pp. 339-342.
- Lai X. and Wan Y. (2005), The study of filter algorithm for Lidar intension image, IGASS 2005 Proceeding.
- Shan J. and Sampath A. (2005), Urban DEM Generation from Raw Lidar Data : A Labeling Algorithm and its Performance, *Photogrammetric Engineering & Remote Sansing*, Vol. 71, No. 02, pp. 217-226.

(접수일 2006. 3. 7, 심사일 2006. 3. 15, 심사완료일 2006. 3. 22)