

## 다중분광영상과 LIDAR자료를 이용한 농업지역 토지피복 분류

장재동†

Laval 대학교 Geomatics 학과

### Rural Land Cover Classification using Multispectral Image and LIDAR Data

Jae-Dong Jang<sup>†</sup>

Department of Geomatics Sciences, Laval University, Quebec, Canada

**Abstract :** The accuracy of rural land cover using airborne multispectral images and LIDAR (Light Detection And Ranging) data was analyzed. Multispectral image consists of three bands in green, red and near infrared. Intensity image was derived from the first returns of LIDAR, and vegetation height image was calculated by difference between elevation of the first returns and DEM (Digital Elevation Model) derived from the last returns of LIDAR. Using maximum likelihood classification method, three bands of multispectral images, LIDAR vegetation height image, and intensity image were employed for land cover classification. Overall accuracy of classification using all the five images was improved to 85.6 % about 10 % higher than that using only the three bands of multispectral images. The classification accuracy of rural land cover map using multispectral images and LIDAR images, was improved with clear difference between heights of different crops and between heights of crop and tree by LIDAR data and use of LIDAR intensity for land cover classification.

**Key Words :** Land cover map, multispectral image, LIDAR, Vegetation height, LIDAR intensity, Maximum likelihood method.

**요약 :** 본 연구에서는 항공 관측으로 얻어진 다중분광영상과 LIDAR (Light Detection And Ranging) 자료를 이용하여 농업지역의 토지피복 분류 정도를 분석하였다. 다중분광영상은 녹색, 적색, 근적외역의 3 분광으로 이루어져 있다. LIDAR 벡터 자료로부터 최초 반사강도 영상과 최초 반사 표고 자료와 최후 반사의 지상 표고 자료의 차이로 산출된 식생 높이 영상이 얻어졌다. 토지피복 분류 방법은 최대우도법을 사용했으며, 다중분광영상의 3밴드 영상, LIDAR의 반사강도 영상, 식생 높이 영상을 이용하였다. 모든 영상을 이용한 토지피복 분류의 전체 정도는 85.6%로 다중분광영상만을 이용한 정도보다 10%이상 향상되었다. 여러 농작물간의 높이의 차이, 수목과 농작물 높이의 차이와 LIDAR 반사강도 차이로 인하여 다중분광영상과 LIDAR 영상을 사용한 토지피복 분류의 정도가 향상되었다.

2006년 2월 22일 접수 ; 2006년 4월 8일 수리.

† 교신저자: 장재동(jaedong\_jang@hotmail.com)

## 1. 서론

토지피복 분류는 식생자원의 통계나 변화를 파악하여, 미래의 식생 자원 관리와 활용 계획 설정에 판단 자료로 활용된다. 나아가서는 환경 보호와 기후 변화를 예방하기 위하여 중요한 기초자료로써 활용될 수 있다.

토지피복도는 일반적으로 위성이나 항공기로부터 얻어진 다중분광영상을 이용하여 작성되었다. 또한 다양한 다중분광영상은 공간 해상도에 따라서 토지피복도의 목적을 달리하였다. Hansen *et al.* (2000)은 저해상도 위성 센서인 NOAA-AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very High Resolution Radiometer)의 다중분광영상을 이용하여 전지구 토지피복도를 작성하였다. 중해상도 위성 Landsat ETM+ 영상은 산림지역의 수목 종류 파악 (Reese *et al.*, 2002)과 농업지역의 경작지 분류에 활용되었다(South *et al.*, 2004). 고해상도 위성 IKONOS와 QuickBird 영상은 개별 수목의 구조를 파악하는데 활용되었으며(Wang *et al.*, 2004), 도심 지역의 토지피복도 작성에도 이용되었다(Herold *et al.*, 2004).

항공기로부터 얻어진 다중분광영상은 지상으로부터의 관측높이가 위성보다 훨씬 낮아 대기의 잡음을 최소화할 수 있고, 관측자의 의지에 따라 능동적으로 관측시각을 정할 수 있다. 항공 다중분광영상은 농작물의 잎의 반사도 분석과 식생지수를 이용하여 작황 상태 파악과 산림지역에서 수목의 개체수와 개체 넓이를 조사하는데 활용되었다(King *et al.*, 2005; Zarco-Tejada *et al.*, 2005).

원격 탐사로 얻어진 다중분광영상은 지상의 2차원적인 정보만을 얻을 수 있는데 비하여, 비교적 최근에 개발된 LIDAR (Light Detection And Ranging)는 지상 물체의 3차원 정보를 얻을 수 있다. 지리정보 응용에 있어서, LIDAR를 항공기에 탑재하여 지상의 지표 고도나 수층의 수심을 관측할 수 있다(Axelsson, 1999; Wozencraft, 2001; Zhang *et al.*, 2003). LIDAR를 이용하여 산림 관측에서 수목의 높이와 크기를 관측할 수 있다 (Holmgren and Persson, 2004; Nilsson, 1996). 또한 LIDAR와 다중분광영상을 접목하여 산림 자원 분류와 조사에 이용되었다(Koukoulas and Blackburn, 2005; Leckie *et al.*, 2003). LIDAR 자료는 지상 물체의 3차원 구조

정보를 제공하므로써 도심지역, 산림지역뿐만 아니라 농업지역의 키가 낮은 작물의 토지피복도 작성에도 유용한 정보가 될 것이다.

본 논문의 목적은 항공기로부터 얻어진 다중분광영상과 LIDAR관측 자료를 이용하여 농업지역 토지피복도의 정확도를 비교하였다. 농업지역 작물의 높이는 수목이나 건물에 비해 상대적으로 아주 낮은 경우가 많다. 이러한 섬세한 식생의 높이를 얻기 위하여 LIDAR 자료를 지상자료와 비지상자료로 분류하는 방법에 대하여 고찰하였다. LIDAR 벡터 자료는 영상자료와의 접목을 위하여 동일 격자자료형으로 변환되었다. 토지 분류방법은 최대우도법이 적용되었으며, 다중분광영상 자료와 변환된 LIDAR 영상 자료로 이루어진 다양한 조합을 적용하여 토지피복분류의 정도를 분석하였다.

## 2. 연구지역 및 자료

본 연구를 위한 관측 지역은 캐나다 퀘벡주 퀘벡시에서 생로랑강 하구방향으로 127km에 위치하며 강의 남쪽에 접한 카무라스가 농업지역이다(Fig. 1). 이 농업지역은 대부분 옥수수, 보리, 감자 등을 재배하는 농지, 부분적으로 숲과 거주지 등으로 이루어져 있다. 이 지역의 지형적 경사도는 내륙에서 강쪽으로 대체적으로 1/266의 아주 완만한 낮아지는 경사를 이루고 숲을 중심으로 6/100의 경사를 가진다. 본 실험에 사용된 연구 지역은 1612×1749m의 2.8km<sup>2</sup> 면적을 가지며, 본 연구지역내에 보리(Barley, 높이: 1m), 감자(Potato, 60-100cm), 밀(Wheat, 1m), 귀리(Oat, 30-100cm), 가축 사료를 위한 목초 경작지(Hay, 50cm)와 산림(Forest), 도로(Road), 인공 건축물(Building) 등을 포함한다.

토지피복 분류에 사용될 훈련집단과 참조집단 등의 검증 자료 구축을 위해서, 연구지역을 대각선으로 가로 지르는 도로를 따라서 좌우측의 농작물 종류를 확인 및 선택하였다. 농작물의 분류대상은 감자, 귀리, 밀, 보리, 목초지와 재배된 목초지를 선정했으며, 산림지역, 아스팔트 도로, 인공 건축물을 분류 대상으로 추가시켜 모두 9개 분류항목을 선택하였다. 관측된 분류대상 자료 중 임의로 선택된 10%만을 훈련 집단으로 활용되었고, 나머지는 참조집단 자료로 이용되었다.

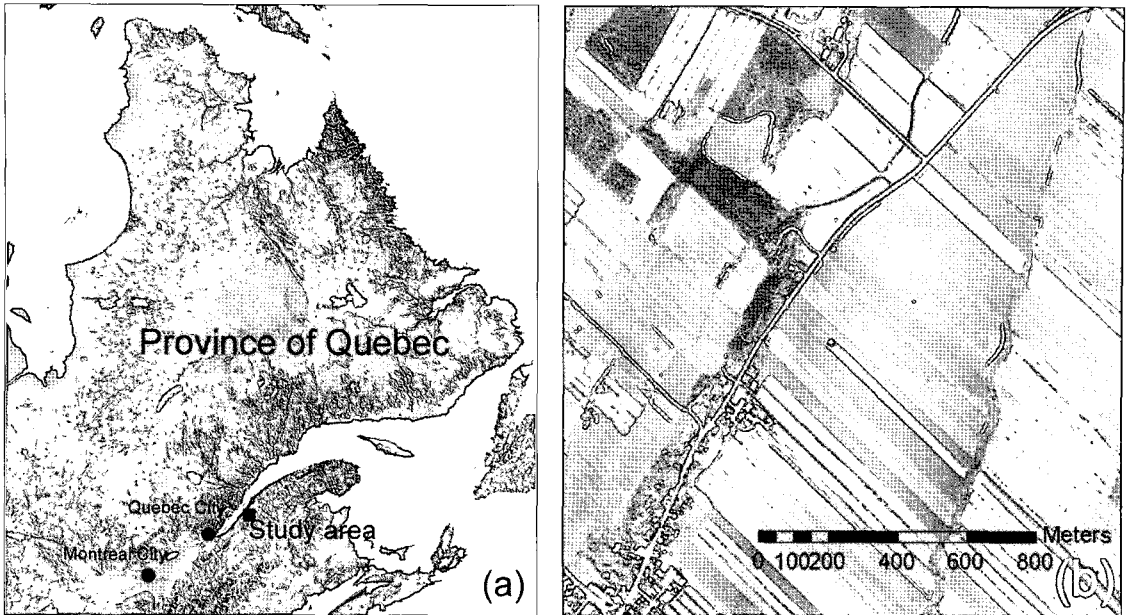


Fig. 1. Location of study area in the Province of Quebec, Canada (a) and study area in grey image with a scale bar (b).

연구지역 관측은 2003년 8월 20일, 항공기에 Duncan-Tech MS4100 (MS4100) 다중분광 카메라와 Optech 사 ALTM2050 (Airborne Laser Terrain Mapper 2050)의 LIDAR를 동시에 탑재하여 비행 고도 1000m에서 다중분광영상 촬영과 LIDAR 벡터 자료 수집을 수행하였다. MS4100 카메라는 1920×1080 화소수와 8비트의 디지털 크기를 가진 3개의 CCD를 갖추고 있다. 14mm 렌즈를 사용하여 60°×33.75°의 FOV (Field Of View)를 가진다. 사용자의 선택에 따라서, 청색(400-500 nm), 녹색(510-600 nm), 적색(620-700 nm)의 3분광 영상이나, 녹색, 적색, 근적외(760-850 nm)의 3분광 영상을 선택할 수 있다. 이 관측에서는 식생의 분광 특성을 파악하기위해서 식생의 반사도가 가장 높은 근적외역과 역으로 반사도가 가장 낮은 적색을 포함하는 녹색, 적색, 근적외 3분광을 선택하였다. 연구 지역의 다중분광영상은 5개의 비행궤도상 42개의 개별 영상을 모자이크하여 작성되었다. 모자이크된 단일 영상은 Lidar자료로부터 변환된 반사강도 영상 (3장에서 설명)을 이용하여 기하보정되었다. 1000m 고도에서 촬영된 다중분광영상의 각 화소 공간해상도는 55cm로 결정되었다.

ALTM2050 (Airborne Laser Terrain Mapper 2050) LIDAR는 2000m까지 관측고도를 가지고, 초당

50000개의 3차원 벡터 자료를 수집할 수 있다. LIDAR의 관측 방법은 근적외역(1064nm)의 레이저 빛을 비행 방향의 좌우로 회전하는 거울에 반사시켜 지표면에 방사한다. 지표면으로부터 반사된 빛의 왕복시간에 비행 고도를 보정하여 반사된 빛의 지표면 상의 위치와 고도를 계산한다. 또한 항공기의 위치와 자세를 측정하고 보정하기위해 GPS/INS (Global Positioning System/Inertial Navigation System)가 함께 장착되어 있다. LIDAR 자료는 수평적으로 15cm와 수직적으로 25cm의 최대 오차를 가진다.

### 3. LIDAR자료의 분류와 변환

ALTM2050 LIDAR로부터 얻어진 원시 벡터 자료는 단일 방사에 대해서 지표면에 의한 최초 반사와 최후 반사 자료로 두개의 자료가 얻어지며, 각 자료는 지상의 수평적 위치, 고도, 반사강도로 이루어져 있다. 우선 DEM (Digital Elevation Model) 작성을 위해서 LIDAR의 최후반사 자료만 사용되었다. 그리고 다중분광영상과 중첩을 위해서 동일격자 자료로 변환되었다.

LIDAR 자료를 이용한 DEM작성은 원시 LIDAR 벡터 자료를 지표면 자료와 비 지표면 자료로 분류하여,

지표면 자료만을 이용하여 DEM을 작성하는 것이다. LIDAR 자료를 구분하는 방법은 관측 시간으로 나열된 자료를 임의의 이동창(moving window)에서 최소값을 구하여, 그 최소값에서 임의의 임계치보다 큰 비 지표면 자료를 제거하는 것이다(Axelsson, 1999). 또한 관측된 모든 LIDAR 자료를 2차원 배열로 재 정렬하여, 선형적 또는 2차원 임의의 이동창을 적용하여 비 지표면 자료를 제거할 수도 있다(Kilian *et al.*, 1996; Zhang *et al.*, 2003). 하지만 LIDAR 자료 분류에 있어서 적용되는 이동창의 크기가 지역의 특성에 따라 달리 적용되어지므로 완벽한 크기가 존재하지 않는다 (Zhang *et al.*, 2003). 사용된 LIDAR 자료는 LIDAR 관측 및 자료 처리회사인 Lasermap Inc.에 의해 수집되고 초기 가공되었다. 이 과정에서 LIDAR의 관측시간을 얻을 수 없었다. 따라서 LIDAR 자료 분류 방법은 자료를 2차원 배열로 재정렬한 후 2차원의 임의의 이동창을 적용하는 방법을 채택하였다. Fig. 2는 최후 반사의 LIDAR 자료의 지상 위치를 나타낸다.

연구지역 내의 모든 최후반사 자료는 3,934,544개가 얻어졌다. 개별 자료간의 공간적 거리는 수 cm에서 최대 2m에 달하였다. LIDAR 자료를 2차원 자료로 변환하기 위해 1m단위의 빈 격자를 구축하였다. 그리고 모든 자료를 위치에 따라 가장 가까운 그 격자에 대입시켰

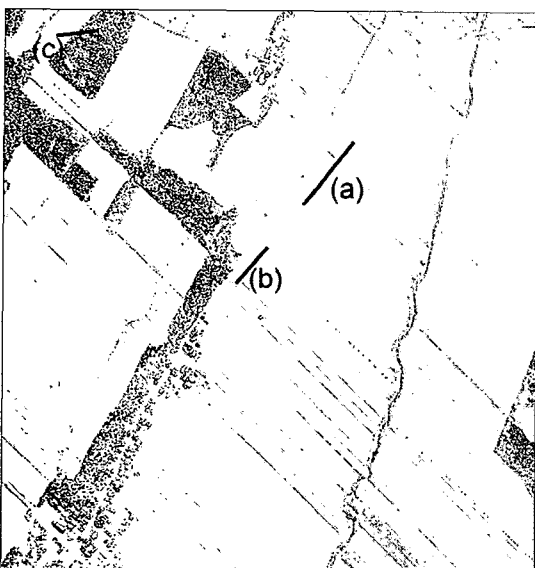


Fig. 2. Shaded LIDAR image of last returns for the study area. LIDAR data for line (a), (b) and (c) are shown in Fig. 3.

다. 한 격자에 여러 개의 자료가 대입될 경우 지표면과 가장 근접하다고 할 수 있는 최소값을 취했으며, 자료 대입 후에도 빈 격자는 보간을 하여 자료를 삽입하였다. 이 방법으로 2차원 배열로 변환된 LIDAR 자료는 항공 영상과 같은 형태를 지닌다. Fig. 2는 2차원 배열로 변환된 LIDAR 영상을 3차원적 음영 그림으로 제시하였다.

LIDAR 자료 분류를 위한 이동창 크기와 임계치 설정을 위해서, 다양한 지역의 LIDAR 표고 자료를 분석하였다. Fig. 3은 LIDAR 표고 영상에서 임의의 한 지점에 다른 한 지점간의 가로지르는 선에 포함되는 각 화소를 선형으로 배열한 것이다. 표고 값은 타종 작물 간에 형성되어 있는 고랑에서 최소값을 나타내고 있다. 작물별로 높이를 보면, 목초지는 고랑에서 부터의 높이가 최대 1m에 달하고, 재배된 목초지는 50cm이하이다. 귀리는 높이의 변동이 많으며 65cm 정도이며, 보리는 높이 변화가 적으며 최대 1.5m에 달한다. 감자는 높이의 변화가 다양하며 최고 50cm 정도이다. 밀은 보리와 같이 높이 변화가 적으며 최고 1m 정도이다. 각 작물 밭의 넓이는 최대 50m를 가진다.

LIDAR 표고 자료의 선형적 분포에 따라서, 산림지역은 이웃하거나 근접한 자료 간의 표고차이가 크고, 농작물 지역에서는 상대적으로 표고 차이가 아주 작았다. 표고 자료 변화도를 분석하기 위해 각 화소별로 표고 변화 계산하였다. 표고 변화는 각 화소를 중심으로 3×3 화소수 창 내의 9개 표고 자료에서 최대값과 최소값을 구하여 그 차이를 그 중심화소에 대입하는 것으로 구해졌다(Charaniya *et al.*, 2004).

농작물의 표고 변화는 최대 1.5m에 해당하고, 그 이상의 변화는 산림지역이나 주거 지역의 건물 주변에서 나타났다. 또한 연구지역의 농작물 지역에서의 지표 고도 변화는 1/50 이내에 해당하였다. LIDAR 자료의 분류는 산림지역과 주거지역에 해당하는 표고 변화 영상에서 표고 변화도가 2m이상일 때는 25m 이동창과 50cm 임계치를 적용하고, 농작물 지역에 해당하는 표고 변화도가 2m 미만일 때 50m 이동창과 1m 임계치를 적용하였다. 이와 같은 방법으로 1m 격자 지상 표고 영상에서 비 지표면 화소를 모두 제거한 후에, 역거리 가중함수(Inverse distance weighting, Shepard, 1968)를 이용한 보간을 하여 지상 표고 영상을 제작하였다.

지상 표고 영상을 이용하여 원시 LIDAR 최후 반사

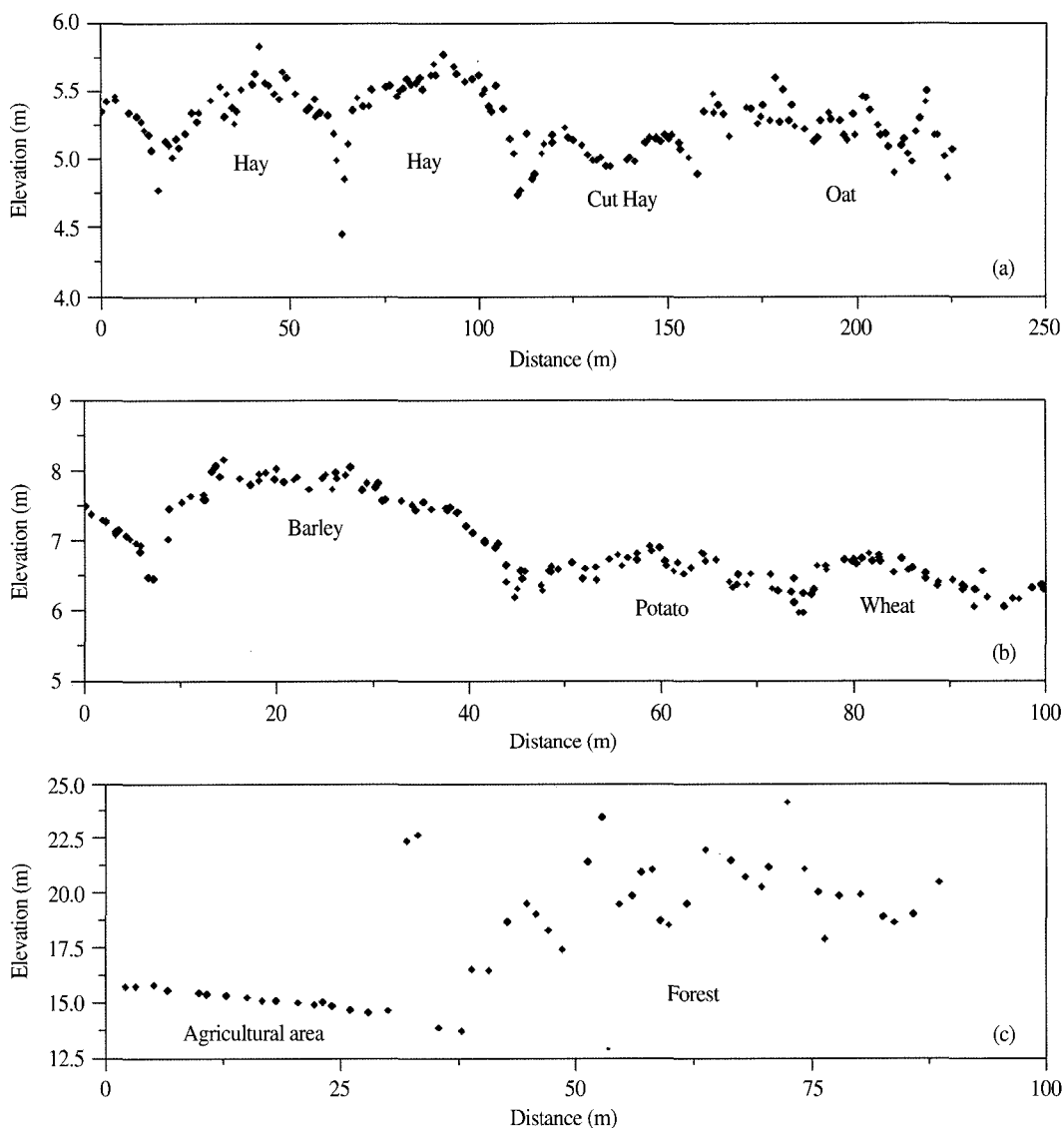


Fig. 3. Lidar spots on lines in different plots of agricultural area (a) and (b), and forest area (c).

자료를 지표면 자료와 비 지표면 자료로 분류하였다. 최  
후 반사 자료가 지상 표고 영상에서 같은 위치일 때, 그  
차이가 25cm 이내 이면 지표면 자료로, 그 이상이면 비  
지표면 자료로 분류하였다. 다중분광영상은 각 화소의  
크기가 55cm를 가진다. 따라서, 분류된 지상 표고 자  
료, 최초 반사 표고와 반사강도 자료를 55cm 화소 크기  
의 격자 영상으로 변환하였다. 연구 지역의 반사강도와  
분류된 지상 표고 영상을 Fig. 4에 제시하였고, 연구 지

역 중 산림지역과 인공 건축물 등이 나타나 있는 일부  
지역에 대해서 분류 전과 후의 LIDAR 자료를 영상으로  
변환하여 Fig. 5에 확대 제시하였다. Fig. 5에서 산림지  
역의 수목, 농가의 인공 건축물, 단일 수목 등이 제거되  
어 정확한 지상 표고 자료가 산출되었다. 토지피복 분류  
를 위한 식생 높이 영상은 최초 반사 표고 영상과 지상  
표고 영상의 차이를 구하여 얻어졌다. 식생 높이 영상으  
로부터 농작물, 건축물, 수목의 높이를 얻을 수 있다.

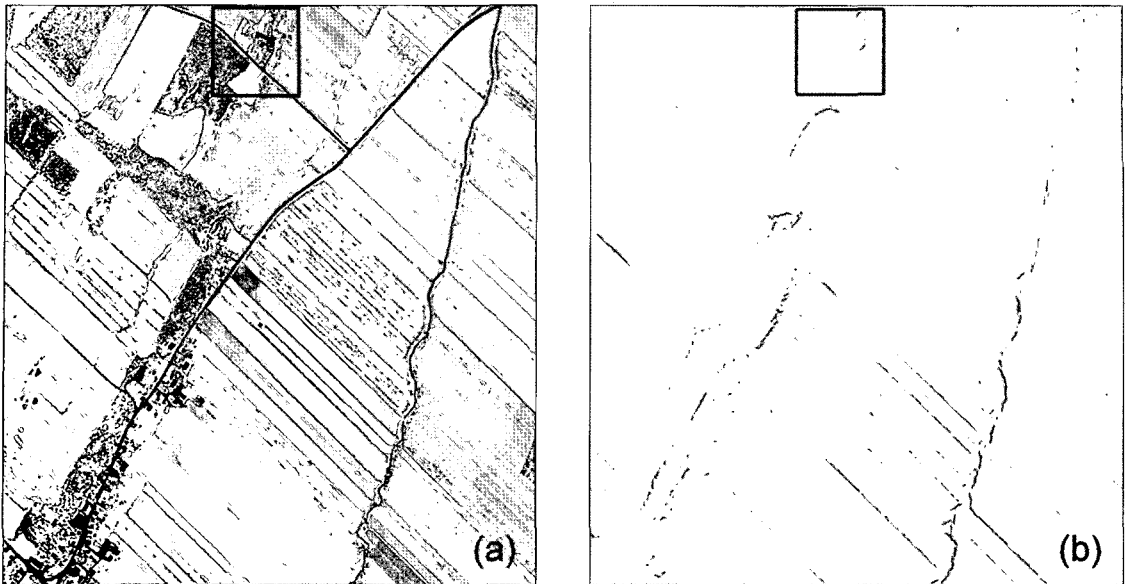


Fig. 4. LIDAR intensity image (a) and Shaded relief image (b) of classified ground spots for the study area. The bold square box in (a) and (b) is a sub region shown in Fig. 5.

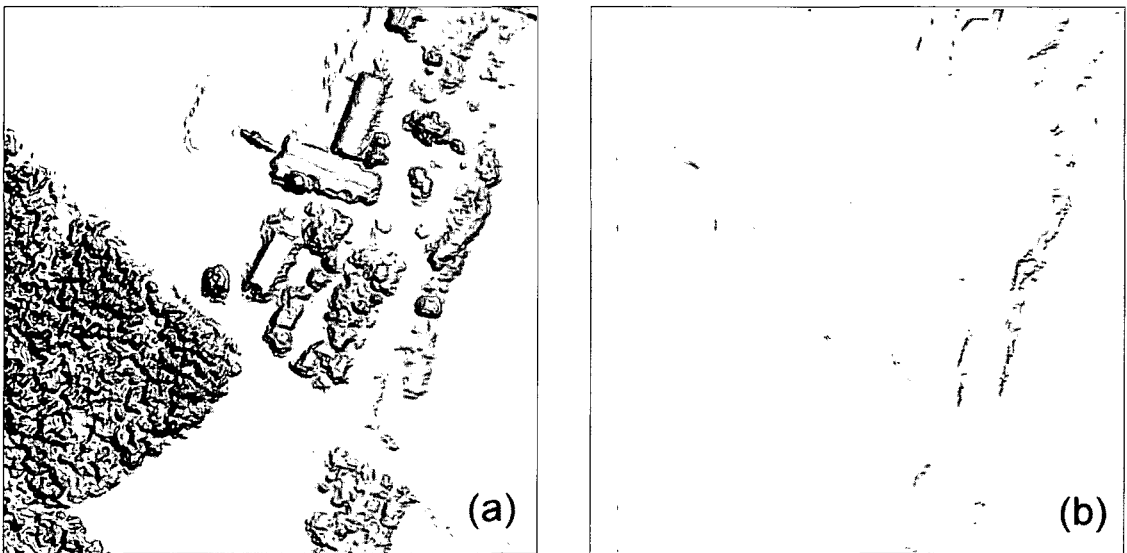


Fig. 5. Shaded relief images from unclassified (a) and classified (b) LIDAR data in the same area.

#### 4. 토지피복 분류

토지피복 분류를 위해서, 사용된 자료는 다중분광영상의 3개 밴드, LIDAR 반사강도 영상, 식생 높이 영상이 이용되었다. 분류 방법은 최대우도법(Maximum Likelihood Classification)을 이용하였다. 최대우도법에 활용된 훈련집단과 참조집단 자료의 각 항목은 감자(검증

자료의 화소수: 282,206), 귀리(236,891), 밀(606,174), 보리(229,467), 목초지(750,093)와 재배된 목초지(672,689)를 선정했으며, 산림지역(583,322), 아스팔트 도로(47,022), 인공 건축물(22,185)이며, 선택된 9개 항목의 검증 자료를 수치지도로 Fig. 6(a)에 제시하였다.

LIDAR 자료의 토지피복 분류에 대한 공현도 분석과 다중분광영상과 LIDAR 자료를 이용한 토지피복 분류 정

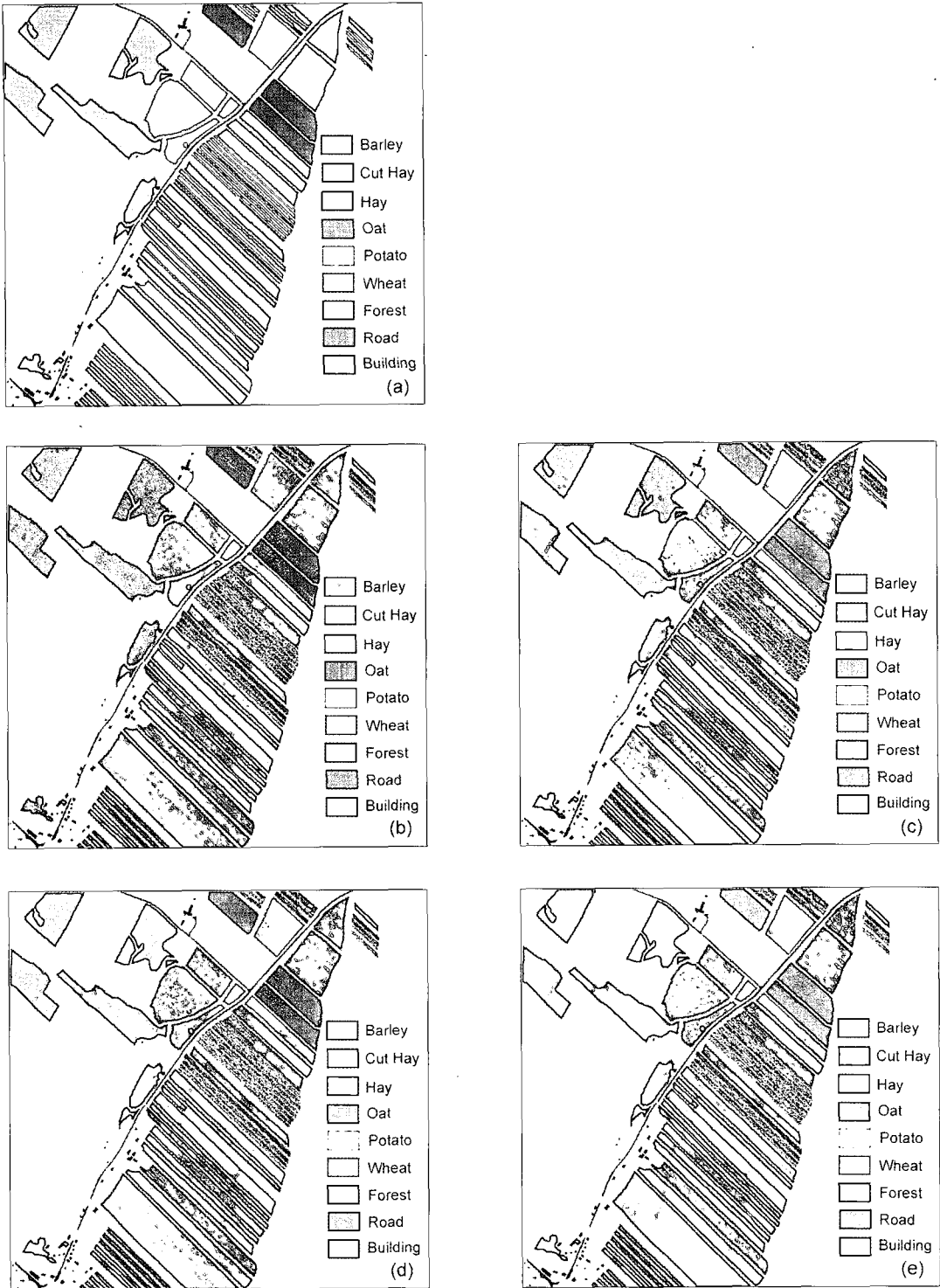


Fig. 6. Image of reference data for maximum likelihood classification (a) and land cover classifications using different combination inputs three bands of multispectral image (b), three bands of multispectral image and LIDAR intensity image (c), three bands of multispectral image and LIDAR vegetation height image (d), and three bands of multispectral image, LIDAR intensity image and vegetation height image (e).

도를 조사하기 위해, 본 연구에서 토지피복 분류는 3개의 다중분광영상과 LIDAR의 반사강도 영상과 식생 높이 영상의 4가지 조합에 최대우도법을 적용하여 실행되었다. 4가지 조합은 우선 3개 다중분광영상의 조합(MS123), 다중분광영상과 LIDAR 반사강도 영상(MS123\_INT), 다중분광영상과 LIDAR 식생 높이 영상(MS123\_VH), 5개의 모든 영상(MS123\_INT\_VH)으로 이루어진다. 토지피복 분류를 위한 최대우도법 적용은 ENVI 4.0을 이용하였고, 적용된 훈련집단은 전체 검증 자료에서 임의로 선택된 10%를 적용하였다.

토지피복 분류의 정도는 검증 자료 중 참조집단 자료를 이용하여 평가되었다. 분류 정도는 각 분류 항목의 생산자 정도와 사용자 정도 평가 및 Kappa 통계와 전체 정도(Overall accuracy)를 평가하였다(Story and Congalton, 1986). 다중분광영상과 LIDAR 영상의 4가지 조합을 이용하여 분류의 정도 결과를 Table 1에 제시하였다. 또한 Fig. 6(b,c,d,e)에 4가지 조합의 자료를 이용한 토지피복도를 나타내었다.

Table 1에 나타난 통계 결과와 같이 다중분광영상만을 이용한 토지피복 분류의 정도 보다 LIDAR를 함께 이용한 토지피복 분류의 정도가 더 향상되었음을 보여줬다. 특히 다중분광영상의 3밴드와 LIDAR의 두 영상 모두를 이용한 토지피복 분류의 전체 정도는 85.6%(Kappa: 82%)로 다중분광영상만을 이용한 74.8%(Kappa: 70%)보다 10%(Kappa: 12%)이상 향상되었다. 농업지역의

결과에서 특정 항목이 다른 검증 항목 자료에서도 나타나는 수행오차(commission error)에 의해 사용자 정도가 낮게 나타났으며, 특히 다중분광영상만을 이용한 결과에서 더욱 낮았다. 산림지역에서는 특정 항목 내에 다른 항목도 나타나는 생략오류(omission error)에 의해 생산자 정도가 다중분광영상만을 이용한 분류의 결과에서 낮게 나타났으나, LIDAR의 식생 높이 영상을 함께 이용한 분류에서 높게 나타났다. 분류결과에서 다른 항목에 비해 밀의 정도가 현저하게 낮게 나타났다. 항공관측 당시에 밀 경작지는 부분적으로 재배되었거나 재배가 진행되고 있는 상황이었다. 따라서 밀의 높이가 다양하게 관측되어 밀 경작지는 부분적으로 재배된 목초지 항목으로 분류되었다. LIDAR의 식생 높이 영상은 산림 지역 수목과 농업지역 농작물의 높이 차이와 여러 농작물 간의 높이 차이를 명확히 구분시켰고, LIDAR 반사강도 영상은 식생의 종류에 따라 다른 반사강도를 나타내어 토지피복 분류 정도를 향상시켰다. LIDAR 자료는 지표 고도 측정을 위한 자연광의 반사 복사 측정이 아닌 능동적으로 광원을 방사하여 지표면으로부터 반사된 광원을 측정하는 센서이다. 따라서 LIDAR 반사강도 영상은 다중분광영상의 적외역 영상과는 지표면에 대해서 다른 정보를 산출한다. 또한 LIDAR 다중 반사 표고 자료로부터 얻어진 3차원적인 정보는 식생의 형태와 높이를 반영하였다. 따라서 수동적 디지털 카메라에 의해 얻어진 다중분광영상과 함께 LIDAR의 반사강도 영상과

Table 1. Summary of land cover classification accuracies (%) using 3 bands of multispectral image (MS123), MS123 and LIDAR intensity image (MS123\_INT), MS123 and LIDAR vegetation height image (MS123\_VH), MS123, LIDAR intensity image and vegetation height image (MS123\_INT\_VH).

	MS123		MS123_INT		MS123_VH		MS123_INT_VH	
	Producer's	User's	Producer's	User's	Producer's	User's	Producer's	User's
Barley	95.0	72.1	96.3	82.2	94.0	75.0	95.5	83.7
Cut Hay	81.1	65.0	75.6	75.3	85.0	71.9	85.8	78.4
Hay	82.4	90.9	84.0	93.3	84.1	94.2	84.0	94.8
Oat	91.9	65.0	93.9	76.6	95.8	87.1	97.3	93.0
Potato	73.4	66.1	78.9	67.2	76.9	67.1	81.0	67.9
Wheat	41.2	68.5	65.8	67.4	55.5	75.4	68.7	78.0
Forest	77.5	91.1	86.8	96.5	97.0	99.2	97.9	99.1
Road	80.9	97.3	80.6	97.1	90.8	99.2	90.5	98.8
Building	92.5	34.6	87.7	59.3	97.3	66.5	94.8	98.8
Overall accuracy	74.8		80.7		82.5		85.6	
Kappa statistic	70.2		77.0		79.0		82.9	



식생 높이 영상의 활용은 지표면에 대한 보다 풍부한 정보를 제공하므로써 보다 정도 높은 토지피복도 작성을 가능케 하였다.

## 5. 결론

이 연구에서는 농업지역의 토지피복도 작성시 다중분광영상과 함께 LIDAR의 표고 자료와 반사강도 자료를 추가하여 그 분류 정도를 고찰하였다. 다중분광영상과 LIDAR 자료는 캐나다 퀘벡주의 동부 카무라스카 농업지역에서 1,000m 고도의 항공 관측으로 수집되었다.

다중분광영상은 녹색, 적색, 근적외역의 3분광으로 이루어져 있으며, 연구지역에 대해 42개의 개별 영상을 모자이크하고 LIDAR의 반사강도 영상을 이용하여 기하보정되었다. LIDAR 벡터 자료는 반사강도와 함께 최초 반사와 최후 반사 벡터 자료가 얻어졌다. 우선 최초 반사의 벡터 자료와 반사강도 자료는 동일 격자 영상으로 변환되었다. 지상 표고 자료를 추출하기위해서, 최후 반사 벡터는 2차원 이동창과 임계치를 설정하여 지상 표고와 비 지상 표고 자료로 분류되었다. 분류된 지상 표고 자료는 동일 격자 영상으로 변환되었다. 식생 높이 영상은 최초 반사 표고 영상과 지상 표고 영상의 차이를 구하여 얻어졌다.

농업지역의 토지피복도 작성은 다중분광영상의 3밴드 영상, LIDAR의 반사강도 영상, 식생 높이 영상을 이용하였다. 분류 방법으로는 최대우도법을 적용하고 다중분광영상을 기본 사용으로 하고 두개의 LIDAR 영상 사용 유무에 따라 분류의 정도를 분석하였다. 모든 다중분광영상과 LIDAR 영상을 이용한 토지피복 분류의 전체 정도는 85.6%로 다중분광영상만을 이용한 정도보다 10%이상 향상되었다. 특히 수목과 농작물의 큰 높이차이로 인하여 산림 지역의 정도가 크게 향상되었다. 또한 여러 농작물간의 높이 차이와 LIDAR 반사강도 차이로 인하여 LIDAR 영상을 추가적으로 사용된 분류의 정도가 향상되었다.

능동적 센서인 LIDAR의 다중 반사 표고 자료로부터 산출된 식생의 높이와 반사강도 자료는 토지피복도 작성에 있어서 다중분광영상의 정보와는 다른 식생의 3차원적인 정보와 능동적 센서에 의한 광원의 산란 정도에

따른 반사도를 산출함으로써 분류의 정도를 크게 향상시킬 수 있었다.

## 참고문헌

- Axelsson, P., 1999. Processing of laser scanner data-algorithms and applications, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54: 138-147.
- Charaniya, A. P., R. Manduchi, and S. K. Lodha, 2004. Supervised parametric classification of aerial LiDAR data. *Proc of Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, Washington, DC, USA, 2004. Vol.3. 1-8.
- Hansen, M. C., R. S. Defries, J. R. G. Townshend, and R. Sohlberg, 2000. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach, *International Journal of Remote Sensing*, 21: 1331-1364.
- Herold, M., D. A. Roberts, M. E. Gardner, and D. P. E., 2004. Spectrometry for urban area remote sensing-Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm, *Remote Sensing of Environment*, 91: 304-319.
- Holmgren, J. and A. Persson, 2004. Identifying species of individual trees using airborne laser scanner, *Remote Sensing of Environment*, 90: 415-423.
- Kilian, J., N. Haala, and M. Englich, 1996. DEM generation from laser scanner data using adaptive tin models, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31: 383-388.
- King, D. J., D. G. Pitt, and D. A. Pouliot, 2005. Development and evaluation of an automated tree detection/delineation algorithm for monitoring regenerating coniferous forests, *Canadian Journal of Forest research*, 35(10): 2332-2345.

- Koukoulas, S. and G. A. Blackburn, 2005. Mapping individual tree location, height and species in broadleaved deciduous forest using airborne LIDAR and multi-spectral remotely sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 26(3): 431-455.
- Leckie, D., F. A. Gougeon, D. Hill, R. Quinn, L. Armstrong, and R. Shreenan, 2003. Combined high-density lidar and multispectral imagery for individual tree crown analysis, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(5): 633-649.
- Nilsson, M., 1996. Estimation of tree heights and stand volume using an airborne lidar system, *Remote Sensing of Environment*, 56: 1-7.
- Reese, H. M., T. M. Lillesand, D. E. Nagel, J. S. Stewart, R. A. Goldmann, T. E. Simmons, J. W. Chipman, and P. A. Tessar, 2002. Statewide land cover derived from multiseasonal Landsat TM data: A retrospective of the WISCLAND project, *Remote Sensing of Environment*, 82: 224-237.
- Shepard, D., 1968. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. Proc of 23rd Association for Computing Machinery (ACM) National Conference, 1968. 517-524.
- South, S., J. Qi, and D. P. Lusch, 2004. Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices, *Remote Sensing of Environment*, 91: 90-97.
- Story, M. and R. G. Congalton, 1986. Accuracy assessment: A user's perspective, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3): 397-399.
- Wang, L., W. P. Sousa, P. Gong, and G. S. Biging, 2004. Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama, *Remote Sensing of Environment*, 91: 432-440.
- Wozencraft, J. M., 2001. The coastal zone revealed through SHOALS lidar data. Proc of U.S. Hydrographic Conference 2001, NORFOLK, VIRGINIA, May 22-24, 2001.
- Zarco-Tejada, P. J., A. Berjónb, R. López-Lozano, J. R. Millerd, P. Martíne, V. Cachorro, M. R. González, and A. De Frutos, 2005. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy, *Remote Sensing of Environment*, 99(3): 271-287.
- Zhang, K., S.-C. Chen, D. Whitman, M.-L. Shyu, J. Yan, and C. Zhang, 2003. A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR Data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(4): 872-882.