
GPS/INS와 LIDAR 자료를 이용한 자동 항공영상 정사보정 개발

장재동*

Development of Automatic Airborne Image Orthorectification
Using GPS/INS and LIDAR Data

Jae-Dong Jang*

요 약

항공관측으로 얻어지는 디지털 영상은 지리정보로서의 가치를 가지기 위해서는 정밀하게 정사보정되어야 한다. 항공영상의 자동 정사보정을 위해 카메라와 함께 설치된 GPS/INS (Global Positioning System/Inertial Navigation System) 자료와 LIDAR (Light Detection And Ranging) 지표고도 자료를 이용하였다. 본 연구에서 635개 항공영상이 생산되고 LIDAR 자료는 정사보정에 적용하기 위하여 격자영상 형태로 변환되었다. 영상 전체적으로 일정한 명도를 가지기 위해서, flat field 수정을 영상에 적용하였다. 영상은 내부방위와 GPS/INS를 이용한 외부방위를 계산하여 기하보정되고, LIDAR 지표고도 영상을 이용하여 정사보정되었다. 정사보정의 정도는 임의의 5개 영상과 LIDAR 반사강도 영상에서 50개 지상기준점을 수집하여 검증되었다. 검증된 결과로써 RMSE (Root Mean Square Error)는 화소 해상도의 단지 2배에 해당하는 0.387 m를 도출하였다. 높은 정도를 가진 자동 항공영상 정사보정 방법은 항공영상 산업에 적용 가능할 것이다.

ABSTRACT

Digital airborne image must be precisely orthorectified to become geographical information. For orthorectification of airborne images, GPS/INS (Global Positioning System/Inertial Navigation System) and LIDAR (LIght Detection And Ranging) elevation data were employed. In this study, 635 frame airborne images were produced and LIDAR data were converted to raster image for applying to image orthorectification. To derive images with constant brightness, flat field correction was applied to images. The airborne images were geometrically corrected by calculating internal orientation and external orientation using GPS/INS data and then orthorectified using LIDAR digital elevation model image. The precision of orthorectified images was validated by collecting 50 ground control points from arbitrary five images and LIDAR intensity image. As validation result, RMSE (Root Mean Square Error) was 0.387 as almost same as only two times of pixel spatial resolution. It is possible that this automatic orthorectification method of airborne image with higher precision is applied to airborne image industry.

키워드

GPS/INS, airborne image, orthorectification, LIDAR, mosaicing

I. 서 론

항공영상은 육상의 지리정보를 업데이트하는 중요한 수단뿐만 아니라 해안선의 변화라든지, 해상의 적조탐지를 위해 신속히 얻을 수 있는 자료로써 활용된다. 특히 항공영상은 위성영상에 비해서 아주 저 고도에서 얻어지므로 대기의 잡음을 최소화할 수 있다. 일반적으로 항공영상은 위성의 것에 비해 더욱 높은 공간해상도를 구현할 수 있고, 비슷한 해상도라고 하여도 위성의 것에 비해 비용 측면에서 더욱 저렴하게 자료를 획득될 수 있다.

디지털 카메라로 얻어진 항공영상은 필름을 이용한 항공사진과 달리 인화작업이 필요없으므로 보다 신속한 자료처리가 가능하다. 또한 디지털 영상은 단일 CCD에 삼원색이 조합된 천연색 카메라와 여러 개의 CCD가 설치된 다중 분광 카메라로 나뉜다. 디지털 다중분광 영상은 다양한 분광의 조합과 분석에 의한 식생 분류 등에 활용되었다[1],[2]. 항공영상과 함께 관측될 수 있는 LIDAR (Light Detection And Ranging) 벡터자료를 이용하여 지상의 표고 및 삼차원 정보를 얻을 수 있으며, LIADR자료와 항공영상을 접목하여 수목의 형태와 분류에 관한 연구도 수행되었다[3].

항공기로부터 얻어지는 디지털 영상은 항공기의 고도, 렌즈의 종류, CCD 화소 밀도에 따라서 지상의 관측면적과 화소 공간해상도가 정해진다. 항공관측으로부터 얻어진 항공영상은 기하보정 또는 정사보정되므로써 지리적 정보로써 가치를 갖게 된다. 개별 영상의 기하보정이나 정사보정은 참조자료와 함께 지상기준점을 수집하여 수행될 수 있다[4]. 하지만 단일 항공영상의 관측면적 크기는 위성의 것에 비해 아주 작아서, 시 단위 면적의 항공영상 관측으로 천개 이상의 많은 영상이 생산되어 질수 있다. 수작업을 통한 많은 수의 항공영상 정사보정은 수많은 시간과 비용이 요구된다.

항공촬영시 카메라와 함께 설치할 수 있는 GPS/INS (Global Positioning System/Inertial Navigation System)로부터 항공기의 자세와 위치정보를 산출하여 영상을 기하보정하고 참고자료를 추가적으로 이용하여 정사보정을 할 수 있다 [5][6][7]. 하지만 기존의 방법은 높은 정도의 정사보정된 항공영상을 얻기 위해 참조자료를 이용한 지상기준점을 수집하여 반자동적으로 수행되었다[6]. 이러한 수작업의 추가는 많은 영상을 정사보정하기에는 상당한 시간과 비용이 요구 되고, 산림이나 해상 같은 지역은 영상

이 전체적으로 아주 유사하여 지상기준점을 수집하기가 용이하지 않다.

본 논문의 목적은 항공관측으로 얻어진 프레임단위의 항공영상을 GPS/INS으로부터 얻어진 항공기 자세, 공간적 위치정보와 LIDAR 표고자료를 이용하여 자동 정사보정하는 것이다. 정사보정을 위한 지상기준점 수집을 제거하여 인간에 의한 수작업을 최소화하여 가장 신속하게 정사보정된 항공영상을 생산하고 추가적으로 모자이크된 단일영상 생산을 목적으로 한다.

II. 연구지역 및 관측방법

자동 정사보정 알고리즘 개발을 위해 획득된 항공영상은 캐나다 퀘벡주 몬트리올시에서 동쪽으로 약 30 km 떨어진 사과과수원 및 여러가지 농작물을 포함하는 농업지역을 관측한 것이다 (그림1). 본 항공관측의 첫 번째 목적은 정밀농업을 위한 농작물의 지리적 정보를 확보하고, 항공영상 분석을 통한 농작물의 작황상태와 수확물 예상을 위한 것이다. 본 연구에서는 프레임 (frame) 형태로 얻어진 다수의 항공영상을 정밀농업의 자료로 용이하게 활용키 위하여 자동 정사보정 부분만을 다루었다.

항공영상 관측은 Redlake사의 DuncanTech MS4100 (MS4100) 다중분광 프레임(frame) 카메라와 Optech사의 ALTM2050 (Airborne Laser Terrain Mapper 2050) LIDAR를 이용하였다. MS4100은 세 개의 CCD를 이용하여 삼분광 영상을 독립적으로 얻을 수 있다. 사용자의 선택에 따라 청색, 녹색, 적색 또는 녹색, 적색, 근적외로 이루어진 삼분광으로 선택할 수 있다. 카메라내부 프로그램에 의해 청색과 녹색은 한 CCD를 이용하고 적색과 근적외역은 독립 CCD를 이용하여 네가지의 분광역을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 실제 색상을 구현할 수 있고 식생과악에 용이한 근적외역을 모두 포함하는 후자의 사분광을 선택하였다. 사분광의 전체 분광영역은 400 nm에서 1000 nm에 해당한다. 각 CCD 해상도는 1920×1080이며 각 화소의 디지털 크기는 8비트이다. 단일영상은 8.3메가바이트 (megabyte)의 크기를 가진다. 카메라에 사용된 렌즈의 종류는 NIKON F2.0 35 mm를 사용하여, 23°×13°의 영상 관측각을 얻을 수 있다.



그림 1. 캐나다 퀘벡주 연구지역 (검은색 사각형)
Fig. 1. Study area (black square) in Quebec Province, Canada.

육상관측용인 ALTM2050 LIDAR의 자료는 지표고도를 획득하기 위하여 이용되었다. 높은 공간적 정도의 LIDAR 벡터자료를 산출하기 위해, 항공기의 위치와 자세를 측정하고 보정하기 위해 GPS/INS 혼합 시스템이 함께 설치되어 있다. 항공기에 설치된 GPS자료는 지상에 설치된 위치정보가 파악된 고정 GPS자료를 이용하여 후처리 보정 과정을 거쳐 센티미터 단위 정도로 항공기의 위치를 얻을 수 있다. GPS/INS자료는 초당 200회의 항공기의 수평, 수직, 회전 자세 (Roll, Pitch, Yaw)와 공간적 위치를 산출하며, 최대 $\pm 0.01^\circ$ 와 15cm의 오차를 가진다. 따라서 본 연구에서는 항공영상의 정사보정을 위한 참조자료와 검증자료로써 이용하였다. ALTM2050 LIDAR는 2000 m까지 관측고도를 가지고, 초당 50000개의 삼차원 벡터자료를 생산한다. LIDAR의 관측 방법은 근적외 영역의 레이저 빛을 비행 방향의 좌우로 회전하는 거울에 반사시켜 지형을 관측하며, 관측역은 최대 $\pm 25^\circ$ 까지 가능하다. 지표면으로부터 반사된 빛의 왕복 시간에 비행고도를 보정하여 지표면의 위치와 고도를 계산한다.

본 연구에서 항공기의 비행고도는 퀘벡주 법이 허용하는 최저이며 최고의 공간해상도를 가진 항공영상을 얻기 위해 850 m로 정하였다. 항공기레도의 설정은 항공영상의 각 측면은 20%의 중복과 영상 상하 중복은 80%를 허용하였다. F2.0 35 mm 렌즈를 이용한 관측에서 각 화소의 공간해상도는 0.178 m이다. 카메라와 LIDAR는 항공기 중앙 바닥의 알루미늄 격자에 각각 설치되었다. 총 비행 레도는 5개이며, 항속은 220 km/h이며, 앞에서 거론된 영상간의 80% 중복 허용을 위해 각 영상 포착주기는 0.5초로 설정하였다. 결과적으로 635개의 청색, 녹색, 적색, 근적외역 사분광 다중영상이 얻어졌다.

LIDAR자료는 관측역을 $\pm 15^\circ$ 로 고정하여 좌우 중복은 25%로 결정되었다. 연구지역에 대해 ALRM2050 LIDAR로부터 한 광원에 대한 최초반사와 최후반사자료가 얻어졌다. 최초 및 최후 반사자료에 대해 각각 16474378개의 삼차원 벡터자료가 얻어졌다. LIDAR 삼차원 벡터자료는 광원의 반사강도도 함께 기록이 된다. 벡터자료간 2차원적 거리는 수cm에서 대략 1m로 불규칙적이었다. 본 연구에서 정사보정과 검증을 위해서 LIDAR 지표고도와 반사강도 자료는 각 화소가 25cm 공간적 해상도를 가진 격자 영상 형태로 변환되었다. 격자영상 변환의 보간방법은 Inverse distance weight function을 이용하였다[8].

III. Flat field 수정

디지털 카메라로 촬영된 항공영상은 부분적으로 영상의 밝기가 다를 수 있다. 이러한 현상은 CCD에 흡수되는 빛의 양이 중심에서 가장자리로 갈수록 약해지거나, 카메라 렌즈와 CCD 사이의 먼지 영향, CCD의 화소가 빛을 흡수하는 감도 차이에 의해 발생할 수 있다. Flat field 수정은 수정되지 않은 영상 명도 변화 패턴을 구하여 그 역의 패턴을 초기 영상에 적용하여 쉽게 수정될 수 있다[9]. 본 연구에서 얻어진 영상에서는 영상의 명도가 중심에서 가장자리방향으로 지수적 형태로 어두워졌다. 영상 명도의 변화 패턴은 임의의 한 영상을 선정하여 경험적으로 산출되었다. 항공영상의 Flat field 수정전과 수정후의 결과를 그림2에 제시하였다.

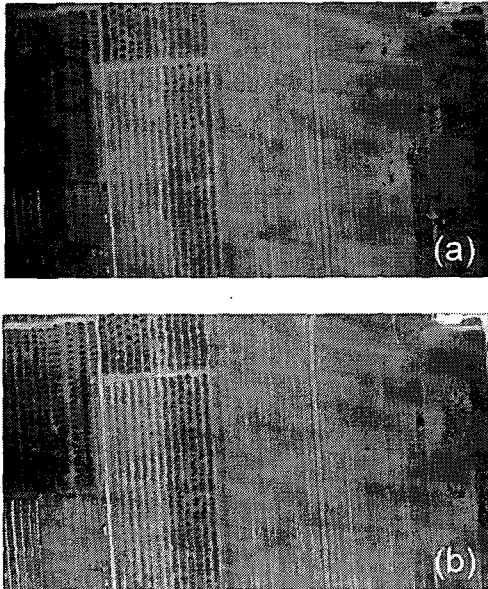


그림 2. Flat field 수정. 원시 영상 (a)와 flat field 수정된 영상 (b)
 Fig. 2. Flat field correction. Raw image (a) and flat field corrected image (b)

IV. 영상의 정사투영

항공영상의 투영은 촬영시 사용된 렌즈의 왜곡 특성과 항공기 자세 변화에 의한 지상에 대한 투영 형태를 고려하여야 한다. 본 연구에서 NIKON F2.0 35 mm 렌즈를 사용한 항공영상 촬영에서 얻어진 영상은 LIDAR 반사강도 영상과 중첩비교에서 두드러진 영상의 왜곡현상을 발견할 수 없었다. 따라서 본 논문에서는 렌즈의 왜곡현상을 다루지 않는다.

항공영상이나 위성영상의 정사보정은 보정할 영상과 참조자료에서 각각 공간적으로 같은 곳을 찾아 선정하는 지상기준점을 이용하여 수동적으로 수행된다. 그러나 LIDAR 표고자료와 GPS/INS 자료를 이용하여 항공영상을 정사투영하므로써 자동적으로 정사보정이 가능하다. 우선 정사투영이전에 영상의 내부방위 설정으로써 카메라 CCD중심으로부터 각 화소의 방위각을 구축하여야 한다. CCD의 중심으로부터 좌우방향으로 j 번째, 상하방향으로 i 번째 화소 P에 대한 내부방위각은 다음과 같이 정의된다.

$$H_i = \sqrt{FL^2 + i^2} \tag{1}$$

$$H_j = \sqrt{FL^2 + j^2} \tag{2}$$

$$IOA_i = \tan^{-1}\left(\frac{CCD\ Center - i}{H_j}\right) \tag{3}$$

$$IOA_j = \tan^{-1}\left(\frac{CCD\ Center - j}{H_i}\right) \tag{4}$$

여기서 FL은 렌즈의 초점거리, IOA_i 와 IOA_j 는 CCD 중심에 직교하는 렌즈중심에서 화소 P에 대한 CCD 상하방향과 좌우방향의 내부방위각이다. 위와 같은 방법으로 구축된 내부방위의 영상은 GPS/INS 자료를 바탕으로 외부방위를 통하여 지상에 투영되어진다. 그림3은 지상에 투영된 영상의 외부방위를 묘사한 것이다. 영상의 외부방위를 계산하므로써 영상이 기하보정되며, 외부방위에 관한 방정식은 다음과 같다.

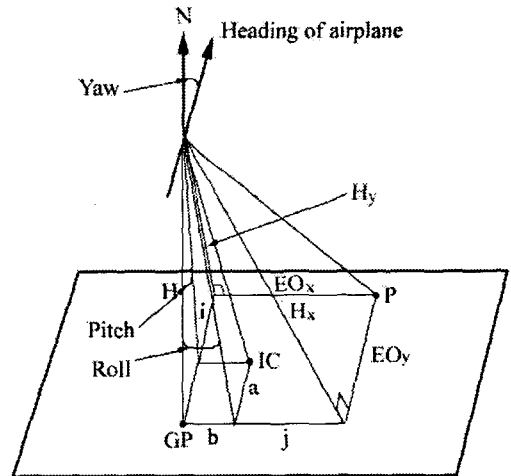


그림 3. 항공영상의 외부방위 묘사도.
 Fig. 3. Schematic description of external orientation of airborne image.

$$a = H \tan(IOA0_i - pitch) \tag{5}$$

$$b = H \tan(IOA0_j - roll) \tag{6}$$

$$H_y = \sqrt{H^2 + (a+i)^2} \tag{7}$$

$$H_x = \sqrt{H^2 + (a+j)^2} \tag{8}$$

$$EO_y = H_x \tan(IOA_i - pitch) \tag{9}$$

$$EO_x = H_y \tan(IOA_j - roll) \tag{10}$$

$$EO\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = EO\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(yaw) & -\sin(yaw) \\ \sin(yaw) & \cos(yaw) \end{pmatrix} \quad (11)$$

여기서 H 는 항공기의 지상으로부터 고도, $IOAO_0$ 는 영상중심에서 상하방향의 내부방위각, $IOAO_1$ 는 영상중심에서 좌우방향 내부방위각이다. GPS/INS자료를 이용한 영상 기하보정은 항공기의 지상좌표 GP에 $EO(x', y')$ 편차를 대입하므로써 획득되어진다.

영상의 정사보정은 전 단락에 서술한 기하보정방정식으로 산출된 좌표를 LIDAR의 지표고도 영상에 투영시켜서 수행하였다. 초기 기하보정에 사용된 영상의 모든 화소에 대한 지표고도는 동일하게 영상 중심의 LIDAR 지표고도를 이용하였다. 기하보정된 각 화소좌표에 해당하는 LIDAR 지표고도와 영상중심의 지표고도사이의 편차를 산출하였다. 여기서 구해진 편차는 LIDAR 오차 한계에 해당하는 15cm 간격으로 나누고, 15cm 단위의 편차를 순차적으로 영상중심 지표고도에 적산하여 외부방위 계산과정을 반복적으로 재 수행하였다. 반복적인 외부방위 계산으로 산출된 각 화소의 좌표는 다시 LIDAR지표고도 영상에 투영된다. 변환된 화소좌표를 산출하기위해 대입된 영상중심 지표고도와 변환된 화소좌표에 해당하는 LIDAR 지표고도사이의 차이를 산출하였다. 이 차이가 15cm미만일 경우에 최후로 산출된 화소좌표를 정사보정 좌표로 채택하였다. 다수의 모든 항공영상은 정사보정 정보를 바탕으로 정사보정 되었으며, 단일 영상으로 제작하기위해서 영상 모자이킹을 수행하였다.

V. 정사보정 검증과 고찰

정사보정된 모든 영상 중 임의의 5개를 선정하여 정사보정 검증에 적용하였다. 정사보정 방법은 보정된 5개의 영상을 LIDAR 반사도 영상에 중첩하여, 각 영상별로 10개 즉 총 50개의 지상기준점을 선정하여 정사보정된 영상의 2차원 공간 정도를 검증하였다(표 1). 선정된 5개 영상의 50개 지상기준점을 이용한 정도 검증에서 LIDAR 영상과 최대 편차는 0.9 m이고 최소 편차 0.086 m에 불과했으며, 전체 RMSE (root mean square error)는 0.387 m을 산출하였다. 이 공간적 오차는 화소의 공간해상도 0.178 cm의 두 배에 불과하였다. 이러한 영상의 정사보정 정도는 Mostafa와 Schwarz [6]가 소프트웨어 PCI Orthoengine를

사용하여 얻어진 RMSE 0.4 m와 유사하였다. 하지만 Mostafa와 Schwarz [6]의 항공영상은 400-500m 고도에서 촬영되어진데 비해, 본 연구에서는 850m 고도에서 촬영되어 고도가 높아짐에 따라 정도가 낮아지므로 보다 더 향상된 결과라고 할 수 있다. 또한 Mostafa와 Schwarz [6]의 결과는 비자동화된 장치로 상당한 시간동안 영상의 후처리과정으로 산출되어진 반면, 본 연구에서는 모든 영상 처리 과정이 자동화되어 산출되었다. 따라서 이러한 정사보정의 정도는 항공영상 산업에 즉시 적용할 수 있는 가치있는 결과라고 사료된다.

표 1. 정사보정 영상의 검증 결과. RMSE는 root mean square error

Table 1. Validation result of orthorectified images. RMSE is root mean square error.

	Minimum residual	Maximum residual	RMSE
Image 1	0.092 m	0.795 m	0.325 m
Image 2	0.086 m	0.566 m	0.282 m
Image 3	0.180 m	0.900 m	0.545 m
Image 4	0.150 m	0.750 m	0.430 m
Image 5	0.212 m	0.572 m	0.351 m
Total	0.086 m	0.900 m	0.387 m

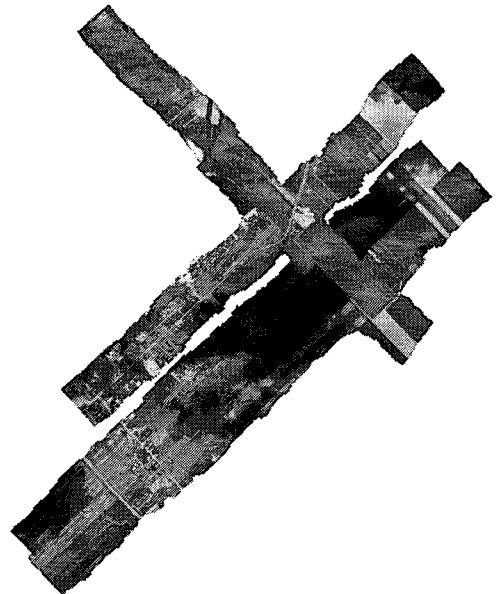


그림 4. 연구지역의 자동 정사보정된 모자이크 영상. Fig. 4. Automatic orthorectified mosaiced image for the study area.

본 연구에서 자동적으로 정사보정된 635개의 모든 영상을 단일 영상으로 자동적으로 모자이킹을 수행하였다. 영상간의 중첩율이 80%이므로 각 영상의 중심에서 상하 방향으로 $\pm 15\%$ 의 중심부분만 채택하여 모자이킹을 전체 영상에 적용하였다 (그림4). 전체 모자이크 영상에서 어두운부분이 나타난다. 이 부분은 항공영상 촬영시에 항공기보다 더 높은 상층부 구름의 그림자로 인하여 나타났다.

VI. 결 론

본 연구에서 육상 및 해상의 지리정보 자료로 폭 넓게 활용되고 있는 정사보정된 다중분광 영상을 제공하기 위하여 항공촬영으로 얻어진 다수의 항공영상을 항공기의 자세와 위치를 제공하는 GPS/INS자료와 LIDAR의 지표고도 자료를 이용하여 자동 정사보정 방법을 개발하여 기존의 정도를 향상하였다. 항공영상과 동 시간에 얻어진 LIDAR의 벡터자료와 반사강도 자료를 항공영상의 정사보정을 위해 격자형태의 영상으로 변환하였다. 원시 항공영상은 렌즈를 통해 유입되는 빛의 양이 CCD의 전부분에 걸쳐 균일하지 않았다. 각 영상에 영상의 전부분에 걸쳐 일정한 명도를 유지하기 위해 Flat field 수정을 적용하였다. 정사보정의 초기단계로 내부방위를 모든 화소별로 설정하였다. 영상의 외부방위 설정단계로 기하보정은 각 영상에 해당하는 GPS/INS 자료를 이용하여 영상의 개별 화소에 공간적 좌표를 부여하였다. 부여된 화소의 좌표는 LIDAR의 지표고도 영상에 점목시켰고 정사보정을 하였다. 정사보정의 검증은 LIDAR의 반사강도 영상과 중첩하여 오차를 산출하였다. 전체 RMSE는 0.387 m를 도출하였다. 이 오차는 화소의 공간해상도의 2배에 해당하였다. 정사보정된 모든 항공영상은 영상의 중심부 30% 부분만을 이용하여 단일 영상으로 모자이킹하였다. 이와 같은 방법으로 산출된 정사보정된 단일 모자이크 영상은 육상의 지리정보자료로서 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발된 정사보정 방법을 적용한 영상의 공간적 정도가 뛰어나므로 본 정사보정 방법이 산업적으로 이용할 가치가 있다고 사료된다. 하지만 보다 범용적인 항공영상의 정사보정과 영상간 명도 조정 등을 위해서 렌즈의 왜곡 보정이나 명도 보정 방법들이 추가되어질 필요가 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Ghitler, G. S., W. W. Bowers, and S. E. Franklin, 1995. Discrimination of adelgiddamage on single balsam fir trees with aerial remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, 16, 2779-2794.
- [2] Moskal, L. M., and S. E. Franklin, 2004. Relationship betweenairborne multispectral image texture and aspen Defoliation, *International Journal of Remote Sensing*, 25(14), 2701-2711.
- [3] 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.
- [4] 윤영보, 황태현, 조성익, 박종현, 2004. Landsat 영상의 온라인 자동 기하보정 시스템, *한국지리정보학회지*, 7(4), 15-23.
- [5] Cramer, M., D. Stallmann, and N. Haala, 1997. High precision georeferencing using GPS/INS and image matching, *Proc. International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, Banff, Alberta, Canada, June 1997*, 453-462.
- [6] Mostafa, M. M. R., and K. P. Schwarz, 2001. Digital image georeferencing from a multiple camera system by GPS/INS, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 56, 1-12.
- [7] Schwarz, K. P., M. A. Chapman, M. E. Cannon, and P. Gong, 1993. An Integrated INS/GPS approach to the georeferencing of remotely sensed data, *Photogrammetric engineering & Remote sensing*, 59(11), 1667-1674.
- [8] Jang, J.-D., V. Payan, A. A. Viau, and A. Devost, 2005. The use of airborne LIDAR and multispectral sensors for orchard tree inventory, *International Journal of Remote Sensing*(unpublished data).
- [9] Nguyen, A. T., Stow, D. A., Hope, A. S. and C. Benkelman, 1996. In: *Second International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, San Francisco, CA, USA, A simple method for vignette correction of airborne digital camera data 3, 102-111.

저자소개



장 재 동(Jae-Dong Jang)

1997년 부경대학교 대기과학과 졸업(이학사)

1999년 부경대학교 대학원 대기과학과 (이학석사)

2004년 캐나다 Laval 대학교 대학원 Geomatics 학과(이학박사)

2004년~현재 캐나다 Laval 대학교 Geomatics 학과(박사후 과정)

※ 관심분야 : 위성 및 항공기 원격탐사, 지리정보, LIDAR 자료 처리 및 분석, 영상 형태학