

# 항공레이저측량 자료를 활용한 IKONOS-2 위성영상의 기하보정에 관한 연구

## - 선형요소를 기하보정의 기본요소로 활용하여 Geometric Correction of IKONOS-2 Geo-level Satellite Imagery Using LiDAR Data - Using Linear Features as Registration Primitivess

이재빈<sup>1)</sup> · 김용민<sup>2)</sup> · 이효성<sup>3)</sup> · 유기윤<sup>4)</sup> · 김용일<sup>5)</sup>

Lee, Jae Bin · Kim, Yong Min · Lee, Hyo Seong · Yu, Ki Yun · Kim, Yong Il

### Abstract

To make use of surveying data obtained from different sensors and different techniques, it is a pre-require step that register them in a common coordinate system. For this purpose, we developed methodologies to register IKONOS-2 Satellite Imagery using LiDAR (Light Detection And Ranging) data. To achieve this, conjugate features from these data should be extracted in advance. In this study, linear features are chosen as conjugate features. Then, to register them, observation equations are established from similarity measurements of the extracted features and the results was evaluated statistically. The results clearly demonstrate that the proposed algorithms are appropriate to register these data.

Keywords : LiDAR (Light Detection And Ranging), IKONOS-2 Satellite Imagery, Geometric Correction, Linear features

### 초 록

최첨단 측량기술로 획득되어진 고해상도 위성영상과 항공레이저측량 자료들을 의미 있는 지리정보로 활용하고 상호보완적인 가치를 창출하기 위해서는 이러한 자료들을 같은 좌표계 상에 표현할 수 있도록 기하보정 하는 과정이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 고해상도 위성영상을 항공레이저측량 자료를 활용하여 기하보정하기 위한 방법론을 제안하였다. 이를 위해 항공레이저측량 자료와 고해상도 위성영상인 IKONOS-2 위성영상으로부터 선형 기하요소를 추출하였으며 추출된 선형요소를 기하보정의 기본요소로 활용하여 고해상도 위성영상의 단사진과 항공레이저측량 자료의 기하보정을 수행하였다. 마지막으로 연구를 위하여 수집된 실제 측량자료에 개발된 방법론 들을 적용하고 도출된 결과에 대한 통계평가를 수행함으로써 연구결과의 효용성을 입증하였다.

핵심어 : 항공레이저측량 자료, IKONOS-2 위성영상, 기하보정, 선형요소

## 1. 서 론

오늘날 항공사진은 지형도 제작뿐만 아니라 3차원 공

간영상 정보획득의 중요한 수단이 되고 있지만 촬영 및  
도화 비용 등, 막대한 예산이 소요되므로 보다 경제적이  
고 효율적인 공간영상 정보획득 기법의 도입이 필요하게

- 
- 1) 정희원 · 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사과정(E-mail:dama77@snu.ac.kr)
  - 2) 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 석사과정(E-mail:starshine@daum.net)
  - 3) 연결저자 · 정희원 · 순천대학교 공과대학 토목공학과 조교수(E-mail:hslee@sunchon.ac.kr)
  - 4) 정희원 · 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 조교수(E-mail:kiyun@snu.ac.kr)
  - 5) 정희원 · 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 부교수(E-mail:yik@snu.ac.kr)

되었다. 인공위성영상은 항공사진에 비하여 주기적이고 광범위하게 영상을 취득할 수 있으므로 지구과학, 건설, 국토계획, 군사, 미디어 등 다양한 분야에 활용되고 있으며, 지리정보시스템(Geographic Information System; GIS)의 초기자료로도 많이 활용되고 있는 추세이다. 21세기부터 군사적 목적으로 사용되던 해상도 1M 이하 급 고해상도 위성영상 획득기술이 냉전기가 끝나면서 상용화되기 시작하였고(OGC, 1999), 그 후, 최초의 상업용 고해상도 위성인 미국의 IKONOS-2 영상을 포함하여 QuickBird-2 위성, Orbview-3 위성, 러시아의 RESUS-DK 위성영상 등이 현재 공급되고 있다. 프랑스와 영국, 인도, 브라질 등에서도 이와 유사한 해상도의 광학위성을 발사할 계획에 있다. 우리나라에서도 2006년 7월 28일에 1m 급 해상도의 KOMPSAT-2(다목적 실용위성 2호)가 성공적으로 발사되었으며, 국내 지상국과의 교신에 성공하여 영상을 제공할 예정에 있다. 이러한 고해상도 위성영상들은 전 세계적으로 그 수요가 확대되고 있으며, 지금까지 생각하지 못했던 새로운 분야에 활용영역을 확대해 나갈 것이라 판단한다.

고해상도 위성영상을 여러 분야의 공간정보로써 활용하기 위해서는 실세계의 지상 좌표계로 변환되어져야 하고, 이를 위해선 기하보정이 선결되어야만 한다. 따라서 지금까지 고해상도 위성영상을 기하보정하기 위한 다양한 연구들이 발표되어 왔다(Di 등, 2003; Fraser 등, 2003; Grodecki 등, 2003; 김의명 등, 2006). 이러한 고해상도 위성영상 자료의 기하보정을 위해서는 GPS, 토달스테이션 등의 지상관측용 측량기구를 이용한 지상기준점 측량이 요구되어 지고, 지상기준점 측량을 위한 현장작업이 수반되어져야만 한다. 하지만 현장 측량을 동반하는 지상기준점 측량작업은 많은 시간적 경제적 비용을 요구하며 때때로 비접근 지역의 경우 지상기준점의 취득이 불가능한 경우가 발생하게 된다. 최근에는 측량기술의 발달 및 국토정보화사업의 일환으로 지역별로 항공레이저측량이 많이 수행되고 있다. 따라서 만일 대상지역에 대한 기존 항공레이저측량 자료가 존재한다면 이를 활용하여 고해상도 위성영상의 기하보정을 수행하는 것이 매우 효과적인 대안이 될 수 있다. 그러나 항공레이저측량 자료는 footprint 형태로 취득되며 대상지역을 샘플링 하는 형식으로 자료가 취득되기 때문에 영상자료인 고해상도 위성영상과 일대일 대응되는 동일한 지점을 찾기가 매우 어렵다. Habib 등(2004)과 이재빈 등(2006)은 이러한 문제점을 극복하기 위해 항공레이저측량 자료와 항공영상의 기하보정 시 선형요소(linear feature)에 의한 기하보정방법을 제안하였

으며, 이로부터 항공영상의 기하보정을 수행한 후, 그 정확도를 제시하고 제안방법의 효용성을 입증한바 있다. 이외에도 선형요소는 다양한 경로로 취득되는 광학영상의 기하보정 뿐만 아니라 센서모델링에 활용되기도 하였다(Habib 등, 2003; Lee, 등 2004; Tommaselli 등, 2006). 점 요소에 비해 선형요소 기하보정 방법은 항공레이저측량 자료에서의 인식률이 높고(예를 들어, 도로나 건물과 같은 인공구조물의 선형은 시각적으로 확인하기 쉽다), 이중센서 자료의 점요소들 간의 일대일 대응관계가 아니더라도 멀티센서 통합을 비교적 정확하게 할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 뿐만 아니라 관측방정식의 조정에 있어서도 선형요소 상에 존재하는 무수한 점들의 좌표를 활용할 수 있기 때문에 조정 수행 시 자유도가 높다는 장점도 가지고 있다.

하지만 고해상도 위성영상의 기하보정을 위한 기존 연구는 앞에서도 언급한바와 같이 GPS 측량 등을 통한 점 요소 기준점을 활용한 사례가 대부분이며, 항공레이저측량 자료를 기반으로 적용한 사례는 매우 드물다. 이외에도 고해상도 위성영상의 기하보정을 위한 항공레이저측량 자료 활용도는 낮은 편이며, 이로부터 선형요소 기반의 기술이 적용된 연구사례는 드물다. 따라서 본 연구는 대상지역의 항공레이저측량 자료와 고해상도 위성영상인 IKONOS-2 위성의 Geo-level 단영상으로부터 선형요소를 획득한 후, IKONOS-2 위성영상 기하보정을 위한 변환방정식을 결정하고, 이에 대한 결과분석을 통하여 적용방법의 타당성을 평가해보고자 한다.

## 2. 기하보정요소의 선택 및 추출

일반적으로 기하보정을 수행하기 위해서는 다음의 세 가지의 문제해결에 대한 논의가 선행되어져야 한다. 첫째, 기하보정을 수행하기 위해 어떠한 기하보정 요소를 선택할 것인가? 둘째, 기하보정의 대상이 되는 데이터들 간의 기하보정 변환함수를 수학적으로 어떻게 결정할 것인가? 마지막으로, 적절한 변환함수를 이용하여 수행된 기하보정 결과에 대한 평가는 어떤 방법으로 수행할 것인가?(Brown 등, 1992) 본 장에서는 이러한 문제에 대해 본 연구에서 제안한 방법론과 관련된 사항들을 간략히 살펴보고, 본 연구에서 제안한 방법론에 대한 소개를 하고자 한다.

### 2.1 기하보정 요소의 선택

서로 다른 센서로부터 취득된 데이터들의 기하보정을

실시하기 위해서는 기하보정의 기본이 되는 요소들이 선택되어야 한다. 기하보정의 과정에서 선택되어지는 기하보정 요소들은 전체 기하보정 과정에 중대한 영향을 끼치므로 매우 신중히 선택되어야 한다(Habib and Schenk, 1999). 공간데이터의 기하보정 과정에서 가장 일반적으로 사용되는 기하보정 요소들은 점(point), 선(line), 면(area) 형태의 객체 들이다. 이러한 기하보정요소들은 인공구조물, 도로, 강, 해안선, 빌딩의 경계 및 중심점 등으로부터 추출되어진다.

전통적인 사진측량 및 원격탐사 분야에서는 점 형태의 요소(매칭점, 지상기준점 등)들이 기하보정을 위한 기본 요소로서 주로 사용되어져왔다. 하지만, 본 연구에서 목적으로 하는 IKONOS-2 위성영상과 항공레이저측량 자료 간의 기하보정에 있어서는 점 형태의 요소들은 기하보정의 요소로서 적용하기에 어려움이 따른다. 왜냐하면, 항공레이저측량 자료의 경우 footprint형태로 데이터의 취득이 이루어지기 때문에, 항공사진에서 이러한 footprint로 취득된 데이터와 동일하게 인식되는 점들을 결정하는 과정은 많은 어려움이 따른다. 또한 독립된 3개의 평면을 항공레이저측량 자료로부터 추출하여 교차연산(intersection)을 수행함으로써 한 점을 결정할 수도 있지만 이는 많은 계산 시간과 자원을 필요로 한다. 면 형태의 객체를 기하보정의 요소로 사용할 경우, 항공레이저측량 자료로부터는 비교적 쉽게 인식이 가능하나 항공사진이나 고해상도 위성영상과 같은 영상자료로부터 면 형태의 객체를 인식하기에는 또한 많은 어려움이 따른다(Habib 등 2004). 선형요소의 경우에는 IKONOS-2 위성영상과 항공레이저측

량 자료 모두로부터 용이하게 인식 및 추출이 가능하므로 본 연구에서는 선형요소를 항공레이저측량 자료를 활용한 IKONOS-2 위성영상의 기하보정을 위한 기하요소로써 활용하였다.

## 2.2 기하보정요소의 추출

위의 논의를 바탕으로 항공레이저측량 자료를 활용하여 IKONOS-2 위성영상을 기하보정하기 위해 각각의 데이터로부터 선형요소들을 추출하였다. 추출되는 선형요소들은 선형요소 상에 존재하는 두 점을 이용하여 표현하였다. 이러한 표현방식은 사진측량학의 관점에서 볼 때 가장 편리하고 적절한 선형요소의 표현방식이다(Habib 등, 2002). 본 연구에서는 기하보정을 위한 안정적인 선형요소를 추출하기 위해 영상 및 항공레이저측량 자료에서 가장 인식이 우수한 개체로 판단되는 인공구조물인 건물로부터 선형요소들을 추출하였다. IKONOS-2 위성영상의 경우 수동으로 선형요소를 추출한 후 추출된 선형요소를 공간좌표계 상에서 정의하기 위하여 선형요소 상에 존재하는 점들이 추출되었다. 항공레이저측량 자료의 경우 gable형 지붕에서 선형요소를 추출하는 경우에는 이재빈 등(2006)에 의해 제안된 방식에 의해 공간상에서 두 평면을 결정하고 평면들의 교차연산(intersection)과정을 통해 선형요소를 추출하였다. 또한 건물의 경계부분에서 선형요소를 추출할 경우 항공레이저측량 자료를 이용하여 25 cm 공간해상력을 가진 DSM을 작성한 후 이를 바탕으로 수동으로 건물의 경계를 추출하였다. 그림 1과 그림 2는 각각 IKONOS-2 위성영상과 항공레이저측량 자료로부터

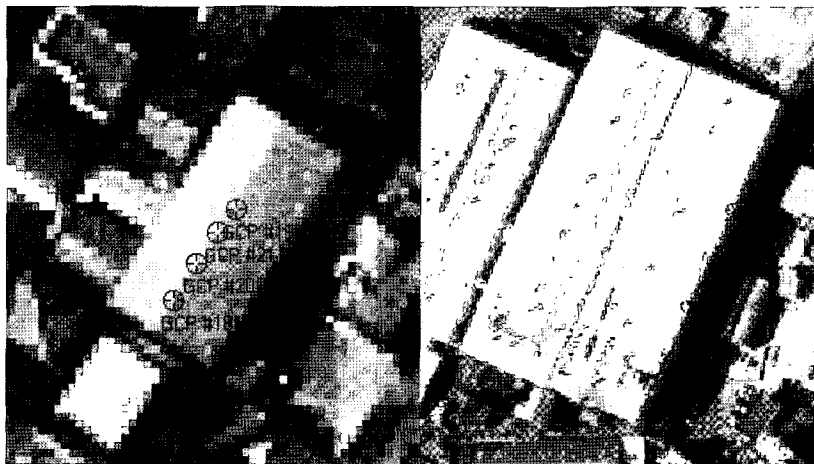


그림 1. IKONOS-2 위성영상으로부터 추출되는 선형요소의 예



그림 2. 항공레이저측량 자료로부터 추출되는 선형요소의 예

추출된 선형요소의 예를 보여준다.

여기서 주목할 점은 본 연구는 선형요소를 기하보정의 기본요소로 사용하고 있기 때문에 위의 그림과 같이 선형요소 상에 존재하는 임의의 모든 점들이 기하보정의 과정에서 추출되고 활용될 수 있다(본 연구에서는 영상에 존재하는 각각의 선형요소마다 4개의 점들이 추출되었다). 이 점들은 영상좌표계 상에서 IKONOS-2 위성영상으로부터 추출되는 선형요소들을 정의하며 추출된 모든 점들이 각각 기하보정을 위한 조건방정식을 형성하게 되므로 이는 변환방정식 산출을 위한 최소제곱조정의 자유도를 증가시킨다. 또한 기존의 점요소 기반의 기하보정 과정에서는 지상기준점과 일대일 대응되는 점요소를 추출하기 위해 많은 시간과 노력이 소요된 반면, 선형기하요소를 기반으로 하는 기하보정의 경우 대응되는 선형기하요소의 임의의 모든 점들이 기하보정을 위해 사용될 수 있으므로 기하보정요소 추출을 위한 작업과정을 단순화하고 소요되는 시간적 비용을 절감시킬 수 있다.

### 2.3 기하보정을 위한 변환함수의 결정

본 연구에서는 항공레이저측량 자료로부터 취득된 선형요소를 활용하여 IKONOS-2 위성영상을 기하보정하기 위한 변환함수를 결정하기 위하여 다음의 방법론을 적용하였다.

#### Step 1> 항공레이저측량 자료로부터 획득된 선형요소의 영상에의 투영

항공레이저측량 자료로부터 획득한 선형요소 상의 임의의 두 점에 대한 지상좌표를 동일 대상지역 IKONOS-2

위성영상의 RPC(Rational Polynomial Coefficients) 모델을 활용하여 대응하는 영상좌표를 획득한다. IKONOS-2 위성영상에서 제공되는 RPC 모델의 형태는 식 (1)과 같으며, 항공레이저측량 자료의 선형요소를 정의하는 포인트들을 RPC 모델에 입력함으로써 IKONOS-2 영상좌표계 상의 선형요소로 변환할 수 있다.

$$Y = \frac{\sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} c_{ijk} H^i P^j L^k}{\sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} d_{ijk} H^i P^j L^k},$$

$$X = \frac{\sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} e_{ijk} H^i P^j L^k}{\sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} f_{ijk} H^i P^j L^k} \quad (1)$$

여기서,  $y, x$ 는 영상의 정규화 된 열과 행의 좌표이고,  $c, d, e, f$ 는 제공 RPC이며,  $H, P, L$ 은 정규화된 WGS84 타원체로부터의 높이, 위도 및 경도이다. 위의 과정을 통하여 얻어지는 항공레이저측량 자료 선형요소의 영상좌표는 이론적으로 IKONOS-2 위성영상에 존재하는 대응되는 선형요소 상에 존재하여야 한다. 그러나 본 연구에서 사용된 Geo-level 영상의 RPC 모델은 비교적 큰 편의(bias)를 가지고 있기 때문에 영상에 투영된 선형요소의 영상좌표들 또한 오차를 포함하게 된다.

#### Step 2> 항공레이저측량자료의 선형요소와 대응하는 영상의 선형요소 추출

Step 1 과정으로부터 얻어지는 영상좌표계 상에서 항

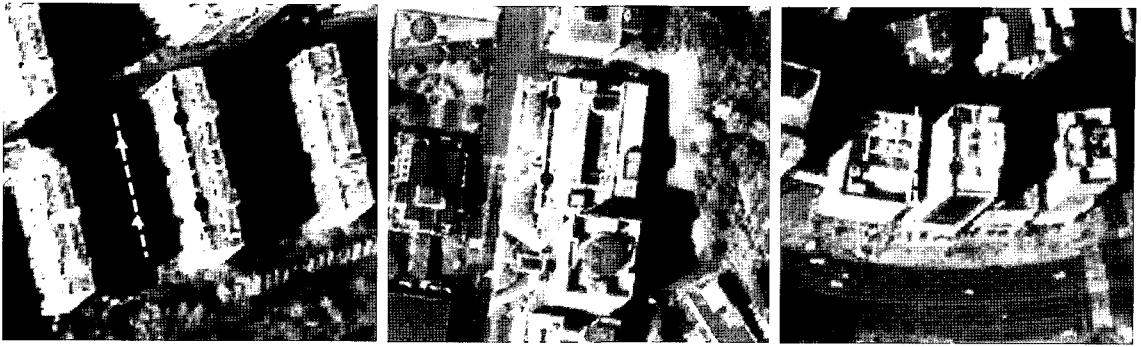


그림 3. 항공레이저측량자료의 선형요소와 대응하는 영상의 선형요소

공레이저측량 자료의 선형요소들과 대응하는 IKONOS-2 위성영상의 선형요소들의 영상좌표를 획득한다. 그림 3은 Step 1과 Step 2의 과정을 통하여 추출된 선형요소들의 예를 보여준다.

그림에서 노란색 삼각형으로 표기된 점들은 Step 1을 통하여 구해지며, 이는 항공레이저측량 자료로부터 추출된 선형요소들을 영상좌표계 상에서 표현하는 점들이다. 또한 붉은 색 원형으로 표기된 점들은 항공레이저측량 자료로부터 추출된 선형요소들과 대응되는 IKONOS-2 영상에서 추출되는 선형요소들을 의미한다.

### Step 3> 기하보정을 위한 변환함수의 결정

항공레이저 측량 자료 선형요소들과 대응되는 IKONOS-2 위성영상의 선형요소들 간의 변환방정식을 결정하고 이를 통해 기하보정을 수행한다. 이를 위하여 본 연구에서는 영상좌표계 상에서 두 자료간의 공간변환함수로 2D affine 변환식을 이용하였다. 식 (2)는 본 연구에서 사용한 2D affine 변환함수의 형태를 보여준다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서,  $(a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3)$ 는 두 좌표계간의 축척변환, 회전변환, 비직교성을 표현하는 계수들이며  $[x, y]^T$ 는 변환의 대상이 되는 좌표계 상의 벡터이며,  $[x', y']^T$ 는 2D affine 변환으로부터 결정되는 벡터이다. 위의 함수식과 각각의 데이터로부터 추출된 선형요소들을 이용하여 다음과 같이 관측방정식이 유도되어 질 수 있다. IKONOS-2 위성영상과 항공레이저측량 데이터로부터 추출된 선형요소들은 선형요소에 존재하는 점들로 표현된다. 이 선형요소들을 정의하는 점들은 위에서 언급한 것처럼 변환함수

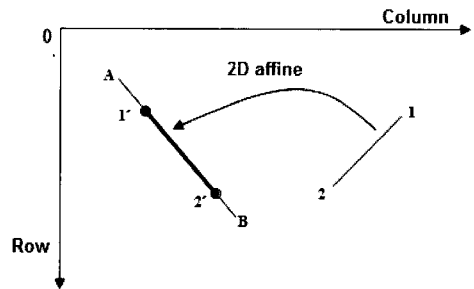


그림 4. 2차원 affine 변환의 산출

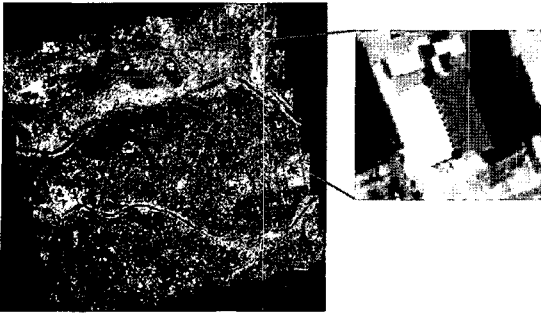
의 계수를 구하기 위해 일치할 필요는 없다. IKONOS-2 위성영상으로부터 추출된 선형요소가 변환 후 항공레이저측량 자료로부터 추출된 선형요소 상에 존재해야 한다는 조건으로부터 식 (3)이 유도되고 이 관측방정식을 통하여 변환함수를 산출한다.

$$\frac{(x_B - x_A)}{(y_B - y_A)} = \frac{a_1x_1 + a_2y_1 + a_3 - x_A}{b_1x_1 + b_2y_1 + b_3 - y_A} \quad (3)$$

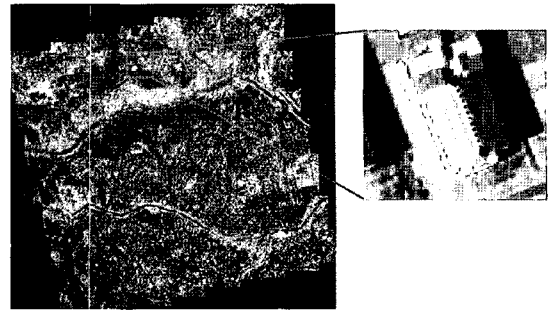
여기서,  $(x_1, y_1)$ 는 IKONOS-2 위성영상으로부터 추출된 선형요소의 한 점의 좌표를 나타내며,  $(x_A, y_A)$ 와  $(x_B, y_B)$ 는 항공레이저측량 자료로부터 추출된 선형요소 상에 존재하는 두 점의 좌표를 나타낸다. 하나의 선형요소 쌍으로부터 2개의 관측방정식이 얻어지므로 평행하지 않은 2개의 선형요소 쌍을 포함하는 3개 이상의 선형요소 쌍들을 이용하여 2D affine 변환함수의 미지 계수들을 구할 수 있다. 더 많은 개수의 선형요소 쌍들은 최소제곱 조정을 가능하게 해준다. 그림 4는 위의 과정을 도식적으로 보여준다.

### Step 4> 기하보정의 정확도평가

마지막으로 기하보정의 정확도 평가를 위해, IKONOS-2



(a) 좌측영상



(b) 우측영상

그림 5. 정확도평가를 위해 추출된 IKONOS-2 좌·우 영상의 매칭점

스테레오 영상으로부터 획득한 선형요소 영상좌표에 위의 과정을 통하여 결정된 변환함수를 적용한다. 변환된 영상 좌표와 RPC 모델을 이용하여 지상좌표를 구한 후(이효성 등, 2003), 이에 대응되는 항공레이저측량 자료의 선형요소와의 법선벡터를 구하여 기하보정의 정확도를 평가하였다.

그림 5는 정확도 평가를 위해 IKONOS-2 좌·우 각각의 영상으로부터 추출된 매칭점의 예를 보여준다(그림 5의 파란색 실선은 단지 선형요소가 영상에 분포된 상태를 보여준다).

### 3. 실험적용 및 평가

본 연구에서 제안한 방법론의 효용성을 평가하기 위하여 대전광역시 일대에 대하여 취득된 IKONOS-2 위성영상과 항공레이저측량 자료를 이용하여 수행하였다. 본 연구에 사용된 영상자료는 2001년 11월 19일에 대전광역시 일대(지상면적 약 9.6km×9.6km)를 대상으로 관측 수집된 공간해상력 1m의 IKONOS-2 Geo-level 전정색(panchromatic) 입체영상이다. 항공레이저측량 자료의 경우 2005년 5월에 대전광역시 일대에 대하여 OPTEC ALTM-2700 기기를 이용하여 취득되었으며 기대되는 수평·수직위치 정확도는 각각 30cm·15cm이고 평균 점밀도는 2.2points/m<sup>2</sup>이다. 제안된 방법론의 평가를 위하여 2장의 IKONOS-2 위성영상 스테레오 쌍과 항공레이저측량 자료로부터 각각 36개의 선형요소 쌍들을 추출하였다. 이 중 18개의 선형요소 쌍들과 본 연구에서 개발된 방법론을 이용하여 좌·우 각각의 영상에 대한 기하보정을 독립적으로 실시하였다. 또한, 스테레오 영상으로부터 추출된 나머지 18개의 선형요소 쌍들에 대해 위성영상의 RPC모델 해

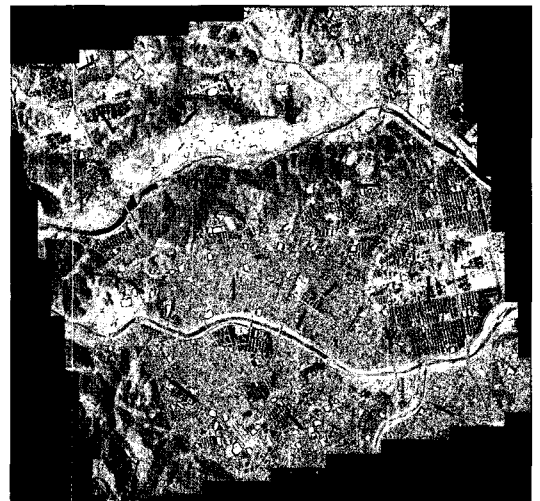


그림 6. 추출된 선형요소들의 분포

석을 통하여 3차원 위치를 산출한 후 정확도 평가를 수행하였다. 그림 6은 추출된 선형요소들의 분포상태를 보여주며 붉은색 실선은 기하보정을 위해 사용된 선형요소들이며 파란색 실선은 정확도 평가를 위해 사용된 선형요소들을 의미한다(그림 6의 붉은색 실선과 파란색 실선은 단지 선형요소가 영상에 분포되어 있는 상태를 보여준다).

본 연구에서 제안한 방법론에 따라 항공레이저 측량 자료로부터 추출된 18개의(그림 1의 붉은색 선형요소 참조) 선형요소를 이용하여 IKONOS-2 위성영상 스테레오 좌·우 두 장의 영상에 대해 독립적으로 기하보정을 수행하였으며 표 1은 기하보정의 결과로 산출된 변환함수의 형태와 계수 값 및 변환함수의 RMSE 값들을 보여준다.

제안된 방법론의 정확도 평가를 위하여 IKONOS-2 스테레오 영상으로부터 획득한 18개의 선형요소들(그림 1의 파란색 선형요소 참조)에 영상좌표에 결정된 변환함수

표 1. 기하보정 변환함수

	변환함수	변환함수의 계수 값	RMSE(pixel)
좌측영상	$X'_L = a_L X_L + b_L Y_L + c_L$ $Y'_L = d_L X_L + e_L Y_L + f_L$	$a_L=1.000, b_L=3.927e-5, c_L=0.638$ $d_L=2.247e-4, e_L=1.000, f_L=-4.447$	0.753
우측영상	$X'_R = a_R X_R + b_R Y_R + c_R$ $Y'_R = d_R X_R + e_R Y_R + f_R$	$a_R=1.001, b_R=-1.831e-4, c_R=0.761$ $d_R=-7.976e-5, e_R=1.000, f_R=-17.781$	0.764

를 적용하고 변환된 영상좌표와 스테레오 영상의 RPC 모델들을 이용하여 3차원 지상좌표를 산출하였다. 이 후 기하보정 된 영상들로부터 3차원 위치가 결정된 선형요소들과 이에 대응되는 항공레이저측량 자료의 선형요소와의 법선벡터를 구하여 기하보정의 정확도를 평가하였다. 표 2는 위의 과정을 통하여 수행된 정확도 평가 결과를 보여준다.

표 2로부터 IKONOS-2 입체 영상으로부터 추출한 선형요소들의 3차원 위치에 대한 법선벡터들의 크기가 기하보정 전 25m 이상의 위치오차를 보이던 두 자료가 기하보정 후 1.5m 미만의 위치정확도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한 기하보정 전·후의 오차벡터 평균값이 기하보정 후 감소된 결과는 RPC 모델에 존재하는 편위(biases)들이 X, Y, Z 각각의 방향에 대해서 효과적으로 보정되었음을 의미한다. 이 실험결과는 본 연구에서 제안한 기하보정 방법론을 통하여 IKONOS-2 위성영상과 항공레이저측량 자료의 기하보정이 이루어 질 수 있음을 보여주고 있다. 또한, 본 연구결과가 통계적으로 의미가 있는 결과인지 평가하기 위하여 t-test를 적용하여 연구결과에 대한 통계검증을 실시하였다. 통계검증을 통하여 기하보정 전후의 오차분포를 비교하였으며 기하보정 후의 오차크기의 감소가 통계학적으로 의미가 있는 양인지를 검사하였다. 통계검증을 위하여 적용된 식은 다음과 같다.

$$T = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{1,i} - X_{2,i})}{S_D / \sqrt{n}} \quad (4)$$

$$\text{여기서, } S_D^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{1,i} - X_{2,i}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{1,i} - X_{2,i})$$

이고  $X_{1,i}, X_{2,i}$ 는  $i$ 번째의 선형요소의 기하보정 전 후 오차의 크기를 의미하며  $n$ 은 기하보정의 정확도를 평가하기 위하여 사용된 항공사진에 재 투영된 선형요소의 끝점들의 개수를 의미한다. 이 경우 적용되는 가설은 다음의 식으로 표현된다.

표 2. 정확도 평가 결과

	기하보정 전		기하보정 후	
	평균	표준편차	평균	표준편차
dX(m)	9.026	±2.859	-0.055	±0.823
dY(m)	2.064	±4.090	0.012	±0.620
dZ(m)	23.084	±1.274	0.580	±1.211
법선벡터의 크기(m)	25.343	±1.397	1.410	±0.950

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, H_1: \mu_1 > \mu_2 \quad (5)$$

여기서,  $\mu_1$ 과  $\mu_2$ 는 기하보정 전후 오차들의 모집단의 평균값을 의미한다. 위의 t-test 적용결과 기하보정 전·후의 법선벡터들의 분포에 대하여 10.067의 t-value를 얻을 수 있었다. 이는 99% 신뢰도 구간에서 본 연구의 결과가 유의미하다는 것을 나타낸다(99% 신뢰도에서 t-value는 2.364이다). 이를 통해 개발된 방법론이 IKONOS-2 위성영상과 항공레이저측량자료의 기하보정에 효과적으로 사용될 수 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 항공레이저측량 자료를 활용하여 고해상도 위성영상을 기하보정하기 위한 방법론을 개발하였다. 이를 위해 항공레이저측량 자료의 특성과 고해상도 위성영상인 IKONOS-2 위성영상의 특성을 고려하여 선형요소를 기하보정의 요소로 사용하는 방법론을 개발하였다. 선형요소를 기하보정의 기본요소로 사용하므로 기존의 점요소 기반의 기하보정 과정에 비해 기하보정요소 추출을 위한 작업과정을 단순화하고 소요되는 시간적·경제적 비용을 절감시킬 수 있었다. 또한, 관측방정식의 조정에 있어서도 선형요소 상에 존재하는 무수한 점들의 영상좌표를 활용할 수 있기 때문에 조정 수행 시 자유도가 높다는 장점도 가질 수 있다. 마지막으로 개발된 방법론들을 실제 데이터에 적용하고 통계분석을 실시하였으며 이로부터

본 연구에서 제안한 방법론의 효용성을 입증하였다. 현재는 본 연구의 효용성을 높이기 위해 기하보정에 사용되는 선형요소의 개체 수 및 분포 등이 기하보정에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하고 있다. 또한 점요소 기반의 기하보정 기법과의 비교평가도 본 연구의 활용가치를 높이기 위해 필요한 연구라 판단된다.

## 참고문헌

김의명, 이석균 (2006), 고해상도 위성영상의 센서모형화 방법 비교, *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제 26권, 제 6D호, pp. 1025-1032.

이재빈, 유기운 (2006), 선형기하보정 요소를 이용한 항공레이저 측량 자료, 항공사진, 대축척 수치지도의 기하보정에 관한 연구, *한국지형공간정보학회지*, 한국지형공간정보학회, 제 14권, 제 4호, pp. 37-44.

이효성, 이재빈, 김용일, 유기운 (2003), IKONOS 위성영상의 Rational Function Model 계수 직접추출에 의한 3차원 위치 결정, *대한토목학회논문집*, 대한토목학회 제 23권, 제 1D호, pp. 115-121.

Brown, L. (1992), A survey of image registration techniques, *ACM Computing Surveys* 24(4), pp. 325-376

Di, K., Ma R. and Li, R. X. (2003), Rational Functions and potential for Rigorous Sensor Model Recovery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 69, No. 1, pp. 33-41.

Fraser, C. S. and Hanley, H. B. (2003) Bias Compensation in Rational Functions for Ikonos Satellite Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 69,

No.1, pp. 53-57.

Grodecki, J. and Dial, G. (2003), Block Adjustment of high-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 69, No 1, pp. 59-68.

Habib, A. and Schenk, T. (1999), New approach for matching surfaces from laser scanners and optical sensors, *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Science*, 32(3W14), pp. 55-61.

Habib, A., Shin, S. Morgan M. (2002), New approach for calibrating off-the-shelf digital cameras. In *ISPRS Commission III Symposium*, Graz, Austria, September 9-13.

Habib, A., Lin, H. T. and Morgan, M. (2003), Autonomous Space Resection Using Point- and Line-Based Representation of Free-Form Control Linear Features, *Photogrammetric Record*, Vol. 18, No. 103, pp. 244-258.

Habib, A., Mwafag, G. and Edson, M. (2004), Co-registration of Photogrammetric and Lidar Data: Methodology and Case Study, *Brazilian Journal of Cartography*, Vol. 56, No. 1, pp. 113-2004.

Lee, C., Bethel, J. S. (2004), Extraction, Modeling, and Use of Linear Features for Restitution of Airborne Hyperspectral Imagery, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *ISPRS*, Vol. 58, Issues 5-6, pp. 289-300.

OpenGIS Consortium (1999), The OpenGIS Specification Model-Topic: The Earth Imagery Case, URL: <http://www.opengis.org/techno/abstract/99-107.pdf>.

Tommaselli, A. M. and Telles, S. S. S. (2006), A Mathematical Model for Camera Calibration Using Straight Lines, URL: [http://www.isprs.org/commission1/euroCOW06/euroCOW06\\_files/papers/Tommaselli\\_Telles\\_line\\_calib\\_eurocow06.pdf](http://www.isprs.org/commission1/euroCOW06/euroCOW06_files/papers/Tommaselli_Telles_line_calib_eurocow06.pdf).

(접수일 2007. 3. 29, 심사일 2007. 4. 6, 심사완료일 2007. 6. 14)