

3차원 수치영상 지형지도의 제작에 관한 연구 : 항공레이저측량자료, 항공사진, 대축척 수치지도를 활용하여

3D Digital Image Mapping of the Terrain Using
Airborne Laser Scanning Data, Aerial Photos and 2D Digital Maps

이재빈 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정(제1저자)
배환성 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정
유기운 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수

※ 주요단어: 3차원 수치영상 지형지도, co-registration, 항공레이저측량자료
항공사진, 대축척 수치지도

목 차

- I. 서론
- II. 연구의 범위 및 방법
 - 1. 연구의 범위 및 연구자료
 - 2. 연구의 방법
- III. 연구의 내용
 - 1. 항공레이저측량자료의 전처리
 - 2. 자료의 co-registration
 - 3. 정사영상 제작
 - 4. 3차원 수치영상 지형지도 제작
- IV. 결론

I. 서론

최근 21세기 지식정보사회로 진입하면서 국가지리 정보시스템, 대규모 건설사업, 자동차 자동항법시스템, 지상파방송 서비스, 웹 지도 서비스 등의 다양한 분야에서 지형을 3차원으로 표현할 수 있는 3차원 수치지형지도에 대한 수요가 급증하고 있다. 특히 하드웨어, 통신 및 자료처리 소프트웨어 기술의 발달로 인해 컴퓨터 공간상에서 다루어지는 수치지도 자료는 2차원에서 3차원의 자료로 확장되어 가고 있으며, 이는 2차원 자료로부터 획득할 수 있는 정보의 한계성을 극복하고 실세계를 보다 현실적으로 단말기 화면을 통해 이용하려는 사용자의 요구에 기인하고 있다¹⁾. 또한 인간 중심의 실감 정보화 시대로 발전함에 따라 실제의 대상을 컴퓨터 가상공간상에서 원형과 동일한 형태로 표현하

고자 하는 사용자의 요구는 3차원 자료의 생성과 활용에 대한 여러 연구들과 매체들을 생성시키고 있다. 이러한 3차원 자료의 생성과 인식을 위한 다양한 기술 중 인간이 실세계로부터 인식하는 정보의 80% 이상을 시각을 통해서 얻는다는 점에서 3차원 수치영상이 가장 유용한 자료의 형태로 각광받고 있다²⁾. 특히 3차원 수치영상 지형지도는 실제 국토를 컴퓨터 3차원 공간상에서 구현한 것으로 기존의 2차원 수치지도가 제공할 수 없는 현실감과 입체감 및 지리정보의 분석을 가능하게 함으로써 국토의 효율적 유지·관리를 위해 매우 중요한 역할을 수행할 수 있을 것이라 기대된다.

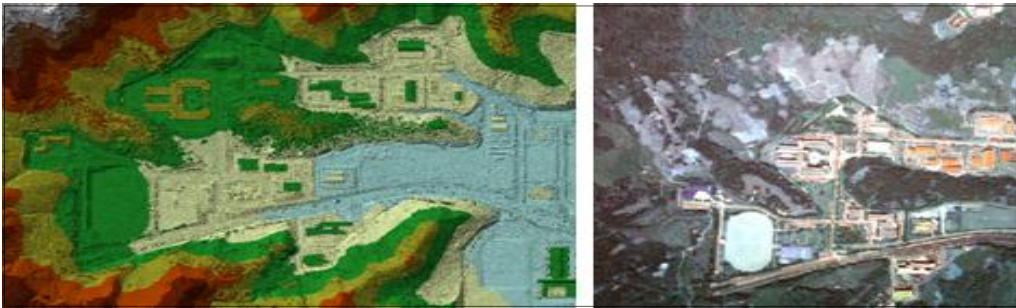
3차원의 수치영상 지형지도³⁾를 획득하고 이를 처리하기 위해서는 컴퓨터 하드웨어 기술이나 자료처리를 위한 소프트웨어 기술도 중요하지만 이에 선행되어 온 국토에 대한 영상자료 및 수치표

<그림 1> 연구의 대상지역



- 1) 손정영. 2001. "3차원기술 현황 및 전망". 한국광학회지 제5권 제2호 : pp7-12, 허병희. 1994. "3차원영상 획득기술의 동향과 응용기술". 대한전자공학회지 제21권 제10호 : pp1036-1045.
- 2) 엄대용·이성순. 2004. "3차원 수치영상을 이용한 암반사면의 불연속면 정보추출". 한국측량학회지 제22권 제3호 : pp233-244, 한국과학기술연구원. 2001. 고현장감 3차원 영상 디스플레이 기술개발 : pp183-208.
- 3) 수치표고모형, 2차원 수치지도 및 2차원 수치영상을 결합하여 지형의 3차원 정보를 표현하는 수치화된 영상지도를 의미.

<그림 2> 항공레이저측량자료와 항공사진



고모델 등 지리정보자료의 구축이 이루어져야 한다. 현재 항공사진 측량기술의 발달과 항공레이저 측량기술의 새로운 도입 등과 같은 측량기술의 발전에 따라 전 국토에 대해 경제적으로 빠른 시간 내에 3차원 지형정보와 영상정보를 획득하는 것이 가능하게 되었다.

이에 본 연구에서는 이렇게 획득된 자료들을 3차원 수치영상 지형지도의 제작에 활용하기 위한 방법론들을 순차적으로 적용하여 3차원 수치영상 지형지도를 작성하였으며 본 연구에서 적용된 방법론들의 평가를 수행하였다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위 및 연구자료

본 연구의 대상지역은 <그림 1>에서 제시된 바와 같이 대전광역시 유성구 지역을 연구의 대상지역으로 선정하였다. 연구 수행을 위하여 대상지역에 대해 3장의 항공사진 자료와 항공레이저측량자료 및 수치지도를 수집하였다. <그림 2>는 본 연구에서 사용된 대상지역의 항공레이저측량자료 및 항공사진 자료를 보여준다.

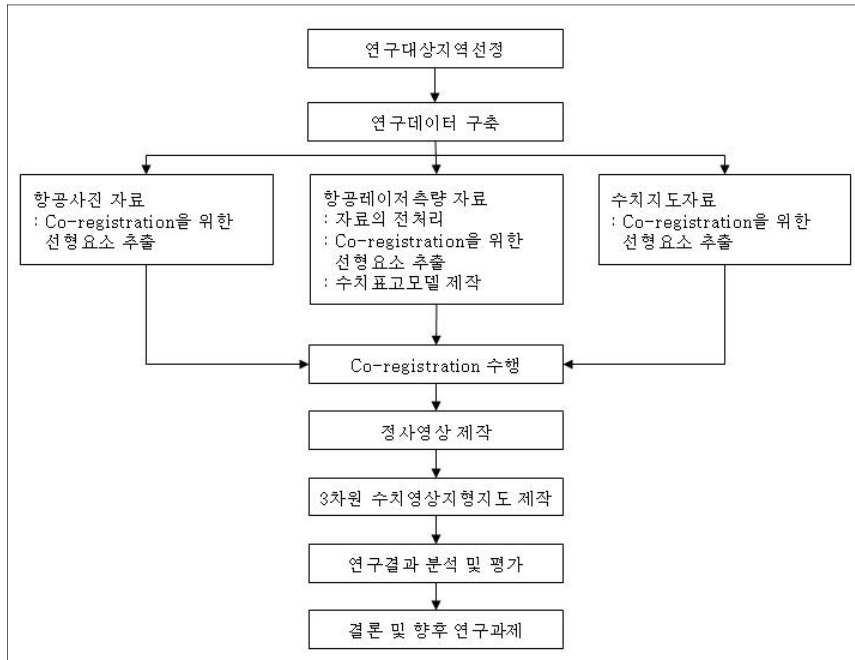
2. 연구의 방법

본 연구는 첨단 측량기술을 통해 구축된 지리정보 자료들을 활용하여 3차원 수치영상 지형지도를 제작하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 첫째, 자료 전처리 과정으로서 항공레이저측량자료의 취득 시 발생하는 항공레이저측량자료 스트립들 간의 상대오차를 보정하였다. 항공레이저측량기술은 여타 다른 수치표고자료 획득 기법에 비해 높은 정확도를 가지고 있으나, 여러 비행경로에서 관측된 스트립들을 이용하여 대상지역에 대한 수치지형자료를 생성하게 되므로 이렇게 관측된 스트립들 간에는 상대적으로 큰 편차가 발생하게 된다. 이는 구축된 수치지형자료의 전체 정확도를 저하시키는 원인이 되며, 본 연구의 전체 연구과정에 오차를 전파하게 된다. 따라서 항공레이저측량자료의 오차가 전체 연구과정에 전파되는 영향을 소거하기 위해 항공레이저측량자료의 오차 보정을 수행하였다.

둘째, 독립된 센서 및 각기 다른 측량기술로부터 취득된 항공사진과 항공레이저측량자료, 수치지도를 이용하여 3차원 수치영상 지형지도를 제작하기 위해서는 자료들을 하나의 공통된 공간 좌표

<그림 3> 연구의 흐름도



계상에서 표현할 수 있도록 co-registration하는 과정이 필요하게 된다. 이러한 co-registration은 co-registration을 위한 공통요소의 선택, 변환함수 결정, 결과에 대한 평가로 이루어진다.

본 연구에서는 서로 다른 특성을 가지는 자료들을 효과적으로 co-registration하기 위해 위의 고려사항들에 대한 논의를 수행하고 이를 바탕으로 효과적으로 co-registration을 실시하기 위한 방법론을 구축하였다.

셋째, co-registration을 통해 동일한 공통 좌표계상에 표현된 항공사진과 항공레이저측량자료를 이용하여 정사영상을 제작하였다. 정사영상 제작을 위한 방법론들의 비교를 통해 효과적인 정사영상

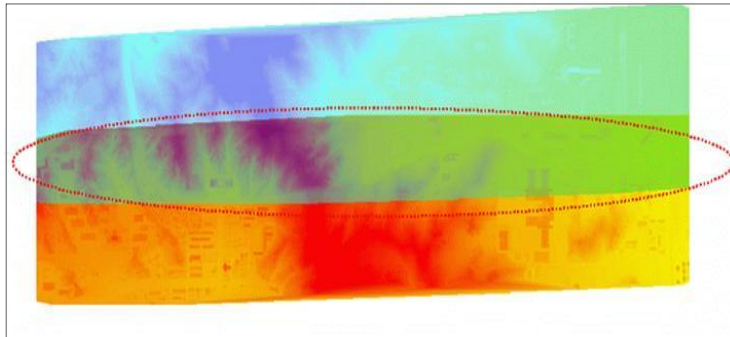
제작기법 알고리즘을 적용하였으며 이를 바탕으로 수치영상지도를 제작하였다.

넷째, 제작된 수치영상지도를 이용하여 3차원 수치영상 지형지도를 제작하기 위해서는 실제 지형의 기복을 표현해주는 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)⁴⁾이 필요하게 된다. 이러한 수치지형자료는 항공레이저측량자료로부터 인공 구조물 특히, 건물 등과 같은 지형 이외의 객체들을 제거함으로써 획득할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 3차원 객체들을 항공레이저측량자료로부터 제거하기 위한 알고리즘을 적용하고 이를 통해 수치표고모델을 제작하였다.

마지막으로 위의 과정을 통해 구축된 자료들을

4) 지형의 위치에 대한 표고를 일정한 간격으로 배열한 수치정보다. 수치고도모형이라고도 한다.

<그림 4> 연구대상지역 항공레이저측량자료의 스트립 구성



<표 1> 항공레이저측량자료 스트립 간 편차 보정결과

구분	변환방정식 적용 전		변환방정식 적용 후	
	평균	표준편차	평균	표준편차
dX(m)	0.182	±0.286	-0.028	±0.219
dY(m)	0.082	±0.315	-0.009	±0.166
dZ(m)	0.070	±0.111	-0.015	±0.070
RMSE(m)	0.325	±0.226	0.074	±0.184

이용하여 3차원 수치영상 지형지도를 제작하고 연구결과에 대한 평가를 수행하였다. <그림 3>은 본 연구의 흐름도를 보여준다.

III. 연구의 내용

1. 항공레이저측량자료의 전처리

항공레이저측량시스템은 광학-기계적(opto-mechanical) 스캐너를 이용하여 대상지역에 대한 측량을 실시하고 여러 개의 스캔라인(scan-line)으로 구성된 데이터를 획득하게 된다. 이러한 항공레이저측량시스템의 기계적 특성은 획득된 스캔라인들 간의 오차를 발생하게 되며

이러한 편차는 항공레이저측량자료를 이용하여 제작되는 자료들에 전파되게 된다.

본 연구의 대상지역은 <그림 4>와 같이 2개의 스트립으로 구성되어 있으며, 녹색으로 표기된 지역이 스트립 간에 공통으로 접하는 지역이다. 따라서 본 연구에서는 3차원 수치영상 지형지도를 제작하기 위한 전 처리 과정으로써 항공레이저측량자료의 스트립 간 편차를 보정하였다.

본 연구에서는 이를 위해 항공레이저측량자료의 스트립들에 존재하는 선형요소들을 공통요소로 이용하여 항공레이저측량자료의 스트립 간 편차를 보정하는 방법론을 적용하였다. 이를 위해 항공레이저측량자료 각각의 스트립으로부터 20개의 선형요소들을 추출하였다. 추출된 선형요소들

을 이용하여 스트립 간 편차보정을 위한 변환방정식을 결정하였다.

마지막으로 보정의 효과를 평가하기 위하여 하나의 스트립으로부터 추출된 선형요소의 중심점으로부터 다른 스트립에서 추출된 선형요소까지의 직교벡터(normal vector)를 계산하였다. <표 1>은 보정 전후 선형요소 쌍들의 직교벡터들의 크기를 보여주고 있다.

<표 1>에서 보정 전 0.325m의 상대위치 오차를 보이던 두 자료가 보정 후 0.074m의 상대위치 정확도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 항공레이저측량자료의 스트립 간에 존재하는 편차가 보정되었음을 확인할 수 있다.

2. 자료의 co-registration

서로 다른 센서 및 측량방법에 의해 취득된 데이터들을 co-registration하는 목적은 각각의 센서들로부터 취득된 데이터들이 가지는 장점을 극대화하고 보다 높은 정확도를 획득하기 위함이다.

본 연구에서는 항공사진과 항공레이저측량자료, 수치지도를 이용하여 3차원 수치영상 지형지도를 제작하기 위해서 자료들을 하나의 공통된 공간 좌표계상에서 표현할 수 있도록 각기 다른 측량기술로부터 제작된 위의 자료들을 co-registration하는 과정을 수행하였다. 일반적으로 이러한 co-registration을 수행하기 위해서는 다음의 세 가지의 문제해결에 대한 논의가 선행되어

져야 한다.

첫째, co-registration을 수행하기 위해 어떠한 요소를 선택할 것인가?

둘째, co-registration의 대상이 되는 데이터들 간의 변환함수를 수학적으로 어떻게 결정할 것인가?

마지막으로, 적절한 변환함수를 이용하여 수행된 co-registration 결과에 대한 평가는 어떤 방법으로 수행할 것인가?⁶⁾

본 장에서는 이러한 문제에 대해 본 연구에서 제안한 알고리즘과 관련하여 고찰하고 연구 결과에 대한 평가를 수행하였다.

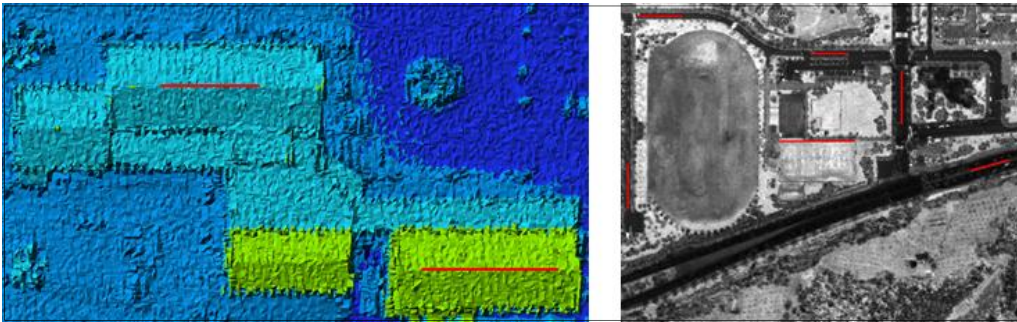
1) co-registration을 위한 요소 선택

co-registration의 과정에서 선택되는 요소들은 전체 co-registration 과정에 중대한 영향을 미치므로 매우 신중히 선택되어야 한다.⁷⁾ 공간데이터의 기하보정 과정에서 가장 일반적으로 사용되는 요소들은 점(point), 선(line), 면(polygon) 객체들이다. 이러한 요소들은 인공구조물, 도로, 강, 해안선, 빌딩의 경계 및 중심점 등으로부터 추출된다. 전통적인 사진측량 및 원격탐사 분야에서는 점 기하요소(매칭점, 지상기준점)들이 기하보정을 위한 기본 요소로서 주로 사용되었다.

하지만 본 연구에서 목적으로 하는 항공사진과 항공레이저측량 자료 간의 co-registration에 있어서 점 기하요소들은 co-registration의 요소로서 적용하기에 어려움이 따른다. 왜냐하면 항공레이저측량자료의 경우 foot-print 형태로 데이터의 취

5) Jae-Bin Lee. 2005. "Segmentation and extraction of linear features for adjustment of discrepancies between LIDAR data strips". Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings. 2005 IEEE International.
6) Brown, L. 1992. "A survey of image registration techniques". *ACM Computing Surveys* 24(04) : pp325-376.
7) Habib, A. 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) : pp55-61.

<그림 5> 항공레이저측량자료로부터 선형요소 추출



득이 이루어지기 때문에, 항공사진에서 이러한 foot-print 형태로 취득된 데이터와 동일하게 인식 되는 점들을 결정하는 과정은 많은 어려움이 따른다.

또한 독립된 3개의 평면을 항공레이저측량자료로부터 추출하여 교차함으로써 점들을 결정할 수도 있지만 이는 많은 계산시간과 자원을 필요로 한다. 면 기하요소를 co-registration의 요소로 사용할 경우, 항공레이저측량자료로부터는 비교적 쉽게 인식이 가능하나 항공사진으로부터 면 기하요소를 인식하기에는 또한 많은 어려움이 따른다.⁸⁾ 선형요소의 경우에는 항공사진과 항공레이저측량자료 모두로부터 용이하게 인식 및 추출이 가능하므로 본 연구에서는 선형요소를 본 연구에서 목적으로 하는 항공사진, 항공레이저측량자료, 수치지도의 co-registration을 위한 기본 요소로서 활용하였다. 수치지도의 경우에는 위에서 기술한 점, 선, 면 객체 모두에 대해 인식 및 추출 과정에서 큰 어려움이 없으므로 본 논의에서 배

제하였다.

2) 항공사진과 항공레이저측량자료의 co-registration

(1) co-registration을 위한 요소의 추출

위의 논의를 바탕으로 항공사진과 항공레이저측량자료의 co-registration을 위해서 각각의 자료로부터 선형요소들을 추출하였다. 추출되는 선형요소들은 선형요소상에 존재하는 점들을 이용하여 표현하였다.

항공레이저측량자료로부터의 정확한 선형요소 추출을 위해서 항공레이저측량자료의 고도자료를 분할하고, 이 점들을 이용하여 평면방정식을 계산한 뒤, 계산된 평면방정식들을 교차하여 선형요소를 계산하였다⁹⁾. 또한 항공레이저측량자료의 반사강도 자료도 선형요소의 추출을 위하여 사용되었다. 다음의 <그림 5>는 항공레이저측량자료로부터 추출된 선형요소들의 예를 보여준다. <그림 5>의 좌측 영상은 항공레이저측량자료의 고도자료로부터 추출된 선형요소들이며 우측영상은 항공레이저

8) Habib, A. 2004. "Co-registration of photogrammetric and lidar data". Methodology and Case Study(invited paper), *Brazilian Journal of Cartography* 56(01). July 2004 : pp1-13.

9) Jae-Bin Lee. 2005. "Segmentation and extraction of linear features for adjustment of discrepancies between LIDAR data strips". Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings. 2005 IEEE International.

<그림 6> 항공사진자료로부터 선형요소 추출



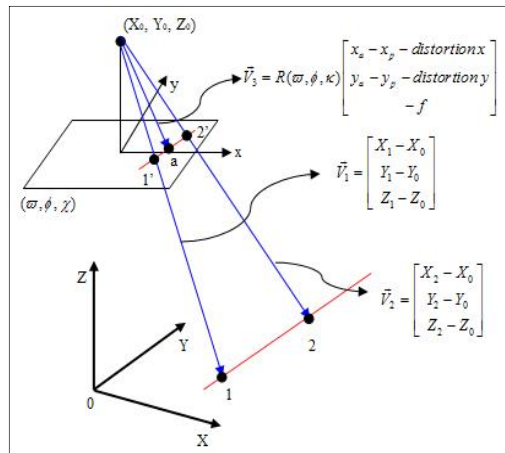
측량자료의 반사강도자료로부터 추출된 선형요소들이다.

이에 대응하는 항공사진의 선형요소들은 <그림 6>과 같이 추출되었다. 여기서 주목할 점은 본 연구에서 적용한 알고리즘의 특성상 항공레이저측량자료로부터 추출되는 선형요소와 대응하는 항공사진의 선형요소상에 존재하는 어떤 점이든 co-registration을 위한 요소로 사용가능하며 항공사진으로부터 추출되는 선형요소에 존재하는 점들이 항공레이저측량자료로부터 추출되는 점들과 일대일 대응관계를 가질 필요가 없다는 것이다. 또한 본 연구에서 사용되는 3장의 항공사진으로부터 추출되는 동일한 선형요소에 존재하는 점들도 서로 대응관계가 필요가 없다는 것이다. 이는 전체적인 작업과정을 신속하고 효율적으로 만든다.

(2) co-registration 변환함수의 결정

본 연구에서는 항공사진 단영상과 항공레이저측량

<그림 7> 항공사진 단영상과 항공레이저측량자료의 co-registration



자료의 co-registration을 위한 변환함수로 항공사진의 공선조건식을 이용하였다. 항공사진의 공선조건식을 위의 과정을 통해 추출한 선형요소들을 이용하여 갱신하기 위해 <그림 7>과 같은 제약조건을 이용하였다.

즉, 항공사진과 항공레이저측량자료가 공선조건식에 의해 완벽히 co-registration이 수행되었을 경우 항공사진상의 점(x_a, y_a)과 항공사진의 주점(X_0, Y_0, Z_0)이 구성하는 벡터 \vec{V}_3 자료로부터 추출되는 선형요소의 한 점(X_1, Y_1, Z_1)과 항공사진의 주점(X_0, Y_0, Z_0)이 구성하는 벡터 \vec{V}_1 및 항공레이저측량자료로부터 추출되는 선형요소의 또 다른 한 점(X_2, Y_2, Z_2)과 항공사진의 주점(X_0, Y_0, Z_0)이 구성하는 벡터 \vec{V}_2 는 동일한 평면상에 존재하게 된다. 이는 다음 식과 같이 표현된다.¹⁰⁾

$$(\vec{V}_1 \times \vec{V}_2) \cdot \vec{V}_3 = 0$$

여기서, $\vec{V}_1 = (V_1^x, V_1^y, V_1^z), \vec{V}_2 = (V_2^x, V_2^y, V_2^z)$
 $\vec{V}_3 = (V_3^x, V_3^y, V_3^z)$

위의 식에 표현된 제약조건을 이용하여 항공사진의 공선조건식을 갱신하기 위한 식을 전개하면 다음과 같다.

$$(V_1^x \times (V_2^y V_3^z - V_2^z V_3^y) - (V_1^y \times (V_2^z V_3^x - V_2^x V_3^z) - (V_1^z \times (V_2^x V_3^y - V_2^y V_3^x)) = 0$$

여기서, $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3$ 벡터의 각 항은 항공사진 공선조건식의 외부표정요소로 표현된다. 위의 식을 $F(V_1^x, V_1^y, V_1^z, V_2^x, V_2^y, V_2^z, V_3^x, V_3^y, V_3^z)$ 로 치환하고 갱신

하고자 하는 미지수인 항공사진 공선조건식의 외부표정요소 $\omega, \phi, k, X_0, Y_0, Z_0$ 에 대해 테일러전개를 실시하여 관측방정식을 구성하면 다음과 같다.

$$(F)_0 + \left(\frac{\delta F}{\delta \omega}\right)_0 d\omega + \left(\frac{\delta F}{\delta \phi}\right)_0 d\phi + \left(\frac{\delta F}{\delta k}\right)_0 dk + \left(\frac{\delta F}{\delta X_0}\right)_0 dX_0 + \left(\frac{\delta F}{\delta Y_0}\right)_0 dY_0 + \left(\frac{\delta F}{\delta Z_0}\right)_0 dZ_0 - v = 0$$

각각의 선형요소에 존재하는 점들에 대해 위의 관측방정식을 구성하고 이 식을 최소제곱조정하면 항공사진 외부표정요소의 최확값을 얻을 수 있게 된다. 이 과정을 통하여 항공사진 단영상과 항공레이저측량자료의 co-registration이 수행된다.

알고리즘의 평가를 위하여 3장의 항공사진과 항공레이저측량자료로부터 각각 27개의 선형요소 쌍들이 추출되었으며 본 연구에서 개발된 알고리즘을 적용하여 co-registration을 실시하였다.

다음의 <표 2>는 위의 과정을 통하여 갱신된 공선조건식과 co-registration 전의 공선조건식을 각각 적용하여 항공레이저측량자료의 선형요소를 항공사진 위에 재투영할 경우 항공레이저측량자료에 투영되는 점과 이에 대응하는 항공사진상의 선형요소가 이루는 직선의 방정식 간의 거리를 보여준다.

<표 2>로부터 보정 전 15 화소거리 이상의 위치

<표 2> 항공사진과 항공레이저측량자료의 co-registration 결과

구분	항공사진 1		항공사진 2		항공사진 3	
	보정 전	보정 후	보정 전	보정 후	보정 전	보정 후
평균거리	16.452	0.479	15.446	0.595	17.237	0.548
표준편차	10.287	0.324	10.103	0.364	11.563	0.387

10) Habib, A. 2004. "Co-registration of photogrammetric and lidar data". *Methodology and Case Study, Brazilian Journal of Cartography* 56(01). July 2004 : pp1-13.

오차를 보이던 두 자료가 보정 후 0.6 화소거리 미만의 위치정확도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이 실험결과는 본 연구에서 제안한 co-registration 알고리즘을 통하여 항공사진 단영상과 항공레이저측량자료의 co-registration이 이루어질 수 있음을 보여주고 있다.

또한 본 연구결과가 통계적으로 유의미한 결과인지 평가하기 위하여 t-test를 적용하여 연구결과에 대한 통계검증을 실시하였다. T-test 결과 9.030의 t-value를 얻을 수 있었다. 이는 99% 신뢰도 구간에서 본 연구의 결과가 유의미하다는 것을 나타낸다(99% 신뢰도에서 t-value는 2.364다). 이를 통해 본 연구를 통하여 개발된 알고리즘이 항공사진 단영상과 항공레이저측량자료의 co-registration에 효과적으로 사용될 수 있음을 확인할 수 있다.

3) 항공레이저측량자료와 수치지도의 co-registration

(1) co-registration을 위한 요소 추출

선형요소를 항공레이저측량자료와 2차원 수치지도의 co-registration을 수행하는 기하요소로 활용하

기 위하여 수치지도 및 항공레이저측량자료로부터 각각 선형요소를 추출하였다. 선형요소의 표현방법 및 항공레이저측량자료에서의 선형요소 추출 과정은 3장 2절에 제시된 내용을 따른다. 다음의 <그림 8>은 항공레이저측량자료와 수치지도로부터 각각 추출된 선형요소의 예를 보여준다.

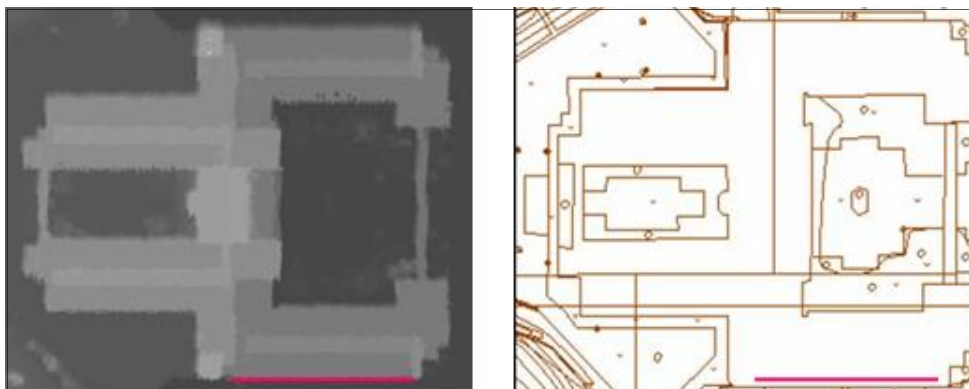
(2) co-registration을 위한 변환함수의 결정

수치지도와 LIDAR 데이터의 co-registration은 2차원 공간상에서 이루어지므로 co-registration을 위한 변환함수로 2차원 등각변환함수가 본 연구에서는 이용되었다. 다음의 식은 본 연구에서 사용한 2차원 등각변환함수의 형태를 보여준다.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \end{bmatrix}$$

여기서, s 는 축척계수, $(X_T, Y_T)^T$ 는 평행이동 벡터, θ 는 회전변환 요소를 의미한다. (X, Y) 는 변환의 대상이 되는 좌표계상의 벡터이며, $(X', Y')^T$ 는 2차원 등각변환으로부터 결정되는 벡터다. 위의 함수식과 각각의 자료로부터 추출된 선

<그림 8> 항공레이저측량자료 및 수치지도로부터 추출된 선형요소



<표 3> Co-registration 전후 선형요소들 간의 직교벡터의 크기

구분	보정 전		보정 후	
	평균	표준편차	평균	표준편차
dX(m)	0.015	0.556	0.001	0.450
dY(m)	-0.091	0.959	0.003	0.870

형요소들을 이용하여 다음과 같이 관측방정식이 유도될 수 있다. 항공레이저측량자료로부터 추출된 선형요소가 변환된 후 수치지도로부터 추출된 선형요소상에 존재해야 한다는 조건으로부터 다음 식이 유도되면 이 관측방정식을 통하여 2차원 등각변환함수의 계수들이 구해진다.

$$\frac{(X_B - X_A)}{(Y_B - Y_A)} = \frac{S \cos \theta x_1 - S \sin \theta y_1 + X_T - X_A}{S \sin \theta x_1 - S \cos \theta y_1 + Y_T - Y_A}$$

여기서, (x_1, y_1) 은 수치지도로부터 추출된 선형요소의 한 끝점의 좌표를 나타내며, (X_A, Y_A) 와 (X_B, Y_B) 는 항공레이저측량자료로부터 추출된 선형요소의 양 끝점의 좌표를 나타낸다. 하나의 선형요소 쌍으로부터 2개의 관측방정식이 얻어지므로 평행하지 않은 2개의 선형요소 쌍을 이용하여 2차원 등각변환함수의 미지계수들을 구할 수 있다. 더 많은 개수의 선형요소들은 최소제곱 조정을 가능하게 해준다.

위의 알고리즘을 이용하여 항공레이저측량자료와 1:1,000 수치지도의 co-registration을 실시하였다. 이를 위하여 각각 27개의 선형요소 쌍들이 추출되었다. 본 연구에 사용된 대상지역의 1:1,000 수치지도의 경우 현재 Bessel 타원체를 기준 타원체로 하여 TM(Trans Mercator)투영을 적용하여 제작되었으므로(수치지도 ver. 1.0), 본 연구에서는 좌표계를 통일하기 위하여 국토지리정보원에서 배포한 수치

지도 좌표계변환 프로그램인 GDKTrans 소프트웨어를 사용하여 수치지도의 기준타원체를 GRS80 타원체로 변환하는 전처리 작업을 수행하고 co-registration을 실시하였다. co-registration의 효과를 평가하기 위하여 수치지도로부터 추출된 선형요소의 중심점으로부터 항공레이저측량자료로부터 추출된 선형요소까지의 직교벡터(normal vector)를 계산하였다. 다음의 <표 3>은 co-registration 전후 선형요소 쌍들의 직교벡터들의 크기를 보여주고 있다.

실험결과 1:1,000 수치지도와 항공레이저측량자료 간의 co-registration에서는 자료 상호 간의 계통적 오차(systematic error)의 양이 미미하여 보정의 효과도 미미하였다. 하지만, 이러한 결론을 도출하기 위해서는 보다 많은 검증작업이 필요하다.

3. 정사영상 제작

위의 과정을 통하여 co-registration된 항공사진과 항공레이저측량자료를 이용하여 3차원 수치영상 지형지도의 기본영상으로 사용될 정사영상을 제작하였다. 이를 위해 항공레이저측량자료를 보간하여 3차원 지표모델을 제작하고 갱신된 항공사진의 외부표정요소로 구성된 공선조건식을 이용하여 정사영상을 제작하였다. 정사영상 제작 시 항공사진의 자료획득 원리인 중심투영 특성상 급격한 높이의 변화를 보이는 자연지물과 교량, 건물 등과 같

<그림 9> 정사영상 제작



은 인공구조물이 존재하는 지역에서는 일반적인 정사영상 제작기법이 적용될 때 폐색(occlusion)이나 이중매핑(double mapping)과 같은 문제가 발생하게 된다¹¹⁾. 따라서 본 연구에서는 정사영상 제작 시 이러한 오류를 제거하기 위하여 Z-버퍼 알고리즘을 이용하여 영상에 나타나는 폐색영역을 탐지한 후, 중복영상을 이용하여 영상 복원을 수행함으로써 폐색에 의한 문제를 해결하였다. Z-버퍼 알고리즘은 가시권 분석을 위하여 컴퓨터 그래픽 분야에서 주로 사용되던 방법으로 Amhar(1998)¹²⁾과 Rau(2002)¹³⁾가 정사영상의 제작에 활용하였으며, Y.Sheng(2003)¹⁴⁾은 항공레이저측량자료에 의해 획

득된 정밀한 3차원 수치표고모델을 활용하여 산림 지역의 수목에 의해 나타나는 폐색처리한 연구를 발표하였다.

다음의 <그림 9>는 3장의 항공사진 중복영상과 항공레이저측량자료로부터 구축되는 수치표고모델에 Z-버퍼 알고리즘을 적용하여 제작된 연구 대상지역의 정사영상을 보여준다.

4. 3차원 수치영상 지형지도 제작

일반적으로 3차원 수치영상 지형지도는 정사영상과 이에 대응하는 지역의 수치표고모델을 중첩하

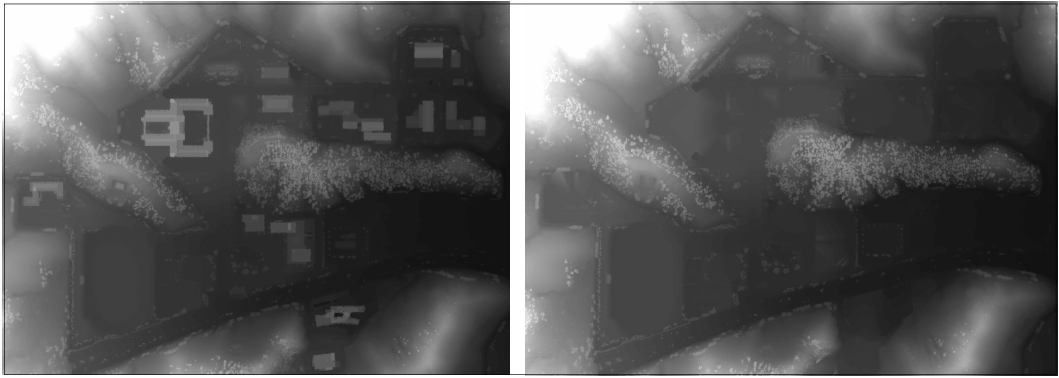
11) 권오형. 2000. "수치정사투영영상 제작을 위한 폐색영역의 탐지와 복원". 서울대학교 석사학위논문.

12) Amhar F. 1998. "The generation of true orthophotos using 3D building model in conjunction with a conventional DTM". *IAPRS* 32(4). Stuttgart. German.

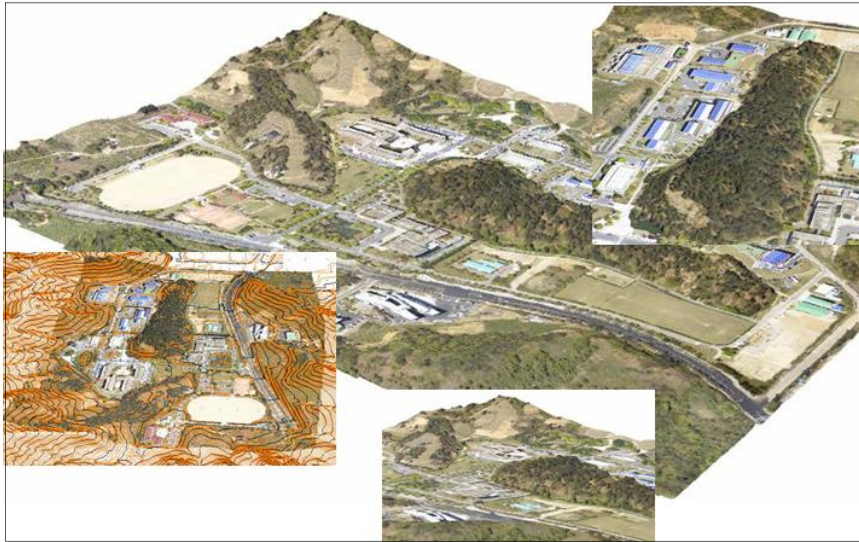
13) Rau, J. 2002. "True Orthophoto Generation of Built-up Areas Using Multi-View Images". *PE & RS* 68(6) : pp581-588.

14) Sheng Y. 2003. "True Orthoimage Production for Forested Areas from Large-Scale Aerial Photographs". *PE & RS* 69(3) : pp259-266.

<그림 10> 3차원 수치표고모델 제작



<그림 11> 3차원 수치영상 지형지도



여 표현함으로써 얻을 수 있다. 하지만 본 연구에서 사용한 항공레이저측량자료의 경우 원시자료는 인공구조물 특히, 건물 등과 같은 3차원 객체들의 표고까지 모두 기록된 표고자료의 형태로 제공되기 때문에 지형을 제외한 이러한 3차원 객체들을 제거하는 작업을 수행해야 한다. 이를 위하여 본

연구에서는 이정호 등(2005)¹⁵⁾에 의해 개발된 고정된 크기의 윈도우를 가지는 모폴로지(morphology) 필터를 사용하여 상대적으로 크기가 작은 3차원 객체들을 우선 제거한 후에 지형의 높이 값을 대체 및 전파시키는 연산을 상, 하, 좌, 우 네 방향에 대하여 수행하는 방법론을 적용하여 항

15) 이정호, 2005. "LIDAR 데이터를 이용한 DEM 자동 생성 기법". 한국지형공간정보학회지 제13권 제4호 : pp27-32.

공레이저측량자료로부터 3차원 수치표고모델을 생성하였다. 알고리즘의 적용을 위해 본 연구대상 지역에 적합한 높이 값과 포인트 간의 경사도를 고려하여 임계치를 설정하였으며 <그림 10>은 본 연구에서 적용한 알고리즘에 의해 작성된 3차원 수치표고모델을 보여준다. <그림 10>의 좌측영상은 3차원 객체들을 제거하기 전의 3차원 표고모델이며 우측영상은 3차원 객체들이 제거된 3차원 수치표고모델이다.

마지막으로, 앞 절에서 제시된 알고리즘들을 적용하여 작성된 정사영상과 3차원 수치표고모델 및 1:1,000 수치지도를 중첩하여 3차원 수치영상 지형지도를 ARC/GIS ver. 8.6 소프트웨어를 이용하여 제작하였다. <그림 11>은 작성된 3차원 수치영상 지형지도를 보여준다.

IV. 결론

본 연구는 최첨단 측량기술로부터 생성되는 항공 레이저측량자료, 항공사진, 대축척 수치지도를 이용하여 3차원 수치영상 지형지도를 생성하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 3차원 수치영상 지형지도를 작성하기 위한 방법론을 적용하여 3차원 수치영상 지형지도를 제작하고 각 단계에 적용된 알고리즘들의 효용성을 분석하였다. 특히, 독립된 센서 및 각기 다른 측량기술로부터 취득된 항공사진과 항공레이저측량자료, 대축척 수치지도를 이용하여 3차원 수치영상 지형지도를 제작하기 위해서는 자료들을 하나의 공통된 공간 좌표계상에서 표현할 수 있도록 co-registration하는 과정이 필요하게 된다. 이를 위해 항공사진 단영상과 항공레이저측량자료의 co-registration을 위해 선형 기하요소를

이용한 방법론을 개발하고 통계검증을 통해 이의 효용성을 입증하였으며, 또한, 항공레이저측량자료와 대축척 수치지도의 선형 기하요소를 이용한 co-registration 방법론을 개발하고 정확도 평가를 수행하였다. 연구결과 본 연구에서 개발 및 적용한 방법론들이 항공레이저측량자료, 항공사진, 대축척 수치지도를 활용하여 3차원 수치영상 지형지도의 생성에 효과적으로 적용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에 적용된 3차원 수치영상 지형지도 제작 방법론의 효용성을 증대시키기 위해서는 항공레이저측량자료의 전 처리 및 자료들의 co-registration 과정에서 수반되는 선형요소의 자동추출에 관한 방법론의 개발이 필요하다. 또한, 본 연구에서 제작된 3차원 수치영상 지형지도를 기본 지도로 하여 건물, 도로 등과 같은 3차원 객체들을 함께 표현하기 위한 기술개발도 필요하다.

참고문헌

- 권오형. 2000. “수치정사투영영상 제작을 위한 폐색영역의 탐지와 복원”. 서울대학교 석사학위논문.
- 손정영. 2001. “3차원기술 현황 및 전망”. 한국광학회지 제5권 제2호 : pp7-12.
- 이정호 · 한수희 · 유기운 · 김용일 · 이병길. 2005. “LIDAR 데이터를 이용한 DEM 자동 생성 기법”. 한국지형공간정보학회지 제13권 제4호 : pp27-32.
- 엄대용 · 이성순. 2004. “3차원 수치영상을 이용한 암반사면의 불연속면 정보추출”. 한국측량학회지 제22권 제3호 : pp233-244.
- 허병용. 1994. “3차원영상 획득기술의 동향과 응용기술”. 대한전자

- 공학회지 제21권 제10호 : pp1036-1045.
- 한국과학기술연구원. 2001. 고현장감 3차원 영상 디스플레이 기술 개발 : pp183-208.
- Amhar F. 1998. "The generation of true orthophotos using 3D building model in conjunction with a conventional DTM". *IAPRS* 32(04). Stuttgart. German.
- Brown. L. 1992. "A survey of image registration techniques". *ACM Computing Surveys* 24(04) : pp325-376.
- 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) : pp55-61.
- Habib, A. M. Ghanma. and E. Mitishita. 2004. "Co-registration of photogrammetric and lidar data". *Methodology and Case Study, Brazilian Journal of Cartography* 56(01). July 2004 : pp1-13.
- Jae-Bin Lee, Ki-Yun Yu, Yong-Il Kim, and Habib, A. F. 2005. "Segmentation and extraction of linear features for adjustment of discrepancies between LIDAR data strips". *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings. 2005 IEEE International.*
- Jiann-Yeou Rau, Nai-Yu Chen, and Liang-Chien Chen. 2002. "True Orthophoto Generation of Built-up Areas Using Multi-View Images". *PE & RS* 68(06). June 2002 : pp581-588.
- Yongwei Sheng, Peng Gong, and Gregory S. Biging. 2003. "True Orthoimage Production for Forested Areas from Large-Scale Aerial Photographs". *PE & RS* 69(03). March 2003 : pp259-266.

-
- 논문 접수일 : 2006. 10. 11
 - 심사 시작일 : 2006. 10. 14
 - 심사 완료일 : 2006. 11. 27

ABSTRACT

**3D Digital Image Mapping of the Terrain Using
Airborne Laser Scanning Data, Aerial Photos and 2D Digital Maps**

Jae-Bin Lee Doctorial Course, The School of Civil, Urban and Geosystems eng.,
Seoul National University(Primary Author)

Hwan-Seong Bae Master Course, The School of Civil, Urban and Geosystems eng.,
Seoul National University

Ki-Yun Yu Professor, The School of Civil, Urban and Geosystems eng.,
Seoul National University

※ Key Words : 2D Digital Maps, 3D Digital Image Maps, Aerial Photos,
AIs(Airborne Laser Scanning) Data, Co-Registration

The development of the digital mapping techniques, computing devices and internet services has fostered a growing interest in 3D digital mapping of the terrain. Especially, a 3D digital image map can be helpful in that it offers the reality and solidity of the terrain.

In this paper, a step-by-step algorithm was presented to create a 3D digital image map using ALS data, aerial photos and 2D digital maps. First, discrepancies in ALS data strips were detected and adjusted. Second, to represent ALS data, aerial photos and 2D digital maps in a common reference frame, they were co-registered using linear features. Then, with co-registered dataset, the ortho-photo was generated. Finally, the 3D digital image map was created by overlapping the ortho-photo, 2D digital maps and DEM generated from ALS data.

The results clearly demonstrate that the proposed algorithm is effective in 3D digital image mapping of the terrain. Future research will focus on the automation of the proposed algorithm, including tasks such as extracting linear features from dataset and matching these features. In addition, it is important to represent 3D objects such as buildings, roads and etc, on the 3D digital image map.