

## Active Sensor를 이용한 정밀지형 관측 기술

- Airborne Laser Scanner를 중심으로 -



오 윤 석\*



김 병 국\*\*

### 1. 서 론

디지털 시대로 접어들면서 지도역시 종이지도에서 컴퓨터에서 사용할 수 있는 수치지도로 발전하였고, 수치지도는 기존 지도보다 다양하고 많은 정보를 입력할 수 있게 되었다. 또한 3차원 지형을 2차원으로 밖에 표현하지 못했던 종이지도와는 달리 3차원 그래픽기술을 이용하면, 컴퓨터에서는 실제 지형과 거의 유사하게 표현할 수 있게 되었다. 따라서 현재 기술수준에서 정밀 지형을 복원하는데 문제점은 표현 기술이 아니라 자료의 정확도인 것이다.

지형자료를 관측하는 기술, 즉 측량기술은 레벨, 광파기 등을 이용하는 직접관측기술에서 각종 센서를 이용하는 간접관측기술로 발전하였다. 직접관측기술의 경우 측량속도가 느리며, 관측 밀도가 낮고, 넓은 지역을 측량하기 어렵기 때문에 정밀지형 복원을 위한 관측으로는 부적합하다. 따라서 정밀한 지형을 복원하기 위해서는 넓은 지역에 대해 무한대의 각종 정보를 있는 항공사진과 같은 센서를 이용한 간접관측기술을 이용해야 한다. 이러한 센서를 이용한 관측방법에는 크게 Passive Sensor를 이용한 방법과 Active Sensor를 이용한 방법 등 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 전자의 경우 태양광, 인공광 등 이미 존재하는 빛을 이용하는 방법이고 후자의 경우 관측기에서 에너지를 방사하여 관측하는 방법이다. 대표적인 지형관측용 Passive 센서는

항공사진과 위성영상 등이 있다. 특히 우리나라의 경우 지형도제작은 100% 항공사진을 이용하고 있다. 위성영상의 경우도 수년 전부터 높은 공간해상도의 상용위성이 개발되어 고해상도 위성영상을 일반인들도 쉽게 접할 수 있게 되었다. 이러한 Passive 센서를 이용한 관측의 장점은 광원만 있으면 관측이 가능하고 오랫동안 개발되고 발전되었기 때문에 사용자가 사용하기 편리하다는 장점이 있다. 하지만 광원이 존재하지 않거나 구름 등에 가려 반사된 빛을 센서에서 감지하지 못할 경우 관측이 불가능하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 Active Sensor를 이용한 관측방법이 개발되었다. 대표적인 Active Sensor로는 Radar, Laser 등이 있으며 이러한 센서는 센서 자체적으로 에너지를 방사하고 방사된 에너지가 물체에 반사되는 것을 감지하여 관측하게 된다. 이러한 방법은 사용자가 원하는 지역에 대해 원하는 시간에 원하는 방법으로 원하는 데이터를 취득할 수 있다는 장점이 있다.

본고에서는 Active Sensor 중 현재 도입단계에 있는 항공기에 탑재한 Laser를 이용한 관측방법인 ALS(Airborne Laser Scanner)를 이용한 관측방법에 대한 설명과 관측 사례에 대해 설명하도록 한다.

### 2. 지형자료 취득

지형자료를 취득하는 방법은 직접관측방법과 간접관

\* 인하대학교 지리정보공학과 박사과정

\*\* 인하대학교 환경토목공학부 부교수 측량 및 지형공간정보 기술사

측방법으로 나눌 수 있으며, 직접관측방법은 좁은 면적의 지형자료를 취득할 때 용이하며 간접관측방법은 넓은 면적의 지형자료 취득할 때 용이하다. 간접관측방법은 크게 Passive Sensor를 이용하는 방법과 Active Sensor를 이용하는 방법 등 두 가지로 나눌 수 있다.

### 2.1 Passive Sensor

자연광이나 인공광 등 관측을 위한 에너지원이 관측장비가 아닌 다른 곳에 있는 Sensor를 말한다. 일반적으로 자연광인 태양에너지를 이용한다. 가장 대표적인 예가 항공사진이며 지형도를 제작할 때 주로 사용한다.

항공사진의 특징은 촬영된 면적에 포함되는 무한대의 정보를 포함하고 있으며, 동일한 지역을 중복촬영하기 때문에 건물 등에 의해 가려지는 부분까지도 정보를 얻을 수 있다. 또한 대부분의 사물이 인간이 인식하는 모양과 색깔로 표현되기 때문에 사용자가 쉽게 이해하고 원하는 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 단점으로 항공사진은 항공기가 이륙해야 하기 때문에 날씨에 많은 영향을 받으며 자연광을 이용하므로 낮에만 촬영이 가능하다. 또한 구름이 있는 경우 구름에 가려 촬영할 수 없으므로 우리나라의 경우 1년에

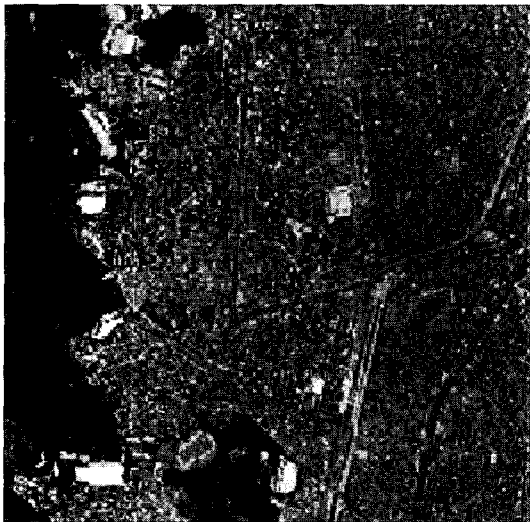


그림 2 항공사진

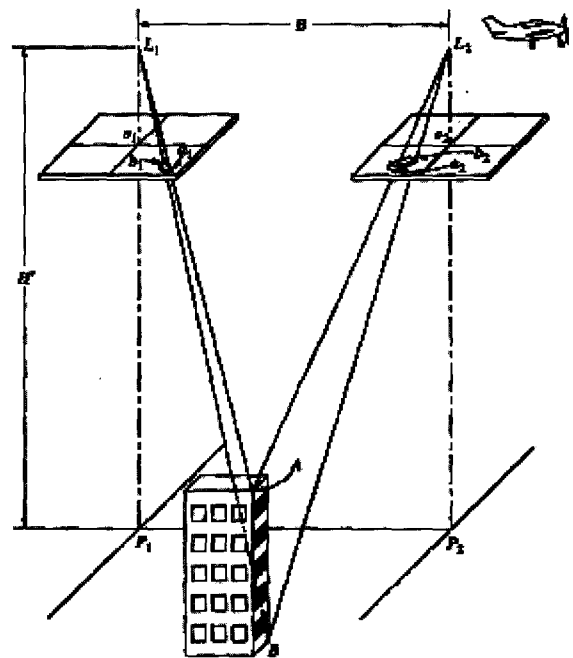


그림 3 항공사진으로 높이를 측정하는 원리

촬영이 가능한 날이 100일 이하이다. 따라서 원하는 시간에 원하는 지역을 촬영하는 것이 용이하지 않은 경우가 많다.

3차원 지형복원을 위한 지형자료를 취득하기 위해서는 3차원 점 좌표가 필요하다. 항공사진을 이용하면 중복된 두 장의 사진에서 3차원 좌표를 취득할 수 있다. 그러나 이 경우 사용자가 원하는 모든 지점에 대한 좌표를 일일이 직접 계산해야 하는 번거로움이 있다. 이는 인공위성영상을 이용한 작업에서도 마찬가지이며, 이러한 방법으로 3차원 좌표를 얻기 위해서는 많은 시간과 능숙한 기술을 요하게 된다. 따라서 이 방법으로는 고밀도 3차원 지형자료를 취득하는 것이 쉽지 않다.

### 2.2 Active Sensor

Passive Sensor의 단점인 시간과 환경에 제약을 극복할 수 있는 방법으로 Sensor에 관측을 위한 에너지원이 포함되어 있다. Radar, Laser, 음파 등을 이용한

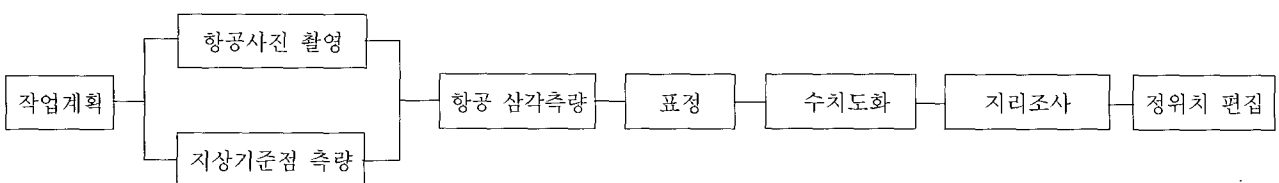


그림 1 항공사진을 이용한 지도제작 과정

관측 장비를 예로 들 수 있다. 지형측량을 목적으로 하는 장비 중 Radar를 이용한 대표적인 장비로는 SAR (Synthetic Aperture Radar)가 있다. 이 장비는 마이크로파를 지면으로 발사하여 반사되어 돌아오는 신호는 감지하여 지표의 질감이나 지표의 높이 변화 등을 관측한다. Laser를 이용한 대표적인 장비로는 3장에서 자세히 설명한 ALS가 있다. ALS는 Laser를 지면에 발사하여 반사되는 값을 기록하여 3차원 지형 좌표를 무수히 많이 취득할 수 있다. 마지막으로 음파를 이용한 장비로는 사이드스캔소나(SSS : Side Scan Sonar)와 단일 빔 음향측심기(SBES : Single Beam Echo Sounder), 다중 빔 음향측심기(MBES : Multi Beam Echo Sounder) 등이 있다. 이러한 장비는 주로 물에서 사용하는데 빛이나 마이크로파, 레이저 등은 물에서 많은 에너지가 흡수되므로 하저 지형을 관측하기 위해서는 부적합하다. 따라서 음파를 사용하여 음파가 반사되는 강도와 시간을 측정하여 지형의 굴곡과 형태를 관측할 수 있다.

Active Sensor의 특징은 사용자가 원하는 시간과 장소에서 관측이 용이하다. 특히 ALS나 SBES, MBES 등은 3차원 점 좌표를 단시간 내에 취득할 수 있기 때문에 3차원 지형복원을 위한 데이터로 사용하기에 손색이 없다. 그리고 모든 데이터는 수치화 하여 저장되므로 데이터 처리시간이 매우 단축되어 비용을 절감할 수 있다. 하지만 장비의 가격, 인식의 부족 등의 이유에서 아직 보편화되지 않은 것이 단점이다.

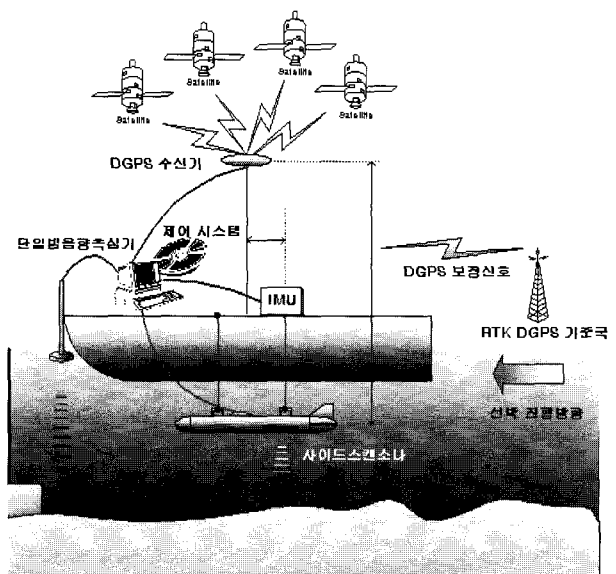


그림 4 SSS와 SBES를 이용한 하저 지형 관측((주)UST21 제공)



그림 5 SSS 영상

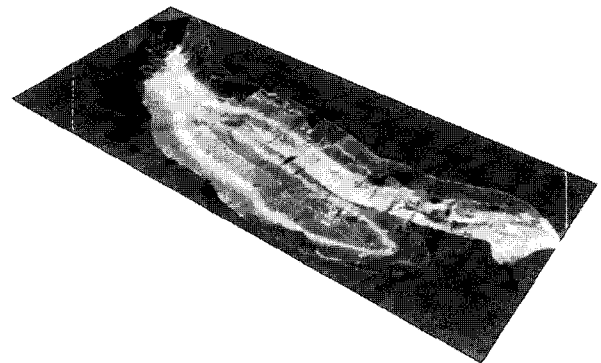


그림 6 SBES 데이터로 제작한 하저 지형

### 3. 항공레이저측량 (ALS : Airborne Laser Scanner)

#### 3.1 ALS의 개요

항공레이저측량은 LiDAR(Light Detection And Ranging) 시스템을 항공기에 장착하여, 레이저 펄스를 지표면에 주사하고, 반사된 레이저 펄스의 도달시간을 측정함으로써 반사 지점의 공간 위치 좌표를 계산해내어 지표면에 대한 지형정보를 추출하는 측량기법이다. 이를 통해 기타방법과 달리 완전 자동처리가 가능하여 처리속도가 빠르며, Active Sensor이므로 날씨에 구애를 받지 않고 측량이 가능하다. 또한 지상기준점측량 작업이 어려운 해안, 습지 측량과 그림자에 의해 방해받는 산림, 도심 지역에서의 수치표고모형 제작에 유리한 장점이 있으며, 측량 정확도에 있어서도 수직 정확도 15cm, 수평정확도 30cm를 보장하는 혁신적인 측량이다.

표 1 ALS의 특징

특징	내용
지형자료의 정확성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15~20cm의 높은 수직위치 정확도</li> <li>• 평면위치의 정확도는 지상측량 및 사진측량의 정확도보다는 떨어지지만, 현재 GPS 및 INS의 위치 결정에 좌우되고 있음</li> <li>• 산림, 도심 지역에서의 그림자에 의한 제약사항 없음</li> </ul>
자료처리의 신속성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수치자동처리가 가능</li> <li>• 1시간 획득한 자료처리에 10~20시간(1일 이내) 소요</li> </ul>
측량작업의 생산성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1초에 평균 10만평(60,000m<sup>2</sup>), 최대 20만평에 대한 정밀 측량이 가능</li> <li>• 연안 및 습지 측량의 경우 지상기준점 없이도 가능</li> <li>• Active Sensor이므로 기상조건에 구애받지 않음</li> <li>• 응용목적에 따라서 점 밀도를 달리하여야 함</li> </ul>
자료통합의 융통성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 항공레이저측량은 DEM, DTM, DSM 자료로 구축가능</li> <li>• 측량자료는 항공사진, 위성영상, SAR, 수치지도 등 다양한 자료와의 통합이 가능</li> </ul>
자료의 호환가능성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수집된 자료의 절대위치(X, Y, Z) 및 인공구조물·식생 등의 높이 값은 binary 또는 ASCII 포맷의 디지털자료이므로 다양한 포맷으로의 변환이 가능</li> </ul>
장비설치의 용이성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2시간 이내에 다양한 항공기 및 헬기에 항공레이저측량 장비의 탑재 가능</li> </ul>

3.2 ALS의 특징

ALS는 표 1에서 보는 것과 같이 기존 측량방법에 비해 측량속도, 처리시간, 정확도 측면에서 비용을 매우 절감할 수 있는 장점을 갖고 있다.

위 표에서 나열한 특징 이외에도 그림 7과 같이 한번에 다양한 높이의 관측이 가능하여 산림의 높이, 밀도 등을 파악할 수 있어 효율적인 산림자원관리에 사용될 수 있으며, 굽기가 얇은 선로도 관측이 가능하여 전력회사에서 송전선 관리 등 다양한 용도로 이용할 수 있다.

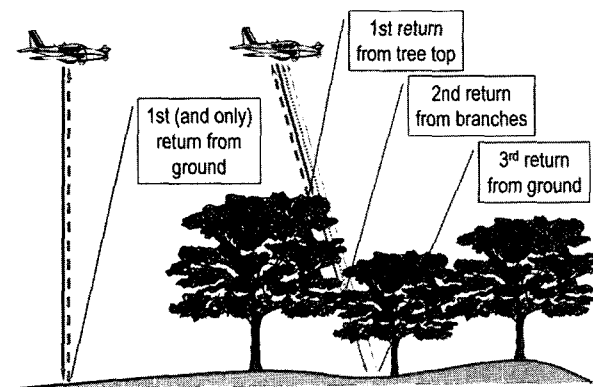


그림 7 ALS의 관측 범위  
(Leica 홈페이지 참고 : www.leica.com)

3.3 ALS의 장비구성

항공 LiDAR(Light Detection And Ranging) 시스템은 GPS, 관성항법장치(IMU : Inertial Measuring Unit) 및 레이저파를 지상에 송신하고 수신하는 레이저스캐



그림 8 장비 구성도

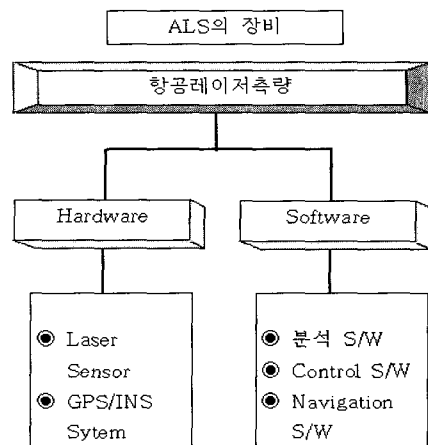


그림 9 장비 구성표

너 등 크게 세 부분으로 구성되어 있다. LiDAR는 레이저 장비로서 항공기에서 지상까지의 거리를 관측하는데 사용하며, GPS는 LiDAR의 3차원 위치를 측정하는데 사용한다. 관성항법장치는 LiDAR의 자세를 결정하는데 사용한다. ALS는 GPS와 관성항법장치를 이용하여 LiDAR 장비의 3차원 위치를 결정하고 레이저를 이

용하여 LiDAR로부터 지상까지의 상대거리를 측정함으로써 지상의 3차원 좌표를 취득할 수 있다. 이와 같은 항공레이저측량 시스템은 고정익 항공기나 헬리콥터 등에 장착되어 시스템 운용자에 의해 활용되며, 기타 추가적인 자료획득 보조 장비로 비디오나 디지털 사진기 또한 사용되기도 한다.

### 3.4 ALS 관측방법

ALS를 이용한 지상관측방법은 그림 10과 같다. 측량계획을 수립하고 GPS를 이용하여 지상 기준점을 측량한 후 ALS 측량을 한다. 이때 지상 기준점을 기준으로 항공기에 탑재된 GPS 신호를 보정하는데 이러한 방법을 DGPS(Differential GPS)라고 하며 그림 11과 같은 원리이다. DGPS를 하는 이유는 GPS를 지상기준점 없이 사용할 경우 오차의 크기가 매우 크기 때문에 지상기준점 자료를 바탕으로 보정하는 작업이 필요하기 때문이다.

ALS측량은 경사관측이므로 건물 등에 가려 관측이 안 되는 지역이 발생한다. 이러한 현상을 방지하기 위해 동일한 지역을 여러 번 중복하여 관측하게 되는데, 이때 중복 관측된 데이터가 일치하지 않게 된다. 따라서 ALS측량 후 관측값에 대한 수평위치보정과 수직위치보정을 실시해야 한다. 이러한 일련의 보정작업은 ALS관측에서 인식할 수 있는 인공구조물에 대한 지상측량결과와 비교하여 할 수 있다. 이렇게 보정된 좌표를 이용하여 수목을 제거하거나 건물을 제거하여 원하는 용도의 지형자료로 가공할 수 있다.

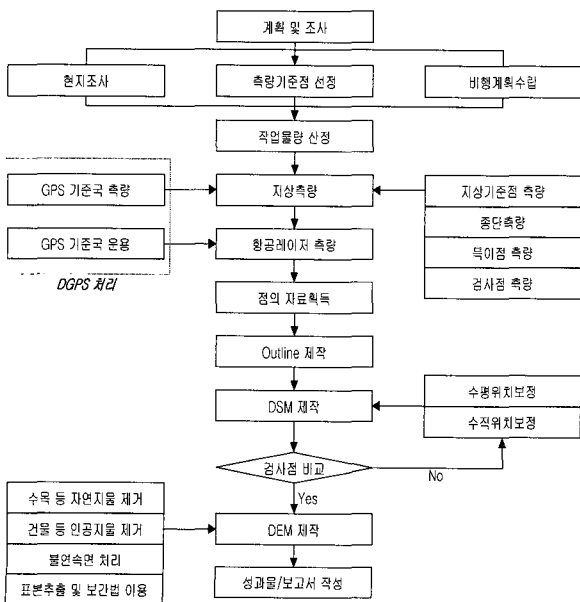


그림 10 ALS 작업 개요

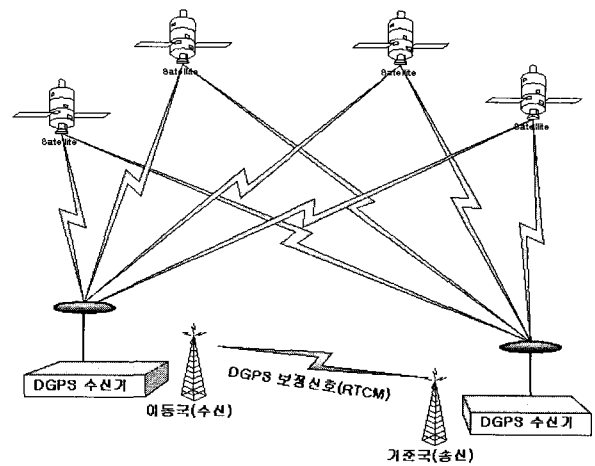


그림 11 DGPS 모식도

### 3.5 ALS 데이터의 정확도

수평 및 수직 정확도는 반사 펄스로부터 계산된 반사 지점에 대한 x,y,z 점의 자료들을 기준으로 한 정확도이다. 점의 자료의 정확도는 격자간격 자료의 정확도를 결정한다. 항공레이저측량의 수평위치/수직위치 정확도는 아래 그림과 같이 관측밀도(점 밀도)와 비행고도에 따라 달라진다. 따라서 요구 수평/수직 위치 정확도를 확보하기 위해서는 요구관측밀도를 확보하기 위한 기준 사양 이상의 시스템 준비와 면밀한 비행계획 준비가 뒤따라야 한다. 일반적인 경우 GPS 시스템과

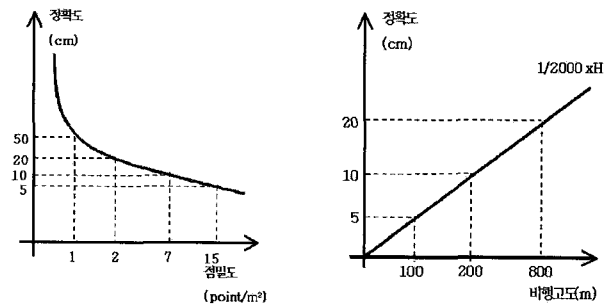


그림 12 수평위치 정확도에 영향을 미치는 변수((주) 모바일 매퍼 제공)

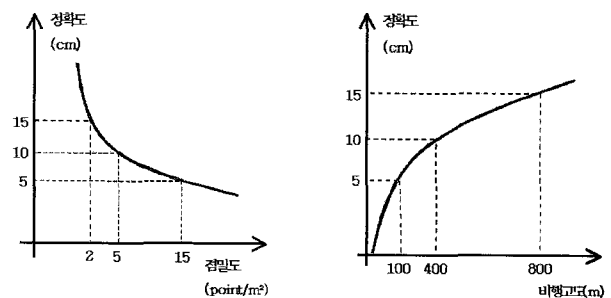


그림 13 수직위치 정확도에 영향을 미치는 변수((주) 모바일 매퍼 제공)

IMU 시스템의 오차를 종합하면, 약 1,000m 비행고도를 기준으로 수평정확도는 60cm~80cm 정도이며, 수직정확도는 약 30cm 정도라고 할 수 있다.

4. ALS 활용분야

항공레이저를 활용한 측량시스템을 보유하고 사용하는 업체가 주로 북미, 유럽 등에서 활동하는 업체로서, 현재 10여개 미만의 업체가 시장의 활성화를 위해 노력하고 있으며, 이중에서 장비를 제작 판매하는 업체로는 Optech, Azimuth, Saab, Lieca 등이 있다. 장비를 구입하여 사용하는 업체들의 대부분은 항공레이저측량 시스템 운용을 위한 공정을 개발하고 자체 개발한 자료처리 알고리즘을 활용하여 홍수범람지역 매핑, 시설물 관리(철도, 고속도로 등), 도심지역 3차원 매핑, 산사태 모니터링, 송전선 관리, Mining 평가, 연안지역 모니터링 등을 실시하고 있다.

우리나라에서는 현재 모바일매퍼, 한진정보통신, 바투엔지니어링 등 여러 업체에서 도입을 추진 또는 시범사업을 진행하고 있다.

4.1 지형도 제작

일반적으로 항공사진을 이용하여 지형도를 제작할 수 있다. 이 경우 사진은 중심점을 제외한 모든 부분에서 사진 중심을 중심으로 방사형의 왜곡이 발생한다. 이러한 왜곡을 제거하기 위해서는 3차원 지형자료가 필요하다. 현재 일반적으로 3차원 지형자료는 이미 제작된 지도를 이용하거나, 다수의 기준점을 측량하여 제작하였다. 그러나 이러한 방법은 정밀한 지형자료를 제공하지 못하며 정확도 측면에서도 매우 낮다. ALS 데이터를 이용한다면 이러한 한계를 극복할 수 있으며 정확도 역시 매우 높일 수 있다. 또한 매우 정밀한 등고선을 제작할 수 있어 지형도 제작에 큰 도움이 된다.

4.2 토목 건축분야

토공량 계산, 노선 설계, 댐 건설 등을 3차원 그래픽 환경을 이용하여 최적화 하여 작업할 수 있으며, 도시 계획이나 건축물 설계를 가상현실 환경에서 할 수 있는 시뮬레이션을 제작할 수 있다.

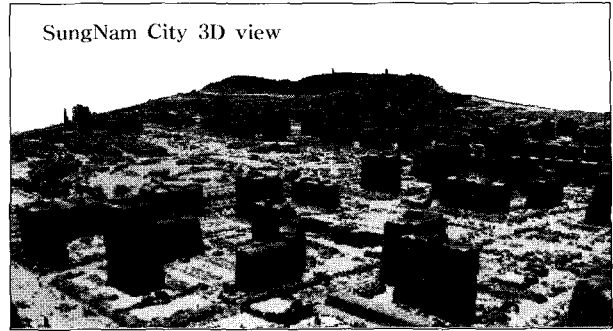


그림 14 ALS 데이터를 이용한 경기도 성남지역의 3차원 모형((주)모바일매퍼 제공)

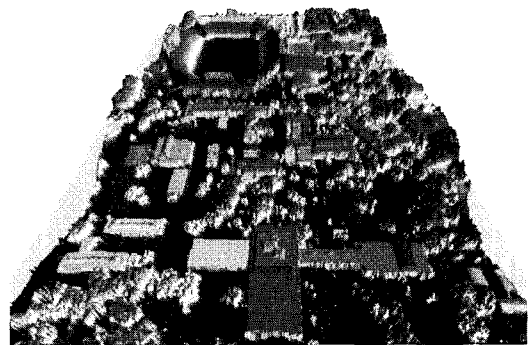


그림 15 플로리다 대학의 3차원 모형도 (www.optech.on.ca 참고)

4.3 환경/방재 분야

정밀한 3차원 지형이 복원되므로 가뭄 및 홍수예방을 위한 효율적인 물관리가 가능하며 레이저의 경우 투과성이 매우 강하므로 먼지, 연기 등에 가려 보이지 않는 부분에 대한 상태 파악이 가능하며, 산불발생시 확산 모델링, 피해 산정 등 재난에 대한 신속한 대처가 가능하고, 특히 2001년 미국 뉴욕의 9·11 테러 현장의 피해 산정에도 유용하게 사용하였다.

4.4 송전선 관리

ALS를 가장 많이 사용하고 있는 분야중 하나이다. 대규모 송전선로에 대한 관리는 송전탑의 위치, 송전선의 길이 등을 고려할 때 매우 난해한 작업이다. 그러나 항공사진을 이용할 경우 송전선의 두께가 매우 얇기 때문에 사진에서 구분하는 것이 불가능하다. 그러나 ALS를 이용할 경우 그림 16과 같이 송전선로가 매우 깨끗하게 관측되어 송전선 관리가 가능하다. 그림에서 보는 것과 같이 송전선의 늘어선 정도까지 파악이 가능하다.

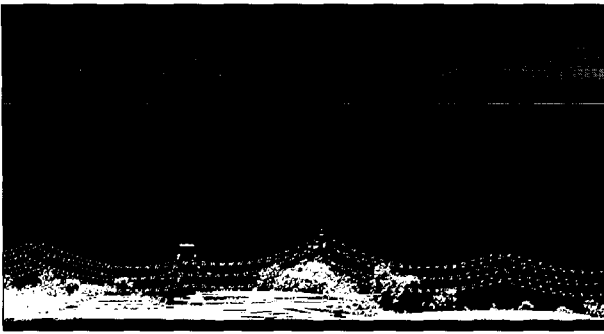


그림 16 ALS를 이용한 송전선로 관측  
(www.optech.on.ca 참고)

## 5. 결 론

항공레이저측량은 다양한 지형공간정보 분야에서 그 중요성이 날로 증대되고 있는 수치표고자료를 다른 기존의 측량방법과는 달리 자동으로 제작할 수 있는 최첨단 측량기술이며, 경제성, 생산성 및 정확도 면에서

수치표고자료의 제작에 가장 적합한 기술로 분석되고 있다. 항공레이저측량에서 제공하는 고정밀도 수치표고자료의 생산성은 자료처리과정의 자동화수준에 따라 비용 면에서도 기존의 측량방법에 비하여 훨씬 저렴한 것으로 평가된다.

항공레이저측량을 이용한 수치표고자료의 구축은 이와 같은 다양한 활용분야의 요구사항을 만족시킬 수 있으며, 3차원 공간분석을 필요로 하는 분야(홍수 피해 산정, 수자원 관리, 도로 설계, 토공량 산정, 산림관리 등)에서 기본지리정보로서의 활용도를 높이고 국가정보화, 대국민 서비스 및 GIS활용 극대화를 시킬것이다. 특히 현재 대중화 되어있는 2차원 중심의 GIS(Geographic Information System)를 3차원으로 확대하여 보다 많은 정보를 보다 효율적으로 제공할 수 있는 바탕을 만들 수 있다. 항공레이저측량은 보다 정밀하고 정확한 수치표고자료 구축을 요구하는 사용자들을 위하여 가장 효과적이고, 타당한 대안이 될 것으로 판단된다. [N]