

## 3차원 GIS의 자료 획득 기술과 활용

이강원 · 김승용 · 위광재

한진정보통신 (주)

### I. 개 요

3차원 GIS는 1980년대 무렵부터 오늘날에 이르기까지 다양한 모습으로 발전되어 왔다. 초창기에는 3차원 지형 분석을 위한 기능 위주였으나, 오늘날에는 3차원 시설물과 3차원 지형의 실감있는 모델링과 가시화를 제공하는 단계에까지 이르렀고, 미래에는 가상현실 또는 증강 현실 기능이 더욱 강조된 몰입형 3차원 GIS가 등장하리라 예상된다.

3차원 GIS 기술의 적용 예는 지형분석, 가시권 분석, 음영 기복 분석, 토공량 산정 분석, 블록 다이어그램 등의 분야에서 쓰이고 있으며, 최근에는 국토계획 및 관리, 토목, 측량 및 지도 제작, 환경, 통신, 수리수문, 방재 그리고 군사적 목적에 이르기까지 지형의 3차원이 요구되는 모든 분야에서 3차원 자료가 사용되고 있다.

### II. 자료 획득기술

3차원 GIS를 구축함에 있어서 시간과 비용이 가장 많이 소요되는 과정이기 때문에 최신기술을 도입하여 고정확도, 고정밀도 데이터를 효율적으로 생산할 수 있는 기술 위주로 제시하였다.

또한, 현재의 기술을 기반으로 하되, 3차원 GIS의 자료 획득기술로서, 항공용 디지털카메라 기술, 항공레이저측량 기술, GPS/INS 항공사진측량기술, GPS-VAN 기술, 디지털 도화 기술 등에 대하여 설명한다.

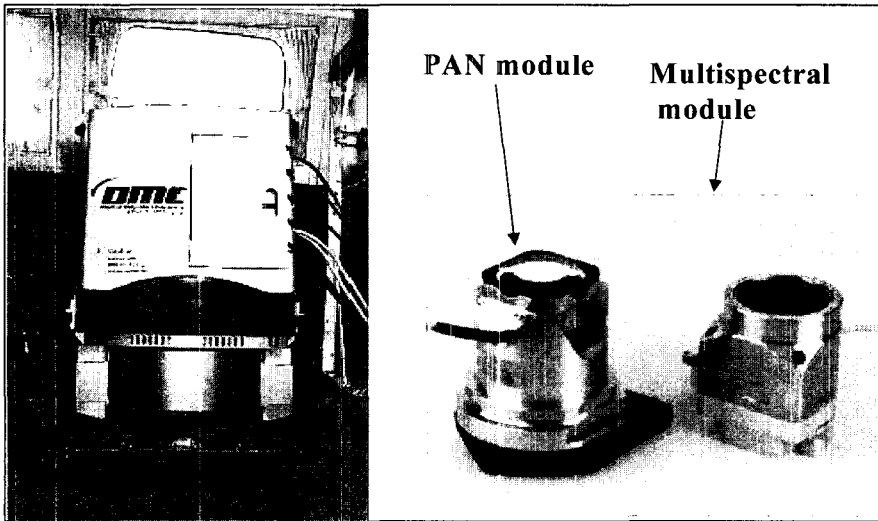
#### 2-1. 항공용 디지털 카메라 기술

현재 외국의 많은 항공사들이 실제로 활용하고 있으며, 조만간 국내에서도 도입 예정인 지도 제작용 디지털 항공 카메라는 비행계획과 관리, 자이로 안정화, GPS/INS 기술 등은 아날로그 카메라와 동일하다. 즉 아날로그와 디지털 카메라는 동일한 항공 장비를 가지고 운영할 수 있어 경제적이다.

디지털 카메라의 두 가지 중요한 구성요소는 카메라 몸체 자체인 CCD와 특수한 배열로 구성된 하드디스크인 비행자료 기록기이다. 현재 상용으로 출시되고 있는 항공사진측량용 디지털 카메라는 다중 렌즈모듈로 구성된 Z/I Imaging사의 DMC (Digital Modular Camera)와 Pushbroom방식의 Line Scanning 방식을 원리로 하는 LH사의 ADS40의 두 종류가 있다.

1) DMC 디지털 카메라

Z/I Imaging사에서 개발한 디지털 카메라 DMC는 기존의 필름 기반 카메라와 동일한 면적 센서(full frame array)이며, 가하학적인 측면에서 아날로그 카메라와 상이한 점은 하나의 기존의 아날로그 카메라는 단지 하나의 렌즈로만 구성되어 있으나 디지털 카메라는 다중의 모듈로 구성되어 있다는 점이다. 아래의 <그림 1>는 항공기의 내부에 설치된 DMC의 구성과 카메라 모듈을 표시한 것이다. 조에 피복된 유리섬유질 덮개를 훼손하지 않고도 잘 설치할 수 있다.



<그림 1> DMC의 구성과 카메라 모듈

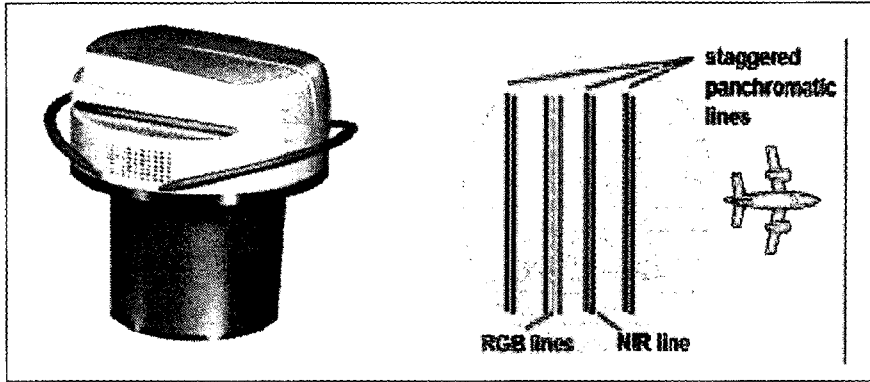
DMC 카메라는 기존의 9" 필름 카메라와 동일한 크기와 무게이다. 따라서 RMK TOP에 이용되고 있는 기존의 자이로 안정장치인 T-AS에 그대로 설치가 가능하여 항공기의 바닥에 카메라 설치를 위하여 마련된 구멍의 크기를 다시 개조할 필요가 없다. 어댑터 링의 도움으로 DMC는 항공기의 외부구조를 훼손하지 않고도 설치가 가능하다.

2) ADS40 디지털 카메라

위성탐사나 항공측량에서 pushbroom 방식의 단일/다중 선형 CCD를 탑재하여 흑백 혹은 다중 영상을 취득하고 있다. LH사의 ADS40는 <그림 2>와 같으며 최초의 pushbroom 방식의 상용 디지털 항공 카메라로서, 단일 카메라로 3열의 흑백영상과 10채널까지의 다중영상을 취득할 수 있다.

항공센서 분야에서는 이러한 시스템은 드물게 개발되었으며 그 중에서 상용으로는 ADS40(LH Systems), HRSC(DLR) 등이 있을 뿐이다. ADS40의 부가적인 장점은 현재의 필름 카메라와 고해상도 위성영상사이의 갭인 15~100cm의 해상력으로 입체와 다중 영상의 활용

목적에 채우도록 설계가 되었다는 점이다.

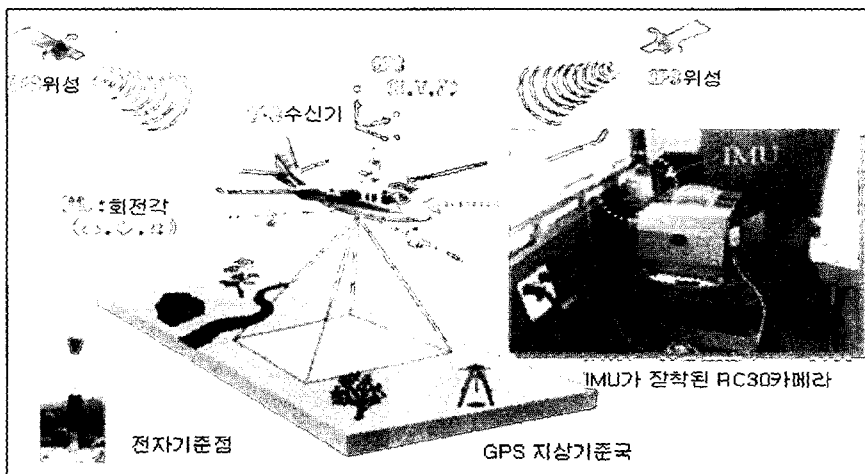


<그림 2> DMC의 카메라와 센싱원리

2-2. GPS/INS 항공사진측량 기술

GPS/INS 시스템을 이용한 항공사진측량 및 원격탐사 분야의 연구는 주로 캐나다, 독일, 미국, 영국, 스웨덴 등에서 많은 연구가 진행되고 있다. GPS/INS 통합시스템을 이용하여 GPS로부터 취득되는 위치자료와 자세자료를 INS를 통해 보완하여 보다 정밀한 자료가 취득 가능하게 됨으로써 항공삼각측량 분야에 획기적인 변환기를 맞이하여 1980년 후반 캐나다와 미국에서 처음으로 시작되었으며 이후 독일, 스웨덴 등에서 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

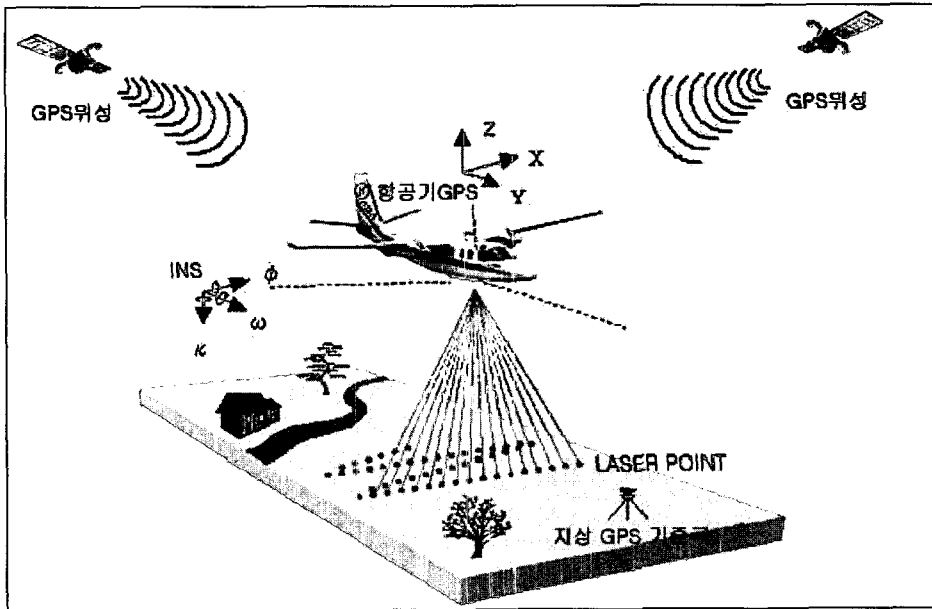
특히 항공삼각측량의 필수 과정인 외부 표정요소를 직접적으로 취득함으로써 자료의 처리 시간과 지상 기준점 측량비용을 줄일 수 있고 실시간 자료처리가 가능하게 되어 기존의 항공삼각측량에 비해 매우 효율적이다.



<그림3> GPS/INS 항공사진측량

2-3. 항공레이저(LiDAR) 측량

현재 항공레이저측량 혹은 항공 LiDAR(Light Detection And Ranging)측량은 항공기에 레이저측량기와 GPS, INS를 동시에 탑재하여 실세계의 3차원 위치를 신속, 정확하게 측량할 수 있는 기술이다. 해년마다 20%의 급성장을 하고 있으며, 전세계적으로 항공 LiDAR 측량센서는 약 90여대가 운영 중에 있다.



<그림 4> 항공레이저측량 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(<그림 4> 참조).

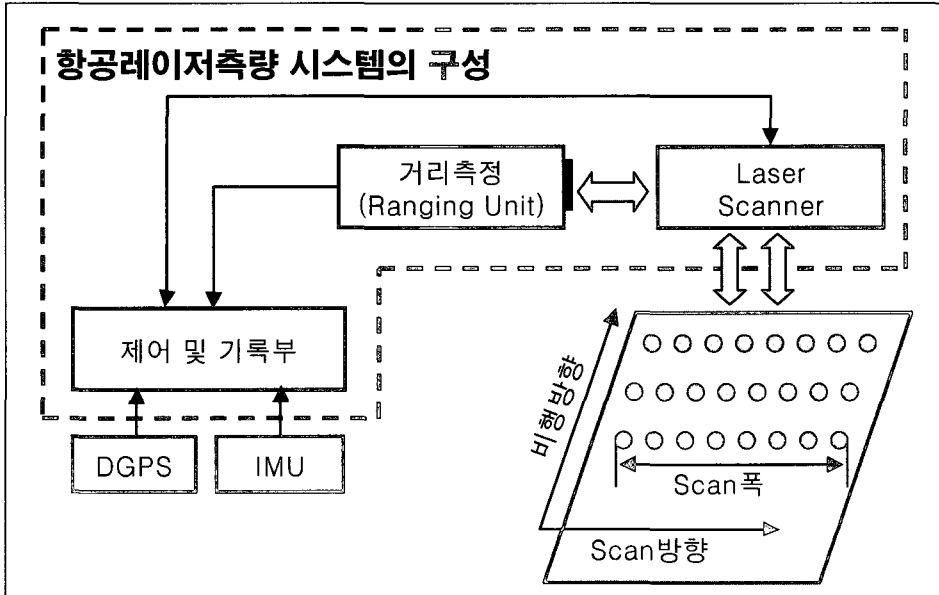
이를 통해 기타방법과 달리 완전 자동처리가 가능하여 처리속도가 빠르며 능동적 센서이므로 날씨에 구애를 받지 않고 측량이 가능하다. 또한 지상기준점측량 작업이 어려운 해안, 습지 측량과 그림자에 의해 방해받는 산림, 도심 지역에서의 수치표고모형 제작에 유리한 장점이 있으며, 측량 정확도에 있어서도 수직정확도  $\pm 15\text{cm}$ 를 보장하는 혁신적인 측량이다.

또한 항공 LiDAR 측량과 동시에 디지털카메라를 탑재하여 지상해상도(GSD: Ground Spatial Distance) 20cm정도의 영상을 취득하여 3차원 공간정보를 생산하고 있다.

항공 LiDAR(Light Detection And Ranging) 시스템은 GPS, 관성항법장치(IMU; Inertial Measuring Unit) 및 레이저파를 지상에 송신하고 수신하는 레이저스캐너 등 크게 세 부분으로 구성되어 있다(<그림 5> 참조).

이와 같은 항공레이저측량 시스템은 고정익 항공기나 헬리콥터 등에 장착되어 시스템 운용자

에 의해 활용되며, 기타 추가적인 자료획득 보조장비로 비디오나 디지털 사진기 또한 사용되기도 한다.



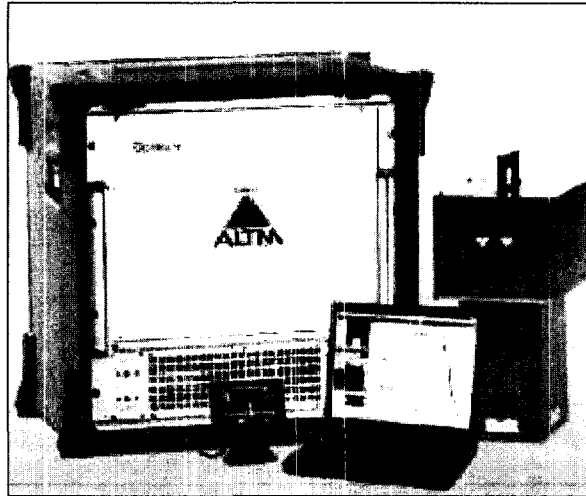
<그림 5> 항공레이저측량의 원리

정지상태가 아닌 비행기와 같은 곳에서 측정을 할 경우, 지상좌표로 나타낼 비행기의 정확한 위치를 알 수 없을 뿐만 아니라 그 거리의 정확성도 보증할 수 없게 된다. 따라서 LiDAR에는 두 가지의 추가적인 기술(관성측정장치와 GPS)이 요구된다.

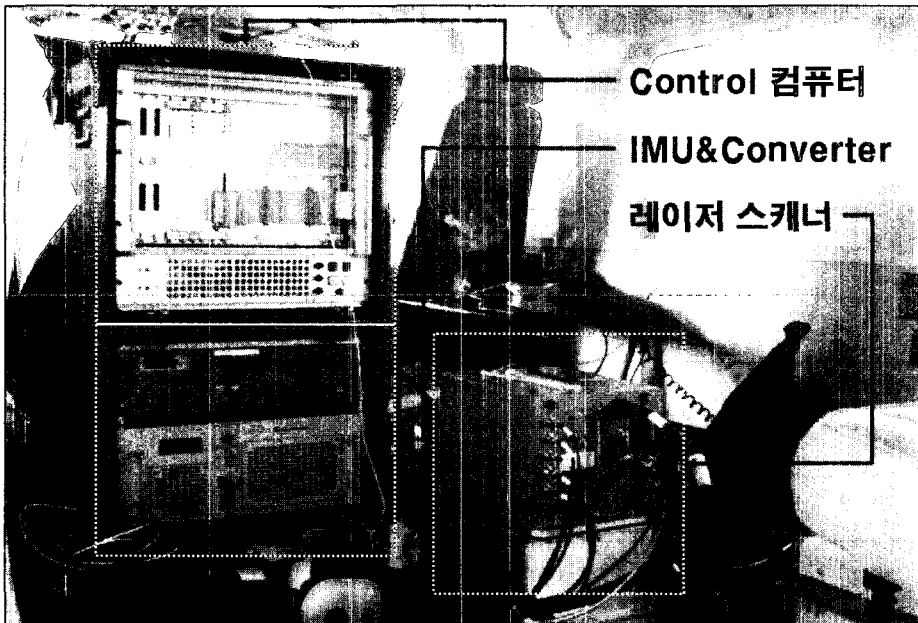
관성측정기술은 '빠른 속도로 회전하는 물체는 공간상에서 자신의 상대적인 방향성을 유지하려 한다'는 것과 '지구상에서 빠르게 회전하는 물체는 보통 중력에 따라 스스로 정렬한다'는 두 가지 물리적 법칙을 이용하고 있다.

지금 나오는 자이로스코프는 회전 시 마찰의 영향을 줄이기 위해 전자기장을 이용하고 있다. 케이지(cage)가 달려있고 레이저로 정렬될 경우에는 연속으로부터의 레이저 각이 측정된다. 관성측정장치에는 가속도계가 포함되어 정밀 시계가 추가되면 이동체의 속도와 방향을 측정할 수도 있다.

하지만 중력 등의 영향으로 장시간 동안 정확도를 보증할 수 없으므로 GPS를 이용하여 정확한 값으로 보정해 주어야 한다. GPS위성으로부터 신호를 수신하여 절대 위치를 산정하는 GPS는 LIDAR 시스템뿐만 아니라 지구상의 언제, 어디서나 3차원 위치를 제공하고 있다.



<그림 6> 항공레이저 측량장비(Optech사의 ALTM 3070)

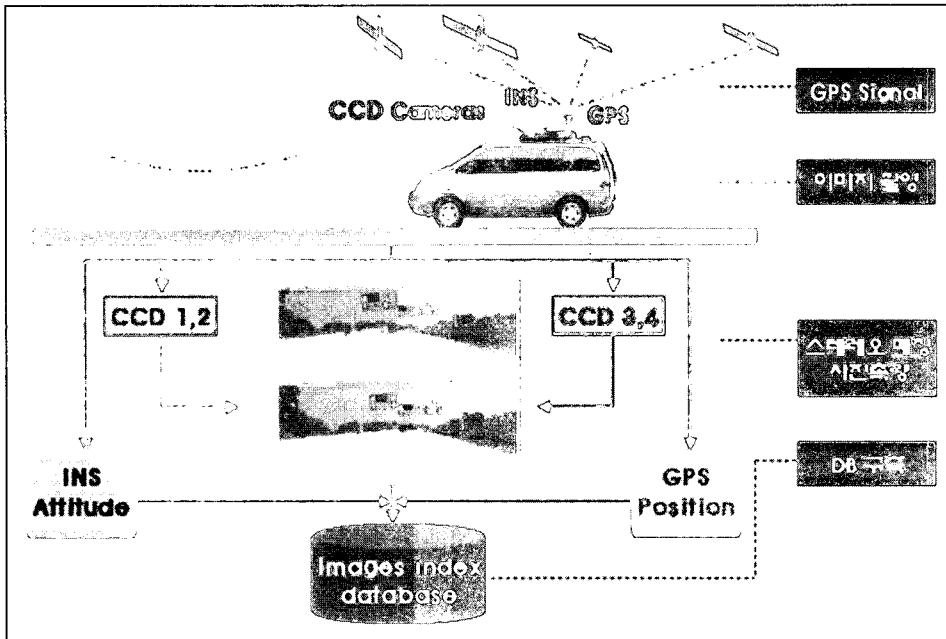


<그림 7> 촬영용 항공기에 LiDAR 장비 장착

#### 2-4. GPS-Van 기술

GPS-Van의 국외 기술 동향 및 수준은 1990년대 초반부터 미국과 캐나다 및 독일을 중심으로 이루어진 연구가 현재 실용화되어 다양한 지형정보를 구축하는데 활용되고 있다.

국내에서는 1990년대 중반부터 후반까지 본 기술의 개발을 본격적으로 시도한 적은 없다. 한국도로공사와 건설기술연구원에서 도로 노면조사, 관리를 위한 목적으로 프랑스의 Roadware Corp.의 ARAN시스템을 도입하였으나 GPS/INS 및 사진측량 기술 등에 관한 기술력 부족, 이해부족 및 도로노면의 국가적인 특성에 따라 적용하지 못하고 있는 실정이다.



<그림8> GPS-Van을 이용한 3차원 좌표 획득 과정

### 2-5. 디지털 도화 기술

현재 국내에서는 대다수의 항공사진측량 및 도화업체에서는 해석도화기 기반에서 작업을 수행 중에 있다. 수치도화기의 장비는 90년대부터 국내에 도입되었으나 대다수의 업체에서는 기존 아날로그 필름위주의 도화작업이 주로 이루어지기 때문에 해석도화기를 사용해 오고 있는 실정이다.

그러나 국토지리정보원에서 지난 2000년부터 항공사진촬영 사업에서 스캐닝된 항공사진을 성과품에 적용함으로써 국내에서도 수치도화기를 이용하여 사업화 하는 경우가 점점 증가되고 있는 현실이다.

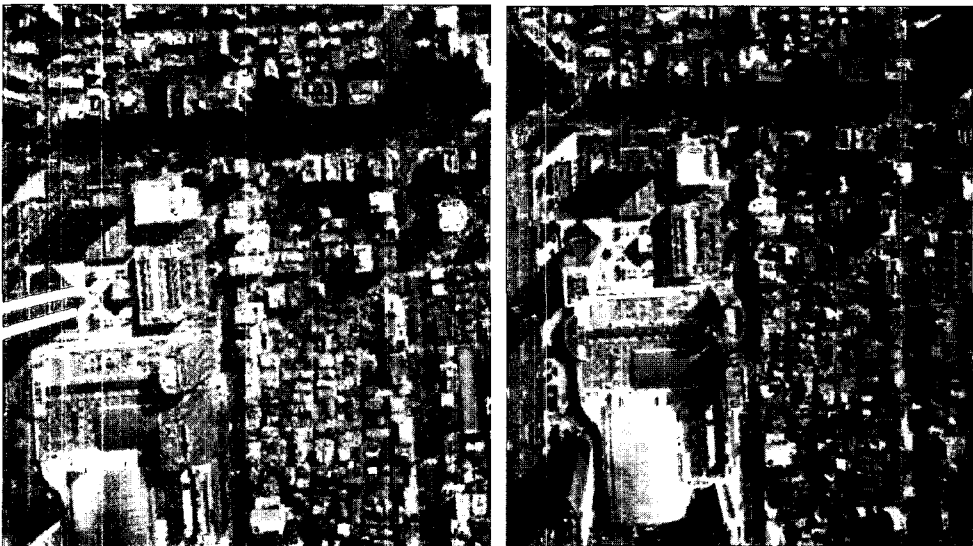
### 2-6. 고해상도 영상 획득기술

고해상도 영상을 획득하기 위해서는 현재까지 주로 이용되는 방법은 항공기나 인공위성에 취득센서를 탑재하여 관측하여 왔다. 현재까지는 인공위성에서 취득할 수 있는 영상의 해상도 한계가 최대 60cm 이므로 대부분의 경우에 항공사진촬영을 통하여 획득하고 있다.

그러나 항공사진 촬영은 대부분 디지털 방식이 아닌 아날로그 형태로 진행되기 때문에 작업공정과 소요비용의 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 대부분 국가에서는 촬영용 항공기에 GPS와 INS를 부착하여 항공사진 촬영과 동시에 각 사진의 외부표정요소(X, Y, Z,  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\chi$ )를 직접 취득함으로써 작업시간의 단축과 소요비용을 절감하고 있다.

또한, 항공기에 탑재하여 디지털 방식으로 취득할 수 있는 디지털 카메라의 개발로 인하여 아날로그 형태보다는 혁신적으로 작업공정과 비용을 절감할 수 있다.

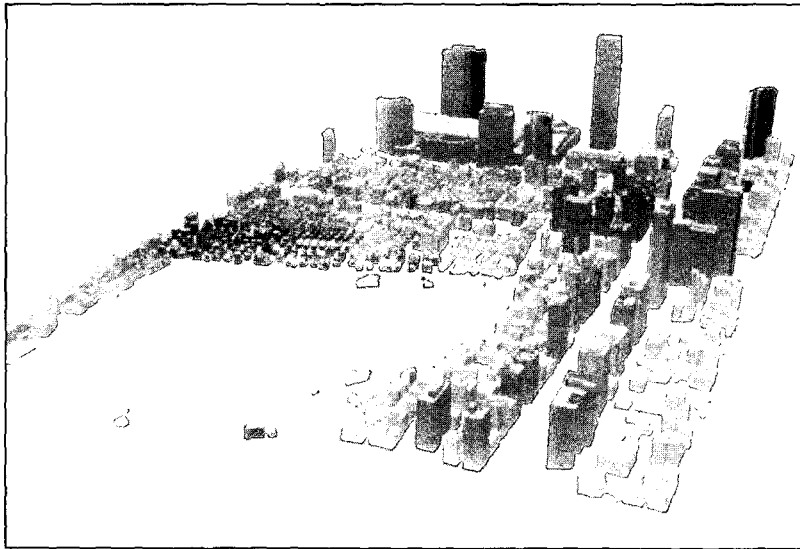
따라서 3차원 공간정보를 구축함에 있어서 해상도별로 구분하여 작업을 수행하되 대축척(지상해상도 60cm 이하 고해상도) 영상은 항공사진촬영방법으로 취득하고, 해상도 60cm 이상의 영상은 인공위성 영상을 이용하도록 한다.



<그림 63> 3차원 도화지역의 왼쪽영상과 오른쪽 영상

향후, 각 지자체 및 유관기관, 민간기관에서의 수치지도 이용을 현재의 2차원 기반에서 3차원으로 확대하기 위하여는 제작당시의 도화공정을 현재의 2차원 도화에서 3차원도화로 변경하여야 할 것으로 사료가 된다.





<그림 64> 3D 도화 데이터의 3차원 시각화(테헤란로 일대)

### III. 활용 분야

최근 항공레이저측량 등 3차원 자료 획득 기술이 급속히 발전하여, 이전에는 할 수 없었던 GIS의 다양한 응용이 가능해졌다. 정확하고 정밀한 수치표고자료를 무선통신 분야의 기지국 설치 및 전파확산 모형 분석 등에 응용되고 있다.

또한 홍수피해예측, 해안선관리, 산림관리, 수목량 추출, 송전탑 위치분석, 전선위치 모델링, 철도 및 도로의 관리, 군사전략산업, 환경분석 및 계획 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

3차원 자료는 홍수관리 및 하천분야에서 크게 활용되어지고 있다. 홍수에 따른 하천 하류지역의 피해규모를 산정하고 또한 피해지역 주민의 대피로 등을 분석하는데 항공레이저측량 데이터는 크게 활용될 수 있으며, 이러한 홍수관리와 관련하여 국내에서도 정부기관에서 연차적으로 사업을 수행하고 있는 상황이다.

특히 미국의 FEMA의 경우 앞으로 홍수매핑프로그램에서는 항공레이저측량(LiDAR) 자료를 사용해야 한다고 1999년 5월에 공식 발표하였다.

다음은 KBS TV 2004년 8월 19일 22시 40분에 보도된 (3D 지도로 맞춤형 수방 대책) 내용이다.

◎ 앵커 : 이런 자연재해 피해를 최소화하기 위해서는 상황을 정확히 예측하는 것이 무엇보다 중요합니다. 영국에서는 3차원 지도를 바탕으로 수방대책을 마련하고 있습니다. 런던에서 김종진 특파원이 전해 왔습니다.

◎ 기자 : 3차원 지도로 그려진 영국 동부의 상습 수해지역입니다. 수위를 높이자 침수지역의 분포가 계속 넓어집니다. 이렇게 이 지도에는 해당지역에 대한 입체정보가 고스란히 담겨

### 3차원 GOS의 자료 획득 기술과 활용

있어서 상황변화에 따른 맞춤형 수방대책의 수립이 가능합니다.

◎ 테드 에반스(3차원 지도 제작 회사) : 우편번호 단위로 홍수에 대처할 수 있는 지형정보를 제공받을 수 있습니다.

◎ 기자 : 비행기를 이용한 항공레이저 측량으로 2년 만에 완성된 이 지도는 영국 전역을 50cm 단위까지 구현해낼 수 있는 정확성을 자랑하고 있습니다. 이에 따라 최근 영국 남서부지역에서 큰 홍수피해를 입은 영국은 향후 수방대책을 세우는 데 이 지도를 이용하는 방안을 적극 추진하고 있습니다.

◎ 질 볼튼(영 기상연구원) : 앞으로는 평면 지도 대신 3차원 지도로 피해 지역을 정확히 예측할 수 있습니다.

◎ 기자 : 아울러 도로와 댐 등을 새로 건설할 때도 이 지도를 이용해서 효율성과 환경영향 등을 사전 평가할 계획입니다. 영국은 이제 치수와 수방대책도 3차원 디지털 기술을 통해 그 해법을 찾아가고 있습니다. 런던에서 KBS뉴스 김종진입니다.

3차원 GIS 자료는 도시 시설물을 관리하는데 크게 활용되고 있다. 광역상수도, 가스관, 송유관과 같은 관로 시설물들은 지형의 높낮이에 따라 그 작업이 크게 변화하게 되는데 이러한 요소가 바로 3차원 데이터로부터 얻어지는 것 입니다.

시기를 두고 데이터를 획득하여, 지형변화량의 산출을 내는 것과, 획득된 데이터를 구축하여 다양한 시물레이션에 이용되는 경우도 있다. 또한 정보통신과 생물환경 등의 분야에서도 구조물과 수목의 3차원 데이터구축의 필요가 증대하고 있다. 앞으로는 지형데이터는 3차원의 시대이며, 일반 사용자에게도 시각적으로 이해하기 쉬운 형태가 요구되어 졌다.

#### 3-1. 3차원 GIS 자료 활용기술

##### 1) 경사도 및 사면방위 계산

경사는 인접한 수치표고자료 간의 거리 및 높이차를 이용하여 계산할 수 있으며, 엄밀한 값을 얻기 위해서는 최소제곱법에 의해 구해진 곡면의 방정식을 미분하여 계산하나, 일반적으로는 연산의 속도를 고려하여 주변 8방향 수치표고자료와의 경사를 평균하여 구하는 방법이 주로 사용된다.

곡면을 미분한 1차 도함수는 기울기나 경사방향을 나타내고, 2차 도함수는 표면의 요철형태를 나타낸다. 기울기는 퍼센트 또는 각도로 측정되고 사면방향은 방위각으로 측정된다.

##### 2) 토공량 계산

현재 지형상태를 나타내는 수치표고모형과 설계에 따라 시공된 후의 수치표고모형을 구축하여 두 자료의 차이를 구한다. 이렇게 구해진 차이는 토공량, 즉 성토량 또는 절토량이 된다.

##### 3) 가시선 분석

가시선은 어느 한 지점에서 다른 한지점이 보이는지 여부를 나타내는 것으로 수치표고모형에

서 가시구역조사가 필요한 지점을 설정한 후에 이 점을 광원으로하여 주위의 모든 점으로 빛이 투시되는 것으로 가정하여 다른 표고점에 의해 빛이 가려지지 않는 점을 찾는 것이다.

#### 4) 능선과 계곡선 추적

수치표고모형에서 주변 값에 비해 가장 높은 값을 찾아 연결한 선은 능선이 되고, 가장 낮은 값을 찾아 연결한 선은 계곡선이 된다. 이와 같은 과정을 통합하여 수계망을 구성하거나, 유역 경계를 찾을 수 있다.

#### 5) 지성선점 추출

지표면에는 정점, 저점, 고개점과 같은 주위의 다른 지점보다 중요한 특성점이 있으며 이를 지성선점이라 한다. 이러한 점들은 일반적으로 Local Operator라고 하는 격자형 연산자를 통해 찾아지나, 격자형 연산자의 격자 크기나 주위 표고자료와의 차이 정도를 규정하는데 따라 추출결과가 크게 달라진다.

#### 6) 측량 및 지형도제작

##### 6-1) 등고선도 작성

수치표고모형의 데이터를 적당한 높이 간격으로 재분류하고 같은 높이를 갖는 지점을 선으로 연결하거나, 계급에 따라 색깔이나 농도를 부여하여 대략적인 등고선도를 만든다. 등고선이 통과하는 정확한 위치를 알기 어려울 때에는 수치표고모형에서 지형 특성점을 추출하여 불규칙삼각망(TIN : Triangulated Irregular Network)을 구성한 후, TIN 으로부터 등고선을 얻기도 한다.

##### 6-2) 정사투영사진지도 제작

중심투영의 왜곡을 가진 사진 또는 위성영상에 지도와 같은 기하학적 특성을 부여하기 위해서는 수치표고모형이 필수요소이다. 카메라나 센서의 모델을 이용하여 수치표고모형의 X, Y, Z 좌표로부터 대응되는 영상좌표를 계산하여 해당 위치에 표현될 영상 데이터를 수치표고모형의 X, Y 위치에 기록하는 과정을 통해 정사투영사진을 제작할 수 있다.

#### 7) 토목설계

##### 7-1) 노선설계

도로, 철도와 같은 선형의 구조물의 설계시 가장 중요한 요소는 수평과 수직 선형에서 곡률의 변화가 크지 않도록 해야 한다는 것이다. 수치표고모형을 이용할 경우 여러 가지 대안에 대한 평가가 용이하기 때문에 최적 노선의 선정이 가능하며, 노선설계용 소프트웨어 중에는 수치표고모형을 이용하여 자동으로 적합한 노선을 제안해 주는 기능을 제공하는 것도 있다.

### 3차원 GOS의 자료 획득 기술과 활용

#### 7-2) 부지선정

공항, 빌딩 등과 같은 토목구조물의 위치선정 시, 대상 지역의 경사 및 방향과 같은 자료는 기타 인문적인 자료와 함께 진입로, 배수, 조정 등의 초기 계획 및 설계에 필수적이다. 경사, 방향과 같은 자료는 수치표고모형에서 일차적으로 분석되는 결과로, 상세설계 단계에서는 대축척 고정밀도의 수치표고모형이 필요하다.

#### 7-3) 토공계획

토목시공에 있어 가장 불확실성이 높으며, 소요 비용을 예측하기 어려운 공정은 토공이다. 정확하고 정밀한 수치표고모형을 이용하여 토공에 소요되는 정확한 비용의 산출이 가능하다. 또한, 시공 시 공사 대상지역 내에서 절토와 성토의 균형을 맞추므로써 상당한 경제적인 이익을 얻을 수 있다.

#### 7-4) 댐 위치선정

댐 위치의 여러 대안의 평가에서 지형적인 조건으로 가장 중요하게 생각되는 두 가지는 넓은 집수구역과 댐에 의한 저수용량이 많아야 한다는 것이다. 이러한 지형적인 조건을 만족시키는 지점은 수치표고모형의 능선/계곡선 추적과 저수량 산정(토공량을 성토량으로 산정) 등의 기본적인 분석을 통해 용이하게 선정할 수 있다.

#### 7-5) 홍수 침수 예측

홍수 시 집수구역 내에 강우량과 지표경사, 식생, 토양과 기타 지형 지물에 의해 해당지점에서 하천 유량과 유속 등이 결정된다. 수치표고모형을 기본 데이터로 하여 필요한 데이터를 증첩한 후 모델링을 통하여 홍수시 침수가능지역을 예측하여 방재대책을 수립할 수 있다.

#### 7-6) 홍수지도제작

홍수지역에 대한 최신의 정확한 모델링은 당국의 재해계획과 보험관련 업계에 아주 중요하다. 항공레이저측량은 이러한 모델링에 필수 입력 자료인 지형자료를 적시에 공급할 수 있다. 실제로 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)는 항공레이저를 이용하여 홍수관련 연구를 수행중이다.

#### 8) 해안 공학

최신의 항공레이저측량기술을 적용하여 해변과 주변의 모래언덕에 대한 지도제작을 효과적으로 수행할 수 있다. 이는 기존의 사진측량방법은 해변, 해안과 같은 제한된 명암이나 폭을 가진 곳에서 이용하기가 어려웠기 때문이다. 항공레이저측량을 이용할 경우 해안선, 모래언덕, 제방, 해안주변의 숲에 대한 지도제작과 감시가 쉬워져 복잡한 분석이 가능해 질 것이다

#### IV. 기대효과

3차원 공간정보의 구축을 통하여 현재까지의 GIS 사업을 통하여 구축된 데이터에 대하여 고부가가치 및 민간기업의 활용을 촉진할 수 있으며, 각 지자체나 공공기관에서 관련사업을 추진 시에 구축지침, 데이터표준, 활용체계, 공유방안 등 관련 법/제도적인 사항의 기준을 마련함으로써 예산중복을 통한 절감을 할 수 있다.

항공레이저측량(LiDAR), 디지털카메라, 4S-van 등 최신기술을 적용함으로써 사업의 효율성 및 생산성을 향상시킬 수 있다. 또한 현재 차세대 성장동력 산업으로 각광받고 있는 LBS, Telematics 등 개인 사용자에게 효과적인 GIS 데이터를 제공함으로써 대국민 서비스 개선 등의 효과가 있다.