

지형공간정보체계론

II. 지형공간정보자료의 생성

편집위원회

※ 본 기사는 지형공간정보학회지 창간을 기념하여 편집위원회에서 제작한 특집 기사입니다.

본 특집연재기사에 관심있는 회원들의 많은 참고 의견을 바랍니다.

계는 아니고, 두가지 혹은 여러가지가 서로 조합이 되어 상호보완적인 관계를 이루며 공간적으로 관련된 자료를 찾아내고, 저장하며 표현한다. 이렇게 얻어진 자료는 여러기구나 방법에 의해 입력되고 처리되어, 지형공간정보체계의 수행을 가능하게 한다.

I. 총론

-지형공간정보체계의 의의, 분류, 활용

II. 지형공간정보자료의 생성

III. 지형공간정보자료의 해석

IV. 지형공간정보체계의 구축, 도입 및 활용

1. 1 기존 지도의 이용

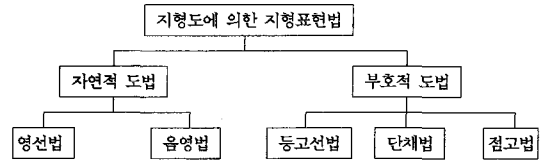
지도가 만들어진 이후로 지도는 작성자의 의도에 의해, 관측된 공간관계를 기록하고 저장할 목적으로 제작되었는데, 이것은 다른 사람들에게 공간적인 지식을 전달하고 미래의 사용을 대비하기 위한 것이었다.

지형도, 도로망도, 상수 및 하수 관망도, 토양도, 토지이용도 등 다양한 기존의 지도들을 이용하여 지형공간정보체계에 사용될 위치 및 특성정보에 대한 각종 자료를 취득할 수 있다. 기존의 지도로부터 정확한 정보를 얻기 위해서는 기존의 지도에 대한 작성방법과 용도 및 성격 등에 대한 구체적인 지식이 필요하다. 한편, 지표면상의 자연 및 인공적인 지물, 지모의 형태와 수평, 수직의 위치관계를 결정하여 그 결과를 일정한 축척과 도식으로 표현한 지도를 지형도(topographic map)라고 하며 지형도를 작성하기 위한 측량을 지형측량(topographic surveying)이라고 한다.

국토기본도(national base map)는 한 나라의 가장 기본이 되는 지도로서 국토전역에 걸쳐 일정한 정확

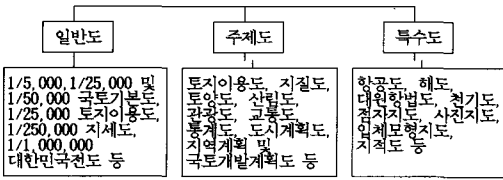
지형공간정보체계의 자료 생성은 지형공간정보체계를 수행함에 있어서 가장 먼저 고려하게 되는 부분으로서 우리에게 필요한 자료를 어떤 방법으로 얻을 수 있는가를 결정하는 것이다. 이러한 자료를 생성하는 방법에는 기존 지도의 자료를 이용하는 방법과 지상 측량자료를 이용하는 방법, 항공사진 측량자료를 이용하는 방법, 그리고 원격탐측을 통한 인공위성 측량자료를 이용하는 방법 등이 있으며 각각의 방법들은 실제적 관측방법과 원리면에서는 서로 다르다. 그러나, 이들 방법들은 서로 완전히 개별적인 관

도와 축척으로 엄밀하게 제작되고, 일정한 기준에 의하여 지형도를 제작하기 위한 지형측량은 과거에는 지상측량에만 의존해 왔으나, 근래 사진측량이 발달함에 따라 국토기본도는 항공사진측량에 의하여 제작되며, 최근에는 수치지형모형에 의한 도면자동화가 활발히 연구되어 실용화단계에 접어들고 있는 추세이다.

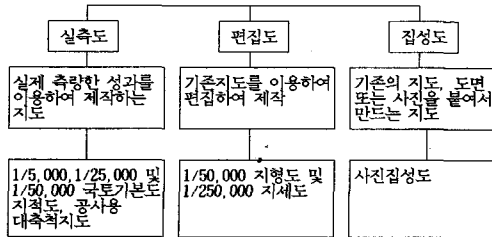


(1) 지도의 종별 및 특성

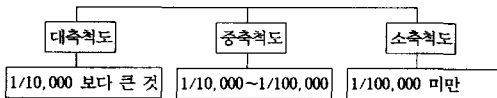
1) 표현 내용에 따른 구분



2) 제작방법에 따른 구분



3) 축척에 따른 구분



4) 지형표형에 따른 구분

지형도(topographic map)는 지표면을 수평면에 정사 투영하여 지표의 형태와 지물의 위치를 나타내는 것으로 수평 및 수직위치가 가장 엄밀하게 표현되며 관측이 용이하지만 지형의 기복을 알아보기에는 상당한 훈련이 필요하다.

(2) 지도의 축척

축척은 종이지도상에서 그리거나 인식할 수 있는 가장 작은 면적을 결정한다. 일반적으로 1:50,000 지도에서 25m 정도의 직경보다 작은 물체들을 표현하거나, 한 개의 직선보다 폭이 작게 표현되는 물체들은 정확하게 판별하기가 어렵다.(지도상에서 점의 크기가 0.5mm 이하이면 사실상 육안으로 판별하기가 어렵다.) 그러나, 작게 표현되는 물체들도 반드시 표현되어야만 할 만큼 중요할 수도 있기 때문에, 지도 제작자들은 이러한 작지만 중요한 물체를 표현하기 위해 선택하고 기호화시키는 많은 방법을 생각해냈다.

한편, 축척은 일반지형도뿐만 아니라 주제도에 포함되는 물질들에 영향을 미친다. 예를 들면, 식생도에서 최소면적 혹은 최소지도단위는 지도 축척에 기초하여 결정된다. 따라서, 이웃지역과 다른 특성을 지니면서도 한편적으로 병합되어 나타날 수도 있기 때문에 한 지역에 배정된 식생의 분류는 그 지역에 대한 지배적인 식생으로 분류되어야만 한다. 대조적으로, 수치 자료기반은 거기에 축척이 생생이 묘사되어 있기 때문에 처음에는 축척과는 독립적으로 보일 수 있다. 만약 자료가 원래 지도나 지도들로부터 얻었다면, 그 지도의 축척은 그것이 최소지도단위의 크기와 물질이 포함되는지 안되는지를 결정하기 때문에 상당히 중요하다. 수치정보와 관련된 정보의 일부분으로서 축척은 원래의 연속된 지도의 증명서에 불과하다. 자료기반내에서, 그것은 연속된 지도를 정확하게 증명하는데 적합하며, 지도를 표현하는 자료기반에 정확도를 부여한다. 사실상, 이러한 접근이 수치자료를 생성하는 여러 방법들 중에서 일반적인 방법이다.

(3) 지도의 유동성

지도는 그것이 축척되었던 당시의 공간상의 지형을 표현한다. 그러나 실생활에 있어서 지형정보는 끊임없이 변화하며, 지도는 정적인 상태로 남아 있게 된다.

따라서, 지도는 시간이 흐를수록 표현하고 있는 내용이 부정확해진다. 지도를 작성하고 발행하기까지에는 시간이 너무 오래 걸리기 때문에 대부분의 지도들은 그것들을 사용할 당시의 실제적인 공간관계를 표현하지 못한다. 대부분의 사용자들은 몇몇 도로가 왜 그들의 지도에 나와있지 않은지를 정확하게 이해하지 못하면서도 이러한 것을 그냥 넘긴다. 물론, 지도는 주기적으로 개정되고 지도제작의 국가적인 정책도 변하기는 하겠지만, 지형도 계속해서 함께 변해간다.

식생과 토지이용 지도는 항상 개정을 필요로 한다. 비록 토양과 지질이 거의 변화되지 않았음에도 불구하고, 새로운 영역의 작업에 적합하고 토양과 지질에 대한 사람들의 이해 수준을 개선시키고자 규칙적으로 최신화 시켜야만 한다.

수치자료기반을 생성하는데 있어서, 한 지역의 현재의 정확한 상태를 알기란 거의 불가능할 것이다. 그러나, 수치자료를 입력하기 전에는 가능한한 가장 최신의 정보를 얻어야만 한다. 또한, 그러한 정보가 측량에 의해 얻어진 정보임을 주의하여야만 한다. 일단, 자료가 수치형식이 되면 자료의 정확도와 완벽성은 여전히 시간에 의존하게 되나, 수치화가 되면 인쇄복사된 지도에서는 불가능 할 정도로 규칙적이면서도 자주 자료기반을 수정하고 최신화 시킬 수 있다. 그러나, 역시 자료가 수집이 된 후에 그 자료가 구식이 되는 것을 피할 수는 없다.

(4) 지도의 연속

과거의 연속된 종이지도는 각각 지도가 분리되어 그려져 있거나 사각형이 완전히 독립적인 개체로 표현 되어져 있기 때문에 때때로 그러한 개별적인 지도를 한데 모아서 그리고, 교정하여 인쇄해내곤 했다. 따라서, 지도에 겹치는 부분이 나타나리라는 것은 의심할 여지가 없다. 많은 연구가들과 사용자들은 지도 간에 경계선을 정합시키는 것이 가장 큰 문제점이 된다는 것을 알고 있었다.

수치화 된 환경하에서는, 지도의 통합과정이 필요 없다. 그러나, 이것은 지도간 경계 근처의 지형을 재측량하거나 자동적으로 지형을 일치시키기 위해 수학적 가정을 내리는 일 없이는 전체지도를 얻을 수 없다.

(5) 지도의 투영

1) 횡메르카토르 좌표(TM :

Transverse Mercator coordinates)

회전타원체로부터 직접 평면으로 횡측등각투영법(橫軸等角投影法)에 의해 투영된 TM도법(일명, 가우스 크뤼거도법(Gauss-Krüger's Projection))에 의해 표현되는 좌표계로서, 원점을 적도상에 놓고 중앙경선을 y축, 적도를 x축으로 한 좌표로 측상에서는 지구상의 거리와 같다. 범위는 중앙경선으로부터 넓지 않은 범위에 한정하며, 넓은 지역에 대해서는 지구를 분할하여 지구 각각에 중앙경선을 설정하여 적용한다. 식은 타원체를 평면의 등각투영이론에 적용함으로써 구해진다.

2) 국제 횡메르카토르 좌표(UTM :

Universal Transverse Mercator Coordinate)

UTM 투영법에 의하여 표현되는 좌표계로서 적도를 횡축, 자오선을 종축으로 한다. UTM 좌표는 지구를 회전타원체로 보고, 지구 전체를 경도 6° 씩 60개의 구역으로 나누고 각 종대의 중앙자오선과 적도의 교점을 원점으로 하여 원통도법인 횡 Mercator 투영법으로 등각투영한다. 각 종대에는 180° W 자오선에서 동쪽으로 6° 간격으로 1 부터 60 까지 번호를 붙인다. 종대에서 위도는 남,북위 80까지만 포함시키며 다시 8° 간격으로 20구역(횡대, row)으로 나누어 C(80° S~72° S)에서 X(72° N~80° N)까지 (단, I와 O는 제외) 20개의 알파벳문자로 표시한다. 따라서 종대 및 횡대는 결국 경도 6° x 위도 8° 의 단형 구역으로 구분한다. UTM 좌표에서 거리좌표는 m 단위로 표시하며, 종좌표에는 N 을 , 횡좌표에는 E 를 붙인다.

각 종대마다 좌표원점의 값을 북반구에서 횡좌표 500,000 mE, 종좌표 0 mN(남반구에서는 10,000,000 mN)으로 주며 북반구에서의 종좌표는 적도에서 0mN, 80° N 에서 10,000,000 mN 이고, 남반구에서는 80° S 에서 0mN, 적도에서 10,000,000 mN 이다. 따라서 80° S 에서 적도까지의 거리는 10,000,000m로 나타난다.

80° N 과 80° S 간 전지역의 지도는 UTM좌표로 표시하며 80° N 이북과 80° S이남의 양극지역의 지

도는 국제극심좌표계(UPS)로 표시함으로써 전세계를 일관된 좌표계로 나타낼 수 있다.

UTM 좌표는 처음 제2차 세계대전 말기 연합군의 군용 거리좌표로 고안된 것으로 주로 군용좌표로 사용되어 왔으나 지도제작과 사용상 편리한 점이 많으므로 근래에는 세계적으로 대축척 지도좌표로 널리 사용되어 왔으며 우리나라에서도 1/50,000 지형도에 적용한 바 있다.

3) 국제 극심 입체좌표(UPS :

Universal Polar Stereographic coordinates)

UPS 좌표는 위도 80° 이상의 양극지역의 좌표를 표시하는데 사용한다. UPS 좌표는 극심입체투영법에 의한 것이며, UTM 좌표의 상사투영법과 같은 특징을 가진다. 이 좌표계에는 양극을 원점으로 하는 평면직교좌표계를 사용하며, 거리좌표는 m 단위로 나타낸다. 좌표방안의 종축은 경도 0° 및 180° 인 자오선이고 횡축은 90° W 및 90° E 인 자오선이다. 원점의 좌표값은 횡좌표 2,000,000mE, 종좌표 2,000,000 mN이며, 도북은 북극을 지나는 180° 자오선(남극에서는 0° 자오선)과 일치한다.

행방안선의 종좌표는 북극의 경우, 경도 0° 부근의 최하단횡선이 1,000,000 mN, 원점을 지나는 횡축이 2,000,000 mN, 경도 180° 부근의 최하단횡선이 3,000,000 mN 이다. 종방안선의 횡좌표는 90° W 부근의 최좌단중선이 1,000,000 mE, 원점을 지나는 종축이 2,000,000 mE, 90° E 부근의 최우단중선이 3,000,000 mE 이다. (남극에서는 반대임). 따라서 좌표읽기는 우상독이다. 또 1,000,000 m 좌표방안구역은 UTM 좌표에서와 마찬가지로 100,000 m 좌표방안으로 잘게 재구분하며 각각 두 개의 알파벳문자로 좌표구역표지(grid zone designation)를 준다.

4) 3차원직교좌표 (Three dimensional coordinates)

종래의 대지측량의 위치는 평면직교좌표나 경위도로서 수평위치를 나타내고 지점의 높이만을 결정하는 방법을 택하여 왔으나, 인공위성이나 관측용 천체를 관측함으로써 측량망결합에 3차원측량법이 새로운 측량기법으로 대두되었다. 3차원측량법은 기하학적으로 높이 쏘아 올린 인공위성을 정지 목표로 하여 수 천 km 떨어진 곳에서 동시관측하여 역으로 인공위성을

매개로 하여 지표상의 위치를 구할 수 있다. 또한 3차원직교좌표는 관용적인 타원체 경위도좌표로부터의 변환 및 그 역도 용이하게 수행할 수 있다. 3차원좌표를 사용함으로써 세계의 좌표계를 확립하는데 획기적인 공헌이 기대되나 아직 해결되지 않은 문제들이 있어서 본격적으로 실용화되는데 시간이 필요하다.

3차원직교좌표의 원점은 지구중심이고 적도면상에 X 축, Y 축을 잡고, 지구의 극축을 Z 로 한다. 일반적으로 사용되는 좌표축에서는 Greenwich 자오면과 적도면의 교선을 X 축으로 하고, Y 축은 XZ 면에 직교하도록 동쪽을 택한다.

1. 2 지상측량자료이용방법

지상기준점측량에는 수평위치(x,y) 결정에 삼각, 삼변 및 다각측량 등이 있으며 수직위치(x또는 h) 결정에는 직접 및 간접고저측량 등이 있다.

(1) 삼각측량 (Triangulation)

삼각측량은 지도작성, 국토조사, 도로, 철도, 하천 등에 필요한 기준점인 삼각점의 위치를 삼각법으로 정밀하게 결정하는 측량방법으로, 삼각측량은 측량구역의 넓이에 따라 크게 대지삼각측량과 소지삼각측량으로 나눌 수 있다. 대지 삼각측량은 지구의 곡률을 고려하여 정확한 결과를 구하려는 것이고 소지 삼각측량은 지구의 표면을 평면으로 간주하고, 실시하는 측량으로, 100만분의 1의 정확도를 바라는 경우에는 반지름 11 km이내의 범위와 면적 약 400km² 이내의 범위를 평면으로 취급한다.

1) 삼각측량의 기본

그림과 같이 기선(base line)의 길이 $AB = c$ 는 정확하게 관측하고, 삼각점 A, B, C, \dots 를 잇는 그 밖의 변길이는 삼각형의 내각을 관측하여 삼각법으로 결정한다.

즉, sine 법칙

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

로부터 변길이 a, b 는

$$a = \frac{\sin A}{\sin C} c, \quad b = \frac{\sin B}{\sin C} c$$

로 하며, 이와 같은 방법으로 점점 확대하여 전체 변 길이를 모두 구할 수 있고, 검기선은 다시 실측하여 계산값과 비교한다. 또한, 삼각점의 높이는 직접 고저 측량이나 삼각고저측량으로 구한다.

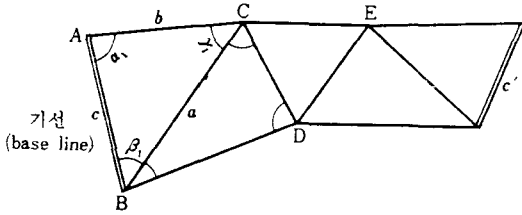


그림 1 삼각측량의 원리

2) 삼각점

삼각점은 관측정밀도에 의하여, 1등삼각점, 2등삼각점, 3등삼각점, 4등삼각점의 4등급으로 나누어진다.

이 삼각점들은 경위도원점을 기준으로 경위도를 정하고 고저원점을 기준으로 하여 그 표고를 정한다. 축척 1/50,000 정도의 지형도를 작성할 때는 3등삼각점, 축척 1/10,000 정도에서는 4등삼각점의 설치가 필요하게 된다.

그 외에 1등, 2등, 3등삼각점 및 4등삼각점 또는 시설의 기준삼각점에서 실시한 삼각측량을 기준삼각측량, 이에 의하여 얻은 점을 기준삼각점이라 말한다. 또, 기준삼각점으로도 정확도가 낮은 경우에는 보조삼각측량을 하여 보조삼각점을 구한다. 기준삼각점 및 보조삼각점의 점간거리는 각각 1.5 km, 0.7 km를 표준으로 한다.

3) 삼각망의 종류

삼각망의 종류는 단열삼각망, 유심다각망, 사변형망 및 이들이 혼합된 복합삼각망 등으로 분류된다. 단열삼각망은 원거리 2점의 위치관계를 결정할 경우, 좁고 긴 지역에 사용하여 하천측량, 노선측량 등에 이용되며 유심다각망은 거리에 비하여 포함 면적이 가장 넓으며, 정밀도는 단열삼각망보다 높고 사변형망보다 낮다. 사변형망은 조건식의 수가 가장 많아 정밀도가 높으나 조정이 복잡하고, 포함 면적이 적으며, 시간과 비용이 많이 드는 단점이 있다. 또한, 복합삼

각망은 이들 삼각망이 복합되어 하나의 망을 형성한 것이다.

4) 관측 및 좌표계산

삼각측량은 기선측점과 각관측으로 이루어지며, 기선관측은 일반적으로 기본삼각점을 이용하는 경우가 많으므로 성과표를 이용한다. 또한 단열, 유심 및 사변망조정을 통하여 X,Y좌표를 계산한다.

5) 삼각 및 수준측량성과표

삼각 및 수준측량성과표는 삼각측량에서 산지 혹은 기선을 관측하기 곤란한 경우, 과거의 실측 계산에 의한 삼각 및 수준측량성과표를 이용하여 단시일 내에 경비를 절감시켜 측량할 수 있도록 작성된 성과표이다.

(2) 다각측량 (Traverse Surveying)

다각측량은 기준측점을 연결하는 측선의 길이와 방향을 관측하여 관측의 수평위치를 결정하는 측량으로, 높은 정확도를 요구하지 않는 골조측량, 삼림지대, 시가지 등 삼각측량이 불리한 지역과 측점이 선형으로 배치된 좁고 긴 지역의 기준점 설치에 유리하기 때문에 경계측량, 삼림측량, 노선측량, 지적측량 등 기준점 측량에 널리 이용된다.

다각측량은 국가기본삼각점이 널리 배치되어 있으나, 추가 기준점을 설치해야 할 경우와 도로, 수로, 철도 등의 선로와 같이 좁고 긴 곳의 측량에 유리하며, 시준이 어려운 지역의 측량에 적합하다. 또 거리와 각을 관측하여 도식해법에 의해 모든 점의 위치를 결정할 때 편리한 특징이 있다.

그러나 최근 전자기파거리측량기에 의한 거리측량의 정확도가 높아짐에 따라 고정밀결합다각망을 이용한 위치결정으로 국가기본망까지도 가능하게 되었다.

1) 다각형의 종류

다각형에는 개다각형(open traverse), 결함다각형(decisive traverse), 폐다각형(closed traverse), 다각망(traverse network)이 있다. 개다각형은 기지점에서 시작하여 미지점으로 연결하는 다각형으로, 높은 정확도를 요하지 않는 노선측량의 답사에 편리한 방법

이고, 결합다각형은 기지점과 기지점을 연결하는 방법으로 높은 정확도를 얻을 수 있는 방법이다.

또한, 폐다각형은 출발한 임의측점으로 다시 돌아오는 방법으로 측량 결과를 점검할 수 있으나, 정확도 면에서는 결합다각형보다 정확도가 낮으나 개다각형보다는 높다. 다각망은 위의 세 가지 방법을 필요에 따라 결합하여 망을 형성한 것이다.

2) 좌표 및 면적계산

방위에 의하여 경거, 위거를 구한후 트랜시트, 컴퍼스 법칙등에 의하여 경거, 위거를 조정한 후 좌표 및 면적 계산을 한다. 임의 측점에 대한 좌표 (N, E) 는 그 측점까지의 합위거 (ΣL)와 합경거 (ΣD)로 구한다.

3) 다각측량의 응용

다각측량은 삼각측량과 마찬가지로 건설, 농림, 지적 및 기초공사와 시공용 지도의 기준점 설치에 널리 이용되고 있다. 일반적으로 장애물이 많아서 시통이 어려운 지역이나, 선형 또는 대상의 측량지역 또는 간격 300m 이하 정도의 고밀도인 기준점이 요구되는 경우에는 다각측량이 삼각측량보다 유리하다.

(3) 삼변측량 (Trilateration)

측량에 있어서 장거리를 정확하게 관측하는 것은 매우 어려운 일이므로 거리 관측을 최소로 한 측량인 삼각측량을 오늘날까지 널리 이용하여 왔다. 그러나 전자기파거리측량기(EDM)의 출현으로 장거리 관측의 정확도가 높아짐에 따라 변만을 관측하여 수평위치를 결정하는 삼변측량방법이 선행되기에 이르렀다. 삼변측량은 cosine 제 2 법칙, 반각공식을 이용하여 변으로부터 각을 구하고, 구한 각과 변에 의하여 수평위치가 구하는 기준점측량의 한 방법으로 관측값에 비하여 조건식이 적은 것이 단점이나 최근 일점에 대하여 복수변길이를 연속 관측하여 조건식 수를 늘리고, 기상보정을 하여 정확도를 높이고 있다.

1) 삼변측량의 원리

삼변측량에서 관측된 변길이를 이용하여, 삼각형의 내각을 구하기 위해 cosine 제 2 법칙, 반각공식 및 면적조건을 사용한다.

삼변측량에 의한 좌표 계산은 기지점이 2개 이상인 경우는, 두 좌표로부터 방향각이 결정되기 때문에 좌표계산에는 편리하다. 삼변측량의 조정 방법에는 조건방정식에 의한 조정과 관측방정식에 의한 조정방법이 있다.

2) 전자기파거리측량

(Electromagnetic Distance Measurement; EDM)

가. 전자기파거리측량의 원리

두점간을 전파 또는 광파가 왕복하는 시간을 이용하여 거리를 측량한다. 전자기파의 속도를 v , 왕복시간을 t 라 한다면 구하는 거리 D 는

$$D = \frac{v t}{2}$$

이다. 실제로는 왕복시간 t 를 직접관측하기 힘들므로 송신파와 수신파의 위상차[여기서, 위상(phase)은 파의 진동상태를 각으로 나타낸 것]를 구하여 간접적으로 t 를 관측한다. (시간관측 정밀도는 $\pm 1 \times 10^9$ s) 현재의 전자기파거리측량기는 전자기파를 주파수변조 또는 강도를 변조하여 사용한다.

나. 전자기파거리측량기의 종류 및 특성

전자기파거리측량기는 광파거리측량기와 전파거리측량기로 크게 나눌 수 있다.

① 전파거리측량기(Electric Wave EDM)

극초단파(microwave), 장파(long radio wave) 등을 이용하는 것으로서, 일반측량의 거리측량용으로는 극초단파를 많이 사용한다. 두대의 전파송수신기의 주국(master station)과 종국(slave station)을 양 측점에 설치한 다음 주국으로부터 목표점의 종국에 대하여 주파수변조한 전파를 발사하고 이것이 종국을 지나 다시 주국으로 돌아오는 반사파의 위상과 발사파의 위상차로부터 거리를 구한다.

전파거리 측량기는 주로 관측범위(range)가 30 - 50 km인 장거리용으로 쓰이며 정확도는 일반적으로 $\pm (5\text{mm} + 3\text{ppm})$ (Tellurometer CA-1000의 경우)이다. 전파는 안개나 비 등 기후나 지형조건에 의한 시통성에 비교적 영향을 받지 않으나 움직이는 대상물,

송전선 부근 등의 영향을 받고 발생된 전파는 약 10°의 폭으로 퍼지므로 전파장애물이 많은 시가지, 삼림이나 해면에 가까운 곳, 지상에 기복이 많은 곳에서는 불규칙한 반사파가 수신되어 정확도가 떨어지게 된다.

② 광파거리측량기(Light Wave EDM)

가시광선, 적외선, 레이저광선 등을 이용하는 것으로서 강도를 변조한 광파를 측점에 세운 기계로 부터 발사하여 이것이 목표점의 반사경에 반사하여 돌아오는 반사파와 발사파의 위상차를 재어서 거리를 관측한다.

광파거리측량기는 주로 중,단거리용으로 쓰이며, 정확도는 일반적으로 $\pm (3\text{mm} + 2\text{ppm})$ 이내이다. 관측용 광파는 거의 평행광선으로 대기반사파의 영향을 거의 받지 않으나 다소의 안개나 비 등에도 영향을 받아 관측이 곤란하게 된다.

(4) 수직위치결정

수직 위치 결정은 기준면에 대한 한 점의 높이 결정 및 한 점에 대한 다른 점의 수직 위치를 결정하는 것으로, 지표면상의 상호 수직 위치 관계외에 지표하의 지하 깊이측량, 수심측량 및 공간상의 높이측량으로 나누어진다. 지표면상의 위치는 평균해수면으로 이루어지는 중력등퍼텐셜면을 기준으로 한 점의 표고를 구하고 표고를 알고 있는 기지점으로부터 다른 점의 표고를 구하는 방법으로 결정된다. 표고는 중력등퍼텐셜면을 기준으로 하고있기 때문에 장거리 고저측량에서는 중력측량이 수반되어야 하며, 지구의 곡률 및 공기의 굴절오차 등에 대해서도 보정이 이루어져야 된다. 지표면하의 위치는 터널이나 광산측량 및 지하매설물측량 등에 필요하며, 지상기준점으로부터 깊이를 관측한다. 수심측량은 전자장비의 발달로 음파측심기가 많이 이용되지만 수심이 낮은 곳에서는 측봉이나 측추 및 사진측량에 의한 방법 등이 이용된다. 수심측량의 기준은 최저 수위선을 기준으로 하므로, 지상표고의 기준면이 되는 평균해수면의 결정과 각종 수위선을 결정하기 위하여 조석관측이 필요하다.

1.3 항공사진측량 자료이용방법

(1) 정의

사진측량(photogrammetry = photo + gramma + metron)은 전자파(광파,전파)에 의한 영상을 이용하여 대상물에 대한 정량적 및 정성적 해석을 하는 학문을 말한다.

(2) 분류

○ 촬영위치에 따른 분류

- 우주사진측량(Space photogrammetry)
- 항공사진측량(Aerial photogrammetry)
- 지상사진측량(Terrain photogrammetry)
- 수중사진측량(Underwater photogrammetry)
- 원격탐측(Remote sensing)
- 특수사진측량(Non-Topo. photogrammetry)

○ 촬영방향에 따른 분류

- 수직사진 : 광축이 연직선과 거의 일치하도록 (경사각 3° 이내) 공중에서 촬영한 사진
- 경사사진 : 광축이 연직선 또는 수평선에 경사지도록(경사각 3° 이상) 촬영한 사진
- 수평사진 : 광축이 수평선과 거의 일치하도록 지상에서 촬영한 사진

(3) 특징

- 정량적, 정성적 측정 가능
- 동적측정 가능
- 정확도의 균일성
- 접근곤란 대상물 측정가능
- 전문화에 의한 능률성
- 축척변경의 용이성
- 경제성

(4) 일반적인 성질

1) 중심투영(central projection)

일반적인 사진의 상은 피사체에서 반사된 빛이 모

두 렌즈의 초점, 또는 렌즈중심을 지나 필름면에 투영되며, 그 결과 사진상은 사진 중심으로부터 방사상 편위를 갖게 된다. 이와 같은 투영을 중심투영이라 하며, 사진은 대표적인 중심투영상이다. 이에 비하면, 일반지형도는 지표상태가 평행광선에 의하여 지도면에 투영되는 정사투영(orthoprojection)에 의한 도면이다. 특히 기복이 있는 지형에서는 정사투영인 지도와 중심투영인 사진에 차이가 생긴다.

2) 기복변위

평탄한 지면으로 부터 비고가 있는 물체는 중심투영의 성질 때문에 사진면상에서는 사진중심으로부터 멀어질 수록 크게 기울어져 방사상의 변위가 생기는데 이를 기복변위라 한다. 그림에서 P점은 정사투영인 지도상에서 A점으로 나타나지만, 중심투영에 의한 사진에서는 a점에서 기복 h에 의한 변위 Δr 만큼 떨어져 p 점으로 나타난다. 따라서, 기복변위량 Δr 을 사진상에서 재면 기복량 h를 구할 수 있다.

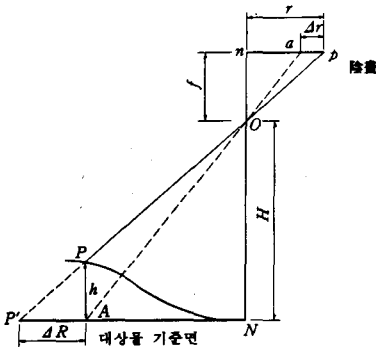


그림 기복변위

그림에서 $\Delta r : \Delta R$ 의 축척관계와 $\triangle PP'A \sim \triangle Opn$ 및 $\triangle OPA \sim \triangle Opa$ 인 관계로부터 다음과 같은 기복변위공식을 얻을 수 있다

즉, $h/\Delta R = f/r$ 이고, $\Delta R/H = \Delta r/f$ 이므로

$$h = \frac{\Delta r}{r} H$$

여기서 Δr 은 기복변위량, h는 비고, H는 촬영고도, r은 연직점(또는, 주점)으로부터의 거리이다.

기복변위공식을 응용하여 사진면에 나타난 탑, 굴뚝 및 건물 등의 높이를 구할 수 있다.

3) 회전변환

사진측량에서는 3축 방향으로 경사진 좌표계를 기준좌표계로 변환하기 위해서는 3축(x,y,z)방향에 대한 회전변환이 필요하다.

4) 입체시

두눈으로 물체를 볼 때, 좌우 눈의 시선방향이 다르므로 해서 두 눈에는 각기 다른 상이 맺히고 이것이 두뇌에서 합쳐져서 자연적인 입체감을 느끼게 된다. 마찬가지로 촬영기선을 두고 중복촬영한 입체사진과 같이 관측 위치를 달리한 두 투영면에는 물체상 1점의 위치가 각기 달리 나타나게 된다. 이와 같이, 눈의 망막 또는 사진면과 같은 어느 투영면의 중심을 좌표원점으로 생각할 때, 관측위치의 변동에 따른 좌우 투영면상에서의 상좌표의 차이를 그 점의 시차(parallax)라 하며, 각 점들의 시차값을 비교함으로써 원근감을 느끼거나 거리차를 구할 수 있다.

중복촬영된 입체사진을 촬영당시의 기하학적인 관계와 같도록 놓고 좌우 눈으로 각각 분해해서 보면 기복이 있는 지형이 재현되어 입체감있게 보이게 된다. 이 때, 사진 I, II의 간격을 멀리 놓고 볼수록, 또는 촬영당시, 촬영기선이 클수록 사진상 각 점에 대한 시차 및 시차각이 커지게 되므로 실제 지형보다 기복이 과장되어 나타나는 과고감(vertical exaggeration)이 커지게 된다.

(5) 사진지도 및 지형도 제작

1) 편위수정(rectification)

촬영당시의 경사와 축척을 바로 수정하여 축척을 통일시키고 변위가 없는 연직사진으로 수정하는 작업을 편위수정이라 한다. 일반적으로, 편위수정에는 최소한 3개의 표정점이 필요하나 정밀을 요할 경우 4개의 표정점이 필요하다.

편위수정을 하기 위한 조건으로 기하학적 조건(소실점 조건), 광학적 조건, 하임프러그 조건이 필요하다.

2) 사진지도

사진을 합하여 지도처럼 만든 것을 사진지도라 한다. 사진지도는 일반지형도에서는 일일이 표현할 수

없는 여러가지 정보를 알 수 있으므로 조사용으로 특히 유용하다.

사진지도(photo map)는 사진변위의 수정방법에 따라 다음과 같이 4가지로 분류된다.

○ 약조정집성사진지도(uncontrolled mosaic photo map)

사진기의 경사에 의한 변위를 편위수정기에 의한 편위수정(사진기의 경사에 의한 변위수정)을 하지 않고 사진을 그대로 집성한 사진지도로써 등고선 삽입이 안 되었다.

○ 조정집성사진지도(controlled mosaic photo map)

편위수정기에 의해 편위를 수정한 사진을 집성하여 만든 지도로써 등고선이 삽입이 안 되었다.

○ 반조정집성사진지도(semi-controlled mosaic photo map)

편위수정기에 의해 편위를 일부 수정하여 집성한 사진지도로써 등고선이 삽입이 안 되었다.

○ 정사투영사진지도(orthophoto map)

정밀입체도화기와 연동시킨 정사투영기(orthoprojector)에 의하여 사진기의 경사, 지표면의 비교를 수정하고 등고선을 삽입한 사진지도이다. 또한 수치 정사투영사진지도(digital orthophoto map)는 수치화된 영상과 수치표고모형을 이용하여 전산기상에서 미분 편위수정을 행하므로써 정사투영상을 제작한 후 정사투영영상에 등고선과 주석을 삽입하여 수치정사투영 사진지도를 만든다.

이러한 사진지도는 일반지형도에 비하여 넓은 지역의 지형기록을 한 눈에 알 수 있으며, 조사하는데 편리하다. 또한, 지표면에 있는 단속적인 징후를 판별하기 쉬우며, 지형 지질이 다른 것을 사진상에서 추적할 수 있다.

한편, 정사투영사진지도를 제외하고는 사진상 각 점의 축척이 엄밀하게 같지는 않으므로 사진지도상에서 정량적관측을 정확하게 하는 데는 문제점이 있으며 촬영시 일기에 따라 사진의 색조가 달라 나타나 판독에 지장을 줄 수 있으므로 이에 주의하여야 한다.

3) 항공사진에 의한 지형도제작

항공사진에 의한 지형도제작은 일반적으로 다음과 같이 촬영,기준점 측량과 세부도화의 세 과정에 의한

다. 먼저 촬영은 능률적이며 경제적으로 소요의 정확도에 촬영기선길이, 촬영고도, 소요사진축척 등을 고려하여 촬영계획을 세워 촬영하여 음화필름을 얻는다.

촬영에서 얻어진 음화로부터 세부도화에 필요한 양화필름과 지상기준점측량에 필요한 밀착인화사진 및 현지조사에 쓸 확대 인화사진을 제작한다.

기준점측량은 세부도화에 필요한 수평위치 및 표고기준점좌표를 얻기 위해 지상측량방법에 의한다. 경우에 따라 항공삼각측량을 행하여 필요한 점의 좌표를 구한다. 세부도화는 투명양화를 정밀입체도화기에 장치한 다음 내부,상호표정을 거쳐 기준점 성과를 이용하여 절대표정을 한다, 절대표정을 하면 사진상의 상과 대응되는 대상물과 상사관계가 이루어진다. 절대표정이 끝난 후 대상물, 지형지물을 최종 도면축척으로 세부도화를 한다. 이로서 지형에 관한 측량원도가 작성된다. 또한 필요에 따라 현지지형조사 등에 의해 보완을 한 후 최종편집을 거쳐 색분리지도, 식자 등의 제반작업을 마친 후 인쇄하여 지도를 얻을 수 있다. 등고선지도의 제작방법은 사용 사진기와 도화기의 종류에 따라 약간의 차이가 있다.

(6) 사진판독

사진판독은 사진영상에 피사된 도로, 철도, 하천, 가옥, 지질, 산림 등의 대상물에 대한 특성을 판별하기 위한 기본적인 수단으로 위치, 크기, 형상 등을 결정하는 정량적 사진판독(quantitative photo interpretation)과 자원 및 환경 등의 정보조사에 이용되는 정성적 사진판독(qualitative photo interpretation)으로 분류된다.

사진판독의 과정은 관찰, 확인(photo reading)단계, 분석, 분류(photo analysis) 단계, 해석(photo interpretation) 단계를 거쳐 종합분석함으로써 그 지표면의 형상,지질,식생,토양 등의 연구수단으로 이용하고 있다. 더욱이 토지,자원 및 환경 등의 판독방법이 발달되어 사진측정학의 이용분야가 더욱 넓혀지고 있다.

판독 요소에는 기본적으로 사진영상의 크기, 형상, 음영, 색조, 질감, 모양의 6 개 요소가 있으며 부가적으로 사진영상 상호의 위치 관계, 과과감 등의 요소를 조합하여 판독하며 이 요소 중 형, 색조, 음영을 판독의 3 요소라 한다.

1. 4 인공위성 측량자료의 이용

(1) 원격탐측

1) 원격 탐측의 정의와 특성

원격탐측(Remote Sensing)이란 지상이나 항공기 및 인공위성 등의 탐재기(platform)에 설치된 감지기를 이용하여 지표, 지하, 대기권 및 우주공간의 대상물에서 반사 혹은 방사되는 전자기파를 탐지하고 이들 자료로부터 토지,환경 및 자원에 대한 정보를 얻어 이를 해석하는 기법을 말하는 것으로 원격측정, 원격탐사, 원격탐측 또는 간단히 원격이라고도 한다. 원격탐측의 초기단계에서는 자연현상이나 지표대상물의 개략적인 분포와 변화를 추적하는 탐사활동에 머물렀으나 차츰 항공기, 인공위성 등 탐재기와 감지기 성능의 발달에 의하여 해상력이 향상되고 관측자료가 축적됨에 따라서 자료의 해석방법에 대한 신뢰성이 커지게 되었다. 따라서 오늘날에는 지구 및 우주 등 인간활동의 영역에 관한 제반분야에 있어서 단순한 탐사활동은 물론 정확한 측정과 해석 및 예측이 가능한 단계에 접어드는 추세이므로 탐사와 측정의 두 기능을 나타내는 탐측이라는 용어의 사용이 바람직하기에 이르러 원격탐측이라 일컫게 되었다.

원격탐측은 정보를 획득할 수 있는 파장영역이 매우 넓으며 각 파장대에 따라 적외선, 가시광선, 적외선 및 극초단파 등으로 나뉜다. 또한 원격탐측은 각 파장을 관측하는 장소에 따라 지상관측과 항공기관측 및 인공위성관측으로 나뉘며 그 특성을 보면 다음과 같다.

지상관측에 의한 정보수집방법은 정량적인 계측이 가능할 뿐만 아니라 정성적인 정확도가 높지만 넓은 지역을 대상으로 하거나 동시자료를 얻는 것은 거의 불가능하다. 항공기관측에 의한 정보수집방법의 특성은 정성적인 해상력이 우수하고 지상관측보다는 신속하게 정보를 얻을 수 있지만 주기관측이나 수량적 정확도를 높이는 데는 너무 많은 경비를 요한다. 인공위성에 의한 원격탐측은 짧은 시간 내에 넓은 지역을 동시에 측정할 수 있으며 반복측정이 가능하다. 또한 일반적으로 다중파장에 의하여 자료를 수집하므로 원하는 목적에 적합한 정보획득이 용이하고 측정

자료가 수치적으로 기억되며 판독이 자동적이며 정량화가 가능하다. 관측은 매우 먼 거리에서 행해지고 관측시각(view angle)이 좁아서 얻어진 영상은 정사투영상에 가깝고 탐사된 자료가 즉시 이용될 수 있다. 즉 자료수집의 광역성 및 광역동시성, 주기성, 수량적인 정확도 등이 가장 큰 장점이며 정성적이나 정량적인 해석능력도 보조자료를 이용하면 더욱 높일 수 있다. 단 회전주기가 일정하므로 원하는 지점 및 시기에 관측하기 어렵다. 따라서 이런 결점을 보완하기 위하여 LANDSAT 4, 5호는 원하는 시기와 지점에 즉시 이용할 수 있는 가변궤도를 채택하려고 시도하였으며, 극지방은 극궤도위성을 이용하여 자료를 수집한다. 이와 같은 정보의 수집 및 해석을 위한 원격탐측을 연구하는 데는 물리학, 전자공학, 수학, 측량학, 생리학, 화학, 지질학, 산림학 등의 광범위한 지식을 필요로 한다.

2) 원격탐측의 분류

원격탐측은 이용하는 대상분야에 의한 분류, 자료 획득방법에 의한 분류, 감지기에 의한 분류, 관측과장 영역에 의한 분류 등으로 나눌 수 있다.

원격탐측을 이용하는 대상분야는 지구상에 존재하는 모든 것이라고 해도 과언이 아닐 정도로 다양하다. 식물의 분광특성을 이용한 농업, 산림, 초지 등의 원격탐측, 지하자원조사에 이용되는 지질판독에 의한 원격탐측, 해양상의 수온, 해류분포, 어족조사 및 수질오염조사 등을 위한 해양원격탐측, 대기오염, 도시환경 변화 등에 대한 환경원격탐측 그리고 기상원격탐측, 군사정보수집을 위한 군사원격탐측 등 많은 분야가 있다.

자료획득방법에 의한 분류는 정보를 수집하는 감지기에 의해 크게 수동적 감지기(passive sensor)에 의한 것과 능동적 감지기(active sensor)에 의한 것으로 나뉜다.

그리고 탐재기에 의한 분류는 지상탐재기, 기구, 항공기 및 인공위성으로 나누어지는데 이들을 높이에 의해 분류하면 다음과 같다. 정지위성, 궤도위성, 고고도항공기(고도 20~40km), 저고도항공기(고도 5~10km), 헬리콥터(고도 0.2~2 km) 및 지상관측기로 나뉘며, 위성은 고도에 따라 다시 저고도(150~

200km)인 단기간(1~3주)위성, 중고도(350~1,500km)인 장기간(7년 이상)위성, 정지궤도(35,800km)위성으로 나뉜다.

3) 원격감지기

원격탐측에 이용되는 기기는 크게 나눠 탑재기(platform)와 감지기, 그리고 자료처리 및 기록장치로 구분된다. 탑재기는 고도에 따라 여러가지 형태가 있으며 고도에 따라서 탑재되는 감지기도 여러 형태로 개발되고 있다.

수동적 감지기	비주사방식	비영상방식	지자기측량 중력측량 기타	
		영상방식	단일사진기	흑백 천연색 적외 적외 칼라 기타
			다중파장대사진기	단일 렌즈
	주사방식	영상면 주사방식	T.V. 사진기(Vidicon) 고체주사기	
		대상물면 주사방식	다중파장대 주사기	analogue 방식 digital 방식: MSS, RBV, TM, HRV
			극초단파 주사기	
능동적 감지기	비주사방식	Laser spectrometer Laser 거리측정기		
	주사방식	Radar Side-looking-radar(SLR)		

4) 원격탐측에 이용되는 인공위성

○ LANDSAT : 지구자원 및 환경조사 위성

- 고도 900-950 km
- 주기 1시간 43분 16초, 1일 14회, 18일 마다 복귀
- 감지기 - RBV, TM, MSS
- 1972. 7.23.
 - ETRS(1975 년에 LANDSAT-1 으로 개명)
 - MSS(80m*80m)와 RBV(40m*40m)감지기, 수집 체계 및 Video tape 기록계 탑재
- 1975. 1.22.
 - LANDSAT-2 : ETRS 와 동일체계 탑재
- 1978. 3. 5.
 - LANDSAT-3 : LANDSAT-1,2에 열적외선

영역(10.4-12.6 μ m)에 해당하는 5파장대 첨가
1982. 7. -- LANDSAT-4
1984. 3

-- LANDSAT-3 의 MSS 와 같은 4 파장대를 계속 사용. 특히 TM(Thematic Mapper:30 m*30m) 첨가 탑재(고도는 700km대로 낮추고, 16일 주기 관측) : 여러 종류의 자원과 관계된 특징을 나타내는 독특한 색조조정 목적

○ SPOT(Le Système Probatoire d'Observation de la Terre)

1977년 부터 시작된 이 계획은 보다 정밀한 지구관측용 위성체계를 개발할 목적으로 프랑스 국립우주연구소(Centre National d'Etude Spatiales ; CNES)를 중심으로 1986년 2월 22일 SPOT-1호가 발사되었으며, 1990년 1월 21일 SPOT-2호도 발사되었다. 832 km의 고도에서 26일의 주기로 극궤도 운동을 하며 감지기는 HRV(P형:10m*10m, XS형:20m*20m)를 사용, 입체사가 가능하다. 1-2호의 문제점을 보완하여 1994년 SPOT-3,4호를 발사할 계획이다.

○ COSMOS

- 소련에서 계획
- 고도 272 km
- 영상소당 해상력 5m*5m

○ MOS : 해양관측 위성

- 일본에서 계획 - 1987.2.19
- 해수면의 온도관측, 200 해리 수역정보관리
- 감지기 - MESSR, VTIR, MSR
- 1987. 2.19 -- MOS-1
- 1990. 2. 7
 - MOS - 1B : 해상자원 뿐만 아니라 농업, 산림 및 환경감시까지 처리

○ NOAA, GOES, 방위 기상 위성 계획 (Defence Meteorological Satellite Program)

○ 해상감시 위성

(2) 범세계적 위치결정체계
(Global Positioning System:GPS)

범세계적 위치결정체계(Global Positioning System: GPS)는 NNSS와 교체되는 새로운 항법체계이다. 인공위성의 도플러 관측에 의한 항법체계인 NNSS는 낙도의 위치결정과 개발도상국의 지도작성을 위한 기준점측량 등에 유효하게 이용되고 있으나, 관측의 소요시간과 정확도면에서의 문제점을 보완하기 위해 NNSS의 발전형으로 GPS체계를 미국에서 개발하게 되었다.

GPS는 인공위성을 이용한 범세계적 위치결정체제로, 정확한 위치를 알고 있는 위성에서 발사한 전파를 수신하여 관측점까지의 소요시간을 관측함으로써 관측점의 위치를 구한다. 관측점의 좌표(X,Y,Z)가 미지수이므로, 원리적으로는 3개의 위성에서 전파를 수신함으로써 관측점의 위치를 구할 수 있으나, 이때 위성의 시계와 관측점의 시계가 일치해야만 한다. 따라서, GPS에서는 그림과 같이, 4개의 위성을 동시에 관측함으로써 시계의 오차도 미지수로 취급하여 해석한다. 즉, GPS는 관측점의 좌표(X,Y,Z)와 시각 t의 4차원 좌표의 결정방식이므로, 비행기, 배 및 자동차와 같이 고속운동하는 물체의 위치관측은 물론 속도관측에도 유효하다.

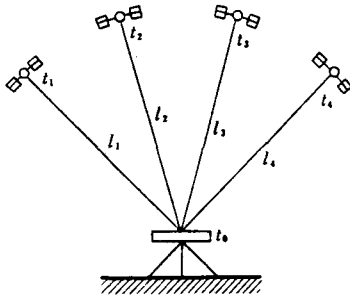


그림 GPS의 위치결정원리

NNSS에서는 위성이 상공을 통과할 때만 관측이 가능하기 때문에 수시간을 기다려 관측을 해야 하며 관측시간이 수분 내지 수십분 필요한데 비해, GPS에서는 임의시간 언제든지 관측이 가능하며, 대략 초단

위의 관측시간으로 자료가 얻어진다. 따라서, NNSS는 선박과 같은 저속의 항법에만 이용되지만, GPS는 항공기와 같은 고속의 항법에도 이용이 가능하다.

GPS위성으로부터 송신되는 위치결정용 신호에는 고정확도용신호인 P(Precision 또는 Protect) 코드와 저정확도용신호인 C/A(Clear and Acquisition 또는 Coarse and Access) 코드가 있으며, C/A코드만 일반인에게 공개되며, P코드는 정부간 협정에 의하여 군사용으로 한정된 범위에서 사용될 것이다. GPS는 수십 km이상의 범위에서도 상대정확도 10-6(10km에서의 오차 1cm)을 충분히 얻을 수 있음이 실험으로 확인되었다. 그러나, GPS를 이용하여 지각변동, 지질구조 등 지구물리적, 측지학적인 연구를 하기 위해서는 10-7의 정확도가 요구되므로 대학연합연구조직인 미국의 UNAVCO (University Navstar Consortium) 등에서 연구·실험이 계속되고 있다.

표 NNSS와 GPS의 비교

	NNSS	GPS
개발시기	1960년대	1973년대
사용주파수	150MHz, 400MHz	1575.42MHz(C/A), 1227.6MHz(P)
구성	위성 5개	위성 21개 + 3개 이상
주기	약 107분	0.5 항성일(11시간 58분)
궤도	고도 약 1075km의 극궤도운동	고도 20183km의 6궤도면을 원궤도운동
정확도	수 m	10-6~10-7
이용좌표계	WGS-72	WGS-84
거리관측법	인공위성 전파의 도플러 효과이용	전파의 도달 소요시간 이용 (위성으로부터 거리관측)
위치	· 2차원(x,y) · 정지된 대상만 가능	· 3차원(x,y,z) · 정지 및 고속운동 대상도 가능

(3) VLBI, 위성삼각측량 및 위성레이저측량

1) VLBI

초장기선간섭계(very long base-line interferometry; VLBI)는 동일전파원으로부터 방사된 전파를 멀리 떨어진 2점에서 동시에 수신하여, 2점에 전파가 도착하는 시간차(지연시간)를 정확히 관측함으로써 2점 사이의 거리를 구하는 것이다. 이 기법은 원래 천문학의 분야로써, 전파를 발사하는 천체의 위치나 구조를 관측하는 기술로써 고안되었으나, 1960년대 말경부터 대규모 측량에 적용 발달하였다. 전파망원

경에서는 광선에 비해 방향의 분해능이 대단히 나쁘므로 안테나 직경을 크게 해야 하지만, 너무 크게 하기에는 경비나 기술적인 면에서 곤란하기 때문에 작은 직경의 안테나를 멀리 설치하여 큰 직경의 안테나와 같은 분해능을 갖도록 고안되었다. VLBI는 위의 분해능을 이용하여 수백에서 수천 km 떨어진 점들 사이의 위치관계를 구할 수 있다.

전파원으로는 109광년의 거리에서 전파(백색잡음에 가까운 1~10 GHz 정도의 주파수)를 발사하는 준성(quasar)이 이용된다.

무한거리에 있다고 볼 수 있는 준성에서의 전파는 거리 s만큼 떨어진 2개의 안테나의 평행하게 입사하므로, 도착시간차는 기하학적 지연시간(geometrical delay time)인 τ_g 이다.

지연시간의 관측은 준성으로부터의 전파를 정확한 시간과 함께 테이프 기록기에 기록하고, 양 안테나에서의 기록의 상관으로부터 최대의 간섭이 얻어지는 시간차 τ 를 결정한다.

이 시간차의 관측정밀도는 ± 0.1 ns(1ns=10⁻⁹초)에 달하며, 광속으로 환산한 거리는 ± 3 cm에 해당한다.

2) 위성삼각측량(satellite triangulation)

대륙과 대륙 사이와 같이, 상호준거타원체의 기하학적 위치관계가 불명확한 경우에는 그들을 명확하게 하기 위해 위성을 공간상의 광점으로 하여 2점 이상의 떨어진 지점에서 동시관측하는 방법을 취한다. 따라서, 서로 다른 측량좌표계를 설정하고 이와 같은

방법에 의해 좌표계들간의 결합이 가능하게 된다. 이 방법을 위성삼각측량이라 한다.

위성삼각측량에는 구경이 큰 위성궤적사진기(satellite tracking camera)를 사용한다. 추적기구에는, 첫째 건판상에 정지된 항성상을 배경으로 위성추적이 기록되도록 항성의 일주운동에 맞추어 사진기를 이동시키는 형과, 둘째, 항성상은 움직이고 위성은 점으로 찍히도록 위성 그 자체를 추적하는 형의 사진기로 나눌 수 있으며, 후자의 형은 비교적 어두운 위성의 관측에 이용할 수 있다.

3) 위성레이저거리측량(satellite laser ranging)

위성측량방법으로 사진에 의해 위성의 방향을 관측하는 광학적 방향관측법이 일찍부터 실시되었으나, 대기의 영향에 의해 정확도면에서 만족할 만한 값을 얻지 못하였다. 따라서, 지상측량에서 삼각측량이 삼변측량으로 대체되는 것과 같이 위성측량에 있어서도 방향관측에 대신하여 거리관측이 등장하게 되었다.

인공위성까지 거리를 관측하는 방법에는 전파를 사용하는 방법도 있으나, 대출력의 레이저 펄스(laser pulse)를 이용하는 방법이 정확도면에서 유리하므로, 현재는 레이저거리측량(laser ranging)방식이 주류를 이루고 있다.

위성레이저 거리측량은 위성을 향해 레이저 펄스를 발사하고 위성으로부터 반사되어 돌아오는 왕복시간으로부터 위성까지의 거리를 관측하는 방법이다.