

거리 및 구조물측량에서 GPS의 실시간 이동측량과 정지측량기법에 관한 연구

이 병 곁 · 강 인 준*

제주대 해양토목공학과, *부산대 토목공학과

A Study on the Accuracy of the Kinematic and the Static GPS for Length and Structure Survey

Byung-Gul Lee and In-Jun Kang*

Dept. of Ocean & Civil Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

Position fixing is determined by triangulation, traverse surveying and astronomy surveying. However, when the station is moved, it is impossible to determine its position by former method continually. By satellite positioning method(GPS system), this problem can be solved. In GPS system, there are two method to determine the length and coordinate of a point position, that is, kinematic GPS method and static GPS method. Each is based on carrier phase measurement and employs relative position technique. This paper is presented to the estimate of accuracy between the kinematic and static methods. The results showed that the static is relatively a little accurater than the kinematic. However, in kinematic mode, we received GPS signals a long time, the kinematic one also proposed high accuracy value for length survey.

Key words : triangulation, traverse surveying, astronomy surveying, GPS system, kinematic GPS method, static GPS method

서 론

측량에서의 위치 결정은 삼각측량, 다각측량, 천문측량으로 결정하지만, 측점이 이동하는 경우는 종래의 측량방법으로는 불가능하다. 특히 기준점을 측량을 하고자 할 때 기준점이 되는 물체가 시야에 잡히지 않을 경우 기존의 기계식 측량으로는 불가능하다. 인공위성측량(satellite positining system)은 이러한 문제점을 해결하여 동시 움직이는 물체에 대하여 연속적으로 측량을 하는 것이 가능하다(유, 1992).

위성측량의 개발은 1950년대에 시작되었으나 군사적인 목적이 강하고 정도가 높지 않아 실용에 이용되지 않았기 때문에 일반에 알려지지 않았다. 그러나 지속적인 연구와 기술의 발달로 최근에는 그 정도가 높아지고, 수신기를 간단하게 조작할 수 있게 되어 그 이용이 늘어나고 있다.

위성 측량 시스템 중 최근 이용이 증가하는 것은 1990년대 완성될 미국의 GPS(Global Positioning System)로서 궤도고도 약 20,200km상공에 6개 궤도면에 4개씩 총 24개 위성을 배치하여 전세계 어디에서도 위치와 시간정보를 얻을 수 있다(Fig. 1 & 2).

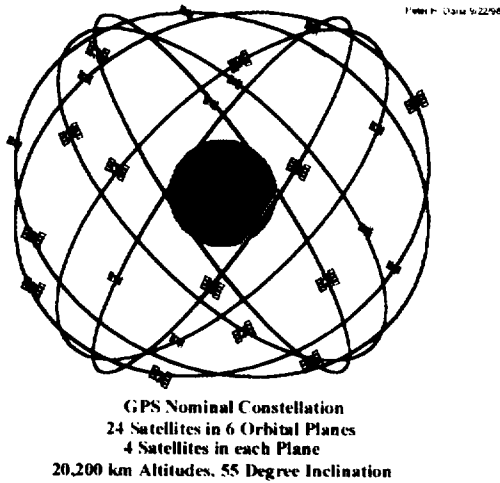


Fig. 1. GPS distributions and orbit on earth.



Fig. 2. GPS vehicle structures.

이 시스템은 항공기나 선박 등의 항법유도에 이용되고 있으며, 그것의 이용방법이 연구되고 있다.

GPS를 이용한 토목공사의 응용성에 대해서는 국외에서는 활발히 이루어지고 있으나 국내에서는 아직 시작단계에 머무르고 있는 실정이다. 실제로 미국이나 일본 등에서는 GPS를 이용하여 기준점측량은 물론 토공량산정에 대한 연구가 실용화 단계에 이르고 있다. 심지어 미국에서 경철차나 일반 견인차량에 GPS 센서를 부착하여 DGPS시스템을 이용하여 차량의 위치를 견인차량본부에서 직접 보고 제어할 수 있

는 연구가 이루어졌었다(강, 1992).

GPS를 이용한 또 한가지 응용성은 수치지도작성 및 GIS 나 사진측량학에 지상기준점측량(GCP)에 광범위하게 적용할 수 있으며, 또한 일본의 경우 GPS를 이용하여 전역에 걸쳐 각 도시별로 수치지도를 만들어 각 장의 디스켓에 담아서 그 수치지도를 판매하고 있다. 미국에서는 차량에 GPS를 탑재시켜 출발지와 목적지를 입력하면 차량이 최적경로를 따라가다가 교차로부근에 다가가면 수치지도에서 본 차량이 최적경로를 따라가다가 교차로부근에 다가가면 수치지도에서 본 차량이 몇 마일 앞으로 가면 약 몇도의 각도로 회전하라는 방향메세지를 음성합성장치로 출력하도록 작성되어 있다. 국내에서는 GPS를 이용한 고정점측량과 수준측량에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있고, 본 연구에서는 현재 우리대학에 보유하고 있는 12 channel의 DGPS시스템을 이용하여 기준점측량의 응용성과 더불어 지형측량 및 토목공사에 중요한 문제로 대두되는 토공량산정과 같은 응용성에 관한 연구를 할려고 한다. 이를 위해서는 우선 거리 측량을 실시할 경우 DGPS의 정확도 분석이 이루어 져야 할 것으로 사료된다. 그리고 이러한 DGPS측량에서 Kinematic DGPS시스템과 Static DGPS시스템을 서로 비교하여 실제 토목공사에 GPS시스템을 이용할 경우의 이 두가지 시스템의 정확도에 관하여 연구하고자 한다.

이를 위하여 GPS시스템으로부터 받은 자료를 토목공사용 프로그램에 적용하여 GPS인공위성에서 보낸 WGS-84좌표계를 우리나라좌표인 TM좌표로 변환하여 WGS-84좌표와 TM좌표로 나타내어 좌표의 정확도를 구하고자 한다. 그리고 이러한 분석은 실시간 처리 시스템과 후처리 처리시스템으로 나누어서 정확도를 분석하고자 한다.

그리고 이러한 값의 정확도를 평가하기 위하여 정확도가 1 mm ± 1 ppm인 광파측정기를 이용하여 비교분석하였다.

GPS측량의 특성

GPS는 인공위성의 전파를 수신하여 자기자신의 위치를 정확하게 아는 목적의 시스템이다. GPS는 항법보조와 측량의 이용을 목적으로 한 과거 사용되었

던 NNSS(Navy Navigation Setellite System)의 개량형이다. GPS, NNSS의 용어는 인공위성 그자체를 말하는 것이 아니며, 인공위성과 지상계의 관리시스템으로 구성된 시스템적 정의를 말한다.

GPS에 사용되는 논문등을 보면 GPS System으로 사용되고, space segment, control segment, user segment로 불리며, 우주부분, 제어부분, 이용자부분의 뜻이지만 필요에 따라서 GPS인공위성, 지사의 추적 관리장치 시스템, 이용자의 장치로 말하기도 한다. GPS는 이것들의 전체를 가리키는 것으로 이해된다(Hofmann et al. 1993).

이용자의 입장에서 보면 GPS와 NNSS의 큰 차이는 전파의 주파수와 이용시간대의 제약등이다. NNSS에는 150MHz와 400MHz의 VHF의 2파를 사용하고, 위성의 수와 궤도관계에서 상공에 위성이 없는 시간대가 있다. 그것에 비교하여 GPS에는 1575.42MHz(약 105GHz, L1 대)의 높은 주파수 전파를 사용하고, 시스템 완성시에는 궤도고도 약 20,200Km의 24개 위성을 적당한 궤도에 배치하는 것으로 지구상 어디에도 항상 4개이상의 위성이 시계내에 있도록 한다. 궤도경사각이 약 50도이고, 승교점경도가 다른 6개의 궤도상에 3 혹은 4개씩의 인공위성을 배치한다. 궤도반경은 약 26, 600Km(궤도고도 약 20,200Km)에서 주기 0.5항성일(약 11시간 58분)이 되도록 한다(Table 1).

전파신호의 방식에서 L2대(1.2MHz)쪽은 군사용의 채널임으로 일반적인 방법에는 이용할 수 없다. L1대(1.5MHz)쪽도 C/A코드쪽이다. C/A코드 및 P코드는 각각 Clear and Acquisition 또는 Coarse and Access.

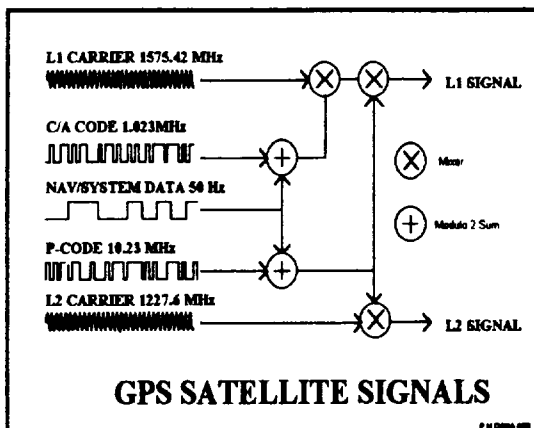


Fig. 3. The characteristics of C/A and P code signals, and L1 and L2 carrier phases.

Precision 또는 Protect 의 의미이며, C/A 코드는 S 코드(Standard Code)로 말해지기도 한다(Fig. 3).

C/A 코드의 방식은 그 코드정보가 공표되어 있으나, P 코드는 기밀급으로 돼있고 일반의 이용에는 대단한 제약이 있다. 그러나, 실제에는 P코드정보가 각국의 알려진 경로로 유통되고 있고, 미국측의 방침이 아직 유통적으로 돼있다. 군사적인 측면도 가진 GPS 이용은 여러 가지의 어려움이 있으며, 유사시에는 코드정보를 바꾸기도 한다.

GPS위성은, 모두 루베슈, 세슘 등의 지극히 안정도가 높은 원자주파수표준인 원자시계를 탑재한다. 이것으로 GPS위성은 GPS시각이라 불리는 지극히 정확한 시각을 유지하고 있다. GPS시각은 국제원자시

Table 1. Comparison of characteristics of NNSS and GPS survey.

	NNSS	GPS
Orbit	Polar & Circular	Circular
Orbit Height	about 100 Km	about 2 0000 Kn
Periods	about 100min.	0.5 days
No. of Satellite	5-6	24
Frequency	150 MHz, 400 MHz	1227.6 MHz 1575.42 MHz
Measurement method	Doppler	Electromagnetic
Application	Ship and Geodetic Reference Position	Ship, Airplane, Rocket, Survey and Earth Movement etc.

에 유사(類似)의 것이지만, 우리들이 일상 사용하는 시각의 정수초와 다르기 때문에 주의하여야 한다.

일반 항법의 GPS의 이용에 있어서는 동시에 4개의 위성이 보이는 것이 필요하다. 그리하여 C/A Code 신호에 포함된 인공위성의 궤도정보, 천문력정보와 시각을 해독하여 스스로의 위치를 계산한다. 1.2대(1.2 GHz)의 전파에는 P Code가 실려있다. 2개의 주파수 동시관측에 의한 전리층의 영향의 보정은 P Code가 이용가능한 경우로 제한되나, 측량과 과학관측의 목적에 간보계 방식을 사용하는 때에는 코드보턴을 알지 못해도 2개의 주파수의 동시관측으로 의해 전리층의 보정이 가능하다.

GPS의 1점측위의 경우와 측량 간보계의 경우도, 인공위성에서의 전파를 이용하기 때문에 기상의 영향을 거의 받지 않으며 측점간의 시통의 문제도 없다. 그러나 지중이나 해저에는 전적으로 사용될 수 없다. 현재 GPS 이용의 경우, L1대(1.5 GHz)의 전파를 수신하고 C/A Code만을 사용하여 측위를 한다. 전리층의 보정은 국제적인 전리층의 상태를 판정하여 계산하며, 이 경우 측위정도는 공칭으로 100미터 이내이다. 이것을 측지적인 의미에의 정도로서 보정함에는 인공위성의 정밀한 궤도정보가 필요하다.

만일 P Code가 사용할 수 있고, L1대(1.5 GHz)와 L2대(1.2 GHz)의 2파가 동시관측이 가능하면, 정도는 공칭 16M 이내에 있다. 그러나 P Code의 이용은 미국측의 정책상의 이유에 의해 현실에는 비상시에 어렵다고 생각된다. 측위간보계 방식에 의한 수 km에서 수 100 km의 기선의 측정에서는, cm의 정도가 얻어진다. 측위간보계에서는 반드시 코드보턴을 알지 않더라도, 2주파수의 동시측정이 가능하여서, 전리층 영향의 보정이 가능하다. 이 때에도 정밀 천문달력에 상당한 것이 필요하게 되지만, 여러개의 조로 간보계 시스템을 구성하고, 그것을 기준으로 자기 스스로 정밀한 궤도 정보를 만들어 내는 것이 가능하다.

GPS를 이용한 3차원 위치결정

GPS시스템을 이용한 측위의 방법은 1점측위법과 상대측위법으로 나눌 수 있다. 1점측위법은 C/A나 P

코드를 이용하여 Fig. 4와 같은 원리로 측위를 하는 방법이다. 최소 3개의 인공위성 신호를 받아서 측정의 위치를 정할수 있으며, 오차 보정을 위해 4개의 위성에서 수신해야 된다. 각 위성에서 보내오는 신호는 각각 오차를 가지고 있으므로, 이것을 제거하기 위해 유사거리법이 이용된다. 만일 P Code가 사용될 수 있고, L1대(1.5 GHz)와 L2대(1.2 GHz)의 2파가 동시관측이 가능하면, 전리층의 영향을 보정하여 정도는 공칭 16미터이내에 있다. 그러나 P Code의 이용은 미국측의 정책상의 이유에 의해 비상시에는 어렵다.

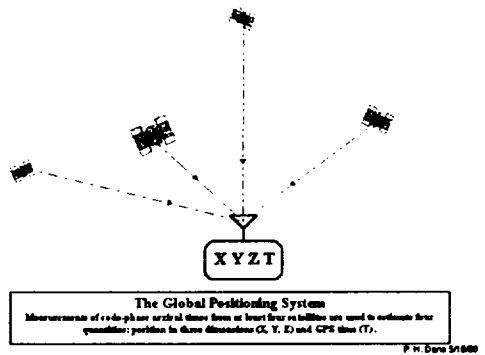


Fig. 4. The method of position survey using single GPS.

이것과 비교해서 상대측위법은 측정의 절대좌표를 구하는 것이 아니라, 1점측위에서 전리층의 영향을 보정해주는 P코드가 군사용이어서 이용에 제약이 있음에따라, 두점의 위치가 약100km전후의 경우에 동시에 2군데에서 GPS신호를 받아, 절대적인 위치는 오차가 있으나, 상대적으로 GPS 측위에 영향을 주는 전리층과 대기의 요소를 제거하여 상대거리를 측량하는 방법이다. 여기서 GPS의 코드정보만을 이용하는 방식을 일반적으로 트랜스로케이션법(Trans-loaction Method)이라 하고, GPS 신호의 위상조합을 함께 이용하는 방법을 인터페로메트리법(Interferometric Method, 혹은 Differential GPS)이라 한다. Fig. 5는 트랜스로케이션법이며 Fig. 3는 인터페로메트리법의 원리를 보여주고 있다.

GPS 1점측위와 상대측위는 인공위성에서의 전파를 이용하기 때문에 날씨의 영향을 거의 받지 않으며, 측점간의 시통(視通)의 문제도 없다. 그러나 지중

(地中)이나 해저에는 사용될 수 없다.

GPS 1점측위

GPS는 위성에서 발신된 신호가 수신기까지 도착한 시간을 계산하여 위성의 궤도요소와 천문력정보, 각종 오차보정요소 등을 고려하여 얻은 거리를 사용하는 의사거리(Pseudo range)법을 사용하고 있다. 관측 자료를 이용하여 측정점의 위치를 계산하기 위해서는 지구의 중심(지심)을 원점으로 하고 자전축을 Z축으로 하여 그리니치의 자오면과 교점을 정북으로 하는 X축 좌표계를 사용한다.

위성측량의 기본식은 다음의 식(2-1)과 같다.

$$\gamma_i = \gamma_{oi} + s \quad (2-1)$$

여기서 S = 수신기시계오차

r = 위성과 측정점과의 거리

위성의 위치와 관측점의 좌표간에 다음 식(2-2)와 같은 관계가 성립한다.

$$\gamma_i = \sqrt{(X_o - X_i)^2 + (Y_o - Y_i)^2 + (Z_o - Z_i)^2} + S \quad (2-2)$$

식(2-2)에서 수신기의 위치는 X_o, Y_o, Z_o 이고 위성의 위치는 X_i, Y_i, Z_i 언어될 수 있다.

식(2-2)는 미지수에 대하여 선형이 아니어서 미지수를 그 근사값과 보정값의 합으로 나타내고, 그 식을 보정값으로 전개하여 2차 이상의 항을 무시하여 선형화하여 계산한다. 반복법을 사용하는 것으로, 전개하여 결과적으로 보정값에 대한 연립1차 방정식을 구성한후 방정식을 풀면 해를 얻을 수 있다. 식(2-2)를 일반화하여 r 벡터로 표시한후 x성분에 대한 방향여현을 구하면 다음의 식 (2-3)과 같게 되며, y, z성분을 포함하면 식(2-4)와 같게된다.

$$\frac{\delta\gamma}{\delta X_o} = \frac{X_o - X_i}{\sqrt{(X_o - X_i)^2 + (Y_o - Y_i)^2 + (Z_o - Z_i)^2}} \quad (2-3)$$

$$\gamma_x = \gamma_{0x} + S_x + \frac{\delta\gamma}{\delta X_o} \Delta X \quad (2-4)$$

각각 x, y, z성분 방향여현 (α, β, γ)과 4개이상의 위성으로 위치 결정 연립방정식을 구성하게 되면 식 (2-5)와 (2-6)이 된다. 식(2-6)의 해로서 관측점 위치가 구해진다.

$\gamma_i - \gamma_0 = \Delta\gamma_i$ 로 하게되면,(여기서 $\Delta\gamma_i$ 는 의 사거리와 근사치의 차이)

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & 1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & 2 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & 3 \\ \alpha_4 & \beta_4 & \gamma_4 & S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\gamma_1 \\ \Delta\gamma_2 \\ \Delta\gamma_3 \\ \Delta\gamma_4 \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

그러므로

$$A \cdot \delta P = \delta R \quad (2-6)$$

(여기서 A:위성의 방향여현, P:관측점의 위치와 시계오차)

GPS 2점 측위(상대측위)

GPS로 위치를 측정할 때에는 위성이 방송하는 코드를 이용하여 측위를 실시한다. 즉, 위성에서 방송하는 코드와 항법 메시지를 분석하면 수신된 코드가 언제 위성을 출발한 것인지를 알 수 있으므로 위성파 수신시간의 거리를 계산함으로써 측위가 가능하다.

그러나 이경우 오차가 수십미터나 되므로 측량목적에는 적합치 않다. 따라서 측량목적으로는 코드외에 반송파를 이용하게 되는데, L1주파수의 경우 1575.42MHz이므로 정현파의 길이가 19cm이고, 수신기는 정현파의 1/100, 즉 1.9mm까지 측정이 가능하다(Fig. 5).

따라서 1.9mm정밀도로 측정하는 것이 된다. 그러나 반송파의 경우 수신된 파가 언제 위성으로부터 출발하였는지 알 수 없으므로 2개이상의 측량용 수신기로 GPS위성이 방송하는 C/A 코드 및 L1,L2전파의 위상(Carrier Phase)을 관측하여, 상대측위를 행함으로써 관측점간의 기선 벡터를 구할 수 있게 된다(Fig. 6).

우선 GPS 위상관측식을 이용하여 GPS 수신기로 수신된 반송파 위상의 개수를 기록한 자료로 측량계산을 실시한다. 측량개시시 위성과 GPS수신기 사이에 존재했던 반송파의 정현파수, 즉 위상수를 모호정수치(Integer Number)라고 부르는데, 이를 알면 상

대측위에 의하여 두점간의 기선 벡터의 계산이 가능하게 된다.

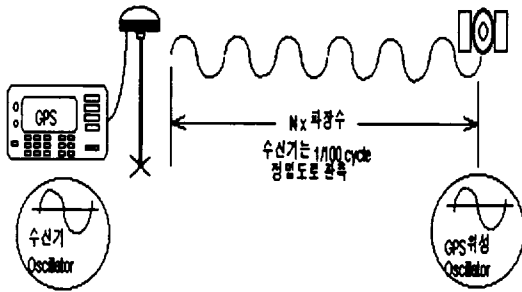


Fig. 5. Principle of carrier phase GPS survey.

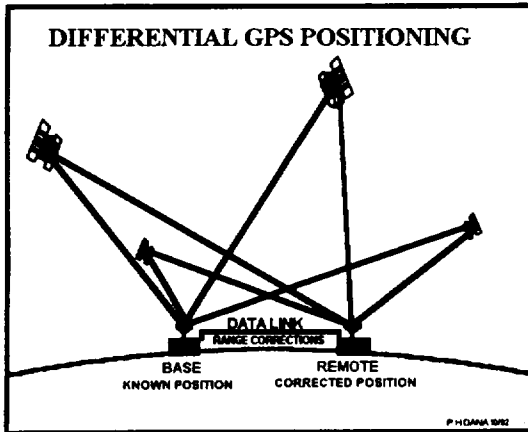


Fig. 6. The method of position survey using DGPS.

따라서 GPS 측량계산의 기본은 모호정수치를 여하히 빨리 또는 적은량의 데이터로 구하느냐 하는데 있다. 모호정수치를 구하기 위하여서는 GPS 위상관측식으로부터 단중차(Single Difference), 이중차(Double Difference), 삼중차(Triple Difference)를 이용하여 구한다.

단중차로는 1위성/2수신기 간의 위상관측식을 제산함으로써 위성시계의 오차항을 제거하거나, 또는 2위성/1수신기간의 위상관측식을 제산함으로써 수신기시계의 오차항을 제거한다.

이중차로는 2개이상의 단중차를 제산하여 수신기 및 위성시계의 오차항을 모두 제거하고, 미지항은 모호 정수항만을 남기게 된다. 따라서 4개의 위성에

대한 관측식으로 3개의 이중차식을 이용하여 측량 계산을 실시다.

삼중차로는 관측도중 발생하는 사이클 슬립(Cycle Slip)을 보정하는데 이용한다. 사이클 슬립은 관측도중 나무와 같은 장애물을 통과하거나, 전리층의 활발한 활동 또는 전파가 많이 발사되는 지역에서 전자파 장애로 인하여 생긴다.

이처럼 2점 측위법은 1점측위법과 달리 적어도 GPS수신기가 적어도 2대 이상이 있어야 측량이 가능하다. 일반적으로 1점 측위의 경우 위치오차가 약 50-100m정도의 오차가 발생하며, 이러한 오차는 GPS 위성에서 보내는 전파중에 SA(Selective Availability)라는 잡음이 있기 때문이다. 상대측위법은 이러한 잡음을 두수신기 사이에서 제거하여 상대적인 거리오차를 최소한으로 줄일 수 있다.

GPS의 오차

GPS에서는 관측값 및 매개변수의 초기값과 조정값에 대한 분산-공분산 행렬을 구 함으로서 관측값을 기준으로한 각각의 상대적 정밀도를 평가한다. 정밀도 평가를 위하여 GDOP(Geometric Dilution of Precision)을 사용하고 있으며 다음의 식(2-7)로 나타난다.

$$GDOP = \sqrt{\text{Trace}(A^T \cdot A^{-1})} \quad (2-7)$$

여기서 A는 식(2-5)의 행렬이다.

매개변수에 포함된 오차 크기는 위성의 기하학적인 배치상태에 의존하게 되므로 수신기에서 관측되는 모든 위성들 중에서 가장 기하학적 배치 상태가 좋은 위성들을 선택하는데 이용된다. 그리고 관측값이 갖는 절대오차 크기와 매개변수에 포함된 절대오차 크기 사이의 함수관계를 제공하기도 한다.

결 과

GPS 측량계획

본 연구에서 사용된 GPS측량기기는 Fig. 7에 보여

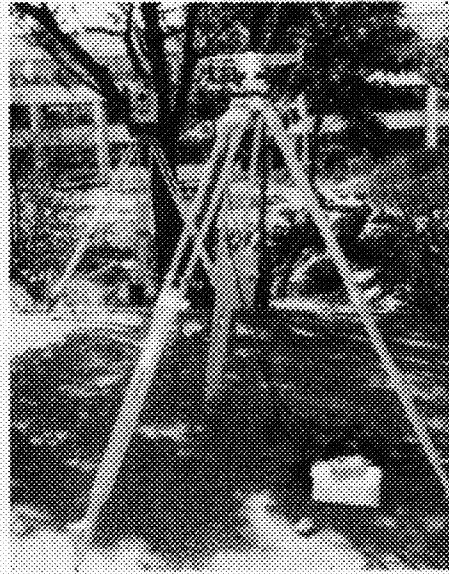
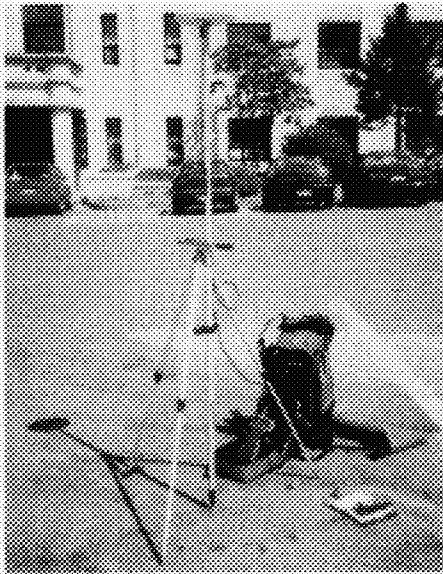


Fig. 7. The GPS and the EDM instrument for this research.

진 2대의 GPS수신기를 이용하였다. 왼쪽 그림은 이동측량이고 오른쪽 그림은 고정측량이다. 왼쪽 그림의 뒤쪽에는 EDM측량기기를 나타내었다.

GPS를 이용하여 인공위성으로부터 전파를 수신하기 위해서는, 가능한 GPS수신기 주변에 인공위성으로부터 전파를 받는데 방해가 되지 않는 위치에서 자료를 수신받아야 한다. 예를 들어 나무잎이나 지붕과 장애물은 물론이고 GPS수신기 주변에는 고층건물이나 벽, 개시관같은 물체가 없도록 수신기를 설치하여야 한다. 왜냐하면 인공위성의 경우 GPS수신기를 중심으로 수평 및 연직방향으로 전파를 보내기 때문에 수신기의 옆쪽 뿐만 아니라 수평방향 즉 지평선 방향으로의 전파도 받아야 하기 때문이다. 특히 GPS수신기의 경우 가능한 많은 인공위성을 받아야만 보다 정확한 위치를 잘 나타낼 수 있기 때문이다.

본 연구에서 위의 조건을 만족하는 위치를 구하기 위하여 우선 제주대학교에서 주변의 장애물이 없는 공터부근과 새우대 입구부에 위치를 설정하여 우선 위성수신상태를 살펴보았다. 위성수신은 거의 6개 이상의 수신되었다.

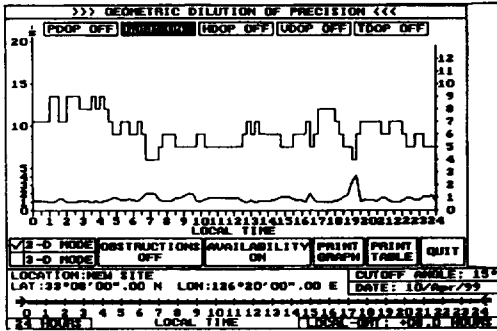
그리고 시간대별로 인공위성이 가장 많이 지나가는 시간대를 찾기 위하여 4월12일 수신된 인공위성

Almanac자료를 토대로 자료관측시스템의 시간대를 구하였다. 관측날짜는 1999년 4월 10일과 17일을 택하였으며, 그 시기의 인공위성 수신상태를 나타내는 DOP를 계산하여 그림을 나타내었다.

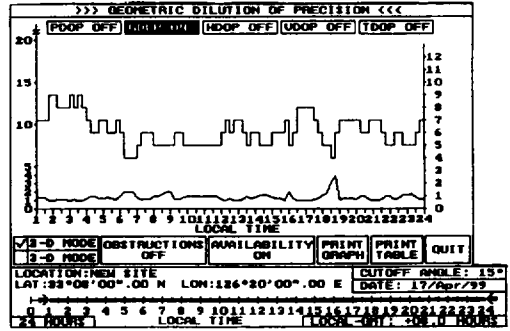
Fig. 8(a)와 (b)를 살펴보면, 이 그림은 관측을 실시한 99년 4월 10일의 수신가능한 위성의 숫자와 그 위성들로부터 GDOP을 시간대별로 계산한 결과이다. 그림에서 가로축은 관측시간대를 나타내고 세로축의 왼쪽은 DOP를 오른쪽은 위성의 수를 나타내었다.

이 그림을 보면 대체적으로 GDOP값이 5이하로 되어있으며, 17시부근에는 GDOP이 약 5 정도가 되어있다. 이 결과를 토대로 우리가 실시한 관측시간대(10 - 18시)를 보다 자세히 살펴보면, GDOP이 거의 2이하로 나타나 있다. 일반적으로 GDOP값이 3이하면 매우 좋은 위치값을 구할 수 있는 것으로 나타나 있다. 이때 위성의 숫자도 대체적으로 5개에서 8개사이로 위성을 수신하기에 매우 좋은 조건임을 알 수 있다.

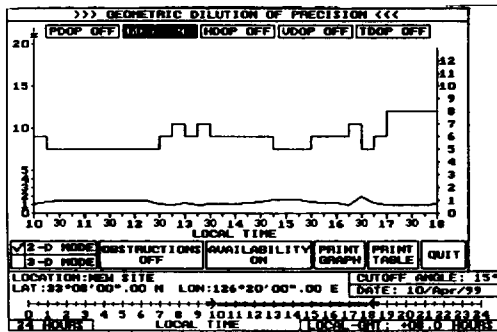
Fig. 9(a)와 (b)를 보면, 이 그림은 관측을 실시한 99년 4월 17일의 수신 가능한 위성의 숫자와 그 위성들로부터 GDOP을 시간대별로 계산한 결과이다. 이 그림을 보면 4월 10일과 유사하게 대체적으로 GDOP



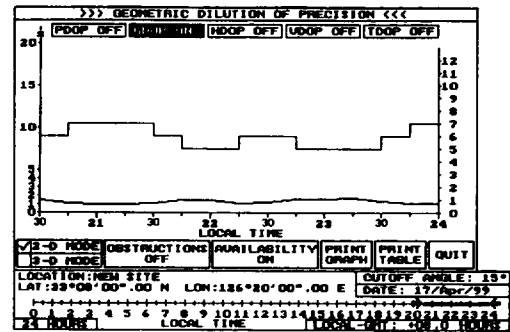
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 8. GDOP and satellites variations during April 10, 1999.

Fig. 9. GDOP and satellites variations during April 17, 1999.

값이 5이하로 되어있으며, 17시부근에는 GDOP이 약 5 정도가 되어있다. 이 결과를 토대로 우리가 실시한 관측시간대(20 - 24시)를 보다 자세히 살펴보면, GDOP이 거의 2이하로 나타나 있다. 이때 위성의 숫자도 대체적으로 5개에서 7개사이로 위성을 수신하기에 매우 좋은 조건임을 알 수 있다.

Fig. 10은 99년 4월 10일과 17일의 위성배치상황을 나타낸 것이다. 주로 남쪽방향에 치우쳐 배치되어 있음을 알 수 있다.

좌표계변환

WGS84 좌표계

WGS84(world geodetic system 1984)좌표계는 미국 방성(Department of Defence: DOD)에서 전세계에 대하여 하나의 통일된 좌표체계를 이용하기 위해서

제작한 지심좌표계를 기준으로 하는 준거회전타원체 이다. WGS84좌표계는 WGS72, WGS66, WGS60의 개선된 형태이며, 새로운 측량기술인 인공위성 레이저 측량등을 사용하여 지구 형상을 재현 하여 사용하였다. 1966년 1월, WGS개발 위원회는 WGS1960을 개발이후로 확장된 삼각망과 삼변망, 도플러 및 광학위성자료들을 적용하여 더욱 개선된 WGS1966을 만들게 되었다. 또한 WGS66이후에 도플러 및 광학위성자료, 표면증혁측량, 삼각 및 삼변측량, 고정밀 트래버스와 천문측량으로 부터 얻은 새로운 자료와 발달된 전산기 및 정보처리기법을 이용하여 WGS72($a=6,378,155m, f=1/29a.26$)을 만들었다. WGS72의 개발에 사용된 전자위성 자료는 미국해군 항행위성체제로 부터 얻었으며 광학위성자료는 BC-4 사진기 및 Baker-Num 사진기로부터 얻었다. 이상과 같은 자료들을 이용하여 WGS74 타원체 및 관련상수를 결정하는데 있어서,

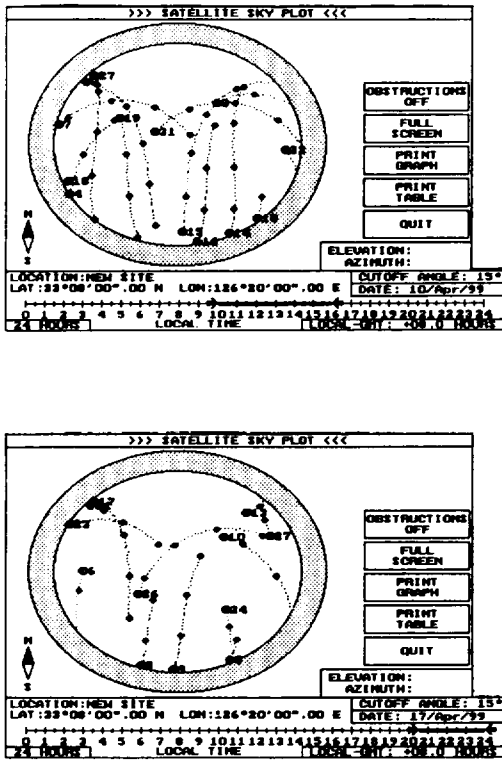


Fig. 10. Satellites sky plots of April 10 and 17, 1999.

IUGG에서 제정한 GRS 1967을 확정하기 위해 사용한 개념과 방법을 최대한 수용하였다.

그러나, WGS72체계를 사용하는 데 있어서 큰 문제점은 없었으나 WGS72체계에 사용된 지구중력모형(EGM : earth gravitational model)과 지오이드 모형이 오래 되었으며, 더욱 정확하고 광역의 기준계 변환이 요구되었으므로 WGS84로의 개정이 시도되었다.

WGS84가 기존의 것보다 개선된 점은 방대한 양의 자료를 이용하는데 있으며, 개선된 전산기에 의한 정보 처리기법을 사용하여 도플러 위치결정으로 부터 얻은 좌표를 사용하였다는 점이다. 또한 개선된 레이더 추적자료와 표면중력자료를 사용하였고, 발달된 위성레이저 고도계를 이용하여 얻은 해양지오이드고를 이용하였다. 따라서 WGS1984의 원점은 지구질량중심이며 Z축은 지구 회전축인 관성형상축(CTP:conventional terrestrial pole) 방향과 평행하며 WGS84 타원체 회전

축이다. X축은 국제시보국(BIH)에서 정의한 0 자오선에 평행한 WGS84 기준자오면과 CTP적 도면과의 교차선이며, Y축은 X축으로부터 적도면을 따라 등쪽으로 90도 위치에서 결정된다. WGS-84의 타원채상수는 Table 2와 같다.

Table 2. Parameters of WGS-84 Coordinate.

semimajor axis of ellipsoid	6,378.137 m
flattening of ellipsoid	1/298.25223563
angular frequency	$7.292.115 \times 10^{-11}$ RAD/S
earth's gravitational constant	$3.986.005 \times 10^8 m^3/S^2$

우리나라의 측지측량기준계

우리나라 측지측량기준계는 구한말 일본에 의해서 처음 실시되었으며, 1945년 미군의 진주와 한국전쟁을 거치면서 체계화되었다. 이러한 역사적인 배경을 통하여 우리나라의 측지망은 아직도 완전하지 않은 상태에 있으며 국립지리원에서는 독자적인 측지망 구축을 위한 사업을 추진중에 있다. 그러나 수준원점만 제대로 활용되고 있으며, 한국의 경, 위도 원점은 이용되지 않고 있으며, 일본의 것을 이용하고 있다.

우리나라의 평면직각좌표계는 일본에 의한 것을 채용하고 있으며 동부, 중부, 서부의 가상 평면직각원점을 사용하고 있다. 삼각점은 1920년대 조선총독부에서 조선토지조사사업의 일환으로 시행한 삼각측량에 이용한 가우스 이등투영으로 직각좌표를 사용하고 있다. 그러나 국가기본도에서 사용하는 직각좌표는 Gauss-Kruger투영을 사용한 TM투영을 채택하고 있어 업무에 따라서 이중으로 사용하고 있는 실정이다.

WGS84는 지심좌표를 기준으로한 회전타원체에 투영한 경위도 좌표로서, 우리나라에서 제작된 TM좌표를 사용하기 위해서는 Fig. 11과 같은 절차에 따라서 좌표변환을 실시하여야 한다. 회전 타원체간의 좌표 변환의 방법은 변수요소방법, MRE좌표변환법, 그리고 Molodensky방법 등이 있다.

WGS84를 우리나라에서 사용하는 벡셀(Bessel) 국지타원체로의 변환은 GPS를 상시 관측하는 정밀한

WGS84 -----> Bessel -----> TM좌표

Fig. 11. Coordinate transform process from WGS 84 to TM.

기준점을 이용해야만 정확한 해석이 가능지만 근사적인 방법을 사용하였다. 다음의 식 (2-8),(2-9)은 동경원점의 벡셀 타원체의 MRE변환식으로 ϕ 는 경도, λ 는 위도를 나타내고 있다.

$$\begin{aligned} \delta \phi'' = & 11.42838 + 0.3811U + 0.66055V - 2.85156 U^2 - 7.90 \\ & 920 U^3 + 2.660655 U^2 V - 1.44720 UV^2 \\ & - 0.5588 V^3 + 17.024651 U^4 + 13.83455 U^3 V \\ & + 2.24425 UV^3 + 4.26478 U^5 + 10.19286 U^4 \\ & - 1 \cdot 2.27058 U^3 V^3 + 1.72169 UV^4 - 10.70332 U^6 \\ & + 9.42547 U^4 V^2 - 0.04957 U^3 V^3 \\ & - 1.63710 U^7 - 3.31782 U^4 V^3 + 5.58416 U^3 V^4 \\ & + 2.14642 U^8 - 3.44749 U^4 V^4 - 0.18249 V^8 \\ & - 0.40958 U^2 V^7 - 0.08997 V^9 + 0.75251 U^3 V^7 \\ & - 0.14797 U^2 V^8 - 0.00866 U^9 V^5 \end{aligned} \quad (2-8)$$

$$\begin{aligned} \delta A'' = & -9.4185 - 4.14394V - 0.20672UV - 1.37944 V^2 \\ & - 1.23235 U^5 - 0.8304 U^2 V^2 + 5.62308 V^3 \\ & + 1.80683 V^4 - 4.51075 V^5 + 0.09944 U^6 \\ & - 0.91183 V^6 + 0.90813 U^7 + 0.2877 U^2 V^6 \\ & + 1.48962 V^7 + 0.16266 V^8 - 0.27918 U^8 \\ & - 0.16036 V^9 - 0.003918 U^5 V^8 + 0.01027 U^7 V^8 \end{aligned} \quad (2-9)$$

여기서, $U = 0.15707963 (\phi - 35)$
 $V = 0.15707963 (A - 129)$

동경원점의 벡셀국지타원체로 변환한후, TM도법으로 투영을 실시하여 국내에서 사용하고 있는 직각좌표를 작성하였다. TM투영의 원점은 북위38도, 동경129도에 위치한 가상의 점인 동부원점을 이용하였다. 다음의 식(2-10)과 (2-11)는 TM투영에 이용된 Jordan과 Eggert의 최종 결과식이다(Dent, 1985).

$$\begin{aligned} \frac{x}{N} = & \lambda \cos \phi + \frac{1}{6} \lambda^2 \cos^3 \phi (1 - t^2 + \eta^2) \\ & + \frac{1}{120} \lambda^5 \cos^5 \phi (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58t^2 \eta^6) \\ & + \frac{1}{5010} \lambda^7 \cos^7 \phi (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6) \end{aligned} \quad (2-10)$$

$$\begin{aligned} \frac{y}{N} = & \frac{S_\phi}{N} + \frac{1}{2} \lambda^2 \sin \phi \cos \phi \\ & + \frac{1}{24} \lambda^4 \sin \phi \cos^3 \phi (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) \\ & + \frac{1}{720} \lambda^6 \sin \phi \cos^5 \phi (61 - 58t^2 + t^4 270\eta^2 - 330t^2 \eta^2) \\ & + \frac{1}{40320} \lambda^8 \sin \phi \cos^7 \phi (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6) \end{aligned} \quad (2-11)$$

여기서, $t = \tan \phi$, $\eta^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \cos^2 \phi$

$$S_\phi = \int_0^\phi N \cos \phi d\tau$$

위성수신결과

Kinematic 방법의 수신결과

실시한 인공위성측량(Kinematic method)은 두 대의 GPS수신기로 약 초단위로 자료를 받아서 위치를 결정하는 시스템이다. 따라서 이방법을 이용할 경우 현장의 좌표값을 구하거나 지형도작성에 매우 유용할 것으로 사료된다.

우선 DGPS로 수신된 좌표의 정확성을 파악하기 위하여 Sweden의 Geodimeter사에서 만든 광파측정기를 이용하여 거리를 우선 구하였다. 이 광파기의 오차범위가 $1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ 으로서 GPS수신기에 비해서 약 10배 정도 정확한 값을 나타내도록 되어있다. 우선 광파기로 4-6곳의 위치를 선정하여 위치값을 구하였다. 위치를 구한 곳은 제주대학교 교문앞에서 제주대학교 경상대학교까지 거리 약 700m에 대하여 측정하였다.

그 결과를 Table 3에 나타내었다. 결과를 살펴보면, 대체적으로 10 cm내외의 오차로 나타났으나, 경우에 따라서 약 30 cm까지오차가 발생되어 실시간 GPS측량을 실시할 경우 측량에 상당히 신중을 기해야 할 것으로 사료된다. 이러한 결과는 주변의 장애물과 수신시간에 따른 오차로 인해서 발생된 것으로 사료된다

다. 따라서 실시한 GPS측량을 실시할 경우에는 수신 시간과 주변의 장애물과의 여건을 충분히 고려해서 자료를 받아야 될 것으로 사료된다.

이러한 시간에 따라 실시한 GPS측량에 따른 위치의 변동을 살펴보기 위하여 1분 간격으로 시간이 지남에 따른 임의의 A, B위치에서 값의 오차를 살펴보았다. 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 그 결과를 살펴보면, case 1을 보면, 자신의 위치값의 오차가 1cm내외로 변하는데는 약 8분정도가 소요된 반면 case 2인 경우는 약 3분정도가 소요되었다. 이러한 값의 변동을 미루어 볼 때 kinematic GPS측량을 실시할 경우 적어도 3분이상을 기다려 위치값의 오차가 1cm내외의 범위에 위치하는가를 확인하고 측량을 실시해야 할 것으로 사료된다.

Table 3. The different values of kinematic DGPS survey and EDM for a length.

GPS	EDM	Error(cm)
686.822	686.884	6.2
559.848	559.921	7.3
434.109	434.243	13.4
266.094	266.187	9.33
560.262	559.921	34.1
434.105	434.243	13.8

Table 4. The different value variations of kinematic DGPS survey according to survey time.

time(min.)	case 1	case 2
1	2.000 m	1.500 m
2	0.667 m	0.514 m
3	0.450 m	0.018 m
4	0.350 m	0.023 m
5	0.290 m	0.018 m
6	0.247 m	
7	0.201 m	
8	0.100 m	
9	0.017 m	

Static 방법의 수신결과

후처리방식 인공위성측량(Static method)은 두 대

의 GPS수신기로 적어도 10분이상의 자료를 받아서 위치를 결정하는 시스템이다. 이 경우 실시한 인공위성측량에 비해 높은 정확도를 얻거나 먼거리를 측량할 때 매우 유용한 위성측량기법이다. 이 방법의 단점은 측량을 실시한 후에 내업을 해야만 비로소 위치를 결정할 수 있다.

이 후처리방식으로 구한 값은 다음과 같다. 후처리방식의 경우 하나의 기선장에 대하여 앞에서 구한 kinematic 측량기법과 같은 위치에서 측량을 실시하였다.

결과를 Table 5에 나타내었다. 결과를 살펴보면, 대체적으로 오차가 20 cm내외로 나타나는데 이러한 결과는 앞에서 나타낸 kinematic 방법에 비하여 오히려 값의 정확도가 떨어진다는 점이다. 이러한 결과는 수신기 주변의 장애물의 방해, 자료처리상에서 발생하는 좌표변환에 의한 오차와 광파기자체의 위치오차 등에 의하여 발생하는 것으로 사료된다.

그러나 한가지 주목할 점은 kinematic 측량기법에 대하여 전반적으로 안정된 값을 제공하고 있다는 것이다.

Table 5. The Different Values of Static DGPS Survey and EDM for a Length.

GPS	EDM	Error(cm)
686.884	686.884	12.6
559.798	559.921	12.3
434.126	434.243	11.7
266.077	266.187	11.0

이러한 상황을 미루어 볼 때, 후처리방식으로 측량을 실시할 경우 보다 좋은 위치선정과 함께 수신기의 고도 및 수신기 안테나의 크기등을 고려해야 할 것으로 사료된다.

Kinematic측량과 Static 측량의 정밀도 비교

앞에서 제시한 Kinematic과 Static측량값의 비교는 측량의 오차가 많이 포함되어 그 정확도를 비교하기가 힘든 상황이다. 그래서 보다 정확한 측량을 위하여 인바아 표측, 광파측정기, GPS측량을 서로 비교하여 GPS에 의한 정확도비교를 실시하였다. 그 결과를

Table 6. Comparison of Different Values of DGPS Survey(Kinematic and Static), Invar Standard Length and EDM

Surveying Measurement	Invar Standard Length	EDM	Static GPS(TM)	Static GPS(WGS-84)	Kinematic GPS
Measurement values	49.820 m	49.823	49.833	49.846	49.852
Different values		difference of the invar 3 mm	difference of EDM 1 cm	difference of EDM 2.3 cm	difference of EDM 3 cm

Table 6에 나타내었다.

Table 6을 살펴보면, 인바아척과 광파측정기의 값은 거의 차이를 보이지 않아 본 연구에 사용된 광파측정기의 정확도는 매우 높은 것으로 사료된다. 그리고 static 측량과 kinematic 측량값을 비교해본 결과 Static이 Kinematic보다 정밀도가 높은 것으로 나타났다. GPS로 이러한 정밀측량을 실시할 때는 측량기기의 정확한 수평 및 구심이 이루어져야 될 것으로 사료된다. 왜냐하면, 사람이 표측이나 target를 설치할 경우, 오차가 많으면, ± 10 cm 정도가 발생할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 Static과 같이 정밀한 측량을 실시할 때는 이러한 점을 충분히 고려하여 측량을 실시해야 할 것으로 사료된다.

결 론

일반적으로 static 방법으로 GPS측량기로 위치측정을 할 때 Kinematic 방법보다 Static 방법이 우수한 것으로 알려져 있으나, 관측자의 부주의 혹은 주변의 장애물의 위치등으로 인하여 Static방법으로 측량결과가 우수하지 않을 수도 있음이 나타났다. 이러한 결과는 GPS수신기의 부주의한 위치선정 및 수신기의 수평 및 구심점의 오차에 의하여 발생할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 static 측량방법을 실시할 때는 수신기의 높이, 수평, 구심점의 정확한 값이 기입되어야 한다.

전반적인 자료의 안정도는 static방법이 kinematic 방법에 비하여 나은 것으로 나타났다. 특히 kinematic의 경우 5분이내의 시간동안 위치를 옮겨가며, 좌표값을 읽어야 하지만 경우에 따라서는 인공위성의 배치나 주변의 장애물로 인하여 약9분 정도 시간이 소요되는 경우가 있다. 따라서 이러한 점을 고려해 볼 때 kinematic 측량을 실시할 때도 충분한 시간을 보면서 위치오차범위가 1cm 단위로 떨어지는 것을 확인을 하고 위치값을 읽어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 1999년 제주대학교 발전기금 연구과제(해양연구소)에 의해 수행되었다.

참고문헌

강인준, 1992. 위성측량에 의한 해양오염 물질의 확산
검정 기법. 측지학회지, 10(1), 19~24.
유복모, 1992. 측량학 원론 (I). 개문사, 402~410.
유복모, 1992. 측량학 원론 (II). 개문사, 482~517.
Dent, Borden D., 1985. Principales of Thematic Map
Degin. Addison-Wesley Pub. CO, 34~59.
B. Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, H. and Collins,
J., GPS, 1993. Springer-Verlag, 355 pp.