

GPS 시스템에 의한 해상측량 및 육상측량기법

GPS Surveying for Land and Marine Use

강 동 호*
Kang, Dong-ho

1. GPS 시스템의 개요

GPS(Global Positioning System)는 미국정부가 1970년대 초반부터 개발에 착수하여 약 60억불의 예산을 투자하여 구축한 항법지원시스템이다. 원래는 군사목적으로 개발을 시작하였지만, GPS 신호의 일부를 민간인이 사용할 수 있도록 하는 것을 전제로 미의회가 예산을 승인하게 되어 GPS 신호중 L1, C/A 코드는 민간에 개방되었다.

가. GPS 시스템의 구성

GPS 위성에서 방송하는 C/A 코드를 이용하여 전세계 어디에서나 24시간 전천후 측위가 가능하며, 그 정확도는 약 100m정도가 된다.

GPS 시스템은 위성, 위성을 관제하는 지상 관제설비, 그리고 사용자가 이용하는 GPS 수신기를 모두 포괄한다.

1) GPS 위성

GPS 위성은 적도와 55°로 경사를 이루는 6개의 궤도면에 각 궤도마다 4~5개씩 위성을 배치하고 있으며, 지구 표면으로부터 약 20,200km의 상공에 위치하고 있다.

또한 공전 주기를 11시간 58분으로 하여 위성이 하루에 지구를 2번씩 돌도록 함으로써, 지구

상 어디에서나 항상 4개 이상의 위성을 추적할 수 있도록 하고 있다. 또한 위성에는 세슘이나 루비듐 원자시계를 탑재하여 시각을 일치시키고 있다.

2) GPS 위성의 관제

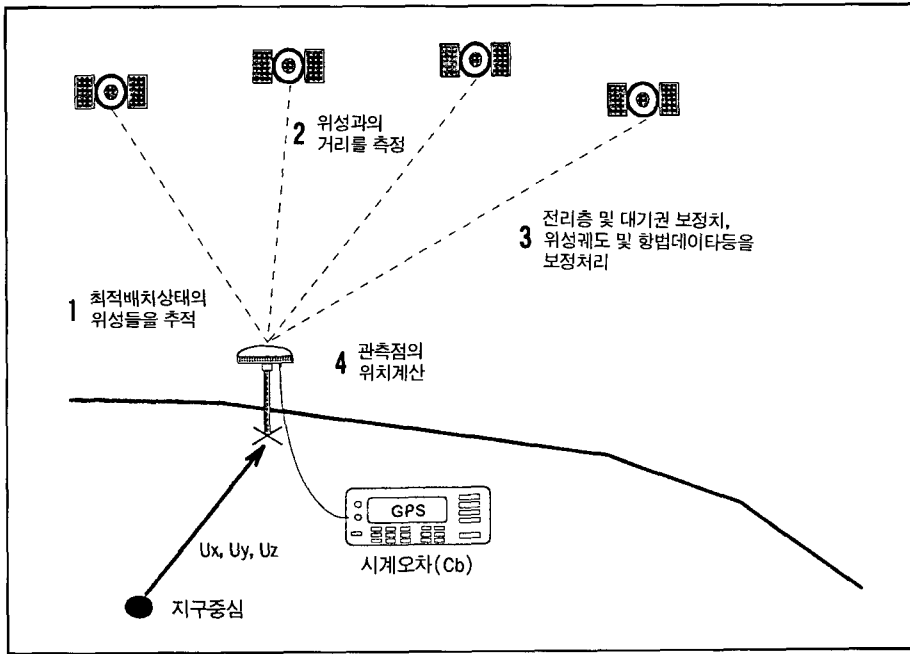
GPS 위성은 미국 콜로라도 스프링스에 있는 주 관제소의 관제를 받는데, 이 주 관제소 이외에도 적도 주위로 4개의 모니터링국을 배치하여 GPS 위성의 궤도를 감시하고 관제에 필요한 정보를 항상 얻어내고 있다.

나. GPS 측위원리

GPS의 측위는 거리측정방식에 의한 삼각법(Triangulation)을 이용하는데, C/A코드를 이용하여 위성과 수신기 안테나간의 거리를 구한다. 위성은 항상 1575.42MHz의 L1주파에 C/A 코드를 실어서 방송하고 있고, 수신기에서도 똑같은 코드를 발생시켜 수신된 위성의 코드와 비교하여 위성의 신호가 위성을 떠나 수신기까지 도착하는데 소요된 시간을 측정한다. 따라서 광속(위성신호의 속도)×소요시간으로 위성과 수신기간의 거리를 측정하게 된다.

GPS 수신기는 4개의 위성을 관측하여 얻어지는 거리로 위치를 계산하는데 이는 4개의 미지수(좌표 : U_x, U_y, U_z 및 시계오차 CB)를 해결하는

* (주)지오시스템



〈그림-1〉 위치계산의 4단계

데 4개의 관측치가 필요하기 때문이다.
이를 단계별로 표시하면 〈그림-1〉과 같다.

다. GPS 측위오차

GPS 측위오차는 다음 3가지로 대별되는데, 거리오차, 위성의 배치상황에 따른 기하학적인 오차 증가, 그리고 미국방성이 실시하는 선택적 이용성에 의한 오차이다.

1) 구조적 요인에 의한 거리오차(Range Error)

거리오차는 위성과 수신기간의 측정된 거리의 오차를 의미하는데 다음과 같은 요인에 의하여 발생하며, 약 5~10m정도이다.

(가) 위성시계의 오차

위성에 탑재된 원자시계의 오차로부터 발생하는 오차이나, 위성시계의 오차는 어느 정도 예측이 가능하므로 주 관제국에서 이를 조정함으로써 최소화 시키고 있다.

(나) 위성궤도의 오차

예측된 궤도와 실제도 사이에는 차이가 생기며, 이에 따른 거리 오차가 발생한다.

(다) 대기권의 전파지연

위성의 고도가 20,000km정도가 되므로 신호가 위성을 통과하여 수신기까지 오는 동안 대기권을 이루는 전리층과 대류권을 통과하게 되는데 이때에 생기는 전파지연(Delay) 때문에 오차가 생긴다. 전파지연 오차는 주 관제소에서 지연량을 예측하여 코드정보와 함께 방송하므로 수신기는 측위 계산시 이를 보정하여 위치 오차를 줄이고 있다.

참고로 GPS 위성은 상기 언급한 1575.42MHz의 L1주파에 C/A코드 이외에 P코드도 동시에 방송을 하며, 1227.6MHz의 L2주파로 같은 P코드를 방송하고 있다. 현재는 P코드 대신에 이를 암호화한 소위 Y코드를 방송하고 있는데, 이는 민간 사용자에게는 개방되고 있지 않으므로 단독 측위에는 이용할 수 없다. 그러나 후술하는 L1 및 L2주파의 위상관측치를 사용하는 측량에는 L2주파를 전리층 오차의 보정에 사용한다. 즉,

15km 이상의 장기선 측량시는 각 관측지점 상공의 전리층 상태가 달라 전파지연에 따른 오차가 무시할 수 없을 정도로 커지게 되는데, 이때에 전파가 전리층을 통과할 때 주파수에 따라 지연량이 다름을 이용하여 오차를 보정하게 된다.

(라) 수신기에서 발생하는 오차

수신기에서 발생하는 전자파적 잡음(Noise)이나, 전파의 다중경로(Multipath) 등으로 인하여 거리 오차가 발생한다.

2) 위성의 배치상황에 따른 기하학적 오차의 증가

측위시 이용되는 위성들의 배치상황에 따라 위치측정 오차가 달라진다.

3) 선택적 이용성(Selective Availability, SA)에 의한 오차

미국방성의 정책적 판단에 의하여 오차를 일부러 증가시킨 것으로 이것이 선택적 이용성에 의한 오차이다.

2. DGPS(Differential GPS)의 개요

DGPS는 GPS 수신기를 2개 이상 사용하여 상대적 측위를 하는 방식인데, 좌표를 알고 있는 기지점에 베이스 스테이션용 GPS 수신기를 설치하고 위성들을 모니터하여 개별 위성의 거리오차 보정치를 정밀하게 계산한 후 이를 작업 현장의 로버(Rover)용 수신기의 오차보정에 이용하는 방식이다. DGPS 위치의 오차는 항법장비의 경우 대략 10m내외, GIS 데이터 취득용 장비 또는 해양측량용 장비의 경우는 50cm 내외가 된다. 또한 DGPS 측위는 실시간(Real time) 처리 방식과 후처리(Post-processing)방식의 2가지로 대별된다.

가. 실시간 DGPS

베이스 스테이션에서 취득한 DGPS 보정치를 무전기를 이용하여 송신하고, 로버에서 이를 수

신하여 보정치를 의사거리(Pseudo range)에서 가감한 후 위치를 계산함으로써 현장에서 바로 DGPS 위치를 구하는 방식이다.

이 방식은 현장에서 정확한 위치를 구할 수 있기 때문에 해양측량, 도로보수공사, 지하매설물 보수공사 등의 분야에 응용된다.

나. 후처리 DGPS

베이스 스테이션에서는 작업기간 동안 연속적으로 GPS 데이터를 수신하여 베이스용 파일을 생성시키고, 로버는 현장작업시 GPS 데이터 및 속성자료 등을 취득하여 로버 파일을 생성시킨 후 이를 사무실에서 후처리 소프트웨어로 DGPS 보정을 행하는 방식이다. GIS용 데이터 취득에 이용되며 수도관, 가스관, 전신주 조사 등에도 손쉽게 이용할 수 있다.

3. GPS를 이용한 육상측량

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 있어 위성과 수신기간의 거리를 계산하여 측위가 가능하나 이 경우 오차가 커서(수십미터) 측량 목적에는 적합치 않으므로 측량목적에 부합하기 위하여는 코드 이외에 반송파를 이용하게 되는데, L1주파수의 경우 1575.42MHz이므로 정현파의 길이가 19cm이고, 수신기는 정현파의 1/100, 즉 1.9mm까지 측정이 가능하다. 따라서 1.9mm눈금자로 측정하는 것이 된다. 그러나 반송파의 경우 수신된 파가 언제 위성으로부터 출발하였는지 알 수 없으므로 2개 이상의 측량용 수신기로 GPS 위성이 방송하는 C/A 코드 및 L1, L2전파의 위상(Carrier phase)을 관측하여 상대측위를 행함으로써 관측점간의 기선 벡터를 구할 수 있게 된다.

가. 측량계산

GPS 위상관측식을 이용하여 GPS 수신기로 수신된 반송파 위상의 갯수를 기록한 자료로 측량계산을 실시한다. 측량개시시 위성과 GPS수신기 사이에 존재했던 반송파의 정현파수, 즉 위상수를 모호 정수치(Integer ambiguity)라고 부르는데, 이를 알면 상대측위에 의하여 두점간의 기선 벡터의 계산이 가능하게 된다. 따라서 GPS 측량계산의 기본은 모호 정수치를 빨리 또는 적은 량의 데이터로 구하느냐 하는데 있다. 모호 정수치를 구하기 위하여서는 GPS 위상관측식으로부터 단중차(Single difference), 이중차(Double difference), 삼중차(Triple difference)를 이용하여 구한다.

위상관측치=(수신된 위상관측치-발생된 위상치)-(수신기 시계의 지연오차량-위성 시계의 지연오차량)+(전리층의 전파지연량-대류권 전파지연량)+(최초 위상관측시 위성과 수신기간의 파장수)+(불규칙 오차항)

1) 단중차

1위성 /2수신기간의 위상관측식을 계산함으로써 위성시계의 오차항을 제거하거나, 또는 2위성 /1수신기간의 위상관측식을 계산함으로써 수신기 시계의 오차항을 제거한다.

2) 이중차

2개 이상의 단중차를 계산하여 수신기 및 위성시계의 오차항을 모두 제거하고, 미지항은 모호 정수항만을 남기게 된다. 따라서 4개의 위성에 대한 관측식으로 3개의 이중차식을 만들어 측량계산을 실시한다.

3) 삼중차

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.

4) 모호 정수치

모호 정수치를 신속히 해결하기 위하여 여러 가지 방법이 개발되고 있는데, 해결 기법이 측량 기법이 된다. 이동측량시의 안테나 스왑방법, 신속정지측량, OTF(On-the-Fly) 등의 기법이 현재 많이 이용되고 있다.

나. 측량방식

GPS 측량은 사후계산처리방식과 실시간처리방식으로 구분된다.

1) 사후계산(Post Processing)방식

정지측량(Static survey), 신속정지측량(Fast static survey), 이동측량(Kinematic survey)과 같은 사후계산(Post processing)방식은 GPS 측량기를 측량할 기준점 및 측점에 설치하여 GPS 위성이 방송하는 코드자료(Code data)와 반송파의 위상자료(Carrier phase data)를 수신한 후 사무실로 돌아와서 GPS 측량 소프트웨어(GPSurvey)로 계산처리(Post processing)하는 방식이다.

- 정지측량(Static survey) : 기준점측량에 주로 적용
- 신속정지측량(Fast static survey) : 기준점측량에 주로 적용
- 이동측량(Kinematic survey) : 지형측량에 적용

2) 실시간 처리방식, 즉 RTK(Real Time Kinematic Survey)

RTK는 GPS를 이용하여 두점간의 거리, 방위, 고도차를 실시간으로 측량할 수 있는 측량방식이다. 기준점에 설치된 측량용 GPS 수신기가 수신한 GPS 위성의 코드(Code) 및 위상(Phase) 데이터를 측정상의 GPS 수신기로 송신하여 GPS 수신기로 하여금 두점간의 거리, 방위, 고도차를 계산, 실시간으로 표시토록 한다. 이때 데이터의 송수신은 2400bps이상 고속으로 데이터 전송이 가능한 UHF 무전기나 FM 방송을 이용한다.

RTK 측량은 측량 실시전에 반드시 초기화

(Initialization), 즉 모호 정수치(Integer ambiguity)를 해결하는 과정을 거쳐야만 측량이 가능한데 초기화 방식은 기지점을 이용한 초기화(Two known point initialization)와 자동초기화(Automatic initialization)로 대별된다.

또한 정지상태에서 자동초기화가 가능한 2주파 수신기의 경우에는 이동중에도 자동으로 초기화가 가능하도록 설계할 수 있는데, 이와 같은 기능을 OTF(On-the-Fly)라고 한다. 도심지역이나 장애물이 많은 지역에서 RTK시에 OTF 기능을 이용하여 측량을 실시하면(RTK-OTF), 작업효율을 더욱 증가시킬 수 있다.

다. GPS 측량기의 성능

현재 실무에서 사용되고 있는 GPS 측량기의 성능을 살펴보면 다음과 같다.

1) 2주파 수신기와 1주파 수신기의 성능

구 분	2주파 수신기	1주파 수신기
측량 거리	장거리(전리층 지연 오차 제거)	단거리(15km 이내)
정확도	정지측량	10km 이내 : 5mm+2ppm 10km 이상 : 1cm+2ppm
	이동측량	2cm+2ppm
	RTK	1cm+2ppm
RTK 초기화	• 자동 초기화 • 기지점을 이용한 초기화 • 초기화 용구 이용 초기화	• 자동 초기화 불가능 • 기지점을 이용한 초기화 • 초기화 용구 이용 초기화
관측 시간	짧음	2주파보다 김

2) 사후계산처리(Post-Processing) 방식의 측량

수신 기종	2주파 수신기			1주파 수신기		
	정지측량	신속 정지	이동측량	정지측량	신속 정지	이동측량
관측 시간	45분이상	6위성:5분 5위성:15분 4위성:20분	수초	45분이상	6위성:20분 5위성:25분 4위성:30분	수초
정확도	5mm+1ppm		2cm+1ppm	10km 이내 : 5mm+2ppm 10km 이상 : 1cm+2ppm		2cm+2ppm
관측 요소	• L1위상 자료 • L1 C/ A 코드, P 코드 • L2위상 자료		• L2 P코드 • L1/ L2 교차상관(Cross-correlation)	• L1위상 자료 • L1 C/ A 코드		
SW	기선계산, 망조정, 지형도 작성			기선계산, 망조정, 지형도 작성		

3) 실시간 이동 측량(Real-Time Kinematic: RTK) 방식의 측량

수신 기종	2주파 수신기	1주파 수신기
초기화 시간	• 자동초기화:1분 이내 • 기지점 이용 초기화:10초이내 • 초기화 용구 초기화:10초이내	• 자동초기화: 불가 • 기지점 이용 초기화:10초이내 • 초기화 용구 초기화:10초이내
점당 관측 시간	3초	3초
측량의 정확도	1cm+2ppm	1cm+2ppm
사용 무전기	UHF, 450MHz	UHF, 450MHz
소프트웨어	전자야장 지원, 지형도 작성, 사후 검증 계산	전자야장 지원, 지형도 작성, 사후 검증 계산

4. GPS를 이용한 해상측량

해상측량은 육상과는 달리 측점상에 측량장비를 고정할 수 없는 상황에서 이루어 지기 때문에 순간적으로 위치를 구하지 않으면 안된다. 따라서 순간 순간 위치를 구할 수 있는 시스템으로써 무선측위장비 또는 레이저를 이용하는 측위장비 등이 이용되고 있으나, 측량시마다 캘리브레이션, 육상기준점의 설정 및 전원확보 등 여러가지 번거로운 문제가 수반된다.

GPS 시스템을 이용하는 경우 이와 같은 제문제를 손쉽게 해결할 수 있고, 비용면에서도 훨씬 저렴하다. 특히, 측위가 cm단위의 측량에서부터 30cm~1m 까지 측량이 가능하므로 기존의 해양 측량 시스템에 비하여 응용가능한 분야가 훨씬

다양하다는 장점이 있다. 이와 같은 수신기종을 이용하여 측량선의 항행속도를 지금까지의 속도보다 빠르게 함으로써 생산성을 높힐 수 있다는 장점이 있다.

가. DGPS를 이용한 해양측량

해양측량시 기준국으로 DSM(Differential Survey Module), 4000RSi등의 기종을 이용하고, 이동국으로는 DSM이나 4000DSi와 같은 DGPS 수신기를 이용하는 경우, 30cm~1m 사이의 정확도로 해상에서 측위가 가능하다. <그림-2>는 DGPS를 이용한 해양측량 시스템의 기본 구성을 표시한 것이다.

나. RTK를 이용한 해양측량

케이슨(Caisson)작업이나 트러스(Truss)작업 등과 같은 구조물의 해상 작업시에는 해상에서 cm 정확도의 측위가 필요한데, 이때는 RTK-OTF (Real Time Kinematic On-the-Fly)방식에 의한 측량이 필요하다. 이 경우의 시스템 구성은

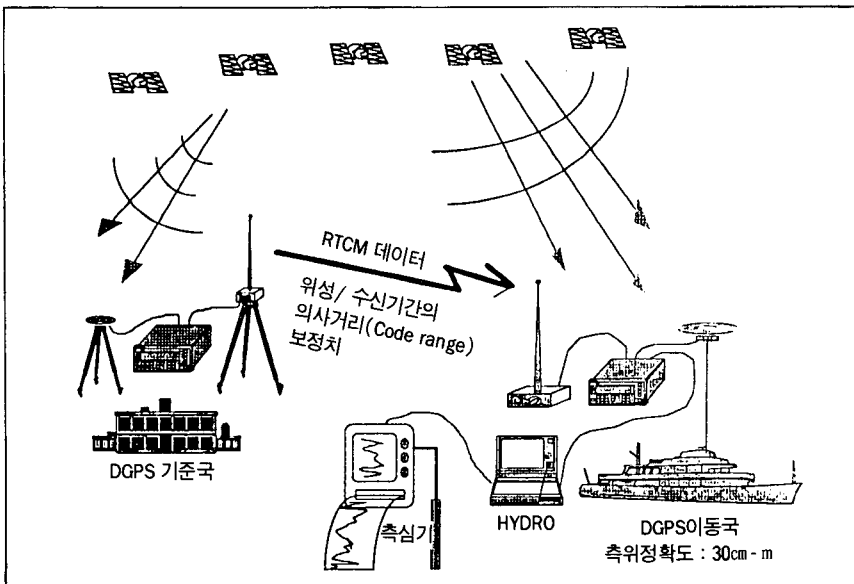
DGPS 방식과 유사하나 기준국에서 방송하는 데이터가 의사거리 보정치가 아니고, 기준국에서 수신한 GPS 위성의 코드 및 반송파 위상(Code 및 Carrier Phase)이 직접 방송된다.

다. 해양용 GPS 측량기의 성능

현재 실무에서 사용되고 있는 해양용 GPS 측량기의 성능을 살펴보면 다음과 같다.

1) 기준국용 GPS 측량기

사용구분	기 준 국 용	
작업구분	DGPS	DGPS 및 RTK-OTF
위치갱신속도	기준에 따라 0.1초~0.5초	기준에 따라 0.2초~1초
RTCM 메시지	Ver. 2.0	Ver. 2.0, Ver. 2.1
RTK-OTF	불가	가능
수신기 컨트롤	기준에 따라 컨트롤 패널 또는 별도 PC (IMB 호환기준)	기준에 따라 컨트롤 패널 또는 별도 PC (IMB 호환기준)
사용무전기	UHF, VHF, MF	DGPS : UHF, VHF, MF RTK : UHF
특기사항	해상전용	해,육상 겸용



<그림-2> 해상측량시스템 기본 구성도

2) 이동국용 GPS 측량기

사용구분	이 동 국 용	
작업구분	DGPS	DGPS 및 RTK-OTF
위치갱신속도	기준에따라 0.1초~0.5초	기준에 따라 0.2초~1초
측량의 정확도	약 50cm-1m	DGPS: 약 50cm ~ 1m RTK : 약 1~2cm
RTCM 메시지	Ver. 2.0	Ver. 2.0, Ver. 2.1
RTK-OTF	불가	가능
QA/ QC Firmware	기준에 따름, 장거리에서 수신 RTCM 데이터의 양부 확인	기준에 따름, 장거리에서 수신 베이스 데이터의 양부 확인
수신기 컨트롤	기준에 따라 컨트롤 패널 또는 별도 PC (IMB 호환기준)	기준에 따라 컨트롤 패널 또는 별도 PC (IMB 호환기준)
해양측량용 S/ W	HYDRO SW	HYDRO SW
해양측설용 S/ W		Target: Structure
사용무전기	UHF, VHF, MF	DGPS: UHF, VHF, MF RTK : UHF
특기사항		
• 응용분야	해상전용	해, 육상 겸용
• 해양측량	가능	가능
• 준설측량	가능	가능
• Oil Rig	가능	가능
• 해양측설 -트러스공사 -케이스 공사	불가 불가	가능 가능
• 바지모니터링	가능	가능

오차의 증가 및 측량 작업량의 증가로 인한 원가 부담이 문제가 되며, 처리 가능한 장애물 처리의 경우 관련 법규 및 자연 보호 등의 문제로 장애물의 처리가 불가능하거나 이로 인한 원가 부담 증가의 문제가 있다. GPS를 이용하는 측량의 경우 위성과 시통만 되면 이를 해결할 수 있다.

나. 측량 가능한 거리

광파 측거리의 경우 적외선 또는 가시역의 전파를 이용, 거리를 측정하기 때문에 시정내의 장애물 등으로 인하여 가용 거리가 대략 2.5~5km 정도이다. 또한 안개, 비, 눈, 분진 등 날씨에 제약을 받고, 야간작업이 불가능하다. 그러나 RTK는 UHF전파를 이용하기 때문에 가용 거리가 약 10~20km 정도가 된다. 따라서 측량 개시를 위하여 필요한 초기설치 및 설정작업이 줄어서 작업 효율을 향상시키며, 또한 위와 같은 날씨나 시간적 제약도 받지 않는다.

다. 기준점 복원 및 시공측량시 측설작업(Setting Out)

RTK는 기준점 복원(Stake out)이 가능한 측량 기법으로써 망실된 기준점이나 도근점의 복원이 가능하며, 시공측량시는 점, 선, 호, 경사면의 측설측량(Setting out)이 가능하므로 정확한 시공이 가능하다.

5. GPS 측량의 특징

가. 시통(Line of Sight)

일반 재래식 측량기는 표적을 사용하며, 표적 설치의 양호 여부에 따라 오차가 증감하게 된다. 또한 측량기/표적간에 시통이 확보되어야만 측량이 가능하다. 시통이 확보되지 않는 경우에는 장애물을 우회하여 측량을 실시하거나, 처리 가능한 장애물(나무 등)의 경우에는 이를 처리 후 측량을 실시한다. 우회 측량의 경우는 이에 따른

라. 인력확보

측량 작업은 주로 야외에서 이루어지며, 기준점이 대부분 야산의 높은 곳에 위치하고, 측량요원은 숙련된 기사 또는 기능사가 필요한 관계로 신규 인력확보에 애로가 있다. RTK나 DGPS의 경우, 일반 측량과는 달리 측량 결과에 개인차에 의한 오차가 발생할 소지가 적고 신규 인력확보에 도움이 된다.

참고문헌

1. Allison T, Griffioen T, Talbot N, 1994. Acceptance of Real-Time Kinematic by the Professional Surveyor, Trimble Navigation, Sunnyvale, CA., U.S.A.
2. Hurn J, Differential GPS explained, Trimble Navigation, 1995.
3. Hurn J, GPS, A guide to Next Utility, Trimble Navigation, 1993.
4. Talbot N, 1992. Recent Advances in GPS Hardware & Software, Presented at the National Conference on GPS Surveying, conducted by the Dept. of Land Information Royal Melbourne Institute of Technology, and the School of Surveying, University of New South Wales, Sydney.
5. The Institute of Navigation, Global Positioning System, Vol. I, 1980. The Institute of Navigation, Alexandria, VA, U.S.A.
6. The Institute of Navigation, Global Positioning System, Vol. II, 1984. The Institute of Navigation, Alexandria, VA, U.S.A.
7. The Institute of Navigation, Global Positioning System, Vol. III, 1986. The Institute of Navigation, Alexandria, VA, U.S.A.
8. The Institute of Navigation, Global Positioning System, Vol. IV, 1993. The Institute of Navigation, Alexandria, VA, U.S.A.
9. Trimble Navigation, Target : Structures Software User Guide, Trimble Navigation, 1996.
10. Wübbena G, 1989. The GPS Adjustment Software Package-GEONAP-Concept and Models, In Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning. DMA, NGS, N. M. New Mexico State University, Vol 2, pp. 452~261.

약 력

강 동 호



1973. 한국해양대학 항해학과 졸업
 1977. 연세대학교 경영대학원 경제학과 졸업
 1979. 협성선박(주) 동경사무소장
 현재 (주)지오시스템 대표이사
 웨더뉴스주식회사 대표이사