

GPS 측량실무

Introduction to GPS(The Global Positioning System)

차 득 기

tcha@kcsc.co.kr

목 차

제1장 GPS개요 5

1.1 GPS개요	5
1.2 GPS부분(Segment)	5
1.3 GPS위성 세대	6
1.4 현재의 GPS위성 배치	6
1.5 제어국	7
1.6 GPS기본 아이디어	7
1.7 GPS에 의한 위치서비스	8
1.8 왜 GPS를 사용하는가?	8

2장 GPS세부 9

2.1 GPS신호체계	9
2.2 GPS현대화	10
2.3 GPS수신기 형태	10
2.4 시간(Time)시스템	11
2.5 의사거리(Pseudorange)측정	11
2.6 운송파(carrier-phase)측정	12
2.7 사이클슬립(단절)	12
2.8 GPS관측 선형조합	12

3. GPS오차와 편위(bias) 14

3.1 GPS위성력오차	14
3.2 선택적가용성(SA:Selective Availability)	14
3.3 위성과 수신기 시계오차	15
3.4 다중경로(multipath) 오차	16
3.5 안테나 과형중심의 편위	16
3.6 수신기측정 잡음	17
3.7 전리충 지연	17
3.8 대기권 지연	18
3.9 위성의 기하적배치	18
3.10 GPS관측해석	19
3.11 사용자 거리오차	20

4장 측지원자, 좌표계 및 투영 20

4.1 측지원자(Datum)란?	20
4.2 측지좌표계	21
4.2.1지상좌표계	21
4.3 측지원자 변환(Datum Transformations)	22
4.4 지도투영(Map Projections)	23

4.4.1 TM투영	23
4.4.2 UTM(Universal Transverse Mercator Projection)투영	24
4.4.3 개정 TM투영	24
4.5 높이체계	25

제5장 GPS측량모드 25

5.1 GPS점측위	25
5.2 GPS상대측위	26
5.3 GPS정지측위	26
5.4 신속(Fast, Rapid)스태틱측량	27
5.5 스탑 앤드 고 (Stop-and-Go)측량	28
5.6 RTK-GPS측량	28
5.7 실시간 차등GPS측위(Real-time differential GPS)	29
5.8 실시간 대 후처리모드(Real Time Versus Postprocessing)	29

6. 앰비큐티 해석기술 30

6.1 안테나 교환(교체)법	30
6.2 OTF 앰비큐티 해석	31
6.3 GPS데이터처리과정	32
6.4 기선해석	32

7. GPS데이터와 보정서비스 33

7.1 데이터 서비스	33
7.2 DGPS비콘 방송체계	34
7.3 광대역 DGPS시스템	34

제 8장 GPS표준양식 36

8.1 RINEX양식	36
8.2 NGS-SP3양식	37
8.3 DGPS서비스 RTCM SC-104표준	37
8.4 NMEA0183양식	38

제 9장 GPS 통합 39

9.1 GPS/GIS통합	39
9.2 GPS/LRF시스템	39
9.3 GPS/방향인식(Dead Rocking) 통합시스템	40
9.4 GPS/INS 통합시스템	40
9.5 GPS/Pseudolite 통합시스템	41
9.6 GPS/Cellular통합시스템	41
9.7 GPS/TS통합시스템	42
9.8 GPS/항공사진측량통합	42

9.9 GPS/Lidar/Laser Scanner 43

10. GPS 응용 43

- 10.1 GPS산업시설 43
- 10.2 GPS에 의한 임야 및 천연자원분야 응용 44
- 10.3 정밀경작GPS응용 44
- 10.4 토목분야 GPS응용 44
- 10.5 구조변위 모니터링 GPS응용 45
- 10.6 노천광에 있어서 GPS응용 45

11. 기타 위성항행시스템 46

- 11.1 GLONASS 위성시스템 46
- 11.2 중국지역 항행시스템 Beidou 47
- 11.3 지역적 증설(Augmentations) 47
- 11.4 미래유럽 위성항행시스템 갈리레오(Galileo) 48

제1장 GPS개요

GPS(Global Positioning System)는 미군의 군사적인 목적을 충족시키기 위하여 1970년대 초에 미 국방부(DoD:Department of Defence)에 의하여 군사용 위성항행시스템으로 개발되었다. 하지만 이후에 민간인도 사용할 수 있도록 개방하여 현재 군사적인 목적과 민간인 모두 활용이 가능하다. GPS는 위성에서 지상으로 1방향으로 신호를 제공하여 그 사용자는 GPS위성신호만 수신하면 되기 때문에 그 사용자의 수에 제한이 없으며 전 세계 어느 곳에서 언제든지 연속적으로 위치와 시간에 대한 정보를 제공한다.

1.1 GPS개요

GPS는 6개의 궤도에 각각 4개의 위성으로 이루어져 총 24개로 구성되며 완전한 위성배치는 1993년 7월에 이루어졌고 1993년 12월 8일에 IOC에서 이를 공식적으로 발표하였다. 이러한 위성의 배치는 전 세계 어디에서나 4~10개의 위성신호를 수신할 수 있도록 한 것이다. 다음 장에서 다루겠지만 위치정보를 얻기 위해서는 최소 4개의 위성신호만 수신하면 된다. GPS위성궤도는 최대 이심률이 약 0.01의 타원으로 거의 원에 가까우며 적도에 대하여 약 55°로 기울어져 있다. GPS궤도의 장축 길이는 약 26,560km로 지구표면으로부터의 높이는 약 20,200km 상공에 있다. GPS궤도의 주기는 하루에 2바퀴에 해당되는 약 12시간(11시간 58분)이며 1995년 7월 17일에 완전하게 가동되는 것을 공식적으로 발표하였다. 이것은 실험적인 항행용 위성이 아닌 가동위성으로 최소 24개의 GPS위성이 운영되었다. 실제로 GPS가 완전하게 가동되는 위성의 수는 FOC(Full Operational Capability)로 24개 보다 많다.



그림 1.1 GPS배치

1.2 GPS부분(Segment)

GPS위성시스템의 구성은 크게 3부분으로 우주부분(space segment), 관제부분(control segment) 및 사용자부분(use segment)으로 그림과 같이 구성되며 우주부분은 앞에서 설명한 바와 같이 24개의 위성으로 구성되어 있다. 각 위성은 운송파로 알려져 있는 2개의 파장과 2개의 코드 및 항행메시지를 가진 신호를 방송한다. 코드와 항행메시지는 2진 파형이 운송파에 겹쳐서 모듈화로 되어 있으며 운송파와 코드는 주로 GPS위성에서 사용자의 수신기까지 거리를 결정하는데 사용된다. 항행메시지는 위성의 위치정보와 시간 등의 정보를 가지며 위성에 내장된 고정밀의 원자시계에 의하여 제어된 신호를 방송하며 이러한 신호에 대해서는 제2장에서 설명할 것이다. 제어부분은 미국 콜로라도스프링스에 있는 주(主)제어국(MCS: Master Control Station)과 전 세계에 걸쳐 있는 추적(감시)국으로 구성되어 있다. 제어국의 가장 커다란 역할중의 하나는 GPS위성의 위치를 결정하고 예측하기 위한 것으로 시스템통합, 대기자료, 위성력 및 기타 배치에 관한 정보를 수집한다. 이러한 것들은 S-밴드와 연계하여 GPS위성으로부터 취합 또는 전송한다. 사용자부분은 군사 및 민간 모든 부분에 해당되는 것으로 GPS안테나와 수신기를 연결하여 사용자가 위성신호를 수신하게 되면 전 세계 어디에서나 찾고자 하는 위치를 알 수 있다. 현재 전

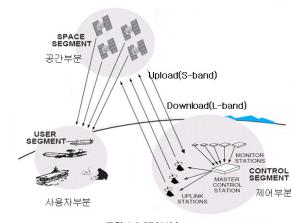


그림 1.2 GPS부분

세계의 모든 GPS사용자는 이러한 제반 시설을 무료로 사용한다.

1.3 GPS위성세대

GPS위성은 그림1.3에서와 같이 블록I로 알려져 있는 11개의 위성으로 초창기에 구성되었으며 1978년 2월 22일에 발사된 최초의 GPS위성과 마지막으로 1985년 10월 9일에 발사된 위성군(群)이다. 블록I 위성은 주로 실험목적으로 발사된 것으로 궤도면이 적도에 대하여 63° 로 기울어졌으며 다음 세대에 수정이 되었다. 블록I 위성의 수명주기(life cycle)를 4~5년으로 예측하였는데 그중 몇 개는 10년 이상 가동되었으며 1995년 11월 8일에 최종적으로 서비스를 마감하였다. 다음 세대는 잘 아는 바와 같이 블록II/IIA로 블록IIA는 블록II보다도 개선된 버전으로 블록II가 14일간의 항행 메시지를 저장할 수 있는 것에 비하여 블록IIA는 보다 개선되어 180일간의 데이터를 저장할 수 있다. 이것은 블록II와 블록IIA는 연속적으로 지상의 지원 없이 각각 14일과 180일간 운행할 수 있다는 의미다.

블록II와 블록IIA는 총 28개의 위성으로 1989년 2월에서 1997년 11월에 발사되었으며 현재 23개의 위성이 서비스를 제공하고 있다. 블록II와 블록IIA는 블록I과 달리 적도면에 대하여 55° 로 기울어져 있다. 블록II와 블록IIA의 예측한 수명은 7.5년이지만 대부분 이 수명을 초과하여 운행되고 있다. 국가나 특수한 단체의 안전을 위하여 선택적 가용성(SA: Selective Availability)과 암호해독(AS:Anti-Spoofing) 기능을 블록II와 블록IIA 위성에 추가하였다. 새로운 GPS세대는 블록IIR로 현재 발사 중에 있으며 기존의 블록II와 블록IIA에 호환될 수 있도록 대체하게 되며 이러한 개신은 사용자 측에도 직접적으로 영향을 주게 된다. 블록IIR은 21개의 위성으로 약 10년의 수명으로 설계하였으며 기대 정확도가 향상되어 지상에서 수정이나 정확도의 저하없이 최소한 180일간 가동할 수 있게 된다. 단독 항행 GPS세대로 위성상호간 측정능력이 있게 되어 이들이 가능하며 뿐만 아니라 120일간 위성력과 시간자료가 누구나 항행을 할 수 있도록 지상 관제국에 의하여 개신시킬 수 있다. 더 많은 기능들이 최근 2003년 초에 발사한 12개의 블록IIR GPS현대화 프로그램에 의하여 추가되었고 2001년 7월에 블록IIR이 성공적으로 발사되었다. 블록IIR은 다른 GPS시스템이며 이것은 33개의 GPS위성으로 구성되는 블록IIF(follow-on) 차기시스템으로 그 수명은 15년이 될 것이다. 블록IIF 위성은 GPS위치 정확도를 획기적으로 개선하는 현대화 프로그램에 의한 새로운 기능을 가지게 될 것이다. 초기 블록IIF 위성은 2005년에 발사하였다.

1.4 현재의 GPS위성 배치

2001년 7월 GPS배치는 5개의 블록II, 18개의 블록IIA 및 블록IIR 위성으로 구성되어 있다.(표1.1 참고) 이것은 총 29개의 위성으로 일반적으로 생각하는 24개에 5개의 위성이 더 배치되어 있는 것으로 이제는 블록I 위성은 더 이상 작동되지 않는다. GPS위성은 6개의 궤도면 A~F로 표시되어 배치하고 있으며 현재에는 1궤도에 4개 또는 5개의 위성이 배치되어 운행되고 있다. 표1.1에서 나타난 바와 같이 각 궤도면에 대하여 4개를 가진 C-타원 궤도를 제외하고 모두 5개의 위성을 가지고 있다. 이러한 위성들은 다양한 체계에 의하여 확인된다.

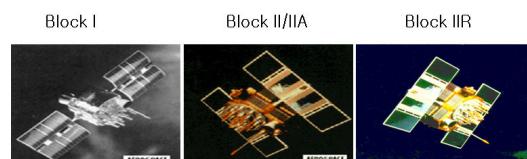


그림 1.3 GPS위성세대

1.5 제어국

GPS제어국은 그림과 같이 주제어국(MCS:Master Control Segment)과 전 세계에 걸쳐있는 지상 감시국으로 망을 형성하고 있다. 주 제어국은 미국의 콜로라도 스프링스에 있으며 전 시간에 걸쳐 관리 및 통제하는 중앙처리시설이며 5개의 모니터국은 주 제어국이 있는 Colorado Springs와 Hawaii, Kwajalein, Diego Garcia 및 Ascension Island이다. 이들의 좌표위치는 매우 정확하게 알고 있는 지점들이다. 각 모니터국은 초정밀도의 GPS수신기를 갖추고 있으며 세슘 진동자가 있어 시야각에 있는 모든 GPS위성을 연속적으로 추적할 수 있다. 3개의 감시국(Kwajalein, Diego Garcia, Ascension Island)은 GPS위성에 대하여 지상정보를 송신할 지상 안테나를 갖추고 있다. 모든 감시국과 지상제어국은 주제어국(MCS)으로부터 무인원격으로 조정되며 감시국에서 수집된 GPS관측자료는 처리를 위하여 중앙통제소로 전송된다. 처리결과는 위성예측 항행자료 및 이에 관련된 정보와 시간에 의한 위성기능, 위성력 등이다. 생성된 항행자료는 S-밴드를 통하여 GPS위성으로 전송하기 위하여 하나의 지상국에 보내어 진다. GPS시스템의 종합적인 감시는 주제어국(MCS)의 주요한 임무 중에 하나이다. 위성상태는 MCS에 의한 위성유지 또는 운행정정지에 따라서 비(丕)건강상태를 설정하게 된다. 이러한 위성의 건강조건은 거의 실시간으로 위성항행메시지에 한 부분으로 나타나게 된다. GPS위성의 항행계획이나 종료는 NANU(Notice Advisory to Navistar Use)로 표시되며 그 예로 미연방연안감시국(U.S. Coast Guard Navigation Center)과 같은 공공기관으로부터 구할 수 있다.

1.6 GPS기본 아이디어

GPS의 기본개념은 아주 간단한 것으로 이미 그 위치를 알고 있는 3개의 위성으로부터 지구상 수신기까지의 거리로서 우리가 잘 알고 있는 측량방법중의 하나인 후방교회법과 같이 간단히 계산된다. 하지만 위성의 위치와 위성으로부터 거리를 어떻게 알 수 있을까? 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 각 GPS위성은 2개의 운송파와 2개의 코드 및 항행메시지로 구성된 마이크로 라디오파를 연속적으로 방송한다. GPS수신기의 전원을 켜면 수신기 안테나를 통하여 신호를 잡아내고 GPS신호는 내장된 소프트웨어에 의하여 처리된다.

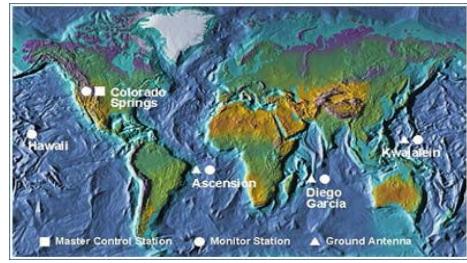


그림 1.4 GPS제어

신호처리 결과 중에는 의사거리로 알고 있는 수치코드와 항행메시지에 의한 위성좌표로부터 거리로 이루어져 있다. 이론적으로는 단지 추적위성 3개로부터 연속적인 거리만 알고 있으면 된다. 이 경우 수신기위치는 3개의 구면거리에 의한 교차점이 된다. 이는 그림1.5에서와 같이 위성을 중심으로 하는 수신기까지의 각 반경에 의한다. 하지만 실제적으로는 수신기의 시작편차 때문에 4개의 위성이 필요하다. 보다 세부적인 내용은 5장에서 다루도록 한다. 앞에서 설명한 GPS측량방법으로 얻을 수 있는 95%수준의 정확도는 수평 100m, 수직(높이) 150m 및 시간 340ns이다. 이렇게 정확도가 낮은 이유는 소위 선택적 가용성(SA:Selective Availability) 때문으로 허가를 얻지 않은 사람에게 얻을 수 있는 실시간적인 정확도를 의도적으로 낮춘 것이다. 현재에는 클린턴 대통령의 결정으로 SA를 해제하였기 때문에 95%신뢰수준으로 약 22m정도로 정확도가 향상되었다. GPS측정위치 정확도를 높이기 위하여 소위 차등(differential)측위법을 사용하게 되는데 이것은 2대의 수신기로 동시에

동일한 위성신호를 수신하는 것으로 이 경우 1cm에서 1m범위내로 정확히 측정할 수 있다. 또 다른 GPS사용자는 다양한 방법으로 사용자의 속도를 결정하는 부분도 있다. 이것은 GPS수신신호의 도플러 주파수 측정에 의한 방법으로 도플러 변위차는 위성과 수신기간의 이동에 의하여 일어나기 때문이다. 또한 GPS는 항공기와 선박 같은 이동체의 움직이는 방향과 표정으로 기준시스템에 대하여 상대적으로 3차원축의 3가지 회전으로 설명된다. 최소한 하나의 수신기에 3개의 안테나를 비선형으로 배치하여 동체의 움직임을 결정하고 수신기에 의하여 취득된 데이터를 처리하여 동태(動態)를 구할 수 있다.

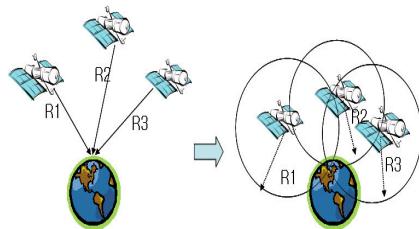


그림 1.5 GPS측량의 기본개념

1.7 GPS에 의한 위치서비스

초창기 GPS는 군사적인 목적으로 개발되었지만 차후에는 민간인도 사용할 수 있도록 개방되었다. 하지만 군사적인 장점을 얻기 위하여 미 국방부(DoD)는 GPS위치와 시간에 대하여 정밀위치서비스 PPS(Precise Position Service)와 표준위치서비스 SPS(Standard Position Service)의 2가지 수준으로 구분하여 서비스를 제공하고 있다. PPS는 가장 정확한 위치, 시간측정 서비스로 이는 미군과 같이 허가 받은 P코드 수신자만 서비스를 받게 된다. PPS에 의한 기대 정확도는 95%신뢰도로 수평 16m, 수직 23cm를 가진다. 하지만 SPS는 PPS보다 정확도가 낮기 때문에 2차로 방송되는 민간 또는 비 허가자인 전 세계 모든 사용자에게 무료로 이용할 수 있는 C/A코드로 GPS신호를 사용한다. 처음에는 SPS에 의하여 95%신뢰도에 따라서 SA에 의하여 수평 100m, 수직 156m의 위치 정확도를 얻을 수 있었으며 최근 미국 대통령의 SA해지정책 결정으로 SPS위치측정도가 PPS수준으로 높아졌다.

1.8 왜 GPS를 사용하는가?

GPS는 개발초기부터 측량과 항행분야에 혁명을 가져왔다. 비록 초창기에는 군사적 목적으로 계획되었지만 민간부분에서 더 많이 그리고 더 빨리 성장하였다. 앞으로 GPS응용분야는 우리의 상상만이 한계라고 할 정도이다. 측량분야에 있어서 GPS는 많은 이용부분에 기존 측량방법을 대체하게 되었다.

GPS측량은 비용면에서 가장 효율적인 방법으로 소위 RTK-GPS의 경우 기존의 측량방법에 비하여 최소 50%비용을 절감할 수 있다. 생산성과 시간절감에 있어서 RTK-GPS의 경우 시간을 75%정도 줄일 수 있다. 사실상 GPS는 측정점과 시통이 되지 않아도 되며 이점은 기존 방법에 비하여 매우 매력적인 것이다. 도심지역과 같이 GPS신호가 방해받는 경우에는 기존방법과 함께 병용함으로써 성공적인 작업을 할 수 있다. 도시, 해양, 항행 등 GPS응용분야는 다양하며 자동차추적이나 항행부분과 같은 응용분야는 급속도로 성장하고 있다. 대다수의 GPS사용자는 자동차항행이 될 것으로 기대되며 앞으로 장비유도와 제어분야에서 위험이 많은 곳에 원격으로 조정하게 되어 안전하고 효율적으로 작업을 할 수 있게 될 것이다. 최근 미국은 GPS현대화를 결정, SA를 없앰으로 많은 이용자에게 효율적으로 제공되고 있다. GPS는 일반측량과는 달리 측정점간 시통이 요하지 않으며 GPS측량의 정도가 높다. 뿐만 아니라 기존의 측량보다 속도가 빠르고 GPS성과는 WGS-84로 세계의 공통된 좌표계로 3차원 좌표성과가 출력된다. GPS측량이 기존의 측량과 비교하여 평면이 아닌 수학적인 타원체

9 GPS측량실무

(WGS-84)상에서의 점들간의 좌표차를 계산하는 것이 기준의 방법과 비교하여 커다란 차이점이다. 이렇게 상대적인 측정점간 계산은 사용자 입장에서 보면 UTM이나 TM과 같은 고유의 국가좌표체계에서 사용하기 위하여 좌표변환이 필요하게 된다. GPS측량업무는 주로 GPS데이터 취득계획의 수립, 수신기에 의한 위성신호의 취득, 측량방법 모드에 따른 기선의 해석, 최종적인 성과계산을 위한 기선망의 조정처리 및 좌표계의 변환과 기준의 기준점망과 상호 연결하는 단계로 이루어진다. 따라서 대부분의 소프트웨어 메뉴의 구성은 단위업무에 대한 사업관리, 현장 관측계획, GPS자료수신 및 변환, 기선해석, 기선망의 망조정처리, 기선해석 결과에 대한 성과보기, 공통점에 대한 좌표변환변수의 산출과 성과출력 및 시스템환경 설정으로 되어 있다. 프로젝트란 일련의 작업단위로 완결할 수 있는 것이다. 이것은 측량내용에 따라서 경계측량, 분할측량이나 대상 지구에 따라 구분하기도 한다. 이것은 전적으로 사용자가 결정하여야 하는 것으로 GPS측량에서는 일반적으로 작업그룹으로 정의하는 것으로 기선처리를 위한 작업모드나 망조정처리와 연계된다. 사업관리는 일자별로 업무를 처리하게 된다.

2장 GPS세부

GPS로 위치를 측정하거나 찾기 위해서는 GPS구조와 측정하는 방법을 약간 알아야 한다. 즉 GPS수신기를 통하여 수신한 신호는 GPS형태에 따라서 본질적으로 성능에 한계가 있다는 것을 알아야 한다. 뿐만 아니라 측정지수, 거리오차, 편위와 같은 측정값은 GPS관측을 조합하여 제거하거나 줄일 수 있다. 이 장에서는 이러한 문제에 대하여 구체적으로 다루고자 한다.

2.1 GPS신호체계

앞장에서 언급한 것처럼 각각의 GPS위성은 2개의 디지털 코드와 항행메시지에 의하여 변조된 2개의 운송파(sine:정현파)로 이루어진 마이크로 라디오파를 방송한다. 2개의 주파수는 1575.2MHz(L₁파)와 1227.6MHz(L₂파)로 만들어져 각각의 파장은 약 19cm와 24.4cm로 빛의 속도와 파장의 관계를 가지고 있다. 2개의 운송파를 이용하여 주요한 전리층 지연과 같은 오차를 보정할 수 있다. 모든 GPS위성은 동일한 L₁과 L₂운송파를 방송한다. 하지만 코드변조의 경우 각 위성마다 차이가 있어서 신호간섭을 크게 최소화할 수 있다. 2개의 GPS코드는 저급 CA코드와 정밀의 P코드라 부르며 각 코드는 0과 1의 이진수 코드로 비트 또는 칩으로 이루어져 있다. 코드는 주로 신호가 무작위처럼 보이기 때문에 PRN으로 알려져 있다. 하지만 실제적으로 코드들은 수학적인 알골리즘에 의하여 생성된다. 현재 C/A코드는 L₁운송파에만 변조되어 있으나 P코드는 L₁과 L₂파에 모두 변조되어 있다. 이러한 변조를 이진모듈이라고 부르며 이것은 운송파가 0에서 1 또는 1에서 0코드값이 바뀔 때에 180°이동되기 때문이다. C/A코드는 1,023 이진수의 연속으로 매 1/1000초마다 반복된다. 이것은 C/A코드 칩핑율(chipping rate)이 1.023Mbps임을 뜻한다. 다르게 나타내면 1비트의 길이는 약 1ms 또는 300m에 해당되는 것으로 각 위성은 독특한 고유의 C/A코드를 가지기 때문에 어느 GPS위성이 코드를 방송하였는지 알 수 있다. C/A코드에 의한 거리측정은 P코드에 비하여 상대적으로 정확도가 떨어진다. 하지만 사용자 입장에서 보면 P코드 처리보다 훨씬 간단한 것이 장점이다. P코드는 266일을 주기로 반복되는 매우 긴 이진수로 C/A코드(1,023Mbps)보다는 10배나 빠르다. 시간 배수로 P코드가 266일 반복되어져 10.23Mbps P코드는 약 2.35×10^{14} 칩으로 연속된다. 칩으로 연속된다. 266일 코드 길이는 38세그먼트로

나누어져 각 1주가 된다. 각 위성은 1주 단위로 고유한 P코드를 방송하는데 이것은 매주 토요일 저녁부터 일요일 자정을 지나는 한 밤중에 초기화 된다. 나머지 6세그먼트는 다른 목적으로 사용할 수 있도록 예비해 둔 것이다. 보통 P코드는 고유한 1주 세그먼트에 의하여 구분되며 예로서 GPS위성 ID인 PRN20 GPS위성은 PRN코드의 20번째 주의 것이 된다. P코드는 초기 군사적 목적으로 설계되었으나 1994년 1월 31일부터 모든 사용자에게 허용하였으며 P코드를 암호화시키면 미지의 W코드가 된다. 이렇게 암호화된 코드를 Y코드라 부르며 P코드와 동일한 칩핑율을 가지며 이러한 암호를 해독하는 것을 AS(Anti-Spoofing)라고 한다.

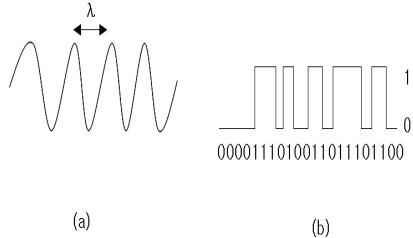


그림 2.1 (A) 정현(SIN)파와 (B) 디지털 코드

2.2 GPS현대화

현재의 GPS신호체계는 1970년대 초에 결정된 것으로 이제 30년이나 지났다. 앞으로 30년 동안의 GPS배치는 블록ⅡR 위성체계를 갖추기 위하여 이미 발사하였으며 블록ⅡF와 블록Ⅲ 위성까지도 가능할 것이다. 이렇게 GPS의사 결정자들은 미래의 요구에 맞게 신호체계의 수정과 새로운 GPS배치체계와 같은 다양한 사항들을 연구하였다. GPS현대화 프로그램의 목적은 신호를 중복되게 제공하여 위치정확도를 향상시키고 신호의 가용성 및 시스템을 통합하려는 것이다. GPS현대화 계획에는 L₂파에 민간의 C/A코드를 추가하는 것과 L₁과 L₂파에 새로운 2개의 군사용(M)코드를 포함하는 것이다. 이러한 코드들이 최초 12개의 블록ⅡR에 추가되어 2003년 초부터 발사하였다. L₁과 L₂ 2개의 파장에 민간용 코드인 C/A코드가 사용 가능하여 사용자는 한대의 GPS수신기만으로도 독립적으로 대기층 상층부에 있는 오차의 주요한 원인인 전리층의 영향을 보정할 수 있다. (제3장에서 세부적으로 설명함) SA가 종료됨에 따라서 충분한 위성수의 신호를 수신할 수 있다면 임의대로 측정하더라도 95%신뢰도로 수평위치가 8.5m정확도 또는 그 이상으로 측정할 수 있다. 즉 L₂에 C/A코드가 부가됨에 따라 민간인이 임의로 GPS를 측정하더라도 생활의 안전을 위한 충분한 정확도를 얻을 수 있다. 이것은 주로 GPS L₂밴드 근처에 지상레이더의 방해요소가 잠재해 있기 때문이다.

2.3 GPS수신기 형태

1980년대에는 GPS장비 시장에 한 회사만이 판매하였으며 그 당시 가격이 수백만 달러나 되었다. 하지만 2001년 “GPS world”잡지에 따르면 500개 이상의 업체로 상당히 증가하였다. 현재 수신기의 가격은 간단한 휴대용의 경우 100달러에서 정밀한 측지용의 경우 15,000달러 정도가 된다. 하지만 기술이 갈수록 향상되어 가격은 내려가게 될 것이다. GPS수신기는 안테나를 내장 또는 외장으로 위성에서 오는 신호를 전류에너지로 변환하여 수신기에서 처리하게 된다. 일반적으로 상업용 GPS수신기는 GPS신호를 수신하는 성능에 따라서 4가지 유형으로 나누어지는데 여기에는 1주파 코드수신기, 1주파 운송파 완화(carrier-smoothed) 코드수신기, 1주파 코드-운송파수신기 및 2주파수신기로 구분한다. 1주파 수신기는 L₁파만 사용할 수 있는데 반하여 2주파수신기는 L₁과 L₂파 모두 처리할 수 있다. 그림2.2는 다양한 GPS수신기형태를 나타내고 있다. 또한 GPS수신기는 1~12까지 위성신호를 수신할 수 있는 채널의 수에 따라서 구분하기도 한다. 훌륭한 수신기는 다중채널로 각 채널마다 각각의 위

11 GPS측량실무

성신호를 연속적으로 추적할 수 있다. 또한 비용문제 뿐만 아니라 사용의 편리성, 전력소모, 크기와 무게, 내·외부 데이터 저장량, 호환성 및 다중경로 처리기능 등은 수신기를 구입할 때 고려할 사항이다. 초기 GPS수신기 형태는 1주파코드 수신기로 C/A코드만 이용하여 의사거리를 측정하였으며 다른 것은 측정할 수 없었다. 가장



그림 2.2 GPS수신기

저렴하고 정확도가 낮은 것은 레저용으로 사용되고 있다. 2번째 수신기형은 1주파 운송파코드완화 수신기로 C/A코드만 이용하여 의사거리를 측정하는 것이다. 하지만 이러한 수신기는 높은 운송파 해석과 코드에 의한 고정도 의사거리 측정으로 해석력을 개선할 수 있다. 1주파코드와 운송파수신기는 원시C/A코드 의사거리, L₁운송파 측정 및 항행메시지를 출력한다. 뿐만 아니라 이 수신기형은 위에서 언급한 수신기의 기능을 다 가지고 있다. 2주파 수신기는 가장 정확하고 값이 비싼 수신기형이다. AS가 작동되기 전 2주파수신기는 L₁과 L₂상의 C/A코드와 P코드 및 항행메시지와 같은 모든 GPS신호를 출력할 수 있다.

2.4 시간(Time)시스템

GPS로 위치를 측정할 경우에 시간의 역할은 대단히 중요하다. 제1장에서 설명한 것과 같이 GPS신호는 정확한 시간장치인 위성의 원자시계에 의하여 조정되며 수신기로부터 위성까지의 거리는 수신기 내장시계와 GPS시계에 의하여 계산된다. 또한 GPS시간측정시스템은 시계를 동기화 하는데 사용한다. 전 세계적으로 다양한 목적의 시계시스템이 사용되고 있으나 GPS사용자는 세계공통시(UTC: Coordinated Universal Time)와 GPS시간이 가장 중요하다. UTC는 국제원자시계(TAI:International Atomic Time)를 근거를 하는 것으로 TAI시간은 공통시로 전 세계 여러 곳에 있는 시간연구소의 시계에 의하여 만들어지는 시간과 독립적으로 계산한다. 하지만 측량과 항행에 있어서 시간은 지구의 회전과 관계가 있는 것으로 원자시를 필요로 하는 것은 아니다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 UTI로 지구회전을 측정하는 시간 UTI시계와 0.9초 내에 일치하도록 하다가 오차가 증가하여 윤초가 되면 UTC를 경우에 따라서 1초를 조정시킨다.

2.5 의사거리(Pseudorange)측정

의사거리는 GPS수신기와 GPS위성간의 거리를 측정한 것으로 위치계산에 사용된다. P코드와 C/A코드는 의사거리측정에 사용되며 GPS거리 또는 의사거리 처리과정은 다음과 같다. 즉 위성과 수신기의 양측 시계신호를 만들어서 완전히 동기화시킨다. 위성으로부터 PRN코드가 방송되면 수신기는 위성코드를 정확하게 이를 복제시킨다. 자주 우주공간상 통과신호의 경로시간에 맞는 방송코드를 수신기에서 찾게 된다. 방송코드와 복제코드를 비교하여 수신기는 신호통과 시간을 측정할 수 있다. 이러한 이동시간에 빛의 속도(299,729,458m/s)를 곱하면 위성에서 수신기까지의 거리가 계산된다. 그림2.3은 의사거리 측정치를 설명한 것이다. 불행하게도 이것은 수신기와 위성시계에 의하여 추정한 값으로 정확하게 동기화된 것이 아니다. 실제적으로 측정한 거리에는 여러 가지의 다른 오차와 편위 및 GPS위성과 수신기 시각오차 등의 에러를 포함하고 있다. GPS는 민간용 C/A코드로 거리를 측정할 경우 군사용 P코드보다 정확도가 떨어진다. 따라서 C/A코드에 의한 측정정도는 300m이고 P코드는 이보다 10배 높은 정확도이다. 하지만 이제는 수신기 기술이 개선되어 2개의 코드로부터 거의 같은 정확도를 얻을 수 있다.

2.6 운송파(carrier-phase)측정

또 다른 방법으로 위성까지의 거리를 운송파로부터 측정 할 수 있다. 거리는 간단하게 위성과 수신기까지 완전파의 수와 잘려진 부분파를 더하여 파장의 길이를 곱하면 된다. 이러한 거리측정은 코드로 측정하는 것보다 정확하게 측정 할 수 있는데 사실 이것은 운송파의 파장이 $L_1=19\text{cm}$ 로 코드보다 매우 작기 때문이다. 하지만 한 가지 문제점은 운송파는 완전한 정현(sine)파로 모든 주파가 동일하다. 따라서 GPS수신기는 다른 사이클과 차이가 없다. 달리 표현하면 GPS수신기의 전원을 켜면 바로 위성과 수신기사이 완전한 파장의 수를 결정할 수 없다. 다만 정밀하게 2 π 보다 작은 주파수의 절단부분만 측정할 수 있다. 반면에 초반부 완전파의 수는 미지수 또는 모호정수 상태이다. 따라서 이러한 것을 초반부 사이클모호정수 또는 모호정수 바이어스라고 알려져 있다. 다행하게도 수신기는 스위치를 켜고 나서 파장의 변화를 추적할 수 있어서 계속적으로 모호정수는 변화하지 않고서 신호를 놓치지 않을 경우를 제외하고 그대로 남아 있게 된다. 초기에 모호정수가 정해진다면 정확한 위치를 계산할 수 있다. 높은 고정밀의 위치는 상대측위방법으로 실시간 또는 후처리의 방식으로 구할 수 있지만 2개의 수신기를 동시에 동일한 위성신호를 수신하여야 한다. 이러한 모호정수를 구하는 다양한 기술과 방법에 대하여는 제5, 6장에서 다루도록 한다.

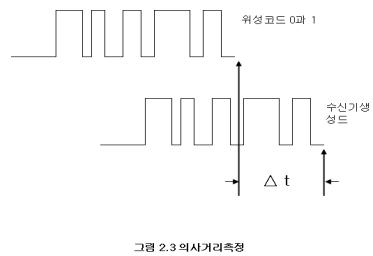


그림 2.3 의사거리측정

2.7 사이클슬립(단절)

사이클슬립은 일시적인 신호의 단절에 의하여 사이클 정수에 의한 GPS운송파측정에서 비연속성 또는 점프라고 정의한다. GPS신호의 단절은 빌딩, 교량, 수목과 같은 다양한 물체에 의하여 GPS신호가 장애를 받아서 생긴다.(그림2.5) 이 때 문에 GPS신호가 약해지고 신호잡음이 생긴다. 즉 라디오 전파의 장애, 전리층의 교란, 수신기이동도 신호단절의 원인이 된다. 사이클슬립은 하나 또는 그 이상 GPS신호에 영향을 미치게 되며 사이클슬립의 크기는 아주 작은 것부터 큰 것은 수백만 사이클 크기이다. 사이클슬립은 좌표계산에 따른 큰 오차를 줄이기 위하여 확인 및 수정을 하여야 한다. 이러한 수정방법에는 실제적으로 GPS관측을 중복되게 하는 소위 3중차 차등관측방법을 사용하여 처리할 수 있다. 하나의 사이클슬립은 단지 하나의 3중차에 영향을 주게 됨으로 3중차 관측군(群)에서 독특하게 튀는 것이다. 전리층활동과 같은 경우에는 추적하여 수정하기가 어렵지만 3중차 관측을 사용하여 보정할 수 있다. 즉 조정에 대한 잔차를 시각적으로 조사하여 남아 있는 사이클슬립의 위치를 찾는데 유용하다. 제3장에서 설명하는 제로베이스(zero base)테스터는 수신이 잘못되는 사이클슬립을 찾아내는 방법이다. 이 점검방법은 2개의 수신기로 하나의 안테나신호를 분리하여 각각의 수신기를 연결하여 관측하는 것으로 사이클슬립은 잔차의 조정시험으로 찾아낼 수 있다.

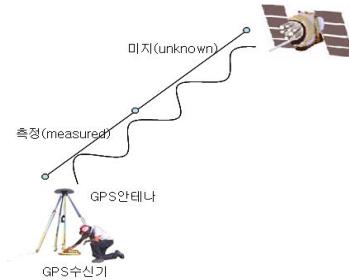


그림 2.4 운송파측정(Carrier-phase measurements)

2.8 GPS관측 선형조합

GPS측량은 많은 오차와 편의(bias)에 의하여 왜곡되어 완전히 모델화하는 것은 어렵다. (편의:제3장에서 구체적으로 설명함) 모델화되지 않은 오차와 편의로 1대의 GPS수신기만으

13 GPS측량실무

로는 정확한 위치의 측정이 어렵다. 그러나 GPS수신기의 오차와 편위는 인근지역에서 매우 유사하게 나타나게 되어 이것을 공제할 수 있다. 즉 수신기의 오차 부분은 GPS수신기를 조합하여 관측하면 간단히 제거할 수 있게 된다. 원칙적으로 GPS에러와 체계적인 오차인 편의에는 3가지 그룹이 있다. 즉 위성, 수신기, 대기에 관련된 것이다. 2개의 수신기로 동시에 수신하면 위성오차와 대기오차는 동일하거나 비슷한 에러를 수신하게 된다. 2개의 수신기를 최대한 가깝게 설치하면 오차나 편의가 더욱 비슷하게 발생한다. 따라서 이들은 2개의 수신기로 측정한 데이터 값에 차이가 있으면 위성오차와 대기오차는 급격히 줄어든다. 이에 대하여 제3장에서 설명하며 위성시계오차는 선형조합으로 단중차 수신기가 알 수 있다. 마찬가지로 하나의 수신기로 2개의 위성신호를 수신하면 시계오차는 동일하여 그 오차를 제거할 수 있으며 이 차이는 위성간의 단중차로 알려져 있다.

2개의 수신기로 2위성을 동시에 수신하면 2수신기간 단중차 관측이 만들어지며 서로 각기 다른 관측값에 이를 공제(감)하게 되는 것으로 소위 이중차라고 부른다. 이와 같이 선형조합으로 위성과 수신기의 시계오차를 제거하게 된다. 다른 오차들은 급격히 감소하게 되었을 뿐 아니라 이러한 관측으로 앰비규티(모호정수) 파라미터의 완전정수를 유지할 수 있다. 따라서 정확한 GPS위치 측량에는 운송파측정이 사용된다. 또 다른 중요한 선형조합은 2에포크(epoch) 이상의 2중차 관측차에 의한 3중차 측정이다. 앞장에서 설명한 앰비규티는 일정한 시간이 지나도 사이클슬립이 없으면 그대로 유지된다. 따라서 3중차가 되면 일정한 앰비규티 변수가 사라진다. 하지만 만약에 사이클슬립이 데이터에 있으면 단지 하나의 3중차(triple-difference)에만 남게 되어 일련의 3중차 자료 중에서만 튀어 나오게 되어 사라지게 되는 것이다. 이 때문에 3중차 선형조합이 사이클슬립을 찾아내는데 사용된다. 이러한 모든 선형조합은 운송파나 의사거리측정이던 1주파수로 구성된다.

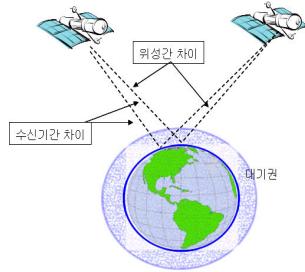


그림 2.6 GPS선형조합

3. GPS오차와 편의(bias)

GPS의 사거리와 운송파의 측정은 모두 다양한 형태의 우연오차와 체계적인 오차에 영향을 받게 된다. 이러한 오차들은 위성에 의한 것과 수신기 및 신호의 전달과정에서 대기굴절과 같은 것들로 분류된다. 그림3.1은 이러한 다양한 우연오차와 체계오차(편의)를 나타낸 것이다. PS위성에 의하여 발생하는 오차는 위성궤도력, 궤도운행오차, 시각오차 및 선택적 가용성에 의한 것들이다. 특히 SA(선택적 가용성)의 경우 미국방부가 인위적으로 자기만의 GPS 정확성을 이유로 일반인에게는 정도를 떨어뜨린 것이다. 하지만 2000년 5월 1일 자정부터 SA를 정지하였다. 수신기에 의한 오차로는 수신기시계오차, 다중경로, 수신기잡음, 안테나 파형에 의한 중앙 편의와 같은 것이 있다. 신호의 전달과정에서 생기는 오차로는 전리층과 대기층을 통과하면서 지연되는 것이다. 실제 진공상태에서만 GPS신호경로는 빛의 속도로 진행하는 것이다. 이러한 오차들 때문에 수신기위치에서 볼 경우 GPS위성과의 기하적인 GPS위치계산 정도에 영향을 주게 되는 것이다. 뿐만 아니라 위성의 배치가 그림3.1과 같이 넓게 퍼져있다면 보다 정확한 정도를 얻게 된다. 제2장에서 살펴본 바와 같이 부분적인 오차와 체계오차는 GPS관측을 적절히 조합하여 제거하거나 줄일 수 있다. 예를 들어 L_1 과 L_2 과 측정을 조합하면 전리층의 영향을 제거하게 되어 측정 정도를 높일 수 있다. 이 장에서는 주요한 GPS오차의 원인과 이들을 처리하는 방법에 대하여 논의하고자 한다.

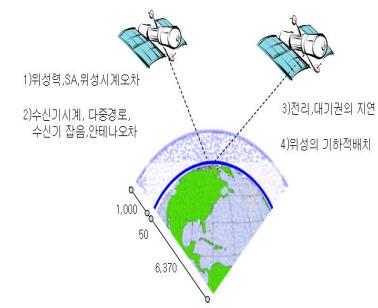


그림 3.1 위성오차와 체계오차(biases)

3.1 GPS위성력오차

시간을 이용한 GPS위치는 위성의 항행메시지로부터 구하는 것으로 지상국의 GPS관측에 의하여 예측된 것이다. 일반적으로 4시간 상당의 GPS데이터를 겹쳐서 각 1시간에 해당되는 위성궤도를 예측, 갱신하기 위한 부가적인 제어시스템이 사용된다. 이렇게 GPS위성운동을 모델링하여 예측하는 것이 완벽하지 않기 때문에 예측한 위성위치에 의한 오차가 발생하는데 이를 위성궤도력 오차라고 한다. 일반적으로 위성궤도력에 의한 거리오차는 2~5m에 이르며 SA의 경우 50m까지 이르게 할 수 있다. 위성궤도력과 위성시계오차 때문에 2가지가 합쳐서 2.3m(1σ)편차가 발생하게 된다. 위성력오차는 같은 위성을 사용하는 모든 사용자에게 동일하게 생기는 오차이지만 위성시야각이 다르면 사용자마다 달리 나타난다. 거리측정상 위성력 오차의 원인으로 다른 위치가 계산되는 것이다. 이것은 2개의 수신기로 특정한 위성을 연속적으로 측정하더라도 위성력 오차는 제거할 수가 없다. 하지만 2군데의 측정자간 위치간격을 좁게 함으로써 위성력에 따른 거리오차가 거의 유사하여 차등관측방법으로 제거할 수 있다. 상대위치측정(제5장 참고)을 하게 되면 기선해(기선오차/기선거리=위성위치 오차/위성거리)의 위성력 오차 영향을 개략적으로 추정할 수 있다. 이것은 위성력 오차가 5m이고 기선거리가 10km일 경우 위성력 오차에 따른 기선거리오차는 개략 2.5mm가 된다.

3.2 선택적 가용성(SA:Selective Availability)

GPS는 초기에 군사용 P코드보다 CA코드 수신기로 누구나 실시간으로 위성측정과 항행을 할 수 있도록 계획되었다. 놀랍게도 2가지(P코드수신기와 CA코드수신기) 수신기의 측정 정확도가 거의 유사하게 되었다. 이 때문에 미 국방부(U.S. DoD)에서 국가의 안보를 목적

으로 일반인이나 비 허가자의 실시간 위치측정이 정확하지 못하도록 블록Ⅱ GPS위성에 소위 SA라고 하는 것을 설정해두었다. 이러한 SA는 1990년 5월 25일에 공식화했으며 SA는 전형적인 2가지 오차, 소위 엘타오차로 위성시계를 조작하여 전 세계의 일반인들이 사용하는 것에 대하여 제한을 하였고 추가적으로 에psilon(엡실론)인 케도오차를 천천히 변화시키는 조작을 하였다. SA가 가동되면 95%의 신뢰도로 수평 100m, 높이 156m 정도가 된다. 그럼 3.2는 SA가 가동될 때에 장시간 GPS수신기를 세워두고 측정한 수평위치를 나타낸 것이다. 위성력 오차에 의한 거리오차와 에psilon(엡실론)에 의한 거리오차는 짧은 구간의 사용자에게는 거의 같기 때문에 DGPS를 이용하면 에psilon(엡실론)의 영향을 없앨 수 있다. 사실 DGPS는 SA가 가동 중일 때에 공통오차를 줄여 P코드 단독측위보다 DGPS의 경우 더 정확하다. 이러한 연구결과 미국 정부에서는 2000년 5월 1일부터 SA가동을 중지하여 누구나 보다 정확한 결과를 얻을 수 있게 되었다. SA가 작동하지 않으면 일반 사용자의 경우 95% 신뢰도로 수평 22m, 고도 33m의 정확도를 각각 얻을 수 있다. 그럼 3.3은 SA가 정지된 경우 GPS측위 결과를 나타낸 것이다. 이와 같이 SA가 제거됨으로 GPS시장이 보다 개방되어 성장이 빨라지게 될 것이다. 비록 SA가 제거되었지만 DGPS 상에는 미미한 영향을 주기 때문에 DGPS설치와 가동에 따른 비용을 줄였는데 이것은 필요한 전달 속도를 주로 낮추었기 때문이다.

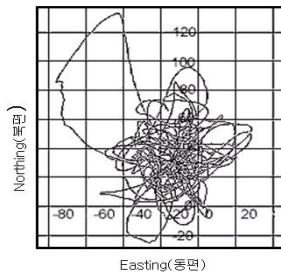


그림 3.2 SA에 의한 정지상태의 GPS위치

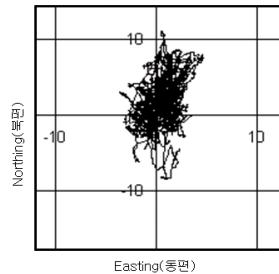


그림 3.3 SA 종료 후 정지상태의 GPS위치

3.3 위성과 수신기 시계오차

블록Ⅱ와 블록ⅡA 위성은 각각 2개의 세슘과 리비듐으로 이루어진 4개의 원자시계를 가지고 있다. 새로운 세대인 블록ⅡR 위성은 리비듐 시계만 있으며 블록Ⅱ와 블록ⅡA의 내장시계 중 1차 세슘시계는 GPS신호를 만들기 위하여 필요한 주파수와 시간을 제공하는데 사용하고 나머지 다른 시계는 보존을 위한 보조(백업)시계이다. GPS위성시계는 매우 정확하지만 완벽한 것은 아니다. 이 시계도 하루에 $1\sim2/10^{13}$ 초의 정도를 가져 하루에 약 8.64~17.28ns(나노초)의 시간오차가 있다. 이것은 거리상으로 약 2.59m~5.18m로 빛의 속도(299,729,458 m/s)와 시계오차를 곱하여 쉽게 계산할 수 있다. 세슘시계는 루비듐시계에 비하여 장시간 사용할 수 있어 10일 이상 10^{14} 정도로 보다 안정적이다. 위성시계의 성능은 지상국에서 모니터할 수 있으며 2차 다행의 3가지 상수형태로 항행메시지에 총 이동량이 계산 및 방송된다. 위성시계의 오차는 GPS측정의 위치로 이어져 같은 위성을 사용하는 모든 GPS이용자에게 공통오차로 수신기간 차분으로 제거할 수 있다. 항행메시지에 있는 위성시계오차를 이용하여 시작오차를 보정할 수 있다. 하지만 몇 나노초의 오차가 남게 되어 이에 해당되는 거리에 약 30cm의 오차가 된다. GPS수신기는 대조적으로 위성시계보다 덜 정확하고 저렴한 수정시계를 사용한다. 따라서 수신기의 시작오차는 GPS위성 시계오차보다도 훨씬 크다. 하지만 위성간의 차등법으로 제거하거나 추정처리의 미지계수를 없앨 수 있다. 내장시계 대신에 정확한 외장의 세슘이나 루비듐시계를 이용할 수 있다. 비록 외장의 원자시계는 내장시계에 비하여 성능은 우수하지만 루비듐시계는 수천달러이고 세슘시계는 약 20,000불로 가격이 비싸다.

3.4 다중경로(multipath)오차

다중경로는 운송파와 의사거리측정에 있어서 중요한 오차의 원인이다. 다중경로는 GPS신호가 다른 경로를 통하여 안테나에 도착할 경우에 일어난다. 이처럼 경로가 직접적으로 직선으로 오는 것과 안테나 주변의 물체에 부딪혀서 반사되어 오는 신호가 있다.(그림3.4) 다중경로는 GPS안테나에 원시신호와 반사된 신호가 간섭하여 왜곡되는 것이다. 이것은 운송파와 의사거리측정에서 더 크다. 운송파 다중경로의 크기는 최대 1/4사이클(L_1 운송파에서 약 4.8cm)크기이고 의사거리 다중경로는 이론적으로 C/A코드측정에서 수 10m에 이른다. 하지만 새로운 수신기제작 기술로 의사거리 다중경로는 극적으로 줄일 수 있다. 이와 같은 다중경로 제거 기술의 예로 Ashtech사의 스토로브 보정(strobe correction)과 Novatel사의 MEDLL이 있다. 이러한 원화기술로 다중경로 의사거리의 오차는 반사가 아주 많은 환경에서도 몇 m로 줄일 수 있다. 동일한 환경에서 다중경로오차가 있으면 그날 그날 추정 잔차를 확인하여 보정할 수 있다. 이것은 매 항성일마다 위성의 반사안테나가 기하적으로 반복되기 때문이다. 반면에 비(不)차등 의사거리측정에서 다중경로 에러는 2주파수신기를 사용한다면 확인 할 수 있다. 가장 훌륭한 다중경로 모델은 위성의 안테나가 바뀌기 때문에 아직까지 개발되지 않고 있다. 그러나 이러한 다중경로를 줄일 수 있는 여러 가지 선택사항이 있다. 즉 간단한 선택사항으로는 수신기안테나를 장애물이 없는 빈 공간에 세워서 관측하면 된다. 다중경로의 영향을 줄일 수 있는 또 다른 방법으로는 초크링 안테나(반사 신호를 줄이는 금속의 원형테로 만든 판)를 사용하는 것이다. 반사된 GPS신호가 좌측방향으로 되면 GPS신호는 우측의 극방향으로 되기 때문에 GPS신호의 극방향에 맞도록 안테나를 제작하면 다중경로인한 오차를 줄일 수 있다. 하지만 이러한 다중경로신호를 극방향으로 처리하면 우측방향의 신호는 2배로 반사하게 되는 문제점이 있다.

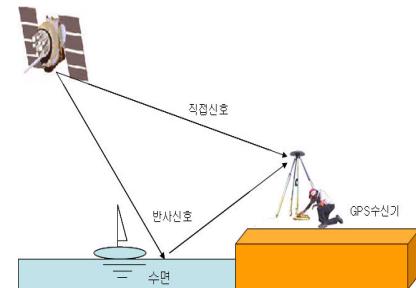


그림 3.4 다중경로(Multipath effect)

3.5 안테나 파형중심의 편위

제2장에서 설명한 것과 같이 GPS안테나는 위성신호를 받아서 전기에너지로 변환하여 수신기에서 처리할 수 있게 된다. GPS신호가 수신된 지점은 안테나의 파장중심위치가 된다. 일반적으로 안테나파장의 중심은 물리적인 안테나의 기하적인 중심과 일치하지 않는다. 이것은 위성의 고도와 방위뿐만 아니라 관측신호의 세기에 따라 달라진다. 따라서 이것도 거리오차의 원인이 된다. 안테나파형의 중심에 의한 오차의 크기는 안테나 형태에 따라서 다르며 보통 몇 cm정도가 된다. 하지만 안테나파의 중심변화로 모델화하기 어렵기 때문에 안테나형을 선택할 때에 신중을 기하여야 한다. 동일한 안테나형태로 기선을 짧게 하여 안테나를 같은 방향으로 표정할 경우 안테나파의 중심 오차를 제거할 수 있다. 그러나 여러 가지 형태의 안테나를 복합적으로 관측하거나 표정을 하지 않을 경우 오차를 제거할 수가 없다. 이 오차의 크기가 작기 때문에 실제 GPS관측에서는 대부분 무시한다. 파장의 중심오차는 L_1 과 L_2 운송파가 관측상 서로 다른 것을 알 수 있다. 따라서 관측기선의 거리를 짧게 하여 선형조합을 하면 전리총오차의 정확도에 영향을 미친다. 앞에서 언급했듯이 짧은 기선이 있어서는 거리와 관계가 있기 때문에 차등방법으로 대부분의 오차가 제거된다.

3.6 수신기측정 잡음

수신기의 전자적인 문제에 따라 수신기에서 잡음신호를 측정한다. 훌륭한 GPS는 신호잡음 정도를 최소화하여야 한다. 일반적으로 GPS수신기는 사용자가 전원을 결 경우 자체점검을 실행한다. 하지만 고가의 고정밀 GPS장비의 성능평가에 있어서 수신기의 잡음은 사용자에게 심각한 것이다. 이러한 성능은 하나의 안테나에 대하여 2개의 GPS수신기로 측정하는 제로기선(zero-baseline) 또는 단기선으로 이러한 수신기의 잡음을 점검을 할 수 있다. 제로기선 점검은 수신기의 성능을 평가하기 위하여 사용되는 것으로 하나의 안테나 증폭기에 신호분리기를 이용하여 2개 또는 그 이상의 수신기를 그림3.5와 같이 연결하여 측정 및 분석한다. 이렇게 하여 채널간 편의와 사이클슬립과 같은 여러 가지의 수신기 문제점을 이 실험을 통하여 찾아낼 수 있다. 하나의 안테나를 사용하기 때문에 기선의 해는 제로(0)가 되어야 한다. 달리 표현하면 제로가 아니면 수신기에 잡음이 있다는 것이다. 비록 제로기선 점검이 수신기의 성능을 평가하는데 이용되지만 안테나와 증폭기에서 발생하는 문제점을 해결하지 못하는 또 다른 점이 있다. 수신기잡음을 측정하게 되면 수신기의 정도에 따라 오차가 매우 달라진다. 수신기 잡음측정에 의한 평균거리오차는 0.6m(1σ)이다. 실제 현장에서 GPS성능을 평가하기 위하여 안테나와 증폭기잡음 부분도 포함하여야 한다. 몇 m의 짧은 기선을 사용하여 그림3.6과 같이 연속적으로 2일정도 측정한다. 이 경우 1일의 2중차 잔차가 시스템잡음과 다중경로영향을 포함할 수 있다. 다른 오차는 생략해도 되며 다중경로는 매 항성일마다 반복되어 다중경로의 영향을 연속 2일 동안 측정하여 2중차의 잔차 차이로 소거된다. 그러나 시스템의 잡음은 남게 된다.

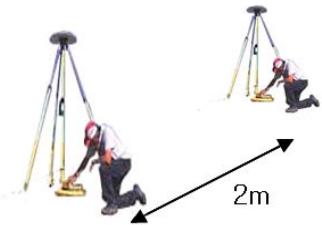


그림 3.6 GPS 단기선 성능점검

3.7 전리층 지연

지구의 대기권 상층부에 가스분자 및 원자로 이루어진 자외선과 X방사선이 태양작용으로 방사된다. 가스의 이온화현상에 의하여 많은 음극의 자유전자와 양극의 원자분자로 이루어진다. 이와 같이 가스가 이온화된 대기부분을 전리층이라고 부른다. 이는 고도 50km에서 약 1,000km 또는 그 이상으로 상층부에 해당되는 전리층은 정확히 결정할 수가 없다. 전리층의 전자밀도는 일정하지 않고 고도에 따라서 변화한다. 이와 같이 전리층 지역은 전자밀도에 따라서 하층부 및 레이어(층)로 구분된다. 이러한 레이어는 D층(50~90km), E층(90~140km), F1층(140~210km), F2층(210~1,000km)로 각각 구분하고 보통 F2층의 전자밀도가 최고 높다. 고도와 이러한 층의 두께는 태양의 방사와 지구의 자기장에 따라서 시간마다 바뀐다. 예를 들어 F1층은 밤에는 사라지고 겨울보다 여름에 더 자주 나타난다.

이러한 현상 때문에 GPS측량에 전리층이 어떠한 영향을 주게 되는지에 대한 의문이 생기게 된다. 전리층이 분산매체로 GPS방송신호가 수신기까지 도달하는 동안에 다양한 전리층을 통과하면서 속도가 변하게 된다. 특히 고도가 5° 이상인 경우 GPS신호가 굴절되는 것도 무시할 수 없는 거리오차의 원인이 된다. GPS신호의 전달속도가 변하게 되면 거리오차의 중요한 원인이 되기 때문에 이점도 고려하여야 한다. 운송파의 전리층 전달속도는 빛의 속도보다 낮아 전체 양으로 볼 때 PRN코드보다 항행메시지를 비교하면 늦어지는 것을 알 수 있다. 이것은 수신기와 위성간의 거리는 운송파에 의하여 측정한 것보다 너무 짧게 관측되며 실제거리와 비교하면 코드에 의한 측정값보다 더 길다. 전리층의 지연은 GPS신호경로

에 따라 자유전자의 수와 비례하며 이를 총전자수(TEC:Total Electron Content)라고 한다. 하지만 TEC는 ①하루 중의 시간에 따라서 전자밀도는 지방시로 오후 초반부에 최대이고 자정에 최소이다. ②1년 중 계절에 따라 여름이 겨울보다 전자밀도가 크다. ③흑점주기 11년(11년 주기로 태양의 흑점활동이 최대인 시기로 최근 2001년이 최대였다.) ④지리적인 위치에 따라서 전자밀도는 중위도 지역이 가장 낮고 극지방 오로라, 적도지역이 가장 높게 되어 그 위치에 따라서 다르다. 전리층이 분산매체 때문에 주파수에 따라 지연되며 저주파수가 고주파수 보다 더 지연된다. 따라서 L₂파가 L₁파보다 전리층지연이 더 크다. 일반적으로 전리층의 지연은 5~15m이지만 태양활동, 한낮, 적도지역에서는 최대 150m까지 될 수가 있다. 이러한 내용은 시간과 위치에 따라서 전리층에 전자밀도 수준을 보여주는 것이다. 하지만 이것은 짧은 거리에서 상대적으로 매우 비슷하기 때문에 근접한 사용자들 간에는 GPS차등관측으로 전리층지연을 대부분 소거할 수 있다. 전리층의 분산은 L₁과 L₂상에 P코드 의사거리측정을 조합하여 높은 정도를 측정할 수 있다. 하지만 불행하게도 P코드는 허가자만이 사용할 수 있다는 점이다. 부가적으로 L₂상 C/A코드를 추가하는 현대화 프로그램에 의하여 이러한 문제를 해결하여 제거할 수 있게 될 것이다. L₁과 L₂운송파 측정은 전리층지연에 따른 변화를 결정하기 위한 유사조합으로 절대 값이 아니다.

3.8 대기권 지연

대기권은 지구표면으로부터 표고 약 50km(그림3.1)범위에 해당되는 것으로 전기적인 중성이 대기권을 이룬다. 대기권은 15GHz이하의 라디오주파수는 이 매체에서 분산이 되지 않으며 GPS운송파와 코드의 지연도 마찬가지이다. 이로써 위성에서 수신기까지의 측정거리는 실제 기하적인 거리보다 더 길다. 이것은 전리층의 지면과 달리 대기권 지연은 L₁과 L₂관측을 조합하여 제거할 수 없다. 이것은 주로 대기권 지연이 주파수와 독립적이기 때문이다. 대기권 지연은 GPS신호가 대기층을 통과하면서 온도, 기압, 습도에 따라 지연되는 것이다. 저고도의 위성신호가 대기권을 통과하면서 고위도의 위성경로보다 더 길어진다. 그러므로 대기권 지연은 천정 부분에서 최소가 되고 수평지역 사용자에게 길게 된다. 대기권 지연은 천정(머리 부분에서 오는 위성)에서 약 2.3m 15°표고각에서 9.3m, 5°표고각에서 20~28m이다. 대기권지연은 건-습 2가지 요소로 구분할 수 있으며 건조모델에서는 약 90%의 지연이 있어 이를 수학적인 모델로 높은 정확도로 예측할 수 있다. 습기가 많은 경우 GPS신호경로를 따라서 수증기에 의하여 지연되어 진다. 건조와 달리 습기는 예측하기 어렵고 대기의 기압, 온도 및 증기압과 같은 지상의 기후측정 자료를 사용한 수학적 모델로 습기요소를 계산하지만 습기는 지역적인 기상자료와 연관이 적어서 정확하게 예측하는 데에는 한계가 있다. 기상자료는 대부분 기압 1,010mb, 온도 20° 및 50%상대습도로 설정하면 만족한 결과를 얻을 수 있다.

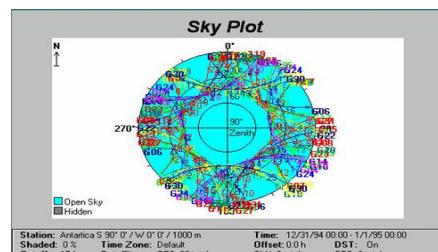


그림 3.8 GPS천구도(Sky Plot)

3.9 위성의 기하배치

GPS위치측정계산의 정확도에 직접적으로 영향을 주는 오차와 편의에 대하여 앞에서 설명하였다. 가장 적합한 오차와 편의모델 및 GPS관측을 조합하여 위치 정확도를 개선시킬 수 있을 것이다. GPS정확도에 영향을 주는 것은 이러한 것들만은 아니다. 위성의 기하적인 배치는 GPS수신기의 위치와 함께 측정의 정확도에 매우 중요한 역할을 한다. 훌륭한 위성의

기하적인 배치는 정확도를 높여준다. 전체적으로 GPS측정의 정확도는 오차측정의 비모델과 위성의 기하적인 배치에 따라서 영향을 받게 된다. 훌륭한 위성배치는 위성이 상공에 골고루 배치되어 있는 것으로 많이 평지면 퍼질수록 더 좋다. 그림3.7은 2개의 위성(2차원으로 추정)을 사용할 경우 단순히 도형으로 간단히 설명하기 위한 것이다. 이 경우 수신기는 2개의 원호에 의하여 교차되는 지점으로 각 원의 반경에 의한 위성과 수신기간의 거리와 같고 원의 중심은 위성위치가 된다. 측정오차 때문에 측정수신기와 위성간의 거리는 실제 추정한 거리와는 차이가 있다.

2개의 위성으로 측정을 조합하면 수신기의 위치는 일정지역 어디 엔가에 위치하여야 한다. 이를 통계적으로 확률적 수준에 의하여 불확실성의 크기를 최소화할 수 있도록 계산하면 수신기의 위치가 정확하게 될 것이다. 그림3.7(a)에서 보는 바와 같이 2개의 위성이 멀리 떠져 떨어져 있으면 불확실성 지역의 크기가 작게 되기 때문에 결과적으로 위성배치가 좋게 되는 것이다. 마찬가지로 만약 2개의 위성이 서로 근접되어 있으면 불확실성 면적이 크게 되어 기하적인 배치가 나쁘게 된다. 위성의 기하적인 배치효과는 DOP(Dilution Of Precision)라고 불리는 차원이 없는 수치로 측정된다. DOP의 숫자가 낮으면 기하적인 강도가 좋은 것이고 반대로 수치가 높으면 불량한 것이다. DOP수는 수신기와 위성간의 배치에 의하여 계산되는 수치로 수신기와 위성좌표를 모두 알 경우에 가능하다. 근사적인 좌표값으로 충분하지 않기 때문에 아무런 측정을 않고서는 DOP값을 결정할 수 없다는 것이다. 인공위성과 수신기와 서로 각자 움직이기 때문에 DOP는 시간에 따라 계속적으로 변한다. 실제 PDOP값은 가까운 지역에서는 평균 5이하이다. 대부분의 GPS소프트웨어는 사용자의 근사위치에 대한 위성의 기하적인 배치정도를 최소의 위성력 파일로부터 예측할 수 있다. 위성력파일은 항행메시지와 별도로 얻을 수 있으며 인터넷(U.S. Coast Navigation Center)에서 무료로 다운로드할 수 있다.

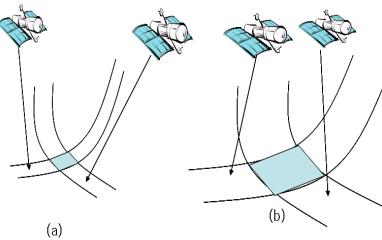


그림 3.7 (a)양호한 위성배치, (b) 좋지못한 위성배치

3.10 GPS관측해석

비록 24개의 위성이 배치되어 있지만 특수한 고도각에서 짧은 시간 동안 4개의 위성만이 볼 수 있는 경우가 있어서 GPS작업이 충분하지 않을 수 있다. 이와 같이 GPS가시성 문제는 GPS배치 특성상 위도 55°이상에서 더 많이 생길 수 있다. 이러한 문제가 특정한 시간대에 중위도 이하의 지역에서도 일정하게 발생한다. 예를 들어 도심지역이나 임야지역에서 수신기의 천정개방(sky window)이 고층빌딩이나 나무의 장애 때문에 가시위성수가 감소하게 된다. 또한 시간에 따라서 위성의 배치가 변하기 때문에 위성 가시의 문제를 적절한 관측시간대를 선택하여 문제를 해결할 수 있다. 이로써 최소 위성의 수 또는 최대 PDOP값으로 알 수 있다. 사용자에게 가장 관측하기 좋은 시간대를 알 수 있도록 GPS제작자는 관측 미션계획 소프트웨어를 개발하여 지원하고 있으며 이로써 주어진 지역에 대한 가시위성과 기하상태를 예측 할 수 있다. 사용자가 특정한 고도각(보통 10° 또는 15°)을 절사각으로 설정하여 이 각도 이하에서 오는 위성신호는 실제 수평고도 이상에 있을 지라도 차단하는 것이다. 다른 중요한 도표는 가시위성도로 이것은 사용자가 설정한 절사각 이상의 가시위성 전체를 나타내는 위성의 기하학적인 배치도이다. 그림3.9는 2001년 4월 13일 캐나다 토론토 지역의 가시위성과 기하형태를 나타낸 것으로 PDOP, HDOP 및 VDOP를 나타낸 것이다.

3.11 사용자 거리오차

GPS위치정확도는 비모델측정 오차와 위성의 기하적인 배치에 따른 영향이 겹쳐서 측정된다. 비모델측정 오차는 다양한 위성각도에 따라서 각기 다르게 나타난다. 여러 위성에 대한 거리오차는 일정한 각도에서 유사성을 가진다. 아주 정확한 위치측정을 하기위하여 최소제곱모델과 같은 기술을 적용시킬 수 있다. 이러한 최소제곱기술은 사용자의 위치와 상관행렬을 추정하는 것이다. 보다 간단한 GPS정확도 조사방법은 사용자가 요구하는 거리오차 내에 이르도록 하는 것이다. 모든 위성에 대한 오차를 측정하는 것은 동일한 것으로 서로 독립적이다. 사용자거리오차(UERE:User Equivalent Range Error)로 알려진 양은 여러 가지의 오차와 체계적인 편의에 대한 제곱의 합에 대한 제곱근(Root-Sum-Square)이 된다. 해당 DOP값에 따라 UERE를 곱하여 1단계 레벨에서 정확한 GPS위치정도를 예측하게 된다. 정확한 2단계 레벨을 얻기 위해서 때에 따라 95%시간의 근사값에 따르며 2가지 요소에 의한 결과를 곱한다. 예를 들어 GPS단독측위에서 UERE가 8m이고 HDOP가 1.5이면 95%위치정확도는 $8 \times 1.5 \times 2 = 24\text{m}$ 가 된다.

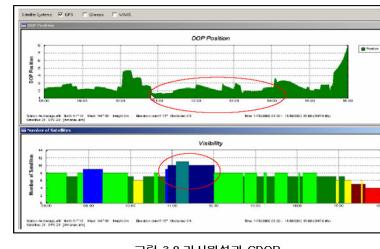
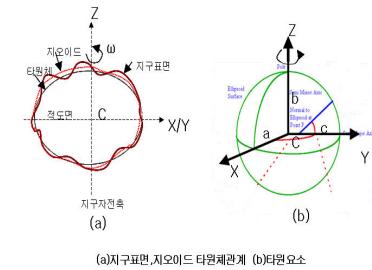


그림 3.9 가시위성과 GDOP

4장 측지원자, 좌표계 및 투영

GPS는 세계적으로 어디에서나 전천후로 정확하게 위치를 결정할 수 있어 전 세계 여러 다양한 사용자들에게 매력을 주는 원인이 된다. GPS와 컴퓨터기술의 발전으로 GPS제조업자들은 사용자에게 관심을 가지고 접근하였다. 하지만 GPS를 처음 대하는 사람들에게 측지원자와 좌표계와 같은 측지학적인 지식이 필요하다는 공통적인 문제점이 나타났다. 따라서 이 장에서는 측지원자와 좌표계의 문제를 다루고자 복잡한 수학적 공식을 피하였다. 대부분의 사용자들은 수평위치 부분에 관심이 많다. 따라서 추가적으로 지도의 투영문제를 다루고자 한다. 그리고 끝부분에서는 높이에 관한 문제도 일부 소개하고자 한다.



(a)지구표면,지오이드 타원체관계 (b)타원요소

4.1 측지원자(Datum)란?

우리가 살고 있는 지구의 표면은 매우 불규칙적으로 이루어져 있다. 때문에 사용자의 위치를 결정하기 위하여 측지학적 계산은 매우 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 측지학자들은 기준면이라고 부르는 완만한 수학적면을 선택하였다.(보다 정확하게 하기 위해서는 근사적인 평균해수면인 지오이드) 정확도가 낮은 경우에는 수학적면을 구로 나타내어 널리 사용한다. 하지만 GPS와 같이 고정밀 측위를 하기 위해서는 지구에 가장 근접한 수학적면으로써 뿐만 아니라 가능한 간단하게 계산할 수 있도록 한 것이 2축 타원체를 사용한다.(그림4.1 참고) 이것을 양축 준거타원체(biaxial reference ellipsoid) 또는 간단히 준거타원체라고 하며 단축 b 로 타원을 회전하여 얻어진 것이다. 타원과 마찬가지로 양축준거타원체는 단축 a 와 장축 b 또는 장축 a 와 편평도 $f(f=1-(b/a))$ 에 의하여 결정된다. 가장 최적으로 자리를 잡은 준거타원체가 측지원자(geodetic datum)이다. 달리 표현하면 측지원자는 중심이

잘 표정이 되고 맞추어진 수학적인 또는 준거타원체이다. 예를 들어 지구중심의 측지원자는 지구의 중심과 원점이 일치되는 측지원자로 각기 표정마다 수많은 지구중심 측지원자들이 있다. 따라서 측지원자는 8개의 파라미터로 특징적으로 결정된다. 즉 2개의 준거타원체의 크기를 결정하는 변수,

3개의 원점위치와 3개의 지구에 대한 축의 회전변수로 결정된다. 표4.1은 3개의 공통 기준체계와 관련된 타원체를 나타낸 것이다. 측지원자에 추가적으로 소위 수직원자(vertical datum)인 높이의 기준이 되는 기준면이 실제로 사용된다. 점높이는 바로 연직(고도)원자상에 위치하기 때문에 0(제로)이다. 이 같은 기준면은 일반적으로 0높이면이다. 연직(표고)원자는 가끔 지오이드로 선정되며 이 면은 지구상 평균해수면과 가장 가깝다.(그림4.1(a) 참고) 과거에는 수평과 연직원자는 서로 독립적으로 결정되었으나 GPS와 같은 공간측지측량시스템이 많은 장점을 가지고 있어서 3차원(3-D)기준체계로 위치를 측정할 수 있게 되었다.

표4.1 측지기준계 및 관련 타원체

4.2 측지좌표계

좌표계란 소위 좌표라고 불리는 점들의 위치로 구분할 수 있는 일련의 규정으로 정의한다. 이것은 보통 표정에 따른 기준선(축) 뿐만 아니라 좌표들의 원점을 규정하는 것을 포함한다. 그림4.2는 3차원(3-D)좌표계의 3가지(xyz) 기준축과 교차점인 원점(c)을 나타낸다. 좌표계는 1차원(1-D) 또는 3차원(3-D)좌표계로 점의 위치를 확인하는데 필요한 좌표들의 수에 따라서 분류할 수 있다. 예를 들어 1차원(1-D)좌표계는 해면상 점의 높이를 구분하는데 필요하다. 또한 좌표계는 기준면에 따라 축의 회전과 원점으로 분류할 수 있다. 3차원(3-D) 측지좌표계는 기준면이 타원체에 따라 선택된다. 축과 원점의 표정은 2개의 면(극 또는 Z축:자오면은 북극과 남극을 통과하는 면)과 타원체의 적도면이 통과하는 축으로 정의된다. GPS사용자에게 중요한 것은 3차원 측지좌표계이다. 이 좌표계는 측지위도(ϕ), 측지경도(λ) 및 기준면상의 높이(h)에 의하여 점좌표를 표현한다. 측지좌표(ϕ, λ, h)는 지침좌표(XYZ)로 쉽게 그림4.3(b)과 같이 변환할 수 있다. 이와 같이 변환하기 위하여 타원체변수(a 와 f)를 알아야 한다. 또한 측지좌표(ϕ, λ)를 지도(도면)제작을 목적으로 직각좌표(Northing과 Easting)로 변환할 수 있다.

4.2.1 지상좌표계

전통적인 지상좌표기준계인 지구좌표계(TRS)는 3차원(3-D)지구중심좌표계로 그 중심이 지구의 중심과 일치한다.(그림4.2) CTRS는 지구에 꼭 맞추어 지구와 함께 회전하는 지구무게 중심의 지구고정(ECEF)좌표계이다. CTRS축의 표정은 1900년~1905년 동안 극의 평균 위치로 부터 지구의 극방향(CTP:Conventional Terrestrial Pole)을 Z축으로 하고 X축은 적도면과 그리니치천문대의 중앙자오선과 교차되는 것으로 정의한다. X축과 Z축이 결정되면 XZ면은 그리니치자오선을 포함한다. Y축은 우수좌표(X축에서 90° 동쪽으로 적도면에서 측정)를 형성하여 3축의 교차점이 지구의 중심이 된다.(그림4.2) 지상좌표계(CTRS)는 지구에

기준계	타원체	a(m)	1/f
NGS83	WGS84	6378137.0	298.257223563
NAD83	GRS80	6378137.0	298.257222101
NAD27	Clarke1866	6378206.4	294.978698200
Bessel(1841)	Tokyo Obs.	6377397.155	299.152813
Everest(1830)	Madras Obs.	6377276.346	300.8017
International	Postam	6378388	297
Krassovskii(1940)	Pulcova Obs.	6378245	298.3

서 측정하는 것은 실제 실무적인 측량에 사용되어야 한다. 이렇게 하기 위해서는 잘 분포된 기준점을 여러 개 선택하여 좌표값을 맞추어야 한다. CTRS의 가장 중요한 것 중의 하나는 국제지상기준계(ITRS:International Terrestrial Reference System)로 국제기준점망(ITRF:International Terrestrial Reference Frame)이 ITRF라는 GPS 또는 다른 공간측지시스템을 사용하여 전 세계적으로 분포되어 있는 기준점측정을 기초로 한다. ITRF는 가장 정확하게 하기 위해서 매 1~3년마다 갱신되며 이를 쓸 당시에 가장 최근 버전은 ITRF-2000이다.

4.2 GPS에서 얻는 좌표는?

방송위성력에서 주어지는 위성좌표는 WGS84좌표계를 기준으로 한 것이다. 그러므로 GPS의 사용자는 조정처리 과정에서 위성방송력을 사용하여 WGS84체계에 잘 맞게 좌표를 얻을 수 있게 될 것이다. 그러나 사용자가 IGS서비스(제7장)에 의하여 정밀위성력을 사용하면 그 성과는 ITRF기준계를 근거로 하게 될 것이다. 몇몇 기관들은 다양한 양식의 위성정밀력을 제공하는데 그 예로 캐나다의 측량국(Geomatics Canada)은 ITRF와 NAD83(CSRS)의 2가지 양식으로 위성정밀력을 제공한다. 우리는 WGS84보다도 NAD83의 기준점좌표를 사용하게 되면 어떤 일이 발생할 것이라는 의문을 가질 수 있다. 이에 대한 답변은 구(曰) 좌표계 또는 개정 NAD83체계로 할 것인가에 따라서 달라진다. 비록 WGS84와 구 NAD83의 준거타원체의 크기가 형상이 거의 같지만 원점이 서로 2m 이상 편의되어 있어서 이 편의 때문에 2좌표계로 측정점들의 절대좌표를 나타내면 차이가 있다. 달리 표현하면 지구표면상의 하나의 점은 구NAD83에서 좌표와 차이가 있는 WGS84좌표를 가지게 될 것이다. 가장 큰 좌표문제는 높이로 약 0.5m 차이가 발생하게 된다. 하지만 GPS측정 위치에 있어서 상대적인 편의问题是 무시할 수 있다. 예를 들어 사용자가 WGS84기준에 의한 좌표 대신에 NAD83의 좌표를 적용한다면 NAD83에 의한 좌표는 작은 mm 정도의 오차를 가지게 될 것이다. 이러한 문제점 때문에 WGS84와 NAD83체계는 호환성이 되도록 개선되었다.

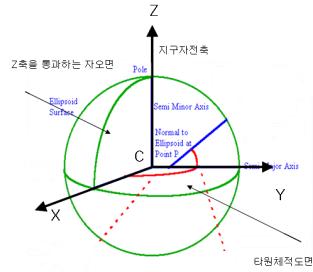


그림 4.2 3차원좌표계

4.3 측지원자 변환(Datum Transformations)

앞의 4.1장에서 설명한 평면과 연직원자는 상호 독립적으로 결정된다고 하였다. 뿐만 아니라 평면측지원자는 지심계가 아니라 그림4.4와 같이 특정지역에 맞도록 선택하는 것으로 이와 같은 측지원자를 소위 ‘지역측지원자’라고 부른다. 이러한 지역측지원자는 전 세계적으로 국가마다 다르게 150여개의 지역측지원자가 사용되었다. 지역측지원자의 예로 NAD27(북미측지원자 1927)가 있다. GPS와 같은 공간측지측량의 장점으로 이제 전 세계적인 3차원(3-D) 지구중심원자를 결정할 수 있게 되었다. 과거의 지도는 지역측지원자로 제작되었지만 새로운 지도는 대부분 지구중심원자로 만들어진다. 그러므로 일치할 수 있도록 지역측지원자와 WGS84와 같은 지구중심원자간의 관계를 설정하여야 한다. 이와 같은 관계가 그림 4.5와 같은 측지원자의 변환이다. NIMA는 WGS84와 여러 나라에서 사용하는 지역 측지원

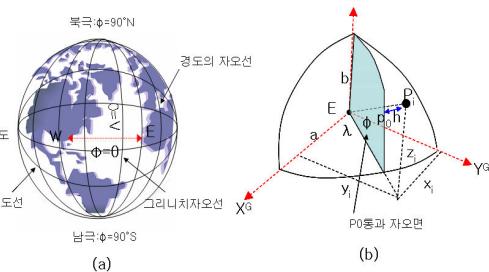


그림 4.3 (a)측지좌표계와 (b) 지심좌표계

자 간의 변환 파라미터를 발간하였다. 현재 많은 GPS제작자들이 자사의 소프트웨어에 이러한 변환 파라미터를 사용한다. 하지만 정확하게 말하자면 이러한 변환 변수는 정밀한 GPS 측량에서는 사용할 수 없다. 예를 들어 토론토에서 NIMA의 WGS84에서 NAD27로 변환하는 변수를 적용할 경우 캐나다 측량국(Geomatics Canada)에서 만든 “NTV2”로 국가정밀 좌표변환 소프트웨어의 결과와 비교할 때 평면좌표에서 몇 m나 차이가 발생한다. 이와 같이 커다란 차이가 다른 지역에서도 나타날 수 있다. 가장 훌륭한 변환 변수는 2원자간 잘 분포된 공통점의 좌표를 비교하여 구하는 것이 최상의 방법이다. 우리나라의 경우에는 Bessel을 실용적으로 사용하고 있으나 2007년부터 GRS80에 따른 ITRF2000기준계를 사용하게 된다.

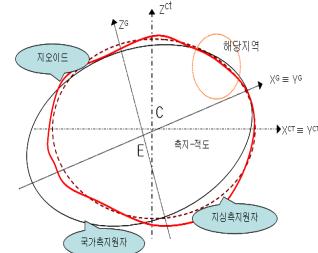


그림 4.4 지심 및 국가축지원자

4.4 지도투영(Map Projections)

지도투영은 기하학적 관점에서 물리적인 곡면의 지구표면을 지도라 불리우는 평면으로 변환하는 것이라고 정의한다.(그림4.6) 하지만 수학적인 관점에서는 GPS에서 얻은 측지좌표(ϕ, λ)로부터 동편(Easting)과 북편(Northing)의 평면직각좌표로 변환하는 것으로 정의된다. 이것은 직접 도면투영이고 역-지도투영은 평면좌표에서 측지좌표로 변환하는 것이다. 측량작업에 있어서 실제로 평면 직각좌표가 널리 사용되는데 이것은 지구타원체상에 비하여 지도평면상에서 수학적으로 계산하기에 쉽기 때문이다. 불행하게도 지구타원체와 평면투영면 사이의 차이 때문에 투영왜곡이 있게 된다. 사실 이것은 오랜지의 반에 해당하는 껍질을 벗겨서 평편하게 하려는 것과 마찬가지로 늘리든지 줄이든지 하여야 하기 때문에 결국에는 원래의 껍질 형태가 왜곡된다. 여러 가지 투영법들이 이러한 왜곡을 최소화하기 위하여 개발되었다. 대부분 GPS응용에서는 소위 등각투영법이 사용된다. 등각투영은 타원체 표면상의 각도가 평면으로 투영하고서도 유지되는 것이다. 하지만 면적과 축척은 왜곡된다. 즉, 면적은 줄거나 늘어나게 된다. 가장 일반적인 등각투영은 TM투영과 UTM 및 램버트투영이다. 이것은 투영형태가 점좌표를 가질 뿐만 아니라 기준계가 된다. 측정점의 측지좌표는 하나의 기준계로부터 다른 기준계로 바뀐다. 그 예를 들면 하나의 측정점이 기준계에 따라 다른 UTM좌표를 가진다.(예 : NAD27과 NAD83)

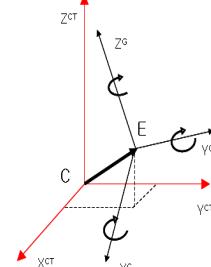


그림 4.5 측지지원자변환(Geodetic Transformation)

4.4.1 TM투영

TM(Transverse Mercator)투영은 가우스크뤼거(Gauss-Krüger)투영으로 알려져 있으며 이것은 1772년 독일의 Johann Lambert에 의하여 창안된 등각투영법이다. 이는 타원체면상의 점들을 수학적으로 횡원통에 투영하였다고 상상한다. 원통은 중앙자오선이라 불리우는 자오선 또는 원통교차를 따라서 타원체가 접하도록 하거나 후자의 경우 중앙자오선으로부터 등거리의 작은 복합곡선이 만들어진다. 원통을 갈라서 펼치면 우리가 필요한 지도(예:TM투영)가 만들어진다. 다시 이해한다면 횡원통은 단순한 가상면이다. 앞에서 설명한 바와 같이 투영은 측지좌표를 평면좌표로 수학적인 변환을 하는 것이다. 접한 원통의 경우 접선을 이루는 모든 것이 중앙자오선이 되고 이 부분에서는 왜곡이 없다. 이것은 전체 왜곡량을 측정

하는 축척이 중앙자오선을 따라 1로 왜곡이 없다. 하지만 중앙자오선으로부터 멀어지면 투영에서 왜곡이 발생하게 된다. 즉, 자오선으로부터 멀어질수록 왜곡이 크게 된다. 실제 중앙자오선으로부터 멀어지면 축척계수는 체계적, 점진적으로 증가하기 때문에 이 투영법은 남북으로 긴 국가지역에 적합하다. 절단 원통에서는 그림4.8에서와 같이 2개의 작은 복합곡선을 따라 있는 지점들은 왜곡이 없이 도면화 된다. 2개의 작은 복합곡선을 따라서 축척이 1로써 중앙자오선은 아니지만 원통접선과 유사하게 이들 2개의 작은 복합곡선으로부터 멀어지면 왜곡도 증가한다.



그림 4.6 지도투영의 개념

4.4.2 UTM(Universal Transverse Mercator Projection)투영

UTM투영은 그림4.8과 같이 원통접선으로 완전히 TM투영을 기본으로 한다. 하지만 UTM은 지구를 60개의 작은 구역(Zone)으로 나누어 각 구역은 그 정중앙에 중앙자오선을 가진다. 따라서 각 구역은 중앙자오선의 양측 3° 씩 경도 6° 가 포함된다. 각 구역은 원통이 회전한다고 가정하여 각각 별도로 구분하여 투영된다. 이렇게 함으로써 TM투영과 비교하여 실제 왜곡이 적도록 한 것이다. 각 구역은 그림4.9와 같이 1에서 60까지 번호가 주어지고 서경 180° ($\lambda=180^{\circ}$ W)에서 시작하여 동쪽방향으로 증가한다. (예 : 1구역은 180° W에서 시작하여 174° W에서 끝나며 중앙자오선은 177° W이다.) UTM은 그림4.8과 같이 중앙자오선 지역은 축척계수가 0.9996이다. 그 이유는 이 축척계수가 비정규분포 축척으로 전체 구역에 대한 차이를 최소화하기 위한 것이다. 예로써 적도에서 축척의 변화는 중앙자오선에서 0.9996이고 가장자리 구역에서는 1.00097까지 변한다. 중위도($\phi=45^{\circ}$ N) 중앙자오선에서는 0.9960이고 가장자리 지역에서는 1.00029가 된다. 이와 같이 UTM이 왜곡을 최소화하는 것을 알 수 있다. 평면좌표에서 원점에 대하여 음수(-)값을 피하기 위하여 그림4.8과 같이 소위 가상원점(false northing과 false easting)에 이동이 생긴다. 가상원점의 북편(Northing)과 동편(Easting)은 북반구 또는 남반구에 있느냐에 따라서 각기 다르며 북반구의 경우 가상북편은 0이고 가상동편은 500Km이다.

4.4.3 개정 TM투영

개정TM(MTM:Modified Transverse Mercator)은 UTM과 유사하게 접선원통에 따른 완전히 TM투영을 기본으로 한 것이다. MTM은 경도 3° 로 구획하여 중앙자오선으로부터 양측 1.5° 로 하여 왜곡을 작게 하였다. 캐나다에서는 New Found Land($\lambda=51^{\circ} 30'W$)의 동측점에서 시작하여 서쪽으로 증가하여 캐나다 전체 총 32구역으로 포함된다. 반면에 Ontario는 10개 구역(Zone8~Zone17)으로 그림4.10에서 보는 것과 같이 캐나다의 토론토지역은 10번 구역이다. MTM은 그림4.10에서와 같이 구역 중앙자오선의 축척계수는 0.9999이다. 이렇게 전구역에 대한 왜곡이 작도록 한다. 예로써 위도($\phi=43.5^{\circ}$ N)에서 축척계수는 0.9999(중앙자오선)과 가장자리 경계지역은 축척계수가 1.0000803이 된다. 이것은 MTM으로 축척 변화를 볼 때 왜곡이 최소화된 것을 나타나지만 이 경우 구역의 수가 많아서 단점이 된다. UTM과 마찬가지로 음수(-)좌표를 없애기 위하여 평면좌표의 원점을 가상원점으로 이동시킨다. 캐나다는 완전히 북반구에 위치하여 하나의 가상북편과 가상동편으로 각각 0.0m와 304,800m이다.

4.5 높이체계

표고(높이)는 그림4.15와 같이 연직원자로부터 수직거리로 정의한다. 제4.1장에서 설명한 지오이드는 가끔 연직원자로 선정된다. 지오이드상의 점 높이는 정표고로 알려져 있으며 지오이드 상하의 위치에 따라서 양수(+) 또는 음수(-)가 된다. 이러한 것들은 물리적으로 의미가 있으며 정표고는 실제로 필요하며 지형도상에 표시된다. GPS의 경우 높이는 기준타원체로부터의 높이를 말하며 지오이드상의 높이는 아니다.(그림4.15) 그러므로 이들 GPS의 높이는 타원체고(Ellipsoidal Height)이다. 타원체고의 양수(+)와 음수(-)는 기준타원체면으로부터 높이가 상-하인가에 달려있다. 불행하게도 타원체고는 순수 기하적인 것이고 물리적인 것이 아니기 때문에 여러 가지 측량장비와 직접적으로 같지 않다. 지오이드-타원체고 이격은 그림4.15와 같이 지오이드고 또는 편위로 알려져 있다. 이 거리는 약 100m까지 되며 특정 점에 대한 지오이드가 기준타원체 상하인가에 따라서 (+) 또는 (-)이다. 지오이드고에 대한 정확한 정보로 타원체고로부터 정표고를 서로 쌍방으로 결정할 수 있다. 지오이드모델은 전 세계지역에 대한 지오이드 높이가 개발되었다. 불행하게도 이러한 모델은 지역 중력자료가 부족하고 세계의 일부지역의 높이가 없어서 어디에서나 일정한 정확도를 가지고 있지 않다. 대다수의 GPS수신기와 소프트웨어는 정표고와 타원체고를 자동적으로 변환할 수 있는 지오이드모델을 갖추고 있다. 하지만 이들을 이용하는 데에 주의를 하여야 하며 보통 정확도가 낮은 모델이다.

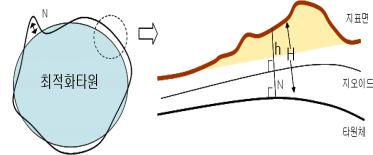


그림 4.15 표고체계

제5장 GPS측량모드

GPS를 이용하여 측량하는 방법은 점측위(point positioning) 또는 상대측위(relative positioning)의 2가지 방법을 사용한다. GPS점측위는 하나의 수신기로 코드의사거리 측정, 사용자의 위치를 즉각적으로 4개 이상의 위성신호를 수신하여 측정하는 것이다. 이 경우 수평위치의 정확도는 민간용 C/A코드 수신기로 SA가 작동 중일 때에 약 100m(2dRMS)이고 SA가 정지된 경우 22m(2dRMS)가 된다. GPS상대측위는 휴양이나 저급의 항해와 같이 주로 정확도가 낮은 경우에 사용한다. 하지만 GPS상대측위는 2개의 수신기로 동일한 위성을 연속적으로 수신하여 측정하는 것으로 2수신기 모두 공통된 위성을 적어도 4개 이상 수신하여 야만 우리가 필요로 하는 cm에서 mm정확도까지 얻을 수 있다. 운송파와 의사거리측정은 필요로 하는 정확도에 따라서 상대위치측정에 사용할 수 있다. 전자(운송파)측정은 가장 정확한 측정을 할 수 있다. GPS상대측위는 실시간 또는 후처리모드로 측량이나 지도제작, GIS 및 정밀항해와 같은 높은 정확도가 필요한 분야에 사용된다.

5.1 GPS점측위

GPS에 의한 점측위는 하나의 수신기로 단독 또는 개략적(무작위)으로 측정하는 것으로 4개 이상의 위성신호를 연속으로 수신하여 그림5.1과 같이 지구중심으로부터 상대적으로 자기의 위치좌표를 구하는 것이다. 현재 대부분의 GPS수신기는 사용자의 점위치 좌표를 화면으로 표시하고 출력할 수 있다. 거리측정을 위해서는 최소 4개의 위성신호를 수신하여야만 위성좌표로부터 언제든지 수신기의 위치를 측정할 수 있다. 수신기는 위성들의 좌표를 항행메시지로부터 얻으며 거리는 민간 또는 군사용 수신기인가에 따라 CA코드 또는 P(Y)코드로부터 거리를 구한다. 앞에서 설명한 것과 같이 측정한 의사거리에는 위성과 수신기 시계

의 동기화 오차가 포함되어 있다. 위성시계 오차는 항행메시지에 있는 위성시계 보정값을 적용하여 수정할 수 있으며 수신기의 시계오차는 부가적인 후처리에 따른 미지변수로 처리된다. 이것 때문에 4번째의 미지변수로 수신기의 좌표를 구하기 위한 3개의 위성좌표와 하나는 수신기 시계오차를 위한 것이다. 이것이 최소한 4개의 수신기가 필요한가에 대한 이유이다. 4개의 위성신호를 추적하여 최소제곱 또는 Kalman필터링기술을 적용한다. 제4장에서 설명한 것과 같이 위성들의 위치가 WGS84 위성좌표로 되어 수신기의 좌표도 WGS84좌표계로 표시하게 된다. 하지만 대부분의 GPS수신기는 WGS84와 전 세계적으로 사용되는 지역측지원자 변환파라미터를 제공한다.

5.2 GPS상대측위

GPS상대측위를 소위 차등측위(differential positioning)라고 하며 그림5.2와 같이 상대적인 좌표를 결정하기 위하여 동일한 위성신호를 2개의 수신기를 이용하여 연속적으로 수신하여야 한다. 2개의 수신기 중 하나는 기준국(reference 또는 base)으로 정확하게 알고 있는 지점에 정지하여 세워두고 다른 한 수신기는 이동국(rover 또는 remote)으로 좌표위치를 알고자하는 점을 이동하여 측정한다. 상대적인 측위를 하기 위하여 최소한 4개의 공통위성을 수신하여야 한다. 또한 4개 이상 연속적으로 위성신호를 수신하면 GPS측정해의 정도가 높게 된다. 운송파 또는 의사거리측정은 상대측위에 사용되며 다양한 측정기술들이 후처리 또는 실시간 처리를 위하여 사용된다. 일반적으로 상대측위에 사용되는 기술은 제5.3~5.7장에서 설명할 것이다. GPS상대측위는 무작위 점측위보다 높은 정확도로 측정되며 운송파 또는 의사거리측정에 따라서 정확도의 수준은 cm에서 1~2m까지 구할 수 있다. 이 방법은 2개의 수신기로 특정 위성이 가지고 있는 일부의 오차와 바이어스를 포함하고 있는 신호를 연속적으로 수신한다. 2개의 수신기간의 거리가 좁으면 오차도 비슷하게 된다. 그러므로 2수신기간의 차이를 측정(따라서 차등측위라고 함)하여 이에 따른 유사오차는 제거 또는 줄여지게 된다.

5.3 GPS정지측위

GPS정지측위는 운송파측정의 상대측위기술이다. 이 방법은 그림5.3과 같이 2개 또는 그 이상의 수신기를 정지상태에서 연속적으로 동일한 위성의 신호를 수신하는 것이다. 하나의 수신기는 기준국을 측량표식으로 정확히 좌표를 알고 있는 점에 설치한다. 다른 이동국 수신기는 알고자하는 점 위에 설치한다. 기준국은 여러 이동국을 연계시키며 최소 4개 이상 동일한 위성을 기준국과 이동국이 볼 수 있어야 한다. 원칙적으로 이 방법은 일정하게 주어진 시간에 기준국과 이동국이 동시에 측정, 자료를 수집하여 처리한 후에 미지점의 좌표를 구한다. 관측시간은 약 20분에서 몇 시간정도이나 기준국과 이동국간의 기선거리, 가시위성의 수, 위성배치에 따라서 차이가 있다. 측정간격은 보통 15초 또는 20초로 매 15초 내지는 20초마다 하나의 샘플을 측정한다. 현장에서 관측을 마친 후에 수집한 자료는 후처리를 하기위하여 컴퓨터를 이용하여 내려 받기를 한다. 사용자의 필요에 따라서 기선의 길이와 기타 변수에 따라서 선택적으로 차등처리를 한다. 예를 들어 기선거리가 15km 또는 20km와 같이 짧으면 앰비큐티 변수를 해석하는 중요한 핵심요소로 높은 정확도의 위치를 구할 수 있다. 이와 같이 앰비큐티 변수의 옵션사항을 선택할 수 있다. 반대로 기선거리가 상대적으로 긴 경우에는 GPS관측에 따른 다양한 선형조합과 같이 대부분의 전리층 오차를 제거하는 자유전리층 선형조합을 사용자가 선택할 수도 있다. 이 때문에 앰비큐티 변수는 수정 정

수치에 대한 값이 신뢰성 있게 고정되지 않게 된다.

예로 1,000km이상의 장기선의 경우 상업적 소프트웨어보다는 베른대학에서 개발한 과학적인 BERNERNSOFT웨어를 사용하여 처리하도록 추천한다. 이 경우에는 정밀위성력을 사용할 수 있어서 궤도오차들은 기선양단에 많은 차이를 발견할 수 있다. 운송파의 GPS정지측위는 가장 정밀한 측위방법으로 장시간 관측에 따른 위성배치의 기하학적인 변화가 중요하기 때문이다. 1주파수신기와 2주파수신기 모두 정지측위에 사용되지만 기선이 20km이상의 경우 2주파수신기를 사용한다. 측지용 수신기의 기대 정확도는 통상 5mm+1ppm(rms)으로 “ppm”은 백만분의 1이고, “rms”는 평균 제곱오차(Root Mean Square)이다. 그러므로 10km의 기선에 대한 GPS정지관측의 정확도는 1.5cm(rms)이다. 더 정확한 정도를 얻기 위해서는 정밀위성력을 사용하여야 한다.

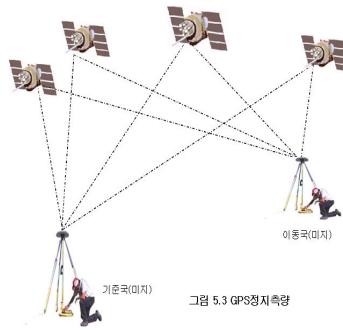


그림 5.1 GPS정지측량

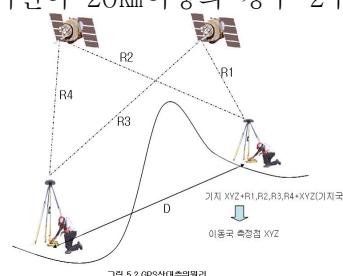


그림 5.2 GPS상대측위원리

5.4 신속(Fast, Rapid)정지측량

신속정지측량은 GPS정지측량과 유사한 측위기술로 상대적인 운송파측정을 기본으로 한다. 이것은 2개 또는 그 이상의 수신기로 동일한 위성을 연속적으로 수신한다. 하지만 신속정지관측에서 기지국은 세션(session) 관측시간 동안 기지국에 세워두어야 한다.(그림5.4) 이동국은 좌표를 알고자하는 다른 측정점을 이동해가면서 짧게, 짧게 측정한다. 정지측위와 마찬가지로 여러 개의 이동국을 기지국이 지원한다. 이 방법은 기지점이 없는 공백지역(약 5km까지)의 여러 미지점들을 측정할 경우에 적합한 방법이다. 신속정지관측은 기지점에 기지국을 설치하여 이동국이 최초 미지점을 측량할 때부터 관측을 시작한다. 기지국(기준국)은 계속 정지상태에서 연속적으로 자료를 취득한다. 이동국은 기준국과의 거리와 위성의 배치상태에 따라서 2~8분 정도의 자료를 취득한다. 이동국에서 한번 자료를 취득하면 다음 미지점으로 이동하여 측정하는 과정을 되풀이 한다. 이동국이 이동하는 동안 전원을 정지(off)하여도 무방하다. 상대적으로 짧은 시간 이동국에 수신기를 세워두기 때문에 자료의 저장간격도 5초 정도로 줄인다. 현장에서 자료를 수집하고 컴퓨터로 내려 받기를 하여 후처리에 사용하도록 한다. 충분한 자료가 수집되었다면 소프트웨어는 앰비큐티 정수의 고정값(제6장에서 설명)에 따라 고정해를 출력하게 된다. 반면에 유동해(float solution)가 구해지면 소프트웨어는 앰비큐티 정수를 고정할 수 없는 것(앰비큐티가 실수임)이다. 이 문제는 주로 GPS자료 수집이 충분하지 않을 경우이다. 고정해는 유동해가 10m~수m의 정확도를 나타내는 반면에 cm수준으로 정확하게 측량되었음을 의미한다. 비록 1주파와 2주파수신기 모두 신속정지관측을 할 수 있지만 2주파수신기가 고정해를 구할 확률이 더 높다.

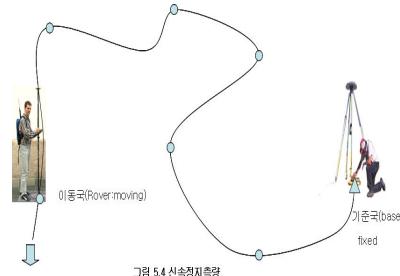


그림 5.4 신속정지측량

5.5 스톱앤파고(Stop-and-Go)측량

스톱앤파고 측량은 또 다른 형태의 운송파 측정인 상대측위 방법 중의 하나이다. 이 방법

은 그림5.5와 같이 2개 또는 그 이상의 GPS수신기로 동시에 동일한 위성을 수신한다. 기준국 수신기는 기지점에 계속 세워두고 하나 또는 그 이상의 이동수신기로 측정한다. 이동국은 미지점들을 따라 이동해가면서 짧은 시간동안 정지하여 GPS신호를 수집한다. 수집자료는 통상적으로 1~2초 간격으로 저장되며 각 측정점에 정지하여 약 30초 동안 측정한다. 이전의 방법과 마찬가지로 기지(기준)국은 여러 개의 이동국을 지원한다. 이 방법은 하나의 기지점에 대하여 공백의 측정공간이 10~15km내에 수많은 미지점이 있는 경우에 적합한 방법이다. 측량의 시작은 수신기 초기화 처리인 초기 앰비큐티정수를 결정하고 부터이다. 이러한 초기화 방법은 다음 장에서 설명하도록 한다. 한번 초기화가 성공되면 연속적으로 cm 수준으로 정확하게 측정할 수 있다. 이 경우 기준국과 이동국 양측 모두 측정시간 동안에 최소한 4개 이상의 공통 위성신호를 연속적으로 추적하여 수신하여야 한다. 만약 측정 중에 이 조건을 충족시키지 못하게 되면 cm수준의 정확도로 관측하기 위해서는 다시 초기화작업을 반복하여야 한다. 초기화작업이 이루어진 이후에 이동국은 최초 미지점(관측점)으로 이동한다. 약 30초간 자료를 취득한 후에 이동국은 전원을 끄지 않고서 다음 점으로 이동하여 측정하는 과정을 되풀이 한다.

5.6 RTK-GPS측량

RTK측량도 앞부분의 측량방법과 마찬가지로 2개 이상의 수신기로 동일한 위성신호를 수신하는 운송파에 의한 상대측위 기술이다.(그림5.6) 이 방법은 ①기지국을 주위로 10~16km 이내에 빈 공간 측점지역이 많은 경우 ②측정점의 좌표를 실시간으로 알고자 할 경우 ③시통에 장애가 있는 경우이다. RTK-GPS측량방법은 실시간으로 위치좌표를 쉽게 구할 수 있기 때문에 많은 사용자들이 선호한다. 이 방법은 기지(기준)국을 그림5.6과 같이 설치하고 무전기를 부착한다. 이동국 수신기는 일반적으로 등에 메고서 무전기를 연결한다. 키네마틱 GPS측량과 유사하며 자료의 취득율은 1Hz(1초당 1번)가 필요하다. 기준국의 측정값과 좌표는 무선통신으로 이동국에 방송(전달)한다. 이동국 수신기에 내장된 소프트웨어는 기준국과 이동국에서 측정한 GPS자료를 처리하여 이동국 수신기의 위치좌표를 구한다. 초기의 앰비큐티정수는 소위 OTF(on-the-fly) 앰비큐티 해석기술(다음 장에서 설명)을 사용하여 대부분 신속하게 결정된다. 한번 앰비큐티 변수가 고정되면 수신기 또는 휴대형 단말기에 현장에서 바로 이동국의 좌표가 표시된다. 따라서 후처리가 필요하지 않게 된다. 이 방법의 기대 정확도는 2~5cm(rms)이다. 이것은 예를 들어 30초 정도 짧은 시간동안 정지하면 그 위치를 평균화 할 수 있어서 정도가 개선 할 수 있는데, 전 측정 계산 좌표를 저장해 두었다가 CAD프로그램으로 후속적인 분석을 할 수 있다.

이 방법은 절대적인 것은 아니지만 주로 고주파 수신기에서 사용한다. 동일한 조건에서 RTK측량방식의 정확도는 일반적인 키네마틱 GPS측량과 비교하여 약간 떨어진다. 이것은 처리과정에서 기준국과 이동국 양측의 키네마틱 시간표시(tag, stamp)를 정확하게 맞추어서 처리하기 때문이다. 하지만 RTK의 경우에는 기준국 데이터가 이동국에 도달하는 데에 약간의 시간적인 지연(delay, latency)이 있다. 데이터의 지연은 기준자료를 규격화, 패킷화, 전송처리 및 디코딩(decoding)하면서 일어난다. 이동국에서 시간태그를 너무 많이 사용하게 되면 기준국 데이터가 과장되어 측정 정도가 떨어진다.

5.7 실시간 차등GPS측위(Real-time differential GPS)

실시간 차등GPS(DGPS)는 기준국과 이동국이 동시에 2개 또는 이상의 수신기를 동일한 위성을 수신하여 코드에 의한 단거리 측위를 하는 기술이다. 이 방법은 실시간으로 m단위로 충분할 경우에 측정하는 방법이다. 이 방법은 실제로 기준국과 이동국이 몇 백 km이내로 떨어져 양국(기준국-이동국)간에 의사거리측정에서 GPS오차가 거의 같을 경우 사용한다. 앞에서와 같이 기준(기지)국은 기지점에 정지상태로 설치해 둔다. 기준국 수신기에 내장된 소프트웨어로 위성좌표와 마찬가지로 정확한 기지좌표를 사용 위성의 항해메시지로부터 가시계(可視界)에 있는 각 위성의 거리를 계산한다. 소프트웨어가 의사거리 측정오차(DGPS보정치)를 구하기 위하여 계산거리와 코드의사서리 차이를 구한다. 이러한 보정치를 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Service)라고 하는 표준양식으로 통신망을 통해 기준국에서 이동국으로 방송한다.(제8장에서 세부적으로 설명) 이동국은 이동점에서 측정한 의사거리를 보정하기 위하여 DGPS보정치를 적용한다. 이 방법은 기준국과 이동국간의 거리와 RTCM DGPS보정율에 따라서 CA코드 수신기로 1미터 이내 또는 약 5미터 이내의 다양한 정도를 얻을 수 있다. 보다 높은 정확도를 구하기 위하여 기지국과 이동국간의 거리를 짧게 하거나 전송률을 높여 CA코드거리 운송과 완만화 처리를 한다. SA의 정지로 데이터율은 10초 또는 낮추어도 경고 없이 정확도가 왜곡되지 않는다. 보다 정확한 측량을 하기 위해서 나중에 후처리 모드에서 사용할 수 있도록 원시 의사거리 측정치 저장이 가능한 수신기는 측량의 정확도를 후처리로 개선할 수 있다. 실시간 DGPS가 널리 사용됨에 따라 개인회사 뿐만 아니라 몇몇의 공공기관에서 무료로 또는 일정한 비용으로 RTCM DGPS보정 서비스를 하고 있다. 보다 구체적인 서비스는 제7장에서 설명한다.

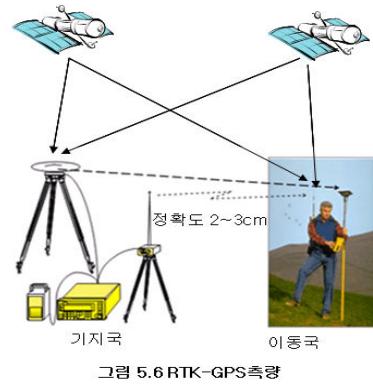


그림 5.6 RTK-GPS측량

5.8 실시간 대 후처리모드(Real Time Versus Postprocessing)

실시간(real time)이란 용어는 대부분 즉각적으로 그 결과를 구한다는 의미인 반면에 후처리(post processing)라는 용어는 현장에서 자료를 수집하고 나중에 처리하여야만 그 결과를 알 수 있는 측량방법을 말한다. 이러한 2가지 측량방법은 약간의 장단점을 각각 가지고 있다. 첫 번째 실시간 관측모드의 장점은 그 결과가 정확할 뿐만 아니라 현장에서 그 성과를 구할 수 있다는 것이다. RTK측량에서 특히 중요한 것으로 앰비규티값이 고정되어 정확도가 cm까지 되지 않으면 사용자가 화면에 표시된 성과좌표를 저장할 수 없도록 한 것이다. 이렇게 함으로써 후처리모드와 비교하여 GPS자료가 충분히 고정해가 되어야만 취득될 수 있도록 한 것이다. 뿐만 아니라 GPS자료처리는 수신기 내장 소프트웨어에 의하여 현장에서 자동적으로 처리된다. 이것은 후처리 소프트웨어가 필요 없는 뜻으로 후처리에 따른 시간을 절약할 수 있다. 하지만 후처리 모드는 몇 가지의 장점이 있다. 이것은 일반적으로 후처리 모드에서 얻은 결과가 보다 정확한 것이다. 그 한 가지 이유는 수집한 GPS자료의 편집과 삭제에 있어서 보다 융통적이라는 것이다.

6. 앰비규티 해석기술

앞장에서 상대측위 모드에 의한 운송파 측정으로 cm수준의 위치 정확도를 구할 수 있는 것을 알았다. 하지만 우선적으로 필요한 것은 초기화 앰비규티 변수(실제 이중차 앰비규티 변수)를 성공적으로 결정하여야 한다. 이러한 처리과정을 보통 앰비규티 해석이라고 알려져 있다. 앰비규티를 정확하게 푼다는 것은 위성까지 거리를 정확하게 안다는 뜻으로 결국 고정밀 위치측정을 할 수 있게 된다. 앰비규티 변수는 최소제곱법이나 칼만필터링 해법으로 초반부에 결정된다. 하지만 불행하게도 어느 방법으로도 앰비규티 정수를 직접 구할 수가 없다. 우리가 할 수 있는 것은 불확실 변수(C)상관행렬에 따라서 실수 값에 의하여 구할 수가 있다. 이러한 실수치는 사실상 기선해로 분리하는 것이 어렵다. 우리가 미리 앰비규티 변수가 정수라고 알면 다음의 분석에 필요한 것들이 명확하게 된다. 전통적으로 고정밀 GPS측위는 오랜 시간 동안(보통 수시간) 관측한 운송파의 상대측위이다.

이렇게 하여 수신기와 위성의 기하학적 배치별 변화가 고려되어 기선해로부터 앰비규티 변수를 분리시키는 데에 도움이 된다. 여기에서 비록 최소제곱해가 앰비규티 해석에서 실수치를 포함하고 있을지라도 매우 정수 값에 근접하게 된다. 결론적으로 보정정수 값은 간단히 정수에 가장 가깝게 실수값을 반올림하여 구한다. 다른 최소제곱법이 기선의 요소는 모르지만 기지값에 대한 정수치 앰비규티 파라미터를 고려하여 처리한다. 이 방법은 앰비규티 정수를 정확하게 결정할 수 있지만 시간이 많이 걸린다. 따라서 이와 같은 방법은 현재 정지관측모드에서 장기선의 경우에만 제한적으로 사용한다. 이러한 장시간의 관측자료를 사용하는 제한된 문제점을 해결하기 위하여 여러 가지 방법들이 개발되었다. 이중 한 가지 방법은 끝점의 좌표를 정확히 알고 있는 기지기선을 사용하는 것으로 사업지구 내에서만 가능하다. 앰비규티 변수는 기지국과 이동국 수신기의 짧은 관측시간으로 간단히 알고 있는 양 끝점에 기계를 세워서 결정한다. 이러한 과정이 통상적으로 수신기 초기화로 알고 있다. 수신기 초기화 후에 이동국 수신기는 측량하고자하는 측정점으로 이동할 수 있다. 이 방법으로 수신기는 새로운 측정점의 좌표를 구하기 위하여 초기화하는 동안 결정된 앰비규티 변수를 사용한다. 제2장에서 언급한 파장의 초기 정수치(앰비규티 변수)는 측정시간 동안에 이동수신기가 움직임에도 불구하고 사이클슬립이 없는 한 일정하게 유지한다. 달리 말하자면 측정시간 동안 수신기를 계속 켜 놓고서 언제든지 최소한 4개 이상의 공통위성을 수신하여야 한다. 교체에 따른 초기화는 안테나를 서로 교대하는 방법으로 작업지구 내에 가능한 기지기선이 없을 때에 사용한다.

6.1 안테나 교환(교체)법

안테나 교환법은 후처리 모드에서 앰비규티변수 초기화를 신속하고 정확하게 결정하는데 이용된다. 이 방법은 주로 1주파 수신기로 키네매틱 측량에 사용하며 물론 2주파 수신기에서도 잘 사용할 수 있다. 안테나 교환법으로 초기화하는 과정은 기지점에 기지국 수신기를 설치하고 그림6.1과 같이 수 m의 가까운 거리에 이동국을 설치한다. 약 1분 정도 보통 데이터 취득율은 1초 또는 이상의 높은 취득율을 사용한다. 한번 데이터가 취득되면 2개의 안테나를 교대한다. 이렇게 하면서 안테나 높이의 변화가 없도록 한다. 최소한 4개(5개 추천) 이상의 공통 위성을 계속하여 수신하도록 하며 새로이 설치하고 또 다시 연속하여 앞의 데이터 수신율로 1분간 양측 수신기에서 연속적으로 취득한다. 이러한 단계를 거친 후에 수신

기는 처음 설치위치로 돌아와서 초기화 처리를 마친다. 한번 초기화가 이루어지면 기준국은 앞에서 설명한 키네매틱모드와 같이 이동국이 측정점으로 이동하면서 측량하는 동안 기지국 점에 기준국을 계속적으로 세워 두어야 한다. 현장에서 작업을 종료한 후에 데이터를 PC에 내려받기를 하여 후처리 소프트웨어로 초기 앰비규티변수를 결정하기 위한 초기화 데이터를 사용한다. 한번 앰비규티 정수가 결정되면 소프트웨어는 cm수준으로 측정점 좌표계산을 하는 데 이 변수를 사용한다. 짧은 관측시간 간격으로 수신기를 초기화 하는 데에 충분하게 된다.

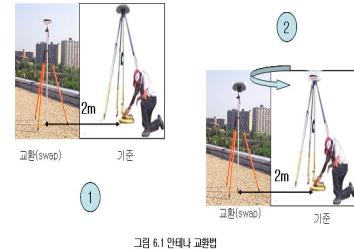


그림 6.1 원데나 교환법

6.2 OTF 앰비규티 해석

OTF(on-the-fly) 앰비규티 해석은 최초 이동국이 움직이는 것과 같이 정지초기화가 아닌 앰비규티 초기정수를 결정하는 기술이 개발되었다. 이 기술은 1주파와 2주파 수신기에 적용되는 기술이다. 하지만 2주파 데이터가 보다 신속하고 정확하게 앰비규티 해를 구한다. 이것은 주로 실시간의 키네매틱 측정모드에만 제한된 것이 아니다. 여러 가지 OTF기술들이 지난 몇 년 동안 개발되어 왔다. 단지 이들 중 한가지 방법만 여기에 요약하였다. 기준국과 이동국 측정은 2중차 모드와 초기화 조정으로 조합하여 최소제곱법 또는 칼만필터링 기술로 처리한다. 이런 초기화 조정 결과는 앰비규티 변수와 불확실성 값 또는 상관행렬에 대한 추정치(실수)로 초기의 이동국 위치이다. 상관행렬(Covariance Matrix)은 구간, 신뢰구간, 추정실수 앰비규티 변수의 주변 구간 형태로 도형적으로 표시된다. 이러한 신뢰구간의 크기는 앰비규티 변수의 불확실성 뿐만 아니라 사용된 확률적 단계에 따라서 달라진다. 불확실성 값과 확률수준이 높으면 신뢰구간의 크기도 크게 된다. 신뢰구간은 타원의 형태로 만약 추정변수의 수가 2이고 타원이면 3이 된다. 만약 추정변수의 수가 3보다 크면 위성의 수가 4개 이상인 경우로 신뢰구간은 초기 타원체의 구역이 얻어 진다. 일반적으로 Hyper-ellipsoid의 신뢰구간은 개략적으로 추정 앰비규티 변수 형태가 된다. 이와 같이 Hyper-ellipsoid는 일정한 확률에서 정수의 앰비규티 변수가 될 수 있다. 예를 들면 99%확률값이 Hyper-ellipsoid 크기로 사용되는데 이것은 Hyper-ellipsoid 내에 99%의 정수치 앰비규티 변수를 가질 확률이 있는 것이다. 우리가 사전에 앰비규티 변수가 정수이여야 하는 것을 알기 때문에 이것은 수학적으로 정수치로된 격자선을 그어서 타원체 내부의 정수교차점이 된다. 만약에 격자간격이 하나의 운송과 크기에 맞게 선택되면 앰비규티정수는 타원체 내에 있는 교차점 중에 하나로 표현될 것이다. 그림6.2는 2차원(2-D)을 이용하여 적용한 예를 간단히 나타낸 것이다. Hyper-ellipsoid는 신뢰구간 내에 있는 정수치를 가진 모든 점인 앰비규티 변수의 정수치를 찾는데 사용하는 것과 같다. 통계적인 평가로 단지 하나의 점만이 가장 가능성 있는 앰비규티정수 파라미터가 선택된다. 한번 앰비규티는 정확히 해석되면 최종적인 조정으로 cm수준의 이동국 좌표를 구하는데 사용된다. 이러한 OTF기술은 주로 실시간으로 앰비규티 변수를 해석하는데 사용되지만 비실시간 모드에서도 사용된다.

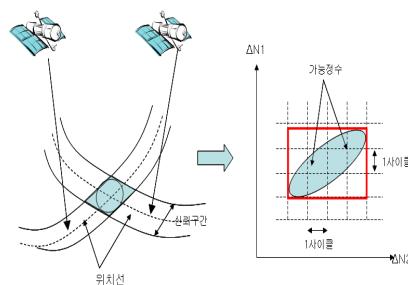


그림 6.2 OTF 앰비규티해석

6.3 GPS데이터처리과정

GPS관측성과는 후처리의 경우 컴퓨터 소프트웨어에 의하여 단계적으로 처리절차를 거치게 된다. 즉 현장답사, 선점 및 조표, 관측, 데이터의 저장 및 통합, 기선해석, 망조정처리, 좌표변환변수의 결정, 좌표변환, 보고서작성 및 성과이용의 과정이 이루어진다. 작업계획의 수립단계는 기본계획, 측량방법, 작업일정 및 소요인력을 판단하고 장비의 가동수를 고려한다. 현장답사의 과정에서 기준점측량의 타당성, 장애물의 제거 및 관측점의 수를 결정하고 세션(session)에 의하여 관측한다. 관측과정에서 사용안테나의 종류에 따라서 높이를 측정하고 세션별 관측데이터를 분석한다. 기선해석결과 초기 측량계획단계에서 설정한 요구정도에 부합한지를 판단한다. 이어서 벡터 값에 따라서 폐합차를 계산하고 그 결과를 이용하여 기준의 성과와 함께 망조정을 현행좌표계에 따른 실용좌표로 변환한다. 관측상 측정하기 어려운 지점에 대한 편심관측성과로부터 편심점의 위치를 산출한다.

6.4 기선해석

기선해석의 절차는 우선적으로 관측자료를 읽어 관측점에 대한 위성데이터를 수신기와 직접적인 통신 또는 PC메모리 카드를 이용하여 전송한다. 이것은 수신기로부터 출력한 L_1 , L_2 운송파 위상과 의사거리 등이다. 이로부터 위상차를 에포크 간격에 따라서 동일위성에 대한 수신기간 1중 위상차를 계산한다. 다음은 2위성간 1중위상차의 차이로부터 2중위상차를 계산한다. 위성수 n 개를 수신하면 2중위상차는 $n-1$ 개가 된다. 에포크간의 2중차의 차이로부터 3중위상차를 계산한다. 수신기로부터 읽은 항법메시지에 있는 궤도정보로부터 에포크마다 위성위치를 계산한다. 개략적인 기선벡터를 3중차 위상과 위성위치 데이터로부터 최소제곱법에 따라서 구한다. 정수치 바이어스의 추정과 기선벡터를 계산한다. 3중위상차에서 구한 기선벡터 근사값으로 2중위상차의 정수치 바이어스 추정과 벡터를 최소제곱법으로 계산한다. 정수치 바이어스의 추정과 기선벡터 근사값으로부터 2중위상차의 정수치 바이어스 추정과 기선벡터를 최소제곱법으로 처리한다. 이로부터 바이어스 정수를 구하고 이에 대응하는 기선벡터를 구하는 데 이것이 코드해(비엄밀해)가 된다. 정수치 바이어스의 추정으로 이를 고정하는 기선을 다시 최소제곱법으로 구한다. 기선해석 결과에 대한 표준 형식은 없으며, 제작사의 소프트웨어마다 각각의 형식을 갖는다. 좌표결과 뿐만 아니라 사용되는 용어들도 조금씩 다르다. 예를 들면 기선요소가 안테나간인지 또는 표석간인지 명확하지 않을 수도 있으며, 앰비규티가 바이어스로 표기되는 경우도 있고 적용된 통계테스트나 결과의 양호도를 나타내는 지표가 주어지지 않을 수도 있다. 일반적으로 기선해석으로부터 해석기법(triple-, ambiguity-free, or ambiguity-fixed)과 입력과 출력좌표(직교좌표, 측지좌표, 기선요소), 측점정보(측점명, 안테나 높이), 산정된 좌표요소의 표준편차, 좌표변수에 대한 상관행렬 또는 분산-공분산(VCV)행렬, 취득자료, 개개 측점에서 데이터 저장시간, 사용된 추적채널, 추적위성, 궤도력정보, 전처리 수행데이터(예, 대류권 보정 모델), 최소 해에 대한 양호도 지표(RMS, variance ratio, variance factor) 및 잔차에 대한 통계점검 결과이다.

제7장 GPS데이터와 보정서비스

GPS이용자는 가능한 최고의 위치 정확도를 얻기 위해 차등측위 기술을 사용한다. 이것은 제5장에서 설명한 것과 같이 직접적으로 기지국과 이동국 2개의 수신기를 사용하여 구현할 수 있다. 하지만 이것은 많은 경우에는 효율적이 되지 못한다. 역으로 위치정도를 떨어뜨리지 않고 비용을 줄일 수 있는 것은 GPS데이터와 보정서비스를 활용하는 방법을 사용할 수 있다. 이러한 서비스가 작업지역에 가능하다면 GPS사용자는 이동국 하나의 수신기만으로도 기준국 없이 사용할 수 있다. 현재 다양한 정확도와 비용에 따른 서비스가 가능하다. 몇몇 서비스의 경우 사용자에게 무료로 제공한다. 고정국의 정지관측을 위하여 우선적으로 새로운 기준점들을 설치하고 GPS사용자는 세계 각처에 있는 몇몇 기관에 의한 고정국 상시관측망을 이용할 수도 있다. 이러한 보정서비스는 현재 전 세계적인 IGS(International GPS for Geo-dynamics)망으로 뿐만 아니라 미국과 같은 경우에는 별도로 지역적인 다수의 GPS사용자를 위하여 상시관측소(CORS:Continously Operating Reference Station)망에서 이러한 것을 무료로 서비스를 하고 있다. 또 다른 GPS서비스망(CACS:Canadian Active Control System)의 경우 사용자가 일정한 비용을 내어야 한다. 이들 시스템의 기준국은 연속적으로 운영되어 ITRF와 개정 KoreaTM과 같은 최신의 기준점망 자료를 제공, 접속할 수 있다. 전 세계적으로 몇몇 국가들은 연안지역에 상시기지국을 설치하여 RTCM(제8장에서 설명)으로 알려져 있는 특수한 형식의 실시간 DGPS보정신호를 연속적으로 방송한다. 이 서비스의 가장 중요한 목적은 안전 항해이지만 서비스가 가능한 지역에 있는 모든 사용자는 무료로 사용할 수 있다.

비록 이러한 서비스가 무료이지만 RTCM보정을 받을 수 있는 GPS수신기에 연결된 별도의 비콘 수신기가 필요하다. GPS수신기는 RTCM보정치를 받아 DGPS수신기가 된다. 이와 같은 시스템에서 얻을 수 있는 정확도는 1미터 내외가 된다. 상용으로 전 세계 2가지 종류의 DGPS서비스가 실시되고 있는데 하나는 FM방송을 통한 DGPS방송이고 또 다른 하나는 위성통신에 의한 것이다. 2시스템의 DGPS보정은 전 세계적 또는 대륙 범위의 지상 기준점망에 의한 DGPS보정치에 기초를 한다. 이 시스템을 WADGPS(Wide Area Differential GPS)라고 한다. 2시스템은 DGPS보정치를 디코딩하는 특수한 수신기가 필요하며 GPS이동국 수신기와 연계하여 m수준의 정확도로 좌표를 구할 수 있다. WADGPS(1기지국)시스템과 비교하여 서비스지역이 넓으며 접근하기 어려운 지역은 소수의 기지국을 사용한다. 어디에서나 실시간으로 10cm수준의 정확도로 측정이 가능한 운송과 RTK측정을 위한 새로운 서비스 체계가 현재 개발되고 있다. 이러한 서비스는 4개의 GPS기준국만으로 전 도시 또는 적은 여러 인접지역까지 할 수 있다. 무선통신과 인터넷의 발전으로 이러한 것들이 확실히 구현될 것으로 기대된다.

7.1 데이터 서비스

세계 여러 기관들이 정밀 상시 GPS기준국을 설치하여 다양한 측지 목적으로 사용하고 있다. 이러한 기준국에서 취득된 GPS데이터는 여러 사용자들이 사용할 수 있도록 하여 새로운 기준점을 설치하는 고정밀 정지관측에 사용된다. 이와 같은 기관 중에 하나가 IGS로 국제적으로 여러 기관들이 회원이 되어서 국제측지 및 물리분야 활동을 지원한다. IAG(International Association of Geodesy)는 1993년부터 IGS의 공식조직으로 IGS서비스

는 전 세계 250개 수신국망(2001년 4월부터)으로 2주파 수신기와 많은 데이터와 분석할 수 있는 체계로 되어 있다. 그림7.1은 현재의 IGS국제 수신국을 나타낸 것이다. 각 수신국에서 수집된 원시 GPS데이터는 공통 포맷인 RINEX(Receiver Independent Exchange)로 데이터센터 운영자에 의하여 변환된다. 변환 데이터는 전 세계 데이터센터에 의하여 수집되어서 On-line으로 공급한다. 이 단계에 분석센터에서 On-line으로 여러 가지 결과를 산출 한다. 이러한 산출물 중에는 GPS위성정밀력과 수신국 시계정보, 수신국 좌표 및 속도, 지구 자전 파라미터 등이 있다. 가용시간에 따라서 위성정밀력의 품질정도에 차이가 있다.(제8장 참고) IGS GPS자료는 전 세계 사용자에게 무료로 인터넷을 통하여 서비스하고 있으며 데이터의 양식은 RINEX포맷이다.(IGS URL주소는 부록 B에 있음)

7.2 DGPS비콘 방송체계

항행지원 해양비콘과 보조전자 장치들은 저-중주파 밴드(2,835~325kHz)에서 운용한다. 이들은 등대나 연안지역에 설치하고 해양 안전운행을 위하여 전 세계 수많은 라디오비콘이나 RTCM양식의 DGPS보정을 실시간으로 방송한다. 이러한 서비스는 대부분 무료이다. DGPS 비콘시스템은 제5장에서 설명한 RTCM양식으로 실시간 DGPS보정치를 생성시키는 기지국이다. 이를 보정하는 최소이동키(MSK:Minimum Shift Keying)로 알려진 특수한 주파수 변조를 수치화 변환을 한 것이다. 이 변조 보정데이터는 25와 200bps사이의 전송율로 라디오비콘으로부터 방송한다. 하지만 보통 전송율은 100과 200bps이다. 대부분의 경우 정수모니터링(IM:Integer Monitoring)장치와 RS장치를 통합하여 운행한다. MSK비콘수신기를 장착한 사용자는 특정 비콘 기지국의 방송범위 내에 있는 경우 DGPS보정 방송을 수신 할 수 있다. 비콘 방송의 도달범위는 출력 크기, 대기잡음, 수신기 감도 등 여러 가지 요인에 따라서 달라진다.

또한 도달범위는 전파경로 또는 전도와 같은 특성(내륙보다 해양이 큼)에 따라 다르다. 비콘의 위치는 통상적으로 전체 신호의 가용성을 크게 하도록 중복되게 설치한다. 이러한 서비스는 보통 DGPS비콘 예상 도달범위를 발간하며 몇몇 비콘수신기 제작사도 전 세계 비콘 서비스 가용지역에 대한 정보를 제공한다. MSK비콘은 단-이중채널 수신기가 있으며 이 중채널 수신기가 비싸지만 성능이 좋다. 2차 채널은 인접한 비콘 방송국을 찾는데 유용하며 가능한 신호가 좋은 인접의 기지국을 찾으면 자동적으로 수신이 변환된다. 확실한 비콘 기지국에 의한 방송범위를 알 경우에는 단채널 MSK수신기로도 충분하며 비용을 절감할 수 있다. MSK수신기를 유용하게 사용하기 위해서는 차등처리 기능을 갖춘 수신기와 연결하여야 보정된 위치좌표를 출력하게 된다.

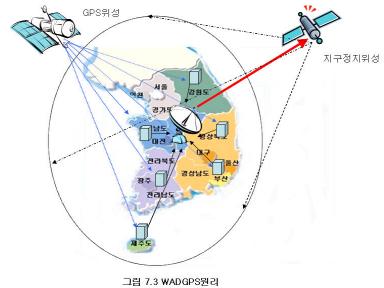
7.3 광대역 DGPS시스템

하나의 기준국만으로 실시간 DGPS측정을 하는 경우 기준국으로부터 멀어지게 되면 위치 정확도가 저하되는 단점이 있다. 즉, 가장 정확한 위치는 상대적으로 기준국 주변지역에만 국한되는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 WADGPS로 알려진 여러 개의 기준국을 분산시켜서 설치하는 시스템을 개발하였다. 기준국은 GPS데이터를 광통신망과 같은 지상망을 중앙국으로 중앙 집중국은 시스템 가용 포괄지역에 있는 각 위성에 대한 여러 가지의 보정변수를 결정하기 위하여 수신된 데이터를 분석 및 조합한다.(그림7.3) 이러한 변수를 패킷화하여 정지위성에 전송(up load)하여 포괄지역인 지상에 재전송한다. 가용범위 내

35 GPS측량실무

에 있는 모든 사용자들은 단지 하나의 DGPS보정신호를 받아 2개의 위치차이를 구할 수 있다. 현재 전 세계적으로 OMNISTAR와 RACAL Land Star와 같은 다양한 상용의 WADGPS시스템이 현재 운용되고 있다. 이들 2시스템은 위성통신으로 전 세계 여러 지역을 서비스하고 있다.(그림7.3)

OMNISTAR은 C-밴드 주파수, Land Star은 L-밴드 대역에서 서비스 하고 있으며 누구나 등록한 수신기로 DGPS보정신호를 해석하여 사용할 수 있다. 데이터 수신기는 차등처리가 내장된 수신기와 연결하여 보정된 위치를 구할 수 있으며 수신기의 종류에 따라서 1m 이내 또는 수 m이내의 정확도를 구할 수 있다. WADGPS비용을 줄이기 위하여 몇몇 서비스제공자는 실시간 DGPS보정과 WADGPS시스템을 상호 방송할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 DGPS보정치를 지역 사용자를 위하여 기존의 FM라디오 방송을 이용하는 방법이다.(그림7.4) 이 방법은 정지위성에서 방송한 보정변수를 여러 개의 FM방송국에서 수신하여 DGPS보정으로 계산 및 지역 사용자에게 방송하는 것이다. RDS(Radio Data System)기술에 의한 FM라디오 방송으로 수치 DGPS보정신호를 운송한다. 이러한 형태의 서비스를 사용하기 위해서는 DGPS보정을 할 수 있는 장비와 등록한 RDSFM수신기로 방송범위지역 내에 활용할 수 있다. 담배갑 크기의 FM수신기로 DGPS수신기와 연결하여 수신기 형태와 등록사양에 따라서 보정위치를 10cm~1m의 정확도로 구할 수 있다. 이러한 시스템의 장점은 위성방송서비스와 비용적으로 FM수신기가 저렴하다. 하지만 FM방송국의 방송도달 범위가 제한적이라는 어려움이 있다. 보고서에 따르면 북미지역은 90%정도로 사용할 수 있다.



제 8장 GPS표준양식

GPS제작사들은 각각 그들의 고유한 형식으로 GPS측량데이터를 저장하기 때문에 각기 다른 수신기의 데이터를 통합하기가 어렵다. 때문에 유사한 문제들은 GPS시스템에 포함된 여러 가지 인터페이스를 할 경우에 고려하여야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 사용자의 요구에 따라서 표준양식을 개발하였다. 이 장에서 주로 널리 사용되고 있는 RINEX, NGS-SP3, RTCM SC-104 및 NMEA-0183과 같은 표준양식에 대하여 설명하고자 한다.

8.1 RINEX양식

저장 공간을 절약하기 위하여 대부분의 GPS수신기 제작사들은 그들 고유의 2진데이터 양식을 개발하였다. 이진데이터 양식은 결국 직접화면 출력으로 읽을 수 없는 것이다. 이것은 각기 다른 수신기의 데이터를 후처리할 경우 데이터를 통합하게 되는데 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 국제 연구그룹에서 자료를 전 세계적으로 상호 사용할 수 있는 양식을 개발하였다. 이 양식이 RINEX양식으로 문자로 읽어 들일 수 있는 형태의 ASCII(American Standard Code for Information Interchange)표준양식이다. 비록 ASCII로 된 양식이 보다 많은 저장 공간을 2진파일 보다 많이 차지 하지만 분배에서는 융통성이 있다. RINEX파일은 자체 수신기의 압축된 2진파일을 변환한 것이다. RINEX 간의 버전은 1989년에 소개된 이후 여러 번 개정되어 적합한 형식(예: GLONASS와 기타 목적)으로 발전되고 있다. 현재에는 RINEX 버전 2.10으로 각기 헤드 부분과 데이터 부분으로 된 6개의 파일형식이 있다. 즉, GLONASS항행메시지 파일, 정지위성 GPS신호 데이터파일 및 위성과 수신기 시간파일이다. 새로운 버전 2.20이 GPS 또는 GPS/GLONASS수신기를 장착한 저궤도 위성으로부터 편리하게 사용할 목적으로 제안되었다. GPS이용자의 대부분은 앞의 3가지 파일이 가장 중요하다. 따라서 이 부분에 대해서만 여기에서 설명하고자 한다. 모든 RINEX파일에 레코드 또는 행의 길이는 최대 80문자로 제한되어 있다.

추천하는 RINEX파일의 명명은 "ssssdddf.yyt" 형태로 앞의 4문자 "ssss"는 측정점의 명칭, 다음의 3문자 "ddd"는 해당 년도의 첫 번째의 날로부터 기산한 일수(001~365), 8번째의 "f"는 그날의 연속된 파일의 순번이고 확장자명의 "yy"와 "t"는 관측년도와 파일의 형태를 각각 나타낸다. 파일형태의 부호는 "o":관측파일, "n":항행파일, "m":기상파일, "g":GLONASS항행파일, "h":정지위성 GPS항행메시지파일이다. 예를 들어 "abcd032.01o"라는 파일의 명칭은 관측점의 명칭이 "abcd"로 2001년 2월 1일에 관측한 관측파일이다. 관측파일의 내용은 헤드 부분에 측정점 명칭, 안테나 정보, 개략적인 측정점의 위치, 관측수와 형태, 측정간격, 최초로 기록을 시작한 시간과 다른 여러 가지의 정보를 포함하고 있다. 관측형태는 L₁과 L₂와 같이 정의되고 이는 L₁과 L₂상 의사거리 파장을 나타낸다. C₁은 L₁상 CA코드를 이용한 의사거리(m)를 나타내고, P₁과 P₂는 L₁과 L₂상의 P코드를 이용한 의사거리, D₁과 D₂는 L₁과 L₂의 도플러 주파수(hertz)를 나타낸다. GPS시간프레임은 GLONASS파일에서는 UTC프레임을 사용하는데 반하여 GPS파일이 사용된다. 항행메시지 파일은 제2장에서 설명한 것과 같이 위성정보를 포함하는데 헤드부분에 파일생성일자, 기관명칭 및 관련된 정보들이 포함되어 있다. GPS관측파일과 마찬가지로 항행메시지 파일의 끝부분에 "END OF HEADER"가 있다. 부가적으로 헤드부분은 1주파 사용자를 위한 전리총 모델의

파라미터와 같은 추가정보를 포함한다.(제3장 참고) 더군다나 위성력 파라미터들은 GPS시간과 UTC관계가 있으며 윤초는 항행메시지의 헤드 부분에 부가적으로 포함된다. 데이터부분의 첫 번째 레코드는 위성 PRN번호, 시간태그 위성시계변수(바이어스 편차 및 편차율)와 같은 것을 포함한다.

8.2 NGS-SP3양식

제3장에서 설명한 여러 연구기관이 만들어 내는 정밀궤도력 자료로 고정밀의 위치를 측정할 수 있다. 이러한 정밀궤도력 자료는 미국 NGS가 변환용 SP3양식을 개발하였다. 이것이 차후 국제표준으로 되었으며 SP3의 의미는 “Standard Product 3”으로 이것은 1985년에 SP1이 소개 되었으며 SP3파일은 ITRF기준의 정밀궤도력 자료와 위성시계 보정에 관한 내용을 포함한다. SP3파일 한 줄의 길이는 60칸 문자로 GPS시간이 SPS의 표준이다. SP3양식의 정밀력 파일은 2세션으로 헤드부분과 데이터부분으로 구성된다. 헤드부분은 22행으로 첫 번째 줄은 버전기호(#a)로 시작하고 그레고리(Gregorian)날자와 그 날의 첫 번째 궤도 에포크 시간, 위성력파일의 에포크 수를 포함한다. 2번째 줄은 기호(##)로 시작하고 GPS주의 수, 주의 초, 에포크 간격과 개정 쥬리안 날자(Jurian day)를 나타낸다. 3~7번째 선은 기호(+)로 시작하고 총 위성수, PRN수에 의한 구분 명칭에 의한 위성의 목록을 보여준다. 8~12번째 줄은 기호(++)로 시작하고 3~7번째 줄에 나타난 위성에 대한 정확도 지수의 의미는 다음의 설명과 같다. 즉 고유한 위성에 대한 궤도오차의 표준편차이다. 예를 들어 그림8.4에서 나타난 바와 같이 위성 PRN은 6승의 지수를 가진다면 이것은 궤도오차 $2^6 = 64\text{mm}$ 또는 6.4cm표준편차가 된다. SP3헤드의 13~19번째 선은 앞으로 개정될 것을 예측하여 예비해 둔 것이고 19~22번 줄은 자유로이 기록할 수 있도록 남겨 두었다.

SP3양식에 있어서 정밀력의 데이터 부분은 23번 줄부터 시작하며 이것은 데이터와 최초 에포크 시간이 포함된다. 사실상 헤드부분의 첫 번째 줄에 동일한 시간이 표시되어 있다. 계속적인 선은 위성좌표와 현재 에포크의 위성시계 데이터를 나타낸다. 각 선은 개별위성과 문자 “P”로 시작하는 데 이것은 위치선을 의미한다. P문자 뒤에 PRN번호, X,Y,Z 좌표(km)와 10^{-3} 초의 위성시각 보정초가 순차적으로 표시된다. 몇몇의 경우에는 위성속도와 위성시계 보정치가 이 정보에 포함되어 있다. 이것을 다루기 위하여 위치와 시계의 보정값은 한줄로 기록되고 다음 줄에 같은 위성에 대한 속도와 시각 보정율이 기록된다. 이 줄은 속도를 포함하고 있어 문자 “V”로 연속 에포크가 동일한 구조로 파일의 끝은 ”EOF”기호로 종료된다.

8.3 DGPS서비스 RTCM SC-104표준

실시간 DGPS운영은 기준국에서 의사거리 보정에 대한 추정이 필요로 하는데 이것을 통신수단은 통하여 이동국에 방송한다. 운영의 효율성을 증대시키기 위하여 의사거리 보정값은 RTCM SC-104로 일련된 산업표준으로 전송하여야 한다. 이러한 양식은 해사무선통신서비스위원회(RTCM:Radio Technical Commission for Maritime Services)에서 제안한 양식으로 이 조직은 1947년에 해양통신에 관한 문제점들을 조사하기 위하여 설립하였다. 특별위원회 SC-104(Special Committee)가 GPS차등보정신호 방송에 따른 사용자의 권고로 개발하였다.

본 권고안의 간이 버전이 1985년 11월에 발행되었고 이어서 여러번 개선되었다. 가장 최근의 버전은 이책을 쓸 당시 버전 2.2가 1998년 1월에 발행되었다. 최초 RTCM SC-104 양식은 공공해양용 비콘의 DGPS보정을 지원할 계획이였다. 하지만 이것이 실시간 DGPS방송을 위한 산업표준이 되었다. RTCM SC-104 표준은 64가지 형태의 메시지로 구성되어 있으며 이를 메시지는 기준국의 가시위성에 대한 각 위성의 의사거리 보정(PRC), 의사거리 보정변화율(PRC) 및 기준국 좌표와 같은 정보를 포함하고 있다. 대부분의 DGPS사용자는 형식 1과 9를 이용한다. 이를 2양식은 PRC와 RRC보정값을 포함한다. 하지만 메시지 1형은 기준국의 가시권 내의 모든 위성에 대한 보정값을 포함한다. 반면에 9번 메시지는 3개의 그룹으로 보정값이 압축되어 있다. 따라서 1번형 보다 9번형의 지연이 낮게 된다. 이것은 SA가 작동중일 경우에 유용하지만 9번형의 단점은 기준국의 시간이 안정적이여야 한다는 점이다.

8.4 NMEA0183양식

NMEA는 "National Marine Electronic Association"의 약자로 전자부품제작자간의 전자 부품 판매 강화그룹에 의하여 1957년에 설립되었다. 1983년에 산업체, 개인, 정부기관으로 구성되어 장비간의 상호호환을 위하여 NMEA양식을 협회에서 채택하였다. 이것은 여러번 개선되어 최근 2000년 7월에 버전 3.0을 작성 및 채택하였다. NMEA-0183은 연속된 ASCII양식으로 4800bps로 전송 및 수신한다. 여기에서 GPS는 송신하고 송신된 것을 GPS로부터 수신한다. (예:노트북과 GPS연결) NMEA-0183연속데이터는 위치, 측지원자, 수심 및 다른 값들과 같은 내용을 포함할 수 있다. 이 데이터는 문장형태로 보내어 지는 데 "\$" 표시로 시작하고 <CR>:Carriage Return과 <LF>:Line Feed로 종료한다. "\$"표시 다음에 5칸의 문자는 연속되는 내용의 데이터 형태에 대한 것이고 이어서 데이터 문자열로 연속되어 져 최종적인 3문자가 따른다. 마지막 부분은 체크섬(checksum)부분으로 "*"로 구분된다. 최대 문자의 수는 82문자로 이것은 79문자가 시작의 "\$"와 마지막의 <CR><LF>사이에 들어간다.

제 9장 GPS 통합

GPS는 많은 응용분야를 발견하였는데 이것은 주로 그 정확성과 전 세계적으로 이용이 가능하며 효용성과 비용측면에 유용하다는 점이다. 하지만 충분한 위성을 볼 수 없는 GPS수신 장애지역 때문에 GPS활용을 확산하는데 방해가 되고 있다. 예를 들어 도심의 빌딩밀집지역(city canyon)과 노천탐광지역 등과 같은 지역이다. 하지만 신호의 수신 장애문제는 다른 위치측정시스템과 통합시켜서 이러한 문제점들을 극복할 수 있다. 실제 보고된 결과에 따르면 통합시스템이 GPS단독시스템보다 성능이 좋다고 밝혀졌다. GPS증가는 수신기의 통합에만 국한된 것이 아니라 다음에서 설명하는 것과 같이 GIS와 같은 분야에서 데이터수집 및 분석과 같이 컴퓨터관련 장비들과 함께 통합시스템이 증가될 수 있다.

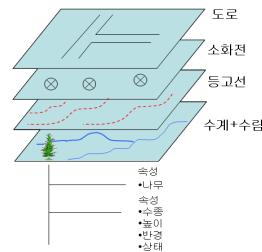


그림 9.1 GPS/GIS 통합

9.1 GPS/GIS통합

GIS(지형정보시스템:Geographic Information System)는 컴퓨터로 공간 기준의 데이터를 취득, 저장, 처리, 분석 및 보고하는 것이다. 공간적으로 기준이된 자료는 예로 거리, 전주, 상하수구와 같이 지리적으로 연계되어 위치에 따라서 확인된다. 공간 또는 지리적 데이터는 기준 도면, 위성영상, GPS와 같은 다양한 출처로부터 얻을 수 있다. 한번 정보가 취득되어서 GIS DB에 레이어로 모아져 저장된다.(그림9.1) GIS는 정보를 분석하고 의사결정을 효율적으로 하는 데에 사용된다. 예를 들면 새로운 도로를 신설하는 경우 교통량과 같은 특징적 효과를 연구하는데 사용할 수 있다. GPS는 GIS현장 데이터를 효율적이고 정확하게 취득하는 데에 사용된다. GPS데이터는 실시간 또는 후처리 방법에 의한 수치형태로 취득된다. 많은 GPS/GIS시스템은 실제 cm~m수준의 정확도를 제공한다. 이러한 시스템 대부분은 각 사물개체의 속성을 사용자가 결정하여 입력할 수 있다. GPS항행 기능이 갖추어져 현장조사에서 다시 그 위치를 찾을 수도 있다. 몇몇 GPS제작자들은 웬컴퓨터 시스템으로 취득된 데이터를 수정 및 출력할 수 있다. 시설물관리, 임업, 농업, 공공안전 및 항구관리와 같은 다양한 산업분야에 GPS/GIS통합시스템의 장점이 있다.

9.2 GPS/LRF시스템

숲이 많이 우거진 산림지역에서 GPS수신기는 일반적으로 GPS신호를 놓치기가 쉽다. 뿐만 아니라 실시간 보정신호도 받지 못할 수도 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 GPS휴대형 레이저 측정장비 또는 LRF(Laser Range Finder)를 통합한 시스템이 개발되었다. 이 통합시스템의 운용방법은 GPS안테나를 개방지역에 설치하여 GPS신호를 놓치지 않고 정상적으로 운영할 수 있다. 여기에 수치컴파스를 연결하여 무타겟 휴대형 거리측정기를 GPS수신기와 통합하여 측정하고자 하는 지점의 방위각과 거리를 결정할 수 있다. 이러한 작동은 지거(offset)기능으로 알려져 있으며 휴대용 컴퓨터에 내장된 소프트웨어로 지거데이터와 GPS데이터를 모두 취득한다. 이어서 바로 모든 정보를 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 접근 불가능한 점들에 대한 좌표를 계산한다. 데이터의 취합과 처리는 실시간으로 현장에서 이루어지고 실시간 DGPS보정치도 수신하여 처리하게 된다. 한번 처리가 끝나면 사용자는 GIS 또는 CAD에 필요한 형식으로 출력할 수 있다. 필요에 따라서 이러한 장치를 제거하고

서 바로 안테나를 측정점에 위치시켜 도면화 할 수 있다. GPS레이저 통합시스템은 특히 임야지역에 매력적인 장비이다. 수목의 간격, 높이, 직경 등도 레이저 측정기로 쉽게 측정할 수 있다. 접근하기 쉬운 지점으로부터 개방지역에 사용자가 정지하여 여러 곳의 측정점이나 사물에 대하여 지거로 측정한다. 이 경우 사용자의 위치는 지거측정 동안에 취득한 모든 데이터를 평균하여 정확하게 구한다. GPS 레이저 통합시스템의 다른 응용분야로 교량하부, 번잡한 도로, 고속도로 표지판, 해안선과 같은 지역의 도면작업에 사용된다. GPS레이저 통합시스템으로 점, 선, 면의 개체를 도면화할 수 있다.

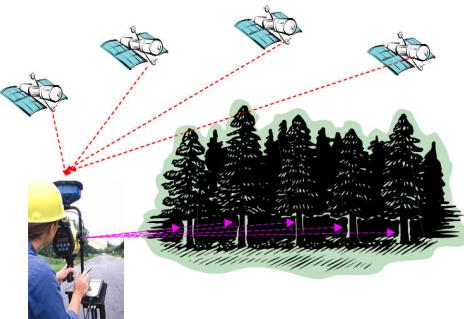


그림 9.2 GPS/LRF 통합시스템

9.3 GPS/방향인식(Dead Reckoning) 통합시스템

GPS신호가 미약한 경우에는 별도의 보조장치로 사용되는 시스템이 DR(Dead Reckoning)시스템이다. DR은 저비용시스템으로 보통 거리측정센서와 진동자이로로 구성되어 있다. 주로 GPS/DR시스템은 자동차운행에 따른 자동차위치 AVL(Automatic Vehicle Location) 응용분야에 널리 사용된다. DR항행시스템은 차량의 이동거리와 방향을 연속적 편위를 알아야 한다. 차량의 이동거리는 거리센서(odometer)로 알 수 있으며 차량의 진행방향은 자이로스코프(gyroscope)로부터 얻을 수 있다. 만약 자동차가 알고 있는 지점으로부터 주행을 시작하면 거리와 방향정보가 언제든지 자동차의 위치를 구하는데 사용될 수 있다.

달리 표현하면 자동차가 수평면으로 진행한다고 가정하면 경로와 방향정보가 경과시간과 통합하여 자동차 위치를 계산할 수 있다. 거리측정계는 대부분의 차량에 이미 설치되어 있으며 주로 수명이나 서비스 일자의 판단 및 측정하는 데에 주로 활용한다. 거리측정센서는 자동차 바퀴의 회전수를 측정하는 것으로 이것을 초기화 조정을 하여 경과거리로 변환할 수 있다. 이러한 변환은 거리계 계수를 조정하여 결정할 수 있다.

조정자계수를 결정하는 방법 중 하나로 기지거리를 자동차로 주행함으로써 결정할 수가 있다. 하지만 불행하게도 거리계의 조정자는 주로 자동차 바퀴의 미끌림이나 급정지(skidding), 타이어 공기압 변화, 자동차 운행속도에 따라서 항상 변한다. 만약 조정을 하지 않고 그냥다면 조정자 오차가 급속하게 누적되어 심각한 위치오차가 생기게 될 것이다. 하지만 진동자이로는 소위 콜리우스 전향력에 따른 각도(선두각)를 저가의 센서로 측정할 수 있다. 진동자이로는 자동차의 각속도에 비례하여 전압을 출력한다. 자동차의 방향율은 출력전압에 조정계수를 곱하여 얻을 수 있다. 거리센서와 유사하게 자이로도 편의차와 조정계수 불안정에 따른 오차가 누적되는 문제점이 있다. 자이로는 온도에 따라 민감하게 변화하여 측정 때마다 자이로에 영향을 준다. 이와 같이 자이로는 각속도가 “0” 일지라도 눈금이 “0”이 아닐 수도 있다. 이러한 현상은 정지상태이거나 또는 일직선으로 진행할 때에 볼 수 있다. 하지만 자이로 조정자 오차는 차량이 회전할 때에만 영향을 주게 되며 이들 오차는 시계방향일 경우와 반시계 방향일 경우 동일하게 발생하여 오차를 크게 줄일 수 있다.

9.4 GPS/INS통합시스템

장애지역과 고속이동 조건에서 고정밀 측정이 요구되는 많은 응용분야가 있다. 예를 들면

이들 응용분야는 노천탐광이나 항공사진측량(제10장 참고)과 같은 것이 있다. 앞에서 언급한 것과 같이 GPS의 중요한 문제점들은 장애지역에서 사용에 제한이 있을 뿐만 아니라 GPS수신기는 이동성이 많은 활용에 한계가 있다. 제2.7장에서 언급한 GPS신호 방해가 높거나 수신기 흔들림이 많은 경우 순간적으로 신호를 놓치거나 사이클슬립의 원인이 된다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 GPS를 주변환경과 독립되도록 통합한 것이 관성항행 시스템(INS:Inertial Navigation System)이다. INS는 위치, 속도, 방향이 처음에 한번 초기화되고 나면 그 때부터 자동적으로 3차원적인 위치와 속도 및 고도를 제공한다. 또한 관성센서는 IMU(Inertial Measurement Unit)로 가속미터, 자이로스코프, 전자부품 및 컴퓨터로 구성된다. 이동체에 올려지면 개체의 중력 가속도를 측정하고 자이로는 내부 측정판의 방향 정보를 제공한다. 이러한 통합 정보들은 센서의 컴퓨터에서 누적시켜 속도와 위치를 계산한다. 뿐만 아니라 상대적으로 주변과 독립된 시스템인 관성시스템은 초기화에 따른 짧은 시간에 대한 정확한 GPS정보를 제공한다. 또한 관성시스템은 GPS보다도 훨씬 고속으로 갱신된 성과를 제공한다. 하지만 관성시스템의 심각한 결점은 오랜 시간에 걸친 편위는 도움을 주지 못하는 것이다. 특히 자이로스코프의 성능이 관성시스템 성능에 한계가 있다. GPS와 INS통합은 2시스템의 문제점을 상호보완하는 것이다.

9.5 GPS/Pseudolite통합시스템

GPS응용분야에서 가장 빠른 성장을 한 것 중에 하나가 노천탐광이다. 노천탐광에서 GPS 사용으로 여러 가지 운영경비를 현저히 감소시킬 수가 있다. 실시간으로 cm수준의 정확도를 측정할 수 있는 RTK-GPS는 광산산업에 매력을 끌었다. 이것은 주로 무겁고 비싼 장비를 자동화 하는데 중요한 것이 정확한 실시간의 위치이기 때문이다. 이와 같은 훌륭한 광산 시스템으로 작업의 안전성뿐만 아니라 노동비용을 절감할 수 있다. 불행하게도 앞의 경우와 같이 여기에서도 위성신호가 그림9.3과 같이 부분적으로 노천광산에서 차단된다. 노천의 탐광지와 같이 깊숙한 부분에서는 GPS만으로 탐광위치에 대한 신뢰성이 없다. 여기에서 GPS 사용을 정확하게 그리고 중대시키는 것이 바로 Pseudolite시스템이다. Pseudolite는 지상에 설치하는 GPS와 같은 코드와 운송과 및 데이터 메시지를 전송하는 전자장치로 이것을 GPS수신기로 2신호를 수신할 수 있다. 원자시계를 내장한 GPS와 같지는 않지만 저가의 수정시계를 사용하여 신호를 생성시킨다. 추가적인 Pseudolite신호는 시스템의 가용성과 기하적 배치를 향상시키며 Pseudolite의 수와 그 위치는 시스템 성능을 최대가 될 수 있도록 최적화하여야 한다. 특히 고도정확도가 현저하게 개선되어 높이의 정확도가 높아진다. 또 다른 Pseudolite의 장점은 지상방송시스템으로 신호가 전리층에 영향을 받지 않게 된다. 하지만 Pseudolite는 고정밀 측정을 할 수 있도록 많은 결점을 보완하여야 한다.

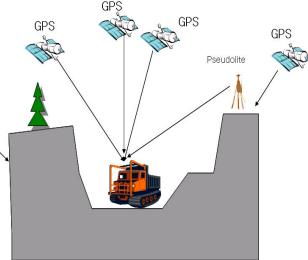


그림 9.3 GPS/Pseudolite

9.6 GPS/Cellular통합시스템

휴대폰 통신기술은 전 세계적으로 널리 사용되어지고 있다. 휴대폰 사용자의 수와 통화영역 범위도 계속해서 증가되고 있으며 특히 디지털 휴대 통신의 증가 추세로 음성과 데이터가 혼합되어 끊이지 않고 사용할 수 있다. 이것은 911비상, AVL과 RTK-GPS와 같은 여러 시장에서 매력적인 시스템이다. 하지만 현재 휴대폰 통신의 중요한 문제점은 정확하게 통신

자의 위치를 결정하는 데에 있다. 비록 이것이 RTK-GPS와 같은 응용분야에 심각한 것은 아니지만 911과 AVL과 같은 응용분야에서는 매우 중요한 것이다. 예를 들어 미국의 경우 911의 1/3이 휴대폰 통신으로 이루어진다. 이들의 1/4은 그들의 정확한 위치를 설명할 수 없어서 효율적으로 구급을 하기가 어렵다. 이와 같이 미연방 통신위원회(FCC:Federal Communication Commission)은 2001년 10월에 강제조항으로 911무선 긴급통신자의 추적 위치는 67%신뢰도로 125m이상의 정확도를 가져야 한다는 것이다.

FCC의 위치정확도를 맞추기 위하여 무선통신망 운영은 망위치 기반 또는 휴대폰 위치망 기반을 사용할 수 있다. 대부분 망기반의 휴대폰 사용자 위치추적시스템은 TDOA(Time Difference Of Arrival)접근법 또는 AOA(Angle Of Arrival)접근법으로 휴대폰 사용지역이나 기지국에 911구급 신호도착 시간차이를 측정하는 것이고 휴대폰 사용자 위치는 최소 3개의 기지국에 도착한 시간으로 결정할 수 있다. 확실한 것은 이 기술에서는 시작동기가 기본적으로 각 기지국에 GPS시간 수신기를 갖추고 있어야 한다. 또 다른 기술로 AOA는 기지국내 도착한 신호를 계산하기 위하여 안테나 파장배열을 이용하는 방법이다. 이 방법으로 휴대폰 위치를 추적하는 데에 2개의 기지국이 필요하다. TDOA와 AOA방법 모두 장단점이 있으며 2방법을 병용하는 망사업자도 있다. 휴대폰 기반의 위치추적기술은 무선통신 전화기에 GPS칩을 내장시켜서 휴대폰 통신으로 위치를 전달하는 것이다. SA가 영구적으로 가동이 중단되어져 이 기술은 911구급 위치추적 정도가 FCC의 요구사항에 10배 정도 능가하는 정확도를 가진다. 망기반의 기술과 휴대폰 기반기술은 같지 않지만 매우 간단하게 설정할 수 있으며 기준국에 별도의 GPS수신기와 같은 장비를 추가적으로 설치할 필요가 없다. 하지만 휴대폰 기반의 위치측정시스템의 한 가지 결점은 새로운 휴대폰에만 GPS가 내장되어 있다는 것이다. 뿐만 아니라 GPS신호는 빌딩 내에서는 그 신호가 매우 미약하다는 것이다.

9.7 GPS/TS통합시스템

GPS와 토탈스테이션(TS:Totalstation)의 측위방법은 현격하게 차이가 나는 시스템으로 상호보완적으로 사용한다면 상당한 효율적인 작업을 할 수 있다. 즉 도심이나 산림지역의 경우에는 GPS측량이 어려우며 기준점이 없는 지역에 있어서 토탈스테이션의 측정에 표정처리가 필요로 하는 문제점이 있다. 하지만 2가지 시스템을 통합한다면 보다 능률적으로 작업을 할 수 있다. 이들은 동일한 운영방법으로 인식할 수 있도록 화면을 구성하고 그 운영방식, 기능들과 정보처리방식 뿐 아니라 공통의 응용프로그램과 함께 하나의 포괄적인 운영지원 패키지로 GPS와 TS 모두의 효율성과 강력한 기능성, 편의성, 완벽한 호환성을 가질 수 있다. 특히 응용 프로그램이 GPS와 TS기기는 운영방식이 동일하기 때문에 내장된 다양한 응용프로그램을 공유할 수 있다. 따라서 작업자는 매우 쉽게 두 기기 사이를 오가며 작업할 수 있다. 특히 도로측량의 경우에 GPS와 TS 모두에 적용되는 강력한 성능의 새로운 포괄적인 소프트웨어 패키지로 간단한 중앙선에서 가장 복잡한 형태의 설계에 이르는 모든 좌표점의 측설과 모든 종류의 평면도 점검에 사용된다.

9.8 GPS/항공사진측량통합

GPS의 발전으로 항공사진분야와 지상 레이저스캔 분야에 획기적인 진전이 이루어 졌다. 특히 항공사진측량에 따른 표정을 위하여 실시하는 지상기준점측량을 대폭 줄일 수 있는 기

43 GPS측량실무

술적인 방법이 가능하게 되었다. GPS와 관성시스템을 통합하여 항공사진의 외부표정을 직접처리 함으로써 외부표정을 신속하게 처리할 수 있고 GPS안내시스템으로 영상취득을 위한 비행경로를 손쉽게 항행할 수 있으며 경로 외부측량자료에 대하여 자동적으로 제거할 수 있다. 또한 자동항공 삼각측량에 의하여 영상의 매칭에 따른 문제를 해결할 수 있다. 이러한 통합시스템은 신뢰도가 높고 정확도가 개선되며 외부표정처리를 통합할 수 있다. 실험결과 수평정확도가 5~20cm이고 높이의 경우 10~25cm이다.

9.9 GPS/Lidar/Laser Scanner

GPS는 항공사진과 라이더 및 레이저스캔 장비의 표정장치로 훌륭하게 수행할 수 있다. 특히 RTK-GPS기술을 이용하여 실시간으로 센서의 위치를 추출할 수 있기 때문에 그 활용도가 높다. 현재 개발된 장비는 약 200미터 까지 측정이 가능하고 해상력의 경우 100미터에 3mm간격으로 측정할 수 있다. 측정의 정확도는 100미터의 경우 1.5mm로 1초당 5000점 을 측정한다. 항공사진과 결합하여 기존 항공영상에서 얻을 수 없는 다양한 측량성과와 그 정도를 개선할 수 있다. 지상 레이저스캐너의 경우 현장에서 토탈스테이션으로 측정하기 어려운 전선이나 접근하기 힘든 지역에 대하여 측정할 수 있는 장점이 있다. 특히 3차원의 개체측정과 그 속성을 현장에서 관측하고 사무실에서 측정할 수 있어서 시간과 경비를 절감할 수 있다. 이러한 레이저스캔을 하기위하여 지상기준점이 필요하게 되는 데 이 경우 RTK-GPS를 이용하여 지상기준점을 설정하면 시간적으로 많은 효율성을 가질 수 있다. 이러한 GPS기준점에 의하여 레이저스캐너에서 얻은 측정점의 좌표를 3차원 지상좌표로 환산 할 수 있게 된다.

10. GPS 응용

GPS는 20년 이상 민간과 군사용으로 사용되어 오고 있다. 이 기간 동안에 많은 GPS응 용분야가 생긴 것을 목격해 왔다. 비용적으로 고정밀의 위치를 제공하기 때문에 GPS는 산업에서 여러 분야에 기존의 방법을 대체시키는 것을 알았다. 예를 들면 GPS로 장비들이 자동화안내 및 제어되는 것이다. 특히 사람이 살고 있는 위험한 부분에 유용하게 사용된다. 심지어 몇몇 철새는 GPS기술로 그들의 계절별 이동에 대한 감시에 유익하게 활용된다. 현재 이러한 도움을 줄 수 있는 것과 육상, 해상 및 항공분야에 GPS가 어떻게 이용되고 있는지를 이장에서 설명하고자 한다.

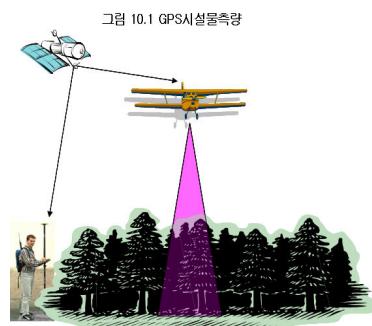
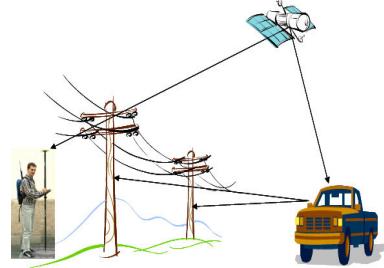
10.1 GPS산업시설

정확한 최신의 시설물 도면은 시설물 회사에서 가장 기본적인 것이다. 이와 같은 회사는 도면으로 전기 · 가스 · 상하수도 시설물에 대한 계획, 시공 및 유지관리와 검사를 한다. GPS/GIS시스템은 도면을 생성하는 데에 있어서 가장 효율적이고 비용 대 효과면에서 효율적인 방법이다. GPS의 도움으로 가스선과 같은 개체의 위치를 정확하게 취득하고 속성처리를 할 수 있다. 수집된 정보는 수정도면을 만들기 위하여 GIS시스템을 사용한다. 도심의 빌딩이나 밀림지역과 같은 GPS신호의 수신이 어려운 지역에서는 GPS/LRF통합시스템을 사용하여 시설물 도면을 신속하게 만드는 데에 효율적이다. GPS수신기는 신호가 수신하기 좋은 개방지역에 세워두고서 LRF로 거리와 방위각 정보를 측정하여 전주와 같은 시설물을 측정 한다. 소프트웨어로 GPS와 LRF측정값을 조합하여 처리하게 된다. 전력선로 또는 상하수도

관과 같이 매립된 시설물도 GPS를 이용하여 효율적으로 도면화 할 수 있다. 휴대형 GPS콘트롤러의 2차 통신포트에 선로 탐사기를 부착하여 매설물의 위치와 깊이를 정확하게 수집한다. 이러한 방법은 비용 대 효율면에 있어서 매우 효과적으로 지상표시가 필요 없게 된다.

10.2 GPS에 의한 임야 및 천연자원분야 응용

GPS는 산림분야에 성공적으로 적용되었다. 전형적으로 산불의 보호와 통제, 수확, 병충해, 경계결정, 항공살포 등이 이에 포함된다. 매년 수 만건의 산불화재와 효율적인 자원관리가 필요하다. GPS는 자원의 정확한 위치를 확인, 감시하는데 있어서 핵심적인 기술이다.(그림10.2) GIS와 훌륭한 통신시스템의 도움으로 적절한 의사 결정을 내릴 수가 있다. 과거에는 항공측량만이 완전한 수확전에 형태와 벌목 구역에 관한 정보를 제공하는 수단이였다. 이 같은 정보는 가끔 정확도가 부족하였다. 하지만 DGPS를 사용하면 이러한 정보들이 실시간으로 정확하게 결정될 수가 있다. GPS는 또한 야생동물의 관리와 병충해에 대한 매우 유용한 도구이다. GPS로 중앙 활동위치를 결정할 수 있으며 이들의 위치에 GPS목표점 찾기 방식으로 쉽게 찾아갈 수 있다.(그림10.5참고) GPS측량은 임야지역 경계결정에 가장 좋은 방법이며 실시간 GPS측량으로 75%의 시간과 경비를 절감할 수가 있다. 제9장에서 설명한 GPS수신이 어려운 밀림지역에서는 GPS와 LRF통합시스템이 유용하다. 다른 통합시스템은 GPS와 수치기압계 및 GPS/수치 비디오가 임업에 성공적으로 응용된다.



10.2 GPS임야측량

10.3 정밀경작GPS응용

DGPS측량으로 1미터 심지어 10cm정확도로 구할 수 있기 때문에 농업분야에 혁명적인 변화를 가져왔다. 정밀경작을 위한 응용부분은 토양샘플을 채취하거나 화학적인 조정작업 및 수확량 모니터링 등에 이용된다. 토양의 샘플을 채취하기 위하여 GPS는 미리 계획한 격자망에 따라서 정확하게 샘플을 채취할 위치를 찾아 가는 데 사용된다. 시료를 채취한 후에는 질소나 구성 물질에 대한 정보를 얻을 수 있으며 이러한 정보를 도면화하여 토양의 효율적, 경제적인 관리와 문제를 해결할 수 있도록 경작자에게 정보를 제공한다. GPS를 항공기 안내시스템과 결합하여 화면상 움직이는 모습을 보아 가면서 비료를 줄 수 있어서 그 위치가 정확하게 되며, 중복시키거나 자동적으로 그 비율을 조정할 수 있다. 이렇게 함으로써 생산량이 증가하게 되고 효율적인 비료 및 연료를 절감할 수 있다. GPS는 또한 농작물에 대한 도면의 작성에 사용되고 수확기에 DGPS를 장착하여 편위된 위치에 따라서 수확을 할 수 있으며 수확량이 기록된다. 이러한 통합시스템은 버튼 몇 개만으로 간단하게 그 조작이 가능하도록 하여야 시장성이 있으며 DGPS보정은 소수의 상업용도 있지만 정부기관에서 운영하는 DGPS/비콘방송을 서비스 받아 무료로 이용할 수 있다. 이러한 응용부분은 그림10.3과 같은 것들이 주로 사용된다.

10.4 토목분야 GPS응용

45 GPS측량실무

토목공사 업무는 복잡하고 작업환경이 좋지 못하여 사람이 효율적으로 일을 하는 데에 어려움이 많이 있다. GPS는 실시간으로 m수준 또는 cm수준으로 정확하기 때문에 토목공사업무에 괄목하게 비용대 효과면에서 개선되었다. 건설사들은 도로건설, 토공작업 및 항구관리와 같은 응용분야에 GPS를 사용하고 있다. 도로공사와 토공작업시 GPS와 무선통신 및 컴퓨터를 이동장비에 설치하고서 설계면에 대한 정보를 수치형태로 시스템에 올린다. 컴퓨터화면에 표시하여 실시간으로 GPS위치정보를 운전자가 절삭날이 정확하게 맞추어 졌는지 확인할 수 있다.(그림10.4) 이와 같은 경우 mm수준의 표고가 필요하며 GPS와 회전 레이저 레벨과 함께 통합시킬 수 있다. GPS, 무선통신, 컴퓨터 통합기술로 토공다림(정지)작업, 기초(파일위치) 및 정확한 구조물위치(교량교각, 해양구조물)를 정확하게 설치할 수 있다. 이러한 응용분야에 있어서 운전자는 내장컴퓨터 화면으로 안내지시를 받기 때문에 종래의 방법들이 필요가 없게 된다. GPS는 또한 위치와 다른 작업장의 장비사용을 추적할 수 있다. 이러한 정보를 중앙위치로 전송함으로써 GPS는 사업자가 그들의 장비를 효율적으로 배치할 수 있고 또한 운전자는 그들의 목표위치를 효율적으로 찾아갈 수 있다.

10.5 구조변위 모니터링 GPS응용

GPS는 구조의 안정성을 모니터링 하는데 성공적으로 사용되었다. 이 응용분야는 가능한 가장 정확성이 요구된다. 전형적인 예로 댐, 교량 및 TV송전탑과 같은 변위를 모니터링 하는 것이다. 또 다른 예로 유전과 탄광지역의 지반침하 모니터링에 GPS가 성공적으로 활용되고 있다. 몇몇의 경우에는 INS 또는 토탈스테이션과 같은 보조장비를 사용하는 것이 보다 효율적일 수가 있다. 변위 모니터링은 동일지역에 대하여 일정한 시간간격으로 여러번 GPS측정을 하여야 한다. 댐과 같이 천천히 변위되는 구조물은 변위 모니터링 정확도가 mm이하에서 cm수준까지 요구된다. 비록 특수한 조건에서 GPS만으로도 정확한 수준으로 측정할 수 있을지라도 효율적인 방법이 아니다. 보다 효율적으로 구조물을 모니터링하기 위해서는 GPS에 추가적으로 지질센서나 특수한 형태의 토탈스테이션 장비를 사용하도록 한다. 이와 대조적으로 교량은 도로의 동적인 교통하중에 의한 진동이 주요한 관심사이다. 이와 같이 주기적 구조변위를 효율적으로 모니터링하기 위하여 2주파 수신기를 여러점에 설치하여 최대 변위를 확대할 수 있도록 한다.

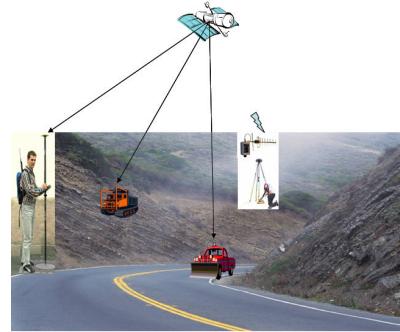


그림 10.4 건설분야 GPS이용

예를 들어 세계 초장의 현수교인 일본의 Akashi교량 모니터링에 교량의 중앙과 2교각에 GPS수신기를 설치하였다. 그림10.5는 다른 예로 Ashtech Z12 2주파수신기로 교량변위 모니터링에 사용되었다. 현재 GPS데이터 취득율은 10Hz로 GPS시스템에 INS를 부가하여 구조물 진동의 고주파 부분을 모니터링 한다.

10.6 노천광에 있어서 GPS응용

최근까지 기존측량은 시추공 표시와 탄광측량에서만 가능하였다. 하지만 어려운 작업환경 때문에 가끔 표시들이 파묻히거나 이동하게 된다. 뿐만 아니라 보링작업도 정확한 깊이 간격으로 결정할 수가 없었다. 더군다나 다양한 지층에 따른 시추성능 또는 효율적으로 트럭배송을 모니터링 하는 방법이 없었다. 하지만 최근 특히 RTK-GPS와 같은 현대화 측위시스템과 기술개발로 여러 가지 운영이 혁신적으로 개선되었다. 예를 들어 노천탄광지역에서 RTK-GPS를 이용하여 천공, 흙깎기, 차량추적, 측량과 같은 운영 부분에

현저히 개선되었다. RTK GPS는 cm수준의 위치정확도로 단지 하나의 기준국으로 여러 개의 이동국을 지원한다. 신호가 광산의 험준한 벽에 차단되어 위치측정에 문제를 일으킬 수 있다. 하지만 이 문제는 Pseudolite와 같은 GPS통합시스템으로 해결할 수 있다.(제9.5장 참고) 광산의 반복적인 작업부분 중에서 가장 중요한 것이 원광채굴로 이것은 미리 결정한 폭파공을 천공하는 것으로 중요한 작업이다. 발파공 배치는 암석을 최적으로 분쇄할 수 있는 크기로 설계하여야 한다. 발파공이나 재천공이 필요한 정확한 위치에 천공하는 것은 중요하다. 천공위치를 효과적으로 안내하는 방법은 컴퓨터와 천공 소프트웨어가 GPS와 함께 네비게이션 및 모니터링을 통합하는 것이다. 몇몇 시스템의 경우 2개의 수신기를 주천공기 위에 올려놓고 실시간 위치와 드릴방향을 정확하게 한다. 계획한 천공위치는 무선통신으로 컴퓨터로 전송하고 천공작업자에게 정확하게 발파공 위로 드릴을 운전한다. 이렇게 자연 없이 자동적으로 그 위치와 각 드릴의 깊이에 대한 정보를 화면상에 표시한다. 이것은 운전자가 정확하게 목표지점까지 도달하였는지 여부를 판단하는 중요한 사항이다. 뿐만 아니라 암질(경도)에 따른 천공업무의 생산성에 대한 정보를 모아 두어서 무선 통신으로 사무실에 전송한다. 이와 같은 정보는 시공사무소에서 천공생산성 뿐만 아니라 암석의 특성을 파악하여 차후 설계에서 개선할 수 있다. GPS는 또한 그림10.6과 같이 절삭가이드를 cm수준으로 정확하게 할 경우에도 사용된다. 불도저 삽날은 채광석을 운반트럭에 탑재하는 데에 사용되고 이것을 운반하여 원자재 더미에 내려놓는다.

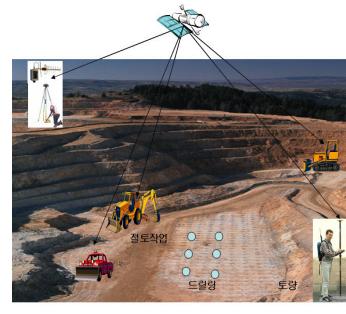


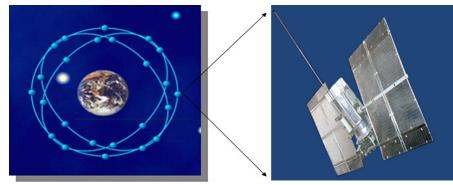
그림 10.6 GPS 노천광산작업

제11장 기타 위성항행시스템

11.1 GLONASS 위성시스템

GLONASS는 구 소련(Russia)에서 개발한 전천후 전 세계 항행위성시스템이다. GLONASS위성체계는 GPS와 함께 일반적으로 많이 사용하고 있으며 정상적인 GLONASS 시스템은 21개의 위성과 3개의 예비위성으로 고도 19,100km상에 배치되어 있다. 8개의 GLONASS위성이 3개의 궤도면에 배치되어져 있으며 GLONASS의 궤도는 거의 원에 가까우며 궤도운행 시간은 11시간 15분으로 궤도가 64.8°로 기울어져 있다. GPS와 유사하게 각 GLONASS위성은 2개의 밴드로 운송파, L₁상, C/A코드, L₁과 L₂상 P코드 및 항행메시지를 방송한다. 하지만 GPS와 달리 각 GLONASS위성은 L₁에 대하여 1602~1615.5MHz, L₂는 1246~1256.5MHz로 각 채널번호에 따라서 자체적으로 운송파를 발신한다. 이들 2밴드는 1598.0625~1604.25MHz와 1242.9375~1247.75MHz로 각각 편위되어 천문전파와 저궤도 지구위성파의 간섭을 피하고 있다. 이러한 편위는 L₁과 L₂주파수와 맞게 GLONASS위성이 짹을 이룬다. 하지만 위성 짹은 서로 지구의 반대편에 배치하였다. 이것은 사용자가 동시에 볼 수 없다는 의미이다. GLONASS코드는 모든 위성에서 똑같다. 이와 같이 GLONASS수신기는 위성을 코드가 아닌 주파수로 구분한다. P코드와 C/A코드의 칩핑율(chipping rate)은 각각 5.11과 0.511Mbps이다. GLONASS항행메시지는 50bps연속데이터로 위성간의 위성력과 채널 할당 GLONASS시스템은 SA 또는 AS에 영향을 받지 않으며 1996년 1월부터 완전히 24개가 작동하였다. 불행하게도 GLONASS위성은 2001년 5월까지 단지 7개의 위성만 운행하게 되었다. 이는 새로운 GLONASS세대를 예측하는 것으로 GLONASS-M의 수명은

5년으로 내장 원자시계와 L₁과 L₂운송파상에 CA코드를 발신하도록 개선되었다. GPS와 GLONASS시스템은 기하적인 배치정도와 특히 도시지역과 같이 가시위성의 수가 작을 경우에는 측정정도가 훨씬 개선된다. 하지만 GPS/GLONASS통합시스템은 2가지 문제가 있는데 그 하나는 2시스템이 그들의 위성위치 표현을 위한 좌표계를 서로 다르게 사용하는 것 즉, GPS측량의 경우에는 WGS84좌표를 사용하는데 반하여 GLONASS는 PZ-90(Earth Parameter System 1990)좌표계를 사용한다. 2시스템은 지구표면상 20m차이가 있다. 2시스템간의 변환 변수는 2시스템으로 기준점을 동시에 관측하여 구할 수 있다. 여러 연구단체들이 다양한 변환변수를 개발하였다. 하지만 정확한 변환변수는 아직까지 사용되지 않고 있다. 2번째 문제는 GPS/GLONASS통합시스템간의 시간차가 수십 초/1,000정도 늦게 되어 있다. 이러한 시간편차 결정은 수신기 해석의 추가변수로 취급한다.



11.2 중국지역 항행시스템 Beidou

중국은 최근에 2개의 국내 항행시스템을 구축 제1세대 위성항행시스템이 되었다. 이것은 전천후 지역항행시스템으로 Beidou항행시스템으로 알려져 있다. 이 위성은 지구표면으로부터 고도 약 36,000km상공의 정지궤도에 배치하였다. 이 시스템은 주로 토지와 내수면 교통 이용에 사용되는 것으로 중국은 2세대 위치, 항행시스템으로 더 많은 위성과 범위를 넓혀갈 계획이다. Beidou 실험항행시스템(BNTS-1:Beidou Navigation Test Satellite 1)은 2000년 10월 31일에 발사하여 동경 140도의 동궤도와 2000년 12월 21일에 "Beidou 1B"는 동경 180도 지점의 정지궤도에 위치시켰고 2003년 5월 24일 110.5°E에 "Beidou 1C"를 Xichang의 CZ-3A센터에서 발사하였다. 이것은 고속도로, 철도 및 해양교통 및 위치정보를 제공하기 위한 것으로 3개의 위성체계로 구축하여 기후에 상관없이 위치정보서비스 지원체계를 갖추고 있다. 특히 중국은 경제적인 발전에 따라서 교통, 기후, 석유생산, 산불방지, 재난의 예측, 통신 및 공공의 안전분야에 있어서 정확한 위치인 경위도와 시간 자료가 많은 도움이 된다. 이들의 위치를 비콘에 의하여 외부에 전송하여 언제 어디에서나 그 위치를 파악할 수 있게 된다. 중국은 Bei Doui위성은 3개의 DFH-3축에 의한 위성의 전원과 위도를 조정한다. 중국은 세계적으로 보기 더문 자체적인 개발능력을 가진 국가로 중국우주연구소와 발사체기술연구소가 공동으로 수행하여 새로운 위성발사기술을 향상시키고 있다.

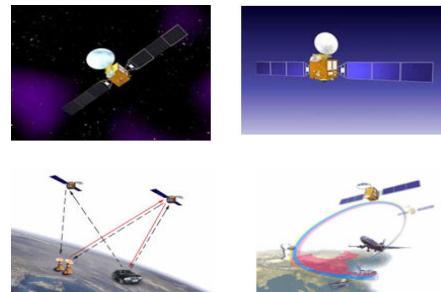


그림11.2 중국 Beidou시스템

11.3 지역적 증설(Augmentations)

현재 위성기반의 항행시스템인 GPS와 GLONASS는 모든 민간 항공분야의 요구에 부응하지 못한다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 지역적 증설시스템을 개발 중에 있다. 지역증설시스템은 GPS와 GLONASS, 항행발신기를 갖춘 정지위성과 기지국을 하나 또는 여러 개를 조합한 것이다. 여러개를 위성항행 지역시스템으로 보간하는 융합으로 민간의 요구에 맞게 GNSS-1(Global Navigation Satellite System)에 이르게 되었다. 사실상 국제민간항공연합

(ICAO:International Civil Aviation Organization)은 국제 항행용 핵심시스템으로 GNSS를 지지한다. 다양한 지역 증설시스템으로 GNSS를 지지한다. 다양한 지역 증설시스템들은 현재 전 세계적으로 GNSS의 한 부분으로 개발하고 있다. 미국은 북미에서 남미까지 도달하도록 WAAS(Wide Area Augmentation System)라고 부르는 GPS지역시스템을 개발 중이다. 유럽에서도 EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay System)이라고 부르는 유사한 GPS/GLONASS에 의한 지역시스템을 개발하고 있다. 이 시스템은 모든 아프리카와 중동을 포함하는 지역까지 가능한 유럽과 북아프리카를 범위로 한다. 제3지역 GPS 기본시스템은 다기능 운행위성(MTSAT:Multi-function Transport Satellite)는 일본에서 개발 중으로 아시아와 태평양지역을 포함한다. 호주의 경우 자체 지역시스템을 개발하는 과정에 있으며 이 시스템은 겹치거나 보간하는 것이다.

11.4 미래 유럽의 위성항행시스템 갈릴레오(Galileo)

갈릴레오는 유럽에서 제안한 위성에 의한 전 세계 항행시스템이다. 갈릴레오는 민간운용 위성시스템으로 공공과 민간협력으로 이루어지게 된 것이다. 이러한 3가지 단체의 집합체로 저궤도 갈릴레오 설계, 중궤도(MEO:Medium Earth Orbits) 및 지구 자동동기궤도(IGSO:Inclined Geosynchronous Orbits)로 구성된다. 다양한 배치형태를 연구하여 갈릴레오는 30개 MEO위성 배치형태를 채택하였다. 이 위성은 골고루 고도 약 23,000km의 궤도 면에 배치하여 지역의 위도에 상관없이 모든 지역에서 동일한 성능을 얻을 수 있도록 하였다. 갈릴레오시스템 신호의 특징은 2001년에 결정되었으며 갈릴레오는 기존의 GPS와 GLONASS사용자에게 호환되도록 할 것이다. 하지만 GPS와 GLONASS와는 달리 갈릴레오는 2가지 단체의 서비스로 기본적으로 무료인 직접서비스와 부가적인 기능을 사용하는 유료서비스로 구분하여 서비스를 제한하는 안전측정을 고유하게 사용할 수 있도록 연구를 하였다. 유럽정치 단체는 갈릴레오 독립관리가 위기 발생시에 정확하게 측정하도록 권한을 갖고 있다. 소련의 Soyuz는 최초로 갈릴레오 위성을 2005년 Baiknor Kazakhstan에서 발사하여 2008년 까지 27개의 운행위성과 3개의 보조위성으로 총 30개의 위성으로 완전한 운영을 할 계획이다. 현재 GPS가 민간용으로 100미터, 군사용으로 22미터의 정확도로 운용되고 있으나 갈릴레오는 군사용의 정확도로 서비스할 계획이다.