

건설구조물에서의 DGPS 적용사례 및 향후전망

남순성¹⁾, 이재호²⁾

¹⁾ 정회원, (주)이제이텍 대표이사

²⁾ 정회원, (주)이제이텍 지반공학부 과장

1. GPS (Global Positioning System)

1.1 GPS의 개요

GPS란 Global Positioning System의 약칭으로 정식으로는 NAVSTAR/GPS라 부른다. 1970년대 초, 미 국방성(U.S Department of Defence)이 미 해군이 개발하고 있던 TIMATION(TIME And navigaTION)과 미 공군의 621B의 두 프로젝트를 통일하여 NAVSTER/GPS로 명명한 것으로 군사 목적으로 개발되기 시작하여 1990년대 중반부터 본격적으로 이용된 위성항법 시스템을 말하는 것으로 위성을 이용한 위치측정 시스템이다.

1.1.1. GPS의 측위 원리

GPS가 어떠한 원리로 작동되는가를 이해하는 것은 개념적으로 매우 단순하다. 근본적으로 GPS는 삼각측량의 원리를 사용하는데 3개의 위성으로부터의 각 거리를 이용하여 위치를 알아내는 것이다. 그림 1.1, 그림 1.2, 그림 1.3에서, 각 위성으로부터의 거리를 조합하여 모두 만족하는 부분을 찾아보면 결국 두 개의 점으로 나타나게 된다. 그 두 개의 점 중에서 하나가 우리가 실제로 위치한 점인 것이다. 그러나 그 두 개의 점 중에서 어느 것이 실제로 우리가 위치한 점인가는 그 두 점들은 지구에서 멀리 떨어져 있을 뿐만 아니라 그 위치가 믿을 수 없는 속도로 움직이기 때문에 문제가 되지 않는다.

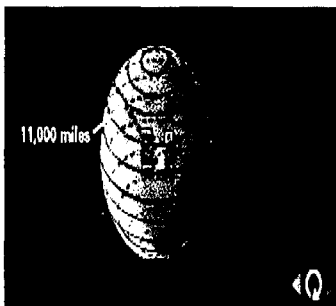


그림 1.1 위성 1에 의한 위치결정

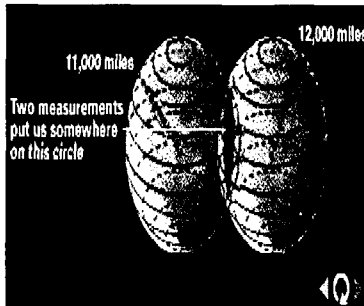


그림 1.2 위성 1, 2에 의한 위치결정

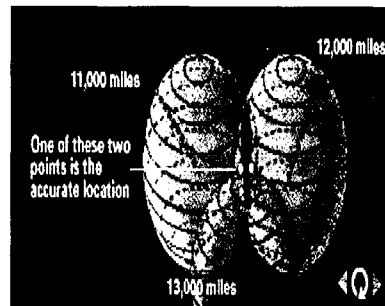


그림 1.3 위성 1,2,3에 의한 위치결정

위에서 각각의 위성으로부터의 거리를 측정하는 방법은 시간을 이용한다. 즉 위성이 신호를 보낸 시간과 우리가 실제로 받은 시간차를 이용하여 그 거리를 측정하는 것이다.

$$\text{거리} = \text{빛의속도} \times \text{경과시간}$$

문제는 신호의 전달 시간이 너무나 빠르기 때문에 시간차를 알아내기 힘들다는 것이다. 따라서 직접적으로 시간을 측정하는 것이 아니라 같은 시간에 인공위성과 GPS 수신기가 같은 형태의 주파수를 만들어 인공위성에서 주파수를 발산하면 GPS 수신기가 그 신호를 받아들여 자신이 만들어낸 신호와 비교하여 그 차이를 미세한 시간으로 환산하여 인공위성과의 거리를 구할 수 있는 것이다.

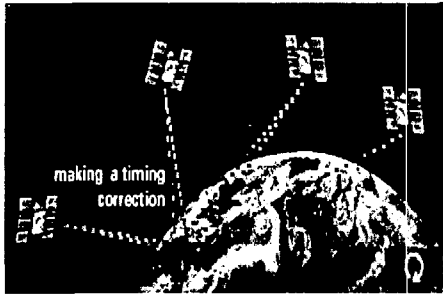


그림 1.4 시간오차 보정위성

만약 GPS 수신기 시계가 원자시계와 같이 매우 정밀하다면 위치를 파악하기 위해 3개의 위성들로부터 받아들인 신호로 교차점을 찾을 때 교차점은 단 하나로 찾을 수 있다. 하지만 GPS 수신기의 시계가 매우 정밀한 것이 아니기 때문에 교차점이 여러 군데가 나타나게 된다. 이것은 위성에서 오는 정밀한 신호를 GPS 수신기에서 수신할 때 생기는 시간에 관련된 오차에 의해서 발생하는 것이다. 따라서 다른 한 개의 또 다른 위성에서 받은 신호를 가지고 시계에 의한 오차값을 수정한다.

1.1.2. GPS 의 시스템 구성

위성 항법 시스템은 많은 구성 요소로 이루어져 있지만 아래 그림처럼 우주(Space segment), 지상 관제(Control segment), 사용자(User segment)로 크게 세 가지의 시스템으로 구분할 수 있다.

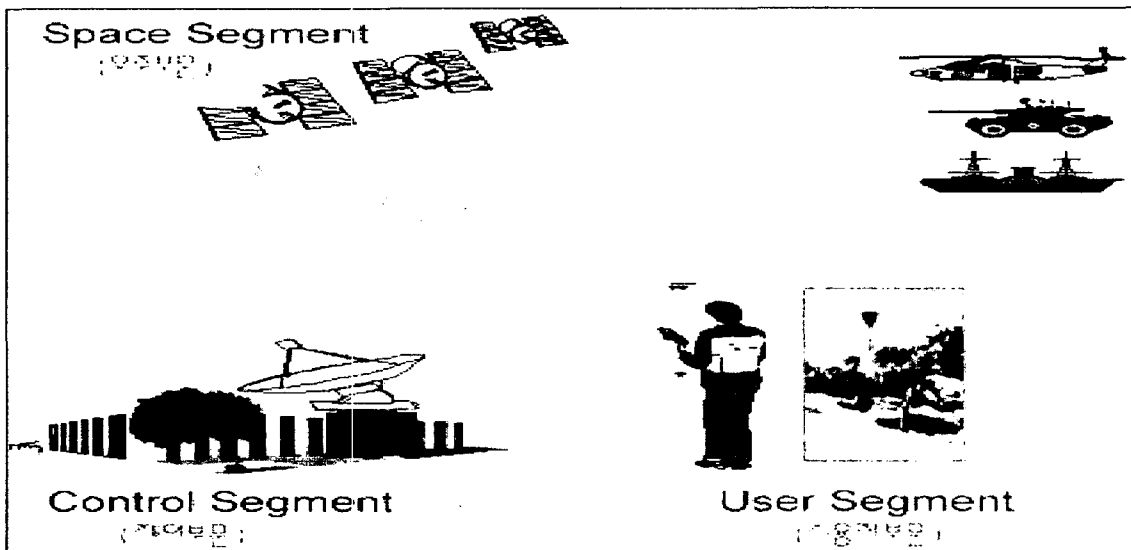


그림 1.5 GPS의 시스템 구성

● 우주 부분 (Space segment)

각 위성별로 특수하게 설계된 PRN(Pseudo-Random Noise)code와 항법메시지(navigation message)를 사용자에게 반송파(carrier wave)를 통하여 연속적으로 전송하는 GPS 위성으로 구성되어 있다.

1) 각 위성은 두 가지의 (L1 : 1575.42 MHz 대역의 주파수, L2 : 1227.60 MHz 대역의 주파수) 신호를 동시에 발생시키며 PRN code는 두가지의 종류가 있다.

① C/A(Coarse Acquisition) - code : L1에 의해 반송되며 민간 GPS 용으로 쓰인다

② P(Precise) - code : L1 과 L2 에 의해 반송되며 C/A-code에 비해 그 정확도가 10배 이상 높고 전파 방해가 거의 없으며 군사용으로 사용되기 위해 암호화 기능을 가지고 있다.

2) 각 위성은 기울임각이 55° 인 6개의 원형궤도면에 각각 4개씩 배치되어 있다.

3) GPS 위성은 지구 중심으로부터 26567.5km 상에 배치되어 있고 약 12시간의 주기를 갖는다.

4) GPS 위성 배치는 사용자의 3차원 위치 및 수신기 시계 오차(clock error)를 계산하기 위해 지구전역에서 최소한 4개 이상의 위성이 항상 보이도록 특수하게 설계되었다.

● 지상 관제 부분 (Control segment)

관제 부분은 세계 각지에 널리 분포해 있는 여러 관제국(control station)을 통해 GPS 위성을 추적하고 감시함으로써 가능한 한 정확하게 위성의 위치를 추정하며 여러 가지 보정(correction) 정보를 위성 에 송신한다. GPS 위성관제국은 5개의 감시 기지국(monitor station), 4개의 지상 안테나 송신국(ground antenna upload station), 그리고 운영 관제국(operational control segment)으로 구성되어 있다.

● 사용자 부분 (User segment)

사용자 부분은 GPS 위성 신호를 수신하여 위치를 계산하는 GPS 수신기 및 이를 응용하여 각각의 특정한 목적을 달성하기 위해 개발된 다양한 장치(equipment)로 구성된다. GPS 수신기는 위성으로부터 수신한 항법 데이터를 사용하여 사용자의 위치 및 속도를 계산한다. 위성 항법 시스템은 일반적인 항법 시스템 이외에 높은 위치 정확도가 요구되는 항공기 자동 착륙 시스템, 측지, 이동체의 자세 결정 및 정밀 측위(precise survey)에도 적용된다.

1.2 GPS의 응용분야

처음에는 군사적인 용도를 위해 개발되었지만 경제성 및 유용성으로 인해 민간용으로 확장되어 현재 에 이르러 가장 이상적인 항법 시스템으로 이용되고 있으며 항법분야 이외에도 다양한 분야에 응용이 되고 있다. 군사분야를 제외한 응용분야를 살펴보면 아래와 같다.

| GPS의 특징 |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 기상조건에 상관없이 정확한 3차원 위치, 고도, 속도, 시간 측정 가능 ● 전세계적으로 하루 24시간 연속적인 서비스 ● 무제한 수의 사용자 이용 가능 (전용 수신기 설치) ● 전세계적인 공동 좌표 사용 |



G P S 의 용 용 분 야

| | |
|-------------|--|
| 항 법 및 교 통 | 지능형 교통시스템, 차량항법, 선박항법, 항공항법시스템, 고속철도 |
| 지 구 물 리 학 | 지각변동관측, 지질구조해석, 지구 자전속도 및 극운동 변화량 검출 |
| 건 설 | 각종 공사측량, 구조물 시공/유지관리, 건설차량관리, 구조물 모니터링 |
| GIS Mapping | GIS D/B 구축, 수치지도 제작, 수자원 및 삼림자원 관리 |
| 기 상 및 해 양 | GPS기상학, 시추작업, 해수면감시, 준설작업, 해저지도작성, 해상탐색 및 구조 |
| 재 난 및 레 저 | 119소방, 재난, 미아 찾기, 등산, 여행, 탐사, 골프, 하이킹 |
| 우주 (인공위성) | 궤도결정, 자세 결정 |

1.3 DGPS (Differential GPS)

1.3.1 GPS의 수신 오차

GPS 위치측정의 정확성을 떨어뜨리는 요소들은 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 첫째, 구조적 오차, 두 번째로는 기하학적 오차가 있으며 마지막으로 오차요소 중 가장 큰 오차인 SA (Selective Availability)가 있다. 이 요소들이 모두 합쳐져서 매우 큰 오차 결과를 낳는데 각 오차들은 시간과 장소에 따라서 매우 크게 변한다.

| | | |
|----------------------------|----------------------|--|
| 수 신 오 차 | 구 조 적 오 차 | 인공위성 시간 오차, 인공위성 위치 오차, 전리층과 대류층 굴절, 잡음(Noise), 다중 경로(Multipath)오차 등 |
| | 기 하 학 적 오 차 | 위성의 배치상황에 따른 기하학적 오차로 위성이 근접할 수록 불확실성의 크기가 커짐 |
| | S A (고 의 오 차) | 허가되지 않은 일반 사용자들이 일정한도 내로 정확성을 얻지 못하도록 고의적으로 설정한 오차 (2000.5.1 해제 발표) |

1.3.2 고확도 측위의 DGPS(Differential GPS)와 RTK(Real Time Kinematic)

많은 응용분야에 있어서 기본적인 GPS만으로 충분한 정밀도를 제공하기는 하지만 좀더 향상된 정확도를 가지는 체계를 마련하기 위해서 DGPS라는 방법이 고안되었다. 이로 인해 GPS가 배나 비행기의 항법에만 사용될 수 있을 뿐만 아니라 자동차 및 정밀성이 요구되는 측지 등에까지 응용될 수 있는 길이 마련되었다. C/A 코드 하나만 사용할 경우 높은 정밀도로 위치를 결정하는 것은 비록 SA (Selective Availability)가 해제되었다고는 하나, 여러 가지 복합적인 오차 요인으로 인해 현실적으로 불가능하다. 단독으로 작동되는 수신기는 자신이 계산하고 있는 위치 정보가 틀린지 맞는지 판단 할 수 있는 방법이 없다. 만약 제 2의 수신기가 수신기 근처에 존재하여 지금 현재 수신 받는 자료가 얼마만큼 빗나간 양

이라는 것을 수신기에 알려줄 수 있다면 수신기간의 공통오차를 보정할 수 있는데 바로 이 방법이 DGPS이다. DGPS측위는 실시간(Realtime)처리방식과 후처리(Post processing)방식의 두 가지로 대별된다.

GPS의 신호체계상 반송파에 의한 위치결정 방법이 코드에 의한 위치결정보다 정밀도면에서 큰 이득을 주지만, 반송파에 의한 단독측위 역시 후처리 상대측위 기법보다는 정밀도가 떨어지는 단점을 가지고 있다. 광범위한 관측점의 정밀 좌표들을 빠른 시간 내에 획득하기 위해서는 이동측량을 수행하는 동시에 후처리 자료처리 기법이 갖는 정밀도에 근접한 결과를 산출할 수 있는 방법이 요구된다. 이러한 목적을 위해 개발된 것이 고정밀 이동측량 기법인 RTK(Real Time Kinematic)로서, 기본개념은 정밀한 위치를 확보한 기준점의 반송파 오차 보정치를 이용하여 사용자가 실시간으로 수 cm의 정밀도를 유지하는 관측치를 얻을 수 있게 하는 것이다. RTK의 기본개념은 오차보정을 위해 기준국에서 전송되는 데이터가 반송파 수신자료라는 것을 제외하고는 DGPS의 개념과 거의 유사하다. 다만 RTK가 각 위성에 대한 반송파 측정치를 지속적으로 제공하여야 하고, 정보의 전송장애로 발생할 수 있는 오차의 한계가 DGPS보다 상대적으로 크기 때문에 보다 안정적이고도 신속한 정보전달 통신 시스템이 요구된다.

현재 GPS를 응용하는 여러 분야에서 DGPS와 RTK가 주로 사용되고 있으며, GIS나 측량, 항법 등 모든 응용분야가 RTK 기법의 사용에 초점을 맞추어 실용화되고 있다.

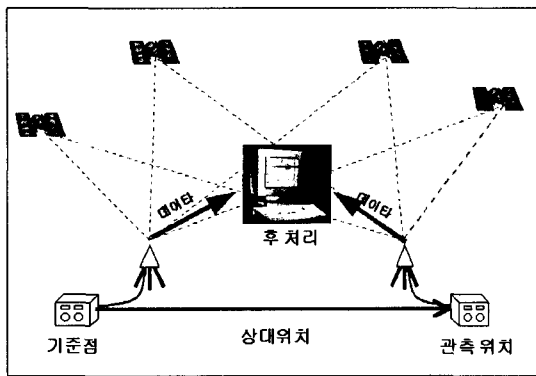


그림 1.6 후처리 상대측위 기법

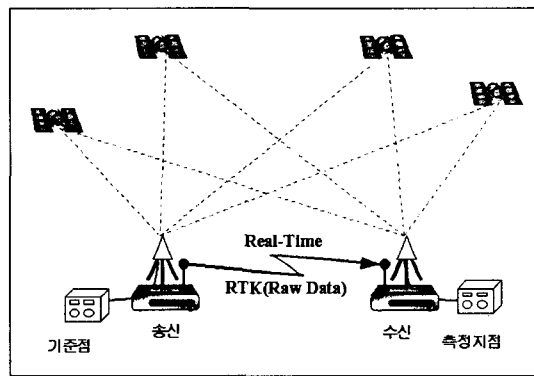


그림 1.7 실시간 이동측위 기법

측위 기법별로 정밀도를 비교해보면, 단독측위와 DGPS에 비해서 후처리 상대측위나 실시간 이동측위 (RTK) 방법은 훨씬 높은 정밀도를 보여준다. 정밀도가 낮은 단독측위 방법은 주로 항법에 쓰이며, DGPS, 후처리 상대측위 기법 그리고 실시간 이동측위(RTK) 기법은 정밀도가 높아 측량에 이용된다.

| 측 위 기 법 | 내 용 | 정 밀 도 |
|----------|---|---------|
| 단 독 측 위 | Standard Positioning System(SPS) : C/A code 사용(민간용) Precise Positioning System(PPS) : P code 사용(군사용) | 100 m |
| D G P S | 측량용과 항법용 수신기를 결합하여 이동체의 후처리 및 실시간 정밀위치 측정 가능 | 1m - 5m |
| 후처리 상대측위 | 2대 이상의 측량용 GPS 수신기를 이용하여 고정밀 상대위치 측정 가능하나 실시간 불가능 | 수 mm |
| 실시간 이동측위 | 2대 이상의 측량용 GPS 수신기를 이용하여 실시간 고정밀 위치 측정 가능 | 1cm-2cm |

2. 건설 분야에서의 DGPS의 사용사례

DGPS는 지구상의 전 지역에서 전천후로 연속적인 3차원 측위가 가능하고, 그 정밀도 또한 일정 치로 낮추는 것이 가능해 건설 분야의 다방면에 걸쳐 이용되고 있다. 특수한 기법(DGPS, 후처리 상대측위, 실시간 이동측위)의 사용과 장치의 기능 향상을 통해 정밀도를 측량 분야 등에서도 충분히 사용할 수 있는 영역까지 향상시켜 이제 건설분야에서도 점차 개발기에서 실용기에 들어섰고 있다. 현재 DGPS가 건설에 이용되고 있는 분야를 구체적으로 살펴보면 아래의 표와 같다.

| 구 분 | 세 부 항 목 |
|--------------|--|
| G P S 측 량 | <ul style="list-style-type: none"> ● GPS 정밀기준점 측량 ● 가공송전선로(T/L) 측량 : 송전탑 위치 측량, 송전선로 설계 ● GIS 조사 측량 : GIS D/B 구축 및 설계, 수치지도 제작 ● 지형 및 노선 현황 측량 : 횡단면도 작성, 선형계산 ● 지하 매설물 조사 |
| 시 공 관 리 | <ul style="list-style-type: none"> ● 성토 다짐 관리 (장비운행관리) : 품질관리, 공정관리 ● 해상공사 : 준설선/바지선 위치관리, 해상파일항타, 해상구조물시공관리 ● 구조물설치/시공상태 확인 : 고층건물시공, 교량경간설치, 터널/지하철 선형확인 ● 토량 관리 : 공사 진행상황에 따른 절성토량의 균형 유지 |
| 상시계측 시 스템 | <ul style="list-style-type: none"> ● 대규모 사면(인공사면, 자연사면) 거동 모니터링 ● 구조물(터널갱구, 도로, 교량, 댐) 모니터링 ● 연약지반 : 지반 변동량 파악 ● 지진발생 예상지역 : 진동 감시 ● 토목공사에 따른 인접 구조물 및 지반의 안정성 감시 계측 |

2.1 GPS 측량

2.1.1. 가공송전선로 (T/L) 건설

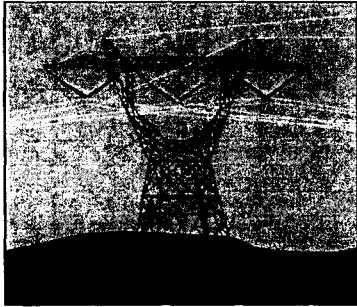


그림 2.1 송전탑

송전철탑을 건설하기 위해 이전에는 최적의 위치를 지도상에 찾아낸 뒤 현장에 나가 광파 측량을 하는 등 다소 복잡한 절차를 거쳐야 했다. 광파측량 시스템은 인력 투입이나 정확성 면에서 손실이 많고 시계확보에 따른 산림훼손에 따른 비난도 거셌다. 이에 (주)한국전력에서는 송전선로 측량작업자가 좌표를 알고 있는 곳에 설치한 이동 기지국과 GPS 위성으로부터 수집한 데이터를 기초로 철탑 건설 후보지의 위치 및 방위각을 산정, 송전선로 설계자료로 활용하는 방식을 도입하기로 했다. 이 기술을 제공한 GPS코리아의 도움을 받아 3.328km선로를 실측해본 결과, 기존의 광파 방식보다 소요일수, 인력절감 효과, 수목 별채량의 모든 면에서의 우수성을 확인 할 수 있었다. 본격 도입에 앞서, 345kV, 154kV 송전선로에 시범 적용 이후, 765kV 신안남 송전선로 설계(1998.08), 765kV 신태백 구간 송전선로 지적 및 경과지 선정(2000.7)에 이용하였다.

2.2 시공 관리

2.2.1 성토 다짐 관리

다짐 공사는 단순화된 공정에 비하여 구조물의 안정성을 뒷받침하는 가장 기본적인 작업이며, 투자되는 경비와 인력을 고려한다면 대규모적인 작업으로 품질관리 및 공정관리가 더욱 필요한 공정이라 할 수 있다. 그러나 기존의 성토다짐작업은 운전자의 경험과 육안에 의존, 정확도와 효율성이 떨어졌다. 이에, 한국전력과 국내벤처기업이 협력 연구하여 성토 시공시 다짐롤러에 장착된 DGPS 3차원 위치표정보를 활용하여 다짐롤러의 위치 및 주행궤적을 관리하고, 다짐지역의 다짐횟수, 다짐속도, 다짐층 두께 등의 결과물 분석을 통해 성토공사를 관리하는 성토다짐관리시스템을 개발하였다. 신안성 변전소 토목공사 현장에서의 4차례 실증실험과 시스템 보완을 통해 현재는 거의 완벽한 시스템을 구축하고 있다.

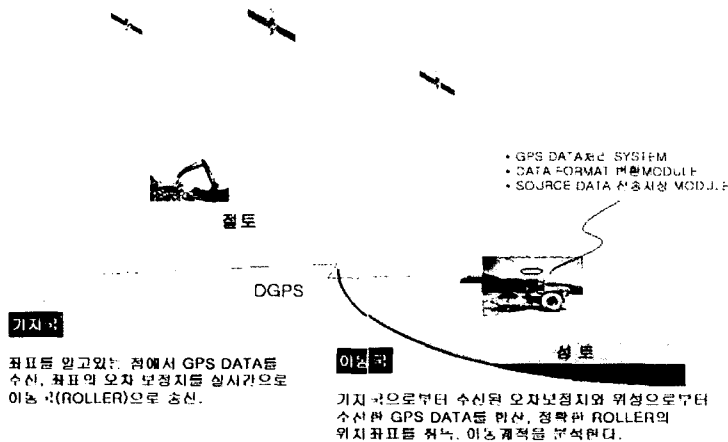


그림 2.2 성토다짐관리 시스템

변전소 부지 공사의 경우, 성토다짐 작업이 부실해, 침하가 발생하면 변전기초가 주저앉게 되고 이는 변전기계의 이상을 유발시켜 대형사고를 초래할 수 있다. 하지만 765KV 신가평 변전소 건설공사에서는 성토다짐관리 시스템을 도입하여 이 같은 우려를 깨끗이 해결하였다.



그림 2.3 로울러장착 이동국

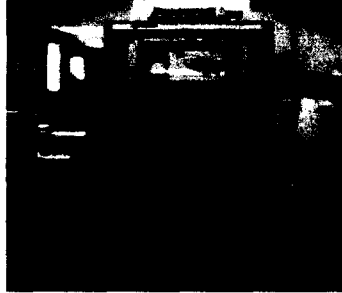


그림 2.4 현장사무실 기지국

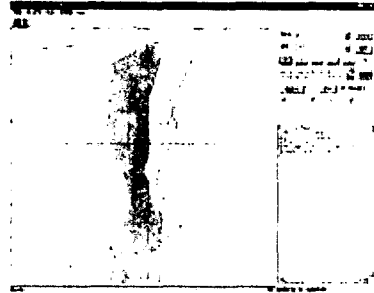


그림 2.5 기지국 시스템 예

2.2.2 해상 공사

| 구 분 | 내 용 | 비 고 |
|---------------------------------|--|---------------------------------------|
| 준 설 선 위 치 관 리 시 스템 | GPS를 준설선에 설치하고 조종실의 모니터를 통하여 전체 준설 구역, 기준설구역, 미준설 구역 그리고 현재 준설선의 위치 및 이동 상태를 육안으로 확인하는 시스템. | 인천 현장 하동 현장 |
| 바 지 선 유 도 시 스템 | 준설 후, 정확한 위치에 사석을 투하하기 위해 준설선 관리 시스템과 유사한 바지선 유도 시스템 이용. | 새만금 현장 |
| 파 일 항 타 시 스템 | 항타선 양단에 GPS를 설치, 조종실의 모니터를 통해 현재의 항타선 위치 및 이동 상황을 육안으로 확인하면서 목표 지점까지 정확하게 항타선을 유도. | 인천 LNG 인수기지 부산 감만 부두 |
| 해 상 구 조 물 시 공 관 리 시 스템 | GPS 안테나를 구조물 양단에 설치하고 크레인 조종실의 모니터를 통하여 구조물 이동 상태를 육안으로 확인하면서 구조물의 설치 위치로 크레인을 조작, 신속하고 정확하게 구조물을 설치할 수 있는 시스템으로, 케이슨, 안벽, 교량상판, 조립된 아치 강구조물 설치에 매우 유용하게 이용. | 서강대교 150m single span palcement |
| 수 심 측 량 시 스템 | GPS를 이용한 수심측량은 단 1명으로서 당일 측량, 당일 도면 작성 가능. | 군산 북방파제 현장 화옹 간척사업 현장 |

2.2.3 토량 관리

성토 및 절토공사에서는 공사의 진행상황에 따라 절토·성토의 균형을 유지하는 것이 중요하므로, 공사 공정 각단계에서 정기적으로 측량하고 단면도와 조감도를 작성하여 토량계산을 하게 되는데 이러한 토량계산을 GPS를 이용한 시스템이 개발되고 있다.

현장 내에 설치한 기준점과 이동 측정차의 2점에 설치한 GPS로 동시에 관측을 하고 그 상대위치를 관측한다. 이동측정차는 관측점에 5~10초 동안 관측하고 이동하며 관측을 반복한다. 일본의 경우, 측량 작업시간이 종래의 1/3~1/5로 된 사례와 토량 운반계획, 규격 관리뿐 만 아니라 동시에 매립 지반의 침하관리에 응용한 사례가 있다.

2.2.4 고층 건물 시공

1997년에 완공된 the Auckland Sky Tower (Auckland, New Zealand)는 328 m에 이르는 남반구에서 제일 높고, 세계에서 일곱 번째로 높은 구조물이다. 이 구조물은 40km 떨어진 진원지에서 리히터 규모 7에도 견딜 수 있도록 설계되었다. 또한 시공 중, 구조물의 수직성 확보 여부를 확인하기 위해 real-time kinematic(RTK) GPS를 정밀 측량 시스템의 하나로 사용하였다.

2.3. 상시 계측 시스템

2.3.1. 대규모 사면의 거동 모니터링

대규모 토공시, 공사중 혹은 공사후 안전성 확보를 위한 토사의 미끄러짐 등 사면의 거동에 대한 감시가 중요하다. 종래에는 흙의 무너짐 등의 영향을 받지 않는 부동점과 사면상의 관측점을 설치하고 사면변형의 방향과 이동량 등을 관측하였다. 그러나 이 방법은 아래와 같은 문제가 있었다.

- 측정간의 시계확보가 위해 장애물을 피하고 상세하게 몇 번이나 측정해야 하는 경우가 많음.
- 장거리 측정일 경우 정도가 떨어짐.
- 우천이나 야간에는 측정이 불가능함.

이런 문제를 해결하기 위해 시계와 일기, 주야의 제한 없이 측정이 가능한 GPS를 이용한 시스템이 연구 개발되었다. GPS를 이용한 사면거동측정법은 GPS 수신기를 필요 개소에 설치하고 인공위성의 전파를 수신, 해석하여 수신점 간의 상대위치를 산정 함으로써 사면의 변동 상태를 파악하는 것이다.

1998년, Bridham Young University 와 미국지질조사국이 공동으로 NASA의 연구비 지원을 받아 Slumgullion Landslide의 거동관측에 관한 연구수행에 GPS를 이용하였다. Landslide 지역은 콜로라도주의 남서쪽에 있는 Lake City로부터 남서쪽으로 약 5km지점에 위치하고 있다. 11개의 기준점과 19개의 관측점을 Landslide 지역에 설치하고 계절적인 거동을 관측하여 결과자료의 비교분석을 통해 구축한 GPS 시스템의 성능을 평가하는 연구를 수행하였다.

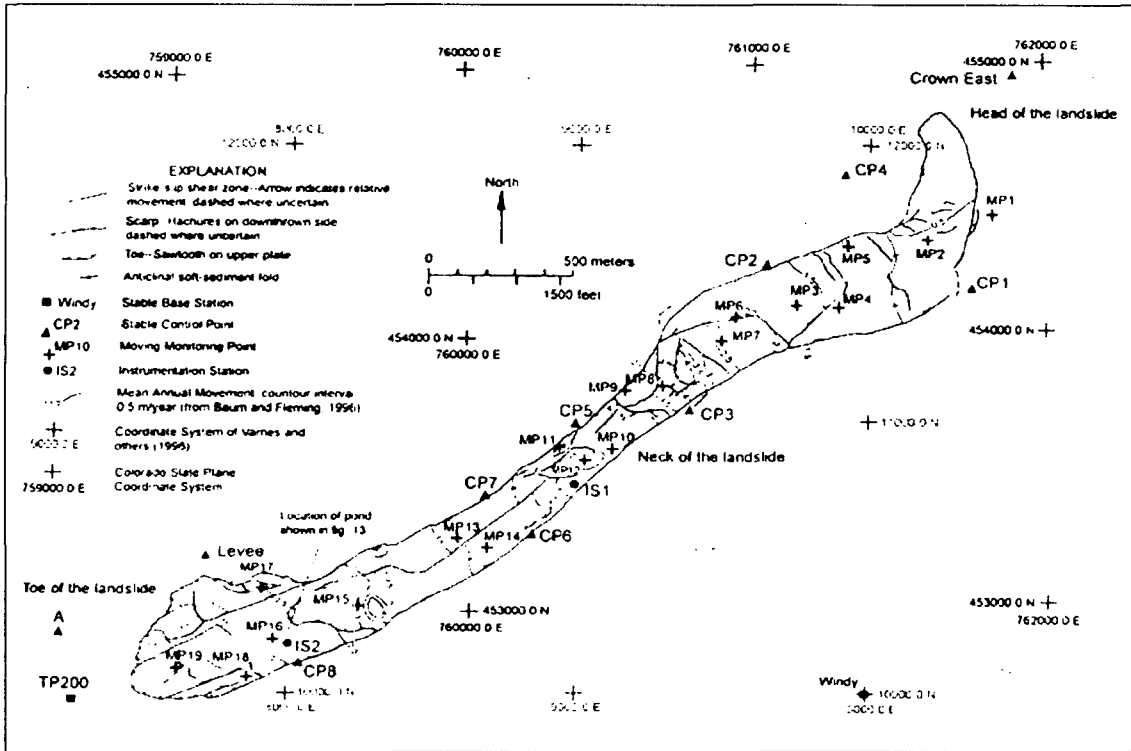


그림 2.6 기준점과 관측점 설치도

2.3.2 구조물 모니터링

GPS의 3차원 위치결정 능력에 따른 많은 응용기회 중의 하나가 변형 모니터링 분야이다. 근래에 기초과학 연구설비나 발전 및 화학 플랜트 설비, 우주항공 설비, 그리고 교량 등의 구조물 형상 변형 측량을 위한 정밀측량 기술의 필요성이 대두되고 있다. 종래에는 구조물의 설치 및 유지관리를 위한 구조물 자체의 정밀측량은 전통적인 측정방법(테오돌라이트, 전자파 거리측량기, 토탈스테이션, 정밀레벨, 사진측량)을 이용한 주기적인 반복관측에 의해 이루어졌다. 그러나 구조물의 규모가 대형화되고 요구 정확도가 높아짐에 따라 기계적인 방법으로 정밀 위치결정을 수행하기에는 어려움이 따른다.

GPS를 이용한 정밀측량은 기존의 측량기법에 비하여 관측시 상호시통이 불필요하고 단시간에 대상지역내의 다량의 점들을 높은 정확도로 관측할 수 있다는 장점 때문에 구조물의 변형 모니터링을 통한 안전진단에 효과적으로 응용될 수 있는 잠재성을 가지고 있다. 이런 이유로 관측 정확도가 크게 향상된 GPS 모니터링 시스템에 관한 연구개발이 수행되고 실제 적용사례도 점차 늘고 있다. 특히 댐, 교량의 주기적인 변형 모니터링을 통한 위험도 예측, 각종 공사현장에서의 불안정한 지반의 침하관리, 경사면에서의 변위 및 표면침하의 검출 등과 같은 응용분야에서는 현재의 기술로도 그 목적을 충분히 수행할 수 있는 수준에 이르고 있다.

● 교량

현수교는 장대 경간을 가지고 있어 주변환경의 영향(바람, 차량, 온도 및 지진)을 많이 받는다. 따라서 이런 주변 환경으로부터의 안전 여부를 확인하기 위해 실시간으로 구조물의 동적 변형 모니터링이 반드시 필요하다. 기존의 다른 측정 방법과 비교하였을 때, real time kinematic GPS 시스템을 이용하면 교량의 고정된 지점의 이동을 연속적이고, 그리고 실시간 모니터링이 가능하다.

GPS 시스템을 실제 현수교에 적용하여 현수교의 상태를 모니터링하는 실험이 The HuMen Bridge(중국)와 The Hartman Bridge, The Blackwater River Bridge(이상 미국)을 대상으로 수행되었다. GPS 모니터링 시스템을 이용해 관측한 결과를 FEM 해석, wind tunnel test, 그리고 accelerometer 등과 같은 간접적인 관측방법의 결과와 비교했을 때, 수치적으로 매우 일치함을 알 수 있었다. 즉, 지진과 돌풍 등과 같은 외부작용에 대한 장경간 현수교의 반응 거동을 모니터링 함에 있어 GPS 시스템이 신뢰성 높고 유용한 방법이라는 결론을 얻게 되었다. 다만, 장경간의 현수교의 경우 수반되는 변형(하중조건에 따라 수cm~수m)이 크기 때문에 현재의 기술로 변위 모니터링이 가능하지만 정확성의 한계로 인해 다른 타입의 교량에 적용함에 있어서는 한계가 있다. 그러나 GPS 기술 발전에 따른 정확도의 개선이 이루어지고 있어 머지 않아 다른 타입의 구조물에도 적용이 가능하게 될 것으로 보인다.

국내의 경우, 1998년에 경남 남해군과 하동군을 연결하는 남해대교의 중앙 경간에서 일정한 기간동안 다양한 교통하중과 풍향과, 풍속 하에서 교량의 거동에 관한 모니터링 시스템이 실험된 적이 있다. 이 실험에서도 교량의 거동 모니터링에 실시간 동적 GPS 모니터링 시스템의 적용이 가능하다는 결론을 얻을 수 있다.

아래는 GPS 모니터링 시스템을 실제 교량(현수교)에 적용한 일부 사례들이다.

| 구 분 | 내 용 | 비 고 |
|--|--|-----|
| Humber Bridge | <ul style="list-style-type: none"> ●Humber Bridge 유한요소모델의 타당성을 확인하기 위해 실제 교량에 GPS 시스템 적용. ●기지의 하중 조건하에서, 교량의 변형을 GPS를 이용해 측정하고 이를 유한요소해석결과 예상수치와 비교. ●비교 결과, 매우 근접한 일치를 보임. | 미 국 |
| Tsing Ma Bridge Kap Shui Mun Bridge Ting Ma Bridge | <ul style="list-style-type: none"> ●WASHMS(Wind And Structure Health Monitoring System)를 3개의 현수교에 도입 - 7가지 타입의 총 774개의 센서 ●가속도계의 경우 처짐량을 구하기 위해서 2회 적분시,decks의 고유진동수가 매우 적은 값이어서 정확한 변위를 반영할 수 없음 ●level sensing station는 수직변위를 2mm의 정확도로 관측할 수 있지만 수평변위를 측정할 수 없음 ●WASHMS 성능과 정확성 향상을 위해 real time GPS-OSIS (On-Structure Instrumentation System)을 도입 ●기존의 다른 센서와 함께 사용할 경우 정확성과 신뢰성에서 더 우수한 모니터링을 수행할 수 있음. | 홍 콩 |
| Akashi Kaikyo Bridge | <ul style="list-style-type: none"> ●세계 최장경간 현수교로 강풍과 지진의 위험지역에 위치 ●광섬유 게이블망으로 연결된 3개의 DGPS 수신기를 이용한 모니터링 시스템 구축 ●2개의 수신기를 주탑 꼭대기에, 나머지 수신기는 교량의 중간지점에 장착하여 교량의 정확한 거동을 관측 | 일 본 |

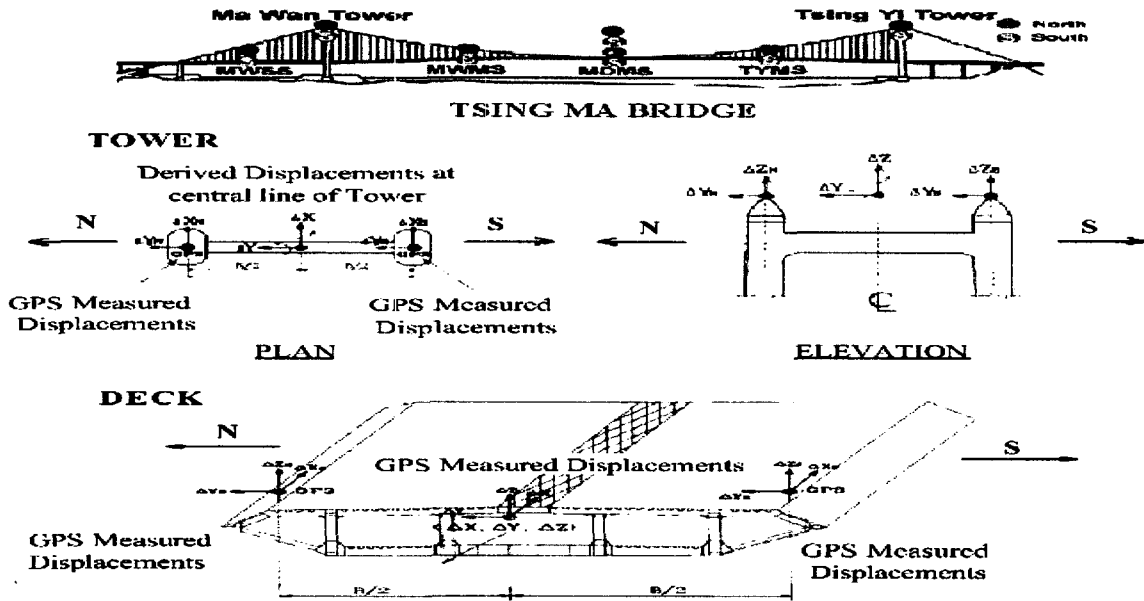


그림 2.7 TSING MA BRIDGE 의 GPS 설치

● 댐 거동 관측

국내에서, 공학적 측면에서 변형과 거동의 모니터링에 GPS의 이용가능성을 입증하기 위해 흙댐(Earth Dam)을 대상으로 한 연구("댐구조물의 변형 모니터링을 위한 GPS의 응용"/1997)가 수행된 바 있다. 이 연구는 기준점들간의 기선벡터를 반복적으로 측정하여 동일한 결과를 얻을 수 있는지 여부와 그의 정확도 수준을 규명하는데 그 목적을 두었다.

연구 결과, 1.5km이내의 기선에서 평균 3mm 이내의 기선벡터의 반복재현성을 보였으며, 기준망을 구성하는 삼각형들의 환폐합오차를 점검한 결과 평균 4~27ppm의 상대 정밀도를 보였다. Kinematic 기법으로 관측한 결과, 기준점으로부터 모니터링점들까지의 경사거리는 토탈스테이션에 의해 얻어진 결과에 비해 3~4mm의 교차를 나타내었고 높이 성분에서는 정밀레벨에 의한 관측결과에 비하여 4~8mm의 교차를 나타내었다. Kinematic GPS는 종래의 광학적 측량기법에 비해 소요시간 및 인력면에서 훨씬 효율적임이 확인할 수 있었고, 정확도면에서는 종래의 기법에 거의 필적하는 모니터링 기법임이 입증되었다.

● 도로 변형량 측정

도로는 국가의 중요한 기간시설이다. 따라서 대부분의 나라에서 도로건설은 국가 또는 지방자치단체에서 공공예산으로 건설 및 유지관리를 수행하고 있다. 그리고 도로 하부공간에는 상수관 가스관, 전선관, 통신관, 송유관, 하수관 등이 며설되어 있다. 만약, 도로시설물이 힘의 균형을 잃어버려 변형이 발생하면, 도로하부에 매설되어 있는 시설물에도 변형이 발생한다. 도로 시설물에서 변형이 발생되면 조속히 응급조치를 취하여야 하며 또한 변형발생원인을 규명하고, 변형 발생된 부분을 복구 또는 보수 및 보강을 하여야 한다.

변형발생 원인을 규명하기 위해서는 변형량을 정확히 측정하여야 하며 보수,보강을 위해서도 정확한 변형량의 측정이 필요하다. 또 이 변형량은 3차원 좌표로 측정하는 것이 합리적이다. 이에 국내에서, GPS를 이용하여, 도로변형량을 측정하고 그 결과를 검증하기 위해 토탈스테이션으로 관측한 결과와 비교하여 정확도 및 효율성에 관한 실험 연구가 수행되었다.

실험 결과, 도로 시공시에 변형이 우려되는 곳에 일정한 간격으로 검사점을 설치하고 GPS에 의한 초기값을 관측해두면 변형량을 비교적 정확하게 관측할 수 있으며 토탈스테이션으로 관측한 결과에 비교했을 때, 도로의 변형원인분석 및 보강 대책수립 등의 조사에 활용할 수 있는 정확도(X방향 : 1.9cm, Y방향 : 2.2cm, Z방향 : 3.2cm의 교차)를 확보할 수 있다는 결론을 얻었다.

● 가스설비 침하 감시

한국천문연구소와 한국 가스공사는 대형 구조물에 대한 재해를 사전 예방하는 국가방재차원의 안전성 확보를 위해 GPS를 이용한 구조물의 변위량을 mm의 정밀도로 측정 및 감시할 수 있는 기술개발에 관한 연구와 가스 설비의 침하를 감시하기 위하여 GPS(Global Positioning System) 기술을 적용하는 연구를 공동 수행하였다. 가스설비의 안전성을 위협하는 여러 요소들 중의 하나가 지반 침하 현상이기 때문이다. 지반 침하는 천연가스 공급배관 뿐 아니라 인수기지 및 공급관리소 등 공사 전 설비에 공통적으로 적용되는 위험 요소이다.

GPS기술을 가스설비에 적용하기 전에, GPS의 정밀도와 현장적용 타당성을 검증하기 위하여 모의 시험장치를 이용하여 변위 측정능력 및 정밀도를 측정했다. 그 결과 수 mm급의 3차원 변위측정이 가능하다는 것이 입증되었다. 한국가스공사에서 운영하고 있는 가스공급관리소 중, 침하가 우려되는 2곳에 GPS 설비를 설치하여 수개월간 배관의 변위량을 측정하여 본 결과, 연간 수 mm의 움직임이 있음을 확인하였다. 실험결과로부터 GPS 시스템이 가스설비 침하 및 변형감시의 현장 업무에 적용 가능하다는 결론을 얻었다.

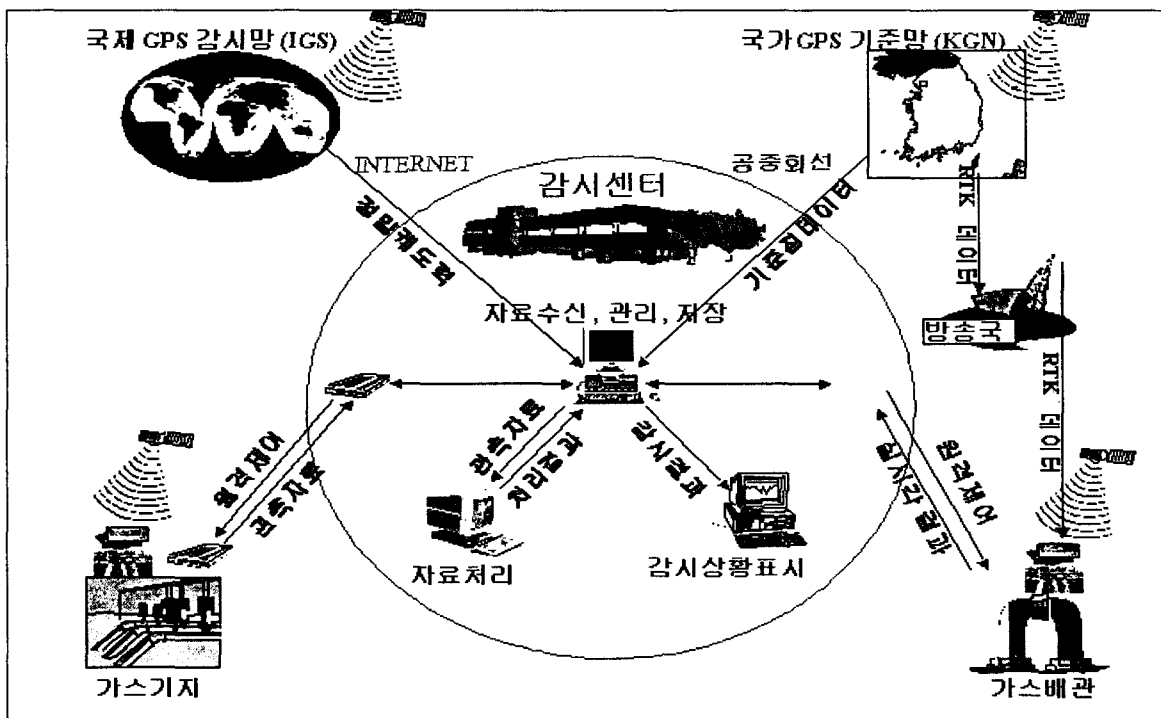


그림 2.8 시스템 구성

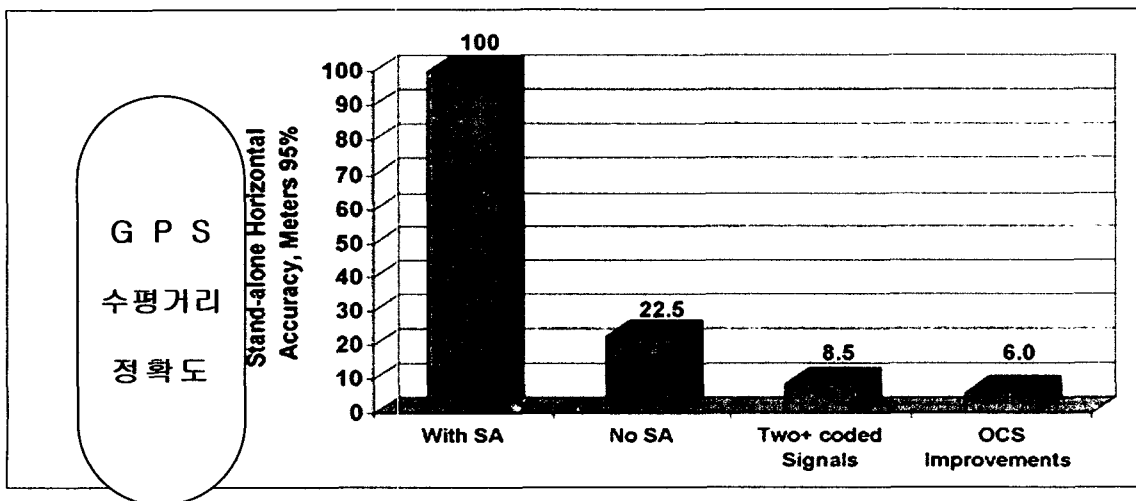
3. 향후 전망

3.1. GPS의 현대화

GPS가 완전한 항법기능을 제공한다는 FOC(Full Operational Capability)가 95년 4월 27일 발표됐지만, GPS는 이미 전세계적으로 다양한 응용분야를 가지고 널리 사용되고 있다. 20여 년 전 GPS(Global Positioning System)의 개발이 시작된 이래, GPS는 놀라울 만한 발전을 하였다. GPS 수신기 기술뿐만 아니라 GPS가 응용되는 분야 및 사용방식이 최초로 GPS시스템을 설계할 당시에는 상상하지도 못했던 다양한 형태로 발전하고 있다.

전세계적인 민간사용의 확대에 의해, 다양한 분야에서의 보다 정확하고, 신뢰할 수 있는 위성항법 서비스에 대한 요구가 증대하고, 유럽을 중심으로 계획되고 있는 새로운 위성 항법 시스템인 갈릴레오(GALILEO) 프로젝트에 대한 대응으로 미국은 GPS의 현대화 계획을 수립 시행하고 있다. 아래의 표와 그림은 미국이 세운 현대화 계획과 그에 따라 기대되는 정확도 향상을 보여준다.

| 구 분 | 수 행 항 목 | 수 행 기 간 |
|-----------------------|--|-----------|
| GPS II R 시 스템 | <ul style="list-style-type: none"> ● C/A code 를 L2 에 반송 ● 새로운 군용 M code를 L1 과 L2 에 반송 | 2003~2006 |
| GPS II F 시 스템 | <ul style="list-style-type: none"> ● C/A code 를 L2 에 반송 ● 군용 M code를 L1 과 L2 에 반송 ● 제 3의 민간 signal L5 제공 | 2005~2010 |
| GPS III 시 스템 | <ul style="list-style-type: none"> ● C/A code 를 L2 에 반송 ● High Power 군용 M code를 L1 과 L2 에 반송 ● 제 3의 민간 signal L5 제공 ● 2030년까지의 군과 민간 수요 충족을 목표 | 2010~ |
| OCS (운영관제국) 개 선 | <ul style="list-style-type: none"> ● 신호 모니터링 능력 개선 ● Control Network 강화 ● 민간, 군용 서비스의 위치 정확도 향상 ● 현대화된 위성 제어에 필요한 기능 추가 | 2000~2008 |



3.1.1 SA(Selective Availability) 해제

미국은 SA(고의오차)를 없애기 위한 준비로 자신들이 언제라도 특정 지역에 한하여 GPS의 사용을 제한할 수 있는 기술을 자체적으로 개발했다. 전세계적인 제한이 아닌 지역적인 제한기술을 개발하여 이 기술의 완벽한 작동이 입증되자 2000년 5월 2일 새벽4시를 기하여 그 동안 많은 논란이 있었던 SA를 중지하였다. 이로 인해 민간사용분야의 경우, 한순간에 위치정확도가 약 10배정도로 향상되었다. 아래 그림은 SA가 작동을 멈추는 순간을 전후하여 위치정확도가 향상되어지는 것을 보여준다.

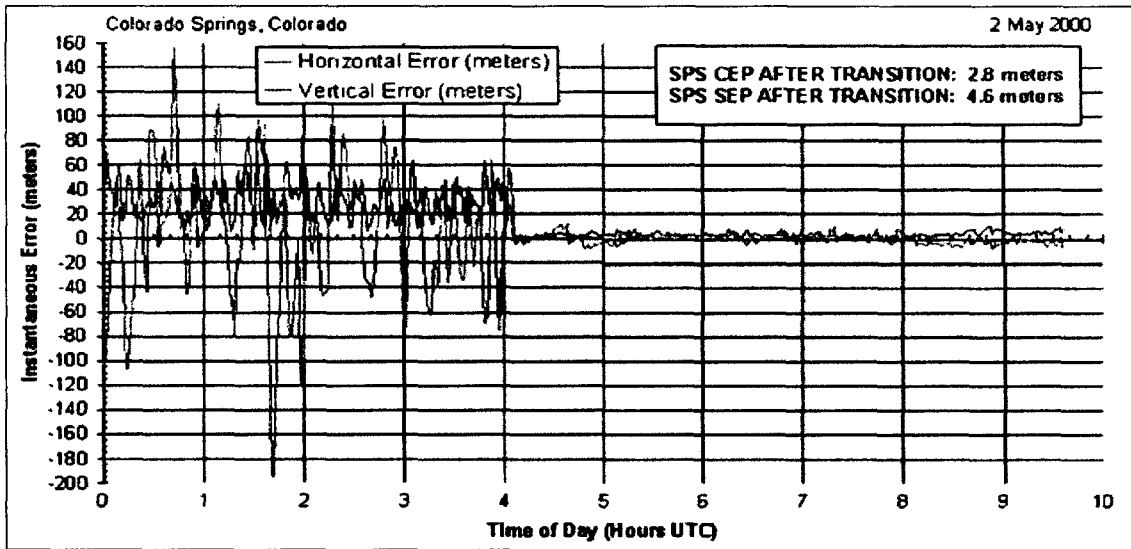


그림 3.1 SA의 해제

그러나, 비록 SA가 해제되어 일반 GPS수신기만을 이용해서도 DGPS정도의 정확도를 쉽게 얻을 수 있게 되었지만, DGPS 시스템은 계속 사용되고 있다. DGPS의 가장 큰 기능이 정확도의 향상이지만, 이 밖에 GPS신호의 상태감시와 같은 신뢰성, 연속성 등을 보장하기 위한 기능들이 있기 때문이다. 약 10배 정도로 정확도가 향상된 지금, 보다 많은 사람들이 보다 많은 분야에서, 특히 높은 안전성을 요구하는 곳에서 GPS를 사용할 수 있게 되어 앞으로도 그 이용과 적용분야는 날로 확대될 것이다.

3.1.2 SPS(Standard Positioning System)의 현대화

현재 SPS를 위한 신호는 L1에 반송되는 C/A 코드 한가지밖에 없으며 이에 따라 이중주파수를 사용하는 PPS에 비해 전리층지연에 따른 오차를 효과적으로 보상하지 못하고 있다. 현대화 계획에 따르면 미국은 두 가지 다른 형태로 추가적인 항법신호를 민간용으로 제공할 예정이다. 하나는 현재의 C/A 코드를 L2 신호에 실어 보내는 것이고, 또 하나는 새로운 민간용 코드를 L5라고 불리는 1176.45MHz 주파수에 실어서 보내는 것이다.

일반적인 민간 GPS 사용자는 추가적인 두 신호에 의해 항법신호의 중복성(redundancy), 위치정확도의 향상, 가용성(availability) 및 무결성의 향상, 그리고 전파간섭에 대한 보다 강한 내성 등을 얻을 수 있으므로 현재의 단일코드 단일주파수에 비해 월등히 향상된 항법서비스를 제공받을 수 있다. 또한 추가적인 코드 및 주파수에 의해 실시간 동적 정밀측위(Real-Time Kinematic)가 보다 수월하게 이루어질 수 있으며, 정밀측위 분야에 GPS가 보다 널리 사용될 것이다.

3.1.3 PPS(Precise Positioning System)의 현대화

PPS의 현대화 계획은, 새로운 군 전용 코드인 M 코드를 기존의 L1 및 L2 주파수에 실어서 전송하는 것이다. 이 M코드는 특별히 전파방해(jamming)와 전파간섭(interference)에 보다 강하도록 그리고 안정성을 향상시키도록 설계되었다.

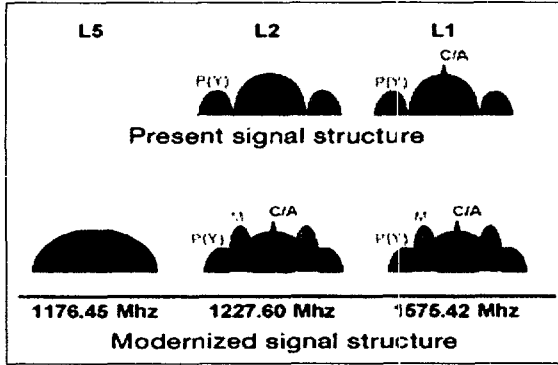


그림 3.2 Signal의 현대화

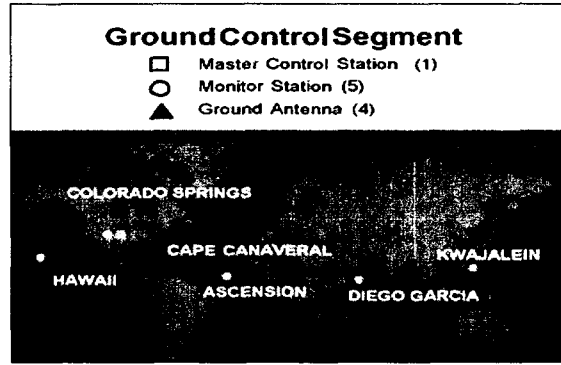


그림 3.3 운용관제장비의 현대화

3.1.4 OCS(운용관제국)의 현대화

위성신호를 새롭게 제공하는 것 이외에, 2000년부터 2008년까지 단계적으로 지상에 있는 전세계 10군데 운용관제국(Operational Control Segment)들의 장비를 업그레이드함으로써 시스템 정확도에서 보다 향상된 항법서비스를 계획하고 있다. 주요 내용을 보면, GPS Monitor Station을 업그레이드하고 Ground Antennas를 새로운 디지털 수신기와 컴퓨터에 연결하고 Vandenberg 공군기지에 AMCS(Alternate Master Control Station) 건설을 건설하는 것이다.

3.1.5 차세대 항법위성 시스템 개발

1973년에 초기 Block I 위성이 개발된 이후 지속적인 성능 개선이 이루어지고 있으며 현재의 차세대 위성 항법 시스템으로 2010년까지 12개의 GPS Block IIF 위성을 배치하기로 계획하여 수행하고 있다. 그리고 2030년까지 군사용과 민간용의 수요를 모두 충족시킬 수 있는 새로운 세대의 위성(GPS Block III)을 개발하기로 했다.

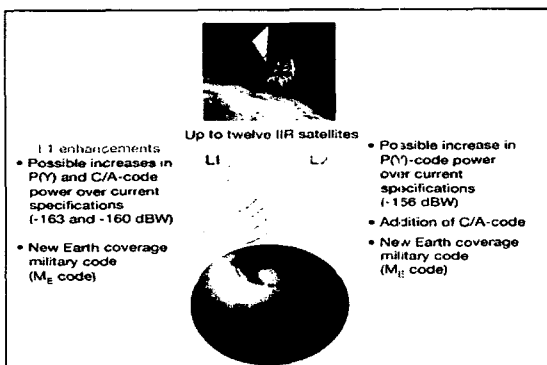


그림 3.4 GPS IIR 위성 시스템

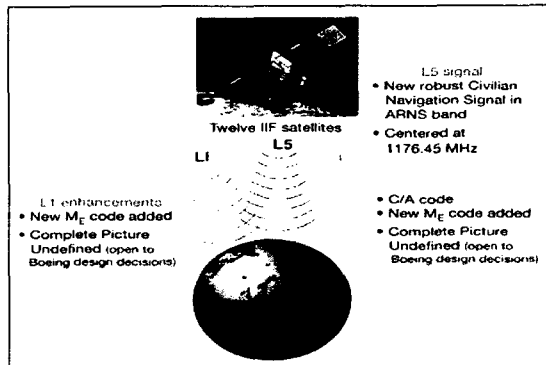


그림 3.5 GPS IIF 위성 시스템

3.2 GPS 대체위성 시스템 개발

현재, 위성항법시스템으로 미국의 GPS 및 러시아의 GLONASS가 구축되어 군사 및 민간 분야에서 이용되고 있다. 민간용 GPS로 사용되는 SPS 자체만으로는 정확도 및 신뢰성, 가용도에 한계가 있기 때문에 이를 개선하기 위한 방법으로 DGPS 등의 보정시스템, 다른 위성을 추가로 연계하여 지상 또는 위성에서 확장, 보정하는 확장항법시스템에 대한 개발이 진행되고 있고, GLONASS를 이용하는 항법시스템이 개발되고 있으며, 최근에는 GPS / GLONASS 겸용 수신기가 개발되어 출시되고 있다.

유럽과 일본에서는 미국의 GPS 독점운용과 GLONASS의 향후 가용성 불안에 대한 대책으로, 민간운용을 기본으로 하고, 궁극적으로는 GPS에 대한 의존도를 경감시키기 위한 차원에서 대체 위성항법시스템에 대한 연구가 폭 넓게 진행되고 있다.

앞으로의 항법시스템은 한가지의 시스템만을 이용하는 것이 아닌 가용한 모든 항법시스템을 이용하는 다중 항법시스템이 될 것이며 이것이 차세대 위성항법시스템인 GNSS(Global Navigation Satellite System)의 기본 개념이 되고 있다. 앞으로 수 년 후면 우리들은 GPS, GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System), Galileo로 구성되는 GNSS 항법시스템을 볼 수 있을 것이다.

3.2.1 유럽

미국방부에 의한 GPS의 독점 운용 및 이에 따른 유료화 가능성에 대비하고 정확도와 신뢰도, 가용도를 향상시킨 차세대 범세계 민간 위성항법시스템인 GNSS에 대한 연구개발을 ESA (European Space Agency)를 중심으로 진행하여 왔다.

GNSS는 기술적으로는 기존 GPS의 정확도인 100m를 5-10m까지 향상시키며, 무결성 감시 기능을 강화하여 신뢰도를 향상시키고 가용도를 향상시키기 위하여 확장시스템을 이용하며, 통신기능 등에 부가 서비스를 추가하는 것이다. 이를 위하여 기존의 지상제어 의존도 감소, 위성에서의 자동 궤도 결정 및 위치계산의 정확도 향상, 위성체내의 시계 정확도 향상, 지상으로의 전파환경 보상, 수신기에서의 전파 수신 오차제거 등의 기술개발을 필요로 한다.

GNSS 프로젝트는 2가지 단계로 나뉘는데 그 첫 번째 단계가 GNSS-1로 불리는 EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay System)이다. 두 번째 단계인 GNSS-2가 독자적인 항법시스템 구축을 목표로 하고 있는 반면, EGNOS는 과도기적인 단계로 GPS 와 GLONASS를 보다 효과적이고 정확하게 이용하는데 주안점을 두고 있다. 이러한 계획은 더욱 발전하여, 2008년까지는 GPS와 같이 30여개의 독자적인 위성군(Galileosat)으로 이루어지는 위성항법시스템인 Galileo의 개발을 계획하고 있다. 미국 국방성에서 전적으로 개발한 GPS와는 달리 이 시스템은 순전히 민간 주도하에 개발이 진행되고 있으며 공공성을 최대한 유지하면서 민간업체의 참여를 허용하려고 하고 있다.

3.2.2 러시아

러시아는 적절한 장비를 장착한 사용자들이 정확한 위치, 속도 및 시간을 결정할 수 있는 우주로부터 나온 신호를 제공하기 위한 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System)를 개발 및 구현하고 있다. 이 시스템은 미국의 GPS와 비슷하며 민간 서비스와 군용 서비스 두 가지로 제공되고 있다. GLONASS는 1996년에 위성궤도 완성이 선언되고 정상 서비스가 시작되었다. GLONASS는 높은 정확도와 가용성을 제공하며 항법 커버리지는 연속적이고 전세계적이며 모든 기상에서 가능하다. 그러나 자국의 경제불안정과 GPS와 경쟁력 열세로 한계에 직면함에 따라 유럽연합과 장래 GNSS에서 GLONASS의 공동운용을 모색하는 한편 위성수명 및 궤도특성이 현저히 증가한 시스템인 GLONASS-M 개발계획과 DGLONASS망 구축계획을 수립했다.

3.2.3 일본

일본은 현재 1200점의 GPS 기준국을 운용 중인 최대의 GPS 활용국가이다. 현재의 GPS를 확장하는 지역시스템 구축 방법을 추진하고 동시에 유럽과 공동으로 GNSS시스템을 개발하는 방안을 추진 중이다. 장기적으로 독자적인 대체항법시스템을 구축하기 위해 우주개발사업단 NASDA (National Space Development Agency of Japan)이 2002년부터 새로운 독자 지역권 위성항법 시스템을 구축하기 위해 700억 엔의 예산으로 한 개의 정지위성과 3개의 경사 저궤도 위성을 사용하여 중국, 인도네시아, 일본, 괌을 포함하는 지역에 10m의 정확도를 제공할 계획을 추진하고 있다.

3.3 국내현황과 향후전망

3.3.1. 국내 현황

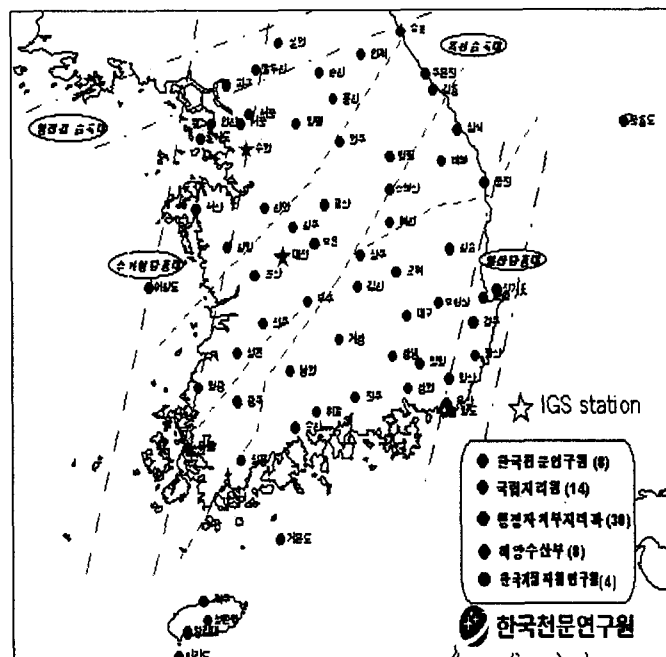


그림 3.6 대한민국 2001 GPS 상시 관측망

● 한국 천문 연구소

- 1) 천문 연구원 GPS 관측소 건설(1992)
- 2) 국내 최초로 IGS 및 IERS의 핵심관측소로 지정(1995.11) : 국제 GPS 좌표 기준점 운용
- 3) 국제 GPS 기준점 및 데이터 센터 운영
- 4) 국내 GPS 관측망 및 GPS 총괄센터 운영
- 5) 주요 보유 기술
 - 좌표변환기술(WGS84, Bessel, TM, UTM)
 - mm급 고정밀 GPS 자료처리 기술
 - GPS 센터 및 감시망 운영 자동화 기술
 - 고정밀 차량항법용 DGPS 서비스 기술
 - GPS 수신기용 자료처리 S/W

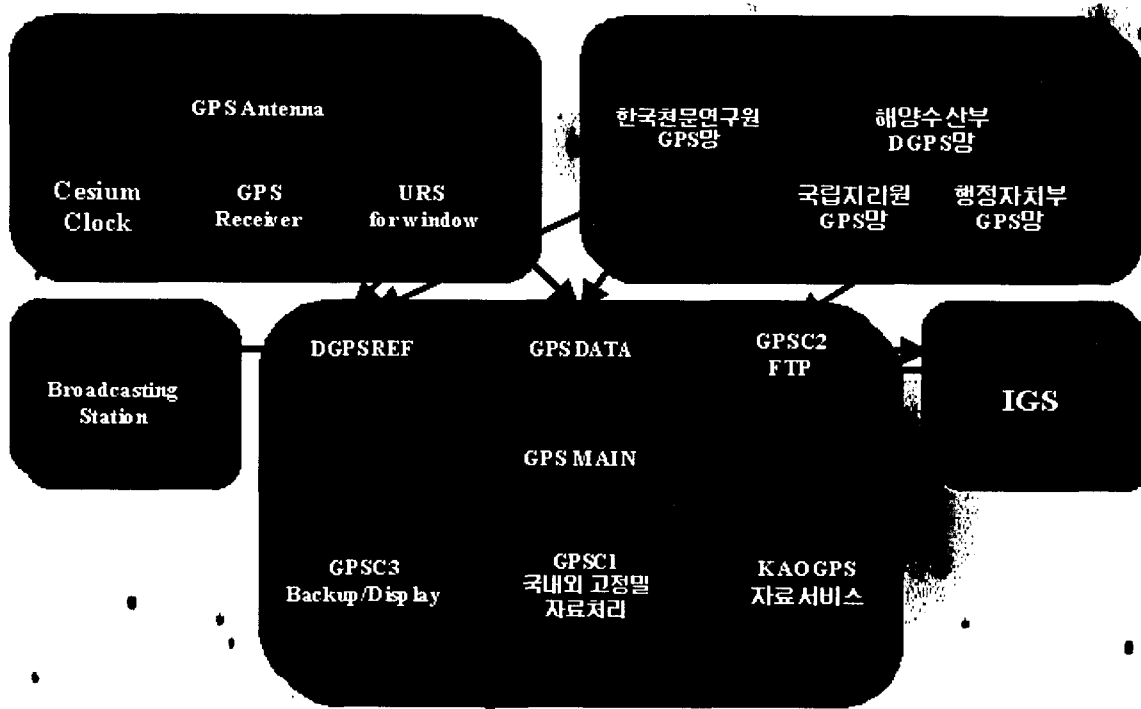


그림 3.7 시스템 구성도

● 건설교통부

- 1) 지구 중심 좌표계 도입 : WGS-84좌표계
 - 현행 우리나라의 실용좌표(벡셀타원체 기준)와 평균 약 750m정도의 편차
 - 양좌표계간의 불일치로 인하여 GPS의 이용에 많은 불편이 따름 : 좌표변환기술 개발
- 2) GPS 상시관측소 운영 및 기본측량 사업 수행(1995~)
- 3) 국립지리원을 중심으로 측량 및 GIS분야 활용 연구 수행

● GPS 총괄 정책기관의 부재

- 1) 건교부 : 측량, ITS, CNS, 항공/항해
- 2) 정통부 : 위성통신, 전파
- 3) 국방부 : 군사용용

● 단순 이용 : 향후 기술안보, 경제적인 측면에서 종속 심화가 우려됨

● GPS 측량의 본질에 대한 충분한 이해 없이 GPS 측량작업 수행

- 1) GPS위성 데이터 수신장비의 기본적인 작동법만을 숙지 한 뒤 수집된 위성 데이터 분석처리에 대한 컴퓨터 처리를 윈도우 환경에서 Batch Processing으로 일괄 처리
- 2) GPS 시스템에 관련된 정확도와는 무관하게 측정실무자의 측량방법에 따라 정확도가 떨어짐 : 망의 구성방법, GPS 기준점의 도입여부, 위성의 고각 등

3.3.2 향후 전망

외국에 비해 국내에서 GPS의 본격적인 사용이 없었던 것은 무선데이터 통신망, GIS, 수치지도 등 관련 기간시설이 갖추어지지 않아서였지만 근래 들어 이러한 것이 구축되고 있어 GPS, 통신망, 지도 데이터 등을 이용한 다양한 응용 시스템이 개발 실험되고 있다. 특히, 건설 분야는 GPS 기술 발전으로 인해 정밀측위가 가능해짐에 따라 GPS의 새로운 응용분야로 각광받고 있다. 측량/지도제작 분야의 경우, 이미 큰 시장을 형성하고 있으며 점점 그 비중이 높아지는 양상을 보이고 있다.

그리고 현재, 구조물 모니터링에 이용되는 GPS 수신기(cm 이하의 정밀도 요구)의 경우 높은 가격이 문제가 되고 있으나 GPS 모니터링 시스템의 기술이 발전함에 따라 제작사는 저비용, 고확도의 GPS 안테나의 개발에 매달릴 수밖에 없을 것이고 자동적으로 가격 하락이 예상된다. GPS 시스템의 구축에 따른 비용 문제를 덜게 된다면 앞으로 건설 분야에서의 GPS 시스템의 수요는 점점 늘어날 것이다.

GPS의 적용사례 조사 결과, 외국에 비해 아직까지는 연구와 실험에 그치고 있고 현장에 직접 적용되고 있는 분야가 몇몇 항목에 그치고 있으나 각기 수행중인 연구결과가 밝혀지고 GPS의 현대화에 따른 성능이 지속적으로 개선된다면 실제 현장 적용은 급격하게 늘어나고 적용 분야도 확대될 것으로 보인다. 그리고 여기에 그치지 않고 현수교 이외의 타입에도 적용이 가능한 교량 관측 시스템과 건설기계 종합관리 시스템 등과 같은 새로운 응용 시스템에 대한 연구가 국가적으로 계속적으로 수행되어야 할 것이다.

GPS 시스템의 연구 개발과는 별도로, 독자적인 위성항법 시스템이 없는 한국의 입장에서는 현재 사용하고 있는 미국 GPS의 유료화에 대한 대책을 마련이 급선무일 것이다. 미국이 현재 추진하고 있는 GPS 현대화 전략이 성공한다면 GPS 시스템의 개발 및 운용에 대한 비용의 일부를 환수하기 위해 어떤 식으로든 유료화 할 것이다. 이는 미국이 일본에게 현재 개발중인 GPS 신기술의 국제 표준화에 동참할 경우, 실용화 시기부터 약 20년간 일본 기업에 대해서 무료 이용을 보장하겠다는 뜻을 밝힌 점에서 확실하다고 판단해야 할 것이다.

따라서 미국의 GPS 국제 표준화 추진에 참여하여 실리를 추구하는 한편 국제 협력을 통해 일본, 중국 등의 인접 국가간의 공동 대응책을 모색하고 공동연구를 추진해야 할 것이다. 그리고 유럽의 GNSS와 같이 미국의 GPS만을 사용할 것이 아니라 소련의 GLONASS와 같은 위성을 함께 사용, 특정 국가의 시스템에 종속되는 것에 대비해야 할 것이다. 또한 한국의 위성인 무궁화위성 혹은 다목적위성과 연계해 사용하는 방법도 강구해야 할 것이다. 그리고 국내 기업들의 독자적인 수신기 개발이 아직 이루어지지 않고 있으나 만약 시도된다면 GPS와 GLONASS를 함께 사용하는 혼합형 수신기의 개발이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김병화 (2000), "GPS에 의한 건설기계 종합관리 방안", 건설기술정보
2. 김천곤외 (1996), "GPS측량 표준작업 고찰", 대한토목학회 1996년도 학술발표회 논문집
3. 노태호 (1999), "GPS에 의한 도로변형량 측정에 관한 연구", 석사학위논문, 부산대학교
4. 동역 메카트로닉스 연구소, "GPS 의 기본지식과 응용시스템"
5. 박운용외 (1998), "실시간 동적 GPS측위 기법에 의한 교량 거동의 모니터링", 대한토목학회 1998년도 학술발표회 논문집
6. 이동우, "GPS의 이해", (주) 한국공간 정보통신 GIS 팀
7. 이병환 (1997), "GPS 측량에 의한 구조물의 변형 모니터링", 석사학위논문, 금오공과대학교
8. 이종권 (1998), "DGPS를 이용한 측량의 정확도에 관한 연구", 연세대학교, 대학원 토목공학과
9. 이승찬외 (1995), "3차원 측량시스템을 이용한 시설물 변형관리 기법", 대한토목학회 1995년도 학술발표회 논문집
10. 이진덕외 (1997), "댐구조물의 변형 모니터링을 위한 GPS의 응용", 대한토목학회 1997년도 학술발표회 논문집
11. 조성호외 (1999), "GPS를 이용한 가스설비 침하감시기술 연구", 한국가스공사 연구개발원 한국천문연구소
12. 최윤수 (2000), "GPS의 개요", "GPS의 활용" 국립한경대학교 토목공학과 부교수
13. 최홍석외 (1998), "차세대 위성항법 시스템 기술에 대한 고찰", 정보통신연구 제12권 제3호
14. 한국지반공학회 (1997), "정보화 시공 - 8장 사면안정과 계측관리", 구미서관
15. Brown. CJ (1999), "Monitoring of structures using the global positioning system", Thomas Telford service Ltd London
16. Duff. Keith (1997), "Structural monitoring with GPS", Public Roads, spring 1997
17. Liang XU, Jingjun GUO, Jianjing JIANG , "Health Monitoring of Suspension Bridges by Global Positioning System", IABSE Conference Seoul 2001
18. Shun-ichi Nakamura, "GPS Measurement of wind-induced suspension Bridge Girder Displacement", Journal of Structural Engineering December 2000