

# GNSS 수신기 망 개발 동향

이 형 근

한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부

## 1. 서론

미국방성이 운용하는 GPS (Global Positioning System)는 1960년대에 예비 연구 단계를 거치고 1978년에 관련 NAVSTAR (Navigation System with Timing And Ranging) 위성이 첫 발사되고 1990년까지의 검증단계를 마친 후 안정적인 운용 단계에 진입하였다. GPS 서비스가 민간에게 무료로 공개된 후 측위 및 항법 분야의 관련 기술 개발은 비약적인 발전을 거듭하였다. 최근에 들어 측위 및 항법 기술은 미래 사회를 대비한 유니쿼터스 컴퓨팅 (ubiquitous computing), 센서 망 (sensor network), 위치기반서비스 (Location-Based Services: LBS), 그리고 지능형 교통시스템 (Intelligent Traffic Systems: ITS) 등의 연구개발에 있어서 없어서는 안 될 중요한 기술요소로서 자리 매김하였다.

미국의 항법위성 연구 개발에 자극을 받은 러시아는 군사적인 용도를 위하여 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System) 프로그램을 시작하였다. 코드 분할 다중방식 (Code Division Multiple Access: CDMA)에 근거한 GPS에 비하여 GLONASS는 주파수 분할 중방식 (Frequency Division Multiple Access: FDMA) 개념을 기초로 하며 GLONASS 각 위성들은 각각의 고유한 주파수에서 반송파 신호를 송신한다. GPS와 GLONASS가 혼재하게 된 시점부터 GNSS (Global Navigation Satellite System)이라는 새로운 용어가 사용되기 시작하였다. 이후 현재까지 미국의 WAAS (Wide Area Augmentation System), 유럽연합의 Galileo, 중국의 Beidou (北斗), 그리고 일본의 MSAS (MTSAT Satellite-Based Augmentation System)와 QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) 등 다양한 형태의 위성항법시스템이 개발되고 있다.

오늘날 GNSS 라는 용어는 GPS, GLONASS, Galileo, Beidou, MSAS, 그리고 QZSS 뿐 아니라 이들로부터 유기된 다양한 형태의 SBAS, GBAS, GRAS, 그리고 satellite-based positioning network를 포함하고 있다. GNSS와 관련된 기술은 광범위하여 공학의 거의 모든 분야를 포괄하고 있지만 이 글에서는 특히 GNSS 수신기 망(newtork)과 관련된 시스템들

을 소개하고자 한다.

## 2. 우주기반 증가시스템

우주기반 증가시스템 (Space-Based Augmentation System: SBAS) [1]은 그림 1에 나타난 바와 같이 GNSS 수신기가 설치된 기준국(monitor station) 수신기 망(network)으로부터 위성신호를 수신하고 이들을 주처리국(master station)으로 전달하면, 주처리국에서 각 위성의 무결성(integrity) 정보, 시간 및 주파수 정보의 보정치, 그리고 전리층 및 대류권 지연 정보와 같이 안전성 및 정확성을 향상시킬 수 있는 다양한 형태의 보정정보를 생성하여, 이를 넓은 영역 내의 사용자들에게 공지할 수 있는 방송 위성으로 송신하는 구조를 가진다.

각 위성의 이상상태와 보정정보의 질(quality)를 높이기 위해서는 GPS 수신기의 위치결정을 지배하는 DOP 개념과 유사하게 기준국 망(network)을 구성하는 각 기준국이 한 지역에 밀집하지 않고 넓은 영역에 균등하게 설치되도록 배치하는 것이 필요하다. 넓은 영역에 분포된 기준 수신기들로부터 수집된 다양한 형태의 측정치 (L1 의사거리, L1 위상, L1 도플러, L2 의사거리, L2 위상, L2 도플러 등)를 활용하여 무결정 및 보정정보를 보다 더 정확하게 추정하기 위해서는 확률 통계적 원리에 기반한 다양한 형태의 시공간 정보처리 (spatio-temporal signal processing) 알고리즘이 필요하다.

생성된 보정정보를 많은 사용자들에게 공지하기 위해서는 일반적으로 정지궤도 위성 (geostationary satellite)이 활용된다. 정지궤도 위성은 보정정보와 함께 거리정보를 추출할 수 있는 항법신호도 송출하여 준다. 일반 사용자는 위성기반 증가시스템 기능이 부가된 GNSS 수신기를 활용하면 GNSS L1 주파수 대역으로부터 위성기반 증가시스템의 무결정 및 보정정보를 수신할 수 있다.

위성기반 증가시스템을 활용하면 안전성 기준이 엄격한 항공 분야에서 CAT I 정밀접근 (200ft의 雲高, 可視距離 반마일에서 착륙 가능) 정도의 성능을 제공가능한 것으로 알려져 있다 [1]. 현존하는 위성기반 증가시스템으로서는 미국의 WAAS

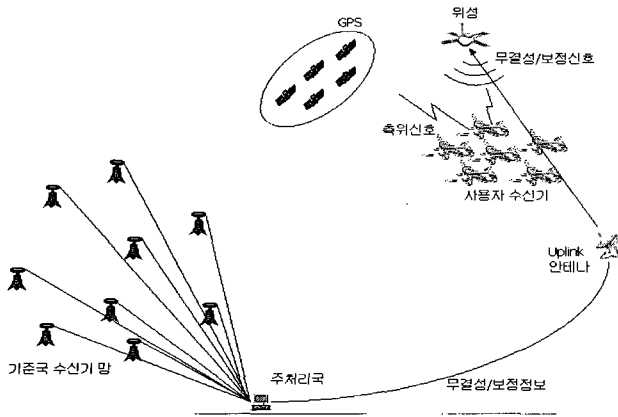


그림 1. 우주기반 증강시스템의 시스템 구조.

(Wide Area Augmentation System), 유럽연합의 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), 일본의 MSAS 및 QZSS, 중국의 Beidou 그리고 인도의 GAGAN (GPS And Geo Augmented Navigation) 등이 있다.

### 2.1. WAAS [1]

현재 GPS 단독으로는 FAA (Federal Aviation Administration)가 요구하는 정밀접근비행 (precision flight approaches)을 위한 정확도, 무결성, 그리고 가용성을 만족하지 못한다. 이를 해결하기 위한 시도로서 WAAS는 전리층 지연, 시각오차, 그리고 위성궤도오차 등의 오차요인을 감소시킬 수 있는 보정신호와 각 GPS 위성의 동작상태에 대한 무결성 신호를 동시에 제공하여 준다.

WAAS는 미전역에 분포되어 GPS 위성 신호를 수신 관측하는 약 25개의 지상 기준국, 지상 기준국들로부터 수집된 데이터에 근거하여 보정신호 및 무결성신호를 생성하는 두 개의 주처리국, 보정신호+무결성신호+의사거리를 송신하는 두 개의 정지궤도 위성, 그리고 주처리국에서 생성된 WAAS 보정정보를 정지궤도 위성에 올려주는 지상안테나로 구성된다.

### 2.2. EGNOS [2]

미국의 WAAS와 유사한 구조를 가지는 우주기반 증강시스템이다. EGNOS는 유럽전역에 분포된 34개의 지상 관측국을 활용하여 GPS의 L1 주파수 측정치를 수신하여 GPS 위성에 대한 실시간 보정 및 무결성 정보를 생성한다. 생성된 EGNOS를 활용할 경우 정확도는 개략적으로 20 m에서 5 m 정도로 향상될 수 있으며 3개의 정지위성을 활용한 보정정보의 도달영역은 유럽을 포함하여 미대륙, 북아프리카, 서아시아, 그리고 호주 등을 포함한다.

### 2.3. MSAS [3]

일본 민간 운항국 (Japan Civil Aviation Bureau:JCAB)은 MTSAT (Multi-functional Transport Satellite)을 활용한 증강시스템으로서 MSAS를 개발하여 왔다. 우주기반 증강시스템 일종인 MSAS는 일본 공역 내에서의 모든 항공기의 en-route와 정밀접근 비행에 필요한 정보를 제공하게 된다. MSAS는 WAAS 및 EGNOS와 유사하게 GPS 또는 GLONASS에 대한 보정 정보를 계산하고 방송하는 기능을 수행한다. 이외에도 한 개의 독립적인 GPS 위성과 같이 MTSAT은 거리정보 신호를 송출하게 된다.

MSAS는 GMS (Ground Monitor Station), MRS (Monitor and Ranging Station), MCS (Master Control Station), 그리고 NES (Navigation Earth Station)로 구성된다. GMS는 거리측정치를 모아서 MCS로 송신하며 MCS는 수신된 측정치를 활용하여 MTSAT의 궤적, 전리층 오차, 그리고 보정 및 무결성 정보를 생성한다. MCS에 의하여 생성된 정보는 NES를 통하여 MTSAT에 올려진다.

### 2.4. Beidou(北斗) [4]

중국은 2000년 10월, 2000년 12월, 그리고 2003년 5월에 각각 Beidou를 구성하는 세 개의 항법 위성들을 궤도에 올렸다. 향후 1기의 위성이 추가 발사되면 2기의 위성은 정상 운용에 그리고 2개의 위성은 예비 시스템으로 활용될 예정이다.

기 발표된 일부 자료에 의하여 알려진 Beidou의 특징으로는 기존의 위성기반 증강시스템 정지위성에 활용되는 단방향 통신 방식에 비하여 양방향 통신이 가능하다는 점이다. 이러한 특징은 Beidou 수신기를 장착한 비행기, 철도, 화물선, 화물차 등 특정 물류 이동群에 대한 fleet management를 용이하게 해준다.

### 2.5. GAGAN [5]

GAGAN은 국제민간항공기구 ICAO (International Civil Aviation Organization)에서 제시된 CNS/ATM (Navigation Surveillance/Air Traffic Management) 환경에서 유럽의 EGNOS와 일본의 MSAS 영역의 중간지대에서 우주기반 증강시스템의 국제적인 일원으로 참가하기 위하여 인도 정부의 ISRO (Indian Space Research Program)에 의하여 진행되고 있는 프로그램이다. 전반적인 시스템 구조는 WAAS나 EGNOS와 유사하다. 가장 최근에 시작된 우주기반 증강시스템 답게 눈여겨 볼만한 특징으로는 정지궤도위성이 송출하는 의사거리 정보가 일반적인 L1 뿐 아니라 L5 대역에서도 예정되어 있다는 점이다. 이는 향후 WAAS, EGNOS, MSAS 등에도 적용되리라 예상된다.

### 2.6. QZSS [6]

QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)는 2000년도부터

시작된 JRANS (Japanese Regional Advanced Navigation System) [7]의 부 시스템(sub-system)에 해당된다. JRANS는 ITOCHU, NEC 그리고 TOSHIBA 등의 일본 기업들이 연합하여 개발한 개념으로서 1단계는 3개의 협력적 QZSS 위성으로 구성되며 2단계는 3개의 광역적 QZSS 위성과 한 개의 정지궤도 위성으로 구성된다. 따라서 완성된 형태는 6개의 QZSS 위성과 한 개의 정지궤도 위성으로 구성된다.

JRANS는 일반적인 시기에는 WAAS와 유사하게 위성기반 증가시스템으로서의 역할을 수행하다가 GPS의 전체적인 동작에 이상이 발생하는 유사시에는 4개 이상의 가시 위성으로서 독자적인 위성항법시스템으로서의 역할을 수행할 수 있도록 설계되어 있다. QZSS는 MSAS에 비하여 밀도 높은 GPS 수신기 망을 활용하므로 보다 더 정확한 전리층 보정치를 생성하리라 예상된다.

### 3. 지상 망 시스템

#### 3.1. 지상기반 증가시스템 GBAS [8]

지상기반 증가시스템 (Ground-Based Augmentation System :GBAS)은 그림 2에 나타난 바와 같이 공항 근방에 위치한 다수개의 관측점에서 GNSS 신호를 수신하고 지상국에서 무결성 정보와 보정정보를 생성한 후 이를 VHF (very high frequency) 대역으로 이차복하는 항공기에 송신한다.

대표적인 지상기반 증가시스템으로서 미국 FAA (Federal Aviation Administration)에 의하여 개발되는 LAAS (Local Area Augmentation System)을 들 수 있다. 1996에 시작된 LAAS 프로그램은 그 개발속도가 2005년에 다소 지체되었으며 현재 CAT I 정밀접근에 있어서의 무결성 해석을 완료하는 작업이 진행 중에 있다.

LAAS는 현존하는 GNSS 증가 시스템들 중 유일하게 항후 CAT II와 CAT III 정밀접근을 만족시킬 가능성을 내포하고 있으나 이를 위해서는 정확도 (Accuracy), 가용성 (Availability), 무결성 (Integrity), 그리고 연속성 (Continuity) 등에서 더욱 심층적인 연구가 필요하리라 예상된다.

#### 3.2. 지상기반 광역 증가시스템 GRAS [9]

지상기반 광역 증가시스템 GRAS (Ground-based Regional Augmentation System)는 그림 3에 나타난 바와 같이 우주기반 증가시스템의 특성과 지상기반 증가시스템의 특성을 혼합한 특성을 가진다. 넓은 지역에 분포된 수신기 망을 활용한다는 점에서 GRAS는 우주기반 증가시스템과 동일한 특성을 가진다. 수신기 망에서 수집된 측정치들은 주처리국에 전달되며 주처리국 측정치들을 활용하여 무결성 및 보정치를 계산하고 우

주기반 증가시스템과 동일한 포맷의 방송 메시지를 생성한다. 그러나, 생성된 방송메시지는 우주기반 증가시스템과는 달리 정지궤도위성에 올려진 뒤 방송되지 않고 넓은 지역에 분포된 다수개의 VHF 송신국들을 통하여 방송되는 점은 지상기반 증가시스템 LAAS와 유사하다고 할 수 있다. GRAS는 LAAS에 비하여 무결성 및 보정신호의 방송에 한 개가 아닌 다수 개의 VHF 송신국들을 활용하며 보다 넓은 지역을 관할한다.

#### 3.3. 연속운영기준국망 CORS [10]

연속운영기준국망 CORS (Continuously Operating Reference Station)는 미국 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 소속 National Geodetic Survey (NGS)가 구성하여 운영하는 GPS 기준국망으로서 국가적 공간정보의 기반이 되는 기준점들의 위치를 밀리미터 정도의 정확도로 관측 및 관찰하고 관련정보를 일반에 공개하는 것을 목표로 한다.

CORS의 구성을 위하여 NGS 이외에도 U.S. Coast Guard (USCG), NOAA Forecast Systems Laboratory (FSL), U.S. Army Corps of Engineers (COE), International GPS Service for Geodynamics (IGS), FAA 등 다양한 미국 국가기관 및 연구기관이 설치한 GPS 기준국들이 참여하여 미 전역에 비교적 밀도 높게 분포되어 있다. 각 기관에 의하여 설치된 GPS 기준국 데이터는 각각 실시간, 한시간 단위, 하루 단위 등 서로 다른 빈도로 NGS에 의하여 수집되어 RINEX (Receiver INdependent EXchange Format) 형식으로 변환 저장되고 데이터 사용자들에 분배된다.

#### 3.4. 위치증가서비스 PAS [11]

일본의 미쯔비시 전기 (Mitsubishi Electric Corporation: MELCO)는 2003년도 9월2부터 측위 및 측지 분야를 대상으로 PAS (positioning augmentation services)라 지칭되는 상용 서비스를 시작하였다. PAS는 궁극적으로 수 cm 정도의 실시간 정확도를 서비스의 목표로 하고 있으나 완료되지 않았고 현재 대다수 상황의 경우 수십 cm 정도의 정확도를 충분히 얻을 수 있음을 일반에 알리고 있다.

GPS를 활용하여 수 cm의 정확도를 얻기 위해서는 미지정수가 결정된 누적위상 측정치가 필수적이며 이를 활용한 실시간 정밀 측위기법을 지칭하여 RTK (Real-Time Kinematic) 기법이라고 한다.

기존의 RTK 기법에 있어서는 사용자 수신기 측정치의 보정을 위하여 최 근방 위치에서 설치된 기준국 수신기 한 개로부터 각 위성 채널에 대하여 위성궤도차, 위성시계오차, 전리층 지연, 대류권 지연 등의 합산치를 활용하는 데 비하여 PAS는 FKP라는 새로운 개념을 활용한다. FKP는 각 오차요소를 상

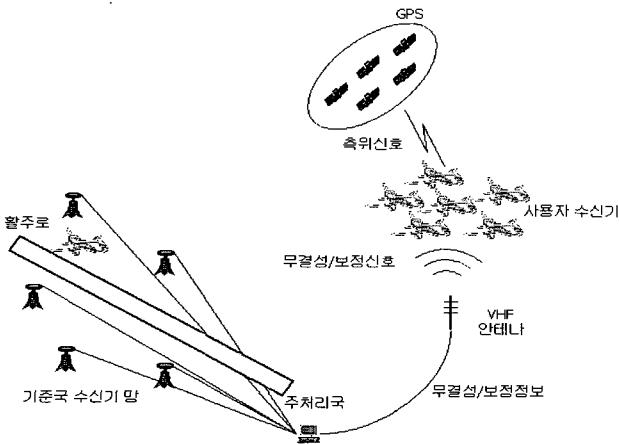


그림 2. 지상기반 증가시스템의 시스템 구조.

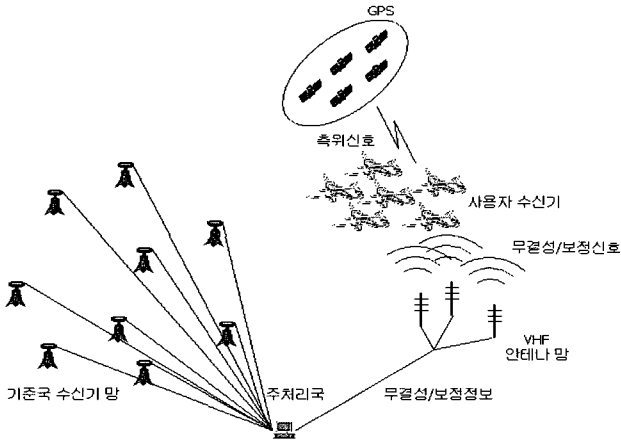


그림 3. 지상기반 광역 증가시스템의 구조.

태변수로 잡은 후 서로 다른 곳에 설치된 몇 개의 기준국 측정치들을 활용하여 추출한 후 방송한다.

#### 4. 결론

지금까지 살펴본 바와 같이 현재 다양한 형태의 GNSS 수신기 망이 개발되고 있다. 전반적으로 살펴보면 이들은 동일한 원리와 유사한 구조에 근거하여 설계되었음을 알 수 있다.

즉, 일반 사용자들이 존재 가능한 영역의 크기를 가늠한 뒤, 중요한 오차요소의 공간적 상관거리를 추출하고, 이로부터 분포 밀도를 고려한 후 기존 수신기 망을 활용하거나 새로운 형태의 망을 설계하며, 다양한 형태의 통신수단을 활용하여 중앙 처리국으로 전송하고, 중앙 처리국에서는 중요한 오차요인들을 시공간 상태변수로 간주하여 추정 및 검증하고, 그 결과를 유무선 지상 통신망 또는 위성 통신망을 활용하여 사용자 수신기에 방송한다는 점이다.

정밀하고 정확하게 위성궤도오차, 위성시계오차, 전리층 지연, 대류권 지연등의 상태변수의 추정 및 검증하기 위해서는 기준국 수신기들의 분포가 좋은 DOP (Dilution Of Precision)를 가지도록 가능한 균등하고 넓게 분포 시키는 것이 중요하며, 계산된 무결성 정보 및 보정치의 방송 영역을 넓히기 위해서는 방송매체 및 주파수 대역의 선정이 영향을 미침을 알 수 있다.

반면, 개발 개념이 시작된 시점과 고려하는 응용분야에 따라 세부적인 차이점을 가짐을 알 수 있다. 예를 들면 EGNOS 부터는 향후 Galileo 신호의 활용을 대비하기 시작하였고, Beidou는 사용자 수신기와 정지위성 사이에 양방향 통신을 가능하게 하여 새로운 응용분야 도출에 노력한 흔적을 볼 수 있으며, Gagan은 GPS 현대화에 따른 L5 신호의 활용을 대비하기 시작하였으며, GRAS는 서비스 영역의 넓이에서는 GBAS와 유사하고 보정치 방송에 LAAS와 유사하게 VHF를 활용함으로써 설치 및 유지비용을 절감하며, QZSS는 정지궤도위성보다 좋은 가시성을 부여하고 독자적인 시간체계를 관리하며 유사시 MTSAT과 결합되어 독자적인 위성항법시스템을 이룰 수 있으며, CORS는 다량의 기준국들에 대하여 수신기의 종류와 데이터 수집 속도를 다양하게 허용하고 있으며, PAS는 cm의 정확도를 얻기 위하여 의사거리 뿐 아니라 누적위상 측정치를 고려한다는 점등이다.

앞으로도 다양한 응용분야의 요구사항을 만족시키기 위하여 GNSS 수신기 망은 진화를 계속하리라 예상된다. 현재 조사된 여러 자료들을 기반으로 비교적 가까운 미래의 목표점을 예상해보면, 각 국가별로 다양한 기관에 소속된 다양한 종류의 기준국 GNSS 수신기들을 보안성을 강화된 인터넷 망으로 중앙 처리국으로 실시간에 전송될 것이며, 기준국 각각은 자신의 데이터를 인터넷에 방송하여 주위 사용자들이 활용 가능하도록 할 것이다. 중앙 처리국은 정보의 안전성을 위하여 중첩 구조를 위하여 다수 개 설치되리라 예상되며 다수의 처리국들은 다시 정보융합센터에 연결될 것이다. 결과적으로 한 개의 정보융합센터는 GPS, Galileo, Glonass, QZSS 등으로부터 송출된 다양한 항법신호와 진보된 신호처리 알고리즘을 모두 활용하여 위성궤도 및 시계오차, 전리층 지연, 대류권 지연 등의 중요 오차요인을 정확하게 계산 및 방송하여 도심을 이동하는 사용자가 수 cm 또는 수십 cm 정도의 정확도를 실시간에 얻을 수 있도록 하게 하지 않을까 조심스럽게 예상해 본다.

전체 시스템의 안전성과 정확도 향상을 위해서는 그림 4에 나타난 바와 같이 다중성 (redundancy) 및 복합성 (hybridization) 을 고려한 구조를 가지리라 예상되며 또한 각 국가별로 독립적으로 운영되고 있는 GNSS 수신기 망이 국제적인 협력에 의하여 통합되리라 예상된다. 이러한 조짐은 최근 NOAA의 CORS 및 IGS (International GNSS Service)의 EUREF [12] 등의 활동에서 엿볼 수 있다.

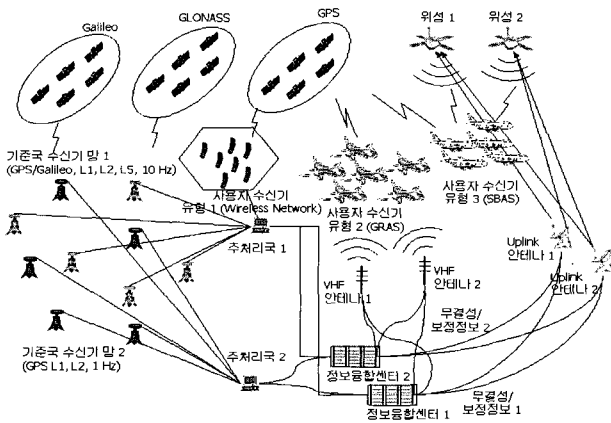


그림 4. 미래 GNSS 수신기 망의 일례.

GNSS 수신기 망은 그 구축에 있어서 적지 않은 시간과 비용이 소요되며 향후 국가 정보통신 및 교통물류의 인프라로서 중요한 역할을 수행하게 될 것이다. 우리나라에 적합한 GNSS 수신기 망의 설계에 있어서는 망 구축의 목표, 주요 응용분야, 각 분야별 기술 수준 현황, 향후 기능의 확장성, 그리고 각 국가별 기술개발 현황 및 협력성 등 국가적 GNSS 망의 다양한 각도를 충분히 검토해야 할 것이다. 이를 위해서는 GNSS와 관련된 다양한 연구기관들의 다각적인 연구가 계속 진행되어야 할 것이며 동시에 각 연구기관별 정보교환 또한 보다 더 활발하게 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] *Navigation Aids Transition Roadmap Ver. 2.3*, IATA (International Air Transport Association), Nov., 2005.  
 [2] [http://esamultimedia.esa.int/docs/egnoss/estb/egnoss\\_pro.htm](http://esamultimedia.esa.int/docs/egnoss/estb/egnoss_pro.htm)  
 [3] K. Faller, "MTSAT-1R: A Multifunctional Satellite for Japan and the Asia-Pacific Region," *Proceedings of the 56th IAC 2005*, Fukuoda, Japan, Oct. 17-21, 2005, IAC-05-B3.2.04.

[4] <http://english.people.com.cn/>  
 [5] S. V. Kibe, "Indian plan for satellite-based navigation systems for civil aviation", *CURRENT SCIENCE*, vol. 84, no. 11, pp. 1405-1411, June 2003.  
 [6] T. Tsujino, "Effectiveness of the Quasi-Zenith Satellite System in Ubiquitous Positioning", *Quarterly Review*, p 88-101, no. 16, July 2005.  
 [7] H. Takahashi, Japanese Regional Navigation Satellite System "The JRANS Concept", *Journal of Global Positioning Systems*, vol. 3, no. 1-2, 2004.  
 [8] <http://gps.faa.gov/programs/laas/laas.htm>  
 [9] W. S. ELY, "Development and flight testing of a low cost VHF data link antenna for the Ground-based Regional Augmentation System", *U.S. ION National Technical Meeting*, San Diego, pp. 409-419, Jan. 2004.  
 [10] <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/>  
 [11] S. Usui, H. Higuchi, Junshiro Kanda, Koji Wakimoto, Satoshi Tanaka, F. Satoh, "Nation-wide RTK-GPS based on FKP method and applications for human navigation and location based services", *Proceedings of ICME 2004*, pp. 1587-1590.  
 [12] <http://www.epncb.oma.be>

저자약력



〈이 형 군〉

- 1990년 서울대 제어계측공학과 (공학사).
- 1994년 서울대 대학원 제어계측공학과 (공학석사).
- 2002년 서울대 전기컴퓨터공학부 (공학박사).
- 2003년~현재 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부.
- 관심분야 : 위치, 항법, 측위, 확률/통계/추정이론, LBS, ITS.