

위성항법시스템(GNSS) 기술 동향 및 전망

이형근(한국항공대학교)

1. 서론

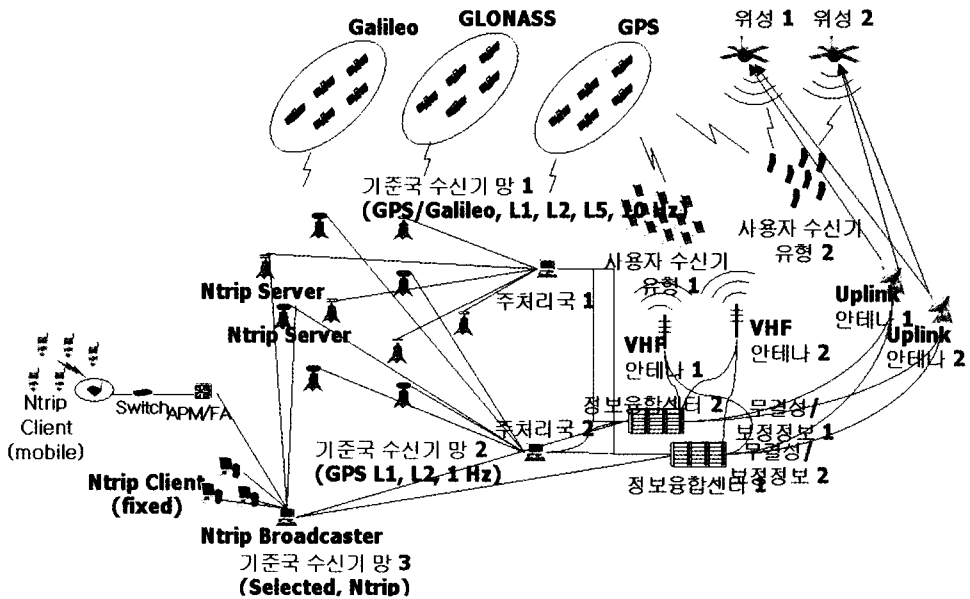
GPS로부터 시작된 현대 항법 기술의 혁명은 계속 진행되고 있으며 향후에도 많은 변화가 있으리라 예상된다. 위성항법 기술은 차량항법, 미아찾기, 재난감시, 측량, 그리고 저가 무인기 등 이미 우리 주변에서 이미 널리 활용되고 있다. 현재 GPS단독으로도 대다수의 장소에서 6-10개 정도의 위성신호를 관측할 수 있다. 또한, 위성항법과 관련하여 GPS이외에도 러시아의 GLONASS, 유럽연합의 Galileo, 중국의 Beidou 및 Compass, 그리고 일본의 QZSS를 포함한 JRANS 등이 다양한 개형으로 개발 전개되고 있다. 이와 같은 위성항법 시스템들이 모두 전개될 미래에는 임의의 장소에서 관측할 수 있는 위성항법 신호의 개수는 현재보다 적어도 3배 이상이 되리라 예상된다.

GPS는 황무지와 같은 민간 항법 및 측위 기술 분야에 있어서 선구자적인 역할을 수행하며 새로운 새로운 시장을 창출하였다. 지금까지 이미 진행된 위성항법 기술 및 응용의 발전 상황만을 고려해 보아도 항법, 측위, 그리고 이동성과 관련된 기술이 실제로 대다수의 미래 기술과 접합되어 막대한 국부를 창출할 수 있음을 증명하였음

을 알 수 있다. 또 다른 큰 도약을 위하여 1980년대 이후 현재까지 비약적으로 발전되어 온 민간 GPS응용기술은 현재 안정성, 정확성, 그리고 가용성 관점에서 다소의 장벽에 부딪혀 있으며 이를 해결하기 위해서는 큰 스케일의 인프라 변혁이 수반되어야 함을 암시하고 있다.

임의의 한 지점에서 적어도 20개 이상의 항법 위성 신호가 한꺼번에 수신 가능하며 이들이 한 개의 국가가 운용 관리하지 않는다는 위성항법의 미래상은 독자적인 위성항법시스템을 소유하고 있는 국가들 뿐 아니라 위성항법시스템의 활용에 집중할 수 밖에 없는 우리나라의 경우에도 반가운 소식이 아닐 수 없다. 적어도 위성항법시스템의 활용에 관련하여 기술 선진국의 자리에 매김하기 위해서는, 수신기가 제공하는 위치 결과치를 활용하는 데에만 그치지 않고 한 걸음 더 나아가 각 위성항법시스템을 선별적으로 적절히 활용하는 기술의 자체적인 개발이 필수적인 것이다. 그림 1은 가까운 미래에 나타날 새로운 위성항법시스템 활용기술의 한 예로서 다중 위성항법 수신기망을 도시한 것이다.

본고는 현재 미국, 유럽, 중국, 그리고 일본 등 각 국가별로 진행되는 독자적 위성항법시스템들



〈그림 1〉 미래 위성항법 응용기술 : 다중 위성항법 수신기 망⁽¹⁾

의 개발 과정을 소개하고 각각의 기술적 특징을 살펴보는데 목적이 있다.

II. 각 국가별 위성항법기술 개발 상황

1. 미국

미국은 위성항법 관련 기술 중주국의 우위를 계속 점유하기 위하여 현재의 GPS서비스보다 향상된 서비스를 제공하기 위한 차세대 GPS III 위성체 및 이와 관련된 시설들을 준비하고 있다. 반면, 차세대 GPS III의 개발 기간과 유럽연합 갈릴레오 프로젝트 개발 기간이 시간적으로 중첩되어 있으므로 과거와는 달리 주파수, 상호간섭, 신호 변조 및 복조, 항법 메시지 구조, 그리고 서비스의 활용 등 다양한 분야에서 유럽연합과의 의견을 조율해야하는 불편함을 감소해야 할 것

같다. 이와 관련하여 그림 2는 GPS III와 갈릴레오의 주파수 할당 현황을 나타내고 있다⁽²⁾.

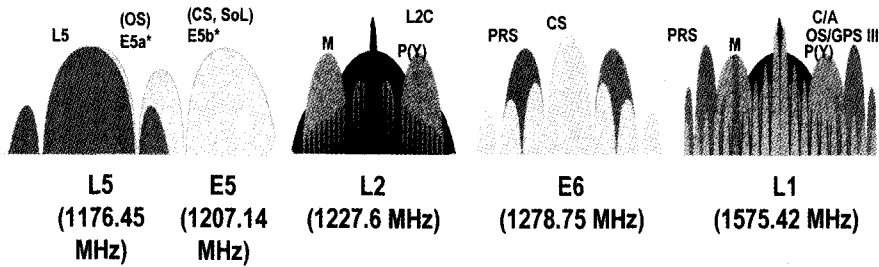
차세대 GPS관련 기술 개발 현황을 우주부분, 지상부분, 그리고 사용자부분으로 나누어 일부 정리하면 다음과 같다.

(가) Space Segment

2007년 8월에 차세대 GPS III위성체 설계 및 제조를 위하여 Lockheed Martin사를 중심으로 ITT사와 General Dynamics사로 구성된 컨소시움이 제안서를 미공군에 제출하였다.

제안서에 의하면 기존의 시스템에 비하여 선진화된 재밍 대응(anti-jamming)기능을 포함하여 안전성, 정확성, 신뢰성의 향상을 도모할 계획이다.

차세대 GPS보강 계획에 의하면 2013년에 우선 8기의 GPS IIIA위성체들이 발사되고 이후 기술적으로 더욱 보강된 8기의 GPS IIIB위성체들



〈그림 2〉 차세대 GPS와 갈릴레오의 주파수 할당 계획 [2]

과 16기의 GPS IIIC위성체들이 발사될 예정이다. GPS III위성군들의 전개가 완료되면 기존의 시스템에 비하여 한 개의 지상국에서 전체 위성군에 대한 동시 지령 및 정보 갱신이 가능하게 된다. 또한, 특정한 지역에 대하여 beam forming에 의하여 군용 M-code를 선택적으로 송신할 수 있게 되므로 향상된 재밍 대응 능력을 가지게 된다. 차세대 GPS III위성체 사업에는 Lockheed Martin 사 이외에도 Raytheon사와 Boeing사가 이끄는 세 컨소시엄들이 경합을 벌이고 있다.

(나) Ground Segment

2007년 9월 14일 GPS운용을 위한 지상 시스템은 분산화된 IT인프라 기반의 새로운 운용 시스템으로 전환되었다. 새로운 GPS지상 시스템은 TT&C(telemetry, tracking, and control)을 위하여 새로운 디지털 통신 방식과 새로운 메시지 구조를 활용하게 된다. 지상 시스템으로부터 위성체로의 지령은 기존 지상시스템보다 증가된 개수의 up-link안테나들을 활용하는 AFSCN (Air Force Satellite Control Network)을 통하여 전달되게 된다.

기존의 지상 시스템에 있어서 1개만 존재하는 주 제어국(master control station)은 미 공군 기지가 위치한 Vandenberg에 추가적으로 1개가 더

설치되어 일반적인 onboard항공전자시스템과 유사하게 다중 구조로서 고장 및 위기상황에 효율적으로 대처하게 된다. 또한 칼만필터를 활용하여 한 개의 제어국이 보다 더 많은 개수의 위성체들을 감시 및 제어할 수 있게하고 있다.

GPS의 전체적인 성능 감시를 위해서는 NGIA 관할 8개의 감시국(monitoring station)이 기존의 6개 감시국에 추가되어 이후 총 14개의 감시국이 GPS위성체들의 성능을 유지 및 관리하게 된다. 이에 의하면 각 위성체는 99%이상의 시간에서 3개 이상의 감시국에 의하여 기능 이상이 감시될 예정이다. 또한, 지상에서 위성체로의 상향(up-link)안테나도 새로이 보강되고 있다.

(다) User Segment

위성항법과 관련된 민간 응용을 위하여 이동통신망과 결합된 다양한 이동기기에서 위치서비스가 A-GPS의 형태로 제공되고 있다. A-GPS의 활용과 관련하여 이미 IS801(CDMA), SUPL(IP기반), Broadcast Assistance(GSM) 등의 Protocol/standard 가 이미 제정되어 있거나 관련된 보완 작업이 계속하고 있다. GNSS를 위한 위성군이 갈수록 다양화 되고 있으며, 활용 가능한 GNSS의 종류가 다양화 됨에 따라 측위를 위한 신호 발생원인 위성의 위치를 계산하는 변수 및 방식이 각각 다르므로

표준화된 구조로 다양한 위성군의 위치를 표시할 수 있는 방안이 모색되고 있다.

가까운 미래에 각광을 받게 될 네트워크 기반 RTK(Real Time Kinematic ; 실시간 정밀 이동 측위) 와 관련해서는 GPS단독 활용과 관련하여 이미 다양한 제조사들에 독자적인 측정치 표시 방식으로 기술을 구현해 가고 있다. 예를 들면 의사거리의 +/- 부호에 대비한 누적 위상(accumulated carrier phase) 측정치의 +/- 부호 표현 의미가 제조사 별로 제각각 의미를 부여하여 활용하고 있다. 따라서 제조사에 관계없이 인터넷 및 무선망으로 기준 GNSS데이터를 제공하기 위해서는 표준화가 반드시 필요하다 하겠다. 이와 같은 표준화의 필요성을 인식하여 근래에 제정된 메시지 규약인 RTCM SC104 version 2.3에서는 기존의 양한 제조사별 표현방식 정리하는 작업을 수행하였다.

GPS 이외에도 향후 다양화될 각 국가별 위성항법시스템들의 활용을 대비하여 RTCM SC104 version 3계열에서는 같은 정보를 더 작은 메시지량으로도 소화할 수 있도록 고려 중에 있다. 이후 보다 더 나은 네트워크 RTK의 편의를 위하여 Version 3.1에서는 기존의 기준국 및 이동국 구분에서 MAC(Master-Auxiliary Concept)으로 변환할 예정이다. 또한, 기존의 메시지 방식에서는 안테나 위상 중심의 위치만 명기하도록 하였으나 Version 3에서는 유연성을 부여하기 위하여 다양한 방식의 안테나 위상 중심 표현방식을 새로이 정의하고 있다.

2. 유럽연합

미국의 GPS에 대응하기 위해 유럽연합은 미

국의 차세대 GPS인 Block-IIIF가 선보이기 전에 유럽형 GNSS인 갈릴레오의 개발을 2008년 운용을 목표로 진행하고 있다. 갈릴레오는 27개 중궤도위성(지표면 고도 24000km)과 3개의 궤도상 보조위성으로 이루어진 항법위성군으로서 이의 개발에는 적어도 약 34억 유로가 소요될 예정이며 이의 개발 계획을 위하여 1999년 6월부터 2000년 12월에 걸쳐서 개념설계와 국제공동협력력을 진행하였다.

2000년 5월 WRC-2000년에는 기존의 GPS, GLONASS의 성능향상을 위한 주파수 공간을 침해하지 않으면서 GALILEO개발을 허용하는 주파수 할당이 이루어졌다.

2001년 11월 유럽우주청(European Space Agency; ESA) 출자국의 교통부 장관들이 모여 갈릴레오 프로젝트의 시행을 수락하고, 2002년 3월 유럽연합 정상 회담에서 동 프로젝트 승인을 합의하였다. 갈릴레오 프로젝트는 유럽이 미국에 위성 정보를 의존하고 있는 상황에서 벗어나 정보 독립을 확보하기 위한 핵심 기술로서 추진되고 있다.

2005년 12월 28일 갈릴레오의 신호체계 설계를 검증하기 위한 Giove-A위성이 러시아 소유즈 로켓에 실려 카자흐스탄 바일코누르 코스모드롬(Baikonur Cosmodrome)에서 발사되어 현재 2만3000km 상공에서 지구를 돌고 있다. 2006년 2월부터 Giove-A 시험 위성이 첫 번째 유효 신호를 보내기 시작했으며 영국과 벨기에의 지상 기지국에서 갈릴레오 브로드캐스트 신호를 받았다고 확인했다.

갈릴레오 위성체에는 기존의 GPS보다 향상된 하루 10 nsec이하의 오차와 안정성을 가진 루비듐 원자시계가 탑재될 예정이다. 또한 위치와 시간의 정밀한 관리를 위하여 각 갈릴레오 위성

는 레이저 거리 반사경의 설치가 예정되어 있다. 갈릴레오의 신호 체계는 또한 미국의 GPS와의 호환성 및 상호 운용성, 고의적인 신호 방해에 대한 보안 등의 설계요구조건을 만족하도록 설계되었다. 갈릴레오 메시지는 향후 개발될 GPS/갈릴레오 복합 수신기들의 편의성을 고려하여 GPS시간과 갈릴레오 시스템 시간 사이의 차이를 포함할 예정이다^[3].

갈릴레오 신호체계의 특징은 각 위성에 대하여 동일 주파수에 대하여 파일럿 채널과 데이터 채널이 분리되어 있다는 점이다. 여기서 파일럿 채널은 신호의 강건한 추적(tracking)을 보조하기 위하여 의미 있는 메시지를 실지 않는다.

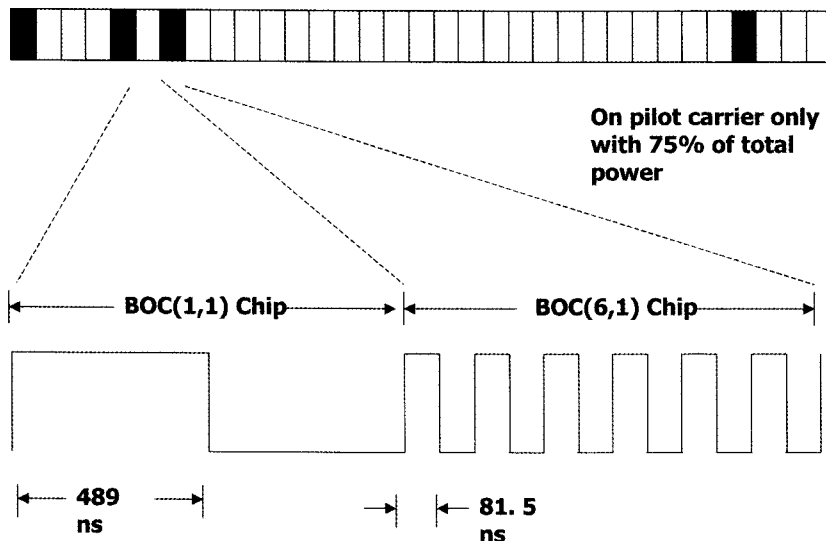
갈릴레오에서 공공에 무료로 제공되는 OS (Open Service)에서 항법 데이터는 125 bps의 속도로 전달되므로 50 bps에 해당되는 GPS에 비하여 같은 시간에 더 많은 정보를 송신할 수 있게

된다. 그러나 이와 같은 장점에 비하여 BER(Bit Error Rate)이 높아지는 위험성을 수반하게 된다.

갈릴레오 항법 메시지는 Forward Error Correction (FEC)라 지칭되는 일종의 Viterbi 코딩을 사용하므로 데이터 순열의 보다 안정적인 복구를 기대할 수 있다. 반면, GPS C/A의 경우와는 달리 수신기가 항법 메시지 순열을 얻기 위해서는 Viterbi디코딩을 위하여 소요되는 시간동안 기다려야 된다.

갈릴레오 OS에 사용되는 코드는 4092 bit으로서 GPS C/A에 비하여 4배 길다. 이는 각 코드들 사이의 상호상관 특성을 더 좋게 만들어 주는 장점이 있으며 자기 상관 부엽이 6 dB이상 감소하는 장점이 있다. 4배의 코드길이는 2배 가량의 항법 데이터 전달 속도의 증가와 복합적으로 작용하여 수신기의 약 2배 정도의 느린 이동성을 고려함을 의미한다. 이는 또한 앞서 언급된 파일

GPS MBOC = 4 BOC(6,1) chips out of every 33 chips



〈그림 3〉 갈릴레오 BOC의 개형^[4]

릿 채널과 복합적으로 작용하여 coherent 방식으로 신호를 가산기에 누적하는데 4 ms의 시간을 허용한다. coherent 신호누적에 허용되는 시간이 길어지게 되면 미약한 신호를 검출하는데 도움이 되지만 그 기간 동안의 수신기의 이동성에는 상대적으로 제약을 가하게 된다.

신호 변조를 위하여 의사잡음 코드(pseudo random code)가 단독으로 활용되었던 GPS에 비하여 갈릴레오에서는 장방형파(rectangular wave)와 의사잡음 코드가 혼합되어 활용된다. 장방형파와 n개와 의사잡음 코드 칩 m개의 결합에 의한 변조 코드는 BOC(n,m)으로 지칭된다. 여기서 BOC는 Binary Offset Carrier의 약자를 의미하며 그림 3에는 현재 고려되고 있는 BOC의 개형이 도시되어 있다.

2004년에 미국과 유럽연합은 차세대 GPS와 갈릴레오의 민간 서비스에 있어서 BOC(1,1)을 같이 쓰기로 이미 합의하였다. 이외의 서비스에 대해서는 현재 다양한 개형의 BOC이 연구되고 있으며 GPS와의 상호 간섭을 최소화하기 위하여 미국과 협의되고 있다.

2007년 10월 4일 BBC에 따르면, 최근 룩셈부르크에서 열린 EU 교통 및 통신장관 회담에 참가한 독일의 볼프강 티펜지 교통장관은 “독일 정부는 집행위원회의 추가 예산 제안에 동의하지 않는다”고 공식 발표했다. 이는 2007년 9월 집행위가 2007년과 2008년에 책정된 농업과 행정 분야 불용 예산 24억유로(33억8000만달러)를 갈릴레오 프로젝트에 투입하겠다고 밝힌 데 대해 거부 의사를 표명한 것이다. 따라서 원대한 계획으로 시작되었던 유럽연합의 갈릴레오는 상대적으로 시작한 늦었지만 빠르게 전개된 중국의 Compass 개발에 비하여 유럽연합 내 국가간의 불협화음과 재원확보 문제와 관련하여 난항을

거듭하고 있다. 또한, 이로 인하여 시스템 가동 시기 또한 2010년에서 2012년으로 늦춰졌다. 갈릴레오 프로젝트에 추가 예산을 지원할 지에 대한 최종 판단은 오는 2007년 12월 유럽연합 경제장관회의에서 결정될 예정이다.

3. 중국

다양한 매체나 학술모임 등을 통하여 그 과정이 활발히 공포되고 유럽 연합의 위성항법시스템 개발에 비하여 중국은 상대적으로 조용하게 그러나 신속하게 독자적인 위성항법시스템을 구축하고 있다. 2007년 4월 14일 중국은 Compass M-1이라 지칭되는 중궤도 항법 위성체 1기를 발사하였다. 이는 향후 중궤도 30개 그리고 정지궤도 5개의 위성군으로 구성된 중국형 GNSS전개의 시발점을 의미한다. 중궤도 위성체들은 6개의 궤도면에 5개씩 올려지게 된다.

중국은 이미 2000년 10월, 200년 12월, 그리고 2003년 5월에 Beidou라 지칭되는 항법 위성체들을 궤도에 올린 경험이 있다. Beidou는 단방향 송신으로 위치 서비스를 제공하는 기존의 GNSS에 비하여 양방향 통신이 가능하므로 비행기, 철도, 화물선, 그리고 화물차 등 특정 물류 이동군에 대한 fleet management를 용이하게 하여 주며 GPS에서 제공되는 3차원 위치결정 정보와는 달리 2차원 위치결정을 고려하고 있다.

이에 비하여 2007년에 발사된 새로운 개형의 Compass 위성체는 GPS와 유사한 신호체계를 가지고 있다. 최근에 ITU(International Telecommunication Union)에 제출된 자료에 의하면 Compass는 1590, 1561, 1269, 그리고 1207 MHz 주파수 대역이 신호를 활용할 예정이다. 또한, 근래에 미국 Stanford 대학 연구팀이 수

신 해석한 Compass 신호 관련 자료를 살펴보면 Compass가 GPS와 유사하기 Gold code를 활용함을 알 수 있다. 근소한 차이점은 GPS가 1023 비트로 이루어진 Gold code에 해당되는 CA 코드를 활용하는 반면 Compass는 사용하는 Gold code는 2046 비트로서 코드의 길이가 두배인 차이점이 존재한다.^[5]

4. 일본

QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)는 2000년도부터 시작된 JRANS (Japanese Regional Advanced Navigation System) 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 광궤적 QZSS 위성과 한 개의 정지궤도 위성으로 구성된다. 따라서 완성된 형태는 6개의 QZSS 위성과 한 개의 정지궤도 위성으로 구성된다.

JRANS는 일반적인 시기에는 WAAS와 유사하게 우주기반 증가시스템으로서의 역할을 수행하다가 GPS의 전체적인 동작에 이상이 발생하는 유사시에는 4 개 이상의 가시 위성으로서 독자적인 위성항법시스템으로서의 역할을 수행할 수 있도록 설계되어 있다. QZSS는 MSAS에 비하여 밀도 높은 GPS 수신기 망을 활용하므로 정밀 GNSS 서비스 제공을 위하여 필수적인 전리층 지연 보상과 관련하여 보다 더 정확한 보정치 산출이 가능하리라 예상된다.

III. 결론

본 고에서는 현재 미국, 유럽, 중국, 그리고 일본 등 각 국가별로 진행되는 독자적 위성항법시스템들의 개발 과정을 소개하고 각각의 기술적 특징을 살펴보았다. 전역 위성항법시스템을 자체적으로 개발하는 것이 현재 우리나라 실정에 비추어 볼 때 비록 비현실적일지라도 적어도 빠른 시간 내에 언제든 이를 개발할 수 있는 잠재적 능력을 보유하는 것이 반드시 필요하며 이는 향후 다수의 전역 위성항법시스템 서비스 제공 국가들과의 기술 협력 과정에서 좋은 조건을 선점할 수 있는 환경을 제공하여 주리라 예상된다.

참고문헌

- [1] 이형근, "GNSS 수신기 망 개발 동향", 제어자동화시스템공학회지, Vol. 12, No. 1, pp. 47-51, 2006
- [2] www.ion.org/sections/washington/august_2004_briefing.ppt
- [3] G. Hein, J.A. Rodriguez, B. Eissfeller, T. Pany, S. Wallner, and P. Hartl, "Envisioning a Future GNSS System of Systems," Inside GNSS, Vol. March/April, pp. 64-72, 2007
- [4] T. Stansell, P. Fenton, L. Garin, R. Hatch, J. Knight, D. Rowitch, L. Sheynblat, A. Stratton, J. Studenny, and L. Weill, "BOC or MBOC?," Inside GNSS, Vol. July/August, pp. 30-37, 2006
- [5] A. Chn, D.D. Lorenzo, P. Enge, G.X. Gao, and S. Lo, GNSS over and S. Lo, : The Compass MEO Satellite Codes, Inside GNSS, Vol. July/August, pp. 36-43, 2007

저자소개



이 형 근

1990년 2월 서울대학교 제어계측공학과(학사)
1994년 2월 서울대학교 제어계측공학과(석사)
2002년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부(박사)
1994년 3월-1998년 2월 현대우주항공(주)
주임연구원
2002년 9월-2003년 8월 UNSW Australia
박사후연구원
2003년 9월-현재 한국항공대학교 조교수
주관심 분야 : 항법, 측위, 교통