

차세대 GNSS 기술동향

유승수 | 지규인 | 김선용
건국대학교

요 약

본고에서는 대표적인 GNSS인 미국의 GPS와 그 한계성을 언급하고, 이를 극복하기 위한 GPS 현대화 과정을 소개한다. 이와 함께 차세대 GNSS인 러시아의 현대화된 GLONASS, 유럽연합의 Galileo 시스템, 중국의 COMPASS, 일본의 JTRANS-QZSS 개발현황을 정리한다.

1. 서 론

1990년대까지만 하더라도 많은 사람들이 걸어서 또는 자동차를 이용해 새로운 장소로 이동하는 것은 대부분 장소에 대한 기억과 종이지도에 의존하였다. 이 시대의 항법(navigation)은 전문적인 항법기술을 가진 항해사나 항법사가 선박이나 항공기에 탑승해 수행하는 전문기술 가운데 하나였다. 항법은 움직일 수 있는 물체를 어느 한 지점으로부터 일정한 다른 지점으로 소정의 시간에 도달할 수 있게 하는 방법이다. 이처럼 용어마저 생소한 항법이 지금은 일상 생활에서 많은 부분 활용되고 있다. 특히, 오늘날 많은 사람들은 기억과 종이지도에 의존하기 보다는 주로 자동차에 설치된 전자식 항법장치나 스마트폰에 내장된 위치기반서비스 등을 활용해 새로운 장소로 이동한다. 물론 이런 개인휴대항법장치가 항법에 관한 전문성을 갖춘 항해사나 항법사처럼 언제 어디서나 높은 정확도로 최적항법을 수행할 수는 없지만 대부분의 장소에서 걸거나 자동차를 이용한 수준의

이동에서는 우리를 목적지까지 편하게 안내해준다. 이를 가능하게 해준 장치는 GPS(global positioning system)로 대표되는 GNSS(global navigation satellite system)이다 [1].

GNSS는 각 단어의 뜻처럼 인공위성에서 지상으로 보내는 전파를 이용해 항법을 수행하는 대표적인 전파항법시스템이다. 기술적으로 항법이란 항체의 위치, 속도, 시간(position, velocity, time, PVT)을 얻고, 이로부터 현재위치 및 목적지와 그 이동경로를 제시하는 방법이다. 전파항법시스템에서 위치는 시간동기가 정확히 맞고 아는 위치에 있는 여러 전파원으로부터 사용자가 완벽히 구분 가능한 신호를 수신했을 때 각 신호의 수신시간을 거리로 환산해 각 거리로부터 도출되는 여러 구의 접점으로 결정한다. 전파원이 정지해있고 사용자가 이동할 때 사용자의 속도는 관측된 도플러 주파수와 전파의 이동속도의 관계로부터 결정한다. 끝으로 시간은 전파를 통해 전달된 전파원에 설치된 정밀한 시계의 시각 정보로부터 결정한다 [2].

GNSS는 운용주체와 용도에 따라 그 세대를 구분할 수 있다. 세대별 시기와 특징은 다음과 같다 [2].

■1세대 GNSS (1960년대 후반~1980년대 중반)

- 미소 냉전시대에 지구전역에서 각 진영의 군사적 제해권과 제공권 장악을 위한 항법체계가 요구됨. 특히, 대륙간탄도 미사일의 운용 및 방어를 위한 위성항법체계가 절대적으로 필요함.
- 미국은 Navstar GPS, 구소련은 GLONASS⁰¹를 개발해 운용함.

01_ 러시아어의 명문표기 global' naya navigatsionnaya sputnikovaya sistema의 준말

■2세대 GNSS (1980년대 중반~2000년대 초반)

- 1983년 우리나라의 대한항공 007기의 항법장치 고장으로 인한 구소련 영공침범 및 피격사건이 발생하고, 미국 정부는 이 같은 사건의 재발방지를 위해 GPS 민간활용을 허가함.
- 구소련의 붕괴와 함께 냉전이 종식되고, 체재붕괴 이후 GLONASS의 주 운용국가인 러시아의 계속되는 재정악화로 GLONASS의 운용이 제한됨.
- 2000년 미국 GPS 민간용 신호의 의도적 성능저하가 중단된 후 GPS의 민간활용이 폭발적으로 증가함.

■3세대 GNSS (2000년대 중반 이후)

- GPS의 폭넓은 군민활용에 따른 정확도와 신뢰도 향상요구가 커짐.
- 미국정부는 GPS 현대화를 추진함.
- 재정상황이 안정되고, GPS 독점이 심화되고 시장성이 향상됨에 따라 러시아 정부에 대한 GLONASS 민간활용요구가 커짐. 이에 러시아 정부는 GLONASS의 민간활용을 허가하고, GLONASS의 현대화를 추진함.
- 유럽연합을 중심으로 Galileo 시스템 개발이 시작되었으며, 중국도 이에 참여하였으나 이후 독자 GNSS인 COMPASS 개발을 시작함.
- 일본은 주요 도심지역에서 미국 GPS의 보완체계 및 유사시 지역적 독자위성항법체계로 사용할 수 있는 JRANS (Japan regional advanced navigation system) 개발을 시작함.

2011년 5월 현재, 미국의 GPS는 새로운 부호분할다중접속방식(code division multiple access, CDMA) 민간용 측위신호를 탑재한 Block IIF 항법인공위성⁰²⁾ 1기를 포함해 모두 32기가 운용되고 있고, 러시아의 GLONASS는 기존 주파수 분할다중접속방식(frequency division multiple access, FDMA) 신호와 더불어 CDMA 시험신호를 탑재한 GLONASS-K1위성 1기를 포함해 모두 27기의 위성이 운용되고 있다. 유럽연합의 Galileo 시스템은 시험 위성인

GIOVE(Galileo in-orbit validation element)-A와 B가 각각 1기씩 운용되고 있으며, 중국의 COMPASS는 Beidou⁰³⁾로 불리는 지역위성항법시스템(regional navigation satellite system, RNSS) 4기와 COMPASS-M1/Gx/IGSOx 위성 5기를 운용하고 있다. 일본의 JRANS는 첫 단계인 준천정위성시스템(quasi-zenith satellite system, QZSS)의 계획된 3개 위성 가운데 첫 위성 MICHIBIKI⁰⁴⁾가 운용되고 있다. 이처럼 현재 GNSS는 기존 미국 GPS의 독주에서 벗어나 여러 차세대 GNSS 개발과 운용이 활발하게 진행되고 있다 [3-기].

본고는 모두 4장으로 구성된다. 서론에 이어 2장에서는 대표적인 GNSS인 미국 GPS의 역사와 현재를 언급하고, GPS 현대화 이전에 제기된 민간용 GPS의 한계성능을 보인다. 3장에서는 차세대 GNSS인 현대화된 GPS와 GLONASS, 유럽연합의 Galileo 시스템, 중국의 COMPASS, 그리고 일본의 JRANS-QZSS의 개발현황을 소개한다. 끝으로 4장에서는 본고를 간단히 요약하고 결론을 맺는다.

II. GPS

1. GPS의 역사와 현재

1969년 미국방성(United States Department of Defense, U.S. DOD)을 중심으로 12개 군 기관은 각 군별로 운용 및 개발 중인 항법체계의 한계를 극복할 수 있는 새로운 방어항법위성체계(defense navigation satellite system, DNSS) 개발을 합의하였다. DNSS의 개발명은 Navstar였으며, Navstar는 각 항법 위성의 이름으로도 사용되었다. 위성군을 포함한 시스템의 정식명칭은 Navstar-GPS이며, 이를 간단히 GPS라고 부른다 [2].

GPS의 주요개발연표는 <표 1>과 같다. 1978년부터 지금까지 Block I 위성 11기 (발사연도 : 1978년~1985년), Block II 위성 9기 (1989~1990), Block IIA 위성 19기 (1990~1997),

02. 본 고에서 언급하는 위성은 모두 항법인공위성을 뜻하므로 표현을 간단히 하기 위해 이후 위성으로 표기함.
 03. 北斗의 중국어 발음에 대한 영문표기
 04. 안내 또는 유도라는 뜻을 가진 일본어 導航의 일본어 발음에 대한 영문표기

<표 1> PS의 주요개발연표 [2, 8]

연도	개발사항
1969년	DNSS Navstar-GPS 개발 논의 시작
1978년	첫째 Block I 위성 발사
1983년	대한항공 007기 피격을 계기로 GPS 민간활용 논의 확대, GPS 민간 활용 발표
1985년	10개의 Block I 위성 운용
1989년	첫째 Block II 위성 발사
1993년	24개 위성 보유 후 SPS(standard positioning service) 성능 검증 및 IOC(initial operating capability) 달성 선언
1995년	24개 위성과 지상국의 연동에 기반한 PPS(precise positioning service) 성능 검증 및 FOC(full operational capability) 달성 선언
1998년	GPS의 정확도와 신뢰도, 그리고 항공안전보장을 위해 두 개의 새로운 민간용 측위신호 추가와 함께 GPS 현대화 구상 발표
2000년	의도적 정확도 저해요소인 SA(selective availability) 비활성화
2005년	새로운 민간용 신호인 L2C 신호와 군사용 신호인 L1M과 L2M 신호를 탑재한 Block IIR-M 위성 발사
2010년	새로운 민간용 신호인 L5 신호를 탑재한 Block IIF 위성 발사

Block IIR 위성 13기 (1997~2004), Block IIR-M 위성 8기 (2005~2009), 그리고 2010년 1기의 Block IIF 위성이 발사되었으며, 이 가운데 Block I과 Block IIR 위성 각 1기는 궤도보정 실패로 폐기되었다. 본 고를 작성하는 2011년 5월 현재 모두 59기의 위성이 정상 궤도에서 운용된 바 있고, 현재는 비활성위성 2기를 포함해 모두 32기의 위성이 운용 중이다. 2011년 5월 현재 GPS 위성현황과 각 위성의 특징은 <표 2>와 같다 [2,8,9].

<표 2> 2011년 5월 현재 GPS 위성 현황 [2, 9]

Block	위성수	송출대역 및 신호	비고
I	0	L1 C/A, P(Y) L2 P(Y)	Ce(Cesium) 원자시계 2개, Rb(Rubidium) 원자시계 1개, 3.5일분 항법 데이터 저장
II	0		SA, AS(anti-spoofing) 기능 탑재, 14일분 항법 데이터 저장 가능
IIA	11		180일분 항법 데이터 저장 가능 *30번 위성 비활성
IIR	12		새로운 3개의 Rb 원자시계
IIR-M	8	L1 C/A, P(Y), M L2 C, P(Y), M	L1M, L2M, L2C 신호 탑재 *49번 위성 비활성
IIF	1	L1 C/A, P(Y), M L2 C, P(Y), M	Ce 원자시계 2개, Rb 원자시계 1개 탑재, 새로운 L5 신호 탑재
III	0	L1 C/A, P(Y), M, C L2 C, P(Y), M L5 C	개발 중 (L1C 신호 탑재 예정)

<표 2>의 Block 번호를 GPS의 세대 구분 기준으로 활용해 Block I 운용시기를 1세대, Block II 운용시기를 2세대, 그리고 Block III 운용시기를 3세대 GPS로 부르기도 한다. 그러나 사용자 관점에서는 새로운 측위신호가 추가된 Block IIR-M 위성 발사 이후 수신기 구조가 변경되고 정확도 향상 가능성이 커지는 등 큰 변화가 있었다. 또한 Block IIR-M이 등장한 시기에 GLONASS 현대화가 발표되었고, 유럽연합의 Galileo 시스템 개발 논의가 시작되었다 [2]. 따라서 본 고에서는 서론에서 언급한 것처럼 사용자 관점을 기준으로 GNSS의 세대를 구분해 Block IIR-M 이전을 1세대와 2세대, 이후를 3세대 GNSS인 차세대 GNSS로 구분한다.

Rockwell International사에 의해 GPS Block I 위성 11기가 제작되어 그 중 10기가 정상 운용되었으며, 중심주파수 1575.42 MHz인 L1 대역에 C/A(coarse acquisition) 신호와 P(precision)⁵⁾ 신호, 중심주파수 1227.6 MHz인 L2 대역에 P(Y) 신호를 송출하였다. C/A 신호와 P(Y) 신호 모두 CDMA 신호로서 칩 율(chipping rate)은 각각 1.023 MHz와 10.23MHz이다. 이 시기에는 두 신호 모두 군사용으로만 전용되었으며, C/A 신호는 그 이름처럼 P(Y) 신호의 빠른 획득 및 처리를 위한 보조신호로서 활용되었다 [2].

1세대 GPS 운용을 통해 GPS의 효용성이 입증되어 2세대 GPS 개발이 시작되었으며, 같은 시기 GLONASS는 운용국가인 구소련이 계속되는 체제불안 속에 마침내 연방해체에 이르면서 제한적으로만 운용되었다. 이 시기에 지금의 폭발적인 민간용 GPS 활용을 이끈 결정적 사건이 발생하였다. 1983년 8월 미국 뉴욕을 출발한 우리나라 대한항공 007기가 앵커리지를 경유해 서울로 향하던 중 기내 관성항법장치의 고장으로 인해 구소련의 영토인 사할린 상공을 비행하다 피격되었고, 이에 미국 정부는 이 같은 항공기 및 선박의 관성항법장치 고장에 대한 보조항법수단으로서 GPS의 민간활용을 부분적으로 허가하였다. GPS의 민간활용을 위해 SA 기능을 추가한 C/A 신호를 민간항법신호로 제공하였으며, SA로 인해 SPS에서 약 100 m의 측위오차가 야기되었다. 이후 GPS의 민간부문활용이 크게 증가하였으며, 정확도 향상을 위해 SA 비활성화에 대한 논의가 활발히 진행되어 2000

05_ P 신호는 이후 암호화 코드를 더해 Y 신호로 명명됨. P 신호와 Y 신호의 사용여부는 GPS 제어국에서 조정하며, 이에 대한 정보는 공개되지 않음. 본 고에서는 P 신호와 Y 신호를 따로 구분하지 않고 P(Y) 신호로 적음.

년에 이르러 SA가 비활성화되었고 SPS 정확도가 약 20 m 이내로 크게 향상되어 이후 GPS의 민간활용이 폭발적으로 증가하였다 [2].

2. 기존 GPS의 한계

GPS SPS의 PNT 추정오차는 대류권과 전리층 섭광방출(scintillation)에 의한 신호왜곡, 수신기의 대류권과 전리층 지연 보상오차, 수신 잡음과 수신기의 해상도 한계, 수신기의 결점, 다중경로 영향과 수신기에 적용된 다중경로 완화 기법의 한계, 수신 안테나 영향, 그리고 사용자 오차로 인해 야기된다. GNSS의 대표적인 측위 성능 지표는 UERE(user equivalent range error)이다. UERE는 식 (1)처럼 URE(user range error)와 UEE(user equipment error)로 구성된다 [2, 10].

$$UERE = \sqrt{(URE)^2 + (UEE)^2} \quad (1)$$

L1 C/A 신호만 사용했을 때 SPS URE 표준 정확도와 전형적인 UEE 예상오차(error budget)는 각각 <표 3>과 <표 4>와 같다.

<표 3> L1 C/A 신호만 사용했을 때 SPS URE 표준 정확도 [10]

조건	표준 정확도
임의의 가시 위성상태 가정 단일 주파수 전리층 지연 모형 오차 무시 L1 대역의 군지연시간 보정 (group delay time correction) 오차 포함 L1 대역의 P(Y)와 C/A 신호간 편이 포함	데이터 열화가 전반적으로 발생된 경우 정상동작 중 평균 URE : 95%에서 7.8 m 이하 데이터 열화가 전혀 발생하지 않은 경우 정상동작 중 평균 URE : 95%에서 6.0 m 이하 임의의 데이터 열화가 발생한 경우 정상동작 중 평균 URE : 95%에서 12.8 m 이하
임의의 가시 위성상태 가정 단일 주파수 전리층 지연 모형 오차 무시 L1 대역의 군지연시간 보정 (group delay time correction) 오차 포함 L1 대역의 P(Y)와 C/A 신호간 편이 포함 하루의 평균값을 일년 동안 측정함 각각 최소 6시간 이하, 1년 동안 3회의 서비스 불이행을 가정함	정상동작 중 평균 URE : 99.4%에서 30 m 이하 정상동작 중 최악 단일 값 평균 URE : 99.79%에서 30 m 이하
임의의 가시 위성상태 가정	14일전 열화된 데이터만 존재하는 확장된 운영기간 동안 정상동작 중 평균 URE : 95%에서 388 m 이하

<표 4> 전형적인 UEE 예상오차 [10]

오차요소	단일주파수를 사용하는 기본사양의 수신기	단일주파수를 사용하는 최적사양의 수신기
전리층 지연보상	-	-
대류권 지연보상	3.9 m	3.9 m
수신기 잡음 및 해상도 한계	2.9 m	2.0 m
다중경로 영향	2.4 m	0.2 m
기타 수신기 오차	1.0 m	1.0 m
UEE, 95%	5.5 m	4.5 m

식 (1)과 <표 3>과 <표 4>로부터 C/A 신호만 사용하는 SPS의 서비스 유용도(service availability)와 한계 오차는 전체 측정결과와 95%에서 한계오차가 수평 17 m, 수직 37 m 일 때 평균적인 공간과 최악의 공간에서 수평 및 수직 서비스 유용도는 각각 99 %와 90 % 이상이고 평균측위영역(global average positioning domain)에서 측정결과와 95 % 수평 한계오차는 9 m, 수직 한계오차는 15 m 이하이며, 성능이 최악인 특정측위영역(worst site positioning domain)에서 수직 한계오차는 17 m, 수직 한계오차는 37 m 이하이다 [2, 10].

응용제품의 적절한 오차 정도는 응용제품마다 다르다. 휴대항법장치 가운데 가장 많이 활용하는 차량용 휴대항법장치를 사용한다고 할 때 9 m 이하의 수평 한계오차는 적절한 값이 아니다. 일반적으로 도로상의 차량이동은 차선을 기준으로 한다. 특히 교차로의 경우 차선에 따라 좌회전, 직진, 우회전이 구분되는 경우가 많아 차량용 휴대항법장치를 활용한 원활한 항법을 위해서는 장치를 장착한 차량의 정확한 차선 정보가 필요하다. [11]의 우리나라 도로설계편람 도로의 구분에 따른 차로 폭에 따르면 차로의 최소 폭은 3 m이다. 즉 차선 구분을 위해 요구되는 수평 한계오차는 최소 차로 폭의 절반인 1.5 m 이하가 되어야 한다.

또한 C/A 신호만 사용하는 SPS는 가시위성이 4개 이상 확보되는 실외에서만 앞서 언급한 한계오차를 가지며, 고층건물이 많은 도심이나 실내에서는 GPS 신호가 현저히 약해지고, 다중경로 현상이 심해져 항법이 불가능하다. 그리고 C/A 신호는 텔레비전 방송되는 신호로 인해 항법이 불가능해질 정도로 전파방해에 취약하다. 특히 최근 서해 상에서

벌어진 북한의 GPS 전파방해에 따른 일부 휴대전화의 통화 불능사태처럼 의도적 GPS 전파방해에 따른 개인적 또는 사회적 위험이 커지고 있다. 이처럼 GPS SPS에 대한 정확도와 신뢰도 향상에 대한 필요성이 끊임없이 제기되고 있다[2].

이를 해결하기 위해 1998년 미국 정부는 GPS의 현대화를 선언하였다. 또한 GPS의 군사 및 민간활용이 증가하면서 미국의 GPS 독점화 우려가 끊임없이 제기되었고, 이를 해소하기 위해 러시아도 방치되었던 GLONASS의 현대화를 발표하였으며, 유럽연합은 Galileo 시스템, 중국은 Beidou를 시작으로 한 COMPASS, 일본은 JRANS 개발을 선언하였다 [2, 3-7, 12].

III. 차세대 GNSS 개발동향

2011년 현재, 차세대 GNSS는 미국의 현대화된 GPS, 러시아의 현대화된 GLONASS, 유럽연합의 Galileo 시스템, 중국의 COMPASS를 일컫는다. 앞서 차세대 GNSS의 하나로 언급한 일본의 JRANS는 엄밀히 말해 중국의 RNSS인 Beidou와 같은 RNSS의 한 종류이다. 그러나 2010년 11월에 발사되어 운용 중인 JRANS-QZSS 첫째 위성 MICHIBIKI는 현대화된 GPS와의 상호 운용을 위해 GPS Block III 위성에서 송출할 예정인 새로운 민간용 L1C 신호 발생기를 탑재하고 있고 지리적으로 일본과 가까운 우리나라에서도 향후 활용 가능한 위성항법시스템이므로 본 고에서는 차세대 GNSS와 함께 개발동향을 언급하고자 한다.

1. GPS 현대화

차세대 GNSS에 대한 개발 구상이 제일 먼저 시작된 GNSS는 현재 민간용 위성항법장치에서 가장 많이 사용하고 있는 GPS이다. 차세대 GNSS로서의 GPS는 1998년 미국 의회에서 GPS III로 불리는 GPS 현대화 발표로부터 시작되었다. GPS 현대화의 목표는 GPS 지상제어국(ground control segment)의 개선과 GPS의 정확도 및 신뢰도 향상을 위한 새로운 군사용/민간용 측위신호를 추가한 새로운 위성을 개발해 운용하는 것이다 [2].

새로운 민간용 측위신호는 L2C신호와 L5 신호, 그리고 L1C 신호이다. 각 신호 이름에서 L1, L2, L5는 각 신호가 송출되는 대역; C는 민간(civil) 신호를 뜻한다. L5 신호는 민간용이긴 하지만 항공기, 재난 구호 등 개인 보다는 공공용으로 활용되는 신호로서 따로 민간용 신호를 뜻하는 C를 붙이지 않았다 [2].

L2C 신호는 <표 2>에서 언급한 Block IIR-M 위성부터 탑재된 L1 C/A 신호 이후 가장 먼저 송출되는 민간용 신호이다. 기존에는 L1 대역에만 민간용 신호를 송출했기 때문에 이 단일대역 수신기는 다중대역 신호처리를 통해 쉽게 보상할 수 있는 전리층 지연 오차를 자체적으로 보상하기 어려웠다. 그러나 L2 대역의 새로운 민간용 측위신호인 L2C 신호의 등장으로 민간용 GPS 수신기도 전리층 지연 오차를 효과적으로 보상할 수 있게 되었다. L2C 신호는 항법 데이터로 변조된 20 ms 길이의 CM(code moderate) 신호와 항법 데이터 변조 없이 의사잡음수열만으로 구성된 1.5 s 길이의 CL(code long) 신호로 구성되어 있다.

L1 C/A 신호는 L1 대역의 직교위상 채널에 1,023 MHz의 칩 율로 전송되는데 반해 L2C 신호는 L2 대역의 직교위상 채널에 0.5115 MHz의 칩 율로 CM 신호와 CL 신호가 번갈아 전송된다. CM 신호는 25 bps의 항법데이터가 부호율 2의 길쌈부호로 부호화되어 L1 C/A 신호에 비해 BER(bit error rate)이 2.7 dB 향상되었으며, 반송파 추적성능은 0.7 dB 향상되었다. CL 신호는 데이터 변조가 없는 파일럿 신호로서 L1 C/A 신호에 비해 확산이득⁰⁶⁾을 약 24 dB 더 얻을 수 있다. 그리고 L2 대역은 L1 대역에 비해 전리층 오차가 덜 유발되기 때문에 L1 C/A 신호에 비해 L2C 신호는 전리층 지연 오차가 약 65% 덜 발생한다 [2].

L5 신호는 2009년 WAAS (wide area argumentation

06. GPS의 통신물리계층은 DSSS(direct sequence spread spectrum) 시스템으로 구성되어 있음. [13]처럼 DSSS 시스템의 주요 성능지표는 처리이득(processing gain)임. 그러나 [13]에서 처리이득은 확산신호의 대역폭에 대한 기저대역메시지의 대역폭에 2배 넓은 대역폭의 비로 정의되어 있음. 이 같은 정의 아래서는 파일럿 신호인 CL 신호의 처리이득은 정의할 수 없음. 그러나 처리이득과 유사하게 확산수열의 한 주기에 대한 대역폭을 기저대역메시지의 대역폭으로 간주해 이에 대한 처리이득을 구할 수 있으며, 본 고에서는 기존의 처리이득과의 혼동을 피하기 위해 이를 확산이득으로 구분해 적음.

system) 위성을 이용한 시험 전송을 거쳐 (표 2)의 Block III 위성부터 탑재된 신호로서 중심주파수 1176.45 MHz인 L5 대역을 통해 전송된다. L5 신호의 송출전력은 L1 C/A 신호에 비해 3 dB 높으며, L1 C/A 신호에 비해 10배 큰 칩 율로 설계되어 처리이득이 10 dB 높다. L5 대역은 항공 전파항법 서비스 대역과 겹쳐있어 상호 간섭 우려가 제기되었으나 2000년 세계 전파통신회의에서 이 대역에 추가한 새로운 신호로 인해 L2 대역보다 효과적으로 상호간섭을 관리할 수 있게 되었다 [2,3,8,10].

L1C 신호는 2011년 현재 널리 사용되는 민간용 GNSS 신호인 GPS L1 C/A 신호와 같은 대역으로 전송되는 신호로서 L1 C/A 신호와의 하향호환성(backward compatibility)과 유럽 연합의 Galileo 시스템 E1 신호와 이중시스템간 호환성(interoperability)을 고려해 설계되었으며, 새로운 부반송파 변조방식인 BOC(binary offset carrier) 변조방식을 추가해 L1 C/A 신호에 비해 열잡음에 1.5 dB 더 강인하다. L1C 신호는 다른 GPS 민간용 신호와 다르게 동위상 채널에는 데이터 변조된 확산신호, 직교위성 채널에는 데이터 변조가 없는 확산신호를 함께 전송하기 때문에 신호처리 효율이 높다. 2011년 현재 L1C 신호는 GPS가 아닌 JRANS의 QZSS 첫째 위성 MICHIBIKI를 통해서만 전송되고 있으며, 2013년 GPS Block III 위성을 통해 전송될 예정이다 [2,3,8,10,14].

GPS는 현대화를 통해 새로운 민간용 측위신호인 L2C 신호와 L5 신호가 사용되고 있으며, L1C 신호가 추가될 예정이다. (표 2)처럼 2011년 5월 현재 Block IIR-M 위성 8기와 Block III 위성 1기가 궤도상에 위치하고 있어 L2C 신호는 일부 영역에서나마 단독으로 항법에 사용할 수 있으며, L5 신호는 Block III 위성 1기에서만 송출되고 있어 항법 보조 신호로만 활용할 수 있다. L1C 신호는 2013년 이후 Block III 위성을 통해 송출될 예정이다. 현재 여러 대역의 다양한 GPS 민간용 측위신호를 함께 사용해 항법 정확도와 신뢰도를 높일 수 있는 방법이 활발히 연구되고 있다.

2. GLONASS 현대화

GLONASS는 1976년부터 개발을 시작하여 1982년 첫째 위성을 발사한 이래 1995년 지구 전역에서 항법을 수행할 수

있는 위성군을 갖추었다. 그러나 구소련의 붕괴와 러시아의 재정악화로 GLONASS 위성의 유지보수가 어려워져 극히 제한된 지역에서만 사용할 수 있었다. GPS 현대화 발표, GNSS 시장 확대, GPS 독점 심화, 그리고 러시아 재정회복 등 GLONASS 운용 재개를 위한 환경이 조성되면서, 2000년대 초, 러시아 정부는 GLONASS 현대화를 선언하였다. 2003년 2세대 GLONASS인 현대화된 GLONASS-M 위성이 발사되었고, 2008년 다시 지구 전역에서 항법을 수행할 수 있는 모두 16기의 위성군을 갖추었다 [15].

미국 정부가 2000년 SA를 비활성화하면서 GPS L1 C/A 신호를 완전한 민간용 측위신호로 공개한 것처럼, 러시아도 2006년 GLONASS의 민간부분 활용에 대한 논의를 시작하였으며, 2007년 기존 L1과 L2 대역에서 사용하던 SP (standard precision) 군사용 신호를 무료 민간용 신호로 사용할 수 있도록 공개하였다. 이 신호는 1602 MHz 이후의 L1 대역과 1246 MHz 이후의 L2 대역에서 송출되는 FDMA 형식의 민간용 측위신호로서 L1OF와 L2OF 신호로 명명되었다 [15,16].

GLONASS의 L1OF와 L2OF 신호도 GPS의 L1 C/A 신호처럼 BPSK(binary phase shift keying) 변조된 DSSS 신호를 사용한다. 그러나 GPS L1 C/A 신호는 서로 다른 의사잡음수열을 사용해 각 위성신호를 구분하는 반면, GLONASS는 같은 DSSS 신호를 다른 주파수 대역으로 전송함으로써 각 위성신호를 구분한다. 즉, GPS는 CDMA, GLONASS는 FDMA 방식으로 위성군의 측위신호를 구분한다 [2].

그러나 FDMA 방식을 사용하는 GLONASS 수신기는 CDMA 방식의 GPS 수신기에 비해 가격이 높아 민수시장확대에 장애가 되었으며, 다른 차세대 GNSS와의 이중시스템간 호환성 향상을 위한 요구가 확대되어, 2008년, 러시아 정부는 L1, L2, L5 대역에 CDMA 방식의 측위신호 추가를 결정하였으며, 그 시험위성으로서 3세대 GLONASS인 GLONASS-K1 위성을 2011년 1월에 러시아 Plesetsk에서 Soyuz-2.1b 로켓에 실어 궤도상으로 발사하였다. GLONASS-K1 위성은 중심주파수 1202 MHz인 L3 대역에 CDMA 방식의 L3OC 신호를 송신한다. 현재 러시아 정부는 2020년까지 중심주파수 1575.42 MHz의 L1 대역과 중심주파수 1242

〈표 5〉 GLONASS 위성계열에 따른 신호구성 [16]

주파수 대역	L1		L2		L3	L5		
주파수	1602 + n x 0,5625MHz	1575.42 MHz	1246 + n x 0,4375 MHz	1242 MHz	1207.14 MHz	1176.45 MHz		
GLONASS	L1OF, L1SF	-	L2SF	-	-	-		
GLONASS-M			L2OF, L2SF				L2SC	
GLONASS-K1								
GLONASS-K2								L10C, L1SC
GLONASS-KN								L10C, L1SC, L10CM

O : open signal (standard precision), S : obfuscated signal (high precision), F : FDMA, C : CDMA, n ∈ {-7, -6, ..., +5, +6}

MHz의 L2 대역, 그리고 중심주파수 1176.45 MHz의 L5 대역에 새로운 민간용 측위신호를 송출할 GLONASS-K2와 GLONASS-KM 위성을 개발 중이다. 특히 중심주파수 1575.42 MHz의 L1 대역 민간용 신호는 다른 차세대 GNSS와의 이종시스템간 호환성 향상을 위한 BOC 변조된 민간용 측위신호를 사용한다. 2011년 5월 현재, GLONASS-M 위성 26기와 GLONASS-K1 1기가 운용 중이며, 올해 3사분기에는 GLONASS-M 위성 3기, 4사분기에는 GLONASS-K1 위성 1기를 추가로 발사할 예정이다 [15-18]. GLONASS 위성계열에 따른 신호구성은 〈표 5〉와 같다.

3. Galileo 시스템

Galileo 시스템은 유럽연합과 유럽우주국(European Space Agency)을 중심으로 개발 중인 차세대 GNSS이다. 1999년 독일, 프랑스, 이탈리아, 영국에서 각기 다른 개념의 새로운 GNSS에 대한 구상을 제기하였으며, 이후 각국 기술자 대표들로 공동 개발팀을 구성해 Galileo 시스템 개념을 정립해나갔다.

개발 논의가 한창이던 2001년 기존 GPS 점유대역에 대한 간섭과 정확도 높은 민간용 GNSS의 테러전용 우려 등을 이유로 미국정부가 Galileo 시스템 개발 반대를 표명하였으며, 이를 이유로 유럽연합 각 국에 통상압력을 행사해 자칫 Galileo 시스템 개발이 사장될 위기에 처했다. 그러나 2000년대 초반 GPS의 민간 활용이 시작되면서 정확한 시각정보가 요구되는 국가기반체계인 항공, 교통, 방송, 통신 분야 등에 GPS 의존도가 날로 심화되는 가운데, GPS는 미국정부의

주도하에 운용 및 유지되는 시스템으로서 만약 미국정부가 GPS의 자유로운 사용을 제한할 경우 그 즉시 독자적인 GNSS를 구축하지 못한 많은 국가들의 항공기와 선박 등의 항행이 제한되고, GPS 시각정보를 기준 시각으로 활용하는 방송, 통신, 금융전산망 등이 오작동 하는 등 사회 전역에 큰 피해가 우려되었다.

당시 유럽연합은 이러한 GPS 독점화를 크게 우려하였으며, 이를 해소하기 위해 2003년 3월 유럽연합과 유럽우주국의 주도하에 2010년 30개의 계획한 위성군을 모두 갖추고 지구 전역에서 항법을 수행하는 것을 목표로 본격적인 Galileo 시스템 개발을 시작하였다. 이후 유럽연합은 미국정부와 Galileo 개발에 대한 상호양해각서 체결을 위한 협상에 적극 나섰으며, 마침내 2004년 6월 미국정부와 함께 GPS와 Galileo 시스템의 이종시스템간 호환성 유지를 위한 동의서에 서명하였다. 특히 유럽연합은 GPS L1 C/A 신호와의 간섭을 효과적으로 줄이고, 두 GNSS의 L1 대역 민간용 측위신호를 효과적으로 활용할 수 있도록 Galileo L1 대역 민간용 측위신호에 BOC 변조를 추가하는 것을 동의하였다 [2,19-22].

GPS 독점화에 대한 우려로 Galileo 시스템 개발을 시작한 유럽연합은 기술공유와 개발 및 운용자금의 효과적인 확보를 위해 유럽연합 회원국뿐만 아니라 다른 나라의 참여도 허가하였으며, 2003년 중국의 참여를 시작으로 2009년 4월 현재 이스라엘, 우크라이나, 모로코, 노르웨이 등 많은 국가들이 개발에 함께 참여하고 있다. 특히, 2006년 우리나라도 유럽연합과 Galileo 시스템 개발협정을 맺고, 이에 함께 참여하고 있다 [19, 21].

Galileo 시스템은 무료공개항법(open access navigation), 상업항법(commercial navigation), 공공안전항법(safety of life navigation), 공공전용항법(public regulated navigation), 탐색 및 구조항법(search and rescue) 등 모두 5개의 주요 항법 서비스를 제공할 예정이다. 각 항법 서비스 신호는 서비스 명에 따라 OS(open service), CS(commercial service), SOL(safety of life), PRS(public regulated service), SAR(search and rescue) 신호로 부른다 [20,23]. Galileo 시스템의 서비스와 신호 구성은 <표 6>과 같다.

2011년 현재 유럽연합과 유럽우주국은 Galileo 시스템의 시험위성인 GIOVE-A 위성 1기와 GIOVE-B 위성 1기를 발사해 시험운용 중이다. GIOVE-A 위성은 Surrey Satellite Technology사에서 제작하였으며, 2005년 11월에 발사되었다.

유럽우주국은 GIOVE-A 위성을 통해 Galileo 시스템을 궤도상에서 직접 검증하였으며, 아울러 국제적인 주파수 할당 및 관리 등을 맡고 있는 ITU(International Telecommunication Union)에서 요구하는 주파수 할당 및 예약 요구조건을 충족하였다.

이후 2008년 4월 에 GIOVE-A 위성을 통한 검증 후 개선사항을 반영한 GIOVE-B 위성 1기를 발사하였다. 애초 유럽우주국은 2008년 하반기에 GIOVE-A2 위성 1기를 추가 발사할 예정이었으나 GIOVE-B 발사 및 운용을 통해 Galileo 시스템의 궤도상 운용 및 검증을 완료해 GIOVE-A2 발사일정을 중단하였다.

성공적인 GIOVE-A/B 위성을 사용한 Galileo 위성성능 검

증을 마친 유럽우주국은 2011년 상반기에 Galileo 시스템의 항법성능을 궤도상에서 검증하기 위한 IOV(in-orbit validation) 위성 쌍을 발사하기로 하였으나 발사체인 Soyuz의 개발 지연 및 발사 전 검증 지연으로, 2011년 5월 현재, 2011년 10월로 IOV 위성 쌍 발사 일정을 연기하였다 [22,24].

IOV 위성 쌍 발사가 연기되면서 이미 여러 차례 연기된 바 있는 FOC 위성군 구성을 위한 첫 정식 Galileo 위성 발사도 이미 발표한 2012년에서 연기될 가능성이 커지고 있다.

4. COMPASS 시스템

COMPASS 시스템은 중국에서 개발 중인 GNSS로서 Beidou-2라고도 불린다. 중국정부는 총 3단계의 위성항법시스템 개발 계획을 수립하였다.

2000년부터 2003년까지 진행된 1단계는 3개의 항법위성을 사용해 중국 내 일부 지역에서 RNSS를 구현하고, 그 성능을 평가하는 실험적인 Beidou 항법시스템을 구현하는 단계이며, 이 단계에서 개발한 RNSS는 Beidou 시스템 또는 Beidou-1으로 부른다. 이후부터 2020년까지는 COMPASS 또는 Beidou-2로 부르는 GNSS를 개발하는 단계이며, 이 단계는 다시 2012년까지 중국 전역을 비롯한 아시아-태평양 지역에 항법을 제공하는 부분적인 GNSS 개발 단계와 2020년까지 지구 전역에서 항법을 제공하는 완전한 GNSS를 개발하는 단계로 세분하고 있다 [25].

COMPASS (또는 Beidou-2) 개발 전 단계인 Beidou (또는 Beidou-1) 시스템은 중국영토 및 주변 일부 지역에서 군사적 위성항법을 제공할 목적으로 개발되었으며, 총 3기의

<표 6> Galileo 시스템의 서비스와 신호구성 [20, 23]

주파수대역	E1		E6		E5	L6
중심주파수	1575.42 MHz		1278.75 MHz		1191.795 MHz	1544.5 MHz
확산변조방식	CBOC(6, 1, 1/11)	BOCcos(15, 2.5)	altBOC(15, 10)	BOCcos(10,5)	altBOC(15, 10)	미상
부반송파주파수	1,023 MHz, 6,138 MHz	15,345 MHz	15,345 MHz	10,23 MHz	15,345 MHz	
칩 율	1,023 MHz	2,5575 MHz	10,23 MHz		10,23 MHz	
서비스 신호	OS/CS/SOL	PRS	OS/CS	SOL	OS/CS	SAR
신호 ID	E1B, C	E1A	E5a, E5b	E5b	E5a, E5b	L6

Beidou-A/B/C 위성을 2000년 10월과 12월, 그리고 2003년 3월에 각각 궤도에 발사해 운용을 시작하였다. 이 시기 중국 정부는 독자적인 GNSS를 개발하지 않고 앞서 언급한 것처럼 Galileo 시스템 개발에 참여하였다.

2003년 9월 중국정부와 유럽연합 사이에 Galileo 시스템 개발 참여에 대한 양해각서가 체결되었으며, 2006년 4월까지 11개의 협력개발과제를 수행하였다. 그러나 유럽과 미국의 계속되는 경기침체 및 금융사태 등으로 유럽연합회원국의 재정상태가 악화되면서 Galileo 시스템 개발이 지연된 반면, 중국은 고도성장을 거듭해 독자적인 GNSS를 구축할 정도의 경제력을 갖추게 되었다. 이에 중국정부는 Galileo 시스템 개발에 중국정부의 역할이 낮다는 이유를 들어 중국정부와 유럽연합의 Galileo 시스템 개발 협정을 파기하고 독자적인 GNSS 개발을 시작하였다 [25].

이런 개발단계를 거친 COMPASS는 Galileo 시스템과 여러 면에서 유사하게 설계되었다. 2011년 5월 현재, 모두 8기의 COMPASS위성이 발사되었음에도 불구하고 중국정부는 COMPASS 시스템의 공개신호에 대한 ICD SIS(interface control document signal in space)를 공개하지 않고 있어 정확한 시스템 구성 및 신호구성은 알 수 없다. 그러나 [26,27]에서 <표 7>처럼 COMPASS시스템의 서비스와 신호구성에 대해 일부 발표하였다.

<표 6>과 <표 7>의 Galileo L5와 COMPASS B2의 확산변조 방식처럼 Galileo 시스템과 COMPASS 시스템의 서비스와 신호구성은 비슷하다. 물론 중심주파수 1575.42 MHz의 민간용 측위신호인 GPS L1C, GLONASS L1OC, Galileo E1BC,

COMPASS B1-C 신호는 각 GNSS의 이기종간 시스템 호환성 향상을 위해 각 개발국가의 협의 및 동의를 통해 유사한 신호체계로 설계 및 개발하고 있는 신호로서, 대부분의 차세대 GNSS는 L1 대역에 유사한 신호를 설계하고 있다.

지난 2011년 3월, [28]에서 저자 Beihang은 새로운 COMPASS B1 신호로서 10,230 MHz의 칩 율을 갖는 확산신호를 BOCs(1,1) 부반송파로 변조한 B1-C 데이터 채널 신호와 10,230 MHz의 칩 율을 갖는 주 확산신호에 구체적 칩 율이 공개되지 않은 부 확산신호를 곱한 확산신호를 TMSBOC(6,1,4/33) 부반송파로 변조한 B1-C 파일럿 채널 신호를 각각 25%와 75%의 전력비로 송출할 것을 제안하였다 [25-27]. 이외에 구체적인 서비스 구성과 신호 사양은 2011년 5월 현재 공개되어있지 않다.

유럽연합과 유럽우주국이 Galileo 시스템 검증을 위해 GIOVE-A 위성을 발사한 2005년으로부터 2년뒤인 2007년 중국국가우주관리국(China national space administration)은 COMPASS 시험위성인 COMPASS-M1 위성을 발사하였으며, 이를 이용해 COMPASS 시스템에 대한 궤도상 실험을 마치고, 2009년 4월부터 2011년 4월까지 지구정지궤도 geostationary orbit, G) 위성인 COMPASS-G1/G2/G3/G4 위성 4기와 IGSO(inclined geosynchronous orbit) 위성인 COMPASS-IGSO1/IGSO2/IGSO3 위성 3기를 발사하였다. 이 가운데 2009년 발사된 COMPASS-G2 위성은 정상궤도 진입에 실패해 현재 사용이 불가능하다.

2011년 5월 현재 모두 8기의 COMPASS 위성이 발사되었으며, 중국정부와 중국국가우주관리국은 2012년까지 10기 이

<표 7> COMPASS 시스템의 서비스와 신호구성 [26,27]

주파수대역	B1		B2	B3	
중심주파수	1575.42 MHz		1191.795 MHz	1268.52 MHz	
확산변조방식	MBOC(6,1,1/11)	altBOC(15, 10)	altBOC(15, 10)	QPSK(10)	BOC(15,2,5)
부반송파주파수	1,023 MHz 6,138 MHz	15,345 MHz	15,345 MHz	-	미상
칩 율	1,023 MHz	10,23 MHz	10,23 MHz	10,23 MHz	2,5575 MHz
서비스 신호	OS	OS	OS	AS	AS
신호 ID	B1-C	B2a,b	B2a,b	B3	B3-A

MBOC: multiplexed BOC, QPSK: quadrature phase shift keying, OS: open service, AS: authorized service

상의 위성군으로 COMPASS 1단계(전체 중국의 위성항법시스템 개발 단계로는 2단계)인 중국전역을 비롯한 아시아-태평양 지역 내 항법제공이 가능한 COMPASS 시스템 개발을 완료할 예정이며, 2020년 지구 전역에서 항법 제공이 가능한, 완벽한 GNSS로서의 COMPASS 시스템 개발을 완료할 예정이다 [25].

5. JRANS-QZSS

2000년 9월, 일본의 ITOCHU사, NEC사, TOSHIBA사는 일본정부와 JRANS 개념에 대해 토의하였으며, 이 결과 JRANS 개발을 일본정부와 NTSpace사⁷⁾가 함께 추진하기로 합의하였다. JRANS는 QZSS 위성 3기, 긴 타원궤도 위성 3기, 그리고 정지궤도 위성 1기로 구성된다.

JRANS의 개발목표는 GPS와 완벽한 호환성을 갖고, 일본 및 주변 지역에서 GPS 보완체제로 활용될 수 있으며, 일본과 대한민국을 비롯한 동아시아와 호주 일부 지역에 민간용 무료 및 유료 항법서비스를 제공하는 것이다.

NTSpace사를 중심으로 2003년까지 관련 연구를 진행하고, 미국으로부터 4천 8백만달러의 투자를 유치하는 등 JRANS 개발을 위한 선행단계가 진행되었으며, 2004년에 설계를 완료해 2008년 첫 QZSS 위성 1기 발사를 목표로 QZSS 위성체 개발을 진행하였다. 그러나 일본의 계속되는 경기침체로 연구개발에 대한 투자가 늦어지고, 개발 및 사업주체가 변경되는 등 개발에 난항을 겪다가 일본정부의 적극적인 추진으로 다시 개발이 진행되어 2010년 11월 첫 QZSS 위성 MICHIBIKI가 궤도에 발사되어 현재 시험운용 중에 있다. 2011년 현재, 일본정부는 2013년까지 계획된 3기의 QZSS 위성을 발사 및 운용할 예정이다 [7,14,29].

JRANS-QZSS는 GPS와의 완벽한 호환성을 갖도록 설계되었으며, 현재 운용 중인 QZSS MICHIBIKI는 표 2의 GPS Block III 위성과 동일한 민간용 신호를 송신할 수 있다. 이외에도 QZSS는 시각유지와 원격동기 기능을 탑재하고 있어 서비스 영역에 효과적인 시각정보 제공이 가능하다 [14].

07_ NEC사와 THOSHIBA사가 각 사의 우주항공분야를 합병해 2001년 4월 설립한 합작회사명

IV. 결론

본고에서는 미국의 GPS와 함께 차세대 GNSS를 소개하였다. 2011년 5월 현재, GNSS는 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽의 Galileo 시스템, 중국의 COMPASS, RNSS는 일본의 JRANS-QZSS 등이 운용 및 개발 중이다. 차세대 GNSS는 단순한 항법체계를 넘어 지구 전역에서 활용 가능한 국가기반체제로 그 활용범위를 넓혀가고 있으며, 미국, 러시아, 유럽연합, 중국, 일본 등을 비롯한 여러 나라가 경쟁적으로 개발에 참여하고 있다.

우리나라도 2000년대 중반 독자적 RNSS 개발 추진 계획을 수립하였으나 정치경제적 문제로 중단된 바 있다. GNSS는 주요한 국가기간체제로서 미래성장동력 가운데 하나이다. 그러나 일본과 유럽연합의 예에서 볼 수 있듯이 GNSS 개발은 몇몇 기관과 기업체, 학계가 감당할 수 있는 범주의 연구개발과제가 아니다. 우리나라도 차세대 GNSS 개발에 관심을 갖고, 이를 적극 추진할 수 있는 정부, 연구소, 기업체를 포괄한 연구개발 주체를 설립하고, 중장기적인 계획을 수립해 이를 추진할 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] 정구민, 최완식, "표준 기술동향-스마트폰 위치기반 서비스(LBS) 기술동향", *TTA 저널*, 130호, 75-81쪽, 2010년 8월.
- [2] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS: Principles and Applications*, Artech House, Norwood, MA, 2005.
- [3] Inside GNSS News, "GPS IIF: up at last!," *Inside GNSS*. [Online]. Available: <http://www.insidegnss.com/node/2100>, May 2010.
- [4] Inside GNSS News, "Russia's first GLONASS-K in orbit, CDMA signals coming," *Inside GNSS*, vol. 6, no. 2, p.

- 17, Mar.-Apr. 2011.
- [5] European Space Agency (ESA) News, "GIOVE mission core infrastructure," *ESA*. [Online]. Available: http://www.esa.int/esaNA/SEMWL4N0LYE_index_0.html, Feb. 2007.
- [6] Inside GNSS News, "China launches 8th Compass/BeiDou-2 satellite-an IGSO," *Inside GNSS*. [Online]. Available: <http://www.insidegnss.com/node/2558>, Apr. 2011.
- [7] Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) Press Releases, "First quasi-zenith satellite MICHIBIKI technical verification and application verification," *JAXA*. [Online]. Available: http://www.jaxa.jp/press/2010/12/20101215_michibiki_e.html, Dec. 2010.
- [8] U.S. Department of Homeland Security: United States Coast Guard, *GPS Modernization*, U.S. Coast Guard. [Online]. Available: <http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=gpsModernization>, May 2011.
- [9] U.S. Department of Homeland Security: United States Coast Guard, *GPS Constellation Status for 05/xx/2011*. [Online]. Available: <http://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus>, May 2011.
- [10] U.S. Department of Defense (DoD) and GPS Navstar, *Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard (4th Edition)*. [Online]. Available: <http://www.pnt.gov/public/docs/2008/spsps2008.pdf>, Sep. 2008.
- [11] 한국건설기술연구원 도로연구실, 도로설계편람, 도로시설기준. [Online]. Available: <http://rdguide.kict.re.kr/>, May 2011.
- [12] Federal Space Agency: Information-Analytical Center(IAC), *GLONASS History*, UHNNMAW TSNIMASH. [Online]. Available: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/en/guide/>, May 2011.
- [13] A. W. Lam and S. Tantarana, *Theory and Application of Spread-Spectrum Systems: A Self-Study Course*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Piscataway, NJ, 1994.
- [14] JAXA, *Quasi-Zenith Satellite System Navigation Service Interface Specification for QZSS (IS-QZSS) Draft v1.2*. [Online]. Available: http://qzss.jaxa.jp/is-qzss/ISQZSS_12Draft_E.pdf, Mar. 2010.
- [15] Krasnoyarsk, "Glonass system to consist of 30 satellites," *Ria Novosti*. [Online]. Available: <http://en.rian.ru/russia/20080321/101957890.html>, Mar. 2008.
- [16] Russian Institute of Space Device Engineering, *Global Navigation Satellite System GLONASS Interface Control Document Navigation Radiosignal In bands L1, L2 (Edition 5.1)*. [Online]. Available: http://rniikp.ru/en/pages/about/publ/ICD_GNSS_eng.pdf, Nov. 2008.
- [17] United States and Russian Federation, *GPS/GLONASS Interoperability and Compatibility Working Group (WG-1)*. [Online]. Available: http://www.glonass-ianc.rsa.ru/docs/joint_statement_eng.pdf, Dec. 2006.
- [18] Federal Space Agency: IAC, *GLONASS News*, UHNNMAW TSNIMASH. [Online]. Available: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/en/content/news/>, May 2011.
- [19] The United States of America and the European Community, *Agreement on the Promotion, Provision and Use of Galileo and GPS Satellite-Based Navigation Systems and Related Applications*. [Online]. Available: <http://pnt.gov/public/docs/2004/gpsgalileoagreement.pdf>, June 2004.
- [20] ESA, *European GNSS (Galileo) Open Service Signals in Space Control Document (OS SIS ICD)*. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/space/galileo/files/galileo_os_sis_icd_revised_3_en.pdf, Feb. 2010.
- [21] ESA, "Why Europe needs Galileo." [Online]. Available: http://www.esa.int/esaNA/GGG0H750NDC_galileo_0.html, May 2010.
- [22] European Commission Enterprise and Industry, "Who is involved?," *Satellite Navigation Programme*. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/programme/index_en.htm, May 2011.

- [23] J.-A. Rodriguez, G. W. Hein, S. Wallner, J.-L. Issler, L. Ries, L. Lestarcuit, A. De Latour, J. Godet, F. Bastide, T. Pratt, and J. Owen, "The MBOC modulation: a final touch for the Galileo frequency and signal plan," *Inside GNSS*, pp. 43-58. [Online], Available: <http://www.insidegnss.com/auto/1007-AvilaRodriguez-final-hires2.pdf>, Sep.-Oct. 2007.
- [24] Inside GNSS News, "European Space Agency sets date for first Galileo satellite launch: Two IOV navigation satellites will go up on October 2011," *Inside GNSS*. [Online], Available: <http://www.insidegnss.com/node/2611>, May 2011.
- [25] China National Space Administration. [Online], Available: <http://www.beidou.gov.cn/>, May 2011 (Only Chinese).
- [26] Inside GNSS News, "China reveals updated Compass/Beidou-2 GNSS signal plan," *Inside GNSS*. [Online], Available: <http://www.insidegnss.com/node/1624>, Sep.-Oct. 2009.
- [27] Inside GNSS News, "China updates Compass signal, frequency plan," *Inside GNSS*, vol. 4, no. 5, p. 18, Sep.-Oct. 2009.
- [28] Inside GNSS News, "Beihaang authors suggest TMBOC design for China's Compass B1 civil signal," *Inside GNSS*. [Online], Available: <http://www.insidegnss.com/node/2489>, Mar. 2011.
- [29] H. Takahashi, "Japanese regional navigation satellite system "The JRANS Concept", " *Journal of Global Positioning Systems*, vol. 3, no. 1-2, pp. 259-264, 2004.

약 력



유 승 수

2003년 건국대학교 전자공학부 공학사
 2005년 건국대학교 전자공학부 공학석사
 2010년 건국대학교 전자공학부 공학박사
 2010년 ~ 현재 2단계 BK21 위성항법시스템 수신기 기술 연구팀 박사후연구원
 관심분야 : 통계적 신호처리, 이동통신, 통신이론, GNSS 수신기 신호처리, GNSS 방해전파영향 및 제거



지 규 인

1982년 서울대학교 제어계측공학과 공학사
 1984년 서울대학교 제어계측공학과 공학석사
 1989년 Case Western Reserve University 공학박사
 1992년 ~ 현재 건국대학교 전자공학부 교수
 관심분야 : GPS/INS 결합항법, GPS 수신기 신호처리, 무선측위, 소프트웨어 GPS, GPS anti-jamming



김 선 용

1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사(최우등)
 1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1995년 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사
 1995년 ~ 1996년 동경대학교 생신기술연구소 박사연구원
 1996년 ~ 1998년 한국전자통신연구원 초빙연구원
 1996년 ~ 2001년 한림대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수
 2008년 ~ 2009년 University of California San Diego 방문연구원
 2001년 ~ 현재 건국대학교 전자공학부, 조교수, 부교수, 교수
 관심분야 : 통계학적 신호처리, 이동통신, 통신이론