

# GPS의 현대화와 GNSS의 미래

기창돈

서울대학교 기계항공공학부

## 1. GPS 현대화 추진 배경

GPS는, 1970년대에 JPO(Joint Program Office)가 구성된 이후, 수많은 관련 기술의 축적을 통해서 탄생되었다. 개발 초기의 NTS(Navigation Technology Satellite) 세대 위성으로부터 현재 운용되고 있는 Block IIR 위성 군, 그리고 운용 계획 중에 있는 Block IIF 위성 군들에 대해 알려진 성능들을 자세히 살펴보지 않더라도, GPS가 오래 전에 개발되어 현재는 정체되어 버린 시스템이 아님은 쉽게 알 수 있다. 그림 1은 Block IIR까지의 GPS 위성 군의 MMD(Mean Mission Duration)을 제시한 것이다.

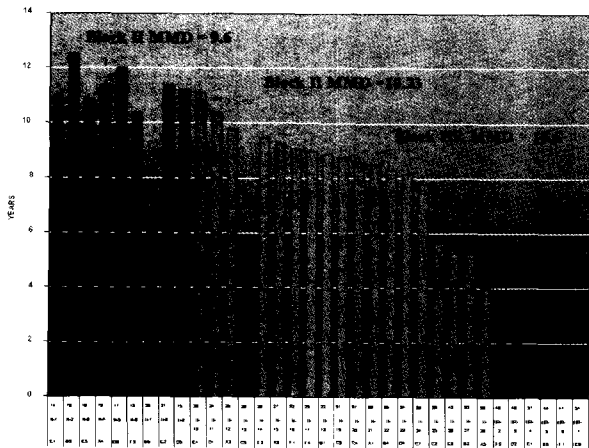


그림 1. Mean Mission Duration

이러한 개발 과정 자체가 GPS의 현대화 과정이라고 볼 수도 있을 것인데, 1999년에는 미 정부에서 몇 가지의 GPS 개선 정책들을 GPS의 현대화(GPS Modernization)라 굳이 명명하여 발표한 바 있다. 또한, 이 정책들을 적극적으로 홍보하면서 관련 연구를 유도하고 있다. 여기에는, 그간의 시스템 개선 사항들과 비교될 수 없는, 보다 혁신적인 부분들이 있고, 오늘날의 GPS가 가지는 위상을 고려한다면 자연스러운 모습이겠지만, 그것만이 전부는 아닌 것 같다.

GPS가 민간에 일부 공개된 1980년대 이후에는, 러시아의 GLONASS가 제 역할을 다 하지 못하면서, "GPS"는 "GNSS(Global Navigation Satellite System, 위성 항법시스템)" 보다 더 일반용어인 듯 인식되고 있으며,

관련 시장은 GPS에 거의 독점되다시피 했다. 이런 상황은 그 동안 GPS가 그 자체로서 전세계의 표준일 수 있도록 하였다.

그러나, 유럽 연합이 이를 견제하기 위해서 2008년을 운용 목표로 Galileo 프로젝트를 추진하면서 그간의 독점적인 자리를 흔들고 있다. 비록 후발 주자이긴 하지만, 유럽의 역량이나 그 영향력을 무시할 수 없는 미국의 입장에서 Galileo 프로젝트를 포기하도록 하거나, 또는 Galileo가 탄생하더라도 지속적으로 경쟁적 우위를 유지하기 위한 방안으로서 GPS의 현대화 정책을 마련하지 않으면 안 되었다.

이 글에서는 최근 수년간 진행되었거나, 앞으로 10년 이내에 실현될 것으로 예상되는 민간분야의 GPS 현대화 정책들을 소개한다. 그리고, 이것이 Galileo 프로젝트와 어떤 관계를 이루고 있으며 결국, 미래의 GNSS 분야에 어떠한 변화를 가져올 것인지도 추론해보도록 하겠다.

## 2. SA의 제거

군용으로 개발된 GPS가 민간에 개방되면서, 사용자들은 지구상 어디서나 자신의 위치를 알 수 있었지만, 약 100m (95%) 정도의 오차를 포함하고 있었다. 이 오차는 위성의 시계를 고의로 떨리게 하거나 잘못된 위성 궤도 정보를 제공함으로써 구현될 수 있는데, 이를 SA(Selective Availability, 고의잡음)라 한다. 이는 발생 가능한 군사적 공격에 대비한 일종의 안전장치로서, SA를 극복하고 그 이상의 정확도를 가지기 위해서는 DGPS처럼 지상에 별도의 시스템을 구성해야 했다.

1996년에는 수년 이내에 SA를 제거하기로 결정하였고, 드디어 2000년 5월 1일, 조금은 갑작스레 SA가 제거되었는데, 이로써 GPS의 민간용 L1 신호에 대해서는 완전히 개방되었다고 해도 무리는 아닐 것이다. 이 결과 민간 사용자의 위치 오차는 약 15m(95%) 정도가 되었다.

그림 1은 SA의 유무에 따른 3차원 위치 오차의 변화를 보여주고 있다. SA가 있는 경우는 그것이 GPS의 가장 큰 오차 원인으로 작용하여 비교적 짧은 시간 동안(수신 데이터는 2시간) 100m 이상의 반경 이내에서 랜덤 워크

형태로 궤적이 그려지지만, SA가 없는 경우는 전리층 지연 오차가 주요 오차 원인으로 작용하기 때문에 장시간 동안(수신 데이터는 15시간) 서서히 변화하는 형태로 궤적이 결정된다.

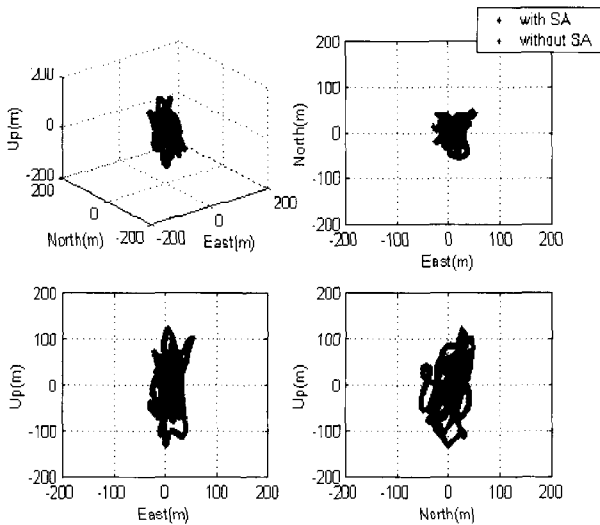


그림 2. SA 유무에 따른 오차 비교

이러한 오차 수준은 GPS의 적용 분야를 더욱 확대시킬 수 있는 원동력을 제공한다. 예를 들어, 차량 항법 시스템 분야에서는 기반 시설이 필수적인 DGPS 기술을 적용하거나, 맵 매칭(map matching), INS 센서와의 통합 기술 등을 고려하지 않고도 저 비용으로 사용자에게 높은 신뢰를 줄 수 있는 시스템의 개발이 가능해지기 때문에, 서비스 공급자나 사용자 모두에게 매력적일 수 있는 사업이 될 수 있다. 그리고, 셀룰러의 개인 위치 정보 서비스 분야에서도 비슷한 이유로, 셀룰러 망 신호와 GPS 중 후자를 선택하도록 유도하는 효과가 있을 것이다.

GPS 신호에 가장 큰 오차 원인으로 작용하였던 SA가 제거되었다고는 하지만, 여전히 항공 분야의 정밀 접근 서비스나 측량 분야에서는 차분 기법의 적용이 필요하다. 항공기 정밀 접근 서비스를 위한 시스템의 요구 조건 가운데 가장 하위의 조건인 Category-I에서는 시스템의 정확도를 수직 방향으로 4m(95%) 이하로 제시하고 있다. 이러한 수준은 사용자가 이중 주파수 수신기를 이용한다고 해도 만족시킬 수 없는 정확도이다.

SA는 GPS의 MCS(Master Control Station)에 의해서 모든 위성에 대해 순간적으로 제거된 만큼, 언제든지 필요하다면 다시 가동시킬 수도 있을 것이다. 일각에서는 미국이 군사적, 혹은 기타 필요에 의해서 언제든지 SA를 사용할 지도 모른다는 예상을 내놓기도 한다.

하지만, 그렇게 될 가능성은 거의 희박해 보인다. 2001년 9. 11 테러가 있는 직후에, GPS를 관장하는 IGEB(Interagency GPS Executive Board)에서는

SA를 다시 사용할 의도는 영원히 없을 것이라 발표한 바 있다. 앞서 기술한 바 있지만, 이러한 정책들이 궁극적으로는 GPS를 전세계적 표준으로 자리매김하기 위한 배경을 가지고 있기 때문에 국제적인 신뢰를 흐리는 방향으로 정책 변경을 하지는 않을 것이다. 단, SA를 대체할 수 있는 다른 형태의 기술을 확보하고 있을 것이란 예상을 할 수 있는데, 전문가들에 의하면, 전쟁이나 테러가 예상되는 지역에 대해서 국지적인 시스템의 성능을 저하시키는 형태가 될 것이라는 관측이다.

### 3. L2C와 L5

1999년에 발표된 GPS의 현대화 정책의 핵심은 민간 분야에서 이용할 수 있는 항법 신호 두 개를 더 추가한다는 내용이며, 바로 L2C와 L5가 그것이다. 미 정부측에서 제시하는 민간 분야의 GPS 현대화 정책 추진의 배경은 표 1과 같다.

표 1. 민간 분야 GPS 현대화 정책의 배경 (미 FAA)

Provide an ARNS (Aeronautical Radio Navigation Service) "Protected" Safety-of-Life Navigation Signal
Improve GPS Accuracy, Availability, and Integrity
Reduce the Threat of Jamming and Interference to Civil Aviation Operations
Improve GPS Capability Worldwide - Global Standardization of Navigation Services - Safety of Flight
Improve Overall GPS Capability to Support Evolving Civil Applications - Strengthen U.S. Leadership in the SatNav Industry

현재 민간에서 쓰고 있는 GPS의 신호 대역은 L1(1575.42MHz) 대역으로, C/A 코드를 기반으로 항법이 이뤄진다. L2에는 암호화된 P 코드인 Y 코드가 변조되기 때문에 이를 이용하기 위해서는 L1 신호를 기반으로 L2 코드를 정렬시키는 과정이 필요하여, L2 코드에 직접 접근할 수는 없다는 한계가 있다.

L2C의 C는 civil의 약자로, L2 대역에도 민간에 공개되는 C/A코드를 실겠다는 것인데 이는 2003년에 발사될 Block IIR 위성 군에 적용될 예정이다. 다른 하나의 민간용 신호가 L5(1176.45MHz)이다. 이는 2005년부터 발사되는 Block IIR 위성 군에 대해서 적용될 예정이며 2010년에 초기 운용, 2013년에 정상적인 운용을 목표로 하고 있다. 세부적인 사항으로서, L2C는 안전에 그다지 민감하지 않은 분야에서, 그리고 L5는 항공 분야를 포함하는 안전에 민감한 분야에서 이용될 수 있도록 신호가 설계된다.

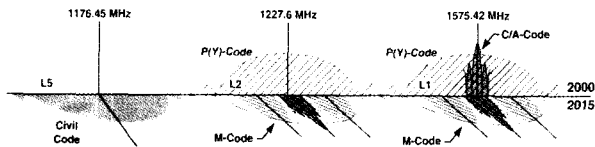


그림 3. 현재와 미래의 GPS 신호 구성

이렇게 되면 그림 3에서 제시된 것처럼 3개의 대역폭 모두에 대해서 민간에서 이용할 수 있는 신호가 존재하게 된다. 참고로, M 코드는 군사적인 목적으로 사용하기 위해 새롭게 도입되는 신호로, 시스템의 보안을 강화하고 신호 세기를 증가시켜 전파 방해(jamming)에 강건한 특징을 가진다.

L2C나 L5는 공통적으로, L1이 아닌 다른 대역에 민간 사용자가 완전히 접근할 수 있는 신호를 부여하는 것이다. GPS 다중 주파수 데이터를 처리해본 경험자라면 누구나 예상할 수 있듯이 이러한 신호 체계에서 파급되는 효과는 상당히 크다.

우선, 각 주파수 대역에서 독립적인 의사거리 측정이 가능해지므로 전리층 지연 오차를 현재보다 더 정확히 측정, 제거할 수 있다. 그리고, L2C 및 L5는 현재의 L2 신호보다 높은 파워를 제공한다. 따라서, 의도적이거나 그렇지 않은 모든 형태의 전파 방해로부터 안정적인 반송파의 측정이 가능해진다. 이로부터, RTK(Real Time Kinematic)에서 이용되는 wide-laning 기법이 안정적으로 적용될 수 있으며, 세 개의 주파수 대역에 대해서 tri-laning등을 고려할 수도 있다.

이 두 가지의 획기적인 변화는 한마디로 표현한다면 GPS 무결성(integrity)과 가용성(availability) 성능의 비약적인 향상이라 할 수 있다. SA 이후의 최대 오차 요인인 전리층 지연 오차를 정확히 제거함으로써 예상치 못한 오류의 발생을 더욱 손쉽게 발견하고 제거할 수 있다. 그리고, RTK의 최대 맹점인 integer ambiguity에 대한 통계 검증 절차의 신뢰도를 충분히 높일 수 있다. 또한, 사용자 단독으로 높은 정확도의 위치 결과를 얻는 것은 물론이고, 차분 기법을 이용하는 분야에서도 지상 기준국의 서비스 영역을 현재의 100km(코드), 10km(반송파)보다 더욱 넓힐 수 있는 장점이 있다.

그림 4와 5는 미국의 WAAS의 단일 주파수 사용자와 이중 주파수 사용자에 대해서 각 지역에서의 시스템 가용성을 비교한 것이다. 단일 주파수 사용자에 대해서는 알래스카 등의 미국 본토와 떨어져 있는 지역에 대해서는 원하는 성능을 낼 수 없지만, 이중 주파수 사용자에 대해서는 캐나다와 멕시코를 포함하는 북미권 전역에 대해서 이용 가능함을 보여주고 있다. L2C 및 L5 신호의 추가로 인해서 민간 사용자 부문에서도 다중 주파수 이용률이 더 증가할 것으로 예상되고, 이는 WAAS, EGNOS 등으로 대변되는 SBAS(Satellite-Based Augmentation System)의 서비스

영역을 확대하고 전 지구적 보강(augmentation) 시스템의 탄생을 더욱 앞당길 것으로 판단된다.

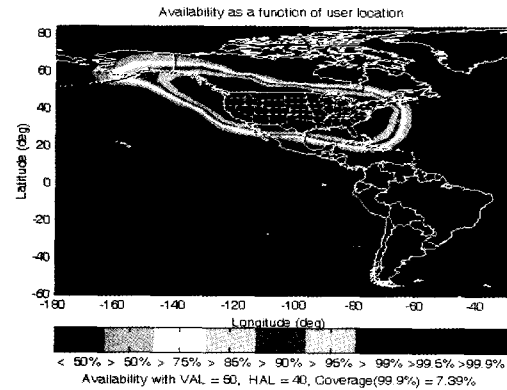


그림 4. WAAS의 가용성 (단일 주파수 사용자)

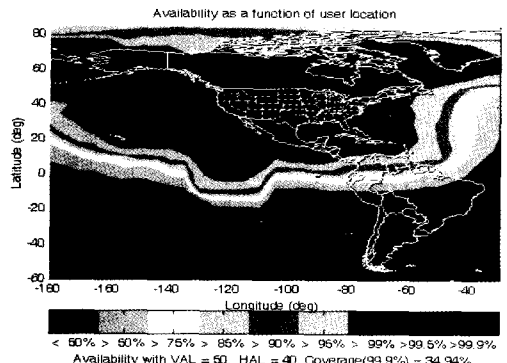


그림 5. WAAS의 가용성 (이중 주파수 사용자)

#### 4. GNSS의 미래

Galileo는 GPS보다 많은 30개의 위성을 기반으로 하고 2008년 운용을 목표로 하고 있다. Galileo는 후발 주자인 만큼 시스템 개발의 의미와 존재 가치에 대해서 무척이나 신경을 쓰고 있다. 그들의 주장은 GPS와 달리 Galileo는 처음부터 순수 민간용으로 개발되고 있으며 "무결성 메시지(Integrity Message)"를 별도로 제공하기 때문에 더 신뢰성이 높고 연속성을 보장할 수 있다는 것이다. 그러면서도 한편으로는 GPS와 Galileo가 단독으로 존재하는 경우와 공존하는 경우의 위치 정확도를 비교 분석하는 등 두 시스템의 공존과 상호 운용성을 강조하는데 많은 노력을 할애하고 있다.

2000년 WRC(World Radiocommunication Conference)에서는 Galileo에 이용될 주파수를 할당하였는데, 미국은 이 주파수들이 GPS의 L1 대역과 현대화 과정에서 추진하는 L5 대역에서 시스템간에 전파 간섭이 발생할 가능성이 있다는 주장이다(그림 6, 7).

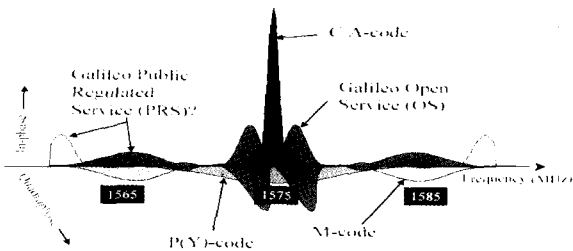


그림 6. L1대역의 GPS/Galileo 신호 스펙트럼

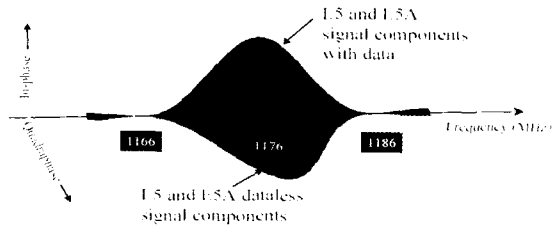


그림 7. L5대역의 GPS/Galileo 신호 스펙트럼

아직 Galileo의 신호 설계가 확실히 정의되지 않은 상태에서 속단할 수는 없지만, L5와 E5A의 경우, GPS L5의 향상된 신호 설계와 높은 파워로 두 신호의 공존이 가능할 수 있는 반면, L1 대역에 포함될 예정인 GPS M코드와 Galileo의 PRS(Public Regulated Service 군사적인 목적이 아니라는 점을 제외하고 GPS의 P코드와 유사) 코드가 간섭을 일으킬 가능성이 있고, GPS L1 C/A 코드의 경우 SNR이 조금 떨어질 수 있다는 것이 일반적인 관측이다.

2003년의 WRC, 혹은 그 이후까지도 참여한 논의는 계속 될지 모른다. 이로 인하여 GPS의 현대화 정책이나 Galileo의 개발, 운용 일정이 늦춰질 수는 있지만, 양쪽의 비슷한 국제 사회에서의 위상과 그에 따르는 위성항법시스템 기술력을 고려한다면 힘의 평형이 깨질 가능성은 희박하다. 그럼에도 불구하고, 보안이나 안전이 중요한 분야에서는 독점적이며 백업 시스템이 없다는 점을 우려하며 관련 기술의 도입을 망설이고 있다. 수년 이내에 이러한 상황은 타개될 것이고, GNSS는 그런 분야에서 필수 요소로 작용할 것이다.

**참고 문헌**

1. <http://www.igeb.gov>
2. <http://gps.faa.gov>
3. <http://www.icao.org>
4. <http://www.rtca.org>
5. <http://www.galileo-pgm.org>
6. Scott Pace and et.al., "Crossroad How will Satellite-Based Navigation and Timing Move into the Next Millenium?". Proceedings of Institute of Navigation GPS-99, Plenary Session, 1999.

7. Rob Conley and John W. Lavrakas, "The World after Selective Availability". Proceedings of Institute of Navigation GPS-99, pp.1353-1361, 1999.
8. Daniel Martens and Donald Letterman, "Stewardship and GPS Modernization One Step o the Road to the Future", Proceedings of Institute of Navigation GPS-99, pp.1747-1754, 1999.
9. Terry McGurn and et. al., "GNSS Signal Compatibility and Interoperability", Proceedings of Institute of Navigation GPS 2002, Plenary Session, 2002.
10. Per Enge, "Global Navigation Satellite Systems in the United States", 4<sup>th</sup> SNU-Stanford Workshop, 2002.
11. Per Enge, "Augmentation Technology & Test Results", 4<sup>th</sup> SNU-Stanford Workshop, 2002.

**저자소개**



**〈기 창 돈〉**

- 1984년 서울대학교 항공공학과 (공학사).
- 1986년 서울대학교 항공공학과 (공학석사).
- 1994년 미국 스탠포드대학교 항공우주공학과 (Ph.D.).
- 1994년~1995년까지 미국FAA의 기술고문.
- 1994년~1996년까지 미국 Differential Correction, Inc. 자문위원.
- 1996년~현재까지 서울대학교 기계항공공학부 교수로 재직 중.
- 1997년~2000년까지 국제항법학회(Institute of Navigation) 아시아 대표.
- 1997년~현재까지 건교부 위성항행시스템위원회 자문위원.
- 1998년~현재까지 행자부 정책자문위원회 자문위원.
- 1999년~현재까지 건교부 서울지방항공청 설계자문위원회 위원.
- 1999년~현재까지 International Association of Geodesy, IAG SSG1.179 Working Group on Wide Area Modeling for Wide Area Modeling for Precise Satellite Positioning 기술자문위원.
- 주요 관심분야 : 지역/광역 보정위성항법시스템, RTK, 항공기/우주비행체 자세결정시스템, 항공기 자동착륙 유도제어시스템, 실내용 자동항법시스템, 항공기 교통관제시스템 등.