

## 차세대 광역위성항법시스템의 측위 기법별 정확도 Positioning Accuracy of Next Generation GNSS according to Positioning Mode

허민<sup>1)</sup>, 이용욱<sup>2)</sup>, 배경호<sup>3)</sup>, 김경중<sup>4)</sup>

Heo, Min · Lee, Yong-Wook · Bae, Kyoung-Ho · Kim, Kyung-Joong

<sup>1)</sup> 정회원, 대한측량협회 측량정보기술연구원 (heomin@kasm.or.kr)

<sup>2)</sup> 정회원, 대한측량협회 측량정보기술연구원 (ywlee@kasm.or.kr)

<sup>3)</sup> 정회원, 대한측량협회 측량정보기술연구원 (khbae@kasm.or.kr)

<sup>4)</sup> 정회원, 대한측량협회 측량정보기술연구원 (kjkim@kasm.or.kr)

### Abstract

2008년 서비스 제공을 목표로 진행 중인 유럽의 Galileo 시스템은 최초의 순수 민간 목적으로 제작되는 광역위성항법시스템(GNSS : Global Navigation Satellite System)이다. 현재 GPS의 SA는 제거되었지만, 군사 목적뿐만 아니라 차량 및 항공 항법, 토목 건설 분야, 텔레메틱스를 통한 민간 활용의 증가로 인해 위성측위에 있어 미국의 의존도는 그 어느 때보다 높은 실정이다. 이에 따른 전략적, 기술적 의존은 절대적이며 잠재적인 위협 요소를 포함하고 있다. 이에 본 논문에서는 자체 개발한 소프트웨어를 이용하여 향후 제공될 유럽의 Galileo 시스템을 국내 적용 시뮬레이션하였으며 그 결과를 바탕으로 GPS 단독 처리의 한계를 제시하며 이를 극복할 수 있는 대안으로 Galileo 시스템에 대하여 연구하였다. 이를 통하여 러시아의 GLONASS를 포함하여 다원화되어가는 광역위성항법시스템의 안정적인 측위 환경에 대한 연구가 그 목적이다.

## 1. 서론

인류 역사가 시작되면서 인간은 원하는 지점의 정확한 위치를 알고자 수많은 노력을 경주해왔다. 현대 사회에 접어들면서 급속한 과학 기술의 발달과 인간의 이런 욕구를 만족하기 위하여 새로운 개념의 측위시스템을 개발하기 시작하였다. 과거 단순한 각과 거리에 의한 측위기법이 아닌 우주 공간에서 위치정보를 제공할 수 있는 광역위성항법시스템(GNSS : Global Navigation Satellite System)은 사용자에게 비교적 저렴한 가격으로 전 세계 어느 곳에서나 그리고 언제나 위치정보를 제공할 수 있다.<sup>1)</sup>

미국 주도의 GPS를 견제하기 위해 러시아는 이미 GLONASS(GLObal Navigation Satellite System)를 구축하였으며<sup>2)</sup>, 후속 주자인 유럽 연합도 Galileo로 명명된 새로운 GNSS를 추진하고 있으며 2008년도부터 본격적인 서비스를 제공할 계획에 있다. 각국에서 새로운 GNSS를 준비하는 이유는 과거 SA(Selective Availability)와 같은 미국 주도의 GPS에 종속되지 않고 기술적, 전략적으로 독자적인 GNSS를 구축하기 위함이다.

따라서 본 논문에서는 미국 주도의 GPS에 의존할 수밖에 없었던 기존의 GNSS에서 탈피하기 위한 Galileo 위성의 기대효과에 대한 연구를 수행코자 한다. 이를 위해 차세대 GNSS에 대하여 이론적 고찰을 수행하였으며, GNSS 알고리즘 개발에 주력하였고 그 결과 GIMS2005로 명명된 GNSS 처리용 프로그램을 개발하였다. 이를 바탕으로 기존의 GPS에서 향상될 GNSS 영향에 대해 분석하고자 한다. 먼저 차세대 GNSS 위성의 기하학적 분석을 위해 GPS 단독처리와 GPS+Galileo의 결합형태를 비교 분석함으

로써 증진된 차세대 위성항법시스템을 연구하고, 또한 GPS와 Galileo 신호 특성을 이용하여 의사거리와 반송파를 이용한 측위정확도 평가에 본 논문의 목적이 있다. 아래 Fig. 1은 Galileo 시스템 분석을 위한 연구흐름도를 나타내고 있다.

## 2. 유럽의 Galileo 계획

Galileo 계획은 유럽을 중심으로 추진 중인 차세대 위성항법 시스템으로 GNSS-2로도 알려져 있다. 유럽의 위성항법계획은 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)로 알려진 GNSS-1로부터 시작되었다. EGNOS의 운용은 GPS와 GLONASS의 상황에 종속될 수 밖에 없으므로 신호의 유용성과 신뢰성을 보장할 수 없어 GNSS 서비스에 한계가 있다고 판단하여 1999년 7월 유럽연합은 EGNOS과 아울러 유럽 독자의 위성항법시스템 구축계획을 시작하였다. 이 결과로 전 세계를 대상으로 하는 Galileo 계획이 수립되었고 "Galileo must be an open, global system, fully compatible with GPS, but independent from it"을 표방하고, 현재 위상 B2 (Mission Consolidation and Finalization of Preliminary Design)가 진행 중이다. 2003년 3월의 PSDR (Preliminary System Design Review)에서 시스템의 형태가 구체화되었으며, 2005년까지의 발전 및 확장 단계를 거쳐, 2006~2007년 사이에 위성궤도를 완성하고, 2008년부터 FOC(Full Operational Capacity)를 제공할 예정이다.<sup>3),4),5),6),7)</sup>

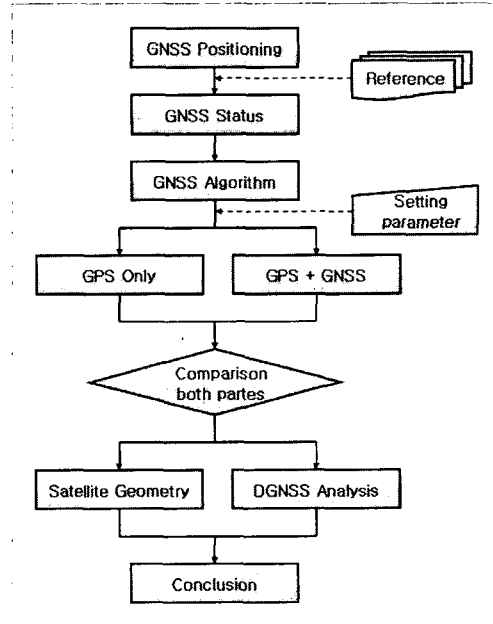


Fig. 1. Flowchart of study

### 2.1 Galileo 시스템 및 신호

Galileo 시스템을 구성하고 있는 전체 시스템의 구성은 우주부(Global component), 지상부(Local components), 그리고 사용자부(User receiver and terminals)로 크게 세 구분으로 구성되어 있으며 아래 Fig. 2에서 묘사하였다. 우주부는 3개의 궤도위성위에 30기(27 + 3 active spares)의 항법위성으로 구성되는 우주부와 항법위성들을 모니터링하고 서비스를 제공하는 지상통제부를 포함한다. 지상부 구성요소는 정확도, 가용성, 연속성, 무결성 등에 대하여 부가적인 성능이나 기능을 더하여 지역적인 서비스를 제공하기 위하여 필요한 구성요소이다. 이러한 지역적인 정보도 위성신호를 통하여 제공된다.

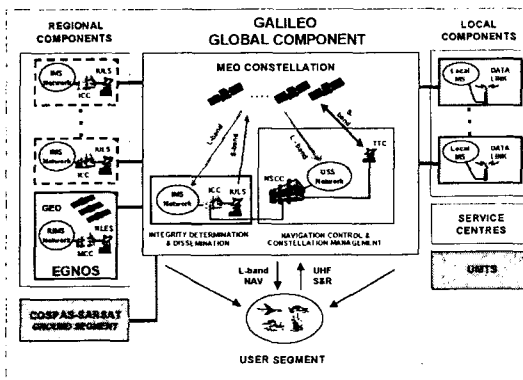


Fig. 2. Composition of Galileo system

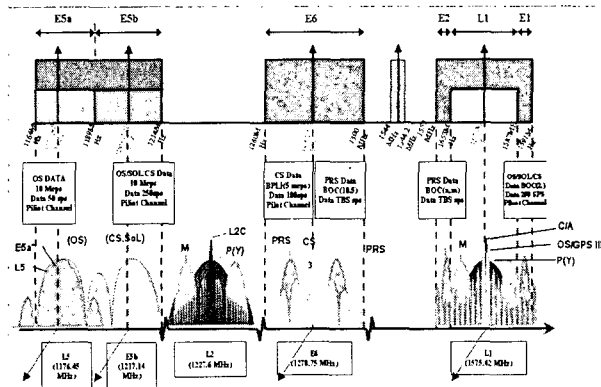


Fig. 3. Frequency of GPS, GLONASS and Galileo

Fig. 3에서는 Galileo, GPS, GLONASS 위성의 신호를 나타내고 있다. 2개의 주파수대역은 Fig. 3과 같이 GPS와 겹치게 되어 있다. 한편, 3개의 반송파에는 총 10개의 신호 (OS, SoL : 6개 , CS : 2개 , PRS : 2개)가 전송되도록 설계되어 있다.

### 3. GPS와 Galileo 측위 성능 분석

본 절에서는 차세대 GNSS의 실질적인 영향을 분석하기 위해 측위기법별 처리를 수행하였으며 향후 제공될 차세대 GNSS의 영향을 분석하였다. 차세대 GNSS인 현대화된 GPS의 L2 민간용 신호와 Galileo 신호를 가상으로 생성하여 각 측위기법별 수평, 수직 정확도를 평가하였으며 단독측위(SPP : Single Point Positioning)와 의사거리를 이용한 상대측위(DGNSS : Differential Global Navigation Satellite System), 그리고 반송파를 이용한 상대측위별로 분석하였다. 실험 대상지역은 부산시 강서구 일대로 하였으며 관측시기는 2004년 8월 1일로 설정하였다. 위성수신고도각은 30°로 설정하였다. Galileo 위성배치는 3개의 원형궤도에 30개의 궤도위성으로 구성하였으며 적도면과 54° 경사각과 고도 23,000km 그리고 위성의 궤도주기는 14시간 21분 6초로 계획하였다.

#### 3.1 단독측위 성능 분석

단독측위를 수행하기 위해 먼저 기지점의 성과를 이용하지 않는 정적단독측위(SSPP : Static Single Point Positioning)의 정확도는 아래 그림과 같다.

Fig. 4는 정적단독측위 시 2시간에 대한 가시위성수를 도시한 것이다. 주목할 점은 GPS 단독측위는 초기관측시간 약 37분 동안은 가시위성수가 4개 이하로 떨어지면서 위성측량이 불가능함을 알 수 있었다. 하지만, GPS/Galileo 결합 관측 시에는 7개에서 10개의 위성 수를 관측할 수 있었으며 이는 도심지와 같은 극심한 차폐 환경에서도 위성측량이 가능함을 나타내고 있다.

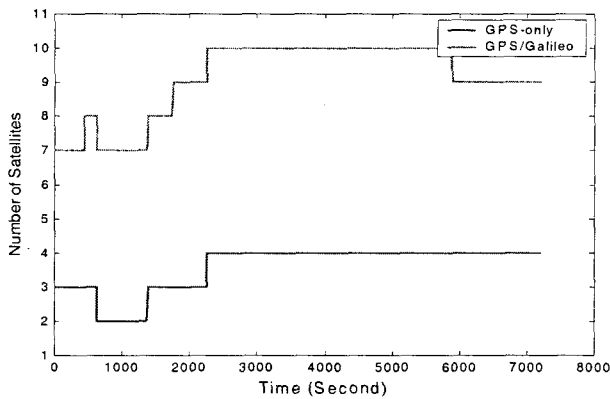


Fig. 4. Available satellite numbers of Static SPP according to cutoff 30°

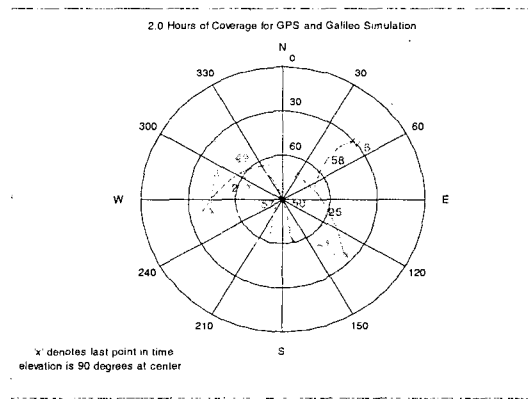


Fig. 5. Skyplot of GPS+Galileo of Static SPP according to cutoff 30°

Fig. 5에서는 관측기간 동안의 위성궤적을 도시한 것이다. 1~30까지는 GPS 위성을 나타내고 있으며, 40~70까지는 Galileo 위성을 나타내고 있다.

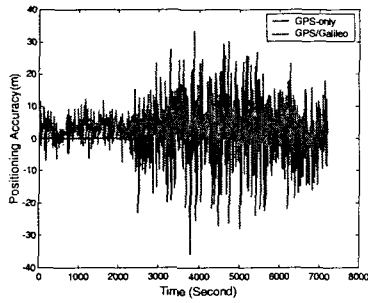


Fig. 6. X axis error of Static SPP according to cutoff 30°

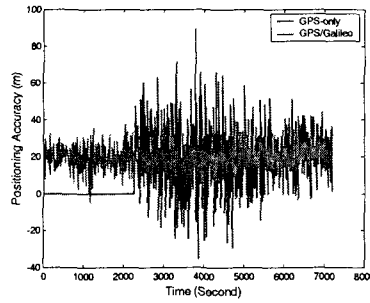


Fig. 7. Y axis error of Static SPP according to cutoff 30°

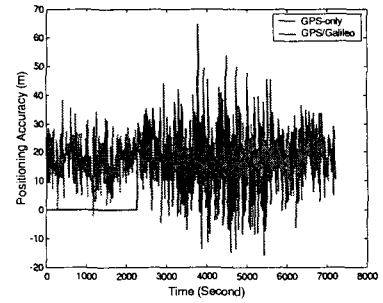


Fig. 8. Z axis error of Static SPP according to cutoff 30°

Fig. 6은 고도각 30° 일 때의 정적단독측위의 X축 정확도를 도시한 것이다. GPS 단독처리 시에는 약 37분 이후부터 측위가 가능하며 평균오차는 1.034m이었으며 표준편차는 9.262m임을 알 수 있었다. 하지만 GPS/Galileo 결합 시에는 실험의 전 기간에 걸쳐 측위가 가능함을 알 수 있었으며 평균오차는 3.470m이고 표준편차는 4.717m 감소한 4.545m임을 알 수 있었다. Fig. 7은 Y축 정확도를 도시한 것으로 GPS 단독처리 시 초기 37분 동안은 측위가 불가능하였으며 평균오차는 13.793m, 표준편차는 17.481m이었다. GPS/Galileo 결합 시에는 평균오차가 19.001m이고 표준편차는 6.434m로 나타난다.

Fig. 8은 Z축 정확도를 도시한 것으로 GPS 단독처리 시에는 역시 37분간 측위가 불가능하였으며 평균오차는 12.486m, 표준편차는 13.205m이었다. GPS/Galileo 결합 시에는 평균오차가 17.039m이고 표준편차는 7.433m 감소한 5.772m로 나타난다.

### 3.2 의사거리를 이용한 차분측위 분석

의사거리를 이용한 차분측위를 분석하기 위해 먼저 사용자 수신기(User Receiver)에서 약 1.0km 떨어진 곳에 기준 수신기(Reference Receiver)를 설치하였다. 단일 차분 원리에 근거하여 수행하였으며 이를 위해서는 두 대의 수신기로부터 동일한 위성을 동시에 추적하여야 한다.

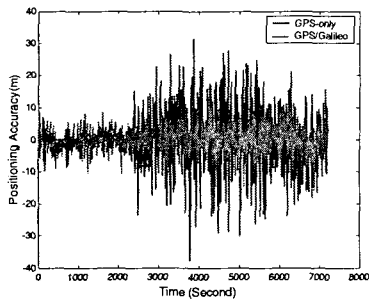


Fig. 9. X axis error of Static DGNSS according to cutoff 30°

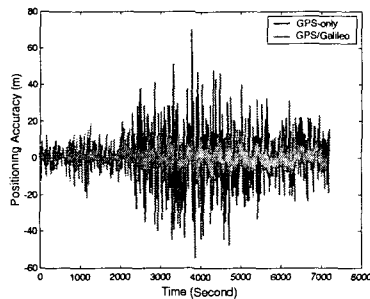


Fig. 10. Y axis error of Static DGNSS according to cutoff 30°

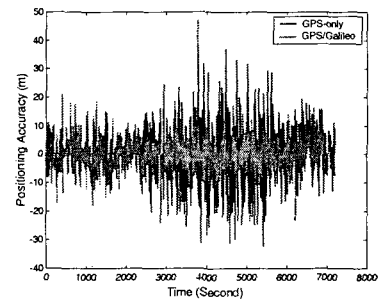


Fig. 11. Z axis error of Static DGNSS according to cutoff 30°

Fig. 9는 고도각 30° 일 때의 정적 차분측위의 X축 정확도를 도시한 것이다. GPS 단독처리 시에는 약 37분 이후부터 측위가 가능하며 평균오차는 -0.133m이었으며 표준편차는 9.225m임을 알 수 있었다. 하지만 GPS/Galileo 결합 시에는 평균오차는 -0.121m이고 표준편차는 4.805m 감소한 4.420m임을 알 수 있었다. Fig. 10은 Y축 정확도를 도시한 것으로 GPS 단독처리 시 초기 37분 동안은 측위가 불가능하였으며 평균오차는 0.149m, 표준편차는 14.692m이었다. GPS/Galileo 결합 시에는 평균오차가 0.048m이고 표준편차는 6.174m로 나타난다. Fig. 11은 Z축 정확도를 도시한 것으로 GPS 단독처리 시에는 역시 37분간 측위가 불가능하였으며 평균오차는 0.277m, 표준편차는 10.060m이었다. GPS/Galileo 결합 시에는

평균오차가 0.174m이고 표준편차는 4.378m 감소한 5.682m로 나타난다.

이상의 결과로 도심지 등과 같은 극심한 차폐환경에서도 GPS에 의한 측위는 수행되지 못하지만, GPS/Galileo 결합 형태는 측위가 가능함을 알 수 있었다.

### 3.3 반송파를 이용한 차분측위 분석

반송파를 이용한 측위는 미지정수의 결정이 측위정확도에 큰 영향을 주므로 빠른 시간에 이루어져야 한다. 그리고 반송파 위상을 이용한 측위에는 3가지 유형의 해가 있다. 하나는 미지정수의 결정을 통해서 구한 차분보정해(differential corrected positions), 둘째는 미지정수는 결정되지 않았지만 위치결정이 가능한 실수해(float positions), 마지막으로 미지정수가 결정되지 못한 단독측위해(autonomous positions and raw data)가 있다.

실시간 차분측위를 수행하기 위해서는 기준 수신기와 사용자 수신기 사이의 통신 링크가 필요하며, 이를 통해 기준 수신기의 원시관측값 혹은 보정값을 사용자 수신기로 전송하여야 하지만 본 실험에서는 기준 수신기의 보정값을 생성하여 전송함을 전제하고 있다.

본 실험에서는 반송파를 이용한 차분측위(OTF)로 구한 궤적을 생성하기 위해 모든 해는 미지정수를 결정한 차분보정해로 간주하였으며 관측시간은 4시간 즉, 14,400초 동안 정지측량을 수행하였으며 X, Y 그리고 Z축에 대한 정확도를 산출하고 평균오차와 표준편차를 구하여 GPS 단독처리 일 때와 GPS/Galileo 결합에 의한 처리를 비교 분석하였다.

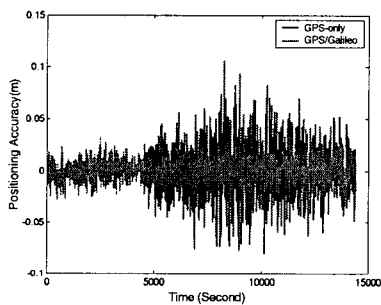


Fig. 12. X axis error of Static RTK according to cutoff 30°

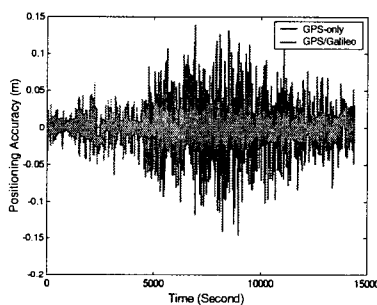


Fig. 13. Y axis error of Static RTK according to cutoff 30°

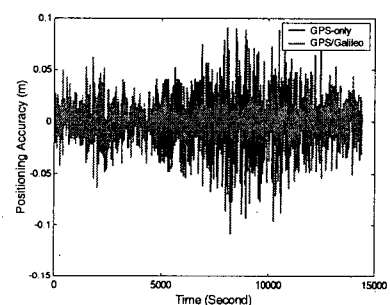


Fig. 14. Z axis error of Static RTK according to cutoff 30°

위성수신 고도각 30°의 경우에서 반송파 관측값을 이용한 차분측위의 성과를 도출할 수 있었다. Fig. 12에서는 X축에 대한 정확도를 도시하였으며 GPS 단독처리에서 평균오차는 약 0.0001m, 표준편차는 약 0.0229m임을 알 수 있었다. 또한 GPS/Galileo 결합처리에 의한 정확도는 평균오차가 0.000015m, 표준편차가 약 0.0109m임을 알 수 있었다. Fig. 13은 Y축에 대한 정확도를 도시한 것으로 GPS 단독처리 시에는 평균오차가 약 0.0004m, 표준편차가 약 0.0362m이었으며, GPS/Galileo 결합처리 시에는 평균오차가 약 -0.0002m, 표준편차가 약 0.0153m임을 알 수 있었다.

Fig. 14는 Z축에 대한 정확도를 도시한 것으로 GPS 단독처리 시에는 평균오차가 약 -0.0001m, 표준편차가 약 0.0247m이었으며, GPS/Galileo 결합처리 시에는 평균오차가 약 0.00002m, 표준편차가 약 0.0144m임을 알 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 GPS 단독처리의 한계성을 향상시키기 위하여 향후 제공될 차세대 GNSS인 Galileo의 이론적 분석을 통해 GIMS2005로 명명된 해석 프로그램을 개발하였으며, 이를 적용하여 GPS 단독처리와 GPS/Galileo 조합에 의한 처리 방법에 대한 비교분석을 수행하였으며 동시에 측위기법별 분석을 수

행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구를 위하여 자체 개발한 GIMS2005와 상업용 프로그램을 비교 분석한 결과 범지구적 분석과 국부지역의 24시간 분석을 통해 자체 개발한 GIMS2005 분석 프로그램의 활용가능성을 입증하였다.
2. 위성수신고도각을 30°로 설정한 결과 초기 37분간은 GPS 단독처리 시에는 관측 가능한 최소 4개의 위성을 확보하지 못하였지만 GPS/Galileo 결합에 의한 처리는 전 시간에 걸쳐 양호한 가시위성수를 확보할 수 있었다. 이는 도심지와 같은 극심한 차폐 환경에서도 GPS 측량의 한계를 극복할 수 있는 대안임을 알 수 있다.
3. 측위 기법별 분석에서는 GPS 단독 처리에 의한 방법과 GPS/Galileo 결합에 의한 방법으로 분석하였다. 그 결과 GPS 단독에 의한 처리보다는 두 시스템의 결합 방식이 평균 오차가 낮게 나타남을 알 수 있었으며 또한 측위 정확도면에서도 낮은 표준편차를 획득함을 알 수 있었다. 이는 향후 제공될 Galileo 위성이 단순한 위성 수의 양적인 증가만이 아닌 위성측량의 질적인 증대에도 기여함을 알 수 있었다.

## REFERENCES

- 1) Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins, J., "Global Positioning System Theory and Practice" Fourth, revised edition, Novographic. Ing, pp. 1~3
- 2) 조규전, 공종덕, 최일훈, "위성항법 측위에서 GLONASS가 미치는 영향에 대한 연구", 한국측량학회 논문집 제20권 제4호, 2002, pp. 359~366
- 3) Hein G., J. Godet, J. Issler, J. Martin, R. Lucas-Rodriguez and T. Pratt, "The Galileo Frequency and Signal Design", Pro. of ION GPS 2001, 2001, pp. 1273~1282
- 4) R. Dellago, JM. Pieplu, R. Stalford, Galileo Industries, "The Galileo System Architecture at the End of the Design Phase" ION GPS/GNSS 2003, 9-12 September 2003, Portland, OR, pp. 978~990
- 5) Guenter W. Hein and Thomas Pany. "Architecture and Signal Design of the European Satellite Navigation System Galileo-Status Dec.2002", Journal of Global Positioning System, Vol. 1, No. 2, 2002, pp. 73~84
- 6) R. Zandbergen, "Galileo Orbit Selection", ION GNSS 17th International Meeting of the Satellite Division, 21-24 Sept. 2004, pp. 616~623
- 7) 유럽우주청 홈페이지 (<http://www.esa.int>)