

GPS와 Galileo 조합에 의한 측위 성능 분석

송연경* · 손호웅** · 안상준*

*동아대학교 토목공학과

**배재대학교 건설환경 철도공학과

Performance Analysis of Positioning on Combined GPS and Galileo

Yunkyung Song*, Howoong Son** and Sangjun Ann*

*Dept. of Civil Eng., Dong-A Univ.

**Dept. Construction, Environ and Railroad Eng., Paichai Univ., Korea

요 약

최근 인간의 지적 욕구 충족과 급속한 과학 기술의 발전으로 새로운 측위 시스템인 광역위성항법시스템이 개발되었다. 위치정보 산업은 과거 군사적인 목적뿐만 아니라 민간 목적으로 폭넓게 사용되고 있다. 이는 차량 및 항공 항법, 토목 공사, GIS의 자료원, 텔레매틱스, 위치기반서비스 등에서 단순한 측위 시스템의 기능이 아닌 사회 기반 시설의 역할을 담당하고 있다. 미국에 의한 고의적 잠음은 해제되었지만, GPS의 독점과 의존은 절대적이다. 이에 본 연구에서는 순수 민간 목적으로 제작되고 서비스 할 예정인 차세대 GNSS인 유럽의 Galileo의 영향을 연구하기 위해 소프트웨어를 개발하였으며 이를 바탕으로 측위 기법별 분석을 통해 우리나라에 미치는 실질적인 영향을 분석하였다. 또한 위성수신고도각을 높게 설정하여 도심지와 같은 차폐환경에서 GPS 단독처리에 의한 방법보다 GPS/Galileo 조합 형태의 우수성을 입증하였다.

주요어

GPS, Galileo, 광역위성항법시스템, SA

ABSTRACT

Nowadays, Global Navigation Satellite System(GNSS) which is the new concept of positioning system has been developed because of satisfaction human's intelligent desire and rapid science development. GNSS which is represented by GPS provides 3-Dimension positioning information not expensively in whenever, wherever. The industry of positioning information has extending civil market widely as well as military market. So GNSS is running the role of society infra structure including car and airborne navigation, civil engineering, GIS resource, telematics and LBS, and so on. As USA removes the SA(Selective Availability), GPS has monopolizing the market and other countries have been depended on GPS, absolutely. In this paper, the author developed the software for analysis of influence using next generation, Galileo system. The local analysis was performed according to positioning mode. And GPS/Galileo combined system can implement positioning in the worst mask environment like urban cannon.

Key words

GPS, Galiloe, GNSS, Selective Availability(SA)

1. 서 론

GPS로 대표되는 광역위성항법시스템(GNSS : Global Navigation Satellite System)의 우월성은 다른 측위시스템에 비해 사용자에게 언제, 어느 곳에서나 저렴한 가격으로 비교적 정확한 3차원 위치정보를 제공할 수 있다. 다른 측위시스템인 자이로(Gyroscope), 지자기 센서(Magnetic), 가속도계(Accelerometer) 그리고 주행기록

계(Odometer) 등의 관성/비관성 측위시스템은 시간에 따른 오차 누적이 발생하여 고정밀 측위를 위해서는 더 많은 연구가 요청된다.(Kachmar, 1995; 이홍식 외, 2005) 미국 정부가 GPS에 대한 고의적 잠음(SA : Selective Availability)을 해제한 이후로 GPS는 항공, 해상, 차량 항법뿐만 아니라, 토목 건설 분야 등 민간부분에서 폭넓게 사용되고 있으며, 특히 최근에는 텔레매틱스, 위치기반서비스(LBS : Location Based Service) 등의 이동통신

Corresponding Author : 손호웅 (hshon@hanmail.net)

원고접수일 : 2007년 1월 23일 게재승인일 : 2007년 2월 27일

과 결합한 실시간 이동체의 위치정보가 새로운 산업으로 각광받고 있다(강준목 외, 2004; Parkison 외, 1995).

미국 주도의 GPS를 견제하기 위해 러시아는 이미 GLONASS(GLObal Navigation Satellite System)를 구축하였으며, 후속 주자인 유럽 연합도 Galileo로 명명된 새로운 GNSS를 추진하고 있으며 2008년도부터 본격적인 서비스를 제공할 계획에 있다. 또한 일본에서도 준천정위성시스템을 준비하고 있다. 이처럼 각국에서 새로운 GNSS를 준비하는 이유는 과거 SA(Selective Availability)와 같은 미국 주도의 GPS에 종속되지 않고 기술적, 전략적으로 독자적인 GNSS를 구축하기 위함이다. 우리나라도 2005년 2월 제4차 과학기술장관회의에서 국가적 차원에서 Galileo 프로젝트의 추진주체인 EU의 정부와 유럽우주청(ESA)이 참여하는 GJU(Galileo Joint Undertaking)에 참여하기로 결정을 하였다. 기존의 GPS에 추가되는 Galileo에 의한 기대효과는 GPS를 포함한 다원화된 GNSS 서비스 및 정보인프라의 안정적인 공급을 제공 받을 수 있다. 또한 위성과 수신기에 대한 기술 축적이 가능하며 이를 바탕으로 향후 국가 인프라 산업에 기여할 수 있다(Alves, 2001; Hewitson 외 2004).

2. Galileo 프로젝트

2.1 Galileo 시스템

Galileo 시스템을 구성하고 있는 전체 시스템의 구성은 우주부(Global component), 지상부(Local components), 그리고 사용자부(User receiver and terminals)로 크게 세 부분으로 구성될 것이다.

2.2 Galileo 위성 및 서비스

그림 1과 같이 약 56° 기울어진 3개의 궤도에 30개의 궤도위성(MEO : Middle Earth Orbit)으로 구성될 것이라는 예측된다. 위성의 높이는 지구에서 23,616km이고 궤도 주기는 14시간 21분 6초 정도로 예상하고 있다. 3개의 궤도면에 9개의 위성을 고르게 배치하고 위성의 고장에 대비하여 하나의 예비위성 하나를 배치하여 궤도당 10개의 위성 배치가 논의되고 있다(Duttin 외, 2002; Zandbergen, 2004).

GALILEO DATA

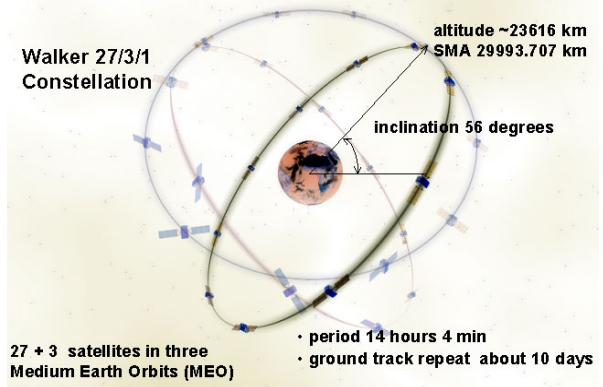


그림 1 Galileo 위성.

Galileo의 서비스는 기본적으로 무료로 개방 서비스를 할 예정이며, 또한 조합 서비스 형태로 다른 GNSS 시스템과 서로 호환될 수 있도록 설계될 것이다. Galileo 서비스의 최종목적은 개방 서비스(Open Service), 상업용 서비스(Commercial Service) 그리고 조합 서비스(Combined service)를 통해 다른 차원의 높은 질의 서비스를 제공함과 동시에 위성항법시스템의 약점을 보완하는데 그 목적이 있다.

3. 관측값의 모델링

수신기에 수신되는 GPS 위성신호는 그 세기가 미약하고 상대적으로 일정하다. 이는 신호의 송신기가 수신기로부터 아주 멀리 떨어지고 또한 상대적인 거리변화가 대부분 위성에 설치되어 있기 때문이다. 이에 반하여 Galileo 위성신호는 가상의 기하학적 배치이므로 수신기와 위성의 거리에 상관없이 항상 일정한 신호강도로 계산되어진다. 따라서 GPS와 호환성이 있는 신호를 송신하는 Galileo를 사용하는 경우 그 관측값의 모델링 방법이 GPS와 유사함을 알 수 있다.

GPS와 Galileo 측위의 성능은 위성 관측값들에 의해서 결정되어지며, 가장 일반적인 GPS와 Galileo 관측값은 의사거리와 반송파이다(In-Su Lee 외, 2004).

3.1 의사거리 관측값

의사거리는 신호의 송신된 시간과 수신기에서 수신

된 시간차에 빛의 속도를 곱하여 얻어진다. 만약 수신기와 송신기(즉, GPS 위성 혹은 Galileo)의 시간이 정확하게 동기 되어 있다면, 이렇게 얻어진 의사거리는 송신기와 수신기 사이의 정확한 거리가 될 것이다. 하지만 GPS 위성과 Galileo 위성 그리고 수신기의 시계가 각기 다른 정확도를 가지고 있기 때문에 정확한 시각동기가 불가능하다. 이러한 시각동기의 불확실성은 신호도달 시간측정에 의한 송신기와 수신기 사이의 거리 결정에 오차를 유발하기 때문에 의사거리(pseudo-range)라 부른다. 또한 신호가 송신기에서부터 수신기에 도달하는 동안 여러 요인들에 의해 오차가 유발되며 이들을 고려한 GNSS 의사거리 관측값은 아래와 같이 수학적으로 표현될 수 있다.

$$R_i^s = \rho_i^s + d\rho_i^s + c(dt^s - dT_i) + di_i^s + dr_i^s + dm_{i,R}^s + \epsilon_{i,R}^s \quad (3-1)$$

여기서,

R_i^s : 의사거리 관측값 (m)

ρ_i^s : 기하거리 (m)

$d\rho_i^s$: 위성의 궤도 오차 (m)

dt^s : 위성의 시계 오차 (sec)

dT_i : 수신기의 시계 오차 (sec)

di_i^s : 전리층 오차 (m)

dr_i^s : 대류권 오차 (m)

$dm_{i,R}^s$: 관측값의 다중경로 오차 (m)

$\epsilon_{i,R}^s$: 관측 잡음 (m)

c : 진공중 빛의 속도 (m/sec)

3.2 반송파 관측값

수신기에서 수신된 반송파와 수신기에서 생성된 반송파 차에 의해 만들어지는 맥놀이 반송파위상(carrier beat phase)을 누적하여 GNSS의 반송파 관측값이 얻어진다. 따라서 반송파 관측값은 위상의 개수를 나타내는 정수 부분과 우수리 부분으로 구성되어 있으며, 또한 누적된 위상관측값의 초기 부분에 알 수 없는 정수배의 위상수를 포함하고 있다.

이 정수배의 위상수를 미지정수라 부르며 고정밀의 측위를 수행하기 위해서는 적절한 수학적 절차에 의해 결정되어야 한다. GNSS 반송파 관측값은 다음과 같이

표현될 수 있다.

$$\lambda_G \cdot \phi_i^s = \rho_i^s + d\rho_i^s + c(dt^s - dT_i) + \lambda_G \cdot N_i^s - di_i^s + dr_i^s + d_{i,\phi}^s + \epsilon_{i,\phi}^s \quad (3-2)$$

여기서,

ϕ_i^s : GNSS 반송파 관측값

λ_G : GNSS 반송파의 파장

N_i^s : 미지정수

$d_{i,\phi}^s$: GNSS 반송파의 다중경로 오차

$\epsilon_{i,\phi}^s$: GNSS 반송파 관측 잡음

4. GPS와 Galileo 측위 성능 분석

본 장에서는 차세대 GNSS인 Galileo의 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)별로 분석하였다.

Galileo 위성배치는 3개의 원형궤도에 30개의 궤도 위성으로 구성하였으며 적도면과 54° 경사각과 고도 23,000 km 그리고 위성의 궤도주기는 14시간 21분 6초로 계획하였다.

분석 소프트웨어는 MATLAB을 이용하여 자체 제작하였다. 개발 S/W의 검증은 위해 상용 GPS 처리 프로그램인 탐콘사의 피나클과 실제 GPS Almanac 자료를 이용하여 비교검증한 결과 유사한 성과값을 가짐을 확인할 수 있었다.

4.1 단독측위 성능 분석

기지점의 성과를 이용하지 않는 단독측위를 수행하기 위해 정적단독측위(SSPP : Static Single Point Positioning)와 동적단독측위(KSPP : Kinematic Single Point Positioning)로 구분하여 분석을 수행하였다. 실험 조건으로는 정적측위의 경우 관측시간을 2시간으로 설정하였으며 동적측위의 경우 관측시간을 18분으로 설정하였다. 특히 동적측위의 경우 소프트웨어상에 참 궤적을 생성

하였으며 그 결과에 따른 성과값과 비교 분석하였다.

4.1.1 정적단독측위

도심지 협곡과 같은 차폐환경에 대해 Galileo 위성의 실질적인 영향을 분석하기 위해 위성수신 고도각 30°에 대하여 GPS 단독처리와 GPS/Galileo 조합에 의한 처리로 수평, 수직 정확도를 분석하였다.

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

그림 3에서는 관측시간 동안의 위성궤적을 도식화한 것이다. 1~30까지는 GPS 위성을 나타내고 있으며, 40~70까지는 Galileo 위성을 나타내고 있다.

그림 4는 고도각 30° 일 때의 정적단독측위의 X축 정확도를 도식화한 것이다. GPS 단독처리 시에는 약 37

분 이후부터 측위가 가능하며 평균오차는 1.034 m이었으며 표준편차는 9.262 m임을 알 수 있었다. 하지만 GPS/Galileo 조합 시에는 실험의 전 기간에 걸쳐 측위가 가능함을 알 수 있었으며 평균오차는 3.470 m이고 표준편차는 4.717 m 감소한 4.545 m임을 알 수 있었다.

그림 5는 Y축 정확도를 도식화한 것으로 GPS 단독처리 시 초기 37분 동안은 측위가 불가능하였으며 평균오차는 13.793 m, 표준편차는 17.481 m이었다. GPS/Galileo 조합 시에는 평균오차가 19.001 m이고 표준편차는 6.434 m로 나타난다.

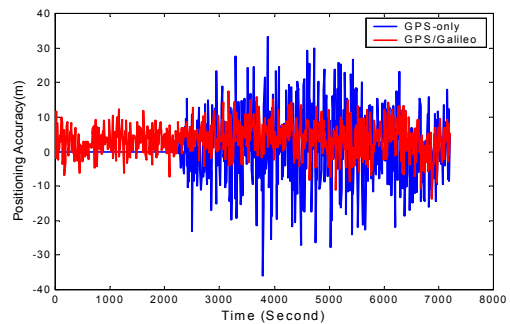


그림 4 X축 정확도(정적단독측위).

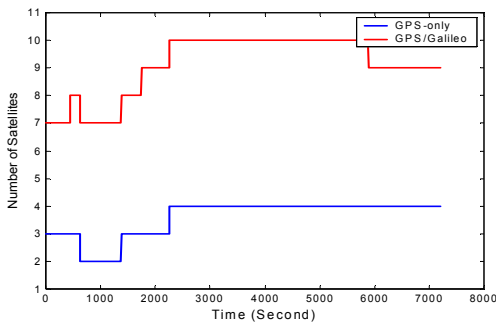


그림 2 가시위성수.

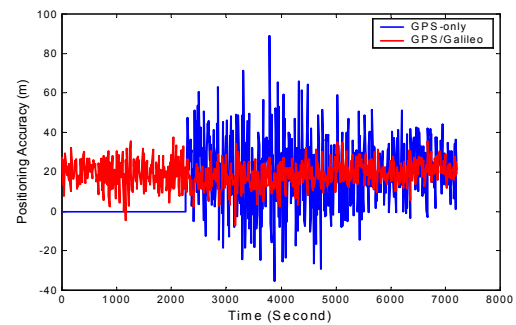


그림 5 Y축 정확도(정적단독측위).

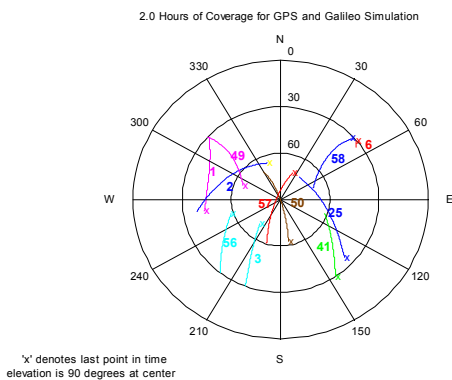


그림 3 위성 궤적.

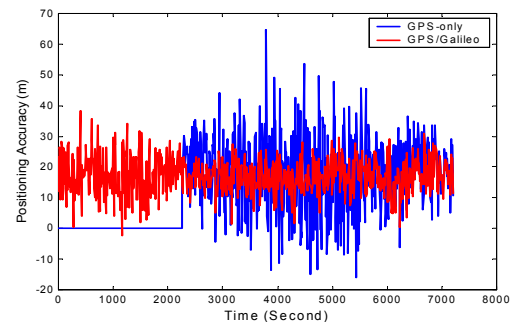


그림 6 Y축 정확도(정적단독측위).

마지막으로, 그림 6은 Z축 정확도를 도식화한 것으로 GPS 단독처리 시에는 역시 37분간 측위가 불가능하였으며 평균오차는 12.486 m, 표준편차는 13.205 m이었다. GPS/Galileo 조합 시에는 평균오차가 17.039 m이고 표준편차는 7.433 m 감소한 5.772 m로 나타난다.

4.1.2 동적단독측위

다음은 위성수신 고도각 30°일 때의 동적단독측위 성과에 대해 분석하였다. 18분 즉 1,080초 동안 약 4,000 m 이동한 궤적에 대한 연구를 수행하였다. 그림 7과 그림 8은 가시위성수와 관측기간 동안의 위성궤적을 도식화한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 GPS 단독처리에는 3개 이하의 위성을 관측하므로 동적측위가 불가능하였으며 GPS/Galileo 조합에 의한 처리는 최소 7개 이상의 위성을 관측할 수 있었다.

그림 9는 생성된 참 궤적으로 동적측위의 참값의 기준으로 사용되었다. 그림 10은 GPS/Galileo 조합에 의한 이동궤적을 도식화한 것이며, 가시위성수를 확보하지 못한 GPS는 측위가 불가능함을 알 수 있었다. 그림

11은 이동궤적에서 고도값의 변화를 나타내고 있다.

그림 12는 고도각 30°의 동적단독측위에 의한 X축 정확도를 도식화한 것으로 GPS 단독처리에는 가시위성수를 확보하지 못하였기 때문에 측위를 수행하지 못하였다, 하지만 GPS/Galileo 조합에 의한 측위는 평균오차가 -15.344 m이고 표준편차가 4.240 m임을 알 수 있었다. 그림 13은 Y축에 대한 정확도를 도식화한 것으로 역시 GPS 단독처리에는 측위가 불가능하였으면 GPS/Galileo 조합 시에는 평균오차가 19.286 m, 표준편차가 7.075 m임을 알 수 있었다. 마지막으로 그림 14에서는 Z축에 대한 정확

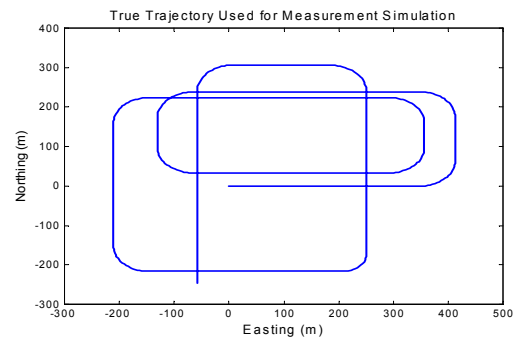


그림 9 참 궤적.

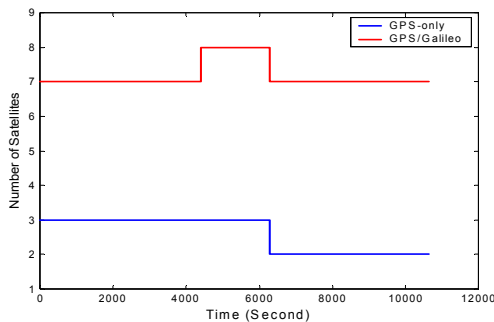


그림 7 가시위성수.

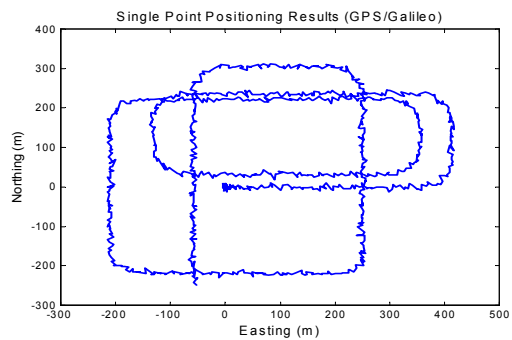


그림 10 GPS/Galileo 조합에 의한 수평궤적.

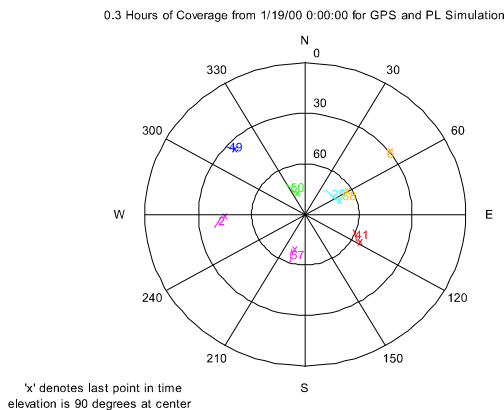


그림 8 위성 궤적.

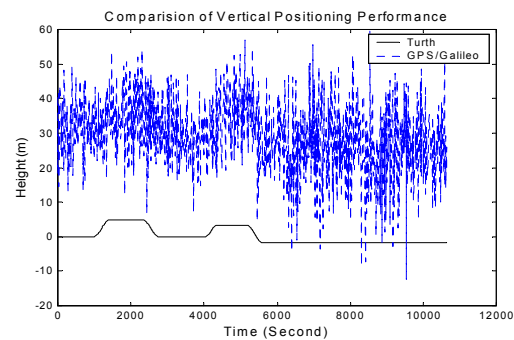


그림 11 GPS/Galileo 조합에 의한 수직궤적.

도를 도식화하였으며, GPS/Galileo 조합 관측 시에 평균오차는 15.653 m, 표준편차가 7.517 m임을 알 수 있었다.

4.2 의사거리를 이용한 차분측위 분석

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

하게 정적차분측위(Static DGNS)와 동적차분측위(Kinematic DGNS)로 구분하여 분석을 수행하였다.

실험조건으로는 정적측위의 경우 관측시간을 2시간으로 설정하였으며 동적측위의 경우 관측시간을 18분으로 설정하였다. 특히 동적측위의 경우 사전에 미리 참궤적을 생성하여 획득한 성과값과 비교 분석하였다. 시뮬레이션 조건은 단독측위와 동일한 시간, 장소로 선정하였다.

4.2.1 정적차분측위

위성수신 고도각 30° 일 때의 정적 차분측위와 동적 차분측위의 성과를 도출하기 위해 먼저 실험 시간의 위성수를 먼저 분석하였다.

그림 15는 고도각 30°일 때의 정적차분측위의 X축 정확도를 도식화한 것이다. GPS 단독처리 시에는 약 37분 이후부터 측위가 가능하며 평균오차는 -0.133 m 이었으며 표준편차는 9.225 m임을 알 수 있었다. 하지만 GPS/Galileo 조합 시에는 평균오차는 -0.121 m이고 표준편차는 4.805 m 감소한 4.420 m임을 알 수 있었다. 그림 16은 Y축 정확도를 도식화한 것으로 GPS 단독처리 시 초기 37분 동안은 측위가 불가능하였으며 평균오차

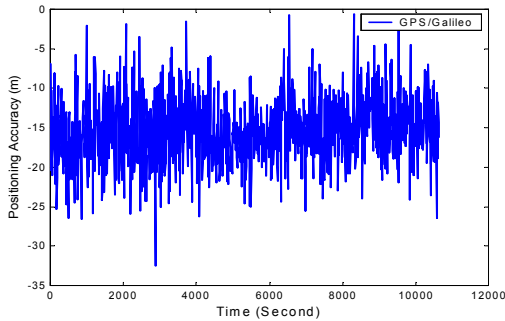


그림 12 X축 정확도(동적단독측위).

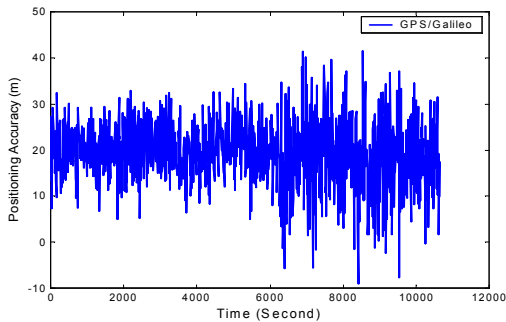


그림 13 Y축 정확도(동적단독측위).

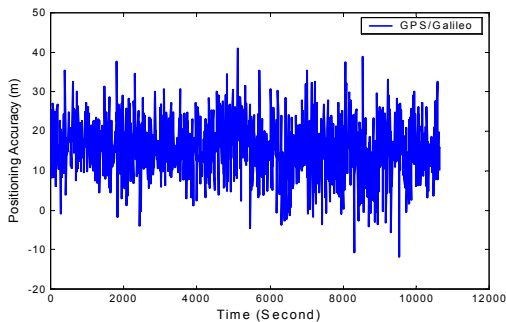


그림 14 Z축 정확도(동적단독측위).

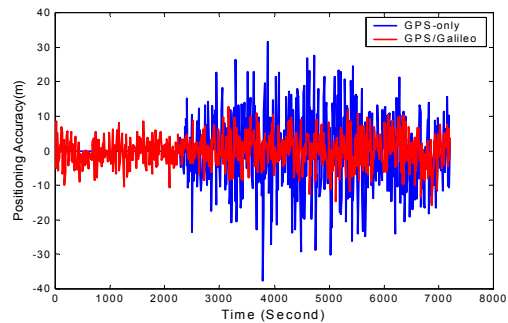


그림 15 X축 정확도(정적차분측위).

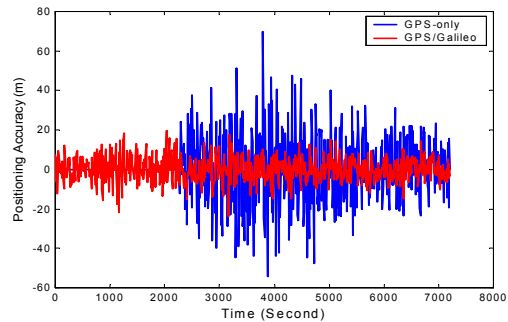


그림 16 Y축 정확도(정적차분측위).

는 0.149 m, 표준편차는 14.692 m이었다. GPS/Galileo 조합 시에는 평균오차가 0.048 m이고 표준편차는 6.174 m로 나타난다. 그림 17은 Z축 정확도를 도식화한 것으로 GPS 단독처리 시에는 역시 37분간 측위가 불가능하였으며 평균오차는 0.277 m, 표준편차는 10.060 m이었다. GPS/Galileo 조합 시에는 평균오차가 0.174 m이고 표준편차는 4.378 m 감소한 5.682 m로 나타난다.

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

4.2.1 동적차분측위

다음은 위성수신 고도각 30°일 때의 동적차분측위 성과에 대해 분석하였다. 18분 즉 1,080초 동안 약 4,000 m에 해당하는 이동궤적에 대한 연구를 수행하였다.

앞서 보여준 그림 9를 동적측위에서 이동체의 순 이동궤적으로 설정하였으며 참값의 기준으로 사용되었다. 최소한의 가시위성수를 확보하지 못한 GPS는 처리 불가능을 알 수 있었으며 GPS/Galileo 조합에 의한 이동체의 수평궤적은 그림 18에 도식화하였다. 또한 이동체의 수직궤적은 그림 19에 표현하고 있으며 수평, 수직 정확

도는 아래 그림 20~그림 22에 도식화하였다.

그림 20은 위성수신 고도각 30°의 동적 차분측위에 의한 X축 정확도를 도식화한 것으로 GPS 단독처리에서는 최소 4개의 가시위성수를 확보하지 못하였기 때문에 측위를 수행하지 못하였다, 하지만 GPS/Galileo 조합에 의한 측위는 평균오차가 -0.071 m이고 표준편차가 4.202 m임을 알 수 있었다. 그림 21은 Y축에 대한 정확도를 도식화한 것으로 역시 GPS 단독처리는 측위가 불가능하였으면 GPS/Galileo 조합 시에는 평균오차가 -0.055 m, 표준편차가 6.664 m임을 알 수 있었다. 그림 22에서는 Z

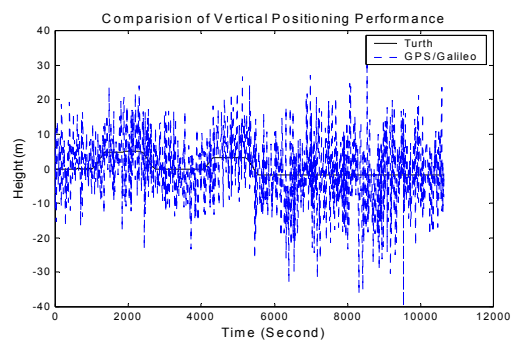


그림 19 GPS+GAALILEO 조합에 의한 수직궤적.

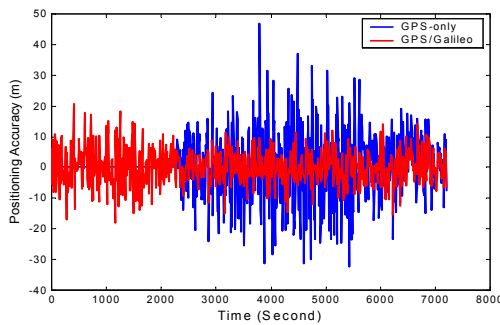


그림 17 Z축 정확도(정적차분측위).

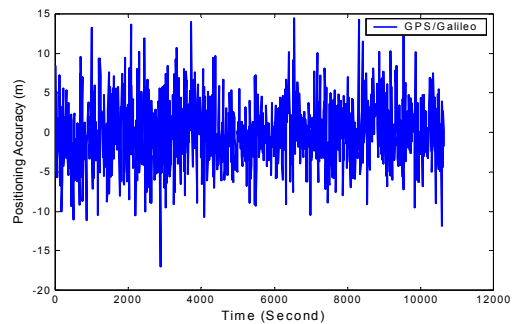


그림 20 X축 정확도(동적차분측위).

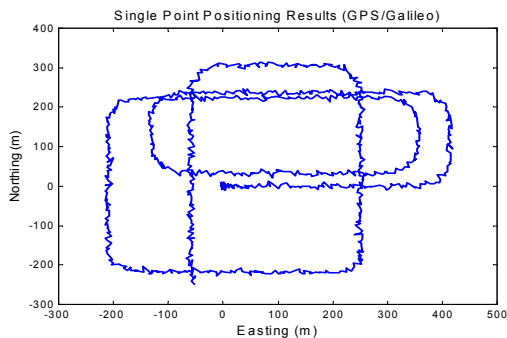


그림 18 GPS+GAALILEO 조합에 의한 수평궤적.

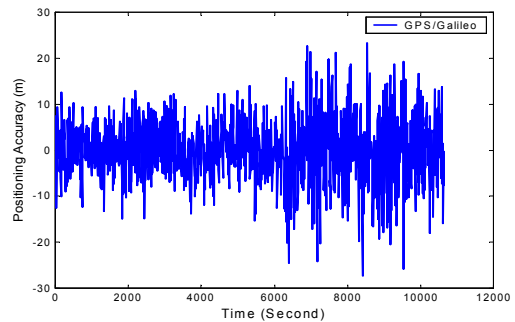


그림 21 Y축 정확도(동적차분측위).

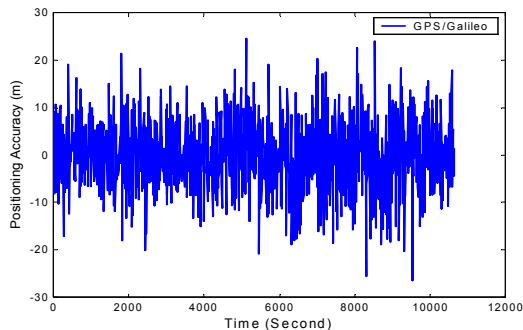


그림 22 Z축 정확도(동적차분측위).

측에 대한 정확도를 도식화하였으며, GPS/Galileo 조합 관측 시에 평균오차는 -0.063 m, 표준편차가 7.462 m 이 됨을 알 수 있었다.

이상의 결과로 도심지 등과 같은 차폐환경에 대해 GPS 단독처리에만 의존한다면 위성측량이 불가능하지만, GPS/Galileo 조합에 의한 처리는 위성측량을 가능하게 한다.

5. 결 론

본 연구에서는 GPS 단독처리의 한계성을 극복할 수 있는 차세대 GNSS인 Galileo의 실질적인 영향을 연구하기 위해 GNSS 해석 프로그램을 개발하였으며, 이를 바탕으로 시뮬레이션 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 정적단독측위에서 GPS 단독처리에서는 초기 37분 동안 위성측량이 가능한 최소 4개의 위성을 확보하지 못하였다. 하지만, GPS/Galileo 조합에 의한 처리는 7개 이상의 위성을 지속적으로 관측하였다.
2. 1080초의 관측시간을 가진 동적단독측위에서는 GPS 단독에 의한 측위는 불가능하였지만, GPS/Galileo 조합에 의한 처리는 이동체에 대한 위치결정을 가능하게 하였다.
3. GPS/Galileo 위성을 이용한 차분측위에서는 GPS 단독에 의한 결과값보다 평균오차 및 표준편차에서 향상된 결과값을 가짐을 알 수 있었다.

이상의 결론으로 향후 제공될 Galileo 위성이 단순한 위성수의 증가뿐만 아니라, 측위 정확도 증대에도 기여함을 알 수 있었다. 각 측위기법별에 따른 가시위성수, 각 축의 정확도, 평균오차 및 표준편차에서 GPS 단독처리보다 GPS/Galileo 조합 처리의 우수성을 입증하였다. 특히 위성수신고도각을 30°로 설정하여 도심지 협곡과 같은 극심한 차폐환경에서도 원활한 측위가 수행됨을 알 수 있었다.

이는 현재 GIS 자료원, 텔레메틱스, 위치기반서비스와 같은 분야에서 중요하게 사용되고 있는 위성항법시스템의 안정적인 공급을 가능하게 한다.

참고문헌

- 강준목, 조성호, 임영빈(2004), LBS를 위한 코드 DGPS 위치 정확도 향상에 관한 연구, 한국측량학회 추계학술발표회 논문집, pp. 29~32
- 이홍식, 박준구, 임삼성(2005), 무선인터넷기반이 DGPS를 이용한 동체의 자세결정 성능평가, 한국측량학회지 제23권 제2호, pp. 101-108
- Duttin L., Rumens D., Zandbergen R., Forrest W., Ruiz L.(2002), Galileo's SERVICES, ION GPS in CD
- Hewitson S., Hung Kyu Lee and Jinling Wang, (2004), Localizability Analysis for GPS/Galileo Receiver Autonomous Integrity Monitoring, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 57, No. 2, pp. 245-259
- Hollreiser M., Erhard P., Lorenzi P., Charles S. Dixon(2003), Galileo User Segment Overview, ION GPS/GNSS 2003, pp 1914-1928
- In-Su Lee · Jae-One Lee · Sang-Jun An(2004), Performance Analysis of Real-Time Kinematic GPS Positioning using Continuous Operating Reference Station in Korea, The Journal of Geographic Information System Association of Korea, Vol. 12, No. 4, pp. 371-382
- Kachmar, P. M., and L. Wood.(1995), Space Navigation Application, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 42, No. 1, pp. 187-234
- Parkison, B., T. Stansell, R. Beard and K. Gromov(1995), A History of Satellite Navigation, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 42, No. 1, pp. 109-164
- Paul Alves(2001), The Effect of Galileo on Carrire Phase Ambiguity Resolution, Proceedings of IONGPS 2001, Session C4, Salt Lake City, Utah, Sept 11-14,
- Zandbergen R.(2004), Galileo Orbit Selection, ION GNSS 17th International Meeting of the Satellite Division, pp. 616-623