

위성항법기술의 철도적용을 위한 가시성 분석 연구

신경호, 이준호, 김용규
한국철도기술연구원

A Visibility Analysis of GNSS for the Railway Application

Kyung-Ho Shin, Jun-Ho Lee, Young-Gyu Kim
Korea Railroad Research Institute

Abstract - GNSS(Global navigation Satellite system) is the system which determines the users' position using the navigation satellites. The position determination using GNSS has to be always possible to applying GNSS to railway system widely. Especially, to apply GNSS to the safety-critical application, such as train control system, the satellite's visibility has to be always secured. This study describes the necessity of visibility analysis and the method. And also the visibility analysis of the stand-alone GNSS and the integration GNSS are performed and the applicability of GNSS for train control application is analysed.

1. 서 론

위성항법시스템(Global Navigation Satellite System)은 인공위성을 이용하여 사용자의 위치를 파악하는 시스템으로 현재 운용중인 대표적 시스템으로 GPS(Global Positioning System)를 들 수 있다[1]. GPS는 미국방성 소유의 위성항법시스템으로 측량 및 측지, 다양한 교통분야의 항법, 국방 및 우주항공분야의 항법 등 다양한 분야에 적용되고 있다. GPS의 현재 운용중인 다른 위성항법시스템으로는 러시아의 GLONASS가 있으나 현재 16개의 위성만이 이용가능한 상태로 시공간적으로 부분적인 측위서비스만 가능한 상황이다[2]. 또한 현재 개발 중에 있는 위성항법시스템으로는 유럽연합의 GALILEO와 중국의 북두, 일본의 QZSS가 있다. GALILEO는 2012년 FOC를 목표로 개발 중에 있으며, 우리나라의 경우 2005년부터 GALILEO 프로젝트의 참여를 확정하여 개발에 참여하고 있다.

현재 유럽에서는 위성항법기반기술을 열차제어분야에 적용하는 연구를 진행해오고 있으며, 향후 서비스 예정인 GALILEO에 대한 적용성 연구에 중점을 두고 관련연구를 수행하고 있다[3]. 철도에서 열차제어분야는 가장 높은 신뢰성과 안전성을 필요로 하는 분야로서 위성항법시스템을 열차제어분야에 적용하기 위해서는 위성항법시스템을 통한 열차위치의 확인이 지역적, 시간적 간섭 없이 연속적으로 가능하여야 한다. 따라서 열차제어에 이루어지는 열차운행지역에서 연속적으로 위성항법에 의한 위치확인 이 이루어지기 위해서는 위성항법에 필요한 최소개수의 위성이 항상 해당 지역에서 상공에 위치하여야 한다. 물론 위성항법시스템의 가지는 공간적 제약에 의하여 열차가 터널 또는 역사와 같이 항법위성신호를 직접적으로 수신할 수 없는 환경에 처한 경우에는 열차위치확인이 불가능하게 되지만 이러한 경우는 예측이 가능한 경우로 복합측위센서와 지상설비의 보완을 통해 해결이 가능하다.

본 논문에서는 항법위성의 가시성 분석의 필요성과 그 방법에 대하여 알아본 후 시뮬레이션을 통하여 단독의 위성항법시스템을 적용한 경우와 복수의 위성항법시스템

을 통합하여 적용한 경우에 대한 특징을 비교하고 분석한다. 마지막으로 열차제어시스템 적용성 관점의 가시성 분석결과를 제시한다.

2. 가시성 분석 필요성과 분석 방법

2.1 가시성 분석 필요성

위성항법시스템을 구성하는 항법위성은 항상 고정된 위치에 위치하지 않고 중계도에 위치하여 지구를 중심으로 약 12~14시간의 주기를 가지고 공전하고 있으므로 고정된 위치의 사용자라도 매순간마다 서로 다른 위성배치를 가지게 되므로 시간에 따라 신호수신이 가능한 가시위성의 수가 달라진다. 가시위성 수의 변화는 위치결정 가능여부 및 위치정확도에 영향을 주는 요소가 된다. 즉, 4개 이상의 위성신호 수신이 가능한 경우에만 위성항법시스템을 통한 위치결정이 가능하며, 가시 위성수 증가 및 위성의 기하학적 배치가 양호할수록 위치정확도의 중대가 가능하다[1]. GPS의 경우 설계 위성수는 총 32기로 2008년 4월 현재 정상 동작중인 위성의 개수는 총 31기이며 2012년 운용예정인 GALILEO의 설계 위성수는 총 30기로 현재 운용중인 GPS와 결합하여 사용하게 되면 가시위성수가 약 2배 증가, 위성배치상태의 개선으로 인해 위치정확도와 가용성 중대가 가능하여 열차제어분야에 위성항법시스템의 적용을 용이하게 할 수 있다. 또한 항공, 선박 등에 비해 상대적으로 작은 서비스 지역을 가지며 가시성 제약의 발생이 잦은 철도의 특성 때문에 제한된 지역에서의 위성항법시스템의 가시성 분석을 통해 가시성 수준의 확인이 필요하다. 열차제어분야에서는 위성항법시스템이 제공하는 위치정보의 정확성 외에도 제공서비스의 연속성과 가용성도 중요한 성질로서 가시성은 연속성과 가용성에 영향을 주는 요소이다.

2.2 가시성 분석 방법

위성항법시스템의 가시성 분석은 수신기를 이용하여 실제 위성데이터를 수신 및 분석하는 방법과 케플러궤도 방정식에 위성궤도 파라미터값을 입력하여 가시위성을 시뮬레이션하는 방법으로 구분할 수 있다. 실제 수신기를 사용하는 방법은 현재 운용중인 GPS의 가시성만 분석이 가능하고 시험시간이 오래 걸리는 단점과 현재 개발 중에 있는 위성항법시스템에 대한 가시성 분석이 불가능한 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 케플러궤도 방정식에 위성궤도 파라미터값을 입력하여 위성의 위치를 계산하고 고정된 사용자 위치에서의 가시위성을 산출하여 가시성을 분석하였다. 또한 다양한 위성배치상태에 대한 시뮬레이션을 위하여 시뮬레이션 시간을 1년으로 하여 장기간의 가시성 분석을 수행하였다.

2.2.1 GPS 가시성 분석 방법

GPS 가시성 분석을 위하여 2008년 4월 1일자 GPS almanac 데이터를 케플러 궤도방정식의 입력파라미터로

지정하고 1년 동안의 가시성 분석을 수행하였다. 2008년 4월 1일 현재 총 32개의 위성 중 10번 위성의 고장이 발생하여 총 31개의 GPS 위성이 사용가능하므로, 본 논문에서는 10번 위성을 제외한 나머지 31개의 위성에 대한 가시성 분석을 수행하였으며 마스크각은 10° 와 25° 인 경우로 구분하여 해당 각도보다 낮은 각도로 수신되는 위성신호의 수신이 제한되도록 시뮬레이션을 수행하였다. 여기서 마스크각으로 신호수신을 제한하는 이유는 열차운행환경에 따른 가시성 제약을 모의하기 위함으로 25° 인 경우는 10° 인 경우보다 가시성 제약을 더 많이 받게 된다. 가시성 분석은 2가지 측면에서 분석이 가능하다. 하나는 가시위성수에 대한 분석이며, 나머지 하나는 DOP에 대한 분석이다. DOP는 Dilution of Precision의 약자로 가시위성의 기하학적 배치에 따른 오차요소로 정의되며 DOP값이 클수록 위성신호에 포함된 오차를 증폭시켜 위치오차를 증가시키는 특징을 가지고 있다. 따라서 가시성 분석은 가시위성 개수 분석을 통해 위치결정 가능여부에 대한 확인과 DOP 분석을 통해 위치오차의 크기를 가능해 볼 수 있다.

2.2.2 GALILEO 가시성 분석방법

GALILEO는 현재 개발 중인 시스템으로 GPS처럼 실제 궤도정보를 바탕으로 가시성 분석을 할 수 없기 때문에 GALILEO Mission High Level Definition 문서에 제시된 위성궤도 구성정보를 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. GALILEO에서 운용되는 항법위성은 총 30기로 예정되어 있으며 약 56° 기울어진 3개 궤도당 10개의 중궤도 위성이 배치되는 궤도 구성을 가진다[5]. 궤도상의 위성배치는 특정지역의 가시성에 영향을 주는 요소로서 현재 각 궤도에 10개의 위성을 고르게 배치하는지 아니면 9개의 위성을 고르게 배치하고 위성의 고장에 대비하여 예비위성 하나씩을 추가로 배치하는지에 대한 논의가 진행 중에 있다[6].

여기서 사용된 GALILEO의 궤도구성은 하나의 궤도에 일정하게 10개의 위성을 배치하여 총 3개 궤도, 위성 30기가 가능한 상태로 가정하여 마스크각을 10° 와 25° 인 경우로 구분하여 시뮬레이션 하였다.

2.2.3 GPS + GALILEO 통합 가시성 분석 방법

앞서 정의된 31개의 GPS 위성구성과 30개의 GALILEO 위성구성상태를 통합하여 총 61개의 항법위성에 대하여 가시성 분석을 수행할 수 있다. 여기서도 앞서 정의한 분석방법과 동일하게 마스크각을 10° 와 25° 인 경우로 구분하여 시뮬레이션 하였다.

3. 시뮬레이션 결과 분석

3.1 GPS 가시성 분석 시뮬레이션 결과

위도 37° , 경도 127° 지역에서의 1년 동안에 대한 GPS위성에 대한 가시성 분석 결과는 그림1, 2와 같다. 그림 1은 마스크각이 10° 인 경우에 대한 결과이며 그림 2는 마스크각이 25° 인 경우에 대한 결과이다. 마스크각이 10° 인 경우에는 가시위성의 개수가 1년 중 항상 4개 이상이며, PDOP값이 4이하인 경우도 98.92%로서 양호한 가시성을 가진다고 할 수 있다. 반면 마스크각이 25° 인 경우에는 가시위성수는 최소 4개로 위치계산은 할 수 있으나 가시성 제약에 따른 위성 배치상태의 일시적인 불량으로 인하여 PDOP값이 수백에서 수천까지 증가하는 경향을 보인다. 터널 및 역사와 같이 완벽하게 가시성 제약이 있는 장소를 제외한 나머지 열차운행구간은 선로주위의 지형지물에 따라 부분적인 가시성 제약이 발생할 수 있으며 이러한 경우에도 안정적인 열차위치확인을 위해서는 충분한 가시성과 비교적 낮은 수치의 PDOP를 가져야 한다. 마스크각이 25° 인 경우, PDOP값이 4이하인 경우는 1년중 63.05%으로 계산되며 GPS 만으로는 안정적인 열차위치확인 이 어려움을 확인 수 있다.

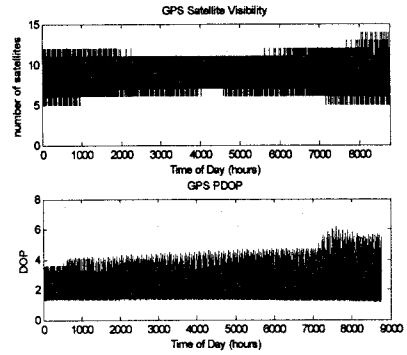


그림 1. GPS 가시성 시뮬레이션 결과(10°)

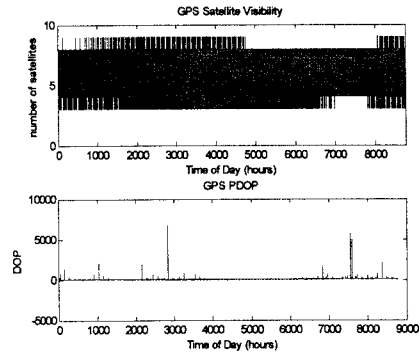


그림 2. GPS 가시성 시뮬레이션 결과(25°)

3.2 GALILEO 가시성 분석 시뮬레이션 결과

위도 37° , 경도 127° 지역에서의 1년 동안에 대한 GALILEO 위성에 대한 가시성 분석 결과는 그림3, 4와 같다. 그림 3은 마스크각이 10° 인 경우에 대한 결과이며 그림 4는 마스크각이 25° 인 경우에 대한 결과이다. 마스크각이 10° 인 경우에는 가시위성의 개수가 1년 중 최소 7개에서 12개로 균일하며, PDOP값도 1.5~ 2.5로 GPS 결과 대비 매우 균일한 특징을 가진다. 이것은 GPS의 위성배치보다 GALILEO의 위성배치가 더 균일하게 설계되었으며, 실제 시스템이 아닌 Mission High Level Definition 문서에 정의된 궤도 구성정보를 기반으로 시뮬레이션 되었기 때문이라 볼 수 있다.

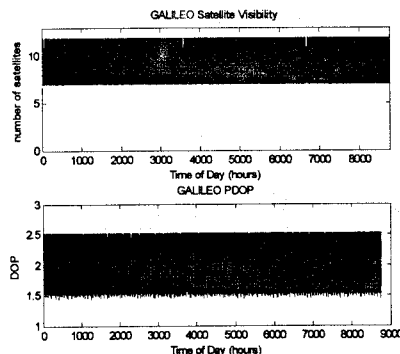


그림 3. GALILEO 가시성 시뮬레이션 결과(10°)

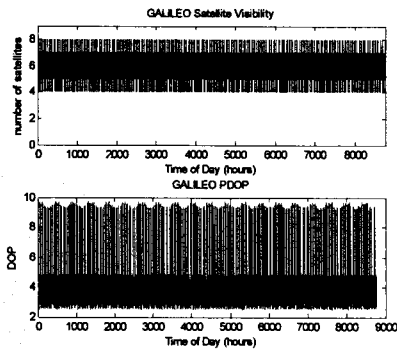


그림 4. GALILEO 가시성 시뮬레이션 결과(25°)

마스킹각이 25° 인 경우, 가시위성 수는 4~8개로 감소하고 PDOP값도 10으로 증가하는 경향을 보이며 4이하의 PDOP값을 가지는 확률은 80.7%로서 GALILEO만을 적용하였을 경우도 GPS 경우와 마찬가지로 안정적인 열차위치확인이 불가능함을 알 수 있다.

3.3 GPS+GALILEO 가시성 분석 시뮬레이션 결과

GPS와 GALILEO 위성을 통합하여 적용한 경우에 대한 가시성 분석 결과는 그림5, 6과 같다. 그림 5은 마스킹각이 10° 인 경우에 대한 결과로 1년중 가시위성수는 최소 13개, 최대 23개로 단독의 위성항법시스템 적용시보다 2배 이상 증가하며 상당한 PDOP값의 개선이 있음을 알 수 있다.

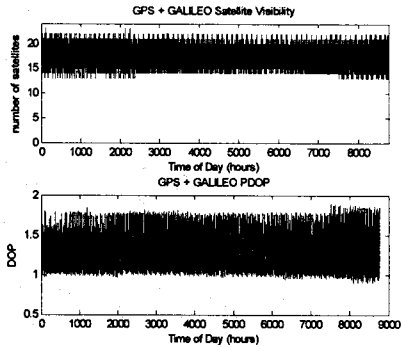


그림 5. GPS+GALILEO 가시성 시뮬레이션 결과(10°)

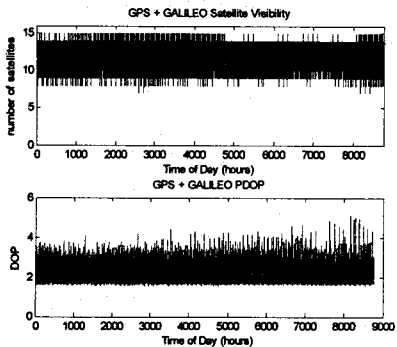


그림 6. GPS+GALILEO 가시성 시뮬레이션 결과(25°)

그림 6은 마스킹각이 25° 인 경우에 대한 결과로서 가시위성의 개수는 7~15개로 마스킹각이 10° 인 경우보다는 감소하지만 단독 위성항법시스템 적용시 보다 가시위성의 증가와 함께 위성배치구조가 개선됨에 따라 PDOP 값이 상당히 개선됨을 볼 수 있다. 표 1은 GPS,

GALILEO 단독항법시스템 적용시와 두 항법시스템을 통합하여 적용한 경우에 대한 가시성 분석결과를 나타내며 두 위성항법시스템을 통합적용하여 열차의 위치를 확인하면 가시위성수의 증가와 함께 PDOP값의 개선으로 안정적인 열차위치결정이 가능함을 수치적으로 확인할 수 있다.

표 1. 여러 항법시스템 적용에 따른 가시성 분석 결과

	마스킹각	위성개수<4 확률(1년중)	PDOP<4 확률(1년중)	PDOP 평균	PDOP 편차(1σ)
GPS	10	0%	98.92%	2.02	0.54
	25	0%	63.05%	5.36	49.56
GALILEO	10	0%	100%	1.90	0.25
	25	0%	80.70%	3.58	0.74
GPS+GALILEO	10	0%	100%	1.26	0.14
	25	0%	99.92%	2.20	0.34

4. 결 론

철도는 대표적인 대중교통수단으로 신뢰성과 안정성이 반드시 확보되어야 하는 시스템이다. 최근들어 IT기술의 발달로 인하여 다양한 신기술들이 철도에 적용되고 있다. 위성항법시스템은 지구상공에 위치한 인공위성을 사용한 측위인프라로서 철도적용을 통해 지상설비의 최소화 와 운영효율의 증대 및 다양한 위치기반 서비스 제공에 기여가 가능하다. 위성항법시스템을 열차제어와 같은 안전확보가 필수적인 응용분야에 적용하기 위해서는 위성항법시스템을 통한 열차의 위치확인이 연속적, 안정적인 이루어져야 하며, 가시성의 확보는 이를 위한 중요한 요소이다. 본 논문에서는 항법위성의 가시성 분석의 필요성과 그 방법에 대하여 살펴보았으며 시뮬레이션을 통하여 단독의 위성항법시스템을 적용한 경우와 다수의 위성항법시스템을 통합적용한 경우에 대한 가시성을 비교하고 분석하였다. GPS와 GALILEO의 통합 적용은 단독 적용시 보다 가시위성의 개수를 2배 이상 증가시키며 DOP값의 개선을 통해 연속적이고 안정적인 열차위치확인이 가능하도록 한다. 따라서 이러한 복합위성항법시스템이 사용되는 열차제어와 같이 안전확보가 필요한 철도응용분야에 위성항법기반기술의 적용 가능성을 증대시킨다. 현재 국내의 위성항법기반기술의 철도적용은 미약한 수준으로 현재 개발중인 GALILEO가 서비스되는 2012년 이후부터는 위성항법기반기술의 철도적용은 더욱 가속화 될 것으로 예상된다. 해외 철도선진국에서는 위성항법기반 열차제어연구를 적극적으로 진행 중에 있으며 국내에서도 이에 대한 체계적인 연구가 진행되어야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 저자명, "논문제목", 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도
- [1]Elliott D. Kaplan, Christopher J. Hegarty. "Understanding GPS Principles and Application 2nd ed.", Artech house, pp.36 0, 2006.
- [2]Russian Space Agency Information-Analytical Centre(<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>)
- [3]Ugo Celestino, "European GNSS:EGNOS, GALILEO and the RAIL transport", UIC GALILEO for Rail Symposium, 20 07
- [4]U.S. Coast Guard Navigation Center(<http://www.navcen.uscg.gov/gps/>)
- [5]신경호, "철도응용분야에서의 갈릴레오 시스템의 적용방안 연구", 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2007