

# 위성기반 위치보정시스템의 철도 적용성 연구

## Study on the Applicability of SBAS in Railway Application

신경호†      신덕호\*      백종현\*      이재호\*  
Kyung-Ho Shin      Ducko Shin      Jong-Hyen Baek      Jae-Ho Lee

### ABSTRACT

In this paper, we investigate the methods to improve the position accuracy using DGNSS(Differential Global Navigation Satellite System). Then we configure the real-time DGNSS environment with use of GPS and MSAS as SBAS(Satellite Based Augmentation System) currently being in service by Japan. And we verify the improvement of position accuracy and the continuity of GPS correction data through the realtime DGNSS test in Joongang line, Kyungbu line, Honam line.

### 1. 서론

위성항법시스템(GNSS : Global Navigation Satellite System)은 인공위성을 이용하여 사용자의 위치를 파악하는 시스템으로 현재 운영 중인 대표적 시스템으로 도로교통분야, 국방 및 우주항공분야 등 다양한 분야에서 위치확인을 위해 이용되고 있으며, 지상설비의 지원없이도 사용자의 위치를 독립적으로 확인할 수 있는 장점이 있다. 현재 운영 중인 대표적인 위성항법시스템으로는 미국의 GPS(Global Positioning System)와 러시아의 GLONASS가 있으며, 신규로 개발중에 있는 위성항법시스템으로는 유럽연합의 GALILEO와 중국의 COMPASS, 일본의 QZSS, 인도의 IRNSS가 있다. 위성항법시스템은 위성으로부터 송출된 전파의 전송시간을 측정하여 사용자의 위치를 파악하는 전파항법시스템으로 전파의 지연오차에 의해 위치정확도가 저하되는 약점이 있으며, 대기중 전파의 지연오차를 보상하여 위치정확도를 향상시킬 수 있다. 이러한 정확도 향상 방법을 DGNSS(Differential GNSS)라 하며, 지상기준국을 이용하는 GBAS(Ground Based Augmentation System)와 인공위성을 이용하는 SBAS(Satellite Based Augmentation System)로 구분된다[1]. 현재 운영중인 SBAS는 GPS에대한 오차 보정정보를 제공하고 있으며, 대표적으로 미국의 WASS, 유럽의 EGNOS, 일본의 MSAS가 운영되고 있다. 일본의 MSAS는 2기의 인공위성을 통해 일본 전역에 보정정보를 제공하고 있으며, 우리나라는 공식적인 서비스 범위에 있지는 않지만, 국내에서도 MSAS 위성신호의 수신이 가능한 상태이다[2]. 위성항법시스템은 지상설비의 지원없이 독립적인 위치파악이 가능한 장점으로 다양한 교통분야에 적용되고 있으며, 철도환경에서의 적용성을 증대시키기 위해서는 위치 정확성의 개선이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 위성항법시스템의 위치 정확성 개선 방안을 조사 분석하고, 국내 철도운영환경에서 SBAS에 의한 위치정확성 개선 성능을 확인하기 위하여 중앙선, 경부선, 호남선 일부구간에서 GPS와 일본의 MSAS를 이용한 DGNSS 시험을 통해 MSAS 신호의 수신 성능과 정확성의 개선 효과를 확인한다.

† 교신저자, 한국철도기술연구원, 지능형도시철도제어연구실  
E-mail : khshin@krti.re.kr

\* 한국철도기술연구원, 지능형도시철도제어연구실

## 2. Differential GNSS

위성항법시스템은 지구 중궤도에 위치한 항법위성으로부터 송출되는 신호가 위성항법수신기에 도달할 때 까지 소요되는 지연시간을 측정하는 전파항법시스템으로 전파의 전달지연과 위성의 기하학적 배치구조에 따라 오차가 발생하는 특징을 가진다. 먼저 전파의 전달지연오차는 이온층, 대류층 등 대기권에 의한 전파지연과 수신기의 수신환경에 따라 위성신호의 반사에 의한 다중경로오차가 있으며, 기타오차로서 위성 시각 및 궤도오차, 수신기 시각오차 및 잡음오차 등이 있다. 상기 오차요소 중에서 이온층, 대류층 등 대기권에 의한 전파지연오차는 Differential GNSS에 의해 보정이 가능하며, 보정정보 제공 주체에 따라 위성을 통한 광역보정시스템인 SBAS(Satellite Based Augmentation System)와 지상의 기준국을 통한 보정시스템인 GBAS(Ground Based Augmentation System)로 구분된다[1].

### 2.1 Differential GNSS 개념

Differential GNSS는 이미 알려진 기준 위치에 기준국용 GNSS 수신기를 설치하여 기준국의 위치정보와 기준국에서 수신된 GNSS 위성신호를 비교하고 GNSS 위성신호에 포함된 오차를 계산하여 위성항법 위치정확성을 개선하는 방법이다. Differential GNSS는 위성신호에 포함된 오차를 계산하여 보정정보로 전송하는 기준국과 기준국의 보정정보를 모니터링하는 감시국, 그리고 모든 DGNSS 시스템을 제어하는 제어국으로 구성된다. DGNSS는 보정정보의 제공주체에 따라 보정정보를 지상기준국을 통해 제공하는 GBAS(Ground Based Augmentation System)와 인공위성을 통해 보정정보를 제공하는 SBAS(Satellite Based Augmentation System)로 구분된다[1].

### 2.2 SBAS

SBAS는 독립적인 인공위성을 이용하여 GPS에 대한 보정정보를 제공하는 DGNSS로서 현재 미국의 WAAS, 유럽의 EGNOS, 일본의 MSAS가 운영 중에 있으며, 인도의 GAGAN과 중국의 SNAS 등은 개발계획 중에 있다[2]. 현재 운영 중인 SBAS는 GPS와 같이 지구전역을 서비스 하는 것이 아니라 SBAS 운영국가를 대상으로 보정정보를 서비스하고 있다. 각각 WAAS의 경우 2기의 위성, EGNOS의 경우 3기의 위성, MSAS의 경우 2기의 위성을 이용하여 SBAS 서비스를 제공하고 있으며, 아래 그림은 현재 운영 중인 SBAS의 동작개념과 서비스 커버리지를 나타낸다. 일본의 MSAS는 공식적으로 일본 전역을 대상으로 보정정보를 제공하고 있으며, 우리나라는 충분한 성능의 서비스 범위에 있지는 않지만, 국내에서도 MSAS 위성신호의 수신에 가능한 상태이다. 또한 SBAS로부터 제공되는 보정정보는 GPS 위성신호 대역으로 제공되므로, 별도의 추가 장비 없이 GPS수신기만을 통해서도 수신 및 보정이 가능하다[3].

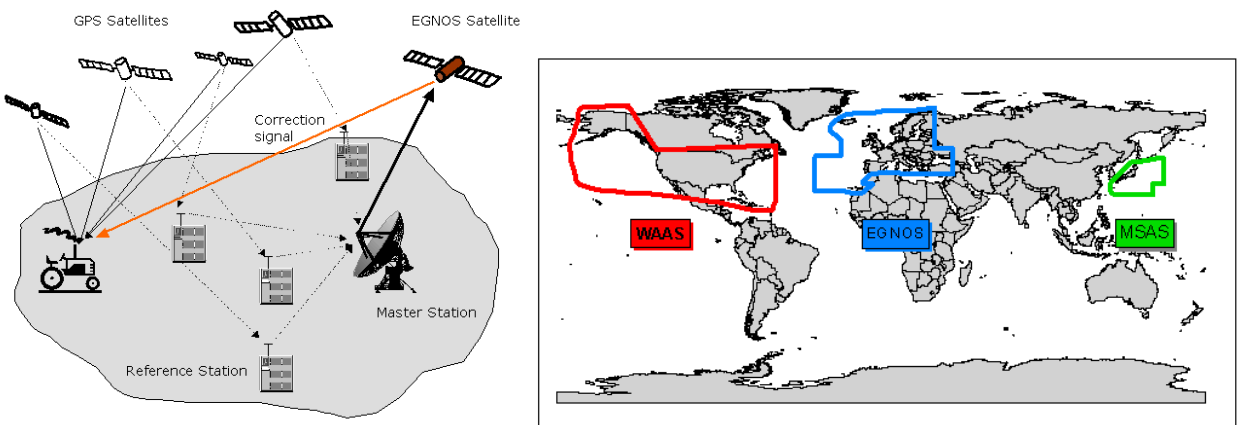


그림 1. SBAS 동작 개념 및 현재 운영 중인 SBAS 서비스 커버리지

## 2.3 MSAS

MSAS는 적도상공에 위치한 지구정지궤도 위성인 MTSAT-1R과 MTSAT-2 위성을 통해 2007년 9월 27일 세계에서 2번째로 정상적인 운영을 시작해오고 있다[4][5]. 현재 MSAS는 일본 국내에 6곳, 호주와 하와이에 각각 1곳 씩 총 8곳의 광역기준국과 2곳의 중앙처리국으로 구성되어 있다. 이 중 2곳의 중앙처리국은 광역기준국과 동일한 장소에 위치하고 있다. 정지궤도 위성은 거의 동일한 경도 상에 위치한 MTSAT-1R(PRN:129)과 MTSAT-2(PRN:137) 위성이 일본 및 주변 지역을 이중으로 커버하고 있다. MSAS의 특징으로는 두 개의 위성이 똑같이 상대방의 PRN에 대해서도 방송 능력을 가지고 있어서, 각각이 129, 137번을 동시에 방송할 수 있는 기능을 가지고 있다. 이를 이용하여 1개에 문제가 발생 시 이중 커버리지는 달성할 수 없지만 두 개의 PRN에 대한 정보를 한 위성이 모두 방송할 수 있는 장점이 있다. 두 개의 PRN을 통해 SBAS 메시지를 방송하게 되면 이를 수신하는 수신 측이 두 가지 신호를 모두 이용할 수 있을 때 보정치 적용 시간을 단축할 수 있는 장점이 있을 수 있다. 아래 그림은 MSAS의 정지궤도 위성 위치와 커버리지를 나타낸다. 아래 그림에서 보는바와 같이 두 정지궤도 위성의 경도상 위치는 거의 유사하며, 일본 및 주변 지역을 이중으로 커버하고 있다.

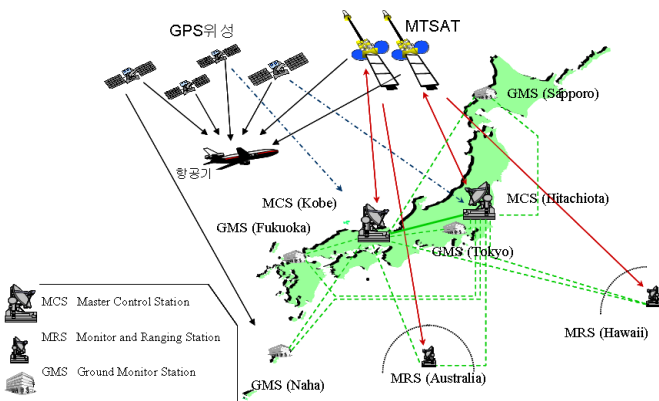


그림 2. 일본 MSAS의 시스템 구성 현황

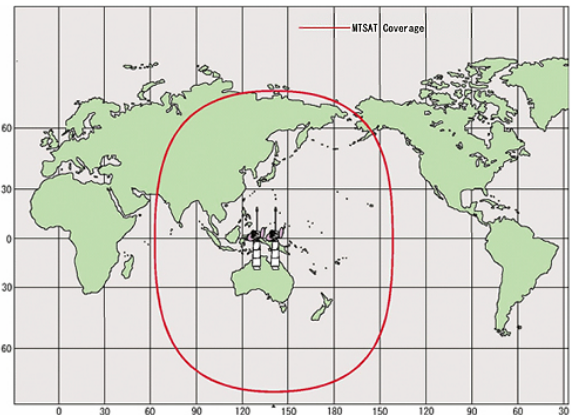


그림 3. MSAS의 정지궤도 위성

## 3. 위성기반 보정시스템 철도 적용성 시험

### 3.1 시험개요

본 논문에서는 국내 철도운영환경에서 SBAS 위성신호의 수신성능과 SBAS를 통한 위치정확성의 개선 성능을 확인하기 위하여 충북선, 중앙선, 경부선, 호남선 구간에서 GPS와 일본의 MSAS를 이용한 DGNSS 시험을 통해 GPS 및 MSAS 위성신호의 수신률과 위치 정확성을 평가하였다.

### 3.2 시험환경

국내 철도운영환경에서의 SBAS 적용성 시험을 위해 시험노선은 충북선, 중앙선, 경부선, 호남선을 대상으로 시험하였으며, 시험차량은 한국철도기술연구원 신소재틸팅열차시스템사업단의 협조를 통해 현재 시운전시험 중인 한국형 틸팅열차인 TTX를 대상으로 시험하였다. 현재 한국형 틸팅열차에는 차량중합계측정보의 계측위치 확인과 사전틸팅제어에 필요한 곡선부의 사전확인을 위해 GPS 수신기가 탑재되어 있으며, 차량 지붕에 GPS 안테나가 설치되어 있어 GPS 수신환경이 양호하다[6]. SBAS 적용성 확인시험을 위해서는 시운전시험 중인 한국형 틸팅열차에 간섭을 주지 않도록 시험구성이 필요하므로 틸팅열차 지붕에 설치된 GPS 안테나와 틸팅열차 GPS수신기 간에 위성신호 분배기를 설치하여 기존 틸팅열차 GPS 수신환경에 영향을 주지 않고 GPS 위성신호를 수신할 수 있도록 시험환경을 구성하였다. 또한 SBAS를 통해 보정된 위치결과에 대한 정확도의 정량평가를 위해 cm수준의 기준위치 확보가 가능한 Carrier-Phase DGPS(CDGPS) 시험환경도 함께 구성하여 시험을 실시하였다. CDGPS 평가 시 보정정

보는 국토지리정보원의 RINEX 데이터를 활용하였으며, Novatel사의 GrafNav 후처리도구를 활용하여 기준위치를 확보하였다. 아래 그림 4는 시험구성을 나타내며, 표 1은 시험에 이용된 장치의 사양을 나타낸다.

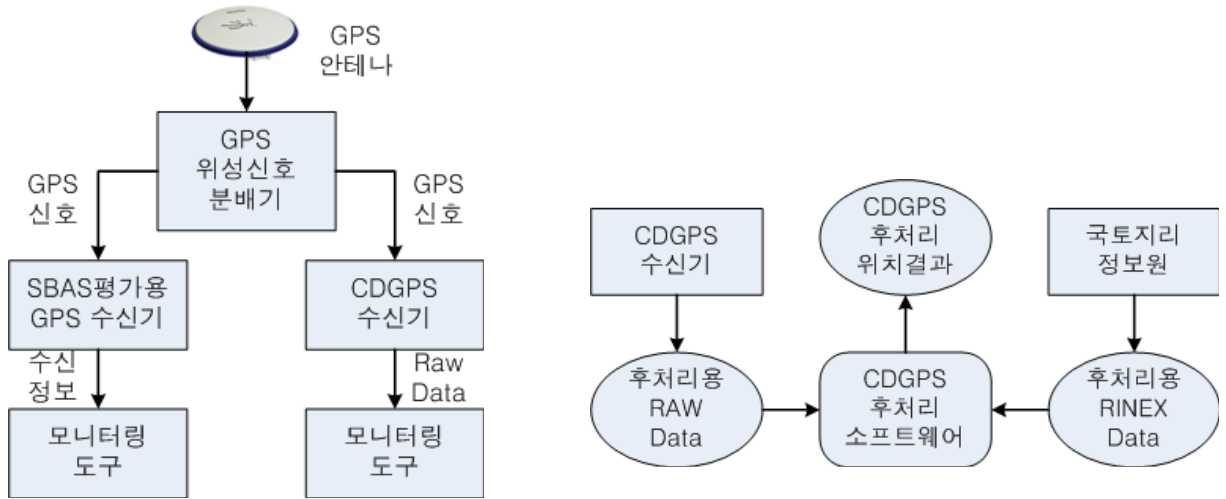


그림 4. SBAS 적용성시험 구성도

표 1. 시험장치 사양

구분	주요 사양
GPS 안테나	- Novatel GG702 - GPS/GLONASS L1/L2 frequency
SBAS평가용 수신기	- Ublox LEA-6H - 50 Channels, GPS L1 frequency, C/A Code - SBAS(WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN) 호환 - 위치정확도 : 2.5m(CEP, 24hr@-130dBm) - 위치출력주기 : 2Hz(최대) - 운영 한계 : 가속도 4g, 고도 50,000m, 속도 500m/s
CDGPS 수신기	- Novatel OEM-V2G2 - 24 Channels, GPS/GLONASS L1/L2 frequency, C/A Code - SBAS(WAAS, EGNOS, MSAS) 호환 - 위치정확도 : 1.5m(CEP) - Raw Measure 수집가능
CDGPS 후처리도구	- Novatel Grafnav - GPS L1/L2 RINEX 적용

### 3.3 시험결과

국내 철도운영환경에서의 SBAS 적용성 시험은 충북선, 중앙선, 경부선, 호남선 일부구간에서 실시되었다. 아래 표는 각 시험일자별로 수행된 시험의 결과를 나타낸다. 전체 시험결과 중 3차원 위치결정은 최소 83.2% 이상 가능하였으며, 1개 이상의 MSAS 위성신호를 수신한 확률은 78.3% 이상 가능하였다. 아래 표에서 HDOP(Horizontal Dilution of Position)는 가시 GPS위성의 기하학적 배치상태를 나타내는 지표로 GPS 위치정보의 신뢰성을 나타내며, 낮은값을 가질수록 위치정보에 포함된 오차요소가 작은 특징이 있으며, HDOP가 2이하인 경우는 최소 83%이상 가능하였다.

표 2. GPS 및 MSAS 수신성능 평가(1)

시험일자	2011년 6월 22일		
시험노선	충북선, 중앙선 (오송-제천-원주)	중앙선 (영주-제천-원주)	중앙선 (원주-제천)
시험시간	11378초(100%)	6546초(100%)	3878초(100%)
위치결정(3D)	10460초(91.9%)	5443초(83.2%)	3613초(93.2%)
수신위성수(5개이상)	10473(92%)	5434(83%)	3608초(93%)
수신위성수(8개이상)	9158(80.5%)	4116(62.9%)	3055초(78.8%)
HDOP(2이하)	10435초(91.7%)	5434초(83%)	3589초(92.5%)
MSAS수신(1개이상)	8454초(86.7%)	5124초(78.3%)	3577초(92.2%)
MSAS수신(2개)	0초(0%)	0초(0%)	0초(0%)
MSAS미수신	1297초(13.3%)	1422초(21.7%)	301초(7.8%)

표 3. GPS 및 MSAS 수신성능 평가(2)

시험일자	2011년 06월 23일		
시험노선	중앙선 (제천-영주)	중앙선 (영주-제천-원주)	중앙선,충북선 (원주-오송)
시험시간	5992초(100%)	6568초(100%)	10315초(100%)
위치결정(3D)	5446초(90.9%)	5691초(86.6%)	9768초(94.7%)
수신위성수(5개이상)	5447(90.9%)	5690(86.6%)	9730(94.3%)
수신위성수(8개이상)	5266(87.9%)	4473(68.1%)	7416(71.9%)
HDOP(2이하)	5419초(90.4%)	5657초(86.1%)	9719초(94.2%)
MSAS수신(1개이상)	5260초(87.8%)	5244초(79.8%)	9564초(92.7%)
MSAS수신(2개)	0초(0%)	0초(0%)	0초(0%)
MSAS미수신	732초(12.2%)	1324초(20.2%)	751(7.3%)

표 4. GPS 및 MSAS 수신성능 평가(3)

시험일자	2011년 07월 13일		
시험노선	경부선 (오송-천안)	경부선 (천안-대전)	경부선 (대전-부산)
시험시간	3330초(100%)	5168초(100%)	11384초(100%)
위치결정(3D)	3325초(99.8%)	5138초(99.4%)	10932초(96%)
수신위성수(5개이상)	3325(99.8%)	5138(99.4%)	10933(96%)
수신위성수(8개이상)	2918(87.6%)	3893(75.3%)	10478(92%)
HDOP(2이하)	3322초(99.6%)	5132(99.3%)	10876초(95.5%)
MSAS수신(1개이상)	3320초(99.7%)	5106초(98.8%)	10698초(94%)
MSAS수신(2개)	3311초(99.4%)	4971초(96.2%)	10402초(91.4%)
MSAS미수신	10초(0.3%)	62초(1.2%)	686초(6%)

표 5. GPS 및 MSAS 수신성능 평가(4)

시험일자	2011년 07월 14일		
시험노선	경부선 (부산-대전)	경부선 (대전-오송)	-
시험시간	13517초(100%)	4321초(100%)	-
위치결정(3D)	12876초(95.3%)	4301초(99.5%)	-
수신위성수(5개이상)	12869(95.2%)	4301(99.5%)	-
수신위성수(8개이상)	8636(63.9%)	4180(96.7%)	-
HDOP(2이하)	12821초(94.9%)	4298초(99.5%)	-
MSAS수신(1개이상)	11589초(85.7%)	4221초(97.7%)	-
MSAS수신(2개)	10915초(80.8%)	4176초(96.6%)	-
MSAS미수신	1928초(14.3%)	100초(2.3%)	-

표 6. GPS 및 MSAS 수신성능 평가(5)

시험일자	2011년 07월 20일		
시험노선	경부선 (오송-천안)	경부선 (천안-대전)	호남선 (대전-목포)
시험시간	4000초(100%)	3433초(100%)	9751초(100%)
위치결정(3D)	3995초(99.9%)	3379초(98.4%)	9284초(95.2%)
수신위성수(5개이상)	3995(99.9%)	3375(98.3%)	9283(95.2%)
수신위성수(8개이상)	3808(95.2%)	1906(55.5%)	8935(91.6%)
HDOP(2이하)	3994초(99.9%)	3306초(96.3%)	9268초(95%)
MSAS수신(1개이상)	3760초(94%)	3186초(92.8%)	8328초(85.4%)
MSAS수신(2개)	3753초(93.8%)	3062초(89.2%)	8219초(84.3%)
MSAS미수신	240초(6%)	247초(7.2%)	1423초(14.6%)

표 7. GPS 및 MSAS 수신성능 평가(6)

시험일자	2011년 07월 21일		
시험노선	호남선 (목포-익산)	호남선 (익산-서대전)	경부선 (서대전-오송)
시험시간	6636초(100%)	4857초(100%)	5614초(100%)
위치결정(3D)	6367초(95.9%)	4807초(99%)	5598초(99.7%)
수신위성수(5개이상)	6372(96%)	4811(99.1%)	5599(99.7%)
수신위성수(8개이상)	6097(91.9%)	2628(54.1%)	5459(97.2%)
HDOP(2이하)	6359초(95.8%)	4801초(98.8%)	5595초(99.7%)
MSAS수신(1개이상)	5215초(78.6%)	4720초(97.2%)	5390초(96%)
MSAS수신(2개)	4973초(74.9%)	4519초(93%)	5375초(95.7%)
MSAS미수신	1421초(21.4%)	137초(2.8%)	224초(4%)

MSAS 보정정보 수신을 통한 위치정확성의 개선 성능을 확인하기 위해 전체시험 노선 중 일정시간 이상 정차가 발생한 6개 역사를 선정하여 위치정확성을 평가하였다. 이때 기준위치는 cm수준의 절대위치 파악이 가능한 CDGPS 기법을 활용하여 확보하였으며, 6개 역사에서의 위치정확도는 아래 표와 같다. 영주, 봉양, 부산, 익산, 일로역의 경우 1~2m(RMS) 수준의 위치오차가 발생하였으며, 서대전역의 경우에는 약 6m(RMS) 수준의 위치오차가 발생하였다. 다른 역에서의 시험결과 대비 서대전역에서의 위치오차가 크게 발생한 이유는 서대전역 건물에 근접하여 틸팅열차가 정차하여, 다중경로 오차에 의한 위치오차가 발생한 것으로 파악된다. 다중경로 오차는 위성신호가 건물 등 장애물에 반사되어 수신되는 현상에 기인한 오차로, DGNSS를 통해 보정이 불가능한 환경적인 오차이다.

표 8. MSAS 보정정보 수신환경에서의 위치정확성

시험장소	영주역	봉양역	부산역	서대전역	익산역	일로역
시험시간	320초	461초	807초	1156초	476초	701초
수평오차(RMS)	1.06m	1.89m	1.71m	6.35m	1.11m	0.94m

#### 4. 결론

본 논문에서는 국내 철도운영환경에서 SBAS 위성신호의 수신성능과 SBAS를 통한 위치정확성의 개선 성능을 확인하기 위하여 충북선, 중앙선, 경부선, 호남선 구간에서 GPS와 일본의 MSAS를 이용한 DGNSS 시험을 통해 GPS 및 MSAS 위성신호의 수신성능과 위치정확성을 평가하였다. 시험결과 MSAS를 통한 보정정보의 수신은 78%이상 가능하였으며, 보정정보 이용 시의 위치정확도는 1~2m 수준으로

확인되었다. 하지만, 다중경로가 발생한 환경에서는 MSAS를 통한 보정정보의 활용만으로 위치정확도의 개선이 어렵다는 점도 확인되었다. 따라서 GPS와 같은 위성항법시스템의 철도적용에는 GPS 외 타코미터, 선로DB 등과의 융합이 필수적이며, GPS 위치정보를 열차 절대위치 보정정보로 활용하기 위해서는 GPS 위치정보의 신뢰성 평가 및 활용방안의 마련이 필요하다.

### 참고문헌

1. Elliott D. Kaplan, Christopher J. Hegarty. "Understanding GPS Principles and Application 2nd ed.", Artech house, pp.360, 2006.
2. Leo Eldredge, "GNSS Program Status", FAA(Federal Aviation Administration), 2010
3. <http://www.novatel.com>
4. [http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-functional\\_Satellite\\_Augmentation\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Multi-functional_Satellite_Augmentation_System)
5. [http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/12/120121\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/12/120121_.html)
6. 신경호, "위성항법시스템의 국내 철도적용시 측위정확성 개선 방안 연구", 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2011