

위성항법기반 철도 적용성 연구

Study on the Applicability of GNSS Based Railway System

정락교*
Jeong, Rag-Gyo

신경호**
Shin, Kyoung-Ho

ABSTRACT

If GNSS-based location information, expected to become the mainstream of the future technology, is applied to the future transportation, it will be of benefit to as follows; cost reducing effects on operating expanse and constructing expense due to decrease of ground unit installation, development of new technologies for train, or vehicle control system and becoming a front runner in the market. Therefore, this paper provides the minimum requirements for GNSS based system thru the studies on the applicability of GNSS based system to railway system, distinctions of the new technology between the existing technologies, and location accuracy.

1. 서 론

국내의 열차제어기술은 기존의 고정폐색에서 열차속도검지, 승차감 등 기술적인 한계점을 극복하기 위해 DTG(Distance to Go) 방식으로 적용을 추진하고 있으며, 현재는 운전시격측면에서 최적화를 도모하고자 이동폐색(Moving Block)방식으로 기술개발을 추진하고 있습니다. 향후 POST GPS 시대에는 위성을 이용한 자동항법 기술이 상용화 수준에 이를 것으로 전망하고 있으며, 이미 외국의 경우 열차제어 장비 제조업체에서는 위성항법시스템을 활용한 열차제어장비의 개발을 추진하고 있거나, 시제품에 대한 평가를 수행하고 있는 상태임. 따라서 향후 철도시스템 분야에서 열차의 자동운행 제어에 있어서 가장 핵심이 되는 차량위치 추적기술은 신뢰할 만한 수준의 정밀도, 신뢰성, 가용성이 보장된다면 주요한 기술적 흐름으로 위성항법을 이용한 제어가 될 것이 확실하다고 판단되고 있습니다. 이러한 기술 흐름에 맞추어 유럽의 철도분야에서는 교외선과 같이 열차운행이 많지 않은 노선을 대상으로 위성항법시스템 적용연구가 활발하게 이루어지고 있습니다.

미래의 기술주류를 이룰 것으로 예상되는 위성항법시스템에 의한 위치정보를 미래형 교통수단(신 교통시스템)에 적용할 경우 지상설비 감소에 따른 건설비 및 운영비 절감효과와 차량제어 분야의 신기술 창출 및 시장선도 등의 장점이 있음. 따라서 시스템 레벨에서의 연구개발에 앞서, 위성항법시스템의 신 교통시스템 적용 가능성, 기존 기술과의 차별성 등에 대한 연구가 반드시 필요하며 이를 토대로 하여 향후 건설될 바이모달 및 철도시스템에 실제 H/W, S/W를 제작 및 적용하여 평가함으로써 미래기술을 확보할 필요가 있습니다. 따라서 본 논문에서는 위성항법기반의 철도 적용성에 대하여 상업용, 안전용, 운영측면등 다각적으로 검토하고 이를 통하여 시스템의 최소 요구조건을 마련하였다.

2. 본 문

2.1 기존 시스템 현황

기존의 열차/차량의 제어방식은 고정폐색 방식과 차상거리 연산제어(Distance to Go)방식 및 이동폐색 방식에 대하여 비교하면 표 1과 같다.

* 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부, 회원

E-mail : rgjeong@krri.re.kr

TEL : (031)460-5725 FAX : (031)460-5449

** 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부, 회원

E-mail : khshin@krri.re.kr

TEL : (031)460-5448 FAX : (031)460-5449

< 표 1. 폐색방식의 비교 >

구 분	고정폐색		이 동 폐 색	
	고정 폐색(ATS)	차상거리 연산제어폐색(Distance to Go)	CBTC	GNSS
설 비 의 구성	- 궤도회로장치 - 속도 Command 전송 Logic	- 궤도회로장치 - 선로 데이터 전송 Logic - 지상의 거리 Marker Coil	- 궤도회로장치 (필요에 따라) - 전송 Wire 루프	- 궤도회로장치 (필요에 따라)
열차 감지	- 궤도회로장치	- 궤도회로장치	- 유도무선에 의한 루프 또는 무선	- GPS/GALILEO
열차와 지상간의 통신	- 지상→차상으로 속도 Code 전송(제한적) - TWC 별도의 송신 장치 필요	- 지상→차상으로 선로 데이터 전송	- 유도무선에 의한 루프 또는 무선에 의한 통신	- 유도무선에 의한 루프 또는 무선에 의한 통신
열차 속도 제어	- 일정속도 Code에 의하여 제어되므로 Code의 다변화가 어려움.	- 지상의 선로 데이터 수신에 의해 차상 속도 Code의 다변화	- 차상속도 Code의 다변화	- 차상속도 Code의 다변화
제동 정차 지점	- 폐색구간 내 임의의 지점	- Program에 의해 정의된 폐색구간 끝부분	- 선행열차의 후부가 정차지점	- 선행열차의 후부가 정차 지점
Head-way 조 정	- 최초폐색분할에 의하여 결정 - 최소운전시격 2분 이하는 불가능	- 지상/차상의 Software Sector 분할에 의해 결정 - 최소운전시격 90초 까지 가능	- 선행열차간격에 의해 가감속이 이루어짐 - 최소운전시격 60초 까지 가능	- 선행열차간격에 의해 가감속이 이루어짐 - 최소운전시격 60초까지 가능
경제성	- 선로변 유지보수비 과다(大)	- 선로변 유지보수비 과다(大)	- 선로변 유지보수비 보통(中) 및 수송력 증대	- 선로변 유지보수비 보통(小) 및 수송력 증대

기술추세측면에서 보면 고정폐색방식(Distance to Go포함)을 제1세대 시스템으로 정의할 수 있고 CBTC를 이용한 이동폐색을 제2세대, GNSS를 이용한 열차제어를 차세대 시스템이라 하여 제3세대로 구분할 수 있다. 현재 제2세대 기술인 CBTC를 이용한 이동폐색기술을 개발하여 적용단계에 있음. 아울러 제3세대 시스템은 GNSS 기반의 열차제어는 적용성 연구 단계에 있다고 볼 수 있다. 상기에서 기술한 바와 같이 이동폐색의 장점은 폐색구간의 거리 및 열차간의 간격에 대한 제한이 없어 열차의 속도에 대한 제동거리만 확보되면 열차간의 간격을 최소로 줄일 수가 있다. 이동폐색은 철도의 대량 수송에 따른 수송수요의 확보와 출퇴근 시와 같은 러시아워 시간대의 열차 간격을 줄일 수 있는 최소운전시격의 단축에 큰 효과가 있는 것으로 기대된다. 속도 Pattern의 비교에 따른 고정폐색 방식과 이동폐색 방식에 대한 속도 Pattern의 비교는 그림 1과 같다.

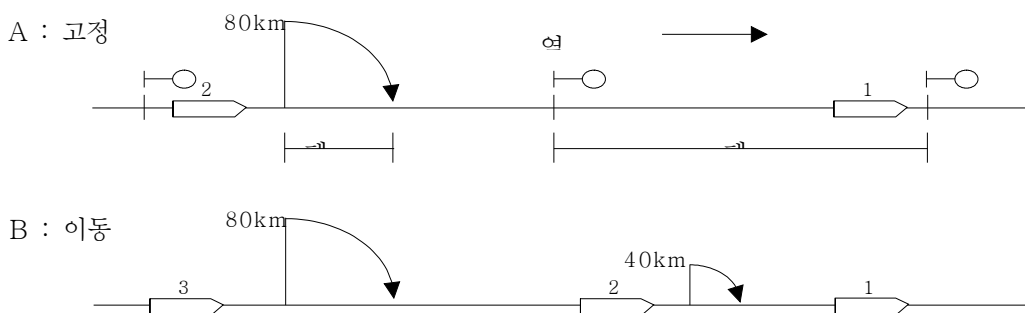


그림 1 고정폐색 방식과 이동폐색
1708

이동폐색 방식의 비교는 CBTC에 의한 이동폐색으로 열차위치검지 방식에 따라 차상중심에 의한 CBTC(그림 2)와 지상중심에 의한 CBTC(그림 3)로 구분할 수 있음.

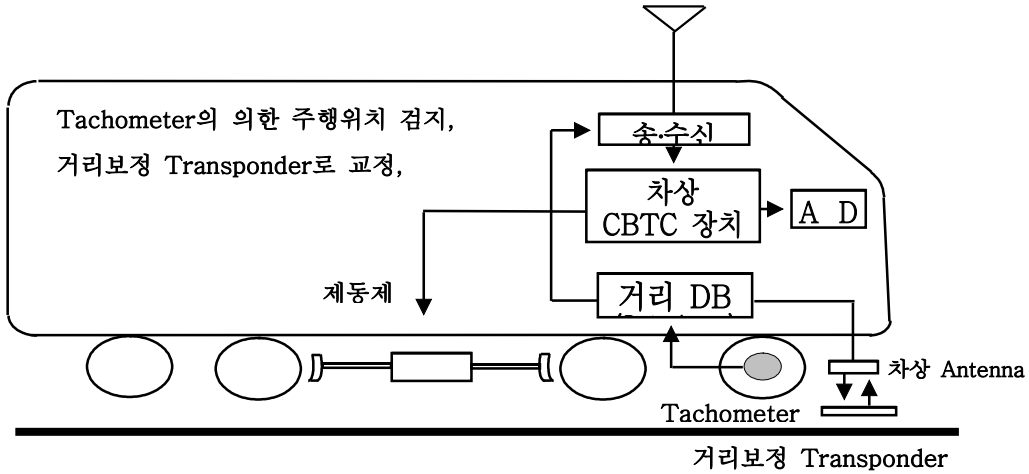


그림 2 차상중심에 의한 CBTC 방식

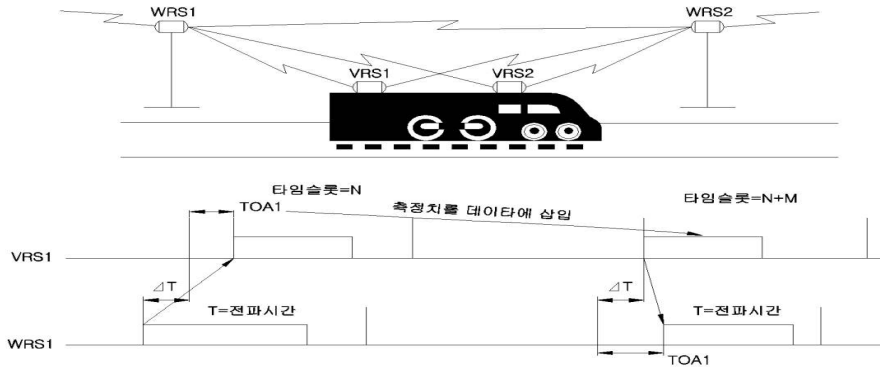


그림 3 지상중심에 의한 CBTC 방식(Radio Ranging)방식

또한 열차의 속도를 결정하는 방식의 차이점을 보면 차상중심의 CBTC는 각 열차별로 차상장치에서 열차 자신의 위치 검지, 각 열차별로 차상장치에서 열차 자신의 운행제한속도 연산으로써 선로 DB(역/구배/곡선/구간별 제한 속도 등)를 차상장치에서 보유하는 특징을 갖고 있으며 이에 반하여 지상중심의 CBTC는 지상제어장치에서 주행 중인 열차들의 위치 일괄 검지, 지상에서 각 열차별 운행 제한속도를 연산하여 지령 전송하는 방법으로써 선로DB(역/구배/곡선/구간별 제한 속도 등)를 지상 장치에서 보유하며, 열차제원, 열차주행/제동성능 DB를 지상 장치에서 보유로 들 수 있다. 아울러 무선통신의 네트워크를 비교하여 보면 차상중심의 CBTC는 RF Router 방식과 지상중심의 CBTC에는 Bucket Brigade Radio Network로서 Completely Wireless(기기실↔선로변 장치↔선로변 장치↔열차)를 할 수 있으며, 송신 에너지 자원 절약(소 출력화)하여 적용 할 수 있다.

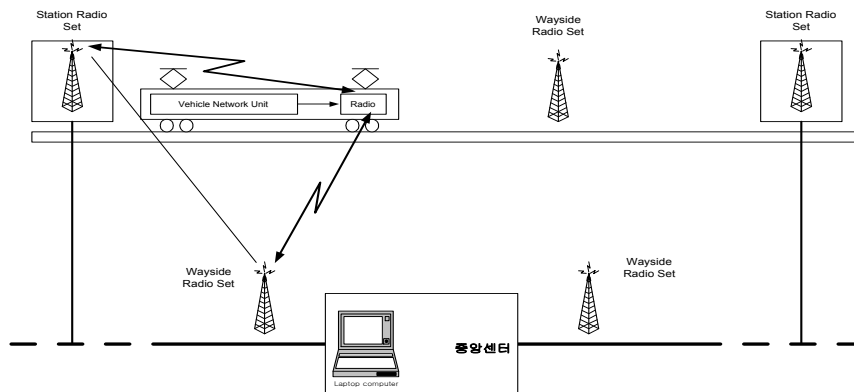


그림 4 RF Router방식

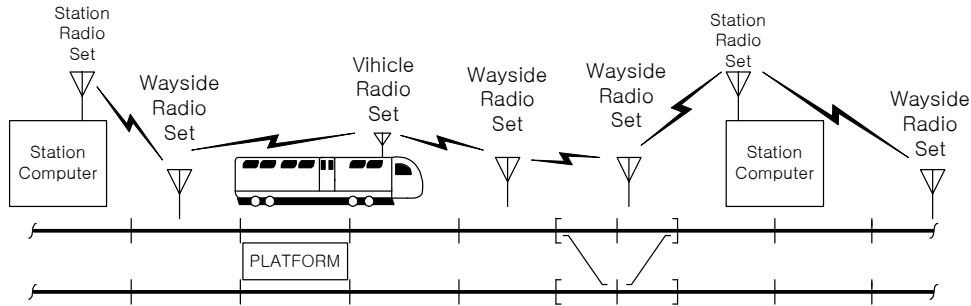


그림 5 Bucket Brigade Radio Network

CBTC에 의한 이동폐색 방식을 세분화 하여 보면 차상중심 및 지상중심방식으로 구분할 수 있으며, 이를 기술적으로 정리하여 비교하면 표 2와 같다.

< 표 2 CBTC에 의한 이동폐색 방식 비교 >

구 분	차상중심 CBTC	지상중심 CBTC
시스템 적용사례	NYCT CBTC	SF BART AATC
열차위치 검지	<ul style="list-style-type: none"> ◦차상중심 →열차속도센서 및 tag검지신호를 이용하여 차상에서 열차위치 검지. 	<ul style="list-style-type: none"> ◦지상중심 →전파도달 지연시간을 이용하여 지상 신호제어장치에서 열차위치검지(RF Ranging방식)
열차속도 결정	<ul style="list-style-type: none"> ◦차상중심 →각 열차별로, 차상신호장치에서 제동거리를 계산하여 속도제어 	<ul style="list-style-type: none"> ◦지상중심 →지상에서 각 열차들의 운행 제한속도를 일괄적으로 연산하여, 속도명령을 차상으로 전송
차상→지상 전송데이터	열차 자신의 위치, 속도	도달시간 지연 데이터(TOA)
지상→차상 전송데이터	속도제한 위치	속도 지령
차상장치 기능/구조	- 선로DB(역,구배,곡선,제한속도) 및 속도연산기능이 차상장치에 있음	- 선로DB(역,구배,곡선,제한속도) 및 속도연산기능이 지상장치에 있음 - 소형 차상장치로 적재공간 축소
시스템 특성	- 속도센서에 의한 경제적인 열차위치검지 구현	- 속도센서에 의한 위치검지 불가능시 유력한 대안
운영상 특성	- 다양한 성능의 열차의 혼합운영(Mixed Traffic)에 유리 - 상호운영성(Interoperability) 확보용이	- 한정된 구간에서, 동일 성능 열차의 고밀도 운행에 유리 - 열차군 운행 일괄제어를 통한 에너지 절약(약11%, SF BART)

현재의 상태는 무선기반의 이동폐색이 개발 및 설치의 주류를 이루고 있으나 위성항법기반의 이동폐색 구현 연구는 미진한 상태임. 따라서 위성항법기반의 열차위치기술은 이동폐색 구현을 위한 근본 기술로서 3세대 열차제어시스템 구현 기반의 마련이 가능하며, 지상장치 의존성 감소로 인해 국가 간의 시스템 운영 호환에 장점을 가지고 있어 철도선진국을 중심으로 연구에 박차를 가하고 있으며, 우리나라 또한 위성항법시대의 도래를 맞이하여 철도의 적용을 위한 준비를 하여야 한다. 열차제어시스템은 열차의 진로 및 선행열차와의 간격제어를 수행하는 시스템으로 정밀한 열차제어를 위해서는 열차위치의 정확한 검지가 반드시 요구된다. 현재 일반적인 열차의 위치검지는 궤도회로(Track Circuit)를 사용하고 있으며, 궤도회로는 100년 이상 철도분야의 열차 위치검지를 위해 사용해온 장치로서 구성이 단순하고, 100년 이상의 사용을 통해서 운영상의 신뢰성을 확보하고 있다.

표 3 열차의 위치검지방식에 따른 상대적 성능 비교

구분	궤도회로	GNSS 단독항법	GNSS 보정항법(무결성)	GNSS 통합항법 (보정+다중항법)
정확도	하	중	상	상
무결성	상	하	중	상
신뢰성	상	하	중	상
지역제한	무	유	유	무
항법주체	지상설비	차량	차량	차량
유지보수성	하	상	상	중
비용	상	하	하	중
운영효율 (상호운영성)	하	중	중	상
연속성	하	중	중	상
열차제어 활용성	상	하	중	상

하지만 열차의 위치는 현재 점유하고 있는 궤도회로 구간에서만 검지가 가능하므로 전체 선로상의 열차의 위치를 검지하기 위해서는 모든 지상선로에 궤도회로를 설치해야만 하며, 설치 및 유지보수에 많은 비용이 소요됨. 궤도회로는 폐전로(closed circuit loop)구성의 특성 때문에 현재 열차가 점유한 궤도회로 구간만을 불연속적으로 검지할 수밖에 없으며, 궤도회로의 점유상태정보는 지상설비가 수신하여 처리하는 방식으로 열차의 위치는 지상의 지역제어실 또는 중앙제어실에서만 확인 가능하다. 최근 통신기술의 발달로 인하여 열차의 차상제어장치가 지능화 및 첨단화됨에 따라 열차위치검지는 열차에서 직접 검지하기 위한 방법이 연구되고 있고, 차상중심의 위치검지방식은 해당 차량이 자신의 위치, 속도, 시각 정보를 연속적으로 측정하여 열차제어를 위한 정보로 사용하는 방식으로, 기존의 궤도회로 대비 위치검지성능 및 비용측면에서 효율적인 방식이다. 차상중심의 위치검지방식 중 위성항법기반의 차상중심의 열차위치검지방식들(GNSS단독항법, GNSS보정항법, GNSS 통합항법)과 궤도회로와의 상대적인 성능 비교는 아래 표 3과 같다. 현재 유럽의 철도분야의 위성항법관련 기술개발 동향 역시 GPS와 GALILEO 시스템의 결합 및 GALILEO SoL 서비스의 적용성 연구에 초점을 맞추어 진행될 예정이므로, 본 과제에서 진행하고자 하는 GPS/GALILEO의 SoL급 보정/무결성 정보를 활용한 위성항법기반장치의 철도분야에 대한 적용성 연구는 국제적인 연구추세에 부합하며, 반드시 추진될 필요가 있다.

2.2 연구사례 분석

2.2.1 국내사례 분석

위성항법기반의 열차위치검지와 이를 통한 열차/차량제어분야와 관련한 적용기술은 일부 선진국에서 추진 중에 있으나, 국내에서는 아직까지 연구개발로 진행된 과제는 없다. 다만 GPS를 이용한 열차접근 경보장치를 통한 철도 안전시스템 구축 연구, GPS와 RF 방식의 열차접근 경보장치에 의한 철도 안전시스템 구축 연구 등이 진행된 바 있으며, KTX 운행 시에 GPS신호를 이용하여 고속선과 기존선의 연결선구간에서 열차무선시스템을 절체한 사례가 있고 틸팅 제어분야에 적용 중에 있다.

그러나, 위성항법기반을 이용한 열차/차량제어시스템에 적용한 사례는 아직까지는 없으며, 따라서 본 연구는 그 가능성을 검증하기 위한 좋은 기회가 될 것으로 판단된다.

2.2.2 해외 사례 분석

2000년대 초반부터 국제철도기구인 UIC에서는 유럽의 위성항법시스템인 GALILEO 시스템 개발과 맞물려 철도분야에 대한 적용성 연구를 진행해왔으며 향후 GALILEO 시스템의 상용운영시를 대비한 철도 응용분야의 기술개발 로드맵을 제시하였다.

표 4 GPS, GNSS, GALILEO 시스템의 성능지표 비교
(GALILEO시스템(SoL)의 경우 GPS/GNSS 대비 신뢰성 강화)

Feature(criterion)	GPS	GNSS	G-O.S.	G-C.S.	G-SOL
Accuracy	4-6m ¹	~ 1m	3-4m ²	3-4m ³	3-4m ⁴
Coverage	+	+++	++	++ ⁵	++ ⁶
Integrity	Not	Yes ⁷	Not	Not	Yes
Alarm limit	Not	~ 20 σ	Not	Not	~ 20 σ
Time To Alarm	Not	~ 6 s	Not	Not	~ 6 s
Continuity of the service	Not	Not	Not	Yes	Yes
Guarantee	Not	Not	Not	Yes	Yes
Certification	Not	Yes ⁸	Not	Not	Yes
Liability	Not	Yes ⁽⁸⁾	Not	Yes	Yes
Civil control	Not	(Not)	Yes	Yes	Yes
Pay for service	Not	(Not)	Not	Yes	Yes ⁹
Indoor service	Not	Not	Not	Yes	Yes
Standard local components	Not	Not	Not	Yes	Yes

철도관련 상용응용분야, 전문응용분야, 안전관련 응용분야에 따라 GPS, GNSS, GALILEO 시스템의 적용가능성에 대한 상대평가를 수행하였으며 이에 대한 평가 결과는 아래의 표와 같음. 해당 응용분야에서의 평가수치가 큰 시스템일수록 적용성이 높은 항법시스템이라 볼 수 있음. GALILEO시스템(SoL서비스)의 경우 안전관련 응용분야에서의 적용성이 가장 높으며, 이것은 안전 무결성 성능이 높고, 인증(Certification)이 가능한 유일한 위성항법시스템이기 때문이다.

표 5 응용분야와 위성항법시스템간의 적용성 척도

Application	System			
	GPS only	GALILEO only	GNSS	GNSS+sensors
Commercial, mass market, information system				
Tracking & tracing	5	5	10	No need
Fleet monitoring & diagnosis	5	5	10	No need
Information systems	3	5	10	No need
Professional applications				
Track survey	3	5	10	Not applicable
Track machine guidance	3	5	9	10
Precision positioning in civil engineering	4	5	10	Not applicable
Track construction and geometry maintenance	3	5	10	Not applicable
Localisation of track & overhead failures	3	5	8	10
Safety related applications				
Train supervision	0	10	4	6
Train control	0	10	0	5
Safety of work in track	0	10	2	7

유럽의 철도분야에 GNSS/GALILEO 연구개발 로드맵 상 현재 GNSS(GPS+EGNOS) 기반장치의 열차 제어분야 적용성 연구를 수행중이며 대표적인 적용성 연구로서 앞서 기술한 LOCOPROL과 Integrail이 있음. 2008년 이후 GALILEO 상용운영 시 기준에 수행하였던 GNSS에 GALILEO를 결합하여 상용응용분야와 전문응용분야에 대한 상세연구가 진행될 예정이며, 안전성이 최우선되는 안전관련 응용분야에서는 GALILEO SoL 서비스에 대한 인증관련 연구 및 열차제어분야 적용을 위한 상세 연구를 진행할 것이다.

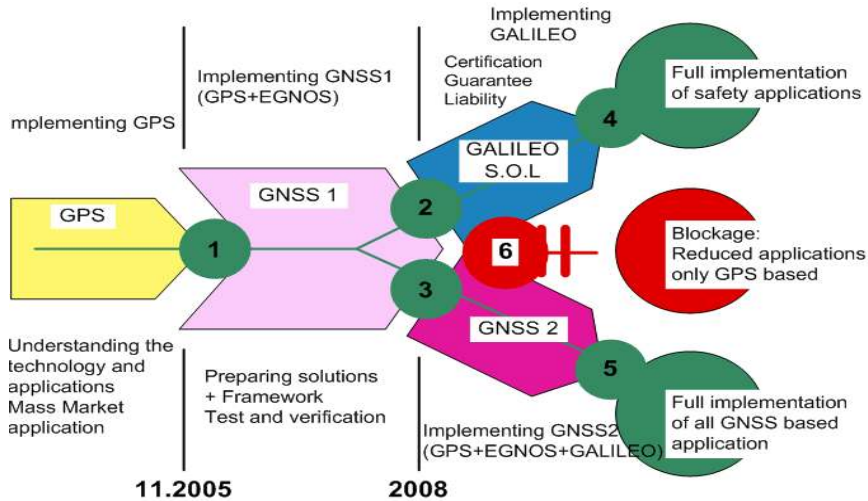


그림 6 철도분야의 GNSS/GALILEO 연구개발 로드맵

2.3 적용성 연구

위성항법 기반 철도분야의 적용성을 위한 기본 구성으로는 그림 7과 같으며, 적용을 위한 시험 구성은 그림 8과 같이 하였다.

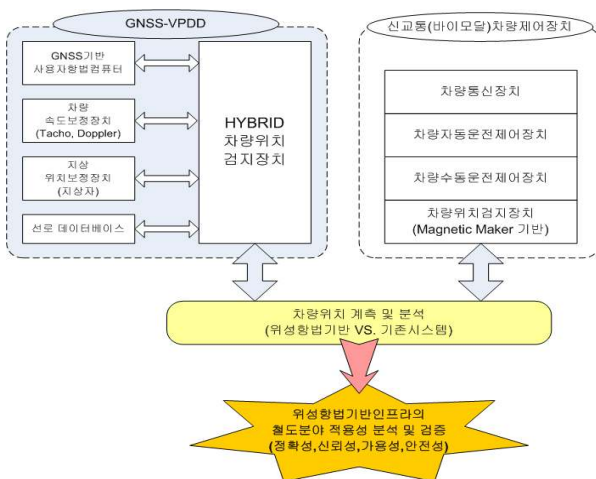


그림 7 시스템 구성

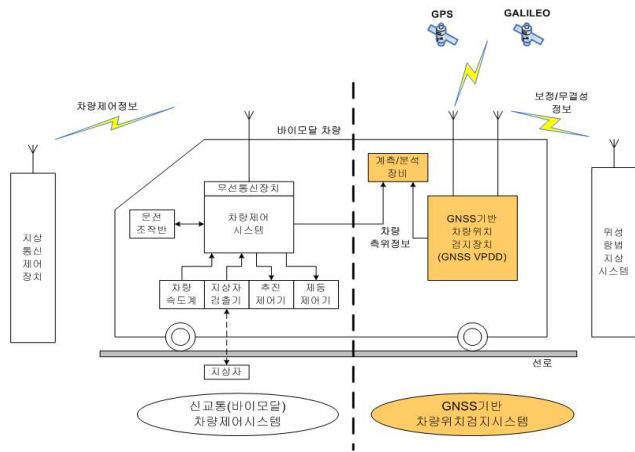


그림 8 적용시험 구성

3. 결론

현재 유럽의 철도분야의 위성항법관련 기술개발 동향 역시 GPS와 GALILEO 시스템의 결합 및 GALILEO SoL 서비스의 적용성 연구에 초점을 맞추어 진행될 예정이므로, 본 연구에서 GPS/GALILEO의 SoL급 보정/무결성 정보를 활용한 위성항법기반장치의 철도분야에 대한 적용성 연구를 수행할 것이며 이는 국제적인 연구추세에 부합하고, 상용응용분야, 전문응용분야, 안전관련 응용분야 중 안전관련 응용분야로 하여 적용성을 검토하고자 한다. 적용 대상시스템은 바이모달 차량으로, 위치검지장치를 개발 적용하여 평가함으로써 안전요구사항을 검증할 것이다.

4. 참고문헌

[1] Post GPS 시대에 대비한 국가위치전략정보관리 전략 연구, 2005. 권교부
 [2] IntegRail Final Presentation : ESTEC, Noordwijk (21 April 2004)
 [3] 국가기술지도(National Technology Roadmap)보고서, 2002.11.
 [4] Galileo Application for rail(Roadmap for implementation), 2005.10.5
 [5] Galileo Application for rail(Integration of technologies for maximisation of effects), 2006.5
 [6] Galileo Application for rail(Economic estimates of GNSS/Galileo applications), 2006.2
 [7] 위성항법기반 교통인프라 기술개발 기획보고서(안) 2007.3 1713