

# 철도교통의 위치검지기술



이신경호 |  
한국철도기술연구원  
광역도시철도연구본부  
지능형도시철도제어연구실  
선임연구원



이재호 |  
한국철도기술연구원  
광역도시철도연구본부  
지능형도시철도제어연구실 실장

철도시스템은 도로교통이나 항공교통에 비해 높은 수송능력을 보유하며, CO<sub>2</sub>를 포함한 온실가스 발생량이 적은 대표적인 저탄소 녹색성장 교통수단으로 대두되고 있다. 이를 반영하여 국토해양부에서는 철도망을 통해 “국토를 통합다핵개발형 구조로 재편한다”는 비전아래, 전국 주요도시를 KTX 고속철도망으로 연결하는 내용을 주요 골자로 하는 제2차 국가철도만 구축계획을 2011년에 확정·고시하는 등 우리나라에서도 도로교통 대비 철도교통에 대한 투자비율을 높이는 방향으로 정책을 전환하고 있다.

철도교통망의 성장을 더욱 가속시키기 위해서는 철도시스템 전반에 대한 효율성 및 안전성 증대가 요구되며, 운행중인 열차의 위치정보는 효율성·안전성 개선을 위한 핵심정보 중의 하나이다. 해외에서는 철도시스템의 효율성 개선을 위해 지상기반의 궤도회로에 의한 열차위치정보 획득이 아닌, RFID(Radio Frequency IDentification) 및 위성항법기술 등을 적용하여 차상기반의 열차위치검지 방법을 개발하고 안전성 향상기술을 접목하여 다양한 철도응용분야에 일부 적용하고 있다.

본 고에서는 국내외적으로 철도시스템분야에 적용중인 차상기반 위치검지기술에 대하여 소개하고, 향후 예상되는 위치검지기술의 발전방향에 대하여 제시하고자 한다.

## 1. 위치정보의 개념

이동중인 열차의 위치정보는 크게 절대위치와 상대위치의 개념으로 구분된다. 기존 철도시스템에서 적용되고 있는 궤도회로는 열차의 점유여부를 검지하여 특정궤도 내 열차위치를 확인하는 절대위치기술로 구분되며, 오도미터(odometer), 타코미터(tachometer) 등의 차륜센서는 열차 속도 및 이동거리를 확인하는 상대위치기술로 구분할 수 있다. 하지만 궤도회로의 경우 열차가 점유한 특정 궤도회로만을 파악하기 때문에 수 m 이내의 정확한 열차위치파악이 불가능하며, 차륜센서를 통한 상대위치 또한 차륜의 마모 및 활주·공전 현상에 기인하여 이동거리가 증대됨에 따라 위치오차가 증가하는 문제점을 갖고 있다. 따라서 열차 위치정보의 정확성 개선을 위해서는 정확한 절대위치의 확보와 함께 상대위치 오차를 저감기술의 확보가 필요하다.

최근 유럽 및 북미국가에서는 궤도회로를 대체하고, 절대위치 정확성 확보를 위해 GPS(Global Positioning System) 등의 위성항법기술과 RFID 기술 등을 절대위치 확보기술로서 적용하고 있으며, 차륜센서 외 도플러센서 및 가속도계와 자이로스코프로 구성된 관성센서를 복합적으로 적용하여 속도 및 상대위치의 정확성을 확보하고, 열차의

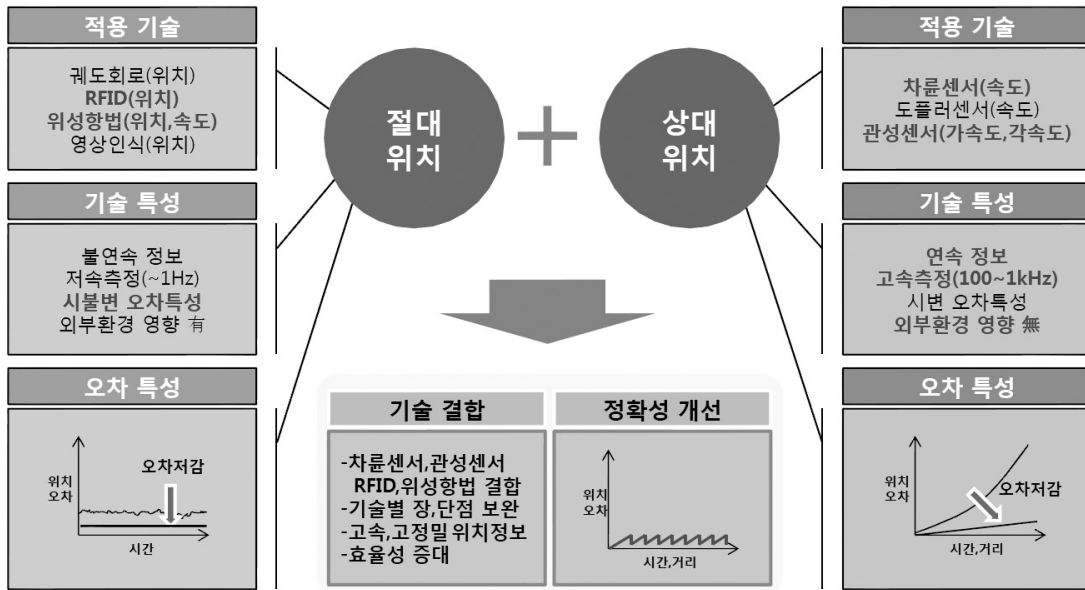


그림 1. 철도교통 위치정보의 결합 관계

이동 및 분기방향을 검지할 수 있는 차상기반 열차위치검지시스템을 개발하여 다양한 철도응용분야에 적용 중에 있다.

## 2. 철도교통 위치정보의 정확성 및 신뢰성 향상기술

### 2.1 RFID

최근 유럽 및 북미 지역에서는 무선통신기술이 접목된 열차제어시스템이 개발, 적용되고 있으며, 대표적인 시스템으로는 CBTC(Communication Based Train Control)와 ETCS(European Train Control System)가 있다. 이러한 열차제어시스템에서는 무선통신을 매개로 차량과 지상설비간의 열차제어정보를 교류하며, 차륜센서와 RFID를 접목한 열차위치검지기술이 적용되고 있다. RFID를 무선정보인식기술로서 고유정보를 탑재한 RFID 트랜스폰더와 RFID 트랜스폰더내 고유정보를 판독하는 RFID 리더로 구성되며, RFID 리더가 탑재된 열차가 선로 상에 설치된 RFID 트랜스폰더를 통과할 때 트랜스폰더 내 탑재된 기준 위치정보를 판독하여 운행 중 누적된 상대위치오차를 보정하여 위치 정확성을 확보하고 있다.

CBTC 시스템과 ETCS에 적용된 RFID기술은 구조적, 기능적, 성능적으로 상이한 특징이 있다. ETCS에서 적용 중인 RFID는 발리스(balise)라 통칭되며, 전원공급 및 데이터 전송 주파수가 상이한 이중주파수 구조 및 자기유도 결합방식을 적용하여 최대 500km/h 고속환경에서도 1m 이내의 절대위치정보의 확보가 가능하고, 눈, 수분, 염수, 얼음, 자갈, 오일, 진흙, 금속 등 다양한 환경에 대한 내환경 성능을 보유하고 있다. 또한 발리스는 절대위치정보 외 터널, 교량, 절연구간, 선로구배 등 고정정보를 제공하는 고정발리스와 이동권한 등 변경가능한 열차제어정보를 제공하는 가변발리스로 구분된다. 이러한 발리스는 차상신호시스템사업을 통해 경부선, 호남선, 경춘선에 구축이 완료되었으며, 전라선의 경우 구축 중에 있다.

CBTC 시스템에 적용된 RFID 기술은 상용 RFID 주파수인 900MHz 대역을 이용, 후방산란방식을 적용한 수동형 RFID기술이 적용되었다. 발리스와는 달리 CBTC 시스템에 적용된 RFID 기술은 선로 상의 절대위치정보만을 열차로 전송하며 900MHz 주파수 특성으로 인해, 발리스 대비 내환경성과 인식속도 제한 등 인식성능 상의 제약으로 인해 도시철도 분야에 적용되고 있으며, 국내의 경우 신분당선, 김해경전철, 인천2호선 등에 적용되었다.

표 1. 철도 적용 RFID 사양 비교

구분	발리스(Balise)	Right Rail Tag	GAPS
구성			
제작사	Alstom, Ansaldo-STB, Bombardier, Invensys, Siemens, Sigma-Digitek, Thales	Transcore	Transcore
크기	43.6*24.5*3.5cm(Balise/Tag) 41*35*10cm(CAU/Ant) 24*33.5*24.5cm(BTM/Reader)	23.6*6.0*1.75cm(TAG) 22.0*8.0*5.0cm(ANT) 48.3*13.3*22.9cm(Reader)	32*15*6cm(TAG) 42*43.8*10.2cm(ANT/Reader)
동작속도	< 500km/h	< 150km/h	< 500km/h
결합방식	자기유도(수동, 단방향/양방향)	후방산란(수동형, 단방향)	자기유도(수동형, 단방향)
주파수	27.095MHz(전원공급, cw) 3.951, 4.516MHz(데이터, FSK, 564kbps)	902 ~ 928MHz(전원/데이터)	125kHz(전원공급) 2.45GHz(데이터전송, 250kbps)
데이터	1023bit (standard type) 342bit (short type)	60bits	256bits
인식시간	7.2msec	?	4.1msec
동작온도	-40 ~ 70도	-40 ~ 85도	-30 ~ 70도
인식거리	0.22~0.46m	1.5 ~ 3m	0.35 ~ 0.6m
표준규격	ERA, SUBSET-036(Air) ERA, SUBSET-085(Test)	제작사 자체표준	제작사 자체표준
국내 적용현황	경부선, 호남선, 경춘선 ATP (설치간격: 약800m)	신분당선, 김해경전철, 인천2호선 등 도시철도 열차제어시스템(설치간격: 약25m)	코레일 선로유지보수시스템(KTMSYS) 시범구축
내환경성	눈, 염수, 수분, 얼음, 자갈, 오일, 진흙, 금속 환경 대응	금속환경 대응	눈, 염수, 수분, 얼음, 자갈, 오일, 진흙, 금속 환경 대응

## 2.2 위성항법시스템

위성항법시스템(GNSS ; Global Navigation Satellite System)은 지구상에 위치한 인공위성을 이용하는 전파항법시스템(Radio Navigation System)으로 항공/우주, 국방, 도로 등 다양한 교통분야에 적용중인 위치검지시스템이다. 현재 운영중인 위성항법시스템은 미국의 GPS와 러시아의 GLONASS가 있으며, 이중 GPS는 전 세계적으로 교통, 측량, 레저분야 등에서 다양하게 활용 중이다. 또한 전 세계적으로 다양한 위성항법시스템이 개발 중에 있으며, 현재 개발중인 위성항법시스템으로는 유럽연합(EU)의 GALILEO, 중국의 COMPASS, 인도의 GINSS, 일본의 QZSS 등이 있다. 운영중인 GPS와 GLONASS는 군사용으로 개발된 시스템으로 현재 상업용도로의 서비스 제공이 이루어지고 있으나, 위성항법신호의 품질 및 안전성(무결성) 보장이 어려운 단점이 있어, 유럽연합에서는 위성항법신호의 품질 및 안전성을 자체적으로 확보하여 상용서비스가 가능하도록 GALILEO 위성항법시스템을 개발 중에 있으며, 철도교통 분야에서도 GALILEO 서비스의 적극적인 활용이 가능하도록 다양한 선행기술 개발을 추진하

고 있다.

특히 북미, 유럽, 일본 등의 일부국가에서는 위성항법시스템을 통한 위치정보 확보 시 정확성 및 안전성 향상을 목적으로 Differential GNSS 시스템을 함께 적용하고 있다. Differential GNSS 시스템은 GNSS 위성신호에 포함된 오차보정정보를 제공, GNSS 사용자의 위치정확성을 향상시키는 개념으로 오차보정정보의 제공 주체에 따라 지상기반 Differential GNSS 시스템과 위성기반 Differential GNSS 시스템(SBAS ; Satellite Based Augmentation System)으로 구

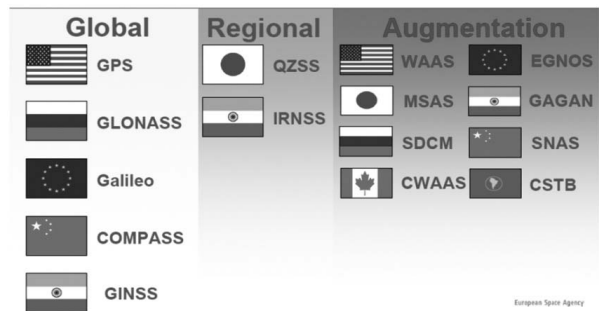


그림 2. 위성항법시스템 및 보강항법시스템 개발 현황

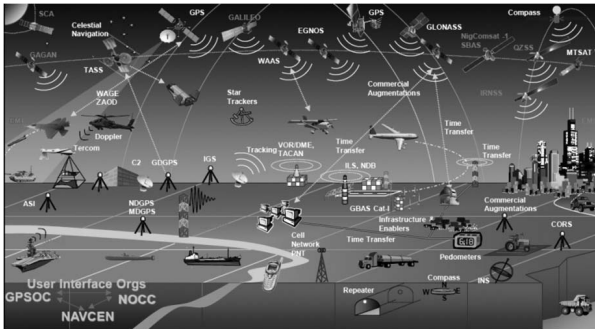


그림 3. 위성항법시스템 적용분야

시스템인 ERTMS/ETCS 시스템에 위성항법기술을 적용하는 연구를 진행해오고 있다. 대표적인 프로젝트로는 APOLO, INTEGRAIL, LOCOLOC/LOCOPROL, RUNE (Railway User Navigation Equipment) 등이 있다.

INTEGRAIL은 현존하는 열차속도검지장치 수준의 신뢰성을 확보하는 차상기반 열차위치측정장치(INTEGRAIL Mobile Unit)를 개발하여 열차제어분야에서의 적용가능성을 확인하는 것을 목적으로 하는 프로젝트로서 위성항법기반 위치측정의 정확성과 신뢰성 수준의 개선을 위하여 유럽의 보강항법시스템인 EGNOS와 오도메터, 관성센서를 융합하여 적용하였다. 그림5는 ETCS환경에서 INTEGRAIL Mobile Unit의 구성 관계를 나타낸다. LOCOLOC/LOCOPROL 프로젝트는 저비용, 고신뢰도의 위성항법기반 열차위치검지 알고리즘의 개발과 검증을 목적으로 하며, 디지털 선로지도를 이용하여 고 신뢰도의 위성항법기반 열차위치결정알고리즘을 적용하였다. LOCOLOC/LOCOPROL 프로젝트에서 적용한 열차위치 결정알고리즘은 1차원 측위기법으로 가시위성 수가 2개인 상황에서도 위치확인이 가능한 반면 위치정확도는 200~400m 수준으로 정확도가 낮은 단점이 있다. RUNE 프로젝트는 선로주변시설의 제한적 적용 또는 선로 주변 시설의 사용없이 차상기반의 열차위치 및 속도결정능의

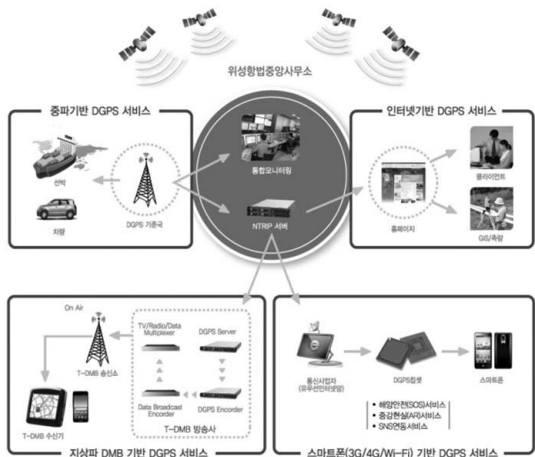


그림 4. 국토해양부 위성항법중양사무소 DGPS 서비스 현황

분되며, 현재 운영중인 SBAS로는 WAAS(미국), EGNOS(유럽), MSAS(일본)가 있다.

국내에서도 GPS 위성항법시스템의 정확성 및 안전성 향상을 위한 보정서비스가 국토해양부 위성항법중양사무소와 국토지리정보원을 통해 제공되고 있다. 위성항법중양사무소는 11개의 해안기준국과 6개의 내륙기지국을 통해 GPS위성에 대한 보정정보를 수집하고, 중파와 인터넷 기반으로 DGPS 정보를 서비스 중에 있으며, 2012년 이후부터는 지상파 DMB와 스마트폰기반 DGPS 서비스를 개시할 예정이다.

### 3. 국외 철도교통 위치검지기술 현황

유럽에서는 2000년대 초반부터 유럽의 통합열차제어

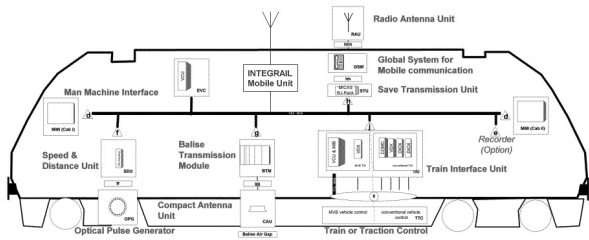


그림 5. ETCS와 INTEGRAIL Mobile Unit의 구성 관계

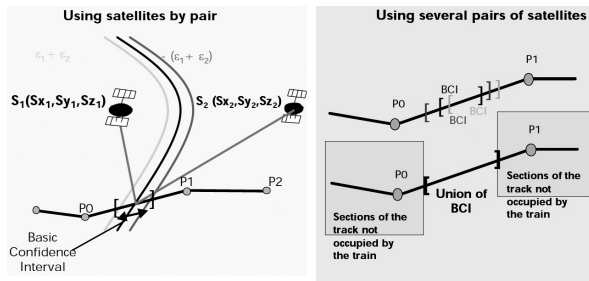


그림 6. LOCOLOC/LOCOPROL의 1차원 측위기법

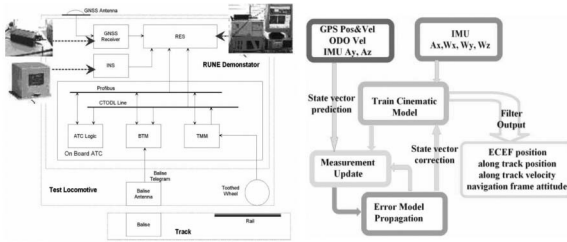


그림 7. RUNE의 HW 및 SW 알고리즘 구조

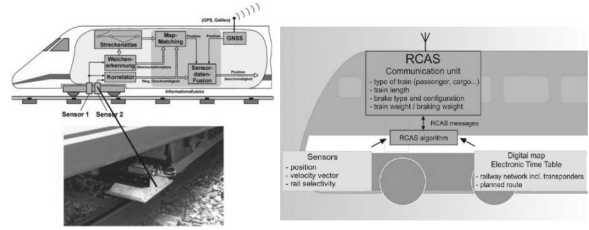


그림 8. DemoOrt 시스템과 RCAS 시스템

개선을 입증하고, ERTMS/ETCS 요구사항에 적합한 열차 위치 및 속도 측정 장치의 개발가능성을 제시하는 것을 목적으로 한다. RUNE의 내부구조는 위성항법수신기, 3축 IMU(Inertial Measurement Unit), 휠센서, 도플러레이더센서, 발리스을 적용하였으며 확장형 칼만필터를 실시간 센서 융합알고리즘으로 적용하였다.

DemoOrt는 독일에서 진행된 차상기반 위치검지기술을 연구하는 프로젝트로서 위성항법시스템과 와전류(eddy-current)기술, 지도정합기술을 적용하였다. DemoOrt에서 적용된 와전류기술은 선로변 궤도 클램프를 검지하여 열차의 위치와 속도를 검지하는 기술로서 궤도 클램프 외 분기부 궤도구조에 따른 와전류신호 특성을 이용하여 열차의 분기여부를 파악하는 특징이 있다. 2010년, 독일 DLR(독일

항공우주연구소)는 DemoOrt 위치검지기술과 Ad-hoc 기반 차량간 통신기술을 접목하여 RCAS(Railway Collision Avoidance System)라는 실시간 열차충돌방지시스템을 발표하였다.

미국에서는 PTC(Positive Train Control)라는 무선통신기반 열차제어시스템을 개발, 적용 중에 있다. PTC는 NDGPS(Nationwide Differential GPS)망을 활용하여 GPS 위치정보의 정확성과 신뢰성을 보완하고 열차제어 분야의 안전성, 효율성, 정확성 개선을 목표로 하는 프로젝트로서 미국교통안전위원회(NTSB ; The National Transportation Safety Board)는 교통안전향상을 위한 필수 기술로서 PTC를 선정하고, 2008년 10월 철도안전향상법률의 제정을 통해 2015년까지 미국전역의 화물 및 여객철도

표 2. 철도 적용 RFID 사양 비교

프로젝트	APOLO	LOCOLOC/LOCOPROL	INTEGRAL	ECORAIL	DemoOrt	Archimede	IRIS320
적용분야	열차제어 (선행연구)	열차제어, (선행연구,ETCS)	열차제어 (선행연구,ETCS)	건널목 차단제어 (선행연구)	열차제어 (선행연구)	유지보수검측차 (실용화)	유지보수검측차 (실용화)
위치검지 성능	- 2종류의 성능요구사항 : APOLO-SSA = 50~100m (Standard Service Accuracy) : APOLO-HA = 5~10m (High Accuracy)	- 위치정확도 수준 : 200m ~ 400m(L1) : 150m ~ 250m(L1/L2) - 속도정확도 수준 : 3m/s - 무결성 수준 : ~10 <sup>-11</sup> /Hr - 가용성 수준 : 98%	- 위치검지 정확도 수준 : < 5m + 5%*이동거리 (95%, 단선구간) : < 1m (95%, 복선구간) - 시스템 무결성 수준 : Alarm Limit < 20m : Time To Alarm < 6 초 : Integrity Risk < 10 <sup>-7</sup> - 가용성/연속성수준 : >99,99999% (unavailability <10 <sup>-7</sup> ), 매 20초 or 2km 이동 시	- 위치정확도 수준 : < 25m(95%, 1D) - 속도정확도 수준 : < 2km/h(99%) - 가용성 : >99,98% - 연속성 : 99,98% (1hour) - Alert Limit : <50m - Time to Alarm: 7sec - 안전성 목표 : SIL4	- 사양 미공개	- 최대속도 : 250km/h	- 위치정확도 : <2m (@10km이동) - 전송지연 : < 3msec - 동기화 오차 : < 0,25m - 검측속도 : 320km/h
적용센서	GPS(EGNOS 보정) 관성센서, 오도메터	GPS	GPS(EGNOS 보정), 1속 자이로, 가속도계 ETCS Onboard Device (오도메터, Balise 등)	GPS(EGNOS 보정) 오도메터	GPS(EGNOS보정) 와전류 센서, 오도메터	GPS(EGNOS,DGPS), 도플러레이더센서, 오도메터,트랜스폰더	오도메터, 마그네틱 트랜스폰더 GPS(DGPS)
보강 시스템 (SBAS)	적용(EGNOS)	미적용	적용(EGNOS)	적용(EGNOS)	적용(EGNOS)	적용(EGNOS)	-
MAP 적용	선로MAP 적용	선로MAP 적용	선로MAP 적용	선로MAP 적용	선로MAP 적용	-	적용
참여자	DSNP,UIC,CD, Railtrack, TIFSA/RENFE	Alstom, Septentrio, TASY, SNCB, NMBS	Kayser-Threde, Bombardier, iFEN	AREVA, ALCATEL,ESA Systra, Stern hafferl 등	DLR, Bombardier TUB, UK	MerMec (제작사/이탈리)	SNCF (제작사/프랑스)
기타	- 분기부 경지를 위해 관성센서 적용	- 선로 MAP과 1D 측위기법 통합 적용 - Virtual Balise개념 도입	- 시스템 품질확인 수준 : CENELEC 규격 준용 (열도차량 내 전자시스템 : 온도, 진동, 전자파) - ETCS Onboard 장치와 연동 가능 - 분기부 경지를 위해 관성센서 적용	- 건널목차단시간 최소화 - SIL4 입증 필요	- 와전류센서를 통한 궤도 클램프 검지로 속도 및 분기여부 검출개념 도입 - DemoOrt기술을 이용 열차충돌방지시스템 개발(RCAS)	- 메인센서 : 오도메터	- 메인센서 : 오도메터 - 여분구조 - 시락주기 : 1kHz

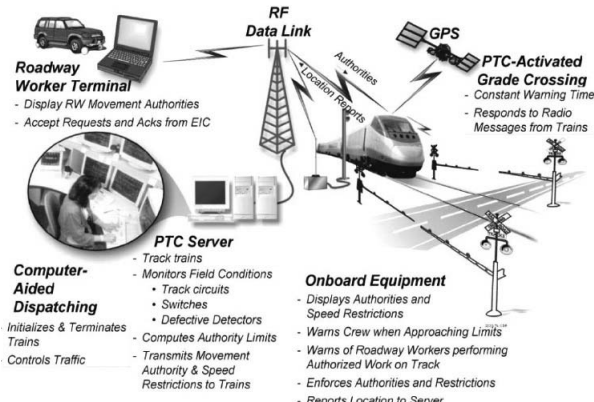


그림 9. PTC 시스템 구성

노선에 PTC 시스템을 구축할 수 있도록 PTC 기술개발을 위한 재정을 지원 중에 있다.

열차의 정확한 위치정보요구가 증대되고 있는 분야로는 철도시설물의 유지보수 분야이다. 현재 국내외적으로 고속철도의 수요가 증대되고, 운행 정시성 확보를 위해 철도 시설물의 유지보수 효율성 개선이 필요한 상황이다. 이를 위해 유럽, 일본, 중국 등의 국가에서는 250km/h 이상의 고속환경에서도 선로, 전차선, 열차제어, 통신설비 등 선로시설물의 검측정보를 종합적으로 계측할 수 있는 고속종합검측차를 개발하여, 운영 중에 있다. 대표적인 고속종합검측차로는 이태리의 Archimede와 프랑스의 IRIS-320가 있으며, 고속운행 환경에서도 정확하고, 안정적인 검측위치정보의 확보를 위해 차륜센서, GPS(DGPS/EGNOS), 도플러레이더 센서, RFID 기술 등을 복합적으로 적용하고 있다.

#### 4. 철도교통 위치검지기술의 발전방향

지금까지 철도교통 위치정보의 성능향상 방안과 국외에서 연구, 개발 중인 철도교통 위치검지 신기술에 대하여 살펴보았다. 현재 국내외적으로 철도교통망 확충을 위한 저비용 인프라구축 기술과 함께 운영효율화 기술의 요구가 증대되고 있다. 철도교통 분야에서의 열차위치정보는 열차운행의 안전성 향상과 효율화에 필요한 핵심정보로서 신뢰성 있고 정확한 열차위치정보의 확보가 필요하다.

국외의 경우에는 체계적인 연구개발계획에 따라 지상설

비를 최소화하는 방향으로 위성항법 및 차상기반 열차위치검지기술을 개발하고 각종 시험을 통해 성능 최적화와 안전 확보기술을 연구하고 있는 반면, 국내에서는 아직까지 철도교통 위치정보에 대한 중요성이 이슈화 되지 못하고 있는 실정이다.

향후 철도시장은 저비용·고효율 기술의 수요 증대가 예상되며, 시장 수요에 적극 대응하기 위해서는 철도교통 위치검지기술의 체계적인 연구개발이 필요하며, 위치검지센서기술, 차상기반 위치검지시스템기술, 선로DB구축 기술, 무선통신망 연계기술 등을 중심으로 연구개발이 추진되어야 할 것이다. ☺

#### ♣ 참고 문헌

1. S. Bedrich, X. Gu, 'GNSS-Based Sensor Fusion for Safety-Critical Applications in Rail Traffic', NAVITEC2004, 2004
2. KAYSER-THREDE, 'INTEGRAL - Final Presentation', ESTEC, 2004
3. Aleš Filip, Hynek Mocek, Lubor Bazant, 'GPS/GNSS Based Train Positioning for Safety Critical Applications', SIGNAL+DRAHT INTERNATIONAL, 2001
4. Michael Meyer zu Horste, Jan Poliak, 'The Project DemoOrt - Demonstration of safety critical localization of trains', ZEL-GNSS 2008, 2008
5. Alvaro Urech, Maria J. Garcia, 'GRAIL: GNSS in the rail domain', ZEL-GNSS 2008, 2008
6. Railway User Navigation Equipment (RUNE) ([http://www.esa.int/esaNA/SEMAYDM26WD\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/SEMAYDM26WD_index_0.html))
7. Michel ROUSSEAU, LOCOLOC-Final Presentation, 2004
8. V.THEVENOT, 'Final presentation : ECORAIL-GNSS for Safe Railway Road Cross Applications', 2006
9. Albanese, A. Marradi, L., 'The RUNE project: the integrity performances of GNSS-based railway user navigation equipment', ASME2005, 2005
10. Thomas Strang, Michael Meyer zu Horste, Xiaogang Gu, 'A RAILWAY COLLISION AVOIDANCE SYSTEM EXPLOITING AD-HOC INTER-VEHICLE COMMUNICATIONS AND GALILEO', ITS2006
11. RCAS(<http://www.collision-avoidance.org/>)
12. Mike Knutton, 'Archimede gets the measure of Italian track: a new measuring train used by the Italian railway infrastructure company, RFI, travels 80,000km a year and checks the 10,000km Italian network at double the frequency of previous generations of vehicles', International Railway Journal, Nov 2004
13. Stasha Jovanovic, Giuseppe Aurisicchio, 'Condition monitoring and condition-based railway Asset Management for High Speed lines', UIC - 6th World Congress on High Speed Rail, 2006
14. DOT/FRA/ORD-09/04, North American Joint Positive Train Control Project, Federal Railroad Administration, U.S. Department of Transportation, 2009
15. Federal Railroad Administration(<http://www.fra.dot.gov>)
16. UIC - GALILEO(<http://www.uic.org/spip.php?article726>)
17. European Space Agency(<http://www.esa.int>)
18. Transcore(<http://www.transcore.com>)
19. SUBSET-036 Issue 2.4.1, ERTMS/ETCS-Class 1 FFFIS for Eurobalise, 2007
20. 국토해양부 위성항법중앙사무소(<http://www.ndgps.go.kr>)