

열차의 위치검지방법에 관한 연구

\*이재호 조봉관 류상환 김종기 박귀태  
 한국철도기술연구원 한국철도기술연구원 한국철도기술연구원 한국철도기술연구원 고려대학교

A Position Detection in Railway System

Lee Jae-Ho\* Cho Bong-Kwan\* Ryu Sang-Hwan\* Kim Jong-Ki\* Park Gwi-Tae\*\*  
 Korea Railroad Research Institute\* Korea University\*\*

**Abstract** - To safely control a group of trains, it is essential to detect the position of train. The system to detect the position of train by the train itself will become a mainstream of the new systems using radio transmission. This paper introduces the methods of train position detection that have been studied, introduces the trend of these methods. It also described the fundamental concept and approach to realize a system to detect the position of train which is applicable to systems.

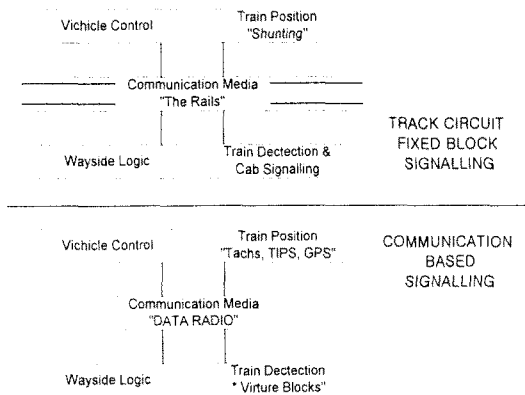


그림 1 열차제어시스템의 변화

1. 서 론

1825년 영국에서 증기기관차가 운전되면서 약 170년이 지났다. 그 동안 기술의 진보와 함께 열차제어의 방법도 변화해 왔다.

처음 운행할 당시는 시각에 의존한 운전이었으며 단선 구간에서 열차상호간의 안전을 도모하는 방법으로 "시각 간격법"에 의한 열차제어방식이 채용되었지만 터널내부나 단선구간에서 도중정차 열차에 충돌하는 사고가 빈번히 발생하였다.

따라서, 1872년 "궤도회로"라는 획기적인 방법이 로빈슨에 의해 발명되어 1910년대에 널리 보급되었다. 그리고, 그후 열차제어는 "궤도회로"를 이용한 방법으로 되었다.

열차운행의 안전확보에는 자동적인 열차위치검지가 필수이다. 열차위치 검지방법은 개념상 특정지점에서의 "지점검지", 어떤 구간내의 존재를 검출하는 "구간검지" 및 각각의 연속위치를 검출하는 "연속검지"의 3가지로 크게 구별된다. 원래 열차위치는 1열차만을 점유시킨 구간을 만들어 열차상호의 충돌을 막는 폐색제어를 위해 필요하였으며, 궤도회로등의 구간검지는 폐색의 개념을 따라 열차검지를 하고 있다.

최근, 시스템의 유연성, 저비용, 고밀도운전 등의 이유로 ETCS/ERTMS(유럽), CBTC(북미), AATC(미국) CARAT(일본철도총연), ATACS(JR동일본) 등의 무선을 이용한 새로운 열차제어시스템이 개발되어 각각의 열차 위치를 연속적으로 검출하여 열차상호의 안전을 확보하는 이동폐색에 의해 제어된다. 검출된 위치는 충분한 신뢰성을 필요로 하며, 열차운전에서 안전의 중요성을 평가하는 중요한 척도가 되었다.(그림 1참조)

여기서는 무선을 이용한 열차제어시스템(CBTC 또는 CBS)의 기본이 되는 연속위치검지에 중점을 두어, 이제까지 외국에서 고려되고 시험된 위치검지방법의 동향에 대하여 소개하는 합과 동시에 열차 위치검지시스템의 실용화를 향한 기본적인 고려방안과 그 실현방법을 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 열차의 위치검지방법

일반적인 열차의 위치검지는 궤도회로의 폐색을 이용함으로 실제적으로는 구간검지라고 할 수 있는 방법이 이용되고 있으나 열차의 안전확보를 통한 운행제어에 이용하기 위해서는 열차스스로가 자신의 위치를 확인할 수 있는 방법으로서의 변화가 요구되고 있다. 따라서 여기서는 다양한 열차의 위치검지방법에 조사분석내용을 기술한다.

2.1.1 궤도회로의 차속단락 임피던스

궤도회로는 그 길이에 대응하여 임피던스가 변화하는 분포정수회로이다. 열차의 차속단락점까지의 거리는 송신단에서 본 레일의 함수이다. 따라서 임피던스를 측정하면 열차위치가 검출된다. 시험에서는 송신단에서 600m 까지의 거리차는 ±20m이하라고 보고되고 있다.

2.1.2 관성속도계

가속도계를 2중 적분하여 거리를 검출하는 것이다. 시스템 이상의 검출과 보조계에 이용된다. 중력등의 영향을 제거하여 열차의 진행방향의 가속도를 확실히 검출하기 위한 처리로서 FOG(optic fiber gyroscope)에 의해 열차의 자세각을 검출하는 것과 센로구배를 차상데이터로서 기억하는 것의 2가지 방식이 있다.

FOG(광파이버자이로)방식은 관성속도계는 아직 고가이고 열라이랜트(초기철정)를 위해 일정시간의 정차(定置)를 필요로 하는 등의 문제가 있다.

2.1.3 차속회전

차축의 회전수를 카운트하여 위치검지를 행하는 방식이다. 궤도회로를 이용하지 않고, 무선계와의 독립, 저비용등의 이유로 복수축의 채용, 적절한 활주·공전보정, 기타 보조계의 이동 등에 의해 충분히 실용 가능한 것으로 차축에 의한 열차위치검지가 기본이 되고 있다.

(1) 속도발전기

차축 혹은 차축과 연동하여 회전하는 치차등의 회전을 검출하여 펄스를 발생하는 속도발전기를 사용한다. 일반적으로 1회전당 90펄스정도의 것이 이용되고 있다.

펄스의 발생원리는 차축과 함께 회전하는 금속치차와 코일의 자기결합의 강약을 검출하는 것이 된다.

(2) 활주·공전보정

복수축의 속도발전기를 사용하여 내부 2축 각각의 이동거리차(수cm레벨)를 감시하는 것과 이차가감속도를 감시하는 것에 의해 활주 공전을 검출한다.

· 최대최소가감속도에 의한 보정

일본총연의 CARAT의 실험시스템에 채용한 것으로서 활주·공전발생시의 가감속도를 실제의 열차에 대하여 경험적으로 설정된 최대최소의 가감속도의 범위에서 보정을 행한 것이다. 보정결과는 활주시는 열차의 후부위치를 공전시는 선두위치를 보여 각각의 선두위치 및 후부위치는 선로구배를 가미한 최소의 감속도(타행을 포함) 및 가속도에서 주행한 것으로 하여 보정한다.

· 보조계에 의한 활주·공전보정

속도발전기는 2축 동시 미끄러짐이 1축 미끄러짐의 1/5정도로 되어 빈도가 높으므로 4축으로 하였다. 이 안 3축 동시에 미끄러졌을 때 10초간에 한하여 FOG를 사용한 관성속도계에 의해 보정을 한다. 관성속도계는 상시 차축속도에 합해져서 완전한 보정을 하고, 위치검지 장치는 관성속도계의 속도 및 그것과 차축속도와의 속도차(오버랩 오차)를 과거 수초간 기억한다. 활주·공전을 검출한 때, 검출지연이 보정되는 시간만큼 소급하여 보정을 개시한다. 이 때 소급한 시점의 offset 오차에서 그 후의 관성속도계의 속도를 보정하여 거리를 연산한다.

2.1.4 LCX(Leakage Cable)를 이용하는 것

전파의 전달지연을 검출하는 방법은 일본의 철도총연에서 CARAT의 정보전송을 위하여 사용된 방법으로 LCX에 수백kHz의 신호를 지상으로부터 송신하여 차상에서 되돌아오는 왕복전달지연시간을 주파수 클럭으로 측정하여 열차위치를 구하는 방법으로 정밀도가 수m이하인 것으로 확인되고 있다. 또한, 전파의 위상을 검출하는 방법으로 LCX를 적당한 길이로 분할하여 접속부분에서 위상차를 만들어 차상에서 위상의 불연속점을 카운트하여 위치를 검출하는 방식으로 독일의 SIMENS에 의해 제안되었다.

2.1.5 유도무선을 이용한 것

차상 커플러에 의한 반사를 이용하는 방법으로 2개의 서로 결합하지 않는 구조의 평행선에 펄스를 전송시켜 차상반사기에서 반사시켜서 거리를 검출하는 방식으로 Tomson, GE 등에 의해 제안되었다. 또한, 지상에 포설한 지연 유도선의 양단으로부터 주파수가 다른 신호파를 송신하여 차상에서 그 위상차를 검출하는 지연유도선 방식이 신호통신 시스템의 열차검지에 제안되고 있다.

2.1.6 교차유도선

(1) 패턴벨트

하나의 유도선을 레간에 지그재그로 포설하여 신호파를 흘려, 차상의 좌우 2개 설치한 수신안테나의 레벨차가 영을 교차하므로 이것을 카운트하여 위치를 검출하여

속도를 제어하는 방식으로 파리 지하철에서 사용되고 있다.

(2) 등간격교차

등간격으로 교차시켜서 포설한 유도선에 신호파를 가하여 차상의 수신레벨은 교차점에서 영으로 되어 이것을 카운트하여 위치를 검출한다. 독일 고속선의 LZB에서는 100m 마다 교차된 교차유도선을 사용하여서 차내신호를 차상에 전송함과 동시에 그 교차점에서 보정한 차축위치에 의해 궤도회로에서 검지한 열차에 대한 정지패턴을 발생시켜 속도제어를 행한다.

(3) 다상교차유도선

등간격으로 교차한 복수대의 유도선을 거리적으로 위상을 바꾸어서 포설한 것이다. 차상에서 신호파를 송신하여 지상에서 각 대의 수신레벨을 합성시켜 1주기(교차점간)내에서의 연속거리를 검출한다. 부상식 철도에서는 거리의 검출정밀도를 높이기 위해서 신호파와 결합하는 입구와 연선으로 이루어진 교차부로 구성되는 유도선이 사용되어, 이것이 거리적으로 3상 배치되어 각각 정극과 부극의 6쌍으로 구성된다.

2.1.7 도플러 레이더(Doppler radar)

전차파동의 파동이 이동체에 대하여 반사하면 이동체의 속도에 대응하여 주파수가 변화한다. 이것이 도플러 주파수이며, 주파수에 의해 속도를 이것을 카운트(적분)하면 이동거리를 검출하게 된다. 마이크로파를 사용한 도플러 레이더의 시험결과 거리오차는 0.2%내로 들어가서 비교적 안정한 속도, 거리가 얻어졌으나 초저속시나 레간내에 이물질 등이 있을 때 불안정하게 되는 경우가 있지만 차축회전과 조합시켜 것으로서 이러한 문제는 해소된다. 속도발전기에 비하여 고가라는 것과 차량의 취부 환경의 제약이 큰 것 등이 있어 활주·공전의 발생빈도가 증대하는 300km/h 이상의 고속주행을 하는 열차에서 효과를 기대할 수 있다.

2.1.8 전파지연에 의한 검지

차상에서 송신되는 전파를 지상의 2지점에서 수신하여 전반시간에 의해 각각의 지점에서 열차까지의 거리를 구하여 그 거리에서 열차위치를 지상에서 검출한다. 샌프란시스코지하철(BART)에서 사용되고 있으며, 여기서는 GPS를 사용하여 시각과 발신주파수의 동기를 취하고 있다.

2.1.9 GPS

GPS(Global Positioning System)는 지상 약 2만 km의 6궤도를 주회하는 24개의 위성에 의해 3차원 위치를 검출할 수 있는 측위시스템이다. GPS 수신기에서는 자기의 위치(x,y,z)와 시계오차의 4개를 변수로하고 4개의 위성으로부터 수신한 전파에 의해 얻어지는 각 위성으로부터의 거리를 나타내는 4개의 연립방정식을 풀어 자기의 위치를 구한다. GPS는 미국 국방성이 개발한 것으로 GLONASS는 그 러시아 판이다. 이미 양자를 수신할 수 있는 것이 시판되어 있다.

(1) GPS의 현황

열차에 탑재하여 실시한 시험에서는 오차가 100m이하로 일어날 확률이 95%확률이었으며, 최근 사용되고 있는 기준국으로부터의 오차정보방송에 의해 정도를 높인 DGPS(Differential GPS)는 오차는 거의 2m이하이고, 현재 거의 전국에서 수신할 수 있는 상황이다. SA(미국의 국방상 고의의 정밀도 열화)도 폐지될 움직임이고 GPS는 각 분야에서 유용성이 인정되어 세계적으로 중요한

인프라로 위치되어진다.

(2) 열차 위치검지

전파가 미치지 않는 곳은 수신할 수 없기 때문에 완전한 연속성을 구하는 것은 무리가 있지만 수신할 수 있는 것이 확인된 구간에서 절대위치가 검출될 수 있는 특징을 살리고 열차의 초기위치, 방향, 열차길이 등의 검출에 이용할 수 있다. 특히 방향과 열차길이 등의 상대위치 검출에는 단독 GPS에서도 DGPS와 거의 동등의 정밀도가 얻어진다. 또한 이것에는 이상시나 위치검지시스템의 중대한 고장시에 취급자가 열차위치를 인식할 수 있다는 커다란 장점이 있다.

(3) 안전성의 보증

GPS를 철도에 이용하기 위해서는 검출위치의 신뢰성이 매우 높아야 하는 것이 보증되어야 한다. 이것은 철도시스템 측면에서 대응 가능하다. 예를들며, 차상에 GPS수신기를 3세트 설치하고 각각의 출력하는 위치의 이격을 확인하는 방식, 기억한 선로형상 데이터로부터 이격을 체크하는 방식등에 의해 잘못된 위치를 출력하는 확률을 최대한 줄일 수 있다.

2.1.10 화상처리에 의한 것

진행방향에 일정거리의 간격을 둔 차상의 2지점에서 수직방향으로 지표의 스폿트 화상을 수록한다. 2가지의 화상은 2점간을 이동하는 시간차를 가진 같은 화상으로 화상무리의 상관이 최대가 되는 시간차에서 속도 및 이동거리가 검출하는 화상의 상관관계를 이용한 방법과 화상처리방식으로 일정 영역을 카메라에 의해 선로상을 감시, 열차 혹은 차량에 의해 카메라 시계가 차단되는 위치를 미리 표시하여 표시위치의 색 정보의 변화가 일정 길이를 넘을 때 열차가 있는 것을 검출하거나 또한, 복수열차의 지붕에 각각 다른 주파수 혹은 코드에서 점멸하는 발광체를 설치 2대의 카메라에서 각각의 방향을 검출하여 교점에서 각각의 열차위치를 구하는 방식이 고려되어진다.

2.2. 시스템의 기본적인 고려방안과 실현방법

이제까지 열차위치 검지센서로서의 방법을 서술하였지만 이들을 위치검지 시스템에 설치하기에는 몇 가지의 검토과제가 있다. 구체적으로 실현하는 시스템은 사용자 인 절대회사가 정하는 것이지만 여기서는 이제까지 검토해온 기본적인 고려방안과 그 실현방법에 대하여 서술한다.

2.2.1 열차위치검지 시스템

이동패색에서 열차제어에는 적어도 일정영역내에서는 열차의 절대위치가 필요하다. 이제까지 서술한 위치검지 방법은 거의가 이동거리를 구하는 것으로 위치검지 시스템에는 기준이 되는 위치를 알리는 방법이 필수적이다. 때문에 트랜스폰드등을 설치하여 위치정보를 전달한다. 위치정보는 ID등을 송신하여 차상에서 인식하면 정보량이 적어도 된다. 차상에 데이터 베이스를 가짐으로서 실현되며, 지점검지 기준점으로서 이용할 수 있는 등 저비용화가 도모되고 지상의 여러가지 시스템에 유연하게 대응할 수 있다. 이와같은 이유로 차상주체의 지능형 시스템을 지향한다.

따라서 열차위치를 정확히 구현하기 위해서는 각 선로에 대한 선로위치를 지정하고 초기위치 및 이동방향 등을 결정하여 수행되어야 한다. 또한 이동패색 제어에서는 정지제어를 위해 선두위치와 후속열차에 전달하기 위한 후부위치를 필요로 한다. 이들은 기준의 열차위치와 열차길이에서 구한다. 편성길이를 바꾸거나 분할·병합

할 때 human error를 방지하기 위해 자동적으로 열차길이검출을 하는 설비를 설치하는 것이 바람직하다. 일례로서 전·후부에 마크수신기를 설치하고 각각에서 동일 마크를 수신한 경우의 이동거리에 따라 구하는 방식이 고려된다.

2.2.2 안전성과 신뢰성

열차제어에 이용하는 위치검지에는 궤도회로에 필적하는 신뢰성이 요구된다. 이것을 만족하기 위해서는 채용하는 개개의 위치검지방법에 관해 충분한 검토를 하고 불안전요소를 정확하게 추출하고 그 대책의 유효성이 주지한 이론검토 및 현장시험 등에 의해 검증되어야 한다. 차축회전에 의해 위치를 검지할 경우 불안전요소는 활주·공전의 문제이지만 이것에 대한 안전성 확보방법은 활주·공전의 보정의 부분에서 구체적인 검토가 필요하다.

2.3. 열차위치검지시스템의 예

북미에서는 1988년에 신호근대화계획에 기본을 한 열차제어방식으로서 과속도방호, 자동열차운전 및 자동열차운행관리의 새로운 시스템도입을 검토하여 종래의 열차단락에 의한 열차검지를 변환하여 통신기술을 기초로 한 새로운 열차제어방식인 NYCT의 CBTC (Communication based Train Control)의 구축계획을 진행하여 Canarsie선에 제어방식으로 CBTC를 채용한 시험을 시행하여 1, 2단계시험을 완료하였으며 2004년에 3단계 시험을 완료할 예정이며 현지점에서는 CBTC시스템이 확립된 것은 아니나 규격화를 통한 다양화를 추구하고 있다.

프랑스 국철의 ASREE에서는 도플러레이더와 트랜스폰더에 의해 위치검지가 실시되고 타코메터(차축회전)는 정지검지에 이용된다. 이것은 ETCS(European Train Control System) 일부의 사양과 함께 ERTMS(European Rail Traffic Management System)에 계승되어 지상측에는 EUROBalise(트랜스폰더)와 EUROLloop(Loop Coil)가 설치되었다. 스웨덴에서는 ETCS의 레벨 3으로서 패색경계에 트랜스폰더를 설치하고 이것에 의해 무선의 송신과 패색의 제어를 하는 시스템의 시험이 행해지고 있다. 트랜스폰더로부터 ID등에 의해 절대위치정보가 전달되고 차상에서는 이동거리를 검출한다.

샌프란시스코 지하철(BART)의 AATC(Advanced Automatic Train Control)에서는 상호시간동기로서 복수의 무선기사이의 전송지연시간으로부터 거리를 측정함과 동시에 정보전송을 하는 기술인 EPLRS를 이용하여 지상차상간의 쌍방향 데이터 통신과 동시에 열차위치검지가 가능해 기존시스템에 충첩이 가능한 시스템으로 현재 운행중에 있다.

미국, 캐나다의 ATCS(Advanced Train Control System)를 발전시킨 ITCS(Incremental Train Control System)에서는 열차위치검지는 GPS를 이용하여 실시하고 있다.

3. 결 론

열차위치검지에는 다양한 방법이 있지만 현재, 차상측의 주요 연속위치검지방법으로서 실용 또는 고려되어지는 것은 속도발전기, 교차유도선, 도플러레이더, 무선에 의한 거리측정, GPS의 5가지가 주된 것이다.

그러나 위의 이러한 위치검지방법중 위에서 설명한 바와 같이 아직 여러 문제점이 있어 여러형태를 혼합 병행

하여 사용하고 있다. 유럽의 ETCS/ERTMS에서는 EUROBalise와 EUROLoop, Beacon 등이 조합되어 사용하여 구현하고 있다.

한국철도기술연구원에서는 경량전철시스템에 무선을 이용한 열차제어시스템을 개발하고 있는 중이다. 여기서는 열차의 위치검지를 시스템의 개발에 가장 안전하고 효율적이라고 인정되는 차속에 의한 회전형 속도검출기에 의한 위치검지를 주체로 이것과 더불어 부과적인 방법으로 정지검지 및 위치보정용 트랜스폰더 등을 보조적으로 사용하는 방법으로 연구를 수행중에 있으며 향후, 실용화를 위한 활주·공전의 보정 및 노이즈에 강인한 시스템을 만들 필요가 있다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 奥村幾正, "해외의 무선을 이용한 열차제어 시스템의 동향", 철도와 전기기술, 1997. 10
- [2] 長谷川豊, "열차운전제어의 새로운 방향과 CARAT시스템", 총연기술보고, Vol.7, No.5, pp1~9, 1993
- [3] 松村和彦, "누설동축케이블을 이용한 열차위치속도의 검지", 철도기술연구소속보, No.78-165, 1978
- [4] 森谷和夫, "지연유도선식 열차제어장치", 일본신포기보, Vol.3, No.1, pp1~8, 1979
- [5] 渡辺佑夫, 高重哲夫, "케도회로를 이용한 이동폐색시스템", 전기학회연구회자료교통·전기철도연구회, TER-88-7-11, pp31~37, 1988
- [6] 池田昌俊, 長谷川豊, "차속회전에 의한 열차위치의 검지특성과 보정법", 철도총연보고, Vol.5, No.4, pp43~51, 1991
- [7] 小林, 立石, 海老根, 馬場, 青柳, "무선에 의한 열차제어시스템의 시험결과와 신뢰성", 新學技報, FTS99-28
- [8] Kitahara, "Realization of the time operation control system for next generation(IROS and ATOS)", UIC Proceeding 1998. 4
- [9] INTERACTION Conference User-Producer Phase III Railway Signalling & Telecommunication Technology, April, 1998, UIC JR Group
- [10] Marvin D Swensen, Ricardo T. Zabat, David J. Knobbe, "Communication-Based Advanced Automatic Train Control Overview and Test Results", 1996, June
- [11] New York pilot will set North America's CBTC standard, Railway Gazette International, 1999. 6