경전철/모노레일의 ATP/ATO를 위한 Tag in-Tag out 설계
Design of Tag in-Tag out for ATP/ATO in the Light Rail and Monorail

유등열† 이기서* 오상민**
Ryu, Deung-Ryeol **Lee, Key-Seo** **Oh, Sang-Min**

ABSTRACT

We designed a track circuit of Tag in—tag out type that can be used for light rails and monorails. This method is called RFID-Tag and it literally uses RFID-Tag and replaces a fixed track circuit and implements a moving block. The distance between RFID-Tags is set to the length of a train and thus a train is always in contact with one of the tags. A train runs in RFID-Tag in −RFID-Tag out type at all times and the distance between trains can be precisely controlled through the application of a moving block combined with the basic principle of a fixed block, which enables the continuous speed control and enhances the satisfaction of passengers. When constructing a track circuit using RFID-Tag the Tag in—tag out brings us the cost reduction and is more economical than the existing fixed track circuit in that sense and easy for installation and maintenance. The wireless communication between onboard and wayside makes the continuous control possible and can improve the control capacity of ATP/ATO by the implementation of a moving block on top of a fixed one.

1. 서 론

현대인들의 가장 보편화된 대중 교통수단의 하나인 지하철의 대중화 및 지하철 보다는 수송능력은 작지만 소음, 도시미관, 공간 활용성 면에서 우수한 모노레일과 설치비용, 정시성, 운행간격(Headway)이 지하철 보다 효율적인 경전철 사업 활성화와 더불어 철도 신호제어 시스템의 신뢰성(Reliability) 및 안정성(Safety) 확보의 중요성은 점차 증가하고 있다.

또한, 종래의 지상 중심의 고정 폐색 방식의 궤도회로 구성을 통한 열차운행제어에서 CBTC와 같은 차상 중심의 이동 폐색 방식의 궤도회로 구성을 통한 열차운행제어라는 기술적 변화에 따라 차상 신호제어 시스템의 중요성이 보다 확대되어 가고 있는 추세이다.

이에 본 논문에서는 유비쿼터스 시대에 절실히 요구되는 센서기술에 부합하는 기술로 각광받고 있는 RFID(전파인식) 기술을 철도 신호제어 시스템에 적용하여 RFID-Tag를 이용한 경전철 및 모노레일의 신호제어(ATO/ATC/ATP) 시스템 설계를 제안한다.

† 비회원, (주)마이크로트랙, HW팀, 과장
E-mail : pictor@microtrack.co.kr
TEL : (02)2249-2382 FAX : (02)2249-2386
* 정회원, 광운대학교 정보제어공학과, 교수
** 비회원, (주)마이크로트랙, HW팀, 사원

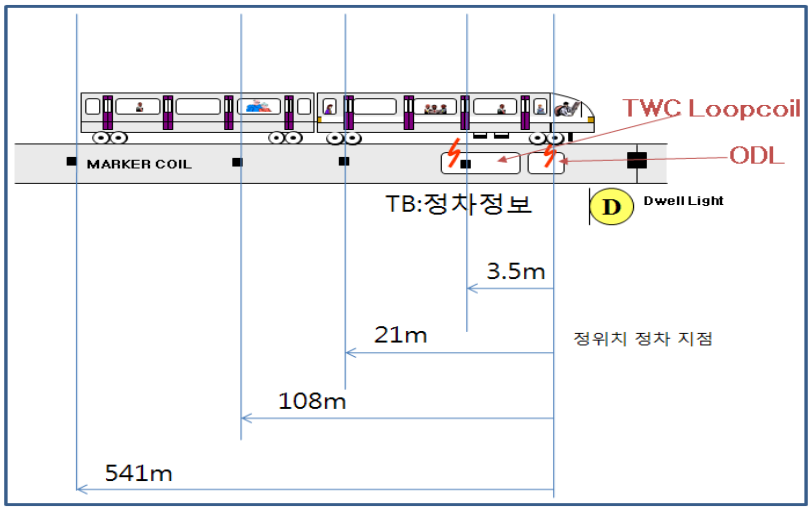
2. ATO 시스템의 이해

2.1 ATO 정위치 정차 시스템의 구조 및 성능

기존 ATO(Automatic Train Operation)시스템은 정위치 정차를 위한 승강장 입구 및 승강장 내에 설치되어 있는 조정된 코일 형태의 마커(Marker)와 차상의 마커 검지기를 이용하여 승강장 내로 진입하는 열차의 위치를 파악하여 그에 따른 속도코드제어를 통해 정위치 정차를 구현한다.

열차가 승강장에 완전히 정차를 했을 때 열차는 지상의 TWC Loop를 통해 열차번호, 열차 편성번호, 열차상태, 열차길이, 운전모드등을 관내 신호 설비로 전송하게 되며, 관내 신호 설비 또한 지상의 TWC Loop를 통해 차상으로 열차행선지, 다음역, 현재역, 고정 속도, 출발 전 경고등을 전송한다.

승강장에 열차 정차 시, 열차 출입문 개폐 동작에 대한 제어신호는 관내 신호 설비에서 OLD(Open Door Loop)를 통해 차상으로 전송하게 된다.



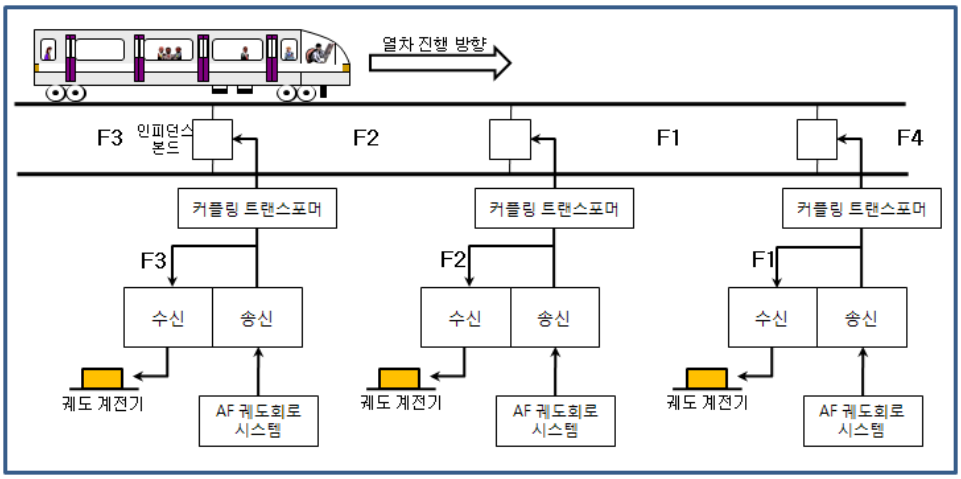
[그림 2] 정위치 정차를 위한 Marker coil의 위치

2.2 고정 폐색 방식의 AF궤도회로 구성 및 성능

비 연동 구간 및 연동 구간의 분기부와 분기부 사이의 열차 선로는 일반적으로 임피던스본드라는 장치에 의해 각각의 폐색구간으로 나누어지며, 각 폐색구간의 열차점유는 AF궤도회로에 의해 검지된다.

AF 궤도회로는 단순한 열차점유 검지 기능뿐만 아니라 전방열차와의 운행간격, 해당열차의 지시속도, 차량 운행정보를 기관사에게 전달하여 제동장치에 직접 연결하여 신호를 무시하고 진입하는 열차를 자동으로 정지하게 되므로 열차운전에 안정성을 달성할 수 있다.

각각의 임피던스본드는 설치된 위치에서 사용되는 모든 채널의 주파수에 맞게 조정되어 있으며, 이들 주파수에는 폐색구간의 열차검지를 위한 주파수, 열차에 제한속도명령을 전송하기위한 2개의 주파수가 포함된다. (열차 검지 주파수들은 F1: 1590Hz, F2: 2670Hz, F3: 3870Hz, F4: 5190Hz이며, 차상신호주파수는 990Hz이다.)



[그림 3] AF궤도회로 구성도

2.3 기존 시스템의 한계 및 문제점

기존 ATO(Automatic Train Operation) 정위치 정차 시스템은 지상에 설치되어 있는 마커와 마커간의 넓은 간격으로 인해 열차에 대한 불연속적인 속도코드제어가 이루어져 정차를 위한 제동 시, 승객들의 승차감 및 안정성을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다. 또한, 승강장에 진입하는 각 열차마다의 차륜 마모상태 및 브레이크 제동력이 각기 다르므로 이에 따른 제동거리 오차가 발생하여 오차허용 범위(Stop Point±30Cm)내의 정확한 정위치 정차에 대한 문제점을 내포하고 있다.

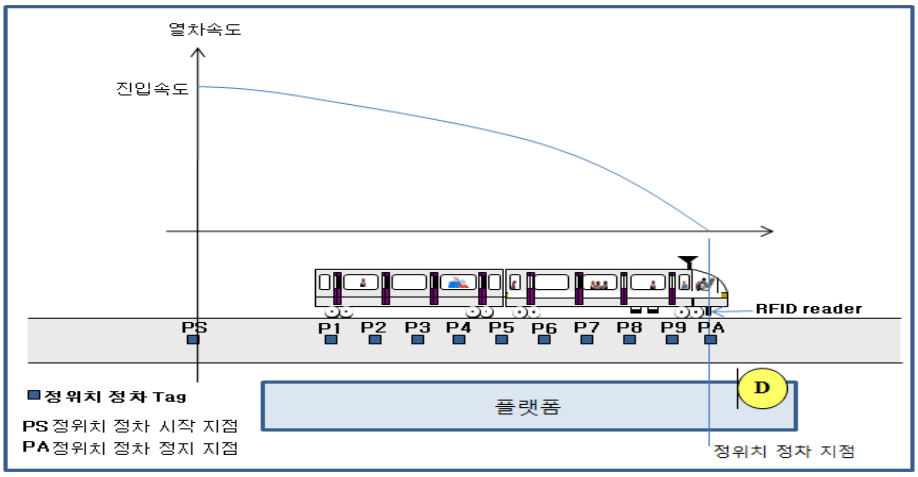
기존 고정 폐색 방식의 AF궤도회로에서는 물리적인 궤도 계전기의 여자 상태를 통해 열차가 궤도에 진입 시부터 진입한 궤도를 빠져 나올 때 까지 한 궤도 내에 열차가 존재한다고 판단하여, 한 궤도가 점유된 상태에서 인접 궤도를 진입 시 2개의 궤도 모두 점유된 것으로 판단하게 되므로 점유된 폐색 구간이 길어져 열차운행간격(Headway)의 효율성을 저하시키는 원인이 된다. 또한, 속도코드제어가 고정된 궤도 구간으로 구분되어 있어 불연속적인 속도 프로파일 형태로 이루어지므로 열차운행 시 전방 궤도의 열차가 존재 하는 경우, 급격한 제동이 발생하여 승객들의 안정성을 저하시키는 요인으로 작용한다. 따라서 이와 같은 지하철의 기존 ATO(Automatic Train Operation)/ATC(Automatic Train Control)/ATP(Automatic Train Protection) 시스템의 문제점을 보완하고, 모노레일 및 경전철(고무차륜방식/철체차륜방식)의 ATO/ATC/ATP 시스템에 적용할 수 있도록 본 논문에서는 RFID 기술을 이용한 무선통신 방식의 열차 신호제어 시스템의 설계를 제안한다.

3. 경전철 및 모노레일을 위한 ATO/ATP 시스템 설계

3.1 정위치 정차를 위한 RFID Tag In-Tag Out

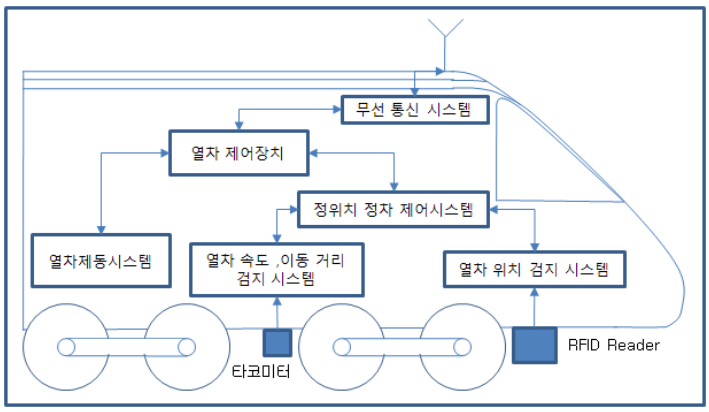
RFID 기술을 이용한 ATO 정위치 정차 시스템은 열차가 승강장에 진입 시, 승강장 내의 선로에 일정한 간격(5~10m)으로 설치한 수동형 정위치 정차 RFID-Tag와 열차운행 방향의 운전차량에 위치한 RFID-Reader간의 Tag 인식을 통해 지상이 아닌 차상에서 열차위치를 파악하게 되며, 차상에 위치한 이중화된 무선통신 모듈을 이용하여 차상과 지상과의 실시간 양방향 무선 데이터통신을 통해 열차의 위치정보 및 열차의 속도와 그에 따른 속도코드 등을 송수신하여 연속적인 속도 프로파일 형태의 속도코드제어가 이루어져 제동 시, 승객들의 승차감 및 안정성을 확보할 수 있다. 또한, 차상에 설치되어 있는 타코미터를 이용하여 각 정위치 정차 Tag간의 거리를 산출한 후, 실제 Tag간 거리를 비교분석하여 열차의 차륜 마모상태를 파악 열차상태에 따른 제동력을 자동으로 조정함으로써 정위치 정차를 구현할 수 있도록 한다.

[그림 4] RFID 기술을 이용한 ATO 정위치 정차 시스템 구성도



[그림 5] ATO 정위치 정차 시스템의 속도 프로파일

RFID를 이용한 ATO 정위치 정차 시스템 구현에 있어 차상 ATO 시스템 구성은 지상과 양방향 무선통신을 구현 하기위한 이중화된 무선 통신 시스템과 차상 ATO 시스템을 총괄하는 열차 제어장치, 열차의 제동을 관할하는 열차제동 시스템, 열차 위치 및 속도, 이동거리 정보를 통해 정위치 정차에 필요한 파라미터를 산출해 내는 정위치 정차 시스템, 타코미터를 통해 열차의 속도 및 이동거리를 검지하는 열차속도 및 이동거리 검지 시스템, RFID-Reader를 통해 열차의 현 위치를 검지하는 열차 위치 검지 시스템으로 구성이 된다.

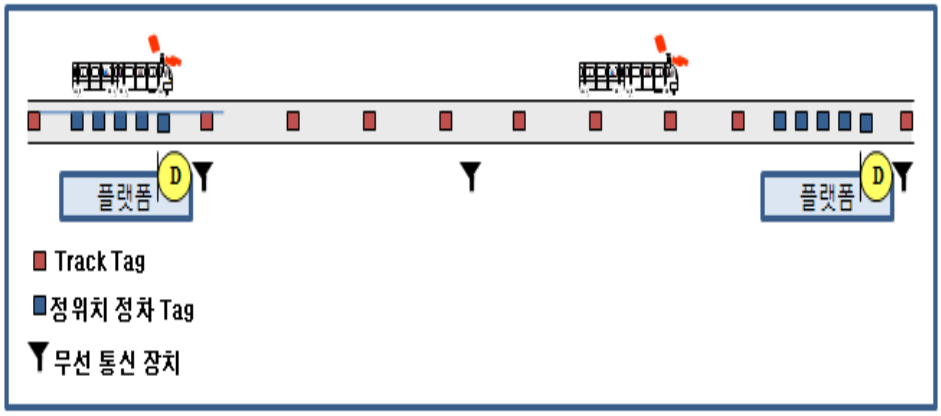


[그림 6] ATO 차상 시스템 구성도

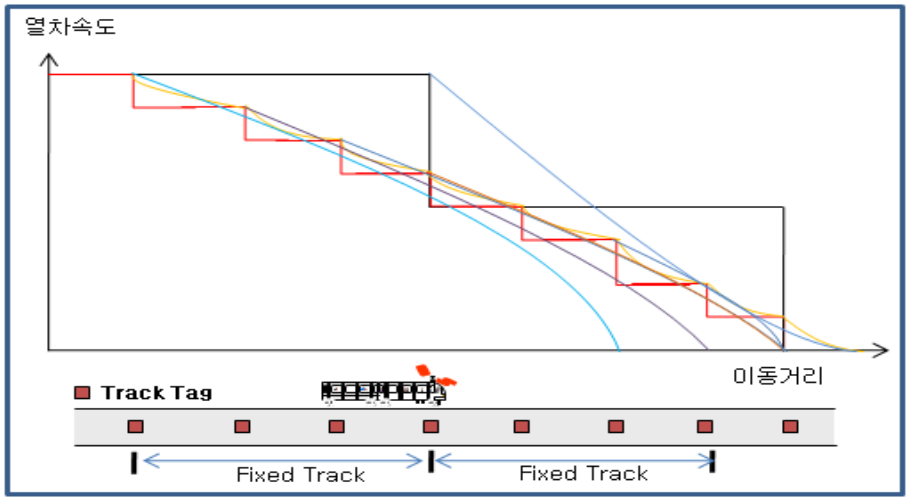
3.2 RFID Tag In-Tag Out방식의 궤도회로 구성

RFID 기술을 이용한 궤도회로는 기존 고정 폐색 방식의 AF궤도회로를 대신하여 승강장과 승강장 사이의 선로에 수동형 Track RFID-Tag를 열차의 길이만큼의 간격으로 설치하여 열차가 항상 하나의 Track Tag 위에 존재하도록 Tag In-Tag Out 방식의 궤도회로를 구성한다.

열차는 ATO 정위치 정차 시스템과 동일하게 차상에 설치되어 있는 RFID-Reader를 통해 각 Track Tag를 인식하여 열차의 위치를 파악하고, 차상의 무선통신 모듈을 이용하여 차상과 지상과의 실시간 양방향 무선 데이터통신을 통해 위치정보 및 열차의 속도와 그에 따른 속도코드, 앞 열차의 위치정보 등을 송수신함으로써 앞 열차의 고장으로 인한 불가피한 급제동 상황 발생 시, 보다 연속적인 속도코드제어를 할 수 있으므로 열차운행제어(ATC/ATP)에 있어 안정성을 향상 시킬 수 있을 뿐만 아니라 가격이 저렴한 Tag를 사용함으로써 경제적으로 큰 비용 절감효과를 가져올 수 있다.



[그림 7] RFID 기술을 이용한 ATC/ATP 시스템 구성도



[그림 8] ATC/ATP 시스템의 속도 프로파일

4. 결론

본 논문에서는 지하철 운행에 있어 필요한 기존 시스템들의 구성 및 성능을 파악하여 그에 따른 기존 시스템들의 한계 및 문제점을 도출해 내었으며 이러한 문제점을 보완하여 모노레일 및 경전철의 신호제어(ATO/ATC/ATP) 시스템에 적용시킬 수 있도록 RFID 기술을 이용한 열차 신호제어 시스템 설계를 제시하였다.

기존 AF궤도회로의 한 궤도구간을 설치비용이 저렴한 RFID-Tag로써 일정한 간격으로 배치하여 Tag 인식 및 지상과 차상 간 양방향 무선 데이터통신을 통해 한 궤도구간 안에서 수회에 걸친 속도코드제어가 이루어질 수 있으므로 기존 시스템 보다 연속적인 열차 속도제어를 가능케 하며, 승강장 정위치 정차 시에도 마커를 RFID-Tag로 대신하여 보다 정밀한 속도제어를 구현함과 동시에 열차의 차륜마모율을 검지하여 열차상태에 따른 차상 내 제동장치 시스템을 자동으로 제어함으로써 승객들의 승차감 및 안정성을 확보할 수 있다.

다가오는 유비쿼터스 시대에 걸맞은 RFID 기술을 열차 신호제어 시스템에 적용시켜 국내 열차 신호제어 시스템 발전의 초석이 될 수 있을 것으로 기대되며, 이를 위해 향후 정확한 RFID-Tag 인식기술 및 차상 제어 시스템 알고리즘 연구도 함께 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 박재영, 홍원식, 전명록(2006), “철도신호공학”, 동일출판사
2. 김기화, 유원연(2006), “철도신호기기”, 태영문화사
3. 유광균(2005), “진로제어시스템(연동)”, 기다리
4. V.Daniel Hunt, Albert Puglia, Mike Puglia(2007), "RFID : A Guide to Radio Frequency Identification", John Wiley & Sons Inc
5. Shepard, Steven(2004), "RFID : Radio Frequency Identification", McGraw-Hill
6. Miles Stephen, Sarma Sanjay, Williams John(2008), "RFID Technology and Applications", Cambridge Univ Pr