

# 고속철도 특정구간에서의 ATC 인터페이스 오류에 관한 연구

## A Study on Error of ATC Interface at the Particular Sites of High Speed Railroad

박철규\*  
Park, chul-kew

신명호\*\*  
Shin, Myoung-Ho

---

### ABSTRACT

The bullet train runs more than 200km/h so that it is invisible to the naked eye. For this reason, KTX solely dependent on the ATC operation system. Above all things, 'stability' and 'regular time' are essential to Train Control Operation system. But intermittently, there is a signal transmission problem between ATC operation facilities and ground equipments. which is caused by wheel sliding and friction coefficient between wheel and rail when the train starts. This paper analyzed train service data for one year for accurate survey. In addition, this thesis examines the main cause of a signal transmission problem through simulation and experiment. Further, the method to solve the conventional problem is presented.

---

### 1. 서론

KTX(Korea Train Express)는 2004년 4월 개통 후 상업운행 3년여, 지금까지 대한민국에서 운용되던 기존의 일반열차와는 달리 설계속도350km/h와 상업운전 300km/h의 고속주행을 하며 전국을 만나질 생활권으로 바꿔놓는 속도혁명을 가져왔다. 기존의 일반열차 운전방식은 각 구간마다 지상신호기를 설치하여 기관사가 그 신호기를 보고 미리 정해진 제한속도로 그 구간을 진입하여 운전하는 자동폐색신호방식(ABS)이었다. 하지만 이러한 방식의 열차운전방식은 열차의 속도가 200km/h를 초과하는 고속열차의 경우 정지거리가 속도의 자승에 비례하여 증가하므로 제동거리가 매우 길어지고, 정확한 지상신호기 관측 운전이 어려우므로 인위적인 조작에 의한 열차제어가 불가능해진다.

이와 같은 문제점을 해결하고 안전도를 향상시키기 위하여 지상에서 열차운전에 필요한 각종 신호정보를 차상으로 송신하여 열차를 제어하는 ATC (Automatic Train Control)장치를 장착하여 고속열차를 운행하고 있다. ATC 장치는 레일 또는 루프코일을 정보전송의 매체로 이용하여 속도정보와 열차운행과 관련된 정보를 연속, 불연속으로 전송하기 위한 장치이다[1].일반적으로 고속열차라 함은 시속 200km/h 이상의 속도로 보통 운행 중 기장의 육안식별이 불가능하며, 이에 KTX 는 전적으로 ATC 차상제어에 의존하고 있다. 이러한 KTX 차상제어운행에는 무엇보다도 안정성이 요구되고 있으며 또한 정시성을 중요시 하고 있는데, 특정구간에서 정차 후 출발 시 차륜의 공전 및 차륜과 레일간의 마찰계수와 관련하여 ATC 차상 신호 장치와 지상설비장치 간에 신호전송오류가 간헐적으로 발생되어 고속열차의 안정성과 정시성에 영향을 주고 있다.

본 논문은 이에 대한 정확한 조사와 원인규명을 하고자 지난 2년여 간의 영업운행 데이터를 조사 분석하여 시험운행을 통하여 ATC 인터페이스 오류 발생요인을 분석하여 차후 이와 같은 ATC 인터페이스 오류 발생을 줄일 수 있는 개선대책을 제시한다.

---

\* 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 석사과정, 한국철도공사, 정회원

E-mail: [chulkewp@hanmail.net](mailto:chulkewp@hanmail.net)

TEL: (031) 810-8341 FAX: (031) 810-8332

\*\* 서울산업대학교 전기공학과 교수, 정회원

## 2. 차상시스템

### 2.1 ATC 차상 시스템 개요

고속철도에 ATC 신호시스템인 TVM(Transmission Voie Machine)430시스템에서 정보는 궤도회로(Track Circuits) 및 불연속 정보 루프(BSP, 케이블 루프)를 통하여 열차로 전송되며 열차로 부터의 궤도로의 정보 전송이 없는 단방향 전송이다. 또한 열차의 점유상태(궤도회로를 통하여 인지), 선행열차위치, 운행진로, 곡선 등 선로의 제반조건에 따라 열차안전운행에 적합한 속도정보와 선로구배, 폐색구간 거리를 차상장치에 전송, 운전실에 허용속도를 표시하게 된다. 따라서 열차의 운행속도가 허용속도 초과 시 비상제동을 통해 사고를 예방할 수가 있다. 정보의 수집은 동력차 앞부분 차체 하부에 설치된 센서 조립체에 의해 이루어지며 자기장을 전류로 바꾸어 논리장치로 전송, PIC 랙에서 분석한다.

그림1의 TVM 430차상 장치는 2개의 동일한 센서 조립체 (A,B)와 2개의 연속정보(IC) 센서, 2개의 불연속 정보(IP)센서, 2개의 PIC랙 (PIC A, B), 2개의 PIR랙 (PIR1, PIR2), 으로 구성되어있다.

PIC랙(A ,B)은 구성카드가 동일하고. PIR랙은 전원 공급 장치가 내장되어 있다. 한쪽 PIC 랙이 오류가 날 경우 다른 PIC 랙으로 사용이 가능하다[2].

PIC 랙과 연결된 센서그룹은 서로 각각 독립적이며, 연속정보와 불연속정보 수신을 위한 지상 장치와 차상 장치 간 인터페이스기능을 담당한다.

또한 지상 장치로부터 수신된 정보를 PIC 랙이 받아들일 수 있도록 자기장을 전기적 신호로 변환하고, PIC 랙으로부터 연속 및 불연속 시험정보도 수신 한다. 그림1에서 IHS는 사람과 시스템 간의 인터페이스를 나타내고, IPP는 PIC와 PIR간의 인터페이스, ISS는 지상과 차상 간의 인터페이스, IAS는 다른 시스템(차상컴퓨터, ATESS) 간 인터페이스를 나타낸다.

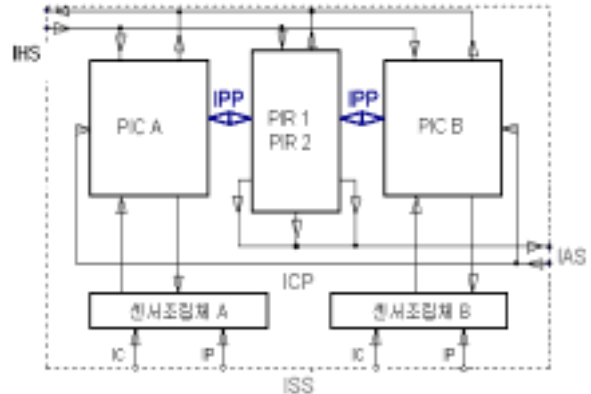


그림1.차상장치 개요도

### 2.2 차상과 지상신호 인터페이스

고속열차가 정거장 폐색구간에서의 정차와 출발 시 지상에서 차상으로 신호를 전송 할 때 다음과 같은 지상의 설치물과 상호 인터페이스 작용을 한다.

#### 2.2.1 폐색(閉塞)/폐색구간(BS: Block Section)

폐색구간에 1개 열차 이외의 다른 열차를 동시에 운전시키지 않기 위하여 시행하는 것을 폐색방식이라고 한다. CTC (Centralized Traffic Control,중앙신호사령실)과 연결되고 폐색구분은 준수해야 할 속도지시를 적용할 지점을 명확하게 하기 위한 것으로 열차 안전운행과 밀접한 관련이 있다. 또한 고속선에서는 한 궤도회로가 한 폐색구간으로 그 길이는 약 1,500m이다.

#### 2.2.2 궤도회로(Track Circuit)

궤도회로는 회로에 열차가 진입하게 되면 차축에 의해서 양쪽레일의 전기적으로 회로가 단락함에 따라 신호보안 장치를 제어하고 열차의 점유 유, 무를 검지하기 위한 목적으로 만들어진 전기회로이다.

##### \* AF 궤도회로 \*

경부 고속선에 사용된 궤도회로의 명칭은 UM71 무절연 AF 궤도회로이다. AF(Audio Frequency) 궤도회로는 반송주파수 4가지로 사용된다. F1의 2040Hz와 F2의 2760Hz는 1번 궤도의 하선이며, F3의 2400Hz와 F4의 3120Hz는 2번 궤도의 상선으로 구분된다. 인접궤도회로와의 상호주파수 방해가 발생되지 않도록 주파수를 구분하여 배열하고 동일 선로에도 2종류의 주파수를 교대로 반복해서 배열하여야 한다. 신호전류는 한 개의 궤도 회로 내에서만 흘러야 하고 전차선 귀선전류는 연속궤도회로를 통하여 인근 변전소까지 연결되어야 한다. 따라서 궤도회로의 경계지점에는 전차선 전류를 통과시키고 신호전류는 차단하는 장치가 필요한데 이러한 역할을 하는 것이 (JES)전기적 절연 조인트이다.

궤도의 RL구성회로에 전기적 절연 조인트의 LC 공진을 통하여 궤도의 송수신과 주파수별로 해당주파수를 선별하게 되어 있으며 길이는 약 20m이다.

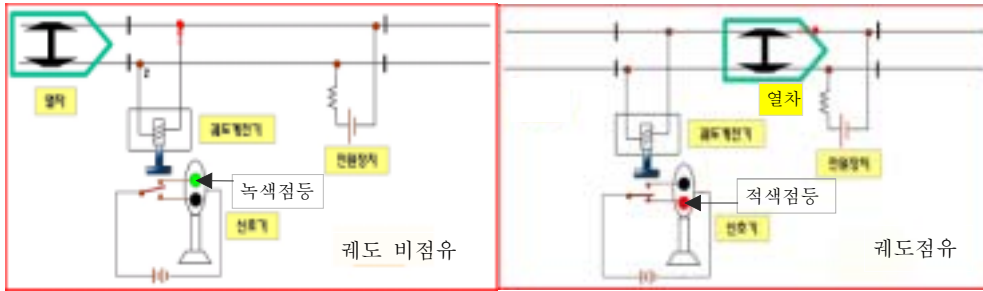


그림2. 열차의 궤도 점유 및 비점유시 기본 궤도회로

그림2왼쪽은 열차가 폐색구간 궤도를 비점유한 상태를 나타내고 있다. 전원장치에서 전원이 인가되어 궤도계전기를 여자 시켜 계전기가 동작된다. 이때 신호기의 회로도 동시여자 되어 동작하면서 진입을 허용하는 녹색 표시등이 점등되는 회로를 구성한다. 그림2 오른쪽은 폐색구간에 열차가 점유 된 상태를 나타내고 있다. 전원장치에서 전원이 인가되어 궤도계전기 쪽으로 흐르던 전류가 열차의 점유로 차축에 의해서 양쪽 레일의 전기적인 회로를 단락시킴으로 여자 되어있던 궤도계전기가 소자 되면서 동시 신호기의 녹색신호에서 적색신호로 표시된다. 이러한 폐색구간의 궤도회로에 흐르는 정보는 TVM430 지상설비를 통하여 차상에 전달된다.

### 3.오류 현황 및 원인분석

#### 3.1 오류발생현황

표1은 200년 11월부터 2006년 12월 까지 고속선내 출발 시 차륜공전에 의한 ATC 랙 차단 오류에 대하여 MID(Internal Fault Memory)파일을 분석한 결과이다. KTX 편성별, 장소, PIC 발생 랙 등으로 분석한 결과 관련편성은 총46편성 중 34편성에서 그 중 장소는 천안에서 17회와 광명에서 52회 등 총 74회가 발생되었다. PIC 차단은 A채널 32회, B채널 16회, A/B 채널 모두 차단 된 경우가 24회 등이다.

표1. ATC 차상 랙 오류 분석표

관련 KTX	46편성 중 34편성
	2회발생 : 12편성
	3회 발생: 6편성
	<b>4회이상 발생: 3편성</b>
장소	천안에서 17회 발생
	<b>광명에서 52회 발생</b>
	알려지지 않은 곳에서 5회
PIC차단	PIC A만 차단되는 경우 32회
	PIC B만 차단되는 경우16회
	<b>PIC A/B 차단 비상제동 24회</b>
	알려지지 않은 경우 2회

#### 3.2 오류발생원인

오류발생 원인으로 열차 출발 시 전기적 절연장치 부근에서 레일이 녹슬었을 때, 그리고 급가속에 의한 차륜공전으로 살사를 시행 했을 때에 레일과 첫 번째 차축 간 접촉 불량으로 인하여 후방궤도회로 주파수(누설전류)가 첫 번째 차축을 넘어가 ATC 센서로 전달되어 두 개의 전송 주파수가 혼선되어 오류가 발생한다.

#### 3.3 오류발생 분석

MID(내부오류기록 메모리) 분석에서 CRN (디지털 수신카드) 주기 불일치 결함으로 인하여 관련 열차가 PIC 를 차단하는 것을 알 수 있다. 이런 예러는 CRN 두 개 채널이 각각 서로 다른 쪽으로부터 궤도회로(TC) 전송 전류를 감지할 때 발생된다. 명백히, 센서가 두 개의 다른 전송 주파수로 형성된 신호를 받아 들었을 경우에 발생한다. 이러한 문제는 다음과 같은 3 가지 현상을 갖는다[3].

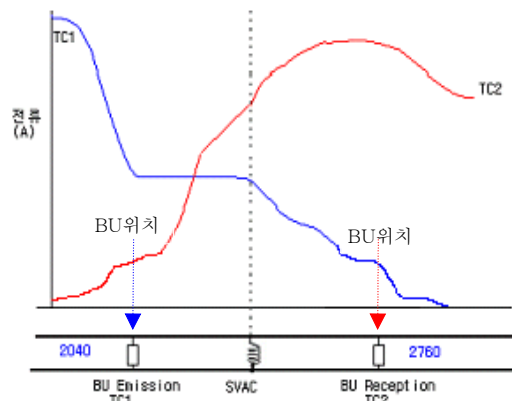


그림3. 신호 오류를 초래할 수 있는 상태

1)PIC A채널만 차단할 경우 ->운행에 지장이 없다. 2)PIC B채널만 차단할 경우 ->운행에는 지장이 없다. 3)PIC A와 B채널이 모두 차단되는 경우 ->비상제동이 유발되어 열차가 정지하는 경우이다.

따라서 그림3은 두 전송 주파수가 혼선 될 수 있는 폐색구간 TC1(2040Hz) BU와 TC2(2760Hz) BU 위치에서 전류가 0에 가까워야 정상이나 여전히 높으므로 후방 궤도회로 주파수가 (누설전류) 누설되어 두 개의 전송 주파수의 전류가 동시에 나타남으로 주파수 불일치 결합이 발생하며 ,이것이 PIC 오류를 발생시킨다. 이와 같은 현상은 레일과 차륜 간 접촉 불량 (마찰계수약화) 즉, 차륜공전 및 출발 시 살사로 인하여 레일과 차륜사이 모래가 끼어 레일과 첫 번째 차축의 접촉 능력을 저하시켜 궤도회로 단락을 방지하여 신호소멸을 발생시키게 된다.

※ BU (Block Unit) 는 TU(Tunning Unit) 즉, 동조 유니트의 타입으로 자기 주파수 송신 및 인접 주파수를 차단하는 기능을 가지고 있으며 무 절연 개소에 사용된다.

### 3.3.1 Sliding 발생시 PIC랙내 저장되는 MID내용 분석

그림4는 속도 30Km/h 이하에서 출발 시 발생하는 PIC랙 내 저장되는 MID 내용을 나타내고 있다. 고장 번호 48: Discrepancy error between the CRN tow-half(두개의 주파수 간섭으로 연속정보수신 불일치 발생을 나타내며, Error CRN1: 0(00) No detailed error, Error CRN2: 0(00)No detailed error(CRN 이상 정보 수신 없음)를 나타냈다. 즉 알 수 없는 주파수 등이 감지될 경우 CRN1: 46 등으로 나타난다. 따라서 알 수 없는 주파수의 경우가 아니므로 00으로 표시된다. MID 내용을 분석해 보면 연속정보 불일치로 해독되었지만, ATC 차상에는 결합이 없음을 판단하고 지상과 차상의 인터페이스 오류에 비중을 두었다..

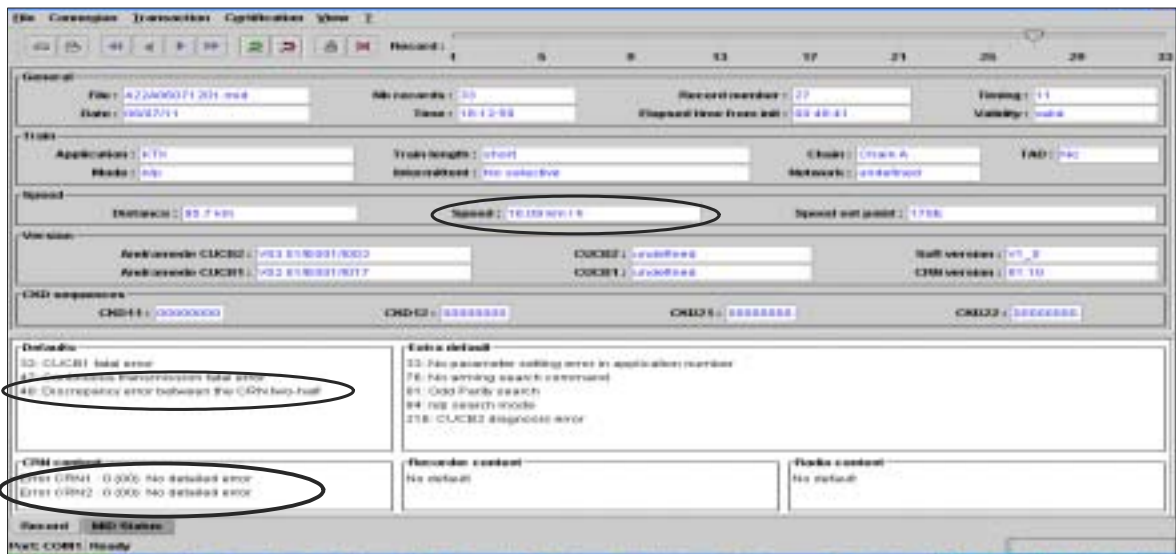


그림4. sliding 발생시 PIC랙내 저장되는 MID내용

### 3.4 살사시험 운행(광명역)1.

광명역 T3(하행선 1)번 선로 절대정지표지(출발표지)에서 폐색구간 경계에서 살사시험을 했는데 날씨는 맑았다. 시험내역으로는 현재 KTX에 사용되는 모래가 아닌 다른 모래(주문진 규사)로 입도의 크기는 0.3~1.0mm 이다. 현재 KTX에 사용하는 살사는 규사(자연사 4호)로 입도는 0.5~2.36mm 로 살사시험 모래보다 입도가 다소 크다. 그래서 시험에서는 모래의 입도크기와 살사의 량(ℓ)이 열차의 출발 및 정차 시에 차륜과 레일의 공전(Sliding) 발생을 줄일 수 있는지 시험을 하였으며, 또한 가속 및 급가속에서의 살사 량을 달리 조절하며 신호 소멸 여부를 시험하였다.

#### 3.4.1 시험결과

시험분석 결과 ATC 신호 소멸 오류와 관련하여 KTX-34편성으로 모래 입도변경(주문진 규사) 살사 량을 조절(300L/분) 하여 출발시험을 5회 실시하였다. 4회 시험은 급가속의 운전(견인력 1100A)취급과 자동 살사에서 약간의 공전이 발생하였으나 신호 소멸 현상을 없었다. 나머지 1회 시험에서는 균등가속의

운전(견인력 200A) 취급과 자동 살사에서 미세한 공전만 발생 되었을 뿐 신호 소멸 현상은 없었다. 따라서 모래의 입도크기에 대해서 차륜공전에 영향이 있다는 것을 판단하였지만 좀 더 시험 및 연구를 지속적으로 하여야 할 것으로 판단된다.

### 3.5 신호검측설비 연속정보 광명역 시험

KTX-36호 편성으로 광명역 T3, T5번 선로에 살수(물을 뿌림) 와 살사(모래 도포)를 하면서 물과 모래의 영향으로 ATC 차내 신호가 소멸되는지의 여부를 검측한 결과 이다. 모래는 현재 사용하고 있는 규사(자연사 4호) 입도는 0.5mm~2.36mm 로 시험하였다.

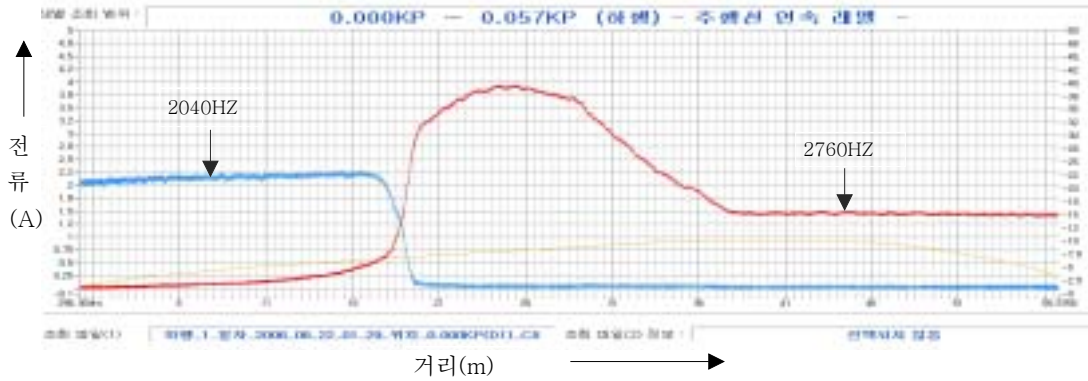


그림5. 주파수 정상

그림5는 살수한 상태에서의 1번 레도회로의 하선 BU지점, 즉 JES 전기적 절연장치( 20m)에서 시험 한 결과이다. 연속정보의 기본주파수 F1 2040Hz (청색)의 주파수 전류는 거리 0지점에서 약 2A로 시작하여 거리 18m의 지점부터 전류가 0 A에 가깝게 떨어져 거리 57m 지점까지 유지하고 있으며, 반대로 F2 2760Hz (적색)의 주파수 전류는 거리 57 지점에서 약 1.5A를 시작으로 거리 20m의 지점부터 전류가 0A에 가깝게 떨어져 거리 0m 지점까지 유지하였다. 즉 주파수가 각각 BU위치에서 자기 주파수 전류 외에는 다른 주파수 전류가 검출되지 않으므로 주파수 레벨이 정상적으로 양호하였다.



그림6.주파수 중첩 비정상

그림6은 살사 상태에서 BU 전, 후에서 시행하여 연속정보의 기본주파수 (2760Hz, 2040Hz) 레벨왜곡 및 2040Hz 의 주파수가 거리 22m~25m 의 레도회로 경계지점인 JES 전기적 절연조인트 부분을 넘어서는 비정상 곡선이 발생하였고 두 개 주파수의 동시수신이 가능함을 나타내고 있다. 즉 이것은 신호 소멸이 된다는 뜻이며 안전장치가 동작되어 비상제동이 작동되어 정차가 된다.

### 4.오류분석결과

시험 운영을 시행하면서 ATC 오류를 발견한 현상으로는 선로의 연결 부위 (폐색구간) BU 전, 후를 지나갈 때 열차 가속과 살사에 따라 그리고 젖어 있는 상태에서 증폭이 될 때 전자/전기적 어떠한 관련이 없지만 오히려 기계적인 인터페이스에 문제가 있다는 것을 알 수 있었다. 젖어 있는 상태에서 급가속은

대차를 활주하도록 하는 현상을 만든다. 살사는 선로와 첫 번째 차륜과의 접촉을 약화시켜 궤도 점유 인식을 못하여 TC1 에 의해 송신된 전류가 BU에서 차단되지 못하고 누설되어 ATC 차상신호의 오류를 발생시킬 수 있다.

정상적인 경우는 후방궤도회로 주파수(BU, F1)가 KTX 첫 번째 차축에 의해 단락되고 전방궤도회로 주파수(BU, F2) 만 ATC 센서에서 수신한다.

그림7은 선로에 첫 번째 차축간의 기계적인 접촉이 정상적으로 이루어 졌을 때 전류가 뒤에 위치한 BU 부분으로 방출되지 않으므로 신호 소멸이 없다.

또한 반대로 차륜과 선로와의 접촉이 완전하지 않을 때 방출된 전류가 다음 BU에서 누설되어 신호 소멸을 나타낼 수 있음을 표시한다.

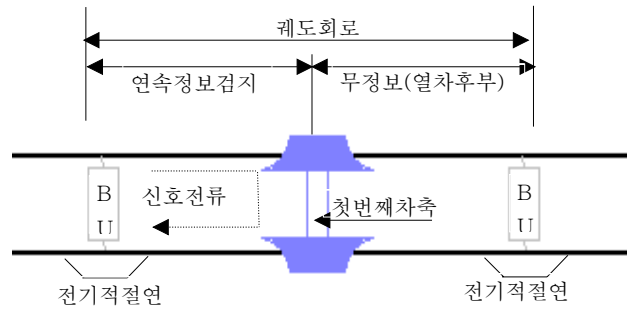


그림7. 선로와 차륜접촉 현상

### 5.결론 및 향후계획

고속철도는 일반철도와 달리 각 분야에 대한 기술 및 인터페이스에 대하여 중요하다. ATC 연속정보는 상당히 정교한 인터페이스에 관한 인프라가 요구되며 이와 같은 ATC 오류에 관한 연구는 앞으로도 지속적으로 더 필요하며 본 연구결과는 다음과 같다.

(1) ATC 오류 현상이 정차 후 출발할 때 활주와 살사가 작동 되었을 때 나타나기 때문에 마커를 지나갈 때 까지 급진출발 가속을 줄이도록 기관사의 운전습관을 지향하는 결과는 참고문헌 [3]에서 언급되었다. 앞으로도 이는 선로와 레일의 마찰계수를 높일 수 있는 기술적인 방안이 해결되기까지 지켜져야 할 것으로 판단된다.

(2) ATC 인터페이스 오류는 차륜과 레일간의 접촉의 문제로 마찰계수가 작으면 차륜은 레일 상에서 미끄러지고 활주공전을 일으키게 된다. 이러한 마찰계수를 높이기 위하여 현재 정차 및 출발 시 모래를 사용하는데 모래는 차륜과 레일간의 절연상태를 초래하여 신호 소멸을 발생시킨다. 따라서 모래 대신 알루미늄나 소립자(0.3mm)를 출발 시 소량 분사할 수 있는 개선방안이 연구되어야 할 것으로 사료된다.

(3) 출발 시 견인력이 큰 토크로 차륜이 급속하게 회전하여 슬라이딩이 발생하는 문제가 된다. 따라서 출발 시 견인 토크의 갭이 너무 크지 않도록 제어 할 필요가 있다.

(4) 기술적인 방법으로 폐색 구간 선로 두정 면에 녹 방지 금속(예: 스테인레스, 구리, 알루미늄 등) 도금 처리를 하여 임피던스를 줄여 줄 수 있는 항구적인 개선책이 필요하다.

(5) 환경적인 요인인 비가 온 뒤에 정거장 부분선등 선로 두정 면에 녹이 빨리 발생하는 데에 따른 해결책으로 상, 하행선 동력차가 정차 및 출발 시 위치하는 곳에 지붕을 설치하는 개선방안과, 녹 제거를 신속히 할 수 있는 방법 및 장비의 개발이 필요 하다고 판단된다.

### 후기

본 논문의 연구는 참고문헌[3]의 보고서 내용과 참고문헌[1] 교재의 이론적 바탕을 기본으로 하였으며 ATC와 관련된 차량계통, 신호제어, 운전 등의 폭 넓은 분야와 인터페이스가 요구되어 많은 어려움이 있었다. 그러나 본 저자의 노력과 고양고속철도 차량 관리단의 시험조사과 등의 도움으로 미흡 하지만 연구 논문을 완성 할 수 있었다. 향후 지속적인 연구가 필요하며 도움을 주신 분께 감사를 드립니다.

### 참고문헌

[1] 유병관 외, “고속철도 제어안전 기술”, 철도인력개발원교재,2001년, pp7  
 [2] 유병관 외, “고속철도 제어안전”, pp17-19  
 [3] 파리에(프랑스)“광명역과 천안아산역에서 출발 후 생기는 ATC 차상 락 차단에 대한 연구조사”, 2005년.  
 [4] 김용규, “ATC 정보전송”, 한국철도기술연구원,2006년.