

## 속도 향상시의 ATS 시스템 가용성 연구

김용규, 백종현  
한국철도기술연구원

### A study on the availability of ATS system in speed augmentation

KIM Yong-Kyu, Baek Jong-Hyun  
Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - 현재 우리나라에서 사용 중인 신호시스템은 지상신호 방식인 자동폐색장치(ABS)를 사용한다. 이는 선로를 폐색구간으로 배분한 후, 각각의 폐색 구간에 설치된 신호기에 의해 열차의 이동을 실행한다. 이러한 신호 체계에 문제점이 발생할 경우, 기관사에게 주의를 환기시켜 강제적으로 열차를 정지시키는 역할을 하는 자동 열차정지장치(ATS)가 1969년부터 도입, 사용 중에 있다. 본 논문에서는 ATS 시스템의 고속, 고밀도 운전 적용 가능성 및 차상신호방식 사용시의 ATS 적용 가능성에 대해 분석한다.

#### 1. 서 론

정상적인 신호현시의 경우, 시계의 조건에 따라 기관사는 선로변 지상신호를 인식한 후, 열차는 기관사의 판단에 의해 정상 운전을 실행한다. 그러나 폭설, 폭풍우, 안개 등에 의해 기관사의 시계에 영향을 인가하거나 기관사의 피로, 졸음, 잠남, 착각 등에 의해 열차 운행이 비정상적으로 진행될 위험이 유발할 경우, 열차 사고를 사전에 예방하기 위한 시스템의 필요성에 의해 1969년부터 경부선 구간에 자동열차정지장치(ATS)가 설치되었다[1]. 도입 초기에는 저밀도 열차 운행으로 인해 기관사의 보조 장치로 사용되었지만, 1988년부터 5현시 차상속도 조차식으로 개량하여 현재까지 사용하고 있다. 이는 기존의 선로변 신호체계의 문제점이 주어질 때, 벨 또는 경보등으로 기관사에게 주의를 환기시켜 정상적인 열차 운행을 실현하도록 하며, 만약 기관사가 일정 시간동안 제동 조작을 하지 않으면 강제적으로 제동을 인가하여 열차를 안전하게 정지시키는 역할을 한다[2]. ATS 장치는 지상장치와 차상장치로 구성되며, 선로에 설치된 지상자를 열차가 통과할 때 지상자는 관련 폐색 구간의 통과 속도 정보를 차량으로 전송한다. 열차는 기관차 하부에 설치되어 있는 차상자가 응답함으로써 지상에서 송신된 정보를 수신하며, 수신된 정보는 ATS 차상장치에 의해 기관사에게 통보되거나 제동 체결을 명령한다[3]. 본 논문에서는 ATS의 정의와 접제어식과 속도조사식 ATS의 기본적인 특성을 검토한 후, 이들 시스템의 가용성을 지상자와 신호기간의 제어거리, 제동거리, 공진주파수, 속도 증가 및 차상장치 설치 관련 항목으로 분류하여 분석하였다. 분석 결과는 현재 진행중인 철도청의 기존선 철도개발사업에 적용될 예정이다[4].

#### 2. ATS 시스템 정의

##### 2.1 접제어식 ATS

정지 신호에서만 동작하는 접 제어식 ATS는 우리나라 3 현시 신호기 구간에 설치되며, 주로 일반 열차가 운행되는 구간에서 정지 신호 현시를 무시하고 계속 진행하는 열차를 정지시켜 주는 설비로 열차가 진행 또는 주의 신호를 현시하는 지점까지는 운전실에 설치된 백색등이 점등되어 정상 운행을 하지만 신호기가 정지를 현

시할 때 열차가 지상자를 통과하면 적색등이 점등되고 벨이 울려 기관사에게 경보를 전달한다. 이때 기관사가 5초 이내에 확인 조작을 하면 적색등은 소등되고 경보도 정지되어 다시 백색등이 점등되지만 확인 조작을 하지 않으면 5초가 지난 다음 비상제동이 작동하여 열차는 신호기 앞에서 정지하게 된다.

지상장치는 경보지점의 레일 사이에 설치하여 이 지점을 통과하는 열차에 정보를 보내는 지상자와 이를 신호 현시에 따라 제어하는 지상자 제어계전기 및 케이블로 구성된다. 지상자는 내부에 코일과 콘덴서로 이루어져 130kHz의 공진주파수를 갖는 LC회로를 구성한다. 설치 위치는 차상자와 대응하도록 열차 진행 방향 궤간 중심으로부터 지상자 중심선과의 간격이 좌측으로 300mm ± 10mm 이내, 레일면 하방으로부터 지상자 상면까지의 높이는 50-80mm, 지상자 밀면과 자갈과의 간격은 50mm 이상, 가드 레일과의 간격은 400mm 이상 이격한다. 지상자 제어 계전기는 소비 전력 1W의 소형 계전기로 N2 접점을 구비하고 여기에 지상자 리드선을 접속하여 제어한다. 신호기가 정지 현시일 경우에는 지상자 제어 계전기에 공급되는 전원이 끊어져 계전기가 낙하하고 지상자는 130kHz의 공진 회로를 구성하나 신호기가 진행 현시일 경우에는 계전기가 동작하여 지상자 코일의 일부가 단락되고 공진 특성을 잃게 되어 차상 장치에 어떠한 영향도 인가하지 않는다. 지상자 제어 계전기는 주로 지상자 코일을 단락 또는 개방하기 위한 계전기로서 지상자 회로와 같은 미소한 전류 회로의 제어에 적합한 PGS 접점합금을 갖는 소형 계전기가 사용된다. 제어 케이블은 신호기와 지상자 제어계전기를 연결하는 제어용 케이블로서 CVV 7/0.6×2C 의 신호제어케이블을 사용한다. 차상장치는 차상자로 불리우는 지상 정보 수신용 안테나와 수신기, 경보기, 표시기, 확인 푸시버튼 및 복귀 스위치 그리고 차량과의 인터페이스 관련 항목으로 구성된다. 차상자는 차체 하부의 차량 중심으로부터 열차 진행 방향에 대하여 좌측으로 300mm의 위치에 차상자 중심이 오도록 하고 레일면으로부터의 높이는 130mm 범위에 취부하게 된다. 2조의 코일에 의하여 지상자로부터의 정보를 받아 부속 리드선과 여기에 연결된 4심 실드 케이블을 통하여 수신기에 전달한다. 수신기는 운전실의 진동이 적은 곳을 선정하되 차상자와의 거리가 가까운 곳에 설치한다. 평상시에는 차상자와 조합하여 105kHz의 상시 발진 회로를 구성하지만 차상자가 130kHz의 공진 회로를 구성하는 지상자에 접근하면 130kHz로 주파수가 변화하므로 필터의 작용에 의하여 주계전기는 무어자되며 경보 회로와 제어 회로를 제어한다. 경보기는 운전실 내에 설치되며 경보 수신기 수신기의 제어에 의하여 즉시 경보 벨을 동작시킨다. 경보등은 운전실 내에서 가장 잘 보이는 곳에 설치하며 평상시에는 백색등으로서 이 장치가 정상적이라는 것을 표시하고 있으나 정보를 수신하면 백색등은 소등되고 적색등이 점등된다. 확인 푸시

버튼 및 복귀 스위치는 모두 운전실 내의 손이 쉽게 닿는 곳에 설치되어 있으므로 경보가 발생하였을 때 또는 비상 제동이 동작했을 때 기관사가 신속하게 원래의 상태로 복귀하기 위해 사용된다.

## 2.2 속도조사식 ATS

타 열차의 운행에 지장을 주지않으면서 정지 신호현시 신호기 전방에 열차를 정지하기 위한 기본 조건을 만족하기 위하여 수도권 및 경부선 CTC 구간에서는 고밀도 전철구간의 특수성을 고려하여 차상 속도조사식을 사용하고 있다. 이는 지상에 설치된 신호기의 신호현시에 따라 다섯가지 공진주파수의 변조기능을 기본으로 열차속도를 연속적으로 감시하기 위하여 지상에 정보검지 기능과 속도조사 기능을 보유한다. 속도조사는 지상에서 전달되는 신호기의 현시 정보를 기본으로 실제 열차속도와 비교하여 열차속도가 지상의 신호현시에 해당하는 속도보다 높을 경우 비상제동이 작동한다. 제동 핸들을 '운행 상태'의 위치로 하면 ATS 전원이 송전되어 백색의 ATS 표시등이 점등되며 진행 신호의 정보를 기억시킨다. 진행 또는 감속 신호 현시의 신호기로 진입한 경우 속도 조사는 받지 않지만 진행 신호 현시에는 자유 주행(free), 감속 신호 현시에는 65km/h 이하의 속도로 운행한다. 주의 신호 또는 경계 신호 현시 신호기로 진입하여 제한 속도를 초과할 경우에는 3초 이내에 제동간이 직통 67°(상용 전 제동 상당) 이상으로 두고 제한 속도 이하로 감속한다. 제동간을 조작하지 않으면 3초가 지난 다음 비상 제동이 자동적으로 작용한다(속도 조사중일 때에는 경보가 울리고 '45R' 또는 '25R'의 적색 표시등이 점등된다.) 주의 신호 또는 경계 신호 현시로 ATS의 비상 제동이 작동한 경우에는 제동간을 '비상 위치'로 하고 열차를 정지한 다음, '운행 위치'로 되돌림에 따라 자동적으로 복귀되며 제동은 천천히 풀린다. 허용 정지(R<sub>1</sub>) 또는 절대 정지(R<sub>0</sub>) 현시 신호기로 진입할 경우 즉시 비상 제동이 자동적으로 작용한다(경보가 울리고 'R<sub>1</sub>' 또는 'R<sub>0</sub>'의 적색 표시등이 점등된다) R<sub>1</sub> 구간으로의 의식적인 진입 또는 확오로 R<sub>0</sub> 구간에 진입하여 운행을 재개할 때에는 일단 정지한 다음 15km/h 스위치 조작에 의해 15km/h 이하로의 운전이 가능하다. R<sub>0</sub> 현시 신호기로 진입할 경우, R<sub>0</sub> 구간으로 의식적인 진입은 일단 정지한 다음 특수 스위치의 조작에 의하여 1회에 한하여 14km/h 이하로 운전이 가능하다. 단, 45km/h를 초과할 경우에는 즉시 비상 제동이 자동적으로 작용한다.

지상 장치는 경보 지점의 궤도 사이에 설치되어 그 지점을 통과하는 열차에 정보를 보내는 지상자와 이것을 신호기의 현시에 따라 제어하는 지상자 제어 계전기 및 케이블로 구성되며 차상에 속도 제어 정보를 전달하는 지상자는 ATS-S형과 같이 신호 현시를 중계하고 신호현기에 따라 동작하는 2개의 제어 계전기가 각각 다른 공진 회로를 구성하여 지상자를 제어한다. 지상자는 코일과 콘덴서로 이루어져 130kHz의 공진 주파수를 갖는 LC회로를 제공한다. 이는 해당 신호기 20m 전방에 설치하여 차상자와 대응하도록 열차 진행 방향 측면에서 전동 열차용은 궤간 중심으로부터 지상자 중심선과의 간격은 우측으로 300mm±10m 이내, 레일면 하방으로부터 지상자 상면까지의 높이는 20~50mm에 설치하고, 지상자 밑면과 자갈과의 간격은 50mm 이상, 가드 레일과의 간격은 400mm 이상에 설치한다. 지상자에는 5m, 10m의 부속 리드선이 있어 이 끝을 지상자 제어 계전기 박스 내에 있는 콘덴서를 지상의 신호 현시에 맞게 조합하여 제어한다. 지상자 제어계전기는 정격 직류 전압이 24V의 소형 계전기 5개와 콘덴서들로 구성되어 있으며 여기에 지상자 리드선을 접속하여 제어한다. 신호기가 정지 현시일 경우에는 지상자 제어 계전기에 공급되는 전원이 차단되어 계전기가 모두 낙하하고 지상자는 130kHz의 공진 회로를 구성하나 신호기가 진행 현시일 경우에는 4

개의 계전기가 동작하여 지상자의 공진 회로에 콘덴서가 부가되어 98kHz의 주파수가 발생하는 회로가 구성된다. 계전기는 전압 DC 24V, 전류 50mA, 코일 저항 480Ω(±5%), 접점수 N2 및 접점 저항 50mΩ 이하의 전기적 특성을 가지며, 접점에는 PGS 합금 재료를 사용하고 재질은 백금 6%, 금 69%, 은 2%이다. 차상 장치는 지상으로부터 다양한 정보(130, 122, 114, 106, 98kHz)를 받는 차상자, 정보를 해석하여 경보기와 제동 장치의 회로를 제어하는 수신기, 속도 조사부, 계전기 논리부, 운전실 내에 설치된 경보기, 표시기, 전원부 및 기타 부속품 그리고 전동차의 실제 속도를 감지하는 속도 발전기 등으로 구성된다.

## 3. ATS 가용성 검토

### 3.1 지상자와 신호기간의 제어거리

지상자의 경보 개시 지점에 설치하는 신호기로부터 경보 개시 지점(l)은 계산식에 의해서 산출되며 지상자 설치 지점은 1-1.2l의 범위내로 한다. 만약 지상자와 신호기간의 거리가 짧을 경우에는 정차해야 할 신호기를 통과하게 되어 사고가 발생할 우려가 있으며 또 너무 긴 경우에는 신호기 전방에서 정차하게 된다. 따라서 정확한 지상자의 동작이 보장되지 않을 경우에는 대형 사고가 예상된다.

<표 1> 최고속도별 경보지점

| 최고속도 (km/h)                   |    | 105    | 135   | 150   | 160   |       |
|-------------------------------|----|--------|-------|-------|-------|-------|
| 비상제동거리                        | 여객 | β1=2.8 | 605.2 | 979   | 1199  | 1359  |
|                               |    | β2=3.5 | 495.8 | 798.2 | 976.2 | 1105  |
| 경보 시작에서 비상 제동 작동하기까지의 주행 거리   |    |        | 145.8 | 187.5 | 208.3 | 222.2 |
| 차상자가 지상자 통과 후, 경보 시작까지의 주행 거리 |    |        | 29.17 | 37.5  | 41.67 | 44.44 |
| 여유거리=0.2×(A+B+C)              | 여객 | β1=2.8 | 156   | 240.8 | 289.9 | 325.1 |
|                               |    | β2=3.5 | 134.2 | 204.6 | 245.2 | 274.3 |
| 경보지점                          | 여객 | β1=2.8 | 936.3 | 1445  | 1739  | 1950  |
|                               |    | β2=3.5 | 805   | 1228  | 1471  | 1646  |

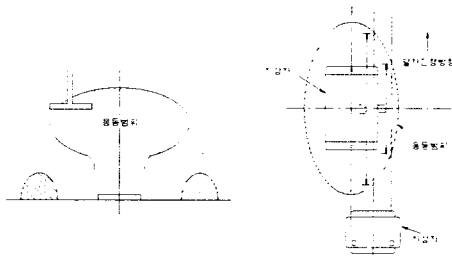
### 3.2 제동거리

제동은 열차가 가진 운동 에너지를 제륵자와 차륵간의 마찰력에 의하여 열 에너지로 변화시키는 과정으로 이러한 변환은 제동을 체결하기 시작하여 열차가 정지하기까지의 사이에 발생하며, 이때 주행한 거리를 제동 거리라 한다. 즉 제동 거리는 열차가 정지할 때까지의 거리를 말하며 제동 가속도의 자승과 열차의 중량에 비례하게 된다. 이는 주로 차량의 특성에 의존하며, 지상신호시스템은 단지 이들 제동 거리를 고려하여 열차 간격 및 열차 속도를 설정함에 따라 열차 운행의 한계를 갖는다. 따라서 이러한 방식에 의한 열차 운행 속도 및 열차 간격 조정에 따라 작동하는 ATS 장치는 최대 열차 운행 속도 150km/h에서 단지 과속에 대한 제한 조치만을 실현함으로써 차상신호방식과 같은 실제적인 속도 제어를 실현할 수 없게 된다. 그 결과, 노선에 투입된 각종 열차의 제어 특성을 충분히 발휘 할 수 없는 것으로 조사되었다.

### 3.3 공진 주파수

열차의 안전운행을 위한 신호설비는 어떠한 경우에도 고장시 Fail Safe로 동작되어야 만 안전성과 신뢰성을 보장할 수 있다. 현재 사용중인 ATS 장치는 이러한 지상 신호설비의 안전을 위해 1969년 최초로 도입되어 경부선 서울-부산간(444.5km)에 설치후 지속적으로 열차운행의 안전도 향상에 크게 기여하였다. ATS 장치는 지상자의 공진주파수 f 또는 선택도 Q치가 불량하게 되거나 LC 공진회로에 이상이 발생할 경우 경보를 제공하며, 지상자

와 차상자간의 주파수 응답 범위는 아래 그림과 같다.



<그림 1> 지상자 응답 범위

그림 1에서 빗금친 부분이 지상자와 차상자간의 주파수 응답 범위이므로 지상자와 차상자간의 편위가 빗금친 부분을 벗어나게 되면 주파수가 응답되지 않아 무경보 사고가 발생하게 된다. 또한 지상자와 차상자간에 좌우 편위가 발생하게 되면 열차속도에 따라 무경보가 발생할 수 있다. 만약 지상자와 차상자간의 좌우 편위가 50mm 이상일 때 열차속도 한계는 130km/h이고 130km/h를 초과하면 무경보가 발생되고 좌우 편위가 100mm 이상일 경우에는 열차속도 한계는 100km/h 이하로 저하된다. 그 결과 열차가 100km/h를 초과하면 무경보가 발생된다. 무경보가 발생할 경우 중대사고가 발생할 우려가 있으므로 열차속도 향상과 신호설비의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 이러한 문제점이 개선되거나 또는 차상신호시스템에서 사용하는 발리스 시스템과 같이 열차속도에 무관하게 신뢰성과 안전성을 보장할 수 있는 차상신호방식으로서의 전환이 검토되어야 한다. 아래의 표는 ATS 장치에 대한 공진 주파수, 속도 제한 및 조사 속도를 나타낸다.

<표 2> 공진주파수와 제한속도

|                  | 구분    | 진행 (G) | 감속 (YG) | 주의 (Y) | 경계 (YY) | 정지 (R1) | 절대 정지 (R0) |
|------------------|-------|--------|---------|--------|---------|---------|------------|
| 3현시<br>디젤<br>기관차 | 공진주파수 | -      | -       | -      | -       | -       | 130        |
|                  | 제한속도  | FREE   | -       | -      | -       | -       | 정지         |
|                  | 조사속도  | -      | -       | -      | -       | -       | -          |
| 4현시<br>전동차       | 공진주파수 | 98     | -       | 106    | -       | 122     | 130        |
|                  | 제한속도  | FREE   | -       | 45     | 25      | -       | 0          |
|                  | 조사속도  | -      | -       | 45     | -       | 0(15)   | 0          |
| 5현시<br>디젤<br>기관차 | 공진주파수 | 98     | 106     | 114    | 122     | -       | 130        |
|                  | 제한속도  | FREE   | 105     | 65     | 25      | -       | 0          |
|                  | 조사속도  | -      | 105     | 65     | 25      | -       | -          |
| 5현시<br>전동차       | 공진주파수 | 98     | -       | 106    | 122     | -       | 130        |
|                  | 제한속도  | FREE   | -       | 45     | 25      | -       | 0(15)      |
|                  | 조사속도  | =      | -       | 45     | 25      | -       | 0(15)      |

### 3.4 속도 향상

기존선 구간에서 ABS 시스템과 함께 사용된 ATS 시스템의 속도 한계는 최대 150km/h로 주어진다. 또한 150km/h 이상의 속도로 운행하는 열차에 대한 지상자-차상자 응답은 신뢰성이 확보되지 않은 상태이며, 현재 일본에서 개발중인 새로운 유형의 ATS 장치는 단지 ATS 장치의 신뢰성 향상을 위해 기존의 ATS 장치의 속도 관련 정보에 열차 운행 관련 추가 정보를 함축한 형태로 주어짐에 따라 새로운 유형의 ATS 장치도 속도 향상과는 무관한 것으로 조사되었다. 두 번째로 현재 사용중인 ATS 장치의 정보는 단지 과속도에 따른 열차운행을 제한하기 위한 속도 정보만을 취급한다. 따라서, 선로 형상 또는 임시 속도 제한, 유지보수 등의 특수한 선로변 조건이 발생할 경우, 신호 시스템에 의한 직접적

인 프로그램이 불가능하다. 그 결과 비정상 상황에 대한 경보 및 통제는 지상에서 기관사에게 경보해야 하며, 이러한 경우 기관사의 판단에 따른 대응 방안이 절대적으로 열차운행을 좌우하게 된다. 열차 운행의 고속화를 실행할 경우, 이와 같은 부류의 안전 사고 예방을 위해서는 ATS 시스템의 전반적인 검토가 필요하다. 그러나, 현재 기존선 구간 신호 개량을 위해 도입될 예정인 차상신호시스템에서는 이와 같은 문제점은 유발되지 않는다. 마지막으로 주파수 간섭에 따른 영향도 고려해야 한다. ATS 시스템에서 사용하는 아날로그 방식은 유사한 주파수를 사용하는 타 기기의 영향에 매우 민감하게 작용한다. 한 예로 경부고속선에서 사용하는 ATC 시스템의 PSK(Phase Shift Key) 불연속 정보의 경우에는 디지털 방식의 주파수 변환을 사용함에 따라 많은 안전 조치 및 상호 간섭 현상의 최소화를 실현함으로써 ATC 시스템의 다른 주파수와의 간섭 현상을 유발하지 않지만 이들 시스템이 ATS와 함께 적용될 경우에는 ATS 시스템의 간섭 현상이 매우 크게 나타나는 것으로 시험되었다.

### 3.5 차상장치 설치

차상신호시스템의 설치가 완료될 경우 관련 구간을 운행 예정인 틸팅 열차를 포함한 차상신호시스템 장착 열차는 ATS 지상장치 및 차상장치를 필요로 하지 않는다. 그러나, 일시에 이들 구간 전반에 대한 차상신호시스템으로의 개량이 불가능함에 따라 ATS 장치는 차상신호시스템으로의 절체가 완전히 종료될 때까지 그대로 유지한 후, 절체가 완전히 종료된 경우에 ATS 장치를 철거한다. 틸팅 열차에 차상신호시스템의 장착이 종결된 반면 차상신호시스템의 지상장치 설치가 종결되지 않은 경우에는 틸팅 차량에 부착된 ATS 안테나와 ATS 안테나로부터 수신된 정보를 차상신호 시스템의 차상컴퓨터로 송신하는 STM(Specific Transmission Module)을 통해 열차운행을 실행할 수 있다. 이러한 경우, 틸팅 차량은 ATS에 의해 동작하지만 차상신호시스템의 MMI(Man Machine Interface)와 같은 일부 장치를 유용하게 사용할 수 있다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 현재 기존선에서 사용하는 자동열차정지장치에 대해 기본 특성, 지상자와 신호기간의 제어거리, 제동거리, 공진주파수, 속도 향상 및 차상신호시스템에서의 응용 가능성 등에 대해 검토하였다. 검토 결과 자동열차정지장치는 속도 향상시 안전성 및 신뢰성에 있어서 적용 한계를 가지며, 지상자의 응답 범위에 따른 속도 제한이 발생함을 확인하였다. 따라서 안전한 열차 운행, 악천후 기후조건, 속도 향상 및 고밀도 운행을 위해서는 자동열차정지장치와 같은 지상신호방식은 부적절한 것으로 검토되었다. 그 결과, 150km/h 이상의 열차속도를 위해서는 적어도 차상신호시스템과 같은 유형의 신호체계를 도입해야 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김영태, "신호제어시스템", 테크미디어, 2003
- [2] 이종우 외, "자동열차제어장치 요구사항 도출에 관한 연구", 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp258-264, 2003
- [3] "철도 전철망 구축 기본 계획 보고서", 한국개발연구원, 2003,
- [4] 김용규 외, "21세기 유럽의 열차제어시스템", 한국철도학회 지 제5권 제4호, pp 16-24, 2002