

기존선 고속화를 위한 신호시스템에 관한 연구

*한성호, 이수길, °한영재, 구동희
한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단, °고속철도기술개발사업단

Study of Tilting Train Signal System for Conventional Rail Speed-Up

Seong-Ho Han, Su-Gil Lee, Young-Jae Han, Dong-Hea Gu
Korea Railroad Research Institute

Abstract - 본 논문은 기존선의 신호보안설비에 대한 정확한 현장운영실태조사를 토대로 속도향상에 필요한 성능개선 방향을 제시하고 이에 따른 기존선에서 운행될 고속차량의 실용화기술개발을 통해 제반요소기술을 확보하고, 최종적으로 최적의 신호보안체계 구축방안을 제시하여 기존선 고속화용 신호보안장치의 사양을 제시하기 위해 선행된 연구이다.

수도권 전동차 운용구간에서 사용중인 4현시 차상속도조사 방식, 국철 경부선에서 사용중인 5현시 차상속도조사 방식 등의 3종이 설치 운용되고 있다. 표 1은 ATS 차상설비의 차종별 설치 현황에 대한 것이다.

표 1 ATS 차상설비 설치 현황

구분	계	디젤기 관차	디젤 동차	전기기 관차	전기동 차	비 고
점제어식	3현시	163	65		94	4
차상속도 조사식	4현시	320				320
	5현시	582	390	192		
계	1,065	455	192	94	324	

1. 서 론

철도신호설비는 열차의 진행여부, 주행속도, 전방의 상태 등의 운행정보를 제시하고, 운행진로를 제어하여 원활한 열차운행을 확보하여 주는 설비이다. 그러므로 신호기술은 열차의 정확하고 안전한 운행을 보장할 뿐만 아니라 수송효율을 향상시키는데 핵심적인 기술이다. 특히, 열차의 고속화, 고밀도화, 대량수송에 따라 크게 요구되고 있는 안전성, 신속성, 정확성, 정시성 등을 달성하기 위해서는 신호체계의 역할이 매우 중요하다. 21세기에 진입하면서 유럽은 국가간 이동 수단인 철도 교통을 효율화하고 관련 분야 기술 개발을 위하여 많은 투자를 하고 있으며, 특히 ERRI는 국가간 운행이 가능한 신호 표준화를 도모하여 신호설비를 현대화하고 있다. 일본의 경우도 RTRI를 통하여 기존선 고속화를 위한 연구활동을 지속적으로 하고 있다.

현재 기존선 속도향상 방안으로 추진하고 있는 최고 운행속도 180km/h급 틸팅전기차량을 운영방안에 따라 기존의 인프라 시설의 개량을 최소화하면서 속도향상 목표를 달성할 수 있는 방안을 기본연구로 하고 있다. 따라서 기존선의 신호보안설비에 대한 정확한 현장운영실태 조사를 토대로 속도향상에 필요한 성능개선 방향을 제시하고 이에 따른 기존선에서 운행될 고속차량의 실용화기술개발을 통해 제반요소기술을 확보하고, 최종적으로 최적의 신호보안체계 구축방안을 제시하여 기존선 고속화용 신호보안장치의 사양을 제시하였다.

2. 기존선 고속화를 위한 신호시스템 분석

2.1 기존선 신호시스템

국내 신호시스템은 1899년 원목식 신호기를 사용하여 노량진~제물포간 개통과 함께 시작되어 100여년 이상의 변천을 거치며 현재 경부선, 호남선, 중앙선 등 전국 53개 노선 3,123km에 CTC장치 및 ATC장치, ATS장치, 자동폐색장치, 연동장치, 신호기, 선로전환기장치, 건널목보안장치 등이 설치되어 사용되고 있다. 열차의 안전을 확보하기 위하여 차량이나 선로가 정상상태로 유지되어야 하며, 승무원이 운전 상황에 대한 정확한 판단과 행동이 이루어져야 한다. 신호보안설비는 승무원에게 운전상황에 대한 정보를 제공하며 열차의 안전 운행을 도모하도록 하는 설비이다. ATS 장치는 기관사의 보조설비로서, 기관사의 운전 조작에 대한 실수를 보조하여 열차의 안전을 확보하도록 한다.

ATS 차상설비는 3현시 구간에서 사용중인 점제어식과

국내에서 사용하고 있는 신호시스템은 매우 다양하고 광범위하다. 따라서 전술한 바와 같이 고속화 시스템이 기존선 시스템과 가장 근접하게 인터페이스되는 부분을 고려하여 기존선의 열차 운행에 직접 영향을 미치는 시스템의 최적 구축을 위해 경부선 및 호남선, 중앙선, 장항선 등 기존선에서 운용하고 있는 신호시스템의 기술 사항에 대해서 각 선구별로 분석하였다.

ATS장치는 차상설비와 지상설비로 구성되어, 지상설비의 지상자에서 데이터를 전송하면 차상설비의 차상자가 이에 응동하여 전송된 데이터에 따른 동작을 열차에 발생시키는 장치이다. 이때 전송되는 데이터는 주로 신호기 현시 내용을 반영한 것으로, 신호기에 현시되고 있는 상태에 따라 정해진 주파수를 궤도 사이에 설치된 지상자를 통하여 송신하면, 열차가 이 지상자 위를 통과하면서 차상자를 통해 주파수를 수신하게 된다. 수신된 주파수에는 신호기 현시 내용과 일치하는 열차가 주행할 수 있는 제한속도 정보가 포함되어 있으므로 차상의 수신기에서 분석되어 열차의 현재 주행속도가 수신된 제한속도보다 과다할 경우 경보를 울리며, 기관사 제동 동작이 취해지지 않을 경우 자동으로 비상제동이 인가되도록 하는 장치이다.

현재 도시철도를 제외한 국철의 전 노선에서는 계단식 속도 신호방식을 사용하고 있다. 이 방식은 폐색구간마다 신호기를 설치하여 운전자가 직접 전방 신호현시를 확인하여 열차의 가감속 또는 제동을 운전자의 판단에 의하여 수동으로 수행하는 방식으로 운용된다.

ATS장치를 장착하고 운행되는 열차에서 제한속도 이하로 운전될 경우에는 ATS장치의 출력은 없다. YG, Y, YY 현시에 대하여 제한속도 초과 경우에는 5초 이내 제동핸들을 상용 전제동으로 설정하여 제한속도 이하로 감속한다. 제동핸들을 조작하지 않을 경우에는 5초 후에 비상제동이 자동으로 작동된다. 이때 속도 초과 중에 경보벨이 울리고 적색 표시등이 점등된다. YG, Y, YY 현시에서 비상제동이 작동하였을 때는 제동핸들을 비상위치로 설정한 후 열차가 완전히 정지하고 나서 운전위치로 설정하면 자동 복귀되어 제동이 완해된다.

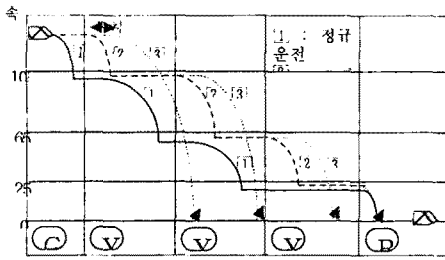


그림 1. 5현시 ATS장치의 운전제어곡선

2.2 기존선 신호시스템 현장시험 연구

ATS의 기능적인 부분을 역할별로 분석하여보면 수신부와 신호분석부, 신호 인터페이스 릴레이부 등으로 분류가 가능하다. 신호수신부 회로에서 중요한 역할은 두가지로 분류할 수 있으며, 첫 번째로 대차밀에 취부되어 있는 ATS용 차상자와 ATS수신기의 임피던스 매칭을 시켜야하고, 두 번째로 수신신호의 필터링하는 BPF의 역할이 매우 중요하다.

임피던스매칭은 차상자와 수신부가 결합되어 상시주파수를 만들어낼 때 상시주파수를 결정짓는 주요한 역할을 하며, LC공진과 결합하여 신호를 수신할 때 수신신호의 레벨을 결정짓는 결정적인 역할을 한다. 또한 BPF는 외부노이즈를 차단하고 필요신호만을 분석할수 있도록 주파수의 일정대역만을 통과시키는 결정적인 역할하므로 매우 중요한 회로임을 알 수 있다. ATS의 신호 분석부는 수신신호를 분석하여 해당 신호만을 선택하여 신호를 확정 짓는 회로부로 이처럼 처리방식을 두종류로 분리할 수 있다. 한가지방식은 아날로그방식으로 회로가 간편하고, 외부의 큰에너지의 충격에도 강하나, 여러장의 회로기판이 필요하고, 또 하나의 방식은 디지털방식으로 신호의 확실한 분석 및 처리가 될 수 있고, 논리적 회로구성으로 신호의 확실성이 보장되며, 최근에 많이 사용하고 있는 방식이기도 하다. 신호 인터페이스 릴레이부의 특성은 SPEED CHECKER 및 기타 처리부로 ATS신호를 전달하기 위한 인터페이스부이며, 가장 중요한 점은 릴레이의 구동타입과 접점의 내구성이 매우 중요하다.

운동시험기를 이용한 분석부 시험은 변주주파수(98kHz, 106kHz, 114kHz, 122kHz, 130kHz)의 LC공진 주파수를 발생시키어 ATS의 정상여부를 측정 가능하며, 이때 연속적인 LC공진주파수를 발생시키거나, 운동시험기에 입력된 10ms의 공진시간 만큼만 동전 시키어 신호를 만들어 낸다. 이때 변주주파수와 ATS수신기의 정상적인 동작여부를 주행전에 임의적으로 시험이 가능하여 현장에서 일상검사 및 월상검사, 정기검사등에 사용하고 있다.

운동시험기를 통하여 사전에 검사를 하게되면 부품의 망실 또는 성능저하로 발생되는 비정상적인 ATS동작을 사전조치 할 수 있으며, 정기적인 검사를 통하여 예방조치 및 계획적인 관리가 이루어 질 수 있다. 이처럼 각 주파수별로 신호전달의 연계성을 한 눈에 확인이 가능하며, 운동주파수의 동작 형태를 확인할 수 있다.

ATS장치의 차상자는 두 개의 코일로 구성되어 있으며, 1차측과 2차측으로 구분된다. 두 개의 코일은 방향성을 가지며, 1차단에서 인가되는 전류의 양이 2차단의 코일로 유도되어 수신기의 내부의 공진으로 인한 이상형발진이 발생된다. 차상자의 유도 전류량에 의하여 상시주파수의 양이 안정이 이루어질 수 있으며 이러한 전류유도량을 조정하는 것이 차상자 조정바 이다. 차상자의 결합도 조절은 조정판을 상하로 이동시켜서 사용하며, 조정판의 역할은 1차측에 가해진 전류를 2차측으로 인가되는 유도량을 제어하며 조정판없이 1차측의 전류량을 2차측으로 직접유도하게 되면 2차측으로 인가되는 자체유도량이 많아져 이상발진(상시발진 주파수와 변주주파수

의 유도)점이 흐트러져 안정된 ATS장치의 동작을 기대하기 어렵다. 이처럼 조정판의 역할은 매우 중요하며 차상자 결합도 특성에서 알 수 있듯이 과도한 자체유도현상이나 미세한 유도인 경우에는 장치의 정상적인 동작이 이루어 질 수 없다.

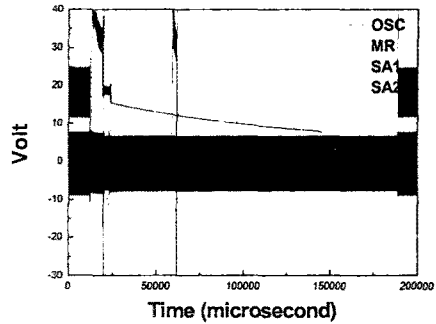


그림 2. 98 kHz 주파수 데이터

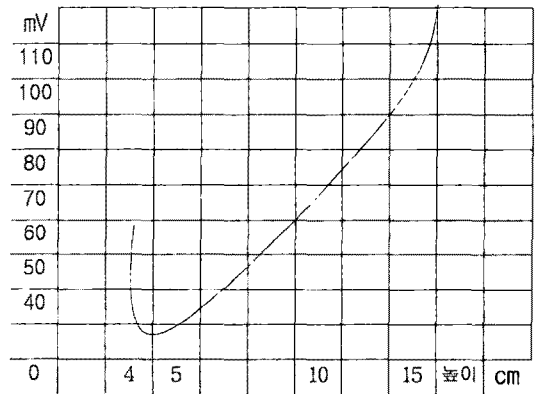


그림 3 ATS 차상자 특성곡선

변주신호별 지상자 공진 Q값 조사 및 시험은 차상자와 지상자 결합시 지상자의 Q값에 의하여 차상자로 유도되는 신호의 레벨의 변화가 발생한다. 지상자의 Q값은 170을 초과하지 않도록 하여야하며, 170을 초과할 경우 반대측 선로에 진행하는 열차에 영향을 줄 가능성이 있다. 또한 지상자의 Q값은 공진주파수의 대역에 따라 유도주파수의 레벨이 감쇄할 수 있다. 지상자의 공진주파수의 계산식은 아래와 같다

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi LC}}$$

또한 공진주파수의 Q값의 운동 특성은 아래 그림과 같다.

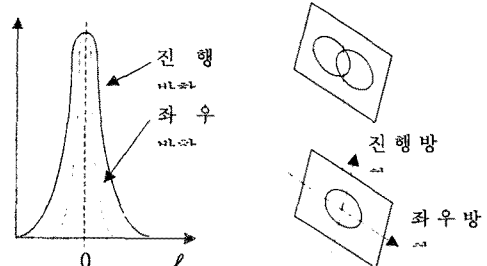


그림 4 지상자 Q특성 그래프

상기 f₀를 기준으로 Q값의 이득율의 변화가 발생되므로 정지신호(R, 130Hz)이후의 공진주파수대역의 신호는 지상자의 특성상 감쇄가 발생된다. 차상자와 지상자의 결합상 가장 적합한 변주주파수의 이득율은 -5dB이상을 얻어야만 유효신호처리 가능성이 높아진다. 일반적으로 지상자 공진주파수와 변주주파수에는 약간의 차이가 있다. 이러한 경향은 발전기의 내부특성에 의해 결정되는데 지상자와 결합시의 조건에도 영향받는다. 변화되는 원인으로서는 지상자의 Q값, 지상자와 차상자의 간격, 차상자의 결합도, 발전기의 전원전압 및 주위온도 등에 의해 변화한다. 일반적으로는 지상자의 Q가 큰 쪽이 차이의 정도가 작으나 각 조건의 조합에 의해 여러 가지의 양상을 보인다. 이러한 조건 변주주파수의 감쇄가 생길 수 있는 원인과 현상이 매우 많으므로 정교한 변주주파수를 얻기 위해선 안정된 레벨을 유지하는데 노력을 기울여야 할 것으로 시험결과 밝혀졌다.

2.3 기존선 속도향상을 위한 신호설비개선 방안

기존선 속도향상을 위하여 차상신호방식과 지상신호방식을 병행하여 사용할 수 있는지를 검토하고, 고속주행시 신호를 차상에서 처리가능성여부를 판단할 수 있도록 기술적 사양을 검토하고 시험하여 속도향상에 반영토록 한다. 기존선 속도향상을 위하여 ATS의 개선범위를 파악하고, ATS 신호설비의 최대속도 한계치를 파악하여 200 km/h까지 응용하였을 경우 ATS 신호시스템의 운영을 제한적으로 구축하는 것이 매우 중요하며, 열차보호설비를 구성할 경우 기존장비와의 호환성과 인터페이스 기술을 수립하여 신호제어설비의 혼용 사용시 신호운영체계에 지장이 없는지를 검토한다. 또한 신호제어설비의 혼용 사용시 지상신호 수신과 관련하여 신호간섭이 일어나는지를 검토하고, 간섭대역의 주파수를 면밀히 검토하여 보완대책 수립 방향을 제시하여 신호운영체계에 대한 대책을 마련하고자 한다. 기존의 ATS신호체계에서 속도를 향상 시켰을 때 기관사가 지상의 현시신호를 인지가능범위를 파악하고, 최대속도에서 현시를 인지하고 제동제결을 하여 제동이 되기까지의 시간을 예측하므로써 신호의 및 지상자의 위치결정에 반영한다. 아래 그림은 기존선 개선형 신호시스템 블록도를 나타낸 것이다.

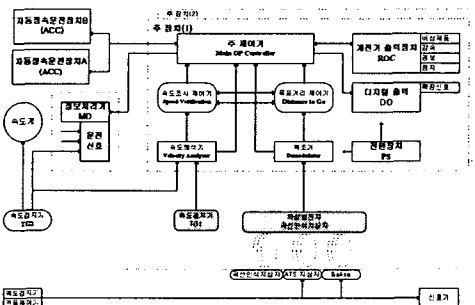


그림 5. 개선형 신호시스템 블록도

또한 기존의 신호체계와 차상신호방식의 제작기준사양의 범위를 제정하기 위하여 운영속도에 따른 신호검출 한계치 시험을 할 수 있도록 KTX측의 노선과 장비를 이용하여 최고속도에 따른 신호응동시간을 시험한다. 또한 신호체계의 변경으로 기관사의 운전취급방법이 변경되므로 기관사의 운영규정을 개정할 수 있도록 규정에 대한 검토가 이루어져야 한다. 다음 표는 개선안을 기준으로 작성한 신호시스템 특성을 나타낸 것이다.

4. 결 론

기존선 속도향상을 위하여 현재 사용중인 ATS설비를 분석하고 및 시험하여, 속도향상에 따른 안전성 및 신뢰

성에 대한 검토를 하기 위하여 연구 및 시험을 행하였다. 기존선에서 운행되고 있는 ATS설비는 지상설비는 현재의 상태로도 200km/h의 속도까지 운영이 가능하며, 차상의 ATS설비는 초단분석부와 논리판단부의 수정이 불가피할 것으로 시험결과 조사되었다. ATS장비는 세계적으로 여러나라에서 널리 사용되고 있으며, 제조방법이 제작사별로 장단점이 있는 것으로 조사되었다. 지하철에 사용되고 있는 ATS는 많은 시행착오 및 개조를 통하여 안정이 되어있으며, 200km/h의 속도운영에서도 신호분석 및 판단이 가능하다는 것이다. 하지만 인간의 시각으로 지상의 신호를 판단하고, 판단하기란 여러가지의 장애요인들이 산재되어 있어 지상의 신호를 이용하여 고속으로 열차를 운행한다는 것은 매우 위험할 수 있다. 이러한 문제점을 보완할 수 있는 방법은 ATS와 ATP 기능을 동시에 운영할 수 있는 개량형 ATS방식을 검토하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 기존선의 신호방식을 일시에 교체하기란 불가능하며, 차상 신호장치 또한 전량을 교체하기 위해선 많은 시간이 소요된다. 두가지 신호방식을 동시에 수용할 수 있는 신호방식을 적용하게 되면 기존선 속도향상 및 교체공사의 단계적으로 교체할 수 있을 것이다.

표 2 신호방식별 특성비교

항목	기존형(ATS)	개선형 ATS	ATP 시스템			
제어	지상제어방식	지상 및 차상제어방식	차상제어방식			
속도	최고 140km/h	최고 160~180km/h	최고 200~300km/h			
상시	78KHz±6KHz	156KHz±6KHz	FSK 방식			
변환 주파수와 제한 속도	주파수	제한	주파수	제한		
	98	G	FREE	98	G	제한속도의 일부조정이 필요
	106	YG	105	106	YG	(지상 Balise를 통한 Distance to go 방식으로 제어함으로써 앞차와의 거리에 의해 차량 속도가 정해짐)
	114	Y	65	114	Y	
	122	YY	25	122	YY	
	130	R	정지	130	R	
응동 시간	9.6mS 이상	5mS 이상	5mS 이상			
장단점 비교	<ul style="list-style-type: none"> -설비가 저렴함. -지선으로 분기되는 구간이 많고 저속으로 운행되는 구간에 적합한 설비. 		<ul style="list-style-type: none"> -기존 신호시스템을 활용하여 사용할 수 있음. -차상신호방식 고장시 Backup 용도로 사용할 수 있음. -고속 신호시스템 개량에 따른 비용이 적음. -점진적으로 ATP 시스템으로 전환 가능 			
	<ul style="list-style-type: none"> -눈, 비, 안개와 같은 기후의 약조건에서는 감속운행이 불가피함. -표정속도 향상 및 운전시각 단축이 차상신호방식에 비해 불리함. -차상신호방식에 비해 안전성과 신뢰성이 떨어짐. 		<ul style="list-style-type: none"> -기후조건에 관계없이 신호확인이 가능하여 안전사고를 방지할 수 있음. -ATS/ABS 방식에 비해 안전성과 신뢰성이 높음. -열차의 표정속도를 향상시킬 수 있음. -운전시각의 단축이 용이함. -선로 및 차량 등의 조건만 개선되면 최고속도를 증가시킬 수 있음. -열차운행 제어의 자동화를 실현할 수 있음. -차상신호방식에 비해 건설비가 많이 소요됨. -열차운행변동도가 낮고, 저속으로 운행되는 구간에서는 투자비에 비해 효율성이 낮음. 			

[참 고 문 헌]

- [1] 연구보고서, "기존선의 고속화를 위한 시스템에 관한 연구", 한국철도기술연구원, 2000.12
- [2] 연구보고서, "신호보안체계 최적구축방안 개발", 한국철도기술연구원, 2002.3