

자동열차운전장치를 이용한 도시철도 신호설비의 개량방안에 관한 연구

A Study on Improvement Method of the Subway Signalling System Using Automatic Train Operation Device

강성구¹ 최승호² 조봉관³
Sung-Gu Kang, Seung-Ho Choi, Bong-Kwan Cho

Abstract

The national subway went under construction in 1971, and after three years of endeavor, Seoul subway line number one opened for traffic in 1974. Line number two went under construction in 1978 and it opened for traffic in 1984. With the use of safety operation for more than 20 years, the life cycle nearly came to an end. Therefore the improvements for the safety operation are unavoidable. The total system should not be affected when the new and conventional systems are overlapped, the system operation is in the initial stage, and it confronts the situation of abnormal operation. However, there is a total lack of experience in construction and improvement for the trains that are in the use of large transport and density headway.

In this paper, we propose an improvement method of the subway signalling system using ATO (Automatic Train Operation control scheme) to which the latest Digital ATC is applied, and examine the first application model of ATO system.

1. 서론

서울지하철 2호선의 신호설비는 20여년간 사용으로 Life Cycle (유효수명)이 도래하였으며 전동차 대폐차와 병행하여 최신의 자동운전시스템 (ATO)으로 개량사업을 추진하고 있다. 전체 시스템은 개량시 신 시스템과 기존시스템의 중복 (overlap) 설치하는 기술, 시스템의 가동초기, 이상시의 대응 등에 의해 영향을 받지 않아야 한다. 그러나, 국내에서는 대량수송, 조밀 운전 시격으로 운행 중인 지하철에 대한 시스템 개량 건설은 경험이 전무하다. 본 논문에서는 최신 디지털 ATC를 적용한 자동열차운전장치의 제어방식과 절제시의 문제점을 분석하여 ATO 시스템으로 개량하기 위한 최적의 적용모델에 관해 검토하였다.[1]

2. 기존 신호시스템 검토

ATS (Automatic Train Stop) 장치는 차상장치와 지상장치로 구성되어 있으며, 동작 블록도는 Fig. 1과 같이 전동차 하부에 설치되어있는 차상자가 궤도내에 설치되어있는 지상자를 통과할 때 폐색구간 통과속도 정보 (기본 발진주파수 78 Hz, 진행신호 98 Hz, 주의 및 경계신호 106~114 Hz, 정지신호 122~130 Hz)를 차상자에서 감응하여 제한속도보다 과속하는 열차를 자동으로 정지시켜 열차의 안전운행을 도모하고 있다. 국내에서는 1969년 경부선 서울~부산간에 점제어식

*1 서울지하철건설본부 설비부 신호팀장/서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 정회원
*2 서울 산업대학교 전자정보공학과 교수, 단체회원
*3 한국철도기술연구원 전기신호연구본부 주임연구원, 정회원

(ATS-S1형)을 처음 설치하기 시작하여 1974년부터 서울지하철 1, 2호선, 수도권 전철구간에 차상 속도 조사식 (ATS-S2형)을 설치하였으며, 현재 국철 전구간에 사용하고 있다.[2] 그러나, 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

- (1) 차량성능에 관계없이 계단상의 속도제어를 일률적으로 실시하기 때문에 제동성능이 좋은 차량 일수록 제동에 불필요한 요소가 많으며 운전시격 단축이 곤란하다.
- (2) 계단상의 속도제어이기 때문에 제동이 걸렸을 때 승차감이 좋지 않다.
- (3) 지상 중심의 릴레이 로직으로 제어하고 있기 때문에 지상 설비의 규모가 크고 주문생산에 의존하며 고비용이다.
- (4) 열차운행 중에 선로조건, 가선전압, 하중 등의 변화에 따라 적절한 운전조작이 자동으로 이루어지지 않으므로 경제운전이 되지 않는다.
- (5) 지상신호의 육안확인 등 기상의 영향을 받을 수 있으며, 기관사에 의한 수동 운전방식으로 숙련된 기관사를 요구한다. 즉 유사시 대체 인력 확보가 어렵다.

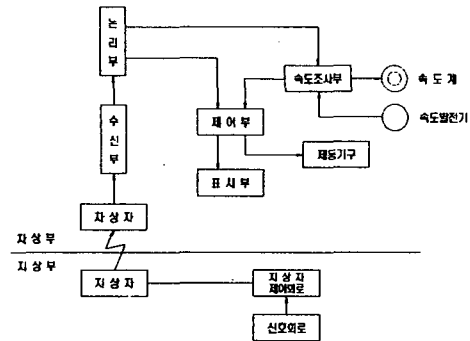


Fig. 1. ATS 블록도

3. 새로운 개념의 열차제어시스템

3.1 기본 원리와 특징

디지털 ATC 장치 (이하 D-ATC)는 종래의 ATS 장치가 지상속도 명령을 수신하여 그 명령대로 주행하는 것과 달리 Fig. 2와 같이 지상 신호장치로부터 선로의 조건과 선행열차의 위치를 디지털 정보로 수신하여 열차 스스로 자신의 주행위치와 안전 제동거리를 연산하고 제동 패턴의 단계에 의해 필요한 시기에 적절한 제동이 걸리게 한다. 또한, 자열차의 정확한 주행위치 계산에서 기존 1개의 궤도회로 구간을 7개의 구간으로 세분화하는 가상구간 (Virtual Section)방식을 사용하여, 결과적으로 선행열차와의 거리를 230 m에서 30 m 정도로 단축할 수 있다.[3]

D-ATC 시스템은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.[4]

- (1) 차상연산방식으로 패턴제동제어와 1단 제동제어를 적용, 운전시격을 단축하고 고밀도 운전이 가능하다.
- (2) 차상컴퓨터가 운전곡선을 계산하여 주행속도를 0~90Km/h까지 부드럽고 세밀하게 처리할 수 있어 제동에 수반되는 승차감을 개선할 수 있다.
- (3) 속도코드 주파수 대신 디지털 데이터 통신 정보전송의 텔레그램 전송방식을 사용한다.
- (4) 차량의 가, 감속 성능 향상에 따라 지상설비의 변경없이 동일조건에서 약 20%의 운전시격 단축이 가능한 유연성을 가진다.
- (5) 디지털 전송방식을 사용함에 따라서 전송정보량은 32 bit (4 byte) 정도로 비약적인 확장이 가능하며 방해파 간섭에 대한 내 방해성도 향상된다.

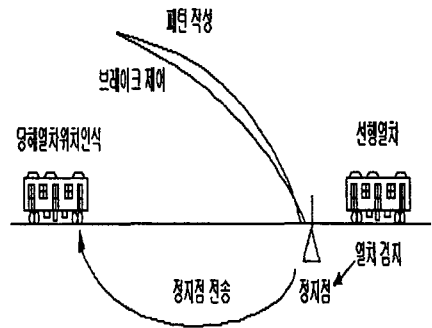


Fig. 2. D-ATC의 기본 원리

3.2 D-ATC 기능

(1) 열차의 재선 감지

궤도회로에서 열차검지신호 (TD 신호)를 송신하고 열차가 해당 궤도회로 진입하면 ATC 논리부는 열차를 감지한다.

(2) 정지점 정보 전송

지상장치는 열차의 위치정보와 연동장치로부터 진로설정 정보를 토대로 열차가 정지해야하는 위치를 계산하고 궤도회로를 통하여 차상장치로 전송한다.

(3) 해당 열차의 위치 인식

차상에서는 차측에 설치된 속도발전기 (Tachometer)의 펄스를 카운트함으로써 자기의 주행위치를 상시 인식하고 있다. 차상장치는 지상으로부터 전송된 정지위치 정보와 자신의 주행위치와의 관계로부터 차상의 데이터베이스를 검색하고 제동패턴을 발생한다.

(4) 제동 제어

제동패턴과 열차속도를 조사하고 제동패턴을 초과하면 제동을 동작시킨다. 더욱이 제동이 걸리면 정지 직전에 완화제동을 적용하여 단계적으로 최대 상용제동까지 동작시킴으로 승차감 개선을 도모하고 있다. 또한, 운전시격을 2분 30초에서 2분으로 단축이 가능하다.

3.3 폐색 분할

폐색 분할은 공주시간, 감속도, 가속력 및 열차저항, 열차장, 각 역의 정차시분, 선행 및 종단도, 내·외선의 간격, 터미널, 역의 운전경로 등을 고려하며 폐색 설계 기본 원칙은 다음과 같다.

- (1) 선행열차와 후속열차간 안전제동거리 유지
- (2) 원활한 영업운전을 위한 운전시격 및 음동성 확보
- (3) 구간 최고속도 운전 및 수송능률 향상

3.4 폐색장치의 진보

폐색장치도 과학기술의 진보에 따라서 통표 폐색→지상신호기(ATS)→지상신호기(ATS속도조사부)→차상신호기(ATC)→차상신호(ATC/ATO)→차상 패턴식 Distance to go (D-ATC)→이동 폐색식(CBTC)으로 발전을 거듭하고 있다.[3]

Table 1은 speed step과 distance to go 신호 체계에 대한 비교 설명이다.[5] 새로운 장치를 적용하기 위해서는 다음 사항을 고려하여야 한다.[3]

- (1) 제품의 사용 실적(안정성의 확인)
- (2) 보편화된 기술의 적용(유지보수의 용이성)
- (3) 생산회사가 2개사 이상의 여부(가격의 경쟁이 가능여부)
- (4) 건설하는 노선의 최종 년도 수송 수요(경제적인 투자)

Table 1. Speed step 신호체계와 Distance to go 신호체계의 비교

구 분	Speed step 신호방식 (ATS)	Distance to go 신호방식(Digital ATC)
신호방식	지상신호	차상신호
제어방식	절대거리제어	열차간격제어
제어정보	제한속도	목표속도, 열차위치
전송방식	아날로그, 전기방식	디지털, 전자방식
유지보수	사전 예방정비 필요	자기진단 기능
절대정지거리	길다	짧다

3.5 자동열차 운전장치 (ATO) 검토

1인 또는 무인운전이 가능한 ATO시스템은 다음과 같은 특징이 있다.

(1) ATO 도입 목적 및 기대효과

안전성 제고, 정확한 운전(정시운행, 정위치 정차), 승차감 개선을 통한 승객서비스 향상, 인력

절감(지하철공사 운영기준에 의하면 열차 당 4.33 인/편성에서 1인 또는 무인운전 가능하며 지하철2호선의 경우 연간 129억원 절감), 승무원의 운전업무 지원, 유사시 대체 인력 확보 용이, 표정시분 단축으로 증차효과 기대

(2) 주요 기능

출발제어, 가·감속제어, 정속운전제어, 정위치 정차제어, 자동방송제어, 출입문 개폐 제어[2]

4. 시스템 구축상의 과제

자율분산형 열차제어시스템 (D-ATC) 실용화 공사를 착공하고 실제 시스템을 구축하면서 다음의 몇 가지 새로운 과제를 검토하였다.

4.1 기존설비와 신 시스템의 공존

D-ATC 시스템을 도입할 때 열차운행에 지장을 주지 않는 것을 전제로 하지만 1회 열차휴무기간(최종열차-시발열차)동안 전구간의 D-ATC 시스템 도입, 절체를 모두 완료하는 것은 비용과 작업량에서 불가능하다. 따라서, D-ATC와 기존 ATS를 일정기간 공존시킬 필요가 발생한다. 이 “공존”의 상황은 D-ATC의 도입에 맞추어 다음의 2단계로 구분된다.

(1) 공사 기간 중

D-ATC 공사기간 중은 공사의 진도에 맞추어 D-ATC의 지상설비는 차차 늘리고 차상이 D-ATC 신호를 수신해도 기존의 ATS 상태로 제어를 실시하는 것이 필요하다. 여기서, 기존의 ATS 신호와 D-ATC 신호가 상호 영향을 미치지 않도록 배려할 필요가 발생한다.

(2) 시험 기간 중

D-ATC 신호를 레일에 송신하는 것을 이용하면 영업시간대에서도 정상적인 전문송신, ATC에 의한 열차검지, 차상의 ATC 수신레벨 측정 등의 시험을 실시할 수 있다. 이것을 실현하기 위해 차상시스템은 기존 ATS와 D-ATC 양쪽에서 동작이 가능한 시스템으로 구축할 필요가 있다.

4.2 원활한 시스템 이행

(1) 새로운 시스템의 확장

D-ATC의 도입은 전 노선을 한번에 갱신하는 것이 아니라 몇 개의 구간으로 나누어 단계적으로 구축하게 된다. 때문에 D-ATC 도입이 완료된 구간과 작업 중인 구간의 경계에서 열차제어시스템의 절체가 발생하기 때문에 경계구간에서는 자연스러운 열차운전이 과제이다.

(2) 단시간으로 사용개시 절체

D-ATC 시스템 사용개시시의 절체는 최종 열차종료부터 처음 열차출발까지 열차운행이 없을 때 실시할 필요가 있다. 이를 실현하기 위해 최소한의 조작으로 단시간 내에 절체를 하는 방식을 확립할 필요가 있다.[4]

5. 시스템 보증기술

시스템 보증기술이란 복수의 시스템이 네트워크 등을 통하여 상호 접속될 때 각각 다른 목적과 기능이 서로 방해되지 않고 상황에 맞게 공존할 수 있는 것을 보증하는 기술이며 열차제어시스템에도 보증기술의 적용이 요구되고 있다. 다음은 D-ATC에서 각각의 과제에 어떤 보증기술을 이용해서 해결하였는지 그 방안을 제시하였다. Fig. 3은 D-ATC의 보증기술에 대한 블록도이다.

5.1. 시스템 교체 방안

기존 설비의 중단 없이 설비를 교체하는 것은 기존 운영자와 긴밀한 상호 협조가 선행되어야

하며, 고도의 숙련된 기술과 세밀한 검토를 필요로 한다. 또한, 전체 차량 대폐차 완료시까지 기존 설비와 병행하여 운영될 것이다.

신호시스템 개량시 선로전환기는 기존 설비를 사용함을 원칙으로 하고, 신호기는 원활한 열차운행을 위해 기존에 사용되는 주신호기는 배제하고, 설비를 위해 선로전환기가 설치된 지역에 새로운 신호기를 설치(색상을 기존과 달리하여 구분)하여 입환 작업을 위한 신호로 사용한다. 신형 차량의 운행은 차상신호에 의한 열차운행이 이루어지도록 설비를 구성한다. 기존의 유절연 궤도회로 장치는 무절연 AF 궤도회로로 교체되며, 교체시 혼란을 최소화하기 위해 가급적 기존 궤도분할 구간을 준수하여 설치할 예정이다. 종합사령실 설비는 기존 설비와 신규 설비간 정보가 공유될 수 있도록 인터페이스를 구성한다.

새로운 방식의 시스템은 신속하고 안전하며 신뢰성이 있는 최고의 설비로써 안전하고 신속한 열차운행이 이루어지도록 시스템을 구축한다. 시스템 절체 순서는 준비 단계, 단위별 시험 단계, 연동구역별 시운전 단계, 전구간 시운전 단계, 기존설비와 병행운영 단계로 구분되며 다음과 같이 계획한다.[6][7]

(1) 1 단계 : 사전준비

- ① 절체 방안 협의 : 절체시 필요사항 요약, 작업 마스터 스케줄 작성하고 교육 및 업무를 체크한다.
- ② 절체장치 제작 : 선로전환기 절체기, 궤도회로장치 위상 변환기기를 설치한다.
- ③ 기기설치 준비 : 전원장치 설치 (공급 외 범위) 및 분전반 설치, 장비설치를 위한 베이스를 설치한다.
- ④ 인력 구성 : 안전 담당관, 교체 담당자, 시험 담당자를 지정

(2) 2 단계 : 단위별 시험

- ① 궤도회로장치 시험 : 기존 임피던스본드 분리 및 S-본드 케이블 및 연결박스에 연결 시험을 수행한다.
- ② 연동장치 시험 : 진로 및 선로전환기 등의 제어시험을 수행한다.
- ③ ATP 장치 시험 : 전체 구성요소별 시험과 진로제어 후 텔레그램 전송시험을 수행한다.
- ④ 사령실 설비 시험 : 개량 설비와 현용 사령설비간 인터페이스 시험을 실시한다.
- ⑤ 기타 설비 : 접지 등 결선 및 시험, TWC Loop /TWC Unit 설치 및 시험한다.

(3) 3 단계 : 시운전

- ① 단위 시험 : 사령실 설비와 현장 설비간 신호설비의 상태정보를 검사하고, 설비별 제어시험을 수행하며, 기존설비와 상태를 체크한다.
- ② 연동 시험 : 신호설비를 모두 정상 가동하여 신호설비 상태 체크 및 제어시험을 수행한다.
- ③ 스케줄 연계 시험 : 사령실에서 열차 운행 스케줄에 의한 자동진로 제어여부 시험한다.
- ④ ATP 시험 : 신규 차량을 투입하여 차상신호 수신여부 시험 및 MCS 모드에 의한 열차운행 시험을 수행한다.
- ⑤ 자동 열차운행 시험 : ATO 설비에 의한 열차 자동운행(ATO) 시험한다.
- ⑥ 자동 회차 시험 : 종착역에서 자동회차 정보 수신후 회차버튼 취급 시험한다.

(4) 4 단계 : 병행운영

- ① 기존설비 : 기존 차량은 차상신호기가 아닌 지상신호에 따른 ATS에 의한 열차운행만 가능

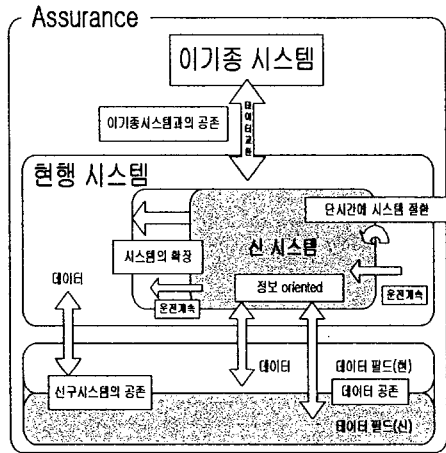


Fig 3. D-ATC의 보증 기술

하므로 기존의 폐색 시스템을 사용함. 따라서 기존차량을 위한 진로설정이 이루어지며, 전역사에 출발신호기 및 ATS 장치를 제어한다.

② 개량설비 : 신설 차량을 위한 진로제어가 이루어짐. 궤도회로 장치 및 신호기가 신설되어 운영되며, 선로전환기를 제어한다.

③ 인터페이스

- 선로전환기 : 위치정보를 공유
- 궤도회로 : 상태정보 공유
- 신호기 : 신설 신호기를 설치하여 신/구 설비가 각기 운영
- 진로제어 : 신/구 설비 각기 제어가 이루어지며, 선로전환기 설정상태를 체크하여 운영자에 불일치시 열차운행을 금지하고, 확인 작업이 이루어진 후 열차운행이 가능하도록 조치한다.

5.2 시스템 이행

(1) 시스템 확장

ATS 갱신에서 60.2 km의 전 노선을 한번에 갱신하는 것이 아니라 먼저 시범구간(신정지선)에 시스템을 우선 구축하고 3단계로 나누어 실시한다. D-ATC 도입을 계획하고 있는 선로는 기존 ATS가 설치된 구간이기 때문에 시스템 도입시에 시스템 경계 개소에서 기존 ATS와 D-ATC의 신구절환처리가 필요하다. 이것에 관해서는 ATS와의 공존의 방법에 따라 연속운전이 가능하다. 또한, 향후 설치 예정인 승강장 스크린도어와 인터페이스도 가능하도록 구성하였다.

(2) 단시간에 시스템 절환

정해진 시간에 D-ATC 사용개시 절환을 하기 위해서는 최소한의 조작으로 D-ATC 절환을 실시하는 시스템으로 하여야 한다.[4]

6. 결론

철도신호시스템의 모든 장치는 고장안전 (fail-safe)하도록 설계하고, Vital 시스템에 대해서는 SIL (Safety Integrity Level) 레벨 4를 충족시켜야 한다. 특히, 노후화된 신호설비를 새로운 이기종 신호설비로 개량 구축하는 구간은 영업운전에 영향을 미치지 않게 병행운전과 제한된 시간내에 절체를 해야 한다.

본 논문은 서울지하철2호선에 도입되는 신호설비에 대한 검토와 최초로 시도되는 지하철구간의 신호설비 개량공사를 수행함에 있어 요구되는 신호설비 절체, 병행운전에 대해 연구하였다.

향후, 수송수요 증가와 신호설비 노후화에 따라 다른 지하철 노선에서도 신호설비의 개량이 예측되며 효율적이고 체계적인 신호설비 개량공사에도 확대 적용이 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] "2호선 개량에 따른 미국지하철 해외 출장 보고서", 서울시지하철건설본부, 2001년 6월.
- [2] "철도신호공학", 동일출판사 박재영 외 2인, 2001년 9월.
- [3] "철도 신호 No42" 한국철도신호기술 협회, 2000년 6월.
- [4] "디지털 ATC 신호시스템 도입에 따른 현행시스템 보증기술", 한국철도기술연구원 한국철도기술, 2002년 3/4월호.
- [5] "철도신호설비의 현안과 개선방안", 감사원(어원), 2000년 8월.
- [6] "지하철2호선 신호설비 개량공사 실시설계용역(1차)", 서울시지하철건설본부, 2002년 12월.
- [7] "새로운 철도신호설비 절체 공법", 한국철도기술연구원 해외철도기술동향 11호.