2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

자동열차제어장치의 제어알고리즘 분석과 개량방안에 관한 연구

김종기*°, 정의진*, 김백현*, 신덕호*, 이기서**
*한국철도기술연구원 **광운대학교

A Study on the Control Algorithm and its Improvement of ATC System

Kim, Jong-ki*°, Joung, Eui-Jin*, Kim, Baek-hyun*, Shin, Duck-ho, Lee, Ki-seo**
*KRRI(Korea Railroad Research Institute) **Kwangwoon University

Abstract - Using AF(Audio Frequency) track circuits to control block signal automatically, ATC(Automatic Train Control) system employed in urban transit 3/4 line, Gwacheon-line, Bundang-line and Ilsan-line pursues the safety of train operation. ATC is employed as important means for the safety, in which the distance between trains is controlled to satisfy the safety requirement. In this paper, we analyze the control algorithm of ATC and investigate the improvement plan of urban transit driving control mode to guarantee the automatic driving function.

1. 열차제어장치의 개요

열차제어장치는 대용량 대중교통 수단인 도시철도의 운용에 있어 중요한 역할을 수행하는 신호보안장치의 한 부분으로서 인명과 설비의 안전을 위해 열차가 위험한 상황에 직면하지 않도록 지속적인 제어 및 감시를 수행한다. 이러한 장치의 중요한 사용 목적은 열차편성수를 최소화하고 운전시격을 단축하여 승객 서비스와 경제적 효과에 기여한다는 것이다. 열차제어장치가 도시철도 분야에 처음 도입된 것은 ATS(Automatic Train Stop 또는 Punctual Speed Control) 장치이며, 이는 지상 래일 중앙에 설치된 지상신호발생장치(점제어 방식)의 속도제한 신호에 의해 제한속도가 현시되어지며, 운전자가 열차의 가감속제어를 수동으로 수행하였다. 이후, ATC(Automatic Train Control 또는 Continuous Speed Control) 장치가 도입되었으며, 국내에는 Speed Coded 방식의 ATC 장치가 사용되고 있다. Speed Coded 방식의 ATC 장치는 중앙 지상설비(CTC)가 선행열차의 점유 상태 및 속도를 파악하여, 사전에 설정된 여러 개의 속도 코드 중 적절한 것을 선택하고, 이를 궤도회로를 통해 후속 열차에 전송하는 방법을 취하고 있다. 도시철도가 점차 고밀도 운행이 되면서 운전자의 과중한 업무 분담으로 인하여 열차 운행의 안전성을 저해할 여지가 남아 있어 이를 해결하고 보다 효율적인 열차 운행을 위하여 ATC 장치에 역간 자동열차운행과 정위치 정차를 위한 ATO(Automatic Train Control) 장치를 부가시켜 ATC/ATO 장치를 사용하고 있다.

현재 국내에서 ATC/ATO 장치를 사용하고 있는 호선들은 서울시 지하철 5, 6, 7, 8호선과 부산시 지하철 1, 2호선, 대구시 지하철 1호선, 인천시 지하철 1호선 등이며 도시철도용 신호보안설비는 현재 5개 도시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주)에서 운영중이며, 설비 대부분이 외국기술에 의존하고 있는 실정이며, 제어로직이 모두 컴퓨터에 의존하는 첨단설비로 설치되어 있다. 서울지하철은 1974년 1호선이 개통된 이래 1985년에 2, 3, 4호선이 개통되면서 우리나라의 본격적인 지하철시대를 열었다. 1, 2호선에 도입된 열차운행제어시스템은 기관사의 불안전한 요소를 보완하는 자동열차정지장치(ATS)이었고, 3, 4호선에서는 자동화의 개념이 처음 도입되어 자연적인 위해 요소나 인간의 실수로부터 안전을 확보할 수 있는 자동열차제어장치(ATC)가 설치되어 열차사고를 미연에 방지하고 있다.

산업과 경제의 발전에 따라 차원 높은 서비스를 원하는 승객에게 효과적인 서비스를 제공하고, 효율적인 경영을 달성할 목적으로 지하철 5, 6, 7, 8호선(2기 지하철)에서는 가능한 모든 부분을 자동화하여 승객을 만족시키는 한편, 열차의 안전한 운행을 도모하며, 운영과 경영의 효율화를 꾀하도록 설계된 컴퓨터 의존형 신호시스템을 사용하고 있다.

2. 자동열차제어장치의 구성과 기능

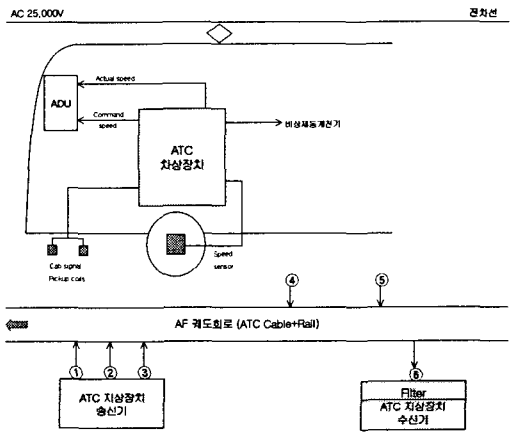


그림1. 자동열차제어(ATC)장치 구성도

서울3, 4호선, 일산선, 분당선, 과천선 등의 신호시스템은 본선신호장치, 차량기지 구내 신호장치로 구성된다. 본선신호장치로서는 ATC 및 궤도회로장치, 연동장치 등이 포함된다. 사령실은 종합열차운행제어장치가 설치되어 있으며, 정보전송장치(DTS)에 의해서 현장의 각종설비와 연결되고 컴퓨터에 의한 정보처리가 이루어진다. 이러한 장치들은 열차안전운행, 신뢰성 있는 열차운전 및 제어를 위하여 설치되었으며, 분기기가 있는 연동장치 역에는 전기선로전환기 및 신호기가 설치되고 제어반에서 제어된다. ATC 설비는 지상의 차상신호 송신장치, 차상의 차상신호 수신장치, 과속검지 장치, 제동확인장치들로 구성되어 있다. 차량기지는 전 구내에 신

호장치가 설비되어, 주요 유치선에는 운행 전 차상장치의 차상신호 수신 상태를 시험하도록 되어 있다.

본선 궤도회로장치는 열차검지와 차상신호용 지시속도의 송신기능을 수행할 수 있는 설비로서 AF궤도회로가 사용되고 있으며, 장대레일과 승차감, 설치비 등을 고려하여 무절연, 복궤조 방식으로 설치되어 있다. 무절연 본선궤도의 AF 궤도회로는 경계지점에 임피던스 단락장치를 설치하며 임피던스본드가 곧 궤도회로의 경계지점을 형성한다. 궤도회로에 주파신호가 임피던스본드를 통하여 레일에 송신되면 기계실에 설치되어 있는 수신기에서 열차가 검지된다. 그림1에서의 각각의 번호가 의미하는 신호는 다음과 같다.

① : 차상신호 반송주파수(sine wave) : 990Hz ± 10Hz
- 진폭 임의 조정가능 (ATC 차상장치 pick up coil 수신능력에 따라)
- 열차 점유궤도와 전방궤도에만 송신

② : 지시속도코드 주파수(구형파) : 50% duty cycle에 sine wave 반송
- C1 = 3.2Hz ± 2% … Yard Mode (25km/h) 분기부 입환시, 역방향과 기지내 운전시
  C2 = 5.0Hz ± 2% … 25km/h
  C3 = 6.6Hz ± 2% … 40km/h
  C4 = 8.6Hz ± 2% … 60km/h
  C5 = 10.8Hz ± 2% … 70km/h
  C6 = 13.6Hz ± 2% … 80km/h
  C7 = 16.8Hz ± 2% … Yard Cancel
  C8 = 20.4Hz ± 2% … 예비(100km/h)
- 전방궤도조건에 의해 지시속도 코드 변경됨

③ : 열차검지 주파수(sine wave) : 1590Hz ~ 5190Hz
- 진폭 임의 조정가능(AF궤도회로의 전기적 성능 고려)
  f1 = 1590Hz ± 10% f2 = 2670Hz ± 10%
  f3 = 3870Hz ± 10% f4 = 5190Hz ± 10%

④ : 방사성 노이즈(판타그래프 Arc 등)

⑤ : 전도성 노이즈(전동차량 부하전류)

⑥ : ①~⑤가 혼재된 신호

ATC장치는 지상과 차상장치로 대별되며, 차량특성, 선로특성에 따라 완벽하게 설계된 자동폐색장치와 지상의 차상신호 송신장치, 그리고 차상의 차상신호 수신 장치 및 각종 보호 장치로 그 성능이 발휘된다. 지상장치는 AF 궤도회로와 중첩으로 설계된 차상신호 선별회로와 Cab Enable 논리회로에 의하여 AF와 같은 경로를 통하여 레일에 전송된다. 차상장치는 지상에서 송신된 차상신호를 수신 및 해석하여 열차의 각종 운전제어에 활용된다.

3. 자동열차제어장치의 제어알고리즘

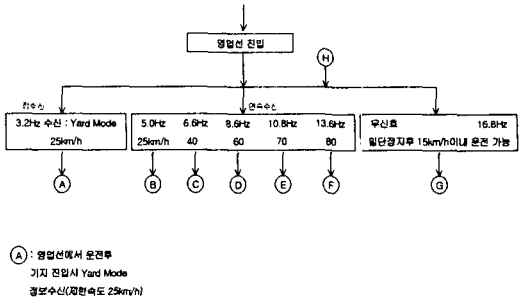
3.1 분당선 도시철도 운전모드와 ATC차상장치의 동작알고리즘 분석

수동, 기지, 정지 및 진행 Mode들은, 차상 ATC장치의 과속탐지 장치에 의해 감독된다. 다음 항목에서는, 이들 각각의 Mode별 ATC차상장치의 동작알고리즘에 관하여 기술하였다.

1) 수동 Mode

기지에서 영업선 진입시의 운전모드로서 각각의 제한속도별(25, 40, 60, 70, 80km/h)로 코드를 지상의 AF궤도회로로부터 수신하여 제어하는 운전모드이며, 그림3은 분당선 도시철도의 수동운전모드에서의 ATC차상장치의 제어알고리즘을 나타낸 것이다.

(1) 25, 40, 60, 80 또는 100km/h의 속도지령이 레일로부터 운전실의 감지코일을 경유해서 접수된다.



Ⓐ : 영업선에서 운전후
기지 진입시 Yard Mode
경보수신(제한속도 25km/h)

그림2. 분당선 수동모드 운전시 ATC차상장치의 동작 Flow Chart

(2) 속도지령이 Decoder PCB에 의해 해독되고, 신호가 조속기에 전달된다.

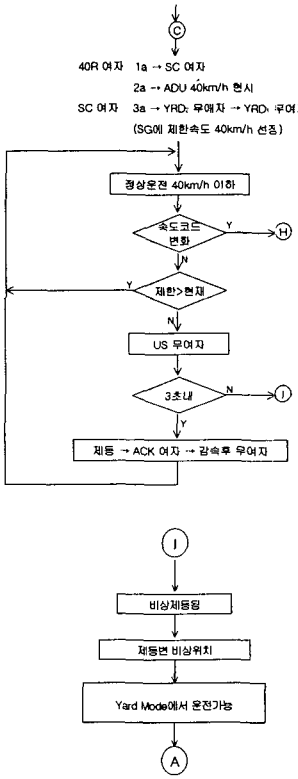


그림3. 분당선 수동모드 운전시 ATC차상장치의 동작 Flow Chart

(3) 실제속도 (역구내의 경우 Zero)는 Speed Sensor로부터 접수되어져서 제한된, 출력의 Square Wave로 바꾸어, 그 신호는 V=O Relay와 조속기("Relay Driver")로 보내진다.

(4) V=O Relay가 동작된다. (열차는 정차상태)

(5) 조속기에 의해 실제속도가 지령된 속도에 비교된다.

(6) 조속기 ("Gating") PCB는 신호를 Speed Governor (Relay Driver) PCB로 출력 전송하고, 이는 다시 저속(US) Relay로 증폭된 신호를 출력 전송한다.

(7) 열차 콘트롤 장치가 필요한 제동 위치에 있는 상태

에서, ACK는 MC/Brake Acknowledge Micro switch의 폐쇄된 접점으로 경유하여 여자된다.

(8) 제어된 속도 Relay의 여자된 전면접촉부를 지나서, Aspect Display Unit에 명령된 속도가 출력 전송된다. 한편 실제속도는, 소도 Governor Relay Driver로부터 ADU로 출력 전송되고, 또한 이 신호를 Wheel Wear Assembly로 출력 전송한다.

2) 기지(Yard)모드

기지모드는 영업선에서 운전후 기지 진입시의 운전모드로서, 그림4는 분당선 도시철도 Yard운전모드에서의 ATC차상장치의 제어알고리즘을 나타낸 것이다.

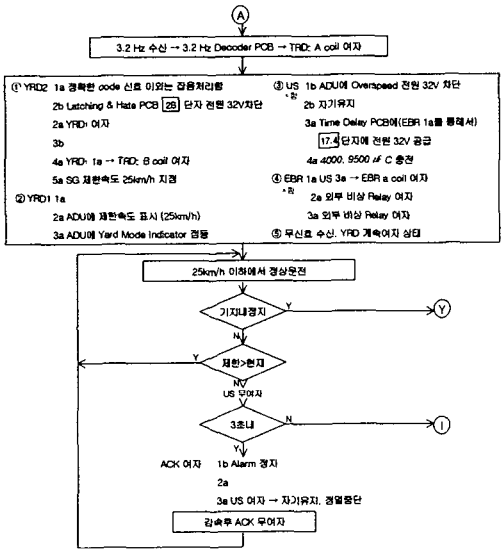


그림4. 분당선 Yard모드 운전시 ATC차상장치의 동작 Flow Chart(a)

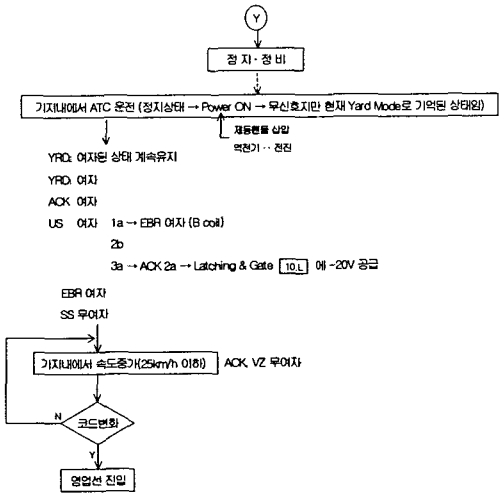


그림5. 분당선 Yard모드 운전시 ATC차상장치의 동작 Flow Chart(b)

(1) 기지 속도명령이, 운전실의 감지코일을 경유해서 열차에 접수된다.

(2) 기지 Commane가, 3.2Hz Decoder에 의해서 해독된다.

(3) Decoder 출력이 YRD 2 Relay Normal(N)을 가동시킨다.

(4) YRD 1 Relay가 YRD 2 Relay의 전면접촉부를 지나서 여자된다.

(5) 지령된 속도는 YRD 2 Relay의 여자된 정상접촉부를 경유해서 Speed-Governor로 입력된다. 실제속도도 또한 입력된다.

(6) 필요한 제동위치에서의 열차제어로, Speed-Governor 출력은 ACK Relay의 전면접점을 통해, US Relay를 여자시킨다.

(7) 명령된 속도(25km/h)는, 여자된 YRD 1 Relay의 전면접촉부를 경유하여, ADU에 표시된다. 또한 Lamp는 YRD 1 전면접촉부의 다른 Set를 지난 다음 점등된다.

3) 정지 및 진행 Mode

그림5는 분당선 도시철도 정지 및 진행 운전모드에서의 ATC차상장치의 제어알고리즘을 나타낸 것이다. 정지 및 진행 Mode는, 열차가 운전실의 신호 범위내에 있을 동안에 개시되며, 다음과 같은 상태에서 속도명령을 받지 않는다.

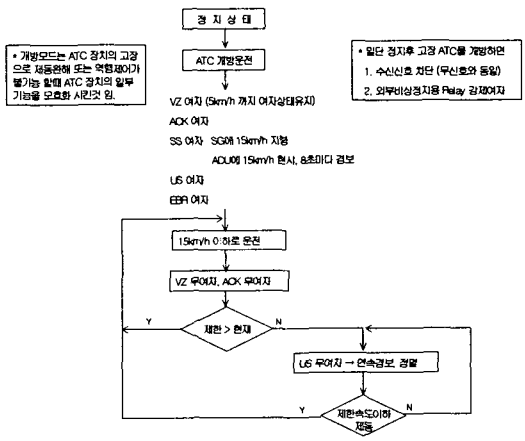


그림6. 분당선 정지 진행모드 운전시 ATC차상장치의 동작 Flow Chart

(1) 어떠한 속도명령은, Rail로부터 접수되지 않으며, 따라서 속도명령(SC) Relay의 동작을 중단시킨다.

(2) Speed Governor가 저속도 Relay(US)를 무여자시키는 출력신호를 발생하지 못한다.

(3) US Relay가 무여자일 때, US Relay의 폐쇄된 접촉부를 경유하여 자동적으로 상용제동이 적용된다.

(4) 과속 경보기는, US 및 ACK Relay의 후면 접점을 경유 동작하고, ADU상의 지령속도 표시기는, US Relay 후면 접점을 통해 동작된다. 또한, 정지등의 동작은 YRD 2의 접점, SC와 SS(Stop And Proceed) Relay를 경유한다.

(5) 자동 상용제동(또는 비상제동)이 열차를 정지시킨다. 기관사는, 열차제어장치를 필요한 제동위치로 움직여서, 다시 추천 콘트롤을 할 수 있도록 한다. 이로써 ACK Relay가 여자되고 경보기는 조용해진다. 열차 정지후, US Relay는 ACK Relay 접점을 경유하여 여자되고, 접점자신의 세트(Set)에

의해 계속 여자된다. 정지등이 어두워지고, 속도지령 표시부의 점멸이 멈춘다. 열차가 멈출때는, VZ Relay는 여자된다. 그리고 비상제동이 체결된다는 EBR Relay가 여자된다.

(6) 다음의 두가지 조건이 충족될 때, 정지, 진행(SS) Relay가 가동되며, 열차는 제어된 속도(15km/h)로 진행할 수 있다.

- ACK가 여자되고, (열차콘트롤 장치가 필요한 제동위치에 가있다) 그리고 V=O Relay가 여자된다. (열차는 정지상태)
- TRD 2 Relay가 역 가동상태 (Energized Reverse), (이때 Yard Speed Command는 아니다) 이고, SC Relay는 무여자 상태이다. (어떠한 속도명령도 접수되지 않는다.) 적당한 속도명령을 접수함으로써 열차는 수동 Mode로 복귀한다. 그렇지 않으면, 열차는 정지/진행 Mode로 고정된다. (즉 ACK 및 V=O Relay의 조건은, 이제부터 적합하다.)

4. 자동운전기능 부가시 개량방안

현재 도시철도 운영기관에서 자동운전기능이 부가된 노선에서의 도시철도 운전 MODE를 분석해보면 서울시 지하철 5, 6, 7, 8호선은 무인운전, 자동(확인)운전, ATC 운전, 수동운전, 기지운전의 다섯 가지의 열차 운전 MODE를 가지고 있다, 그리고 대구, 인천 지하철 1호선은 AUTO(ATC) MODE, MCS(Manual Cab Signal) MODE, YARD MODE, FMC(Free Manual Control) MODE의 네 가지 열차 운전 MODE를 가지고 있으며 AUTO(ATC) MODE는 서울시 지하철 5, 6, 7, 8호선의 무인운전 MODE와 자동(확인)운전 MODE를 포함하는 열차 운전 MODE이다. 서울지역과 광역시의 운전모드가 약간은 다른 형태의 열차 운전 MODE를 보여주고 있지만 대구, 인천 지하철 1호선의 AUTO(ATC) MODE는 운전자의 어떠한 운전조작 없이 열차를 운전할 수 있는 AUTO(ATC) MODE와 역에서의 열차 출발시 운전자에 의해 출발이 허용되어져야 하는 Semi AUTO MODE로 구분되어져 있다. 따라서 자동운전기능 부가시 다음의 2가지 운전모드가 고려되어야 할 것이다.

4.1 완전자동운전모드(FULL AUTO, FA)

1) 완전자동운전 모드는 지상 및 차상 열차제어시스템에 의해서 승무원의 어떠한 개입 없이 출발, 가속, 감속, 타행, 제동, 승강장 정위치 정차 등 완전자동상태로 운전이 되도록 지원되어야 한다.
2) 자동열차운전장치가 자동열차보호장치에 의해 부여된 안전한계 내에서 미리 정해진 운행조건에 따라 열차를 자동적으로 제어되어야 한다.
3) 열차는 지상 및 차상 열차제어시스템이 정상적인 경우에만 완전자동운전 모드로 운행할 수 있어야 한다.
4) 완전자동운전 모드를 열차운전의 기본 운전 모드로 하기 위해서는 승객안전시설이나, 승무원이 전방을 주시하는 것과 같은 지능적인 안전조치, 열차고장시의 조치 대책 등이 선행되어야 한다. 이러한 방안 등이 선행되지 않았을 때는 승무원의 전방확인과 선로변 안전상 비상조치가 필요한 경우 항상 승무원이 개입할 수 있도록 1인 승무에 의한 완전자동운전이 시행되어야 한다.

4.2 자동운전모드(AUTO)

1) 자동운전모드는 자동열차운전장치가 열차를 제어하며, 승무원이 출입문 닫힘 또는 열차출발버튼 등을 간단한 동작으로 조작함에 따라 자동적으로 출발, 가속, 감속, 타행, 제동, 승강장 정위치정차 등 자동운전을 수행하는 모드이다.
2) 완전자동운전모드와 다른 점은 각역에서 출발시 승무원의 간단한 조작이 요구되도록 설계되어야 한다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 서울3,4호선의 ATC장치와 분당선, 과천선, 일산선 등의 ATC장치의 일반적 구성과 기능을 검토하였으며, 위 구간에서의 도시철도 운전모드의 이해와 각각의 운전모드를 지원하고 있는 ATC차상장치 제어알고리즘의 분석이 필요하다고 판단되어 이에 대한 연구를 수행하였다. 향후 도시철도 신호시스템 표준화 모델에서 지향하고 있는 운전모드별 제어알고리즘을 도출하여 제안하는 것이 본 연구의 목표이기도 하다.