

CBTC, ATC 열차제어 시스템 간 상호운행을 위한 차상장치 설계 및 안전 확보 방안

이재호* · 오세화** · 박종문** · 이기서***

Safety Security Method and Onboard Design for Inter-operation between CBTC, ATC Train Control System

Jae-Ho Lee* · Sea-Hwa Oh** · Jong-Moon Park** · Key-Seo Lee***

요 약

최근 국내 도시철도 신설 및 개량사업에 무선통신기반 열차제어시스템 도입이 적극 검토되고 있다. 그러나 여러 가지 이유로 일부구간 또는 차량기지를 기존 궤도회로 기반으로 구축하는 경우가 있어 이중(CBTC, ATC) 열차제어시스템 간 상호운행이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 신분당선 무선통신기반(CBTC) 차상신호장치를 탑재한 열차가 분당선 궤도회로(ATC)구간을 상호운행하기 위한 차상신호장치 설계와 두 노선을 탈선분기기 없이 안전하게 연결하는 방안을 제시한다.

ABSTRACT

Recently, An introduction of communication based train control system both into greenfield and brownfield of urban transit network has been actively reviewed. However, since a number of line sections and rolling stock depots tends to be constructed based on track circuit for various reasons, necessity of inter-operation between two distinct train control system (CBTC, ATC) increases. Therefore, we propose a design of on-board signalling device that allows inter-operation of CBTC and ATC lines and a method to secure safe connection between these two lines without derauling point machine.

키워드

CBTC, ATC, STM, Transition Zone

통신 기반 열차 제어 시스템, 자동 열차 제어, 특정 전송 모듈, 연결 구간

I. 서 론

국내 도시철도의 열차제어시스템은 다국적, 다품종의 외국제품이 도입되어 각 노선별로 상이한 신호시스템이 운영되고 있다. 최근에는 CBTC(Communication Based Train Control) 시스템이 도입·운영되고 있으며, 광역철도 노선 등으로 적용 범위가 확대되는 추세

이다. 이동폐색, 무인운전이 가능한 CBTC시스템은 기존 궤도회로 시스템 대비 지상신호설비의 구성이 단순하여 운영효율성 향상과 유지보수 비용절감에 효과적인 시스템이다. 국내에서도 한국형 무선통신기반 열차제어시스템 개발 및 실용화를 위한 활동이 활발히 이루어지고 있다. 또한 노후화된 도시철도노선 개량사업에도 CBTC시스템 설치가 적극 검토되고 있다[1-6].

* 광운대학교 일반대학원 제어계측공학과(jaeho1.lee@shinbundang.co.kr)

** 네오트랜스주식회사(seahwa.oh@shinbundang.co.kr, jongmoon.park@shinbundang.co.kr)

*** 교신저자 (corresponding author) : 광운대학교 교수(kslee@kw.ac.kr)

접수일자 : 2015. 07. 14

심사(수정)일자 : 2015. 08. 13

게재확정일자 : 2015. 08. 23

철도노선은 필요에 따라 노선 간 연결이 필요하다. 연결되는 두 노선의 신호시스템이 동일하면 열차는 별도의 조치 없이 두 노선에서 운행이 가능하지만, 두 노선의 신호시스템이 같지 않으면 안전 운행을 위한 추가 설비가 필요하다. 일반적으로 서로 다른 신호 구간을 운행하기 위해서는 열차에 완전한 두 개의 차상 신호장치를 설치하고 해당 장치를 선택하여 운행하는 방법과 두 가지의 지상신호장치를 모두 설치하여 두 종류의 열차가 운행하는 방법이 있으나, 안전성과 설치 공간 및 비용 등의 여러 가지 이유에서 효과적이지 못하다[5-8]. CBTC시스템 도입에 있어서도 경제적인 이유로 본선은 CBTC시스템으로 차량기지는 궤도 회로(ATC, Automatic Train Control)방식으로 건설하는 경우와 차량기지 공유를 위해 CBTC 열차가 궤도 회로(ATC) 구간을 경유해야하는 경우가 발생하므로, 열차가 안전하게 ATC 구간을 운행하기 위한 효과적인 방안이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 CBTC 차상신호장치를 탑재한 열차(CBTC 열차)가 안전하고 효과적으로 ATC구간과 CBTC구간을 상호운행하기 위한 차상장치 설계 방법과 탈선분기기를 설치하지 않고 두 노선을 안전하게 연결하기 위한 안전확보방안을 제시하였다.

II. 열차제어시스템 개요

2.1 신분당선 열차제어시스템(CBTC)

무선통신기반 열차제어(CBTC)시스템은 무인운전·이동폐색 시스템을 구현하는 가장 현실적인 방법으로 열차의 위치를 궤도회로가 아닌 무선통신을 이용해 수신하고 열차의 목적지, 속도, 방향 등을 전송하여 열차를 통제한다. 지상-차상간의 양방향 무선통신으로 궤도회로 보다 더 정밀하게 열차의 위치를 파악할 수 있으며, 무인운전을 위한 차상설비 감시와 제어가 가능하다. 신분당선 CBTC 시스템의 기본 구성은 그림 1과 같다.

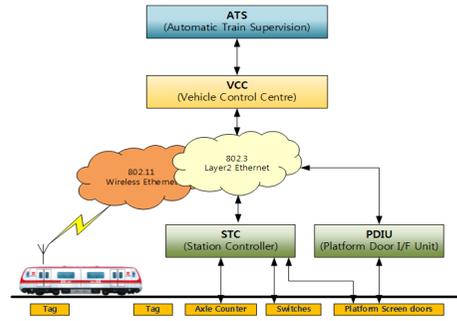


그림 1. CBTC 시스템 구성도
Fig. 1 CBTC system configuration

2.2 분당선 열차제어시스템(ATC)

분당선 열차제어시스템(ATC)은 선형열차와 후속열차 사이에 일정한 거리(폐색)를 확보하여 열차의 안전운행을 보장하는 고정폐색방식의 열차제어시스템으로 연속된 속도코드(Speed Code)를 통해 차상신호장치로 운행속도를 전송하고, 기관사는 차상신호장치 감시에 허용속도 이하로 수동 운전하는 방식이다. 분당선에서 열차의 운행 통제를 위해 사용하는 분당선 ATC 속도코드는 표 1과 같다[1].

표 1. ATC 속도코드
Table 1. ATC speed codes

Speed Restriction	Frequency	Train Operation Scheme
0Km/h	20.4Hz	Stop
0Km/h	No Code	Stop and Go(15km/h)
25Km/h	5.0Hz	Manual with ATP
40Km/h	6.6Hz	"
60Km/h	8.6Hz	"
70Km/h	10.8Hz	"
80Km/h	13.6Hz	"
25Km/h	3.2Hz	Yard Mode
YARD Cancel	16.8Hz	Stop and Go(15km/h)

2.3 절체구간의 구성

신분당선 CBTC 열차는 주박·경정비 등을 위해 CBTC구간에서 ATC구간을 통과하여 분당차량기지로 운행하거나 신분당선에서 영업운행을 위해 다시 ATC

구간에서 CBTC구간으로 진입한다. 이를 위해 CBTC 열차는 절체구간에서 CBTC 또는 ATC 구간을 운행할 수 있는 모드로 변경하고 해당 시스템 구간으로 진입한다. 신분당선과 분당선간 절체구간은 그림 2와 같이 구성된다.

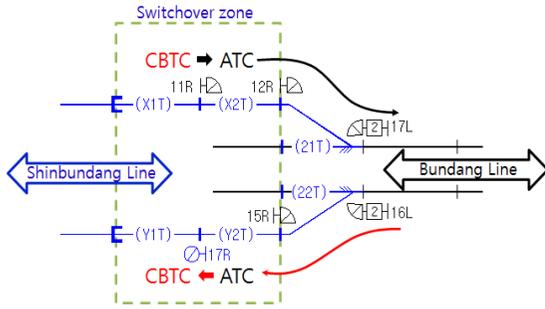


그림 2. CBTC-ATC 절체구간
Fig. 2 CBTC-ATC switchover zone

III. 차상신호장치 설계

3.1 차상신호장치 구성

차상신호장치는 지상ATP장치로부터 수신된 명령을 해석하여 열차의 이동거리한계, 허용속도 범위 내에서 열차를 안전하게 제어하고, 열차의 위치, 속도 진행 방향 등을 지상 ATP로 전송하며, ATC구간에서는 STM(Specific Transmission Module)을 통해 속도코드를 수신하여 열차의 속도를 감시하고 통제 한다.

ATC구간을 운행하기 위한 차상신호장치의 구성은 그림 3과 같다.

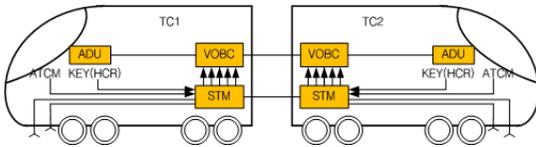


그림 3. 차상신호장치의 구성
Fig. 3 Configuration of on-board controller

3.2 열차운행모드

CBTC구간에서 열차 운행모드는 무인(DRIVERLESS), 자동(AUTO), 수동(ATPM), 제한적수동(RM)모드가 있다. RM(: Restricted Manual)모드

는 시스템이나 설비에 장애가 있는 경우 사용하는 모드로써 기관사가 수동으로 열차를 운전한다. 차상신호장치는 열차의 속도를 25km/h 이하로 제한하며 CBTC 제어 영역이 아닌 지역에서도 사용가능한 운행 모드이다. ATC구간에서의 운행을 위해 그림 4와 같이 제한된 수동모드 하위에 ATCM(: ATC Manual) 모드를 설계하여 궤도회로에서 지시하는 속도코드에 따라 열차가 운행 할 수 있도록 설계하였다.

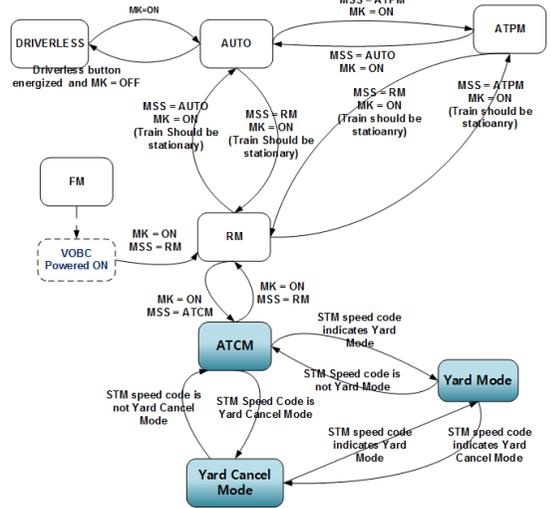
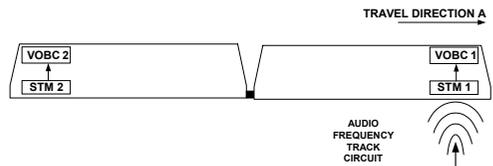


그림 4. 열차 운행 모드
Fig. 4 Train operating mode

열차는 시스템 절체구간에서 정차한 상태에서 운행 모드 변경을 통해 CBTC 또는 ATC 열차제어시스템을 선택할 수 있다.

3.3 차상신호장치와 STM간 인터페이스

ATCM모드에서 열차 최대 속도는 운행방향 쪽 STM이 궤도회로로부터 속도코드를 수신 후 해석하여 차상신호장치로 전달하면, 차상신호장치는 운행 허용속도를 기관사 콘솔에 표시한다.



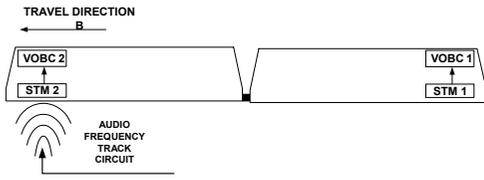


그림 5. 운행방향에 따른 STM 활성화
Fig. 5 STM activation due to travel direction

그림 5와 같이 ATC구간에서 운행하는 열차는 운행방향의 차상신호장치가 활성화 되어, 해당 차상신호장치에 장애가 발생하면 정상적인 기능수행이 불가능하다. 이를 보완하기 위해 STM간 인터페이스를 추가하여 운행방향 쪽 차상신호장치 고장 또는 반대편 차상신호장치가 활성화된 상태에도 열차의 정상 운행이 가능하도록 설계하였다.

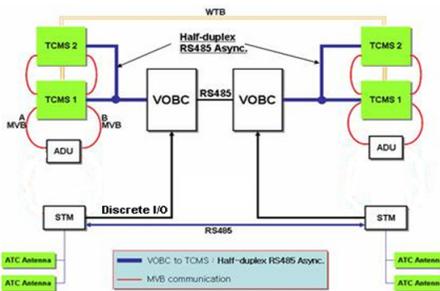


그림 6. 차상신호장치 인터페이스 구성
Fig. 6 Interface configuration of on-board controller

차상신호장치와 STM간 인터페이스는 정보전송의 무결성을 보장하기 위해 5개의 Discrete I/O를 사용하여 인터페이스 한다. 또한 STM의 동작상태 확인을 위해, STM은 ATCM모드가 선택되면 Self-Test를 수행한다. Self-Test가 이루어 질 때 STM은 표 2와 같이 미리 정의된 패턴 정보 사용하여 정해진 순서대로 출력하도록 하였다. Self-Test가 실패하면 차상신호장치는 비상 제동을 체결하고 열차 운영을 허용하지 않는다.

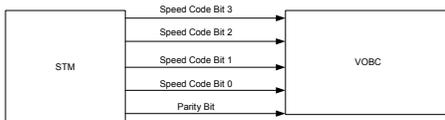


그림 7. 이산정보의 구성
Fig. 7 Configuration of discrete I/O

표 2. 인터페이스 비트 패턴
Table 2. Interface bit pattern

B3	B2	B1	B0	Parity	Contents
0	0	0	0	0	PATTERN 0
0	0	0	0	1	PATTERN 1
0	0	0	1	0	PATTERN 2
0	0	1	0	0	PATTERN 3
0	0	1	1	1	01 Code
0	1	0	0	0	PATTERN 4
0	1	0	1	1	15Km/h
0	1	1	0	1	25 Km/h
0	1	1	1	0	25 Km/h
1	0	0	0	0	PATTERN 5
1	0	0	1	1	N/A
1	0	1	0	1	40 Km/h
1	0	1	1	0	60 Km/h
1	1	0	0	1	Yard Cancel
1	1	0	1	0	70 Km/h
1	1	1	0	0	80 Km/h
1	1	1	1	1	N/A

IV. 안전확보 방안

이중 열차시스템간 상호운행에 있어 가장 큰 고려 사항은 한 쪽 시스템의 장애가 다른 노선으로 확대되는 것을 방지하고 최대한 안전을 확보해야 하는 것이다. 상호운행에 있어 안전을 가장 위협하는 문제는 기관사가 정지신호를 무시하고 진행하는 경우로 일반적으로 탈선분기기를 설치하여 예방한다. 그러나 신분당선과 분당선은 지하에서 연결되는 공간적인 문제로 탈선분기기가 설치되지 않았다. 따라서 궤도회로 주파수가 무신호인 경우 열차는 완전히 정지한 후 다시 15km/h 이하의 속도로 운행이 가능하여 안전한 상호운행을 위한 안전 대책이 필요하다.

4.1 시스템별 열차 검지

열차점유정보를 한쪽 시스템에서 열차를 검지하여 다른 시스템으로 전달하는 방법은 고장발생 시 다른 시스템에 영향을 줄 수 있다. 이를 방지하기 위해 절체구간내의 열차점유상태를 개별시스템이 검지하는 방법을 사용하여 장애 확대를 방지하였다. 신분당선 CBTC시스템은 엑셀카운터를, 분당선 ATC시스템은 궤도회로를 이용하여 열차 유무를 판단한다[4].

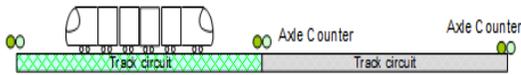


그림 8. 액셀카운터 및 궤도회로
Fig. 8 Axle counter & track circuit

4.2 절대정지(01 코드)

CBTC구간에서 ATC구간으로 열차가 진출하는 경우, 운영시나리오는 다음과 같으며, 분당선 ATC구간은 신호가 정지를 현시하는 경우 궤도회로는 무 코드로 기관사가 15km/h 이하의 속도로 ATC 구간으로 진입 할 수 있어 안전이 확보되지 않았다.

- ① CBTC열차 절체구간 도착
- ② ATC모드로 운행모드 변경
- ③ 신호의 현시에 따라 ATC구간으로 열차진입

따라서 절체구간에는 기관사가 임의로 열차를 운행하지 못하도록 절대정지코드(01코드)를 추가하여 ATC구간에서 열차 진입을 허가하기 전까지 열차가 절대 운행되지 않도록 하여 안전을 확보하였으며, 열차가 ATC구간에서 CBTC구간으로 진입하는 경우 YIT궤도회로(그림 2 참조)는 항상 01 코드를 출력하여 ATC열차가 허가 없이 절대로 CBTC으로 진입하지 못하도록 안전을 확보하였다.

V. 시험 결과

이중 시스템간 상호운영에 대한 기능 검증을 위해 시험을 진행하였다. 그림 9와 같이 시험구간은 CBTC 구간, 시스템절체구간, ATC구간 및 차량기지로 구성된다. 시험 열차는 신분당선 역에서 출발하여 분당선 차량기를 왕복운행하며 열차운행모드 전환, 과속시험, 차상장치 절체시험 등을 통해 모든 기능을 검증하였다. 시험결과는 다음과 같다.



그림 9. 시험구간
Fig. 9 Test section

5.1 ATCM모드전환 및 Self Test

ATC구간으로 진출하기 위해 ATCM모드 전환에 따라 Self-Test를 완료하고 절대정지(01코드) 수신 결과는 다음과 같다.



그림 10. 모드 전환(Self Test) 결과
Fig. 10 Mode change (self test) result

5.2 절대정지 기능 시험

절대정지(01코드) 수신에 따라 차상신호장치는 허용속도를 0km/h를 지시하였으며, 열차를 임의로 운행시킨 경우 EB를 체결하여 열차 운행이 방지됨을 확인하였다



그림 11. 01코드 수신 및 EB 체결 결과
Fig. 11 01 Code receive & EB applied results

5.3 운행시험 결과

시험구간을 운행하며 다음과 같이 속도별 코드 수신 및 정상운행(허용속도 이하)을 확인하였다.

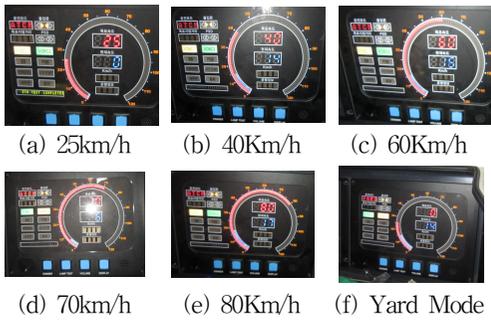


그림 12. 운행시험 결과
Fig. 12 Operating test results

5.4 고장 및 과속 시험 결과

열차운행 중 발생할 수 있는 STM 또는 차상신호 장치 고장과 허용속도 이상으로 과속을 발생시키고 정상동작을 확인하였다.

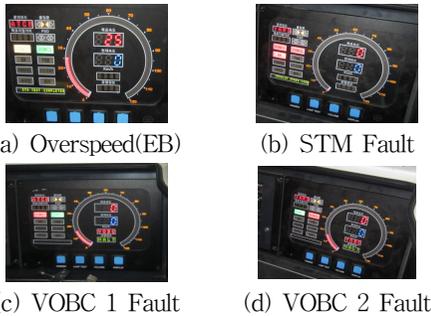


그림 13. 고장 및 과속 시험 결과
Fig. 13 Fault & over speed test results

VI. 결 론

본 연구에서는 CBTC 차상시스템이 설치된 열차가 ATC구간을 상호운행하기 위한 차상장치 설계 방법과 두 노선의 연결에 필요한 안전 확보 방안을 제시하고 시험하여 기능검증과 안전성을 확인하였다. 열차 운행 중 발생 가능한 열차과속, 장치고장, 역방향 운행 등에 대해서도 시험하여 CBTC, ATC 열차제어시스템 간 상호운행이 가능함을 확인하였다. 이는 향후 노선 특성에 따라 차량기지를 공유하거나, CBTC 열차가 타 노선(ATC 구간)을 운행 할 수 있는 방법으로, 기존 도시철도를 CBTC시스템으로 개량함에 있어 기존

시스템을 철거하지 않고 예비시스템으로 활용할 수 있는 방법이기도 하다. 본 논문에서 제시한 방안은 향후 도시철도와 일반철도 등의 상호운영에 참가가 될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받은 철도기술연구사업(14RTRP-B089551-01)의 일환으로 수행하였음.

References

- [1] K. Jang, K. Cha, D. Kang, and J. Lee, "Guideline for Preparation of Manuscript for Proceedings," *Conf. of Korean Society for Railway, Jeju*. May 2009, pp. 2017 - 2022.
- [2] Y. Kim and W. Choi, "Analysis of Operational Issues for ICT-based On-Board Train Control System," *J. Korean Soc. Railway*, vol. 14, no. 6, Dec. 2011, pp. 575 - 583.
- [3] Y. Kim, S. Lee, J. Yoo, J. Kim, and J. Baek, "The Study for Mixed Operation of CBTC Train and Non-CBTC Ones," *Conf. of Korean Society for Railway, Daegu*. Oct. 2003, pp. 151 - 156.
- [4] J. Jeon, D. Kang, and J. Lee, "A study of performing Fall-Back operation in RF-CBTC signalling system," *Spr. Conf. of Korean Society for Railway, May*. 2011, pp. 145 - 153.
- [5] J. Choi, "A study on the Improvement of Signaling System for Congestion relief on current Subway Lines," master's thesis, Hanyang Uni. Graduate Sch. Aug. 2013,
- [6] D. Yang, C. Li, Z. Jin, K. Lee, and Y. Ko, "A Study on Hybrid Track Circuit Tag Recognition Enhancemen," *J of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, Apr. 2014, pp. 537 - 542.
- [7] S. Oh, Z. Jin, and K. Lee, "Study on the stabilisateur of information transmission in RF-CBTC train control system using the FHSS system," *J of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, Apr. 2014, pp. 455 - 467.

- [8] Z. Kim, C. Li, J. Lee, J. Kim, and K. Lee, "A Study on Software Static Analysis Method on IEC 62279," *J of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 4, Apr. 2015, pp. 513 - 519.
- [9] Y. Yoon, R. Jeong, and C. Kim, "A study of establishing ETCS Level 1 to speed up conventional lines," *Conf. of Korean Society for Railway, Gangwon*, May. 2011, pp. 666 - 670.

저자 소개



이재호(Jae-Ho Lee)

1999년 2월 광운대학교 산정정보대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)

1999년 ~ 현재 광운대학교 대학원 제어계측 공학과 박사과정

2010년 ~ 현재 네오트랜스 기술연구팀

※ 관심분야 : 철도신호, 무인운전



박종문(Jong-Moon Park)

2004년 2월 성화대학교 전기공학 (공학사)

2010년 2월 서울사이버대학교 컴퓨터공학과 (공학사)

2007년 ~ 2010 한국철도공사 인재개발원 교수

2013년 ~ 현재 네오트랜스 기술본부장

※ 관심분야 : 철도신호, 무인운전



이기서(Key-Seo Lee)

1977년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업 (공학사)

1979년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1986년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)

1981년~현재 : 광운대학교 정보제어공학과 교수

※ 관심분야 : RAMS, 철도신호



오세화(Sea-Hwa Oh)

2008년 서울과학기술대학교 대학원 철도전기신호공학과 졸업(공학석사)

2015년 2월 광운대학교 대학원 제어계측공학과 (공학박사)

2012년 ~ 현재 네오트랜스 기술연구팀장

※ 관심분야 : 철도신호, RAMS

