CBTC 차상시스템 구성 및 절체 방안 연구

Study of system configuration & changeover in CBTC Onboard System

이태규†, 유성호*, 전종화*, 김자영*, 박기수*, 류명선*

Tae-Gyu Lee†, Sung-Ho Yoo*, Zhonghua Quan*, Ja-Young Kim*, Gie-Soo Park*, MyungSeon Ryou*

Abstract CBTC System is comprised of redundancy to do safety operation. If operation system has faults, the other system will work normally. This is changeover. Recently, Safety of CBTC System is important. The System Reliability and System Availability are factor that assess the safety of system. This paper proposed system configuration and changeover to improve System MTBF and System Availability. Performance of proposed method is verified to compare a proposed method with another.

Keywords **:** Changeover, Signal System, CBTC, Reliability, Availability

초 록 CBTC 차상 시스템은 안정된 동작을 위하여 이중화로 구성되어 있으며, 동작 중인 시스템에 이상이 발생할 경우 다른 정상인 시스템이 동작하는 시스템 절체가 수행된다. 최근 CBTC 시스템의 안전성이 중시됨에 따라 시스템의 신뢰도 및 가용도는 시스템의 안전성을 평가하는 주요한 척도가 되었다. 따라서 본 논문에서는 이를 향상하기 위한 CBTC 차상 시스템 구성 및 절체 방법을 제안하며, 제안한 방법의 우수성은 기존 시스템과의 제안한 시스템의 MTBF 및 가용도를 비교하여 확인하였다.

주요어 : 절체, 신호시스템, CBTC, 신뢰도, 가용도

1. 서 론

정보통신 기술의 발전에 따라 철도신호시스템에도 통신 기반의 신호 제어시스템 기술이 적용되고 있다. CBTC 시스템은 Communication Based Train Control System의 약어로 통신 기반의 열차제어 시스템이다. 기존 궤도회로를 이용하지 않고 전선로 구간에서 지상과 차상 간의 연속된 양방향 통신을 통하여, 운행 중인 열차의 위치 및 선·후행 열차의 위치를 추적하여 안정적인 열차 운행이 가능하도록 설계된 시스템이다.

CBTC 시스템은 Fig 1과 같이 차상 시스템과 지상시스템, 관제 시스템으로 구성되며, 차상 시스템은 자동 열차 운행을 하는 ATO(Automatic Train Operation) 시스템과 자동 열차 제어 및 보호 기능의 ATP(Automatic Train Protection) 시스템으로 구분할 수 있다. CBTC 차상 시스템은 승객의 안전을 고려한 자동절체 방식의 이중계(Redundancy)로 구성된다. 따라서 동작 중인 시스템에 이상이 발생할 경우, 다른 정상인 시스템으로 절체가 수행된다.

† 교신저자: 포스코 ICT 기술연구소(ltg@poscoict.com)

* 포스코 ICT 기술연구소

본 논문에서는 철도신호시스템의 안전성이 중요시됨에 따라 CBTC 차상시스템의 MTBF(Meantime Between Failure)및 가용도(Availability) 상승을 위한 새로운 시스템 구성 및 절체 방안을 제안하며, 기존 시스템과의 비교 분석을 통하여 그 우수성을 증명한다.

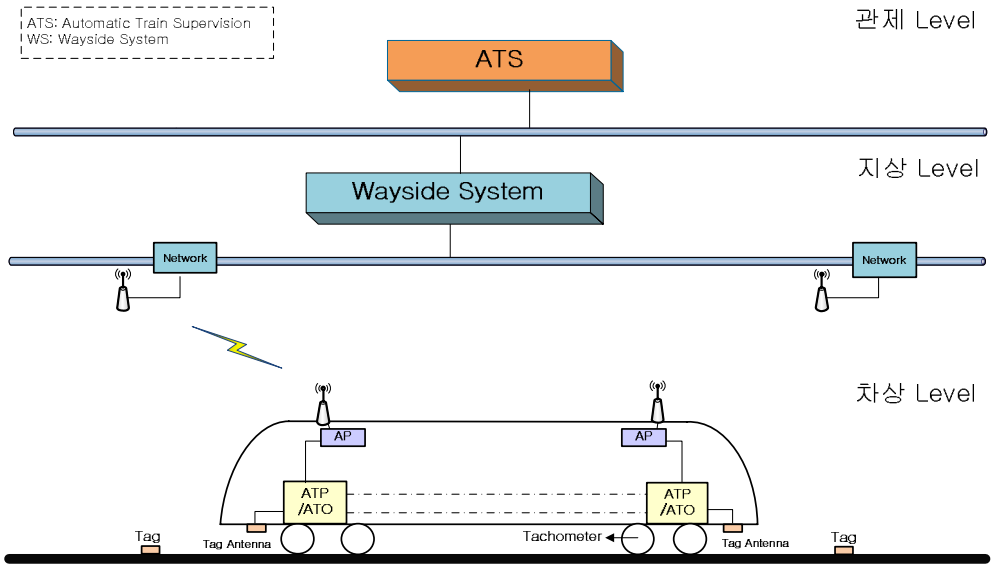

Fig. 1 Configuration of CBTC System

2. CBTC 시스템 분석

2.1 CBTC 차상 시스템 절체

CBTC 차상 시스템은 ATP 시스템과 ATO 시스템이 하나의 시스템으로 동작하며, 본 논문에서는 이를 MATC 시스템으로 정의한다. 이중계로 구성된 MATC 시스템은 Fig 2와 같이 동작 중인 MATC 시스템에 이상이 발생할 경우, 다른 정상인 MATC 시스템으로 절체가 수행된다.

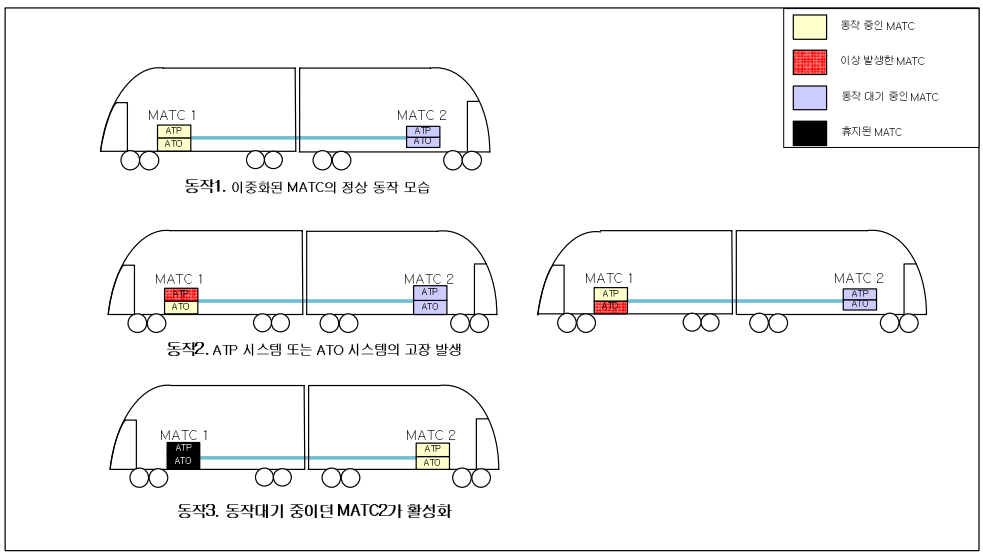

Fig. 2 Changeover of CBTC Onboard System

2.2 CBTC 차상 시스템 분석

이중계로 구성된 MATC 시스템은 Fig 2와 같이 ATP 시스템이나 ATO 시스템 어느 하나에 이상이 발생할 경우 작동이 모두 정지되므로 ATP 시스템과 ATO 시스템은 직렬로 연결된 구성을 가지며, MATC 시스템에 이상이 발생해도 다른 MATC 시스템이 동작하는 병렬로 구성된 이중화 구조를 갖는다. 이를 도식화 하면 Fig 3과 같다.

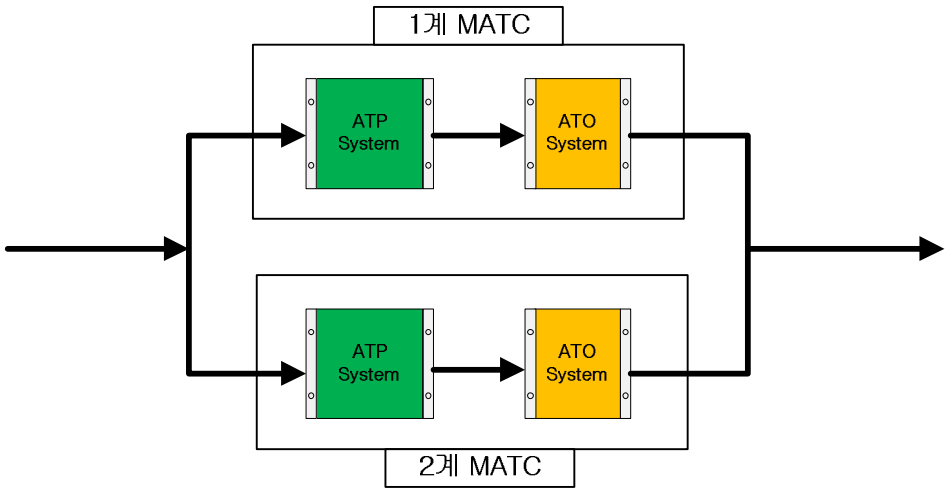

Fig. 3 Configuration Block of CBTC Onboard System

차상 ATP 시스템의 고장율이 λATP 이고 차상 ATO 시스템의 고장율이 λATO 일 때 직렬로 구성된 MATC의 신뢰도는 '식(1)'과 같다

$$R_{\mathrm{MATC}}(t) = e^{-\lambda_{ATP}t} \times e^{-\lambda_{ATO}t}$$

$$R_{\mathrm{MATC}}(t) = e^{-(\lambda_{ATP}+\lambda_{ATO})t} \tag{1}$$

이 때 직렬로 구성된 MATC의 고장율은 ATP 시스템과 ATO 시스템 각 고장율의 합과 같으며 '식(2)'와 같다.

$$\lambda_{\mathrm{MATC}} = \lambda_{ATP} + \lambda_{ATO} \tag{2}$$

Fig 3과 같이 MATC가 병렬로 구성되었을 경우의 신뢰도는 '식(3)'과 같다

$$\begin{aligned} R_{\mathrm{Total}}(t) &= 1-\{(1-e^{-\lambda_{MATC}t})\times(1-e^{-\lambda_{MATC}t})\} \\ &= 2e^{-\lambda_{MATC}t} - e^{-2\lambda_{MATC}t} \end{aligned} \tag{3}$$

시스템 가용도의 경우, '식(4)'로부터 구할 수 있다.

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \tag{4}$$

MTTR : Mean Time To Repair
MTBF : Mean Time Between Failure

'식(4)'의 MTBF는 수리 가능한 제품의 평균 고장 간격을 나타내며, MTTR은 수리 가능한 제품의 평균 수리 시간을 나타낸다. Fig 3의 구조를 가진 CBTC 차상 시스템의 MTBF는 '식(5)'와 같이 신뢰도를 적분함으로 구할 수 있다.

$$MTBF = \int_0^\infty \mathrm{R}_{\mathrm{total}}(t)dt \tag{5}$$

$$= \int_0^\infty 2e^{-\lambda_{MATC}t} - e^{-2\lambda_{MATC}t}dt$$

$$= \left[-\frac{2}{\lambda_{MATC}} e^{-\lambda_{MATC}t} + \frac{1}{2\lambda_{MATC}} e^{-2\lambda_{MATC}t} \right]_0^\infty = \frac{3}{2\lambda_{MATC}} \tag{6}$$

이때 ATP 시스템의 MTTR을 ATP_{MTTR}, ATO 시스템의 MTTR을 ATO_{MTTR}로 정의하면 Fig 3의 MATC 시스템의 MTTR은 '식(7)'과 같이 나타낼 수 있다.

$$MTTR = \frac{\lambda_{ATP} \times ATP_{MTTR} + \lambda_{ATP} \times ATO_{MTTR}}{\lambda_{ATP} + \lambda_{ATO}} \tag{7}$$

3. 개선된 CBTC 차상 시스템 구성 및 검증

3.1 제안하는 시스템

Fig3 과 같은 시스템의 경우, 동작 중인 ATP/ATO 시스템 중 어느 한쪽이 이상이 발생하면 정상인 다른 MATC 시스템으로 절체되어 사용 가능한 ATP/ATO 시스템을 사용할 수 없으므로 가용도 및 신뢰도의 저하를 가져온다. 따라서 본 논문에서는 사용 가능한 ATP/ATO 시스템을 활용할 수 있는 Fig 4와 같은 구조를 제안한다.

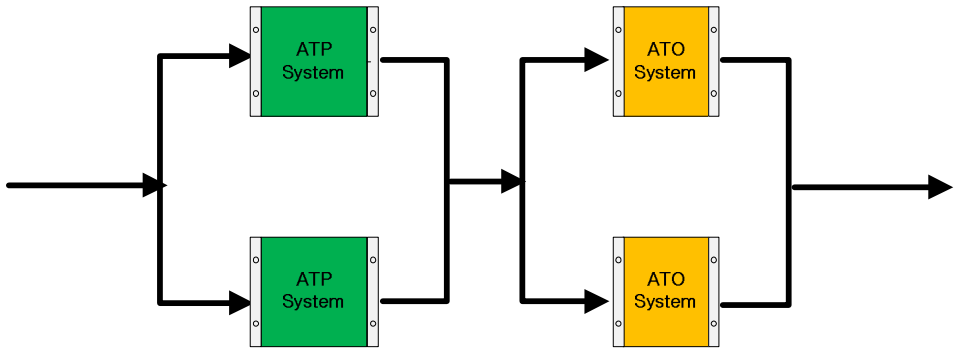

Fig. 4 Proposed Configuration Block of CBTC Onboard System

제안한 시스템은 ATP 시스템과 ATO 시스템이 각각 병렬도 구성되어 ATP 시스템 또는 ATO 시스템에 이상이 발생하여도 이상 없는 시스템은 재사용이 가능하다. Fig 4의 구성을 가진 CBTC 차상 시스템에서 병렬 구성된 ATP 시스템과 ATO 시스템의 신뢰도는 각각 '식(8)', '식(9)'와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{2\mathrm{ATP}}(t) &= 1-(1-e^{-\lambda_{ATP}t})(1-e^{-\lambda_{ATP}t}) \\ &= 2e^{-\lambda_{ATP}t}-e^{-2\lambda_{ATP}t} \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} R_{2\mathrm{ATO}}(t) &= 1-(1-e^{-\lambda_{ATO}t})(1-e^{-\lambda_{ATO}t}) \\ &= 2e^{-\lambda_{ATO}t}-e^{-2\lambda_{ATO}t} \end{aligned} \tag{9}$$

Fig 4는 병렬 구성된 ATP시스템과 ATO 시스템이 직렬로 연결된 구조이므로 Fig 4의 구성을 가진 시스템의 신뢰도는 '식(10)'과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{\mathrm{NewMATC}}(t) &= R_{2\mathrm{ATP}}(t)\times R_{2\mathrm{ATO}}(t) \\ &= (2e^{-\lambda_{ATP}t}-e^{-2\lambda_{ATP}t})\times(2e^{-\lambda_{ATO}t}-e^{-2\lambda_{ATO}t}) \\ &= 4e^{-(\lambda_{ATP}+\lambda_{ATo})t}-2e^{-(\lambda_{ATP}+2\lambda_{ATO})t}-2e^{-(2\lambda_{ATP}+\lambda_{ATO})t}+e^{-2(\lambda_{ATP}+\lambda_{ATO})t} \end{aligned} \tag{10}$$

$R_{2ATP}(t)$: 병렬 구조 ATP 신뢰도
$R_{2ATO}(t)$: 병렬 구조 ATO 신뢰도

가용도 산출을 위한 평균고장간격(MTBF)는 '식(11)'과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} MTBF &= \int_0^\infty \mathrm{R}_{\mathrm{NewMATC}}(t)dt \\ &= \int_0^\infty 4e^{-(\lambda_{ATP}+\lambda_{ATo})t}-2e^{-(\lambda_{ATP}+2\lambda_{ATO})t}-2e^{-(2\lambda_{ATP}+\lambda_{ATO})t}+e^{-2(\lambda_{ATP}+\lambda_{ATO})t}dt \\ &= \frac{9}{2\times(\lambda_{ATP}+\lambda_{ATo})}-\frac{2}{(\lambda_{ATP}+2\lambda_{ATo})}-\frac{2}{(2\lambda_{ATP}+\lambda_{ATo})} \end{aligned} \tag{11}$$

3.1 제안하는 시스템의 검증

제안한 시스템의 검증을 위하여 기존 시스템과 MTBF 및 가용도를 비교하였다. 이 때, 신뢰도의 경우 시간에 따른 함수이기 때문에 고정값 산출이 어려우므로, 평균고장간격(MTBF)을 비교하였다. 그 비교 결과는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Verification Results

List	MTBF	MTTR	Availability
Original MATC System	19034	0.0066836	99.999649%
Proposed MATC System	22512	0.0066836	99.999703%
ATP System failure rate : 5.6832E-05 ATO System failure rate : 2.1975E-05 ATP System MTTR : 0.0650 hour ATO System MTTR : 0.0675 hour			

제안한 시스템 구성이 기존시스템 보다 MTBF 및 가용도(Availability)가 높은 것을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 기존 구성 방식의 문제점을 분석하고, 새로운 CBTC 시스템의 구성 및 절체방식을 제안하였다. 기존 구성 방식에서 사용하지 못한 ATP/ATO 시스템을 사용할 수 있도록 구성함으로써, 높은 평균고장간격(MTBF)과 신뢰도를 확인할 수 있었다. 그러나 본 논문에서 제안한 구성방식의 완전한 검증을 위해서는 실제 필드 시험을 통한 안전성과 신뢰성의 검증이 뒤따라야 할 것이다.

참고문헌

[1] Sung-Ho Yoo , Tae-Gyu Lee, Sung-Hoon Lee, Gie-Soo Park, Myoung-Seon Ryou (2011) Design of CBTC On-Board System Architecture, Conference on Korean Society for Railway, pp. 2705-2710

[2] You-Ho Kim, Soo-Hwan Lee, Jong-Cheon Yoo, Young-Hoon Lee, Jong-Hyen Baek (2003) The Study for change plane to apply CBTC(Communication Based Train Control) on the subway, Conference on Information and Control Systems, pp. 21-22nd Control Systems

[3] 이재호, 황종규, “통신기술 기반으로 하는 열차제어시스템 기술동향”, Journal of Korean Society for Railway, (38),pp.27-30, 2002

[4] 운용기, 김용규, 신덕호, “무선통신을 이용한 열차제어시스템”, Journal of Korean Society for Railway, 7(2), pp.22-28, 2004.