

무선통신 기반 열차제어시스템에서의 열차운행 표시 및 제어기법

論 文

53B-9-4

Train Operation Display and Control Techniques for Communication Based Train Control System

崔圭亨[†]

(Kyu-Hyoung Choi)

Abstract - CBTC(Communication Based Train Control) System can improve train operation efficiency by realizing moving block system which makes a continuous train interval control in accordance with the position and speed of train. Adopting radio transmission to make a continuous detection of train position and transmit the control data from the ground to a train, CBTC needs dedicated train operation and control algorithm which should be quite different from the conventional track-circuit-based train control system.

This paper provides a train operation display and control algorithm for CBTC system in making train interval control, train route control and train supervision. Signalling pattern diagram is devised to analyze the train interval control mechanism of moving block system, and interlocking logic is devised to represent the train route control mechanism of moving block system. For train supervision, train occupation status on railway are displayed by using the segment which virtually divide the whole railway.

The proposed method has been successfully applied to the development of CBTC system for the standardized AGT(automatic guided transit) which is under construction now in Korea, and also can be applied to any other CBTC system.

Key Words : CBTC, 철도무선통신, ATC, 이동폐색, 연동논리, 운행관리

1. 서 론

무선통신 기반 열차제어(이후, CBTC : Communication Based Train Control 라고 함)시스템에서는 그림 1에 보이는 것처럼, 차량과 지상간의 무선데이터통신을 통하여 열차 위치를 검지하고 열차제어에 필요한 정보를 전송함과 동시에, 선행열차와의 최적 제동거리를 연속적으로 산출하여 열차간격제어를 수행하는 이동폐색(Moving Block)방식의 열차제어기능을 구현하고 있다[1]-[3]. 열차제어(ATC : Automatic Train Control) 기능은 일반적으로 열차간격제어 및 열차진로제어를 통한 열차방호(ATP : Automatic Train Protection) 기능과 열차운행관리(ATS : Automatic Train Supervision) 기능들로 구성되는데, CBTC 시스템에서는 기존의 궤도회로에 의존하는 고정폐색방식 열차제어시스템에 비해 열차운전시각의 단축 및 운행효율 개선 등을 통해 철도시스템의 수송용량 증대 및 효율성 향상등의 장점이 있기 때문에, 차세대 열차제어시스템으로서 연구개발이 활발하게 진행되고 있다[4]-[6]. 최근 국가연구개발사업으로 개발되고 있는 한국형 경량전철 시스템에서도, 고무바퀴형의 차량구조를 채택하고 있어 궤도회로를 이용할 수 없으며, 경량전철의 특성상

소량편성의 열차를 고밀도로 운행하여야 한다는 점을 고려하여 CBTC 방식에 의한 무인자동운전 열차제어시스템이 개발되고 있다[7].

이와 같이 이동폐색방식을 구현하는 CBTC 시스템의 경우, 열차운행 표시 및 제어방식을 새로이 고안할 필요가 있다. 즉, 종래의 고정폐색방식의 열차제어시스템에서는, 선로를 폐색(block)이라고 하는 고정된 구간들로 구분하고, 이 폐색구간 단위별로 열차 위치를 검지함과 동시에 폐색구간별로 최고 열차운행속도를 설정하여 열차속도 및 열차진로를 제어하는 방식을 취하고 있는데 반해, 이러한 고정 폐색구간을 설정하지 않는 이동폐색방식의 CBTC 시스템에서는 별도의 열차 위치 표정 및 표시방식과 열차속도 및 열차진로 제어 알고리즘이 필요하게 된다[8]-[9].

본 논문에서는, 이상과 같이 궤도회로를 사용하지 않는 CBTC 방식의 열차제어시스템을 효과적으로 구축하기 위해 보완하여야 할 사항들을 다음 세가지 측면에서 검토하였다. 즉, 열차간격제어 측면에서는 신호현시전개도를 이용하여 이동폐색방식의 열차운전제어패턴에 대한 분석기법을 제시하였고, 열차진로제어 측면에서는 궤도회로가 없는 상태에서의 연동논리 구축방안에 대하여 검토하였다[10]. 또한, 열차운행관리의 측면에서는 열차에서 실시간으로 전송되어 오는 열차정보를 이용하여 선로를 가상적으로 분할한 구간단위로 열차들의 선로 점유상황을 표시하는 기법을 제시하였다[11]. 제안된 기법들은 경량전철 시험선에 구축되는 무선통신 기반 열차제어시스템에 적용되어 시작품이 제작되었으며, 시험

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國鐵道技術研究院 首席研究員 · 工博

E-mail : khchoi@krrri.re.kr

接受日字 : 2004年 8月 6日

最終完了 : 2004年 8月 19日

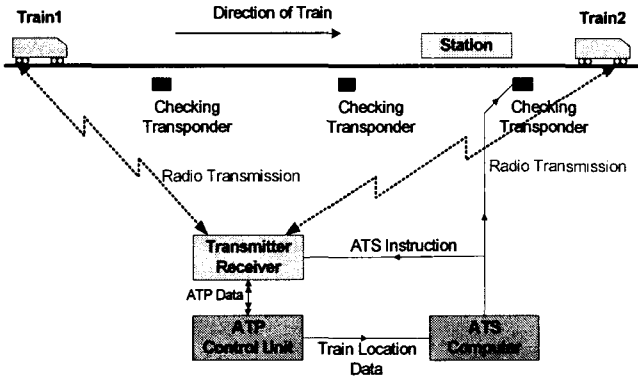


그림 1. CBTC 시스템 구성
Fig. 1. Configuration of CBTC

표 2. 고정폐색에서의 현시전개도

Table 2. Signalling pattern diagram for fixed block system

폐색명	1T	3T	5T	7T	9T	11T	13T
폐색장 [m]	250	245	230	190	205	253	248
최고현시	60	60	60	50	50	60	60
현시	▷60	60	60	40	01	02	▷60
	02	▷60	60	60	40	01	02
	01	02	▷60	60	60	40	01
	40	01	02	▷60	60	60	40
	60	40	01	02	▷60	60	60
	60	60	40	01	02	▷60	60

선에 설치되어 현차시험을 수행할 계획이다.

2. CBTC에서의 열차간격제어

종래의 고정폐색방식에서는 열차충돌을 방지하기 위하여 선로를 분할하여 고정된 폐색으로 구분하고, 어떤 폐색에 열차가 진입하면 다른 열차는 원칙적으로 진입불가능하도록 한다. 이를 위해 전 선로구간에 대해 이러한 폐색을 설정하고, 각각의 폐색 별로 열차제한속도로서의 신호현시를 부여하여 열차속도를 제어하되, 폐색의 길이는 원칙적으로 그 구간내에서 신호현시로 지시된 속도까지 감속할 수 있도록 설정하고 있다. 이때 열차의 진행에 따라 각 폐색별로 신호현시가 변화하는 것을 표 1과 같은 현시전개도로 나타낼 수 있다.

표1에서, 열차가 점유한 폐색의 후방에서 폐색별 차례로 "01" : 절대정지, "02" : 정지, "40" : 40Km/h, "60" : 60 Km/h로 신호현시가 변화되어 가는 것을 알 수 있다.

CBTC의 경우 이동폐색을 사용하고 있기 때문에 이 현시전개도의 표현방법이 종래의 고정폐색과 달라진다. 즉, 이동폐색의 경우는 고정폐색과 같이 한 열차가 독점하는 고유의 구간개념이 기본적으로 없어, 그 때문에 열차의 이동에 따라서 후방의 신호현시도 이동해간다. 또한, 이동폐색의 이점을

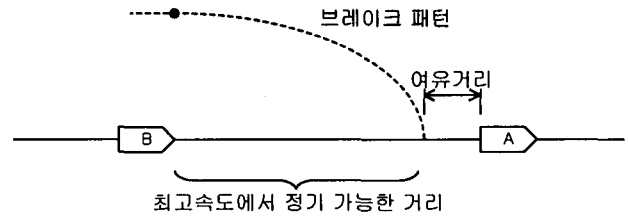


그림 2. 패턴 브레이크
Fig. 2. Pattern break

표 2. 경량전철 시험선의 주요사항

Table 2. Main specifications of AGT test line

항 목	사 양	비 고
최고속도	60Km/h	
곡선속도제한	55Km/h	역2부근
열차길이	18m	
감속도	3.5Km/h/s	사용제동
공주시간	3sec	
구배에서의 감속도	3.5+(±구배/31)	
제동거리여유	계산치 + 10%	

최대한 발휘하기 위하여, 그림 2와 같이 선행열차와 충돌하지 않고 정지할 수 있을 때까지의 최고속도를 부여하는 것이 가능한 패턴 브레이크를 사용하고 있다.

이상과 같이, 이동폐색에서의 패턴 브레이크의 경우 위치에 따라 열차의 제한속도가 변하기 때문에, 신호현시(제한속도)를 표현한 현시전개도를 만들기 위하여 다음과 같은 방식을 적용한다.

(1) 브레이크 패턴은 열차의 이동에 따라 연속적으로 이동하므로 이를 하나하나 표현하지 않고, 패턴의 변화점을 경계로 하여, 경계마다 열차를 이동시킨 형태의 현시전개도로 표현한다. 여기서, 패턴이 변화하는 경계점은 구배변화점, 속도제한구간, 역의 양단, 역구내, 선로종단 등이다.

(2) 경계점 사이의 각 선로구간에 열차가 있는 경우에 대하여, 열차후방 브레이크 패턴, 속도제한 감속 패턴, 속도제한 해제현시, 개통되지 않은 진로에의 직전 정지 패턴, 종단 정지 패턴 및 브레이크 패턴이 발생하고 있지 않은 최고속도를 표현한다. 열차 후방 브레이크 패턴에 대해서는 열차의 이동과 함께 패턴이 이동해 가는 것으로 이해한다.

(3) 브레이크 패턴 부분을 화살표로 표현하고, 속도V1에서 V2로 감속되는 브레이크 패턴을 PV1→V2, 패턴의 구간 길이를 m단위로 표현하고, 브레이크 패턴이 발생하고 있지 않은 부분은 그 구간의 제한 최고속도를 수치로 기록한다.

(4) 속도의 변화점이나 브레이크 패턴의 발생점을 검은 원으로 표현한다.

경량전철 시험선로에 대하여, 이상과 같은 방법으로 현시전개도를 작성한 사례를 그림 3에 나타낸다. 이때 계산에 사용한 경량전철 시험선로의 주요 사양은 표2와 같다.

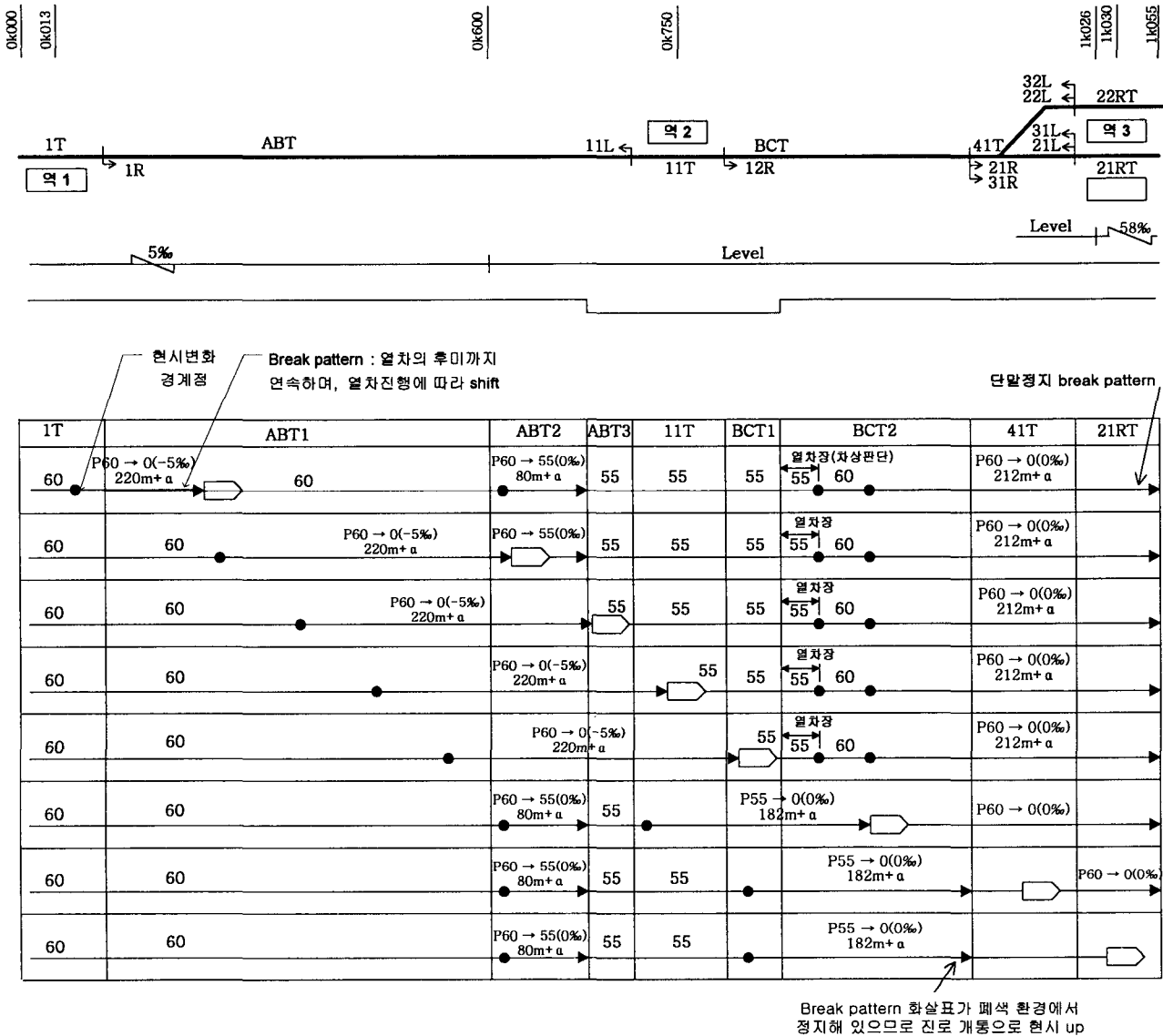


그림 3. 이동폐색에서의 신호현시전개도
Fig. 3. A signalling pattern diagram for moving block system

3. CBTC에서의 열차진로제어

3.1 연동논리

역구내에서는 열차의 교행/대피, 열차 입환 등을 위한 복잡한 선로로 구성되어 있고, 이에 따라 많은 선로를 분기 또는 집합하고, 열차의 출발, 도착, 입환을 위하여 선로전환기 및 신호기의 빈번한 취급이 필요하다. 이에 따라 역구내에서는 궤도회로 및 장내신호기와 출발신호기를 포함하여 진로를 제어하기 위한 선로전환기 등 다양한 신호설비들이 설치되어 있고, 신호취급자의 부담 증대 및 인위적 오류 발생 가능성이 높은 곳이다.

이상과 같이 역구내에서 열차 안전운행을 확보하기 위한 기본조건으로써, 열차의 진로가 완전히 구성되어 있어야 하

는데, 진로 상에는 열차/차량이 없어야 하며, 진로를 방해하려는 열차의 운전가능성이 없어야 한다. 이와 같이 정거장 구내에서의 열차의 운행과 차량의 입환을 안전, 신속하게 하기 위하여 신호기, 선로전환기 등의 상호간을 전기, 기계적으로 연관시켜 동작시키는 논리를 연동(interlocking)이라고 하며, 인위적으로 신호기나 선로전환기를 잘못 취급하더라도, 일정한 순서에 의해서만 동작하고 잘못 취급 시는 채정(locking)을 하여 동작하지 않도록 하는 기능을 수행한다 [12].

이와 같은 연동논리는 연동도표로 작성하는데, 역구내의 신호기, 표지, 선로전환기 등의 신호보안설비에 대하여 그 설비내용 및 이들을 유기적으로 연관시키는 연동장치의 구성이나 채정관계 등을 규정된 부호와 기재방식에 따라 한장의 도표로 정리한 것으로, 신호보안장치의 설계, 연동장치의 취급/구내작업, 연동장치 공사 및 보수 등에 활용된다.

3.2 CBTC에서의 연동논리

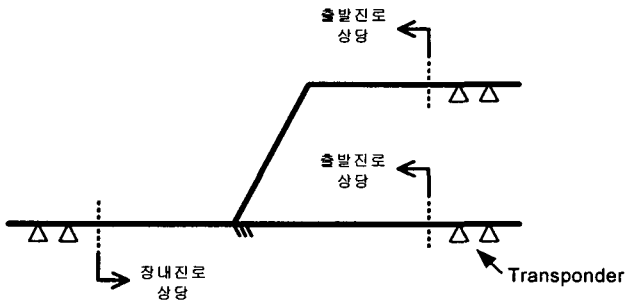


그림 4. 지점검지장치

Fig. 4. Transponder to locate train position around point

CBTC에 의한 이동폐색방식에서, 궤도회로에 의존하지 않고 또한 이동폐색의 효율을 극대화하기 위하여, 다음과 같이 연동논리 기준을 정의한다.

(1) 분기기 구간의 열차 점유 검지

분기기 구간에서의 열차점유위치 검출 정도를 높이기 위하여, 별도의 지점검지장치(Transponder)를 설치하여, CBTC에 의한 열차위치 검지 기능을 보완한다. 즉, 열차들의 위치는 열차에서 자체적으로 검출하여 지상으로 전송해주는 것으로 되어 있으나, 분기기 구간에서는 열차가 분기기를 통과했는지 여부를 정확하게 검출할 필요가 있기 때문에, 그림 4에 보이는 것처럼 분기기 전후에 지점검지장치(Transponder)를 설치하여 열차의 진입 여부를 엄밀하게 검지하도록 한다.

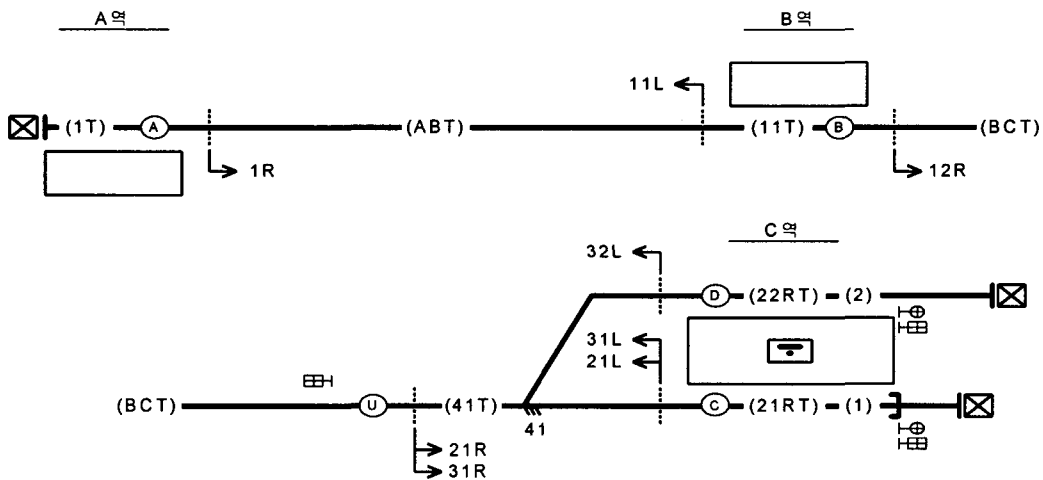


그림 5. 연동도

Fig. 5. Interlocking diagram

표 3. 연동표

Table 3. Interlocking logic table

명칭	번호	신호 코드	쇄정	신호제어 또는 철사쇄정	진로쇄정	보류쇄정
A역						
출발진로	A역-B역	1R	ⓑ	G	11LA 21LB 22LB	BD (ABT) ((30초))
B역						
출발진로	B역-A역	11L	Ⓐ	G	1RB 12RU	BD (ABT) ((30초))
C역						
장내진로	B역- 1	21R	ⓒ	G	41 21LB 31LU 31RC	41T BD (41T) ((60초))
	B역- 2		Ⓓ	G	④1 22LB 32LU 31RD	41T BD (41T) ((60초))
출발진로	1 - B역	21L	ⓑ	G	41 1RB 12RU 21RC 31RC 31LU	41T BD (41T)(BCT) ((30초))
입환진로	BCT- 1	31R	ⓒ	SG	41 21LB 31LU 21RC	41T BD (41T) ((30초))
	BCT- 2		Ⓓ	SG	④1 22LB 32LU 21RD	41T BD (41T) ((30초))
입환진로	1 - BCT	31L	ⓐ	SG	41 12RU 21RC 31RC 21LB	41T BD (41T) ((30초))
	2 - BCT	32L	ⓐ	SG	④1 12RU 21RD 31RD 22LB	41T BD (41T) ((30초))
선로전환기			41		41T	

(2) 역 구내에서의 가상 섹션

역 구내에서, 장내진입 및 출발 위치와 분기기 구간을 중심으로 가상 섹션을 두어서 열차의 점유상황을 고정폐색방식으로 치환하여 나타내고, 선로전환기 제어와 쉐정, 신호제어, 진로쉐정 등의 연동논리를 구축한다.

- 분기기 구간은 일반 선로구간과 분리하여 설정하고, 역에서의 플랫폼 구간도 별도로 설정
- 역간 선로는 길이에 관계없이 하나의 구간으로 설정

(3) 진로 설정 방식

이동폐색방식에서는 더 이상 신호기가 설치되지 않으나, 출발, 장내 등의 가상적인 신호기를 두어 진로구성을 설정하도록 한다.

(4) 신호제어구간

역구내에서 이동폐색 방식의 이점을 극대화하기 위해서, 역구내의 신호제어 대상구간은 분기기의 철사쉐정 구간으로 한정하고, 선행열차와의 충돌 등에 대한 안전거리 확보는 CBTC 시스템의 열차간격제어에서 담당하도록 한다. 즉, 분기기 인접 구간을 열차가 진행하고 있을 때는 선로전환기 동작을 차단(철사쉐정) 시킴과 동시에, 그 방향으로의 다른 열차 진입을 정지시키도록 신호제어를 하는 외에 나머지 열차의 안전확보는 이동폐색제어에 맡기는 것으로 한다.

이상과 같은 연동기준을 토대로 하여, 경량전철 시험선로를 대상으로 이동폐색에서의 연동논리를 그림 5와 표 3의 연동도표로 작성하였다. 그림 5의 연동도에서, 대상 선로는 3개의 역으로 구성되어 있으며, C역에서는 측선이 병설되어 있고 진로제어를 할 수 있다. 표 3의 연동도에서, 신호코드의 "G"는 "각 진로의 진행가능조건"을 "SG"는 분기(Shunting)의 진행조건을 나타낸다. 또한, "신호제어 또는 철사쉐정"에서의 "BD"는 제동거리(Breaking Distance)를 나타내며, 선행열차와의 간격제어를 동적으로 설정된 제동거리에 따라 이동폐색제어로 수행함을 나타낸다.

예를 들어 C역에의 장내 진로(B역-1)는 신호기 "21R"로부터 C역 본선 플랫폼(◎)까지의 구간으로 설정되며, 이 진로를 설정하기 위해서는 선로전환기 "41"를 정위로 쉐정하고 다른 진로 "21LB", "31LU", "31RC"를 설정하지 못하도록 쉐정하여야 하며, 가상 폐색구간 "41T"를 통하여 선로전환기를 철사쉐정하고, 신호제어는 제동거리에 따라 이동폐색제어로 하는 것을 나타내고 있다.

4. CBTC에서의 열차운행 관리

CBTC 시스템에서 열차 점유위치의 관리 및 열차운행상황의 표시형식은, 고정폐색방식과 달리 궤도회로를 사용하지 않는 반면 열차와의 무선통신을 통해서 열차운행과 관련된 상세한 정보를 전송할 수 있는 점을 고려하여 다음과 같이 설정할 수 있다. 즉, 전체선로를 세그먼트(segment)라는 가상적 단위로 분할하고, 이를 토대로 열차의 점유 위치를 관리함과 동시에, 열차운행상황을 나타내는 「궤도정보」로 활용한다. 세그먼트의 분할은 주로 신호기 설치점, 궤도에서의 경사 변화점, 선로전환기 설치점, 무선통신장치 설치점 및 속도제한구간 경계점 등에서 분할한다.

열차의 점유구간은 그림 6에 보이는 것처럼 연속하는 복수의 세그먼트 정보로 표시한다. 또한, CBTC 시스템에서

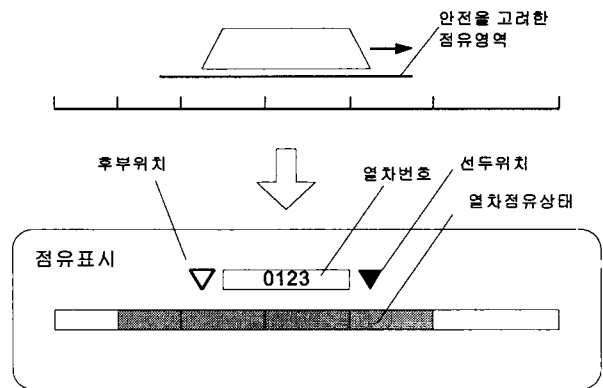


그림 6 열차점유 표시

Fig. 6 Display of train location

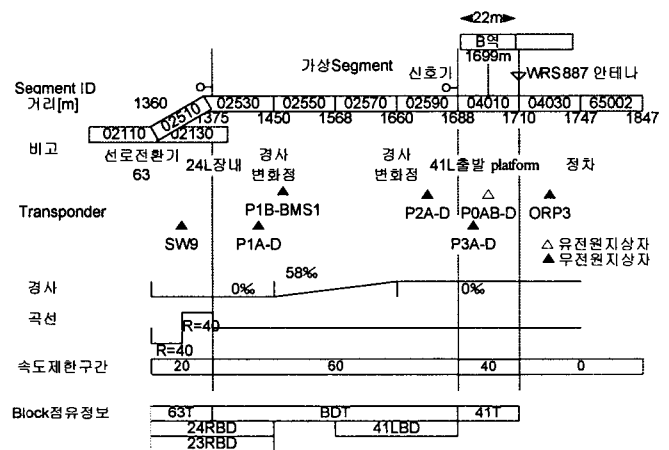


그림 7 가상 세그먼트 분할

Fig. 7 A division of virtual segment

무선통신장치를 통해 실시간으로 전송되는 「열차정보」에서는 열차위치를 열차 차체의 선두와 최후부의 위치로 표현한다. 이러한 2가지 정보를 이용하여 표시함으로써, 선로에서의 열차 점유위치를 그림 6과 같이 표시할 수 있는데, 이 열차점유 영역은 열차의 안전을 확보하는 범위를 표시하며, 실제로 열차가 점유하는 구간보다 확장된 넓은 영역이 된다.

이상과 같은 원칙에 따라, 경량전철 시험선로를 세그먼트로 분할한 사례를 그림 7에 보인다. 그림은 측선 부분을 세그먼트 단위로 분할한 사례로써, 신호기나 무선안테나 위치, 선로의 경사나 곡선 변화점, 속도제한구간 등에서 분할된 것을 알 수 있다. 특히, 열차간격제어나 열차진로 설정을 위한 가상 폐색구간들도 복수의 세그먼트들의 조합으로 구성되는 것을 알 수 있다. 앞서 진로제어에서 기술한 것처럼, 출발이나 장내 진입 진로를 설정하기 위한 가상 신호기가 설정되어 있고, 선로전환기 주변에서의 정확한 지점검지를 위하여 트랜스폰더 등이 설치되어 있다.

그림 8은 경량전철 시험선에 설치하기 위해 개발한 열차운행관리장치에서 열차운행상황을 그래픽으로 출력한 화면을 나타낸다.

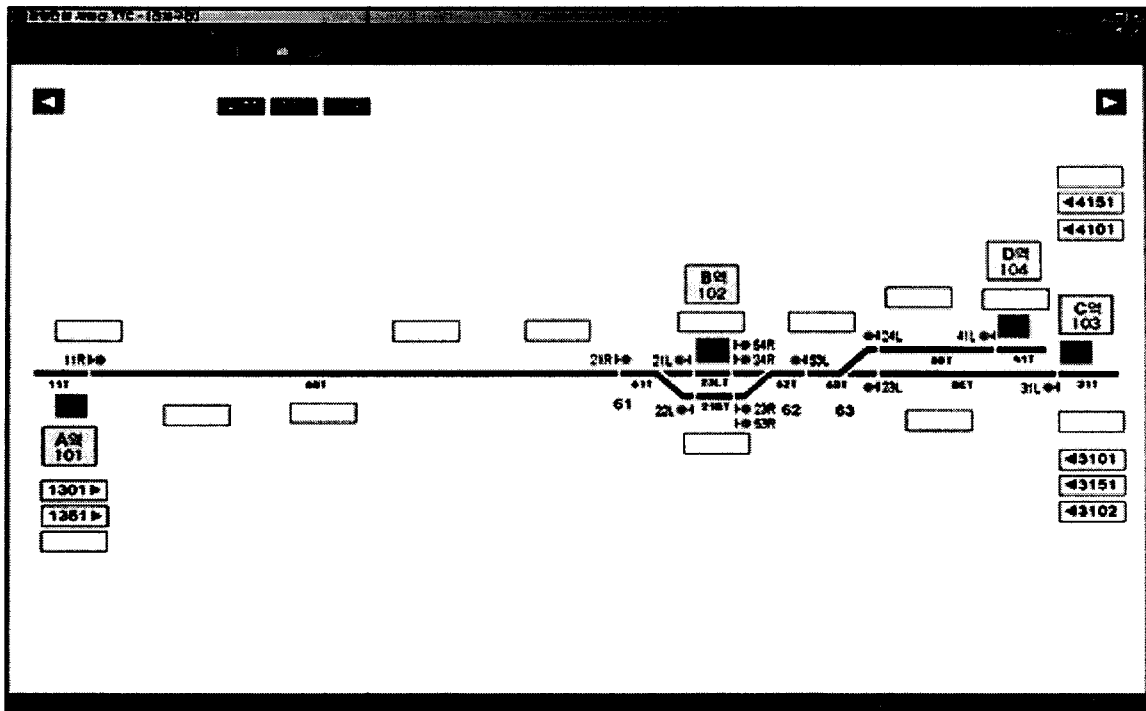


그림 8. 열차운행관리장치에서의 열차점유상황 표시화면
 Fig. 8. Graphic display of train location by traffic management system

5. 결 론

무선통신 기반 이동폐색방식의 열차제어시스템에서는, 종래의 궤도회로에 의존하는 고정폐색방식의 열차제어시스템에 비해 열차위치 검지 및 열차와 지상간 정보전송방식에 근본적 차이가 있으며, 다음과 같이 열차간격제어, 열차진로제어 및 열차운행관리 측면에서 시스템 설계 및 운영논리의 보강이 필요하다.

(1) 열차간격제어 측면에서는, 열차 위치의 정확한 검지 및 선행 열차와의 제동거리 계산 등을 통해 이동폐색방식의 열차간격제어를 구현할 수 있게 되는데, 이동폐색에 대해서도 열차진행에 따른 신호현시전개도를 효과적으로 작성하는 방법을 고안하였고, 이를 통하여 전체 선로구간에서의 열차간격제어패턴을 논리적으로 나타냄으로써 열차운행제어를 최적화하는데 활용할 수 있다.

(2) 열차진로제어 측면에서는, 역구내의 장내 및 출발과 분기기 구간 위치에 가상 신호기 및 폐색구간을 두어 연동제어를 수행하고, 역구내의 안전거리 확보를 위한 신호제어는 CBTC 시스템의 열차간격제어기능을 이용하도록 연동논리를 구축함으로써 이동폐색방식의 이점을 극대화하였다.

(3) 열차운행관리 측면에서는, 궤도회로 대신에, 선로구간을 가상적인 소규모의 세그먼트로 분할하여 열차위치를 세그먼트 단위로 표시하는 방법을 고안하였으며, CBTC에서 제공하는 열차위치 및 속도등의 열차운행정보를 실시간으로 전송받아 이를 사령원을 위한 운행관리장치 표시반에 그래픽으로 표시하도록 하였다.

제안한 기법은 개발중인 한국형 경량전철시스템의 무선통

신 기반 열차제어시스템에 적용되어 그 성능을 검증하고 있으며, 그 외 다른 무선통신 기반 열차제어시스템에도 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 1999년도~2003년도 경량전철기술개발 사업에 의하여 이루어진 성과로서, 관계부처 및 한국철도기술연구원의 참여연구원에 깊이 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] IEEE Std P1474.1, "Draft Standard for Communication Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements", 1999.
 [2] IEEE Std P1474.2/D2., "Draft Standard for User Interface Requirements in Communication Based Train Control(CBTC) Systems", 2000.
 [3] Connor, Railway Technical Web Pages, www.trainweb.org/railwaytechnical.
 [4] T. Sullivan, "Operators await TBTC standards", Railway Gazette International, pp. 577-580, 1999.
 [5] J. K. Baker, "Advanced Automatic Train Control pioneered in San Fransisco", Railway Gazette International, pp.311-312, 2002.
 [6] Y. Hasegawa, "Computer and Radio Aided Train Control System(CARAT)", Japanese Railway Engi-

- neering, No. 135, pp. 14-16, 1995..
- [7] 윤용기, 백종현, 최규형, "경량전철의 무인자동운전을 위한 신호제어시스템 연구", 한국철도학회지, Vol.5, No. 4, pp. 10-15, 2002. 12.
- [8] R. D. Pascoe etc. al., "Comparing between fixed and moving block signalling systems performance by digital simulation", Computers in Railway Management, pp. 319-333, 1992.
- [9] S. P. Gordon and P. J. Williams, "Train Control Optimization", SIAT/OPT Views-and-News, Vol. 10, No. 1, pp. 1-6, 1999.
- [10] 최규형, 윤용기, "무선통신에 의한 이동폐색 열차제어 방식의 연동논리 구축에 관한 검토", 2003년도 대한전기학회 춘계학술대회 논문집 NTP 16, pp. 418-419, 2003. 4.
- [11] 최규형, 윤용기, "CBTC 이동폐색 열차제어 방식에서의 열차운행상황 표시방식에 대한 검토", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 NTP 8, pp. 1321-1322, 2003. 7.
- [12] 김영태, "신호제어 시스템", 테크미디어, 2003. 5.

저 자 소 개



최 규 형(崔圭亨)

1958년 1월 31일 생. 1981년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1992년 北海道大學 대학원 졸업(공학). 한국전기연구소를 거쳐, 1996년~현재 한국철도기술연구원 수석연구원.

Tel : 031-460-5431

Fax : 031-460-5449

E-mail : khchoi@krri.re.kr