

전자연동장치용 연동도표 작성 지원 소프트웨어 개발에 관한 연구

Formal Development of Software to Design of a Railway Interlocking Table for an Electronic Interlocking System

박영수*¹, 이재훈*², 이기서*³, 유광균*⁴

Park, Young-Soo*¹, Lee, Key-Seo*², Lee, Jae-Hoon*², Yoo, Kwang-Kwin*³

ABSTRACT

Described in this paper is the software to design of a railway interlocking table, which describes the functional specifications of an interlocking device. Interlocking tables has been designed mainly based on personal expertise among signal engineers. However, this expertise needs to be analyzed with technical uniformity and integrated in an organized system. The proposed software is amount to the signal engineer's expertise, yet a generalization of interlocking reasoning. The algorithm is based on the train route setting principle, and is applicable in solving practical problems by computers. The software was evaluated through man-made and machine-made interlocking tables are compared. The evaluation results proves the software to be effective for computer control of the signaling system as interlocking system with a much improved safety.

Keywords : Interlocking Table(연동도표), Electronic Interlocking System(전자연동장치), Route Setting Principle(진로설정원리), Computer Control of the Signaling System(컴퓨터 제어 신호장치)

1. 서 론

열차의 진로를 제어하는 열차제어장치는 안전 운행과 효율적인 운송의 기반이 되는 장치로 하나의 진로에는 여러 개의 분기기가 있으며 진로를 따라 운행하는 열차는 탈선, 충돌의 염려가 없도록 제어하여야 한다. 이러한 열차제어를 위해 분기기 및 신호기의 취급에 일정한 순서와

규칙이 만들어지고, 이 규칙에 따라 작성된 열차 제어의 기능 사양을 연동도표라 하며, 연동도표는 배선약도와 연동표로 구성되어 있다. 배선약도는 실제의 배선에 가능한 한 가깝게 그리는 것이 기본이며 약도에는 신호기, 선로전환기, 조작 압구등의 기호가 그려지고 연동표에는 열차가 운행되는 진로 조건들을 기록한다.[4][6][7]

연동도표는 관습적으로 신호 기술자의 경험을 바탕으로 작성되었으나 이 경험적 기술은 정확하게 체계화되지 않아 같은 선로배선에 대하여 항상 같은 연동표를 작성하지 못하는 문제가 있

*¹ 정회원, 특허청

*² 정회원, 평문대학교 제어계측공학과

*³ 정회원, 평문대학교 제어계측공학과, 교수

*⁴ 정회원, 한국철도대학, 교수

있다.[6][7] 다시 말하면 지금까지의 연동도표 작성기준은 개별적인 규칙만 있고 전체적으로 통일된 원리가 명확하지 않은 단점이 있어 고속, 고밀도 운전에서 가장 중요한 안전성의 확보와 신뢰성의 향상 및 양질의 서비스 제공을 위한 연동장치의 전자화에 적합하지 않았다.

따라서, 본 논문에서는 지금까지 전해지는 연동에 관한 사고방식을 기초로 자동화된 전자연동장치에 적합하고 보다 안전하고 효율적인 진로구성 방법을 위한 통일된 연동 알고리즘에 의해 배선약도로부터 연동도표를 생성하는 지원 소프트웨어를 제안하고, 이 소프트웨어로 생성된 연동도표와 기존의 연동도표를 비교하여 타당성을 보이고자 한다.

2. 연동도표 작성 알고리즘

2.1 연동도표와 진로(1)(6)(7)

한 신호기에서 다음 신호기까지의 분기기를 포함한 구간을 진로라 하고, 진로의 시작점과 도착점을 발점 및 착점이라고 한다. 진로를 설정한다고 하는 것은

- ① 진로상에 다른 차량이 존재하지 않는 것을 확인하고
- ② 경합하는 다른 진로의 설정을 금지하며
- ③ 진로상의 분기기를 진로 방향으로 전환, 쇄정하고 신호기에 진행을 현시하는 것이다.

반대로

- ④ 경합진로가 이미 설정되어 있는가?
- ⑤ 진로상에 다른 차량이 존재하는가?
- ⑥ 진로상에 분기기를 올바른 방향으로 전환

할 수 있는가?

를 확인하고 진로를 설정한다.

그리고 연동장치의 기능이 안전확보에만 있다면 비교적 단순하지만 실재는 열차운행능률향상이라는 측면에도 부응하여야 하므로 안전과 능률을 합리적으로 조합하기 위해 여러 가지 연구가 이루어지고 있다. 연동표 생성의 기본지식을 정리하고 연동도표의 표준화를 위해서 연동에 관한 사항을 검토하였다.

2.1.1 진로의 형태와 경합

먼저 역구내 분기부의 진로방향을 살펴보면 그림21과 같으며 "A진로"와 "C진로"는 동시 진로의 구성이 가능하고 "B진로"와 "A진로" 또는 "C진로"는 동시에 진로를 구성할 수 없는 형태이다

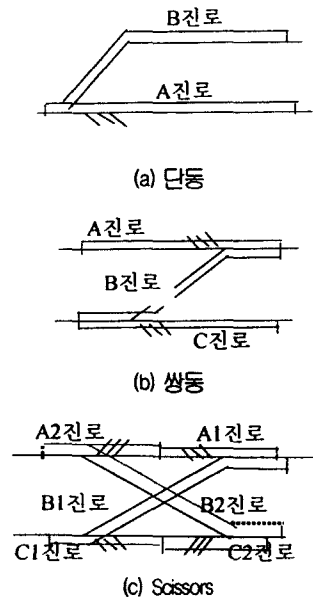


그림21. 분기부 진로의 방향

이들 분기부의 진로방향을 중심으로 경합에

대해 검토해 보면 역구내의 경합진로는 그림 22에 나타난 4개의 형태중 하나로 분류된다. (a)는 2개의 진로가 크로싱을 통해 교차하고 있는 경

합방향" 및 진로(p)와 경합하는 "신호기"가 기재되어야 한다.

쇄정방법에는 직접쇄정법과 간접쇄정법이 있

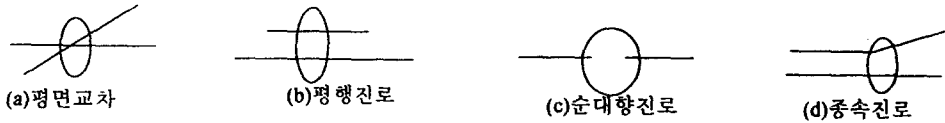


그림 2.2. 경합진로의 형태

우로 교차부분에는 분기기가 없는 평면교차를 형성하고 있다

(b)는 2개의 진로가 같은 방향으로 분기기의 진로를 공유하는 경우이다. 예를 들어 같은 지점에 입환표지와 출발신호기가 설치되어 착점을 공유할 경우로 열차의 운전형태가 달라 별도의 진로를 구성한다. (c)의 2개 진로는 분기기는 공유하고 있지 않으나 착점이 동일지점에 설치되어 순대향이 되는 경우이다. (d)는 2개의 진로가 공유하는 분기기의 개통방향이 1개 이상 일치하지 않는 경우로 대부분의 진로가 여기에 해당된다. 즉, 공유하는 분기기가 서로 다른 2개의 진로방향을 갖고 있는 경우이다.

으며 직접쇄정법은 신호기를 쇄정하는 방법이고 간접쇄정법이라는 것은 진로상의 분기기를 쇄정하여 간접적으로 신호기를 쇄정하는 방법이다. 직접쇄정법을 사용하여 쇄정하면 분기기를 쇄정하고 있는 신호기를 정지신호로 확보하지 않는 한 경합진로를 설정할 수 없으며, 간접쇄정법으로 쇄정하면 대응하는 분기기만 해제되면 진로 설정이 가능하므로 운행 능력이 높은 장점이 있다.

따라서, 진로 쇄정은 가능한 한 간접쇄정법에 의한 것이 바람직하며, 그림 22의 경합진로에서는 (a), (b), (c)는 직접쇄정법에 의하고 (d)는 간접쇄정법에 의해 쇄정하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 후술하는 것처럼 (a)는 간접쇄정법을 적용하여 쇄정하는 경우가 많이 사용되고 있다.

2. 1. 2 연동도표 작성법(1)(6)(7)

연동의 기본은 진로를 설정할 때에 그것과 경합하는 진로를 설정 할 수 없도록 쇄정하는 것이다. 예를 들어, 진로(s)를 설정하기 위해 분기기를 반위로 전환하고 쇄정하여야 하는 경우가 분기기가 진로(p)에 의해 이미 정위로 쇄정되어 있으면 신호기를 조작하여도 진로(s)를 설정할 수 없다. 즉, 연동도표의 "진로(p) 쇄정란"에 진로(p)가 포함하고 있는 모든 "분기기와 전

2. 1. 3 경합진로의 쇄정방법

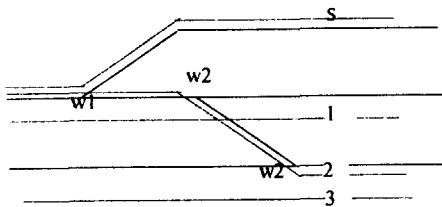
경합 진로는 자기 진로상에 있는 궤도회로 또는 착점압구를 공유하는 진로를 찾으므로서 얻을 수 있으며, 진로의 쇄정은 공유 분기기의 유, 무에 따라 경합진로를 2개의 카테고리 분류하고 직접쇄정법과 간접쇄정법으로 구분하여 쇄정하며, 직접쇄정법으로 쇄정해야 되는 진로 가운데에서도 진로와의 분기기를 사용하여 간접

쇄정법으로 쇄정할 수 있으면 간접쇄정법을 사용한다.

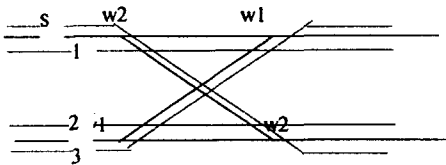
(1) 공유분기기가 없는 진로의 쇄정

대향진로와 평면교차진로가 이 경우에 속하는 것으로 직접쇄정법으로 쇄정하는 것이 원칙이다. 그림 23 (a)에서 만약 진로(s)에 분기기 w2를 반위로 쇄정하면 진로(s)로 인하여 진로(3)이 연쇄되어 독립된 진로(s)와 진로(3)를 동시에 사용할 수 없으므로 진로(s)에는 분기기 w2를 정위로 쇄정한다.

그림 23의 (b)와 같은 배선형태에서는 직접쇄정법이 아니고 간접쇄정법으로 쇄정할 수가 있다. 진로(s)를 설정할 때에 진로(3)의 진로상 분기기 w1을 정위로 전환하여 쇄정하면 진로(3)은 w1에 의해 간접적으로 쇄정할 수 있다.



(a) 독립 분기



(b) Scissors 분기

그림 23. 간접쇄정법에 의한 평면교차의 쇄정

(2) 공유분기기가 있는 경우

공유하는 분기기중에 진로에 의해 방향이 달라지는 것이 있으면 간접쇄정법으로 쇄정하고 그 외에는 직접쇄정법으로 쇄정한다.

2. 1. 4 과주방호구간의 분기기 쇄정

진로는 신호기에서 신호기까지의 구간에 대응하므로 열차는 다른 신호기의 앞에서 정지하여야 하며, 이를 위해 구내운전속도를 25km/h로 제한하고 있다. 그러나 이런 방법은 운전의 능력을 크게 떨어뜨린다. 예를 들면 도착열차가 낮은 속도로 진입하면 장내진로를 긴 시간 점유하기 때문에 이것과 경합된 진로는 사용할 수 없다. 이런 문제는 과주방호구간내 진로의 경합 유, 무에 따라 도착열차의 진입속도를 조절하는 방법으로 해결한다. 즉, 장내진로가 먼저 설정되면 간접쇄정법으로 경합진로를 쇄정하지만 경합진로가 먼저 설정된 경우에는 장내신호를 경계신호로 현시하여 진입열차의 속도를 25km/h로 제한하는 방법으로 이런 쇄정방법을 편쇄정이라 한다.

2. 2 연동 알고리즘(1)(6)(7)

전자연동장치용 연동도표 작성 알고리즘을 제시하기 위해서 지금까지 신호기술자에 의해서 전해지는 연동에 관한 사고방식을 분석하여 새로운 열차진로설정 방법과 그 알고리즘의 논리적 사고방식을 검토하여 보면 다음과 같다.

2. 2. 1 진로설정 방법

진로 s를 따라 운행하는 열차가 탈선, 충돌 등의 염려 없이 안전하게 운행하기 위해서는 진로 s가 포함하고 있는 모든 “분기기와 개통방향” 및 “경합하는 신호”를 쇄정하여야 한다. 쇄

정하는 휴리스틱 규칙은 2절에서 언급한 것을 기초로 검토하면 다음과 같이 경합진로와 과주방호구간 진로로 구분하여 정의할 수 있다.

[HR 1] 경합진로의 채정

$p \in P_s$ 인 모든 진로 p 는 진로 s 에 의해 다음과 같이 채정된다. : $w \in W_p$ 이고 $w \in W_s$ 인 어떤 분기기의 방향이 진로 s 와 p 에서 서로 다르면 진로 p 는 분기기 w 에 의해서 간접채정법으로 채정하고, 그렇지 않으면 진로 s 에 의해서 직접채정법으로 채정한다.

[HR 2] 과주방호구간 진로의 채정 $q \in Q_s$ 인 어떤 진로 q 가 진로 s 의 과주방호구간에 있고 진로 q 가 설정되어 있지 않으면 진로 q 는 진로 s 에 의해서 채정한다.

단, P_s : 진로 s 와 경합하는 진로들의 집합

Q_s : 진로 s 와 경합하지 않는 진로들의 집합

W_s : 진로 s 상에 있는 분기기들의 집합

2.2.2 연동 알고리즘

연동도표를 자동으로 생성하기 위한 알고리즘에는 휴리스틱 규칙 [HR 1]에 의해서 실현되는 채정 알고리즘과 [HR 2]에 의해서 실현되는 과주방호 알고리즘으로 구분된다.

(1) 채정 알고리즘(Lock Algorithm)

$s \in Q_s$ 가 성립하므로 어떤 분기기에 의해서 간접채정된 진로들의 집합 I_s 가 정해져 있으면 진로 s 에 의해 직접채정된 진로들의 집합 D_s 는 $D_s = P_s - I_s$ 로 나타낼 수 있고 휴리스틱 규칙[HR 1]은 다음과 같이 변경할 수 있다.

① $q \in Q_s$ 인 모든 진로와 $w \in W_q$ 인 모든 분기기에 대해 진로 q 에 대한 분기기 w 와 개통 방향을 찾아 채정한다.

② $p \in P_s$ 인 모든 진로와 $q \in Q_s$ 인 모든 진로에 대해 진로 q 를 설정하고 진로 p 를 채정하는 어떤 분기기 $w \in P_s$ 와 개통방향을 찾아 채정한다.

(2) 과주방호 알고리즘

신호기는 진로의 집입측에 설치되어 진입열차의 속도를 지시한다. 진입속도는 신호형식과 진로의 통합여부에 따라 바뀐다. 하나의 진로 s 와 그 진로를 제어하는 신호 G 및 진로 s 의 과주방호 구간에 있는 진로들의 집합을 C_s 라고 하면, 진로 s 가 어떤 진로 $c \in C_s$ 를 채정한다면 진로의 길이가 길어지게 되고 진입신호 G 는 보다 높은 진입속도를 지시한다. 진입신호 G 의 제어 규칙은 다음과 같이 정의할 수 있다.

[HR 3] $C_s = \emptyset$ 인 경우

① G 는 열차를 저속도로 진로 s 로 진입하도록 한다.

[HR 4] $C_s \neq \emptyset$ 인 경우

② $c \in C_s$ 인 진로 c 가 채정되지 않았다면, G 는 진로 s 에 의해서 진로 c 를 채정하고 열차보다 높은 속도로 진로 s 로 진입하도록 지시한다.

③ $c \in C_s$ 인 모든 진로가 채정되었다면, G 는 진로 s 로 열차의 진입을 막는다.

④ $c \in C_s$ 인 모든 진로가 채정되었다면, G 는 진로 s 로 아주 저속으로 열차가 진입하는 것을 허용한다.

여기서 열차운행능률과 역구내의 조건에 따라 ②와 ③을 결합하거나 ②와 ④를 결합하여 적용할 수 있다. 진로 s에 의한 진로 c의 선택은 진로 s가 설정됨과 동시에 이루어지며, 다음과 같은 규칙으로 선택란에 정보를 기재한다.

[HR 5] 만약에 진로 c가 신호를 가지고 있으면, 반위로 그 신호를 기재한다.

[HR 6] 만약에 진로 c가 신호를 가지고 있지 않으면 분기기와 개통 방향을 기재한다.

호가 그려지고 연동표에는 열차의 진로조건을 표시한다.

본 연동도표 작성용 CAD는 역구내의 배선을 구성하는 구성요소를 객체로 하여 객체지향의 사고를 적용하고 이들의 삽입이나 삭제, 이동 및 모양 변경 등의 편집과 각 객체의 속성변경을 마우스를 사용하여 직접 눈으로 확인하면서 작업하므로써 작성자의 의도가 바로 반영되도록 하는 것을 목적으로 하고 있다. 또한 작도가 완료됨과 동시에 각 진로를 확인할 수 있도록 하여 작성 및 수정이 용이하도록 하고 작도된 배선도를 기본으로 연동도표 작성 알고리즘에 따라 연동표가 작성되도록 하였다.

3. 연동도표 작성 지원 소프트웨어 설계

3.1 배선약도 작성 CAD

3.1.1 프로그램의 구성

연동도표는 배선약도와 연동표로 구성되며, 배선약도에는 신호기, 분기기, 조작압구등의 기

3.1.2 데이터의 구조

소프트웨어의 개발은 데이터가 중심이고 프로그램은 데이터에 종속하는 객체지향의 사고방식을 채택하여 알기 쉬운 사용자 인터페이스를

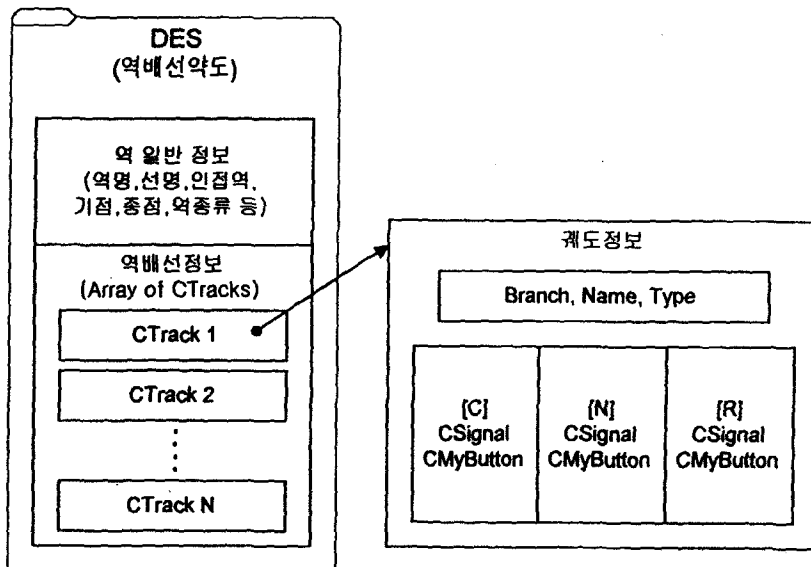


그림3.1 배선약도 데이터베이스

효과적으로 실현했다.

배선약도를 구성하는 선로, 분기기, 신호기, 발착점버튼 등을 객체로 구현하고 이것에 의해 생성된 인스턴스를 화면상에 적절히 배치하며 동시에 동적인 자료 구조에 저장함으로써 사용할 수 있는 객체수의 제한을 해결하도록 하였다. 배선약도는 선로객체 및 그 외의 객체로 구성되며 각 객체는 도형객체(Graph object)로부터 파생되어 생성되고 도형객체는 점객체(Blip object)로 구성된다. 그림3.1은 배선약도작성 CAD의 데이터베이스 구조이다.

3.2. 연동표 작성 소프트웨어

3.2.1 프로그램의 구성

프로그램은 Microsoft Foundation Class Library(MFC)를 기반으로 하여 Microsoft Developer Studio 4.2에서 작성되었으며 그림3.2는 프로그램의 구성을 나타내는 블록선도이고 프로그램을 구성하는 각 파일에 대해 요약하면 다음

과 같다.

(1) DES File

연동도표 작성을 위한 기본 파일로 작성자가 배선 약도를 작도함으로써 생성되는 것으로 궤도회로를 기초로 연관된 신호기, 분기기, 조작압구의 정보를 수용하여 저장한다.

(2) ILT File

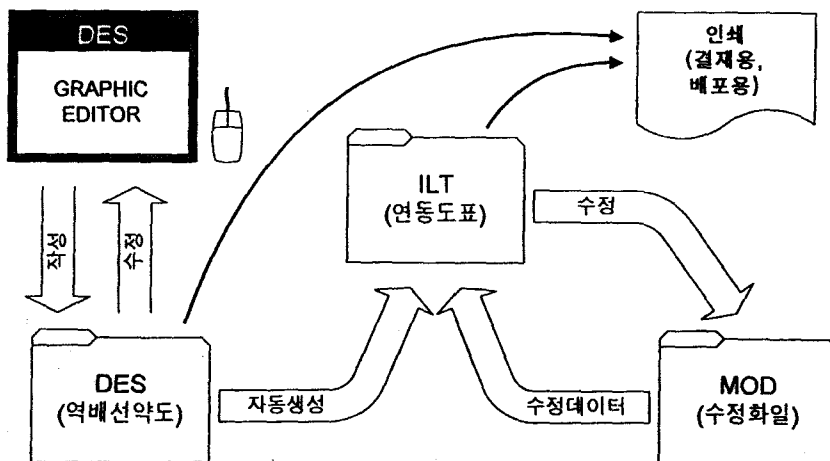
DES File로부터 배선에 대한정보를 입력받아 트리 탐색방법을 채용하여 진로를 추적하고 2절에서 정의한 “연동도표작성 알고리즘”에 따라 연동표를 자동으로 생성하여 ‘연동도표’와 같은 테이블 형식으로 데이터 저장하고 표시한다.

(3) MOD File

역에서의 열차운행 패턴 등에 따라 필요 없는 진로의 삭제 및 인접역과의 폐색방식에 의한 설정등을 용이하게 하기 위해서 사용자가 수정할 수 있도록 하는 것으로 ILT File를 기초로 한다.

3.2.2 데이터베이스의 구성

DES File에서 자동생성된 연동 테이블의 정



3.2 프로그램의 구성

보가 텍스트 파일로 기록되며 연동 테이블의 각 행에 대한 정보를 하나의 레코드로 하여 Array 구조를 이루도록 다음과 같이 구성하였다.

- m_Type : 신호기, 선로전환기
- m_Name : 명칭
- m_Signal : 출발점
- m_Button : 도착점
- m_Delay : 접근/보류 채정의 시간
- m_LockSwitch : 채정 선로전환기
- m_LockSignal : 채정 신호기
- m_Track : 신호제어/철사 채정
- m_Route : 진로 채정
- m_Approach : 접근 채정
- m_Hold : 보류 채정

4. 실험결과

연동도표 작성알고리즘을 이용하여 작성한 연동도표는 그림41과 같으며, 기존방법에 의해서 작성된 연동도표와 비교하여 보면 다음과 같은 차이점을 발견할 수 있다.

4.1 직접채정인 것이 간접채정으로

그림42와 같은 배선에서 기존의 연동도표는 A진로의 채정란에 B진로가 직접채정법에 의해서 채정되었으나 본 알고리즘에서는 분기기 w에 의해서(B진로에서 분기기 w를 정위채정) 간

접채정한다.

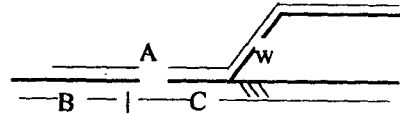


그림4.2 간접 채정하는 진로(1)

이것에 대한 안정성을 검토해보면 A진로 외방에 정지하여야 하는 열차가 정차를 실기하였을 때 직접채정법은 B진로상의 열차와 충돌하나 간접채정법은 분기기 w에서 열차가 탈선함으로 기존방법에 비해서 더 안전하다고 볼 수 있다

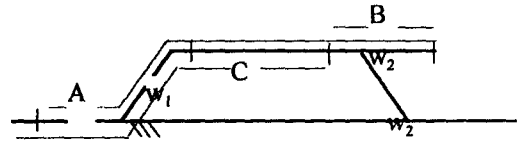


그림4.3 간접 채정하는 진로(2)

그림43와 같은 배선에서도 기존의 연동도표는 C진로의 채정란에 B진로가 직접채정법에 의해서 채정 되었으나 본 알고리즘에서는 분기기 w₂에 의해서(C진로에서 분기기 w₂를 정위채정)간접채정함으로써 진로 B를 운행하는 열차가 분기기 w₂만 통과하면 진로 C를 현시할 수 있도록 하여 운용능률을 향상 시켰다.

4.2 순대향 진로의 간접채정

그림44와 같은 순대향진로의 경우 기존에는 B진로에 의해서 A진로를 직접채정하도록 하였

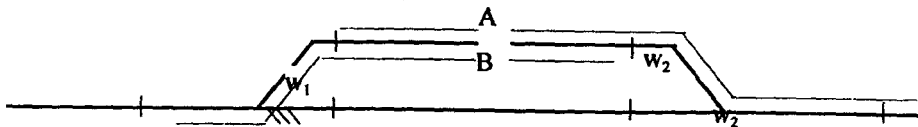


그림4.4 순대향 진로

으나 본 알고리즘에서는 분기기 w_2 를 사용하여 간접쇄정하도록 하여 안전에는 이상이 없으면서 운용능률을 향상 시켰다. 그 밖의 과주방호구간의 쇄정이나 시사스(Scissors)분기기의 쇄정등은 기존의 연동도표와 동일하였고 본 알고리즘이 기존의 방법보다 안전하고 신뢰성이 높으며 운용능률이 향상된 것임을 확인 할 수 있었다.

5. 결 론

연동도표는 신호전문가 이외의 사람들이 이해하기는 어렵다. 그 이유는 연동도표에 대한 지식은 습득하기 쉬우나 연동의 기본사항이 체계적으로 정리되어 있지 않기 때문이다. 본 연구에서는 전자연동장치를 위한 연동도표를 컴퓨터로 작성하기 위해서 연동의 기본인 진로간의 쇄정에 대한 기본개념을 정리, 분석하여 새로운 알고리즘을 제안하였고, 제안된 알고리즘이 보다 안전하고 능률적임을 확인하였다. 그리고 사용중인 역의 모양을 변경 할 경우 용이하게 연동도표를 수정 할 수 있을 뿐아니라 기존 것보다 용이하게 비교 할 수도 있다. 특히, 전자연동장치 등 전자화된 열차제어장치와 시험장치에 연동데이터를 직접 제공하여 기초자료로 활용 할 수 있어 철도신호의 전자화와 유지관리가 용이할 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 박영수의 3인 (1996), "결선도와 연동메트릭스를 이용한 연동논리에 관한연구", 대한전기학회 전기철도연구회 '96학술발표회 논문

- 집, pp. 26-43
- [2] 양희갑외 3인(1996), "철도신호에서의 차량 추적 알고리즘 설계 및 구현에 관한 연구", 대한전기 학회 전기철도연구회 '96학술발표회 논문집, pp. 66-75
- [3] H.Yosimura, S.Yoshikoshi(1983) "Railway Sign al", JASI, pp.51-154
- [4] 철도청(1996), "신호보안장치 설계시공표준" 철도청 규정집.
- [5] 社團法人 日本鐵道電氣技術協會(1992), "聯動 裝置", 勝美印刷株式會社, pp.113-116
- [6] 岩井田 寬(1978), "連動圖表" 社團法人 日本信號保安協會 pp.49-52
- [7] A.Hachiga(1996), "An algorithm approach to the verification of a railway interlocking table" Computers in Railway pp.91-100
- [8] A.H.Cribbens(1987), "Solid State Interlocking (SSI)", IEEE Proceedings, vol.134, pp.325-332
- [9] 유광균(1997), "결선도와 연동메트릭스를 이용한 연동논리에 관한연구" 박사학위논문, 광운대학교
- [10] 이재훈(1994), "전자연동장치 전철제어에 관한 연구", 석사학위논문, 광운대학교