

# 8장

## 운전 계획

### 학습목표

- ✓ 운전 계획을 이해하고 설명할 수 있다.
- ✓ 열차 운행 도표에 대하여 설명할 수 있다.
- ✓ 선로 용량에 대하여 이해하고 선로 용량을 구할 수 있다.

#### [핵심 용어]

• 운전 계획, 수송량, 열차 운행 도표, 편성 칸 수, 선로 용량, 최소 안전 간격 시간 등

### 8.1 운전 계획

운전 계획에는 열차 계획, 차량 계획, 설비 계획, 요원 계획 등이 있다. 즉, 차종, 설비, 요원 등을 검토하고 계획하고 실행하는 것이 넓은 범위의 운전 계획이다. 운전 계획 수립은 철도 관련 운송 사업 분야에서는 가장 중요한 업무의 일부분으로, 철도 이용 고객에게 만족을 주어 많이 이용할 수 있도록 수립되어야 한다.

철도 수송은 그 객체에 따라 여객 수송과 화물 수송으로 나누어지며, 일반적인 교통기관의 여객 수송량을 측정하는 기준은 인구권, 역세권으로 결정되고, 화물 수송량을 측정하는 기준은 산업의 형태, 화물 발생 인자 등을 기준으로 결정된다. 열차 계획은 수송량에 대응하는 열차 횟수를 추정하여 수립한다.

수송량의 단위는 여객 수송일 경우에 승차 인원으로, 화물 수송일 경우에 수송 톤수, 발송 톤수로 표시하는 것이 상식이다. 여기에 더 정확하게 표시하려면 여객 수송에는 승차 km, 화물 수송에는 수송 km를 곱한 숫자인 연인원 km(승차 인원×승차 km) 및 연톤(年ton) km(수송 톤수×수송 km)를 사용한다. 즉, 10km 안에 2인이 승차한 것은 20km 안에 1인이 승차한 것과 같은 수송 부담을 의미한다.

수송력을 표시하는 단위로는 일반적으로 열차 또는 차량의 주행거리를 표시하는 열차 km, 또는 차량 km를 쓴다. 열차 계획은 소요 수송량에 대응한 열차 횟수의 산정이므로 요원·차량·운용·동력비 등을 감안하여 합리적으로 검토되어야 한다.

### 8.1.1 수송량과 열차 횟수

수송량과 열차 횟수의 관계에 대하여 결정적인 관계식은 없다. 즉 이용자 측이 요구하는 열차 횟수에 대해서 철도 경영상 각종 제약을 받는 경우가 있기도 하는 등 상호 상반되는 조건일 수도 있기 때문이다.

### 8.1.2 수송량(수송 정원 또는 톤수)과 열차 횟수의 관계

- (1) 수송량이 일정하면 한 열차의 승차 인원에 의해 열차 횟수는 정해진다.
  - 1) 한 열차 당 승차 인원 = 편성 칸 수 × 한 차당 승차 정원 × 승차 효율
  - 2) 열차 횟수 = 수송량 ÷ 한 열차당 승차 인원
- (2) 편성 칸 수와 승차 효율이 일정하면 수송량의 증가와 열차 횟수의 증가는 비례한다.
  - 1) (수송량 + 수송량 증가분) ∝ (열차 횟수 + 열차 횟수 증가분)
- (3) 여객열차의 어느 선구에 있어서 최저 열차 횟수는 그 선구의 교통 필요성으로, 최저 2회(1왕복)이다. 화물 열차의 최저 횟수는 0이다.
- (4) 편성 칸 수와 승차 효율을 결정하기는 매우 어렵다.

이상과 같은 관계로 인해 어느 선구에 여객 및 화물별 수송량에 적합한 열차 횟수를 결정하는 경우에는, 각각의 선구에 대한 수송 실적과 수송 설비, 선로 용량, 타 수송 기관과의 관계 등을 고려하여 이용자 측의 요망과 철도 경영상의 경제성 등의 균형에 의해 결정할 필요가 있다.

수송량에서 열차 횟수 산정 방법을 보면, 여객열차일 경우에는 먼저 여객열차 승차 효율을 구하여 한 차 평균 수송 인원을 산출한다.

$$\text{평균 승차 효율} = \frac{\text{평균 승차 인원}}{\text{객실 정원}}, \dots\dots 8-1\text{식}$$

다음에 여객 추정 수송량(연인원 km)을 1일 평균치로 하여, 그것을 한 차 평균 수송 인원으로 나누면 1일당 차량 km를 얻게 된다.

$$\text{1일 당 차량 km} = \frac{\text{여객 수송량(연인km)}}{365} \div \text{한 차 평균 수송인원}, \dots\dots 8-2\text{식}$$

다음에 한 열차 평균의 편성 칸 수를 가정하여 먼저 구한 차량 km를 편성 량 수로 나누면 열차 km를 얻게 된다.

$$\text{차량 km} \div \text{편성 칸수} = \text{열차 km}$$

또 차량 km를 객차 1칸당 평균 주행 km로 나누면 차량 수를 얻는다.

$$\text{차량 km} \div \text{1차당 평균 주행 km} = \text{차량 수}$$

화물열차의 경우도 같은 방법으로 추정 수송량(연톤 km)을 한 열차 평균 수송 톤수로 나누면 열차 km를 얻는다.

$$\text{열차 km} = \text{연톤 km} \div \text{한 열차 평균 수송 톤수}, \dots\dots 8-2 \text{ 식}$$

이상과 같이 얻어진 열차 km를 한 열차의 평균 주행 km로 나누면 열차 횟수를 구할 수 있다.

$$\text{열차 횟수} = \text{열차 km} \div \text{한 열차 평균 주행 km}, \dots\dots 8-3 \text{ 식}$$

### 8.1.3 열차 횟수와 편성 칸 수

어느 선로 구간의 열차 횟수를 산정할 때는 수송량에 적합해야 하고, 이와 더불어 편성 칸 수, 즉 수송 단위를 적합하게 정해야 한다.

편성 칸 수란 한 개 열차의 수송 단위로서 열차 횟수 및 승차 효율과 상대적 관계이므로, 일정한 수송량에 대하여 수송 단위를 감소하면 열차 횟수가 증가하고, 열차 횟수를 감소시키면 수송 단위를 증대시킬 필요가 있다.

편성 칸 수의 상한은 동력차의 견인정수, 선로의 유효장(有效長), 승강장의 길이, 차량 기지 설비 등의 제한을 받는다. 한편 여객 서비스 면에서는 편성 칸 수를 적게 하여 열차 횟수를 증가시키는 것이 바람직하고, 요원, 정비, 선로 용량을 유효하게 이용하는 면에서는 열차 횟수를 감소시키는 것이 바람직하다.

그러므로 일반적으로는 일정 시간에 집산하는 통근 열차와 장거리 열차는 적합한 시간대를 선정하여 대량 수송을 시행하고, 화물열차 이외의 기타 열차는 수송 단위를 적게 하여 운용함이 보통이다. 운행 차량 수를  $N$ , 예비율을  $a$ , 차량 연결 수를  $n_1, n_2, n_3$ , 차량 1회 왕복하는 시간을  $T_1, T_2, T_3$ , 열차 운전 간격을  $D_1, D_2, D_3$ 라 할 때, 수요 차량 수는 다음과 같다. 또한  $t_1$ : 하행 열차의 표정(表定) 시간,  $t_2$ : 상행 열차의 표정 시간,  $t_3$ : 하행 종단역의 반복 시간,  $t_4$ : 상행 종단역의 반복 시간 이고,  $n, T, D$ 의 밑 수 1, 2, 3은 각각 운전계통을 구분한 것이다.

$$N = n_1 \frac{T_1}{D_1} + n_2 \frac{T_2}{D_2} + n_3 \frac{T_3}{D_3} + \dots, \dots\dots 8-4\text{식}$$

여기서,  $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$

그러므로 소요 열차 수를 나타내는 식은  $\frac{T}{D}$  가 된다. 또한 다음과 같이 나타내기도 한다.

$$\text{운행 편성 수} = \frac{\text{왕복운전 시간} + \text{도착지 반복 시간}}{\text{운전간격}}, \dots\dots 8-5\text{식}$$

1일의 운용 차량 수(정기 열차, 부정기 열차, 임시 열차를 포함)의 총 보유 차량에 대한 비율은 차량 검수 상태를 알 수 있는 가장 간단한 표준치므로, 이것을 운용률 또는 출고율이라 한다. 현재는 통상 70~90% 정도가 통례이다.

그리고 화물 수송의 경우, 계획 수송 톤수를 1칸 평균 적재 톤수로 나누면 소요 차량 수가 결정되고, 여기에 공차 수를 가산하면 전체 운용 회차 수가 된다.

## 8.2 열차 운행 도표



[그림 8-1] 열차 운행 도표 작성 순서

열차 운행 도표는 가로축에 시간을, 세로축에 거리를 표시한 거리-시간 곡선으로, 시간적 변화에 따른 열차 운행 선도를 도시한 것이다.

### 8.2.1 열차 운행 도표의 개요

열차 운행 도표는 열차 상호 간의 관계를 한눈에 알아볼 수 있도록 표시한 선도이므로, 열차 운전 계획과 운전 정리 취급상에 가장 편리한 것이다. 열차의 운전계통, 열차 종별, 운전 구간, 정차 역, 유효 시간대, 열차 배열, 견인정수, 편성 내용 등에 의해 결정되며, 기준 운전 시간을 계산하여 열차 운행 도표를 작성한다. 이때 선로와 역 설비 조건, 단선과 복선, 폐색 방식, 역의 착·발선 수와 유효장, 차량이나 승무원 배치, 지선 열차와의 접속 등 여러 가지 조건이 관계된다. 필요시 설비 개량, 차량의 신조, 직원의 확보가 선행되는 경우도 있다.

열차 출발역에서 도착역까지의 소요 시간은 각 역 간 기준 운전 시간의 합계와 정차 역에서의 정차 시간을 합계한 총계로서 최소 운전 시간으로 이루어진다. 정차 시간은 정차 이유, 목적에 따라 여객 승·하차의 소요 시간, 접속 대기 시간, 운전상 정차 시간(열차 교행, 선행 열차의 출발을 기다림, 신호기 취급 시간) 등 여러 가지를 조합하여 이루어진다.

이 같은 운전 시간은 특급 이상의 열차일 때, 단선 구간에서는 3~5%, 복선 구간에서는 2~4% 정도 여유 시간을 가지도록 함이 보통이다. 특히, 지연을 고려하여 주요 역이나 도착역 가까이에 여유 시간을 줌으로써 정식 운전을 할 수 있도록 배려한다. 이와 같이 각종 조건에 적합하도록 복선에서는 저속 열차가 고속 열차로부터 대피해야 하며, 단선에서는 교행 또는 대피의 관계를 고려하면서 열차 운행 도표를 작성한다.

### 8.2.2 열차 운행 도표의 분류

열차 운행 도표는 그 용도와 시각의 눈금에 따라 1시간 목 운행 도표, 10분 목 운행 도표, 2분 목 운행 도표, 1분 목 운행 도표로 분류된다.

#### 8.2.2.1 눈금에 의한 분류

##### (1) 1시간 목(目) 운행 도표

가로축 시각의 눈금 간격을 1시간으로 취한 운행 도표로서 1시간을 통상 20mm로, 경우에 따라서는 30mm로 한다. 사용 목적에 따라 주로 장기적인 열차 계획, 시각 개정 구상, 차량 운용 계획 등

에 사용된다. 이 운행 도표에는 각 역의 시각은 정확하게 기입하지 않으므로 열차의 운행 순서를 정확하게 기입하여야 한다.

#### (2) 10분 목 운행 도표

열차 운행 횟수가 많은 선로 구간에서 1시간 목 운행 도표를 대신하여 같은 목적에 사용한다.

#### (3) 2분 목 운행 도표

시각의 눈금 간격을 2분으로 한 운행 도표로서 열차 계획의 기본이 되며, 시각 개정 작업이나 임시 열차 계획 등 정확한 운행 시간을 기입할 필요가 있을 때 사용한다. 또한 통상 열차 계획 업무와 운전 정리에 사용되며, 열차 운행 밀도가 높은 경우에는 30초 단위를 기호화하여 기입하기도 한다.

#### (4) 1분 목 운행 도표

2분 목 운행 도표와 같은 용도로 사용되며, 특히 열차 밀도가 높은 수도권 운행 열차의 운행 도표로 이용되고, 시각은 15초, 30초, 45초의 단위를 기호화하여 기입한다.

이상의 4종류의 열차 운행 도표는 구성 모양에 의한 분류이다. 다음으로 열차 운행 도표의 특수한 설정 방법에 의한 분류를 보면, 수송량의 증대는 열차 횟수의 증대를 가져오고 열차 횟수는 선로 용량의 제한을 받게 된다.

선로 용량, 즉 열차 횟수의 한도를 최고도로 활용하고, 수많은 열차를 설정함에는 특수한 열차 운행 도표를 채용한 경우가 있다. 즉, 넷(net) 운행 도표, 평행 운행 도표, 규격 운행 도표가 그 예이다.

### 8.2.2.2 특수 운행 도표의 분류

#### (1) 넷(net) 운행 도표

완전한 네트워크 눈금으로 운행 도표를 구성하여 열차를 설정한 것이다.

#### (2) 평행 운행 도표

복선 구간의 선로 용량을 최대한 활용할 수 있는 수단의 운행 도표이다. 일반적으로 여객열차는 고속이기 때문에 화물열차를 대피시킬 필요가 생기면, 대피에 의한 선로 용량 감소, 운행 도표 설정상의 곤란을 제거하기 위하여 복선 구간에 있어서 여객열차와 화물열차의 속도를 동일하게 하여 열차 운행 도표상 열차선을 평행하게 구성하는 방법이다.

### (3) 규격 운행 도표

선로 용량이 한계에 도달한 선구에 속도가 상이한 다수의 열차를 운전하려 할 때, 선로 용량을 효율적으로 사용할 수 있도록 일정한 표준 규격을 정해 놓고 이 규격을 기준으로 하여 열차를 설정한 것이다.

#### 8.2.2.3 열차 운행 도표 작성 시 고려 사항

열차 운행 도표를 작성하려면 특히, 다음의 여러 가지 사항을 고려해야 한다.

##### (1) 열차 상호 간에 지장이 없고 선로 용량 범위 내에 있을 것

열차 상호 간에 지장이 없어야 한다는 것은 1폐색 구간에 2 이상의 열차 시각을 설정해서는 안 된다는 것이다. 자동폐색 방식 시행 구간에 열차를 설정하는 경우, 열차 상호 간격은 신호 현시 방식에 따라 3현시는 2폐색 구간 이상, 4현시는 3폐색 구간 이상, 5현시는 4폐색 구간을 확보하는 것을 원칙으로 하고 있다.

##### (2) 수송 요청(수요)에 적합할 것

수송 요청(수요)에는 시간적, 시기적(계절적)인 파동이 있으며, 운행 도표를 작성함에 있어서 이 점을 충분히 고려해야 한다. 통근 수송을 러시아워(rush hour) 또는 구간별 수송차, 요인별 수송의 상위 등에 만족시킬 필요가 있다.

수송력과 수송량의 관계는 항상 동일한 비율이어야 하며, 즉 1:1의 관계가 이상적이다. 또, 원거리 열차의 설정은 그 열차의 사명을 고려하여 수송 요청에 적합한 유효 시간대를 계획할 필요가 있고, 이는 운행 도표 작성의 첫째 요소이다.

##### (3) 한 열차 지연에는 탄력성이 있을 것

운행 도표에는 시간적 여유가 있어야 한다. 이 여유를 운행 도표의 탄력성이라 하며, 이것은 운행 도표 작성의 둘째 요소이다. 최소 간격 한도의 값으로 운행 도표를 설정하게 되면 운행 도표의 혼란이 발생한다. 그러므로 될 수 있는 한, 여유를 가진 탄력성이 있는 운행 도표를 계획해야 한다. 예를 들면, 운행 도표상에 그려진 큰 불안 요소는 정차 시간이다. 정해진 바 정차 시간 30초인 역에 50초를 정차하였다고 하면, 계획과 대비해 20초가 초과된다. 즉 운행 도표의 탄력성이 없는 경우에는 이것만큼 다음 열차의 지연을 초래한다.

#### (4) 열차 운행 도표 표기 사항

- 1) 열차선
- 2) 열차번호
- 3) 정거장명 및 정거장의 종류
- 4) 하행 열차에 대한 표준 오르막 기울기 또는 내리막 기울기
- 5) 정거장 간의 거리
- 6) 각 정거장의 기점부터의 거리
- 7) 폐색 방식의 종류
- 8) 정거장 구내 본선의 유효장
- 9) 대피 또는 교행 가능 여부

#### 8.2.2.4 열차 운행 도표 설정

##### (1) 운전 시간

운전 시간(표준 운전 시간 + 탄력 시간) 및 도달 시간(운전 시간 + 정차 시간 = 표정 시간)에 탄력 시간을 설정하는 이유는 열차가 서행하거나 여객 및 화물 취급 등에 다소 지연이 생기는 경우, 정상 회복을 위한 운전 시간의 여유를 주기 위함이다. 특급열차는 복선 구간 2%, 단선 구간 3%를 표준으로 하고 있다. 그러나 열차의 설정 거리, 도중 운행 도표 구성상 6% 이상의 탄력 시간을 가지는 경우도 있다.

정차 시간은 여객 및 화물 취급, 입환(shunting), 기관차 교체, 분할, 합병, 승무원 교대 등에 따라 표준 정차 시간이 정해지지만, 교행, 대피 등 운행 도표 구성 관계로 표준 정차 시간을 상회하여 정차 시간이 설정되는 경우도 있다. 그러나 이 탄력 시간은 열차 설정 구간에, 특히 지연이 예상되는 구간, 또는 큰 역 및 종착역 가까운 구간에 두어서 열차 지연에 대처하는 것이 원칙으로 되어 있다.

- 1) 운전 시간 = 표준 운전 시간 + 탄력 시간
- 2) 도달 시간 = 운전 시간 + 정차 시간 = 표정 시간

##### (2) 착발 시간

운전 시간, 정차 시간이 결정되면 유효 시간대를 감안하여 열차의 시발 시각에서 운행 도표를 구성해 나간다. 그러면 도중 역의 착발 시간이나 종착역의 도착 시간이 정해진다. 이 경우에 특급열차 이상의 타 열차에 우선하여 설정하게 된다.



### (3) 열차의 접속

여객이 환승 없이 목적지까지 여행할 수 있는 것은 여객 서비스의 제1의 조건 의무로, 이를 위하여 1개 열차를 도중에서 분할, 또는 합병하게 되는 경우가 있다.

열차의 분할, 합병은 선구 상호 간 수송량의 차이, 설비 조건의 제약, 행선지별 열차 운행 빈도 등의 조건을 고려해야 한다.

이상의 분할, 합병은 도중 역의 접속 방법 중 하나이지만, 간선과 지선 상호 간에 설정된 여객열차의 연락 접속을 충분히 고려해야 한다.

## 8.3 선로 용량의 산정

### 8.3.1 철도 수송 능력과 선로 용량

철도 수송 능력(railway transit capacity)은 이용 고객 서비스 차원에서 매우 중요한 요소이다. 동일 선로에서 동일 방향으로 시간당 수송할 수 있는 편도 최대 승객 수로 정의된다. 또한 철도 수송 능력은 선로 용량과 열차 용량으로 구성되며, 다시 열차 용량은 열차당 객차 수와 객차당 승객 수로 결정되고, 선로 용량은 다음과 같이 나타낸다.

$$\text{선로 용량} = \frac{\text{용량계산 시간}}{\text{운행간격}}, \dots\dots 8-6\text{식}$$

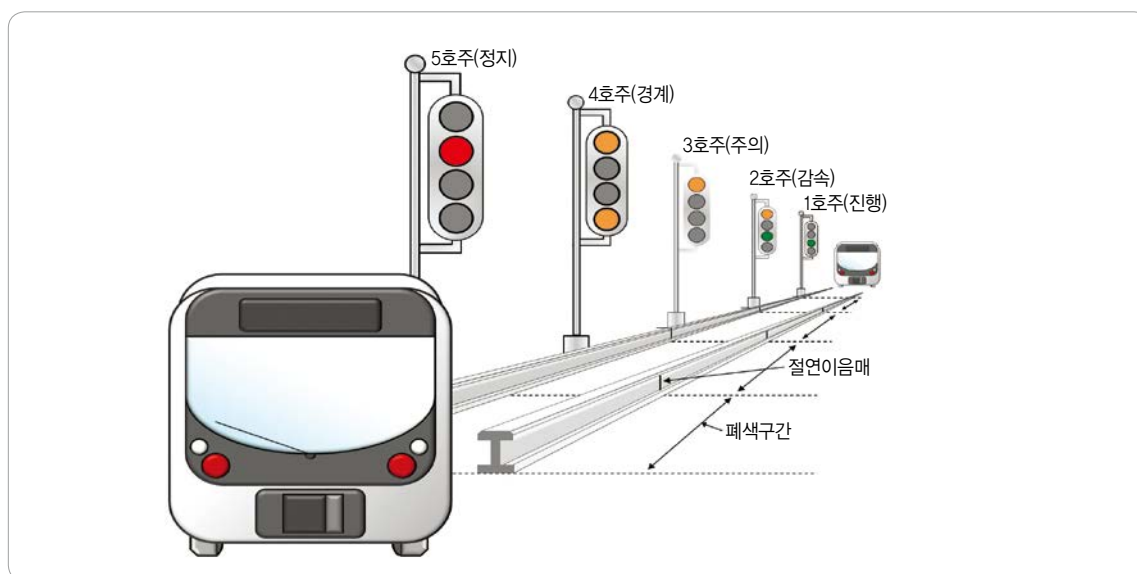
$$\text{용량계산 시간} = \text{선로 용량} \times (\text{안전간격시간} + \text{정차시간} + \text{운영여유시간}), \dots\dots 8-7\text{식}$$

### 8.3.2 최소 운행 간격

최소 운행 간격은 안전을 확보할 수 있는 열차와 열차의 운행간격으로 어느 지점을 열차가 통과한 후에 다음 열차가 안전거리를 확보하여 통과하기 까지의 최소 시간을 최소 운행 간격이라 한다. 즉, 선행 열차( $T_1$ )와 바로 다음 열차( $T_2$ ) 간의 운행 시간 간격을 나타낸 것으로 선로 전체 구간에 걸쳐 적용하고, 그중 최소 시간 간격을 최소 운행 간격이라 한다.

많은 승객을 신속하고 안전하게 수송하기 위해서는 선로 용량은 증대시켜야 하며, 정해진 선로상에서 용량을 늘릴 때는 최소 운행 간격이 매우 큰 변수로 작용한다. 즉, 선로 용량의 최대화는 최소

운행 간격 및 정차 시간의 최소화를 의미하는 것이며, 최소 운행 간격은 어떠한 경우라도 열차의 최대 제동 거리보다 작아질 수는 없을 것이다. 특히 통근 열차의 경우, 열차 운행이 상당히 규칙적이며 정차 시간(dwell time)이 중요한 요인으로 작용하게 된다. 이때 정차 시간은 크게 승객의 승·하차 시간, 승·하차 전후 출입문 조작 시간, 출발 대기 시간으로 구성된다.



[그림 8-2] 최소 운행 간격

### 8.3.3 용량의 분류

#### 8.3.3.1 한계 용량

임의의 선로 구간의 운전 가능한 최대 열차 횟수, 즉 물리적인 한계 용량을 의미하는 것으로, 현실적인 선로 용량을 계산하는 과정에 필요하다.

#### 8.3.3.2 실용 용량

열차의 유효 시간대, 시설 보수 시간, 운전 취급 등을 고려하여 구한 용량으로, 일반적으로 선로 용량이란 이 실용 용량을 의미한다.

#### 8.3.3.3 경제 용량

열차 운전을 원활히 하여 최저의 수송 원가를 갖는 1일 최대 열차 횟수를 말한다.

#### 8.3.3.4 선로 용량을 고려한 열차 설정의 원칙

- (1) 폐색구간에는 동시에 2개 이상의 열차에 대한 운전 시각을 설정할 수 없다. 다만, 운행 일을 달리하는 열차일 때는 예외로 할 수 있다.
- (2) 자동폐색 방식 시행 구간에 열차를 설정하는 경우, 열차 상호 간의 간격은 신호 현시 방식에 따라 3현시 구간은 2 이상의 폐색구간, 4현시는 3, 5현시 구간은 4 이상의 폐색구간 여유를 두고 열차를 설정하여야 한다. 다만, 자동폐색 방식 시행 구간으로서 대피 또는 서행 등의 경우에는 이에 따르지 않을 수 있다.
- (3) 운전 간격은 선행 열차와 후속 열차의 최소 운전 시간 간격으로, 시간당 최대 열차 운행 횟수를 결정할 수 있다.
- (4) 교행 또는 대피의 경우에는 열차 상호 간에 원활히 운행할 수 있도록 설정하여야 한다.

#### ☑ 핵심정리



##### 1. 운전 계획

$$2. \text{운행 편성 수} = \frac{\text{왕복운전 시간} + \text{도착지 반복 시간}}{\text{운전간격}}$$

##### 3. 열차 운행 도표의 분류

##### 4. 열차 운행 도표 표기 사항

- 1) 열차선
- 2) 열차번호
- 3) 정거장명 및 정거장의 종류
- 4) 하행 열차에 대한 표준 오르막 기울기 또는 내리막 기울기
- 5) 정거장 간의 거리
- 6) 각 정거장의 기점부터의 거리
- 7) 폐색 방식의 종류
- 8) 정거장 구내 본선의 유효장
- 9) 대피 또는 교행 가능 여부

$$5. \text{선로 용량} = \frac{\text{용량계산 시간}}{\text{운행간격}}$$

$$\text{용량계산 시간} = \text{선로 용량} \times (\text{안전간격 시간} + \text{정차시간} + \text{운영여유시간})$$