

# 철도시스템의 운전계획 수립

## The Establishment of Train Operation Plan in Railway System

이동근\*  
Lee Dong Keun

고영호\*\*  
Koh Young Ho

권정원\*\*\*  
Kwon Jeong Won

---

### ABSTRACT

This paper presents a Rotem's methodology for the establishment of train operation plan in Railway system. Train operation plan is the key prior plan to proceed the design of the civil and E&M relevant subsystem. But, due to the limitation of the environmental and project condition, common consensus to the key factors which make up the operation plan have not been accomplished.

So, as a result of this comparative review for the general approaching method of train operation plan and application status of the major key factors being performed by Rotem, we will get the opportunities to improve the accuracy of the train operation plan.

---

### 1. 서론

철도시스템을 구성하는 주요 Sub-system으로는 토목 및 건축을 비롯하여 차량, 전기, 신호, 통신 및 설비 시스템 등이 있다. 따라서 철도관련 프로젝트를 수행하기 위해서는 이러한 주요시스템에 대한 계획 및 설계, 시공 등에 있어서 정확한 기준 및 요구조건에 따라 최적의 시스템이 구성 되도록 하여야 한다. 이러한 철도 시스템에서 프로젝트의 선행공정으로 각 Sub-system에 대한 기본요구조건을 결정하고 Baseline을 설정하기 위한 열차 운전계획이 있다.

지금까지 운전계획은 시스템 총괄 업체 또는 기관이나 차량업체에서 수행해 왔으며 그 특성상 환경적 제약 또는 프로젝트의 성격에 따라 운전계획을 구성하는 주요 Factor들에 대하여 개별적, 주관적으로 적용하여 왔다.

따라서 (주)로템에서 수행하고 있는 운전계획에 대한 일반적인 접근 방법과 주요 Factor들에 대한 적용현황 등을 함께 검토, 협의함으로써 향후 운전계획을 수립하는데 있어서 정확성을 개선하는 기회를 갖고자 한다.

---

\* (주)로템, 주임연구원

\*\* (주)로템, 책임연구원

\*\*\* (주)로템, 수석연구원

## 2. 운전계획 수립 Flow

운전계획을 수립하는 일반적인 흐름도는 아래 그림 1과 같다.

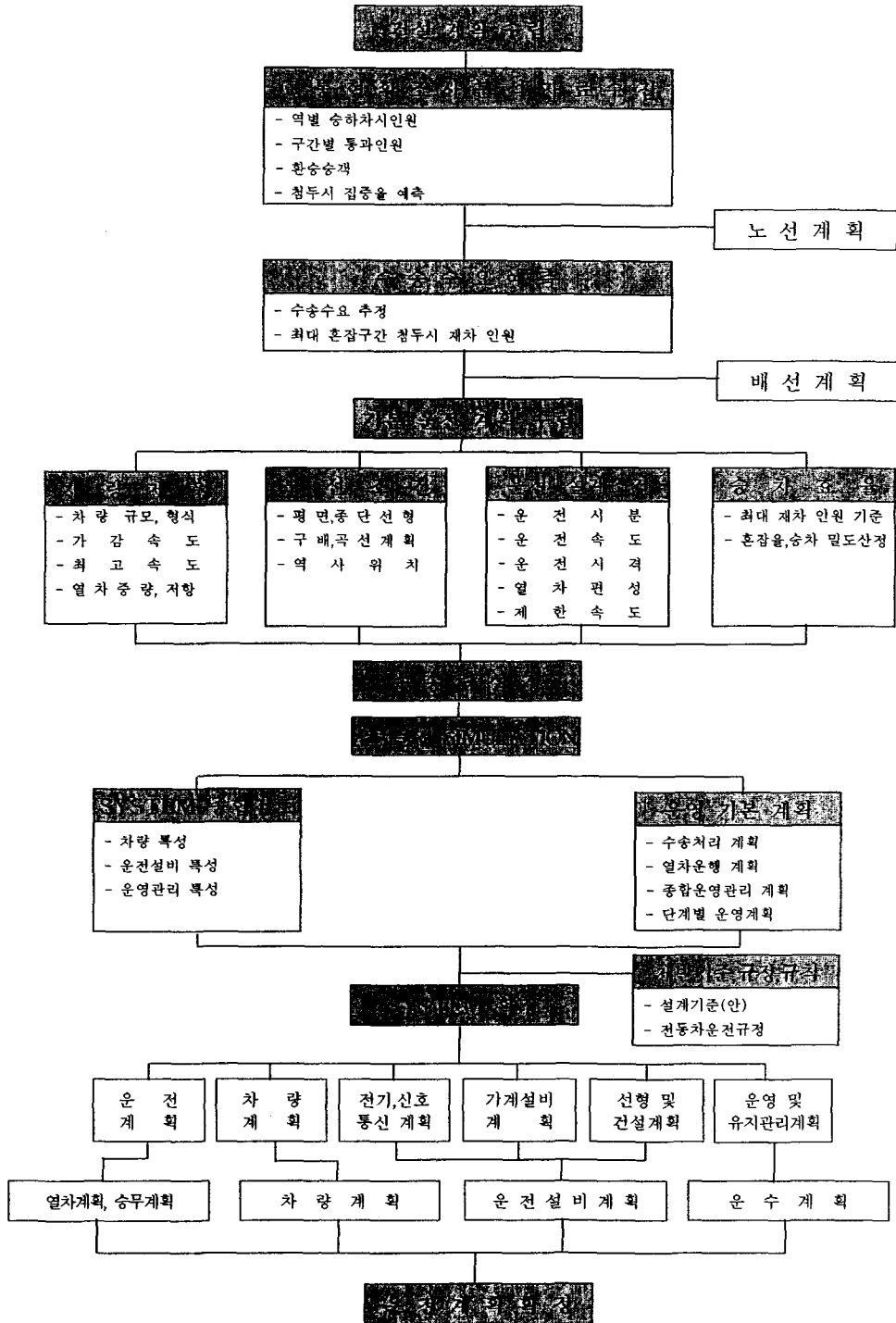


그림1 <운전계획 수립 흐름도>

### 3. 운전계획

#### 3.1 기본계획 검토

타 시스템과의 인터페이스 및 기본운전계획 수립을 위해 중요 시스템에 대한 기본계획 및 시스템 방식을 검토하고 잘못된 부분 또는 수정을 요하는 부분에 대해 보완조치 한다.

표1. 기본계획 검토 내용

구 분	검 토 내 용	비 고
노선계획	노선현황 (환승, 역간거리 등) 노선조건 (구배, 곡선 등)	
배선계획	정거장 형식 (섬식, 상대식) 회차선 (장소, 종류) 분기기 (종류, 방향, 규격 등) 유치선, 부분선 등 설계기준 (스택, 캔트 등)	
운전방식	무인운전 (Unmanned, Driverless) 유인운전 (1인운전, 2인운전) 운전모드 열차운행제어 (TTC/CTC/Local) 열차운행방법 (정거장 출발/주행/정차)	
차량시스템	규모 (중량전철, 경량전철) 계원 (크기, M/T비, 중량 등) 승객정원 및 좌석형태 기본성능 (속도, 가감속)	
신호시스템	신호방식 (지상신호, 차상신호) 폐색방식 (고정폐색, 차상폐색, 이동폐색)	
통신시스템	통신방식 (유무선, Data) 역무자동화 방식 경영정보시스템	
전기공급방식	급전방식 (AD, DC) 전차선방식 (제3궤조, Catenary, 강체전차선)	

#### 3.2 수송계획 수립

목표연도별 수송수요를 기준으로 구간 최대 승차인원을 충족할 수 있도록 운전시격과 혼잡을 및 차량 편성량수를 검토하여 수송계획을 수립한다.

##### 3.2.1 수송수요 분석

- 목표연도별/역별/방향별
- 계절별/요일별/시간대별
- 1일/오전첨두/오후첨두
- 환승/승하차/재차

### 3.2.2 영업시간 설정

영업시간은 승객 이용편의, 열차 운행효율, 열차의 안전운행을 위한 시설 및 장비의 점검과 유지보수시간을 고려하여 설정한다.

- 시작/종료
- 혼잡시간 (오전,오후)
- 평일/공휴일/축제일

### 3.2.3 혼잡율 및 입석 승객 밀도 검토

#### 1) 혼잡율

혼잡율은 차량정원에 대한 탑승인원의 비율이며 승객편의성 및 열차의 안전과 정시운행을 고려하여 설정한다.

$$\text{혼잡율} = \frac{\text{탑승인원(좌석인원+입석인원)}}{\text{차량정원(좌석인원+입석정원)}}$$

표2. 국내·외 지하철 혼잡율 기준

구 분	혼잡율(%)	비 고
서울시 1기 지하철(1~4호선)	240	입석정원 기준 : 0.35㎡/인
서울시 2기 지하철(5~8호선)	200	
서울시 3기 지하철(9호선)	150	
지방도시철도	200	
(부산1,2호선,대구1호선,인천1호선)		
일본 동경 시내 전철	200	

표3. 혼잡율에 따른 입석승객밀도 비교

혼잡율(%)	입석 승객 밀도(인/㎡)		비 고
	대형전철	중형전철	
100	2.9	2.9	
150	5.0	5.3	
200	7.2	7.6	
240	9.0	9.5	
270	10.3	10.9	
300	11.6	12.3	
350	13.7	14.7	

#### 2) 입석 승객 밀도

입석승객 밀도는 차량내 좌석 면적을 제외한 입석 바닥면적에 탑승한 승객의 수를 나타내며 차량내 혼잡도를 가늠하는 실제적인 기준치이다.

$$\text{입석승객밀도} = \frac{\text{입석인원}}{\text{입석바닥면적}}$$

표4. 국내외 입석승객밀도 적용현황(수송력 기준)

구 분		입석승객밀도(인/m <sup>2</sup> )	비 고
도시철도	서울시 2기 지하철	7.2	
	지방도시철도(부산,대구,인천)	7.6	
	서울시 9호선	5	
경전철	코펜하겐(덴)	4	
	마닐라(필)	7	
	하남/김해/의정부	6	
Tram	암스텔담(네)	4	
	스톡홀름(스)	4	
	헤이그(네)	4.5	
	비엔나(오)	5	
	몬테레이(멕)	6	

### 3.2.4 수송력 설정

- 입석 승객 밀도 기준
- 차량좌석 형태 및 정원
- 혼잡율 기준
- 운전시각에 따른 시간당 수송력

### 3.3 운전계획 수립

철도노선 건설의 기본적인 사명은 승객을 목적지까지 안전, 신속, 정확, 쾌적하고 안락하게 수송하는데 있으며, 열차 운전계획의 적정여부는 도시철도 경영에 직결되는 문제이므로 수송업무의 증추적인 운전업무는 열차 안전운행이라는 기반위에 능률적이고 경제적인 운전 계획이 수립되어야 한다.

#### 3.3.1 기본운전 성능 결정

##### 1) 열차편성

기본편성 및 고정편성/가변편성 여부 결정

##### 2) 속도

역간거리, 승차감 및 열차운전의 안전확보 등을 감안하여 차량 설계 최고속도 및 운전 최고속도 설정

##### 3) 가감속도

입석승객에 따른 승차감을 고려하여 최대 가감속도 설정

##### 4) 표정속도

승객의 여행시간, 승차감, 차량소요 에너지 등 다각적인 검토를 통하여 운전시물레이션을 실시, 표정속도 설정

$$\text{표정속도(km/h)} = \frac{\text{총주행거리(km)}}{\text{정차시분을포함한총주행시간(h)}}$$

### 5) 정차시분

표정속도를 향상시키며 짧은 운전시격으로 효율적인 운전을 하기 위해서는 정거장 정차시분이 짧을수록 유리하지만, 정거장 정차시분은 승객의 승하차 시간에 따라 결정되므로 승객의 편의성을 고려하여 결정해야 한다.

도시철도 구간에서 정차시간(Td)은 다음식으로 산출한다.

$$\text{정차시분} = \frac{P1 + P2}{(60/Th) \times n \times N \times F \times Q} + (\text{출입문 개폐시간}) + (\text{여유시간})$$

- |  |                  |
|--|------------------|
| P1 : 시간당 승차인원                            | P2 : 시간당 하차인원    |
| Th : 최소운전시격(분)                           | 60/Th : 시간당 열차회수 |
| n : 편성량수                                 | N : 차량의 출입문수     |
| F : 초당 승하차 인원, 예) 홍콩 1.18인/초, 일본 1.43인/초 |                  |
| Q : 불균등 Factor                           |                  |

### 3.3.2 운전 시물레이션

기본계획 선로의 구배, 곡선, 정거장간 거리 등을 기본으로 하여 선로의 구배 및 곡선반경 등에 대한 속도 제한조건을 설정하고 운행될 전동차의 성능 및 특성 등의 자료를 입력하여 전동차 운전 시물레이션을 실시한다.

#### 1) 운전선도

운전선도는 정상운전시 전동차 성능, 열차저항 및 운전 조건 등을 역학적 관계로 계산하여 작성한 열차의 위치(거리), 속도, 시간을 도시한 것이다.

운전선도는 열차 다이어의 기초가 되는 운전시간 산출을 시작으로 하여 차량성능, 동력소비량, 설비개량, 새로운 노선 건설 등의 검토에 폭 넓게 이용되고 있다.

#### 2) 표정속도 및 운전시분

각 정거장간의 표정속도 및 운전시분이 산출되면 영업운행에 적합한지 실제 노선에서 4~5회 시운전을 실시한 후 열차 지연시간 등 여유시분을 고려하여 적정 운전시분 및 운행속도를 결정한다.

일반적으로 운전시분은 열차가 주행할 수 있는 최소시간에서(All-Out 주행) 기기오차, 승객편의성 및 회복여유 등을 고려하여 여유시간을 포함시켜(Coasting 주행) 결정한다.

### 3.3.3 열차 운행계획

#### 1) 시간대별 운행회수

열차의 시간대별 운행회수는 승객의 원활한 수송을 위해 무엇보다도 수송수요와 비례하여야 하며, 승객수요가 적은 비혼잡시에도 승객의 편의성을 고려하여 일정간격의 운행이 되도록 계획한다.

#### 2) 구간운전계획

영업연장이 길 경우 승객수요의 편차에 따른 운행의 비효율성을 제거하고 차량 소요편성수의 감소에 따른 경제적 운영을 도모하기 위한 구간운전(중간회차)계획 검토

3) 완·급행 운행

승객의 편의성 및 신속한 이동을 도모하기 위한 완·급행 혼용운행 계획 검토

- 대피선 설치 계획
- 운행패턴 및 운행시각 검토

4) 회차계획

운전시각 단축 및 차량편성수 감소를 위한 효율적 회차계획 검토

\* 회차시분 산출시 고려사항

- 승객 승·하차 시간
- 정거장 출발후 분기기를 통과하여 회차선 정차지점까지 운행시간
- 운전실 전환을 위한 기기조작 및 운전자 이동시간
- 회차선 정차지점에서 정거장 출발홈까지 운행시간

5) 유치 및 주박계획

차량기지 설치개소 및 노선연장에 따라 영업개시 시간인 아침 05:00 또는 05:30 출고에 따른 운행상의 사구간을 없애고 차량기지 규모의 최적화를 도모하기 위한 본선 및 종점역 등에 차량 주박 계획 검토 및 이로 인한 차량기지 유치계획 검토

6) 전동차 소요편성 및 차량수

- 소요차량수 산정

$$N = \frac{(T+t) \times 2}{P}$$

N : 운용편성수

T : 표정시분(분)

t : 회차시분(분)

P : 최소운전시각(분)

$$Nt = (N + (N \times a)) \times C$$

Nt : 총소요차량수 (량)

N : 운용 편성수 (편성)

a : 예비율(%)

C : 편성당 량수(량)

- 예비율 산정

예비율은 보통 운용편성수의 10~15%가 적정선이며, 예비편성 보유율이 과대하면 투자비의 증대, 운용효율이 저하되고 과소하면 원활한 영업운전에 지장이 있다.

7) 운행도표 (Train Diagram)

열차 운행도표는 열차의 이동 상태를 시간과 거리의 관계로 도표화한 것이며 통상 종축에 거리(정차장 위치 표시), 횡축에 시간을 잡고 열차의 궤적을 선으로 표시한 것이다. 열차 운행도표는 열차를 안전, 정확하게 운전할 수 있도록 계획하는 기본이 되며 이용객의 편의를 도모하는 열차 시각표의 기본이 된다. 또한 시각 개정 등의 계획이나 일상의 운전정리에도 이용하며 차량, 요원, 설비 및 자재 등의 모든 계획도 열차 운행도표를 기본으로 하여 계획한다.

- 열차 운행도표의 종류
  - 1시간 단위 열차운행도표
  - 10분 단위 열차운행도표
  - 2분 단위 열차운행도표
  - 1분 단위 열차운행도표

#### 4. 결론

지금까지의 철도산업 관련 운전계획은 노선 및 선형계획에 따라 종속적으로 수행되어 왔으며 특히 실제 운영기관과 계획에 참여한 기관이 서로 상이하기 때문에 관련 연관성 없이 프로젝트에 참여한 엔지니어링사에 의해 각기 개별적으로 수행되어 왔다.

또한 중요 Key factor에 대해서도 각자의 독자적인 판단 또는 외국사나 드물게는 시행청에 의해 요구된 조건으로 case by case별로 적용되어 왔다.

그러나 현재 수행되고 있는 대형 철도사업은 거의 대부분 민자사업으로 추진되고 있으며 이에 따라 운영도 10년~30년 동안 민간기업에 위탁될 예정으로 있다.

따라서 운전 및 운영분야에 있어서도 현재까지의 계획대로 운영따로가 있을 수 없으며 사업초기부터 편의성, 공익성 뿐만 아니라 사업성까지를 전반적으로 종합검토 및 분석 후 최적안을 도출하여야 하는 당위성이 대두되고 있다.

이것을 위해서는 운전 및 운영 분야가 종속변수로서가 아니라 독립변수로서 또는 기본요구조건으로서 기능을 수행해야 하며, Key factor에 대한 검토뿐만 아니라 철도산업의 발전을 위한 제반요소를 심층 검토하고, 승객의 편의성 및 사업성을 고려한 운영상의 기본요구조건을 초기부터 설정함으로써 사업의 성공적인 수행과 운전/운영 분야에서의 발전을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 한국철도차량주식회사(2001), "서울지하철 9호선 기본설계보고서(운전·운영)", 서울특별시 지하철 건설본부
2. Bombardier(2000), "김해 경전철 사업제안서"
3. 홍콩 MTRC(1999), "인천국제공항철도 운영분야 검토보고서", 인천국제공항철도주식회사
4. 대우엔지니어링주식회사(1998), "인천도시철도 2호선 기본설계보고서(운전)", 인천광역시 지하철 건설본부
5. 주식회사 유신설계공단(1995), "대전도시철도 1호선 기본설계보고서(운전·운영)", 대전광역시 지하철 기획단
6. 주식회사 유신설계공단(1993), "서울지하철 6호선 기본설계보고서(운전·운영)", 서울특별시 지하철 건설본부
7. 대한엔지니어링주식회사(1991), "서울지하철 8호선 기본설계보고서(운전·운영)", 서울특별시 지하철 건설본부
8. ALSTOM(1993), "Reference data for make-up in train simulation"