

폐색구간 설계 프로그램 개발

류상환[○], 신형섭
한국고속철도건설공단 전기연구소

Development of Block Section Division Program

Sang-Hwan Ryu, Hyung-Sup Shin
Korea High Speed Rail Construction Authority Electrical Research Office

Abstract - Increasing the transportation efficiency is very important issue in railway system. Speed-up of train and shortage of headway can be its solution. Headway can vary with blocksection length, characteristics of the railway and signalling systems. Safety braking distance needed for passenger's safety is very important factor in block section division method. In this study, basic block section division program was developed with the differential ratio of braking distance resulted by grade value of the track. More complete block section division program is going to be developed by the help of experienced experts.

1. 서 론

일반적으로 시스템의 설계에 있어서 추구해야 할 목표는 두 가지 상반된 측면이 있는데 하나는 안전성이고 또 하나는 효율성이다. 안전성을 확보하기 위해서는 설비의 운전용 통제하는 여러가지 장치가 부가되어야 하는데 그 장치들은 설비의 기능을 증대시키기 보다는 억제하는 편으로 작용하기 때문에 효율성을 떨어뜨리는 경향이 있다. 반대로 효율성에 치중하다 보면 오동작의 확률이 높아져서 사고를 유발하기 쉽다. 이 두가지 측면 사이의 상대적인 비중은 시스템의 용도에 따라 달라진다. 결론적으로 설계자는 이 두가지 측면이 잘 조화를 이루도록 목표를 설정해야 한다.

철도 신호 설비의 설계에 있어서도 안전성에 최우선의 비중을 두기 때문에 과거부터 잘 확립된 기술에 집착하고 새로운 기술의 개발 및 적용을 회피하는 경향을 가지고 있다. 특히 안전과 관련된 하드웨어의 경우는 이러한 보수적인 경향이 더 두드러지게 나타난다. 그러나 철도 분야에 오랜 전통을 가지고 있는 유럽의 여러나라에서는 20년 전부터 컴퓨터를 이용한 분석을 설계에 활용하고 있으며 최근에는 발전된 컴퓨터 기술을 이용하여 하드웨어 부품까지 대체해가고 있는 상태이다.

폐색구간의 설계에 있어서도 앞에서 언급한 두가지의 상반된 측면이 존재하는데 열차의 운행에 대한 정확한 분석이 가능하지 않은 상태에서는 모든 폐색구간의 길이를 최안전적인 기준에 의해 '충분한 정도'로 설정해야 한다. 이러한 방식은 열차의 주행 특성이나 선로의 구배를 고려치 않았기 때문에 열차 운행의 효율성을 제대로 살릴 수 없게 된다. 한편 신호 구배를 고려하여 열차

가 주행하는 상황을 시뮬레이션한 후 이 결과를 근거로 폐색구간의 길이를 정한다면 안전성을 '필요한 만큼' 확보하는 범위 내에서 효율성을 극대화할 수 있을 것이다.

본 연구는 철도 신호 설비에서 안전 운전을 보장하는 중요한 요소인 폐색구간의 설계를 정확하게 수행하는데 도움을 줄 수 있는 도구를 개발하기 위해 시작되었다. 폐색구간의 길이를 결정하는 중요한 요소 중의 하나는 열차의 제동거리인데 프랑스 TGV에서 사용하고 있는 방식은 제동거리를 선로의 구배에 대한 함수로 계산하고 있다. 여기서도 이 방식을 사용하였는데 연구 결과 앞으로 더 우수한 방식을 개발할 수 있는 가능성도 발견하였다.

TGV나 경부고속철도의 경우 폐색구간의 길이를 평균적으로 1500 m 정도로 정하고 있는데 서울-부산 간의 거리가 430 km 이므로 약 300개 정도의 폐색구간을 설정하여야 한다. 이것을 수작업으로 실시하려면 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 선로의 구배를 고려하기란 거의 불가능하다.

이 보고서는 첫 단계의 연구결과를 정리한 것으로 폐색구간의 길이를 결정하는 부분에 대한 프로그램 개발내용을 설명하고 있으며 역이나 중간전선점 등의 특수 개소를 처리하는 기법에 대하여 앞으로 다음 단계의 연구를 수행할 예정이다.

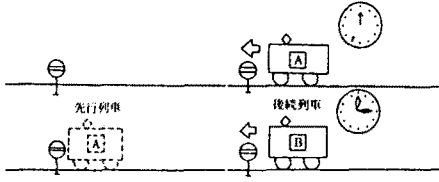
2. 폐색구간의 분할

2.1 폐색의 개요

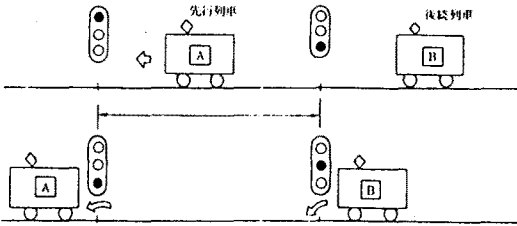
동일 신호상을 운행하는 열차의 충돌 또는 추돌을 방지하기 위하여 역간의 신호를 1개 혹은 여러개의 구간으로 구분하고 구역마다에 열차의 존재를 감지하여 1개 구간에 대하여 1개 열차만 들어갈 수 있도록 하는 것을 폐색(block)이라 하고 폐색을 행하는 단위 구간을 폐색구간(block section)이라 한다. 또한 이러한 목적으로 설치된 장치를 폐색장치라고 부른다. 폐색구간의 길이는 열차운전속도, 운전비도, 신호상태 등에 따라 정해진다. 열차의 운행에 제약에 있어서 안전을 유지하기 위해 가장 기본이 되는 전제조건은 선행열차와 후속열차 둘 사이의 간격을 유지하는 것이다. 이 전제조건을 실현하기 위해 과거부터 여러 가지 신호보안 기술이 개발 적용되어 왔다.

2.2 폐색을 확보하는 방법

□ 시간간격법



□ 공간간격법



2.3 폐색구간 길이의 결정

폐색구간의 길이를 결정하는데 있어서 고려해야 할 요인으로는 여러가지가 존재할 수 있으나 특히 제동거리 및 신호의 측면에서 다음과 같은 점들을 고려해서 결정해야 한다.

- 구배 및 선로의 곡선 등과 관련한 선로의 물리적인 특성
- 열차의 제동성능 및 열차의 주행지향 등 제동거리와 관련한 차량의 특성
- 각구간에서의 속도제어가 가장 최적으로 될 수 있도록 해야 하는 점

이외에도 ATC 장치의 측면에서 보면 ATC 신호의 각 속도 (300 → 270 → 230 → 170 → 0) 단계별에서 감속하는데 소요되는 거리중 가장 제동거리가 긴 구간을 선택하여 공주거리와 여유거리를 합한 값 이상으로 폐색구간의 길이를 결정해야 한다.

2.4 구배에 따른 폐색구간 길이 계산식

위의 폐색구간길이 결정요인 중에서 특히 고려해야 할 요인으로는 선로상의 구배라고 할 수 있는데, 평탄선로에서의 1 폐색구간의 길이가 정해졌을 때 어떤 구배에서의 1 폐색구간의 길이는 평탄선로에서의 길이를 기준으로 일반적으로 다음과 같은 식으로 구해질 수 있다.

$$D = \frac{D_0}{1 + p*i} \quad \text{--- ①}$$

where D_0 : length on a level line

i : gradient in %

→ positive in case of up-grade

→ negative in case of down-grade

p : coefficient

2.5 계수 p 의 계산

TVM430 ATC 시스템에서 300 km/h 의 속도로 열차가 주행하고 있을때 감속신호를 받아서 실제로 감속이 시작될때까지의 공

주시간을 다음의 요인들로 부터 구할 수 있다.

궤도로부터 전송된 정보를 차상장치가 인식하기까지의 시간 ≈ 2.5 sec

운전자가 인식하여 brake를 동작하기까지의 시간 ≈ 6 sec

실제 brake가 작동되기까지의 시간 ≈ 2 sec

이들을 다 합해보면 공주시간은 약 10.5 sec 가 되고 이를 이용하여 공주거리 D_0 를 구해보면

$$D_0 = (300 * 10.5 * 1000) / 3600 = 875 \text{ m}$$

여기서 여유거리를 포함하여 공주거리는 약 900 m 가 된다.

300 km/h 로 주행하고 있는 열차가 지상으로부터의 속도신호를 받아서 완전히 정지하기 까지는 4 개의 속도신호 (270 → 230 → 170 → 0) 를 받게 된다. 즉 4 개의 폐색구간에 걸쳐 감속을 행하게 된다. 그런데 TVM430 시스템에서는 속도신호가 300 flashing 하는 폐색구간(이 폐색구간을 early warning block section 이라 부름) 에서부터 감속을 시작하게 된다. 1 폐색구간의 길이를 평탄구배의 궤도에서 1500 m 라 가정하면, 공주거리를 고려한 열차의 총제동거리는 다음으로 구할 수 있게 된다.

$$5 * 1 \text{ block section length}(=1500) - 900 = 6600 \text{ m}$$

위의 식을 공식화시켜 보면

$$5 * D - 900 = D_b \quad \text{--- ②}$$

$$D = (D_b + 900) / 5$$

where D = 1 block section length

D_b = Brake Distance

주어진 구배에서의 열차의 제동거리는 열차의 제동특성자료를 근거로 계산될 수 있다. ① 식과 ② 식을 검토해보면, 해당구배에서의 제동거리를 안다면 그 구배에 맞는 계수 p 값을 구할 수 있다는 것을 알 수 있다. 즉 다음과 같이 p 값을 구할 수 있다.

$$\frac{D_b + 900}{5} = \frac{D_0}{1 + p*i}$$

$$(D_b + 900) * (1 + p*i) = 5 * D_0$$

$$(1 + p*i) = \frac{5 * D_0}{(D_b + 900)}$$

$$p*i = \frac{5 * D_0}{(D_b + 900)} - 1 = \frac{5 * D_0 - (D_b + 900)}{(D_b + 900)}$$

$$p = \frac{5 * D_0 - (D_b + 900)}{i * (D_b + 900)}$$

where D_0 : length on a level line

i : gradient in %

→ positive in case of up-grade

→ negative in case of down-grade

D_b : Brake Distance in i gradient

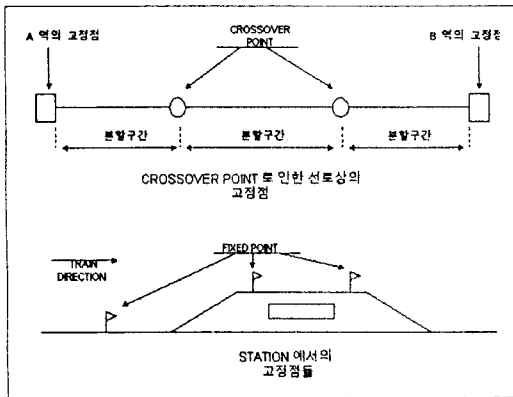
p : coefficient in i gradient

본 프로그램에서는 p 의 값을 상구배와 하구배에 따라서 각각 1 개의 대표값을 사용해서 폐색구간을 분할하였다. 그 값은 다음과 같다.

- FRANCE => 상구배 : 8 , 하구배 : 15
- KOREA => 상구배 : 17.89 , 하구배 : 17.89

2.6 폐색구간 분할과정

폐색구간 분할과정은 크게 3 개의 과정으로 나눌 수 있다. 첫째는 1 차분할 과정으로 이는 주어진 선로상에서 구배값을 가지고 각각의 고정점들간을 위의 폐색구간 분할식을 이용하여 분할해가는 과정이다. 두번째는 배분과정으로 이는 각 고정점들간을 분할하다 보면 마지막 폐색구간이 완전하게 분할되지 못하게 되는데 이를 이전의 폐색구간들로 배분하는 과정이다. 마지막으로 검토 및 확정 단계로서 위의 과정으로 분할된 폐색구간들에 대해서 운전시각등 여러가지의 측면에서 검토해보고 이의 결과를 가지고 각 폐색구간을 확정하는 단계이다. 다음은 상세한 분할과정에 대한 설명이다.



위그림에 있는 선로상의 고정점들에 대해 다음의 3 단계로 폐색구간을 분할하게 된다.

1 차 분할

- 역부근은 track 의 배선에 따라 고정된 구간으로 간주한다.
- 중간전념선은 고정된 지점으로 간주한다.
- 역과역 사이 혹은 역과 중간전념선 등 고정된 구간이나 지점사이에 대해 위의 폐색구간 길이 계산식에 따라 폐색구간을 분할해 간다.
- 분할방법을 요약해보면, 만약 동인구배가 계산식에서 구한 기준값보다 길경우는 그 기준값을 폐색구간길이로 하고, 만약 동일구배가 계산식에서 구한 길이보다 짧을 경우에는 그것의 비율을 구해서 그 비율들의 합이 100 % 가 될때까지 그 과정을 반복해서 수행하여 폐색구간을 구하게 된다.

배분 및 조정

2 단계로 배분 및 조정의 단계가 있는데 이에 크게 3 가지의 방법이 있을 수 있다. 각 방법이 장단점을 갖고 있으므로 어느 방법을 선택하는 것이 가장 최적인가는 경험있는 전문가의 조언 및 상황에 따라 결정되어 지야 할 것이다.

- "고정점 자체를 이동시키는 방법" 으로서 track 의 layout 을 변경해야 하는 단점이 있다.
- "최종의 불완전한 폐색구간의 길이를 이전의 폐색구간들로

배분하는 방식" 으로서 이는 운전시각에 영향을 주는 단점이 있다.
 - "하구배 전에서 최고속도를 줄이는 방법" 으로서 이는 전체주행시간이 증가하는 단점이 있다.

검토 및 확정

3. 프로그램

3.1 PROGRAM 의 특징

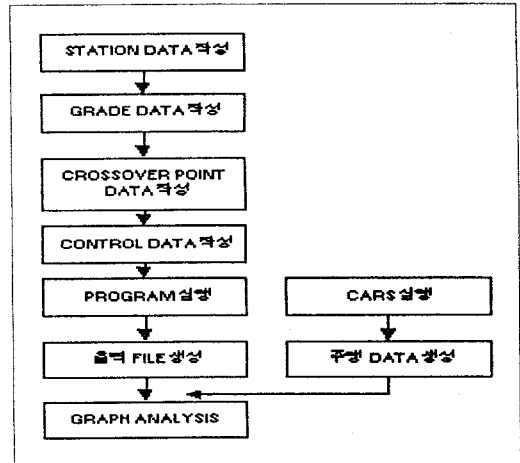
- pulldown menu 방식으로 이루어져 있으므로 사용자가 특별한 훈련없이 menu 를 선택하고 해당작업을 수행할 수 있게 되어 있다.
- screen editing 방식으로 각종 데이터의 수정 및 편집이 용이하다.
- master file을 통하여 모든 필요한 입력데이터를 loading 함으로서 한번에 모든 필요한 데이터를 입력할 수 있다.
- 각각의 입출력 데이터를 file 처리화 함으로써 관련된 입력들의 변경에 의한 프로그램의 수행시에도 간단히 행할 수 있다.

3.2 PROGRAM 의 구성

프로그램의 구성은 크게 3 가지의 부분으로 나뉘어져 있으며 각 부의 주요기능은 다음과 같다.

- 데이터입력부 : 필요한 데이터 입력작업
- 프로그램 실행부 : 프로그램실행
- graph 출력부 : 출력 데이터 graph 해석

3.3 OVERALL FLOW DIAGRAM



3.4 MENU 구성

메뉴는 크게 4 개로 나눌수 있으며 각각에 대한 부메뉴는 다음과 같다.

SYSTEM

- . FILE
- . DOS SHELL
- . EXIT

□. DATA

- . CONTROL
- . STATION
- . GRADE
- . CROSSOVER POINT

□. RUN

□. OUTPUT (graph analysis)

. 거리 vs 구배의 상태

. 일정 시간에서의 선행열차와 후속열차와의 거리

. 일정 거리에서의 선행열차와 후속열차와의 시간간격

사용자의 편의를 위해 cursor 를 이용하여 각폐색구간마다 선행열차와 후속열차간의 거리 등 여러가지의 정보를 볼 수 있도록 하였다.

다음은 출력 graph 의 예이다

3.5 프로그램실행

위의 모든 데이터들에 대한 입력이 끝나면 프로그램을 실행시키게 된다. 프로그램실행에서는 주어진 입력데이터를 가지고 중간 file 과 출력 graph 에 필요한 출력 file 을 생성하고 각각의 고정점들에 대해서 폐색구간을 분할하게 된다.

□. 중간출력 FILE

폐색구간 분할과정에서 사용된 각종 중간계산값들의 file 하 다음표는 중간 file 의 예이다.

No	KILO	GRD	REF	LEN	F	F%	1-F	LACK	BSL	BKIL0
	km	%	m	m	m	%	%	m	m	km
0	97.10	0.0	1500	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	97.100
1	97.30	0.0	1500	200.0	200.0	0.13	0.86	1102.7	1302.7	98.403
2	99.52	10.0	1272	2220.0	1117.3	0.87	0.12	249.9	1367.2	99.770
3	101.00	-15.0	2050	1480.0	1230.1	0.60	0.40	600.0	1830.1	101.600
4	103.00	0.0	1500	2000.0	1400.0	0.93	0.06	87.5	1487.5	103.087
5	104.40	8.0	1312	1399.7	1312.2	1.00	0.00	0.0	1312.2	104.400
6	105.71	8.0	1312	1312.2	1312.2	1.00	0.00	0.0	1312.2	105.712
7	106.00	8.0	1312	288.1	288.1	0.21	0.78	978.1	1266.3	106.978
8	108.23	11.0	1253	2231.5	1253.3	1.00	0.00	0.0	1253.4	108.231
9	109.48	11.0	1253	1253.3	1253.3	1.00	0.00	0.0	1253.4	109.485
10	110.34	11.0	1253	899.2	899.2	0.71	0.28	494.7	1393.9	110.879

□. 출력 DATA FILE

프로그램실행 후에 만들어지는 file 로서 다음과 같은 정보가 들어있다.

. 폐색구간번호, KILO 정, 각 폐색구간의 길이

다음표는 출력 file 의 예이다.

BN0	KILOPOST	LENGTH
0	0.00	0.00
1	1500.00	1500.00
2	3000.00	1500.00
3	4545.00	1544.70
4	5901.00	1356.50
5	7006.00	1104.70
6	8680.00	1673.70
7	10616.00	1936.60
8	10800.00	183.70

3.6 출력 GRAPH

위에서 얻어진 출력 file 과 CARS program 의 P-file 에서 얻어진 선행열차와 후속열차의 주행에 관련된 데이터들을 가지고 출력에 대한 graph 를 그리게 되는데 이 graph 에는 다음과 같은 정보들이 존재하게 된다.

- . 선행열차와 후속열차의 거리 vs 시간
- . 선행열차와 후속열차의 거리 vs 속도
- . 거리 vs 폐색구간 등 TRACK LAYOUT 상태



출력 graph 화면 그림

4. 결론

4.1 결과요약

본 연구에서는 선로상의 구배값에 따른 식을 세워서 기준이 되는 고정점들을 가지고 폐색구간을 분할하는 프로그램을 작성하였다. 출력은 FILE 로 만들어 지나 사용자의 편리성 및 해석을 돕기 위하여 graphic 으로 보여준다. 사용자는 graphic 화면에서 cursor 를 이용하여 필요한 구간에 대한 정보를 손쉽게 얻을 수 있으며, 또한 입력데이터의 수정 및 편집이 용이해 입력조건 변화에도 쉽게 시뮬레이션 해볼 수 있으므로 최적의 폐색구간분할을 행할 수 있을 것이다. 현재까지의 프로그램은 분할과정만 되어 있으며, 앞으로의 2 차 개발에서는 적절한 배분방식을 고안하는 작업이 이루어져야 할것이다. 또한 2 대의 열차가 주행함에 있어서, 후속열차는 신호측면에서의 속도제한 문제등을 고려하여 열차주행을 시켜야 하는데 현재 이 프로그램에서는 그런 문제가 고려되지 않았으며, 앞으로 이에대한 개선도 이루어져야 할것이다.

4.2 향후 연구과제

- . 적절한 배분방식의 고안
- . 신호체계를 고려한 열차 주행 curve 의 생성
- . 위의 이론적인 분할을 보완해줄 수 있는 경험있는 전문가의 조언으로 좀 더 실제적이고 선로용량을 최대화할 수 있는 폐색분할기법의 개발