

열차성능시뮬레이터 프로그램 개발

안태기, 김명룡, 한성호, 김원경
한국철도기술연구원

Development of Train Performance Simulator Program

An Tae ki, Kim Myoung yong, Han Seong ho, Kim Won kyoung

Abstract - The TPS accepts as input, vehicle parameters, control parameters, station parameters and right-of-way profile. Outputs of TPS program include velocity, elapsed time and power profiles.

This paper represents how to develop the TPS program. The TPS program simulates the operation of a single train under the input conditions.

1. 서 론

노선을 따라 운행하는 열차는 트랙정보, 차량조건, 운전조건 등에 따라 여러 가지 형태의 운행이 가능하다. 이러한 다양한 조건을 이용하여 주어진 사양을 만족하는 최적화된 운행형태를 찾아내는 것은 쉬운일이 아니다. 특히 실제 구성된 열차를 이용하여 이러한 실험을 직접 한다는 것은 사실상 불가능하다.

TPS(Train Performance Simulator)는 다양한 조건에서의 열차운행을 컴퓨터를 이용하여 짧은 시간내에 실험함으로써 여러 가지 운행형태로 운행한 결과를 쉽게 얻을 수 있다. 또한 차량 각 부의 적정용량 산정 및 노선의 전기적 용량 및 수송 용량 등의 산정에 기본적인 자료를 제공한다. 그리고, TPS는 열차의 자동운전에 관련된 열차자동운전(ATO: Automatic Train Operation)장치 및 열차자동제어(ATC: Automatic Train Control)장치 등의 기본기술로 사용될 수 있다. 선진국의 열차제조업체에서는 이미 이러한 TPS시스템이 상당히 발전되어 있으며 이러한 기술을 여러분야에 이용하고 있다. 그러나, 국내에서는 아직까지 이러한 개발사례와 이용사례가 부족한 실정이다. 앞으로 선진 철도기술을 따라잡기 위해서는 이러한 기본기술이 필수적이며 많은 연구가 진행되어야 하는 부분이다.

현재 개발된 TPS 프로그램은 주어진 구간에 대해 열차의 운행을 컴퓨터를 이용하여 짧은 시간내에 쉽게 할 수 있도록 구성하였으며, 다양한 입력정보를 사용하여 여러 가지 운행형태에 따른 주행결과를 사용자가 쉽게 확인할 수 있도록 구성하였다. 또한 TPS 프로그램의 개발환경은 사용자의 편리성을 고려하여 윈도우즈 환경을 채택하고, 각종 입력조건에 따른 출력을 간단한 문서형식과 그래픽 형식으로 할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 열차 운행 관계식

열차운행에 대한 기본적인 수식은 식(1), (2)와 같다.

$$v = \frac{dx}{dt} \tag{1}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} v \tag{2}$$

식(1)과 (2)는 직선운동에서의 위치, 속도 및 가속도에 대한 관계식을 나타낸 것이며, 가속도가 일정할 때 시간에 대한 속도 함수 $v(t)$ 와 거리 함수 $x(t)$ 는 식(3), (4)와 같다.

$$v(t) = at + v_0 \tag{3}$$

$$x(t) = \frac{1}{2} at^2 + v_0t + x_0 \tag{4}$$

그러나, 열차 운행시 저크한계(jerk limit)를 고려하게 되면 가속도가 시간의 함수로 변화하게 된다. 저크한계란 열차가 운행할 때 가속도의 변화율을 제한하는 것을 말하며, 이러한 제한은 승객의 쾌적한 승차감을 보장하게 된다. 즉, 가속도의 변화는 항상 저크한계 내에서 이루어지며, 실제 운행시에도 이러한 저크한계는 지켜져야 한다. 이 때 가속도는 시간의 함수로 표현되며, 식(5)와 같다.

$$a = f(t) = J_L t \tag{5}$$

J_L : jerk limit [m/sec³]

가속도가 시간의 함수로 표현될 때 시간에 대한 속도 함수 $v(t)$ 와 거리 함수 $x(t)$ 는 식(6), (7)과 같다.

$$v(t) = \frac{J_L}{2} t^2 + v_0 \tag{6}$$

$$x(t) = \frac{J_L}{6} t^3 + v_0t + x_0 \tag{7}$$

열차가 현재 상태에서 낼 수 있는 가속도는 모터의 견인력과 열차저항에 관계된다. 열차가 현재 상태에서 낼 수 있는 가속도는 유효 견인력을 동적질량(dynamic mass)으로 나눈 값이며, 식(9)와 같다.

$$a = \frac{F_E}{m} \tag{9}$$

F_E : 유효견인력 [kN]
 m : 동적질량 [tons]

동적 질량은 실제 질량에 관성 질량을 포함한 것이며, 유효견인력은 모터견인력에서 열차저항을 뺀 값으로 식(10)과 같다.

$$F_E = F_M - R_T \tag{10}$$

F_M : 모터견인력 [kN]
 R_T : 열차저항 [kN]

$$I_{M,R} = \frac{P_R}{\sqrt{3}V_{M,R}} \quad (22)$$

그리고, 역행과 제동시 RMS(root mean square) 전류값은 식(23)과 같다.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum i^2 \Delta t} \quad (23)$$

i : 역행 또는 제동시 순시전류값

2.3 TPS 프로그램 구현 및 결과

TPS는 각종 입력데이터를 입력받아 주어진 정보에 따라 운행한 결과를 요약문서형식과 그래픽형식으로 표현한다. TPS 입력데이터는 제어관련 데이터, 열차관련 데이터, 역관련 데이터, 구배관련 데이터, 곡선관련 데이터, 제한속도관련 데이터 등으로 구성되어 있다. 각 입력 파라미터는 사용자가 쉽게 입력 및 수정할 수 있도록 하였으며, 출력은 각 역 사이의 구간별 평균속도, 운행시간, 소비전력, 회생전력, 전류값 등의 값과 표정속도, 총소비전력, 총회생전력 등을 표현하는 문서형식의 요약출력과, 그래픽형식으로 표현된 시간, 속도, 제한속도, 구배, 전류 등을 나타낼 수 있게 하였다.

그림 1은 구현된 TPS에 대한 흐름도이다.

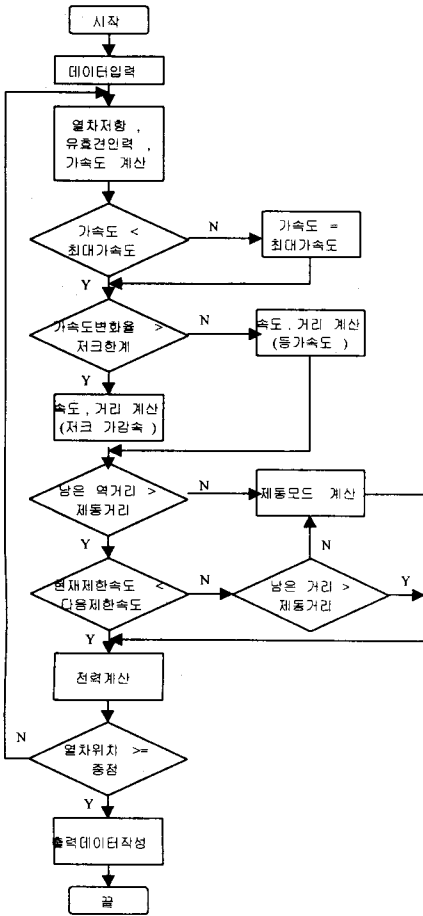
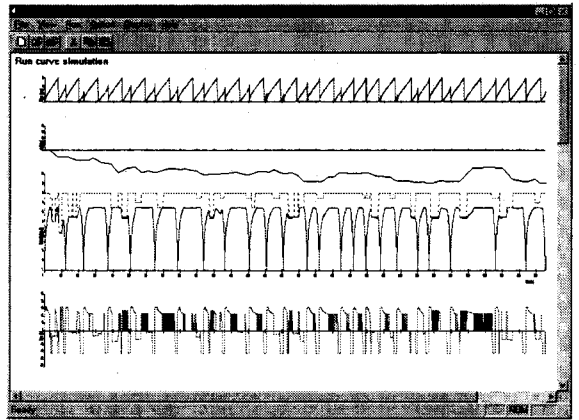


그림 1. TPS 흐름도

TPS는 입력데이터를 받아 현재 위치에서의 열차저항, 유효견인력, 가속도 등을 계산하고, 저크율을 고려한 속도, 진행거리 등을 계산한다. 그리고, 현재 위치에서의 제동거리와 제한속도정보 또는 다음 정차역까지 남은 거

리와 비교하여 추진 또는 제동모드를 선택한다. 진행된 거리와 속도, 가속도 등에 의해 현재 소비전력과 회생전력을 구한다. 이러한 과정은 정해진 종점까지 수행된다. 구현된 TPS 프로그램을 서울시 4호선 노선중에서 당고개역에서 사당역까지에 대해 적용해 보았으며, 그림 2는 그래픽형식의 결과와 문서형식의 TPS결과를 나타낸 것이다.



(a) 그래픽 형식의 TPS 결과

Station	Distance [km]	Speed [km/h]	Overall time [sec]	Run time [sec]	Notice Energy [kwh]	Recovery Energy [kwh]	TPS [A]
당고개	1.220	42.37	30.0	102.7	60.40	31.67	124.04
상계	1.040	43.87	30.0	85.3	48.87	19.53	115.60
노년	1.493	50.52	30.0	102.1	56.53	26.16	114.04
합동	1.350	47.85	30.0	101.6	60.30	33.15	120.37
우유	1.454	50.49	30.0	103.8	60.57	29.73	117.83
미아	1.351	49.35	30.0	98.6	75.04	16.94	124.46
미아상계	1.520	51.12	30.0	107.0	47.52	22.74	106.21
갈매	1.250	46.48	30.0	96.8	65.16	20.99	123.49
성신	1.430	50.42	30.0	102.1	53.96	18.30	111.89
해동	1.015	45.62	30.0	80.1	64.13	17.07	133.15
한성대	1.000	45.90	30.0	78.4	50.98	21.95	125.94
해동	1.415	47.04	30.0	100.3	48.48	37.72	134.41
당고개	0.702	40.91	30.0	61.8	46.80	16.46	139.53
당고개	1.278	48.32	30.0	95.2	87.32	14.79	130.78
충무로	0.720	41.45	30.0	62.5	42.57	16.89	135.95
명동	0.740	41.81	30.0	63.7	44.92	17.20	136.53
피현	0.850	41.15	30.0	74.4	35.64	18.76	133.35

(b) 문서 형식의 TPS 결과

그림 2. 서울시 4호선(당고개-사당) TPS 결과

3. 결 론

현재 개발된 TPS는 철도차량을 설계 또는 개발할 때 그리고, 노선을 설정할 때 가장 기본적인 프로그램으로써 그 활용방안은 대단히 광범위하다고 할 수 있다. 또한 앞으로 TPS와 연계하여 다중 열차 운전 시뮬레이터와 전력망구성 시뮬레이터 등을 개발하여 국내 철도 노선의 신설, 철도차량의 개발 등에 적극 이용할 수 있도록 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국고속철도건설공단, "차량 및 운전성능 프로그램 개발 연구", 1994.2.
- [2] GEC Alsthom, "Proposal Criteria and Requirement of DC 1500V / AC 25KV Dual Voltage cars", 1991.8.
- [3] Peter Pudney and Phil Howlett, "Optimal Driving Strategies for a Train Journey with Speed Limits", J.Austral.Math.Soc, B 36, pp38-49, 1994