

유전알고리즘을 이용한 철도차량 경제운전 모델 개발

Development of Economical Run Model for Electric Railway Vehicle using Genetic Algorithm

이태형, 박춘수, 최성훈, 김석원

경기도 의왕시 월암동 한국철도기술연구원 신뢰성평가팀
E-mail: thlee@krri.re.kr, cspark@krri.re.kr, schoi@krri.re.kr, swkim@krri.re.kr

요 약

본 논문은 철도차량이 주행하는 선로에 존재하는 수많은 곡선과 경사, 속도 제한 조건 때문에 열차성능해석 계산시 열차의 견인, 제동 특성이 비선형이기 때문에 해석적인 방법으로 해를 구하는데 어려움이 많은 경제운전 문제를 운행 시간 여유분을 고려하여 에너지 소비를 최소화하는 운전 모형을 제시한다. 경제운전모형을 한국형 고속열차에 적용하여 그 타당성을 입증하였다.

Key Words : Genetic algorithm, Fuzzy modeling, Economical run, High-speed train

1. 서 론

철도차량의 경제운전은 주행하는 선로에 존재하는 수많은 곡선과 경사, 속도 제한 조건 때문에 열차성능해석 계산시 열차의 견인, 제동 특성이 비선형이기 때문에 해석적인 방법으로 해를 구하는데 어려움이 많다[1~10].

퍼지모델은 시스템이 복잡하거나 정의하기 어렵고 불확실한 경우에 유용하게 사용할 수 있으며 명확한(crisp) 판단을 내릴 수 없는 명제를 대상으로 애매성(fuzziness)을 다룰 수 있다. 또한 퍼지모델은 인간이 다루기 쉬운 언어적인(linguistic) 모델로 표현이 가능하여 철도운영자가 에너지 소비를 저감하는 경제운전 전략을 수립하는데 도움을 줄 수 있다[11~12].

본 논문에서는 전기철도차량의 운행 시간 여유분을 고려하여 에너지 소비를 최소화하는 경제 운전 모형을 제시한다. 이를 위해 선행연구[13,14]를 통해 개발한 열차성능계산(Train Performance Simulation, TPS) 프로그램에 경제운전 기능을 추가하고 입력으로 경제최고속도와 타행끝점속도, 출력으로 주행시간과 소비 에너지 테이블 생성하고 유전알고리즘을 이용하여 경제주행패턴을 찾는 방안을 제시하였다. 경제운전모형을 한국형 고속열차에 적용하여 그 타당성을 입증하였다.

2. 경제 운전 모델

경제운전에서 에너지 저감은 속도의 최적선택에 의해 달성되며 문제는 주어진 주행시간 제약조건하에서 에너지 소비를 최소로 하는 경제최고속도와 타행끝점속도를 원소로 하는 속도 집합 $V_{speed} = \{V_{econospeed}, V_{coastspeed}\}$ 를 찾는 것으로 정식화한다. 따라서 에너지 저감에 대한 최적화문제로 식(1)과 같이 정식화할 수 있다. 여기서, T 는 주어진 운행시간, $V_{econospeed}$ 는 경제최고속도, $V_{coastspeed}$ 는 타행끝점속도이다.

$$\begin{aligned} \text{목적함수 최대화} &: E_{econosaving} \\ \text{제약조건} &: T_{econotrip} \leq T \quad (1) \\ \text{속도구하기} &: V_{speed} = \{V_{econospeed}, V_{coastspeed}\} \end{aligned}$$

주행시간은 에너지 소비에 반비례하므로 주행시간이 주어진다면 랜덤 탐색기법이 유효하겠지만 주행시간은 열차의 효율적인 운용을 위해 결정해야 하는 것이므로 격자탐색기법(grid search technique)을 사용하여 두 개의 입력, 경제최고속도, 타행 끝점속도($V_{econospeed}$)

$V_{coastspeed}$)를 사용하여 두 개의 출력, 주행시간과 소비에너지를 결정하는 것이 효율적이다. 다음은 각 격자점 V_{speed} 에서 격자탐색기법을 사용하여 최적화하는 과정이다.

- 1) $V_{econospeed}$, $V_{coastspeed}$ 으로 열차 성능 계산을 수행하여 탐색범위에서 경제최고속도, 타행 끝점속도, 주행시간, 소비에너지 데이터를 얻는다.
- 2) 획득된 데이터에 대한 퍼지모델을 사용하여 퍼지규칙의 수를 찾아내고 클러스터의 중심을 좌표축에 투영함으로써 입출력공간의 퍼지 분할수를 획득하는 구조 인식을 수행한다.
- 3) 제약조건이 있는 최적화 문제를 구성하고 유전 알고리즘을 사용하여 해를 찾아내는 파라미터 인식을 수행한다. 여기서 최적해를 찾기 위해 적합도를 평가할 때 목적함수와 주행시간 여유분, 즉, $E_{econosaving}$ (V_{speed})와 $M_{econotriptime}$ (V_{speed})을 사용하여 평가한다.

3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

한국형 고속열차 영업운행 편성인 20량을 대상으로 에너지 소비를 최소로 하는 경제운전 최적화를 수행하였다.

부산 - 광명 구간을 대전과 대구에 각각 60초씩 정차하는 패턴으로 상행방향으로 최고속도 300[km/h]로 주행하는 것으로 가정하였다.

선행연구를 통해 검증한 TPS 프로그램을 사용하여 최대성능해석(all out run) 조건으로 주행성능해석을 수행하였다 그 결과는 표 1과 같으며 이 결과를 일반 운행 기준으로 설정하였다. 즉, 최대 성능에 의한 운행시간 ($T_{max trip}$)은 105.88[분]이며 최대 열차 성능에 의한 에너지 소비(E_{max})는 12,190.33[kWh]이다.

그 다음으로 격자탐색기법(grid search technique)을 사용하여 퍼지 모델링을 수행할 데이터를 얻기 위하여 TPS 프로그램을 사용하여 두 개의 입력, 경제최고속도, 타행끝점속도($V_{econospeed}$, $V_{coastspeed}$)와 두 개의 출력, 주행시간과 소비에너지에 대한 데이터를 얻었

다. 경제최고속도는 260[km/h]에서 295[km/h]까지 5[km/h] 단위로, 타행끝점속도는 170[km/h]에서 290[km/h]까지 10[km/h] 단위로 격자를 구성하였다.

표 2는 파라미터 인식과 최적화를 수행하는데 사용한 유전알고리즘의 변수값을 나타내고 있다.

그림 1은 유전알고리즘으로 최적화한 주행시간 모델의 적합도를 보인 것이다.

표 1 TPS result(All out run)

구간	거리 [km]	시간 [분]	속도 [km/h]	소비에너지 [kWh]
부산-대구	144.62	36.61	237.04	4504.63
대구-대전	127.04	33.48	227.65	3718.13
대전-광명	137.29	32.79	251.21	3967.57
계	408.96	105.88	231.74	12190.33

표 2 유전알고리즘의 변수값

변수명	퍼지모델링		최적화
	소비에너지	주행시간	
최대 진화세대수	500	500	10
집단의 크기	30	30	30
목표적합도	50	500	1.0
목표적합도 허용오차	1.e-5	1.e-5	1.e-5
교배연산자 적용 횟수	1	1	1

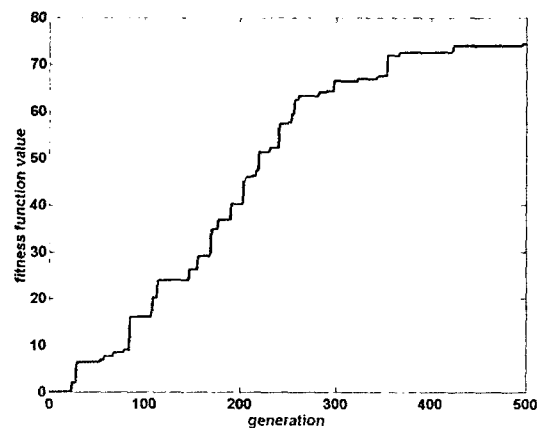


그림 1 유전알고리즘에 따른 주행시간 모델의 적합도 변화

그림 2와 3은 학습용 데이터와 평가용 데이터를 균일하게 하기 위해 에너지 소비 데이터와 주행시간 데이터를 분리하여 표시한 것이다.

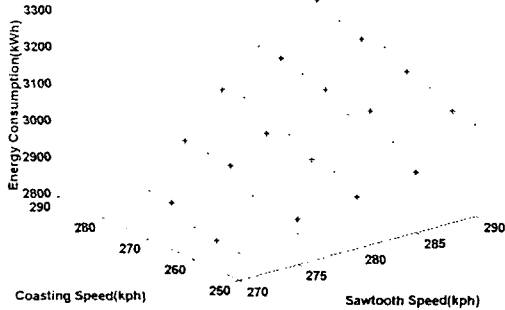


그림 2 에너지 소비 데이터(·은 학습용, +는 평가용 데이터)

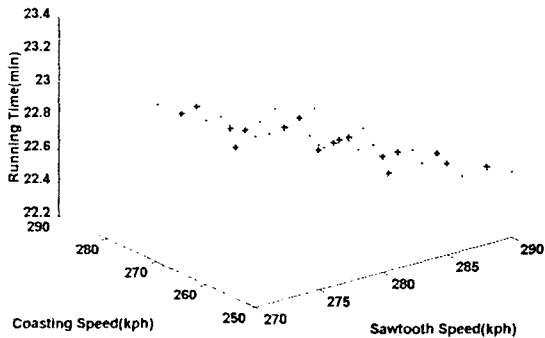


그림 3 주행시간 데이터(·은 학습용, +는 평가용 데이터)

4. 결론

비선형적인 특성 때문에 해석이 어려운 철도 차량 경제운전 문제를 유전알고리즘을 사용하여 최적화하기 위해 실수형 변수, 룰렛휠 선택 방법, 교배와 돌연변이 함수를 사용하였고 그 타당성을 검증할 수 있었다.

향후 본 모델을 철도 운영에 적용할 수 있도록 확장할 예정이다.

참 고 문 헌

1. B.Benjamin, A.Long, I.Milroy, R.Payne, P.Pudney, "Control of railway vehicles for energy conservation and improved timekeeping", Proc. of the Conference on Railway Engineering, 1987.

2. I.Milroy, "Aspects of automatic train control", Ph.D. Thesis. Loughborough University, 1980

3. C.Jiixin and P.Howlett, "Application of Critical Velocities to the Minimisation of Fuel Consumption in the Control of Trains", Automatica. Vol.28 No.1 pp. 165 ~ 168, 1992

4. C.Jiixin and P.Howlett, "A Note on the Calculation of Optimal Strategies for the Minimization of Fuel Consumption in the Control of Trains", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.38, No.11, November 1993

5. P.Pudney, P.Howlett, "Optimal Driving Strategies for a Train Journey with Speed Limits", J. Austral. Math. Soc. B36, pp. 38~49, 1994

6. P.Howlett, "Optimal Strategies for the Control of a Train", Automatica, Vol.32, No.4, pp. 519 ~ 532, 1996

7. E.Khmel'nitsky, "On an Optimal Control Problem of Train Operation", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.45, No.7, July 2000

8. Iakov M.golovitcher, "Energy Efficient Control of Rail Vehicles", 2001 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 658 ~ 663 vol.1

9. Jin Weidong, Li Chongwei, Hu Fei, Jin Fan, "A study on intelligent computation of methods of optimization operation for train", 2000 International Workshop on Autonomous Decentralized Systems, 2000. Proceedings. pp. 97 ~ 102

10. 김치태, "전동열차의 주행에너지 소비를 최소화하는 최적 운전", 석사학위논문, 서울산업대학교 철도차량공학과, 2001

11. 황희수, "Train Performance Simulation and Optimal Control Strategies for Energy Saving Run in Korean High Speed Rail System", 고속철도연구보고서(전기분야), 한국고속철도건설공단 1996. 12

12. H.S.Hwang, "Control Strategy for Optimal Compromise between Trip Time And Energy Consumption in a High Speed Railway", IEEE Trans. on System Man and Cybernetics, Part A: System and Humans, Vol. 28, Issue 6, Nov. 1998