유전자기법을 이용한 도시철도차량 유지보수 주기 최적화 연구

A Study on the Maintenance Periods Optimization of Urban Transit Vehicle using Genetic Algorithm

*박기준[1], #서명원[2], 정종덕[1], 이장일[3]
*K. J. Park[1], #M. W. Suh(suhmw@skku.edu)[2], J. D. Chung[1], J. I. Lee[3]
[1]한국철도기술연구원, [2]성균관대학교 기계공학과, [3]성균관대학교 기계공학과 석사과정

Key words : Optimization, Genetic Algorithm

1. 서론

도시철도는 전기, 기계적으로 결합된 매우 복잡한 구조를 가진 대형시스템으로 고속주행에 따른 안전성의 확보가 중요하고, 장시간 수명주기(life cycle)를 갖기 때문에 초기 건설 비용보다 유지보수 비용이 많은 비중을 점유하고 있다. 일반적으로 도시철도와 같은 대형복잡시스템(complex system)의 운영 및 유지, 보수에 필요한 비용은 총수명주기 비용(LCC, life cycle cost)의 60~70%% 정도를 차지할 정도로 유지보수비가 전체 운영비에 미치는 영향이 크다고 알려져 있어 효율적인 운영, 유지, 보수 시스템의 구축을 통하여 유지보수 비용을 절감하는 것이 매우 중요한 과제이다[1].

실제로 도시철도는 고가의 부품으로 구성되어 유지보수 비용이 인건비를 제외한 순수 교체 장치의 비용만 2005년 기준으로 구매물품에 약 148억원이 사용되었으며, 재고관리는 약 178 억원에 이르렀다[2]. 또한, 유지보수 결함으로 인한 대형사고 발생은 인명피해 및 막대한 재산 손실로 사회안전과 환경에 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었고 도시철도의 유지보수에 있어서 검수 주기 마련과 반복적 사고/고장의 원인 규명이 필요하게 되었다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 도시철도의 신뢰성 평가를 통해 주어진 운영조건에서 각 물리적 시스템들이 기능을 안전하게 유지할 수 있도록 보전계획을 갖는 체계적인 유지보수 방법인 RCM(Reliability Centred Maintenance)[3] 체계의 확립이 필요하다. 즉, 도시철도의 안전성 확보와 경제적 제약에 동시에 대응하는 합리적인 유지보수의 기준 마련이 절실한 실정이다.

본 연구에서는 도시철도차량의 신뢰도는 최대로하고 유지보수비용은 최소화 할 수 있는 유지보수 주기를 계산할 수 있도록 유전자 알고리즘을 이용한 방법을 제안하였다.

2. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘(GA)은 집단 유전학의 개체 진화 원리를 이용하는 확률적인 탐색 기업으로써 탐색 영역이 매우 넓고 복잡한 문제에 대한 최적화에 널리 쓰이는 기법이다. 유전자 알고리즘은 Holland에 의해 소개되었으며, Goldberg에 의해 더욱더 발전되었다. [4][5]

그 기본적인 알고리즘은 Fig. 1과 같다. 전통적인 유전자 알고리즘에서는 크로모좀(chromosome)의 각 유전인자(gene)들이 0 또는 1의 값을 갖는 이진 인코딩 방법이 많이 사용되며, 초기에 정해진 수의 해집단은 이러한 이진 인코딩을 거치게 된다. 먼저 해집단의 해의 수 n개의 해를 임의로 생성한 후, 이 해집단으로부터 k개의 새로운 해를 만들어 내는데 각각의 해는 선택(Selection), 교차(Crossover), 돌연변이(Mutation), 대치의 단계를 거쳐 만들어진다. [6]

```
Create initial population (a given number of initial
    solutions)
repeat
for i = 1 to k
 selection2solutionsparent1,parent2fromthepopulation
     offspringi = crossover(parent1,parent2)
     offspringi = mutation(offspring)
  replacepopulationwithoffspring1,⋯,offspringk
```

Fig. 1. Flow of the Genetic Algorithm

3. 유지보수주기 비용모델

도시철도차량에 적용되는 연령교체 비용모델은 예방정비주기가 t_p일 때, 한 사이클의 기대 수명(Expected Cycle Length; 평균교체시간)에 대한 총

기대 교체 비용(Total Expected Replacement cost per cycle)으로, 단위시간 당 총 기대 비용으로 정의한다. 유지보수주기의 연령교체 비용모델 계산은 아래 식(1)과 같다.

$$C(t_p)=\frac{C_p \cdot R(t_p)+C_f \cdot F(t_p)}{\int_0^t R(t)dt} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

여기에서$f(t)$, $R(t)$, $F(t)$는 각각 시스템의 수명에 대한 확률 밀도 함수, 신뢰도, 불신뢰도 함수이며, C_p와 C_f는 예방정비비용과 고장정비비용을 나타낸다.

4. 도시철도차량 도어엔진 유지보수 최적주기 산출

도어엔진의 고장사례를 전동차 정보시스템에 축적된 도시철도 운영기관의 실제 자료를 조사하였다. 2000년 이래로 현재까지 수집된 6년간 발생한 고장 중에서 승객들에게 직접적으로 불편을 초래한 본선 운행고장을 선택하였다.

이를 바탕으로 도시철도차량의 도어엔진에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 도어엔진의 평균수명은 14760(hr)이고, 초기해집단은 20개, 교배확률은 0.6, 돌연변이 확률은 0.02로 유전자 알고리즘을 수행하여 최적 예방정비주기 도출하였다. 도어엔진의 고장에 따른 서비스 지연을 10분과 30분이였다고 가정하여 시뮬레이션 수행한 결과 각각 14705hr, 14608hr의 최적 예방정비주기가 산출 되었다. 30분 지연이 더 짧은 정비주기를 갖게 되는데, 이는 차량의 고장에 따른 지연으로 승객손실비용이 늘어날수록 예방정비주기가 짧아져 더 많은 예방정비를 수행해야 하는 결론을 얻을 수 있다.

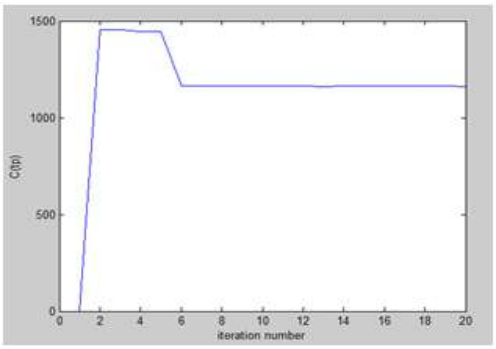

Fig. 2. Total expected replacement cost-rate by 30minute delay

5. 결론

본 연구에서는 도시철도 차량을 유지보수 함에 있어 목표신뢰도와 유지보수비용 기반의 예방정비주기 최적화를 위해 유전자 알고리즘을 적용하였다. 즉, 부품의 고장정보를 통해 고장분포와 신뢰도 분석을 하고, 연령교체방법을 적용하여 유지보수비용을 최소화하는 교체주기를 산출하였다. 이를 통해 도출된 최적 예방정비주기와 현재 도시철도차량의 실제로 이루어지고 있는 유지보수주기와의 비용평가를 위한 기반을 마련하였다. 이러한 평가를 하게되면 신뢰도에 의한 안정성 확보와 유지보수비용 절감에 의한 경제성을 동시에 만족하여 도시철도운영기관의 유지보수비용 절감을 이끌어 낼 수 있으므로 운영효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. H. Y. Lee, K. J. Park, T. K. Ahn, G. D. Kim, S. K. Yoon and S. I. Lee, “A Study on the RAMS for Maintenance CALS System for Urban Transit,” Korean Society for Railway, Vol. 6, No. 2, pp. 108-113, 2003.
2. Korea Railway Research Institute, “A Standardization of maintenance classification for urban transit,” the 2006 research report, pp.25-27, 2006.
3. A. M. Smith, "Reliability-centered maintenance," McGraw-Hill Inc. 1993.
4. Goldberg DE. Genetic Algorithms in search. Optimization and machine learning. New York, Addison-Wesley, 1989
5. Holland JH. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor, University of Michigan, 1975
6. 문병로, “쉽게 배우는 유전 알고리즘,” 한빛미디어, pp.21-40, 2008