

## 종합검측차 데이터를 활용한 자갈 도상 유지보수 최적화 방안

### An Optimum Decision Support Model on Maintenance & Renewal of Ballast Track Using TMV Data

김인겸\*, 이준석\*<sup>†</sup>, 최일윤\*, 이후석\*

In Kyum Kim\*, Jun S. Lee\*<sup>†</sup>, Il Yoon Choi\*, Hoo Seok Lee\*

**Abstract** The high-speed inspection vehicle under development provides railway infrastructure with specific inspection data which are in need of immediate renewal as well as preventive maintenance. In this study, a new optimization scheme of the maintenance cost and the intervention number due to maintenance and renewal operations, i.e., tamping, of the ballast track is proposed using inspection data from the high-speed inspection vehicle. For this, a deterioration model on the track quality index (TQI) was considered and a cost model involving maintenance renewal cost of the ballast track is introduced. In addition, an optimization scheme of multiple object function, having maintenance cost and the number of intervention, based on genetic algorithm is considered. As a result, decision support process such as planning order and period of maintenance and renewal to optimize cost and reliability of ballast track is proposed.

**Keywords** : Maintenance, Optimization, High-speed Inspection Vehicle, RCM, Cost

**초 록** 현재 개발중인 고속검측차의 각종 검측정보는 유지보수가 시급한 특정 철도시설물을 인지하여 관련 정보를 제공하며, 장기적인 사용성을 증진시키고 예방 유지보수를 위한 각종 지표를 제공하게 된다. 본 연구에서는 일정주기 단위로 검측이 이루어지는 자갈 도상 유지보수 비용 최소화 및 유지보수/개량으로 인한 선로작업 최소화 방안에 대하여 고찰하였다. 이를 위하여 검측자료를 기반으로 열화모형을 선정한 후 유지보수 및 개량비용을 포함한 비용함수를 도입하여 유전자 알고리즘에 기반한 다중 목적함수의 최적화 해석방안을 고려하였다. 이를 기반으로, 자갈도상에 대해 비용과 주기를 최적화하여 유지보수 및 갱신을 계획하는 의사결정지원 과정을 제안하였다.

**주요어** : 유지보수 최적화, 고속검측차, 신뢰성 기반 유지보수, 비용

## 1. 서 론

자갈도상은 초기 건설비용이 저렴하고 노선에 따라 유지보수가 비교적 용이한 장점이 있으나 반복되는 열차하중에 의해 점진적으로 궤도틀림이 진행되고 자갈이 마모 및 손상되어 열차의 안전과 고품질 유지를 위해서는 지속적인 유지보수가 필요하다[1]. 국내 건설된 궤도의 약 81%[2]를 차지하는 자갈도상은 적정한 시기에 유지보수 또는 개량작업을 수행하되 유지보수 비용을 최소화하는 계획이 수립되어야 한다. 본 연구에서는 검측차의 정보를

<sup>†</sup> 교신저자: 한국철도기술연구원 첨단고속철도연구실 (jslee@krri.re.kr)

\* 한국철도기술연구원

활용하여 자갈도상의 유지보수와 개량 주기를 비용과 동시에 최적화하는 방법을 제안하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 고속검측차 데이터 활용

일반적으로 자갈궤도의 유지보수 효율성을 높이기 위해서는 궤도구간을 200m로 분할하여 각각을 하나의 세그먼트 (Segment)로 관리하며, 궤도틀림 표준편차로 정의되는 궤도품질지수 TQI (Track Quality Index)를 세그먼트별로 계산하게 된다. 이를 장기적으로 관찰할 경우 궤도품질 열화모델을 도출하여 자갈도상의 시간에 따른 열화와 유지보수와 갱신에 따른 상태 회복을 정량적으로 예측하게 된다. 이와 관련하여 기존에 TQI를 활용하여 비용과 유지보수 주기를 최적화 한 사례[3]가 있으며 본 연구에서는 자갈도상의 1종 기계작업의 의한 유지보수 이외에 2종 기계작업에 의한 도상개량을 따로 고려하였다.

### 2.2 모델링 변수

유지보수 및 개량 작업을 세그먼트별로 시행하고 이를 모형화하기 위해서는 초기 TQI, 유지보수 후 TQI 변화율, 열화모델에 따른 월별 TQI의 변화, 유지보수 비용, 개량 비용, 연단위 유지보수 및 개량비용 인상률, 연단위 최대 유지보수 및 갱신 개량 등의 정보를 고려할 수 있다. 실제 검측에 의한 데이터를 활용하는 경우 결정론적인 (deterministic) 모형화가 가능하며, 초기 TQI, 유지보수 후 TQI 변화율, TQI 열화모델 등 일부 데이터가 확보되지 않는 경우, 임의의 데이터를 가정하여 확률론적 (stochastic) 접근이 가능하도록 모형화하였다.

### 2.3 유전자 알고리즘 도입

유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm)은 휴리스틱 알고리즘 (Heuristic Algorithm)의 하나로 자연선택 과정과 자연진화 과정을 모방하여 컴퓨터로 모의 수행하는 최적화 탐색기법이다. 초기 TQI 상태에서 유지보수 또는 갱신을 하지 않음=0, 유지보수 수행=1, 개량=2를 세그먼트별로 임의로 지정한 후, Evolver 등의 상용 S/W를 이용하거나 NSGA-II (Nondominated Sorting GA) 등의 유전자 알고리즘 [4] 을 적용하여 비용 최소화 및 유지보수 횟수를 최소화하거나 TQI 신뢰도를 극대화하는 세그먼트별 유지보수 및 개량 의사결정을 수행할 수 있다.

아래 Fig. 1~3은 월별 TQI 변화 및 TQI가 일정수준을 초과한 경우 유지보수 또는 개량을 수행하여 자갈도상의 상태를 일정하게 유지시키는 모형화의 일부이다. Fig. 1은 초기 TQI에서 점차 열화가 발생하고 기준치를 초과할 경우 유지보수를 수행하지만 횟수가 증가할수록 복구되는 정도가 낮아지게 되며 유지보수를 해도 더 이상 나아질 수 없는 단계에 도달하였을 때 개량을 수행한다. Fig. 2는 초기 TQI값이 이미 기준치를 초과하였을 때의 예시이며 Fig. 3은 기준치를 Fig. 1, Fig. 2보다 높게 설정하였을 때의 예시이다. 따라서 비용함수를 고려한

후 최적화 기법에 따라 유지보수 위치 및 시기를 모형화할 수 있다.

향후 실제 비용 및 실제 유지보수 정보 등을 반영하여 구체적인 모델을 제시할 계획이며 이는 “철도시설 이력관리 종합정보시스템 (RAFIS, Rail Facilities Information & history System)”의 의사결정지원 시스템에 포함될 예정이다.

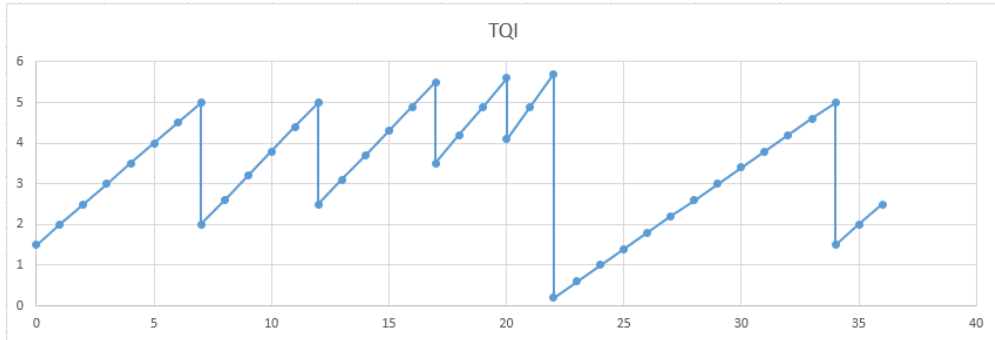


Fig. 1 The variation of TQI (1)

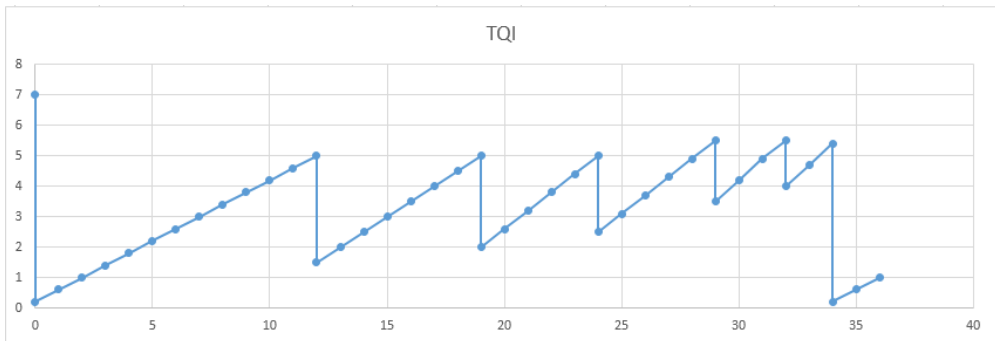


Fig. 2 The variation of TQI (2)

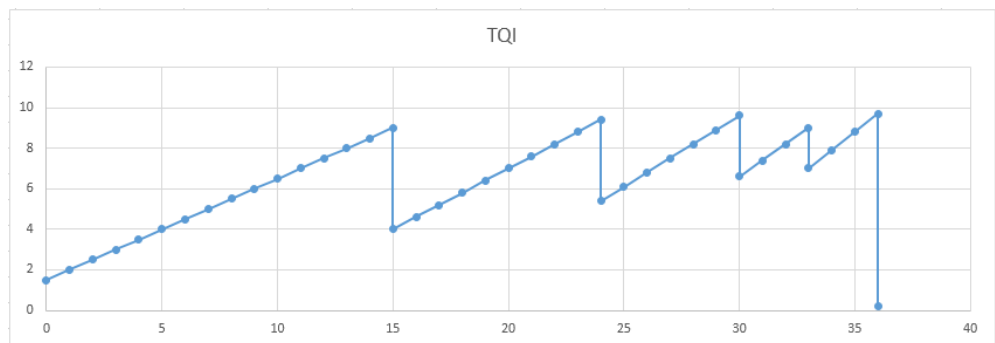


Fig. 3 The variation of TQI (3)

### 3. 결론

본 연구에서는 검측차 데이터를 활용하여 최적화된 비용과 신뢰도로 자갈도상을 유지, 개량하기 위한 방안에 대해 연구하였다. 본 연구에서는 이론적인 접근방안에 대해 고려하였으며 향후에는 NSGA에 따른 시뮬레이션 결과와 비교할 예정이며, 또한 실제 데이터를 반영하여 자갈도상뿐만 아니라 전반적인 철도시설물에 대해 유지보수 계획을 작성할

수 있는 모델을 RAFIS에 구현하고, 철도시설물 유지보수 의사결정 지원체제로 활용할 예정이다.

## 감사의 글

본 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원이 시행하는 철도기술개발사업 “철도인프라의 유지보수를 위한 고속 종합 검측시스템 기술개발” 과제 및 철도시설공단의 “철도시설 이력관리 종합정보시스템 구축” 기본계획 수립용역의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] J. B. Park, Y. Y. Kim, J. W. Baek (2006), “A Study on the Economic Analysis for the Gravel Ballast and the Concrete Ballast Rack Structures”, Yooshin Co.
- [2] Korea Railroad (2016), “Infrastructure Tasks Status Report 2016”, Korea Railroad
- [3] A. Khouzani, A. Golroo & M. Bagheri (2017), “Railway Maintenance Management Using a Stochastic Geometrical Degradation Model”, *J. Transp. Eng.*, 143(1)
- [4] K. Deb, et al. (2002), “A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II”, *IEEE Trans. Evol. Comput.*, 6(2), 182-197.