

반응표면법을 이용한 차륜담면형상의 근사최적화

Approximate Optimization Method of the Wheel Profile Using Response Surface Method

*최하영¹, 송창용², 이동형¹, #이종수³

*H. Y. Choi¹, C.Y.Song², D.H.Lee¹, #J. Lee(jleej@yonsei.ac.kr)³

¹한국철도기술연구원 차륜궤도연구실, ²국립목포대학교 해양시스템공학과, ³연세대학교 기계공학과

Key words : Wheel Profile, Response Surface Method, Wear, Flange

1. 서론

철도차량의 차륜과 레일 접촉시 차륜과 레일 단면의 기하학적 형상은 차륜과 레일의 상호작용에 있어서 매우 중요하다. 특히 곡선선로에서 차륜 플랜지와 레일 게이지면 사이의 마모는 직선선로보다 심하게 발생하기 때문에 차륜과 레일의 손상이 증가한다. 차륜담면형상은 주행 안정성이나 곡선 주행 성능과 같은 철도차량의 동적성능과 차륜과 레일의 접촉위치와 최대응력에 영향을 미친다. 따라서 곡선 반경이 작은 급곡선 구간 운행시 예상되는 문제들을 저감하기 위해서는 차륜담면형상의 최적화가 필요하다.

최근에 최적화 기법을 토대로하는 차륜담면형상의 설계 방법을 제시하였다.¹ 차륜담면형상과 같은 설계문제에 최적화 기법을 적용하는 것은 종종 방대한 계산비용이 필요하게 된다. 설계 최적화 과정에서 계산비용을 줄일 수 있는 대안 중에 하나는 설계공간 상에서 높은 정밀도의 근사 목적함수와 근사 제한조건을 사용하는 것이다. 합리적으로 생성된 근사모델 혹은 메타모델을 사용하면, 최적 값에 근사한 해를 구할 수 있으며, 더불어 민감도와 같은 설계정보도 산출할 수 있다.² 본 논문은 곡선구간 주행시 차륜 플랜지의 마모를 저감하기 위한 차륜형상을 개발하고자 한다. 이와 관련하여 차륜담면형상 최적화를 위해서 사용된 근사모델은 반응표면법(Response Surfaces Method, RSM)이고, 최적화 알고리즘은 여러 공학 분야에서 널리 사용되어 그 유용성이 증명된 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms, GA)을 사용하였다.³

2. 차륜담면형상의 근사최적화 기법

본 연구는 곡선주행시 차륜플랜지의 마모를 저

감을 위한 차륜담면형상 최적화를 목적으로 하는 설계방법으로 근사최적화 방법을 사용하였다.

차륜담면형상의 근사최적화는 Fig.1과 같은 과정을 통해 수행하였다. 먼저 최적설계과정을 정식화하고, 근사모델을 생성하기 위해 설계변수와 성능제한조건에 대한 실험계획을 2수준의 중심합성계획법(Central Composite Design, CCD)을 이용하였다. 차륜담면형상은 설계변수들의 좌표를 연결시켜 스플라인 곡선을 생성시켜서 만든다. 이렇게 만들어진 차륜담면형상을 철도차량 동역학 전용 프로그램인 VAMPIRE를 이용하여 동적성능해석을 수행한다. 이 해석결과로 산출되는 성능 제한조건들은 반응표면법에 의해 최적화 알고리즘에 사용할 근사함수모델로 생성된다. 이 근사함수모델을 기반으로 유전자 알고리즘에 적용하여 최적화된 차륜담면형상을 얻는다.

Fig.2에서 최적화에 사용된 차륜의 형상을 보여주고 있다. 설계변수는 주요 형상 변화를 고려하여 Fig.2에서 “o”로 표시된 x축 좌표로 선정하였고 성능 제한조건은 주요한 주행 성능인 횡하중, 윤중감소율, 탈선계수로 하였다. 목적함수로는 차륜의 플랜지 마모지수를 선정하였다. 설계조건은 Table 1과 같다. 설계속도는 50 km/h로하고 곡선반경은 R350으로 하였다.

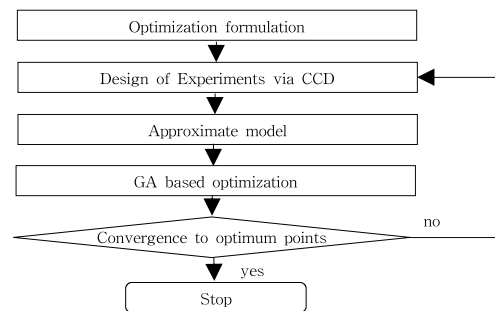


Fig. 1 Approximate optimization flow

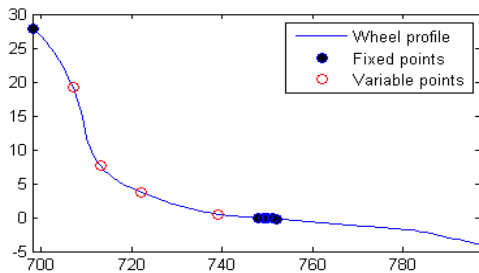


Fig.2 Wheel profile and design variables

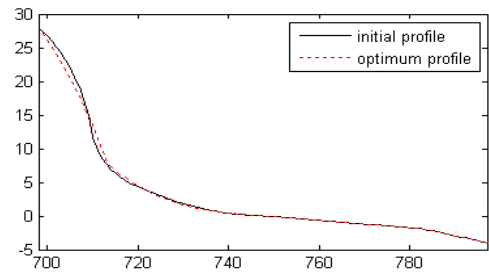


Fig. 3 Optimum wheel profile

Table 1 Summary for wheel profile design

Specification	Value
Wheel profile(initial)	Conical type 1/20 profile
Rail profile	60 kg
Rail inclination	1/40
Flange back distance	1354 mm
Gage distance	1435 mm
Wheel Diameter	860 mm
Wheel load	68.6 kN
Initial design	$(x_1, x_2, x_3, x_4) = (739, 722, 713, 707)$

Table 2 Results of optimization

Parameters	RSM	Dynamic analysis
Wear index at the flange of wheel	0.72	0.76
Derailment indicator	0.314	0.317
Wheel unloading	9.76 %	9.81 %
Lateral track force of wheel	23.82 kN	22.87 kN

Table 3 Results of optimization

Parameters	Initial	Optimum
Wear index at the flange of wheel	1.24	0.76
Derailment indicator	0.308	0.317
Wheel unloading	10.05 %	9.81%
Lateral track force of wheel	23.35 kN	22.87 kN

3. 최적설계 결과

근사최적화알고리즘으로 최적화된 차륜담면형상과 기존의 차륜담면형상을 Fig. 3에서 보여주고 있다. Table 2는 유전자알고리즘에 반응표면법에 의한 근사모델을 이용하여 최적화 했을 때의 목적함수와 성능제한조건함수의 반응과 최적화된 차륜담면형상으로 동적성능해석을 했을 때의 결과를 비교하였다. 각 변수에 대한 반응표면이 비교적 잘 묘사되고 있음을 볼 수 있다.

동적성능해석 결과를 기존담면형상과 최적화된 담면형상으로 Table 3에서 비교하였다. 근사최적화알고리즘을 통하여 목적함수인 차륜의 플랜지 마모는 기존에 비해 약 60 % 수준으로 저감되었다. 성능제한함수인 윤증 감소율과 횡하중은 소폭 변화되었으나, 탈선계수는 안전기준을 충분히 만족하고 있다.

4. 결론

본 논문은 근사최적화알고리즘을 이용하여 곡선부에서 차륜의 플랜지 마모 저감을 위한 차륜담면형상 설계방법을 연구하였다.

최적화된 차륜담면형상은 곡선 주행시 발생하는 차륜 플랜지의 과도한 마모를 안전기준 범위

내에서 기존에 비해 약 60 % 수준으로 감소시킬 수 있으며 반응표면법을 이용하여 계산시간을 대폭 단축시킬 수 있었다. 따라서 새로운 차륜담면형상 설계시 빠른 시간내에 목적에 맞는 형상을 구할 수 있는 효율성을 보여주었다.

참고문헌

1. Shevtsov, I. Y, Markine, V. L. and Esveld, C., "Optimal Design of Wheel Profile for Railway Vehicles," *Wear*, Vol. 258, pp. 1022-1030, 2005.
2. Song, C. Y. and Lee, J., "Strength Design of Knuckle Component Using Moving Least Squares Response Surface Based Approximate Optimization Methods," *Proc. IMechE, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Vol. 223, No. 8, pp. 1019~1032., 2009.
3. Myers, R. H. and Montgomery, D. C., *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization using Designed Experiments*, Wiley, New York., 1995.