

서브스판 진동을 고려한 송전검사 로봇 휠 형상에 대한 연구

Design of Inspection Robot wheels for Passing over Obstacles on Transmission Lines with Subspan Vibration

김문영† · 이준영* · 이택진** · 김창환** · 이상범*** · 임홍재***

Moon Young Kim, Jun Young Lee, Taikjin Lee, Chang Hwan Kim, Sang Beom Lee and Hong Jae Yim

1. 서 론

복도체 송전선로의 경우 외력에 의한 진동을 방지하기 위하여 댐퍼를 설치한다. 이러한 댐퍼의 클램프 부분은 송전선로 검사로봇이 거동 시 장애물 역할을 한다. 또한 서브스판 진동의 경우 댐퍼와 관계없이 독립적으로 진동⁽¹⁾⁽²⁾하기 때문에 선로 검사로봇 이동 시 불안정성을 야기한다. 이와 같은 진동을 극복하기 위하여 선행 연구된 송전검사로봇 메커니즘은 보조 클램프나 보조휠을 이용⁽³⁾한 고정 방법을 채택하고 있다. 이 방법 사용 시, 선로 이탈 방지 및 안정성이 증가되나 스페이서 댐퍼 통과가 불가능하다. 따라서 송전 선로 검사로봇휠은 서브스판 진동에 대한 안정성과 스페이서 댐퍼의 클램프 극복이 요구된다. 본 연구에서는 송전선로 검사로봇이 서브스판 진동으로 인한 로봇 거동을 고려하여 효율적으로 장애물 극복이 가능한 휠 형상설계에 대한 연구를 진행한다.

2. 송전선로 및 휠의 유한요소 모델링

기존 사용 중의 송전선로 검사로봇 휠의 기본 모델은 Fig.1 (a)이며, 서브스판진동은 고려되었으나 장애물 극복은 고려되지 않았다. 스페이서 댐퍼의 클램프 부분 극복을 위한 테스트 모델은 Fig.1 (b)와 같다. Fig.1 (b)모델은 서브스판진동이 고려되지 않은 송전선 모델이며, 장애물 극복 시 필요 토크를 계산하기 위해 생성된 모델이다.

서브스판 진동에 의한 거동 확인⁽¹⁾⁽²⁾에 적용될 송전선로 기본 모델은 Fig.2와 같다. 이 유한요소 모델의 길이는 스페이서 댐퍼 사이 간격을 고려하여 40m 로 선정하였다. 이 모델은 해석 시간 감소를 위하여 휠 접촉 부분인 중앙 부분은 솔리드 요소, 비접촉 부분은 빔 요소로 구성된다. 이 모델의 타당성을 확인하기 위하여 동일 길이 및 물성 및 단면으로 구성된 솔리드 모델과 시뮬레이션 비교를 시행하였다. 구속 조건은 송전선의 양끝 구속이며 자중에 의한 처짐량을 비교하였다. 그 결과는 Fig.3와 같으며 최대오차는 1.2% 미만으로 빔요소 결합에 의한 오차는 없다고 판단 가능하다.

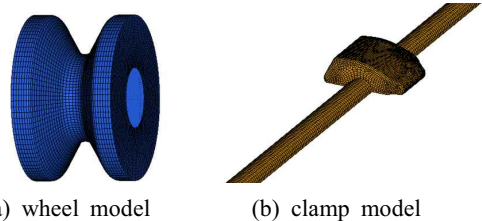


Fig.1 Base models of wheel and clamp

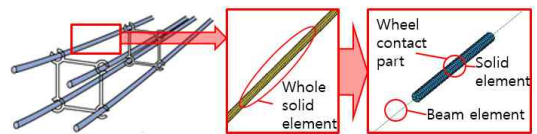


Fig.2 Finite element model of transmission line

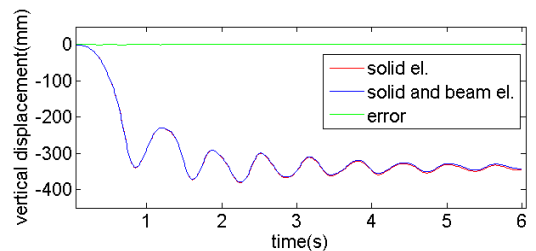


Fig.3 Comparison of two analysis results

† 교신저자; 국민대학교 자동차공학 전문대학원
E-mail : dumatrut@gmail.com

* 국민대학교 자동차공학 전문대학원

** 한국과학기술연구원

*** 국민대학교 자동차공학과

3. 휠 형상 최적화

초기 설계 변수는 Fig.4에 표기 되었으며, CP는 이 논문에서 활용된 클램프와의 최초 접촉점이며 CP의 수직 좌표가 설계 변수이다. CA1은 CP에서의 경사각, CA2는 송전선로와의 비접촉점 각도를 의미한다. 휠 형상 변경의 용이성을 얻기 위하여 이 세 변수를 큐빅 베지어 스플라인 알고리즘에 적용하여 형상변경을 진행하였다. CP를 매듭점으로 선정 및 기본 스플라인 생성 후 민감도 해석을 진행하였다. 응답값은 각 변수 변화에 따른 클램프 극복 토크 및 로봇 본체 최대 이동 변위로 선정하였다. 민감도 해석 결과 CA1은 두 응답값에 대한 영향도가 적으므로 제외되었다.

형상최적화는 중심 합성 계획법을 이용하여 진행되었다. 설계변수는 CP의 수직축 좌표, CA2이다. 형상제약조건은 휠의 폭, 외경, 내경 유지이며 목적함수는 스페이서 댐퍼 극복 시 요구 토크의 최소화이다. 최적화는 반응표면법을 이용하였으며 최적화 결과 휠 형상은 Fig.5와 같다. 최적값은 Table.1과 같이 필요 토크가 17.9% 감소하였고 로봇 본체의 최대 거동변위가 2% 감소함으로써 기본 모델과 같은 진동 안정성을 확보하였다. 반응표면법으로부터 도출된 최적값과 시뮬레이션 값의 오차는 1% 이하인 것을 확인하였다.

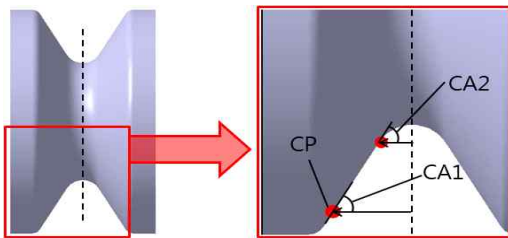


Fig.4 Design variables of wheel section

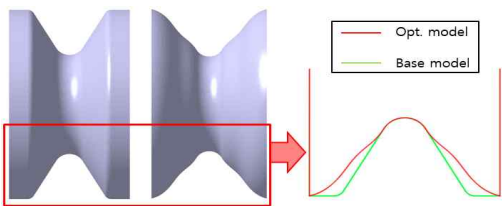


Fig.5 Comparison between base and optimization models

Table 1 Results of optimization analysis

	Torque(kg·cm)	Displacement(mm)
Base model	72	148
Opt. model	59	145
Opt. error	0.9%	1.0%
Profit ratio	17.9%	2.0%

4. 결 론

본 논문에서는 서브스판진동을 고려한 최적 장애물 극복 휠 형상 설계를 진행하였다. 유한요소모델 간소화를 통하여 해석 시간을 축소하고, 스플라인과 민감도 해석을 이용하여 휠 형상 변경 변수를 감소하였다. 이 변수를 이용하여 실험계획법을 세우고 반응표면법으로 최적값을 도출한 후 비교 확인하였다. 최적화 결과 장애물 극복 시 필요토크가 17.9% 감소하여 목적을 달성하였고, 서브스판진동에 의한 송전검사로봇 본체 거동이 2% 감소하여 안정성유지라는 제약조건을 만족하였다. 추후 연구는 다양한 댐퍼 클램프 적용 및 진동 및 토크 모델의 통합을 진행하여 최적화하는 방향으로 진행될 예정이다.

후 기

This subject is partially supported by Korea Ministry of Knowledge Economy as “the Industrial Strategic Technology Program” (1041111)

참고문헌

- (1) Sohn, H. K., Lee, H. K., Lee, D. I., Chu, J.H. and Yu, C. H., 2001, Observation and Analysis of the Oscillation of 4-Bundled Conductor System, KIEE
- (2) Sohn, H. K. and Lee, E. W., 2003, A Frequency Analysis of Subspan Oscillation on Overhead Transmission Lines, KIEE
- (3) Pouliot, N. and Montambault, S., 2008, Geometric design of the LineScout, a teleoperated robot for power line inspection and maintenance, Robotics and Automation, 2008 IEEE International Conference on, pp. 3940~3977.