

서브스판 진동을 고려한 송전선로 검사로봇 프레임의 강성 향상에 관한 연구

Dynamic Stiffness Enhancement of Inspection Robot Frame for Subspan Oscillation

임지윤* · 이준영* · 김문영* · 임홍재†

Ji Youn Lim* , Jun Young Lee* , Moon Young Kim* and Hong Jae Yim†

1. 서 론

다도체 송전선로는 소도체간의 간격유지와 전선의 진동을 억제시키기 위해 설치되는 각각의 스페이서 댐퍼 사이에서 발생하는 서브스판 진동에 취약한 특성을 갖고 있다.⁽¹⁾ 서브스판 진동은 4~18 m/s 바람으로 인해 각 도체가 주파수 0.5~10 Hz로 독립적으로 진동하는 형태로 송전선로의 유지 및 보수를 수행하는 검사로봇의 거동을 불안정하게 한다.

본 연구에서는 바람에 의한 서브스판 진동 시 송전선로 로봇의 거동을 확인하고 이를 개선하는 모델을 제안한다. 먼저 유한요소를 이용하여 로봇 프레임을 구성하고 다물체 동역학 시뮬레이션을 통해 로봇 프레임의 거동을 확인한다. 프레임을 개선하기 위하여 두께를 설계변수로 설정하고 제약조건은 로봇 프레임의 질량 유지 또는 감소와 로봇 본체 무게중심의 최대변위 감소로 설정한다. 목적함수는 로봇 프레임의 고유진동수 최대화로 설정한다.

2. 본 론

2.1 기본 모델 해석

기본 모델의 프레임은 두께 3 mm 튜브 형태를 갖는 구조물로 구성하고 프레임은 쉘 요소를, 조인트부분은 솔리드 요소를 이용하여 유한요소 모델을 구성하였다. 로봇 프레임 구조물과 조인트 재질을

모두 탄소섬유로 구성하였으며, Young's Modulus는 231 GPa, 밀도는 1790 kg/m³, 포아송 비는 0.3이고 로봇 프레임의 질량은 약 9.8 kg이다. 이 모델을 이용하여 고유진동수 해석을 진행 한 결과 1차 굽힘 모드 진동수를 71 Hz로 확인하였다. 유체 운동량 정리에 의해 바람이 4 m/s로 한쪽 방향에서 발생할 때 서브스판의 길이가 60 m 이면, 송전선로 표면에 약 30 N의 힘이 작용한다는 것을 확인하였다.⁽²⁾ 이에 따라 다물체 동역학 프로그램을 이용하여 두 송전선로에 30 N의 힘을 적용하고 1 Hz의 주파수를 선행 연구에서와 같이 반대의 위상차로 적용하였다.⁽³⁾ 송전선로와 바퀴, 로봇의 본체는 강체로 구성하고 바퀴모듈은 12 kg, 로봇의 본체는 30 kg로 구성하였으며, 프레임 유한요소 모델을 Fig 1과 같이 적용 하였다. 기본 모델을 이용하여 다물체 동역학 해석을 진행한 결과, 로봇의 프레임은 Fig 2와 같이 1차 굽힘모드 형상을 보이며 로봇 본체 무게중심의 최대변위를 143 mm로 확인하였다.



Fig 1 Multi-body dynamics model of robot frame

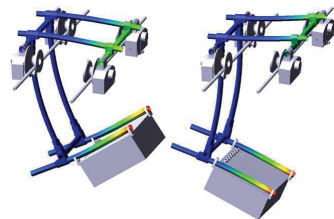


Fig 2 Analysis result of base model

† 교신저자; 정회원, 국민대학교 자동차공학과
E-mail : hjyim@kookmin.ac.kr

Tel : (02)914-8812 , Fax : (02)910-5037

* 국민대학교 자동차공학전문대학원

2.2 로봇 프레임의 두께 최적화

기본 모델의 형상이 확정되어 형상 최적화는 불가능하다. 따라서 설계변수를 로봇 프레임의 두께로 설정하였다. 설계변수는 Fig 3에 도시한 바와 같이 1~5 mm 범위 내에서 1 mm 간격으로 다구찌 법을 이용한 최적설계를 진행하였다. 제약조건은 기본 모델 대비 최적설계 모델의 무게의 유지 또는 감소, 로봇 본체 무게중심의 최대변위 감소이다. 목적함수는 로봇 프레임의 고유진동수 최대화로 설정하였다.

최적설계를 진행한 결과 모델에 대한 정보는 Table 1과 같고, 최적화 모델을 이용하여 다물체 동역학 해석을 진행한 결과 Fig 4와 같이 기본 모델에 비해 안정적인 거동을 보임을 확인하였다. Table 2와 Fig 5와 같이 최적화 모델의 고유진동수는 기본 모델과 비교하여 21.5 % 증가하였고 로봇 본체 무게중심의 최대 변위는 27.9 % 감소함을 확인하였다.

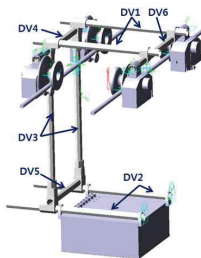


Fig 3 Design variables for optimization

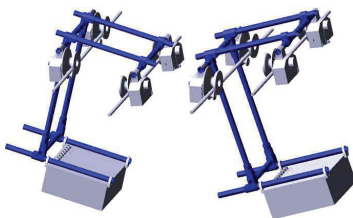


Fig 4 Analysis result of optimal model

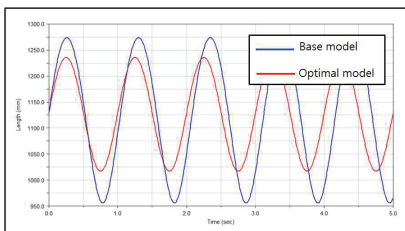


Fig 5 Difference in displacement between base model and optimal model

Table 1 Thickness of base and optimal model

	DV1 [mm]	DV2 [mm]	DV3 [mm]	DV4 [mm]	DV5 [mm]	DV6 [mm]
Base model	3	3	3	3	3	3
Optimal model	3	1	3	5	1	3

Table 2 Result of optimization

	base model	optimal model	Difference
Mass [kg]	9.8	9.0	- 8.1%
Frequency [Hz]	71.0	86.3	+ 21.5%
Displacement [mm]	143.0	103.0	- 27.9%

3. 결론

본 연구는 서브스판 진동 시 송전선로 검사 로봇의 로봇 프레임의 강성 향상을 위한 것이다. 기본 모델의 고유진동수 해석결과 71 Hz임을 확인하였고 이를 이용한 다물체 동역학 해석 결과 1차 굽힘 모드 형상을 보이며 불안정함을 확인하였다.

프레임 두께를 설계변수로 설정한 최적화 결과 고유진동수는 21.5 % 향상되었고 이에 따라 로봇 본체 무게중심의 최대 변위는 27.9 % 감소함을 확인하였다.

참고 문헌

- (1) Sohn, H. K., 1997, A Study on Subspan Oscillation Analysis of 6 Bundled Conductor Transmission lines, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 7, No. 5, pp. 729~736.
- (2) Potter, M. C. and Wiggert, D. C., 2009, Mechanics of Fluids Third Edition, Cengage Learning, pp. 158~163.
- (3) Sohn, H. K. and Lee, E. W., 2003, A Frequency Analysis of Subspan Oscillation on Overlead Transmission Lines, Proceedings of the KIEE Annual Spring Conference, pp. 519~521.