서브스판 진동을 고려한 송전선로 검사로봇 프레임 구조 설계에 관한 연구

A Study on Dynamic Stiffness of Inspection Robot Frame Considering Sub-span Oscillation

김문영† · 이준영* · 이택진** · 임홍재***

Moon Young Kim, Jun Young Lee, Taikjin Lee and Hong Jae Yim

Key Words : Sub-span oscillation(서브스판진동), Natural frequency(고유 진동수)

ABSTRACT

This paper presents a design methodology for improving dynamic stiffness of an inspection robot frame to prevent resonance. Finite element models of robot frame are developed for natural frequency analysis. Natural frequency analysis of robot frame is conducted to compare with sub-span oscillation which is excitation frequency. Reinforcement beams are applied to the sensitive parts of the robot frame to improve dynamic stiffness using case study. To reduce mass of the robot frame, thickness optimization of the robot frame is carried out by utilizing response surface method. The result of optimization show that dynamic stiffness of robot frame is increased. As a result, natural frequency of an optimal model is not included in range of frequencies of the sub-span oscillation.

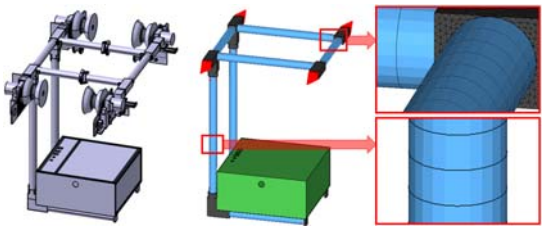
1. 서 론

복도체 송전선로의 경우 전선의 간격 유지와 외력에 의한 진동간섭을 방지하기 위하여 댐퍼를 설치한다. 이러한 댐퍼를 스페이서 댐퍼라 명칭하며 댐퍼와 댐퍼 사이의 도체가 4~18m/s 의 바람에 의해 0.5~10Hz 로 진동하는 것을 서브스판 진동이라 한다[(1)(2)]. 이러한 서브스판 진동이 가진원이 되어 송전선로 검사로봇 구조물의 고유진동수와 같거나 유사할 시 공진현상으로 인한 탈선을 야기 할 수 있다 이와 같은 공진현상을 극복하기 위한 선행 연구는 보 구조의 문제점을 파악하고 이를 개선하기 위하여 리브 구조물을 이용한 것을 확인하였다[(3)(4)]. 그러나 본 연구에서 사용 될 새로운 로봇프레임과 구조적 차이가 존재하여 적용이 불가능하므로 새로운 해석결과와 개선방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 송전선로 검사로봇의 서브스판 진동으로 인한 공진 현상을 방지하기 위하여 보강 빔과 두께 변화를 이용한 개선된 송전로봇 프레임을 도출한다.

† 국민대학교 자동차공학 전문대학원
E-mail : dumatrut@gmail.com
* 국민대학교 자동차공학 전문대학원
** 한국과학기술연구원
*** 국민대학교 자동차공학과

2. 송전선로 검사로봇 유한요소 모델링

새롭게 구성된 송전선검사로봇의 기본 지오메트리 모델은 Fig. 1 (a)와 같다. 프레임 형상 변경 및 두께 변경을 효율적으로 진행하기 위하여 Fig. 1 (b)와 같이 프레임의 조인트 부분과 송전선로검사로봇 본체를 제외한 보 부분을 빔 요소로 모델링하였다. 휠과 카메라 등의 단순 지지되는 모듈은 무게중심점을 도출하여 포인트 매스를 부과하는 형태로 간소화 하였으며, 조인트 부분과 보 부분의 연결 부분은 강체 요소를 이용하였다. 동강성 해석 결과 1차 굽힘 모드 주파수는 10.7Hz, 1차 비틀림 모드 주파수는 14.6Hz로 확인되었다. 해석 결과로부터 이 로봇 프레임의 첫 번째 굽힘 모드 주파수가 서브스판 진동 대역과 근접한 것을 확인하였다.

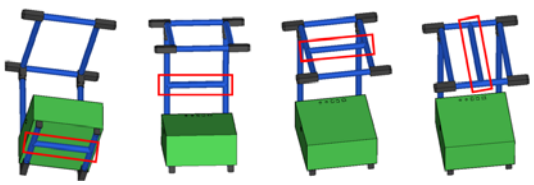


(a) Geometry model (b) FEM model

Fig. 1 Base models of robot frame

3. 로봇 프레임 구조변경 및 두께 최적화

본 연구에서 1차 굽힘 모드의 주파수의 향상을 위하여 임의의 위치에 보강 빔을 구성하여 케이스 스터디를 진행하였으며 각 케이스에 따른 보강재 위치는 Fig. 2에 나타나 있다. 케이스 스터디의 동강성 해석 결과 Case4를 제외한 나머지는 동강성 증가율이 작게 나타났으며 Case4의 경우 베이스 모델에 비하여 1차 굽힘 강성이 5% 증가 1차 비틀림 강성이 6% 증가하여 보강 빔의 위치로 선정되었다. 보강 빔의 추가로 구조물의 무게가 증가되므로 처음 구조물의 무게를 유지하기 위하여 민감도 해석과 최적설계를 진행하였다. 민감도 해석을 위한 변수는 Fig. 3와 같이 선정하였고 각 변수에 따른 동강성에 대한 영향도를 판단하였다. 민감도 해석을 토대로 설계변수는 동강성에 가장 영향이 많은 변수를 선정하였고 목적함수는 질량의 최소화, 제약조건은 1차 굽힘 강성으로 선정하였다. Box-Behnken법을 이용하여 실험계획표를 작성하였고 반응표면법을 이용하여 메타함수 도출 후, 최적화 모델을 도출하였다. 최적화 결과 Table 1과 같이 1차 굽힘 모드 주파수는 13.4Hz로 20.1% 증가 1차 비틀림 모드 주파수는 12.2% 증가하여 서브스판 진동 주파수영역을 벗어남을 확인하였다. 질량은 베이스모델 대 비 0.5% 감소하여 유지된 것을 확인하였다.



(a) Case1 (b) Case2 (c) Case3 (d) Case4

Fig. 2 Robot frame models added reinforcement beam

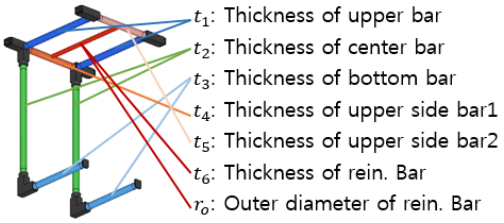


Fig. 3 Design variables of the robot frame

Table 1 Comparison between base and optimal model

	1st bending freq.	1st torsion freq.
Base model (Hz)	10.7	14.6
Opt. model (Hz)	13.4	16.4
Difference (%)	20.1	11.0

3. 결 론

본 논문에서는 서브스판 진동 가진 주파수와 송전선로 검사로봇 프레임의 고유 진동수의 공진 현상을 방지하기 위하여 로봇 프레임 구조변경 및 최적화를 진행하였다. 유한요소를 이용하여 해석 모델을 제작하였고 동강성 해석을 통해 기본 모델의 고유진동수가 서브스판 진동 가진 영역과 근접한 것을 확인하였다. 로봇 프레임의 고유진동수 향상을 위해 보강 빔을 추가하고 빔의 두께와 반지름을 변수로 지정하여 최적설계를 진행하였다. 로봇 프레임 최적화 결과 1차 굽힘 모드 주파수를 20.1% 개선 시킬 수 있었으며, 서브스판 진동 가진 주파수 대역을 피함으로써 서브스판 진동으로 인한 공진을 방지하였다. 추후 연구는 조인트 부분을 통합하여 최적화하는 방향으로 진행될 예정이다.

후 기

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

참 고 문 헌

(1) Sohn, H. K., Lee, E. W., 2003, A Frequency Analysis of Subspan Oscillation on Verhead Transmission Lines in Korea Institute of Electrical Engineers, pp. 519~521.

(2) 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-Bundeld Conductor System, KIEE.

(3) Lee, J. Y., Lim, J. Y., Kim, C. H., Lee, T., Lee, S. and Yim, H. J., 2013, A Study on Dynamic Stiffness Design of Frame Structure for Inspection Robot, Proceedings of the KSME Annual Fall Conference, pp. 482~486.

(4) Lee, J. Y., Lim, J. Y., Kim, C. H., Lee, T., Lee, S. and Yim, H. J, 2014, Dynamic Stiffness Improvement of Inspection Robot Frame using Multi-body Dynamic Simulation, The 7th Asian Conference on Multibody dynamics.