

이동질량의 영향을 받는 가선계의 동적거동 해석

Dynamic Analysis of a Catenary with a Moving Mass

정진태† · 김병진* · 이규호*

Jintai Chung, Byeongjin Kim and Kyuho Lee

1. 서 론

이동 질량 과 일정한 장력이 작용하는 가선계 모델은 고속철도의 가선계 시스템, 인공위성의 테더 시스템, 물질 이송 수단 등 산업적으로 많은 분야에서 사용되고 있으며 활용되고 있다. 이러한 시스템들의 공통점은 가선계가 이동하는 물질에 직접 혹은 간접적으로 영향을 받고 있으며, 현과 같이 매우 가늘고 긴 구조물의 형상을 갖고 있다는 점이다. 특히, 고속철도의 가선계나 테더 시스템 등은 이동질량의 거동에 의하여 접촉문제가 발생된다. 이러한 접촉의 영향은 고속철도의 전기에너지 전달에 밀접한 관계를 가지고 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다.

이동질량이나 이동하중이 작용하는 보의 동적 거동과 접촉 문제에 관하여 많은 연구들이 수행되었다. Rieker⁽¹⁾ 등은 이동질량의 영향을 받는 보를 유한요소 해석을 이용하여 연구하였다. 하지만 이 연구는 이동질량과 보가 항상 접촉하고 있을 경우만을 가정하고 있기 때문에 상호간에 발생하는 접촉력은 고려하지 못하였다. Lee⁽²⁾는 보와 이동 질량간의 분리현상에 대하여 연구를 수행하여 이동질량과 보의 분리를 고려한 모델이 실제 실험결과와 근접함을 규명하였다. 그러나 압축력과 인장력 등에 의한 축하중의 영향이 고려되어 있지 않은 상태에서 진행되었다.

보에 대한 연구는 많은 연구가 교량과 관련하여 이루어 졌다. Esmailzadeh⁽³⁾는 교량을 보로 가정하

고, 차량과 같은 이동질량을 집중하중이나 분포하중으로 가정하여 모델링 하여 보의 변위에 대한 연구를 수행하였다. 또한 장력이 작용하는 현과 관련하여, Metrikine⁽⁴⁾ 등은 가선계의 파동특성을 관찰하고, 이동하중이 가선계에 균일한 하중을 가할 때에의 정상상태 응답과 이에 대한 위상평면(phase-plane) 분석을 수행하여 응답이 이동하중의 속도와 가선계의 파동속도의 함수임을 규명하였다.

이외에도 이동질량의 영향을 받는 보의 동적거동에 대한 연구가 많이 수행되었지만 대다수의 연구는 복잡한 가선계 구조나 팬더그래프에 초점이 맞추어졌기 때문에 이동질량을 갖는 장력이 작용하는 보의 안정적인 접촉조건에 대한 연구는 미비하다. 따라서 접촉손실이나 힘의 변화에 영향을 미치는 가선계의 장력, 이동질량의 속도와 질량, 강성 등의 설계변수에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 안정적인 접촉조건을 연구하기 위하여 이동질량과 장력의 영향을 받는 보의 접촉문제를 유한요소해석 방법을 사용하여 분석하였다. 이동질량의 속도를 증가시키면서 발생하는 접촉력의 변화를 관찰하였으며 그에 따른 접촉손실의 가능성을 연구하였다.

2. 모델링 및 방정식

이동 질량과 장력을 받는 가선계의 모델은 Fig. 1과 같이 가선계를 보로 가정하여 수립하였다. 여기서 보와 이동질량의 초기 갭(gap)은 0으로 가정하였다. 이동 질량은 속도가 0인 경우부터 변화를 시키며 해석을 수행하여 가선계의 접촉에 대한 시간 응답 및 접촉 손실에 대하여 해석을 수행하였다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학과

E-mail : jchung@hanyang.ac.kr

Tel : 031-400-5287, Fax : 031-406-6964

* 한양대학교 일반대학원 기계공학과

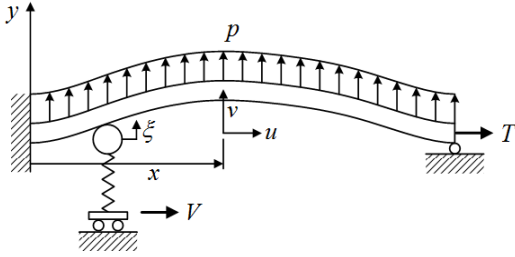
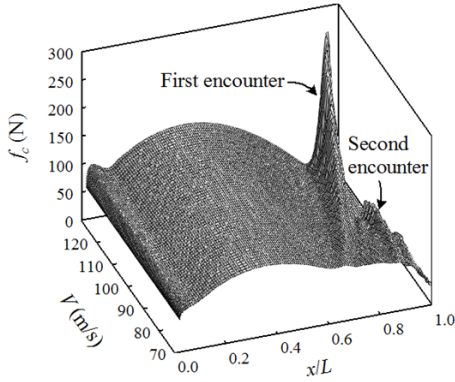
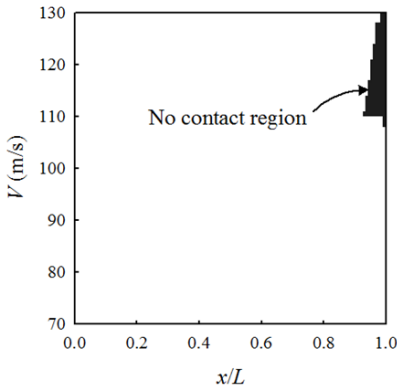


Fig. 1 Schematics of a tensioned beam with a moving mass



(a)



(b)

Fig. 2 Contact analysis results for the variations of the moving mass velocity V and the travel distance of the moving mass x : (a) the contact force; and (b) the loss of contact.

식 (1)과 (2)는 접촉 해석을 위한 행렬-벡터 방정식을 나타낸다. 여기서 \mathbf{M} , \mathbf{K} , \mathbf{f} 는 식(3)과 같이 보와 이동질량에 대한 행렬과 벡터로 구성된다. 시간에 따른 응답은 아래 식을 Generalized- α 법을 이용한 시간적분을 이용하여 산출하였다.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{d}} + \mathbf{K}\mathbf{d} = \mathbf{f} + f_c \mathbf{r}, \text{ when } g = 0, \quad (1)$$

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{d}} + \mathbf{K}\mathbf{d} = \mathbf{f}, \text{ when } g > 0, \quad (2)$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_b & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & m \end{bmatrix}, \quad \mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_b & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{f} = \begin{Bmatrix} \mathbf{f}_b \\ 0 \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

3. 결 론

이동하중의 속도를 증가시키면서 시뮬레이션을 수행한 결과 이동질량과 반사된 파동이 만나면서 발생하는 접촉력의 변화가 이동질량과 보 사이 갭 발생의 원인임을 확인할 수 있으며, 보의 경계지점에서 접촉이 발생하지 않는 이동 질량의 속도구간을 관찰할 수 있다.

후 기

이 논문은 2011년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임(2011-0003123).

참고문헌

- (1) J. R. Rieker, Y. H. Lin, and M. W. Trethewey, 1996, "Discretization considerations in moving load finite element beam models", *Finite Element in Analysis and Design* 21, pp. 129-144.
- (2) U. Lee, 1998, "Separation between the flexible structure and the moving mass sliding on it", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 209, pp. 867-877.
- (3) E. Esmailzadeh, and M. Ghorashi, 1995, "Vibration analysis of beams traversed by uniform partially distributed moving mass", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 184, pp. 9-17.
- (4) A.V. Metrikine and A. L. Bosch, 2006, "Dynamic response of a two-level catenary to a moving load", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 292, pp. 676-693.