

Influence of Supporting Condition on the Vibration Characteristic and Slip Distance in Fuel Rod Fretting

Ju-Sun Song[†], Hyung-Kyu Kim[†], Young-Ho Lee[†], Jae-Hoon Kim^{*}

[†] Korea Atomic Energy Research Institute, 150 Dukjin-dong, Yusong-ku, Daejeon, 305-353, bruce95@cnu.ac.kr

^{*} Dept. Of Mechanical Design Engineering, 220 Gung-dong, Yusong-ku, Daejeon, 305-764

1. 서론

프레팅 마멸은 유체유발진동에 의해 핵 연료 봉과 지지스프링사이에서 발생한다. 이러한 프레팅 손상을 분석하기 위해서는 근본적으로 접촉부에서의 접촉력과 미끄럼 변위를 알아야 한다. 그러나외부로부터 접촉부로는 접근이 불가능하므로 미끄럼변위를 직접적으로 측정하는 것은 거의 불가능하다.

한편, 마멸을 일으키는 메카니즘은 두 물체 사이의 접촉조건에 따라 변하므로 이러한 프레팅 마멸현상을 규명하기 위해서는 미끄럼 변위뿐만 아니라 진동 거동에 대해서도 조사해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 이를 위해 실험적 방법을 개발하고, 미끄럼 거리를 계산하기 위해 간단한 수식을 도출하였다. 또한 이를 이용하여 튜브 진동 신호의 주파수 특성에 대하여도 고찰하였다.

2. 시험

2.1 변위 센서의 설치

본 연구에 사용된 프레팅 마멸 시험기는 미끄럼/충격 시험기이다. 시험기에 대한 상세한 설명은 이미 소개되었으므로[1] 본 논문에서는 생략하였다.

본 실험에서는 두 개의 스프링 시편(type A and B)이 사용되었다. A 스프링은 축방향으로는 모따기 형상이고, 횡방향으로는 오목한 형상이다. 이와는 달리 B 스프링은 두 방향에서 모두 볼록한 형상을 하고 있다. 한편, 두 개의 변위 센서는 Fig. 1 과 같이 프레팅 마멸 시험기에 설치되었다.

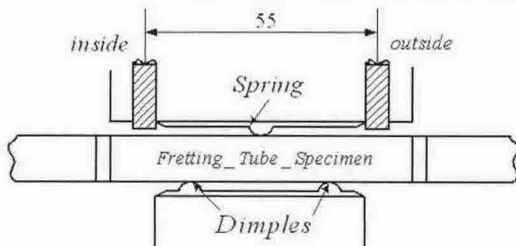


Fig. 1 Sensor configuration.

3. 결과 및 토의

3.1 진동 신호의 특징

Fig. 2 에서와 같이 틈새(0.2 mm)가 존재하면 진동 신호의 크기는 접촉력(5 N)이 존재할 때보다

매우 크게 나타났다. 접촉력이 존재할 경우에는 진동 신호의 위상이 반대로 나타났다. 그러나 틈새가 있는 경우에는 역위상과 동위상이 함께 섞여서 연속적으로 나타나는 것을 알 수 있었다.

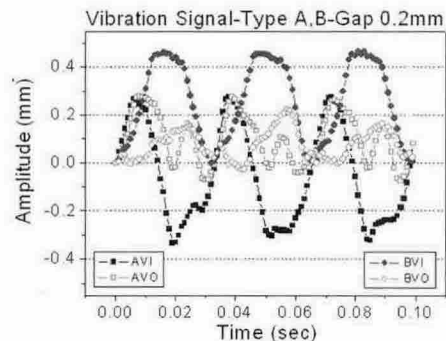
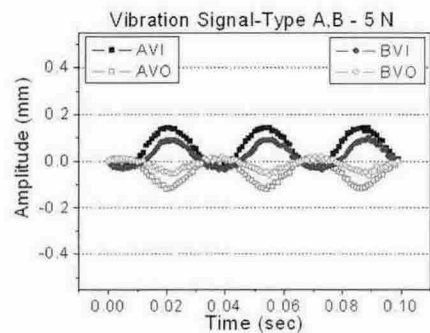


Fig. 2 Tube oscillation behavior near contact region relevant to contact conditions (key: A/BVI: type A (or B) vertical inside sensor; A/BVO: vertical outside).

3.2 미끄럼 변위 방정식

미끄럼 변위를 구하기 위해 개발된 방정식은 식(1)~(4)와 같다. 만약 진동신호가 동위상을 나타내면 Mode I 을 적용하고, 역위상을 나타내면 Mode II 를 적용하였다. 그리고 Mode I 에서 Mode I 혹은 Mode II 에서 Mode II 로의 변화 증분을 고려하여 두 개의 방정식을 유도하였다. 이것에 대한 수식은 각각 Fig. 3 와 Fig. 4 에 나타내었으며, 이는 기존의 논문[2]에 발표된 수식을 개선한 것이다.

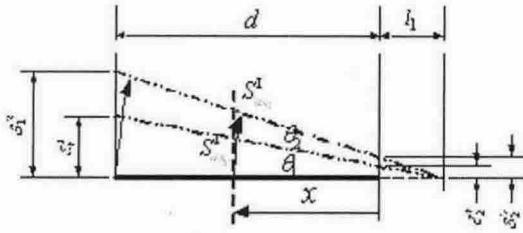


Fig.3 Model I -> Model I.

$$S^I_{ax1} + S^I_{ax2} = \frac{(l_1 + x)(1 - \cos(\theta_1 + \theta_2))}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} \quad (1)$$

$$S^I_{ax2} = \frac{(l_1 + x)(1 - \cos(\theta_1 + \theta_2))}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} - S^I_{ax1} \quad (2)$$

where, $\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{|\delta_1^2 - \delta_2^2|}{d} \right) - \theta_1$

$$\left(\because (\theta_1 + \theta_2) = \tan^{-1} \left(\frac{|\delta_1^2 - \delta_2^2|}{d} \right) \right)$$

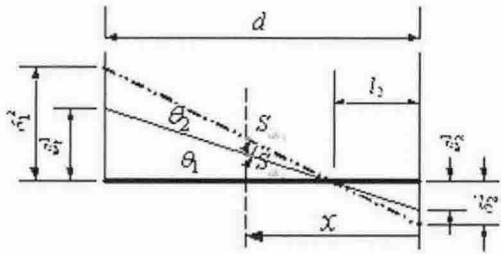


Fig. 4 Mode II -> Mode II.

$$(S^{II}_{ax1} + S^{II}_{ax2}) = \frac{|x - l_2|}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} - |x - l_2| = \frac{|x - l_2|}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} \{1 - \cos(\theta_1 + \theta_2)\}$$

$$\therefore S^{II}_{ax2} = \frac{|x - l_2|}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} \{1 - \cos(\theta_1 + \theta_2)\} - \frac{|x - l_2|}{\cos(\theta_1)} (1 - \cos \theta_1) \quad (3)$$

$$S^{II}_{ax2} = (x - l_2)\theta_2 \quad (4)$$

where, $l_2 = \frac{d|\delta_2^2|}{|\delta_1^2| + |\delta_2^2|}$ (it's identical with Mode II)

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{|\delta_1^2|}{d - l_2} \right) - \theta_1, \quad \left(\because \tan(\theta_1 + \theta_2) = \frac{|\delta_1^2|}{d - l_2} \right)$$

3.3 주파수와 마멸과의 관계에 대한 분석

Fig. 2 에 주어진 진동 신호 데이터를 이용하여 주파수 요소들을 조사하였으며 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서와 같이 접촉력이 존재할 때 적용된 진동의 주파수는 30 Hz 뿐이다. 하지만 틈새가 존재하면 가진 주파수인 30 Hz와 이의 배수에 해당하는 주파수가 나타났는데, 이것은 조화진동의 특징이다. 만약 접촉부에 틈새가 존재하면 미끄럼이 빈번히 발생할 것으로 예상되므로, 이러한 현상은 틈새가 존재할 경우가 접촉력이 있는 경우보다 더 심한 마멸을 발생시키는 원인으로 작용할 것이다.

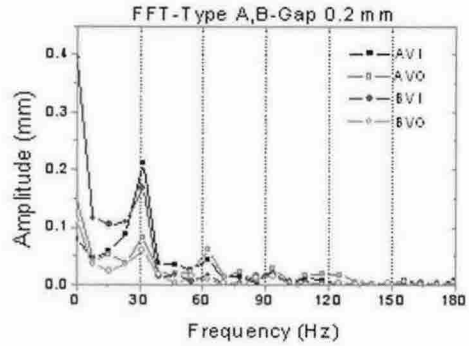
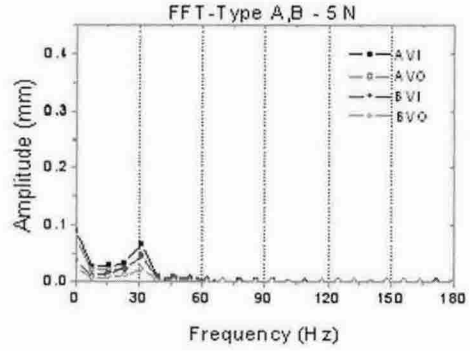


Fig.5 FFT results of the tube vibration.

4. 결론

격자스프링에 의해 지지된 튜브의 진동을 평가하기 위해 진동 특성과 미끄럼 변위를 조사하였다. 또한, 본 논문에서는 증분 개념을 적용하여 기존에 발표[2]된 미끄럼 변위 방정식을 개선하였다. 이것은 프레팅 마멸을 분석하는데 매우 중요한 자료로 생각된다. 주파수 분석결과로부터 튜브와 스프링 사이에 틈새가 발생하면 주파수 형태가 급격히 변화하는 흥미로운 사실을 알 수 있었다. 이에 따라 틈새가 존재할 때 발생하는 고주파수 영역은 심한 마멸을 일으키는 또 하나의 원인으로 판단된다.

5. 후기

본 연구는 과학 기술부의 원자력 연구개발 사업의 일환으로 수행되었음.

REFERENCES

[1] Kim, H. K., Yoon, K. H., Kang, H. S., Song, K. N., 2001, "Development of Fuel Rod Fretting Wear Tester," *Proc. of KSTLE*, Nov. pp. 245~251.
 [2] Song, J. S., Kim, H. K., Lee, Y. H., 2004, "Experimental Analysis of the Relationship between Slip Displacement and Wear in Fuel Rod Fretting," *Proc. of KNS*, May Vol. 1, Div. 7.