

영구자석-고리선류수감기를 리용한 회전체불균형 위치진단에 대한 연구

주승철, 흥성형

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 발전된 나라들에서 이룩한 과학기술의 성과를 널리 받아들이고 그것을 더욱 발전시킴으로써 최신과학기술의 높은 봉우리를 빨리 점령하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 142페이지)

최근에 빗섬유수감기술이 등장하면서 물리적량측정들에 외부조건건딤성이 강하고 전자기잡음의 영향을 받지 않으며 원가가 낮은 빗섬유를 적극 리용하고있다.[1, 2]

기계진동수감에 많이 리용되고있는 고리형전자기식진동수감부는 감도가 높고 스펙트르폭이 넓으며 선형성이 좋은 우점이 있지만 전자기잡음의 영향을 세계 받으므로 동불균형이 산생하는 신호를 가려내기 힘든 결함이 있다.

논문에서는 빗섬유의 구부림특성을 리용하여 전자기잡음이 비교적 강한 조건에서 고리형전자기수감부신호에서 회전체동불균형이 산생하는 기본신호만을 갈라내어 동불균형질량중심의 위치를 결정하는 방법에 대하여 논의하였다.

1. 다모드빗섬유의 구부림손실특성

속심의 굴절률이 균일한 빗섬유가 구부러지면 빗섬유의 굴절률분포는 달라진다.

빗섬유의 속심반경이 a , 끝은 빗섬유속심굴절률이 n_0 , 구부림곡률반경이 R 일 때 빗섬유축에서 구부림반경방향으로 x 만큼 떨어진 점에서의 굴절률은 다음과 같다.[3]

$$n(x) = n_0(1 - \{2 - n_0^2[p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12})]\} / (2R) \cdot x) \quad (1)$$

여기서 ν 는 췌송비, p_{11} 과 p_{12} 는 빗탄성텐소르의 성분들인데 우리가 리용하는 용융석영 빗섬유에서 $\nu = 0.17$, $p_{11} = 0.12$, $p_{12} = 0.27$ 이다. x 의 부호는 빗섬유축에서 구부림반경방향으로 가면서 +를 취하고 반대방향으로 가면서 -를 취한다.

식 (1)로부터 빗섬유가 구부러질 때 구부림반경방향으로 가면서 전파하는 파의 위상속도가 커진다는것을 알수 있다. 곡부위상속도가 빗섬유외부층에서의 빛속도보다 커지면 그 부분의 파면은 원래파면에서 벗어나 동경방향으로 전파하면서 전파손실을 초래한다.

빗섬유의 구부림손실출력 Δp 를 얻기 위한 자리표를 그림 1과 같이 선택한다.

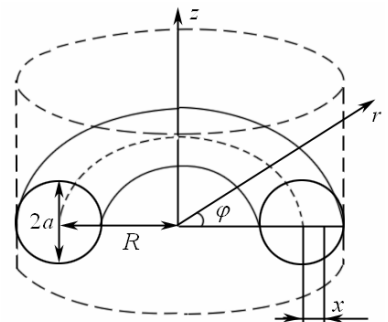


그림 1. 구부러진 빗섬유에서의 자리표설정

전파마당은 빗섬유속심바깥 ($r > R + a$)에서 구부림중심으로부터 멀어지면서 링으로 되어야 하며 경계 $r = R + a$ 근방에서는 빗섬유속심의 마당과 유사해야 한다. 따라서 속심바깥에서의 전기마당은 바깥으로 향하는 많은 원통형파의 중첩으로 표시할수 있다.

이때 전기마당의 성분들인 E_z 와 E_φ 는 다음과 같이 주어진다.

$$E_z = \int_{-\infty}^{+\infty} [c_1(\beta)\varepsilon_{z\beta 1} + c_2(\beta)\varepsilon_{z\beta 2}]d\beta, \quad E_\varphi = \int_{-\infty}^{+\infty} [c_1(\beta)\varepsilon_{\varphi\beta 1} + c_2(\beta)\varepsilon_{\varphi\beta 2}]d\beta$$

여기서 $c_1(\beta)$ 와 $c_2(\beta)$ 는 무계결수로서 첨수는 서로 수직인 2개 모드에 의한 기여몹을 나타내며 입력마당과 규격함수의 직교조건으로부터 구할수 있다.

$\varepsilon_{z\beta i}$ ($i=1, 2$) 는 2부류한켈함수 $H_\mu^{(2)}$ 에 의하여 $\varepsilon_{z\beta i} = B_i H_\mu^{(2)}(\rho r) e^{-j\mu\varphi} \cdot e^{-j\beta z}$ 과 같이 주어진다. 이에 해당하는 자기마당은 $h_{z\beta i} = B_i F_i H_\mu^{(2)}(\rho r) e^{-j\mu\varphi} \cdot e^{-j\beta z}$ 이다. 여기서 $\rho = \sqrt{n_2^2 k_0^2 - \beta^2}$ 인데 n_2 는 빗섬유결층의 굴절률, k_0 은 진공속에서의 전파상수, B_i 는 원기둥파의 규격화된 진폭, j 는 복소수표시이며 $F_1 = n_2 \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \frac{H_\mu^{(2)}[\rho(R+r)]}{H_\mu^{(2)' }[\rho(R+r)]}$, $F_2 = n_2 \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \frac{H_\mu^{(2)' }[\rho(R+r)]}{H_\mu^{(2)}[\rho(R+r)]}$ 이다.

$\varepsilon_{\varphi\beta i}$ 와 $h_{\varphi\beta i}$ 는 다음의 식으로 주어진다.

$$\varepsilon_{\varphi\beta i} = -\frac{j}{\rho^2} \left(\frac{\beta}{r} \frac{\partial \varepsilon_{z\beta i}}{\partial \varphi} - \omega \mu_0 \frac{\partial h_{z\beta i}}{\partial r} \right), \quad h_{\varphi\beta i} = -\frac{j}{\rho^2} \left(\frac{\beta}{r} \frac{\partial h_{z\beta i}}{\partial \varphi} + \omega \varepsilon_0 n_2^2 \frac{\partial \varepsilon_{z\beta i}}{\partial r} \right)$$

여기서 ε_0 과 μ_0 은 진공의 유전률과 투자률, ω 는 빛의 각주파수이다.

빗섬유에서 손실되는 출력은 빗섬유구부림방향으로 나가는 출력인데 그것은 구부림반경방향에 수직인 전기마당성분과 자기마당성분의 벡토르적으로 표시된다.

매개 모드에 해당하는 손실출력은 $\Delta q = \int_0^{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} d\varphi \int (\varepsilon_{\varphi\beta i} \cdot h_{z\beta i}^* - \varepsilon_{z\beta i} \cdot h_{\varphi\beta i}^*) dz$ 와 같다.

출력손실률 α 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\Delta p}{p} = \frac{\pi}{2p} \frac{r}{R+a} \sum_{i=1}^2 \int_{-\infty}^{+\infty} |c_i(\beta)|^2 (\varepsilon_{\varphi\beta i} \cdot h_{z\beta i}^* - \varepsilon_{z\beta i} \cdot h_{\varphi\beta i}^*) d\beta = \\ &= \frac{\pi}{2p} \frac{r}{R+a} \sum_{i=1}^2 \int_{-\infty}^{+\infty} |c_i(\beta)|^2 \frac{j\omega n_2^2 \varepsilon_0}{\rho} |B_i|^2 \left[\frac{\mu_0}{\varepsilon_0 n_2^2} |F_i|^2 H_\mu^{(2)' }(\rho r) H_\mu^{(2)* }(\rho r) - H_\mu^{(2)}(\rho r) H_\mu^{(2)* }(\rho r) \right] d\beta \end{aligned}$$

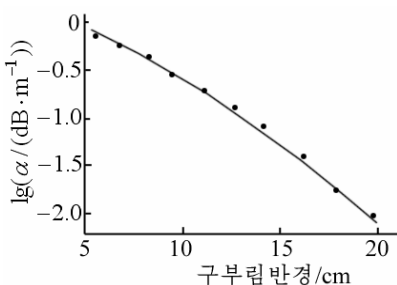


그림 2. 빗섬유구부림반경에 따르는 구부림손실

— 계산결과, • 실험결과

여기서 p 는 입력마당의 출력이며 *은 복소공액을 의미한다.

구부림반경에 따르는 손실출력의 계산 및 실험결과를 그림 2와 같다.

계산 및 실험에 리용한 빗섬유는 AFS105/125Y다모드 빗섬유인데 속심의 굴절률은 1.444 6, 결층의 굴절률은 1.427 1, 속심반경은 52.5 μm 이다. 반도체레이자광원의 파장은 980nm이고 InGaAs빛수감부를 리용하였다.

그림 2에서 보는바와 같이 계산과 실험결과가 비슷하므로 빗섬유구부림을 진동판에 결합시키면 진동판의 변위특성을 빗섬유의 손실특성으로 전환시킬수 있다.

2. 회전체불균형량질량중심의 위치결정

만일 회전체에 일정한 불균형량이 존재한다면 회전체는 회전할 때 축에 추가적인 힘을 가하게 된다. 이 추가적인 불균형힘은 회전체에 존재하는 불균형량이 나타내는 관성원심힘에 의해 발생한다.

불균형량수감의 력학적모형은 그림 3과 같다.

회전체를 받치는 두 탄성받침대사이거리를 l 이라고 하고 불균형량의 질량중심이 축에서 r 만큼 떨어져있으며 1개 받침대로부터 ρ 만큼 떨어져있다고 하자.

불균형질량이 m , 회전체의 회전각속도가 ω 일 때 불균형량이 나타내는 원심관성힘은 $F = m\omega^2 r$ 이다.

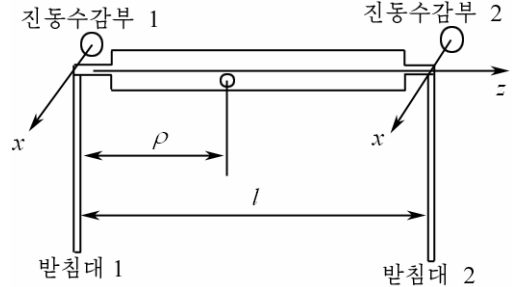


그림 3. 불균형량수감의 력학적모형

이제 받침대들이 회전축방향 z 에 수직인 x 방향으로만 진동하게 속박조건을 주면 받침대 1, 2에 가해지는 힘은 각각

$$F_1 = \frac{l-\rho}{l} m\omega^2 r \cos(\omega t), \quad F_2 = \frac{\rho}{l} m\omega^2 r \cos(\omega t)$$

와 같다. 이 힘들은 받침대 1과 받침대 2를 진동시키는 원천힘으로 된다.

받침대 1, 2의 력학적파라미터들이 같다고 할 때 이 원천힘에 의한 받침대 1, 2의 강제진동진폭은 각각

$$A_1 = \frac{m\Delta x_1 \omega^2}{2k - M\omega^2}, \quad A_2 = \frac{m\Delta x_2 \omega^2}{2k - M\omega^2}$$

과 같다. 여기서 k 는 받침대의 탄성계수이고 M 은 회전체의 전체질량이며 $\Delta x_1 = \frac{l-\rho}{l} r$, $\Delta x_2 = \frac{\rho}{l} r$ 이다.

만일 전자기잡음이 없다면 받침대 1과 받침대 2의 진동에 의하여 고리선류전자기수감기에 발생하는 전동력의 진폭의 비는 력학적진동의 진폭 A_1 과 A_2 의 비와 같다.

전자기잡음이 비교적 강할 때에는 선류수감기신호에서 잡음을 제거해야 하는데 이것은 앞에서 취급한 빛섬유수감기신호와 전자기수감기신호를 중첩적분하여 프로그램적으로 해결할수 있다.

이렇게 잡음을 제거한 신호의 진폭 A_1 , A_2 에 대하여

$$\gamma = \frac{\varepsilon_{02}}{\varepsilon_{01}} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} = \frac{\rho}{l-\rho}$$

가 성립된다. 이로부터 ρ 를 구하면 $\rho = \frac{\gamma}{1+\gamma} l$ 이 성립되며 따라서 불균형질량중심의 z 축 자리표 ρ 를 얻을수 있다.

맺는 말

빛섬유가 구부러질 때 전파손실특성을 수값계산 및 실험적으로 연구하여 빛섬유의 구부림특성을 진동수감에 리용할수 있다.

빛섬유구부림진동수감부는 전자기잡음의 영향을 받지 않으므로 진동의 주파수특성을 잘 반영한다. 빛섬유진동수감부에서 얻은 신호와 고리선륜전자기수감부신호를 중첩적분하여 정확한 력학적진동진폭비를 구하고 그로부터 불균형질량중심의 자리표를 결정할수 있다.

참고 문헌

- [1] Yong Zhao et al.; Sensors and Actuators, B 196, 518, 2014.
- [2] S. M. Tripathi et al.; Journal of Light Wave Technology, 27, 13, 2348, 2009.
- [3] R. H. Shermer et al.; IEEE J. Quantum Electronics, 43, 10, 899, 2007.

주체106(2017)년 1월 5일 원고접수

Diagnostics of Rotor Unbalance Position using the Permanent Magnet-Link-Shaped Conductor

Ju Sung Chol, Hong Song Chong

The propagation loss characteristics of bent optical fiber has been calculated numerically and experimentally, and it has been proved that its characteristics can be used in sensing vibration.

The optical fiber bent sensor exactly reflects vibration frequency characteristics due to its insensibility to electromagnetic noise. Using the overlap integral of signals from electromagnetic sensor and optical fiber sensor, we can obtain the correct amplitude ratio of mechanical vibration and determine the position of unbalance mass center from that.

Key words: optical fiber, dynamic unbalance, vibration sensor