

회전체 동역학을 이용한 회전형 양극의 임계속도 분석

The Critical analysis of Rotating Anode Using Rotor Dynamics

*차영택¹, #이우영², 최성훈¹, 박진영¹, 신대영¹

*Y. T. Cha¹, #W. Y. Lee(wylee@kut.ac.kr)², S. J. Choi¹, J. Y. Park¹, D. Y. Shin¹

¹한국생산기술연구원, ²한국기술교육대학교 기계정보공학부

Key words : X ray tube, Rotor dynamics, Campbell diagram, Critical speed

1. 서론

X 선은 고속 전자의 흐름을 물질에 충돌시켰을 때 생기는 과장이 짧은 전자기파로서, 물질을 쉽게 투과할 수 있고, 투과할 때 물질을 이온화시키는 특성을 가지고 있다.¹⁾ 특히, 투과 시에 물질의 밀도, 원자에 따라 투과율이 달라지기 때문에 이 원리를 이용하여 생체 내부를 촬영하는 의료장비와 일반 산업의 비파괴 검사 장비 등으로 널리 사용되고 있다. 이러한 X선의 방출은 X 선관에서 이루어지며, X 선관은 크게 양극(Anode), 음극(Cathode)과 진공관으로 구성 되어 진다. X 선은 음극을 가열시켜 방출된 열전자가 음, 양극 사이에 인가된 높은 전압에 의해 가속되어 양극에 충돌하여 얻어지므로, 양극에 열전자의 충돌이 지속적으로 발생하게 되면, 양극에 손상을 줄 수 있으므로 양극의 손실을 막기 위해 고속으로 회전시킨다. 하지만, 양극의 고속 회전시에 발생할 수 있는 공진과 같은 문제로 회전체동역학적 관점에서 분석되어야 한다.²⁾ 본 논문에서는 고속으로 회전하는 양극을 회전체 동역학적 관점에 분석하기 위해 유한요소해석을 사용하는 방법을 제시하였으며, 그 결과로 양극의 회전속도에 따른 임계속도를 도출하였다.

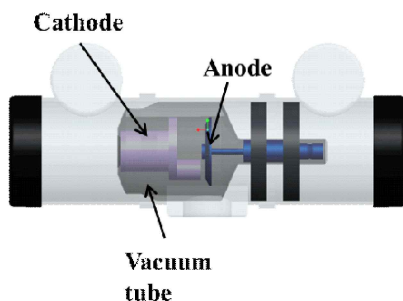


Fig. 1 Construction of X ray tube

2. 회전양극의 유한요소 모델링

회전형 양극은 Fig. 2와 같이 디스크, 회전자, 고정자, 베어링으로 나누어 모델링되었으며, 해석에 사용된 노드와 요소수는 각각 8,930개와 5,168개이다. 디스크와 고정자의 재질로는 일반적으로 많이 사용되는 폴리브텐을 적용하였으며, 베어링 볼은 원활한 해석을 위해 Fig. 3과 같이 스프링으로 모델링하였다. 이 때, 볼의 스프링 탄성계수(K)는 식 (1)과 같이 헤르츠의 접촉이론을 통해 계산하였다.^{3,4)}

$$K = \frac{dF}{d\delta} = \left(\frac{9}{16RE^*} \right)^{-\frac{1}{3}} F^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$\text{Where, } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}$$

계산된 볼의 스프링 탄성계수 값은 24.473 kN/m이며, 회전양극의 회전속도는 일반적으로 많이 쓰이는 10,000rpm을 적용하였고, 해석을 수행하기 위해 ANSYS 12.0을 사용하였다.

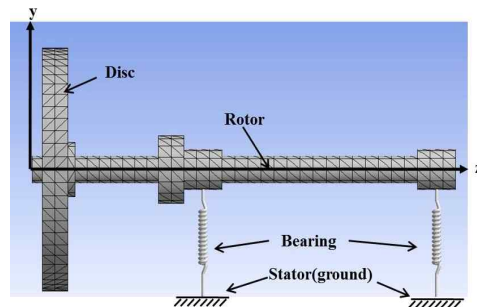


Fig. 2 Finite element model of rotating anode

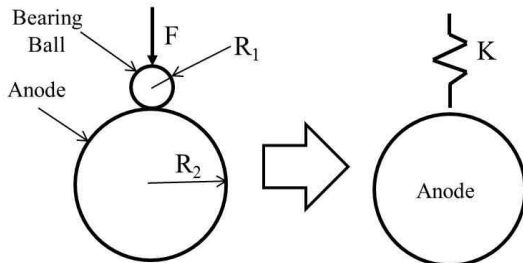


Fig. 3 Calculation of bearing contact stiffness

Table 1 Properties of disc and rotor

| Disc/Rotors | |
|-----------------|-------------------------|
| Density | 10200 kg/m ³ |
| Youn's Modulus | 317 Mpa |
| Poisson's Ratio | 0.321 |

Table 2 Calculated properties of bearing and anode

| Bearings/Anode | |
|--|-------------|
| Calculated stiffness(K) | 24.473 kN/m |
| Preload(F) | 80 N |
| Radius of bearing(R ₁) | 1.75 mm |
| Radius of Anode(R ₂) | 8.5 mm |
| Young's modulus of bering(E ₁) | 83 Gpa |
| Young's modulus anode(E ₂) | 200 Gpa |

3. 해석결과

해석결과는 Fig. 4와 같이 회전양극의 회전속도에 따른 고유진동 주파수를 표기한 캠벨 다이어그램(Campbell diagram)의 형태로 나타나며, 캠벨 다이어그램의 회전속도(Rotation speed)/60선과 각 휘둘림(Whirling) 모드 선들의 교차점은 임계속도(Critical speed)를 의미한다. 여기에서 각 휘둘림 모드별 임계속도는 1255 rpm, 2427 rpm, 3082 rpm, 9512 rpm에서 나타나고 있으며, 각각의 회전수에

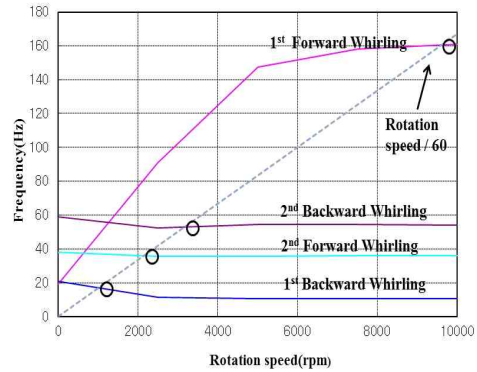


Fig. 4 Campbell diagram of rotating anode

대해 1차 전진(Foward)과 후진(Backward) 휘둘림 모드에서는 160.042 Hz 와 14.408 Hz, 2차 전진과 후진 휘둘림 모드에서는 38.152 Hz와 53.274 Hz의 공진주파수를 가지고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 회전형 양극의 고속 회전시 임계속도를 분석하기 위해 회전체 동역학을 고려한 유한요소해석방법을 적용하였으며, 회전형 양극의 지지하는 베어링을 헤르츠의 접촉이론을 사용하여 도출하였다. 그 결과로, 회전형 양극의 회전수 증가에 따른 캠벨 다이어그램을 도출하였으며, 각 휘둘림의 전진, 후진모드에 따른 임계속도 및 공진주파수를 도출하였다. 이러한 결과는 추후 X선관의 회전형 양극의 설계에 적용가능하다.

참고문헌

1. Klug Harold P. and Alexander Leory E., "X-Ray Diffraction Procedures: For Polycrystall and Amorphous Material", 2nd ed, Wiley-VCH, 23-45, 1974.
2. Chun-Do and Charles W. Bert, "Critical Speed Analysis of Laminated Composite, Hollow Drive Shafts", Composites Engineering, vlo. 3, 633-643,1965
3. KL Johnson, "Contact mechanics", The Press Syndicate of The University of cambridge, 1987
4. T. A. Harris, How to Compute the effects of preload bearings, Prod.Eng., 19, 84-93, 1965