

정밀제어용 하모닉드라이브의 경량설계를 위한 구조해석

Structural Analysis for Light Weight Design of the Harmonic Drive for Precision Control Applications

*김기홍¹, 김형모¹

*K. P. Kim(keepkim@kitech.re.kr)¹, H. M. Kim¹

¹ 한국생산기술연구원 동력부품센터

Key words : Harmonic drive, Light weight design, Structural analysis

1. 서론

하모닉드라이브(harmonic drive)는 동력원인 모터(motor)의 회전 속도를 감속시켜 토크(torque)를 증대시키면서 초정밀 위치제어를 하는 장치로서 Fig. 1 과 같이 파형발생기(wave generator), 플렉스스플라인(flexspline), 원형 스플라인(circular spline)의 3 개의 부품만으로 구성되어 있다.

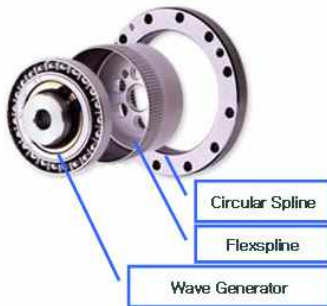


Fig. 1 Components of the harmonic drive

하모닉드라이브는 휴머노이드용이나 산업용 로봇산업에서 많이 적용되는 부품으로 파형발생기에 의하여 플렉스스플라인이 타원형상으로 변형되면서 타원의 장축 부분에서 원형스플라인과 치물림 운동을 통해 동력을 전달하는 기어 드라이브로서 기존의 강체 관점이 아닌 탄성이론을 적용한 정밀 감속기이다.^{1,2}

따라서 하모닉 드라이브를 새로 설계하거나 기존 형상을 변경할 경우에는 탄성변형의 영향을 고려하여야 하며 변형에 따른 플렉스스플라인의 응력 상태를 분석하는 것은 필수적이다. 본 논문에서 타원 형상으로 변형되는 플렉스

스플라인의 구조해석을 수행하여 하모닉드라이브의 구동상태에 따른 탄성 변형상태를 분석하였다. 구조해석은 유한요소법을 이용하여 수행하였으며 플렉스스플라인의 응력분포를 도출하였다.³

2. 유한요소 모델링 및 해석 조건

본 논문에서는 원형 스플라인과 플렉스스플라인의 치물림에 따른 변형특성은 고려하지 않고, 파형발생기에 의한 타원형상으로서의 변형에 따른 플렉스스플라인의 응력해석을 수행하였다. 구조해석을 수행한 하모닉드라이브의 형상은 Fig. 2 와 같다.

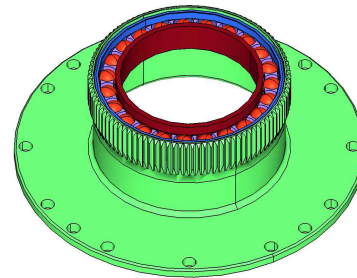


Fig. 2 Geometric model of the harmonic drive

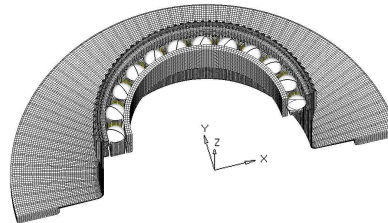


Fig. 3 Finite element model of the harmonic drive

구조해석을 수행하기 위하여 Fig. 3 과 같이 유한요소 모델링을 수행하였고 해석모델은 1/2 로 나타내었다. 해석모델은 215,726 개의 절점 과 174,236 개의 육면체 및 프리즘 요소로 구성 되어 있고 과형발생기 베어링(bearing)의 볼(ball)은 기하학적 강체(geometric rigid) 모델로 고려하였다. 해석에 사용된 소재에는 탄성계수를 210GPa, 프아송비(Poisson ratio)를 0.3 으로 적용하였다.

플렉스스플라인의 타원 형상으로의 변형은 과형발생기 내부의 캠 형상에 따라 결정되나 본 논문에서는 과형발생기 베어링의 내경 면에 캠의 타원형상에 따른 변위 경계조건을 적용하였다. 캠의 타원형상은 식 (1)에 의하여 표현되고, 베어링 내경 면에 식 (1)을 이용한 변위경계조건을 부여하였고 Fig. 2 의 x 축 방향으로 타원형상의 장축이 위치하도록 하였다.

$$R_p(\theta) = r + \frac{d}{2} \cos 2\theta, \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi \quad (1)$$

여기에서, r 은 베어링의 내경이고 d 는 플렉스스플라인과 원형스플라인 피치원 직경 (pitch diameter)의 차이이다.

응력해석은 ABAQUS/standard 이용하여 수행하였으며 내부 부품들 간에는 접촉조건을 적용하였다.

3. 구조해석 결과

위에서 수행한 하모닉드라이브의 유한요소 모델과 경계 조건 등을 이용하여 구조해석을 수행하였다. Fig. 4 는 탄성 응력해석으로부터 얻어진 플렉스스플라인의 von-Mises 응력분포이다. 최대 von-Mises 응력은 캠 타원의 장축이 위치하도록 설정하여 최대 변형이 발생하는 x 축 방향의 치형 사이에서 발생하였고, 그 크기는 417 MPa 이다. 기하학적 형상에 의하여 치형 사이에서는 응력집중이 발생한 것이다. 치형 사이를 제외하면 플렉스스플라인에서 발생하는 최대 응력은 캠 타원의 장축과 일치하는 방향의 곡선부에서 발생하였다. Fig. 5 는 장축 방향의 단면에서 치형부분부터 단면의 길이를 따라 응력분포를 나타낸 것이다.

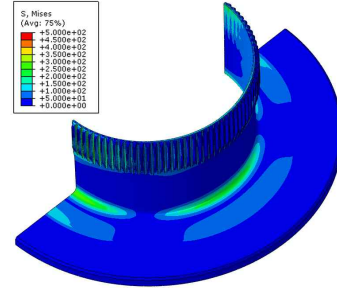


Fig. 4 von-Mises stress distribution of the flexspline

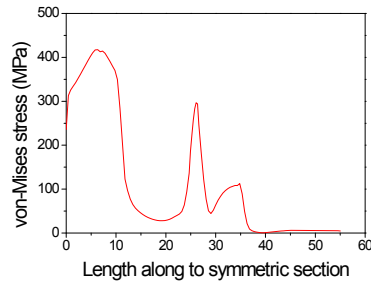


Fig. 5 Von-Mises stress along to symmetric section on major axis direction of the cam ellipse

4. 결론

본 논문에서는 하모닉드라이브의 구조해석을 수행하여 응력분포를 분석하였다. 응력해석 결과 플렉스스플라인의 치형 사이에서 응력이 높게 발생하였고 치형 사이를 제외하면 플렉스스플라인의 곡선부에서 응력이 높게 나타났다. 이 구조해석 결과와 해석 기법을 이용하면 하모닉드라이브의 경량설계에 활용할 수 있다.

참고문헌

1. Musser, C. W., "Breakthrough in Mechanical Drive Design: The Harmonic Drive," Machine Design, Penton Publishing Co., 1960.
2. Michalec, G. W., Precision Gearing: Theory and Practice, John Wiley and Sons., 1966.
3. 신호석, 엄혜주, 박근, 김영석, 김충석, "플라스틱 하모닉 감속기용 플렉스스플라인 설계 및 해석", 대한기계학회 2007년 추계학술대회, 191~196, 2007.