

스퍼기어에서 미끄럼마찰의 해석

Analysis of Sliding Friction in Spur Gears

박찬일†

Chan IL Park

1. 서 론

기어에 작용하는 마찰은 두기어가 서로 맞물려 돌아가는 경우 생기는 미끄럼 접촉으로 인하여 발생한다. 이때 발생하는 마찰로 인하여 열이 발생하고 이 열에 의해 윤활유의 온도가 상승하게 되어 점성이 낮아지게 된다. 그로인해 기어나 피니언이 마모되고 효율의 저하 및 진동 소음을 발생시킨다. 또한 스퍼기어는 피치원을 경계로 하여 마찰의 방향이 바뀌고, 마찰력이 진동의 가진 원으로 된다. 이 연구에서는 스퍼기어의 미끄럼 특성과 마찰력의 영향을 해석하고자 한다. 이를 위하여 미끄럼 특성에 대한 기하학적 관계식과 마찰을 고려한 기어의 전달하중, 마찰력을 유도하고 수치예제를 통하여 전달하중과 마찰력을 해석한다.

2. 기어의 미끄럼 속도 및 마찰력

기어가 서로 물고 돌아가는 경우 피치원은 구름접촉을 하지만 치면의 다른 점에서는 구름접촉과 동시에 미끄럼 접촉을 한다. 미끄럼 접촉으로 치면에는 마찰과 열이 생기고 이것으로 인하여 기어나 피니언이 마모가 되면서 서서히 기어의 표면 손상 및 백래시가 발생한다. 기어의 표면 손상 및 백래시가 커질 경우 소음과 진동이 발생하여 동력손실이 생기며 기어장치의 효율이 떨어지게 된다. 이 장에서는 기어 미끄럼과 마찰에 대한 연구를 위해 기어의 기하학적인 관계를 계산하고 마찰력을 유도한다.

2.1 피치 점으로 접근할 경우

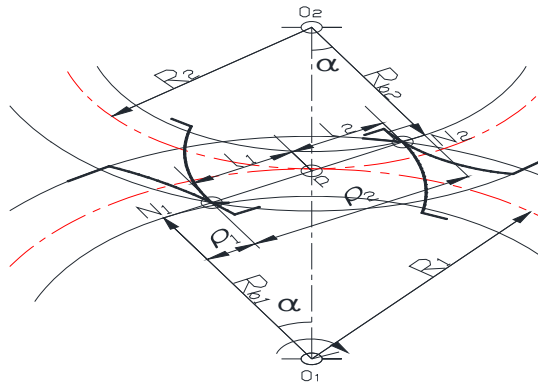


Fig. 1 Kinematics of gear meshing

α 는 압력각이고, 피치 점으로 접근할 때 피치 점과 접촉점 사이의 거리를 l_1 이라 하자. Fig. 1에서 곡률반지름 ρ_1, ρ_2 는 다음과 같다.

$$\rho_1 = R_1 \sin \alpha - l_1, \quad (1a)$$

$$\rho_2 = R_2 \sin \alpha + l_1. \quad (1b)$$

구동기어와 피동기어의 속도 v_1, v_2 는 다음과 같다.

$$v_1 = \rho_1 \omega_1, \quad (2a)$$

$$v_2 = \rho_2 \omega_2. \quad (2b)$$

미끄럼 속도는 다음 식으로 주어진다.

$$v_s = v_1 - v_2 = \rho_1 \omega_1 - \rho_2 \omega_2. \quad (3)$$

$R_1 \omega_1 = R_2 \omega_2$ 관계와 식(1)을 대입하여 다음과 같이 미끄럼 속도가 구해진다.

$$v_s = -l_1(\omega_1 - \omega_2). \quad (4)$$

마찰력은 미끄럼 속도에 반대로 작용하므로 Fig. 2에서 표기된 방향으로 마찰력이 작용하고, 토크, 전달하중, 마찰력으로 모멘트 평형을 취하면 다음으로 된다.

$$-T_1 + R_{b1} W_n - (R_{b1} \tan \theta) \mu W_n = 0. \quad (5)$$

† 교신저자; 정회원, 강릉원주대 기계자동차공학부
E-mail : pci@gwnu.ac.kr
Tel : 033-760-8723, Fax : 033-760-8721

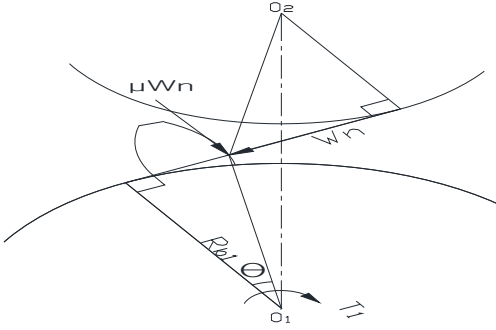


Fig. 2 Friction force in gear approach

이 식을 정리하면 전달하중은 다음과 같이 된다.

$$W_n = \frac{T_1}{R_{b1}(1 - \mu \tan \theta)}. \quad (6)$$

마찰력은 마찰계수를 적용하여 다음과 같이 된다.

$$\mu W_n = \frac{\mu T_1}{R_{b1}(1 - \mu \tan \theta)}. \quad (7)$$

2.2 피치 점에서 퇴거할 경우

기어가 피치 점을 지나 퇴거할 때의 곡률반지름 ρ_1, ρ_2 는 다음과 같다.

$$\rho_1 = R_1 \sin \alpha + l_2, \quad (8a)$$

$$\rho_2 = R_2 \sin \alpha - l_2. \quad (8b)$$

미끄럼 속도는 곡률반지름 식 (8a), (8b)를 대입하여 다음 식으로 주어진다.

$$v_s = v_1 - v_2 = l_2(w_1 + w_2). \quad (9)$$

미끄럼속도에 반대방향으로 마찰력이 작용하므로 접근 시와 반대 방향으로 마찰력이 존재하고, 마찰력을 구하기 위해 모멘트 평형을 취하면 다음과 같이 된다.

$$-T_1 + R_{b1} \tan \theta \mu W_n + R_{b1} W_n = 0. \quad (10)$$

이 식을 정리하면 전달하중은 다음 식으로 된다.

$$W_n = \frac{T_1}{R_{b1}(1 + \mu \tan \theta)}. \quad (11)$$

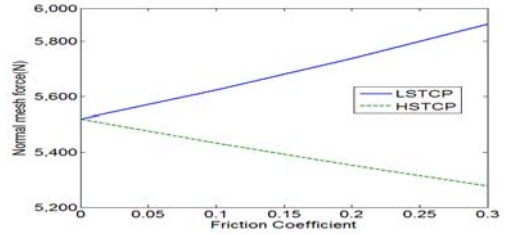
마찰력은 마찰계수를 적용하여 다음으로 주어진다.

$$\mu W_n = \frac{\mu T_1}{R_{b1}(1 + \mu \tan \theta)}. \quad (12)$$

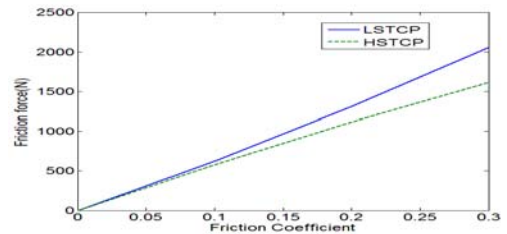
3. 마찰력 해석

앞에서 유도한 기어의 미끄럼마찰의 기하학적 관

계, 전달하중 및 마찰력을 계산하기 위해 기초원 반경이 78.97mm, 입력 토크 473.7Nm, 이수 57인 구동기어를 마찰계수를 0에서 0.3까지 변화 시켰다. 접근할 때는 최저 단일치 접촉점(LSTCP)에서 퇴거할 때는 최고 단일치 접촉점(HSTCP)에서 각각 전달하중과 마찰력을 계산하였고, 그 결과를 Fig. 3에 도시하였다. 그 결과 마찰계수가 커짐에 따라 접근 시 수직하중은 커지고 퇴거 시 작아진다. 마찰력은 마찰계수의 증가에 따라 접근시가 퇴거시보다 크다.



(a) Normal mesh force



(b) Friction force

Fig. 3 Normal mesh force and friction force

4. 결 론

이 연구에서는 스퍼기어의 마찰력의 영향과 미끄럼 특성을 해석하고자, 미끄럼마찰에 대한 기하학적 관계식, 전달하중 및 마찰력을 유도하였다. 수치예제를 통하여 전달하중과 마찰력을 해석한 결과 마찰계수가 커짐에 따라 접근 시 전달하중은 커지고 퇴거 시 작아졌다. 마찰력은 마찰계수의 증가에 따라 접근 시가 퇴거 시보다 커졌다.

후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2012-0006878).