

윤활유 공급량에 따른 스퍼 기어의 피팅 수명에 관한 실험적 연구

Experimental study for influences of the supplied lubricant quantity on pitting life of spur gears

*주진욱¹, #조용주², 김영국², 이병욱², 문석만², 이상돈²

*J. W. Joo¹, #Y. J. Cho(yjcho@pusan.ac.kr)², Y. K. Kim², B. U. Lee², S. M. Moon², S. D. Lee²

¹ 부산대학교 기계공학부, ² 부산대학교 기계공학부, ² 부산대학교 기계공학부

Corresponding author: yjcho@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-2307

Key words : spur gear, gear lubricant, pitting, pitting test, pitting life

1. 연구배경

기어는 동력전달을 위한 가장 중요한 부품이자 시스템의 핵심 요소로, 산업이 발전해감에 따라 고부하용량과 저소음, 고수명에 대한 요구는 날로 높아지고 있다. 따라서 기어의 신뢰성 설계기술은 핵심적인 기반의 기술로서의 그 위치를 차지하고 있다. 기어의 파손은 크게 과대한 하중으로 이부리 부분에 파괴되는 현상에 대한 굽힘강도의 측면과, 피로로 인해 피치점 부근에서 발생하는 피팅현상에 대한 면압강도의 측면으로 나눌 수 있다. 그동안 기어의 굽힘강도와 관련된 파손기구에 대한 연구가 활발히 이루어져 이론과 적용에 있어서 상당한 수준에 도달하게 되었지만, 접촉면 파손기구의 측면에서는 미흡한 것이 사실이다.

기어의 접촉면 파손기구의 측면이 부각되고, 일반적인 실험과 시뮬레이션에 의한 피로수명 데이터가 많이 존재하지만, 기어의 피팅수명을 보다 신뢰성 있게 얻기 위해서는 기어 작동 시 발생하는 온도상승과, 그에 따른 윤활유의 윤활성능 및 공급량을 고려하여 기어 피팅수명을 명확하게 파악하여야 할 것이다.

본 연구에서는 윤활유의 공급량을 고려한 기어의 피팅수명 실험을 위하여 접촉해석을 통해 압력을 계산하며, 공급된 윤활유의 온도상승을 고려하여 윤활유의 공급량을 결정하고, 시험편의 탄성영역 내의 응력범위로 피팅수명 실험을 실시하고자 한다.

2-1. 등가접촉모델

접촉상태에서 서로 상대운동을 하는 스퍼기어의 접촉은 접촉하고 있는 두 실린더를 등가접촉모델로 사용하여 접촉해석을 통해 구할 수 있다.

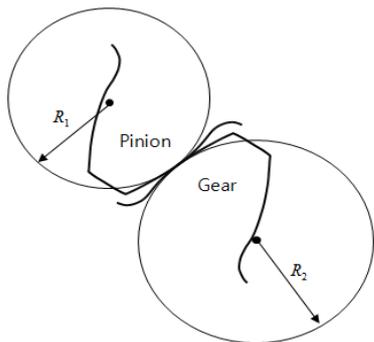


Fig.1 Equivalent radius for gear and pinion

Fig.1은 기어와 피니언의 등가접촉모델인 두 실린더의 접촉을 나타낸 것이다.

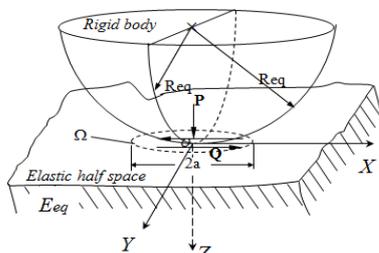


Fig.2 Contact geometry of an equivalent body

일반적인 두 탄성체의 접촉해석은 상당표면과 강체면의 접촉

으로 생각할 수 있다. Fig.2는 두 탄성체의 접촉해석을 위해 상당 표면과 강체면의 접촉을 나타낸 것이다.

강체구의 등가곡률반경 R_{eq} 및 상당탄성계수 E_{eq} 는 다음과 같다.

$$R_{eq} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1}$$

$$E_{eq} = \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^{-1}$$

2-2. 기어이의 물림 메커니즘

스퍼기어의 접촉 메커니즘은 Fig.3 및 Fig.4와 같이 작용선 위의 한 쌍 또는 두 쌍의 접촉 영역을 가진다.

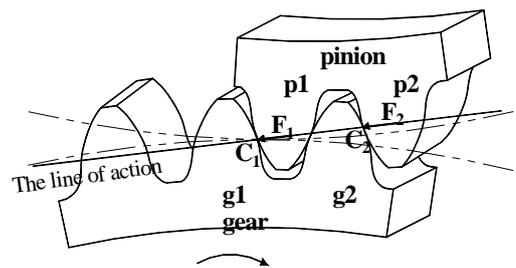


Fig.3 Tooth contact in mating spur gear

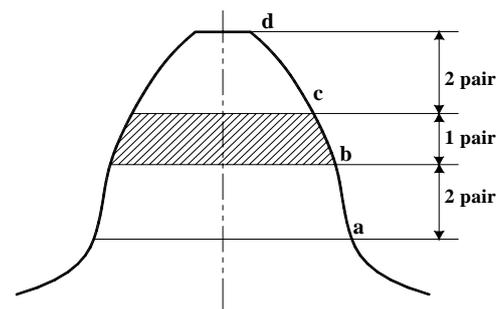


Fig. 4 Tooth contact zones

피치점을 원점으로 지정하고 작용선 방향을 좌표축으로 할 때 접촉 구간은 세 구간으로 나누어진다. Fig.4와 같이, 기어는 a-b구간에는 2개의 접촉점이 맞물리고, b-c구간에는 1개의 접촉점이 맞물리며, c-d구간에는 다시 2개의 접촉점이 맞물리면서 반복 회전하게 된다.

본 연구에서는 응력이 가장 크게 걸리는 기어이가 1개의 접촉점을 가질 때의 응력을 고려하였으며, 피치점에서의 응력을 바탕으로 접촉해석 및 실험을 수행하였다.

3-1. 실험장치 및 시편



Fig.5 Test apparatus and specimen

기어의 피팅수명 실험을 위하여 Fig.5의 Two Roller Machine(Phoenix Tribology 社)을 사용하였다.

3-2. 실험조건

통상 피팅수명 실험에서는 순수 구름실험을 통해 피팅 파손을 관찰하지만, 실제 기어 구동 시 발생하는 접촉부 온도가 피치접 부근에서 미치는 영향을 고려하며 피팅 파손을 관찰하기 위해, 한 쌍의 기어이가 물리는(Single Tooth Contact) 구간에서의 평균 미끄럼율로 위 시편(1900rpm)과 아래 시편(2000rpm)의 회전속도 차를 주어 실험하였다.

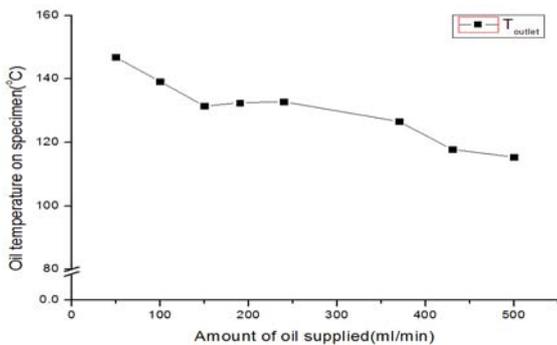


Fig.6 Relation between temperature of specimen and amount of oil supplied

Fig.6은 3GPa에서 일정온도의 공급 윤활유(90°C)에 따른 출구 쪽 윤활유 온도를 나타낸 그래프이다. 본 연구에서는 200ml/min 과 80ml/min의 공급유량으로 피팅수명을 비교하며 실험하였다.

피팅 파손 판단의 기준은 각 응력레벨 당 일정시간마다 광학현미경 관찰 및 SEM 사진 판독을 통해서 피팅 파손 면적이 총 접촉면의 4% 이상인 경우 파손으로 결정하였다.

4. 실험결과

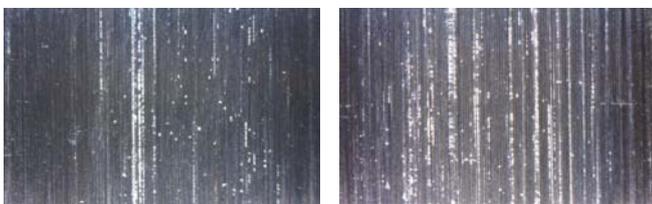


Fig.7 Pits at 2.5GPa; lubrication with 200ml/min; after 300min;

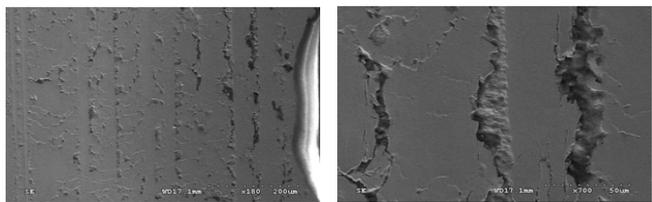


Fig.8 Pits at 2.5GPa; lubrication with 200ml/min; after 300min; x180(left); x700(right)

Fig.7은 피팅이 발생한 시편을 광학현미경으로 촬영한 사진이다. Fig.8은 Fig.7과 동일한 시편을 SEM으로 촬영한 사진이며, 각각 180배율(left)과 700배율(right)로 촬영하였다.

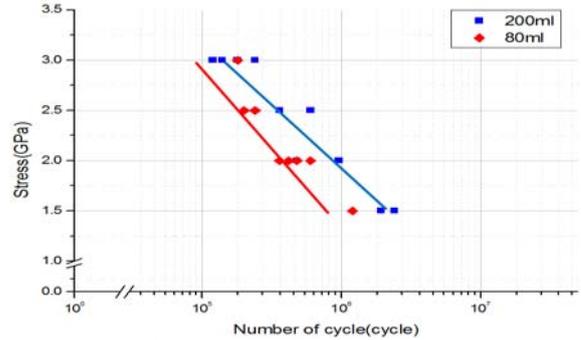


Fig.9 Result of pitting experiment

Fig.9는 공급 윤활유의 양을 200ml/min와 80ml/min 두 가지로 피팅수명 실험결과를 나타낸 S-N Curve이다.

5. 결론

본 연구에서는 기어 표면의 균열이 전파되어 Macro pitting이 발생하기 전의 수명 데이터를 구할 수 있었다. 그리고 윤활유의 공급량에 따른 피팅수명 데이터를 얻을 수 있고, 접촉부의 온도상승 고려 및 윤활유 공급량에 따른 기어의 피팅수명 실험법을 구축하였다. 피팅 파손판정 기준이 전체 접촉면의 4% 이상으로 보았기 때문에 피팅수명이 짧게 나왔으며, 피팅 발생면적의 파손 기준에 따라 피팅수명이 조정될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Love, A. E. H., "The Stress Produced in a Semi-Infinite Solid by Pressure on part of the Boundary," Proc. Roy. Soc. London, Vol. A228, pp.377, 1929.
2. K. L. Johnson, "Contact mechanics", Cambridge University press, pp.45-83, 1985.
3. B. R. Hohn, K. Michaelis, H. P. Otto, "Minimised gear lubrication by a minimum oil/air flow rate", Wear 266(2009) 461-467, 2009.