

리타더 장착 버스용 하이포이드 기어의 스커핑 발생 원인에 관한 연구 A Study on Cause of Scuffing of Gear Set in Bus Axle Mounted with Retarder

*양정호¹, #김용조²

*J. H. Yang¹, #Y. J. Kim(yohngjo@kyungnam.ac.kr)²
¹경남대학교 대학원, ²경남대학교 기계자동차공학부

Keyword : Retarder, Hypoid gear, Wear, Scuffing

1. 서론

기어는 자동차, 항공기, 선박등 모든 산업분야에서 구동요소와 피동요소 간에 운동이나 동력을 전달하는데 사용되는 기계장치이다. 특히 하이포이드 기어는 자동차의 구동계 부품 중 액슬에서 많이 사용되고 있는데 피니언이 읍셋되어 공간상의 이점을 가지며 피니언의 머리부를 크게 하여 접촉면적을 크게 할 수 있어 강도 및 소음에 유리하다.¹⁾ 하지만 접촉면적의 증대에 따른 치면에 많은 손상을 가져오는데 그중 스커핑은 주로 고하중에서 윤활막이 파괴되고 미끄럼에 의한 마찰열에 의해 늘어붙은 현상이 발생되며 피팅은 하중의 이동이 미끄럼과 마모를 발생시켜 이로 인한 마모입자에 의해서 표면피로가 발생한다.^{2,3)}

치면에 대한 손상을 방지하기 위한 표면처리방법중 하나인 인산망간피막처리는 금속끼리의 직접 접촉을 방지하는 목적으로 사용되어지고 있으며 평평한 습동면을 만들어 이 효과에 의해 마찰계수가 저감되어 표면처리를 하지 않은 것과 비교해 마찰열의 발생이 억제되고 습동 평면으로부터 생성된 마모입자와 인산망간피막 입자가 윤활제 역할을 하기 때문에 내마모성을 요구하는 기계부품에 많이 사용된다.

본 연구는 리타더 장착된 버스에 대한 하이포이드 기어의 치면손상에 대해서 마모가 발생했을 시의 접촉응력값을 확인하고 조립상에서 백래쉬의 변화와 제품의 표면거칠기와 접촉응력에 대한 영향을 상호 비교하여 스커핑 발생의 원인을 제시한 후 표면거칠기가 상이한 제품과 인산망간 피막처리를 한 제품군으로 구분하여 실제 시험을 통해 그 효과를 확인하고자 한다.

2. 유한요소 해석

사용된 시뮬레이션 해석 프로그램은 미국 글리슨사에서 개발한 T900이며, 기어의 기하학적 형상의 3차원 모델링을 Fig. 1에 나타내었다. 모델링은 실제 형상과 치수에 맞게 수행하였으며, 격자는 치의 깊이 방향으로 6개의 평면과 치폭 방향으로 10개의 평면으로 분할하고, 다시 치의 내부로 10개의 평면으로 분할하였다.

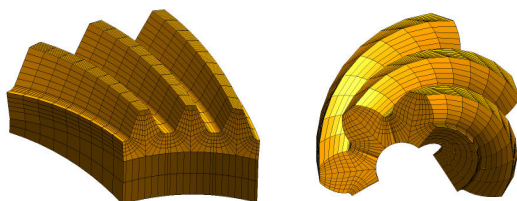


Fig. 1 Geometry of bevel gear set

기어에 작용하는 토크(torque)는 리타더가 장착된 버스가 브레이크를 작동시킬 때 작용하는 실제 토크 값을 측정하여 얻어진

값 2,827 N·m를 입력 값으로 하여 전체 치면에서의 접촉응력과 최대 피치선 접촉응력을 확인하였다.

3. 실험

실험의 샘플은 현재 생산되고 있는 제품을 대상으로 하였다. 재질은 SCM-H2 이며, 기어제작의 마지막 단계인 래핑(lapping) 공정에서 사용되는 래핑 콤파운더 입자 크기를 달리하여 표면이 거친 제품과 매끄러운 제품으로 제작하여 사용하였다. 그리고 또 다른 샘플은 인산염 피막처리를 하였는데 피막의 부착량 측정결과 10 g/m²이며, 결정크기는 13 μm 이다. 실험에 사용된 시험 샘플의 종류는 Table 1과 같다.

실험은 실제 시내의 버스에서 사용되는 보조 브레이크 장치인 리타더의 영향을 확인하기 위해 실시하였는데 실제 차량에서 리타더를 작동시키면서 30~70 Km 주행 후 소음의 이상 유무를 확인하고, 분해하여 표면의 이상여부를 확인하였다.

Table 1 Test sample

| Specimen | Surface | Surface treatment |
|-----------|------------------|-------------------|
| Sample #1 | Rough(Rmax 8.9) | X |
| Sample #2 | Rough(Rmax 8.9) | ○ |
| Sample #3 | Smooth(Rmax 7.1) | X |
| Sample #4 | Smooth(Rmax 7.1) | ○ |

4. 결과 및 고찰

4.1 유한요소해석 결과

Fig. 2는 마모에 의한 기어사이의 간격이 멀어질 때와 백래쉬를 조정하였을 때의 접촉응력값을 나타낸 것이다. 마모에 의해서 나타나는 접촉응력값이 백래쉬의 변화에 의해서 나타내어지는 접촉응력값보다 높고 가파르게 상승한다는 것을 알 수 있는데, 이는 마모에 의해서 기어간의 접촉응력이 훨씬 빠르게 증가한다고 할 수 있다.

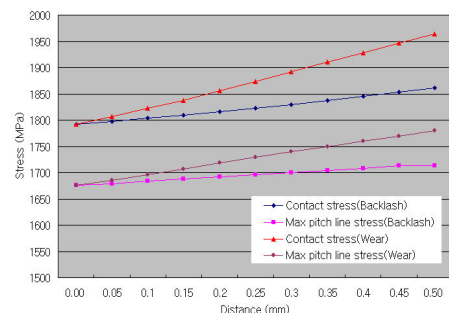


Fig. 2 Variation of contact stress on distance

표면거칠기의 변화는 마찰계수의 변화를 가져올 수 있는데 Keum 등은 표면조도와 마찰계수의 상관관계가 감소 후 증가한다는 것을 실험적인 방법으로 증명을 하였는데⁴⁾, 이는 표면조도가 지나치게 낮아질 경우 윤활유를 보관할 수 있는 오일포켓의

체적이 줄어들어 윤활효과가 떨어지는 반면 표면조도가 지나치게 높아지면 많은 소성변형으로 인해 마찰저항이 증가하게 되며 동일한 양의 윤활유 도포시 쉽게 유체 윤활 상태가 파괴되기 때문이다.

마찰계수의 변화에 대해서도 접촉 응력의 변화가 증가하는 현상을 Fig. 3에서 확인할 수 있다. 여기서 마찰계수도 접촉응력에 영향을 미친다는 것을 해석에서 확인할 수 있는데, 이는 표면조도가 높아지면 소성변형에 의해 마찰저항이 증가하여 마찰계수값을 증가시키고 그 결과 접촉응력도 증가한다는 것을 알 수 있다.

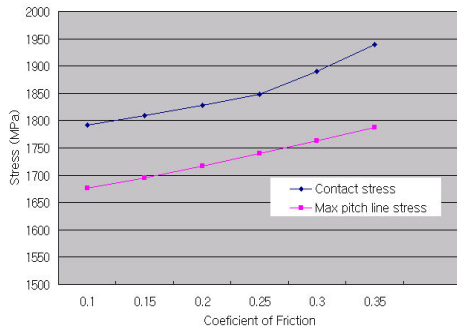


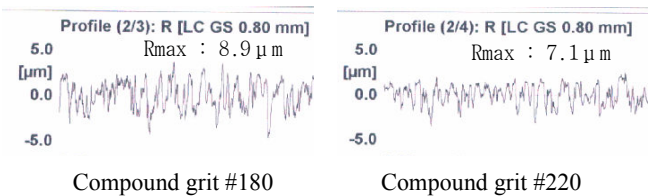
Fig. 3 Variation of contact stress on frictional coefficient

백래쉬와 마찰계수의 변화에 대한 접촉응력값을 확인한 결과 최대 피치선 접촉 응력은 초기 1,675.8MPa에서 점차 증가하는 것을 알 수 있다. 이 값을 글리슨사에서 제시하는 허용응력⁵⁾ 값인 1,715MPa 을 기준으로 평가하여 치 표면의 손상을 예측할 수 있는데, 마모에 의한 틈새 거리가 0.2 mm일 때와 마찰 계수가 0.2이상인 경우 표면손상의 우려가 있다는 것을 예측할 수 있다.

4.2 실험결과

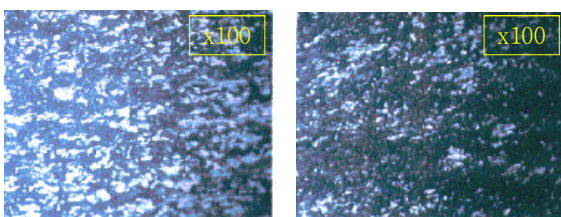
표면 거칠기의 변화에 대한 마찰계수가 증가한다는 것을 알 수 있듯이 Fig. 4 및 5와 같이 래핑 콤파운더 입자크기를 다르게 하여 표면거칠기가 다른 시험편을 준비하였는데, 콤파운더는 SAINT-GOBAIN사에서 생산되는 래핑 콤파운더 #180과 #220 사용하였다.

입자의 크기를 #180으로 하였을 때 표면거칠기 Rmax는 8.9 μm, #220의 경우에는 7.1 μm로 나타났다.



Compound grit #180 Compound grit #220

Fig. 4 Surface roughness of compound mesh



Compound grit #180 Compound grit #220

Fig. 5 Micro-structure of surface

준비된 샘플을 대상으로 실차 시험 후 치면의 상태를 확인한

결과는 Fig. 6에서 보는바와 같다. 치면이 거칠고 인산염피막처리를 하지 않은 Sample #1에서는 마모에 의해 치면이 많이 손상된 것을 볼 수 있으며, 치면만 매끄럽게 한 Sample #2와 치면에 인산염피막처리를 한 Sample #3에서도 스키핑이 발생하였다. 그러나 치면을 매끄럽게 하고 인산염피막처리를 동시에 적용한 Sample #4에서는 스키핑이 발생하지 않았다.

이는 치면에 작용하는 접촉 응력을 줄이기 위해 치면의 상태를 매끄럽게 하고 동시에 인산염피막처리를 함으로서 금속 대 금속의 접촉에서 오는 손상을 최소화함으로써 리타더의 작동시에도 손상을 입지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

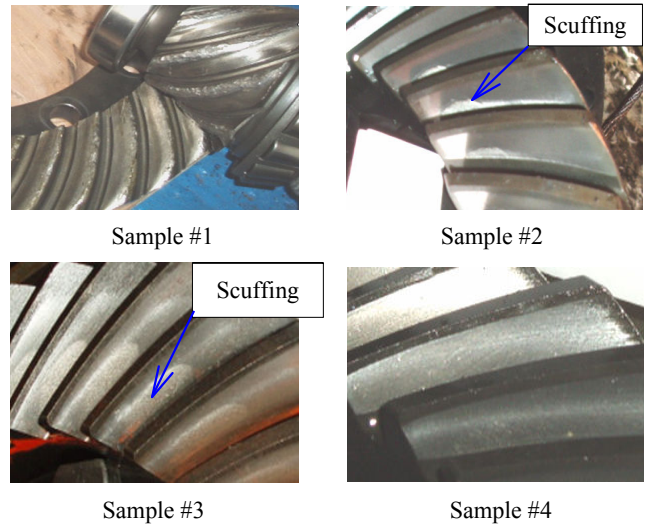


Fig. 6 Test result of sample

위의 실험은 실제 제품을 샘플로 사용하여 실제 생산현장에서 일어날 수 있는 문제점에 대해서 시험을 하였으며, 스키핑 발생방지를 위해서는 표면거칠기의 변화와 인산염피막처리로 예방할 수 있었다.

5. 결론

1. 마모에 의한 기어 치면의 접촉응력값의 증가는 백래쉬의 변화에 의한 값보다 훨씬 빠르게 증가하였으며 치면 손상이 빠르게 진행된다는 것을 알 수 있었다.
2. 표면거칠기에 의한 마찰계수값 변화에 의한 접촉응력값도 증가하여 치면손상에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.
3. 기어 치면의 손상예방으로는 치면의 거칠기와 표면처리가 손상예방에 기여한다는 것을 실험적 방법으로 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. "Design Manual for Bevel Gears", ANSI/ AGMA 2005-D03, 2003
2. The Gleason Works, Rochester NY "Scoring Resistance of Bevel Gear Teeth", SD3122A, 1980
3. "Pitting Resistance of Bevel Gear and Hypoid Gear Teeth", AGMA 229.05, 1960
4. 김영탁, 이봉현, 차지혜, "박판성형 마찰특성의 실험적 연구", 한국소성가공학회, 춘계학술대회, 2002, pp54~57
5. The Gleason Works, "Bending and Contact stresses in Hypoid Gear Teeth", SD3159, p21,1981