

# 리타더 장착 버스 하이포이드 기어의 스코링에 관한 연구 Study on Scoring of Hypoid Gear Set in Bus with Retarder

양정호 · 김용조

J. H. Yang and Y. J. Kim

(접수일 : 2009년 8월 6일, 수정일 : 2009년 9월 29일, 채택확정 : 2009년 10월 14일)

**Key Words** : Retarder(리타더), Scoring(스코링), Hypoid Gear(하이포이드 기어), Hertzian Contact Stress(헤르츠 접촉 응력), Tooth Contact Pattern(치 접촉패턴)

**Abstract** : A retarder, as a supplementary brake system that is not friction-based, is frequently used in heavy-duty vehicles generally to slow the vehicles down on inclines. The electric retarder mainly used in a heavy-duty bus is generally placed between the transmission and the axle. The rotor inside the retarder system is attached to the axle. The operation of the retarder within a driven vehicle generates reverse torque due to coast driving force on hypoid gears in the differential gear system. By the reverse torque, scoring or scuffing on the hypoid gear teeth may directly occur. The scoring may be generated due to excessive contact stresses on the tooth surface. In this study, tooth contact stresses and contact patterns were analysed in order to investigate on the tooth scoring phenomenon using a finite element analysis program T900 in which the Hertzian contact stress formula was taken. Backlash, wear and surface finish were considered in the finite element simulation on the scoring.

## 1. 서 론

기어는 자동차, 항공기, 선박등 모든 산업분야에서 구동요소와 피동요소 간에 운동이나 동력을 전달하는데 사용되는 기계요소이다. 특히 하이포이드 기어는 고속상태에서 운전되는 자동차의 구동계 부품 중 차축(axle)에서 많이 사용되고 있는데 피니언이 옵셋(offset)되어 공간상의 이점을 가지며 피니언의 머리부를 크게 하여 접촉면적을 크게 할 수 있어 강도 및 소음에 유리하다<sup>1)</sup>. 그러나 치면에서 피팅 또는 스코링 등의 손상이 발생하면 기어와 피니언을 동시에 교체해야한다. 피팅(pitting)은 하중의 이동이 미끄럼과 마멸을 발생시켜 이로 인한 마멸입자에 의해서 표면피로가 발생하는 현상이다<sup>1-4)</sup>. 반면에 스코링(scoring)은 주로 금속과 금속의 접촉에서 고 하중에 의해 윤활막이 국부적으로 파손되고 미끄럼에 의한 마찰열에 의해 늘러 붙는 현상인데, 치의 접촉면에서 금속 입자가 급속하게 분리되는 점착마멸로 나타난다<sup>1-4)</sup>. 스코링은 윤활막의 국부적

인 파손에서 시작하지만 오일 외에 기어 맞물림의 최종 스코링 저항성에 영향을 미치는 치 면압(tooth surface pressure), 백래시(back lash)의 증대, 금속의 성질, 표면조도, 표면처리, 표면 미끄럼 속도 등의 주요 인자가 있다.

차량 하중의 증대 및 고성능화, 도로조건의 향상 등으로 인해 차량의 고속주행이 가능하게 되었고, 이로 인한 브레이크 제동열에 의한 부담이 자연적으로 증가되어 보조 브레이크 시스템이 필요하게 되었는데 대표적인 보조 브레이크 장치가 리타더이다. 리타더 장착 버스의 경우 운전 중 보조브레이크로서 리타더가 작용할 때 이의 제동력에 의해 차량의 관성주행력(coast driving force)이 작용하게 되고 엔진에서 전달되는 동력을 바퀴로 전달하는 차동장치 내의 하이포이드 기어와 피니언에 역 토크(reverse torque)를 발생시킨다. 이로 인해 기어 치면에 스코링 또는 마멸과 같은 결함을 발생시킬 수 있다.

일반적으로 기어의 원활한 작동을 방해하는 주요 요인은 바로 마멸인 것으로 알려져 있다. Dudley<sup>5)</sup>는 기어 작동시 발생하는 마멸모드를 분석하여 마멸을 줄일 수 있는 방법을 연구하였고, Godfrey<sup>6)</sup>은

양정호(책임저자) : 다이모스(주) 기술연구소  
E-mail : yangjho@dymos.co.kr Tel : 031-369-5104  
김용조 : 경남대학교 기계자동차공학부

다양한 마멸 메커니즘을 밝히기 위해 해석기법을 개발하였다. 평기어에서 표면거칠기가 스키어링 강도 및 표면강도에 미치는 연구<sup>6-8)</sup>는 활발하게 진행되고 있으나 하이포이드 기어의 스키어링에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구는 리타더 장착된 버스에 대한 하이포이드 기어의 치면손상에 대해서 마멸이 발생했을 시의 헤르츠 접촉응력(Hertzian contact stress)을 확인하고 조립상에서 백래시의 변화와 치면의 표면거칠기 등의 치면 접촉응력에 대한 영향을 비교하여 스키어링 발생의 원인을 고찰하고자 한다. 또한 표면거칠기가 상이한 제품과 인산염피막처리를 한 제품군으로 구분하여 실제 시험을 통해 그 효과를 확인하고자 한다.

## 2. 리타더 브레이크

리타더는 차량이 주행중 주 브레이크를 작동시킬 때 리타더에 의해 엔진브레이크와 같은 효과를 내도록 설계되어 있는 보조브레이크 장치이다. 리타더는 유압식과 전기식이 있으며, 최근 대형버스에 많이 사용되고 있는 리타더는 전기식 제동장치(electric brake system)<sup>9)</sup>이며 보통 트랜스미션에 일체형으로 장착되어 있다. 회전하는 구동축을 자석으로 제동하여 차량의 제동력을 돕는 장치인데, 운전 중에 이의 작용은 차축의 하이포이드 기어 치면에 관성주행력에 의한 역 토크가 크게 작용하여 기어의 표면에 스키어링과 같은 손상을 발생시킨다.

대형버스에 사용되고 있는 리타더는 Fig. 1과 같이 변속기와 차동장치 사이에 위치하고 있으며, 차량이 운전 중에 주 브레이크를 작동할 때 보조브레이크 인 리타더가 먼저 작동하여 전기적 와류전류에 의해 차축의 회전을 강압적으로 정지하려는 역 토크가 작용하게 되어 브레이크 역할을 하도록 되어 있다.

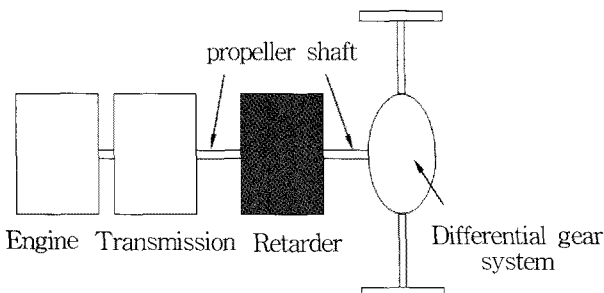


Fig. 1 Assembly location of the retarder

## 3. AGMA 표준 및 유한요소해석

### 3.1 면압강도의 계산

치면 접촉응력은 헤르츠 접촉응력식에 기초하여 AGMA 표준<sup>10)</sup>에서는 다음과 같은 식을 제시하고 있다.

$$s_c = C_p \left[ \frac{2000 T_G N}{F_G D^2 I n} K_o K_v K_m C_s C_{xc} \right]^{1/2} \quad (1)$$

여기서  $s_c$ 는 면압강도에 대한 작용접촉응력,  $T_G$ 는 출력토크,  $F_G$ 는 치폭(face width),  $D$ 는 기어의 피치원 지름,  $N$  및  $n$ 는 기어와 피니언의 잇 수,  $I$ 는 형상계수,  $K_o$ 는 과부하 계수(overload factor),  $K_v$ 는 동적계수,  $K_m$ 은 하중분포계수,  $C_s$ 는 치수효과 계수(size factor),  $C_{xc}$ 는 크라운 계수(crowning factor)이다.  $C_p$ 는 탄성계수이며 다음 식으로 계산된다.

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[ \frac{1-\nu_P^2}{E_P} + \frac{1-\nu_G^2}{E_G} \right]}} \quad (2)$$

여기서  $\nu_P$ 와  $\nu_G$ 는 피니언 및 기어의 푸아송의 비(Poisson's ratio),  $E_P$ 와  $E_G$ 는 피니언과 기어의 영계수(Young modulus)를 각각 나타낸다.

허용접촉응력에 관한 식은 다음과 같다.

$$s_{wc} = \frac{s_{ac} C_L C_H}{S_H K_T C_R} \quad (3)$$

여기서  $s_{wc}$ 는 피팅저항에 대한 허용접촉응력(pitting resistance permissible contact stress),  $s_{ac}$ 는 시험기어에 의해 평가되는 재질의 허용응력(allowable stress),  $C_L$ ,  $C_H$ ,  $S_H$ ,  $K_T$ ,  $C_R$ 는 각각 면압에 대한 응력사이클 계수(stress cycle factor), 경도비 계수(hardness ratio factor), 안전계수, 온도 계수, 신뢰도 계수(reliability factor)를 나타낸다.

식 (1)에서 계산된 접촉응력은 면압강도면에서 식 (3)에 의해 평가되는 허용응력보다 보다 같거나 작으면 안전한 것으로 평가한다. 즉

$$s_c \leq s_{wc} \quad (4)$$

3.2 유한요소해석 모델링

유한요소해석에는 미국 글리슨(Gleason)사가 베벨기어 및 하이포이드 기어에 대한 기어의 강도 및 수명, 부하중의 치면접촉 형태, 면압응력 및 굽힘응력 등의 유한요소해석을 위해 개발한 T900이 사용되었다. 리타더 장착 버스의 운전 중 보조브레이크인 리타더가 작동할 때 리타더에 의한 제동력을 주행 토크의 역회전으로 작용시켜 차동장치의 하이포이드 기어와 피니언의 접촉면에 나타나는 면압응력의 크기 및 분포를 해석하였다.

하이포이드 기어 및 피니언의 형상 및 유한요소해석 모델링에도 T900을 사용하였으며, 기하학적 형상 모델을 Fig. 2에 나타내었다. 모델링은 실제 형상과 치수에 맞게 하였으며, 격자구성은 치의 두께방향으로 10개의 요소분할과 깊이방향으로는 6개, 폭방향의 요소 수를 10개로 각각 분할하였다.

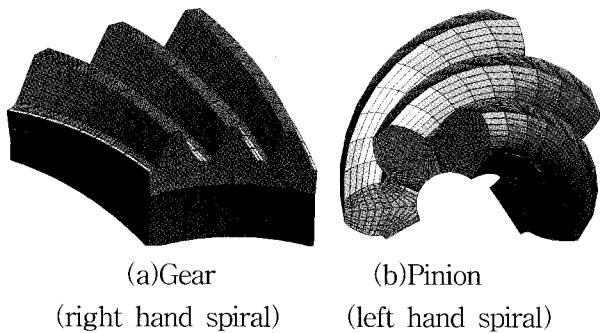


Fig. 2 Finite element analysis model of a hypoid gear set

Table 1 Properties of gear material(SCM-H2)

Yield stress(MPa)	931
Tensile strength(MPa)	1078
Young modules (N/mm <sup>2</sup> )	206839.5
Poisson's ratio	0.3
Rockwell (HRc)	61
Case depth (mm)	2.5

실제 하이포이드 기어와 피니언이 맞물릴 때는 전체 접촉이 아닌 일부 표면에서의 접촉으로 구동이 되므로 실제 치 접촉면에 하중을 작용시켜 해석하였다. 리타더의 작동 시에 나타나는 역토크의 값은 실제 차량의 주행에서 측정한 값을 사용하였다. 즉 일반도로에서 약 113 km 거리 주행동안 리타더 작동 시에 측정한 역 토크의 평균값을 산출하여 얻은 1274 N·m를 입력값으로 사용하였고, 치면에서의

접촉응력과 최대 피치선 접촉응력, 치면 접촉패턴 등에 대해 시뮬레이션 하였다. 유한요소해석에 사용된 하이포이드 기어재료의 기계적성질, 하이포드 기어와 피니언의 제원을 각각 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Specification of hypoid gears (unit: mm)

Item	Pinion	Gear
No. of teeth	7	39
Face width	66.89	60.00
Pinion offset	45.00	-
Pressure angle	45°	
Outer cone distance	215.88	226.75
Pitch diameter	-	440.19
Addendum	13.64	2.04
Whole depth	18.03	17.88
Outside diameter	128.00	441.17
Mean normal top land	5.83	5.10
Pitch angle	13° 33'	76° 5'
Mean spiral angle	50° 3'	36° 44'
Hand of spiral	Left	Right
Backlash	0.30~0.41	

Table 3 Specification of gear samples

Sample	Surface	Surface treatment
#1	Rough (Rmax=8.9)	X
#2	Rough (Rmax=8.9)	O
#3	Smooth (Rmax=7.1)	X
#4	Smooth (Rmax=7.1)	O

4. 실험재료

실험에 사용된 시험편은 현재 버스용으로 생산되고 있는 하이포이드 기어 제품을 대상으로 하였고 재질은 SCM-H2이다. 실험에 사용된 기어 및 피니언의 샘플은 제작의 마지막 단계인 래핑(lapping)공정에서 사용되는 래핑 콤파운드 입자 크기를 달리 하여 표면이 거친 제품과 매끄러운 제품으로 구분 제작하여 사용하였다. 실험에 사용한 기어 샘플은 Table 3과 같이 준비하였고, 여기서 표면처리한 샘플은 인산염피막처리를 하였는데 피막의 부착량은 10 g/m<sup>2</sup>이며 결정의 크기는 13 μm이다. 그리고 샘플의 표면거칠기는 각각 최대높이 거칠기(Rmax)로서 8.9와 7.1 이었다. 실험은 실제 버스에서 사용되

는 보조 브레이크 장치인 리타더의 영향을 확인하기 위해 실시하였는데, 실제 차량의 리타더를 작동시키면서 30~70 km 주행 후 소음의 이상 유무를 확인한 다음 분해하여 표면의 손상 여부를 관찰하는 방식으로 하였다. 실험 차량에 사용한 기어 윤활유의 종류는 API GL-5 85W-140 이다.

### 5. 결과 및 고찰

#### 5.1 치면 접촉응력에 대한 백래시의 영향

차량의 차축에 사용되는 하이포이드 기어는 제작시의 치 패턴을 유지하기 위한 백래시를 갖고 있으며 일반적으로 기어측의 조정부품을 이용하여 조정된다. 기어 치의 마멸이 증가하면 기어의 방향과 피니언 방향으로 틈새가 벌어지게 되어 결국 백래시가 증대되고 운전 중에 소음이나 치 면압의 변화 등으로 기어 장치에 치명적인 손상을 가져올 수가 있다. 또한 백래시는 발열로 인한 기어 치의 팽창, 유막형성을 위한 간격, 동력전달 시에 발생할 수 있는 기어 축간의 중심거리의 변형에 대한 보정 등을 고려하여 주어진다. 클리슨사에서 대형 기어의 경우 백래시는 0.30~0.41 mm를 추천하고 있다.1)

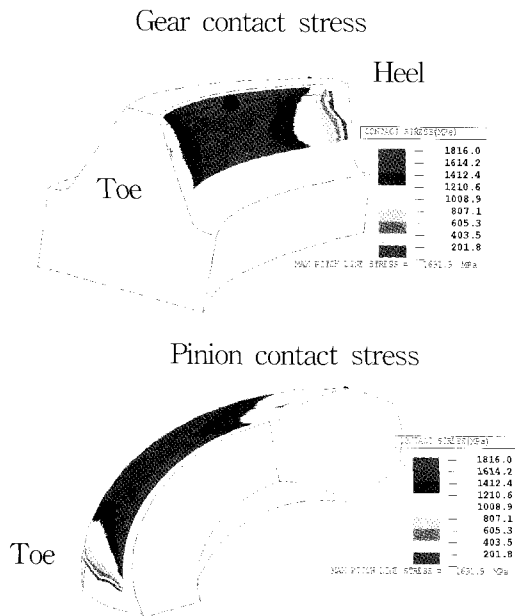


Fig. 3 Distribution of contact stresses (backlash 0.5 mm)

하이포드 기어의 치면접촉응력에 대한 백래시의 영향을 관찰하기 위한 유한요소해석에서는 실제 사

용상의 백래시 허용범위를 고려하여 그 값을 0.3에서 0.8 mm까지 변화시켜 수행하였다. 이는 차량이 주행함에 따라 가속과 감속을 반복하면 기어 방향으로 힘이 전달되어 백래시가 증가하므로 이에 그 허용범위를 선정하였다. 특히 백래시가 0.5 mm와 0.7 mm인 경우 치면 접촉응력의 분포를 Fig. 3 및 4에 나타내었는데, 높은 접촉응력은 주로 이끝면(tooth top)에서 작용하고 있으며 상대적으로 이뿌리면(tooth flank)에서는 다소 작은 접촉응력이 작용하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 접촉응력은 치의 내단부(toe)에서 외단부(heel)에 비해 높은 접촉응력이 넓게 분포되어 있다. 따라서 스코어링이 발생한다면 내단부에서 먼저 발생할 것이라 예측된다. 그리고 큰 전달하중이 치면에 넓게 작용하게 되어 치형의 탄성변형을 일으키고 기어와 피니언 접촉 시의 간격을 증대시키는 원인이 되어 결국 전달동력의 효율을 저하시키거나 소음을 발생시키는 원인이 될 수도 있다.

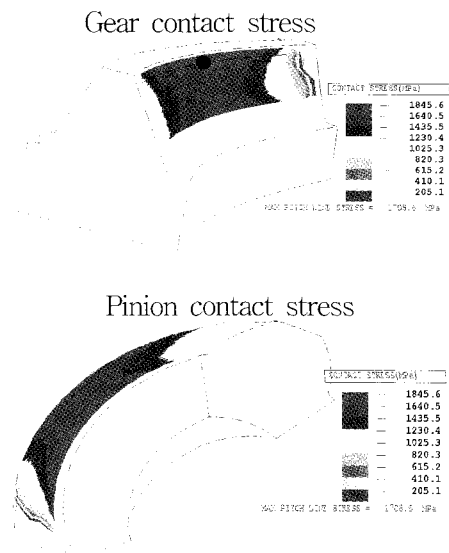


Fig. 4 Distribution of contact stresses (backlash 0.7 mm)

#### 5.2 치 마멸에 의한 치면 접촉응력의 변화

피니언과 기어의 잇수비가 큰 하이포드 기어에서는 피니언이 상대적으로 회전수가 높기 때문에 마멸이나 피로현상으로 인한 결함이 기어쪽 보다 빨리 나타난다. 따라서 실제 사용에 있어서는 피니언의 경도를 높이는 것이 일반적이다. 치 마멸은 치 표면에 손상이 발생하면 표면에 떨어져 나온 입자로 인해 마멸이 진행되는 데 이로 인해 기어와 피니

언에 손상을 진전시킨다. 따라서 백래시를 0.3 mm 상태에서 마멸이 진전되는 단계로 하여 기어와 피니언의 간격이 0.3 mm에서 0.8 mm까지의 간격이 진행 될 때를 범위로 선정하였다. 마멸 진행상태에서의 해석을 Fig. 5 및 6은 마멸이 각각 0.5 mm 와 0.7 mm까지 진행되었을 때 접촉응력의 분포 및 치 접촉패턴을 나타낸 것이다. 이는 마멸에 의해 치면 사이의 거리가 멀어질수록 접촉응력은 계속 증가하게 되므로, 이는 마멸이 한번 발생하면 높은 접촉응력에 의해 마멸이 계속 진행되어 갈 수 있다는 것을 설명해 준다.

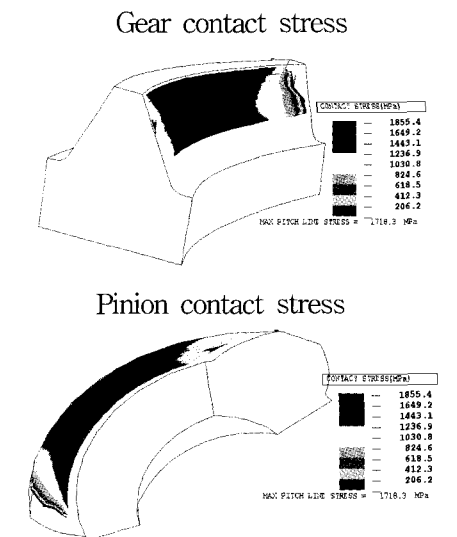


Fig. 5 Distribution of contact stresses (wear 0.5 mm)

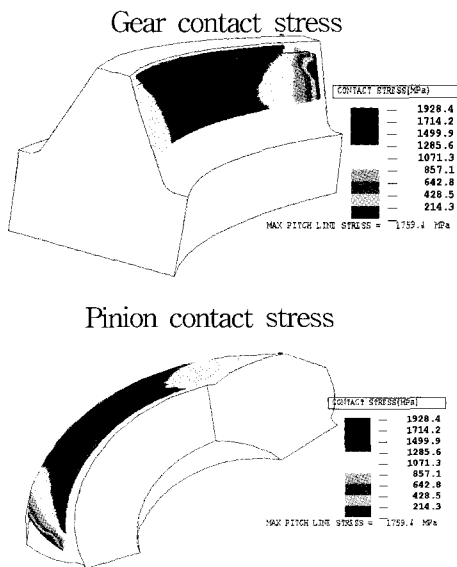


Fig. 6 Distribution of contact stresses (wear 0.7 mm)

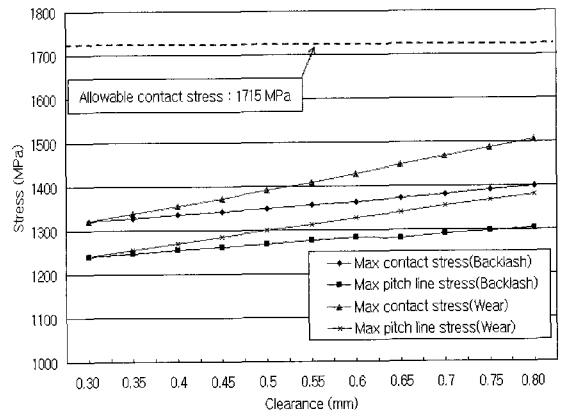


Fig. 7 Changes in maximum contact stresses according to amounts of backlash and wear (with the reverse torque 1274 N · m)

Fig. 7은 마멸에 의한 기어사이의 간격이 증가할 때와 백래시를 조정하였을 때의 접촉응력을 나타낸 것이다. 여기서 백래시와 마멸이 증가할수록 접촉응력이 증가하는 경향을 관찰할 수 있으며, 결국 스크어링 발생의 가능성을 고려할 때 이들은 접촉응력을 최소화할 수 있는 적절한 크기로 조정되어야 함을 알 수 있다. 그러나 마멸에 의해서 나타나는 접촉응력이 백래시의 변화에 의해서 나타내어지는 접촉응력보다 빠르게 상승한다는 것을 알 수 있는데, 이는 마멸에 의해서 기어간의 접촉응력이 훨씬 크게 증가하고 결국 마멸을 촉진하는 경향으로 나타날 수 있다.

### 5.3 치면 표면거칠기의 영향

기어 치의 표면거칠기는 유한요소해석에서 사용된 마찰계수와 깊은 관계가 있기 때문에 표면거칠기와 표면처리방법이 아주 중요하다. 표면조도와 마찰계수의 상관관계는 상대적으로 감소 후 증가한다는 것을 실험적인 방법으로 규명한 바가 있는데,11) 이는 표면조도가 지나치게 낮아질 경우 윤활유를 보유할 수 있는 오일포켓의 체적이 줄어들어 윤활 효과가 떨어지는 반면 표면조도가 지나치게 높아지면 표면요철의 소성변형으로 인해 마찰저항이 증가하게 되며 유체 윤활상태가 쉽게 파괴되기 때문이다.

유한요소해석을 통해 기어 치의 마찰계수의 값을 0.1에서 0.4까지 변화시켰을 때 접촉응력의 변화를 확인하였다. 이는 치 마멸로 인해 발생된 입자의 영향으로 치면의 거칠기가 나빠지면 마찰저항의 증가로 인하여 마찰계수가 높게 변하는데 이에 접촉응

력의 변화를 확인하였다. 마찰계수가 0.2와 0.3인 경우 치면 접촉응력의 분포 및 치 접촉패턴을 Fig. 8 와 9에 나타내었다. 최대접촉응력의 값은 다소 차이가 있으나 응력의 분포형태는 거의 비슷하다. 마찰계수의 값을 0.1에서 0.4까지 변화시켰을 때 접촉응력의 변화를 Fig. 10에 나타내었으며 대체로 마찰계수가 증가할수록 접촉응력은 크게 증가하는 경향을 볼 수 있다. 일반적으로 글리슨사에서는 철강재료의 기어 세트에서는 마찰계수를 0.1정도로 추천하고 있다. 이것은 유한요소해석에서 얻어진 결과로부터도 아주 적절한 제한값이라고 할 수 있다. 그러나 치면의 표면조도와 접촉응력의 값이 증가하면 소성변형을 일으켜 결국 마찰저항이 증가하여 마찰계수의 값을 증가시키게 되며, 이는 결국 접촉응력의 증가로 나타나게 된다. 따라서 치면의 표면조도와 표면처리의 여부가 아주 중요하게 고려되어야 할 것이다.

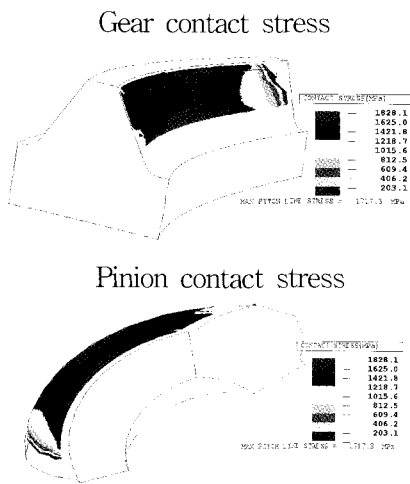


Fig. 8 Contact stress (frictional coefficient 0.2)

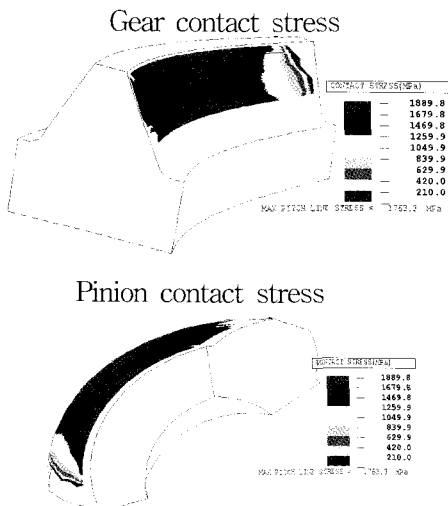


Fig. 9 Contact stress (frictional coefficient 0.3)

백래시와 마찰계수의 변화에 대한 최대접촉응력의 변화는 1320.6 MPa에서 시작하여 점차 증가하는 것을 볼 수 있다. 현재 리타더 장착 버스의 하이포드 기어에 사용된 재료와 유사한 침탄처리 강에 대한 치면압 허용응력의 값을 AGMA 표준(10)에서는 가장 높은 기어 등급의 경우 1715 MPa으로 제한하고 있다. 이를 기준으로 치면 접촉응력을 평가하였을 때 피팅과 같은 결함이 발생할 염려 없이 안전하다 할 수 있다.

그러나 실제 리타더가 장착된 버스가 운행 중에 리타더의 작동에 의해 하이포이드 기어에 스코어링과 같은 표면손상이 발생하는 경우가 종종 있는데 이는 운전자의 운전습관이나 도로조건에 따라 리타더에 의한 역토크가 약 2450 N·m까지 작용함으로 인해 일어나는 현상이라고 볼 수 있다. 이를 기준으로 치면 접촉응력을 해석한 결과를 Fig. 11과 12에 나타내었다. 치면압 허용응력기준으로 스코어링의 발생 여부를 평가해보면 마멸에 의한 틈새 거리가 0.4 mm 이상일 때와 마찰 계수 0.2이상인 경우에 가장 위험하다고 할 수 있다.

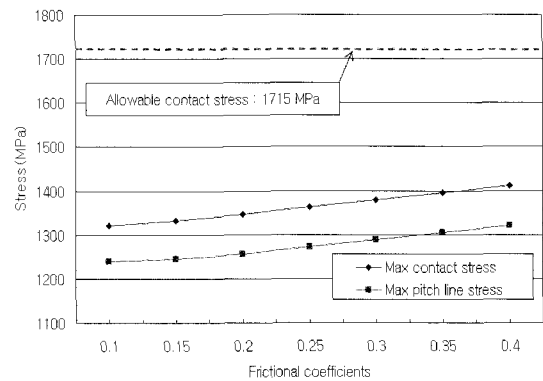


Fig. 10 Maximum contact stresses according to frictional coefficients (with the reverse torque 1274 N·m)

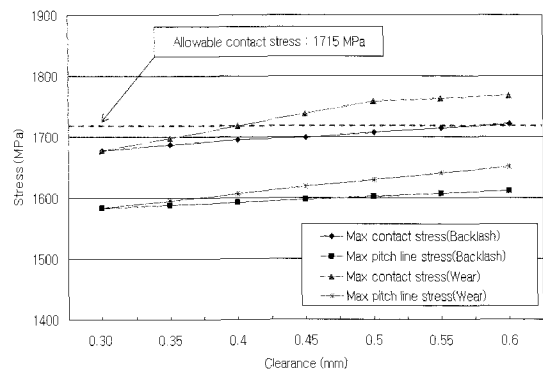


Fig. 11 Changes in maximum contact stresses according to amounts of backlash and wear (with the reverse torque 2450 N·m)

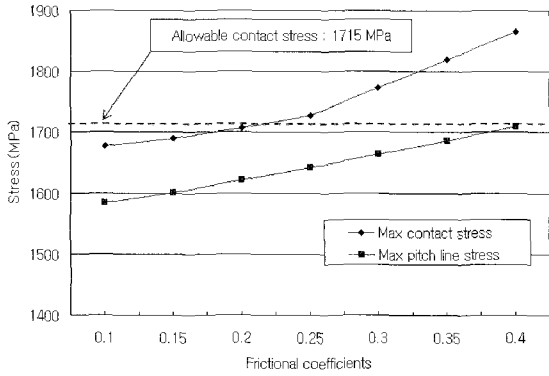


Fig. 12 Maximum contact stresses according to frictional coefficients (with the reverse torque 2450 N · m)

5.4 실험결과

기어 치의 표면거칠기의 값이 클수록 마찰계수가 증가하기 때문에 래핑 콤파운더 입자크기를 다르게 하여 표면거칠기가 다른 시험편을 준비하였는데, Saint-Gobain사의 래핑 콤파운더 #180과 #220을 사용하였으며 표면거칠기 Rmax는 각각 8.9 μm와 7.1 μm로 나타났다.

실제 리타더를 장착한 버스에서 실험 후 치면의 상태를 확인한 결과는 Fig. 13에서 보는바와 같다. 치면이 거칠고 인산염피막처리를 하지 않은 샘플 #1에서는 스코링에 의해 오목부(concave) 치면이 많이 손상되었고, 치면에 인산염피막처리를 한 샘플 #2에서는 미세한 스코링의 발생을 확인하였다. 또한 치면만 매끄럽게 한 샘플 #3에서도 기어의 내단부 치면에서 스코링이 발생한 것을 확인할 수 있다. 스코링이 발생한 오목부 치면은 리타더가 작동할 때 관성주행력이 작용하는 기어쪽의 접촉면이다.

샘플 #1의 치면 손상은 이미 스코링이 많이 진전되어 치면 전체의 마멸로 시작하는 단계라 할 수 있다. 이 경우는 백래시를 AGMA 표준에 따라 0.3~0.41 mm의 범위에서 조립된 하이포이드 기어 세트가 정상주행에서 리타더를 작동하여 발생한 것이며, 이것은 스코링이라기 보다는 오히려 마멸의 상태라 하는 것이 타당하다. 샘플 #2에서 발생한 스코링은 백래시는 동일하고 소음발생 없이 약 70 km정도 리타더를 작동하면서 주행후 확인된 스코링이다. 샘플 #3은 동일한 백래시 상태에서 약 30 km정도 정상주행거리 동안 리타더를 작동하였을 때 발생한 것이다. 이 경우 초기부터 소음이 발생하기 시작하여 점차 증대되어 더 이상 운행이 어렵다고 판단된 소음의 상태에서 확인된 경우이다. 샘플 #2와 샘플 #3에서 스코링은 치 내단부의 이끝면과 이뿌리면에서

주로 발생된 것을 확인할 수 있는데 이러한 현상은 치면 접촉응력 및 치 접촉패턴에 대한 유한요소해석의 결과와 거의 유사하다. 그러나 치면을 매끄럽게 하고 인산염피막처리를 동시에 적용한 샘플 #4의 경우에는 약 500 km정도의 정상주행거리에서 리타더의 작동에 의한 스코링은 발생하지 않았다. 이는 치면에 작용하는 접촉 응력을 줄이기 위해 치면의 상태를 매끄럽게 하고 동시에 인산염피막처리를 함으로서 금속 대 금속의 접촉에서 오는 손상을 최소화함으로써 리타더의 작동 시에도 손상을 발생시키지 않는다는 것을 의미한다. 실제 제품을 샘플로 사용하여 스코링의 발생을 방지하기 위한 실제 리타더 장착 버스의 실험에서는 치면의 표면거칠기의 조정과 인산염피막처리로 예방할 수 있었다.

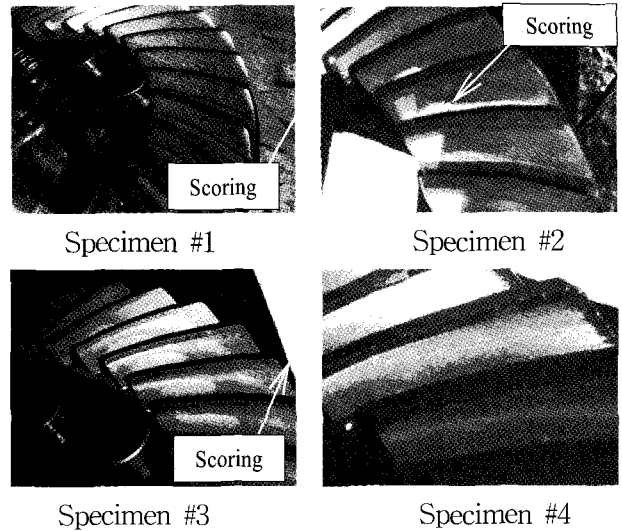


Fig. 13 Test results of gear samples

6. 결 론

보조 브레이크장치로서 리타더가 장착된 버스에서 운행중 리타더의 작동에 의해 하이포이드 기어에 스코링과 같은 기어손상이 발생하는 경우가 종종 있다. 본 논문에서는 리타더 장착 버스의 하이포이드 기어에서 발생하는 스코링에 관하여 연구하였다. 실제 제품과 같은 형태의 치형을 모델링하여 유한요소해석적 방법으로 치 표면의 손상에 기여하는 인자를 확인하고 그의 영향을 분석하였으며 결과는 다음과 같다.

- (1) 리타더 장착버스의 정상운행에서 리타더의 작동에 의해 스코링이 발생할 수 있는 조건을 헤르츠 접촉응력을 기준으로 평가하였으며, 대체로 백래시

0.4 mm와 마찰계수 0.2이상에서 스크어링 발생의 위험도가 높게 나타났다.

(2) 백래시의 증가와 마멸에 의해 기어 치면 접촉 응력은 증대하는 경향을 보였으며, 마멸에 의한 영향이 백래시보다 훨씬 크게 나타났다. 따라서 스크어링과 같은 치면 손상에 대해서는 마멸의 영향이 더 크게 나타났다.

(3) 표면거칠기에 의한 마찰계수의 값을 증가시켰을 때 접촉응력은 크게 증가하였으며 스크어링 발생에 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다.

(4) 치면의 표면거칠기가  $R_{max}$  7.1일때 스크어링 강도를 향상 시킬수는 있었지만 스크어링 예방효과로는 부족하였으며, 표면거칠기 개선 및 치형에 인산염피막처리를 함으로써 스크어링을 예방할 수 있었다. 이를 실제 차량시험에서도 확인할 수 있었다.

AGMA 932-A05

11. 김영탁, 이봉현, 차지혜, 2002, "박판성형 마찰특성의 실험적 연구", 한국소성가공학회, 춘계학회대회, pp. 54~57

### 참고 문헌

1. AGMA, 2003, "Design Manual for Bevel Gears", ANSI/AGMA 2005-D03
2. AGMA, 1960, "Pitting Resistance of Bevel Gear and Hypoid Gear Teeth", AGMA 229.05
3. The Gleason Works, 1980, "Scoring Resistance of Bevel Gear Teeth", SD3122A
4. AGMA, 2004, "Mechanism of Gear Tooth Failures", AGMA 912-A04
5. D. W. Dudley, 1980, "Gear Wear", ASME Wear Control Handbook, ed. M. M. Peterson and W.O. Winer, pp. 755~830
6. D. Godfrey, 1980, "Diagnosis Wear Mechanics", ASME Wear control Handbook, ed. M. B. Peterson and W. O. Winer, pp. 283~311
7. 유장열, 정태형, 1991, "표면처리에 따른 평기어치의 표면거칠기 변화에 관한 연구", 한국 윤활학회지, 제7권, 제2호, pp. 67~74
8. 김해원, 홍재학, 허준영, 1990, "윤활 마찰면의 스크어링 저항성에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제14권, 제2호, pp. 358~366
9. 송정호, 부광식, 임철기, 2003, "하이브리드형 전기식 제동장치의 성능에 대한 연구", 대한기계학회논문집 A권, 제27권, 제9호, pp. 1492~1498
10. AGMA, 2005, "Rating the Pitting Resistance and Bending Strength of Hypoid Gears",