

열처리를 고려한 자동차용 휠 베어링의 응력 해석 Stress Analysis of Automotive Wheel Bearing considering the Heat Treatment

*#이승표¹, 이인하¹, 조영걸¹, 김봉철¹, 구명희¹

*#S. P. Lee(leeseungpyo@iljin.com)¹, I. H. Lee¹, Y. G. Cho¹, B. C. Kim¹, M. H. Koo¹

¹ (주)일진글로벌 기술연구소

Key words : Wheel bearing, Heat treatment, Tensile test, Finite element method

1. 서론

자동차용 휠 베어링(wheel bearing)은 드라이브 샤프트(drive shaft)에서 바퀴로 동력을 전달하고, 타이어를 통하여 차량의 무게를 지지해주는 핵심적인 부품이다. 휠 베어링은 각각의 차량 조건에 따른 강성, 강도 조건을 만족시켜야 하며, 이를 위하여 외륜(outer ring)과 허브(hub)의 양 궤도 표면에 고주파 유도가열에 의한 열처리를 실시하는 것이 일반적이다. 고주파 경화된 궤도 표면은 유효 경화층을 가지며 내륜(inner ring) 및 볼(ball)과 유사한 경도를 가짐으로써 베어링에 요구되는 강성을 만족하게 된다. 휠 베어링의 궤도부는 볼과 내륜, 외륜이 직접 접촉하는 중요한 부분이므로 이 부분에 대한 응력 상태를 정확히 예측하는 것이 필요하다. 즉, 열처리 두께에 따라서 궤도부에 작용하는 응력을 계산하고 이를 바탕으로 설계 단계에서 열처리에 대한 영향을 미리 파악할 필요가 있다.

응력 해석을 위하여는 물성 데이터가 필요하며, 특히 휠 베어링의 해석은 해석 시 소성 영역까지 고려하기 때문에 탄성 물성 데이터뿐만 아니라 소성 물성 데이터가 필요하다. 열처리 상태를 고려한 물성 데이터를 얻기 위하여 열처리 조건에 따른 시편을 제작하여 각각의 시편에 대한 인장 시험을 수행하여야 한다. 고주파 열처리된 물성 데이터는 쉽게 구하기 어렵기 때문에 문헌에서 언급한 물성 데이터를 사용하거나 유사한 물성 데이터를 이용하기도 한다.

임만배 등⁽¹⁾은 SM53C 강에 대하여 고주파 열처리 후 인장특성 및 평면 변형률 파괴 인성 평가를 수행하였다. 이현준 등⁽²⁾은 SM53C 강에 대하여 고주파 열처리를 행하여 미세조직과 경도의 변화 및 표면경화 특성, 피로균열진전 거동 특성을 분석하였다. 김우강 등⁽³⁾은 중공 드라이브 샤프트에 대하여 고주파 열처리 경화 깊이를 변경하면서 시험한 결과를 비교하였다. 이와 같이 기존 연구를 검토한 결과, 실험적으로 고주파 열처리의 경화 깊이에 대하여 연구한 자료들은 있으나, 해석적으로 그 영향을 비교 분석한 자료는 없다.

본 연구에서는 고주파 열처리 물성치 시험을 통하여 휠 베어링의 정확한 탄소성 물성 데이터를 측정하였다. 또한, 열처리 깊이를 변경하면서 궤도부의 응력 해석을 수행하여 열처리 두께에 따른 궤도부의 응력 상태를 예측하였다.

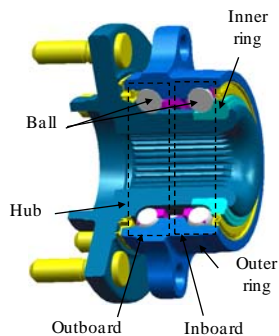


Fig. 1 Geometry of wheel bearing

이를 위하여 유한 요소법(finite element method)에 기반한 상용 소프트웨어인 MARC⁽⁴⁾가 사용되었고, 궤도부의 거동을 보다 정확히 모사하기 위하여 탄소성 해석(elasto-plastic analysis)과 접촉 해석(contact analysis)이 수행되었다.

2. 물성치 시험

자동차용 휠 베어링을 구성하는 주요 부품으로는 Fig. 1에서 알 수 있듯이 외륜과 내륜, 허브, 볼 등이 있다. 이 중에서 SM55C 로 제작되는 외륜과 허브는 양 궤도 표면을 고주파 유도 가열에 의하여 표면경화 처리를 한다. SM55C 와 STB2 에 대한 물성치 시험을 위하여 시편을 제작하였고, 제작된 시편을 이용하여 Fig. 2 와 같이 인장 시험을 수행하였다. 인장 시험을 위한 인장 시험기는 Shimadzu 사 제품이며, 최대 하중 25 ton 이다. Fig. 3 은 인장 시험 결과로 얻어진 응력-변형률 선도를 나타내며, Table 1 은 SM55C, STB2, 고주파 열처리된 SM55C 에 대한 물성치를 나타낸다.



Fig. 2 Tensile test machine

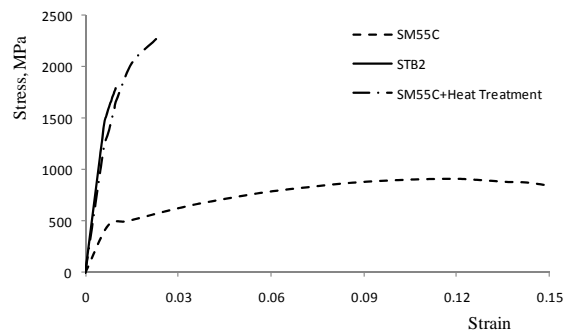


Fig. 3 Stress-strain curve of SM55C, STB2

Table 1 Material properties of SM55C, STB2

Name	SM55C	STB2	SM55C+heat treatment
Part	Outer ring, Hub	Inner ring, Ball	surface of Outer ring, Hub
Young's modulus, GPa	207.2	238.6	208.2
Poisson's ratio	0.3	0.3	0.3
Yield stress, MPa	455.8	1480.3	1774.5

3. 응력 해석

2장에서 언급한 물성치 시험 결과를 이용하여 외륜의 열처리 두께를 1 ~ 5 mm 까지 0.5 mm 씩 변화하면서 응력해석을 수행하였다. 모델링은 상용 소프트웨어인 I-DEAS⁽⁵⁾를 이용하였다. 베어링의 형상은 좌우대칭이므로 해석의 편의를 위하여 1/2 형상만을 모델링 하였다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 경계조건으로 허브의 볼트를 고정하였고, 하중조건으로 타이어에 해당하는 위치에 13 kN 을 가하고, 휠 중심에 해당하는 위치에 11.1 kN 을 가하였다. 볼과 허브, 내륜이 접촉하는 현상을 모사하기 위하여 궤도부에 접촉 조건을 적용하였다. Fig. 5(a)는 외륜의 열처리 부분과 비열처리 부분의 형상을 나타내며, Fig. 5(b)는 열처리 깊이가 각각 1 mm, 3 mm 5 mm 인 경우의 형상을 나타낸다. Fig. 5(a), (b)로부터 고주파 열처리가 이루어지는 부분은 외륜 궤도부임을 알 수 있다.

열처리 두께 변화에 따른 외륜 궤도부 max. von Mises stress의 영향을 Fig. 6에 도시하였다. 열처리 두께가 1 ~ 1.5 mm 인 경우는 max. von Mises stress가 감소하며, 1.5 ~ 3.5 mm 인 경우는 max. von Mises stress가 증가하고 3.5 mm 이상이 되면 더 이상의 max. von Mises stress 변화가 없음을 알 수 있다. 이 결과로부터 열처리 두께를 1.5 mm 이하로 하는 경우는 max. von Mises stress가 오히려 감소되어 열처리의 효과를 기대할 수 없고, 3.5 mm 이상의 열처리를 하는 것은 응력 관점에서 큰 의미가 없음을 예상할 수 있다. 따라서, 열처리 두께는 2.5 ~ 3.5 mm 정도가 적당함을 알 수 있다. Fig. 7은 궤도 표면부에서 궤도 심층부(6 mm)까지의 von Mises stress의 분포를 나타낸다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 궤도 표면에서 심층으로 갈수록 von Mises stress은 감소하며, 열처리 두께가 두꺼울수록 von Mises stress가 감소되는 기울기는 완만해진다.

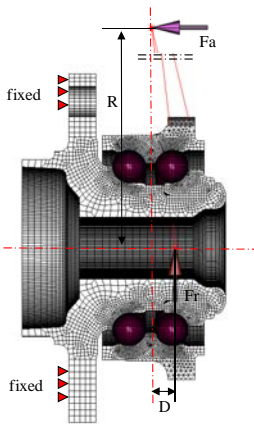


Fig. 4 Boundary conditions and loadings

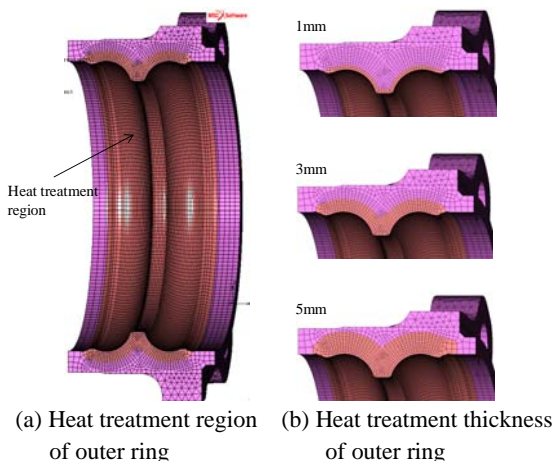


Fig. 5 Analysis model of outer ring

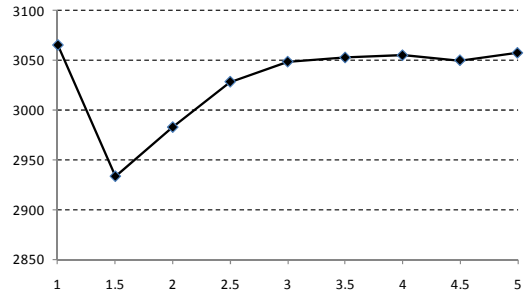


Fig. 6 max. von Mises stress distribution of outer ring

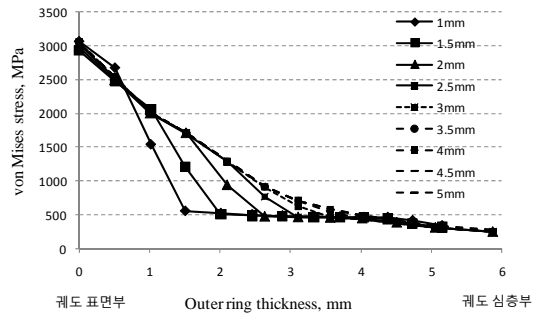


Fig. 7 von Mises stress from surface to inner region of outer ring

이는 열처리 부분의 항복 응력이 비열처리 부분에 비하여 크기 때문이라고 예상된다. 또한, 궤도 표면부의 von Mises stress는 3,000 MPa 정도로 거의 일정하며, 궤도 심층부의 von Mises stress는 500 MPa 정도로 거의 일정함을 알 수 있다.

4. 결론

1. 인장 시험을 통하여 자동차용 휠 베어링에 사용되는 SM55C와 STB2, 고주파 열처리가 적용된 SM55C의 물성치를 측정하였다.
2. 열처리 깊이를 변경하면서 궤도부 응력 해석을 수행하였다. 해석 결과, 열처리 두께는 응력에 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 결과로부터 열처리 두께는 2.5 ~ 3.5 mm가 적당함을 예상할 수 있다.

참고문헌

1. 임만배, 전현배, 송태훈, 박원조, "SM53C 강의 고주파열처리 후 인장특성 및 평면변형을 파괴인성평가에 관한 연구", 한국동력기계공학회 2007 춘계학술대회논문집, 179-183, 2007.
2. 이현준, 박성호, 박원조, "고주파열처리를 적용한 캠 샤프트 소재의 피로균열진전 특성", 한국해양공학회지, 23, 3, 46-52, 2009.
3. 김우강, 고준빈, 김홍배, "중공 드라이브 샤프트의 설계에 관한 연구", 한국기계공학회지, 8, 3, 7-12, 2009.
4. MARC 2008 r1, Volume B: Element Library, MSC Software Corporation, 2008.
5. I-DEAS NX 6, Finite Element Modeling User's Guide, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2008.