

자동차용 베벨 기어의 탄성변형과 열처리변형에 관한 연구

김호윤*·김명곤*·조종래**·배원병***·이정환****

A Study on Distortion Induced by Elasticity and Heat Treatment of Automotive Bevel Gears

H.Y. Kim, M.G.Kim, J.R. Cho, W.B. Bae and J.H. Lee

Abstract

Recently many kinds of gears have been produced by forging in order to enhance the mechanical properties of the gears and the productivity of the process. Developments in forging technology are the reason for the increased usage. However, a critical problem of the forged gears is the dimensional change or distortion caused by elastic recovery after forging, and relief of the residual stresses during subsequent heat treatments. Distortion is of great concern to the manufacturers of precision parts, because it influences directly the dimensional accuracy and the grade of carburized bevel gears. In the present paper, distortion due to elastic and heat treatment of bevel gears is investigated. Distortions of forged gears, machined gears and die are measured and compared. Numerical analysis is used to simulate the complete cold forged process and heat treatment process for the machined gears and shows good agreement with the experimental measurements.

Key Words : Heat treatment (열처리), Elastic deformation (탄성변형), Bevel gear(베벨기어), Cold forging (냉간단조), FEM(유한요소법)

1. 서론

자동차용 단조 기어는 절삭 가공 혹은 냉간 단조에 의해서 제조되며 냉간 단조 기어는 절삭기어에 비해서 재료비를 절감하고 생산성을 높임은 물론 균일한 제품을 얻기 위해서 그 적용이 점차 확대되고 있다.⁽¹⁾ 그러나, 단조기어는 단조후 금형 및 소재의 탄성 회복에 의한 탄성변형과 열처리 동안의 잔류응력의 풀림에 의한 치수변화에 의한 치수정밀도의 문제가 점차 제기되고 있는 실정이

며, 특히 잔류 응력의 풀림에 의한 열처리 공정 동안의 변형을 예측하는 것이 절삭기어에 비해 매우 어렵다.⁽²⁾

본 연구에서는 냉간단조 공정중에서의 소재의 탄성변형과 단조후 열처리 공정 중에서의 열처리 변형을 유한요소해석을 통하여 정확히 예측함으로써 높은 치수 정밀도를 확보할수 있는 무절삭 냉간 단조기어의 금형설계 방안을 제시하는데 그 목적을 둔다.

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
** 한국해양대학교 공과대학 기계정보공학부
*** 부산대학교 공과대학 기계공학부
**** 한국기계연구원 무절삭정밀단조 연구실

2. 이론적 해석

2.1 소재의 탄성변형 해석

베벨기어의 탄성회복에 관한 해석은 ANSYS 5.7 을 이용하여 수행하였고 해석조건은 Table 1 에 나타내었다. 해석 수행 방법은 먼저 전 공정 유한요소 해석 후 최종공정에서 제조된 베벨기어의 데이터를 ANSYS5.7 로 전환 후 탄성해석을 수행하였다. Table 2 는 탄성변형 해석 결과치를 나타낸다(1).

Table 1 Analysis conditions of bevel gear

Material	SCM420H
Properties	E(187GPa), $\nu(0.3)$, Y(350 MPa)
Stress-strain relation	$\bar{\sigma} = 890 \bar{\epsilon}^{0.23} (MPa)$
Number of mesh	8000
Friction factor(m)	0.1
Simulation mode	Isothermal

Table 2 Elastic distortion of bevel gear by analysis

Measured position	Out dia.	Height
Elastic distortion of bevel gear(mm)	0.155	0.376
Distortion ratio(%)	0.220	2.413

2.2 베벨기어의 열처리 해석

열처리 유한 요소해석은 Deform3D-HT 로 해석하였다. Fig. 1 은 기어의 치형에 대한 해석의 변형량을 나타내고 있다. Table 3 은 해석에 의한 기어의 내경, 외경, 높이의 치수이다(2).

Table 3 Elastic distortion of bevel gear by analysis

Measured position	Out dia.	Inner dia.	Height
Distortion(mm)	0.052	0.090	0.062
Distortion ratio(%)	0.034	0.333	0.174

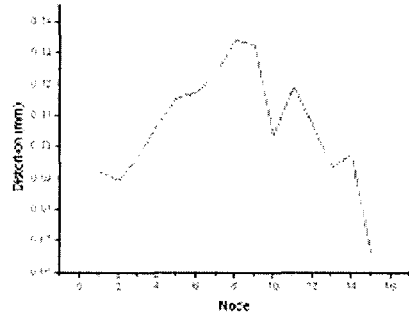


Fig. 1 Distortion of heat-treated tooth profile of machined bevel gear predicted by F.E.M.

3. 실험장치 및 방법

3.1 측정장치 및 실험소재

본 연구에서는 Fig. 2 와 같이 정밀도(1 μ m)가 높은 3 차원 측정기를 이용하여 베벨기어의 탄성회복과 열처리 팽창량에 대해서 측정하였다. 본 연구에서 사용된 베벨기어의 소재는 SCM420H(AISI4118H)로써 기계적 성질이 우수하고 내식, 내마멸성이 좋으며 경도를 높이기 위하여 열처리하는 경우 그에 따른 담금질성을 향상시킬 수 있기 때문에 일반적으로 기어류에 널리 사용되는 소재이다 Table 4 는 SCM420H 의 화학성분을 나타낸 것이다.

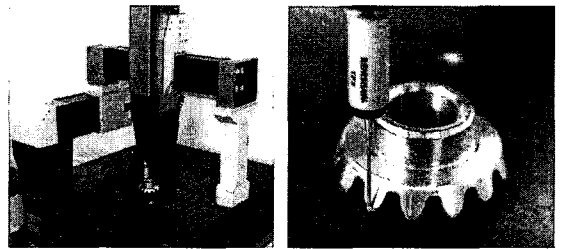


Fig. 2 Contact-type 3D-Scanner(MICROCELL)

Table 4 Chemical composition of SCM420H

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
Max.(%)	23	35	90	30	30	25	125	35	30
Min.(%)	17	15	55	0	0	0	85	15	0
Actual value	20	22	75	13	19	1	100	25	1

3.2 소재의 탄성 변형

3 차원 측정기(MICEOCELL)로 단조공정의 최종공정인 사이징공정 금형의 각각에 해당되는 위치(외경/높이)의 치수를 측정하였고, 그 후 냉간단조 후 그 금형에서 생산된 소재를 금형과 동일한 위치에서 치수를 측정하였다. Table 5 는 탄성 회복된 소재의 탄성 변형량, 탄성 변형률을 보여준다.

Table 5 Comparison of total elastic distortion between die and bevel gear

Measured position	Out dia.	Height
Total distortion of elastic(mm)	0.122	0.259
Distortion ratio(%)	0.173	1.69

3.3 열처리 변형 실험

베벨기어의 상변태에 의한 변형량을 측정하기 위하여 퀴칭공정을 수행하였고, 잔류응력에 의한 변형량을 측정하기 위하여 어닐링공정을 수행하였고, 열처리 전/후의 변형을 비교하였다. Table 6 은 베벨기어의 외경, 내경, 높이에 대한 열처리 전/후 측정결과를 나타냈었으며, 측정된 기어의 개수는 단조기어, 절삭기어 각 10 개씩을 사용하였다. 열처리 전/후의 치형의 비교를 위하여 Fig. 3 과 같이 s1, s2, s3 의 세부분으로 기어 치형 단면을 비교하였고, s2 부분에서의 기어 치형 변형량의 비교는 Fig. 4 에 나타나 있다. 단조 베벨기어의 열처리 치형 변형량은 약 0.2mm 였고, 절삭 베벨기어의 열처리 치형 변형량은 0.12mm 차이났다.

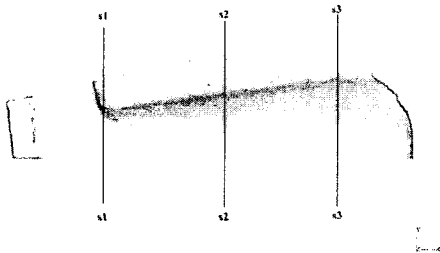
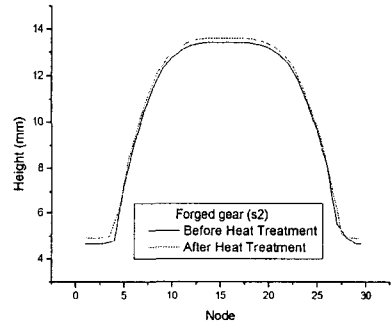


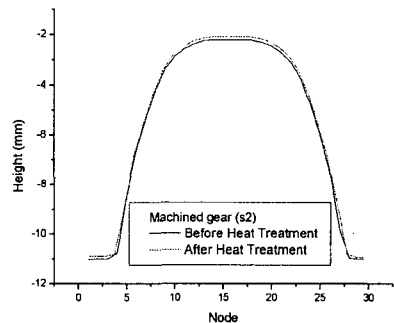
Fig. 3 Measured section of tooth profile

Table 6 Elastic distortion of bevel gear by analysis

Measured position	Out dia.	Inner dia.	Height
Cold-forged bevel gear by heat treatment			
Distortion(mm)	0.043	0.017	-0.039
Distortion ratio(%)	0.063	0.118	0.108
Machined bevel gear by heat treatment			
Distortion(mm)	0.016	0.044	0.003
Distortion ratio(%)	0.022	0.158	0.008
Cold-forged bevel gear by annealing			
Distortion(mm)	0.044	-0.033	0.003
Distortion ratio(%)	0.063	-0.118	0.008



(a) Tooth profile of forged bevel gear



(b) Tooth profile of machined bevel gear

Fig. 4 Distortion of tooth profile induced by heat treatment

4. 결 론

본 연구에서는 본 연구는 무절삭 정밀냉간단조 금형의 설계 기술을 확보하기 위하여 냉간 단조 공정중의 소재의 탄성 변형량과 단조후 열처리 공정으로 인한 열처리 변형량을 유한요소해석을 이용하여 예측하였고, 실험 및 측정으로 그 유효성을 검증하였다.

(1) 유한요소해석으로 베벨기어의 탄성 변형량과 열처리 변형량을 예측하였고, 실험을 통하여 검증한 결과 타당성을 입증하였다.

(2) 단조 공정에서 유발되는 베벨기어의 탄성 변형 데이터를 정량적으로 분석 하였고, 내경, 외경, 높이에서 변형량은 팽창하였다.

(3) 열처리 공정에서 발생하는 베벨기어의 열처리 변형 데이터를 정량적으로 분석 하였고 외경, 높이, 치형이 팽창함을 알수 있었고, 내경은 수축함을 알수 있었다.

(4) 무절삭 정밀 단조기어를 제작하기 위한 금형 설계 기술의 기반을 확보하였다.

(5) 베벨기어의 탄성변형과 열처리 변형의 정량화된 변형량을 적용하여 제품을 생산하는 최종 검증절차가 필요하다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원 무절삭정밀단조 연구실에서 주관하는 국가지정연구실 사업의 지원을 받아 수행하였으며 이에 관계된 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) A. Kocanda, R. Cako & P. Czyzewski, "Some Aspects of Die Deformation in Net-shape Cold Forging," *Advanced Technology of Plasticity*, pp.367 ~ 370, 1996.
- (2) A. Majorek, B. Scholtes, H. Muller, E. Macherauch, "The influence of Heat Transfer on the Development of Stress, Res

-idual stresses and Distortions in Martensitically Hardened SAE 1045 and SAE 4140," *Proceedings of the first Int. Conference on Quenching & Control of Distortion*, pp.171 ~ 179, 1992.

- (3) Y.K. Lee & S.r. Lee & C.h. Lee & D.y. Yang, "Process modification of bevel gear forging using three-dimensional finite element analysis," *Mat. Proc. Tech.*, Vol. 113, pp.59 ~ 63, 2001.
- (4) 이영선, 이대근, 이정환, "냉간 단조용 금형의 탄성 변형에 관한 실험 및 이론적 연구," *한국소성가공학회지*, 제 11 권, 제 2 호, pp.171 ~ 178, 2002.
- (5) R. T. von Bergen "The Effects of Quenchant Media Selection and Control on the Distortion of Engineered Steel Parts," *Proceeding of the first. Int. Conf. on Quenching and Control of Distortion*, pp.275 ~ 282, 1992.
- (6) S. Segerberg and J. Bodin, "Varation in the Heat Transfer coefficient Around Components of Different Shapes During Quenching," *Proceedings of the first Int. Conference on Quenching & Control of Distortion*, pp.165 ~ 170, 1992.
- (7) T. Inoue and K. Arimoto, 1997, "Development and implementation of CAE system HEATS for heat treatment simulation based on metallo-thermo-mechanics," *J. of Materials Engineering and Performance*, Vol. 6, No 1, pp.51, 1997.
- (8) K. Arimoto, G. Li, A. Arvind, and W. t. Wu "The Modeling of Heat Treating process," *Scientific Forming Technologies Corporation*
- (9) 강우진, "단조기어의 탄성회복 및 열처리변형을 고려한 금형설계에 관한 연구," 부산대학교 대학원 공학석사 학위논문, 2003.