

열박음에 의한 탄성변형을 고려한 평기어금형 제작 방법에 관한 연구

강종훈¹, 고병호¹, 제진수², 강성수³

Spur gear forging tool manufacturing method considering elastic deformation due to shrink-fitting

J. H. Kang, B. H. Ko, J. S. Jae, S. S. Kang

Abstract

This research introduces easy tool manufacturing method regarding tool manufacturing procedure. In the conventional method, wire cutting machining and lapping operation of corner and render region were performed after shrink-fitting to ensure the accuracy of gear profile. But lapping operation is very difficult due to corner and render is located deep inside of die. In this research, wire cutting operation was performed after 1st ring was shrink-fitted to ease lapping operation and increase the accuracy of corner radius. Before 2nd ring fitting, lapping was completed. Elastic deformation amount due to 2nd ring fitting and cold forging was calculated through finite element analysis and wire cutting specification was offset in that amount. Comparison of gear dimension between analysis and forged part ensures the validity of new manufacturing methods.

Key Words : Spur gear, Elastic deformation, Shrink-fitting, Cold forging die, Finite element analysis

1. 서론

높은 치수 정도와 내구성을 가져야 하는 기어 부품은 냉간단조의 발전으로 치절가공에서 단조화가 가속화되었고, 근래에는 헬리컬 기어, 베벨 기어 등의 고정밀 치형 단조품이 개발, 생산 되고 있다. 기어 부품의 정밀도는 금형 정밀도와 단조 공정에 따른 탄성변형치의 크기에 따라 결정된다. 냉간단조품의 정밀도 예측에 관한 연구는 주로 단조공정 변수에 의한 영향을 예측하는 것에 많은 중점을 두고 수행되어 왔고,⁽¹⁻⁵⁾ 최근에는 소성가공이 완료된 후 소재의 취출 및 취출 후 압축응력이 제거된 상태의 탄성회복까지 고려한 단조품의 치수를 예측하는 단계에 이르고 있다.⁽⁶⁾ 또한 실험과 해석적인 접근법을 동시에 수행하면서

해석의 효율화를 기하기 위한 기법들을 제시하여 설계단계에서 보다 정밀한 제품을 얻을 수 있는 방안을 확립하기 위한 연구도 진행되고 있다.⁽²⁾

하지만 선행 연구에서는 제품의 정도를 예측하기 위한 연구를 수행하였으나, 실제 성형에 사용되는 금형의 정밀도 향상을 위한 금형제작기법에 대하여는 언급되지 않았다. 본 연구에서는 피니언 기어를 생산하기 위한 금형의 래핑공정의 편의성과 정확성을 높이기 위한 방안을 제시하였다. 이를 위하여, 금형의 열박음과 제품의 가압(loading) 및 제하(unloading)에 따른 금형의 치수변화를 3차원 탄소성 유한요소해석을 실시하여 각 단계별 탄성변형량을 정량화 하였다. 그리고 해석결과를 바탕으로 기어 금형을 제작하여 3차원 측정을 하였고, 제품 성형 후 치수를 측정하여 제안된 금형 제작방법의 타당성을 검증하였다.

1. 발레오 전장 시스템㈜ jonghun.kang@valeo.com

2. 경상대학교 수송기계공학부

3. 부산대학교 정밀기계공학과

2. 금형 제작 방법의 제안

냉간단조 금형은 일반적으로 열박음이나 압입 박음 등으로 압축에압응력을 가하여 높은 성형하중에도 인장응력을 방지하고 긴 수명을 보증한다. 하지만 금형의 박음은 금형 내부와 외부의 치수 변화를 수반하여 중요치수는 박음 후 완성하는 것이 일반적이다. 하지만 중요치수가 금형내부에 존재할 경우 금형가공의 최종공정인 래핑작업이 용이하지 않음으로 인하여 금형정밀도를 저해하는 요인으로 작용하는 경우도 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 연구에서는 일반적인 핑기어의 전방압출 금형의 최종공정인 와이어가공과 래핑가공을 1 차 박음상태에서 진행하고 2 차 박음을 실시함으로써 래핑으로 인하여 완성되는 도입부의 곡률이나 금형면의 조도를 증대하고자 하였다. 이때 2 차 박음에 따른 금형의 수축변형을 예측하여 와이어 가공치수를 변경시켜 완제품 상태에서 요구하는 치수를 얻고자 하였다. 일반적인 금형제작 방법과 본 연구에서 제안된 방법을 Fig.1 에서 비교하였다.

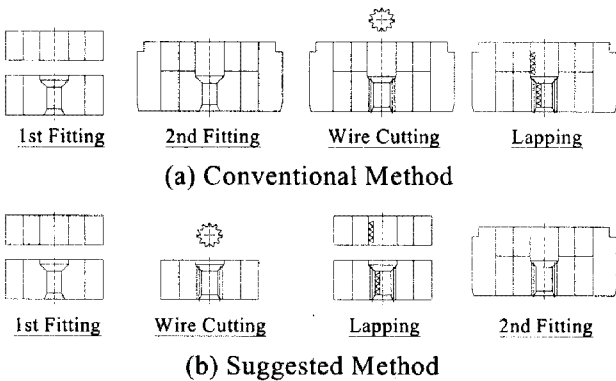


Fig.1 Comparison of conventional tool manufacturing method and suggested scheme.

3. 제안된 금형제작 방법의 검증

3.1 유한요소해석을 통한 탄성변형의 예측

실제 단조작업에서 금형 및 소재는 탄성변형을 일으켜 금형치수와 다른 단조품치수를 얻게 된다. 또한 본 연구에서 제안된 방법으로 금형을 제작할 경우 와이어 가공 후 래핑작업 및 2 차 열박음을 실시함에 따라 금형 치형부의 치수 변화도 수반된다. 완성된 단조품의 치수를 예측하기 위하여 3 차원 탄소성 유한요소해석을 실시하였다.

유한요소해석은 금형제작방법의 변경에 따른 치형부 치수 변화를 예측하는 단계와 소재 성형 해석 단계로 구분하여 실시 하였다. 유한요소해석은 Deform3D 를 이용하였다.

해석의 대상이 되는 금형형상을 Fig.2 에 나타내었다. 제안된 방법으로 금형을 제작하기 위하여 2 차 열박음 및 가로 분할 형태로 금형을 설계하였다. 금형 인서트는 초경을 사용하였고, 1 차, 2 차 보강링은 SKD61 종 금형강을 사용하였으며, 단조용 소재는 SCM420H 로 구상화 처리를 실시하고 몰리브덴 표면처리를 실시하였다. 해석에 사용된 금형 및 소재의 물성을 표 1 에 나타내었다.

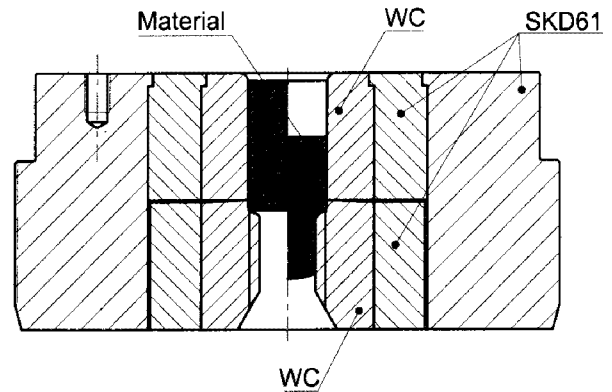


Fig.2 Forging tool and deformation shape

Table.1 Material properties of materials

Die Material	Young's Modulus [GPa]	Yield Strength [MPa]	Possion's Ratio	Flow Stress [MPa]
WC(G7)	480	3,100	0.23	-
SKD61	210	1,200	0.30	-
SCM420H	211	415	0.29	835.9 $\epsilon^{0.2439}$

금형해석은 금형인서트와 1 차 보강링을 Fig.3 에서 보는 바와 같이 0.5% 열박음을 실시하여 압축응력을 부가하였다. 와이어 가공으로 치형형상이 가공되는 것을 나타내기 위하여 와이어 가공될 치형형상을 인서트에 구현하고 1 차 보강링과 치형인서트에 열박음된 응력값을 보간하여 입력하였다. 보간된 치형인서트와 1 차 보강링은 인서트의 형상변화에 따라 평형상태가 아님으로 탄성 해석을 실시하면 치형인서트는 수축되고, 1 차 보강링은 팽창하게 된다. 이 상태에서 2 차 보강링을 열박음하게 되면 1 차 보강링과 2 차 보강링사이의 절점이 겹치게 되어 정확한 해석이 되

지 않는다. 따라서 위에서 실시한 것과 동일하게 응력이 전혀 없는 치형 인서트와 1 차 보강링에 1 차 보강된 응력값을 다시 보강하고 이를 반복하면 변형상태가 거의 없고 열박음에 의한 압축응력이 부여된 1 차 보강된 치형 인서트와 1 차 보강링을 얻을 수 있다.

제작된 치형반제품에 2 차 보강링을 0.2% 열박음하게 되면 실제 제작된 금형과 동일한 압축응력과 변형량을 가진 치형다이를 해석할 수 있다.

압축응력이 부가된 금형에 피니언 소재를 장입하고 Fig.2 와 같이 성형하게 된다. 피니언 소재의 전방압출변형에 따라 금형은 탄성변형하게 됨으로 피니언 소재의 치형형상을 정확하게 해석하기 위하여 탄소성 유한요소 해석을 실시하였다. 소재는 편치에 의하여 전달된 성형하중이 부가될 동안은 반경방향, 원주방향으로 팽창했다가 성형이 완료된 후 편치가 후퇴하게 되면 금형의 압축에 의하여 수축 받게 된다.

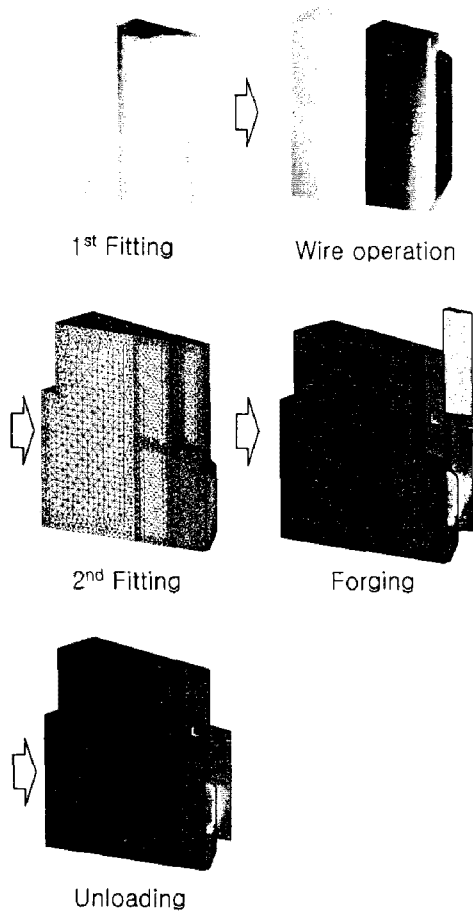


Fig.3 Finite element analysis flow for shrink fitting

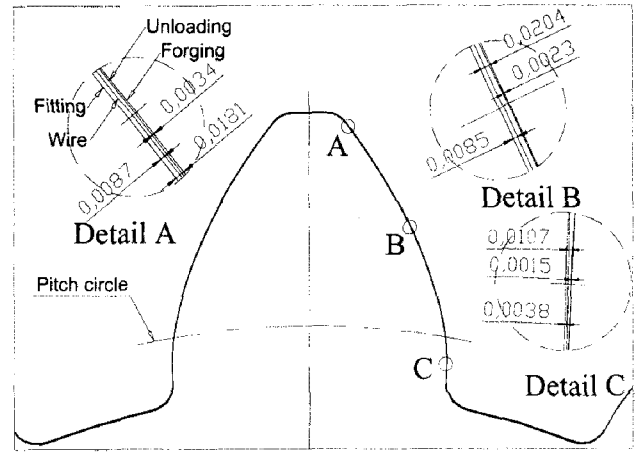


Fig.4 Elastic Deformation prediction of forging tool by finite element analysis

와이어가공치수, 2 차 열박음, 가압(loading), 제하(unloading) 단계의 유한요소해석 결과를 Fig.4 에 비교하였다. 치형부를 치외경, 중간부, 치저경부로 나누어 변형량을 확인하면, 중간부위의 탄성변형량이 가장크고, 치저경부의 변형량이 가장 적은 것으로 나타났다. 변형량이 가장 많은 중간부위는 편측으로 와이어 가공치수에서 9.6 μm 변형 된 것임을 Fig.5 에서 확인 할 수 있다.

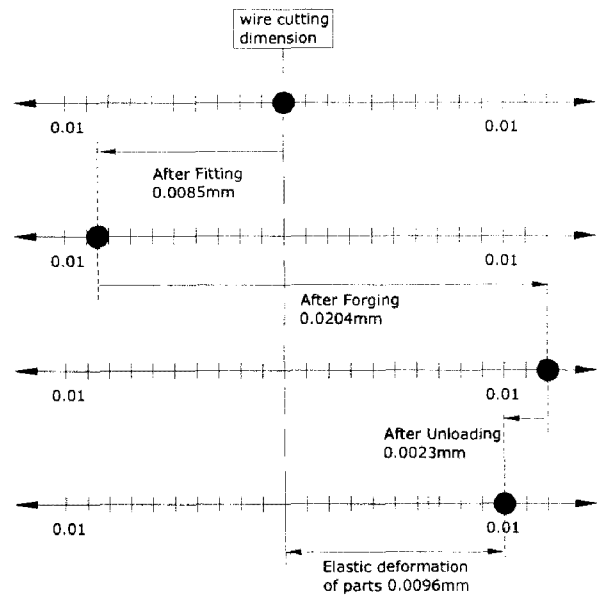


Fig.5 Elastic deformation at middle point

3.2 시제품 제작과 치수 측정

제안된 금형제작방법에 따라 인서트와 1 차 보강된 금형을 제작하여 와이어 가공을 실시하였다.

와이어 가공은 열박음 변형치를 고려하여 완성후 기어 중심치수와 동일하도록 제작할 수 있으나 유한요소 해석과 동일한 조건에서 비교하기 위하여 기어사양의 중심치로 설정하였다.

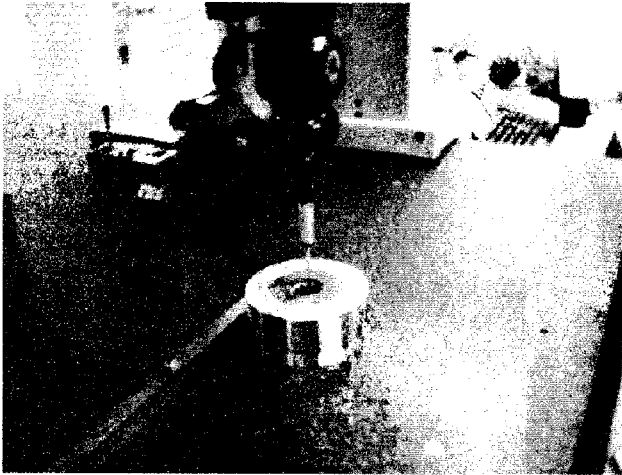


Fig.6 Gear die inspection method

1 차 박음 후 와이어 가공된 형상을 측정하기 위하여 3 차원 측정기에서 내측형상을 0.1mm 간격으로 측정하였다. 측정방법은 Fig.6 과 같다.

측정된 기어 인서트를 이용하여 금형을 래핑 가공하고 2 차 열박음을 실시하였다. 완성된 금형을 이용하여 제품을 성형하였다. 완성된 금형과 성형된 평기어를 Fig.7 에 나타내었다.

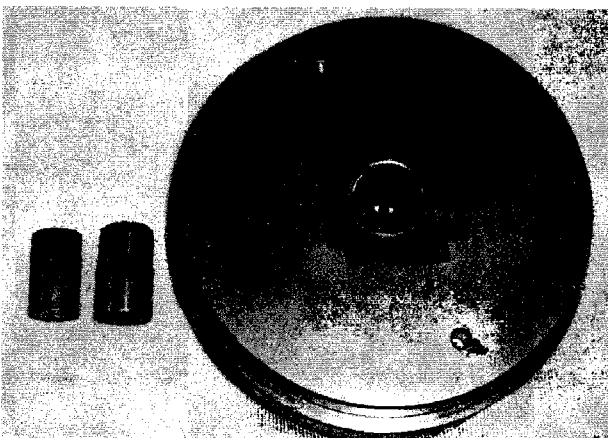


Fig.7 Gear tool and forged pinion gear

완성된 피니언 기어의 정도를 측정하기 위하여 내경가공 후 기어 측정기를 이용하여 Fig.8 과 같이 측정하였다. 측정결과 JIS4 급의 기어정도를 나타냄을 Fig.9 에서 확인 할 수 있다.

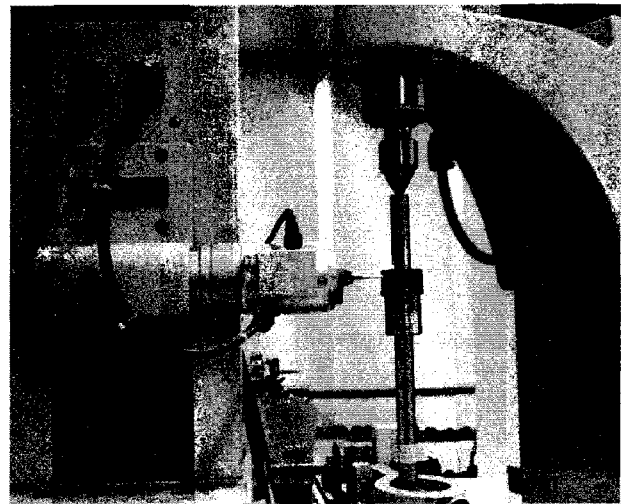


Fig.8 3 dimension gear inspection instrument

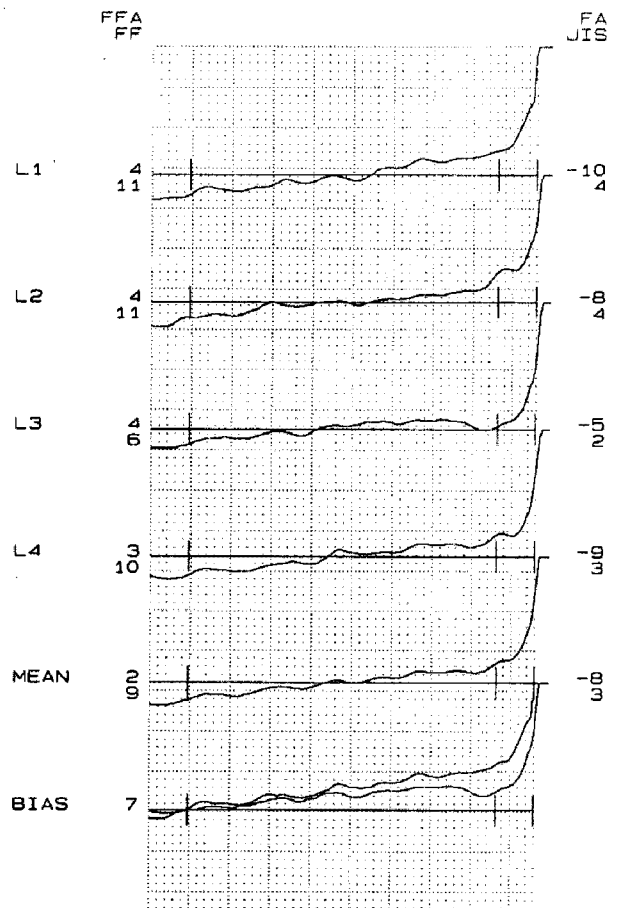


Fig.9 Gear profile inspection result

3.3 제안 공법의 타당성 검증

단조품의 기어정도측정 결과 측정된 기어곡선이 인볼류트 기준곡선과 잘 부합됨을 Fig.9 에서 확인 할 수 있다. Fig.9 에 나타나는 기준 인볼류트

곡선은 주어진 기어사양의 전위량과 2 매걸치기 이두께의 공차역 내에서 곡선의 수직방향으로 변화를 줄수 있는 기준 곡선이다.

따라서 곡선의 수직방향의 탄성변형량을 정량적으로 비교하기 위하여 유한요소해석을 통하여 예측된 단조품의 치수변화와 실제 성형된 제품의 탄성변형량을 비교하기 위하여 완성된 기어제품을 Fig.6 과 같이 3 차원측정기로 측정하였다. 측정된 3 차원 측정결과를 기어사양의 중심치수와 비교하여 Fig.10 에 나타내었다.

실제 측정된 결과치는 유한요소해석과 달리 치저경 부위에서 가장 큰 편차인 9.9 μm 를 나타내고 중간부위는 5 μm 정도의 편차를 나타냄을 확인할

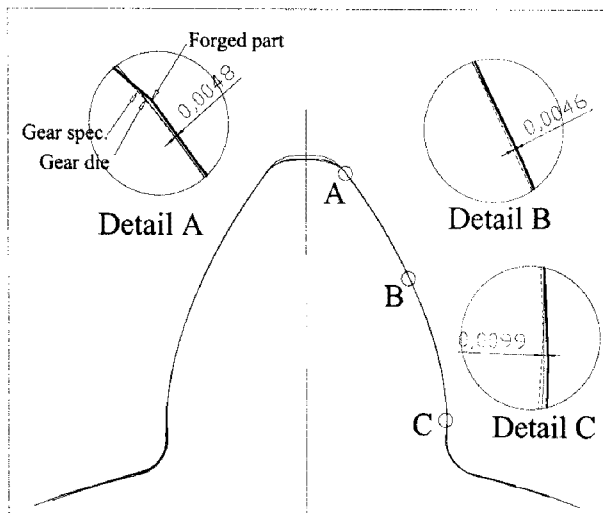


Fig.10 Gear die and forged gear profile comparison

수 있다. 이러한 차이는 금형의 래핑, 측정기의 측정오차 및 소재의 윤활 등에 의하여 나타난 것으로 추측된다. 미소한 차이에도 불구하고 치형 검사 결과, 평기어가 요구하는 사양을 본 연구에서 제안된 금형제작 방법으로 충분히 만족시킬 수 있음을 확인 하였다.

4. 결론

금형제작의 용이성과 래핑공정의 작업 정도를 높이기 위하여 제안된 방법을 검증하기 위하여 유한요소해석, 실제 금형제작 및 단조품의 치수측정결과를 통하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 변경된 금형제작 방법에 의해 나타나는 2 차열박음에 의한 금형변형량을 유한요소 해석을 통하여 예측하였다.
- (2) 실제 금형을 제작하여 기어형상의 와이어 가공 후의 치수를 측정하여 해석결과와 비교하였고, 제안된 금형제작 방법으로 제작된 금형으로 성형된 단조품의 치수를 기어 사양과 비교하였다.
- (3) 단조품의 3 차원 측정 치수는 유한요소해석 결과와는 약 5 μm 정도의 차이를 나타내지만 제안된 평기어금형 제작방법 통하여 정급의 기어를 생산할 수 있음을 검증하였다.

후 기

본 연구를 위하여 금형제작에 협조해 주신 대승정밀 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 이영선, 권용남, 천세환, 이정환, 2003, “냉간밀폐업셋팅시 금형과 단조소재의 성형 단계별 치수변화”, 한국소성가공학회 2003 춘계학술대회논문집, pp.38~43
- (2) 이영선, 권용남, 이정환, 2004, “냉간단조품의 치수 정밀 해석을 위한 유한요소해석기술”, 한국소성가공학회지, 제 5 권, 제 2 호, pp.3~8
- (3) 천세환, 이정환, 이영선, 배원병, 2003, “냉간단조스피어 기어의 금형과 단조품의 인블류트 곡선 변화 연구”, 한국소성가공학회 2003 춘계학술대회논문집, pp.44~48
- (4) Y.S.Lee, J.H.Lee, T.Ishikawa,2002,“Experimental and analytical evaluation for elastic deformation behaviors of cold forging tool”, J. of Materials Processing Technology, 127, pp.73~82
- (5) Y.S.Lee, J.H.Lee, T.Ishikawa,2002,“Analysis of the elastic characteristics at forging die for cold forged dimensional accuracy”, J. of Materials Processing Technology, 130-131, pp.532~539
- (6) A.Rosochowski,2001,“Secondary yielding of forged components due to unloading”, J. of Materials Processing Technology, 115, pp.233~239