헬리컬 기어 단조품 치수변화에 관한 연구
Dimensional Accuracy of Forged Helical Gear

*#이영선 [1], 정택우 [1], 정성환 [2], 문영훈 [3]
*#Y. S. Lee(lys1668@kims.re.kr)[1], T. W. Jung[1], Y. H. Moon[2]
[1] 한국기계연구원 변형제어연구그룹, [2] ㈜프로솔, [3] 부산대학교 기계공학부

Key words : Transmission, Helical Gear, Cold Forging, Dimensional Accuracy

1. 서론

자동차용 기어들은 1995 년 클러치 기어를 필두로 2002 년 스퍼 기어(Spur Gear)에 이르기 까지 다양한 종류의 기어가 단조공정으로 제조되고 있다. 그러나, 헬리컬 기어는 기어 치형(Tooth Profile)이 단조방향과 헬릭스 각도(Helix Angle) 만큼 경사져 있기 때문에 단조 가압(Loading) 및 취출 (Ejecting)시 금형에 과도한 하중이 부가되기 때문에 분말야금 (Powder Metallurgy) 공정에 일부 적용되고 단조공정에는 적용이 어려운 실정이었다. 그러나, 신진국을 중심으로 최근 활발한 연구개발과 적용이 이루어지고 있어 세계시장의 점유율이 증대되고 있는 실정이다. 국내의 경우는 일부 연구기관에서 연구를 수행한 바 있으나[1-3] 금형수명 부족과 함께 치수정밀도 부족으로 적용이 이루어지지 못한 상태이다.

이 가운데, 금형수명 부족 문제는 소재특성 향상과 금형설계, 금형가공 기술의 발달로 일부 해결이 이루어지고 있으나, 치형 정밀도 문제는 여전히 많은 문제를 안고 있다. 헬리컬 기어 이외에 베벨기어, 스퍼기어, 클러치기어 등과 같은 기어류 들에 대해서는 치형정밀도 향상을 위한 연구들이 이루어진 바 있다.[4-8] 그러나, 헬리컬 기어의 경우는 단조방향과 치형부로의 소재 유동방향이 경사져 있기 때문에 치형의 부위별 변형율과 압력이 서로 다르게 분포하게 되며 치형정밀도의 확보를 더욱 어렵게 만들게 된다. 결국 이러한 치수변형 문제를 야기시키는 변수들에 대한 정밀분석과 보정이 필요한 것이다.

단조기어는 Fig.1 과 같은 과정에 따라 치수가 각 단계별로 변화를 거치게 된다. 따라서, 헬리컬 기어 이외의 기어류도 단조로 제조하기 위해서는 절삭가공기어를 기준으로 단조품 형상 및 치수설계와 정밀 금형가공 기술이 필요하다.

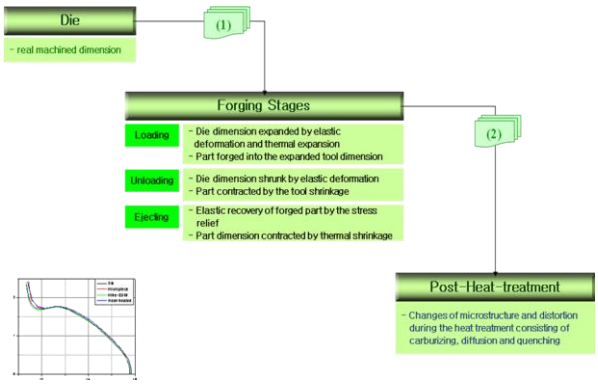

Fig. 1 Dimensional Change at each stage

금형은 탄성변형을 단조품은 탄소성 변형과 함께 열변형, 단조품은 후열처리 공정 동안 열처리 변형을 거치게 됨으로써 수 마이크로 미터론(Micro Meter) 단위의 치수정밀도를 만족시키는데 너무 어려운 문제들을 야기시키게 된다.

일반적인 치수변화 인자와 함께 헬리컬 기어에 있어 추가되는 중요한 인자는 헬릭스 각도를 갖는 치형의 구현에 있다. 이 중요한 영향인자는 금형가공, 단조공정 동안에 계속해서 문제를 어렵게 한다. 헬리컬 기어의 절삭가공은 호브(Hob) 커터(Cutter)에 의해 가공되기 때문에 단조와는 달리 헬릭스 각도가 문제가 되지 않지만, 단조공정을 위해서는 금형제작을 위해 필요한 방전가공(EDM)시 헬리컬 각 구현을 위해 방전전극이 원하는 각도로 회전과 함께 방전가공이 이루어져야 하며 CNC 방전기를 이용해야 한다. 또한, 가공된 금형의 형(Cavity)을 따라 소재가 유동되는 동안 유동속도는 치형 중심을 기준으로 좌우가 서로 다른 유동속도를 갖게 된다.

Fig.2 는 헬리컬 기어를 압출모드로 단조 할 경우 좌우의 부위별 유동속도가 서로 다름을 잘 나타내 주고 있는 유한요소해석 결과로서 유동속도의 차이는 결국 단조품의 좌우에 가해지는 부가응력의 차이를 야기시켜 탄성회복량 등의 추가적인 치수변화에 전방위적으로 영향을 미치게 된다. 이는 크기의 차이는 있지만 단조형(Upsetting) 헬리컬 기어 단조 제조시에도 동일한 문제를 야기시키게 된다.

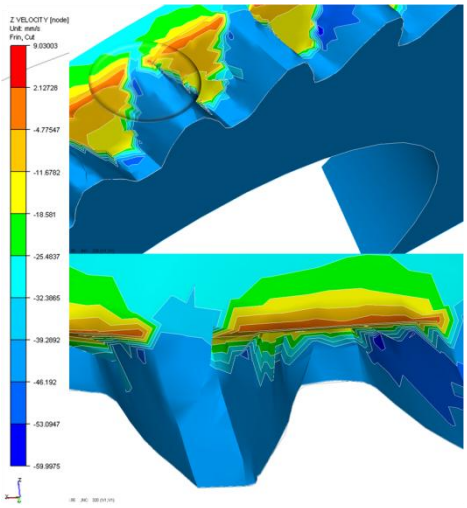

Fig. 2 Non-homogeneous distribution of properties at each gear

2. 기어 치형정밀도 확보 방안

2.1 실험과 해석

절삭기어를 단조로 제조하면서 절삭용 공구에 의해 정해지는 치형(Tooth Profile)을 미크론(Micron) 단위까지 구현하는 것은 치수 보정기술이 매우 정밀해야 한다. Fig.1 에서 언급한 바와 같이 단조기어는 금형가공용 치수에서부터 최종제품(열처리 후)에 이르기 까지 계속해서 치수가 변화되기 때문에 치수변화에 대한 정량적인 데이터 생성과 이를 보정한 금형가공이 필수적이다.

또한, 헬리컬기어는 가공방향과 헬릭스 각도의 차이에 의해 금형가공 시에도 많은 어려움이 존재하며 단조 취출 중에도 동일한 문제를 해결해야 한다.

Fig. 3 은 최종 치형정밀도를 얻기 위해 필요한 치형 분석방법에 대한 모식도로서 금형-단조-열처리 전구간에 대한 치형 데이터 생성과정을 나타내고 있다.

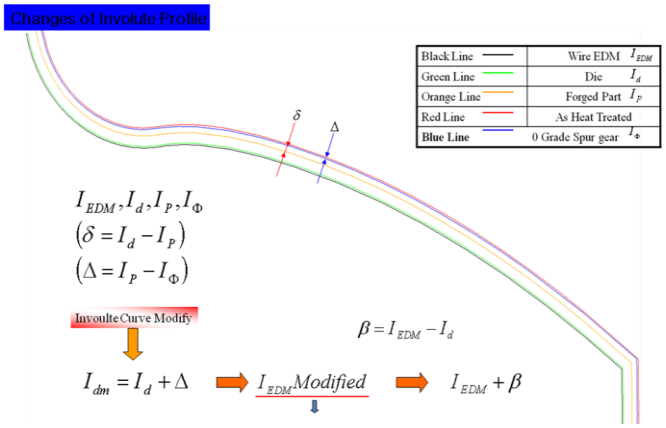

Fig. 3 Diagram for data change of tooth profile

실험에 사용된 헬리컬 기어는 헬릭스 각도 34.5°, 잇수 29, 모듀율 1.905 헬리컬 기어로서 단조로 제조하기에는 난이도가 매우 높은 기어에 해당된다.

2.2 해석(FEM analysis)

헬리컬 기어는 우선 열간단조에 의해 치형을 성형한 후 냉간사이징 공정을 거쳐 최종 치수로 제조된다. Fig.4 는 열간단조 공정에 대한 해석결과로서 치형부의 균일한 성질을 얻을 수 있음을 예측하고 있다.

유한요소해석에서는 150,000 개 이상의 요소(Element)를 이용하여 치형의 치수변화를 측정하였다. Fig. 4 는 3 차원 해석을 위한 빌렛(Billet)과 금형 3 차원 모델(Model)을 나타내고 있다. 해석은 계산시간의 단축을 위해 16-노드(node) 클러스터(Cluster) 컴퓨터에서 상용유한요소프로그램인 Forge™ 을 이용하였다.

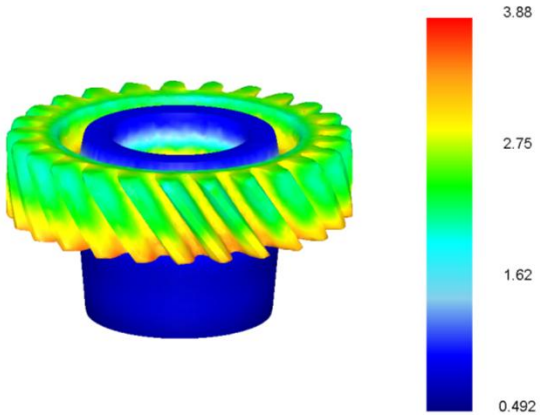

Fig. 4 Tooth forming by hot forging

3. 실험 결과 및 고찰

전술한 바와 같이 기어의 치수정밀도를 향상시키기 위해서는 전극-금형-단조품-열처리품에 이르는 일련의 과정. 따라서, 본 연구에서는 치수정밀도 확보를 위해 Fig.5 에 나타나 있는 바와 같이 높이 방향에 대하여 치형 데이터를 생성함으로써 리드정밀도에 대한 보정 데이터 또한 확보하고자 하였다. 헬릭스 각도에 의해 헬리컬기어의 경우는 리드 정밀도 확보가 더욱 어렵기 때문이다.

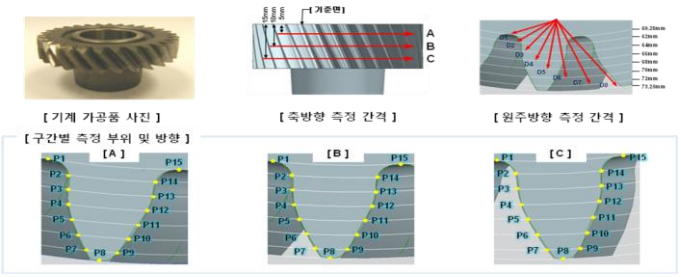

Fig. 5 Tooth profile of electrode for helical pinion

이와 같은 치수 측정과 정밀도 확보를 위한 단계적 접금을 통해 최종 전극 치수를 확보를 위한 최종 단계에 해당된다.

4. 결론

본 연구에서 변속기용 헬리컬 기어의 열간단조 공정에 대한 실험과 해석을 수행함으로써 최종제품이 요구하는 치수정밀도를 얻기 위한 전극 및 금형치수를 확보하고자 하였다. 또한, 정량적 치수비교와 보정을 위해 3 차원 모델상에서 해석결과와 측정결과를 비교할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 향후에는 제조된 제품에 대한 문제점을 보완함으로써 요구 특성치와 정밀도를 확보하고자 한다.

후기

본 연구는 지역전략기획사업으로 추진중인 “정밀단조 헬리컬기어 치수정밀도 향상기술” 과제의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. S. Chung, J. H. Park, C. Kim, C. H. Kim, J. C, Choi, 2002, “A study on extrusion of helical gears by a two-step process”, 7th Forging Symposium of KSTP, pp85-91.
2. D. Y. Yang, 1999, “Finite element method on die deformation and elastic spring-back analysis for product of helical gear”, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp237-240.
3. Y. B. Park, D. Y. Yang, 1999, “Study on precision cold forging of helical gear”, Trans. Mater. Process., 8, 4, pp384-392.
4. Jongung Choi, Hae-Young Cho and Chang-Yong Jo, 2000, “Forging of spur gears with internal serrations and design of the dies”, J. of Materials Processing Technology, 104, 1-2, pp1-7.
5. J.C.Choi and Y.Choi, 1999, “Precision forging of spur gears with inside relief”, Int. J. of Machine Tools and Manufacture, 39, 10, pp1575-1588.
6. Y.S.Lee, J.H.Lee, Y.N.Kwon, T.Ishikawa, 2004, “Experimental and FE analysis to predict the dimensional changes of workpiece and tool in cold forging”, Proc. of Int. Conf. NUMIFORM2004, pp504-509.
7. Y. S. Lee, J. H. Lee, Y. N. Kwon, T. Ishikawa, 2004, “FE-modeling approaches to accurate dimension prediction for the cold forged part”, J. of Engineering Manufacture B, 218, pp1709-1722.
8. H. S. Kim, H. C. Chung, Y. S. Lee, S. H. Kang, I. H. Lee, S. T. Choi, 2009, “A study on improvement of dimensional accuracy of cold forged helical gears using back pressure forming”, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp139-142.