

2단계공정을 이용한 헬리컬기어 압출에 관한 연구

정성윤*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 박준홍(부산대 기계기술연구소), 김철(부산대학교 기계공학부), 김창호(동의대 기계산업시스템공학부), 최재찬(부산대 기계공학부),

A Study on Extrusion of Helical Gears by a Two-step Process

S. Y. Jung(Prec. Mech. Eng. Dept., PNU), J. H. Park(RIMT, PNU), C. Kim(School of Mech. Eng., PNU),
C. H. Kim(Division of Mech. Indus. Sys. Eng., DEU), J. C. Choi(School of Mech. Eng., PNU),
S. H. Choi(Kwang Ho Precision Co.,)

ABSTRACT

Of all the many types of machine elements which exist today, gears are among the most commonly used. Many researches have been done to manufacture helical gears by cold forging and extrusion. Although cold forging and extrusion were applied to some bevel, spur, and helical gears, problems in connection with reducing forming load and tool life still make it difficult for the related methods to be commercialized.

In this study, focusing on reducing load in forming helical gears, extrusion of helical gears by a two-step process is proposed. The process is composed of an extrusion step of spur gears used as preform and a torsion step of the preform to make helical gears. Upper-bound analysis for the two-step process is performed and compared with results of experiments. The newly proposed method can be used as an advanced forming technique to remarkably reduce the forming load and replace the conventional forming process of helical gears.

Key Words : Helical gear (헬리컬 기어), Extrusion (압출), Spur gear (스퍼어 기어), Upper-bound analysis (상계해석)

1. 서론

기어는 용도가 대단히 많고 종류가 다양한 기계 부품 중의 하나이다. 강력한 전달력과 정확한 속도 비를 가지고 회전운동을 전하기 위하여 사용되는 기계부품으로 최근 자동차 산업의 발달로 부품가공의 정밀도와 생산성 향상이 급속도로 이루어지고 있다. 기어의 제조 방법으로는 호빙, 세이빙, 밀링 등과 같은 절삭가공법과 주조, 분말야금, 소성가공 등의 비절삭가공법이 있으며, 고정밀도를 필요로 하는 기어는 현재 절삭가공에 의하여 대부분 생산되고 있다. 그러나 소성가공에 의해 성형된 기어는 절삭가공에 의해 제조된 기어에 비하여 재료 및 비용 절감과 강도 증가를 기대할 수 있으므로, 최근 기어 제조에 있어서 소성가공에 의한 기어의 성형방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

압출공정에 의한 기어 성형에 대한 연구로서 Samanta등⁽¹⁾에 의해서 스퍼어 기어와 헬리컬 기어의

냉간 압출공정이 제시되었으며, Choi등^(2,3)은 헬리컬 기어의 새로운 냉간 압출법을 제안하여 상계해석하고, 전극설계 및 금형강도를 평가하였다. 또한 Yang⁽⁴⁾등은 헬리컬 기어의 성형은 매우 높은 성형하중과 빠른 작업속도 때문에 다이 속으로 치형을 갖는 펀치의 안내운동이 실현되기 어려우므로 헬리컬 기어의 냉간 단조에 대해 안내형 공정이 아닌 구속형 공정에 대해서 단조 실험과 반복경계조건을 이용한 3차원 유한요소해석을 하였다. 또한 Choi^(5,6)등은 헬리컬 기어의 안내형과 구속형 냉간단조에 대하여 금형구조 및 동적가용 속도장을 제안하여 상계해석 결과와 실험 결과와 비교하였다.

위의 연구에서 헬리컬 기어의 냉간 성형을 위한 여러 가지 실험 방법과 해석 방법이 제시되었지만, 헬리컬 기어의 냉간 성형은 가혹한 하중조건에서 성형이 이루어지므로 금형의 손상이 여전히 우려되며,

이로 인하여 헬리컬 기어의 냉간 성형이 실제 산업 현장에 적용되기가 어려운 실정이다.

본 연구에서는 헬리컬 기어를 냉간 성형할 때 가혹한 하중 조건을 해결하기 위하여 2단계 헬리컬 기어 성형 공정을 제시하고자 한다. 2단계 헬리컬 기어 성형 공정은 예비성형체인 스피어 기어를 압출하는 단계와 스피어 기어를 헬리컬 기어로 비트는 단계로 이루어져 있고, 풀림처리 과정이 포함되어 있다. 또한 스피어 기어에서 헬리컬 기어로 비트는 과정에 대한 상계해석을 수행하여 실험 결과와 비교하였으며, 전극 설계와 금형설계에 대하여 설명하고자 한다.

2. 2단계 공정을 이용한 헬리컬 기어 성형

2단계 공정을 이용한 헬리컬 기어의 성형은 예비성형체으로 쓰여질 스피어 기어 압출 공정, 헬리컬 기어로의 압출 공정으로 이루어져 있다. Fig. 1은 스피어 기어 압출용 금형구조의 개략도를 나타내고 있다.

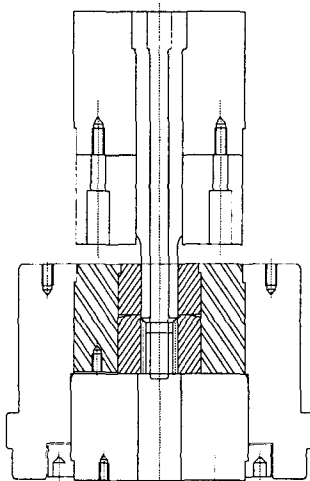


Fig. 1 Extrusion die sets for spur gears

Fig. 2는 스피어 기어 예비성형체를 이용하여 헬리컬 기어로의 비틀림 공정을 나타내는 개략도이며, Fig. 3에는 공정의 순서를 나타내었다. 먼저 풀림 윤활 처리한 원형 빌렛에서 스피어 기어를 압출하고, 압출된 스피어 기어를 풀림 처리 한 후 헬리컬 기어로 비틀게 된다. 헬리컬 기어를 성형할 때 치형부에서 과도한 변형으로 인한 균열을 방지하기 위해 풀림처리를 한다.

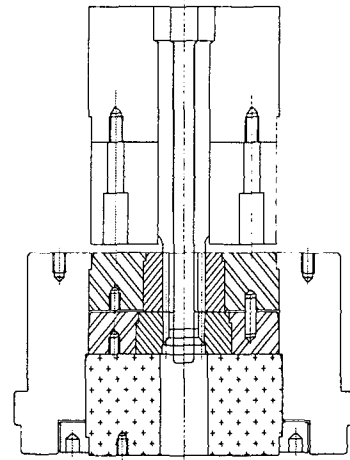
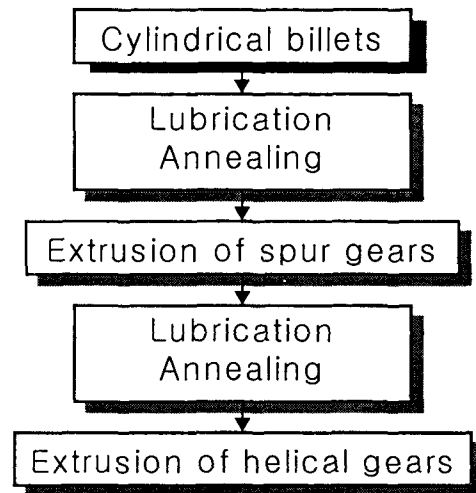


Fig 2 Extrusion die sets for helical gears from spur gears



3. 상계해석

2단계 공정 중에서 스피어 기어 예비성형체으로 부터 헬리컬 기어로 비트는 공정에 대한 상계해석을 수행하였다. Fig. 4는 동적가용속도장을 구하기 위한 개략도 이고, Table 1과 같은 속도장을 제시하였다.

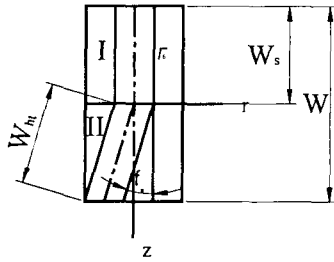


Fig. 4 Kinematically admissible velocity field of parts for extruding helical gears

Table 1 Kinematically admissible velocity field for extruding helical gears

I 영역	II 영역
$U_r = 0$	$U_r = 0$
$U_\theta = 0$	$U_\theta = U_z \tan \phi_R = \tan \phi_R$
$U_z = 1$	$U_z = 1$

(여기서, I영역은 스퍼어 기어 도입부, II영역은 헬리컬 기어 성형부, ϕ_R 은 임의의 R에서 Helix angle)

4. 실험

2단계 공정을 이용한 헬리컬 기어의 성형을 위하여 SCM415 소재를 사용하였으며, 응력-변형률 관계식은 다음과 같다⁽⁷⁾.

$$\sigma = 768.06 \epsilon^{0.139} \quad [MPa] \quad (1)$$

Fig. 5는 헬리컬 기어 성형 실험에 사용된 왼쪽으로부터 스퍼어기어 도입부, 헬리컬 기어 압출부, 취출부 다이를 나타내고 있으며, 펀치 소재는 SKD61, 금형에 사용된 인서트 소재는 초경, 보강링 소재는 SKD61이며, 스퍼어 기어 및 헬리컬 기어의 금형들의 제원은 Table 2와 같다.

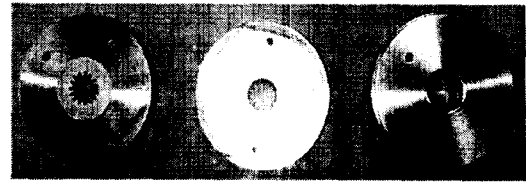


Fig. 5 Extrusion Die for helical gear

Table 2 The specification of gears

	spur gear	helical gear
No. of teeth	15	15
Module	1.75	1.75
Pressure angle	20°	20°
Standard P.C.D	$\phi 26.25$	$\phi 26.25$
Helix angle	.	10°
Addendum modification	.	0.35

Fig. 6은 헬리컬 기어 성형을 위해 프레스에 장착된 금형을 나타낸다.



Fig. 6 Die set for helical gears

Fig. 7은 원통형 소재로부터 압출된 스퍼어기어 예비성형체의 사진을 보여주고 있다.

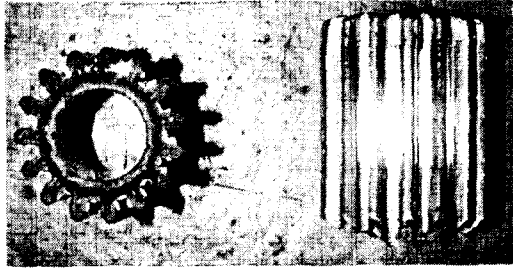


Fig. 7 Preformed spur gear

Fig. 7과 같은 스퍼어 기어 예비성형체를 풀림 처리 한 후 헬리컬 기어로 비틀게 된다. Fig. 8은 스퍼어 기어 예비성형체를 이용한 헬리컬 기어 제품을 나타내고 있다.

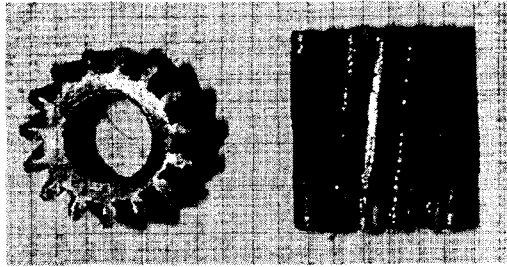


Fig. 8 Extruded helical gear from spur gear

2단계 공정을 이용하여 스퍼어 기어 예비성형체와 헬리컬 기어를 성형하였다. 풀림 처리 하기 전의 스퍼어 기어 치형에 대하여 비커스 경도를 측정하였고, 헬리컬 기어의 치형에 대해서도 경도를 측정하였다. Fig. 9, 10은 각각 스퍼어 기어와 헬리컬 기어의 비커스 경도 값이다.

Fig. 9와 Fig. 10에서 알 수 있듯이 스퍼어 기어의 압출 때 보다 풀림 처리후에 헬리컬 기어로 비틀었을 때의 경도 값이 치형 전체에 있어 낮음을 알 수 있다. 이는 스퍼어 기어 압출 시의 변형보다 헬리컬 기어로의 압출에서 변형의 정도가 낮음을 뜻한다.

또한 치형의 바깥부분보다 치형의 중심 부분이 경도 값이 높으며 이뿌리 부분으로 갈수록 경도값이 약간 상승함을 알 수 있다.

중공의 SCM415 소재를 이용하여 스퍼어 기어 압출시 소요된 하중은 80톤, 예비성형된 스퍼어 기어를 헬리컬 기어로 압출하였을때는 60톤이 나왔다.

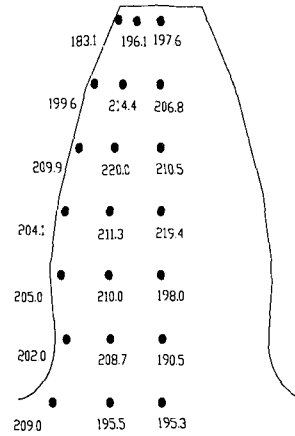


Fig. 9 Vickers hardness value for spur gears

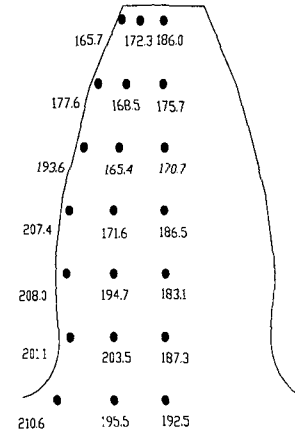


Fig. 10 Vickers hardness value for helical gears after torsion

5. 결론

본 연구에서는 기존의 헬리컬 기어 성형 공정과는 달리 2단계 공정을 이용하여 헬리컬 기어를 성형하였다. 압출된 스퍼어 기어를 예비성형체로 한 압출 공정을 통하여 헬리컬 기어를 제조하였으며, 이를 통하여 기존의 과도한 하중에 의한 금형 파손을 방지할 수 있고 금형의 수명을 향상시킬 수 있다.

스퍼어 기어에서 헬리컬 기어로의 압출 과정에 대한 상계해석을 수행하였다. 상계해석 결과와 실험 결과가 잘 일치하였고, 경도 시험을 통하여 스퍼어 기어 압출보다 헬리컬 기어로 비틀는 과정이 변형 정도가 낮음을 알 수 있었다. 치형 전체에 걸쳐 경도 값이 양호한 제품을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. S.K. Samanta, "Helical gear: A noble method of manufacturing it", Proc. 4th North American Metalworking Research Conf., Battelle's Columbus Labs, OH, USA, Society of Manufacturing Engineers, pp. 199-205, 1976.
2. 최재찬, 조해용, 권혁홍, 이연호, "헬리컬 기어의 새로운 냉간압출법과 상계해석에 관한 연구", 한국정밀공학회 제9권, 제3호, pp. 12-28, 1992.
3. Jaechan Choi, Haeyoung Cho and Hyukhong Kwon, "A new extrusion process for helical-gears : experimental study", J. Mater. Process. Technol., Vol. 43, pp. 35-53, 1994.
4. 박용복, 양동열, "반복경계조건을 이용한 헬리컬 기어의 정밀 냉간 단조에 대한 유한요소해석", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집(I), pp. 296-301, 1995.
5. J.C. Choi, Y. Choi, S.J. Tak, "The forging of helical gears(I) : experiments and upper-bound analysis", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 40, No. 4, pp. 325- 337, 1998.
6. J.C. Choi, Y. Choi, S.J. Tak, "The forging of helical gears (II):comparisons of the forging processes", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 41, pp. 725-739, 1999.
7. J.C. Choi, Y. Choi, "Precision forging of spur gears with inside relief", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 39, Issue 10, pp. 1575-1588, 1999.