

오발 유량계에 사용되는 타원형 기어 설계에 관한 연구

박진주* · 이응석**

* 충북대학교 정밀기계공학과

A Study on the Elliptical Gear Design for Oval flowmeter

Jin Joo Park* and Eung Seok Lee**

* Dept. of Mechanical Engineering, Chungbuk Nat'l Univ.

(Received January 15, 2013 ; Revised April 30, 2013 ; Accepted June 9, 2013)

Key Words: Pressure Angle(압력각), Oval Flowmeter(오발 유량계), Elliptical Gear(타원형 기어)

초록: 오발 유량계의 회전자로는 타원형 기어가 사용된다. 타원형 기어를 사용하는 이유는 타원형 기어로 인해 생긴 공간을 통해 물을 계측하기 때문이다. 현재 타원형 기어는 일본에서 호브를 수입해 가공하고 있으며 그마저도 일본 회사와의 계약이 끝나면 가공할 수 없는 실정이다. 본 연구에서는 타원형 기어에 대한 수입 대체 효과 및 국내기술의 개발을 통해 해외 의존력을 탈피 할 수 있도록 타원형 기어 설계에 연구 목적을 두고 있다. 보통의 압력각을 타원형 기어에 사용하였을 경우 이의 간섭이 생겨 회전을 하지 못한다. 압력각이 증가하게 되면 이뿌리 부분이 두꺼워지고 이끝 부분이 좁아진다는 것을 이용하여 타원형 기어의 치형을 설계하였으며 이를 2D 및 3D로 검증하였다.

Abstract: Elliptical gear is used as a rotor of oval flowmeter. The elliptical gear can assist water flow-rate measurement by the space of the elliptical shape. Presently, elliptical gears have been processed using hob tool imported from Japan. But if it were not for the technical cooperation with Japan company, the Elliptical gears can't be processed. The purpose of this study is developing a domestic technology for elliptical gears and overcoming the dependence of foreign technical skills. It will bring the import substitution effect. In case of pressure angle 20°, the elliptical gears have an interference of tooth. The increase of pressure angle makes the root of a tooth thick and the top of tooth thin. By results of this study, tooth of elliptical gear was designed and verified through the 2D and 3D simulation.

1. 서론

타원형 기어가 사용되는 유량계는 용적식 유량계로 여러 종류가 있지만 일반적으로 본체부, 회전부, 전동부, 변환부, 계수부로 구성되어 있다.

용적식 유량계의 회전자로는 주로 타원형 기어가 사용된다. 타원형 기어는 비원형 기어의 하나로 고차타원이라고 불린다. 비원형 기어는 확실한 회전운동의 전달과 동시에 가변 회전 속도비를 얻을 수 있으며 피치곡선이 원형이 아닌 일반적인 곡선의 형태로 구성되어 있는 특수한 모양을 갖고 있다. 한 쌍의 두 기어는 서로 접촉하면

서 회전운동을 수행하며 이때의 접촉점이 두 기어 간의 중심선상에서 전후로 이동하게 된다. 이로 인해 구동기어의 회전속도는 일정하더라도 피동기어의 속도는 변화하게 된다.⁽⁵⁾

또한 타원형 기어는 일반적인 기어와 다르게 원형패턴을 가지고 있지 않기 때문에 가공의 어려움이 있으며 만족할 만한 성과를 얻기 힘들다. 현재 타원형 기어는 일본에서 호브를 수입해 가공하고 있으며, 그마저도 일본회사와의 계약이 끝나면 가공할 수 없는 실정이다. 타원형 기어에 대한 연구도 미비해서 그에 대한 자료를 찾아보기 힘들며 일본의 기술력에 의존하는 것은 한계가 있다. 본 연구에서는 타원형 기어에 대한 수입 대체 효과 및 국내기술의 개발을 통해 해외 의존력을 탈피할 수 있도록 타원형 기어 설계에

† Corresponding Author, jalloo2@naver.com

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

연구 목적을 두고 있으며, 2D 및 3D 설계·검증을 위해 AutoCAD와 SolidWorks를 사용하였다.

2. 타원형 기어 설계

2.1 타원형 기어 치형 설계

KS규격에 의하면 압력각이란 한 쌍의 이가 맞물려 돌아갈 때 피치점에서 그 반경선과 치형의 접선이 이루는 각을 압력각이라 한다. Fig. 1은 압력각의 크기에 따른 치형의 변화를 보여주고 있으며 점선은 피치원, 실선은 기초원을 가리킨다. 압력각이 커짐에 따라 이가 뾰족해지고 이뿌리 부분이 두꺼워지며 기초원이 작아지는 것을 볼 수 있다.

타원형 기어의 경우 일반적으로 사용하는 기어의 압력각(20°)를 사용할 경우 Fig. 2와 같이 기어의 간섭이 생긴다. 타원형 기어는 KS규격에 없는 기어인 만큼 타원형 기어에 적합한 압력각을 찾기 위해 압력각을 늘려 이의 간섭이 발생하는지의 여부를 알아보았다. 본 연구에서는 1°씩 압력각을 늘려 이의 간섭을 검사했으며 압력각이 20°일 때 이의 간섭이 최대 30μm인 것을 확인할 수 있었다.

설계 결과 압력각 29°와 30°가 두 기어를 맞물렸을 때 간섭이 생기지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 30°가 넘어가는 경우에는 이뿌리 부분이 너무 두꺼워져 아랫부분에 간섭이 생긴다.

2.2 피치 타원 설계

본 연구에서 설계한 타원형 기어는 회전중심이 단면의 도심으로 피치곡선은 다음과 같다.⁽¹⁾

$$R = \frac{2ab}{(a+b) - (a-b)\cos 2\theta} \quad (1)$$

여기서 a는 장반경, b는 단반경의 길이를 뜻한다. 두 기어가 동일한 형상을 가지고 있으므로 $R(\theta) = R_1(\theta)$ 에 대해서 설계를 한다. 각도에 대한 피치곡선의 길이는 다음과 같이 구한다.⁽²⁾

$$S_\theta = \int_0^\theta \sqrt{(R')^2 + (R)^2} d\theta \quad (2)$$

피치곡선의 전체길이는 θ 에 2π 를 대입함으로써 구할 수 있으며 원형기어와 같이 식 (3)을 만족한다.⁽³⁾

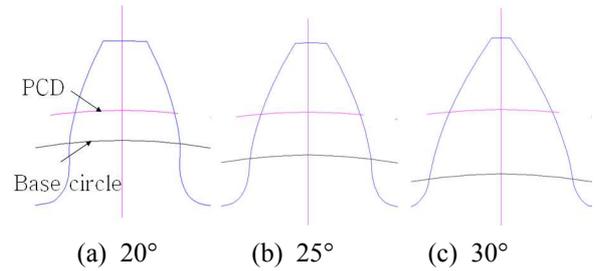


Fig. 1 Tooth form change of gears by pressure angle 20°

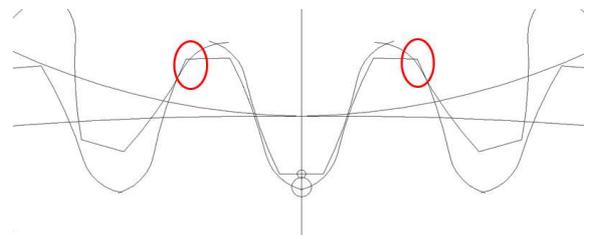


Fig. 2 Toothing of gears for pressure angle 20°

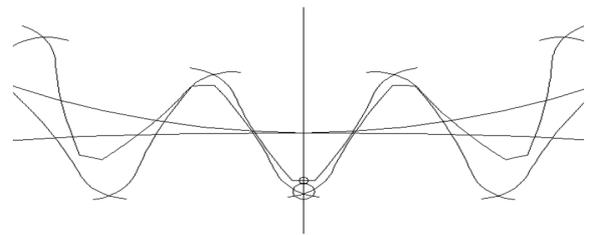


Fig. 3 Toothing of gears for pressure angle 29°

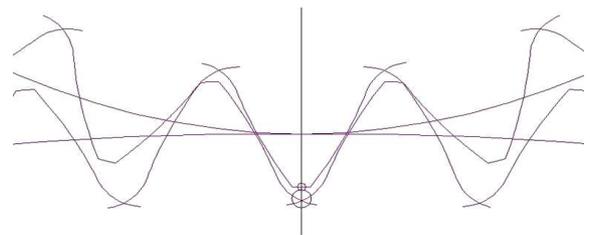


Fig. 4 Toothing of gears for pressure angle 30°

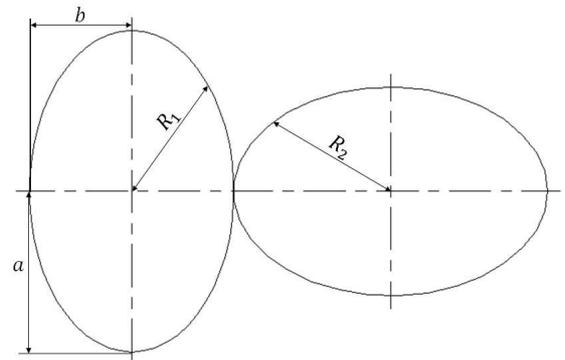


Fig. 5 Pitch curves design parameters of elliptical gears

$$C_P = \pi m = \frac{S_P}{z} \quad (3)$$

여기서 C_P 는 원주피치, m 은 모듈, z 는 잇수를 뜻한다. 각속도비 i 또는 ω_1/ω_2 는 각 타원의 반경에 따라 각기 다른 값을 가진다. ω_1 은 일정한 각속도를 가지고 있으므로 ω_2 가 90°의 간격으로 최대값과 최소값을 오가는 것을 Fig. 6을 통해 볼 수 있다.

2.3 오발리티와 타원형 기어의 관계

오발리티(Ovality)는 장반경과 단반경의 비를 뜻하며 본 연구에서는 1.8의 값을 가진다. 오발리티가 1에 가까워 질수록 기어는 원의 형태를 갖추게 된다. 타원형 기어에 있어서 오발리티는 필수 조건이며 원형기어를 사용하게 되는 경우 Fig. 7의 공간이 사라져 기어의 이사이 공간에 있는 물만 흐르게 되어 유량계로써의 역할이 힘들다.

3. 설계 검증

3.1 2D 설계 검증

설계에 대한 검증으로 2D상에서(AutoCAD) 상

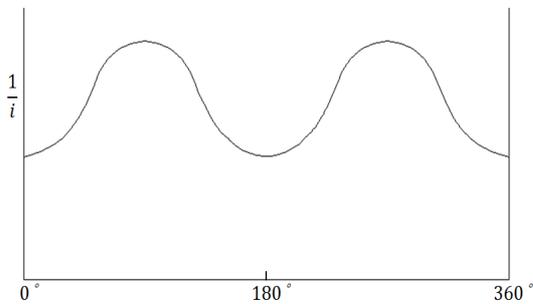


Fig. 6 Angular velocity ratio of an oval gear set⁽¹⁾

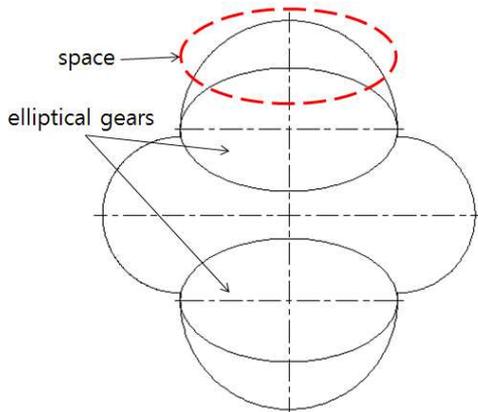


Fig. 7 Oval flowmeter space design

위 기어를 Fig. 8과 같이 5°씩 회전하여 90°까지 이의 간섭을 확인하였다. Fig. 9(a)는 압력각 29°를 회전시킨 것으로 이의 간섭이 두 기어가 90°로 맞물려 있을 때는 생기지 않았으나, 회전을 시키자 이의 간섭이 생긴 것을 볼 수 있다. 결과적으로 Fig. 9(b)의 압력각 30°의 경우 회전시켜도 간섭이 발생하지 않았다.

3.2 3D 설계 검증

설계에 대한 다른 검증으로 3D 시뮬레이션을 사용하였다. Fig. 10은 구속조건을 보여주는 사진으로 구속조건으로는 상위기어만 회전을 시켰으며 하위기어와 접촉구속을 주었다. 이와 같은 구속조건을 이용하게 되면 이가 잘 맞물리지 않는 경우 하위 기어와 충돌을 일으켜 종동축의 속도 그래프가 불안정한 결과를 보이며 회전을 멈추게 된다. 회전속도는 5RPM으로 설정하였다.

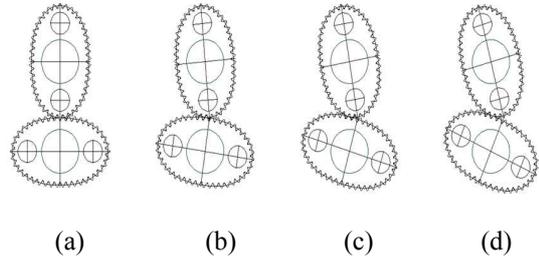
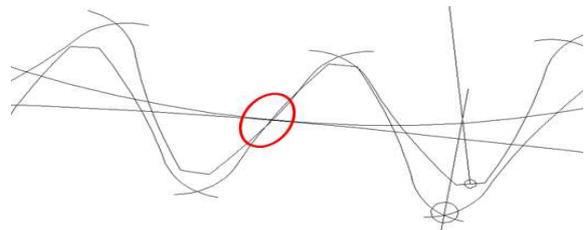
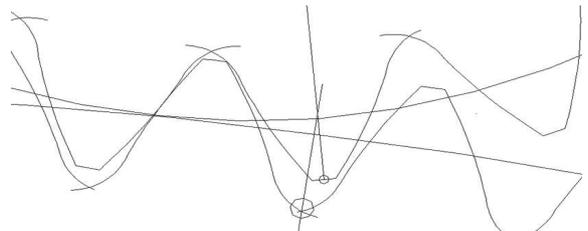


Fig. 8 Verification steps using 2D, AutoCAD for 20° rotation (a)-->(d)



(a) Pressure angle 29° showing an interference



(b) Pressure angle 30° showing without interference

Fig. 9 Interference verification by the 2D, AutoCAD for after 5° rotation

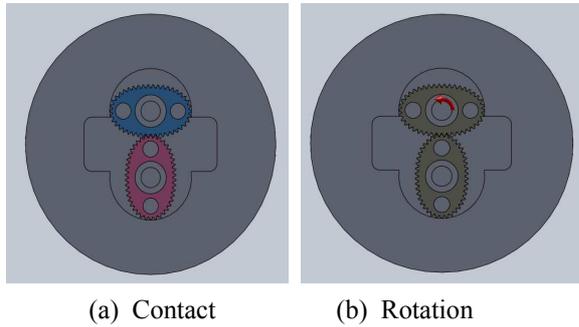
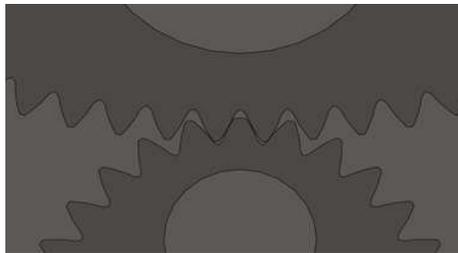
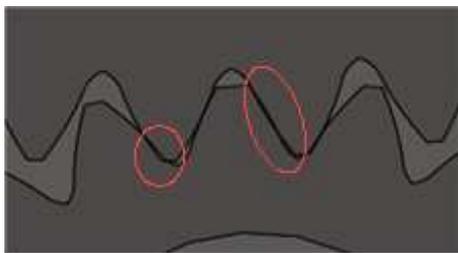


Fig. 10 Boundary conditions for the 3D, SolidWorks design



(a) Rotation angle 0°



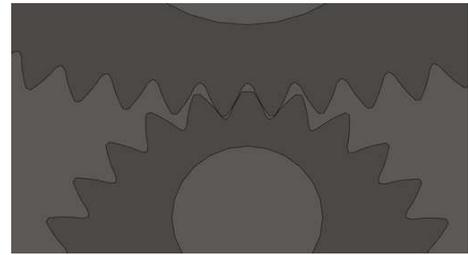
(b) Rotation angle 5° with teeth interference

Fig. 11 Rotating simulation by the 3D SolidWorks for the pressure angle 29°

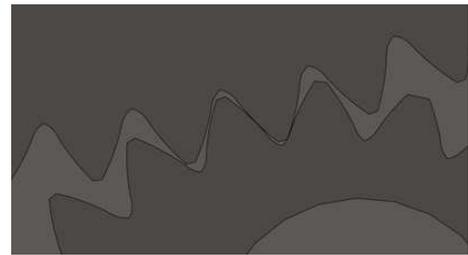
Fig. 11은 압력각 29°의 회전 시뮬레이션을 나타내며 상위기어를 회전시키자 이의 간섭이 발생하였다. 반대로 Fig. 12는 압력각 30°로 간섭없이 부드럽게 회전하는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션 상에서 간섭이 발생하는 경우 두 기어의 회전이 멈추며 종동축의 그래프가 Fig. 13(a)와 같이 불안정하게 나온다. Fig. 13(b)는 압력각 30°의 종동축 그래프이며 앞서 이론에서의 각속도 그래프와 비교를 하면 ω_1 은 항상 같은 속도이므로 ω_2 의 그래프는 이와 같이 나오는 것이 맞으며 이론과 부합하다는 것을 확인할 수 있다.

3.3 타원형 기어 설계 예

본 연구에서는 5가지 타입의 타원형 기어를 설

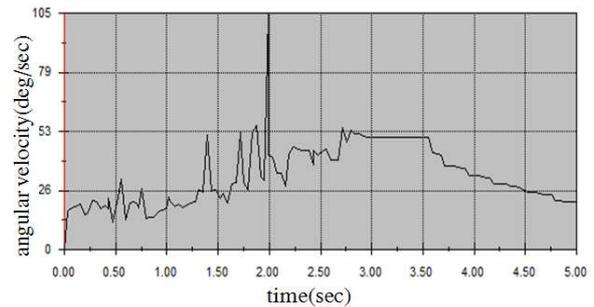


(a) Rotation angle 0°

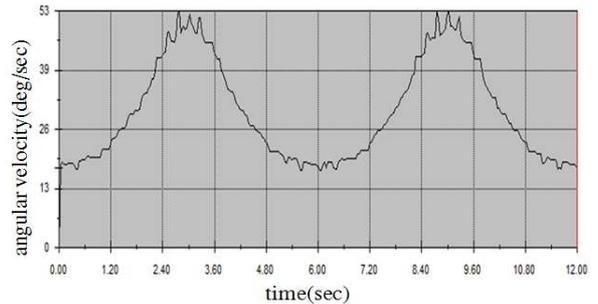


(b) Rotation angle 5° with no teeth interference

Fig. 12 Rotating simulation by the 3D SolidWorks for the pressure angle 30°



(a) Pressure angle 29°



(b) Pressure angle 30°

Fig. 13 Calculated angular velocity ratio by SolidWorks for the follower oval gear designed in this study

계하였으며 모든 기어가 압력각 30°를 적용하였을 경우 이의 간섭이 없이 부드럽게 회전한다는 것을 2D와 3D상으로 확인 할 수 있었다. Fig. 14는 설계된 타원형 기어 중에 하나로 Table 1과 같은 값을 가진다. Fig. 15는 와이어 방전가공을

Table 1 Specification of the elliptical gear design examples for figure 14

module	pressure angle	semi-major axis	semi-minor axis	teeth
0.8	30	34.9245	18.8055	70
1.0	30	48.645	26.1934	78

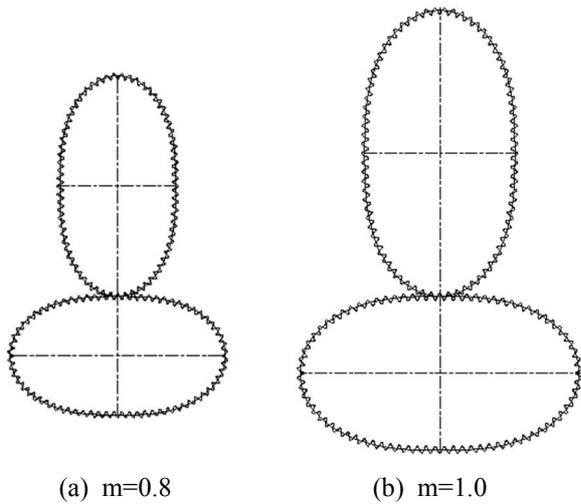


Fig. 14 Elliptical gear design examples



Fig. 15 Manufactured oval gear set by WEDM designed for $m=0.6$, pressure angle= 30° , teeth=42

이용하여 제품을 제작한 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 오발 유량계에 사용되는 타원형

기어를 설계하였다. 설계검증을 통하여 원형 기어에 사용하는 압력각을 타원형 기어에 적용할 경우 이의 간섭이 생긴다는 것을 확인할 수 있었으며 이를 통해 적합한 압력각을 선정할 수 있었다. 압력각이 30° 가 초과되는 경우에는 치형의 밑부분이 너무 두꺼워져 이의 간섭이 발생한다.

본 연구에서 5가지의 타원형 기어를 설계한 결과, 모든 타입의 기어가 압력각 30° 와 유격 (Clearance) $0.02mm$ 를 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다. 5가지 기어의 경우, 2D 검증 및 3D 시뮬레이션을 통해 기어 이의 물림이 원활하며 이의 간섭이 생기지 않음을 확인하였다. 본 연구를 통해 타원형 기어에 대한 새로운 설계 방법을 제시함으로써 보다 쉽게 타원형 기어를 설계할 수 있다.

후 기

“이 논문은 2011년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

참고문헌

- (1) Maitra, G. M., 1985, Handbook of Gear Design, Tata McGraw-Hill, New Delhi, Chap. 7, pp. ???
- (2) Faydor L. L., Alfonso F. A., Igoacio G. P. and Kenichi H., Noncircular Gears Design and Generation, Cambridge University Press, NewYork, pp. 40~46.
- (3) Lee S. C., 2012, "Tooth Profile Design of an Oval Gear According to the Curvature of the Pitch Curve," *Journal of the KSTLE*, Vol. 28, No. 1, pp. 27~32.
- (4) Kim K. T. and Jeong J. S., Gear, Yeamoonsa, Gyeonggi, pp. 55~64.
- (5) Bair, B. W., Sung, M. H., Wang, J. S. and Chen, C. F., 2009, "Tooth Profile Generation and Analysis of Oval Gears with Circular-arc Teeth," *Mechanism and Machine Theory*, No. 44, pp. 1306~1317.