

< 학술논문 >

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2015.39.12.1237>

ISSN 1226-4873(Print)
2288-5226(Online)

타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 로브 형상의 제로터 최적 설계

곽효서* · 이승환* · 김 철**†

* 부산대학교 창의공학시스템공학과, ** 부산대학교 기계기술연구원

Optimal Design of Gerotor with Combined Lobe Profiles (Ellipse 1-Elliptical Involute-Ellipse 2)

Hyo Seo Kwak*, Sheng Huan Li* and Chul Kim**†

* Dept. of Creative Engineering, Pusan Nat'l Univ.,

** Research Institute of Mechanical Technology, Pusan Nat'l Univ.

(Received June 13, 2015 ; Revised October 2, 2015 ; Accepted October 6, 2015)

Key Words: Gerotor(제로터), Combined Lobe Shape(조합된 로브 형상), Elliptical Involute(타원형 인벌루트), Flow Rate(유량), Irregularity(유량맥동)

초록: 제로터(Gerotor) 오일펌프는 구조가 간단하고 1 회전당 토출량이 많기 때문에 소형화에 유리하며, 자동차의 엔진 윤활유 공급원 및 자동 변속기의 유압원으로 널리 사용되고 있다. 최근 자동차 산업에서는 연비향상 및 소음저감이 가장 중요한 문제로 대두되는데, 내접형 기어펌프 측면에서는 제로터의 치형설계 및 포트형상 설계를 통하여 이를 대처하고 있다. 이에 본 논문에서는 유량맥동이 매우 작은 값을 가지도록 조합된(타원 1-타원형 인벌루트-타원 2) 외부로브 형상에 대하여 치형의 기구학적 조건을 만족하는 식을 유도하여 내부로브 형상을 창출하였으며, 이에 대한 침점 및 루프가 발생하지 않는 설계인자 범위를 결정하였다. 또한 설계인자의 변화가 치형의 형상 및 성능인자(유량, 유량맥동)에 미치는 영향을 파악하여 최적의 치형을 구하고자 하였다.

Abstract: A gerotor can be manufactured in a miniature size because it has a high discharge per cycle and a simple structure. Gerotors are widely used for the lubrication oil of an engine and as the hydraulic source of an automatic transmission. Recently, improvements in fuel efficiency and noise reduction have come to the fore in the automobile industry, and it has been necessary for better fuel efficiency to continuously improve the flow rate and noise of internal gear pumps through the optimal design of the gerotor and port shape. In this study, gerotors were generated based on the equations derived for a lobe shape with multiple profiles (ellipse 1-elliptical involute-ellipse 2). The ranges of the design parameters were considered to prevent a cusp and loop. In addition, the optimal lobe shape was obtained by determining the influence of the lobe shape on the performances (flow rate, irregularity, etc.), according to the values of the design parameters.

1. 서 론

제로터(Gerotor) 오일펌프는 구조가 간단하고 같은 크기의 다른 펌프에 비하여 1 회전당 토출량이 많기 때문에 소형화에 유리하며, 자동차의 엔진 윤활유 공급원 및 동력전달 장치와 자동 변속기의

유압원으로 널리 사용되고 있을 뿐만 아니라 가공 기술의 발달로 인하여 각종 유압 시스템에서 그 응용 범위가 확대되고 있다.

최근 자동차 산업에서는 연비향상 및 소음저감이 가장 중요한 문제로 대두되고 있으며, 이에 평균 연비향상을 위한 가솔린엔진 연소효율 증대, 차체 경량화 및 저마찰 오일펌프 개발 등의 연구가 진행되고 있다. 내접형 기어펌프의 핵심부품인 제로터의 경우, 치형설계 및 포트형상 설계를 통하여 유량증대 및 소음저감을 추구하고 있다.

† Corresponding Author, chulki@pusan.ac.kr
© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

기존 제로터 관련 연구에서는 Colburne⁽¹⁾가 외부로터 로브 형상이 원인 경우 로터 설계시 침점 및 루프가 발생하지 않기 위한 최대 반경 공식을 유도하였고 내부로터의 곡률반경, 외부로터 형상 및 치높이 등과 이론적 유량 및 유량맥동과의 상관관계를 규명하였다. Saegusa 등⁽²⁾은 로터 틱간극의 계산 및 침점 형상 개선을 통해 유량 측면에서 보다 효율적인 트로코이드 로터를 설계하였다. Beard 등⁽³⁾은 하이포 트로코이드 및 에피 트로코이드 로터를 설계하고 이론적 유량, 작동캠버 이동거리 및 체적비 등을 비교하였다. Fabiani 등⁽⁴⁾은 내부로터 회전각에 따른 캠버면적 변화율을 적분하여 유량 계산 후, 이에 대한 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. Mimmi 등⁽⁵⁾은 한계곡선을 이용하여 로터 설계 시 언더컷을 방지할 수 있는 방법을 개발하였다. Demengo 등⁽⁶⁾은 간섭 및 마모방지를 위한 사이클로이드 로터를 설계하고 접촉응력 계산 프로그램을 개발하였다. Lee⁽⁷⁾은 제로터의 내부누유 방지 및 가공편의를 위해 내부로터 형상을 원호조합곡선으로 보간하는 방법을 개발하였으며 Ye⁽⁸⁾ 등은 외부로터 로브 형상이 원인 경우 침점 및 루프 발생 방지를 위한 최대 반경 공식을 보다 간단한 방법으로 유도하였다. Chang 등⁽⁹⁾은 외부로터 로브형상이 원인 경우의 로터 설계 및 이의 성능인자 계산을 위한 자동화 프로그램을 개발하였으며 Hsieh 등⁽¹⁰⁾은 트리코이드 곡선을 이용한 로터를 설계하고 간섭, 언더컷 방지 및 체적효율 향상을 위한 기법을 개발하였다. Sasaki 등⁽¹¹⁾은 내부로터에 인벌루트 곡선을 삽입하여 기존의 개발된 Parachoid rotor 보다 효율이 우수한 Megaflod rotor 를 개발하였으며, Kim 등⁽¹²⁾은 외부로터 로브형상이 타원 및 인벌루트 등의 다양한 곡선으로 조합된 로터를 설계하고 이의 유량 및 유량맥동 계산을 위한 자동화 프로그램을 개발하였다.

위의 연구 결과를 기반으로 하여 본 연구에서는 기존의 치형 설계에 일반적으로 사용되어 왔던 원형상으로부터 얻어지는 인벌루트와는 달리, 타원으로부터 얻어지는 인벌루트(타원형 인벌루트, elliptical involute)를 이용하여 두 개의 타원과 그 사이에 타원형 인벌루트가 조합된(타원 1-타원형 인벌루트-타원 2) 로브 형상을 가진 외부로브에 대한 치형의 기구학적 관계식을 유도하여 내부로브 형상을 설계하였다. 또한 창출된 치형에 대하여 침점 및 루프가 발생하지 않는 설계인자 범위를 결정하였고 설계인자의 크기 변화가 치형의 형상 및 성능인자(유량, 유량맥동)에 미치는 영향을 파악하며 최적의 치형을 도출하였다.

2. 이론적 해석

2.1 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상을 가지는 치형 설계

2.1.1 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상 함수
 기존의 치형 설계에 적용되는 기초 원에서 도출되는 인벌루트와는 달리, Fig. 1 과 같이 타원에서 얻어지는 인벌루트(타원형 인벌루트)를 치형 설계에 새롭게 적용하였다. 여기서 타원형 인벌루트의 형상함수는 식 (1)~식 (2)이다.

$$\begin{aligned}
 x_i &= a \left[\cos \psi + \frac{b \cdot E(k) \cdot \sin \psi}{\sqrt{a^2 \sin^2 \psi + b^2 \cos^2 \psi}} \right] \\
 y_i &= b \left[\sin \psi - \frac{b \cdot E(k) \cdot \cos \psi}{\sqrt{a^2 \sin^2 \psi + b^2 \cos^2 \psi}} \right]
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

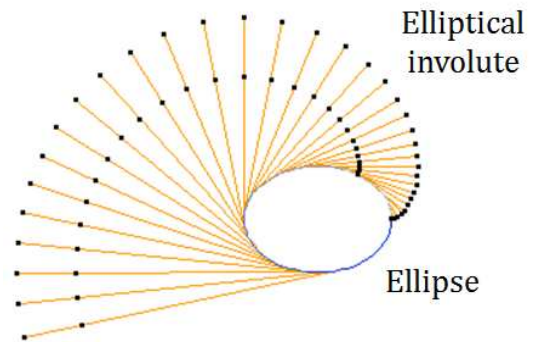


Fig. 1 Shape of elliptical involute

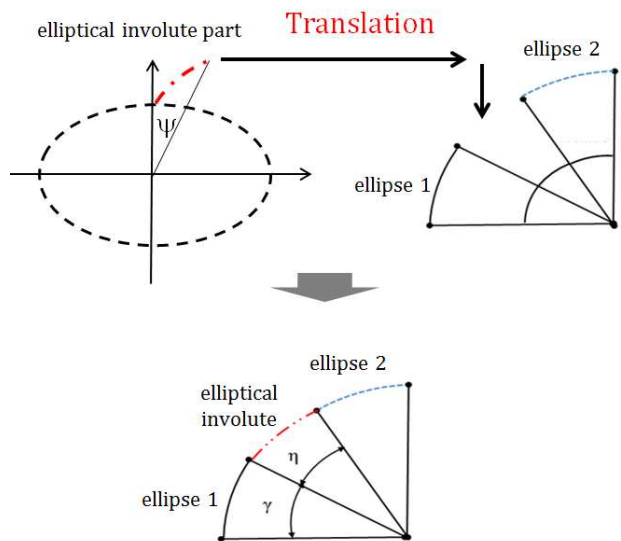


Fig. 2 Outer lobe shape with ellipse 1-elliptical involute-ellipse 2

$$E(k) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta} d\theta, \quad 0 < k^2 < 1 \quad (2)$$

여기서 a, b 및 ψ 는 각각 타원형 인벌루트의 기초 타원에서 장축, 단축 및 인벌루트를 삽입할 구간이며 E(k)는 제 2 종의 완전 타원적분(Complete elliptic integral of the second kind), k 는 타원 계수(Elliptic modulus) 이다.

Fig. 2 와 같이 외부로터의 로브형상은 타원 1, 타원형 인벌루트 및 타원 2 의 세 부분으로 구성되며 병진이동을 통하여 타원 1 과 타원 2 사이에 타원형 인벌루트를 삽입한다. 이때, 인벌루트를 삽입할 구간의 시작 각은 γ , 끝 각이 $\gamma + \eta$ 이며 타원 1 및 타원 2 의 형상함수는 식 (3)~식 (4) 이다.

$$\begin{aligned} x_{e1} &= d - rl_2 \cdot \cos(\theta_\gamma) \\ y_{e1} &= k_1 \cdot rl_2 \cdot \sin(\theta_\gamma) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x_{e2} &= d - rl_2 \cdot \cos(\theta_{\gamma+\eta}) \\ y_{e2} &= k_3 \cdot rl_2 \cdot \sin(\theta_{\gamma+\eta}) \end{aligned} \quad (4)$$

병진이동 알고리즘 적용 전의 타원형 인벌루트는 타원 1 과 타원 2 사이에 삽입되는 구간($\theta_\gamma, \theta_{\gamma+\eta}$)의 시작점 (P_{e1})과 끝점 (P_{e2})은 순간기울기가 같아야 한다. 구간 점의 매개변수는 식 (5) 및 식 (6)이며, Fig. 3 같이 각 구간의 시작점과 끝점에서는 타원과 타원형 인벌루트 곡선의 순간 기울기가 같으므로, 식 (7)과 같이 나타낸다.⁽¹³⁾

$$\theta_\gamma = \arctan\left(\frac{1}{k_1} \tan \gamma\right) \quad (5)$$

$$\theta_{\gamma+\eta} = \arctan\left(\frac{1}{k_1} \tan(\gamma + \eta)\right)$$

$$P_{e1} = \begin{pmatrix} x_{e1} \\ y_{e1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d - rl_2 \cos \theta_\gamma \\ k_1 rl_2 \sin \theta_\gamma \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$P_{e2} = \begin{pmatrix} x_{e2} \\ y_{e2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d - rl_2 \cos \theta_{\gamma+\eta} \\ k_1 rl_2 \sin \theta_{\gamma+\eta} \end{pmatrix}$$

$$\theta_{pe1} = \theta_{e1} = \arctan\left(\frac{dx^{(P_{e1})}}{dy_{ell}}\right) = \arctan(k_1 \tan \theta_\gamma) \quad (7)$$

$$\theta_{pe2} = \theta_{e2} = \arctan\left(\frac{dx^{(P_{e2})}}{dy_{ell}}\right) = \arctan(k_1 \tan \theta_{\gamma+\eta})$$

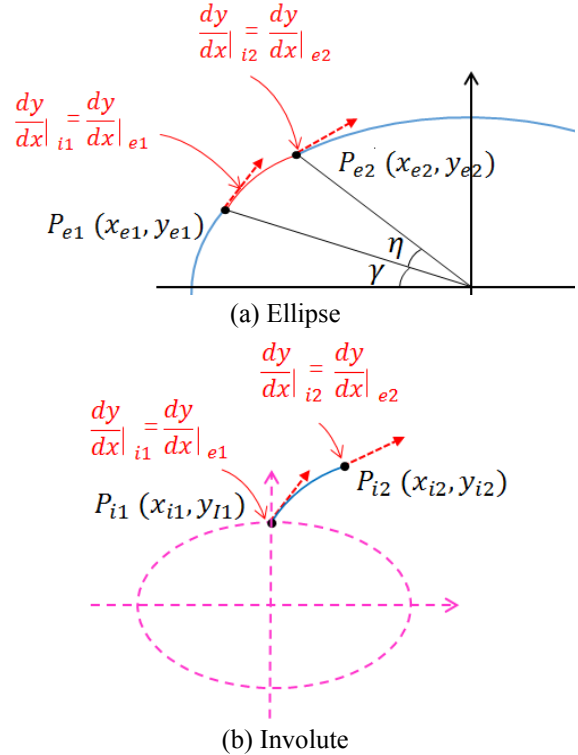


Fig. 3 Elliptical involute profile tracing for combined shape

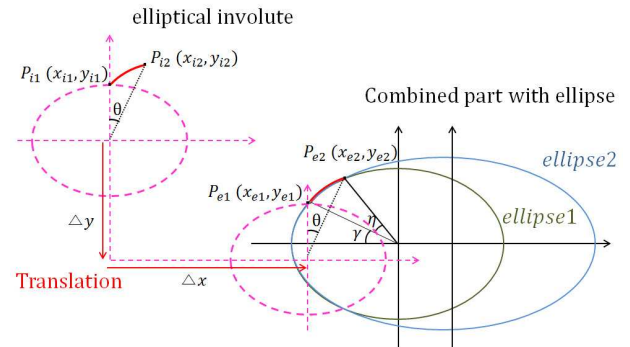


Fig. 4 Combined profile of ellipse 1-elliptical involute-ellipse 2

Fig. 4 와 같이 타원형 인벌루트의 병진이동을 통하여 타원 2 과 조합될 타원 1-타원형 인벌루트는 식 (8)을 통하여 결정하였으며 여기서 타원형 인벌루트는 $\Delta x, \Delta y$ 만큼 병진이동을 하였다.

$$\begin{aligned} P_{i1} &= \begin{pmatrix} x_{i1} \\ y_{i1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \cdot (\cos \psi_1 + \frac{b \cdot E(k) \cdot \sin \psi_1}{d}) + \Delta x \\ b \cdot (\sin \psi_1 - \frac{b \cdot E(k) \cdot \cos \psi_1}{d}) + \Delta y \end{pmatrix} \\ P_{i2} &= \begin{pmatrix} x_{i2} \\ y_{i2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \cdot (\cos \psi_2 + \frac{b \cdot E(k) \cdot \sin \psi_2}{d}) + \Delta x \\ b \cdot (\sin \psi_2 - \frac{b \cdot E(k) \cdot \cos \psi_2}{d}) + \Delta y \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

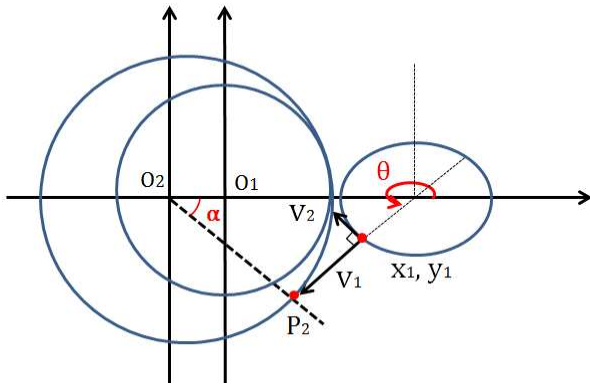


Fig. 5 Decision of θ by using Newton-Rapson method

타원형 인벌루트와 조합될 타원 2의 설계인자는 P_{i2} 에서의 순간기울기와 타원 2의 P_{e2} 에서의 순간기울기가 같아지는 θ_3 을 식 (9)~식 (11)를 통하여 결정한다.⁽¹³⁾ 여기서 k_3 는 타원 2의 장단축비 이고 $rl_{2,3}$ 은 타원 2의 장축이며 d_3 는 타원 2 중심에서부터 외부 로터 중점 사이의 거리이다.

$$\theta_3 = \tan^{-1}\left(\frac{y_{i2}}{x_{i2} \cdot k_3}\right), \quad k_3 = \sqrt{\cot \theta_{e2} \cdot \left(\frac{y_{i2}}{x_{i2}}\right)} \quad (9)$$

$$rl_{2,3} = \frac{x_{i,2}}{\cos \theta_3} \quad (10)$$

$$d_3 = rl_{2,3} \cdot \cos \theta_3 + x_{i2} \quad (11)$$

2.1.2 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상의 접촉점 방정식

Fig. 5로부터 타원 1, 타원형 인벌루트 및 타원 2의 형상함수를 토대로 외부로브 위의 한점(x_2, y_2)에서 피치점(P_2)에 대한 방향벡터(v_1)와 접선벡터(v_2)가 직각을 이루는 각도(θ)를 Newton-Rhapson법을 이용하여 계산하였다. 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상에 대한 접촉점 (C_{e1}, C_i 및 C_{e2})은 식 (12)~(15)을 이용하여 구하였으며, 이를 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 C_{e1} 는 타원 1, C_i 는 타원형 인벌루트, C_{e2} 는 타원 2의 접촉점이다.

$$\begin{pmatrix} x_{inv} \\ y_{inv} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \cdot (\cos \psi + \frac{b \cdot E(k) \cdot \sin \psi}{d}) + \Delta x \\ b \cdot (\sin \psi - \frac{b \cdot E(k) \cdot \cos \psi}{d}) + \Delta y \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$C_{e1} = \begin{pmatrix} x_{c,e1} \\ y_{c,e1} \end{pmatrix} \quad (13)$$

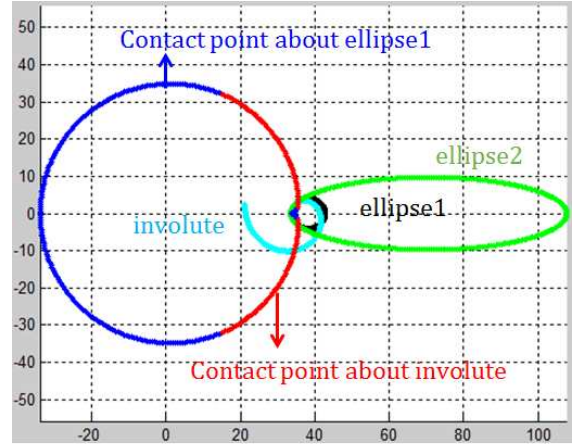


Fig. 6 Contact point of ellipse1, elliptical involute and ellipse2

$$= \begin{pmatrix} (d - rl_2 \cdot \cos \theta') \cdot \cos \alpha + k_1 \cdot rl_2 \cdot \sin \theta' \cdot \sin \alpha \\ (d - rl_2 \cdot \cos \theta') \cdot \sin \alpha - k_1 \cdot rl_2 \cdot \sin \theta' \cdot \cos \alpha \end{pmatrix}$$

$$C_i = \begin{pmatrix} x_{c,i} \\ x_{c,i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{inv} \cdot \cos \alpha + y_{inv} \cdot \sin \alpha \\ x_{inv} \cdot \sin \alpha - y_{inv} \cdot \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$C_{e2} = \begin{pmatrix} x_{c,e2} \\ y_{c,e2} \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$= \begin{pmatrix} (d_3 - rl_{2,3} \cdot \cos \theta') \cdot \cos \alpha + k_3 \cdot rl_{2,3} \cdot \sin \theta' \cdot \sin \alpha \\ (d_3 - rl_{2,3} \cdot \cos \theta') \cdot \sin \alpha - k_3 \cdot rl_{2,3} \cdot \sin \theta' \cdot \cos \alpha \end{pmatrix}$$

2.1.3 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상의 내·외부 로터생성

접촉점(C_{e1}, C_i 및 C_{e2})를 내부로터 중심점(O_1)에서 시계방향(CW)으로 α 만큼 회전시키면 내부로터의 형상이 식 (16)~(18)에 의해 창출되며 이를 Fig. 7에 나타내었다. 또한 Fig. 8과 같이 외부로터 중심(O_2)를 중심으로 α 만큼 회전시키면 외부로터의 형상이 식 (19)에 의해 창출되며 생성된 내부 및 외부 로터를 Fig. 9에 나타내었다.

$$\alpha' = \alpha \left(1 - \frac{r_2}{r_1}\right) \quad (16)$$

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{c,e1} & x_{c,i} & x_{c,e2} \\ y_{c,e1} & y_{c,i} & y_{c,e3} \end{pmatrix} \quad (17)$$

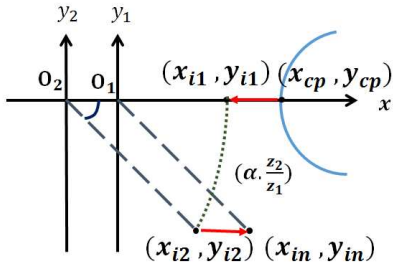


Fig. 7 Inner rotor drawing

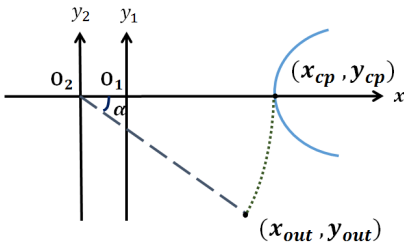


Fig. 8 Outer rotor drawing

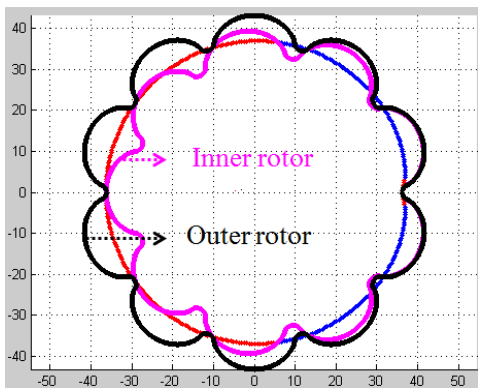


Fig. 9 Inner rotor and outer rotor profile by using rotation of contact point

$$\begin{pmatrix} x_{in} \\ y_{in} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha' & -\sin \alpha' \\ \sin \alpha' & \cos \alpha' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c - e \\ y_c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ 0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$\begin{pmatrix} x_{out} \\ y_{out} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} \quad (19)$$

2.1.4 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상을 가지는 외부로브의 설계 변수 값에 따른 내부로브 창출

병진이동 알고리즘을 적용한 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상에 대한 치형을 창출하기 위하여 침점 및 루프가 발생하지 않게 하는 설계 인자(d, r_{l2}, k₁, γ, η 및 k₂)의 범위를 결정하였고, 각

Table 1 Rotor profiles according to the values of design parameters

d=38	d=39.7	d=41.4	d=43
r _{l2} =2.18	r _{l2} =3.88	r _{l2} =5.58	r _{l2} =7.18
k ₁ =0.8	k ₁ =1.0	k ₁ =1.2	k ₁ =1.4
γ=30	γ=35	γ=40	γ=45
η=20	η=25	η=30	η=35
k ₂ =2.77	k ₂ =3.35	k ₂ =3.93	k ₂ =4.5

설계인자의 크기 변화가 치형의 형상에 미치는 영향을 파악하여 Table 1에 나타내었다. 단, 외부로터의 외경(D=90mm), 치형의 두께(t=12.6mm) 및 편심량(e=3.421mm)은 고정된 값이다.

타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상을 가지는 내, 외부 로터에 대하여 설계인자에 따라 창출된 결과에 의하면, d(외부 로터 중심과 외부로브 중심 사이의 거리)가 커질수록 치형의 크기, 이끝두께(Addendum tooth thickness) 및 이높이(Whole depth)가 커지는데 이를 Fig. 10에 나타내었다. 또한 r_{l2}(외부로브의 반지름)의 경우, 크기가 커질수록 치형의 크기, 이끝두께 및 이높이가 작아졌으며 k₁(타원 1의 장단축비)의 경우, 치형의 크기는

거의 일정하나 이끝두께와 이높이가 작아졌다. γ (외부로브 조합형상에서 타원 1 이 삽입되는 구간) 및 k_2 (타원형 인벌루트 기초 타원의 장단축비) 그리고 η (타원형 인벌루트가 삽입되는 구간)은 치형 형상의 변화미소 하였고, 이를 Fig. 11 에 나타내었다.

3. 치형의 최적설계 및 성능 인자

3.1 성능인자 관계식

상기 이론식을 통하여 도출된 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상을 가지는 치형의 성능인자인 유량 및 유량맥동을 계산하였다. Fig. 12 의 해칭된 챔버는 로터가 일정한 간격으로 미소 각도 만큼 회전하면서 측면의 길이가 변화되어 체적이 증감한다. 이때 흡입이 일어나는 영역과 토출이 일어나는 영역이 나타내는 면적들은 각각 중심과 접촉점 사이의 거리에 비례하므로 유량은(flow rate)은 식 (20)과 같이 구할 수 있으며, 유량맥동(irregularity)은 식 (21)과 같다. Z_1 과 Z_2 는 각각 내부로터의 잇수와 외부로터의 잇수를 나타내며, Q 는 유량, i 는 유량맥동을 나타낸다.⁽¹³⁾

3.2 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상을 가지는 치형의 설계인자 값에 따른 성능인자 도출

설계인자 값의 변화가 성능인자(유량 및 유량맥동)에 미치는 영향을 파악하기 위하여 창출된 각각의 치형에 대한 성능인자의 값을 구하여 Table 1 에 나타내었다. “ d ” 및 “ η ” 값이 커질수록 유량 및 유량맥동이 증가하였고 “ r_{l2} ”의 경우, 유량 및 유량맥동이 감소하였다. 또한 “ k_1 ” 및 “ γ ”이 커질수록 유량 증가, 유량맥동은 감소한 반면, “ k_2 ” 이 커질수록 유량은 감소, 유량맥동은 증가하였다.

각각의 설계인자의 변화율에 대한 성능인자 변화율의 비를 통하여 설계인자가 성능인자에 미치는 영향을 분석해보면, 유량의 경우 “ γ ”에서 최소

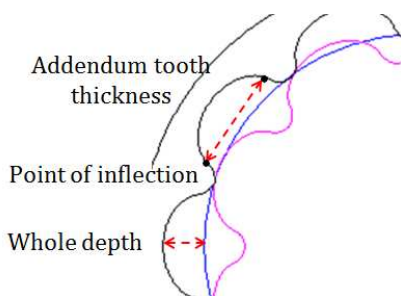


Fig. 10 Addendum and whole depth in gerotor

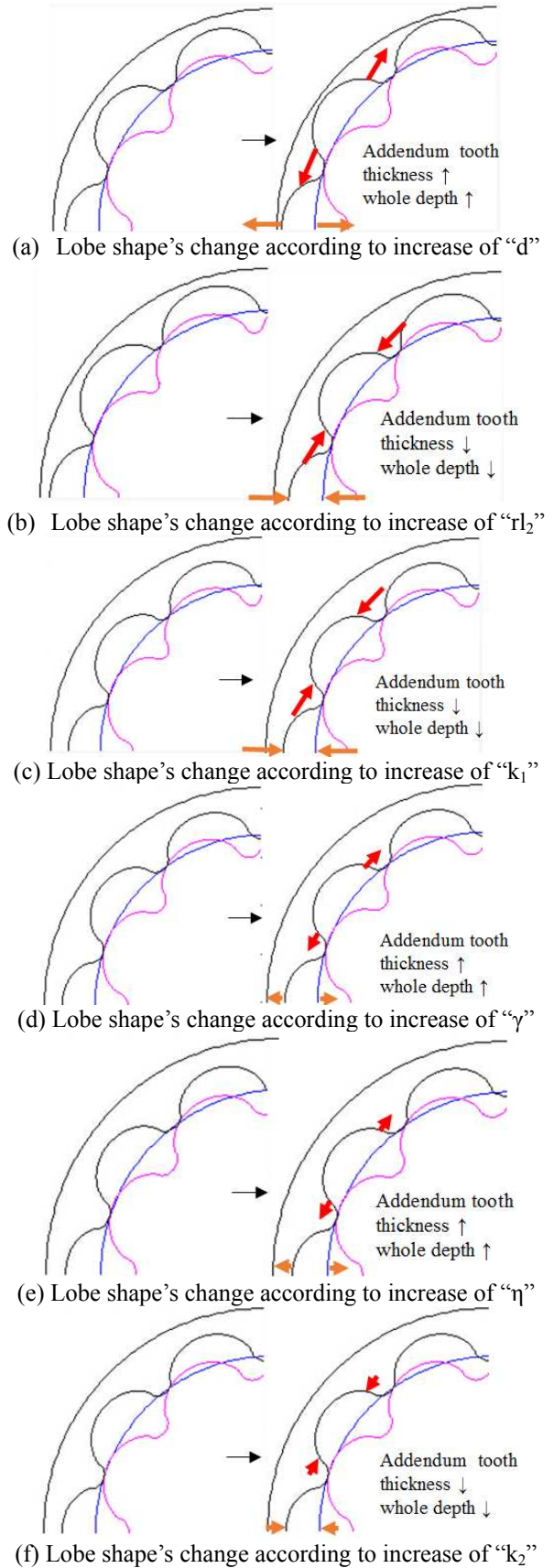


Fig. 11 Lobe shape's change according to increase of the design parameter's values

0.04%, “d”에서 최대 82.80%의 변화가 나타났으며, 유량맥동의 경우 “γ”에서 최소 3.25%, “d”에서 최대 45.45%로 나타난 것으로 보아, 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상을 가지는 치형에서 가장 직접적으로 치형의 크기에 영향을 미치는 인자인 “d”값이 유량 및 유량맥동에 가장 큰 영향을 미치는 설계인자인 것으로 사료된다. 또한 Fig. 6에서 알 수 있듯이 접촉점(C_{e1}, C_i 및 C_{e2})을 이루는 3 가지 프로파일 중, 타원 1 에의 접촉점(C_{e1})이 가장 작은 비율을 차지하므로, 타원 1 을 삽입하는 구간인 “γ”가 성능인자에 가장 작은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

$$q_i(\alpha) = \frac{1}{2} b \left[\left(|\overline{O_1 M}|^2 - |\overline{O_1 N}|^2 \right) \frac{r_2}{r_1} - \left(|\overline{O_2 M}|^2 - |\overline{O_2 N}|^2 \right) \right] \omega_1$$

$$Q = z_1 \int_0^{2\pi} q(\alpha) d\alpha = z_1 \sum_{i=1}^{z_2} q_i \quad (20)$$

$$i = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{\text{average}}} \quad (21)$$

3.3 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상을 가지는 치형의 최적설계

2.1.4 에서 도출된 침점 및 루프가 발생하지 않게 하는 설계인자의 범위에서 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2 조합형상을 가지는 치형의 최적설계를 수행하였다. 높은 유량과 낮은 유량맥동 값을 가지는 치형 선정을 위하여, 유량이 가장 높은 치형은 가중치(1)로, 가장 낮은 치형에 대하여는 가중치(0)로 부여하였고, 유량맥동이 가장 낮은 치형은 가중치(1)로, 가장 높은 치형에 대하여 가중치(0)로 부여한 후에, 각 치형에 대하여 비례적으로

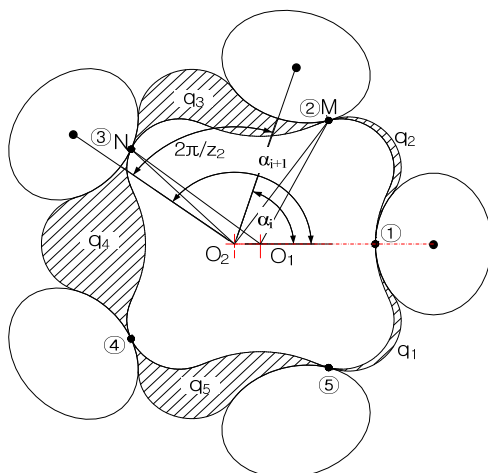


Fig. 12 Schematic model for predicting flow rate and irregularity

Table 2 Performance parameters according to the values of design parameters

	Flow rate (cc/rev) /Weighted value	Irregularity (%)
d=38	20.443 / 0.000	4.120 / 0.928
d=39.7	21.203 / 0.340	4.301 / 0.761
d=41.4	22.083 / 0.740	4.396 / 0.605
d=43	22.670 / 1.000	4.451 / 0.516
rl ₂ =2.18	22.080 / 0.730	4.765 / 0.000
rl ₂ =3.88	21.505 / 0.480	4.579 / 0.306
rl ₂ =5.58	20.931 / 0.220	4.377 / 0.637
rl ₂ =7.18	20.472 / 0.013	4.204 / 0.921
k ₁ =0.8	20.587 / 0.037	4.338 / 0.700
k ₁ =1.0	20.572 / 0.058	4.271 / 0.810
k ₁ =1.2	20.555 / 0.050	4.269 / 0.815
k ₁ =1.4	20.525 / 0.065	4.249 / 0.848
γ=30	20.586 / 0.064	4.256 / 0.835
γ=35	20.588 / 0.065	4.229 / 0.880
γ=40	20.590 / 0.066	4.206 / 0.917
γ=45	20.590 / 0.066	4.187 / 0.949
η=20	20.467 / 0.011	4.156 / 1.000
η=25	20.471 / 0.013	4.213 / 0.906
η=30	20.487 / 0.020	4.293 / 0.775
η=35	20.495 / 0.023	4.313 / 0.742
k ₂ =2.77	20.472 / 0.013	4.198 / 0.930
k ₂ =3.35	20.471 / 0.013	4.224 / 0.888
k ₂ =3.93	20.469 / 0.012	4.248 / 0.849
k ₂ =4.5	20.467 / 0.011	4.270 / 0.813

Table 3 The optimal design parameters of ellipse 1 – elliptical involute – ellipse2

D (mm)	t (mm)	e (mm)	d mm	rl ₂ mm	k ₁	γ (°)	η (°)	k ₂
90	12.6	3.421	43	4.78	0.8	45	20	2.77

Table 4 The optimal performances of ellipse 1 – elliptical involute – ellipse2

Flow rate (cc/rev)	Irregularity (%)
22.670	4.451

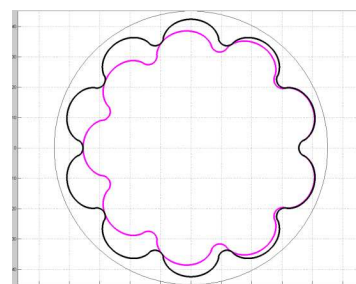


Fig. 13 The optimal design of the rotor profile

가중치를 계산하여 유량의 가중치와 유량맥동의 가중치의 합이 가장 높은 치형을 최적으로 결정하였다. 최적 치형에 대한 설계인자의 값, 성능인자의 값 및 그 형상을 Table 3, Table 4 및 Fig. 13에 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 병진이동 알고리즘을 이용한 타원 1-타원형 인벌루트-타원 2의 조합된 로브형상을 가지는 치형 설계를 수행하였으며 요약한 내용은 아래와 같다.

(1) 타원 1, 타원형 인벌루트 및 타원 2의 외부 로브 형상에 대하여 기어의 기구학적 조건을 만족하는 치형 방정식을 도출하였다.

(2) 첨점 및 루프가 발생하지 않는 설계인자의 범위를 결정하였고, 설계인자 값의 변화에 따른 치형을 형상 도출하였다.

(3) 설계인자 값의 변화에 따른 성능인자(유량 및 유량맥동)의 값들을 계산하였다. 유량 및 유량맥동 값에 가장 큰 영향을 미치는 설계인자는 “d”이며, “ γ ”의 변화에 따른 성능인자의 변화율은 매우 미소하였다.

(4) 외경(D=90mm), 두께(t=12.6mm) 및 편심량(e=3.421) 일 때 최적 치형의 유량은 22.670 cc/rev, 유량맥동은 4.451%이다.

타원 1-타원형 인벌루트-타원 2이 조합된 새로운 로브형상을 갖는 치형 설계기법은 오일펌프의 연비개선 및 소음저감에 관한 연구에 널리 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2014R1A1A4A01009110)

참고문헌 (References)

(1) Colbourne, J.R., 1975, "Gear Shape and Theoretical Flow Rate in Internal Gear Pumps," *Trans. of the CSME*, Vol. 3, No. 4, pp. 215~223.
 (2) Saegusa, Y., Urashima, K., 1984, Sugimoto, M., Onoda, M. and Koiso, T., "Development of Oil-pump

Rotors With A Trochoidal Tooth Shape," SAE Paper No. 840454.
 (3) Beard, J.E., Pennock, G.R. and Stanistic, M.M., 1989, "The Effects of the Design Parameters on the Generated Curvature and Displacement of Epitrochoidal Gerotor Pumps," SAE Paper No. 891831.
 (4) Fabiani, M., Manco, S., Nervegna, N. and Rundo, M., 1999, "Modelling And Simulation of Gerotor Gearing in Lubricating Oil Pump," SAE, No. 1999-01-0626.
 (5) Mimmi, G. and Pennacchi, P., 2000, "Non-undercutting conditions in internal gears," *Mech. Mach. Theory*, Vol. 35, No. 4, pp. 477~490.
 (6) Demenego, A., Vecchiatio, D., Litvin, F.L., Nervegna, N. and Manco, S., 2002, "Design and simulation of meshing of a cycloidal pump," *Mech. Mach. Theory*, Vol. 37, No. 3, pp.311~332.
 (7) S. C. Lee, 2006, "Profile Design of the Inner Rotor of a Gerotor by the Composite Curve of Circular Arcs" *Journal of the KSTLE*, Vol. 22, No. 2, pp. 79~86.
 (8) Ye, Z., Zhang, W., Huang, Q. and Chen, C., 2006, "Simple explicit formulae for calculating limit dimensions to avoid undercutting in the rotor of a Cycloid rotor pump," *Mech. Mach. Theory*, Vol. 41, No. 4, pp.405~414.
 (9) Chang, Y.J., Kim, J.H., Jeon, C.H., Kim, C. and Jung, S.Y., 2007, "Development of an Integrated System for the Automated Design of a Gerotor Oil Pump," *ASME Journal of Mechanical Design*, Vol. 129, No. 10, pp.1099~1105.
 (10) Hsieh, C.F. and Hwang, J.H., 2007, "Geometric Design for a Gerotor Pump with High Area Efficiency," *ASME Journal of Mechanical Design*, Vol. 129, No. 12, pp. 1269~1277.
 (11) Sasaki, H., Inui, N., Shimada, Y. and Ogata, D., 2008, "Development of High Efficiency P/M Internal Gear Pump rotor (Megafloid Rotor)," *Automotive SEI Technical Review*, No. 66, pp.124~128.
 (12) Choi, T. H., Kim, M. S., Lee, G. S., Jung, S. Y. and Kim, C., 2011, "Design of Gerotor Using Cycloid and Circular- Arc Curves," *Journal of KSME*, Vol. 35, No. 3, pp. 241~250.
 (13) Bae, J. H., Bae W. B., Joo, W. T. and Kim, C., 2014, "Optimal Design of Rotor Profile of Internal Gear Pump for Noise Reduction," *J. of the KSPE*, Vol. 38, No. 3, pp. 295~302.