

# 트로코이드 펌프의 치형 설계에 관한 연구

\*김종찬<sup>1</sup>, 김무성<sup>1</sup>, 신중호<sup>2</sup>, 권순만<sup>2</sup>

<sup>1</sup>창원대학교 대학원 기계설계공학과, <sup>2</sup>창원대학교 기계설계공학과

## A Study on Gear Tooth Profile of the Trochoidal Pump

\*J. C. Kim<sup>1</sup>, M. S. Kim<sup>1</sup>, J. H. Shin<sup>2</sup>, S. M. Kwon<sup>2</sup>

Dept. of Mechanical Design & Manufacturing, Changwon National University

Key words : Trochoidal Pump, Inner Rotor(내부로터), Outer Rotor(외부로터)

### 1. 서론

현대 사회의 자동차 산업에서 가장 핵심적인 기술이 엔진 관련 기술이다. 이러한 엔진의 성능을 유지하고 수명을 연장하기 위해서는 펌프에 의한 엔진내의 윤활공급은 필수적이다. 자동차의 윤활 펌프로는 구조가 간단하고, 장시간 사용해도 효율의 변화가 적은 트로코이드 펌프(또는 Gerotor 펌프)를 사용한다.

트로코이드 펌프는 트로코이드 곡선을 기어에 응용한 내접 기어 펌프의 일종으로 자체 감속기능을 가지기 때문에 저속, 고토크에서 사용이 가능하며 소음이 작고 소형화에도 매우 유리하다. 트로코이드 펌프는 윤활펌프뿐만 아니라 자동 변속기의 유압원으로 주로 사용되고, 전반적인 유압시스템에서도 널리 사용되고 있다. 최근 가공 기술의 발달과 함께 그 응용성이 점차 확대되어 가고 있는 실정이다. 트로코이드 펌프의 핵심을 이루고 있는 내부로터와 외부로터의 치형 설계 개발은 여러 분야에서 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 순간속도 중심법[1]에 의해 내부로터의 형상을 정의 하였으며 원호형상을 가지는 외부로터를 동시에 설계하도록 하였다. 또한, Visual C++을 이용하여 형상설계 자동화 프로그램을 개발하여 그 정확성을 검증하였고, 시뮬레이션을 통하여 운동을 확인하였다. Fig. 1은 실제 상용되고 있는 트로코이드 유압모터를 구성하는 주요 부품을 3D 모델링한 것이다. 여기서 펌프와 모터의 차이는 외부로터의 회전 여부에 따라 그 용도를 구분할 수 있다.

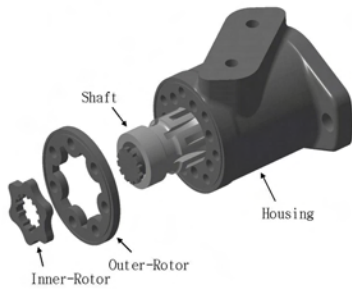


Fig. 1 A schematic for the trochoidal motor

### 2. 순간속도 중심법[1-3]

Kennedy 이론에 따르면 Fig. 2와 같이 한 평면에서 상대적인 운동을 하는 세 물체는 3개의 순간속도 중심을 가지며 일직선상에 놓이게 된다. Fig.2에서 외부로터와 내부로터는 항상 접촉을 이루면서 상대운동을 하고 있다. 먼저 피봇 위치는 영구 순간속도 중심이며  $I_{12}$ 와  $I_{13}$ 으로 도시하였다. 나머지 하나의 순간속도 중심인  $I_{23}$ 은  $I_{12}$ 와  $I_{13}$ 을 이은 연장선상에 위치하게 된다. 외부로터와 내부로터가 각속도  $\omega_2, \omega_3$ 로 동일 방향으로 회전할 때  $I_{23}$ 에서 속도 및 각속도비는 다음과 같다.

$$V_{I_{23}} = r_{I_{12}I_{23}}\omega_2 = r_{I_{13}I_{23}}\omega_3 \quad (1)$$

$$\frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{r_{I_{12}I_{23}}}{r_{I_{13}I_{23}}} = \frac{N}{N-1} \quad (2)$$

여기서  $N$ 은 외부로터 이의 개수를 나타낸다.

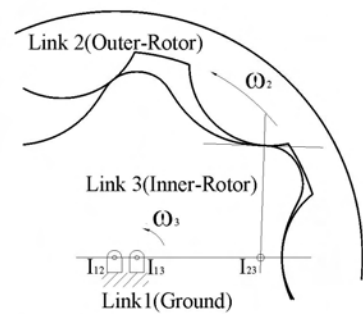


Fig. 2 Construction of the Trochoidal Pump

### 3 내부로터의 형상 설계[1]

Fig. 3은 외부로터의 중심을 원점으로 하는 고정좌표계( $X_{2f}, Y_{2f}$ )에서 순간속도 중심을 도시한 것이다. 외부로터의 중심점( $I_{12}$ )에서 내부로터와 접촉하는 외부로터 이의 중심까지 거리를  $R$ , 외부로터 이의 반경을  $R_r$ , 그리고 외부로터의 중심점( $I_{12}$ )과 내부로터 중심점( $I_{13}$ )의 거리를  $E$ 로 나타내었다.

Fig. 3의 기하학적 관계를 이용하여 offset( $\delta$ ) 및 내부로터의 공전각( $\theta_3$ )을 고려한 내부로터 형상좌표는 내부로터 고정좌표계( $X_{3f}, Y_{3f}$ )상에서 다음과 같이 결정될 수 있다.

$$\begin{aligned} C_x &= R\cos(\phi + \theta_3) - (R_r + \delta)\cos(\phi + \psi + \theta_3) - E\cos(N\phi + \theta_3) \\ C_y &= R\sin(\phi + \theta_3) - (R_r + \delta)\sin(\phi + \psi + \theta_3) - E\sin(N\phi + \theta_3) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 접촉각  $\psi = -\tan^{-1}\left[\frac{\sin(N-1)\phi}{\mu - \cos(N-1)\phi}\right]$ 이다.

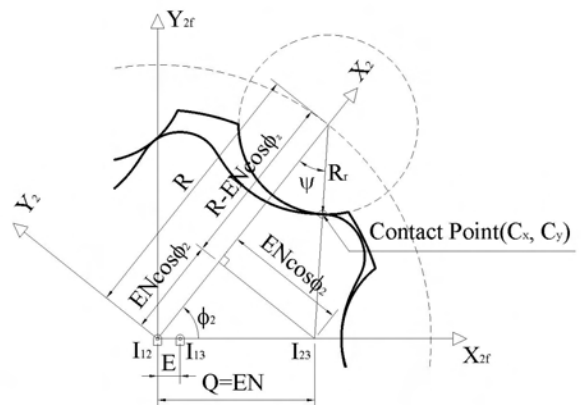


Fig. 3 Contact Point analysis using Instant Velocity Centers

4. 외부로터의 형상 설계

Fig 4와 같이 반경  $R_r$ 을 가지는 외부로터 치형의  $i$ -번째 원의 중심( $N_i$ )이  $O_3$ 를 원점으로 하는 회전좌표계의  $X_{3f}$ 축과 이루는 각을  $\alpha_i$ 라 정의한다. 그림에서  $O_3$ 를 중심으로 반경  $R_c$ 을 가지는 치형 곡선과  $N_i$ 를 중심으로 반경  $R_r$ 을 가지는 치형곡선의 교점이  $O_3$ 를 중심으로  $X_{3f}$ 축과 이루는 각을 각각  $\beta_i, \gamma_i$ 라 정의하였다. 또,  $O_3$ 와  $N_i$ 의 거리를  $\bar{R}_i$ 라 정의하였다.

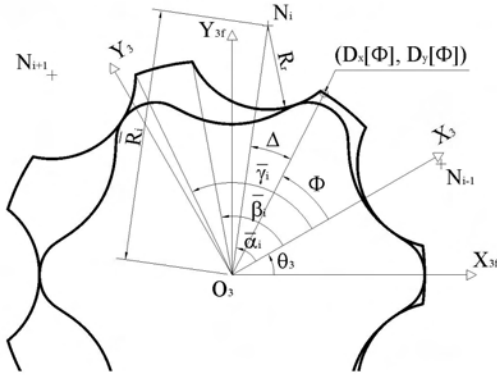


Fig. 4 A schematic for determination of outer-rotor lobe

내부로터 고정좌표계( $X_{3f}, Y_{3f}$ )에서의 외부로터 결정 곡선식을 Table 1에 정리하였고, 그와 관련된 식들은 다음과 같다.

$$\bar{\alpha}_i = \tan^{-1} \left( \frac{R \sin \alpha_i}{R \cos \alpha_i - E} \right) - \theta_3 \quad (4)$$

$$\bar{\beta}_i = \tan^{-1} \left( \frac{R_c \sin \beta_i}{R_c \cos \beta_i - E} \right) - \theta_3 \quad (5)$$

$$\bar{\gamma}_i = \tan^{-1} \left( \frac{R_c \sin \gamma_i}{R_c \cos \gamma_i - E} \right) - \theta_3 \quad (6)$$

$$\bar{R}_i = \sqrt{R^2 + E^2 - 2RE \cos \alpha_i} \quad (7)$$

여기서

$$\alpha_i = \frac{2\pi}{N} (i-1) + \theta_2 \quad (8)$$

$$\beta_i = \alpha_i + \Delta \quad (9)$$

$$\gamma_i = \alpha_{i+1} - \Delta \quad (10)$$

Table 1. Outer-rotor shape equation in terms of generated parameter,  $\Phi$

Outer-rotor lobe profile equation	
	$D_x[\Phi] = r(\Phi) \cos(\Phi + \theta_3)$
	$D_y[\Phi] = r(\Phi) \sin(\Phi + \theta_3)$
Range of angle, $\Phi$	$r(\Phi)$
$\bar{\alpha}_i \leq \Phi \leq \bar{\beta}_i$	$\bar{R}_i \cos(\Phi - \bar{\alpha}_i - \theta_3) - \sqrt{R_r^2 - \bar{R}_i^2 + \bar{R}_i^2 \cos^2(\Phi - \bar{\alpha}_i - \theta_3)}$
$\bar{\beta}_i \leq \Phi \leq \bar{\gamma}_i$	$-E \cos(\Phi + \theta_3) + \sqrt{R_c^2 - E^2 + E^2 \cos^2(\Phi + \theta_3)}$
$\bar{\gamma}_i \leq \Phi \leq \bar{\alpha}_{i+1}$	$\bar{R}_i \cos(\Phi - \bar{\alpha}_i - \theta_3) - \sqrt{R_r^2 - \bar{R}_i^2 + \bar{R}_i^2 \cos^2(\Phi - \bar{\alpha}_i - \theta_3)}$

5. 설계 자동화 프로그램

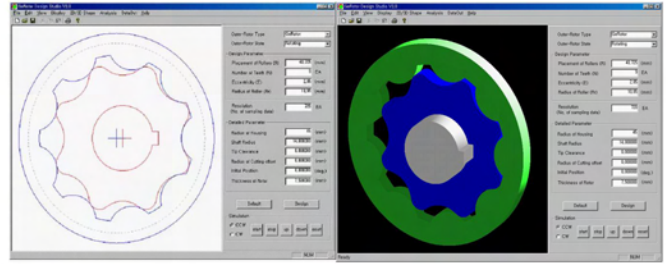
본 논문에서 개발한 트로코이드 펌프 기어 치형 설계 자동화 프로그램은 로터를 설계하기 위한 설계변수를 입력받아 내부로터와 외부로터를 자동으로 계산하여 형상을 설계 한다. 그리고 시뮬레이션 기능을 이용하여 설계되어진 로터의 운동을 확인할

수 있다. 또, 임의 공전각에서 외부로터 및 내부로터 사이에 생성된 챔버 면적들을 산출할 수 있는 기능도 내장되어 있다.

Fig 5에서는 Table 2에서 주어진 설계변수를 입력받아 자동으로 계산된 내부로터와 외부로터의 형상을 2D와 3D형상으로 나타내었다.

Table 2. Input Parameter

R (mm)	Rr (mm)	E (mm)	N (EA)
40.725	10.85	2.85	9



(a) 2D Screen (b) 3D Screen  
Fig. 5 A simulation screen : "GeRotor Design Studio V3.0"

6. 결론

본 논문에서는 트로코이드 펌프의 로터 치형에 대한 형상 설계법을 제시하였다. 우선 내부로터의 형상은 순간속도 중심법을 이용하여 설계하였으며 외부로터는 구간별 원호에 해당하는 식을 사용하여 설계하였다.

외부로터와 내부로터를 내부로터의 고정좌표계상에서 동시에 표현하여 펌프의 이론용량 계산을 위해 반드시 수행되어야 할 챔버내 면적산출 과정의 용이성을 도모하였다. 또, 개발된 전산원용 설계프로그램을 통한 실례의 검증과정을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

또, 현재 진행 중인 로터간의 접촉응력 및 윤활고려 마멸해석을 포괄한 강건 설계연구가 성공리에 수행된다면 트로코이드 펌프에 대한 설계기술과 성능향상에 크게 기여하리라 기대한다.

후 기

이 논문은 산업자원부의 지역특화기술개발사업과 한국산업 기술재단의 지역혁신 인력양성사업의 지원 사업을 받아 이루어 졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. J. H. Shin, S. M. Kwon, "On the lobe profile design in a cycloid reducer using instant velocity center", Mechanism and Machine Theory, Vol. 41, No. 5, pp. 596-616, 2006.
2. 윤호업, "순간속도중심을 이용한 사이크로이드 판기어의 형상설계법과 전산원용 설계자동화에 관한 연구", 창원대 학교 석사학위논문, 1999.
3. 장세원, 신중호, 권순만, 윤호업, "순간 속도 중심을 이용한 외륜회전형 에피사이클로이드 판기어의 형상설계법에 관한 연구", 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, 2004.