

타원의 치형 형상을 갖는 로터 설계 자동화 시스템 개발

Development of an Automated Design System for Oil Pumps with Ellipse Lobe Profile

정성윤¹, 한승무², ✉김철¹
 Sung Yuen Jung¹, Seung Moo Han² and ✉Chul Kim¹

¹ 부산대학교 기계기술연구원(Research Institute of Mechanical Technology, Pusan National Univ.)

² 경희대학교 동서의료공학과(Dept. of Biomedical Engineering, Kyung Hee Univ.)

✉ Corresponding author: chulki@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-2489

Manuscript received: 2008.7.15 / Revised: 2008.10.27 / Accepted: 2008.11.4

An internal lobe pump is suitable for oil hydraulics of machine tools, automotive engines, compressors, constructions and other various applications. In particular, the pump is an essential machine element of an automotive engine to feed lubricant oil. The subject of this paper is the theoretical analysis of internal lobe pump whose the main components are the rotors: usually the outer one is characterized by lobes with elliptical shape, while the inner rotor profile is determined as conjugate to the other. And the integrated system which is composed of three main modules has been developed through AutoLISP under AutoCAD circumstance. It generates new lobe profile and calculates automatically the flow rate and flow rate irregularity according to the lobe profile generated. Results obtained from the analysis enable the designer and manufacturer of oil pump to be more efficient in this field.

Key Words: Elliptical Lobe (타원궤적), Flow Rate Irregularity (유량맥동), Internal Lobe Pumps (내부로버펌프), Specific Flow Rate (비유량), Specific Slipping (비미끄럼률)

기호설명

A = inner and outer rotor contact point

b = rotor width

C = the curvature center of the outer rotor lobe

C' = the curvature center of involute gear

C'' = rotation point of C' after rotation of outer rotor

d = distance between the curvature center of the outer rotor lobe and its center along polar reference axis

e = distance between the centers of the inner rotor and the outer rotor

i = Flow rate irregularity

O₁ = Center point of the inner rotor

O₂ = center point of the outer rotor

P = locus point of the inner rotor

R = specific flow rate

r₁₂ = radius of curvature of the outer rotor lobe along polar reference axis

r₁ = pitch radius of the inner rotor

r₂ = pitch radius of the outer rotor

s₁ = distance of inner rotor moving

s₂ = distance of outer rotor moving

z₁ = number of the inner rotor teeth

z₂ = number of the outer rotor teeth

α = rotational angle of the outer rotor

α' = angle between contact point and inner rotor point

δ = Axial velocity = punch velocity(mm/sec)

ρ = Distance from the center of the ellipse to the contact

point
 φ = rotational angle of the inner rotor

1. 서론

오일 펌프(oil pump)는 다른 펌프에 비하여 소음이 적어 엔진 율활을 위한 율활유의 공급원이나 자동 변속기의 율압원으로 널리 사용되고 있다. Colbourne¹ 은 내부 로터와 외부 로터의 접촉을 시뮬레이션 하여 내부 로터 치형의 좌표를 구하고 내부 로터와 외부 로터의 치형곡선으로 폐쇄되는 챔버에서의 면적을 계산하였다. Sae-gusa² 등은 내부 로터를 고정시키고 외부 로터를 회전시켜 외부 로터의 치형인 원호의 중심에 대한 궤적을 구하고, 내부 로터와 외부 로터의 물림 특성으로부터 내부 로터의 치형을 구하는 식을 유도하였다. 최근 Tsay^{3,4} 는 절삭과정을 시뮬레이션 하여 내부 로터의 치형을 구하는 방법을 발표하였다. 이성철⁵ 등은 운전 특성의 해석을 실시하였고 김충연⁶ 등은 제로터 설계변수에 따른 접촉응력의 변화를 관찰하였다. 또한 Kim^{7,9} 등은 지로터 펌프인 트로코이드의 치형에 관한 외부로터의 치형형상이 원인 경우에 치형방정식을 유도하는 새로운 방법을 제안하고 이를 토대로 내외부로터의 궤적, 접촉점의 궤적, 회전시뮬레이션, 유량 및 유량맥동 등을 자동적으로 구하는 통합적 시스템을 구축했다.

본 연구에서는 타원의 로버(lobe)형상을 가진 외부로터로부터 설계변수를 고려하여 운동학적 분석을 수행하여 로터설계 자동화 시스템을 구축하였다. 외부로터의 치차의 개수(z_2), 내·외부로터 중심간의 거리, 즉 편심량(e), 타원 단축거리(r_{12}), 아웃로터의 중심점과 타원 중심간의 거리(d), 타원의 장단축비(k), 그리고 텡 틱새(t_p)의 설계변수 값을 개발된 자동화 시스템에 입력시키면 시스템은 기하학적 설계한계인 첨점(cusp)과 루프(loop)를 발생시키지 않는 영역범위 안에서 내·외부로터를 자동으로 창출시키고 창출된 로터에 따라 유량, 유량맥동, 미끄럼율을 자동으로 계산하여 그 결과를 그래프로 출력시킨다.

2. 로터의 기구학 및 운동학

내외부 로터의 피치원이 교차되는 피치점(P)을 고정시키고 외부로터를 피치원의 중심(O_2)에 대하여 회전시켜 치형 방정식을 유도했다. 외부 로터

피치원의 중심(O_2), 내부 로터 피치원의 중심(O_1), O_2 와 O_1 사이의 편심량(e), 외부 로터가 타원의 형상을 갖는 곡률의 일부분일 때 초기 시작점 $A'(x_c, y_c)$ 에서 법선과 O_2 의 중심점에서 타원의 중심과 이르는 선분과 만나는 점 $C'(x', 0)$ 를 Fig. 1 에 도시했다.

외부 로터의 로버 개수, 내부 및 외부로터의 피치원 반경은 식(1)과 같다.

$$z_2 = z_1 + 1, \quad r_1 = ez_1, \quad r_2 = ez_2 \quad (1)$$

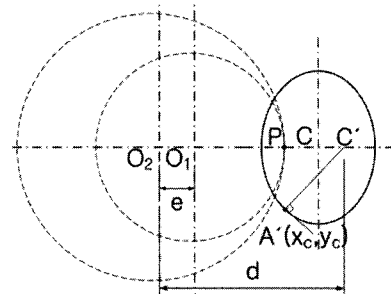


Fig. 1 Conjugated profile tracing

타원중심점과 접촉점까지 거리(ρ)와 각(δ)은 Fig. 2 로부터 식(2)와 식(3)에 의해 구한다.

$$\rho = r_2 \sqrt{\cos^2 \zeta + k^2 \sin^2 \zeta} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \overline{AB} &= \overline{BC} \tan \zeta, & \overline{A'B} &= \overline{BC} \tan \delta \\ \overline{A'B} &= k \overline{AB}, & \tan \delta &= k \tan \zeta \end{aligned} \quad (3)$$

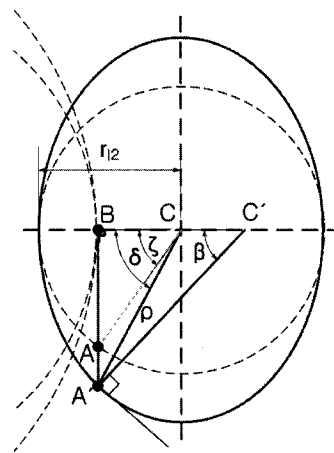


Fig. 2 Conjugated profile tracing for ellipse shape

여기서 점 A 는 타원의 단축거리를 반지름으로 하는 원 위의 점이다. 외부로터의 중심점(O₂)을 원점으로 하는 좌표계에서 초기 시작점, A'(x_c,y_c)은 식(4)과 같다.

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d - \rho \cos \delta \\ \rho \sin \delta \end{pmatrix} \quad (4)$$

내부로터의 궤적을 구하기 위하여 외부로터를 피치원의 중심(O₂)에 대하여 반시계 방향으로 α 만큼 회전시키고 이를 Fig. 3 에 나타내었다. Fig. 3 에서 C''(x₁,y₁)는 식(5)로 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

피치점(P)에서 점(C'')까지 이은 직선과 외부로터 곡률 궤적과의 교점이 접촉점(Q)이고 이는 C'P 직선의 방정식(6)과 반시계 방향으로 α 만큼 회전한 타원 방정식(7)로부터 구할 수 있다.

$$Y = \frac{Y_1}{X_1 - r_2}(X - r_2), \quad \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d \\ 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\frac{(X \cos \alpha + Y \sin \alpha - d)^2}{r_{12}^2} + \frac{(-X \sin \alpha + Y \cos \alpha)^2}{(kr_{12})^2} = 1 \quad (7)$$

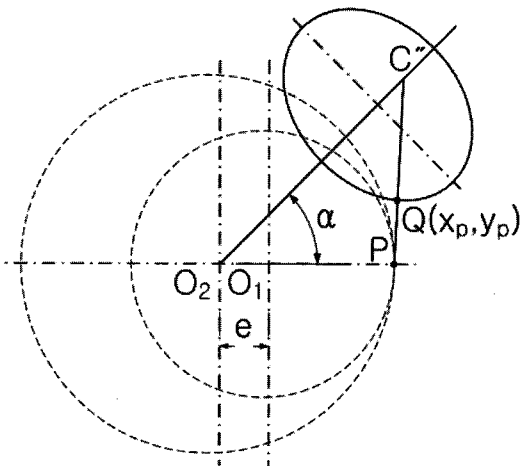


Fig. 3 Center of curvature in the rotated position

Fig. 4 로부터 접촉점(Q)로부터 내부로터 궤적상에 존재하는 점(R)은 식(8)에 의해서 구한다.

$$\begin{pmatrix} x_{in} \\ y_{in} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha' & \sin \alpha' \\ -\sin \alpha' & \cos \alpha' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

여기서, α' 은 식(9)로 부터 구한다.

$$\alpha' = \alpha \left(1 - \frac{r_2}{r_1} \right) \quad (9)$$

Fig. 4 로부터 접촉점(Q)로부터 외부로터 궤적상에 존재하는 점은 식(10)에 의해서 구한다.

$$\begin{pmatrix} x_{out} \\ y_{out} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha' & \sin \alpha' \\ -\sin \alpha' & \cos \alpha' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix} \quad (10)$$

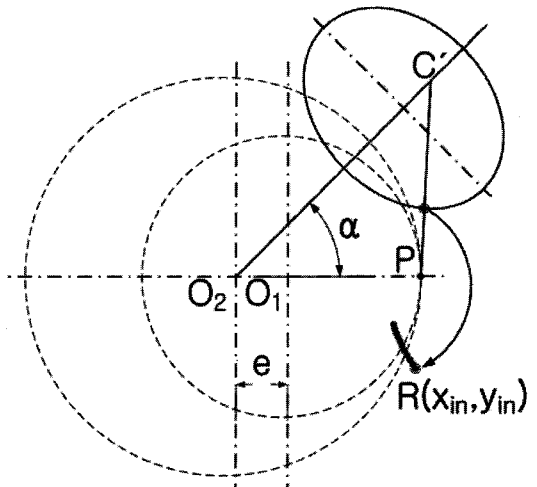


Fig. 4 Inner rotor profile tracing

로터의 크기를 결정하는 외부 로터 치저경의 반지름(G)위의 점의 좌표(x_{out}, y_{out})를 구하는 식은 Fig. 5 에서와 같이 식 (11)에 의해 결정된다.

$$x_{out} = \frac{d + \sqrt{d^2 - ac}}{a}, \quad y_{out} = \sqrt{G^2 - x_{out}^2} \quad (11)$$

$$\therefore a = 1 - \frac{1}{k^2}, \quad c = d^2 - \frac{G^2}{k^2} - r_{12}^2$$

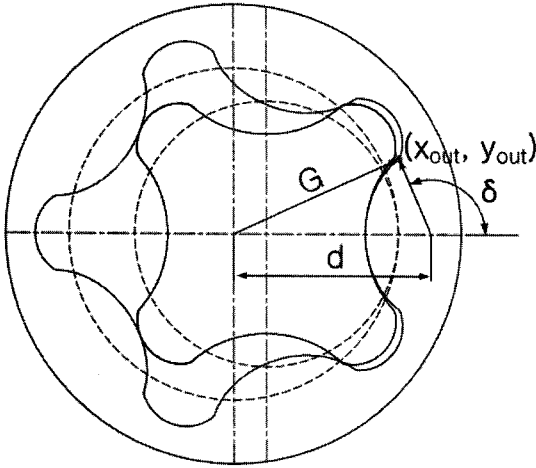


Fig. 5 Outer rotor profile tracing

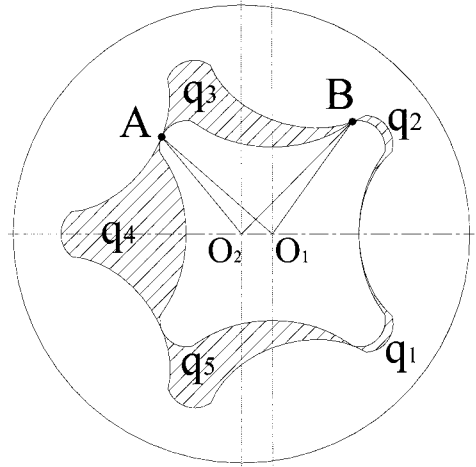


Fig. 6 Evaluation of the contribution to the flow rate given by each flank of rotors

3. 유량 및 유량 맥동과 미끄럼률 계산

접촉점 및 내외부 로터의 치형에 관한 정보를 이용하여 순간유량 및 맥동을 계산할 수 있다. 작동유체는 비압축성 유체로써 체적의 변화가 발생하지 않는다고 가정하였다. Fig. 6에서 해칭된 챔버(Chamber)는 내외부 로터가 만나는 두 개의 접촉점을 경계로 단혀진 폐구간 영역이다.

각 챔버는 로터가 일정한 간격으로 미소 각도만큼 회전함으로써 측면의 길이가 변화되어 체적이 증감한다. 이때 흡입이 일어나는 영역과 토출이 일어나는 영역이 나타내는 면적들은 각각 중심으로부터 접촉점 사이의 거리의 제곱에 비례하기 때문에 챔버가 유량의 변화에 기여하는 정도를 나타내는 순간 유량(instantaneous flow rate)은 식(12)로 구할 수 있다.

$$q_i(\alpha) = \frac{1}{2} b \left[\left(\left| \vec{O_1A} \right|^2 - \left| \vec{O_1B} \right|^2 \right) \frac{r_2}{r_1} - \left(\left| \vec{O_2A} \right|^2 - \left| \vec{O_2B} \right|^2 \right) \right] \omega_1 \quad (12)$$

임의의 외부로터 회전각, α 일 때 챔버와 접촉점의 수는 외부로터 치차의 개수만큼 발생하며 두 접촉점 사이에 간격은 회전각, α 에 대하여 $2\pi/z_2$ 가 된다. Fig. 6에서 처럼 내부 및 외부 로터의 중심점에서 회전각 i 번째 챔버의 시작 접촉점 (A), 끝 접촉점 (B)까지 거리는 각각 식(13),

(14)로 구한다.

$$\left| \vec{O_1A} \right| = \rho_{11} \quad \left| \vec{O_2A} \right| = \rho_{21} \quad (\alpha = \alpha_i) \quad (13)$$

$$\left| \vec{O_1B} \right| = \rho_{12} \quad \left| \vec{O_2B} \right| = \rho_{22} \quad (\alpha = \alpha_{i+1}) \quad (14)$$

여기서, $\alpha_{i+1} = \alpha_i + \frac{2\pi}{z_2}$ 이다.

회전당 유량은 식 (15)과 같다.

$$Q = z_1 \int_0^{2\pi} q(\alpha) d\alpha = z_1 \sum_{i=1}^{z_2} q_i \quad (15)$$

비유량(specific flow rate)은 식 (16)로 구한다.

$$R = \frac{Q}{\pi \rho_{i,max}^2 b} \quad (16)$$

소음 및 진동에 영향을 미치는 유량맥동(Flow rate irregularity)은 식(17)과 같다.

$$i_z = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{average}} \quad (17)$$

비미끄럼률은 식(18)로부터 구할 수 있다.

$$S.S. = \frac{|s_2 - s_1|}{s_1} \quad (18)$$

여기서, s_1 과 s_2 는 회전량에 따라서 접촉점이 내외 부로터의 형상으로부터 각각 움직인 거리이다.

4. 자동화 시스템

4.1 시스템의 구성

외부로터가 타원의 치형 형상을 갖는 로터를 개발하기 위해 AutoCAD 의 AutoLISP 언어를 사용하여 통합적 설계자동화 시스템을 개발했다. 개발된 시스템은 입력, 설계, 출력 모듈로 구성되어 있으며 이를 위한 개략도를 Fig. 7 에 나타내었다.

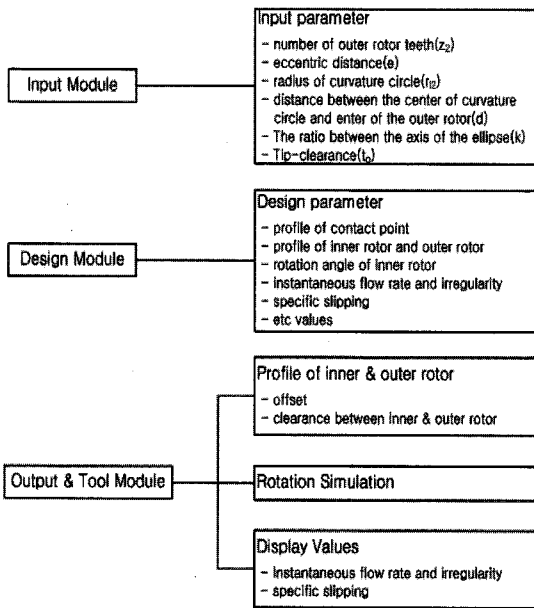


Fig. 7 Configuration of the system

4.1.1 입력 모듈

입력모듈은 치형 설계와 유량, 유량맥동 및 미끄럼률 계산의 자동화를 위하여 설계 변수 값들을 입력하는 모듈이다. 입력 변수는 외부로터의 치차의 개수(z_2), 내외부 로터 중심간의 거리, 즉 편심량(e), 타원단축 거리(r_{12}), 아웃로터의 중심점과 외부로터 치형 형상인 타원중심간의 거리(d), 타원의 장단축비(k), 와 tip 틈새(t_p)이다. Fig. 8 은 이들을 입력하기 위하여 DCL(Dialog control language)을 이용하여 제작한 설계자동화 시스템의 입력창을 보여

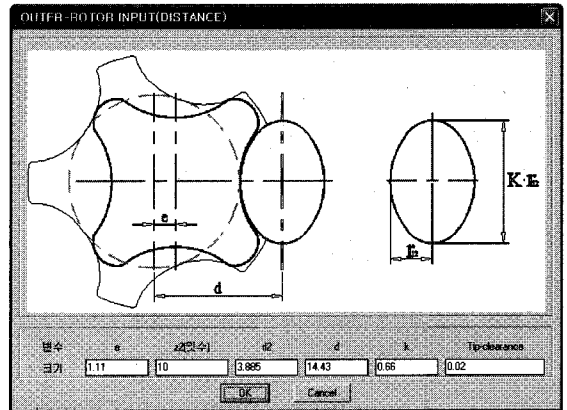
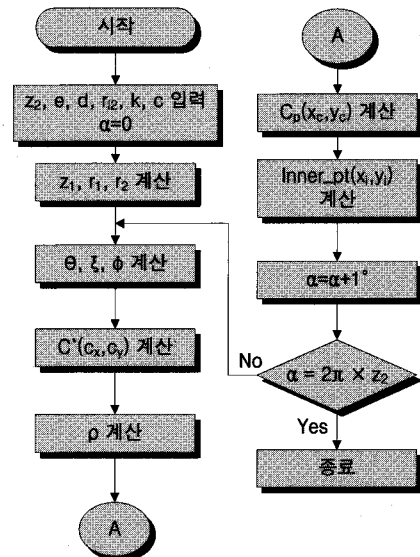


Fig. 8 Window for inputting design values

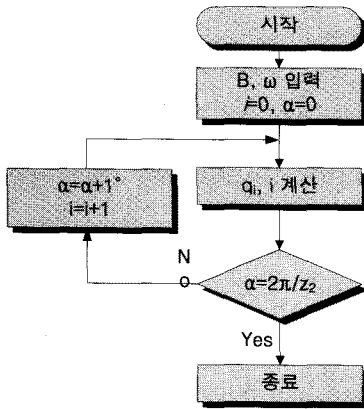
준다.

4.1.2 설계 모듈

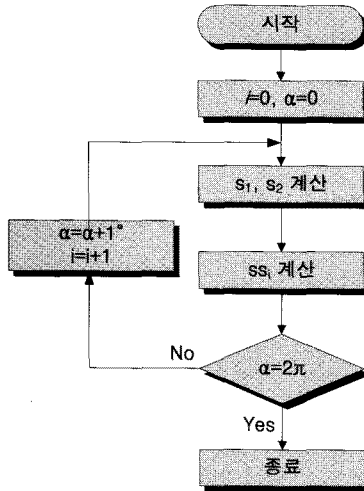
설계 모듈에서는 입력된 설계 변수 값으로부터 치형 방정식에 의하여 외부로터로부터 내부 로터의 궤적을 창출 하고, 내부 및 외부 로터 사이의 오프셋 량을 보정한 후, 창출된 치형의 유량 및 맥동과 미끄럼률을 계산한다. 내부 로터의 궤적을 창출하는 알고리즘은 Fig. 9 의 (a)에, 순간 유량 및 유량 맥동 계산을 위한 알고리즘은 (b)에 그리고 미끄럼률 계산을 위한 알고리즘은 (c)에 나타내었다.



(a) Algorithm for lobe profile



(b) Algorithm for flow rate and irregularity



(c) Algorithm for specific slipping

Fig. 9 Flowchart for carrying out the automated system

4.1.3 출력 모듈

출력모듈에서는 치형 모델링, 회전시뮬레이션, 순간유량 곡선 및 데이터 파일의 저장을 수행한다.

출력모듈의 치형 모델링 부모모듈에서는 설계모듈에서 구한 내외부 로터의 궤적을 이용하여, 외부 로터 끝단부의 곡률, 내외부 로터간의 거리, 내부 로터의 읍셋량, 내부로터의 회전 각도를 입력 받아 회전 각도에 따른 치형을 창출시킨다. 회전 시뮬레이션 부모모듈에서는 Fig. 13 와 같이 실제 내외부 로터가 회전하는 모습을 시뮬레이션하여 챔버의 모양 및 크기, 회전시 간섭등을 체크함으로써 사용자로 하여금 오류를 미리 방지할 수 있도록 했다.

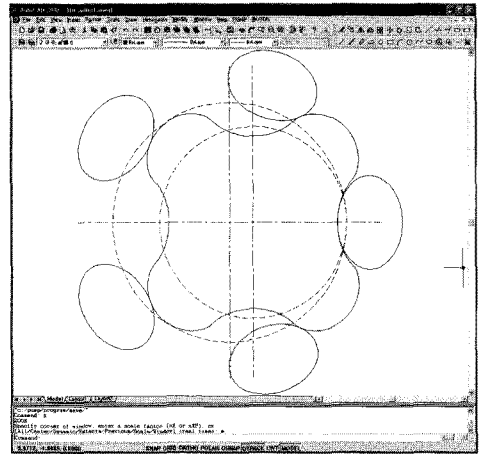


Fig. 10 The inner rotor profile according to the ellipse shape factor

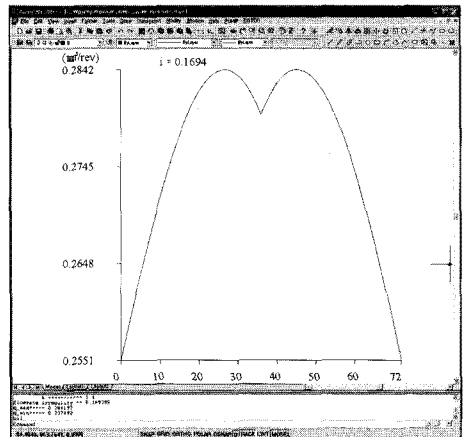


Fig. 11 The instantaneous flow rate in case of "k=1.4" in Fig. 10

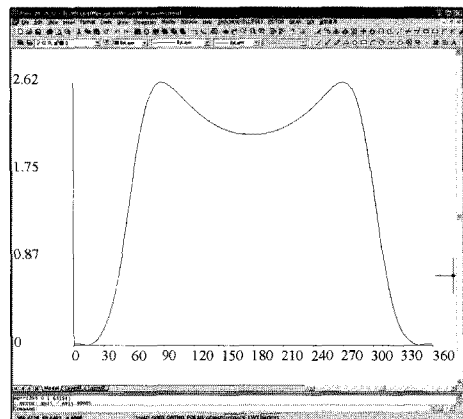


Fig. 12 The specific slipping in case of "k=1.4" in Fig. 10

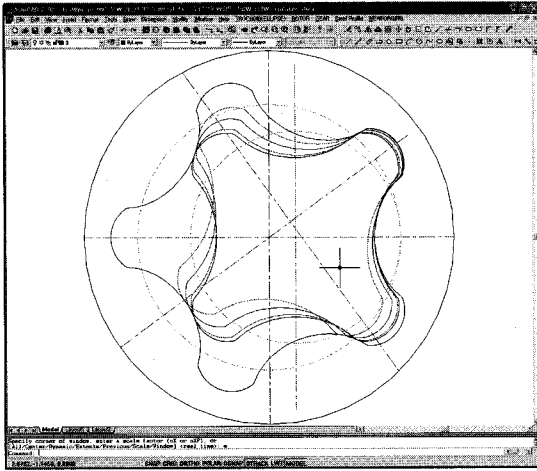


Fig. 13 The results carried out at the rotation simulation submodule of the design module

4.2 시스템에의 적용 및 고찰

허용압력각 이내이면서 침점 혹은 루프가 발생되지 않은 범위내에서 목적함수는 유량과 유량맥동을 우선 고려하고 그 후에 수명에 영향을 주는 미끄럼율을 계산했다.

로터의 내부외부 로터 잇수는 4/5 개를 가지며 외부로터 편심량, $e=3.8mm$, 폭, $w=18.0mm$, 외경 $\Phi 58mm$ 이다. Fig. 14 와 같이 외부로터의 최외경과 치저경 사이의 거리를 $3.75mm$ 로 일정하게 유지할 수 있도록 최적화 설계변수인 타원의 곡률반경(r_{12}), 곡률반경까지의 거리(d)와 타원의 장단축비(k)를 변화시킨 Table 1 의 설계변수 값을 가지고 타원형상을 갖는 외부로터에 따른 내부로터를 창출하였다.

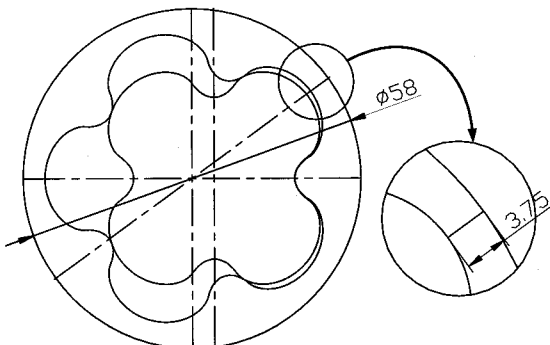


Fig. 14 The distance between the outer diameter and base circle of the outer rotor

Table 1 The values of flowrate and irregularity automatically calculated by the system according to the values of the design parameters.

거리 (d)	Outer 곡률반경 (r_{12})	타원 장단축비 (k)	유량맥동 (%)	유량 (cc/rev)	미끄럼율
25.125	7.5	0.6	7.5648	0.9998	1.53
		0.7	8.1412	1.001	1.63
		0.8	8.6746	1.002	1.72
		0.9	9.189	1.0028	1.83
		1	9.6891	1.0034	1.95
		1.1	10.178	1.0036	2.1
		1.2	10.655	1.0037	2.29
		1.3	11.1125	1.0035	2.54
25.625	8	0.6	7.67	1.0002	1.54
		0.7	8.2692	1.0014	1.65
		0.8	8.8214	1.0024	1.75
		0.9	9.3524	1.0031	1.86
		1	9.8677	1.0036	2
		1.1	10.3663	1.0037	2.17
		1.2	10.8489	1.0037	2.39
		1.3	11.3176	1.0034	2.67
26.625	9	0.6	7.8715	1.001	1.57
		0.7	8.5141	1.002	1.69
		0.8	9.0986	1.0029	1.81
		0.9	9.6556	1.0035	1.95
		1	10.1926	1.0038	2.12
		1.1	10.715	1.0038	2.33
		1.2	11.2154	1.0036	2.61
		1.3	11.1125	1.0035	2.98
27.625	10	0.6	8.0619	1.0016	1.61
		0.7	8.743	1.0026	1.74
		0.8	9.3576	1.0034	1.88
		0.9	9.94	1.0038	2.04
		1	10.4985	1.0039	2.24
		1.1	11.0327	1.0038	2.5
		1.2	11.5412	1.0034	2.85
		1.3	12.0306	1.0029	3.34
28.625	11	0.6	8.237	1.0022	1.65
		0.7	8.9542	1.0031	1.79
		0.8	9.5962	1.0037	1.95
		0.9	10.1986	1.004	2.14
		1	10.7743	1.0039	2.38
		1.1	11.3248	1.0037	2.7
		1.2	11.8456	1.0032	3.14
		1.3	12.3334	1.0026	3.77
29.625	12	0.6	8.4069	1.0027	1.69
		0.7	9.1595	1.0034	1.84
		0.8	9.8253	1.0039	2.02
		0.9	10.447	1.004	2.24
		1	11.0356	1.0039	2.52
		1.1	11.5916	1.0035	2.91
		1.2	12.1213	1.0029	3.46
		1.3	12.6183	1.0022	4.3

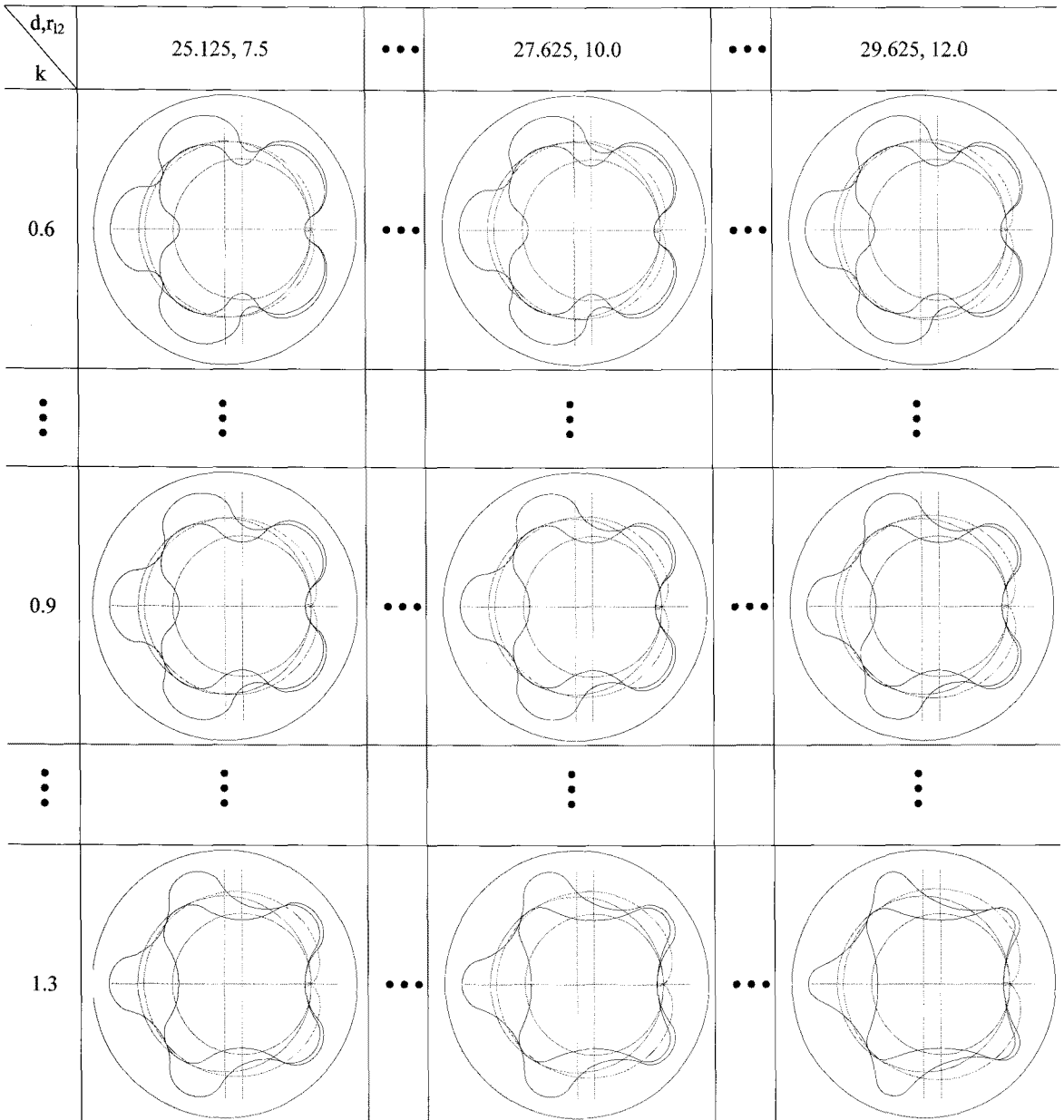


Fig. 15 Results carried out in the system according to the variable parameters

중심거리(d)와 곡률반경(r_{12})과 장단축비(k)를 변화시켜 가면서 자동으로 창출한 치형의 형상을 Fig. 15 나타내었고 창출된 치형에 대하여 자동적으로 계산된 유량, 유량맥동의 값은 Table 1 에 나타내었다. 설계변수에 따른 유량, 유량 맥동 그리고 미끄럼을 특성을 비교하여 Fig. 16 에 나타내었다. Fig. 16 (a)로 부터 r_{12} 가 11.0 12.0, 장단축비(k)가

0.9 일 때 최대유량을 얻었고 이는 중심거리(d)와 곡률반경(r_{12})가 증가할수록 장단축비(k)가 낮아질수록 최대 유량을 얻을 수 있음을 보여 준다. Fig. 16 (b)로 부터 유량 맥동은 장단축비가 작을수록 우수함을 알 수 있다. Fig. 16 (c)로부터 미끄럼율은 장단축비(k)가 낮을수록 그리고 중심거리(d)와 곡률반경(r_{12})이 감소할수록 우수함을 알 수 있다.

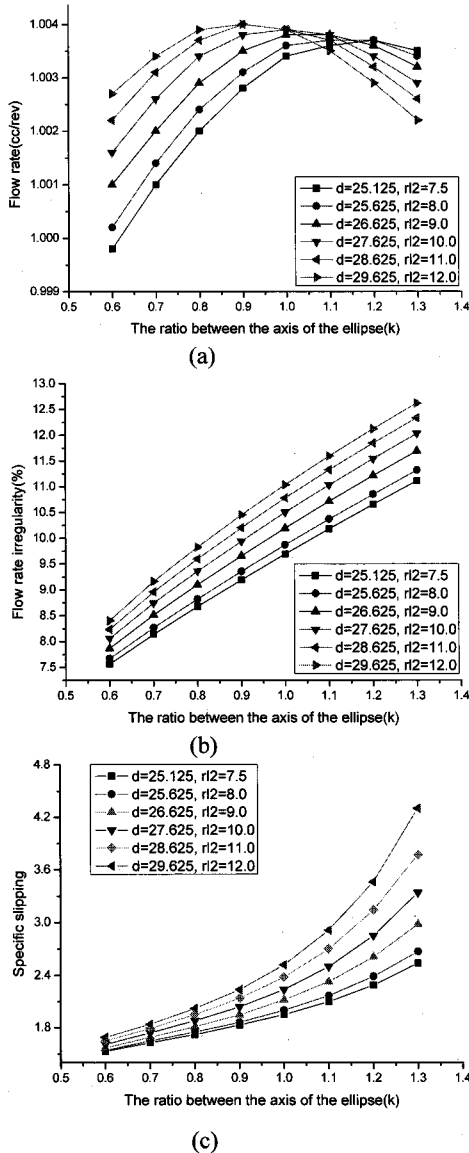


Fig. 16 Comparison of irregularity and flow rate according to the factor, k : (a) flow rate, (b) flow rate irregularity, (c) specific slipping

4.3 시제품 생산 및 고찰

현재 디젤 승용차에 사용되는 엔진오일용 로터 인 Fig. 17 (a), (b)⁷는 4/5 잇수를 가지며 외부로터의 외경 $\Phi 58\text{mm}$, 편심량, $e=3.8\text{mm}$, 잇수, $z_2=5$, 폭, $w=18.0\text{mm}$ 이다. 이보다 성능이 우수한 로터를 개발하기 위하여 타원의 장단축비(k)를 변화시켜 가면서 개발된 시스템에서 구한 설계인자의 값은 $k=0.66, 1.3, r_{12}=7.5, 8, d=25.125, 25.625$ 이다. 상기의

설계인자 값으로 Fig. 16 (c), (d)와 같은 로터 시제품을 제작하여 현재 승용차에 사용중인 Fig. 16 (a), (b)와 실제 유량을 비교하였다.

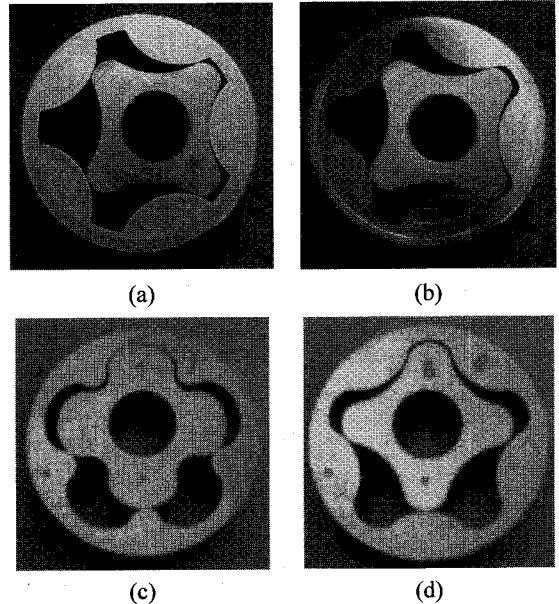


Fig. 17 The products manufactured according to the input values of the Table 2

개발된 타원의 치형 형상을 갖는 로터 제품이 유량이나 유량맥동면에서 더욱 우수하며 Fig. 16 (c) 제품은 장단축비가 낮은 경우로 유량맥동이 탁월히 우수하며 유량도 우수함을 Table 2로부터 알 수 있다.

Table 2 The results of flow rate and irregularity regarding Fig. 16

제품 번호	타원 장단축비 (k)	Outer의 곡률반경 (mm)	거리(d) (mm)	유량 맥동(i) (%)	유량(s) (cc/rev)
(a)	1.0(원)	14.7	31.4	12.4775	0.9534
(b)	1.0(원)	15.048	32.1	12.2236	0.9724
(c)	0.66	7.5	25.125	7.9165	1.0005
(d)	1:3	8	25.625	11.3176	1.0034

5. 결론

본 연구에서는 타원형의 로버 형상을 가진 외부로터의 기하학적인 분석을 통하여 로터에 관한

구성방정식을 제안하였고 이를 토대로 내부로터 치형을 창출하고 내외부 로터체적과 유량과 유량 맥동 계산시에 수반되는 복잡한 계산과정을 전산화한 오일펌프용 통합적 로터 설계자동화 시스템을 개발했다. 개발된 자동화 시스템의 특징은 다음과 같다.

1) 내부로터 형상의 자동 창출과 창출된 로터 형상에 대하여 유량과 유량맥동을 자동으로 계산할 수 있는 통합적 설계자동화 시스템을 개발하여 현재 디젤 승용차에 사용중인 로터 보다 성능이 더 우수한 로터를 개발할 수 있다.

2) 출력모듈에서는 입력변수 값에 의하여 치형을 창출시키고 외부로터의 회전각도에 따른 순간 유동 및 맥동을 자동으로 계산하여 그 결과를 그 래프로 출력시킬 수 있다.

3) 로터가 회전하는 모습을 시뮬레이션 함으로써 설계 오류를 사전에 방지할 수 있고, 완성차 업체의 사양에 따른 제조업체들의 적절한 치형 형태의 결정법을 제시할 수 있다.

후 기

이 논문은 2008 년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-331-D00063).

참고문헌

- Colbourne, J. R., "Gear Shape and Theoretical Flow Rate in Internal Gear Pumps," Trans. of the CSME, Vol. 3, No. 4, pp. 215-223, 1975.
- Saegusa, Y., Urashima, K., Sugimoto, M., Onoda, M. and Koiso, T., "Development of Oil-Pump Rotors with a Trochoidal Tooth Shape," SAE Paper, No. 840454, 1984.
- Tsay, C. B. and Yu, C. Y., "Mathematical Model for the Profile of Gerotor Pumps," Trans. of the CSME, Vol. 10, No. 1, pp. 41-47, 1989.
- Yu, C. Y. and Tsay, C. B., "The Mathematical Model of Gerotor Pump Applicable to Its Characteristic Study," Trans. of the CSME, Vol. 11, No. 4, pp. 385-391, 1990.
- Lee, S. C., and Lee, S. N., "Design and Analysis of Gerotor for Hydraulic Motors," J. of the Korean Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol. 11, No. 2, pp. 63-70, 1995.
- Kim, C. H., Kim, D. I., Ahn, H. S. and Chong, T. H., "Analysis of Tooth Contact Stress of Gerotor Hydraulic Motors," J. of the Korean Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 164-170, 1999.
- Kim, J. H. and Kim, C., "Development of an Integrated System of Automated Design of Gerotor Oil Pump," J. of the KSPE, Vol. 23, No. 2, pp. 88-96, 2006.
- Kim, J. H., Kim, C. and Chang, Y. J. "Optimum Design on Lobe Shapes of Gerotor Oil Pump," J. of Mechanical Science and Technology, Vol. 20, No. 9, pp. 1390-1398, 2006.
- Chang, Y. J., Kim, J. H., Jeon, C. H., Kim, C. and Jung, S. Y., "Development of an Integrated System for the Automated Design of a Gerotor Oil Pump," Journal of Mechanical Design, Vol. 129, Issue 10, pp. 1099-1105, 2007.