

지로터 펌프/모터의 치형설계 프로그램 개발에 관한 연구
장주섭, 이중원*, 한동철**, 조명래***

경원전문대학 자동차정비과

*경희대학교 기계공학과

**서울대학교 기계설계과

***서울대학교 기계설계과 대학원

A Study on Tooth Design Program Development of
Gerotor Pump/Motor

Joo Sup Jang, Jong Won Lee*, Dong Chul Han**, Myung Rae Cho***

Dept. of Automotive Maintenance, Kyungwon college

*Dept. of Mechanical Eng. Kyung Hee University

**Dept. of Mechanical & Production Eng. Seoul University

***Graduate Student, Seoul University

Abstract- Gerotor Pump and Motors are widely used in lubrication and hydraulic actuator systems, These have many advantage compared with internal gear pump and motors, But the gerotor profile have not been sufficiently analyzed theoretically. So it is vary difficult for designer to decide the specifications of the gerotor profile, and it is not yet confirmed to calculating flow rate and minimum distance of clearance in the contact point of inner and outer rotor. In this paper, When we design inner and outer rotor concurrently, We have analyzed the gerotor and displayed the calculated results such as flow rate, mininum distance between inner and outer rotor and gerotor profiles

1. 서 론

일반적으로 흔히 사용되고 있는 정용량형 유압 내접 기어 펌프 및 모터는 내접기어의 치형 형태에 대한 결합으로 생성된 스퍼어 기어나 원의 곡선을 변형하여 사용하고 있다. 임의적으로 생성한 (Generated) 로터(Rotor)를 가지는 지로터(Gerotor) 펌프 및 모터는 내부 로터와 외부 로터로 구성되어 있어 구조가 간단하고 소결제품의 제작기술 발달로 가공의 정밀도가 높아지고 있어 형상이 복잡하더라도 가공이 용이하며 조립이 쉽고, 두 치형사이에 상대운동이 적으므로 장기간 사용해도 효율의 변화가 적으며 흡입성능이 우수하여 피스톤 펌프와 결합된 2연펌프(Tandem Pump)의 흡입 및 저항을 주는 펌프로 널리 사용되고 있

고, 특히 다른 펌프에 비하여 소음이 적어 엔진 운행을 위한 윤활유의 유체 전달이나 자동변속기의 유압원으로 많이 사용되고 있다. 또한 전체 체적에 비하여 베인이나 기어펌프보다 1회당의 토출량이 많은 것을 장점으로 가지고 있다. 이런 이유로 유압시스템에 널리 사용되고 있으며 최근 가공기술의 발달과 함께 급격하게 응용성이 점차 확대되어 가고 있는 실정에 있다.

내부 로터(Inner Rotor)는 트로코이드(Trochoid) 곡선으로 설계를 하게 되고 이것을 기준으로 하였을 때 외부로터(Outer Rotor)의 치형은 일반적으로 원호형상, 타원(Elliptical)형상, 정현(Sinusoidal)형상으로 설계하고 있지만 대부분은 반경이 일정한 원호 형상을 사용하고 외부로터는 항상 내부로터보다 1개 더 많은 로브(Lobes)을 가지고 회전하게 된다.

지로터형 펌프/모터의 치형 설계와 관련하여 앞서 많은 연구자들에 의하여 발표되었다. Colbourne[1]은 유량에 대한 기어치형 형태의 효과와 치형곡선을 특별하게 규정하여 각치형이 접하는 곳의 단면을 계산하여 유량의 변동을 줄이는 것을 제안하였고, Tsay[2,3]등은 외부로터를 기준으로 내부로터를 설계하는 수학적 모델링을 제안하여 가공시 두 로터 사이에 간격이 존재하여야 원활한 작동이 될 것이라는 실제의 모델을 제안하였고, Seagusa 등[4]은 이론적인 트로코이드 곡선으로 외부로터 및 내부로터를 설계하는데 있어 내부로터를 고정시키고 외부로터를 설계하는 것으로 두 치형간에 간격을 일정하게 유지하는 궤적을 구하고 변형 치형을 구하는 식을 제안하였다. 또 Beard[5]등은 하이포트로코이드(Hypotrochoidal)와 에피트로코이드(Epitrochoidal)사이의 유량 변화를 비교하고 수학적 관계를 나타내었다. 최근의 이성철[6]등은 곡선족(Family of curves)의 특성을 이용하여 내부로터의 치형에 대한 식을 유도하고 유압모터를 대상으로 유량 및 토크 계산 등의 특성 해석을 실시 하였다. 그러나 현재까지 발표된 내용들은 해석하기가 매우 어렵고 이것을 전산화하여 쉽게 활용한 예는 없었으며 설계시 변수에 대한 정확한 물리적인 의미를 확인하기 어렵기 때문에 실용상에 많은 문제점이 있었다. 특히 유량 계산의 관점에서 보면 대부분의 문헌들이 외부로터의 형상설계나 설계방법에 대한 구체적인 연구가 없었다. 본 논문에서는 이론해석을 실시하고 해석된 결과를 이용하여 전산 설계프로그램을 개발하여 제품개발에 응용하고 유량 및 접촉점에서의 최소거리를 계산하는 방법을 정립하여 실용화 하는데 일익을 담당 할 수 있을 것이다.

2. 이론적 해석

전형적으로 사용되고 있는 유압용 지로터 펌프 및 모터의 조립도를 Fig.1에 나타냈다. 내부로터와 외부로터로 구성되어 있으며, 대부분의 구동 및 피동축은 내부로터의 중심에 축(Shaft)을 삽입하여 사용된다. 자동차의 엔진유회용 펌프, 자동변속기

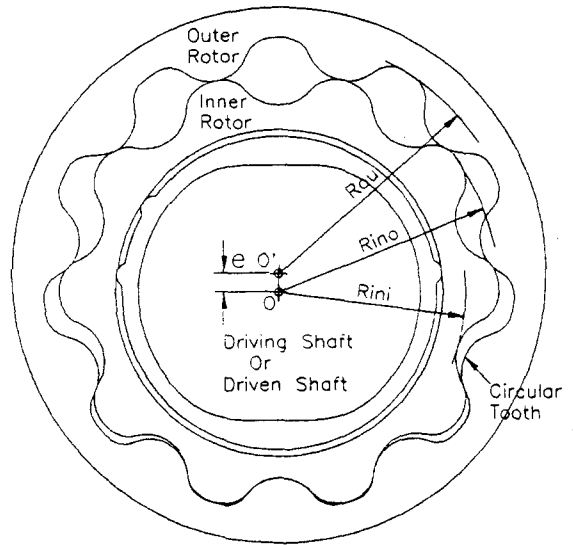


Fig. 1. Assembling Drawing of Inner and Outer Rotor

의 유압 모듈에이트(Modulator) 공급라인의 유압원으로 하는 펌프, 연료 공급용 펌프등에서는 외부로터는 하우징(Housing)의 중심축을 기준으로 회전하고 내부로터는 일정한 편심 거리를 가지고 각 로터의 중심에서 회전하게 되며, 유압모터로 사용되는 경우도 마찬가지로 내부로터의 중심축과 연결되는 출력축과 연결된다.

유압펌프로 사용시 작동은 내부로터를 회전시키면 외부로터의 접촉점이 이동하면서 편심 거리에 따라 두 로터 사이에 공간이 발생됨으로서 이공간 사이에 작동유나 윤활유가 흡인력에 의하여 계속적으로 공급되면서 회전하고 시작점을 기준으로 180° 이후부터는 계속해서 토출축으로 토출시키면서 회전함으로서 유량의 맥동이 작고 정속한 작동이 된다. 모터인 경우는 펌프와 반대로 외부의 유압이 작용하면서 서서히 로터사이의 체적이 증대되었다가 배출구를 통하여 유압 탱크로 돌아가게 된다.

내부로터의 중심 O에서 편심량을 e라 하면 편심된 거리의 중심을 O'를 외부로터의 중심이라 하고 O'에서 외부로터의 반경을 R_{ou} , 원형치형의 반경을 R_o , 내부로터의 로브(Lobes)의 수를 N이라

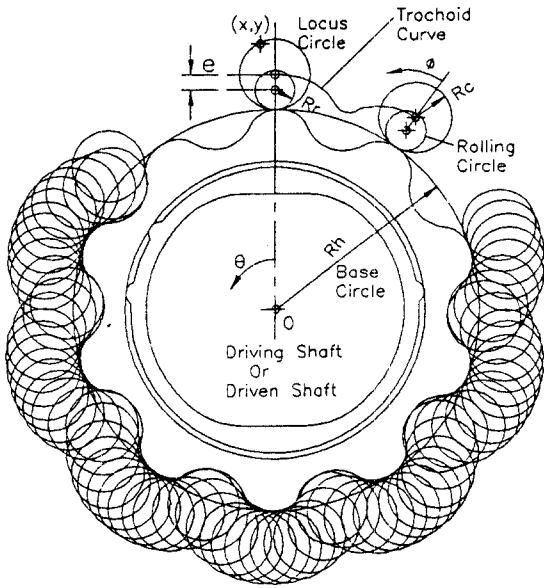


Fig. 2. Generation of Inner Rotor

하면 외부로터의 수는 내부로터의 수보다 1개가 더 많은 $N+1$ 개가 된다.

Fig.2는 내부로터 치형 생성과정을, Fig.3은 외부로터의 설계방법을 나타냈다. 여기서 R_h 를 기초원의 반경, R_c 를 롤링원의 반경이라고 할 때 롤링원의 반경이 기초원의 반경 위를 굴러가면서 생성된 원의 반경을 궤적원의 반경을 R_c 라고 하면 로브의 수는 다음 식으로 구해진다.

$$N = \frac{R_h}{R_r} \quad (1)$$

기초원의 회전각을 θ , 롤링원의 회전각을 ϕ 라고 하면 다음관계가 성립한다.

$$R_h \theta = R_c \phi \quad (2)$$

트로코이드 궤적의 방정식 (x,y) 은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$x = R_c(N+1) \cos \theta - e \cos((N+1)\theta) \quad (3)$$

$$y = R_c(N+1) \sin \theta - e \sin((N+1)\theta) \quad (4)$$

이것은 트로코이드의 곡선을 그리는 이론적인 식이고 Fig.2에서와 같이 내부로터의 임의점을 나타내는 지로터 치형의 곡선을 (x,y) 로 나타내면[4]

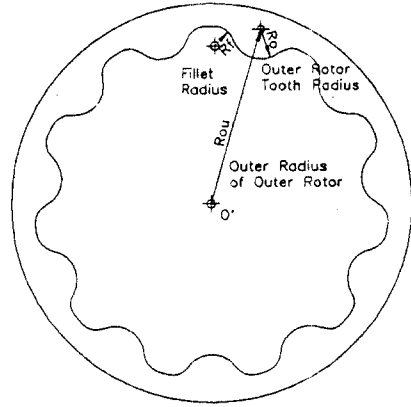


Fig. 3. Sheet of Outer Rotor

원의 방정식이 된다.

$$(X-x)^2 + (Y-y)^2 = (R_c)^2 \quad (5)$$

(5)식의 양변을 각 θ 로 미분하면

$$(X-x) \frac{\partial x}{\partial \theta} + (Y-y) \frac{\partial y}{\partial \theta} = 0$$

로 되다, 따라서

$$Y-y = -K(X-x) \quad (6)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 K 는

$$K = \frac{-R_r \sin \theta + e \sin((N+1)\theta)}{R_c \cos \theta - e \cos((N+1)\theta)}$$

식(5)와 식(6)에서 다음식을 얻어낸다.

$$X = x + \frac{R_c}{\sqrt{1+K^2}} \quad (7)$$

$$Y = y - \frac{R_c K}{\sqrt{1+K^2}}$$

$$X = x - \frac{R_c}{\sqrt{1+K^2}} \quad (8)$$

$$Y = y + \frac{R_c K}{\sqrt{1+K^2}}$$

위의 식(7)과 식(8)중에서 작은 $X^2 + Y^2$ 값을 점 (x,y) 의 지로터 곡선 설계에 이용한다.

외부로터의 치형을 원형형상으로 설계하기 위해서는 기초원의 반경 R_h 와 롤링원의 반경 R_c 의 일직선상에 놓여 있는 궤적원의 반경 R_c 로 O' 를

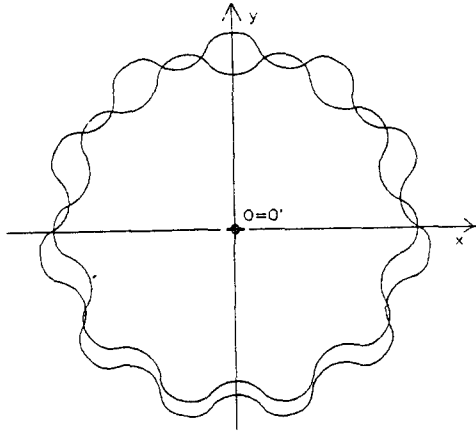


Fig. 4. Tooth Curve Comparison of Inner and outer Rotor(when $\theta=0$)

중심으로 $N+1$ 개를 작도하고, 외부로터의 반경 R_{ou} 과 궤적원의 반경 R_c 가 교차하는 부분에서 필릿반경 R_f 로 작도 하면된다.

여기서 확인할 수 있는 것은 Table 1에 나타낸 바와같이 치형사이의 간격은 거의 영에 가깝다, 즉 내부로터와 외부로터사이의 간격이 거의 없기 때문에 실제적으로는 회전이 불가능하게 된다,이런 이유로 클리어런스(Clearance)가 존재하여야 하므로 이런 간격을 조정하는 방법으로 Fig.1과 Fig.2에서 내부로터를 작게하든지 외부로터를 크게하여 두 로터가 원활하게 작동할 수 있는 팁 클리어런스(Tip Clearance)를 얻을 수 있다.

편심량 e 를 식으로 나타내면

$$e = \frac{R_{ino} - R_{imi}}{2} \quad (9)$$

이 되고 궤적원의 반경 R_c 를 계산하는 가능하게 된다.

$$R_{imi} = N \times R_r + R_r - e - R_c \quad (10)$$

으로 되며, 이식을 R_c 에 대하여 다시 정리하면

$$R_c = (N+1)R_r - e - R_{imi} \quad (11)$$

여기서 R_r 또는 R_c 가 결정되면 나머지도 쉽게 결정되기 때문에 입력 데이터로 구간마다 곡률반경을 구하여 어느값 이상되는 적당한 값을 설정하여 설계에 반영하고 외부 로터의 경우는 Fig.3에

서 R_{ou} 의 값을 크게하거나 치형의 반경 R_o 를 작게하므로서 적당한 팁 클리어런스를 얻을 수 있다. 그러나 이것은 소결에 의하여 가공되는 제품으로 금형에 의하여 대량으로 생산되는 것이기 때문에 금형가공시 수정하므로서 생산제품의 품질에 문제가 없도록 대처할 수 있다. Fig.4는 두치형의 중심점을 일치 시켰을때의 치형의 형상을 비교하여 나타냈다.

3. 설계 시스템의 개발

3-1.시스템의 구성

일반기계장치와 마찬가지로 트로코이드 치형의 유압 지로터 펌프 및 모터에서도 개발 기간의 단축 및 치형의 형태를 쉽게 확인하고 품질을 향상시키기 위하여 컴퓨터를 이용한 설계 및 제작기술 개발이 요구되고 있다. 이에 본연구는 앞서 논의한 이론적 근거에 의하여 Fig.5와 같은 시스템을 구성하고 컴퓨터를 이용하여 치형을 설계하기 위한 시스템을 구축하였다.

입력사항은 내부로터와 외부로터의 설계사양을 동시에 입력하는 것으로 Table 1.에 자세히 나타내었고 특히 외부로터의 필릿반경을 입력사항으로 하여 최적의 형상이나 간섭을 바로 확인 가능하기 때문에 수정 설계를 매우 간단히 할 수 있다.

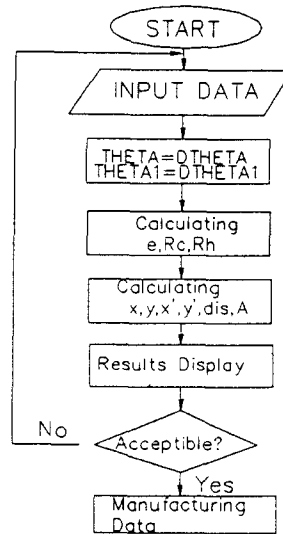


Fig. 5. Flow Chart

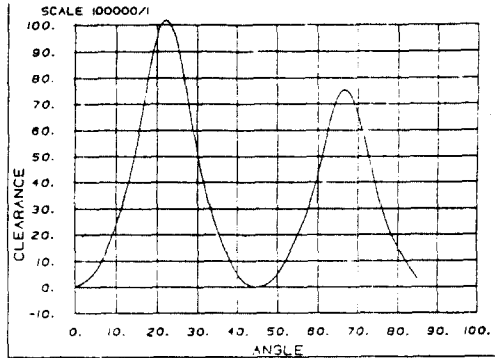


Fig. 6. Variation of Tip Clearance

3-2. 유량 및 최소거리의 계산

외부로부터 와 내부로부터의 접촉점에 대한 해석을 실시하였고 계산방법은 직각좌표에서 외부로부터의 좌표를 x', y' , 내부로부터의 좌표를 x, y 라고 하면 수치적 계산에 의하여 최소거리의 위치에서 다음식에 의하여 각 점의 위치를 결정할 수 있고

$$R_1 = \sqrt{x'^2 + y'^2} \quad (12)$$

$$R_2 = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (13)$$

윗식에서 최소거리는

$$d_{\min} = R_1 - R_2 \quad (14)$$

로 계산된다. Fig.6에 8개의 로브를 가진 경우에 대한 해석 결과로 90° 최대 103μm의 간격을 가지는 것으로 나타났다.

유량은 $N+1$ 개를 갖는 외부로부터 와 N 개를 갖는 내부로부터가 서로 접하여 동일방향으로 회전할 때 두치형의 폐곡면 차이에 해당하는 면적이 내부로부터를 기준으로 1회전시 형성됨과 동시에 소멸되므로, 소멸되는 측에 토출구를 설치하고 생성되는 측에 흡입구를 설치하여 두폐곡선이 그리는 면적의 차이에 축방향의 길이 즉 로터의 두께를 곱한 값에 해당되는 체적이 흡입 및 토출하도록 하는 펌프이다. 이것의 계산은 수치적 적분에 의하여 실시하였으며 외부로부터의 폐곡선이 만드는 면적을 A_{out} 이라 하고 내부로부터의 폐곡선이 만드는 면적을 A_{inn} 이라 하면 토출량 Q 는

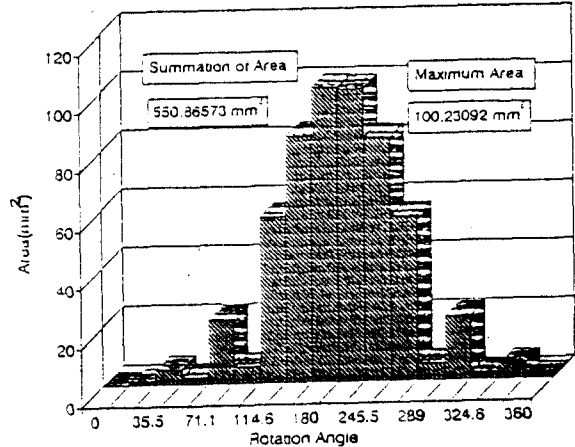


Fig. 7. Area of Closed Curves

$$Q = t(A_{out} - A_{inn}) \quad (15)$$

가 된다. 여기서 t 는 로터의 두께이다.

그러나 토출량 계산 프로그램은 최소거리 사이의 폐곡면으로 계산되며 흡입체적이 점차 증가하여 짝수의 로브를 가진 경우 180° 전후에서 최대의 면적이 되고, 두치형이 맞물려 있는 지점의 전후에서 최소의 면적이 되므로 이 면적 차이를 기준으로 내부로부터의 로브수를 곱한 값을 1회전당의 면적으로 계산하는 것이 타당하다고 하겠다. 10개의 로브를 갖는 경우에 대하여 Fig.7에 나타냈는데 여기서 확인할 수 있듯이 최대의 체적이 되는 것은 180° 전후에서 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

3-3. 설계의 예

여러 가지의 펌프에 대한 설계의 예를 Table 1.에 나타냈다. 크기와 용량을 각각 다르게 하여 설계한 결과를 나타낸 것으로 특히 로브의 수 N 을 기준으로 보면 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14개의 경우에 대하여 유량 및 최소거리를 계산하고 설계를 실시하였으며, 특히 필릿의 반경에 따라 폐곡면의 면적 차이가 있음을 알 수 있다. no1과 no2, no7 과 no8의 경우 필릿의 반경에 따라 유량에서 차이를 보이는 것은 반경의 크기에 해당하는 만큼의 면적의 차이임을 알 수 있다. 따라서 펌프인 경우 토크

의 손실을 가져오고,모터인 경우는 유량의 손실을 가져 오므로 이러한 손실을 최소화 하기 위해서는 적당한 펄릿반경을 선정하지 않으면 안된다.또한 no15 와 no16, no18 과 no19는 입력사양을 다르게 하고 편심거리를 같게,체적을 유사하게한 설계의 예를 나타냈다.이런 경우 치형의 형상은 똑같지 않으나 매우 유사함을 확인할 수 있었다.

이런 설계의 결과를 Fig. 8에 나타냈는데 화면에

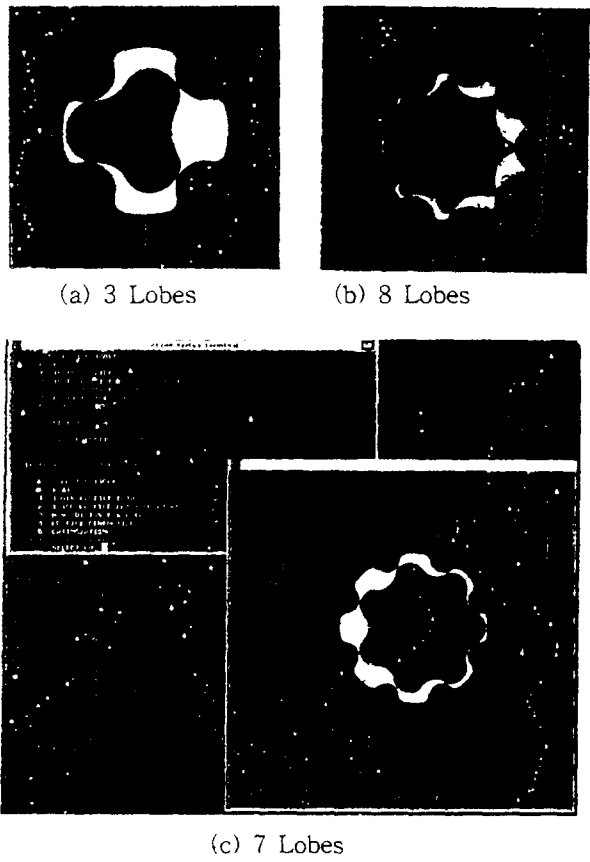
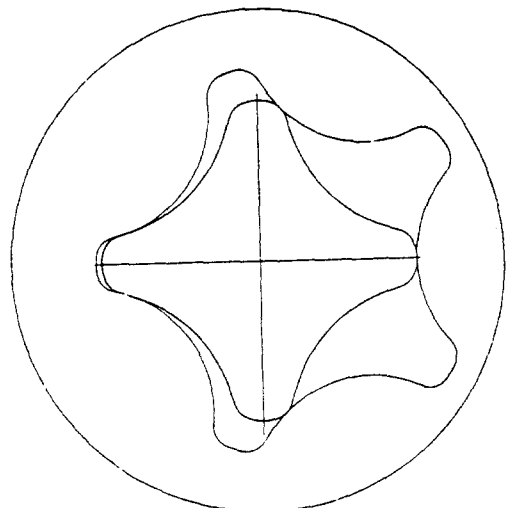
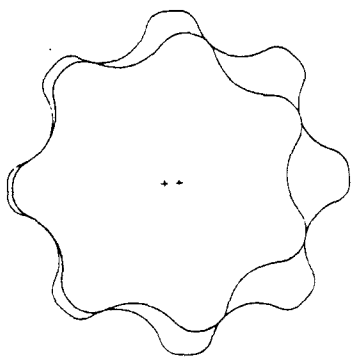


Fig.8 Display of Design Results

디스플레이 된 것을 하드카피한 것으로 로브의 수가 3,6,8개의 경우에 대하여 나타냈고,이것을 가공하기 위한 데이터로서 Auto CAD를 이용하여 Fig.9에 나타냈다. Fig. 10은 지로터 펌프 및 모터의 작동원리를 나타낸 것으로 180° 부근에서 최대의 단위길이당 체적이 됨을 확인할 수 있다.



(a) 4 Lobes



(b) 7 Lobes

Fig. 9. Geometry Drafting of AutoCAD

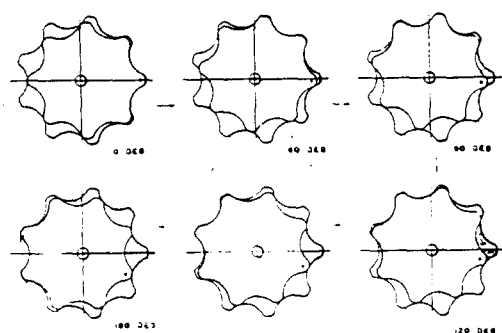


Fig. 10. Meshing process of a Gerotor

Table1. Examples of Design

no	Input Data (mm,ea)						Output Data (mm,mm ²)				Remark	
	R _i	N	R ₁	R _{im}	R _{im}	R _o	R _c	e	Dis	Area		
1	7.0	4	28	16.2 5	23.6	4.5	27.5	15.0 75	3.67 5	10 ⁻³	540. 78	vacuum
2	7.0	4	28	16.2 5	23.6	7.0	27.5	15.0 75	3.67 5	10 ⁻³	516. 20	vacuum
3	4.9	6	29.4	19.	26.5 2	2.5	30.4 5	11.4 9	3.81	0.	584. 71	vacuum
4	6.75	6	40.5	25.4 55	34.9 85	3.5	40.1 65	17.0 325	4.76 5	0.	975. 49	lubricat -ion
5	6.75	6	40.5	25.4 55	34.9 85	3.5	40.1 75	17.0 3	4.76 25	0.	976. 40	lubricat -ion
6	6.5	6	39	25.4 55	34.9 555	3.5	40.1 65	15.2 8	4.76 5	0.	976. 11	lubricat -ion
7	2.06 25	8	16.5	13.0 75	16.	2.5	17.5	4.02 5	1.46 25	10 ⁻³	145. 77	power steer'g
8	2.06 25	8	16.5	13.0 75	16.0	2.0	17.5	4.02 5	1.46 25	10 ⁻³	148. 41	power steer'g
9	4.25	8	39	25.0 37	31.3 13	2.0	34.7 01	10.0 75	3.13 8	10 ⁻³	608. 89	engine Lubri-
10	4.7	8	37.6	27.1	34.	2.5	38.	11.8	3.5	10 ⁻³	708. 97	engine Lubri-
11	4.7	9	42.3	31.7 8	38.8 8	3.5	42.5	11.6 7	3.55	0.	823. 62	engine Lubri-
12	0.89	10	8.9	6.75	8.25	0.6	9.	2.29	0.75	10 ⁻³	25.3 8	fuel Trans
13	0.43 5	10	4.35	3.4	4.1	0.3	4.45	1.03 5	0.35	0.	8.61	HYD actuat-
14	1.4	10	14.	10.9 5	13.5 25	1.0	15.	3.16 25	1.28 75	10 ⁻³	100. 21	power steer'g
15	2.9	12	34.8	29.7 6	34.6 9	3.1	37.1 575	5.47 5	2.46 5	0.	528. 63	auto. mission
16	2.89 75	12	34.7 7	29.7 6	4.69	3.1	37.1 6	5.44 25	2.46 5	0.	529. 18	auto. mission
17	2.65	13	34.4 5	30.6	35.4	3.0	37.8	4.1	2.4	0.	521. 66	auto. mission
18	2.57 5	14	36.0 5	31.7 5	36.2 5	2.0	38.5	4.62 5	2.25	10 ⁻³	521. 96	auto. mission
19	2.8	14	39.2	33.2 5	37.7 5	2.5	20.	6.5	2.25	10 ⁻³	519. 09	auto. mission

4. 결 론

유압펌프 및 모터로 사용되는 지로터의 내부로터와 외부로터를 동시에 설계하는 이론식을 정립하고 이것을 이용한 설계용 프로그램을 개발하고, 두 치형사이의 최소거리를 계산하는 방법과 수치적 적분에 의한 유량 계산을 실시하였다. 본 연구에서 실시한 프로그램은 물리적 의미가 명확하고 설계 시간의 단축 및 형상확인 쉬우며 용량에 맞는 펌

프와 모터를 설계하는데 매우 유용하게 사용되었다.

본 프로그램을 이용한 형상설계와 외부로터 및 편심량에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 외부로터와 내부로터의 설계값을 동시에 입력하므로써 설계시간의 단축과 형상을 화면에서 확인할 수 있었다.

(2) 외부로터설계시 적당한 필릿반경을 선택하므로써 동력의 손실을 줄일 수 있음을 확인하였다.

(3) 최소거리를 계산하는 방법을 정립하였고 그 결과를 이용하여 가공에 필요한 치형곡선의 수정 방법 및 수정식을 산출하였다.

참 고 문 헌

1. J.R. Colbourne, "Gear Shape and Theoretical Flow Rate in Internal Gear Pumps", Trans. of the CSME, Vol. 3, No. 4 pp. 215-223, 1975.
2. Chung-Biau Tsay, "Gerotor Pumps-Design Simulation And Contact Analysis", pp349-356, 1992.
3. Chung-Biau Tsay, Chung-Yih Yu, "Mathematical Model for the Profile of Gerotor Pumps" J. of the CSME, Vol. 10, No. 1, pp.41-47, 1989.
4. Saegusa, Y., et al., "Development of Oil-Pump Rotor with a Torchoidal Tooth Shape," Tran. SAE, 840454, pp. 359-364, 1984.
5. Beard, J.E., Hall, A.S., and Soedel, W., "Hypotrochoidal versus Epitrochoidal Gerotor Type Pumps with Special Attention to Volume Change Ratio and Size," ASME Proceedings, Design Automation conference, Boston, Mass., Sep. 1987.
6. 이성철, 이성남, "유압모터에 사용되는 제로터의 설계 및 해석," Journal of KSTLE, Vol. 11, No. 2, pp. 63-70, 1995.
7. 장주섭, "트로코이드형 치형 곡선의 수정방법" 국내 특허출원중, 특허출원번호93-17933, 1993.