

다양한 치형곡선을 이용한 지로터 오일펌프의 로터설계 Design method of Gerotor using various types of curves

*박지수¹, 김민수¹, 최태훈², #김철³

*J. S. Park¹, M. S. Kim¹, T. H. Choi², #C. Kim(chulki@pusan.ac.kr)³

¹ 부산대학교 창의공학시스템, ² 부산대학교 기계공학부 기계시스템설계, ³ 부산대학교 기계기술연구원

Key words : Hypocycloid, Arc, Epicycloid, Gerotor, Flow rate, Flow rate irregularity

1. 서론

자동차 엔진 유회시스템의 구성품 중 하나인 오일펌프에서의 에너지 손실률은 엔진 전체의 약 10%에 달하며 자동변속기의 경우 20~30%까지 증가한다.¹ 따라서 자동차의 연비개선을 위해 오일펌프의 에너지 손실률 저감은 반드시 필요하며 이는 오일펌프 로터 두께 축소를 통해 가능하다. 하지만 이때 유량도 함께 감소하므로 로터 두께를 줄이더라도 요구유량의 조건을 만족시키고 로터 구동소음을 저감시키기 위해 고유량/저맥동 특성의 로터 개발이 요구된다.

기존의 “하이포 사이클로이드+에피 사이클로이드” 방식의 로터에서는 유량 증가를 위해 편심량을 크게 할수록 내부로터의 이끝폭이 작아지기 때문에 제작상의 한계조건을 만족하기 위해서는 더이상 크게 할 수 없는 한계 편심량이 존재한다.²

이에 본 연구에서는 다양한 치형곡선을 이용하여 내부로터를 설계하고 이를 바탕으로 외부로터를 설계하고자 한다. 여기에서 기존 방식의 내부로터에 임의의 곡선을 삽입하면 한계 편심량보다 편심량을 크게 하더라도 내부로터 이끝폭이 제작상의 한계조건을 만족시킬 수 있게 된다. 이를 위해 하이포(이하, Hypocy) 및 에피 사이클로이드 곡선(이하, Epicy) 사이에 원호 곡선(이하, Arc)을 삽입하여 내부로터를 설계하고 이를 바탕으로 외부로터를 설계하는 방식을 채택하였다. 또한 유량 및 유량맥동 등의 목적함수값을 계산하여 최적 성능의 로터를 설계하고자 한다.

2. 내부로터 설계

“Hypocycloid+Arc+Epicycloid” 방식의 내부로터를 설계함에 있어 아래의 Fig. 1에서와 같이 Hypocy 및 Epicy 사이에 곡률반경이 r_a 인 Arc를 삽입한다. 여기에서 내외부로터 잇수가 Z_1, Z_2 이고 편심량이 e 인 내부로터 중심점 $O_1(e, 0)$ 을 기준으로, 한 피치각도에서 β_1 및 β_5 만큼 Hypocy, β_2 및 β_4 만큼 Arc, β_3 만큼 Epicy으로 조합하여 설계한다. 이때, Hypocy 및 Epicy의 구름원 반경을 $r_h, r_e, O_1(e, 0)$ 이 중심인 기초원 반경을 $r_{bh}, r_{be}, O_1(e, 0)$ 이 중심이고 Hypocy 및 Arc 연결점 P_1, P_4 를 지나는 원의 반경을 r_{p1} , 이 원에서 점 P_1 에의 접선과 Arc의 접선이 이루는 예각을 $\gamma(\text{deg})$, Arc 및 Epi 연결점 P_2, P_3 를 지나는 원의 반경을 r_{p2} 라 한다.

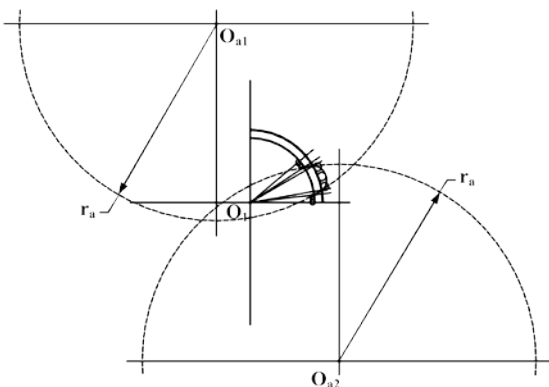


Fig. 1 Inner rotor of “Hypocycloid+Arc+Epicycloid” type

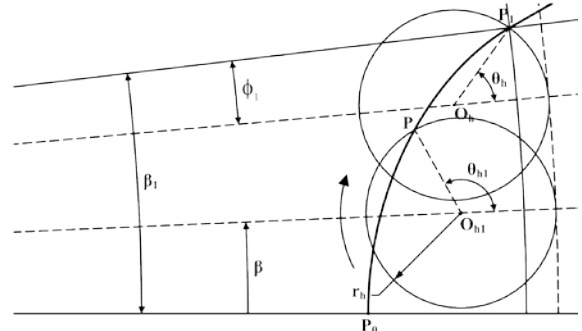


Fig. 2 Hypocycloid curve

Fig. 2를 참조하면 r_{bh} 는 r_{p1} 과 일치하지 않고 구름원의 이동각은 β , 회전각은 $(\pi - \theta_{h1})$ 와 같으므로, Hypocy 구성방정식은 $0 \leq \beta < \beta_1 - \phi_1$ 의 범위에서 $\Delta O_h P_1 O_1$ 에 제 2 코사인법칙을 적용, r_{bh} 와 r_h 의 관계식에 의해 구할 수 있다.

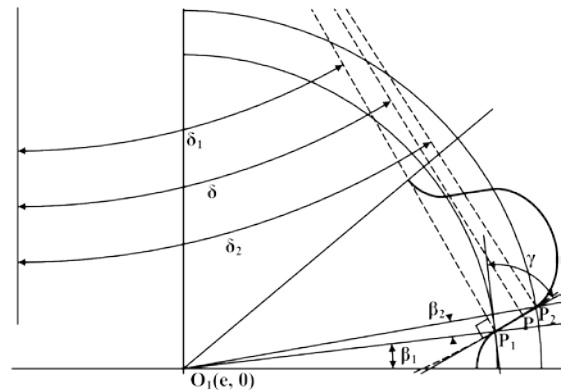


Fig. 3 Arc curve

Arc 구성방정식은 위의 Fig. 3에서와 같이 $r_{p1}, r_{p2}, \beta_1, \beta_2$ 를 이용한 점 P_1, P_2 의 좌표와 원의 방정식을 이용하면 도출가능하다. 또한 아래의 Fig. 4에서 $r_{be} \neq r_{p2}$ 이고 구름원 이동각은 β , 회전각은 θ_e 와 같으므로, Epicy 구성방정식은 $\beta_1 + \beta_2 + \phi_2 \leq \beta < \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - \phi_2$ 의 범위에서 $\Delta O_1 P_2 O_e$ 에 제 2 코사인법칙을 적용, r_{be} 와 r_e 의 관계식에 의해 구할 수 있다.

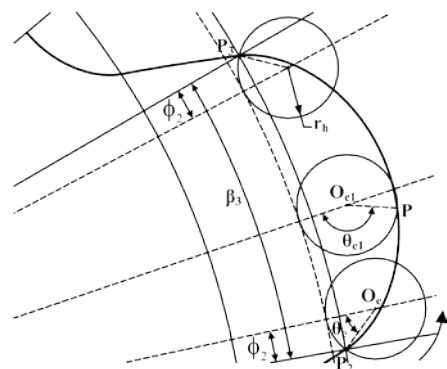


Fig. 4 Epicycloid curve

3. 외부로터 설계

상기 Fig. 2, 3 에서와 마찬가지로 나머지 Arc, Hypocy 구성방정식을 구한다. 또한 점 P_1, P_2 에서 원활하게 연결될 수 있도록 5 개의 경계조건식을 유도하여 내부변수 $r_a, r_b, r_c, r_{p1}, r_{p2}$ 값 및 범위를 도출한 후, 내부로터를 설계한다. 이어, 아래의 Fig. 5 에서와 같이 로터 회전시물레이션 관찰 결과를 통해 내외부로터 구성방정식의 관계식을 구한다. 이로써 내부로터 포락원의 최외곽 곡선군 형상에 근접한다.

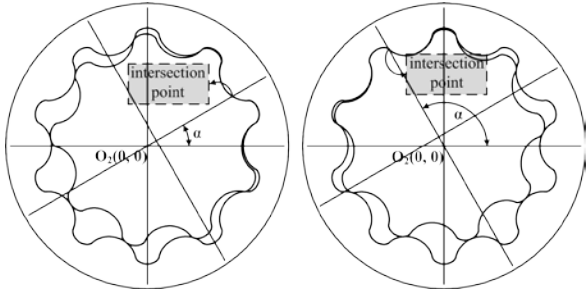


Fig. 5 Rotate simulation

상기의 관계식을 바탕으로 내외부로터를 설계하면 아래의 Fig. 6 에서와 같이 간섭이 발생함을 알 수 있다. 이때, 최대간섭량 발생지점에서 틱간극 t_p 만큼 떨어질 수 있도록 내부로터의 Hypocy, Arc 변환시 수정폭계수 n 을, 수정범위계수 k 가 적용된 범위에서의 Epicy 변환시 n 을, 이후 일정 범위에서는 가변등차간격을 갖는 수정폭계수 n' 를, 외부로터 반 피치구간의 나머지 범위에서는 수정폭계수를 미 적용하는 방식으로 외부로터를 수정하여 설계한다.

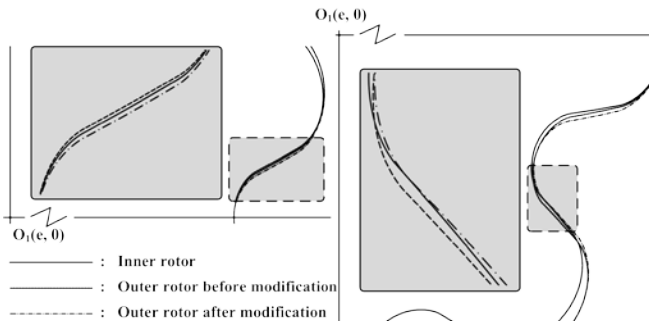


Fig. 6 Interference

4. 목적함수 계산 및 최적설계

순간유량은 내외부로터가 각각의 중심점 $O_1(e, 0), O_2(0, 0)$ 를 중심으로 $Z_2:Z_1$ 의 비율의 각도만큼 CCW 방향으로 회전할 때, 외부로터 매회전각도 대비 챔버면적 변화율을 계산하여 구한다. 이때 아래 Fig. 7 에서와 같이 가장 작은 점간거리를 갖는 가상접촉점 탐색법으로 챔버 경계영역을 정하고 가상접촉점 생성 방식에 따른 조건을 부여하여 챔버면적을 계산한다. 또한 여기에서의 회전은 불연속회전이므로 챔버면적에 대한 3 차다항식 회귀분석을 통해 순간유량을 계산하며, 이로써 유량/유량맥동값을 도출한다.

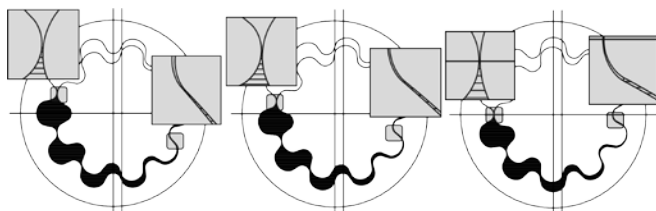


Fig. 7 Chamber

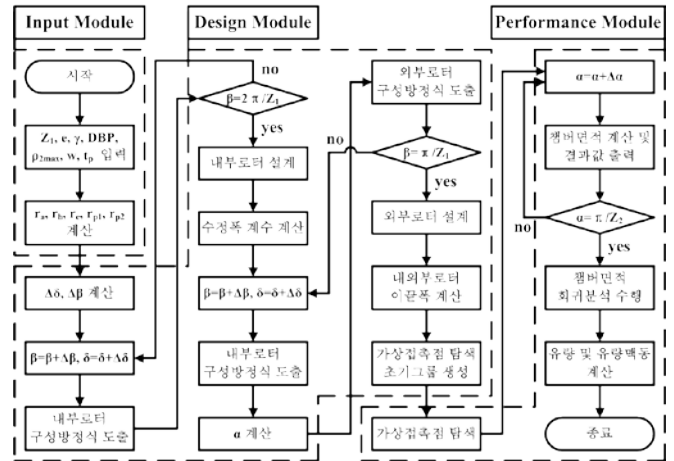


Fig. 8 Rotor design algorithm

$Z_1 = 9$, 내부로터를 구성하는 점간거리 (DBP) 0.005mm, 외부로터 치저경 (ρ_{2max}) 12mm, 로터두께 (w) 7.2mm, 틱간극 0.025mm 인 경우, e 를 1.26~1.41 에서 0.01 단위로 선택하고, γ 를 79~65 으로 0.1° 씩 감소시켜가며 상기의 Fig. 8 의 알고리즘으로 구축한 자동화 프로그램을 구동하였다. 이때, 내부로터 이끝폭(w_i)은 증가, 외부로터 이끝폭(w_o) 및 유량맥동 (I)은 감소하며, 유량 (q)은 일정하나, e 가 증가할수록 q 도 증가하였다. 여기에서 w_i 는 설계 한계조건 2mm 를 모두 만족하나, w_o 는 그렇지 않으므로, 아래 Table. 1 의 예시와 같이 w_o 에 대한 설계 한계조건을 만족하는 γ_{lim} 을 구함으로써 각 편심량에서의 로터 최적설계가 가능하다.

Table 1 Optimal design of rotor

e	γ_{lim}	w_i	w_o	q (cc/rev)	I (%)
1.26	74.8	3.9545	2.0020	1.1728	7.0208
1.34	68.7	3.4034	2.0128	1.2276	7.0668
1.41	65.6	2.8877	2.0111	1.2736	7.0819

5. 결론

한 피치구간을 Hypocy 및 Epicy 사이에 Arc 를 삽입하여 내부로터를 설계하고, 로터 회전시물레이션 관찰을 통한 관계식 및 내외부로터 간섭회피를 위한 방식을 이용하여 외부로터를 설계하였다. 이어 챔버면적 계산법을 통해 임의의 편심량 및 γ 에서 유량 및 유량맥동값을 도출한 결과, 각 편심량에서의 최적설계된 로터 설계변수를 얻을 수 있었다. 이로써 고유량/저맥동 측면에서 보다 우수한 로터를 설계할 수 있다. 또한 본 연구결과의 로터는 침점 및 루프가 발생하지 않고 접촉점이 외부로터 잇수보다 적게 발생함으로써 마멸측면에서 우수할 것으로 예상되므로, 앞으로 이에 대한 연구를 진행할 계획이다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. Harumitsu SASAKI, Naoki INUI, Yoshiyuki SHIMADA and Daisuke OGARA, "Development of High Efficiency P/M Internal Gear Pump Rotor (Megafloid Rotor)," SEI Technical Review, **66**, 124-128, 2008
2. 최태훈, 정성운, 조해용, 김철, "내부로터가 다양한 곡선의 조합으로 구성된 제로터의 설계," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, 263-264, 2009