

하이포 제로터 기어 펌프의 건마멸 최적설계

Optimal Wear design for a Hypogeroator gear Pump

*윤평화¹, 심무용¹, #권순만², 신중호²

*P. H. Yun¹, M. Y. Sim¹, #S. M. Kwon(smkwon@changwon.ac.kr)², J. H. Shin²

¹창원대학교 대학원 기계설계공학과, ²창원대학교 기계설계공학과

Key words : Hypogeroator gear pump, Genetic algorithm, Hertzian contact stress, Wear rate proportional factor

1. 서론

본 논문에서는 하이포 트로코이드 곡선을 이용한 제로터(gerotor) 기어 펌프의 접촉응력과 건식 마멸 특성으로부터 로터의 형상 설계를 위한 지표인 마멸 비례계수(wear rate proportional factor, WRPF)를 정의한다. 이의 고찰을 통해 내마멸 설계 최적화를 위한 유전 알고리즘(genetic algorithm, GA)을 이용하여 수행하였다.

2. 외부로터 형상설계^(1,2)

기존 에피 트로코이드 기반 제로터 펌프와는 달리 먼저 내부로터 설계제원(R, R_r, E, N)이 결정됨에 따라 외부로터 치형의 형상이 속도의 순간중심(Fig. 1)을 이용하여 결정되어질 수 있다.

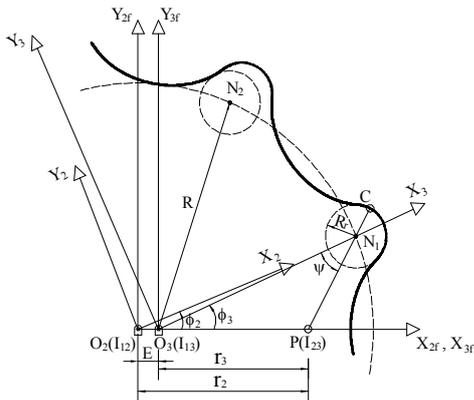


Fig. 1 Inner-rotor design parameters for an outer-rotor

외부로터가 임의의 순간의 회전각 θ_2 만큼 회전했을 때 S_{2f} -고 정좌표계에서의 접촉점 ${}^{2f}C$ 의 좌표는 다음과 같다.

$${}^{2f}C = M_{2f,2}(\theta_2)M_{2,2f}(\phi_2)M_{2f,3}(\phi_3) {}^3C \quad (1)$$

여기서 ${}^3C = [R + R_r \cos \psi \quad R_r \sin \psi \quad 0 \quad 1]^T$ 이며, $M_{i,j}$ 는 j -좌표계에서 i -좌표계로의 동차 좌표변환 행렬이다.

3. 접촉응력⁽³⁾

i -번째 내부로터 치형과 외부로터 치형 사이의 접촉력 F_i (Fig. 2 참조)는 모멘트 평형식과 Palmgren 관계식⁽⁴⁾에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_i = \frac{T_{in} L_i^n}{\sum_{j=1}^N L_j^{n+1}} \quad (2)$$

여기서 k_e 는 비틀림 강성으로 모든 접촉점에서 일정하다고 가정하였고 $n=10/9$ 이다.

식 (2)에 의해 접촉력이 구해지면 접촉점에서의 Hertz 접촉응력(Hertzian contact stress) p_H 는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

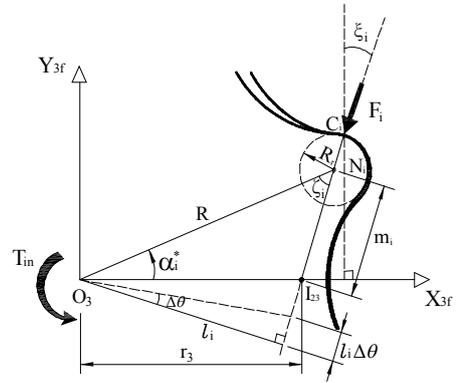


Fig. 2 Distribution of contact forces

$$p_H = \sqrt{\frac{F_i E^*}{2\pi H R_i^*}} \quad (3)$$

여기서 E^* 는 등가 탄성계수, R_i^* 는 등가 곡률반경이며, H 는 로터의 두께를 의미한다.

4. 마멸률 비례계수

마멸(wear)은 상대접촉 마찰운동을 하는 두 물체의 표면으로부터 소재의 일부 또는 입자들이 이탈되는 현상으로 정의되며, 일반적으로 건 접촉(dry contact)시 마멸률은 접촉응력(p_H)과 미끄럼 속도(V_s)의 곱에 비례한다.

이에 본 논문에서는 내부로터의 회전에 따른 $p_H V_s / \omega_3$ 를 WRPF로 정의한다. 이때 미끄럼 속도(V_s)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_s = \left(\frac{m_i + R_r}{N+1} \right) \omega_3 \quad (4)$$

5. 마멸률 비례계수의 최적화

본 논문에서는 오일펌프의 개발 과정에서 구매자의 요구에 따른 펌프의 1회전 당 토출 유량을 주분만야, 이를 유지 확보하면서 WRPF를 최소화하는 펌프의 형상설계 제원을 찾는 최적설계를 GA 기법을 도입하여 수행하였다.

이를 위해 내부로터의 설계제원인 R, R_r, E, N 과 H 를 설계 변수로 적용하여 WRPF를 최소화하는 최적화 문제를 다음과 같이 정의하였다. 즉

Find $\mathbf{X} = \{R, R_r, E, H, N = 8\}$

Minimize $f(\mathbf{X}) = WRPF = p_H V_s / \omega_3$

Subject to $\begin{cases} \mu > 1 \\ R_r < (R_r)_{\max} \\ V_{th} = 12.62 \text{ (cc/rev)} \end{cases}$

위와 같이 3가지 구속조건을 고려하여 기본 설계조건을 기준으로 다음과 같은 벌칙함수를 구성하였다.

$$P = \sum_{i=1}^3 B_i g_i = g_1 + g_2 + g_3 \quad (5)$$

여기서 B_i 는 벌칙의 가중치이며, g_1, g_2 는 형상설계 시 형상의 꼬임으로 인한 외부로터의 언더컷방지(non-undercut), g_3 는 일정 토출량에 대한 구속조건이다.

최적화를 판단하는 척도인 적합도(fitness)는 목적함수(f')는 (WRPF/100)으로 설정하고 식 (5)의 벌칙함수와 조합하여 망소특성을 가지는 적합도 함수를 다음과 같이 결정하였다.

$$Fit = \frac{K}{f' + \gamma P} = \frac{1700}{(WRPF/100) + P} \quad (6)$$

여기서 K 는 적합도 계수로서 설계제원을 바탕으로 WRPF의 최대값의 근사치인 1700을 K 값으로 설정하였다. 그리고 주요 설계 변수인 R, R_r, E 와 H 의 기존 제원 및 최적 설계값의 범위를 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Parameter ranges for GA

Parameters		Searching ranges
R	32 mm	29 ~ 46
R_r	4.0 mm	1 ~ 10
E	3.5 mm	3 ~ 4
H	9.25 mm	9 ~ 10
N	8	8 (fixed)

6. 결과 검토 및 분석

Fig 3에서는 최적화의 목적함수인 WRPF의 수렴 경향을 나타내고 있다. 약 220세대 이후부터 적합도의 수렴과정과 관계하여 WRPF 역시 일정한 값으로 유지되었다.

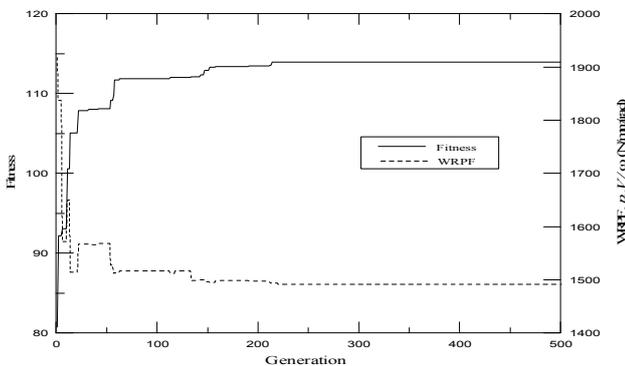


Fig. 3 History of fitness and WRPF

Fig 4는 최적화 수행 전·후의 WRPF의 변화를 나타내고 있으며, 최적화를 통해서 수행 전보다 WRPF값이 감소함을 확인할 수 있다.

Table 2의 최적화 결과에서 알 수 있듯이 WRPF는 1709.11에서 약 12.8% 감소한 1491.01로 나타났으며, 이론 토출량은 동일하게 유지되었다. 또, 내마멸 특성이 향상된 로터 형상설계 제원을 Table 3에 정리하였다.

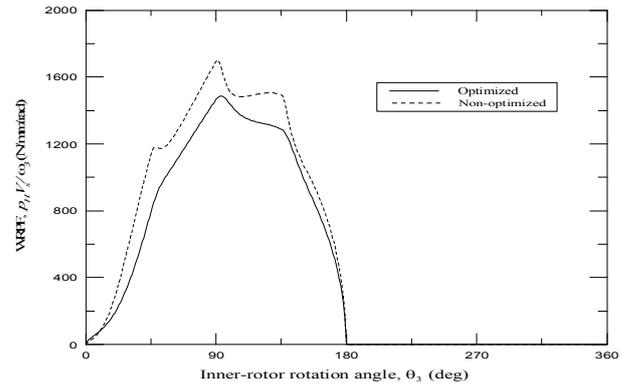


Fig. 4 Comparison of WRPF

Table 2 Optimization for design parameters

Analysis parameter	Non-optimized	Optimized
F_{max}	105.523 (N)	116.504 (N)
$(p_H)_{max}$	376.73 (MPa)	283.02 (MPa)
$(V_s)_{max}$	7.111 (mm/rad)	6.969 (mm/rad)
V_{th}	12.62 (cc/rev)	12.62 (cc/rev)
$(WRPF)_{max}$	1709.11 (N/mm/rad)	1491.01 (N/mm/rad)

Table 3 Non-optimized & optimized results

Design parameter	Non-optimized	Optimized
N	8 (Fixed)	8 (Fixed)
R	32 mm	31.91 mm
R_r	4 mm	6.55 mm
E	3.5 mm	3.03 mm
H	9.25 mm	9.99 mm

7. 결론

본 논문에서는 하이포 체로터 기어 펌프의 건식 마멸 특성으로부터 로터의 재료 선정과 형상 설계를 위한 상대적 지표가 될 수 있는 WRPF를 정의하였다. 또한, GA 최적화 기법을 통해 필요한 토출량을 보장하면서 WRPF를 최소화하여 약 12.8%의 내구성이 향상되어진 설계제원을 얻을 수 있었다.

후기

본 연구는 국립 창원대학교 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았음.

참고문헌

- Shin, J. H., Kwon, S. M., "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.
- Kang, H.S., 2008, "A Study on Profile Design of a Hypotrochoidal Gear Pump," Master thesis, Changwon National University.
- Kwon, S.-M., Kim, M.S., Shin, J.-H., 2008, "Analytical Wear Model of a Gerotor Pump without Hydrodynamic Effect," JSME, Journal of Advanced Mechanical Design, System, and Manufacturing, Vol. 2, No. 2, pp. 230~237.
- Palmgren, A., 1967, Les Roulements. Description, Theorie, Applications (SKF Compagnie d'Applications Mecaniques).