

공작기계용 서보모터 일체형 유압펌프의 신뢰성평가 A Reliability Assessment of Servo Motor Built in Type Hydraulic Pump

*성백주¹, #이태기²

*B.J.Sung¹, #T.G.Lee(tglee@ilrim.com)²

¹한국기계연구원 신뢰성평가센터, ²일림나노텍(주) 기술연구소

Key words : Built in Type Hydraulic Pump, Reliability Assessment, Acceleration Model, Accelerated life test

1. 서론

서보모터 일체형 유압펌프는 유압동력발생 장치의 일종으로서, 서보모터가 작동유를 보관하는 하우징 내부에 직접 위치하고, 서보모터와 유압펌프가 하나의 회전축으로 연결된 구조를 가짐으로서, 컴팩트한 크기와 저소음화, 그리고 소비전력 및 설치공간을 절감할 수 있다는 장점이 있다.

또한, 별도의 밸브블록을 사용하지 않고도 사용자가 설정하는 서보모터의 속도와 사판각도 조절만으로서 간단하게 필요한 유량과 압력을 제어할 수 있다.

본 연구에서는, 공작기계에 주로 사용되는 서보모터 일체형 유압펌프에 대한 신뢰성평가 기술 자료로서, 참고문헌, 제조사의 고장 데이터, 그리고 전문가들의 의견을 종합하여, 4종의 고장 분석 자료를 작성하고 무고장 수명시험 시간 산출 및 최적 가속모델을 제안하고 이것에 의해서 가속계수 및 가속수명시험시간 등을 산출하였다[1-2].

2. 서보모터 일체형 유압펌프

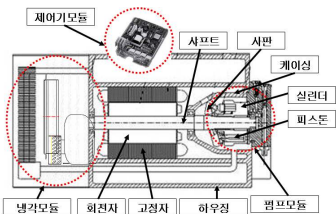


Fig. 1 Structure of servo motor built in type hydraulic pump

Fig.1에 나타낸 서보모터 일체형 유압펌프의 구조를 보면, 하우징 내부에 작동유와 서보모터 고정자 및 회전자가 삽입되고, 오른쪽의 유압펌프 모듈과 서보모터가 하나의 샤프트로 연결되어 있는 구조를 가진다. 또한 왼쪽의 냉각모듈과 하우징, 유압펌프가 하나의 플레이트에 존재하는 컴팩트한 구조를 가진다.

3. 서보모터 일체형 유압펌프의 고장분석

고장분석 자료에는 고장모드 및 메커니즘 분석(FMMA:Failure Modes and Mechanism Analysis), 고장모드, 영향 및 치명도 분석(FMECA:Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis), 결함 나무 분석(FTA:Fault Tree Analysis) 및 2단계 품질기능 전개(2-Stage QFD;2-Stage Quality Function Deployment) 등이 있고, 자세한 내용은 Table 1,2 및 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1. FMECA

주요 구성항	기능	고장 모드	고장 메커니즘	고장 원인	고장 영향	치명도 평가	고장 발생 빈도	치명도
유압 펌프	유압 유체 발생	압력, 유량 특성 불량	내부 유체 누출, 유압유체 특성 불량	이물질 혼입, 유압유체 특성 불량	진동, 소음 발생	상	상	9
서보 모터	유압 펌프 기동	코일 손상	과부하	과부하	기동 지연	상	상	9
하우징	유압유 저장	내부 코팅 벗겨짐으로 인한 내부 이물질 발생	과열, 과압, 진동으로 인한 내부 부식	과열, 과압, 진동으로 인한 내부 부식	내부 이물질 발생	상	상	9
에어 브리더	유압 펌프에 공기 흡입	공기 흡입 부족	공기 흡입 부족	에어 필터의 막힘, 유압유체 특성 불량	필터 막힘	상	중	8
냉각용 쿨러	서보모터 일체형 유압 펌프의 온도 상승	개스르 손상 및 누유열량 변형	과부하	과열, 과압, 이상 사용	누유 발생	상	상	9
센서 (온도, 액백)	시스템의 상태 변수를 표시	스프링 인젝터의 단락, 과열	과열, 과압	과열, 과압, 과전류	과열, 과압, 과전류	상	중	8

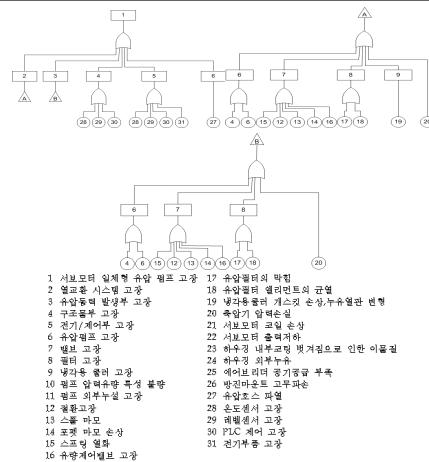


Fig. 1 FTA

Table 2. 2-Stage QFD

주요 구성품	고장모드	시험항목																
		중요도계수	외관	회전속도	경속도	경유유량	경유온도	압력	유압	유속	유압	유속	유압	유속	유압	유속	유압	유속
유압펌프	압력, 유량 특성 불량	51	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
서보모터	외부부품고장	22	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	내부부품고장	14	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	회전속도	20	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
하우징	내부코팅 벗겨짐	19	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	이물질 발생	14	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
외부 브러쉬	외부누유 발생	14	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
냉각용 물리	가스켓 손상	21	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	누유 발생	17	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
센서 (온도, 회전)	스토프 위치 미검출	13	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	개회로	13	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	시험 유효성 점수 및 순위	08	008	36	08	314	44	36	36	549	549	497	106	180	180	149	620	
	(test effectiveness score and rank)	2	2	13	2	11	8	12	10	5	9	15	7	14	14	16	1	

1. 평가척도: ◎가장중요(5 점), ●중요(3 점), ▲보통(1 점)
 2. 시험항목별 유효성점수 = ∑(중요도점수 × 평가척도)

4. 서보모터 일체형 유압펌프의 가속모델

앞 절에서 작성된 신뢰성 평가 시험항목 중 서보모터 일체형 유압펌프의 수명내구성을 확인하는 수명시험의 절감을 위해 가속수명시험 시간을 산출하였다. 국내 산업체를 대상으로 조사한 결과 서보모터 일체형 유압펌프의 수명시간은 현장 사용 조건의 하중을 고려하여 신뢰수준 80 %로 B₁₀ 수명 30,000시간을 보장하는 것으로 하였다. 또한 문헌 조사에 의하면 형상 모수(β)가 1.2인 와이블 (Weibull) 분포를 따른다[3]. 무고장 시험시간 산출을 위한 계산식은 식(1)과 같다.

$$t_n = B_{10p} \cdot \left[\frac{\ln(1-CL)}{n \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (1)$$

$$= 3.0 \times 10^4 \cdot \left[\frac{\ln(1-0.8)}{10 \cdot \ln(1-0.1)} \right]^{\frac{1}{1.2}} \approx 42702hr$$

여기서, t_n: 무고장 시험 시간, B_{10p}: 보증 수명, CL: 신뢰 수준(confidence level), n: 시험중인 전체 아이템의 개수(시료수), p: 불 신뢰도(B₁₀ 수명이면 p = 0.1), β: 형상 모수

무고장 시험인 42,702시간에 너무 많은 시간이 소요 되므로 압력과 속도를 가속스트레스로 고려한 General Log-Linear 가속 모델을 적용하여 시험 조건과 실제 사용 조건을 고려한 가속 계수를 결정하여 가속 무고장 시험시간을 산출한다. 압력과 속도의 사용 조건은 각각 3.4 MPa, 1 563 r/min이고, 가속 조건은 5.1 MPa, 2 000 r/min으로 가속 계수를 선정하였으며 계산식은 식(2)와 같다.[4]

$$AF = \left(\frac{P_{test}}{P_{field}} \right)^m \times \left(\frac{\omega_{test}}{\omega_{field}} \right)^l \quad (2)$$

$$AF = \left(\frac{5.1}{3.4} \right)^8 \times \left(\frac{2000}{1563} \right)^1 = 32.79451 \approx 32.8$$

여기서, AF: 가속계수(Acceleration Factor), P_{test}: 가속압력 (MPa), P_{field}: 사용압력 (MPa), ω_{test}: 가속

속도 (r/min), ω_{field}: 사용속도 (r/min), m, l: 가속지수 (m=8, l=1)

식 (2)에서 산출된 가속 계수를 식(3)에 대입하여 가속 시험 시간(t_{na})이 산출된다.

$$t_{na} = \frac{t_n}{AF} = \frac{42702}{32.8} \approx 1300hr \quad (3)$$

즉, 이것은 서보모터 일체형 유압펌프 시료를 1,300시간까지 가속 수명 시험 한 후, 10개 모두 고장이 없고 종합 성능 시험의 평가기준을 만족하면, 신뢰 수준 80 %에서 작동 시간 30,000시간(B10 수명)을 보장한다는 것이 된다.

5. 결론

본 논문에서는 서보모터 일체형 유압펌프에 대한 고장분석자료를 작성하고 수명시험시간 단축을 위한 가속 모델을 제안하였다.

- 1) 고장 메커니즘 분석을 위하여 FMMA, FMECA, FTA 등과 같은 상세 고장분석자료를 작성하였다.
- 2) 2-Stage QFD를 통해 서보모터 일체형 유압펌프의 신뢰성평가를 위한 12가지의 종합성능시험, 4가지의 내환경성시험 항목을 결정하고, 중요도에 따른 시험우선순위를 결정하였다.
- 3) 서보모터 일체형 유압펌프에 대한 주요 시험 항목 중, 시험 유효성이 가장 높으나 42,702시간이라는 장시간 소요되는 무고장 수명시험의 절감을 위해 가속모델을 제안하고, 이것에 의한 가속계수를 산출하여 시험대상 시료 10개에 대한 가속수명시험 시간을 1,300시간으로 감소시켰다.

참고문헌

1. Logistics Engineering Technology Branch Carederock div, "Hand book of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment", Naval Surface Warfare Center Carderock Division, 1998. 9
2. "Machinery Failure Analysis and Troubleshooting", Heinz P. Bloch, Fred K. Geitner, Gulf Publishing Company
3. Barringer & Associates, Inc., Weibull data-base
4. Ivantysyn Jaroslav and Ivantysynova Monika, Hydrostatic Pumps and Motors, Academia Book International, New Delhi, India, 2001