

연료분사펌프 내구시험에 관한 신뢰성적 접근방안

문정하*·김형수**·김태형***

Reliability Approach Scheme of Fuel Injection Pump Durability Test

Joung-Ha Moon+, Houg-Soo Kim++ and Tae-Hyoung Kim+++

1. 서론

선박용 중속디젤기관 연료분사펌프(이하 연료분사펌프라 한다.)는 선박의 주기관 및 보조기관으로 널리 사용되고 있는 중속디젤기관 연료에 고압을 가하여 소량을 단시간내 정확히 토출하여 기관내 연료 분무상태가 완전하도록 하는 동시에 기관의 부하에 따라 송유량을 조정하는등 기관성능에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 연료분사펌프는 기관의 상부에 설치되고, 고압의 유체를 이송하므로 고압 환경조건에 장시간 노출되어도 안정된 성능을 유지하는것이 무엇보다 필수적으로 요구된다. 따라서 연료분사 펌프의 사용환경하에 수명시험을 통하여 수명과 신뢰도를 향상시킴으로서 부품의 완성도를 높혀 신뢰성을 향상시키기 위하여 연료분사펌프의 내구시험에 관한 신뢰성적 접근을 하고자 한다.

2. 시험방법

2.1 치수검사

연료분사펌프의 치수 정밀가공은 기본성능의 실현 및 마모나 고착등의 고장원인을 제거하기위해 필수적으로 확인되어야 한다. 치수검사는 제조자가 제시한 도면과 일치 여부를 확인하고 주요부분에 대한 정밀 측정으로 수행하는 것으로 하였다.

2.2 분사량 시험

연료분사펌프는 연료 분사밸브에 일정한 유량의 연료유를 압송하여 연료분사노즐을 통하여 분사한다. 분사량 시험을 통하여 부품에 대해 제조자가 제시하는 연료유 분사량의 만족 여부를 시험할수있다. 시험방법은 KS B 6003 4.2에따라 실시하는 것으로 하였다.

2.3 분사압 시험

연료유는 연료분사밸브의 개방압력 이상으로 송출되어 연소 효율이 높은 정상으로 분무되어야 하므로 고압을 유지하여야 하며, 따라서 주요부품이 이에대한 내구성이 있어야 한다. 분사압시험은 보통의 압력계를 설치하여 측정하는 것으로 하였다.

2.4 진동시험

연료분사펌프는 선박용 디젤기관 상부에 고정되기 때문에 실제엔진에서 발생하는 진동에 직접 노출되어 많은 영향을 받기 때문에 선박용 중속디젤기관 연료분사펌프는 진동에대한 내구성을 가져야 한다. 내진동에 대한 시험은 ISO 10055의 진동 시험에 따라수행하는 것으로 하였다.

2.5 수압시험

연료분사펌프의 압력측은 연료를 고압으로 압축하게 되므로 고압환경에서 허용안전도에대한 내구성을 가져야 한다. 이에

허용안전도를 설계압력의 1.5배 또는 설계압력에 30MPa을 더한값보다 작은 압력을 30분간 가하는 것으로 시험을 수행하는 것으로 하였다.

2.6 수명평가시험

2.6.1 신뢰성 샘플링

와이블 분포에서 소비자 위험(2중 오류)이 β , 합격판정개수가 C 일 때 시료수 n 은 다음과 같다.

$$F(t) = \left[\frac{t \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{m} \right)}{MTTF} \right]^m = \left[\frac{t \cdot \ln [1 - 0.1]^{-\frac{1}{m}}}{B_{10}} \right]^m \dots \dots \dots (1)$$

$$n \geq \frac{\chi_{\beta}^2 [2(C+1)]}{2 \cdot \left(\frac{t}{B_{10}} \right)^m \cdot \ln [1 - 0.1]^{-1}} \dots \dots \dots (2)$$

이 때 시료수는 시험시간(보증하고자하는 B_{10} 수명과)의 비와 형상 모수, 신뢰 수준, 합격 판정 개수에 의하여 정하여진다. 또한 시료수를 정하고 이에 대한 시험시간을 정할 수도 있다. 와이블 해석을 하려면 5개 이상의 데이터가 필요하여 시료수는 6개로 하였다. 와이블 분포에서 형상 모수 m 은 엔진 피스톤식의 대표적인 형상모수값인 1.4로 정하였고, 신뢰수준 60% ($\beta = 0.4$), 합격판정개수 $C = 0$ 일 때 시료수가 6개이면 시험횟수는 다음과 같다.

$$\frac{t}{B_{10}} \geq \left(\frac{\chi_{\beta}^2 [2(C+1)]}{2 \cdot n \cdot \ln [1 - 0.1]^{-1}} \right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{\chi_{0.4}^2 [2]}{2 \cdot 6 \cdot \ln [1 - 0.1]^{-1}} \right)^{\frac{1}{1.4}} \approx 1.304 \dots \dots \dots (3)$$

즉, 6개의 시료로 보증하고자 하는 B_{10} 수명의 1.3배 시험을 하여 고장이 1개도 없으면 B_{10} 수명을 60%의 신뢰수준으로 보증할 수 있다. 신뢰수준을 60%로 설정한 이유는 일반 선박에서는 숙련된 정비공이 항상 상주하고 있으므로 시험시간비와 시험시료수를 고려하여 적정하다고 판단되는 수준으로 제시하였다.

즉, 6개의 샘플로 보증하고자 하는 평균수명(MTBF)의 1.3배 시험을 하여 고장이 1개도 없으면 B_{10} 수명을 60%의 신뢰 수준으로 보증할 수 있다.

+ 문정하(한국해양대학교 기관시스템공학부, 한국조선기자재연구원).E-mail: jhmoon@koneri.re.kr, Tel: 051)831-6880
 ++ 김형수, 한국조선기자재연구원
 +++ 김태형, 한국조선기자재연구원

2.6.2 수명평가시험의 적용

이 시험 항목은 수명 예측을 위한 시험 항목이므로 가장 중요한 시험이라고 할 수 있다. 연료분사펌프업체의 수명시험방법이 정립되어 있지 않아 워킹그룹 위원회를 통하여 시험조건과 방법을 결정하였다.

선박용 중속 디젤기관 연료분사펌프는 토출밸브, 토출밸브시트, 스피공, 바렐, 플런저, 피니언, 락, 스프링으로 구성되어 있다. 본체에서 언급하는 B₁₀ 수명이란 지지부를 포함한 전체 연료분사펌프의 수명을 규정하는 것이 아니고, 전체 연료분사펌프의 Overhaul 주기 동안 초기성능의 저하가 없음을 보증하고자 한다. 일반적으로 연료분사펌프의 Overhaul 주기는 C 중유를 사용시 16 000 시간으로 제시되고 있다.

2.6.2.1 수명평가시험의 전제조건

디젤기관에서 작동되는 방식과 동일한 작동방식으로 구동되는 시험기에서 연료분사밸브와 함께 그 성능이 검증되어야 하고, 엔진 시운전 또는 운전 중 탑재에 의한 시험이 불가능하므로 실험실 시험이 가능한 것을 전제로 한다. 따라서 선박용 중속 디젤기관 연료분사펌프 워킹그룹에서는 수명시험을 수행함에 있어서 캠에 의한 구동방식으로 시험을 수행하도록 규정한다.

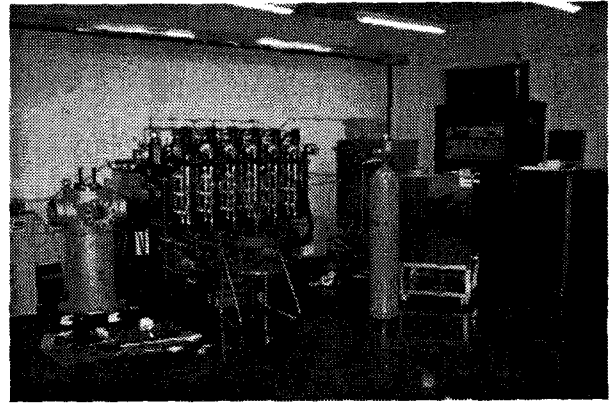
2.6.2.2 수명평가시험의 근거

선박용 중속 디젤기관 연료분사펌프는 장시간 연속운전이 적용되는 선박용 기자재로 선박용 발전기가 대표적이다. 선박에서 발전기로 사용되는 4행정 사이클 기관의 경우 일반적으로 정격 720 rpm에서 운전이 된다. 또한 연료분사펌프의 작동은 4행정 사이클 기관의 경우 크랭크샤프트 2회전에 1회 분사가 된다. 또한 제조사에서 제시하는 연료분사펌프의 점검 기간이 16 000 시간에 1번씩 개방검사를 권장하고 있다. 따라서 실제 고장이 발생되지 않아야 할 최장시간을 16 000 시간으로 판단하였다. 6개의 샘플에 대해 16 000 시간 동안의 연료분사펌프의 작동은 엔진의 분당회전수를 720 rpm으로 설정하였을 경우 $(720/2) \times 60 \times 16\ 000 = 3.5 \times 10^8$ 회이다. 연료분사펌프의 형상모수는 현재 정확한 값을 알 수는 없으나 엔진의 피스톤의 형상모수 대푯값이 1.4이고, 연료분사펌프의 작동방식은 엔진의 피스톤과 라이닝부위와 같다고 판단되므로 1.4를 적용한다. 그러므로 식 (3)에서 제시한 1.3배를 시험할 경우 16 000 시간의 연속운전에 대한 B₁₀이 보장된다. 따라서 3.5×10^8 회를 보증하기 위해서는 4.6×10^8 회의 수명시험에서 고장이 발견되지 않으면 16 000 시간을 보장할 수 있다. 따라서 형상모수가 1.4이고 샘플 6개일 때 신뢰수준 60%의 B₁₀ 수명으로 16 000 시간, 3.5×10^8 회를 보증하고자 할 경우 4.6×10^8 회를 작동 시험한다. 여기서 만약 가속화하기 위하여 엔진을 900 rpm으로 운전 시 시험시간을 산정하면 다음과 같다. 시험횟수/(엔진rpm/2)/60=시험시간, 즉 17 037 시간을 시험하게 된다. 따라서 피스톤의 형상모수 대푯값 1.4를 적용하여 6개의 샘플에 대해서 시험을 수행하면서 고장을 검출하고 그 검출된 결과로 바탕으로 실제 적용형상모수를 산정하여 그 값을 수명시험에 적용한다. 또한 4.6×10^8 회까지 고장 관측이 없을 경우 1.4를 적용한다.

3. 시험 장비

3.1 연료분사펌프 내구시험장치

위 시험을 수행하기 위해 디젤기관과 동일한 여건을 만들어 연료분사펌프를 설치해야하나 여건상 직접엔진을 만들어 시험할수 없기에 일반 엔진에서 연료분사펌프를 구동하는 시스템과 동일한 구조를 가진 시험기를 만들었다. 이시험기는 일반 연료분사펌프에 들어가는 연료는 C중유를 쓰며 온도는 120℃ 이상 가열하여 일반 디젤기관이 사용되는 환경과 같은 조건하에서 시험한다. 또한 캠 구동방식으로 450rpm이며 폭발과정이 없으므로 분사된 연료는 연료 탱크안으로 되돌아가는 순환방식의 시스템이다. 구동원은 45마력의 3상 유도전동기를 쓴다.



4. 고찰

위의 연료분사펌프 내구시험에 관한 신뢰성적 접근방안으로 선진제품과 우리나라의 제품을 서로 비교 시험하여 국산 연료분사펌프의 문제점과 선진제품의 특성을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 신뢰성 향상 지원을 통한 신뢰성 확보로 세계시장 진출의 교두보를 확보하여 세계시장 점유율을 확대할 수 있다. 신뢰성 향상 지원을 통하여 구축된 시스템과 분석기법을 실제 설계와 제조공정에 적용하여 신뢰성 확보와 공정의 합리화에 의한 양산에 의하여 성능과 기능에 있어서의 신뢰성 확보 및 제조원가의 절감을 기대할 수 있다.