

## T-50 항공기 유압조절 밸브 수명연장 방안

남용석\* · 김태환\* · 백승진\*\* · 김승현\*\* · 송석봉\*

### A Study on Life Cycle Extension of T-50 Aircraft Hydraulic Control Valve

Yongseog Nam\* · Taehwan Kim\* · Seungjin Baek\*\* · Seunghyun Kim\*\* · Seokbong Song\*

#### ABSTRACT

In General, the hydraulic system of T-50 Advanced Trainer is applied to flight control system, wheel & Brake system and fuel system for aircraft operation. The hydraulic system is operation with pressure of 3000psi. and many mechanical parts which is operated by hydraulic system has been stressed in incomplete environment same as heat and friction. for example, Oil leakage had occurred in the shutoff valve of FFP used in a certain period of time. After study, The crack progressed by fatigue due to the irregular hydraulic pressure and vibration has been identified as the reason of oil leakage. This paper presents life cycle extension plans of FFP shutoff valve by configuration improvements of shutoff valve and FFP hydraulic motor.

Key Words : Fuel Flow Proportioner, Shutoff valve, Life cycle extension, Hydraulic system

#### 1. 서 론

일반적으로 항공기 유압계통은 펌프에서 생성된 유압으로 플랩퍼론(Flaperon), 러더(Rudder), 수평미익(stabilator)의 조종면을 구동하는 작동기(Actuator)와 관련된 비행조종계통과 그 외 유압을 사용하는 착륙장치 및 각종 부가기능의 작동과 관련된 장치계통으로 구성된다. 유압계통은 피격 및 오작동으로 손실이 발생할 경우를 대비하여 복수(redundancy)의 다중화된 개념으로 계통을 구성한다. T-50 고등훈련기의 유압계통은 계통A와 계통B로 구성된다. 계통 A는 비행조종 계통 및 스피드 브레이크에 유

압을 공급하며 계통 B는 비행조종 계통 및 부가기능 작동 장치에 유압을 공급한다.

T-50 항공기는 유압계통의 안전하고, 효율적인 작동 성능을 위하여 여러 가지 구성품들로 구성되어 있다. 먼저, 유압계통 작동 중에 순간적인 압력의 급격한 증가 및 감소로 연결된 밸브 및 구성품의 충격을 완충시킬 수 있도록 축압기(Accumulator)를 사용하고 있으며, 저장조와 비행조종 작동기 계통에 각각 설치되어 있다. 그리고 유압유가 작동 온도범위 내에서 유지될 수 있도록 계통 A와 B 각각에 열교환기가 설치되어 있다. 또한 압력라인, 귀환라인, 케이스 드레인 라인에 필터를 장착하여 유압유를 정화시킴으로써 작동중 기계적 마찰로 발생하는 부스러기(chip)가 계통의 구성품에 유입되어 밀봉(sealing)을 파손시키고, 밸브의 작동을 방해

\* 정회원, 국방기술품질원 항공센터  
연락처, E-mail: nys0804@nate.com

\*\* 정회원, 한국항공우주산업(주)

하게 되는 요인들을 사전에 방지하도록 설계되어 있다.

연료 균등 분배기(FFP)는 Fig. 1과 같이 전방과 후방그룹 연료탱크로부터 공급되는 연료를 균등하게 소모하도록 하기 위한 장치로 유압계통에서 공급되는 3000 psi 압력으로 구동된다. 구동원인 유압은 Shut off valve에 의해 제어되며 open/close 타입의 수동제어 방식으로 작동된다. 운용 중에서는 Open 상태로 밸브를 두고 지상에서 연료계통의 전기 펌프 점검 또는 연료 이송량 점검 시에는 밸브를 Close 상태로 두어 연료 균등 분배기로의 유압을 차단한다.

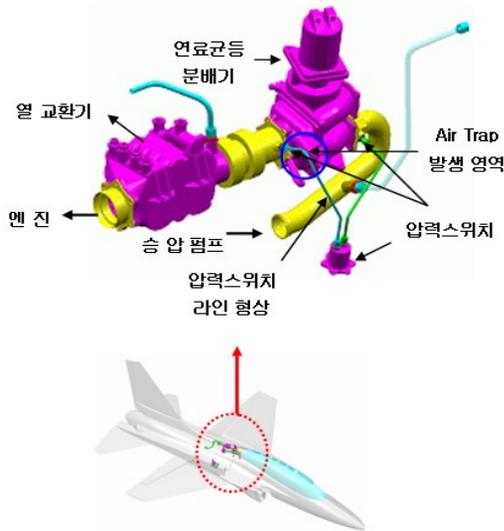


Fig. 1 Schematic of FFP Connection

FFP의 유압 모터를 일정한 회전수로 구동할 수 있도록, 밸브 하단에는 유량 조절 밸브를 장착하여 일정 유량을 공급토록 되어 있다. 일정 시간 운용된 항공기 중 Shut off valve 조립 부위에서의 잦은 누유 현상이 발생되었으며 고장 탐구를 위해 밸브 분해 및 비파괴 검사(형광 침투 검사)를 수행한 결과, 밸브 내부 Seal 안착 부위의 균열을 확인하였다. 균열 발생 부위는 밸브의 상부와 하부를 연결하는 나사산 부위까지 진전되었으며 관통된 균열부위를 통해 유압 유가 빠져 나옴을 확인 하였다.

본 논문에서는 밸브 균열 부위를 SEM 등의 전자현미경 분석을 통해 균열 현상의 정의 및 밸브 자체의 소재적 결함 검토를 통해 균열 발생의 대표적 원인을 확인하였다. 또한, 결함 발생된 항공기를 대상으로 하여 연료 균등 분배기와 Shut Off Valve사이의 압력 특성 및 진동 특성을 시험을 통한 데이터를 획득하여 균열 발생 부위의 압력 및 진동 특성과 균열과의 연관성을 확인하였다. 이를 토대로 연료 균등 분배기의 자체의 설계 변경 필요 부분 또는 Shut off Valve 자체의 설계적 보완 부분을 도출하고자 하였다

## 2. 본 론

### 2.1 유압 조절 밸브 및 FFP 시스템 구성

유압 조절 밸브 시스템은 Fig. 2와 같이 FFP의 유압 모터를 일정한 회전수로 구동할 수 있도록, 밸브 하단에는 유량 조절 밸브를 장착하여 일정 유량을 공급토록 되어 있다.

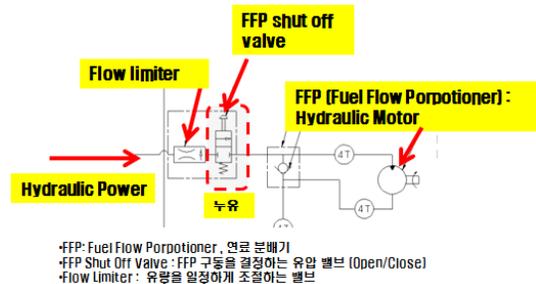


Fig. 2 Schematic of FFP Shutoff valve

연료 균등 분배기(FFP)는 Fig. 3과 같이 유압계통에서 공급되는 고압의 유압으로 모터를 구동시켜 공통축 상의 베인을 동일한 회전수로 가동시켜 출력 압력을 증가시키는 유압 구동식 베인형 펌프이다. 그리고 항공기의 전방그룹 F3연료탱크와 후방그룹 F4탱크에 있는 승압펌프(Boost Pump)에서 각각 분리된 FFP입구로 균등하게 연료가 유입되도록 되어 있으며, 엔진으로 공급되는 연료압력을 약20 psid까지 상승시켜서

토출한다. 또한 중앙정비패널 상의 FFP램프가 점등되는 신호는 연료 균등 분배기(FFP)출구압력과 전방그룹에 속하는 F3연료탱크의 승압펌프 출구압력 차이를 감지하는 FFP 압력스위치에서 수신 받으며, 연료탱크 승압펌프와 연료 균등 분배기(FFP) 및 압력스위치의 계통연결 배치는 Fig. 4와 같다.

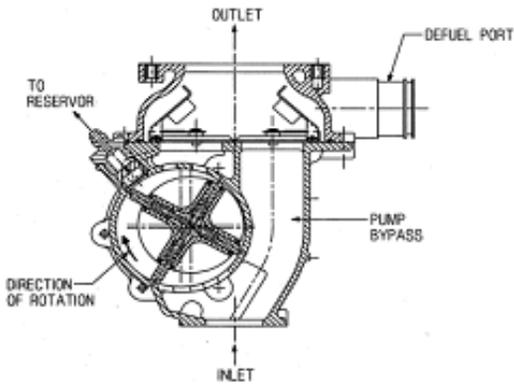


Fig. 3 Fuel Flow Proportioner Schema

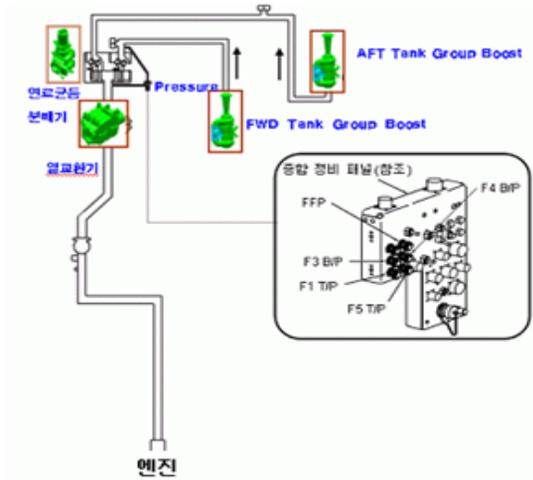


Fig. 4 Plan to Engine Fuel System

## 2.2 유압 조절 밸브 결함 현상의 원인 탐구

### 2.2.1 결함부의 파단면 분석

항공기 운용중 유압 조절밸브에서의 유압유 누유 건에 대해 원인분석하기 위해서 누유가 발

생한 부품면을 절단하여 파단면 분석을 수행하였으며, 신뢰성을 높이기 위하여 2개의 결함부품에 대해 수행하였다. 파단면 분석결과 Fig. 5에서와 같이 전형적인 High Cycle Fatigue 형상으로 Over Load 영향성은 확인되지 않았다. 또한 여러 곳에서 균열 생성 및 진전(Multi Crack)이 발생되었으며, 재료 자체의 결함은 확인하지 못하였다. Fig. 6은 단면 관찰결과 Seal 장착 부위에서 Bolt Hole 방향으로 균열이 발생하였으며, Fig. 7에서 보는바와 같이 균열 시작점에서 에 Pit이 관찰되었다.

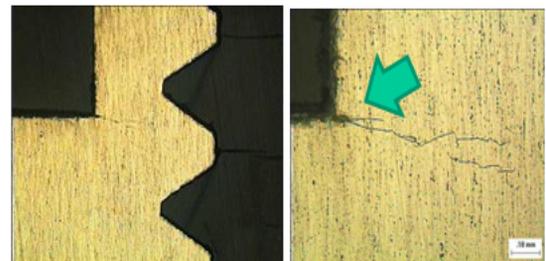


Fig. 5 The result image of SEM for crack

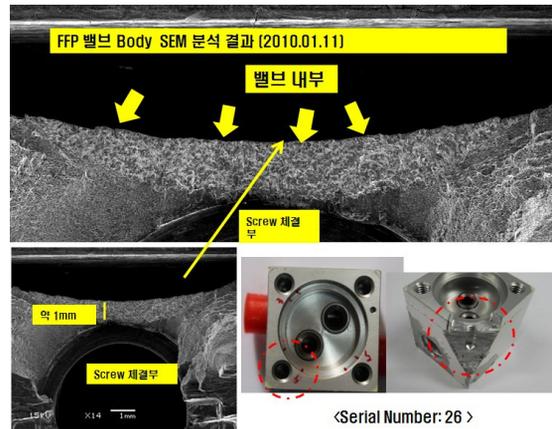


Fig. 6 The result image of SEM for fatigue

균열 형태로 판단할 때 Valve 내부에서 Bolt Hole이 진전되었으며, 전자 현미경으로 관찰결과 피로균열 양상이 나타났다. Fig. 5의 분석결과와 동일하게 피로균열로 내부에서 Bolt Hole로 진전하였고, Over Load 영향성은 확인

되지 않았다. 또한 피로균열의 시작점은 제작 특성으로 인해 응력집중이 발생하는 부분으로 부식 Pit 가 초기 균열로 작용한 후 압력 맥동으로 인해 진전한 것으로 판단하였다.

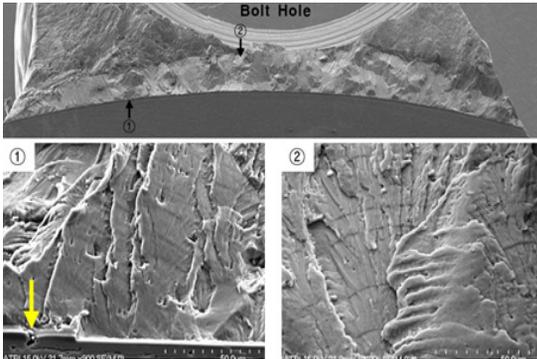


Fig. 7 The result image of SEM for Pit

2.2.2 항공기 유압 시스템 진동 영향성

항공기 운용중 진동에 의한 원인을 분석하기 위하여 유압유의 맥동에 의한 피로 하중 누적 영향성을 검토하였다. 유압 조절 밸브와 FFP 유압 모터 사이에 압력 게이지를 장착하여 압력을 측정하였다.

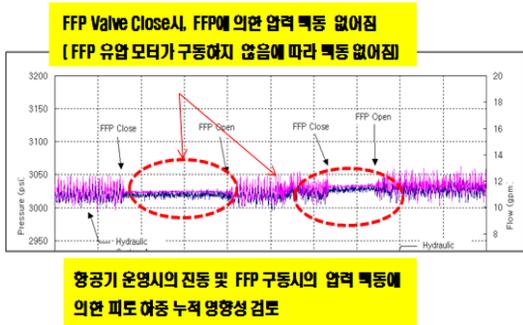


Fig. 8 Output pressure from valve open/close

측정 결과 Fig. 8에서 보는 바와 같이 항공기를 작동하여 FFP 유압모터를 정상 작동할 경우 유압 맥동압력이 발생하였으나 FFP 유압모터에 유압유 공급을 중단할 경우 유압 맥동이 거의 없음을 알 수 있었다. 따라서 FFP 유압 모터 구

동시 발생하는 진동에 의한 영향성이 피로균열의 주요한 요인 중 하나로 판단된다.

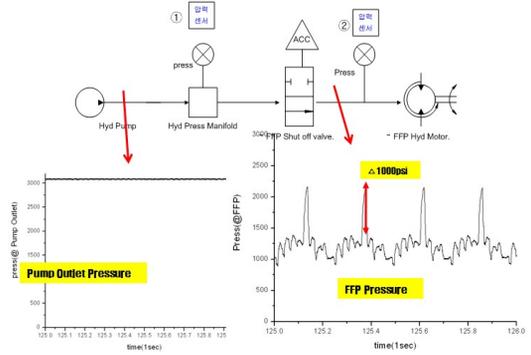


Fig. 9 Pressure comparison between valve input and output

이에 따라 유압 조절 밸브의 결함이 발생된 항공기에서 Fig. 9 와 같이 압력시험을 수행하였다. 측정 방법은 유압펌프 출구 단에서 출구 압력과 유압 조절 밸브와 FFP 유압 모터 사이에서 압력을 측정하였다. 시험결과 Fig. 9와 같이 유압 펌프 토출 부위 압력은 정상 압력으로 특이 사항이 없었으며, FFP 유압 모터에서 측정한 압력은 1,000 ~ 2,500 psi 까지 비정상적인 맥동이 발생됨을 알 수 있다. 이에 따라 FFP 유압 모터의 영향성을 확인하기 위해 추가로 압력 측정 시험을 수행하였다. 시험 대상은 사용 시간이 가장 오래된 FFP 유압모터가 장착된 항공기와 가장 적은 시간을 사용한 항공기에 대해 각각 시험을 수행하였다.

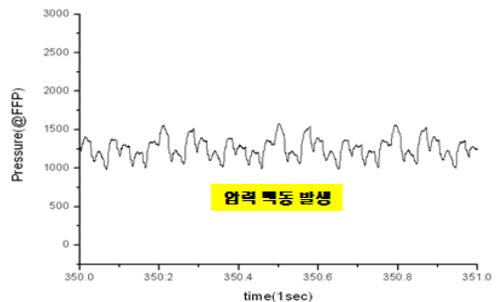


Fig. 10 Pressure of valve output position

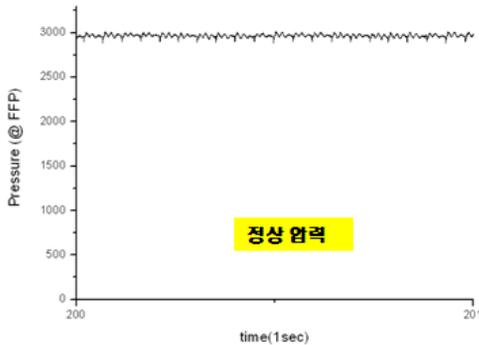


Fig. 11 Pressure of valve input position

수행결과 Fig. 10 및 Fig. 11에서 알 수 있듯이 폭간 차이는 있지만 Fig. 9와 유사한 수준임을 알 수 있다.

### 2.3 유압 조절 밸브 수명연장 방안

T-50 항공기에서 발생하는 유압 조절 밸브의 균열 결함에 대해 원인 탐구를 수행한 결과 연료 균등 분배기와 Shut Off Valve사이의 압력 특성 및 진동 특성을 시험을 통한 데이터를 획득하여 균열 발생 부위의 압력 및 진동 특성과 균열과의 연관성을 확인하였다. SEM 분석 결과 및 시험 데이터 확인을 통해 연료 균등 분배기의 자체의 설계 변경 필요 부분 또는 Shut off Valve 자체의 설계개선이 요구되었다.

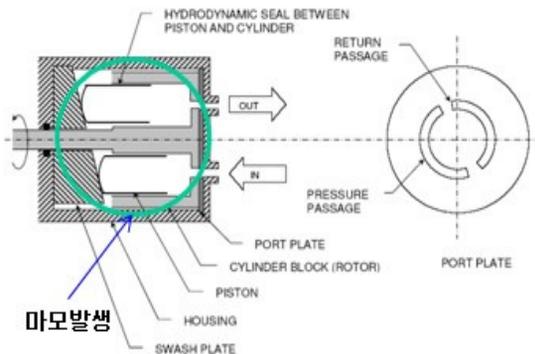


Fig. 12 Cross-section diagram of FFP motor

상기의 요구사항으로 FFP 유압모터의 맥동 압

력을 개선하기 위하여 Fig. 12와 같이 마모방지를 위한 샤프트와 실린더 블록의 재질을 개선하였으며 회전부품의 공차를 개선하고 피스톤 슈의 스웨이징 공정을 개선하였다. 또한 유압 조절 밸브 자체의 균열 방지를 위하여 밸브 몸체의 재질을 기존의 AL 6061 계열에서 AL 2024 계열로 개선하였다.

### 3. 결 론

본 연구를 통하여 T-50 항공기의 유압 조절 밸브의 균열 결함을 유발하는 원인 분석을 수행한 결과 유압 조절 밸브의 몸체 재질이 구조적으로 약한 AL 6061 계열로 되어 있어 피로 균열에 취약한 것으로 분석되어 상대적으로 높은 강도를 가진 AL 2024 계열로 재질을 변경하였다. 또한, 연료균등 분배기(FFP) 유압모터의 조기 마모에 따른 성능저하로 유압 맥동유발 현상을 모터 구성품의 재질개선과 공정개선을 수행하여 조기 마모 현상을 개선하였다. 이에 따라 연료 균등 분배기(FFP)의 성능개선과 유압 조절 밸브의 구조 강도 개선으로 유압 조절 밸브의 수명 연장 방안을 제시하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] AS5440, Hydraulic systems, Aircraft, Design and Installation Requirement.
- [2] SAE AIR 1922, “ System Integration Factors that Affect Hydraulic Pump Life”.
- [3] MIL-H-5440H. Hyd Systems, Aircraft, Design and Installation Requirement for.
- [4] MIL-T-5522, Test requirement and Methods for Aircraft Hydraulic & Emergency Pneumatic System.
- [5] MIL-P-19692, Pumps, Hydraulic, Variable Flow General Specification.
- [7] 하재현, “최신 유압공학”, 청문각.
- [8] Mika Ijas, "Experimental Study of Hydraulic Pulsation Dampers for Low Frequency".