

항공기용 유압펌프 인증시험

김진원*, 홍영지*, 김근배*, 박종후**

Qualification Test of Hydraulic Pump for Aircraft

Jinwon Kim*, Young-ji Hong*, Keunbae Kim*, Jonghoo Park**

Abstract

Qualification test items and those certification procedures of aircraft hydraulic pump are investigated in this report. Weight minimization through optimal design of aircraft hydraulic pump and its certification process investigation are very important.

In this report, some fundamental performance data was presumed for the normal aircraft hydraulic pump, and then basic procedures for qualification tests are presented.

초 록

항공기 유압펌프의 인증시험 항목 및 절차에 대하여 조사하였다. 항공기용 유압펌프는 설계 최적화를 통한 중량 최소화와 인증시험 절차가 매우 중요하다. 본 연구는 통상의 항공기용 유압펌프의 기초 성능자료를 가정하고, 이를 토대로 인증시험을 실시할 경우 주요 인증시험의 절차를 제시하였다.

키워드 : Hydraulic Pump, Qualification Test, Certification

1. 서 론

항공기 유압계통에는 일반적으로 주펌프와 비상펌프가 장착된다. 주펌프는 항공기의 정상작동에 필요한 유압을 공급하며, 비상펌프는 주펌프 고장시 항공기의 비상작동에 필요한 유압을 공급하고 필요시 지상에서 점검할 때 사용할 수 있다. 항공용 유압펌프의 형식은 가변용량형 피스톤 펌프 형식을 널리 사용하며, 이는 기어펌프 또는 베인펌프에 비해 펌프효율이 우수하며, 고속 고압으로 소형화가 가능한 장점이 있다. 또한, 가변용량형 피스톤 펌프는 소요부하 대비 공급유

량의 조절이 가능하고, 높은 체적효율을 나타내며 열 발생이 작은 장점이 있기 때문에 대부분의 항공기에 적용되고 있다. 유압펌프의 형식은 항공기 유압계통의 구성과 체계 요구조건을 토대로 최적의 성능을 발휘하도록 결정된다.

항공용 유압펌프는 일반적으로 지상용 유압펌프보다 더 높은 성능과 신뢰성을 요구한다. 특히 고도가 높아질수록 기압이 낮아지므로 유압펌프로 유입되는 흡입압력도 상대적으로 떨어지며, 이를 보상하기 위해서 별도의 흡입압력 상승장치가 적용될 수 있다. 유압펌프는 항공기에서 필요로 하는 정격압력과 유량, 회전속도, 성능, 신뢰

접수일(2008년12월17일), 수정일(1차 : 2009년 10월 5일, 2차 : 2009년 10월 16일, 게재 확정일 : 2009년 11월 1일)

* 항공우주연구원, 세부계통팀/jintting@kari.re.kr

** 국방과학연구소

성 등을 고려하여 선정된다.

그림 1은 통상의 항공용 가변용량형 유압펌프 형상이며, 총 중량은 약 3kg에 불과하다. 그림 2에서 유압펌프의 구조를 살펴볼 수 있으며, 하우징, 회전체그룹, 마운팅플랜지, 압력제어부, 커플링 축으로 구성된다.

본 연구에서는 흡입구에 임펠러가 결합된 방식의 유압펌프를 기준으로 하였다. 이 방식은 고도가 상승함에 따른 압력감소를 임펠러에 의한 가압효과로 흡입압력을 유지시켜주게 된다. 일반적으로 항공기용 유압펌프는 주기어박스에 의해 구동되며, 구동축과 결합되어있는 펌프 내부의 회전판이 실린더블록에 삽입된 피스톤을 왕복운동 시키게 되며, 이로 인해 고압의 유체에너지를 생성하게 된다.

국내에서는 유압펌프 개발경험이 선진 외국에 비하여 부족하여 외국기술을 그대로 도입하는 수준이었다. 그러나 국내 항공기 개발사업이 증가함에 따라 독자적인 연구개발의 필요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 항공기용 유압펌프의 기본적인 인증절차와 시험방법에 관해 검토하고 분석하였다.

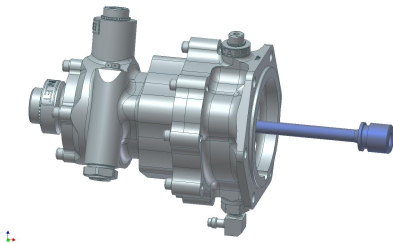


그림 1. 유압펌프 형상

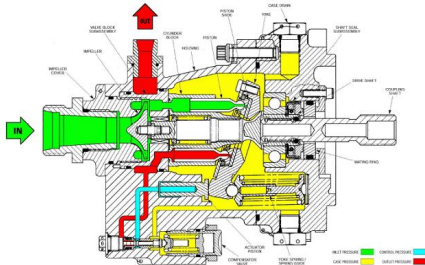


그림 2. 유압펌프 세부 구성

2. 유압펌프 인증

항공기 인증은 기본적으로 비행에 따른 안전성 확보를 위하여 설계, 생산, 운용의 모든 과정에서 안전성 요구사항에 대한 적합성을 기술적으로 판단하고, 이에 따라 승인, 허가, 제한, 금지 등의 법적 처분을 하는 것이다. 본 연구에서는 항공기용 유압펌프의 인증을 위한 시험방법과 항목, 절차 등에 대하여 조사하였다.

2.1 인증방법

유압펌프의 개발결과는 시험, 검사, 분석, 유사성 또는 실연으로 입증할 수 있으며, 항목별 검증 색인(VCRI, Verification Cross Reference Index)을 작성하여 관리한다.

유압펌프 인증위하여 표 1에 적용 가능한 규격을 정리하였다. 먼저 SAE AS 19692 규격은 항공기용 유압펌프 개발의 기준이 되는 규격이며, SAE AS 5440과 8775 규격은 모든 유압계통 구성품에 적용된다. 세부적으로는 환경요구조건에 MIL-STD-810F를 적용가능하고, 구조강도시험에는 MS21344를 적용할 수 있으며, 전기적접속시험에는 MIL-STD-464A가 적용 가능하다.

유압펌프 개발단계에서 시제작이 완료되면 요구조건에 적합한 성능을 입증하기 위한 인증시험(Qualification Test)을 수행한다. 인증시험은 성능시험과 환경 및 구조강도시험 그리고 내구성시험을 종합적으로 수행한다. 한편, 기 입증된 유압펌프를 개조하는 방식으로 다시 개발할 경우에는 기 입증된 인증시험결과를 토대로 유사성 인증으로 대체할 수 있다.

표 1. 유압펌프 인증시험 적용 규격

No	규격서	적용
1	SAE AS 19692	유압펌프 개발
2	SAE AS 5440	유압계통
3	SAE AS 8775	유압계통
4	MIL-STD-810F	환경요구조건
5	MS21344	구조강도시험
6	MIL-STD-464A	전기적접속시험

2.2 인증시험 항목

유압펌프 시제작이 완료되면 먼저 기본적인 수락시험을 실시하고, 전체 품질인증시험을 통해서 성능을 입증한다. 수락시험은 관련규격에 의거 필수적인 시험항목으로 구성된다.

표 2. 시험 항목

용도	시험항목
성 능 시 험	수락시험
	보증압력시험
	보정시험
	열 차단성시험
	최대압력시험
	과 압력시험
	응답시간시험
	압력맥동시험
	압력제어 및 안정성시험
	저온 및 열 주기시험
	열 충격시험
	고온운용시험
	공동시험
	청정도시험
커플링 축 전단시험	
환경 및 구조강도 시험	수락시험
	진동시험
	기계적 충격시험
	임펄스 피로시험
	구조강도시험
과열압 시험	
내 구 성	수락시험
	보증압력시험
	보정시험
	유압유 담금시험
	내구성시험

인증시험은 SAE AS 19692 규격에 명시된 입증방법을 기준으로 기본적인 성능시험과 유압유 담금, 보증압력, 보정, 최대압력, 응답시간, 압력 맥동, 열차단성, 진동, 저온 및 열주기, 열충격, 내구성시험, 공동시험, 구동축 전단시험, 기계적 충격시험 등을 수행한다. 표 2는 항공기용 유압 펌프의 일반적인 인증시험 항목을 나타낸다.

유압펌프 성능시험에서는 펌프에서 생성되는 유압의 크기와 상태, 토출 유량, 케이스드레인 압력과 유량 등 기본적인 성능을 검증한다. 환경시험은 유압펌프가 작동 가능한 모든 환경조건에서 정상적으로 작동하고 규정된 조건을 충족하는지 확인한다. 내구성시험은 유압펌프에 부하를 적용하여 규정된 시간과 압력 그리고 유량으로 작동시켜 구성품의 내마모성 및 내피로성 그리고 펌프의 수명을 확인하는 시험이다. 이와 같이 항공용 유압펌프 인증시험을 통해서 항공기 부품에 요구되는 감항성 인증기준과 입증방안의 적절성 등을 검증할 수 있다.

2.3. 시험장비

유압펌프의 인증시험을 수행하기 위하여는 여러 가지 시험장비가 필요하다. 시험장비는 관련 시험의 시험절차 및 요구조건을 적용 가능하도록 제작해야 하며, 각각의 시험장비들에 대해서는 검교정이 완료되어 있어야 한다. 일반적으로 시험장비의 검교정 주기는 6개월에서 1년을 적용한다. 표 3은 유압펌프 인증시험을 위한 주요 장비 목록을 나타내었다.

표 3. 시험 장비

No	시험장비명
1	수락/내구성시험
2	필터패치
3	오염도측정
4	유압유 담금시험
5	성능시험
6	내압시험(보증압력, 과열압)
7	진동시험
8	충격시험
9	전단시험(커플링 전단시험)
10	온도챔버(저온 시험, 열주기시험 열충격시험, 고온운용시험)

2.4. 인증시험 절차

그림 3과 4는 각각 유압펌프 성능시험장비와 성능시험장비의 유압 회로도이다. 성능시험장비

의 토출, 입구, 케이스 부분에는 각각 압력센서, 온도센서, 그리고 필터가 있으며, 토출부와 입구 부에는 유량계가 설치되어 있다. 또한 토크 측정을 위한 토크미터, 속도 측정을 위한 속도검출기, 압력 제어를 위한 각종 밸브 등이 있으며, 펌프 구동을 위하여 모터가 장착되어 있다.



그림 3. 유압펌프 성능시험장비

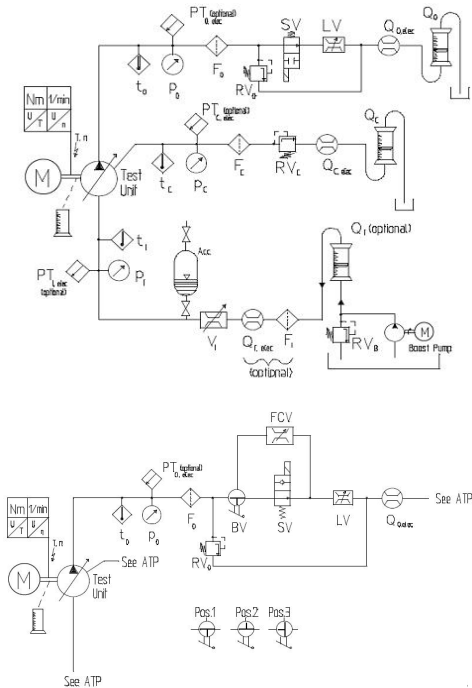


그림 4. 유압펌프 성능시험장비 유압회로도

표 4에 항공기용 유압펌프의 대표적인 기본 성능을 나타내었으며, 항공기용 유압펌프의 인증 시험 규격을 기준으로 주요 시험항목과 절차를 다음에 기술하였다.

표 4. 유압펌프 성능

항목	규격
형식/제어방식	가변유량, 압력 보상식
정격토출압력	20.7MPa(3,000psi)
최대유량압력	19.6MPa(2,850psi) 이상
정격입구압력	34.5KPa(5psi) 이상

2.4.1. 보정 시험

유압펌프는 최소 작동 회전속도로부터 정격 회전속도의 25%, 50%, 75%, 100%와 과속도 및 Surge 속도에 대해 최대유량압력의 25%, 50%, 75%, 100%의 압력에 대해 유량과 입력 토크가 확인되어야 하며, 정격입구압력과 정격온도에서 수행한다. 보정시험의 요구도 및 합격기준은 표 5와 같다.

표 5. 보정시험의 요구도 및 합격 기준

항목	요구도 및 합격 기준
최대 유량 압력	최대유량압력은 정격온도, 정격속도, 정격입구압력에서 최소 19.6MPa이 되어야 한다.
정격 케이스 드레인 유량	정격케이스드레인 유량은 정격토출압력, 정격온도, 정격속도의 50%에서 100% 이내의 속도에서 요구도를 만족해야 한다.
정격 유량	정격온도, 정격속도, 정격입구압력 및 최대유량압력에서 요구도를 만족해야 한다.
입력 토크	입력토크는 정격유량에서 요구도를 만족해야 한다.
가변 유량 제어	펌프는 토출압력이 정격토출압력에서 최대유량압력으로 감소함에 따라, 어느 주어진 작동속도에서 펌프의 유량을 제로에서 최대유량 값으로 증가시키는 작동을 하는 유량 제어수단을 포함하여야 한다. 역의 경우도 같다.

2.4.2. 과압력 시험

유압펌프의 과압력은 출구포트에서 정격토출 압력의 125%(3,750 psi) 이하가 되어야 하며, 시스템 임피던스는 50,000psi/sec이다. 유량의 변화는 응답성이 0.02초 이하인 솔레노이드 밸브 작동에 의해 수행한다. 시험의 합격기준은 과 압력인 3,750 psi에서 압력대비 시간의 오실로그래프에 어떤 이상이 없이 안정화되어야 한다.

2.4.3. 압력맥동 시험

펌프의 압력맥동은 $\pm 2,100$ kPa(± 300 psi) 내에 있어야 하며, 합격기준은 최대유량압력인 19.6MPa(약 2850psi)에서 작동시킨 후 제로압력 20.7MPa(3000psi)으로 60 \pm 20초 이내로 도달할 때까지 시간 대비 압력을 오실로그래프 형식으로 기록하여 압력 맥동의 진폭이 최대정격토출압력의 $\pm 5\%$ 를 초과하지 않아야 한다.

2.4.4. 열충격 시험

유압펌프는 열 충격 동안 또는 후에 작동 및 기능적 또는 구조적 손상 없어야 한다. 열 충격의 한계온도는 -40 $^{\circ}$ C(-40 $^{\circ}$ F)에서 정격온도까지이다. 이 시험을 위한 절차는 다음과 같다.

- (1) 펌프와 유압유(MIL-PRF-83282)를 -40 \pm 3 $^{\circ}$ C로 냉각 시킨다.
- (2) 저장조의 유압유 온도는 정격온도를 유지하고 항공기 시스템의 체적과 동일한 체적의 유압유를 채워 둔다.
- (3) 펌프를 기동하여 24초 이내에 정격속도까지 상승시킨다. 이때의 토출압력이 정격유량을 토출하도록 설정한다.

시험의 합격 기준은 열 충격시험시 펌프는 24초 이내에 기동되어야 하며, 열 충격시험 과정에 기능이상 발생하지 않아야 한다.

2.4.5. 공동 시험

공동현상이 발생하는 최저입구압력이 5 psia 이하이어야 하며, 다음의 시험절차를 거친다.

- (1) 정격 속도, 입구 압력 및 최대 유량 조건에

서 펌프를 작동한다.

- (2) 입구포트의 압력은 1bar abs로 설정후, 입구 압력이 캐비테이션을 발생시킬 정도의 작은 압력으로 줄이고 이 시점의 유량과 압력을 측정한다.
- (3) 정격 유량과 압력의 50%에 도달할 때까지 입구 압력을 추가로 더 줄이고 이때의 토출압력 대비 입구압력, 유량 대비 입구 압력을 측정하고, 연속적인 시간으로 데이터를 기록한다.
- (4) 유압유 온도 60 $^{\circ}$ C, 107 $^{\circ}$ C에서 수행한다. 온도는 시간에 연속적으로 다른 파라미터와 독립적으로 측정한다.
- (5) 시험 후 분해 검사를 실시하여 손상여부 확인

시험의 합격 기준은 정격온도, 정격입구압력(5 psia)에서 최대유량을 토출할 수 있어야 한다.

2.4.6. 진동 시험

펌프는 항공기 수명 동안 진동 환경에서 충분히 운용 가능하도록 설계되어야 한다. 이 시험에서 유압유 온도는 60 $^{\circ}$ C \pm 22 $^{\circ}$ C이다. 펌프는 적어도 3축 방향에서 연속적으로 진동 메커니즘이 발생할 수 있도록 부착 되어야 한다. 진동시험 전후 유압펌프는 각 축당 유압펌프의 공진주파수를 찾기하기 위해 분당 10~2000 Hz 옥타브에 0.5g의 정현파로 가진시킨다.

진동 시험 절차는 MIL-STD-810F, 방법 514.4 절차 I 을 따르며, 유압파워소스와 분리된 유압모터에 의해 구동하여 펌프의 시험을 수행한다. 정격속도조건에서 토출압력이 제로(0)유량과 정격유량의 약 50% 사이의 주기로 펌프를 작동한다.

시험의 합격 기준은 3축 방향의 진동시험이 완료된 후 펌프의 외부 손상을 확인하고, 진동시험 과정에 측정된 유량 및 압력에 이상이 있거나, 외부 손상이 있을 경우에만 분해검사를 실시한다.

2.4.7. 내구성시험

펌프의 정격 내구성은 SAE AS19692에 따라 최소 2,000 시간이 되도록 시험한다. 시험은 표 6 내구성시험 Cycle Parameter의 Phase 별로 정격 회전속도, 정격유량, 토출압력, 정지시간이 변화를 주어 시험을 하게 된다.

표 6. 내구성시험 Cycle Parameter

Cycle Parameters								
Test Phase No	정격 회전속도 (%)	정격 유량 (%)	토출 압력	정지 시간 (s)	정격 유량 (%)	토출 압력	정지 시간 (s)	No. of Test Hrs
1	67	0	정격	5	최대	주1)	25	130
2	100	5	주2)	15	95	주2)	15	690
3	주4)	5	주2)	15	109	주2)	15	60
4	100	0	정격	5	100	주1)	25	360
5	100	5	주2)	15	15	주2)	15	660
6	67	0	과압력	5	최대	주1)	25	10
7	100	5	주2)	15	95	주2)	15	50
8	주4)	5	주2)	15	109	주2)	15	40

- 주1) 최대유량압력의 95%
 2) 토출압력은 규정된 유량이 공급되도록 조절.
 3) 시험수행의 편의를 위해 각 Phase No.의 시간허용공차는 11% 이지만, 모든 Phase의 전체시험시간 합계는 2,000 시간이 되어야 한다.
 4) Surge 속도

펌프의 내구성시험은 정격입구압력, 정격 케이스트레인 압력에서 수행하며, 입구측 유압유 온도는 다음의 경우를 제외하면 $80\pm 5^{\circ}\text{C}$ ($180\pm 10^{\circ}\text{F}$)가 되어야 한다.

- (1) Phase 2와 Phase 5는 정격온도에서 최소 200시간 포함.
- (2) Phase 4는 정격 온도에서 최소 100시간 포함
- (3) Phase 7과 Phase 8은 Phase 6에서 과압력을 조절했던 보상기로 수행한다.



그림 4. 내구성 시험 장비

2.4.8. 저온 및 열주기 시험

펌프는 -40°C 이상의 온도에서 기동되어야 하며, 펌프 하우징과 유압유 모두 동일한 저온 요구도를 적용시킨다. 합격 기준은 -20°C 에서 최대 유량성능을 만족하여야 한다.

3. 결 론

항공기용 유압펌프는 높은 신뢰성과 안전성을 토대로 항공기에서 요구하는 다양한 운용조건을 충족할 수 있도록 입증하는 인증시험이 필요하다. 본 연구에서는 항공기용 유압펌프의 인증시험 항목과 시험방법 및 세부절차 등을 검토하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 KHP 민군겸용핵심구성품개발사업의 지원을 받아 진행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김근배, "유압펌프 시험평가 개념연구", 한국항공우주연구원 기술보고서, KARI-SUT-TM-2006-018, 2006

2. 김근배, “유압펌프 개념연구”, 한국항공우주연구원 기술보고서, KARI-SUT-TM-2007-020, 2007
3. SAE AS 19692 "Pumps, Hydraulic, Variable Flow, General Specification For"
4. SAE AS 5440 "Hydraulic Systems, Aircraft types I and II, Design and Installation Requirements for"
5. SAE AS 8775 "Hydraulic System Components, Aircraft and Missiles General Specification for"
6. Ministry of Defense, "DEF STAN 00-970 Volume 2", 1984
7. RTCA/DO-160D "Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment"
8. 이주성, “유압공학”, 보문당, 2000
9. MIL-STD-810F "Environmental Test Methods and Engineering Guide Line"s