

유압 피팅 충격압시험기 개발

김형의 이용범

한국기계연구소 자동화연구부 유공압연구실

Hydraulic Fitting Impulse Tester Development

Hyoung-Eui, KIM Young-Bum, LEE

Hydraulic & Pneumatic Eng. Lab.

Dept. of Automation Eng.

KIMM

ABSTRACT

Hydraulic fitting impulse tester is equipment which produce impulse pressure waveform that specified foreignstandard of SAE, JIS etc.

Test conditions of SAE J1453 about waveform standard indicates frequency of 35~70 cycle/min, pressure of 560 bar, oil temperature of 93± 3°C etc. and required cycle is a million over. In additions, Test condition operated continuously equipment.

This development item adopted new pattern method such as intensifier and rotary distributor is different from already established fitting impulse tester applied servo valve and high pressure direct directional control valve. Therefore, This development item which compares already established item is good reliability, low cost of manufacture and save of electric energy. especially, Domestic small and medium enterprise uses this tester because of economical cause.

We develope appropriateness tester which conforms to demand of user.

1. 서 론

유압시스템은 산업기계, 건설중장비, 군사무기, 항공기, 선박, 자동차 및 농업용기계등 여러분야에서 널리 사용되고 있다.

유압회로 내에서는 밸브조작이나 유압작동유의 관성 및 기기의 고유특성등에 의한 충격적인 압력이 자주 발생되는데 소형경량화를 위해 고압화와 회로 또한 복잡해지는 추세에서 신뢰성 및 내구성이 매우 중시되어지고 있다.

이러한 내구성을 단기간동안 확인 및 품질관리를 하기 위해 일본 JIS, 미국 SAE 규격등에서는 충격압력을 인위적으로 가해 성능 및 내구성시험을 하도록 규제하고 있다.

이러한 규격을 충족시키는 종래의 시험기는 고압펌프와 방향제어밸브를 사용하거나, 서어보 밸브 제어에 의한 충격압시험기가 개발되어 있었다.

이 시험기들은 방향제어밸브가 100만회 시험이전에 고장나거나, 서어보시스템은 초기설치비가 너무 비싸고, 오염관리 및 유지가 어렵다는 문제점을 안고 있어서 산업분야에 널리 사용되지 못하고 있는 실정이었다.

본 연구에서 유압 피팅 및 호스 충격압시험기 개발은 JIS, SAE 규격등에 명기된 충격파형을 만족하면서 종전에 문제점을 최소화하기 위해 회전분배기(Rotary Distributor)와 증압기(Intensifier)를 사용한 장비이다.

이 회전분배기는 1,000만회 이상 반영구적인 내구력을 확인중에 있으며 향후 유압시험기등에 널리 응용될 전망이다.

2. 유압 충격시험기의 종류

2.1) 고압펌프를 이용한 직접구동형 방식

이 방식은 그림 2.1 과 같이 고압에 의해서 직접 작동되므로 오는 충격압 발생, 방향제어밸브의 내구성 부족 및 응답시간(Response Time)의 지연등으로 인하여 시스템 성능면에서도 품질저하 될뿐아니라, 시험물의 응력, 유온의 변동등으로 인하여 규격에 맞는 파형을 얻는 것이 곤란하다.

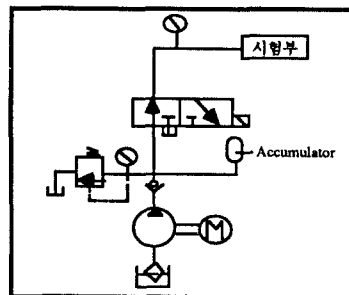


그림 2.1 고압펌프를 이용한 충격시험기의 회로도
Fig. 2.1 Circuit of Impulse Tester Using High Pressure Pump

2.2) 유압서어보 밸브를 이용한 제어방식

(Closed Loop 제어)

이 방식은 그림 2.2와 같이 다양한 파형을 얻기에 용이하고 최고압력 (Peck) 압력치를 고정도로 재현할수 있으며 파형의 재현성에 있어서도 조건변화의 영향을 받지 않는다. 그러나 초기설치비가 많이 들고 오염관리 및 보수유지가 어렵다.

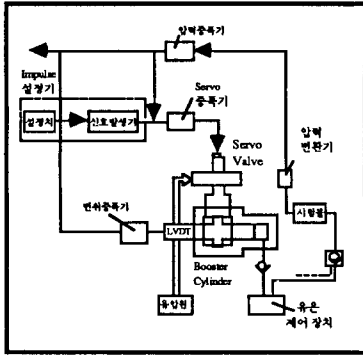


그림 2.2 유압 서어보밸브를 이용한 충격시험기 회로도
Fig. 2.2 Circuit of Impulse Tester Using Hydraulic Servo Valve

2.3) 회전분배기를 이용한 제어방식 (Open Loop 제어)

이 방식은 그림 2.3 과 같이 스폴형 유압 방향제어 밸브를 사용한 방식에서 특별히 설계된 회전분배기로 개선한 것으로서 반영구적인 수명과 빠른 응답성 그리고 비교적 적은 가격으로 제작할수 있으며, 에너지 축적면에서도 우수한 장점이 있다.

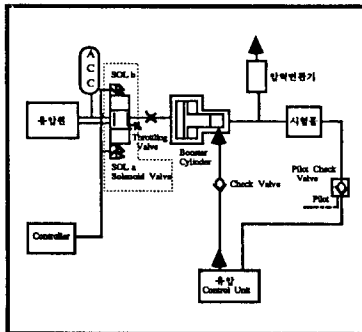
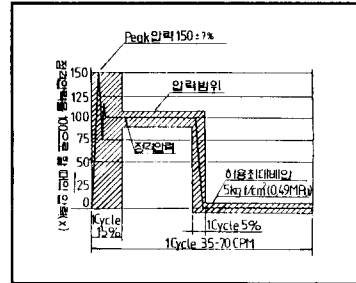


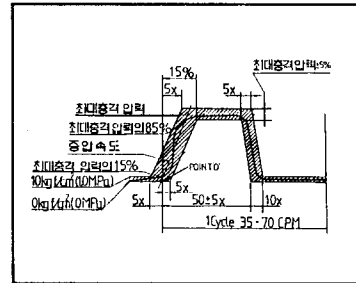
그림 2.3 스폴형 유압 방향제어밸브를 이용한 충격시험기 회로도
Fig. 2.3 Circuit of Impulse Tester Spool Type Directional Control Valve

3. 유압피팅 충격압시험기의 설계사양

3.1) 충격압파형의 규격



A) 일본규격파형 (JIS-K6349)



미국자동차 공업협회 파형 (SAE-J1443C)

3.2) SAE J1443 충격압 시험조건은 베이스 압력이 최고사용압력의 133%이상에서 해야한다.

Port Size	평형피팅 (STRAIGHT FITTINGS)	조절피팅 (ADJUSTABLE FITTINGS)
inch	bar	bar
1/4	420	420
3/8	420	420
1/2	420	420
5/8	420	420
3/4	420	420
1	420	385
1.1/4	280	280
1.1/2	280	210

도표 1.1 피팅에 대한 베이스압력
Table 1.1 Base Pressure on Fitting

3.3) 파형주기조건: 35~70 Cycle/min

3.4) 작동유 온도유지조건 : 93± 3°C

3.5) 시험횟수: 100만회 이상

3.6) 작동유의 종류: SAE 10W (또는 사용자의 요청)

4. 회전분배밸브설계

미국 자동차공업협회(SAE) 규격조건에 의하면 피팅 충격압시험기는 연속 100만회 이상 실험하도록 규정되어 있다.

일반산업용 솔레노이드 밸브는 100만회 이상의 내구력 및 응답시간 (Dynamic Response Time) 등의 설정치에 미치지 못하는 경향이 있다.

또한 응답시간이 빠른 서어보밸브를 사용하게 되면 빈번하게 교환하는 시험부에 의한 유압작동유의 오염 관리(Contamination Control)가 어렵다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 보완한 판형 회전분배기(Plate Type Rotary Distributor)를 설계하였다.

판형 회전분배기는 가변 전기모터를 사용하여 분배회수를 조절할수 있으며, 약 8μ 의 기름막(oil film) 사이에서 기계적마찰이 적고 오염저항능력이 큰 상태로 회전하면서 증압기에 유압작동유를 공급하기 때문에 수명은 1000만회 이상 반영구적으로 판단된다.

현재도 400만회 이상이 실험되고 있다.

또한 판밸브에 노치를 가공하여 순간적으로 발생하는 충격압을 방지하였고, 중간에 3점 지지방식의 정압베어링(Hydrostatic Bearing) 설치로 밸브측면과 축판사이의 기름막을 균일하게 유지하여 장수명 및 회전토크를 최소화할수 있는 밸브를 설계하였다.

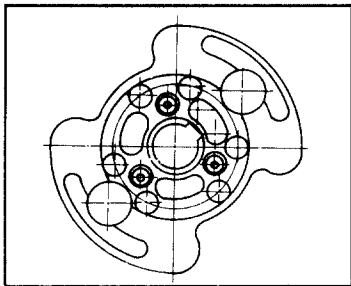


그림 4.1 회전분배밸브 형상
Fig 4.1 Pattern of Rotary Valve

5. 고압부에 있어서 설계시 고려해야 할 사항

5.1) 작동유의 체적변화량

고압 유압장치에서는 작동유의 압축성이 큰 문제가 된다. 압축률 β 는 다음식으로 정의한다.(그림 5.1 참조)

$$\beta = \frac{dV/dP}{V_0} \quad (5.1)$$

여기서 dV/dP : 압력변화에 대한 체적변화율

V_0 : 초기상태에서의 작동유의 체적

V : 압축을 받은 상태에서 작동유의 체적

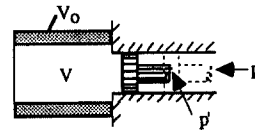


그림 5.1 압축을 받은 작동유의 변화

Fig 5.1 Compressibility of Oil

작동유중에 약간의 공기라도 혼입되어 있으면, 압축률은 크게 변화한다. 따라서 유압장치를 취급하는데 있어서 작동유에 공기가 혼입되지 않도록 주의하지 않으면 안된다. 여기서 석유계 작동유의 압축률값(β)은 $6 \times 10^{-5} \text{cm}^3/\text{kgf}$ 으로 한다.

5.2) 고압부에 있어서 증압기실린더 체적변화량

내압을 받는 실린더의 체적팽창율은 그림 5.2에서의 같이 두꺼운 실린더의 직경방향의 변화량과 길이방향의 변화량에 의해서 구할수 있다.

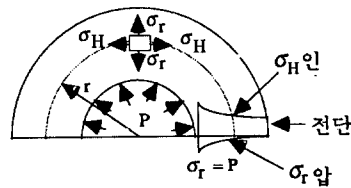


그림 5.2 두꺼운 실린더 벽면에 작용하는 응력분포도

Fig 5.2 Stress Distribution of Thick Cylinder Wall

그림 5.2에서 Hoop 응력 σ_H 는

$$\sigma_H = \frac{PR_1}{R_2^2 - R_1^2} \left[1 + \frac{R_2^2}{r^2} \right] \quad (5.2)$$

반경방향 응력은 σ_r 는

$$\sigma_r = \frac{PR_1^2}{(R_2^2 - R_1^2)} \left[1 - \frac{R_2^2}{r^2} \right] \quad (5.3)$$

그리고 길이방향의 응력 σ_L 는

$$\sigma_L = \frac{P_1 R_1^2 - P_2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \quad (5.4)$$

이다. 단, 경계조건은

$$r=R_1 \text{일때 } \sigma_r = -P$$

$$r=R_2 \text{일때 } \sigma_r = 0$$

증압기실린더의 임의의 지점 r 에서의 직경변화량은

$$\Delta D = \frac{2r}{E} [\sigma_H - \nu\sigma_r - \nu\sigma_L] \quad (5.5)$$

길이의 변화량은

$$\Delta L = \frac{L}{E} [\sigma_L - \nu\sigma_r - \nu\sigma_H] \quad (5.6)$$

따라서 실린더의 체적변화량은

$$\Delta V_c = \frac{\pi}{4} (D + \Delta D)^2 \Delta L - D^2 \Delta L \quad (5.7)$$

이 된다.

5.3) 고압배관부에 있어서 체적변화량

5.3.1) Pipe 라인이 Steel인 경우 식(5.7)에 의해서 구할수 있다.

5.3.2) Pipe 라인이 고압호스인 경우

일반적인 고압호스의 연신율은 $\pm 4\%$ 이므로 고압호스의 체적변화량은 고압호스의 체적에 연신률을 곱한 값과 같다.

6. 증압장치(Intensifier)의 설계

본 개발에 사용된 증압장치 (그림 6.)는 최대충격압 주기를 75CPM으로 결정하였고 단면적비를 3.25:1로 하여 펌프의 상용압력 170bar를 560bar로 증압시켜 설계하였다. 파형규격의 증압속도를 결정하기 위하여 증압시간을 충격압주기의 12% 이내에 들어 가계급 선정하였다. 따라서 증압속도 (Pressure Rise Rates)는

$$\text{증압속도} = \frac{\text{Test 압력}}{\text{증압시간}} = \frac{560\text{bar}}{0.12\text{sec}} = 4,666.7\text{bar/sec}$$

또한, 증압시간 0.12sec안에 유량 50cm³가 흐를수 있게 설계하였다.

모터동력은 유량 * 시험압력이므로

$$25 * 560/600 = 23\text{kw가 필요하게 된다.}$$

여기서 펌프의 효율등 손실을 고려하여 전기모터를 35kw로 선택하였고, 펌프의 공급유량은 25 * 3.25/0.9 = 90 l/min 를 공급할수 있는 펌프로 결정하였다.

증압기의 피스톤 속도는 유량과 행정길이에 의해서 구할수 있으며, 그리고 피스톤에 있어서 스무스한 정지와 빠른 동작을 위하여 고정형쿠션을 설치하였다.

따라서 그림 7.2와 같은 회전분배기(Rotary Distributor)로부터 공급되는 유량과 압력을 조정하여 요구되는 규격의 파형을 만들수 있으며 저압측(증압기 입력부)과 고압측(증압기 출력부)을 고압 씰을 사용 완전 분리함으로써 고압측의 유압작동유 온도조절 및 오염관리를 용이하게 하였다.

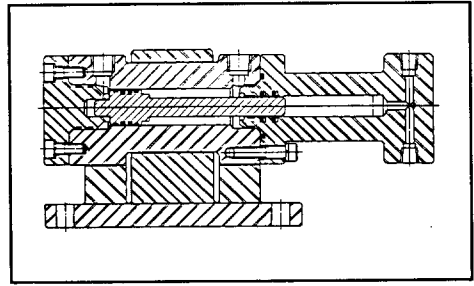


그림 6.1 증압기 단면도

Fig 6.1 Crossection of Intensifier

7. 실험장치 및 실험방법

본 개발의 목적은 특별히 설계한 회전분배기와 증압기를 사용하여 외국규격 (JIS, SAE, ISO 등)에 맞는 압력파형을 측정하기 위해 실험장비를 연구하였다. 피팅 충격압시험기는 방향제어밸브 대신 회전분배기를 설계 사용하였고, 제어부의 압력을 최소화하기 위해 증압기를 사용하였다.

또한 증압기의 출구부분에 압력센서를 부착하여 증압된 압력을 측정하였으며, P.I.D 제어에 의한 온도조절장치를 설치하여 온도를 일정하게 유지하므로써 요구되는 측정값을 만족하게 얻었다.

그림 7.1 은 이 피팅 충격압시험기 유압회로도이며 사진 1.1은 실제 시험을 하기 위해 제작된 피팅충격압 시험기이다.

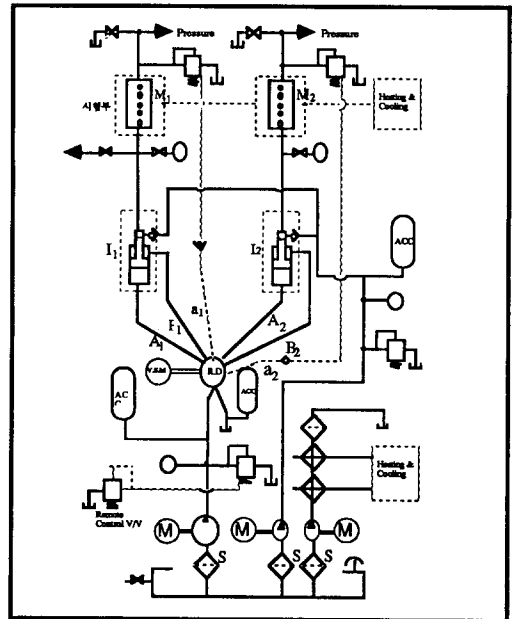


그림 7.1 유압 피팅 충격압시험기 회로도

Fig 7.1 Circuit of Hydraulic Fitting Impulse Tester

8. 결과 및 고찰

실험은 SAE 규격에 의해 충격압 560bar에서 연속 100만회 피팅 충격압시험을 하여 국제규격에 맞는 파형을 측정하였으며 이것들에 대한 결과는 그림 8.1 과 같았으며 그림 8.2, 8.3은 실험장비에서 직접 작성된 결과보고서 (Test Report)이다.

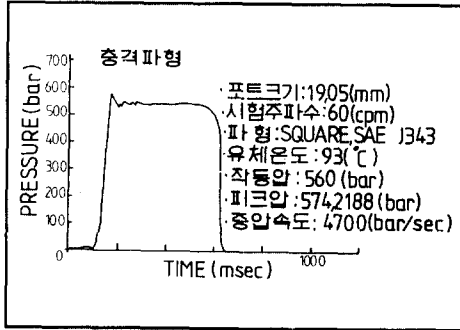


그림 8.1 SAE 각형 압력파형
Fig 8.1 Square Pressure Waveform of SAE

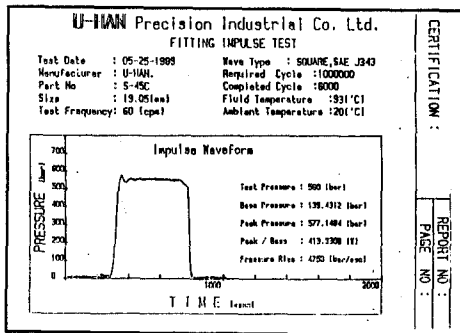


그림 8.2 실험보고서
Fig 8.2 Test Report

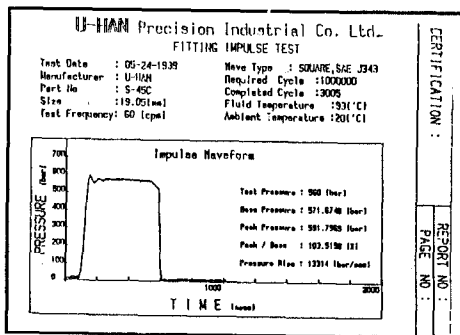


그림 8.3 실험보고서
Fig 8.3 Test Report

9. 결론

본 연구에서는 유압피팅 충격압시험기의 압력파형을 국제규격에 맞도록 회전분배기와 증압기를 설계하였다.

- ① 회전분배기를 사용한 피팅 충격압시험기는 솔레노이드 밸브를 사용한 피팅 충격압시험기보다 내구성과 응답성에 있어서 뛰어나다는 것을 알수 있었다.
- ② 중소기업의 충격압시험기의 보급은 보다 저렴 하면서 성능이 뛰어난 회전분배기를 사용한 피팅 충격압시험기의 사용이 경제적이라고 사료된다.

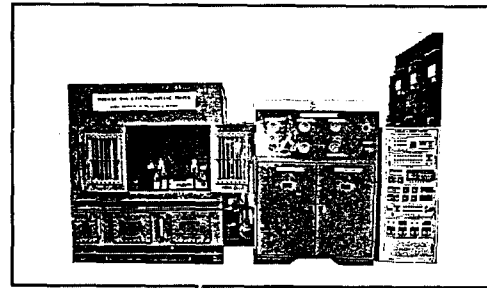


사진 1.1 개발된 유압피팅 충격시험기 장비
Picture 1.1 Impulse Test Equipment of Developed Hydraulic Fitting