

파워스티어링 펌프의 자동 성능 시험기 개발에 관한 연구

정석훈 · 정재연*[†]

벽성대학 자동차과, *전북대학교 기계공학부

A Study on the Development of the Automatic Performance-Test-machine for Power Steering Pump

Seok-Hoon Jung and Jae-Youn Jung*[†]

Department of Automobile, Byuksung college

*Department of Mechanical Eng., Chunbuk national university

Abstract – Recently, the automotive industry is being developed rapidly. On this, a demand of high quality performance-test-machine is increased too. But it is progressive technology that must be combined hydraulic, mechanic and electronic technologies. To construct this system, the design of oil hydraulic circuit, interface skill between sensor and personal computer, data acquisition & display system and integrated control are very important skill. Moreover, reliable data is obtained with vacuum system and complex heat exchange system. Therefore, in this study, we designed a performance-test-machine by using above key technologies and we also made a integrated PC control system using personal computer which is more progressive and flexible method than PLC control.

Key words – test machine, oil hydraulic pump, hydraulic circuit, PC control.

1. 서 론

유압펌프는 기계적인 에너지를 작동유의 압력에너지로 변환하는 유체기기로서 출력밀도가 매우 높고, 에너지의 이용이 쉽기 때문에 고출력을 요하는 건설 중장비뿐만 아니라 자동차, 항공기, 선박 및 공장의 라인 등에도 널리 이용되고 있다. 최근 급속히 증가하는 자동차의 경우를 보면, 사용자의 쾌적한 운전에 대한 요구의 증가에 따라 파워스티어링 시스템이 탑재되어 있지 않은 차량이 거의 없을 정도로 유압펌프의 범위가 확대되어졌다. 앞으로 능동형 현가장치가 채택되어 진다면, 현재 파워스티어링 시스템에 탑재된 베인 펌프뿐만 아니라 피스톤 펌프까지 이용됨으로써 자동차에 있어서도 유압펌프의 역할이 지대하다고 할 수 있다. 이에 따라 유압펌프에 대한 연구뿐만 아니라 펌프의 성능을 정확히 평가할 수 있는 시스템에 대한 요구 역시 증대되고 있다.

유압펌프의 종합 성능평가를 위한 시스템은 기술적 측면[1]에서 볼 때 기기의 콤팩트한 설계와 효과적인 유압회로의 구성, 빠른 시간 안에 정확한 데이터를 얻기 위한 센서와 컴퓨터간의 인터페이스기술[2]과 여러 곳에서 다량으로 수집된 정보를 신속하고 정확하게 처리, 표시 및 기록할 수 있는 소프트웨어의 제작 그리고 운전조건에 따른 시스템의 통합제어기술이 이루어져야만 한다. 이에 본 유압펌프 자동·고속 성능 시험기의 개발은 위의 기술적인 면을 적용하여 설계, 제작하였고, 이를 시험 가동한 결과 펌프의 테스트 시간을 단축함은 물론 여러 시험조건을 자유로이 변경하며 시험할 수 있었다. 또한, 자동 온도 조절장치를 통해 항상 일정한 시험온도를 유지하였고, 진공회로를 도입하여 펌프의 내구성향상과 측정 데이터에 신뢰성을 주었다. 제어의 측면에서는 기존의 제어방식인 PLC 제어방식이 가지는 단점 즉, I/O 접점수가 많아 제어 메모리가 클뿐만 아니라 수행속도도 늦어 실시간 제어에 많은 어려움이 따르며 설비가 차지하는 부피도 크고 변화하는 각종 시험조건에 유연하게 대응하지 못하는 점을 극복하고 보

[†]주저자 · 책임저자 : jungjy@moak.chonbuk.ac.kr

다 유연한 PC제어방식을 사용했다. 이 시스템의 개발은 단순히 유압펌프의 시험뿐만 아니라 이를 모태로 하여 건설 중장비용 로드 시뮬레이터 및 각종 성능 시험기 등의 설계[3]에 응용할 수 있는 복합기술이 더해진 것으로, 다른 기술분야에 큰 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

2. 유압 시스템의 구성

본 시험기는 크게 시험기 본체, 작동유 탱크유닛, 고온유 공급유닛, 구동 모터부, 배전반 등으로 이루어져 있다. 시험기 본체는 펌프를 장착하여 시험을 행하는 Test chamber와 시험기 전체를 제어하는 제어반이 포함되어 있다[4]. 그리고 작동유 공급 탱크 유닛에는 작동유 공급장치, 압유 공급장치, 진공 시스템, 열교환 시스템 등이 포함된다. 고온유 공급 유닛은 시험장치에 고온의 열매체유를 공급하여 작동유의 온도를 승온시키는 역할을 한다. 구동 모터는 DC 30 KW의 서보 모터 시스템을 사용하여 시험펌프를 60 rpm에서 3000 rpm까지 단계별로 구동할 수 있도록 하였다.

2.1. 동력전달 계통

동력전달계통은 Fig. 1과 같이 간략하게 나타낼 수 있다. PC를 통해 출력된 속도 지령을 컨트롤러를 통해 DC 서보 모터로 전달하여 구동한다. 모터 후단에는 유니버설조인트를 채용하여 축의 진동과 편심에도 원활한 운전을 하도록 하였고, 축을 지지하기 위해 고속 베어링을 삽입한 스피들 유닛을 장착하였다. 그리고 스피들 유닛 축과 펌프축은 V-belt를 이용해 구동하며 폴리비는 2:1로 하여 2배의 증속을 행하였다. 이는 구동모터의 높은 회전수에서의 위험을 줄이고 모터의 정 토오크 구간에서 시험을 하고자 한 것이다. 시험펌프의 회전수는 단계별로 가변이 가능하고, 여기에서는 60 rpm에서 3000 rpm까지 8단계의 속도조절이 가능하도록 하였다.

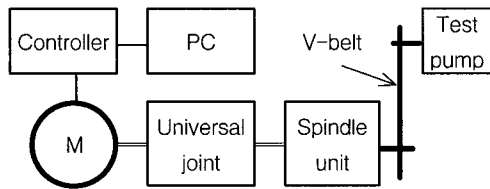


Fig. 1. Block diagram of power train.

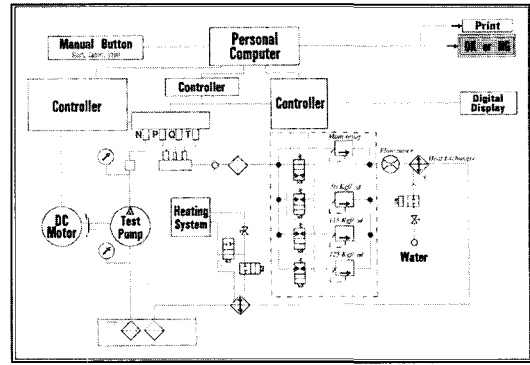


Fig. 2. Schematic diagram of main circuit.

2.2. 유압회로

시험기의 주 유압회로와 측정은 Fig. 2와 같이 이루어져 있다. 펌프에 의해 토출된 작동유는 체크밸브와 고압 필터를 통과하여 유량 · 압력 · 온도를 동시에 측정할 수 있는 Hydro-turbine을 지나게 된다. 이 때 측정된 값들은 지시계에 디스플레이 되며, 동시에 AD convertor를 지나 PC에서 실시간 모니터링 되면서 단계별로 저장된다. 토출 라인상의 압력은 4개의 릴리프 밸브와 Shut-off valve가 부착된 매니폴드에서 변환된다. 압력의 변환은 이미 설정된 릴리프 밸브의 유로를 PC를 통해 단계별로 전환하여 4단계의 압력변화를 얻을 수 있었다[5]. 그리고 릴리프 밸브를 통과한 작동유는 리턴측에서 열교환기에 의해 항상 일정한 온도범위(50~60°C)로 유지되도록 하였다[6]. 본 시험기는 라인과 펌프의 공기를 제거하여 원활한 시험성능의 확보와 캐비테이션 등의 발생을 방지하기 위해 Fig. 3과 같은 진공 시스템을 채용하였다. 진공펌프는 항상 가동되어 있으며 솔레노이드 밸브에 의해 차단되어 있다. 시험 펌프와 라인의 진공은 두 단계로 이루어지는데, 먼저 진공탱크의 진공이 이루어지며 진공 탱크의 진공이 충분히 이루어졌을 때, 비로소 펌프 및 라인의 진공이 행해진다.

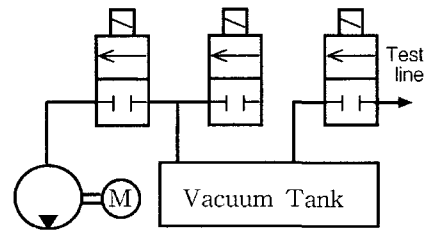


Fig. 3. Block diagram of vacuum system.

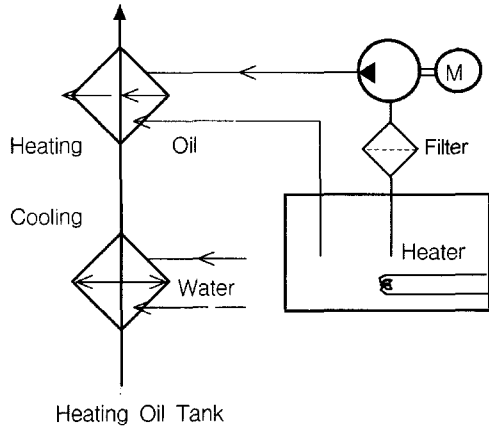


Fig. 4. Block diagram oil temperature control system.

2.3. 작동유의 온도 조절

유압기기에 있어서 작동유의 온도조절은 인간의 체온만큼이나 중요하며 시험시 정확한 온도조절이 시험자료의 정확성을 수반하는 것이다. 본 시험기에서 작동유의 온도조절은 Fig. 4와 같은 이중 열교환 시스템을 이용해 정확한 온도 조절을 꾀하였다. 작동유의 승온은 120°C로 가열된 열매체유를 이용해 승온용 열교환기에서 이루어진다. 이 과정은 일반적으로 시험기에서 펌프를 교체한 후 길들이기 운전중에 행해지며 작동유의 온도가 50~60°C 일 때 비로소 시험에 들어가게 된다. 시험중 펌프 부하에 의한 작동유의 온도 상승이 이루어져 설정 범위 이상으로 되면 냉각수를 냉각용 열교환기에 통과시켜 작동유의 냉각을 행한다.

3. 제어 시스템의 구성

3.1. 시험기의 통합제어구성

본 유압펌프 자동 성능 시험기의 전체적인 제어구성은 Fig. 5와 같이 구성된다. 본 시험기의 특징은 PC를 이용하여 각 부분의 제어를 전체적으로 통합제어한다는 것이다[7]. 모든 제어를 관할하는 PC는 모터의 속도제어, 밸브의 시퀀스제어, 각종 경고제어, 판정제어, 자가 진단제어, 보정제어, 데이터 그래픽처리, 데이터 수집 등을 담당하며 이를 하나의 제어 프로그램을 통하여 통합적으로 제어하게 된다. 따라서 PC는 기존에 산업현장에서 많이 사용된 PLC 제어에 비하여 작은 부피로도 많은 메모리를 확보하여 PLC를 사용한 경우보다 상대적으로 미세한 제어가 가능하다[8]. 또한 수행속도 역시 PLC에 비하여 매우 빠르기 때문에 실

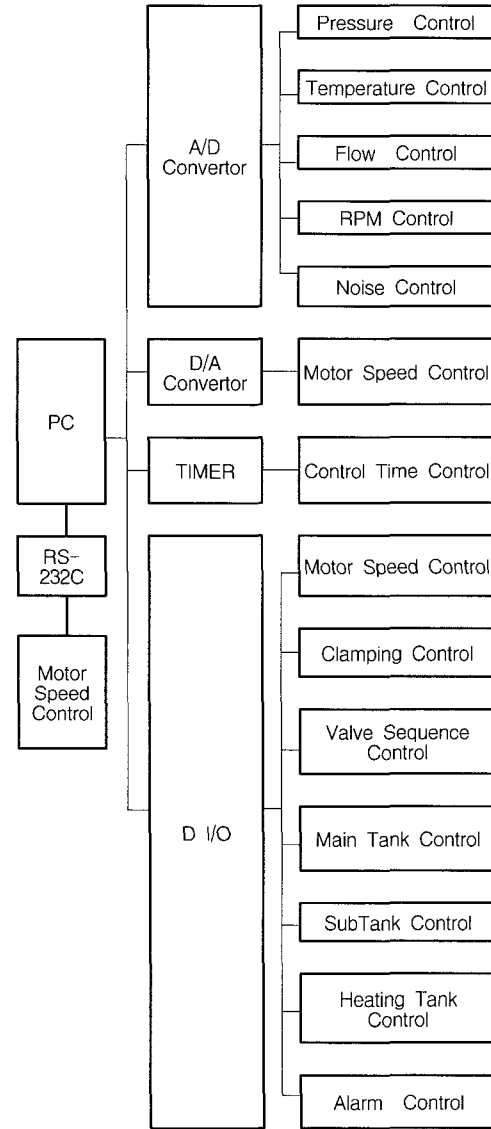


Fig. 5. Schematic diagram of the integrated control system.

시간 동안 많은 I/O 접점처리가 가능하며, 이에 부가하여 실시간 그래픽 처리가 가능하다는 장점을 가진다. 데이터 처리의 경우에 있어서도 PLC는 많은 접점이 요구되며, 접점처리에 따른 많은 수행시간이 요구되나 PC를 사용함으로써 수행시간을 대폭 단축할 수 있었다. 무엇보다도 중요한 장점은 사용자의 프로그램 수정을 통하여 손쉽게 여러 가지 조건을 바꿀 수 있어 보다 유연한 성능 테스트가 가능하다는 점이다. 또한 시험과정을 수동과 자동 모드로 나누어 테스트 펌프가 불합격 판정된 시험단계에 대해서 그 단계에서만 반복

하여 시험을 실시하여 테스트 펌프가 가지는 문제점을 찾을 수 있도록 하였다.

3.2. 모터의 속도제어

유압펌프의 효과적인 성능 시험을 위해서는 모터의 속도를 여러 가지로 가변속해야 한다. 실제 본 펌프 성능 시험기에서 사용된 회전수 범위는 375~1500rpm이며 이를 폴리비로 2배속하여 사용하였다. 본 개발에서는 DC 모터를 사용하여 보다 좋은 제어특성을 확보하였으며 모터의 속도제어는 Fig. 6에서와 같이 구성하였다.

D I/O, 속도설정 저항, D/A Converter를 이용하여 각 시험단계에 따라 설정된 속도의 지령을 모터의 서보기구에 입력하여 모터를 설정된 회전속도로 회전하도록 한다. 또한 타이머와의 통신을 부가하여 지정된 속도를 일정시간동안 유지할 수 있도록 하고, 속도의 피드백제어를 수행한다. 이와 같은 속도제어방식은 모터의 속도를 정확히 제어할 수 있고, 프로그램상의 속도유지시간을 조정하고 타이머와의 통신을 통하여 원하는 시간동안 회전수를 유지시킬 수 있어 보다 유연한 제어가 가능하다. 또한 속도제어는 각 단계별 속도를 고정적으로 설정하는 것 이외에 모터 컨트롤러에서 수동으로 연속적인 회전수의 변화를 줄 수 있도록 하여 사용자의 편의를 도모하였다.

3.3. 밸브의 시퀀스제어

본 시험기에서 시험공정은 솔레노이드 밸브의 ON/OFF 시퀀스에 의하여 각 단계별로 유로를 변경하여 실시된

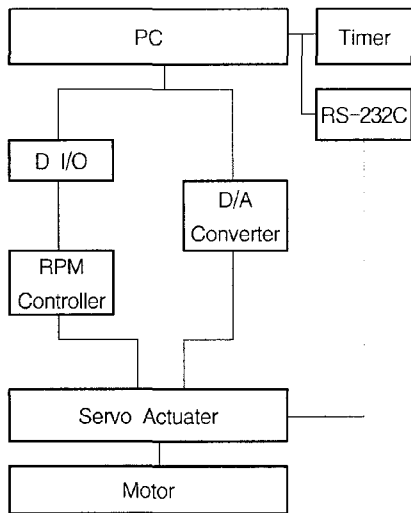


Fig. 6. Block diagram of motor speed control.

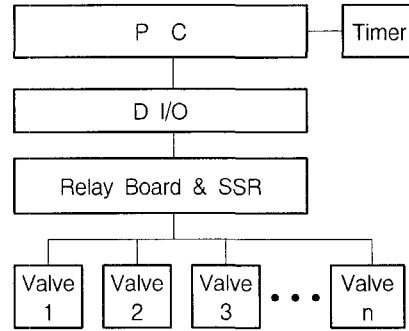


Fig. 7. Block diagram of valve sequence control.

다. 또한 테스트 펌프에 부하를 가하기 위해 세팅압력으로 설정된 릴리프 밸브를 순차적으로 ON/OFF 해야 한다. 따라서 각 솔레노이드 밸브를 제어해야만 하고 그 제어방식은 Fig. 7과 같다. PC, D I/O, 릴레이를 이용하여 제어밸브를 각 단계별 ON-OFF 시퀀스에 의해 제어하여 각 시험단계에 필요한 솔레노이드 밸브를 순차적으로 ON-OFF 하며, 타이머를 통해서 ON-OFF 유지 시간을 자유로이 설정하여 각 단계별 성능을 충분히 확인 할 수 있도록 하였다.

3.4. 경고 및 자기보정제어

본 시험기는 유온초과, 필터막힘, 모터의 이상속도, 클램프 미확인 등에 경고신호를 부과한다. 이와 같은 경고시스템의 제어구조는 Fig. 8과 같다. 설정된 경고 조건의 각 D I/O의 응답을 확인하여 기기의 이상을 감지하고 이를 사용자에게 부저나 경고등을 이용하여 알려준다. 또한, 시험기의 또 한가지 특징은 자가진단

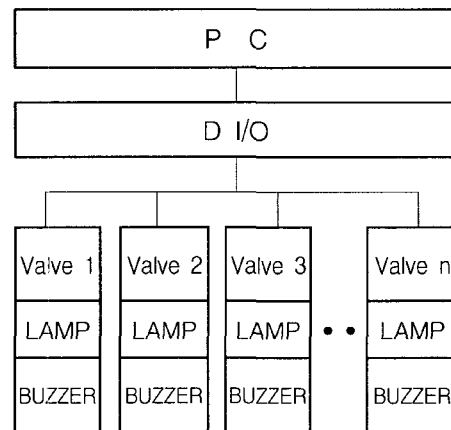


Fig. 8. Block diagram of warning and self-compensation control.

할 수 있다는 점으로 밸브와 센서의 신호가 잘 나오는지 여부를 D I/O를 통해서 정확한 동작 여부를 확인하며, 이상이 발견될 시는 즉시 사용자에게 확인할 것을 알려준다.

3.5. 판정

판정은 압력, 유량, 소음 등을 각 단계별로 판정하여 최종적으로 펌프의 합격여부를 판정하도록 구성되었고, 소정의 판정기준을 설정하여 입력된 데이터가 합격범위에 들어오면 합격으로 판정하게 된다. 또한 판정의 정확성, 신뢰성을 확보하기 위하여 판정시 데이터는 통계처리 과정을 거치도록 하였다. 한편 본 시험기의 사용시 사용자는 시험 전에 시험하고자 하는 항목에 맞도록 릴리프 밸브를 세팅하여야 하고 각 단계에 따른 합격 판정기준을 설정하여야 한다. 이를 위하여 본 시험기에서는 보다 편리하고 정확하게 보정을 수행하기

위하여 풀다운 메뉴로 구성된 별도의 보정 프로그램을 구성하여 프로그램의 지시에 따라 값을 입력하도록 하였다. 이는 주 제어프로그램과 연결되어 사용자가 설정한 사양에 따라 구동되고 판정하게 된다.

3.6. 측정 시스템

데이터의 획득은 주로 압력, 유량, 온도, 회전수, 소음에 대하여 이루어지며 Fig. 9와 같은 구조로서 표현할 수 있다. 압력, 유량, 온도에 대한 데이터 획득은 유압라인 상에 장착된 센서들을 이용하여 데이터를 획득하여 앰프로 증폭시키고 A/D 컨버터를 통하여 PC로 전달하는 구조로 이루어지며 PC에서는 그래픽 화면상에 획득된 데이터를 디지털 값으로 표현하고 동시에 그래프로써 나타내고 각 단계의 합격여부를 판정하게 된다. 또한 측정된 데이터는 파일로 저장되어 언제라도 데이터를 받아볼 수 있도록 하였고 프린터와 연

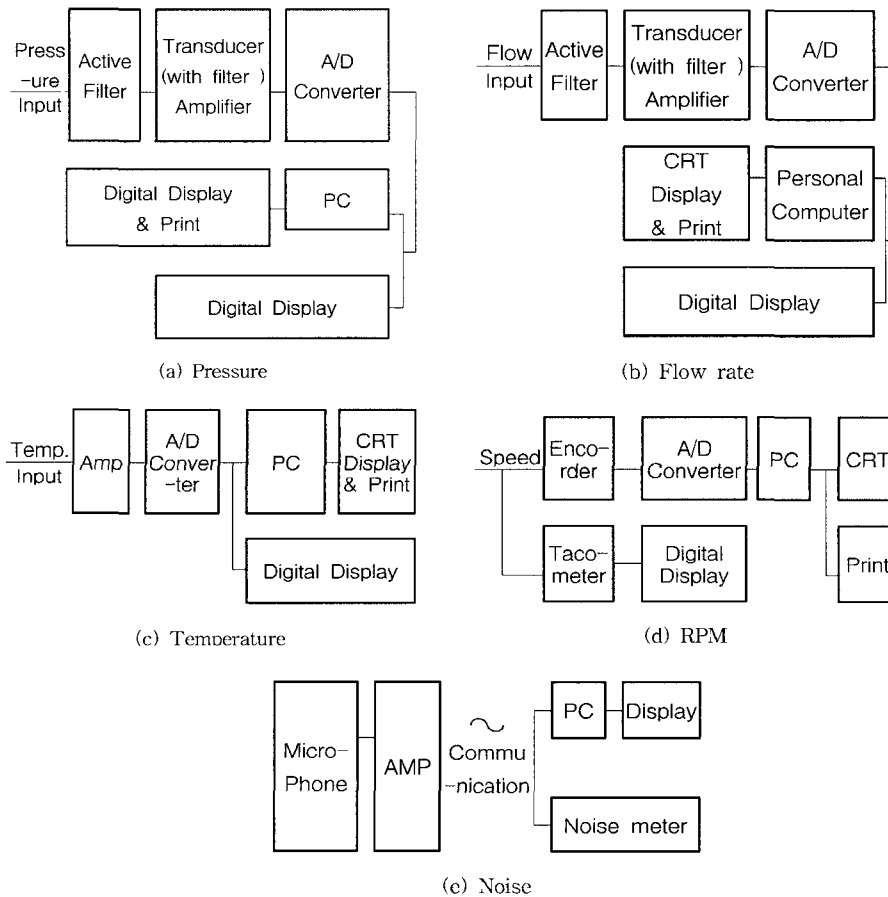


Fig. 9. Block diagram of data acquisition system.

결하여 출력할 수도 있도록 하였다. 이와 같은 방식은 데이터를 실시간으로 받아 처리할 수 있어 고속으로 다량의 데이터 처리를 할 수 있는 장점이 있으며, 데이터의 신뢰성 역시 매우 높다. 회전수는 통상적인 방법인 타코미터를 이용하여 테스트 펌프의 폴리 회전수를 체크하여 회전수 지시계를 통하여 CRT 상에 나타내도록 하였다.

또한 소음은 테스트 펌프로부터 약 15 cm가량 떨어진 위치에 마이크로폰을 설치하여 Amplifier로 증폭하고 A/D converter를 통하여 PC상에 나타내기도 하고 CRT 상의 아날로그 소음 지시계를 통하여 사용자가 관찰할 수 있도록 했다.

4. 시험기를 이용한 유압펌프 시험

본 시험기는 유압펌프의 압력 · 유량 · 소음을 측정하는 기기이며, 각 단계별로 압력 및 회전수의 설정에 따라 압력 · 유량 · 소음을 측정하여 합격 여부를 판정한다. 시험기의 외형은 Fig. 10과 같다. 왼쪽이 Test chamber이고 오른쪽이 시험기의 제어반으로서 시험기의 두뇌에 해당하는 부분이다. 제어반에서는 시험기에서의 모든 신호를 제어하고 시험상태를 평가한다.

공정이 시작되기 전에 먼저 펌프를 시험기에 취부하며 이 때 스윙 클램프를 채용하여 착탈의 용이함을 얻었고, 취부신호는 바로 제어반으로 전달되어 램프의 점등이 행해진다. 그리고 벨트의 장력을 유압실린더에

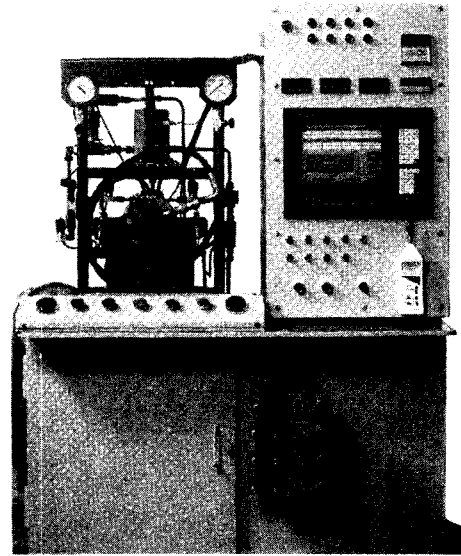


Fig. 10. Photograph of the developed test machine.

의해 주도도록 하였다. 시험공정의 첫 단계는 진공단계이며 이 때 시험펌프와 라인의 진공이 행해진다. 진공공정이 끝나면 Sub-tank에 작동유를 공급하는 오일충진 공정이 이루어진다. Sub-tank에 작동유가 충전되면 근접센서에 의해 이를 체크하여 오일 충전공정을 마무리한다. 그 다음으로 길들이기 공정이 행해지며 이 공정에서는 무부하로 구동된다. 길들이기 공정에서 라인의 온도는 지속적으로 체크되며 시험온도인 50~60°C 내에 유지될 때까지 계속된다. 라인의 온도가 시험은

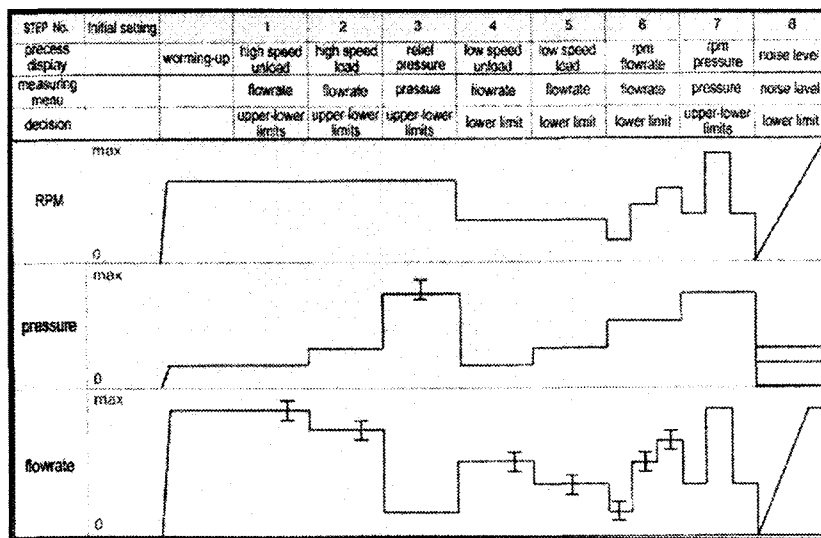


Fig. 11. Schematic diagram of the testing process.

도로 되면 비로소 본 시험단계에 들어가게 된다. 그리하여 각 측정단계를 행하며 합격의 여부를 판정한다. 각 시험단계에서의 시험 회전수 및 압력의 흐름은 Fig. 11과 같다. 본 시험기에서는 그림과 같은 흐름선도에 따른 시험뿐만 아니라 유연한 프로그래밍에 따라 단계의 수 및 단계별 설정압력·회전수를 변화시킬 수 있어 그 범위가 넓다고 할 수 있다.

단계별 회전수의 변화는 DC 서보 모터 시스템에 의해서 행해지며 이의 속도설정 변환은 PC로 이루어진다. 그리고 단계별 유지시간도 PC에 의해 조절된다. 또한 설정압력의 변환은 미리 설정되어진 릴리프 밸브를 Shut-off valve에 의해 개폐하면서 이루어진다. 전체의 공정시간은 약 5분이며 단계의 삽입 및 삭제로 변환이 가능하다.

5. 결 론

본 시험기의 개발은 유압펌프의 시험을 위해 매우 필요한 일이지만 현재 국내에서 이에 대한 개발이 이루어지지 않았고, 수입에 의존하기 때문에 설계변경이 난해한 점에 비추어 볼 때 국내 유압펌프의 개발에 커다란 도움을 줄 것으로 기대된다. 이의 개발에 대해 다시 정리하면 다음과 같다.

1. 본 시험기는 유압펌프 시험에 관련된 부분을 전체적으로 자동화, 시스템화하여 단시간에 원하는 시험

자료를 획득할 수 있어 시간 및 노동력의 절감을 꾀할 수 있었다.

2. 본 시험기에서는 유압기기의 커다란 약점인 공기 혼입에 의한 캐비테이션을 진공시스템의 채용으로 최대한 방지할 수 있어 시험자료의 고 신뢰성 및 펌프의 내구성을 향상시켰다.

3. 유압펌프의 성능측정을 위한 각 단계별 작동을 위하여 모터의 회전수와 솔레노이드 밸브의 ON/OFF 시퀀스제어를 PC를 통하여 효과적으로 제어할 수 있었다.

4. PC를 이용하여 각 부분의 제어를 전체적으로 통합 제어할 수 있는 제어알고리즘을 개발하였다.

참고 문헌

1. 油壓機器出荷についての規模別機種別容量別分析報告書, 日本油壓工業會, 1985.
2. 伊澤計介, 自動制御入門, オ-ム社, 1963.
3. Ernst, W., Oil hydraulic power and its industrial application, 2nd ed., McGraw-Hill, 1960.
4. 古田, 川路, 美多, 原, メカニカルシステム制御, オ-ム社, 1984.
5. 機械圖集-油壓機器, 第 2 版, 日本機械學會, 1973.
6. 山崎弘郎, 森村正直編, センサ工學, 朝倉書店, 1982.
7. 小郷美多, システム制御理論入門, 實教理工學全書, 1982.
8. 西村正, 日本機械學會關西支部 第 106 回 講演會教材, 日本機械學會, 1982.