

압력용기 수압 및 기밀시험 자동화 시스템 개발

이원희*(한국기계연구원), 김동수(한국기계연구원), 이승현(한국기계연구원),
김광영(한국기계연구원)

Development of Automation System of Water-Hydraulic and Leakage Test for Pressure Vessel

W. H. Lee(KIMM), D. S. Kim(KIMM), S. Y. Lee(KIMM), K. Y. Kim(KIMM)

ABSTRACT

In this study, we developed full automation test system for pressure vessel. This pressure vessel containing oxygen, nitrogen and carbon is widely used in industrial field. The test items of pressure vessel are divided into three branches which is weight measurement, water-hydraulic, and leakage test. After leakage test is completed, cleaning and dry progress is carried out. And control system is consist of three controller which is PLC, monitoring system and database system. PLC is control all of system. Monitoring system measures weight, pressure, flow etc and display to all conditions. Database system stores tested data. we design system to control all test modules in communication by a second period with three control modules. Finally, we verified this system by field test.

Key Words : 고압용기(pressure vessel), 수압시험(water-hydraulic test), 기밀시험(leakage test), 생산자동화(manufacturing automation)

1. 서론

산업현장에서 흔히 볼 수 있는 산소, 질소, 탄소 등의 고압용기는 보통 100~300kgf/cm²의 압력이 가해지는 매우 위험한 물건이며, 만약 용기불량이나 용기수명으로 인해 사고가 발생할 경우 생명과 직결된다. 이러한 이유로 압력용기는 생산과정에서 뿐만 아니라 정기적으로 용기의 상태를 검사하여 용기수명을 확인하는 작업이 아주 중요하다. 시험검사 항목으로는 압력용기의 중량측정 및 수압시험 그리고 기밀시험으로 3가지이며, 수압 및 기밀시험의 경우 용기의 정격압력의 2배 정도 압력을 강제로 가하여 시험을 수행하기 때문에 현장 작업자가 항상 위험에 노출되어 있어, 고압을 가하여 시험하는 도중에 용기 폭발로 인한 사고가 빈번하게 발생한다⁽¹⁾. 그러므로 본 연구에서는 사고로부터 예방될 수 있도록 고압용기 무인 자동화 검사 시스템을 개발하였으며, 개발된 시스템을 생산라인에 설치하여 100일간의 시험가동을 수행한 결과 만족 할 수 있는 결과를 확인하였다. 또한 외국장비를 수입한 경우 약 10억원 정

도인데, 5억원 정도를 투자하여 국산화에 성공함으로써, 앞으로의 국내 30여개 고압용기 생산 및 재생업체 수요 창출 및 해외 마케팅 쪽으로도 기대해 볼 수 있을 것 같다.

2. 시스템 설계

본 장에서는 제어시스템의 구성과 전체 검사 시스템에 대해 각 모듈별로 설명하였다.

2.1 제어시스템 구성

압력용기 검사 시스템은 3부분으로 나누어져 있으며, Fig. 1과 같다. 전체적인 장비 제어부를 담당하는 PLC와 실질적인 시험 측정과 전체적인 시스템의 상황을 모니터링 해주는 모니터링 시스템 그리고 시험결과를 D/B화하여 관리를 담당하는 D/B 시스템으로 구성되어 있다. 세 개의 모듈이 1Hz 주기로 통신하면서 시스템을 제어하며, 어느 한 쪽에서라도 문제가 발생할 경우, 나머지 두 모듈에서 자체적으로 시험을 일시 중지시키고, 관리자에게 알려주도록 설계되어 있다.

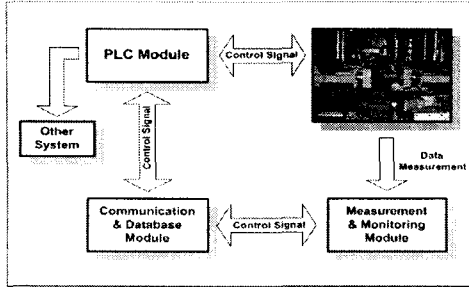


Fig. 1 The layout of developed system

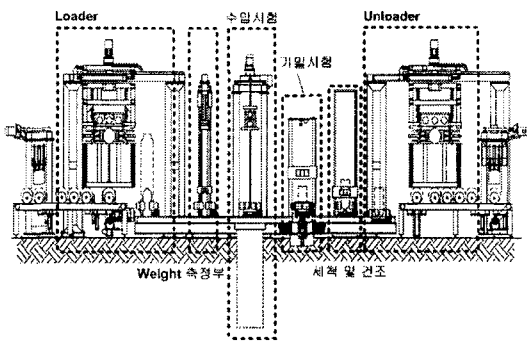


Fig. 2 The scheme of test system

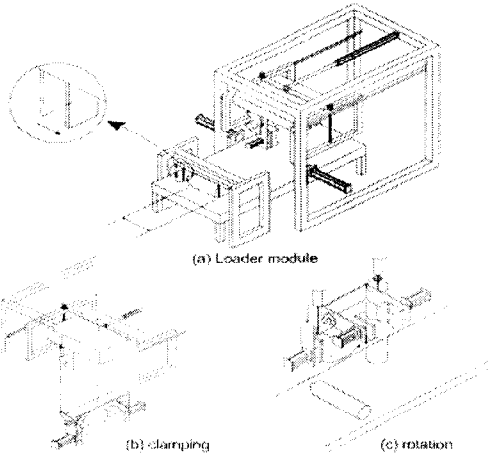


Fig. 3 The scheme of loader module

2.2 로더 및 언로더 모듈

로더(loader) 모듈은 Fig. 2에서 알 수 있듯이 검사 시스템의 첫 부분을 담당하며, 생산라인 위에 있는 고압용기를 검사라인으로 올려주는 역할을 한다. 반면, 언로더(unloader) 모듈은 반대로 검사를 완료한 후 검사라인 위에 있는 용기를 다음 단계로 이동시켜주는 역할을 한다. Fig. 2의 (a)는 로더 모듈의 개념도이며, (b)는 눕혀져 있는 용기를 클램핑 한 후, 이동시켜주는 부분이며, (c)는 클램핑 한 후, 90° 회

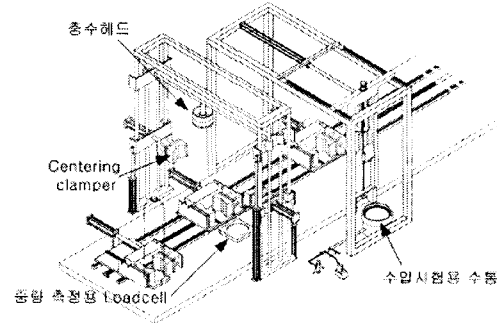


Fig. 4 The scheme of weight and water-hydraulic test module

전 시켜서 세워주는 장치이다. 그리고 로더부분에서는 들어오는 용기를 클램핑 하기 전에 좌,우 실린더를 이용하여 용기의 위치가 중앙에 오도록 한 다음에 클램핑 함으로써, 항상 용기의 중간 부분을 클램핑 하도록 하였다⁽¹⁾⁽²⁾.

2.3 중량측정 모듈

중량측정 모듈에서는 공병 중량 측정, 충수, 충수 후 중량측정으로 3단계로 나누어져 있으며, 중량측정 모듈의 개념도는 Fig. 4와 같다. 작업 공정은 우선, 트랜스퍼에 의해서 압력용기가 로드셀(loadcell) 가이드 위에 놓여지게 되면, 아래로 내려가 있던 로드셀을 위로 올려 공병을 받히면서 공병 중량을 측정한다. 그리고 측정이 완료되고 나면 충수 헤드용 용기 입구로 이동시켜 용기내에 물을 가득 채운 뒤, 다시 한번 중량 측정을 시행하여, 압력용기의 용적을 구한다. 압력용기의 충수 후 중량은 최고 200kg이며, 이때 측정오차는 $\pm 0.2g$ 을 초과하면 안된다. 용기의 공병 무게는 용기표면에 각인되며, 향후, 정기적으로 용기상태를 검사하는데 있어, 초기 중량 데이터가 중요한 의미를 가진다.

2.4 수압시험 모듈

수압시험 모듈의 개념도를 Fig. 5에 나타내었다. 수압시험은 압력용기 검사에 있어 가장 중요한 시험 항목이며, 용기 내부로 250~450 kgf/cm²의 수압을 가하여, 일정시간 동안 압력용기의 영구증가율을 측정하는 시험이다. 시험절차는 다음과 같다⁽³⁾.

(1) 압력용기에 고압을 가하기 위하여 마운트 유닛(Mount unit) 을 체결한다. 이때, 용기의 중심과 마운트 유닛의 중심이 일치하지 않을 경우, 용기와 체결 과정에서 내부 편이 파괴되거나, 아니면 분리가 되지 않는다. 그러므로 체결에 있어 가장 중요한 부분은 어느 한 쪽의 모션을 자유롭게 하여 체결과 동시에 용기와 마운트 유닛의 중심이 일치하도록 해 주

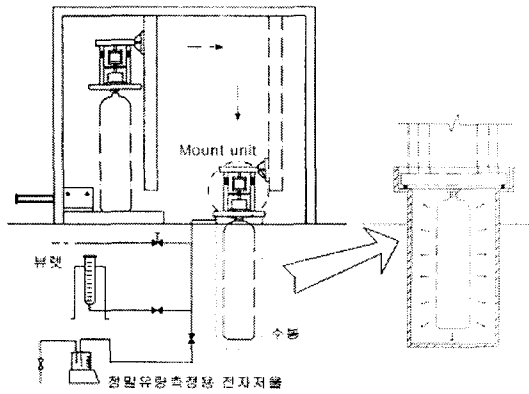


Fig. 5 The scheme of water-hydraulic test module

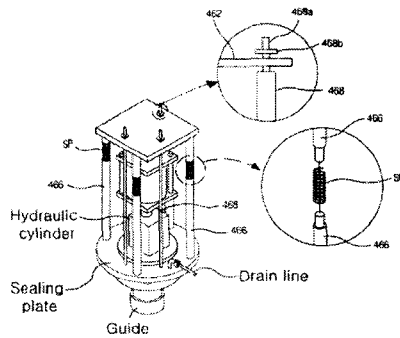


Fig. 6 The scheme of mount unit

어야 한다. 본 연구에서는 Fig. 6과 같이 마운트 유닛을 설계 및 제작하였으며, 스프링과 2단 지지봉을 이용하여 3축에 대해 자유롭게 움직일 수 있도록 하였다. (2) 체결된 용기를 수통에 넣고, Sealing plate가 완전히 수통과 밀착되어 수압시험시 누설이 생기지 않도록 한다. 그리고 팽창 및 수축 유량의 정확한 측정을 위하여, 드레인 밸브를 열고, 수통내부에 물을 충분히 공급하여 수통내의 공기를 제거한다.

(3) 드레인 밸브, 충수밸브, 뷰렛 밸브를 폐쇄하고, 전자저울에 연결된 밸브를 개방하여 펌프를 이용하여, 용기내부로 250~450 kgf/cm²의 수압을 가한다. 설정 압력에 도달한 후, 30초간 유지한 다음 다시 압력을 제거한다. 위 시험에서 용기내부로 고압을 가하면 용기는 압력에 의해서 일정량 만큼 팽창하게 되고, 그렇게 되면 수통내의 물이 용기의 팽창율에 비례하여 전자저울의 비이커로 들어가게 된다. 압력 제거 직전에 비이커의 중량을 측정하여 용기의 팽창유량을 계산한다. 또한 압력을 제거했을 때, 팽창했던 용기가 일정량만큼 수축되면서 비이커에 있던 물이 수통으로 리턴되므로 팽창유량과 동일한 방법으로 수축 유량을 계산한다. 여기서, 압력용기의 영구 증가율을 구할 수 있다⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

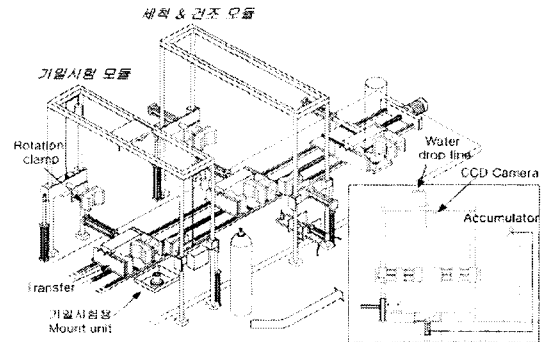


Fig. 7 The scheme of leakage test module

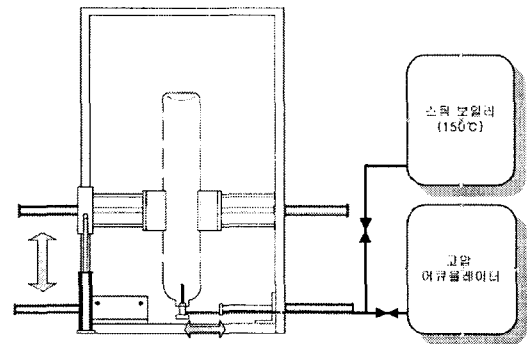


Fig. 8 The scheme of cleaning and dry module

2.5 기밀시험 모듈

기밀시험 모듈은 Fig. 7과 같다. 수압시험에 이어 기밀시험에서는 압력 용기에 누설이 없는지를 확인하기 위하여 고압(150 kgf/cm²)의 압축공기를 가하여 일정시간 동안 압력변화를 측정하는 시험이다⁽³⁾. 시험순서는 다음과 같다. (1)용기에 물이 가득 차 있는 상태에서 회전 클램퍼를 이용하여 180° 회전시켜, 용기를 뒤집는다. 이때, 용기내에 채워져 있는 물의 일부(0.5~1 l)가 배출된다. (2)하부에 설치되어져 있는 기밀시험용 마운트 유닛을 위로 올려 용기와 체결시킨다. (3)용기 아랫부분의 홈에 물을 채운다. (4) 압력용기 내부로 고압을 가한 뒤, 설정치에 도달하면 가압밸브를 폐쇄하고, 일정시간(1분) 유지한 다음 배기 밸브를 개방하여 용기내의 압력을 제거한다. 위 실험에서 1분간 유지하는 동안 압력용기의 내부 압력 변화를 기록하여, 누설이 발생하는지를 검사하며, 동시에 육안으로 확인할 수 있도록, 압력용기에서 가장 취약한 아랫부분의 움푹 들어간 곳에 기포가 발생하는지를 CCD로 제어실에서 확인할 수 있도록 하였다.

2.6 세척 및 건조 모듈

세척 및 건조 모듈의 개념도는 Fig. 8과 같다. 세척

및 건조 모듈에서는 검사공정을 완료 후, 용기내의 물을 완전히 제거한 다음 고압의 압축공기를 이용하여 용기 내부의 찌꺼기를 제거한다. 그리고 스팀보일러에 의해 150℃의 스팀을 용기 내에 공급하여 압력용기를 완전히 건조시킨다.

3. 시험기 제작

앞장에서 설명한 각종 시험을 구현 할 수 있는 시험장치를 아래와 같이 제작하여 현장에 설치하였으며, 시험 장치를 Fig.9에 나타내었다.

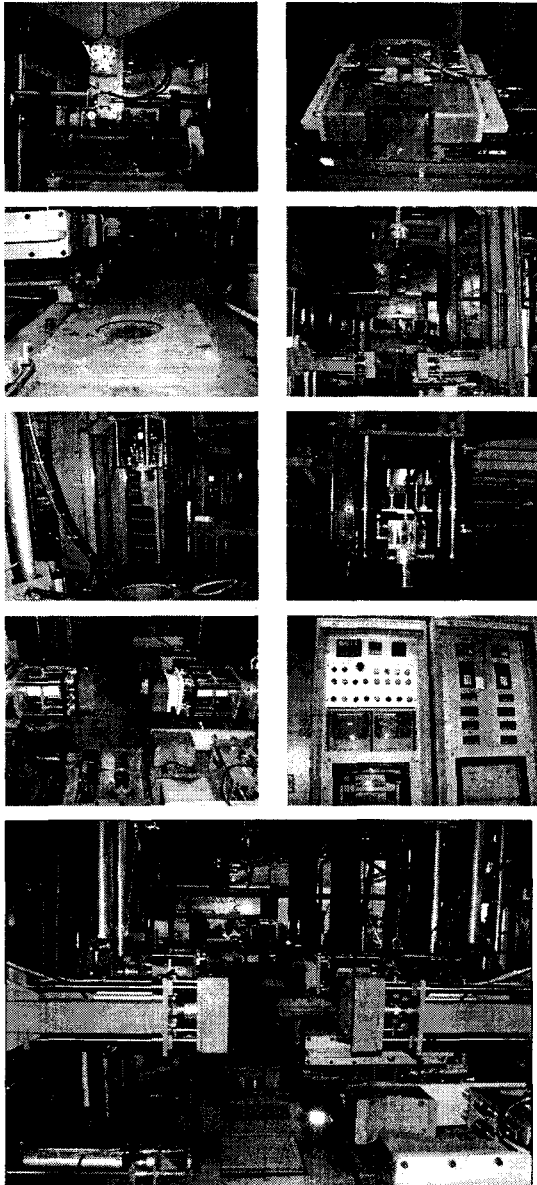


Fig. 9 The picture of developed test system

4. 결론

본 연구에서는 고압용기 자동 검사 시스템을 개발하였으며, 세부적인 연구결과는 다음과 같다.

1) 외국의 고가 장비를 절반의 비용으로 국산화에 성공하였다. 2) 고압용기 수압 및 기밀시험 검사 방법을 정립하였다. 3) 수압 및 기밀 시험을 위한 전용 마운트 유닛을 개발하였다. 4) 고압용기 시험 전용 모니터링 시스템, 데이터베이스 시스템을 개발하였으며, PLC와의 전용 통신 프로그램을 개발하였다.

참고문헌

1. Robert A. Nasca, "Testing Fluid Power Components," Industrial Press Inc., 1990.
2. Anderson, "The Analysis and Design of Pneumatic System", 1967.
3. JIS B 8265, "압력용기 구조-일반사항,"
4. 송창섭, "공기압 기술 실물 매뉴얼", 기술, 1990.
5. 김상진, 안우윤, "공기압시스템," 성안당