

정지봉 낙하측정시스템의 개발

Development of the Drop Measurement System for SOR Unit

최영산, 김영기, 김민진, 박주문, 정연행, 우종섭

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

하나로에는 모두 4 개의 정지봉이 설치되어 있다. 이들은 정상적인 원자로 정지 이외에도 여러 가지 시험 및 실험을 위한 낙하 횟수의 증가로 인하여 이미 보증된 낙하 횟수의 약 67 %에 도달한 실정이다. 이에 현재 사용 중인 정지봉 장치의 수명을 판단하고, 국산화될 제작품에 대한 성능 검증기술을 수립하기 위해 정지봉 낙하 측정 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 정지봉장치의 각종 입력신호를 받아 정지봉의 낙하시간 및 횟수를 측정하고 저장 할 수 있는 측정 프로그램과 펌프 및 하드웨어의 동작을 핸드 스위치에 의해 제어할 수 있는 주제어장치로 구성된다. 본 논문에서는, 약 1개월 동안 현장계측기기의 설치와 교정 작업을 수행한 후에 하나로 유동모의 설비에서 실시한 정지봉 낙하 측정 시스템의 성능시험 결과를 기술하였다. 추후 이를 바탕으로 정지봉 장치의 예상 수명을 판단할 수 있고 내구성을 입증할 수 있을 것으로 예상된다.

Abstract

Four shut off rods (SORs) are installed in HANARO. Their numbers of dropping have already reached about 67% of the guaranteed maximum numbers of dropping due to the increased tests and experiments in addition to the normal operation. Thus we have developed the SOR drop measurement system in order to decide the remaining lifetime of SOR units being used at present and to establish the performance verification technique for the SOR units to be

localized in near future. The system consists of the measurement program that measures and stores the SOR drop time, and the number of dropping by taking the various signals from SOR and the main control part that controls the pump and hardware's action by hand switches. In this paper, we described the results of the performance test of SOR drop measurement system in HANARO flow simulation facility after installation & calibration of the field instrument for about one month. In future, on the basis of the results, we could decide the expected lifetime of SOR units and prove the durability of them.

1.0 서론

현재 운전에 사용 중인 정지봉 장치는 설계 검증 당시 1500회까지 낙하 시험을 실시하여 내구성이 검증된 것이 사용되고 있으며 예비품도 확보하고 있다. 그러나 그 이상의 낙하 횟수에 대한 성능 및 내구성은 현재까지 입증되지 않고 있다. 이 장치들은 정상적인 원자로의 정지 이외에도 여러 가지 시험 등으로 인해 이미 보증된 낙하 횟수의 약 67 %에 도달하였다. 검증된 낙하 횟수 이상으로 정지봉 장치를 원자로에 이용하기 위해서는, 성능 및 낙하시험을 통해 내구성이 입증되어야 한다. 따라서 현재 사용 중인 하나로 정지봉 장치의 수명을 판단하고 향후 제작될 국산품에 대한 성능검증기술의 확보를 위해 정지봉 낙하 측정 설비를 개발하게 되었다.

이 시스템은 하나로에서 사용 중인 정지봉 낙하시험장치와 유사하게 제작하였고 하나로와 유동특성이 동일한 하나로 유동모의설비(이하 1/2노심 시험루프) 설치하였으며 전체적인 구성은 수압 및 공기압 계통, 현장계측기기, 정지봉 구동장치, 제어 판넬 및 주 제어반으로 나뉜다. 2003년 8월부터 각 계통 및 현장 계측기기, 정지봉 구동장치, 제어 판넬 및 주제어반을 설치하였다. 정지봉을 포함한 구동장치는 보유하고 있는 예비품을 사용하였고 나머지 구성품들은 새로 제작과 구매를 거쳐 시험루프에 설치하였다. 정지봉의 구동상태를 전송하는 현장 계측기기들은 정지봉 구동장치에 설치하기 전 자체 교정을 실시하여 성능을 확인한 후 실제 시험에 사용하였다. 제어 판넬 및 주제어반은 논리도에 따라 각종 스위치 및 계전기들의 동작 상태를 점검하였고, 정지봉 구동장치와 신호 입출력 관계, 구동 프로그램의 동작 상태도 점검하였다. 마지막으로, 모든 신호 체계가 점검된 상태에서 정지봉 낙하시험장치의 종합적인 성능시험을 실시하였다. 본 논문에서는 각 계통 및 중요 계측기기의 교정, 설치 과정 및 성능시험에 관하여 기술하였다.

2.0 측정시스템의 설치와 성능 시험

정지봉장치 낙하시간 측정설비는 수압 및 공기압 계통, 현장계측기기, 정지봉 구동 장치, 측정프로그램 및 주제어반으로 나뉘지며 그림 1과 같다. 수압계통에 있는 정지봉 펌프는 정지봉 실린더를 가압해서 정지봉을 인출하고 이때 압력스위치에 의한 인출 신호가 제어 패널로 입력된다. 정지봉을 낙하시키기 위해 공기압 계통의 솔레노이드밸브가 공기압을 우회시키면 정지봉 실린더 내의 압력이 낮아져 정지봉이 낙하하게 되고 이때 압력스위치에 의한 낙하 신호가 다시 제어 패널로 입력된다. 즉 이 두 신호가 정지봉의 인출 및 삽입을 감지하는 신호가 된다. 이때 압력 Transducer는 실린더 내부의 압력 변화를 전압신호로 주제어반에 전송하고 이 신호의 변화는 실제 낙하시간 측정에 사용된다. 또한 1/2노심 시험루프의 수위, 온도 및 유량 신호등은 낙하시간 측정 변수로 사용된다. 사용된 현장 계측 신호는 총 5종 12 sets 가 사용되었고 아래 표 1과 같다.

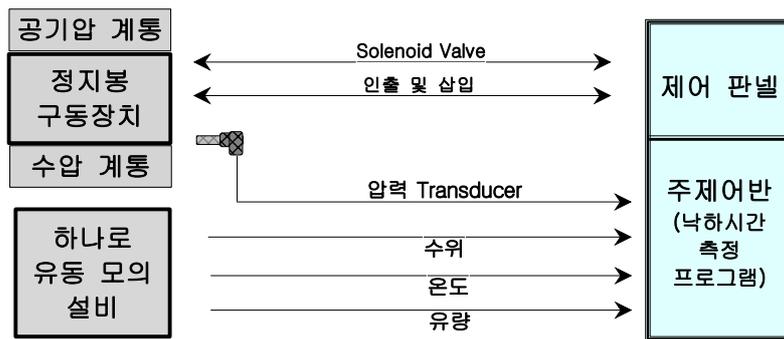


그림 1. 정지봉장치 낙하시간 측정설비의 구성도

종 류	용 도	수 량(set)	신호 종류	비고
압력 스위치	정지봉 완전 인출 및 완전 삽입 검출	4	점점신호	NO
압력 지시기	정지봉 펌프 출구압력 지시	1	현장 지시용	Psi
압력 전송기	낙하시간 측정용	1	4 ~ 20 mA	
솔레노이드 밸브	정지봉 낙하시 압력 우회	3	24V DC	
신호 분배기	유동모의설비의 온도, 수위, 유량 전송용	3	4 ~ 20 mA	

표 1. 정지봉 낙하시간 측정설비에 입력되는 계측 신호

2.1 수압 계통의 구동 원리 및 설치

정지봉은 정지봉 펌프에서 공급된 순수가 정지봉 실린더를 가압할 때 수압에 의

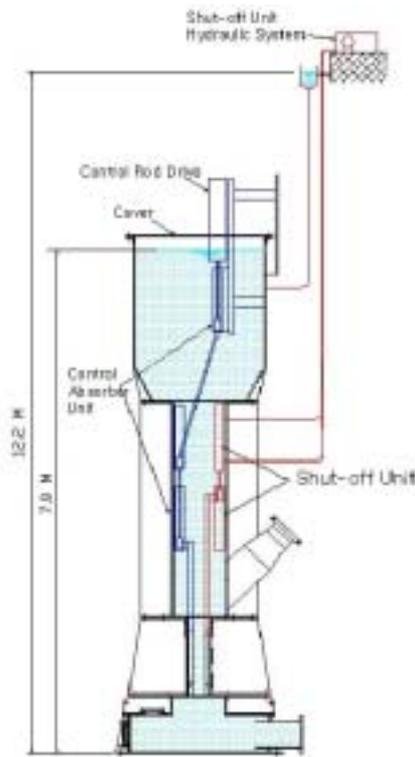


그림 2. 정지봉장치 설치도

정지봉 장치의 피스톤 밸브에 연결된 3개의 배관과 정수압 조정 탱크에 연결된 배관이 있다. 아래의 그림 3은 설치된 수압계통의 모습을 나타내고 있다. 좌측으로부터 수조쪽 배관, 연결배관, 수조상부의 배관으로 구성되어 있다. 정지봉장치의 모든 시험은 수조상부의 수압장치 쪽에서 이루어지며 계측기기 및 분석장치도 그곳에 설치되어 있다.

수압계통의 설치에서 가장 중요한 점은 누수 방지를 확실히 하여야 한다는 것이다. 하나로와 달리 모든 배관이 공기중에 노출되어 있으므로 배관 이음매의 누수로 인한 배관내의 기포 생성은 정지봉 구동에 영향을 준다. 또한 수조덮개쪽과 시험로 외부의 경우는 실리콘 팩킹을 사용하여 누수를 막았다. 1/2노심 시험루프 정지봉장치의 체크밸브의 경우 1주일정도의 펌프 정지 후에 수위가 떨어지는 현상이 발생되어 Priming이 필요하였다. 또 중요한 점은 정지봉 실린더 설치 전에 반드시 Flushing을 하여야 한다는 점이었다. 정지봉 실린더의 경우 조그만 부스러기에도 민감한 반응을 보이며 오작동의 요인이 되기 때문에 실린더 안쪽으로 직접 연결되는 배관의 경우 작동 후 약 3-4분간 Flushing이 반드시 수행하여야 했다.



그림 3. 정지봉 수압계통

2.2 공기압계통의 특성 및 설치

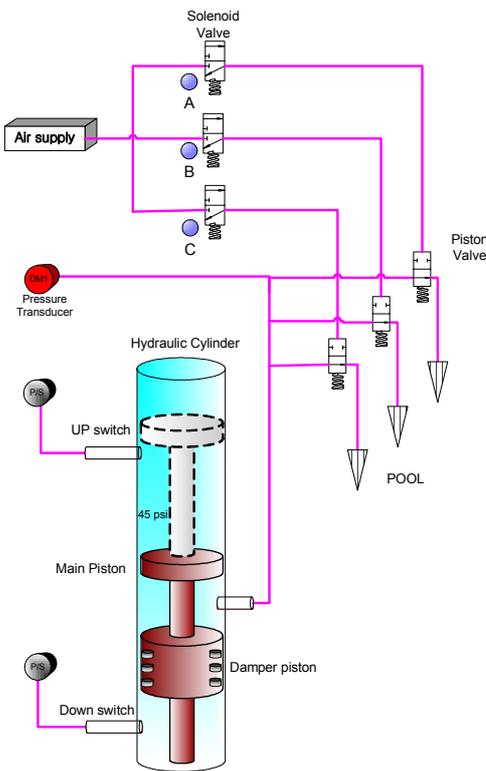


그림 4. 동작 개략도

공급되지 않는 상태에서 논리적으로 항상 낙하상태를 유지하도록 설계되어 있다. 또한 공기압이 공급되지 않는 상태에서도 마찬가지로 낙하상태를 유지하도록 되어야 한다. 또한, 솔레노이드 밸브로 공급되는 공기는 깨끗하고 건조하여야 하며 일정한 압력이 유지되어야 한다. 따라서 하나로와 동일하게 같은 높이에 저압탱크를 설치하였다. 그림 5는 시험시설에 설치된 공기압장치와 공기압에 의해 제어되는 솔

그림 4는 공기압 장치의 제어 원리를 나타낸 개략도이다. 정지봉의 인출은 주제어반 제어기의 전기신호에 의해 솔레노이드 밸브가 열리게 되고, 동시에 피스톤 밸브를 닫게 하여 정지봉실린더로 물이 유입되면서 정지봉은 수압에 의해 인출된다. 반대로 전기적신호를 끊게 되면 솔레노이드 밸브는 닫히고 피스톤밸브는 열리게 되므로 실린더로 유입되던 물이 수조쪽으로 빠지게 되어 정지봉의 자중에 의해 자유낙하 된다. 공기압 장치는 3개의 라인이 정지봉 A, B, C 솔레노이드 밸브에 각각 하나씩 연결되어 구동제어 장치의 전기적신호에 의해 Bypass로 작동한다. 일반적으로 정지봉의 낙하는 최소 2개의 솔레노이드 밸브의 작동만으로도 이루어져야하며 그 또한 허용낙하시간 내에서 이루어져야 한다. 정지봉장치는 전기가

솔레노이드 밸브와 피스톤 밸브의 모습이다.



그림 5. 정지봉 공기압장치 및 솔레노이드밸브와 피스톤밸브

설치에 중요하게 고려되었던 사항은 배관내부의 청결도와 피스톤밸브의 작동 여부였다. 솔레노이드 밸브는 단지 전기적신호에 의해서만 작동한다. 따라서 밸브의 설치시 정지봉장치의 작동원리를 숙지하여 솔레노이드 밸브에 연결되는 공기압장치의 배관의 위치가 연결위치에 따라 피스톤밸브가 다른 동작을 하므로 연결시 위아래의 위치가 바뀌지 않도록 주의하였다. 또한 정지봉장치의 주 제어반을 통해 3개의 밸브 모두 올바르게 작동되는 지를 확인했고 신호와 동작사이의 지연이 발생하지 않는지도 확인할 필요가 있었다.

2.3 계측기기의 교정 및 신호 특성

압력스위치는 정지봉 실린더의 인출과 삽입 포트에 각 2 sets 씩 총 4 sets가 실제적인 정지봉 인출 및 삽입 상태를 감지하기위해 사용되었다. 즉, 정지봉이 해당 위치에 도달할 경우 실린더 포트의 배관에 직렬로 연결된 스위치들이 인출 시는 12 psi, 삽입 시는 20psi의 압력을 감지하게 된다. 정지봉의 움직임에 따라 배관내의 압력이 설정된 스위치의 압력값에 도달하여 두개의 스위치가 모두 동작할 경우에만 정지봉을 정상위치로 인식한다.

이 스위치의 압력조정범위는 3.9 ~ 80 psi, 수압부의 구조는 벨로우즈 형태이고, 스위치 형태는 DC 24V SPDT 이다. 해당 스위치가 동작한 경우에는 스위치 접점에 가해진 24V DC에 의해 정상적인 루프가 이루어진다. 이 신호가 제어 판넬에 입력되고 램프가 점등되도록 하여 정지봉의 위치를 감지하는 원리이다. 그림 6은 사용된 4 sets 의 압력스위치에 대해서 자체적인 교정 작업을 실시한 결과이다. 교정 작업에 사용된 계측장비는 먼저 국가 공인기관의 교정을 거친 후시험에 사용하였다. 입력 압력은 Digital Manometer와 핸드 펌프를 이용하여 인가하고, 이때 출력

되는 점점 신호는 Digital Multimeter를 이용하여 2회씩 반복하여 실시하였다. 즉, 입력 압력을 서서히 증가시키면서 완전 인출스위치는 설정치인 12 Psi에서, 완전 삽입스위치는 20 Psi 에서 스위치가 동작되는지를 확인하고 설정값에 정확히 동작하도록 반복 교정을 실시하였다. Digital Manometer는 YOKOGAWA 2655로 $\pm 0.03\%$ rdg. 오차를 갖는 계기를 사용하였고, Digital Multimeter 는 Fluke-87로 $\pm 0.2\%$ rdg. 오차를 갖는 계기를 사용하였다. 측정 결과 신호의 최대 편차는 각각 -0.11% (A), -0.08% (B), 0.06% (C)로 계기의 스펙 오차인 $\pm 0.25\%$ 를 충분히 만족하고 있음을 확인 할 수 있었다.



그림 6. 압력스위치 교정 결과

압력 트랜듀서는 실제 측정 시험에서 사용되는 매우 중요한 계기로 1 set가 정지봉 낙하측정시스템에 사용되었다. 정지봉 펌프가 정상적으로 동작하고 정지봉이 인출된 상태에서는 배관내의 정지봉 실린더 내부의 압력이 약 30 Psi 정도로 상승하고 압력트랜듀서에 인가된다. 이때 압력트랜듀서는 인가된 압력에 비례하여 약 7.2 mA 의 전류를 출력하고 다시 I/V 컨버터를 거쳐 약 1.8 V DC를 정지봉 인출 신호로 사용한다. 반대로, 정지봉이 낙하하는 경우는 압력우회용으로 설치된 솔레노이드밸브에 의해 정지봉실린더 내부와 압력트랜듀서에 가해지는 압력이 수조수로 위회되면서 0 Psi 로 떨어지게 된다. 압력트랜듀서는 zero 압력에 비례하는 4 mA 의 전류를 출력하고 I/V 컨버터를 거친 약 1.0 V DC를 정지봉 삽입 신호로 사용한다. 즉, 정지봉이 인출했을 때의 전압 1.8 V DC에서 삽입했을 때의 전압 1.0 V DC 까지 전압이 하강하는 시간을 측정하여 정지봉낙하시간을 측정한다. 압력트랜듀서의 측정 범위는 0 ~ 10 bar 이고 이에 비례하는 출력신호는 4 ~ 20 mA DC 이며 최대 $\pm 0.25\%$ 의 비선형성 및 히스테리시스를 갖는 정확한 제품을 사용하였다. 그림 7은 제어봉 구동 설비에 여유분으로 비치한 2 sets를 포함한 총 3 sets에 대해서 자체적으로 성능 및 신호 특성을 확인한 그래프이다. 신호특성에 사용된 계측장비는 먼저 국가 공인기관의 검교정을 거친 후시험에 사용하였다. 우선, 신호의 선형성

을 확인하기 위해서 스펠 입력을 다섯 구간으로 나누어 Deadweight Tester로 압력을 인가하고, 이때 출력되는 전류 값을 Digital Multimeter로 측정하는 방식으로 2회씩 반복하여 실시하였다. Deadweight tester는 Pressurements W1800을 사용하였고 Digital Multimeter는 Keithley 196으로 최대 $\pm 0.05\%$ rdg. 오차를 갖는 계기를 사용하였다. 측정 결과 신호의 최대 편차는 각각 -0.11% (A), -0.08% (B), 0.06% (C)로 계기의 스펠 오차인 $\pm 0.25\%$ 를 충분히 만족하고 있음을 확인 하였다.

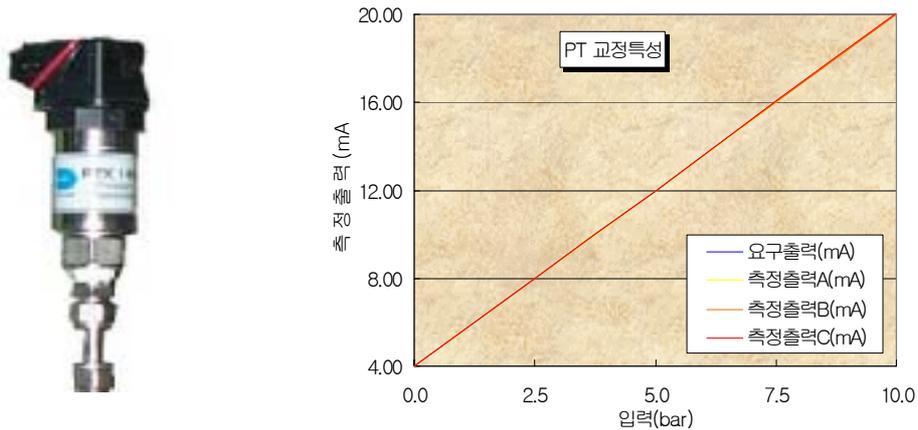


그림 7. 압력트랜듀서의 신호 특성

정지봉의 인출 및 낙하시험을 하기 위해서는 1/2노심 시험루프의 유체 조건이 하나로와 똑같은 상황 하에서 시험을 실시하여야 한다. 1/2노심 시험루프 수위, 온도 및 유량 신호를 낙하시간 측정 시 참고로 사용하기 위하여 별도의 신호 분배기 (Signal Distributer)를 사용하여 1/2노심 시험루프 주제어반에 설치하였다. 이 신호 분배기는 산업용으로 제어계측 분야에서 널리 사용되고 있는 제품으로 최대 $0.1\%F.S$ 의 오차를 갖고 있으며 단일 채널의 입력에 최대 4 채널을 출력할 수 있고 변압기를 사용하여 입력과는 절연된 형태로 출력을 하는 제품이다. 아래 그림 6은 사용된 신호 분배기와 자체적으로 교정을 실시한 후 각 신호에 대한 신호 특성을 그림으로 나타낸 것이다.

사용된 신호분배기는 3 sets 가 사용되었으나 차후 사용될 예비품 1 set를 포함하여 총 4 sets에 대해서 교정을 실시하였다. 또한, 교정에 사용된 계측기기는 모두 국가 검교정 기관에 의뢰하여 교정을 거치고 충분한 정확도를 유지한 상태에서 실시하였다. 먼저 동작 전원인 110VAC를 인가하고, 출력 전류의 선형성을 확인하기 위해 입력 전류 전 구간을 5등분 하여 인가하고 그때마다의 출력을 각 채널에서 확인하는 방식으로 실시하였다. 입력 전류원으로 사용된 장비는 최대 교정오차가 $0.025\%F.S$ 인 저전류발생기(Altek 334)를 이용 하였고 출력전류 측정은 Keithley

196 Digital Multimeter로 최대 $\pm 0.05\%$ rdg. 오차를 갖는 계기를 사용하였다. 교정 결과, 각 계기들의 교정 오차는 1/2노심 시험루프 수위가 최대 0.034%, 노심 유량이 0.026%, 시험로 온도가 0.075%로 계기 오차인 0.1%를 충분히 만족하고 있었다.

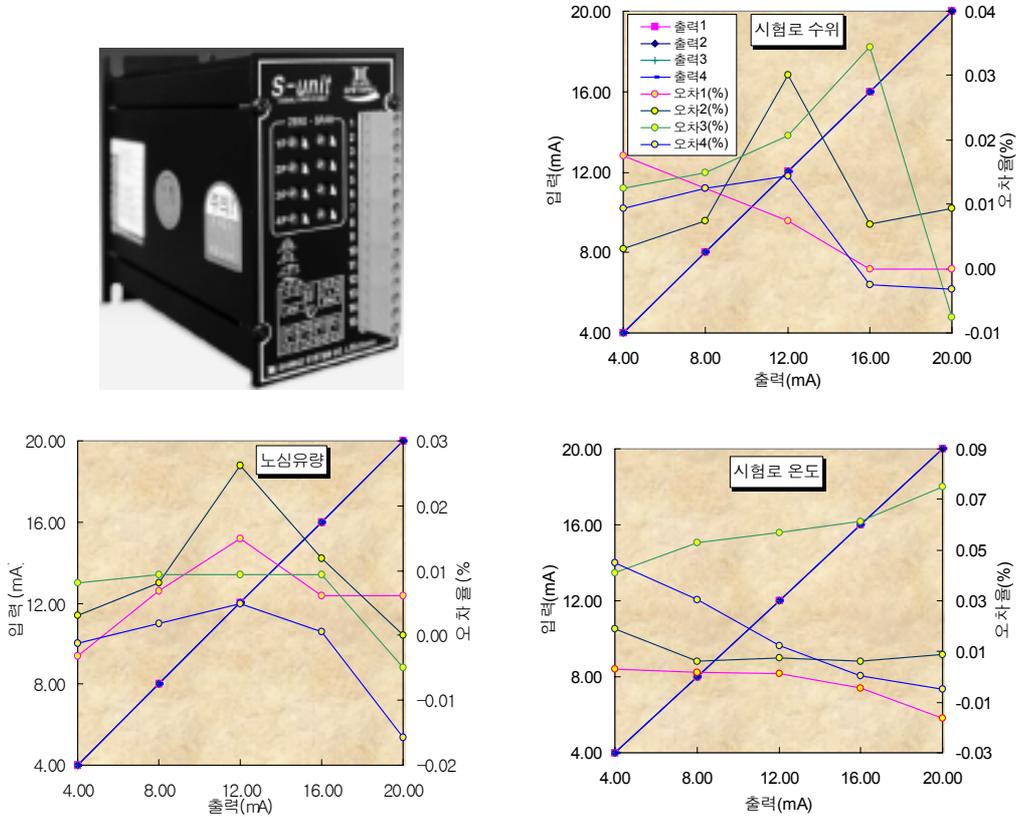


그림 8. 신호분배기의 교정 후 신호 특성

솔레노이드밸브는 정지봉을 낙하 및 인출시킬 경우에 제어봉실린더 내부의 압력을 제어하기 위한 목적으로 3 sets 가 사용되었다. 정지봉의 인출 동작은 정지봉 펌프와 연결된 실린더 내부의 수압 상승으로 이루어지고 솔레노이드밸브는 수조수로의 우회관을 차단하고 있어 실린더 내부의 압력을 유지하게 된다. 정지봉을 낙하시킬 경우는 솔레노이드밸브를 동작시켜 정지봉 실린더 내부의 압력이 수조수로 우회하도록 하여 정지봉이 낙하하게 된다. 그림 9는 시험로에 설치된 솔레노이드밸브를 보여주고 있다. 사양은 3-Way 24V DC 용이다. 이 밸브의 시험은 시험시설에 설치하기 전에 DC Power supply를 이용하여 전압을 인가할 때 마다 밸브가 정상적으로 동작하는지를 3회씩 확인하였다. 3sets모두 정상적으로 동작되고 있음을 확인하였다.



그림 9. 솔레노이드 밸브



그림 10. 압력지시계

정지봉펌프의 토출압력을 측정하기 위한 압력 지시계는 1 sets 가 사용되었다. 단지 펌프의 정상적인 토출 압력만을 확인하기 위한 목적이고 현장에서 확인 할 수 있도록 설치하였다. 이 계기도 자체적으로 교정을 완료하였다. Digital Manometer 와 핸드 펌프를 이용하여 압력을 가하면서 기준 압력인 Manometer와 압력 지시계를 비교하면서 확인하였고 오차가 1% 미만인 것으로 확인되었다.

2.4 주제어반의 구성 및 측정프로그램 설치

정지봉 장치의 성능 시험 및 내구성 시험을 위한 인출 및 낙하시험을 하기 위해서는 위에서 기술한 하드웨어 이외에도 데이터를 측정, 수집 및 분석하는 도구가 필요하다.

주제어반은 데이터 수집 및 측정을 위한 컴퓨터 및 제어기로 구성되고, 분석프로그램은 제어기를 통해 자동제어 및 측정데이터를 분석할 수 있도록 하였으며, 일반 산업용으로 널리 쓰이는 19" Rack을 이용하여 구성하였다. DA Board가 내장되어 실질적인 연산을 수행하는 기록용 컴퓨터, 현장 계측기기로부터 계측되는 다양한 신호 및 정보들을 실시간으로 확인할 수 있는 17" Monitor 및 계전기 회로로 구성된다. 또한 제어컴퓨터 및 기계구동프로그램으로부터의 각종 제어 또는 지시신호를 받아들이고 적절한 형태의 인출 및 낙하신호 및 상태제어신호를 출력하는 핵심 제어장치이다.

제어기는 정지봉의 인출/낙하 및 솔레노이드밸브 작동 버튼, Power 버튼, Auto/Manual Hand Switch 및 Up/Down 지시등으로 구성되어 있으며 정지봉을 직접적으로 구동하고 인출 및 낙하 시키는 역할을 하며 그림 11과 같다.

계전기 내부회로는 현장 계측기기 전원용 및 계전기 동작전원으로 사용되는 24V DC 전원부, 프로그램의 명령에 의해 컴퓨터로부터 출력되는 디지털 신호에 따라 24VDC 전원을 on/off 하는 SSR 계전기부, 제어봉 장치의 수동 및 자동 모드 시

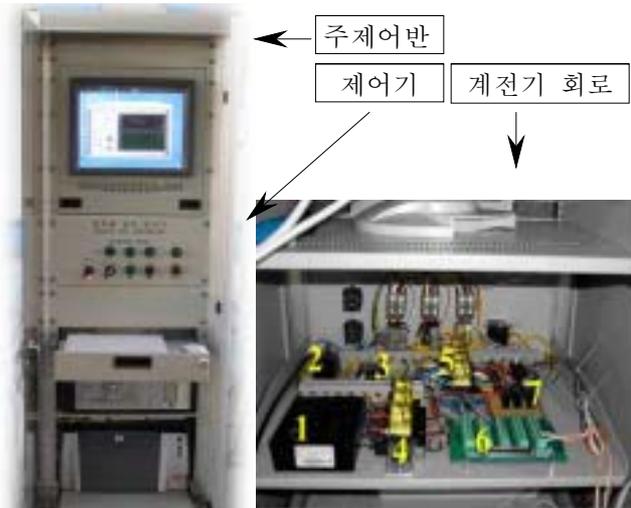


그림 11. 주제어반 및 제어기

에 솔레노이드밸브 A, B, C의 전원을 on/off 하는 기계접점 계전기부, 정지봉의 임출 및 낙하에 필요한 디지털 접점 신호를 내보내고 온도, 유량 및 수위등의 신호처리배선이 연결되는 단자대등으로 구성된다. 시험로의 주제어반과 정지봉 구동장치의 특성을 포함하여, 신호의 특성과 노이즈에 영향을 고려한 신호의 연결 방법, 시스템이 요구하는 응답시간을 고려한 Sampling 주기 선

정, 입력신호가 정해진 정확도의 범위 내로 걸리는 시간인 신호의 안정화 시간 등과 같은 일반적인 사항을 충분히 고려하여 제작 하였다.

입출력 신호 시스템에 사용된 DAQ Board는 산업용으로 널리 쓰이는 NI사의 PCI-6014를 사용하였다. DAQ Board는 현장에 열악한 환경 조건을 고려하여 온도, 습도 전기적 노이즈에 강하도록 설계된 제품을 선정했으며, 아날로그입력(AI) 모듈, 아날로그출력(AO) 모듈, 릴레이 입력(Relay Input) 모듈 등으로 입출력 하드웨어를 구성하였다.

화면 구성에 사용된 Software는 LabVIEW 6.1 과 제어용 PDI Tool Kit 을 사용하였다. LabVIEW는 화면의 개발과 선정된 하드웨어 지원이 용이한 장점이 있다. 또한 그래픽 도구를 포함하며, 시스템의 운전상태를 표시하거나, MMI를 지원하고 사용자의 입력을 받아서 적절한 응용 동작을 수행하는 기능을 한다. 컴퓨터의 대용량 기록 매체를 이용해서 사용자가 편리하게 연구 할 수 있도록 제작하였다. 현장에서부터 측정된 신호 데이터들은 시간에 따른 추이를 저장 초기값부터 게이지 및 램프방식으로 측정된 값들이 실시간으로 표시되며, 쉽게 전체시스템 상태를 파악할 수 있도록 구현하였다. 실험이 끝난 후에도 “측정 및 저장 포인트 리스트”의 모든 저장된 값을 분석하기 위해 여러 가지 방법으로 출력을 할 수 있도록 하였다. 시간에 따른 그래프를 프린터로 출력이 가능하고, 모든 값들을 테이블방식으로 표시하고, 프린터로 출력 가능토록 하였다. 또한 측정 기록된 값들에 대해 엑셀이나 텍스트 플렛등의 외부프로그램에서 Import하여 사용할 수 있도록 Text 방식의 파일을 만들어 출력하도록 하였다.

낙하시간을 자동 및 수동으로 측정하기 위한 프로그램은 원하는 운전 방식과 반복

횃수등을 입력하여 정지봉이 인출 및 낙하됨에 따라 인출 및 낙하 성능이 그래프와 데이터로 기록될 수 있도록 하였다. 또한 주화면상에 정지봉의 현재위치와 시험시설의 온도, 유량 및 압력을 확인할 수 있도록 하였고 정지봉 계통뿐만 아니라 시험시설의 운전 변수들도 데이터로 저장될 수 있도록 하였다. 낙하시험은 사용자가 설정한 횃수만큼 허용범위 내에서 자동으로 반복하여 실험이 되며 데이터를 저장하도록 되어있으며 설정된 낙하 및 인출시간을 벗어나면 에러데이터를 출력하여 정지봉장치의 분석이 가능하도록 되어있다. 데이터 변환장치와 제어 프로그램의 디지털타이머로부터 수집된 신호를 받아들이고 인출 및 낙하시간을 측정하여서 선정된 기준치 내에 정상적으로 측정되어지는지를 판단하기 위한 자가진단기능을 수행한다. 저장된 데이터를 분석하여 실제 647mm의 낙하시간을 자동으로 압력데이터를 분석하여 측정하고 선정된 기준치(1.13초 이내)내에 정상적으로 측정되어지는지를 판단하여 비정상이 발견되는 즉시 경보신호를 출력하고 시스템을 정지시킨다.

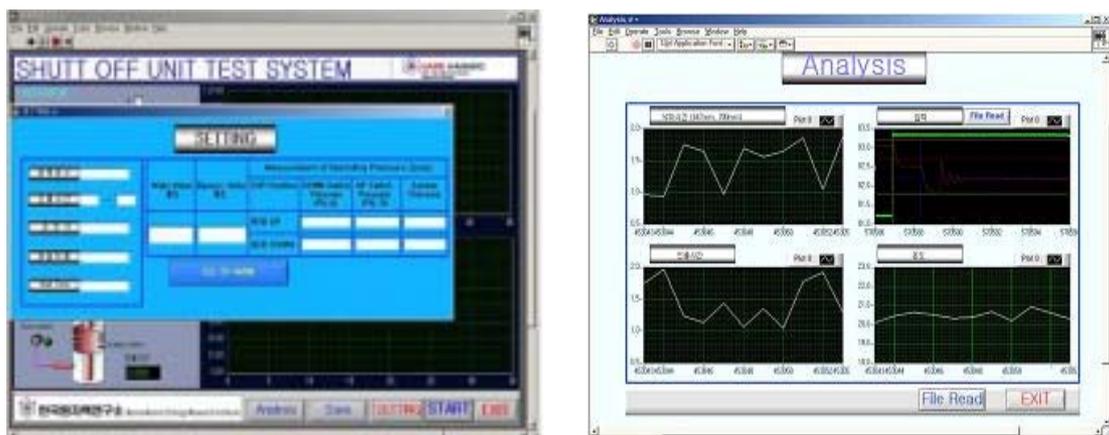


그림 12. 측정프로그램의 주 화면 및 분석 화면

위의 그림 12는 측정프로그램의 주 화면과 분석 화면을 보여주고 있다. 주 화면에는 정지봉 장치의 상하스위치의 동작, 솔레노이드 밸브의 바이패스(bypass) 설정상태, 수조수위, 유량, 수조온도등이 자동으로 표시된다. 각 회수 별 단일 압력 곡선이 도시되어 자동적으로 순수 낙하시간이 측정되고 압력그래프의 하단부에는 낙하시간이 누적 횃수로 진행되어 총 낙하 설정횃수에 따라 낙하시간이 판정범위에 들어가는지를 자동으로 판단한다. 또한 하단부 메뉴에는 초기 설정과 시스템 분석, 프로그램 시작버튼이 위치하며 주화면에서 얻어지는 정지봉 장치에 대한 모든 정보가 자동 출력되며 성능 분석 시트에 자동 기입하도록 하였다. 분석 화면은 메뉴에서 file read버튼을 누를 시에 저장된 데이터베이스 file을 불러 올려서 필요한 시기의 시험횃수에 저장된 낙하시간과 압력곡선, 인출시간, 온도등의 정보를 나타내어 운전자가 실험중에라도 나온 데이터를 바로 분석할 수 있도록 하였다. 또한 압력곡선에 대한 것은 file read

메뉴를 따로 만들어서 한번의 실험데이터에 대해서 기존의 프로그램 방식과 유사하게 각 부위 별 측정이 가능 하도록 하여 출력데이터의 건전성을 유지하도록 하였고 또한 이를 분석 가능 하도록 하였다.

2.5 측정시스템의 성능 시험

모든 계통 및 현장계측기기의 교정 및 설치가 완료된 후, 1/2노심 시험루프 및 주변 계통을 정상적으로 기동하면서 정지봉 낙하측정시스템의 종합적인 성능시험을 실시하였다. 우선 1/2노심 시험루프를 가동시키면서 온도, 유량 및 수위 신호선들의 결선 상태, 신호 건전 상태 및 주제어반으로의 입력 상태를 확인하였다. 또한 정지봉 측정시스템 계통의 전원 공급 및 정상 가동상태를 확인하였고, 주제어반으로 입력되는 압력전송기 신호 및 우회 벨브 전원에 대해서도 신호들이 정상적으로 유입 되는지를 확인 하였다.

모든 시스템이 정상적으로 가동한 상태에서 정지봉을 인출하여 낙하시키는 방법으로 측정한 결과이다. 주제어반으로 유입되는 모든 데이터를 컴퓨터 용량 매체에 text 파일로 저장하였고 이 파일을 엑셀로 변환하여 그림으로 도시하여 아래 그림 13에 나타내었다. 하나로와 동일한 유동 조건을 모의하여 정지봉 낙하시험을 하기 위해 위해서 1/2노심 시험루프를 약 2시간 정도 가동하였고 이때의 유량, 온도 및 압력 신호를 각각 기록하였다. 유동 조건이 만족한 후 측정을 실시한 결과 T1, T2는 1.09sec, 1.08sec 로 기준 설정치인 1.13 sec를 만족하고 있었으며 성공적으로 측정을 완료할 수 있었다.

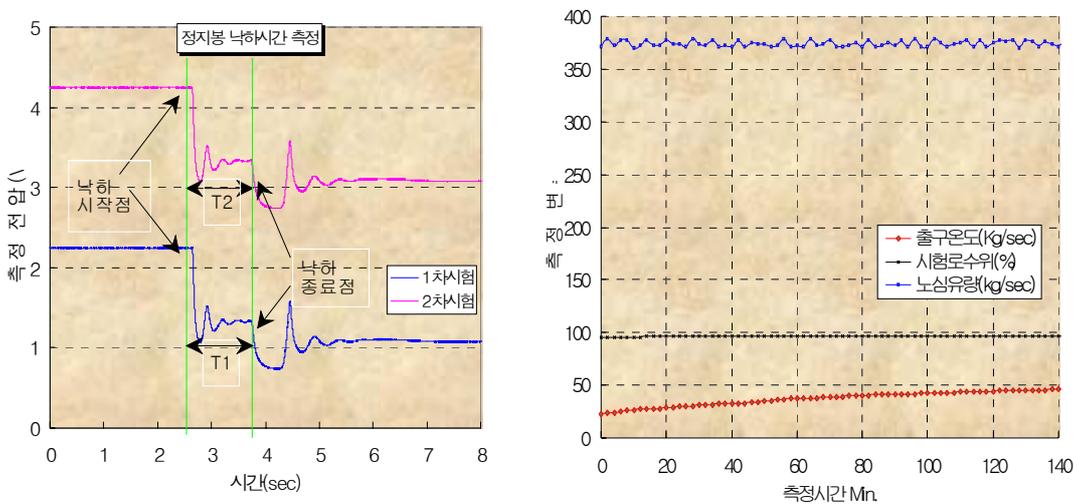


그림 13. 정상 가동중 Data 기록장치의 신호 특성

4.0 결론

본 논문에서는 현재 사용 중인 하나로 정지봉 장치의 수명을 판단하고 향후 제작될 국산품에 대한 성능검증기술의 확보하기위하여, 수압 및 공기압 계통, 현장계측기기, 정지봉 구동장치, 제어판넬 및 주 제어반등으로 구성되는 정지봉 낙하측정 시스템을 하나로와 유동특성이 동일한 1/2노심 시험루프에 설치한 과정 및 계통 특성을 기술하였다. 또한 측정 프로그램을 이용하여 정지봉 실린더 내부압력, 시험로 냉각수 온도, 수위, 정지봉 장치 배관 유량 신호를 수집하여 정지봉 낙하시간의 측정 및 분석을 통한 내구성 검증이 가능하게 되어 현재 사용 중인 하나로 정지봉 장치의 수명을 판단하고 향후 제작될 국산품에 대한 성능검증기술의 확보가 가능하게 되었다.

향후 이 측정시스템을 이용하여 1/2노심 시험루프에 설치된 정지봉 장치의 성능시험 및 내구성 시험을 수행할 예정이며, 이 장치를 하나로에 설치된 정지봉 장치에도 적용하면 정지봉 장치의 낙하시간 측정 등의 정기점검에도 활용할 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

- [1] 정연행, “하나로 정지봉 장치 자동제어 및 성능평가 시스템 개발”, 한국원자력학회 2003년도 추계학술발표회 논문, 2003. 10
- [2] 조영갑, “정지봉 인출 및 순수 낙하시간 측정시험 정지점검 절차서”, 한국원자력연구소, HANTAP -05-OD-ROP-SI-32, 개정번호 4, 2002