

하나로용 복수 시편 장착용 기계적 시험 장치 설계 및 제조

Design and Fabrication of Mechanical Test Machine with Multi-Specimen for HANARO

최용*, 조만순, 강영환

* 선문대학교, 충남 아산시 탕정면 갈산리 100
한국원자력연구소 대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

국내 연구로용 원자로인 HANARO에서 조사 시험 효율을 극대화하고 보다 많은 조사 시험 자료를 단기간에 경제적으로 국내에서 확보하기 위하여서는 복수 시편이 장착될 수 있는 조사 시험용 기계적 특성 시험 장치를 설계하고 제조하였다. 설계된 복수 시편이 장착된 기계적 시험 장치는 1차적으로 4개의 시편이 동시에 장착되고 직경과 길이가 각각 60x750mm인 캡슐에 장착되도록 상단에 2개와 하단에 2개를 90도 엇갈려 배치하였다. 각각의 부품은 회모양의 두 개의 고정쇠(yoke), 직경 약 25mm인 벨로우즈(bellows), 핀(pin), 그립(grip), 밀대(push rod) 소형 선형 변위 차등 변압기(Linear Voltage Differential Transformer, LVDT)로 구성되어 있다. 복수 시편 장착용 기계적 시험 장치의 부품은 방전 가공에 의하여 정밀 제작되었으며 용접부의 안정성 검사 후 조립되었다. 소재는 원자로 내에서의 내식성과 가공성을 고려하여 304L 스테인레스 강을 사용하였다.

Abstract

A mechanical test machine with multi-specimen for HANARO was designed and fabricated. The multi-channel test machine contains four specimens, pairs of the specimens stay in the up and bottom parts of the main capsule with 90 degree distortion. The specimens are tested independently in the multi-channel test machine. Each module of the machine has yoke, bellows, pin, grip, push rod and LVDT. The parts are made of 304 stainless steel by electro-discharge machining, which were inspected after machining and welding.

1. 서론

원전 가동 조건의 다양한 변화와 원자로의 안정성을 고려할 때 원자로 소재의 조사 시험(in-pile irradiation test)은 필수적이다. 연구로용 원자로에서 조사 시험을 수행하기 위하여서는 사용자의 용도에 맞는 조사 시험용 특수 장치가 필요하다. 국내 연구로용 원자로인 HANARO에서 사용되는 조사 시험용 특수 캡슐은 기계적 작동 기능은 우수하나 시편을 하나만을 장착하여 조사 시험을 수행하는 초기 모델이어서 현재 사용자들이 요구하는 많은 량의 조사 시험 연구를 충분히 수행할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 조사 시험 효율을 극대화하고 보다 많은 조사 시험 자료를 단기간에 경제적으로 국내에서 확보하기 위하여서는 복수 시편이 장착될 수 있는 조사 시험용 기계적 특성 시험 장치의 개발이 시급히 수행되어야 한다. 본 연구에서는 조사 시험용 복수 시편이 장착된 기계적 시험 장치의 설계, 제조하였다. 이를 통하여 HANARO에서 사용될 복수 시편이 장착된 조사 시험용 캡슐의 설계 및 제작에 필요한 기초 기반 기술을 제공하고 조사시험 평가와 조사시험용 캡슐 설계 및 활용에 직접 기여하고자 하였다.

2. 실험방법

조사 시험용 복수 시편이 장착된 기계적 시험 장치의 설계, 제조 및 성능 평가를 하기 위하여 JAERI,에서 사용한 복수 시편 장착용 조사 시험 장치와 AECL의 NRU와 NRX에 상용된 조사 크립 시험 장치 개발 과정을 설계 개념과 각각의 모델의 문제점과 개선 방법을 검토하고 국내 연구로용 원자로인 HANARO의 구조에 근거하여 조사 시험용 복수 시편이 장착된 기계적 시험 장치를 설계하였다. 복수 시편을 장착하기 위하여서는 부품의 소형화와 효과적인 배치가 필수적이다. 동시에 각각의 시편에 대하여 시험을 순차적으로 또는 동시에 진행되도록 독립적인 제어 장치가 필요하다. 이를 위하여 상용 소형 LVDT의 규격을 검토하였다. 시료에 하중 부하를 위하여 소형의 응력 부하 벨로우즈가 필요하다. 응력 부하 벨로우즈에는 조사에 대한 저항성, 내 고온성 및 감마선에 의하여 자기 발열을 캡슐 이외에 전달하고 동시에 일정한 발생력과 벨로우즈의 진직도가 중요하다. 스테인레스 벨로우즈는 상용화되어 있기 때문에 복수 시편을 장착하기 위하여서는 상용의 소형의 벨로우즈를 검토하였다. 흑연판이 내장된 미끄럼형 베어링(sliding bearing)을 부착하여 밀대의 움직임을 향상시킬 수 있으나 상용화되어 있지 않기 때문에

직접 설계하여 제작하였다. 가열기와 온도 조절기는 상용 열전대와 내 방사선용 열선을 사용하여 하나로 운전 조건을 고려하여 조사 시편의 온도가 700°C까지 유지될 수 있도록 열량을 고려하였다. 조립 부품의 일반 사양과 소재, 시험 장치 내부의 조립 부품의 일반 사양으로서 벨로우즈 조립부품, 고정쇠 조립 부품과 유압 노즐 부품, 확장관(extension tube)과 열전대와 가스 유입 관으로 각각 검토하였다. 부품의 소재는 내식성과 가공성을 고려하여 304 L 스테인레스 강을 사용하여 제작되었다. 각각의 부품의 설계 도면을 확보함으로써 HANARO에 적합한 복수시편 장착용 시험 장치를 설계하는데 필요한 기본 자료를 확보하였다. 설계 도면은 HANARO에 적합하도록 크기와 모양을 고려하여 설계되었으며 도면은 auto-cad 2000으로 작성하였다.

3. 결과 및 고찰

JAERI의 복수 시편이 장착된 조사 시험 장치 개발을 위한 연구는 (1) 열중성자 보호재 및 열중성자 포집재의 선정 (2) 열중성자 보호재의 원자로에의 영향 (3) 캡슐의 개념 설계 (4) 열중성자 보호재의 제작 (5) 열중성자 보호재의 성능 확인 시험 (6) 캡슐의 mock-up 시험 (7) 캡슐의 상세 설계 순으로 수행되었다.[11] JAERI의 캡슐의 개념설계의 조건으로서 시료의 조사는 (1) 고속중성자 조사량으로 10^{21} n/cm² (2) 조사온도 550°C (3) 시료 수 2개 (4) 표점 간 크리프변형의 측정 (5) 열중성자 보호 또는 열중성자를 포집한 조건하에서 실시하는 것이다. JAERI의 정량적 크리프 측정방법은 시료의 간극(check)간의 변위를 차동 변속기를 이용하여 변형량을 측정하였다. JAERI의 mock-up 시험에서는 다음의 것들을 확인하였다. (1) 캡슐의 조립시험과 방법을 검사하고 접합부 등의 최고 제작 공차 결정 (2) 시료에 대한 가 하중의 접동 저항을 측정할 기구의 검토 및 최상의 제작 공차 결정 (3) 알루미늄 크리프시험 시편을 사용하여 파단 시험을 수행하는 것과 크리프변형 측정이 가능한 것과 파단 될 때의 각각의 기구부에 부적합이 없는 것을 확인한 것이다. 하중부하의 확인 시험은 시험편에 가한 하중은 하중부하용 벨로우즈의 시험 중에 발생한 힘으로 캡슐 조립에 의한 접동 저항을 상쇄한 값을 측정함으로써 수행하였다. 이상으로부터 본 연구를 통하여 하나로용 복수 시편 장착용 조사 시험 장치는 (1) 4개의 독립적으로 변형이 가능한 복수 시편 장착 (2) 벨로우즈를 이용한 하중 부과 (3) 선형 변위 측정기를 사용한 변형량 측정 (4) 미끌림 베어링을 이용한 진격도 유지 (5) 상용 조사용 열선 사용 (6) 고순도 알루미늄을 이용한 공간 메움의 기본 조건을 설정하였다. 또한 본 연구에서는 복수시편이 장착된 기계적 시험 장치의 기본 설계조건

으로서 (1) 피복관의 조사 조건을 고려하여 300℃, 3 watt/g의 감마 가열속도, 5×10^{20} n/cm²의 중성자 조사량 및 200 MPa의 응력에 견딜 수 있으며 (2) 복수 시편이 장착되기 때문에 각각의 시편이 조사 조건에 효과적으로 배치되도록 부품의 소형화가 필요하고 (3) 시험 방법이 각각의 시편에 대하여 순차적으로 또는 동시에 시험 평가가 진행될 수 있도록 설계되어야 하며 (4) 핫셀(hot cell)에서 쉽게 해체 또는 수리될 수 있으며 (5) 시편의 설치 및 제거가 용이하도록 구조가 단순하며 (6) 각각의 시편이 다른 장치와 쉽게 연결이 가능하며 제어가 되는 것을 고려하였다.

본 연구에서 설계된 복수 시편이 장착된 기계적 시험 장치는 1차적으로 4개의 시편이 동시에 장착되고 각각의 시편이 동시에 또는 순차적으로 조사 조건에서 시험 평가가 진행될 수 있도록 설계된 것이 특징이다. 4개의 시편을 장착하기 위하여서는 각각의 시편에 대하여 하중을 유도하는 부분(load induced part), 하중을 가하는 부분(loading mechanism part), 시편을 지탱하는 부분(specimen holding part), 조사 크립 변형량을 측정하는 부분(irradiation creep deformation measuring part)과 외부 연결 관과 도선이 기본적으로 필요하다. 이들이 직경과 길이가 각각 60x750mm인 캡슐에 장착되도록 상단에 2개와 하단에 2개를 90도 엇갈려 배치하였다. 하중을 유도하는 장치는 회모양의 두 개의 고정쇠(yoke)로 구성되어 있다. 하중을 가하는 부위는 직경이 약 25mm인 벨로우즈(bellows)를 사용하였으며 벨로우즈를 포함하고 있는 압력관에 가스를 공급하여 벨로우즈가 축소되면서 하중을 가하는 방법을 선택하여 벨로우즈의 휨(buckling)을 억제하도록 하였다. 시편을 지탱하는 부분은 시편은 핀(pin)으로써 그립(grip)에 고정하는 방법이 설치가 용이하고 판상이나 봉상의 시편이 장착될 수 있도록 설계 제작되었다. 변형량 측정 부분은 밀대(push rod)와 직경 20mm의 소형 선형 변위 차등 변압기(Linear Voltage Differential Transformer, LVDT)를 사용하여 측정하도록 고안되었다. 복수 시편 장착용 기계적 시험 장치의 부품은 방전 가공에 의하여 정밀 제작되었으며 용접부의 안정성 검사 후 조립되었다. 소재는 원자로 내에서의 내식성과 가공성을 고려하여 304 L 스테인레스 강을 사용하였다.

Fig. 3-1과 Fig. 3-2는 하나로에 사용될 복수 시편 장착용 조사 시험장치의 전체 도면과 실제 사진이다. 이 장치의 특징은 시편이 4개가 장착되며 각각의 시편은 외부에서 가한 가스 압에 의하여 벨로우즈가 수축함으로써 응력이 이음쇠에 전달되고 이음쇠는 시편을 고정한 상부 그립에 연결되어 시편을 신장하도록 고안되었다. 하부 그립은 벨로우즈를 포함한 압력용기의 외통에 고정되어서 이음쇠의 수직이동을 돕고 시편의 정렬을 원활하게 고안되었다. 시편은 그립과 핀으로 고정되며 열중성자에 가능한 많이 노출되도록

하였다. 이음쇠 상단에는 신장량을 측정할 수 있도록 베어링과 밀대를 설치하여 LVDT를 이용하여 선형 변위량을 측정할 수 있도록 설계되어 있다. 스테인레스 304L 강을 사용하여 가공하였다. LVDT의 직경은 1.9mm이며 LVDT 보호관의 내경을 조절함으로써 크기가 다른 상용 LVDT로 교체할 수 있도록 하였다. 각각의 부품은 스테인레스 304L 강을 사용하여 방전 가공하여 제작하였다.

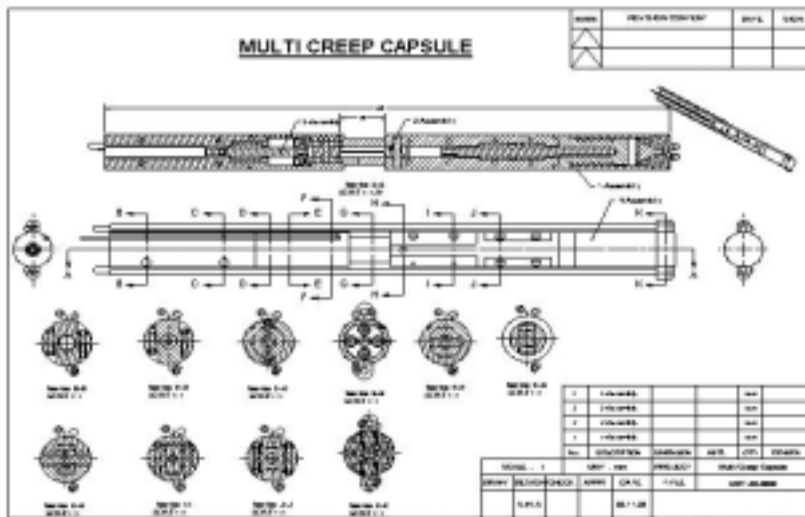


Fig. 3-1. One unit of multi-channel mechanical test machine



Fig. 3-2. Photo of one unit of multi-channel mechanical test machine assembly (top) and disassembly (bottom)

4. 결론

국내 연구용 원자로인 하나로(HANARO)에 적용될 복수 시편 장착용 기계적 시험 장치를 설계, 제조 및 성능 평가를 수행하여 다음을 얻었다.

1. 복수 시편이 장착된 기계적 시험 장치는 4개의 시편이 동시에 장착되고 각각의 시편이 동시에 또는 순차적으로 조사 조건에서 시험 평가가 진행될 수 있도록 직경과 길이가 각각 60x750mm인 캡슐(multi-channel capsule)이다. 4개의 시편은 캡슐 상단에 2개와 하단에 2개를 90도 엇갈려 배치되어 있는 것이 특징이다.

2. 각각의 시편에 대하여 하중을 유도하는 부분(load induced part), 하중을 가하는 부분 (loading mechanism part), 시편을 지탱하는 부분(specimen holding part), 조사 크립 변형량을 측정하는 부분(irradiation creep deformation measuring part)과 외부와의 가스 공급용 관(tube)과 도선으로 구성되어 있다.

3. 하중을 유도하는 장치는 회모양의 두 개의 고정쇠(yoke)로 구성되어 있다. 하중을 가하는 부위는 직경이 약 25mm인 SUS304 벨로우즈(bellows)를 사용하였으며 벨로우즈를 포함하고 있는 압력관에 가스를 공급하여 벨로우즈가 축소되면서 하중을 가하는 방법을 선택하여 벨로우즈의 휨(buckling)을 억제하도록 하였다. 시편을 지탱하는 부분은 시편은 핀(pin)으로써 그립(grip)에 고정하는 방법이 설치가 용이하고 판상이나 봉상의 시편이 장착될 수 있도록 설계 제작되었다. 변형량 측정 부분은 밀대(push rod), 와 직경 20mm의 소형 선형 변위 차등 변압기(Linear Voltage Differential Transformer, LVDT)를 사용하여 측정하도록 하였다. 복수 시편 장착용 기계적 시험 장치의 부품은 SUS 304를 방전 가공에 의하여 정밀 제작되었으며 용접부의 안정성 검사 후 조립 제작되었다.

5. 참고문헌

1. S. R. MacEwen and V. Fidleris, AECL-5552, 1976.
2. W. K. Axander, V. Fidleris and R. A. Holt, ASTM/STP -633, 1978, pp. 344-352.
3. D. S. Wood, Journal of Nuclear Materials, vol. 65, 1977, pp. 329-335.
4. Toshin Kogyo Co. unpublished paper.
5. D. O. Hobon, et al., ASTM-STP-754, 1980, pp. 40-41.
6. G. T. C. Carpenter, J/ F. Watter and R. J. McElroy, J. Phys. E : Sci Instrum., vol. 14, 1981, pp. 40-41.
7. V. Fidleris, I. R. Emmerton and R. D. Delaney, Journal of Physics E, vol. 5, 1972,

pp. 442-444.

8. P. G. Anderson, AECL-3738, 1971.

9. JMTR Irradiation Handbook, 1995.

10. JAERI-memo 11-017, 1999.

11. Y. H. Kang et al., KAERI/RR-2038/99, 2000.

12. Y. Choi, B. G. Kim and Y. H. Kang, Proc. Korean Nuclear Society, May 1999.