

요르단 연구용원자로 제어봉구동장치의 성능검증시험

Performance Qualification Test of the CRDM for JRTR

최명환[†]·조영갑^{*}·김정현^{**}·이관희^{***}
M. H. Choi, Y. G. Cho, J. H. Kim and K. H. Lee

(Received September 7, 2015 ; Revised November 27, 2015 ; Accepted November 27, 2015)

Key Words : JRTR(요르단연구용원자로), CRDM(제어봉구동장치), Performance Qualification(성능검증), Drop Test(낙하시험), Endurance Test(내구성시험), Test Rig(시험장치)

ABSTRACT

A control rod drive mechanism(CRDM) is a reactor regulating system, which inserts, withdraws or maintains a control rod containing a neutron absorbing material within a reactor core to control the reactivity of the core. The top-mounted CRDM for Jordan Research and Training Reactor(JRTR) with 5 MW power has been designed and fabricated based on the HANARO's experience through KAERI and DAEWOO consortium project. This paper describes the performance qualification test results to demonstrate the operability of a prototype and four production CRDMs during the reactor lifetime. The driving performance, the drop performance and the endurance tests for CRDM are carried out at a test rig simulating the actual reactor conditions. A vibration of internal components due to the coolant flow is also measured using a laser vibrometer. As a result, the CRDMs are driven having a good driving performance without a malfunction between command and output signals for the stepping motor. Also, the pure drop time and the impact acceleration are within 0.72 s and 4.2 g to meet the design requirements, and the vibrational displacement of control rod is measured as maximum 5.2 μm .

1. 서론

제어봉구동장치(control rod drive mechanism: CRDM)는 원자로가 정상운전중일 때 제어봉의 삽입량을 조절하여 노심 반응도를 적절히 제어하며, 또한 원자로 계통에 사고가 발생하여 긴급한 출력정지가 요구될 때 제어봉을 신속하고 정확하게 노심 내부로 삽입시켜 운전을 정지시키는 기능을 한다.

제어봉구동장치는 최초의 원자로 가동과 함께 다양한 형식이 개발되어 원자로 제어시스템으로 사용되어 왔다. 국내·외의 가압경수로형 상용원자로에는 주로 모터로 구동되는 래치형 마그네틱 잭 방식, 일체형 원자로에는 볼스크류 방식의 제어봉구동장치가 사용되기도 한다^(1,2). 또한 연구용 원자로에는 주로 전자석을 이용한 모터구동방식이 이용되고 있으며, 수압을 이용하여 제어봉을 구동하는 원자로도 운영되고 있다^(3,4). 국내의 다목적 연구로인 하나로(HANARO)는 1995년부터 정상가동되고 있으며, 원

[†] Corresponding Author ; Member, Korea Atomic Energy Research Institute
E-mail : mhchoi@kaeri.re.kr
^{*} Korea Atomic Energy Research Institute
^{**} POSCO PLANTEC
^{***} Research Institute of Industrial Science & Technology

[#] A part of this paper was presented at the KSNVE 2015 Annual Autumn Conference
[‡] Recommended by Editor Hyung-Jo Jung
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

자로 수조 상부에서 스텝모터를 이용한 제어봉구동장치가 사용되고 있다⁽⁵⁾.

한국원자력연구원에서는 하나로의 설계, 건설 및 운영경험을 기반으로 연구 및 교육을 목적으로 하는 원자로를 요르단에 수출하였고, 현재 기계 구조물에 대한 제작이 완료된 상태이다. 요르단 연구용원자로 (Jordan Research and Training Reactor; JRTR)는 기본적으로 5 MW(향후 10 MW 출력증대 가능)로 설계되었고, 사각 관형 핵연료를 갖기 때문에 노심에 배치되는 구조물들도 사각 형상을 갖는다. 또한 JRTR은 노심의 반응도 제어를 위하여 4개의 제어봉구동장치와 2개의 이차 정지봉구동장치(second shut-down drive mechanism: SSDM)가 사용된다⁽⁶⁾.

반응도 제어장치는 원자로 수명기간 동안 동작되어야 하고, 원자로 안전에 관련되어 있기 때문에 그 기능 및 성능을 검증하는 것은 중요하다. 일반적으로 CRDM에 대한 성능검증은 구동성능, 낙하성능, 내구성능, 내진검증, 사용 환경에 따른 환경시험 등을 수행하여 수명기간 동안의 안전한 사용 가능성을 확인한다. 따라서 JRTR의 출력제어 시스템에 대해서도 적절한 시험장치를 이용한 성능검증 및 구조건전성을 평가하는 것이 필요하게 되었다⁽⁷⁾.

이 논문에서는 요르단 연구용원자로 제어봉구동장치의 성능검증을 위한 시험결과에 대하여 기술하였다. 시험은 원자로구조물 및 유체계통을 모사한 시험장치에 원형(prototype)을 설치하여 구동성능, 낙하성능, 내구성능을 확인하였고, 제어봉의 진동 변위를 측정하였다. 또한 4개의 본품에 대한 구동 및 낙하시험을 수행하여 결과가 모든 요건을 만족함을 확인하였다.

2. CRDM 구조

JRTR은 5 MW 출력을 갖는 개방된 수조형태의 원자로이며, Fig. 1은 수조내부의 원자로 구조물에 CRDM이 설치된 형태의 개념도를 나타내었다. CRDM은 크게 구동장치(drive assembly), 연결봉(tie rod), 트랙과 캐리지(tracks, carriges), 제어봉(control absorber rod; CAR), 제어봉안내관(CAR guide tube), 구동장치 고정을 위한 상하부 브라켓(bracket)으로 구성되었다. 구동장치에는 컵 형태의 긴 외통(dry well)이 있어 운전중 냉각수가 침투하

는 것을 방지하고, 외통의 하부에는 연결봉, 캐리지, 제어봉이 힌지 형태로 연결되어 일체형으로 움직이며, 이 구동부는 공기중에서 약 98 kg의 무게를 갖는다. 또한 구동장치의 외통 내부에는 위로부터 스텝모터, 볼스크류, 전자석이 연결되어 있다. 원자로 정상운전 중에 외통은 볼스크류 하부의 전자석으로 연결되어 스텝모터로 구동되며, 전자석의 전원을 차단하면 외통을 포함한 구동부가 자유낙하하게 된다. 이때 제어봉은 노심 하부에 고정된 제어봉안내관, 캐리지는 상부안내구조물에 고정된 트랙들에 의해서 횡방향의 변위에 구속을 받으며 수직으로 거동하게 된다.

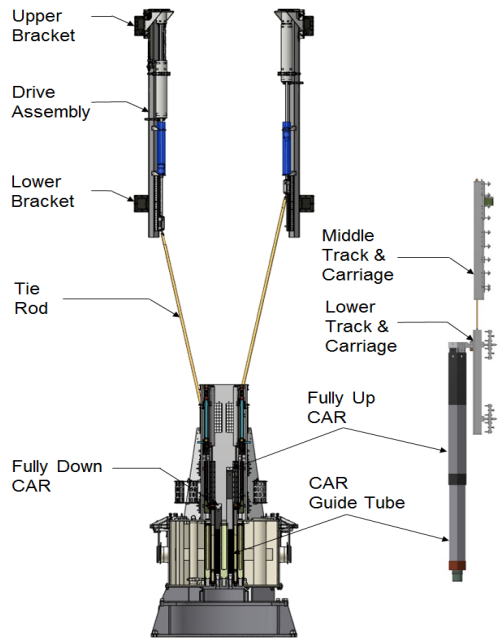


Fig. 1 Overall view of CRDM for JRTR

Table 1 Major specification of instruments

Components	Specifications	
Electromagnet	Holding force	> 2000 N
Stepping motor	Torque	> 300 N-cm at 1000 steps/s
	Steps per rev.	= 200
Rotary encoder	Output	= 200 pulses/rev.
Linear transducer	Effective stroke	≥ 670 mm
Reset and limit switches	Unable active dist.	≤ 3.24 mm
	Hysteresis	= 0.66 mm

CRDM은 원자로 긴급 정지 시 구동부의 낙하로 인한 충격을 완화시키기 위하여 실린더와 피스톤, 메인 탬퍼로 구성된 이중수압실린더를 갖는다⁶⁾. 이 감쇠장치는 오리피스스의 유로 면적 조절을 통하여 낙하속도를 조절하고, 메인 탬퍼에서 스프링과 유로가 형성된 나사를 이용하여 최종 완충기능을 수행한다.

CRDM 구동장치에는 제어봉의 구동과 관련된 많은 계측기를 갖고 있으며, Table 1은 이들에 대한 사양을 나타내었다.

3. 검증시험

3.1 주요 요건

JRTR 제어봉구동장치는 안전등급 3, 내진등급 I로 분류되고, 품질등급 Q를 적용하여 설계, 제작되었다. 성능검증시험은 원자로 운전조건을 동일하게 모사한 시험장치에서 시험요건 및 절차서, ASME QME-1에 따라 수행되었다⁽⁷⁻⁹⁾. 또한 검증시험용 CRDM은 본품과 동일하게 품질관리하여 제작하였다. Table 2는 시험 결과의 정량적인 평가를 위한 주요 설계 및 시험 요건을 나타내었다. 시험결과는 크게 스텝모터의 구동성능, 낙하에 따른 시간 및 충격값 그리고 내구성으로 성능을 평가하였다.

3.2 시험장치

Fig. 2는 반응도 제어장치의 성능검증을 위한 ‘full scale full core(FSFC)’라 불리는 시험장치의 개념도를 나타내었다. 이 장치는 핵연료, 트랙, 구동장치 등의 설치를 위한 원자로 구조물과 운전환경을 구현하기 위한 계통으로 이루어져 있다. 시험장치는 10m의 충수를 위해 실제 수조 높이(11.2 m)를 구현하였고, 1개씩의 CRDM과 SSDM이 설치 가능하게 하였다. 또한 노심의 구조는 실제 원자로와 동일한 형상 및 크기를 갖으며, 핵연료와 Be 반사체는 외형 및 무게를 동일하게 모사한 모형(dummy)을 사용하였다.

3.3 시험방법

CRDM에 대한 검증은 원형 CRDM을 이용한 구동 및 낙하성능, 내구성능, 내진검증시험을 통하여 수행하였다. 이 논문에서는 내진검증시험을 제외한 나머지 시험과 4개의 본품에 대한 검증시험 결과를

기술하였다. 관련 구조물을 시험장치에 설치한 후, 시운전을 통하여 원자로 운전조건을 맞추었고, 제어 시스템 및 CRDM 구동장치에 설치된 계측기들에 대한 기능을 확인하였다.

스텝모터에 대한 검증은 구동성능시험과 내구성 시험을 수행하였다. 모터의 구동명령은 (1) 단일방향(unidirectional), (2) 전진과 후진(advance and reverse), (3) 복합운전(complex), (4) Hunting 운전을 고려하였다. 시험은 프로그램을 이용해 자동으로 수행하였는데, 구동시험은 (1)~(3) 모드로, 내구성시험은 (4) 모드를 60회 반복하여 수행하였다. 스텝모터의 기능은 제어기의 구동 명령과 엔코더의 출력신호 사이에 발생하는 차이를 기준으로 평가하였고, 운전예

Table 2 Major requirements for CRDM

Items	Requirements
Drop time(s)	< 0.15(initial delay)
	< 1.5(before damping)
	< 3.0(including damping)
Drop impact(g)	< 10
Positioning error of CAR(mm)	< ±5
Endurance	Stepping error, drop time

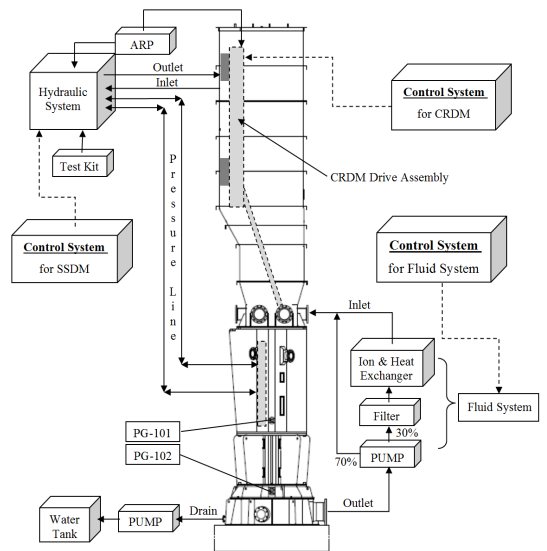


Fig. 2 Schematic view of FSFC test rig

Table 3 Hunting motion for motor's endurance test

Steps/cycle	Cycles	Steps/cycle	Cycles	Steps/cycle	Cycles
-15	20	-4	1695	7	876
-14	36	-3	1950	8	650
-13	80	-2	2155	9	463
-12	132	-1	2288	10	317
-11	208	0	2334	11	208
-10	317	1	2288	12	132
-9	463	2	2155	13	80
-8	650	3	1950	14	36
-7	876	4	1695	15	20
-6	1136	5	1416	Total cycles : 29 178	
-5	1416	6	1136		

따른 제어봉의 위치 차이가 ±5 mm 이내인 경우를 합격으로 판정하였다.

낙하시험은 외통 내부 전자석의 전원을 차단하여 구동부를 수직 낙하시킴으로서 수행하였다. 낙하 시간은 선형변환기(linear transducer)를 이용한 낙하곡선을 통하여 얻었는데, 연속된 신호에서 20 ms 동안 0.085 V 이상의 차이가 발생하는 순간을 초기 낙하지연(initial delay) 및 감쇠 시작점(pure drop)으로 판단하였다. 또한 감쇠 시작 순간에 발생하는 최대 충격량은 댐퍼 실린더의 하부 브라켓에 수중용 가속도계(B&K, Model 5958A)를 부착하여 측정하였다.

내구성 시험은 CRDM이 수명 기간 중 기능을 유지하는 가를 평가할 목적으로 5 MW와 10 MW의 운전조건에서 각각 1000회씩, 총 2000회의 낙하시험을 수행하였다. 또한 모터를 Table 3과 같은 hunting 운전을 총 60회 반복하여 구동 내구성을 시험하였다. 내구성시험 후에는 노심에 설치되는 주요 부품인 제어봉과 안내관을 분리하여 육안검사 및 치수측정으로 통해 마모와 손상을 확인하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 구동 성능시험

CRDM의 구동장치는 원자로 수조 벽에 설치되어

Table 4 Performance test results of stepping motor

Mode	Direction	Total steps	Command steps	Encoder steps	Error*
Uni-directional	Up	32 251	32 251	32 251	0
	Down	32 251	-32 251	-32 251	0
Advance & reverse	Up	53 730	32 280	32 280	0
	Down	53 730	-32 280	-32 280	0
Complex (up)	Up	53 730	Total 86 010	Total 86 010	0
	Down	32 280			
Complex (down)	Up	32 280	Total 86 010	Total 86 010	0
	Down	53 730			

* Error indicates difference between command and encoder signals

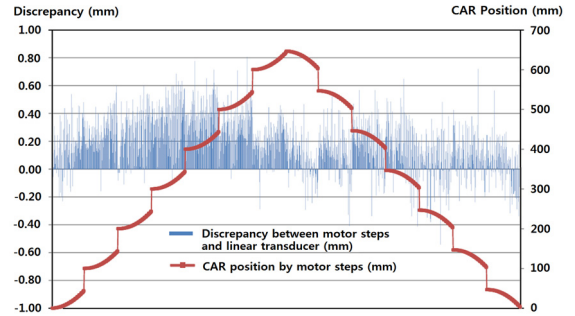


Fig. 3 Discrepancy between motor and linear transducer by advance & reverse mode

제어봉을 포함한 구동부를 스텝모터로 구동한다. 구동 성능시험은 기본적으로 스텝모터의 작동성과 관련되며, 트랙과 캐리지, 제어봉과 안내관 등의 간섭 가능한 기계구조물의 원활한 구동 확인을 포함한다.

Table 4는 스텝모터를 3가지 운전모드로 구동하였을 때의 결과로서, 각각의 경우에 스텝모터는 요구하는 제어기의 명령에 따라 스텝모터가 오류 없이 작동되었다. 또한 이 시험은 요르단에 설치될 4개의 본품에 대해서도 단일방향과 전진/후진 모드로 수행하여 그 성능을 확인하였다.

Fig. 3은 스텝모터를 전진/후진 모드로 구동하였을 때 구동신호와 선형변환기의 위치 사이의 차이를 나타내었다. 전체 행정인 650 mm 운전 시, 두 신호의 차이는 최대 0.8 mm 이상 발생하지 않았으며, 다른 운전 모드에 대해서도 스텝모터는 오작동 없이 입력

신호에 따라 원활히 운전됨을 확인하였다. 이들 구동 성능시험 결과는 스텝모터의 기능 뿐만아니라 CRDM의 구동부가 타 안내구조물과의 큰 저항 없이 원활하게 동작하였음을 보이는 결과이다.

4.2 낙하 성능시험

CRDM의 낙하시간은 원자로 긴급 정지 시 노심 출력과 관계되며, 안전해석의 중요한 입력 자료로 사용된다. 따라서 원형을 이용한 낙하시간의 검증 뿐만아니라 4개의 본품에 대해서도 낙하시험을 수행하였다.

원형을 이용한 낙하시험은 2회에 걸쳐 수행하였다. 1차 시험은 AC 전원의 전자석을 갖는 원형을 시험하였는데 초기 낙하지연시간 요건을 만족하지 못하였다⁽¹⁰⁾. 따라서 내구성시험 완료 후 전자석을 DC 전원용으로 변경하여 2차 시험을 재수행하였고, 그 결과를 Table 5에 나타내었다. 전자석의 전원 차단 후 제어봉이 움직이기 시작하는 순간까지의 초기 낙하지연시간은 0.07초가 발생하였다. 감쇠전과 감쇠를 포함한 낙하시간은 전체 행정높이에서 각각 0.5초와 0.88초가 발생하였고, 감쇠가 시작되는 순간의 충격으로 인한 가속도는 4.1 g로 측정되었다.

Table 5 Drop test results of prototype CRDM

Drop height (mm)	Drop time(s)			Acc. (g)
	Initial delay	Pure drop	Full drop	
330	0.07	0.38	0.68	2.7
440	0.07	0.44	0.76	3.1
460	0.07	0.45	0.77	3.6
600	0.07	0.50	0.87	4.2
650	0.06	0.50	0.88	4.1

Table 6 Drop test results of production CRDMs

CRDM	Drop time(s)			Acc. (g)
	Initial delay	Pure drop	Full drop	
#1	0.06	0.68	0.88	2.73
#2	0.06	0.72	0.88	2.48
#3	0.07	0.72	0.91	2.80
#4	0.07	0.72	0.98	2.03

본품의 낙하시험 결과인 Table 6과 비교할 때, 원형의 낙하시간은 약 0.2초 정도 빠르다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 2차 낙하시험이 다른 시험이 끝난 후에 수행되었기 때문으로 판단된다. 즉, 내구성시험과 내진 시험이 수행되면서 CRDM의 조립이나 구동상태가 초기 보다는 원활한 구동으로 변경되었고, 실제로 내구성 시험 횟수가 증가하면서 낙하시간도 약간 짧아진 결과를 보였다.

Table 6은 요르단에 설치될 4개의 제품에 대한 시험결과를 나타내었고, Fig. 4는 CRDM #4의 제어봉에 대한 낙하곡선을 나타내었다. 이 제품 4개는 제품마다 제작 및 조립 상태가 약간씩 다르기 때문에 동일한 결과를 보이지는 않지만, 낙하시간 및 충격에 대한 모든 요건을 만족하였다.

4.3 내구 성능시험

내구성 시험은 제어봉의 낙하와 모터의 구동 내구성을 평가하기 위한 것이다. Fig. 5는 원형 CRDM을 이용한 두 출력조건에서 수행한 낙하 내구성시험 결과를 나타내었다. 감쇠전 순수낙하시간은 0.9 ~ 1.0 초의 결과를 보였는데, 낙하 횟수가 증가함에 따라 낙하시간은 약간씩 빨라졌고, 시험 완료 후에는 0.9 초를 보였다. 그 이유 중 하나는 하향유동의 JRTR이 10 MW 조건에서 5 MW 보다 약 70% 큰 유량으로 인한 유속증가이고, 다른 하나는 반복적인 낙하로 인하여 고경과 구동 부품들 사이의 움직임이 안정화되었기 때문으로 판단된다.

또한 이들 낙하시간은 앞에서 언급한 본품의 시험 결과보다 약 0.2초~0.3초 늦다는 것을 알 수 있다. 이는 내구성 시험이 초기에 다소 큰 지연시간을 갖는 AC 전자석을 사용했기 때문이다. 하지만 결과에서 알 수 있듯이 AC 전자석을 사용한 경우에도 낙하시간은 요건을 만족하였고, DC 전자석으로 변경 후에는 초기 낙하지연시간의 단축으로 인하여 평균 0.3초 정도 빨라짐을 확인하였다.

스텝모터의 구동 내구성시험은 낙하시험 후에 Table 3과 같은 hunting 운전을 60회 반복하여 제어봉 위치의 오차를 평가하였다. 시험결과, 스텝모터는 오작동 없는 입력신호에 따라 구동되었고, 시험 완료 후 캐리지, 제어봉, 제어봉안내관 등의 중요 부품에 대한 큰 마모나 치수의 변화가 발견되지 않았다.

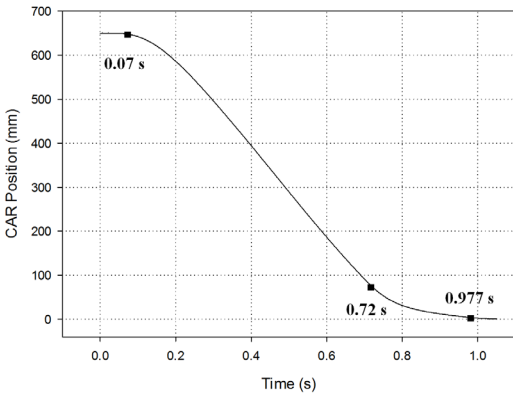


Fig. 4 Typical drop curve of CAR #4

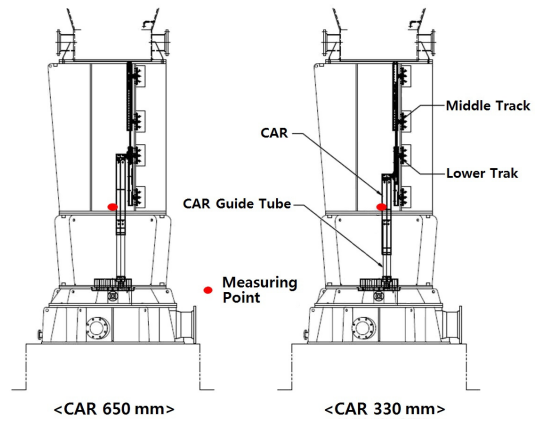
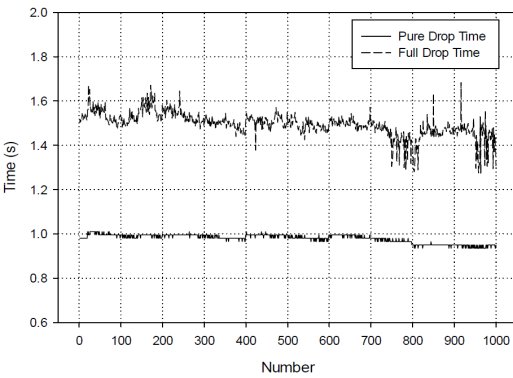
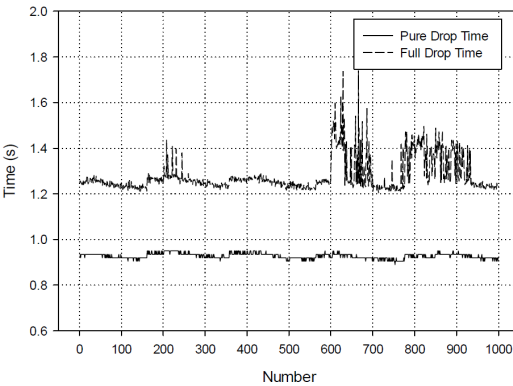


Fig. 6 Measuring point of CAR vibration



(a) 5 MW condition

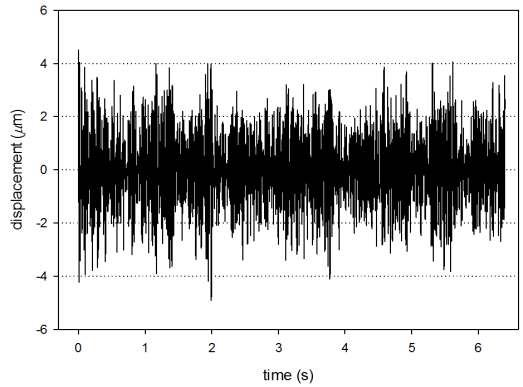


(b) 10 MW condition

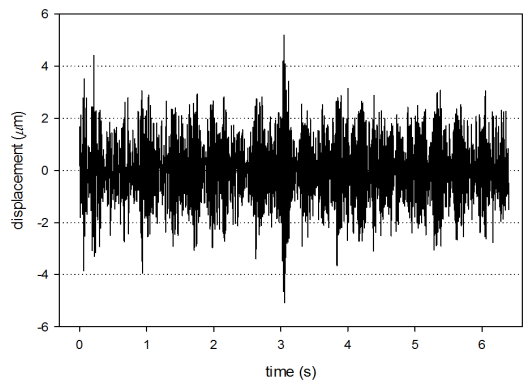
Fig. 5 Drop endurance test results of CRDM

4.4 진동 변위 측정

원자로 내부에 설치되는 구조물에 대한 진동 측정
 정은 5 MW 정상 운전중 발생하는 진동변위의 정도
 를 파악하기 위하여 레이저 변위측정기를 이용하여



(a) 330 mm withdrawn



(b) 650 mm withdrawn

Fig. 7 Typical displacement time history for CAR

측정하였다. 노심 구조물의 복잡한 배치와 시험장치
 의 한계로 인하여 일부 제한된 측정 가능한 부위 및
 구조물을 측정하였고, 이 논문에서는 CRDM의 한

부품인 제어봉에 대한 측정 결과를 기술하였다.

Fig. 6은 제어봉이 완전 인출된 상태(650 mm)와 중간에 위치한 경우(330 mm)의 시험장치에서 레이저 변위측정기가 접근 가능한 부위이다. Fig. 7은 두 경우의 위치에 대한 변위측정 결과를 나타내었다. 측정은 각 경우에 30초 동안 변위를 기록하였고, 기록된 데이터 중에서 가장 큰 변위를 보이는 약 6초간의 시간에 따른 변위이력을 나타내었다. 각 경우에 최대 변위는 5.2 μm 로 제어봉의 위치에 따라서 변위의 차이가 없음을 알 수 있다.

또한 이 논문에 결과로 제시하지는 않았지만, 노심에 설치된 타 부품(Be 반사체, 2차 정지봉, 모의 핵연료)에 대한 변위도 최대 6 μm 이내로 측정되었다. 결과적으로 원자로 정상 운전중 노심에 설치된 부품들은 유동에 의하여 큰 영향을 받지 않고, 정숙한 상태를 유지하고 있는 것으로 판단된다.

5. 결 론

요르단 연구용원자로 제어봉구동장치의 구동성능, 낙하성능, 내구성능을 평가하기 위한 성능검증시험을 수행하고, 제어봉에 대한 진동변위를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 성능검증시험은 본품과 동일하게 제작된 원형을 이용하여 수행하였으며, 본품에 대해서는 구동성능 및 낙하시험을 통하여 성능을 확인하였다.

(2) 스텝모터의 세 구동모드에 대한 시험 결과는 구동명령과 엔코더의 출력신호 사이에 차이를 보이지 않았으며, 구동명령과 선형변환기의 위치 사이에서도 최대 0.8 mm 이내의 구동성능을 보였다.

(3) CRDM의 초기 낙하 지연시간은 0.07초, 감쇠전과 후의 낙하시간은 각각 0.72초와 0.98초로 원자로 안전해석에 사용된 요건 및 설계요건 (Table 2)을 모두 만족하였다. 또한 낙하충격으로 인한 최대가속도는 4.2 g 이하로 측정되어 설계요건인 10 g를 만족하였고, 감쇠장치의 성능을 확인할 수 있었다.

(4) CRDM 원형은 2000회 낙하 내구성을 만족하였고, 스텝모터도 시험중 오작동 없이 원활한 구동을 보였다. 또한 내구성시험 완료 후, 주요 부품에 대한 육안 및 치수검사 결과는 시험 전과 큰 차이

가 없어 마모가 발생하지 않았음을 확인하였다.

(5) 제어봉의 진동변위는 최대 5.2 μm 로 인출 상태에 따라 동일한 결과를 보였으며, 타 노심설치 구조물의 변위도 6.0 μm 이내의 작은 값을 보였다.

References

(1) Lee, J. S., Choi, S. and Song, C. H., 2008, State of Art Report for Developing a Control Element Drive Mechanism of the APR+ Reactor, KAERI/AR-805/ 2008, KAERI.

(2) Choi, M. H., Kim, J. H., Huh, H. and Yu, J. Y., 2010, Drop and Damping Characteristics of the CEDM for the Integral Reactor, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 7, pp. 658~644.

(3) Park, C., Lee, B. C., Chae, H. T., Jeong, H. S., Cho, Y. G. and Seo, C. G., 2002, Status and Design Characteristics of Research Reactor, KAERI/AR-657/ 2002, KAERI.

(4) Hanliang, B., Wenxiang, Z. and Duo, D., 2000, Studies on the Performance of the Hydraulic Control Rod Drive for the NHR-200, Nuclear Engineering and Design, Vol. 195, No. 1, pp. 117~121.

(5) Seo, C. G., Cho, Y. G., Ryu, J. S. and Shin, J. W., 2008, Improvement the CRDM Damping Mechanism for an AHR, Trans. of the KNS Spring Meeting.

(6) Choi, M. H., Cho, Y. G., Kim, S. H., Huh, H. and Kim, J. I., 2011, Basic Design of the Top-mounted CRDM for a Reactor with Plate Type Fuels, Trans. of the KNS Autumn Meeting, pp. 71~72.

(7) Huh, H. et al., 2011, Guidelines for Qualification Test of Control Rod Drive Mechanism, JR-317-KM-418-002, Rev.0, KAERI.

(8) Kim, J. H. et al., 2012, Procedure for Qualification Test of CRDM, JR-317-SJ-442-001, Rev.1, POSCO Plantec.

(9) ASME QME-1, 1997, Qualification of Active Mechanical Equipment Used in Nuclear Power Plants, ASME.

(10) Choi, M. H., Cho, Y. G., Kim, J. H. and Lee, K. H., 2015, Performance and Endurance Tests of the

Top-mounted CRDM for JRTR, Trans. of the KNS Spring Meeting.



Myoung-Hwan Choi received his Ph.D. degree from Chungnam National University in 1998. He works as a principal researcher in Korea Atomic Energy Research Institute. His research interest includes the structural vibration and the design of reactivity control system in power and research reactors.



Yeong-Garp Cho received his Master Degree in KAIST(Korea Advanced Institute of Science and Engineering). He works as a principal researcher in Korea Atomic Energy Research Institute. His research area are the design of reactor structure, reactivity control mechanism, beam

tubes, neutron delivery system, and special remote tools in research reactors.



Kwan-Hee Lee received his Ph.D. degree in POSTECH. He works as a senior principal researcher in RIST. His research interest includes the control system and safety evaluation of research reactor.