

차세대원자로 CEDM 성능시험 결과 분석 Analysis of CEDM Performance Test Results for KNGR

전형길, 윤영중, 정장환, 최순, 송철화, 박종균

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150번지

요 약

차세대원자로 수명이 60년이 되고 부하추종운전이 채택되면 제어봉구동장치의 운전거리가 YGN/UCN의 구동거리에 비해 매우 늘어난다. 따라서 KNGR의 CEDM의 성능을 검증하기 위한 시험이 필요하다. 본실험은 국내 최초로 CEDM의 성능 시험을 수행하였다. 성능 시험으로는 내구성시험, 전력시험, 공기냉각시험, 그리고 낙하시험이 수행되었다. 내구성시험에서는 목표 구동거리 이상에서 모터의 건전성을 확인하였으며, 전력시험에서는 모터 전류 측정결과를 얻어 구동 전력을 산출하였다. 또한 공기냉각시험에서는 모터에 전력을 공급하는 코일내부의 온도분포를 얻었으며, 외부공기의 온도변화를 측정하여 소비 열량을 측정하였다. 낙하시험은 낙하시간을 측정하여 적합 여부를 판단하였으며, 모든 낙하 시험 조건하에서 기준을 만족하였다.

Abstract

It is required to perform a CEDM test to verify the endurance capability of the CEDM of KNGR. Because CEA traveling distance of KNGR is increased very much than the that of YGN/UCN, when mode K load following operation and 60 years life time are applied to the design. In the present work, the performance tests of CEDM are carried out the first time in Korea. The four kinds of performance test were carried out. Those are the travel test, power test, air cooling test, and drop test. In the travel test, the endurance capability of the CEDM motor is verified within the target travel distance. In power test, we calculate the power to drive CEDM motor through the measurements of coil currents and resistances. In the air cooling test, the temperature distribution of the inside of coil assembly are measured and the power rates are calculated from the inlet and outlet air temperature of the shroud. In drop test, the acceptability of CEA drop are judged with the drop time, which is measured in the test. All drop tests are acceptable under the all test conditions.

1. 서론

차세대 원자로 핵반응도 조절에 이용되는 제어봉구동장치(Control Element Drive Mechanism)의 성능실증시험에 필요한 시험장치를 원자력연구소 종합 엔지니어링 실험동에 설치하였다.[1] 시험 대상인 제어봉구동장치는 기구학적인 기계부품과 전자기적 구동계통이 통합된 복잡한 구조를 갖으며 기능상 잦은 운동으로 인한 마모와 피로 하중을 많이 받게 된다. 따라서 CEDM 개발시나 운전조건의 변경시 설계의 적합성을 입증하고 성능요건의 만족 여부를 평가하기 위한 성능실증시험이 요구된다.

가동중이거나 건설중인 국내 가압경수로의 제어봉구동장치는 설계회사에 따라 상세설계는 약간씩 차이가 있으나 구동방식은 모두 자석재 형을 채택하고 있다. 자석재형은 1차 압력경계 외부에 환형의 코일스택을 설치하고 전류의 공급을 조절하여 변동하는 자기력에 의해 압력경계 내부에서 제어봉을 물고 있는 결쇠를 기구 운동시킴으로써 제어봉을 이송시키는 방식이다. 자석재형 제어봉구동장치는 기계적인 기계부품의 설계는 물론 전기 전자적 구동계통의 설계를 포함하게 되어 많은 부속품으로 이루어진 복잡한 구조를 갖게 된다. 또한 구동부품은 그 기능상 잦은 왕복운동을 하게되어 마멸과 피로하중의 영향을 많이 받게 되므로, 초기 개발시나 설계변경 혹은 운전조건의 변경시 설계의 적합성을 입증하고 성능요건의 만족 여부를 확인하기 위한 성능실증시험을 수행한다.

한국 표준형경수로 제어봉구동장치는 미국 ABB-CE사의 System 80에 기반을 둔 설계로서 ABB-CE사는 System 80 제어봉구동장치 개발시 여러 가지의 실증시험을 수행한 바 있다. 한편, 차세대원자로는 설계수명이 60년이고 부하추중운전을 고려하여 설계되어야 하는 바 이러한 조건들은 필연적으로 제어봉구동장치의 구동횟수의 증가를 가져오게 될 것이다. 따라서 이러한 제어봉구동장치의 구동 누적거리의 증가, 잦은 구동 및 그 영향을 실증시험을 통하여 확인함으로써 수명기간 동안의 건전성과 신뢰성을 확인하고자 국내 최초로 CEDM 성능시험을 수행하였다.

본 CEDM Test Loop은 실제 원자로 환경조건 하에서 제어봉구동장치에 대한 다음과 같은 성능실증시험이 수행 가능하도록 설계되었다.

- 수명시험 : 수명요건 만족, 입증, 한계 수명 확인, 기능확인
- 냉각시험 : 냉각초기 및 운전시 코일내 온도분포, 공기 유량 및 온도 측정
- 전력시험 : 구동 모드에 따른 전기적 요건 확립
- 제어봉 낙하시험

2. 실험 장치

2.1 기계 장치

본장치는 고온/고압 물 순환 Loop이며 주순환 계통, Bleed & Sampling계통, CEDM 냉각계통, 순환용수 공급/수질관리 계통, 계장/제어계통, 전원 공급계통, 기타 보조계통으로 구성되어있다. 그림1은 장치의 개략도를 나타내고 있다.

Main Loop 계통은 Circulation Pump, Test Chamber, Main Heater, Pressurizer, Injection Pump 등의 주요 부품으로 구성하며, Circulation Pump로부터 배출된 순환용수는 Test Chamber를 지나 Main Heater로 가열되어 다시 Circulation Pump로 되돌아온다. 본 장치의 설계조건은 다음과 같다.

- 설계압력 및 온도 : 172 bar, 343 °C
- 순환용수 운전유량 : 1.3 kg/s (at 156 bar, 320 °C)

- 순환용수 : De-Ionized Water

Bleed & Sampling계통은 Main Loop 계통의 용수수질을 분석, 관리하기 위한 것이며, Main Loop 용수의 압력과 온도를 내려주기 위해 Heat Exchanger(Cooler)와 감압 Orifice를 설치 사용한다.

CEDM 냉각계통은 CEDM Coil에 적정 공기 유량을 공급하며 코일 온도를 냉각, 제어하는데 사용한다. 제어봉 구동장치 코일 냉각계통은 코일의 온도를 80 °C 이하로 유지시키며, 공기가 코일주변을 통과하도록 공기유로를 설치한다. 최대 공기유량은 170 m³/min 이다.

순환용수 공급/수질 관리계통은 Main Loop계통에 용수를 공급하고 용수수질을 1.0 micromho/cm 이하의 Deionized Water로 관리하기 위한 것이며 Water Storage Tank, De-Ionizer, Feed Pump로 구성한다. 여기서 Storage Tank는 Bleed & Sampling Loop계통의 냉각수를 겸용 사용한다. Feed Pump의 최대유량은 2.0 m³/hr 이다.

계측제어계통은 각종 계측 센서(Instrumentation Sensor) 및 Field Instrumentation, 이 들로부터 입력된 신호를 격리, 분배 및 처리하는 신호격리기(Signal Isolator), 운전상태를 감시하기 위해 주요 기기의 운전상태나 공정변수를 표시하는 Operator Workstation 및 Printer, 주요 기기의 운전상태 및 주요 변수를 지시하는 Overview Display Panel, 실험설비 공정의 이상상태를 경보하는 경보창 및 주요 기기를 수동으로 운전 및 정지하는 Emergency Operator Station, 제어 Desk, 펌프나 밸브 등을 자동 제어하기 위해 현장 구동기에 제어신호를 발생시키는 PLC Main Process Control Module 및 PLC의 제어신호를 현장의 구동기로 전달하는 Relay 및 MCC(Master Control Center) Cabinet 등으로 구성된다. 또한 계측제어계통 구성에는 이 구성 요소를 운영 및 구동하는 소프트웨어, 인터페이스 프로그램 및 운전원 지시용 MMI 소프트웨어 등 필요한 소프트웨어 등이 포함되어 있다.

2.2 CEDM 제어장치

CEDM 성능시험 설비의 CEDM 제어 계통은 자석잭형(magnetic-jack type) CEDM의 코일에 직류전력을 공급함으로써 모사 CEA를 상하로 구동 또는 현위치에 유지할 수 있도록 한다. CEDM제어계통은 CEDM을 구동함에 있어 방향 속도를 조절할 수 있도록 해주며, 구동의 결과로 나타나는 각종 CEDM상태를 운전원이 알 수 있도록 하였다.[2]

CEDM제어계통은 CEDM 제어 및 감시 유닛, CEDM 전력제어 유닛, 그리고 CEDM 보조제어 유닛의 세 유닛과 위치지시 계측기인 RSPT(Rees Switch Posion Transmitter)로 구성된다.

CEDM 제어감시유닛은 제어프로세서와 운전 및 감시 프로세서로 구성되며 산업용 컴퓨터의 세시에 장착되어 제어실에 위치한다. 운전원은 제어 및 감시유닛의 CRT상의 정보를 통해 CEA의 운전 및 감시를 한다.

CEDM 전력제어 유닛은 19" 표준 캐비넷으로 구성되어 있으며, 이 안에는 CEDM코일에 대응하는 4개의 서브 랙인 PCPS(Programmable Chopping Power Supply)와 절연 변압기락으로 구성된다. 전력제어 유닛은 CEDM Test Loop가 위치한 현장에 설치되며, 운전원은 전력제어 유닛 캐비넷에 위치한 지시기와 조절버튼을 통해 전압을 제어할 수 있다.

CEDM보조 제어 유닛은 제어실 내에 위치하며, PLC, 릴레이 패널, 비상스위치 패널, 그리고 경보창으로 구성된다. 이중 PLC와 릴레이 패널은 CEDM Test Loop용 캐비넷 내에 위치하며, 비상스위치 패널 및 경보창은 제어반의 중앙에 위치한다. 보조제어 유닛의 고장에 대비한 비상운전 그리고 시험 및 보수용으로 사용된다.

RSPT는 CEDM의 구동에 따른 모의 CEA의 위치를 측정하기 위한 장치로서 아나로그

위치신호와 상하부 한계스위치 신호를 제공한다.

3. 시험 종류 및 조건

시험에 사용된 CEDM Motor와 Drive shaft는 ABB-CE에서 제작한 것이며 CEA를 모사하기 위하여 Weighter를 사용하였는데 그 형상은 실제 CEA와 다르나 그 무게를 같도록 만들었으며, 표1에 그 사양이 표시되어 있다. 그림 2 는 시험에 사용된 각 부품을 보여주고 있다. 시험은 CEDM 성능시험에서 필요로 하는 조건에 따라 그 시험 조건을 정하였으며[3], 또한 시험 절차에 따라 수행 하였다[4].

3.1 내구성 시험

내구성 시험은 최소 9144 m (30,000 ft)의 운전을 목표로 한다. 운전 조건은 15.5 MPa (2,250 psia)의 압력조건과 594.3 K(615 °F)의 온도 조건 그리고 2.5 m³/hr의 유량 조건으로 수행되어야한다. 운전속도는 분당 0.762 m (30 inch/min)이다. CEDM에 대한 운전원의 관찰 기록과 사진은 반드시 기록되어야한다.

3.2 전력시험

전력시험은 CEDM 모터 구동에 필요한 전력을 산출하기 위한 시험으로서 코일의 온도 측정과 코일의 전류 측정을 수행한다. 코일 온도 측정시 냉각을 위한 유입공기의 조건은 49 °C, 1160 m³/hr으로 한다. 측정은 각 항목의 전류 측정 및 저항 측정으로 이루어진다.

3.3 공기냉각시험

공기냉각시험은 운전중 평형 및 과도상태에서 코일의 냉각 정도 및 코일내의 온도 분포를 알아내기 위한 시험으로서 Cooling Effective Test 및 2시간 냉각 시험으로 이루어진다. Cooling Effective Test는 평형상태에서의 코일내의 온도분포를 측정하고 이후 운전중 온도의 변화를 15분 간격으로 2회 측정하며 코일 전류 궤적을 기록한다. 2시간 냉각시험은 평형상태로부터 CEDM을 계속운전하며 30분 간격으로 온도를 측정하는 시험이다. 이때 운전조건은 내구성 시험과 동일하며 유입공기의 조건은 49 °C, 1160 m³/hr으로 한다.

3.4 낙하시험

낙하시험은 CEA가 최고점에 도달했을 시점에서 낙하시킨다. 총 450회 이상의 낙하를 시킨다. 시험조건은 내구성 시험과 같은 15.5 MPa (2,250 psia)의 압력조건과 594.3 K(615 °F)의 온도 조건으로 수행되어야한다. 기록 내용은 Latch Release Time과 시간에 따른 CEA 위치의 변화 등을 기록한다.

4. 시험결과 및 분석

4.1 내구성시험

내구성시험은 Motor의 장시간 운전에도 건전성을 유지하는지의 여부를 판단하기 위한 시험이다. 본 실험에서 구동거리는 30,000 ft(480,000 steps)를 목표로 하여 수행하였다. 구동중의 결과로는 UG, UL, LG 그리고 LL의 전류 커브를 생산하였다.

그림 3는 인출시의 전류커브의 대표적 그림이며, 그림 4은 삽입시의 대표적 그림이다. 또한 표 2 는 구동시험 결과의 요약을 나타내고 있다.

내구성 시험시 Drive shaft와 Weighter가 두 번 분리된 경우가 발생하였다. 이는 Latch가 움직일 때 정확한 수직으로 움직이는 것이 아니라 일정한 방향성의 회전을 갖는다고 판단할 수 있을 것으로 생각된다. 그 방향성을 찾을 수 있다면 그 방향성을 고려하여 Drive

shaft와 Weighter를 잇는 나사를 제작할 수 있을 것으로 생각된다.

그림 3-6에서 보는 바와 같이 삽입의 경우와 인출의 경우 모두 Loop의 상태가 Cold(Room Temp., 4 bar) 상태일 경우 Hot(320 °C, 155 bar)상태의 경우보다 더 많은 전류를 나타내었다. 이는 Loop의 순환수의 밀도 차이에 기인한 것으로 판단된다. 시험 초기와 시험 후기의 경우는 매우 상이한 형태로 나타난다. 삽입의 경우 UL, UG, LL, LG 모두 그 모양은 비슷하나 초기의 경우가 더 많은 전류량을 나타내는데 비해 인출의 경우는 그 반대의 모양을 나타내었다. 그림 5-8은 초기와 후기의 전류측정결과를 나타내고 있다. 즉 후기의 경우가 더 많은 전류량을 나타내었다. 그리고 그 전류량의 증가가 삽입의 감소에 비해 매우 큰 것이 차이점이다. 그리고 삽입과 인출 두 경우 모두 LG가 가장 큰 변화를 나타내었다. 내구성 시험에 사용된 RSPT는 두 개가 사용되었다. 처음 사용하였던 것은 설치위치에 따라 최상단(UEL)에서 최하단(LEL)까지의 거리가 198 steps 이었으나 286381 steps 진행후 교체되어 설치된 RSPT는 최상단(UEL)에서 최하단(LEL)까지의 거리가 189-190 steps 이었다. UEL과 LEL의 거리는 청음과 CEDMCS에 나타난 누적 step으로 교차 확인하였다.

4.2 전력시험

CEDM 모터의 구동에 필요한 전력을 산출하기 위한 시험으로, 코일 온도의 측정과 코일 전류의 측정으로 이루어진다. 코일 온도의 측정은 코일을 0 step에서 평형상태를 기다린다. 이때 냉각을 위한 공기의 유입조건은 49 °C, 1160 m³/hr으로 유지한다. 평형이 이루어지면 10회의 인출, 15초 정지, 10회의 삽입을 시행한 후 Drive shaft를 Loop의 최하단에 위치시킨 후 CEDM Coil의 전력을 차단한다. CEDM Coil 전력 Cable을 분리한 후 UL, UG, LL, LG의 저항을 Multimeter로 측정한다.

표 3은 코일의 저항 측정 결과를 보여주고 있다. 코일 전류 측정은 5회의 인출신호와 5회의 삽입신호를 기록하였다. 표4는 이 시험시 얻은 결과로 전류의 량을 나타내고 있으며, 표 5는 표3 및 표 4로부터 얻은 전력량을 나타내고 있다. 전력시험은 내구성 시험후반부인 373541 step이 진행된 후에 실시하였다. 내구성 시험의 결과에서 나타났듯이 초기에는 전력의 소비가 더 작았을 것으로 판단된다. 내구성 시험 결과를 예측할 수 없었기 때문에 그 시행시기의 중요성을 인식하지 못한 결과이다. 향후 시험이 다시 수행된다면 전력시험 또한 초기, 중기, 후기 등으로 여러 차례 수행할 필요가 있다.

4.3 공기 냉각 시험

공기냉각시험은 운전중 평형 및 과도 상태에서 코일의 냉각정도 및 코일내의 온도분포를 알고자 하는 시험이며 Cooling effective test와 2시간 냉각 시험으로 이루어진다. 두 시험 모두 공기의 유입조건은 49 °C, 1160 m³/hr이다. Cooling effective test는 UEL의 위치에서 평형상태를 기다려 코일의 온도를 측정하며, 그 후 15분 운전 후 코일의 온도를 측정한다. 15분을 더 운전한 후 CEDM을 바닥에 위치한 후 코일의 온도를 측정한다. 2시간 냉각 시험은 평형상태의 코일 온도측정 후 CEDM을 운전하며 매 30분마다 코일의 온도를 측정한다.

그림 9는 공기냉각시험의 결과를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 공기냉각 시험의 경우 정지상태에 비해 움직임이 있을 경우 Heat Rate이 증가함을 알 수 있다. 그림 10에서 보는 바와 같이 코일 내에는 높은 온도가 형성되며 연속움직임으로 약 100분 정도 움직이면 일정 상태를 유지한다는 것을 알 수 있다. 그림 10에서 보는 바와 같이 정지 시에는 UG의 온도가 다른 것에 비해 현격히 높다. 이는 정지시 UG만이 작동하며 전력을 사용하는 것을 알 수 있다. 전력시험에서 언급한 바와 같이 Heated Rate은 초기보다 높은 수치라 추

측할 수 있다. 따라서 온도 분포 또한 그 경사도가 초기에는 후기보다 적었을 것이라 추측된다.

4.4 낙하시험

낙하시험은 CEA의 낙하시 Latch release time을 규명하기 위한 시험으로서, full height에서의 낙하시 그 특성커브를 얻는 실험이다. 총 450번의 full height drop 시험을 수행하였으며 추가로 높이에 따른 특성커브를 얻었으며, 또한 유량 및 온도의 차이에 따른 특성커브도 얻었다. 낙하시험시 full height는 RSPT의 설치 위치 때문에 RSPT의 위치지시계로 190의 높이에서 낙하되었다.

낙하내구성시험은 Drive Shaft, Weighter, Hydraulic Damper 등의 건전성을 확인하기 위한 시험으로서 450회 수행되었으며, 운전 조건은 155 bar, 321 °C, 2.5 m³/hr 이었다. CEA의 높이에 따른 낙하 특성커브 획득을 위한 시험을 20회 수행하였으며, 운전 조건은 155 bar, 321 °C, 2.5 m³/hr 이었다. 그림 11은 full height에서의 낙하커브를 보여준다. 낙하 시간의 판단은 full height에서 90%의 낙하시점을 낙하 시간으로 판단하였다. 모든 낙하시험에서 낙하시간의 허용시간인 4.0초보다 빨리 낙하하였다. 평균 낙하시간은 2.084 sec이었으며 평균 Latch release time은 0.217 sec 이었다.

유량 및 Loop 온도의 변화의 영향을 알아보기 위한 실험을 204회 수행하였다. 온도 범위는 110 - 320 °C (110, 150, 200, 250, 300, 320)이며, 유량범위는 1.0 - 3.0 m³/hr (1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0)이고 운전 압력은 155 bar 로 고정하였다. 시험결과 유량의 변화에 따른 낙하 특성의 변화는 매우 적게 나타났다. 고유량일 경우가 저유량의 경우보다 낙하시간이 조금 길었다. 그러나 온도차이의 영향은 매우 컸으며 그 차이는 0.2초 이상으로 나타났다. 그림 11은 유량의 변화에 따른 낙하 커브의 차이를 나타내고 있다. 그림13은 유체 온도의 차이에 따른 변화를 나타내고 있다.

CEA 낙하시 Loop의 변화 특성을 외부의 영향이 없는 시간에 측정(2000년 12월 9일 02시)하였다. 그 특성으로는 Loop Pressure의 감소는 최대 2.4 bar, Test Chamber의 Pressure Drop 감소는 최대 1350 mm H₂O, Pressurizer Water Level의 감소는 최대 2.6 %, Loop 유량은 순간적 감소 후 증가하였다. 최대 증가폭은 0.2 m³/hr (2.50 m³/hr -> 2.38 m³/hr -> 2.68 m³/hr)이었으며, Upper Pressure Housing 외벽온도는 최대 5.5 °C 정도가 상승하였다.[5]

4.5 육안 검사

중간 육안 검사시 발견한 사항은 다음과 같다.

- 래치 핀(square head pin), 특히 upper latch pin 이 헐거워 졌다.
- 모터의 guide tube 구멍의 내부가 아래 부분이 위보다 더 마모되었다.
- 연결축의 마모흔적은 나선형으로 돌아가 있다. 이는 운전 중 제어봉 모의추가 회전한 것을 보여준다.
- 연결축의 산 부분은 래치위치에 따라 편마모가 발생하였다.
- 축의 마모는 위 끝단- 중간- 아래 단의 순으로 일어났다.
- 모터의 외관은 처음과 같이 구조적으로 건전해 보였다.
- 정렬 핀도 부식이 없었으며 작동 magnet의 간섭부위도 마모의 흔적 없이 깨끗하였다.

5. 결론

본 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다

- CEDM 성능시험을 수행할 수 있는 시설을 구축하였으며 및 운전기술을 확립하였다.
- 각각의 시험에 대한 자료를 획득하였으며 분석 기술을 확립하였다.
- 내구성 시험의 시험 목표치 내에서 모터의 건전성을 확인하였다.
- 낙하시험시 모든 조건 하에서 기준을 만족하였다.
- 앞으로 이미 시험에 사용된 CEDM 모터에 대한 수명 한계시험을 수행할 예정이다.
- 본 시험에 사용된 장치 및 구동 프로그램은 앞으로 SMART 제어봉 구동장치 시험 등에 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 과기부 원자력 중장기 연구개발 사업과 한국전력공사의 후원으로 이루어졌으며 이에 대하여 관계자 여러분께 감사드립니다.

6. 참고 문헌

- 6.1 정장환 외, “CEDM 성능시험장치 구축 및 종합시운전 보고서”,KAERI/TR-1764/2001, 2001년 2월
- 6.2 허섭 외, “CEDM 성능시험설비의 CEDM제어계통 기술지침서”, KNGR-MM-TM251-00, Rev 00, 1999년 11월
- 6.3 최순 외, “ Test Requirements of CEDM Performance Test for KNGR”,KNGR-ME-TR250-01 Revision 02, 1999년 6월
- 6.4 최순 외, “ Test Procedure of CEDM Performance Test for KNGR”,KNGR-ME-TP250-01 Revision 02, 1999년 9월
- 6.5 전형길 외, “CEDM 시험 결과분석 보고서(1)”, 53121-CEDM-DA01, 2001년 2월

㉟1. Measurement of the Test CEDM MOTOR ASSEMBLY

CEDM Motor Assembly(R4050)-E-STDCEM-R4000, Rev. 03, S/N : 001			
Weight	66.75 kg	Length	94.6 cm
Drive Shaft and Magnet Assembly(R7060)-D-KNGRDSA-Mo1, S/N : 73			
Weight	31.40 kg	Length	560 cm
Weight simulating 4 finger CEA			
Weight	64.55 kg		

㉟ 2. CEDM Travel Summary

Motor Assembly	98-0233, P/N R7021, S/N73		
Drive Shaft	98-2033, P/N7021, S/N79		
Total Travel	500,650 steps		
Cold Travel	3,403 steps	room temp., 4 bar	
	0 - 800, 19,164 - 21,767		
Hot Travel	476,597 steps	155 bar, 321 °C	
	800 - 19,164, 21,767 - 480,000		
	20650 steps	155 bar, 110-300 °C	
	480,000 - 500,650		

㉟ 3. Coil Resistance Measurement in Power Test

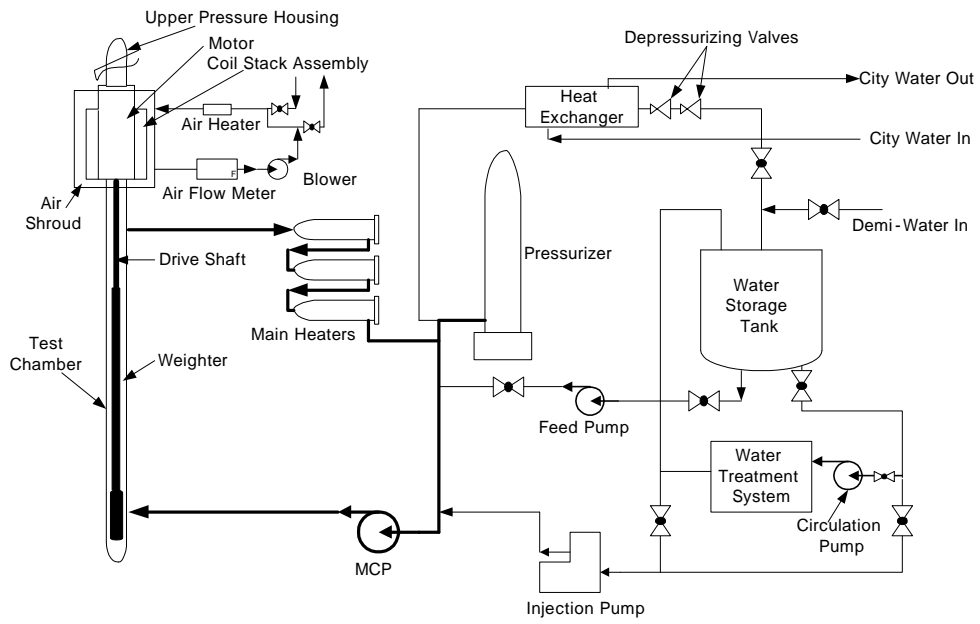
No	UL	UG	LL	LG
1	6.8	8.5	7.0	8.6
2	6.8	8.7	6.8	8.7
AVE.	6.8	8.6	6.9	8.65
RMS	6.8	8.6	6.9	8.65
Peak	6.8	8.7	7.0	8.7

☒ 4. Coil Current Measurement in Power Test

		UL	UG	LL	LG
Withdrawl (12 61927)	Avr. Amp	3.964	4.845	4.214	3.384
	RMS Amp	7.055	6.051	5.104	6.511
	Peak Amp	20.92	15.68	13.63	20.18
Insertion (12 61933)	Avr. Amp	4.505	4.666	4.965	4.777
	RMS Amp	6.603	5.944	5.599	6.067
	Peak Amp	19.27	15.59	14.36	15.49
Holding (Table X)	Avr. Amp	0.2	5.083	0.283	0.1
	RMS Amp	0.2	5.084	0.286	0.1
	Peak Amp	0.2	5.2	0.3	0.1

☒ 5. Calculation of Coil Power in Power Test

		UL	UG	LL	LG	Total
Withdrawl (12 61927)	Avr.	106.85	201.88	122.53	99.06	530.32
	RMS	338.46	314.89	179.75	366.70	1199.8
	Peak	3019.76	2139.00	1300.44	3542.92	10002.12
Insertion (12 61933)	Avr.	138.01	187.24	170.09	197.39	692.73
	RMS	296.48	303.85	216.31	318.39	1249.87
	Peak	2525.06	2114.52	1443.47	2087.48	8170.53
Holding (Table X)	Avr.	0.272	222.20	0.553	0.0865	223.11
	RMS	0.272	222.28	0.564	0.0865	223.20
	Peak	0.272	235.24	0.63	0.087	236.23



1. Schematic Diagram of CEDM Test Loop

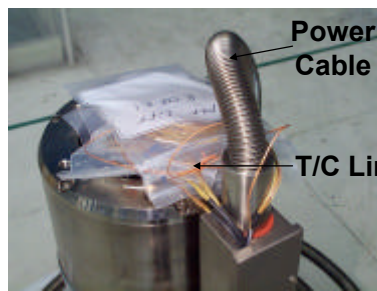
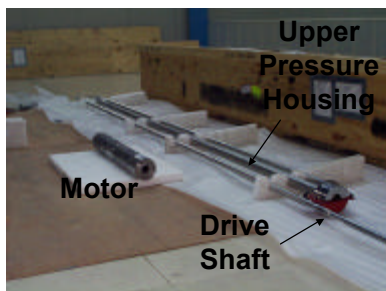
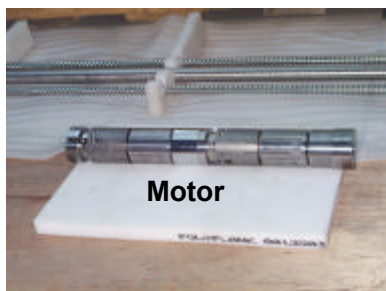


그림 2. CEDM 시험용 주요 부품

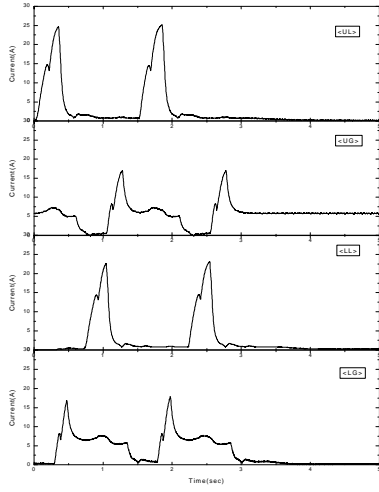


그림 3. Coil Current Trace in Shake-down Operation(Withdrawal at 600 steps)

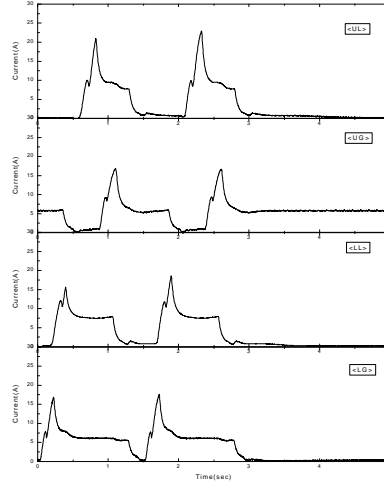


그림 4. Coil Current Trace in Shake-down Operation(Insertion at 800 steps)

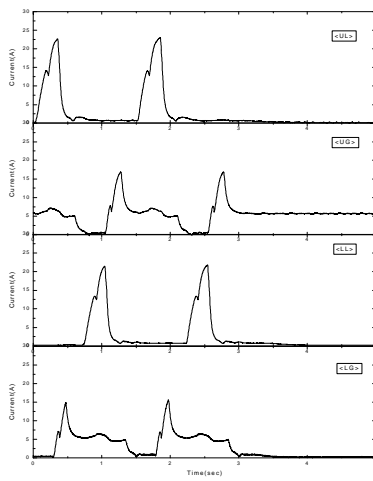


그림 5. Coil Current Trace in Travel Test (Withdrawal at 1300 steps)

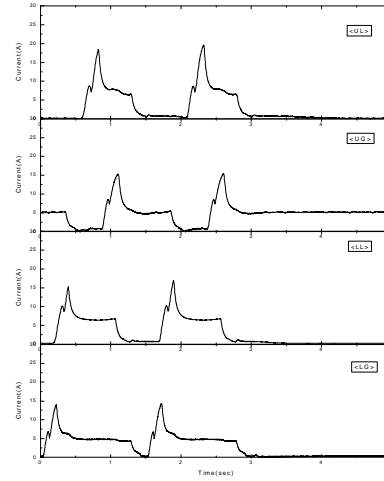


그림 6. Coil Current Trace in Travel Test (Insertion at 2300 steps)

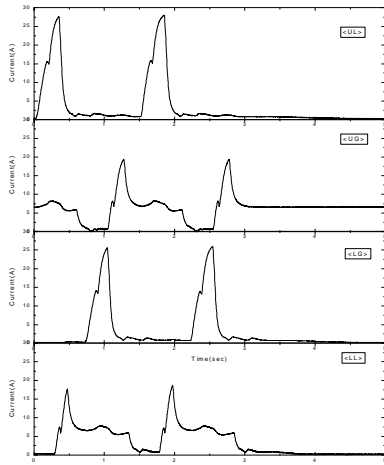


그림 7. Coil Current Trace in Travel Test (Withdrawal at 363376 steps)

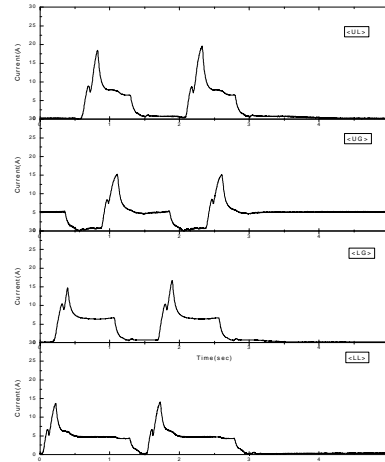


그림 8. Coil Current Trace in Travel Test (Insertion at 373373 steps)

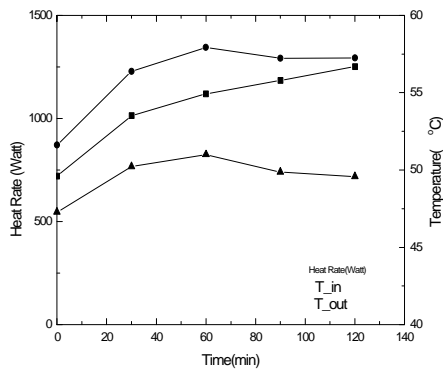


그림 9. 공기냉각시험시 공기의 온도변화 및 Heat Rate의 변화

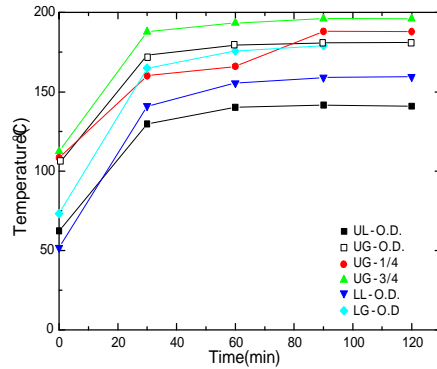


그림 10. 공기냉각시험시 코일 내부의 온도 변화

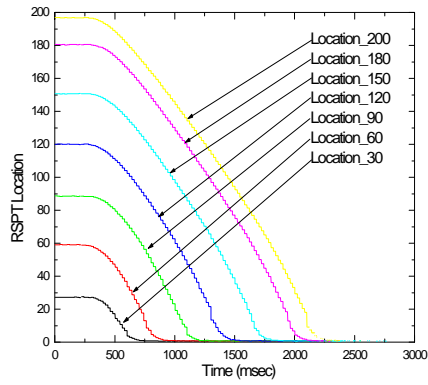


그림 11. CEA의 높이 변화에 의한 낙하 커브(155 bar, 320°C, 2.5 m³/hr)

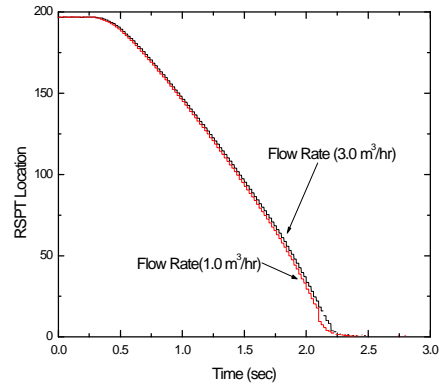


그림 12. Loop 유량 변화에 의한 낙하 특성커브(155 bar, 320°C)

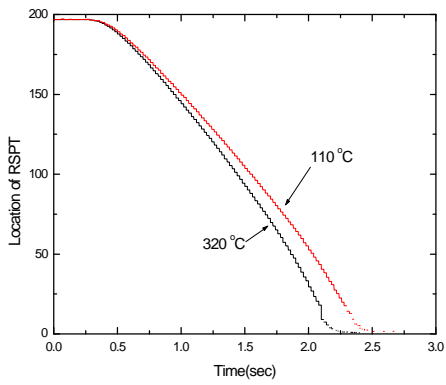


그림 13. Loop 온도 변화에 따른 낙하 특성 커브 (155 bar, 2.5 m³/hr)