

차세대 원자로 CEDM 내구성시험 결과 분석 Analysis of CEDM Endurance Test Results for APR1400

전형길, 정장환, 송철화, 박종균

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150번지

요 약

차세대 원자로 수명이 60년이 되고 부하추종운전이 채택되면 제어봉구동장치의 운전거리가 YGN/UCN의 구동거리에 비해 매우 늘어난다. 따라서 APR1400에 사용할 CEDM의 성능을 검증하기 위한 시험이 필요하다. 본연구에서는 국내 최초로 CEDM의 내구성시험을 설계수명 이상으로 수행하였다. 설계수명의 2.2배인 220,000 ft의 운전거리를 이동하였으며 이때 까지 모터는 정상적으로 작동하였다. 시험 후 분해하여 주요 부품에 대하여 치수 측정을 하여 초기 측정값과 비교를 하였는데 CEDM의 기계적 움직임이 많이 일어나는 Latch, Pin 및 Drive shaft 등은 마모로 인해 제작 허용 오차에 비해 많이 벗어난 결과를 보였다.

Abstract

The CEA traveling distance of APR1400 is expected to increase for the more than that of YGN/UCN, when mode K load following operation and 60 years life time are applied to the design. Thus it is necessary to perform the verification tests in reactor conditions to evaluate the endurance capability of the CEDM of APR1400. In the present work, the CEDM motor was tested 2.2 times of 100,000 ft travel, its design lifetime in the APR1400 operation conditions. The motor operated normally at final stage of tests. At the completion of the test, all parts of the CEDM motor were disassembled for inspection and dimensional measurement. Severe wear were observed on the moving parts of the CEDM motor such as latch, pins, and on the teeth of the drive shaft.

1. 서론

차세대 원자로(APR140) 핵반응도 조절에 이용되는 제어봉구동장치(Control Element Drive Mechanism)의 성능실증시험에 필요한 시험장치를 원자력연구소 종합 엔지니어링 실험동에 설치하였다.[1,2] 시험 대상인 제어봉구동장치는 기구학적인 기계부품과 전자기적 구동계통이 통합된 복잡한 구조를 갖으며 기능상 잦은 운동으로 인한 마모와 피로 하중을 많이 받게 된다. 따라서 CEDM 개발이나 운전조건의 변경시 설계의 적합성을 입증하고 성능요건의 만족 여부를 평가하기 위한 성능실증시험이 요구된다.

가동중이거나 건설중인 국내 가압경수로의 제어봉구동장치는 설계회사에 따라 상세설계

는 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 걸쇠를 기구 운동시킴으로서 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 개발이나 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 수행한 바 있고[2], 또한 본 연구에서는 CEDM의 수명과 관련하여 내구성 시험을 1차와 2차에 걸쳐 수행하였다.

2. 실험 장치

2.1 기계 장치

본장치는 고온/고압 물 순환 Loop이며 Main loop 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 ℃
- 순환용수 운전유량 : 1.3 kg/s (at 156 bar, 320 ℃)
- 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 ℃ 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 감

시하기 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.[3]

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

CEDM 제어감시유닛은 제어프로세서와 운전 및 감시 프로세서로 구성되며 산업용 컴퓨터의 새시에 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 변압기랙으로 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. 내구성 시험

CEDM모터 내구성시험에 사용된 Motor 및 Drive shaft 등은 ABB-CE에서 제작된 것으로 표 1에 간략하게 특징을 기록하였다. 또한 그림 2는 본 시험에 사용된 Motor, Drive shaft 및 Coil stack assembly 등의 사진이다. 본 시험은 CEDM 시험요건서[4]와 시험절차서[5]에 기술된 내구성시험 항목의 관련 절차에 따라서 수행하였다. 1차 내구성시험은 CEDM 모터의 설계 수명의 이동거리인 100,000 ft의 110%인 110,000 ft의 구동을 목표로 하였다. 운전 조건은 15.5 MPa (2,250 psia)의 압력조건과 594.3 K (615 °F)의 온도 조건, 그리고 2.5 m³/hr의 유량 조건에서 수행하였다. 내구성시험에서 CEDM 모터는 0.762 m/min. (30 inch/min.)으로 구동하였다. 시험기간 중에 발생된 특기사항은 기록하였으며, 1차 내구성시험 수행 후 모터의 상태를 사진으로 찍어 보관하였고 또한 운동이 일어나는 주요 부품의 치수를 측정하였다. 2차 내구성시험은 Motor의 고장 혹은 성능이 저하되어 더 이상 CEDM모

터의 운전이 가능하지 않을 때까지 수행할 예정이었으나 연구기간의 제한으로 인하여 설계 수명의 220% 까지만 수행하였다.

4. 시험결과 및 분석

4.1 1차 내구성시험

내구성시험은 Motor의 장시간 운전에도 건전성을 유지하는지의 여부를 판단하기 위한 시험으로서 구동거리는 110,000 ft를 달성하였다. 내구성시험 중 측정결과로는 모터를 구동시키는 4개의 코일인 UG, UL, LG 그리고 LL에 인가되는 전류 커브를 생산하였다. 내구성 시험에서 표기된 구동거리는 CEDM 성능시험[2]에서 수행된 모든 시험, 즉 내구성시험 뿐만 아니라 냉각성능시험, 전력시험 및 낙하시험시 모터의 Latch를 이용하여 모터가 움직인 거리를 포함하였다. 표 2는 내구성시험에서의 CEDM모터 구동 결과, 즉 고온 및 저온에서의 운전상태와 각각의 운전상태에서의 Drive shaft의 구동거리를 나타내고 있다.

고온고압 운전조건에서의 내구성시험에 앞서 CEDM Motor등의 정상작동을 확인하기 위하여 상온 상압 조건에서의 shake-down operation을 수행하였다. 그림 3은 1차 내구성시험에서 측정된 삽입시 전류 커브를 나타내고 있다. 또한 그림 4는 인출시 전류커브를 나타내고 있다. 이전[2]에 수행된 성능시험에서와 마찬가지로 삽입 및 인출의 경우 모두 shake-down operation에서 내구성시험시의 고온고압의 운전조건 (320 °C, 155 bar)의 경우보다 더 많은 전류 값을 나타내었다. 이는 loop의 순환수의 온도 변화에 따른 밀도 차이에 기인한 것으로 판단된다. 내구성시험 기간 중에 전류의 세기에서 커다란 특징적 변화는 없었다. 이는 내구성시험에서 장기간 일정하게 Motor가 운전될 때에 시험대 내에서 기계적인 환경 조건과 온도 압력등 시험조건이 변화가 없었음을 말해주고 있다.

1차 내구성시험이 종료된 후에 CEDM 모터를 분해하여 주요 부품의 치수를 정밀 측정하였다. CEDM모터에 대한 검사 및 정밀측정은 창원에 있는 두산중공업에서 수행되었으며, 2차 내구성시험의 연속성을 위하여 완전 분해하지 않고 새로운 부품없이 재조립이 가능한 만큼만 분해하였다. 따라서 Latch 및 일부 핀에 대한 측정은 이루어지지 않았다. 1차 내구성 시험 후에 CEDM 모터에 대한 측정 결과를 얻었다. 측정 결과 Latch guide tube의 plasma spray 부위에는 큰 손상은 없었으나 네곳의 측정 위치중 한 지점에서 측정된 외경은 제작 허용범위 오차를 넘어선 것으로 나타났다. R4009 핀의 외경의 경우에는 많은 부분이 제작 허용오차를 벗어나고 있다. Movable latch magnet의 구멍 내경은 거의 모든 지점에서 제작 허용 오차범위를 넘어서고 있다. 전체적으로 CEDM 부품들의 상태는 양호하였으나, 기계적 상태 운동이 많이 발생하는 부품에서는 마모의 흔적이 관찰되었다.

4.2 2차 내구성시험

2차 내구성시험은 고온 고압의 운전 조건하에서 CEDM Motor가 어느 정도의 이송거리에서 그 기능을 상실하는가를 알아보기 위한 시험이었다. 그러나 본 시험은 CEDM Motor가 정상적으로 작동됨에도 불구하고 시험환경이 악화됨에 따라 시험장치의 지속적인 운전이 불가능하여 시험을 중단하였다. 그 예로 pressure tap으로부터 pressure transmitter 까지 이어주는 tubing line을 들 수 있는데, 이 배관이 동결되면 곧 loop의 제어를 불가능하게 만들기 때문이다. 따라서 2차 내구성시험은 주요기기의 동파와 시험장치의 운전성을 고려하여 최장 시간 시험장치를 운전한 후에 220,000 ft 에서 시험을 종료하였다.

2차 내구성시험에서는 표 2에서 보는 바와 같이 shake-down operation을 수행하지 않고

연속해서 고온고압 조건에서 운전을 하였다. 1차 내구성시험 때와 마찬가지로 시험 조건인 온도, 압력, 유량과 모터의 누적 이송거리인 step수 및 coil 전류 trace등을 측정하여 file에 저장하였고, 초기, 중기 및 후기의 경우 전류 커브에 커다란 변화는 없었다.

2차 내구성시험 후 CEDM Motor를 완전히 분해하였다. 완전 분해후 각 부품에 대한 측정과 육안 관찰이 이루어졌다. Latch guide tube의 plasma coating 부위는 육안관찰에서는 많은 손상이 보이나 외경 측정 값에서는 일부분에서만 제작 허용 범위를 넘어서고 있다. 1차 내구성시험의 결과에서 보듯 2차 내구성시험 후의 결과에서도 R4009 Pin의 외경의 경우에는 거의 모든 부분에서 제작 허용오차를 벗어나고 있는데 이는 1차 내구성시험 후의 결과에 비해 그 마모량이 커져있음을 알 수 있다. Movable latch magnet의 구멍의 경우에는 구멍의 직경이 커져서 거의 모든 지점에서 제작 허용 오차범위를 넘어서고 있다. 1차수명 시험의 경우 분해되지 않았던 Latch와 핀들의 경우 이번에는 분해하여 측정하였다. Latch에서는 시험전 측정시에 기준점으로 삼았던 측정 기준점이 마모로 인하여 상실되어서 시험전후 마모량의 정량적인 측정 비교는 불가능하였다. 핀 diameter 측정의 경우는 기계적 간섭이 발생하는 중간 부위에서는 직경의 감소가 있었으나, 기계적 간섭이 끝나는 양단 부위로 재질이 밀려나서 이 부위에서의 직경은 오히려 제작시보다 더 큰 경우가 나타나게 되었다. 측정된 핀의 직경은 360도를 회전시키면서 측정하여 직경의 최대치와 최소치를 기록하였다.

그림 5는 Motor를 완전 분해하여 차례로 세워둔 사진으로서 우측부터 CEDM Motor의 상단 부품이다. 그림 6은 Latch, long pin, short pin 및 Linker 사진으로 이러한 set가 총 6set이 하나의 Motor에 장착된다. 그림 7은 long pin과 short pin의 마모를 나타내는 사진으로 위에 언급하였듯이 중앙부분의 빛나는 부분이 Linker 및 Latch에 접촉하는 중간 부분의 직경이 크게 감소되었음을 알 수 있다. 그림 8은 새것과 비교된 Short pin의 사진으로서 핀의 길이방향 중간부위 즉 기계적 간섭이 일어나는 부위에서는 직경의 감소를 사진에서 알 수 있으나 바로 기계적 간섭이 발생하는 부위의 양단에서의 측정값을 보면 오히려 직경이 커져있음을 알 수 있다. 그리고 사진에서 보이는 핀의 양 끝단 손상은 시험종료 후 분해시 발생한 것으로 내구성시험과는 상관이 없는 손상이다. 그림 9는 새것과 비교된 Latch의 사진이다. 새것에는 Latch의 끝이 면으로 명확히 나타나나 시험에 사용된 Latch에서는 그 면이 마모로 인하여 날처럼 뾰족하게 되어있다. 시험전 Latch의 측정은 이면을 기준으로 하여 이루어 졌으나 시험후 마모로 인하여 기준점이 없어져서 시험전과 동일한 방법으로 측정을 할 수 없었다. 그리고 Latch의 안쪽 등근면이 새것은 하나의 면을 이루고 있으나 시험에 사용된 Latch는 Drive shaft와 접촉하여 마모가 발생한 면과 접촉이 없었던 면으로 확연히 구분되어 진다. 그림 10은 시험후의 Latch guide tube를 새 것과 비교하여 볼 수 있도록 하였다. 그림의 윗쪽에 있는 것이 시험에서 사용된 Latch guide tube 이고 아랫쪽이 새 것이다. Tube의 검은색으로 보이는 네 부분이 plasma coating 부위이다. 사진에서 보는바와 같이 plasma coating 부분도 많은 손상을 입었다.

그림 11은 Drive shaft의 손상된 tooth 사진으로서 왼쪽이 Test weight에 연결된 방향이다. Drive shaft의 손상은 tooth 전체 둘레에 고르게 분포되어 있으며, Latch의 작동 방향 즉 하부에서 상부쪽으로의 운동에 의해 Drive shaft에서 마모된 쇠가 밀려 올라가서 tooth 산의 윗쪽에 붙어 있는 것이 관찰된다. Drive shaft의 tooth의 측정은 제작시 실시하는 동일한 방법에서의 측정할 수 없었다. Tooth의 산 부분의 손상부위가 커져서 제작시 사용된 측정기기로서는 기준점을 찾기가 불가능하여 시험후 측정에서는 투영기를 이용한 특별한 방법으로서 마모 정도를 검사하였다. 사용된 투영기는 MITUTOYO 제작사의 profile projector

type PJ300를 이용하였다. 투영 방법은 검사할 Drive shaft를 투영기에 올려놓으면 투영기의 화면에 10배로 확대된 모습이 나타나게 된다. 이때 투영기 화면에 tooth의 오차 범위가 표시된 reference profile을 부착시켜 화면에서 상호 비교할 수 있도록 하였다. 그림 12는 신품 Drive shaft를 투영한 모습이다. 그림에서 보는바와 같이 산의 끝점을 기준으로 산의 기울기와 골까지의 깊이에 오차 범위가 설정되어 있는 reference profile의 오차 범위내에 Drive shaft는 가공되어 있음을 알 수 있다.

그림 13은 s79의 각 부분의 투영 모습이다. s79는 1차와 2차에 걸친 내구성시험에 사용되었던 Drive shaft로서 그 이력은 190,000 ft의 이송에 사용되었다. 그림 13의 투영 화면에서 알 수 있듯이 tooth 산의 오른쪽 면, 즉 Latch와 상대운동으로 접촉하는 면에서는 큰 손상을 관찰할 수가 있다.

5. 결론

차세대 원자로(APR1400)용 제어봉 구동장치인 CEDM 모터에 대한 내구성시험을 원자력 발전소의 정상 운전조건에서 1차 내구성시험과 2차 내구성시험으로 나누어서 수행하였다. CEDM 모터는 1차 내구성시험에서 모터의 설계 수명인 100,000 ft의 110%인 110,000 ft의 구동 거리를 정상적으로 작동하였으며, 운전 후 CEDM 모터의 분해 검사에서 과도한 마모는 나타나지 않았다. CEDM 모터를 다시 조립한 후에 2차 내구성시험을 수행하였고, 이 시험에서는 110,000 ft를 추가로 구동하여 CEDM 모터의 총 구동 거리가 220,000 ft에 달하였을 때에 내구성시험을 종료하였으며, 내구성시험을 마칠 때까지 CEDM 모터는 정상적으로 작동을 하였다.

내구성시험 종료 후 모터의 육안 검사 및 측정에서 구동 부품인 Latch, Pin 등에서 상당한 정도의 마모가 관찰되었고, 또한 Pin이 끼워지는 hole들의 구멍은 제작 공차를 크게 벗어나는 마모가 발생하였다. Drive shaft에서는 시험전에 사용한 측정기로는 측정이 불가능할 정도의 마모에 의한 손상이 관찰되었다. 전반적으로 CEDM 모터의 일부 구동 부품에서는 과도한 마모가 발생되었으나 이들 마모가 모터의 작동성에는 영향을 미치지 못하였다.

감사의 글

본 연구는 과기부 원자력 중장기 연구개발 사업과 한국전력공사의 후원으로 이루어졌으며, Motor의 분해 조립 및 측정을 수행해주신 두산중공업 관계자 여러분께 감사드립니다.

6. 참고 문헌

- [1] 정장환 외, “CEDM 성능시험장치 구축 및 종합시운전 보고서”,KAERI/TR-1764/2001, 2001년 2월
- [2] C.-H. Song et al., " Thermal-Hydraulic Tests for the Performance Verification of New Design Features in APR1400", The 17th KAIF/KNS Annual Conf., Seoul, April 17-19, 2002
- [3] 전형길 외,“차세대원자로 CEDM 성능시험 결과 분석”, 2001 춘계학술발표회 논문집 한국원자력학회, 2001년 5월
- [4] 허섭 외, “CEDM 성능시험설비의 CEDM제어계통 기술지침서”, KNGR-MM-

TM251-00, Rev 00, 내부보고서, 한국원자력연구소, 1999년 11월

- [5] S. Hur et al., "Development of CEDM Control System for CEDM Performance Test", Proc. KNS Spring Mtg., May 1999
- [6] 최순 외, " Test Requirements of CEDM Performance Test for APR1400", KNGR-ME-TR250-01 Revision 02, 1999년 6월
- [7] 최순 외, " Test Procedure of CEDM Performance Test for APR1400", KNGR-ME-TP250-01 Revision 02, 1999년 9월

표 1. Measurement of the Test CEDM MOTOR ASSEMBLY

CEDM Motor Assembly(R4050)-E-STDCEDM-R4000, Rev. 03, S/N : 001			
Weight	66.75 kg	Length	94.6 cm
Drive Shaft and Magnet Assembly(R7060)-D-APR1400DSA-Mo1, S/N : 79			
Weight	31.40 kg	Length	560 cm
Weight simulating 4 finger CEA			
Weight	64.55 kg		

표 2. CEDM Travel Summary For Endurance Test

Total Travel		3,520,000steps	
1	Cold Travel	5399 steps	Room temp., 4 bar
		0 - 800, 19,164 - 21,767, 500651 - 502646	
	Hot Travel	1,754,601steps	155 bar, 321 °C
		800 - 19,164, 21,767 - 480,000, 502,647 - 1,760,000	
		20,650 steps	155 bar, 110 - 300°C
		480,000 - 500,650	
2	Hot Travel	1,760,000 steps	
		1,760,001 - 3,520,000 , 155bar, 321°C	

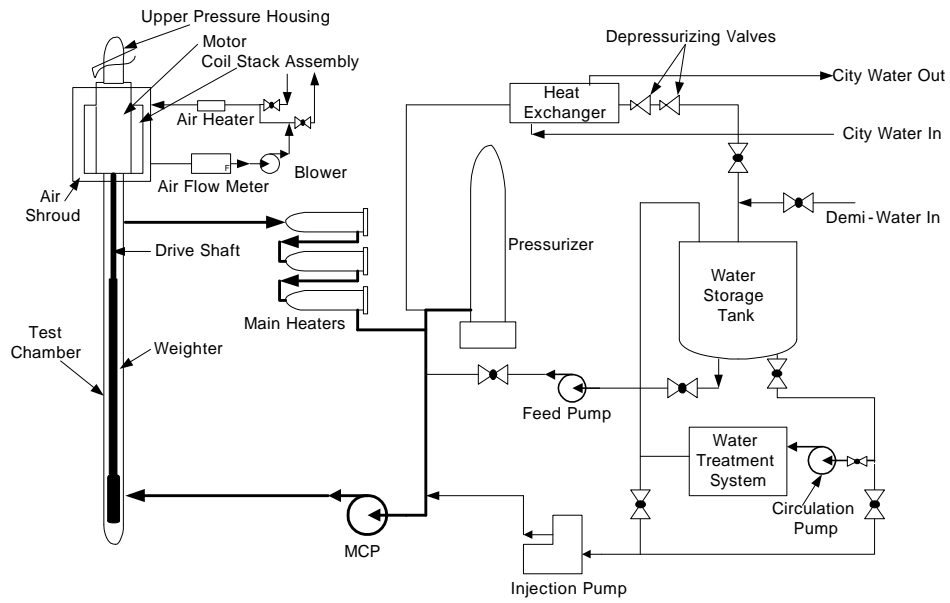


그림 1. CEDM Test Loop의 개략도

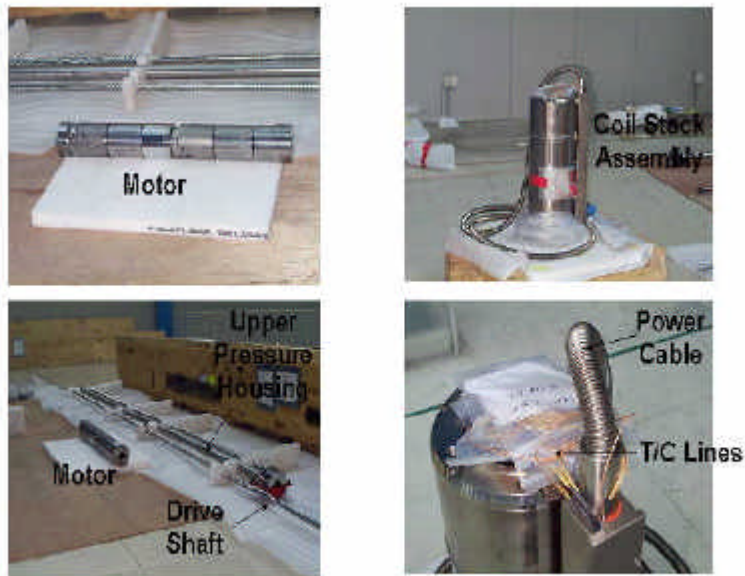


그림 2. Motor, Drive shaft 및 coil stack assembly

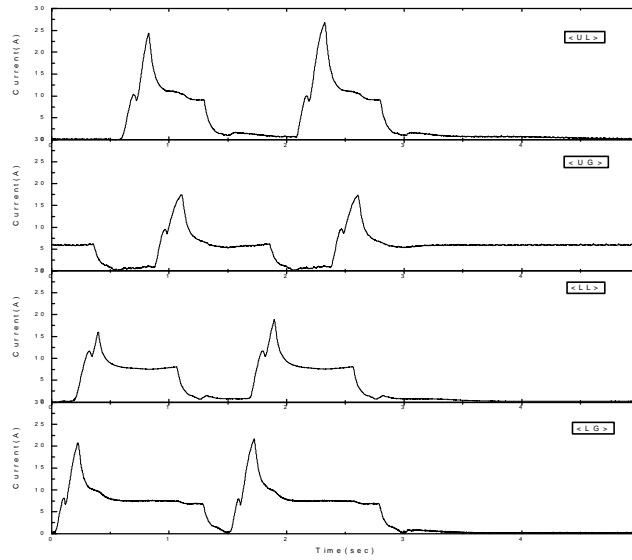


그림 3. Coil Current Trace in 1st Endurance Test
(Insertion at 817,014 steps)

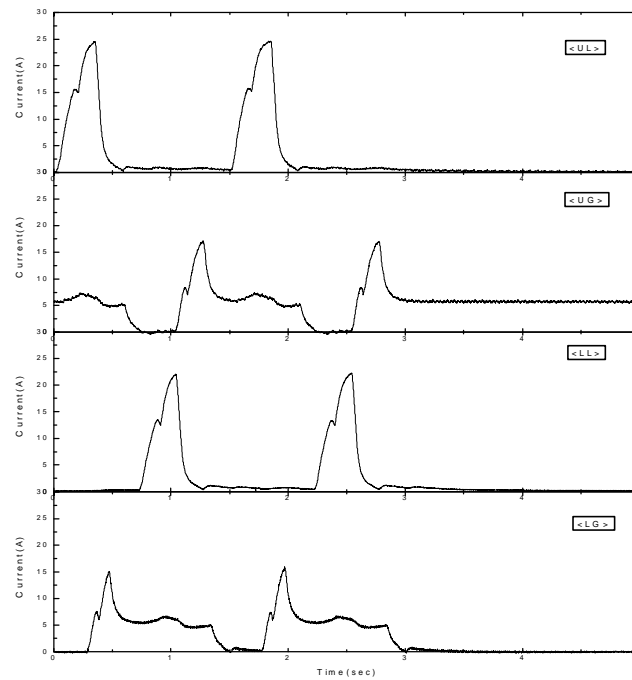


그림 4. Coil Current Trace in 1st Endurance Test
(Withdrawal at 817,012 steps)

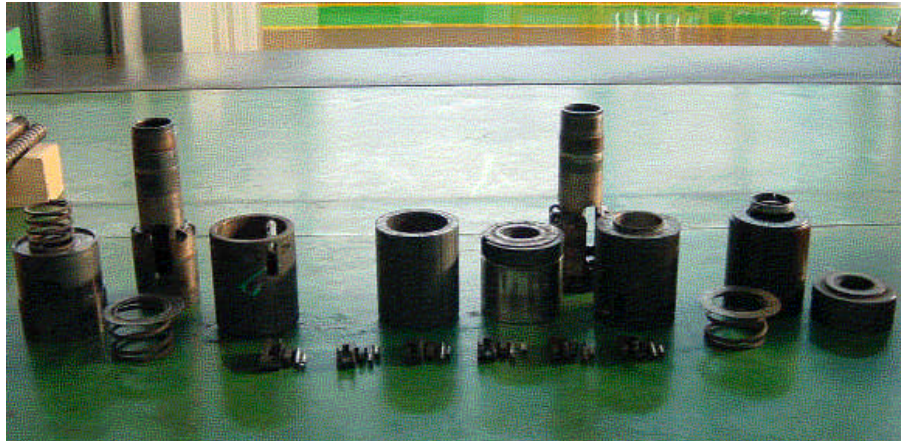


그림 5. Latch Guide Tube를 제외한 모든 부품의 진열



그림 6. Latch, 장핀, 단핀 및 Linker set의 사진



그림 7. 장핀과 단핀의 마모를 나타내는 사진

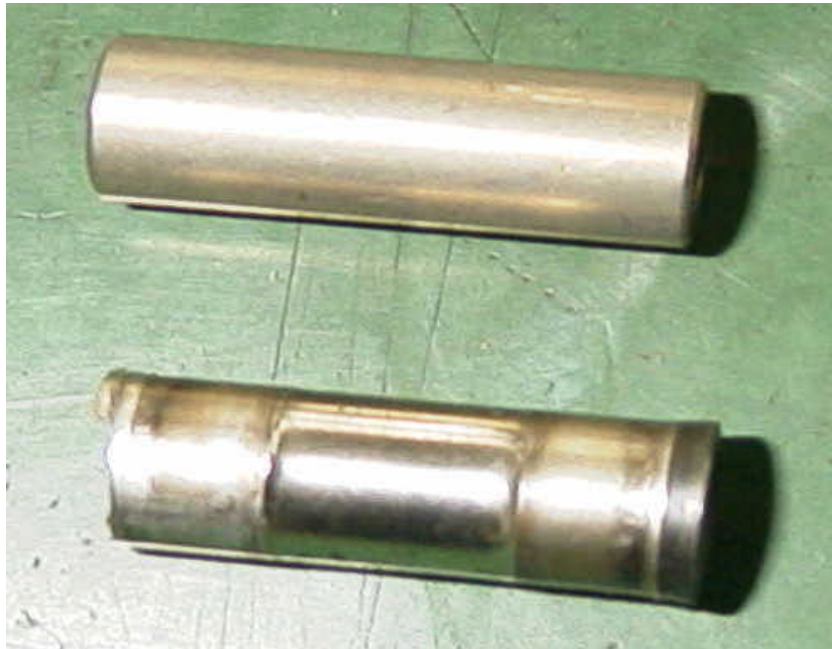


그림 8. 새것과 비교된 단핀의 사진



그림 9. 새것과 비교된 Latch의 사진



그림 10. 새것과 비교된 Latch Guide Tube

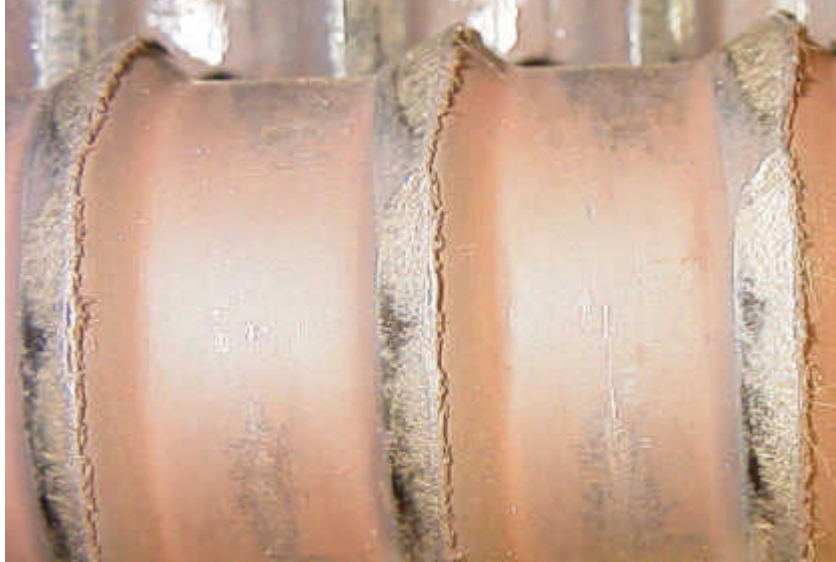


그림 11. Drive shaft의 손상된 Tooth 사진



그림 12. 투영기에 투영된 New Drive Shaft의 사진



그림 13. Tested Drive shaft(s79)의 투영사진