

핵연료 교환기 이상 진단 시스템 개발 연구

Development of a diagnostic system for a fuelling machine

채장범, 김태환

아주대학교

경기도 수원시 팔달구 원천동 산 5

김용배

한전 전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

홍순성, 서언식, 박완규

한수원(주) 월성원자력본부

경상북도 경주시 양남면 나아리 260

요 약

본 연구에서는 중수로 원자력발전소에서 사용되는 핵연료 교환기 캐리지의 상태를 감시하는데 필요한 진단 방법을 개발하였다. 고방사능 지역에서 작동하는 핵연료 교환기에 대한 신호의 취득은 원격에서 비침투적으로 이뤄져야한다는 제약이 있다. 따라서 비침투적으로 원격에서 측정 가능한 신호들로서 전압과 전류가 선정되었다. 선정된 신호를 이용하여 정확한 진단을 위해 필요한 진단 신호를 추출하였다. 진단 신호로는 모터의 출력 토크를 선정하였고 진단 신호의 타당성을 모형 캐리지를 대상으로 수행한 다양한 실험을 통하여 검증하였다.

Abstract

In this paper, the diagnostic algorithms were developed, which would be utilized to monitor the condition of a fuelling machine, especially a carriage assembly, in PHWR(Pressurized Heavy Water Reactor). Since the fuelling machine operates in the reactor, it is impossible to give access to and to modify it in order to gather signals. Therefore, the signals should be obtained remotely as well as non-invasively. The currents and the voltages of an electric motor were selected as measuring variables. The measured signals were further processed to extract the diagnostic signatures,

which were analyzed to identify defects. Motor torque was examined and validated as a diagnostic signature in the various experiments.

1. 서론

핵연료 교환기는 중수로 원자력발전소에 설치되어 핵연료를 원자로에서 교환해 주는 연료교환기 헤드와 이를 원하는 위치까지 이동시켜주는 브리지와 캐리지 등으로 구성된다. 이들은 매일 일정량의 연료를 교체해 주어야 하는 중수로 원전의 특성상 작동이 빈번한 기계들이다. 그런데 연료교환 작업에 필요한 핵연료 교환기의 작동이 실패하여 정지하게 되면 핵연료 교환기는 고방사능 지역에 있으므로 보수를 위하여 발전소를 정지시켜야 하는 경우도 발생한다. 그러므로 지속적인 감시를 통하여 핵연료 교환기의 상태를 파악하고, 고장을 미리 방지하는 기술에 대한 요구는 계속되어 왔다. 그러나 중수로 원전을 다수 확보하고 있는 캐나다에서도 연료교환기를 작동 중에 진단하는 기술을 확보하지 못하고 있고, 단지 이동 가능한 부품만을 보수실로 옮긴 후에 보수실에서 작동상태를 점검하는 정도에 그치고 있다. 그런데, 위와 같은 점검만으로는 가동 중 점차적으로 성능이 저하되어 발생하는 고장을 미리 예측하기란 불가능하다. 따라서, 핵연료 교환기를 변형시키지 않고 비침투적으로 원격에서 신호를 측정하여 핵연료 교환기가 작동 중에도 진단을 수행할 수 있는 방법의 개발이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 비침투적으로 측정이 가능한 신호인 캐리지 구동 모터의 전압과 전류만을 원격에서 측정하여 캐리지의 상태를 파악하기 위한 진단 신호를 구성하였다. 그리고 모형 캐리지의 작동 실험을 통하여 진단 신호의 타당성을 검증하여 핵연료 교환기의 가동 중 감시의 가능성을 보여주었다.

2. 핵연료 교환기 캐리지 모형¹⁾

캐리지는 핵연료 교환기를 지지하고 보수실의 이송레일과 원자로실의 브리지 레일을 따라 수평으로 움직이면서 핵연료 교환기 헤드의 주 수평 이동(이후 주 X 이동)과 미세 수직 이동 등이 가능하도록 한다. 그림 1에 핵연료 교환기와 원자로의 배치도를 나타내었고, 원자로 앞뒤에 설치되어 있는 브리지 기둥에 가로로 놓여 있는 브리지 빔을 따라 캐리지와 헤드가 움직이고 있는 장면을 보여준다. 그림 2는 실제 캐리지를 도시한 것으로 핵연료 교환기 헤드가 하부에 달려 있는 중심부의 전후에 종동부(idler)와 구동부(driver)가 자리잡고 있다. 캐리지는 보수실에서 고방사능 지역인 원자로실로 운전되어 핵연료 교환 작업을 수행하므로 작업 시 항상 방사능에 노출이 되어있다. 따라서 실제 캐리지를 원자로실에서 작동하면서 연구 목적으로 신호를 측정한다는 것은 원자력 발전소 운영상 어렵고, 고장 메커니즘을 구현하여 실험한다는 것은 불가능하다. 이에 본 연구에서는 실제 캐리지의 작동 상태를 파악하기 위한 방법을 도출하기 위해 실제 캐리지의 약 1/4 크기로 캐리지의 특성을 재현해 낼 수 있는 캐리지 모형을 설계 및 제작하였다. 그림 3은 제

작된 모형 주 X 이동 장치의 구동부를 나타낸 것이다.

X 이동 장치의 구동부는 전기모터, 전기식 디스크 브레이크, 더블 워름 감속기, 평기어 세트, 바퀴 등으로 구성되어 있다. 캐리지는 원자로실로 진입하기 전과 정지 전에 잠시 동안 저속으로 운전되고 이때의 모터 회전수는 900rpm이다. 이외의 구간에서는 모터 회전수가 1800rpm인 고속으로 운전된다. 그러므로 캐리지 구동 전기 모터는 2속 전환 모터이며, 모형에서도 동일한 사양이 설치되었다. 전기 브레이크는 모터의 전원 공급이 중단됨과 동시에 스프링 힘으로 캐리지를 제동시킨다. 더블 워름 감속기는 워름기어 2세트가 조립된 것으로 감속비가 커 구동 토크를 증대시키는 역할을 한다. 평기어 세트와 바퀴는 레일 상에 하중을 적절히 분산시켜 원활한 운전이 가능하도록 설치되어 있다. 그림 1에 도시된 바와 같이 보수실과 원자로실 브리지 레일은 분리되어 있어, 그림 6과 같이 모형에서도 이를 모사하기 위해 레일을 분리하여 제작하였다.

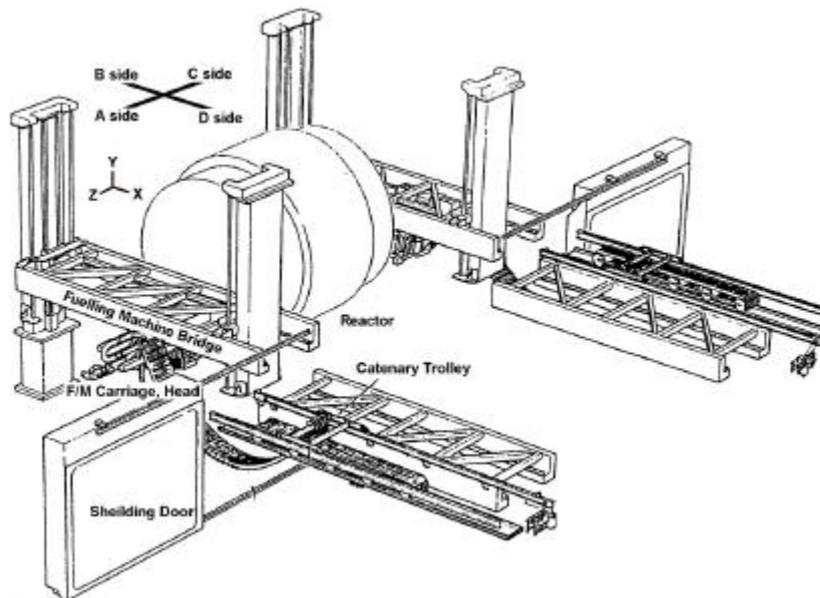


그림 1 핵연료 교환기와 원자로 배치도

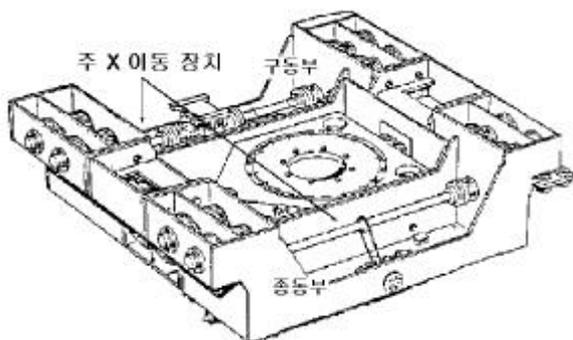


그림 2 원전 캐리지 개략도

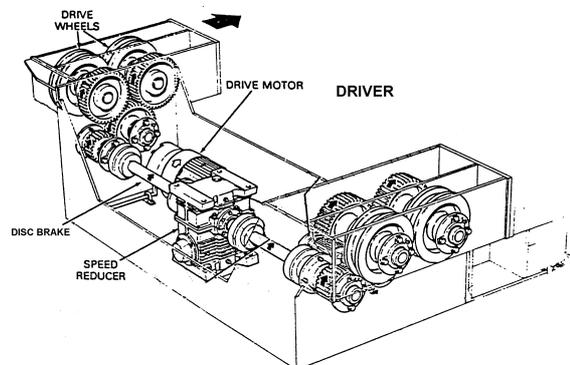


그림 3 모형 주 X 이동 장치

3. 신호처리기법

캐리지의 상태를 진단하고 감시하기 위해서는 캐리지 작동 시 캐리지에 작용하는 부하의 변화를 파악하는 것이 필요하다. 여러 가지의 물리량 중 토크는 회전 구동 시스템의 부하에 비례하여 나타나기 때문에 시스템의 상태를 가장 잘 대변해 줄 수 있는 값이다. 따라서, 캐리지의 구동원인 전기 모터의 토크는 캐리지 상태를 진단하기 위해 가장 적절한 변수이다. 일반적으로 토크는 관심 있는 부분에 힘 센서를 적절히 설치하거나, 토크 센서를 구동 부품 사이에 삽입함으로써 가능하다. 그러나 핵연료 교환기의 경우에는 신호 측정을 위하여 구조를 변경하는 것이 허용되지 않으므로 모터 토크를 얻기 위해서는 신호의 측정이 반드시 비침투적인 방법으로 이루어져야 한다. 그러므로 본 연구에서는 비침투적으로 측정이 가능한 전기 모터의 입력 전압과 전류를 측정 신호로서 선정하였고, 이를 이용하여 모터 토크를 구해 진단 신호로 사용하였다. 또한 모터 토크 검출에 필요한 전압과 전류 신호는 모터 콘트롤 센터(MCC)에서와 같이 원자로실로부터 멀리 떨어진 곳에서도 측정이 가능하여 작업자의 방사능 피폭에 대한 걱정이 없이 측정할 수 있다. 이제 전기 모터에 공급된 전압과 전류 신호로부터 모터 토크를 검출하는 방법을 살펴보도록 하겠다.

모터의 입력 전압과 전류를 이용하여 모터 토크를 검출해내기 위해서는 모터의 작동 원리를 이용하여 전압과 전류로부터 토크를 계산하는 식을 유도한다^{[2][3]}. 모터의 출력 토크 수식은 다음의 가정을 바탕으로 되었다.

- 고정자(stator) 권선은 sine곡선으로 감겨 있어, 공극자속이 fundamental-space-harmonic 성분으로만 결합되어 있다.
- 회전자(rotor) 권선의 자기 인덕턴스는 회전자의 각 변위에 따라 변하지 않는다.
- 모터 코어의 손실은 무시한다.
- 선형 자기라 가정한다.

먼저 측정된 3상의 전류와 전압 신호는 계산의 편의를 위하여 2상의 신호로 변환된다. 변환식은 (1)에 나타나있다.

$$\begin{bmatrix} x_a \\ x_b \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\cos \frac{2\pi}{3} & -\cos \frac{2\pi}{3} \\ 0 & \cos \frac{1}{6} \pi & -\cos \frac{1}{6} \pi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_A \\ X_B \\ X_C \end{bmatrix} \quad (1)$$

X_A, X_B, X_C : 3상 전압, 전류 또는 자속 링크수

x_a, x_b : 2상 전압, 전류 또는 자속 링크수

2상 모터에 대해 자속-전류 관계는 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \lambda_S \\ \lambda_R \end{bmatrix} = [L] \cdot \begin{bmatrix} i_S \\ i_R \end{bmatrix} \quad (2)$$

토크는 에너지 방법(energy method)으로부터 쉽게 유도될 수 있다. 보에너지(coenergy)는

$$W = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} i_S^T & i_R^T \end{bmatrix} [L] \begin{bmatrix} i_S \\ i_R \end{bmatrix} \quad (3)$$

이다. 여기서 윗첨자 T는 전치행렬(transpose)을 의미한다. 전기적인 토크는 다음과 같이 계산되어질 수 있다.

$$T = \frac{\partial W}{\partial \theta} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} i_S^T & i_R^T \end{bmatrix} \left[\frac{dL}{d\theta} \right] \begin{bmatrix} i_S \\ i_R \end{bmatrix} \quad (4)$$

일련의 대수 계산을 통하면 전기적인 토크는 다음 관계식과 같이 구해진다.

$$T = P(\lambda_{Sa} i_{Sb} - \lambda_{Sb} i_{Sa}) \quad (5)$$

여기서 P는 모터의 극수, λ_{Sa} 와 λ_{Sb} 는 각각 a와 b상의 고정자 권선 자속 링크수, i_{Sa} 와 i_{Sb} 는 a와 b상의 전류이다.

4. 실험

진단 신호로 선정된 모터의 출력 토크의 타당성을 검증하기 위해 실험을 수행하였다. 앞 절에서 설명한 바와 같이 원전에서 운전하는 캐리지의 상태를 모사하기 위한 모형을 구성하였으며, 이를 대상으로 다양한 실험을 수행하였다. 각종 물리량들을 측정하기 위하여 전류계, 전압계, 가속도계, LVDT, 엔코더 등이 실험에 사용되었다. 모터 토크 검출에 이용될 전류, 전압은 전류계와 전압계를 캐리지 모형 운전을 위해 제작된 콘트롤 패널에 설치하여 측정하였다. 전류와 전압의 측정 채널은 총 12개로 저속과 고속, 3상에 대해 측정된 것이다. 그림 4는 캐리지의 구동부 모형의 사진을 나타낸 것으로 LVDT, 가속도계, 엔코더 등이 부착된 상태를 확인할 수 있다. 정확한 위치를 측정하기 위해 레일의 끝에 와

이어 LVDT를 고정하고, 와이어를 캐리지 후미에 고정하였으며, 평기어 축에 엔코더를 연결하여 회전수를 측정하였다. 위 신호들은 측정 장치를 이용하여 동시에 취득하였다. 위에서 측정된 각종 신호들은 캐리지 진단의 정확성을 확인하기 위해 사용되었다.

본 논문에서 다뤄질 실험은 캐리지 반복 운전 실험, 레일 간극 변화 실험, 레일 경사 실험, 조립 불량 실험 등이며, 검출된 모터 토크 진단 신호에 초점을 맞추어 실험 결과를 해석하였다.

4.1 캐리지 반복 운전 실험

원전의 캐리지 운전 모드를 모형에 적용하여 반복적으로 실험하여 신호를 측정하는 실험으로, 보수실과 브리지 빔에 설치된 레일 간극을 지나기 이전과 목표 위치에 도달하여 정지하기 이전에 나타나는 저속 구간을 모형 실험에서 구현하여 전진 운전을 3회 반복하면서 데이터를 측정하였다. 운전을 반복하여 운할 및 운전빈도에 따른 주 X 이동 장치의 모터 토크의 변화를 관찰하였다.

4.2 레일 간극 변화 실험

캐리지 진단 모형 실험과 현장 실험에서 레일 간극을 종동부 레일과 구동부 레일이 지나갈 때, 현저하게 큰 피크가 발생하였다. 따라서 레일 간극의 형태에 따라 모터 토크의 피크 형태와 크기가 어떻게 변화하는지를 살펴보기 위하여 여러 조건에서 실험을 수행하였다. 그림 5에 총 4종류의 레일 조건 변화 개략도를 나타내었다. 가장 상단의 파란색 레일 변화는 정상 운전 시의 레일 간극으로 가정된 간격이 30mm, 높이차 0mm이다. 그 다음 빨간색 레일 변화는 레일 간격이 30mm, 보수실의 레일 높이보다 원자로실의 레일의 높이가 3mm 높아진 형태이다. 세 번째 분홍색은 레일 간격 30mm에 높이차가 원자로실의 레일이 3mm가 낮아진 형태로 모형의 실제 모습은 그림 3.3.10에 도시되었다. 마지막으로 녹색의 레일 변화 개략도는 높이차는 존재하지 않고, 간격만 40mm로 넓어진 형태를 나타낸다. 위 4가지 형태의 레일 간격의 변화에 대해 각각 캐리지 전진 운전 실험을 하여 데이터를 취득했다. 보수실의 레일과 원자로실의 레일의 높이 차는 브리지 빔(레일)이 캐리지를 신기 위해 지정한 위치까지 하강하는데, 브리지의 하강 위치가 정확하게 조절되지 않아서 발생할 수 있다. 즉, 브리지가 정확한 위치까지 운전되지 않고, 기준을 지나치거나, 혹은 못 미쳤을 때 발생하게 된다.

4.3 레일 경사 실험

캐리지가 보수실에서 원자로실로 이동할 때 지나가는 브리지 빔이 경사(tilt)가 발생할 경우를 가정하여 그림 10에 도시한 것으로 진행방향으로 가파른 경사가 있는 경우와 없는 경우를 나타내었다. 캐리지 진단 모형 실험에 위와 같은 경우를 구현하여 캐리지를 운전시키면서 신호를 취득하였고 그 결과를 살펴보았다.

4.4 조립 불량 실험

모터 토크 신호로부터 구동부의 조립 불량 상태를 감시할 수 있는지를 확인하기 위해 모형 캐리지 구동 전기 모터의 한쪽 조립면에 약 2mm 철판을 끼워 넣어 경사지도록 하여 수직 축 정렬 불량 상태를 만들었다. 더블 워름 감속기의 입력축과 모터 회전축을 커플링으로 연결한 후 캐리지를 작동시키면서 전압, 전류 신호를 측정하였으며, 이로부터 구한 모터 토크의 변화 상태를 관찰하였다.



그림 4 주 X 이동 장치 구동부 모형 사진

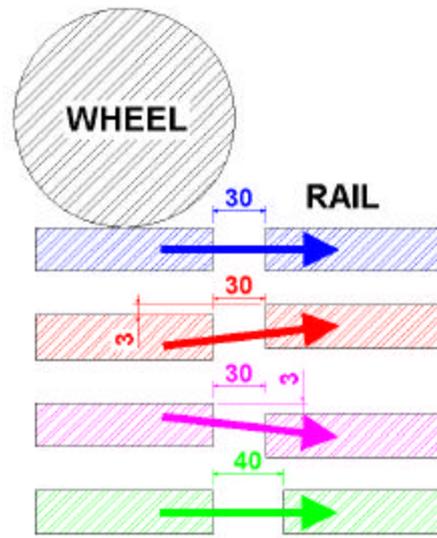


그림 5 진단 모형의 레일 간극 변화



그림 6 모형 레일 간극 (간격 30, 높이 -3)

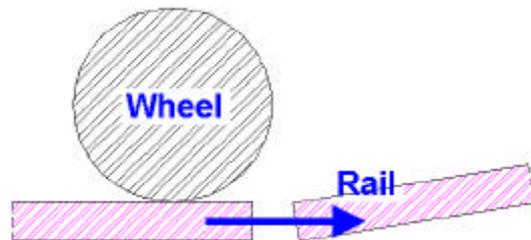


그림 7 레일의 경사 변화

5. 해석 및 결과

5.1 캐리지의 구동 모터 토크와 전력의 비교

4.1과 같은 실험을 통해 전진 운전 시 모터 토크와 순시 전력을 구하였다. 구동 모터는 2속 전기 모터이므로 고속(전기 모터 회전수: 1800rpm) 시 공급되는 전원 케이블과 저속 시(전기 모터 회전수:900rpm) 공급되는 선이 다르다. 따라서, 저속용 공급 전원 신호와 고속용 공급 전원 신호들로부터 순시 전력을 계산하고 모터 토크를 검출을 하였으며, 이를 합하여 전체 구간에 대해 나타내었다. 위 그래프들을 그림 8에 도시하였다. 고속 구간에서 저속 구간으로 접어들면서 모터 토크 값의 경우 고속 구간에 비해 저속 구간의 크기가 약간 작아지면서 진폭이 커졌다. 반면에 동일한 저속 구간에서의 전력은 오히려 상당량 증가한 것을 알 수 있다. 이를 통해 저속 구간에서 효율이 저하된다는 것을 알 수 있다. 실제 저속 구간에서는 급격한 부하 변동이 없었음에도 불구하고 전력은 부하가 상승했다는 부정확한 정보를 제공하고 있는 것이다. 반면에 모터 토크는 부하 변화를 정확하게 전달해 주고 있다. 따라서, 토크가 모터 입력 전력 보다 캐리지가 받고 있는 실부하의 정도를 판단하기에 매우 훌륭한 진단 신호임을 알 수 있었다.

5.2 윤회 상태에 따른 토크 변화

모터 토크 신호가 캐리지의 윤회 상태를 반영할 수 있는 지를 관찰하기 위해 4.1과 같은 캐리지 전진 운전을 반복하면서 토크의 변화를 시간에 따라 구하였으며, 이를 그림 9에 나타내었다. 전진 운전의 반복에 따라 모터 토크가 약간씩 감소하고 있음을 그림을 통해 알 수 있다. 이는 더블 워임 감속기가 연속적으로 작동할 때 워임과 워임기어의 윤회 상태가 점차 향상되어 모터에 걸리는 부하는 계속적으로 감소하는 것을 보여준다. 물론 부하의 감소는 지속적으로 발생하는 것은 아니고, 일정 수준까지 수렴하게 된다. 본 실험을 통해 캐리지의 윤회 상태를 모터 토크 크기의 변화로서 파악할 수 있음을 확인하였다.

5.3 레일 간극 상태에 따른 모터 토크 변화

그림 10은 바퀴가 레일 간극을 지나는 구간에서 거리의 함수로 모터 토크를 나타낸 것으로 비교하기 위해 일정한 간격으로 재배열한 것으로 4.2의 실험을 통해 얻은 것이다. 파란색 선(간격 30)은 간격과 레일 높이 차가 나지 않는 경우의 모터 토크 신호로 삼각형 형태의 피크가 발생되었다. 이후 두 번째 피크가 나타나며 이는 바퀴 2개가 레일을 순차적으로 지나가고 있음을 알 수 있는 부분이다. 빨간색 선(간격 20, 높이 +3)은 간격은 동일하고 레일의 높이가 진행방향으로 높아진 경우로 피크의 크기와 폭이 매우 커짐을 알 수 있다. 이는 높아진 레일을 오르기 위해 소요되는 구동력의 크기가 더욱 커졌음을 의미한다. 분홍색 선(간격 30, 높이 -3)은 간격은 동일하고, 레일의 높이가 진행방향으로 낮아진 경우로 캐리지가 레일 턱에서 자중에 의해 떨어지는 형태가 되므로 순간적으로 소요되는 구동력은 작아지고 다시 간격을 지나 레일을 타고 올라가야 하므로 토크가 다

시 커지는 변화 양상을 보인다. 또한 이때 캐리지의 충격으로 요동이 발생하고 있음을 발견할 수 있다. 다음 녹색 선(간격 40)은 높이 차 없이 간격이 넓어진 레일 간격 상태에서의 모터 토크 신호로 피크의 크기가 커지고 연이은 작은 피크까지의 간격이 넓어짐을 알 수 있다. 따라서, 보수실 레일과 브리지 빔 레일 간의 간격과 상대 위치에 대한 정보를 모터 토크의 일정한 지점(거리의 함수)에서 나타나는 피크들의 크기와 형태를 꾸준히 관리함으로써 얻을 수 있다.

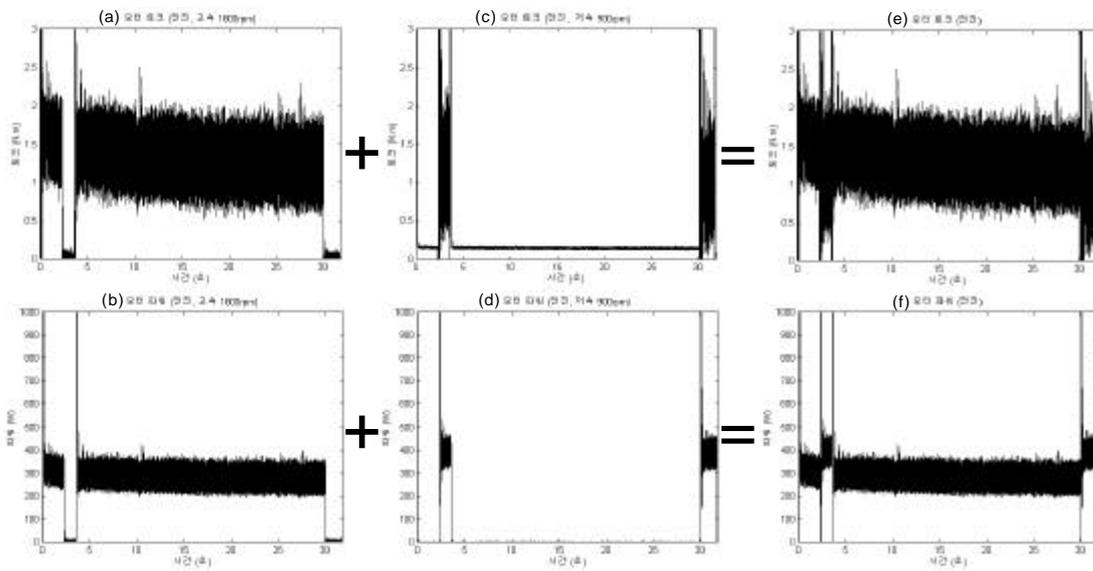


그림 8 캐리지 주 X 이동 구동 모터의 순시 전력과 모터 토크의 비교

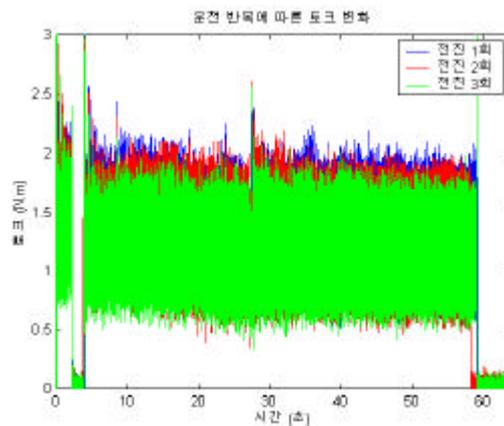


그림 9 전진 운전 반복에 따른 고속 구간의 모터토크 비교 그래프

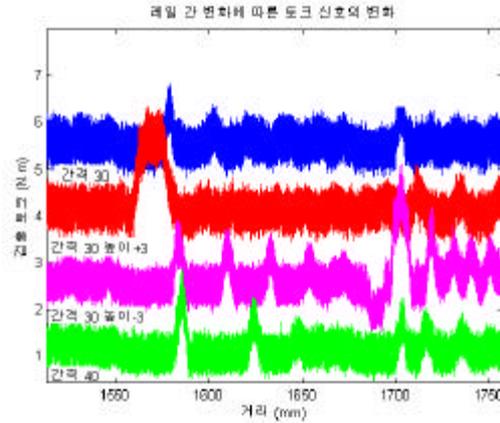


그림 10 레일 간극 변화에 따른 모터 토크 변화

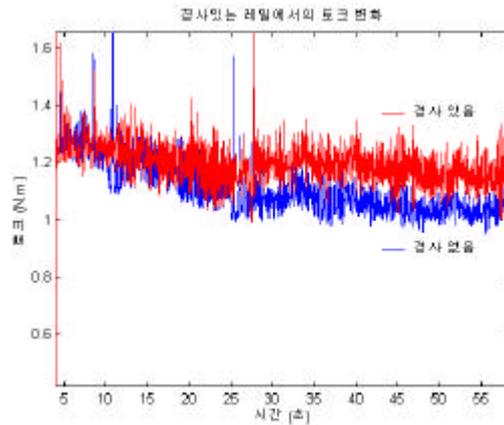


그림 11 레일 경사 유무에 따른 모터 토크 비교

5.4 레일 경사에 따른 모터 토크 변화

4.3의 실험과 같이 캐리지 진행 방향 레일의 경사가 있는 경우와 없는 경우에 대해 전진 운전 시 구한 모터 토크 신호들을 그림 11에 나타내었으며, 크기의 변화를 상세히 관찰하기 위해 잡음을 제거한 신호를 사용하였다. 10초 부근과 28초 부근에서 레일 간극의 영향을 받아 발생한 피크가 발견된다. 중동부와 구동부 바퀴가 보수실 레일 위에 위치하는 경우(0-10초 구간), 중동부 바퀴는 원자로실 레일(브리지 빔)위에 있고 구동부 바퀴는 보수실위에 위치하는 경우(10-28초 구간), 마지막으로 중동부와 구동부 바퀴가 모두 원자로실 레일 위에 위치하는 경우(28-끝 구간)로 총 세 구간을 그림 11에서 확인할 수 있다. 토크 신호는 경사가 없는 경우 중동부 바퀴(앞쪽)와 구동부 바퀴(뒤쪽)가 브리지 빔쪽으로 이동하면선 구간에 따라 토크가 조금씩 감소하는 형태를 보이고 있다. 그러나, 경사가 있는 경우 토크는 구간에 따라 경사가 없는 경우에 비해 토크 값이 커지고 있다. 이와 같은 결과로부터 구간별 모터 토크 신호의 절대 크기와 상대 크기 변화로부터 원자로실 레일(브리지 빔)의 경사 유무를 파악할 수 있음을 알 수 있다.

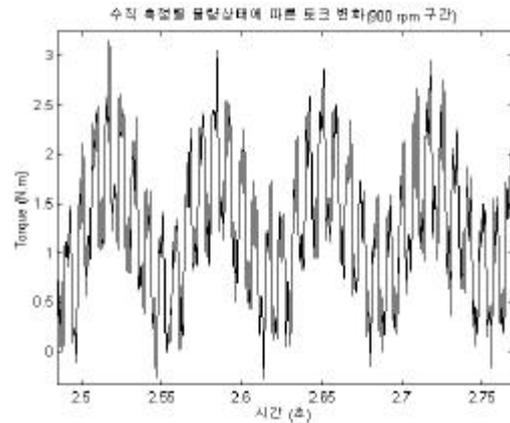
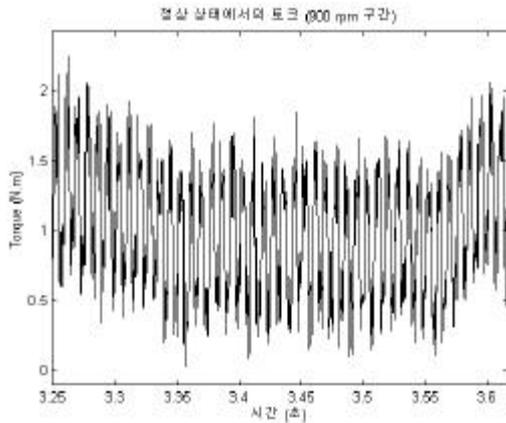


그림 12 정상 상태 모터 토크(전진, 저속) 그림 13 조립 불량 상태 모터 토크(전진, 저속)

5.5 조립 불량 감시

수직 축 정렬 불량 상태를 4.4와 같이 구현한 후 토크를 구하여 변화 상태를 관찰하였다. 그림 12는 정상 상태에서의 모터 토크를 확대한 그래프로 900rpm 저속 구간의 값이고, 그림 13은 수직 축 정렬 불량 상태에서 운전된 실험에서 구한 모터 토크를 확대한 그래프이다. 두 그래프를 비교한 결과 모터 출력축의 회전에 따라 모터에 걸리는 부하가 크게 변화하고 있음을 그림 13으로부터 알 수 있다. 또한 AR 모델링^[4]을 이용해 구한 정상 상태와 조립 불량 상태에서의 스펙트럼을 비교한 결과 조립 불량 시 저속 구간의 모터 회전 주파수 성분이 고속 구간의 것 보다 매우 큰 변화를 보였다. 이를 통해 모터 토크 신호의 모터 회전 주파수 성분을 감지함으로써 조립 불량 상태를 점검할 수 있음을 확인하였고, 저속 구간에서의 상태 확인이 효과적임을 알 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 핵연료교환기 캐리지에 대한 진단을 원격에서 비침투적으로 측정할 수 있는 신호의 선정과 그 신호들로부터 얻을 수 있는 진단 신호의 검출 그리고 진단 신호의 타당성을 실험을 통하여 검증하였다. 발생 가능한 여러 가지 고장 유형 및 작동 상태를 모형에 적용하여 실험을 수행하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

진단 신호의 크기 변화를 이용하여 캐리지의 윤활상태를 진단할 수 있으며, 모터 토크 피크들의 변화를 감지함으로써 레일의 간극 상태를 예측할 수 있다는 결과를 도출하였다.

또한 모터 토크의 구간별 절대 크기 또는 상대 크기의 변화로부터 레일의 경사 유무를 판단할 수 있었고, 모터 토크의 형태와 구간별 진폭 변화를 통해 구동부의 조립 불량 상태를 감지할 수 있다는 결과를 얻었다.

위와 같이 본 논문에서는 캐리지의 특성과 캐리지 진단에 필요한 진단 신호의 해석 방

법 등이 연구되었다. 이는 핵연료 교환기를 진단하는 시스템을 개발하는데 필요한 부분으로서 상태 기반 관리를 위한 훌륭한 정보를 제공하여 보수 관리의 효율성을 높일 수 있으며, 궁극적으로 중수로 원자력 발전소의 안전성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

7. 후기

본 연구는 과학기술부가 지원하는 원자력연구개발 중장기계획사업으로 한전 전력연구원이 주관하고 아주대학교가 수행하였습니다. 관계자 여러분의 협조에 감사드립니다.

8. 참고 문헌

- [1] 한국전력공사, "중수로 핵연료 교환 설비", 1997
- [2] A.E. Fitzgerald, Stephen D.Umans, "Electric Machinery, 5th ed", McGraw-Hill, Inc., 1990
- [3] Jangbom Chai, "Non-invasive Diagnostics of Motor Operated Valves, Ph.D Thesis", MIT 1993
- [4] L.R. Rabiner, R.W. Schafer, "Digital Processing of Speech Signals", Prentice Hall Inc., 1978