한국소음진동공학회 창립 20주년 기념 2010년 춘계학술대회논문집, pp.270~271

일체형원자로 제어봉구동장치의 낙하 및 완충특성

Drop and Damping Characteristics of the CEDM for the Integral Reactor

최 명 환† · 김 지 호* · 허 형* · 유 제 용*

Choi, M.H., Kim, J.H., Huh, H. and Yu, J.Y.

1. 서 론

제어봉구동장치(control element drive mechanism; CEDM)는 원자로가 정상 운전중일 때 제어봉을 이용 하여 노심 반응도를 적절히 제어하고, 긴급한 출력정지가 요구될 때 제어봉을 신속 정확하게 노심 내부로 삽입시켜 운전을 정지시키는 기능을 한다. 한국원자력연구원에서 개발하고 있는 일체형원자로의 CEDM은 스텝모터로 구동되는 볼스크류 형 방식으로서 스텝모터의 스텝에 따라 스크류의 이동거리가 조절되어 미세 조정성이 우수하다[1]. 또한 CEDM은 비상시 구동부의 자유낙하를 이용한 원자로의 긴급정지 기능을 갖고 있다. 이때 제어봉의 적절한 낙하시간을 결정하고, 최종행정에서의 낙하충격을 줄여 안전성을 확보하는 것은 설계관점에서 고려해야할 중요한 사항중 하나이다. 일체형원자로의 CEDM은 충격력 완화를 위하여 스프링과 수력댐퍼를 이용한 완충장치가 설계되어 있으며 기본 성능을 파악하기 위한 시험을 수행하였다[2].

CEDM은 원자로 압력용기 상부의 노즐에 장착되며, 스텝모터의 회전운동이 베벨기어를 통하여 볼너트로 전달되고, 볼너트의 회전운동이 볼스크류의 직선운동으로 변환된다. 볼스크류의 하부에는 연장봉과 제어봉집합체가 연결되어 스텝모터가 이들을 상하로 구동하는 원리이다. 또한 CEDM의 내부에는 Fig. 1과 같은 완충장치(damping system)가 있어 구동부의 자유 낙하시 완충역할을 한다. 완충장치는 하우징, 스프링, 수력댐퍼로 구성되어 있으며, 스프링은 두개의 코일 스프링이 병렬로 약 200kgf의 초기 장착하중으로 설치된다. 수력댐퍼는 완충장치 하우징의 축을 테이퍼로 가공하여 유로면적을 조절함으로서 구현하였다. 본 논문에서는 일체형원자로 CEDM의 시험을 통한 낙하 및 완충특성에 대하여 기술하였다. 낙하시험을 통하여 제어봉구동장치의 낙하시간을 측정하였고, LVDT를 이용한 변위를 측정하여 완충거동을 평가하였다.

† 정회원, 한국원자력연구원
E-mail : mhchoi@kaeri.re.kr
Tel : 042-868-4799, Fax : 042-868-8622

* 한국원자력연구원

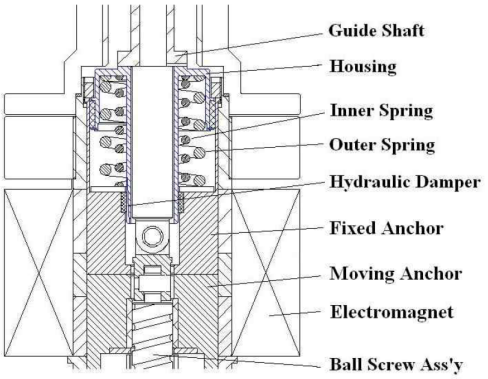

Fig. 1 Damping system of the CEDM

2. 낙하시험

낙하시험은 고온, 고압의 유체계통을 모사한 검증시험시설을 이용하였다. 본 시험에서 볼스크류 하단부에 연결되는 제어봉집합체는 148kgf의 무게추로 모사하였다. 무게추 부분은 공기중에 노출시켜 낙하 과정 및 마지막 행정에서의 완충기능을 가시적으로 확인할 수 있도록 하였다. 또한 구동부의 낙하거동 및 완충성능을 정량적으로 얻기 위하여 디지털카메라와 LVDT를 사용하였다. LVDT body는 고정치구를 이용하여 고정하였고, core rod는 무게추에 부착하여 충격 후의 변위를 측정하였다. 본 시험에서는 CEDM의 내부에 순수를 채운 후 상온, 상압의 조건에서 스텝모터의 전원을 차단하여 가동부를 자유낙하시킴으로서 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 CEDM 압력용기 내부에 물을 채운상태와 배수한 상태에서 구동부를 680mm 높이에서 자유 낙하한 경우의 결과로서 동영상 분석과 LVDT를 이용한 두 변위를 조합한 것이다. CEDM 구동부의 초기 낙하거동은 스텝모터 전원 차단후 전자석 잔류자력의 영향으로 다소 완만한 기울

기를 보인다. 그러나 전체적으로는 거의 선형적인 변위를 갖고 등속 낙하함을 알 수 있다. 낙하시간은 압력용기내 충수시와 배수시 각각 3.0초와 1.7초로 설계요건인 5.6초를 만족하였다.

마지막 행정에서의 충격 후 완충거동은 일반적인 스프링-댐퍼 시스템의 진동감쇠 특성을 보였다. 압력 용기내 충수와 배수시 스프링 압축으로 인한 최대변위는 각각 6.3mm와 23.7mm로 측정되어 완충장치가 기능을 잘 수행하고 있음을 확인하였다. 그러나 CEDM 내부에 물이 없는 상태로 낙하시에는 최종행정에서 낙하속도 뿐만아니라 변위도 크게 증가하여 타 부품에 가해지는 충격력이 클 것으로 예측되기 때문에 주의가 필요함을 알 수 있다.

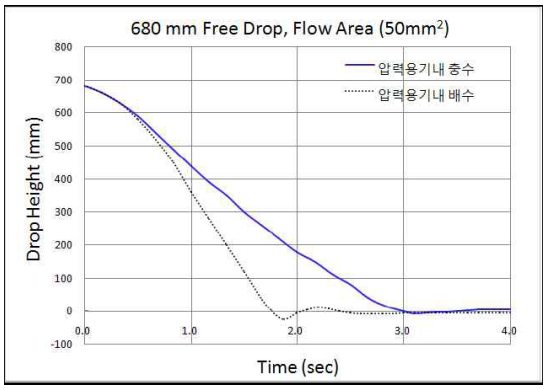

Fig. 2 Drop curve with and without the water

완충장치 수력댐퍼의 초기 유로면적의 영향을 평가하기 위해 각각 28, 50, 300mm²의 초기 유로면적을 갖는 세 경우에 대한 낙하시험을 수행하였다.

Fig. 3은 무게추 148kgf를 680mm에서 낙하한 경우의 결과로서, 제어봉의 행정거리에 대한 낙하거동은 수력댐퍼와 관계없이 모두 동일하기 때문에 충격 후 완충거동만을 나타내었다. 유로면적이 비슷한 경우에는 최대변위에 약간의 차이가 있을 뿐 거의 동일한 거동을 보였다. 그러나 상대적으로 유로면적이 큰 경우에는 최대변위가 13.7mm로 많이 증가하였는 데, 이는 수력댐퍼의 기능면에서 충격 후 하우징의 움직임이 원활하였기 때문으로 판단된다. 따라서 설계의 관점에서 스프링의 강성과 수력댐퍼의 초기 유로면적에 대한 적절한 조합으로 완충장치를 설계/제작하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

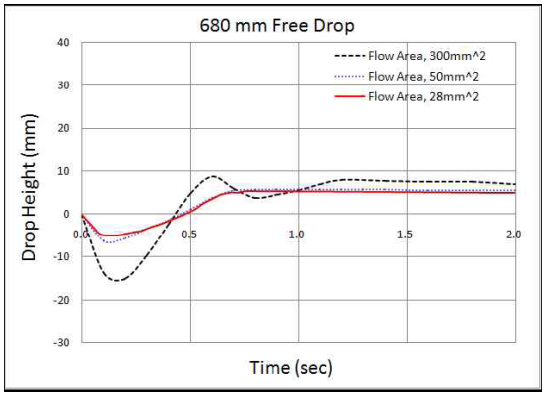

Fig. 3 Effect of the flow area of hydraulic damper

4. 결 론

볼스크류형 제어봉구동장치의 낙하 특성은 낙하초기 잔류 자력의 영향이 있지만, 전체적으로 속도의 변화가 없는 등속운동을 한다. CEDM 구동부의 낙하 시간은 설계 요건인 5.6초 이내에 완료되었으며, 운전중 압력용기내 충수는 타 부품에 가해지는 충격력 완화와 안전 운전에 중요하다. 또한 수력댐퍼의 초기 유로면적이 커짐에 따라 완충장치의 변위가 증가하여 설계시 스프링의 강성 및 유로면적에 대한 적절한 조합이 필요할 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

(1) Kim, J.H. et al., 2004, "Design of Ballscrew type CEDM for SMART," Trans. of the Korean Nuclear Society Spring Meeting.

(2) Choi, M.H., Kim, J.H., Huh, H., Yu, J.Y. and Sohn, D.S., 2009, "Performance Test of the Damping System Using a Spring-Hydraulic Damper," Trans. of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting.