

Development of Extension Shaft Assembly Design for SMART-P

Hong-Yune Park, Jong-In Kim, Dong-Ok Kim, Jae-Seon Lee, Ji-Ho Kim, Sung-Qunn Zee
 Korea Atomic Energy Research Institute, P.O.BOX 105 Yusung Daejeon, ex-hypark@kaeri.re.kr

1. 서 론

일체형원자로는 제어봉구동장치(CEDM)의 볼스크류(Ball Screw)에 의해 제어봉집합판이 상하 운동함으로써 제어봉의 위치를 제어하게 된다. 그러나 CEDM 은 원자로 상부에 위치하고 제어봉집합판의 초기 위치는 원자로 내부의 핵연료 중앙부이므로, 길이의 제약을 받는 CEDM 의 볼스크류가 제어봉집합판과 직접 체결되는 것은 불가능하다. 이로 인해 CEDM 의 구동력을 전달하기 위한 연장봉이 필요하다.[1]

이러한 연장봉은 제어봉집합판의 제한된 공간에서 체결되어야 하고, 구동 시 외부 하중이 작용하는 경우에도 그 체결을 유지하며 안정적으로 구동력을 전달하여야 한다. 이러한 구조 및 기능적인 요건을 만족하는 설계를 위해 단순한 개념으로부터 I-DEAS 를 사용한 반복적인 시뮬레이션 및 응력계산을 통하여 최 적화 시킴으로써 연장봉집합체를 설계 하였다.

2. 설 계 요 건

연장봉집합체의 설계 요건은 다음과 같다.

1) 구조적인 요건

- CEDM 과 핵연료 중앙까지의 길이를 만족해야 하고 핵연료 채널의 내부에 설치될 수 있어야 한다.
- 핵연료 채널의 강도를 저해하지 않아야 한다.
- 제어봉집합판의 체결부위가 다른 구조물에 영향을 주지 않아야 한다.

2) 기능적인 요건

- 원자로 상부에서 제어봉집합판과 체결시킬 수 있어야 한다.
- CEDM 의 상하 운동을 정확하게 전달해야 한다.
- 체결 및 구동 시 외부의 하중이 작용해도 그 체결을 유지하여야 한다.

3. 구 조 설 계

위의 요건을 만족하는 연장봉집합체의 설계안은 다음과 같다.

그림 1 은 기본적인 조건만을 고려한 연장봉집합체 설계안이다. 핵연료 채널 내부에 두 개의 발을 갖는 봉을 삽입하고 회전시켜 제어봉집합판과 체결하고, CEDM 과 또 하나의 연결봉으로 체결하여 상하 운동을 전달하는 개념이다. 이는 단순한 작동원리로서 체결의 안전성이 좋은 장점

이 있으나, 핵연료 채널 내에 삽입하기 위한 간섭이 필요하고 원자로 상단부에서 체결하기 힘든 단점이 있다. 또한 체결을 위해 초기 위치를 정확히 제어해야 하고, 제어봉과의 간섭이 발생한다.

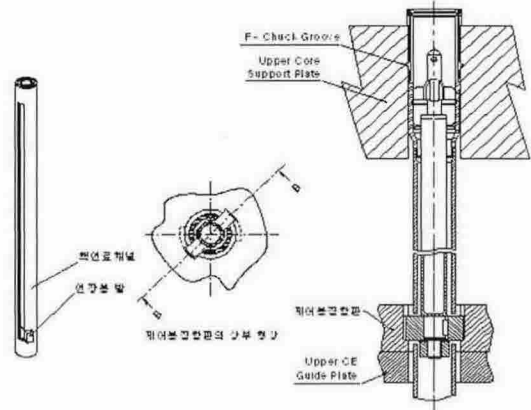


Fig. 1 Extension Shaft Assembly Locked by Bayonet

다음 설계안은 4 절 링크를 적용하여 위 설계안의 단점을 보완한 것으로, 3 차원 시뮬레이션을 통하여 외부 영향으로 인한 제어봉집합판의 위치 변화 및 연장봉집합체의 위치 오차에 대해서 원활한 체결을 보장할 수 있는 체결 구조에 대한 설계를 하였다.

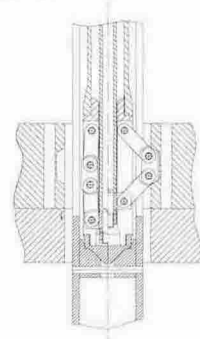


Fig. 2 Extension Shaft Assembly used Link Type Locking Mechanism

이러한 설계개념은 그림 1 의 설계안과 체결부위의 높이를 동일하게 유지하면서 핵연료 채널의 흠을 최소화 할 수 있고, 원자로 상부에서의 용이한 체결을 위하여 일체형 구조를 적용하였다.[그림 2]

링크 체결 개념을 적용할 경우 핵연료의 형상에 크게 영향을 주지 않고, 경사진 체결 흠 형상으로 초기 위치 오차가 발생할 경우에도 원활한 체결을 구현할 수 있다. 하지만 4 절 링크에서 각 상/하부 링크의 회전 운동이 완전히 동일하지

않을 경우 중앙링크의 위치가 일정하지 않아 정확한 체결이 이루어 지지 않을 수도 있다. 즉 정확한 체결이 보장되지 않는다

이러한 단점을 보완하기 위해 그림 3 과 같이 3 절 링크를 적용하였다.

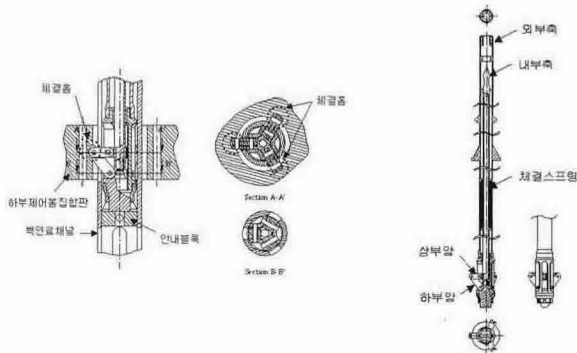


Fig. 3 The Structure of Extension Shaft Assembly

3 절 링크 구조는 체결의 신뢰성이 좋고 상부 링크가 제어봉집합판과 수평이 되게 함으로써 외부 하중 작용 시에도 체결의 안전성을 유지할 수 있게 된다. 또한 스프링을 이용한 체결방식으로 체결공구의 설계단순화가 가능한 이점이 있다.

이러한 구조의 연장봉집합체와 제어봉집합판과의 체결순서는 다음과 같다. 초기에는 체결스프링에 의해 내부축이 내려와 있는 상태로 하부암이 바깥쪽으로 벌어져 있는 형태이다.

(1) 체결용 치구를 사용하여 내부축을 들어 올려 체결스프링에 의해 바깥쪽으로 벌어져 있는 하부암을 오므린 후, 핵연료 채널에 연장봉집합체를 삽입한다.

(2) 연장봉집합체를 핵연료 채널 하단의 안내블록의 위치까지 삽입하고,

(3) 체결용 치구에 의해 들어 올려진 내부축이 체결스프링의 힘에 의해 하강할 수 있도록 하면, 내부축의 움직임에 따라 상부암이 하부암을 벌어지게 하여,

(4) 하부암이 제어봉집합판의 체결홈에 안착되게 된다. 해체의 경우 설치 시와 반대의 과정으로 핵연료채널에서 연장봉집합체를 제거하게 된다.

3. 응 력 평 가

연장봉집합체에 작용하는 제어봉집합체의 하중은 70kg 이고, 체결부위의 절점에 하중이 작용한다.

그러므로 제어봉집합체의 하중을 상/하부암에 전달하는 Inconel X-750 재질의 핀이 응력 평가의 가장 중요한 요소가 된다.

연장봉집합체의 링크구조는 외부하중이 절점에 작용하는 일반적인 3 절 트러스구조로 단순화할 수 있다. 하지만 제어봉집합판에 의해 수평방향의 변위가 없다는 조건으로 인하여 일반적인 트

러스구조에 적용되는 힘의 평형방정식만으로는 응력을 계산할 수 없다. 그러나 체결부위의 절점에서 상/하부암의 수평방향의 변위가 없다는 조건과, 하중을 각각의 상/하부암 방향의 정적 하중으로 나누어 고려하고 상대 암에는 영향을 미치지 않는다고 가정하면 부정정 구조물의 변위법을 적용할 수 있다. 이렇게 구해진 상/하부암에 작용되는 하중은 각 핀에 대하여 전단력으로 작용하게 된다. 이때 가장 큰 하중을 받는 하부암의 아래쪽 핀은 27.45MPa 의 전단응력이 발생된다.

이는 정적인 경우를 가정한 것으로 실제 구동 시에는 동적인 하중이 동시에 작용된다. 위의 하중을 기준으로 핀의 전단응력이 항복응력(682.15 MPa at 310°C)에 도달할 때의 동적하중은 40g 이다.

4. 결 론

일체형원자로 CEDM 의 상하 운동력을 제어봉집합판에 전달하기 위한 구조적/기능적 요건을 만족하는 연장봉집합체를 설계하고, 하중에 대한 응력 계산을 통하여 설계 여유도가 95%로서 구조적으로 건전성을 유지함을 확인하였다. 또한 최대 40g 내의 동적하중 조건에서 구동이 가능함을 평가하였다.

REFERENCES

[1] 김지호외 6 인, "일체형원자로용 볼스크류형 제어봉 구동장치 설계", 한국원자력학회 '04 춘계학술발표회 논문집, 2004