

'95 춘계 학술 발표회 논문집

한국 원자력 학회

웨스팅하우스형 V5H 원전 연료 제조를 위한 소결체 장입 장비 개발

공상필, 신세용, 이용성, 황창환, 권용복, 김풍오

한국 원전 연료 주식회사

요 약

원전 연료는 이산화 우라늄의 원통형 소결체를 지르칼로이 피복관에 장입 시킨 원전 연료봉을 집합체 다발로 조립하여 제조 된다. 지금까지 국산 연료에는 연료봉의 전 길이에 대하여 일정한 농축도의 소결체가 장입 되도록 설계 및 제조되어 왔다. 그러나 Westinghouse의 V5H 연료에서는 연료봉의 상 하단에 각각 6 인치 길이의 천연 우라늄 소결체가 추가로 장입 되어야 하는 이른바 Axial Blanket 연료 제조 기술을 요구 하고 있어서 새로운 장비의 도입 또는 개발이 필요하게 되었다. 기존의 소결체 장입 공정은 Siemens 사에서 도입 된 기술로써 연료봉 양단에 Axial Blanket 을 장전 할 수가 없게 되어 있다. 따라서 기술적으로 Axial Blanket 연료의 제조가 가능할 뿐 아니라 연료의 제조 건전성을 보다 향상 시킬 수 있고 생산성이 우수한 장비를 국내 기술로 국산화 개발 하였다.

1. 서 론

1.1 V5H 의 Axial Blanket 연료봉의 특징

지금까지 제조된 국산 연료봉은 17X17 형 집합체를 기준으로 할 때 우선 길이 3830 mm

의 한쪽 용접 된 피복관에 일정한 농축도의 소결체를 Active Length 3658 mm 의 길이로 장입 시킨 다음 압축 스프링을 삽입하고 헬륨 가스를 충전 시킨 후 봉단마개로 용접하여 전장 3847 mm 의 연료봉으로 제작하였다. 그러나 Westinghouse 17X17 형 집합체의 V5H 연료봉은 이른바 Axial Blanket 으로 불리는 천연 우라늄의 소결체 영역을 포함하고 있어서 Active Length 의 양쪽에 각각 6 인치 씩 천연 우라늄 소결체를 장입 해 주도록 설계되어 있다. 따라서 지금까지의 제조 방식과는 달리 한 쪽 용접 된 피복관에 6 인치 길이의 천연 우라늄 소결체를 먼저 장입한 다음 농축 우라늄의 소결체를 3353 mm 길이로 장입하고 나서 다시 6 인치 길이의 천연 우라늄 소결체를 장입 해 주어야 된다. 여기서 Axial Blanket 은 Westinghouse 의 V5H 연료의 특징 중의 하나로써 발전 중에 노심에서의 중성자 누출을 감소 시켜 주기 위해 도입 된 개념이다. 지금까지 연료의 농축도는 연료봉의 전 길이에 대하여 동일하게 설계 및 제조되어 왔다. 그러나 연료봉의 끝 단은 노심에서의 중성자 누출로 인하여 효율성이 낮기 때문에 이러한 연료봉의 양 끝 단 6 인치를 농축 우라늄 대신 천연 우라늄으로 교체한 것이다.

1.2 기존 소결체 장입 방법의 비교

현재 제조되고 있는 국산 연료봉은 먼저 Pellet Stacking Station 으로 불리는 사전 소결체 적재 장치에서 연료봉에 장입 될 소결체의 길이를 5 개의 부분 스택(Stack)으로 만들어서 길이 및 무게를 측정 한 다음 Drum Magazine 에 장입 시키고 다음의 Pellet Loading Station, 즉 소결체 장입 장치에서 Drum Magazine 에 장입 되어 있는 소결체 부분 스택을 4 개의 연료봉에 동시에 밀어 넣어서 피복관에 장입 시키는 방식이다. 그러나 본 방식은 동일 농축도의 소결체만 장입할 수 있기 때문에 미국 Westinghouse 사의 V5H 원전 연료 설계에서 요구하고 있는 연료봉의 천연 우라늄 소결체 추가 장입이 불가능한 단점을 가지고 있다. 또한 본 Pellet Stacking / Loading Station 방식은 장비가 대부분 자동화되어 있는 반면 장비 운영 측면 또는 유지 보수 측면에 있어서 상당히 까다로울 뿐만 아니라, 두개의 별도 공정으로 구성되어 있고 생산성도 그리 높지 않아서 원전 연료 제조의 병목 공정으로 불리고 있는 실정이다. 한편 미국의 Westinghouse 사에서 사용되고 있는 소결체 장입 방식은 장입 장치인 Vibratory Rod

Loader 를 이용하여 소결체에 미세한 축 방향의 진동을 발생시켜서 25 개의 연료봉에 소결체를 동시 장입 시켜 주고 있다. 또한 장입 되는 소결체의 농축도 및 길이 관리는 작업자에 의하여 대부분 수동으로 관리되어 지므로 2 가지 이상의 서로 다른 농축도 영역을 가진 소결체의 장입이 가능할 뿐만 아니라 작업 속도 또한 비교적 빠른 편에 속한다. 그러나 장입 방식이 소결체에 진동을 가하게 되므로 소결체의 특성에 따라서는 소결체가 손상을 받게 될 가능성을 가지고 있다.

따라서 이상의 소결체 장입 방식에 있어서의 기존 공정 방식의 단점을 보완하고 국내의 실정에 적합한 소결체 장입 방식을 개발해야 할 필요성이 생겼다. 새로운 방식은 소결체의 장입 중 손상을 배제하여야 하기 때문에 장입 방식을 Vibration 방식이 아닌 Pushing 방식으로 채택하고 Pellet Stacking 공정과 Pellet Loading 공정으로 나뉘어져 있던 두개의 공정을 하나로 묶어서 공정을 간소화 시켰으며 1 회에 4개의 연료봉 만이 장입 될 수 있었던 것을 23 개의 연료봉이 동시에 장입 될 수 있도록 설계하여 생산 능률을 향상 시킬 수 있게 하였다. 특히 무엇보다도 V5H 연료 제조에 적용될 Axial Blanket Zone, 즉 천연 우라늄 소결체의 장입을 가능토록 하기 위하여 소결체 제조공정에서 소결체가 팔레트에 쌓여서 담겨져 오면 팔레트 상태에서 직접 적재 길이를 측정하고 조정해 줄 수 있는 소결체 사전 길이 관리 컴퓨터 시스템을 개발하여 적용 시켰다.

2. 소결체 장입 장치의 개발 내용

2.1. 장비 설계 기본 방향

본 장치는 우선 Axial Blanket을 가진 연료봉과 동일 농축도를 가진 연료봉을 모두 제조 할 수 있는 형태로 설계하였으며 가능한 장비의 자동화를 최대한 구현하고 저하였다. 또한 작업 속도 향상을 위하여 23 개의 연료봉이 동시에 장입 되도록 하였고 소결체의 장입 중 손상 방지를 위해서 진동 방식이 아닌 Pushing 방식을 채택하였다.

2.2 장비의 구성 및 내용

본 장치는 먼저 소결체 팔레트 상태에서 소결체의 장입 길이를 측정 및 관리하도록 하는 소결체 사전 길이 관리 컴퓨터 시스템, 소결체가 장입 될 피복판 및 장입 완료된 연료봉을 다음 공정으로 자동 이송 시켜 주는 연료봉 자동 이송 및 적재 테이블, 사전 길이 관리 되어 팔레트 위에 적재 되어 있는 소결체를 23개의 피복판에 동시에 자동으로 장입 할 수 있게 한 소결체 Pushing 장치, 장입 대기 중인 소결체 팔레트를 소결체 Pushing 장치에 자동으로 공급해 주고 장입 완료 후의 빈 팔레트는 다시 자동으로 제거 될 수 있게 한 팔레트 공급 및 제거 엘리베이터, 장입이 완료된 23 개 연료봉의 소결체 장입 길이가 각각 요구 조건을 만족하고 있는지를 자동으로 측정하기 위한 소결체 장입 길이 최종 검사 장치, 소결체 장입이 완료 된 빈 팔레트를 자동으로 빼내서 적재해 두는 빈 팔레트 취출 장치, 소결체 장입이 완료된 연료봉의 용접 부위를 자동으로 닦아 주는 피복판 끝 단 세척 장치 등으로 구성되어 있다.

먼저 소결체 사전 길이 관리 컴퓨터 시스템은 연료봉에 장입 될 소결체의 길이를 사전에 소결체 팔레트 상태에서 측정하고 측정된 Data를 컴퓨터의 정해진 기준과 비교하여 필요 시 작업자로 하여금 소결체를 추가 또는 제거토록 하는 역할을 수행한다. 한편 소결체 제조공정에서 투입된 소결체 팔레트에는 농축 우라늄 소결체의 경우 23열의 소결체가 대략 28 Cm 정도의 길이로 채워져 있는데 17X17 V5H 의 Axial Blanket 연료의 경우 12개의 농축 우라늄 소결체 팔레트가 차례로 측정되어 각 열의 소결체 측정 길이가 누적 계산되고 컴퓨터에 기 입력된 기준치와 비교되어서 제거 또는 추가되어야 할 소결체 수량을 컴퓨터 화면에 표시해 주게 된다. Axial Blanket 용 천연 우라늄 소결체는 소결체 제조공정에서 소결체를 팔레트에 담을 때 6 인치 씩 23열로 미리 적재하도록 하여 본 장치에서 장입 길이가 같은 방법으로 측정되도록 하였다.

연료봉 자동 이송 및 적재 테이블은 본 장비를 구성하는 주요 골격으로서, 피복판 대기 테이블, 장입된 연료봉 적재 테이블 및 연료봉 세척 테이블로 구성된다. 먼저 작업자가 23 개의 피복판을 피복판 대기 테이블에 정렬시켜 올려 놓고 작업 개시 신호를

내리면 피복관은 23 개가 동시에 연료봉 장입 테이블 위치로 자동 이송되도록 하였고 다시 소결체의 장입이 완료된 후에도 장입 완료 신호를 받으면 소결체가 장입된 연료봉이 다음 작업 단계로 자동 이송 되게 하였다. 이밖에도 본 장치에는 연료봉 장입 공정 중에 피복관을 클램핑해 주는 장치, 필요 시 피복관을 진동 시켜서 소결체 장입을 도와 줄 수 있는 피복관 진동 장치, 장입 완료된 연료봉의 취출장치, 그리고 연료봉 끝 단 지지대 등을 포함하고 있다.

소결체 팔레트에 담긴 소결체를 피복관 속으로 밀어 넣어 주는 역할을 수행하는 소결체 Pushing 장치는 3단 변속 서어보 모터 및 볼 스크루우 Pushing 장치, 장입력 과부하 감지 장치 및 장입력 완충 장치 등으로 구성되어 있다. 본 장치에는 특히 장입 속도 조절 장치를 포함하고 있어서 소결체를 밀어주게 되는 밀대의 끝이 소결체와 접촉하는 점까지는 급속 이송되고 장입 시에는 정상 속도로 밀어 주다가 장입 중에 과 부하가 발생되면 최저 속도로 밀어주게 되는 3 가지의 장입 속도 조절능력을 가지고 있어서 소결체의 장입 중 손상 가능성을 최소화 할 수 있게 하였다. 소결체의 장입 순서는 17X17 V5H 형의 경우 먼저 6인치 길이의 천연 우라늄 소결체 팔레트 1 판 23 열이 자동으로 장입 위치에 공급되어 오면 Ball Screw Pushing 장치에 의해 소결체를 피복관 속으로 밀어 넣어주게 되고 다음으로 12 판의 농축 우라늄 소결체가 차례로 장입 위치로 자동 공급되어서 Pushing 장치가 소결체를 피복관 속에 밀어 넣어 주게 된다. 마지막으로 천연 우라늄 소결체 팔레트 1 판을 더 장입 시킨 다음 장입 작업을 완료하게 되어 있다.

소결체가 일단 장입 되고 나면 소결체 장입 길이 최종 검사 장치에서는 장입된 소결체의 최종 길이를 다시 한번 자동으로 측정하고 조정해 주는 역할을 수행한다. 본 장치는 피복관 23 열에 장입된 소결체의 장입 길이를 각 각 차례로 측정하여 각 측정 열 마다 적색 또는 청색 램프의 점등 신호를 발생하게 한다. 이때 기준 길이를 벗어 났을 때는 적색 램프가 점등 되어지고 작업자에 의해 장입 길이가 재조정 될 때까지 다음의 작업을 진행할 수 없도록 설계 되었으므로 장입 길이가 완벽하게 관리 되도록 하였다.

기타, 팔레트 공급 및 제거 엘리베이터는 소결체 사전 길이 관리 시스템에서 팔레트 선반에 적재된 상태로 제공된 소결체 팔레트를 최대 15 개 까지 수용할 수 있도록 하며, 팔레트 세팅 장치에 팔레트가 자동으로 이송될 수 있도록 장입 될 팔레트의 위치를 순차적으로 자동 결정해 주고, 작업자가 팔레트 공급을 용이하게 하기 위해 주장비의 외부로 이동 될 수 있는 구조 및 제어 장치를 가지고 있는 장치이다. 또한 빈 팔레트 취출 장치는 사용된 팔레트의 제거 아암 및 적재 테이블로 구성되어 있어서 30 개의 빈 팔레트가 쌓이면 슬라이딩 되어 수동으로 취출 시킬 수 있게 되어 있다. 그리고 소결체 장입 중에 피복관의 끝 단에 묻어 있을 수 있는 이산화 우라늄 분진을 제거하기 위한 장치로서 피복관 끝 단 세척 장치가 있는데 , 로터리 액츄에이터에 의한 270도 회전 및 역 회전 운동에 의하여 굵은 먼 사로 피복관의 끝 단을 닦아 주는 장치이다.

3. 결론

이번에 개발된 원전 연료봉에 소결체를 장입하는 장치는 우선 Axial Blanket 연료 뿐만 아니라 그 밖의 모든 연료 Type 의 제조에 적용될 수 있도록 하는데 그 목적을 두었다. 따라서 본 장비의 개발로 향후 연료봉의 제조 형태 변화에 효과적으로 대응 할 수 있게 되었다. 그리고 소결체의 장입 방법에 있어서도 연료의 건전성을 향상 시킬 수 있도록 설계되었기 때문에 보다 우수한 원전 연료의 제작에 기여 할 수 있으리라고 기대된다. 특히 장비를 수입하는 대신 보다 우수한 장비를 국내 자체 기술로 개발 국산화하게 됨에 따라 경제성에 있어서 수입대체 효과 및 적지 않은 예산 절감 효과를 기할 수 있었고 기술성에 있어서도 다른 어느 나라의 연료 가공 회사에서도 채택하지 않은 방식을 개발하여 앞으로 다른 가공 장비의 개발에도 활용할 수 있는 기술 축적을 이루었다.