

RC 기술의 자동화 장치 개발에 관한 연구(I)

-장치 설계 및 제작-

김기준^o, 김상진, 송자윤

인천전문대학 제어계측과

A Study on the Automation Equipment Development of RC Technology(I)

-Equipment Design and Manufacture-

Ki-Joon Kim^{*}, Sang-Jin Kim, Ja-Youn Song

Dept. of Control & Instrumentation Engineering, Junior College of Incheon

Abstract

RC(Rod Consolidation) technology in spent nuclear fuel management is an essential method and requires remote operation due to radiation exposure. Its technology may provide an effective means to double the storage capacity of spent fuel storage space. So development of this technology will provide a valuable contribution to establishing economical as well as technological basis for future spent fuel management.

1. 서론

사용후 핵연료 밀집(Rod Consolidation; RC)은 사용후 핵연료 집합체를 적절한 기계적 조작으로 밀집 포장하여 저장 용적을 반 정도까지 줄이기 위한 기술로서 핵연료 집합체의 상단부(혹은 하단부)를 제거하고 핵연료봉을 인출(Extraction)하여 밀집 배열 형태로 재포장함으로써 부피를 약 1/2로 줄일 수 있다. 이러한 부피의 반감으로 저장 또는 처분 공간을 반감할 수 있는 가능성을 실증하기 위해 미국을 비롯하여 독일, 그리고 스웨덴 등지에서 연구 개발 및 시설 건설, 또는 응용성 검토를 계속하고 있다.^[1, 2] 본 연구에서는 이상과 같은 사용후 핵연료봉 밀집 기술을 확보하기 위하여 핵연료봉 밀집 저장 공정 중 사용후 핵연료 집합체로부터 연료봉을 인출하여 저장 용기에 옮기기 전까지의 핵심 계통을 주요 연구/개발 장치로 선정하여 이 공정에 대한 장치의 최적 설계 및 제작, 그리고 제어 시스템의 구축으로 연료봉 밀집/포장 기술의 개발 및 이 기술의 검증을 실행하고자 한다.

2. RC 기술

이 기술은 그림 1에서 나타 내는 바와 같이 사용후 핵연료가 담겨져 있는 수송 용기(CASK)를 원자

력 발전소로부터 이송하여 차폐실 반입구에 접합시키고 연료 취급 장치(Fuel Handler)를 사용하여 사용후 핵연료를 차폐실 내로 반입한다. 반입된 사용후 핵연료 집합체는 연료 검사를 거친 후 대기 저장을 한 후 집합체 고정 장치(Clamping Table)에 옮겨져 고정되고 절단기에 의하여 상단 고정판(Top Plate)을 제거하고 인출 장치로 핵연료봉을 인출하게 된다. 인출된 연료봉은 재정렬 장치(Reordering System)에 의하여 조밀하게 배열되어 연료 저장 용기(Canister)에 담은 후 밀봉하고 검사를 마친 후 반출된다. 핵연료봉의 인출 작업시 발생하는 잔존 구조 폐기물(Non Fuel Bearing Components)은 그림 1에서와 같이 감용 장치로 압축시켜 저장 용기에 담아 밀봉한다.^[1~3]

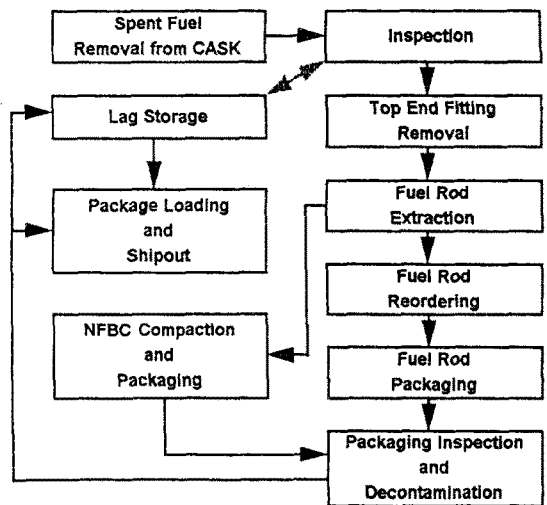


그림 1. RC 공정 흐름도

3. 장치 제작

장치는 각 부분별로 유지 및 보수 기능을 강화하기 위하여 모듈 구조 시스템(Modular Construction System)에 의한 알루미늄 프로파일(Aluminum Profile)을 사용하여 장치를 구성하였다. 장치 규모는 실험실 공간을 고려하여 대상 사용후 핵연료 집합체를 실척으로 하되 길이만 1/2로 하는 모의 핵연료를 대상으로 하여 장치를 설계, 제작하였으며 각 장치에 인가되는 부하의 크기는 실제 사용후 핵연료에 걸리는 부하를 가상하여 제작하였다. 각 장치의 제작은 다음과 같으며 RC 장치의 개념 설계도는 그림 2와 같다.^[4]

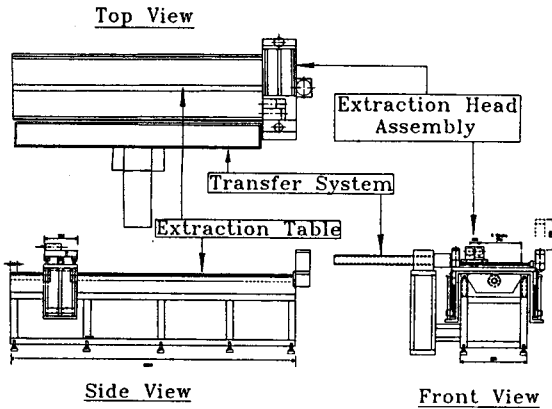


그림 2. RC 장치의 개념 설계도

가. 집합체 고정 장치

본 장치는 사용후 핵연료봉 인출 작업이 진행되는 동안에 핵연료 집합체 지지 격자를 잡아주는 역할을 한다. 장치 규모는 실척의 사용후 핵연료 집합체를 대상으로 하되 길이만 1/2로 하였기 때문에 장치는 길이 1,850[mm], 너비 530[mm], 높이 790[mm]의 Table위에 가로 345[mm], 세로 360[mm]의 고정 장치를 장착하였다. 이때 이 고정 장치는 핵연료봉 종류에 따른 지지 격자의 위치가 상이한 것에 대비하여 양쪽의 지지 격자를 잡아주는 고정체는 Table위에서 최소 700[mm], 최대 1,600[mm]의 간격을 자유롭게 이동하면서 고정되도록 제작하였다. 핵연료 집합체가 이 장치에 고정될 때, 원래 고정된 위치에 정확하게 놓여지지 않았을 경우를 대비하여 집합체 고정 장치가 이를 수용할 수 있도록 고정 장치 내에 보조 고정 장치를 설치하여 위치 조정 및 고정을 행하도록 제작하였다.

나. 핵연료봉 인출 장치

핵연료봉 인출 장치에는 작업 공간을 절약하기 위하여 핵연료봉 인출 Head 집합체, 충격 흡수 장치, 그리고 Side Transfer 장치가 인출 Table에 접목되어 있다. 이러한 각 장치를 지지하고 있는 Table은 길이 2,450[mm], 너비 900[mm], 그리고 높이는 670[mm]로 구성이 되었고, 이위에 핵연료봉 인출 Head 집합체의 접목으로 인하여 높이가 730[mm] 늘어났다. 또한 길이는 인출시 Ball Screw를 작동시켜 주기 위하여 Table 끝부분에 부착된 전동기로 인하여 150[mm], 너비는 핵연료봉이 인출되고 난후 Side Transfer에 의하여 모아지도록 하기 위한 보조 선반으로 인하여 160[mm]가 각각 증가하였다. 핵연료봉을 정확히 파지한 후 Table에 부착된 AC 서보 전동기에 의하여 인출이 이루어지는데 이때 발생할 수 있는 마찰력과 위치 제어에 대한 정확성을 높이기 위하여 Ball Screw와 LM Guide를 장착하였다.

특히 사용후 핵연료가 본 장치에 도착하여 인출 작업이 수행될 때, 집합체 내에서 각 핵연료봉이 질서 정연하게 배열되지 않았을 경우를 대비하여야 한다. 따라서 각 핵연료봉의 배열 허용 범위 오차 내에서 위치에 관계없이 정확히 핵연료봉을 파지(Clamping)할 수 있도록 하기 위하여 코일 스프링(Coil Spring)을 이용하여 Collet의 오차 여유분까지 전진한 후 스프링 힘에 의하여 열려져 있는 Collet이 닫히도록 하였으며 유사시에 대비하여 Collet 장치 밑에 정확한 파지 여부를 확인하기 위하여 근접 스위치를 부착하였다. 핵연료봉 인출 Head 집합체는 17X17 국산 핵연료 집합체의 상단(혹은 하단) 조임 너트를 풀기위한 임팩트랜치와 핵연료봉을 파지하기 위한 Collet이 연결되어 있다. 이 때, 이 두 연결 장치는 서로에게 간섭을 주지 않아야 하기 때문에 임팩트랜치는 전·후로 이동하도록 제작되었는데, 조임 너트를 풀 때에는 앞으로 전진하여 너트를 제거하고 이 작업이 끝난 후에는 Collet이 핵연료봉을 파지할 수 있도록 뒤로 후퇴한다.

다. 핵연료봉 충격 흡수 장치

이 장치는 인출 장치 하단부에 위치하며 핵연료봉의 인출 동작이 진행되는 동안에는 대기하고 있다가 인출 작업이 완료되기 직전에 핵연료봉의 배열 위치까지 이동한다. 이때 핵연료봉의 배열 위치까지 정확하게 이동되어야 하기 때문에 위치 제어가 정확히 이루어져야 한다.

라. Side Transfer 장치

본 장치는 핵연료봉 인출 작업이 완료되어 집합체로부터 완전히 분리된 후 재배열(Reording)을 수행하기 위한 준비를 하는 장치로써 핵연료봉이 집합체로부터 완전히 분리된 후 충격 흡수 장치가 인출 Table 안쪽으로 내려감으로써 핵연료봉만 인출 Table에 남아 있게 된다. 이 때, 본 장치는 인출된 사용후 핵연료봉을 밀어서 인출 Table 좌측으로 이

동시켜 재배열을 위한 준비를 한다.

이상과 같이 장치가 제작 되었으며 인출 작업을 위한 작업 순서도는 그림 3과 같다.

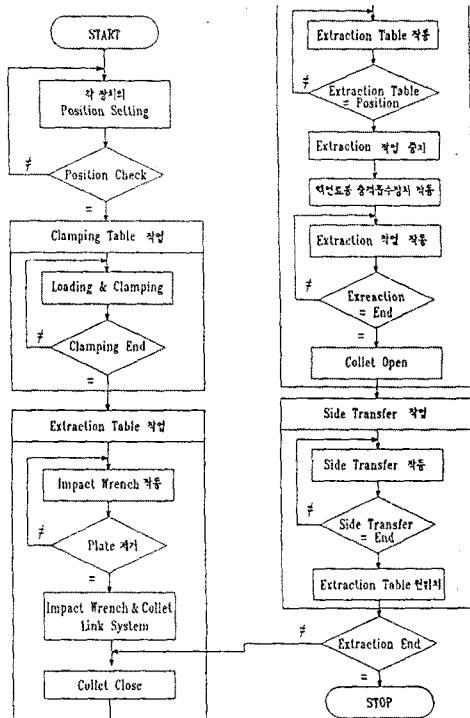


그림 3. 인출 장치의 작업 순서도

4. 결과 및 검토

본 장치는 17X17 신형 핵연료를 대상으로 하였으며 상단(혹은 하단) 고정판의 제거 후 인출 작업을 수행할 때, 핵연료봉 간의 간격이 조밀하고 불규칙적이라는 것을 최대한 고려하여 작업을 수행할 수 있도록 설계하였다. 동력 전달 장치는 서보 전동기를 사용하였으며, Ball Screw와 LM Guide를 사용하여 위치 정밀도를 향상시켰다. 또한 최대 약 22mm의 오차가 발생할 수 있는 핵연료봉의 불규칙적인 배열에서도 Collet이 연료봉을 안전하고 정확하게 파지할 수 있도록 최대 오차 허용 범위까지 접근하여 파지하도록 고안하였다. 이는 Ball Bush와 Spring의 사용에 의해 가능하였고 연료봉의 파지 여부를 확인하기 위하여 근접 스위치를 사용하였다. 또한 Collet과 임팩트렌치를 한 작업대에 같이 위치시켜 작업 공간을 최대한 축소시켰으며 서로의 간섭을 없애 전후진이 될 수 있는 연결 장치를 고안하였다.

인출 장치는 처음 핵연료봉을 인출하기 시작하여 인출 작업을 마칠 때까지 각 연료봉의 위치를 컴퓨터에서 계산하게 되고 이 위치 계산값은 이송 장치에 전달된다. 이송 장치는 핵연료봉이 완전히 인출되기 직전에 전진하여 계산된 위치까지 접근한 뒤 핵연료를 충격없이 이송할 수 있도록 하였다. 이러한 위치값을 비롯한 각종 신호량은 인터페이스 회로를 통하여 컴퓨터에 입력되고 제어량을 실시간으로 계산하여 각 장치를 제어하도록 하였다.

5. 결론

본 연구에서는 RC 기술을 개발하기 위하여 핵연료봉을 원격 제어에 의해 연속적으로 인출 및 이송할 수 있는 장치를 고안하여 제작하였다. 각 장치는 작업의 안전성 및 원격 유지/보수에 최대 역점을 두고 제작되었으며 진 공정은 실시간에 의한 전산 제어가 될 수 있도록 하였다. 연료봉 인출시에 발생할 수 있는 오차는 특별히 고안된 인출 Head 집합체로써 극복할 수 있었으며 본 장치의 개발로 공간의 활용이 이루어지기 때문에 많은 투자가 불가피한 차폐실 건설시 막대한 예산 절약 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. W. J. Bailey, "Status of Rod Consolidation," Pacific Northwest Lab., PNL-5122, 1985
2. Westinghouse Electronic Co., "Final Design Report; Prototypical Spent Fuel Rod Consolidation Equipment Vol. 1," NWD-TR-002, Sec. 8, 1987
3. NUS Corp., "Fuel Rod Consolidation Project PhaseII Final Report Vol. 1," DOE/ID/12651, 1987
4. 한국 원자력 연구소, "사용후 핵연료 기술 개발 시설 개념 설계," KAERI-NEMAC/PR-28, 1993