

Cutter blade 방식의 사용후핵연료봉 절단 제어 시스템

The Control System of Spent Fuel Rod Cutting Device by Cutter blade method

정재후, 김영환, 홍동희, 윤지섭, 박기용, 김도우*

한국원자력연구소, 한양대학교*
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

본 연구에서는 사용후핵연료봉 절단 장치 개발을 위하여 지르칼로이 튜브, 펠렛의 재질 및 규격 등 절단하고자 하는 재료의 특성을 조사한 후 원자력 선진국에서 수행하고 있는 사용후핵연료봉의 절단 방식을 비교·분석한 기 연구 자료를 토대로 사용후핵연료봉 절단 공정시 불꽃과 분진 발생량, 절단면이 찌그러지는 정도가 작으며, 절단면의 원형유지가 높고, 2차 폐기물 발생량이 작은 장점을 갖고 있는 Tube cutter 절단 방식을 선정하였다. 그리고 선정된 방식에 따라 개선된 Tube cutter 절단 방식의 Cutter blade 절단제어시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 Cutter blade 방식의 절단제어시스템은 고준위 방사선 환경에서 사용되므로 절단장치가 자동화되며 원격 조작방식으로 쉽게 작업이 이루어질 수 있는 구조로 설계되어야 한다. 또한, 다음 연계공정인 소결체 인출장치와의 상호 인터페이싱 문제가 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 개발 장치의 제작시 고려될 상황을 다각도로 분석하고 개발 장치개념의 적합성 및 동작의 적정성 등 설계와 공정개념의 타당성을 검증할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 사용후핵연료봉 절단장치의 설계/제작의 전단계로 3차원 그래픽 모델링과 가상 작업환경에서의 장치 전산모사에 의한 구동 검증을 수행하고, 이로부터 도출된 수정/보완 사항과 상호 연계 시스템간의 문제점을 추가하여 상세 설계 및 제작에 반영하여 개선된 사용후핵연료봉 절단 제어 시스템을 개발 제작하였다.

Abstract

In this paper, We developed the control system of spent fuel rod cutting device by cutter blade method, which is to be suggested the suitable decladding mechanical process for the spent fuel recycling in dry environment on the basis of previously investigating various decladding processes. To be developed control system, We considered to exalting value of debris, duration of cutter, appearance of cutting area. Therefore, Firstly to check a scheme to make cutter blade system, We made 3D graphic modeling of each functional parts in the system, assembled workcell type to be carried into behavior, and we reflected on the results of the computer simulation. Also metal cutting process which is a common process of all decladding options is briefly evaluated. The characteristics and operational procedures of these decladding processes are investigated in terms of fuel recovery efficiency, mechanical safety and remote maintainability, etc.

1. 서론

경수로형 원자력발전소에서 사용하고 난 사용후핵연료봉 집합체는 재활용공정을 위하여 해체공정을 거쳐야한다. 해체공정은 집합체의 회전이송과 절단, 그리고 후속공정인 인출공정을 거치게 된다. 이중 사용후핵연료봉 절단공정은 경수로형 사용후핵연료의 재활용 공정중 소결체 인출공정의 전 단계로서 국내·외의 사용후핵연료봉의 절단 방식을 살펴보면 크게 줄뿔/연마식, 레이저, wire EDM(Electron discharge machining cutting) 및 전단 절단 방식 등 4가지 방법이 일반적이다. 이상의 4가지 방식중 사용후핵연료봉 절단부의 압착 정도, 절단공정의 효율성, 신속성면에서 볼때 연마식 방법중의 하나인 Tube cutter 절단 방식은 절단시 불꽃과 분진 발생량, 절단면이 찌그러지는 정도가 작다. 특히 현재 사용중인 습식 Diamond 줄뿔 절단방식에 비하여 작업속도는 느리나, 절단면의 원형유지정도가 높고, 2차 폐기물 발생량이 작은 장점을 갖고 있다.

따라서, 본 연구에서는 사용후핵연료봉 절단공정에 Tube cutter 절단 방식을 선정하고, 선정된 방식에 따라 본 연구목표 조건인 Debris 발생량, 절단 공구의 내구성 및 절단면의 원형 유지 정도를 만족시키는 개선된 Cutter blade 방식의 절단 제어시스템을 개발한다.

본 연구에서 사용후핵연료봉을 절단하는 Cutter blade 방식의 절단 제어시스템은 고준위 방사선 환경에서 사용되므로 절단장치가 자동화되거나 원격조작방식으로 쉽게 작업이 이루어질 수 있는 구조로 설계되어야하며, 또한, 다음 연계공정인 인출장치와의 상호 인터페이싱 문제가 고려되어야 한다. 따라서 본 논문은 제작시 고려될 상황을 다각도로 분석하고 개발 장치개념의 적합성 및 동작의 적정성 등 설계와 공정개념의 타당성을 검증하기 위하여 사용후핵연료봉 절단장치의 설계/제작의 전단계로 3차원 그래픽 모델링과 가상 작업환경에서의 장치 전산모사에 의한 구동 검증을 수행하고, 이로부터 도출된 수정/보완 사항을 상세 설계 및 제작에 반영한다. 그리고 이러한 검증 체계를 거쳐 특히 고준위 방사선 환경에 의해 사람이 접근할 수 없는 핫셀의 제약된 공간을 고려 원격취급과 자동화, 유지·보수 관점에 따라 사용후핵연료봉 절단 제어 시스템을 개발 제작한다. 그러므로 본 논문의 구성은 2절에서 개발장치 개념의 적합성 및 동작의 적정성을 검증하기 위하여 절단하는 공정장치로서의 설정된 장치설계 및 구동 개념에 따라 기능별로 Kicking부, Roller부, 절단부 및 분배부로 구분하여 그래픽으로 모델링하고, 공정 흐름도에 따라 이를 assembly한 3차원 그래픽 Workcell 모델을 통해 모듈별 절단 공정 시뮬레이션을 실행하였다. 3절에서는 2절에서의 3차원 그래픽 모델링과 가상 작업환경에서의 장치 전산모사에 의한 구동 검증으로부터 도출된 수정/보완 사항을 반영한 사용후핵연료봉 절단 제어 시스템의 구성별 기계적 기능과 전기적 제어장치를 나타내었다. 그리고 이러한 개발과 설계과정에 의해 제작된 장치를 나타낸다.

2. 그래픽 설계에 의한 사용후핵연료봉 절단장치의 성능시험

2.1. 3-D 그래픽 모델

본 연구에서는 장치 개념의 적합성 및 동작의 적정성 등 설계와 공정개념의 타당성을 검증하기 위하여 그림 1의 설정 모듈과 기능 개념에 따라 기능별로 Kicking부, Roller부, 절단부 및 분배부로 구분하여 그래픽으로 모델링을 하였다.

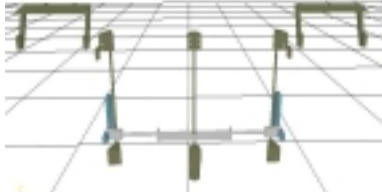
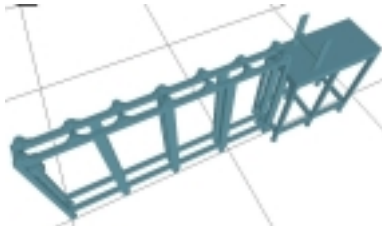
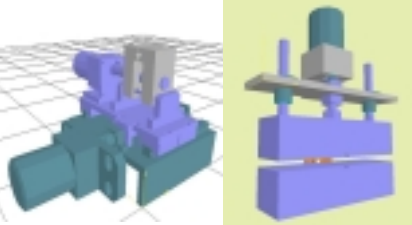
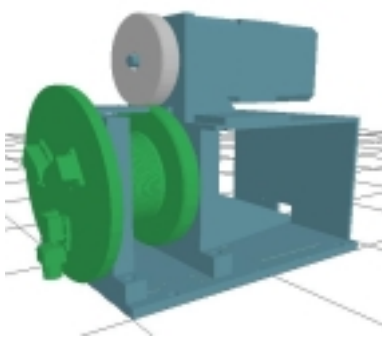

Device명	모듈 구성	기능	3 차원 그래픽 모델링
Kick	사용후핵연료봉 이송대, Screw, Motor 지지대	사용후핵연료봉 인출장치에서 인출된 사용후핵연료봉을 절단장치로 이송	
Roller	Roller, Table, Motor 등	이송된 사용후핵연료봉을 Roller의 구동에 의해 절단부 방향으로 이송	
Feeder	Clamp-1, Clamp-2, Motor, Screw, Support 등	사용후핵연료봉을 절단 길이만큼 Cutter부위로 삽입	
Cutter	Cutter, Slipping, Gear, Bearing, Motor, Support, Sliding 등	절단 부의 회전과 Cutter의 상하 진입에 의하여 사용후핵연료봉 절단	
Distributor	분배장치, Motor, 수집 통, 연결장치 지지 구조 등	절단된 사용후핵연료봉의 소결체 부분은 소결체 인출장치로 이송하고, 기타는 수집통에 수집	

그림 1. 절단장치 Device별 3차원 그래픽 모델

그리고, 모델링된 Device별 3차원 그래픽을 그림 2와 같이 그래픽 시뮬레이션을 수행하기 위한 3차원 그래픽 Workcell 모델로 Assembly하여 가상 작업환경에서 절단하는 공정장치로서의 타당성을 검증하는 장치 전산모사를 한다.

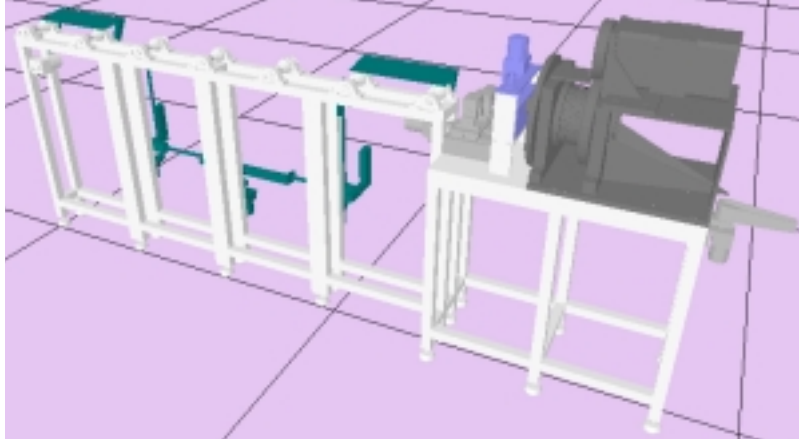


그림 2. 절단장치 3-D 그래픽 Workcell 모델

2.2. 그래픽 설계에 의한 사용후핵연료봉 절단 공정 흐름도

사용후핵연료봉을 절단하기 위한 사용후핵연료봉 절단장치의 사용후핵연료봉 Kicking 장치부에서 절단 사용후핵연료봉 분배부, 집진 장치부까지의 사용후핵연료봉 절단공정 흐름도는 그림 3과 같으며, 이러한 공정 흐름도에 따른 모듈별 절단 공정 시뮬레이션도는 그림 4와 같다.

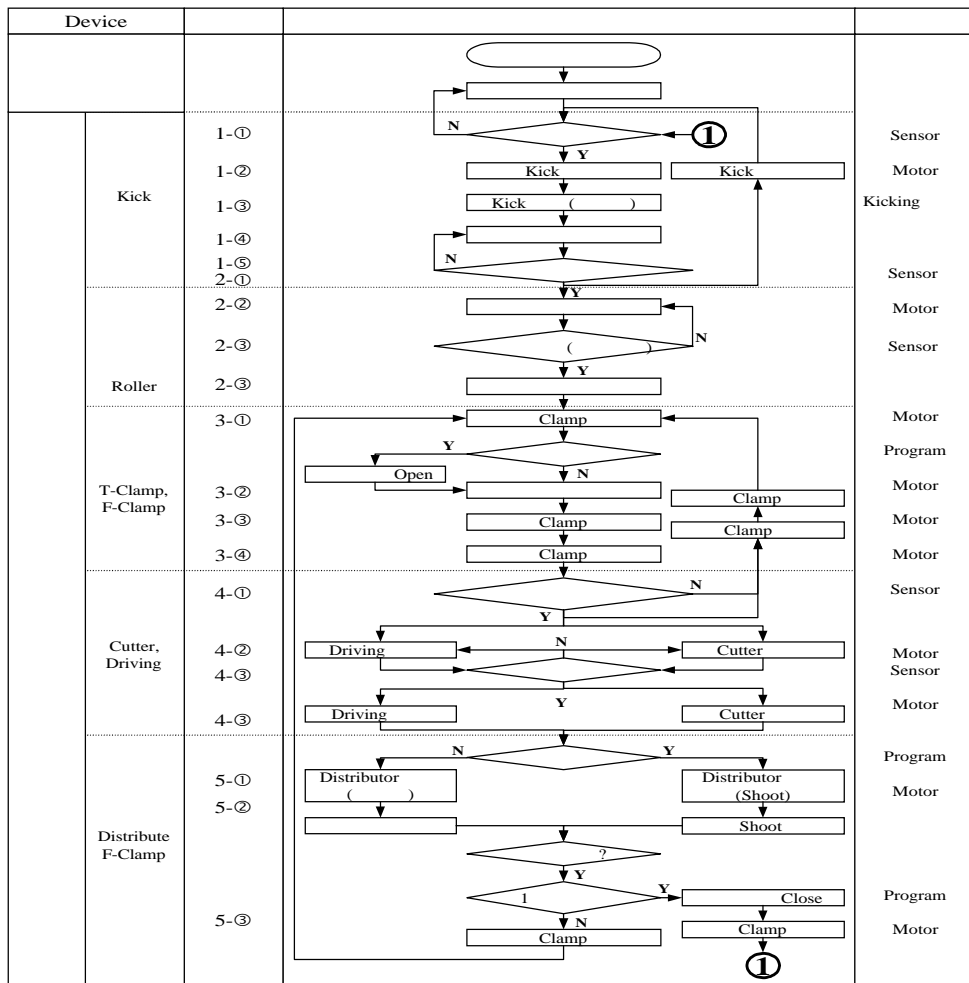
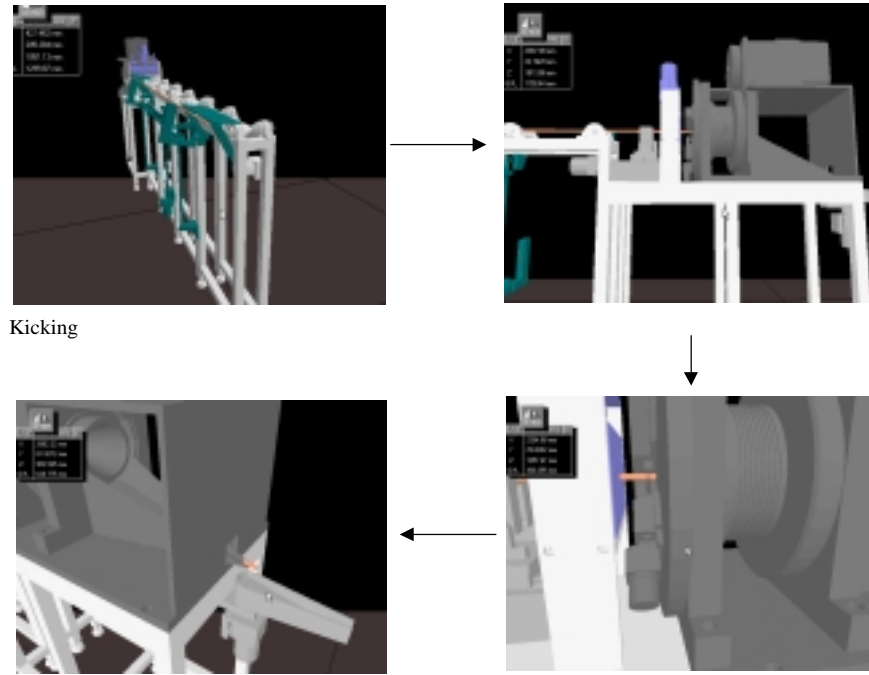


그림 3. 절단 Operating 흐름도



Kicking

그림 4. 모듈별 절단 공정 시뮬레이션도

3. Cutter blade 방식의 절단 제어 시스템

이상의 2절에서 다룬 본 개발 장치 개념의 적합성 및 동작의 적정성 등 설계와 공정 개념의 타당성을 검증하기 위하여 사용후핵연료봉 절단 장치는 3차원 그래픽 모델링과 가상 작업 환경에서의 장치 전산 모사에 의한 구동 검증으로부터 도출된 수정/보완 사항을 상세 설계 및 제작에 반영하고, 이러한 검증 체계를 거쳐 사용후핵연료봉 절단 제어 시스템을 구성한다. Cutter blade 방식의 사용후핵연료봉 절단 장치는 사용후핵연료봉 Kicking 장치부, 사용후핵연료봉 이송 장치부, 사용후핵연료봉 Feeding 장치부, 사용후핵연료봉 이송 Clamping 장치부, 사용후핵연료봉 고정 Clamping 장치부, 사용후핵연료봉 절단 Blade 잠김 장치부, 사용후핵연료봉 절단 Blade 열림 장치부, 절단 사용후핵연료봉 분류 장치부, 절단 사용후핵연료봉 정렬 Feeding 장치부, 절단 사용후핵연료봉 투입 장치부, 집진 장치부 등으로 구성된다. 사용후핵연료봉 이송부는 전기 모터로 구동되는 Roller를 사용하여 길이 2m의 사용후핵연료봉을 수평 방향으로 이송시킨다. 사용후핵연료봉 파지부는 일정한 길이만큼 이송된 사용후핵연료봉을 절단하기 위하여 사용후핵연료봉을 파지하며, 전기모터에 의하여 구동된다. 이때 사용후핵연료봉이 찌그러지지 않도록 전기모터의 구동토크를 조절하여 파지력을 제어한다. Cutter blade 절단부는 전후 및 회전 방향으로 구동되면서 사용후핵연료봉을 절단한다. 사용후핵연료봉의 수집통은 절단된 Top end plug 및 Plenum length (절단된 사용후핵연료봉)를 수집하는 곳이며, 사용후핵연료봉의 절단 작업이 종료되었을 때 소결체 인출장치 쪽으로 사용후핵연료봉을 쉽게 이송시킬 수 있도록 한다. 각 구성부의 장치 고장시 유지·보수가 가능하도록 모듈 식으로 설계 제작하였으며, 운영 및 유지보수 측면에서 장치의 상단부에 구동 모터를 배치하였다. 그림 5는 이와 같이 2절의 3차원 그래픽 모델링과 가상 작업환경에서의 장치 전산모사에 의한 구동 검증으로부터 도출된 수정/보완 사항을 반영하여 실제 제작된 Cutter blade 절단방식의 사용후핵연료봉 절단장치를 나타낸 그림이다.

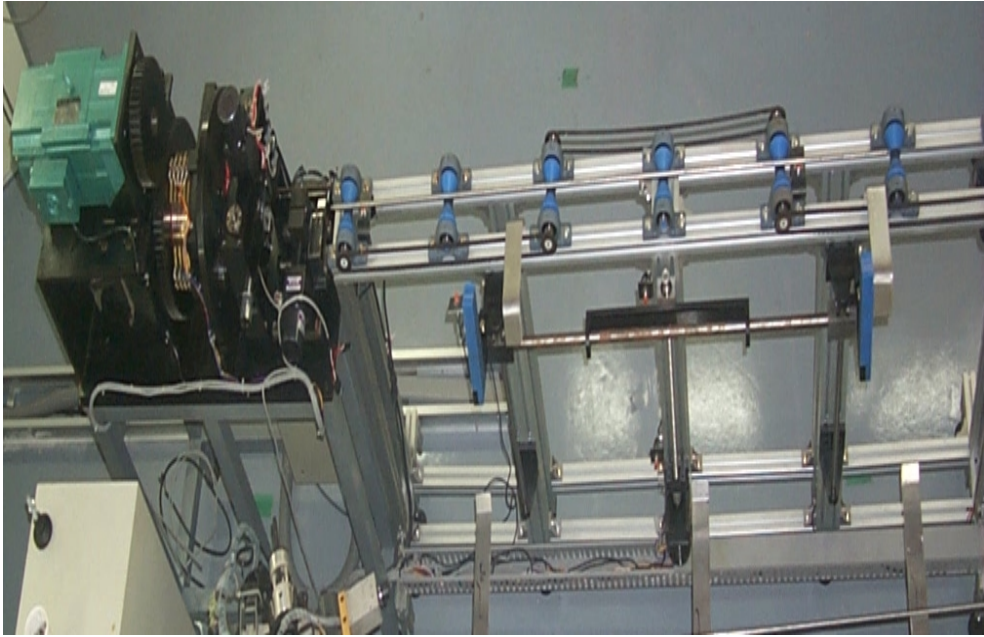


그림 5. Cutter blade 절단방식의 사용후핵연료봉 절단장치 제작품

3.1. Cutter blade 방식의 절단 제어 시스템의 구조별 기능

가) 사용후핵연료봉 Kicking 장치부

사용후핵연료봉 Kicking 장치부는 사용후핵연료봉 인출장치에서 인출된 사용후핵연료봉을 1개씩 회전 이송 장치부 쪽으로 이송하는 역할을 하는 장치부로서 장치의 중앙에 스크루 잭을 구동하는 AC 모터 (220V-HP15W/감속비 1:15)를 설치하여 연료봉의 이송을 원활히 하도록 하였다. 그리고, 1개의 위치감지 근접 자기센서 (PR12-4DP)를 통해 연료봉의 Kicking 장치상 적재 확인을 감지한다. 또한, 회전이송 장치부와 인터페이스를 위해 스크루 잭 상하단부에 2개의 위치 감지 근접 자기센서 (PR12-4DP)를 부착하였다.

나) 회전 이송 장치부

회전 이송 장치부는 사용후핵연료봉을 절단 장치까지 이송 과정에서 사용후핵연료봉이 이탈되지 않도록 구동 및 아이들 로울러를 각각 설치하였으며, 구동 로울러에 의해서 아이들 로울러가 작동되도록 아이들 로울러를 테이블에 설치할 때 일정한 간격으로 배치하여 제작하였다. 본 회전 이송 장치부에 사용되는 구동 로울러는 장치 후미에 부착된 AC 모터 (220V-HP15W/감속비 1:15)에 연결되어있으며, 장치부의 전방과 후방에 각각 설치된 2개의 위치감지 근접 자기센서 (PR12-4DP)의 인터페이스 신호와 사용후핵연료봉 Feeding 장치부에 설치된 1개의 원점 확인 근접 자기센서 (PR12-4DP)의 인터페이스 신호를 통해 구동되도록 한다.

다) 사용후핵연료봉 Feeding 장치부

본 Feeding 장치부는 회전 이송 장치에 의해 이송되어온 사용후핵연료봉의 진입 여부를 감지하고, 연료봉 원점 확인이 될 수 있도록 측면 부에 1개의 위치 감지 근접 자기센서 (PR12-4DP)를 설치하였다. 그리고, 근접 자기센서에 의해 연료봉의 원점이 확인된 후 절단 blade 잠김/열림 장치부로 진입시키기 위한 Gate On/Off AC모터 (220V-HP15W/감속비 1:15)를 설치하여 연료봉 초기 진입을 조절하도록 하였다. 그리고, Gate On 신호를 감지하기 위한 1개의 위치 감지 근접 자기센서 (PR12-4DP)를 설치하였다.

라) 사용후핵연료봉 이송 Clamping 장치부

사용후핵연료봉 Feeding 장치부에 이송되어온 사용후핵연료봉이 일정한 길이 (30 mm) 만큼 절단이 가능하도록 하기 위한 본 Clamping 장치부는 연료봉을 절단하고자 하는 일정한 길이만큼 파지하는 연료봉 이송 Clamp AC 모터 (220V-HP15W/감속비 1:15)와 이를 일정한 길이만큼 절단 balde 잠김/열림 장치 부로 진입하도록 하는 연료봉 이송 서보 모터로 구동된다. 그리고, 이러한 구동부는 4개의 위치감지 근접 자기센서 (PR12-4DP)를 통하여 동작 여부를 감지하도록 하였다.

마) 사용후핵연료봉 고정 Clamping 장치부

본 장치부는 연료봉 절단시나 또는 사용후핵연료봉 이송시 Feeding 장치부에 Clamping하여 이송 후 후진할 시 일정 길이로 진입된 사용후핵연료봉이 이탈하지 않도록 하기 위한 장치부로서 1개의 연료봉 절단 Clamp AC 모터 (220V-HP25W/감속비 1:15)와 구동 모터의 Clamping 여부를 2개의 위치감지 근접 자기센서 (PR12-4DP)를 통하여 감지하도록 하였다.

바) 사용후핵연료봉 절단 Blade 잠김/열림 장치부

사용후핵연료봉 고정 Clamping 장치부에 클램핑 된 사용후핵연료봉을 절단하기 위한 장치로서 절단 날은 내마모성과 내구성을 갖는 재질을 선정하여 가공 후 열처리하였으며, 절단 후 사용후핵연료봉 안쪽으로 Burr의 발생이 없도록 절단 날을 제작하였다. 그리고, 절단시 고속회전을 위해 사용되는 Driving 모터는 220V-HP 1.5KW/1750RPM의 AC 모터를 채용하고, 절단시 Cutter blade를 이송하는 Cutting 모터는 220V-HP 6W의 AC 모터를 채용하였으며, 이송부의 흔들림 공차는 ± 0.02 , 직각도 ± 0.02 이내가 되도록 제작하였다. 또한 이송부의 전진 후진 여부를 감지하기 위하여 본 장치부에는 절단 Blade 잠김/열림 감지를 위한 2개의 위치감지 근접 자기센서 (PR12-4DP)를 설치하였다. 또한 사용후핵연료봉 절단시와 절단후 Blade 잠김/열림 장치는 전후 일정한 속도로 진행할 수 있도록 설정하여 설치하였다.

사) 절단 사용후핵연료봉 분류 장치부

절단 사용후핵연료봉 분류 장치부는 사용후핵연료봉 절단 장치부에 절단한 사용후핵연료봉을 분류하여 주는 장치로서 절단된 사용후핵연료봉 (절단 길이 30 mm)과 봉단 마개 End plug (Top end plug, bottom end plug)가 각각 분류되도록 제작하였다. 사용후핵연료봉 절단 장치부에 절단한 사용후핵연료봉은 절단 사용후핵연료 분류 장치부로 갈 때 사용후핵연료봉 (30 mm)과 봉단 마개 End plug (최대 196.65 mm)를 각각 분류할 수 있는 용기를 제작하였다. 이러한 분류를 자동화하기 위해 1 개의 연료봉 분류 모터 (220V-HP15W/감속비 1:15)와 분류 작업 확인을 위한 2 개의 위치감지 근접 자기센서 (PR12-4DP)를 설치하였다.

아) 절단 사용후핵연료봉 정렬 Feeding 장치부

사용후핵연료봉 분류 장치부에 절단되어 분류된 사용후핵연료봉은 정렬 Feeding 장치부에 의해 소결체 인출장치로 이송할 수 있도록 제작하였다. 절단된 사용후핵연료봉을 Feeding 장치에서 소결체 인출장치까지 이송하여 사용후핵연료봉으로 부터 소결체를 인출하는데 지장이 없도록 제작하였다. 이송 중 절단된 사용후핵연료봉에서 분진이 발생하지 않도록 제작하였다. 사용후핵연료봉 이송 속도는 상황에 따라서 절단된 사용후핵연료봉 정렬 Feeding 장치부의 속도를 조절할 수 있도록 제작하였다. 사용후핵연료봉 Feeding은 소결체 인출 장치에서 인출하는 속도와 같게 하였으며, 만약 소결체 인출장치가 고장이 나서 소결체를 인출할 수 없을 경우에는 사용후핵연료봉 Feeding 장치가 자동적으로 멈출 수 있도록 제작하였다. 절단된 사용후핵연료봉 정렬 Feeding 장치 부의 Feeding 통로는 분진 확산을 방지하기 위하여 밀폐하였으며, 사용후핵연료봉이 이송되는

것을 볼 수 있도록 투명한 재료를 사용하여 제작하였다. 절단된 사용후핵연료봉 정렬 Feeding 장치 부의 재료는 내마모성이 있는 것을 사용하여 견고하게 제작하였다. 절단된 사용후핵연료봉 정렬 Feeding 장치부의 고장이나 파손 등을 고려하여 유지 및 보수가 가능하도록 하였다.

자) 절단 사용후핵연료봉 투입 장치부

절단된 사용후핵연료봉은 절단된 사용후핵연료봉 정렬 Feeding 장치부로부터 사용후핵연료봉을 소결체 인출 장치로 이송하여 투입하도록 제작하였다. 절단 사용후핵연료봉 투입 장치부는 소결체 인출 장치의 투입부와 연계가 가능하도록 제작하였다. Feeding 장치부를 거쳐 정렬된 사용후핵연료봉은 소결체 인출 장치로 투입이 가능하도록 제작하였다. 절단된 사용후핵연료봉 투입 장치부의 고장이나 파손 등을 고려하여 유지 및 보수가 가능하도록 제작하였다.

차) 집진 장치부

집진 장치부는 사용후핵연료봉 절단시 발생하는 분진을 포집 할 수 있도록 장치를 제작하여 설치하였다. 사용후핵연료봉 절단부 및 분진 확산이 우려되는 부위에 집진 장치를 설치하고, 유연성이 있으면서 견고한 재질을 사용하여 제작하였다. 집진 장치부 제작시 사용후핵연료봉 이송 및 진입 시에 사용후핵연료봉 절단 후 분류 장치로 이송될 때 작업에 방해가 되지 않도록 하였으며, 분진이 확산되지 않도록 제작하였다. 집진 장치부를 설치하여 사용후핵연료봉 절단시 열의 발생으로 인한 화재의 위험성이 없는 재질을 사용하여 제작하였다. 집진 장치부 속에 있는 절단 장치부 고장시 유지 및 보수가 가능하도록 집진 장치를 설계 제작하였다.

카) 전원

본 장치의 전원은 각 AC 구동 모터에 AC 220V를 입력으로 하고, 절단부 및 각 모듈부의 센서 입력은 DC 24V 1.5A를 출력으로 하도록 하였다

3.2. Cutter blade 방식의 절단 시스템 제어기

본 연구에서 개발한 사용후핵연료봉 Cutter blade 방식의 절단 시스템의 동작은 입력 20개, 출력 11개의 I/O CH을 통해서 순차 제어되어지며, 제어용 컴퓨터로는 Pentium 산업용 PC를 사용하였다. 컴퓨터는 센서 신호를 받아 분석하고, 제어 지령을 계산하여 보내줌으로서 시스템의 기능을 담당한다. 컴퓨터로부터 내려진 지령은 PC 버스를 통하여 축제어 보드에 전달되며, 축 제어보드는 I/O 신호를 통해 각 모듈부의 구동을 제어한다. 구동 제어는 여러 개의 구동 기를 동시에 제어할 수 있으며, PC에 쉽게 접속 가능한 소형 고속 제어기가 필요하게 된다. 최근 DSP (Digital Signal Processor)기술이 발달함에 따라 단일 기관으로 여러 개의 모터를 동시 제어할 수 있는 고속 제어기들이 개발되고 있으며, 본 장치에는 미국 Motion Engineering사에서 개발된 DSP형 다축제어기 (PCX/DSP-400)를 도입하였다. 상기의 다축제어기는 Digital I/O 포트를 이용하여 16 개의 AC/DC 모터를 구동할 수 있다. 또한 16 비트 A/D 변환기가 내장되어 있어서 여러 가지 센서 신호의 입력을 받을 수 있다. 따라서, 그림 5는 본 개발장치의 구성 회로도를 나타낸 그림이다.

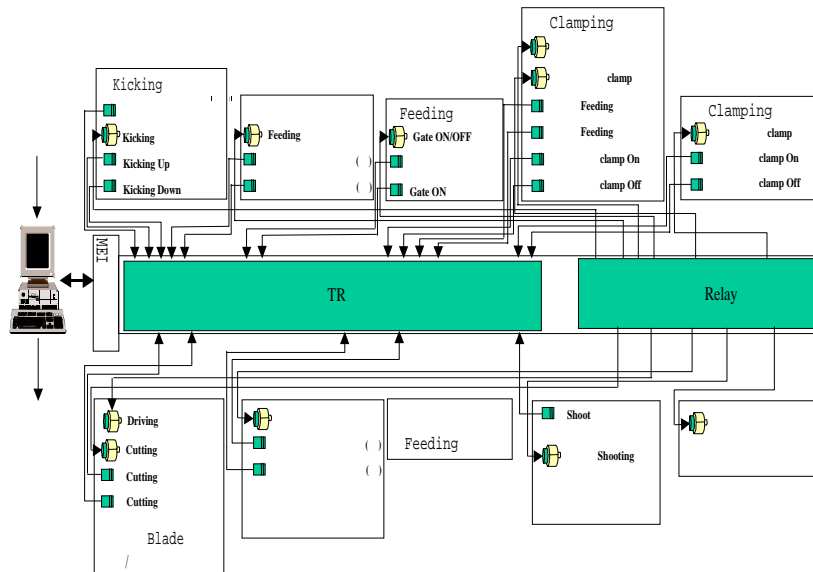


그림 6. 절단 제어기 구성 회로도

그림 6에서 보는 바와 같이 사용후핵연료봉 Cutter blade 방식의 절단 제어시스템의 제어 보드에서 I/O 모듈은 근접 자기센서 신호와 P/B 신호를 받아들이는 데 입력 기능과, 시스템의 수동/자동 설정과 PC 제어기의 비상정지, 그리고, AC 모터 ON/OFF 작동 등의 출력기능으로 사용한다. 사용후핵연료봉 절단 장치의 입력 회로도 및 출력 회로도는 PC 측과 Local 제어판 측으로 구성되며, 입출력 회로도는 그림 7에서 보는 바와 같이 포토커플러를 이용하여 외부 노이즈의 영향을 차단하도록 하였다. 다음은 장치의 모듈별의 구성을 나타낸 것이다.

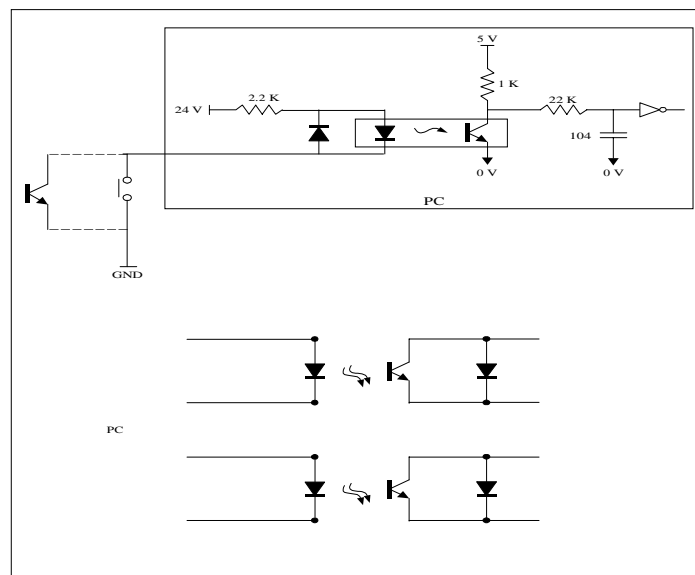


그림 7. 입력 및 출력 회로도

3.3. Cutter blade 방식의 절단 제어 시스템 동작

본 시스템은 원격 지에서 사용후핵연료봉 절단 장치를 조작할 수 있게 함으로서 작업자를 보호하고, 또한 작업을 자동으로 수행하여 작업 효율을 크게 높일 수 있도록 개발하였다. 제어에 사용할 제어기의 프로그램은 Visual C++을 이용하고 그림 8과 같은 사용후핵연료봉 절단 Flow chart에 의하여 개발하였다.

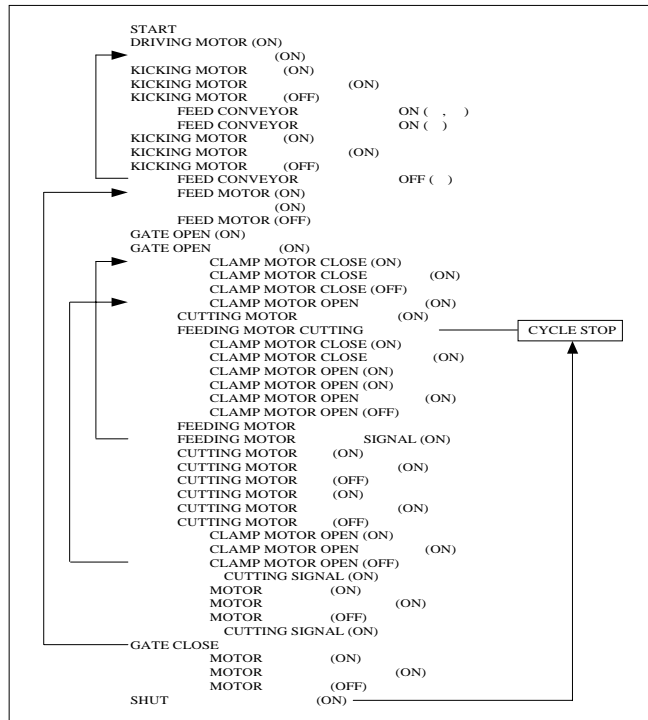


그림 8. 절단 Flow chart

4. 결론

본 연구의 결과는 향후 실증용 사용후핵연료봉 절단장치 제작 및 실증 시험에 활용될 것이며, 이를 토대로 국내 경수로형 사용후핵연료의 재활용 공정에 적합하고 효율적인 최적의 사용후핵연료봉 절단 공정 확립에 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 Cutter blade 방식의 절단 제어시스템의 특징은 고준위 방사선 환경이라는 특수한 상황에서 고려될 문제점을 다각도로 분석하기 위하여 3차원 그래픽 모델링과 가상 작업환경에서의 장치 전산모사에 의한 구동 검증으로부터 도출된 수정/보완 사항을 상세 설계 및 제작에 반영하였다. 그리고 본 개발 장치는 고준위 방사선 사항에서 자동원격 조정이 가능하도록 제작되어 있으므로 효율적인 최적의 사용후핵연료봉 절단 공정 확립에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. "Fuel Rod Consolidation Project" Final Design Report Contract No. DE-ACO7-86ID 12651. DOE/ID/12651-2-Vol. 1 DE88 004219.
2. 양명승 외, "핵연료제조 및 품질관리 기술개발", KAERI/RR-1744/96, 한국원자력연구소, 과학기술처, 1986.
3. W. D. Bond and J. C. Mailen and G. E. Michaels, "Evaluation of Methods for Decladding LWR Fuel for a Pyroprocessing Based Reprocessing Plant", October, 1992.
4. Westinghouse Proprietary Class 2, Chapter 2 : Zircaloy-4, Rev. 6, Oct., 1993.
5. 이은표 외, "사용후핵연료봉 절단장치 제작", KAERI/TR-1084/98, 한국원자력연구소, 1998.
6. 김성현 외, "사용후핵연료 수직/수평 회전기구 및 연료봉 절단장치 개발", KAERI/TR-1604/00, 한국원자력연구소, 2000.