

## 드럼핵종분석시스템 통합제어

이철용, 이병직, 김기홍, 김길정  
원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

강덕원  
전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

### 요 약

드럼 속의 폐기물 안에 포함되어있는 방사성 물질의 함량을 비파괴적으로 측정하는 방사성폐기물 핵종분석시스템을 개발하여 고리원자력발전소 제4폐기물 저장고에 설치하였다. 시스템은 그 기능에 따라 상위레벨과 하위레벨로 나누어지는데, 상위레벨인 중앙감시 및 제어시스템 Part에서 전체 시스템을 원활하게 운전되도록 감시 제어를 하고, 하위 레벨에서는 드럼을 운반하는데 사용하는 크레인 운전 Part, 측정위치에 올려진 드럼을 분석하는 핵종분석 Part, 드럼 핵종분석 결과를 회전하면서 드럼 표면에 인쇄하는 Ink-jet Printer Part 로 구분된다. 상위레벨의 제어실내 감시제어 PC는 하위레벨과 RS-232C 멀티포트를 사용하여 통신을 하는데, 드럼의 반입에서 반출까지의 전 과정은 자동화되어 운전된다.

### 1. 서 론

원자력시설과 원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물은 현재 각발전소내 폐기물저장시설에 보관하고 있다. 그러나 영구처분장이 완공되면 모든 폐기물은 이송 처분하여야하는데 91.11에 발효된 원자력법 시행령 제234조의 17항 “방사성폐기물 인도규정”에 의해 처분될 모든 폐기물은 드럼내 방사성핵종과 방사능량을 정확히 측정하여 인도할 것을 요구하고 있다. 이에 국내 원전에서 발생하는 방사성폐기물에 대해서 첨단 기술의 기술을 이용하여 드럼내 핵종과 방사능량을 정확하게 측정하여 분석하는 기술과 작업자의 피폭을 최대한 줄이고, 효율성 및 생산성 향상을 위해 자동화된 핵종분석시스템개발이 필요하게 되었다.

## 2. 통합제어 하드웨어 구성

### 가. 중앙감시 및 제어

그림1.은 핵종분석시스템에 대한 전체 구성도이고 그림2.는 중앙 감시와 제어가 이루어지는 핵종분석 통합제어반이다. 제어실에서 핵종분석 시스템의 운전 상황 감시는 CCTV 화면과 중앙제어 및 감시용 PC에 의해서 이루어진다. CCTV 에 의해서 감시되는 대상은 드럼을 이송할 때 사용되는 크레인과 핵종분석을 수행하는 핵종분석장치이다. 납상자로 차폐된 CCTV 카메라는 좌우 PAN, 상하 TILT기능을 갖는 원격제어기를 사용하여 핵종분석장치의 Turn-table를 중심으로 핵종분석장치와 Ink-Jet Printer 장치를 감시한다. 감시되는 CCTV 카메라 화면은 비디오 인터페이스 보드를 사용하여 중앙감시용 PC의 우측 상단 모니터에 표시된다. 또한 중앙제어 PC와 연결된 PLC는 하위레벨의 운전상황을 수집하여 1초에 한번씩 RS-232C 통신장치에 의해서 중앙제어 PC로 전송하는데 RACK의 드럼입출력 상태, 핵종분석장치 상태, 스택커 크레인 상태 및 Ink-jet 프린트 상태 등을 파악한다. 이때 PLC의 D/I 모듈이 20개 드럼을 저장하는 RACK과 드럼 측정위치에 설치된 포토센서에 의해서 드럼을 검출하고, PLC의 D/O 모듈은 Ink-Jet Printer 장치를 제어하고 운전상황을 중앙 PC에 보고한다.

### 나. 운전장치 제어

#### 1) 크레인장치 제어

크레인 운전 장치의 주요 구성은 드럼을 운반하는데 사용하는 스택커 크레인(Stacker Crane)과 크레인을 제어하는 제어장치이다. 크레인 운전은 중앙제어 PC에서 스택커 크레인의 제어장치에 동작명령을 보내주고, 크레인 제어기는 크레인을 가동시켜서 드럼을 인출하여 핵종분석 장치로 이동하게 된다. 이때의 크레인 운전 상황은 광센서와 CCTV에 의해 중앙 제어실에서 감시된다. 크레인과 중앙 제어실의 통신은 RS-232C 포트를 통해서 이루어진다. 물론 크레인 운전 시작과 핵종분석 시작 전까지의 크레인 운전은 자체 제어기에 의해서 제어된다. 크레인 운전에 의해 핵종분석을 위한 드럼작업이 완료되면 크레인 제어기는 작업완료 신호를 중앙 제어 PC에 보내주고, 크레인은 다음 운전명령을 받을 때까지 대기 상태로 전환된다.

#### 2) 핵종분석장치 제어

핵종분석시스템의 중요 Part는 Index Table Part, 수직운동 Part, Loadcell Part, Control Part로 구성되어 있는데, 동작과정은 먼저 드럼이 크레인 운전에 의해서 측정 위치로 준비 완료 가 되면 중앙제어 PC는 핵종분석 Part의 PLC에 핵종분석을 수행하도록 명령한다. 이때 핵종분석 운전명령은 드럼종류에 따라서 폐수지(R), 잡고체(B), 부산폐액(C), 폐필터(F), 차폐잡고체(S)로 구분되어 SGS(핵종분석장치 제어 PC)로 전송된다. 핵종분석 과정의 제어는 자체 PLC 프로그램에 의해서 일련의 동작을 수행하게 되는데 Detector 위치, 드럼속도 등을 제어한다. 대상 드럼에 대한 측정이 완료되면 정해진 프로토콜을 사용하여 표면선량율, Co값, Cs값, 드럼무게값이 총40Byte로 하여 중앙제어 PC로 전송된다. - 245 -

### 3) Ink-Jet Print 장치 제어

Stell 재질의 드럼통에 자동 마킹(Auto marking)하는 Ink-Jet Printer는 프린터 헤드(Printer head), 제어기 및 키보드, Ink용기 Part 및 프린터 헤드 이송장치로 구성된다. 그 동작은 핵종분석장치가 측정 완료되면 이어서 중앙제어 PC는 수신된 대표 감마핵종의 방사능값으로부터 척도인자(scaling factor)를 이용하여 알파, 베타 핵종들을 계산하여 총방사능값을 구한다. 이어서 핵종분석 자료(분석 측정일, 표면 방사선량, 총방사선량, 발전소명)를 Ink-Jet 제어기에 전송하여 자동 프린트하도록 명령한다. 드럼 표면에 인쇄되는 내용은 드럼표면의 적색 방사선 삼엽마크를 칼라센서로 인식하여 항상 동일한 위치에 인쇄되도록 정확한 드럼 속도제어 및 Print Head 위치제어를 중앙제어 PC와 Ink-Jet Printer 제어기에 의해서 이루어진다. 핵종분석장치의 Turn-table위에서 드럼을 8-12rpm 속도로 회전시키면서 인쇄되는 내용은 다음과 같다.

- 드럼번호	K01B970023
- 측정일	측정일자 : 1997년 02월 04일
- 표면선량율	표면선량율 : 2.5E+01 mSv/hr
- 방사능량	총방사능량 : 5.7E+01 Bq
- 발전소명	한국전력공사고리제2발전소

### 3. 통합제어 소프트웨어 구성

핵종분석 시스템의 감시 및 제어 소프트웨어를 개발하기 위해 사용 언어로는 Turbo C, 그래픽 개발용 툴(Tool)로는 Dr. HALO의 그래픽 파일과 HALO의 그래픽 라이브러리를 사용하여 개발하였다. 그래픽 표시화면 구성은 그림3.과 같이 하위레벨의 운전 상황을 Function키와 Numeric 키 등을 사용하여 알기 쉽게 보여주도록 하였다. 제일 먼저 프로그램 부팅시 3초 동안 표시되는 로고화면과 이어서 Main 표시화면은 전체 운전상황을 보여주는 화면으로 크레인 운전, 핵종분석, Ink-jet Printer의 개별 운전상황과 RACK의 드럼입출력 상황을 그래픽으로 보여주는 준다. 그리고 Main 화면에서 'M' 키를 입력하여 정보표시화면으로 전환하면 RCP(크레인 제어 PC), SGS, PLC의 수신데이터가 수치 값으로 표시된다. 또한 이 정보표시화면에서 현재 분석된 드럼 정보를 알 수 있도록 하였다. 이들의 표시화면은 우측 상단부에 CCTV 화면과 함께 운전자에게 현재 운전 상황을 쉽게 판단할 수 있도록 구성하였다. 운전과정은 다음과 같다. 먼저 중앙제어 PC가 3개 Part 하위레벨에서 정상적인 운전준비 상태를 수신되면 스택커 크레인에 RACK에 저장된 드럼을 인출하기 위한 명령을 전송한다. 다음 스택커 크레인이 드럼을 핵종분석장치 Turn-table에 올려놓으면 중앙제어 PC는 핵종분석 명령을 내린다. 이때 핵종분석 시간은 30분 정도 소요되는데, 분석완료시 측정결과를 Ink-Jet Printer 제어기에 드럼 인쇄명령을 내리고 인쇄완료에 이어서 스택커 크레인은 드럼을 원위치 운전을 수행한다. 이와 같은 운전자의 명령에 따라 중저준위 드럼은 20개까지 자동적으로 운전되는데 운전명령은 아래와 같다.

중앙제어 PC	운전 명령
F1	자동입고 : 중저준위 드럼을 RACK에 입고시킨다.
F2	자동출고 : 측정 완료된 드럼을 출고시킨다
F3	저준위 핵종분석 : 최대 20개 드럼을 자동 핵종분석한다.
F4	고준위 핵종분석 : 1개 고준위 드럼을 자동 핵종분석한다.
F5	지정명령 : 대상 드럼에 대해 개별적 운전을 수행한다.
F7	고준위드럼정보입력 : 분석할 고준위 드럼의 정보입력
F8	저준위드럼정보입력 : 분석할 중저준위 드럼 정보입력
F10	크레인 긴급정지

#### 4. 핵종분석 결과자료

핵종분석장치로 부터 중앙제어 PC로 전송되는 측정결과는 드럼내 Co값, Cs값, 총  $\gamma$  값 그리고 표면성량율과 드럼무게값이다. 이들 Co값과 Cs값으로부터 미리 구해진 척도인자를 이용하여 Co-60에 대해서는 H-3, C-14, Ni-63, Nb-94, Fe-55의 핵종값을 Cs-137에 대해서는 Sr-90, Tc-99, TRU의 핵종값을 구한다. 그리고 이들의 Co-60과 Cs-137 핵종값과 총  $\gamma$  값의 합이 총방사능량 값이 된다. 이들의 값들은 중앙제어 PC에 데이터 파일로서 저장되며, Windows에서 수행되도록 측정자료 분석 소프트웨어를 개발하였다. 그림4.는 핵종분석 소프트웨어를 이용하여 94년 고리3호기에서 발생된 농축폐액의 핵종분석 결과물인데, 핵종의 정량적 분석에 큰 도움이 된다. 또한 정보표시 화면에서 핵종분석한 결과를 바로 On-line 상태에서 프린트할 수 있다.

#### 5. 결론 및 고찰

비파괴적인 방법으로 방사성폐기물 드럼내 핵종을 분석하는 시스템 개발을 하였다. 개발과정은 각장치에 대한 기본 특성을 파악하고 현장의 운전조건을 수용하여 통합감시제어 시스템을 구성하였다. 그러나 Off-line 상태에서 적용할 수 있도록 개발된 핵종분석장치와 드럼을 회전시키면서 분석 결과를 인쇄하는 장치, 드럼을 운반하는 장치를 하나의 시스템으로 통합하는 것은 매우 어려운 일이었다. 현재 최적의 조건이 고려된 핵종분석시스템은 고리원전 제4폐기물 저장고에 설치완료 되어 성공적으로 운전되고 있으며, 폐기물 안전관리 및 홍보차원에서도 크게 기여하고 있다. 차후 본 핵종분석시스템이 설치되는 원전에서는 더욱 안전하고 내구성 있는 장치 사용과 운전자가 좀더 쉽고 편리하게 접근할 수 있는 통합감시제어 시스템을 개발하여야 한다.

※ 본논문은 KEPRI 연구비 지원하에 KAERI에서 수행하였음.

#### 참고문헌

1. 강덕원의, "방사성폐기물 핵종분석장치 개발," KEPRI-92N-J03. 전력연구원, 1996.
2. Kri Jamsa, "TURBO C Programmer's Library," McGRAW.HILL.
3. HALO 3.0 for Turbo C Manual, Media Cybernetics, Inc., 1989.

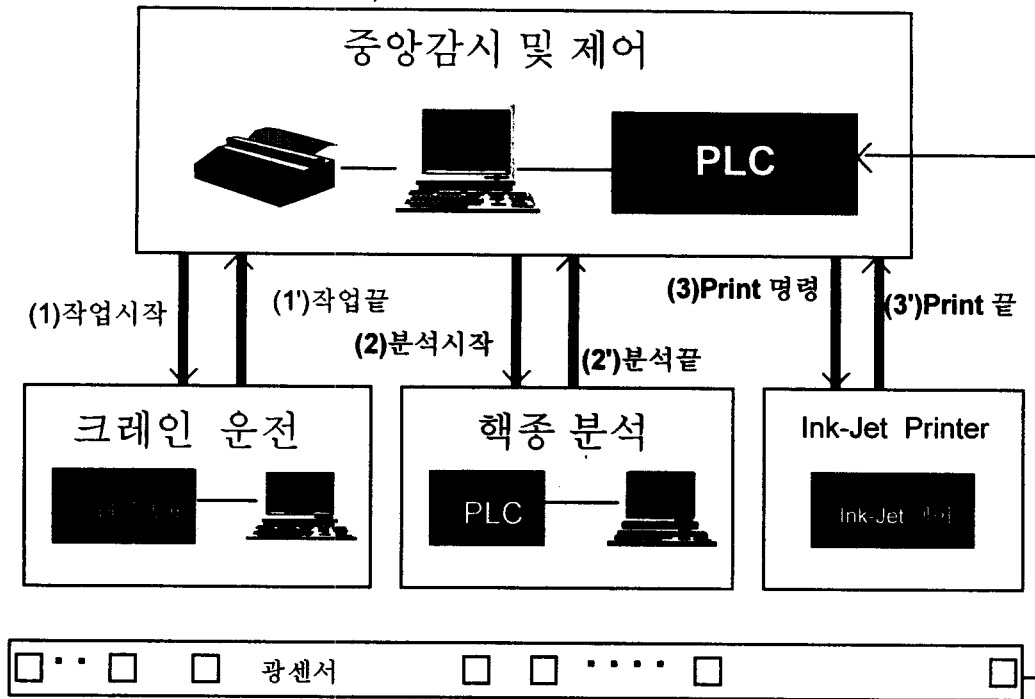


그림1. 시스템 구성도



그림2. 핵종분석 통합제어반

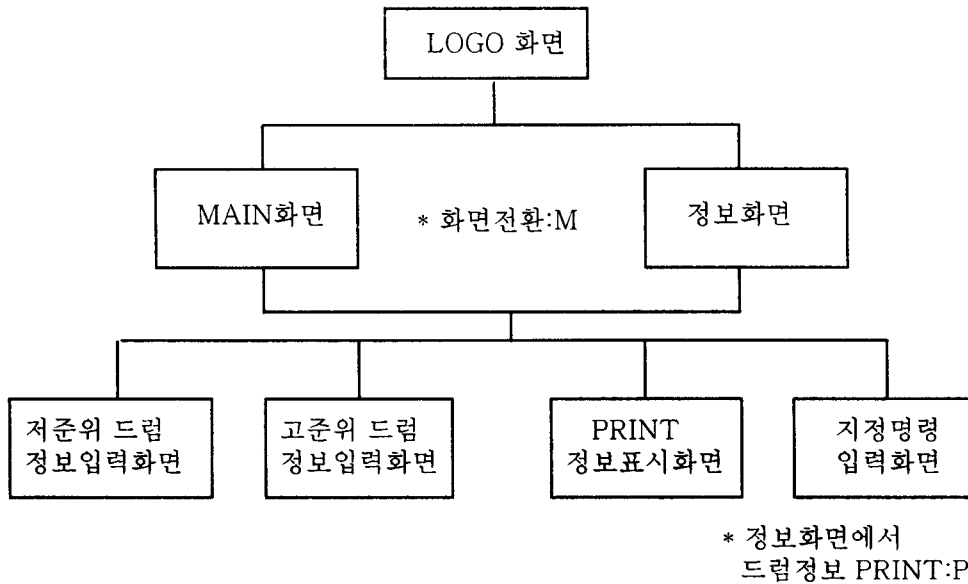


그림3. 통합제어 화면구성도

작업자	드립번호	표면선량률 ( $\mu\text{Sv/hr}$ )	Co $\alpha$ (Bq)	Cs $\alpha$ (Bq)	드립무게(Kg)	측정일자
KDH	K03C940004	7.0E-02	2.7E+08	1.3E+09	307	1997. 1.27

Co-60					Cs-137		
H-3	C-14	Ni-63	Nb-94	Fe-55	Sr-90	Tc-99	TRU
4.4E+08	2.6E+07	4.2E+08	5.4E+04	0.0E+00	1.9E+06	1.3E+04	1.7E+05

SGS r $\alpha$ (Bq)	총방사능량
1.9E+09	2.7E+09

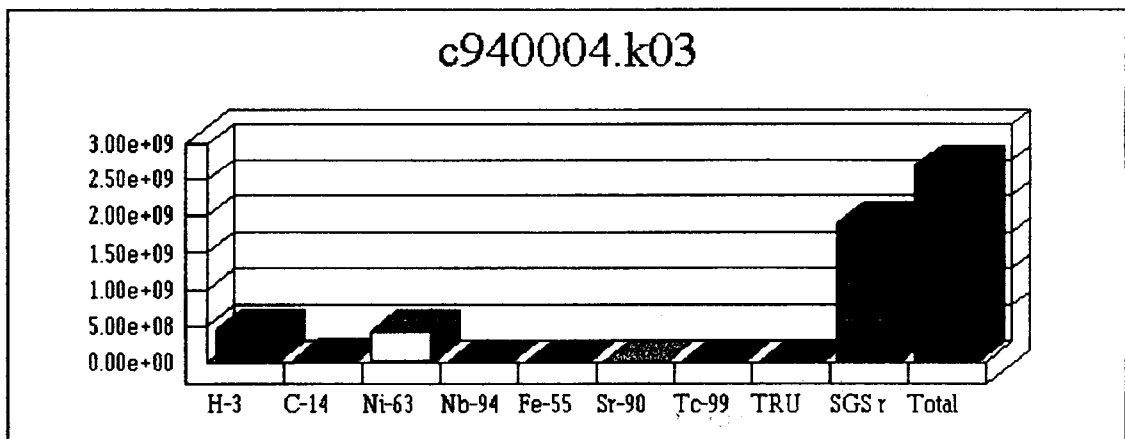


그림4. 핵종분석 결과자료