

사용후핵연료 저장수조 수처리공정의 제어기술 개발

Development of Control Techniques on The Spent Nuclear
Fuel Storage-Pool Pool Water Treatment

손영준, 전용범, 홍권표

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

조사후시험시설내 설치된 사용후핵연료 저장수조 수처리공정은 공정변수에 따라 발생되는 신호가 트랜스미터를 통해 4-20mA로 제어반으로 보내지는 아날로그 측정 및 제어계통으로 구성된다. 그래서 공정의 종합적인 자료처리, 분석, 기록 및 제어가 어렵다. 시스템을 개선하기 위하여 PLC내에 디지털 측정제어 시스템으로 시스템을 설치하였다. 아날로그 시스템과 병렬운전이 가능하도록 시스템을 구성하였다. 아울러 PLC 프로그램은 실시간 현장 정보의 수집 및 처리가 가능하게 한다. 또한 개인용 컴퓨터를 사용하는 자동 제어 계통은 다음과 같은 다양한 특성을 가지도록 개발되었다: 조건에 따라서 정보를 찾아서 기록하고 그래픽 화면을 통하여 관측과 제어가 용이하게 하였다. 이러한 제어계통은 다른 핵주기 공정에 적용이 가능 할 것으로 기대되며 이를 통하여 공정의 유지 보수 및 운전의 효율성을 증대 시킬수 있을 것이다.

Abstract

The pool water treatment processes in PIEF were mostly composed of analog measurement and control systems in which the signal transmitted in response to a process variable was sent to a control panel as a electric current of 4-20mA through the transmitter. The system is difficult to therefore process, analyze, record and control the whole data. To improve the system, the digital measurement and control system was installed within PLC. Installed analog system can operate in parallel with the existing analog system. Also the PLC program functions as the real time

data processing on the spot. The automation system using a personal computer was developed to have several features: finding and recording information according to a condition, easiness of observation and control through the graphical monitor, etc. This automation technology is expected to be applicable to another nuclear fuel cycle process and to improve the efficiency of maintenance and operation of the process.

1. 서론

조사후시험시설내 설치된 사용후핵연료 저장수조의 수처리공정은 1980년에 준공이후 현재까지 계속 가동하여 사용후핵연료의 많은 실험들을 수행하고 있다. 이 실험들은 수행하는 과정에서 실험하기전에 사용후핵연료를 보다 더 안전하게 실험하기 위해서 사용후핵연료 저장수조에 저장하여 온도 및 방사능 농도를 저감시키기 위해 본 공정을 필수적으로 운전하게된다. 이 설비는 사용후핵연료에서 방출되는 Crud 제거를 위한 여과기, 사용후핵연료에서 상승된 온도를 감온 시키기위한 냉동기, 사용후핵연료에서 누출된 방사능을 감소 시키기 위한 이온교환탑으로 구성되어 있다.수처리공정의 제어들은 대부분 개회로 (Open Loop Control)로 공정변수의 변화에 상응하여 발송한 신호가 전송기에 의해 4~20 mV의 전류를 제어반으로 보내지는 아날로그 계측제어 시스템으로 구성되어 있어 공정의 종합적인 자료처리, 분석, 기록 및 제어가 어려웠다. 따라서 수처리공정의 제어설비를 안전하게 운전하기 위한 PLC를 중심으로한 프로그램을 개발하여 제어설비를 디지털 형식으로 변환하여 자동화 운전 시스템으로 개발하였다. 이 PLC는 PLC를 중심으로한 주제어반, 운전 중에 모든 데이터를 기록 저장하는 데이터 기록장치, 그리고 전원 공급 장치 등으로 구성되어있으며, PLC는 현장의 각종 계측기 및 신호전송기로부터 신호를 받아 제어논리에 따라 현장 계측기들을 제어하기 위해 출력신호로 보내게 구성하였으며, 그리고 데이터 기록장치는 실시간으로 데이터를 전송하면 이 기록 장치로 데이터를 수집하여 표나, 그림으로 자료 출력이 가능하도록 프로그램화 하였으며, 또한 컴퓨터의 Mimic 판넬을 현장 주 제어판과 동일하게 판넬을 구성하여 통신 케이블을 통하여 사무실에서도 원거리 자동운전이 가능하도록 하였으며, 비상시 정전으로 인하여 컴퓨터 원격제어가 불가능한 상황이 발생하였을 경우를 대비하여 현장에서 제어판에서 Local/Romote 절환 스위치를 부가하여 수동으로 모든 기능을 수행할 수 있도록 설계하여 신뢰성과 안전성을 높였다. 컴퓨터를 이용한 원격제어화에 사용된 PLC는 LG 산전에서 개발된 GPP-Misubishi 제품을 사용하였으며 원격제어 도구는 Microsoft Windows 환경하에서 공정의 그래픽화, 데이터 수집 분석 및 이력화를 제공하여 운전원이 필요한 모든 정보를 통합관리 할 수 있는 Intouch 7.0 소프트웨어를 사용하여 시스템을 구성하였다.

2. 사용후핵연료 저장수조의 수처리공정의 구성 및 계측기기

그림 1은 조사후시험시설의 수처리공정도를 나타낸 그림이다. 그림에 나타낸 것과 같이

사용후핵연료가 저장된 3개의 각각의 수조에서 1.5m의 흡입배관으로부터 순환펌프 151(152)에 의해 20m³/hr의 유량으로 수처리 계통을 순환하며, 수조를 떠난 물은 순환펌프를 통해 여과기 25로 보내지며 오염된 물속에 존재하는 불용성 입자 Crud를 여과하고, 이온성핵종도 일부 제거하게 된다. 이 필터를 통과한 물은 물속에 존재하는 이온성 핵종을 제거하기 위하여 양이온, 음이온교환수지가 충전된 분리형 이온교환탑 30,35을 통과한다. 그리고 최종적으로 판상형 열교환기40(45)를 통과하여 사용후핵연료의 붕괴열에 의해 상승된 물의 온도를 감온 시키게 된다. 이와 같이 여과, 제염, 냉각된 물은 수조의 바닥으로 재공급된다. 본 공정에 관련한 측정 및 제어계통은 다음과 같이 나누어진다.

- 수위 측정(D/P Transmitter:4-20mA출력) : LI60,LI50, LI55, FI40
- 온도측정(RT100Ω) : TI-10, TI-15, TI-20, TI-40.1, TI-40.2
- 제어신호(ON/OFF) : PV-10,11,12,14,15, PV-26, PV-53,54, PV-60,61,62,63,64,66,169
PV-120,121, PV-130,133,138.

이들 제어 계측들의 신호 특성은 차압전송기, 온도센서, 제어신호 등으로 3종류로 구분한다. 정화유량, 저장탱크의 수위등의 압력전송 목적으로 하는 차압전송기는 차압신호를 1/2인치 스텐레스 서스 튜브를 통해 차압전송기로 전송한다. 차압된 입력신호를 배관의 총 유량 및 저장탱크의 저장 수위에 비례하는 전류신호로 변환하고 주제어반 지시기에서 전류신호를 받아 % 단위로 지시하도록 구성되어 있다. 온도센서는 하역조, 저장조, 시험 및 해체조와 열교환기의 입,출구 온도 측정용으로 안전성과 재현성이 뛰어난 RTD PT 100Ω 센서이며, 온도 측정 범위는 0-100℃에 해당하는 4-20mA의 전류 값으로 변환 된뒤 주 제어반의 지시기에서 이 신호를 ℃ 단위로 표시된다. 전동밸브(뉴매틱 밸브)는 주 제어반에 ON/OFF 전기 신호에 의해 작동되도록 구성되어 있다.

3. PLC와 Date 출력장치

조사후시험시설내 수처리공정에 새롭게 설치된 PLC의 공정제어 장치는 연속적으로 데이터를 축적할 수 있고 시간적으로 변화하는 각종 데이터 수집을 통해 사용후핵연료 저장수조의 상태를 실시간으로 축적 감시할 수가 있고 혹시 정전으로 원격제어가 불가능한 경우를 대비하여 현장 판넬에서 Local/Remote 절환 스위치를 부가하여 수동으로 모든 기능을 수행할 수 있도록 설치하여 신뢰성과 안전성을 높였다.그림 2는 Intouch 소프트웨어를 이용하여 프로그램화한 컴퓨터상의 원격제어판을 나타내었으며 1-16까지의 해당 번호를 클릭하면 해당하는 화면을 확대하여 볼 수 있으며 컴퓨터 화면상에 나타난 스위치의 기능은 현장에 설치된 제어판의 기능과 동일하며 현장제어반에 설치된 Local/Remote 절환 스위치 Remote 위치로 전환했을 경우에만 컴퓨터 제어가 가능하다. 표 1에서는 수처리공정의 공정자동화한 후 수처리공정의 중,저준위 방사성 폐액 탱크별 레벨 Setting 값을 나타내었다. 그리고 그림 3에서는 본공정에 설치된 PLC의 계통도와 PLC의 설정도를 나타낸 그림이다.

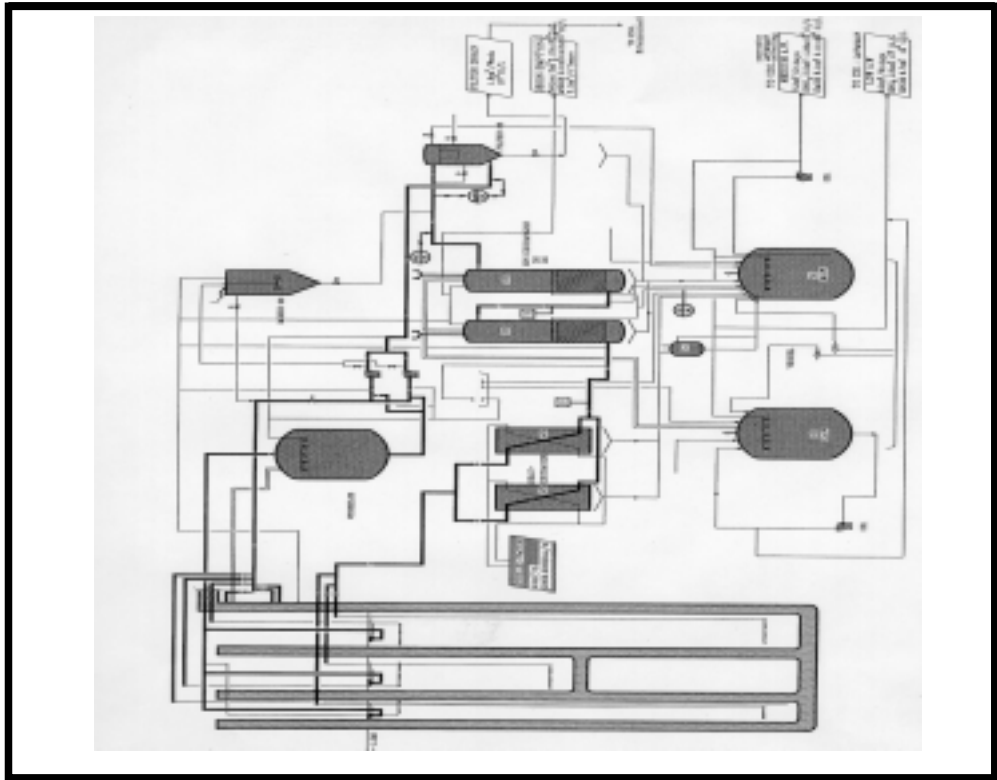


그림 1. 조사후시험시설내 기존 수처리 공정도

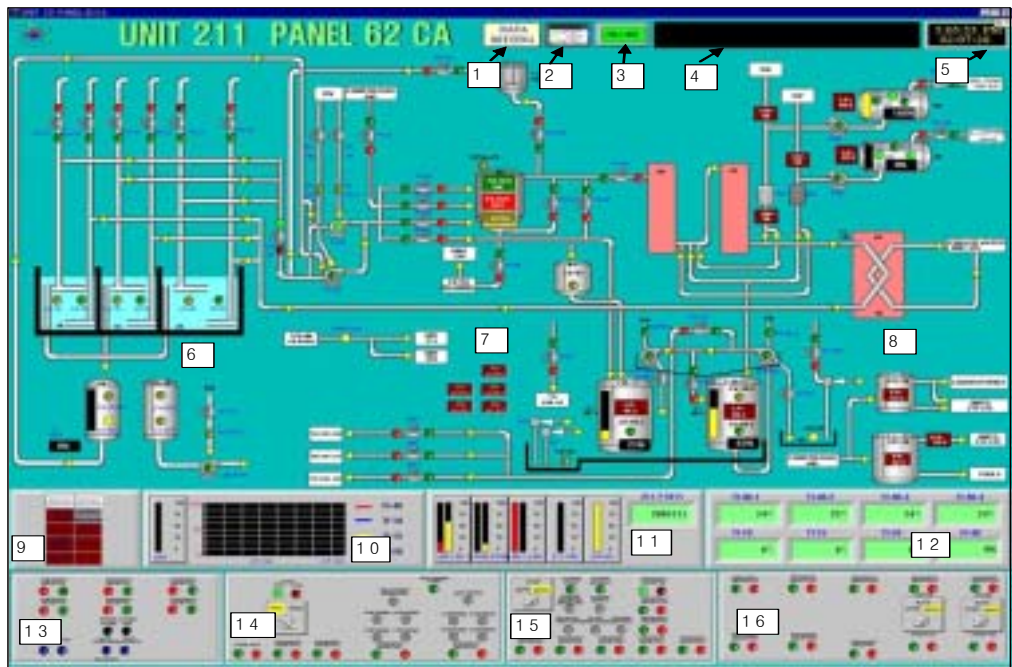


그림 2. 조사후시험시설내 PLC를 이용한 자동화 수처리 공정도

- 1) 바탕화면 그림에서 6-16번의 각각의 위치에 클릭하면 해당되는 곳의 화면이 확대하여 볼 수 있다.
- 2) 그림의 1번을 클릭하면 탱크별(저준위, 중준위 탱크) 레벨을 셋팅 할 수 있는 화면이 나타난다.
- 3) 그림의 2번을 클릭하면 이력 Date를 조회할 수 있는 화면이 나타난다.
- 4) 그림 3번은 PLC와의 통신 상태를 표시한다.
ON LINE : 정상 통신 상태(모니터링 및 제어 가능)
OFF LINE : 통신 이상(모니터링 및 제어 불가능)
- 5) 그림 4번은 알람이 발생하면 내용을 표시함.
- 6) 그림 5번은 날짜와 시간을 표시함.

표 1. 수처리공정의 중,저준위 방사성 폐액 탱크별 레벨 Setting값

도면 DWG	연속 DWG	SETTING 값
LI 60.1	LW+60.2	88.9%
	LW-60.3	4.4%
LI 80.1	LO+80.4	80.0%
	LO-80.3	10.5%
	LO-80.2	8.4%
DIP+80	DIP+80	80.0%
FIP-80	FIP-80	25.0%
LI 85.1	LO+85.4	80.0%
	LO-85.3	10.5%
	LO-85.2	8.4%
FIP-85	FIP 85	25.0%
LI 55.1	LO-55.3	3.6%
LI 50.1	LO+50.4	90.0%
	LO-50.3	3.6%
TI 40.1	TEMP CONTROLLER	TEMP INPUT : P.T OUTPUT : 4~20mA
TI 40.2		
TI 40.3		
TI 40.4		
F140	FLOW CONTROLLER	INPUT : 4~20mA OUTPUT : 4~20mA
TI-10	TEMP CONTROLLER	INPUT : 4~20mA OUTPUT : 4~20mA
TI-15	TEMP CONTROLLER	INPUT : 4~20mA OUTPUT : 4~20mA
TI-20	TEMP CONTROLLER	INPUT : 4~20mA OUTPUT : 4~20mA

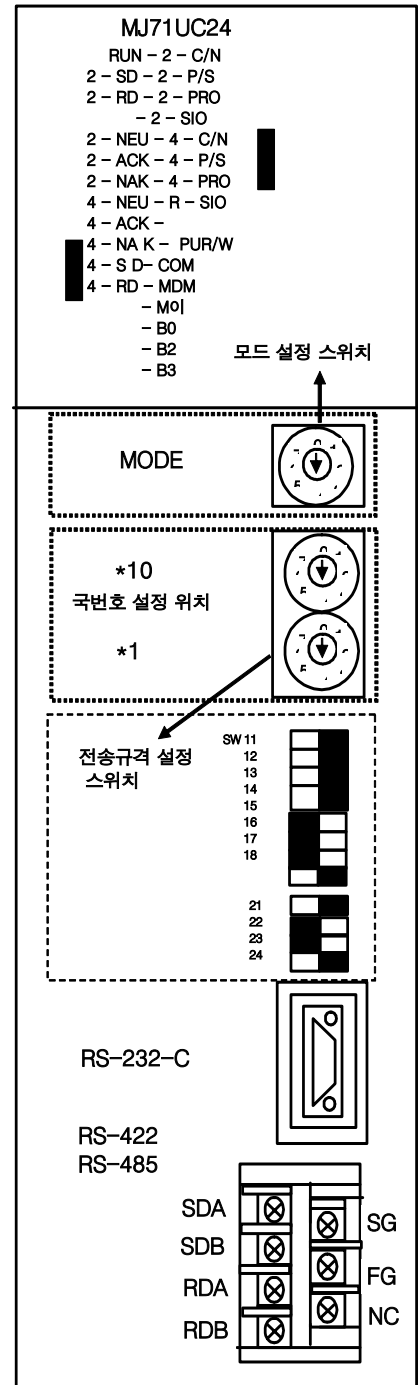
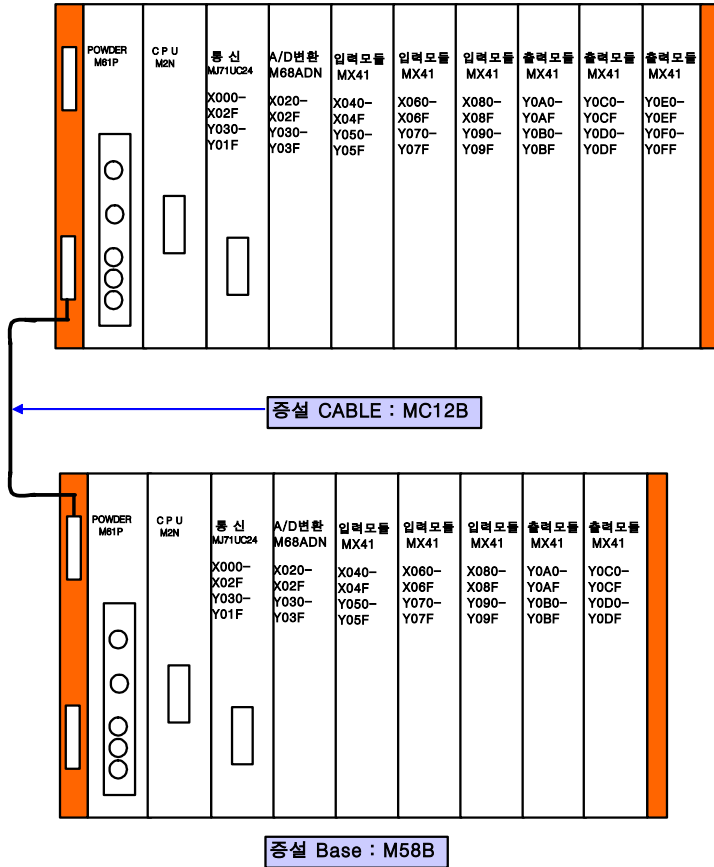


그림 3. PLC Lay-Out도 와 각부의 설정도

3. 수처리공정의 현장계측기 및 Date 기록장치의 검교정 시험 및 종합성능 시험

2002년 6월부터 약 6개월에 걸쳐서 현장제어판을 교체 설치하여 수처리공정에 장착되어 있는 수위, 온도, 유량계등 각종 공정 변수를 제어하기 위한 각종 계장 설비들에 대하여 교정 및 성능 시험을 수행 했고 그리고 PLC의 Date 기록장치도 병행하여 전체적인 성능 시험을 실시하였다. 성능시험 결과 모든 계측기가 허용 오차 범위내에서 동작하고 있음을 확인하였다. 수처리공정의 온도관련 현장계측기는 Pt-100 RTD 형식의 Universal Calibrate를 사용하였으며 교정방법은 실제 저장수조의 온도 기준치인 사용온도 범위인 0 ~50℃ 까지 5구간으로 나누어 실시하였으며 교정방법은 Universal Calibrate의 키패드에 RTD 출력단자를 연결하여 저항 출력 부분을 눌러 0℃에 해당하는 100Ω을 공급하는 형식으로 시험하였으며 그때마다 저항값을 측정하여 다시온도로 환산하였다. 표 2에 나타났듯이 RTD의 교정오차가 3개 수조의 온도계는 최대 +0.4, 최소-0.03으로 나타났으며, 냉동기의 온도계는 최대+0.20, 최소-0.2로 두 부분 모두다 설계 기준치인 최대허용오차인 ±0.5℃를 충분히 만족하고 있음을 알 수 있었다.그림 4는 RTD의 신호특성을 그림으로 나타내었으며, 선형성도 매우 우수하여 안정된 출력을 제공하였다.그리고 유량 및 수위 지시계에 관련된 교정장치는 Universal Calibrate를 사용하였다. 계기의 선형성과 편차를 확인하기 위하여 입력값을 5구간으로 나누어 실시하였으며 그때의 출력 값인 전류를 측정하여 정리하였다. 표 3에서 보면 계기의 교정 오차는 입력 값에 대해 최대 +0.2, 최소 -0.08로 나타나 계기오차를 충분히 만족하고 있으며 그림 5는 차압전송기의 신호특성을 그림 5로 나타내었으며 차압전송기의 선형성도 우수하여 안정된 출력을 제공하는 것으로 확인되었다.

현장계측기의 교정이 완료된 후 수처리공정을 정상적으로 가동하면서 데이터 기록장치의 종합적인 성능시험을 실시하였다. 현장에서 유량계, 온도계, 수위지시계들의 각종 점점 신호들은 PLC에 설치된 데이터 기록 장치로 전송받아 저장하였고 전체적인 데이터 기록장치에서의 결과는 표 4에, 종합적인 신호특성은 그림 6에 나타내었다. 그 결과 PLC는 정해진 제어 논리에 의해 현장기기를 제어하였고 주제어반에는 현장으로 부터의 각종 변수 및 동작 상황을 일목요연하게 표시하는 것으로 확인 되었다. 또한 데이터 기록장치는 시험 중에 각종 변수를 그래픽으로 표시 되어 저장할 수 있도록 한 것이 확인되었다. 표 4 에서는 약 16시간 동안 공정 운전에 따를 사용후핵연료 저장수조의 온도분포와 순환펌프의 유량율을 최대, 최소, 평균 값으로 정리하였으며, 온도 평균치는 하역수조(Pool 9401)> 시험 및 해체수조(Pool 9403)>저장수조(Pool 9402) 순으로 나타났으며 최대온도는 26℃, 최소온도는 24℃로 30수조 모두다 동일하게 나타나 설계치인 <50℃ 미만으로 모두 만족하게 나타났다. 그리고 순환펌프의 유량율도 설계치인 >70% 이상인 99%로나타났다.

표 2. 수처리공정내 RTD의 교정결과

표준 저항 (Ω)	표준 온도 (°C)	사용후해연료 저장수조별 온도						냉동기 냉각수 온도			
		T110(하역조)		T115(저장조)		T120(시합조)		T140.1(출구)		T140.2(입구)	
		측정	오차	측정	오차	측정	오차	측정	오차	측정	오차
100.0	0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.12	0.11	0.11
103.90	10	10.0	0.02	9.98	-0.02	9.97	-0.03	10.0	0.01	10.0	0.03
108.0	20	19.9	-0.1	20.4	0.40	20.4	0.40	19.8	-0.2	20.4	0.40
111.68	30	30.2	0.2	30.1	0.10	30.0	0.01	30.0	0.02	30.0	0.01
115.54	40	40.0	0.05	40.2	0.20	40.2	0.25	40.0	0.06	40.0	0.07
119.40	50	50.1	0.1	50.2	0.20	50.2	0.20	50.1	0.10	50.2	0.20

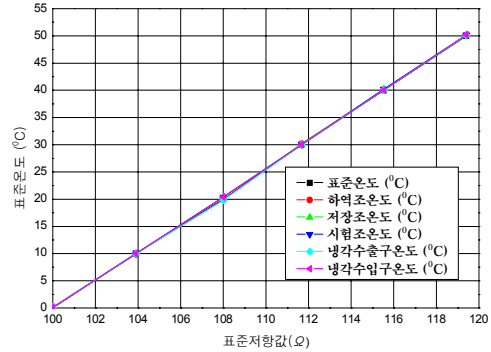


그림 4. 수처리공정내 RTD의 신호특성

표 3. 수처리공정내 차압전송기의 교정결과

표준 압력 (mmWG)	표준 출력 (mA)	저, 중준위 방사성폐액 저장탱크 수위전송기			
		LI-50: 수위 전송		LI-55: 수위 전송기	
		측정값	오차	측정값	오차
0	4	4.02	0.02	4.1	0.1
520	7.2	7.10	-0.1	7.10	-0.1
1040	10.	10.3	-0.08	10.0	-0.4
1560	13.	13.5	-0.08	13.4	-0.2
2080	16.8	16.7	-0.1	16.8	0
2600	20.	19.9	-0.08	19.8	0.2

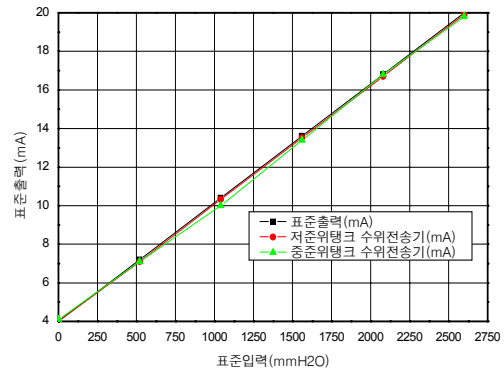


그림 5. 차압전송기의 신호특성

표 4. 정상운전중 종합 Date 결과표

설계치	항목	평균	최대	최소
< 40°C	TI-10	25.06	26.0	24.0
	TI-15	24.83	26.0	24.0
	TI-20	25.03	26.0	24.0
	TI-40.1	25.95	27.0	25.0
	TI-40.2	24.0	24.0	24.0
> 70%	FI-40	99.0	99.0	99.0

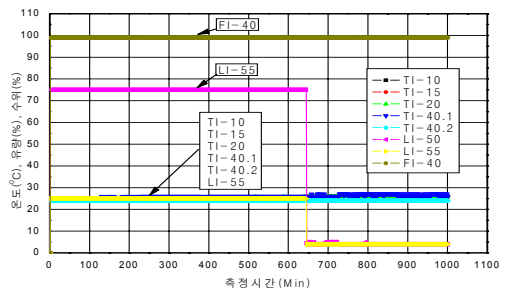


그림 6. 정상운전중 종합 Date 기록장치의 신호특성

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 조사후시험시설내 수처리 공정의 제어시스템의 아나로그 제어시스템 기반을 디지털 제어시스템 기반으로 변경시켜 공정 자동화를 실현했으며, 또한 기존 아나로그 제어시스템과 병행 운전하도록 시스템을 설계하였으며, 그리고 사용자 중심의 프로그램을 개발하여 컴퓨터를 통한 Real-Time으로 현장에서 발생된 정보수집 및 제어가 가능한 공정자동화 시스템을 개발하였다. 본 공정자동화 시스템 개발을 통해 다음과 같은 기대효과가 예상된다.

- 데이터 처리, 분석, 기록 등 종합 정보처리 및 제어시스템 가동
- Real-Time Control에 의한 신뢰성 향상
- 제어시스템의 유지, 보수 및 운용의 효율성
- 원자력 핵주기 시설 및 다른 산업 공정에 직접 운용가능

참고문헌

1. 현근호, “ Automatic Control Engineering” 한국산업인력공단(2002)
2. 권육현“자동화 공정에서의 제어방식”, 전자공학회지 vol 13, No.2 1986.4 p123-30
3. Unit-211 Pool Water Treatment Control Panel(Facility A) S.G.N(1985)