JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 18, No. 6 : 1462~1468 Jun. 2014

I-123 핵종생산장치 시스템 설계

정현우[2] · 유재준[2] · 김병일[1] · 이동훈[2*]

Design of I-123 Nuclide Production System

Hyun-Woo Jung[2] · Jae-Jun You[2] · Byung-Il Kim[1] · Dong-Hoon Lee[2*]

[1]Radiopharmaceuticals Production Center, Korea Institute of Radiological & Medical Sciences, Seoul, Korea
[2*]Department of Electrical and Electronic Information and Communication Engineering, Tongmyung University, Busan, Korea

요 약

30MeV 사이클로트론의 양성자가 Xe-124 기체 표적 시스템에 조사될 때 일어나는 핵반응을 적용하여 Xe 가스를 GPM으로부터 타겟으로 전송하는 시스템을 설계하였다. 시스템 설계는 크게 4파트로 구성되며 각각의 하드웨어 부분은 솔리드웍스 3-D 캐드를 이용하여 설계하였다. 타겟 시스템 중 헬륨으로 Havor foil을 냉각시키게 설계했고, 타겟 내 Xe 가스가 양성자로 조사 시 상승하는 타겟 온도를 냉각수로 냉각시켜주도록 설계하였다. 또한, 온도센서와 압력센서를 장착하여 타겟 내의 온도와 압력을 확인할 수 있도록 구성 하였다. GPM은 Xe 가스를 타겟으로 운반, 준비하는 부분이며 Xe 가스를 저장하는 부분과 불순물을 제거하는 부분으로 구성되어 있다. HCS는 헬륨을 이용하여 각 파트를 세척하고 냉각시켜 주는 부분이며, 각각의 장치들은 PLC로 제어하여 유지보수시의 편리성을 추구하였고 PC Vue 모니터링 프로그램을 사용하여 SIEMENS PLC와 인터페이스 하여 시스템을 보다 안전하고 편리하게 감시하도록 구성하였다.

ABSTRACT

Xe gas is moved to target from GPM. It is used to feasible nuclear reaction from proton of 30MeV cyclotron being investigated by the Xe-124 gas target system. This system is divided into four parts. The hardware system was constructed by solidworks 3-D CAD and Helium supply is to cool the Havor foil. The Cooling water has the job of cooling down the temperature when Xe gas is being investigated in the target. Temperature and pressure gauges are attached to be checked easily. GPM has the part that prepares to transport Xe gas. There are storage vessel that stores Xe gas, the cold trap that filters humidity and impurity and lastly storage vessel that temporarily stores Xe gas. HCS using the helium is to clean and cool for each part. These parts are configured with SIEMENS PLC and PcVue monitoring program for more comfortable and easy maintenance.

키워드 : I-123, Xe-기체 타겟, 방사성의약품, 핵종생산시스템

Key word : I-123, Xe-Gas Target, Radiopharmaceuticals, Nuclide Production System

접수일자 : 2014. 05. 01 심사완료일자 : 2014. 05. 30 게재확정일자 : 2014. 06. 09

* **Corresponding Author** Dong-Hoon Lee (E-mail:ldh5522@tu.ac.kr, Tel:+82-10-2477-0139)
Department of Electrical and Electronic Information and Communication Engineering, Tongmyung University, Busan, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.6.1462 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

I-123 생산 장치는 I-123을 생산할 때 종사자의 피폭량을 줄이고 일정한 수율과 고순도의 방사성의약품을 만들기 위한 시스템이다. 원자력의학원에서는 30MeV 사이클로트론의 양성자가 Xe-124 기체표적에 조사될 때 가능한 핵 반응식은 다음과 같다.

$$^{124}Xe(p,n)^{123}Xe(T_{1/2}=2.1hr) \rightarrow {}^{123}I \quad (1)$$

$$^{124}Xe(p,2n)^{123}Cs(T_{1/2}=6min) \rightarrow {}^{123}Xe \rightarrow {}^{123}I \quad (2)$$

$$^{124}Xe(p,2n)^{123}I \quad (3)$$

I-123의 주된 생성은 핵반응 (1)과 (2)에 의하여 이루어지며 식 (3)의 핵반응 단면적은 무시할 수 있을 정도로 작아서 잘 사용하지 않는다. I-123만의 방사화학적 순도를 높이는 것은 고순도 게르마늄 검출기와 다채널 분석기를 이용하여 I-121($\gamma = 212 Ke\,V$)과 I-123 ($\gamma = 159 Ke\,V$)의 에너지 차를 이용하여 추출해 낼 수 수 있다. 생산 중 주로 예상되는 불필요한 핵종은 I-121과 I-125이다[1-3].

$$^{124}Xe(p,4n)^{121}Cs(T_{1/2}=136s) \rightarrow {}^{121}Xe(T_{1/2}=39min) \rightarrow {}^{121}I(T_{1/2}=2.12hr) \quad (4)$$

I-121은 식(4)의 핵반응으로 생성되고 최종적으로 I-121로 붕괴되며 반감기가 2.1시간이다. 보통, 그 양은 교정일 2일 후를 기준으로 $1 \times 10^{-7}\%$ 이다[3].

I-125는 $^{126}Xe(p,2n)^{125}I$ 핵반응으로 생성되고 반감기가 59.9일이므로 농축된 표적 기체의 Xe-126의 함량은 0.02% 이하가 되어야 한다. 타겟에 양성자빔을 어떻게 조사하는 가는 I-123 핵종 생산수율과 밀접한 관련이 있다[4,5]. 이를 위해 빔을 집속하거나 수평이동 할 수 있는 조절요소와 빔의 모양과 빔 전류를 측정할 수 있는 장치들이 타겟 근처의 빔 라인에 설치되어 있다. 빔 라인의 스위칭 자석은 빔을 수평방향으로 경로를 변화시켜 두 개의 빔 라인 중 원하는 라인에 조사 되도록 한다. 콜리메이터는 빔의 가장자리를 잘라 빔의 조사 크기를 조절하여 표적외의 다른 부분에 조사되는 것을 방지한다[5]. 본 논문에서는 I-123 생산을 위한 전체적인 시스템을 설계하였고, PLC 자동화시스템으로 각각의 파트에 있는 밸브들과 센서 들을 제어 하고 테스트 하였다.

Ⅱ. 솔리드웍스를 이용한 하드웨어 설계

솔리드웍스는 직선이나 곡면이 혼합된 복잡한 입체도 간단하게 설계 할 수 있는 3-D 설계용 프로그램이다. 오토캐드가 2-D도면작업에 편리한 장점이 있다면 솔리드웍스는 2-D와 3-D 두 가지 모두 편리하게 작업 할 수 있는 장점이 있다. 또한 시뮬레이션 기능이 솔리드웍스 자체에 내장되어 있어 3-D로 작업 한 도면이 실제 제작되었을 때 문제점들이 어떻게 작용할지 미리 분석하여 파악할 수 있다. I-123 생산을 위한 하드웨어부분 설계는 크게 4파트로 구성하였다. 각각 GPM(Gas Process Manifold), WPM(Wash Process Manifold), Target 그리고 HCS(Helium Circulation System) 부분으로 크게 나누어진다. 각각의 부분들은 모두 솔리드웍스로 설계하여 3-D로 나타내었다. 따라서 각 부분의 문제점들을 손쉽게 볼 수 있었고, 솔리드웍스에 있는 자체 시뮬레이션 기능을 이용하여 열해석, 유체해석, 응력 등을 분석하여 제작 시 실패율을 줄일 수 있었다. 그림 1은 4개의 주요 하드웨어 시스템으로 이루어진 전체시스템을 보여주고 있다.

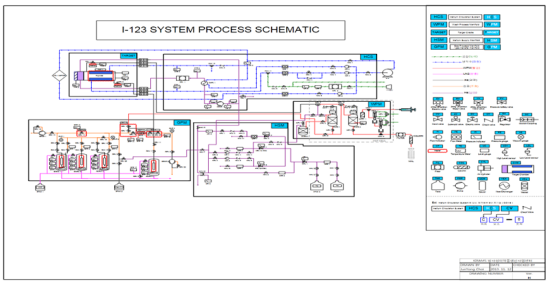

그림 1. I-123 전체 시스템 구성도
Fig. 1 Configuration diagram of I-123 total system

2.1. Xe-124 타겟 시스템의 특징

온도, 압력 등 각종 신호의 값과 이상시 통보기능이 있는 인터록을 구비해 빔 조사 중이나 후에 타겟의 안정성이 유지되도록 제작하였다. 기존의 타겟 도면을 분석한 결과 타겟 냉각기능을 보다 강화시키는 것이 핵종

생산 중 발생하는 열을 보다 효과적으로 식힐 수 있어 타겟 시스템을 보다 안정적으로 운영할 수 있다. 기존 시스템은 냉각수의 회전에 따른 냉각과정에서 타겟 안쪽에 와류현상이 일어나 냉각기능을 다소 떨어트릴 수 있으므로 본 논문에서 제작한 타겟의 냉각방식은 그림 2에서 보는 거와 같이 나선형 형태로 냉각수가 보다 자연스럽게 흐름으로 타겟 내 와류현상을 최소화시켜 냉각기능을 보다 향상시켰다. 또한, 빔 라인과 타겟의 결합부분의 진공도를 높이기 위해 콜리메이터에 U자형 고무 패킹을 사용하였다.

타겟 부분은 콜리메이터, flange_ring, Gas Cooling window, Insulator ring, Xe-target chamber, Chamber cover로 각각 이루어져 있다. 콜리메이터는 빔 라인에 장착되어 타겟에만 빔이 조사될 수 있도록 빔을 한정하는 장치이다. Gas Cooling window는 빔 라인의 진공과 Xe-가스를 차단 시켜주는 부분이며, Insulator_ring은 각각의 파트별로 절연이 돼야 한다. 그 이유는 빔이 입사될 때 빔 전류 값을 읽을 때 오류 없이 정확하게 읽어들이기 위해서이다. Xe-target chamber 안쪽은 니켈도금으로 표면을 거울처럼 만들었다. 이는 양성자 빔이 조사될 때 타겟내에서 핵반응이 일어나고 I-123이 타겟 표면에 흡착하게 되는데 I-123을 회수할 때 잘 회수될 수 있도록 하기 위함이다. Chamber cover는 말 그대로 챔버를 덮어보호해 주는 부분이며 flange ring은 각 파트를 조립했을 때 결합시켜주는 역할을 한다.

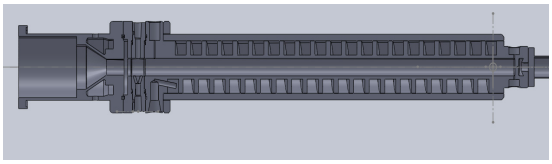

그림 2. 솔리드웍스를 이용하여 설계된 나선형 냉각방식의 타겟 단면도
Fig. 2 Design of SolidWorks target section of the spiral cooling system

솔리드웍스의 분석도구를 이용하여 타겟의 냉각수에 의한 냉각정도를 실험 하였다. 입력단은 그림 2에서 보는 것과 같이 왼편에 물을 넣었고 출력단은 오른편에 나오도록 하였다. 위의그림에서 보는 것과 같이 타겟을 식혀주는 냉각수 부분은 물의 와류현상 없이 자연스럽게 흐르고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 빔 조사 중 타겟 내부에 물이 흘러들어갔을 때 열의 분포는 그림 3과 같다. 실제로는 벨로우즈 밸브 2개가 붙어있고,. 벨로우즈 밸브는 타겟으로 들어간 Xe-124가스를 잡아주는 역할을 한다. 그림 3의 시뮬레이션에서 보여주는 것처럼 냉각수에 따른 타겟내에서의 온도변화를 통하여 실제 타겟이 제작되었을 때 빔 조사시 타겟의 냉각 정도를 예상 할 수 있었다.

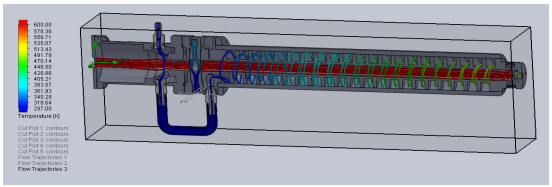

그림 3. 솔리드웍스를 통한 타겟의 3-D 열분포 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Result of heating distribution of the target 3-D Simulation

2.2. GPM(Gas Process Manifold)의 특징

GPM은 Xe가스를 타겟에 손실 없이 안전하게 보내주는 역할을 한다. GPM에는 각각의 벨브 들과 Cold trap, Storage vessel이 있다. Storage vessel은 사용하지 않을 때 Xe 가스를 모아주는 역할을 한다.

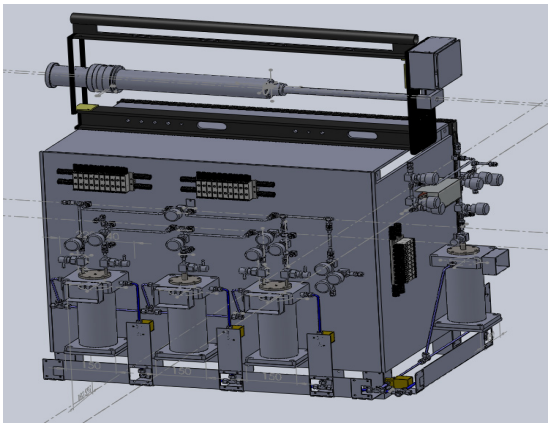

그림 4. 합체된 타겟과 GPM 시스템의 모습
Fig. 4 The appearance of the target and GPM

GPM에서 Storage vessel은 총 2개가 있는데, 그 이유는 Xe 가스가 각 부분을 거쳐 타겟으로 들어갈 때 손실을 막기 위해 타겟 바로 밑에 Storage vessel을 하나

더 두어 Xe 가스가 타겟까지 최대한 많은 양이 손실 없이 가기 위해서 이다. 또한, Storage vessel에는 Xe 가스를 가두어 둘 때 LN2 액체질소로 냉각하며 가스를 보낼 때는 히터로 열을 가열하여 보내게 된다. 이를 위해 모니터용 온도 센서와 압력게이지를 장착하였다.

2.3. HCS(Helium Circulation System)의 특징

기체표적장치에서 헬륨 순환시스템의 구성은 크게 공급부, 냉각부, 배출부로 나누어져 있다. 그림 5는 설계된 HCS 시스템을 보여주고 있다. 첫 번째로 공급부는 기체표적의 조사면 냉각을 위한 헬륨공급을 말하며, 적정한 유속 유지를 위해 헬륨 가압펌프와 헬륨의 온도 및 압력, 유량 등을 모니터링 할 수 있는 센서 들로 구성되어 있다. 기체표적 조사면의 냉각효율을 위해 헬륨가스의 온도가 무엇보다도 중요하므로 이를 위해 헬륨가스를 냉각 시켜주는 냉각부를 두고 있다. 냉각부 구성요소로는 냉각수로 헬륨가스의 열을 교환해주는 열교환기와 I-123 기체표적시스템의 모든 냉각수를 제어하는 유량계와 밸브들로 구성되어 있다. 마지막으로 배출부는 기체표적상자 냉각수 배출과 I-123 기체표적시스템의 모든 압축공기를 제공하는 역할을 한다.

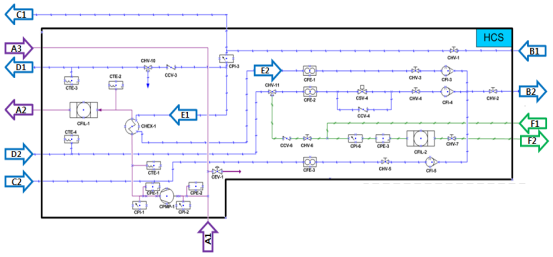

그림 5. 설계된 HCS 시스템
Fig. 5 Designed by HCS system

2.4. WPM(Wash Process Manifold)의 특징

WPM(Wash Process Manifold)은 핫셀 내에 있으며 최종적으로 타겟에서 생산된 I-123을 회수하여 생산하는 장치이다. WPM에는 2개의 Vessel이 있고 이 Vessel들은 각각 탈산소화된 세척용수를 담고 있는데 세척용수는 약한 암모니아 성분이다. 타겟에서 돌아오는 세척용수는 I-123이 섞여있는 용수로 임시로 받아두는 곳이며, I-123이 섞여있는 용수는 알루미나 컬럼을 통하여 농축된다. 알루미나 컬럼은 I-123의 수집을 수월하게 하기 위해 고정되어 있다. WPM에는 3-웨이 밸브가 있다. 3-웨이 밸브를 통하여 세척수가 vessel에 채워지고, 추출액을 통과시키며 케타이온 컬럼을 통해 최종 Product Vial로 이동한다. WPM은 핫셀 내에 설치하여야 하고, 핫셀의 사용공간 활용도를 높이기 위해 그림 6에서 보는 것처럼 모듈화 하여 크기가 최소가 되도록 설계하였다.

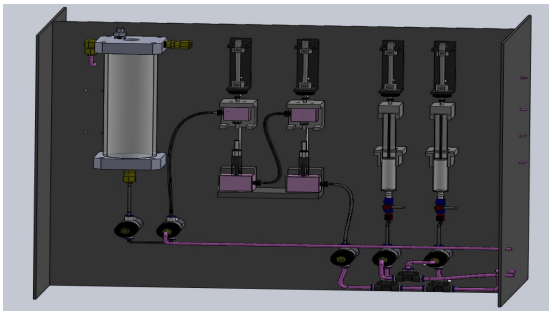

그림 6. 설계된 WPM 시스템
Fig. 6 Designed by WPM system

Ⅲ. PLC 자동화시스템

I-123 시스템에서 PLC의 역할은 각각에 있는 밸브와 유량계, 온도계, 히터, 진공 게이지, 펌프 등을 제어한다. PLC는 기존 릴레이에 비해 제어의 정확성이 뛰어나고 내용을 손쉽게 수정하고 변경할 수 있으며, 릴레이에 비해 복잡한 제어 기능을 수행할 수 있는 장점이 있다. PLC가 빠르게 변화 하고 있는 요즘세대에서도 각광받는 이유는 변경이 쉬우며, 시스템 확장이 매우 간편하여 빠르게 변하는 작업환경에 빠르게 대처할 수 있다. 또한, 유지보수가 쉬우며 신뢰성이 높아 오류가 잘 나지 않는다. 따라서 설비의 가동율이 향상된다. 구조는 제어 처리를 담당하는 중앙 제어부, 입력 신호를 받아 중앙 제어부로 넘겨주는 입력부, 처리된 신호의 결과를 제어 대상에 전달해 주는 출력부 등 3개 부분으로 되어 있다. 각각의 파트들에서 나오는 I/O들의 수를 더하여 랙의 개수를 구하였다. PLC는 컴퓨터와 연결되어 UI(User Interface)상에서 제어되고 설계된 4개의 하드웨어 필드에 있는 각각의 부품들의 상태를 UI로 보내주고, UI에서 나온 신호 명령어들이 PLC로 들어가 하드

웨어 각각의 필드에 있는 각각의 부품들을 제어한다. 인터록은 PLC에서 모두 설계하여 문제가 발생시 UI로 신호들이 들어가 UI에서는 각종 센서 값과 벨브의 구동 상태 등을 모니터링 할 수 있고 이상이 알람이 울리게 하였다. 그림 7은 I-123 생산을 위한 PLC 전체 구성도을 보여주고 있다.

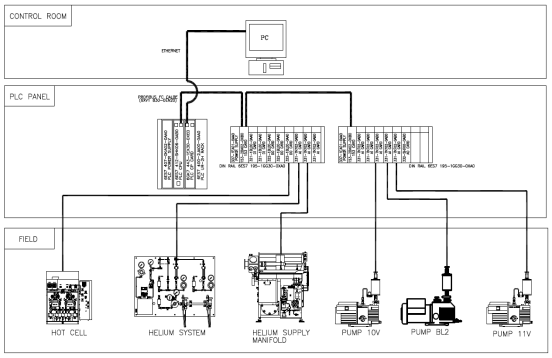

그림 7. I-123 생산을 위한 PLC 전체 구성도
Fig. 7 Total PLC diagram for the production of I-123

그림 8은 생산장치 및 시스템을 컨트롤하기 위해 구성된 지멘스 PLC 판넬을 보여주고 있다. 기존의 판넬보다 부피와 크기가 많이 커졌지만 그로인해 장치 시스템의 확장과 유지보수가 편리하도록 많은 I/O 단자들이 곳곳에 있으며 여분의 파트가 많이 증설될 수 있는 공간이 충분이 구축되어 있다. 지멘스 PLC 구성으로는 CPU 412-5HK06-0AB0 400시리즈로 가장 빠른 통신신호와 다양한 로직을 수행을 할 수 있다. I/O는 300시리즈의 I/O를 사용하였는데, 이는 400시리즈 I/O 모듈은 본 시스템에서 사용하는 신호에 비해 너무 많은 단자대를 갖고 있고 보다 성능면 에서는 300시리즈와 유사하며 가격은 고가이기 때문이다.

디지털 입력모듈로는 321-1BL00-0AA0를 디지털 출력모듈로는 322-1BL00-0AA0, 아날로그 입력모듈로는 331-7KF02-0AB0 그리고, 아날로그 출력모듈로는 332-5HK00-0AB0로 구성하였다. 또한, 각각의 센서로부터 PLC 아날로그 입력모듈의 표준화된 전압 값과 전류 값으로 변환하여 인터페이스하기 위한 트랜스미터를 장착하였다.

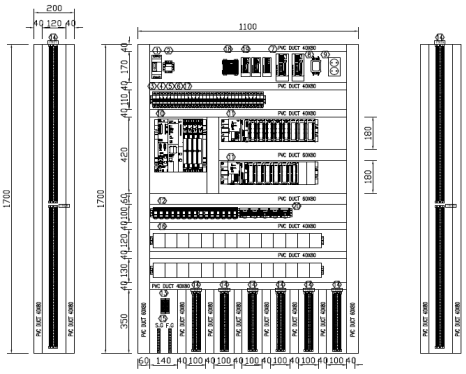

그림 8. 다양한 PLC모듈이 장착된 PLC 판넬 구성도
Fig. 8 A variety of PLC modules inside of PLC panel diagram

Ⅳ. UI(User Interface) 설계

UI 메인화면은 생산에 필요한 모든 것들을 모니터링 할 수 있어야 한다. PC Vue로 제작한 UI화면은 그림 9와 같고, 빔이 조사되는 타겟 영역과 I-123 핵종이 생산되는 핫셀 영역으로 크게 나뉘어져 있다. 양성자 빔이 조사 될 때 사용자가 알아야 할 필수 정보인 타겟 내부의 압력과 온도, 밸브, 펌프 등의 구동상태와 같은 전기적 신호로 작동하는 것들은 대부분 UI에서 감시 및 제어할 수 있다. HCS는 대부분 레귤레이터 같은 직접 사용자가 눈으로 보고 확인하는 부분이 많아서 간단하게 구성하였으며 그림 9에서 보는 것 과 같이 원격 모니터링 할 수 있도록 구현하였다. GPM파트에는 열전대 3개가 있다. 이 3개의 열전대 값을 이용하여 UI에서 각각의 온도 값을 즉시 파악할 수 있도록 제작하였다. 또한 각각 온도, 유량, 레벨, 압력 등을 모아서 한눈에 바라볼 수 있는 팝업창과 압력게이지를 볼 수 있는 팝업창, Dewar Bottle에서 나오는 온도들을 체크할 수 있는 팝업창으로 나누어 메인 화면에서 나타나 있는 값들을 파트별로 나누어 쉽게 볼 수 있게 제작 하였다. PLC에서 들어오는 각각의 신호들은 PC Vue 화면상에서 아이콘들에 각각 주소 값을 부여한 후 통신하였다. 통신방식은 PC Vue에서 가장 흔히 쓰이는 XBUS-IP-MASTER을 사용하였고 time out은 1초로 지정하였다. 노드 설정은 네트워크 파라미터 설정에서 이더넷의 XBUS-IP-MASTER의 세부 설정사항으로 설정 하였다. 본 시스

템에서는 MODBUS의 10진수로 값을 받아 편리하게 이 값들을 UI에서 처리했다.

Application Explorer는 UI상에서 아이콘들에 잡혀있는 모든 I/O들과 네트워크 등을 확인할 수 있는 창이다. 네트워크창에서 통신창으로 들어가면 모든 정보가 있고, 변수들의 트리구조는 각각에 설정한 레지스터 값과 비트 값을 볼 수 있다. Application Explorer는 유지 보수 시 오류가 난 부분을 쉽게 찾을 수 있는 부분이다. 변수 트리구조에서는 각각의 파트들인 유량, 히터, 레벨센서, 압력, 펌프, 열전대, 진공 및 밸브로 나누어 한눈에 보기 쉽게 설계하였다. 초기 I-123을 설계할 때 각각의 파트에 명칭을 잘 정리하여 UI에서도 한눈에 보기 쉽게 잘 정리되도록 일목요연하게 구성하였다. 이 중 인터록이 들어가는 신호들의 몇 개는 인터록 범위를 변경할 수 있어야 한다. 이유는 사용 하다보면 I-123시스템이 환경에 따라 값들이 변하기 때문이다. 밸브들은 UI 화면상에서 사용자가 온/오프가 가능하도록 구성하였으며, 이는 각각의 주소 값에 command 명령을 할 수 있게 기능을 추가하여 설계하였다.

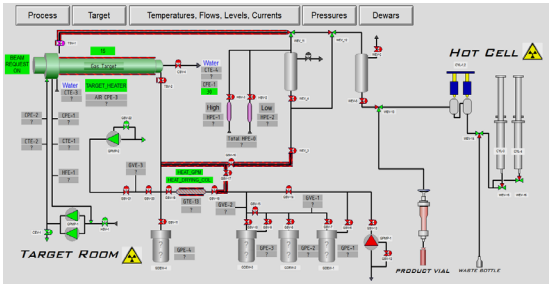

그림 9. 시스템 모니터링을 위한 UI 메인화면
Fig. 9 User Interface main screen for system monitoring

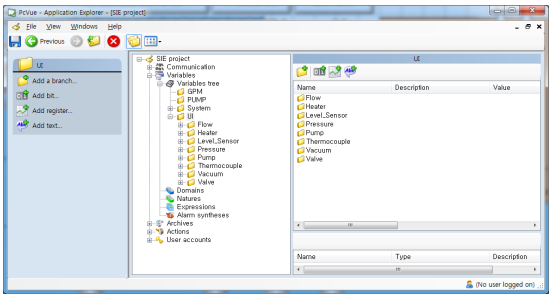

그림 10. UI에 적용된 변수들의 트리구조 예
Fig. 10 Variable trees

V. 결 론

갑상선암과 알츠하이머 환자의 진단에 사용하는 I-123은 몇 년 사이 이런 환자 수가 상당히 늘어나고 있는 이때 I-123의 핵종생산의 필요성은 보다 높아지고 있다. 본 연구는 외산에 의존하고 있는 방사성의약품인 I-123을 생산하는 장치를 국내 기술로 설계 개발하고자 하였다. 기능에 따라 4파트로 나누어진 I-123핵종생산 장치는 각각의 서브 파트들을 설계하였고 일부 완성된 장치는 성능 테스트를 하였다. PLC를 이용하여 하드웨어 시스템을 제어하도록 구성하였다. 제작된 하드웨어 중 타겟장치는 누수 테스트를 거쳐 안정성을 확인하였으며 시뮬레이션을 통하여 안정성과 성능을 검증하였다.

생산된 I-123은 FP-CIT와 MIBG합성용으로 사용된다. 해외에서도 I-123 핵종 생산장치 생산기술을 가진 국가는 소수이며 현재 국내에서도 부족한 I-123은 반감기를 고려하여 일본에서 주로 수입해온다. 일본에서 수입되는 I-123 상당부분이 국내시장을 점유하고 있다. 해외에 의존하던 핵종 생산 기술력을 국내 기술로 이루어진 I-123 자동화 시스템을 완성한다면 보다 저렴한 가격으로 국내에 I-123을 대량으로 국내에 안정적으로 보급할 수 있을 것이다. 또한, 국산화된 한국형 장비로 해외시장 진출을 희망해 본다.

감사의 글

본 연구는 한국원자력의학원에서 수행 중인 I-123 생산용 표적 자동화시스템 개발(No.50573-2014) 사업의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

[1] Lindner L, Brinkman G, Suer THG, Schimmel A, Veenboer CJ, Karten FHS, Visser J, Leurs CJ, “Radiopharmaceuticals and Labeled Compounds”, Vienna, *IAEA*, 1: 308-316, 1973.

[2] Firouzbakht ML, Schyler DJ, Wolf AP, Effect of foil

material on the apparent yield of the 124Xe (p,x) 123I reaction Appl Radiat Isotopes, United States, 741-745, 1992.
[3] Zippi EM, Valiulis MB, Grover J, "Synthesis of carbon-13 sulfolnated poly for production of a nitrogen-13 terget material," *Proceedings of the 6th Workshop on Targetry and Target Chemistry*, Vancouver, British Columbia, Canada, August 17-19, 1995.
[4] Fateh B, "Investigation of hydro dynamical behavior of gaseous material which put in front of the high proton beam and designing gas target for producing 123I radioisotope," Teheran, Amir-Kabir University, 2000.
[5] Zeisler SK, Helus F, Gaspar H, "Comparison of different target surface materials for the production of carrier-free [18F] fluoride," *Proceedings of the 7th Workshop on Targetry and Target Chemistry*, Heidelberg, Germany, p.223, 1997.

정현우(Hyun-Woo Jung)

동명대학교 의용공학과 공학 학사
동명대학교 전기전자정보통신공학과 석사과정
※관심분야 : 원자력공학, 기계공학, 제어계측

유재준(Jae-Jun You)

동명대학교 의용공학과 공학 학사
동명대학교 전기전자정보통신공학과 석사과정
※관심분야 : 원자력공학, 기계공학, 제어계측

김병일(Byung-Il Kim)

서울대학교 의학박사
한국원자력의학원 핵의학 의사
※관심분야 : 핵의학, 원자력공학, 제어계측

이동훈(Dong-Hoon Lee)

인하대학교 전자공학과 공학박사
원자력의학원 사이클로트론응용연구실 책임연구원
동명대학교 의용공학과 부교수
※관심분야 : 가속기공학, 의용공학, 제어계측