

## 이온주입장치의 원격제어시스템 구축

### Remote Control System of Ion Implanter

이재형\*, 양대정

(Jac-Hyung Lee and Dae-Jeong Yang)

**Abstract** : The goal of this research is to implement a PC-based remote control system of ion implanter using Visual Basic programming. Presently, skilled process engineers are required to regularly setup and adjust implanter parameters. Any reduction in the number of production hours devoted to ion beam implanter setup or recalibration after a species change would represent substantial improvements in both manpower and equipment utilization. An optical communication system for the remote control and telemetry in the operation of the 50keV potential was designed and constructed. This system enables continuous and safe operation of the ion implanter and can be the basis for the automation. The isolation characteristics of optical fiber were 10kV/cm, and performance tests of the system under the intense noise environment during the implanter operations showed satisfactory results. This system is designed to completely replace the existing human-machine interface with many new functions. This paper describes the important components of the system including system architecture and software development. It is expected that this system can be used for the communication and control purpose in the high noise environments such as the operation of the MeV energy implanter or other high power, high noise systems.

**Keywords** : 50keV ion implanter, remote control system, optical communication, man-machine interface.

#### I. 서론

최근 산업의 발전과 인간 위주의 생활환경 조성에 의해 인간과 작업공간 및 작업장비를 연결하는 HMI (Human-Machine Interface)에 대한 관심이 높아지고 있다. 이와 더불어 PC의 성능이 향상되고 소프트웨어 공학이 발전함에 따라 GUI(Graphical User Interface)환경을 구현하는 연구도 활발하다. 특히 HMI 환경에서 구성요소들간의 조립과 통합의 개념(Component Oriented Programming)으로 연구경향들이 바뀌고 있으며, 이런 HMI 환경에서 필수조건인 GUI에 대해서는 Model-View-Control(MVC) 접근법이 주목받고 있다. MVC 패러다임의 경우 하나의 View와 Control로 다수의 모델을 다루거나, 하나의 모델에 대해 다양한 View와 Control이 가능하도록 지원하고 있다[1]. 이러한 최근의 동향에 맞추어 로봇과 HMI, 시뮬레이터와 HMI에 관련한 연구가 활발하다. 가상환경 속에서 플랜트의 동작이 전자동이 아닌 인간 중심의 관리제어로 이루어지는 시스템의 시뮬레이터가 개발되기도 하였으며[2], 위험한 작업공간인 원자력발전소의 차세대 지능 HMI[3]에 대해 연구하는 등 작업환경에 대한 시뮬레이터 개발도 활발히 이루어지고 있다.

고체에 가속 이온을 주입하여 그 표면의 특성을 변화시킬 수 있는 이온주입장치(Ion Implanter)는 현재 반도체 제조 공정, 표면 개질 등에 생산 및 연구용으로 널리 사용되고 있다. 한편 생산용 장비의 경우 장치의 높은 신뢰성, 조종의 단순화 및 자동화가 요구되고 있다.

본 논문에서 사용된 이온주입장치의 전체 구성은 이온을 만드는 이온원(Ion Source), 이온 인출계, 그리고 표적계로

구성되어 있으며 이온의 전류량, 빔 에너지 등의 빔 파라미터들을 조종해서 재료에 주입하는 이온의 양, 침투깊이 등을 제어할 수 있다[4]. 그러나 빔의 생성 및 인출에 필요한 대부분의 전원 장치들이 고전압 터미널(수 십 keV~수 백 keV) 내부에 위치하고 있으므로 이온빔 운전 상태에서는 초기에 설정한 빔 파라미터들을 바꿀 수가 없다. 따라서 정밀한 연속 조정을 하거나, 가동하면서 파라미터를 바꾸어야 할 경우 고전압 전극에 운전자가 직접 접근할 수 없으므로 별도의 원격 조종 시스템이 필요하다. 특히 산업용 이온주입기의 경우 조종의 편의성이나 인명의 보호 관점에서 이러한 시스템은 매우 중요한 의미를 갖는다.

따라서 본 논문에서는 PC를 기반으로 하여 50keV 이온주입장치를 원격 제어 조절할 수 있는 시스템을 구축하고자 한다. 이 시스템은 실험용, 상용 이온주입장치를 운전함에 있어서 기존의 운전 방식에 비하여 정밀한 연속 조종을 할 수 있게 할 뿐만 아니라 고전압으로부터의 안전을 확보하며, 상용 장치에서 컴퓨터 제어에 의한 공정 자동화의 데모가 될 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제어대상인 이온주입장치에 대한 설명과 전체 시스템 및 하드웨어 구성을 다룬다. 그리고 운용 소프트웨어를 구현하고, 그 실행과정을 보인다. 3장에서는 시스템의 구동 결과를 논하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

#### II. 시스템 구성

##### 1. 제어대상

본 실험에서는 한국원자력연구소의 DuoPIGatron 이온원[5,6]이 부착된 이온주입장치를 이용하였다. 제어대상인 이온주입장치는 원자 또는 분자를 이온화한 후 수십~수백 keV의 에너지로 가속, 소재에 주입하여 재료 표면의 조성,

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 8. 11., 채택확정 : 2003. 11. 5.

이재형, 양대정 : 한국원자력연구소 양성자기반공학기술개발사업단 (jhlee3@kaeri.re.kr/ex-djyang@kaeri.re.kr)

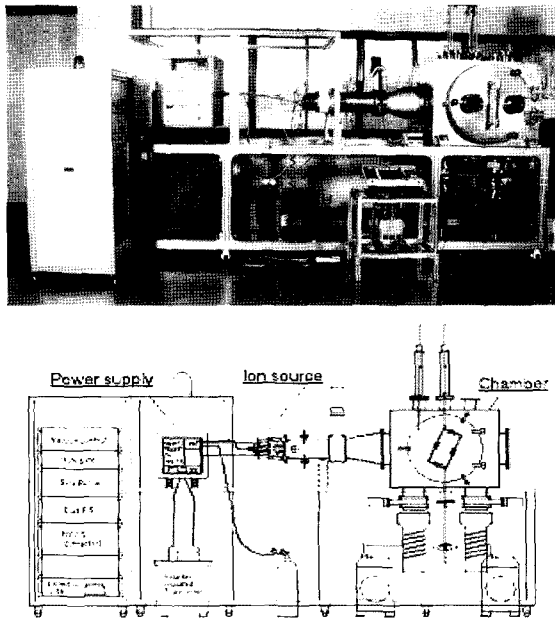


그림 1. 이온주입장치의 개략도.  
Fig. 1. Layout of Ion Implanter.

결합상태, 결정 구조 등을 변화시킴으로써 화학적, 기계적, 전기적, 광학적 물성을 변화시키는 표면개질 장치이다. 이러한 기술은 60년대 후반에 Shockley에 의해 최초로 반도체의 불순물 도핑방법으로 반도체 생산에 주로 사용되어지다가, 70년대 이후 영국의 harwall연구소에서 시작으로 비반도체 분야에서도 응용이 전개된 이래 지금까지 금속이온을 포함한 각종이온을 이용하여 금속, 세라믹, 폴리머 등의 소재로 경도, 조도, 내마모, 내부식, 내피로성을 향상시키는 표면개질 공정에 응용되기 시작하였다. 또한 이온주입기술은 가속된 고에너지의 이온을 물리적으로 고체표면에 주입시키는 비평형 반응에 기초하므로 종래의 상평형 원리에 기초를 둔 화학적 방법이나 합금학적으로 얻을 수 없었던 즉 화학적 용해율에 지배받지 않는 조성 및 구조를 갖는 새로운 물질을 생성하게 된다. 이온빔을 이용한 장비가 고가라는 경제성 문제와 대량생산이 용이하지 않다는 기술적인 문제가 있으나 이제는 산업적인 적용을 바라보고 있는 실정이다. 최근 연구동향은 고에너지와 대전류를 이용하여 기능성 소재의 개발에 주목하고 있다. 이러한 추세와 더불어 고에너지와 대전류를 위한 전원부와 장비 제어 부분의 자동화는 필수 연구부분이다. 이온주입장치의 개략도는 그림 1과 같다.

2. 전체시스템 및 하드웨어 구성도

물리적인 현상을 계측하여 계측 데이터를 수집하고 분석하기 위하여 일반적으로 전용 계측기를 구입하여 처리하여 왔으나 최근에는 PC를 기본으로 하는 가상 계측기(Virtual Instrument)의 활용이 급속히 증가하고 있다. Virtual Instrument의 장점은 PC를 기반으로 하기 때문에 펜티엄 프로세서, 윈도우 NT, 인터넷 정보 통신망 등과 같은 PC의 새로운 기술을 즉시 이용할 수 있다는 것이다. 또한 PC의 성능이 가격에 비하여 빠르게 향상됨에 따라 Virtual

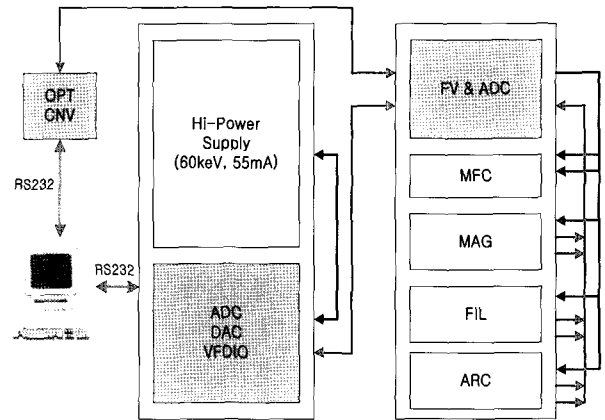


그림 2. 전체 시스템 구성도.  
Fig. 2. System Block Diagram.

Instrument는 유연성이 부족한 고가의 계측기 사용자들에게 더욱 경제적인 해결책이 되고 있다. 산업계의 급속한 성장은 부품이나 제품의 성능을 측정/검사하는 고도의 정밀도를 요구하며, 피 측정량의 복잡화, 정보량의 확대, 측정시간의 단축 요구 등에 의해 종래에 사람 손에 의한 측정으로부터 자동 계측 시스템으로 전환되어 가는 현상은 필연적이라 할 수 있다. 이는 외부에서 검사기능의 제어가 가능한 프로그램형 계측기를 자유로이 접속하여 전체를 하나의 자동측정 시스템으로서 유기적으로 운영해야 하며, 특히 이들 제어 방법이 시스템마다 다르다면 자동계측 시스템을 구성하기 곤란하게 된다. 따라서 이를 계측기의 PC에 의한 접속 제어기법으로 운영하는 것이 그 설계를 요하는 노력과 경비를 경감하는데 도움이 되는 것은 당연하다.

전체 시스템 운영 개념도는 그림 2와 같다. 이온원에서 플라즈마를 발생시키기 위해서는 열전자를 공급하는 필라멘트(Filament) 전원과 기체를 플라즈마로 만드는데 필요한 아크(Arc) 전원 및 전자석(Magnet) 전원이 필요하며 이들 전원 장치들의 전압, 전류값을 조절하고 감시하기 위해서는 50keV이상의 절연을 유지하면서 장치 조절단과 이온원 사이의 신호 전송이 필요하다.

본 시스템에서는 PC와 각 장치 제어단과의 접속 장치(Interface)를 RS232 전송방법으로 이용하였고 각 제어단 간의 접속 장치는 광섬유(Optical fiber)를 이용하였다. RS232는 일반적으로 직렬 전송장치로서 통신용으로는 PC의 모뎀에서 볼 수 있고, 연결장치로는 마우스, 프린터 등을 들 수 있다. PC에 연결된 개개의 장치는 각각 RS232 접속장치를 필요로 한다. 많은 소프트웨어 상품들은 직렬 통신 방법을 이용하는데 이는 PC에 적은 변화만을 주고 비교적 간단한 케이블을 사용한다는 이점 때문이다. 그리고 각 제어단 간의 광통신은 광섬유의 절연 특성이 10kV/cm 이므로 시스템의 특성 시험 결과 이온주입장치를 운전할 때 발생하는 강력한 Noise의 영향을 받지 않고 안정된 동작을 하기 때문이다.

이 시스템은 50keV로 운용되고 있는 장치로서, 작업 환경의 위험성에 지배되지 않고 원격으로 보다 쉽고 정밀하게 고전압을 실험하고 제어할 수 있도록 하기 위해 고안되었다. 그림 3에서는 내부 하드웨어구조를 나타내었다. 신호

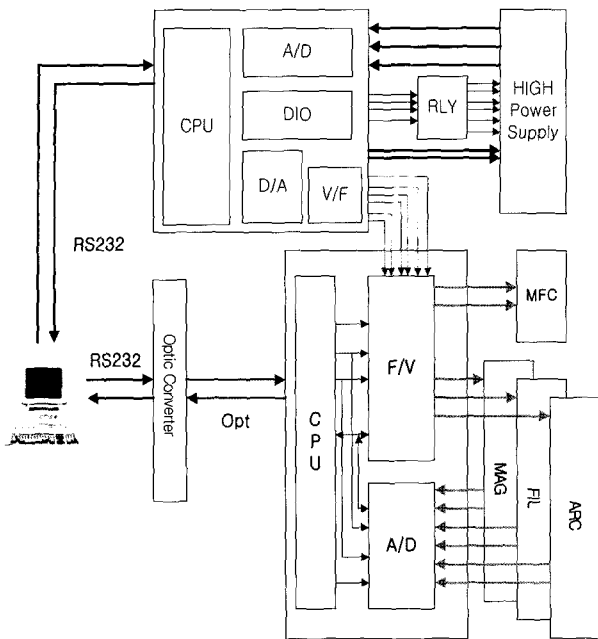


그림 3. 시스템 내부 블록도.  
Fig. 3. Internal block diagram of System.

처리 모듈 (ADC/DAC/디지털입출력(DIO)/ VFC/FVC)과 통신 모듈로 구성하였고, 세부설계 제작내용은 다음과 같다.

- Control Device 하드웨어 장치 및 소프트웨어
  - CPU 모듈(PIC16LC74:Microchip)
  - ADC(ADS7805D) 16bit
  - DAC(AC7839) 13bit
  - 디지털 I/O 8bit
  - VFC(Voltage to Frequency Converter) 8 CH
  - FVC(Frequency to Voltage Converter) 8 CH
  - RS232 통신모듈 (MAX232C)
- PC용 하드웨어 장치 및 소프트웨어
  - RS232 통신모듈
  - 운영 체제
  - WIN2000, 256MB RAM

시스템의 제어 장비는 PC(Personal Computer), OPT CNV (Optical Converter), Control Device 2개이다. Analog Input/Output control voltage는 0~+5V를 사용하였다. Signal Accuracy는 100 $\mu$ V, Voltage Resolution 30 $\mu$ V, Frequency Band 10Hz, Linearity Error 0.001%, Signal Voltage Protection 10kV, Running Temperature 20° 조건으로 제작되었다. 그림 4는 광섬유를 이용한 PC와 각 전원부와의 통신에 필요한 VFC(Voltage to Frequency Converter)와 FVC(Frequency to Voltage Converter)의 신호 전달 경로를 나타낸 개략도이다. 시스템의 시험 결과 이온주입장치를 운전할 때 자주 발생하는 강력한 잡음의 영향을 받지 않고 동작함을 관찰하였다. 고전압부와의 절연 문제는 광섬유의 절연 특성을 고려할 때 충분한 안정성을 확보하였다고 할 수 있다. 그림 5는 시스템간의 Transceiver 와 Receiver 간의 접속 개략도이다. 각 전원부로부터의 신호 입/출력은 BNC를 이용하였고 이들간의 신호는 광섬유를 이용하였다.

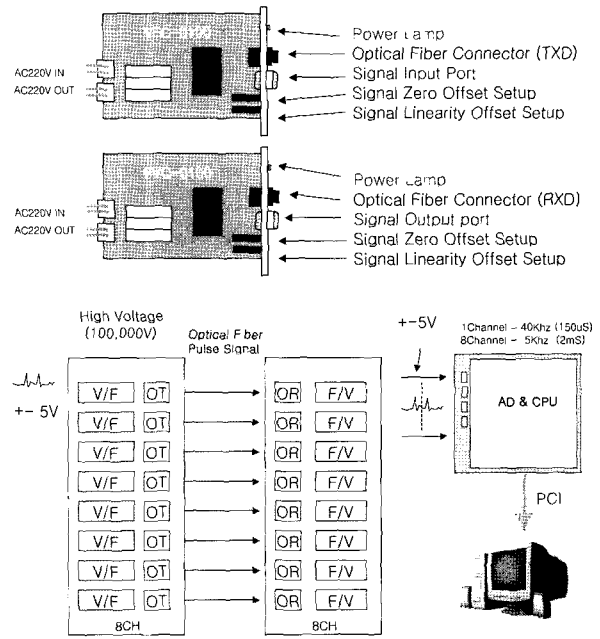


그림 4. 광섬유를 이용한 전압과 펄스 신호의 전달.  
Fig. 4. Transmission of voltage and frequency by optical fiber.

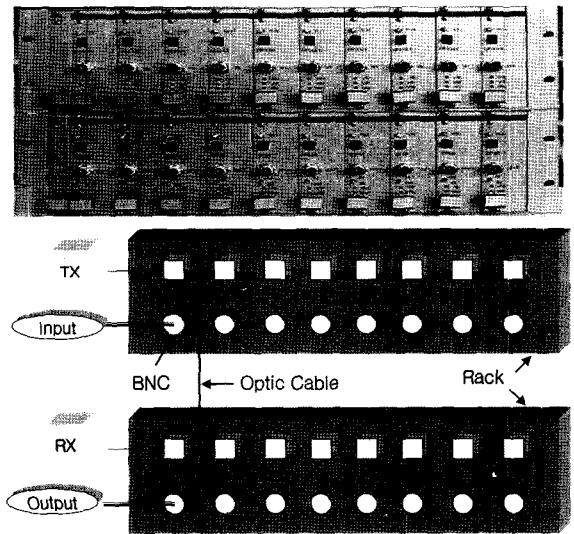


그림 5. 시스템 접속 개략도.  
Fig. 5. System connection diagram.

3. 소프트웨어 구현

설계된 하드웨어모듈은 전기시험을 마치고 문제점발생시 수정 보완하여 완성했으며, 소프트웨어와 정합성 시험도 하였다. 전체 시스템 종합시험을 완료한 후 PC의 화면상에 실시간으로 구동 상태를 나타내는 Main 화면이 그림 6이다. PC에서 이루어지는 모니터링 소프트웨어는 윈도우 2000환경 하에서 동작하도록 Visual Basic언어를 사용하여 관리 프로그램을 설계하였다.

그림 7은 시스템 구동 알고리즘이다. 우선 Main 전원이 ON 되면 플라즈마 발생부에서 플라즈마를 발생시키고 인

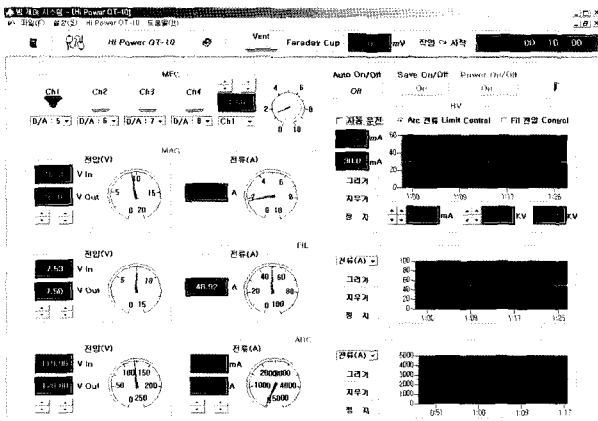


그림 6. 소프트웨어 프로그램 실행 화면.  
Fig. 6. Main Frame.

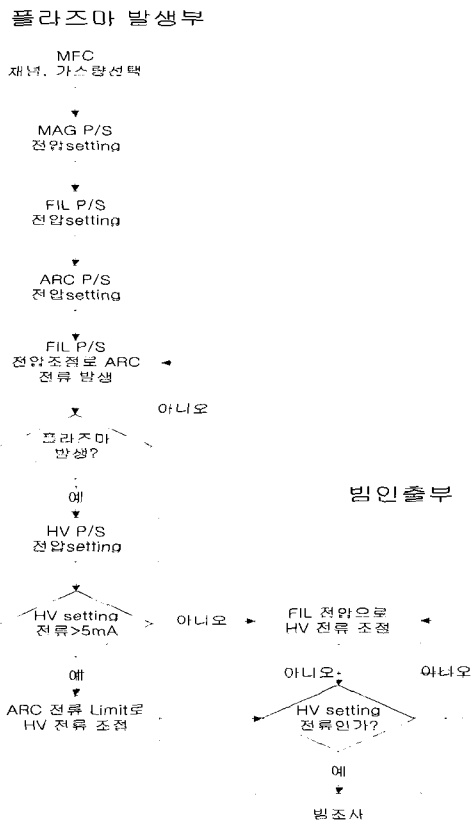


그림 7. 구동 알고리즘.  
Fig. 7. Flow Chart.

출단으로 넘어가 원하는 에너지와 전류를 setting하면 Chamber의 Target에 빔조사를 하게 된다. 플라즈마 발생부에서는 MFC에서 진공도를  $3 \sim 5 \times 10^{-5}$  Torr로 유지하는 조건으로 가스를 주입하고 Magnet, Filament, Arc Power Supply의 값을 setting하여 플라즈마를 발생시킨다. 모든 전원부는 전압으로 제어하기 때문에 Read/Write 전압창이 필요하고, 전류는 Read만 하기 때문에 read창만이 필요하다. 인출 빔 전류 제어는 FIL 전압과 ARC Current Limit에서 이루어진다. 산업 현장으로의 실용성과 적응성을 위해 이러한 모든

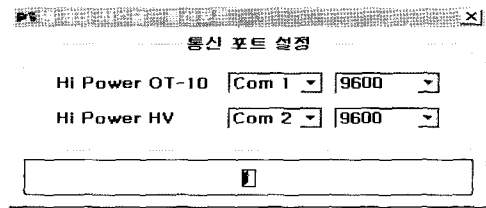


그림 8. 통신포트설정화면.  
Fig. 8. Decision of Communication port.

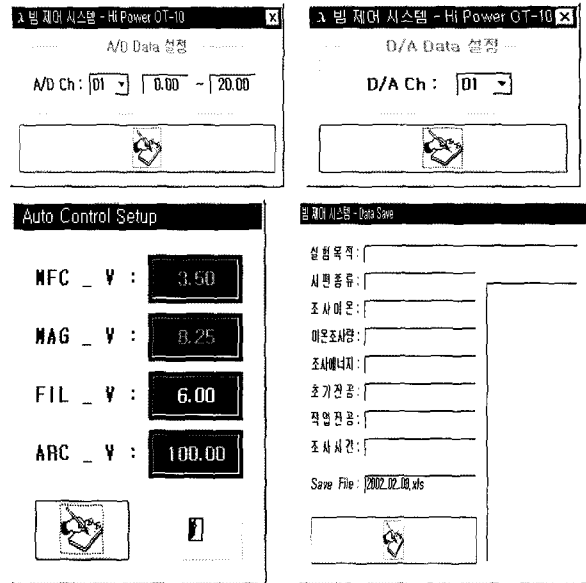


그림 9. AD/DA 채널설정창(상) 자동설정창과 저장화면(하)  
Fig. 9. AD/DA Channel Setting Frames(Up) Auto Value Setting and Save Frames(Down)

작업은 두 개의 Auto 단추에 의해 이루어 지도록 하였다. 플라즈마 발생은 'Auto On/Off' 단추로, 그리고 빔 인출은 '자동운전선택' 단추에 의해 Full 동작이 이루어진다. 이 실행 프로그램에서 주요 설정 과정들은 다음과 같다.

- 통신포트 설정
- AD/DA 채널 설정
- Auto On/Off : 플라즈마 발생부
- Save On/Off
- 자동운전 선택 : 고전압 빔 인출단
- 자동운전시간설정
- 미세 제어를 위한 보정값 설정

우선 RS232 전송에 의한 MAG, FIL, ARC 전원부 제어 통신 포트와 High Voltage 전원부 제어통신 포트를 설정하고 통신 속도(9600/14400/19200/28800bps)를 결정해야 한다.

이 과정이 결정되면 그림 4의 Main 화면으로 들어가 Power On을 하고 앞장에서 수행된 하드웨어와의 정합성을 위한 채널 설정을 한다. ADC는 16채널로 읽기/쓰기 기능을 모두 하므로 Low/High 값을 설정해야 하며 DAC는 16채널로서 읽기만 하기 때문에 채널 설정만 하면 된다. 플라즈마 발생을 위해 MFC의 가스량 결정 및 MAG, FIL, ARC전원의 전압 초기값 설정이 그림 9의 Auto On/Off 화면에서 이루어

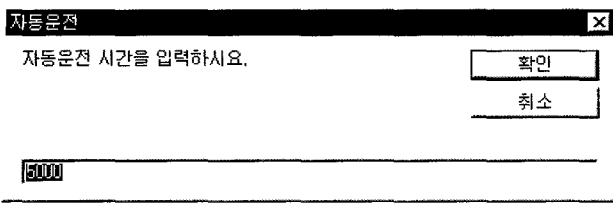


그림 10. 자동운전시간설정 화면.  
Fig. 10. Auto time setting frame.

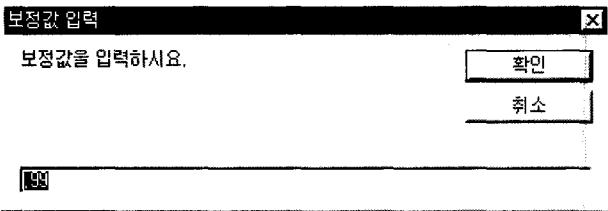


그림 11. 보정값 설정 화면.  
Fig. 11. Frame of compensation value.

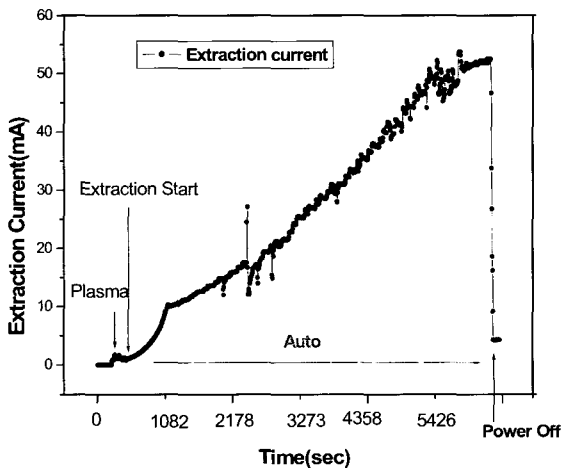


그림 12. 50mA의 과도상태 응답.  
Fig. 12. Transient State of 50mA.

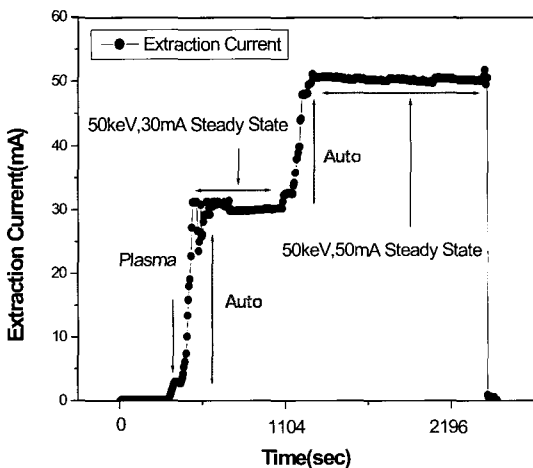


그림 13. 30mA와 50mA의 정상상태 응답특성.  
Fig. 13. Steady State of 30mA and 50mA.

어진다. 'Save On/Off' 단추에 의해 실험 데이터를 저장할 수 있고, 이 데이터들은 Excel 파일로 저장된다. 빔 전류 제어의 필수 항목인 FIL, ARC 전원의 전류/전압과 HV(High Voltage) 전원의 전류를 확인하기 쉽게 그림 4와 같이 그래프로 나타내었다.

위의 과정들이 끝나면 플라즈마가 생성되고 사용자가 원하는 에너지와 전류로 빔을 인출할 수 있다. 이 작업은 '자동 운전 단추'를 선택하면 되는데, 경험적인 공정 실험에 의해 5mA를 기준으로 하여 두 가지(FIL전압, ARC Current Limit)의 제어 조건 선택에 의해 빔을 인출하게 된다. FIL 전압은 5mA이하의 전류일 경우, 그 이상의 빔 전류(5mA~50mA)에서는 ARC 전류 한계에 의해 인출 빔전류를 제어한다. 그림10에서와 같이 자동운전시간 역시 사용자의 설정에 의해 진행된다.

운용 소프트웨어 내에서 원하는 목표 전류값까지의 운전 시간 설정이 빔 전류 안정성에 무엇보다 중요한 요소이다. 그 이유는 빔 전류가 과도 상태에서는 Smooth하고 정상상태에서는 원하는 시간 내에 오버슈트 없이 목표응답에 도달하기 위해서이다. 본 연구에서는 수학적 모델링 방법보다는 경험적인 방법에 의해 정착시간과 오버슈트의 시간영역 응답 사양을 만족하는 조건을 찾았다. 아직 이온원의 빔 전류 시스템에 대한 정확한 수학적 정립이 어려워 가시적인 모델링을 하는데 어려움이 많다. 파워서플라이가 일반 다른 시스템과 마찬가지로 비선형 시스템이다 보니 비선형을 선형화가 하는 작업이 필요한데, 이 시스템에서는 프로그램 상에서 미세 보정값을 넣어 선형화 작업을 하였다. 그래서 그림 11과 같이 AD/DA 모든 채널에 보정값을 입력하여 화면 표시 및 제어에 이용할 수 있도록 하였다.

III. 결과 및 토의

하드웨어와 소프트웨어가 모두 완성된 상태에서 이온주입장치 공정 실험을 하였다. 그림 12는 50keV, 50mA의 빔 에너지와 전류를 얻기 위해 실험한 과도응답 특성을 나타낸 그림이다. 실험 중간에 서지가 있어 빔전류가 약간 흔들린 경우는 있지만 거의 선형적으로 정상상태에 도달하고 있다. 이 실험은 초반에 안정성을 고려하여 FIL 전압으로 긴 시간(5000초 이상)을 두고 실험한 결과이지만 사실상 이렇게 긴 시간을 Conditioning 하기는 곤란하다.

그래서 이번에는 실제 공정실험을 염두에 두고 그림 13과 같이 50keV, 30mA와 50keV, 50mA의 정상상태 실험을 하였다. Conditioning 시간이 5분이내이기 때문에 약간의 오버슈트를 생각 안 할 수 없지만 짧은 시간안에 목표값에 도달하고 있다. 정상상태에서의 빔 전류의 interval은 ±2mA 이내로 나타나고 이러한 원격 제어가 Local 제어보다 목표값 도달이 용이하고 정확성과 안정성 면에서 뛰어난을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 연구에서는 50keV 이온주입장치를 PC로 제어하고 예측할 수 있는 시스템을 구축하였다. 이 시스템은 입력 신호 변환, 출력과정으로 구성되며, Visual Basic을 이용하여

Window 2000환경에서 구동할 수 있도록 하였다. 유해하거나 위험한 작업장의 환경에 지배받지 않고 실험 환경을 조성할 수 있으므로 앞으로 산업적으로 이용될 경우 산업현장에서 효율적으로 이용할 수 있는 실용적 시스템이다. 본 시스템의 개발로 전기적 지식이 없는 운전자들이 감전되는 사고를 예방할 수 있을 뿐만 아니라 정밀하고 효율적인 이온주입 처리가 가능하게 되었다. 그리고 PC를 기반으로 동작되는 시스템이므로 PC의 성능이 가격에 비하여 빠르게 향상됨에 따라 고가의 계측기 사용자들에게 더욱 경제적인 해결책이 될 것이다.

지금은 빔 에너지와 전류의 안정성 제어에 경험적 바탕을 두고 있지만 향후 빔 진단의 정밀성을 바탕으로 제어대상(이온주입장치)에 대한 수학적 모델이 세워진다면 좀 더 신뢰성 있는 제어 시스템이 구축될 것으로 생각된다. 이와 더불어 무인 시스템에 좀 더 다가설 수 있도록 안정성과 정확성이 보충되어야 하며, 모든 제어 알고리즘이 자동화될 수 있도록 연구되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

[1] B. Michel, S. Peter, and T. Jean-Yves, "Smart interface-to-device architecture for HMI", *Systems, Man, and*

*Cybernetics 1999*, IEEE SMC '99 Conference Proceedings. vol 6, pp.1063-1068, 1999.

- [2] M. Endo, S. Koide, S. Misono, and S. Suzuki, "Development of human-machine interface composed of virtual reality and interface agent on process plant operation", *Systems, Man, and Cybernetics 1999*, IEEE SMC '99 Conference Proceedings. vol 5, pp. 636-641, 1999.
- [3] S. S. Choi, J. K. Park, J. H. Hong, H. G. Kim, and S. He. Chang, K. S. Kang, "Development strategies of an intelligent human-machine interface for next generation nuclear power plants", *Nuclear Science*, IEEE Transactions on vol. 43, 44, pp. 2096-2114, June 1996.
- [4] 최병호 외 8인, "산업용 Ion Implanter 및 응용 기술 개발", KAERI/RR-1049/91, 1991.
- [5] KAERI/RR-748/88 "대전류 Ion Implanter 개발", 한국에너지연구소 1988.
- [6] KAERI/RR-1049/91, "산업용 Ion Implanter 및 응용기술 개발", 한국원자력연구소 1991.



이 재 형

1948년 8월 19일. 1986년 충북대 전기공학과 석사 졸업. 동대학원 박사(1995). 현재 한국원자력연구소 양성자기반공학기술개발 사업단 근무.



양 대 정

1976년 6월 15일. 1999년 충북대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사졸업(2001). 2001년~현재 한국원자력연구소 양성자기반공학기술개발 사업단 근무. 관심분야는 생산시스템의 자동화.