

백색광 및 X선 미세탐침 빔라인용 실시간 제어시스템 개발

Development of Real-time Control System for White Beamline and Microprobe Beamline

윤종철, 이진원*, 윤화식*, 고인수*

* 포항가속기연구소(Tel:0562-279-1410;Fax:0562-279-1699;E-mail:jc0927@postech.ac.kr)

Abstracts The White Beamline of the Pohang Accelerator Laboratory(PAL) consists of main and second slits, a microprobe system, two ion chambers, a video-microscope, and a Si(Li) detector. These machine components must be controlled remotely through computer system to make user experiments precise and speedy. A real-time computer control system was developed to control and monitor these machine components. A VMEbus computer with OS-9 real-time operating system was used for low-level data acquisition and control. VME I/O modules were used for step motor control and scaler control. The software has modular structure for maximum performance and easy maintenance. We developed database, I/O driver, and control software. We used PC/Window95 for data logging and operator interface. Visual C++ was used graphical user interface programming. RS232C was used for communication between VME and PC.

Keyword White Beamline and Microprobe Beamline, microprobe system, data acquisition and control, real-time control system, graphic user interface

1. 서론

방사광 가속기란 높은 에너지의 전자를 저장링이라는 원형 가속기의 주위를 광속에 가까운 속도로 돌게 하면서 원궤도의 접선방향으로 고밀도, 고강도의 빛을 방출시키는 장치이다. 이때 방출되는 빛을 방사광이라 한다. 방사광을 이용하기 위해서 저장링에 빔라인이 설치되어 있다. 일반적인 빔라인은 프론트엔드, 방사광관 본체, 그리고 실험장치로 구성되어 있다. 프론트엔드는 방사광관과 가속기 저장링을 연결하는 장치로서, 저장링에서 방출되는 방사광을 연결되어 있는 각개의 방사광관에 분배하여 주고, 또한 가속기의 유해 방사선으로부터 실험자를, 그리고 방사광관의 진공 사고로부터 저장링을 보호해 주는 양방향성 보호장치이다. 방사광관 본체는 가속기에서 방출된 방사광을 프론트엔드를 통해 받아서 거울, 회절격자, 결정, 슬릿, 창 등의 광학소자를 이용하여 집속, 분광, 여과하는 등 방사광이 가진 특성을 변조하여, 실험장치와 효율적으로 어울리도록 가공하는 장치이다. 실험장치는 방사광을 이용하여 궁극적으로 목적하는 실험을 수행하는 장치로서 가공된 방사광과 실험하고자 하는 시료를 제외한 시료 조작용 조작기 및 집게, 별도의 광원, 실험결과를 측정하기 위한 검출장치 및 부수기기로 구성된다.

X선을 시료에 집적하고, 이때 시료에서 나오는 X선(형광X선)을 분석하면 시료에 포함되어 있는 원소의 종류 및 그 양을 알 수 있다. 더욱이 시료를 X,Y 방향으로 움직이면서 형광 X선의 에너지를 측정하면 그 시료의 성분원소 분포도를 파악할 수 있다. 방사광원에서 얻을 수 있는 X선은 기존의 X선 발생장치보다 강도가 최소한 1000배 이상이고, 집적하기가 유리할 뿐만 아니라, 기존의 장치에서 얻을 수 없는 에너지의 X선도 포함하고 있기 때문에 방사광을 이용하면 형광분석의 감도(sensitivity)가 femtogram(1×10^{-15} gram)에 이를 수 있고 기존의 장치로는 알아 볼 수 없는 원소까지도 식별할 수 있게 된다. 더구나 포항방사광 가속기는 제 3세대형의 최신행 방사광원이다. 그 특징 가운데 중요한 것 하나가 에미턴스(emittance)가 작다는 것인데, 이는 전자빔이 잘 집속이 된 채로 궤도를 돌기 때문에 방사광의 Source Size가 작아서 방사광을 아주 작게($\sim 1X10^{-6}$ m) 집적하기에 유리하다. 따라서 극미소량의 원소의 분

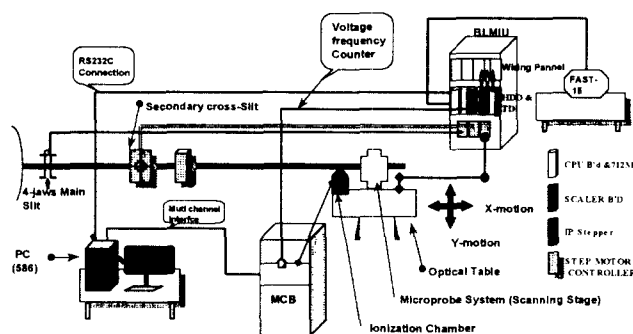


그림 1. 제어시스템 구조도
Fig. 1. Structure of Control System

석이 요구되는 환경, 생명과학, 화학, 재료공학 등에 이용될 수 있는 빔라인이 형광미세탐침(fluorescence microprobe) 빔라인이다. 프론트엔드에서 저장링의 12개의 superperiod중 첫번째의 것에서 나오는 42mrad의 방사광이 14mrad과 5mrad으로 나누어져 진단빔라인과 백색광 빔라인에 각각 사용된다. 백색광 빔라인에는 사용하고자 하는 파장(에너지)만 선택하는 분광기가 없어 넓은 파장영역에 걸친 방사광이 허치까지 전달되기 때문에 백색광 빔라인 이라고 한다. 본 논문에서는 형광미세탐침 빔라인을 이용하여 실험하는 방사광 이용자를 보호하고, 또한 방사광을 이용한 시료에서 측정된 각종 자료들을 보다 신속하고 정확하게 분석할 수 있게 하기 위한 모든 실험장치를 원격조정이 가능하도록 하는 실시간 제어 시스템 개발 연구에 대해 소개한다. 이 시스템 개발을 위해 현장 방사광 장치의 설비 및 수작업 분석, 개념설계, 요소 시스템 개발, 미세탐침 장치의 구동원리 연구 및 제어시스템 개발, 포항가속기 전체 제어시스템과 연결구성을 위한 네트워크설치 환경 구성, 개발제어 시스템

환경구축, 통합시스템 구성 및 실험실 테스트 과정을 통한 현장 적용 실시간 시스템을 개발하였다(그림 1). 또한 사용자들이 보다 쉽고 편하게 실험장치를 제어하고 필요한 데이터를 수집, 분석하기 위한 MMI(Man-Machine Interface)용 GUI(Graphical User Interface) S/W를 개발하였다.

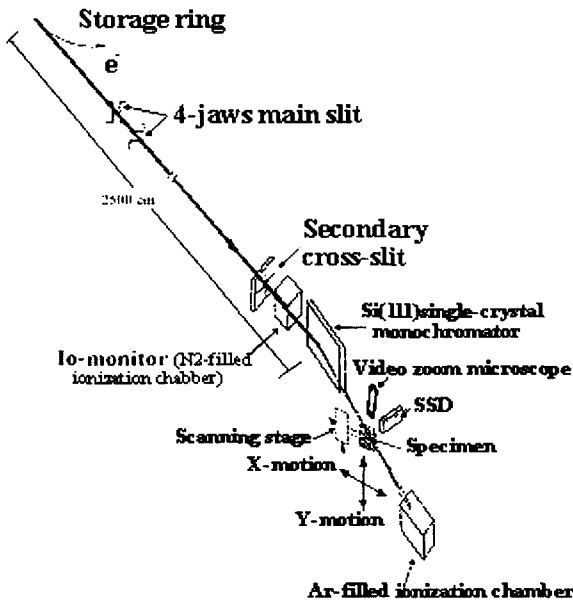


그림 2. 백색광 및 X-선 미세탐침 빔라인 설치도
Fig. 2. Layout of microprobe Beamline

2. 백색광 빔라인용 제어 시스템

2.1 백색광 빔라인의 하드웨어 구성

백색광 빔라인의 구성에서 방사광의 프런트엔드는 수평방향으로 5 mrad를 통과 시켜주게 되어 있다. 그리고 이것을 3 mrad로 줄이기 위한 Slit이 있는데, 프런트 엔드 쪽 가까이에는 Main 슬릿(slit)과 Hutch 쪽에 있는 Second 슬릿(slit)으로 구성되어 있다. 각각은 수평, 수직으로 조정이 가능해야 하며, 또한 각각의 최대, 최소치의 슬릿이 닿지않는 거리 제한조절기능(limit switch)이 있어 무한정 구동에 의한 기계의 손상됨을 방지하고 그 이동거리를 encoding 할 수 있어 방사광의 돌발적인 사고 발생시 슬릿을 닫아 사용자를 보호할 수 있어야 한다. 미세탐침장치는 두개의 거울로 방사광의 source size를 마이너스(minus) 수평 방향의 1σ가 185 μm 이고 수직 방향으로 1σ가 58 μm 마이너스(minus) 거울의 배율(M)만큼 줄여 시료에 쏘일 때 나오는 형광 X선은 Si(Li)검출기(detector)로 검출한다. 물론 저장링 안을 도는 전자의 전류가 시간이 흐를수록 잔류가스의 산란에 의해 감소하는데, 이때 광자의 다발(flux)이 줄기 때문에 거울의 앞과 시료의 다음에 이온 챔버를 놓아 전류 증폭기(current amplifier)로 광자 다발을 제어 틀맞춤(normalization)를 해준다. 이때 시료는 X선에 45°가 되도록 놓고 검출기는 Compton산란에 의한 영향을 줄이기 위해 수평방향으로 X선에 수직으로 놓아 위에서 내려보면 거울, 시료, 검출기가 L자를 이룬다. 시료에 있는 원소들의 분포를 알기 위해서는 형광X선을 검출하면서 시료를 훑어야 하는데, 시료 훑기(scanning)에는 분해능(resolution) 0.1 μm인 선형 운동대(linear translation stage)를 이용하여 가로 세로 훑기를 한다. 위의 모든 부품들은 가로, 세로, 두께가 각각 120, 75, 10cm인 optical breadboard에 고정되는데 다시 이 breadboard는 자유도가 6°인 support 위에 놓여서 원하는 방향으로 정렬(align)되어진다[7].

2.2 제어 시스템 구성

미세탐침 빔라인 제어 시스템은 해당 디바이스(device)를 실시간 제어 하기 위한 소프트웨어 수행용 제어기 부분과 주변 장치 및 센서들을 제어하고, 발생하는 데이터를 읽어 오는 입출력부로 나누어 진다. 본 제어시스템은 시스템의 확장성이 우수하고 현장 환경에 적응이 쉬운 VMEbus를 채택하였다. 전체시스템을 통합제어하기 위한 68030CPU를 탑재한 메인 보드(board), 방사광을 조절하기 위한 슬릿 및 미세탐침 장치(그림 4)를 자유롭게 정렬 하기 위한, 각각의 특성이 조금씩 다른 17개의 stepping motor 제어용 VME Stepper Module, 이들을 장착하기 위한 Carrier Board 3장, 상위단계의 PC와의 통신을 위한 Transition Module (Serial, SCSI, Ethernet Port, etc)인 712M 1 장, Ion Chamber 의 Current Amplifier의 voltage frequency counter 용 VME Scaler Module 1장, 이들 module을 장착하고 전원을 공급하는 VME 버스 Crate, 그리고 데이터의 관리를 위한 Tape Driver, HDD도 함께 제어기부분의 시스템으로 구성되어 있다. 이 VME 제어 시스템을 통상 BLMIU(Beamline Machine Interface Units)라 칭한다(그림 1, 3). 입출력장치로 미세탐침 장치의 시료 훑기(scanning) stepping motor는 travel range 100mm이며, resolution 0.1 μm, velocity 1 - 1.5 mm/sec 인 UT100[3]를 사용하고, motor driver는 MD4(Motor Driver Model 4)[4]를 사용하고 있다. 슬릿 조절 및 breadboard 정렬을 위한 전동구동장치로 4축 step motor 및 DC motor driver가 있다. 형광X선의 스펙트럼을 Si(Li) 검출기를 통하여 데이터를 받는데, 그것은 MCB(Multi Channel Buffer)장치를 통해서 PC에서 직접 데이터를 수집, 분석하게 되어 있다. VME I/O Carrier Board 내에 VME Stepper Module이 4개까지 장착이 가능하며, VME Stepper Module 하나가 두개의 Step Motor Controller를 제어 할 수 있도록 되어 있으며[5], 그 신호선은 50Pin 형태의 flat cable로 구성되어 있다. 17개의 stepping motor를 driving 하기 위해 flat cable이 7개 필요하며, 각각의 신호선을 연결하기 위한 터미널블럭이 있어야 한다. 350여개의 신호선들을 해당 디바이스별로 고유이름으로 분리할 수 있도록 접속단자는 D-type의 15PIN Connector에 연결하였고, 전면에는 6U VME Crate에 장착이 가능한 Wiring Panel 등으로 입출력장치가 구성되어 있다.



그림 3. 제어시스템
Fig. 3. Control System

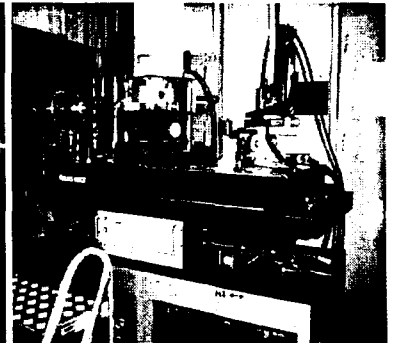


그림 4. 미세탐침 장치
Fig. 4. Microprobe setup

3. 제어 시스템 S/W

3.1 PAL 저장링 제어 시스템의 구조

PAL 저장링 제어 시스템은 전형적인 대규모 제어 시스템으로서 전자석 전원공급 시스템제어, 진공제어, 빔위치 제어 등이 넓은 범위에 분산되어 실행된다. 작업 범주에 따라 이 제어 시스템은 Computing MMI(Man Machine Interface)계층, Subsystem control 계층, Machine interface 계층으로 나누어져 있다(그림 5). 이들 계층을 연결하는 네트워크는 Ethernet 과 MIL-STD-1553B의 이중구조로 되어 있다. 최상위의 Computing MMI 계층에서는 SUN-sparcstation 및 X-terminal 등으로 구성되고 machine

parameter 및 device signal 을 위한 포괄적인 데이터 베이스를 가지고 있으며, UNIX 운영체제 하에서 각종 응용 S/W 및 MMI program 등이 수행된다. Subsystem control 계층은 VMEbus를 기초로 한 4대의 SCC(Subsystem Control Computer)로 구성되어 MIL-STD-1553B network 으로 연결된 MIU(Machine Interface Unit)의 Front End 역할을 한다. Machine interface 계층의 MIU는 실제 디바이스와 interface 하여 7000여 개의 signal 을 제어 모니터 하는 기능을 하며, OS-9를 운영체제로 하고 있다. SCC는 자신의 local 데이터베이스를 가지고 각 MIU로부터 수집된 정보를 처리하여 상위 계층이 요구하는 형태로 전달하고 또한 상위 계층의 명령을 자신이 관리하여 MIU로 보내는 기능을 한다. 본 논문이 기술하고 있는 백색광 빔라인 제어시스템은 MIU 계층으로 단일 Local 시스템으로 구성되어 있다. 향후 전체 시스템의 상위 단계인 SCC 계층과 연결되어 중앙제어가 가능하도록 할 것이다.

MMI LAYER

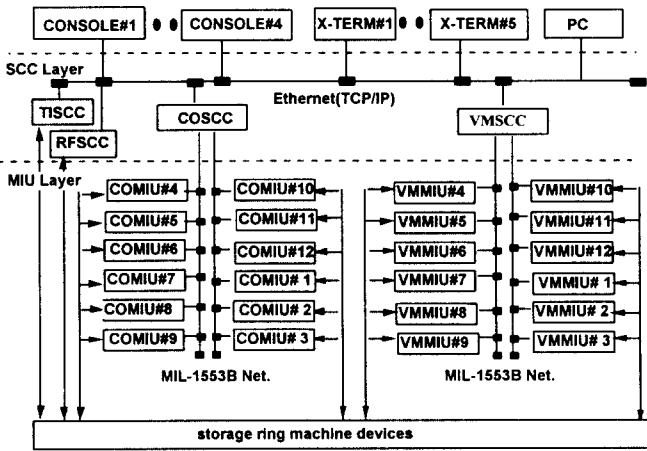


그림 5. PLS 저장량 제어 시스템의 계층별 구성도
Fig.5. Configuration of Layer for PLS SR Control System

3.2 백색광 빔라인 MIU S/W 의 구성

제어시스템의 빠른 수행속도를 얻기 위해서는 H/W 및 S/W를 최적화 시키고 동시에 실시간 운영체제를 이용해야 한다. 현재 PAL 제어 시스템의 하위제어는 실시간 운영인 OS-9을 이용하고 있다. OS-9은 독자적인 개발환경을 가져 개발에 따른 H/W 부담을 줄일 수 있고, Kernel 크기가 작으며 운영체제가 모듈화 최적화되어 있다. 실시간 운영체제의 장점인 멀티태스킹 기능을 이용한 제어프로세스들은 각 디바이스에 따라 분리 수행이 가능하므로, algorithm 개발 및 구현이 용이하다. 빔라인 제어시스템인 BLMIU의 운영체제도 OS-9이 사용된다. BLMIU S/W는 개발 시간을 단축하고, 구현 및 개선이 쉽도록 단위 모듈별로 역할을 분할하여 구성하였다(그림 6). BLMIU S/W는 H/W access software(equipment access S/W), application user S/W, 진단모니터 S/W, 상위계층 네트워크 S/W의 4가지로 분류할 수 있다. 그리고 각 S/W의 구성에 의하여 상위계층(PC)으로부터 데이터를 디바이스에 출력시키거나 모니터 식별 주소(Gid)를 입력 받아 데이터를 상위 계층으로 전송한다.

3.2.1 하드웨어 액세스 소프트웨어

H/W access S/W는 각 하드웨어를 제어하는 실제적인 I/O 모듈(Slits, Step Motor, etc)들의 H/W 번지와 해당 시그널명, 타입을 일치 시키기 위해서 사용 된다. 그래서 상위단계 MMI 프로그래머는 각종 H/W 특징, 구성, 번지(address), access 방법등에 대한 지식이 없어도 해당 고유 시그널 이름만 알고 있으면 하드웨어 상태를 제어하거나 데이터를 모니터 할 수 있다. 해당 베이스를 생성시키고 제어 S/W를 기동 시키는 gener_task, 상위 명령을 일시 저장하는 buffer인 명령 큐 CMDBUF, 시그널 이름, 값, 타입 등을 기록하고 있는 동적, 정적 데이터 베이스와 시스템 상

태에 대한 정보를 저장하는 상태 데이터 베이스로 구성된다.

3.2.2 어플리케이션 유저 S/W

실제적으로 하드웨어에서 데이터를 가져오고, 제어명령을 하드웨어로 보내거나 제어 시스템의 상태를 모니터하는 동작을 수행하는 S/W이다. 이 태스크들은 데이터베이스에 의해서 시그널을 참조하여 목적하는 시그널을 제어하거나 모니터 한다. 전적으로 상위의 제어 시그널에 의해서만 기동 되는 태스크를 control-task라 하는데, 이 프로세스는 제어가 필요할 때만 동기되어 interrupt 형태로 동작이 이뤄지므로, 다른 프로세스나 실행 모듈 및 데이터 프로세싱 작업에 부하를 감소 시켜 수행속도를 증가 시켜준다. 그리고 polling 및 emergency 방식으로 모든 시그널을 주기적으로 모니터 하는 rfr-task가 있다. 이 프로세스는 내장된 타이머 기능을 이용하여 주기적으로 시그널의 현재값을 데이터 베이스에 저장시키는 역할을 수행한다.

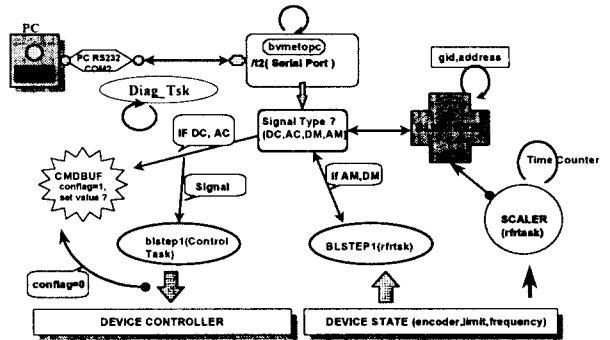


그림 6. 제어시스템(BLMIU) S/W 구조
Fig. 6. Configuration for Control System(BLMIU) S/W

3.2.3 진단 모니터 S/W

이 S/W는 유동적인 S/W로 구성된 MIU 제어기 상에서 제어 되는 시그널들의 상태를 모니터 및 제어 가능하고, application user S/W task의 기동 상태 등을 항상 진단하며, 이상 기동 시 그 상태 정보를 데이터 베이스에 기록하고, 재 기동 하는 역할을 수행한다. 이 S/W를 이용하면 특정 시그널의 값을 알 수 있으므로 그 시그널의 이상유무를 판단할 수 있다.

3.2.4 상위계층 네트워크 S/W

상위단계의 PC와의 통신을 위해서 RS232가 사용된다. 기존 다른 빔라인 및 계속 확장될 빔라인과의 네트워크 구성을 위해서 TCP/IP에 의한 LAN를 검토 했으나, 향후 필드버스(FieldBus)로 대체하기 위한 일환으로 전용 통신 프로토콜을 사용하게 되었다. 두 이기종간의 원활한 통신을 위해서 통신용 프로토콜은 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection) 프로토콜 규약에 따라 개발 하였는데, 현장 환경에 맞춰 일부 Packet의 구성을 간소화 하였다. 개념은 BLMIU가 master이며, Windows95에서 MMI가 구현된 PC는 slave로서 메시지 통신을 위하여 master-slave 방식을 규정하고 있다. 따라서 master는 데이터 버스의 전적인 제어 권한을 가지고 있으며, slave는 master의 제어에 따라서 버스의 사용권을 획득 하도록 되어 있다. 자세한 프로토콜 기법은 지면상 생략한다.

3.3 PCMMI S/W의 구성 및 각 기능

백색광 및 미세탐침 빔라인 제어시스템을 운용함에 있어서 시료의 scan, 검출기를 통한 실험치 분석, 방사광조절, 미세탐침장치의 조절을 포함한 전체 시스템의 원격조정을 사용자가 편리 하고, 효율적인 실험을 할 수 있도록 한 GUI S/W이다. MMI S/W는 한글 Windows95 기반하에서 동작한다. 개발 환경은

Visual C++ 4.0을 사용하였다. 그림 7은 MMI S/W의 주메뉴 구성을 보여 준다.

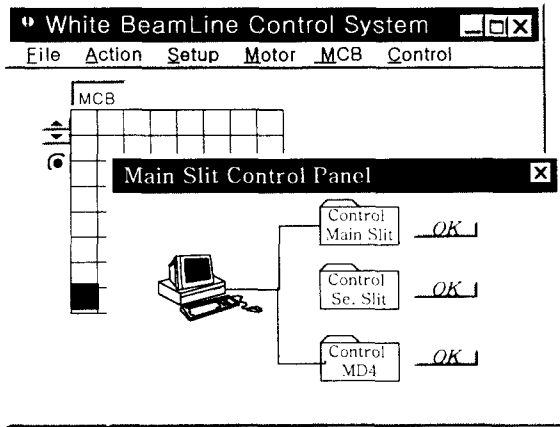


그림 7. MMI S/W의 주 메뉴 구성
Fig. 7. Configuration of main menu for MMI S/W

File 메뉴는 파일의 관리를 담당하고 주로 파일의 open, close, save, print 등의 작업을 수행하며, 실험의 이력 파일도 관리 한다. Setup 메뉴는 상위단계인 PC와 제어시스템인 BLMUI 간의 각종 프로토콜 설정치를 바꿀 수 있는 메뉴이다. Action 메뉴는 어떤 샘플 시료를 정해진 분해능에 의해 원하는 시간만큼 자동으로 측정 할 수 있도록 하는 메뉴이다. Motor 메뉴는 방사광을 조절하는 슬릿 및 미세탐침 장치를 정렬하기 위한 스텝모타의 구동 및 상태등을 나타낸다. MCB 메뉴는 미세탐침 장치의 검출기에 장착된 MCB(Multi Channel Buffer)를 통한 수집된 데이터가 주파수 단위로 그래프를 그려준다. 그림 8은 백색광에 의한 시료의 분석 결과를 보여준다[8].

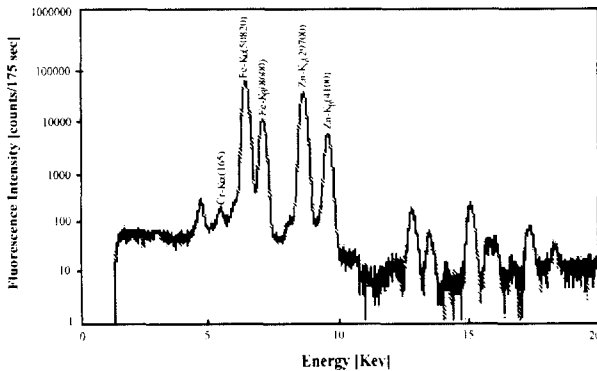


그림 8 백색광으로 얻은 아연도금 강판의 스펙트럼
Fig. 8. Spectrum of tin-coated steel

4. 결론

포항가속기의 백색광 및 형광 X선 미세탐침의 원리와 구성 그리고 운용에 있어서 실시간 운영 체제를 이용하여 개발한 제어시스템에 대하여 본 논문에서 서술하였다. 향후 새로운 빔라인이 계속 증설될 예정이며 이에 준하는 실험장치에 대한 원격 제어 시스템이 필요할 것이다. 방사광을 이용하는 목적은 조금 다를 수 있지만 빔라인의 구성장치와 실험 계측장치는 거의 유사한 장비로 구성 되어지므로 이미 개발된 제어시스템의 제어 프로그램과 통신프로그램을 쉽게 적용·응용 할 수 있도록 API (Application Program Interface)형태의 함수로 개발하였다. 그리고 상위 계층의 MMI 개발환경이 달라져도 하위계층의 제어 소프트웨어는 변화지 않아도 통신제어가 가능하도록 호환성 있는

통신 프로그램으로 개발되어 있다. 기존의 개발 완료된 제어시스템은 전체 PAL 저장형 제어시스템과의 네트워크 접속이 과제로 남아 있는데 기본적인 제어 S/W의 원리가 동일하기에 LAN 접속 시 어렵지 않게 접속이 가능할 것이다. 미세탐침장치에서 시료의 정밀 촬영을 위한 video microscope 장치 및 MCB 장치를 BLMUI에서 직접 처리함으로써 데이터의 처리 및 저장 등이 더욱 쉽도록 하는 것은 본 시스템의 성능향상시 수행될 것이다

참고문헌

- [1] A. Burens and A. Wellings, "Real-Time systems and Their Programming Languages," ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, 1990.
- [2] J. W. Lee, J. C. Yun, D. H. Jung, and S. S. Chang, "The Implementation of the PLS Storage Ring Real-Time Control System," ICSRS-AFSR'95, Kyongju, Korea, October 25-27, 1995.
- [3] Newport Corporation, "Linear positioning devices lists," Newport Klingering Corporation, USA.
- [4] Newport Corporation, "Electronic motor controllers," Newport Klingering Corporation, USA.
- [5] GreenSpring IndustryPack Manual, "Dual Stepper Motor Motion Controller IndustryPack," GreenSpring Computers Inc., USA, 1994.
- [6] S. C. Won, Jae W. Lee and Jin W. Lee, "Computer Control System," PLS Conceptual Design Report, pp.2-101, POSTECH, Korea, 1990.
- [7] 포항가속기연구소, "1995 연차보고서," pp. 80-200, PLS POSTECH, Korea, 1996.
- [8] 포항가속기연구소, "1996 연차보고서," pp. 131-177, PLS POSTECH, Korea, 1997.
- [9] J. Y. You, "실시간 운영체제에 기초한 가속기 전자빔 폐쇄도 보정용 MIU 제어 시스템의 구성," POSTECH 석사논문, 1995.