

## 휴대형 심혈관 신호해석장치의 개발

\*이동준, 이정환, 김한수, 이명호  
연세대학교 공과대학 전기공학과

### Development of Portable Cardiovascular Signal Analysis System

\*D.J.Lee, J.W.Lee, H.S.Kim, M.H.Lee  
Dept. of Electrical Eng., College of Engineering, Yonsei Univ.

**Abstract** - The purpose of this paper is development of portable cardiovascular signal processing device. Beat-to-beat fluctuation in heart rate, respiration, and blood pressure have been known to be mediated by autonomic nervous system activities convergent on various effector organs.

This system consists of data acquisition module, main data processing module and graphic LCD module. The data acquisition module is developed for data acquisition, data multiplexing and interfacing with main data processing system. And, main data processing module is developed for data storing, data processing and interfacing with graphic LCD module. The main processing system is based on 32-bit microprocessor.

### 1. 서 론

자율신경계의 이상은 여러 가지 신체기관의 정상적인 기능을 저해하며, 그 결과 심근경색, 심근허혈, 충혈성 심부전 등의 심질환을 비롯하여 고혈압, 당뇨병의 발병에 크게 기인하고 있다. 이런 점에서 보면 자율신경계의 활동을 정확히 평가하는 것은 이들 질병에 대한 조기진단에 있어 대단히 중요하다. 현재 국내의 의료기기 산업은 선진국에 비해 낙후되어 있으며, 특히 자율신경계의 활동을 비관절적인 방법으로 측정할 수 있는 시스템의 개발에 관한 연구는 매우 미미하다. 따라서 본 논문에서는 심혈관 - 호흡 신호 [심전도(Electrocardiogram; ECG), 호흡신호(Respiration; Resp.) 및 혈류량(Blood Flow; BF)]를 측정하고 기록하는 의료 장비이다.

본 논문에서는 환자를 대상으로 여러 가지 상황에서 이 세 가지 신호를 장시간 측정하고 기록한 후 심혈관 신호의 변동률을 처리하여 자율신경계의 기능을 비관절적으로 평가할 수 있고, 이를 환자의 질병에 대한 조기 진단, 예측 및 치료적 개입효과의 지표를 탐색할 수 있는 휴대형 심혈관 신호해석장치의 개발하고자 한다.

이 휴대형 심혈관 해석장치는 3-채널 아날로그 신호(ECG, Resp., BF) 처리 부분과 메인 시스템 보드 부분, 그리고 디스플레이(Graphic LCD(320×240) 사용) 처리 부분으로 구분할 수 있다.

### 2. 본 론

본 논문의 시스템 중 아날로그 부분에서는 각각의 3-채널 신호를 축폭, Multiplexing, 그리고 A/D의 부분으로 나눌 수 있으며, 이 처리된 신호를 Photo-Coupler를 통해 전기적으로 분리(Isolation)시킨 직렬

통신을 이용해 메인보드로 신호를 전달한다. 그리고 메인 시스템 보드에서는 이 신호를 저장, 신호 처리 및 디스플레이 부분으로의 신호를 전달하게 되며, 전단에 필요한 데이터를 처리하기 위하여 플래쉬 메모리에 임시 저장한다.

디스플레이 부분에서는 메인보드로부터 받은 신호를 Graphic LCD(320×240)에 디스플레이 하여, 사용자가 실시간으로 3-채널 신호의 과정과 Heart Rate 등의 신호를 볼 수 있도록 하였다.

#### 2.1 심혈관 해석장치 시스템의 구성

심박변동신호의 경우 각 특징점들 사이의 시간 간격이 매우 중요한 동역학 활동을 나타내므로 A/D 변환시에는 신호의 크기에 대한 해상도보다는 시간에 대한 해상도를 크게 해야 한다. 즉, 샘플링 오차를 줄이고 정확한 분석을 하기 위해서는 최소한 250Hz 이상의 샘플링 주파수가 요구된다. 따라서 본 논문에서의 시스템의 샘플링 주파수는 250Hz로 설계하였다. 그럼 1은 본 논문에서 설계한 심혈관 신호 및 호흡신호 측정 시스템의 블록다이어그램이다.

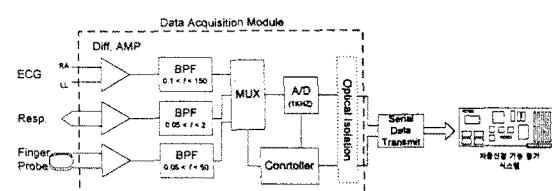


그림 1. 심혈관신호 및 호흡신호 측정 하드웨어 시스템의 블록다이어그램

Fig. 1. Block Diagram of cardiovascular and respiratory signal measure system

#### 2.1.1 생체신호 증폭단의 개발

자율신경 기능 평가 시스템에서는 ECG, Resp., BF의 3-채널의 입력을 받아 중요한 지표로서 사용한다. 그러므로 입력을 받을 때, 잡음등의 요인으로 신호의 왜곡이 일어날 경우 잘못된 결과를 낳게 되므로 증폭단 개발에 이점을 고려해서 설계했다.

##### 2.1.1.1 ECG 모듈

심박변동신호를 분석하는 목적은 심박(또는 RR간격)변동으로부터 자율신경계의 활동을 평가하기 위한 것으로서, 우선 심박변동신호를 얻기 위해서는 심전도 신호를 기록하여야 한다. 이 때, R파(심실이 수축할 때 나타나는 과정)를 정확하게 검출하는 것이 중요하므로 다른 lead 시스템에 비해 R파를 크게 기록할 수 있는 lead II를 사용하여 심전도를 기록하였으며, 표1과 같은 사양에 따라 설계하였다.

표 1. ECG 모듈의 사양  
Table 1. Specification of ECG Module.

제품에 대한 정보	제품 구조
Lead	Lead II
Input voltage range	$\pm 20 \text{ mV}_{\text{pp}}$
Voltage gain	500X
Frequency response	0.5 to 50 Hz
Input impedance	$25 \text{ M}\Omega_{\text{min}}$ at 10 Hz, $100 \text{ M}\Omega_{\text{min}}$ at DC
CMRR	110 db <sub>min</sub>
A/D converter : resolution sampling rate	12 bits ( $0.6 \mu\text{V}/\text{bit}$ ) 250 samples/sec

#### 2.1.1.2 혈류량 측정 모듈

심박과 같이 혈압, 혈류량과 같은 다른 심혈관 파라메타도 변동하며, 이와 같은 변동도 자율신경계의 역할을 반영함과 동시에 이를 파라메터간에는 상호작용이 존재한다. 특히 혈압변동은 압수용체조절계를 통해 심박변동에 커다란 영향을 미친다. 이와 같은 사실은 심박과 혈압을 동시에 측정함으로써 압수용체조절계의 감도를 간접적으로 평가 할 수 있음을 의미한다. 본 논문에서는 혈압변동을 간접적으로 반영하고 있는 혈류량을 측정함으로써 압수용체조절계의 감도 및 혈관계에 분포하는 교감신경계의 활동을 측정하고자 한다.

혈류량의 측정은 손가락에 흐르는 말초혈관을 통과하는 혈류량의 변화에 따라 광학적 투과도가 변화하는 현상을 토대로 측정하였다. 일본의 Computer Convenience사에서 제작된 혈류량 센서를 이용하였다. 이 센서는 빌광부와 수광부로서 각각 적외선 LED와 포토다이오드로 구성된다.

#### 2.1.1.3 호흡 측정 모듈

호흡은 심박과 혈류량에 직접적 또는 간접적으로 영향을 미친다. 특히 심박변동신호의 파워스펙트럼상에 존재하는 고주파성분은 호흡률과 일치하는 곳에 존재하며 부교감신경계의 지표로서 널리 사용되고 있다. 따라서 부교감신경계의 활동을 정확히 정량화하기 위해서는 호흡을 측정하는 것이 바람직하다. 이를 위해 본 연구에서는 흡기시와 호기시에 공기의 온도차가 발생한다는 현상을 토대로, 저률이 0.01인치인 J형 열전대를 이용하여 제작한 센서를 피검자의 코밑에 부착하여, 호흡신호를 측정하였다. 호흡시 온도차가 작기 때문에 센서의 출력력을 증폭하기 위해 10,000배의 증폭도를 갖는 앰프를 설계하였다.

#### 2.1.1.4 CPLD 제어단과 A/D부분

본 논문에서 사용된 자율신경기능 평가시스템 용의 아날로그 보드에서는 MUX를 통하여 입력되는 3-채널의 데이터를 A/D컨버터를 이용하여 A/D한 후, CPLD를 이용하여 메인 시스템과의 인터페이스로의 전송을 하였다. 이 CPLD안에는 상태 천이도를 프로그래밍 하였으며, 이 상태 천이도는 AD7870/7875/7876의 기능과 연결하도록 신호의 인터페이스 사항이 고려되어 있다. A/D컨버터는 12bit의 해상도를 갖는 AD7875를 사용하였으며, 데이터의 흐름을 제어하는 CPLD는 IspLSI1016(Lattice사)을 사용하여 개발하였다.

그림2는 CPLD에 사용된 상태 천이도를 나타낸 것이다. 그림3은 개발된 심혈관-호흡신호 아날로그 보드의 실제 시스템이다.

#### 2.1.2 메인 시스템의 개발

자율신경활동 평가시스템의 메인 처리부는 심혈관신호 및 호흡신호 측정하드웨어에서 측정되어진 데이터 처리

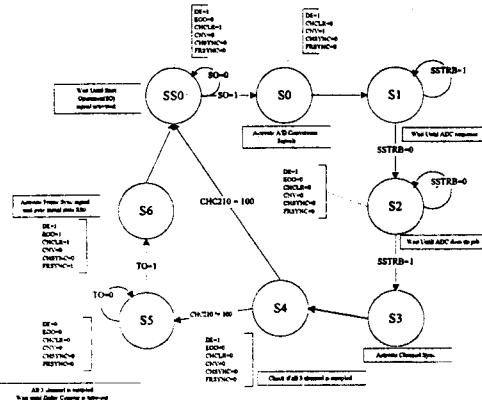


그림 2. CPLD에 사용된 상태 천이도.  
Fig. 2. State-transition diagram used in CPLD.

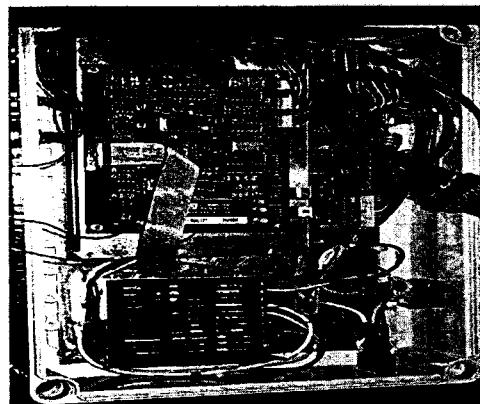


그림 3. 심혈관신호 및 호흡신호 측정 시스템.  
Fig. 3. cardiovascular and respiratory signal measuring system.

를 위하여 개발되어졌으며, 나아가 다른 용도에도 적용할 수 있는 일반적인 독립 시스템으로의 기능을 탑재한 범용 CPU 처리용 보드라 할 수 있다. 본 논문에서 제작되어진 메인 시스템은 인텔사의 임베디드 386EX 프로세스를 기본으로 하여, 인텔의 Boot Block Flash 메모리, FlashFile 메모리, Centronics Printer Interface(ECP지원), Keyboard Controller 등의 기능을 내장하도록 구현하였으며, 이러한 하드웨어를 제어하기 위한 소형의 운영 시스템을 갖추고 있다.

본 논문에서 개발되어진 자율신경활동 평가 시스템은 일반적인 유저들도 사용할 수 있도록 메뉴 기능이 편리하게 설계되었으며, 이 시스템에 맞는 BIOS를 내장하고 있다. 이 시스템의 특징은 다음과 같다.

- Intel 4Mb Boot Block Flash Memory
- Intel 20Mb FlashFile Memory
- CPLD( Lattice ispLSI technology )
- 320x240 Graphic LCD (1MB SRAM for 2 frame buffers)
- RTC with Extended Battery Backed RAM (DS1286)
- Centronics Printer Interface(ECP지원)
- Two Asynchronous Serial Ports (COM1,COM2)

Intel386EX 프로세서의 특징을 충분히 활용하여 외부로직을 최소화하고 다른 칩세트의 필요성을 줄이는데 중

점을 두었다. 따라서, 프로세서가 갖고 있는 인터럽트 컨트롤러, 칩-셀렉트 유니트, 대기상태 발생기, 직렬/병렬 포트들, 가변 버스사이징의 기능을 활용하고 있다. 그리고 그 외의 주변 로직을 소형화시키기 위해서 CPLD인 IspLSI(Lattice사, 미국)를 사용했고, 이것은 Address Decoding (Isp1016), Keyboard Control Logic(IspLSI 1032), Printer Port 및 I/O Interface(IspLSI 1032)에 활용되었다.

그림4는 자율신경활동 평가 시스템의 블록다이어그램을 나타낸다.

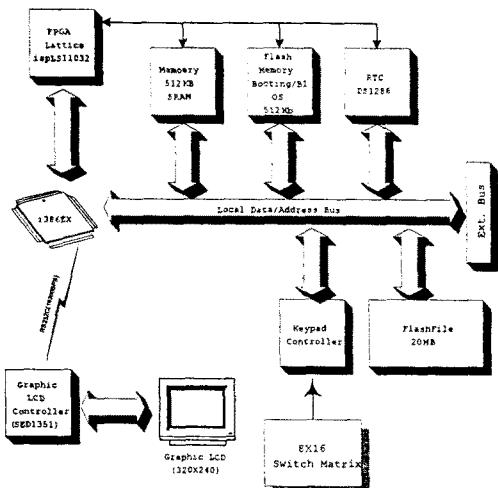


그림 4. 자율신경활동 평가 시스템의 블록 다이어그램.  
Fig. 4. Block diagram of Autonomic Function Analyzer.

그림5는 개발된 32bit 마이크로프로세서 기반의 메인 처리시스템의 실제 그림이다.



그림 5. 32비트 마이크로프로세서 기반의 메인 처리시스템.

Fig. 5. Main processing system based on 32-bits  $\mu$ -processor.

### 2.1.3 Graphic LCD 시스템

본 논문에서는 자율신경활동 평가 시스템의 디스플레이용으로 사용되는 320×240 Graphic LCD를 제어하기 위한 시스템을 제작했다. 이 시스템은 메인 시스템에서 받아들인 프로세싱된 결과를 Graphic LCD를 통해 연속적인 패형을 실시간으로 사용자에게 보여주고 heart

rate등의 정보도 동시에 보여줄 수 있도록 최적화하여 개발하였다. 이 시스템에 사용된 graphic LCD controller는 EPSON사의 SED1351F이고, 이것을 제어하기 위해서 V25를 사용하여 개발하였다.

시스템 메모리는 각각 1Mbit 크기의 27C010(ROM)과 IS61C1024(RAM)을 사용하였고, 비디오 메모리도 IS61C1024를 사용하여 제작했다. 그런데 SED1351F가 비디오 메모리로 64Kbyte를 사용하는 제한이 있으므로 나머지 영역은 사용하지 않는다.

다음의 그림5는 이 시스템의 블록다이어그램을 나타낸 것이다.

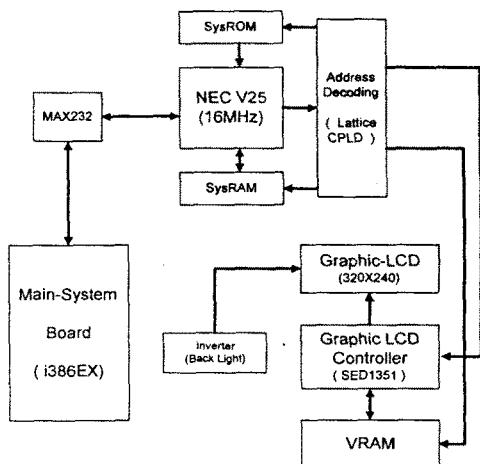


그림 5. Graphic LCD 제어용 V25 board의 시스템 블록 다이어그램.

Fig. 5. Block diagram of V25  $\mu$ -Processor board for Graphic LCD.

### 3. 결 론

본 논문에서의 자율신경활동 평가 시스템은 임상실 험 및 검증을 통하여 지금까지 평가하기 어려웠던 심혈관계통의 질환, 고혈압 당뇨병, 중추신경 및 말초신경 질환등에 있어서 자율신경계의 이상과 여러가지 약물이 자율신경계에 미치는 영향의 평가를 가능하게 하는 시스템으로, 여러 임상실험을 통하여 입증 받았다.

특히, 선진국에서 현재 개발되어 시판되고 있는 시스템은 단지 심박변동만을 해석하는 것과 달리 본 연구에서 개발된 시스템은 심박변동과 더불어 혈류량 및 호흡변동신호를 동시에 분석함으로써 자율신경계의 기능을 더욱 정확하게 평가할 수 있다는 점에서 향후 세계화 시대에 동참할 수 있는 고부가가치의 첨단의료기기 개발이 될 것으로 기대된다.

### [참 고 문 현]

- [1] Kunsoo Shin, H. Minamitani, S. Onishi, H. Yamazaki and M.H. Lee, "Assessment of Training-induced Autonomic Adaption in Athletes with Spectral Analysis of Cardiovascular Variability Signal", Japanese Journal of Physiology, vol. 45, No12, pp1053-1069, 1995
- [2] "심전도 자동진단장치의 하드웨어개발", 심성종합기술원-연세대학교 의료기기기술연구소 연구보고서, 1996
- [3] 정기삼, 신건수, 이정환, 최석준, 안준, 전중선, 이명호, 점증적 털트 각도 변화에 대한 심박변동에 관한 연구, 대한의용생체공학회 춘계학술대회, 논문집, Vol.19, No.1, 1997