

마이크로프로세서의 醫用電子 分野에의 應用

閔丙九*, 尹長鉉**

서울大學校 醫科大學 醫工學科 工博*, 大學院**

I. 서 론

마이크로프로세서는 개발된지 이제 불과 십년밖에 되지 않았으나 반도체 기술의 급속한 발전에 힘입어 놀라운 성장을 하였으며 현재는 여러 분야에서 많이 애용되고 있다. 특히 의용 전자분야에서는 70년도 중반부터 비로소 이를 응용한 연구들이 시도되어 왔는데, 현재는 매년 이에 대한 많은 연구 결과가 쏟아져 나오고 있으며 의료기기 메이커들은 마이크로프로세서를 사용하여 종래의 기종에 비해 훨씬 다양한 기능을 갖는 고성능의 신제품을 보다 저렴한 가격으로 경쟁적으로 개발해 내고 있는 실정이다.

신뢰도, 확장성, 유연성, 그리고 코스트 절감 등 일반적인 장점외에 마이크로프로세서는 의용 전자분야에서 종래에는 가능하지 못했던 여러 가지 일들을 가능하게 함으로써 주목을 끌게 되었다. 즉, 저렴한 가격으로 소프트웨어에 의한 고도의 지능을 제공함으로써 환자 집중 감시장치나 생체 신호 자동분석장치 등 환자 개인 전용의 고성능 의료기기를 가능하게 하였고 제어 회로의 초 소형화를 가능하게 함으로써 휴대용 의료기기를 가능하게 하고 있다. 뿐만 아니라 제어이론의 복잡한 알고리즘에 의해 환자의 상태를 계속 감지하면서 원하는 상태로 조절시키는 의료기기등의 개발은 환자의 치료뿐만 아니라 의학 연구에도 많은 공헌을 하게 되었다.

이 글에서는 마이크로프로세서의 의용 전자분야에의 응용 현황을 대표적인 몇 가지 예를 들어 살펴보고자 한다.

II. 환자 모니터 시스템에의 응용

1. 환자 집중 모니터 시스템

병원의 중환자실 또는 회복실에 근무하는 간호원들은 환자의 상태가 언제 급변할지 모르므로 환자의 상태를 항상 감시할 필요가 있다. 뿐만 아니라 환자가 갑자기 위급한 상태로 빠지더라도 즉시 응급조치를 취할 수 있는 능력을 갖추어야 한다. 그러나 모든 환자들에게 고도의 훈련을 받은 간호원들을 각각 전담시킨다는 것은 매우 비경제적이고 현실적으로 불가능한 일이다.

최근 마이크로프로세서가 실용화됨에 따라 환자 주위에서 환자의 여러 상태들(심전도, 혈압, 호흡수, 그리고 체온 등)을 계속 감시하고 위급한 상황에서는 조기경보를 울려 즉시 필요한 조치를 가능케 하는, 다양한 기능을 갖춘 환자 집중 모니터 시스템이 간호원들의 역할을 대신하고 있다. 이 새로운 시스템들은 환자 주변의 터미날과의 통신에 의해 중앙 station 또는 원격 station에서 수십명의 환자의 상태를 한 눈에 살펴볼 수 있도록 설계되어 있다.

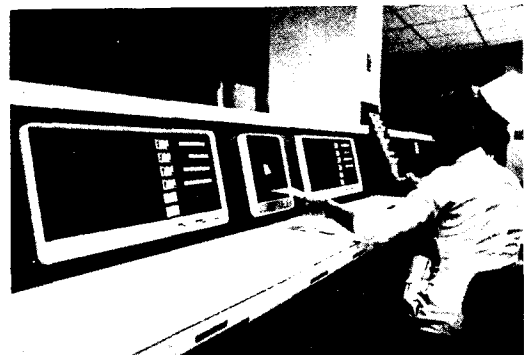


그림 1. 환자 집중 모니터 시스템의 중앙 station

그림 1은 Spacelabs사의 Alpha patient monitoring system⁽¹⁾의 중앙 station의 모습이다. 이 시스템은 4개의 기본 컴포넌트 즉, 디스플레이 터미날, 마이크로

컴퓨터 plug-in cardule, 자동 기록계, 그리고 데이터 버스로 구성된다.

마이크로컴퓨터 plug-in cardule은 실제 이 시스템의 모든 계산능력과 신호처리능력을 제공한다. 각 cardule은 별개의 업무를 수행하도록 프로그램되어 있는데 예를 들면 ECG cardule은 심전도 신호를 처리하고, 심박동수를 계산해 내는 일을 하고 pressure cardule은 혈압 신호를 처리하고 심장 수축 이완시의 혈압을 계산하는 일등을 수행한다. Alpha 시스템에서는 ECG, pressure, respiratory, 그리고 temperature의 4 종류의 cardule이 사용된다.

디스플레이 터미날은 환자 주변용의 Alpha 9, 중앙 또는 원격 station용의 Alpha 14, Alpha 19 등 3가지가 있다. 각 터미날은 고유한 기능을 갖고 있는 plug-in 마이크로컴퓨터 cardule을 사용하여 단독으로 환자를 모니터 하는데 사용되거나 여러 환자, 여러 병실을 모니터 할 수 있도록 상호 연결되어 사용될 수 있도록 설계되었다. 각 터미날은 심전도, 혈압, 체온 등 환자의 생체 신호를 아날로그 파형으로 디스플레이 할 뿐만 아니라 마이크로컴퓨터 cardule에서 계산되어진 심박동수, 심장 수축과 이완시 혈압, 호흡수, 체온 등의 파라미터를 디스플레이 하고 조작자가 선택할 수 있는 상한 또는 하한의 경보 경계값을 표시한다.

자동 레코더는 환자 데이터를 기록할 필요가 있을 때 환자 주변의 터미날이나 중앙 station에서 record 버튼을

을 누름으로써 수동 동작이 될 뿐 아니라 각 환자의 파라미터가 미리 정해 둔 경계치를 넘으면 자동적으로 환자의 성명, 날짜, 시간 등과 함께 20초동안 환자의 생체 신호를 기록한다.

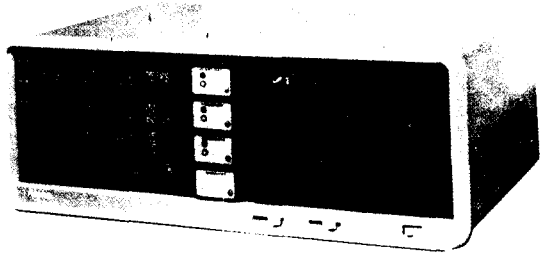


그림 2. Alpha 9 모니터의 실제 모습

그림 2는 환자 주변용 터미날인 Alpha 9의 실제 모습인데 4개의 마이크로컴퓨터 cardule이 꽂혀 있음을 볼 수 있다.

2. 휴대용 심전도 모니터

외래 심장병 환자의 부정맥(비정상 심전도)을 관찰하기 위하여 Holter 모니터라고 불리는 휴대용 모니터가 사용된다. 이 모니터는 심전도를 벨트에 부착된 마그네틱 테이프 레코더에 연속적으로 기록한다. 그러나 이러한 방식에는 몇 가지 결점이 있다. 즉, 이 모니터의 최대 기록 시간은 24시간 뿐이고 자료 분석 결과는 테이프를 분석 장소로 보내는데 시간이 걸리므로 테이프를 고속으로 플레이 시키며 분석을 하더라도 하루 이상

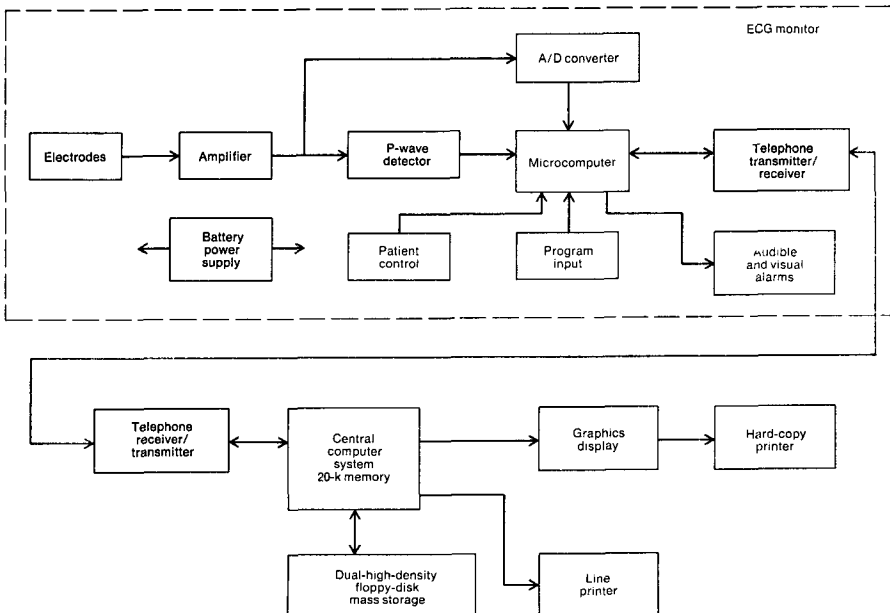


그림 3. 휴대용 심전도 모니터의 계통

의 시간이 걸리게 된다.

마이크로프로세서의 등장은 이러한 결점을 모두 해결한 고성능의 Holter 모니터를 탄생시켰다.

Event recorder라고 불리는 이 고성능 모니터는 Wisconsin대학에서 개발이 되었었는데²¹ CMOS 마이크로프로세서를 사용하여 환자의 심전도 신호중에서 인식되도록 프로그램 되어 있는 중요한 부정맥만을 기록한다. 그림 3은 이 모니터의 제봉도이다.

중요한 부정맥만을 기록하므로 수 주일동안 사용이 가능하다. 환자는 만일 증상이 느껴지면 수동으로도 기록이 되도록 할 수 있다. 이 모니터는 또한 특정한 부정맥에 대하여 경보가 울리도록 되어 있다.

모니터 표면의 LCD 디스플레이는 경보가 울릴 때 환자가 어떻게 해야 하는가를 표시해 준다. 디스플레이 기호는 electrode 저항이 너무 크거나 low battery, 각 파형의 정상적 감지, 또는 기록된 메이타를 즉시 원격 컴퓨터로 전송할 필요가 있음을 나타낸다. Acoustic coupler는 환자가 메이타를 전화선으로 전송하도록 한다. 모니터는 16초동안의 부정맥 파형 기록을 컴퓨터로 전송한다.

마이크로컴퓨터를 사용한 휴대용 모니터의 또 다른 장점은 소프트웨어에 의한 유연성이다.

같은 하드웨어를 사용하면서도 프로그램의 변경에 의해 수면에 대한 연구, 심장 약물 연구시 데이터 채집, 외래 환자에 대한 장기간의 real time ECG 프로세싱 등 많은 기능을 갖고 있다.

III. 마이크로프로세서에 의한 환자 Control 시스템

1. 화상 환자의 치료를 위한 자동 체액 주입장치

광범위한 화상을 입은 환자는 많은 양의 체액이 혈관으로부터 상처부위로 스며 나오기 때문에 체액의 손실이 크고 결과적으로 혈액의 양이 줄어들어 쇼크를 받게 될 위험에 직면하게 된다. 따라서 화상 환자의 치료에서는 손실된 체액을 보충해 주고 평형상태를 유지시켜 주는 일이 최우선의 과정이 되어야 한다. 의사는 화상부위의 상태와 각 환자의 체액 주입에 따른 반응에 따라 계속 체액을 공급해 주며 체액의 평형을 관찰해야 한다. 체액 주입 속도는 주입되는 체액의 양과 소변의 양, 그리고 심한 환자의 경우에는 심장 또는 혈관내의 반응을 관찰하면서 주기적으로 계산하여 수동으로 조절된다. 이와 같은 작업은 담당의사의 환자에 대한 부담을 상당히 크게 하여 실제적으로 어려운 작업

이다. 마이크로프로세서를 사용하여 체액의 회복과 평형을 자동적으로 컨트롤 할 수 있는 시스템이 여러 그룹에 의해 개발되었는데 여기서는 그 중 FIDAC(fluid infusion, data acquisition, and control) 시스템²¹을 소개하고자 한다.

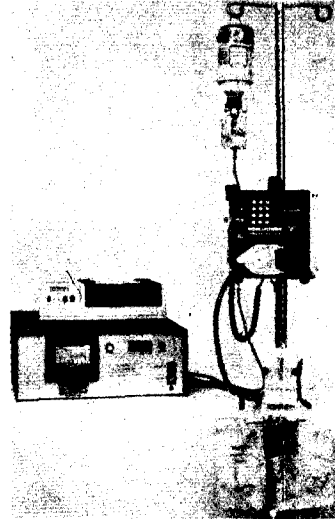


그림 4. FIDAC 시스템의 실제 모습

그림 4는 FIDAC 시스템의 실제 모습이다. 이 시스템의 중요한 5부분, 즉 비디오 디스플레이를 할 수 있는 8 비트 마이크로컴퓨터, 컴퓨터에 의해 제어되는 체액 주입 펌프, 주기적인 데이터의 기록을 위한 프린터, 주입되는 체액과 소변의 flow rate를 측정하기 위한 두개의 sensor, 그리고 소변을 수집하는 장치로 구성되어 되었다. FIDAC 시스템의 하드웨어를 살펴 보겠다.

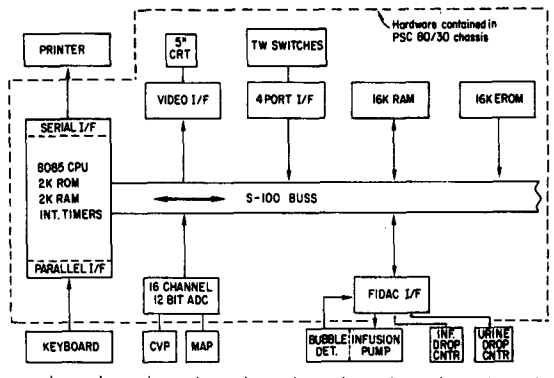


그림 5. FIDAC 시스템의 구성

각 component 간의 연결은 그림 5에 보듯이 마이크로 컴퓨터의 S-100 버스를 사용하여 이루어진다. 인터페이스 보드는 체액 주입 펌프와 광학 flow sensor의 아날로그 신호를 처리하고 경보장치도 갖추고 있다.

12비트 ADC 보오드는 option으로 혈압 측정이 가능한 경우 혈압 파라미터의 프로세싱을 위한 입력을 받아들일 수 있도록 구성되었다. 시스템 Firmware는 18 K 비트 EPROM내에 있고 dynamic 메모리는 16K 비트 RAM에 기억된다. 시스템 파라미터들과 경보신호는 비디오 디스플레이에 나타난다. 마이크로프로세서 보오드는 Intel 8085, serial 인터페이스, parallel 인터페이스, 3개의 내부 타이머(baud rate 발생용과 real time clock 용), 2K ROM 그리고 2K RAM으로 구성되었다.

경보회로는 심각한 문제가 발생했을 경우 동작하게 되며 CRT에 날짜, 시간의 정보와 함께 표시된다. 이 시스템은 다음과 같은 경우에 경보를 하도록 되어 있다.

- 1) 주입선의 flow sensor 케이블이 연결되지 않았을 때
- 2) 소변 flow sensor의 케이블이 연결되지 않았을 때
- 3) 주입펌프에 전원이 공급되지 않거나 제어케이블이 연결되지 않았을 때
- 4) 체액 주입관에 공기가 들어 갔을 때

2. 인공체장

당뇨병은 호르몬의 일종인 인슐린의 부족으로 생기는 병이다. 인슐린은 소화 흡수된 포도당이 혈액으로부터 세포내로 이동하는데 작용을 한다고 알려져 있으며 포도당이 혈액내에 많이 흡수되면 체장으로부터 인슐린이 분비되어 이를 신속히 처리한다. 당뇨병 환자의 경우는 유효 인슐린의 부족으로 포도당의 처리가 늦어져 높은 혈당 농도를 보이고 소변으로 포도당이 손실되는 것이다. 종래에는 당뇨병 환자에게 1일 1회 주사로 인슐린을 공급해 주었기 때문에 혈당 조절이 잘 되지 않았고 그 결과 합병증이 병발하여 환자의 수명을 단축시키곤 했다.

최근, 당뇨병을 연구하는 학자들 사이에서는 정상적으로 환자의 혈당을 조절함으로써 합병증의 진전을 막거나 치유할 수 있을 것이라는 설에 대한 진위가 큰 주목의 대상이 되고 있다. 이 설에 대한 확인을 하기 위해 당뇨병 환자에게 장기간 정상적인 혈당으로 유지시켜 주는 장치의 개발이 절실히 요구되었다.

그림 6은 이러한 요구에 부응하여 당뇨병 환자에게 정상적인 혈당을 유지시켜 주기 위해 개발된 인공 체장¹⁾의 계통도이다. 이 시스템은 마이크로컴퓨터의 프로그램에 의해 혈당 변화에 따라 체장에서 인슐린을 분비하는 기능을 그대로 재현시키는 기능을 갖고 있다. 이 인공체장은 혈당측정기, 마이크로컴퓨터, 컴퓨터의

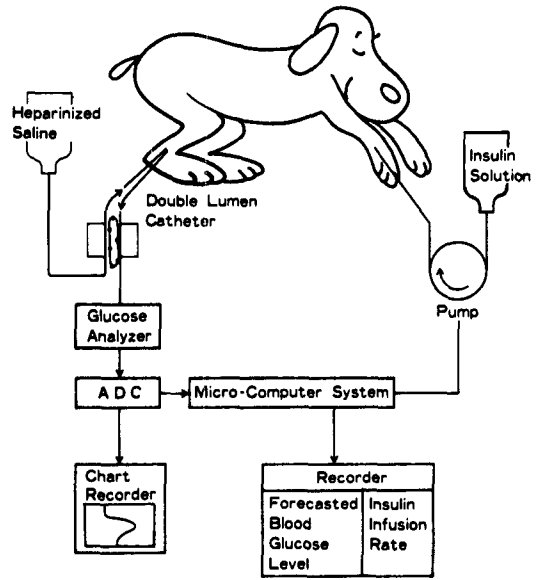


그림 6. 인공 체장의 구성도

제어를 받아 인슐린을 주입하는 펌프, 그리고 레코더 등 크게 4부분으로 나뉘어진다. 혈당 측정기는 정맥에 삽입된 dual lumen catheter를 통해 연속적으로 혈액을 채취하며 혈당 농도를 측정하여 농도에 비례하는 전압을 출력한다. 혈당 분석기의 출력 전압은 A/D converter를 거쳐 마이크로컴퓨터에 입력된다. 마이크로컴퓨터는 프로그래밍 되어 있는 알고리즘에 의해 현재의 혈당 농도와 그 변화율로부터 주입되어야 할 인슐린의 양을 계산하고 그 값으로부터 펌프의 속도를 결정하여 펌프를 제어한다. 한편 레코더는 real time과 측정되는 혈당 농도, 주입되는 인슐린의 양 및 수분 동안 예측되는 혈당 농도의 값을 기록한다. 인공 체장은 현재 실용화 되어 휴대용 인공 체장까지 등장했으며 당뇨병에 관한 여러 연구에 많은 공헌을 하고 있다.

IV. 생체 신호 자동 분석 장치에의 응용

1. EEG (뇌파) 분석 장치

뇌파는 오래 전부터 신경학적인 상태를 진단하는데 보조 자료로 사용되어 왔다. 그러나 뇌파와 신경학적인 상태와의 좀더 밀접한 상관관계 또는 뇌파의 좀더 분명하고 객관적인 분류를 위한 수학적 노력에도 불구하고 프로세싱되지 않은 뇌파의 판독은 여러 가지 이유로 아직도 임상상에 의존되고 있다. 즉, 분석과 표현 방법의 결과가 raw 데이터로부터 패턴을 인식하도록 훈련을 받은 사람들에게 쉽게 납득이 되지 못한다는 점, 좀더 객관적이긴 하지만 자동 분류 방법들이 아직은 훈련

을 받은 임상의 보다 효율적이라고는 느껴지지 않는다는 점, 그리고 대부분의 수학적 처리 결과물에는 그의 임상적 정보가 거의 없다는 점등이 그 이유들이다.

그러나 특정한 형태의 뇌파의 자동 분석이 그 가치를 인정받는 응용 분야는 점점 증가되고 있으며 특히 마이크로프로세서의 소프트웨어에 의한 높은 지능을 이용하여 특수한 뇌파 분석기들이 많이 연구되고 있다.

로 줄이고 있다. 내부의 계산 능력은 분석의 정확도나 정밀도를 증가시킬 뿐만 아니라 필요한 시약의 양을 줄이고 throughput을 증가시킬 수 있다. 한 예가 Ortho instruments의 ELT-8 hematology analyzer 이다. 이 분석기는 data general의 micronova 16-bit 마이크로프로세서를 사용하여 90ul의 혈액으로 8가지의 테스트를 가능하게 하고 있다. 조작자는 단지 작은 튜우

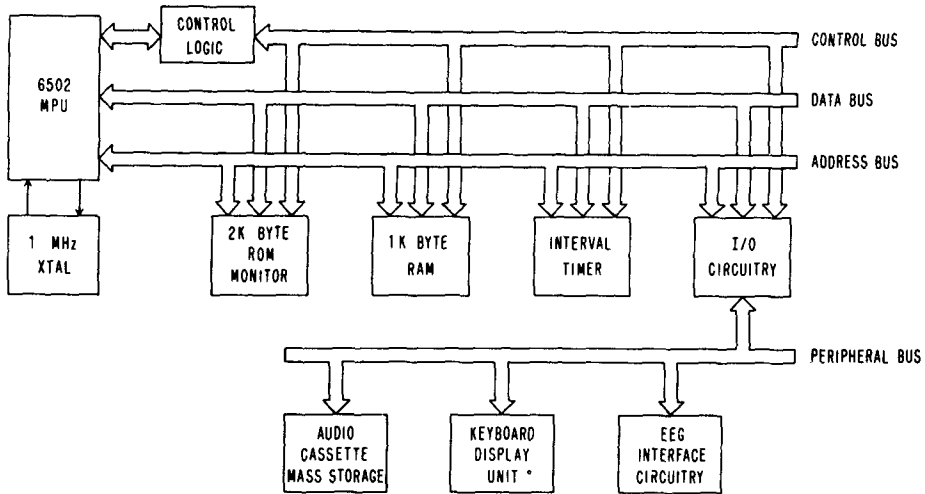


그림 7. 뇌파 zero crossover 분석 시스템의 계통도

그림 7은 마이크로프로세서를 이용한 뇌파 zero crossover 분석 시스템¹⁵⁾의 계통도를 나타낸다. 이 시스템은 뇌파를 요약하는 방법으로써 뇌파가 기준선과 교차하는 정도를 계산해 낸다. 이 방법은 매우 낮은 코스트와 간단한 기능으로 주파수 분석에 준하는 정보를 얻을 수 있는 것이 큰 장점이다.

증폭된 뇌파는 binary로 quantization 되는데 quantizer의 상태는 뇌파가 기준선과 교차될 때마다 변한다. Quantized output은 1초에 200번씩 sample 되고 transition의 수는 10, 80 또는 640 초 동안 계수되어 기록된다. 현재와 과거의 rate들은 계속 메모리에 기억된다. 이 시스템은 MOS technology의 KIM 마이크로 컴퓨터 모듈을 사용하였는데 2K 바이트의 ROM 모니터 소프트웨어와, 데이터와 응용 프로그램 저장을 위한 1K 바이트의 static RAM 으로 구성되었다. 오디오 카세트 레코더는 대량 기억을 위해 사용이 되었다.

V. 임상용 자동화학 분석기에서의 응용

최근에 개발된 화학 분석기들은 대부분이 마이크로 프로세서를 사용하여 조작자에게 요구되는 기술을 최소

브를 혈액 샘플에 집어 넣고 스타트 버튼을 누르기만 하면 된다. 분석기는 자동적으로 적당한 양의 혈액을 빨아 들여서 이를 희석액과 잘 섞는다. 희석된 혈액은 18 micron의 가느다란, taper된 유관을 통해 일정한 압력으로 주사된다. 이렇게 되면 혈세포들은 일렬로 균일하게 자리 잡으며 helium-neon 레이저와 광증폭관 사이로 통과하게 된다. 레이저 비임은 각 세포에 의해 방해 받고 광증폭관의 아날로그 출력은 디지털 값으로 바뀌어 시간 데이터와 함께 마이크로프로세서로 보내어져 처리된다. ELT-8은 혈소판, 적혈구, 백혈구, hematocrit, 혈색소 등의 수를 측정하고 평균 적혈구의 체적, 평균 적혈구의 혈색소량, 그리고 평균 적혈구의 혈색소 농도를 계산해 낸다. 마이크로프로세서는 real time으로 histogram을 만들어서 혈소판, 적혈구, 백혈구 세포의 크기에 대한 빈도 분포를 CRT상에 그릴 수 있다. 또한 마이크로프로세서는 분석되는 혈액 샘플과 함께 기준 샘플을 사용하여 분석기가 calibration 되어 있는가를 '계속 점검한다. 샘플 결과에 대한 기록이 마이크로프로세서에 의해 기억되어 장시간의 기기의 정확도가 측정되며 모든 전자 회로에 대한 자체 진단이

가능하다.

VI. 결 론

지금까지 마이크로프로세서가 의용 전자 분야에 응용된 몇 가지 예를 들었다. 그러나 이들은 이 분야에 대한 응용의 극히 일부분에 지나지 않는다. 생체 신호는 통신이나 기타 다른 분야에서 다루는 신호들에 비하여 매우 느리면서도 처리되어야 할 많은 정보를 갖고 있다는 점, 그리고 신뢰성 있는 고성능의 의로기기를 저렴한 가격으로 공급할 수 있는 점 등은 마이크로프로세서의 의용 전자 분야에의 응용을 더욱 가속화시킬 것 같다. 특히 기존 하드웨어로 내부 소프트웨어를 개발하여 새로운 의로기기를 개발하는 것이 용이하므로 우리나라와 같이 자원이 빈약한 실정에서는 매우 전망이 밝은 분야라 하겠다.

참 고 문 헌

[1] Alpha patient monitoring system service manual.

[2] John G. Webster, "An intelligent monitor for ambulatory ECGs," *Biomed. Scien. Instr.*, pp.55~60, vol. 14, 1978.

[3] R. J. Bowman et al., "A microcomputer-based fluid infusion system for the resuscitation of burn patients," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 28, pp. 475~479, 1981.

[4] Y. Goriya et al., "The development of an artificial beta cell system and its validation in depancreatized dogs," *Med. Progr. Technol.*, vol. 6, pp. 99-108, 1979.

[5] J. Doyle, "EEG brain function monitoring using a microcomputer," *Proc. MIMI '76-Int. Symp. on Mini and Microcomputers*, pp. 213-216, 1976
ELT-8 Hematology analyzer service manual.

用 語 解 說

◆ 배치 시스템 (Batch System)

오퍼레이팅이 없던 때에는 프로그래머가 直接 컴퓨터의 周邊器機를 움직임으로써 그의 프로그램을 修正, 遂行할 수 있었다. 그러나 컴퓨터 시스템이 擴張되고 그 應用度가 넓어짐에 따라 프로그래머가 컴퓨터 앞에 앉아 프로그램을 修正한다는 것은 人間과 컴퓨터의 速度를 比較하여 보더라도 非經濟的이라는 것이 認識되었다. 여기에서 생긴 것이 배치 시스템으로 프로그래머는 컴퓨터의 所在와는 無關한 곳에서 프로그램을 作成하여 카이드와 같은 入力媒体에 記錄하여 컴퓨터 오퍼레이터에게 주면 오퍼레이터는 一定한 量의 作業을 모아서 컴퓨터에 읽힌다. 읽혀진 作業들은 컴퓨터 内部에 記憶되어 있는 오퍼레이팅 시스템에 의해 處理되어 그 結果가 프린터에 프린트 된다. 오퍼레이터는 프린트된 出力을 整理하여 提出되었던 프로그램과 함께 利用者에게 돌려준다. 이와 같이 배치 시스템에서의 프로그래머는 단지 오퍼레이터를 통하여만 컴퓨터와 接觸할 뿐이다.

배치 오퍼레이팅 시스템은 보다 많은 利用者에게 서비스를 提供하고 값비싼 시스템 構成器機의 보다 효과적인 利用에 그 重點을 두고 있다. 이 시스템에서는 入力에서부터 結果를 얻기까지 상당한 時間이 걸린다. 作業依賴에서 結果引受까지 所要되는 時間

을 턴-어라운드(turnaround time)라 하는데 이 시간은 利用者와 컴퓨터 시스템간의 距離, 함께 읽힌 다른 프로그램의 性格 및 그 오퍼레이팅 시스템의 特性에 따라 數時間에서 數일이 걸리기도 한다. 배치식의 方法은 여러 種類의 production-run(이미 作成, 修正된 프로그램으로 反復하여 데이터를 處理하는 境遇)에 適當하며 컴퓨터 利用의 많은 범주가 이에 屬한다. 예를 들면 一定한 順序로 蓄積된 파일(sequential file)을 處理하는 境遇이다. Transaction 一定한 期間동안 蓄積되어 한꺼번에 處理된다. 즉 入力될 데이터는 수집되고 蓄積되어 마스터 파일의 順序로 排列된 다음 그 量이 一定한 數에 달하거나 一定한 期間이 經過되면 마스터 파일을 更新한다. Transaction을 마스터 파일의 順序로 排列하는 것은 마스터 파일의 更新을 빠르게 할 수 있다는 利點이 있다. 배치방식은 一定한 期間을 기다려야 한다는 不便함은 있으나 量的으로 큰 마스터 파일을 少數의 Transaction으로 자주 更新하는 것은 非經濟的이다. 그러나 프로그램을 作成하고 修正하는 동안, 배치 방식은 많은 不便을 주고 있다. 왜냐하면 프로그램, 作成者의 실수로 인한 스펠링의 失手나 혹은 키펀치의 失手는 프로그램 準備段階에 있어 數時間 또는 數일의 遲延을 가져오기 때문이다.