

휴대형 혈액가스 분석시스템의 구현

◦ 강성철, 정도운, 배진우, 손정만, 심윤보*, 전계록**

부산대학교 대학원 의공학협동과정,

부산대학교 화학과*, 부산대학교 의과대학 의공학교실**

전화 : 051-804-8866 / 핸드폰 : 011-585-8580

Implementation on the Portable Blood Gas Analyzer

◦ S. C. Kang, D. U. Jeong, J. W. Bae, J. M. Shon, Y. B. Shim*, G. R. Jeon**

Dept. of Interdisciplinary program in Biomedical Eng., Pusan National University,

Dept. of Chemistry, Pusan National University*,

Dept. of Biomedical Eng., College of Medicine, Pusan National University**

E-mail : digitalup@korea.com

Abstract

In this study, we implement the potable blood gas analyzer measuring pH, pCO₂ and pO₂ of the arterial blood. The implemented system by this study is divided into hardware and software part and also the hardware portion is parted by mechanism and electronic circuit unit. The system program is composed of operating, washing, correcting and measuring program. And to correct the system, two-point calibration method is used, one-point calibration method is also added for more accuracy, and system program is coded. For verifying the implemented system, We examine to response property of each electrode. And evaluate accuracy of the system using standard reagent and was construed as statistical.

Key word : Mobile blood analysis system, potable blood gas analyzer, pH, pCO₂ and pO₂ analyzer measuring

I. 서 론

혈액중의 pH, pCO₂, pO₂ 등의 혈액가스를 측정하는 것은 산-염기 평형의 진단과 호흡기 계통의 질환 진단을 위하여 중요한 검사이다. 혈액 중의 이러한 요소들은 정상 범위 내에서 유지되도록 인체 내의 보상 기전들과 항상성들이 작용하고 있다. 하지만 보상기전과 항상성의 균형이 파괴되면 산-염기 불평형을 초래하게 되며, 인체에 치명적인 영향을 미치게 되므로 산-염기 평형 상태의 검사는 응급검사의 일종으로 인식되고 있으며, 산-염기 상태전이(status transition)에 따라 치료방법을 다르게 적용하여야 한다^[1-4].

산-염기의 평형상태를 진단하기 위하여 일반적으로 혈액가스분석장비(arterial blood gas analyzer : ABGA)를 이용하며, 현행 ABGA는 병원의 임상병리와 응급검사실에 설치하여 검사를 시행하고, 환자의 산-염기 상태를 통보 받는데 경과되는 시간은 대개 약 30 분 정도 소요된다. 혈액가스검사서 동맥 혈액을 채취한 후 5 분 이내에 산-염기 상태의

진단이 이루어지지 않을 경우에는 환자는 보상 기전에 의해 이미 다른 상태로 천이 되었을 가능성이 많기 때문에 혈액가스분석 결과를 통보 받는 시점과 혈액이 채취되는 시점의 환자의 산-염기 상태는 다를 수 있다. 따라서 환자 상태에 따른 즉각적인 치료를 수행하기 위해서는 신속한 검사가 이루어져야 할 필요성이 있다^[5-6].

본 연구에서는 현장 진료가 가능하도록 휴대하기가 편하며, 검사 시간이 약 2 분 정도 소요되고, 임상분석 결과가 비교적 정확하며 재현성이 높은 ABGA를 구현하였고, 구현된 ABGA의 타당성을 검증하기 위하여 각 전극의 감응 특성을 조사하였으며, 시스템의 정확도평가(accuracy evaluation)를 위하여 표준시료를 반복 측정하여 그 결과를 통계분석 하였다.

II. 본 론

본 연구에서 구현된 ABGA의 하드웨어부는 시스템 메커니즘부와 시스템 회로부로 구분하였

다. 그리고 시스템 하드웨어부의 메커니즘부는 액류흐름부, 전극부, 그리고 온도 유지부 메커니즘으로 구분하여 구성하였으며, 구현된 ABGA의 전체적인 구성도는 그림 1과 같다.

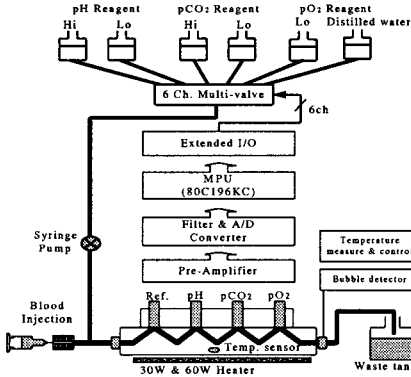


그림 1. 혈액가스분석 시스템의 전체 구성도

1. 혈액가스분석 시스템의 메커니즘 설계

본 연구에 의해 구현된 ABGA의 메커니즘은 크게 액류흐름 계통, 전극부, 그리고 온도 유지 메커니즘으로 구분하여 구성하였으며, 구성방법과 기능은 다음과 같다.

액류흐름 메커니즘부는 혈액흐름과 시약흐름 메커니즘으로 구분하였다. 이들 중 혈액 흐름부는 혈액 주입부와 혈액흐름 감지부로 구분하여 구성되었다. 혈액흐름 계통은 주사기를 이용한 수동주입 방식을 사용하였으며, 주사기 삽입의 편의를 위해 삽입 가이드를 설계하였고, 액류 메커니즘의 흐름과 연결되어 혈액이 주입되도록 혈액 주입부를 설계하였다. 그리고 시약흐름 계통은 액류의 흐름을 위하여 내경이 1 mm 인 실리콘 튜브를 사용하여 최소한의 시약으로 시스템의 교정이 가능하도록 구성하였으며, 실리콘 펌프와 6 채널 멀티밸브 (6-channel multi valve: EW-01367-83, Cole-Parmer Instrument Company, Canada)를 이용하여 액류흐름을 제어하였다.

구현된 ABGA의 전극부는 pH, pCO₂, 그리고 pO₂ 전극들이 어레이 (array) 형태로 배열되었고, 혈액 및 교정용액이 유입될 때 각 전극들이 최적의 조건에서 감응할 수 있도록 플로우-셀을 설계하였다. 그리고 플로우-셀의 입구와 출구에

금속관을 설치함으로써 플로우-셀 내부에 공기방울의 유입 여부를 검사하기 위한 전극으로 사용하였고, 액류 흐름을 위한 실리콘 튜브를 연결하는 용도와 겹쳐서 사용할 수 있게 하였으며, 전극부의 구성을 위해 제안된 플로우-셀의 구조도를 그림 2에 나타내었다.

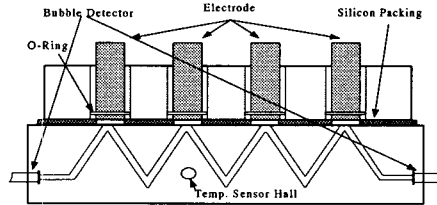


그림 2. 제안된 플로우-셀 구조도

2. 혈액가스분석 시스템의 회로부 설계

시스템 하드웨어의 회로부는 크게 전극 측정부와 주처리부 및 주변 장치부로 구분하였다. 이들 중 전극 측정부는 pH, pCO₂, pO₂, 그리고 온도 등의 신호를 검출하여 오프셋 조정, 증폭, 그리고 필터링 등의 과정을 거쳐 디지털 신호로 변환하기 위한 회로와 플로우-셀 내부 액류의 상태 즉, 공기 방울의 유입 여부를 검사하기 위한 액류감지 회로 등으로 구성하였다. 그리고 주 처리부는 여러 가지 신호의 분석과 소자들의 원활한 제어를 위해 원칩 마이크로 프로세서를 사용하여 구성하였다. 또한 주변 장치부는 사용자 인터페이스를 위해 키-패드, LCD, 그리고 직렬통신 등으로 구성하였으며, 구현된 ABGA 회로부의 전체 구성도를 그림 3에 나타내었다.

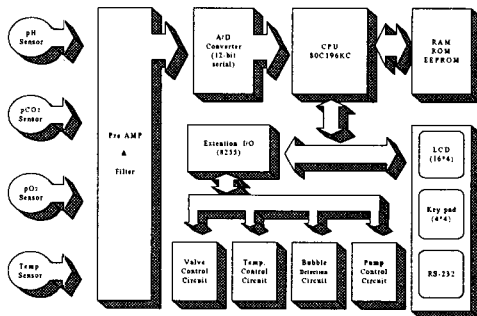
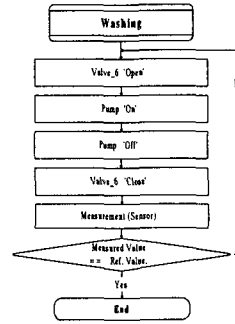


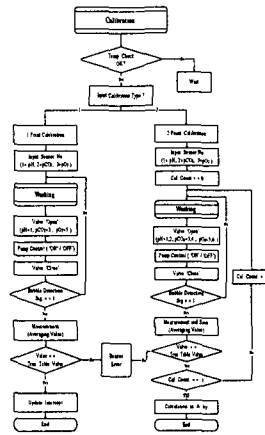
그림 3. 혈액가스분석 시스템의 회로부 구성도

3. 시스템 운용 프로그램의 설계

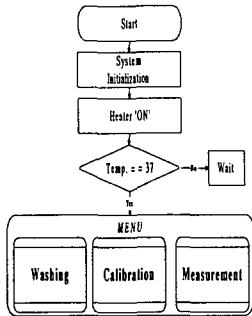
ABGA의 시스템 운용 프로그램은 전체 운용 프로그램과 각 루틴별 부 프로그램으로 구성되었다. 이들 부 프로그램들은 전체 운용 프로그램에서 호출하는 방식으로 운용되며, 크게 세척, 교정, 그리고 측정 프로그램으로 구성되었다. 전체 운용 프로그램에서는 우선 프로그램이 시작되면 주변 장치부와 입·출력 포트들을 초기화시킨다. 초기화가 끝나면 측정의 준비 단계로 플로우-셀을 예열하기 위하여 가열히터를 가동시킨다. 이때 온도를 모니터링 하여 체온과 동일한 상태가 되면 각 루틴별 부 프로그램을 실행하기 위한 준비 단계를 마치게 된다. 이 때는 키의 입력을 받아서 각 루틴별 부 프로그램을 호출하여 실행하게 구성하였다. 그리고 세척 프로그램은 밸브와 펌프의 순차적인 제어에 의해 내부 튜닝과 플로우-셀의 이물질질을 제거하기 위한 프로그램이며, 교정프로그램은 2 점 교정방법을 구현하였으며, 1 점 교정을 추가하여 시스템의 정확성을 높이고자 하였다. 그리고 측정 프로그램은 실제 혈액가스를 측정하기 위한 루틴으로서 센서로부터 획득한 신호를 교정루틴에서 획득한 교정식에 적용하여 측정치를 구하기 위한 루틴이다. 시스템 운영프로그램의 흐름도를 그림 4에 나타내었다.



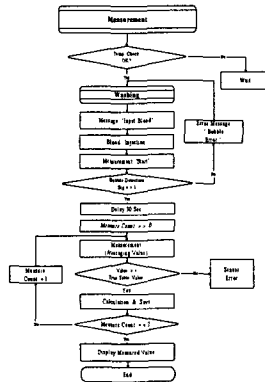
(b) 세척 프로그램



(c) 교정 프로그램



(a) 주 프로그램



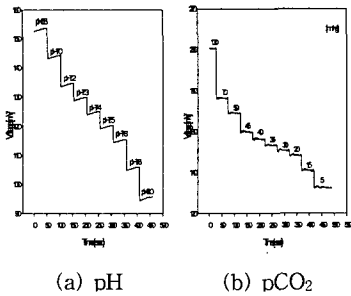
(d) 측정 프로그램

그림 4. 시스템 운영프로그램의 흐름도

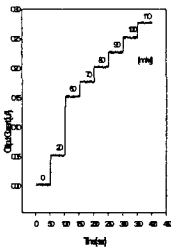
III. 실험 및 결과

1. 전극 감응 특성실험

휴대형 ABGA에 사용한 전극들의 감응 특성을 측정하기 위한 실험을 수행하였다. 즉 각각의 전극별로 분석 가능한 범위내의 여러 가지 표준용액을 선정하고, 선정된 표준용액에 대한 전극의 감응 특성을 측정하기 위해 다음과 같은 실험을 수행하였다. 먼저 pH는 6.8, 7.0, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.8, 그리고 8.0 등 9 가지의 표준용액에 대한 pH 전극의 감응 특성을 1 초 간격으로 각각 50 회씩 측정하였으며, pCO₂는 5, 15, 20, 30, 35, 40, 45, 50, 70, 100 등 10 가지의 표준용액을, pO₂는 0, 20, 60, 70, 80, 90, 100, 110 등 8 가지 표준용액을 이용하여 pH와 동일한 방법으로 실험을 수행하여 그 결과를 그림 6에 나타내었으며, 측정된 값을 이용하여 보정곡선을 구한 결과를 그림 7에 나타내었다.

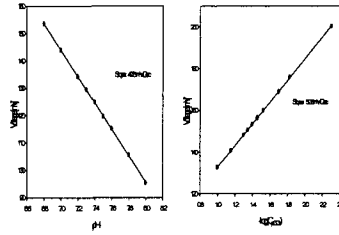


(a) pH (b) pCO₂

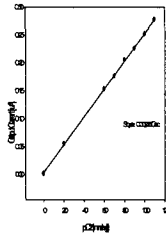


(c) pO₂

그림 6. 전극의 응답특성 결과



(a) pH (b) pCO₂



(c) pO₂

그림 7. 전극의 보정곡선

2. 시스템의 정확도 평가 실험

표준용액을 이용하여 구현된 휴대형 ABGA의 정확도를 평가하기 위하여 pH는 7.2부터 7.6까지를 0.1 단위로 5 등급으로 구분하고, pCO₂는 30 mmHg에서부터 50 mmHg까지를 5 mmHg 단위로 5 등급을 구분하고, 그리고 pO₂는 60 mmHg에서부터 100 mmHg까지 10 mmHg 단위로 5 등급을 구분한 후 각 등급별로 20 회씩 측정 실험을 수행하고 측정 결과치를 통계적인 방법 즉, 평균 (mean), 표준편차 (standard deviation), 평균에러, 평균에러율, 계수변화율 (coefficient of variation:CV) 등을 계산하여 표 1에 나타내었다. pH의 경우 평균오차는 0.46 %이었으며, 계수변화율은 0.52였다. pCO₂의 평균오차는 0.94 %, 계수변화율은 0.94이었다. 그리고 pO₂의 평균오차는 0.17 %, 계수변화율은 0.79로 나타났다. 그리고 전체적인 실험에서 최대 오차는 1.05 %이었으며, CV의 최대치는 1.12였다.

표 1. 구현된 혈액가스분석기의 측정 통계치

Reagent		Mean	SD	Eav	Eav(%)	CV
pH	7.2	7.193	0.042	0.037	0.509	0.585
	7.3	7.303	0.033	0.029	0.393	0.453
	7.4	7.404	0.042	0.036	0.491	0.566
	7.5	7.518	0.034	0.033	0.439	0.456
	7.6	7.599	0.042	0.037	0.482	0.549
pCO ₂ [mmHg]	30	30.090	0.337	0.314	1.047	1.121
	35	35.095	0.259	0.246	0.702	0.737
	40	40.186	0.337	0.311	0.778	0.839
	45	45.167	0.457	0.398	0.885	1.013
	50	50.441	0.508	0.597	1.298	1.008
pO ₂ [mmHg]	60	59.982	0.532	2.996	0.493	0.886
	70	69.879	0.584	0.477	0.079	0.835
	80	80.181	0.528	0.463	0.076	0.658
	90	89.85	0.784	0.678	0.112	0.872
	100	99.73	0.699	0.597	0.098	0.701

IV. 결론 및 고찰

본 연구에서는 응급검사의 일종으로 검사의 중요성이 매우 높은 산-염기평형상태를 진단할 수 있는 혈액가스 분석 시스템을 구현하였다. 그리고 구현된 시스템의 평가를 위하여 각 전극별 감응 특성실험을 수행하였으며, 그 결과 표준 용액에 대한 각각 전극의 출력 신호는 임상 범위 내의 표준용액의 농도나 분압 또는 로그 분압에 선형적인 출력 특성을 나타내었다. 표준용액을 이용한 정확도 평가실험을 수행한 결과 계수변화율이 1.13이내이었고, 최대오차가 1.04%이내인 정확도를 나타내었으며, 실험을 통하여 휴대형 ABGA의 개발 가능성을 확인하였다.

하지만 실제 혈액 측정 환경에서의 재현성과 정확도 향상을 위한 시스템 및 알고리즘의 개선에 관한 연구와 임상 유용성에 관한 연구 등이 지속적으로 수행할 필요를 통감하게 되었다. 이러한 연구가 본 연구의 기반 하에 지속적으로 수행된다면 현재 수입에 의존하고 있는 ABGA의 국산화가 가능하리라 판단되며, 혈액가스 분석을 환자가 위치한 현장에서 즉각적으로 수행하고, 수행 결과에 따른 신속한 조치를 취함으로써 보다 효율적인 환자 관리와 양질의 진료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 머지

않은 장래에 도입될 고령화 사회에 대비하여 원격진료와 현장진료에 매우 유용한 의료기기로 활용되리라 판단된다.

참고문헌

- [1] 강두희, 생리학, 신광출판사, Ch. 9 - 10, 2000
- [2] 이귀녕, 김진규, 임상화학, 의학문화사 pp. 228-248, 1997
- [3] Van Slyke, D.D. and Cullen, G.E., *Studies on acidosis*, IJ Biol Chem, 30, 289, 1917
- [4] Siggaard-Andersen, O., Engel, K., Jorgensen, K, and Astrup, P., A micromethod for determination of pH, carbon dioxide tension, base excess and standard bicarbonate in capillary blood, *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 12, 172, 1960
- [5] John G. Webster, *Medical Instrumentation Application and Design*, John Wiley & Sons, INC, 1995
- [6] Richard Aston, *Principles of Biomedical Instrumentation and Measurement*, Merrill Publishing Company, pp. 135-165. 1998
- [7] Severinghaus, J.W. & Bradly, A.F., Electrode for blood pO₂ and pCO₂. *J. Appl. Physiol.* 13, 515, 1958
- [8] 서화일, 최평, 손병기, "마이크로 산소분압센서용 Potentiostat 및 I-V Converter 회로 설계", *센서 학회지*, Vol. 3, No. 3, 1994
- [9] 정훈, 김영진, 이영철, 손병기, "FET형 이온센서용 측정시스템", *센서학회지*, Vol. 10, No. 3, 2001
- [10] Mendelson Y. M., and R. A. Peura, "Noninvasive transcutaneous monitoring of arterial blood gases", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, BME-31, pp. 792-800, 1984
- [11] Hiroaki Suzuki, Ako Sugama, and Naomi Kojima, "Miniature Clark-type oxygen electrode with a three-electrode configuration", *Sensor and Actuators B*, Vol. 2, pp. 297-302, 1990