

# FPGA를 이용한 홈 헬스케어용 전립선 비대증 진단시스템 구현

정도운\*, 정완영\*, 김정국\*\*

\*동서대학교 컴퓨터정보공학부, \*\*동서대학교 전자공학과

## Implementation of the BPH Diagnosis System for Home Health Care Using FPGA

\*Do-Un Jeong, \*Wan-Young Chung, \*\*Jeong-Kuk Kim

\*Division of Computer Information Eng., Dongseo University,

\*\*Department of Electronics Eng., Dongseo University

### 요 약

A sensor and measuring system were implemented to measure both uroflow and urophonography signal during urination for diagnose the BPH(benign prostatic hypertrophy). The implemented system was composed of the uroflow sensor using the load-cell, the urophonography measurement sensor so as stethoscope type, pre-processing part for sensors signal detection, amplifier and filter, system control parts and PC measurement program. A simulator of the lower urinary system that is experimental equipment implemented for evaluate the developed system. The two signals were measured using implemented system and analyzed these signal by means of time domain and frequency domain for extraction of the characteristic parameter which can most effectively reflected by the occlusion of the lower urinary system. Furthermore two signals were measured and analyzed with the subject of 5 healthy adult for clinical application possibility of the implemented system. As a result, the most influence bandwidth of effect according to occlusion of the lower urinary system is 253 ~ 282 Hz of the urophonography signal.

### I. 서 론

전립선비대증(benign prostatic hypertrophy, BPH)은 배뇨장애를 수반하는 대표적인 남성질환으로서, 환자가 쉽게 인식할 수 없을 뿐만 아니라 일단 발현되면 삶의 질을 현격하게 저하시키기 때문에 고령화에 접어드는 남성에게 있어서는 매우 관심이 높은 증상으로 인식되고 있다[1]. 전립선비대증의 진단을 위하여 임상에서는 다양한 진단방법이 적용되고 있으며, 최근에는 비 침습적이고 보다 간편한 진단방법들이 연구되고 있다. Roehrborn[2]은 배뇨량을 측정하여 요속으로 환산하고 이를 이용하여 하부요로 폐색을 진단하는 방법을 연구하였고, Ozawa[3]는 초음파를 이용하여 요속을 측정하는 방법을 제안하였다. 이러한 요속검사법은 간편한 진단 도구로서 활용가치가 높지만 하부요로계의 보상성기능항진(compensatory hypertrophy) 즉, 초기의 하부요로 폐색 시 이를 보상하기 위한 방광내압의 상승으로

폐색이 발생했음에도 불구하고 정상요속이 나타날 수 있는 단점이 있다. 따라서 보다 정확한 하부요로계의 폐색 진단을 위하여 보상성기능항진의 작용 유무를 평가하는 것이 무엇보다 중요하다.

본 연구에서는 요속과 요류음을 동시에 측정하고 분석하여 보상성기능항진의 작용 유무를 판별함으로써 보다 정확하게 하부요로계의 폐색을 진단하는 시스템을 구현하고자 하였다. 이를 위하여 로드셀을 이용한 요속 센서 및 청진기형 요류음 센서를 제작하였으며, 센서로부터 출력된 신호를 검출하고 처리하기 위하여 신호처리회로 및 FPGA를 이용한 시스템 제어회로를 설계하였다. 그리고 측정된 데이터의 디스플레이 및 저장을 위하여 PC 측정 프로그램을 구현하였으며, 요속과 요류음 신호로부터 유용한 정보를 추출하기 위하여 시간영역과 주파수 영역에서의 신호처리방법을 제안하였다. 또한 구현된 시스템과 분석방법의 타당성을 평가하기 위하여 하부요로계를 모식화한 실험장치를 구현하고 이

를 이용한 평가를 수행하였다.

## II. 본 론

### 1. 계측 시스템의 구현

본 연구에서는 요속과 요류음의 계측을 위하여 센서부, 센서신호의 검출을 위한 전처리부, 신호의 증폭 및 필터링을 위한 아날로그 신호처리부, 신호를 PC에서 분석 가능한 디지털 신호로 변환하기 위한 신호변환부, 시스템의 전체적인 제어를 위한 시스템 제어부 그리고 계측된 데이터를 PC에서 디스플레이 및 저장하기 위한 PC 계측 프로그램 등을 구현하였다.

#### 1) 센서부의 구현

센서부는 요속 측정센서와 요류음 측정센서로 구분할 수 있다. 요속측정 센서는 배뇨에 따른 무게의 변화를 측정하기 위하여 스트레인지지를 금속 탄성체에 집착 후 휘스톤브릿지 회로를 이용하여 저항변화를 전압변화로 검출하는 로드셀(Cas Co., BCL Single Point, Korea)을 이용하여 구성하였다. 그리고 요류음의 계측을 위하여 청진기의 내부에 마이크로폰을 삽입한 청진기형 요류음 센서를 제작하였다. 구현된 요류음 센서는 요류음의 주요 주파수 대역인 50 ~ 1500 Hz 사이의 신호를 측정하기 위하여 리트만 청진기(2201, 3M Co., USA)를 다이어프램(diaphragm) 모드로 사용하였다. 또한 청진기 내부에 삽입한 마이크로폰은 감도가 7 mV/Pa, 주파수 대역이 6.3 ~ 100,000 Hz 그리고 동작범위가 15 ~ 146 dB의 특성을 가지는 콘덴서형 마이크로폰(AIWA Co., Japan)을 사용하였다

#### 2) 센서 신호처리 회로 구현

요속과 요류음 센서 신호를 검출하고 처리하기 위하여 전자회로를 설계하였다. 먼저 로드셀의 신호를 검출하기 위해 FET 타입의 입력을 갖는 계측용 증폭기(INA121, Burr-Brown Co., USA)를 이용한 전치증폭부를 설계하였다. 또한 아날로그 샘플링 및 홀드(sample and hold) 회로를 적용하여 영점보정이 가능하게 하였고, 로드셀로부터 측정된 요중량 신호를 요속신호로 변환하고 증폭하기 위하여 미분회로와 다단 증폭부를 설계 및 제작하였다.

그리고 청진기형 요류음센서 신호의 S/N비를 높이고 LUTS의 진단에 유용한 주파수대역을 검출하기 위하여 전자회로를 설계 및 구현하였다. 먼저 콘덴서형 마이크로폰으로부터 출력되는 전류를 전압으로 변환하기 위해 연산증폭기를 이용한 전류-전압변환회로를 구성하였으며, 상용전원으로부터 유입되는 60 Hz 전원잡음의 제거를 위한 노치필터와 50 ~ 1500 Hz 사이의 대역통과필터를 설계하였다. 그리고 신호의 증폭을 위하여 연산증

폭기를 이용한 다단 증폭부를 구현하였다.

### 3) FPGA를 이용한 시스템 제어회로 구현

요속 및 요류음 신호를 컴퓨터에서 분석 가능한 디지털 신호로 변환하기 위하여 시리얼 인터페이스로 구동되는 12비트 A/D 변환기(MCP3204, Microchip technology Co., USA)를 사용한 데이터 변환부를 구성하였다. 그리고 A/D 변환기의 구동과 버퍼링, PC와 통신에 의한 데이터 전송 등의 처리를 위하여 VHDL(very high speed hardware description language)과 FPGA(Spartan2-30, Xilinx Co., USA)를 사용하여 시스템 제어부를 구성하였으며, 구성도는 그림 1과 같다.

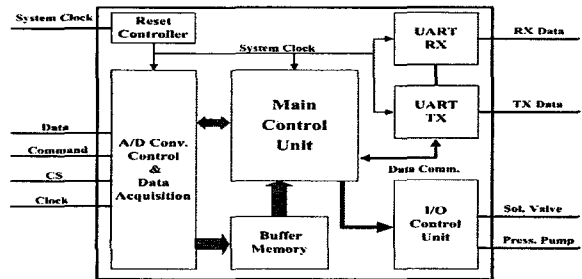
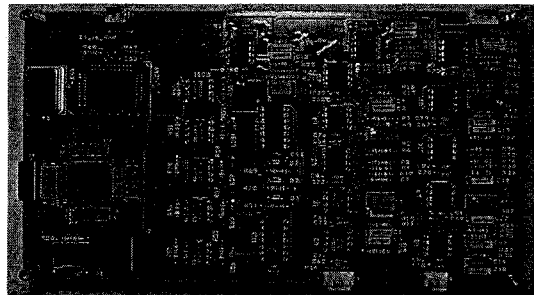


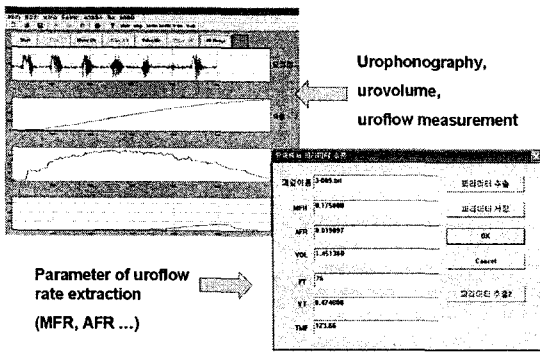
그림 1. 시스템 제어부의 구성

### 4) PC 분석프로그램의 구현

시스템 제어부로부터 전송된 데이터를 PC에서 디스플레이하고 저장하기 위하여 Visual C++ 6.0(Microsoft Co., USA)을 이용하여 PC 계측 프로그램을 구현하였다. 구현된 프로그램은 시스템 제어부에서 설계된 통신 모듈과 시리얼 통신을 통하여 115.2 Kbps의 속도로 패킷통신을 수행하도록 구성하였다. 그리고 데이터에 포함된 헤드정보를 검출하여 요속 및 요류음 데이터를 구분하고 에러체크를 수행할 수 있도록 하였다. 상기에서 기술한 방법에 의해 실제 구현된 계측 시스템의 하드웨어와 PC 계측 프로그램을 그림 2에 나타내었다.



(a)



(b)  
그림 2. 구현된 시스템(a), PC 프로그램(b)

2. 요속 및 요류음 신호처리

비침습적인 방법으로는 하부요로계의 폐색을 진단하기 위하여 요속과 요류음 신호를 분석하여 폐색을 가장 잘 반영하는 특징파라미터를 검출하고자 하였다. 이를 위하여 요속 신호로부터 최대요속(maximum flow rate, MFR)과 평균요속(average flow rate, AFR)을 검출하였으며, 이를 구하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$MFR = \text{MAX}[Q_{ura}(t)]_{\text{first}}^{\text{last}} \quad (1)$$

$$AFR = \frac{VOL}{FT} \quad (2)$$

여기서, Qura는 요속을 의미하며, VOL은 총배뇨량을 그리고 FT는 배뇨시간을 의미한다.

본 연구에서 계측된 요류음 신호는 계측 시스템에서 50 ~ 1500 Hz 사이의 대역통과필터를 거치고 앨리어싱(aliasing) 에러를 방지하기 위하여 차단주파수가 2.5 KHz인 저역통과필터를 거쳐 초당 5000 샘플을 획득하도록 하였다. 또한 데이터의 분석에 앞서 PC 상에서 50 ~ 1500 Hz 사이의 대역통과필터를 설계하여 전처리를 수행하였다. 그리고 전처리된 요류음 신호의 배경잡음을 최소화하고 신호의 특징부를 강조하기 위하여 다음 수식으로 표현되는 Pre-emphasis를 수행하였다.

$$H(z) = 1 - az^{-1}, 0.9 \leq a \leq 1.0 \quad (3)$$

Pre-emphasis를 수행한 요류음 신호를 시간영역과 주파수 영역에서의 분석으로 구분하여 신호처리 하였으며, 본 연구에서 적용한 분석 기법의 구성도는 그림 6 과 같다. 먼저 시간영역 분석에서는 요류음의 평균실효치전력(average RMS power, ARP)을 추출하여 폐색에 따른 변화 양상을 관찰하였다. 그리고 주파수 영역의 분석에서는 윈도우 기법을 적용 후 FFT를 이용한 전력스펙트럼 밀도(power spectrum density, PSD)를 추출

하고 중심주파수(median frequency, MF)와 주파수 대역별 면적변화율(area variation ratio, AVR)을 분석하였다.

III. 실험 및 결과

1. 인체 하부요로계를 모식화한 실험장치

본 연구에 의해 구현된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 인체의 하부요로계를 모식화한 실험장치를 구현하였다. 구현된 실험장치는 인체의 방광 기능에 해당하는 물탱크, 요도의 기능을 수행하는 실리콘 튜브 그리고 폐색을 인위적으로 유발시킬 수 있는 폐색조절부 등으로 구성되었으며, 전체적인 구성도는 그림 3과 같다.

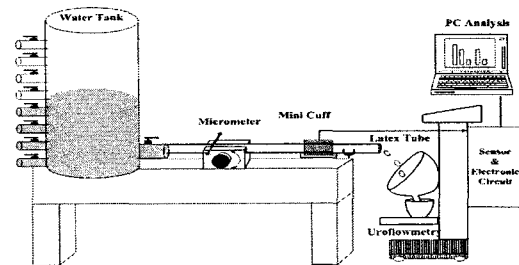


그림 3. 구현된 실험장치의 구성.

2. 시간영역에서의 요속-요류음 분석

인체의 하부요로계를 모식화한 실험장치를 이용하여 인위적으로 30 cmH<sub>2</sub>O와 70 cmH<sub>2</sub>O의 압력에서 폐색의 정도에 따른 요속과 요류음을 계측 및 분석하여 그림 4에 나타내었다.

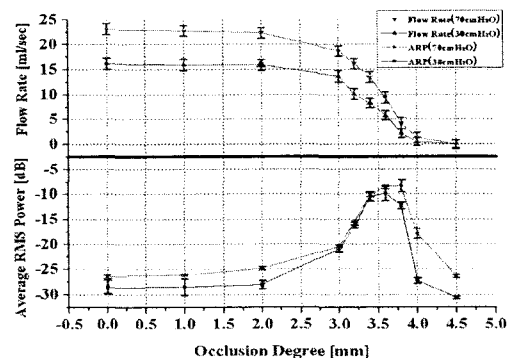


그림 4. 요속 및 요류음 ARP의 변화.

그림 4를 살펴보면 30 cmH<sub>2</sub>O의 압력일 때 폐색이 없을 경우 요속은 16 ml/sec로 관찰되었다. 하지만 폐색이 존재하더라도 보상성 기능항진에 의해 압력이 높아지면 이와 동일한 요속이 관찰됨을 알 수 있었다. 즉 압력을

70 cmH<sub>2</sub>O로 증가시키고 약 3.2 mm의 폐색을 유발시켰을 경우 약 16 ml/sec의 요속을 관찰할 수 있었다. 즉 30 cmH<sub>2</sub>O의 압력일 때 폐색이 없을 경우 요속은 16 ml/sec이었고, 요류음의 ARP는 약 -28 dB이었다. 하지만 폐색이 발생하고 보상성 기능항진이 작용하여 방광의 내압이 높아졌을 경우를 가정한 70 cmH<sub>2</sub>O의 압력과 3.2 mm의 폐색이 인가된 경우의 요속은 동일하게 관측되었으나, 이 때 요류음의 ARP는 약 -15 dB로서 폐색이 없는 경우의 -28 dB와는 상당한 차이가 나타남을 알 수 있었다. 이와 같이 요류음의 분석은 요속 검사의 단점을 보완하여 보다 정확한 하부요로폐색의 진단을 위한 유용한 도구로서 사용될 수 있음을 시사한다.

3. 요류음 신호의 MF 분석

PSD의 50%가 되는 주파수, 즉 MF(median frequency)를 분석하여 압력이 30 cmH<sub>2</sub>O일 때와 70 cmH<sub>2</sub>O일 때의 폐색의 정도에 따른 MF의 변화를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 알 수 있듯이 압력이 70 cmH<sub>2</sub>O일 때가 30 cmH<sub>2</sub>O일 때보다는 MF가 전체적으로 높게 나타났으며, 폐색의 정도가 3~3.8 mm일 때는 MF가 120~150 Hz 사이에서 거의 일정하게 나타남을 관찰할 수 있었다. 그리고 폐색정도가 4.0 mm일 때는 MF가 각각 220 Hz와 150 Hz로 가장 높게 나타났으며, 폐색정도가 4.0 mm 이상인 경우에는 급격하게 감소하는 특성을 보이며, 이상의 결과로부터 MF는 폐색의 유무를 판단하는데 있어 유용한 지표로 활용될 수 있음을 확인하였다.

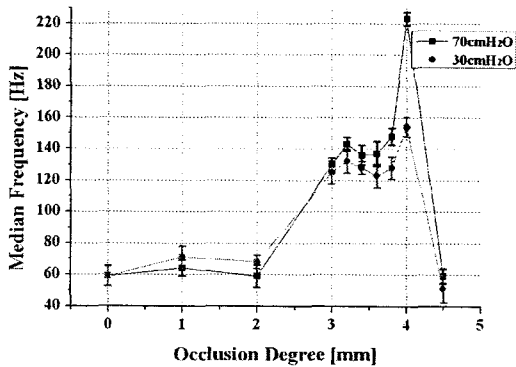


그림 5. 폐색에 따른 요류음의 MF 분석 결과

4. log-log plot 분석

주파수 영역에서의 요류음 특성을 평가하기 위하여 FFT를 통한 PSD 결과로부터 log-log plot을 도시하고 압력과 폐색의 변화에 따른 기울기 변화를 관찰하였으며, 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6의 실험결과로부터 log-log plot의 기울기 변화가 폐색의 정도를 반영하는 지표로서 활용될 수 있음을 확인 가능하다.

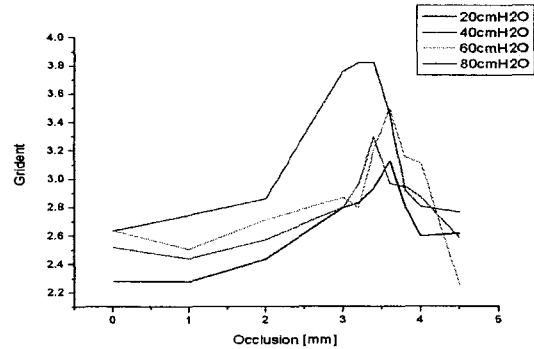


그림 6. 폐색에 따른 log-log plot 분석

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 기존의 요속검사의 맹점으로 인식되고 있는 보상성기능항진의 작용 유무를 검출하기 위하여 FPGA로 제어되는 전립선비대증 진단시스템을 구현하였다. 그리고 요속과 요류음의 동시 계측 및 분석을 통해 보상성 기능항진의 작용 여부를 평가할 수 있었으며, 통해 보다 정확한 전립선 비대증의 진단 가능성을 확인하였다. 향후 연구에서는 실제 임상에 적용하여 환자군의 요속 및 요류음 계측을 통해 임상적 유용성을 평가할 필요성을 느끼며, 폐색의 유무뿐만 아니라 폐색의 정도와 하부요로계 질환의 분류를 위한 다양한 분석 기법의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] 대한비뇨기과학회지, 제3판 비뇨기과학, 고려의학, 2001.
- [2] Roehrborn C, Di Sylvio F, Aso Y, Chatelain C, "Diagnostic work-up of patients presenting with symptoms suggestive of prostatism", In Proceedings of the FIC on BPH Paris, vol. 17, pp. 91-136, 1991.
- [3] Ozawa H, Kumon H, Yokoyama T, Watanabe T, Chancellor MB, "Development of noninvasive velocity flow video urodynamics using Doppler sonography. Part I. Experimental urethra", J. Urol., vol. 160, no. 4, pp. 1787-1791, 1998.
- [5] Kenkichi Koiso, "Urophonographic Studies of the Lower Urinary Tract : A New Approach to Urodynamics", Tohoku J. exp. Med., vol. 151, no. 1, pp. 57-64. 1987.
- [6] H. Terio, "Acoustic method for assessment of urethral obstruction : a model study", Med. & Biol. Eng. & Comput., vol. 29, no. 2, pp. 450-456, 1991.