

홈 헬스케어에 적용 가능한 하부요로계 폐색 모니터링 시스템 구현 및 평가

정도운^{*} · 정완영^{*} · 전계록^{**}

^{*}동서대학교 컴퓨터정보공학부, ^{**}부산대학교 의공학교실

Implementation and Estimation of the LUTS Diagnosis System for Home Health Care

Do-Un Jeong^{*} · Wan-Young Chung^{*} · Gye-Rock Jeon^{**}

^{*}Dongseo University, ^{**}Pusan National University

E-mail : dujeong@dongseo.ac.kr

요 약

본 연구에서는 가정이나 일반 사무실 등에서 편리하게 하부요로계의 폐색을 진단하기 위하여 요속과 동시에 배뇨 시 발생하는 요류음을 계속할 수 있는 센서 및 계속 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 로드셀을 이용한 요속계측센서, 청진기형 요류음 계측센서, 센서신호의 검출을 위한 전처리부, 신호의 증폭 및 필터부, 시스템 제어부, PC 계측 프로그램 등으로 구성되었다. 구현된 시스템의 평가를 위하여 하부요로계를 모식화한 실험장치를 구현하였다. 구현된 실험장치를 이용하여 요속 및 요류음을 계속하고 시간영역과 주파수영역에서의 분석을 통해 하부요로계의 폐색을 가장 잘 반영하는 특징파라미터를 추출하고자 하였다. 그리고 구현된 시스템의 임상적용 가능성을 평가하기 위하여 정상인 5명을 대상으로 요속 및 요류음을 계속하고 분석하였다. 그 결과 요류음 신호의 253 ~ 282 Hz 대역이 폐색의 정도를 가장 잘 반영하는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

A sensor and measuring system were implemented to measure two signals that uroflow and urophonography during urination for diagnose the lower urinary tract symptom. 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 implemented 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 the most influence of effect according to 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.

키워드

LUTS(Lower Urinary Tract Symptom), Non Invasive Urodynamics, Urophonography

1. 서 론

하부요로증상(lower urinary tract symptom, LUTS)은 배뇨장애를 수반하는 대표적인 남성질환으로서, 환자가 쉽게 인식할 수 없을 뿐만 아

니라 일단 발현되면 삶의 질을 현격하게 저하시키기 때문에 고령화에 접어드는 남성에게 있어서는 매우 관심이 높은 증상으로 인식되고 있다 [1]. 배뇨 이상 증상을 동반하는 대표적인 LUTS인 전립선 비대증은 60 - 70 세의 남성 중 40 -

70 %의 유병율을 보이며, 일생동안 약 80 %의 남성이 증상을 겪게 되는 주요 질환이다[1].

전립선비대증의 진단을 위하여 임상에서는 다양한 진단방법이 적용되고 있으며, 그 중에서도 비침습적으로 폐색의 유무를 판별할 수 있는 요속검사법이 널리 활용되고 있다. 하지만 요속 검사법은 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 평가가 필수적이며, 이와 관련되 연구로서 Kenkichi[2]와 Terio[3] 등은 남성의 회음부에 콘덴서 마이크를 부착하여 배뇨 시 발생하는 요류음을 획득하고 요류음의 형태를 분석함으로써 하부요로계의 진단 가능성을 제시하였다. 하지만 다양한 질환과 신체적 특성에 의한 측정의 재현성이 문제시되어 실제 임상에는 적용되지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 기존의 연구자와는 차별화된 방법으로 요속과 요류음을 동시에 계측하고 분석함으로써 보상성기능항진의 작용 유무를 판별하고자 하였으며, 이를 위하여 요속 및 요류음을 측정할 수 있는 센서 및 시스템을 구현하였다. 그리고 인체의 하부요로계를 모식화한 실험장치를 이용하여 구현된 계측 시스템의 성능 및 요속과 요류음의 동시계측을 통한 보상성기능항진의 작용유무를 평가하고자 하였다.

II. 본 론

1. 센서부의 구현

본 연구에서는 요속과 요류음의 계측을 위하여 센서부, 센서신호의 증폭 및 필터링을 위한 신호처리부, 시스템의 전반적인 제어를 위한 시스템 제어부 그리고 계측된 데이터를 PC에서 디스플레이 및 저장하기 위한 PC 계측 프로그램을 구현하였다.

먼저 센서부는 요속 측정센서와 요류음 측정센서로 구분할 수 있으며 실제 구현된 요속 및 요류음 센서를 그림 1에 나타내었다. 요속측정 센서는 로드셀(Cas Co., BCL Single Point, Korea)을 이용하여 배뇨에 따른 요의 중량변화로부터 단위시간당 배뇨량, 즉 요속을 측정할 수 있도록 하였으며, 요류음의 계측을 위하여 콘덴서형 마이크로폰을 이용한 요류음 센서를 제작하였다. 구현된 요류음 센서는 요류음의 주요 주파수 대역인 50 ~ 1500 Hz 사이의 신호를 측정하기 위하여 감도가 7 mV/Pa, 주파수 대역이 6.3 ~ 100,000 Hz 그리고 동작 범위가 15~146 dB의 특성을 갖는 마이크로폰(AIWA Co., Japan)을 사용하였으며, 본 연구에 의해 구현된 센서부를 그림 1에 나타내었다.

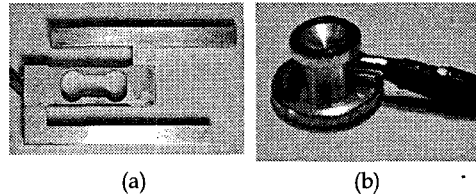


그림 1. 구현된 센서부 (a)요속, (b)요류음

2. 전자회로부의 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 전치증폭부, 필터, 신호변환부 등을 구성하였다. 그리고 요류음센서 신호의 S/N비를 높이고 LUTS의 진단에 유용한 주파수 대역을 검출하기 위하여 콘덴서마이크 신호검출 회로를 구성하고 60 Hz 전원잡음의 제거를 위한 노치필터와 50 ~ 1500 Hz 사이의 대역통과필터 및 신호증폭회로를 설계 및 구현하였다. 또한 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, 실제 구현된 전자회로부의 사진을 그림 2에 나타내었다.

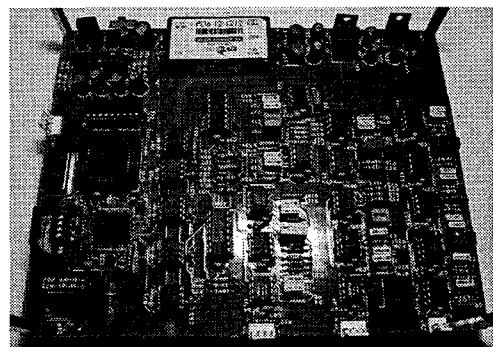


그림 2. 구현된 전자회로부의 사진

3. PC프로그램의 구현

전자회로부로부터 전송된 요류음 및 요속정보를 PC상에서 수신하여 디스플레이, 저장 그리고 분석을 위하여 Visual C++ 6.0을 이용하여 계측 프로그램을 구현하였으며, 구현된 PC프로그램의 메인화면을 그림 3에 나타내었다.

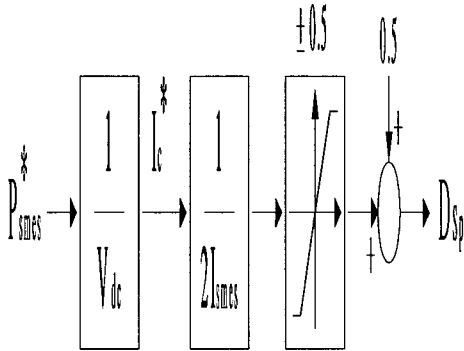


그림 3. 구현된 PC 프로그램 화면

구현된 프로그램은 시스템 제어부에서 설계된 통신모듈과 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.

III. 실험 결과

1. 시간영역 요속-요류음 분석

인체의 하부요로계를 모식화한 실험장치를 이용하여 인위적으로 30 cmH₂O와 70 cmH₂O의 압력을 인가하고 폐색의 정도에 따른 요속과 요류음을 계속하고 분석하였다. 분석 결과 폐색의 정도가 0 mm일 때 30 cmH₂O의 압력에서는 요속이 약 16 ml/sec이었고, 70 cmH₂O일 때는 23 ml/sec이었다. 즉 압력이 높아짐에 따라서 요속이 증가하고, 폐색의 정도가 크면 클수록 요속이 작아지는 양상을 나타내었다.

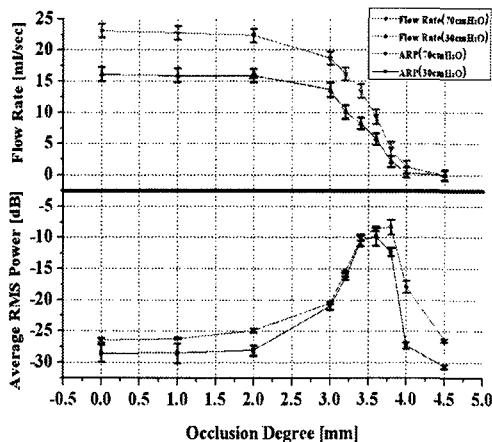


그림 4. 요속 및 요류음 ARP의 변화

요속의 계측과 동시에 요류음을 계속하여 시간영역 상에서 요류음의 진폭 변화를 관찰하였다. 그 결과 폐색의 정도가 클수록 요류음 신호의 시간영역에서의 진폭이 증가하였으며, 이는 폐색의 정도가 증가함에 따라 도관 내부의 직경이 감소하여 난류가 형성되기 때문이다. 요류음 분석의 유용성을 보다 객관적으로 평가하기 위하여 30 cmH₂O와 70 cmH₂O 일 때의 폐색 정도에 따른 요속의 변화와 ARP(average RMS power)의 변화 양상을 분석하였으며, 분석 결과를 그림 4에 나타내었다.

그림 4에서 30 cmH₂O의 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 cmH₂O로 증가시키고 약 3.2 mm의 폐색을 유발시켰을 경우 약 16 ml/sec의 요속을 관찰할 수 있었다. 하지만 요속 검사와 동시에 요류음을 계측하면 보다 유용한 폐색의 진단이 가능하다. 즉 30 cmH₂O의 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 cmH₂O의 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.

2. 주파수 영역에서의 요류음 특성

요류음의 성분 중 폐색의 정도와 관련된 주파수대역을 검출하기 위하여 FFT를 이용하여 폐색의 정도에 따른 PSD(power spectral density)의 변화 양상을 관찰하였다. 관찰한 결과 폐색의 정도에 따라 100~500 Hz 대역에서 PSD의 변화 양상이 확연하게 차이가 남을 알 수 있었다.

폐색의 정도에 따른 요류음을 1024 크기로 윈도우링하여 FFT를 수행한 결과 나타난 PSD를 도시하면 그림 5와 같다.

그림 5에서 알 수 있듯이 시간영역에서의 분석과 유사하게 폐색이 진행됨에 따라 50~800 Hz 대역의 PSD가 증가하는 양상을 보였으며, 폐색정도가 3.8 mm일 때 최대를 보이다가 다시 감소하기 시작하여 폐색정도가 4.5 mm 일 때는 도관의 공명에 의한 하모닉 성분들만 존재함을 알 수 있었다. 그리고 PSD의 50%가 되는 주파수, 즉 MF(median frequency)를 분석하여 압력이 30 cmH₂O일 때와 70 cmH₂O일 때의 폐색의 정도에 따른 MF의 변화를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 알 수 있듯이 압력이 70 cmH₂O일

때가 30 cmH₂O일 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 활용할 수 있음을 확인하였다.

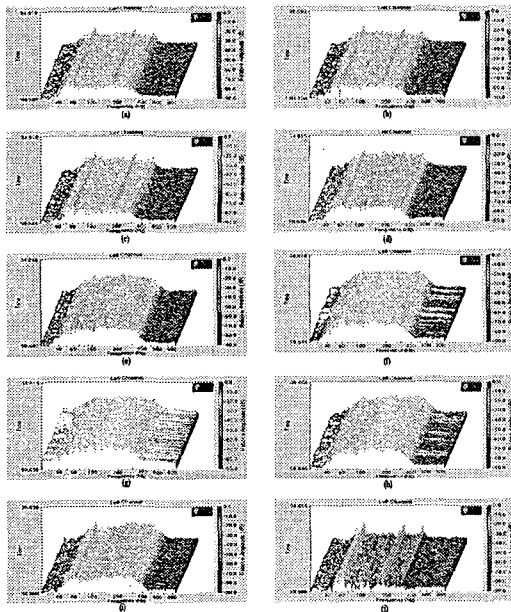


그림 5. 폐색의 정도에 따른 요류음의 PSD 분포 특성 (a) 0 mm 폐색, (b) 1 mm 폐색, (c) 2 mm 폐색, (d) 3 mm 폐색, (e) 3.2 mm 폐색, (f) 3.4 mm 폐색, (g) 3.6 mm 폐색, (h) 3.8 mm 폐색, (i) 4 mm 폐색, (j) 4.5 mm 폐색

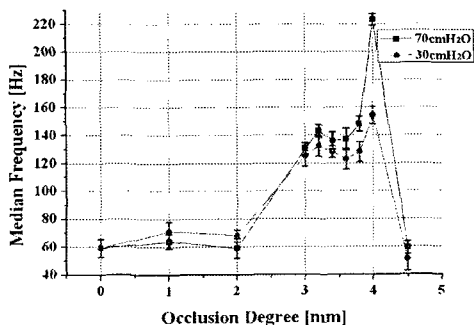


그림 6. 폐색에 따른 요류음의 MF 분석 결과

IV. 결 론

본 연구에서는 하부요로계의 폐색을 비침습적이고 보다 편리한 방법으로 진단하기 위하여 기존의 요속검사와 동시에 요류음을 계측하고 분석하는 방법을 제안하고 그 유용성을 확인하고자 하였다. 이를 위하여 요속 및 요류음을 측정할 수 있는 시스템을 구현하였으며, 하부요로계를 모식화한 실험장치를 이용한 평가를 수행하였다. 실험결과 인위적인 압력과 폐색의 정도에 따른 요속 및 요류음의 변화를 관찰하였으며, 동일 요속에서 요류음의 ARP를 분석함으로써 보상성가능항진의 작용 유무의 판별이 가능함을 확인하였다. 그리고 주파수영역에서의 PSD분석 및 PSD로부터의 MF를 분석함으로써 폐색의 유무를 진단할 수 있음을 확인하였다.

향 후 연구에서는 실제 임상에 적용하여 환자군의 요속 및 요류음 계측 및 분석하여 임상적 유용성을 평가할 필요성을 느끼며, 폐색의 유무 뿐만 아니라 폐색의 정도와 하부요로계 질환의 분류를 위한 다양한 분석 기법의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 대한비뇨기과학회지, 제3판 비뇨기과학, 고려의학, 2001.
- [2] 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.
- [3] H. Terio, "Acoustic method for assessment of urethral obstruction : a model study", Med. & Biol. Eng. & Comput., vol. 29, no. 2, pp. 450-456, 1991.
- [4] Roehrborn C, Di Sylvio F, Leriche A, Ruben, Watanabe H, Cockett ATK, 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.
- [5] 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.
- [6] Ozawa H, Kumon H, Yokoyama T, Watanabe T. "Development of noninvasive velocity flow video urodynamics using Doppler sonography. Part II. Clinical application in bladder outlet obstruction", J. Urol., vol. 160, no. 4, pp. 1792-1796, 1998.