

하부요로 폐색 진단을 위한 요류음 주파수 분석

정도운[†] · 전계록*

Frequency domain analysis of the urophonography for LUTS diagnosis

Do Un Jeong[†] and Gye Rok Jeon*

Abstract

The aim of this study is to acquire useful information of lower urinary tract symptom (LUTS) diagnosis through urophonography signal as a noninvasive method. The hardware and software which could evaluate the function of compensatory hypertrophy with noninvasive and comfortable method was implemented to measure uroflow and urophonography signal during urination. The PSD (power spectrum density) and the log-log plot gradient analysis were accomplished in frequency domain. For evaluation of the system and analysis method, a model system for the lower urinary system of men was used. From the evaluation of the model system, the PDS and the log-log plot gradient were dependent on the occlusion degree significantly. In a pilot study on normal and abnormal male subjects, the PSD and the log-log plot gradient were highly correlated with the artificial urethral obstruction.

Key Words : urophonography, LUTS(lower urinary tract symptom), uroflowmetry, PSD

1. 서 론

현재 전 세계적으로 대두되고 있는 문제로 인구의 고령화를 들 수 있다. 특히 우리나라의 경우 2004년도 65세 이상 인구는 약 410만명으로 전체 인구의 약 8.7%를 차지하며, 이미 UN이 지정한 고령화사회를 지나 고령사회로 이행 중이다^[1]. 따라서 고령인구의 증가에 편승하여 최근 노인 복지 및 건강이 사회의 큰 이슈로 대두되고 있으며 노인성 질환에 대한 관심도 증대되고 있는 실정이다. 노인성 남성 질환 중 하부요로 증상(lower urinary tract symptom, LUTS)과 관련된 질환은 노년층에 접어드는 남성에게 있어서는 매우 관심이 높은 질환으로 인식되고 있다. 왜냐 하면 LUTS는 서서히 진행되므로 쉽게 인식할 수 없을 뿐만 아니라 일단 발현되면 삶의 질을 현격하게 저하시키기 때문이다.

LUTS에 연관되는 질환 중에는 전립선비대증, 전립선암, 요도협착 그리고 급성요도염 등 여러 질병들이 존재한다. 특히 배뇨증상을 동반하는 대표적인 질환인 전립선비대증은 50대의 50%, 60대의 60%, 70대의 70% 이상이 발현되며, 일생동안 약 80% 남성이 전립선비대증 증상에 고통을 받고 있다. 더구나 평균 수명의 증가로 고령인구가 증가되어 인구대비 전립선비대증 환자의 비율은 증가하는 추세를 보이고 있다^[2].

이러한 전립선비대증을 진단하기 위하여 여러 가지 방법들이 사용되고 있으며, 현재 임상에서 적용되고 있는 대표적인 검사방법은 증상점수표 검사, 직장수지 검사, 경직장 전립선 초음파 검사, 소변 검사, 요속 및 잔뇨 측정 검사 등이 이용되고 있다. 이들 중 증상점수표 검사와 초음파 검사 및 요류 검사를 제외한 다른 대부분의 검사들은 침습적인 방법에 의해 시행되는 검사이므로 환자들에게 고통을 줄 수 있다^[3].

따라서 비침습적인 방법으로 보다 편리하게 LUTS를 진단하기 위한 연구가 진행되었다. Roehrborn^[4]은 요류 검사가 하부요로폐색 진단의 기초자료로 활용할 수 있음을 발표하였다. 그러나 요량의 변화 양상을 요속의 변화로 환산하는 방법의 적용만으로는 출구저항에 따

동서대학교 컴퓨터정보공학부 (Division of Computer Information Engineering, Dongseo University)

*부산대학교 의과대학 의공학교실 (Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Pusan National University)

[†]Corresponding author: dujeong@dongseo.ac.kr

(Received : January 29, 2007, Accepted : March 21, 2007)

른 배뇨근의 활성화도 평가에 대한 의미를 지니는 정보를 획득할 수 없다. 왜냐하면 전립선비대증 및 하부요로폐색에 의하여 출구저항이 증가하더라도 인체의 항상성 유지 기전인 배뇨근의 보상성기능항진(compensatory function hypertrophy)으로 배뇨근의 수축이 강해져서 정상 요속으로 나타날 수 있으며, 출구저항이 약한 경우에는 배뇨근의 수축이 없는 상태에서 괄약근의 이완만으로도 요속이 정상으로 진단될 수 있기 때문이다. 그러므로 단순히 요속의 측정만으로 하부요로폐색을 진단하는 방법은 오진의 가능성이 높기 때문에 요류 검사의 단점을 보완하기 위하여 방광내압을 함께 측정하고 있다. 하지만 방광내압을 측정하기 위해서는 카테터(catheter)를 요도에서부터 방광내부로 삽입하여야 하므로 피검자로 하여금 불편감 및 고통을 수반하게 한다. 따라서 보다 편리하고 비침습적으로 하부요로계의 질환을 진단하기 위하여 Michael^[6]과 Pel^[6] 등은 비침습적인 방법으로 방광내부의 압력을 추정하기 위하여 외부 카테터를 사용하는 방안을 제안한 후 이를 이용한 등용적성 방광내압 측정 기법에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 Andrews^[7]는 초음파를 이용하여 요속을 측정하는 방법을 연구하였다. 그러나 비침습적 방광내압 측정의 경우 실제 방광압과 등용적성 방광내압의 오차가 발생하며, 적절한 보정 기법을 적용해야하는 문제점을 지니며, 초음파 영상을 이용하는 경우는 시스템이 고가이고, 진단의 절차가 복잡하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 기존의 하부요로계질환의 진단법을 개선하여 가정이나 병·의원에서 간편하게 배뇨증상의 이상 유·무를 검출할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 배뇨 시 요속과 동시에 요류음을 계측 및 분석하여 정상요속을 보이는 초기 폐색의 진단을 가능하게 하여 비침습적 하부요로계 폐색진단의 신뢰성을 향상시키고자 하였다. 초기 폐색의 경우 일반적으로 인체의 보상성기능항진에 의한 방광내압의 상승으로 정상 요속을 보이는 경우가 많다. 그러나 정상요속을 보이더라도 폐색에 의해 요류의 난류가 발생하며, 난류에 의한 유동소음을 계측 및 분석함으로써 폐색의 유무를 검출할 수 있다. 즉, 요속과 요류음의 동시 계측을 통해 보다 정확한 하부요로계의 폐색 유·무 진단이 가능하다. 요속과 동시에 요류음을 계측하기 위하여 하드웨어부와 소프트웨어부로 구분하여 시스템을 구성하였다. 하드웨어부는 LUTS의 측정을 위한 측정 매커니즘부와 측정된 신호의 처리를 위한 전자회로부로 구성하였다. 그리고 소프트웨어부는 측정된 신호를 PC상에서 모니터링하여 폐색진단에 주요한 정보를 추출하는 기능을 수행한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 요류음 발생 매커니즘

일반적으로 도관에 유체의 유동이 있을 경우 도관의 직경이 갑자기 줄어들거나 또는 어떤 돌기 성분이 있으면 유체의 흐름에 변화가 발생한다. 도관의 직경 변화와 돌기 성분 후면에서의 항력 증가는 유체의 유동 방향에 수직한 방향으로 주기적인 양력을 발생시켜 난류(turbulent flow)를 유발하며 유동소음의 주요 기전으로 작용한다^[8]. 이와 같은 유체역학적인 개념은 인체의 하부요로계에도 적용가능하다. 만약 하부요로계에 전립선 비대증과 같은 증상이 발현하면 배뇨 시 요류의 난류현상이 나타나고 유동소음이 발생한다.

유체의 흐름 시 소음 발생의 원인은 난류의 발생에 기인하며, 난류는 도관 내에서 유체의 흐름의 크기와 방향이 시간적으로 변동하는 현상을 나타낸다. 레이놀즈는 유체의 흐름 상태에 따라 층류(laminar flow) 및 난류가 형성되는 현상을 관측하였다. 즉 원형관을 통과하는 유속이 작을 때는 층류가 형성되고 유속이 커지면 난류로 변화되는 현상을 발표하였다. 그리고 유체의 흐름 상태를 레이놀즈 지수로 나타내고 층류와 난류를 정량화하기 위하여 다음과 같은 방정식을 제안하였다.

$$R = \frac{U \cdot \rho \cdot r}{\eta} = \frac{Q \cdot \rho}{\eta \cdot \pi r} \tag{1}$$

여기서, 관의 반지름을 r, 유체의 밀도를 ρ, 유체의 점도를 η, U는 유량을 나타내므로 Q/S로 정의하였고 이때 Q는 유속 그리고 S는 관의 단면적을 의미한다. 유속을 증가시키면 어느 일정한 속도 이상에서는 층류가 난류로 변화하게 되며, 또한 관의 반지름이 감소하

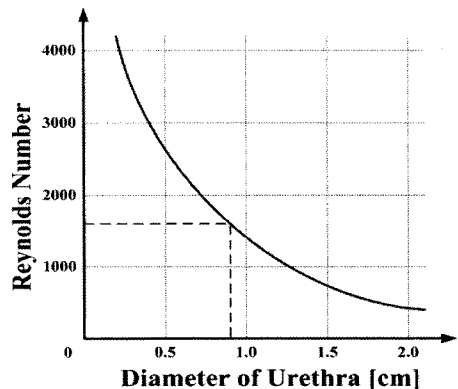


그림 1. 요도의 직경과 레이놀즈 지수의 관계
Fig. 1. Relation of the urethra diameter and Reynold's number.

게 되면 층류에서 난류로 변화하게 된다. 일반적으로 유체의 종류, 도관의 종류 및 치수 등에 무관하게 원형관 내에서 유체의 흐름이 레이놀즈 지수가 2100이하 일 때는 층류 영역, 2100에서 4000사이 일 때는 천이 영역 그리고 4000이상 일 때는 난류 영역으로 구분한다. 이러한 레이놀즈 지수를 하부요로계에 적용하여 일정한 유속에서 요도의 직경과 레이놀즈 지수와의 관계를 살펴보면 직경이 커질수록 레이놀즈 지수는 작아지며, 전립선 비대증과 같은 폐색요인에 의해 요도의 직경이 작아지면 레이놀즈 지수는 증가하고 난류가 발생하게 된다. 요도관의 직경과 레이놀즈 지수와의 관계를 도식하면 그림 1과 같다^[9].

2.2. 요류음 센서의 설계

하부요로폐색 증상을 지니는 환자의 경우 배뇨 시 폐색에 의하여 요류의 난류 현상이 발생되며, 난류는 유동소음의 주요한 원인이 된다. 이러한 유동소음, 즉 요류음을 측정하기 위하여 마이크로폰을 사용하여 요류음 센서를 제작하였다. 인체의 해부학적 특성상 요류음의 계측에 가장 적합한 위치는 구부요도와 인접한 회음부 영역이나, 계측의 편리를 도모하기 위하여 페니스의 요도 부위에서 요류음을 계측할 수 있도록 센서를 제작하였다.

제작된 요류음 센서는 요류음의 주요 주파수대역인 50~1500 Hz사이의 신호를 측정하기 위하여 감도가 7 mV/Pa, 주파수대역이 6.3~100 KHz 그리고 동작 범위가 15~146 dB의 특성을 지니는 콘덴서형 마이크로폰(PM-101, AIWA Co., Japan)을 사용하였다.

요류음 센서의 제작에 있어서 측정 부위와 마이크로폰 사이의 거리 발생에 의한 요류음의 압력변동 성분이 발생할 수 있고 이에 따른 압력과 진폭의 감쇄(damping)와 응답지연(phase lag) 등의 현상이 발생할 수 있다. 이러한 응답지연 및 진폭의 감쇄 현상은 마이크로폰 자체와 요류음의 신호 전달계에 의해 기인하는 현상으로 나타난다. 따라서 보다 의미 있는 요류음을 검출하기 위해 압력전달계의 특성을 고려하여 요류음 센서를 제작하였으며, 본 연구에 적용한 압력전달계 모델은 그림 2와 같다.

본 연구에 적용된 압력전달계 모델은 반경이 r , 길이가 L , 관의 부피가 V 인 어댑터로 구성하였다. 그림 2에서 관의 좌측부분, 즉 측정 부위의 주파수 f , 압력 P_0 가 인가되었을 경우 압력전달계 내의 유체는 관 벽면의 마찰 하에서 감쇄진동을 하게 된다. 그리고 관 내부에서 유체의 마찰저항이 층류 상태라고 가정하면 압력 센서에서 감지되는 압력 P 는 다음의 수식으로 표현할

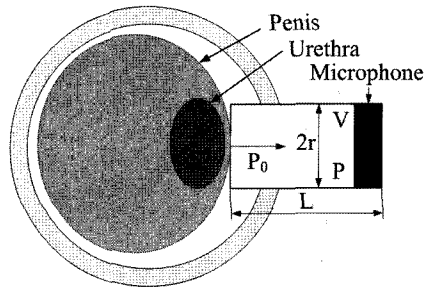


그림 2. 압력전달계의 모식도

Fig. 2. Schematic diagram of the pressure transmission system.

수 있다.

$$\left| \frac{P}{P_0} \right| = \frac{1}{\sqrt{[1 - (f/f_n)^2]^2 + 4h^2(f/f_n)^2}} \quad (2)$$

여기서, f_n 은 압력전달계의 고유주파수이며, 유체가 기체일 경우에는 헬름홀츠 공명기의 공명주파수가 되어 다음의 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_n = C \sqrt{\frac{\pi r^2}{L'V}} \quad (3)$$

여기서, C 는 유체에서의 음속, L' 는 유효길이를 나타내며, 그림 2와 같이 튜브의 끝단에 테두리가 없는 경우에는 $L+1.5r$ 이 되고, 테두리가 있는 경우에는 $L+1.7r$ 이 된다. 그리고 감쇄비 h 는 다음 수식으로 나타낼 수 있다.

$$h = \frac{2\mu}{\rho C r^3} \sqrt{\frac{3LV}{\pi}} \quad (4)$$

여기서, μ 는 유체의 점성 그리고 ρ 는 밀도를 의미한다. 그리고 압력전달계에서 응답지연은 다음 같은 위상각으로서 표현할 수 있다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{-2h(f/f_n)}{1 - (f/f_n)^2} \quad (5)$$

그림 2와 같은 압력전달계에서 압력변동 성분과 응답지연을 고려하여 요류음 센서를 설계하고 제작하였으며, 측정의 편리성 등을 고려하여 PVC 재질을 가공하여 약 50 mm 내경의 요류음 센서를 제작하였다. 또한 요류음 계측 센서에 스프링을 장착하여 센서의 측정 부위가 회음부에 인접한 페니스의 요도관에 밀착될 수 있도록 하여 보다 정확하게 요류음의 계측이 가능하도록 하였다. 본 연구에 의해 구현된 요류음 계측 센서를 그림 3에 나타내었다.

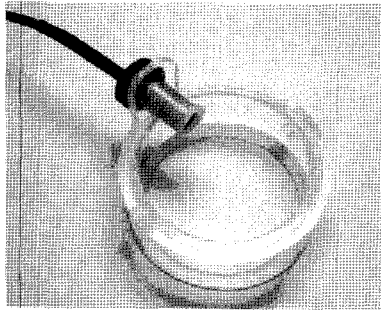


그림 3. 구현된 요류음 센서의 사진
Fig. 3. Photography of the implemented urophonography sensor.

2.3. 계측 시스템의 구현

요류음 센서출력의 신호대잡음비(signal to noise ratio, SNR)를 향상시키고 진단에 유용한 정보의 검출을 위해 신호처리회로를 설계 및 구현하였다. 이를 위해 먼저 콘덴서형 마이크로폰으로부터 출력되는 전류를 전압으로 변환하기 위해 연산증폭기를 이용한 전류-전압변환회로를 구성하였으며, 상용전원으로부터 유입되는 60 Hz 전원잡음을 제거하기 위해 노치필터를 적용하였다. 그리고 진단에 유용한 주파수대역을 검출하기 위하여 차단 주파수가 20 Hz인 2차의 버터워즈 고역통과필터와 1,500 Hz의 차단주파수를 갖는 2차의 버터워즈 저역통과필터를 결합한 대역통과필터를 설계하였다. 그리고 요류음 신호를 A/D 변환기의 입력범위인 0~5 V의 범위로 조정하기 위하여 신호증폭 및 오프셋 조정회로를 구성하였다. 본 연구에 의해 구현된 요류음 측정부의 설계 사양 및 구성도를 표 1과 그림 4에 각각 나타내었다.

본 연구에서는 요류음의 계측과 동시에 일반적인 하부요로폐색검사에서 많이 수행하는 요속검사를 동시에 수행하여 상호 측정데이터를 비교분석하기 위한 요속 측정부를 구성하였다. 본 연구에서 적용한 요속측정부는 본 연구팀의 기 수행 연구에서 구현한 로드셀을 이용한

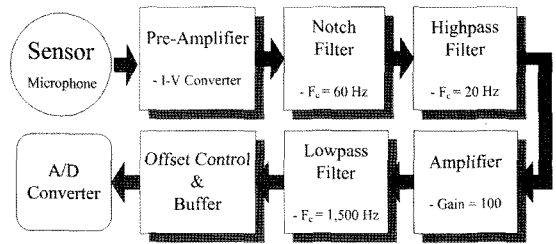


그림 4. 요류음 계측부의 구성도
Fig. 4. Block diagram of the urophonography measuring parts.

요속 측정장치로서 배뇨 시 배뇨량의 무게를 측정하여 단위시간당 배뇨량을 측정하는 방식을 사용하였다^{9,10}.

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, 요속데이터는 256 sample/sec, 요류음데이터는 5,000 sample/sec의 속도로 디지털신호로 변환하였다.

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 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. 상기에서 기술한 방법에 의해 실제 구현된 계측 시스템을 그림 5에 나타내었다.

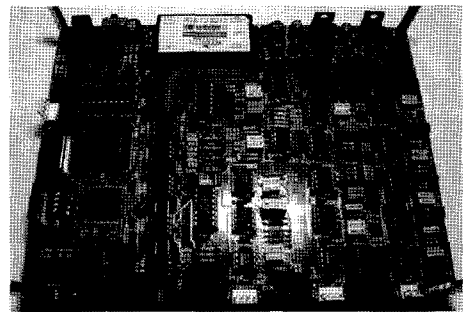


그림 5. 구현된 시스템의 사진
Fig. 5. Photography of the implemented system.

표 1. 요류음 측정회로의 사양

Table 1. Specification of the urophonography measuring circuit

Parameter	Specification
Gain	100
Low Pass Filter f_c [Hz]	1,500
High Pass Filter f_c [Hz]	20
Output Voltage [V]	0~5
Input Impedance [Ω]	10^{12}
Output Impedance [Ω]	0.1

2.4. 요류음 분석 기법

본 연구에서는 PC 계측 프로그램을 통해 저장된 요속 및 요류음의 데이터를 분석하기 위하여 MATLAB 6.5(Mathworks Co., USA)을 이용하였다. 요속 신호는 요류음의 평가를 위한 비교 자료로서 활용하였으며, 동일한 요속일 때의 폐색에 따른 요류음의 변화를 검출하는 분석기법을 개발하고자 하였다. 요류음 신호는 계측 회로에서 20~1500 Hz사이의 대역통과필터를 거치고 다시 한번 앨리어싱(aliasing) 에러를 방지하기 위하여 차단주파수가 2.5 kHz인 저역통과필터를 거쳐 초당 5000번 샘플링을 하여 데이터를 획득하도록 하였다. 또한 PC 상에서도 데이터의 분석에 앞서 40~1500 Hz 사이의 대역통과필터를 설계하여 전처리를 수행하였다. 그리고 전처리를 수행한 요류음 신호에서 현재 입력데이터와 이전입력데이터의 차를 출력하여 신호의 DC성

분과 배경잡음을 최소화하고 유효성분을 강조하는 Pre-emphasis를 수행하였으며, 그 수식은 다음과 같다.

$$H(z) = 1 - az^{-1}, \quad 0.9 \leq a \leq 1.0 \quad (6)$$

Pre-emphasis를 수행한 요류음 신호의 주파수 영역 해석을 위하여 FFT를 수행하였으며, 이때 데이터의 절단오차(truncation error)를 감소시키기 위해 해밍윈도우(hamming window)를 적용하였다. 그리고 FFT결과로부터 전력스펙트럼 밀도(power spectrum density, PSD)를 추출하여 폐색에 따른 PSD의 변화양상을 관찰하였다. 또한 PSD결과로부터 보다 정량화된 파라미터의 추출을 위하여 로그스케일의 데이터를 1차방정식으로 근사하고 이때 방정식의 기울기, 즉 log-log plot의 기울기 변화를 계산하여 변화 양상을 관찰하였다.

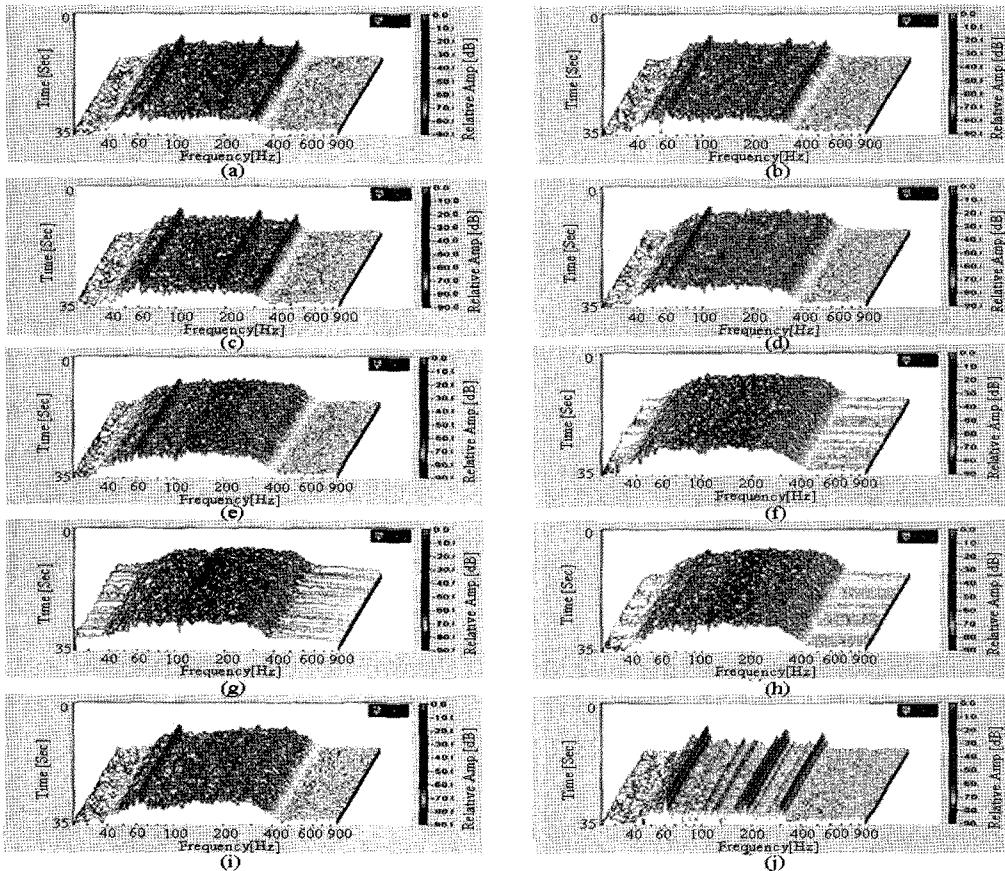


그림 6. 폐색에 따른 요류음의 DFT분석 결과 (a) 0 mm, (b) 1 mm, (c) 2 mm, (d) 3 mm, (e) 3.2 mm, (f) 3.4 mm, (g) 3.6 mm, (h) 3.8 mm, (i) 4 mm, (j) 4.5 mm

Fig. 6. DFT analysis result as various occlusion degrees (a) 0 mm, (b) 1 mm, (c) 2 mm, (d) 3 mm, (e) 3.2 mm, (f) 3.4 mm, (g) 3.6 mm, (h) 3.8 mm, (i) 4 mm and (j) 4.5 mm.

3. 실험 및 결과

3.1. 실험장치를 이용한 요류음 측정 시스템의 평가

구현된 시스템의 평가 및 분석방법의 타당성 검토를 위해 본 연구팀의 기 수행 연구에서 구현한 인체의 하부요로계를 모식화한 실험 장치를 사용하였다^[10]. 실험 장치는 방광의 압력과 하부요로계의 폐색에 따른 요속의 변화를 모델링하여 제작하였다. 그리고 방광의 압력과 폐색의 정도를 인위적으로 조정 가능하여 하부요로계의 다양한 폐색을 모델링 할 수 있으며, 인체의 방광 기능에 해당하는 물탱크, 요도의 기능을 수행하기 위한 실리콘 튜브 그리고 전립선비대증 등의 폐색을 인위적으로 유발시킬 수 있는 폐색 조절부 등으로 구성되었다. 먼저 인체의 방광 기능을 대행하는 물탱크는 물의 수위를 조절하여 방광 내압으로 가정할 수 있는 유체 압력을 최소 0 cmH₂O에서 최대 100 cmH₂O까지 10 cmH₂O 단위로 조절할 수 있도록 하였다. 또한 인체의 요도를 모식화하기 위하여 내경 5 mm의 실리콘 튜브를 이용하

였고, 전립선비대증과 같은 폐색을 유발시키기 위하여 마이크로미터가 결합된 폐색 장치가 실리콘 튜브를 압박할 수 있도록 구성함으로써 인위적으로 폐색을 조절할 수 있는 폐색 조절부를 제작하였다. 또한 폐색 조절부로부터 약 5 cm 떨어진 거리에 요류음 측정센서를 위치시켜 폐색에 따라 발생하는 요류음을 계속할 수 있도록 하였다. 그리고 실리콘 튜브의 끝 부분에 요속 측정부를 두어 요속 측정이 가능하도록 하였다.

먼저 구현된 시스템의 계측성능 및 요류음 분석의 가능성 평가를 위하여 폐색의 정도에 따른 요류음을 계측하여 변화양상을 관찰하였다. 이를 위하여 실험 장치의 압력을 70 cmH₂O로 일정하게 유지하고, 마이크로미터를 이용하여 폐색의 정도를 변화시키며 요류음 신호를 계속하였다. 요류음 신호의 변화양상을 보다 편리하게 관찰하기 위하여 폐색의 정도에 따른 요류음 신호의 이산푸리에변환 결과를 그림 6에 나타내었다. 실험결과에서 살펴볼 수 있듯이 폐색이 진행됨에 따라 50~500 Hz 대역의 성분이 증가하는 양상을 보였으며,

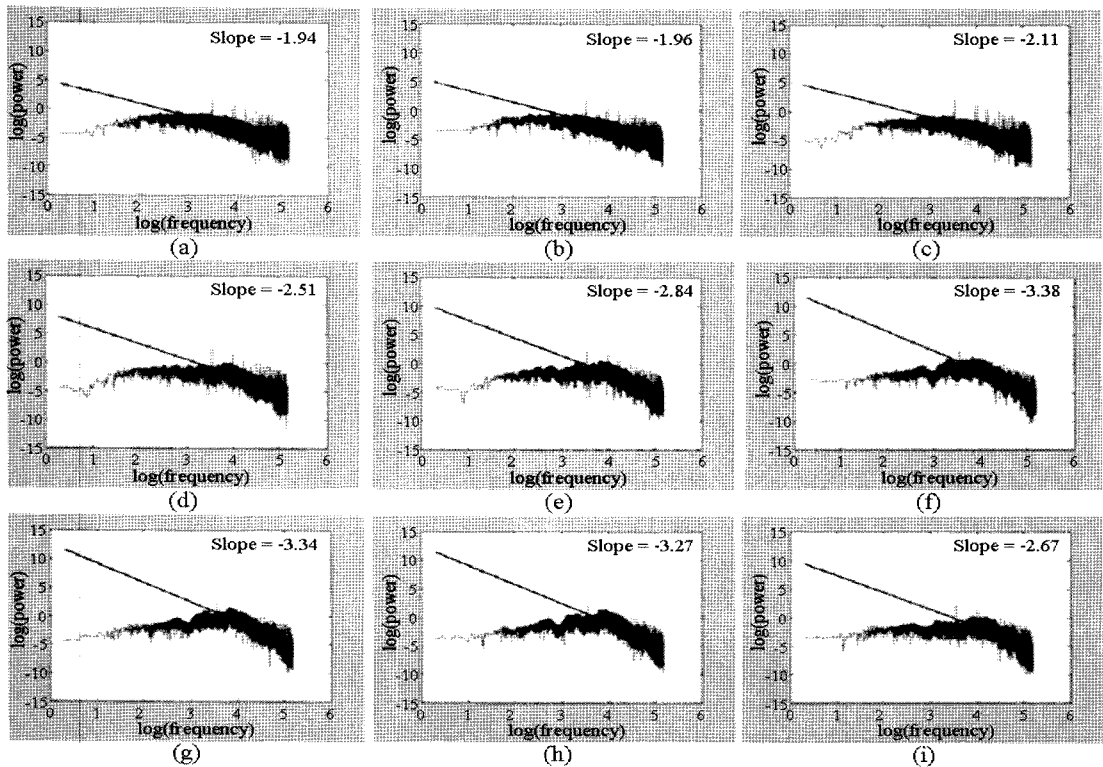


그림 7. 폐색에 따른 log-log plot 분석 (a) 0 mm, (b) 1 mm, (c) 2 mm, (d) 3 mm, (e) 3.2 mm, (f) 3.4 mm, (g) 3.6 mm, (h) 3.8 mm, (i) 4.0 mm

Fig. 7. Analysis of log-log plot as various occlusion degrees (a) 0 mm, (b) 1 mm, (c) 2 mm, (d) 3 mm, (e) 3.2 mm, (f) 3.4 mm, (g) 3.6 mm, (h) 3.8 mm and (i) 4 mm.

폐색정도가 3.8 mm일 때 최대를 보이다가 다시 감소하기 시작하여 폐색정도가 4.5 mm일 때는 도관의 공명에 의한 하모닉 성분들만 존재한다. 이 실험을 통해 본 연구에서 구현된 요류음 계측시스템의 시스템 성능 및 하부요로계 폐색 진단에 요류음 신호의 주파수영역 분석이 유용하게 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

요류음 신호의 분석에 있어 폐색의 정도를 잘 반영할 수 있는 파라미터를 추출하기 위하여 위의 실험과 동일하게 70 cmH₂O의 압력에서 폐색의 단계를 9단계로 조절하며 요류음 신호를 계측하였다. 그리고 계측된 요류음 신호를 FFT를 이용하여 PSD(power spectral density)를 계산 후 각 축에 log를 취하여 폐색단계에 따른 log-log plot 분석을 수행하여 그 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7을 살펴보면 0~2 mm사이의 폐색에서는 기울기 변화가 완만하게 나타났으며, 2~3.4 mm 사이에서는 기울기가 급격히 변화하였다. 이러한 변화는 폐색의 정도가 일정 부분 커질 때까지는 요류음에 영향을 덜 미치지만 폐색이 일정 이상의 크기가 되면 요류음의 변화에 많은 영향을 미치기 때문이라 생각된다. 또한 3.4~3.8 mm사이에서는 기울기 변화가 적었으나, 4.0일 때는 급격히 기울기가 급격히 작아지는 양상을 관찰할 수 있었다.

또한 인가되는 압력이 변화하는 경우, 즉 실험장치의 물탱크의 높이를 변화시키면서 폐색 단계별 요류음의 log-log plot 기울기 분석을 위해 20~80 cmH₂O까지의 압력 범위에서 20 cmH₂O의 압력 간격으로 log-log plot 기울기 분석을 수행하였으며, 그 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8로부터 실제 폐색으로 간주할 수 있는 2 mm이상의 폐색에서는 log-log plot의 기울기 분석이 유용함을 확인 할 수 있다.

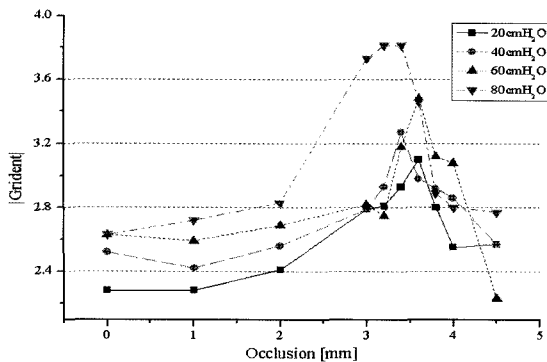


그림 8. 압력과 폐색의 변화에 따른 log-log plot의 기울기 분석

Fig. 8. Analysis result of log-log plot gradient as various occlusion degrees and pressures.

3.2. 실험군의 요류음 분석

실험장치를 이용한 평가결과를 토대로 실제 사람의 배뇨 시 요류음을 계측하여 하부요로폐색 진단 가능성을 평가하고자 하였다. 먼저 건강한 20대 대학원생을 대상으로 정상 배뇨시의 요속 및 요류음 계측 실험을 수행하였으며, 실제 계측된 요속신호와 배뇨 시 계측된 요류음의 PSD분석결과, 그리고 PSD분석결과와 log-log plot 분석결과의 일례를 그림 9에 나타내었다.

그리고 비뇨기과 전문의로부터 전립선 비대증에 따른 하부요로폐색 초기 증상진단을 받아 치료를 수행하고 있는 50대 환자를 대상으로 요속 및 요류음을 계측하였으며, 계측된 요속신호와 배뇨시 계측된 요류음의 PSD분석결과, 그리고 PSD분석결과와 log-log plot 분석결과와 일례를 그림 10에 나타내었다. 그림 9와 그림 10의 요속 측정결과는 두 데이터 모두 15 ml/sec이상으로 정상요속을 보인다. 하지만 요류음의 PSD분석결과를 살펴보면 확연히 구분됨을 확인할 수 있다. 또한 PSD분석결과와 log-log plot 기울기는 정상배뇨에

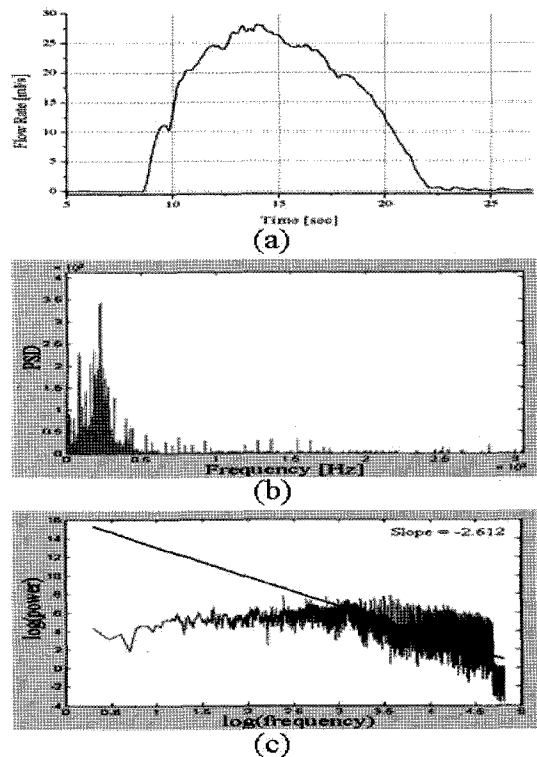


그림 9. 정상인의 분석결과 (a) 요속, (b) PSD, (c) log-log plot의 기울기

Fig. 9. Analysis result in the normal person (a) uroflow rate, (b) PSD, (c) slope of the log-log plot.

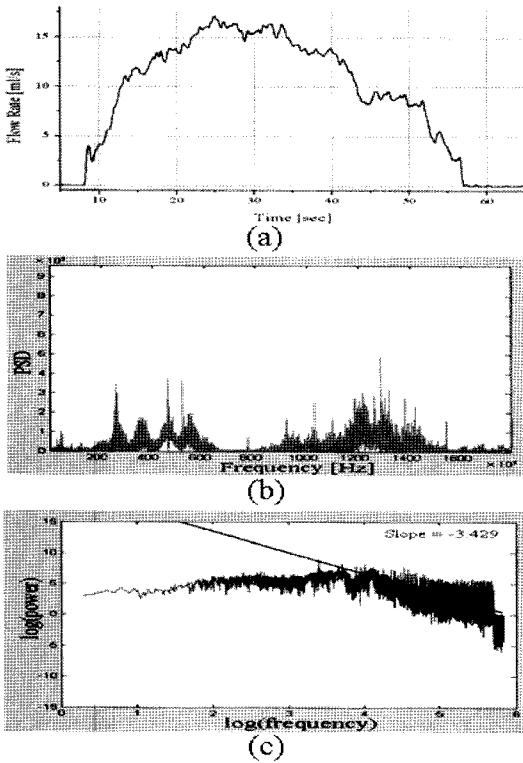


그림 10. 전립선비대증 환자의 분석결과 (a) 요속, (b) PSD, (c) log-log plot의 기울기
 Fig. 10. Analysis result in the prostatic hypertrophy patient (a) uroflow rate, (b) PSD, (c) slope of the log-log plot.

서는 -2.612, 폐색이 발생한 경우에는 -3.429로 명확한 차이를 보였다. 이러한 실험결과는 요속검사만으로는 불가능했던 초기하부요로폐색에서의 보상성기능향진의 작용 유무를 평가할 수 있으며, 비 침습적인 방법으로 보다 정확한 하부요로계의 폐색 진단가능성을 보여준다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존 임상에서 시술하는 침습적 LUTS의 진단을 비침습적 방법으로 수행하기 위해 요류음 신호들을 계측하고 분석함으로써 유용한 진단정보를 획득하고자 하였다. 이를 위하여 배뇨 시 편리하게 요류음을 계측할 수 있는 센서 및 시스템을 구현하였다. 그리고 구현한 시스템의 평가를 위하여 인체의 하부요로계를 모식화한 실험장치를 이용하여 일정한 압력 상태에서 인위적인 폐색을 여러 단계로 유발시키면서 요류음의 변화를 계측하고 분석하였다. 분석방법

으로는 주파수영역에서의 PSD 분석과 PSD 분석결과로부터의 log-log plot 기울기 변화를 관찰하였으며, 폐색에 따른 PSD 및 log-log plot의 기울기 변화가 확연하게 차이 남을 확인하였다. 그리고 실제 임상 적용가능성을 평가하기 위하여 정상성인과 초기 전립선비대증 증상일 보이는 폐색환자를 대상으로 실험을 수행하였다. 요속 측정 결과 초기 폐색을 보이는 환자의 경우에도 정상요속을 보였으며, 일반적인 요류검사 만으로는 초기 폐색의 판단이 불가능하다. 하지만 요류음의 PSD분석 및 log-log plot의 기울기를 평가할 수 수행함으로써 정상과 초기폐색을 명확하게 구분할 수 있었다. 실험결과로부터 요속검사만으로는 불가능했던 초기하부요로폐색에서의 보상성기능향진의 작용 유무를 요류음 분석을 통해 평가 할 수 있음을 보여준다.

참고 문헌

- [1] 장현숙, 최보아, 고평친화산업 증장기 실행전략 연구, 보건산업진흥원, 2005.
- [2] 대한전립선학회, 전립선비대증, 일조각, 서울, pp. 87-88, 2004.
- [3] 대한비뇨기과학회지, 제3판 비뇨기과학, 고려의학, 2001.
- [4] Roehrborn C, Di Sylvio F, Leriche A, Ruben, Watanabe H, Cockett ATK, Aso Y, Chatelain C. et al., "Diagnostic work-up of patients presenting with symptoms suggestive of prostatism," *In Proceedings of the First International Consultation on Benign Prostatic Hypertrophy*. Paris, vol. pp. 91-136, 1991.
- [5] Michael J. and Stuart L., "Inter-observer agreement in the estimation of bladder pressure bladder pressure using a penile cuff," *Neurourol Urodyn*, vol. 22, pp. 296-300, 2003.
- [6] Pei J. and Bosch J., "Development of a non-invasive strategy to classify bladder outlet obstruction in male patients with LUTS," *Neurourol Urodyn*, vol. 21, pp. 117-125, 2002.
- [7] S. J. Andrews, P. T. Brooks, and D. C. Hanbury., "Ultrasonography and abdominal radiography versus intravenous urography in investigation of urinary tract infection in men," *BMJ*, vol. 324, pp. 454-456, 2002.
- [8] J. H. Gerrare, "The mechanics of the formation region of vortices behind bluff bodies," *J. Fluid Mech.*, vol. 25, pp. 401, 1996.
- [9] Kenkichi Koiso, "Urophonographic studies of the lower urinary tract : a new approach to urodynam-

ics,” *Tohoku J. exp. Med.*, vol. 151, pp. 57-64. 1987.

[10] 정도운, 전계록, “하부요로 폐색진단을 위한 비침습적 방광내압 계측 시스템의 구현 및 평가,” *센서학회지*, 제15권, 제2호, pp. 139-147, 2006.

[11] 정도운, 전계록, “배뇨력 측정을 통한 하부요로계의 보상성기능향진 평가,” *센서학회지*, 제15권, 제6호, pp. 449-456, 2006.



정도운(Do-Un Jeong)

- 2000년 2월 동서대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 2002년 2월 부산대학교 대학원 의공학협 동과정 졸업(공학석사)
- 2005년 8월 부산대학교 대학원 의공학협 동과정 졸업(공학박사)
- 2005년 3월~현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 전임강사
- 주관심 분야 : 생체계측시스템, 생체신호 처리, 유비쿼터스 헬스케어



전계록(Gye-Rok Jeon)

- 1978년 2월 부산대학교 공과대학 전기기계공학과 졸업(공학사)
- 1982년 2월 부산대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1993년 2월 동아대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1985년~현재 부산대학교 의과대학 교수
- 2000년~현재 부산대학교 의과대학 의공학교실 주임교수
- 주관심 분야 : 의용계측, 영상신호처리, 생체시스템 모델링