

요류음 분석을 위한 시뮬레이터의 구현

정도운*, 손정만*, 전상현*, 이희정*, 조성택*, 예수영*, 최병철**, 정문기***, 전계록****

The benign prostate hypertrophy measurement simulator
implementation and usefulness assessment through the sound analysis

D. U. Jeong, J. M. Shon, S. H. Jeon, H. J. Lee, S. T. Cho, B. C. Choi, S. Y. Yong, M. K. Jung, G. R. Jeon

Abstract

In this paper, We used the microphone unlike existing urodynamic inspection which diagnoses the LUTS(lower urinary tract symptoms) and proposed sound measurement the method which the urination happens and apply at a blockade diagnosis. To analyze the blockade degree, We made the experiment set to modeling the Lower Urinary System of the human body and made the microphone of the stethoscope form for the measurement of the urinary sound which the urination happens. We used PC for the analysis of the urinary sound to be measured and implemented the analysis program to use the MATLAB. Hereafter, An analysis result usage, The Practical use will be possible as one of new inspection methods's.

Key Words: lower urinary tract symptoms, benign prostatic

- * 부산대학교 대학원 의공학협동과정
- ** 춘해대학 의료정보학과
- *** 부산대학교 의과대학 비뇨기 과학교실
- **** 부산대학교 의과대학 의공학 교실

1. 서론

노인성 질환들 중의 하나인 하부요로증상(lower urinary tract symptom, LUTS)은 50세 전·후의 대다수의 남성에게 발현되는 질환으로 배뇨장애와 불편한 감정을 수반한다. LUTS는 환자가 쉽게 인식할 수 없을 뿐만 아니라 일단 발현되면 삶의 질을 현격하게 저하시키기 때문에 고령화에 접어드는 남성에게 있어서는 매우 관심이 높은 증상으로 인식되고 있다. LUTS와 관련된 질환에는 전립선비대증, 전립선암, 요도협착 그리고 급성요도염 등 여러 질병들이 존재한다. 특히 배뇨 이상 증상을 동반하는 대표적인 하부요로 질환인 전립선비대증은 60~70세의 남성 중 40~70%의 유병율을 보이며, 일생동안 약 80%의 남성이 전립선비대증 증상을 겪게 되는 질환으로 LUTS 악화요인의 80% 정도를 차지할 만큼 발생 빈도가 높은 질환이다. 현재 병·의원에서 시행되는 전립선비대증 검사방법은 증상점수표검사, 직장수지검사, 경직장 전립선 초음파 검사, 소변검사, 요속 및 잔뇨 측정검사 등이 이용되고 있으며 초음파검사 및 요류검사를 제외한 다른 검사들은 대부분 침습적인 방법에 의해 시행되는 검사이므로 환자들에게 많은 부담감을 주게 된다.

따라서 본 연구에서는 비침습적이며 비교적 간단한 방법으로 전립선비대에 의한 폐색을 판별하고자 배뇨 시 요도관에서 발생하는 음을 측정하여 폐색의 정도를 분석하고자 하였다. 요음을 이용하여 요도의 폐색정도를 단계별로 측정하기 위하여 하부요로계를 모델링한 시뮬레이터를 구성하였다. 구현된 시뮬레이터의 배뇨 환경을 조성하여 폐색정도와 압력정도에 따라 요음의 패턴을 분석하였다.

2. 본론

2.1. 요류음 발생의 이론적 배경

본 연구에서는 LUTS의 진단을 위하여 요류음을 측정하여 분석에 활용하고자 시뮬레이터를 설계하

고 배뇨시의 흐름에 의해 발생하는 요류음 발생 메커니즘을 구현하였다. 유체의 점동 성분인 소용돌이, 즉 난류는 폐색 주위를 흐르는 유동에 의해 발생하는 유동소음의 주요 기전으로 작용한다. 왜냐하면 하부요로계의 폐색에 의해 발생하는 난류 현상은 유동 소음을 발생시키므로 이를 요류음으로 측정할 수 있기 때문이다. 난류의 세기와 치수를 보다 정량화한 형태로 나타내기 위하여 레이놀즈 수(Reynolds number)를 사용하고 있다. 일반적으로 레이놀즈 수가 큰 흐름은 모두 난류상태라고 할 수 있다. 난류의 흐름 중 와류 등을 발생시키는 흐름으로 유속이 크거나 압력 강하가 적은 경우에 나타난다. 유체의 흐름시 소음 발생의 원인은 난류의 발생에 기인한다. 난류는 도관 내에서 유체의 흐름 속도의 크기와 방향이 시간적으로 변공하는 현상을 나타내며 유체의 흐름이 완만한 현상을 층류, 랜덤한 현상을 난류라고 한다. 원형관을 통과하는 유속이 작을 때는 층류가 형성되고 유속이 커지면 난류로 변화되는 현상이 일어나는데 이때 층류와 난류를 정량화하면 다음과 방정식으로 나타낼 수 있다.

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

여기서, 관의지름을 r , 유체의 밀도를 ρ , 유체의 점도를 η , U 는 Q/S 로 나타낼 수 있으며 Q 는 최대유속, S 는 관의 단면적을 의미한다. 유속과 압력 강하에 따른 관계를 도시하면 그림 1과 같다.

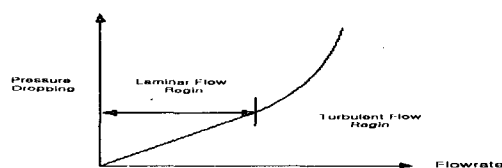


그림 1. 압력강하와 유속과의 관계

Fig. 1. Relation of Pressure drop and Flowrate

2.2. 요음의 분석 시뮬레이터의 구성

본 연구에서는 배뇨시 발생하는 요류음을 측정하여 LUTS의 진단에 활용하고자 시스템을

구현하였다. 그리고 요속과의 비교를 통한 요류음 분석의 타당성·검토를 위하여 요속 측정 부도 구현하였다. 구현된 시스템은 요류음 및 요속의 측정을 위한 센서부, 센서신호의 전처리, 증폭 및 필터링을 위한 아날로그 신호처리부, 아날로그 신호를 PC에서 분석 가능한 디지털 신호로 변환하기 위한 신호변환부, 전체적인 시스템의 제어를 위한 시스템 제어부, 계측된 데이터를 PC에서 분석하기 위한 PC 프로그램 부 등으로 구성되었으며, 시스템의 전체적인 구성도를 그림 2에 나타내었다.

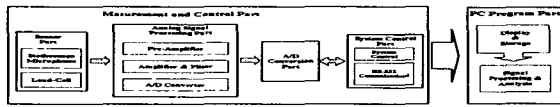


그림 2. 시스템의 전체적인 구성도
Fig. 2. Block diagram of entire system.

요음의 발생을 위한 시뮬레이터의 구성은 방광을 나타내는 수압조절식 물탱크, 요도관을 나타내는 실리콘튜브, 그리고 임의적인 단계별 폐색 유발을 위한 마이크로미터를 이용한 폐색 장치로 구성되어있다.

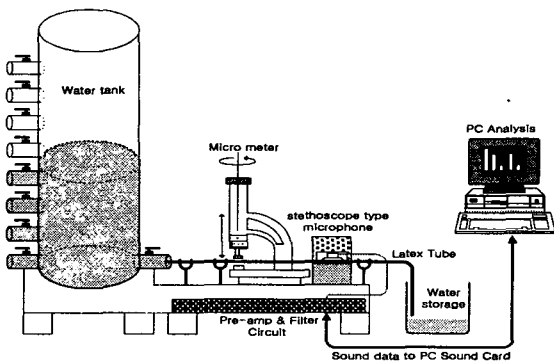


그림 3. 시뮬레이터의 구성도
Fig. 3. Block diagram of simulator.

요음검출을 위한 센서는 내부에 마이크로폰을 장착한 청진기형태의 요음측정 센서를 제작하였으며, 센서로부터 측정된 요음의 증폭과 필터링을 위해 요음검출을 위한 전용 보드를 제작하였다. 또한 검출된 요음의 처리와 분석을 위해 PC 프로그램을 이용하였다. 구현된 시뮬레이터의 구성도는 그림 4와 같다.

2.3. 요음의 획득을 위한 센서부의 구현

하부요로폐색증상을 가진 환자의 배뇨시 폐색에 의하여 요류의 난류발생을 초래하며 난류는 요류이동시 유동소음의 주요한 원인이 된다. 이러한 유동소음 즉, 요류음을 측정하기 위하여 청진기 안에 마이크로폰을 삽입한 청진기형 요류음센서를 제작하였다. 해부학적 특성상 요류음의 계측에 가장 적합한 위치는 구부요도와 인접한 회음부 영역이며, 회음부에 직접적으로 밀착하여 요류음을 계측할 수 있도록 센서를 제작하였다.

구현된 청진기형 요류음 센서는 요류음의 주요 주파수 대역인 50 ~ 1500 Hz사이의 신호를 측정하기 위하여 3M사의 리트만 청진기를 사용하였고, 다이어프램(diaphragm)모드로 설정하였다. 그리고 청진기안에 삽입된 마이크로폰은 감도(sensitivity)가 7 mV/Pa, 주파수 범위(frequency range)가 6.3 Hz~100 kHz, 동작 범위(dynamic range)가 15~146 dB의 특성을 갖는 AWIA사의 콘덴서형 마이크로폰을 사용하였다. 제작된 요음 획득 센서는 그림 4와 같다.

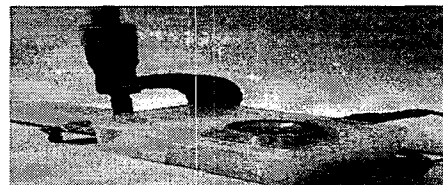


그림 4. 구현된 요류음 센서의 사진.
Fig. 4. Photography of the implemented urophonography sensor.

2.4. 요음신호 획득을 위한 전자회로부의 구현

센서로부터 측정된 요음의 증폭과 필터링을 위해 전용 보드를 제작하였으며 전원부, 무선통신부, 요음 검출부로 구성되어있다.

전원부는 음파의 특성상 최소한의 잡음과 접지분리를 위해 DC-DC Converter(Power Plaza Co., PD3-12-1212, Korea)를 이용하여

측정 효율을 극대화 시켰다.

배뇨시 발생하는 미약한 배뇨음의 측정을 위해 OP-AMP를 이용한 증폭부를 구성하였다. 그리고 잡음의 제거와 순수한 배뇨음의 획득을 위하여 필터부를 구성하였다.

증폭부와 필터부를 통과한 요음데이터는 처리와 분석을 위해서 Bluetooth모듈(Comfile Co., ACODE-300, Korea)을 이용한 근거리 무선통신망을 이용해 PC로 전송되어진다. 구현된 전자회로부의 블록도는 그림 5와 같다.

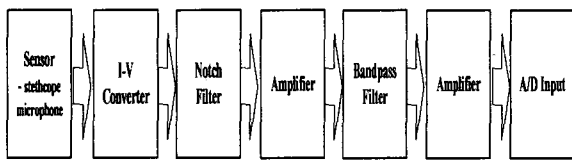


그림 5. 요류음 측정을 위한 전자회로부의 구성도.
Fig. 5. Block diagram of the electronics circuit for urophonography measurement.

2.5. 요음데이터의 처리 및 분석

전립선비대증에 의한 폐색정도를 측정하기 위하여 배뇨시 발생하는 음을 획득하여 분석에 활용하였다. 획득된 요음의 분석 및 처리를 위해 PC를 활용하였으며 분석 및 처리에 사용된 프로그램은 MATLAB 6.5(Mathworks Co., USA)를 이용하였다.

요음 신호처리를 위한 전체 블록도는 그림 6와 같다.

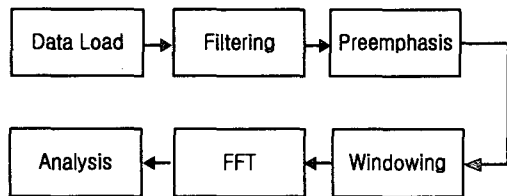


그림 6. 적용한 분석 기법의 구성도
Fig. 6. Block diagram of the applied analysis method.

저장된 요음 데이터를 불러와 차단주파수 2.5KHz의 Lowpass-Filter를 통과시킨 후

Bandpass-Filter를 이용하여 50Hz~1500Hz 사이의 유의성 있는 영역만 검출하였다[3][4][5]. 요음 데이터의 주파수 성분중 폐색에 영향을 미치는 주파수 영역 검출을 위하여 Preemphasis를 이용하여 신호의 특징 부분을 강조시켰다. Preemphasis에 적용된 식은 다음과 같다.

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

프레임의 처음과 끝에서 신호의 불연속 성을 최소화하기 위해 1024 size의 Hamming window를 사용하였다. 적용된 식은 다음과 같다.

$$\bar{x}(n) = x(n)w(n)$$

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos(2\pi \frac{n}{N-1}), \quad 0 \leq n \leq N-1$$

주파수 스펙트럼 분석을 위해서 FFT를 수행하였으며, 단계별 폐색정도를 분석하기 위하여 시간에 따른 요음의 Amplitude, 3차원 주파수 스펙트럼을 그래프로 나타내었다. 또한 단계별 폐색정도를 구분하기 위해서 시간영역분석을 통한 Average RMS Power와 Peak Amplitude를 계산하였으며, 주파수영역 분석을 통해서 주파수영역의 파워스펙트럼 전체 면적을 계산하였다. 임의의 단계별 폐색을 가하여 폐색이 진행됨에 따라 스펙트럼의 면적 변화율을 알아보고자 파워스펙트럼의 전체면적을 10단계로 나누어 구간별 파워스펙트럼 면적변화율, 주파수대역 변화율을 계산하였다. 그리고 전체면적의 50%가 되는 시점의 주파수를 구하여 폐색의 정도에 따라서 중심주파수가 천이되는 정도를 분석하였다.

3. 실험 및 결과

시뮬레이터를 이용하여 단계별 폐색에 따른 요음을 계측하였다. 5mm내경을 가지는 실리콘 튜브에 0~4.5mm의 폐색을 임의적으로 유발시

켜 발생하는 요음을 측정하였다.

요음 데이터의 시간영역 분석을 통해서 단계별 폐색에 따른 요음의 Amplitude 변화를 관찰하였으며, 폐색이 진행됨에 따라 Amplitude의 변화가 명확히 나타났다. 또한 Average RMS Power를 구하여 폐색에 따른 변화양상을 관찰하였다. 그 결과를 그림 7에 나타내었다.

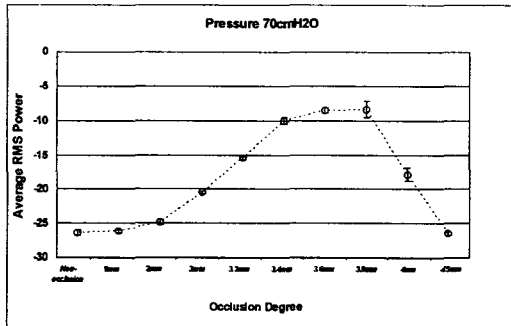


그림 7 폐색의 정도에 따른 요류음의 ARP 변화

Fig. 7. Trajectory on ARP variation of the urophonography applied to various occlusion degrees.

폐색정도에 따라서 Amplitude와 Average RMS Power는 유사한 변화 양상을 보였다. 폐색의 정도가 점점 증가함에 따라서 Amplitude와 Average RMS Power는 지속적으로 증가하였으며, 폐색정도 3.8mm이후 부터는 다시 감소하였다. 실제로 폐색정도 3.8mm이후 부터는 요의 흐름이 거의 없어 난류가 발생할 수 있는 조건이 아니므로 배뇨음 또한 발생하지 않는 경우이다. 그리고 FFT를 이용한 주파수 분석을 통해서 요음데이터를 분석하였다. 그 결과 폐색이 진행됨에 따라 100~500Hz사이의 구간 면적변화율이 높게 나타났다. 좀 더 정밀한 분석을 위해 주파수 영역 50~1500Hz를 10구간으로 나누어서 폐색정도에 따른 면적변화율을 구하였다.

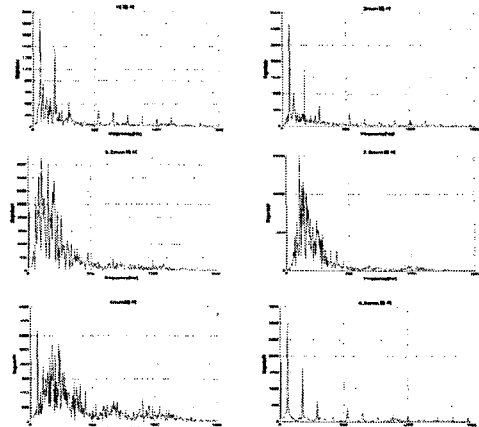


그림 8. 폐색의 정도에 따른 요류음 PSD 분포 특성

Fig. 8. PSD distribution characteristic of the urophonography applied to various occlusion degrees.

그 결과를 그림 8과 9에 각각 나타내었으며, 195~340Hz사이의 구간에서 가장 큰 면적변화율을 보였다. 이 결과는 곧 전립선비대증에 의한 폐색의 정도를 가장 잘 반영하는 주파수 영역이라고 볼 수 있다.

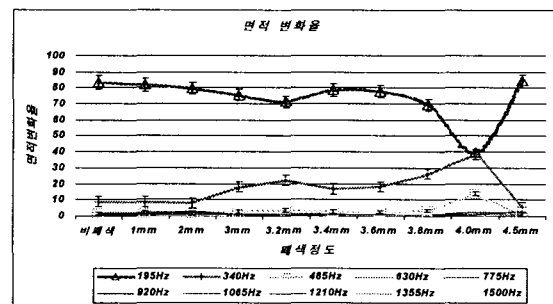


그림 9. 폐색에 따른 구간별 면적변화율
Fig. 9. Trajectory on area variation of various frequency bandwidths applied to various occlusion degrees.

4. 결론 및 고찰

본 논문에서는 기존의 하부요로폐색증상증의 하나인 전립선 비대증을 진단하는 요역동학 검

사를 보다 비침습적이고 편리하게 수행하고자 배뇨시 발생하는 음향을 이용하여 진단에 활용하고자 하였다. 마이크로폰을 이용하여 배뇨시 발생하는 음을 측정하여 폐색정도를 분석 하였으며, 그 결과 요음이 폐색정도를 분류하기 위한 하나의 파라미터로서 활용 될 수 있는 가능성을 확인하였다. 향후 임상실험등을 통한 지속적인 연구를 통해 전립선비대증을 진단하는 새로운 검사방법의 하나로서 활용 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Kenkichi Koiso, Urophonographic Studies of the Lower Urinary Tract : A New Approach to Urodynamics, Tohoku J. exp. Med., 1987, 151, 57-64.
- [2] R. Mahadevan, "Analytical Modeling of Electrostatic Structures", in Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, pp. 120-127, 1990.
- [3] Nanzando's Medical Dictionary(1981)Reynolds' Number. Nanzando, Tokyo, P.2210.
- [4] H. Terio, Acoustic method for assessment of urethral obstruction : a model study, Med. & Biol. Eng. & Comput., 1991, 29, 450-456.
- [5] van Mastrikt R, Kranse M. Accuracy of non-invasive urodynamics in diagnosing infravesical obstruction. Neurourol Urodyn 1995; 14: 451-2
- [6] 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 1998; 160: 1787-91