

배뇨력 측정을 통한 하부요로계의 보상성기능항진 평가

정도운[†] · 전계록^{*}

Estimation of compensatory hypertrophy in lower urinary system using void force measurement

Do Un Jeong[†] and Gye Rok Jeon^{*}

Abstract

The purpose of urodynamic investigation is to obtain the information on the function of the urinary system. The aim of this study is to acquire the useful information of lower urinary tract symptom (LUTS) diagnosis through void force signal as noninvasive method. The system which could evaluate the function of compensatory hypertrophy with noninvasive and comfortable method was implemented to measure uroflow and void force during urination. The implemented system composes of the sensor parts, signal conditioning parts and PC monitoring program. For the evaluation of the implemented system, the simulation of control part of the system was performed and the model system for the lower urinary system was designed. The superiority of a measuring characteristic of the implemented system was verified using the model system. From the evaluation of the model system, we have found out that the void force was dependent on the occlusion degree and compensatory hypertrophy significantly.

Key Words : LUTS (Lower Urinary Tract Symptom), urodynamics, compensatory hypertrophy, void force, uroflowmetry

1. 서 론

남성에게 발현되는 노인성 질환 중 대표적인 질환으로 하부요로증상(lower urinary tract symptom, LUTS)이 있다. LUTS는 삶의 질을 위협하는 질환으로서 나이가 증가함에 따라 유병율이 증가하며, 자각에 의한 조기진단이 어렵다. 또한 증상이 심화되면 배뇨가 어려워지고 다양한 합병증이 유발될 뿐만 아니라 일상생활에 직접적인 불편을 초래하기 때문에 고령화에 접어드는 남성에게는 관심이 매우 높은 증상으로 인식되고 있다^[1].

LUTS와 관련하여 나타나는 증상으로는 빈뇨, 요절박, 절박요실금, 야간빈뇨, 배뇨통 등과 같은 저장 증상과 요추저, 복압배뇨, 약뇨, 잔뇨감, 요폐 등과 같은 배뇨 증상으로 구분할 수 있다^[2]. 이러한 증상의 가장 흔

한 원인은 전립선비대증(prostatic hypertrophy syndrome)으로 인한 폐색이지만 비정상적인 배뇨근 기능과 감각장애에 의해 발생하기도 한다^[3]. LUTS의 대표적 원인인 전립선비대증은 방광출구폐색증상(bladder outlet obstruction)을 나타내며, 하부요로 증상의 약 80% 이상을 차지한다. 또한 전립선비대증에 의해 초래될 수 있는 방광출구폐색은 방광의 구조와 기능에 변화를 일으켜 2차적인 질환을 유발시킬 수도 있다^[3].

전립선비대증과 같은 방광출구폐색 증상의 초기에는 폐색이 발생하더라도 자각증상을 느끼기 어렵고 방광내압의 증가를 통해 정상 요속을 나타낼 수 있기 때문에 조기 진단의 시기를 놓치는 경우가 많다. 증상 초기에 폐색을 진단할 경우 호르몬 요법을 적용한 약물 치료만으로 비교적 간편하게 증상을 호전시킬 수 있다. 하지만 자각증상을 느낀 후에는 폐색뿐만 아니라 방광기능의 이상까지 수반하는 경우가 대부분이며, 방광기능의 장애가 수반된 경우에는 수술을 통해 폐색증상을 제거하더라도 증상이 호전되지 않게 된다. 따라서 LUTS는 조기에 진단하여 치료하는 것이 무엇보다도 중요하다^[4].

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

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

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

(Received : September 11, 2006, Accepted : October 20, 2006)

LUTS의 진단을 위해 임상에서 사용하고 있는 방법은 의사의 문진을 통해 증상을 점수화 하는 증상점수 기록법, 촉진에 의해 진단하는 직장 수지 검사법, 초음파 영상을 이용하는 방법, 방광내부에 조영제를 투여하여 방사선 검사를 수행하는 방법 그리고 요역동학 검사법 등이 있다. 다양한 LUTS 진단 방법들 중 실제 임상에서 가장 많이 사용되고 있는 것은 요역동학 검사법이며, 요역동학 검사법에는 요류검사법, 압력-요류검사법, 방광경 검사법 등이 있다. 하지만 요류검사법을 제외한 나머지 요역동학 검사법은 침습적인 시술절차를 거치므로 환자에게 불쾌감 또는 고통을 수반하게 한다. 따라서 비침습적으로 증상을 진단하기 위하여 요류검사법이 가장 많이 시행된다^[5]. 하지만 단순한 요류검사만으로 배뇨의 이상 증상을 진단하기는 한계가 있다. Andrews^[6]와 Hooque^[7]는 폐색의 초기에는 LUTS의 증상이 발현하더라도 배뇨근의 보상성기능항진(compensatory hypertrophy)이 출구 폐색보다 강하게 작용하여 정상 요속으로 측정될 수 있음을 발표하였다.

본 연구에서는 요속 측정과 동시에 배뇨력을 측정하여 비침습적인 방법으로 LUTS를 진단하는 방법을 제안하였으며, 이를 위하여 센서 및 시스템을 구현하고 구현된 시스템의 계측특성을 평가하였다. 그리고 일반적인 요속검사서 진단의 오류를 유발하는 보상성 기능항진의 작용 유무를 배뇨력의 계측을 통해 판별함으로써 보다 신뢰성 있는 LUTS진단 시스템을 구현하고자 하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 하부요로계 배뇨모델

본 연구의 대상인 하부요로계의 이상증상을 모니터링하기 위해 하부요로계의 배뇨모델을 설정하였다. 인체의 배뇨 운동 발생 기전에서 방광내압과 폐색으로 발생하는 요도 내의 유체 저항 성분을 고려한 방광배뇨모델은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 그리고 방광내압, 출구의 폐색 및 배출 요속 등의 관계를 해석하기 위하여 방광내부와 출구에서의 유체운동을 베르누이 방정식을 적용하여 전개하였으며, 이는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$p_{bladder} + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho gh_1 = p_a + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho gh_2 + \Delta p \quad (1)$$

여기서, $p_{bladder}$ 는 방광내압, p_a 는 외부 압력, 즉 대기압, ρ 는 유체 밀도, g 는 중력가속도, V_1 과 V_2 는 방광내부와 외부에서의 속도를 의미하며, h_1 과 h_2 는 기준위치를

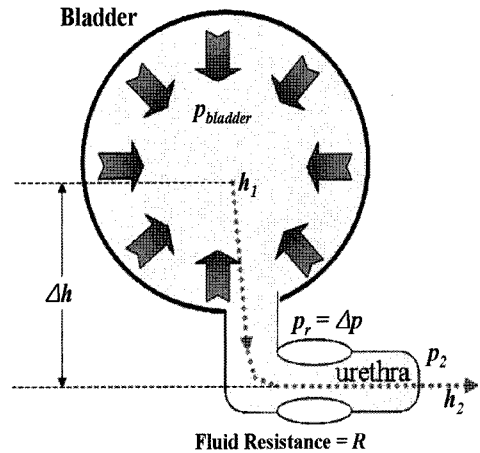


그림 1. 방광 배뇨 모델

Fig. 1. Voiding model of the bladder.

부터의 방광내부 및 외부의 높이를 의미한다.

요류 검사법에서 측정하는 요속 정보인 단위 시간당 질량 유출량을 m 이라고 하고 입구와 출구의 압력 차이를 Δp , 유체 저항 성분을 R 로 나타내면 질량 유출량은 출구 단면적과 폐색에 영향을 받는 유체 저항 성분의 변화와 방광 내압의 상관관계로서 나타나며 전체 압력 변화 Δp 는 다음 수식과 같이 유체저항 성분과 속도의 비례 관계로 정리 할 수 있다.

$$\Delta p = mR = \rho RAV_2 \quad (2)$$

그리고 수식(2)를 이용하여 수식(1)을 다시 정리하면 요의 운동 방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p_{bladder} + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho gz_1 = p_a + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho gz_2 + \rho RAV_2 \quad (3)$$

이 때 유체 밀도를 물과 동일하다고 하고 출구 압력을 기준압력으로 하여 $p_a = 0$, 방광내부에서 유체의 속도 즉, $V_1 = 0$, $h_1 = H$, $h_2 = 0$ 이라 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V_2^2 + 2RAV_2 - 2(p_{bladder} + gH) = 0 \quad (4)$$

수식(4)로부터 V_2 를 계산하면 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$V_2 = \frac{-2RA + \sqrt{4R^2A^2 + 8(p_{bladder} + gH)}}{2} \\ = \sqrt{R^2A^2 + 2(p_{bladder} + gH)} - RA \quad (5)$$

방광내압과 폐색 성분을 고려한 방광 모델로부터 유

체 운동방정식을 적용하여 요의 배출 속도 V_2 를 설명하는 수식(5)에서 나타난 바와 같이 실제적으로 배노시 요의 운동은 방광내압에 해당하는 에너지로 발생되어야 하나 요도에 존재하는 유체 저항으로 인해 에너지 손실이 발생하게 된다. 더욱이 폐색으로 인해 유체 저항 성분이 증가하게 되면 그 만큼 배노를 발생시키는 압력이 줄어들고 이로 인해 요속이 감소하게 되는 것이다. 일반적인 요류 검사법에서 측정하는 단위 시간당 질량 유출량 정보와는 달리 요의 운동 속도 V_2 는 방광내압 뿐만 아니라 요도내의 유체 저항 성분을 포함하고 있으므로 일반적인 요속검사법과 요의 운동속도 V_2 를 비교평가 함으로써 보다 정확한 폐색의 진단이 가능하다.

2.2. 요역동학 변수 계측 기법

배노 시 배출된 요의 운동은 포물선의 궤적을 그리며 낙하하고 수평방향에 대해서는 요의 배출 시 속도와 동일한 등속도 운동을 하고, 수직방향으로는 중력 가속도에 의한 등가속도 운동을 한다. 배노 시 요가 배출 될 때의 속도를 V 라고 가정하고 포물선 운동 이론을 적용하여 배노 시 나타나는 요의 운동을 해석하면 요의 운동은 $V\cos\theta$ 값을 가지는 수평방향 성분 V_x 와 $V\sin\theta-g\Delta t$ 인 수직방향 성분 V_y 의 합으로 나타낼 수 있으며 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{\text{Void}}| &= \sqrt{(V_x \cos \theta)^2 + (V_y \sin \theta - g\Delta t)^2}, \\ \theta &= \frac{V_y \sin \theta - g\Delta t}{V_x \cos \theta} \end{aligned} \tag{6}$$

여기서, g 는 중력 가속도를 의미하며 $\overrightarrow{\text{Void}}$ 는 요의 속력을 의미한다. 그리고 요의 운동에 의한 힘은 배출된 요중량과 요속의 비례관계로 다음 수식과 같이 나타낼 수 있으며, 본 연구에서는 이를 배노력(void force, VF)으로 명명하였다.

$$VF = M \frac{\Delta \overrightarrow{\text{Void}}}{\Delta t} \tag{7}$$

요가 배출되는 순간의 $\overrightarrow{\text{Void}}$ 에 대해 고려해보면 수식(6)으로부터 운동방향이 수평방향으로만 발생하므로 이 때 $\overrightarrow{\text{Void}}$ 의 크기는 V_x 에 의해 결정된다. 이러한 가정으로부터 요가 배출된 직후 수평방향에 대한 배노력은 요의 질량과 운동 속도 V 의 비례관계로 해석할 수 있으며, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$VF_x = M \cdot V \tag{8}$$

본 연구에서는 수평방향의 배노력과 동시에 일반적으로 요류검사에서 측정하는 단위시간당 요중량 변화를 계측하기 위하여 금속망을 지면과 수직이 되도록 설계하여 수평방향의 배노력을 계측 할 수 있도록 하였으며, 배노력 측정센서의 하단부에 로드셀을 위치시켜 동시에 요량변화에 의한 요속의 계측이 가능하도록 하였다.

2.3. 계측 센서 및 시스템의 구현

2.3.1. 전체시스템의 구성

본 연구에서는 비침습적인 방법으로 배노 시의 요속 및 배노력을 동시에 계측하여 LUTS의 진단에 활용하고자 하였다. 이를 위하여 금속망을 이용한 배노력 측정센서 및 로드셀을 이용한 요속 측정센서를 구현하였다. 그리고 각 센서로부터 출력된 신호의 검출, 증폭, 필터링을 위하여 신호처리회로를 구현하였다. 신호처리 회로로부터 출력된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위하여 USB인터페이스의 A/D변환기(NI USB-6008, National Instrument Co., USA)를 이용하였으며, 디지털로 변환된 데이터의 디스플레이, 저장, 분석을 위하여 LABVIEW 7.0(National Instrument Co., USA)을 이용하였다. 본 연구에 의해 구현된 시스템의 전체적인 구성은 그림 2와 같다.

2.3.2. 센서부의 구성

본 연구에서 허부요로계의 배노 모델에서 검토한 배노 시의 수평방향 배노력과 일반적인 요류검사에서 수행하는 질량 유출량을 동시에 측정하고자 하였다. 먼저 배노력을 측정하기 위하여 지면과 수평이 되도록 금속망형 구조물을 구성하였다. 배출된 요가 망형 구조물에 닿을 때 전달되는 배노력을 보다 정확하게 측정하기 위해서는 금속망의 유체 저항 성분을 강화하여 배노력이 금속망에 집중되도록 할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 밀도와 강도 특성이 서로 다른 5개의 망을 겹치도록 구성하여 다층 구조의 망형 구조물을 설계하였다. 다층 구조의 망에서 직조 밀도는 낮으나 강도가

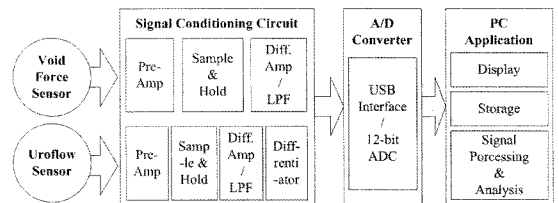


그림 2. 구현된 계측시스템의 구성도
Fig. 2. Block diagram of the implemented measuring system.

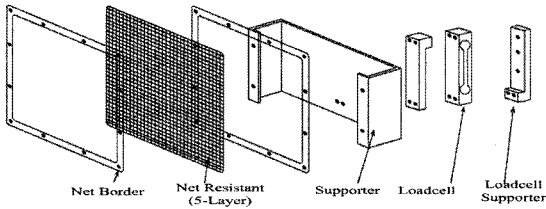


그림 3. 배뇨력 측정센서의 구조도

Fig. 3. Structure diagram of the void force measuring sensor.

높은 망을 양측 말단 부분에 겹치도록 하여 유체가 통과할 때 금속망이 휘어지거나 형태가 변하는 것을 보호하도록 하였고, 고밀도 저항성 망 사이에 약 3 mm 정도 두께의 폴리우레탄 직조망을 설치하여 유입된 유체가 외부로 튀지 않고 흡수되어 출구로 빠질 수 있도록 하였다. 그리고 망형 구조물을 지면과 수직으로 배치하고 망의 뒷편에 로드셀(BCL single point, CAS Co., KOREA)을 부착하여 배뇨 시 수평방향의 운동에너지를 측정할 수 있도록 하였으며, 구현된 배뇨력 측정센서를 그림 3에 나타내었다.

그리고 일반적인 요류검사법인 질량유출량으로부터의 요속을 측정하기 위하여 로드셀을 이용한 요속 측정부를 구성하였다. 요속 측정부의 구성에 있어서 배뇨에 따른 무게변화를 측정하기 위하여 로드셀의 상부와 하부에는 지지대를 부착하여 요수집 용기와 시스템이 견고히 부착되도록 하였으며, 배뇨 시 일반 성인의 평균 요량과 외부에서 가해질 수 있는 충격, 그리고 요량수집 메커니즘의 중량 등을 고려하여 2 kg의 허용 중량을 갖는 휨형 로드셀을 적용하였으며, 구현된 요속 측정부를 그림 4에 나타내었다.

2.3.2. 신호처리 회로 및 모니터링 프로그램

배뇨력 및 요속 측정센서로부터 출력된 신호를 처리하기 위하여 신호처리회로를 구성하였다. 먼저 배뇨력 센서의 로드셀로부터 출력되는 신호를 검출하기 위하여 FET 타입의 계측용 증폭기(INA121, Burr-Brown Co., USA)를 이용하여 전치증폭부를 구성하였다. 그리고 보다 정확한 계측을 위하여 샘플앤홀드(sample and hold)회로와 차동증폭회로를 구성하여 전치증폭부를 통과한 신호를 처리함으로써 측정부의 자동보정이 이루어지도록 하였다. 또한 측정된 신호로부터 고주파 잡음의 제거를 위하여 차단주파수가 100 Hz인 2차 저역 통과필터(low pass filter, LPF)를 구성하였고 미소한 신호의 증폭을 위하여 전체이득이 200인 신호처리회로를 구성하였다.

또한 배뇨 시 요중량 변화를 계측하여 단위시간당

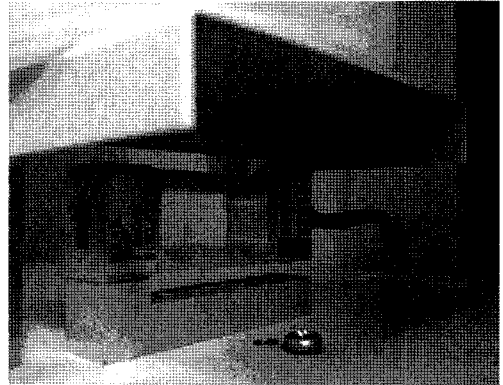


그림 4. 로드셀을 이용한 요속 측정부 센서의 사진

Fig. 4. Photography of the uroflowmetry using loadcell.

요속변화를 계측하기 위하여 배뇨력 측정과 동일한 방식의 전치증폭부를 구성하였으며, 요중량의 영점보정을 위하여 샘플앤홀드회로를 적용하였고, 샘플앤홀드회로의 출력과 전치증폭부의 출력을 차동증폭 함으로써 자동영점보정이 가능하도록 하였다. 샘플앤홀드회로를 통과한 신호는 증폭회로와 차단주파수가 10 Hz인 LPF를 거치고 이를 단위 시간당 중량변화, 즉 요속 신호로 변환하기 위하여 연산증폭기를 이용한 미분회로를 설계하여 실시간 요속 신호를 검출할 수 있도록 하였다.

배뇨력 신호와 요속신호를 컴퓨터에서 분석 가능한 디지털 신호로 변환하기 위하여 USB인터페이스로 사용이 편리한 NI-DAQ USB-6008 A/D변환기를 사용하였다. 사용한 A/D변환기는 8채널, 12-bit 분해능, 10 ksample/sec의 샘플링 특성을 갖는다. A/D변환기로부터의 배뇨력 및 요속데이터를 PC상에서 모니터링하기 위하여 LABVIEW 7.0(National Instrument Co., USA)을 이용하였다. 배뇨력 데이터와 요속 데이터는 256 sample/sec의 속도로 디지털신호로 변환하였으며, 변환된 데이터를 디스플레이하고 이와 동시에 파일로 저장하여 데이터 분석에 활용 할 수 있도록 하였다. 실제 구현된 모니터링 프로그램을 그림 5에 나타내었으며, 모니터링 프로그램의 위쪽 그래프는 배뇨력 데이터이고, 아래쪽은 요속 데이터를 표시한다.

3. 실험 및 결과

3.1. 실험장치의 구성

본 연구에서는 구현된 시스템의 보정 및 객관적인 평가를 위하여 인체의 하부요로계를 모식화한 실험 장치를 제작하였다. 제작한 실험장치는 인체의 방광 기능

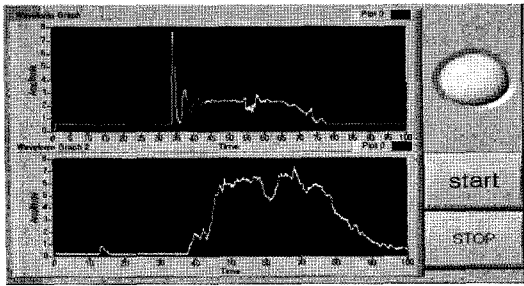


그림 5. 구현된 PC 모니터링프로그램의 화면
Fig. 5. A screen shot of the implemented PC monitoring program.

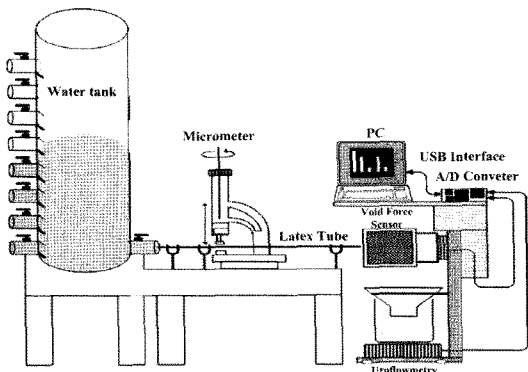


그림 6. 구현된 실험장치의 구성
Fig. 6. Composition of the implemented experimental equipment.

에 해당하는 물탱크, 요도의 기능을 수행하기 위한 실리콘 튜브 그리고 전립선비대증 등의 폐색을 인위적으로 유발시킬 수 있는 폐색 조절부 등으로 구성되었으며, 전체적인 구성은 그림 6과 같다.

먼저 인체의 방광 기능을 대행하는 물탱크는 물의 수위를 조절하여 방광 내압으로 가정할 수 있는 유체 압력을 최소 0 cmH₂O에서 최대 100 cmH₂O까지 10 cm H₂O 단위로 조절할 수 있도록 하였다. 또한 인체의 요도를 모식화하기 위하여 내경 5 mm의 실리콘 튜브를 이용하였고, 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 10 cm 떨어진 거리에 배뇨력 측정 센서를 위치시켰다. 배뇨력 측정 센서를 통과한 유체는 아래로 낙하하여 비이커에 저장되도록 하였고 낙하하는 양을 유속 측정부에서 측정하여 유속을 나타내도록 하였다. 비록 실험장치가 인체 하부 요로계의 다양한

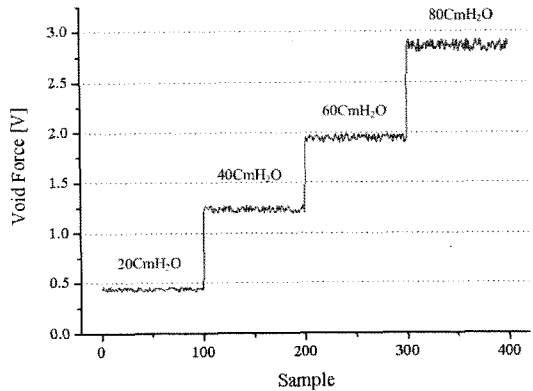


그림 7. 압력에 따른 배뇨력 측정부의 출력변화
Fig. 7. Output signal variation of void force measuring part at various pressures.

배뇨특성을 재현하지는 못하더라도 초기 폐색 시 발생하는 보상성 기능향진의 작용 평가에는 유용하게 활용될 수 있다.

3.2. 배뇨력 측정부의 특성 평가

배뇨력 측정부의 계측특성을 평가하기 위하여 상기에 기술한 실험장치의 물탱크 압력을 20 cmH₂O에서 80 cmH₂O까지 20 cmH₂O 단위로 압력을 조절하며 배뇨력 측정부의 출력특성을 계측된 전압 값으로 그림 7에 나타내었다. 그리고 각 압력별 10회의 반복측정을 통해 측정부의 특성방정식을 유도한 결과 기울기가 0.041이고 절편이 -0.409인 특성방정식을 유도하였으며, 그 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 알 수 있듯이 배뇨력 측정부의 특성은 선형적으로 나타남을 확인할 수 있다. 참고로 그림 7과 그림 8에서 배뇨력 1 V의 출력 전압을 정확한 힘의 단위로 환산하면 약 0.79 N으로 평가되었다.

3.3. 유속 측정부의 특성 평가

유속 측정부의 평가를 위하여 배뇨력 측정부 특성평가와 동일한 방법으로 실험장치에 폐색을 인가하지 않은 상태에서 물탱크의 압력을 20 cmH₂O에서 80 cm H₂O까지 20 cmH₂O 단위로 압력을 변화시키며 실험을 수행하였다. 각 압력에서의 유체방출 속도를 측정하기 위하여 10초간 방출유량을 전자저울을 이용하여 계측하고 단위시간당 배출량 즉, 유속을 계산하였다. 보다 정확한 압력별 유속을 계산하기 위하여 각 압력별 10회 측정하여 최대치와 최소치를 제외한 8회 분을 평균한 결과 20 cmH₂O에서 약 12.5 ml/s, 40 cmH₂O에서

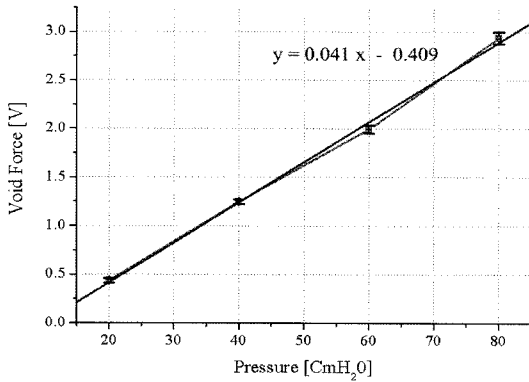


그림 8. 배뇨력 측정부의 특성곡선
Fig. 8. Characteristic curve of the void force measuring part.

약 18 ml/s, 60 cmH₂O에서 약 22.5 ml/s, 80 cmH₂O에서 약 26.5 ml/s의 유속을 나타냈다. 실험 장치의 유속을 확인한 뒤 유속 측정부를 평가하기 위해 폐색을 인가하지 않은 상태에서 20 cmH₂O~80 cmH₂O까지 압력을 조정하며, 각 압력별 10회 반복 실험을 수행하였다. 그 결과 기울기가 0.163이고 절편이 -0.162인 특성방정식을 유도하였으며, 유속 측정부의 특성곡선을 그림 9에 나타내었다.

3.4. 폐색에 따른 배뇨력 및 유속 비교평가

하부요로 폐색의 진단에 있어 배뇨력의 유용성을 평가하기 위하여 정상적인 배뇨라 할 수 있는 방광내압 30 cmH₂O와 폐색 시의 배뇨라 할 수 있는 70 cmH₂O 일 때의 폐색 정도에 따른 유속과 배뇨력을 동시에 계

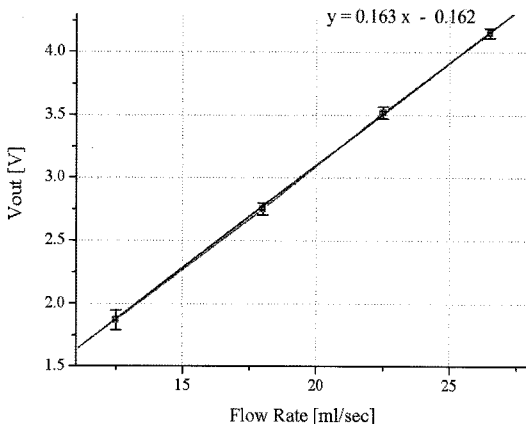


그림 9. 유속 측정부의 특성곡선
Fig. 9. Characteristic curve of the flow rate measuring part.

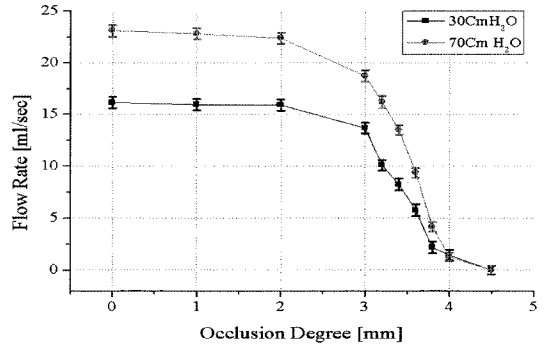


그림 10. 압력과 폐색 정도에 따른 유속변화
Fig. 10. Variation of the flowrate at various occlusion degrees and pressures.

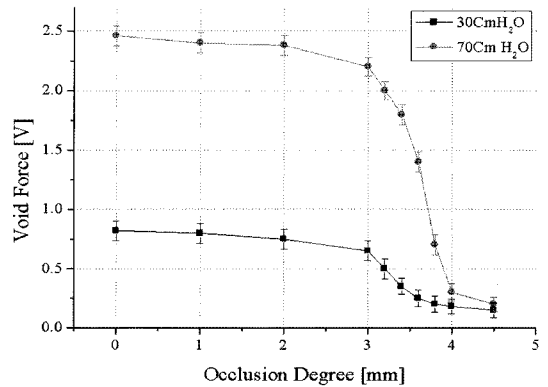


그림 11. 압력과 폐색 정도에 따른 배뇨력 변화
Fig. 11. Variation of the voiding force at various occlusion degrees and pressures.

측하여 그 결과를 그림 10과 그림 11에 각각 나타내었다. 그림 10에서 30 cmH₂O의 압력일 때 폐색이 없을 경우 유속은 약 16 ml/sec이었다. 하지만 폐색이 존재 하더라도 보상성기능항진에 의해 방광내부의 압력이 높아지면 이와 동일한 유속은 나타날 수 있다. 그림 12에서 압력을 70 cmH₂O로 증가시키고 약 3.2 mm의 폐색을 유발시키면 이때 약 16 ml/sec의 유속을 보이게 된다. 따라서 위의 예와 같은 상황에서 일반적인 유속 검사만으로는 정확한 폐색의 진단이 불가능하며 이러한 현상은 유속검사의 맹점으로 인식되고 있다. 하지만 유속검사와 동시에 배뇨력을 계측하면 보다 정확한 폐색의 진단이 가능하다. 즉 30 cmH₂O의 압력일 때 폐색이 없을 경우 유속은 약 16 ml/sec이며 배뇨력은 0.7 이었다. 하지만 폐색이 발생하고 보상성기능항진이 작용하여 방광내압이 높아졌을 경우를 가정한 70 cmH₂O의 압력과 3.2 mm의 폐색이 인가된 경우 유속은

표 1. 동일 요속일 때 배뇨력 평가 결과
Table 1. Assessment result of the void force at the same flow rate

	Flow rate (ml/s)	Pressure & Occlusion degree	Void force (V)	Difference flow rate (ml/s)	Difference void force (V)
1	19.52	50 cmH ₂ O, 0.0 mm	1.63	0.50	0.57
	19.02	70 cmH ₂ O, 3.0 mm	2.20		
2	16.15	30 cmH ₂ O, 0.0 mm	0.82	0.02	1.19
	16.17	70 cmH ₂ O, 3.2 mm	2.01		
3	15.40	50 cmH ₂ O, 3.68 mm	1.39	0.77	0.62
	16.17	70 cmH ₂ O, 3.2 mm	2.01		
4	13.60	30 cmH ₂ O, 3.0 mm	0.65	0.20	0.55
	13.40	50 cmH ₂ O, 3.2 mm	1.20		
5	13.60	30 cmH ₂ O, 3.0 mm	0.65	0.30	0.05
	13.30	70 cmH ₂ O, 3.8 mm	0.70		

16 ml/sec이었다. 하지만 이때 배뇨력은 약 2로서 폐색이 없는 경우의 0.7과는 상당한 차이를 보여주고 있으며, 이는 요속 측정만으로는 불가능했던 보상성 기능향진의 작용 유무를 배뇨력의 측정을 통해 판별 가능함을 보여준다.

보상성 기능향진의 작용 유무의 평가에 배뇨력이 유용함을 확인하기 위하여 물탱크의 압력과 폐색의 정도를 조절하여 동일한 요속을 만들고 배뇨력 비교실험을 수행하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 표 1의 결과에서 살펴볼 수 있듯이 비슷한 요속을 보이고 있지만 물탱크의 압력에 따라 배뇨력의 차이를 확인할 수 있다. 특히 임상에서는 15 ml/sec 이상의 요속은 정상배뇨로 분류하는 것이 일반화된 진단방법이며, 보상성 기능향진의 작용에 의한 오진의 가능성이 존재한다. 하지만 본 연구 결과 배뇨력의 차이는 15 ml/sec 이상의 요속에서 보다 명확하게 배뇨력의 차이를 확인할 수 있으므로 하부요로 폐색에 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 하부요로폐색증상을 비침습적이고 간편하게 진단 할 수 있는 새로운 요역동학 검사 방법을 제시하였다. 이 방법은 기존의 요속 측정법만큼 진단이 간편하고 요속 측정법만으로는 판별할 수 없는 정상요속 시의 보상성기능향진의 작용 유·무를 판단 할 수 있다. 배뇨 시 요의 운동에너지를 측정하고 동시에 요속을 측정하여 비교 분석함으로써 요류 검사법의 한계를 보완하고자 하였다. 구현된 시스템의 평가 결과 배뇨 시의 운동에너지를 측정하는 배뇨력 측정부는 기

울기가 0.041이고 절편이 -0.409인 출력 특성을 보였다. 그리고 요속 측정부는 기울기가 0.163이고 절편이 -0.162로 평가되었으며, 배뇨력과 요속의 계측특성이 선형적으로 나타났다. 폐색에 따른 배뇨력 및 요속의 비교평가 실험에서는 동일한 요속을 보이지만 폐색에 따른 보상성 기능향진이 작용할 경우 배뇨력의 평가를 통해 보다 정확한 폐색 진단의 가능성을 평가하였다. 특히 임상에서 정상요속으로 분류하는 15 ml/sec 이상의 요속을 보이는 경우에 보상성기능향진의 작용 유무를 평가하는데 배뇨력이 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다.

향후 연구에서는 본 연구결과를 토대로 실제 임상에 적용하여 다양한 하부요로증상별 요속 및 배뇨력 특성을 평가할 필요성을 느끼며, 요속과 배뇨력 데이터로부터 하부요로증상을 가장 잘 반영하는 특징파라미터를 추출하기 위한 다양한 분석알고리즘의 개발이 필요할 것이다. 이러한 연구가 지속적으로 이루어진다면 멀지 않은 미래에 도래할 고령 사회에 대비하여 원격진료와 현장진료에 매우 유용하게 활용할 수 있는 하부요로폐색 진단 시스템의 개발이 가능하리라 사료된다.

참고 문헌

- [1] 대한비뇨기과학회지, 제3판 비뇨기과학, 고려의학, 서울, pp. 75-86, 2001.
- [2] H. Lepor, α -adrenergic blockers for the treatment of benign prostatic hyperplasia. In: Prostatic diseases, Saunders, Philadelphia, pp. 297-307, 2000.
- [3] P. Abrams, "In support of pressure-flow studies for evaluating men with lower urinary tract symptoms", *Urology*, vol. 44, pp. 153-154, 1994.

- [4] 대한전립선학회, 전립선비대증, 일조각, 서울, pp. 87-88, 2004.
- [5] G. D. Webster and M. L. Guralnick, The neurourologic evaluation. In: Walsh PC, Retik AB, Vaughan ED Jr, Wein AJ, eds. Campbell's urology. 8th ed., Saunders, Philadelphia, pp. 900-930, 2002.
- [6] 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.
- [7] M. Hooque, and R. Somvanshi, "Ultrasonographic evaluation of urinary bladder in normal, fern fed and enzootic bovine haematuria-affected cattle", *J Vet. Med. A*, vol. 49, pp. 403-407, 2002.
- [8] 정도운, 조성택, 남기곤, 정문기, 전계록, "하부요로 폐색진단을 위한 비침습적 방광내압 계측 시스템의 구현 및 평가", *센서학회지*, 제15권, 제2호, pp. 139-147, 2006.
- [9] 정도운, 조성택, 전계록, "하부요로 폐색 진단용 요류음 계측 시스템의 구현 및 평가", *센서학회지*, 제14권, 제1호, pp. 7-15, 2005.



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
- 주관심분야 : 생체계측시스템, 생체신호처리, 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
- 주관심분야 : 의용계측, 영상신호처리, 생체시스템 모델링