

하부요로 폐색진단을 위한 비침습적 방광내압 계측 시스템의 구현 및 평가

정도문[†] · 전계록^{*}

Implementation and estimation of the noninvasive vesical pressure measurement system for diagnosis of lower urinary tract symptom

Do Un Jeong[†] and Gye Rok Jeon^{*}

Abstract

Lower urinary tract symptoms (LUTS) affect self-assessed quality of life. The prevalence of LUTS is commonly high in the elderly. The purpose of urodynamic investigation is to obtain information on the function of the urinary system. One of the most frequently used measurement procedures in urodynamics is filling and voiding cystometry. But in this system transurethral catheter is used and it makes patients uncomfortable. The aim of this study is to implement the system that could evaluate noninvasively the function of urinary tract. A new system has been developed to analyze urine flow rate and vesical pressure during voiding. These signals were recorded simultaneously and transmitted to a PC. For system evaluation, a model for the lower urinary system of men was constructed. From the evaluation of the model, vesical pressure was correlated with the occlusion degree. In a pilot study with five male subjects, maximum of standard deviation was 1.26, error rate was 3.49 and coefficient of variation was 3.48.

Key Words : LUTS(Lower Urinary Tract Symptom), urodynamics, BPH(Benign Prostatic Hyperplasia)

1. 서 론

경제의 눈부신 성장과 첨단과학의 발달에 의해 현대인의 생활수준은 향상되고 있으며 삶의 질 향상과 더불어 평균수명의 증가로 고령인구의 비율이 높아지고 있다. 최근 노인 복지 및 건강이 사회의 큰 이슈로 대두되고 있으며 노인성 질환에 대한 관심도 증대되고 있는 실정이다^[1].

노인성 질환들 중 하부요로증상(lower urinary tract symptom, LUTS)은 남성을 대상으로 나이의 증가에 따라 발생 빈도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 통계적으로 국내의 경우 50대에 40~50%, 60대에 60%, 70대에 60~70%의 유병률이 보고되었다^[2]. 그러나 LUTS는 환자가 쉽게 인식할 수 없을 뿐만 아니라 일

단 발견되면 삶의 질을 현격하게 저하시키기 때문에 고령화에 접어드는 남성에게 있어 관심이 매우 높은 증상으로 인식되고 있다. LUTS의 원인으로는 전립선비대증이 약 80%를 차지하며, 일생동안 남성의 약 80% 이상이 전립선비대증(prostatic hypertrophy syndrome) 증상을 경험하게 되며, 배뇨장애와 불쾌감을 수반하여 일상생활에 많은 불편함을 초래한다^[3].

이러한 LUTS의 진단을 위해 임상에서는 다음과 같은 검사방법을 시행하고 있다. 전립선비대증을 진단하기 위해 증상을 정량화하여 증상점수로 기록하는 방법, 전립선의 크기를 측정하는 방법, 전립선비대로 인한 폐색을 측정하는 방법 등이 사용되고 있으며, 일반적으로 폐색을 진단하기 위한 요류검사, 잔뇨 측정, 압력-요류검사, 요도방광경검사 등의 요역동학 검사를 주로 시행하고 있다. 하지만 현재 시행하고 있는 요역동학 검사들은 주로 카테터(catheter)를 요도에서부터 방광내부로 삽입하는 침습적인 시술을 병행함으로써 시간적인 소모와 급전적인 손실을 초래하며, 피검자로 하여금 불쾌감 및 고통을 수반하게 한다. 따라서 비침습적인 방법

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 : December 12, 2005, Accepted : February 1, 2006)

으로 폐색을 진단하기 위하여 Roehrborn^[4]은 요속검사의 한 방법으로 출구저항(outlet resistance)에 따른 요량의 변화를 검출하여 폐색 진단의 기초 자료로 활용할 수 있음을 발표하였고, Andrews^[5]와 Hooque^[6]는 초음파를 이용하여 요속을 측정하는 연구를 수행하였다. 그리고 Mastrigt^[7]는 압력센서와 밸브를 부착한 콘돔형 카테터를 제안한 후 배뇨 시 밸브제어를 통한 비침습적 방광내압의 측정 가능성을 제시하였다. 하지만 Pel^[8]은 콘돔형 카테터를 이용하여 방광내압 측정 시 폐색이 존재하거나 원하지 않는 괄약근의 수축이 발생할 경우 등용적성이 파괴되어 실제의 방광내압보다 낮은 값으로 계측될 수 있는 문제점을 제기하였다.

본 연구에서는 비침습적으로 보다 편리하게 LUTS를 진단하기 위하여 배뇨 시 요속과 등용적성 방광내압의 추정이 가능한 시스템을 구현하고자 하였다. 이를 위하여 로드셀을 이용하여 배뇨에 따른 요량 및 단위시간당 요량의 변화, 즉 요속을 측정할 수 있는 시스템을 구현하였다. 그리고 비침습적인 방법으로 방광내압을 추정하기 위하여 혈압 측정법과 유사한 방식으로 소형의 커프와 압력센서를 이용하여 요도에서 간접적 방식으로 등용적성 방광내압을 추정할 수 있는 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템의 평가를 위하여 사람의 하부요로계를 모사화한 실험장치를 제작하고, 구현된 시스템의 계측 특성 및 성능을 평가하였다. 그리고 평가 결과로부터 시스템 측정부의 교정방정식을 유도하여 시스템의 보정에 활용하였으며, 실험장치를 이용한 등용적성 방광내압 추정의 타당성을 평가하였다. 뿐만 아니라 구현된 시스템을 이용하여 정상 성인 5명을 대상으로 요속과 비침습적 방광내압 추정실험을 반복적으로 수행하여 측정의 재현성을 평가함으로써 시스템의 임상적용 가능성을 확인하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 시스템의 전체적인 구성

본 연구에서는 피검자로 하여금 불편감 및 고통을

주지 않고 비침습적인 방법으로 LUTS를 진단하기 위하여 배뇨 시 요류특성과 비침습적 등용적성 방광내압을 계측할 수 있는 시스템을 구현하였다. LUTS의 진단을 위하여 일반적으로 수행하는 요속검사법은 배뇨 시 최대요속을 계측하여 하부요로계의 폐색 유무를 판별하는 방법이다. 하지만 요속검사법만으로 LUTS를 진단하기에는 오진의 가능성이 높다. 왜냐하면 하부요로계의 초기폐색 시에는 인체의 보상성기능항진에 의해 폐색이 존재함에도 방광내압의 증가에 따른 정상 요속을 보일 수 있기 때문이다. 따라서 보다 정확한 폐색의 진단을 위해서는 배뇨시의 요속뿐만 아니라 방광내압의 계측이 필요하다^[7]. 따라서 임상에서는 보다 정확한 LUTS의 진단을 위하여 요도를 통해 카테터를 방광내부에 삽입하여 요속과 방광내압을 동시에 계측하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 방법은 환자에게 고통을 주고, 시술 시간 및 검사비용의 상승을 초래한다.

본 연구에서는 현재 임상에서 적용되고 있는 침습적인 방광내압 계측을 대체하여 비침습적이고 간편하게 등용적성 방광내압을 추정하기 위한 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 크게 센서부, 전자회로부, 데이터변환 및 제어부, PC프로그램으로 구분된다. 센서부는 요류특성의 계측을 위하여 로드셀을 이용한 요류특성 계측 메커니즘과 비침습적 방광내압의 측정을 위한 압력센서로 구성하였다. 그리고 전자회로부는 로드셀 및 압력센서의 신호를 검출 및 처리하기 위한 회로들로 구성하였으며, 데이터변환 및 제어부에서는 요류특성을 PC에서 분석 가능한 디지털 신호로 변환하고 계측 시스템의 전체적인 제어를 수행한다. 그리고 PC프로그램에서는 계측시스템으로부터 수집된 데이터의 디스플레이 및 저장과 분석을 담당하도록 설계하였으며, 시스템의 전체적인 구성은 그림 1과 같다.

2.2. 센서부의 구현

배뇨 시 요류 특성 및 비침습적 방광내압의 추정을 위한 센서부를 구현하였다. 먼저 요류 특성의 검출을

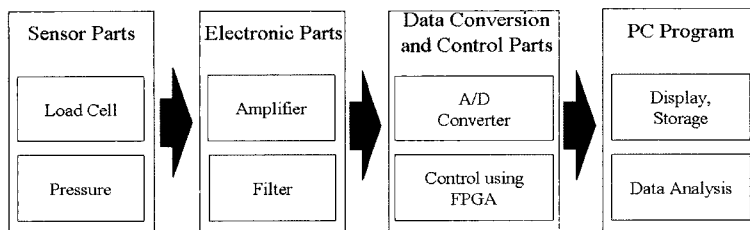


그림 1. 구현된 계측 시스템의 구성도

Fig. 1. Block diagram of the implemented measuring system.

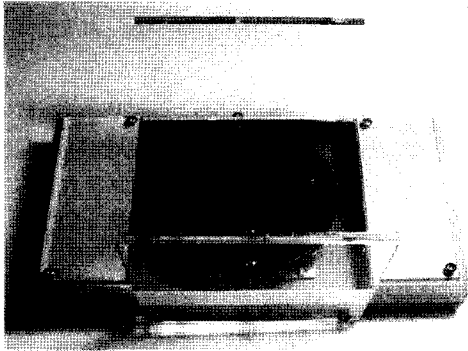


그림 2. 로드셀을 이용한 요류 계측부의 사진
Fig. 2. Photography of the uroflowmetry part using load cell.

위하여 정밀도가 높은 휨형(bending type) 단일 로드셀(Cas Co., BCL Single Point, Korea)을 적용하여 센서부를 구성하였다. 구현된 요류 검출센서는 요량이 일반적으로 500 ml 이하라는 사실과 측정 메커니즘의 중량 및 예상치 않은 충격을 고려하여 2 kg의 용량을 갖는 로드셀을 선정하였으며, 최대 스패(span)에서 1 mV 내외의 출력을 발생한다. 본 연구에 의해 구현된 로드셀을 이용한 요류 계측부의 사진을 그림 2에 나타내었다.

다음으로 비침습적인 방법으로 방광의 내압을 계측하기 위하여 혈압측정법과 유사한 방식으로 소형의 컵과 압력센서를 이용하여 등용적성 방광내압을 추정할 수 있는 압력 측정부를 설계 및 제작하였다. 먼저 컵의 압력 조절을 위하여 DC 모터에 의해 구동되는 가압 펌프와 솔레노이드 밸브를 이용하여 가압 및 감압이 가능 하도록 하였다. 그리고 PVC 튜브와 다 방향 밸브를 이용하여 컵과 센서에 압력이 전달될 수 있도록 압력 전달 시스템을 구성하였으며, 컵의 가압 및 감압에 따른 정확한 압력을 계측하기 위하여 침습적 혈압 측정 시에 사용하는 의료용 압력센서를 사용하였다. 사용한 센서는 반도체 제조공법에 의하여 제조된 스트레인게이지 형태의 압력센서로서 센서의 내부에 저항 브릿지 회로를 내장하고 있어 인터페이스가 용이하고 소형인 장점을 지니고 있다. 압력센서를 사용하여 보다 정확하게 압력을 계측하기 위해서는 압력센서의 보정이 필수적이므로 이를 위하여 압력센서의 외부에서 영점보정이 가능하도록 출력단자와 전원공급단자 사이에 정밀 가변저항을 연결하여 영점조정이 가능하도록 설계하였다. 본 연구에 의해 구현된 방광내압 측정부의 구성도 및 실제 구현된 사진을 그림 3에 나타내었다.

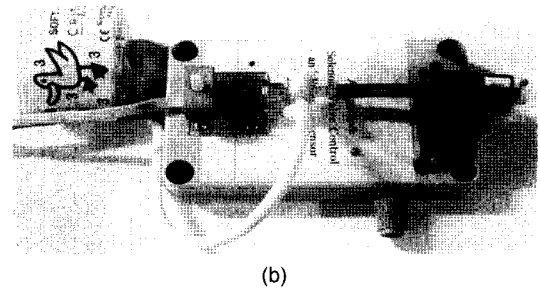
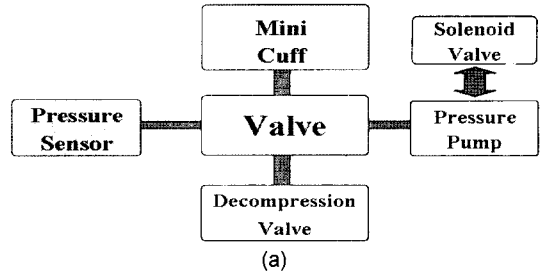


그림 3. 압력 측정부 (a) 구성도, (b) 구현된 측정부 사진
Fig. 3. Pressure measuring part (a) block diagram, (b) photography of the implemented system.

2.3. 측정 시스템의 구현

비침습적인 방법으로 하부요로계의 이상을 진단하기 위하여 로드셀과 압력센서로부터 검출된 신호를 처리하는 전자회로부를 설계 및 제작하였다. 먼저 요류 신호처리 회로는 로드셀의 휘스톤브릿지로부터 신호를 검출하고 미소한 신호를 증폭하기 위한 차동증폭부와 신호에 혼입되어 있는 잡음 성분을 제거하기 위한 필터부로 구성하였다. 차동증폭부의 구성은 생체계측용으로 많이 사용하고 있는 계측용 증폭기(INA121, Burr-Brown Co., USA)를 사용하여 구성하였으며, 외부에 이득 조정회로를 구성하여 신호의 이득을 조정할 수 있도록 하였다. 그리고 신호에 포함된 고주파 잡음을 제거하기 위해 차단주파수가 10.61 Hz인 버터워스(butterworth) 2차 저역통과필터(low pass filter, LPF)를 구성하였다. 또한 요류 신호 계측 시 자동으로 영점보정을 수행하기 위해 시스템 제어부에 의해 구동되는 샘플앤홀드(sample & hold) 회로를 설계하였고, 홀드된 신호와 배뇨 시 로드셀의 출력신호를 차동증폭 함으로써 자동 영점보정이 가능하도록 하였다. 자동보정 회로를 통과한 신호는 증폭회로와 LPF를 거쳐 배뇨에 따른 요의 중량 변화를 검출할 수 있도록 하였다. 또한 요량 신호를 단위 시간당 중량변화, 즉 요속 신호로 변환하기 위하여 연산증폭기를 이용한 미분회로를 설계하여 요속 신호를 검출할 수 있도록 하였다. 본 연구에 의해 구현

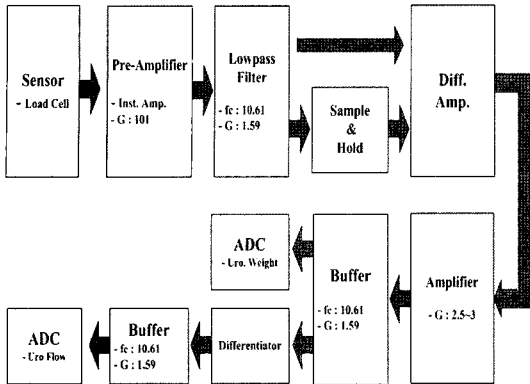


그림 4. 요류 측정을 위한 전자회로부의 구성도
Fig. 4. Block diagram of electronics circuit for the uroflow measurement.

표 1. 요류 신호 측정회로의 사양
Table 1. Specification of the uroflow measuring circuit

Parameter	Specification	
Gain	Uro Weight	638~766
	Uro Flow	1014~1217
Low Pass Filter [Hz]	10.61	
CMRR [dB]	106	
Output Voltage [V]	0~5	
Input Impedance [Ω]	10^{12}	
Output Impedance [Ω]	0.1	

된 요류 신호처리부의 구성도를 그림 4에 나타내었으며, 측정회로의 설계 사양을 표 1에 나타내었다.

또한 본 연구에서는 소형의 커프와 압력센서 등을 이용하여 등용적성 방광내압을 추정할 수 있는 시스템을 구성하였으며, 압력신호를 검출하고 검출된 신호를 처리할 수 있는 전자회로를 설계하고 구현하였다. 이를 위하여 먼저 DC 모터에 의해 구동되는 가압펌프 제어부와 신속하게 압력을 배출하기 위한 솔레노이드 밸브 제어회로를 설계하고 구현하여 커프의 가압 및 감압을 자유로이 제어할 수 있도록 하였다. 또한 압력 센서로부터 출력되는 신호를 분석 가능한 신호로 변환하기 위하여 차동증폭부, 필터부, 신호증폭부, 버퍼 등의 회로를 구성하였다. 이들 중 먼저 차동증폭부는 압력센서의 브릿지 출력을 검출하기 위하여 높은 CMRR과 낮은 입력 오프셋 전압 특성을 갖는 계측용 증폭기인 INA121을 사용하였으며, 이득은 101로 설정하였다. 그리고 신호에 포함된 고주파 잡음 제거를 위해 차단주파수가 10.61 Hz인 버터워즈 2차 LPF를 설계하였고,

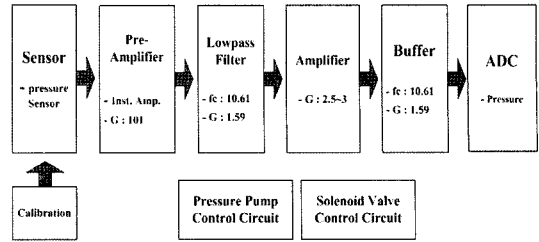


그림 5. 방광내압을 측정하기 위한 전자회로부의 구성도
Fig. 5. Block diagram of electronics circuit for measuring of the bladder pressure.

표 2. 방광내압 측정회로의 사양
Table 2. Specification of the bladder pressure measuring circuit

Parameter	Specification
Gain	638~766
Low Pass Filter [Hz]	10.61
CMRR [dB]	106
Output Voltage [V]	0~5
Input Impedance [Ω]	10^{12}
Output Impedance [Ω]	0.1

필터를 통과한 신호는 다단증폭부와 버퍼회로를 거쳐 ADC로 입력되도록 회로를 구성하였다. 본 연구에 의해 구현된 요류 비침습적 방광내압 신호처리부의 구성도를 그림 5에 나타내었으며, 측정회로의 설계 사양을 표 2에 나타내었다.

요류신호 및 비침습적 방광내압 신호를 컴퓨터에서 분석 가능한 디지털 신호로 변환하기 위하여 데이터 변환부를 구성하였다. 데이터 변환부의 입력 측에는 과전압에 의한 데이터 변환부의 파손을 막고 출력 임피던스를 낮추어 원활한 데이터 변환이 이루어지도록 과전압 보호 및 버퍼회로를 구성하였다. 데이터 변환부는 4채널의 아날로그 입력과 샘플앤홀드 회로를 내장하고 있으며, 시리얼 인터페이스가 가능한 12-bit ADC(MCP3204, Microchip Technology Co., USA)를 사용하였다. ADC의 구동, 데이터의 버퍼링, PC로의 데이터의 전송을 위하여 FPGA를 이용하였으며, Xilinx사의 ISE 5.01 버전과 VHDL(very high speed hardware description language)을 이용하여 시스템을 설계하였다. 그리고 시스템으로부터 전송된 데이터를 디스플레이 및 저장하고 분석하기 위하여 Visual C++ 6.0을 이용하여 PC 프로그램을 구현하였으며, 구현된 프로그램을 그림 6에 나타내었다.

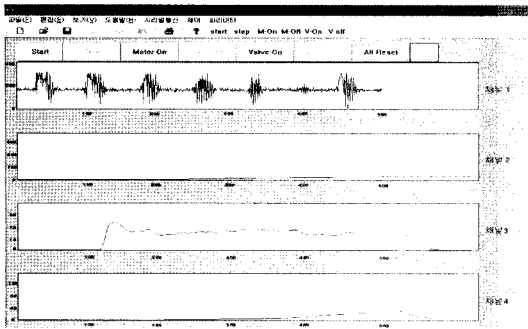


그림 6. 구현된 PC 프로그램 화면
Fig. 6. A screen of the implemented PC program.

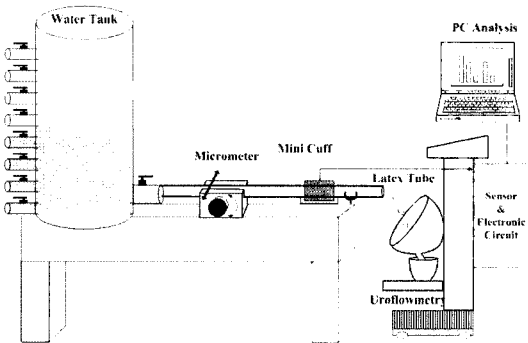


그림 7. 구현된 실험장치의 구성
Fig. 7. Composition of the implemented experimental equipment.

2.4. 실험장치의 구현

본 연구에 의해 구현된 계측 시스템의 계측성능을 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 폐색 조절부 등으로 구성하였으며, 전체적인 구성도는 그림 7과 같다.

먼저 인체에서 요를 저장하는 방광의 기능을 수행하는 물탱크는 물의 수위를 조절하여 방광내압을 인위적으로 조절할 수 있도록 하였다. 즉 방광내압을 10 cm H₂O 단위로 최소 0 cmH₂O에서 최대 140 cmH₂O까지 조절 가능하도록 하였다. 그리고 인체의 요도 중 전립선 요도의 특성 가장 잘 반영하기 위하여 내경이 5.00 mm이고, 외경이 5.05 mm인 실리콘 튜브를 이용하여 요도를 모식화하였으며, 성인요도의 평균길이를 반영하여 실리콘 튜브의 길이를 18 cm로 구성하였다. 그리고 전립선비대증과 같은 폐색을 유발시키기 위하여 사물

의 미소 크기 측정에 사용하는 마이크로미터를 개조한 폐색조절부를 구성하였다. 또한 폐색조절부로부터 약 5 cm 떨어진 거리에 비침습적 방광내압 측정을 위한 커프를 위치시켜 압력의 간접적 측정이 가능하도록 하였다. 그리고 실리콘 튜브의 끝 부분에 요류 계측부를 두어 요량 및 요속의 변화를 계측할 수 있도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 요류 및 압력 측정부의 평가

본 연구에 의해 구현된 계측 시스템의 요류 측정부와 비침습적 방광내압측정부의 계측 성능 및 특성을 평가하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. 먼저 요류 중 요량측정부의 평가를 위해 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600 ml의 물을 비이커와 저울을 이용하여 측량하였고, 실제 배뇨와 유사하게 요량 측정부에 인가하였다. 이와 같은 방법으로 각 용량별 20회씩 반복측정을 수행하였으며, 측정 결과를 그림 8에 나타내었다. 그리고 측정된 결과를 보간(interpolation)하여 기울기가 5.69이고, 절편이 162.55인 보정 수식을 유도하였다. 또한 계측된 결과 치를 통계적인 방법, 즉 평균, 표준편차, 평균에러를 계산하였다. 그리고 측정값의 크기에 영향을 받지 않고 보다 객관적으로 시스템의 재현성을 평가하기 위하여 평균에러율과 변동계수(coefficient of variation, CV)를 계산하였으며, 그 수식은 다음과 같다.

$$E_{av}(\%) = \frac{E_{av}}{\text{Mean}} \times 100\% \tag{1}$$

$$CV = \left| \frac{SD}{M} \right| \times 100\% \tag{2}$$

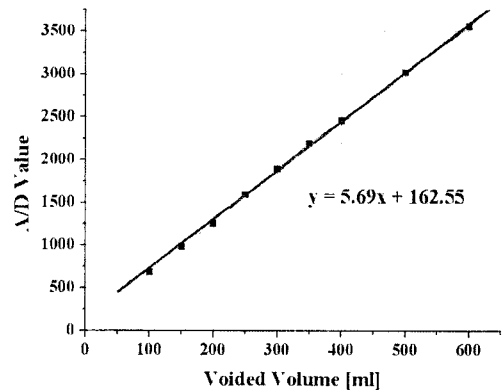


그림 8. 요량측정부의 특성 곡선
Fig. 8. Characteristic curve of the urovolume measuring part.

표 3. 구현된 요량측정부의 측정치와 통계치

Table 3. Measured values and statistic values of the implemented urovolume measuring part

	100 ml	150 ml	200 ml	250 ml	300 ml	350 ml	400 ml	500 ml	600 ml
Mean	676.4	978.3	1244.5	1586.4	1886.2	2188.9	2453.0	3086.6	3552.2
SD	3.7	5.4	8.9	8.2	9.7	12.0	16.2	14.4	17.3
Eav	3.3	4.8	7.9	6.8	8.5	8.2	12.2	7.8	14.1
Eav(%)	0.49	0.49	0.64	0.43	0.45	0.37	0.50	0.25	0.40
CV	0.55	0.56	0.72	0.52	0.52	0.55	0.66	0.47	0.49

수식 1에서 E_{av} 는 평균에러이며, Mean은 측정치의 평균을 의미한다. 그리고 수식 2에서 SD는 표준편차를 의미하며, M은 평균을 각각 의미한다. 상기에서 설명한 통계적인 분석기법을 적용하여 분석한 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3의 결과로부터 요량측정부의 반복 측정에 의한 평가 결과 최대 변동계수가 0.72로서 재현성이 우수한 것으로 평가되었다.

요속측정부의 평가를 위하여 구현된 실험장치를 사용하였으며, 물탱크의 수위와 폐색조절 밸브를 조정하여 7, 10, 13, 15, 19, 22, 25, 28, 30 ml/sec의 인위적인 요속을 발생시키고, 요량측정부의 평가와 동일한 방법으로 각 요속별 20회씩 반복 측정을 수행하였으며, 측

정 결과를 그림 9에 나타내었다. 그리고 측정된 결과를 보간하여 기울기가 126.72이고, 절편이 -37.8인 보정 수식을 유도하였다. 또한 요속측정부의 재현성 평가를 위한 통계분석을 적용하였으며, 그 결과를 표 4에 나타내었다.

방광내압측정부의 평가를 위하여 실험장치의 물탱크 수위를 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120 cmH₂O로 조정하여 인위적인 압력을 발생시켰으며, 커프를 이용한 혈압 측정법과 유사한 방식의 압력 계측 실험을 수행하였다. 즉 물탱크에 일정 수위의 압력을 인가하고, 폭이 2.2 cm인 소형의 커프에 압력을 인가하고 폐색을 유발시킨 후 서서히 감압하면서 폐색이 해지되는 시점

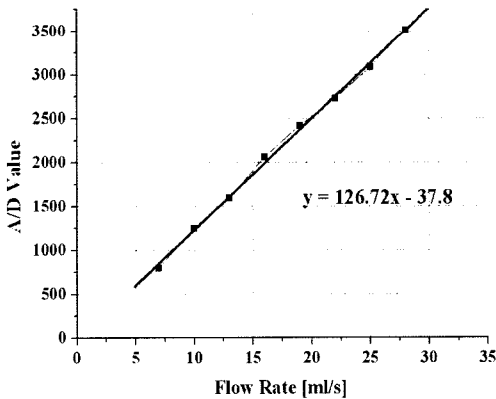


그림 9. 요속측정부의 특성 곡선
Fig. 9. Characteristic curve of the uroflow measuring part.

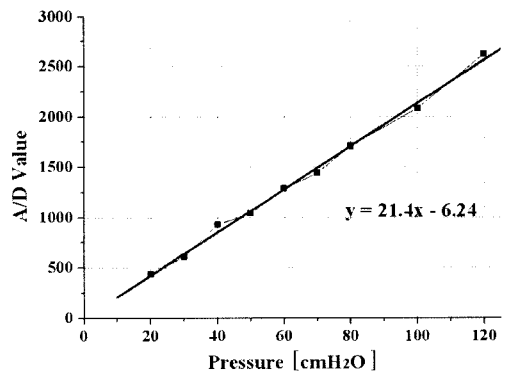


그림 10. 방광내압측정부의 특성 곡선
Fig. 10. Characteristic curve of the pressure measuring part.

표 4. 구현된 요속측정부의 측정치와 통계치

Table 4. Measured values and statistic values of implemented uroflow measuring part

	7 ml/s	10 ml/s	13 ml/s	16 ml/s	19 ml/s	22 ml/s	25 ml/s	28 ml/s	30 ml/s
Mean	795.8	1246.3	1597.5	2059.7	2420.0	2723.6	3085.5	3509.9	3710.0
SD	19.1	18.6	25.6	29.6	37.5	45.1	54.9	56.3	64.1
Eav	11.74	16.76	21.51	27.60	33.31	38.55	44.57	47.68	54.10
Eav(%)	1.47	1.34	1.35	1.34	1.38	1.42	1.44	1.36	1.46
CV	2.41	1.49	1.60	1.44	1.55	1.65	1.78	1.60	1.73

표 5. 구현된 압력측정부의 측정치와 통계치

Table 5. Measured values and statistic values of the implemented pressure measuring part

	20 cmH ₂ O	30 cmH ₂ O	40 cmH ₂ O	50 cmH ₂ O	60 cmH ₂ O	70 cmH ₂ O	80 cmH ₂ O	100 cmH ₂ O	120 cmH ₂ O
Mean	433.58	608.51	926.09	1039.28	1285.85	1441.63	1706.96	2080.86	2621.27
SD	13.84	18.56	24.97	28.02	38.68	39.31	50.54	57.76	72.28
Eav	10.52	14.95	22.74	25.37	31.13	34.43	41.20	49.63	61.70
Eav(%)	2.43	2.46	2.46	2.44	2.42	2.39	2.41	2.38	2.35
CV	3.19	3.05	2.70	2.70	3.01	2.73	2.96	2.78	2.76

의 압력을 계측하였다. 상기에서 제시한 각각의 압력에 대해 20회씩 반복 측정을 수행하였으며, 측정 결과를 그림 10에 나타내었다. 그리고 측정된 결과를 보간하여 기울기가 21.4이고, 절편이 -6.24인 보정 수식을 유도하였다. 또한 요량측정부 평가와 동일한 방법으로 방광내압측정부의 재현성을 평가하였으며, 평가 결과를 표 5에 나타내었다.

3.2. 방광내압계측의 유용성 평가

하부요로계 폐색을 진단하기 위한 방광내압 계측의 가능성 및 타당성을 평가하기 위하여 인위적으로 압력과 폐색을 인가하면서 요속의 변화를 계측하였다. 이를 위하여 먼저 30, 50, 70, 90 cmH₂O의 압력을 인가하였다. 그리고 각각의 압력에서 0, 1, 2, 3, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8 mm의 폐색을 유발시키면서 요속을 계측하였으며, 계측 결과를 그림 11에 나타내었다.

실험 결과를 살펴보면 압력이 증가함에 따라 요속이 증가하였으며, 폐색의 정도에 따라 요속이 감소하는 경향을 관찰할 수 있었다. 그림 11에서 압력이 30 cmH₂O 일 경우에는 폐색을 인가하지 않은 경우 요속은 약 16 ml/sec이었다. 하지만 50 cmH₂O의 압력에서는 약 3 mm의 폐색을 인가하였을 때의 요속은 16 ml/sec이었

다. 그리고 70 cmH₂O의 압력에서는 3.2 mm의 폐색, 90 cmH₂O의 압력에서는 3.4 mm의 압력을 인가하였을 때 약 16 ml/sec의 요속을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 실험을 통하여 폐색이 존재하더라도 방광내압이 높으면 정상 범주에 속하는 요속이 나타날 수 있음을 확인하였다. 뿐만 아니라 요속과 동시에 방광내압을 계측하면 역으로 폐색 정도의 추정이 가능함을 알 수 있다.

이러한 원리를 실제 임상에 적용하면, 폐색이 존재하지만 보상성 기능항진에 의해 정상 범주에 속하는 요속을 나타내는 환자의 진단, 즉 요속검사의 단점을 보완하여 임상에서 비침습적인 방법으로 LUTS 진단을 위한 유용한 도구로서 사용할 수 있으리라 판단된다.

3.3. 연구 대상군에서의 등용적성 방광내압추정

하부요로계를 모식화한 실험장치를 이용하여 하부요로계의 폐색 진단에 있어 방광내압 측정의 유용성을 확인하였으며, 비침습적인 방법으로 커프를 이용한 등용적성 방광내압의 추정 가능성을 확인하기 위하여 실제 연구 대상군에 적용 및 평가를 수행하였다. 이를 위하여 건강한 20대 성인 남성 5명을 연구 대상군으로 선정하여 등용적성 방광내압과 요속을 동시에 계측하였다. 실험 방법은 커프에 압력을 인가한 후 배뇨를 시

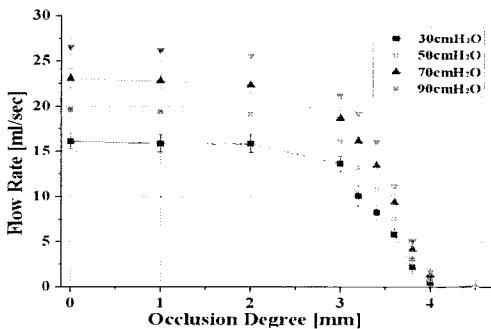


그림 11. 압력과 폐색의 정도에 따른 요속의 변화
Fig. 11. Trajectory on the flow rate variation according to various occlusion degrees and applied pressures.

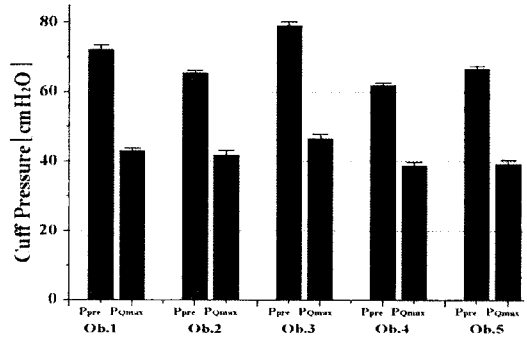


그림 12. 커프를 이용한 방광내압 추정 결과
Fig. 12. Estimation result of the bladder pressure using cuff.

표 6. 방광내압 추정치와 통계치

Table 6. Estimated values and statistic values of the bladder pressure.

	Object 1		Object 2		Object 3		Object 4		Object 5	
	P _{pre}	P _{Qmax}	P _{pre}	P _{Qmax}	P _{pre}	P _{Qmax}	P _{pre}	P _{Qmax}	P _{pre}	P _{Qmax}
Mean	72.20	43.06	65.52	41.84	78.96	46.63	61.94	38.70	66.59	39.22
SD	1.21	0.87	0.68	1.46	1.26	1.18	0.75	1.16	0.83	1.22
Eav	0.91	1.50	0.51	1.56	2.07	0.87	0.53	1.02	0.75	0.79
Eav(%)	1.26	3.49	0.77	3.73	2.62	1.87	0.85	2.62	1.13	2.01
CV	1.67	2.01	1.04	3.48	1.59	2.53	1.22	3.00	1.25	3.10

도하고, 커프의 압력을 서서히 낮추면서 배뇨가 시작되는 시점에서의 커프 압력, 즉 배뇨 전 등용적성 방광내압을 계속하였다. 그리고 최대요속에 도달하였을 때 커프에 압력을 인가하여 요류를 차단하고 커프의 압력을 서서히 낮추어 배뇨가 재개되는 시점에서의 압력, 즉 최대요속에서의 등용적성 방광내압을 계속하였다.

상기에서 기술한 방식으로 연구 대상군 5명을 선정하여 5회의 반복적인 실험을 수행하였으며, 실험 결과를 그림 12에 나타내었다. 그리고 재현성의 평가를 위하여 반복 측정을 수행하고 통계분석을 한 결과를 표 6에 나타내었다. 실험 결과를 살펴보면 반복 측정 시 표준편차의 평균이 1.06이고, 평균에러율이 1.05, 그리고 변동계수가 2.09로서 비침습적 방광내압 측정의 재현성이 우수함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존 임상에서 시술하는 침습적 LUTS의 진단을 비침습적방법으로 보다 편리하게 수행하기 위하여 요류 특성, 비침습적 방광내압을 검출할 수 있는 시스템을 구현하였다. 그리고 구현된 시스템의 동작 특성, 성능 및 유용성을 평가하기 위하여 하부요로계를 모식화한 실험장치를 제작하여 요류 및 등용적성 방광내압 계측시스템의 성능을 평가하였다. 그 결과 요량측정부의 평가 결과 최대 평균에러율이 0.64%이었고, 최대 변동계수가 0.72로 우수한 계측 특성을 나타내었다. 그리고 요속측정부의 평가에서는 최대 평균에러율이 1.47%이었고, 최대 변동계수가 2.41이었다. 또한 비침습적인 방법으로 방광내압측정부의 평가 결과 최대 평균에러율이 2.46%이었고, 최대 변동계수가 3.19였다. 이러한 평가 결과에 의해 본 연구에 의해 구현된 요량측정부, 요속측정부 그리고 비침습적 방광내압측정부들은 비교적 안정한 동작 특성을 지님을 확인할 수 있었다. 그리고 방광내압 계측의 유용성을 평가하기 위하여 실험장치의 압력과 폐색의 정도를 조절하면서

요속의 변화 양상을 계측하는 실험을 수행하였다. 실험 수행 결과 서로 다른 압력을 인가한 상태에서도 폐색의 정도에 따라 동일한 요속이 계측되는 현상을 관찰할 수 있었으며, 동일한 요속을 나타내는 상태에서도 방광내압의 계측을 통해 폐색의 정도를 추정할 수 있음을 확인하였다.

실험장치를 이용한 시스템의 평가 결과를 바탕으로 구현된 시스템의 실제 방광내압 추정의 가능성을 평가한 실험에서는 동일 대상군에 대한 반복측정에 의한 평가 결과 최대 평균에러율이 3.73, 그리고 최대 변동계수가 3.48로서 비침습적 방광내압 측정의 재현성이 우수하였으며, 침습적 방광내압측정과 병행 실험을 통해 시스템의 2차 보정이 이루어진다면 임상에 적용 가능함을 확인하였다.

향후 연구에서는 본 연구결과를 기반으로 하여 실제 임상에 적용하여 하부요로계 질환에 따른 하부요로 특성을 계측 및 분석하여 다양한 진단 방법의 개발에 관한 연구가 필요하리라 생각되며, 이를 위하여 다양한 분석 알고리즘 및 진단 기법의 개발이 필요하리라 사료된다. 이러한 연구가 본 연구의 기반 하에 지속적으로 수행된다면 멀지 않은 장래에 도래할 고령사회에서 노인성 질환의 의료수요 증가에 대비할 수 있는 유용한 진단 시스템의 개발이 가능하리라 판단된다.

참고 문헌

- [1] K. Mark and J. H. Lee, "Older but wiser : achieving better labour market prospects for older workers in Korea", *Korea Labour Institute Seminar*, Seoul, Korea, 2002.
- [2] The Korean prostate society, *Textbook of benign prostatic hyperplasia*, Iljogak, Seoul, pp. 95-126, 2004.
- [3] 대한비뇨기과학회지, 제3판 비뇨기과학, 고려의학, 서울, pp. 75-86, 2001.
- [4] C. Roehrborn, F. Di Sylverio, A. Leriche, Ruben, H.

- Watanabe, ATK. Cockett, Y. Aso, C. Chatelain, *et al.*, "Diagnostic work-up of patients presenting with symptoms suggestive of prostatism", *Proc. of the First International Consultation on Benign Prostatic Hypertrophy*, pp. 91-136, Paris, France, July 2-6, 1991.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] R. van Mastrigt, "Non invasive bladder pressure measurement. Methodology and reproducibility", *Neurourol Urodyn*, vol. 14, pp. 480-481, 1995.
- [8] J. Pel and J. Bosch, "Development of a non-invasive strategy to classify bladder outlet obstruction in male patients with LUTS", *Neurourol Urodyn*, vol. 21, pp. 117-125, 2002.
- [9] 정도운, 조성택, 남기근, 정계록, "로드셀을 이용한 요류검사기의 구현 및 평가", *센서학회지*, 제 13권, 제 6호, pp. 436-446, 2004.
- [10] 정도운, 조성택, 정계록, "하부요로계 폐색 진단용 요류음 계측 시스템의 구현 및 평가", *센서학회지*, 제 14권, 제 1호, 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, 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
- 주관심분야 : 의용계측, 영상신호처리, 생체시스템 모델링