

로드셀을 이용한 요류검사기의 구현 및 평가

정도운 · 조성택 · 남기곤* · 정문기** · 전계록***†

Estimation and Implementation of the Uroflowmetry Using Load Cell

Do Un Jeong, Seong Taek Cho, Ki Gon Nam*, Moon Kee Chung**, and Gye Rok Jeon***†

Abstract

In this study, a uroflowmetry system was developed to detect a voiding symptom conveniently at home or hospital. A implemented hardware was composed of mechanism and system circuit part, the software was developed to process uroflow data, graph display, extraction of parameter, and evaluation of congregate rate so as to analysis obtaining uroflow data. The following experiment was performed to evaluate an ability of classification and fitness. The curve pattern of uroflow was classified into each symptom. Various parameters were calculated in the curve pattern of each uroflow as follows. The parameters are MFR, AFR, VOL, VT, and FT. A significant difference among parameters was examined by a statistical analysis for extracted parameters between normal and abnormal experimental group. The uroflow data with the various symptom was divided into normal and abnormal group using fuzzy classifier. The result of the fuzzy classification using MFR and AFR was superior by 91.23 % than grouping evaluation including VOL.

Key Words : LUTS(lower urinary tract symptom), uroflowmetry, uroflow parameter, fuzzy classifier

1. 서 론

최근 눈부신 경제성장과 급속한 과학기술의 발달로 인하여 현대인의 생활 수준이 향상되었으며, 평균수명이 연장되었다. 특히 고령화사회에서 고령사회로 접어들면서 삶의 질 향상에 대한 국민들의 관심이 증대되고 있다. 이러한 사회적 분위기에 편승하여 노인성 질환 중 대표적인 증상 중에 하나인 하부요로증상(lower urinary tract symptom, LUTS)과 관련된 질환은 노인층에 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^{1,2)}.

LUTS에 연관되는 질환 중에는 전립선비대증, 전립선암, 요도협착, 그리고 급성요도염 등 여러 질병들이 존재한다. 특히 배뇨증상을 동반하는 대표적인 질환인 전립선비대증은 60 – 70세 남성의 40 – 70%에 발생하며, 일생동안 약 80%의 남성이 전립선비대증 증상을 겪게 된다. 더구나 평균 수명의 증가로 노령 인구가 증가되어 인구대비 전립선비대증 환자의 비율은 증가하는 추세이다. 그리고 무엇보다도 전립선비대증은 상지에서 언급한 LUTS 악화 요인의 80%를 차지할 만큼 주요한 질환 중의 하나이다¹⁾. 전립선비대증을 진단하기 위하여 여러 가지 방법들이 사용되고 있지만 그중에서도 가장 간편하게 검사를 수행할 수 있는 방법은 비침습적인 방법으로 검사하는 요류검사법이 유용하게 사용될 수 있다^{2,3)}.

요류검사법에 의한 LUTS 판별을 위하여 1991년 P. K. Chande 등²⁾은 작고 경제적인 용량성 타입의 요류변환기를 제안하였으며, 실시간으로 환자로부터 요류검사 파라미터를 획득할 수 있는 시스템을 개발하였다. 하지만 배뇨량과 요속 보정에 따른 문제점에 의하여 현재는 사용되지 않고 있다. 그리고 1996년 Gupta 등³⁾은 반도체 제조공법에 의하여 요속과 압력을 동시에 측정

부산대학교 대학원 의공학협동과정(Dept. of Interdisciplinary Program in Biomedical Engineering, Pusan National University)

*부산대학교 공과대학 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, College of Engineering, Pusan National University)

**부산대학교 의과대학 비뇨기과학교실(Dept. of Urology, College of Medicine, Pusan National University)

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

†Corresponding author: grjeon@pusan.ac.kr

(Received : August 10, 2004, Accepted : October 21, 2004)

할 수 있는 센서를 개발하고 이를 이용하여 전립선암을 진단하기 위한 연구를 수행하였다. 국내의 연구에서는 1998년 김태현 등¹⁷⁾은 전립선비대증을 진단하고 치료 후 그 효과를 판정하는데 있어서 한국인에게 적합한 교정 최고요속을 측정하기 위한 대조표를 작성하였고, 1997년 박주성 등¹⁸⁾은 요류검사를 통해 전립선통환자의 배뇨장애 동반의 정도와 특성을 분석하고 요속 측정치와 곡선의 모양을 참고하여 원인 감별을 위한 차후의 검사방법이나 치료방법을 효과적으로 선택할 수 있다고 하였다. 이상과 같이 여러 연구결과들에서 요류검사가 LUTS 감시에 매우 유용한 검사로 인식되고 있으며, 간편한 요류검사에 의하여 LUTS의 감시가능함을 나타내고 있다.

본 연구에서는 가정이나 병·의원에서 간편하게 배뇨증상의 이상유무를 진단할 수 있는 요류검사기의 구현을 위한 연구를 수행하였다. 구현된 시스템은 크게 하드웨어부와 소프트웨어부로 구분하여 구성하였다. 하드웨어부는 LUTS의 측정을 위한 측정 메커니즘부와 측정된 신호의 처리를 위한 전자회로부로 구성되었다. 그리고 측정된 신호를 PC상에서 분석하기 위한 분석 소프트웨어를 설계하였다. LUTS 측정 시스템의 메커니즘은 최소의 시간지연 동안 배뇨량을 검출하기 위하여 측정 메커니즘을 구성하였고, 이를 위해 싱글 포인트 로드셀을 사용하였다. 그리고 로드셀에 의해 측정된 데이터를 신호처리하기 위하여 연산증폭기를 사용하여 능동필터 및 이득조정회로 등을 설계하였다. 또한 아날로그 신호를 PC상에서 분석 가능한 디지털 신호로 변환하기 위하여 시리얼 데이터획득시스템(data acquisition system, PhysioLab400, Physio Instrument Co., KOREA)을 이용하였다. 그리고 소프트웨어부에서는 PC상에서

측정된 데이터의 분석 및 자동분류를 위한 자동화 프로그램을 Matlab(Mathworks, USA)을 이용하여 구현하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 요류검사기의 하드웨어 구현

본 연구에 의해 구현된 요류검사기는 크게 요류특성을 측정하기 위한 메커니즘과 신호검출을 위한 전자회로부, 그리고 측정된 결과를 디지털 신호로 변환하여 PC로 전송하기 위한 데이터 획득부 및 PC 분석프로그램 등으로 구성되었으며, 전체적인 시스템의 구성도는 그림 1과 같다.

먼저 요류 특성을 획득하기 위하여 구성된 측정 메커니즘은 배뇨 시 요의 손실을 최소화하고, 데이터 측정 시의 시간 지연을 최소화하도록 하였다. 뿐만 아니라 단위시간당 정확한 배뇨량을 측정하기 위해서는 정밀한 측정 메커니즘의 설계는 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 배출된 요의 이동경로가 최소화되도록 설계하였으며, 방출된 요가 수집부에서 저장부로 떨어질 때의 진동을 배제하기 위하여 요를 받는 용기와 저장부의 저장 용기를 분리하여 설계하였다. 그리고 저장용기의 하단부에 로드셀을 부착하여 배뇨에 따른 저장용기의 무게 변화를 검출 할 수 있도록 측정메커니즘을 구현하였으며, 본 연구에 의해 구현된 요류 측정부의 구성도와 실제 구현된 사진을 그림 2와 그림 3에 각각 나타내었다.

본 연구에서 적용한 로드셀은 배뇨에 따른 무게의 변화를 측정하기 위하여 스트레인게이지를 금속 탄성체에 접착한 후 휘스톤브릿지 회로를 이용하여 저항변화를 전압변화로 검출하는 방식으로서 보다 정확한 측

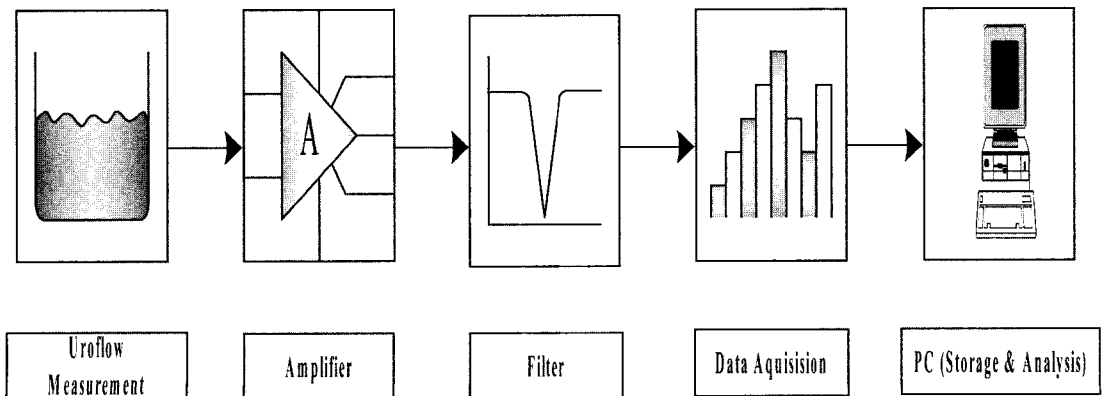


그림 1. 요류측정시스템의 구성도
Fig. 1. Block diagram of the uroflowmetry.

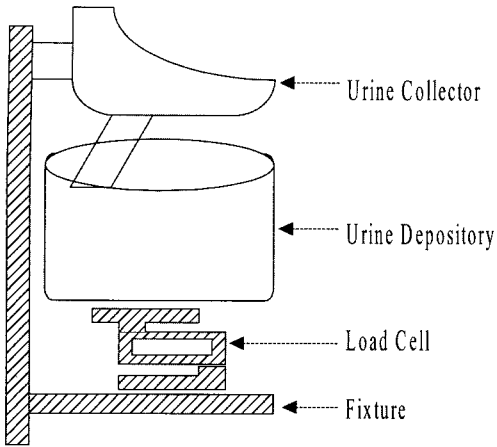


그림 2. 요류측정부의 구성도
Fig. 2. Block diagram of the measuring parts.

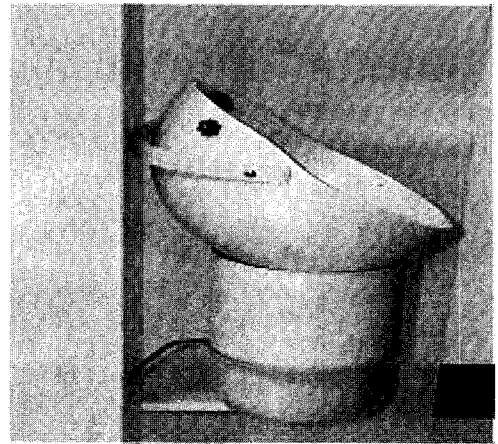


그림 3. 요류측정부의 사진
Fig. 3. Photograph of the measuring parts.

정을 위하여 로드셀의 상부와 하부에 지지대를 부착하여 측정메커니즘에 실장하였다. 그리고 본 연구에서 적용한 로드셀의 용량은 일반 성인의 평균 요량과 외부에서 가해질 수 있는 충격, 그리고 요량 수집 메커니즘의 중량 등을 고려하여 2kg의 용량을 갖는 휨형 로드셀을 적용하였다.

로드셀로부터 출력된 전기적 신호를 검출하기 위한 전자회로부는 휘스톤 브릿지의 신호를 검출하여 미소한 신호를 증폭하기 위한 차동증폭부와 신호에 혼입되어 있는 잡음 성분의 제거를 위한 필터부 그리고 전원 장치부 등으로 구성하였다. 차동증폭부의 구성은 생체계측용으로 많이 사용하고 있는 계측용 증폭기인 INA121(Burr-Brown Co., USA)을 사용하여 구성하였으며, 외부에 이득 조정회로를 구성하여 신호의 이득을 조정할 수 있도록 하였다. 그리고 필터부에서는 고역통과필터와 저역통과필터를 구성하여 신호에 포함되어 있는 잡음을 제거하였다. 그리고 전원 자체의 잡음을 최소화하고 계측용 증폭기에 음전원의 인가를 위하여

DC-DC Converter(PD3-12-1212, Powerplaza, Korea)를 사용하여 전원부를 구성하였다. 본 연구에서 구현한 전자회로부의 구성도를 그림 4에 나타내었으며, 실제 구현된 전자회로부의 사진을 그림 5에 나타내었다. 그리

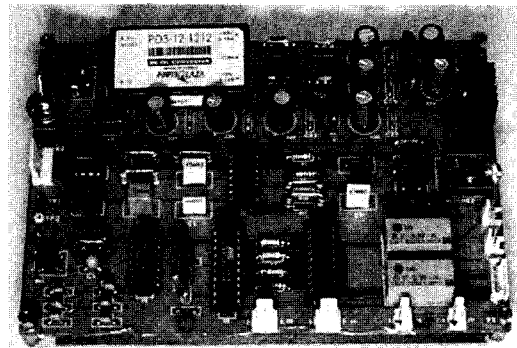


그림 5. 전자회로부의 사진
Fig. 5. Photography of the electronics parts.

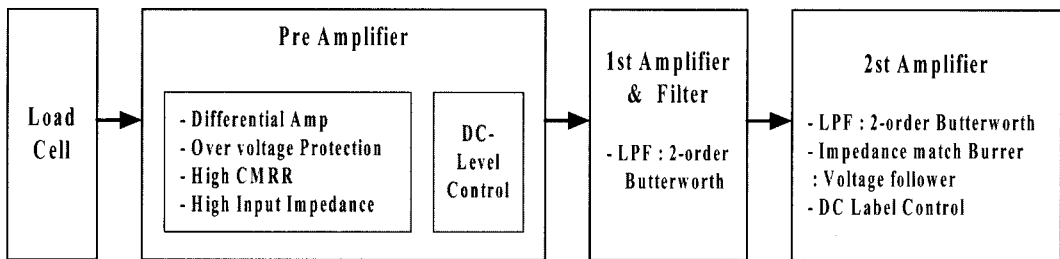


그림 4. 전자회로부의 구성도
Fig. 4. Block diagram of the electronics parts.

호로 변환하기 위하여 데이터획득시스템(data acquisition system, PhysioLab400, Physio Instrument Co., KOREA)을 이용하였다.

2.2. 요류 특성 파라미터

일반적으로 정상적인 배뇨는 방광배뇨근(bladder detrusor muscle)이 수축할 때 요도괄약근(urethral sphincter)이 이완되면서 이루어진다. 배뇨는 요속으로 표현되며, 보통 총배뇨량(total voided volume)과 단위 시간당 배뇨량(ml/sec)으로 표현한다. 이들 중 요속은 출구저항(outlet resistance)에 대한 배뇨근 활동의 결과에 의해 나타나므로 요속이 정상일 때는 배뇨근 수축과 출구저항에 뚜렷한 이상이 없음을 의미한다. 그러나 요속은 배뇨량이 많을수록 높아지고 검사자의 나이가 많을수록 낮게 나타나는 경향이 있다. 즉 요속은 나이와 배뇨량에 많은 영향을 받는다. 이 때문에 임상에서는 배뇨량이 150 - 200 ml 이상일 때를 유효한 측정 결과로 인정한다. 간혹 환자의 배뇨량이 100 ml 정도 되어도 유효한 검사 결과로 인정한다. 왜냐하면 환자들이 병원에서 갑자기 소변을 보아야 하는 경우와 한번 검사 실패 후 재검사를 시행할 경우 소변량이 충분하지 못할 경우가 있기 때문이다. 이러한 점들을 고려하여 본 연구에서는 100 ml 정도의 배뇨량에 대한 검사결과도 분석에 활용하였다. 요류 검사기에서 측정되어지는 소변의 배뇨량은 그림 6과 같은 형태로 나타나며 가로축은 시간이고 세로축은 배뇨량이다. 신체로부터 배출된 소변은 요류검사기의 변환기에서 중량으로 나타나며 배뇨행위가 진행됨에 따라 비교적 선형적인 증가 곡선을 그리게 된다. 그림 6의 배뇨량 곡선으로부터 단위 시간당 배뇨량 즉, 요속을 계산할 수 있으며 요속곡선으로부터 계산할 수 있는 요류 특성 파라미터를 그

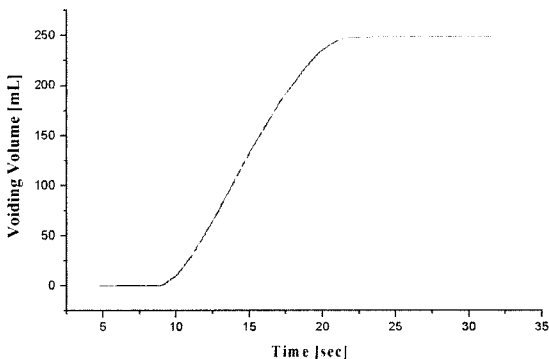


그림 6. 배뇨량 곡선
Fig. 6. Trajectory of voiding volume.

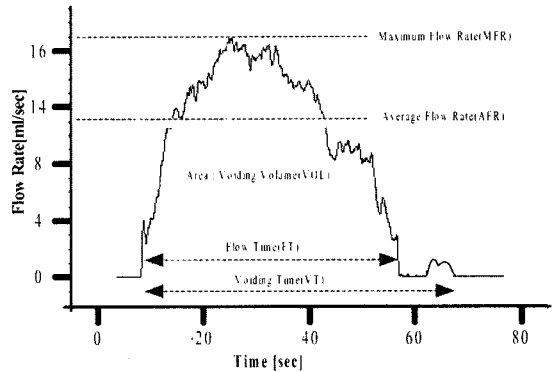


그림 7. 여러 가지 요속 파라미터
Fig. 7. Parameters of uroflow rate.

림 7에 나타내었다.

일반적으로 배뇨장애를 진단하기 위하여 사용되는 요류 특성 파라미터로는 최대 요속, 평균 요속, 총 배뇨량, 배뇨시간, 요류시간 등이 있으며, 이러한 특성 파라미터를 구하는 방법은 다음과 같다. 먼저 배뇨량으로부터 요속을 계산하기 위하여 다음의 수식을 사용하였다.

$$Q_{ura}(t) = V_{ura}(n) - V_{ura}(n-1) \tag{1}$$

여기서, Q_{ura} 는 요속, V_{ura} 는 배뇨량, n 는 데이터의 샘플링 값을 의미한다. 수식 (1)을 사용하여 구한 $Q_{ura}(t)$ 에서 최대 요속, 배뇨량, 평균요속, 요류시간 및 배뇨시간은 다음 수식에 의해 계산할 수 있다.

$$MFR = \text{MAX}[Q_{ura}(t)]_{\text{last}}^{\text{first}} \tag{2}$$

$$VOL = \int Q_{ura}(t) dt \tag{3}$$

$$AFR = \frac{VOL}{FT} \tag{4}$$

$$FT = \sum_{t=0}^{\text{last}} u(t) \text{ if } Q_{ura}(t) > 0.5$$

$$u(t) = 1, t \geq 1$$

$$u(t) = 0, t < 0 \tag{5}$$

$$VT = ET - IT \text{ there } IT = \text{Time}[Q_{ura}(\text{Init Time})]$$

$$ET = \text{Time}[Q_{ura}(\text{End Time})] \tag{6}$$

여기서 FT 는 요류 시간을 의미한다. 요류 시간은 요속이 0.5 ml/sec 이상의 요속이 형성된 시간으로 유효한 배뇨행위에 소요된 시간을 의미하고, VT 는 배뇨시간으로서 배뇨에 소요된 총 시간을 의미하며, 일반적으로 정상인의 경우에는 요류시간과 동일하나 요의 배설 중 배뇨의 중단이 발생할 수 있는 하부요로폐색환자의 경우에는 배뇨시간이 증가한다.

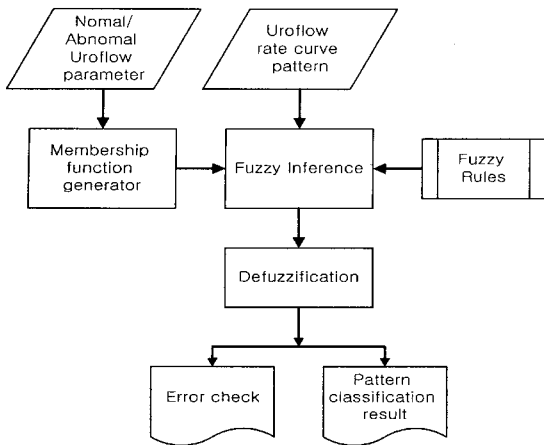


그림 8. 퍼지분류기의 흐름도
Fig. 8. Flowchart of the fuzzy classifier.

2.3. 퍼지 분류기

요속 곡선으로부터 특성 파라미터를 추출하여 보다 정확한 배뇨증상의 분류를 위하여 퍼지이론을 적용하였다. 퍼지이론을 적용하여 구성한 퍼지 분류기의 구성도는 그림 8과 같다.

임상의가 진단한 요류검사 결과지의 증상을 기반으로 정상 요류패턴과 비정상 요류패턴을 수집하였다. 그리고 수집된 요류패턴으로부터 5개의 파라미터 즉, 최대요속, 평균요속, 총배뇨량, 배뇨시간, 유효 요류시간 등을 추출하여 퍼지 분류기의 입력으로 사용하였다.

퍼지 분류기에서 입력되는 여러 요류곡선들로부터 배뇨증상을 분류하기 위해서는 먼저 멤버십 함수의 형태를 결정하여야 한다. 집합 Y의 원소인 X가 정상군 또는 비정상군으로 나누어지는 부분집합에 포함되는 정도(degree)를 정의하고, 이 때 포함되는 정도의 값을 계산하여 주는 함수를 멤버십 함수라 한다. 여기서 멤버십 함수는 0-1 사이의 값을 가지며, 소속 정도를 나타낸다. 퍼지 멤버십 함수는 선형함수, 가우스 분포 함수, 시그모이드, 2차 및 3차곡선 함수의 조합 등으로 구성할 수 있으며, 본 연구에서는 비퍼지화(defuzzification) 과정에서도 비교적 계산이 쉽고, 프로그램하기도 간단한 선형함수 중에서 삼각형 함수를 선택하였다.

여러 가지 파라미터를 가지는 요류곡선으로부터 배뇨증상의 이상 유무를 판단하기 위해서 사용되는 퍼지 논리는 다입력단일출력(multi-input single-output, MISO)의 규칙들로 표현된다. 예를 들면 입력 x, y에 대하여 입력 퍼지수를 Ai, Bi, 단일 출력을 z, z가 소속되었다고 가정되는 퍼지수 또는 퍼지집합을 Ci라고 하면, 분류규칙 R는 다음과 같이 구성된다.

$$\begin{aligned}
 R_1 &: \text{if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1, \text{ then } z \text{ is } C_1. \\
 R_2 &: \text{if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2, \text{ then } z \text{ is } C_2. \\
 &\vdots \\
 R_n &: \text{if } x \text{ is } A_n \text{ and } y \text{ is } B_n, \text{ then } z \text{ is } C_n.
 \end{aligned}$$

z is C.

여기서, 분류규칙의 추론결과는 퍼지집합 C이고, 출력값 z는 C의 비퍼지화에 의하여 결정된다.

본 연구에서의 추론방법은 Mamdani가 제안한 min 연산 추론방법을 사용하였으며, min 연산 추론방식에서의 전체 분류규칙 R과 추론결과 및 추론 결론을 나타내는 퍼지집합 C의 소속함수는 다음 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n = \bigcup_{i=1}^n R_i \tag{7}$$

$$C = R \cdot (A^o \times B^o) \tag{8}$$

$$\mu_c(z) = \bigvee_{i=1}^n \mu_c(z) \tag{9}$$

근사추론의 결과인 C는 퍼지 값이므로 분류 결과로 바로 사용할 수 없고, 실수치의 값으로 비퍼지화 하여야 한다. 즉 추론 결과 구해진 분류 입력 퍼지집합 C를 사용하여 단 하나의 출력값 z를 구한다. 본 연구에서는 Mamdani의 추론법에 따라 무게 중심법을 이용하여 비퍼지화를 구현하였다. 퍼지집합 C의 소속함수 $\mu_c(z)$ 에 대한 원소의 무게 중심을 구하여 출력 값으로 사용하기 위해 다음과 같은 수식을 사용한다.

$$C = \frac{\mu_c(z_1)}{z_1} + \frac{\mu_c(z_2)}{z_2} + \dots + \frac{\mu_c(z_n)}{z_n} \tag{10}$$

여기서, z₀의 퍼지출력 결과는 다음 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_c(z_n) z_i}{\sum \mu_c(z_i)} \tag{11}$$

본 연구에서는 입 · 출력변수 및 멤버십 함수를 이용하여 퍼지 분류기의 기본원리와 사용자의 경험 그리고 언급한 추론법을 근거로 퍼지 분류기의 규칙을 작성하였다. 예를 들어 요류곡선의 배뇨증상 분류규칙을 If-Then 형식으로 표 1과 같이 작성하였다. 표 1에서는 5개의 파라미터를 조합하여 나타내었으나, 실제의 분류 실험에서는 파라미터를 2개부터 하나씩 조건을 추가하

표 1. 퍼지분류기의 분류규칙

Table 1. Classification rule of the fuzzy classifier

Rule number	Condition	Action
R1	MFR is Class1 and	Voiding symptom is Class1
	AFR is Class1 and	
	VOL is Class1 and	
	VT is Class1 and	
	FT is Class1	
R2	MFR is Class2 and	Voiding symptom is Class2
	AFR is Class2 and	
	VOL is Class2 and	
	VT is Class2 and	
	FT is Class2	
R3	MFR is Class3 and	Voiding symptom is Class3
	AFR is Class3 and	
	VOL is Class3 and	
	VT is Class3 and	
	FT is Class3	

여 실험하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 요류검사 시스템의 재현성 평가

본 연구에 의해 구현된 요류검사 시스템의 재현성 평가를 위하여 먼저 100 g과 500 g 분동(counterweight)을 이용하여 2점 교정방식에 의해 교정을 수행 후 교정곡선 및 교정방정식을 획득하였다. 본 실험에서 사용한 2점 교정방식의 기울기(a_x)와 절편(b_y)을 계산하기 위하여 다음의 수식들을 적용하였다.

$$a_x = \frac{V_{Cal_2} - V_{Cal_1}}{Cal_2 - Cal_1} \quad (12)$$

$$b_y = V_{Cal_1} - \frac{V_{Cal_2} - V_{Cal_1}}{Cal_2 - Cal_1} Cal_1 \quad (13)$$

표 2. 재현성 평가 결과

Table 2. Estimation of reappearance

Item \ Capa.	100 mL	300 mL	400 mL	500 mL	600 mL	Average
Mean	99.71	300.07	400.18	500.25	600.07	-
SD	0.708	0.956	0.911	0.878	0.893	0.869
E_{av}	0.646	0.838	0.803	0.762	0.742	0.758
E_{av} (%)	1.844	2.393	2.007	1.694	1.614	1.910
C.V	0.710	0.318	0.228	0.176	0.149	0.316

$$X_m(\text{measured value}) = \frac{V_m - b_y}{a_x} \quad (14)$$

위의 수식들을 사용하여 2점 교정을 수행 후 100 mL, 300 mL, 400 mL 500 mL, 600 mL 용량의 용액을 구현된 요류측정 시스템을 이용하여 각각 10회씩 반복 측정하여 평균, 표준편차, 평균오차 및 오차율, 그리고 계수변화율 등을 계산하여 표 2에 나타내었다. 실험 결과 평균 계수변화율이 0.316으로 우수한 성능을 보임을 확인 할 수 있었다.

4.2. 요류곡선 패턴의 분석

구현된 시스템을 이용하여 측정된 요류곡선들 중 정상적인 패턴과 배뇨증상의 이상을 보이는 패턴을 진단 자료를 근거로 하여 정상, 전립선 비대증, 배뇨곤란, 복부 힘주기, 배뇨근장애, 불안정 방광 등의 요류곡선의 패턴을 구분하여 그림 9에 나타내었다.

4.3. 요류 특성 파라미터의 통계적 분석

본 연구에 의해 구현된 요류측정기 및 추출된 특성 파라미터들의 검증을 위하여 건강한 20대 대학생 30명과 부산대학교 병원에 내원한 50세 이상의 성인 남성 중 LUTS 이상 증상을 보이는 27명의 요류검사를 시행하였다. 요류검사 결과로부터 추출한 최대요속, 평균요속, 배뇨량, 배뇨시간, 요류시간들 중 정상군과 비정상군으로 분류할 때 사용할 수 있는 유용한 파라미터를 찾아내기 위하여 각 파라미터에 대하여 정상군과 비정상군 비교실험을 수행한 결과를 그림 10에 각각 나타내었다.

상기에서 언급한 요류 파라미터들을 One-Way ANOVA를 사용하여 비교 평가한 결과를 표 3에 나타내었다. 결과에 의하면 VT과 FT에서는 정상군과 비정상군간의 유의성이 없는 것으로 판명되었다. 그리고 요속과 배뇨량이 정상군과 비정상군을 분류할 수 있는 지수로 판명되었다. 참고로 여기서 사용한 ANOVA 평가법은 두 집단간의 비슷한 평균을 가지는지 알아보기

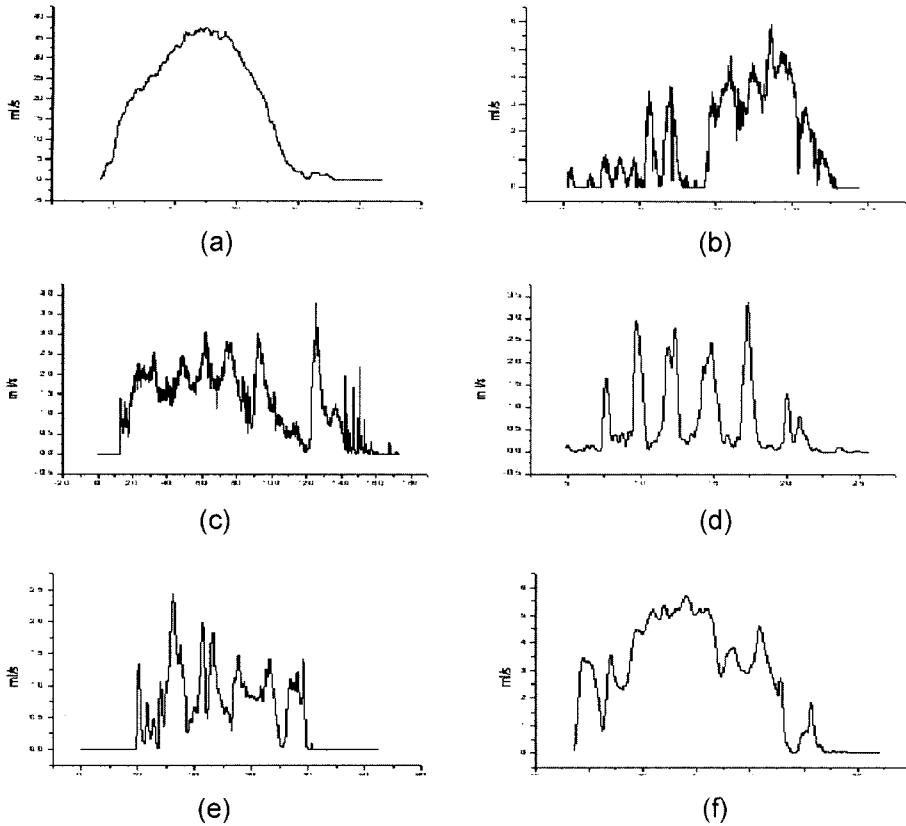


그림 9. 다양한 요속곡선 (a) 정상, (b) 양성 전립선비대증, (c) 배뇨장애, (d) 복부힘주기, (e) 배뇨근 장애, 그리고 (f) 불안전 방광

Fig. 9. Trajectory of uroflowmetry (a) normal, (b) benign prostatic hyperplasia, (c) voiding difficulty, (d) straining, (e) Detrusor failure, and (f) unstable bladder.

위해 사용된다. p값이 유의수준 0.05보다 크면 비교 대상 두 집단은 서로 유의성을 가지지 않는다는 의미이다. 따라서 두 집단을 분류하기는 어렵다는 의미를 내포하고 있다.

4.4. 퍼지 분류 결과

본 연구에 의해 구현된 배뇨증상 분류기의 타당성을 검증하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. 임상 의가 진단한 요류검사 결과지의 증상을 기반으로 정상 요류패턴과 비정상 요류패턴을 수집하였다. 수집된 요류패턴을 분석하여 배뇨증상을 정상군과 비정상군으로 구분하였다. 비정상군에 속하는 배뇨증상은 전립선비대증, 배뇨 곤란, 배뇨근 장애, 불안정 방광, 배뇨근 과반사 등으로 두었으나, 이를 다시 비정상군과 기타군으로 구분하였다. 즉 전립선비대증과 배뇨곤란은 배뇨증상의 기전이 거의 유사하므로 비정상군으로 두었으며,

나머지 배뇨증상들은 별도의 기타군으로 분류하였다. 분류된 실험군은 정상군이 17명, 비정상군이 31명, 그리고 기타군이 9명으로 총 57명의 데이터를 실험에 활용하였다. 이들 실험군으로부터 수집된 요류패턴에서 파라미터를 추출하여 퍼지 분류기의 입력으로 사용하였다. 먼저 추출된 정상과 비정상 요류패턴의 파라미터들로부터 구한 통계치들을 이용하여 멤버쉽함수를 설정하였고, 요류검사 시스템에서 측정된 측정치를 퍼지 분류기에 입력하고, 생성된 멤버쉽함수와 퍼지규칙 과정을 통하여 분류 결과를 추론하도록 하였다. 그리고 퍼지 분류기의 성능을 알아보기 위해 분류 정답율과 분류 에러율을 계산하도록 하였다. 이를 위하여 구현된 퍼지 분류기에 입력되는 파라미터들은 입력 순서를 처음에는 MFR과 AFR, 다음에는 MFR, AFR, VOL, 그 다음에는 특성 파라미터를 하나씩 추가하여 입력하여 배뇨증상별 퍼지 분류기의 분류율을 평가하였으며, 그

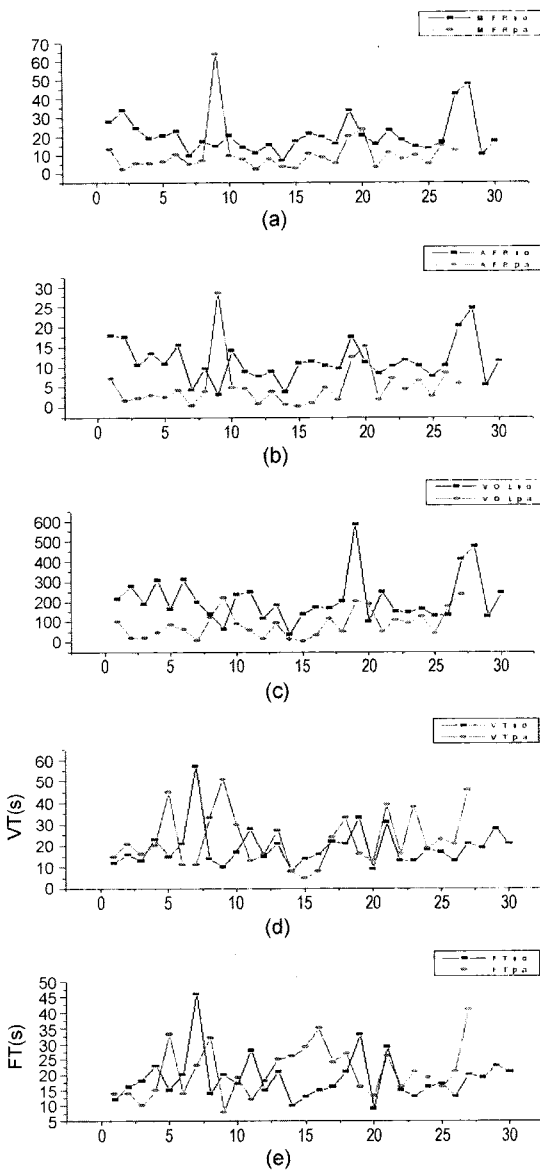


그림 10. 요류파라미터의 비교 (a)최대요속, (b) 평균요속, (c) 배뇨량, (d) 배뇨시간, 그리고 (e) 요류시간
 Fig. 10. Comparison of uro-parameter (a) MFR, (b) AFR, (c) VOL, (d) VT, and (e) FT.

표 3. One-way ANOVA test의 결과
 Table 3. Result of One-way ANOVA test

Data	Mean	Variance	N	Analysis
MFRno	20.05	83.70	30	F=12.01
MFRpa	10.38	140.58	27	P=0.00103
AFRno	11.24	23.02	30	F=18.31
AFRpa	5.21	34.03	27	P=7.54E-5
VOLno	209.80	13648.30	30	F=22.24
VOLpa	88.74	4585.58	27	P=1.68E-5
VTno	19.30	89.38	30	F=1.50
VTpa	22.88	157.64	27	P=0.22
FTno	18.93	55.71	30	F=0.99
FTpa	21.00	67.30	27	P=0.32

결과를 표 4에 나타내었다. 퍼지 분류결과에서 살펴 볼 수 있듯이 정상군과 비정상군의 분류 정답율은 MFR과 AFR 두 개의 파라미터만을 사용한 분류 결과가 91.23%로 가장 우수한 결과로 나타났었다. 즉, 비정상군에 포함된 5환자가 정상군으로 분류되는 분류에러가 발생하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 가정이나 병원에서 간편하게 배뇨증상의 유무를 선별할 수 있는 요류검사 시스템을 구현하였다. 먼저 구현된 시스템의 재현성 평가실험에서 계수변화율이 0.316으로 비교적 정밀한 재현성을 확인할 수 있었다. 그리고 구현된 시스템을 이용하여 측정된 데이터로부터 요류곡선 패턴들을 증상별로 분류하는 실험을 수행하였다. 또한 추출된 파라미터의 타당성 검증을 위하여 정상군 패턴과 비정상군 패턴으로 분류하여 MFR, AFR, VOL, VT, FT, TMF 등의 요류 파라미터를 추출하고 통계적 유의성 평가를 수행하였다. 그 결과 MFR, AFR, VOL 세 가지 특성 파라미터들에서 유의수준 0.05보다 p값이 작게 나와 정상군과 비정상군 사이에 유의성이 있음을 알 수 있었다. 그리고 정상군과 비정상군의 자동 분류를 위한 퍼지분류기의 성능

표 4. 퍼지분류 결과
 Table 4. Result of fuzzy classification

Normal/Abnormal class	MFR, AFR	MFR, AFR, VOL	MFR, AFR, VOL, VT	MFR, AFR, VOL, VT, FT
Good (%)	91.23	84.21	84.21	85.97
Error (%)	8.77	15.79	15.79	14.03
Error class	Abnormal 5	Abnormal 9	Abnormal 9	Abnormal 8

평가실험에서는 MFR과 AFR 두 개의 특성 파라미터만을 사용한 분류 결과에서 91.23%로 가장 우수한 결과로 나타났다. 그리고 VOL 특성 파라미터를 추가한 경우에는 분류 정답률이 84.21%로 나타났다. 하지만 전립선비대증, 배뇨곤란, 배뇨근 장애, 불안정 방광 등의 LUTS 분류에는 어려움이 있음을 확인하였다.

향후 연구에서는 시스템의 정확성 향상을 위하여 요류검사 변환기의 개선 및 사용자 편의를 극대화하기 위한 사용자 인터페이스 등의 개발에 관한 연구가 지속되어야 하리라 생각된다. 그리고 정상군과 비정상군의 분류뿐만 아니라 다양한 질환군에 대하여 정확하게 분류 가능한 시스템의 구현을 위하여 각 질환별 특성을 대표할 수 있는 특성 파라미터의 개발에 관한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다. 또한 분류기의 설계에 있어서도 계층적 분류가 가능한 다층 분류기의 구현에 관한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 “과학재단 기초과학연구사업 특정기초연구”의 지원에 의하여 연구되었음(R01-2002-000-00496-0).

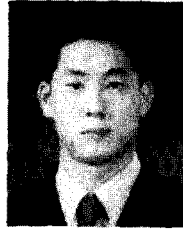
참고 문헌

- [1] 대한비뇨기과학회, 비뇨기과학, 고려의학, 2001.
- [2] Chande, P.K., Katiyal, S., and Shrivastava, M., *et al.*, “Expert Based Uroflow Metering System”, *IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, vol. 1521, no. 1524, 1991.
- [3] Vikas, G., Parameswaran, M., and Goldenberg, L., *et al.*, “Toward the Development of a Non-Invasive Pressure-Flow Sensor System for the Detection of Prostate Cancer in Men”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering, MEMS and Sensors*, vol. 81, no. 88, 1996.
- [4] 최홍호, 최창근, 이응혁, “노실금 환자를 위한 초음파뇨의 경보 시스템에 관한 연구”, *의공학회지*, vol. 22, no. 1, pp. 101-108, 2001.
- [5] 윤재영, 이현보, 정호석 등, “한국 남자의 연령 및 배뇨량에 따른 요속 Nomograms”, *대한비뇨기과학회지*, vol. 39, no. 5, pp. 481-484, 1998.
- [6] 윤재영, 이현보, 정석영, “요도하열 교정술 후 요류검사의 의의”, *대한비뇨기과학회지*, vol. 39, no. 5, pp. 485-489, 1997.
- [7] 김태현, 양대열, 김학영, “정상 한국 남성의 최고 요속 Nomogram”, *대한비뇨기과학회지*, vol. 39, no. 5, pp. 476-479, 1998.
- [8] 박주성, 정도영, 안현수, “전립선종 환자에서 요류검사의 분석”, *대한비뇨기과학회지*, vol. 38, no. 9, pp. 991-996, 1997.
- [9] Michael, B.B. and Chancellor, M.C., “Atlas of Urodynamics”, Williams & Wilkins, 1996.
- [10] 박혁준, 이정주, 정문기, “50세 이상 정상인에서의 최고요속의 평가”, *대한배뇨 장애 및 요실금학회지*, vol. 3, no. 2, pp. 121-122, 1999.
- [11] Walsh, Retik, and Vaughan, *et al.*, “Campbell's urology”, Philadelphia W.B. Saunders Co., 1998.
- [12] 이형래, “전립선 비대증의 역학”, *대한전립선학회지*, vol. 6, pp. 20-25, 2000.
- [13] 김대영, 오승준, 이경철 등, “하부요로증상을 보이는 남성에서 전립선 증상점수, 전립선용적, 요류검사 결과의 상관관계”, *대한비뇨기과학회지*, vol. 40, no. 6, pp. 722-728, 1999.
- [14] 이상철, 이형래, 김용태 등, “국제전립선증상점수와 요류속도 및 전립선용적과의 상관성에 대한 고찰”, *대한비뇨기과학회지*, vol. 39, no. 4, pp. 374-381, 1998.
- [15] 이광형, 오길록, “퍼지 이론 및 응용”, *홍릉과학출판사*, 1992.
- [16] 이병호, 임병국, “센서 일렉트로닉스”, *대림서광* 1998.
- [17] 정도운, 전계록, 배진우, 김길중, 심윤보, “휴대형 혈액가스분석 시스템의 구현 및 성능평가”, *센서학회지*, vol. 12, no. 1, 2003.
- [18] 최병철, 정동근, 정도운, 노정훈, 전계록, “광전용적 맥파 센서를 이용한 맥파전달시간의 측정”, *센서학회지*, vol. 13, no. 5, 2003.



정 도 운 (Do-Un Jeong)

- 2000년 동서대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 2002년 부산대학교 대학원 의공학협동과정 졸업(공학석사)
- 2002년 ~ 현재 부산대학교 대학원 의공학협동과정 박사과정
- 주관심분야 : 생체계측시스템, 생체신호처리



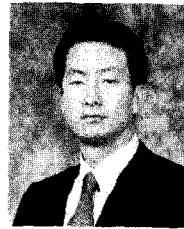
조 심 택 (Seong-Taek Cho)

- 2003년 동서대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)
- 2003년 ~ 현재 부산대학교 대학원 의공학협동과정 석사과정
- 주관심분야 : 의용계측, 영상신호처리, 생체시스템 모델링



남 기 곤 (Ki-Gon Nam)

- 1977년 부산대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)
- 1981년 부산대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1989년 부산대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1990년 ~ 현재 부산대학교 공과대학 전자공학과 교수
- 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소 전임연구원
- 주관심분야 : 초기 시각 정보처리, 3차원 물체 형상 재구성 및 패턴인식



정 문 기 (Moon-Kee Chung)

- 1977년 부산대학교 의과대학 의학과 졸업 (의학사)
- 1980년 부산대학교 대학원 의학과 졸업 (의학석사)
- 1990년 부산대학교 대학원 의학과 졸업 (의학박사)
- 1986년 ~ 현재 부산대학교 의과대학 비뇨기과학 교실 교수, 주임교수
- 주관심분야 : 비뇨기종양학, 전립선질환



전 계 록 (Gye-Rok Jeon)

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