

수압측정 방식의 요류검사 진단매개변수의 정확도 평가

김경아[†] · 최성수 · 김성식 · 김군진 · 박경순* · 차은종

Accuracy evaluation of diagnostic parameters estimated by uroflowmetry technique measuring hydraulic pressure

Kyung-Ah Kim[†], Seong-Su Choi, Sung-Sik Kim, Kun-Jin Kim, Kyung-Soon Park*, and Eun-Jong Cha

Abstract

Uroflowmetry is of great convenience to diagnose benign prostate hypertrophy common in aged men. The urinary flow rate is obtained by weight measurement using load cell, however, sensitive to impact noise. An alternative technique was recently proposed to measure hydraulic pressure instead of weight and demonstrated to introduce significantly reduced noise. In this paper, we described the measured diagnostic parameters between the weight and pressure measuring techniques in 10 normal men. The weight and pressure signals were simultaneously acquired during urination, converted into urine volumes, then differentiated to obtain flow rate signals, which showed very similar waveforms. Diagnostic parameters evaluated by pressure measuring technique were well correlated with the standard weight measuring technique (correlation coefficient >0.99). Therefore, the new uroflowmetry based on hydraulic pressure measurement can provide accurate diagnostic parameters, which would be clinically valid.

Key Words : benign prostate hypertrophy, uroflowmetry, hydraulic pressure

1. 서 론

전립선은 남성만이 가지고 있는 조직으로 방광 바로 아래에 위치하며 요도를 둘러싸고 있다. 전립선 비대증(BPH, benign prostate hypertrophy)은 전립선 내부에 염증이 생기거나 비대성 병변이 생기는 질환^[1]으로, 비대해진 전립선이 방광과 연결된 요도의 시작 부분을 압박하게 된다. 따라서 전립선이 비대해지면 방광에서 요도로 소변을 배출할 때 저항이 커지게 되어, 빈뇨, 야간뇨, 요절박, 잔뇨감 등의 배뇨 증상이 나타나게 된다. 전립선이 비대해지는 현상은 30, 40대부터 시작되는데 대부분의 성인 남성들이 겪게되는 질환으로 80대 이후에는 90% 정도의 남성들이 이와 같은 병리학적

인 비대증을 갖게 된다^[2,3]. 최근 과학기술의 발달과 경제성장률에 따라 고령 인구가 증가하고 있어 전립선비대증은 사회적으로 중요한 질환으로 대두되고 있다.

국제 전립선 증상점수표(IPSS, international prostate symptom score) 설문 작성, 전립선특이항원(PSA, prostate-specific antigen) 검사, 직장수지 검사, 요류검사 등을 수행하여 종합적인 결과가 일정 수준 이상인 경우 전립선비대증으로 진단한다. 국제 전립선 증상점수표는 7개의 항목으로 구성되어 있는데, 환자가 각 항목에서 자신의 증상정도를 설문 형태로 작성한 점수를 합산하여 증상 정도를 평가한다. 전립선특이항원 검사는 전립선에서 분비되는 효소인 PSA 수치를 측정하여 진단하며, 직장수지 검사는 직장 내에 손가락을 넣어 전립선의 크기를 확인하는 검사이다. 요류검사는 측정기구에 배뇨하면서 요류(urinary flow rate) 즉, 초당 배출되는 요량(urinary volume)을 연속적으로 측정하는 검사로서 요류 신호로부터 배뇨량, 최대요류, 평균요류, 배뇨시간 등의 진단 매개변수들을 산출하여 배뇨 기능을 평가한다. 요류검사는 측정기구에 배뇨를 하기만 하

충북대학교 의과대학 의공학교실(Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea)

*문경대학 간호학과(Department of Nursing, Munkyeong College, Munkyeong 745-706, Korea)

[†]Corresponding author: kimka@chungbuk.ac.kr
(Received : October 2, 2007, Accepted : October 22, 2007)

면 되므로 진단시 뿐만 아니라 치료 중이나 치료 후에도 반복적으로 시행할 수 있다는 장점이 있어 광범위하게 시행된다^[4].

현재 가장 많이 사용되는 요류검사 방법은 로드셀(load cell)을 이용한 무게 측정법으로 배뇨시 요의 무게를 연속적으로 계측하여 요류 신호를 산출한다. 무게 측정법은 배뇨 과정 중 요의 무게를 계측하기 위해 요 수집용기를 로드셀 위에 위치시키고 피검자의 자연스러운 배뇨를 유도하여 배뇨 과정 중의 무게 신호를 연속적으로 계측한다. 남성의 배뇨기 위치 및 배뇨 습관 상 하지 길이의 높이에서 배뇨가 이루어지게 되고, 또한 플라스틱 재질의 경량 수집용기가 로드셀 위에 위치되어 있어 배뇨시 요는 수집용기에 충격을 가하게 된다. 따라서 기존 요류검사 방법은 배뇨 과정 중 발생하는 충격 잡음이 무게신호에 더해져 측정되는 단점을 가지고 있다. 본 연구팀에서는 기존의 무게 측정방식의 요류검사 방법이 충격에 민감한 단점을 극복하기 위해 수압측정 방식의 새로운 요류계측 기법을 개발하여 충격잡음을 현저히 감소시킨 바 있다^[5]. 이에 본 연구에서는 수압측정 방식으로 계측한 요량신호를 수리적으로 미분하여 요류신호를 얻은 후, 이로부터 진단매개변수를 산출하여 기존의 표준방법인 무게측정 방식과 비교분석함으로써 그 정확도를 평가하였다.

2. 요류검사 원리 및 실험 방법

2.1. 무게측정 방식의 요류검사 원리

그림 1과 같이 요 수집용기를 로드셀 위에 놓고 배뇨할 때 용기에 모아지는 요의 무게는 요 질량과 중력 가속도의 곱이며, 질량은 밀도에 요량을 곱하여 얻어지므로 요량에 비례하는 값을 가진다. 요류(F)는 식 (1)에서와 같이 요량(V)의 시간 미분함수로 정의되므로 요의 무게(W)변화를 연속적으로 측정하여 시간에 대해 수리미분하면 요류신호가 산출된다.

$$F(t) = \frac{dV(t)}{dt} = \frac{1}{\rho g} \cdot \frac{dW(t)}{dt} \quad (1)$$

2.2. 수압측정 방식의 요류검사 원리

요 수집용기의 단면적이 일정하다면 배뇨시 바닥에서의 압력은 요 수면의 높이에 비례하게 된다(그림 2 참조). 요 수면의 높이는 요량(V)과 용기 단면적(A)으로 얻어지므로 용기 바닥에서의 압력은 요량에 비례하는 값을 가진다. 요류는 식 (2)에서와 같이 압력의 시간변화율로 산출되므로 배뇨시 바닥에서의 수압 변화를 연속적으로 측정하여 수리미분하면 요류신호가 산

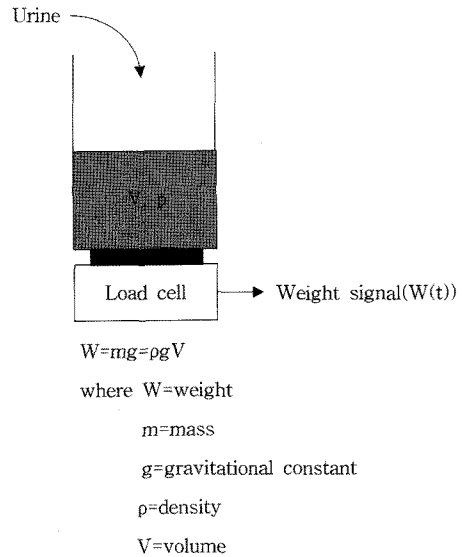


그림 1. 무게 측정방식의 요류검사 원리
Fig. 1. Uroflowmetry principle by weight measurement.

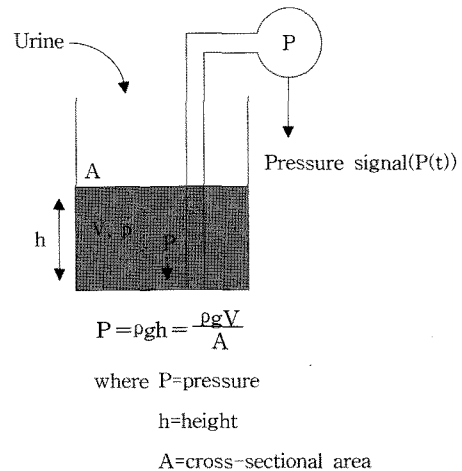


그림 2. 수압 측정방식의 요류검사 원리
Fig. 2. Uroflowmetry principle by pressure measurement.

출된다.

$$F(t) = \frac{dV(t)}{dt} = \frac{A}{\rho g} \cdot \frac{dP(t)}{dt} \quad (2)$$

2.3. 정상인 배뇨실험

수압측정 방식과 무게측정 방식으로 동시에 요류계측을 수행하기 위해 그림 3과 같이 실험장치를 제작하였다. 플라스틱 재질로 직경 70 mm, 높이 300 mm의 원통형 요 수집용기를 제작하였으며, 측면에 구멍을 뚫

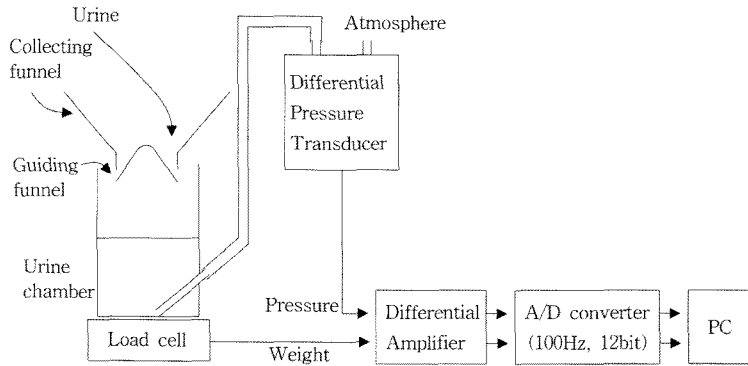


그림 3. 실험장치의 모식도
Fig. 3. Block diagram of the experimental set-up.

어 압력 측정관을 바닥으로 삽입한 후 저가 범용 압력 센서(MPX10DP, Freescale, U.S.A.)를 연결하였다. 요 수집용기를 로드셀(BCL-2L, CAS Corp., Korea) 위에 위치시켜 배뇨시 요의 수압신호와 무게신호를 동시에 측정할 수 있도록 하였다. 두 신호를 각각 12 bits, 100 Hz로 A/D 변환한 후 PC에 축적하였다. 또한 상부에 위치시키는 요 수집용 깔때기의 입구 구조를 변경하여 요가 용기의 벽면을 타고 흘러내리도록 함으로써 용기 및 로드셀에 가하는 충격효과를 최소화하였다. 그림 4에 실험장치의 실제 사진을 보였다. 실제 좌변기와 유사한 형태를 가지는 의자 구조물에 요 수집용 깔때기를 고정시켰으며 요 수집용기 측면에 압력센서를 부착하고 로드셀 위에 위치시켰다.

20대의 건강한 성인 남성 10명을 대상으로 배뇨실험을 수행하였다. 점심 식사 후 1시간이 경과되었을 때 물 350 mL을 마시고, 약 2시간 경과 후, 피검자들이 개별적으로 배뇨욕구가 충분히 느껴질 때 자연스럽게

배뇨하게 하였으며 배뇨과정 중 무게와 수압신호를 동시에 축적하였다. 무게 및 수압신호를 각각 요량(용적) 신호로 변환하였다.

2.4. 요류신호 및 진단매개변수 산출

배뇨시 축적한 무게 및 수압 요량신호의 잡음을 제거하기 위해 식 (3)과 같이 각각 11 pt. moving average (± 50 msec duration)를 수행하였다(V_{11}). 요량신호로부터 요류신호를 산출하기 위해 식 (4)와 같이 2초 간격으로 수리 미분한 후 다시 식 (5)와 같이 11 pt. moving average를 수행하여 요류신호를 산출하였다(F_{11}).

$$V_{11}(n) = \frac{\sum_{k=n-5}^{n+5} V(k)}{11} \tag{3}$$

where V =volume, n , k =data index

$$F(n) = \frac{V_{11}(n+1\text{sec}) - V_{11}(n-1\text{sec})}{2\text{sec}} \tag{4}$$

$$F_{11}(n) = \frac{\sum_{k=n-5}^{n+5} F(k)}{11} \tag{5}$$

식 (5)에서 산출한 요류신호로부터 임상적으로 중요한 진단매개변수 5개를 그림 5와 같이 설정하였다. 총 배뇨시간(T_u)은 배뇨 종료시점(t_e)과 시작시점(t_s)의 차이로써 배뇨가 진행되는 시간이며, 배뇨량(V_u)은 식 (6)과 같이 총 배뇨시간 동안의 요류신호를 적분하여 산출하였다. 평균요류(F_{mean})는 배뇨량을 총 배뇨시간으로 나누어 계산하였다(식 (7) 참조).

$$V_u = \int_{t_s}^{t_e} F(t) dt \tag{6}$$

$$F_{\text{mean}} = \frac{V_u}{T_u} \tag{7}$$

where $T_u = t_e - t_s$

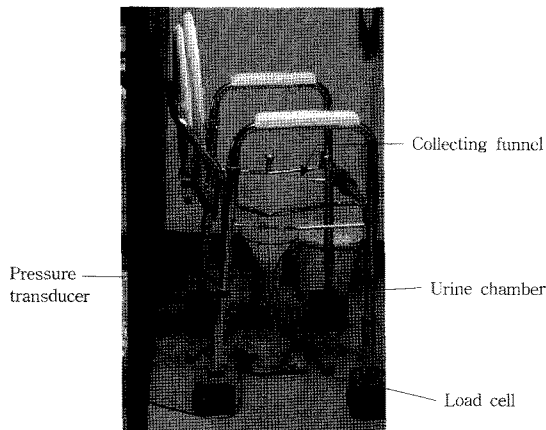


그림 4. 실험장치의 실제 사진
Fig. 4. Picture of the experimental set-up.

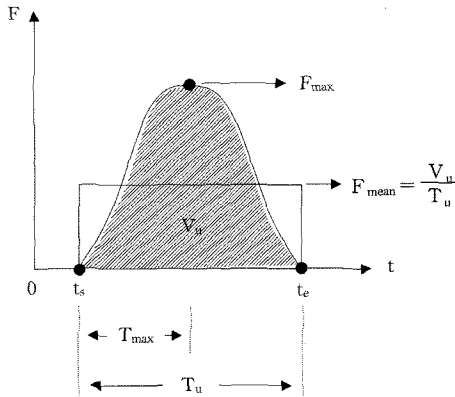


그림 5. 요류검사 진단매개변수의 정의
Fig. 5. Mathematical definition of the diagnostic parameters on uro-flow signal.

배뇨 시작시점부터 요류신호가 최대값을 나타내는 시점까지 걸린 시간을 산출하여 최대요류 시간(T_{max})으로 설정하였으며, 최대요류(F_{max})는 식 (8)에서의 같이 최대요류 시점(T_{max})에서 $\pm 0.5 \text{ sec}(t_M)$ 동안의 요류신호를 평균하여 산출하였다.

$$F_{max} = \frac{1}{2t_M} \int_{T_{max}-t_M}^{T_{max}+t_M} F(t)dt \quad (8)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 요량 및 요류 신호 비교

대표적인 피검자의 무게 요량신호와 수압 요량신호를 그림 6에 비교하였다. 배뇨시 용기에 가해지는 충격 효과를 최소화하기 위해 수 수집용 깔매기의 입구 구조를 변경하였음에도 불구하고 수압 요량신호가 무게 요량신호와 비교하여 배뇨 전체 구간에서 변화폭이 훨씬 작은 것을 볼 수 있다. 요량신호의 변화 폭은 측정시 발생하는 잡음에 기인한 것이므로 수압측정 방식이 무게 측정 방식보다 측정 잡음이 훨씬 작음을 재확인하였다.

식 (3, 4, 5)에 따라 측정잡음을 제거하고 요량신호를 수리미분하여 산출한 요류신호를 그림 7에 비교하였다. 무게측정 방식과 수압측정 방식이 모두 유사한 형태의 요류신호 파형을 나타냄을 볼 수 있다. 따라서 서로 대등한 정확도로 진단매개변수 산출이 가능할 것임을 예측할 수 있다.

3.2. 진단매개변수 비교

건강한 성인 남성 10명이 배뇨실험에 참여하였으나, 무게 요류신호와 수압 요류신호의 파형이 현저히 다르게 나타나 실험상 오류가 있었던 것으로 판단되는 1명

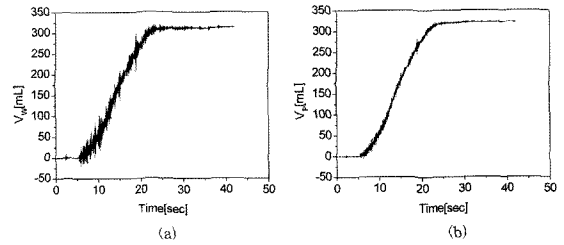


그림 6. 요량 신호 비교 (a) 무게 요량신호 (b) 수압 요량신호
Fig. 6. Comparison of urinary volume signals.

(a) Urinary volume signal with weight measurement and (b) Urinary volume signal with pressure measurement

을 제외한 9명을 대상으로 배뇨시간, 배뇨량, 평균요류, 최대요류, 최대요류시간을 피검자별로 각각 산출하였다. 무게 요류신호로부터 산출한 매개변수를 독립변수로, 수압 요류신호로부터 산출한 매개변수를 종속변수로 하여 매개변수별로 선형회귀분석을 시행하였다(그림 8 참조). 배뇨시간, 배뇨량, 평균요류는 두 측정방법간의 상관관계수가 0.997 이상으로 유의한($P < 0.0001$) 상관관계를 나타내었다. 이는 세 매개변수가 수리미분하기 이전의 원 신호인 요량신호에서 산출하였기 때문에 보다 높은 상관관계를 나타낸 것으로 판단된다. 최대요류의 상관관계수는 0.993이며, 최대요류시간은 0.948로 다른 세 매개변수보다 상관관계수가 다소 낮은 값을 나타내었다. 두 매개변수는 요량신호를 시간에 대해 미분한 요류신호로부터 산출하게 되므로 미분시 발생하는 필연적인 잡음 때문에 상관관계수가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 판단되지만 이 두 매개변수들도 전체적으로 충분히 높은 상관관계를 나타낸 것으로 판단된다.

4. 결 론

기존의 요류검사 방법은 배뇨시 소변의 무게를 로드

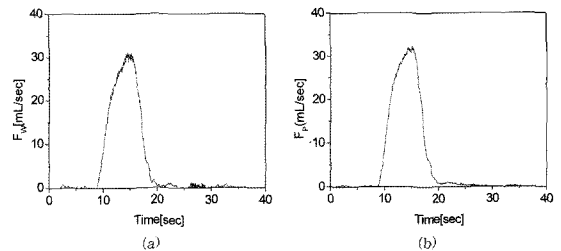


그림 7. 요류 신호 비교 (a) 무게 요류신호 (b) 압력 요류신호
Fig. 7. Comparison of urinary flow rate signals.

(a) Urinary flow rate with weight measurement and (b) Urinary flow rate with pressure measurement

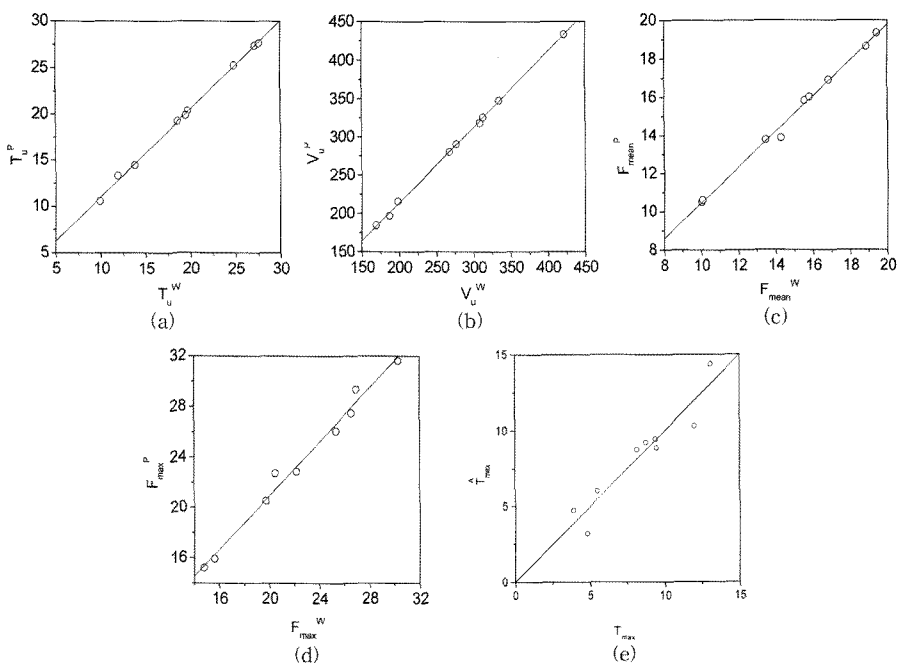


그림 8. 진단매개변수 상관관계 분석결과

(a) 배뇨시간 (b) 배뇨량 (c) 평균요류 (d) 최대요류 (e) 최대요류시간

Fig. 8. Regression results of diagnostic parameters.

(a) Urination time (b) Urine volume (c) Mean flow rate (d) Maximum flow rate, and (e) Time of maximum flow rate

셀로 측정하여 요류신호를 산출한다. 그러나 로드셀이 용기 바닥에 설치되므로 충격에 민감한 단점을 가지고 있다. 본 연구팀에서는 로드셀을 사용하여 무게를 측정하는 대신 압력센서를 사용하여 수압을 측정하는 새로운 요류 계측원리를 제시하여 기존의 무게측정 방식에서 발생하는 충격잡음을 크게 감소시킨 바 있다^[4]. 이에 본 연구에서는 무게측정 방식과 수압측정 방식으로 중요한 진단매개변수들을 동시에 산출한 후, 두 요류검사기법 간의 상관관계를 분석하였다.

요류검사 진단매개변수로는 배뇨시간, 배뇨량, 평균요류, 최대요류, 최대요류시간을 산출하였으며 정상 성인 남성 10인을 대상으로 배뇨실험을 수행하였다. 무게 및 수압신호를 동시에 측정하여 얻은 요량신호의 경우 무게 요량신호의 변화 폭이 수압 요량신호보다 훨씬 크게 나타났으며, 이는 수압측정 방식이 무게측정 방식보다 충격 잡음이 훨씬 작아짐을 나타낸다.

요량신호를 수리미분하여 산출한 요류신호는 무게측정 방식과 수압측정 방식이 유사한 파형을 나타내었다. 각 피검자별로 산출한 배뇨시간, 배뇨량, 평균요류, 최대요류, 최대요류시간을 무게측정 방식과 수압측정 방식 간에 각각 선형 회귀분석한 결과 매개변수 4개의

상관계수가 0.99 이상의 높은 상관관계를 나타내었다. 상관계수가 약 0.95 이었던 최대요류시간은 요량을 미분한 신호가 최대값을 보이는 시점으로써 잡음에 매우 민감할 수 밖에 없으므로 다소 낮은 상관관계를 보인 것으로 생각된다. 그러나 전반적으로는 매우 높은 상관관계를 보였으므로 본 연구팀에서 개발한 수압측정 방식의 요류검사 기법이 기존의 표준 방식인 무게측정 방식과 적어도 대등하다고 할 수 있다. 즉, 본 연구에서 제시하는 수압측정 방식의 요류검사 기법으로 진단매개변수를 정확히 산출할 수 있음을 실험적으로 입증한 것이므로 수압측정 방식에 의한 새로운 요류검사의 유용성이 검증되었다고 사료된다. 수압 측정에 사용한 범용 압력센서는 로드셀에 비해 저렴하므로(50% 이하) 수압측정방식은 잡음이 최소화되고 비용이 저렴한 새로운 요류검사법이라 할 것이다. 향후 전립선 비대증 환자 등을 포함하는 임상실험이 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

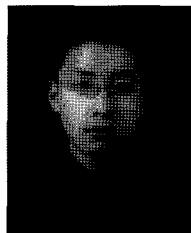
참고 문헌

- [1] 노충희, “미국비노기과학회 진료지침”, In: 전립선비대증, 대한전립선학회, 일조각, pp. 119-126, 2004.
- [2] 정문기, “전립선비대증의 역학조사 역학조사”, In: 전립선비대증, 대한전립선학회, 일조각, pp. 95-116, 2004.
- [3] 나용길, “전립선비대증의 역학과 자연경과”, In: 배뇨장애와 요실금, 대한배뇨장애 및 요실금학회, 일조각, pp. 321-327, 2003.
- [4] 김민의, “필수검사와 기타 중요검사”, In: 전립선비대증, 대한전립선학회, 일조각, pp. 127-146, 2004.
- [5] 최성수, 조동욱, 김경아, 이승직, 이태수, 차은종, “수압측정 방식의 새로운 요류 계측 기법”, 한국센서학회 종합학술대회, 제17권, 제1호, pp. 240-241, 2006.
- [6] 정도운, 조성택, 남기곤, 정문기, 전계록, “로드셀을 이용한 요류검사기의 구현 및 평가”, 센서학회지, 제13권, 제6호, pp. 436-445, 2004.



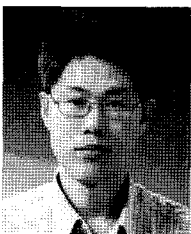
김 경 아

- 1991년 충북대학교 자연과학대학 물리학과 학사
- 1993년 충북대학교 자연과학대학 물리학과 석사
- 2001년 충북대학교 학과간 협동과정 의용생체공학과 박사
- 2005년 충북대학교 의과대학 의공학교실 조교수
- 주관심분야 : 생체계측, 물리센서, 심폐 의료기



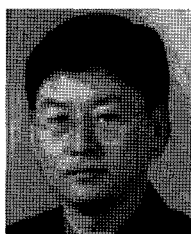
최 성 수

- 2006년 충북대학교 자연과학대학 물리학과 학사
- 2006년 충북대학교 학과간 협동과정 의용생체공학과 석사 재학
- 2006년 씨케이인터네셔널 근무
- 주관심분야 : 생체계측, 물리센서



김 성 식

- 1993년 아주대학교 공과대학 석사
- 1993년~2000년 주)태광이앤씨 근무
- 2001년~2002년 주)바이오넷 근무
- 2003년 씨케이인터네셔널 근무
- 주관심분야 : 심폐의료기, 계측시스템



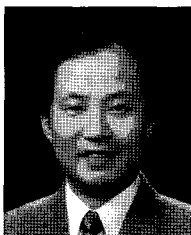
김 군 진

- 1990년 한양대학교 전자공학과 학사
- 1992년 한양대학교 전자공학과 석사
- 1991년 대우전자(주) 정보통신연구소 선임연구원
- 1999년 LG전자(주) DM연구소 선임연구원
- 2001년 청주기능대학 전임강사
- 2003년 충북대학교 학과간 협동과정 의용생체공학과 박사과정
- 2006년 제천기능대학 조교수
- 주관심분야 : 생체계측, 정밀제어



박 경 순

- 1990년 청주과학대학 간호과 졸업
- 2002년 대전대학교 간호학 석사.
- 2005년 충북대학교 의용생체공학 석사.
- 2006년 문경대학 간호과 교수
- 주관심분야 : 의료정보, 의료기기, 간호행정



차 은 종

- 1980년 서울대학교 공과대학 전자공학과 학사
- 1987년 미국 남가주대학 의공학 박사, Research Associate
- 1988년 충북대학교 의과대학 의공학교실 교수
- 2001년 씨케이인터네셔널 대표 겸직
- 주관심분야 : 생체계측, 물리센서, 심폐 의료기, 정밀계측