

삼점 신호 평균기법에 의한 요속신호의 잡음 축소 기법

논문
58-8-26

Noise Reduction Technique by Three-Points Ensemble Averaging in Uroflowmetry

최 성 수** · 이 인 광** · 이 상 봉* · 박 준 오** · 이 수 옥** · 차 은 중*** · 김 경 아†
(Seong-Su Choi · In-Kwang Lee · Sang-Bong Lee · Jun-Oh Park ·
Su-Ok Lee · Eun-Jong Cha · Kyung-Ah Kim)

Abstract - Uroflowmetry is a convenient clinical test to screen the benign prostatic hyperplasia(BPH) common in the aged men. A load cell is located beneath the urine container to measure the weight of urine. However, it is sensitive to the impact applied on the bottom of the container by the urine stream, which could be a noise source lowering the reliability of the system. With this aim, our study proposed a noise reduction technique by computing ensemble average of the weighted signals that were acquired from three-load cells forming a regular triangle beneath the urine container. Simulated urination experiment was performed with three different collection methods, all of which demonstrated significant noise reduction by ensemble averaging. Furthermore, the best results can be obtained without any special urine collection devices. Thus, our novel method can be usefully applied to uroflowmetry for enhancing measurement in terms of accuracy and reliability.

Key Words : Uroflowmetry, Noise Reduction, Ensemble Averaging

1. 서 론

전립선(prostate)은 남성의 방광 아래에 위치하여 요도의 시작 부위를 둘러싸고 있는 조직이다[1]. 정액의 일부인 전립선액을 생산 및 운반하며, 요도의 시작점을 통제하는 등 일부 성기능과 배뇨 기능을 담당한다. 전립선은 사춘기 이후 급격히 커지기 시작하여 호두알 정도의 크기(20g)를 가지게 되는데, 30세 이후부터는 매년 소량씩(0.4mg) 증가한다[2]. 일부 남성들은 30대 이후부터 노화와 성호르몬의 불균형으로 전립선이 조직·병리학적으로 과도하게 비대해지는데 이러한 질환을 전립선 비대증(BPH, benign prostatic hyperplasia)이라 하며[3-5], 전립선 비대증 환자의 경우 전립선의 무게는 평균적으로 정상인의 약 1.7배를 나타낸다[2]. 비대해진 전립선은 요도를 압박하여 여러 배뇨 이상 증상이 나타난다[6, 7]. 이 질환은 남성의 연령이 증가할수록 비례하여 발병 빈도가 증가하게 되는데, 60대 이상 남성의 60~90%에서 발병하고 있다[8]. 따라서 노령인구의 증가, 진단방법의 발달, 경제 성장, 삶의 질 향상에 대한 욕구 등으로 그 중요성과 빈도가 다른 질환에 비해 빠르게 증가하고 있는 상황이다. 전립선 비대증을 진단하기 위해 국제 전립선증상 설문 점수(IPSS, international prostate symptom score), 전립선특이항원(PSA, prostate-specific antigen) 검사, 직장수

지 검사, 요속검사 등을 수행하는데, 이 중 비침습적이고 검사방법이 간단한 요속검사(uroflowmetry)가 screening test로 흔히 시행되고 있다[9].

요속검사란 배뇨 중 요속신호(urinary flow rate)의 변화 추이를 관찰하고 임상적으로 중요한 진단매개변수들을 산출하여 질환 유무를 판단하는 검사이다. 잔뇨와 함께 해석하여 배뇨의 효율성을 판단하는 가장 빠르고 경제적인 도구이며 요속검사 이상시 정밀검사를 수행하게 된다. 표준 요속검사 방법은 배뇨 과정 중 요의 무게를 로드셀(load cell)로 측정하여 요속신호를 축적한 후, 최대요속, 평균요속, 배뇨시간, 배뇨량 등과 같이 임상적으로 중요한 진단매개변수들을 산출한다. 이러한 무게 측정 방식의 요속계는 로드셀을 바닥에 위치시키고 그 위에 플라스틱 재질의 수집용기를 다시 올려놓는 형태로 구성된다. 피검자는 수집용기 안으로 상부에서 배뇨하며 요의 무게 변화를 측정하게 되는데, 용기에 가해지는 충격 및 흔들림 잡음이 더해져 측정되는 문제점이 발생한다. 이에 본 연구에서는 세 개의 로드셀을 정삼각형의 꼭지점에 각각 위치시켜 삼점(three points)에서 동시에 무게를 측정 후 합산평균(ensemble average)함으로써 요속신호의 계측잡음을 대폭 축소하는 기법을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 무게 측정에 의한 요속 계측 원리

단면적이 A로 일정한 원통 용기에 상부에서 물이 유입되는 경우 용기의 전체 무게는 유입된 물의 용적에 따라 증가한다. 이때 물의 무게(W)는 물의 질량(m)과 중력가속도(g)의 곱이며, 물의 질량은 물의 용적(V)과 밀도(ρ)를 곱하여 얻을 수 있다(식 (1)). 상부에서 시간에 따라 유입되는 물의 용적 변화량을 유속(flow rate, F)이라 하며, 물이 유입되는

† 교신저자, 정회원 : 충북대 의대 의공학교실 조교수
E-mail : kimka@chungbuk.ac.kr

* 준 회원 : 충북대 의용생체공학과 석사과정

** 정 회원 : 충북대 의용생체공학과 박사과정, 충북대학교 의학전문대학원, BK21 차세대 선도 의과학 전문인력 양성 사업단

*** 정 회원 : 충북대 의대 의공학교실 교수

접수일자 : 2009년 4월 13일

최종완료 : 2009년 6월 24일

대신 피검자가 용기 상부에서 배뇨할 때 유입되는 요의 용적 변화량은 요속이 된다.

$$W=mg=\rho gV \quad (1)$$

따라서 요속은 식 (2)와 같이 요 용적의 시간 미분함수로 정의되며 식 (1)의 V를 수리미분하여 얻을 수 있다. 이는 용기 내에 채워지는 요의 무게를 연속적으로 측정하여 요속 신호를 산출할 수 있음을 나타낸다. 현재 임상에서 사용되고 있는 요속 계측장치는 그림 1과 같이 용기의 바닥에 무게센서인 로드셀을 설치하여 W를 연속적으로 측정하여 F를 산출한다.

$$F = \frac{dV}{dt} = \frac{1}{\rho g} \cdot \frac{dW}{dt} \quad (2)$$

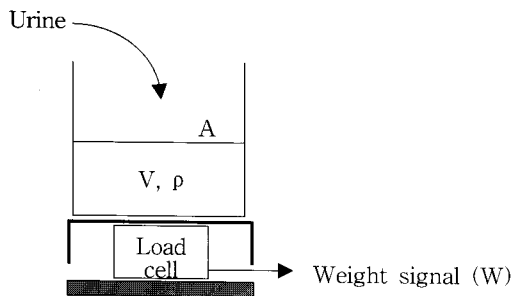


그림 1 요속 계측장치
Fig. 1 Device to measure urinary flow rate

요의 무게 변화 측정시 피검자는 수집용기 안으로 상부에서 배뇨하게 되는데, 남성의 신체 구조 상 지상에서 약 1m 이상의 높이에서 배뇨가 이루어진다. 이때 요는 수집용기의 바닥에 충격을 가하고, 수집용기 또한 좌우로 흔들리게 된다(그림 2 참조). 따라서 배뇨 과정의 무게신호에 충격 및 흔들림 잡음이 더해져 측정되는 문제점이 발생한다. 이와 같이 충격잡음이 더해진 요속신호에서 잡음을 최소화하기 위해 요를 모아 수집용기의 벽면으로 흘러주는 것과 같은 별도의 충격 방지용 기구들을 사용하지만 다소 번거로운 뿐만 아니라 측정잡음의 문제가 근원적으로 해결되지 않는다[10].

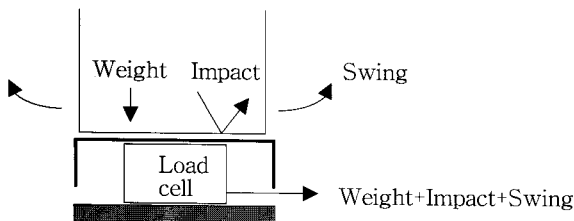


그림 2 용기 바닥에서의 충격 및 흔들림 효과
Fig. 2 Impact and swinging effects on the bottom of the container

2.2 삼점 평균 기법

그림 3과 같이 로드셀 3개가 정삼각형의 세 꼭지점(A, B, C) 상에 위치하여 대칭적인 구조를 형성하고 W가 수직으로

가해진다면 로드셀 각각이 W/3의 무게를 감지하게 된다. 3개의 로드셀 각각에는 식 (3)과 같이 계측잡음이 개입되는데, 이때 각각의 잡음이 평균값 0인 랜덤 잡음(random noise)이라면 그 합은 0에 가까울 것이므로 식 (4)와 같이 세 개의 신호를 합산함으로써 잡음을 최소화할 수 있다. 즉, 3개의 대칭적 위치로부터 측정되는 무게신호들을 합산평균함으로써 잡음이 제거된 요속신호를 얻을 수 있을 것이다.

$$W_A = \frac{W}{3} + e_A, W_B = \frac{W}{3} + e_B, W_C = \frac{W}{3} + e_C \quad (3)$$

where W=요의 총 무게

$W_{A,B,C}$ =로드셀 A, B, C 각각에 가해지는 무게

$e_{A,B,C}$ =로드셀 A, B, C 각각에 개입되는 계측 잡음

$$W_{MEAN} = W_A + W_B + W_C = W \quad \text{if } e_A + e_B + e_C = 0 \quad (4)$$

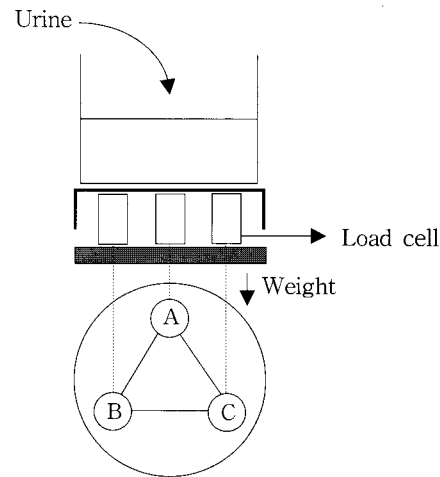


그림 3 삼점 무게측정 방식
Fig. 3 Weight measurements on the three vertices of regular triangle

식 (4)를 용적 단위인 요량신호로 변환하면

$$V_{MEAN} = V_A + V_B + V_C = V \quad (5)$$

가 된다.

2.3 실험장치 및 분석 방법

삼점 평균 기법으로 요속신호의 측정잡음이 감소하는지를 실험적으로 검증하기 위해 그림 4와 같이 실험장치를 구성하였다. 한 변의 길이가 78mm인 정삼각형의 세 꼭지점 상에 3개의 로드셀(FX1901-0001, Measurement Specialties, USA)을 배치하고 그 위에 원형 받침판을 올려놓음으로써 판 위에 놓이는 물체의 무게를 3개의 로드셀로 분산시켰다. 판 위에는 직경 145mm, 높이 165mm의 요 수집용기를 올려 놓되, 수집용기 단면의 중심이 로드셀 정삼각형의 무게중심에 일치하도록 하여 대칭적인 구조를 형성하였다.

실제 남성의 배뇨과정을 모사하기 위해 요 수집용기 상부

에 배뇨용기를 설치하였다. 배뇨용기는 단순히 물을 담은 용기로서 하부에 직경 6mm, 길이 20mm의 배출관을 연결하여 용기에 담긴 물이 수압에 의해 자연스럽게 배출되며 배뇨과정을 모사한다. 배뇨용기에 물을 담고 배출구를 열면 물이 배출되는데 시간이 지남에 따라 수압이 낮아져 점진적으로 유속도 함께 감소한다. 로드셀 신호들을 적절히 증폭하여 합산평균한 후 차단주파수 10Hz로 저역통과 여파하는 전자회로를 제작하여 무게신호를 추출하였다. 신호추출용 전자회로를 최대한 효율적으로 사용하기 위해 각각의 로드셀 증폭기의 동작 영역을 0~W/3로 설정하고 이들 각각에 동일한 전기저항을 연결하여 평균하였다. 따라서 각각의 로드셀 신호들($W_{A,B,C}$)과 평균한 신호(W_{MEAN})는 동일한 출력범위를 가지게 되는데, 이는 각각의 로드셀 증폭기들이 실제 무게를 3배 증폭한 것에 해당한다. 이와같이 증폭회로를 구성함으로써 각각의 로드셀 신호를 평균신호와 직접 비교하는 것이 가능해진다. $W_{A,B,C}$ 및 W_{MEAN} 신호를 12bits, 100Hz로 A/D변환하여 PC에 축적한 후, 요량신호 $V_{A,B,C}$ 및 V_{MEAN} 으로 변환하였다.

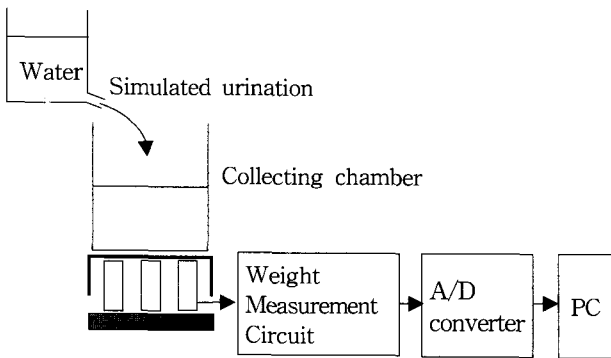


그림 4 실험장치의 모식도
Fig. 4 Block diagram of the experimental set-up

본 연구의 목적이 측정잡음을 축소하는 기법을 개발하는데 있으므로 원천신호인 요량신호(식 (5))를 대상으로 분석하였다. 배뇨시와 유사한 여러가지 상황을 모사하기 위해 그림 5에 보인대로 3가지의 요 수집방법을 설정하였다. 그림 5(a)는 특별한 장치없이 자연스럽게 수집용기 안으로 배뇨하는 경우로서 배뇨 초기에 유속이 커서 수집용기의 측면을 따라 흐르다가 유속이 감소함에 따라 수면으로 직접 요가 떨어지는 상황을 나타내며, 이를 “무기구 수집”이라 명명하였다. 그림 5(b)에서는 요 수집용 깔대기를 이중 구조로 하여 배뇨 중 요가 항상 수집용기의 측면을 따라 흘러내리도록 고안하였다. 상부 깔대기는 요를 한 군데로 모이게 하고 하부 깔대기는 상하가 뒤집어진 형태로서 요를 사방으로 분산시켜 항상 수집용기의 측면을 따라 흘러내리도록 한 것이다. 이와 같이 함으로써 수집용기 바닥이나 수면 상에 요가 직접 충격을 가하지 않도록 하였다. 그림 5(c)는 상부깔대기만을 사용하여 요가 항상 수직으로 수면상의 동일한 위치에 떨어지도록 한 것으로서 그림 5(b)와 반대로 대비되는 상황을 설정하였다. 그림 5(b, c)에 보인 요 수집방법을 각각 “이중깔대기 수집” 및 “상부깔대기 수집”이라 명명하였다.

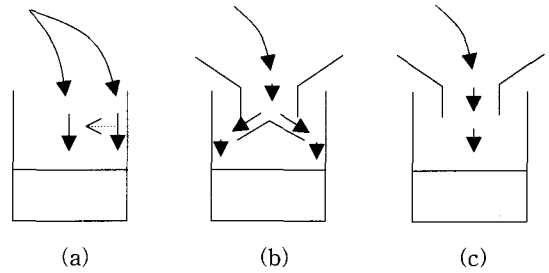


그림 5 세가지 요 수집 방식의 모식도
(a) 무기구 수집 (b) 이중깔대기 수집
(c) 상부깔대기 수집
Fig. 5 Three methods of collection urine
(a) No collecting device
(b) Dual funnel collection
(c) Upper funnel collection

그림 4에 보인 실험장치 상부의 배뇨용기를 배뇨자라 가정하고 그림 5의 3가지 배뇨방법에 따라 모의 배뇨실험을 각각 1회씩 수행하였다. 배뇨용기에 물 500mL를 채우고 하부의 배출관으로 배출시킴으로써 배뇨과정을 모사하며, 동시에 축적된 $W_{A,B,C}$ 및 W_{MEAN} 신호들을 각각 $V_{A,B,C}$ 및 V_{MEAN} 으로 변환하였다.

대부분의 전기적 출력신호는 실제 신호성분(s)과 잡음성분(n)의 합으로 구성될 것이므로 V가 식 (6)과 같이 s와 n의 합으로 구성된다고 가정하였다.

$$V = s + n \tag{6}$$

n의 주파수 대역은 s보다 훨씬 클 것이므로, s를 주파수 대역이 작은 신호모델로 근사시키면 잡음의 영향을 무시할 수 있을 것이다. 실제 s를 나타내는 시간함수($V_m(t)$)를 식 (7)과 같이 3차 다항식(3rd polynomial equation)으로 가정하였으며, t는 초(sec) 단위의 시간변수, a~d는 상수이다. V에서 n을 분리하기 위해 식 (8)과 같이 V에서 V_m 을 감산하였다.

$$V_m = at^3 + bt^2 + ct + d \approx s \tag{7}$$

$$n = V - s \approx V - V_m \tag{8}$$

3가지 수집방법으로 축적한 W에서 산출한 V에 대해 식 (7), (8)을 적용하여 s와 n을 분리하였다. 신호 대 잡음 비(SNR, Signal-to Noise Ratio)는 식 (9)로 정의하였고, 신호의 전력(power)은 진폭의 제곱에 비례하므로 식 (10), (11)로 정의하여 3가지 수집방법 각각에 대해 산출한 후 비교하였다.

$$SNR = \frac{\text{Signal power}}{\text{Noise power}} \tag{9}$$

$$SNR = \frac{\int s^2 dt}{\int n^2 dt} \approx \frac{\int V_m^2 dt}{\int (V - V_m)^2 dt} \tag{10}$$

$$SNR_{dB} = 10 \log SNR \tag{11}$$

3. 결과 및 고찰

3.1 무기구 수집 방식

그림 5(a)의 무기구 수집 방식으로 측정한 V 를 그림 6에 표시하였다. 그림 6(a)는 로드셀 C에서 얻은 신호(V_C)이고 그림 6(b)는 3개의 로드셀 신호를 합산평균한 V_{MEAN} 이다. 앞서 언급한 대로 각각의 로드셀 증폭기의 감도가 실제 무게 범위의 3배이었고 이들을 평균하였으므로 그림 6(a)와 (b)는 동일한 범위를 가진다. 즉, 그림 6(a)와 (b)를 직접 상호 비교하는 것이 가능하다. 로드셀 C의 신호만 제시하였으나 나머지 두 신호의 파형도 모두 유사하였다. 그림 6(a)에서 초기에는 V_C 신호상의 측정잡음이 작다가 점진적으로 커졌다가 작아지며 말기에 다시 대폭 커진 후 다시 축소되어 사라지는 것을 볼 수 있다. 물줄기가 떨어지는 양상을 함께 관찰하며 V_C 신호와 시간적으로 대비시킨 결과, 초기에는 유속이 커서 수집용기 측면을 따라 유입되어 로드셀이 받치고 있는 바닥면에 충격을 주지 않아 측정 잡음이 매우 작았다. 그러나 유량이 감소하여 물줄기가 수면 상부에 직접 떨어짐에 따라 잡음이 급격히 증가하였으며 이어 다시 감소하였다. 물줄기가 측면으로부터 수면으로 이동함에 따라 잡음이 커지고 이때 유량의 크기는 아직 충분히 큰 상태이었다. 이어서, 물줄기가 연속적인 형태를 유지하는 상태에서 점차 유속이 감소함에 따라 잡음도 급격히 감소하는데, 이는 부드러운 물줄기가 점차 약해져서 바닥에 가하는 충격 효과가 적어지는 것으로 판단되었다. 그 이후 유속이 더욱 감소하여 물줄기가 불연속적이 되면 방울방울 떨어지는 현상이 나타나고 이때 잡음 역시 불연속적이며 급격히 그 크기가 증가하였다. 이는 개개의 물방울이 중력에 의해 가속되면서 수면 상에 떨어져 충격 효과가 크고 이 충격 효과가 바닥으로 전해졌기 때문이다. 물이 모두 배출되고 모의 배뇨가 종료됨에 따라 V_C 는 잡음이 없는 일정한 값으로 유지되었다. 그림 6(b)는 V_{MEAN} 으로 모의 배뇨 전 과정에서 거의 잡음이 관찰되지 않았다. V_C , V_{MEAN} 으로부터 산출한 s 와 n 을 식 (9)~(11)에 대입하여 SNR_{dB} 를 계산한 결과 각각 27.5dB, 48.1dB 이었다. 두 수치 간의 차이는 약 21dB로서, 원 신호의 진폭 비율로 환산하면 약 11.2배 우수한 품질을 나타내는 것으로 삼점 평균기법으로 잡음이 제거된 신호를 얻을 수 있음을 확인하였다. V_{MEAN} 에 잡음이 거의 없으므로 식 (2)에 따라 수리미분하여 F 를 얻을 때에도 잡음이 최소화된 연속신호가 산출될 것이다.

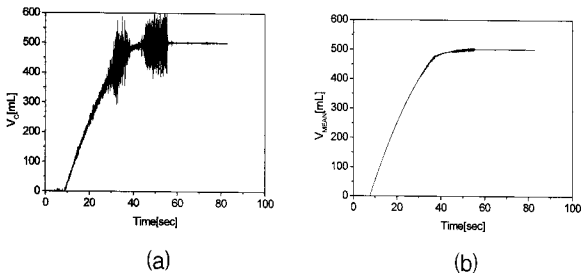


그림 6 무기구 수집 방식의 요량신호
(a) 개별 로드셀 신호 (b) 평균신호
Fig. 6 Volume signals with no collecting device
(a) Each load cell signal (b) Averaged signal

3.2 이중깔대기 수집 방식

이중깔대기 수집 방식은 그림 5(b)에서처럼 깔대기를 상하로 배치하여 요를 한 군데로 수집한 후 항상 측면을 따라 흘러내리도록 유도함으로써 바닥면에의 충격 효과를 줄이기 위해 고안한 방법이다. 그림 7(a)는 V_C 신호로서 배뇨 초기부터 종료시까지 측정잡음이 전반적으로 크고 고르게 나타났다. 무기구 수집에서처럼 물줄기의 하강 양상에 따라 잡음의 양상이 달라지지 않음을 볼 수 있다. 그림 7(b)는 V_{MEAN} 으로 V_C 보다는 신호의 변동 폭이 축소되었으며, SNR_{dB} 는 각각 25.9dB와 33.4dB로서 삼점 평균시 측정잡음이 상당히 감소하는 것으로 나타났다. 이중깔대기 수집 방식은 세 가지 수집 방식 중 용기에 가하는 충격이 가장 작을 것으로 예측하였으나, SNR_{dB} 가 무기구 수집 방식의 경우 48.1dB, 이중깔대기 수집 방식의 경우 33.4dB로서 무기구 수집 방식이 이중깔대기 수집 방식보다 합산평균시 잡음 감쇄 효과가 훨씬 컸다. 또한 이는 요를 사방으로 분산시켜 측면을 따라 흘러내리게 한다 하더라도 충격 효과가 완전히 없을 수는 없으며 특정 위치에서의 충격 효과는 작더라도 여러 위치에 충격이 가해짐을 나타낸다.

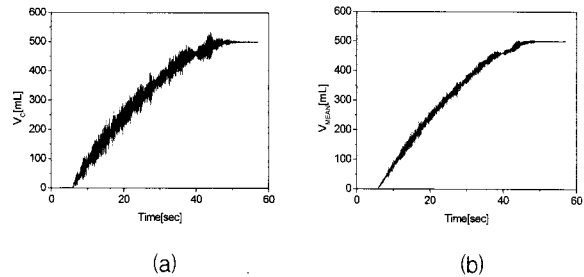


그림 7 이중깔대기 수집 방식의 요량신호
(a) 개별 로드셀 신호 (b) 평균신호
Fig. 7 Volume signals with dual funnels
(a) Each load cell signal (b) Averaged signal

3.3 상부깔대기 수집 방식

이중깔대기에서 하부깔대기를 제거하고 상부깔대기만을 사용하여 모아진 물이 수직으로 바닥에 직접 떨어지게 한 경우의 V 를 그림 8에 보였다. 그림 8(a)에 보인 V_C 신호는 이중깔대기 수집 방식(그림 7(a))과 유사하게 잡음 성분이 전반적으로 고르게 분포하였으며, 평균한 신호인 V_{MEAN} 은 잡음이 상당히 감소하였다. SNR_{dB} 는 로드셀 C의 경우 28.9dB, 삼점 평균된 경우 37.0dB로서 삼점 평균시 잡음의 크기가 축소되는 것으로 나타났다. 삼점 평균된 신호에 대해 다른 수집 방식과 비교해 볼 때 무기구 수집 방식보다는 14.7dB 작았으며, 이중깔대기 수집 방식보다는 3.6dB가 컸다. 이는 한 곳에 큰 충격이 가해지는 것이 여러 곳에서 작은 충격을 받는 것 보다 잡음이 작다는 것을 입증한다. 따라서 요를 분산하여 수집하는 것보다는 한 곳에 모아 수집하는 것이 보다 바람직한 방법이며, 이는 상부깔대기 만으로 가능함을 나타낸다.

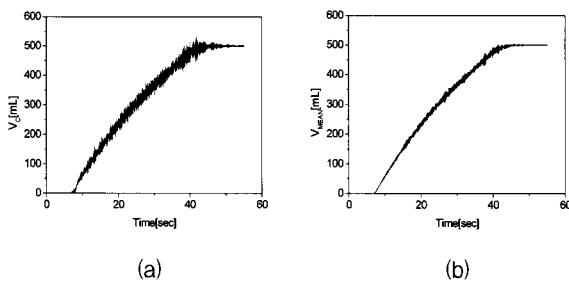


그림 8 상부깔대기 수집 방식의 요량신호
 (a) 개별 로드셀 신호 (b) 평균신호
 Fig. 8 Volume signals with upper funnel only
 (a) Each load cell signal (b) Averaged signal

4. 결 론

무게 측정방식의 표준 육속검사시 측정잡음을 축소하기 위해 3개의 로드셀 신호를 합산평균하는 기법을 고안하였다. 배뇨 상황을 가정하여 무기구 수집 방식, 이중깔대기 수집 방식, 상부깔대기 수집 방식으로 모의 배뇨 실험을 수행한 결과, 세 경우 모두 합산평균에 의해 계측잡음이 대폭 감소하였다. 즉, 3개의 신호를 합산함으로써 바닥에서의 충격효과 때문에 무질서하게 개입되는 고주파 잡음이 상쇄되는 효과가 검증되었다. 세 가지 모의 배뇨 상황 모두에서 각각의 로드셀로부터 얻은 신호보다 평균한 신호가 훨씬 작은 잡음 성분을 가지고 있었으나 각각의 로드셀 신호에 포함되어 있는 잡음 성분의 양상에는 차이가 있었다. 세 개의 로드셀 신호를 합산평균한 최종 요량신호의 경우에는 무기구 수집 방식이 가장 작은 잡음성분을 가지고 있었다. 이 방식은 물줄기의 하강 양상에 따라 매우 큰 잡음이 발생하였지만 평균신호는 잡음이 거의 없었으며, 이는 각각의 로드셀에 개입되는 충격잡음이 실제로 무질서한 잡음이었음을 의미한다. 반면에 이중깔대기 및 상부깔대기 수집 방식에서는 합산평균에 의한 잡음 상쇄효과가 상대적으로 적어서 평균신호 상에도 다소의 잡음성분이 나타났다. 이는 요의 수집 방향을 깔대기가 유도함으로써 충격잡음이 세 로드셀로 무질서하게 분산되지 않고 어떤 일관성을 가지게 되기 때문으로 판단된다. 즉, 요의 방향을 특정 방향으로 유도하는 것이 합산평균의 잡음 상쇄 효과를 축소시킨다는 것을 반증한다. 세 가지 요 수집 방식을 비교해 보면 무기구 수집 방식으로 3개의 로드셀 신호들을 합산평균하는 것이 SNR 측면에서 탁월하다는 것을 알 수 있다. 무기구 수집 방식은 3개의 로드셀을 사용하는 대신 별도의 수집 기구가 불필요하여 검사장치가 단순화되고 동시에 거의 잡음이 제거된 신호를 얻을 수 있는 장점이 있으므로 가장 우수한 육속검사법이라 결론지을 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2008년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2007-331-D00580).

참 고 문 헌

[1] 대한전립선학회, 전립선비대증, 일조각, pp. 3-15, 2004.
 [2] S.J. Berry, D.S. Coffey, P.C. Walsh, "The development of human benign prostate hyperplasia with age," J Urol, vol. 132, pp. 474-479, 1984.
 [3] B.K. Pradhan, K. Chandra, "Morphogenesis of nodular hyperplasia-prostate," J Urol, vol. 113, pp. 210-219, 1975.
 [4] P. Abrams, "In support of pressure-flow studies for evaluating men with lower urinary symptoms," Urology, vol. 44, pp. 153-155, 1994.
 [5] E. Shapiro, H. Lepor, "Pathophysiology of clinical benign prostatic hyperplasia," Urol Clin North Am, vol. 22, pp. 285-290, 1995.
 [6] 나용길, 배뇨장애와 요실금, 일조각, pp. 321-327, 2003.
 [7] 대한전립선학회, 전립선비대증, 일조각, pp. 95-104, 2004.
 [8] H.A. Guess, H.M. Arrighi, E.J. Metter, J.L. Fozard, "Cumulative prevalence of prostatism matches the autopsy prevalence of benign prostatic hyperplasia," Prostate, vol. 17, pp. 241-246, 1990.
 [9] 대한전립선학회, 전립선비대증, 일조각, pp. 127-146, 2004.
 [10] 정도운, 조성택, 남기곤, 정문기, 전계록, "로드셀을 이용한 육속검사의 구현 및 평가," 한국센서학회지, 제 13권, 제6호, pp. 436-445, 2004.

저 자 소 개



최 성 수 (崔 成 洙)

1979년 6월20일생. 2005년 충북대학교 물리학과 졸업. 2007년 충북대학교 의용생체공학과 석사. 2008년~현재 동대학 의용생체공학과 박사과정.
 E-mail : css7391@hotmail.com



이 인 광 (李 仁 光)

1979년 6월20일생. 2005년 충북대학교 물리학과 졸업. 2007년 충북대학교 의용생체공학과 석사. 2008년~현재 동대학 의용생체공학과 박사과정.
 E-mail : kwang4005@nate.com



이 상 봉 (李 相 奉)

1982년 2월 3일생. 2007년 충주대학교 공과대학 기계공학과 졸업. 2008년~현재 충북대학교 의용생체공학과 석사과정.
E-mail : taz230@hanmail.net



박 준 오 (朴 準 五)

1977년 2월11일생. 2003년 충북대학교 의과대학 의학과 졸업. 2007년 충북대학교 의용생체공학과 석사. 2009년~현재 동대학 의용생체공학과 박사과정.
E-mail : jokass@hanmail.net



이 수 옥 (李 修 玉)

1977년 4월10일생. 2005년 충남대학교 보건대학원 보건학과 석사. 2009년~현재 동대학 의용생체공학과 박사과정.
E-mail : curetell1@hanmail.net



차 은 종 (車 殿 宗)

1957년11월 7일생. 1990년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1987년 미국 남가주대학 의공학과 박사. 1988년~현재 충북대학교 의과대학 의학과 교수.
E-mail : ejcha@chungbuk.ac.kr



김 경 아 (金 敬 娥)

1968년 8월 30일생. 1991년 충북대학교 물리학과 졸업. 1993년 동대학 물리학과 석사. 2001년 동대학 의용생체공학과 박사. 2005년~현재 충북대학교 의과대학 의학과 조교수.
E-mail : kimka@chungbuk.ac.kr