

체중 변화 측정을 통한 남성 배뇨량 추정 방법 연구

A Study on Urination Amount Estimation for the Male by the Measurement of Body Weight Difference

임용규

Yong-Gyu Lim

요약

본 논문에서는 일상생활에서 무구속, 무간섭으로 장기간의 건강 모니터링의 기술 개발의 기초 연구로서 남성의 배뇨 중의 체중 변화를 측정하여 배뇨량을 추정하는 방법에 대한 성능 평가를 수행하였다. 배뇨 중의 체중 변화 측정은 로드셀(load cell)을 이용하여 넓은 체중 측정판을 만들고, 이 판을 소변기 또는 좌변기의 앞에 놓았다. 남성이 체중 측정판 위에 올라가 서서 배뇨를 하는 동안, 남성의 체중을 연속적으로 측정하였다. 배뇨 전과 배뇨 후의 체중의 변화를 계산하여 그 체중 변화 즉 감소량으로 배뇨한 소변량을 추정하였다. 실험 결과는, 배뇨 중에 발을 옮기거나 급격히 몸의 자세를 바꾸지 않는다면 체중의 감소로 소변량을 계산할 수 있음을 보였으며, 최대 약 40g 정도의 오차를 보였는데, 이 결과는 일상생활에서의 건강 모니터링에 적용할 수 있을 것으로 보인다. 이 연구의 결과는 일반 가정에서의 실용적인 무구속 무간섭 건강 모니터링 기술 개발에 기여할 것으로 기대된다.

ABSTRACT

In this study, a method for estimating the amount of urination for men, was suggested and its performance was evaluated. This study is a preliminary one for the development of a health monitoring system that needs un-constraining, non-intrusive and long-term measurements in daily life. To estimate the amount of urination, a wide weighing plate with load cell was built and the difference in a man's weights between before and after urination was measured while he was standing on the plate. The results showed that the amount of urination can be estimated with the measured weight difference under the condition of mild movements. The largest measurement error of the suggested method was 40g, which means that this method can be applied to health monitoring in daily life. It is expected that the results of this study will be the basis for developing practical un-constraining and non-intrusive health monitoring system for daily use at home.

Keywords : *u-Healthcare, Weighing Scale, Health Monitoring, Amount of Urination*

I. 서론

경제 발전과 의학의 발전에 의해, 일상생활에서의 건강에 대한 관심 증대되고 질병의 조기 진단과 질병의 지속적 진행 관찰에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 따라, 기존의 병원이라는 한정된 공간에서 진단 목적으로만 시행되던 생체신호 측정을 가정과 일상생활에서 시행하고자 하는 연구가 증가하고 있다 [1]-[3]. 이에 따라 일상생활에서의 생체신호계측에 적용할 수 있는 여러 생체신호 측정 기술이 개발되고 있다[4]-[6].

일상생활에서의 생체신호계측을 위해서 새로운 측정 방법을 연구하기도 하지만 일부 연구는 기존의 일상생활에서 쉽게 접하는 가구 또는 기구물을 이용하여 건강진단을 위한 생체 계측을 시도하는 연구들도 있다. 그 대표적인 것으로 체중계를 이용한 건강

모니터링 연구이다. 체중계는 병원 등의 전문 의료기관뿐만 아니라 일반 가정에도 널리 보급되어 우리 주위에서 쉽게 볼 수 있는 계측기이다. 요즘은 대부분의 사람들은 최소한 일주일에 한번 이상은 체중계에서 체중을 재고 있으며, 체중의 변화에 대한 관심도 매우 크다. 또한 경제적인 측면에서 체중계의 가격은 매우 낮은 편으로 체중계를 어떠한 측정 시스템의 일부 부속품으로 사용할 수 있을 정도로 저렴해졌다.

체중계의 기능을 확장하면 단순한 체중계 이상의 역할을 할 수 있다. 한 가정에서 정해진 가족 구성원이 있다고 할 때, 체중을 측정함으로써 현재 체중을 재는 사람이 가족 중에 누구인지 구별할 수 있다. 체중계를 공간적으로 확장한다면 보행 분석도 가능하다[7]. 또한 체중계에서 측정되는 심탄도(ballistocardiogram)를 이용하여 심박수를 측정하고 더 나아가 혈압까지 추정하는 연구도 진행되고 있다[8][9].

일본의 Tamura 교수 연구팀은 화장실 변기에 설치된 체중 측정 시스템을 이용하여 배변 중에 체중뿐만 아니라, 배변량과 배뇨량을 측정하는 연구를 진행하였다[10][11]. 그 들이 제안한 측정시

* 상지대학교

투고 일자 : 2015. 4. 3 수정완료일자 : 2015. 4. 30

게재확정일자 : 2015. 5. 1

※본 논문은 2013년도 상지대학교 교수 연구년제 지원에 의한 것임.

시스템은 화장실 변기를 둘러싸고, 화장실 바닥까지 덮는 큰 장치로서 실제 일반 가정에 설치하기로는 미관상의 문제, 설치비용 그리고 청소의 어려움 등으로 부적합한 것으로 분석된다. 이와 달리, [12]에서는 변기의 상판에 고정하는 방식을 제안하였는데, 이 방식은 앞의 Tamura 방식보다 설치가 간단한 장점이 있지만, 정확한 측정을 위해서는 사용자의 다리가 바닥에 닿지 않아야 한다는 제약조건이 있다. 이 또한 설치 및 사용에 큰 불편을 주는 조건이라 하겠다. 또한 위의 두 방식의 큰 단점은 서서 소변을 보는 경우는 측정이 불가하다는 점이다. 각 나라마다 문화적 차이가 있겠지만, 우리나라의 경우, 상당수의 남성은 좌변기 앞에 서서 배뇨를 하는 경향이 있는데, 이러한 경우 위의 두 방식으로는 소변량을 측정할 수 없다. 그런데, 중년 이후의 남성들에게서 배뇨 장애가 많이 발생하여 오히려 남성들의 배뇨량 측정 필요성이 절실한 실정이다.

본 연구를 통해, 선행연구들의 단점을 보완하여 일상생활에서 사용자의 구속감을 최소화 하고 더 나아가 무자각 측정을 실현하여 사용자의 일상생활에 간섭을 최소화 하는 소변량 측정 기술을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 방법은 서서 소변을 보는 남성의 체중을 연속적으로 측정하여, 소변 전과 소변 후의 체중의 차이를 계산하여, 이 값을 소변량의 추정치로 간주하는 것이다. 제안된 방법은 서서 소변을 보는 남성의 경우에만 적용될 수 있는 제한이 있지만, 이 방법은 [12]와 같은 선행 연구에서 제안된 변기 상판에 로드셀을 부착하여 변기에 앉은 사용자의 배변량과 배뇨량을 추정하는 장치와 같이 설치되어, 상호 보완적으로 사용되는 것을 전제로 한다.

본 연구에서는 서서 소변을 보는 남성의 체중을 무구속적이고 연속적으로 측정할 수 있도록 넓은 체중 측정판을 설계하였고, 이를 이용한 소변량 계측 방법의 성능을 조사하였다.

II. 배뇨량 측정 시스템 구성

2.1 측정 시스템 구성

배뇨 전후의 체중 변화량을 측정하는 시스템은 다음 그림 1과 같이 구성되었다. 체중을 측정하는 넓은 체중 측정판과 측정판에 부착된 load cell로부터의 전기적 신호를 처리하는 아날로그 회로 그리고 ADC를 거쳐 얻어진 디지털 신호를 처리하는 부분으로 구성되었다. 체중 측정판을 소변기 앞에 놓고, 어떤 남성이 소변을 보기 위해 소변기 앞에 서게 되면 체중 측정판 위에 올라가게 된다. 이때 측정판으로 그 사람의 체중을 연속적으로 측정하여 배뇨 전후의 체중 변화를 측정하는 방식이다.

체중 측정판은 그림 2와 같이 50cm x 60cm 크기와 두께 1.5cm의 나무판으로 그 나무판의 네 귀퉁이 아래에 4개의 load cell을 부착하였다. 사용된 로드셀은 그림 3와 같은 납작한 팬케이크형으로 높이는 2.5 cm이다. 사용된 로드셀의 사양은 표1에 표시되었으며, 최대 측정 가능 무게는 50 kg이다.

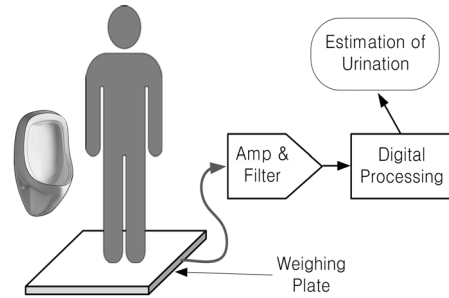


그림 1. 배뇨 전후의 체중 측정 시스템 구성.

Fig. 1. The composition of measurement system for the difference between the body weights before and after urination.

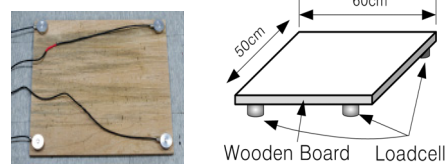


그림 2. 체중 측정판.

Fig. 2. Weighing plate.



그림 3. 팬케이크 형 load cell.

Fig. 3. Pancake-type load cell.

표 1. loadcell의 사양.
Table 1. Specification of load cell.

Model	MNC-50L
Manufacturer	CAS (Korea)
Max. Capacity	50 kgf
Rated output	2 mV/V

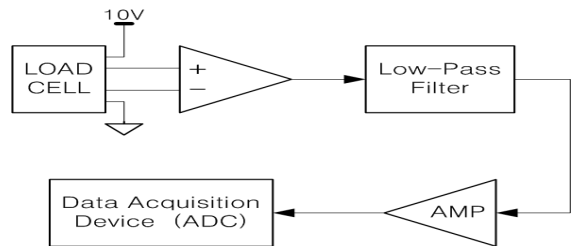


그림 4. 측정 장치의 전기적 구성도.

Fig. 4. Electric diagram of the system.

그림 4에 측정 장치의 전기적 구성을 나타내었다. 로드셀에는 10V를 인가하였으며, 로드셀에서 출력되는 전압 신호는 초단의 계측용 증폭기(INA114, TI)에 의해 10배로 증폭되고, 차단주파수가 20Hz인 2차 저역통과 필터를 통과하여, 마지막으로 50배 증폭이 되어 회로의 전체 이득은 500이 되었다. 증폭된 아날로그 신호는 data acquisition device (NI USB-6215)에 의해 -10V ~ 10V 사이에서 16bit 디지털 신호로 변환되었다. 구성된 측정시스템의 이론적 분해능은 약 1.5g (50kg / 32768)으로 계산된다.

2.2 실험 장치 구성

제작된 체중 측정 시스템으로 추정된 배뇨량과 실제의 배뇨량의 차이를 비교하기 위한 실험 장치를 구성하였다. 실험 장치는 그림 5와 같은 간이 소변기를 이용하여 구성하였다. 실제 배뇨량을 실시간으로 연속적으로 측정하기 위해, 별도의 평판형 로드셀을 소변기 뒤에 설치하였다. 소변 저장용 통을 그 위에 올려놓고 배뇨되는 소변을 그 통에 받으면서, 소변량을 연속적으로 측정하였다.

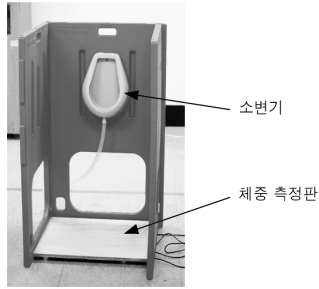


그림 5. 평가용 실험장치 구성.
Fig. 5. Experimental setup for evaluation.

III. 결과 및 토의

그림 6과 그림7는 체중 측정판으로 측정된 배뇨 중의 체중 변화를 예를 보여준다. 제일 위 그래프인 (a)는 배뇨량 측정의 비교를 위하여 추가로 설치된 평판형 로드셀로 측정된 실제 배뇨량을 나타낸 것이다. (c)는 체중 측정판으로 측정된 체중 변화 파형을 보여 주고 있으며, 가운데 그래프인 (b)는 체중 측정판으로 측정된 체중 변화 파형을 확대하여 체중의 변화를 보기 쉽게 나타낸 것이다. (b)에서 회색으로 표시된 파형은 측정된 체중 변화 파형을 보여주고, 진하고 굵은 실선으로 나타낸 파형은 1초의 폭으로 계산한 이동 평균 그래프이다.

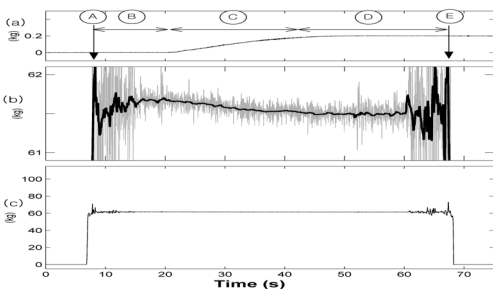


그림 6. 체중 측정판으로 측정된 파형 예.
Fig. 6. An Example of waveform measured with weighing plate

그림 6에서, ㉑ 시점에서 실험 참가자는 체중 측정판 위에 올라갔음을 알 수 있고, ㉒구간의 배뇨전 구간(pre-urination)에는 소변기에 접근하는 동작과 하의 탈의 동작 등에 의해, 체중 측정판에서 측정된 파형에 큰 크기의 변화량으로 나타나는 것을 볼 수 있다. ㉓ 구간은 배뇨 구간으로, 배뇨에 따른 체중 감소와 그 반대로 배출된 소변량의 시간에 따른 증가를 볼 수 있다. ㉔구간은 배뇨후 구간 (post-urination)이라 정의할 수 있으며, ㉕시점에서 실험 참가자는 체중 측정판에서 내려왔다. 그리고 배뇨 중에는 신체의 움직임에 의한 파형의 요동이 작아짐을 볼 수 있다.

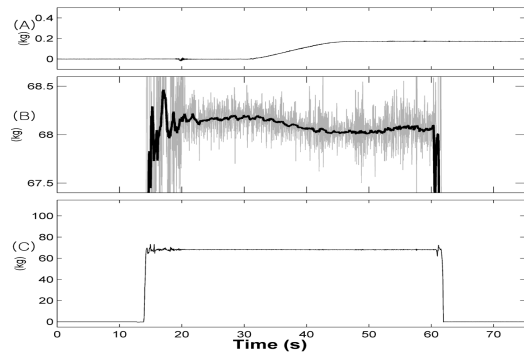


그림 7. 체중 측정판으로 측정된 파형 예.
Fig. 7. An Example of waveform measured with weighing plate.

한편, 배뇨 중에도 높은 주파수의 잡음이 보이는데, 피측정자가 체중 측정판에서 내려오면 잡음이 data acquisition의 분해능 수준까지 줄어드는 것으로 보아, 잡음은 인체의 어떠한 움직임에 의한 것임을 알 수 있다. 잡음을 일으키는 인체의 움직임으로는 심장 박동에 따른 신체의 움직임 즉 심탄도 (ballistocardiogram)[8]나 서있는 자세를 유지하기 위한 동적 균형 과정에 의한 인체의 미세한 움직임[13] 등이 있을 것으로 예상된다.

제작된 실험 장치를 이용하여 12명의 참가자로부터 배뇨 중의 체중 변화를 측정하여 배뇨량 추정을 실시하였다. 표2는 그 결과를 보여준다. 실험 참가자는 20대의 비교적 건강한 청년들이다. 참가자들에게는 배뇨 중에 몸을 심하게 움직이지는 않으면서 자연스럽게 평소와 같이 배뇨를 하라고 요구하였다. 표2에서 ①번 배뇨량 열은, 별도의 평판형 로드셀로 직접 측정된 소변량을 나타내며, ②번 측정량 열은, 체중 측정판으로 측정된 체중 변화량에서 계산된 배뇨량을 나타낸다. 배뇨가 시작된 시점과 배뇨가 끝난 시점의 체중을 빼서 계산하였다. 체중 계산은 각 시점에서 각각 2초간 평균하여 계산하였다.

문헌[14]에 의하면 인간은 방광에 소변이 200ml 이상이 모이면 배뇨 반사가 일어나 요의(尿意)를 느낀다고 한다. 이런 점에 비추어 보면, 참가자들의 배뇨량이 전반적으로 적은데, 이유는 요의(尿意)를 느끼기 전에 실험 참가를 위해 배뇨를 했기 때문으로 분석된다.

표 2에서 체중 변화를 이용한 소변량의 추정치와 소변량의 직접 계측에 의한 측정치의 오차는 최대 43g으로 나타났다. 이 오

차는 평균 119g 인 배뇨량에 비하면, 기대한 것보다는 큰 값이다. 이 정도의 오차로는 병원에서의 정밀 진단용으로는 도저히 사용할 수는 없을 것이다. 하지만 이 연구의 목적이 일반 가정에서의 무구속적, 무간섭적 그리고 장기간의 측정을 통한 건강 모니터링이라는 점을 고려하고, 향후의 연구를 통해 오차의 감소를 기대한다면, 이 방법을 실용화가 가능할 것으로 기대한다. 아직 이 분야의 기술 개발이 연구 수준에 머물러 있고, 실제 실용화는 아직 이루어지지 않은 상태라, 실용화에 필요한 오차 수준에 대한 연구도 아직은 없는 상태이다.

이렇게 큰 오차를 발생시키는 가장 큰 요인은 몸의 움직임으로 분석된다. 측정에 오차를 일으키는 몸의 움직임은 크게 다음의 두 가지 형태로 나타남을 관찰하였다. 첫째는 그림 7에서 보이는 긴 주기의 baseline의 변동이다. 이는 천천히 발생하는 무게 중심의 이동으로 생긴다. 두 번째는 그림 8에서 보이는 것과 같은 짧은 순간 발생하는 동작에 의한 것으로 이는 발이나 손의 작은 움직임에 의해 발생한다. 두 번째 형태의 움직임에 의한 파형의 요동이 전체 구간이 아닌 일부 구간에서만 짧게 나타나는 경우는, 움직임이 없는 구간을 찾아서 체중 변화를 계산한다면, 이 움직임의 영향을 최소화할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

표2의 오차를 보면, 오차의 평균이 -12g으로 0에서 많이 벗어나 있는 것을 볼 수 있다. 이는 측정시스템에 시스템적인 오차 요인이 있는 것으로 유추되며, 향후 추가의 연구를 진행하면 오차의 크기를 줄일 수 있을 것이라고 기대할 수 있다.

표 2. 배뇨량 측정 결과
Table 2. Estimation results of urination.

참가자	체중 (kg)	배뇨량 (g) ①	측정량 (g) ②	측정오차 (g) ②-①
1	51	135	92	-43
2	61.5	196	168	-28
3	62	136	148	12
4	79.5	147	125	22
5	77.5	420	447	27
6	55	74	65	-9
7	68	172	140	-32
8	81.5	60	48	-12
9	48	77	63	-14
10	77	78	93	15
11	69	35	36	1
12	64	39	1	-38
평균	66	131	119	-12
최대	81.5	420	447	27
최소	48	35	1	-43

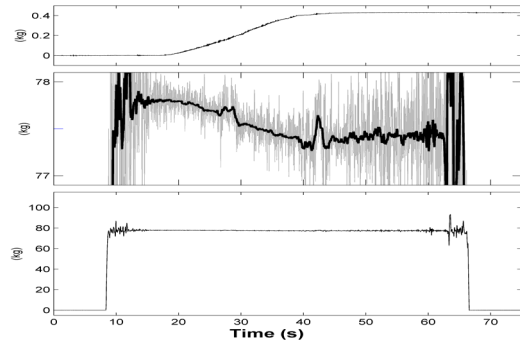


그림 8. 체중 측정판으로 측정된 파형 예.
Fig 8. An Example of waveform measured with weighing plate.

IV. 결론

본 연구에서는 서서 소변을 보는 남성의 체중 변화를 측정하여 소변량을 추정하는 장치를 구성하고 성능을 조사하였다. 본 연구는 쉽게 일반 가정집에 설치할 수 있으며, 일상생활에서 피검자의 구속감을 최소화하고, 불편을 최소화하면서 장기간 배뇨량을 모니터링 할 수 있는 방법을 개발하기 위한 목적으로 진행하였으며, 본 연구의 결과는 제안된 체중 변화 측정을 통한 배뇨량 추정 방법이 그 목적에 적용할 수 있는 가능성을 보여주었다. 그리고 제안된 방법의 성능을 개선하기 위해서는 움직임의 영향을 줄이기 위한 하드웨어 그리고 신호처리에서 추가의 연구가 필요함도 보여주었다.

본 연구에서 제안한 방법은 남성이 서서 배뇨를 할 경우에만 적용할 수 있다. 이 방법은, 선행 연구들에서 개발한 변좌에 앉은 사용자의 배뇨량을 측정하는 장치와 병행으로 설치되어, 상호 보완적으로 배뇨량을 측정하는데 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

이 연구의 성과를 기반으로, 향후에 움직임의 영향을 줄이기 위한 연구와 저가 로드셀을 이용한 시스템 구성 연구를 진행할 계획이다.

참고 문헌

[1] M. Ogawa and T. Togawa, "Attempts at Monitoring Health Status in the Home," in *1st Annu. Int. IEEE-EMBS Special Topic Conf. on Microtechnologies in Medicine & Biology*, 2000, pp. 552-556.
 [2] A. Kawarada, et al., "Fully Automated Monitoring System of Health Status in Daily Life," in *Proc. 22nd Annu. EMBS Int. Conf.*, July 2000, pp. 531-533.
 [3] W. W. Flemons, et al., "Home Diagnosis of Sleep Apnea: A Systematic Review of the Literature," *Chest*, 124, pp. 1543-1579, 2003.
 [4] Y. J. Chee, J. M. Han, et al. "Air mattress sensor system with balancing tube for unconstrained

measurement of respiration and heart beat movements," *J. Physiological Measurement*, Vol.26, pp.413-422, 2005.

[5] Y. G. Lim, K. H. Hong, et al., "A Non-intrusive Pre-ejection Period Measurement Utilizing Mechanocardiogram on a Chair," in 2006 Proc. BioCAS.

[6] J. S. Kim, J. W. Park, et al. "Development of a Nonintrusive Blood Pressure Estimation System for Computer Users," *J. Telemedicine and e-Health*, Vol. 13(1), pp.57-64, 2007.

[7] H. S. Ranu., "Miniature load cells for the measurement of foot-ground reaction forces and centre of foot pressure during gait," *J. Biomedical Engineering*, Vol. 8(2), pp.175-177, 1986.

[8] R. Gonzalez-Landaeta, O Casas et al. "Heart rate detection from an electronic weighing scale," *J. Physiological Measurement*, Vol. 29(8), pp.979-988, 2008.

[9] J. H. Shin, K. M. Lee et al. "Non-constrained monitoring of systolic blood pressure on a weighing scale," *J. Physiological Measurement*, Vol. 30(7), pp.679-994, 2009.

[10] T. Tamura, T. Togawa et al. "Fully automated health monitoring system in the home," *J. Medical Engineering & Physics*, Vol. 20, pp.573-579, 1998.

[11] T. Tamura, A. Kawarada et al. "E-Healthcare at an Experimental Welfare Techno House in Japan," *J. Open Medical Informatics*, Vol. 1, pp.1-7, 2007.

[12] E. Canecaude, "Device for weighing individuals on a toilet seat," US Patent 4697656, 1987

[13] D. Winter, "Human balance and posture control during standing and walking," *J. Gait & Posture*, Vol. 3(4), pp.193-214, 1995.

[14] 이한기 외, 해부생리학, 현문사, 2009, p376.



임 용 규 (Yong-Gyu Lim)

正會員

1988년 2월 서울대 제어계측(공학사)

1990년 2월 서울대 제어계측(공학석사)

2006년 2월 서울대 의공학협동과정
(공학박사)

1990년 2월 ~ 1995년 4월 삼성중공업 주임연구원

1995년 5월 ~ 2001년 1월 삼성종합기술원 선임연구원

2007년 2월 ~ 현재 상지대학교 한방의료공학과 조교수

※주관심분야 : 의용계측, MRI 시스템