Regular Paper
J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 29, No. 3, pp. 141-146 March 2016
DOI: http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2016.29.3.141
ISSN 1226-7945 (Print), 2288-3258 (Online)

가변 콘덴서를 이용한 디지털 수도미터의 설계 및 제작

박근형[a]
충북대학교 전자공학부

Design and Fabrication of Digital Water Meter Using a Variable Capacitor

Keun-Hyung Park[a]
College of Electrical & Computer Eng., Chungbuk National University, Chungbuk 28644, Korea111

(Received February 22, 2016; Revised February 23, 2016; Accepted Feburuary 24, 2016)

Abstract: The AMR(automatic meter reading) system has been increasingly and widely used for its efficient and intelligent management, which is a technology that automatically collects consumption data from a water meter or energy metering device. The digital meter instead of the mechanical meter should be used in the system. Up to now, various types of sensor to measure the water flow rate have been used in the digital water meter, for example, reed switch, photo IR approximate sensor, ultrasonic sensor, electromagnetic sensor, etc. In this paper, a new sensing technology, where a variable capacitor and digital circuit were used for sensing the water flow rate, was proposed. The circuit was designed and verified by Pspice simulation. And a PCB board for the circuit was fabricated. After then, a prototype of digital water meter using a variable capacitor to measure the water flow rate was fabricated. The function tests of the fabricated digital water meter were performed, and it was found that the meter worked properly. Since the new technology has much better properties in terms of cost and power consumption compared to conventional technologies, it should be one of the major digital water meter technologies in the future.

Keywords: Water meter, Automatic meter reading

1. 서 론

현재 원격검침(AMR: Autometic Meter Reading) 시스템의 보급이 국내•외적으로 아주 빠르게 확산되고 있다[1, 2]. AMR 시스템은 가정이나 사무실 또는 공장 등에 설치된 전자식 미터와 무선 통신망을 이용하여 전기, 수도, 가스 및 난방의 사용량을 검침원들이 일일이 호별 방문을 하지 않고도 원거리에서 측정할 수 있는 유비쿼터스 센서 네트워크(USN) 시스템의 일종이다. AMR 시스템이 도입되면 각 에너지의 사용량을 보다 더 정확히 검침할 수 있으며, 직접 현장을 방문할 필요가 없기 때문에 검침원들의 감축과 함께 검침 비용을 줄일 수 있다. 또한 호별 방문 과정에서 검침원과 소비자 사이에 발생하는 불필요한 분쟁을 줄일 수 있다. 더 나가서 각종 에너지의 시간대별, 계절별, 지역별 사용량 등에 관한 정보들을 수집하여 에너지 소비 패턴을 구체적으로 파악할 수 있으며, 이를 기초하여 에너지 공급 시스템을 보다 체계적으로 계획하고 관리할 수 있다. 더 나가서 보다 정밀한 에너지의 중장기적 수급 계획을 세울 수가 있다.

AMR 시스템의 도입은 북미와 유럽의 선진국들을 중심으로 검침 비용 절감과 에너지의 효율적인 관리 및 고품질 서비스 제공을 목적으로 빠르게 확산되고 있으

a. Corresponding author; khp@cbnu.ac.kr

Copyright ©2016 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

며, 아시아 지역에서는 우리나라, 일본 중국을 중심으로 AMR 시스템의 도입이 크게 증가하고 있다. 따라서 전 세계적으로 AMR 시스템의 시장은 향후 수 년 이내로 급속도로 팽창할 것으로 전망되고 있다 [3,4].

이러한 AMR 시스템에서는 기존의 기계식 미터는 사용할 수가 없으며, 계량기의 검침 값을 외부에 전기적으로 공급할 수 있는 전자식 미터가 사용되어야 한다. 현재까지 상용화된 주요 디지털 수도미터로는 리드 스위치, 적외선 센서, 전자기식 유량계, 초음파 센서 등을 이용한 수도미터가 있다 [5].

리드 스위치는 자석에 의한 자기장의 원리로 구동된다. 디지털 계량기에서는 고정판과 회전판에 강한 자성체의 성격을 가진 금속 리드 소자를 각각 두고 두 소자가 근접했을 때 두 개의 리드소자가 서로 끌어당겨 결합이 이루어지고 이를 통하여 회전판의 회전수를 적산한다. 이 방식의 가장 큰 단점은 두 개의 리드 소자가 끊임없이 결합하고 또 떨어지고 하기 때문에 내구성이 약하다는 것이다.

적외선 센서 방식은 회전판의 특정 위치에 구멍을 뚫고 LED로부터 일정한 주기로 연속적으로 방출되는 적외선이 구멍을 통하여 적외선 센서에 감지되도록 구성하고 이를 통하여 회전판의 회전수를 적산하도록 한 방식이다. 이 방식의 가장 큰 단점은 계속적으로 LED가 적외선을 방출해야 때문에 전력소모가 크다는 점이다.

전자기식 유량계를 사용하는 방식은 Faraday의 전자유도 법칙을 측정 원리로 삼은 것으로 수도미터 내부에 1대의 전극을 설치하고 이 전극 방향에 수직 방향으로 자계를 주도록 구성되어 자계 방향에 수직으로 설치된 관로에 유체가 흐를 경우 발생하는 기전력을 이용하여 유량을 측정하는 유량계로, 가격이 상당히 고가인 단점을 갖고 있다.

초음파 센서 방식은 유체가 흐르고 있는 관내에 음파를 보내면 그 전반 속도는 유체의 흐름 영향을 받아 흐름과 동일방향에 대해서는 정지되어 있을 때의 음속에 유속을 가한 속도로 전해지고, 반대 방향에는 반대로 유속을 뺀 속도로 전해진다. 이 두 가지 방향의 음속의 차를 측정하면 유속이 구해지고, 이것을 이용하여 유체의 체적 유량을 측정할 수 있도록 한 것이다. 이 방식의 가장 큰 단점은 측정 결과가 외부 환경에 아주 민감하다는 것이다. 예를 들면, 배관 내의 벽면의 상태, 배관 내에 물이 차 있는 정도, 유체 중의 기포 유무 등이다. 본 논문에서는 가변 콘덴서를 이용한 새로운 수돗물 유량 검출 방식을 제안하고 있다. 이 방식은 저자가 아는 한 세계적으로 아직까지 학계에 연구결과가 보고된 적이 없다. 이 새로운 검출 방식의 장점은 앞에서 언급한 기존의 검출 방식들 보다는 월등히 더 저렴하고 저 전력 특성을 갖고 있다는 점이다. 본 연구에서는 이 새로운 검출 방식을 이용하는 디지털 수도미터를 설계, 제작하고 동작 특성을 측정한 결과들을 논의하였다.

2. 실험 방법

2.1 가변 콘덴서를 이용한 검출 방식

본 논문에서 제안한 검출 방식은 기존의 기계식 수도계량기를 부분 수정하여 전기적으로 검침할 수 있도록 고안된 방식이다. 잘 알려져 있는 바와 같이, 기존의 기계식 수도미터는 수도미터 내부에 설치되어 있는 프로펠러가 수도관을 따라 흐르는 물의 유량에 비례한 속도로 회전하게 되고, 이 프로펠러의 회전수를 측정하여 수도관을 지나간 수돗물의 양을 계량하도록 설계되어 있다.

본 논문에서 제안한 방식은, 아래 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 앞에서 말한 프로펠러에 부착된 회전판 위에 금속 박막을 부착한다. 그 금속 막의 모양은 그림 1에 나타나있다. 그리고 그 회전판과 정면으로 마주보고 있는 위치에 고정판을 설치하고, 그 고정판 위에는 그림 1의 아래 판에 보이는 모양대로 금속 박막을 부착한다. 그리고 그림 1과 같이 고정판에 2개의 단자, 즉 단자 a와 b를 만든다. 그러면 단자 a와 단자 b 사이에는 회전판이 회전하면서 정전용량이 변하는 가변 콘덴서가 만들어진다.

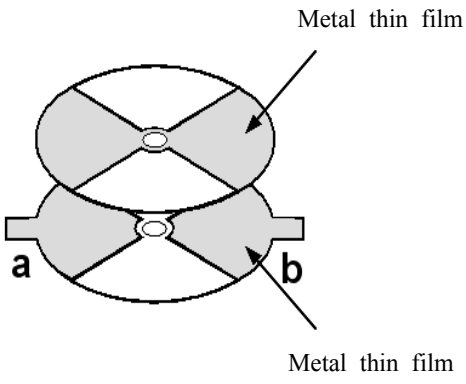

Fig. 1. Designed Variable Capacitor.

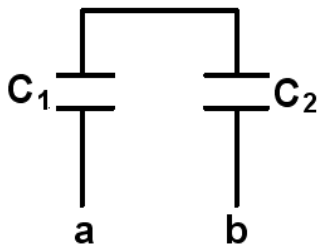

Fig. 2. Capacitive Equivalent Circuit.

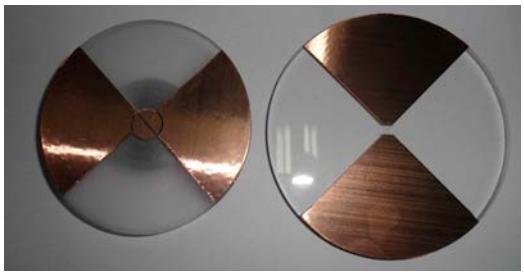

Fig. 3. Plain view of fabricated variable capacitor.

그림 2는 이러한 가변 콘덴서의 등가회로이다. 등가회로에서 볼 수 있는 바와 같이 단자 a와 단자 b 사이에는 두 개의 콘덴서, 즉 C_1과 C2가 직렬로 연결된 상태가 되어서 단자 a와 단자 b 사이의 정전용량, C_T는 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} \quad (1)$$

만일 C_1 = C_2 = C 라면, C_T=0.5 C가 된다. 그리고 C의 값은 회전판과 고정판에 부착된 금속 박막들이 서로 마주 보고 있는 면적에 비례하게 된다. 따라서 회전판이 회전함에 따라 마주 보고 있는 면적이 계속 변함으로 C_T의 값도 계속 변하게 된다. 이러한 C_T값의 변화량을 전기적으로 계속하여 모니터링하고 그 정보를 이용하면 우리는 쉽게 회전판의 회전수를 계산할 수 있다.

본 논문에서 제작한 디지털 수도미터는 앞에서 설명한 가변 콘덴서, 가변 콘덴서의 가변되는 정전용량을 계속 모니터링하고 회전판이 180° 회전할 때마다 출력단에 1개의 전압 펄스를 내보내는 센싱 회로, 센싱 회로에서 내보내는 전압 펄스를 적산하여 회전판의 총 회전수를 계산하는 카운팅 회로와 기계적인 기구 등으로 구성되어 있다.

2.2 가변 콘덴서의 설계 및 제작

먼저, 가변 콘덴서가 그림 1과 같이 설계되고, 정밀기계가공업체에 의뢰하여 제작되었다 (그림 3). 그림 3은 설계하고 제작된 가변콘덴서의 평면도를 보여주고 있다. 왼쪽에 있는 것이 회전판이고 오른쪽에 있는 것이 고정판이다. 고정판에는 2개의 단자가 금속 박막에 작은 구멍을 뚫고 금속 나사를 조립 하여 제작되었다. 회전판과 고정판은 약 8 mm 두께의 아크릴 판을 가공하여 만들었으며 회전판에 부착된 금속 박막의 직경은 90 mm, 고정판에 부착된 금속 박막의 직경은 110 mm이었다. 조립 과정에서 회전판의 금속 박막과 고정판의 금속 박막 사이의 간격을 0.1 mm로 하였다. 그러므로 이 가변 콘덴서의 최대 정전용량은 약 450 pF로 계산되었다.

2.3 센싱 회로의 설계 및 제작

다음으로 센싱 회로가 설계되고, Pspice 시뮬레이션을 통하여 1차로 동작을 검증하였다. 다음으로 시뮬레이션 결과를 기초로 브레드 보드에 회로를 구성하고 오실로스코프를 사용하여 그 회로의 전기적인 특성들을 측정하였다. 그리고 측정 결과들을 분석하고 회로를 수정하였으며, 최종적으로 PCB 보드를 설계•제작하였다 (그림 4).

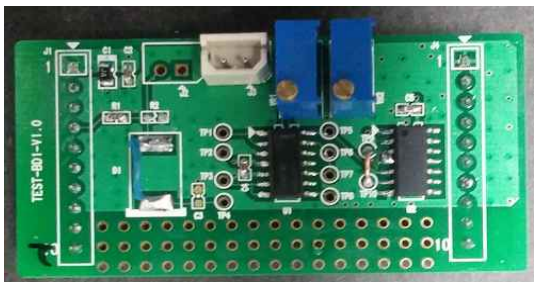

Fig. 4. Fabricated PCB board.

2.4 기구의 설계 및 제작

실험용 전자식 수도미터의 기구가 설계되고 약 8 mm 두께의 아크릴 판을 가공하여 제작되었다 (그림 5). 기구 내부의 중간 부분에는 제작된 고정판과 회전판이 부착되고, 그 아래에는 스텝 모터가 설치되었다.

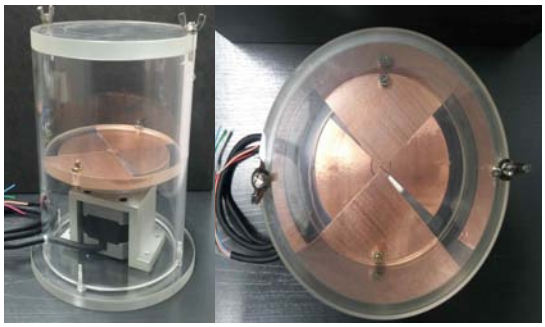

Fig. 5. Photograph of fabricated frame.

상용화된 기존의 기계식 수도미터는 수도미터 내부에 설치되어 있는 프로펠러가 수도관을 따라 흐르는 물의 유량에 비례한 속도로 회전하게 되고, 이 프로펠러의 회전수를 측정하여 수도관을 지나간 수돗물의 양을 계량하도록 설계되어 있으나, 본 연구에서는 우선 먼저 제안한 아이디어의 실현 가능성을 검증하는 것을 1 차 연구 목적으로 정하였기 때문에 도체 회전판의 회전을 스텝 모터를 이용하여 구현하였다. 이를 위하여 Autonics사의 스텝 모터(A2K-S544)와 속도 제어를 위한 스텝 모터 드라이버(MD5-HF14-A)가 사용되었다. 이러한 스텝 모터의 구동축에 금속판 회전판을 장착하여 회전판이 아주 느린 속도로(초당 2회 이내) 회전하도록 설계하였다.

2.5 실험용 수도미터의 조립과 측정

준비된 모든 부품들을 사용하여 원형 디지털 수도미터가 조립되었다(그림 6). 제작된 기구의 오른쪽에 놓여있는 것이 스텝 모터 드라이브이고, 위에 놓여있는 PCB 보드와 결합된 LaunchPad development kit이다.

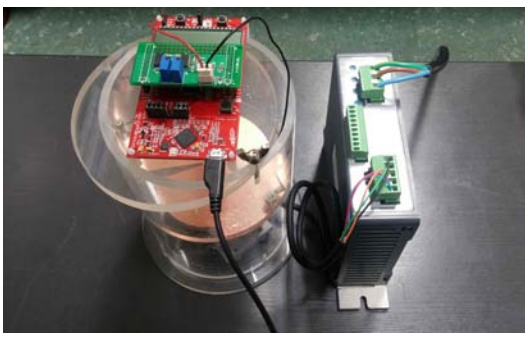

Fig. 6. Fabricated Prototype Digital Water Meter.

그 LaunchPad development kit가 PCB 보드에 DC 전원과 입력 전압 펄스를 공급하고, PCB 보드의 출력 단에서 나오는 출력 전압 펄스 신호는 kit에 내장되어 있는 카운터에 입력되고 그 결과가 kit에 내장된 LCD display 화면에 나타나도록 설계되었다.

마지막으로 모든 부품들이 기구와 함께 조립된 다음 제작된 디지털 수도미터의 전기적인 동작 특성이 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 센싱 회로의 설계 및 Pspice 시뮬레이션 결과

가변 콘덴서의 가변되는 정전용량을 계속 모니터링하고 회전판이 180° 회전할 때마다 출력 단에 1개 전압 펄스를 내보내는 센싱 회로가 그림 7과 같이 설계되었다. 상기 회로도에서, 전압 V_1은 입력 펄스에 의해 variable capacitor인 C_1에 축적된 전압을 증폭하여 얻은 전압이며, 전압 V_2는 비교기 1의 출력 전압이며, 전압 V_3은 비교기 2의 출력 전압이다.

비교기 1은 (-) 단자에 인가된 1.0 V 기준 전압과 (+) 단자에 인가된 V_1 전압을 비교하여 V_1 전압이 1.0 V 보다 크면 V_2 전압이 “high”가 되고, 반면에 V_1 전압이 1.0 V 보다 작으면 V_2 전압이 “low”가 되도록 동작한다. 비교기 2는 (+) 단자에 인가된 0.5 V 기준 전압과 (-) 단자에 인가된 V_1 전압을 비교하여 V_1 전압이 0.5 V 보다 크면 V_3 전압이 “low”가 되고, 반면에 V_1 전압이 0.5 V 보다 작으면 V_3 전압이 “high”가 되도록 동작한다. 마지막 단은 전압 V_2와 전압 V_3를 입력 신호로 받아들이는 RS flip/flop이다.

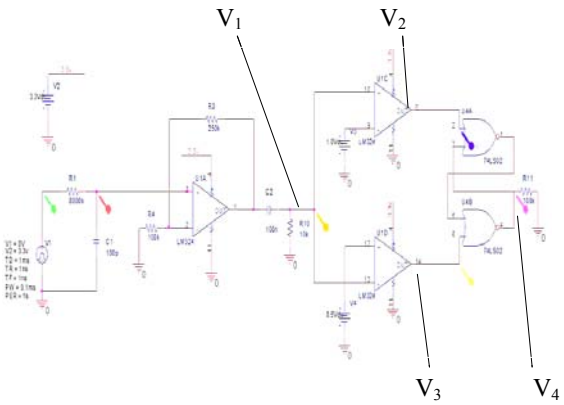

Fig. 7. Sensing circuit.

Table 1. Circuit State.

Size of V1	V_2	V_3	V_4
$V_1 < 0.5\,V$	Low	High	Low (reset)
$0.5\,V \leq V_1 \leq 1.0\,V$	Low	Low	not change
$10\,V \leq V_1$	High	Low	High (set)

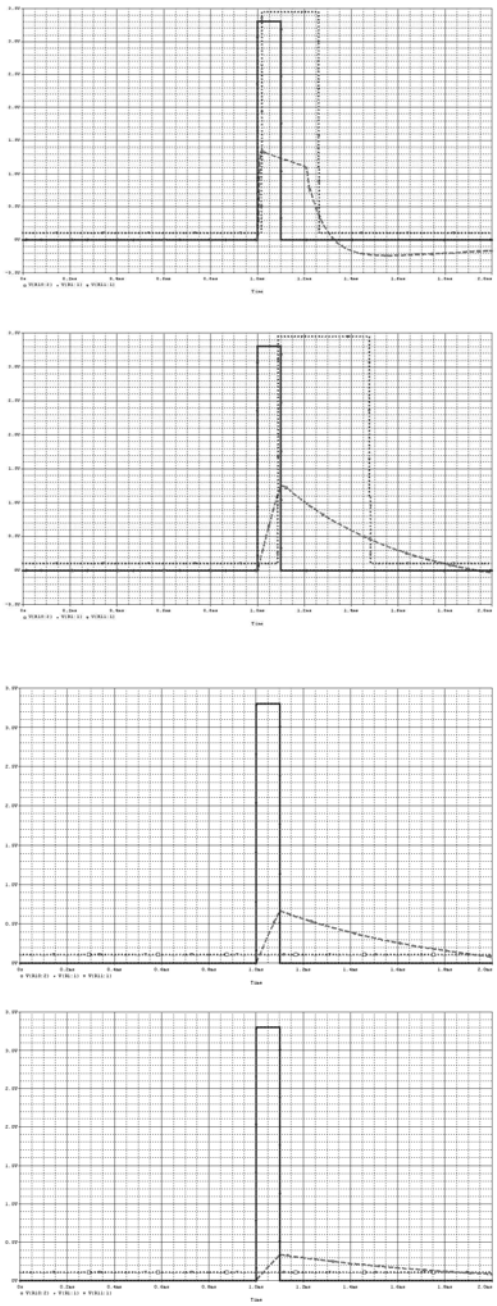

Fig. 8. Input/ Output voltage of the sensing circuit (a) C_1 = 10 pF, (b) C_1 = 100 pF, (c) C_1 = 200 pF, (d) C_1 = 400 pF (input pulse: —, V_1: — —, V_4: ----)

입력 펄스에 의해 가변 콘덴서에 충전된 전압을 증폭시켜 구한 전압 V_1의 크기에 따라 V_2, V_3, V_4의 전압 또는 상태가 어떻게 변하게 되는지를 표 1에 나타냈다.

그림 8은 설계된 센싱 회로(그림 7)의 Spice 전산모사 결과를 보여주고 있다. 그림 8(a)에서 볼 수 있는 바와 같이, 가변 콘덴서(C_1)의 정전용량을 10 pF인 경우에는 가변 콘덴서의 정전용량이 작기 때문에 입력 전압 펄스로 인해 가변 콘덴서에 충전되는 전압이 커서 V_1의 피크 전압이 약 1.35 V가 되었고, 센싱 회로의 최종 출력 단(V_4)에는 크기가 약 3.3 V이고, 폭이 약 0.2 ms인 전압 펄스가 1 개 출력되는 것을 볼 수 있다. 가변 콘덴서(C_1)의 정전용량이 100 pF인 경우에도 앞에서와 유사한 결과를 얻었다.

반면에 가변 콘덴서(C_1)의 정전용량을 200 pF인 경우에는 V_1의 피크 전압이 약 0.65 V가 되었고(그림 8(c)), 400 pF인 경우에는 V_1의 피크 전압이 약 0.35 V가 되었다(그림 8(d)). 따라서 이 경우에는 출력 단에 전압 펄스가 출력되지 않았다.

이러한 시뮬레이션 결과들은 표 1에서 예시했던 결과들과 정확히 일치하는 것을 볼 수 있었다.

3.2 동작 특성 측정 결과

제작된 기구에 Kit에 조립된 검침센서 PCB 보드를 결선하고 오실로스코프로 출력 파형을 측정하였다. 아래 그림 9는 회전체가 회전함에 따라 콘덴서의 값이 최소일 때와 최대일 때의 검침 센서 출력파형을 보여주고 있다. 가변 콘덴서 값이 최대일 때 검침센서에서 그림 9(a)에 있는 사진에서 볼 수 있는 바와 같이 구형 펄스가 발생되었다. 반면에 가변 콘덴서 값이 최대값이

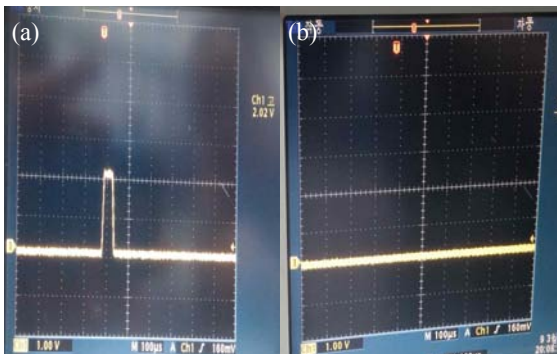

Fig. 9. Measurement results seen on a oscilloscope.

지나면 다음 최대 값이 오기 전까지는 그림 9(b)에 있는 바와 같이 출력이 "0"으로 유지되었다. 이로써 도체 원판이 180° 회전 시마다 PCB 출력 단에 1개의 펄스가 출력되는 것이 확인되었다. 이것이 Kit에 의하여 적산되고 LCD Display에 표시되어 현재 누적된 값을 확인할 수 있었다.

3.3 고찰

세계 최초로 가변 콘덴서를 이용한 prototype의 디지털 수도미터를 설계 및 제작하고 실험한 결과 정상적으로 동작하는 것이 확인되었다. 현재 실험에서는 가변 콘덴서의 양 회전판 사이에 공기가 채워져 있으나, 만일 그 사이를 유전율이 약 80인 물로 채운다면 정전용량이 크게 증가하게 된다. 따라서 회전판의 크기를 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 더 나가서 향후에 회전판과 센싱 회로를 MEMS 기술을 이용하여 일체형으로 제작하면초소형의 디지털 수도미터를 만드는 것이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

세계 최초로 가변 콘덴서를 이용하여 수돗물의 사용량을 계산하는 새로운 방식을 사용하는 원형 디지털 수도 미터를 설계 및 제작하고, 전기적인 특성 측정을 통하여 그 수도 미터가 정상적으로 동작하는 것이 확인되었다. 이러한 새로운 방식은 기존의 다른 방식들과 비교해서 제작비용과 소비 전력이 훨씬 더 낮은 장점을 갖고 있다.

따라서 향후 이 새로운 기술이 상용화되면 디지털 수도 미터의 시장에 미치는 영향이 매우 클 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2013년 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

[1] A. H. Primicanta, M. Y. Nayan, and M. Awan, *Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2010 International Conference Proceeding* (Kuala Lumpur, Malaysia, 2010) p. 1. [DOI: http://dx.doi.org/10.1109/icias.2010.5716223]

[2] L. Cao, J. Tian, and Y. Liu, *Innovative Computing Information and Control, 2008 ICICIS'08, 3rd International Conference Proceeding* (Dalian, Liaoning, 2008) p. 591. [DOI: http://dx.doi.org/10.1109/icicic.2008.443]

[3] A. Biranje and S. Lokhande, *Pervasive Computing (ICPC), 2015 International Conference Proceeding* (Pune, 2015) p.1. [DOI: http://dx.doi.org/10.1109/pervasive.2015.7087019]

[4] B. Zhang and J. Liu, *E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010 International Conference Proceeding* (Henan, 2010) p. 1. [DOI: http://dx.doi.org/10.1109/iceee.2010.5661081]

[5] R. Garmabdari, S. Shafie, and M. M. Isa, *ICCAS 2012 IEEE International Conference Proceeding* (Kuala Lumpur, 2012) p. 223. [DOI: http://dx.doi.org/10.1109/iccircuitsandsystems.2012.6408284]