

순환형 하이브리드 초소형 에너지 수확장치에서의 거동 해석

배영철*

A Behavior Analysis in the Circular Hybrid Subminiture Energy Harvesting Device

Young-Chul Bae*

요 약

본 논문에서는 순환형 하이브리드 초소형 에너지 수확장치 장치에서 존재하는 거동해석을 수행한다. 이 거동해석은 더 많은 에너지를 생산하기 위해서 비선형 시스템이 요구되므로 비선형 시스템의 존재 여부를 확인하는 것이다. 이를 위해 먼저 타켄스의 매립법을 통한 위상 공간을 재구성한다. 또한 위상 공간을 이용하여 포앵카레 맵을 구성하고 리아프노프 지수를 구하여 분석한다.

ABSTRACT

In this paper, an analysis of behavior is performed in the circular hybrid energy harvesting device. This analysis of behavior is to confirm with or without an existence of nonlinear system because its system is required to produce the more energy. To do this, first of all the phase portrait is reconstructed through Taken's embedding method, and then Poincare map is organized by using phase portrait and finally Lyapunov exponent is analyzed.

키워드

Chaos, Nonlinear Dynamics, Time series, Phase plane, Energy harvesting, Behavior analysis, Lyapunov exponent
카오스, 비선형 동적 시스템, 시계열, 위상 공간, 에너지 수확장치, 거동 해석, 리아프노프 지수

I. 서론

현재 초소형 소자인 USN(Universal sensor network)[1,2], RFID(Radio-frequency identification)[3-10], 소형 내시경 캡슐 등을 구동하기 위한 전원으로 초소형 배터리를 사용한다. 그러나 배터리의 경우 한정적인 수명, 주기적인 유지 보수 및 크기와 하중의 문제를 가지고 있다.

이와 같은 배터리가 가지고 있는 문제를 해결하기 위한 방법으로 커패시터를 사용하는 방법이 있을 수 있으나 커패시터는 단지 저장장치이므로 발전장치가 추가로 설치되어야 한다는 문제점을 가진다.

이와 같은 초소형 소자의 전원에서 배터리 전원이 가지고 있는 문제점과 커패시터가 가지고 있는 문제점을 해결하기 위한 방법의 각 소자에서 발생하는 소규모의 진동 에너지를 이용하여 직접 에너지를 생산

* 교신저자 : 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터 공학부(ycbae@jnu.ac.kr)
접수일자 : 2013. 09. 27

심사(수정)일자 : 2013. 10. 21

게재확정일자 : 2013. 11. 15

하여 사용하는 에너지 수확장치 기술이 관심을 받고 있다. 에너지 수확장치의 방법은 많이 존재한다. 많은 방법 중에서 진동에 의한 에너지 수확장치 방법은 열전 변환기술(thermoelectric energy harvesting), 압전 변환기술(piezoelectric energy harvesting), 전자기 에너지 변환기술(electromagnetic energy harvesting), 정전기 에너지 변환기술(electrostatic energy harvesting) 등이 있다.

일반적으로 진동을 이용한 초소형 에너지 수확장치는 발전 용량이 제한된 전력을 생산해왔다. 그 주된 이유는 마이크로 소자가 적용할 수 있는 제한된 입력(힘과 편향) 범위로 인하여 상대적으로 약하거나 더 많은 전력을 생산하기 위해 그림 1[11]과 같이 크기를 크게 하여도 일정 크기 이후에는 포화되어 더 많은 전력 생산이 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

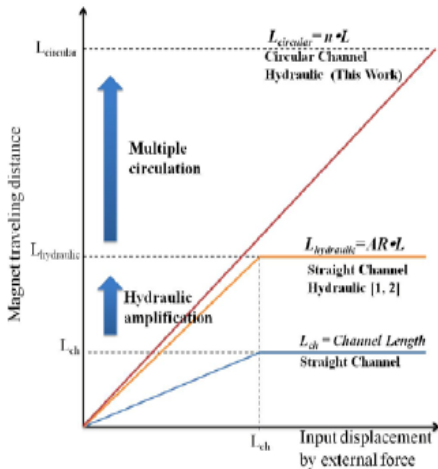


그림 1. 에너지 수확장치에서의 크기에 따른 포화 특성[11]
 Fig. 1 Saturation characteristics according to size of energy harvester[11]

이러한 문제점을 해결하기 위하여 단순한 한 가지 방법이 아닌 전자기 기술과 유체 기술을 융합한 새로운 마이크로 유압 기술[12]이 발표되었으나 이 기술은 직선형으로 구성되어 주어진 압력을 모두 에너지로 변환하는데 한계를 가진다. 이에 본 연구는 기존의 직선형 기구[12]를 순환형 기구[11]로 변환하여 직선형에 비해 더 많은 에너지를 생산하는 원형 시스템을 채택하였다. 일반적으로 에너지 수확장치 기구에서 더

많은 에너지를 생산하기 위해서는 선형적인 기구보다는 비선형적인 기구가 더 많은 에너지를 생산하는 것으로 알려져 있다[13].

따라서 에너지 수확장치 기구가 더 많은 에너지를 생산할 수 있는지의 여부를 알기 위해서는 이들 시스템의 거동 분석이 필요하며 일반적으로 시스템 거동 해석에 대한 연구는 수·변전 설비[14,15], MEMS [16,17]에 대한 연구가 있었다.

본 연구에서는 순환형 하이브리드 에너지 수확장치 기구에서 더 많은 에너지를 생산할 수 있는지를 알아보기 위한 방법으로 하나로서 선형 또는 비선형 거동이 존재하는지를 분석한다.

II. 하이브리드 에너지 수확장치

그림 2에 마이크로 유압 방식을 적용한 직선형 하이브리드 에너지 수확장치를 나타내었다[12].

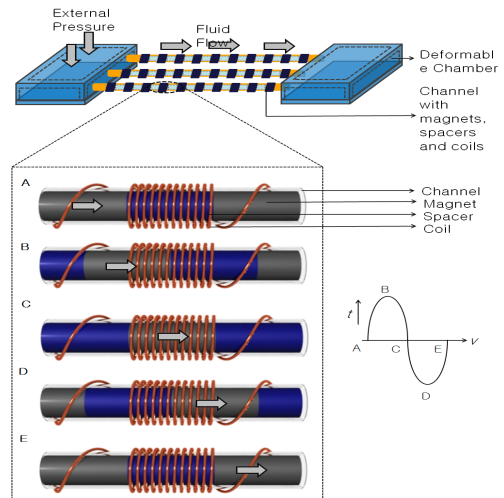


그림 2. 하이브리드 에너지 수확장치의 원리[12]
 Fig. 2 Principle of hybrid energy harvest[12]

그림 2에서 보여준 채널들에서 발전된 기전력(emf, 단위 V)은 패러데이의 법칙(Faraday's law)에 의해 식(1)과 같이 기술된다.

$$emf = - \frac{d\Phi}{dt} \tag{1}$$

여기서 $d\Phi$ 즉 자속은 자석의 자기장(B)과 자석의 단면적(A)의 벡터 내적으로 식(2)과 같이 대체할 수 있다.

$$\Phi = B \cdot A \quad (2)$$

자속은 채널안의 유체 흐름 속도에 정비례하며, 식 (1) 우변의 시간 변화량 대 자속 변화량은 유체에 의해 이동한 자석의 거리에 의해 주어지며, 이 값은 자석 길이의 두 배 길이와 같다. 이를 기반으로 식(1)은 식(3)과 같이 정리하여 사용한다.

$$emf = \frac{BAv}{2x} \quad (3)$$

여기서 v 는 채널내의 유체의 흐름 속도, x 는 채널 안에 있는 자석의 길이이다.

이와 같은 원리로 만들어진 유압 메커니즘을 이용한 에너지 수확장치는 다른 방식들(압전, 정전)보다 작은 마이크로 형태에서도 큰 힘과 보다 큰 전기 편향을 다룰 수 있기 때문에 작은 형태의 에너지 수확장치 장치에서 보다 더 효율적인 에너지 전환이 가능하다.

원형 하이브리드 에너지 수확장치의 기구를 그림 3과 같이 구성한다[11]. 그림 4에서 얻어진 전원을 측정하기 위한 장치를 그림 4와 같이 나타내었다[11]. 또한 그림 4에서 측정된 전압파형을 그림 5에 나타내었다. 그림 5는 순환형으로 구성하는 하이브리드형 에너지 수확장치에서 생산하는 전압의 크기와 발전 기구의 위치를 나타낸다. 그림 5(a)는 최대 전압을 그림 5(b)는 회전하는 유압에 따른 전압의 변화를 나타낸다.

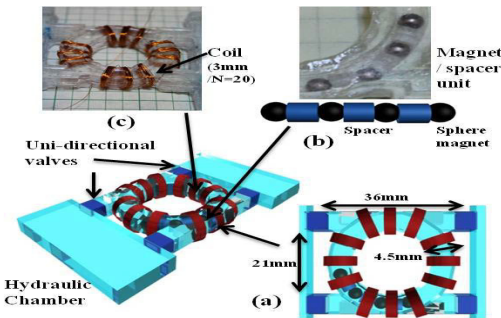


그림 3. 원형 하이브리드 에너지 수확장치 기구[11]
Fig. 3 Device of circular hybrid energy harvesting[11]

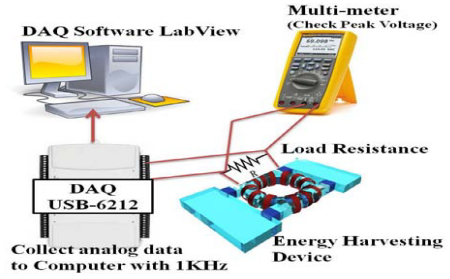


그림 4. 전압 취득 장치[11]
Fig. 4 Device of voltage acquisition[11]

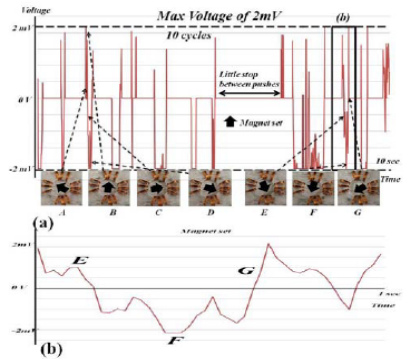


그림 5. 측정된 전압 파형[11]
Fig. 5 Measured voltage wave[11]

III. 거동 해석

3.1 타켄스 매립법에 의한 1차원 시계열을 위상 공간으로 변환 [18]

그림 5에서 얻어진 전압에 대한 시계열 데이터는 그림 6과 같다.

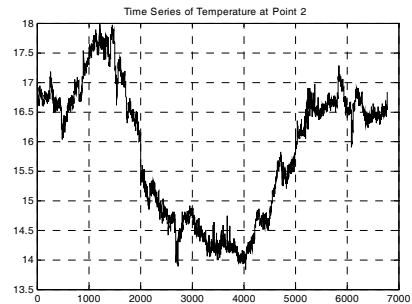


그림 6. 시계열 데이터
Fig. 6 Time series data

그림 6과 같이 얻어진 전압에 대한 시계열 데이터에서 특성 변화를 살펴보기 위하여 1차원의 데이터를 2차원의 데이터 또는 3차원 데이터로의 변환을 수행하는 매립(embedding)에 의한 상태 공간의 재구성(reconstruction)이 선행되어야만 한다.

재구성을 위한 차원은 주어진 데이터가 몇 차원 또는 몇 개의 독립 변수인가를 의미한다. 본 논문에서는 재구성시에 차수의 부족으로 인한 neighbour를 식별하는 false neighbour기법을 적용하여 최적의 재구성 차원을 선정하였다. 이는 실제 동특성에 의한 neighbour가 아니라 저차원의 사영으로 인하여 생기는 것으로 false neighbour가 존재하지 않는 최소 차원이 최적의 재구성 차원이 된다.

전압 신호의 false neighbour는 재구성 차원이 3 이상에서는 더 이상 존재하지 않으므로 재구성 차원을 3으로 선정하였으며 여기에서 얻어진 위상 공간을 그림 7에 나타내었다.

그림 7의 위상 공간의 분석 결과 어느 정도의 비선형성과 주기성을 함께 보유하고 있는 것으로 보인다. 위상 공간만을 가지고 비선형 거동을 판정하기에는 충분한 조건이 되지 못하므로 필요충분조건을 만족하는 다른 기법의 도입이 필요하다[19].

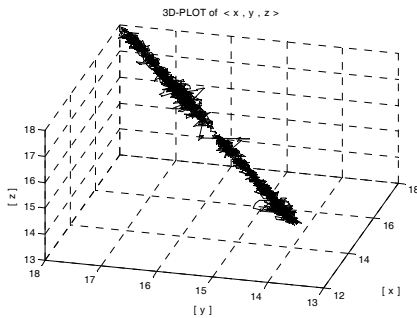


그림 7. 위상 공간
Fig. 7 Phase portrait

3.2 포엔카레 맵에 의한 해석

그림 7의 위상 공간을 이용하여 포엔카레 맵을 분석하면 그림 8을 얻을 수 있다. 그림 8의 결과를 분석해보면 명확하게 4주기의 특성을 지닌 주기성 신호임을 분명하게 할 수 있다. 따라서 본 시계열데이터는 그림 7에서 보는 것처럼 비선형 특성인 카오스 특성과

주기적인 신호를 명확하게 구분하지 못하였지만 포엔카레 맵을 통하여 비선형 특성은 없고 명확한 주기적 신호만이 존재함을 알 수 있다.

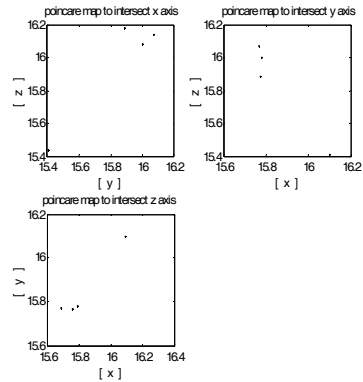


그림 8. 포엔카레 맵
Fig. 8 Poincare map

3.3 최대 리아프노프 지수에 의한 해석

그림 7의 포엔카레 맵을 통하여 명확하게 4주기 특성을 확인하였다 할지라도 이 데이터도 충분조건을 제공하지 못하므로 필요충분조건을 제공하기 위하여 최대 리아프노프 지수에 의한 분석이 필요하다[19]. 분석한 최대 리아프노프 지수의 결과를 그림 9에 나타내었다.

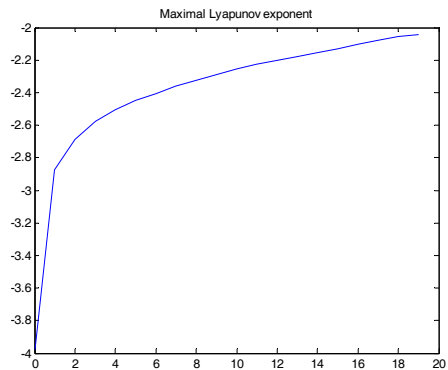


그림 9. 리아프노프 지수
Fig. 9 Lyapunov exponent

그림 9의 최대 리아프노프 지수 분석 결과의 값이 음의 값을 나타내어 주기성 신호임이 분명해진다. 일

반적으로 최대 리아프노프 지수의 값이 양의 값이면 카오스, 음의 값이면 주기성 신호를 나타내기 때문이다.

IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 최근 관심을 받고 있는 에너지 수확 장치에 중에서 가장 에너지를 많이 생산할 수 있는 원형 하이브리드 하비스터에서 생산한 에너지에서의 거동을 살펴보았다. 분석 결과 비선형적인 거동보다는 4주기성의 거동이 있음을 알 수 있었다. 따라서 이 시스템에서 비선형성이 존재하기 위한 외부의 신호를 인가해주어 더 많은 에너지를 생산하는 방법 등이 앞으로의 연구 과제로 남는다.

감사의 글

본 연구는 전남대학교 교내 연구비 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] Kyu-Su Lee, Hyeon Sim, · Jai-Cheol Oh, "The Design and Implementation of Intruder Access Control System by based of Ubiquitous Sensor Network", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 5, pp. 1165-1171, 2012.
- [2] Sin-Chul Jeoung, Hee-Taek Ceong, "Online Identification for Normal and Abnormal Status of Water Quality on Ocean USN", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 4, pp. 905-915, 2012.
- [3] Na-yeon Park, Cheol-su Son, Won-jung Kim), "The Efficient Computation of Node Position on Mobile Sensor Network", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 4, pp. 391-398, 2010.
- [4] Hee-hoon Kang, Young-jong Lee, Won-oh Han, "Energy-Efficient Hierarchical Cluster-Based Routing for Ubiquitous Sensor Networks", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 4, No. 3, pp. 243-246, 2009.
- [5] Jae-Hui Shin, Suk-Seung Hwang, "Design of RFID Packaging for Construction Materials", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 8, No. 6, pp. 923-932, 2013.
- [6] Young-Jun Lim, Ha-Joo Song, Oh-Heum Kwon, "Massive RFID Tag Write Technique using Parallel Deployment of Readers", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 6, pp. 1493-1498, 2012.
- [7] Han-Young Lee, "High-Tag anti-collision algorithm to improve the efficiency of tag Identification in Active RFID System", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 2, pp. 232-242, 2012.
- [8] Myeong-Sook Shin, Joon Lee, "A Study on the Efficient RFID Tag Identification considering Performance Information of Individual Nodes in a Grid Environment", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 5, pp. 797-805, 2011
- [9] Li Peng, · Zhang Yu, · Yun-ho Shin, · Hyun-sik Shin", "A study on RFID technology and application of China", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 2, pp. 330-336, 2011.
- [10] Myeong-Sook Shin, Joon Lee, "Method to Reduce the Time when Identifying RFID Tag by using Computational Grid", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 5, pp. 547-554, 2010.
- [11] Jiyoung Son, Arhatha Bramhanand, Youngchul Bae, Yong-Min Kim, Hanseup Kim, "Maximized fluidic circulation based micro energy harvesting device", PowerMEMS 2012, Atlanta, GA, USA, December 2-5, pp. 484-487, 2012.
- [12] Arhatha Bramhanand, Youngchul Bae, Minsoo Kang, Hanseup Kim, "Prototype of a fluidic-based energy harvesting system", ICEIC 2012, pp. 60-61, 2012.

- [13] B. Ando, S. Baglio, C. Trigona, N. Dumas, L. Latorre and P.Nouet, "Nonlinear mechanism in MEMS devices for energy harvesting application", J. Micromech. Microeng, Vol. 20, 125020, 2010.
- [14] Youngchul Bae, "Diagnosis of power supply by analysis of chaotic nonlinear dynamics", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 8, No. 1, pp. 13-19, 2013.
- [15] Suk-Seung Hwang, Youngchul Bae, "Diagnosis of power supply using time-series of infrared camera", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 6, pp. 1443-1447, 2012.
- [16] Ju-Wan Kim, Young-Duk Koo, Youngchul Bae, "Nonlinear Phenomena in MEMS Device", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 5. pp. 1073-1078, 2012.
- [17] Youngchul Bae, "Chaotic Phenomena in MEMS with Duffing Equation ", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 5. pp. 709-716, 2011.
- [18] Takens, F. "Detecting strange attractors in turbulence, in dynamical systems and turbulence", Lecture Notes in Mathematics, 898, pp. 363-381, Springer 1981.
- [19] J. M. T. Thompson and H. B. Stewart, Nonlinear Dynamics and Chaos , John Wiley, Singapore, 1988.

저자 소개



배영철(Young-Chul Bae)

1984년 광운대학교 전기공학과(공학사)

1986년 광운대학교대학원 전기공학과(공학석사)

1997년 광운대학교대학원 전기공학과(공학박사)

1986년~1991년 한국전력공사

1991년~1997년 산업기술정보원 책임연구원

1997년~2006년 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수

2002년~2002년 Brigham Young University 방문교수

2006년~현재 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부 교수

2011년~2011년 University of Utah 방문교수

※ 관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot, Robot control etc.