

운동기구를 이용한 풀다운 운동시의 에너지 하베스팅에 관한 연구

A Study on Energy Harvesting during Pulldown Exercises using a Health Care Machine

한 기 수^{*} · 배 재 남^{*}
(Ki-Soo Han · Jae-Nam Bae)

Abstract - This paper deals with Energy Harvesting using a part of physical energy which is generated by pulldown actions. From a point of energy harvesting view, though it is difficult to regenerate constant energy during pulldown exercise unlike cyclic exercise and running machine exercise, it is possible to regenerate some energies to charge batteries for mobile phones. To investigate possibility of energy harvesting during pulldown exercise, a voltage regulation experiment was performed with a converter circuit and a motor which is attached to the exercise equipment. And we conclude that energy harvesting is possible although its small quantity during pulldown exercises.

Key Words : Energy harvesting, Lat pulldown

1. 서 론

최근 에너지 하베스팅(Energy Harvesting)에 대한 관심이 많아지고 있다. 에너지 하베스팅이란 기기 주변의 환경 에너지, 태양, 바람, 진동, 열과 같은 자연 에너지를 수거하여 사용한 기술을 말하는 것으로 버려지거나 활용되지 않은 자원에서 에너지를 수확 또는 이용할 수 있는 것을 찾아 에너지를 재생하는 것을 말한다[1]. 에너지 하베스팅에 관한 최근 연구동향으로는 압전효과를 이용한 진동에너지의 회수와 관련된 연구가 다수를 차지하며[2, 3], 녹색색도의 열에너지, 빛에너지 등을 사용한 에너지 하베스팅 기술도 보고되고 있다[4]. 또한 실제로 에너지 하베스팅 기술의 건물설비 응용사례도 보고되고 있다[5].

본 논문은 운동기구를 이용한 에너지 하베스팅에 대한 연구이다. 물론 런닝머신이나 사이클과 같은 운동기구는 이미 에너지 하베스팅을 하고 있다. 에너지 하베스팅의 관점에서 런닝머신이나 사이클을 이용한 걷기, 달리기, 자전거타기와 같은 운동은 일정시간 이상 비교적 일정한 출력을 확보할 수 있는 운동이므로, 발전기를 통하게 되면 안정적인 에너지를 회수하기 쉽기 때문이다. 특히 최근에 출시되는 싸이클의 경우 계기판에 표시되는 전력은 에너지 하베스팅을 통한 전력을 이용하고 있다. 하지만, 푸시(Push)운동이나 풀(Pull)운동의 경우 불연속적이며 순시출력은 높으나 연속출력을 기대하기는 힘들기 때문에 에너지 하베스팅을 하기에 어려

움이 있다. 본 논문에서는 이러한 풀운동 시 발생하는 에너지를 전기에너지로 회수하기 위한 시스템 및 전력회수 결과에 관하여 논하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

그림 1은 랫풀다운(The Lat Pulldown)을 하기 위한 운동기구로, 랫풀다운이란 벤치에 앉아 손잡이를 상하로 당기면서 상반신 운동을 하는 것이다. 이러한 운동기구를 사용하게 되면 자신의 체중을 전부 사용하지 않고 운동기구의 중량을 이용할 수 있어서 풀업 운동보다는 비교적 근력 부담이 덜 하기 때문에, 상반신 운동에 익숙하지 않은 초급자들에게 유용하게 쓰일 수 있다. 랫풀다운과 같은 운동은 사이클이나 런닝머신처럼 일정한 속도, 힘으로 운동할 수 없으며, 줄을 잡아당기는 순간 즉, 풀(Pull)운동 시와 운동기구가 원래 상태로 돌아가는 순간, 즉 다운(Down)시에만 에너지가 발생될 수 있다. 또한 줄을 잡아당기는 동안에도 일정한 출력을 내기 힘들고 초기 가속상태와 짧은 정상상태가 번갈아 나오게 되므로 많은 양의 에너지를 회수하기는 힘들다. 하지만 아주 작은 용량의 에너지 하베스팅은 가능하며, 이를 통한 휴대폰 등의 배터리 충전을 할 수 있다.

본 운동기구의 구성은 그림 2와 같다. 우선 그림 2(a)의 발전부를 살펴보면, 그림 1의 도르래1을 대신하는 부분이 그림 2(a)의 체인기어1이며 체인기어2와 3은 도르래의 회전축을 전동기의 회전축과 연결하기 위해 사용된다. 일반 도르래가 아닌 체인기어를 사용한 이유는 도르래에 슬립 발생 시 전동기를 이용한 발전을 할 수 없기 때문이다. 전동기에서 발전된 전력은 그림 2의 (b)와 같이 전파 정류기 및 DC-DC컨버터를 통과해 배터리를 충전하게 된다. 시스템 사양은 표 1과 같다.

[†] Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Dongyang Mirae University, Korea

E-mail : kshan@dongyang.ac.kr

^{*} Dept. of Electrical Engineering, Dongyang Mirae University, Korea

접수일자 : 2016년 2월 24일

수정일자 : 2016년 4월 7일

최종완료 : 2016년 5월 12일



그림 1 랫풀다운을 위한 운동기구
Fig. 1 Experiment Machine for Lat Pulldown Exercise

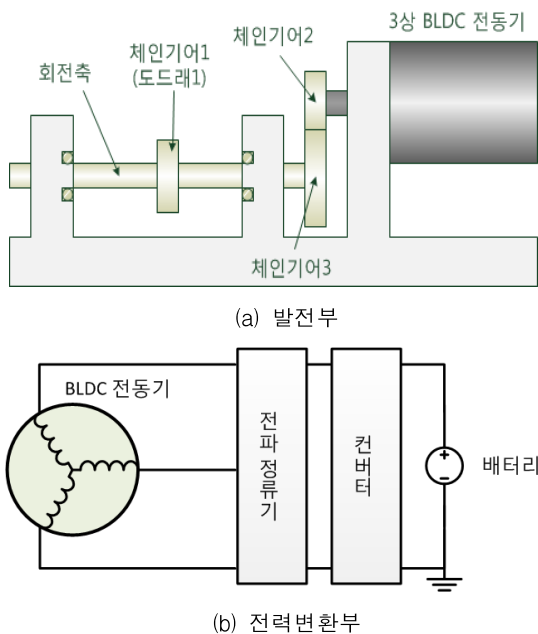


그림 2 에너지 하베스팅을 위한 시스템 구성
Fig. 2 System Configuration for Energy Harvesting Experiment

2.2 시스템 설계

운동기구를 이용한 에너지 하베스팅 시스템의 핵심은 발전을 위한 전동기와, 발전된 전력을 우리가 원하는 전력으로 변환해 주는 컨버터이다. 이 경우 컨버터의 출력은 크지 않기 때문에 배터리 충전용으로 적용하는 것으로 한다. 특히 휴대폰은 사용자수가 많고 충전요구 전력이 크지 않으며 배터리 충전 요구도 많기 때문에 에너지 하베스팅의 적용대

상은 휴대폰 배터리 충전기로 설정하였다. 휴대폰의 경우 USB 단자를 이용해 충전이 가능하므로 USB 단자의 출력 전압인 5V를 만들어 줄 수 있다면 휴대폰 충전이 가능하다. 만약 전동기에서 발전된 전압이 220Vrms 혹은 12~48V의 배터리 전압 범위 정도이면 해당되는 AC-DC 컨버터나 DC-DC 컨버터를 적용하여 충전 적용의 타당성이 검증되고 할 수 있다.

실험을 위해 일반적인 체격조건을 가진 사람이 해당 운동 기구를 사용해 랫풀다운을 할 때의 운동의 정의는 대략 1m 이내의 거리를 당길 수 있고, 운동 시간은 1초 내외로 설정하는 것으로 하였다. 즉, 빨라야 1m/s의 속도로 체인이 움직이게 되며 이 경우 식(1)을 이용해 랫풀다운 운동 시 체인의 선속도를 체인기어의 기계적인 주파수로 변환하면 6.37Hz가 된다.

$$f_m = \frac{\text{초당 움직인거리}}{\pi D} \tag{1}$$

이때 체인기어1의 직경(D)이 50mm이고 초당 움직인 거리는 1m로 하였다.

$$RPM = 60 \times f_m \times \eta \tag{2}$$

여기서 η 는 기어비로 본 시스템에 적용된 기어비는 1:4이다. 따라서 대략 1,500RPM 전후의 정격속도를 갖고, 수십 V의 정격전압을 갖는 전동기를 시스템에 적용하게 되면 적절하다. 본 실험기구에서는 표 1에 보인 것과 같이 정격속도 4,000RPM, 정격전압 24V의 Brushless DC(BLDC) 전동기를 에너지 하베스팅을 위한 전동기로 채택하였다. 전동기의 전압은 회전수에 비례하므로 시스템에 적용된 전동기가 1,500RPM으로 회전할 때 유기되는 전압은 4,000RPM으로 회전할 때 유기되는 전압의 0.375배 정도이다. BLDC 전동기와 같은 6-Step 구동 제어를 하는 전동기의 경우, 인버터에서 발생 가능한 한 상의 최대전압은 DC링크 전압의 1/2이므로 본 전동기는 4,000RPM에서 발생 가능한 상전압 최대치는 12V를 넘을 수 없다. 즉 1,500RPM에서는 최대 7.8V

표 1 에너지 하베스팅을 위한 시스템 사양
Table 1 System Specification for Energy Harvesting Experiment

항목	사양	값
전동기	전동기출력, Watt	100
	정격회전수, RPM	4,000
	정격전압, V	24
	정격토크, N·m	0.75
	극수, 극	4
컨버터	입력전압, V	2.5-12
	출력전압, V	5
	최대출력 전류, A	1
기어	체인기어비 (기어2:기어3)	1:4
	체인기어1 직경, mm	50

의 선간전압을 얻을 수 있다. 물론 비교적 저속 고토크로 설계된 전동기를 사용하게 되면 동일 운동 환경에서 보다 높은 전압을 얻을 수 있고, 전류용량도 비교적 대용량이 될 수 있다. 하지만 시중에 판매되는 100W급 미만의 전동기는 대부분 고속이어서 최적의 조건을 구비한 전동기를 이용해 시스템을 설계할 수는 없었다.

발생된 전압으로 배터리를 충전하기 위해서는 전력변환부 설계가 필요하다. 전력변환 시스템은 정류기와 DC-DC 컨버터로 구성하였다. 정류부는 동일 시스템에서 보다 안정적이고 많은 전력을 회수하기 위해 풀브릿지 정류기를 사용하였고, DC-DC 컨버터에는 전동기 출력전압 즉, 컨버터 입력전압에 관계없이 컨버터의 출력전압을 일정하게 만들어 줄 수 있는 소자를 사용하였다. 사용된 소자는 TI社의 TPS63060이라는 소자로 입력전압이 2.5V 이상일 때 동작하며, 입력전압이 출력전압보다 낮을 때는 벡모드로, 높을 때는 부스트모드로 자동 전환되어 출력을 일정하게 유지시켜주는 기능이 있다. 또한 휴대폰 배터리와 같이 충전전류가 1A 이내에서 사용될 수 있는 소자이다.

2.3 실험 및 실험결과

그림 3은 설계된 운동시스템을 나타내고 있다. 상단에 기계에너지-전기에너지 변환을 위한 전동기 및 체인기여가 존재하고 우측 하단에 전기에너지-전기에너지변환을 위한 컨버터가 존재한다. 그림 4는 정류기 및 컨버터를 나타내고 있으며 가능성 검증을 위해 만능기판에 정류부를 꾸미고, 이를 5V 일정 전압 출력을 갖는 컨버터와 연결하여 실험을 진행하였다.

그림 5(a)는 랫풀다운 운동 시 최대전력 발생구간의 전동기 선간전압파형을 나타내며, (b)는 풀브릿지 정류기의 출력전압을 나타낸다. 이때 정류기 출력단에는 방전을 위해 100Ω



그림 3 실험기구
Fig. 3 Energy Harvesting Experiment Equipments

의 저항을 부착하였다. 그림 5의 (b)에서 확인할 수 있는 바와 같이, 풀(Pull)과 다운(Down)을 한 번의 운동 행위로 보았을 때, 한 번의 운동 행위에 걸리는 시간은 대략 2-3초 정도이고 이때 발생하는 전압은 펄스형태이다. 발생 최대 전압은 7V 내외이며 컨버터가 동작하는 2.5V 이상의 전압이 발생하는 구간은 Pull 시 대략 0.5초, Down 시 0.5초 정도이다.

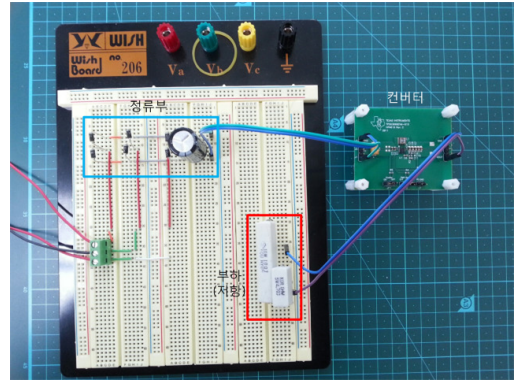
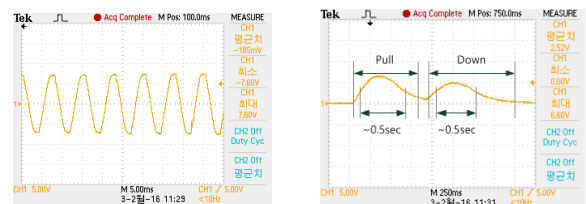


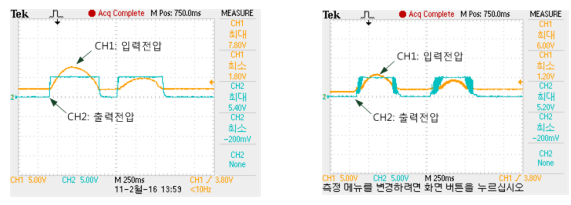
그림 4 전력변환부
Fig. 4 Circuits for Energy Conversion



(a) 선간전압 (무부하 시) (b) 정류전압 (100Ω 부하저항 사용 시)

그림 5 발생전압
Fig. 5 Generated Voltages

그림 6은 컨버터의 입·출력 전압파형으로 채널1이 컨버터의 입력전압, 채널2가 출력전압이다. 그림 6의 (a)는 컨버터 출력측에 100Ω의 부하를 (b)는 15Ω의 부하를 연결했을 때, 100Ω의 부하 연결 시 0.05A의 전류가 흐르게 되며 15Ω의 부하 연결 시 0.33A의 전류가 흐르게 된다. 그림 6에서 보는바와 같이 컨버터의 출력에 큰 부하가 걸릴 때, 즉 큰 전류가 흐르는 경우, 출력전압 유지가 쉽지 않았다. 컨버터의 출력단에 15Ω 보다 작은 저항을 연결하여 컨버터의 출력을 더 키우면 컨버터의 출력전압이 일정하게 유지되지 않



(a) 100Ω 부하 (b) 15 Ω 부하

그림 6 회수전력
Fig. 6 Regenerated Power

았다. 특히 입력전압이 3V 내외로 출력전압보다 낮은 경우, 컨버터의 전압 부스팅이 쉽지 않아 출력전압에 과도현상이 목격되었다. 따라서 본 시스템을 사용할 경우 5V, 0.33A의 출력으로 배터리 충전이 가능할 것이며 시스템에 적용된 전동기보다 역기전력상수가 큰 전동기를 적용하면 컨버터의 출력유지가 조금 더 쉬울 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 운동기구를 이용한 에너지 하베스팅에 대한 연구를 하였다. 본 논문에서 제안한 에너지 하베스팅 시스템을 이용한 회수 전력은 2W 미만으로 운동 시 운동자가 이질감을 전혀 느끼지 못할 만큼의 전력이다. 운동 시 발전되는 최대 전압은 7V 내외로 컨버터가 동작할 수 있는 조건인 2.5V 이상의 전압을 유지하는 시간은 풀과 다운 시 각각 0.5초 정도 밖에 되지 않았다. 이 때문에 컨버터의 출력을 일정하게 유지하는데도 어려움이 있었다. 만약 정류기 출력단에 슈퍼커패시터를 적용하고, 조금 더 큰 역기전력상수를 가지는 전동기를 사용하게 되면 컨버터의 입력전압을 더욱 오랫동안 2.5V 이상으로 유지할 수 있을 것으로 보다 많은 양의 전력을 회수할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 동양미래대학교의 교내학술연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

References

- [1] M. H. Lee, S. Y. Shin, Seog Chae, "Energy Harvesting using knee exercise", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and information Sciences, 2015. 11. 388-389
- [2] D. Y. Jeong, Y. J. Lee, J. H. Baek, "The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers 24(6), 2010. 11. 14-23
- [3] D. H. Lee, J. H. Jeon, J. T. Park, C. G. Yu, "Design of an Energy Management System for Vibration Energy Harvesting", Information and Control Symposium, 2010. 10, 101-102
- [4] E. J. Yoon, J. T. Park, C. G. Yu, "Power Management Circuits for Self-Powered Systems Based on Solar Energy Harvesting", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering 17(7), 2013. 7, 1660-1671
- [5] A. Seo, D. H. Lee, K. S. Kim, J. W. Jo, B. R. Kim, J. W. Ma, "The Application of "Energy Harvesting" through out the Large Building", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Electrical Engineering, 2015. 7, 111-112

저 자 소 개



한 기 수 (韓 己 洙)

1982. 2 : 서울 대학교 전기공학과 졸업
1984. 2 : 서울 대학교 전기공학과 석사
1984~1991 엘지전자 연구소
1991~1999 대신정보통신 연구소
1999~현재 동양미래대학교 전기공학과 부교수



배 재 남 (裵 在 男)

2004. 2 : 한양대학교 전자전기공학부 졸업
2006. 8 : 한양대학교 전기공학과 석사
2010. 8 : 한양대학교 전기공학과 박사
2010.11~2013.03 현대중공업
2013.5~2015.08 자동차부품연구원
2015.9~현재 동양미래대학교 전기공학과 조교수