

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.3.139
JIIBC 2022-3-21

웨어러블 IT 기기에 적용 가능한 초소형 진자 발전기에 관한 연구

A Study on the Ultra-Small Pendulum Generator Applicable to Wearable IT Device

지인호*, 신승중**

In-Ho Jee*, Seung-Jung Shin**

요약 본 연구에서는 전자기 유도 발전(EMG) 기법 중 RFPM의 설계사양을 설정하고 특성 계산에 필요한 유한요소해석(FEM, 2D)을 통하여 이에 적합한 시험 시제품을 제작하였다. 또한 시험용 프로토타입의 측정, 분석을 하기 위하여 전용 검사장치를 설계, 제작하였다. 검사장치로 시험품을 측정하였으며, 그 결과를 분석하여 실제 인체 운동 에너지를 이용하여 웨어러블 IT 기기의 배터리에 충전이 가능한 만큼 출력전력이 생성되어 적용할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 시험결과, 회전수 780.9rpm, 토크 0.264kgf/cm, 부하전류 73.6~73.9mA의 조건에서 출력 1.679W, 효율 79.31%로 측정되었다. 따라서 초소형 RFPM 진자 발전기의 출력으로 웨어러블 기기에 충전이 가능한 것으로 분석되었다.

Abstract In this study, Among the electromagnetic induction power generation (EMG) techniques, the design specifications of the RFPM were set, and a suitable test prototype was manufactured through finite element analysis (FEM, 2D) required for characteristic calculation. In addition, a dedicated testing device (Dynamo-Tester) was designed and manufactured to measure and analyze the test prototype. The test product was measured with a test device and the result is analyzed to suggest a method that can be applied by generating as much output power as possible to charge the battery of the wearable IT device using actual kinetic energy of the human body. As a result of the test, the output power was 1.679W and the efficiency was 79.31% under the conditions of rotation speed of 780.9rpm, torque of 0.264kgf/cm, and load current of 73.6~73.9mA. Therefore, it was analyzed that it was possible to charge the wearable device with the output of the ultra-small RFPM pendulum generator.

Key Words : Energy Harvesting Rotor/Stator, Magnetic Field Analysis, Pendulum, RFPM Generator

1. 서 론

인체의 운동 에너지를 이용하여 전력을 발생하여 그 전력을 웨어러블 IT 기기에 충전이 가능한 에너지 하베

스팅(Energy Harvesting) 기술이 급속히 연구되고 있다.

압전 물질을 이용한 압전효과 발전(PENG)과 정전기 유도 발전(TENG), 전자기 유도 발전(EMG) 기술이 주류를 이루고 있다.

*정회원, 한세대학교 대학원 IT융합학과

**중신회원, 한세대학교 IT융합학과(교신저자)

접수일자 2021년 12월 29일, 수정완료 2022년 5월 15일

게재확정일자 2022년 6월 10일

Received: 29 December, 2021 / Revised: 15 May, 2022 /

Accepted: 10 June, 2022

*Corresponding Author: expersin@gmail.com

Dept of IT Convergence, Hansei University, Korea

스마트 워치, 스마트 밴드는 인체에 착용형과 삽입형으로 분류되며 외부와의 정보교류 또는 신체의 체온, 혈압, 심장박동과 같은 생체신호를 수집하여 착용자에게 정보를 전달하는 기능을 한다. 이러한 스마트 기기들은 배터리에 의하여 구동되도록 설계되어 있는데 무게와 크기의 한계에 의하여 충전주기가 빨라지는 단점이 있다. 그에 따라 사용자의 불편함이 커지고 보급에 한계가 있다. 스마트 센서의 소비 전류를 작게 하고 내장 배터리의 충전효율을 높이는 기술이 활발히 연구되고 있으나 고효율 기능의 연구개발에 좀 더 시간이 필요할 것이다.

본 연구에서는 인체의 운동 에너지를 이용한 진자(Pendulum) 발전기를 설계하여 전력을 발생시키는 전자기 유도 발전(EMG)을 연구하였으며 그 전력을 웨어러블 IT 기기에 충전용으로 적용할 수 있는 방법을 연구하였다. 그 결과, 웨어러블 기기의 충전주기를 기존에 비해 길게 할 수 있도록 편리성을 도모하였다.

전자기 유도 발전 기법 중 RFPM(Radial Flux Permanent Magnet)의 설계사양을 설정하고 특성 계산에 필요한 유한요소해석(FEM, 2D)을 통하여 이에 적합한 시험시제품을 제작하였다. 또한 시험용 프로토타입의 측정, 분석을 하기 위하여 전용 검사장치(Dynamo-Tester)를 설계, 제작하였다.

검사장치로 시험품을 측정하였으며 그 결과를 분석하여 실제 인체 운동 에너지를 이용하여 웨어러블 IT 기기의 배터리에 충전이 가능한 만큼 출력전력이 생성되어 적용할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

시험결과, 회전수 780.9rpm, 토크(Torque) 0.264kgf/cm, 부하전류 73.6~73.9mA 의 조건에서 출력 1.679W, 효율 79.31% 로 측정되었다.

따라서 초소형 RFPM 진자 발전기의 출력으로 웨어러블 기기에 충전이 가능한 것으로 분석되었다.

II. 본 문

1. 초소형 RFPM 발전기의 설계 구조

인체 운동 에너지를 기계적 에너지로 변환한 후 전자기 에너지로 변환하여 웨어러블 스마트 워치 또는 스마트 밴드의 전원 충전용으로 이용이 가능하다. 초소형 발전기로 설계하여 인체의 팔운동에 따른 왕복운동을 이용하여 진자를 움직이며, 진자의 움직임을 이용하여 초소형 발전기로 설계하여 전력으로 전환 가능하다.

본 논문에서는 RFPM 기법의 발전기를 연구하였다.

발전기의 크기를 최소화하고 무게를 작게 하기 위하여 형상을 슬림형으로 설계하였으며 걸림 현상(Cogging Effect)을 최소화 되도록 고정자(Stator)와 회전자(Rotor)의 기계각(θ)을 설계하였다. RFPM 발전기의 설계사양은 표 1에 나타내었다.

표 1. RFPM 발전기 설계사양
Table 1. Design Specification of RFPM Generator

설계제원	내용	단위	2W PMG	비고
고정자	슬롯수	Slot	12	
	외경/내경	mm	56/44	
	적층길이	mm	4.2	
	재질	-	35PN230	0.35t
	권선스펙	-	$\varnothing 0.2 \times 120$ turns	권선도 참조
회전자	극수	-	10	
	외경/내경	mm	43/38	
	적층길이	mm	8	
	Airgap	mm	0.5	
연구자석	재질	-	N40UH	
	외경×내경	mm	7/10/2.2	

고정자의 크기는 외경 54mm, 내경 4.4mm 로 슬림형이며 철심 재질은 35PN230, 실리콘 코어를 적용하였다.

철심(Core) 두께 0.35T를 12층 적층하여 두께 4.2mm 로 설계하였으며 출력전압을 크게 하기 위하여 0.2mm 에나멜선(Magnetic-Wire)을 120회(Turn) 권선하였다. 고정자 도면은 그림 1과 같다.

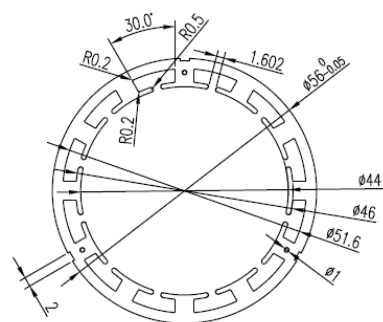


그림 1. 고정자 도면
Fig. 1. Drawing of Stator

코일 권선을 위하여 마그네틱 코어(Magnetic Core)를 절연하였으며 절연체의 재질은 연질 수지 절연체로 0.5T 성형하여 제작하였다.

측정결과, 코어와 고정자 코일 간의 절연저항이 무한

대(∞)로 측정되며 시험을 위한 권선에 지장 없는 것으로 분석되었다. 고정자의 완성품은 그림 2와 같다.



그림 2. 고정자
 Fig. 2. Stator

회전자는 무게를 최소화하기 위하여 영구자석을 부착하는 철심을 순철(Fe-C)로 제작하였으며 중요한 자로(磁路) 부분 이외의 불필요한 부위는 제거하였다.

회전자 도면은 그림 3과 같다.

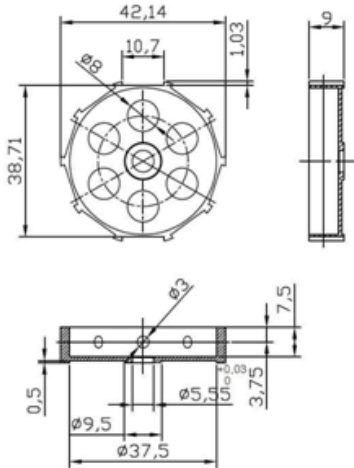


그림 3. 회전자 도면
 Fig. 3. Drawing of Rotor

회전자에 적용한 영구자석 네오디뮴(NdFeB), 등급 N40UH로 설계하였다.

회전자의 재질은 철(S45C)을 사용하였으며 회전할 때 영구자석의 이탈을 방지하기 위하여 N극과 S극 사이에 기계적으로 걸림이 생기는 구조로 완성하였으며, 발전기 출력에 따른 열 발생을 최소화하기 위하여 회전자 내부에 6개의 구멍(Hall)을 설치하여 회전자 대류현상이 발생하여 냉각효과를 가질 수 있도록 고안하였다.

회전자의 완성품은 그림 4와 같다.



그림 4. 회전자
 Fig. 4. Rotor

고정자와 회전자의 조립된 완성품은 그림 5와 같다.



그림 5. 고정자, 회전자 조립체
 Fig. 5. Rotor, Stator Assy'

2. FEM을 이용한 자기밀도분포도 해석

본 연구에서는 자기밀도분포를 유한요소해석법(FEM, 2D)을 적용하여 해석하였다. RFPM 발전기의 공극수는 12Slot 이며, 영구자석은 10극이 되도록 구성하였다. 유한요소해석(FEM, 2D)의 자속밀도분포-FEM을 그림 6에 나타내었다.

해석법을 통한 자속해석에서 12개의 고정자와 10개의 회전자의 공극부분에서 자로(磁路)의 형상이 고르게 분포됨을 알 수 있다. 12Slot 으로 되어있는 고정자의 권선의 간극과 10극(N/S)으로 되어있는 회전자의 사이에서 누실자속이 생성되는 것을 확인하였다.

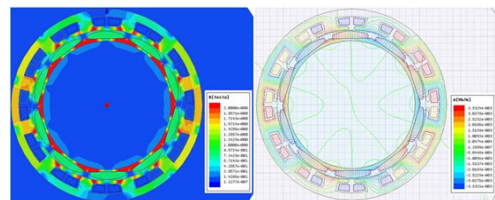


그림 6. 자속밀도분포-FEM
 Fig. 6. Magnetic Flux Density-FEM

3. 시험 및 측정

초소형 RFPM 발전기의 출력측정을 위하여 발전기 검사장치를 설계, 제작하였다.

구동을 위한 서보모터(Servo-Motor)는 용량 100W, 최대속도 2,000rpm, 토크 0.32Nm 을 사용하였다. 토크센서는 비접촉 센서로 최대토크 2kg/cm 이며, 회전수 2,000rpm 까지 가능하다. 시험용 검사장치의 설계도면은 그림 7에 표기하였다.

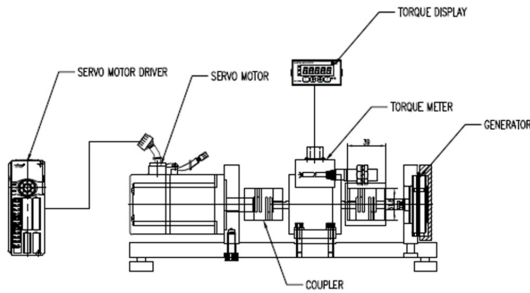


그림 7. 발전기 검사장치 도면
Fig. 7. Drawing of Dynamo-Tester of Generator

발전기 검사장치의 외형은 그림 8과 같다.

좌측은 검사장치의 모터(Motor)를 구동하는 서보모터(Servo-Motor)를 설치하였으며, 중심에는 회전수(rpm)와 토크(Torque) 측정을 위한 센서가 설치되어 있다.



그림 8. 발전기 검사장치
Fig. 8. Dynamo-Tester of Generator

측정을 위한 시험품은 우측에 설치하였으며, 서보모터와 토크센서, 그리고 시험품의 사이에는 동심도의 여극남을 보완하기 위한 기계적 커플러(Coupler)를 설치하여 회전리플이 최소화 되도록 연구하였다.

4. 측정결과

초소형 RFPM 발전기의 측정방법은 “축-토크법을 이용한 새로운 발전기 효율시험 방법의 제안” (김현한 외,

2014) 방법을 적용하여 측정하였다.

측정조건은 회전수 780.9rpm, 토크 0.264kg/cm, 부하조건은 각상별로 AC부하를 73.6~73.9mA로 설정하였다. 발전기의 각 상의 출력전압은 DVM으로 측정하였으며 AC 전류 값은 DPM으로 측정하였다.

측정결과, 발전기 출력 1.679W, 효율 79.31% 로 측정되어 목표사양보다 출력은 0.079W 증가되었으며, 효율은 (-)0.69% 낮아지는 것으로 측정되었다.

측정 조건 및 시험 방법은 표 2, 표 3에 표기하였고, 완성된 시험품 발전기는 그림 9와 같이 나타내었다.

표 2. 측정조건 및 시험방법

Table 2. Measuring condition & Test Method

시험명	시험방법 및 내용
축-토크법을 이용한 발전기 출력 및 효율시험 (김현한 외, 2014)	1. 측정 조건 · RPM = 780.9 · Torque = 0.264 kgf/cm (=0.02589 Nm, g=9.80665 m/s ²) · 부하조건: R,S,T 각 상별 (73.6~73.9)mA
	2. 측정 계산 · 출력값(P) $P = \frac{2\pi}{60} \cdot T \cdot N [W]$ · 효율(η) $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100 (\%)$

표 3. 발전기 특성시험

Table 3. Characteristic Test of Generator

구분	단위	결과
발전기 출력	W	1.679
발전기 효율	%	79.31



그림 9. RFPM 발전기
Fig. 9. RFPM Generator

III. 결 론

본 논문은 1.6W, 780rpm의 RFPM 발전기를 설계하

고, 유한요소법(FEM, 2D)을 이용하여 자기밀도 분포를 해석하였으며, 해석을 기준으로 시험용 초소형 발전기를 제작하였다. 또한 시험품 측정을 위한 전용 검사장치를 설계, 제작하여 발전기의 특성을 측정 및 분석하였다. 측정 결과, 다음과 같은 분석 결과를 나타내었다.

첫째, 인체 운동 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 구조의 발전기를 유한요소법(FEM)에 근거하여 슬립형으로 제작 가능할 수 있었다.

둘째, 초소형 RFPM 발전기의 낮은 회전수(rpm)에서도 약 80%의 높은 효율의 발전기 설계와 제작이 가능한 것으로 알 수 있었다.

셋째, 완성된 시험품 발전기의 중심축에 진자를 연결하여 실제 인체의 팔 운동에 의하여 전력이 발생할 수 있는 실증을 확인할 수 있었다.

향후 본 연구의 시험결과를 토대로 좀 더 소형, 경량화 하며, 높은 효율의 인체 운동 발전기의 연구개발에 도움이 될 것으로 제시하게 되었다.

References

- [1] Hyoung-Gil Kim, Jeong-Sik Kong, "Characteristics Analysis of Permanent-Magnet Generator for Small Wind Turbine", Proceedings of the KIEE Conference, The Korean Institute of Electrical Engineers, pp.708-709, 2009.
- [2] Dae-Won Chung, Yong-Min You, "Design and Performance Analysis of Coreless Axial-Flux Permanent-Magnet Generator for Small Wind Turbines", Journal of Magnetics, The Korean Magnetics Society, Vol. 19, No. 3, pp.273-281, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4283/JMAG.2014.19.3.273>
- [3] In-Ho Jee, Seung-Jin Kang, "Design Analysis and Economic Analysis of high Efficiency 100kW Generator for Hydro Power System", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 65, No. 3, pp.428-438, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.3.428>
- [4] Chang-Yong Lim, Seung-Jung Shin, "Demand survey of spectrum information and a study on plan for disclosing spectrum information to the public", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 17, No. 1, pp.253-259, 2017. DOI : <http://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.1.253>
- [5] Keyong-ae Yang, Seung-Jung Shin, "A RodSecurityRobot Model", The Journal of the Convergence on Culture Technology, Vol. 4, No. 4, pp.401-406, 2018. DOI : <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2018.4.4.401>
- [6] Seoyeon CHOI, Seoung-Jung SHIN, "A Study on

Expansion Proposal of Data Dividend Qualification Based on the Contribution of Platform Workers", The Journal of Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 21, No. 2, pp.187-193, 2021. DOI : <http://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.2.187>

- [7] Joonho Son, Daeseok Rho, Chanhyeok Kim, Yongpeel Wang, Korea University of Technology and Education, ERIK, "A Study on the wind Power Generator(DFIG) Modeling Using the PSCAD/EMTDC", The Korea Academia-Industrial cooperation Society Semiannual, Vol. 29, No. 3, pp.12-16, 2011.
- [8] Ji-Hye Kim, Jin-Ho Kim, "A Study on Various Structural Characteristics of 100W Linear Generator for Vehicle Suspension", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 4, pp.683-688, 2018. DOI : <http://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.4.683>
- [9] Jae-Yong Han, Sunheum Lee, "Implementation of Aerogenerator Remote Individual Monitoring and Braking System", JKIIIT, Vol. 11, No. 4, pp.27-33, 2013. DOI : <http://doi.org/10.14801/kiitr.2013.11.4.27>

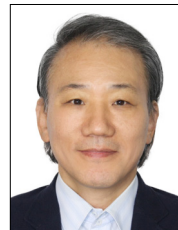
저 자 소 개

지 인 호(정회원)



- 2002년 : 아주대학교 대학원 경영학과(MBA) 졸업(석사)
- 2016년 : 한국산업기술대학교 대학원 에너지정책과 경제학 졸업(박사)
- 2022년 : 한세대학교 대학원 IT융합학과 졸업(박사)
- 현재 : 태창엔이티(주) 대표이사

신 승 중(중신회원)



- 1988년 : 세종대학교 대학원 경영학과 졸업(석사)
- 1994년 : 건국대학교 대학원 전자계산학과 졸업(석사)
- 2000년 : 국민대학교 대학원 정보관리학과 졸업(박사)
- 1995년 ~ 2003년 : 중부대학교 정보보호학과 교수
- 2003년 ~ 현재 : 한세대학교 ICT융합학과 교수
- 주관심분야 : 정보보호, 이동통신, 통신대학