

AFPM, RFPM 복합발전기의 모델링 및 해석

김진사^a

조선이공대학교 메카트로닉스과

Modelling and Analysis of AFPM, RFPM Compound Generator

Jin-Sa Kim^a

Department of Mechatronics, Chosun College of Science & Technology, Gwangju 61453, Korea

(Received May 8, 2017; Revised May 15, 2017; Accepted May 19, 2017)

Abstract: In this study, we design, model, and analyze a compound generator that combines the axial flux permanent magnet (AFPM,) and radial flux permanent magnet (RFPM), which is expected to increase power generation by allowing the magnets to be placed on the upper, lower, left, and right sides of the same-sized generator. Through the design, modelling, and analysis of AFPM and RFPM compound generators, the generator load evaluation results rated output of 500.25 W and efficiency of 87.60%, respectively, at a rated speed of 600 rpm. By employing this complex generation system, these findings are expected to contribute to the activation of a small power generation system.

Keywords: Compound generator, AFPM, RFPM, Efficiency

1. 서론

최근에 에너지 자원의 고갈로 신재생 에너지 개발에 대한 관심이 많다. 또한 기후 변화에 대처하기 위하여 신재생 에너지 개발, 온실가스 배출량 축소, 에너지 절약 및 효율 개선 등이 중요한 문제로 대두되고 있다. 그 중 신재생 에너지원으로 동력발전기의 하나인 소형발전기에 대한 높은 관심과 더불어 활발히 연구되고 있다. 영구자석을 사용하는 소형발전기로는 RFPM (radial flux permanent magnet)과 AFPM (axial flux permanent magnet)으로 구분할 수 있다 [1-4]. AFPM 발전기는 철심이 없는 코어리스형으로 사용되고 있으며 코깅토크가 발생되지 않기 때문에 넓은 구동성을 나타내지만 공극간에 자기저항이 증가하여 출력전압이 낮은 단점이 있다. 또한 RFPM 발전기는 철심이 있어서 출력

전압, 출력전력 및 효율이 높은 장점을 가지고 있지만 코깅토크가 크게 발생하는 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 개선하기 위하여 AFPM, RFPM 복합발전기는 스테이터의 요크부에 규소가 함유된 링코어를 사용함으로써 RFPM 발전기의 코깅토크를 줄일 수 있어서 RFPM 발전기의 단점을 개선할 수 있다. 또한 동일한 사이즈의 발전기와 비교하여 자석이 상, 하, 좌, 우 모두에서 배치가 가능하여 발전량의 증대를 가져올 수 있으며, AFPM 발전기의 용량이 커질수록 외경이 증가하여 자기저항이 커지는 구조상 문제를 보완할 수 있다 [5-9].

따라서 본 논문에서는 자석을 상, 하, 좌, 우에 부착한 AFPM, RFPM 타입을 혼합한 복합발전기를 설계 및 모델링하여 성능을 해석하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 복합발전기 구조

코일과 자석부착이 축과 수평 방향 또는 수직 방향으

a. Corresponding author; kimjs@cst.ac.kr

Copyright ©2017 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.

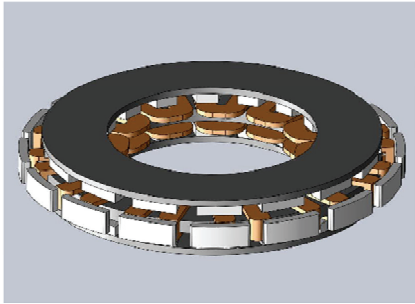


Fig. 1. Structure of RFPM, AFPM Generator.

로 배열되어 상, 하 또는 좌, 우로 사용할 수 있지만 RFPM, AFPM 복합발전기의 코일 형상은 ㄷ자 형태로 코일의 점적율을 향상시키고 자석을 상, 하, 좌, 우에 부착한 RFPM, AFPM 형태를 혼합한 복합발전기이다. 그림 1에 RFPM, AFPM 복합발전기의 구조를 나타내었다.

2.2 복합발전기의 설계

회전자의 체적결정을 위하여 단위 체적당 토크를 나타내는 TRV (torque per rotor volume) 식을 이용하였으며 회전자의 직경 및 축방향 길이에 따라 체적을 식 (1)에 의하여 계산하였다 [3].

$$TRV = \frac{T}{\frac{\pi}{4} D_r^2 L_{stk}} [kNm/m^3] \quad (1)$$

- T : 정격토크[Nm]
- D_r : 회전자 직경[m]
- L_{stk} : 축방향 길이[m]

본 연구에 설계된 RFPM, AFPM 복합발전기의 세부 사항은 표 1에 나타내었다.

Table 1. Specification of compound generator.

Power	500[W]
Diameter	∅245
Thickness	75 mm
AFPM	32 Pole
RFPM	16 Pole
Material	N38M, N42M
Winding diameter	0.85 [mm]

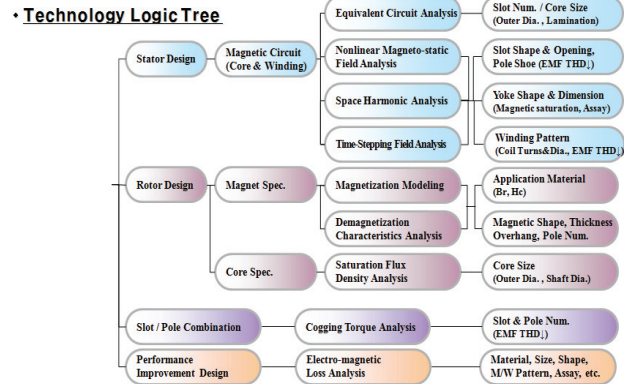


Fig. 2. Technology logic tree.

그림 2와 같이 모델링, 재질선정, 제어정수 도출, 고정자 설계, 설정해석 등으로 진행하였다.

2.3 복합발전기의 모델링 및 해석

자속밀도의 흐름을 파악하기 위하여 유한요소법을 이용하여 RFPM, AFPM 복합발전기의 모델링 및 특성을 해석하였다. 공극이 존재하는 부분은 회전시 요소변화가 발생하는 부분으로 해석의 정확성을 위해서 밴드 부분에서는 요소를 세밀하게 생성하였다. 또한 규소강판 두께가 너무 얇으면 포화자속이 생겨서 열이 발생하고 성능이 떨어지는 문제가 발생할 수 있다 [5]. 그림 3은 RFPM, AFPM 복합발전기의 모델링 및 자속밀도를 나타내었다.

발전기의 정격속도 증가에 따른 효율을 확인하기 위하여 그림 4와 같이 측정 회로를 구성하였다. 복합발전기의 시험조건은 정격속도 100~600 rpm까지 100 rpm씩 증가시키면서 각 정격속도별 발전량에 따른 효율을 측정하였다.

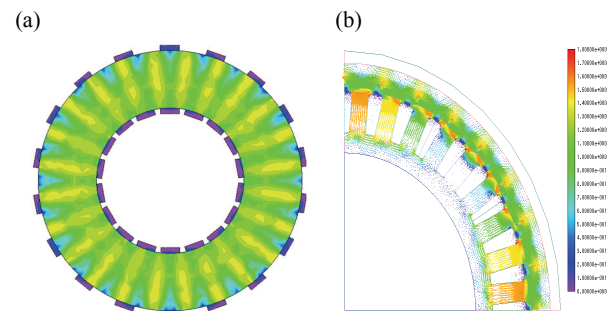


Fig. 3. Generator modeling and magnetic flux density, (a) generator modeling and (b) magnetic flux density.

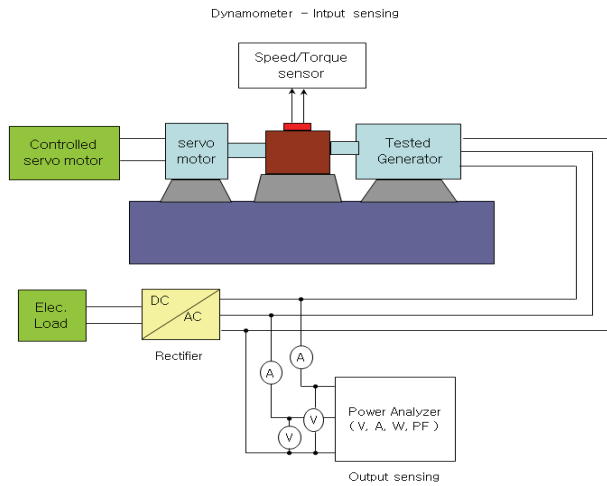


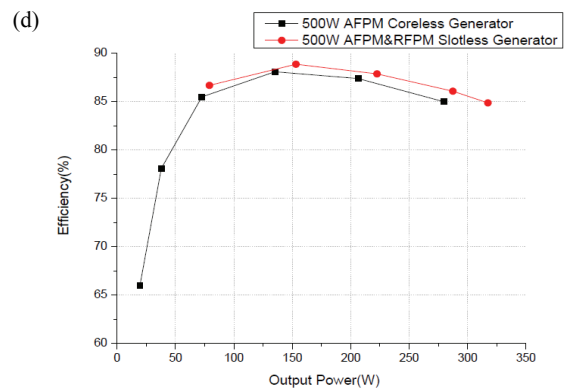
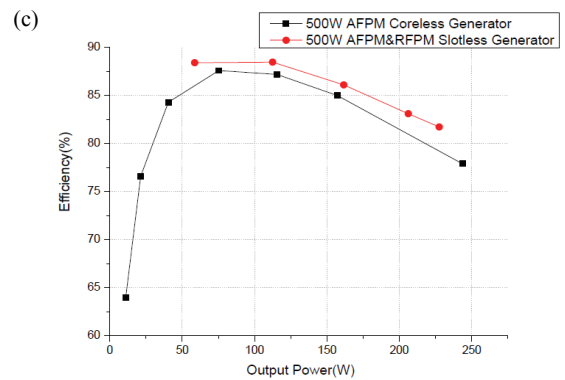
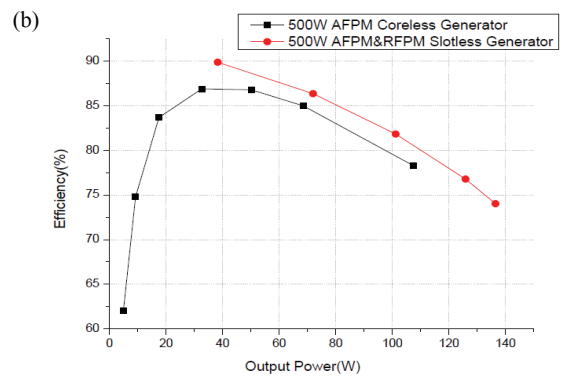
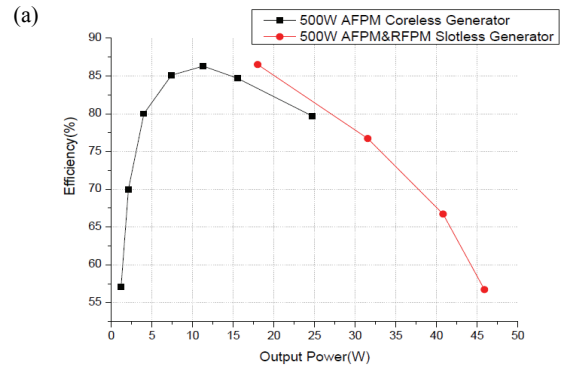
Fig. 4. Generator test diagram.

3. 결과 및 고찰

그림 5에 정격속도(100~600 rpm)의 발전량에 따른 각각의 효율을 나타내었다. 또한 표 2에는 500 W AFPM 코어리스 발전기와 AFPM, RFPM 복합발전기의 효율을 비교하여 나타내었다. AFPM, RFPM 복합발전기는 외경은 동일하고 두께는 더 얇으며, 정격 효율(87.6%) 및 최고 효율(89.6%) 모두 코어리스 발전기에 비해 향상되었음을 알 수 있었다. 이것은 AFPM, RFPM 복합발전기의 요크부에 규소가 함유된 링 코어를 적용하여 철손을 감소시킴으로서 발전기의 효율이 개선됨을 알 수 있었다 [3,4]. 또한 각 정격속도에서 발전량 및 효율의 결과 값에서 AFPM, RFPM 복합발전기가 모든 정격속도 및 동일 발전량에서 AFPM 코어리스 발전기보다 효율이 높음을 확인할 수 있었다.

Table 2. Efficiency of AFPM coreless and AFPM, RFPM generator.

Type	AFPM coreless generator	AFPM, RFPM compound generator
Speed [rpm]	600	600
Power [W]	500	500
Diameter	∅245	∅245
Thickness	75 mm	67 mm
Rated efficiency	86.3%	87.6%
Maximum efficiency	88.8%	89.6%



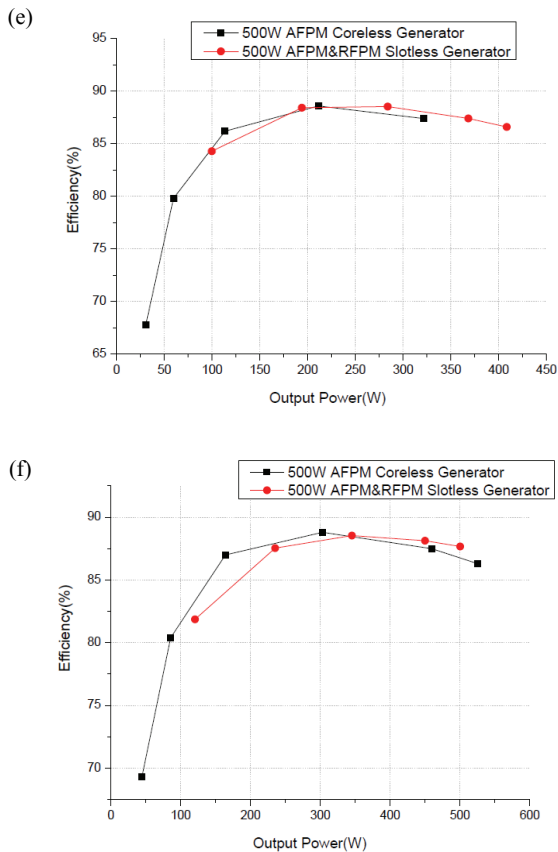


Fig. 5. Efficiency of generator with rpm. (a) 100 rpm, (b) 200 rpm, (c) 300 rpm, (d) 400 rpm, (e) 500 rpm, and (f) 600 rpm.

4. 결론

본 논문에서는 동일한 사이즈의 소형 발전기와 비교하여 자석을 상, 하, 좌, 우 모두 부착하여 발전량의 증대를 가져올 수 있는 AFPM, RFPM 복합발전기를 설계 및 모델링하여 특성 해석을 하였다. AFPM 코어리스 발전기와 비교하여 AFPM, RFPM 복합발전기는 외경은

동일하고 두께는 더 얇으며, 정격속도 600 rpm에서 각각 정격 출력 500.25 W, 정격 효율 87.6% 및 최고 효율 89.6%으로 AFPM 코어리스 발전기에 비해 향상되었음을 알 수 있었다.

이러한 실험 결과를 통해 복합발전시스템을 채용함으로써 소형 발전시스템의 활성화에 기여할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] J. S. Kim, *Journal of Chosun College of Science & Technology*, **51**, 25 (2016).
- [2] J. K. Jang, J. Y. Lee, Y. R. Kim, C. E. Kim, and S. J. Joo, *Proc. KIEE of Summer Conference* (The Korean Institute of Electrical Engineers, Yongpyeong, Korea, 2014) p. 924.
- [3] M. F. Hsieh, D. G. Dorrell, Y. H. Yeh, and S. Ekram, *Proc. 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics* (IEEE, Porto, Portugal, 2009) p. 4435-4439.
- [4] D. A. Gonzalez, J. A. Tapia, and A. L. Bettancourt, *IEEE Trans. Magn.*, **43**, 3435 (2007). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMAG.2007.899349>]
- [5] T. U. Jung and B. D. Bae, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **26**, 71 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2012.26.2.071>]
- [6] J. S. Kim, Y. W. Yoon and M. H. Jang, *Proc. 47th KIEE Summer Conference 2016* (The Korean Institute of Electrical Engineers, Yongpyeong, Korea, 2016) p. 935.
- [7] A. N. Celik, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, **91**, 693 (2003).
- [8] M. F. Hsieh, D. G. Dorrell, Y. H. Yeh, and S. Ekram, *Proc. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE* (Industrial Electronics, Porto, Portugal, 2009) p. 4435. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IECON.2009.5414896>]
- [9] G. C. Lee and T. U. Jung, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **28**, 49 (2014). [DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2014.28.4.049>]