

반발 자석을 유도한 비대칭 에어포일 기반 하이브리드 에너지 하베스팅 시스템 설계 및 최적화

김영섭^{*†}, 석종원^{*}

^{*}중앙대학교 컴퓨터공학부

Design and optimization of a hybrid energy harvesting system based on an asymmetric airfoil induced by a repulsive magnet

Young-sup Kim^{*†}, Jong-won Seok^{*}

^{*} School of Mechanical Engineering, College of Engineering, Chung-Ang University

Key Words: Hybrid energy harvesting(하이브리드 에너지 하베스팅), Vibration(진동), Asymmetric airfoil(비대칭 에어포일), Flutter effect(플러터 효과), Aero-electro-mechanical(공기-전자-기계 결합 모델)

초록: 본 연구에서는 양력이 대칭형보다 잘 발생하는 두개의 비대칭 에어포일을 이용하여 대칭형 구조를 유도한 블러프 바디를 기준으로 자석에 극에 따라 풍속 풍향 적응형 에너지 하베스팅을 평가하였다.

제안된 시스템은 에어포일의 끝단 변화에 따른 역학적 현상을 풍동 실험을 통하여 확인하였고, 2 ~ 3 m/s 에서 하이브리드 에너지 하베스팅이 가능함을 확인하였다.

Abstract: In this study, we evaluated wind speed and wind direction adaptive energy harvesting according to the pole of the magnet based on a bluff body derived from a symmetrical structure using two asymmetric airfoils that generate more lift than the symmetrical airfoil.

The proposed system confirmed the mechanical phenomenon caused by changes in the end of the airfoil through wind tunnel experiments, and confirmed that hybrid energy harvesting is possible at 2 to 3 m/s.

1. 서론

4차 산업혁명에 맞추어 신재생에너지개발의 필요성 확대와 에너지 4.0의 조건을 만족하는 것을 목표로 연구가 확대되어왔다. 그 중 무선 센서 네트워크(WSN; Wireless sensor network)를 이용하여 위해요인으로 인해 작업자의 접근이 불가능하거나 제한된 환경에 대처할 수 있는 스마트 환경기술에 대한 관심이 크게 고조되고 있다. 이에 맞추어 Internet of Things(IoT)기술을 이용한 에너지 수확기술이 핵심이 되고 있다. 그 중 친환경 풍력 에너지의 중요성 또한 강조되어왔다[1]. 주기적인 교체와 유지 관리가 필요한 일반적인 화학 배터리와 달리[2] 풍력 에너지 수확기 기술은 발전기처럼 작동하며 주변 진동 환경에서 끊임없이 에너지를 수확한다. 유동유발 진동은 자기유발 진동의 하나로 실 생활에 광범위하게 존재하며 풍부한 에너지를 보유하고 있다[3]. 이는 일반적으로 와류로 인한 진동으로 구성된다[4]. 그 중 플러터에 의한 진동은 자체적으로 유도된 큰 진폭의 공 탄성 진동이며 플러터 피치 자유도의 결합 결과이다. 이는 앞서 언급한 유형의 진동보다 더 큰 진동 진폭과 더 넓은 작동 대역폭을 보유하는 이점이 있다. 이에 따라 본 연구는 비대칭 에어포일의 뒷전(trailing edge)에 자석을 부착하여 보다 낮은 풍속의 대역폭에서부터 하이브리드 에너지 하베스팅을 유도하는 시스템을 설계하여 도시풍에 대역대의 적합한 친환경 에너지

생산 가능성을 탐구한다.

자석이 부착되어 있지 않은 기존의 시스템은 구조적 안정성을 가지는 이점이 있다. 한편, 도시풍속은 평균 3.5m/s를 가진다. 하지만 기존의 시스템의 에너지 하베스팅은 평균적으로 5.0 ~ 7.5 m/s 발생하기 때문에 더 낮은 풍속 유발 에너지 하베스팅이 필요하다. 그리하여 본 저자는 에어포일의 뒷전에 자석을 추가하여 기존의 시스템보다 낮은 풍속에서 에너지 하베스팅을 유발시키는 시스템을 제안한다.

2. 본론

2.1 플러터를 이용한 에너지 수확

플러터는 대표적으로 비행체나 구조물의 날개, 꼬리날개 또는 기타 고정 구조물의 진동 현상 중 하나이다. 이러한 역학적 현상으로 인해 해당 시스템은 굽힘(bending)모드와 비틀림(torsion)모드가 발생하는데 이를 이용하여 에너지를 수확한다.

2.2 풍향 적응형 하이브리드 에너지 수확기

본 연구에서의 제안된 시스템은 전자기 코일과 압전 필름을 각각 설치하여 이 두 가지 동작에서 기계적 에너지를 추출할 수 있다. 또한, 두개의 동일한 비대칭 에어포일이 도시풍에서 플러터가 발생하는 풍향 적응형 하이브리드 에너지 수확기를 설계하였다(Fig. 1). 에어포일의 단면은 풍향에 의한 높은 양력 효율을 가지는 비대칭형 에어포일 형상 중 NACA 4412

형상을 이용하였다. 또한, 각각의 트레일링 엣지는 앞서 언급한 주제를 탐구하기 위해 5*5*5T [mm]의 네오디뮴 자석이 부착 가능하도록 구조를 설계했다. 이어서 에어포일과 연결된 탄성 빔은 풍속에 의한 영향을 지속적으로 대응하기에 적합한 캔틸레버(티타늄 TC4)빔을 선택하였다.

3. 풍동 실험 및 결과

3.1 실험 설치

제안된 시스템의 성능을 검증하기 위해 층류조건이 가능한 풍동장비를 활용하였다(Fig. 1). 캔틸레버 빔의 길이는 130 [mm]로 통일 하였으며, 0.4 [mm]의 두께를 가진다. 제안된 시스템은 기존 모델을 포함한 3가지 경우로 나누어 진행 하였다. 각 경우에 대한 비교는 에어포일의 트레일링 엣지에 각각 Base: 자석이 없는 동일 질량체, Case 2: 다른 극의 자석 그리고 Case 3: 동일 극을 가지는 자석을 추가하여 구분하였다(Fig. 2).

전압과 전력은 Thevenin's Theorem을 활용하여 제안된 시스템의 저항을 연결하고 최대 전력이 되는 부분을 측정하였다.

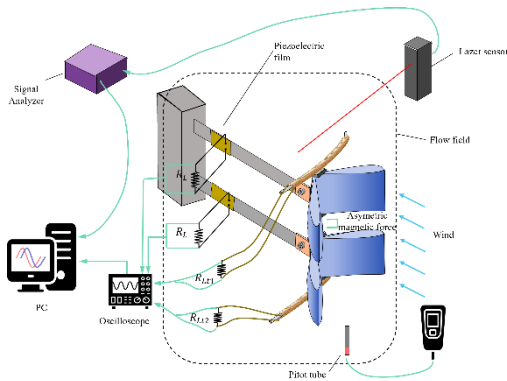


Fig. 1 Schematic diagram and experimental setup of the proposed system.

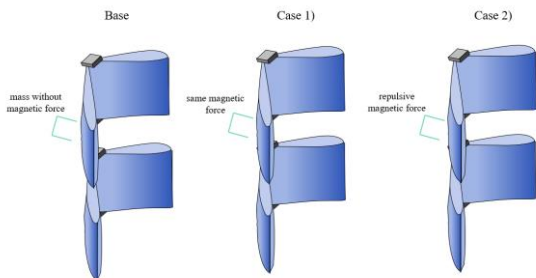


Fig. 2 Cross-section view of the bluff body for each case

3.2 실험 결과 및 분석

앞서 정의한 3가지 경우에 대해 진행한 실험 결과에 따라, 풍속에 따른 전력을 나타낸다(Fig. 3). Case에 따라 풍속이 각각 base : 4.0, case1 : 3.5, case2 : 2.0 [m/s] 일 때 진동이 발생하였다. 진동이 시작되는 임계속도

는 2.0 m/s으로 Case 2가 다른 경우보다 더 높은 효율을 보였다. 3.0 m/s 이상의 풍속 범위부터는 Case 1,2의 변위가 풍속에 따라 상대적으로 빠르게 증가하며, 네 가지 경우 중 가장 높은 전력 효율을 가지는 결과를 보였다.

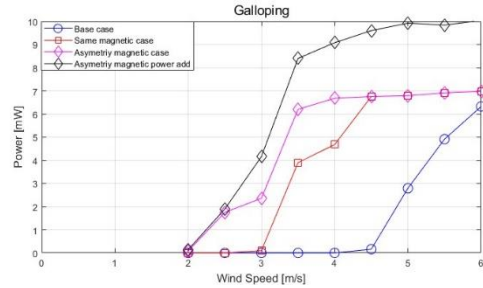


Fig. 3 Power measurement results according to wind speed

4. 결론

본 연구는 반발 자력을 이용한 탄성구조를 타겟으로 한 풍향 적응형 하이브리드 에너지 하베스팅 시스템을 제안하였다. 실험 결과로부터 제안된 시스템은 2.0 m/s의 풍속에서 진동이 시작되어 낮은 도시 풍에서도 전력을 수확하는 에너지 수확기이다. 또한, 특정 풍속에서는 자력의 영향으로 가속을 받아 높은 효율의 전력을 가진다. 따라서, 제안된 시스템은 도시풍에서도 활용도가 높을 것으로 기대한다.

후기

본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었다. (NRF-2022R1A2C1007069)

참고문헌

- (1) Z. Yang, S. Zhou, J. Zu and D.J. Inman 2018, "High-performance piezoelectric energy harvesters and their applications", *Joule*, Vol 2, Issue 4, pp. 642-697
- (2) H. Fu, X. Mei, D. Yurchenko, S. Zhou, S. Theodossiadis, K. Nakano, *et al.* 2021, "Rotational energy harvesting for self-powered sensing", *Joule*, Vol 5 Issue 5, pp. 1074-1118
- (3) M. Hamlehdar, A. Kasaeian and M.R. Safaei, 2019, "Energy harvesting from fluid flow using piezoelectrics: a critical review", *Renewable Energy*, Vol 143, pp. 1826-1838
- (4) Y. Hu, B. Yang, X. Chen, X. Wang and J. Liu, 2018, "Modeling and experimental study of a piezoelectric energy harvester from vortex shedding-induced vibration", *Energy Convers Manag*, Vol 162, pp. 145-158