J. Korean Soc. Mech. Technol, 23(6) : 1059~1063, 2021 한국기계기술학회지 제23권 제6호, pp. 1059~1063, 2021
https://doi.org/10.17958/ksmt.23.6.202112.1059 Print ISSN 1229-604X, Online ISSN 2508-3805

〈학술연구〉

풍력 마찰전기 나노발전기 출력 향상을 위한 미세 PTFE 개수 최적화 연구

장우영* · 이동원*† · 심재삼**†

A Study on Optimization of the Number of Fine PTFE to Improve the Output of Wind Triboelectric Nanogenerators

WooYoung Jang, Dong-Weon Lee, Jaesam Sim

Key Words : Wind(바람), Wind energy harvesting(풍력에너지하베스팅), TENG(Triboelectric nanogenerator, 마찰대전 나노발전기), PTFE(polytetrafluoroethylen, 폴리테트라플루오로에틸렌)

ABSTRACT

This paper is a study to improve the energy harvesting output of a TENG(Triboelectric nanogenerator) driven by wind power using fine PTFE(Polytetrafluoroethylene) flakes. The structure of the nanogenerator was manufactured in the cylindrical structure, Al(Aluminium) was attached to the inner wall of the cylinder and the PTFE flakes were rotated by the wind inside the cylinder. The number of contact and separation motions was increased as there are multiple PTFE flakes, resulting in improvement of the harvesting output. Through this, it was evaluated to the energy harvesting output characteristics according to the change in the number of PTFE flakes. Up to the optimum, the energy collection efficiency shows the linear correlation with the increase in PTFE flakes and decreases after that. As the PTFE flakes are more than the optimum, the lowering in the harvesting output is induced by obstructing the flow of wind inside the cylinder.

1. 서 론

화석연료의 사용 증가는 지구온난화의 주요 원인이 된다.[1] 지구온난화가 심각해질수록 지구 평균온도(해양, 육지, 대기)가 상승하게 되며, 현재는 산업화 이전보다 지구 평균온도가 1C°이상 상승했다. 지구 평균온도가 1C°상승하게 되면 폭염, 허리케인과 같은 기후재난 사건들이 일상이 되고 2C°가 상승하게 되면 빙상이 붕괴되어 해수면이 상승하여 4억 명 이상이 물 부족을 겪고 폭염으로 수천 명이 목숨을 잃게 되어 인류에 큰 피해를 야기하기 때문에 지구온난화 원인을 줄이는 것이 중요하다. 화석연료를 사용하면 지구온난화에 주범인 온실가스가 배출하게 되는데 에너지 하베스터는 온실가스를 배출하지 않고 자가 발전이 가능한 기술로써 지구온난화에 영향을 최소화할 수 있다. 에너지 하베스터는 사물의 진동, 인간의 움직임, 빛, 열, 바람 등에서 발생하고 버려지는 에너지를 포집한 후 전기에너지로 재활용하기 때문에 청정한 에너지 생성 기술이다.

Received : 2021.11.23. Revised : 2021.12.15.
Accepted : 2021.12.21.
*†Corresponding Author; Member, School of Mechanical Engineering, Chonnam University. professor
E-mail : mems@jnu.ac.kr
**†Corresponding Author; Member, Automotive Materials & Components R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology. Senior Researcher
E-mail : sjswkd3@kitech.re.kr
* School of Mechanical Engineering, Chonnam University

에너지 하베스터의 에너지 획득 기술 중 하나인 TENG(triboelectric nanoGenerator)는 환경오염 요소가 없고 에너지 출력이 높다는 강점을 가지고 있다.[2] 마찰전기 나노발전기는 두 물체가 접촉하거나 마찰할 때 발생하는 대전 현상을 이용하여 기계적 에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는 소형 에너지 하베스터이다. 정전기 유도는 대전된 물체를 도체에 가까이했을 때 도체에 전하가 유도되는 현상이다. 음전하를 띄는 대전체를 도체에 가까이 접근시키면 대전체로부터 가까운 도체 부근에는 반대형의 양전하가 유도되고, 음전하를 띄는 대전체로부터 먼 곳의 도체 부근에는 대전체와 같은 음전하가 유도된다. 마찰대전 에너지 하베스터는 구동 모드에 따라 크게 수직 방향 접촉/분리 모드와 슬라이딩 모드로 구분되며 인체 움직임, 자연 바람 등에 의한 진동 등에서의 에너지 포집 기반의 발전기를 적용할 수 있다.

기존 연구사례에 따르면 마찰전기 나노발전기 출력을 향상시키기 위해서는 접촉 면적과 접촉/분리 횟수가 유도 전하밀도에 영향을 미치는 중요한 요인이다.[3-5] 접촉력이 낮으면 표면의 일부 영역만 접촉하므로 마찰 전하량이 적기 때문이다. 전하 밀도를 증가시키기 위해 화학적 표면 처리[6-9] 및 표면적을 증가시키기 위한 마이크로 나노구조 형성과[3,10-16] 같은 다양한 설계 기술이 연구됐다. 본 논문에서는 길이 10mm, 너비 10mm 다수 미세 PTFE 조각을 사용하여 동일한 부피 내에서 동일한 세기의 바람(9.8m/s)이 불었을 경우 접촉/분리 횟수를 증가시켜 출력을 증가시키는 새로운 접근 방식을 개발했다. 이전 연구사례에는 풍력을 이용하여 호루라기 구조 TENG 기반에 구 모양의 대전체를 사용하는 새로운 접근 방식을 개발하여 우수한 연구 결과가 보고되고 있다.[17] 하지만 이 연구에서 구 모양의 대전체는 같은 부피 내에 공간 활용이 용이하지 않는 단점을 가진다. 이를 보완하고자 접촉/분리 횟수를 증가시키고 미세한 바람에도 에너지를 포집할 수 있도록 PTFE를 미세 크기로 축소시키고 개수를 증가시켰다. TENG의 구조는 바람이 잘 회전할 수 있는 실린더형으로 제작하여 PTFE와 실린더 내벽에 부착되어 있는 Al 과의 마찰을 용이하게 하였다.

2. 본 론

2.1 TENG의 개념

Fig. 1은 본 연구는 TENG의 접촉/분리 모드 개념을

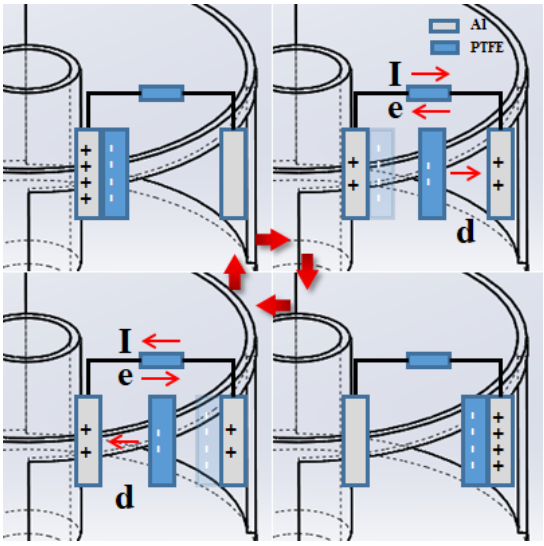

Fig. 1 Working principle of contact/separation mode of TENG

보여준다. 접촉/분리 모드는 TNEG의 좌측과 우측에 양전하가 잘 대전 되는 금속 전극인 Al으로만 구성되어 있고, 금속 전극 사이에 음전하를 띄는 대전체인 PTFE가 있다. 따라서 Fig. 1과 같이 대전체가 좌측과 우측에 접촉/분리를 반복하게 되면 정전유도에 의해 음전하를 띄는 대전체가 금속에 있는 전자를 밀어내어 대전체와 가까운 금속 표면에는 양전하가 유도되고 대전체와 먼 금속 표면에는 음전하가 유도된다. 그 결과 두 전극 사이에 전하 밀도의 차이가 발생하고, 전극이 도선으로 연결되면 전류가 흐른다. 우측 도체와 대전체 사이의 거리가 줄어들면 전자는 우측에서 좌측으로 이동하고 전류는 좌측에서 우측으로 흐른다. 전류가 흐른 후 좌측 도체와 대전체 사이의 거리가 줄어들면 전자는 좌측에서 우측으로 이동되어 전하 밀도의 차이로 인해 전류는 우측에서 좌측으로 흐른다.

2.2 TNEG 구조 설계

Fig. 2는 풍력을 이용한 실린더형 TENG 개략도를 보여준다. 바람이 실린더형 TENG를 통과하면 미세 크기의 PTFE가 바람 에너지로부터 운동에너지를 쉽게 얻게 되고 실린더 내부 표면을 따라 회전 운동을 유도하여 회전궤도를 생성한다. 실리더 형 내벽 a와 내벽 b에 Al을 부착하여 전극을 제작하였다.(Fig. 2b 참조) PTFE가 바람에 의해 흩날리게 되면 내벽 전극에 접촉/분리하게 되

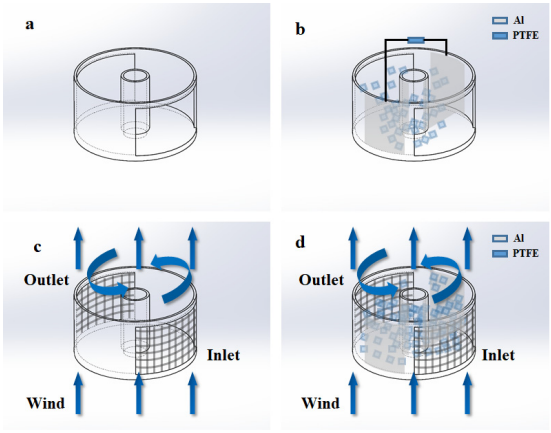

Fig. 2 Cylinder structure made by 3D printer (a) Cylindrical inner wall and outer wall (b) TENG contact/separation mode driving principle (c) Wind rotational motion of cylinder structure (d) TENG motion using wind power

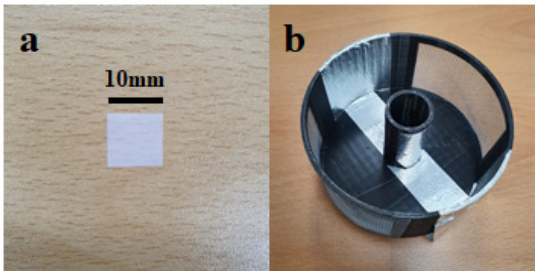

Fig. 3 Images of (a) Fine PTFE flake and (b) TENG inside structure

어 에너지를 생성하게 된다. 실린더 구조는 SolidWorks 프로그램으로 디자인하였고 Sindoh 7X제품을 사용하여 3D 프린팅 방식을 통해 제작하였으며 시간은 14시간 소요되었다.[18] TENG는 서로 다른 두 전도성을 가진 물질이 마찰하여 에너지를 생성한다. 기존의 다수 연구들에 따르면 접촉/분리를 이용한 마찰대전 에너지 하베스터에서 접촉/분리 횟수가 증가할수록 출력이 증가한다는 것이 보고되었으며 선행연구들에서 미세 크기의 다수 PTFE조각을 바람을 이용하여 흩날리는 연구사례는 없었다. 실제 제작된 TENG와 실험 셋업은 Fig. 3a와 같으며 길이 10mm, 너비 10mm, 두께 0.05 미세 크기의 정사각형에 해당하는 PTFE를 1조각에서 400조각까지의 개를 증가시켰을 경우 출력을 알아보았다. 실험 경계조건은 풍속 9.8m/s, 시간 1초, 거리 50mm에서 동일한 조건으로 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 4은 다수 PTFE조각 50개에서 100개까지 변화시켰을 경우 하베스터의 전압, 전류 특성을 나타낸 그래프이다. 개수 변화에 따라 출력이 증가하는 것을 알 수 있다. PTFE조각 50개부터 100조각까지 개수가 증가하면서 접촉/분리 횟수도 증가하여 출력이 증가하였다. Fig. 5에서 보여지는 바와 같이, PTFE 조각 개수를 50개에서 100개까지 증가시켰을 경우 출력이 증가하여 전압 9.0[V], 전류 0.096[μA]의 최적 출력을 달성한 것을 확인할 수 있다. PTFE조각을 100개에서 200개까지 증가시켰을 경우 전압 9.0~10.6[V], 전류 0.096~0.108[μA]으로 출력이 약간의 변동이 있었지만, 일정한 출력을 유지했다. 300개 이상부터는 출력이 감소하는 것을 알 수가 있다. 이를 통해서 PTFE 조각이 최적 개수 이상으로 증가하게 되면 실린더 내부 바람의 흐름을 방해하여 출력이 감소한다는 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 미세 크기의 다수 PTFE를 사용한 새로운 TENG 구동 방법을 개발했다. 동일한 풍력 조건에서 실험을 진행하여 다음과 같은 결론을 얻었다. PTFE 조각을 계속 증가시킨 결과 100개까지는 출력이 증가하였고

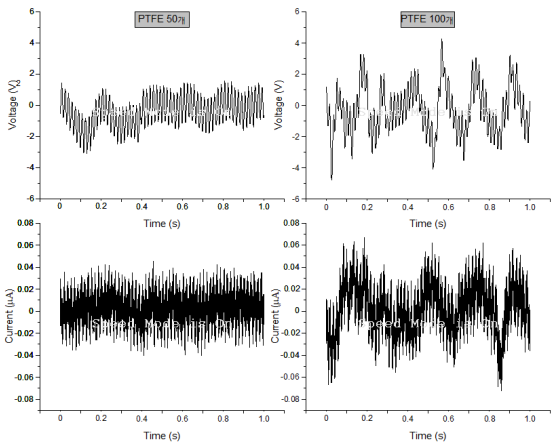

Fig. 4 Comparison of V_{p-p} and A_{p-p} values for 50 and 100 pieces of PTFE

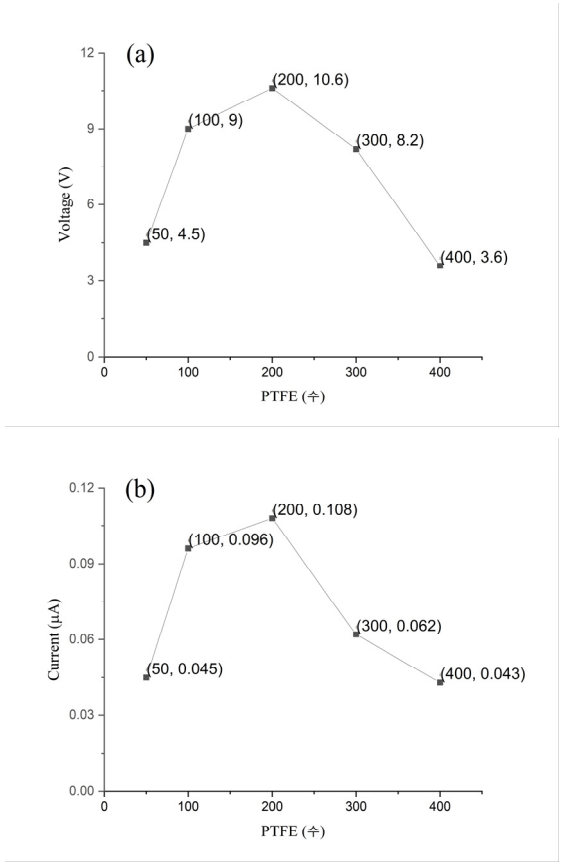

Fig. 5 (a) Voltage variation from 50 to 400 flakes of PTFE (b) Current variation from 50 to 400 flakes of PTFE

100~200개부터 출력이 유지되었으며, 300개 이상으로 증가하게 되면 출력이 감소함을 확인하였다. 이는 PTFE 수가 증가할수록 실린더 내부 바람의 흐름을 방해하여 에너지 수확 효율이 감소하는 것으로 판단된다. 이를 통해 본 연구에서는 TENG는 PTFE 개수에 따른 에너지 수확 출력을 최대화하는 미세 크기 PTFE 조각의 최적 개수를 확인하였다.

후 기

본 논문은 한국생산기술연구원 기관 주요 사업 “Add-on 모듈 탑재를 통한 지능형 뿌리 공정 기술개발 (KITECH EO-21-0009)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

References

[1] Myeong Yun Kim., “A Study on Effective Energy Harvesting Using Exhaust Gas from Internal Combustion Engine.” Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, pp. 949-953, 2013

[2] Xu, M., Zhao, T., Wang, C., Zhang, S. L., Li, Z., Pan, X., &Wang, Z. L. “High power density tower-like triboelectric nanogenerator for harvesting arbitrary directional water wave energy.” ACS nano, pp. 1932-1939, 2019

[3] Fan, F. R., Lin, L., Zhu, G., Wu, W., Zhang, R., &Wang, Z. L. “Transparent triboelectric nanogenerators and self-powered pressure sensors based on micropatterned plastic films.” Nano letters, pp. 3109-3114, 2012

[4] Seol, M. L., Lee, S. H., Han, J. W., Kim, D., Cho, G. H., &Choi, Y. K. “Impact of contact pressure on output voltage of triboelectric nanogenerator based on deformation of interfacial structures.” Nano Energy, pp. 63-71, 2015

[5] Jin, C., Kia, D. S., Jones, M., &Towfighian, S. “On the contact behavior of micro-/nano-structured interface used in vertical-contact-mode triboelectric nanogenerators.” Nano Energy, pp. 68-77, 2016

[6] Lin, Z. H., Xie, Y., Yang, Y., Wang, S., Zhu, G., &Wang, Z. L. “Enhanced triboelectric nanogenerators and triboelectric nanosensor using chemically modified TiO2 nanomaterials.” ACS nano, pp. 4554-4560, 2013

[7] Zhang, X. S., Han, M. D., Wang, R. X., Meng, B., Zhu, F. Y., Sun, X. M., ... &Zhang, H. X. “High-performance triboelectric nanogenerator with enhanced energy density based on single-step fluorocarbon plasma treatment.” Nano Energy, pp. 123-131, 2014

[8] Yun, B. K., Kim, J. W., Kim, H. S., Jung, K. W., Yi, Y., Jeong, M. S., ... &Jung, J. H. “Base-

treated polydimethylsiloxane surfaces as enhanced triboelectric nanogenerators." Nano Energy, pp. 523-529, 2015

[9] Guo, Y., Li, K., Hou, C., Li, Y., Zhang, Q., &Wang, H. (2016). "Fluoroalkylsilane-modified textile-based personal energy management device for multifunctional wearable applications."ACS applied materials & interfaces, pp. 4676-4683, 2016

[10] Zhu, G., Lin, Z. H., Jing, Q., Bai, P., Pan, C., Yang, Y., ... &Wang, Z. L. "Toward large-scale energy harvesting by a nanoparticle-enhanced triboelectric nanogenerator." Nano letters, pp. 847-853, 2013

[11] Lee, K. Y., Chun, J., Lee, J. H., Kim, K. N., Kang, N. R., Kim, J. Y., ... &Kim, S. W. "Hydrophobic sponge structure-based triboelectric nanogenerator." Advanced materials, pp. 5037-5042, 2014

[12] Seol, M. L., Woo, J. H., Lee, D. I., Im, H., Hur, J., &Choi, Y. K. "Nature-replicated nano-in-micro structures for triboelectric energy harvesting." Small, pp. 3887-3894, 2014

[13] Jeong, C. K., Baek, K. M., Niu, S., Nam, T. W., Hur, Y. H., Park, D. Y., ... &Lee, K. J. "Topographically-designed triboelectric nanogenerator via block copolymer self-assembly." Nano letters, pp. 7031-7038, 2014

[14] Park, S. J., Seol, M. L., Jeon, S. B., Kim, D., Lee, D., &Choi, Y. K. "Surface engineering of triboelectric nanogenerator with an electrodeposited gold nanoflower structure." Scientific reports, pp. 1-7, 2015

[15] Kim, W. G., Tcho, I. W., Kim, D., Jeon, S. B., Park, S. J., Seol, M. L., &Choi, Y. K. "Performance-enhanced triboelectric nanogenerator using the glass transition of polystyrene." Nano Energy, pp. 306-312, 2016

[16] Park, S. J., Seol, M. L., Kim, D., Jeon, S. B., &Choi, Y. K. "Triboelectric nanogenerator with nanostructured metal surface using water-assisted oxidation." Nano Energy, pp. 258-264, 2016

[17] Yong, H., Chung, J., Choi, D., Jung, D., Cho, M., &Lee, S. "Highly reliable wind-rolling triboelectric nanogenerator operating in a wide wind speed range." Scientific reports, pp. 1-11, 2016

[18] Jung-Won Lee., Hyun-Suk Jung., Choun-Kyu Lee., "A Study on the Optimization of 3D Printer Processing Conditions using Experiment Design." Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, pp. 585-589, 2020

WooYoung Jang Graduated from Chosun University in 2019 with a bachelor's degree. Master Jang is currently a student in the Department of Mechanical Engineering, Chonnam National University, Gwangju. His research interests are energy harvesting, MEMS, and TENG.