

# 감귤 과피 분말 기반 마찰전기 나노발전기 제작

김우중\*, 김수완\*, 박성현\*, 도양희\*\*,#, 양영진\*.,##

\*한국생산기술연구원 청정월빙연구그룹, \*\*제주대학교 전자공학과

## Triboelectric Nanogenerator based on Mandarin Peel Powder

Woo Joong Kim\*, Soo Wan Kim\*, Sung Hyun Park\*, Yang Hoi Doh\*\*,#, Young Jin Yang\*.,##

\*Sustainable Technology and Wellness R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology

\*\*Department of Electronic Engineering, Jeju National University

(Received 10 February 2022; received in revised form 16 February 2022; accepted 18 March 2022)

### ABSTRACT

Discarded bio-wastes, such as seeds and rinds, cause environmental problems. Multiple studies have recycled bio-wastes as eco-friendly energy sources to solve these problems. This study uses bio-waste to fabricate a mandarin peel powder based triboelectric nanogenerator (MPP-TENG). The MPP-TENG is based on the contact separation mode. It generates an open-circuit voltage and short-circuit current of 156V and 2 $\mu$ A, respectively. In addition, MPP-TENG shows stable operation over continuous 3000s without any deviation in output. Also, the device exhibits maximum power density of 5.3 $\mu$ W/cm<sup>2</sup> when connected to a resistance of 100M $\Omega$ . In an energy storage capacity test for 1000s, the MPP-TENG stores an energy of 171.6 $\mu$ J in a 4.7 $\mu$ F capacitor. The MPP-TENG can power 9 blue LEDs and 54 green lettering LEDs. These results confirm that the MPP-TENG can provide a new avenue for eco-friendly energy harvesting device fabrication.

**Keywords :** Bio-waste(바이오폐기물), Triboelectric Nanogenerator(마찰전기 나노발전기), Energy Harvest(에너지 수확), Mandarin Peel Powder(감귤 과피 분말)

## 1. 서 론

최근, 화석 연료, 원자력 등의 에너지원으로 인한 탄소 과다배출, 오존층 파괴 등의 환경 문제들이 주목받고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 제사용 및 지속 가능한 에너지원들에 관한 연구가 진행되고 있다<sup>[1,2]</sup>. 이러한 연구 중에, 마찰전기 나노발전기

(Triboelectric nanogenerator, TENG)는 2012년경부터 연구되고 있는 에너지원이며 저중량, 적은 비용으로 쉽게 제작이 가능 등의 이점을 갖고 있다<sup>[3,4]</sup>. TENG은 걸을 때의 인체의 움직임이나 바람으로 인한 물체의 흔들림 등에서 발생하는 기계적 에너지를 활용할 수 있어 친환경적인 에너지원이 될 수 있다<sup>[5]</sup>. 스마트워치, 보청기 등의 휴대용 전자기기는  $\mu$ W에서 mW 범위의 저전력 전원이 필요하며, TENG의 출력은 이를 만족시킬 수 있다. 또한, 소형 전자기기의 크기에 맞는 소형 발전기가 개발되면 자가 구동 시스템 등을 구축하는 데에도 유리하므로, 많은 연구자가 TENG을 활용한 센싱 시스템 등을 연구, 개발하고 있다<sup>[4,6,7]</sup>.

# Corresponding Author : yhdoh@jejunu.ac.kr

Tel: +82-64-754-3663, Fax: +82-64-756-1745

## Corresponding Author : yangyj23@kitech.re.kr

Tel: +82-64-754-1533, Fax: +82-64-754-1520

TENG은 기본적으로 프레임, 전극 및 대전층으로 구성된다. 전극은 구리나 알루미늄 등의 전도성 물질이 사용되며, 대전층은 실리콘, 고무, 종이 등의 비전도성 물질들이 사용된다<sup>[89]</sup>. 대전층에 사용되는 재료들은 친환경적이지 않은 경우가 많아 일부 연구자들은 대전층으로 폐 우유 종이팩, 버려진 플라스틱 등의 이미 사용된 재료들을 재활용하거나 나무나 거미줄 등의 자연 재료 혹은 해바라기 씨, 땅콩 껍질 등의 bio-waste를 활용함으로써 친환경적인 TENG을 연구 및 개발하고 있다<sup>[1,10-13]</sup>.

Bio-waste 같은 부산물들은 환경오염을 유발하는 원인 중 한 가지로 알려져 있다<sup>[14]</sup>. bio-waste의 성분에는 주로 셀룰로스, 리그닌 등의 섬유질 성분들이 있으며, 이러한 성분들은 TENG을 제작할 시 마찰대전 물질로 사용될 수 있다<sup>[15,16]</sup>. Bio-waste 중 하나인 감귤 과피는 셀룰로스 약 9.21%, 헤미셀룰로스 약 10.5%, 펙틴 약 42.5% 및 기타 물질 등으로 구성되어 있어, 감귤 과피 또한 TENG의 제작을 위한 마찰대전 물질로 사용될 수 있음을 알 수 있다<sup>[17]</sup>.

본 논문에서는, 감귤 과피를 이용하여 감귤 과피 분말(Mandarin Peel Powder, MPP) 필름을 만들었으며, 이 MPP-film을 사용해 감귤 과피 분말 기반 마찰전기 나노발전기(MPP-TENG)를 제작하였다. MPP-TENG 디바이스는 MPP-film을 전기양성층으로, polydimethylsiloxane (PDMS)을 전기음성층으로 사용하여 제작되었다. 그리고 약 156V 및 2 $\mu$ A의 출력을 보였으며, 약 5.3 $\mu$ W/cm<sup>2</sup>의 전력 밀도를 보였다. 또한 다수의 LED를 동시 발광하는 데 성공하였다. 이는 MPP-TENG이 에너지 수확을 위한 디바이스로써 성공적으로 제작되었음을 의미하며, MPP-TENG은 향후 bio-waste를 활용한 자가 구동 시스템을 위한 새로운 밑받침이 될 수 있을 것이다.

## 2. 재료 및 분석

### 2.1 재료

PET 필름(DoublePET, 투명필름 두께 : 188 $\mu$ m)은 프레임으로써 사용하였고, 전도성 알루미늄 테이프(프린텍, A4805) 및 전도성 구리 테이프(NGA, 50mm  $\times$  0.065mm  $\times$  30m)는 각각 30mm  $\times$  40mm의 크기로 자른 후 전극으로 사용하였다. PDMS 필름은 PDMS 용액과 경화제(Dow Corning, DC-184)를 10:1 비율로 섞은 후

입도 60의 사포 위에 도포한 후 건조하여 약 1.9mm 두께로 제작하였다. 건조된 PDMS 필름을 30mm  $\times$  40mm의 크기로 자른 후 구리 전극 위에 배치하여 대전층으로 활용하였다. MPP-film 제작 과정에서, 감귤(조생종)의 과피 건조에는 열풍건조기(귀뚜라미, KED-M07D1)를 사용하였다. 분쇄된 MPP를 압축하여 약 755 $\mu$ m 두께의 필름으로 제작하였다.

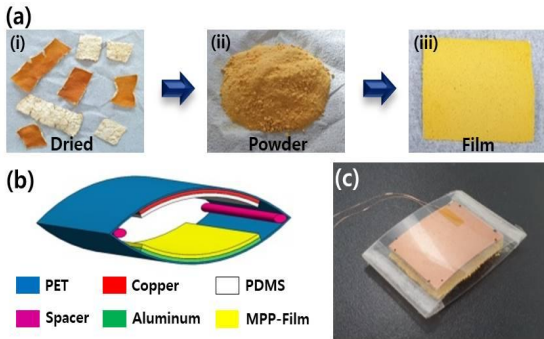
### 2.2 분석

MPP의 성분 확인을 위해 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer(Bruker, Alphal)를 이용한 분석을 진행하였다. MPP-film의 표면 거칠기를 확인하기 위해 3D nanoprofiler(NanoSystem, NV-2400)를 사용하였다. 전압, 전류 등의 전기적 특성 분석을 위해 리니어 모터로 운동 조건을 제어하였으며, 출력의 기록은 일렉트로미터(Keithley, 6514)를 사용하였다.

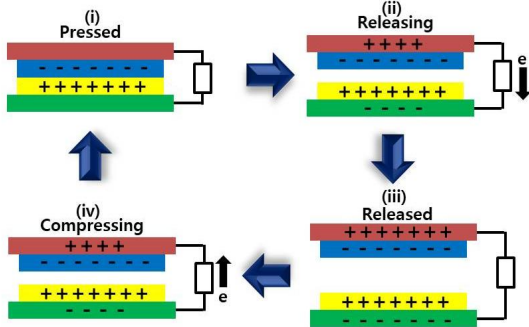
## 3. 실험결과

MPP-film의 제작 과정을 Fig. 1 (a)에 나타내었다. 먼저, 감귤에서 과피를 분리한 후, 열풍건조기를 이용하여 감귤 과피에서 수분을 제거한다(i). 건조된 감귤 과피를 분쇄하여 분말로 만든다(ii). 알루미늄 테이프를 30mm  $\times$  40mm의 크기로 자른 후, 알루미늄 위에 MPP를 압축하여 크기 30mm  $\times$  40mm의 MPP-film으로 만든다(iii). MPP-film 제작 과정 중, MPP를 입자크기 500 $\mu$ m 이상의 분말과 500 $\mu$ m 이하의 분말 2종류로 분류하였다. MPP-TENG의 구성을 Fig. 1 (b)에 나타내었다. PET는 디바이스의 프레임으로 사용되었고, 스펀지를 스페이서로 이용하였다. 구리 테이프와 알루미늄 테이프는 전극으로 사용하였다. PDMS 필름은 전기음성층으로 사용하였으며, MPP-film은 전기양성층으로 사용하였다. 제작된 MPP-TENG 디바이스를 Fig. 1 (c)에 나타내었다.

MPP-TENG의 구동 메커니즘을 Fig. 2에 나타내었다. MPP-TENG은 수직 접촉 분리 모드로 구동한다. 초기 상태에서, 두 대전층은 접촉해 있으며 전극 간에 전하의 흐름이 없다(i). 이때 표면 전하가 접촉면을 통해 이동한다. 전하의 이동 방향은 물질이 전하를 얻거나 잃기 쉬운 성향을 나타낸 triboelectric series에 따라 MPP-film으로부터 PDMS 필름으로 이동한다<sup>[8]</sup>. 외력



**Fig. 1** (a) Photographic image of fabricate mandarin peel power film (MPP-film) (b) Schematic illustration of MPP-TENG device (c) The photograph of the fabricated MPP-TENG device



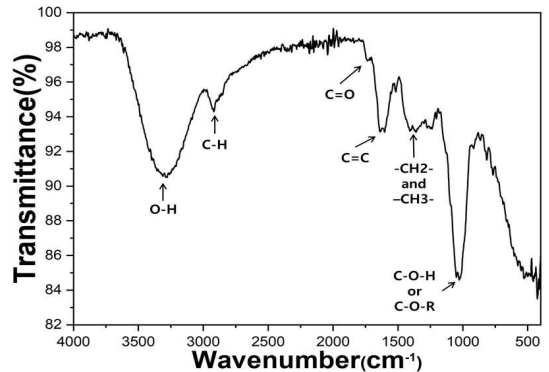
**Fig. 2** Schematic illustration of working mechanism of MPP-TENG device

에 의해 두 대전층이 떨어질 때, 두 대전층은 각각의 전극으로부터 전하를 보충하거나 내보낸다(ii). 이로 인해 두 전극 사이에 전하의 차이가 발생하게 되고, 이 현상은 전자가 외부 회로를 통해 이동하도록 유도한다. 두 대전층이 완전히 떨어지게 되면, 더는 전자의 흐름이 발생하지 않는다(iii). 외력에 의해 두 대전층이 접근하게 되면, 다시 표면 전하 이동이 발생하고 이에 따라 두 대전층이 떨어질 때와 반대로 각각의 전극으로부터 전하를 보충하거나 내보낸다(iv-i). 이로 인해 두 전극 사이에 전하의 차이가 발생하게 되고, 전자의 이동 경로는 반대 방향이 된다<sup>[18]</sup>.

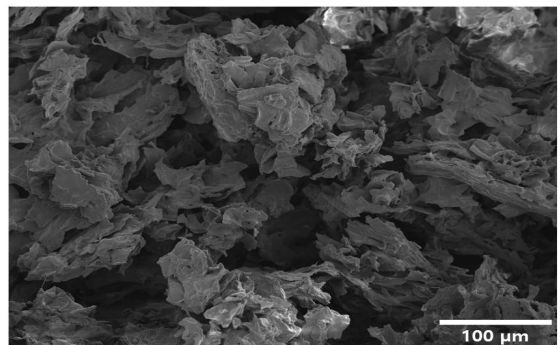
MPP의 성분 확인을 위하여 FT-IR 분석이 진행되었

으며 이에 관한 FT-IR 스펙트럼을 Fig. 3에 나타내었다. MPP의 FT-IR 스펙트럼에서 보이는 밴드 중  $3278\text{cm}^{-1}$ ,  $2913\text{cm}^{-1}$ ,  $1350\text{cm}^{-1}$  및  $1034\text{cm}^{-1}$  근처 피크의 밴드는 셀룰로스, 헤미셀룰로스 및 리그닌의 FT-IR 스펙트럼에서 관찰되는 밴드와 유사하다<sup>[14]</sup>.

입자크기에 따른 디바이스의 거칠기 값을 비교하기 위해 입자크기  $500\mu\text{m}$ 를 기준으로 2종류의 MPP-film 및 이를 활용한 디바이스를 제작하였다. 먼저 MPP-film의 표면 형상을 확인하기 위하여 FE-SEM 측정을 진행하였다. FE-SEM 이미지는 Fig. 4에 나타내었으며, 이를 통하여 MPP의 입자 형상이 다공성을 가지며 불규칙한 형태임을 확인하였다. 입자크기에 따른 표면 거칠기 값을 확인하기 위하여 MPP-film의 3D nanoprofile을 측정하였다.  $60\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ 의 영역을 측정하였으며, 표면 거칠기의 평균값을 나타내는 Ra값이 각각 입자크기가 큰 MPP-film은  $2.57\mu\text{m}$ , 입자크기가



**Fig. 3** FT-IR plot of MPP



**Fig. 4** FE-SEM image of MPP-film surface

작은 MPP-film은  $4.65\mu\text{m}$ 임을 확인하였으며, 촬영된 3D 이미지는 각각 Fig. 5 및 Fig. 6에 나타내었다.

또한, 성능 비교를 위해 각각의 MPP-film을 활용한 디바이스의 전압(Fig. 7) 및 전류(Fig. 8)를 측정하였다.

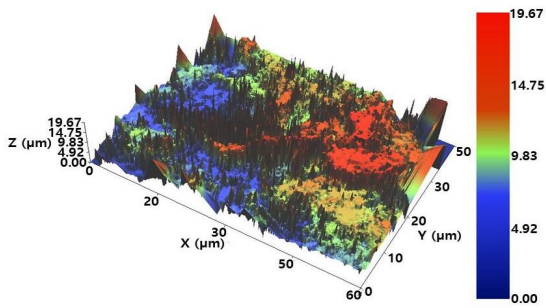


Fig. 5 3D nanoprofile image of MPP-film using powders with sizes larger than  $500\mu\text{m}$

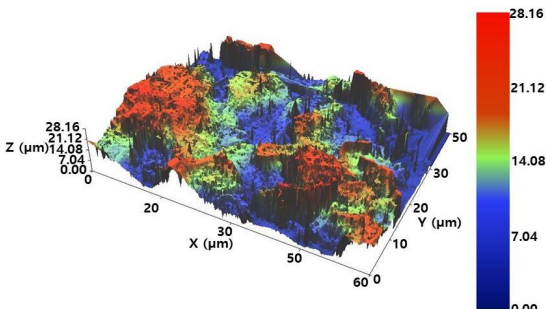


Fig. 6 3D nanoprofile image of MPP-film using powder with a size smaller than  $500\mu\text{m}$

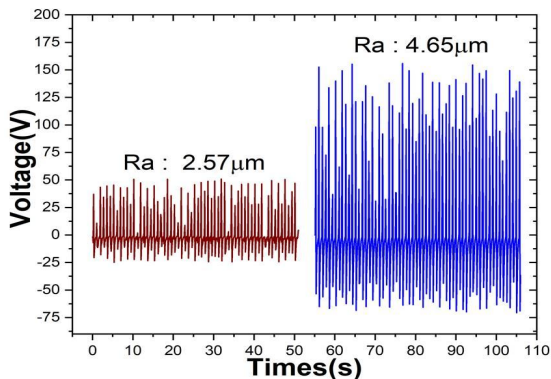


Fig. 7 Comparing voltage output of MPP-TENG with different size of MPP

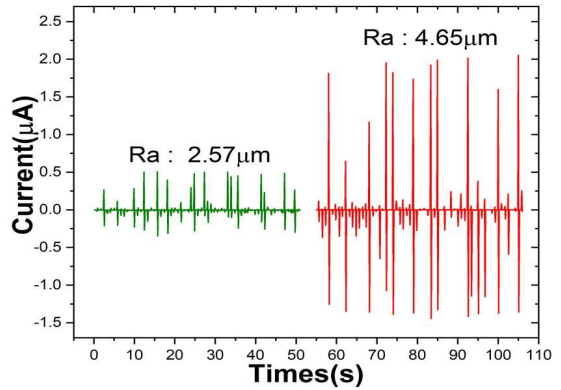


Fig. 8 Comparing current output of MPP-TENG with different size of MPP

운동 조건은 리니어 모터를 제어하여 가속도  $2\text{m/s}^2$ 로 진행하였고, 일렉트로미터를 이용하여 출력을 측정하였다. 거칠기가  $2.57\mu\text{m}$ 인 MPP-film으로 만든 MPP-TENG은 최대전압 약 51V 및 최대전류 약 506nA의 출력을 측정하였으며, 거칠기가  $4.65\mu\text{m}$ 인 MPP-film으로 만든 MPP-TENG은 최대전압 약 156V 및 최대전류 약  $2\mu\text{A}$ 의 출력을 측정하였다. 이 결과를 통하여 높은 거칠기 값의 MPP-film으로 제작한 디바이스가 높은 출력을 보이는 것을 확인하였다.

MPP-TENG 디바이스의 장시간 연속 운용에 관한 출력의 안전성을 확인하기 위한 실험을 진행하였으며 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. MPP-TENG 디바이스는 리니어모터를 이용하여 3,000초 이상의 시간 동안 연속 발전을 하였으며, 이 결과를 통하여 MPP-TENG 디바이스가 장시간 연속 운용에도 안정적인 출력을 보이는 것을 확인하였다. Fig. 9에는 MPP-TENG 디바이스의 부하 저항 실험의 결과를 나타내었다. 연결된 외부 저항에 따른 전압을 측정 및 그에 따른 전력 밀도를 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$P_D$ 는 전력 밀도( $\text{W/cm}^2$ )이며  $V$ 는 전압(V),  $R$ 은 저항( $\Omega$ ),  $S$ 는 영역( $\text{cm}^2$ )이다.  $50\Omega$ 부터  $1\text{G}\Omega$ 까지 다양한 범위의 외부 저항을 사용하였으며, 전압은 외부 저항이 커질수록 증가하였다. MPP-TENG이  $100\text{M}\Omega$ 의 외부 저항과 연결되었을 때, 전압 약 80V가 측정되었으며 전력 밀도는 최댓값인 약  $5.3\mu\text{W/cm}^2$ 가 계산되었다. 측정 및 계산된 MPP-TENG의 출력이 다른 소재를 이용한 디바이스와 비슷한 수준을 보였음을 확인하였다<sup>[6,10,11]</sup>.

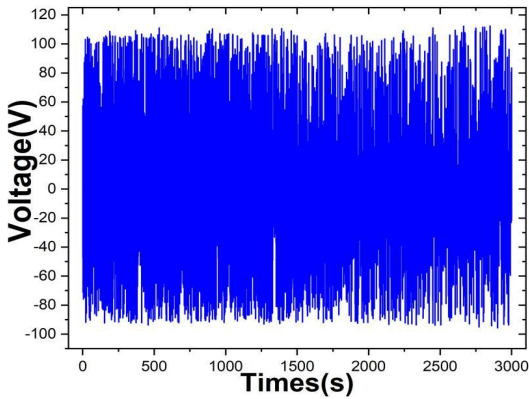


Fig. 9 Stability analysis for 3,000s using MPP-TENG

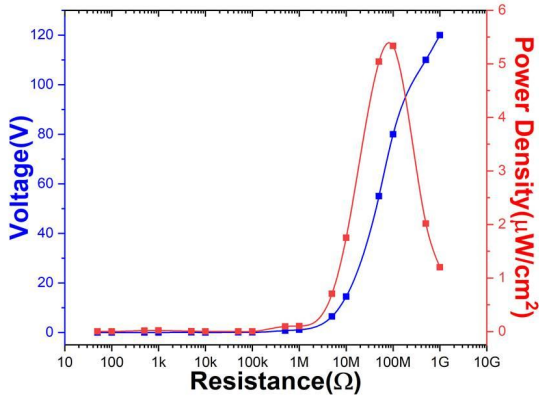


Fig. 10 Voltage and power density value with variable load resistance

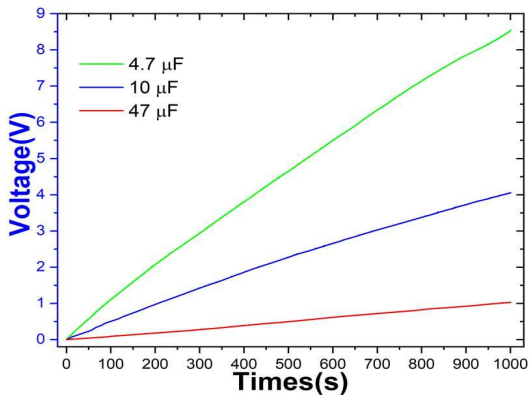


Fig. 11 Charging features with different capacitors using MPP-TENG

$$P_D = \frac{V^2}{RS} \quad (1)$$

Fig. 11에는 MPP-TENG 디바이스의 커패시터 충전 성능 실험 결과를 나타내었다. 커패시터 충전성능 실험은 4.7 $\mu$ F, 10 $\mu$ F, 47 $\mu$ F의 커패시터를 각각 1,000초 이상 충전하며 진행하였다. MPP-TENG은 AC 출력을 발생하며, 커패시터 충전을 위하여 브리지 정류기를 통해 AC 출력을 DC 출력으로 변환하였다. 커패시터를 약 1,000초 동안 충전하였을 때, 4.7 $\mu$ F 커패시터는 약 8.5V, 10 $\mu$ F 커패시터는 약 4V, 47 $\mu$ F 커패시터는 약 1V 충전되었다. 이 결과로부터, 식(2)을 사용하여 커패시터에 1,000초 동안 에너지가 얼마나 저장되었는지 계산할 수 있다.

$$E_{cap} = \frac{1}{2} CV^2 \quad (2)$$

$E_{cap}$ 은 저장된 에너지양(J)이며 C는 커패시터 용량(F), V는 충전된 전압(V)이다. 계산된 값은 Fig. 12에 그래프로 정리하였다. 1,000초 동안, 4.7 $\mu$ F 커패시터는 약 171.6 $\mu$ J, 10 $\mu$ F 커패시터는 약 82.1 $\mu$ J, 47 $\mu$ F 커패시터는 약 24.7 $\mu$ J의 에너지를 저장하였다.

MPP-TENG의 에너지 생산 능력을 확인하기 위해, LED 발광 실험을 진행하였다. 먼저 병렬 연결된 9개의 청색 LED를 발광하기 위해, MPP-TENG, 브리지 정류기 및 LED를 이용하여 Fig. 13(a)에 나타난 것처럼 회로도를 구성하였다. Fig. 13(b) 및 (c)는 9개의 청색 LED가

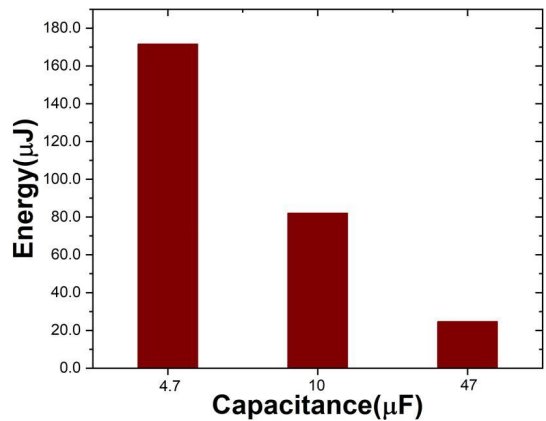


Fig. 12 Energy storing analysis with different capacitors

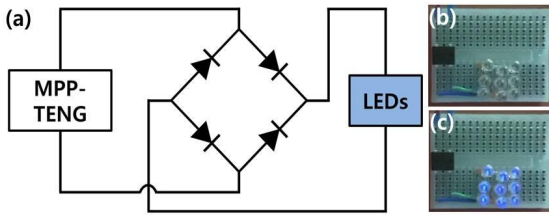


Fig. 13 (a) Circuit diagram for lighting up 9 blue LEDs (b) Light off and (c) light on 9 blue LEDs

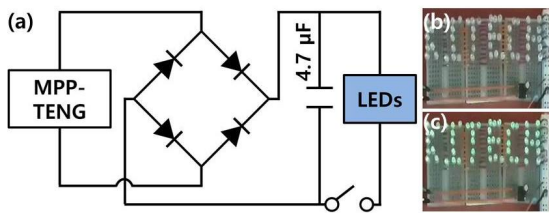


Fig. 14 (a) Circuit diagram for lighting up 54 LEDs (b) 54 LEDs with switch off (c) 54 LEDs with switch ON

MPP-TENG에 의해 점등 및 소등되었을 때의 사진이다. 또한, 54개의 녹색 LED를 발광하기 위해 MPP-TENG, 브리지 정류기, LED에 추가로 4.7 $\mu$ F 커패시터와 스위치를 이용하여 회로도를 구성하였으며 이는 Fig. 14(a)에 나타내었다. 스위치를 끈 상태(b)에서 리니어 모터를 이용하여 MPP-TENG을 발전 시켜 커패시터에 전력을 충전하였다. 15분 동안 충전을 진행한 후, 리니어 모터를 멈춰 충전을 멈춘 다음 스위치를 켜 LED를 발광하는 데 성공하였다(c).

#### 4. 결 론

본 연구에서는 bio-waste 재료 중 하나인 감귤 과피의 분말을 이용하여 친환경 에너지원으로써 MPP-TENG을 제작하였다. MPP-film을 제작하기 위해, 감귤 과피를 녹이거나 화학 처리를 할 필요 없이, 과피를 건조 후 분말로 분쇄하여 필름으로 가공하였다. MPP-film에 관하여 FT-IR, FE-SEM, 3D nanoprofilng 등의 특성 분석을 진행하였다. MPP-TENG을 위하여 구리와 알루미늄을 전극으로, MPP-film 및 PDMS를 대전층으로 이용하였다. MPP-film은 거칠기의 차이를 만들기 위해

MPP의 입자크기에 따라 2종류로 가공되었으며, 각각의 MPP-film을 이용하여 MPP-TENG 제작 및 출력 성능을 비교하였다. 비교된 출력 성능을 통해, 입자가 작은 MPP를 이용하여 만든 film이 높은 거칠기 값을 보였으며, 출력에 유리함을 확인하였다. 거칠기 값이 4.65 $\mu$ m인 MPP를 이용한 MPP-TENG은 최대 약 156V 및 2 $\mu$ A의 출력을 보였으며, 3,000초 이상의 연속 구동에도 출력이 크게 바뀌지 않고 유지되는 안정성을 보였다. 100M $\Omega$ 의 외부 저항과 연결되었을 때 약 5.3W/cm<sup>2</sup>의 전력 밀도를 보였다. 에너지 저장 능력 실험을 통해 4.7 $\mu$ F의 커패시터를 연결했을 때 1,000초 동안 약 171.6 $\mu$ J의 에너지가 충전되었음을 계산하였다. 브리지 정류기 및 커패시터와 스위치를 이용하여 9개의 청색 LED와 54개의 녹색 LED를 발광하는 것에도 성공하였다. 이러한 결과들로부터, 제작된 MPP-TENG 디바이스는 수직 접촉 분리 모드를 활용한 기계적 에너지 수확, 저장 및 활용이 가능함을 알게 되었다. 향후 입자 크기 구분을 더 세분화 하는 등의 방법을 통하여 출력을 향상시킬 수 있을 것이며, 향상된 MPP-TENG은 스마트위치, 보청기 등의 저전력 전자기기를 충전 및 구동하거나, 자가발전 구동 시스템 등으로 활용이 가능할 것이다.

#### 후 기

본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업 “2022년 청정 생산 공정기술 기반 스마트 웰니스케어 핵심기술 개발사업(4/5) (kitech EH-22-0001)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

#### REFERENCES

1. Saqib, Q. M., Shaikat, R. A., Khan, M. U., Chougale, M. and Bae, J. H., “Biomass Peanut Shell Powder-Based Triboelectric Nanogenerator for Biomechanical Energy Scavenging and Sustainably Powering Electronic Supplies”, ACS Applied Electronic Materials, Vol. 2, No. 12, pp. 3953-3963, 2020.
2. Liu, Y., He, K., Chen, G., Leow, W. R. and Chen, X. D., “Nature-Inspired Structural Materials for

- Flexible Electronic Devices”, *Chemical Reviews*, Vol. 117, No. 20, pp. 12893-12941, 2017.
3. Fan, F. R., Tian, Z. Q. and Wang, Z. L., “Flexible Triboelectric Generator”, *Nano Energy*, Vol. 1, No. 2, pp. 328-334, 2012.
  4. Wang, Z. L. and Wu, W. Z., “Nanotechnology-Enabled Energy Harvesting for Self Powered Micro-/Nanosystems”, *Angewandte Chemie*, Vol. 51, No. 47, pp. 11700-11721, 2012.
  5. Tian, J. W., Chen, X. Y. and Wang, Z. L., “Environmental Energy Harvesting based on Triboelectric Nanogenerators”, *Nanotechnology*, Vol. 31, No. 24, pp. 242001, 2020.
  6. Mao, Y. C., Zhang, N., Tang, Y. J., Wang, M., Chao, M. J. and Liang, E. J., “A Paper Triboelectric Nanogenerator for Self-powered Electronic Systems”, *Nanoscale*, Vol. 9, No. 38, pp. 14499-14505, 2017.
  7. Cao, X., Jie, Y., Wang, N. and Wang, Z. L., “Triboelectric Nanogenerators Driven Self-Powered Electrochemical Processes for Energy and Environmental Science”, *Advanced Energy Materials*, Vol. 6, No. 23, pp. 1600665, 2016.
  8. Kim, W. G., Kim, D. W., Tcho, I. W., Kim, J. K., Kim, M. S. and Choi, Y. K., “Triboelectric Nanogenerator: Structure, Mechanism, and Applications”, *ACS Nano*, Vol. 15, No. 1, pp. 258-287, 2021.
  9. Zhang, R. and Olin, H., “Material Choices for Triboelectric Nanogenerators: A Critical Review”, *EcoMat*, Vol. 2, No. 3, pp. 12062, 2020.
  10. Zhou, Z. H., Li, X. S., Wu, Y. F., Zhang, H., Lin, Z. W., Meng, K. Y., Lin, Z. M., He, Q., Sun, C. C., Yang, J. and Wang, Z. L., “Wireless Self-Powered Sensor Networks Driven by Triboelectric Nanogenerator for In-situ Real Time Survey of Environmental Monitoring”, *Nano Energy*, Vol. 53, pp. 501-507, 2018.
  11. Luo, J. J., Wang, Z. M., Xu, L., Wang, A. C., Han, K., Jiang, T., Lai, Q. S., Bai, Y., Tang, W., Fan, F. R. and Wang, Z. L., “Flexible and Durable Wood-based Triboelectric Nanogenerators for Self-Powered Sensing in Athletic Big Data Analytics”, *Nature Communications*, Vol. 10, No. 5147, 2019.
  12. Zhang, Y. J., Zhou, Z. T., Sun, L., Liu, Z., Xia, X. X. and Tao, T. H., ““Genetically Engineered” Biofunctional Triboelectric Nanogenerators using Recombinant Spider Silk”, *Advanced Materials*, Vol. 30, No. 50, pp. 1805722, 2018.
  13. Shaukat, R. A., Saqib, Q. M., Khan, M. U., Chougale, M. Y. and Bae, J. H., “Bio-waste Sunflower Husks Powder based Recycled Triboelectric Nanogenerator for Energy Harvesting”, *Energy Reports*, Vol. 7, pp. 724-731, 2021.
  14. Gaur, A., Tiwari, S., Kumar, C. and Maiti, P., “Bio-waste Orange Peel and Polymer Hybrid for Efficient Energy Harvesting”, *Energy Reports*, Vol. 6, pp. 490-496, 2020.
  15. Zhang, R. Y., Dahlstrom, C., Zou, H. Y., Jonzon, J., Hummelgard, M., Ortegren, J., Blomquist, N., Yang, Y., Andersson, H., Martin, O., Norgren, M. Olin, H. and Wang, Z. L., “Cellulose-Based Fully Green Triboelectric Nanogenerators with Output Power Density of 300Wm<sup>-2</sup>”, *Advanced Materials*, Vol. 32, No. 38, pp. 2002824, 2020.
  16. Lei, H., Xiao, J., Chen, Y. F., Jiang, J. W., Xu, R. J., Wen, Z., Dong, B. and Sun, X., “Bamboo-Inspired Self-Powered Triboelectric Sensor for Touch Sensing and Sitting Posture Monitoring”, *Nano Energy*, Vol. 91, pp. 106670, 2022.
  17. Rivas, B., Toizrado, A., Torre, P., Converti, A. and Dominguez, J. M., “Submerged Citric Acid Fermentation on Orange Peel Autohydrolysate”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 56, No. 7, pp. 2380-2387, 2008.
  18. Vivekananthan, V., Chandrasekhar, A., Alluri, N. R., Purusothaman, Y., Khandelwal, G. and Kim, S. J., Triboelectric Nanogenerator: Design, Fabrication, Energy Harvesting, and Portable-Wearable Applications, *Intechopen*, pp. 1-3, 2020.