J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 36, No. 3, pp. 261-265 May 2023
DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2023.36.3.8
ISSN 1226-7945(Print), 2288-3258(Online)

Regular Paper

태양 입사각에 따른 전력 변화

황미용[1], 응우옌반훙[2], 이순형[3], 최용성[2, 3]

[1] 조선대학교 문화학과
[2] 동신대학교 전기전자공학과
[3] 동신대학교 전기공학과

Power Change According to the Angle of Solar Incidence

Mi-Yong Hwang[1], NguYen Vanhung[2], Soon-Hyung Lee[3], and Yong-Sung Choi[2, 3]

[1] Department of Culture Studies, Chosun University, Gwangju 61459, Korea
[2] Department of Electrical and Electronics, Dongshin University, Naju 58245, Korea
[3] Department of Electrical Engineering, Dongshin University, Naju 58245, Korea

(Received March 5, 2023; Revised March 10, 2023; Accepted March 11, 2023)

Abstract: In this paper, we analyzed the transformation of the power following by the angle of incidence of the solar, the angle of photovoltaic module and artificial solar changed from 30° to 90° and synchronously changed the distance from 0.1 m to 0.5 m. Setting the distance between the artificial solar and the luminometer from 0.1 m to 0.5 m and set the angles to 90°, 60°, 45°, and 30°, the angle was 90° and when the distance was 0.1 m, the maximum Illuminance was 19,580 lux, the light could be obtained more. If the angle of incidence between the Artificial solar and the photovoltaic module was 90° and the variable resistance was 1,000 Ω at a distance of 0.4 m, the maximum power reached 0.82 W. Provided that the angle of incidence between the artificial solar and the photovoltaic module was 90° and the distance was 0.2 m since the variable resistance had the maximum power of 500 Ω, the maximum power was 0.78 W. At 1,000 Ω, the maximum power is 0.80 W so the maximum power at the variable resistance 1,000 Ω could obtain higher power than the variable resistance 500 Ω. The variable resistance was 1,000 Ω and the angle of incidence between the Artificial solar and the photovoltaic module was 90° at a distance of 0.4 m, and the maximum power reached 0.82 W. The angle was 60° at 0.3 m and 0.4 m the maximum power reached 0.10 W. The angle was 45° at 0.2 m maximum power reached 0.020 W, the angle was 30° at 0.4 m, and the maximum power reached 0.004 W. In four results about maximum power depending on the angle of incidence between the artificial solar and the photovoltaic module, the luminous efficiency and maximum power can be got the best at an angle of 90°.

Keywords: Artificial solar, Photovoltaic module, Illuminance, Angle of incidence, Maximum power

1. 서 론

최근 한국을 비롯하여 전 세계적으로 급격한 경제 성장과 산업화로 에너지 사용량이 급증하고 있으며 이에 따른 주요 에너지원인 화석 연료의 급격한 소비로 환경문제가

✉ **Yong-Sung Choi; yschoi67@dsu.ac.kr**

Copyright ©2023 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.

이슈화되고 있다. 석유, 석탄 등을 포함하는 화석 연료는 유한 에너지이므로 고갈될 자원이며 오존층 파괴, 지구 온난화 등 환경문제의 주범으로 지목되고 있다 [1] .

탄소배출량을 규제하는 교토의정서가 발효되면서 우리나라도 2013년부터 국가 차원에서 탄소배출량 절감을 추진함에 따라 화석 연료 사용량이 감소되고 있고, 신재생 에너지 기술이 빠르게 성장하고 있다. 신재생 에너지 중 태양광 발전 시스템의 패널 및 설비 단가가 하락하면서 발전 효율이 좋아지고 있으며, 그 수요와 필요성이 크게 증가하고 있다. 태양광 발전 시스템은 기계적인 진동과 소음이 없으며 무한정, 무공해 에너지원인 태양광 에너지를 사용하여 대기오염이나 폐기물 발생이 없다는 장점을 갖고 있다. 또한 수명이 20년 이상으로 길고, 한번 설치하게 되면 발전 시스템의 운전 및 유지보수에 따른 비용이 매우 적다는 장점이 있다 [1].

그리고 신재생에너지 중에서 태양광에너지는 가장 관심을 받고 있는 에너지원으로서 한 시간 동안에 지구상에 도달하는 에너지양은 인류의 연간 에너지 사용량의 약 2배가 될 정도로 막대한 자원으로 알려져 있다 [2]. 그러나 태양광 모듈은 지역별 방위각, 입사각, 계절별 일사량 변화, 온도 변화 등 환경 조건에 따라 개방 전압, 단락 전류 및 최대 전력이 달라지므로 태양광 발전 효율에 영향을 미치는데 최대 전력을 구하기 위해서는 입사각을 고려해서 부착방법을 모색해야 한다 [3,4].

한편, 태양이 태양광 모듈에 수직으로 입사하는 경우, 최대 출력 값을 낼 수 있으며 수평으로 기울일수록 출력 값은 떨어진다 [5].

따라서, 본 논문에서는 태양광 모듈의 전력 변화를 분석하기 위해서 인공 태양과 태양 모듈 사이의 입사각이 90˚, 60˚, 45˚, 30˚이며 거리가 0,1~0,5 m이고 가변저항이 각각 500 Ω과 1,000 Ω으로 인공 태양과 태양광 모듈의 전기적 특성을 측정하며 전력 변화를 분석하여 입사각과 최대전력의 상관관계를 실험하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

태양광 모듈은 solar center model SCM 5 W를 사용하였다. 최대 출력은 5 W이고, 개방전압은 21.8 V이며, 단락전류는 0.29 A이다. 전압과 전류를 측정하기 위한 멀티미터는 DongHwa DM-1010을 사용하였다. 인공 태양은 할로겐 램프를 사용하였으며, 모델명은 DD12 CE이고, 정격은 AC 220 V이며, 120 W이다. 그리고 조도계(light meter)는 CEM DT-1300를 사용하였으며, 측정범위(range)는 200~50,000 lux이다.

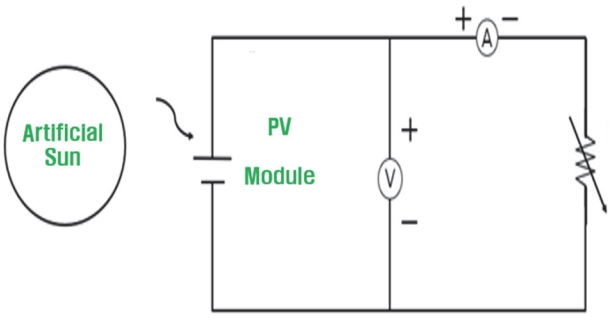

Fig. 1. Circuit diagram for I-V characteristic measurement.

2.2 실험 방법

인공 태양과 태양광 모듈 사이의 거리는 0.1 m에서 0.5 m까지 0.1 m 간격으로 조정하였고 인공 태양과 태양광 모듈 사이의 이루는 각도는 30~90˚로 바꾸며 조도를 측정하였다. 그림 1은 전압-전류 특성을 측정하기 위한 측정회로도를 나타낸다. 태양광 모듈과 인공 태양과의 입사각은 90˚, 60˚, 45˚, 30˚로 조정하였고, 태양광 모듈과 인공 태양 사이의 거리는 0.1 m에서 0. 5 m까지 0.1 m 간격으로 바꾸었으며 가변저항은 각각 500 Ω과 1,000 Ω을 사용하고 멀티미터를 이용해서 전압-전류 특성을 측정하였다. 측정된 전압-전류 특성에서 P = VI의 전력을 분석하였으며 최대 전력을 구하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 조도

그림 2(a)는 인공 태양과 조도계 사이의 거리를 0.1~0.5 m로 조정하였을 때 조도를 측정한 결과이다. 그림 2(a)에서 인공 태양과 조도계가 이루는 각도가 90˚이고, 거리가 0.1 m일 때 조도는 19,580 lux, 0.2 m일 때 17,690 lux, 0.3 m일 때 9,360 lux, 0.4 m일 때 5,050 lux, 0.5 m일 때 3,490 lux로 감소하였다. 그림 2(b)에서 인공 태양과 조도계가 이루는 각도가 60˚이고 거리가 0.1 m일 때 조도는 8,630 lux, 0.2 m일 때 3,670 lux, 0.3 m일 때 1,890 lux, 0.4 m일 때 1,280 lux, 0.5 m일 때 960 lux로 감소하였다. 그림 2(c)에서 0.1 m일 때 인공 태양과 조도계가 이루는

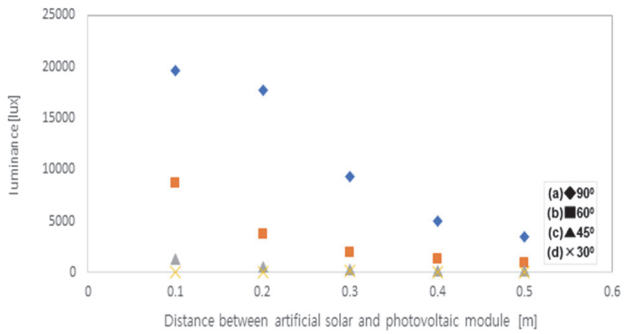

Fig. 2. Illuminance according to the distance between the photovoltaic module and artificial solar.

각도가 45˚이고 0.1 m일 때 조도는 1,290 lux, 0.2 m일 때 500 lux, 0.3 m일 때 290 lux, 0.4 m일 때 210 lux, 0.5 m일 때 180 lux로 감소하였다. 그림 2(d)에서 인공 태양과 조도계가 이루는 각도가 30˚이고 거리가 0.1 m일 때 조도가 70 lux, 0.2 m일 때 70 lux, 0.3 m일 때 120 lux로 증가하였으나 0.4 m일 때 조도는 100 lux, 0.5 m일 때 80 lux로 감소하였다. 그림 2에서 거리가 0.1 m이고 각도가 90˚일 때 가장 높은 조도가 측정되었다. 인공 태양과 조도계 사이의 거리가 같을 때 각도가 클수록 높은 조도를 얻을 수 있었으며, 인공 태양과 조도계 사이의 거리가 0.1~0.5 m일 때 거리가 멀어질수록 조도가 점점 낮아지므로 인공 태양과 조도계 사이의 입사각이 같을 때 가까운 거리에서 높은 조도를 얻을 수 있었다. 따라서 그림 2의 조도를 통해 인공 태양과 태양광 모듈 사이의 거리와 입사각을 조정한 다음, 전기적 특성을 측정하였다.

3.2 전압-전류 특성

인공 태양과 태양광 모듈 사이의 입사각이 90˚이고 거리는 0.4 m일 때, 그림 3(a)는 그림 1의 가변저항을 500 Ω에서 0 Ω으로 감소시키며 전압-전류 특성을 측정한 결과이다. 그림 3(a)에서 개방전압(Voc)은 20.10 V이고 단락전류(Isc)는 0.05 A이었다. 그림 3(a)에서 최대전압(Vmax)은 18.61 V이고, 최대전류(Imax)는 0.04 A이며, 이를 곱한 최대전력은 0.74 W이었다.

그림 3(b)는 그림 1의 가변저항을 1,000 Ω에서 0 Ω으로 감소시키며 전압-전류 특성을 측정한 결과이다. 이때 개방전압(Voc)은 20.10 V이고 단락전류(Isc)는 0.05 A이었다. 그림 3(b)에서 최대전압(Vmax)은 17.89 V이고, 최대전류(Imax)는 0.05 A이었으며 최대전력은 0.82 W이었다.

그림 3(a)와 (b)의 전압-전류 특성에서 전압과 전류를 곱한 전력이 가장 큰 점을 최대전력 전달점 [6]이라고 하며

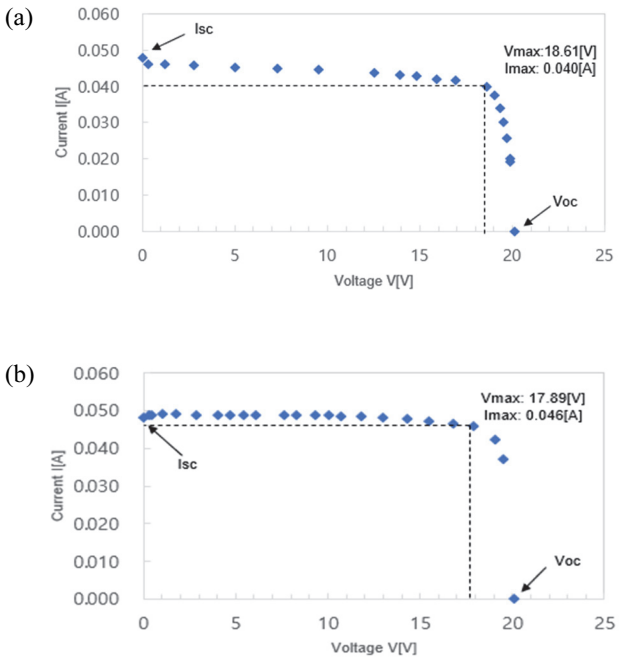

Fig. 3. I-V characteristics, (a) 500 Ω and (b) 1,000 Ω.

인공 태양과 태양광 모듈의 입사각을30~90˚까지 바꾸고 거리는 0.1~0.5 m까지 바꿀 때 최대전력을 그림 4에 나타내었다.

3.3 최대전력

그림 4는 인공 태양과 태양광 모듈 사이의 입사각이 30~90˚이고, 거리가 0.1~0.5 m이며, 가변저항이 각각 500 Ω과 1,000 Ω일 때 최대전력을 나타낸 결과이다. 그림 4(a)에서 가변저항이 500 Ω이며 인공 태양과 태양광 모듈의 입사각은 90˚이고 거리는 0.1 m일 때 최대전력은 0.53 W, 0.2 m일 때 0.78 W로 증가하였으나 0.3 m일 때 0.74 W, 0.4 m일 때 0.74 W, 0.5 m일 때 0.68 W로 감소하였다. 한편 가변저항이 1,000 Ω이며 인공 태양과 태양광 모듈의 거리가 0.1 m일 때 최대전력은 0.59 W, 0.2 m일 때 0.80 W, 0.3 m일 때 0.82 W, 0.4 m일 때 0.82 W로 증가하였으나 0.5 m일 때 0.67 W로 감소하였다.

그림 4(b)에서 가변저항이 500 Ω이며 인공 태양과 태양광 모듈의 입사각은 60˚이고 거리는 0.1 m일 때 최대전력은 0.02 W, 0.2 m일 때 0.04 W, 0.3 m일 때 0.06 W로 증가하였다가 0.4 m일 때 0.05 W, 0.5 m일 때 0.04 W로 감소하였다. 가변저항이 1,000 Ω이며 0.1 m일 때 최대전력은 0.04 W, 0.2 m일 때 0.07 W, 0.3 m일 때와 0.4 m일 때 0.10 W로 증가하였으나 0.5 m일 때 0.09 W로 감소하였다.

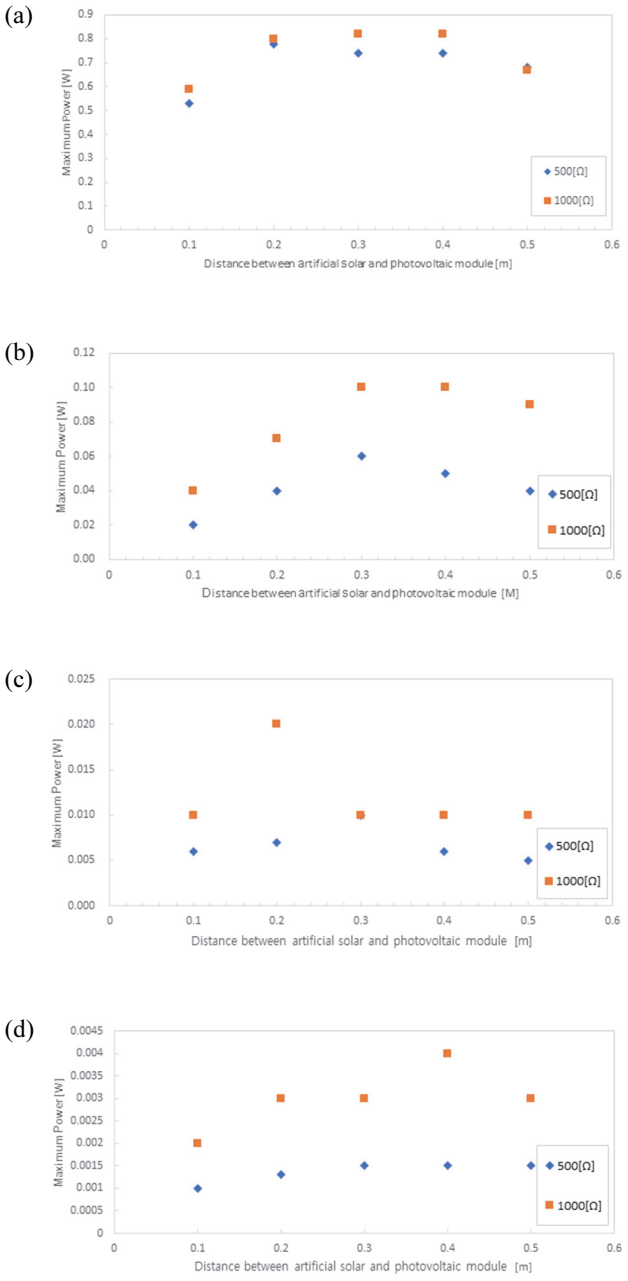

Fig. 4. Maximum power according to the incident angle, (a) 90°, (b) 60°, (c) 45°, and (d) 30°.

그림 4(c)에서 가변저항이 500 Ω이며 인공 태양과 태양광 모듈의 입사각은 45°이고 거리는 0.1 m일 때 최대전력은 0.006 W, 0.2 m일 때 0.007 W, 0.3 m일 때 0.01 W로 증가하였다가 0.4 m일 때 0.006 W, 0.5 m일 때 0.005 W로 감소하였다. 가변저항이 1,000 Ω일 때 0.1 m에서 최대전력은 0.010 W, 0.2 m일 때 0.020 W로 증가하였으나 0.3 m, 0.4 m, 0.5 m일 때 0.010 W로 동일하게 감소하였다.

그림 4(d)에서 가변저항이 500 Ω이며 인공 태양과 태양광 모듈의 입사각은 30°이고 거리는 0.1 m일 때 최대전력은 0.001 W, 0.2 m일 때 0.001 W, 0.3 m, 0.4 m, 0.5 m일 때 0.002 W로 동일하게 증가하였다. 가변저항이 1,000 Ω일 때 0.1 m일 때 전력은 0.002 W, 0.2 m, 0.3 m일 때 0.003 W, 0.4 m일 때 0.004 W로 증가하였으나 0.5 m일 때 0.003 W로 감소하였다.

그림 2(a)에서 인공 태양과 태양광 모듈이 90°이고 거리가 0.1 m일 때 조도는 19,580 lux로 가장 크지만, 그림 4(a)에서는 0.4 m일 때 최대전력이 0.82 W로 가장 높았다. 같은 조건에서 그림 2(b)에서 인공 태양과 태양광 모듈에 60°이고 거리가 0.1 m일 때 조도는 8,630 lux로 가장 크지만, 그림 4(b)에서는 0.3 m일 때와 0.4 m일 때 최대전력이 0.10 W로 가장 높았다. 그림 2(c)에서 인공 태양과 태양광 모듈에 45°이고 거리가 0.1 m일 때 조도는 1,290 lux로 가장 크지만, 그림 4(c)에서는 0.2 m일 때 최대전력이 0.020 W로 가장 높았다. 마지막으로 그림 2(d)에서 인공 태양과 태양광 모듈에 30°이고 거리가 0.3 m일 때 조도는 120 lux로 가장 크지만, 그림 4(d)에서는 0.4 m일 때 최대전력이 0.004 W로 가장 높았다. 그림 2의 조도는 90°이고 0.1 m일 때 가장 높지만 그림 4의 최대전력은 0.3 m, 0.4 m 중 적절한 거리일 때 최대인 이유는 태양광 모듈이 실리콘 태양전지의 반도체 특성인 온도의 영향 때문으로 생각된다 [7-9].

4. 결 론

본 논문에서는 태양 입사각에 따른 전력 변화를 분석하기 위해 인공 태양과 태양광 모듈의 각도는 30°부터 90°로 바꾸고 거리는 0.1 m부터 0.5 m까지로 변경하였으며 전압-전류 특성을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 인공 태양과 조도계 사이의 거리를 0.1~0.5 m로 조정하고 각도를 90°, 60°, 45°, 30°로 조정하였을 때 각도가 90°이며 거리가 0.1 m일 때 조도가 19,580 lux로 가장 높게 나타났다.
2) 인공 태양과 태양 모듈 사이의 입사각이 90°이고 가변저항은 1,000 Ω이며 거리가 0.4 m일 때 최대전력이 0.82 W로 가장 높았다.
3) 인공 태양과 태양광 모듈 사이의 입사각이 90°이고 거리가 0.2 m이며 가변저항이 500 Ω일 때 최대전력이 0.78 W이고, 1,000 Ω일 때 최대전력은 0.80 W로 500 Ω보다 1,000 Ω일 때 더 많이 얻을 수 있었다. 이 결과를 통하여 인공 태양과 태양광 모듈 사이의 입사각이

태양광 모듈의 최대전력에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

4) 가변저항은 1,000 Ω이며 인공 태양과 태양광 모듈 사이의 입사각이 90°이고 거리가 0.4 m일 때 최대전력은 0.82 W이고, 입사각이 60°이고 거리가 0.3 m일 때와 0.4 m일 때 최대전력은 0.10 W이고, 입사각이 45°이고 거리가 0.2 m일 때 최대전력은 0.020 W이고, 입사각이 30°이고 거리가 0.4 m일 때 최대전력은 0.004 W이였다. 인공 태양과 태양광 모듈 사이의 입사각에 따른 최대전력은 90°일 때 가장 높게 나타났다.

인공 태양과 태양광 모듈 사이의 입사각이 30~90°이고, 거리가 0.1~0.5 m에 따라 실험한 결과, 인공 태양과 태양광 모듈 사이의 입사각이 90°이며 가변저항이 1,000 Ω일 때가 태양광에서 최대전력이 가장 좋음을 확인할 수 있었다.

ORCID

Yong-Sung Choi https://orcid.org/0000-0003-2904-2813

REFERENCES

[1] D. H. Yang, N. Y. Yeo, and P. S. Mah, *Korean Inst. Inf. Sci. Eng. Trans. Comput. Pract.*, **23**, 632 (2017). [DOI: https://doi.org/10.5626/KTCP.2017.23.11.632]

[2] S. H. Lee, H. C. Choi, D. K. Lee, and J. O. Kim, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **25**, 38 (2011). [DOI: https://doi.org/10.5207/JIEIE.2011.25.10.038]

[3] T. H. Jo, *J. Soc. Energy Clim. Change Educ.*, **6**, 165 (2016). [DOI: https://doi.org/10.22368/ksecce.2016.6.2.165]

[4] J. Y. Lee, A. R. Cho, Y. L. Jung, and E. A. Kim, *J. Korean Soc. Clothing Text.*, **33**, 1806 (2009). [DOI: https://doi.org/10.5850/jksct.2009.33.11.1806]

[5] H. Gunerhan and A. Hepbasli, *Build. Environ.*, **42**, 779 (2007). [DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.09.012]

[6] J. W. Ko, N. R. Yun, Y. K. Min, T. H. Jung, C. S. Won, and H. K. Ahn, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **62**, 371 (2013). [DOI: https://doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.3.371]

[7] K. S. Lee, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **58**, 602 (2009). [UCI: G704-001568.2009.58.4.041]

[8] S. W. Cho, *J. Korean Soc. Geotherm. Hydrotherm.*, **14**, 8 (2018). [DOI: https://doi.org/10.17664/ksgee.2018.14.3.008]

[9] D. E. Yun, H. D. Park, S. N. Lee, and Y. H. Kang, *J. Korean Soc. Miner. Energy Resour. Eng.*, **54**, 139 (2017). [DOI: https://doi.org/10.12972/ksmer.2017.54.2.139]