

감귤박 건조용 진공고주파 건조기개발에 관한 연구

A Study on a Drying Machine with Microwave at Vacuum Condition for Discarded Citrus Scrapes

고광수(Gwang-Soo Ko)¹, 박윤철(Youn Cheol Park)^{2*}, 윤형기(Hyung-Kee Yoon)³

¹제주대학교대학원 기계공학과, ²제주대학교 기계공학과, ³한국에너지기술연구원 해양융복합연구실

¹Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Jeju National University, Jeju 690-756, Republic of Korea

²Department of Mechanical Engineering, Jeju National University, Jeju 690-756, Republic of Korea

³Korea Institute of Energy Research & Marine Energy Convergence Research, jeju 695-971, Republic of Korea

(Received April 17, 2013; revision received October 29, 2013; Accepted: November 16, 2013)

Abstract A drying machine for discarded Citrus scrap was developed in this study. The Citrus produced in Jeju Province was treated as wastes (a) after making a beverage, such as drinking juice, and (b) if the size of the product did not fit with its agricultural product criteria. Various types of drying machine were developed in this study, and different kinds of technologies were combined improve the performance. To enhance the performance, the system was maintained in a vacuum state, and a high frequency micro wave was activated to the waste Citrus scrap, to heat up the moisture inside the Citrus kernels. The frequency of the micro-wave was 2.6 GHz, which is the resonant frequency of the molecules. Experiments were conducted with a vacuum of 50, 100, 150, 300, 500, and 700 mbar.

The waste Citrus scrap has two types of status : (a) original scrap, and (b) mixed with blender. As results, specimen (a) shows a 0.13 g/sec evaporation rate, while specimen (b) shows a 0.19 g/sec rate, at 50 mbar of environment vacuum condition. For the drying efficiency, specimens (a) and (b) show 0.15 g/W and 0.24 g/W, respectively.

Key words Microwave(고주파), Evaporation rate(증발율), Evaporation efficiency(증발효율), Vacuum dry(진공건조), By-product(부산물)

† Corresponding author, E-mail: ycpark@jejunu.ac.kr

1. 서 론

1960년 이후 우리나라는 급격한 도시화와 산업화 과정에서 대량으로 발생하는 생활폐기물을 처리하기 위하여 매립 및 소각위주의 폐기물 정책을 추진하여 왔다. 그러나 매립 및 소각정책, 침출수로 인한 지표수오염, 협소한 국토여건으로 인한 매립지 부족, 가연성폐기물의 고발열량, 폐기물감량의 한계 및 소각시 오염물질 발생 등의 문제로 인하여 한계점에 이르렀다.

폐기물 관리정책을 운영하고 있는 다수의 OECD 국가들 역시 매립 및 소각에 치중하여 왔던 정책목표를 수정하여 자원순환형 폐기물 처리방법과 폐기물 처리시설의 다변화라는 새로운 패러다임에 초점을 맞춘 폐기물 관리정책을 도입하고 있다. 환경부가 2007년 7월에 발표한 “제 2차 국가폐기물 관리종합계획”⁽¹⁾을 살펴보면 2011년의 생활 폐기물중 재활용 목표량을 60%로 설정하고 있다. 환경부가 2009년 7월에 발표한 “폐

자원 및 바이오매스 에너지화 실행계획”⁽²⁾에서는 전국 8대 권역 14개의 환경에너지타운을 건설해 2013년까지 폐자원 고형연료 및 바이오가스화 48개 시설을 조성할 계획을 추진하고 있다.

음식물 쓰레기의 자원화 방안 중에 건조 후 사료 등으로 재활용 할 경우에 사용하는 건조방식은 90% 이상의 대부분이 열풍건조방식을 사용하고 있다. 열풍건조방식은 에너지 효율이 30~50%의 매우 낮은 수준으로 다량의 열에너지가 배기열로 배출된다.⁽³⁾

음식물과 같은 폐기물 이외에 농산물의 장기적인 보관을 위하여도 건조를 하기도 하는데, 대표적인 농산물 건조에 관한 연구로 Katahira and Bekki^(4, 5)의 air back dryer에서 마늘 중구 열풍건조에 대한 연구가 있다. 이들은 air back dryer의 내부 압력변화에 따른 열효율 및 수분과 함수율의 관계를 제시한 바 있다. Inoue et al.⁽⁶⁾은 건조물의 물성치값을 이용하여 콕용 건조기에 대한 해석을 시도하였다. Kawasaki et al.⁽⁷⁾은

수치해석 및 실험을 통하여 골풀이 가로로 채워진 건조기에 대하여 피 건조물의 건조 후 상태와 건조과정에서의 열평형 및 효율 관계식을 제시하였다.

한편 국내에서는 고추의 건조에 관한 연구가 많이 수행되었는데, Lee and Park⁽⁸⁾은 품질 최적화에 관한 연구를 수행하였으며, Lee et al.⁽⁹⁾은 건조모델을 개발하였다. Moon et al.⁽⁹⁾은 저온진공건조기를 이용한 고추의 열적 특성에 관한 연구를 발표한 바 있다. 이들 연구에서는 주로 건조기의 운전조건이나 건조조건에 따른 피 건조물의 상태 등 범용 건조기 개발을 위한 열적 조건 등을 제시하였다.

제주도의 주요 농산품중의 하나인 감귤은 생산 후 선과과정을 거치면서 감귤의 크기를 기준으로 등급을 매겨 상품성이 떨어지는 경우(1번과 및 10번과)에는 폐기처분하거나 혹은 감귤처리공장에서 주스의 형태로 재활용하고 있다. 이때 폐기되는 감귤 및 주스 제조 후에 발생하는 폐기물은 기간에 따라 젤형태가 되며 이와 더불어 당분이 발효하는 독특한 특성이 있어, 기존의 열풍건조방식으로는 건조에 많은 어려움이 있다. 최근에는 새로운 건조방식에 대한 기술개발이 제주도 지방개발공사를 비롯하여 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 진공건조기에 진공상태로 유지하여 건조에 필요한 열량을 감소시키는 동시에 감귤폐기물의 내부에도 열을 전달하기 위하여 고주파발진을 이용함으로써 젤상태의 감귤부산물을 효율적으로 건조하기 위한 기초연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구의 진공 및 고주파를 이용한 건조장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 건조챔버와 응축챔버의 2개의

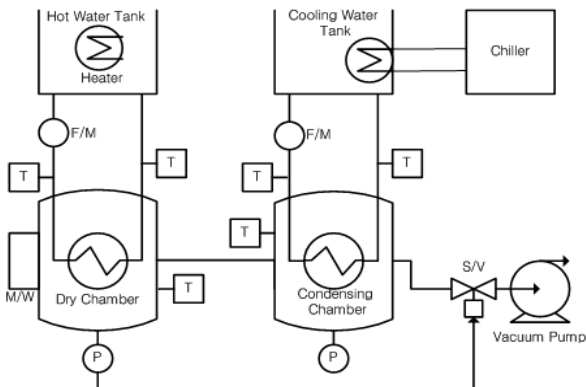


Fig. 1 Schematic diagram of the developed discard Citrus scrap dry machine.

챔버로 구성되어 있으며, 건조챔버에는 초기 온도설정 및 온도상승을 목적으로 가열조가 연결되어 있다. 가열조에는 2.7 kW 용량의 전기히터가 장착되어 있으며, 가열조로부터 건조챔버내의 열교환기로 공급되는 온수배관에 유량계 및 온도센서를 설치하여 건조챔버에 공급되는 열량을 간접적으로 측정하였다. 건조챔버는 진공상태로 유지되며, 1.2 kW 용량의 마이크로웨이브 (Microwave)를 설치하여 건조물의 수분과의 공진주파수인 2.6 GHz의 고주파를 건조물에 공급하게 하였다.

응축챔버는 수증기 응축용 열교환기를 설치하고, 1 RT급 칠러(Chiller)를 사용하여 냉각수를 생산하도록 하였다. 응축챔버는 냉각용 열교환기에 의하여 저온으로 유지되면서 건조챔버에서 발생된 수증기를 응축하도록 하였다. 건조챔버에서 증발된 수증기가 응축챔버로 이동할 수 있도록 3개의 관으로 연결되어 있으며, 각각의 배관에는 스톱 밸브가 설치되어 건조물에서 발생된 수증기의 양을 조절할 수 있도록 하였다. 진공펌프는 응축챔버 후단에 설치하고 각 챔버압력이 설정된 진공압력이 될 때까지 진공펌프가 운전되어 진공압력을 유지할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

2.2 실험조건 및 실험방법

본 연구에서는 진공도 및 감귤시편의 상태에 따른 감귤박의 건조특성을 파악하기 위하여 감귤원박을 3~4 등분한 감귤시료 a(Fig. 2(a))과 분쇄기로 시편을 분쇄한 감귤시료 b(Fig. 2(b))의 두 가지 시료에 대하여 건조성능실험을 수행하였다.

실험조건은 건조 챔버의 내부 압력을 절대압력으로 50~100, 100~150, 150~200, 300~350, 500~550 및 700~750 mbar의 6가지 압력에서 건조도 및 진공펌프 운전에 따른 온도변화를 측정하였다.

Fig. 3은 압력 50 mbar에서 진공펌프 운전에 따른 압



(a) Original scrub (b) Mixed with blender

Fig. 2 Two types of test Citrus scrap.

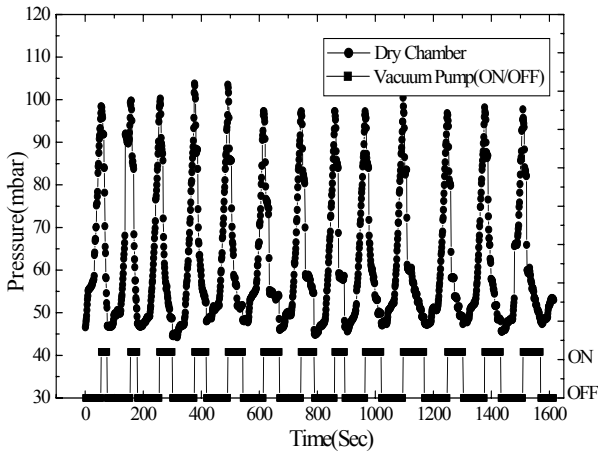


Fig. 3 Pressure inside the dry chamber with variation of the vacuum pump operation.

력의 변화를 나타내고 있다. 건조챔버에 공급되는 증발열에 의하여 약 1~2분에 압력이 증가하여 한계압력에 도달하면 진공펌프가 작동하도록 제어하여 챔버의 압력은 설정압력에서 약 50 mbar의 압력차를 가지며 일정범위에서 압력이 유지되도록 제어 하였다. 따라서 설정압력이 50 mbar일 경우에 최대 50~100 mbar의 범위에서 압력변화가 발생한다.

Fig. 4~Fig. 6은 50 mbar, 100 mbar 및 150 mbar로 설정압력을 변화시켰을 때 진공상태가 목표치에 도달한 이후 같은 열량을 건조챔버에 공급하였을 때 온수 공급 후 증발을 시작하는 시간은 나타낸 것으로서 각 압력조건에서 증발시작 시간은 50 mbar은 3분 3초, 100 mbar은 10분, 150 mbar는 8분 3초로 진공압력에 따라서 증발시간이 달라지며, 압력이 낮을수록 증발이 빨리 진행됨을 확인 할 수 있었다.

또한 마이크로웨이브의 특성이 물분자를 위치에 상관없이 건조물의 내부에 까지 공진현상을 일으켜 열을 발생시킴으로써 균일하지 않은 수분분포를 보이는 재료라도 건조가 용이하다.

3. 실험결과 및 고찰

시료(a)와 시료(b) 1000 g을 이용하여 압력에 따른 수분증발량을 측정하기 위하여 압력을 50, 100, 150, 300, 500 및 대기압과 비슷한 압력인 700 mbar에서 실험장치를 40분 동안 운전하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 진공압력을 유지하기 위하여 각각의 설정압력별 진공펌프의 운전시간은 Fig. 7에 나타냈으며, 압력이 50 mbar에서는 진공펌프 운전시간은 시료(a)는 42%의 시간이 운전되었고, 시료(b)는 46%의 시간동안 운전되었다.

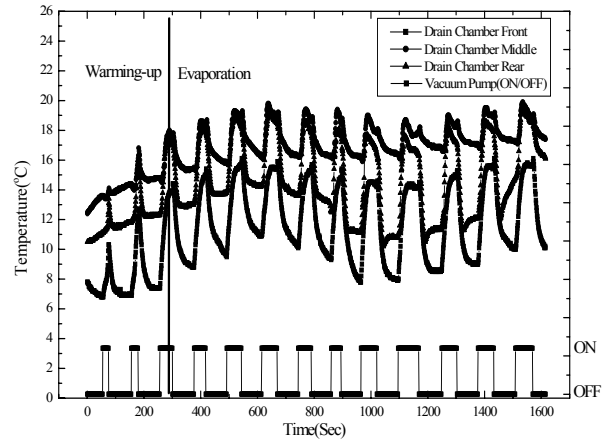


Fig. 4 Temperature variation in the dry chamber with time(50 mbar).

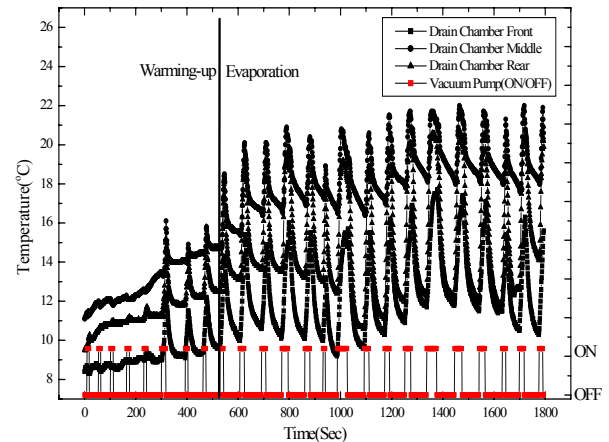


Fig. 5 Temperature variation in the dry chamber with time(100 mbar).

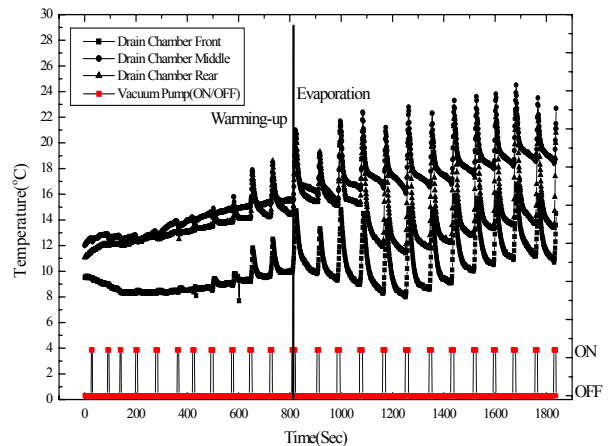


Fig. 6 Temperature variation in the dry chamber with time(150 mbar).

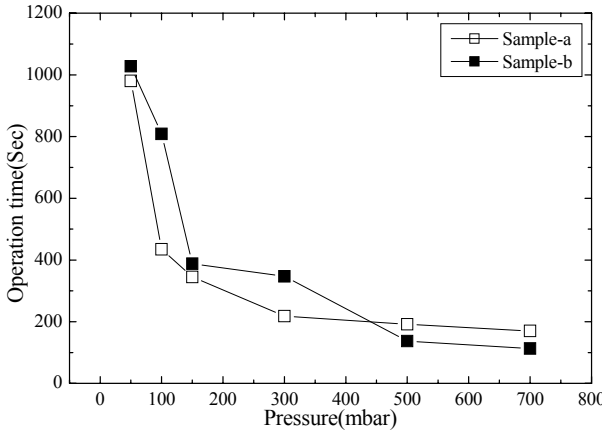


Fig. 7 Vacuum pump operation time with variation of the Pressure.

이것은 시료(a)가 시료(b)에 비해 수분과 감귤의 분리 정도 작기 때문이며, 이에 따라 수분이 진공압력에서 포화온도에 도달하는 시간이 시료(b)가 빠르기 때문이라 판단되어진다. 압력별 진공펌프 운전시간은 시료(b)가 시료(a)보다 고 진공압력에서의 운전시간은 길지만 저 진공압력으로 갈수록 비슷한 운전시간을 갖는다는 것을 알 수 있었다. 각각의 설정압력에 있어서 건조시스템의 소비동력변화를 살펴보면 Fig. 8과 같다.

건조시스템의 소비동력은 마이크로웨이브를 발생시키기 위하여 소비되는 전력, 건조챔버에 전달되는 가열열량, 응축챔버에 전달되는 냉각열량의 합으로서 시료(a)와 시료(b)를 비교시 시료(a)가 시스템운전에 필요한 소비동력이 크게 나타나고 있으며, 시료(a)는 진공압력에 관계없이 소비동력이 일정하게 소요되지만, 시료(b)는 진공압력이 저 진공압력으로 갈수록 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 설정압력별 마이크로웨이브를 통해 감귤 시료에 전달되는 동력은 거의 일정하나 응축챔버에 공급되는 냉각열량은 설정압력이 낮을수록 더 많은 에너지가 소비되기 때문이며, 이것은 압력이 낮을수록 진공펌프의 운전시간이 길고, 수증기의 증발량도 많기 때문이라 판단되어진다.

진공압력의 변화에 따른 수분 증발율을 살펴보면 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 압력이 50mbar의 경우에는 시료(a)는 0.13 g/sec로 나타났으며, 시료(b)는 0.19 g/sec이다. 하지만 압력이 증가할수록 시료의 상태와는 관계없이 동일한 수분 증발율을 나타내고 있다. 이것은 압력이 낮아질수록 수분의 포화온도가 낮아 수분에 적은 열을 전달하여도 증발이 일어나지만, 압력이 증가할수록 수분이 포화온도에 도달하지 못하여 증발이 일어나지 않기 때문이다.

진공압력의 변화에 따른 건조시스템의 효율을 살펴보면 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 압력이 50 mbar의 경우 시료(a)는 0.15 g/W로 나타났으며, 시료(b)는 0.24 g/W

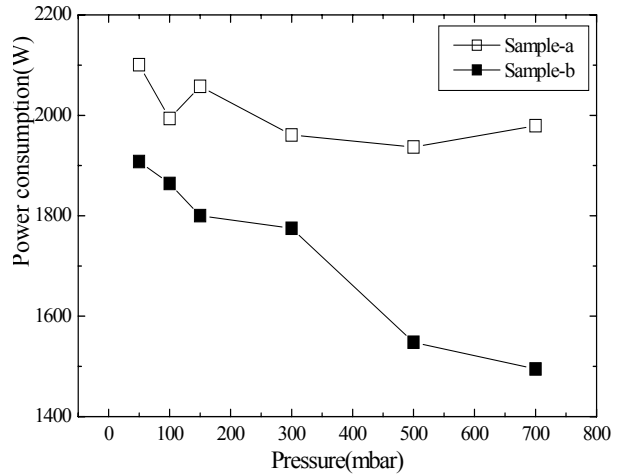


Fig. 8 Power consumption with drying machine.

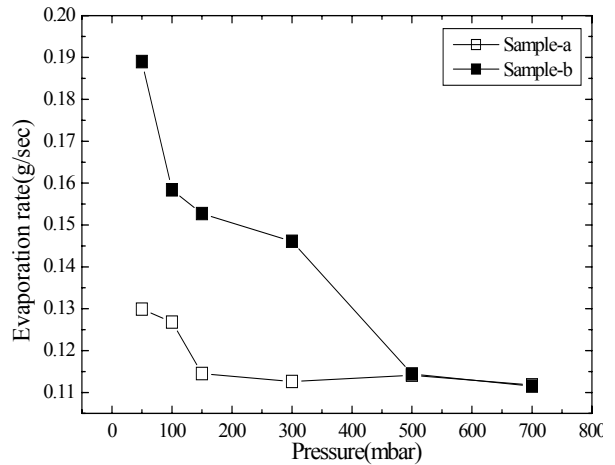


Fig. 9 Evaporation rate of the sample by pressure.

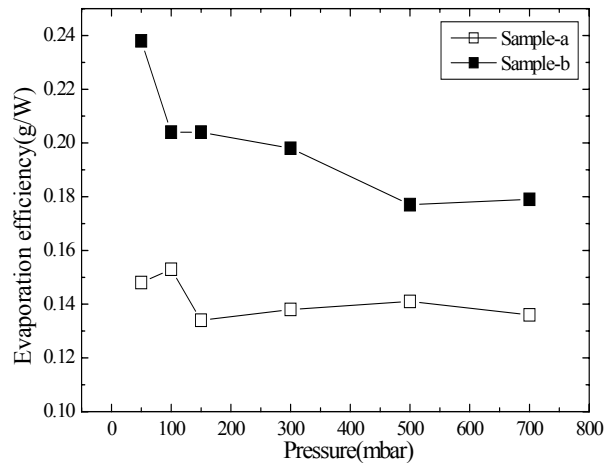


Fig. 10 Evaporation efficiency by the pressure of the sample.

로 나타났다. 시료(a)의 경우는 압력별 효율변화가 크지 않으나, 시료(b)의 경우는 압력별 효율차이가 크다는 것을 알 수 있다. 이는 시료(a)의 경우는 압력별 소비동력 및 수분 증발율이 변화가 작지만, 시료(b)의 경우는 고 진공압력에서는 소비동력이 많이 소요되나 그에 반해 수분 증발율이 높기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 진공상태에서 운전되는 건조기에 있어서 고주파를 공급하여 건조성능을 향상시킨 실험 장치를 제작하고 성능실험을 위하여 두 가지 시료를 제작하여 실험을 수행하였다. 압력은 50, 100, 150, 300, 500 및 700 mbar로 시켰으며 실험을 통하여 수분증발량 및 시스템의 효율을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

(1) 진공 및 마이크로웨이브를 이용하여 감귤시편을 건조시 압력을 50 mbar로 설정하였을 경우에 운전시작 이후 3분 3초 이후부터 수분증발이 발생하지만 압력이 높은 150 mbar의 경우는 10분 이후부터 수분 증발이 발생하는 것을 알 수 있었다.

(2) 원박인 시료(a) 및 과쇄한 시료(b)의 수분 증발율은 압력이 50 mbar의 경우 시료(a)는 0.13 g/sec이고, 시료(b)의 경우는 0.19 g/sec로써 시료(b)의 경우가 증발량이 더 많게 나타났다.

(3) 50 mbar에서 시료(a)과 시료(b)의 건조 시스템 운전효율 비교한 결과 시료(a)는 0.15 g/W이며 시료(b)는 0.24 g/W로 시료(b)의 운전효율이 높다.

후 기

이 연구는 한국에너지기술연구원에서 지원하는 사업(과제번호 : KIER-B18135)의 일환으로 수행되었습니다.

Reference

1. Nation Waste Management General Plan, 2007, Copyright Ministry of Environment.
2. Waste Source and Biomass Energy Performance Plan, 2009, Copyright Ministry of Environment.
3. Theory and Practice for the Drying machine, 2003, New technology.
4. Katahira, M. and Bekki, E., 1997, Heated air drying of garlic bulb in air-bag type dryer(Part 1), Journal of the Society of Agricultural Machinery, Vol. 59, No. 4, pp. 71-77.
5. Katahira, M. and Bekki, E., 1997, Heated air drying of garlic bulb in air-bag type dryer(Part 2), Journal of the Society of Agricultural Machinery, Vol. 60, No. 1, pp. 99-106.
6. Inoue, K., Murakami, N., Ootsuka, K., Sugi-moto, M., Li, W., and Miyaura, S., 2000, Simualtion model for drying soybeans using fundamental values of drying properties, Journal of the Society of Agricultural Machinery, Vol. 62, No. 6, pp. 98-107.
7. Kawasaki, K., Imura, H., Aiura, M., and Itoh, S., 1996, Experiment and numerical simulation on drying of horizontally pilled rush, Journal of the Society of Agricultural Machinery, Vol. 58, No. 6, pp. 39-47.
8. Lee, D. S. and Park, M. H., 1989, Quality optimization in red pepper drying, Korea J. Food Sci. Technol., Vol. 21, No. 5, p. 655.
9. Lee, D. S., Keum, D. H., Park, N. H., and Park, M. H., 1989, Optimum drying conditions of on-farm red pepper dryer, Korean J. Food Sci. Technol., Vol. 21, No. 5, pp. 676-685.