〈일반논문〉
Journal of the Korean Society of Visualization, Vol. 18, No. 2 (35~38), 2020
(Manuscript received : 2020.08.03./Revised : 2020.08.22./Accepted : 2020.08.26.)
DOI:http://dx.doi.org/10.5407/jksv.2020.18.2.035

ISSN 1598-8430 Print
ISSN 2093-808X Online

에어프라이어 바닥면 형상이 상승대류 속도에 미치는 영향의 고찰

임세환* · 장윤호** · 최형권*** · 한상조†

Investigation on the effect of airfryer bottom-shape on upward convection velocity

Lim Sehwan*, Jang Yoonho**, Choi Hyounggwon*** and Sangjo Han†

Abstract Airfryer is used to heat a food up by convecting hot air upward around the food. In this study, we investigated the effect of the bottom-shape of the food container in airfryer on the upward convection velocity of hot air to find an optimal bottom-shape by computational fluid dynamics. Numerical experiments were performed by solving the incompressible Navier-Stokes equations with turbulence model. We found that the maximum upward velocity with concave flow-passage on the bottom was bigger than that with the flat bottom and that the maximum upward convection velocity was achieved when the number of concave flow-passage with fan-shape is around six. The pressure drop by the internal flow was found to increase as the number of the concave flow-passage on the bottom increased probably due to increase of the surface area of the bottom. Therefore, it can be said that the optimal number of the concave flow-passage is around six for the flow rate considered in this study.

Key Words : Airfryer(에어프라이어), Computational fluid dynamics(전산유체역학), Maximum Upward velocity(최대 상승 속도), Concave flow-passage(오목한 유로). Pressure drop(압력강하)

1. 서 론

최근 건강에 관한 관심이 높아지면서 기름 없이 튀김 요리를 간편하게 할 수 있는 에어프라이어의 이용이 증가하고 있다. 에어프라이어의 기본 원리는 내부의 팬으로 외부에서 흡입한 공기를 열선을 이용해 열풍을 만든 후, 대류 구조를 사용하여 음식 주위로 고온의 공기를 고속으로 순환시켜 조리하는 방식이다.[1] 에어프라이어는 열원이 상부에 위치하여 고온 공기가 상부에 몰려 음식의 하부가 잘 익지 않는다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전산 유체역학(CFD)에 기반하여 최적의 에어프라이어 밑면 형상을 제시하고자 한다.

음식물의 조리한 관련한 내부 유동 및 열전달의 CFD 수치해석은 다양한 문제들에 대하여 수행이 되었다. Zinedine Khatir 등[1-2]은 CFD 해석을 통해 오븐 내부 균일한 온도 분포를 위한 오븐 구조 최적설계를 진행하였다. 모도윤[3]은 CFD를 통한 수치해석 데이터를 토대로 오븐 내부

† Seoul National University of Science and Technology, Department of Mechanical and Automotive Engineering, Professor
E-mail: sjhan@seoultech.ac.kr
*,** Seoul National University of Science and Technology, Undergraduate Student
*** Seoul National University of Science and Technology, Professor

유동 효율을 높이기 위한 새로운 오븐 형태를 제시하였다. 또한, 강제 대류에 의한 오븐 내부 유동 예측을 위해 PIV 측정 시험과 CFD 해석결과 비교를 통해 수치해석의 정확성을 확보한 연구[4]도 수행되었으며, 박영훈 등[5]은 전기오븐의 스팀발생기의 위치에 따른 기류 및 유동특성에 관한 연구를 수행하여, 수치 계산을 통해 적절한 스팀발생기의 위치를 고찰하였다.

본 연구에서는 에어프라이어의 밑면 형상이 상승 기류의 강도에 미치는 영향을 검토하기 위해서, 오목한 유로가 없는 평평한 밑면과 다양한 수의 오목한 유로들을 가지는 CAD 모델을 제작하고 CFD 해석을 통해 각 모델에 대한 내부 유동을 분석하고자 한다. 정렬적인 분석 결과에 근거하여 최적의 유로 수를 제안하고자 한다.

2. 해석 방법

바닥 판의 오목한 홈의 개수가 상승기류의 강도에 미치는 영향을 파악하기 위해 Ansys Fluent 19.1을 이용한 CFD 수치 해석을 수행한다. 계산

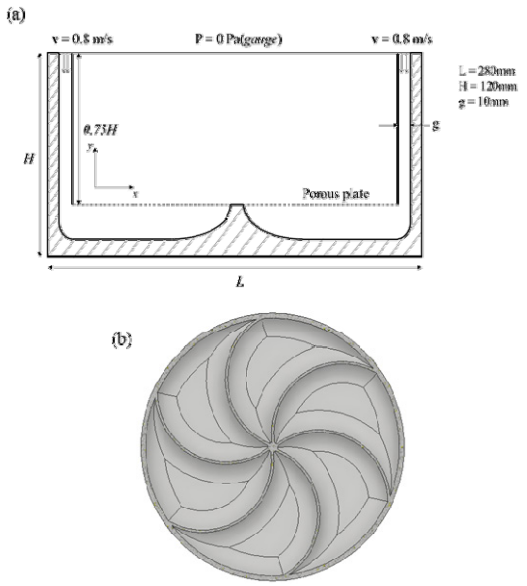

Fig. 1. (a) Schematic of computational domain (2D-section) and boundary condition. (b) CAD model of the plate (P6)

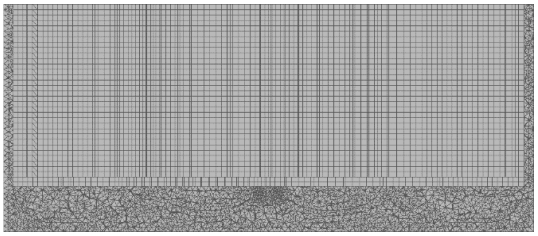

Fig. 2. 2D (x-y plane) view of unstructured mesh

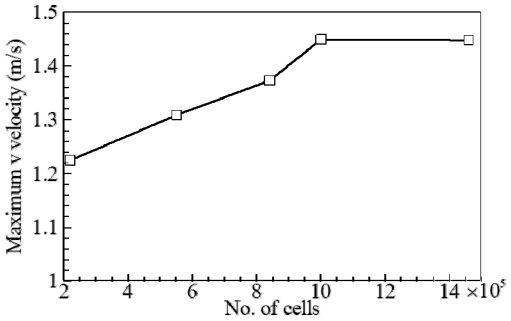

Fig. 3. Grid independence test

하고자 하는 문제의 레이놀즈 수는 특성길이로 에어프라이서의 직경을, 특성속도로는 평균상승 속도를 이용하면 약 2,500이다. 난류 유동장의 해석을 위하여 난류 모델로 k-ε 모델을 채택하였으며, 속도와 압력은 SIMPLE 알고리즘을 이용하여 계산한다. Fig. 1-(a)는 에어프라이어 내분의 유동해석을 위한 계산 영역과 경계조건을 보여준다. 내부로 유입되는 속도는 0.8 m/s으로 설정하고, 모든 벽면에서는 점착조건을 사용하였다. 한편, 본 연구에서는 에어프라이어의 바닥면의 형상이 상승기류에 미치는 영향을 고찰한다. Fig. 1-(b)는 바닥면의 오목한 홈의 개수가 6개일 때의 CAD 모델을 보여준다. 본 연구에서는 팬의 날개 형상을 가지는 오목한 홈의 개수가 상승 기류에 미치는 영향을 고찰하기 위해서, 홈의 개수가 0, 3, 4, 6, 8 개일 때의 CAD 모델을 제작하고 수치해석을 수행하여 정상상태의 유동장을 비교한다. 본 연구에서는 각각의 경우를 P0, P3, P4, P6, P8로 표기하고자 한다. Fig. 2는 x-y 평면에서의 절단된 비정렬 격자계를 보여준다. 대부분의 계산 영역은 정렬 격자계를 사용하고, 바닥 홈과 입구 통로 부분은 비정렬 격자계를

사용하였다. Fig. 3은 격자계에 독립적인 해를 주는 격자의 조밀도를 찾기 위한 수치실험 결과를 보여준다. 수치실험은 P6의 경우에 대하여 수행하였으며, 최대 상승속도를 비교하여 격자수와 무관한 해를 구하고자 하였다. 수치해석 결과는 셀의 수가 약 100만개 일 때 격자의 조밀도에 무관한 최대상승속도가 얻어짐을 보여준다. 따라서, 본 연구에서는 모든 계산에 대하여 이 격자계에 해당하는 조밀도를 사용하여 수치해석을 수행하였다.

3. 해석 결과

Fig. 4는 다양한 바닥 홈의 개수에서 x-y 평면에서의 y 방향 속도성분의 contour를 보여준다. 평평한 바닥에 비하여 홈이 존재하는 바닥이 더 강한 상승기류를 생성함을 확인하였다. 상승 기류의 강도는 바닥 홈의 개수가 6개까지 증가하다가 8개인 경우에는 약간 감소함을 보여준다. Fig. 5는 Fig. 4의 중간 높이 지점에서 반경 방향(x 축)을 따르는 y 방향 속도분포를 비교한다. 바닥 홈의 수가 6개가 될 때까지는 홈의 수가 증가함에 따라 음식물이 놓이는 중심 부분 최고 유속이 늘어나며, 8개인 경우에는 최대치보다 약간 감소한다. 평평한 바닥에 비해 홈의 개수가 6개인 바닥의 경우 최고 유속이 76% 증가하였으며, 홈의 수가 8개인 경우에는 6개의 경우보다 최고 유속이 약 7% 감소하였다. Fig. 6은 다양한 바닥 홈의 개수에서 x-y 평명에서의 압력의 contour를 보여준다. 전체적인 압력의 분포는 바닥 홈의 개수와 무관하게 정성적으로 유사하나 바닥 홈의 개수가 증가할수록 입구에서의 압력이 커짐을 주의한다. 즉, 평평한 바닥에 비하여 팬의 날개 형상의 홈을 가지는 바닥은 더 강한 상승 기류를 만들지만, 더 많은 압력손실을 유발하게 됨을 확인하였다. Fig. 7은 평평한 바닥과 홈의 개수가 6개인 바닥에 대하여 x-y 평면에서의 난류운동에너지 contour를 비교한다. 바닥 홈이 더 강한 난류운동에너지를 생성함을 볼 수 있다. Fig. 8은 바닥의 홈의 개수가 압력손실에 미치는 영향을 보여준다. Fig. 5와 비교했을 때에 에어프

Table. 1. Numerical parameter

List	Value
Characteristic length	280 mm
Characteristic velocity	0.13 m/s

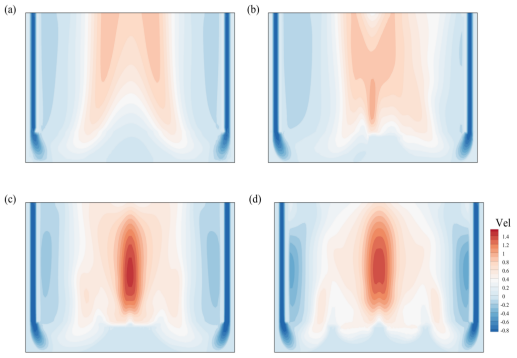

Fig. 4. V- velocity contours on x-y plane (z=0) for four cases; (a) P0 (b) P3 (c) P6 (d) P8

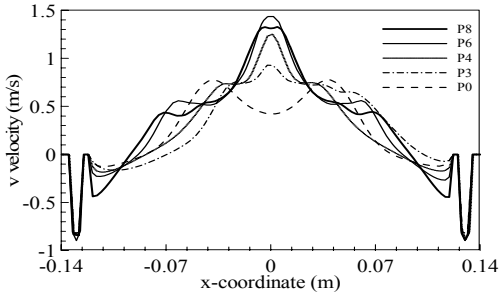

Fig. 5. Comparison of V- velocity profiles along the half height of x-y plane (z=0) with different number of concave flow-passage

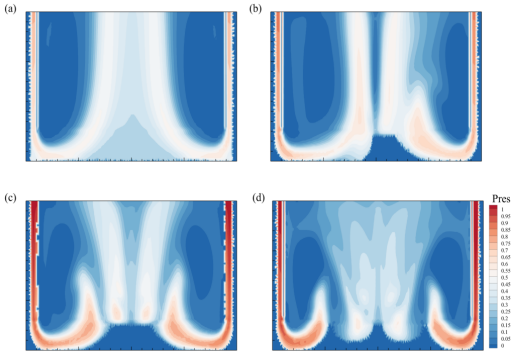

Fig. 6. Pressure contours on x-y plane (z=0) for four cases; (a) P0 (b) P3 (c) P6 (d) P8

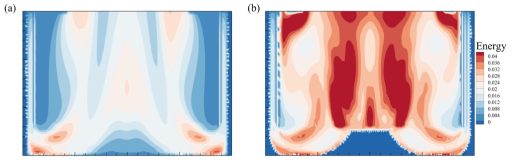

Fig. 7. Comparison of the distribution of turbulence kinetic energy: (a) P0 (b) P6

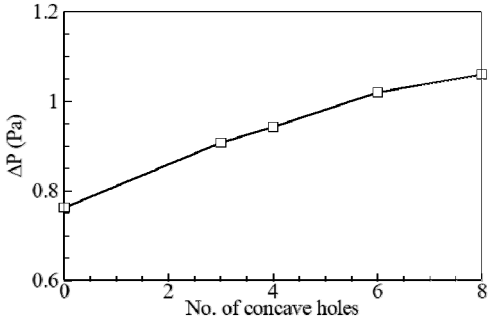

Fig. 8. Pressure drop variation by increasing the number of concave flow-passage

라이어 조리통의 중앙에서의 상승기류는 홈의 개수가 6개일 때가 최대가 되지만, 압력의 손실양은 홈의 개수가 증가함에 따라 커지게 됨을 보여준다. 본 수치해석 결과는 압력손실의 크기는 단순히 바닥 표면적의 크기가 커질수록 증가함을 보여준다. 따라서 최적의 바닥 형상을 찾기 위해서는 가능한 적은 수의 홈으로 큰 상승기류를 만드는 형상을 도출해야 한다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 에어프라이어 조리통의 바닥면의 형상이 내부의 상승 기류의 크기에 미치는 영향을 수치적으로 고찰하였다. 바닥면에 팬의 날개 형상을 가지는 다양한 수의 홈을 생성하고, 조리통 내부의 정상상태 유동장을 비교해본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 조리통의 바닥면에 형성된 팬의 날개 형상을 가지는 홈은 평평한 바닥에 비하여 더 강한 상승기류를 생성한다. 상승기류의 강도는 홈의 개수가 증가할수록 커지게 되나, 6개를 초과해서는 약간 감소하는 경향을 보인다.
2) 에어프라이어 내부 유동에 의한 압력손실은 바닥면적의 크기가 증가할수록 커진다. 따라서, 본 연구에서 수행한 유량조건에서는 바닥 면에 6개 정도의 홈을 생성하는 것이 최적의 설계안이라고 판단된다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCE

1) Z. Khatir, J. Paton, H. Thompson, N. Kapur, V. Toropov, “Optimization of the energy efficiency of bread baking ovens using a combined experimental and computational approach”, Applied Energy, Vol. 112, pp 918~927, 2013
2) Z. Khatir, H. Thompson, N. Kapur, V. Toropov, J. Paton, “Multi-objective Computational Fluid Dynamics (CFD) design optimization in commercial bread-baking”, Applied Thermal Engineering, Vol. 60, pp 480 ~ 486, 2013
3) Do Yoon Moh, “Analysis of turbulent kinetic energy and heat transfer of impinging flow according to nozzle angle”, The Korean Society of Mechanical Engineers, pp 2485~2488, 2016.12
4) J. K Jung, J. H. Lee, C. W. Lee, E. Y. Seo, Y. J. Park and M. K. Kwon, “Experimental and Numerical Study on the Flow Field of an Electronic Oven”, Korean Society Computational Fluids Engineering, pp 27~30, 2012.11
5) Young Hun Park, Yu Jin Kim, Young Man Jung, Warn-Gyu Park, “Study on the Internal Flow of an Electric Oven with Variation of Steam Outlet Position”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering Vol. 25, No. 8, pp 450-456, 2013