

전자파 누설 저감을 위한 전자레인지 도어 프레임의 비틀림 변형 해석과 구조 설계

이부윤*, 구진영*

Analysis of Twisting Deformation and Structural Design of the Door Frame of a Microwave Oven to Decrease Leakage of Microwave

Boo Youn Lee[#] and Jin Young Koo^{*}

ABSTRACT

When one opens the door of a microwave oven during operation, microwave might leak through the clearance of the door. Present research has been motivated by the need to reduce the possible clearance by enhancing torsional stiffness of the door of the microwave oven. Static deformation of the door frame of the oven is analyzed under a door-opening force. On the basis of the topological optimization, the right flange of the door frame is shown to need reinforcing. Several types of reinforcing brackets weldable to the right flange is proposed, and their effects to the stiffness of the door frame are compared and evaluated.

Key Words : Microwave Oven (전자레인지), Door Frame (도어 프레임), Twisting Deformation (비틀림 변형), Reinforcing Bracket (보강 브래킷)

1. 서론

본 연구는 자전관(magnetron)에서 발생시킨 마이크로파를 이용하여 식품을 가열하는 방식의 조리 기기인 전자레인지(microwave oven)를 대상으로 하며, Fig. 1(a)와 같이 도어(door) 우측에 세로 방향으로 손잡이가 부착되어 있는 도어의 비틀림 변형을 저감시키기 위한 구조설계를 다루고자 한다. 도어는 힌지(hinge)에 의해 본체와 체결되어 손잡이를 당기면 회전하여 열리게 된다. 손잡이를 밀거나 당기면 도어 프레임(door frame)에 설치되어 있는 래

치(latch)와 전자레인지의 앞판(front plate)에 설치되어 있는 래치보드(latch board)가 서로 체결되거나 분리되면서 도어가 개폐된다. 도어 프레임에는 Fig. 1(b)에서 볼 수 있듯이 사각 테두리(flange)를 따라 전자파 차폐 기능을 갖는 복잡한 형상의 초크(choke)가 있고, 중심부의 넓은 면적에는 가동시에 유리를 통해 조리실 내부를 육안으로 볼 수 있도록 하기 위한 원형 형상의 수많은 구멍들로 이루어진 다공부(perforated area)가 존재한다.

도어가 닫혀있을 때는 래치의 후크가 래치보드에 설치된 안전 스위치(micro switch)를 누르고 있

* 접수일: 2005년 7월 8일; 게재승인일: 2005년 10월 7일

교신저자: 계명대학교 기계자동차공학부

E-mail bylee@kmu.ac.kr Tel. (053) 580-5922

* 한국엠에스씨소프트웨어(주)

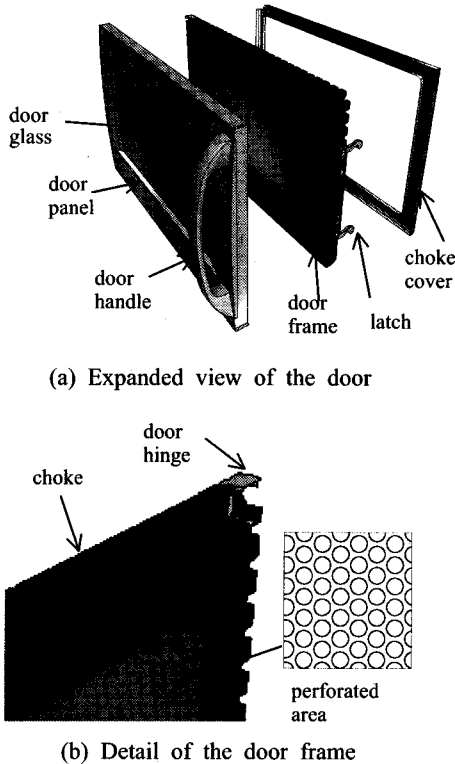


Fig. 1 Structure of the door of a microwave oven

으며, 전자레인지 가동 중에 인위적으로 도어를 열면 래치가 들어 올려지면서 안전 스위치가 작동하여 전원이 자동으로 차단된다. 도어 손잡이를 잡고 당길 때 우측 테두리(flange) 상하부의 변위차로 인해 비틀림 변형이 발생하므로 조리실과 도어 사이에 간극이 생기게 된다¹. 그러므로 만일 전자레인지 가동 중에 도어를 당기면 안전 스위치가 작동되기 전에 이 간극을 통하여 전자파가 누설될 수 있다.

손잡이를 당겨서 문을 여는 형식의 전자레인지에서 발생할 수 있는 이와 같은 전자파 누설을 규제하기 위하여, UL(Users Laboratory) 923²의 제34항(Microwave Radiation Emission Test)에서는 전자레인지 가동 중에 손잡이 상부와 중앙부 및 하부를 도어에 수직한 방향으로 최소한 50 lbf (222.4 N)의 힘으로 당기면서 측정된 전자파 양의 허용치를 5.0 mW/cm² 이하로 규정하고 있다. 이와 같은 이유로 전자레인지 도어의 비틀림 강성은 구조 설계시 중요한 고려 사항 중의 하나에 해당하며, 비틀림 강성이 우수한 구조를 갖는 도어 프레임을 설계하는

것이 필요하다.

한편, 전자레인지에 대하여 해석과 구조 설계에 관한 연구를 둔 연구는 그다지 많지 않다. Kim *et al.*³은 LS-DYNA⁴를 사용하여 전자레인지에 대한 낙하충격해석으로 취약 부분의 구조 설계 개선 방법을 제시하였다. Cho *et al.*⁵은 PAM-CRASH⁶를 사용하여 전자레인지의 낙하충격해석을 통하여 내충격 설계와 포장설계 결과를 제시하였다. Son⁷은 포장 상태의 전자레인지의 낙하충격 및 클램핑(clamping) 하중에 관한 해석을 통하여 포장재와 비드 설계안을 제시하였다. 전자레인지 도어의 개폐 성능 개선을 위한 실험적 연구로서 Noh⁸는 래치의 형상변경안을 제시한 바 있다.

최근에 Lee and Koo¹는 전자레인지의 도어를 여는 조건에 대하여 PAM-CRASH를 사용한 과도응답 해석을 수행하여 동적 거동을 해석한 바 있으나, 복잡한 전자레인지 전체의 유한요소 모델을 대상으로 50 ms까지의 해석을 수행하는데 NT Workstation에서 한 해석 당 약 65시간이 소요될 정도로 장시간이 소요되는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 이러한 외연적(explicit) 유한요소법을 사용한 과도응답 해석 모델의 복잡성을 해결하고 구조 설계 개선 방안 도출에 소요되는 해석 시간을 단축하기 위하여, 도어부의 비틀림에 영향을 크게 미치는 도어 프레임만을 해석 모델로 고려한 정적 해석을 통하여 비틀림 현상을 평가하는 보다 간편한 방법을 제시하고자 한다. 도어 프레임의 기존 설계안에 대하여 정적 해석을 수행하고, 위상 최적화를 수행하여 비틀림 강성 증대를 위한 구조 설계 개념을 도출하고자 한다. 또한, 비틀림 강성 증대를 위한 보강 브래킷 설계 방안을 제시하고, 단면 형상과 길이가 다른 여러 경우의 보강 브래킷의 해석을 통하여 비틀림 변형의 저감 효과를 비교하고 평가하고자 한다.

2. 도어 프레임의 유한요소 해석

2.1 해석 모델과 다공부의 물성치

도어 프레임의 선형 정적 해석에는 범용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS⁹를 사용하였고, 8 절점 2차 탄성 구조 쉘(quadratic elastic structural shell) 요소인 SHELL93 요소를 사용하여 해석 모델을 구성하였다. 정적 해석 대상인 도어 힌지가 부착된 도어 프레임의 기존 설계안의 유한요소 모델은 Fig. 2

와 같으며, 요소의 수와 절점의 수는 각각 1,406개와 4,747개이다. 각 요소의 두께는 실제 부품의 두께(도어 프레임:0.7 mm, 도어 힌지:2.0 mm)를 부여하였다. 재료는 SCP로서, 탄성계수는 207 GPa, 포와송 비는 0.292, 밀도는 $7.806 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ 이다.

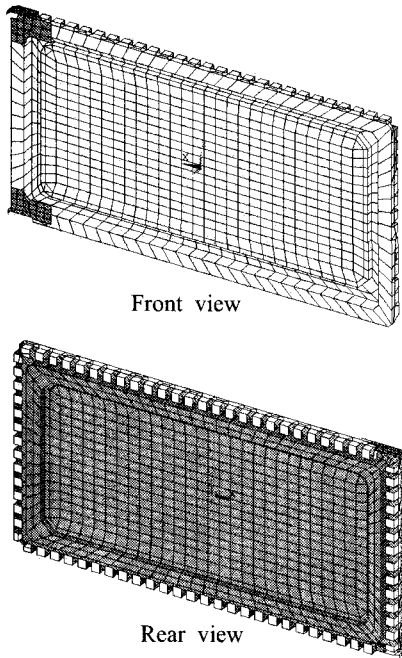


Fig. 2 Finite element model of the door frame

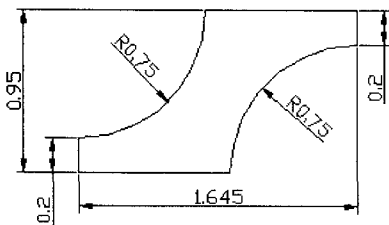


Fig. 3 Dimension of holes in the perforated area (unit: mm)

도어 프레임에서 중앙의 큰 면적을 차지하는 Fig. 1(b)에 표시된 다공부는 가로×세로 치수가 $433 \times 176 \text{ mm}$ 인 사각형 면적에 26,588개의 Fig. 3과 같은 치수를 갖는 작은 원형 구멍들이 존재하는 형상이므로 실제의 형상을 모델링하기가 어려울 뿐만 아니라 실제 형상대로 모델링하게 되면 요소의 크

기가 매우 작아서 해석 시간이 많이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 다공부를 구멍이 없는 균일 평판(uniform plate)으로 등가시키기 위하여, 많은 직사각형 구멍을 갖는 다공부에 대하여 Kim¹⁰이 사용한 방법을 적용하였다. 이 방법에서는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 다공부에서 대칭 반복되는 단위셀(unit cell)의 변위가 구멍이 없는 같은 크기의 등가 연속체의 변위와 같아지도록 하는 등가물성치를 계산한다.

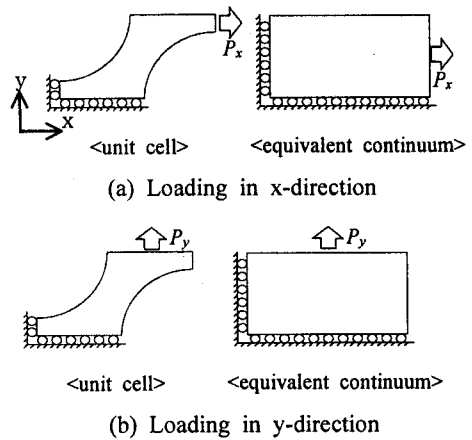


Fig. 4 Equivalent continuum model for the perforated area

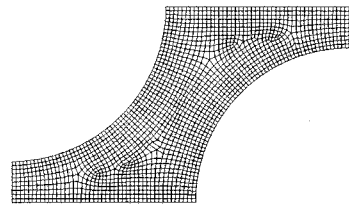
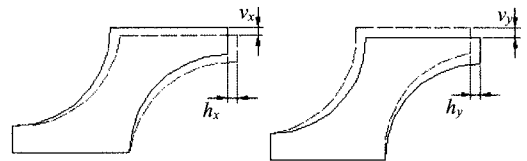


Fig. 5 Finite element model of the unit cell model



(a) Loading in x-direction (b) Loading in y-direction
Fig. 6 Displacements from the unit cell model

단위셀의 해석에는 ANSYS를 사용하였고, 사용한 요소는 4개의 절점을 갖는 선형 탄성 구조 솔리

드(linear elastic structural solid) 요소인 PLANE42이다. 단위셀 모델의 유한요소 형상은 Fig. 5와 같으며, 요소의 수와 절점의 수는 각각 1,668개와 1,790개이다. 단위 셀 모델을 사용한 다공부의 등가물성치 계산 과정은 다음과 같다.

(1단계) 원재료의 탄성계수와 프와송 비를 사용하고, Fig. 4(a)의 x축 방향 하중 P_x 와 Fig. 4(b)의 y축 방향 하중 P_y 를 부여하여 두 하중하의 단위셀 모델을 각각 해석한다. 단위셀 모델의 좌측과 하단의 모든 절점의 변위는 Fig. 4에 표시된 바와 같은 대칭 경계조건을 부여한다.

(2단계) 1단계의 해석 결과에서 Fig. 6에 표시된 변위량 h_x, v_x, h_y, v_y 가 결정된다. 여기서, h_x 와 v_x 는 Fig. 6(a)의 x축 방향 하중 해석에서 계산된 우측 모서리 최상단 절점의 x축과 y축 방향 변위를 각각 나타낸다. 또한, h_y 와 v_y 는 Fig. 6(b)의 y축 방향 하중 해석에서 계산된 우측 모서리 최상단 절점의 x축과 y축 방향 변위를 각각 나타낸다.

(3단계) 2단계에서 구한 변위를 식 (1)과 (2)에 대입하여 구멍이 없을 때의 등가연속체 모델에서의 탄성계수와 프와송 비를 계산한다.

$$E_y = \frac{\sigma_y}{\epsilon_{y_y}}, \nu_{xy} = \frac{\epsilon_{x_y}}{\epsilon_{y_y}} \quad (1)$$

여기서 $\sigma_y = \frac{P_y(d_x - R)}{d_x}$

$$\epsilon_{x_y} = \frac{h_y}{d_x}, \epsilon_{y_y} = \frac{v_y}{d_y}$$

$$E_x = \frac{\sigma_x}{\epsilon_{x_x}}, \nu_{yx} = \frac{\epsilon_{y_x}}{\epsilon_{x_x}} \quad (2)$$

여기서 $\sigma_x = \frac{P_x(d_y - R)}{d_y}$

$$\epsilon_{x_x} = \frac{h_x}{d_x}, \epsilon_{y_x} = \frac{v_x}{d_y}$$

식 (1)과 (2)에서 σ_x 와 σ_y 는 등가연속체 모델에서의 x축과 y축 방향의 수직 응력이다. ϵ_{x_x} 와 ϵ_{y_y} 는 x축 방향 하중을 가했을 때의 x축과 y축 방향 변형률을, ϵ_{x_y} 와 ϵ_{y_x} 는 y축 방향 하중을 가했을 때의 x축과 y축 방향 변형률을 나타낸다. d_x, d_y, R 은 Fig. 3에 나타난 단위셀의 x축 방향 길이(1.645 mm), y축 방

향 길이(0.95 mm), 구멍의 반경(0.75 mm)을 각각 나타낸다. E_x 와 ν_{yx} 는 x축 방향 하중 해석에서, 그리고 E_y 와 ν_{xy} 는 y축 방향 하중 해석에서 결정되는 등가연속체의 탄성계수와 프와송 비를 각각 나타낸다. 단위셀 모델의 해석에서 가하는 하중 P_x 와 P_y 는 임의의 크기로 정할 수 있으며, 각각 10 MPa를 사용하였다. 이와 같은 해석 결과로부터 구해진 다공부의 단위셀 모델의 우측 모서리 최상단점의 변위는 다음과 같다.

$$h_x = 0.106 \times 10^{-3} \text{ mm}, v_x = 0.289 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$h_y = 0.129 \times 10^{-3} \text{ mm}, v_y = 0.158 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

이와 같이 단위셀 모델에서 구한 변위 결과로부터 구멍이 없는 균일 평판의 등가물성치를 식 (1)과 (2)를 사용하여 계산한 결과를 Table 1에 수록하였으며, 다공부 평판에 수직인 방향인 z축 방향과 관련된 탄성계수 E_z 와 프와송 비 ν_{xz}, ν_{yz} 는 원재료의 물성치와 동일하다. Fig. 2에 도시된 도어 프레임의 유한요소 모델에서 다공부를 나타내는 셀 요소에 대해서는 이상과 같은 과정을 거쳐서 결정된 직교 이방성(orthotropic) 물성치를 부여하였다.

Table 1 Equivalent material properties of the perforated area

	Raw material (SPC)	Equivalent continuum (perforated area)
E_x	207.0	32.8 GPa
E_y		32.7 GPa
E_z		207.0 GPa
ν_{xy}	0.292	0.473
ν_{xz}		0.292
ν_{yz}		0.292

2.2 기존 설계안의 해석

전자레인지 전체 모델을 대상으로 한 과도응답 해석¹⁾의 결과 도어 손잡이 상부를 당기는 경우가 하부를 당기는 경우보다 비틀림 변형이 더 크게 나타났으므로, 본 연구의 정적 해석에서는 손잡이 상부를 당기는 경우만을 고려하였다. 설정한 경계조건과 하중조건은 Fig. 7에 나타내었다. 도어 프레임의 정적 해석의 경우에는 Fig. 7에 표시된 바와 같이 유한요소 모델의 전역(global) y축은 조리실에서

도어의 전면을 향하는 방향이고, x축은 전자레인지의 전면에서 볼 때 우측에서 좌측을 향하는 방향이며, z축은 전자레인지의 상부를 향하는 방향이다. 손잡이를 당기는 하중은 도어를 여는 힘을 푸시-풀 게이지(push-pull gage)로 측정하여 35.3 N을 얻었으며, Fig. 7에 표시된 바와 같이 손잡이 상부와 도어 프레임이 볼트로 체결되는 위치 A에 도어가 열리는 y축 방향으로 부여하였다. 경계조건으로서, 도어 힌지가 전자레인지 본체에 체결되는 절점에 대하여 편축인 전역 z축에 관한 회전 자유도를 제외한 모든 자유도를 구속하였다. 래치의 하부 후크가 래치 보드에 고정된 것으로 가정하여 래치의 하부가 도어 프레임과 체결되는 Fig. 7의 위치 B의 절점의 도어가 열리는 방향의 자유도 u_y 를 구속하였다. 이와 같은 구속조건은 KS규격 F 2630¹¹에서 규정하고 있는 문 세트의 비틀림 강도 시험 방법의 구속조건과 유사하다. 도어 힌지와 도어 프레임이 스폿(spot) 용접되는 위치의 절점들은 변위를 연계(coupling)하였다.

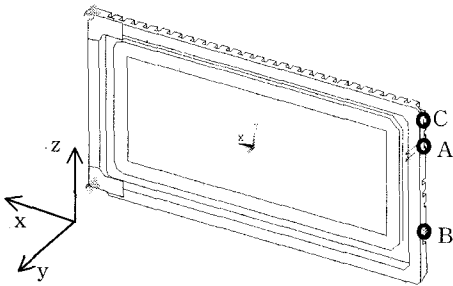


Fig. 7 Load and boundary conditions

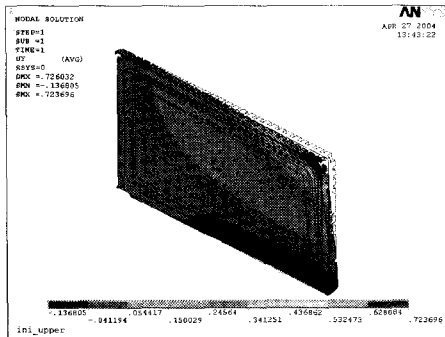


Fig. 8 Deformed shape and distribution of displacement u_y of the original design

Fig. 8은 기존 설계안에 대한 해석 결과로서, 변형 형상과 도어가 열리는 방향의 변위 u_y 의 분포를 나타낸다. 도어 프레임의 y축 방향 최대 변위는 0.724 mm이며, 도어 프레임의 우측 상단이 손잡이를 당기는 방향으로 변형하면서 비틀리는 양상을 보이고 있다.

3. 보강 브래킷 설계 방안 도출 및 평가

3.1 위상 최적화

앞 장에서 기술된 도어 프레임 기존 설계안의 선형 정적 해석 결과 나타난 비틀림 변형을 저감하기 위한 설계 개념을 도출하기 위하여 위상 최적화¹²의 밀도법(density approach)을 사용하였으며, 위상 최적화 문제의 해석을 위하여 ANSYS의 Topology Optimization Module을 사용하였다. 밀도법은 유한 요소의 가상밀도(pseudo-density) 분포를 조절함으로써 구조물의 최적 위상을 찾아내어, 소재의 부피를 감소시키면서 강성 측면에서 우수한 형상을 구하는데 주로 사용된다. 위상 최적화 문제는 식 (3)과 같이 설계변수가 유한요소의 내부 가상밀도이고 목적함수(objective function)가 컴플라이언스(compliance) 에너지이며 부피 감소에 관한 제약조건을 설정하여 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Find } \{\rho_i\}, i=1, \dots, N \\ & \text{minimizing } U_c \equiv \frac{1}{2} F^T U = \frac{1}{2} U^T K U \quad (3) \\ & \text{subject to } V \leq V_0 - V^* \end{aligned}$$

여기서, $\{\rho_i\}$ 는 N 개의 유한요소 각각에 할당된 내부 가상밀도 벡터를, U_c 는 변형에너지를, U 는 전역 변위 벡터를, K 는 전역 강성행렬을, F 는 전역 힘 벡터를 나타낸다. 식 (3)의 제약조건에서 V 는 부피, V_0 는 부피의 초기값, V^* 는 위상 최적화로 제거될 부피를 나타내며, 위상 최적화를 통하여 부피를 V^* 만큼 감소시킬 때 최소의 변형에너지를 갖는 내부 가상밀도 분포를 계산하게 된다.

위상 최적화 문제의 해석에 사용한 요소 종류는 기존 설계안의 정적 해석과 동일한 SHELL93으로서, 유한요소 모델의 형상은 Fig. 2와 동일하다. 경계조건 및 하중조건은 Fig. 7과 동일하며, 도어 힌지는 위상 최적화의 설계변수에서 제외되도록 하였다. 식 (3)의 부피 제약조건에서 제거될 부피 V^* 는

초기 부피 V_0 의 80 %로 설정하였다.

Fig. 9는 위상 최적화의 결과 계산된 내부 가상 밀도의 분포를 나타낸다. Fig 9에서 볼 수 있듯이 도어 프레임의 우측 테두리 부근이 가장 높은 0.889~1.0의 내부 가상밀도값의 수준을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 도어 프레임의 우측 테두리부가 강성에 기여하는 바가 큰 것을 알 수 있으며, 우측 테두리를 보강하면 도어 프레임의 비틀림 변형을 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

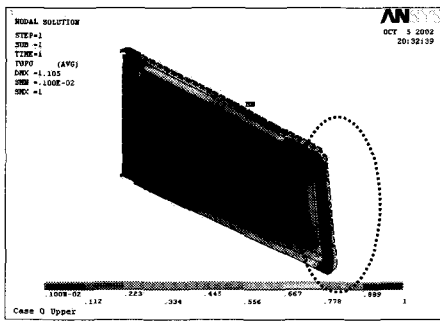


Fig. 9 Distribution of internal pseudo-density from topology optimization

3.2 보강 브래킷 설계 방안 도출 및 평가

Fig. 10에 표시된 바와 같이 도어 손잡이의 상부 위치 A를 하중 F_y 로 당길 때 도어 프레임은 래치의 하부 위치 B의 y축 방향 변위 u_y 의 구속으로 인하여 굽힘 변형의 양상을 보인다. 따라서, 도어 프레임 우측 테두리 단면의 면적관성모멘트가 증가할수록 도어 프레임의 비틀림 변형이 감소하게 된다. Fig. 1의 도어 프레임의 구조에서 나타난 바와 같이 다공부와 전자파 차폐를 위한 테두리의 초크 구조 때문에 비틀림 강성 증대를 위해 도어 프레임의 기존 설계안의 구조를 크게 변경하여 면적관성모멘트를 증대시키는 것은 현실적으로 어려움이 따른다. 따라서 도어 프레임의 기존 구조를 그대로 사용하면서 Fig. 11(a)에 나타난 우측 테두리부 단면의 면적 관성모멘트를 증가시키는 간편한 개선 방법을 채택하는 것이 효율적인 것으로 판단된다. 이를 위하여, 우측 테두리 위치에 Fig. 11(b)~(e)와 같이 경사형(slope-shaped), 계단형(step-shaped), 직각형(right-angled), 일자형(straight) 단면 모양을 갖는 네 가지의 보강 브래킷을 스폿 용접하여 덧붙이는 설계 개선 방안을 제시하고자 한다.

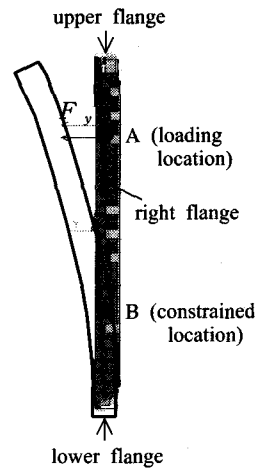


Fig. 10 Bending deformation at the right flange of the door frame

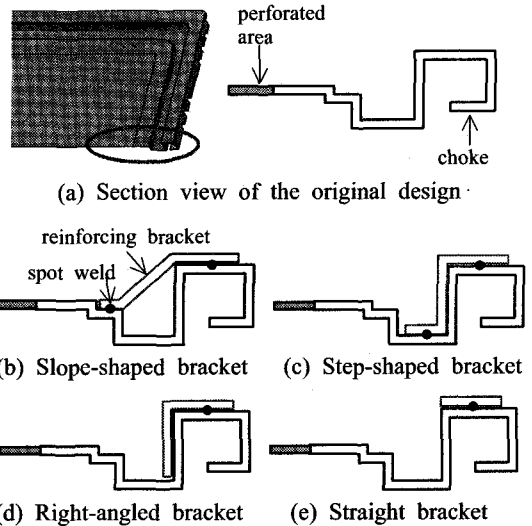


Fig. 11 Reinforcing brackets welded to the right flange of the door frame

Fig. 11에 나타난 보강 브래킷의 단면 형상을 사용할 경우의 비틀림 강성 개선 효과를 평가하기 위하여, Fig. 12와 같이 도어 프레임의 테두리를 따라서 보강 브래킷의 위치와 크기를 달리한 Case 1~8의 8 가지 설계 방안을 설정하였다. 보강 브래킷의 두께는 공히 2 mm로 정하였다. Fig. 12(a), (b)의

Case 1, 2는 경사형 브래킷을, (c), (d)의 Case 3, 4는 계단형 브래킷을, (e), (f)의 Case 5, 6은 직각형 브래킷을, (g), (h)의 Case 7, 8은 일자형 브래킷을 사용하는 것을 나타낸다.

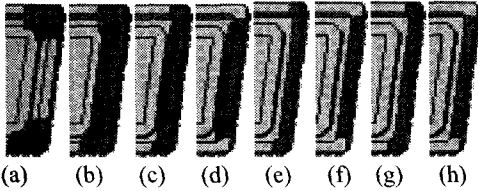
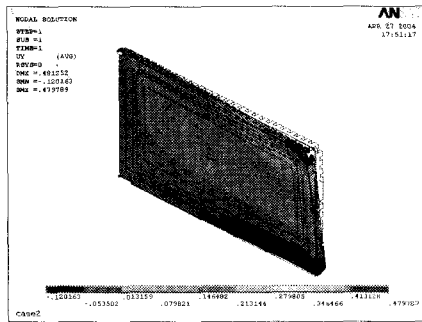


Fig. 12 Cases of reinforcing bracket: (a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3, (d) Case 4, (e) Case 5, (f) Case 6, (g) Case 7, (h) Case 8

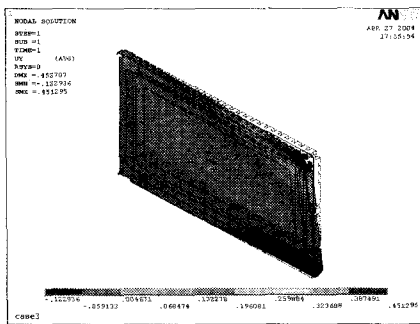
하여, 기존 설계안과 동일한 경계조건과 하중조건을 부여하여 해석을 수행하였다.

Table 2 Summary of results of 8 cases of reinforcing bracket

Cases	Max. u_y (mm)	Ratio of decrease of max. u_y (%)	Weight of bracket (kg)
Original design	0.724	-	-
Case 1	0.667	7.8	0.074
Case 2	0.480	33.7	0.261
Case 3	0.451	37.6	0.275
Case 4	0.496	31.4	0.223
Case 5	0.522	27.9	0.180
Case 6	0.557	23.0	0.146
Case 7	0.568	21.5	0.083
Case 8	0.602	16.8	0.067



(a) Case 2



(b) Case 3

Fig. 13 Deformed shape and distribution of displacement u_y of the door frame with reinforcing bracket

보강 브래킷은 쉘 요소인 SHELL93으로 모델링하고, 도어 프레임과 스폿 용접되는 위치의 절점은 변위를 연계시켰다. Case 1~8의 보강 브래킷을 사용할 경우의 비틀림 강성 개선 효과를 평가하기 위

하여, 기존 설계안과 동일한 경계조건과 하중조건을 부여하여 해석을 수행하였다. Table 2에서는 Case 1~8의 해석 결과 얻어진 Fig. 7의 위치 C에서의 최대 변위, 기존 설계안 대비 비율, 감소율을 수록하였다. 또한, 각 경우의 보강 브래킷의 추가 중량을 함께 수록하였다. Table 2에서 볼 수 있듯이, 계단형 브래킷을 우측 테두리 전체에 부착하는 Case 3이 최대 변위량 0.451 mm(기존 설계안 대비 37.6 % 감소)로 비틀림 강성이 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음은 경사형 브래킷을 우측 테두리 전체에 부착하는 Case 2(최대 변위량: 0.480 mm, 기존 설계안 대비 33.7 % 감소), 계단형 브래킷을 우측 테두리 상하 끝단을 제외한 위치에 부착하는 Case 4(최대 변위량: 0.496 mm, 기존 설계안 대비 31.4 % 감소)의 순으로 강성이 높은 것으로 나타났다. 도어 프레임의 우측 테두리 상하부 끝단에만 브래킷을 부착하는 경우인 Case 1은 변위 감소율이 7.8 %로서 비틀림 변형 저감 효과가 미소함을 알 수 있다. 우측 테두리의 전체에 브래킷을 부착하는 Case 3, 5, 7이 우측 테두리의 상하 끝단을 제외한 위치에 브래킷을 부착하는 Case 4, 6, 8에 비해 비틀림 변형 저감 효과가 더 높은 것으로 나타났다. 또한 우측 테두리

전체에 브래킷을 부착하는 경우인 경사형의 Case 2, 계단형의 Case 3, 직각형의 Case 5, 일자형의 Case 7을 서로 비교해보면, 비틀림 변형 저감 효과는 계단형과 경사형이 가장 우수하고 그 다음으로 직각형과 일자형의 순으로 나타났다. 한편, Table 2에 표시된 바와 같이 Case 1~8의 중량이 서로 차이가 나고 경사형, 계단형, 직각형, 일자형 브래킷의 제작 공정과 스폿 용접 점의 개수가 다르므로, 최종적으로 설계에 반영시에는 비틀림 변형 저감 효과와 경제성을 종합적으로 고려하여 결정해야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 전자레인지 작동 중에 도어를 닫는 경우에 도어와 본체 사이의 간극을 통하여 발생 가능한 전자파 누설을 최소화하기 위하여, 도어 프레임의 비틀림 강성을 증대시킴으로써 간극을 저감시키기 위한 구조 설계 개선 방안에 관하여 연구하였다.

1) 기존 설계안에 대하여 도어 프레임의 유한요소 모델을 구성하여 정적 해석을 수행하였으며, 특히 많은 원형 구멍이 위치한 다공부는 직교 이방성의 등가 연속체로 모델링하는 방법을 제시하였다.

2) 도어 프레임의 비틀림 강성을 증대시키기 위한 설계 개념을 도출하기 위하여 위상 최적화 문제를 해석하여, 우측 테두리가 비틀림 강성에 기여하는 바가 큼을 확인하였다.

3) 기존 도어 프레임의 구조를 변경하지 않으면서 비틀림 강성을 증대시키기 위한 간편한 방안으로 우측 테두리에 스폿 용접할 수 있는 보강 브래킷의 네 가지의 단면 형상을 제시하였다.

4) 보강 브래킷의 단면 형상과 부착 위치, 길이가 다른 여러 경우의 정적 해석을 수행하여 비틀림 변형의 저감 효과를 평가하였다.

5) 비틀림 강성 증대 효과는 계단형 브래킷을 우측 테두리 전체에 부착하는 경우가 가장 우수할 것으로 나타났다.

- Korean Soc. Mech. Engrs. A, 2005 (Submitted).
2. UL 923, "Standard for Microwave Cooking Appliances," Users Laboratory.
3. Kim, C. S., Na, J. M., Kim, J. H. and Chung, H. S., "Drop Analysis of Micro Wave Machine with I-DEAS and LS-DYNA," Technical Paper, Samsung Electronics, 2001.
4. LS-DYNA3D, "Keyword User's Manual," LSTC, 1999.
5. Cho, W. J., Kim, H., Lee, C. S. and Lee, D. R., "Drop-Impact Simulation of Micro Wave Oven," HANPAM 2000 Users Conference in Korea, pp. 61-67, 2000.
6. PAM-SYSTEM, "Reference Manual," PAM System International, 2002.
7. Son, B. S., "Research on the Finite Element Analysis of the Drop-Impact and Clamping of a Microwave Oven," M.S. Thesis, Keimyung University, 2004.
8. Noh, K. C., "A Study on the Door Interlock and the Door Opening Force of a Microwave Oven," M.S. Thesis, Busan University, 1999.
9. ANSYS, "User's Manual," Revision 6.2, 2002, ANSYS Inc.
10. Kim, S. D., "Nonlinear Vibration Analysis of Thin Perforated Sheet with Wire Impact Damping," Ph.D. Thesis, KAIST, 2003.
11. KS F 2630, "Doorsets - Static Torsion Test," 1997.
12. Belegundu, A. D. and Chandrupatla, T. R., "Optimization Concepts and Applications in Engineering," Prentice-Hall, New Jersey, 1999.

참고문헌

1. Lee, B. Y. and Koo, J. Y., "Evaluation of Twisting Deformation of the Door Frame of a Microwave Oven by Transient Response Analysis," Trans.