

< 기술논문 >

과도응답 해석에 의한 전자레인지 도어 프레임의 비틀림 변형 평가

이 부 윤[†] · 구 진 영*
(2005년 7월 2일 접수, 2005년 7월 20일 심사완료)

Evaluation of Twisting Deformation of the Door Frame of a Microwave Oven by Transient Response Analysis

Boo Youn Lee and Jin Young Koo

Key Words: Microwave Oven(전자레인지), Door Frame(도어 프레임), Twisting Deformation(비틀림 변형), Transient Response Analysis(과도응답 해석)

Abstract

This research has been motivated by the need to minimize possible leakage of microwave when one opens the door during operation of the microwave oven. An explicit finite element program is used to analyze the transient response the door of the oven under door-opening condition. Operation of the micro switch which plays an important role to turn off the power is simulated on the basis of the response of the latch. Using the results of the analysis, twisting deformation of the door frame is defined and evaluated.

1. 서 론

전자레인지(microwave oven)는 자전관(magnetron)에서 발생시킨 마이크로파를 조리실(oven cavity) 내로 유도하여 식품을 가열하는 역할을 한다. 전자레인은 설치 방식에 따라 탁자나 조리대 위에 거치하는 CMO(counter top microwave oven) 모델, 가스오븐(gas oven)등의 타 조리기와 함께 붙박이 방식으로 설치되는 빌트 인(built-in) 모델, 가스레인지의 위쪽에 설치되어 환기를 위한 후드(hood) 기능을 겸하는 OTR(over the range) 모델 등으로 분류할 수 있다.

본 연구에서 다루고자 하는 전자레인은 Fig. 1에 나타낸 중량이 23.6 kg인 OTR 모델⁽¹⁾로서,

전면 도어(door)의 우측에 세로 방향으로 손잡이가 부착되어 있으며 Fig. 2와 같은 도어 구조를 갖는다. 도어는 힌지(hinge)에 의해 본체와 체결되며, 손잡이를 당기면 힌지 축에 관하여 회전하여 열리게 된다. 도어의 개폐는 래치(latch)와 래치보드(latch board)의 체결 혹은 분리에 의해 이루어진다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 래치는 상하 두 개의 후크(hook)가 도어 프레임(door frame) 측면의 구멍에 끼워진 상태에서 스프링으로 도어 프레임과 연결되어 슬라이딩 조인트(sliding joint)처럼 움직일 수 있으며, 래치보드는 본체에 위치한 앞판(front plate)에 장착되어 도어를 닫았을 때 후크가 래치보드의 경사면에 걸려서 고정되도록 하는 역할을 한다. 래치와 래치보드의 체결형상은 도어가 닫혀있을 때는 Fig. 3(a)와 같으며, 도어 개방시에는 래치가 Fig. 3(b)와 같이 래치보드의 경사면을 따라 상승하여 빠져 나온 후에 스프링에 의해 원래의 위치로 복귀하게 된다. 도어가 닫혀있을 때에는 래치와 래치보드의 접점에 설치된 안전 스위치(micro switch)가 눌러져 있으며,

[†] 책임저자, 회원, 계명대학교 기계자동차공학부
E-mail : bylee@kmu.ac.kr
TEL : (53)580-5922 FAX : (053)580-5265

* 한국엠에스씨소프트웨어(주)

전자레인지 작동 중에 인위적으로 도어를 열면 래치가 안전 스위치에서 이탈하여 전원이 자동으로 차단된다.

한편, 도어 개방시에 손잡이를 잡는 위치는 손잡이의 중앙에 국한되지 않고 손잡이의 상부 혹은 하부일 수 있다. 도어 손잡이의 상부 혹은 하부를 잡고 당길 때 도어의 상하부의 변위차로 인해 비틀림 현상이 발생하게 되며, 이로 인해 조리실과 도어 사이에 간극이 생길 수 있다. 그러므로 만일 전자레인지 작동 중에 도어를 당기면 전원을 차단하는 안전 스위치가 작동되기 전에 이 간극을 통하여 전자파가 누설될 수 있다. 미국 규격 UL(Users Laboratory) 923⁽²⁾과 유럽 규격 EN(European Standard) 60335-2-25⁽³⁾에서 이와 같은 전자레인지의 안전 스위치에 관하여 규정하고 있다. 전자파 누설에 관한 안전을 위하여 UL 923 제34항(Microwave Radiation Emission Test)에는 손잡이를 당겨서 문을 여는 형식의 전자레인지의 경우에 작동 중에 손잡이 상부와 중앙부 및 하부를 도어의 수직 방향으로 최소한 50 lbf (222.4 N)의 힘으로 당기면서 측정된 누설 전자파의 세기(intensity)를 5.0 mW/cm^2 이하로 규제하고 있다. 이와 같은 이유로 전자레인지 도어부의 비틀림 강성은 구조 설계시 중요한 고려 사항 중의 하나에 해당하며, 비틀림 강성이 우수한 구조를 갖는 도어 프레임을 설계하는 것이 필요하다. 본 연구는 OTR 모델에서 도어 개방시에 가해지는 하중 조건에 대하여 도어부의 과도응답 해석을 수행하여 동적 거동을 해석하고, 도어부의 비틀림 강성을 평가하고자 한다.

본 연구에서 다루고자 하는 전자레인지에 대하여 해석과 설계에 주안점을 둔 연구는 그다지 많지 않다. Kim *et al.*⁽⁴⁾은 I-DEAS⁽⁵⁾와 LS-DYNA⁽⁶⁾를 이용하여 전자레인지 낙하충격해석으로 취약부분의 설계 개선 방법을 제시하였다. Cho *et al.*⁽⁷⁾은 PAM-CRASH⁽⁸⁾를 이용하여 전자레인지의 충격해석을 통하여 내충격 설계와 포장설계 결과를 제시하였다. Son⁽⁹⁾은 포장 상태의 전자레인지의 낙하충격 및 클램핑에 관한 해석을 통하여 포장재와 비드 설계안을 제시하였다. 전자레인지 도어의 개폐 성능 개선을 위한 실험적 연구로서 Noh⁽¹⁰⁾는 래치의 형상변경안을 제시한 바 있다. 이와 같이 본 연구에서 다루고자 하는 전자레인지 도어의 비틀림 강성의 해석, 평가에 관하여는

현재까지 연구 결과가 제시된 바가 없다.

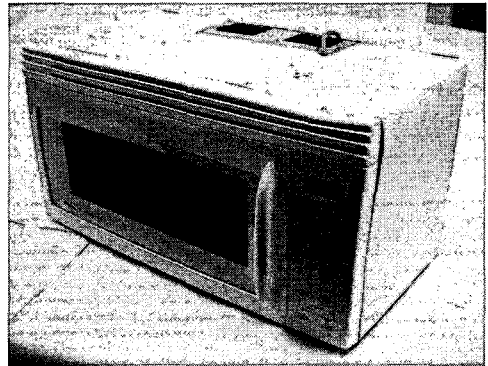


Fig. 1 The microwave oven

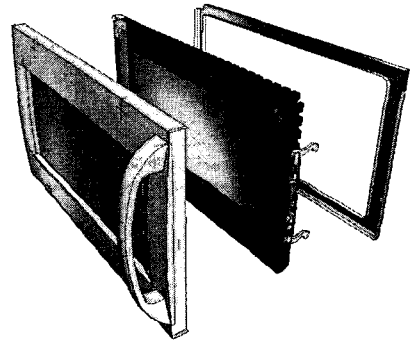


Fig. 2 Expanded view of the door assembly

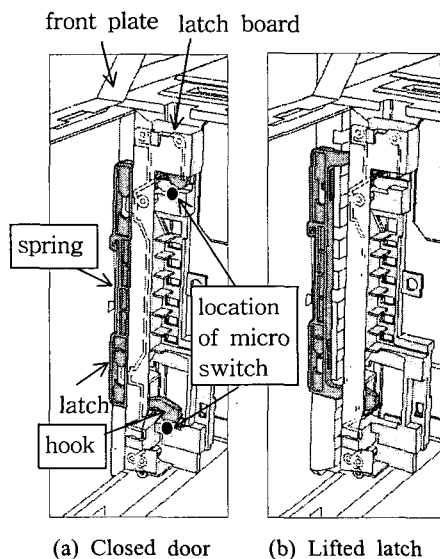


Fig. 3 Latch and latch board

2. 과도응답 해석을 위한 유한요소 모델

전자레인지 OTR 모델에 대하여 유한요소 모델을 구성하여 도어를 열 때 래치를 포함한 도어 프레임의 거동을 과도응답 해석을 통하여 분석하였다. 본 연구에서는 많은 부품으로 구성된 전자레인지의 도어를 열 경우에 시간에 관한 응답을 구하기 위하여 과도응답 해석을 수행해야 하므로 수렴성과 계산시간 측면에서 상대적으로 장점이 많은 외연적(explicit) 유한요소법을 적용하고자 하며, 이를 위하여 범용 외연적 유한요소 해석 프로그램인 PAM-CRASH를 사용하였다.

각각의 부품을 결합시키고 접촉과 경계 조건을 고려하여 완성된 유한요소 모델은 Fig. 4와 같으며, 도어 개방시 주요 접촉 부품인 래치와 래치 보드의 유한요소 형상을 Fig. 5에 나타내었다. 금속판재는 탄소성 쉘 요소를 사용하고, 플라스틱 사출물은 선형 탄성 쉘과 솔리드 요소를 사용하였다. 모터, 자전관, 팬(fan), 변압기와 같이 상대적으로 강성과 질량이 큰 부품은 솔리드 요소를 사용하였으며, 해석 시간을 단축시키기 위한 PAM-CRASH의 무효력 재료(null material) 요소로 지정하였다. 재료 물성치^(11,12)는 Table 1과 같다. Fig. 6에 표시된 래치의 스프링은 비선형 인장 바(nonlinear tension bar) 요소를 사용하였으며, 도어 프레임과 래치를 조립할 때 발생하는 초기 장력을 고려하여 초기 변형률을 설정하였다. 전체 유한요소 모델의 요소 수와 절점 수는 각각 227,742개와 830,272개이다.

부품들간의 접촉조건으로는 우선 전체 모델에 자체 접촉(self contact)을 부여하였는데, 각각의 요소 절점의 거리가 0.05 mm 이내로 가까워지면 침투된 것으로 판단하고, 침투한 절점을 밀어내는 조건으로 설정하는 벌칙계수(penalty factor)는 0.5를 부여하였다. 전자레인지 각 부품 간의 체결부에서 점용접(spot welding)은 결합이 끊어지지 않는 것으로 가정하고 결합 접촉(tied contact) 조건을 부여하고, 나사못 체결은 체결 위치의 절점들이 동일하게 거동하는 강제로 설정하였다. 래치와 래치보드의 접촉에는 래치가 거동할 때 래치보드와 접촉하는 위치의 요소에 면대면(surface-to-surface) 접촉을 부여하여 절점의 거리가 0.1 mm 이내로 가까워지면 침투된 것으로 평가되도록 하였고, 래치보드로부터 미끄러져 올라

갈 수 있도록 매끄러운 표면을 갖는 래치의 마찰계수를 0.01로 고려하고 벌칙계수를 0.1로 부여하였다. 또한, 매끄러운 슬라이딩 접촉이 발생하는 래치와 도어 프레임 사이에는 점대면(node-to-surface) 접촉을 고려하여 마찰면의 마찰계수는 0.01, 침투거리는 0.1 mm, 벌칙계수는 0.5로 설정하였다.

Table 1 Material properties

Material	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density (kg/mm ³)	Yield strength (MPa)
steel plate	207.0	0.292	7.806×10 ⁻⁶	234
plastic	36.7	0.38	1.100×10 ⁻⁶	56.4
PBT (latch)	8.8	0.38	1.100×10 ⁻⁶	145

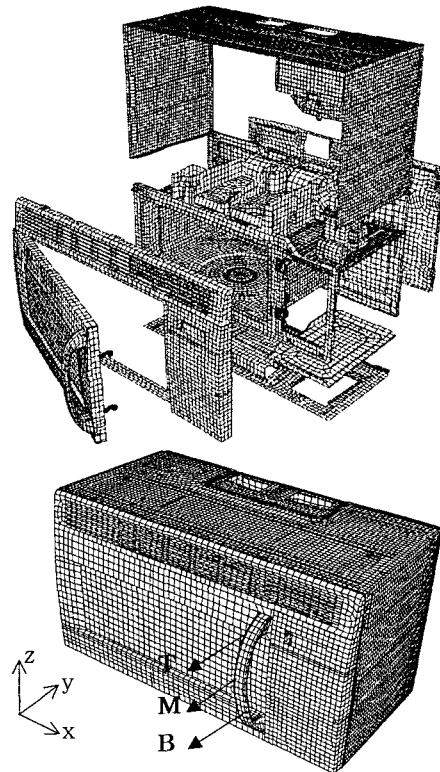


Fig. 4 Finite element model of the microwave oven and pulling location

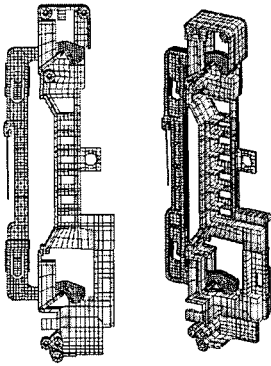
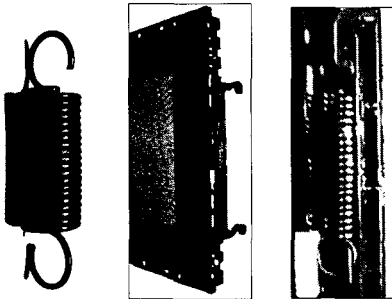


Fig. 5 Finite element model of the latch and latch board



(a) Spring (b) Assembled condition

Fig. 6 Spring of the latch

Table 2 Measured door-opening loads (unit: kgf)

Pulling location	Test number					Average load
	1	2	3	4	5	
T (Top)	3.05	2.95	3.00	3.00	3.00	3.00 kgf (29.4 N)
M (Middle)	3.42	3.35	3.45	3.40	3.38	3.40 kgf (33.3 N)
B (Bottom)	3.60	3.55	3.65	3.65	3.55	3.60 kgf (35.3 N)

도어가 열릴 때 손잡이에 가해지는 하중의 크기는 실제품 전자레인지로 대상으로 푸시-풀 게이지(push-pull gage)를 사용하여 실험적으로 측정하였으며, Fig. 4에 나타낸 도어 손잡이의 T(top), M(middle), B(bottom)의 세 위치에서 각각 5회씩 측정하여 Table 2와 같은 결과를 얻었다. 측정된 결과를 보면 도어를 여는데 필요한 힘은 하부 위치 B를 당길 때가 35.3 N으로 가장 크고, 중앙

위치 M을 당길 때가 33.3 N, 상부 위치 T를 당길 때가 29.4 N의 순으로 나타났다.

3. 도어 개방의 과도응답 해석 결과

도어 개방시의 과도응답 해석은 Fig. 4에 표시된 손잡이 상부 위치 T를 당기는 경우와 하부 위치 B를 당기는 경우의 두 가지 문제를 각각 해석하였으며, 동일한 힘에 대한 응답을 비교하기 위하여 당기는 힘은 Table 2에 수록된 중앙 위치 M의 평균 측정치인 33.3 N을 사용하였다. 하중 이력은 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 0 ms에서 2 ms까지 0에서 33.3 N으로 선형으로 증가하여 그 후에는 일정하게 가해지도록 하였다. 이 힘은 손잡이의 위치 T 혹은 B에 위치한 절점 4개에 균등하게 나누어 도어가 열리는 방향(-y축 방향)으로 부여하였다. 손잡이 상부 위치 T를 당기는 경우의 해석 결과 계산된 래치의 거동 형상을 시간 단계별로 구분하여 Fig. 8에 나타내었다. 래치의 후크가 래치보드와 접촉하면서 래치보드의 경사면을 넘어서서 도어가 열리는 시간별 응답이 실제 작동 원리와 일치하는 것으로 판단된다.

도어 개방 시 래치보드와 접하는 Fig. 9에 표기된 래치의 상부 후크의 끝단 위치 UL과 하부 후크의 끝단 위치 LL의 z축 방향 변위 u_z 를 Fig. 10에 나타내었다. Fig 10에 나타난 변위 u_z 의 전체적인 모양은 래치가 래치보드에 접촉하여 상승하면서 최고점에 도달하면 도어가 열리게 되고 그 후 래치가 스프링력에 의해 원래의 상태로 복귀하는 실제 거동과 일치한다. 래치가 래치보드를 빠져 나와서 도어가 완전하게 열리게 되는 시점은 Fig. 10에서 래치의 두 후크의 끝단 UL, LL의 z축 방향 변위 u_z 가 최고점을 지나서 감소하기 시작하는 시간으로서, 도어 손잡이의 상부 위치 T를 당길 때는 약 25 ms이며 하부 위치 B를 당길 때는 약 30 ms이다.

한편 도어가 닫혀진 상태에서는 래치의 하부 후크가 안전 스위치를 누르고 있으며, 도어가 열릴 때 래치가 z축 방향으로 1.45 mm만큼 이동하면 안전 스위치가 작동하여 전원을 차단하게 된다. Fig. 10에서 래치의 상하부 후크의 끝단 절점 UL, LL이 수직방향 변위 1.45 mm에 도달해서 안전 스위치가 작동하게 되는 시점은 도어 손잡이

상부 위치 T를 당길 때 11.23 ms, 하부 위치 B를 당길 때 13.73 ms로 나타났으며 이는 UL과 LL 중에서 u_z 변위가 먼저 1.45 mm에 도달하는 시점으로 판단한 것이다.

이와 같이 동일한 힘으로 도어를 당길 때 안전 스위치가 작동하게 되는 시점이 손잡이 상부 T를

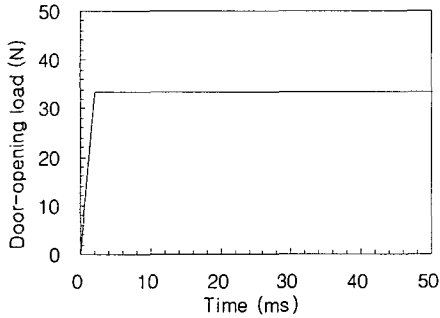


Fig. 7 Door-opening load versus time

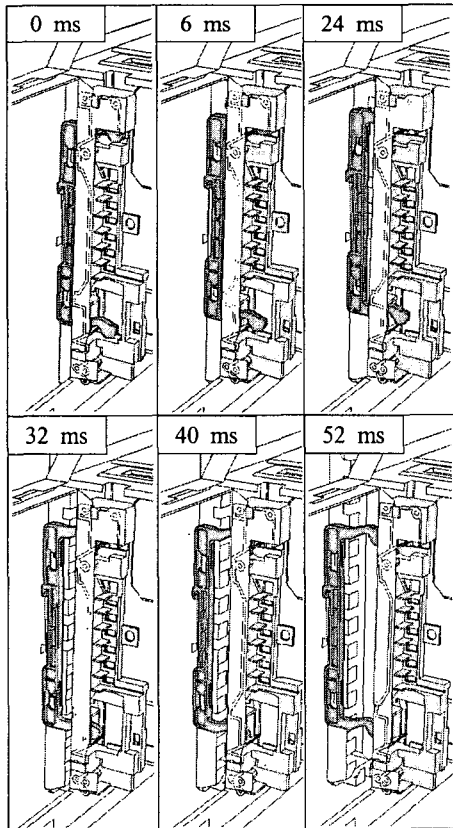


Fig. 8 Results of response of the latch

당길 때가 하부 B를 당길 때보다 빠른 것은 Table 2의 측정 결과에서 상부 T를 당길 때가 더 작은 힘으로 도어가 열리는 현상과 일치하는 것으로 판단된다.

Fig. 11은 도어 프레임의 상부 위치 UD와 하부 위치 LD의 절점의 y축 방향 변위 u_y 의 이력을 나타낸 것이다. Fig. 12는 상부 위치 UD와 하부 위치 LD의 변위차 Δu_y 의 절대값의 이력을 나타낸 것으로, 이와 같은 UD와 LD의 변위차 Δu_y 는 간극을 통한 전자파 누설 가능성이 있는 도어 우측의 비틀림 변형의 척도로 정의할 수 있다. Fig. 12에서 볼 수 있듯이 힘을 가한 이후부터 변위차가 점차 커지다가 래치가 래치보드를 빠져 나오기 전까지는 다시 감소한다. 래치가 래치보드를 빠져 나온 후에는 변위차가 커졌다 작아졌다를 반복하는 것을 알 수 있다. 안전 스위치 작동 시점에서의 변위차를 보면 상부 위치 T를 당길 경우는 11.23 ms에서 변위차가 0.94 mm, 하부

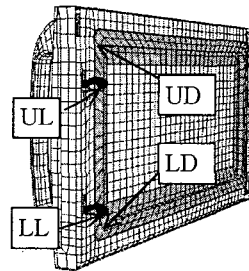


Fig. 9 Location in the door frame and latch

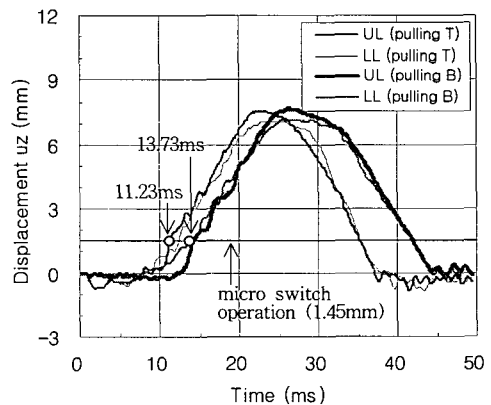


Fig. 10 Time-history of displacement u_z of the latch

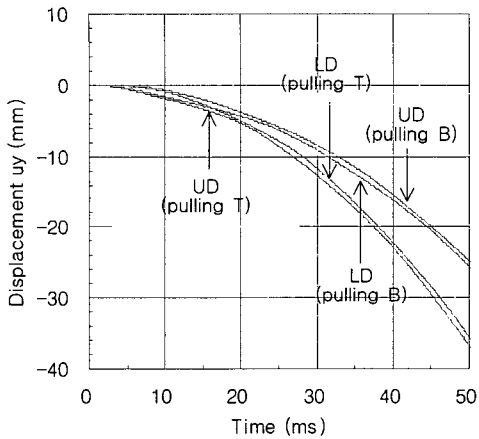


Fig. 11 Time-history of displacement u_y of the door frame

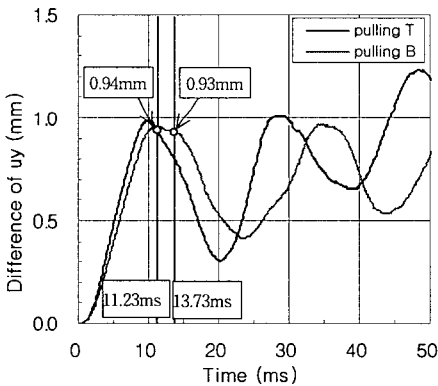


Fig. 12 Time-history of absolute of difference of displacements u_y of upper and lower nodes of the door frame

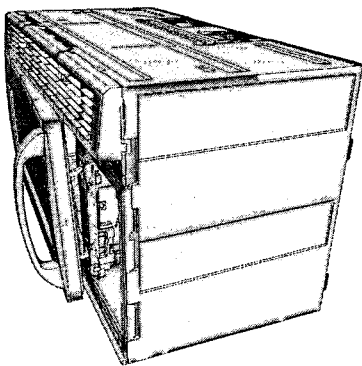


Fig. 13 Deformed shape at 12 ms

위치 B를 당길 때는 13.73 ms에서 변위차가 093 mm로 나타났다. 이는 안전 스위치 작동 시점의 변위차는 도어를 당기는 위치에 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다. 한편, Fig. 12로부터 상부 위치 T를 당길 때가 하부 위치 B를 당길 때보다 비틀림이 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 13은 12 ms에서 도어의 변형 형상을 y축 방향 변위 u_y 를 10배 확대하여 나타낸 것으로, 도어 프레임의 변형을 확인하기 위해 제어패널은 생략하고 도시하였다. Fig. 13으로부터 상부 위치와 하부 위치 절점의 변위차와 더불어 도어 프레임의 비틀림 변형이 발생되는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 비틀림 변형에 의하여 안전 스위치가 작동하기 전에 도어부와 앞판 사이에 간극이 발생하면 이 간극을 통하여 전자파가 누설되게 된다. 따라서 전자파 누설을 최소화하려면 도어 손잡이를 당길 때의 비틀림 변형이 최소화되도록 도어 프레임의 구조를 설계하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 전자레인지의 도어 개방조건에 대하여 과도응답 해석을 수행하여 동적 거동을 해석하고, 도어부의 비틀림 강성을 평가하였다. 외연적 유한요소법을 사용하여 전자레인지 도어 개방시의 시간에 따른 과도응답을 해석한 결과 도어 개폐 기능을 하는 주요 부품인 래치와 래치보드의 상대적 거동이 실제 현상과 일치하였다. 도어 프레임의 비틀림 변형은 도어 손잡이 상부 위치를 당기는 경우가 하부 위치를 당기는 경우보다 더 크게 나타났으며, 해석과 실험의 결과가 서로 일치하는 것으로 나타났다. 전자레인지 작동 중에 인위적으로 도어를 여는 경우에 발생 가능한 전자파 누설을 최소화하기 위해서는 손잡이가 위치한 도어프레임의 우측 테두리의 상하부 변위차에 의한 비틀림 변형을 최소화하는 것이 필요하다. 이러한 목적으로 도어 프레임의 비틀림 강성을 개선하기 위한 후속 연구가 진행중에 있다.

참고문헌

- (1) Over The Range Microwave Oven Owner's

- Manual, 2002, Maytag.
- (2) UL 923, Standard for Microwave Cooking Appliances, Users Laboratory.
- (3) EN 60335-2-25, Standard for Household and Similar Electrical Appliances, European Standard.
- (4) Kim, C. S., Na, J. M., Kim, J. H., Chung, H. S., 2001, "Drop Analysis of Micro Wave Machine with I-DEAS and LS-DYNA," Technical Paper, Samsung Electronics.
- (5) I-DEAS Course Guide, 1998, SDRC.
- (6) LS-DYNA3D Keyword User's Manual, 1999, LSTC.
- (7) Cho, W. J., Kim, H., Lee, C. S., Lee, D. R., 2000, "Drop-Impact Simulation of Micro Wave Oven," HANPAM 2000 Users Conference in Korea, pp. 61~67.
- (8) PAM-SYSTEM Reference Manual, 2002, PAM System International.
- (9) Son, B. S., 2004, Research on the Finite Element Analysis of the Drop-Impact and Clamping of a Microwave Oven, M.S. Thesis, Keimyung University.
- (10) Noh, K. C., 1999, A Study on the Door Interlock and the Door Opening Force of a Microwave Oven, M.S. Thesis, Busan University.
- (11) Shigley, J. E. and Mischke, C. R., 1989, Mechanical Engineering Design, 5th ed., McGraw-Hill.
- (12) www.matweb.com, 2005, Automation Creations Inc., Blacksburg, Virginia.