

빌트인 양문형 냉장고의 캐비닛 구조해석 및 도어 상하단차와 앞뒤단차의 평가

이부윤*.#

*계명대학교 기계자동차공학전공

Structural Analysis of Cabinet in Built-in Side-by-Side Refrigerator and Evaluation of Door Height Difference and Door Flatness Difference

Boo-Youn Lee*.#

*Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, KEIMYUNG UNIV.

(Received 26 January 2018; received in revised form 18 February 2018; accepted 19 February 2018)

ABSTRACT

Since the freezer compartment and the refrigerating compartment are located side by side in a side-by-side refrigerator, the problems of the door height difference (DHD) and door flatness difference (DFD) have been constantly raised. Deformation of the cabinet of a built-in side-by-side refrigerator under food and thermal loads was analyzed by the finite element software ANSYS. The DHD and DFD, occurring due to the deformation of the cabinet, evaluated. From the results of the analysis of the cabinet, the 3D CAD software CATIA was used to geometrically translate and rotate the freezing and refrigerating compartment doors, in consideration of the displacement of the hinge fastening point. Then, the coordinates of two points on the upper corner of the doors were determined, and the DHD and DFD were obtained. It found that the thermal load, occurring under normal operation conditions, decreases the door height difference, but increases the door flatness difference. Values of the analyzed DHD and DFD appear smaller than the acceptance criteria used by the refrigerator manufacturer.

Key Words : Built-in Side-by-Side Refrigerator(빌트인 양문형 냉장고), Door Flatness Difference(도어 앞뒤단차), Door Height Difference(도어 상하단차), Structural Analysis(구조해석), Thermal Deformation(열변형)

1. 서 론

근래에 들어서 냉동실과 냉장실이 나란히 있는 양문형 냉장고(side-by-side refrigerator)가 보편화되어 있으며, 최근에는 주방가구 일체형의 빌트인

(built-in) 양문형 냉장고 또한 보급이 이루어지기 시작하는 추세이다. 일반적인 빌트인 양문형 냉장고는 Fig. 1과 같은 형태를 갖는데, 좌우의 냉동실 및 냉장실 도어는 캐비닛(cabinet)에 부착되어 있는 상부힌지(upper hinge) 및 하부힌지(lower hinge)를 통하여 캐비닛에 조립된다. 도어의 조립 공정에서는, 도어를 캐비닛 하단 좌우에 위치한 하부힌지에 수직으로 얹어 놓은 후에 캐비닛 상단 좌우에 상부힌

Corresponding Author : bylee@kmu.ac.kr

Tel: +82-53-580-5922, Fax: +82-53-580-5165

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <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.

지를 체결하여 조립을 완성한다.

양문형 냉장고에서는 냉동실과 냉장실이 좌우로 나란히 위치하고 있기 때문에 도어의 단차 문제가 제기되고 있다^[1]. Fig. 2의 좌측과 같이 냉장고의 전면에서 볼 때 한쪽 도어가 다른 쪽 도어보다 더 높아 보이는 단차, 즉 좌우 도어 사이의 높이 차를 도어의 상하단차(door height difference)라 하며, Fig. 2의 우측과 같이 한쪽 도어가 다른 쪽 도어보다 전면으로 더 돌출해 나타나는 단차를 도어의 앞뒤단차(door flatness difference)라 한다. 상하단차와 앞뒤단차가 외관상 크게 보이면 소비자의 불만을 유발하게 되므로, 냉장고 제조사는 제품 출하 시에 통상적으로 상하단차는 2mm, 앞뒤단차는 1mm 이내가 되도록 관리하고 있다. 소비자 입장에서 주로 냉장고를 전면에서 바라보게 되므로, 특히 상하단차의 관리가 중요하다고 하겠다. 상하단차가 클 경우에는 소비자나 서비스 직원이 공구를 이용하여 냉장고 전면 하단에 위치한 높이조절 나사를 조절하여 냉장고의 수평을 맞출 수 있도록 하는 방법도 제공하고 있다. 그러나 대형 냉장고에 식품이 차있는 상태에서 도어 높이를 조작하는 것이 어려운 작업일 뿐만 아니라, 이러한 작업을 고객에게 요구하는 것 자체가 소비자 불만의 요인이 될 수도 있다.

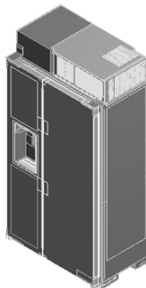


Fig. 1 Configuration of a typical side-by-side refrigerator

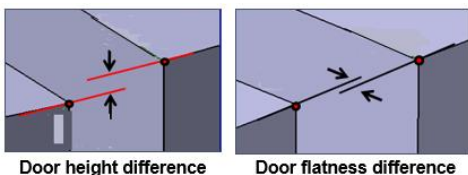


Fig. 2 Definition of door height and flatness difference

냉장고의 구조설계에 관한 기존의 연구를 살펴보면 주로 제품의 실제 사용 및 수송 과정에서의 부하 조건을 고려한 구조설계가 많은 부분을 차지한다. 대표적인 연구로서 Kum^[2]은 다구찌 기법^[3]을 사용한 내충격 완충 포장에 대한 최적설계 방안을 제시하였다. 근래에 들어서, 양문형 냉장고에서 발생하는 도어 단차의 원인을 규명하고 도어 단차 불량을 해결하기 위한 학문적 접근이 시도되어 왔다. Shin 등^[4]은 최초로 양문형 냉장고에서 상하단차에 미치는 다양한 영향 인자를 유한요소해석과 실험계 획법(design of experiment)으로 분석하였다. Lee 등^[5,6]은 양문형 냉장고의 유한요소해석과 실험을 통하여 도어의 상하단차 발생 현상을 체계적으로 평가하고 바닥면이 비평탄할 때 단차가 크게 증폭됨을 제시하였다. Kang^[7]은 양문형 냉장고의 상하단차 저감을 위한 냉장고 전면 하부 지지용 레그(leg)의 위치 이동과 하부 힌지의 보강 방안을 연구하였다. Lee^[8]는 냉장고 지지 방식에 따른 도어 단차 영향도 평가 및 저감 방향에 대해 연구하였다. Weng 등^[9]은 양문형 냉장고 도어의 상하단차를 자동으로 조절하기 위한 메커니즘을 제시하였다. Jang^[10]은 양문형 냉장고의 주요 부품의 설계 변경 시 상하단차에 대한 민감도를 평가하고 이를 토대로 주요 부품의 구조설계 개선방안을 제시하였다.

본 연구에서는 빌트인 양문형 냉장고의 캐비닛에 대하여 유한요소해석을 수행하고 해석 결과인 캐비닛의 변형에 의거하여 도어의 상하단차뿐만 아니라 앞뒤단차도 구하는 방법을 제시하고 그 결과를 평가하고자 한다. 단차 평가를 위한 냉장고의 해석에 있어서는 부하물 하중 외에 냉장고 작동 시의 열변형도 고려하여, 열하중이 상하단차와 앞뒤단차에 미치는 영향도 평가하고자 한다.

2. 부하물 하중에 의한 단차

본 연구에서는 정적 평형조건을 사용하여 도어 하중(도어 무게 및 도어 부하물 무게)으로 인하여 도어가 체결되는 힌지 위치에 가해지는 힘을 구하고, 힌지에 이 힘을 가하여 캐비닛의 변형을 해석하고자 한다. 힌지에 가해지는 하중에 의하여 캐비닛이 변형되면 힌지 체결점의 변위가 발생하게 되

므로 힌지를 통해 캐비닛에 체결된 도어가 강제 병진이동 및 회전하게 된다. 그러므로 3D CAD Software를 사용하여 힌지 체결점의 변위에 기반하여 도어를 강제 병진이동 및 회전시켜 캐비닛이 변형된 상태에서의 좌우 도어 상단 모서리 점의 좌표를 구함으로써 도어의 상하단차 및 앞뒤단차를 계산할 수 있다.

빌트인 냉장고 캐비닛을 유한요소법으로 해석하여 도어 단차 발생에 대한 영향을 분석하기 위하여 상용 유한해석 프로그램인 ANSYS workbench^[11]를 사용하였다. Fig. 3은 빌트인 양문형 냉장고의 캐비닛 형상과 주요 부품들을 나타내며, 부품별 재질 및 물성치는 Table 1과 같다. Fig. 4는 캐비닛의 유한요소 모델을 나타내며, 사용된 요소 종류는 요소당 10절점의 2차 사면체요소(quadratic tetrahedron element)로서 총 절점 수는 1,305,591개, 총 요소 수는 686,496개이다.

Fig. 5(a), (b)에 각각 냉동실과 냉장실의 상부힌지와 하부힌지의 체결점 위치의 하중과 도어 중심에 부여한 하중을 도시하였다. 도어에 부하물이 꼭 차 있을 경우(부하물 질량 10kg) 냉동실 도어(F-door)와 냉장실 도어(R-door)의 무게는 각각 317.85N과 621.95N이다. Fig. 5에서 힌지 하중 F_{ux} 는 상부힌지에 작용하는 수평방향 하중이고, F_{cx} 와 F_{cy} 는 각각 하부힌지에 작용하는 수평방향 및 수직방향 하중이다.

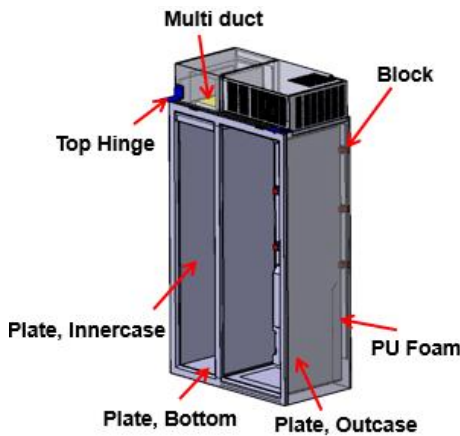
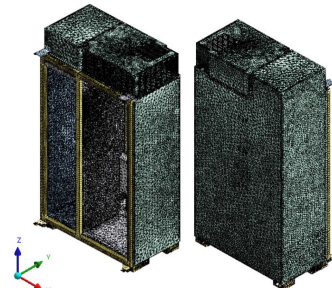


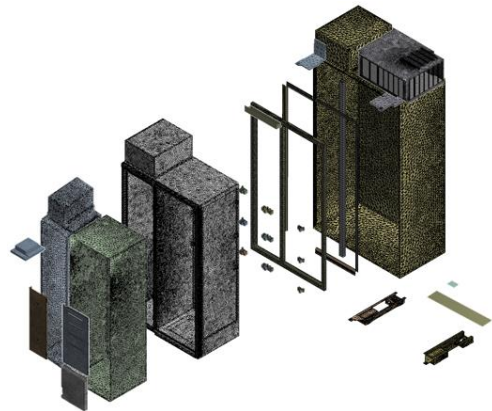
Fig. 3 Configuration of cabinet model and main parts

Table 1 Material properties

Parts	Mat'l type	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Thermal conductivity (W/mK)	Coeff. of thermal expansion ($10^{-5}/K$)	Density (kg/m^3)
Out case	SGC C	206.8	0.29	45	1.17	7820
Multi. duct	ABS	2.5	0.38	0.02	9.25	1049
	EPS	0.0583	0.4	0.03	5.70	609
PU foam	PU Foam	0.0036	1e-9	0.02	8.00	33.5
Hinge, Lower plate, Bottom	SCP	205	0.29	45	1.17	7800
Inner case	AL 5052	70.3	0.33	138	2.30	2679
Base shaft	SUM 24L	200	0.29	45	1.17	7870
Block	PVC	2.9	0.4	0.20	4.99	1450
POM	POM	2.55	0.35	0.29	7.99	1410



(a) Assembly



(b) Exploded view

Fig. 4 Finite element model of the cabinet

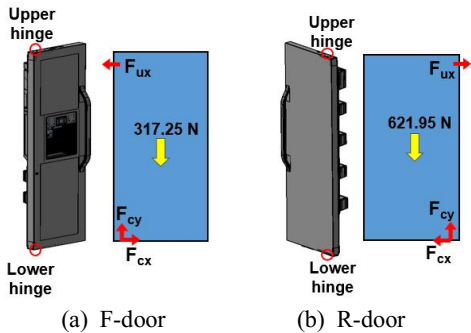


Fig. 5 Loads applied to upper hinge and lower hinge

Table 2 Displacement of hinge assembly location (food load)

Location	①	②	③	④
U_x (mm)	-0.451	-0.534	-0.007	-0.002
U_y (mm)	-0.177	-0.261	-0.292	-0.492
U_z (mm)	-0.198	-0.722	-0.022	-0.053

정적 평형조건을 사용하면 냉동실과 냉장실의 힌지에 가해지는 도어 하중을 계산할 수 있다. 계산 결과로서 냉동실의 힌지에 가해지는 도어 하중은 $F_{ux} = F_{cx} = 35.32\text{N}$, $F_{cy} = 317.85\text{N}$ 이고, 냉장실의 힌지에 가해지는 도어 하중은 $F_{ux} = F_{cx} = 99.51\text{N}$, $F_{cy} = 621.95\text{N}$ 이다. 추가적인 하중으로서 압축기 (compressor, 4.2kg)와 증발기(evaporator, 2.6kg)의 무게를 해당 부품 위치에 부여하였으며, Fig. 6에 캐비닛에 가해지는 하중을 모두 나타내었다. 경계조건은 캐비닛 전면 바닥에 위치한 높낮이 조정나사 위치 절점의 모든 방향 변위를 구속하였다.

Fig. 6의 하중을 캐비닛에 정적으로 가하여 해석한 결과로서 캐비닛의 x, y, z축 방향 변위 분포를 각각 Fig. 7, 8, 9에 나타내었다. 그리고 상부힌지(①, ②)와 하부힌지(③, ④)의 도어 체결점의 x, y, z축 방향 변위(U_x , U_y , U_z)를 Table 2에 나타내었다.

캐비닛 변형 전에 냉동실과 냉장실 도어가 맞닿는 상부 모서리 두 점의 (x, y, z) 좌표는 각각 (-4, 63, 1804), (4, 63, 1804)이다. 캐비닛 변형으로 인하여 Table 2와 같은 힌지 체결점의 변위가 발생하면 힌지를 통해 캐비닛에 체결된 두 도어가 강제 병진 이동 및 회전하게 되므로 두 점의 좌표가 변하며,

이 두 점의 z(상하방향) 좌표 차는 도어의 상하단차, y(앞뒤방향) 좌표 차는 앞뒤단차에 해당된다.

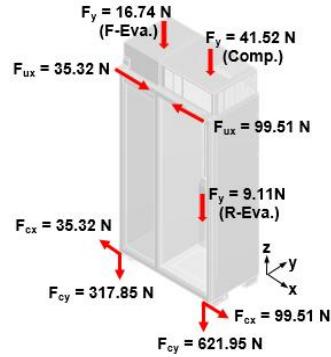


Fig. 6 Loads applied to the cabinet

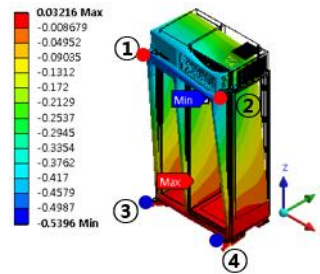


Fig. 7 x-axis displacement(food load)

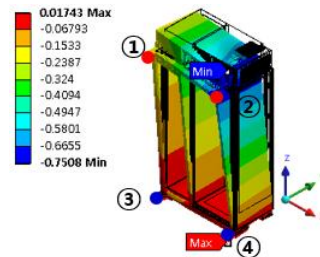


Fig. 8 y-axis displacement(food load)

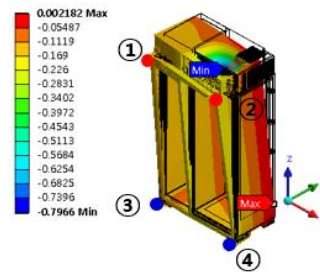


Fig. 9 z-axis displacement(food load)

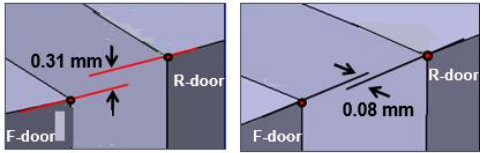


Fig. 10 Calculated door vertical and flatness difference(food load)

본 연구에서는 3D CAD Software인 CATIA^[12]를 사용하여 3D 공간 상에서 힌지 체결점의 변위를 고려하여 기하학적으로 두 도어를 병진이동 및 회전시킨 후에 상부 모서리 두 점의 좌표를 구하였다. 이와 같은 방법으로 캐비닛 변형 후에 냉동실과 냉장실 도어가 맞닿는 상부 모서리 두 점의 (x, y, z) 좌표를 구한 결과 각각 (-4.461, 63.175, 1804.084)와 (3.454, 63.256, 1803.773)이다. 이 두 점의 좌표 차로부터 도어의 상하단차와 앞뒤단차는 식 (1)과 같이 계산되며, 상하단차는 0.31mm, 앞뒤단차는 0.08mm로 나타났다(Fig. 10 참조).

$$\begin{aligned} \text{Door vertical difference} &= 1804.084 - 1803.773 = 0.31\text{mm} \quad (1) \\ \text{Door flatness difference} &= 63.256 - 63.175 = 0.08\text{mm} \end{aligned}$$

3. 열하중에 의한 단차

냉장고 작동 시에는 캐비닛의 온도분포에 의한 열변형이 발생하여 상부와 하부 힌지의 위치가 변화하게 되므로 도어의 상하단차와 앞뒤단차가 발생하게 된다. 열변형을 해석하기 전에 먼저 냉장고가 정상상태에서 작동하는 경우의 온도분포를 해석하였다. 캐비닛의 온도분포 해석을 위한 경계조건으로서, 외부는 대류경계조건으로 대류열전달계수 $5 \times 10^{-6} \text{W/mm}^2\text{C}$ 와 주위온도 25°C 를 부여하고, 내부는 표면 온도조건으로서 냉동실은 -17°C , 냉장실은 3°C 를 부여하였다. Fig. 11은 온도분포해석 결과를 나타낸다. 열하중 외의 부하물 하중 및 경계조건은 앞 장에서 기술한 것과 같이 부여하였다.

Fig. 6의 하중과 Fig. 11의 온도분포에 의한 열하중을 동시에 가하여 캐비닛을 해석한 결과로서 캐

비닛의 x, y, z축 방향 변위 분포를 각각 Fig. 12, 13, 14에 나타내었다. 그리고 상부힌지(①, ②)와 하부힌지(③, ④)의 도어 체결점의 x, y, z축 방향 변위(U_x, U_y, U_z)를 Table 3에 나타내었다.

캐비닛 변형으로 인하여 Table 3과 같은 힌지 체결점의 변위가 발생하면 힌지를 통해 캐비닛에 체결된 도어가 병진이동 및 회전하게 되므로, 앞 장에서 설명한 것과 동일한 방법으로 CATIA를 사용하여 기하학적으로 도어를 강제 병진이동 및 회전시킴으로써 도어의 단차를 계산하였다. 캐비닛 변형 후에 냉동실과 냉장실 도어가 맞닿는 상부 모서리 두 점의 (x, y, z) 좌표를 구한 결과 각각 (-3.731, 62.481, 1803.716)와 (3.933, 62.717, 1803.796)이다. 이 두 점의 좌표 차로부터 도어의 상하단차와 앞뒤단차는 식 (2)와 같이 계산되며, 상하단차는 0.08mm, 앞뒤단차는 0.24mm로 나타났다(Fig. 15 참조).

$$\begin{aligned} \text{Door vertical difference} &= 1803.796 - 1803.716 = 0.08\text{mm} \quad (2) \\ \text{Door flatness difference} &= 62.717 - 62.481 = 0.24\text{mm} \end{aligned}$$

이 결과를 앞 장에서 기술된 열하중이 없는 경우의 결과(상하단차 0.31mm, 앞뒤단차 0.08mm)와 비교해 보면, 열하중은 상하단차를 감소시키고 앞뒤단차를 증대시키는 것으로 나타났는데 이는 열변형에 의해서 캐비닛의 측면이 팽창하면서 나타나는 좌우 힌지 체결점의 변위 양상으로 인한 현상이다.

한편, 열하중 하에서 구한 상하단차 및 앞뒤단차 값은 각각 현재 냉장고 제조사의 허용 기준인 2mm와 1mm 보다는 작은 수준으로 나타났다.

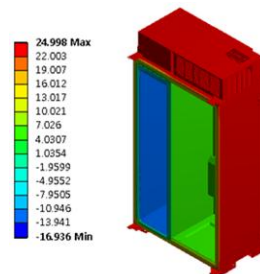


Fig. 11 Temperature distribution

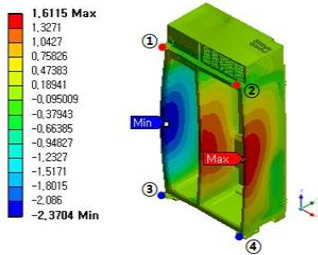


Fig. 12 x-axis displacement(food and thermal load)

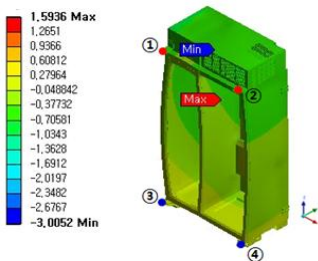


Fig. 13 y-axis displacement(food and thermal load)

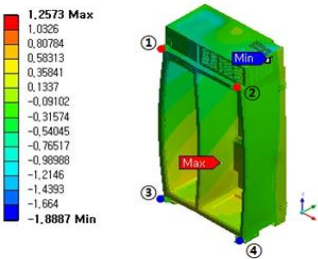


Fig. 14 z-axis displacement(food and thermal load)

Table 3 Displacement of hinge assembly location (food and thermal load)

Location	①	②	③	④
U _x (mm)	-0.086	-0.246	-0.076	-0.023
U _y (mm)	-0.612	-0.584	-0.022	-0.032
U _z (mm)	-0.321	-0.319	-0.279	-0.341

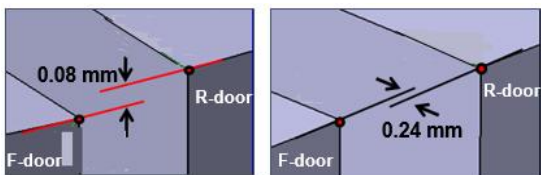


Fig. 15 Calculated door vertical and flatness difference(food and thermal load)

4. 결론

1. 빌트인 양문형 냉장고 캐비닛에 대하여 도어의 부하를 하중과 냉장고 작동 시의 열하중을 고려한 유한요소해석을 수행하여 냉동실 도어와 냉장실 도어 사이의 상하단차와 앞뒤단차를 평가하는 방법을 제시하였다.
2. 캐비닛의 변형 해석에서 얻게 되는 힌지 체결점의 변위에 의거하여 3D CAD Software를 사용하여 두 도어를 강제 병진이동 및 회전시킨 후에 두 도어가 접하는 상부 모서리 두 점의 좌표를 구하고, 이로부터 상하단차와 앞뒤단차를 구하였다. 이 방법은 유한요소 해석 시에 도어를 제외하고 캐비닛만을 해석해도 되므로 단차 평가를 위한 해석 모델의 복잡성을 피하고 해석에 소요되는 시간과 노력을 줄일 수 있으므로 기존의 방법에 비해 효율적이다.
3. 열하중을 고려하지 않을 경우에는 도어 상하단차는 0.31 mm, 앞뒤단차는 0.08 mm로 나타났다. 열하중을 고려할 경우에는 상하단차는 0.08 mm, 앞뒤단차는 0.24 mm로 나타났다.
4. 열변형 시에 캐비닛의 측면이 팽창하면서 나타나는 좌우 힌지 체결점의 변위 양상으로 인하여, 열하중은 상하단차를 감소시키고 앞뒤단차를 증대시키는 것으로 나타났다.
5. 본 연구에서 평가한 빌트인 양문형 냉장고의 도어 상하단차 및 앞뒤단차 값은 냉장고 제조사에서 정하고 있는 허용기준을 만족하는 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Kim, D. Y., Service List of a Side-by-Side Refrigerator, LG Electronics Internal Report, 2006.
2. Kum, D. H., Kim, W. J., Kim, S. D., & Park, S. H., "Optimal Design for Cushioning Package of a Heavy Electronic Product Using Mechanical Drop Analysis," A Thesis for MS, Keimyung University, Republic of Korea, 2004.

3. Taguchi, G., Taguchi Methods, ASI Press, Michigan, 1992.
4. Shin, K. C., & Che, S. W., "A Study on the Door Height Difference of the SBS Refrigerator," Proc. of Autumn Conference of KSME(A), pp. 528-531, 2004.
5. Lee, B. Y. and Lee, C. L., "A Study on the Evaluation of Door Height Difference of the Side-by-Side Refrigerator," Transaction of Bulletin of Institute for Industrial Science, Vol. 30, No. 2, pp. 345-353, 2007.
6. Lee, B. Y. and Lee, C. L., "Measurement and Evaluation of Door Height Difference of Side-by-Side Refrigerators," Transaction of Bulletin of Institute for Industrial Science, Vol. 31, No. 1, pp. 23-30, 2008.
7. Kang, G. W., "A Study and Analysis for the Improvement of Door Height Difference of the Side-by-Side Refrigerator," A Thesis for MS, Pusan National University, Republic of Korea, 2008.
8. Lee, M. S., "A Study of Optimization of the Load Supporting Structure in the Side-by-Side Refrigerator," A Thesis for MS, Pusan National University, Republic of Korea, 2008.
9. Weng, L., Yun, J. D. and Jung, Y. H., "Development of the Auto Leveling Mechanism for Side-by-Side Refrigerator Doors," Transaction of KAIS(A), Vol. 13, pp. 3165-3174, 2012.
10. Jang, M. J., "A Study and Analysis for the Improvement of Door Height Difference of the Side-by-Side Refrigerator," A Thesis for MS, Pusan National University, Republic of Korea, 2010.
11. ANSYS, ANSYS User's Manual Revision 11.0, ANSYS Inc., 2007.
12. CATIA, CATIA V5 R18 User's Manual, Dassault Systems Inc., 2012.