

얼음디스펜서와 홈바가 있는 빌트인 양문형 냉장고의 구조해석 및 도어 단차와 개스킷 간극의 평가

류시웅¹, 이부윤^{2*}

¹계명대학교 대학원 기계공학과, ²계명대학교 기계자동차공학전공

Structural Analysis of Built-in Side-by-Side Refrigerator with Ice Dispenser and Home Bar and Evaluation of Door Differences and Gasket Gap

Si-Ung Ryu¹, Boo-Youn Lee^{2*}

¹Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Keimyung University

²Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University

요약 냉동실 도어에 얼음디스펜서와 냉장실 도어에 홈바가 장착된 빌트인 양문형 냉장고 모델에 대하여 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 캐비닛과 도어를 통합한 유한요소모델을 구성하고 변형해석을 수행하였다. 하중으로는 냉장고가 조립된 조건, 그리고 캐비닛 선반과 도어 베스킷에 적재되는 식품 부하물 하중과 냉장고 정상 작동 시의 온도분포에 의한 열하중조건을 고려하였다. 캐비닛과 도어의 변형량 해석결과에 기반하여 냉동실 도어와 냉장실 도어 사이의 상하단차와 앞뒤단차를 평가하고, 냉기 밀봉에 영향을 미치는 캐비닛 전면과 도어 내면 사이에 위치한 도어 개스킷의 간극의 증가량을 평가하였다. 부하물이 없고 냉장고가 작동하지 않는 조건의 해석결과 계산된 상하단차와 앞뒤단차는 제품 출하 시의 허용기준을 만족하는 것으로 나타났다. 부하물이 투입되고 냉장고가 정상 작동하는 열하중조건의 해석결과 계산된 상하단차와 앞뒤단차는 조립조건에 비해 증가하며 특히 앞뒤단차가 크게 증가시키는 것으로 나타났다. 열하중조건의 해석결과 계산된 캐비닛 전면과 도어 내면의 변위로부터 도어의 사각 테두리에 부착되는 개스킷 간극의 증가량을 평가하였다. 최대 간극 증가량은 냉동실 도어의 좌측 테두리에서 발생하며 제조업체에서 정한 허용기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Abstract A cabinet-door integrated finite element model for a built-in side-by-side refrigerator with an ice dispenser and home bar was constructed, and its deformation was analyzed by ANSYS. As loads, the food load in the shelf and baskets, and thermal load occurring during the normal operation condition were considered. From results of the analyses, the door height difference (DHD) and door flatness difference (DFD) between the two doors, and the increase in the gap of the door gasket, which affects the sealing of cool air in the cabinet, were derived. As results of an evaluation of the differences, the DHD and DFD under the assembled condition satisfied the acceptance criteria of the manufacturer. The food and thermal loads increased the DHD and DFD due to thermal deformation, and the DFD increased significantly. In addition, the increase in the gap of door gasket located between the cabinet and doors was derived from the results of displacements under the food and thermal loads. The evaluation showed that the maximum increase in gap appeared at the left edge of the freezing compartment gasket, which satisfied the acceptance criteria of the manufacturer.

Keywords : Built-in Side-by-Side Refrigerator, Door Flatness Difference, Door Height Difference, Structural Analysis, Thermal Deformation, Gasket Gap

*Corresponding Author : Boo-Youn Lee(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-5922 email: bylee@kmu.ac.kr

Received June 4, 2018

Revised July 3, 2018

Accepted September 7, 2018

Published September 30, 2018

1. 서론

빌트인(built-in) 냉장고는 주방 가구장의 안쪽에 매립하여 냉장고 전면이 가구장의 전면과 일치하도록 설치되므로 공간 사용이 효율적이고 외관상 고급스러운 느낌을 준다. 생활수준 향상에 따라 깔끔한 주방을 구현하고자 하는 소비자 욕구가 커짐에 따라 일반 양문형(side-by-side) 냉장고에 비해 고가인 빌트인 양문형 냉장고가 최근에 많이 보급되고 있다. 빌트인 양문형 냉장고는 보통 좌측에 냉동실, 우측에 냉장실이 위치하고 있으며, 소비자의 요구에 부합하기 위해 각각의 도어(door)에 다양한 부가 기기가 설치되고 있다. 냉장실 도어의 홈바(home bar)는 자주 사용하는 식품 및 음료 수납의 편리성을, 냉동실 도어의 얼음디스펜서(ice dispenser)는 얼음 배출의 편리성을 제공한다.

빌트인 양문형 냉장고는 도어를 캐비닛(cabinet)에 체결하는 역할을 하는 상부와 하부힌지(hinge)가 냉동실 좌측과 냉장실 우측에 위치하고 있다. 상부힌지와 하부힌지는 캐비닛에 도어를 고정하는 역할을 하며, 하부힌지는 도어의 무게를 지지하는 역할도 한다.

한편, 빌트인 양문형 냉장고는 냉동실과 냉장실의 두 도어가 좌우로 나란히 위치하기 때문에 일반 양문형 냉장고와 마찬가지로 두 도어 사이의 단차 문제가 제기되고 있다. 도어의 단차는 상하단차(door height difference)와 앞뒤단차(door flatness difference)로 구분된다. 상하단차는 냉장고의 전면에서 볼 때 한쪽 도어의 상단이 다른 쪽 도어에 비해 더 높은 경우의 단차, 즉 좌우 도어 사이의 높이 차를 의미한다. 앞뒤단차는 한쪽 도어가 다른 쪽 도어에 비해 전면으로 더 튀어나온 단차를 의미한다. 만일 냉장고가 설치되어 사용되는 중에 이러한 도어 단차가 외관상 크게 나타나면 소비자의 불만을 야기할 수 있으므로, 냉장고 제조사는 제품 출하 시에 발생하는 상하단차와 앞뒤단차의 크기를 일정 수준으로 관리하고 있다.

한편 냉장고에는 캐비닛의 선반과 도어의 바스켓(basket)에 투입된 식품 부하물 하중과 냉장고 작동 시의 온도분포로 인한 열하중이 가해진다. 이러한 하중으로 인해 캐비닛과 도어가 변형되면 캐비닛과 도어 사이로 냉기가 유출되는 것을 방지하는 역할을 하는 도어 개스킷(gasket)의 간극(gap)에 영향을 미치므로 도어의 밀착성이 저하될 수 있다.

이상과 같은 배경 하에서 본 논문에서는 홈바와 얼음 디스펜서가 설치된 빌트인 양문형 냉장고를 대상으로 유한요소해석을 수행하여 도어의 상하단차, 앞뒤단차, 개스킷 간극에 대하여 연구하고자 한다.

양문형 냉장고가 보편화된 이래로 도어 단차의 원인을 규명하고 개선하기 위한 연구가 꾸준히 시도되어 왔다. Shin 등[1]은 상하단차에 미치는 다양한 영향 인자를 유한요소해석과 실험계획법으로 분석하였다. Lee 등[2,3]은 유한요소해석과 실험을 통하여 도어의 상하단차 발생 현상을 체계적으로 평가하고 바닥면이 평탄하지 않을 때 단차가 크게 증폭됨을 제시하였다. Kang[4]은 상하단차 저감을 위한 냉장고 전면 하부 지지용 레그(leg)의 위치 이동과 하부 힌지의 보강 방안을 연구하였다. Lee[5]는 냉장고 지지 방식이 도어 단차에 미치는 영향 평가 및 단차 저감 방안을 연구하였다. Weng 등[6]은 도어의 상하단차를 자동으로 조절하기 위한 메커니즘을 제시하였다. Jang[7]은 냉장고 주요 부품의 설계 변경에 따른 상하단차의 민감도를 평가하였다. Kim[8]은 상하단차를 저감하기 위한 역삼각형 지지 구조에 관하여 연구하였다. Lee[9]는 빌트인 양문형 냉장고에 대하여 캐비닛의 변형 해석을 통하여 3D CAD Software를 사용하여 간접적으로 도어의 단차를 평가하였다. 최근 Lee[10]는 얼음디스펜서가 있는 빌트인 양문형 냉장고에 대하여 캐비닛-도어 통합모델의 해석을 수행하여 해석결과의 두 도어의 변위로부터 직접적으로 도어의 단차를 평가하였다.

본 연구에서는 홈바와 얼음디스펜서가 설치된 빌트인 양문형 냉장고 모델에 대하여 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS workbench[11]를 사용하여 구조해석을 수행하여 도어의 변형량을 해석하고자 한다. 해석결과에 기반하여 두 도어 사이의 상하단차와 앞뒤단차, 그리고 캐비닛과 도어 사이의 개스킷 간극을 평가하고자 한다. 해석 시의 하중으로는 냉장고 작동 시의 열하중도 고려하며, 각 층이 단차에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

2. 유한요소모델링

본 연구에서 다루고자 하는 빌트인 양문형 냉장고는 형상이 Fig. 1과 같으며, 좌측의 냉동실 도어에 얼음디스펜서, 우측의 냉장실 도어에 홈바가 설치된 모델이다. 이

냉장고에 대하여 ANSYS를 사용하여 캐비닛-도어를 통합한 유한요소모델을 만들고 정적해석을 수행하였다.

Fig. 2는 이 냉장고의 캐비닛과 도어의 주요 부분을 나타낸다. 각 부품별 재질은 Table 1에, 재질별 물성치는 Table 2에 수록하였다.

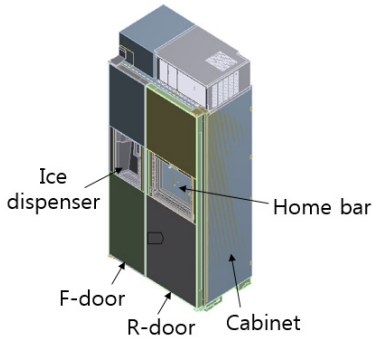


Fig. 1. Configuration of built-in side-by-side refrigerator with ice dispenser and home bar

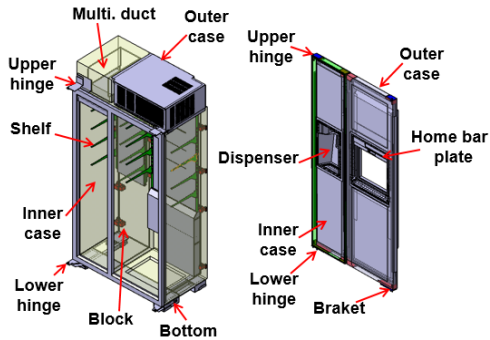


Fig. 2. Parts of cabinet and doors

Table 1. Material types of parts

Parts	Mat'l type
Outer case	SGCC
Multi. duct	ABS & EPS
Duct cap	ABS
PU Foam	PU Foam
Hinge, Shelf, Reinforcement	SCP
Inner case	AL 5052
Block	PVC
Adjustment screw	POM

Table 2. Material properties

Mat'l type	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Thermal conductivity (W/mK)	Coeff. of thermal expansion ($10^{-3}/K$)	Density (kg/m^3)
SGCC	206.8	0.29	45	1.17	7,820
ABS	2.5	0.38	0.02	9.25	1,049
EPS	0.0583	0.4	0.03	5.70	609
PU Foam	0.0036	1e-9	0.02	8.00	33.5
SCP	205	0.29	45	1.17	7,800
AL 5052	70.3	0.33	138	2.30	2,679
PVC	2.9	0.4	0.20	4.99	1,450
POM	2.55	0.35	0.29	7.99	1,410

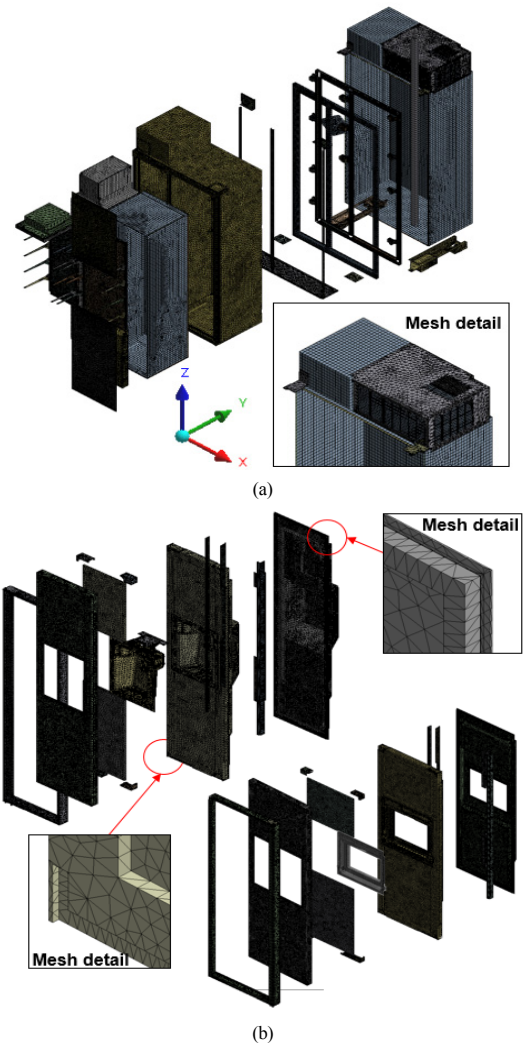


Fig. 3. Exploded view of finite element model (a)Cabinet (b)Doors

Fig. 3(a), (b)는 각각 캐비닛과 도어의 유한요소모델을 나타내며, ANSYS의 자동요소생성 기능을 사용하여 솔리드(solid) 요소를 생성하였다. 사용된 요소 종류는 요소당 10절점의 2차 사면체요소(quadratic tetrahedron element)이다. Fig. 3(a)의 캐비닛 모델의 총 절점 수는 1,046,238개, 총 요소 수는 598,444개이며, Fig. 3(b)의 도어 모델의 총 절점 수는 801,266개, 총 요소 수는 522,531개이다.

그리고 이 해석모델에서 형상을 직접 반영하지 않은 부품인 냉동실 상부의 증발기, 냉장실 상부의 압축기, 캐비닛 벽에 매립된 증발기의 무게는 각각 16.7 N, 41.5 N, 9.1 N이며 해당 위치에 집중하중으로 가하였다.

한편, 좌우의 냉동실 및 냉장실 도어는 캐비닛의 좌우 측에 부착되어 있는 상부힌지 및 하부힌지를 통하여 캐비닛에 조립된다. 따라서 캐비닛과 도어가 상부힌지 및 하부힌지에서 체결되는 방법을 고려하여 캐비닛 모델과 도어 모델을 통합하였다. 냉장고 제조 시의 조립 공정에서는 먼저 하부힌지를 캐비닛에 체결한 상태에서 도어의 하부핀을 캐비닛에 부착된 하부힌지 구멍에 끼워서 도어를 하부힌지 위에 얹어 놓은 후에, 도어의 상부핀을 상부힌지 구멍에 끼우고 마지막으로 상부힌지를 캐비닛과 체결하여 조립을 완성한다. 결과적으로 캐비닛과 도어는 도어의 원통 핀이 캐비닛 힌지의 원통 구멍에 끼워지는 방식으로 체결된다. 이를 고려하여 상부힌지의 원통 구멍과 도어의 상부핀 사이에는 슬라이딩이 일어날 수 있는 무마찰(no separation) 조건을 부여하였다. 하부힌지의 원통 구멍과 도어의 하부핀 사이, 그리고 도어 바닥면과 하부힌지의 상부면에도 슬라이딩이 일어날 수 있는 무마찰 조건을 부여하였다.

구조해석을 위한 변위 경계조건으로는 하부힌지 바닥에 설치되어 냉장고를 지지하는 역할을 하는 높낮이 조정나사(adjustment screw) 하단의 변위를 구속하였다.

3. 조립조건 해석결과

먼저 냉장고가 조립되어 출하되는 조건에서의 상하단차와 앞뒤단차의 크기를 평가하였다. 캐비닛-도어 통합 모델에 대하여 캐비닛 선반과 도어 베스킷에 부하물이 투입되지 않은 상태, 즉 자중만 가해진 경우에 대하여 정적구조해석을 수행하였다.

조립 조건의 해석결과로서, Fig. 4는 상하단차에 영향을 미치는 상하방향, 즉 z축방향 변위(UZ) 분포를 나타낸다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이, 상하방향 변위(UZ)는 냉동실(F) 도어 상단이 -0.16 mm, 냉장실(R) 도어 상단이 -0.20 mm로 나타났다. 상하단차는 두 도어 상단이 접하는 곳에서 두 도어의 UZ의 차의 절대치이다. 따라서 부하물이 투입되지 않은 조건의 상하단차는 식 (1)과 같이 0.04 mm로 미소한 것으로 계산되었다.

$$|-0.16 - (-0.20)| = 0.04 \quad (1)$$

조립 조건의 해석결과로서, Fig. 5는 앞뒤단차에 영향을 미치는 앞뒤방향, 즉 y축방향 변위(UY) 분포를 나타내는데, UY의 최대값은 냉장실(R) 도어 상단 모서리에서 0.13 mm이다. Fig. 5에서 냉동실(F) 도어와 냉장실(R) 도어가 접하는 위치 U는 도어의 상단, 위치 M은 도어의 중앙, 위치 L은 도어의 하단을 나타낸다. Fig. 6(a)에는 두 도어에 대하여 하단(L)부터 상단(U)까지의 UY의 변화를 나타내었는데, 냉장실 도어가 냉동실 도어에 비해 상대적으로 뒤쪽(+y축방향)으로 변형되는 것을 알 수 있다. Fig. 6(b)에는 냉장실 도어의 UY에서 냉동실 도어의 UY를 빼서 계산한 UY의 차를 하단(L)부터 상단(U)까지 나타내었는데, 앞뒤단차는 이 UY의 차의 절대치의 최대값으로 상단(U)에서 0.10 mm로 나타났다.

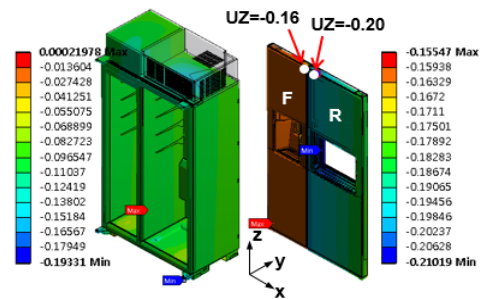


Fig. 4. Displacement UZ (Assembled condition)

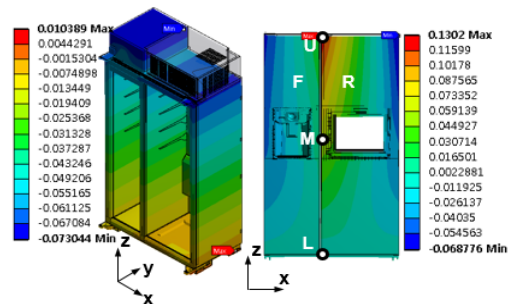


Fig. 5. Displacement UY (Assembled condition)

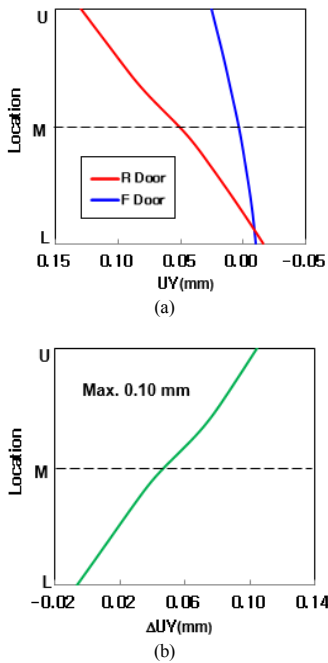


Fig. 6. Door flatness difference (Assembled condition) (a)UY of two doors (b)Difference of UY between two doors

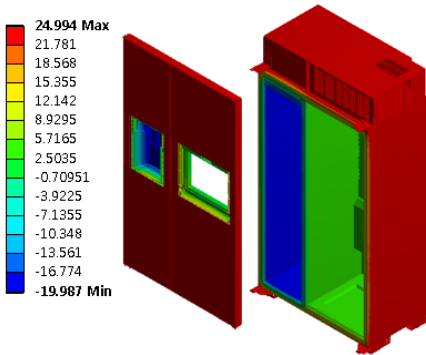


Fig. 7. Temperature distribution under steady-state operation

한편, 냉장고 제조사에서 부하물이 없고 냉장고가 작동하지 않는 조건, 즉 제품 출하 조건의 허용기준으로 정하고 있는 상하단차는 2 mm, 앞뒤단차는 1 mm이다. 앞의 해석결과에서 기술한 바와 같이 이 조건에서의 해석 결과가 상하단차는 0.04 mm, 앞뒤단차는 0.10 mm이므로 제품 출하 시의 허용기준을 만족하는 것으로 판단된다.

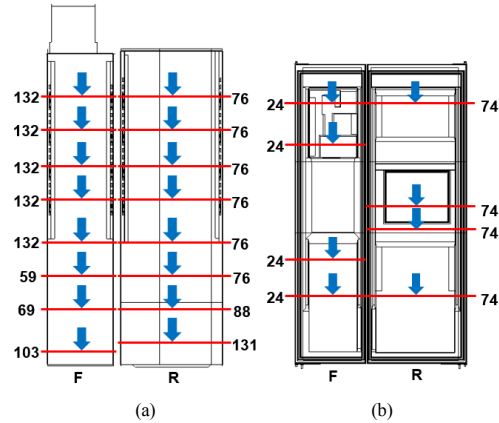


Fig. 8. Food load (unit: N) (a)Cabinet (b)Doors

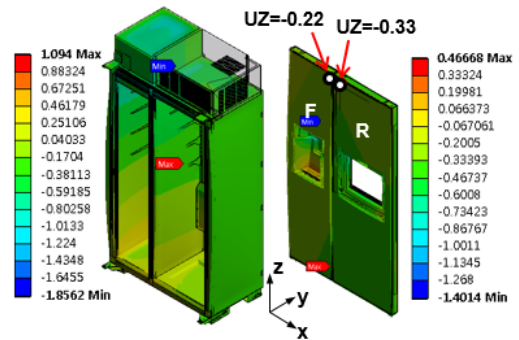


Fig. 9. Displacement UZ (Food and thermal load)

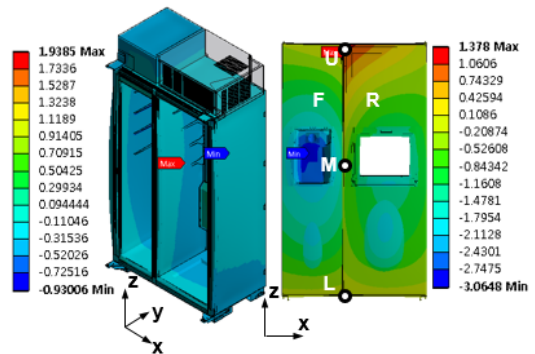


Fig. 10. Displacement UY (Food and thermal load)

4. 부하물과 열하중 조건의 해석결과

다음은, 냉장고 작동 조건, 즉 캐비닛 선반과 도어 베스킷에 식품 부하물이 투입되어 정상상태로 작동될 때 가해지는 열하중에 대하여 정적구조해석을 수행하였다.

그리고 해석결과로부터 냉장고 작동 조건에서 발생하는 상하단차와 앞뒤단차, 그리고 캐비닛과 도어 사이의 개스킷 간극의 크기를 평가하였다.

먼저 열하중을 구하기 위하여 캐비닛-도어 통합모델에 대하여 냉장고가 정상상태로 작동될 때의 열해석을 수행하여 냉장고의 온도분포를 계산하였다. 열해석을 위한 경계조건으로서 냉장고의 외면에는 대류경계조건을 부여하였다. 외면의 대류열전달계수는 자연대류에 해당하는 $5 \times 10^{-6} \text{ W/mm}^2\text{K}$ 로, 외부온도(surrounding temperature)는 상온인 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 설정하였다. 냉장고의 내면에는 온도경계조건을 부여하였으며, 냉동실 내면은 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, 냉장실 내면은 $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 설정하였다.

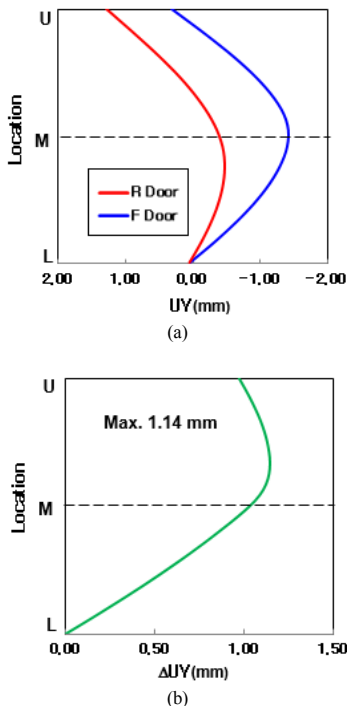


Fig. 11. Door flatness difference (Food and thermal load) (a)UY of two doors (b)Difference of UY between two doors

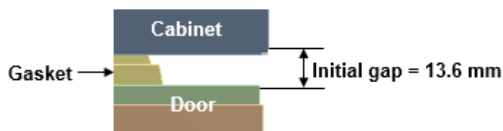


Fig. 12. Configuration of gasket gap

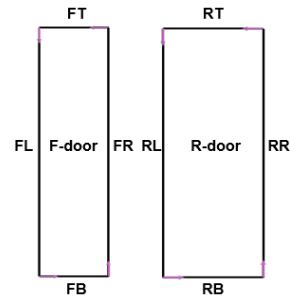


Fig. 13. Identification of gasket location at edge of doors

Fig. 7은 열해석 결과의 온도분포를 나타내는데, 최대온도가 $25 \text{ }^\circ\text{C}$, 최소온도가 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 나타난 것을 알 수 있다.

다음은 캐비닛-도어 통합모델에 대하여 캐비닛과 도어에 부하물이 투입된 상태에서 냉장고가 정상상태로 작동될 때의 온도분포를 열하중으로 가하여 열-구조 연성해석을 수행하였다. 부하물 하중은 식품을 최대한 투입할 경우의 무게에 해당하는 힘을 Fig. 8과 같이 캐비닛 선반과 도어 배스킷 위치에 가하였다.

열하중이 가해진 조건의 해석결과로서, Fig. 9는 상하단차에 영향을 미치는 상하방향, 즉 z축방향 변위(UZ) 분포를 나타낸다. Fig. 9의 변형 형상을 보면, 열변형에 의해 캐비닛의 측면 가운데가 볼록해지는 것으로 나타났다. 특히 Fig. 9의 우측 그림에서 냉동실과 냉장실 도어가 접하는 곳의 변형 형상은 냉동실 측의 가운데가 냉장실 측에 비해 앞으로 조금 튀어나오는 것을 알 수 있다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이, 상하방향 변위(UZ)는 냉동실(F) 도어 상단이 -0.22 mm , 냉장실(R) 도어 상단이 -0.33 mm 로 나타났다. 따라서 열하중이 가해진 조건의 상하단차는 0.11 mm 이며, 앞 장에서 설명한 조립조건 (0.04 mm)에 비해 열변형으로 인하여 상하단차가 0.07 mm 만큼 증가한 것으로 판단된다.

열하중이 가해진 조건의 해석결과로서, Fig. 10은 앞뒤단차에 영향을 미치는 앞뒤방향, 즉 y축방향 변위(UY) 분포를 나타내는데, UY의 최대값은 냉장고 내부에서 나타나며 1.94 mm 이다.

Fig. 11(a)에는 두 도어에 대하여 하단(L)부터 상단(U)까지의 UY의 변화를 나타내었는데, 냉동실 도어가 냉장실 도어에 비해 상대적으로 앞쪽(-y축방향)으로 돌출된 것을 확인할 수 있다. Fig. 11(b)에는 냉장실 도어의 UY에서 냉동실 도어의 UY를 빼서 계산한 UY의 차를 하단(L)부터 상단(U)까지 나타내었다. UY 차의 절대

치는 상단(U)에서는 0.97 mm로 나타났으며, 이 UY 차의 절대치의 최대값인 앞뒤단차는 상단(U)과 중간(M) 사이에서 1.14 mm로 나타났다. 따라서 열하중이 가해진 조건의 앞뒤단차(1.14 mm)는 앞 장에서 설명한 조립조건(0.10 mm)에 비해 1.04 mm만큼 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

이상의 해석결과로서, 냉장고 작동 시에는 열하중이 상하단차와 앞뒤단차를 증가시키며 특히 앞뒤단차를 크게 증가시킨다는 것으로 결론지을 수 있다. 또한, 참고적으로 냉장고 작동 시에 발생하는 이 앞뒤단차 1.14 mm는 제조업체에서 정한 출하 조건, 즉 부하물이 없으며 냉장고가 작동하지 않는 조건의 허용기준인 1 mm를 조금 초과하는 수준인 것으로 판단된다.

한편, Fig. 12에 나타난 것과 같이 도어가 힌지를 통해 캐비닛에 체결되어 닫혀 있을 때 캐비닛 전면과 도어 내면 사이의 초기 간극은 13.6 mm이며, 도어의 사각 테두리를 따라서 부착된 개스킷이 탄성 압축되어 이 간극을 밀봉함으로써 냉기가 누설되는 것이 방지된다. 만일 냉장고 작동 시의 변형에 의해 캐비닛과 도어가 변형됨으로써 이 개스킷 간극이 과도하게 증가하면 개스킷의 압축량이 작아져서 냉기가 누설될 수 있게 된다. 이를 감안하여 제조업체에서는 냉장고 작동 시의 개스킷 간극 증가량의 허용기준을 통상적으로 2 mm로 설정하고 있다.

고무 재질인 개스킷의 물성치는 비선형성이 강하므로 만일 해석모델에 개스킷을 포함하여 비선형구조해석을 수행하면 해석모델이 매우 복잡해지고 해석에 장시간이 소요되므로, 본 연구에서는 캐비닛-도어 통합모델에 개스킷을 포함하지 않았다. 따라서 냉장고에 부하물과 열하중이 가해질 때의 개스킷의 변형량을 해석결과로부터 직접 구할 수는 없지만, 개스킷이 설치된 테두리를 따라서 캐비닛 전면과 도어 내면의 앞뒤방향 변위 UY(Fig. 10 참조)의 차로부터 간접적으로 개스킷 간극의 증가량을 구하였다. 따라서, 도어 테두리의 개스킷과 접하는 캐비닛 전면의 변위 UY에서 도어 내면의 변위 UY를 뺀 차, 즉 DUY가 개스킷 간극의 증가량이 된다. 따라서 만일 하중이 가해질 때 $DUY > 0$ 이면 개스킷 간극이 초기보다 증가하고, $DUY < 0$ 이면 감소하는 것으로 판단할 수 있다.

개스킷과 접하는 캐비닛 전면과 도어 내면의 변위 UY를 추출한 냉동실과 냉장실 도어의 사각 테두리 위치를 Fig. 13에 표시하였다.

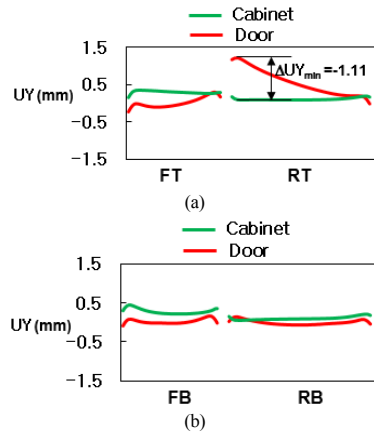


Fig. 14. Displacement UY at upper and lower edges (a)Upper edge (b)Lower edge

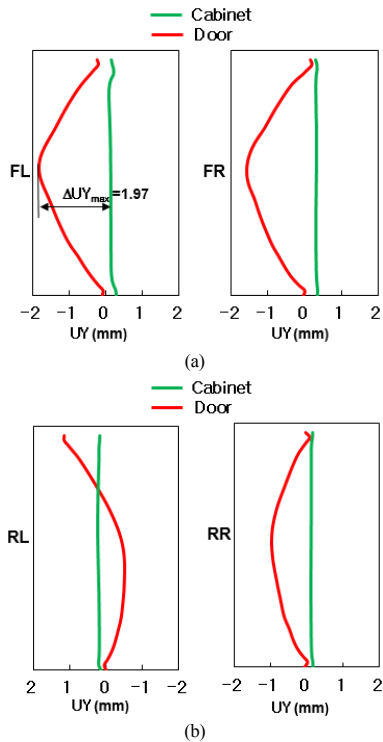


Fig. 15. Displacement UY at side edges (a)Freezing compartment (b)Refrigerating compartment

Fig. 13에서 위치 기호의 첫 번째 글자 F는 냉동실, R은 냉장실을 나타내며, 기호의 두 번째 글자 T는 상부, B는 하부, L은 좌측, R은 우측 테두리를 나타낸다.

열하중이 가해진 조건의 해석결과로서, Fig. 14(a), (b)에 각각 상부 테두리(FT와 RT)와 하부 테두리(FB와 RB)에서 캐비닛 전면과 도어 내면의 변위 UY를 나타내

었다. 그리고 Fig. 15(a), (b)에 각각 냉동실의 좌우측 테두리(FL와 FR)와 냉장실의 좌우측 테두리(RL와 RR)에서 캐비닛 전면과 도어 내면의 변위 UY를 나타내었다.

전체 테두리 중에서 개스킷 간극의 증가량, 즉 DUY가 최소인 위치는 Fig. 14(a)에 표시된 바와 같이 냉장실 상부(RT)의 두 도어가 접하는 위치이며 $DUY_{min}=1.11$ mm로 나타났다. 이와 같이 DUY가 음수이면 개스킷 간극이 초기보다 감소하므로 개스킷이 더 압축되어 냉기 누설을 방지하는 측면에서 더 유리하다. 그리고 DUY가 최대인 위치는 Fig. 15(a)에 표시된 바와 같이 냉동실 좌측(FL)의 중간 위치이며 $DUY_{max}=1.97$ mm로 나타났다. 이와 같이 개스킷 간극의 최대 증가량(1.97 mm)은 제조업체에서 정한 냉장고 작동 시의 개스킷 간극 증가량의 허용기준(2 mm)보다 작다. 따라서 이 냉장고가 캐비닛과 도어에 식품이 최대로 투입된 상태에서 작동될 때 냉기 누설 측면에서 문제가 되지 않는 것으로 결론지을 수 있다.

5. 결론

1. 얼음디스펜서와 홈바가 장착된 빌트인 양문형 냉장고에 대하여 캐비닛과 도어를 통합한 유한요소 모델을 만들고, 조립조건 및 부하물 하중과 냉장고 작동 시의 열하중조건에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 해석결과에 의거하여 냉동실 도어와 냉장실 도어 사이의 상하단차와 앞뒤단차, 그리고 냉기 유출에 영향을 미치는 도어 개스킷의 간극을 평가하였다.
2. 부하물이 없고 냉장고가 작동하지 않는 조건의 해석결과는 상하단차가 0.04 mm, 앞뒤단차가 0.10 mm이며, 제품 출하 시의 허용기준 2 mm를 만족하는 것으로 나타났다.
3. 부하물이 최대로 투입되고 냉장고가 정상 작동하는 조건, 즉 열하중이 가해지는 조건의 해석결과는 상하단차가 0.11 mm, 앞뒤단차가 1.14 mm로 나타났다. 따라서 열하중은 상하단차와 앞뒤단차를 증가시키며 특히 앞뒤단차를 크게 증가시키는 것으로 나타났다. 그리고 부하물이 최대로 투입되어 냉장고가 작동할 때 발생하는 이 앞뒤단차 1.14 mm는 제조업체에서 정한 출하 조건, 즉 부하물이

없고 냉장고가 작동하지 않는 조건의 허용기준인 1 mm를 조금 초과하는 수준인 것으로 판단된다.

4. 부하물이 최대로 투입되고 냉장고가 정상 작동하는 조건에서 도어 개스킷 간극의 최대 증가량은 냉동실 좌측 테두리에서 1.97 mm로 나타났다. 이는 제조업체에서 정한 개스킷 간극 증가량의 허용기준 2 mm보다 작으므로 냉기 누설 측면에서 문제가 되지 않는 것으로 판단된다.

References

- [1] G. C. Sin, S. W. Che, "A Study on the Door Height Difference of the SBS Refrigerator," *Proc. of Autumn Conference of KSME(A)*, pp.528-531, 2004.
- [2] B. Y. Lee, C. L. Lee, "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.
- [3] B. Y. Lee, C. L. Lee, "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.
- [4] G. W. Kang, A Study and Analysis for the Improvement of Door Height Difference of the Side-by-Side Refrigerator, A Thesis for MS, Pusan National University, 2008.
- [5] M. S. Lee, A Study of Optimization of the Load Supporting Structure in the Side-by-Side Refrigerator, A Thesis for MS, Pusan National University, 2008.
- [6] L. Weng, J. D. Yun, Y. H. Jung, "Development of the Auto Leveling Mechanism for Side-by-Side Refrigerator Doors", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.13, No.7, pp.3165-3174, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.7.3165>
- [7] M. J. Jang, A Study and Analysis for the Improvement of Door Height Difference of the Side-by-Side Refrigerator, A Thesis for MS, Pusan National University, 2010.
- [8] J. H. Kim, A Study Regarding Supporting Structure of Refrigerator to Minimize a DHD between Each Door at the Uneveled Floor Condition, A Thesis for MS, Pusan National University, 2015.
- [9] B. Y. Lee, "Structural Analysis of Cabinet of Built-in Side-by-Side Refrigerator and Evaluation of Door Height Difference and Door Flatness Difference", *The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol.17, No.2, pp.30-36, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.2.030>
- [10] B. Y. Lee, "Analysis of Door Height Difference and Door Flatness Difference of Built-in Side-by-Side Refrigerator Using Cabinet-Door Integrated Model", *The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Submitted, 2018.

[11] ANSYS, ANSYS User's Manual Revision 11.0, ANSYS Inc., 2007.

류 시 응(Si-Ung Ryu)

[준회원]



- 2012년 2월 : 계명대학교 기계자동차공학과 (공학사)
- 2014년 8월 : 계명대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 평화오일셀공업(주) 쉐어링개발팀 사원

<관심분야>

CAD, 전산응력해석 등

이 부 윤(Boo-Youn Lee)

[정회원]



- 1984년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 1991년 8월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 1984년 3월 ~ 1998년 2월 : 두산중공업 기술연구원 구도강도연구팀장
- 1998년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학전공 교수

<관심분야>

최적설계, 구조설계, 전산응력해석 등