

<학술논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2015.39.4.391>

ISSN 1226-4873(Print)
2288-5226(Online)

냉장고 Flange부 이슬 맺힘 방지를 위한 열선의 영향 및 조립에 관한 연구[§]

김나현* · 조종래** · 박상후**

* 한국해양대학교 기계공학부, ** 부산대학교 기계공학부

A Study on the Effect of Hot Lines and the Assembly of Flange for a Refrigerator to Reduce Dew Generation

Na Hyun Kim*, Jong Rae Cho**† and Sang Hu Park**

* Dept. of Mechanical Engineering, Korea Maritime and Ocean Univ.

** Dept. of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.

(Received January 26, 2015 ; Revised February 18, 2015 ; Accepted February 23, 2015)

Key Words: Dew Generation(이슬 맺힘), Fe Analysis(유한요소해석), Flange(플랜지), Refrigerator(냉장고), Hot-Line(열선)

초록: 본 논문은 가장 보편화 되어있는 양문형 냉장고의 플랜지에서 이슬 맺힘 현상을 방지하기 위한 연구에 대한 논문이다. 양문형 냉장고는 냉동실과 냉장실을 분리하는 벽의 전면부를 플랜지라하고 여기에 양문의 개스킷이 밀착하여 냉기를 차단하는 역할을 한다. 플랜지의 철판에 맺히는 이슬을 방지하기 위해서 35℃의 고온의 냉매가 흐르는 열선이 삽입된다. 하지만 열선을 삽입함에도 이슬 맺힘 현상이 계속되고 있는데 이것은 열선이 철판 하부에 밀착되지 않아 열선의 열이 철판 하부에 충분히 전달되지 않기 때문이다. 본 논문에서는 열선의 영향을 평가하고 열선과 철판 하부가 충분한 열전달을 할 수 있는 구조를 제안하고 그 타당한지 확인하였다.

Abstract: When the temperature of a flange in a refrigerator is reduced to the dew point, condensation is generated on the flange. Generally, hot lines, having a temperature of 35°C, are located near the flange to increase its surface temperature above the dew point. Hot lines are installed in close contact with the flange in order to increase the heat transfer from the hot lines to the flange surface. Through this work, the effects of the hot line shape and installation conditions, including a gap between the hot line and flange, and the function of a spacer in the inner case of the refrigerator were investigated. Additionally, an optimal shape of the inner case for easy assembling is proposed considering the contact between the hot line and flange.

1. 서 론

냉장고의 주목적은 식품 등을 차게 보관하여 부패하지 않고 신선한 상태로 오래 유지시키는 것이다. 이러한 특성 때문에 냉장고의 내부와 외부는 온도차가 크게 나타난다. 이슬은 물체의 표면온도가 이슬점이하로 내려가면 물방울이 맺히

는 현상이다. 이슬 맺힘 현상은 표면의 특성을 변화시키고 물체를 부식 시키며 미관상으로 좋지 않는 등 여러 가지 공학적 문제를 발생시키기 때문에 발생을 억제시켜야 한다.^(1,2) 양문형 냉장고는 냉동실과 냉장실을 분리하는 벽의 전면부를 플랜지라하고 여기에 양문의 개스킷이 밀착하여 냉기를 차단하는 역할을 한다. 이슬이 가장 잘 맺히는 부분인 플랜지에 대한 명확한 연구가 진행되지 않았으며, 과거 설계이력에 의존해 오고 있다.^(3,4) 따라서 본 논문은 플랜지부 연구를 통하여 이슬 맺힘의 방지를 위한 효과적인 설계방법

§ 본 논문은 2014년도 대한기계학회 부산지회 추계 학술대회(2014. 11. 27., 코모도호텔) 발표논문임

† Corresponding Author, cjr@kmou.ac.kr

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

을 제시하고 평가하는데 목적이 있다.⁽⁵⁾

2. 해석모델의 구성

2.1 이슬 맺힘 매커니즘

이슬점은 습공기 선도를 이용하여 찾을 수 있는데 실생활 온도영역(0~60℃)에서는 식 (1)을 이용하여 근사적으로 이슬점을 찾을 수 있다.

$$T_d = b \cdot [(a \cdot T)/(b + T) + \ln(RH)] / [a - (a \cdot T)/(b + T) - \ln(RH)] \quad (1)$$

여기서 T_d 는 이슬점 온도(℃), T 는 공기온도(℃), RH 는 상대습도로 0.01~1.00의 값을 가지며, a 와 b 는 각각 17.27, 237.7의 값을 갖는 상수이다. 본 논문에서는 냉장고표면에서의 이슬 맺힘 현상에 대해 연구하기 위하여 기준조건을 외부온도 32℃, 냉동실 온도 -18℃, 냉장실 온도를 3℃로 습도는 약 85%로 설정하였으며 이러한 조건에서의 이슬점은 약 29℃이다.

2.2 냉장고의 구조 및 플랜지의 형상

양문형 냉장고와 플랜지부의 형태는 Fig. 1과 같이 내부벽인 ABS, 외부벽인 철판, 열선으로 구성되어 있으며 완성된 냉장고의 경우에는 플랜지의 내부에 단열재 폴리우레탄 폼(foam)을 발포하여 단열을 강화하고 벽(cabinet)에 강성을 부여한다. 이슬 맺힘 현상은 플랜지의 철판 하부에서 주로 나타난다. 이 부분에 이슬이 맺히게 되면 도어의 가스켓과 몸체의 밀착이 어렵게 되고 더 많은 냉기가 새어나와 열손실에도 문제를 끼치게 된다.

현재 철판 하부의 온도를 이슬점 이상으로 높여 이슬을 방지하기 위해 35℃의 냉매가 흐르는 열선을 설치한다. 철판 하부의 온도를 이슬점 이상으로 높이기 위해서는 열선과 철판 하부가 밀착되어야 한다. 하지만 현재 플랜지부의 구조 상 열선을 철판 하부로 밀착시키는 것이 어려워 이슬 맺힘 현상이 계속되고 있다.⁽²⁾

3. 열전달 해석

3.1 형상 모델링 및 경계조건

플랜지 부에 맺히는 이슬을 방지하기 위하여 현재 모델에서의 여러 가지 설계 변수를 정의해 보고, 현재의 모델과 변경된 모델을 열 해석의 결과로서 비교하여 적합성을 평가했다.

Table 1 Thermal conductivity of materials⁽⁶⁾

Material	Thermal conductivity(W/m·K)
Steel	80
ABS	0.3
PU Foam	0.0185
Air	0.0242

Table 2 Thermal boundary condition

	Temperature (℃)	Convection coefficient (W/m ² ·K)
Outside	32	8
Freezer	-18	8
Refriger	3	8
Hot line	35	-



Fig. 1 General configuration of refrigerator and cross section of refrigerator flange

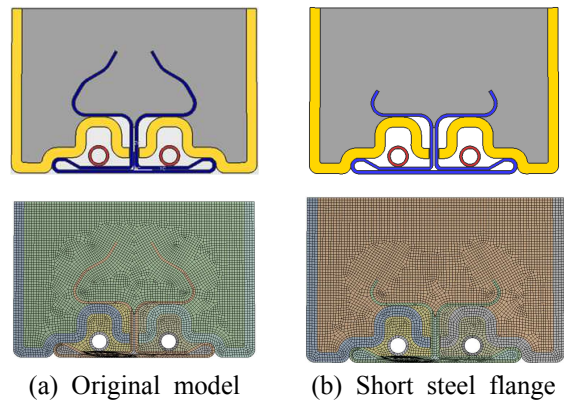


Fig. 2 Shape and dimension of specimen

Table 1과 Table 2는 열전도도와 열전달 해석에서 적용한 경계조건이다.

3.2 철판 상부 길이에 따른 열전달량 비교

Fig. 1에서 철판 상부 길이가 불필요하게 길다는 것을 알 수 있다. 철판 상부의 길이가 길수록

열선에 흐르는 고온의 냉매의 열이 철판 하부 뿐만 아니라 상부로 까지 타고 들어가 냉장고 내부의 온도에도 영향을 미칠 가능성이 있기 때문에 현재 형상과 플랜지 철판 상부 길이를 줄인 플랜지부에서 냉장고 내부로의 열유량(heat flux)을 비교했다. 열전달 해석은 상용코드인 ANSYS Workbench 12.0⁽⁷⁾을 사용하여 수행하였다.

Fig. 2는 플랜지 형상의 모델링과 유한요소모델이다. Fig. 3은 열선에서 냉동실(좌측)과 냉장실(우측)로 유입되는 열유량을 Fig. 4에서 비교하기 위한 점(point)의 위치를 나타내고 있다. Fig. 4는 Fig. 3에서 정한 위치별 열유량 값을 정리하여 그래프로 나타내고 있다. 그래프에서 알 수 있듯이 철판 상부의 길이가 짧은 경우 냉장고 내부로 열유량이 적게 발생하여 절전의 효과가 발생한다.

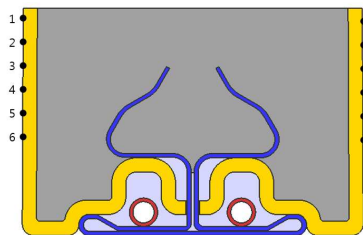
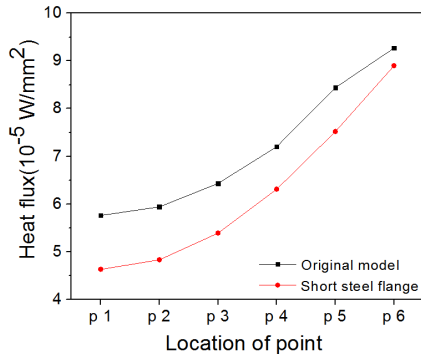
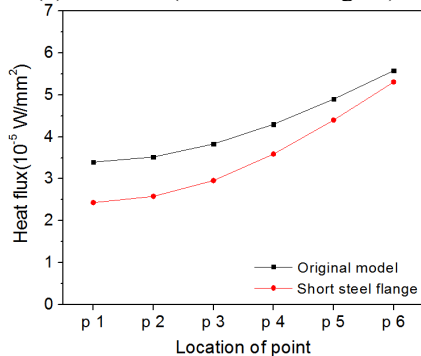


Fig. 3 Points for heat flux measurement



(a) Freezer (left side in Fig. 3)

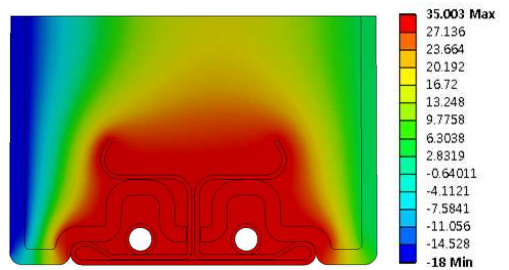


(b) Refrigerator (right side in Fig. 3)

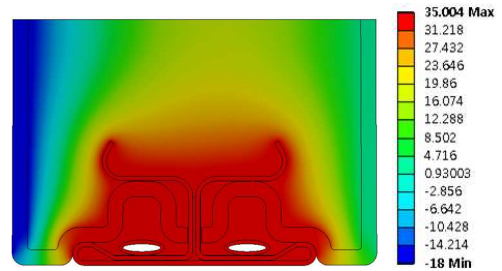
Fig. 4 Heat flux of two model having different steel length including inside of refrigerator

3.3 열선 형상에 따른 열전달량 비교

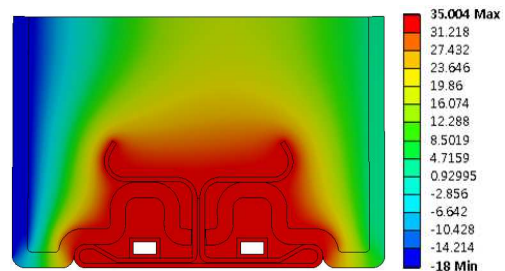
원형의 열선은 철판과 밀착을 하여도 점접촉을 하므로 열전달이 효과적으로 일어날 수 있도록 열선의 형상을 사각형과 타원으로 하여 해석을 진행했다. 모델링과 해석결과를 Fig. 5에 나타냈으며 Fig. 6의 온도 측정 위치와 같은 곳을 측정하여 결과를 그래프로 나타냈다. 열전달이 효과적으로 일어나는 형상은 사각형-타원-원형 순인 것을 확인할 수 있었다. 그러나 차이는 크지 않으며 모두 이슬점보다 높다.



(a) Circle



(b) Ellipse



(b) Rectangle

Fig. 5 Modeling and temperature distribution

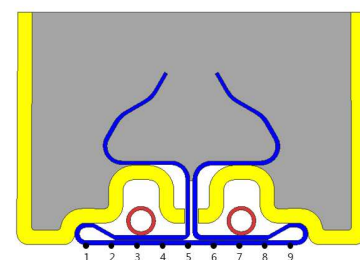


Fig. 6 Point for temperature measurement

3.4 열선과 철판의 밀착성 영향

이슬이 맺히는 철판의 온도를 이슬점 이상으로 유지하기 위해 열선과 철판이 밀착되어야 한다. 3가지 형상의 열선과 철판이 완전 밀착하지 않은 경우의 틈새(gap)을 0.3mm로 설정하여 철판 하부의 온도를 평가하였다. Fig. 8에서 열선을 철판에 밀착시키지 않으면 접촉면이 넓은 타원형과 사각형 형상의 열선도 철판 하부의 온도를 이슬점 이상으로 유지시킬 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 열선과 철판을 밀착시키는 것이 철판을 이슬점 이상의 온도로 유지시키는데 중요한 요소임을 알 수 있다.

3.5 스페이서 영향력 평가

실제 제작되는 냉장고의 경우 열선과 철판부가 밀착할 수 있도록 열선을 밀어주는 스페이서(spacer)가 ABS에 부착되어 있다. Fig. 9과 같이 스페이서 간격을 달리한 4가지 경우에 대한 해석을 진행하였다. case 1의 경우에는 열선 전체가 철판에 완전밀착 되는 경우에 대한 모델링이며, case2, case 3 그리고 case 4는 폭 10 mm의 스페

이서가 30 mm, 60 mm, 90 mm 마다 반복되는 경우로 모델링 하였다.

해석 후 위치별로 온도는 Fig. 10에서의 단면에서 측정하였으며 측정지점은 Fig. 6에 나타난 측정지점과 같다. 측정지점에서 측정한 온도를 그래프로 나타낸 Fig. 11의 결과를 살펴보면 스페이서의 간격이 좁을수록 철판부의 온도가 일정하게 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 스페이서 간격이 90mm까지는 이슬점 이상으로 유지됨을 알 수 있다.

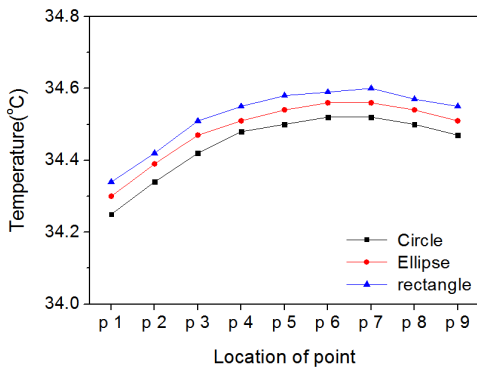


Fig. 7 Temperature at each point

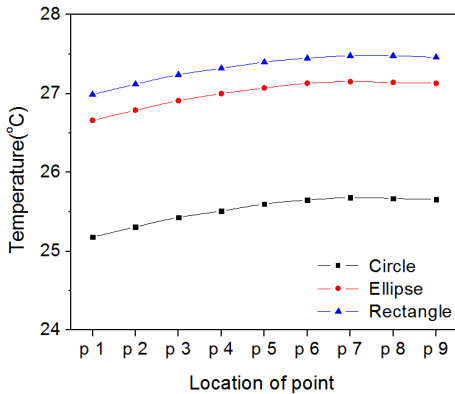


Fig. 8 Temperature in case of gap of 0.3 mm between steel plate and hot-line

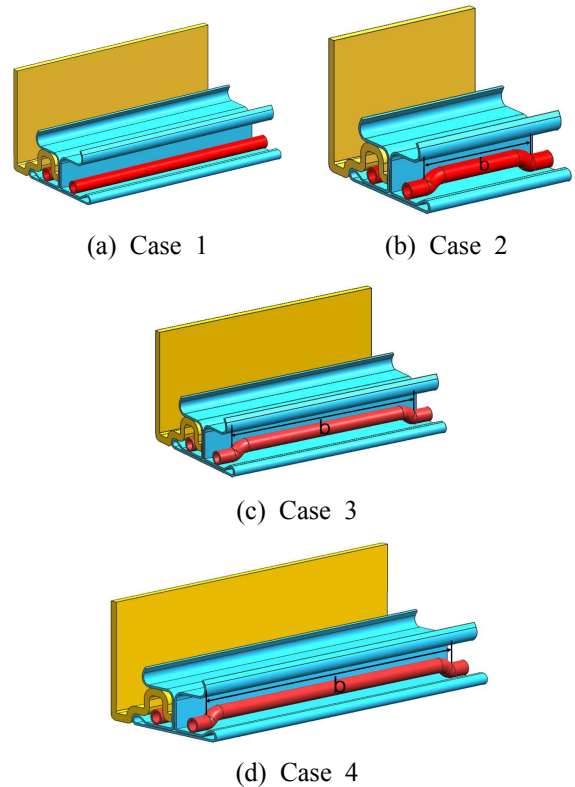


Fig. 9 Analysis case with different spacer intervals

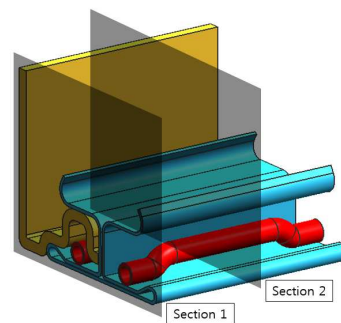


Fig. 10 Temperature measurement section

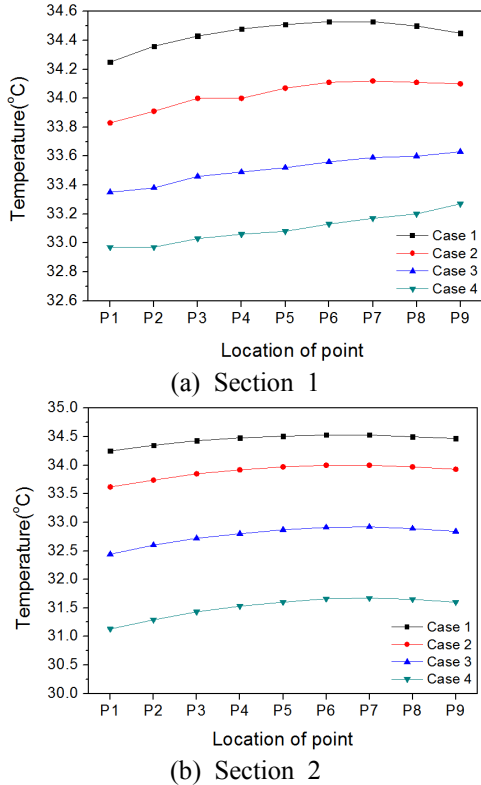


Fig. 11 Temperature distribution

4. 내판 형상에 따른 결합 성형 해석

플랜지부의 ABS는 냉장고의 내판(ABS)과 철판을 고정하는 역할과 PU 폼 발포 시에 누설이 생기지 않도록 하는 역할을 한다. 특히 열선이 철판에 밀착되어 열전달을 향상시키고 철판의 온도를 올려 이슬 맺힘을 방지한다. 하지만 현재 내판은 열선을 철판으로 충분히 밀착시키지 못한다. 따라서 눌림성을 향상시키기 위하여 내판의 구조를 변경했다. 변경 전과 후의 형상을 Fig. 12에 나타냈다. 변경된 형상은 기본형상에서의 곡선 부를 직선으로 변경하여 굽힘강성을 감소시켜 철판과 조립할 때 작은 힘에도 굽혀져 열선을 밀착할 수 있도록 하였다. 또한 조립하는 과정에서 ABS 길이가 길어 철판의 바닥에 닿아서 눌림성을 방해하는 ABS의 앞부분을 1 mm 잘라낸 형상이다.

Deform 3D v9.0⁽⁸⁾을 사용하여 내판의 형상을 변경하기 전과 후의 조립성과 눌림성에 대한 평가를 진행했다. 초기 철판과 내판의 거리가 10 mm로 설정되어 있다. 조립 과정은 총 100 Step으로 지정했으며 내판의 밀어서 조립하는 가정을 해석하였다.

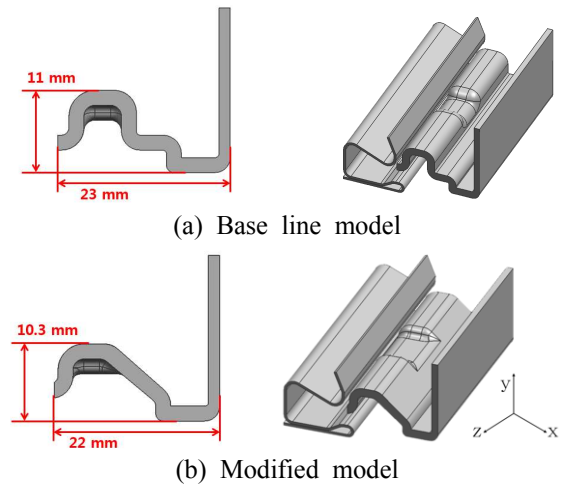


Fig. 12 Modeling for comparison of assembly

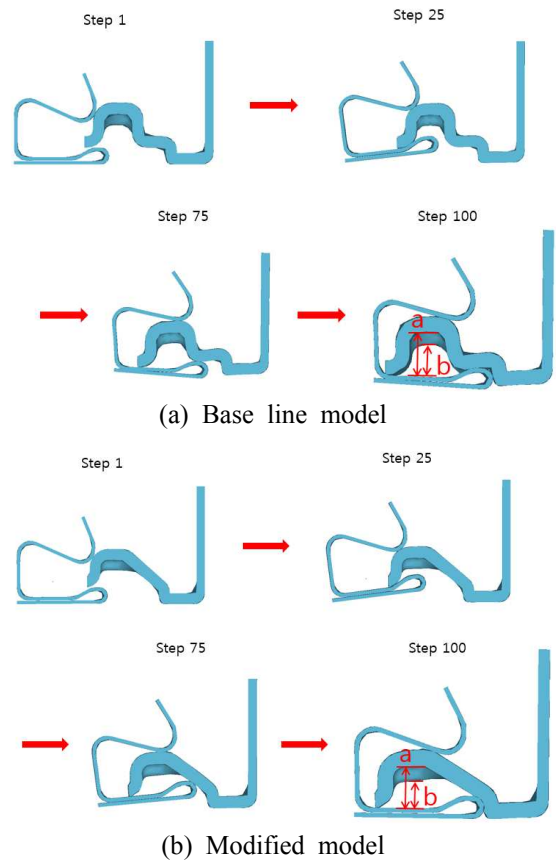


Fig. 13 Simulation of assembly process

조립과정은 Fig. 13에 나타냈으며 조립 과정에서의 조립하중을 Fig. 14에 그래프로 나타냈다. 내판과 철판 사이의 간격을 측정해 보면 case 1은 a가 6.50 mm, b가 4.48 mm이고, case 2는 a가 5.49 mm, b가 3.62 mm이다. 열선의 외경은 4 mm로 열선을 철판으로 밀착시키기 위해서는 내

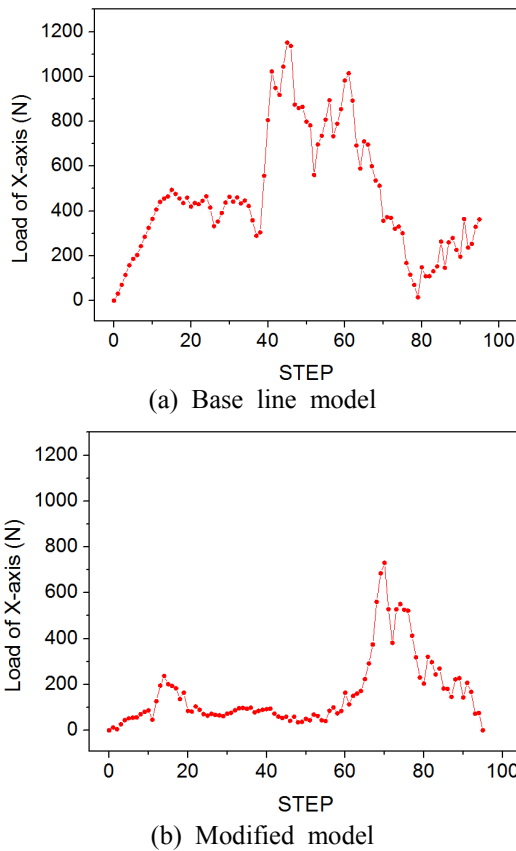


Fig. 14 Assembly load

판과 철판의 간격이 4 mm 이하가 되어야 열선을 밀착할 수 있다. 따라서 조립이 완료된 후의 눌림성을 비교해보면 case 2가 우수하다는 것을 Fig. 13를 통하여 확인할 수 있다.

또, 결합하는 과정에서의 조립하중 값을 Fig. 14에 정리하였다. 수정된 모델의 최대 조립하중이 1150 kN에서 785kN으로 66 %정도 감소한다.

5. 결론

본 논문에서는 현재 플랜지 부 구조의 문제점을 분석하고 그에 따라 구조를 변경했다.

(1) 열전달 해석을 통하여 상부 철판의 길이가 길수록 냉장고 내부로 열전달이 되므로 재료와 에너지의 절약을 위해 상부 철판의 길이를 줄이는 것이 타당하다.

(2) 열선의 형상을 원형, 타원형, 사각형의 형상으로 비교했을 때, 접촉면이 넓을수록 열선에서 철판으로의 열전달이 효과적으로 일어나는 것을 확인했다. 하지만 열선의 형상과 무관하게 열선과 철판이 밀착된 경우에 철판 하부의 온도가 이

슬점이상으로 유지되므로 열선의 형상은 제작이 쉬운 원형의 열선으로 사용하는 것이 유리하다.

(3) 열선의 형상과 무관하게 열선이 접촉되지 않으면 철판의 온도는 이슬점 이하로 낮아지기 때문에 열선과 철판의 접촉이 중요함을 확인하였다.

(4) 열선을 철판에 밀착시키는 기능을 하는 내판의 스페이서 역할이 중요하기 때문에 효과적으로 밀어주기 위하여 플랜지의 내판 설계 변경을 제안하였다. 내판과 철판의 조립성과 철판에 의한 열선의 눌림성을 향상시켜 열선이 철판에 더 밀착하도록 유도하였다.

참고문헌

(References)

- (1) Kim, S. J., Kang, S. H., Park, K. H. and Yu, W. S., 2011. "A Study on the Reduction of Dew Generation on a Surface Using Induced Heat from Room Temperature," *Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 28, pp. 724~731.
- (2) Ha, J. S., Jung, K. S., Kim, T. K. and Shim, J. S., 2010, "The Effect of Gasket Shape and Material Properties on Heat Losses in a Refrigerator," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 22, No. 6 pp. 413~418.
- (3) Kim, J. H., 2012, "The Experimental Study on the Reduction of Dew Generation on the Refrigerator with Double," *Busan National University, Theses for master's degree*.
- (4) Han, D. G., Jeon, B. W., Ahn, J. H., Han, K. S., Seo, E. R. and Park, Y. J., 2013, "Estimation of Dew Condensation on FAC by Humidity Analysis," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 2013, No. 6, pp. 50~54.
- (5) Kim, H. Y., 2015, "A Study on the Design Parameters of a Flange to Reduce Dew Generation on the Refrigerator Outer Surface," *Korea maritime and ocean university, Theses for master's degree*.
- (6) Gwak, G. Y., 2007, "A Study on the Minimization of Thermal Deformation for Refrigerator Cabinet Using FEM," *Korea Maritime and Ocean University, Theses for Master's Degree*.
- (7) ANSYS Workbench v12, Ansys Inc.
- (8) DEFORM 3D v9.0, SFTC.