

# 비선형 접촉문제 해석을 통한 얼음 디스펜서 덕트 캡 조립체의 밀봉성능 평가 및 개선방안 연구

이부윤\*<sup>#</sup>

\*계명대학교 기계자동차공학전공

## A Study on Evaluation and Improvement of Sealing Performance of Duct Cap Assembly for Ice Dispenser By Nonlinear Contact Problem Analysis

Boo-Youn Lee\*<sup>#</sup>

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

(Received 28 January 2018; received in revised form 2 March 2018; accepted 6 March 2018)

### ABSTRACT

Present research is to evaluate and improve the sealing performance of the duct cap assembly for the ice dispensers through structural analysis. The nonlinear contact problems to check the sealing performance were analyzed using ANSYS software. The results of the analyses related to the sealing performance: the displacement distribution, the contact condition between the cap-silicon and the case, and the pressure distribution on the contact surface, were examined and discussed. Based on the results of the existing design of the duct cap assembly, two cases of the design modifications to improve the sealing performance were introduced. By examining the results of the two cases, a final design improvement plan was proposed and analyzed. It is shown that the sealing performance of the proposed final design is much more favorable than the existing design. The method of structural analysis and design improvement of the duct cap assembly presented in this paper will help improve the sealing performance of the ice dispenser duct caps.

**Key Words** : Contact Problem(접촉문제), Duct Cap(덕트 캡), Nonlinear finite element analysis(비선형 유한요소 해석), Refrigerator Ice Dispenser(냉장고 얼음 디스펜서), Sealing Performance(밀봉성능)

### 1. 서 론

냉장고는 단순히 식품을 저온 보관하는 본연의 기능에서 나아가 다양한 기능들이 냉장고에 결합되고 있는 추세이다. 냉장고에서 만들어지는 얼음을 도어를 열지 않고도 자동으로 배출할 수 있게

하는 얼음 디스펜서(ice dispenser)<sup>[1]</sup> 기능은 1960년대 후반에 최초로 개발되어 오늘날까지도 편리하게 사용되고 있다.

냉장고는 내부가 저온이고 외부가 고온인 환경에서 작동하므로 필연적으로 열손실이 발생할 수밖에 없다. 열손실은 주로 냉장고 외벽, 도어와 홈바(home bar)의 개스킷(gasket), 도어의 개폐에 따른 냉기 유출, 얼음 디스펜서 등에서 발생하며<sup>[2]</sup>,

# 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.

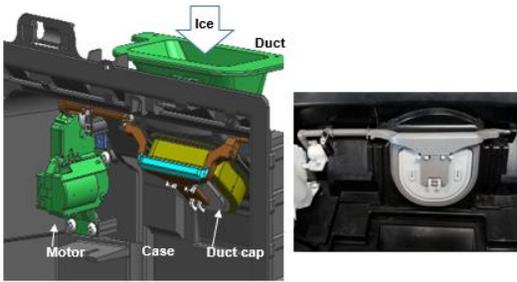


Fig. 1 Configuration of duct cap assembly in ice dispenser

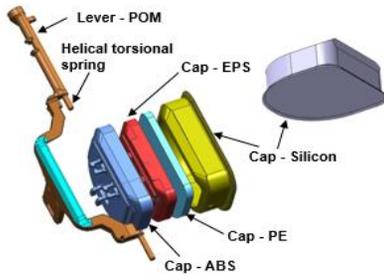


Fig. 2 Exploded view of duct cap assembly

열전달 및 유체역학적 관점에서 이를 개선하고자 하는 연구가 많이 이루어져 왔다<sup>[2-8]</sup>.

한편, 얼음 디스펜서의 덕트 캡(duct cap)은 평소에는 제빙실 출구의 덕트를 단아서 얼음을 밀봉하고 있다가 사용자가 버튼 등을 눌러서 얼음 디스펜서를 작동시키면 덕트를 열어 얼음을 배출하게 하는 중요 부품이다. Fig. 1은 양문형 냉장고용 얼음 디스펜서 내부의 형상과 제품 사진을 나타낸다. Fig. 2는 덕트 캡 조립체와 부품명 및 재질을 나타낸다. 얼음 디스펜서를 작동시키지 않을 때에는 레버(lever)의 축에 위치한 초기 비틀림 변형을 갖는 비틀림 코일 스프링(helical torsion spring)이 레버에 토크를 가하고, 이로 인하여 캡-실리콘(silicon)이 케이스(case)를 압착하여 얼음 토출구를 막음으로써 제빙실의 얼음과 냉기를 밀봉하게 된다. 얼음 디스펜서 작동 시에는 모터 구동에 의해 레버가 회전하면 캡-실리콘이 케이스에서 분리되면서 얼음이 배출된다. 따라서 덕트 캡의 밀봉성능은 캡-실리콘과 케이스 사이의 접촉 상태가 어느 정도인가에 달려있다고 할 수 있다. 덕트

캡의 밀봉성능이 떨어질 경우 제빙실의 냉기 누출로 인해 얼음이 녹거나 엉겨 붙어서 만족스러운 얼음을 배출하지 못하는 문제를 발생시키고 나아가서는 냉장고의 열손실이 커지게 된다. 최근에 Ha<sup>[2]</sup>는 적외선 열화상 카메라를 이용하여 냉장고 외부의 표면 온도를 측정하여 열손실을 분석하고 상대적으로 열손실이 큰 부분인 얼음 디스펜서에서의 열손실을 개선하기 위하여 얼음 디스펜서 외관 모서리 부분의 곡면반경을 증가시켜 열손실을 개선하는 방법을 제시하였다. 그러나 근본적으로 덕트 캡의 밀봉성능이 떨어질 경우에는 얼음 디스펜서의 외관 형상을 변경하더라도 근본적 대책이 되지 못하며 열손실 개선에는 한계가 있을 수밖에 없다.

본 연구에서는 구조해석을 통하여 덕트 캡의 밀봉성능을 평가하고 개선하기 위하여, 상용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS<sup>[9]</sup>를 사용하여 기존설계의 덕트 캡 조립체에 대하여 비선형 접촉문제를 해석하였다. 해석결과로부터 밀봉성능에 영향을 미치는 인자인 변위분포, 캡-실리콘과 케이스 사이의 접촉조건, 접촉면의 압력분포 등을 평가하였다. 기존설계의 해석결과를 토대로 덕트 캡 조립체의 두 가지 설계 수정 방안을 도출하여 추가적인 해석을 수행하였다. 수정 방안들의 해석 결과를 고찰하여 최종적 설계개선 방안을 도출하였으며, 이를 해석하여 개선 효과를 평가하였다.

## 2. 기존설계안에 대한 해석 및 평가

### 2.1 유한요소 모델링

기존설계안에 대하여 덕트 캡 조립체와 케이스 사이의 비선형 접촉문제를 해석하기 위하여, ANSYS의 자동요소생성 기능을 사용하여 Fig. 3과 같은 유한요소모델을 구성하였다. 사용된 유한요소의 종류는 20절점 2차 육면체 요소(20-nodes quadratic hexahedron)와 10절점 2차 사면체 요소(10-nodes quadratic tetrahedron)를 사용하였다. 2차 요소를 사용한 이유는 자동요소생성 시 불가피하게 생성되는 사면체 요소의 해석 정확성을 높이기 위한 것이다. Table 1에 해석모델의 각 부품들에

대한 물성치를 정리하였다. 단, 캡-실리콘은 초탄성체 재료임을 고려하여 물성치를 적용하였는데, 캡-실리콘 재료에 대하여 상온에서 인장시험을 수행하여 응력-변형률 선도를 얻고 그 결과를 사용하여 식 (1)에 의해 정의되는 Mooney-Rivlin 상수<sup>[10-12]</sup>를 구하였다.

$$W = C_{10}(\ell_1 - 3) + C_{01}(\ell_2 - 3) + C_{20}(\ell_1 - 3)^2 + C_{11}(\ell_1 - 3)(\ell_2 - 3) + C_{02}(\ell_2 - 3)^2 \quad (1)$$

여기서

$W$ : Strain energy density function

$C_{10}, C_{01}, C_{20}, C_{11}, C_{02}$ : Mooney-Rivlin constant

$\ell_1, \ell_2$ : First and second invariant

윗 식으로 구한 Mooney-Rivlin 상수는  $C_{10}=0.1320$ ,  $C_{01}=0.5456$ ,  $C_{20}=1.6852 \times 10^{-4}$ ,  $C_{11}=1.9734 \times 10^{-2}$ ,  $C_{02}=3.0560 \times 10^{-2}$ 이다.

해석을 위한 경계조건으로는 캡-실리콘과 닿게 되는 케이스는 모든 방향의 변위를 구속하고, 레버에서 축이 케이스에 끼워지는 저널(journal)은 면의 법선방향 변위를 구속하였다. 접촉문제 해석을 위한 접촉조건은 각 부품들 사이의 조립상태와 덕트캡 조립체 작동 시에 발생 가능한 상대운동 조건을 고려하여 설정하였다. 캡-ABS와 레버를 연결하는 지점에는 비분리(no separation)와 무마찰(frictionless) 조건, 캡-Silicon과 케이스 사이는 무마찰 조건, 그 외의 부품들 사이에는 접촉조건(bonded)을 사용하였다.

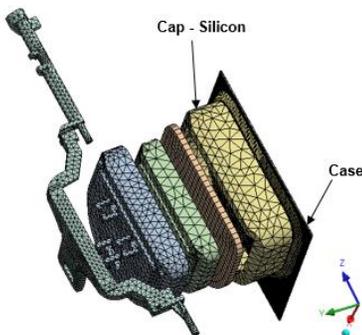


Fig. 3 Exploded view of finite element model of duct cap assembly

Table 1 Material properties

Parts-materials	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Young's modulus (MPa)	Poisson's ratio
Cap-ABS	1060	2240	0.392
Cap-PE	90	2.73	0.41
Cap-EPS	167	5.83	0.40
Lever-POM	1250	2900	0.39

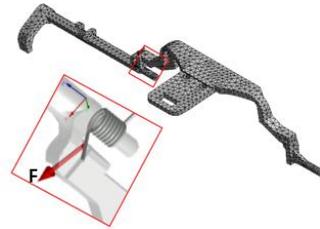


Fig. 4 Force applied to lever due to helical torsion spring

덕트 캡 조립체에 가해지는 하중은 초기 비틀림 각을 갖는 비틀림 코일 스프링에 의해 발생하는 토크와 자중이다. Fig. 4와 같이 비틀림 코일 스프링에서 발생하는 토크  $M$ 은 레버와 스프링 팔(arm)의 접점에서 레버에 힘  $F$ 를 가하게 되며 스프링력(spring force)  $F$ 는 식 (2)를 사용하여 구할 수 있다<sup>[13]</sup>.

$$M = Fr = \frac{\theta d^4 E}{64DN} \quad (2)$$

여기서  $E$ 는 탄성계수,  $D$ 는 스프링의 평균지름,  $d$ 는 선경,  $N$ 은 권선 수,  $\theta$ 는 스프링의 자유각,  $r$ 은 팔 길이이다. 기존 설계안에 사용된 비틀림 코일 스프링의 사양은  $E=198\text{GPa}$ ,  $D=5.1\text{mm}$ ,  $d=0.7\text{mm}$ ,  $N=6.8$ ,  $\theta=260^\circ$ ,  $r=5.012\text{mm}$ 이며, 식 (2)를 사용하여 레버에 가해지는 스프링력을 계산한 결과는  $F=18.9\text{N}$ 이다.

## 2.2 기존설계안의 해석 결과

기존설계안의 유한요소모델을 사용하여 비선형 접촉문제를 해석하였다. 비선형 해석을 위한 수렴 공차는 0.5%로 설정하고 Augmented Lagrangian 기

법을 사용하였다. 해석의 목적이 캡-실리콘과 케이스 사이의 밀봉성능을 평가하기 위함이므로 해석결과에서 얻어진 접촉조건, 접촉압력, 그리고 케이스에 수직 방향인 y방향 변위( $U_y$ )를 평가하였다.

Fig. 5는 레버를 제외한 부품들의  $U_y$  변위분포를 나타내는데, 전방(front)의 변위가 후방(rear)보다 크며, 최대변위는 1.335 mm로 나타났다.

Fig. 6은 캡-실리콘이 케이스와 닿는 바닥면의 접촉조건을 나타내며, 바닥면의 테두리(edge) 전체와 전방 일부 영역에서 미끄럼(sliding) 접촉이 발생하는 것을 알 수 있다. 그 외 대부분 영역에서는 접촉조건이 근접(near)으로 나타나 압착이 완벽하지 않은 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 캡-실리콘 바닥면의 접촉압력분포를 나타내며, 최대압력은 테두리에서 0.014 MPa이며, 국부적 접촉이 발생한 전방 영역(Fig. 6 참조)에서 접촉압력이 분포된 것을 볼 수 있다. 한편, 접촉면적 상에서 접촉압력을 적분하여 구해지는 수직방향(y축 방향) 반력의 합, 즉 접촉력의 크기는 0.82 N으로 나타났다.

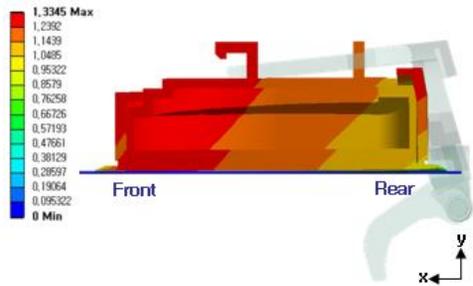


Fig. 5 Distribution of displacement  $U_y$  of duct cap (existing design)

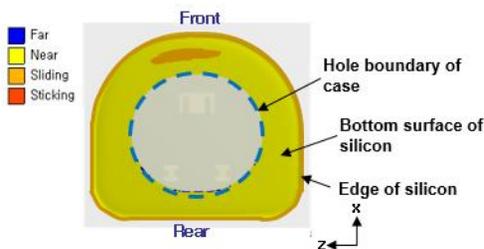


Fig. 6 Contact condition of bottom surface of cap-silicon (existing design)

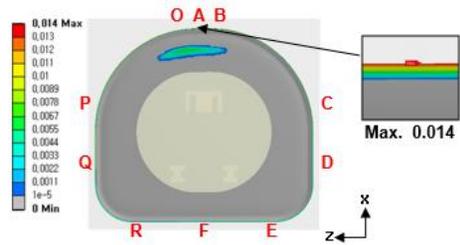


Fig. 7 Distribution of contact pressure of bottom surface of cap-silicon (existing design)



Fig. 8 Distribution of contact pressure along edge of bottom surface of cap-silicon (existing design)

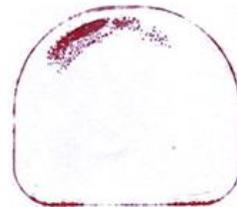


Fig. 9 Result of contact experiment (existing design)

Fig. 8은 바닥면 테두리 상의 위치별(Fig. 7 참조) 접촉압력분포를 그래프로 나타낸 것으로, 바닥면 테두리의 전방 위치(O, A, B)에서의 접촉압력이 가장 높으며 후방으로 갈수록 접촉압력이 작아지는 것을 알 수 있다.

앞에서 기술된 기존설계안 해석결과를 검증하고자 실제제품에서의 접촉 위치를 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 먼저, 열음 디스펜서에서 덕트 캡을 분리하고 케이스에 인주를 칠한 후에, 덕트 캡을 장착하여 천천히 닫았다. 그리고 덕트 캡을 분

리하면 케이스와 접촉한 캡-실리콘 바닥면에는 인주가 묻게 된다. 마지막으로, 인주가 묻은 캡-실리콘 바닥면을 백지에 대고 누르면 케이스와 접촉한 부분의 형상을 확인할 수 있다. 이러한 실험을 통하여 얻은 접촉 위치는 Fig. 9와 같다. Fig. 9를 보면 해석결과(Fig. 6, 7 참조)에서 나타난 접촉조건, 즉 바닥면의 테두리 전체 및 전방에서 왼쪽으로 치우쳐서 일부 영역의 접촉이 발생하는 것과 거의 유사한 양상을 나타냄을 알 수 있다. Fig. 9에서 인주가 묻은 접촉면적의 크기는 Fig. 7의 접촉영역에 비해 조금 넓게 나타났으나, 본 연구와 같은 인주를 사용한 간이시험보다 보다 향후 더 정밀한 방법으로 실험을 하게 되면 접촉압력의 정량화를 통하여 이러한 오차를 감소시킬 수 있을 것이라고 예상된다. 이와 같이 본 연구에서 제시한 덕트 캡 조립체의 비선형 접촉문제의 해석 방법과 결과는 상당히 타당한 것으로 결론지을 수 있다.

### 3. 설계 수정 방안 도출 및 평가

#### 3.1 설계 수정 방안 Case 1 해석

2.1절에서 기술한 바와 같이, 덕트 캡에서 캡-실리콘을 케이스에 압착하는 힘은 초기 비틀림각을 갖는 비틀림 코일 스프링에 의해 발생하는 토크에 의해 발생하며, 기존설계안에서 스프링력의 크기는 18.9 N이다. 밀봉성능을 개선하기 위한 첫 번째 설계 수정 방안으로서, 먼저 스프링력이 30.7 N으로 기존설계안 대비 1.6배인 경우(Case 1)를 선정하였다. Case 1의 해석결과는 다음과 같다.

Fig. 10은 Case 1에서 레버를 제외한 부품들의  $U_y$  변위분포를 나타내는데, 기존설계안에서(Fig. 5 참조) 전방의 변위가 후방보다 크던 것이 Case 1에서는 전방과 후방의 변위 차가 완화된 것을 알 수 있다. Case 1의 최대변위는 1.705 mm로, 기존설계안의 1.335 mm보다 증가하여 압착 효과가 좋아진 것으로 나타났다.

Fig. 11은 Case 1에서 캡-실리콘이 케이스와 닿는 바닥면의 접촉조건을 나타내며, 기존설계안(Fig. 6 참조) 대비 전방에서 미끄럼 접촉이 발생하는 영역이 크게 확장된 것을 알 수 있다.

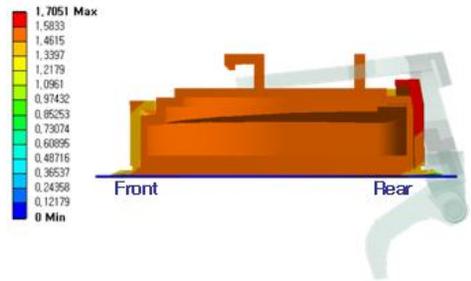


Fig. 10 Distribution of displacement  $U_y$  of duct cap (case 1)

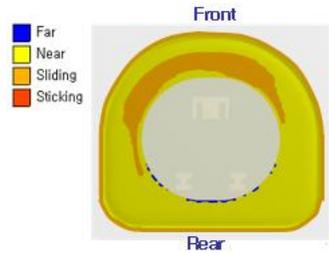


Fig. 11 Contact condition of bottom surface of cap-silicon (case 1)

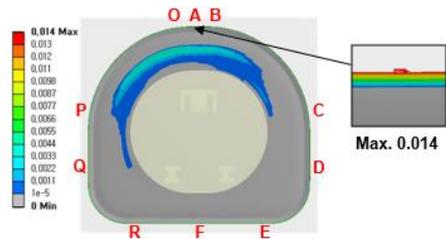


Fig. 12 Distribution of contact pressure of bottom surface of cap-silicon (case 1)

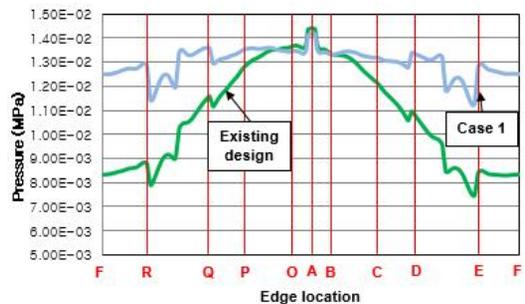


Fig. 13 Distribution of contact pressure along edge of bottom surface of cap-silicon (case 1)

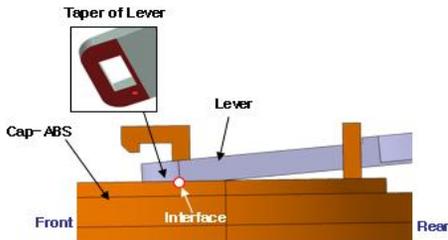


Fig. 14 Configuration of lever and cap-ABS (existing design and case 1)

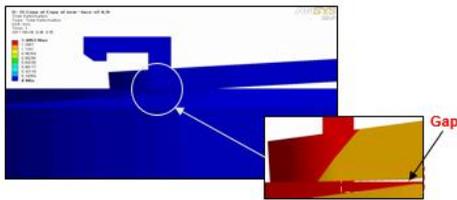


Fig. 15 Deformed shape at interface of lever and cap-ABS (case 1)

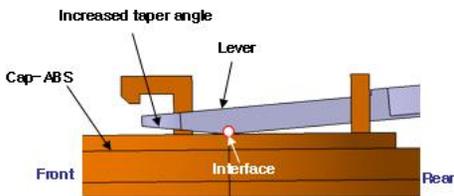


Fig. 16 Configuration of lever and cap-ABS (case 2)

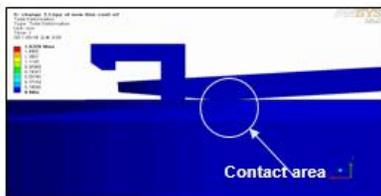


Fig. 17 Deformed shape at interface of lever and cap-ABS (case 2)

Fig. 12는 Case 1에서 캡-실리콘 바닥면의 접촉 압력분포를 나타낸다. Case 1의 최대압력은 테두리에서 0.014 MPa로 기존설계안과 같으며, 접촉영역(Fig. 11 참조)에서 압력이 분포된 것을 볼 수 있다. 한편, 접촉영역에서 접촉압력을 적분하여 구

해지는 접촉력의 크기는 기존설계안의 0.86 N 대비 Case 1에서는 1.34 N으로 증가하였다.

Fig. 13은 Case 1에서 바닥면 테두리 상의 위치별 접촉압력분포를 그래프로 나타낸 것이다. 기존설계안에서는 바닥면 테두리의 전방 위치(O, A, B)에서의 접촉압력이 가장 높으며 후방으로 갈수록 접촉압력이 크게 작아지는 데 비해, Case 1에서는 후방의 압력이 크게 증가하여, 전후방의 압력 차가 크게 완화된 것을 알 수 있다.

### 3.2 설계 수정 방안 Case 2 해석

앞 절에서 설명된 바와 같이 스프링력을 증가시킨 Case 1의 해석결과는 기존설계안 대비 우수한 것으로 나타났지만, Fig. 11과 12에서 볼 수 있듯이 여전히 케이스와 접촉이 발생하는 영역이 전방측에 집중되어 있다. 이와 같이 전방이 후방보다 더 잘 압착되는 이유는 Fig. 14에 표시된 바와 같이 캡-ABS와 체결되는 레버의 끝단 구조가 경사져 있으면서 레버가 캡-ABS를 누를 때 전방으로 치우쳐서 면접촉이 일어나기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 15에 나타난 Case 1 해석결과의 변형형상에서도 레버의 경사부가 전방으로 치우쳐서 캡-ABS에 면접촉하면서 중앙부 측에 간극이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

이를 고려하여 레버가 캡-ABS와 체결되는 구조를 개선하고자 하는 설계 수정 방안으로서, Fig. 16과 같이 기존설계안 대비 레버 끝단의 경사각을 증대시키고 캡-ABS와의 접점을 중앙부로 이동시킨 경우(Case 2)를 선정하였다. Case 2에서 스프링력은 기존설계안과 동일한 값인 18.9 N을 사용하였다. Case 2의 해석결과는 다음과 같다.

Case 2의 해석결과로서 먼저 Fig. 17에 레버와 캡-ABS 접점 근처에서의 변형 형상을 나타내었다. Fig. 17을 Case 1의 해석결과의 변형형상(Fig. 15 참조)과 비교해 보면 레버가 캡-ABS의 중앙부에서 접촉하는 양상이 나타난다. 따라서 이로서 기존설계안에서 나타나던 현상, 즉 레버가 캡-ABS의 전방으로 치우쳐서 면접촉하는 현상이 Case 2에서는 레버 끝단의 경사각 증대 및 캡-ABS와의 접점의 중앙부 이동을 통하여 완화된다

는 것을 확인하였다.

Fig. 18은 Case 2에서 레버를 제외한 부품들의  $U_y$  변위분포를 나타내는데, 기존설계안에서(Fig. 5 참조) 전방의 변위가 후방보다 크던 것이 Case 2에서는 전방과 후방의 변위 차가 완화된 것을 알 수 있다. Case 2의 최대변위는 1.632 mm로, 기존설계안의 1.335 mm보다 증가하여 압착 효과가 좋아진 것으로 나타났다.

Fig. 19는 Case 2에서 캡-실리콘이 케이스와 닿는 바닥면의 접촉조건을 나타내며, 기존설계안(Fig. 6 참조) 대비 케이스의 구멍 주위에서 접촉이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 밀봉성능 관점에서 Case 2가 기존설계안보다 상당히 우수한 것을 나타낸다.

Fig. 20은 Case 2에서 캡-실리콘 바닥면의 접촉압력분포를 나타낸다. Case 2의 최대압력은 테두리에서 0.014 MPa로 기존설계안과 같으며, 접촉영역(Fig. 19 참조)에서 압력이 분포된 것을 볼 수 있다. 한편, 접촉영역에서 접촉압력을 적분하여 구해지는 접촉력 크기는 기존설계안의 0.86 N 대비 Case 2에서는 0.80 N으로 동등한 수준이다.

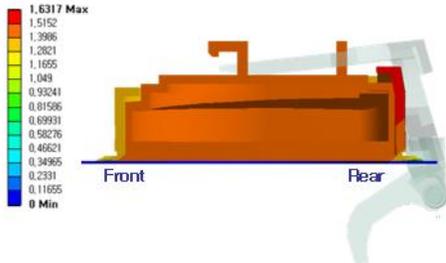


Fig. 18 Distribution of displacement  $U_y$  of duct cap (case 2)

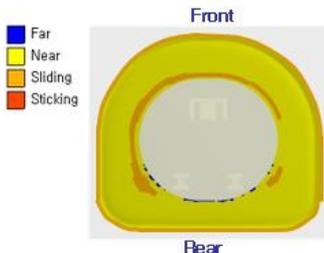


Fig. 19 Contact condition of bottom surface of cap-silicon (case 2)

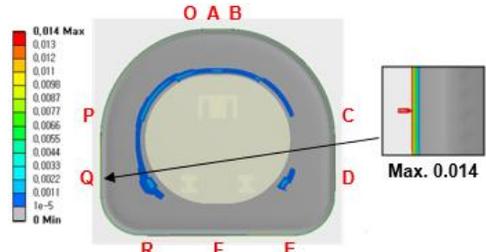


Fig. 20 Distribution of contact pressure of bottom surface of cap-silicon (case 2)

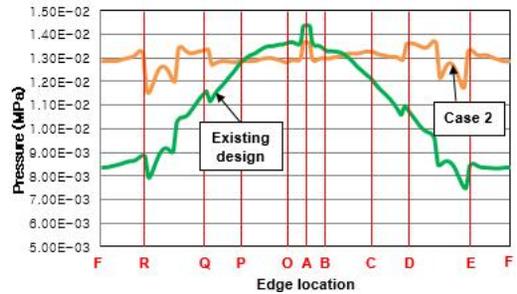


Fig. 21 Distribution of contact pressure along edge of bottom surface of cap-silicon (case 2)

Fig. 21은 Case 2에서 바닥면 테두리 상의 위치별 접촉압력분포를 그래프로 나타낸 것이다. 기존설계안에서는 바닥면 테두리의 전방 위치(O, A, B)에서의 접촉압력이 가장 높으며 후방으로 갈수록 접촉압력이 크게 작아지는 데 비해, Case 2에서는 후방의 압력이 크게 증가하여, 전후방의 압력이 거의 균일하게 된 것을 알 수 있다.

#### 4. 설계개선안 도출 및 평가

앞 장에서는 두 가지의 설계 수정 방안 Case 1과 Case 2를 도출하고 해석을 통하여 기존설계안 대비 개선 효과를 평가하였다. Case 1에서는 캡-실리콘을 케이스에 압착하는 역할을 하는 비틀림 코일 스프링의 스프링력을 증가시킴으로써 접촉영역을 확장할 수 있음을 확인하였으나, 여전히 케이스와 접촉이 발생하는 영역이 전방 측으로 치우치는 것을 피할 수가 없었다. Case 2에서는 레버 끝단의 경사각 증대 및 캡-ABS와의 접점의 중앙부 이동을 통하여 케이스 구멍 주위에서도 압착

을 시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

이에 근거하여 Case 1과 Case 2를 조합한 설계 개선안을 도출하였다. 설계개선안은 Fig. 16과 같이 기존설계안 대비 레버 끝단의 경사각을 증대시키고 캡-ABS와의 접점을 중앙부로 이동시키며, 스프링력은 30.7 N으로 기존설계안 대비 1.6배로 정하였다. 스프링이 레버에 체결되는 위치를 변경시키지 않고 스프링력을 1.6배 증가시키려면 식 (2)를 사용하여 단지 스프링의 선경, 권선 수, 자유각 등을 변경함으로써 쉽게 스프링의 사양을 변경하는 것이 용이하다. 설계개선안에 대하여 해석을 수행한 결과는 다음과 같다.

Fig. 22는 설계개선안에서 레버를 제외한 부품들의  $U_y$  변위분포를 나타내는데, 기존설계안에서 (Fig. 5 참조) 전방의 변위가 후방보다 컸던 것이 설계개선안에서는 전후방의 변위가 거의 동등한 수준인 것을 알 수 있다. 설계개선안의 최대변위는 1.794 mm로, 기존설계안의 1.335 mm보다 증가하여 압착 효과가 좋아진 것으로 나타났다.

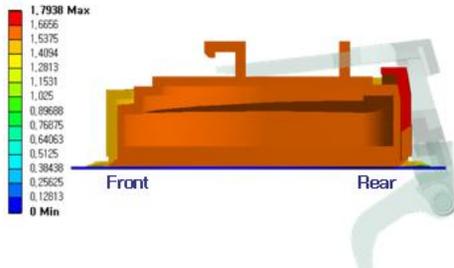


Fig. 22 Distribution of displacement  $U_y$  of duct cap (improved design)

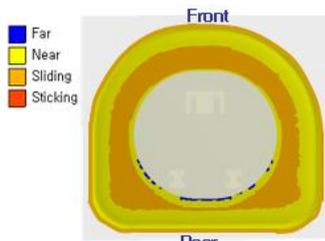


Fig. 23 Contact condition of bottom surface of cap-silicon (improved design)

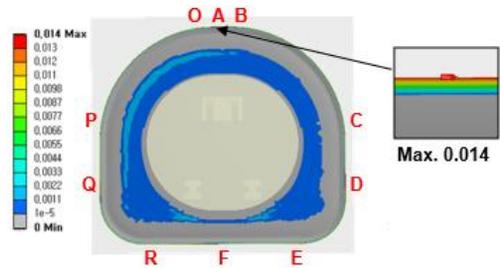


Fig. 24 Distribution of contact pressure of bottom surface of cap-silicon (improved design)

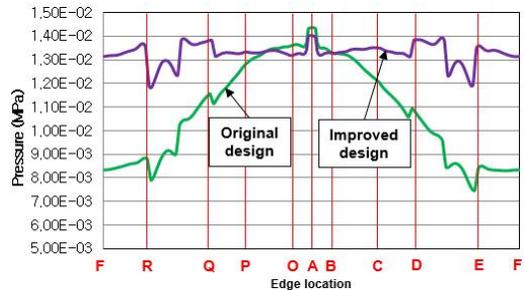


Fig. 25 Distribution of contact pressure along edge of bottom surface of cap-silicon (improved design)

Fig. 23은 설계개선안에서 캡-실리콘이 케이스와 닿는 바닥면의 접촉조건을 나타내며, 기존설계안 (Fig. 6 참조) 대비 케이스의 구멍 주위의 넓은 영역에서 접촉이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 밀봉성능 관점에서 설계개선안이 기존설계안보다 매우 우수한 것을 나타낸다.

Fig. 24는 설계개선안에서 캡-실리콘 바닥면의 접촉압력분포를 나타낸다. 설계개선안의 최대압력은 테두리에서 0.014 MPa로 기존설계안과 같으며, 접촉영역 (Fig. 23 참조)에서 압력이 분포된 것을 볼 수 있다. 한편, 접촉면적 상에서 접촉압력을 적분하여 구해지는 접촉력의 크기는 기존설계안의 0.86 N 대비 설계개선안에서는 1.49 N으로 증가하였다.

Fig. 25는 설계개선안에서 바닥면 테두리 상의 위치별 접촉압력분포를 그래프로 나타낸 것이다. 기존설계안에서는 바닥면 테두리의 전방 위치(O, A, B)에서의 접촉압력이 가장 높으며 후방으로 갈수록 접촉압력이 크게 작아지는 데 비해, 설계개

선안에서는 후방의 압력이 크게 증가하여, 전후방의 압력이 거의 균일하게 된 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 구조해석을 통하여 냉장고용 얼음 디스펜서의 덕트 캡의 밀봉성능을 평가하고 개선하기 위한 연구를 수행하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 기존설계안의 덕트 캡 조립체에 대하여 비선형 접촉문제해석을 위한 유한요소모델을 개발하고 해석을 수행하였다. 해석결과는 실험결과와 잘 일치하는 것으로 나타나서 해석모델은 타당한 것으로 판단된다.
2. 기존설계안의 해석결과로부터 밀봉성능에 영향을 미치는 인자인 변위분포, 캡-실리콘과 케이스 사이의 접촉조건, 접촉면의 압력분포 등을 평가하였다. 기존설계안에서는 캡-실리콘의 테두리를 제외하고는 바닥면의 전방 일부 영역에서만 압착이 발생하므로 덕트 캡의 밀봉성능이 취약하다는 것을 확인하였다.
3. 기존설계안의 해석결과를 토대로 덕트 캡 조립체의 두 가지 설계 수정 방안을 도출하여 추가적인 해석을 수행하였다. 해석결과 레버에 부착된 비틀림 코일 스프링의 스프링력을 증가시키면 캡-실리콘 바닥면의 압착 영역을 확장할 수 있으며, 레버 끝단의 경사각을 증대시키고 캡-ABS와의 접점을 이동시키면 케이스 구멍 주위도 압착시킬 수 있다는 것을 확인하였다.
4. 두 가지 수정 방안을 조합하여 최종적인 설계 개선안을 도출하고 해석을 수행하였다. 설계개선안의 해석결과로서 변위분포, 캡-실리콘과 케이스 사이의 접촉조건, 접촉면의 압력분포를 평가한 결과 덕트 캡 설계개선안의 밀봉성능이 기존설계안 대비 크게 개선되는 것으로 판단된다.

## REFERENCES

1. Alvarez, R. J. and Jacobus, D. W., "The Custom

- Ice Dispenser," IEEE Transactions on Industry and General Applications, Vol. IGA-6, No. 1, pp. 81-87, 1970.
2. Ha, J. S., "A Study on the Heat Loss Improvement in a Refrigerator Ice Dispenser by Using Reverse Heat Loss Method," Journal of Energy Engineering, Vol. 22, No. 2, pp. 105-111, 2013.
3. Park, J. K., "Optimization of Heat Insulation System for a Household Refrigerator," Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 95-102, 2003.
4. Jung, D. S., "Computer Simulation of Refrigeration Cycle of Domestic Refrigerators Combined with Cabinet Heat Transfer," Proceedings of the SAREK 1993 Winter Annual Conference, pp. 88-94, 1993.
5. Lee, M. Y., Choi, S. J. and Kim, S. U., "Evaluation on the Cycle and Adiabatic Performance of a Small Multi-Refrigeration System," Proceeding of the KSME, Autumn Annual Conference, pp. 769-774, 2003.
6. Moon, J. H., Park, S. K., Oh, S. K. and Kim, Y. J., "Development of Thermal-Flow Analysis Program for Refrigerator Duct Systems," Proceedings of the SAREK 2003 Winter Annual Conference, pp. 393-398, 2003.
7. Ha, J. S., Jung, K. S., Kim, T. K., Kim, K. H. and Kim, S. R., "The Effect of Gasket Shape on Heat Loss Reduction in a Refrigeration," Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 5, pp. 305-310, 2009.
8. Ha, J. S., "A Study on the Unsteady Temperature Characteristics at the Refrigerator Gasket," Journal of Energy Engineering, Vol. 21, No. 2, pp. 136-141, 2012.
9. ANSYS, ANSYS User's Manual Revision 11.0, ANSYS Inc., 2007.
10. Gent, A. N., Engineering with Rubber, 2nd Ed., Hanser Gardner Publications, Cincinnati, 2007.
11. Kim, K. W., "A Study on Hardness and Strain

- Energy Function for Rubber Materials,”  
Soonchunhyang Journal of Institute for Industrial  
Technology, Vol. 7, No. 1, pp. 273-279, 2001.
12. Kim, Y. D., Study on the Test Methodology of  
the Material Properties of Rubber Components  
and on the Prediction of the Material Property  
Changes of Heat Aged Rubber Components, A  
Thesis for MS, Seogang University, Republic of  
Korea, 1999.
13. Richard, G. B. and Keith, J. N., Shigley's  
Mechanical Engineering Design, 9th Ed,  
McGraw-Hill, 2013.