

부분해석법을 이용한 냉장고 가스켓 삽입부 형상설계

Effective Design on the Inserting Part of Refrigerator Door Gasket Using Partial Analysis Method

김관근(Pan-Gun Kim)¹, 하만영(Man-Yeong Ha)², 손창민(Chang-Min Son)², 박상후(Sang-Hu Park)^{3*}

¹부산대학교 기계공학부 대학원, ²부산대학교 기계공학부, ³부산대학교 기계공학부/정밀정형 및 금형가공 연구소

¹Graduate School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Republic of Korea

²School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Republic of Korea

³School of Mechanical Engineering, ERC/NSDM, Pusan National, Pusan 609-735, Republic of Korea

(Received January 2, 2014; revision received January 28, 2014; Accepted: January 29, 2014)

Abstract A gasket is known as an important component for mechanical sealing between mating surfaces. In case of the refrigerator, a gasket is generally installed into the edge line of a door to prevent cold air leaking out from the inside of a cabinet. The gasket shape used in a refrigerator is very complicated; it has a few deformable small rooms and wings (upper part) and inserting part (lower part) into the door. By the intricate shape, it takes much time and trouble on analysis by using a full-shape model. To settle down this problem, an effective design way of a gasket is proposed in this work. The inserting part is parametrically designed using FEM without considering the complicate upper part. Through this work, computational time and efforts are much reduced comparing to the full-shape analysis method. And the performance of a newly designed gasket was evaluated qualitatively.

Key words Gasket(가스켓), Partial analysis method(부분해석법), Mechanical sealing(기계적 밀폐), Finite element method(유한요소법)

* Corresponding author, E-mail: sanghu@pusan.ac.kr

1. 서 론

에너지 절약 문제는 전 세계적으로 중요한 주제로 다뤄지고 있다.^(1, 2) 그 중에서 에너지 손실은 에너지가 사용되는 모든 곳에서 발생하며 일상생활 주변에서 자동차, 보일러, 각종 가전제품 등에서 발생한다. Fig. 1(a)는 냉장고에서 발생하는 에너지 손실을 미국 냉동공조 학회에서 분석한 자료⁽³⁾ 인데, 전체 손실에서 82%를 외벽과 도어 가스켓(door gasket)을 통한 에너지 손실로 분석하고 있다. 이 중에서 고무 가스켓을 통한 에너지 손실이 30%를 차지하고 있다. 따라서 이러한 고무 가스켓의 에너지 손실을 줄이기 위해서 지금까지 많은 연구가 되었다. 이중 가스켓을 이용하여 단열 성능을 향상할 유도하거나 가스켓의 다양한 형상을 이용하여 단열 성능을 향상시키기 위한 연구가 진행되었다.^(4, 5)

하지만 대부분의 연구들은 가스켓을 통한 누설이 없다는 가정하에서 열전달 해석을 통한 성능 향상을 유도하였다. 실제적으로는 가스켓의 밀폐성이 완벽하지 않아서 에너지 손실이 되는 부분이 있기 때문에 단순

열전달 해석만으로 설계를 하기에는 한계가 있다고 사료된다. 밀폐성을 유지하기 위해서 사용되는 부품의 응용은 다양하게 적용되고 주로 배관, 실린더 헤드, 판형 열 교환기, 차량 도어, 냉장고 도어 등에서 사용되고 있다. 도어 밀폐성에 대한 연구는 주로 차량 도어에 관한 연구^(6, 7)가 많이 진행되었고 냉장고 도어에 사용되는 가스켓에 관한 밀폐 성능에 대한 연구는 많은 연구가 진행되지 못하였다. 특히 냉장고에 사용되는 고무 가스켓의 경우 Fig. 1(b)에 나타난 것처럼 단열을 위한 작은 공간들과 밀폐를 위한 날개 구조물이 있는 상부와 냉장고 문에 장착을 위한 삽입구조를 가진 하단부로 구성이 되어 있다. 이러한 가스켓은 단면의 형상이 복잡하고 재료의 비선형성, 대 변형, 접촉 조건이 들어가는 비선형 해석으로만 변형거동 예측이 가능하다. 따라서 복잡한 형상으로 인해 많은 인자를 가지고 있으며 재료의 비선형 거동, 접촉의 비선형 조건을 고려하여 설계를 하여야 최적형상을 찾기가 어려운 실정이다.

본 연구에서는 이러한 복잡성을 단순화시켜서 냉장

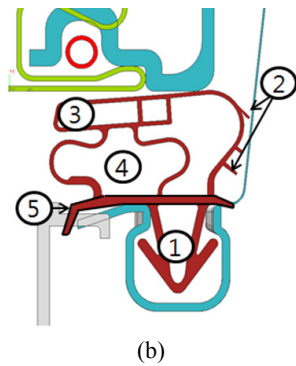
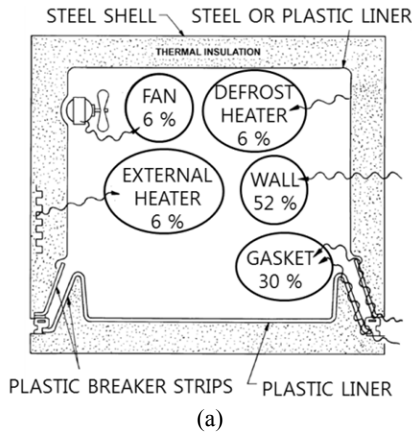


Fig. 1 (a) Cabinet cross-section showing typical contributions to total basic heat load in a refrigerator (Ref. ASHRAE Handbook 2010⁽³⁾), (b) general shape of a gasket used in the refrigerator(①inserting part; ②wings; ③, ④rooms; ⑤supporting part).

고 도어의 고무 가스켓의 밀폐 성능을 향상하기 위한 부분해석법과 기하학적 변형형상을 고려한 설계방법을 제안하고 설계된 가스켓의 성능을 실제 평가하였다.

2. 고무물성에 대한 기초이론

2.1 고무물성 측정실험

고무 재료는 일반 탄성체와 달리 낮은 응력에서 대변형을 일으키며 탄성계수도 일반적으로 약 0.2 kg/mm^2 수준으로 상당히 낮은 값을 가진다.⁽⁸⁻¹⁰⁾ 본 연구에서는 냉장고 도어용 가스켓에 많이 사용되는 연질 PVC(Poly Vinyl Chloride)에 대하여 기초적 물성실험을 수행하였다. 고무재료의 물성평가 방법으로는 단축인장, 단축압축, 이축인장, 순수전단시험 등이 있다. 일반적으로 고무재료는 보다 정밀한 값을 얻기 위하여 두 가지 이상의 재료시험을 통하여 물성을 측정하게 된다. 본 연

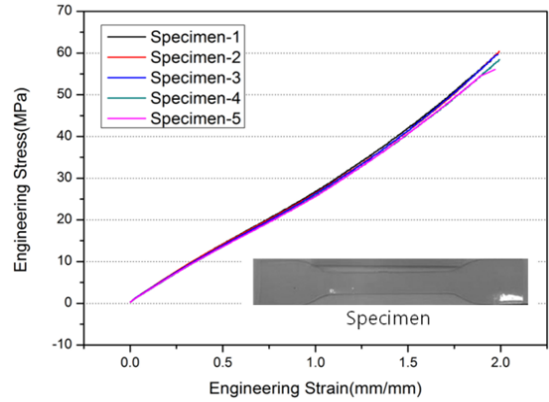


Fig. 2 Results of tensile test : stress-strain relation.

구에서는 단축인장과 평면 전단시험을 통해 물질 상수를 구하고자 하였다. 단축인장시험은 만능재료시험기 (WL2100A, Withlab Co. Ltd., Korea)를 이용하였으며, ASTM D412 규정에 따라 연질 PVC의 시험편을 제작하였다.⁽¹¹⁾ 인장시험은 표점거리 50 mm, 인장 속도 250 mm/min, 상온조건에서 총 5개의 시험편을 가지고 수행하였다. 인장시험 결과는 Fig. 2에 나타난 것과 같다. 실험결과 시험편간의 편차는 거의 발생하지 않았으며, 전체적으로 비선형거동의 전형적인 형태를 나타내고 있다.

고무의 평면 전단시험은 특별한 시험표준이 없지만 일반적으로 사용하는 방법을 이용하였다. Fig. 3(a)와 같이 시험편을 제작하고 전단시험을 수행하였다. 시험편의 형태는 평면 변형을 유도하기 위해서 표점거리 10 mm, 폭 100 mm로 10 : 1의 비율로 재료 시험을 수행하였으며 단축 인장시험과 변형률 속도를 맞추기 위해서 인장 속도는 50 mm/min로 설정하였으며 총 6개의 시험편을 이용하여 시험하였다.⁽¹²⁾ 평면 전단시험 결과는 Fig. 3(b)와 같이 얻을 수 있었다.

전단시험결과 시험편사이의 편차량 없이 잘 일치하였으며, 초기변형에서 비선형성이 크게 나타나며 변형률이 1.0 이상에서는 거의 선형거동에 가깝게 나타났다.

2.2 구성방정식

고무의 탄성 특성을 나타내는 구성방정식을 정의하는 방법은 분자 네트워크 탄성 이론에 근거를 둔 방법과 실험 결과에 근거를 둔 현상학적인 방법이 있다.⁽¹³⁾ 분자네트워크 탄성이론의 전형적인 이론은 Gaussian 이론이 있으며 이는 내부에너지의 영향, 내부 사슬 구조 등의 현상을 나타내는 것에는 적합하나 대변형의 공학적인 해석에는 적합하지 않은 것으로 평가되고 있다. 현상학적인 방법은 탄성이론을 만족하는 변형 에너지 함수를 제안하고 재료 시험을 통해 얻은 값들을 이용

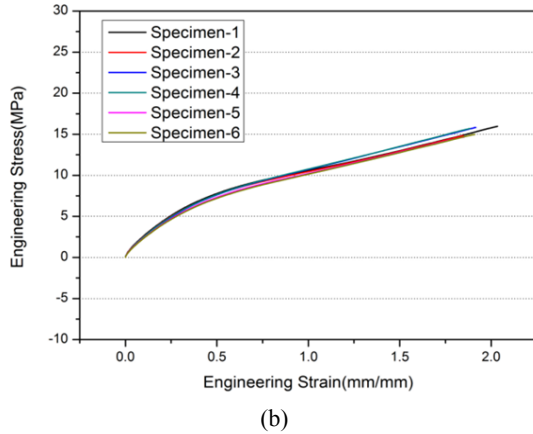
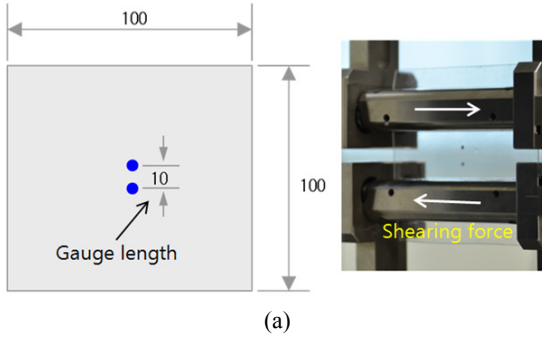


Fig. 3 (a) Shape of specimen for planar shearing test(unit : mm), (b) test results : stress-strain relation.

하여 곡선 적합(curve fitting)함으로서 구성 방정식의 상수를 결정하는 방법이다. 이 방법은 공학문제 해결에 주로 사용되고 있다.⁽¹³⁾

변형률 에너지 함수는 여러 형태로 제시하고 있다. 그 중에서 Mooney-Rivlin 함수가 낮은 변형률에서 시험 값과 잘 일치하며 고무 가스켓의 변형률이 예비해석을 통해 확인한 결과 10% 이내의 변형을 하기 때문에 Mooney-Rivlin 함수를 이용하도록 한다. 초탄성 재료 모델을 변형률 에너지 함수로 표현하면 식(1)과 같다.

$$\sigma_{ij} = \frac{\partial W}{\partial E_{ij}} \quad (1)$$

여기서, σ_{ij} 는 2차 Piola-Kirchhoff 응력 텐서, W 는 변형률 에너지 함수, E_{ij} 는 Green-Lagrange 변형률 텐서이며 식(2)와 같이 표현 된다.

$$E_{ij} = \frac{1}{2}(F^T F - 1) \quad (2)$$

여기서 F 는 변형구배 텐서(deformation gradient tensor)

이며 I 는 단위 텐서이다. 본 논문에서 사용할 모델인 연신률 불변량 변형률 에너지 함수인 Mooney-Rivlin 함수는 $W = W(I_1, I_2, I_3)$ 로 표현 하였다. I_1, I_2, I_3 는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} I_1 &= \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 \\ I_2 &= \varepsilon_1^2 \varepsilon_2^2 + \varepsilon_2^2 \varepsilon_3^2 + \varepsilon_3^2 \varepsilon_1^2 \\ I_3 &= \varepsilon_1^2 \varepsilon_2^2 \varepsilon_3^2 \end{aligned} \quad (3)$$

ε 는 연신률(stretch ratio)을 의미한다. 또한 고무재료가 초탄성체, 비압축성, 등방성이라 가정하면, 단축인장일 때 $\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 = 1$ 이므로 $I_3 = 1$ 이 된다. 따라서 변형률 에너지 함수는 식(4)와 같이 표현될 수 있다.

$$W = \sum_{i+j=1}^N C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j \quad (4)$$

$$W = C_{10} (I_1 - 3) + C_{01} (I_2 - 3) \quad (5)$$

C_{ij} 는 Mooney-Rivlin의 상수이다. 식(4)에서 1차 항만을 고려하면 다음의 식(5)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} I_1 &= \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 = \varepsilon^2 + \frac{1}{\varepsilon^2} + 1 \\ I_2 &= \varepsilon_1^2 \varepsilon_2^2 + \varepsilon_2^2 \varepsilon_3^2 + \varepsilon_3^2 \varepsilon_1^2 = \varepsilon^2 + \frac{1}{\varepsilon^2} + 1 \\ I_3 &= \varepsilon_1^2 \varepsilon_2^2 \varepsilon_3^2 = 1 \end{aligned} \quad (6)$$

평면변형이므로 연신률은 $\varepsilon_2 = 1$ 이며, 비압축성을 고려하였을 때 $\varepsilon_1 = \varepsilon$ 으로 두면 $\varepsilon_3 = 1/\varepsilon$ 이다. 이를 식(3)에 대입하면 식(6)을 구할 수 있다. 평면변형 상태에서 $\gamma^2 = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2$ 이다. 이에 식(6)을 대입하면 식(7)를 구할 수 있다.

$$\gamma^2 = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 = \varepsilon^2 + \frac{1}{\varepsilon^2} - 2 = I_1 - 3 = I_2 - 3 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{dW}{d\gamma} = \frac{\partial I_1}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial W}{\partial I_1} + \frac{\partial I_2}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial W}{\partial I_2} \\ &= 2\gamma \left(\frac{dW}{dI_1} + \frac{dW}{dI_2} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)에 식(5)를 대입하면 아래의 식(9)를 얻을 수 있다.

$$\tau = 2\gamma (C_{10} + C_{01}) \quad (9)$$

식(5)와 식(9), 재료 시험을 통해 얻은 응력과 연신률 데이터를 이용하여 선형 최소자승법을 이용하여 계수

를 구할 수 있다. 본 연구에서 구한 계수는 $C_{10} = 0.423$, $C_{01} = 1.994$ 이다.

3. 가스켓 설계

3.1 해석모델 및 해석조건 검증

고무 가스켓의 단면 형상은 Fig. 1(b)와 같이 매우 복잡하나 압출 공정을 이용하여 성형되어 동일한 단면을 가지며 단면적에 비해 길이가 길다. 따라서 본 연구에서는 가스켓의 2차원 해석을 수행하였다. 재료거동을 확인하고 해석모델에 대한 검증하기 위하여 가스켓 삽입해석을 먼저 수행하였다. 해석을 위한 모델구성은 도어부, 가스켓 삽입지그 그리고 고무 가스켓으로 세 부분으로 구성되어 있다. 도어와 가스켓 삽입지그는 강체(rigid body)로 정의하였다.

Fig. 4와 같이 도어는 고정하고 고무 가스켓은 도어 상단에 간섭이 없도록 위치시킨 다음 가스켓 삽입지그를 내려서 가스켓을 삽입하도록 하였다. 해석결과와 실험결과를 비교해 볼 때 변형거동이 유사함을 알 수 있다. 특히 가스켓이 도어쪽으로 끼워지는 순간(Fig. 4의 step 2)을 비교해 보면 실제와 동일한 거동을 나타낸다. 따라서 고무에 대한 물성과 경계조건 등 해석모델이 신뢰성을 가진다고 판단된다.

3.2 고무 가스켓의 하단부 설계

냉장고용 가스켓은 단면의 형상이 복잡하고 설계변수가 많기 때문에 전체 형상을 한꺼번에 고려하여 설계를 하는 방법보다는 상부와 하부를 나누어서 설계하는 것이 효과적이라 판단된다. 부분해석 방법의 신뢰성

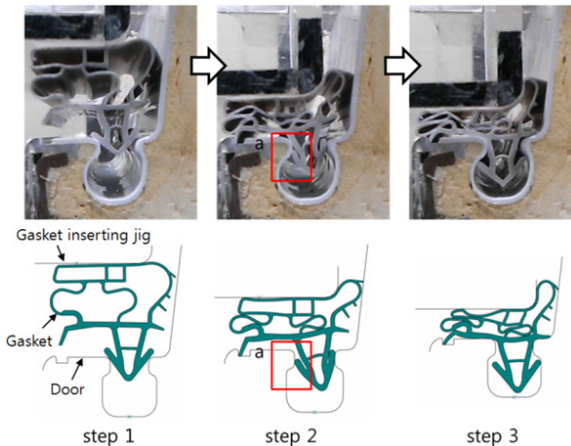


Fig. 4 Comparison of experimental results and FE-analysis results on gasket inserting process.

검증을 위하여 전체해석모델과 부분해석모델의 재료 거동을 먼저 비교해 보았다. Fig. 5(a)에 나타난 바와 같이 끼움 거동해석에서 전체해석모델과 부분해석 모델이 중간판(supporting part) 거동에서 일치함을 알 수 있다. Fig. 5(b)에 나타난 중간판의 변형 후 면적을 계산해 보면 전체해석모델과 부분해석모델이 각각 22.19, 22.03 mm²으로 계산되어 99.3%의 일치도를 나타냈다. 따라서 중간판 아래 하부의 거동이 복잡한 구조를 가진 상부의 거동에 영향을 주지 않기 때문에 하부 해석에서 복잡한 상부를 배제하고 해석을 수행하여도 무리가 없음을 알 수 있다.

냉장고용 가스켓 하단부의 경우 도어에 장착된 후 Fig. 6(a)에 나타난 것처럼 여유공간에 의하여 냉기가 빠져나가는 경로를 제공하게 된다. 따라서 이러한 부분을 완전하게 차단하는 것이 중요한 가스켓 설계기술 중에 하나이다. 냉장고 내부에 안개 발생기(fog gen-

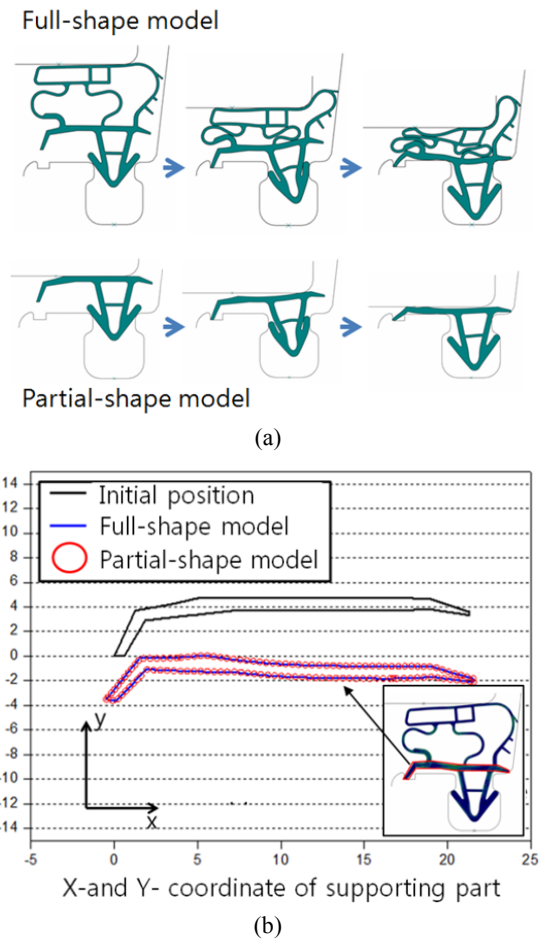


Fig. 5 (a) Comparison of deformation of full-shape and partial-shape model, (b) X- and Y-coordinates of supporting part in two models.

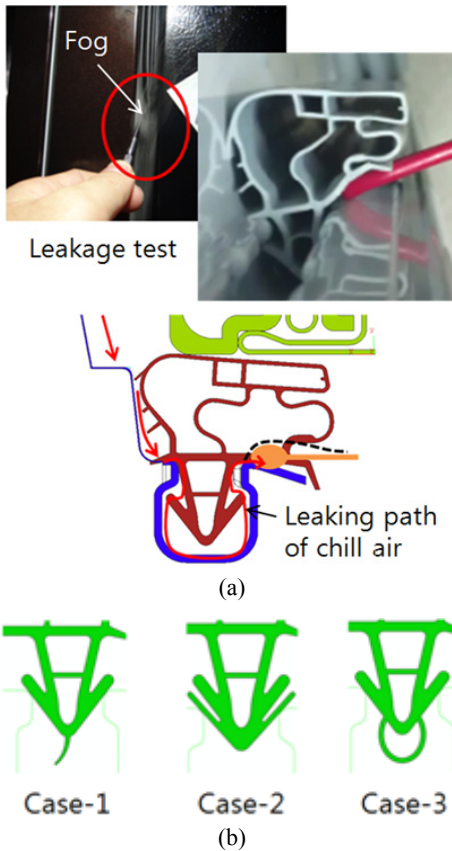
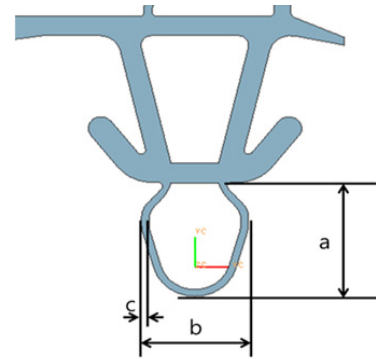


Fig. 6 (a) Experimental leakage test and leaking path of chill air, (b) modified designs of inserting part.

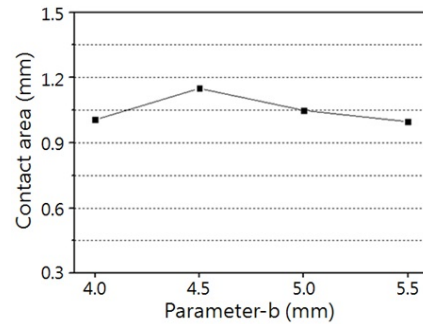
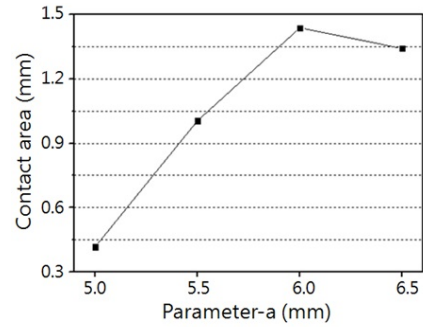
erator; SRFEX F2010)를 이용하여 백색의 안개를 발생시킨 후 가스켓 부분을 살짝 비틀게 되면 캐비닛 내부의 안개가 쉽게 빠져 나오는 것을 확인할 수 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 Fig. 6(b)와 같이 다양한 형상을 삽입 고정부에 부착하여 사용할 수 있다. 그러나 Case-1, Case-2의 경우 신뢰성 문제와 끼움시 하중 증가 문제가 있다. 또한 면접촉을 유도하기 위하여 본 연구에서는 Case-3의 고리형 모델에 대하여 새롭게 제안하였다. 삽입 고정부 끝단에 원형 또는 타원 형태의 고리를 넣게 되면 끼움 후에 고리형상이 변형하여 내부에 확실한 면접촉을 하게 되면서 밀폐성능이 향상될 것으로 판단된다.

기본적인 하단부 형상은 Fig. 7(a) 상단부 그림에 나타난 것과 같다. 주요 설계변수에 대하여 다구찌 기법(Taguchi method)를 이용하여 요인효과 분석을 하였다. 타원 고리부분의 주요 치수는 장축(major, a), 단축(mirror, b) 그리고 두께 (thickness, c)이며, 각각 4수준으로 L_3^4 직교배열표를 이용하였으며 평가기준은 고리부분이 끼움 후에 바닥과 접촉하는 면적으로 하였다. 해석 결



	a (mm)	b (mm)	c (mm)
1	5	4	0.5
2	5.5	4.5	0.75
3	6	5	1
4	6.5	5.5	1.25

(a)



(b)

Fig. 7 (a) Design parameters and their levels in orthogonal matrix, (b) variation of contact area according to design parameter a and b.

과 두께가 증가 하였을 때 고리부분의 강성증가로 인하여 완전히 끼워지지 않음을 확인하였다. 해석 결과에서 최대 삽입력이 1.483 MPa 이상일 때 삽입이 완전히 이루어 지지 않았으며, 원활한 끼움을 위해서 두께는 0.5 mm로 고정하였다. 나머지 설계인자 a와 b에 대하여 요인효과를 분석하면 고리의 길이에 해당하는 설

계변수 a의 증가에 따라 접촉면적이 많아짐을 알 수 있으며 고리의 폭(설계변수 b)의 변화에 대해서는 큰 영향이 없는 것을 확인하였다. 따라서 최적 설계안으로 설계변수 a는 6 mm, b는 4.5 mm로 결정하였다.

4. 고무 가스켓 성능평가

4.1 밀폐성능 평가방법

밀폐성능을 평가하기 위해서 실제 냉장고를 이용하여 CO₂ 농도 측정을 통한 정량적 평가를 수행하였다. Fig. 8 과 같이 냉장고 내에 CO₂를 삽입 한 후 내부 CO₂ 농도 측정기(testo-535, Testo Ltd., Germany)를 이용하여 시간에 따른 농도변화를 측정하였다. CO₂ 농도 측정기는 5000 ppm 이하에서 50 ppm(측정값의 ±2%)의 오차를 가지고 있으며 5000 ppm 이상에서 100 ppm(측정값의 ±3%)의 오차를 가진다. 측정 오차를 줄이기 위해서 4500 ppm 에서 5000 ppm 사이에서 측정을 시작하며 5분 간격으로 1시간 동안 측정하였다. 냉장고의 외부공기 유입부를 그대로 두었기 때문에 완전 밀폐상태가 아니며 시간이 갈수록 CO₂ 가스의 자연감소량이 존재한다.

4.2 평가결과 및 고찰

기존 가스켓 형상과 본 연구에서 설계된 가스켓을 이용하여 CO₂ 농도 측정 시험을 3회 반복 시험을 실시 하였다. 그 결과는 Fig. 9(a), Fig. 9(b)에 정리하여 나타내었다.

기존 가스켓을 이용하였을 때 농도 감소량은 초기 CO₂ 상태와 비교해 볼 때 평균적으로 641.3 ppm 감소하였으며, 제안된 고무 가스켓을 이용한 실험에서는 약 342.6 ppm 정도 감소하였다. 따라서 제안된 가스켓의 밀폐성능이 46.6% 향상된 것으로 확인되었다.

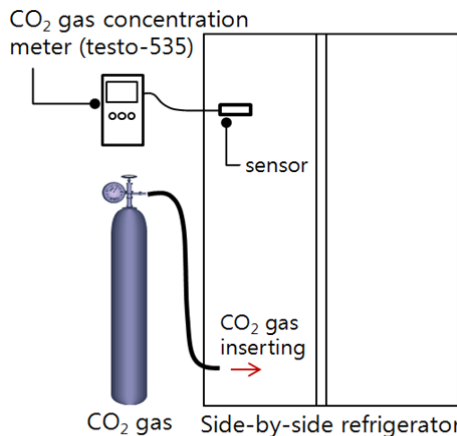
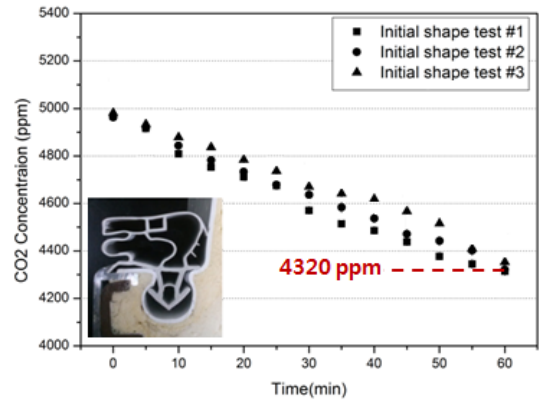
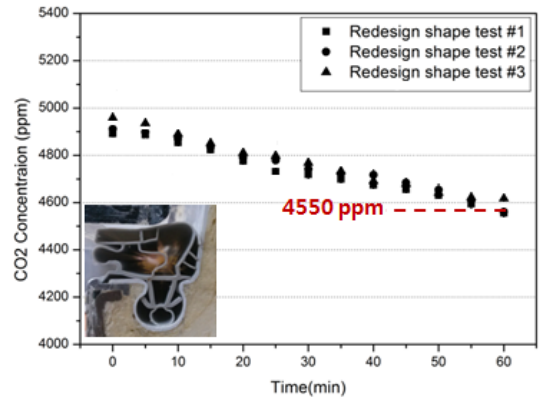


Fig. 8 Experimental setup for leakage test.



(a)



(b)

Fig. 9 CO₂ concentration test results of (a) initial design and (b) new design of a gasket.

5. 결 론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 복잡한 단면을 가지는 여단이용 고무 가스켓은 삽입되는 형상을 이용하여 상단과 하단으로 분할하여 부분해석을 수행하였을 때 그 결과는 전체해석과 유사한 거동을 나타내는 것을 확인하였으며, 해석시간 과점에서 부분해석법이 약 64% 감소함을 알 수 있었다.

(2) 고무 가스켓 삽입부의 형상변경을 통해 밀폐성능을 향상시키도록 하였다. 밀폐성능 향상을 위해서는 면 접촉을 유도 할 수 있는 타원 고리형상을 삽입 고정부에 적용한 것이 효과적임을 해석과 실험을 통하여 확인하였다.

(3) 고정부에 설계된 타원 형상의 두께는 삽입력을 고려하여 0.5 mm가 적합하여 타원 고리의 폭과 길이가 각각 4.5, 6.0 mm일 때 가장 적합함을 부분해석법으로 알 수 있었다.

(4) 설계된 고무 가스켓의 성능을 정량적 평가를 통하여 알아보았다. 정량적 평가를 하기 위해서 실제 사용되

는 냉장고를 이용하여 내부 CO₂ 농도 측정을 통한 평가를 하였으며, 기존 가스켓과 비교해 볼 때 46.6% 향상된 밀폐 성능을 확인 하였다.

후 기

본 연구는 2013년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 해외우수연구기관유치사업 연구(No. 2013044133)와 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 2013H100100026)입니다.

Reference

- Oh, S. J., Han, H. J., Han, S. B., Lee, J. Y., and Chun, W. G., 2010, Development of a tree-shaped wind power system using piezoelectric materials, *International Journal of Energy Research*, Vol. 34, No. 5, pp. 431-437.
- Jung, R. A., Park, J. C., and Rhee, E. K., 2012, A study on the application of integrated renewable energy systems based on urban characteristics, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 2, pp. 199-206.
- ASHRAE, 2010, *ASHRAE Handbook-Refrigeration (SI)*, ASHRAE, p. 172.
- 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, *Journal of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol. 22, No. 6, pp. 413-418.
- Ha, J. S., Jung, K. S., Kim, T. K., Kim, K. H., and Kim, S. R., 2009, The effect of gasket shape on heat loss reduction in a refrigeration, *Journal of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol. 21, No. 5, pp. 305-310.
- Kim, K. H., Moon, B. Y., and Kim, S. B., 2004, Non-linear analysis for a weatherstrip of a vehicle door with FE modeling, *Proc. of annual fall conf. of KSPE*, pp. 321-324.
- Wagner, D. A., Morman, K. N., Gur, Y., and Koka, M. R., 1997, Nonlinear analysis of automotive door weatherstrip seals, *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol. 28, No. 1, pp. 33-50.
- Shin, S. J., Lee, T. S., Oh, S. I., 1995, Finite element modeling of pad deformation in rubber pad forming(I), *Proc. of annual spring conf. of KSME*, Vol. 1, No. 1, pp. 331-336.
- Haines, D. W. and Wilson, W. D., 1979, Strain-energy density function for rubberlike materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Vol. 27, No. 4, pp. 345-360.
- Baek, U. C., Song, Y. C., Kim, S. h., and Kum, Y. B., 2008, A study of the prediction of the planar shear data by the simple tension of a rubber, *Proc. of annual spring conf. of KSME*, pp. 17-18.
- Standard Methods for Rubber Properties in Tension, *ANSI/ASTM D412-80*.
- Kim, Y. W. and Kim, J. G., 2003, F.E. Analysis of the radial tire inflation using the hyper elastic properties of rubber compounds samples from a tire, *Transactions of KSAE*, Vol. 11, No. 4, pp. 125-134.
- Jeon, K. Y., Kim, D. M., Lim, D. G., Moon, S. W., and Kang, M. S., 2004, Friction coefficient of the rubber block on the contact surface, *Symposium of KSAS*, pp. 646-649.