

빌트인 양문형 냉장고 댐핑힌지의 구조해석 및 브래킷핀의 응력집중 저감을 위한 설계개선

이부윤

계명대학교 기계자동차공학전공

Structural Analysis of Damping Hinge for Built-in Side-by-Side Refrigerator and Design Improvement of Bracket Pin to Reduce Stress Concentration

Boo-Youn Lee

Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University

요약 본 연구는 빌트인 양문형 냉장고의 도어를 최대개방각도로 열었을 때 발생하는 댐핑힌지의 응력해석과 피로수명 해석을 다룬다. 댐핑힌지의 초기설계안에 대하여 유한요소해석을 수행한 결과, 브래킷핀에서 상부원판과 원통이 직각을 이루는 기하학적 불연속 부위에서 국부적 응력집중이 발생하였고, 최대 von Mises 등가응력이 재료의 항복강도를 초과하였다. 이 최대응력 발생 위치는 시작품을 제작하여 수행한 도어개폐 내구시험 시에 파손된 브래킷핀의 부위와 일치하였으며, 응력해석 결과로부터 계산된 피로수명도 내구시험 결과와 정합성이 있는 것으로 나타났다. 브래킷핀의 초기설계안에서 나타난 응력집중을 완화하기 위하여 브래킷핀의 형상을 변경하는 3가지 설계개선안을 도출하고 해석을 수행하여 안전성을 평가하였다. 설계개선안의 해석결과, 브래킷핀의 원판과 원통 사이에 필렛을 삽입하면 응력집중을 저감시키고 피로수명은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 브래킷핀의 원판을 2단으로 변경하면 응력집중을 저감시키고 피로수명은 증가하는 것으로 나타났다. 결론적으로 가장 우수한 설계개선안은 브래킷핀의 원판을 2단으로 변경하고 반경이 큰 필렛을 삽입한 경우로서, 응력집중이 가장 작고 피로수명이 무한대인 것으로 판단된다.

Abstract This study performed stress and fatigue life analysis of the damping hinge of a built-in side-by-side refrigerator that occurs when the door is opened to the maximum angle. An analysis of the initial design showed that stress concentration occurred at the corner between the cylinder and upper disk of the bracket pin, and the maximum stress exceeded the yield strength. The maximum stress location and the calculated fatigue life were consistent with the door opening-and-closing endurance test results for a prototype. Three cases of design improvement for the bracket pin were derived with the aim of reducing the stress concentration that appeared in the initial design. An analysis of the cases showed that inserting a fillet between the disk and the cylinder of the bracket pin reduced the stress and increased the fatigue life. Moreover, changing the disk into two steps was more favorable. In conclusion, the best design improvement was the case that the disk was changed to two steps and the fillet with a large radius was inserted. In that case, the stress was the smallest and the fatigue life was infinite.

Keywords : Bracket Pin, Built-in Side-by-Side Refrigerator, Damping Hinge, Stress Concentration, Fatigue Life

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

email: bylee@kmu.ac.kr

Received September 5, 2019

Revised October 23, 2019

Accepted January 3, 2020

Published January 31, 2020

1. 서론

빌트인(built-in) 양문형(side-by-side) 냉장고에는 일반적으로 좌측에 냉동실 도어(door), 우측에 냉장실 도어가 설치된다. 그리고 도어를 캐비닛(cabinet)에 체결하기 위하여 냉동실 도어의 좌측과 냉장실 도어의 우측에 상부 및 하부힌지(hinge)가 설치된다. 상부힌지는 캐비닛과 도어를 핀(pin) 결합 방식으로 체결하여 도어를 열고 닫을 때 도어가 자유롭게 회전하게 한다. 하부힌지는 도어의 무게도 지지하면서 도어를 회전하게 하는 역할을 한다.

근래에 들어서 빌트인 양문형 냉장고의 하부힌지로는 소비자의 감성 만족을 위하여 구조가 복잡하고 가격이 비싼 댐핑힌지(damping hinge)가 설치되고 있다. 이러한 댐핑힌지에는 도어개폐 시 발생하는 충격을 완화할 수 있도록 스프링 댐퍼(spring-damper)가 장착된 링크 기구가 내장되어, 큰 힘을 가하더라도 도어가 부드럽게 열리고 닫히게 하는 기능을 제공한다.

본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 빌트인 양문형 냉장고용 댐핑힌지를 다루고자 한다. 댐핑힌지 조립체는 도어의 바닥면에 위치한 도어브래킷(door bracket)을 통하여 도어와 체결된다(Fig. 1(a) 참조). 도어브래킷 아래에는 Fig. 1(b)와 같이 브래킷핀(bracket pin)이 부착되어 있는데, 이 브래킷핀은 레버(lever) 전단의 힌지캠(hinge cam)에 위치한 중공원통 형상의 도어지지부(door support)와 핀 결합 방식으로 체결된다. Fig. 1(c)는 댐핑힌지 조립체와 내부의 링크기구의 구조를 나타낸다. Fig. 2(a), (b)는 각각 도어가 닫혀 있을 때와 최대개방각도(130°)까지 열려 있을 때 내부 링크기구의 위치를 나타낸다. 도어가 닫혀 있을 때는 레버와 도어멈춤핀(door stopping pin)이 분리되어 있으나, 도어를 열면 힌지캠이 캐비닛의 전면방향으로 움직이면서 링크 구조를 동작 시키게 된다. 도어를 최대개방각도(130°)까지 열면 고정된 도어멈춤핀에 레버가 접촉(Fig. 1(c) 참조)하게 되면서 도어의 회전이 멈추게 된다.

일반적으로 댐핑힌지의 개발과정에서 시작품(prototype)을 제작하여 냉장고에 조립한 상태에서 부하물을 적재한 도어를 최대개방각도까지 열고 닫는 것을 100,000 사이클을 반복하는 도어개폐 내구시험(endurance test)을 실시하게 된다. 이러한 내구시험을 거친 후에 댐핑힌지를 구성하는 각 부품에서 영구변형이나 파손이 발생하지 않아야 한다. 본 연구에서 다루고자 하는 댐핑힌지의 개발과정에서 초기 설계안에 대한 시작품을 제작하여 도어개폐 내구시험을

수행하는 중에 Fig. 1(b)에 표시된 브래킷핀이 파손되는 현상이 발생하였다. 이러한 배경 하에서 본 연구는 댐핑힌지에 대한 구조해석을 수행하여 도어개폐 내구시험 시에 발생한 브래킷핀의 파손 원인을 규명하고 파손방지를 위한 설계개선안을 도출하기 위하여 수행되었다.

냉장고의 구조설계 관련 기존의 연구는 양문형 냉장고에서 발생하는 도어 단차의 원인 규명 및 도어 단차 저감에 대한 연구가 다수를 차지하고 있는데, Shin 등[1], Kang[2], Lee[3], Weng 등[4], Jang[5], Kim[6], Lee[7-9] 등의 연구를 들 수 있다. 한편, 냉장고 부품과 관련된 구조해석 및 설계 분야의 연구로서는, Lee[10,11]의 냉장고 얼음디스펜서 덕트 캡의 밀봉성능 및 개방각도 개선에 관한 연구를 들 수 있다. 최근의 연구로서 Lee[12]는 빌트인 냉장고 댐핑힌지에 대하여 응력 및 피로수명을 해석하고 힌지레버의 파손방지를 위한 설계개선안을 제시한 바 있다.

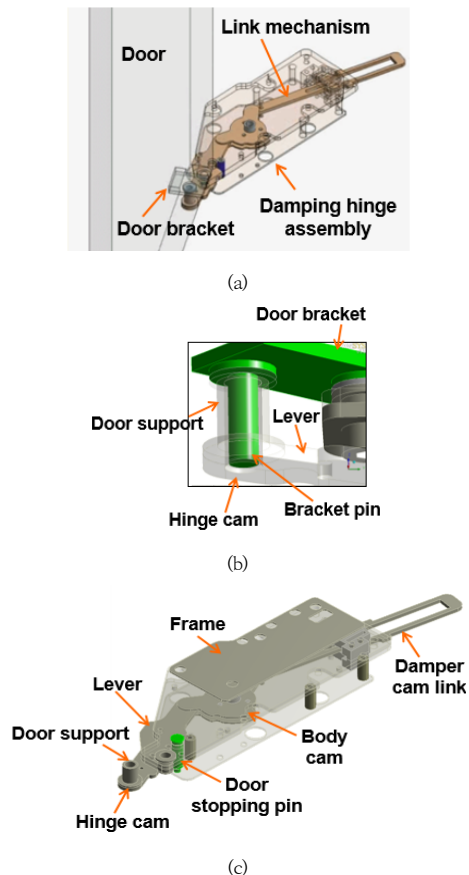


Fig. 1. Damping hinge for built-in side-by-side refrigerator
(a) Door and damping hinge (b) Connection of door bracket and door support with bracket pin (c) Damping hinge assembly

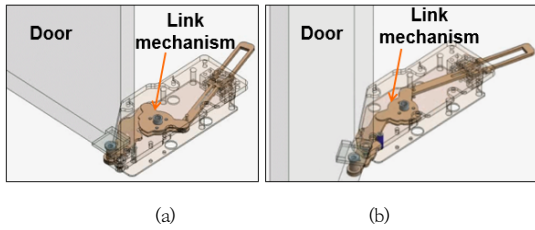


Fig. 2. Movement of link mechanism with door closing-and-opening
(a) Door closing (b) Door opening

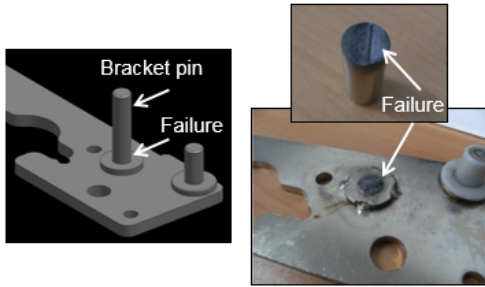


Fig. 3. Failure of bracket pin during endurance test of initial design

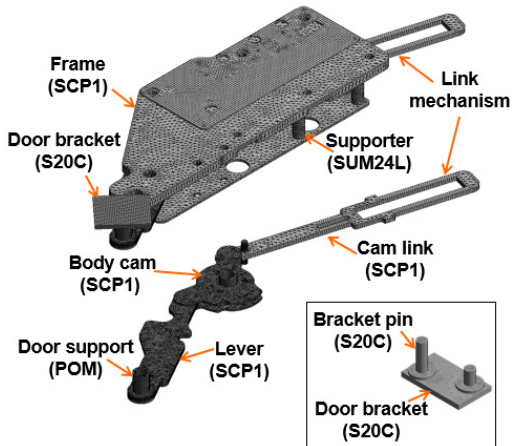


Fig. 4. Finite element model of damping hinge

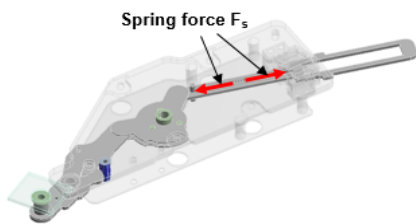


Fig. 5. Application of spring force

본 연구에서는 빌트인 양문형 냉장고의 댐핑힌지에 대하여 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS workbench[13]를 사용하여 도어를 최대개방각도까지 열 때 발생하는 응력과 피로수명을 해석하고자 한다. 그리고 댐핑힌지 초기설계안의 해석결과에 기반하여 시작품의 도어개폐 내구시험 시에 파손이 발생한 브래킷핀의 파손 원인을 규명하고자 한다. 그리고 브래킷핀의 응력집중을 저감시킴으로써 파손을 방지하기 위한 설계개선안을 도출하고 응력해석 및 피로수명해석을 통하여 안전성을 평가하고자 한다.

2. 초기설계안의 구조해석 및 평가

앞 장에서 기술한 바와 같이 댐핑힌지의 초기설계안에 대하여 시작품을 제작하여 도어에 부하물을 적재한 상태에서 도어를 최대개방각도(130°)까지 열고 닫는 도어개폐 내구시험을 실시하였다. 이 내구시험에서는 100,000 사이클의 도어개폐를 반복한 후에 영구변형이나 파손이 발생하지 않아야 하는데, 약 10,000 사이클의 도어개폐 후에 Fig. 3과 같이 브래킷핀이 파단되는 현상이 발생하였다. 이러한 파손의 원인을 분석하기 위하여 먼저 초기설계안에 대하여 ANSYS를 사용하여 유한요소해석을 수행하였다.

초기설계안에 대하여 도어가 최대개방각도(130°)로 열렸을 때의 댐핑힌지 조립체의 유한요소모델을 구성하였다. Fig. 4는 ANSYS의 자동요소생성 기능을 사용하여 만든 유한요소모델의 형상과 재질을 나타낸다. 사용된 요소종류는 ANSYS의 20절점 육면체와 10절점 사면체 솔리드 요소이며, 총 절점 수는 382,088개, 총 요소 수는 95,027개이다.

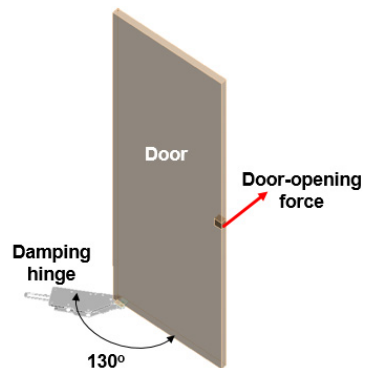


Fig. 6. Application of door-opening force

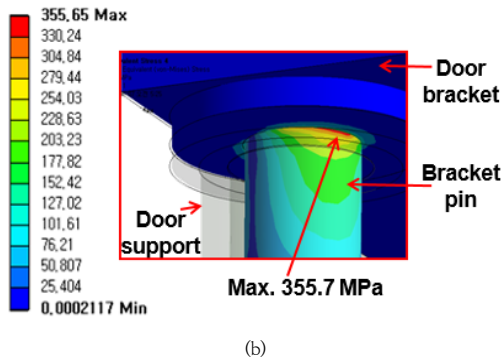
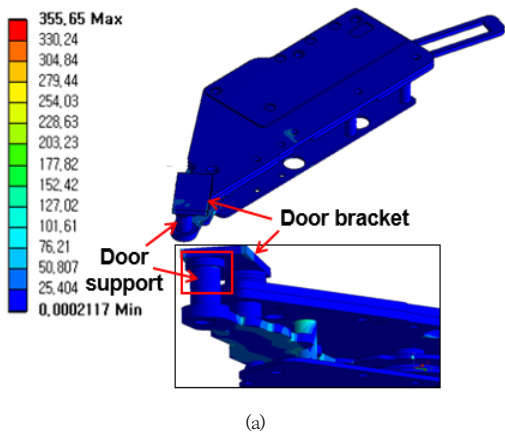


Fig. 7. Distribution of von Mises equivalent stress(Se_{eqv}) of initial design
(a) Assembly (b) Detail view of bracket pin

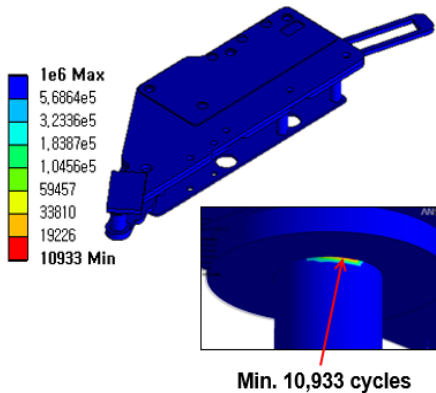


Fig. 8. Distribution of fatigue life of initial design

댐핑힌지에 가해지는 첫 번째 하중은 도어하중으로, 도어의 자중과 부하물의 무게를 더하여 806 N이다. 이 하중은 도어브래킷을 통하여 댐핑힌지에 가해지므로 도

어지지부 윗면에 수직방향으로 가하였다. 두 번째 하중으로서, 도어를 열 때 내부의 링크기구가 작동되면서 스프링이 변형되므로 Fig. 5와 같이 스프링이 체결된 핀 위치에 스프링력 F_s 를 가하였다. 스프링력 F_s 는 스프링상수 $k(=6.844 \text{ N/mm})$, 자유길이 $l_f(=110 \text{ mm})$, 최대개방각도로 열렸을 때의 길이 $l(=80.5 \text{ mm})$ 로부터 계산되며 $F_s = k(l_f - l) = 202 \text{ N}$ 이다. 세 번째 하중은 도어를 열 때 필요한 개방력으로 34 N이다. 개방력을 가하기 위하여 도어는 강체로 모델링하고 Fig. 6과 같이 최대개방각도로 열렸을 때 도어손잡이 위치에 개방력을 가하였다.

초기설계안의 해석 결과로서, Fig. 7은 von Mises 등가응력(Se_{eqv}) 분포를 나타내는데, 최대응력은 Fig. 7(b)와 같이 브래킷핀에서 발생하며 355.7 MPa로 나타났다. 최대응력이 발생한 위치는 브래킷핀에서 원통과 상부원판이 90° 각도를 이루는 곳으로서, 기하학적 불연속 위치에서 발생하는 국부적 응력집중으로 판단된다. 이 최대응력(355.7 MPa)은 브래킷핀 재질 S20C[14]의 항복강도인 350 MPa보다 조금 크다. 그리고 이 응력집중 위치는 도어개폐 내구시험에서 브래킷핀이 파단된 위치(Fig. 3 참조)와 일치한다. 한편, 브래킷핀의 재질 S20C는 연성 재료(ductile material)이므로 이러한 국부적 응력집중으로 인한 불연속 위치의 최대응력이 항복강도보다 크더라도 변형률경화(strain hardening) 현상으로 인하여 하중이 1회만 가해지는 경우에는 파손이 되지 않는 것으로 판단된다[15]. 그러나 본 연구에서와 같이 하중이 반복적으로 가해지는 도어개폐 내구시험 시에는 피로에 의한 파손이 발생할 가능성이 있으므로 응력해석 결과로부터 피로수명을 계산하여 안전성을 확인하였다.

초기설계안에서 발생한 응력으로부터 도어개폐 내구시험 시의 피로수명을 평가하기 위하여 ANSYS에서 Goodman 이론을 사용하여 피로수명을 계산한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 피로수명 계산 시에 사용한 S-N선도는 문헌[15]을 참조하여 결정하였다. Fig. 8을 보면 브래킷핀의 국부적 응력집중 위치를 제외하고는 댐핑힌지의 피로수명은 내구한도(endurance limit)인 10^6 사이클, 즉 무한수명이고, 브래킷핀의 응력집중 위치에서의 피로수명은 10,933 사이클인 것을 확인할 수 있다. 이는 시작품의 내구시험 시에 이 위치(Fig. 3 참조)에서 약 10,000 사이클에서 파단된 것과 정합성을 보여주는 것으로 판단된다.

3. 설계개선안의 구조해석 및 평가

앞 장에서 댐핑힌지 초기설계안의 해석과 평가를 통하여 도어개폐 내구시험 시에 도어브래킷과 연결되는 브래킷핀의 기하학적 불연속 위치에서 국부적 응력집중으로 인하여 브래킷핀이 파단된 것을 확인하였다. 이와 같이 응력집중이 발생한 브래킷핀의 모서리에 반경이 큰 필렛(fillet)을 생성하면 응력집중이 완화되어 피로수명이 증가할 것이 분명하다. 그러나 반경이 큰 필렛을 만드는 것은 브래킷핀과 도어지지부 사이에 유지해야 하는 간극 때문에 제약이 받는다. 브래킷핀은 중공원통 형상인 도어지지부의 내면에 삽입하여 조립되는데(Fig. 1(b) 참조), 도어지지부의 내면과 브래킷핀의 외면 사이에는 간극이 존재한다. 본 연구는 개발이 많이 진행된 링크 구조의 일부분인 도어지지부의 내경은 변경하지 않으면서 브래킷핀의 설계를 개선하고자 한다. 그러므로 만일 필렛 반경을 크게 증가시키면 도어지지부의 내면과 간섭이 발생하므로 간섭을 방지하기 위해 도어지지부의 내경도 증가시켜야 한다. 이러한 관점에서 본 연구는 도어지지부의 내경은 변경하지 않으면서 필렛을 삽입하여 피로수명을 만족시키는 설계개선안을 도출하고자 하였다.

이에 근거하여 응력집중을 완화하기 위하여 Fig. 9에 나타난 바와 같이 브래킷핀의 3가지 설계개선안 Case 1~3을 도출하였다. 기존설계안에서 응력집중이 발생하여 파단된 위치는 Fig. 9(a)와 같이 상부원판과 원통이 연결되는 부분이 90° 각도를 이루고 있다. 설계개선안 Case 1은 Fig. 9(b)와 같이 원판과 원통 사이에 반경 1 mm의 필렛을 삽입하였다. Case 2는 Fig. 9(c)와 같이 원판을 2단으로 변경하고 반경 1 mm의 필렛을 삽입하였다. Case 3은 Fig. 9(d)와 같이 Case 2와 같게 원판을 2단으로 변경한 상태에서 필렛의 반경은 1.5 mm로 증가시켰다. 한편, 설계개선안에서 도어지지부의 상단 형상은 브래킷핀의 형상 변경을 반영하여 1단(Case 1) 또는 2단(Case 2, 3)으로 변경하였다. 그리고 도출된 설계개선안 Case 1~3에 대하여 초기설계안과 동일한 방법으로 도어가 최대개방각도까지 열렸을 때를 해석하였다.

설계개선안 Case 1의 해석 결과로서, Fig. 10(a)는 브래킷핀의 응력집중부 근처에서의 von Mises 등가응력 분포를 나타낸다. 최대응력은 브래킷핀의 원판과 원통이 만나는 필렛에서 발생하였으며, 310.7 MPa로서 기존설계안(355.7 MPa)보다 감소하였다. 이는 브래킷핀 재질 S20C의 항복강도(350 MPa)보다 작으므로 도어가 최대 개방각도까지 열렸을 때 소성변형이 발생하지 않는 것으

로 판단된다. Case 1의 응력해석 결과로부터 도어개폐 내구시험 시의 피로수명을 평가하기 위하여 ANSYS에서 Goodman 이론을 사용하여 피로수명을 계산한 결과를 Fig. 10(b)에 나타내었는데, 응력집중부의 피로수명은 151,500 사이클로 기존설계안(10,933 사이클)보다 크게 증가하였으며 도어개폐 내구시험 조건의 100,000 사이클을 초과하므로 안전한 것으로 나타났다.

설계개선안 Case 2의 해석 결과로서, Fig. 11(a)는 브래킷핀의 응력집중부 근처에서의 von Mises 등가응력 분포를 나타낸다. 최대응력은 브래킷핀의 아래쪽 원판과 원통이 만나는 필렛에서 발생하였으며, 285.7 MPa로서 Case 1(310.7 MPa)보다 감소하였다. Case 2의 응력해석 결과로부터 ANSYS에서 Goodman 이론을 사용하여 피로수명을 계산한 결과를 Fig. 11(b)에 나타내었는데, 응력집중부의 피로수명은 697,940 사이클로 Case 1(151,500 사이클)보다 크게 증가하였으며, 이 역시 도어개폐 내구시험 조건의 100,000 사이클을 초과하므로 안전한 것으로 나타났다.

설계개선안 Case 3의 해석 결과로서, Fig. 12(a)는 브래킷핀의 응력집중부 근처에서의 von Mises 등가응력 분포를 나타낸다. 최대응력은 브래킷핀의 아래쪽 원판과 원통이 만나는 필렛에서 발생하였으며, 264.1 MPa로서 Case 2(285.7 MPa)보다 감소하였다. Case 3의 응력해석 결과로부터 ANSYS에서 Goodman 이론을 사용하여 피로수명을 계산한 결과를 Fig. 12(b)에 나타내었는데, 응력집중부의 피로수명은 내구한도(endurance)인 10⁶ 사이클로 나타나 도어개폐 내구시험 조건의 100,000 사이클에서 안전하며 무한수명을 보이는 것으로 판단된다.

이상에서 기술한 바와 같이, 본 연구는 이미 개발이 많이 진행된 링크 구조의 설계는 크게 변경하지 않으면서 브래킷핀의 파손을 방지하기 위한 최선의 설계개선안을 도출하고 평가한 점이 의의가 있다고 판단된다.

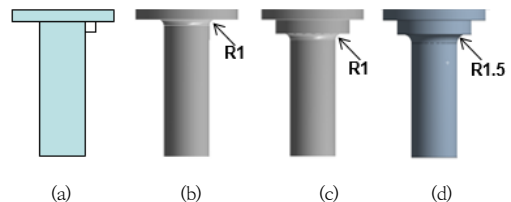
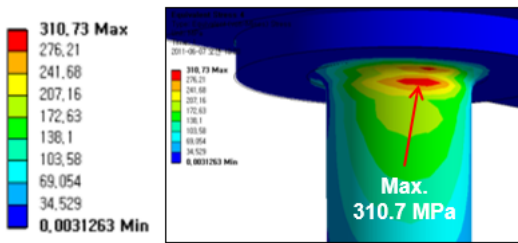
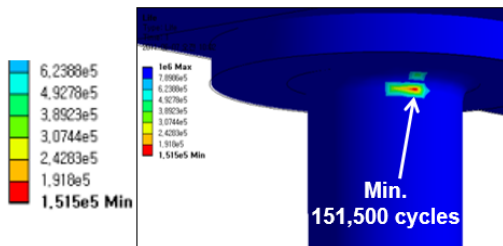


Fig. 9. Cases of design improvement of bracket pin (a) Initial design (b) Case 1 (c) Case 2 (d) Case 3

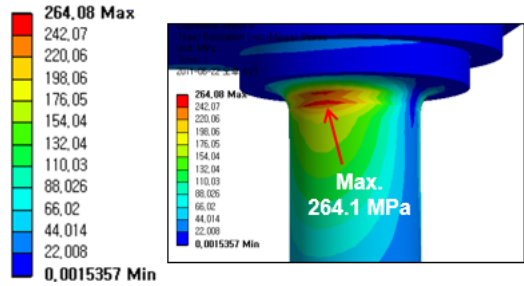


(a)

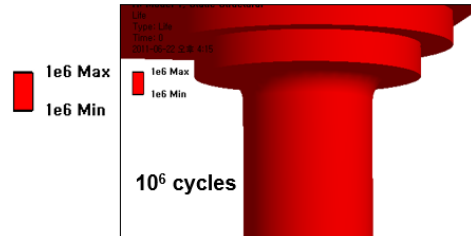


(b)

Fig. 10. Results of analysis of improved design Case 1
(a) von Mises equivalent stress(Seqv) (b) fatigue life

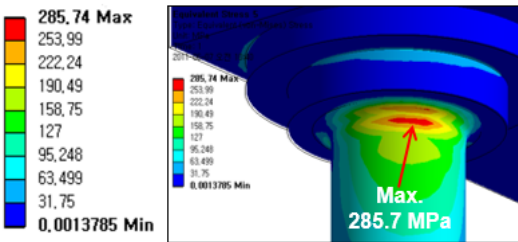


(a)

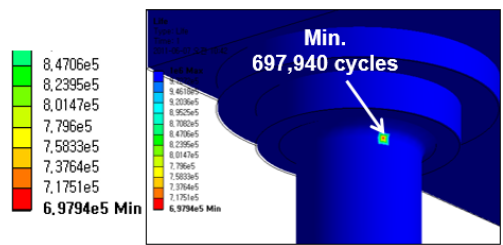


(b)

Fig. 12. Results of analysis of improved design Case 3
(a) von Mises equivalent stress(Seqv)
(b) fatigue life



(a)



(b)

Fig. 11. Results of analysis of improved design Case 2
(a) von Mises equivalent stress(Seqv) (b) fatigue life

4. 결론

빌트인 양문형 냉장고의 개발과정에서 대두된 댄핑힌지 브래킷핀의 파손 원인을 규명하고 파손방지를 위한 설계개선안을 제시하였다. 본 연구에서 도출된 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

빌트인 양문형 냉장고의 댄핑힌지 초기설계안에 대하여 유한요소해석을 수행하여 도어를 최대개방각도까지 열 때 발생하는 응력과 피로수명을 해석하고 안전성을 평가하였다. 초기설계안에서는 브래킷핀에서 원통과 상부원판이 90° 각도를 이루는 부위에서 응력집중이 발생하였고, 최대응력이 브래킷핀 재질 S20C의 항복강도를 초과하였다. 이 최대응력 위치는 시작품의 도어개폐 내구 시험 시에 파손된 브래킷핀의 부위와 일치하였으며, 계산된 피로수명도 내구시험 결과와 정합성이 있는 것으로 나타났다.

브래킷핀의 초기설계안에서 나타난 응력집중을 완화하기 위하여 3가지 설계개선안 Case 1~3을 도출하고 해석하여 평가하였다. Case 1에서는 브래킷핀의 원판과 원통 사이에 초기설계안에는 없는 필렛을 삽입함으로써 초

기설계안에서 나타난 응력집중을 저감시켜, 도어가 최대 개방각도까지 열렸을 때 브래킷핀에서 소성변형이 발생하지 않고 도어개폐 내구시험 조건인 100,000 사이클보다 큰 피로수명을 얻었다. Case 2에서는 원판을 2단으로 변경하고 필렛을 삽입함으로써, Case 1에 비해 응력집중을 더 저감시키고 더 큰 피로수명을 얻었다. Case 3에서는 Case 2에 비해 필렛의 반경을 더 증가시킴으로써, Case 2에 비해 응력집중을 더 저감시키고 무한수명을 얻었다.

결론적으로 설계개선안은 브래킷핀 상부의 원판을 2단으로 변경하고 반경이 큰 필렛을 삽입한 Case 3이 가장 우수한 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] G. W. Kang, *A Study and Analysis for the Improvement of Door Height Difference of the Side-by-Side Refrigerator*, Master's thesis, Pusan National University, Busan, Korea, 2008.
- [3] M. S. Lee, *A Study of Optimization of the Load Supporting Structure in the Side-by-Side Refrigerator*, Master's thesis, Pusan National University, Busan, Korea, 2008.
- [4] L. Weng, J. D. Yun, Y. H. Jung, "Development of the Auto Leveling Mechanism for Side-by-Side Refrigerator Doors," *J. of KAIS*, Vol.13, pp.3165-3174, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.7.3165>
- [5] M. J. Jang, *A Study and Analysis for the Improvement of Door Height Difference of the Side-by-Side Refrigerator*, Master's thesis, Pusan National University, Busan, Korea, 2010.
- [6] J. H. Kim, *A Study Regarding Supporting Structure of Refrigerator to Minimize a DHD between Each Door at the Uneveled Floor Condition*, Master's thesis, Pusan National University, Busan, Korea, 2015.
- [7] B. Y. Lee, "Structural Analysis of Cabinet of Built-in Side-by-Side Refrigerator and Evaluation of Door Height Difference and Door Flatness Difference," *J. of KSMPE*, Vol.17, No.2, pp.30-36, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.2.030>
- [8] B. Y. Lee, "Analysis of Door Height Difference and Door Flatness Difference of Built-in Side-by-Side Refrigerator Using Cabinet-Door Integrated Model," *J. of KSMPE*, Vol. 17, No. 5, pp. 76-83, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.5.076>
- [9] B. Y. Lee, "Structural Analysis of Built-in Side-by-Side Refrigerator with Ice Dispenser and Home Bar and Evaluation of Door Differences and Gasket Gap," *J. of KAIS*, Vol.19, No.9, pp.465-473, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.9.465>
- [10] B. Y. Lee, "A Study on Evaluation and Improvement of Sealing Performance of Duct Cap Assembly for Ice Dispenser By Nonlinear Contact Problem Analysis," *J. of KSMPE*, Vol.17, No.2, pp.37-46, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.2.037>
- [11] B. Y. Lee, "A Study on Analysis and Design Improvement of Opening Angle of Duct Cap of Ice Dispenser for Refrigerator," *J. of KAIS*, Vol.19, No.5, pp.672-680, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.5.672>
- [12] B. Y. Lee, "Stress Analysis and Design Improvement to Prevent Failure of Damping Hinge for Built-in Refrigerator," *J. of KSMPE*, Submitted, 2019.
- [13] *ANSYS User's Manual*, Revision 11.0, ANSYS Inc., 2007.
- [14] JIS Handbook 1-2: Steel II, Japanese Standards Association, 2000.
- [15] J. E. Shigley, *Mechanical Engineering Design*, 3rd Ed., International Student Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, 1977, pp.178-194.

이 부 윤(Boo-Youn Lee)

[정회원]



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

<관심분야>

최적설계, 구조설계, 전산응력해석 등