

다구찌 기법을 이용한 3 문형 냉장고 서랍용 롤러 레일의 설계

Design of a Roller Rail for the Drawer of Three-Door Refrigerators Using Taguchi Method

이부윤^{1,✉}, 김제현²
Boo Youn Lee^{1,✉} and Je Hyun Kim²

¹ 계명대학교 기계자동차공학부 (School of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung Univ.)

² 계명대학교 대학원 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Keimyung Univ.)

✉ Corresponding author: bylee@kmu.ac.kr, Tel: 053-580-5922

Manuscript received: 2008.11.5 / Accepted: 2009.3.2

Optimal design of a roller rail which replaces the ball rail for three-door refrigerators is presented using the finite element analysis and the Taguchi method. Stress and deformation of the roller rail for an initial design are analyzed and evaluated. Optimal design parameters are determined using the Taguchi method. The maximum stress of the optimal design is favorably reduced comparing to the initial design. It is verified through an additional analysis that the drawer on the roller rail will not be derailed even if one opens the drawer with a transverse force.

Key Words: Three-door Refrigerator (3 문형 냉장고), Pantry Drawer (식료품실 서랍), Roller Rail (롤러 레일), Taguchi Method (다구찌 기법), Optimal Design (최적설계)

1. 서론

생활수준 향상과 더불어 가정용 대형 냉장고에 대한 선호도가 높아져 왔으며 근래에는 좌측에는 냉동실을, 우측에는 냉장실을 갖춘 양문형(side-by-side type) 냉장고가 애용되고 있다. 그리고 최근에 들어서는 서구에서 인기가 높은 3 문형(three-door type) 냉장고도 국내에서 많이 판매되고 있는 추세이다. 3 문형 냉장고는 상부에 위치한 냉장실에 좌우 2 개의 도어(door)가 있고, 하부에 위치한 냉동실에 1 개의 도어가 있는 구조를 갖는다. 3 문형과 양문형 냉장고는 사용 효율을 극대화시키기 위하여 냉장실과 냉동실 벽면에 부착된 슬라이드 레일(slide rail)을 사용하여 열고 닫는 다양한 서랍(drawer) 칸을 두고 있다. 이러한 슬라이드 레일의 작동성과 내구성, 안정성 등도 소비자들의 선택에 영향을 미치는 중요한 문제로 자리잡게 되었다.

일반적으로 3 문형 냉장고의 냉장실 하단에는 폭이 넓은 식료품실(pantry) 서랍이 위치하고 있어, 주로 대형 피자 등과 같이 폭이 넓고 두께가 두껍지 않은 식품을 보관하는 용도로 사용할 수 있다. 기존의 식료품실 서랍은 여닫을 때 볼 레일(ball rail)로 동작하는 방식을 사용해 왔다. 볼 레일은 냉장고 내벽에 부착된 바깥쪽 부재와 서랍에 부착된 안쪽 부재가 여러 개의 금속 볼들로 지지되어 있어 서랍을 여닫으면 볼들이 회전하면서 안쪽 부재가 전후로 이동함에 따라 서랍이 여닫히는 방식으로 동작한다. 볼 레일의 경우 두 부재가 여러 개의 볼들에 의한 점접촉으로 지지되어 있어 마찰이 작고 소비자들이 느끼기에 상당히 부드러운 느낌을 주므로 서랍을 여닫을 수 있으나, 견고한 금속 부재와 볼들로 제작되므로 제조 원가가 비싼 편이다. 따라서 볼 레일을 대체하기 위한 새로운 방식의 레일 개발이 필요하게 되었다. 책상 등의 가구의

서랍에서 널리 사용되는 플라스틱 재질의 롤러를 사용하는 롤러 레일(roller rail)은 볼 레일에 비해서 구조가 간단하고 제조비도 저렴한 장점을 갖는다. 서랍에서 사용되는 이러한 롤러 레일을 식료품실 서랍에 적용하여 레일을 설계하기 위하여 이 연구를 시작하게 되었다.

그 동안 발표된 냉장고의 구조설계 및 기구설계 관련 연구는 다음과 같다. Keum¹은 다구찌 기법을 사용한 냉장고의 충격해석 및 내충격 완충포장설계 방안을 제시하였다. Shin과 Chae²는 실험을 통하여 양문형 냉장고에서 도어의 단차에 미치는 각 인자의 영향을 연구하였다. Lee³는 해석적 방법으로 양문형 냉장고 도어의 단차를 평가하고 이를 저감시키기 위한 방안을 제시하였다. Lee⁴는 양문형 냉장고의 설치조건에 따른 도어의 단차 및 하중 지지 구조에 대하여 연구하였다. 이와 같이 기존의 연구는 주로 내충격 포장설계 및 양문형 냉장고 도어의 단차 저감에 초점이 맞추어져 왔다.

기존의 냉장고 기구설계는 주로 경험에 의존하여 설계하고, 시작품에 대한 내구시험을 통하여 평가하고, 결과가 만족스럽지 않으면 새로운 시작품을 만드는 시행착오 방식으로 진행해 왔다. 그러나 CAE(Computer Aided Engineering)와 실험계획법 등의 효율적이고 체계적인 방법을 이용함으로써 저비용으로 보다 경제적인 설계결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 3 문형 냉장고의 식료품실 서랍용 볼 레일을 대체하는 롤러 레일의 개발 단계에서 대두된 롤러 레일의 응력과 변형량 평가를 다루고, 레일의 주요 치수를 다구찌 기법(Taguchi method)⁵을 이용하여 설계하고 평가하고자 한다.

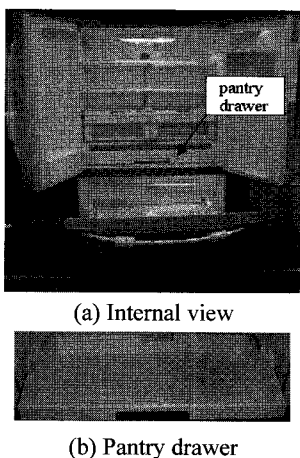


Fig. 1 Photograph of a three-door refrigerator

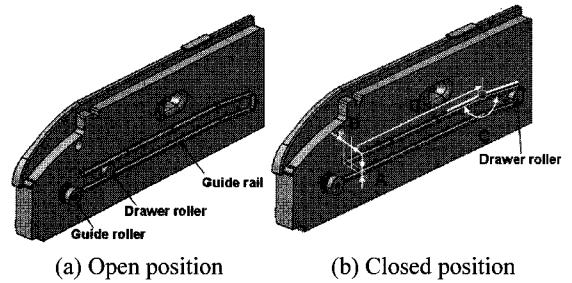


Fig. 2 Left guide-bracket

2. 롤러 레일의 초기설계안

3 문형 냉장고의 내부 구조를 Fig. 1의 사진에 나타내었는데, 냉장실 하단에 위치한 폭이 넓은 식료품실 서랍을 볼 수 있다. 이 식료품실 서랍은 플라스틱 재질로서, 서랍 내에 넣을 수 있는 내용물의 최대 중량은 20kg이다. 기존의 볼 레일을 대체하기 위해, Fig. 2와 같이 냉장실 좌우의 내벽에 부착되는 한 쌍의 가이드브라켓(guide-bracket)에 가이드레일이 일체형 플라스틱 사출물로 제작되도록 하는 롤러 레일의 형상을 고안하였다.

Fig. 2에 표시된 앞쪽 롤러는 가이드롤러(guide roller)로서 브라켓에 고정된 상태에서 서랍에 부착된 서랍레일(drawer rail)을 지지하면서, 서랍을 여닫을 때 회전만 한다. 뒤쪽 롤러는 서랍롤러(drawer roller)로서 서랍에 부착되고 상하 두 줄의 가이드레일(guide rail) 사이에 끼워져서 조립된 상태에서, 서랍을 여닫을 때 서랍과 함께 가이드레일을 따라서 굴러다니는 역할을 한다. Fig. 2(a)와 (b)에 표시된 서랍롤러의 위치는 각각 서랍이 최대한 열린 경우와 완전히 닫힌 경우의 위치를 가리킨다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 레일은 후방 끝 부분이 아래로 경사지게 꺾어져 있는데, 이는 서랍을 닫기 위해 미는 힘을 가할 때 서랍이 완전히 닫히기 직전에 레일 경사부를 따라 떨어지면서 부드럽게 닫히도록 하기 위한 것이다.

가이드레일의 치수를 정의하는 설계인자는 Fig. 2(b)에 표시한 바와 같이 레일의 두께 A, 레일의 폭 B, 레일의 후방 경사각 C, 전방에서 경사구간까지의 거리 D로 정의할 수 있다. 초기설계안에서 A는 2.8mm, B는 8mm, C는 174.29°, D는 244.75mm로 설정하였다. 가이드브라켓 재질은 MI-750 MIPS로서 탄성계수가 2.6 GPa, 프와송 비가 0.35, 항복강도는 68.7MPa이다. 가이드롤러와 서랍롤러의 재질은 POM으로서 탄성계수가 2.4GPa, 프와송

비가 0.35, 항복강도는 40.3MPa이다.

서랍을 열고 닫으면 서랍롤러의 위치가 변하므로 레일에 전달되는 하중조건이 다르게 된다. 초기설계안의 해석에서는 서랍이 최대로 열린 경우와 닫힌 경우를 각각 선형 탄성 해석을 수행하여 응력과 변형량을 평가하였다. 해석 프로그램으로는 ANSYS⁶를 사용하였으며, 유한요소 모델을 Fig. 3과 같이 생성하였다. 전체 모델은 서랍을 지지하는 가이드롤러, 서랍롤러, 가이드브라켓의 세 부분으로 나누어 구성된다. 유한요소는 ANSYS의 SOLID92 요소인 10 절점 2 차(quadratic) 사면체 요소로 생성하였다. 전체 모델의 절점 수는 19,508개이고, 요소 수는 67,242개이다. Fig. 3에서 확대된 사각형 부분은 롤러를 나타내며, 서랍이 열린 경우와 닫힌 경우는 서랍롤러의 요소 위치가 그림과 같이 서로 다르게 위치하게 된다. 롤러와 레일이 닿는 구간은 수직방향 변위를 선형연계(coupling)시키는 방식으로 조립하였다. 후면의 원 부분은 내벽에 끼워지거나 볼트체결되는 부분임을 고려하여 완전구속 경계조건으로 설정하고, 후면에서 내벽과 닿는 구간은 내벽에 수직인 방향의 변위를 구속하였다.

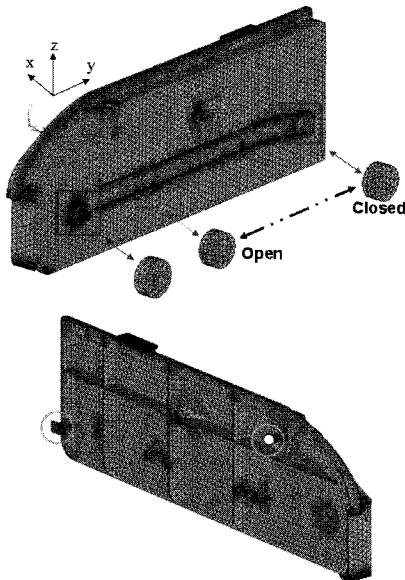


Fig. 3 Finite element model

가이드브라켓에 가해지는 하중은 서랍 위치에 따라 달라진다. 서랍이 열린 경우와 닫힌 경우에 대하여 Fig. 4에 보인 바와 같이 두 롤러로 지지되

는 서랍의 자유물체도에 정적 평형을 적용하여, 가이드롤러(A 위치)에 가해지는 힘 F_A 와 서랍롤러(B 위치)에 가해지는 힘 F_B 를 각각 계산하였다.

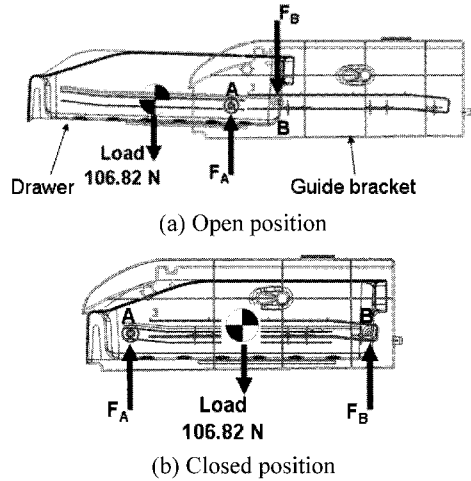
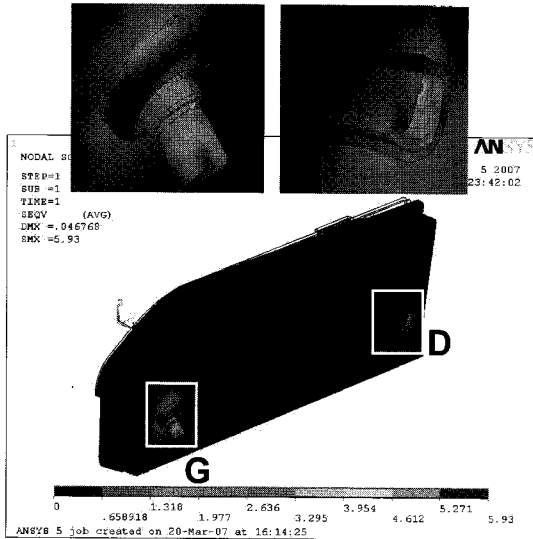


Fig. 4 Free body diagram of the drawer

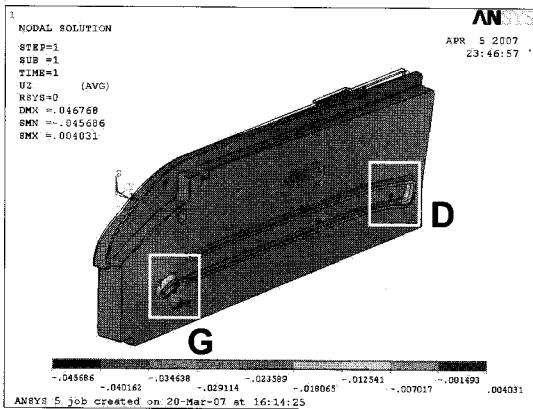
Fig. 4의 자유물체도에서 하중 106.82N(10.9kgf)은 서랍과 내용물을 합한 질량인 21.8kg이 좌우의 두 가이드브라켓에 절반씩 나뉘어 가해지는 것을 고려하여 결정되었다. 정적 평형조건을 적용한 결과 F_A , F_B 는 서랍이 열린 경우에는 각각 267.1N, 160.2N이고, 닫힌 경우에는 각각 59.3N, 47.5N으로 계산되었다. 서랍이 롤러의 중심축에 끼워져서 이동하기 때문에 하중 F_A , F_B 는 롤러의 중심선 상에 위치한 절점들에 집중하중으로 가하였다.

생성된 초기설계안의 유한요소 모델을 사용하여 ANSYS를 이용하여 해석을 수행하였으며, Fig. 5와 6은 각각 서랍이 닫힌 경우와 열린 경우의 해석 결과 계산된 가이드브라켓의 von Mises 유효응력과 z축방향 변위 분포를 나타낸다. Fig. 5와 6에서 G 위치와 D 위치는 각각 가이드롤러와 서랍롤러가 부착된 위치를 나타내는데, 두 위치의 레일에서 응력과 변위의 피크값이 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 5(a)에서 볼 수 있듯이, 닫힌 경우의 von Mises 유효응력은 G 위치에서 5.9MPa, D 위치에서 1.7MPa로서 항복강도 68.7MPa보다 매우 작다. Fig. 5(b)에서 볼 수 있듯이, 닫힌 경우의 z축방향 변위 u_z 는 G 위치에서 -0.05mm, D 위치에서 -0.01mm이다. z축방향 변위에서 음수는 아래방향변위를 나타낸다.



(a) von Mises stress

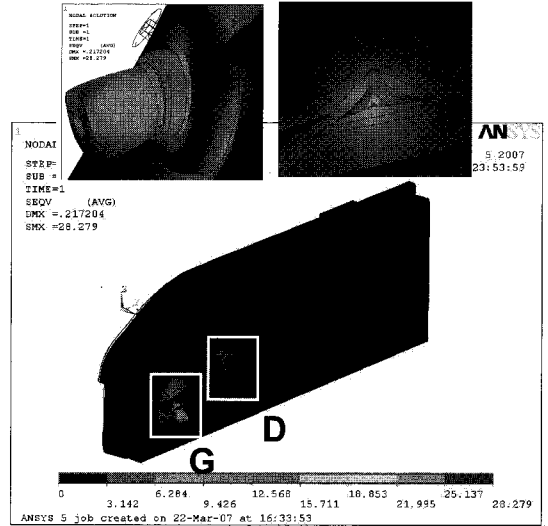


(b) Displacement u_z

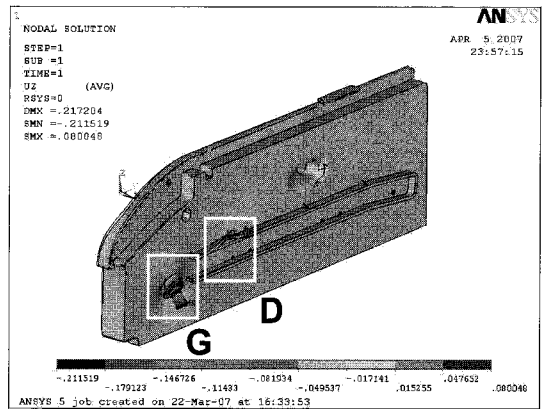
Fig. 5 Results of the initial design for the closed position

Fig. 6(a)에서 볼 수 있듯이, 열린 경우의 von Mises 유효응력은 G 위치에서 28.3MPa, D 위치에서 13.3MPa 로서 닫힌 경우보다는 증가하지만 항복강도 68.7MPa 보다 작다. Fig. 6(b)에서 볼 수 있듯이, 닫힌 경우의 z 축방향 변위 u_z 는 G 위치에서 -0.21mm, D 위치에서 0.08mm 이다. 서랍이 열린 경우에는 D 위치의 뒤쪽 롤러(서랍롤러)가 레일과 닿아서 서랍이 빠져 나오는 것을 방지하기 때문에 D 위치의 레일 변위가 양으로 나타났다.

이와 같이 초기설계안의 해석결과 서랍이 열린 경우가 닫힌 경우보다 더 중요하며, 두 경우 모두에서 가이드롤러 위치 G 의 응력과 변위가 서랍롤러 위치 D 보다 더 큰 것으로 나타났다.



(a) von Mises stress



(b) Displacement u_z

Fig. 6 Results of the initial design for the open position

일반적으로 사용자가 냉장고 서랍을 반복하여 여닫는 과정에서 파손과 영구변형 등으로 인하여 문제점이 발생하지 않는지를 확인하기 위하여 제품개발 시에 시작품에 대한 서랍개폐시험을 거치게 된다. 비록 초기설계안에서의 최대응력이 항복강도보다 낮게 나타났지만, 시작품을 제작하기 이전의 설계단계에서 가능한 한 최대응력을 최소화하는 노력이 필요하다. 따라서 본 연구에서 가이드레일의 치수 최적설계를 통하여 최적의 설계인자를 결정하고자 하며, 초기설계안의 해석결과로부터 판단하면 이는 곧 가이드롤러 위치 G 에서의 응력을 최소화하는 것이 된다. 가이드레일의 치수 최적설계를 위하여 실험계획법의 일종인 다구적

기법⁵을 사용하였다.

3. 다구찌 기법을 이용한 최적설계

다구찌 기법^{5,7}을 적용하려면, 먼저 제품 기능의 기준이 되는 특성치를 평가특성으로 선정하게 된다. 구조설계 문제에서 평가특성은 응력, 변위, 무게 등을 고려할 수 있다. 다음은 설계인자를 선정하는데, 구조설계 문제에서 설계인자는 제품의 치수와 형상 등을 고려할 수 있으며, 각 설계인자가 가질 수 있는 값의 범위를 분할하여 여러 개의 수준(level)으로 정의한다. 설계인자와 수준을 선정한 후에는 실험(또는 해석)을 실시하여 평가특성을 구하게 된다. 이 때 설계인자와 수준의 수를 고려하여 적절한 직교배열표(orthogonal array)를 선정하고, 직교배열표에 배치된 경우에 대하여만 실험을 실시한다. 이와 같이 구한 평가특성으로부터 각 설계인자의 수준별 평균값을 계산할 수 있으며, 이를 통하여 각 설계인자에 대한 평가특성의 민감도와 영향도를 평가하여 최적의 설계인자를 결정할 수 있다. 본 연구에서 평가특성치는 가이드롤러 G 위치에서 발생하는 최대응력 σ_{max} 으로 정하였다. 설계인자는 Fig. 2(b)에 표시된 레일의 두께 A, 레일의 폭 B, 레일의 후방 경사각 C, 전방에서 경사구간까지의 거리 D의 네 가지이다.

Table 1 Level of design variables

Level \ Variable	1	2 (initial design)	3
A (mm)	1.8	2.8	3.8
B (mm)	7	8	9
C (°)	172.29	174.29	176.29
D (mm)	239.75	244.75	249.75

Table 2 L9 orthogonal array and results of experiments

Experiment no.	Level				σ_{max} (MPa)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	26.76
2	1	2	2	2	26.74
3	1	3	3	3	26.74
4	2	1	2	3	26.41
5	2	2	3	1	26.74
6	2	3	1	2	26.62
7	3	1	3	2	26.76
8	3	2	1	3	26.74
9	3	3	2	1	26.75

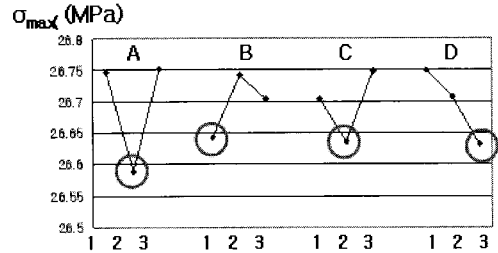


Fig. 7 Sensitivity graph

설계인자의 수준은 총 세 수준으로 정의하여 Table 1 과 같이 초기설계안을 수준 2 로 설정하고, 실현가능하면서 초기설계안보다 높은 값을 수준 3 으로, 낮은 값을 수준 1 로 설정하였다. 직교배열표는 선정된 설계인자를 배치하여 각 경우에 대한 해석을 실시하고 각 설계인자의 효과를 파악하는데 사용하는 것으로 최소의 실험으로 최대의 효과를 얻을 수 있다. 설계인자가 4 개이며 수준이 3 개일 때는 L9 직교배열표를 사용하는 것이 적당하다. 그래서 본 연구에서는 Table 2 와 같은 L9 직교배열표를 사용하였다. Table 2 의 마지막 열은 직교배열표에 따른 총 9 가지 실험 경우에 대하여 각 설계인자 수준을 반영하여 서랍이 열린 상태의 가이드브라켓을 해석하여 구한 평가특성치 σ_{max} 이다. 그리고 각 설계인자의 수준별로 특성치의 평균값을 계산하여 Fig. 7 에 설계인자에 대한 요인효과분석을 위한 민감도 선도를 나타내었다. 네 가지 설계인자에 대한 최적수준 선정에 있어서, 평가특성치인 σ_{max} 가 가장 작은 수준(Fig. 7 에 원으로 표시)을 선택하였다. 즉 설계인자 A 는 수준 2 를, B 는 1 을, C 는 수준 2 를, D 는 수준 3 을 각각 선정하였다. 설계인자들의 최적 수준을 초기설계안(수준 2)과 비교하면 레일의 두께 A, 레일의 후방 경사각 C 는 각각 2.8mm, 174.29°로 동일하고, 레일의 폭 B 는 8mm 에서 7mm 로 감소하고 전방에서 경사구간까지의 거리 D 는 244.75mm 에서 249.75mm 로 증가한 값이다.

요인효과 분석을 통한 최적설계 인자가 결정되면, 다구찌 기법의 예측값과 실제 실험에 의한 결과값의 비교를 통한 재현성 검토가 필요하다. 다음 식을 사용하여 예측값을 계산할 수 있다.

$$\hat{\mu}(A_2, B_1, C_2, D_3) = \bar{A}_2 + \bar{B}_1 + \bar{C}_2 + \bar{D}_3 - 3\bar{T} \quad (1)$$

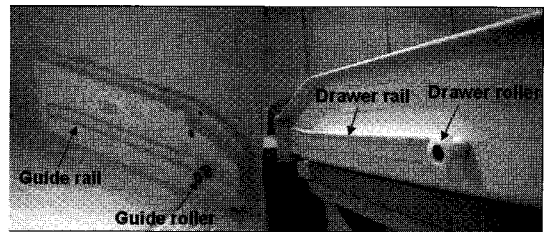
여기에서 $\hat{\mu}(A_2, B_1, C_2, D_3)$ 는 최적설계안에서 평가

특성치의 예측값을, A_2, B_1, C_2, D_3 는 각 설계인자의 해당 수준별 평가특성치의 평균값을, T 는 전체 실험에 대한 평가특성치의 평균값을 나타낸다. 이와 같이 계산된 평가특성치 σ_{max} 의 최적설계에서의 예측값은 26.4MPa 로서 초기설계안의 28.3 MPa 에 비해 6.7% 감소할 것으로 판단되었다.

도출된 최적설계안의 실제 개선효과를 평가하기 위하여 최적 설계인자를 사용하여 서랍이 열린 경우를 해석하였다. Fig. 8 은 최적설계안에서 서랍이 열린 경우의 해석 결과 계산된 가이드브라켓의 von Mises 유효응력과 z 축방향 변위 분포를 나타낸다. Fig. 8(a)에서 볼 수 있듯이, von Mises 유효응력은 G 위치에서 25.9MPa, D 위치에서 12.2MPa 로서, 최대응력은 초기설계안의 28.3MPa 에 비해 9.0% 감소하였다. Fig. 8(b)에서 볼 수 있듯이, z 축방향 변위 u_z 는 G 위치에서 -0.21mm, D 위치에서 0.09mm 로서, 최대변위는 초기설계안과 비슷한 수준으로

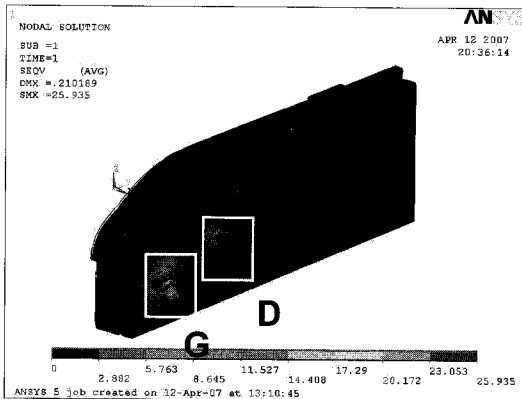
나타났다. 그리고 평가특성치인 G 위치에서의 응력 (σ_{max}) 25.9MPa 은 예측값 26.4MPa 대비 1.8%의 작은 오차를 나타내어 본 연구에서 도출한 최적설계의 재현성이 우수한 것으로 나타났다.

본 연구를 통하여 도출된 최적설계안에 따라 서랍과 레일의 시작품을 제작하였다. Fig. 9(a)는 가이드브라켓의 시작품이 냉장실에 설치된 것이고, Fig. 9(b)는 식료품실 서랍의 측면에 서랍롤러와 서랍레일이 장착된 것이다. 이 냉장고 시작품에 대하여 서랍에 부하물을 투입하여 서랍개폐시험을 실시한 결과 변형으로 인한 이상작동이나 파손이 발생하지 않는 만족스러운 결과를 얻었다.

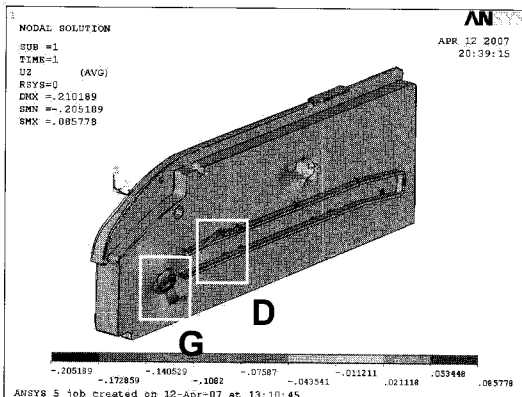


(a) Guide bracket (b) Pantry drawer

Fig. 9 Prototype of the optimal design



(a) von Mises stress



(b) Displacement u_z

Fig. 8 Results of the optimal design for the open position

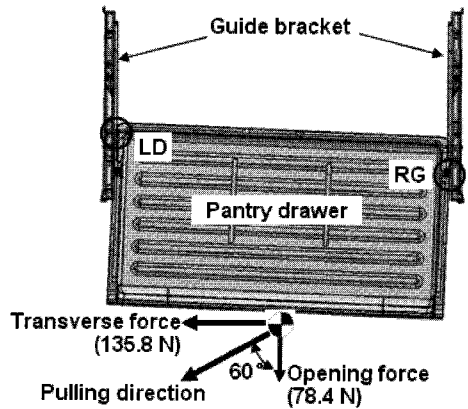


Fig. 10 Oblique pulling condition

4. 서랍의 레일 이탈 가능성 평가

롤러 레일은 서랍에 부착된 서랍롤러와 가이드 레일에 부착된 가이드롤러가 회전하면서 서랍이 개폐된다. 롤러가 마찰이 없이 부드럽게 회전할 수 있도록 하기 위하여 서랍과 가이드롤러 사이, 그리고 가이드브라켓과 서랍롤러 사이에는 각각 어느 정도의 유격(clearance)이 존재한다. 만약 Fig.

10 에 나타낸 바와 같이 서랍을 개방할 때 서랍의 전면 방향뿐만 아니라 횡방향으로도 동시에 힘을 가하면 이 유격 때문에 서랍이 회전하게 되면서 서랍이 가이드브라켓으로부터 이탈할 가능성이 존재한다. 따라서 레일의 설계안에 대해서 횡방향 성분을 갖는 개방력에 대한 서랍의 이탈 가능성을 평가할 필요가 있으므로, 이 장에서는 설계단계에서 이를 미리 평가하기 위한 체계적인 방법을 제시하고자 한다.

서랍에 부하물이 있는 상태에서 전면 방향으로 서랍을 당겨서 여는데 필요한 힘의 크기는 손잡이에 로드셀(load cell)을 부착하여 측정된 결과 78.4N 으로 나타났으며, 이 힘은 서랍을 열기 위해 필요한 개방력이다. 서랍의 이탈 가능성 평가를 위한 하중 조건은 Fig. 10 과 같이 서랍이 완전히 열린 위치에 있을 때 전면 방향에서 좌측 방향으로 60° 경사의 극악한 조건으로 당기는 힘을 가하는 경우로 설정하였다. 60°경사 방향으로 힘을 가할 때의 전면 방향 힘(opening force) 성분의 크기는 개방력 78.4N 을 사용하였다. 결과적으로 횡방향 힘(transverse force) 성분은 135.8N 으로 계산되며, 이탈 가능성을 평가하기 위한 하중으로 이 횡방향 힘을 사용하였다.

서랍과 가이드롤러, 그리고 가이드브라켓과 서랍롤러 사이의 유격이 크게 변하여 레일의 폭보다 커지면 롤러가 레일에서 이탈하게 된다. 이 유격에 영향을 미치는 요소로는 냉장고 작동시의 냉장실의 열변형에 의한 가이드브라켓 위치변화로 인한 유격변화량, 서랍이 완전히 열려 있는 상태에서 서랍의 강체회전으로 인한 유격변화량과 횡방향 하중으로 인한 가이드브라켓 변형이 유발하는 유격변화량이 큰 비중을 차지한다. 이러한 세 가지의 유격을 합산한 결과값을 사용하여 가이드레일에서의 서랍롤러 이탈과 서랍레일에서의 가이드롤러 이탈 가능성을 평가하고자 한다.

도출된 설계안에서 서랍롤러를 지지하는 가이드레일의 폭은 7mm 이고, 가이드롤러를 지지하는 서랍레일의 폭은 8mm 이다. Fig. 11(a)에 표시된 것과 같이 서랍이 조립되어 레일에 잘 정렬된 초기 조건에서 가이드브라켓의 외면과 서랍롤러 사이의 유격은 2.30mm 이고, 가이드롤러와 서랍 외면 사이의 유격은 2.60mm 이다. 좌측방향으로 횡방향 힘이 가해져서 Fig. 10 과 같이 서랍이 시계방향으로 강체회전하여 서랍의 좌측면과 우측면이 가이드브라켓과 닿을 때의 유격(Fig. 10 의 LD 와 RG

위치)은 기하학적으로 계산 또는 CAD 프로그램에서 좌표변환으로 구할 수 있으며, Fig. 11(b)에 표시한 바와 같이 서랍의 강체회전 후에 좌측의 서랍롤러와 가이드브라켓 사이의 LD 위치 유격은 초기의 2.30mm 에서 4.11mm 로 증가되며, 우측의 가이드롤러와 서랍 사이의 RG 위치 유격은 초기의 2.60mm 에서 3.38mm 로 증가된다.

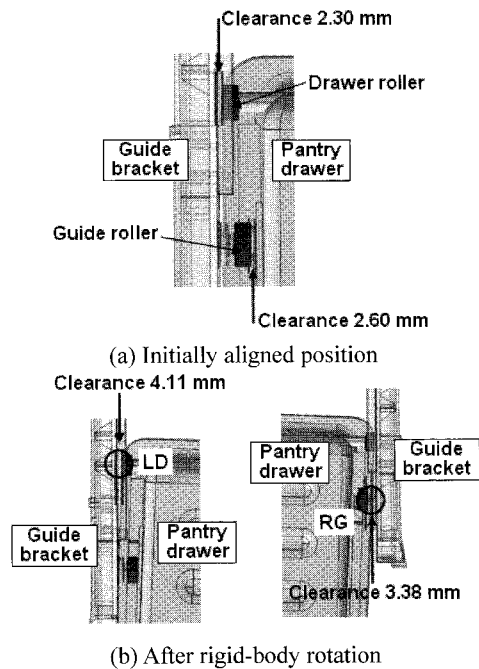


Fig. 11 Clearance at roller location

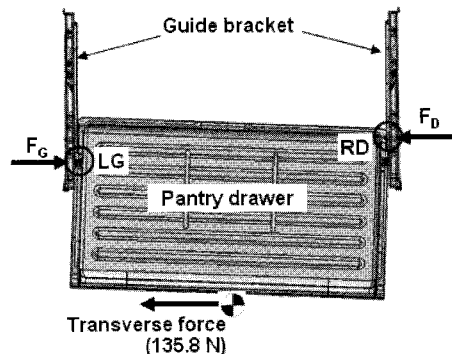


Fig. 12 Free body diagram under transverse force

Fig. 12 와 같이 서랍이 강체회전된 상태에서 횡방향 하중 135.8N 이 가해질 경우에는 서랍이 위치 LG 의 가이드롤러와 위치 RD 의 서랍롤러로 지지되므로, 자유물체도에 정적 평형을 적용하여 가

이드롤러(LG)에 가해지는 힘 F_G 와 서랍롤러(RD)에 가해지는 힘 F_D 를 각각 계산하였다. F_G, F_D 는 각각 737.2N, 601.4N 으로서, 이 힘들은 서랍이 열린 상태에서 횡방향 힘을 받을 때 Fig. 13 에 표시한 것과 같이 가이드롤러 위치에 가해지는 압축력 F_G 혹은 서랍롤러를 통하여 가해지는 압축력 F_D 로 가이드브라켓에 작용하게 된다.

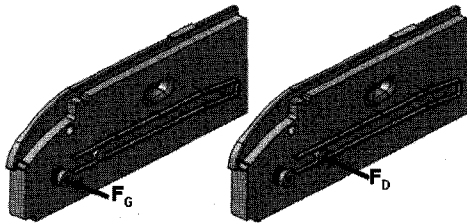
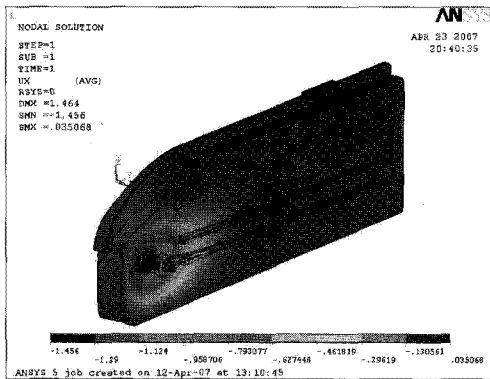
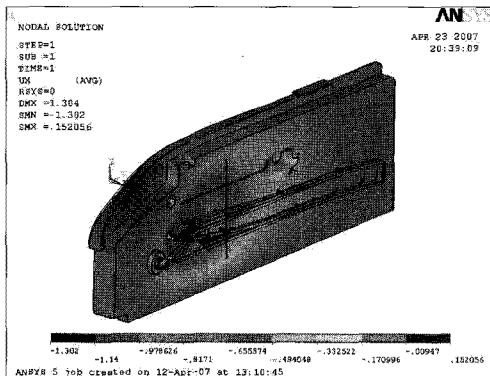


Fig. 13 Force on the guide bracket under transverse force



(a) F_G



(b) F_D

Fig. 14 Transverse displacement under transverse force

이와 같이 구한 횡방향 하중에 의한 압축력 F_G 혹은 F_D 및 제 2 장의 부하를 하중에 의해 가이드

롤러에 가해지는 힘 F_A 와 서랍롤러에 가해지는 힘 F_B (Fig. 4 참조)를 함께 가하여 가이드브라켓을 해석하였다. Fig. 14(a)는 가이드롤러 위치에 압축력 F_G 가 가해졌을 때의 해석 결과이며, Fig. 14(b)은 서랍롤러 위치에 압축력 F_D 가 가해졌을 때의 횡방향(x 축방향) 변위 분포 결과이다. 가이드롤러에 압축력 F_G 가 가해졌을 때 가이드롤러 위치의 횡방향 최대변위는 1.46mm 이며, 서랍롤러 위치의 횡방향 최대변위는 0.21mm 이다. 서랍롤러에 압축력 F_D 가 가해졌을 때 가이드롤러 위치의 횡방향 최대변위는 0.28mm 이며, 서랍롤러 위치의 횡방향 최대변위는 1.30mm 이다. 횡방향 힘에 의한 해석 결과를 유격변화량의 관점에서 기술하자면, 유격변화량이 Fig. 10 의 LD 위치에서는 0.21mm 이고 RG 위치에서는 0.28mm 로 요약된다.

한편, 냉장고의 가동 조건에 따라서 냉장고의 내벽이 열변형으로 인하여 팽창 또는 수축하며, 팽창시에는 내벽에 부착된 좌우 두 가이드브라켓의 위치가 바깥쪽으로 이동하여 서랍과의 유격에 영향을 미치게 된다. 이러한 열변형으로 인한 유격변화량을 구하기 위하여 저온방치 시험조건에서 가동시에 냉장실 내벽의 열변형량을 측정하였다. 저온방치 시험은 항온 항습 챔버 내에서 냉장실과 냉동실을 각각 1°C 와 -21°C 로 유지하며 10 일간 가동시키는 극한 시험이다. 시험 결과, 식료품실 서랍 위치에서 냉장실 폭의 변화량은 내벽 전면 위치에서는 2.7mm, 내벽 후면 위치에서는 0.4mm 로 측정되었다. 이탈 가능성 평가에서의 서랍 조건은 열린 상태이므로 냉장실 전면 위치의 폭 변화량인 2.7mm 을 고려하고, 대칭성을 감안하면 내벽의 폭 변화량의 절반인 1.35mm 가 열변형으로 인한 유격변화량에 해당된다.

이상의 결과를 종합하여 Table 3 에 정리하였다. Table 3 에 기술된 바와 같이 서랍롤러와 가이드브라켓 사이의 LD 위치의 유격은 합이 5.67mm 이며, 서랍롤러를 지지하는 가이드레일의 폭 7mm 는 이보다 1.33mm 만큼 작으므로 서랍롤러가 가이드레일에서 이탈하지 않는다. 그리고 가이드롤러와 서랍 사이의 RG 위치의 유격은 합이 5.01mm 이며, 가이드롤러를 지지하는 서랍레일의 폭 8mm 는 이보다 2.99mm 만큼 작으므로 가이드롤러가 서랍레일에서 이탈하지 않는다. 따라서 식료품실 서랍을 전면 방향에 경사진 방향으로 힘을 주어 당기더라도 롤러가 레일에서 이탈하지 않을 것으로 판단된다.

Table 3 Evaluation of possibility of roller derailment

Roller	Width of rail (mm)	Change of clearance(mm)			Sum (A+B+C)
		Rigid-body rotation (A)	Guide bracket deform. (B)	Thermal deform. (C)	
Left drawer roller (LD)	7.00 (Guide rail)	4.11	0.21	1.35	5.67
Right guide roller (RG)	8.00 (Drawer rail)	3.38	0.28	1.35	5.01

이 장에서 기술된 방법을 사용하면 롤러 레일 개발단계에서 서랍의 이탈 가능성을 체계적으로 평가할 수 있으며, 이를 통하여 설계안을 효율적으로 도출할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 3 문형 냉장고의 냉장실용 식료 품실 서랍용 볼 레일을 대체하는 롤러 레일의 해석과 최적설계 문제를 제시하고 평가하였다.

롤러 레일의 초기설계안을 해석하여 응력과 변형량을 평가하였으며 레일의 최적설계를 위한 평가특성치로 최대응력을 도출하였다. 최적설계를 위한 설계인자를 선정하고 평가특성치의 민감도를 평가하여 최적설계안을 도출하였으며 초기설계안에 비하여 레일의 폭이 감소되고 경사구간까지의 거리가 증가된 최적설계안을 도출하였다. 최적설계에서의 최대변위는 초기설계안과 비슷한 수준으로, 최대응력은 초기설계안에 비해 9% 감소하였다.

추가적으로, 횡방향 힘을 가하여 서랍을 당길 때의 롤러의 레일 이탈 가능성 평가를 위한 체계적 방법을 제시하였다. 냉장실의 열변형에 의한 가이드브라켓 위치변화로 인한 유격변화량, 서랍의 강제회전으로 인한 유격변화량과 횡방향 하중으로 인한 가이드브라켓 변형이 유발하는 유격변화량을 합산하여 레일에서의 롤러 가능성을 평가하였다.

본 연구에서 제시된 방법을 사용하면, 냉장고 서랍용 롤러 레일 개발시에 체계적이고 효율적으로 보다 경쟁력을 갖춘 설계안을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Keum, D. H., "Optimal Design for Cushioning Package of a Heavy Electronic Product Using the Drop Impact Analysis," M.S. Thesis, Dept. of Automotive Engineering, Keimyung University, 2003.
2. Shin, K. C. and Chae, S. W., "A Study on the Door Height Difference of the SBS Refrigerator," Proceedings of Autumn Conference of Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 528-533, 2004.
3. Lee, C. L., "A Study on the Evaluation and Decrease of Door Height Difference of the Side-by-Side Refrigerator," M.S. Thesis, Dept. of Refrigeration Air-Conditioning and Energy System, Busan University, 2007.
4. Lee, M. S., "A Study of Optimization on the Load Supporting Structure in the Side-by-Side Refrigerator," M.S. Thesis, Dept. of Refrigeration Air-Conditioning and Energy System, Busan University, 2008.
5. Taguchi, G., "Taguchi Methods," ASI press, 1992.
6. ANSYS Inc., "ANSYS User's Manual, Revision 6.2," ANSYS Inc., 2002.
7. Lee, B. Y. and Lee, H. W., "Shape Optimal Design of an Automotive Pedal Arm Using the Taguchi Method," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 76-83, 2007.