양문여닫이 냉장고에서 도아의 단차영향 연구

신광철† · 채수원*

A Study on the Door Height Difference of the SBS Refrigerator

Kwang-Cheol Shin† , Soo-Won Chae*

Key Words : SBS Refrigerator (양문여닫이 냉장고), Door Height Difference(도아단차), Cabinet Deformation (캐비넷 변형), Flatness(평탄도), Finite Element Analysis(유한요소해석)

Abstract

This paper deals with the issue of door height difference (DHD) which occurs for SBS refrigerator necessarily. In order to identify the cause of DHD, analysis of refrigerator structure and entire process from door manufacturing to usage have been investigated. From diverse experiments, it was found that the flatness of the floor was a main causing factor. In order to decrease the DHD , the effects of 6 design parameters to control of cabinet deformation have been investigated by using DOE(design of experiment) and finite element analysis. Based on the correlation equation, it was possible to estimate the DHD for new refrigerator design.

1. 서 론

소비자들의 생활수준이 향상됨에 따라 가전제품의 경우 대형화, 고급화 및 디지털화 경향으로 점차 변모하고 있으며, 냉장고의 경우에는 양문여닫이 냉장고[1](Side By Side Refrigerator 또는 SBS Refrigerator)가 점차 확산되고 있다.

양문여닫이 냉장고는 좌우에 도아를 두어 소비자들의 다양한 욕구를 충족시키기 위하여 개발되었으며 국내는 삼성이 처음으로 지펠(ZIPEL)이라는 브랜드로 출시한 부가가치가 큰 생활가전이다.

이 양문여닫이 냉장고는 좌,우에 냉동실,냉장실이 서로 맞닿아 있어 사용상 일반 상냉동 하냉장 냉장고보다 훨씬 편리하지만 좌,우 도아의 높이가 서로 맞지 않으면 소비자들의 외관 불량으로 인한 심각한 불만을 야기시키는데 이를 도아단차(door height difference) 불량이라고 한다. 2003 년도 가전업계 자료[2]에 의하면 양문여닫이 냉장고 전체 불량률 중 도아단차 불량이 상위권을 점유하고 있는 실정이다. 이에 따라 가전업계에서는 1 차적으로 단차 보완을 위해 냉장고 전면하단에 조절나사를 두어 조절하게끔 하였으나 냉장고 중량이 점차 대형화됨에 따라 일반소비자들이 조절하기에는 다소 무리가 따르고, 일단 냉장고의 뒤틀림 변형이 발생한 경우에는 제품 수리가 불가능해져 막대한 품질불량 금액이 발생하여 점차 수요가 확대되고 있는 양문여닫이 냉장고를 생산하고 있는 냉장 가전업계의 큰 고민거리로 대두되고 있다.

따라서, 본 연구는 양문여닫이 냉장고에서 필연적으로 발생하는 도아단차를 유한요소 해석을 통해 신제품을 개발하는 상품기획 초기단계에서부터 예측하여, 궁극적으로 소비자들의 불만사항을 사전에 방지하는 제품설계 시스템을 구축하는데 목적이 있다.

이를 위해, 우선 양문여닫이 냉장고 구조 분석과 도아단차와 관련된 프로세스를 살펴보고자 한다. 이를 바탕으로 도아단차를 발생시키는 원인인자를 찾아내고, 또한 도아단차를 줄일 수 있는 제어인자를 도출하고자 한다.

또한, 실험계획법(Design of experiment) 및 유한요소해석(Finite element analysis)을 통해 이들 인자들의 영향도 분석을 하여 주요인자 및 상관관계를 찾아내고, 궁극적으로 도아단차에 관한 상관방정식을 개발하고자 한다.

† 고려대학교 대학원 기계공학과
삼성전자 책임연구원
E-mail : sem6789@hotmail.com
TEL : (02)929-9928 FAX : (02) 926-9441
* 고려대학교 기계공학과

2. 냉장고 구조 및 도아단차 분석

일반적으로 양문여닫이 냉장고는 왼쪽 칸에는 음식물을 냉동 저장하는 냉동실, 오른쪽 칸에는 저장을 주 목적으로 하는 냉장실을 기본으로 하고 선택 사양으로 냉수 및 얼음을 만들어 내는 제빙부와 음료수를 편리하게 꺼내어 먹을 수 있는 홈바(Home Bar)로 구성되어 있다.

Fig.1 SBS refrigerator configuration

또한 구조별로 살펴보면, 음식을 적재할 수 있는 캐비넷부와 문을 개폐할 수 있는 도아부로 나뉜다. 냉장고 캐비넷부는 외부의 철판(steel plate)과 내부 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)판 재질사이에 우수한 단열재인 경질 우레탄폼(rigid urethane foam)이 들어가 있다.

도아부는 소비자들의 다양한 미적 감각을 위해 스텐리스 스틸(stainless steel) 및 유리복합재와 같은 다양한 재질의 외관부를 채용하여 중량이 점차로 늘어가고 있는 실정이다. 캐비넷부 밑면에는 4 개의 구름장치(caster)를 부착하여 이동의 편리성을 주었으며 냉장고 전면부에는 추가로 냉장고를 고정하기 위해 높이조절까지 겸하는 조절나사를 두었다.

Fig.2 Low part of cabinet assembly

냉동실 및 냉장실 도아는 캐비넷 상단의 상힌지 및 하단의 하힌지에 의해 지지되어 있다. 상힌지는 도아를 쉽게 떼낼 수 있도록 착탈식으로 되어 있으며 하힌지는 도아 하중을 지지하는 방식으로 되어 있다.

우선 도아단차의 정의[3]를 살펴보면 냉동실 도아와 냉장실 도아의 높낮이를 말하는 것으로 크게 상하 단차 및 전후 단차로 나눌수 있다.

첫째, 상하(up and down) 단차란 냉동실 도아와 냉장실 도아를 모두 닫았을 때 양쪽 도아가 서로 일치하지 않고 어느 한쪽 도아가 높거나 낮아서 평면을 이루지 않고 차이가 발생하는 정도를 말하며 일반적인 도아단차를 가르킨다.

둘째, 전후(front and back) 단차는 어느 한 쪽 도아가 앞으로 튀어나오거나 뒤로 들어가 두 도아 사이의 차이가 발생하는 정도를 말한다. 도아단차량 (door height difference gap)은 냉동실 도아를 기준으로 높으면 (+), 낮으면 (-)로 나타낸다. 소비자들의 불만정도는 1㎜ ~ 4㎜ 까지로 요구수준이 매우 민감하다.

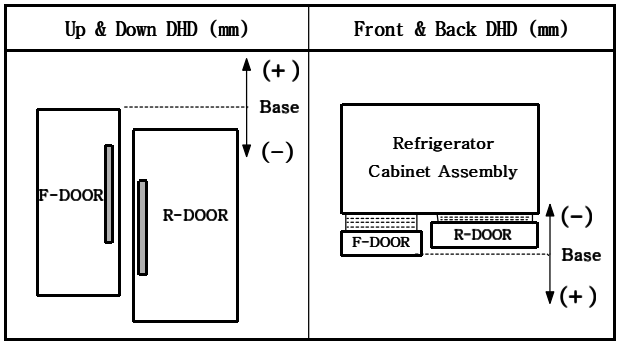


Fig.3 Definition of door height difference

도아단차를 발생하는 원인을 파악하기 위해 냉장고 도아와 관련된 업무 프로세스를 살펴보고자 한다. 우선 냉장고 조립공정에서부터 살펴보면

(1) 냉장고 캐비넷부 하단 좌,우에 하힌지 체결
(2) 냉동실, 냉장실 도아 조립
(3) 냉장고 캐비넷부 상단 좌우에 상힌지 체결
(4) 출하시 도아단차 확인(기준:1㎜ 이내)
(5) 제품 포장 후 공장 출하
(6) 소비자 집 문밖에서 도아부를 떼어낸 후 집안으로 들어감(제품치수가 출입문치수보다 큼)
(7) 냉장고 설치시 도아 재조립
(8) 냉장고 설치기사가 도아 단차를 맞춤
(9) 소비자가 냉장고 내부에 음식물을 적재함

위의 프로세스를 검토한 결과 도아단차 발생원인을 다음과 같이 분류할 수 있다.

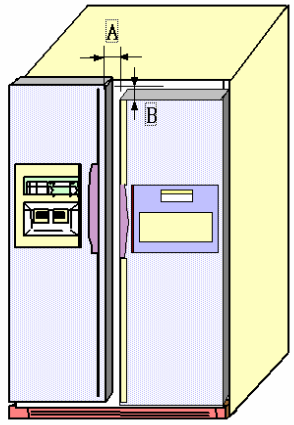
첫째, 냉동실,냉장실 도아 치수 차이로 인한 편부하 하중에 의해 도아처짐이 발생하고, 음식물을 적재할 경우 도아단차가 더 심화될 가능성이 있다.

둘째, 도아 결합부인 상힌지, 하힌지 조립상태 불량이나 강성미흡으로 변형이 발생하여 도아 처짐이 발생할 가능성이 있다

셋째, 냉장고 설치시 바닥의 상태가 고르지 않는 경우 냉장고가 한쪽으로 찌그러짐이 발생하여 캐비넷부의 뒤틀림이 발생할 가능성이 있다.
이에 따라 세 가지 관련된 사항에 대하여 단차현상을 규명해 보고자 한다.

2.1 도아 편부하 하중[4]

국내 냉장고 도아 폭 치수를 검토한 결과 평균 냉동실/냉장실 비율은 42% : 58%로서 상대적으로 냉장실쪽이 크게 설계되어 있으며 이로 인한 편부하하중을 검토하였다.



A :Door Gap (mm)

B :Door Height Difference(mm)

Fig.4 Door gap & door height difference

냉장고 도아에 부하를 적재하는 4 가지 경우를 살펴보았다. (1)냉동도아에만 적재하는 경우(F-door only) (2)냉장도아에만 적재하는 경우(R-door only) (3)냉동 및 냉장 도아에 동시에 적재하는 경우(F/R-door) (4)냉동도아에 적재가능의 절반인 8kg 을 기본적으로 적재하고, 냉장도아에 부하를 투입하는 경우(F-door 8kg set)에 따라 도아 단차량을 검토하였다.

이상과 같이 부하를 적재함으로써 발생하는 도아단차량을 살펴 본 결과 냉동실 도아보다 냉장실 도아가 도아단차에 더 영향을 끼침을 알 수 있다. 이는 냉장실 도아의 폭 치수 및 중량이 더 크기 때문이며 또한 적재하중이 늘어날수록 도아 간격(door gap)이 점차 줄어듬을 관찰할 수 있다. 이는 도아 처짐과 동시에 도아 상힌지부에 모멘트로 인한 변형이 커지고 있음을 알 수 있다.

냉동실 및 냉장실에 동시에 부하를 적재하였을 경우 도아 간격은 줄어들지만 도아단차가 변함이 없다는 것은 냉동실, 냉장실이 동시에 처지고 있다는 것을 나타낸다.

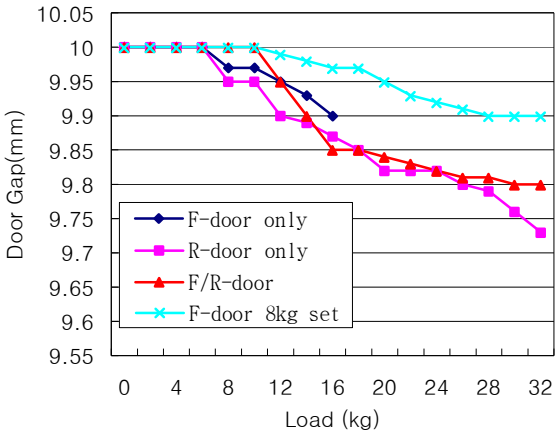


Fig.5 Door gap(A) test results

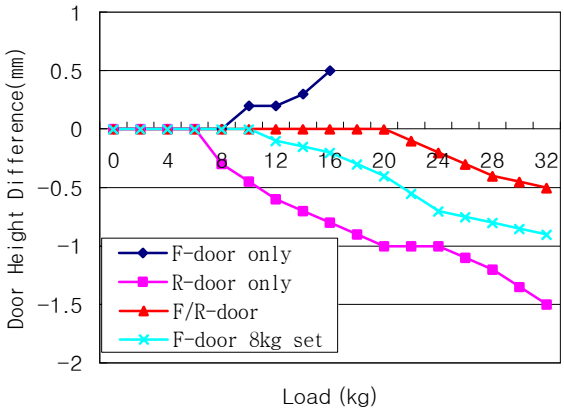


Fig.6 Door height difference(B) results

일반적으로 소비자들이 냉동도아, 냉장도아 각각에 적재가능 부하의 50%(냉동도아 8kg, 냉장도아 16kg)를 적재한다고 보면(Fig.6 참고) 도아단차량은 -0.2㎜ 로 아주 미비함을 알 수 있다. 따라서 실부하 조건에서 도아 편부하 하중에 따른 도아단차 효과는 미비하다고 할 수 있다

2.2 힌지부 변형

도아 하중으로 인한 상힌지(hinge-up) 및 하힌지(hinge-low) 변형을 살펴보기 위해 힌지부에 작용하는 하중성분[5]을 규명하고자 한다. 우선 상힌지는 중력방향(-y)의 하중은 없고 x 방향의 반력만 존재하고, 하힌지는 중력방향과 x 방향의 반력이 존재한다.

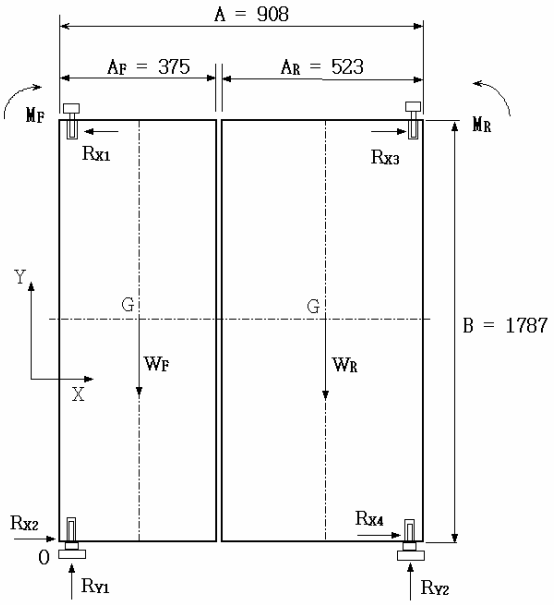


Fig.6 Load analysis applied on the hinge

냉동실 도어부만 따로 고려하면,

$$\sum F_X = -R_{X1} + R_{X2} = 0$$

$$\sum F_Y = -W_F + R_{Y1} = 0$$

$$\sum M_O = \frac{A_F}{2} \times (-W_F) + (B \times R_{X1}) = 0$$

$$R_{X1} = R_{X2}, R_{Y1} = W_F = 26kg$$

$$R_{X1} = \frac{A_F W_F}{2B} = 2.73kg$$

냉장실도 마찬가지로 구해보면,

$$R_{X3} = R_{X4}, R_{Y2} = W_R = 57kg$$

$$R_{X3} = \frac{A_R W_R}{2B} = 8.34kg$$

하힌지에 작용하는 하중량에 따른 실변형량[6]을 실험한 결과는 다음과 같다.

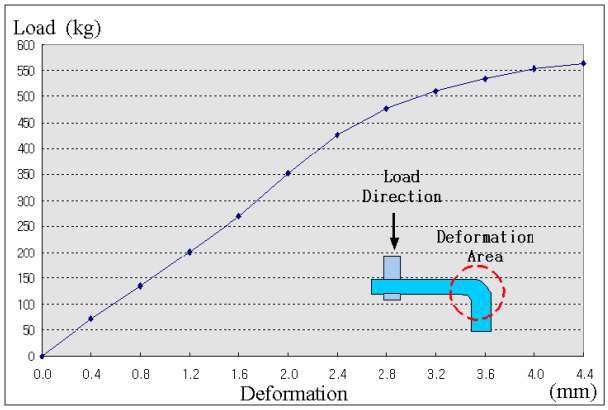


Fig.7 Deformation curve on hinge-low

도아단차와 관련된 y 방향 변형을 살펴보면, 냉동실 하힌지에 fy_1=26kg, 냉장실 하힌지에 fy_2=57kg 이 작용하는 경우 냉동실 0.14mm, 냉장실 0.31mm 로 두 값의 차이는 0.17mm 로 아주 미비하다. 추가로 하힌지를 I-DEAS 9.0[7]로 유한요소해석을 실시한 결과 하힌지의 응력기준 안전계수가 냉동실 15, 냉장실 9.75 로 충분함을 알 수 있다. 따라서 하힌지의 변형으로 인한 변형처짐값이 매우 적어 도아 단차의 원인이 힌지강도가 아님을 알 수 있다.

Table.1 Stress & deformation results of hinge

Classification		F-room	R-room	Max load
Load	Door (kg_f)	26	57	400
Stress (MPa)	Hinge-low	22.6	36.6	357
Deformation (mm)		0.14	0.31	2.8
Safety factor		15	9.75	1

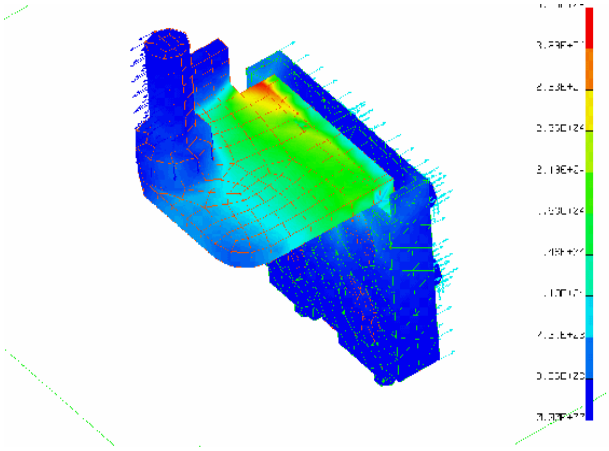


Fig.8 Simulation result of hinge-low

2.3 바닥 평탄도 차이

냉장고가 설치되는 바닥면이 한쪽으로 처져있는 경우, 즉 평탄도(flatness)의 차이에 의한 도아단차 발생 가능성을 검토하기 위해 현재 양산중인 A-Top 시료에 대해 바닥면의 상태가 도아단차에 미치는 영향을 검토하였다.

(1) 실험장치의 구성

Fig.9 와 같이 각 캐비넷 시료의 변형량 측정을 위해 12 개의 다이얼 게이지(dial gage)를 냉장고 상측 및 우측에 부착하였고, 냉동실, 냉장실 도아 상단부 끝단에 다이얼 게이지 2 개를 추가로 부착하여 도아단차를 측정할 수 있도록 하였다. 또한 사용하중과 유사한 조건에서 실험하기 위해 냉장고내에 물병을 채워 넣었다.

Fig.9 Flatness test configuration

(2) 실험방법[8]

냉장고를 바닥면에 고정시키고, 전면 오른쪽, 왼쪽 레그(leg)를 바닥에서 2mm, 4,mm,완전제거 순서로 길이를 줄였을 경우 도아단차를 측정하였다.

(3) 실험결과

바닥면이 고르지 않다는 것을 가정하여 레그 길이를 줄여 도아단차를 측정한 결과 양 쪽 모두 레그 길이를 줄일수록 도아단차가 더 발생함을 알 수 있다.

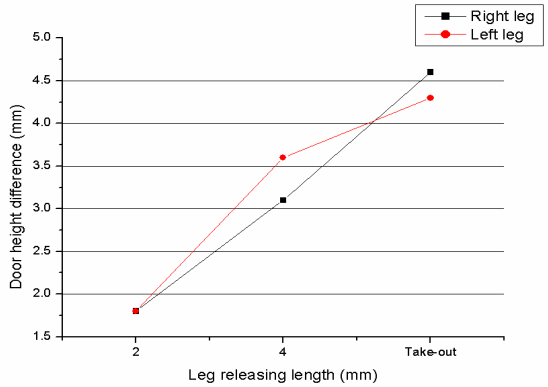


Fig.10 DHD curve according to leg length

따라서, 도아단차가 바닥평면도의 차이에 비례하여 발생함을 알 수 있다. 또한 캐비넷에 설치된 다이얼 게이지값도 상대적으로 변동됨이 측정되므로 도아단차는 냉장고 설치시 바닥면의 평탄도 차이에 의하여 제품 바닥면이 평면을 이루지 못하여 캐비넷 변형을 유발하고, 이로 인해 대각변형 발생으로 발생한다.

결론적으로 도아단차를 발생하는 주요인이 바닥 평탄도 차이로 인한 캐비넷 변형임을 알 수 있다.

3. 유한요소 해석을 통한 상관 분석

3.1 핵심인자 분석

캐비넷 변형과 관련된 인자를 나열하면 총무게와 관련된 캐비넷 치수(폭,깊이,높이), 단열두께, 단열재 재질,발포비율, ABS 두께,ABS 재질, 철판두께, 철판재질, 보강재 종류, 보강재 재질을 들 수 있다. 그 중 현재 단열지수와 관련되어 최적화되어 있는 단열재 재질과 발포비율을 제외하고, 또한 표준화 되어있는 ABS 재질, 철판 재질을 제외한 인자를 우선 선정하였다. 그리고 보강재의 경우 보강재를 추가하였을 경우 강도가 우수해 지는 조건이므로, 차후 검토키로 하고 이번 논문에서는 고려하지 않았다.

3.2 모델링 및 경계조건

바닥이 평탄하지 않다는 조건을 위해 냉장고 후면 좌측 힌지를 다른쪽보다 10mm 짧게 설계하고 하단부를 고정(clamp) 시켰다. 하중은 냉장고 자중(-y)을 주었으며 해석시간의 단축을 위해 도아부는 강체로 단순화 시켰다. 모델링 및 해석은 I-DEAS 9.0 을 사용하였다.

3.3 실험계획법(DOE)

캐비넷 폭,깊이,높이, 단열두께, ABS 두께, 철판 두께의 6 인자의 상관관계를 검토하기 위해 통계기법[9]에 의한 완전요인설계(full factorial design)을 실시하면 2^6 =64 실험으로 상당한 해석시간을 요하므로, 1/4 일부요인설계(fractional factorial design)로 16 회(64/4=16)로 실시하는 것이 적당하다.

레벨(level)은 현 수준은 0 이며, 낮은 수준(low)은 -1 이고, 높은 수준(high)은 +1 이다.

Table.2 Design of experiment of cabinet factor

factor	Cabinet factor		
Level	W(mm)	D(mm)	H(mm)
-1	808	680	1660
0	908	780	1760
+1	1008	880	1860

factor	Cabinet factor		
Level	Steel Thickness	Urethane Thickness	ABS Plate Thickness
-1	0.3	40	0.5
0	0.6	50	1.0
+1	1.2	60	2.0

3.4 유한요소해석 결과 및 상관방정식 산출

냉장고 모델링의 총 요소는 12,600 개이며, 우레탄 및 도아부는 3D 솔리드요소를 사용하였고, 우레탄 안쪽 ABS 와 바깥쪽 철판은 쉘요소를 사용하였다. 6 개의 인자들간의 16 회 조합의 모델에 대한 유한요소해석[10]을 실시한 결과 Table.3 과 같은 결과를 얻었다.

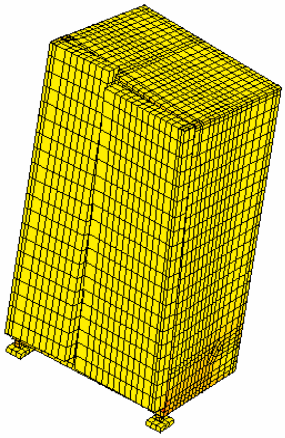


Fig.11 DHD simulation of SBS refrigerator

Table.3 DOE result of door height difference

Std Order	Run Order	Center Point	Blocks	W	D	H	Steel Thick	Uretan Thick	ABS Thick	D H D
14	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	4.802
15	2	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	4.704
1	3	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	4.583
10	4	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	5.258
2	5	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	4.386
4	6	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	4.686
7	7	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	5.379
9	8	1	1	1	1	1	-1	1	-1	5.206
11	9	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	4.537
13	10	1	1	1	-1	-1	1	1	1	4.463
16	11	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	4.824
3	12	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	5.594
5	13	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	4.516
6	14	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	4.822
12	15	1	1	-1	1	1	1	-1	1	4.855
8	16	1	1	1	1	1	1	1	1	4.736

잔차분석을 실시한 상관방정식[11]은 아래와 같다.

Y=4.83+0.0992W+0.220D-0.0112H-0.0411Steel-0.157Urethane-0.146ABS (정확도:R-Sq = 92.6%)

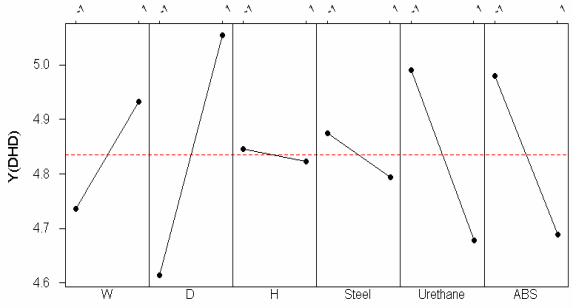


Fig.12 Main Effect Plot for DHD

주영향(main effect) 결과 깊이 깊이(D)가 가장 큰 영향을 미치며 우레탄 및 ABS 두께도 영향을 많이 미치는 인자임이 밝혀졌다. 따라서 제품 설계시 깊이, 우레탄 두께, ABS 두께를 제어하며 설계되어야 할 것이다.

4. 결 론

양문여닫이 냉장고에서 발생하는 도아단차를 전반적으로 검토하기 위하여 관련실험 및 실험계획법을 근거로 하여 유한요소해석을 실시하였다. 이는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 도아단차의 가장 큰 원인은 냉장고 설치시 바닥면의 평탄도 차이에 의하여 제품 바닥면이 평면을 이루지 못하여 캐비닛 변형을 유발하고, 이로 인해 대각변형 발생으로 발생한다.
2. 캐비닛 변형의 가장 큰 인자는 깊이(D)이며 그 이유는 깊이 길이 증가에 따른 비틀림 모멘트(Torque)가 증가하기 때문이다. 또한 우레탄 및 ABS 두께도 고려되어야 할 주요 인자이다.
3. 도출된 상관방정식에 의해 제품 설계시 사전에 도아 단차값(Y)의 예측이 가능하게 되었다

참고문헌

(1) Woo S. W, Kim Y C., 2001, “An Investigation on Cool Air Supply Methods in Side-by-Side Refrigerator”, *The Society Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea* , 2nd , pp.261~265.
(2) Min K S, 2003 , “ Service list of SBS Refrigerator” *Samsung Inner Report*.
(3) Park C I, 2003, “Reduction of Market poor quality through DHD improvement,” *Samsung 6sigma Report* .
(4) Shin H T, “ 1998, “ The biased loading check of Door Height Difference,” *Samsung Inner Report*.
(5) Seok C S, Jeong N Y, Koo J M, 2002, “ Cabinet Deformation and Door height difference improvement” *Samsung industry-academic cooperation report of SAFE* , pp.59~61.
(6) Go S G , 1999, “The Simulation Analysis of Zipel Door Assembly” *Samsung Inner Report* pp. 1~5.
(7) I-deas 9.0 Manual , *Samsung Inner Report.*
(8) Seok C S, Jeong N Y, Koo J M, 2002, “ Cabinet Deformation and Door height difference improvement” *Samsung industry-academic cooperation report of SAFE* , pp.42~44.
(9) IRETEC, “Minitab business accomplishment” Ch.15, pp. 1~35.
(10) Samsung R & D Group, “CAE Analysis work” pp10~73.
(11) IRETEC, “Minitab business accomplishment” Ch.11, pp. 1~22.