

## 상용 냉장고에서 반복 하중을 받는 힌지 키트 시스템(HKS)의 신뢰성 설계 연구

우 성 우\* · 이 종 길\*\*

---

### <국문초록>

상용 냉장고에서 새로 설계된 힌지 키트 시스템(HKS, Hinge Kit System)을 개선하기 위하여 새로운 강인 방법론을 연구하였다. 이 방법은 결함 모드, 시장에서의 메카니즘, 가속수명시험법(ALT, Accelerated Life Test)을 이용한 다양하게 개선된 HKS의 설계변수 등을 고려한 것이다. 시장에서의 결함 반품 조사와 첫 번째 ALT 시험을 통한 공통적 크랙 부위는 HKS의 하우징 부분에서 일어남을 확인하였다. 냉장고 HKS의 초기 설계 단계에서 간과한 설계 변수는 하우징이었다. 이를 통하여 냉장고의 특정 열린 지지 구조에서 모든 열린 지지 구조로 확산하여 설계 수정하는 계기가 되었다. 두 번째 ALT 시험을 통하여 발견한 파괴와 크랙 부위는 비틀림 축에서 발생하였다. 설계 변수에서 비틀림 축의 동심도를 고려치 않았던 것이 원인이었다. ALT 시험 절차를 통하여 간과한 설계 변수를 수정할 수 있었다. ALT 시험의 결과를 통하여 연간 결함 발생률이 약 0.01%였고 재설계된 HKS의 B1 수명은 10년으로 파악되었다. 본 논문에서 사용된 변수 설계 방법은 결함 제품 검사, 하중 분석, 세 번의 ALT 시험 등이며 이들은 기계 시스템의 강인 설계에 매우 효과적임을 알 수 있었다. 향후 본 연구에서 제시된 방법은 새로운 가전제품의 강인 설계에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

**주제어:** 힌지 키트 시스템(HKS), 신뢰성 설계, 냉장고, 가속 수명 시험(ALT)

---

---

\* 삼성전자(주)

\*\* 교신저자 : 이종길(jlee@andong.ac.kr), 안동대학교 사범대학 기계교육과 교수

# I. 서론

## 1. 연구의 필요성

상용 냉장고 문을 개폐시 소비자들은 편안하고 안락한 개폐를 요구한다. 문의 개폐에 영향을 미치는 부품으로 [그림 1]과 같은 힌지 키트 시스템, HKS(Hinge kit system)를 들 수 있다. 이러한 기능을 위하여 HKS는 강인하면서도 소비자의 요구를 충족시키는 설계를 하여야 한다. [그림 1]의 (b)와 같이 HKS는 키트 커버, 축, 스프링, 오일 댐퍼 등으로 구성되어 있다.



[그림 1] 상용 K-냉장고(a)와 힌지 결합체의 기계 부품(b)

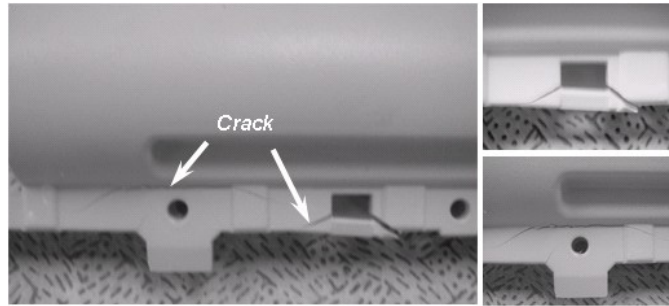
일반 소비자들로부터 종종 HKS의 파괴와 이로 인한 기능 상실 등이 보고되고 있다. 따라서 결합 상품의 데이터 분석과 제품 설계시 고려하지 못한 설계 변수들의 분석이 필요하다.

## 2. 연구의 목적

[그림 2]는 일정 기간 사용 후 손상된 HKS를 보인 것이며 이는 소비자들의 미지의 사용 조건들로 인하여 발생하는 것으로 보이며 보통 크랙을 동반한다. 이러한 현상에서의 데이터를 보면 근본 원인은 구조 설계 결함인 것으로 볼 수 있다. 그것은 코너에서의 라운딩 처리 미숙, 리브의 불충분 등이다. 이러한 결함은 반복 하중이 힌지 키트를 치게 되고 결국 크랙이 발생하는 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 상용 냉장고에서 HKS를 개선하기 위하여 새로운 강인 방법

론을 제시하고 이를 검증하는 것이다. 이 방법은 결함 모드, 시장에서의 메카니즘, ALT를 이용한 다양하게 개선된 HKS의 설계 변수 등을 고려한 것이다. 시장에서의 결함 반품 조사와 여러 번의 가속수명시험(ALT)을 통한 신뢰성 설계가 목적이다.



[그림 2] 일정 기간 사용 후 손상된 HKS의 모습

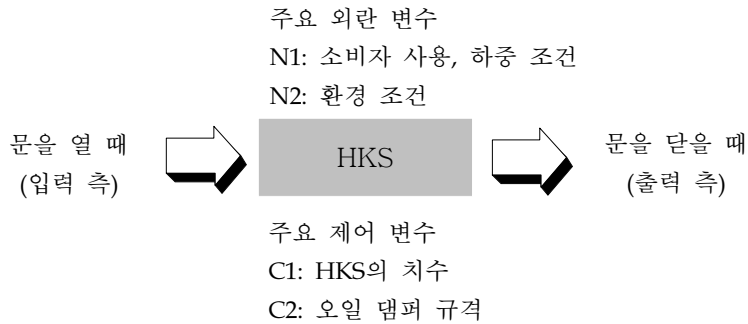
### 3. 선행 연구 조사

SDE(statistical design experiment)와 다구찌(Taguchi) 방법을 포함한 강인 설계(robust design) 기술은 수년전부터 통계학자들에 의해서 개발되었다(Taguchi, 1978). 특별히 다구찌 방법은 질 관리 공학(Taguchi and Tsai, 1992, Ashley, 1992) 혹은 강인 공학(Wilkins Jr., 2000)이라는 이름으로 생산품의 개발, 설계 변경, 수정, 평가 등의 강인 시스템 설계에 이용되었다. 이러한 강인 설계 과정은 개념 설계, 변수 설계, 공차 설계 등이다(Phadke, 1989). 아주 다양한 부품에는 다구찌의 강인 설계 기법이 적당한 변수들을 결정해 준다(Byrne and Taguchi, 1987). 변수 설계의 기본적인 개념은 제어 요소와 외란 요소의 적절한 배열 선택이 필요하다. 보충적인 방법으로 두 배열을 조합하는 접근법이 제안되었다(Box and Jones, 1987, Vining and Myers, 1990).

## II. HKS 하중 분석과 $B_x$ 수명

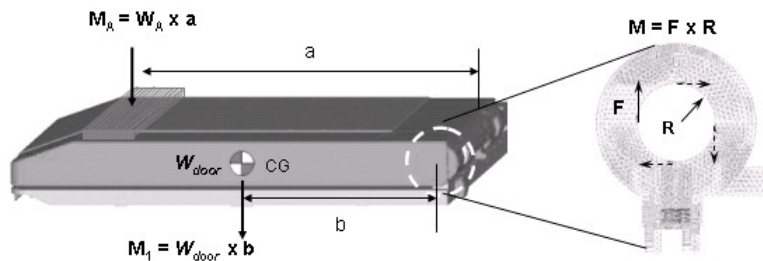
비교적 단순한 기계요소들에서는 다구찌 방법은 많은 설계 변수들을 고려하여야 하는 단점이 있다. 따라서 시장에서 결함 제품의 결함 분석에서는 새로운 목표수명  $B_x$ 의 도입으로 가속 수명 시험법(ALT, accelerating life testing)이 고려될 수 있다. ALT 기법은 충분한 샘플과 예측된 하중, 적절한 시험 시간 등이 필요하다. 이러한 새로운 기법의 ALT는 먼저 시장에서의 원인을 분석하고 동적 시스템에서의 동하중을 분석하여야 하며

주요한 제어 변수들을 선정하여야 한다. 그리고 주요 제어 변수의 수준을 결정하기 위하여 정확한 분석이 필요하다. 본 연구에서의 HKS는 비교적 단순한 반복 하중 개폐 구조로서 힘-모멘트 관계식으로부터 모델링이 가능하다. ALT의 정확한 예측이 있고나면 Bx 수준을 결정할 수 있다.



[그림 3] HKS의 강인 설계 도해

[그림 3]에는 HKS의 강인 설계를 위하여 모형화 하였다. HKS의 설계시 [그림 3]에서 되먹임 제어요소를 고려할 수도 있다. 소비자들은 일반적으로 냉장고 문을 열고 닫을 때 소비자의 성향에 따라 서로 다른 하중 조건을 가하기 마련이다. [그림 4]에는 HKS의 개폐시 발생하는 힘-모멘트를 표시하였다. 이 때 모멘트는 주로 힌지 부분에 작용한다. 보통 국내에서는 하루에 [그림 1]과 같은 형태의 냉장고를 3회에서 10회 정도 개폐한다. 이 때 HKS에는 제어되지 않은 무작위의 하중들이 소비자들에 의해 작용된다.



[그림 4] HKS의 설계 개념도

[그림 4]에서 모멘트는 다음과 같이 표현된다.

$$M_1 = W_{door} \times b = T_1 = F_1 \times R \quad (1)$$

가속 시험에서는

$$M_2 = M_1 + M_A = W_{door} \times b + W_A \times a = F_2 \times R \quad (2)$$

로 표현된다. 여기서  $F_1$ 은 정상시의 충격력,  $F_2$ 는 가속 조건에서의 충격력을 의미한다. 식 (1)과 (2)를 풀면  $F_1$ 과  $F_2$ 를 구할 수 있다. HKS에 발생하는 응력은 충격력에 의존하므로 수명-응력 모델(LS model)은 다음과 같이 수정할 수 있다(McPherson, 1989).

$$T_f = A (S)^{-n'} = A T^{-n'} = A (F \times R)^{-n'} \quad (3)$$

여기서  $A$ 는 상수,  $S$ 는 응력,  $T_f$ 는 결함 시간,  $n'$ 은 지수이다. 따라서 가속 요소  $AF$ 는 다음과 같이 유도된다.

$$AF = \left( \frac{S_1}{S_o} \right)^{n'} = \left( \frac{T_1}{T_o} \right)^{n'} = \left( \frac{F_1 \times R}{F_o \times R} \right)^{n'} = \left( \frac{F_1}{F_o} \right)^{n'} \quad (4)$$

$S_1$ (혹은  $F_1$ )은 가속 응력 조건하에서 기계적 응력(혹은 충격력)이며  $S_o$ (혹은  $F_o$ )는 상용 응력 조건하에서의 응력(혹은 충격력)이다.

최대 추측 평가법을 이용한 특성 수명  $\eta$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\eta^\beta \equiv \frac{\sum t_i^\beta}{r} \cong \frac{n \cdot h^\beta}{r} \quad (5)$$

여기서  $r$ 은 결함 시료의 개수,  $t_i$ 는 각 샘플의 시험 시간,  $n$ 은 시험 샘플의 개수,  $h$ 는 시험 시간,  $\beta$ 는 Weibull 분포에서의 형상 변수를 나타낸다. 생산품의 신뢰도가 향상되면 시험에서 대개 결함은 발견되지 않는다. 이러한 것은 식 (5)에서 적당치 않다. 결함 샘플의 개수가 4개 이하이면 이는 푸아송의 분포(Poisson's distribution)를 따르게 된다. 60%의 신뢰수준에서 특성 수명은 다음과 같이 다시 표현된다(Ryu and Chang, 2005).

$$\eta^\beta \cong \frac{1}{r+1} \cdot n \cdot h^\beta \quad (6)$$

목표수명  $B_x$ 를 도입하기 위하여 Weibull 분포에서의 특성 수명은 다음과 같이 수정되며

$$L_B^\beta \cong x \cdot n^\beta = \frac{x}{r+1} \cdot n \cdot h^\beta \quad (7)$$

여기서  $L_B=B_x$  수명이며  $x \leq 0.2$ 의 조건하에서  $x=0.01X$ 이다.  $B_x$  수명을 60%의 신뢰 수준에 도달하기 위하여 시험 샘플의 개수는 다음 식 (8)과 같이 표현된다.

$$n \cong \frac{1}{x} \cdot (r+1) \cdot \left(\frac{1}{h^*}\right)^\beta, \quad h^* = \frac{h}{L_B} \geq 1 \quad (8)$$

### III. 실험 및 결과

일반적으로 HKS의 작동 조건은 K 냉장고에서 온도는 0~43°C이며, 상대습도는 0~95%, 진동 가속도는 0.2~0.24G(G: 무차원 진동 가속도) 등이다. 하루에 3~10번의 문 개폐가 일어나며 최대 10년간 사용한다고 할 때 약 최소 10,950에서 최대 36,500 사용 사이클로 계산된다. 이 때 최소 하중은 110kg<sub>f</sub>, ALT 조건에서는 276kg<sub>f</sub>이다. 가속 요인은 식 (4)에서 약 6.3이다. 형상 변수  $\beta$ 를 2로 가정하면 ALT에 사용된 시험 회수와 샘플 개수는 다음 식과 같이 유도된다(Ryu and Chang, 2005).

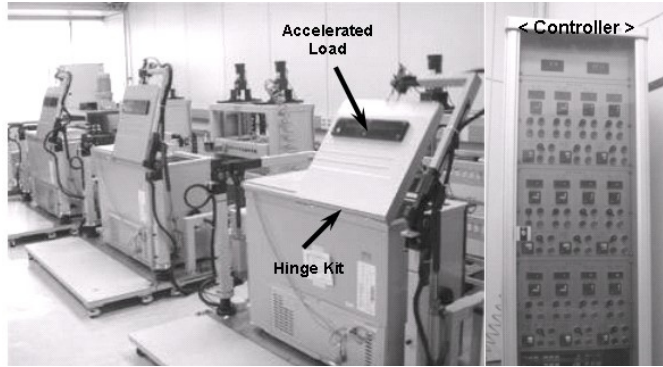
$$n \cong \frac{1}{x} \cdot (r+1) \cdot \left(\frac{L_B}{AF \cdot h}\right)^\beta \quad (9)$$

여기서  $x=0.01$ 이며 AF는 가속 요인,  $L_B$ 는 목표  $B_x$  수명이다. 식 (9)에 계산된 시험 사이클과 시험 개수는 각각 34,000 사이클 및 6개이다. ALT 시험은 60% 신뢰 수준에서  $B_1$  수명을 10년으로 하는 것이다. [그림 5]에는 HKS의 강인 설계를 위한 시험 장비를 보였고 [그림 6]은 충격력 F에 대한 적용 사이클을 나타낸 것이다.

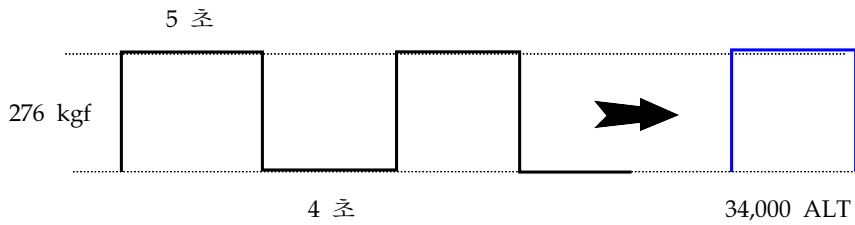
[그림 5]의 장비는 실내에서 시험할 수 있도록 제작되었다. 제어판은 시험 시간, 샘플 동작 시간, 사이클 수 등을 조정할 수 있는 장치이다. 문 닫음력 F는 가속 하중 볼트에 의해서 조정된다. 제어판에서 시험을 시작하게 되면 손의 형상과 같은 기계가 문을 닫아 준다. 이 때 기계는 HKS에 최대 충격력 274kg<sub>f</sub>를 가하게 된다.

[그림 7]은 실제 사용 후 발생한 크랙과 ALT 시험 후 발생한 크랙을 비교한 사진이다. 사진에서와 같이 실제 결함 부위와 ALT 시험 결과에서 얻은 결함 부위가 일치함을 확인할 수 있다. [그림 8]은 ALT 시험과 시장 환경에서의 시험 결과를 Weibull 그래프

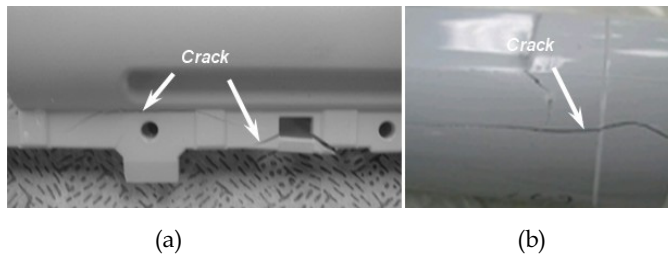
로 표현한 것이다. ALT에서 형상 변수는 2.0이다. 그러나 최종 Weibull 그래프에서는 3.5였다.



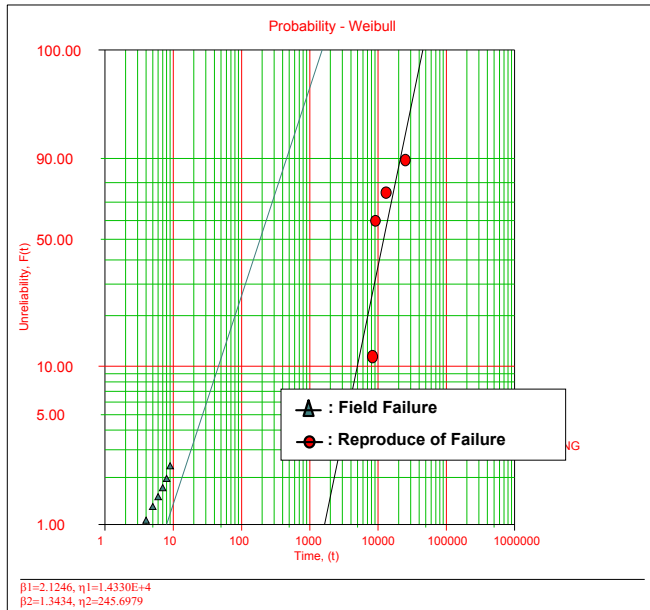
[그림 5] ALT를 위한 장비 사진



[그림 6] HKS에서 문 닫음 충격력의 적용 사이클

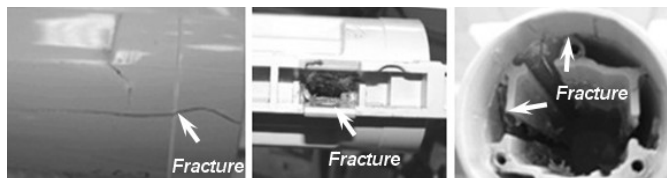


[그림 7] (a) 실제 사용 후 발생된 크랙 (b) 첫 번째 ALT 시험 후 발생한 크랙



[그림 8] Weibull 차트에서 실제 시험과 두 번째 ALT 시험 결과(수평축: 시간(hour), 수직축: 신뢰도)

이상과 같이 제시된 방법은 실제 결함을 찾고 수명을 결정하는데 매우 효과적임이 판명되었다. 그 이유는 시장에서의 결함과 ALT 시험에서의 결함 부위가 정확히 일치하며 Weibull 그래프에서 ALT의 형상 변수  $\beta_1$ 과 시장에서의 변수  $\beta_2$ 가 매우 유사하기 때문이다. [그림 9]에서와 같이 시장에서의 생산품 결함이나 ALT 시험에서의 결함 부위는 HKS의 하우징 부위로 나타났다. 즉, 설계단계에서 간과한 변수들은 지지구조가 없는 HKS를 만든 것이었다. 반복적 기계 응력에 의하여 구조적 결함은 HKS에 크랙과 파괴를 동반할 수 있다. 유한요소 해석을 통하여 HKS에 가하는 집중 응력은 대략 21.2MPa 정도로 계산되었다. 따라서 정확한 수정계획이 설계 단계에서부터 이루어져야 한다.



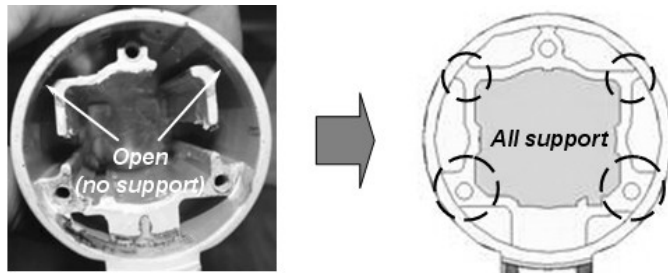
[그림 9] 첫 번째 ALT 시험 후의 모습



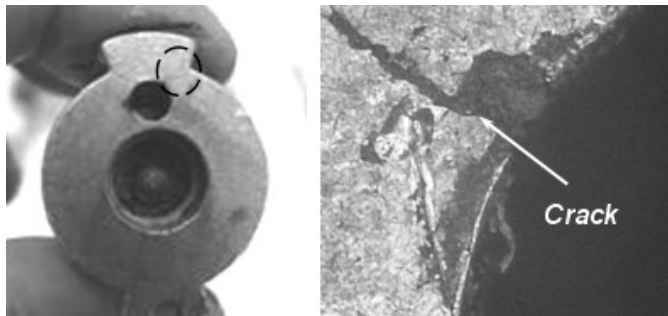
새로 설계된 샘플의 변수 설계 조건은 10년의  $B_1$  수명이다.  $B_x$  수명은 다음 식과 같이 표현된다.

$$B_x \cong \frac{h \cdot AF}{L_B} \cdot \left( \frac{x \cdot n}{r+1} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (10)$$

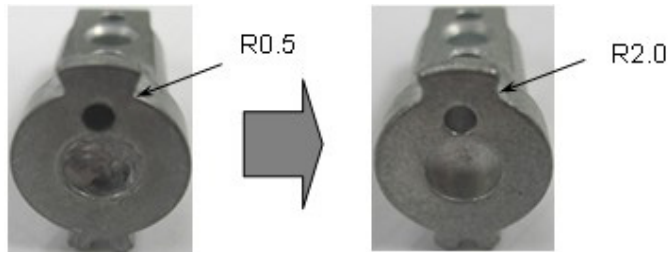
[그림 8]에서의 AF와  $\beta$  값은 각각 6.3과 2.1이다. 식 (9)에서의 새로 계산된 시험 주기와 샘플 크기는 41,000 사이클과 6개이다.  $B_x$ 와 샘플 크기에 근거하여 적절한 설계 변수와 수준을 찾기 위하여 1~3번째 ALT 시험을 수행하였다. 첫 번째 ALT 시험에서는 HKS의 결합 부위가 힌지 키트의 하우징 부위에서 발생했으며 두 번째 ALT 시험에서는 하우징 덮개에서 발생하였다. [그림 10]은 고강도의 충격력에 견디기 위한 구조로 재설계된 HKS를 나타낸 것이다. 이러한 구조로 냉장고는 쉽게 개폐할 수 있다.



[그림 10] 재설계된 HKS(4 곳의 지지된 모습) 사진



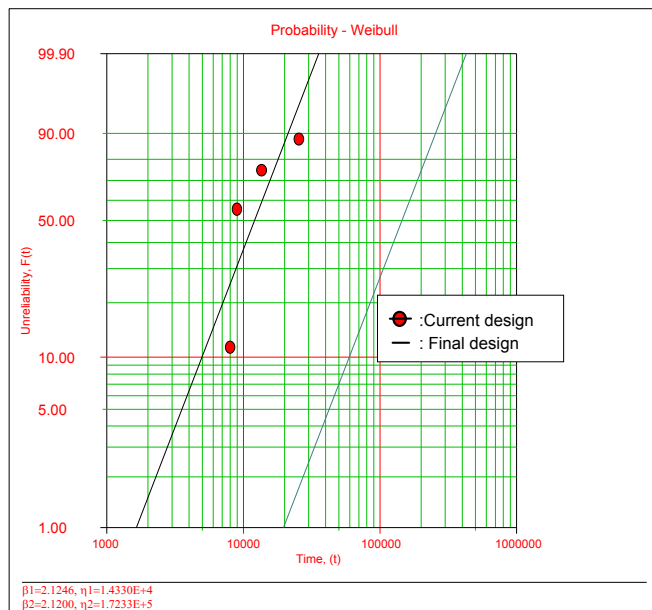
(a) 회전축에서의 크랙 사진



(b) 재설계된 비틀림 축

[그림 11] 크랙 부위 및 재설계된 비틀림 축의 모습

[그림 11]에는 회전축에서의 크랙 부위와 재설계된 회전축의 사양을 나타내었다. 수정 설계는 HKS의 하우징 수정과 덮개 하우징 구조의 수정 두 부분으로 하였다. [그림 11]의 (b)와 같이 (a)에서의 크랙 부위를 R0.5에서 R2.0으로 강화 했으며 모든 지지 구조에 확대하였다.



[그림 12] Weibull 차트에서 ALT 결과(수평축: 시간(hour), 수직축: 신뢰도)

[그림 12]는 Weibull 차트에서 ALT 시험의 결과를 나타낸 것이다. 개선된 설계 변수들

에 의하여 시료의 B1 수명은 [그림 12]에서와 같이 1, 2, 3 번째 ALT 길이가 4.7년에서 10년으로 늘어남을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 소비자들이 냉장고 문을 개폐시 만족도를 높이기 위한 방법으로 상용 냉장고에서 힌지 키트 시스템(HKS)을 새로 설계하여 개선하고 새로운 강인 방법론을 연구하였다. 이 방법은 결합 모드, 시장에서의 메카니즘, ALT를 이용한 다양하게 개선된 HKS의 설계변수 등을 고려한 것이다. 시장에서의 결합 반품 조사와 첫 번째 ALT 시험을 통한 공통적 크랙 부위는 HKS의 하우징 부분에서 일어남을 확인하였다. 냉장고 HKS의 초기 설계 단계에서 간과한 설계 변수는 하우징이었다. 이를 통하여 냉장고의 특정 열린 지지 구조에서 모든 열린 지지 구조로 확산하여 설계 수정하는 계기가 되었다. 두 번째 ALT 시험을 통하여 발견한 파괴와 크랙 부위는 비틀림 축에서 발생하였다. 설계 변수에서 비틀림 축의 동심도를 고려치 않았던 것이 원인이었다. ALT 시험 절차를 통하여 간과한 설계 변수를 수정할 수 있었다. ALT 시험의 결과를 통하여 연간 결합 발생률이 약 0.01%였고 재설계된 HKS의 B1 수명은 10년으로 파악되었다. 본 논문에서 사용된 변수 설계 방법은 결합 제품 검사, 하중 분석, 세 번의 ALT 시험 등이며 이들은 기계 시스템의 강인 설계에 매우 효과적임을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- Ashley, S.(1992). **Applying Taguchi's Quality Engineering to Technology Development.** Mechanical Engineering, 58-60.
- Byrne, D. M. and Taguchi, S.(1987). **The Taguchi Approach to Parameter Design.** Quality Progress, 20(12), 19-26.
- Box, G. E. P. and Jones, S. P.(1987). **Designing Products that are robust to the environment.** Total Quality Management, 3, 265-282.
- McPherson, J. W.(1989). **Accelerated Testing, Packaging, Electronic Materials Handbook.** ASM International, 1, 887-894.
- Phadke, M. S.(1989). **Quality Engineering Using Robust Design.** Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
- Ryu, D. S. and Chang, S. W.(2005). **Novel Concept for Reliability Technology.** Microelectronics Reliability, 611-622.
- Taguchi, G.(1978). **Off line and On line Quality Control Systems.** Proceeding of International Conference on Quality Control, Tokyo, Japan.
- Taguchi, G. and Tsai, S. C.(1992). **Introduction to Quality Engineering: Bringing Quality Engineering Upstream.** American Society of Mechanical Engineering.
- Vining, G. G. and Myers, R. H.(1990). **Combining Taguchi and Response Surface Philosophies: A Dual Response Approach.** Journal of Quality Technology, 22, 38-45.
- Wilkins Jr., J.O.(2000). **Putting Taguchi Methods to Work to Solve Design Flaws.** Quality Progress, 33(5), 55-59.

**<Abstract>****Reliability Design of the Hinge Kit System in  
Common Refrigerator Under Repetitive Load****Seong-woo Woo\* · Jongkil Lee\*\***

To improve the newly designed HKS(hinge kit system) in common refrigerators, it was investigated the new robust methodologies. There were the study of failure modes, mechanisms in the marketplace, and the design parameters of HKS with various improvements using accelerated life testing. Based on the claimed marketplace product returns and 1st ALT reproduction, the fracturing and cracking occur in the housing of the HKS. The missing design parameters of the failed HKS in the design phase of the refrigerator was the housing hinge kit structure. The corrective action plans are the modifications of the housing hinge kit structure from the open supporting to all supporting structure. Based on 2nd ALTs, the fracturing and cracking occur in the torsion shaft. The missing design parameter was the roundness of torsion shaft. After a sequence of ALT testing, the levels of the missing design parameters were setup. The yearly failure rate and B1 life of the redesigned HKS, based on the results of ALT, were over 0.01 percent and 10 years, respectively. The parameter design through the inspection of the failed product, load analysis, and three rounds of ALT, was very effective in the new robust design methodologies of the mechanical system and this method can be applied to other design system.

**Key words: hinge kit system(HKS), reliability design, refrigerator, accelerated life testing(ALT)**

---

\* Principle Engineer, Samsung Electronics Co., Ltd.

\*\* Correspondence : [jlee@andong.ac.kr](mailto:jlee@andong.ac.kr), Professor of Mechanical Engineering Education, College of Education, Andong National University