

<응용논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2014.38.1.071>

ISSN 1226-4873(Print)  
2288-5226(Online)

## 대형 냉장고 도어 힌지의 최적 설계

윤성준\* · 노유정\*\* · 김석로\*\* · 김지원\*\*

\* 계명대학교 기계자동차공학과, \*\* LG전자(주) Built-in 사업담당 개발팀

### Optimization of Door Hinges of a Large Refrigerator

Seong-Jun Youn\*, Yoo-Jeong Noh<sup>†</sup>, Seok-Ro Kim\*\* and Ji-Won Kim\*\*

\* Dept. of Automotive and Mechanical Engineering, Keimyung Univ.,

\*\* LG electronics, Built-in Division

(Received July 22, 2013 ; Revised October 31, 2013 ; Accepted November 14, 2013)

**Key Words:** Design Optimization(최적설계), Hinge Mechanism(힌지 메커니즘), PQRSM(순차적 2차 반응표면법), PIDO(통합절차 최적설계)

**초록:** 대형냉장고의 도어 힌지는 냉장고 도어의 개폐 동작을 원활하게 하고, 도어의 하중과 도어개폐로 인한 충격을 견디는 구조 안전성이 요구된다. 하지만, 도어 힌지는 복잡한 힌지 메커니즘과 민감한 구조 안전성으로 인해 설계 시 어려움이 많다. 본 논문에서는 스프링 응답 특성, 공간제약, 구조강도 성능을 만족하는 메커니즘을 설계하고, 메커니즘을 둘러싼 외부 프레임의 부피를 최소화하여 힌지의 생산 단가를 절감하고자 한다. 이를 위해 PIDO(progress integration and design optimization) 기술을 이용하여 모든 설계절차를 자동화함으로써 설계의 효율성을 높이는 성과를 거두었으며, 최적화 결과 목표로 하는 힌지 메커니즘 성능과 구조안정성을 개선하면서 힌지 프레임 질량의 24%를 절감하였다.

**Abstract:** Door hinges of large refrigerators are required to ensure that the doors open and close smoothly in addition to supporting door weights and enduring the impact loads due to door opening and closing. However, door hinge design is difficult because of complex hinge mechanisms and sensitive structural safety. In this study, the mechanism satisfying the required spring response, space constraints, and structural strength is optimized, and the volume of the outer frame covering the hinge mechanism is minimized for reducing production costs. The entire design process is automated using the PIDO(Progress Integration and Design Optimization) technique, which achieves an efficient design process. Therefore, the frame mass is reduced to 24%, and the mechanism performance and structural stability are improved.

- 기호설명 -

$L_1$  : 브래킷(bracket) 링크의 길이  
 $L_2$  : 힌지레버의 길이  
 $L_3$  : 캠링크1의 길이  
 $L_4$  : 캠링크2의 길이  
 $L_{slot}$  : 캠 국부좌표계에서의 슬롯조인트(slot joint)의 Y좌표  
 $L_{stop}$  : 캠링크1과 스토퍼(stopper) 사이의 거리  
 $X_{cam}$  : 캠조인트의 X좌표  
 $Y_{cam}$  : 캠조인트의 Y좌표  
 $a$  : 브래킷 링크와 도어의 사잇각

$\beta$  : 캠링크1과 캠링크2의 사잇각  
 $\gamma$  : 캠링크2와 캠 국부좌표계 X축의 사잇각  
 $\theta$  : 자동개폐 기능 전환 각도  
 $\Phi_1$  : 도어 0°에 대한  $\theta$ 에서의 스프링력의 비  
 $\Phi_2$  : 도어 0°에 대한 130°에서의 스프링력의 비  
 $L_s$  : 캠링크와 힌지 외부구조물과의 거리  
 $\sigma_{max}$  : 도어 개방 충돌 해석 시 발생하는 최대응력

### 1. 서론

가전제품에서 사용되는 힌지는 본체와 도어를 연결하는 부품으로써, 초기의 힌지는 오로지 도어의 회전성만 고려하여 구성되었으나 점차 가전제품 사용의 편리성과 안정성을 추구하는 방향으

<sup>†</sup> Corresponding Author, romana79@kmu.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

로 설계되고 있다.<sup>(1)</sup>

특히 냉장고에 사용되는 힌지의 경우 도어와 부하물의 하중이 크고 도어 개폐 시 발생하는 충격을 함께 고려해야 하므로 다른 가전제품에 비해 안전성을 고려한 설계가 더욱 요구된다. 더불어 편의성에 대한 소비자의 요구가 점점 증가하면서 힌지부의 메커니즘은 복잡해지고 메커니즘을 덮고 있는 힌지 프레임의 크기 또한 커지므로 대형 냉장고 힌지의 생산단가는 다른 일반냉장고에 비해 상당히 높다. 힌지의 성능을 유지하면서 동시에 생산단가를 절감하려는 노력은 계속되고 있으나 가장 중요하게 고려되어야 할 메커니즘 영역은 민감도가 높은 특성으로 인해 설계 대상에서 제외되고 있으며, 시제품 제작과 테스트를 반복하는 기존의 설계 방식으로는 경쟁력을 확보하기가 어렵다. 최근 수학적 기반에 근거를 둔 최적화 설계기법이 다양한 분야에 적용되고 있지만 힌지의 기구학적 메커니즘과 외부 프레임에 대한 최적설계에 관한 연구는 많지 않다.

본 연구에서는 PIDO기술을 이용하여 해당 힌지의 메커니즘 성능은 개선하면서 메커니즘을 둘러싼 외부 프레임의 부피를 최소화하여 힌지의 생산원가 절감과 구조적 안정성을 높이는 것을 설계목표로 한다.<sup>(2)</sup>

## 2. 힌지 메커니즘 및 해석

### 2.1 힌지 메커니즘 원리

본 연구에서 사용하는 힌지는 냉장고 하부에 설치되는 타입의 힌지이다. 힌지는 4절 크랭크-로커 기구와 4절 슬라이더-크랭크 기구가 결합된 메커니즘을 이용하여 사용자의 냉장고 개폐를 돕는 기능을 제공하고 있다.

본 연구에서 사용하는 힌지는 도어의 개폐를 돕기 위해 스프링의 인장 및 압축력이 이용된다. Fig. 2(a), (b)에 나타난 바와 같이 도어를 여는 경우 힌지 레버의 움직임에 의해 캠이 회전하고, 캠의 회전에 따라 스프링이 압축된다. 개방각이 60°가 넘을 경우 압축된 스프링의 복원력이 도어를 쉽게 열도록 도와주며, Fig. 2(c)와 같이 최대 개방각을 130°로 유지하기 위해 스토퍼는 외부 프레임에 고정되어 있다. 도어를 닫는 경우도 동일한 방식으로 동작하여 사용자가 손쉽게 도어를 닫을 수 있도록 메커니즘은 구성되어 있다.

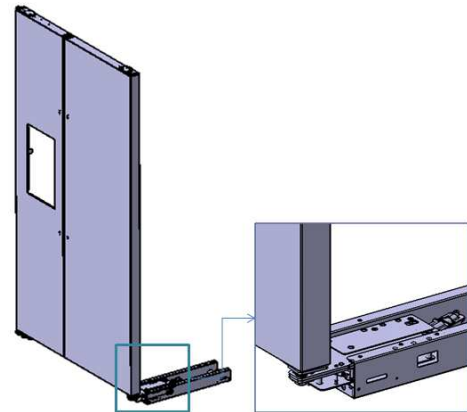


Fig. 1 Location of the hinge

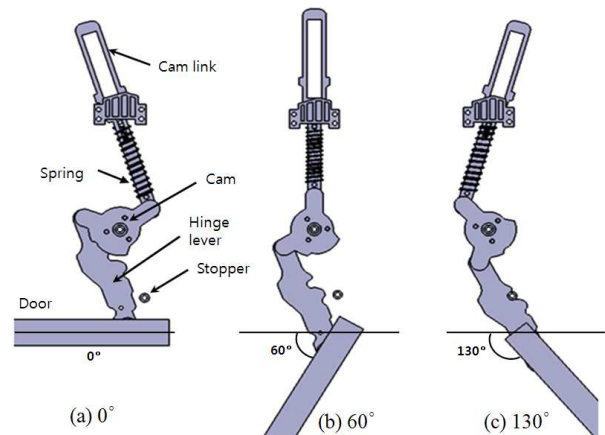


Fig. 2 Hinge mechanism

### 2.2 힌지 메커니즘 해석

힌지의 메커니즘 해석은 두 가지 해석기를 통해 수행된다. 엑셀 해석기(Excel solver)는 도어 개방 시 1°마다 링크 사이의 각도 및 조인트 좌표를 계산하여 도어 개방각도에 대한 메커니즘 응답 특성을 분석하고, 상용 해석 프로그램인 ANSYS Workbench는 냉장고 도어의 최대 개방각인 130°에서 힌지내부의 링크와 스토퍼 간 충돌 해석을 수행하는데 사용된다.

하지만 충돌해석은 많은 해석 시간을 요구하며, 최적설계 수행 시 설계변경이 이루어질 때마다 반복적 해석이 요구되어 시간적 손실이 많으므로 제조사에서 시행한 피로실험 데이터로부터 계산된 증가하중을 적용하여 해석시간을 단축하였다. 피로실험 결과 파손부위는 Fig. 4와 같으며, 이는 해석결과에서 나타난 파손우려 부위와 동일한 60,000 사이클에서 피로파손이 발생하였다. 실

험결과 값을 기준으로 타당한 증가하중을 구하기 위하여 다음과 같은 해석을 수행하였다. Fig. 3과 같이 냉장고 끝단에 하중을 적용하여 도어의 관성력에 의한 충격을 적용하였고 해당 증가하중의 크기를 0.5kgf 만큼 증가시키면서 피로파손이 발생하는 도어개폐 반복횟수를 관찰하였다. Table 1에 나타낸 바와 같이 증가하중이 3.5kgf 일 때 실제 실험결과인 60,000사이클보다 25% 더 낮은 44,545사이클에서 피로파손이 발생하였다. 해석 결과를 토대로 해석에 있어 보수적인 결과를 얻기 위해 실제 충격하중보다 큰 3.5kgf의 증가하중을 적용 하였다. 증가하중은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 3.5kgf 에 해당되는 34.3N으로 적용되었으며, 도어회전운동의 접선방향으로 530mm 떨어진 부분에서 가하도록 하였다. 유한요소는 총 83,000여개로 구성되며, 동해석시 소요시간이 약 8시간이었던 것에 비해 증가하중을 적용한 결과 1분 40초로 해석시간이 단축되었다. 최적설계 과정에서 수백 회의 해석이 반복수행 되는 것을 감안하면 증가하중 적용으로 얻는 시간적 효율성은 매우 크다는 사실을 알 수 있다.

### 3. 설계문제 정의

#### 3.1 설계 요구사항

본 연구의 목표인 힌지의 생산비용 절감을 큰 수준으로 얻기 위해서는 메커니즘을 둘러싸고 있는 상하부 프레임의 재료원가절감이 가장 중요한 요소이다. 하지만 비용절감 과정에서 기존 힌지 메커니즘과의 유사성과 구조적 안정성이 충분히 고려되어 진행되어야 하므로 본 연구에서는 아래 다섯 가지 고려사항을 제한조건으로 한다.

첫 번째 고려사항은 자동개폐 기능의 방향 전환 기준 각도이다. 해당 힌지는 사용자의 편의를 돕기 위해 자동개폐 기능을 제공하고 있다. 이 기능은 스프링력으로 인해 일정 각도 이상 도어가 개방되면 자동으로 열리고, 해당 각도 이하로

도어가 닫히면 자동으로 닫히게 한다. Fig. 5에서 나타내는 힌지의 스프링 응답 특성을 살펴보면 스프링력이 가장 큰 지점에 변곡점이 생성되는데, 이 각도가 자동개폐 기능의 방향전환 기준각도에 해당한다. 기존 모델에서는 도어 개방각도 60°를 기준으로 설계되어 있으며 해당 각도 주변 ±5°가 사용자가 가장 편하게 도어를 개폐할 수 있는 각도이므로 제한조건으로서 55°~65°로 상한( $\theta^U$ )과 하한( $\theta^L$ )을 설정하였다.

두 번째와 세 번째 고려사항은 도어 개방 각도에 따른 스프링력의 응답특성이다. 개선된 모델은 기존 모델의 스프링력의 응답특성(Fig. 5)과 유사해야 하므로 개방각도가 0°인 지점을 기준으로 응답곡선의 변곡점에 해당되는 자동 개폐기능 전환 각도( $\theta$ )와 130°에서의 스프링력이 유사하도록 설정해야 한다. 그러므로 이를 위해 0°에서의 스프링력( $F_{s=0deg}$ )에 대한 도어 개방각에 따른 스프

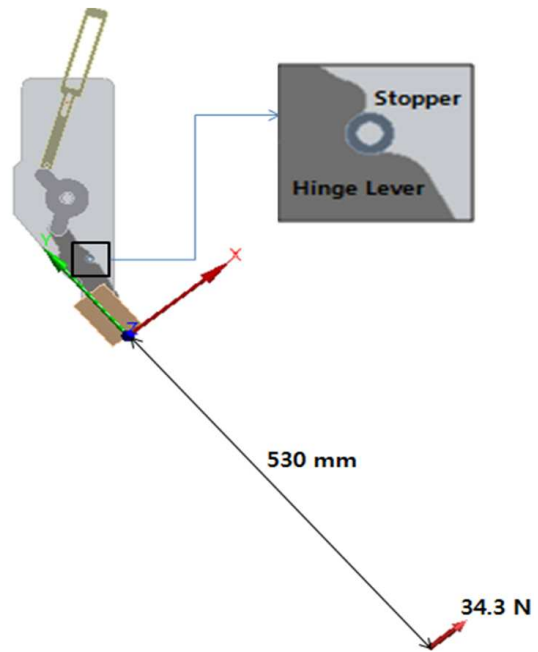


Fig. 3 Equivalent load applied to the open door to 130°

Table 1 Fatigue life of the hinge lever under equivalent loads

		Fatigue life (cycle)
Field test		60,000
Equivalent load (kgf)	3	744,150
	3.5	44,545
	4	3,055

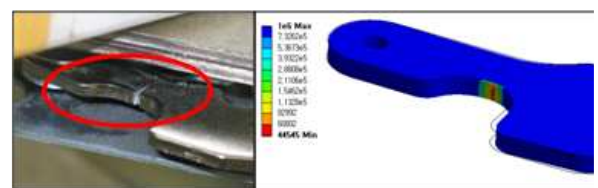


Fig. 4 Fatigue field test and fatigue analysis

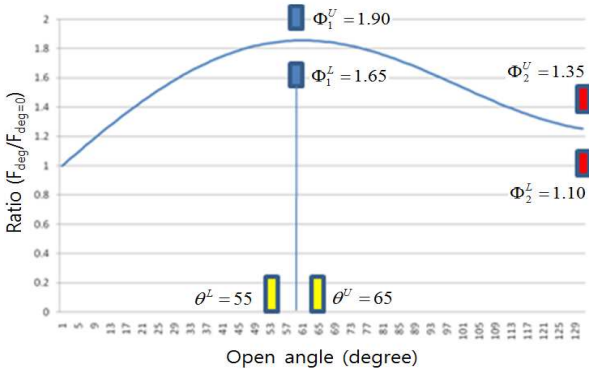


Fig. 5 Spring force ratios according to open angles

링력( $F_s$ )의 비를 아래와 같이 정의하였다.

$$\Phi = \frac{F_s}{F_{s=0deg}} \quad (1)$$

본 논문에서는 자동 개폐기능 전환 각도( $\theta$ )와 도어의 최대개방각도( $130^\circ$ )에서의 스프링 압축비는 각각  $\Phi_1$ 과  $\Phi_2$ 로 정의하였으며,  $\Phi_1$ 과  $\Phi_2$ 의 상한( $\Phi_1^U, \Phi_2^U$ )과 하한( $\Phi_1^L, \Phi_2^L$ )은 자동개폐기능의 운동성 및 최대 개방각도에서 스톱퍼에 가해지는 충돌을 고려하여 설정되었다.

네 번째 고려사항은 도어가 최대 개방각도에 이르렀을 때 힌지의 가장 뒤쪽에 위치한 캠 링크와 힌지 외부구조물이 충돌하지 않도록 하는 거리  $L_s$ 를 설정하는 것이다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 최대개방각도에서 힌지의 캠 링크와 힌지 외부 구조물의 간격이 매우 좁은 상태이므로 제한거리를 두지 않고 최적화를 진행할 경우 최대 개방각도에서 해당 부분에 충돌이 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 충돌에 대한 충분한 안전거리를 확보하기 위한 최소값으로 하한을 5mm로 설정하였다.

다섯 번째 고려사항은 충돌해석 수행 시 발생되는 최대 응력( $\sigma_{max}$ )이다. 충돌해석 시 최대응력의 발생지점은 힌지레버와 스톱퍼가 충돌하는 부분으로 힌지 레버에서 발생하게 되며 이는 Fig. 7에 나타내었다. 기존 모델에서는 힌지 레버에서 최대 228MPa의 응력이 발생하며 이는 생산기준인 도어개폐 100,000사이클의 피로수명을 이미 만족하고 있다. 그러므로 힌지레버에서 발생하는 최대응력에 대한 제약조건은 기존 힌지의 성능에 기준한 220MPa의 상한을 설정하였다.

위와 같이 모두 5개의 제한조건을 설정하였으

Table 2 Lower and upper bounds for constraints

Constraints	Lower bound	Initial design	Upper bound
$\theta$ (degree)	55	60	65
$\Phi_1$	1.65	1.84	1.90
$\Phi_2$	1.10	1.23	1.35
$L_s$ (mm)	5.00	5.66	-
$\sigma_{max}$ (MPa)	-	228.0	220.0

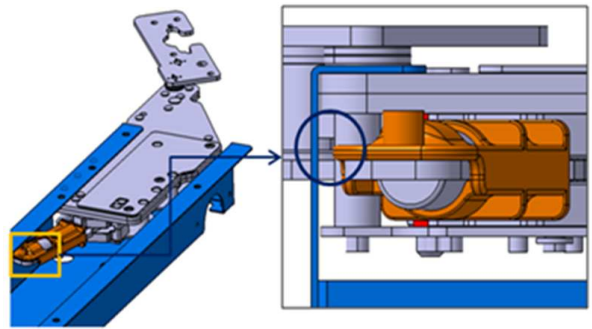


Fig. 6 Gap between the cam link and the exterior structure

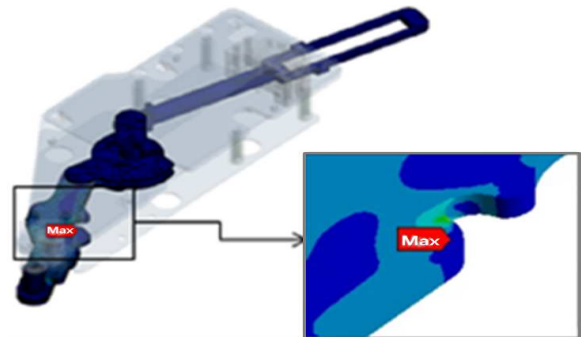


Fig. 7 Stress distribution of the hinge

며 Table 2에 초기값 및 상한과 하한을 자세히 나타내었다.

### 3.2 설계변수

힌지의 메커니즘 최적화를 위해 10개의 설계변수를 선정하였다. 설계변수는 각 링크의 길이 및 각도, 조인트 좌표, 스톱퍼의 위치 등으로 힌지 메커니즘의 형상과 관련이 있다. 본 연구에서는 ANSYS Design Modeler를 이용하여 힌지를 모델링하였으며, 형상설계변수를 용이하게 변경하기 위하여 골조기법(skeleton method)을 사용하였다. 골조기법이란 형상설계변수로 이루어진 뼈대가 되는 스케치(sketch)를 구성하고 이후 모든 모델

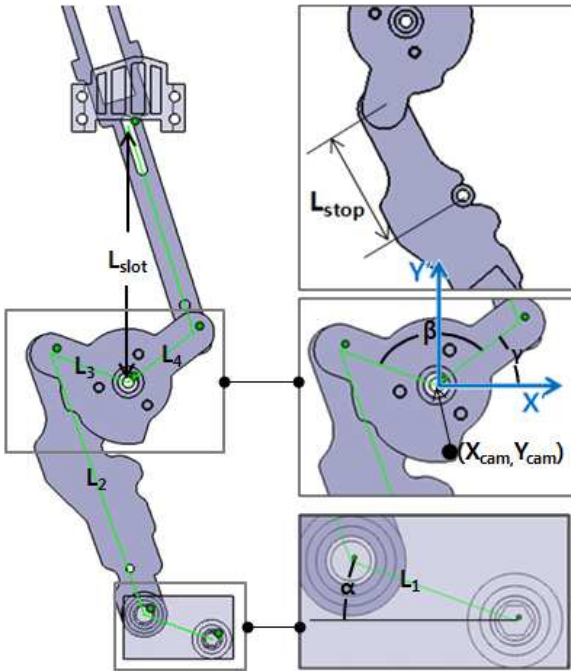


Fig. 8 Design variables

링 과정의 스케치를 제한조건으로 연동시킴으로써 설계변수 변화에 따른 설계자동화를 구현하는 기법이다.

각 설계변수는 Fig. 8과 같이 힌지 메커니즘의 자유도를 구속하는 설계인자들로 구성되어 있다.  $L_1$ 은 도어브래킷 링크의 길이이며,  $L_2$ 는 힌지레버 링크의 길이,  $L_3$ 와  $L_4$ 는 캠 링크의 길이,  $L_{stop}$ 은 캠 링크1과 스톱퍼(stopper) 사이의 거리,  $L_{slot}$ 은 캠 국부좌표계에서의 슬랏조인트(slot joint) 사이의 거리로써 모두 길이에 대한 설계변수이다.  $\alpha$ 는 도어와 도어브래킷 링크의 사잇각,  $\beta$ 는 캠의 두링크의 사잇각으로 각도에 대한 설계변수이며,  $X_{cam}$ 과  $Y_{cam}$ 은 절대좌표에 대한 캠 조인트의 좌표이다.

이와 같이 선정된 10개의 변수는 독립적이며 메커니즘의 자유도를 구속하므로 설계변수로 적합해 보이지만 메커니즘 최적화 과정에서는 사용자가 지정한 변수범위 내 값의 변화로 메커니즘의 본래의 기능을 상실하는 경우가 빈번하게 발생하므로, 각각의 연결된 부품들 간의 연속적인 거동을 위해서는 Grashof 법칙을 고려해야 한다.

Grashof 법칙에 따르면, 4절 링크에서 연속적인 상대운동이 가능 하려면 가장 긴 링크와 가장 짧은 링크의 길이의 합이 다른 두 링크의 길이의 합보다 길지 않아야 한다. Grashof 조건이 성립한

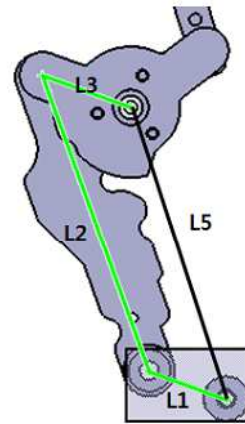


Fig. 9 Crank rocker with the four bar linkage

다면 적어도 하나의 링크는 고정평면에서 360° 완전회전을 할 수 있으며, 부등식이 성립하지 않으면 다른 링크에 대해 완전회전이 가능한 링크는 존재하지 않는다.

힌지 메커니즘에서 도어가 회전하기 위해서는 링크  $L_1$ 이 적어도 130°(도어 최대 개방각) 만큼 회전해야한다. 먼저 Grashof 법칙을 힌지에 적용하기 위해 다음과 같은 가정을 하고 이에 맞게 변수범위를 설정한다.

- 4절 링크 중 가장 긴 링크는  $L_2$ 이다. ( $L_5 < L_2$ )
- 가장 짧은 링크는  $L_1$ 이다. ( $L_1 < L_3$ )

그러므로 Grashof 법칙을 힌지의 설계인자들로 표현하면 다음과 같다.

$$L_1 + L_2 \leq L_3 + L_5 \quad (2)$$

위식에 나타내어져 있는 4개의 변수 중  $L_5$ 는  $X_{cam}$ 과  $Y_{cam}$ 의 종속변수이며  $L_1$ 과  $L_3$ 는 가정을 통하여 설계변수 범위를 조정하였으므로  $L_2$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$L_2 \leq L_3 + L_5 - L_1 \quad (3)$$

식 (3)의 설계변수  $L_2$ 를 우변에 위치한 변수들의 종속변수로 변경하면 Grashof 법칙을 항상 만족하는 메커니즘을 생성할 수 있게 된다.  $L_2$ 를 종속변수화 하기 위해서는 다음과 같은 두 가지 조건이 필요하다.

첫 번째는 운동성능의 안정성을 확보할 수 있는 보정값이다. 식 (3)의  $L_2$ 가 우변의 항과 같은

**Table 3** Lower and upper bounds for design variables

	Variable	Lower bound	Initial design	Upper bound
Length (mm)	$L_1$	25	35	35
	$L_3$	37	40	45
	$L_4$	30	40	45
	$L_{slot}$	90	124.3	130
	$L_{stop}$	50	52.2	70
Coordinate (mm)	$X_{cam}$	25	40.8	55
	$Y_{cam}$	90	125	130
Degree (deg)	$\alpha$	15	20	30
	$\beta$	120	122.7	135
	$\gamma$	25	37.3	45

값을 가지게 되면 모든 링크가 일직선상에 놓이게 되는 전환점에서의 링크의 운동이 불안정해지고 예측할 수 없게 된다. 따라서 보정값  $Z$ 를 다음과 같이 적용하여  $L_2$ 의 값을 도출하였고  $Z$ 의 값은 기존 설계모델을 참고하여 2mm로 선정하였다.

두 번째는 힌지 메커니즘의 자유도를 구속하던 설계인자였던  $L_2$ 가 종속변수가 되면서 이를 대체할 수 있는 독립된 설계변수를 결정해야 한다. 메커니즘 자유도 구속을 위한 대체 설계변수로 캠링크2와 캠 국부좌표계 X축의 사이각  $\gamma$ 가 선정되었다. 설계변수의 범위는 Table 3에 나타내었다.

$$L_2 = L_3 + L_5 - L_1 - Z \quad (\text{보정값 } Z = 2\text{mm}) \quad (4)$$

### 3.3 최적설계 정식화

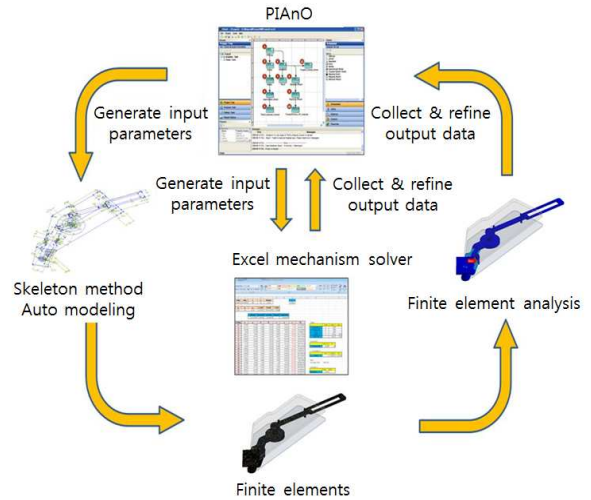
본 연구에서는 힌지 프레임의 질량을 목적함수로 하고, 편의기능 기준각도, 스프링응답 특성, 캠링크와 힌지 외부구조물의 충돌방지 거리 및 최대 개방각도에서 충돌에 의한 응력을 구속조건으로 설정하였으며, 구속조건의 상한과 하한은 Table 2에 나타나 있다. 이를 정식화 하면 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{Find} \quad & \underline{d} = \begin{bmatrix} L_1, L_3, L_4, L_{slot}, L_{stop} \\ X_{cam}, Y_{cam}, \alpha, \beta, \gamma \end{bmatrix} \\ \text{to minimize} \quad & \text{mass}(\underline{d}) \\ \text{subject to} \quad & \text{lower bound} \leq \Theta(\underline{d}), \Phi_1(\underline{d}), \Phi_2(\underline{d}), L_s(\underline{d}), \sigma_{\max}(\underline{d}) \leq \text{upper bound} \end{aligned} \quad (5)$$

## 4. 해석 자동화 및 최적설계 결과

### 4.1 최적화 절차 자동화 및 최적화 기법

최적설계는 설계모델의 변경과 구조해석이 반



**Fig. 10** Automated optimization process

복적으로 이루어진다. 본 연구에서는 이러한 일련의 작업을 컴퓨터가 자동으로 되풀이 할 수 있도록 PIDO 기술을 이용하여 각 프로그램들을 연동하였다.<sup>(6)</sup> PIDO 프로그램은 PIANO<sup>(7)</sup> (Progress Integration, Automation and Optimization)를 이용하였으며 자동화된 절차는 Fig. 10에 나타내었다.

본 연구에서는 최적화 기법으로 PIANO에 탑재된 PQSRM(Progressive Quadratic Response Surface Method)을 사용하였다. PQSRM은  $2n(n$ :설계변수 수)+1개의 실험계획을 수행하고, 목적함수 및 구속조건함수에 대해 2차 반응표면 모델을 생성하여 최적설계를 하는 순차적 근사최적설계 기법에 해당된다. 본 방법은 설계영역을 효과적으로 조절하는 신뢰구간 알고리즘을 적용하여 수렴성과 효율성을 동시에 만족하는 장점을 가지고 있다.<sup>(7)</sup>

### 4.2 최적설계 결과

최적화는 총 317회의 해석을 거쳐 완료 되었으며 총 8시간 30분이 소요되었다. 최적화 결과로 도출된 힌지의 성능은 구속조건의 위배 없이 큰 수준으로 프레임 질량감소를 이루었다. 최적화의 목적함수 수렴과정은 Fig. 11에 나타내었다.

목적함수인 프레임 질량은 초기 값 (2.1kg) 대비 24% 감소한 1.6kg이었다. 충돌해석 결과는 Fig. 12에 나타난 바와 같이 최대응력이 214MPa로서 초기모델과 동일한 지점에서 발생하며 14 MPa 만큼 감소하여 구조적 안정성을 더했다.

자동개폐 기능의 방향 전환 기준 각은 기존보다 4°증가한 64°로 나타났다. 스프링응답을 특

Table 4 Optimum design result

	Var.	Lower bound	Initial design	Opt. design	Upper bound
Design variable	$L_1$	25	35	30.5	35
	$L_3$	37	40	37	45
	$L_4$	30	40	30	45
	$L_{slot}$	90	124.3	121.4	130
	$L_{stop}$	50	52.2	54.8	70
	$X_{cam}$	25	40.8	27.5	55
	$Y_{cam}$	90	125	90	130
	$\alpha$	15	20	17.5	30
	$\beta$	120	122.7	124.5	135.0
Constraints	$\gamma$	25	37.3	35.6	45.0
	$\Theta$	-65	-60	-64	-55
	$\Phi_1$	1.65	1.84	1.65	1.90
	$\Phi_2$	1.10	1.23	1.35	1.35
	$L_s$	-	-5.6	-5.0	-5.0
Object			2.1	1.6	

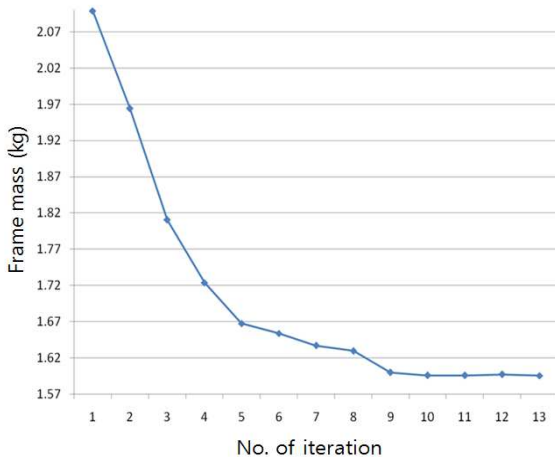


Fig. 11 Convergence history of the objective function

정 짓는  $\Phi_1$ 과  $\Phi_2$ 는 각각 변수범위 하한과 상한에 수렴하였다. 최적화 결과로 얻은 스프링응답 곡선(Fig. 13)을 살펴보면 방향전환각도에서 초기 모델에 비해 스프링력이 큰 수준으로 감소하면서 기존의 메커니즘에 비해 구조적 안정성이 향상되었다. 힌지 외부구조물과의 충돌을 방지하기 위한 유격  $L_s$ 는 초기 값인 -5.6mm에서 하한 값인 -5mm에 수렴하여 기존값과 거의 유사함을 알 수 있다.

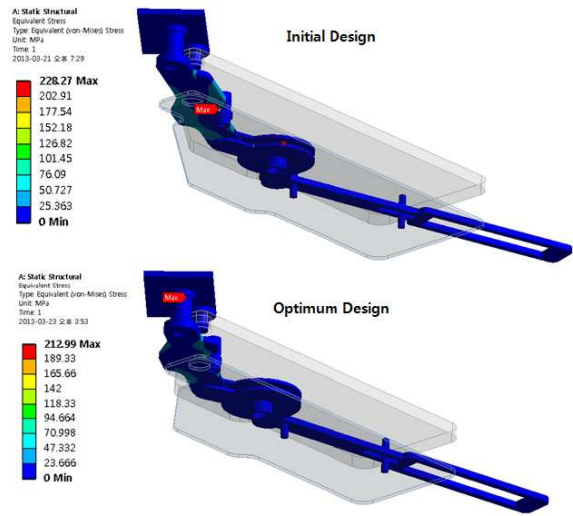


Fig. 12 Comparison between analysis results of initial and optimum design

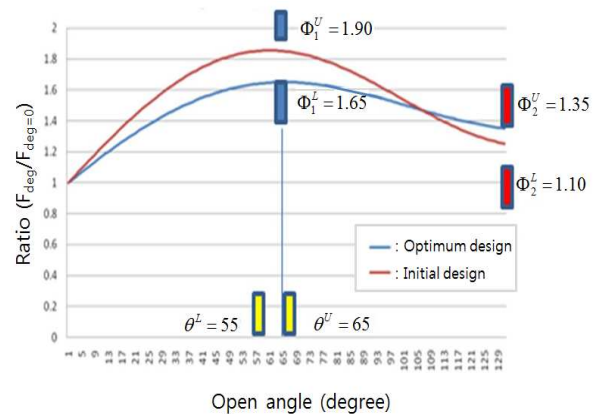


Fig. 13 Spring force ratio curve at the optimum design

Fig. 14에서 보는 바와 같이 초기 모델과 최적 설계 결과로 얻은 모델의 형상을 비교해 보면 초기 모델에 비해 최적화된 모델은 힌지 레버의 길이가 감소했으며, 스톱퍼 위치는 도어에 가까워졌음을 알 수 있다. 이로 인해 최적화된 모델은 도어 및 부하물 하중을 안정적으로 지지하여 도어의 처짐을 개선할 수 있으며, 힌지 전체 부피의 감소로 공간적 이점 또한 추가적으로 기대할 수 있다.

그러므로 최적화과정을 통해 초기 모델에 비해 힌지 메커니즘의 구조적 안정성과 성능이 향상되었고, 동시에 생산단가 절감효과를 거둘 수 있었다.

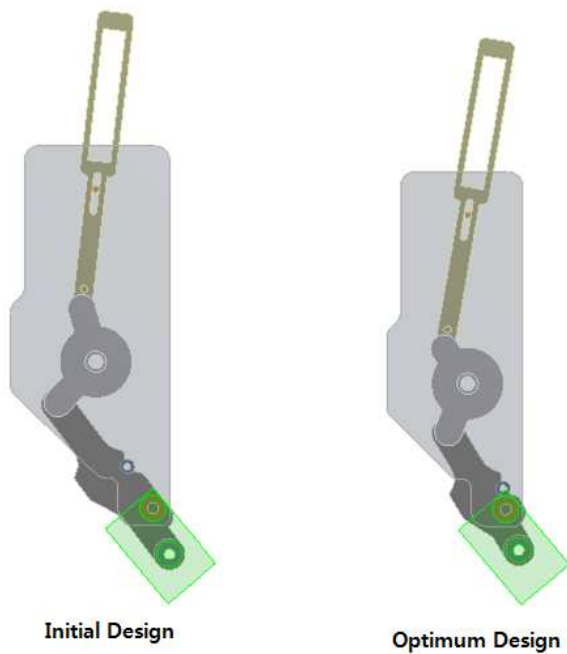


Fig. 14 Comparison of initial and optimum design

## 5. 결론

본 연구에서는 현재 생산되고 있는 힌지의 원활한 구동을 위한 메커니즘을 개선하고, 메커니즘을 감싸는 외부 프레임의 경량화를 목표로 최적 설계를 수행하였다. 힌지 메커니즘 동작성의 검증에 위해 엑셀 해석기를 제작하여 메커니즘 해석을 수행하였으며 ANSYS와 PIAAnO를 이용하여 구조해석 및 최적설계 수행을 수행하였다.

설계 효율성을 높이기 위해 PIDO 기술을 이용하여 메커니즘 해석, 구조해석 및 최적설계 툴을 유기적으로 연동하였으며, 최적 설계 결과 최대 스프링력과 최대응력이 감소하여 힌지의 구조 안전성을 확보하였다. 또한 힌지 메커니즘 최적화를 통해 메커니즘을 둘러싸고 있는 외부 프레임의 부피가 감소하여 24%의 원가를 절감하는 효과를 거두었다.

## 후 기

본 연구는 LG전자(주)의 산학연구용역과제인 “냉장고 힌지부 구조 최적화 및 원가절감을 위한 연구”에서 수행된 결과임을 밝히며, 연구비 지원

에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Hwang, J. H. and Shim, J. K., 2011, "The Optimization of Hinge Mechanism for Appliance," *Conference Proceeding of the KSPE*, pp. 761~762.
- (2) Kang, K. B., Lee, K. S., Ma, S. B. and Choi, D. H., 2011, "Design Optimization of Driving Mechanism for Banking Automation Equipment," *Conference Proceeding of the KSME*, pp. 1143~1148.
- (3) Lee, J. H., Heo, S. J., Kim, I. H. and Jeong, J. I., 2009, "Four Bar Link Optimum Design Process Development of Sequential Approximation Optimization Base," *KSAE Annual Conference*, pp. 2446~2454.
- (4) Robert L. N., 2010, "Kinematics and dynamics of machinery (First Edition in SI units)," McGraw-Hill, Korea.
- (5) Park, K. W. and Choi, D. H., 2004, "Optimal Design of a Heat Sink using the Sequential Approximate Optimization Algorithm," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 16, No. 12, pp. 1156~1167.
- (6) Lee, G. S., Park, J. M., Choi, B. L., Choi, D. H., Nam, C. H. and Kim, G. H., 2012, "Multidisciplinary Design Optimization of Vehicle Front Suspension System Using PIDO Technology," *Transactions of KSAE*, Vol. 20, No.6, pp. 1~8.
- (7) Park, C. H., Pyo, B. G., Choi, D. H. and Koo M. S., 2011, "Design Optimization of an Automotive Injection Molded Part for Minimizing Injection Pressure and Preventing Weldlines," *Transactions of KSAE*, Vol. 19, No. 1, pp. 66~72.