

공리적설계를 이용한 휴대폰 슬라이드 기구의 스파이럴 스프링 설계 Design of Spiral Spring in Sliding Mechanism for Mobile Phones Using Axiomatic Design

황은하*, 한덕희**

Eun-Ha Hwang*, Deok-Hee Han**

<Abstract>

It is well known that mobile phones have been a indispensable communication tool for human life. The spiral springs are used as the main component of the semi-auto sliding mechanism of mobile phones. The characteristic of axiomatic approach is scientific and analytical method, and axiomatic approach is different from other design methods in offering the systematic method at an early stage of design. The axiomatic approach could determine design parameter and arrange the order of design and estimate the optimum design in good order. In axiomatic approach, the composition is divided by customer requirement, functional requirement, design parameter, and design matrix in large portion. This paper presents design in sliding mechanism for mobile phones by finite element method and axiomatic design.

Keywords : *Axiomatic Design, Functional Requirements, Design Parameters, Mobile Phone, Slide Mechanism, Spiral Spring, Finite Element Method*

1. 서 론

휴대폰은 현대인에게는 더 이상 없어서는 안 되는 통신수단이 되었다. 휴대폰의 힌지 종류에는 크게 나누어 슬라이드 형과 폴더 형이 있으며, 폴더 형의 힌지기구 설계에 대한 연구는 이루어졌으나¹⁾ 슬라이드 형 힌지기구의 설계와 생산 방식은 지금까지의 경험에 의존하고 있을 뿐 이론적이고 체계적인 연구는 이루어지지 않고 있다. 슬라이드 형 힌지기구의 구성요소로는

크게 메인바디, 슬라이드 바디, 스프링으로 구성되며 이러한 힌지기구에서 가장 중요한 요소는 휴대폰의 개폐력을 결정하는 스프링의 설계이다. 슬라이드 형 휴대폰에 사용되는 스프링의 종류는 여러 가지가 있지만 일반적으로 스파이럴 스프링이 가장 많이 사용되고 있다.²⁾

슬라이드 형 힌지기구에 사용되는 스파이럴 스프링은 개폐력, 피로에 의한 절단, 스트로크 거리, 동작시의 간섭에 의한 소리 등을 고려하여야 한다.

* 교신저자, 정회원 금오공과대학교 기계공학부 교수, 工博
Email : ehhwang@kumoh.ac.kr

** 준회원, 금오공과대학교 대학원

* Corresponding Author, Prof., School of Mechanical Engineering , K.I.T

** School of Mechanical Engineering , K.I.T

본 연구에서는 이러한 여러 조건들을 만족시키기 위한 시스템의 설계를 위하여 단순한 최적화를 통한 설계를 벗어나 설계 도입부에 공리적 설계의 개념을 적용하였다.

공리적 설계는 설계과정에 있어 물리적 영역에 포함되어져 있는 기능적 요구사항을 만족시키는 설계요소의 변화가 그와 관련된 요구사항에만 영향을 미치도록 해야 한다는 독립 공리와, 각 설계요소가 최소한의 정보를 가져야 한다는 정보 공리로 나누어지며, 독립 공리를 만족한 시스템의 정보 공리가 최소가 되는 설계가 최적의 설계임을 의미한다.³⁾

공리적 개념을 도입함으로써 시스템의 설계시에 발생하는 빈번한 설계오류의 가능성을 배제하고, 시스템의 설계에 우선순위를 결정하며, 문제 해결 방안의 요소들을 설계초기 단계에서부터 고려하여 문제 해결을 위해 체계적이고, 합리적인 접근 방법을 도출하여, 슬라이드 형 휴대폰의 힌지기구의 설계에 시간과 경제적인 측면에서 효율적으로 문제를 해결할 수 있다.

2. 공리적 접근

2.1 공리적 설계

일반적으로 설계는 오랜 시행착오를 거쳐서 축적된 기술을 바탕으로 많은 의사 결정과정을 거쳐서 이루어진다. 이러한 일반적인 설계는 많은 시간과 자금을 요구한다.

이런 일반적인 설계의 문제를 해결하기 위해 설계초기 단계부터 어떠한 문제의 해결을 위한 아이디어를 구체화하고 합리적인 접근 방법을 도출하기 위한 방법을 제시한 설계 기법이 공리적 설계이다. 공리적 설계는 1990년 Nam P. Suh에 의해 개발 되었다.

공리적 설계에서는 좋은 설계의 여부를 판단하는 기준으로 기능과 물리적 변수 사이의 관계를 나타내는 독립공리와 복잡한 설계에 대한 정보량을 나타내는 정보 공리가 있다.

공리적 설계는 이런 독립공리와 정보공리에 근거하여 설계 목적에 부합하는 기능적 요구조건을 정의하고 이를 만족시키는 적절한 설계변수를 찾아 결정하는 것으로 시작된다.

Fig. 1.은 공리적 설계의 4가지 설계 영역을 나타낸 것이며, 공리적 설계를 위한 과정으로 정의된 기능적 영역의 FRs와 물리적 영역의

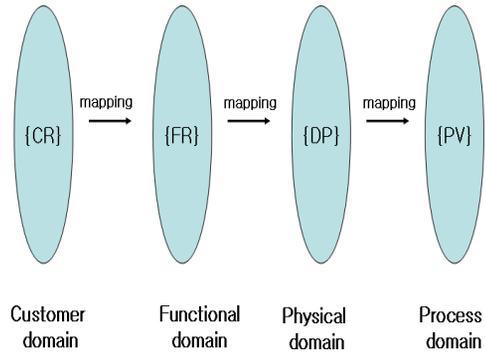


Fig. 1. Four domains of the design world.

DPs 서로간의 관계를 연결시키는 과정을 거쳐서 이를 다음과 같은 식(1)과 같이 행렬형태로 구성한다.

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \quad (1)$$

여기서 {FR}은 기능적 요구사항 벡터이고, {DP}는 설계변수 벡터이며 [A]는 설계행렬을 나타낸다. 공리적 설계에서는 이 설계행렬이 대각 행렬일 경우 즉, 하나의 FR이 하나의 DP에만 만족하는 경우에 비연성설계, 역삼각 행렬일 경우에는 비연성화설계, 그 이외의 설계행렬일 경우에는 연성설계라 한다.

{FR}과 {DP} 사이의 설계행렬 [A]가 연성되지 않게 재배치하여 설계의 순서와 문제해결 방향을 결정하며, 재배치에 의하여 연성설계가 비연성설계나 비연성화설계가 되지 않을 시에 어떠한 기능적 요구사항의 일부를 수정하거나 기능적 요구사항을 만족하는 다른 설계변수를 찾아 연성 설계를 비연성설계나 비연성화설계의 형태로 구성할 수 있다. 설계행렬이 비연성설계나 비연성화설계의 형태로 구성되면, 이를 통하여 FRs를 만족시키기 위한 효과적인 방안을 제시하게 되며, 이를 통하여 시간과 경제적인 측면에서 큰 효율을 얻을 수 있다.

2.2 사용자요구사항(Customer Requirement)

모든 제품에서 사용자의 요구를 충족시키는 것이 가장 선행되어야 하며, 이를 통해 설계의 방향이 결정되며 기존 설계에서의 개선사항에 대해 합리적인 방안이 제시된다. 본 연구에서는 개폐력과 피로에 중점을 두고 고려하고 있다.

그러므로 설계될 슬라이드 형 힌지기구에 사

용될 스파이럴 스프링의 사용자 요구사항(CRs)에 대한 일부설정은 다음과 같이 된다.

- CR₁ : 탄력이 있어야 한다.
- CR₂ : 고장이 없어야 한다.
- CR₃ : 손에 적절히 잡혀야 한다.
- CR₄ : 개폐시 잡음이 없어야 한다.

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ FR_4 \end{pmatrix} = \begin{Bmatrix} X & x & X & x \\ X & X & 0 & x \\ 0 & 0 & X & 0 \\ X & X & X & X \end{Bmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \end{pmatrix}$$

2.3 기능적요구사항(Functional Requirement) 과 설계변수의(Design Parameter) 제시

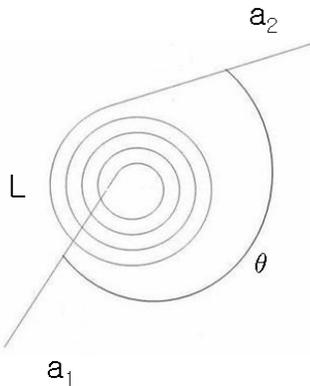


Fig. 2. Shape of spring.

- FR₁ : 일정 크기 이상의 개폐력
- FR₂ : 피로파괴 방지
- FR₃ : 스트로크 제한
- FR₄ : 형상에 의한 잡음 제거

기존의 스파이럴 스프링의 개폐력과 스프링의 강성계수²⁾, 사용수명, 스트로크를 바탕으로 DP를 다음과 같이 제안한다.

- DP₁ : a₁, a₂, L의 길이를 합친 총길이, 스프링의 초기각도 θ'
- DP₂ : 스프링의 각도 변화량(b의 길이)
- DP₃ : a₁, a₂
- DP₄ : L의 바깥직경, a₁

3. 설계행렬(Design Matrix)

FR과 DP를 연결하는 설계행렬을 찾으면 다음과 같이 나타난다.

이 설계는 대각행렬이나 삼각행렬이 아니기 때문에 좋은 설계가 아니다.

대각행렬을 만들기 위해서, FR₄에 해당되는 DP₄와 DP₂의 수정이 필요한데, 이러한 수정은 system constraints에 의해 제한되어 있기 때문이다.

따라서 최소 이 설계가 대각선 행렬의 설계식이 되려면 위의 행렬을 변형해서

$$\begin{pmatrix} FR_3 \\ FR_1 \\ FR_2 \\ FR_4 \end{pmatrix} = \begin{Bmatrix} X & x & 0 & 0 \\ X & X & x & x \\ 0 & X & X & x \\ X & X & X & X \end{Bmatrix} \begin{pmatrix} DP_3 \\ DP_1 \\ DP_2 \\ DP_4 \end{pmatrix}$$

△를 0으로 만들면 대각선 행렬을 이룰 수 있다. 이를 위하여 다음과 같은 방법으로 그 연관관계를 없앨 수 있다.

1. FR₁이 DP₄에 영향을 받지 않는다.(개폐력과 직경의 연관관계를 줄인다.)
2. FR₂가 DP₄에 영향을 받지 않는다.(피로와 직경의 연관관계를 줄인다.)

FR₃와 DP₂와의 관계는 불확실한 가정에 대한 검증을 수행하기 위하여 b의 길이를 변화시켜가며 DP₂가 FR₃의 미치는 영향을 알아보고, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 휴대폰의 형상적인 문제에 의한 b의 범위 제한을 아주 작은 범위내에서 정의 한다면 그 영향은 거의 없다고 판단된다.

Table. 1. Reaction and the number of use flow b(width)

종방향 길이(b)	초기개폐력	사용횟수
12	-0.105773	244,974
11.5	-0.110124	183,260
11	-0.113820	126,392
10.5	-0.116778	83,567
10	-0.120862	55,426

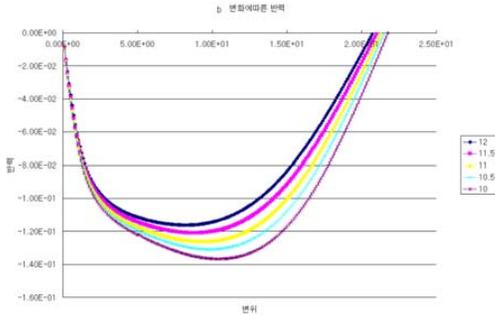


Fig. 3. Reaction flow b(width).

이러한 요인들로 설계행렬은 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$\begin{pmatrix} FR_3 \\ FR_1 \\ FR_2 \\ FR_4 \end{pmatrix} = \begin{Bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ X & X & 0 & 0 \\ 0 & X & X & 0 \\ X & X & X & X \end{Bmatrix} \begin{pmatrix} DP_3 \\ DP_1 \\ DP_2 \\ DP_4 \end{pmatrix}$$

이 설계행렬에 따른 설계는 비연성화 설계이기 때문에, 공리적 설계의 측면에선 타당하지 않은 설계이다. System Constraints에 의하여 DP_4 를 먼저 정하여 설계를 하여야 하며, 다음과 같은 설계 순서를 따르게 된다.

1. 마지막으로 소음을 고려하여 스파이럴의 직경을 결정하여야 한다.
 2. stroke를 고려하여 자유단과 고정단의 길이를 선정하여야 한다.
 3. 스프링의 개폐력을 고려하여 스파이럴 스프링의 총길이를 선정하여야 한다.
 4. 피로를 고려하여 b를 조정한다.
4. 휴대폰 슬라이드 기구에 사용되는 스프링의 공리적 설계

4.1 소음을 고려한 스파이럴의 직경과 고정단의 길이 결정(DP₄)

폭(b)의 길이는 20mm로 제한되어 있고 2개의 스프링을 사용할 경우 고정단이 메인바디의 외곽이 아닌 안쪽에 고정되면, 힌지 거동시 2개의 스프링끼리의 간섭이 발생할 수 있다.

그러므로 고정단의 길이(a_1)의 길이는 적당히

길어야 하며, $\sqrt{(a_1 + \text{반경})^2 + \text{반경}^2}$ 이 20mm보다 작아야 한다. 스파이럴 부분의 반경이 적당히 작아야 한다. 스파이럴의 내부의 감기는 부분의 여유를 주기 위해서 스파이럴의 반경을 4mm 이상이 적당하며, 소음을 최대한 고려한 스파이럴의 직경과 고정단의 길이는 a_1 은 15mm 스파이럴의 외경의 반경은 4mm로 설정하였다.

4.2 스트로크를 고려한 자유단의 길이선정(DP₁)

현재 사용되고 있는 슬라이드 휴대폰의 스트로크는 약 34mm를 사용한다. 그렇기에 이 스트로크를 고려하여 자유단의 길이를 설정한다. 슬라이드 휴대폰 힌지기기에는 System Constraints의 하나인 개폐초기에 스프링이 일정한 힘 이상을 견뎌낼 수 있어야 한다는 제한 조건이 있기 때문에 스프링의 슬라이딩 방향의 길이를 34mm를 초과한 길이로 설정하여야 하며 고정단의 길이 15mm와 반경 4mm를 고려하고, System Constraints에 의한 제한조건을 고려하여 자유단의 길이 a_2 를 8mm로 설정하였다.

4.3 개폐력을 고려한 L의 길이 결정(DP₂)

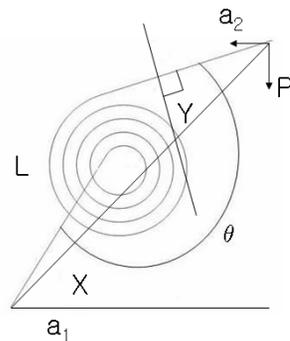


Fig. 4. Shape and term of the spring.

개폐력의 크기는 다음과 같은 수식으로 간단하게 정리될 수 있다.

$$P = \frac{K\theta \sin X}{a_2 \cos Y} \quad (2)$$

여기서 K는 다음과 같다

$$K = \frac{E\pi d^4}{64(L + \frac{a_1 + a_2}{3})} \quad (3)$$

1/CosY는 스프링의 자유단의 위치에 따른 변동 범위의 차이가 크다. 이러한 1/CosY를 고려해야하는 경우엔 설계가 더욱 복잡해지고, 형상의 조건을 고려하여야 하지만, 고정단의 길이에 비하여 자유단의 길이가 작으면 작을수록 개폐력에 영향을 미치는 1/CosY의 값은 작아진다. 이 설계에서는 고정단의 길이를 15mm 자유단의 길이를 8mm로 그 차이를 크게 두어 1/CosY이 스트로크를 고려한 개폐력에 미치는 영향을 무시하였다.

스프링의 재료상수 E는 SWP-B를 단면은 0.5mm의 직경을 가진 재료를 선정하였고, a₁과 a₂의 길이는 DP₁과 DP₄에 의하여 결정되었다. P에 영향을 주는 각도변화 θ는 초기각도 θ'에 영향을 받으며, 그 크기는 개폐력이 유효 P 안에 있어야 하기 때문에 140도로 초기 각도로 결정하였다. 스프링 상수 K값을 결정하는 많은 인자가 있지만, DP₄와 DP₁의 결정으로 남은 인자는 L의 길이이다.

θ의 변화량은 0~140도 이며 그 크기는 0~2.443461 이며 스트로크를 고려한 P 범위내의 θ의 크기는 약 1~1.7 정도의 값을 가지며, SinX는 약 0.9~0.7 가까이 적어지는 형태이다. 휴대폰의 개폐력은 250~300gf의 힘이 적당하며, 2개의 스프링이 휴대폰에 걸리기 때문에 이 개폐력에 알맞은 K의 범위는 0.840 과 1.111 사이의 값을 만족시키는 어떠한 값으로 결정하여야 하며, 식 (3)에 의하여 L의 길이는 52mm~72mm로 선정한다. 바깥 외경이 4mm에 전체 길이를 52mm~72mm내의 L은 피치를 1mm 로 했을때 감긴 횟수는 3번에서 4번 정도이며, 3번이 스파이럴의 형상을 고려하였을때 가장 적당하기 때문에 피치를 1로 3번을 감은 약 56.6mm의 길이의 L을 선정하였고, 스프링의 강성계수는 1.0017kgf/mm² 이다.

4.4 피로를 고려한 b길이 결정(DP₃)

휴대폰의 개폐 횟수는 7만회 이상 되도록 설계하여야 하며, 이는 피로에 의한 파괴와 관련

이 된다. 휴대폰에 사용되는 스파이럴 스프링의 최대 응력은 θ 변화량이 가장 큰 고정단의 고정점과 자유단의 끝단이 일직선상에 놓여있을 때이며, 최소 응력은 θ의 변화량이 가장 작을 때이며, 스트로크를 고려한 길이에서 그 응력값을 최소 응력값으로 한다. 피로회수는 Goodman Equation을 사용하여 구하였으며, 피로회수에 적합한 b를 선정하였다.

Table. 2. Mechanical property of SWP-B

d(mm)	Young's modulus (Kgf/mm ²)	Yield strength(Kgf/mm ²)	Tensile strength(Kgf/mm ²)
0.5	21,000	139	250~273
0.6	21,000	139	246~270
0.7	21,000	139	240~245
0.8	21,000	139	235~260
0.9	21,000	139	230~250
1.0	21,000	139	226~245

직경이 0.5mm인 SWP-B 재료를 사용하였고 Su를 260kgf/mm²으로 설정하였을때, Su < 200 ksi보다 작은 값을 가지며, Su 때문에

$$S_e = 130kgf/mm^2$$

$$S_{1000} = 234kgf/mm^2$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}, \quad (4)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\frac{\sigma_a}{S_n} + \frac{\sigma_m}{S_u} = 1 \quad (5)$$

피로 수명에 관한 식 (5)에 의하여 S_n이 결정되며, 피로 수명 S_n은 평균응력(σ_m)과 응력 진폭(σ_a)에 의하여 결정된다는 것을 알 수 있다. 굽힘에 의한 인장강도를 고려하였을 때⁵⁾ 피로에 의한 수명이 7만회 이상을 만족시킬 수 있는 최대응력과 최소응력의 차이는 약 100 kgf/mm² 일 때, 최소응력이 100kgf/mm² 최대

응력이 최소응력의 2배인 200kgf/mm² 에 가까운 값일 때 7만회 이상의 피로수명을 만족하는 Sn이 계산되어진다.

Table 3. Stress flow b(width)

구분	$\sigma_{max}(kgf/mm^2)$	$\sigma_{min}(kgf/mm^2)$	$\sigma_a(kgf/m^2)$	$\sigma_m(kgf/mm^2)$
10mm	232	107	62.5	169.5
11mm	219	98	60.5	158.5
12mm	207	87	60	147
13mm	195	75	60	135

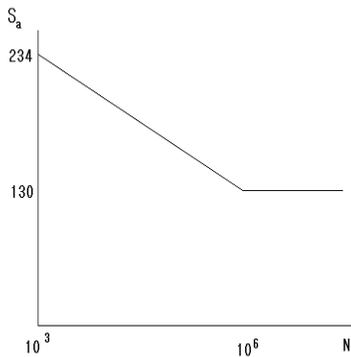


Fig. 5. S-N Diagram.

Table 4. Reaction and the number of use flow b(width)

구분	사용횟수	개폐력
10mm	22,546 회	143 gf
11mm	127,448 회	132 gf
12mm	496,723 회	122 gf
13mm	100만회 이상	113 gf

7만회 이상의 피로수명을 가지고 250gf이상 300gf 이하의 개폐력을 가지기 위해서는 b의 값을 11mm로 두는 것이 바람직하다고 판단되며, 다음과 같은 스프링이 설계된다.

Table 5. Design by axiomatic approach

재료	SWP-B
d(직경)	0.5 mm
a ₁ (고정단길이)	15 mm
a ₂ (자유단길이)	8 mm
L의 바깥반경	4 mm
L의 길이	56.6 mm
L의 피치	1 mm
b(고정단과 자유단 끝까지의 거리)	11 mm

5. 결론

공리적 설계의 개념을 도입하여, 설계 변수들 간의 우선순위를 결정하고, 최적화를 통하여 슬라이드 휴대폰의 설계를 하였다. 이 설계를 위한 가정에 피로에 영향을 주는 DP가 개폐력에도 영향을 주지만, 피로에 영향을 주는 DP의 Design Range를 아주 작은 값으로 제한시키면, 그 영향을 무시해도 좋을 결과값을 나타낼 수 있다는 것으로 연성설계의 스프링 설계를 비연성화설계화 하여, 스프링의 설계를 하였다. 스프링의 개폐력의 변화보다 피로에 의한 스프링의 수명이 크기 때문에 이러한 연성화 설계의 비연성화가 가능하였으며, 이는 공리적설계의 정보공리^{3,4}적인 측면에서 설명이 된다.

공리적 개념을 슬라이드 힌지 기구에 사용되는 스프링에 적용함으로써 기능적 요구사항과 설계 변수들간의 관계를 객관적인 관점에서 평가하였고, 이러한 과정을 거쳐 기능적 요구사항을 만족시키기 위한 합리적인 접근 방법을 찾을 수 있었다. 그 결과 기능적 요구사항을 만족시키는 스프링의 최적해를 도입할 수 있음을 확인하였다.

후기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문입니다.

참고 문헌

- 1) 이수준, 박종근 : 휴대폰 폴더힌지기구를 위

- 한 원통캠 형상 설계에 관한 연구, 한국정밀 공학회지 2005년 춘계학술대회 논문집, p.1613-1616.
- 2) 한덕희, 황은하, : 휴대폰 슬라이드 기구용 스파이럴 스프링 강성에 관한 연구, 한국산업응용학회지 2007년 춘계학술대회 논문집, pp. 31-34
- 3) Nam P. Suh : The Principle of design, The Oxford University Press, (1990)
- 4) Nam P. Suh, : Axiomatic Design Advances And Applications, The Oxford University Press, (2001)
- 5) 이강용, : 응력해석 및 재료거동학, 연세대학교 출판부, (2003)
- 6) ADINA R&D Inc. : ADINA User interface Primer, ADINA R&D, Inc, (2004)
- 7) Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke : Mechanical Engineering Design 6th ed, Von Hoffmann Press Inc, (1977)
- 8) Jule A. Bannantine, Jess J. Comer, James L. Handrock : Fundamentals of metal fatigue analysis, University of illinois, (1989)
- 9) P.F.PAI, A.N.PALAZOTTO : Large-Deformation Analysis of Flexible Beams, Int.J.Solids Structures Vol 33, No.9. pp. 1335~1353, (1996)

(2007년 4월 2일 접수, 2007년 8월 24일 채택)