

오토 레버의 기구부 최적 설계 방안 제시를 위한 유전 알고리즘 적용 연구

정현효*, 서광규*, 박지형*, 이수홍**

Genetic Algorithm based Optimal Design Methodology for Lever Sub-Assembly of Auto Lever

HyunHyo Jung*, KwangKyu Seo*, JiHyung Park*, and SooHong Lee**

ABSTRACT

This paper explores the optimal design methodology for auto lever using a genetic algorithm. Component of auto lever has been designed sequentially in the industry, but this study presents the novel design method to consider the design parameters of components simultaneously. The genetic algorithm approach is described to determine a set of design parameters for auto lever. The authors have attempted to model the design problem with the objective of minimizing the angle variation of detent spring subject to constraints such as modulus of elasticity of steel, geometry of shift pipe, and stiffness of spring. This method can give the better alternative.

Key Words : Genetic Algorithm (유전 알고리즘), Auto Lever (오토 레버), Force Transfer (힘의 전달)

기호설명

L = height of shift pipe
 H = height of detent spring
 R_{in} = inner radius of shift pipe
 R_{out} = outer radius of shift pipe
 K_0 = stiffness of torsion spring
 M = mass of knob
 m = mass of shift pipe
 θ_g = position angle of groove
 θ_{tot} = total angle variation of detent spring
 θ = angle variation of detent spring

1. 서론

자동차의 오토 레버는 자동차를 운전할 때 속도를 변속하기 위해 사용하는 장치이다. 그리고 오토 레버의 기구부는 Groove 의 홈과 Detent Spring 의 Roller 에 의해 자동차의 변속을 위한 단을 절도감있게 고정한다. 따라서 오토 레버의 기구부 설계 시 고려해야 할 주요 사항에는 자동차의 주행 시에 발생하는 레버의 밀림 현상을 방지하는 것과 사용자가 레버를 움직일 때 변속이 쉽게 되어야 하는 것을 들 수 있다. 밀림 현상을 방지하기 위해서는 Groove 를 잡아주는 스프링의 강성이 강하면 좋지만, 너무 강할 경우 사용자가 레버 변속 시에 힘이 많이 들어간다는 단점이 발생

* 한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터
 ** 연세대학교 기계공학과

한다. 그러므로 밀림 현상을 방지하는 것과 변속이 쉽게 되기 하기 위해서는 두 가지 요구 사항의 절충이 필요하다. 또한 현재까지는 오토 레버의 설계 시에 부품을 단계적으로 설계를 하였으나, 이 경우 앞의 설계가 완료되지 않으면 그 후의 설계를 할 수 없으며, 설계자가 만족하지 않을 때에는 앞의 단계로 되돌아가서 다시 설계를 해야 하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 운전자의 변속 시키려는 힘이 전달되는 Knob 에서부터 Groove 에 이르기까지의 오토 레버의 전체 설계 과정을 추적하여 관련이 되는 부품들의 기능을 동시에 고려하여 부품의 형상을 최적화하는 방안을 제시한다.

본 연구에서는 오토 레버의 기구학적 설계를 최적화하기 위하여 유전 알고리즘을 사용한다. 이를 위해 Detent spring 의 각 변화에 영향을 주는 변수들을 정의하고, 그 변수들의 관계를 이용하여 목적함수를 제시하고, 다시 역으로 부품의 형상을 결정하여 이의 유용성을 평가한다.

2. 관련 이론

2.1 오토 레버

오토 레버는 자동차에서 변속을 하기 위한 장치로서 크게 다음의 두 가지를 만족하여야 한다.

첫째, 운전자가 변속을 할 때, 너무 많은 힘을 들이지 않고 변속이 가능해야 한다.

둘째, 자동차의 운전 도중 운전자가 의도하지 않았을 때 단이 바뀌거나, 레버의 밀림 현상으로 인해서 운전자가 의도한 단에서 벗어나는 일이 없어야 한다.

오토 레버는 크게 기구부, 구조부, 감성부와 Styling 부품으로 나눌 수 있는데, 그 중에서 위의 요구사항과 밀접한 관계가 있는 부분이 기구부이다.

기구부는 레버의 Type 에 따라서 Straight Type 과 Tiptronics Type 으로 나눌 수 있으며, Straight Type 의 경우에는 Shift Part 와 Link Part 로 구성되며, Tiptronics Type 은 Shift Part 와 Engage Part 로 이루어져 있다. 이러한 차이는 Tiptronics Type 일 경우는 기능 요구에 Manual Mode 라는 부가 기능이 있기 때문에 Straight Type 보다는 좀 더 복잡한 부품 구성 및 메커니즘을 갖기 때문이다.^[3]

변속을 위하여 힘을 발생시키는 Knob 와 Push Button 으로부터 시작하는 오토 레버 기구부의 힘의 전달 구조가 Fig.1 에 나타나 있다. 오토 레버

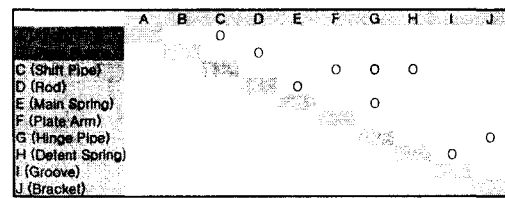


Fig. 1(a) 오토레버 기구부의 힘의 전달도

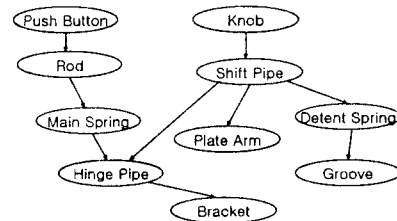


Fig. 1(b) 오토레버 기구부의 힘의 전달도

에서 힘은 Push Button 과 Knob 에서 발생하여 Bracket 까지 전달된다. Groove 가 Bracket 에 붙어 있지 않는 경우는 Bracket 과 Groove 를 따로 고려해야 한다.

오토 레버에 발생하는 힘은 크게 수직 방향의 힘과 아크(또는 수평) 방향의 힘으로 나눌 수 있다. 수직 방향의 힘은 운전자가 Push Button 을 누름으로써 발생한다. 그리고 이것은 Rod Guide 를 지나서 Main Spring 을 거쳐 Bracket 까지 힘을 전달한다. 더불어 자동차가 편평하지 못한 길을 달릴 때에도 발생한다. 아크 방향의 힘은 Knob 에서 발생한다. 운전자가 Knob 를 잡고 단을 바꿀 때, 또는 자동차가 가속할 때 발생하는 힘이다. Knob 에서 발생한 힘은 Shift Pipe 를 거쳐 Hinge Pipe, Plate Arm, Detent Spring 으로 전달된다. 그리고 Hinge Pipe 는 Bracket 에, Plate Arm 은 Transmission Cable 에, Detent Spring 은 Groove 에 각각 그 힘을 전달한다.

본 논문에서는 오토 레버의 단의 이동에 주요한 영향을 미치는 아크 방향의 힘만 고려하여, 힘의 전파에 관련이 있는 부품들에 관련된 변수를 사용하여 연구를 수행하였다.

2.2 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 다양한 해가 존재하는 문제의 최적화를 하는데 있어 최근 들어 많이 이용되

는 방법의 하나이며, 자연계의 적응과정과 유전 인자의 변이과정을 도입하여 이와 유사한 유전인자 모양의 해를 만들어 인공적인 적응과정을 통하여 최적해를 찾으려는 방법이다. 유전 알고리즘의 연산자는 선택, 교배, 돌연변이가 있다.[1][2]

기존의 단계적으로 설계되는 것과 달리, 본 논문에서 제안한 방법은 여러 부품의 설계를 동시에 고려하기 때문에 비선형적이므로 최적의 제품 설계를 위해서는 휴리스틱 알고리즘이 필요하다. 따라서 유전 알고리즘을 적용하는 새로운 방법에 의해 부품들의 설계 변수들을 동시에 고려하여 부품의 최적 혹은 근사 최적의 설계 변수가 결정된다.

3. 오토 레버 기구부의 설계

3.1 문제 분석

오토 레버의 성능은 차량 주행 시에는 단이 바뀌거나 밀림 현상이 없어야 하고, 운전자가 의도할 경우에는 단의 변속이 가능해야 한다. 본 논문에서는 계산의 단순화를 위하여 비교적 형상이 덜 복잡한 Straight Type의 경우에 한해서 위의 조건을 만족하기 위한 연구를 수행하였다.

또한 기존의 설계는 Groove를 제외한 나머지 부분의 설계를 마친 후 Groove를 설계함으로써 설계가 완료되었으나, 본 논문에서는 Groove의 형상이 미리 정해져 있다는 가정 하에 나머지 관련된 부품의 형상을 결정하도록 연구를 수행하였다.

문제해결을 위하여 고려해야 하는 부품은 다음과 같다.

- Knob
- Shift Pipe
- Detent Spring
- Groove

Knob와 Shift Pipe의 질량은 운전자가 변속을 하는 경우에는 중요하지 않지만, 자동차의 운전 중에는 자동차의 가속도를 a 라고 할 때 발생하는 힘은 $F = m \cdot a$ 가 되므로 레버의 밀림 현상을 고려하기 위해서는 이 질량들이 중요한 변수가 된다. Detent Spring은 기구학적 관점에서 볼 때 토션 스프링이 되어야 한다. 외부에서 발생하는 힘 중에서 지면의 노면상태에 따른 수직운동은 고려하지 않고 자동차의 가속에 의해 발생하는 힘만 고려하였다. 또한 Step에 Detent Pin이 걸려서 Push Button을 누르지 않으면 단이 바뀌지 않는 경우와 Transmission Cable에 걸리는 힘 등 외부 조건이 있으나 이와 같이 외부에서 발생하는 변수들은 무

시하였다.

3.2 설계 변수

많은 변수들이 본 연구의 설계에 사용되고 있으므로 이와 같은 변수들을 파악하는 것이 중요하다. 다음 항목들은 실제 제품을 제작하는데 필요한 변수 외에 목적함수를 만들기 위해 필요한 변수들을 나열한 것이다.

1. Shift Pipe의 높이
2. Detent Spring의 높이
3. Shift Pipe의 내경
4. Shift Pipe의 외경
5. Torsion Spring의 강성
6. Knob의 질량
7. Detent Spring의 변화각
8. Detent Spring의 총 변화각
9. Groove의 설계위치

3.3 구속 조건

기존에 제품의 형상을 조사하여 다음과 같은 구속 조건을 만들어 낼 수 있었다.

- Shift Pipe의 높이는 Knob의 center of mass와 같은 값이다.
- Shift Pipe의 내경은 그 내부에 Rod Guide가 들어가기 때문에 Rod Guide의 외경보다는 커야 한다.
- Inner Radius가 Outer Radius보다 작아야 한다.
- Shift Pipe의 높이가 Detent Spring보다 높아야 한다.
- Knob의 무게와 Shift Pipe의 자중에 의해서 발생하는 압력이 Shift Pipe의 재료인 철의 Modulus of Elasticity보다 크면 안 된다.

Knob에 발생하는 힘의 방향이 차량의 앞쪽(+방향)과 뒤쪽 방향(-방향)의 두 방향으로 작용하는 것이 가능한데, 이때 Groove에 접하고 있는 Detent Spring의 Roller에 발생하는 힘의 방향이 달라진다. 실제 Groove의 형상은 다양한 반지름을 갖는 아크의 연결로 이루어져 있으나, 본 연구에서는 계산의 단순화를 위하여 직선과 직선을 연결하는 아크로써 구성하였다. 그러나 Groove의 기본 형상은 결정되어 있다 하더라도 전체의 크기는 Detent Spring의 높이와 길이에 따라서 변하게 된다. Detent Spring의 높이가 변할 때에는 각도가 선형적으로 변하였으나, 높이를 고정하고 Detent Spring의 길이를 변화시킬 때에는 선형적으로 변화하지 않았다. 따라서 최대 각도를 구하기 위하여 Detent Spring의 길이가 변화할 때에는 두개의

직선으로 연결하는 보간법을 사용하였다.

3.4 목적 함수

목적함수는 Detent Spring의 움직이는 각의 크기를 최소화 하는 것으로 정하였다. 다음은 본 논문에서 고려한 목적함수와 그에 따른 구속조건은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \theta = \frac{F_c * D_c}{K_\theta}$$

Subject to

$$\begin{aligned} \text{Stress}_{\text{pipe}} - E_{\text{steel}} &< 0 \\ R_{\text{in}} - R_{\text{out}} &< 0 \\ H - L &< 0 \\ K_\theta * \theta_c - F_c * L &\square 0 \end{aligned}$$

3.4 제안된 유전 알고리즘

본 연구에서는 다음 세대를 생성하기 위해, 선택 연산자로 비례선택과 엘리트 보존 선택을 사용하였고, 교배 연산자로는 일정 교배를 사용하였으며, 돌연변이 연산자로는 균등 돌연변이를 사용하였다.

3.4.1 선택

선택의 기본 원리는 더 좋은 개체들에게 특권을 부여한다는 것이다. 본 연구에서는 비례 선택과 엘리트 보존 선택을 함께 사용하였다. 비례 선택은 기본적인 선택 방법으로 적합도가 우수한 개체일수록 다음 세대에 자손을 남길 확률이 높아지도록 하는 것이다. 엘리트 보존 선택은 확률에 따라 개체를 선택하여 교배 및 돌연변이의 결과로 특별히 좋은 해가 소실되는 것을 막기 위하여 가장 좋은 해를 보존하여 다음 세대에 남기는 방법이다.

3.4.2 교배

교배는 2 개의 개체간에 염색체를 부분적으로 서로 바꿈으로써 새로운 개체를 생성하는 것이다. 이때 부모의 형질이 자손에게 계승된다. 본 연구에서는 변환 마스크를 적용하여 각 유전자가 독립적으로 교환되도록 하는 일정 교배 방법을 사용하였다. Fig.2는 2 번, 3 번, 5 번, 8 번, 10 번 염색체가 서로 바뀌는 것을 보여주고 있다.

$$\begin{aligned} S1 &= a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 a_8 a_9 a_{10} & S1 &= a_1 b_2 b_3 a_4 b_5 a_6 a_7 b_8 a_9 b_{10} \\ m &= 0 0 1 0 1 1 0 1 & m &= 0 0 1 0 1 1 0 1 \\ S2 &= b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 b_6 b_7 b_8 b_9 b_{10} & S2 &= b_1 a_2 a_3 b_4 a_5 b_6 b_7 a_8 b_9 a_{10} \end{aligned}$$

Fig. 2 일정 교배

3.4.3 돌연변이

개체의 각 유전자에 대하여 일정한 돌연변이 확률을 적용하여 대립 유전자의 값으로 바꾸는 것이다. 개체에 근접한 새로운 개체를 생성하는 국소적인 랜덤 탐색의 효과를 보여준다. 또 집단에서 잃어버린 유전형질을 복구하여 다양성을 유지하기 위한 수단으로 사용된다.

4. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 오토 레버의 기구학적 설계를 최적화하기 위하여 유전 알고리즘을 사용하였다.

지금까지 산업체에서는 오토 레버의 부품을 단계적으로 하나씩 설계 하였으나, 본 논문에서는 여러 부품의 변수들을 동시에 고려하여 설계하는 새로운 방법을 제안하였다.

이를 위해 Detent spring의 각 변화에 영향을 주는 변수들을 정의하고, 그 변수들의 관계를 이용하여 목적함수를 제시하고, 구속 조건을 만족하는 범위에서 부품의 형상을 구성하는 변수들의 값을 결정하여 이의 유용성을 평가하였다.

향후에는 본 논문에서 취급한 오토레버의 기구부만이 아닌 제품 전체를 대상으로 하는 연구가 필요하며, 이와 함께 정확한 Groove 형상의 고려가 요구된다.

후기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 중점연구개발 사업의 일환으로 진행되었으며 자료 제공 및 기술 협조를 해주신 ㈜삼립에 감사 드립니다.

참고문헌

1. David Beasley, David R.Bull, Ralph R.Martin, "An overview of Genetic Algorithms : Fundamentals, Morgan Kaufman, 1993
2. Arun Kunjur, Sundar Krishnamurty, "Genetic Algorithms in Mechanism Synthesis"
3. 하성도, 박지형, 정현효 외, "지능형제품설계 시스템 개발", 과학기술부, 2001
4. Edward J. Haug, "Computer-aided Kinematics and Dynamics of mechanical Systems", Volume I : Basic Methods ALLYN AND BACON