

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

정현효* · 서광규* · 박지형† · 이수홍**
(2002년 5월 30일 접수, 2002년 12월 11일 심사완료)

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

Hyun-Hyo Jung, Kwang-Kyu Seo, Ji-Hyung Park, and Soo-Hong Lee

Key Words : Genetic Algorithms(유전자 알고리즘), Auto Lever(오토레버), Force Transfer(힘 전달)

Abstract

This paper explores an optimal design methodology for an auto lever using a genetic algorithm. Components of the auto lever have been designed sequentially in the industry, but this study presents a novel design method to determine the design parameters of components simultaneously. The genetic algorithm approach is described to decide 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 gives the promising design alternative.

기호설명	
θ	: 디텐트 스프링 변화각(angle variation of detent spring)
θ_c	: 그루부 초기위치(initial position of groove)
D_c	: 디텐트 핀과 그루부 사이의 거리 (distance between detent pin and groove)
F_c	: 그루부 작용력(generated force at groove)
H_{detent}	: 디텐트 스프링 높이(height of detent spring)
H_{groove}	: 그루부 높이 (height of groove)
H_{pin}	: 디텐트 핀 높이(height of detent pin)
H_{shift}	: 쉬프트 파이프 높이(height of shift pipe)
K_θ	: 디텐트 스프링 강성도(stiffness of detent spring)
R_c	: 그루부와 중심간 거리(distance between center and groove)
R_{coil}	: 주스프링 코일 반경(coil radius of main spring)

R_{in}	: 쉬프트 파이프 내경(inner radius of shift pipe)
R_{out}	: 쉬프트 파이프 외경(outer radius of shift pipe)
R_{rod}	: 로드 반경(radius of rod)
R_{spring}	: 주스프링 외경(outer radius of main spring)
$W_{bracket}$: 브라켓 폭(width of bracket)
W_{step}	: 스텝 폭(width of step)
M	: 모멘트(moment)
I	: 극관성 모멘트(moment of polar inertia)
K	: 스프링 상수(constant of spring)

1. 서론

국내 제조업의 기술 수준은 생산 기술에 있어서는 생산성, 품질 등에서 국제적으로 경쟁력을 갖추고 있으나 제품 설계 기술에서는 크게 뒤떨어져 있는 실정이다. 즉 자동차, 건설기계, 공작기계 등의 분야에서 국내의 고유 설계 기술을 이용하여 개발된 제품이 극히 한정되어 있는 실정이며, 이는 제조업의 역사가 짧은 이유 이외에 설계 지식을 체계적으로 관리하지 못하여 이의 효과적인 전수가 이루어지지 않은 이유로 설계력의 신장이 이

* 책임저자, 회원, 한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터
E-mail : jhpark@kist.re.kr

TEL : (02)958-5631 FAX : (02)958-5649

† 한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터

** 회원, 연세대학교 기계공학과

루어지지 않았기 때문이다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 설계활동으로 얻어진 고유의 설계 노하우 및 정보를 축적하여 이를 개인, 부서, 또는 기업이 효과적으로 활용할 수 있는 환경을 구축하여야 왔다.

기업은 지속적으로 납기가 짧아져가는 시장 환경 속에서 기술적으로 진보한 고품질, 저가격 제품을 개발, 설계, 생산하여야 하는 압력을 받고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기업은 여러 가지 설계, 제조, 자동화 도구 및 공정, 품질 관리 개선에 의지하여 왔으며, 특히 자동화 도구들은 제품 설계 및 제작성을 개선함과 동시에 엔지니어의 생산성을 향상시키는 방향으로 초점을 맞추고 있다. 자동화 도구 영역에서 설계 분야의 CAD는 점차 영역이 확대되어 설계자들에게 직접적이고 효과적인 가이드라인 역할을 제시하게 되었다. 또한 성능 개선을 위한 연구도 많이 수행되어 왔다.

자동차의 경우 다양한 CAD 툴을 통한 설계 지원 시스템과 성능 개선 연구를 통하여 자동차 부품의 고품질, 저가격을 실현하고 있다. 토크 컨버터⁽¹⁾와 오토 레버⁽²⁾에 대해서 설계 지원 시스템을 개발하였고, 토크 컨버터,⁽³⁾ 엔진,⁽⁴⁾ 변속기,⁽⁵⁾ 브레이크,⁽⁶⁾ 배기계와 제어밸브,⁽⁷⁾ 강판 설계⁽⁸⁾ 등에서 성능 개선 연구가 수행되었다. 그러나, 오토 레버에 대한 성능 개선에 대한 발표 연구는 거의 전무한 실정이다.

오토레버 설계는 매우 다양하고 복잡한 전문적 설계지식을 필요로 하며, 특히 설계자의 경험적 지식을 많이 필요로 하는 고도의 지적인 설계 작업이다. 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는, 지금까지의 설계자 중심의 설계방식을 탈피하여 설계에 필요한 설계공식, 설계 노하우, 설계 자료, 카탈로그 데이터 등과 같은 설계정보를 통합된 설계 데이터 베이스에 저장함으로써 오토레버 설계 전반을 체계적이고도 효율적으로 지원해주는 설계 시스템의 도입이 필요하다. 국내외 경쟁사의 경우 기 개발된 오토레버를 기준으로 실험적인 경험과 모델의 수정으로 개발에 대응하고 있으며, 새로운 오토레버의 개발 시에는 많은 시간과 시행 착오를 겪고 있다. 또한, 현재까지는 제품의 설계 시에 부품을 단계적으로 설계를 하였으나, 이 경우 이전 설계가 완료되지 않으면 다음 단계의 설계를 할 수 없으며, 설계자가 만족하지 않을 때에는 이전 단계로 되돌아가서 다시 설계를 해야 하는 단점이 있다.⁽²⁾

자동차의 오토 레버는 자동차를 운전할 때 속도를 변속하기 위해 사용하는 장치이다. 그리고 오토 레버의 기구부는 그루부(Groove)의 홈과 디텐트 스프링(Detent Spring)에 의해 자동차의 변속을 위한 단을 절도감있게 고정한다. 따라서, 오토 레버의 기구부 설계 시 고려해야 할 주요 사항으로

는 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 그루부(Groove)를 잡아주는 스프링의 강성이 강하면 좋지만, 너무 강할 경우 사용자가 레버 변속 시에 힘이 많이 들어간다는 단점이 있다. 그러므로, 밀림 현상을 방지하는 것과 변속이 쉽게 되기 하기 위해서는 두 가지 요구 사항 사이의 절충이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 운전자의 변속을 위한 힘이 전달되는 노브(Knob)에서부터 그루부(Groove)를 이르기까지의 오토 레버의 전체 설계 과정을 고려하여, 관련이 되는 부품들의 기능을 동시에 만족하면서 부품의 형상을 최적화하는 방안을 제시하였다. 이와 함께, 기구부의 부피를 최소화하는 것도 고려되었다.

본 연구에서는 오토 레버의 기구학적 설계를 최적화하기 위하여 유전 알고리즘을 사용하였다. 이를 위해서 디텐트 스프링(Detent Spring)의 각 변화와 부피에 영향을 주는 변수들을 정의하고, 그 변수들의 관계를 이용하여 목적함수를 제시하고, 다시 역으로 부품의 형상을 결정함으로써, 이의 유용성을 평가하였다.

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 스타일링 부품으로 나눌 수 있는데, 그 중에서 위의 요구사항과 밀접한 관계가 있는 부분이 기구부이다.

Fig. 1은 오토레버의 전체 형상을 보여준다. Fig. 2는 오토레버 중에서 기구부의 구조를 나타낸다.

기구부는 레버의 형식에 따라서 스트레이트(Straight)와 팁트로닉스(Tiptronic)로 나눌 수 있으며, 스트레이트의 경우에는 쉬프트(Shift)부와 링크(Link)부로 구성되며, 팁트로닉스는 쉬프트(Shift)부와 인게이지(Engage) 부로 이루어져 있다. 이러한 차이는 팁트로닉스의 경우는 기능 요구에 수동 모드라는 부가 기능이 있기 때문에 스트레이트보다는 좀 더 복잡한 부품 구성 및 메커니즘을 갖기 때문이다.⁽²⁾

오토레버에서 쉬프트(Shift)부가 차지하는 주요 기능은 다음과 같다.

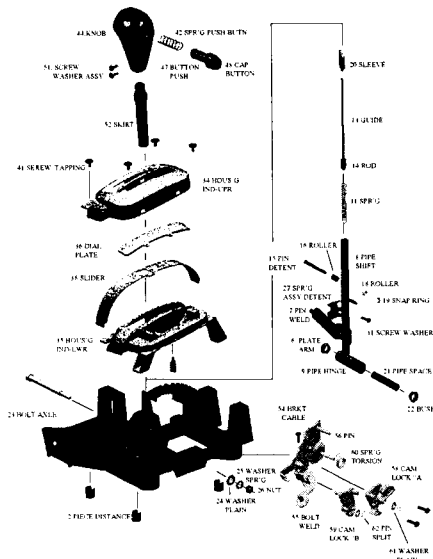


Fig.1 Structure of Auto-lever

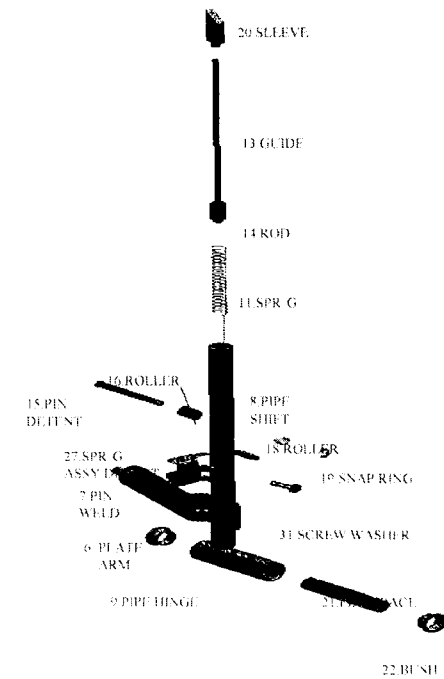


Fig. 2 Structure of Auto-lever mechanism part

- 노브(Knob)의 지지 및 힘의 전달
- 푸시 버튼(Push Button)에서 발생하는 힘의 전달 및 디텐트 핀(Detent Pin) 지지
- 수동 모드의 전환 기능(팁트로닉스일 때)

링크(Link)부는 Straight 일 경우에만 해당되며 그 주요기능은 다음과 같다.

Table 1 Force dependency of Auto-lever mechanism part

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A (Knob)										
B (Push Button)	0									
C (Shift Pipe)		0								
D (Rod)			0							
E (Main Spring)				0						
F (Plate Arm)					0					
G (Hinge Pipe)						0				
H (Detent Spring)							0			
I (Groove)								0		
J (Bracket)									0	

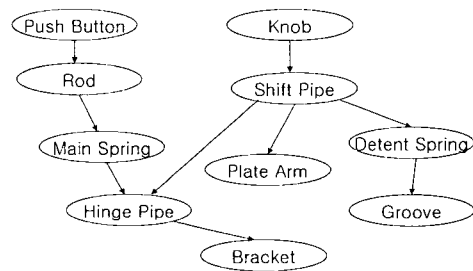


Fig. 3 Force flow of Auto-lever mechanism part

- 트랜스미션 케이블(Transmission Cable)로 힘의 전달
- 레버 단별 멈춤 및 BTSI 부와 연결
- 브라켓(Bracket)과 연결

변속을 위하여 힘을 발생시키는 노브(Knob)와 푸시 버튼(Push Button)으로부터 시작하는 오토 레버 기구부의 힘의 전달 구조가 Table 1 과 Fig. 3 에 나타나 있다. 오토레버에서 힘은 푸시버튼(Push Button)과 노브(Knob)에서 발생하여 브라켓(Bracket)까지 전달된다.

오토 레버에 발생하는 힘은 크게 수직 방향의 힘과 아크(또는 수평) 방향의 힘으로 나눌 수 있다. 수직 방향의 힘은 운전자가 푸시 버튼(Push Button)을 누름으로써 발생한다. 더불어 자동차가 편평하지 못한 길을 달릴 때에도 발생한다. 그리고 이것은 로드 가이드(Rod Guide)를 지나서 주스프링(Main Spring)을 거쳐 브라켓(Bracket)까지 힘을 전달한다. 아크 방향의 힘은 노브(Knob)에서 발생한다. 운전자가 노브(Knob)를 잡고 단을 바꿀 때, 또는 자동차가 가속할 때 발생하는 힘이다. 노브(Knob)에서 발생한 힘은 쉬프트 파이프(shift Pipe)를 거쳐 힌지 파이프(Hinge Pipe), 플레이트 암(Plate Arm), 디텐트 스프링(Detent Spring)으로 전달된다. 그리고 힌지 파이프는 브라켓(Bracket)에, 플레이트 암(Plate Arm)은 트랜스미션 케이블(Transmission Cable)에, 디텐트스프링(Detent Spring)은 그루브(Groove)에 각각 그 힘을 전달한다.

본 논문에서는 오토 레버의 단의 이동에 주요한 영향을 미치는 전후 방향의 힘뿐만 아니라 수직 방향과 좌우 방향의 힘까지 덧붙여 힘의 전파에 관련이 있는 부품들에 관련된 변수를 사용하여 인

구를 수행하였다.

2.2 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 다양한 해가 존재하는 문제의 최적화를 위해 최근 들어 많이 이용되는 방법의 하나이며, 자연계의 적응과정과 유전 인자의 변이 과정을 도입하여 이와 유사한 유전인자 모양의 해를 만들어 인공적인 적응과정을 통하여 최적해를 찾으려는 방법이다. 유전 알고리즘의 연산자는 선택, 교배, 돌연변이가 있다.^(9,10)

기존의 단계적 설계와 달리, 본 논문에서 제안한 방법은 여러 부품의 설계를 동시에 고려하기 때문에 비선형적인 문제이므로 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 단순한 스트레이트(Straight)형식의 경우에 한해서 위의 조건을 만족하기 위한 연구를 수행하였다.

또한 기존의 설계는 그루부(Groove)를 제외한 나머지 부분의 설계를 마친 후 그루부(Groove)를 설계함으로써 설계가 완료되었으나, 본 논문에서는 그루부(Groove)의 형상이 미리 정해져 있다는 가정 하에 나머지 관련된 부품의 형상을 결정하도록 연구를 수행하였다.

문제해결을 위하여 고려해야 하는 부품은 다음과 같다.

- 쉬프트 파이프(Shift Pipe)
- 디텐트 스프링(Detent Spring)
- Groove 그루부(Groove)
- 디텐트 핀(Detent Pin)
- 브라켓(Bracket)
- 로드 가이드(Rod Guide)
- 주스프링(Main Spring)

그리고 고려해야 하는 조건은 다음과 같다.

- 운전자가 무리 없이 변속하는 것이 가능해야 한다.
- 자동차의 운전 중에 가속으로 인해 발생하는 힘에 의한 단의 어긋남이 없어야 한다.
- 기구부의 부피가 최소가 되도록 한다.

디텐트 스프링(Detent Spring)은 기구학적 관점에서 토션 스프링(Torsion Spring)으로 하였다. 외부에서 발생하는 힘 중에서 지면의 노면상태에 따른 수직운동은 고려하지않고 자동차의 가속에 의해 발생하는 힘만 고려하였다. 또한 스텝(Step)에 디텐트 핀(Detent Pin)이 걸려서 푸시 버튼(Push Button)을 누르지 않으면 단이 바뀌지 않는 경우와 트랜스미션 케이블(Transmission Cable)에 걸리는 힘 등 외부 조건이 있으나 이와 같이 외부에서 발생하는 변수들은 무시하였다.

3.2 설계 변수

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

- 쉬프트 파이프 높이
- 쉬프트 파이프 내경
- 쉬프트 파이프 외경
- 디텐트 스프링 높이
- 디텐트 스프링 강도
- 그루부(Groove) 초기위치
- 그루부(Groove) 높이
- 디텐트 핀 높이
- 스텝 폭
- 브라켓 폭
- 로드 반지름
- 주스프링 외경
- 주스프링 코일반경

아래에 나열한 변수들은 계산의 중간과정에 필요한 변수들이다.

- 중심에서 디텐트 스프링 볼(Detent Spring Ball)까지의 수직거리
- 디텐트 스프링(Detent Spring)의 높이에서 디텐트 스프링 볼(Detent Spring Ball)까지의 수직거리
- 그루부(Groove)의 기울기
- 브라켓(Bracket), 스텝(Step)에 작용하는 힘

다음의 변수들은 문제의 해를 찾기 위해 필요한 입력값들이다.

- 초기 장착 상태일 때의 각도
- 레버를 작동할 때 필요한 힘
- 노브(Knob)에 작용하는 외력
- 푸시 버튼(Push Button)에서 발생하는 힘
- 로드 가이드(Rod Guide)의 높이

3.3 구속 조건

기준에 제품의 형상을 조사하여 다음과 같은 구속 조건을 만들어 낼 수 있었다

- 그루부(Groove)의 높이는 디텐트 스프링(Detent Spring)의 높이보다 작아야 한다.

$$H_{groove} < H_{detent}$$

- 디텐트 핀(Detent Pin)의 높이는 그루부(Groove)의 높이보다 작아야 한다.

$$H_{pin} < H_{groove}$$

- 쉬프트 파이프(Shift Pipe)의 내경이 외경보다 작아야 한다.

$$R_{in} < R_{out}$$

- 쉬프트 파이프(Shift Pipe)의 자중에 의해서 발생하는 압력이 쉬프트 파이프(Shift Pipe)의 재료인 철이 견딜 수 있는 응력보다 크면 안 된다.

$$\frac{F_v}{Area} < \sigma_{steel}$$

- 로드 가이드(Rod Guide)의 뒤틀림이 너무 크면 안된다.

$$\frac{ML^2}{2EI} \leq 1$$

- 운전자의 힘에 의한 변속이 가능해야 한다.

$$K_{\theta} * \theta_0 < F_{ext} * H_{shift}$$

- 쉬프트 파이프(Shift Pipe)의 구멍에서 발생하는 응력 집중에 의한 파괴가 발생하면 안된다.

$$\sigma_{hole} < \sigma_c$$

- 브라켓(Bracket)과 스텝(Step)에서 응력에 의한 파괴가 발생하면 안된다.

$$\frac{F_h}{10 * W_{step}} < \tau_{plastic}, \quad \frac{F_c}{10 * W_{bracket}} < \tau_{plastic}$$

- 로드 가이드(Rod Guide)에서 좌굴에 의한 파괴가 발생하면 안된다.

$$F_{buck} < P_{cr}$$

- 주스프링(Main Spring)에서 허용 전단력을 넘는 힘이 적용되면 안된다.

$$K \frac{8C^3}{\pi D^2} F_{button} < \tau$$

노브(Knob)에 발생하는 힘의 방향이 차량의 앞쪽(+ 방향)과 뒤쪽 방향(- 방향)의 두 방향으로 작

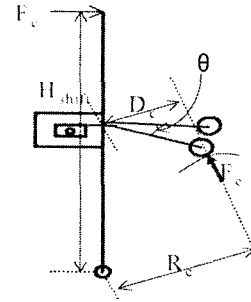


Fig. 4 Geometry of Rc and Dc

용하는 것이 가능한데, 이때 그루부(Groove)에 접하고 있는 디텐트 스프링(Detent Spring)이 움직이는 각의 크기와 오토레버 기구부의 부피를 의 물려에 발생하는 힘의 방향이 달라진다. 실제 그루부(Groove)의 형상은 다양한 반지름을 갖는 아크의 연결로 이루어져 있으나, 본 연구에서는 계산의 간단화를 위하여 직선과 직선을 연결하는 아크로써 구성하였다. 그리고 아크와 직선사이의 각은 40도로 하였고, 직선 사이의 거리는 8도로 하였다 이 경우 힘의 방향에 따라서 Rc와 Dc는 다음과 같이 유도할 수 있다. Rc와 Dc가 의미하는 것을 Fig. 4에 표현하였다.

$$R_c = \frac{|-H_{groove} \tan \theta_a \cos \theta_c + H_{groove} \sin \theta_c|}{\sqrt{\tan^2 \theta_a + 1}} \quad (1)$$

$$D_c = \frac{|-H_{detent} - H_{groove} \tan \theta_a \cos \theta_c + H_{groove} \sin \theta_c|}{\sqrt{\tan^2 \theta_a + 1}} \quad (2)$$

3.4 목적 함수

목적함수는 디텐트 스프링(Detent Spring)이 움직이는 각의 크기와 오토레버 기구부의 부피를 최소화하는 것으로 정하였다. 다음은 본 논문에서 고려한 목적함수이고, 그에 따른 구속조건은 다음과 같다.

Minimize $\theta + I_{geometry}$

Subject to

$$\frac{F_c}{Area} - \sigma_{steel} < 0$$

$$\frac{ML^2}{2EI} - 1 \leq 0$$

$$K_{\theta} * \theta_0 - F_{ext} * H_{shift} < 0$$

$$\sigma_{hole} - \sigma_c < 0$$

$$\frac{F_h}{10 * W_{step}} - \tau_{plastic} < 0$$

$$\frac{F_s}{10 * W_{bracket}} - \tau_{plastic} < 0$$

$$F_{button} - P_{cr} < 0$$

$$K \frac{8C^3}{\pi D^2} F_{button} - \tau < 0$$

3.5 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.

3.5.1 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.

3.5.2 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. 5 는 2 번, 3 번, 5 번, 8 번, 10 번 염색체가 서로 바뀌는 것을 보여주고 있다.

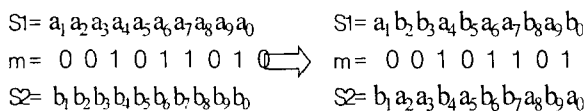


Fig. 5 cross-over

3.5.3 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.

3.5.4 적합도 함수

적합도 함수는 목적함수와 같은 형태를 사용하였다.

그러나 성격이 다른 두 목적함수의 민감도를 생 각하여 차수들 같게 하기 위해 부피 항에는 가중

치를 사용하였다.

$$FFN = \theta + \frac{I_{geometry}}{1000} \tag{3}$$

$$\theta = \frac{D_c * F_c}{K_\theta} = \frac{D_c * F_c * H_{shift}}{K_\theta * R_c} \tag{4}$$

$$I_{geometry} = V_{shift} + S_{bracket} + S_{step} + V_{spring} + V_{rod} \tag{5}$$

$$V_{shift} = \pi * H_{shift} * (R_{out}^2 - R_{in}^2) \tag{6}$$

$$S_{bracket} = 10 * W_{bracket} \tag{7}$$

$$S_{step} = 10 * W_{step} \tag{8}$$

$$V_{spring} = \pi * H_{pin} * (R_{spring}^2 - R_{coil}^2) \tag{9}$$

$$V_{rod} = \pi * (H_{rod} - H_{pin}) * R_{rod}^2 \tag{10}$$

4. 적용 사례 연구

4.1 초기 설정 값

오토 레버 기구부의 최적화를 위해 레버의 기능성을 증시하면서, 동시에 부피를 최소화하는 문제를 구성하였다.

문제를 풀기 위해 초기값은 임의의 값을 사용하였다. 그리고 유전 알고리즘에 사용되는 파라미터 (Parameter)로 집단의 크기는 50, 세대교체의 횟수는 1000, 교배율은 0.8, 돌연변이율은 0.1 로 하였다.

그리고 코드의 유용성을 확인하기 위해 상용 유전 알고리즘 프로그램과 결과값을 비교하여 보았다. Table 2 는 각 변수의 허용범위를 나타낸다.

Table 2 Max. and Min. of variables

Variable	Max.	Min.
Height of Shift Pipe	250	350
Inner Radius of Shift Pipe	5.5	8.5
Outer Radius of Shift Pipe	5.5	8.5
Height of Detent Pin	100	120
Stiffness of Detent Spring	35	55
Initial Position of Groove	70	80
Height of Groove	80	120
Height of Detent Pin	80	100
Width of Step	3	10
Width of Bracket	3	10
Radius of Rod	0	5
Outer Radius of Main Spring	2	5.5
Coil Radius of Main Spring	0	2

4.2 민감도 해석

Table 3 은 각 변수의 설정을 중간값으로 하였을 때와 변수를 하나씩 최대값과 최소값으로 설정하면서 목적함수 값의 변화를 보여준다. 또한 목적함수 값의 변화에 가장 영향을 미치는 변수들의 우선순위를 결정하였다.

4.3 결과 및 평가

코드를 통한 최적 설계, 상용 프로그램을 통한 최적 설계, 그리고 실제 설계 값에 대한 비교를 Table 4 에 나타내었다.

Fig. 5 는 유전 알고리즘의 종결 조건을 목적함수의 값의 차가 1% 이내일 때, Fig. 6 은 세대교체의 횟수를 1000 으로 하였을 때의 수렴 상태를 보여준다.

코드를 통한 최적화와 상용 프로그램을 통한 최적화 중에서 상용 프로그램이 조금 더 결과값이 좋을 수 있으나, 실제 산업 현장에서 사용되는 설계값과 비교해 보면 그 차이가 경미한 것을 알 수 있다.

Table 5 에서 최적화를 통해 나온 결과값을 사용해 실제 제품 설계에 사용할 수 있는 설계값을 제안하였다.

Table 3 Sensitivity of variables

Variable	Min.	Max.	Precedence
H_shift	58.87	74.3	H_groove
R_in	84.26	44.67	theta_c
R_out	48.91	88.5	H_detent
H_detent	86.24	46.93	R_in
K_theta	73.2	55.96	R_out
theta_c	94.32	40.5	R_rod
H_groove	28.04	102.62	H_shift
H_pin	66.96	66.21	K_theta
W_step	66.54	66.64	R_spring
W_bracket	66.54	66.64	W_step
R_rod	50.09	116.06	W_bracket
R_spring	63.74	71.16	H_pin
R_coil	66.87	65.74	R_coil
	Mean	66.58	

Table 4 Comparison of real and optimized value

Variable	Optimization	Program	Value of real design
Height of Shift Pipe	262	254.8	275
Inner Radius of Shift Pipe	5.95	5.64	5.5
Outer Radius of Shift Pipe	6.67	6.48	7.5
Height of Detent Spring	118.66	115.59	112
Stiffness of Detent Spring	53.56	54.13	35
Initial Position of Groove	79.8	76.1	75
Height of Groove	99.51	89.21	100
Height of Detent Pin	99.19	89.19	87
Width of Step	3.24	3.43	6
Width of Bracket	3.21	3.54	5
Radius of Rod	4.32	3.71	2.5
Outer Radius of Main Spring	2.49	2.1	4
Coil Radius of Main Spring	0.3	0.43	0.5
Value of objective function	25.38	22.27	78.46

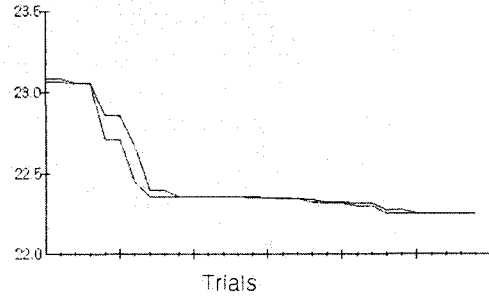


Fig. 5 Under 1% iteration

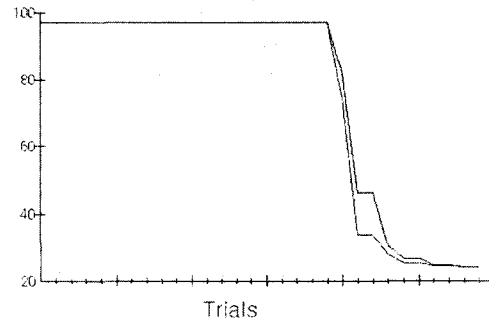


Fig. 6 1000 iteration

Table 5 Proposed design value

Variable	Proposed design value
Height of Shift Pipe	262
Inner Radius of Shift Pipe	6.5
Outer Radius of Shift Pipe	7.5
Height of Detent Spring	118
Stiffness of Detent Spring	54
Initial Position of Groove	80
Height of Groove	100
Height of Detent Pin	100
Width of Step	3.5
Width of Bracket	3.5
Radius of Rod	4.5
Outer Radius of Main Spring	2.5
Coil Radius of Main Spring	0.5

Table 6 Comparison of fitness function value; optimized, proposed and real value

Variable	Optimization	Proposed value	Real value
Height of Shift Pipe	262	262	275
Inner Radius of Shift Pipe	5.95	6.5	5.5
Outer Radius of Shift Pipe	6.67	7.5	7.5
Height of Detent Spring	118.66	118	112
Stiffness of Detent Spring	53.56	54	35
Initial Position of Groove	79.8	80	75
Height of Groove	99.51	100	100
Height of Detent Pin	99.19	100	87
Width of Step	3.24	3.5	6
Width of Bracket	3.21	3.5	5
Radius of Rod	4.32	4.5	2.5
Outer Radius of Main Spring	2.49	2.5	4
Coil Radius of Main Spring	0.3	0.5	0.5
Fitness value	25.38	32.1	78.47

제안된 설계값은 유전알고리즘을 적용한 실험에서 얻어진 최적값을 실제 제조에서 쓰일 수 있는 설계값으로 제시한 것이다. Table 5에 제시한 설계값은 Table 3에서 보이는 설계변수의 민감도 우선 순위에 따라 차례로 설계변수의 값을 실제 제조에서 사용 가능한 것으로 결정된 설계값이다. Table 6에서 보이는 바와 같이 제안 설계값에 의한 목적 함수값은 32.1이며, 최적 적합도 함수값 25.38에 비하여 다소 커지나 실제 설계값의 78.47에 비하여 매우 우수한 결과이다.

그러므로 제안 설계값은 실제 설계값보다 우수한 설계안을 제시해주고 있다. 그러나 제안된 설계대로 실제 제조후에 성능비에 의한 검증이 필요하다.

5. 결론 및 향후 연구 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 디텐트 스프링(Detent Spring)의 각 변화에 영향을 주는 변수들을 정의하고, 그 변수들의 관계를 이용하여 목적함수를 제시하고, 구속조건을 만족하는 범위에서 부품의 형상을 구성하는 변수들의 값을 결정하여 이의 유용성을 평가하였다. 또한, 민감도 해석을 통하여 설계를 할 때 중요하게 고려해야 하는 변수들의 우선순위를 제시하였다. 본 연구에서는 유전 알고리즘을 적용하여 얻은 최적설계값을 실제 제조에서 사용할 수 있는 설계값으로 제시하였는데, 이는 분석한 설계변수의 민감도 우선 순위에 따라 고려되었다. 실제로 제안 설계값에 의한 목적함수의 값은 최적설계치에 비해 떨어지나 실제 설계값에 비하여서는 매우 우수한 결과를 제시해 줌을 확인할 수 있었

다.

본 논문의 결과를 실제 현장에 적용할 경우 다음과 같은 효과를 얻으리라고 기대된다.

- 산업체에서 지금까지 해왔던 설계 방법과 달리 최적화 방법의 하나인 유전 알고리즘을 적용해 설계함으로써 제품의 안정성 향상이 가능하고, 또한 질량을 줄일 수 있다.
- 각각의 부품과 부품들 사이의 관계까지 고려해서 설계값을 제안하기 때문에 제품 설계 시 반복 작업을 줄일 수 있다.

향후 연구로는 연구의 범위를 확장하여, 본 연구에서 취급된 오토레버의 기구부만이 아닌 제품 전체를 대상으로 하는 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 중점연구개발사업의 일환으로 진행되었으며 자료 제공 및 기술 협조를 해주신 ㈜삼립에 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Park, J.-H., Jung, H.-H., 1999. 12., "Development of Part Design Analysis and Evaluation Technology," *Final Report of Research on Development of Advanced Technology*.
- (2) Ha, S. and Park, J.-H., 2001. 9, "Development of Intelligent Design System," *Final Report of Research on Development of Advanced Technology*.
- (3) Whitefield, A., Wallace, F. J., and Sivalingam, R., "A Study on Flow through a Torque Converter," *SAE paper 881746*.
- (4) Baxa, D. E., 1989, *Noise Control in Internal Combustion Engine*, Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- (5) Cho, D., 1987, "Nonlinear Control Methods for Automotive Powertrain Systems," Ph. D. Thesis, M.I.T., Cambridge, M.A.
- (6) Rudolf Limpert, 1992, *Brake Design and Safety*, Society of Automotive Engineers
- (7) Komomi, T., 1990, "The Recent Technology of Noise Reduction and Fuel Economy Improvement in Exhaust System," *ASME*, Vol. 44, No. 12. pp. 10-17.
- (8) Nakagawa, T., 1993 "Recent Developments in Auto Body Panel Forming Technology," *43rd General Assembly of CIRP*, Edinburgh, pp. 717-722.
- (9) David Beasley, David R.Bull, Ralph R.Martin., 1993, *An overview of Genetic Algorithms : Fundamentals*, Morgan Kaufman.
- (10) Davis, L., 1991, *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- (11) Goldberg DE., 1989, *Genetic Algorithms in Search*,

- Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley.
- (12) Gen, M., Cheng, R., 1997, *Genetic Algorithms and Engineering Design*, Wiley, New York.
- (13) Edward J. Haug, "Computer-aided Kinematics and Dynamics of mechanical Systems," *Volume I: Basic Methods ALLYN AND BACON4*.
- (14) Saravanan, R., and Sachithanandam, M., "Genetic Algorithm for Multivariable Surface Grinding Process Optimization Using a Multi-objective Function Model," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer-Verlag, London.