

## 유전자 알고리즘을 이용한 자동변속레버의 최적 설계

서 광 규\*

### Optimal Design of Automatic Transmission Lever using Genetic Algorithms

Kwang-Kyu Seo\*

**요 약** 본 논문은 유전자 알고리즘을 이용하여 자동차 부품인 자동변속레버의 최적 설계 방법론에 대한 연구이다. 현재 업계에서의 자동변속레버는 구성 부품들을 순서적으로 설계하고 있으나, 본 연구에서는 구성 부품들의 설계 파라미터들을 동시에 고려하여 설계할 수 있는 새로운 방법론을 제안한다. 유전자 알고리즘 접근방법은 자동변속레버의 최적 설계 파라미터 집합을 결정하기 위해 적용된다. 본 연구에서는 자동변속레버의 구성 부품들로 구성된 제약조건하에 디텐트 스프링의 각 변위를 최소화하는 목적함수를 가지는 설계 문제를 모델링하였고, 유전자 알고리즘을 적용하여 최적 설계를 수행하였다.

**Abstract** This paper deals with an optimal design methodology for an automatic transmission lever using a genetic algorithm. A component of an automatic transmission lever has been designed sequentially in the industry, but the study presents a new design method to consider the design parameters of components simultaneously. A genetic algorithm approach is described to determine a set of design parameters for an automatic transmission lever. We 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. The proposed method can give the better design alternative.

**Key Words :** Optimal design, Automatic transmission lever, Genetic algorithm

### 1. 서 론

기업은 지속적으로 단 낡기화되어 가는 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 제시하였고, 또한 성능 개선을 위한 연구도 많이 진행되어 왔다.

자동차의 경우 다양한 CAD 도구를 통한 설계 지원 시스템과 성능 개선 연구를 통하여 자동차 부품의 고품질, 저가격을 실현하고 있다. 토크 컨버터와 자동변속장치[1]에 대해서 설계 지원 시스템을 개발하였고, 토크

컨버터[2], 엔진[3], 변속기[4], 브레이크[5], 배기계와 제어밸브[6], 강판 설계[7] 등에서 성능 개선 연구가 수행되었다. 그러나 자동변속장치에 대한 성능 개선 연구는 전무한 실정이다.

자동차의 자동변속레버는 자동차를 운전할 때 속도를 변속하기 위해 사용하는 장치로써, 자동변속장치의 기구부는 Groove의 홈과 Detent Spring에 의해 자동차의 변속을 위한 단을 절도감있게 고정한다. 자동변속장치의 기구부 설계시 고려해야 할 주요 사항에는 자동차의 주행 시에 발생하는 레버의 밀립 현상을 방지하는 것과 사용자가 레버를 움직일 때 변속이 용이해야 한다. 밀립 현상을 방지하기 위해서는 Groove를 잡아주는 스프링의 강성이 강하면 좋지만, 너무 강할 경우 사용자가 레버 변속 시에 힘이 많이 들어간다는 단점이 있다. 그러므로 밀립 현상을 방지하는 것과 변속이 쉽게 되기 위해서는 두 가지 요구 사항간의 절충이 필요하다.

본 연구에서는 운전자의 변속을 위한 힘이 전달되는 Knob에서부터 Groove에 이르기까지의 자동변속장치의 전체 설계 과정을 추적하여 관련이 되는 부품들의 기능

\*상명대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수

을 동시에 고려하여 부품의 형상을 최적화하는 방안을 제시하였다. 이와 함께 기구부의 부피를 최소화하는 것도 동시에 고려하였다.

자동변속레버의 최적설계를 위해 Detent Spring의 각 변화와 부피에 영향을 주는 변수들을 정의하고, 그 변수들의 관계를 이용하여 목적함수와 제약조건식을 도식화하였고, 유전자 알고리즘을 적용하여 최적 설계값을 도출하고 그 값의 유용성을 평가하였다.

## 2. 관련 이론

### 2.1 자동변속장치

자동변속장치는 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 밀립 현상으로 인해서 운전자가 의도한 단에서 벗어나는 일이 없어야 한다.

자동변속장치는 크게 기구부, 구조부, 감성부와 스타 일링 부품으로 나눌 수 있는데, 그 중에서 위의 요구사항과 밀접한 관계가 있는 부분이 기구부이다. Figure 1은 자동변속레버와 기구부의 구조를 나타낸다.

기구부는 레버의 형식에 따라서 Straight와 Tiptronics

로 나눌 수 있으며, Straight의 경우에는 Shift 부와 Link 부로 구성되며, Tiptronics는 Shift 부와 Engage 부로 이루어져 있다. 자동변속레버에서 Shift 부가 차지하는 주요 기능은 다음과 같다.

- Knob의 지지 및 힘의 전달
- Push Button에서 발생하는 힘의 전달 및 Detent Pin의 지지
- 수동 모드의 전환 기능

Link부는 Straight일 경우에만 해당되며 그 주요기능은 다음과 같다.

- Transmission Cable로 힘의 전달
- 레버 단별 멈춤 및 BTSI부와 연결
- Bracket과 연결

변속을 위하여 힘을 발생시키는 Knob와 Push Button으로부터 시작하는 자동변속장치 기구부의 힘은 Push Button과 Knob에서 발생하여 Bracket까지 전달된다.

자동변속장치에 발생하는 힘은 크게 수직 방향의 힘과 아크 방향의 힘으로 나눌 수 있다. 수직 방향의 힘은 운전자가 Push Button을 누름으로써 발생하고, 아크 방향의 힘은 Knob에서 발생한다.

본 논문에서는 자동변속장치의 단의 이동에 주요한 영향을 미치는 전후 방향의 힘 뿐만 아니라 수직 방향과 좌우 방향의 힘까지 덧붙여 힘의 전파에 관련이 있는 부품들에 관련된 변수를 사용하여 연구를 수행하였다.

### 2.2 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 다양한 해가 존재하는 문제의 최적화를 위해 최근 들어 많이 이용되는 방법의 하나이며, 자연계의 적응과정과 유전 인자의 변이과정을 도입하여 이와 유사한 유전인자 모양의 해를 만들어 인공적인 적응과정을 통하여 최적해를 찾으려는 방법이다. 유전자 알고리즘의 연산자는 선택, 교배, 돌연변이가 있다[8, 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 유전자 알고리즘을 적용하는 새로운 방법에 의해 부품들의 설계 변수들을 동시에 고려하여 부품의 최적 혹은 근사 최적의 설계 변수가 결정된다.

## 3. 자동변속레버 기구부의 설계

### 3.1 문제 분석

자동변속장치의 성능은 차량 주행 시에는 단이 바뀌거나 밀립 현상이 없어야 하고, 운전자가 의도할 경우에는 단의 변속이 가능해야 한다. 본 논문에서는 문제

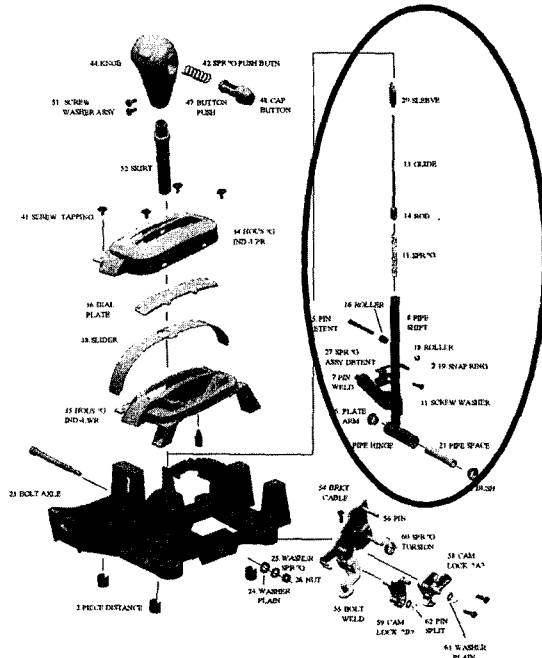


Figure 1. 자동변속레버와 기구부의 구조

및 계산의 단순화를 위하여 비교적 형상이 단순한 Straight형식의 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 가정하에 나머지 관련된 부품의 형상을 결정하도록 연구를 수행하였다.

문제해결을 위하여 고려해야 하는 부품은 다음과 같다.

- Shift Pipe
- Detent Spring
- Groove
- Detent Pin
- Bracket
- Rod Guide
- 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.

Detent Spring은 기구학적 관점에서 Torsion Spring으로 하였다. 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 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.

- Height of Shift Pipe
- Inner Radius of Shift Pipe
- Outer Radius of Shift Pipe
- Height of Detent Spring
- Stiffness of Detent Spring
- Initial Position of Groove
- Height of Groove
- Height of Detent Pin
- Width of Step
- Width of Bracket

- Radius of Rod
- Outer Radius of Main Spring
- Coil Radius of Main Spring

아래에 나열한 변수들은 계산의 중간과정에 필요한 변수들이다.

- 중심에서 Detent Spring Ball까지의 수직거리
- Detent Spring의 높이에서 Detent Spring Ball까지의 수직거리
- Groove의 기울기
- Bracket, Step에 작용하는 힘

다음의 변수들은 문제의 해를 찾기 위해 필요한 입력 값들이다.

- 초기 장착 상태일 때의 각도
- 레버를 작동할 때 필요한 힘
- Knob에 작용하는 외력
- Push Button에서 발생하는 힘
- Rod Guide의 높이

본 논문에서 사용한 기호들은 Table 1에 설명 하였다.

### 3.3 구속 조건

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

- Groove의 높이는 Detent Spring의 높이보다 작아야 한다.

$$H_{groove} < H_{detent} \quad (1)$$

Table 1. 기호 설명

기호	설 명
$\theta$	angle variation of detent spring
$\theta_c$	initial position of groove
$D_c$	distance between detent pin and groove
$F_c$	generated force at groove
$H_{detent}$	height of detent spring
$H_{groove}$	height of groove
$H_{pin}$	height of detent pin
$H_{shift}$	height of shift pipe
$K$	stiffness of detent spring
$R_c$	distance between center and groove
$R_{coil}$	coil radius of main spring
$R_{in}$	inner radius of shift pipe
$R_{out}$	outer radius of shift pipe
$R_{rod}$	radius of Rod
$R_{spring}$	outer radius of main spring
$W_{bracket}$	width of bracket

- Detent Pin의 높이는 Groove의 높이보다 작아야 한다.

$$H_{pin} < H_{groove} \quad (2)$$

- Shift Pipe의 Inner Radius가 Outer Radius보다 작아야 한다.

$$R_{in} < R_{out} \quad (3)$$

- Shift Pipe의 자중에 의해서 발생하는 압력이 Shift Pipe의 재료인 철이 견딜 수 있는 응력보다 크면 안 된다.

$$\frac{F_e}{Area} < \sigma_{steel} \quad (4)$$

- Rod Guide의 뒤틀림이 너무 크면 안된다.

$$\frac{ML^2}{2EI} \leq 1 \quad (5)$$

- 운전자의 힘에 의한 변속이 가능해야 한다.

$$K_{\theta} \times \theta_0 < F_{ext} \times H_{shift} \quad (6)$$

- Shift Pipe의 구멍에서 발생하는 응력 집중에 의한 파괴가 발생하면 안된다.

$$\sigma_{hole} < \sigma_e \quad (7)$$

- Bracket과 Step에서 응력에 의한 파괴가 발생하면 안된다.

$$\frac{F_b}{10 \times W_{step}} < \tau_{plastic}, \quad \frac{F_s}{10 \times W_{bracket}} < \tau_{plastic} \quad (8)$$

- Rod Guide에서 좌굴에 의한 파괴가 발생하면 안된다.

$$F_{button} < P_{cr} \quad (9)$$

- Main Spring에서 허용 전단력을 넘는 힘이 적용되면 안된다.

$$K \frac{8C^3}{\pi D^2} F_{button} < \tau \quad (10)$$

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 간단화를 위하여 직선과 직선을 연결하는 아크로써 구성하였다. 그리고 아

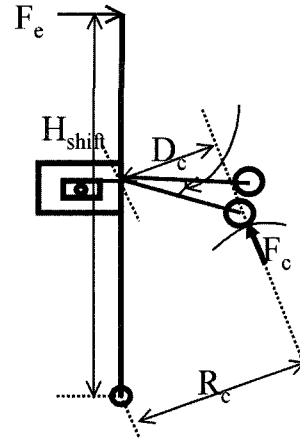


Figure 2. Rc와 Dc의 기하학적 의미

크와 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 Figure 2에 표현하였다.

$$R_c = \frac{|-H_{groove} \tan \theta_a \cos \theta_c + H_{groove} \sin \theta_c|}{\sqrt{\tan^2 \theta_a + 1}} \quad (11)$$

$$D_c = \frac{|-H_{detent} - H_{groove} \tan \theta_a \cos \theta_c + H_{groove} \sin \theta_c|}{\sqrt{\tan^2 \theta_a + 1}} \quad (12)$$

### 3.4 목적 함수

목적함수는 Detent Spring이 움직이는 각의 크기와 자동변속레버 기구부의 부피를 최소화하는 것으로 정하였다. 다음은 본 논문에서 고려한 목적함수이고, 그에 따른 구속조건은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \theta + I_{geometry} \quad (13)$$

Subject to

$$\frac{F_e}{Area} - \sigma_{steel} < 0 \quad (14)$$

$$\frac{ML^2}{2EI} - 1 \leq 0 \quad (15)$$

$$K_{\theta} \times \theta_0 - F_{ext} \times H_{shift} < 0 \quad (16)$$

$$\sigma_{hole} - \sigma_e < 0 \quad (17)$$

$$\frac{F_b}{10 \times W_{step}} - \tau_{plastic} < 0 \quad (18)$$

$$\frac{F_s}{10 \times W_{bracket}} - \tau_{plastic} < 0 \quad (19)$$

$$F_{button} - P_{cr} < 0 \quad (20)$$

$$K \frac{8C^3}{\pi D^2} F_{button} - \tau < 0 \quad (21)$$

### 3.5 제안된 유전자 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 적합도 함수

적합도 함수는 목적함수와 같은 형태를 사용하였다. 그러나 성격이 다른 두 목적함수의 민감도를 생각하여 차수를 같게 하기 위해 부피항에는 가중치를 사용하였다.

$$FFN = \theta + \frac{I_{geometry}}{1000} \quad (22)$$

$$\theta = \frac{D_c \times F_c}{K_{\theta}} = \frac{D_c \times F_e \times H_{shift}}{K_{\theta} \times R_c} \quad (23)$$

$$I_{geometry} = V_{shift} + S_{bracket} + S_{step} + V_{spring} + V_{rod} \quad (24)$$

$$V_{shift} = \pi \times H_{shift} \times (R_{out}^2 - R_{in}^2) \quad (25)$$

$$S_{bracket} = 10 \times W_{bracket} \quad (26)$$

$$S_{step} = 10 \times W_{step} \quad (27)$$

$$V_{spring} = \pi \times H_{pin} \times (R_{spring}^2 - R_{coil}^2) \quad (28)$$

$$V_{rod} = \pi \times (H_{rod} - H_{pin}) \times R_{rod}^2 \quad (29)$$

## 4. 사례 연구

### 4.1 초기 설계값

본 연구에서는 자동변속레버 기구부의 최적화를 위해 레버의 기능성을 중시하면서, 동시에 부피를 최소화 하는 문제를 구성하였다.

문제의 해를 구하기 위해 초기값은 임의의 값을 사용하였다. 그리고 유전자 알고리즘에 사용되는 Parameter로 집단의 크기는 50, 세대교체의 횟수는 1,000, 교배율은 0.8, 돌연변이율은 0.1로 하였다.

그리고 유전자 알고리즘의 유용성을 확보하기 위해 상업용 유전자 알고리즘 optimizer인 Evolver for Microsoft Excel을 이용하여 최적화를 수행하였다. Table 2는 각 변수의 허용범위를 나타낸다.

### 4.2 민감도 해석

본 연구에서는 각 변수의 설정을 중간값으로 하였을 때와 변수를 하나씩 최대값과 최소값으로 설정하면서 목적함수 값의 변화를 평가하여 목적함수에 가장 영향을 미치는 변수들의 우선순위를 결정하는 민감도 분석을 수

Table 2. 설계 변수의 최대값과 최소값

Variable	최소값	최대값
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

행하였다. 민감도 분석 수행결과,  $H_{grooves}$ ,  $\theta_c$ ,  $H_{detents}$ ,  $R_{in}$ ,  $R_{out}$  순으로 우선순위가 있음을 확인하였고, 제품 설계 시 우선순위가 높은 변수를 중요하게 고려해야 한다.

### 4.3 결과 및 평가

유전자 알고리즘 optimizer인 Evolver를 이용하여 구한 최적 설계값과 현장에서 사용하고 있는 실제 설계 값에 대한 비교를 Table 3에 나타내었다. Figure 3은 유

Table 3. 최적 설계값과 실제 설계값의 비교

Variable	최적화 설계값	실제 설계값
Height of Shift Pipe	262	275
Inner Radius of Shift Pipe	5.95	5.5
Outer Radius of Shift Pipe	6.67	7.5
Height of Detent Spring	118.66	112
Stiffness of Detent Spring	53.56	35
Initial Position of Groove	79.8	75
Height of Groove	99.51	100
Height of Detent Pin	99.19	87
Width of Step	3.24	6
Width of Bracket	3.21	5
Radius of Rod	4.32	2.5
Outer Radius of Main Spring	2.49	4
Coil Radius of Main Spring	0.3	0.5
복적함수값	25.38	78.46

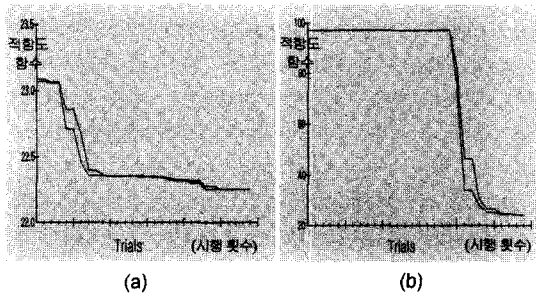


Figure 3. Evolver를 이용한 최적 수렴과정. (a) 종결 조건이 1% 이내일 경우, (b) 종결조건이 1,000회일 경우

Table 4. 제안 설계 값

Variable	최적 설계값	제안 설계값	실제 설계값
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

전자 알고리즘의 종결 조건을 목적함수의 값의 차가 1% 이내일 때와 세대교체의 횟수를 1,000으로 하였을 때의 수렴 상태를 보여준다.

Table 4에서 최적화를 통해 나온 결과값을 사용하여 실제 제품 설계에 사용할 수 있는 새로운 설계값을 제안하였고 이때의 적합도를 비교하였다. 이 결과를 통해 최적 설계값을 기반으로 제안한 설계값은 현업에서 사용하고 있는 실제 설계값에 비하여 매우 우수한 적합도를 보임을 확인할 수 있었다.

### 5. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 자동변속레버의 기구학적 설계를 최

적화하기 위한 문제를 모델링하였고, 유전자 알고리즘을 적용하여 최적 설계값을 구하였다.

이를 위해 Detent spring의 각 변화에 영향을 주는 변수들을 정의하고, 그 변수들의 관계를 이용하여 목적 함수를 제시하고, 구속 조건을 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 논문의 결과를 실제 현장에 적용할 경우 다음과 같은 효과를 얻으리라고 기대된다.

- 기존의 방법과 다른 최적화 방법인 유전자 알고리즘을 적용해 설계함으로써 자동변속레버의 안정성 향상 등 성능 향상이 가능하고, 또한 질량을 줄일 수 있다.

- 각각의 부품과 부품들 사이의 관계까지 고려해서 설계값을 제안하기 때문에 제품 설계 시 반복 작업을 줄일 수 있다.

향후에는 본 논문에서 취급한 자동변속레버의 기구부만이 아닌 제품 전체를 대상으로 하는 연구가 필요하다.

### 참고문헌

- [1] Ha, S. *et al.*, "Development of Intelligent Design System", Final Research Report, KIST, 2001.
- [2] Whitefield, A., Wallace, F. J. Wallace and Sivalingam, R., "A Study on Flow Through a Torque Converter", SAE paper 881746.
- [3] Baxa, D. E., "Noise Control in Internal Combustion Engine", Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1989.
- [4] Cho, D., "Nonlinear Control Methods for Automotive Powertrain Systems", Dept. of Mech. Eng. Ph. D. Thesis, M.I.T., 1987.
- [5] Limpert, R., "Brake Design and Safety", pp. 118, 1982.
- [6] Komomi, T., "The Recent Technology of Noise Reduction and Fuel Economy Improvement in Exhaust System", ASME Vol. 44, No. 12, pp. 10-17, 1990.
- [7] Nakagawa, T., "Recent Developments in Auto Body Panel Forming Technology", 43rd General Assembly of CIRP, Edinburgh, pp. 717-722, 1993.
- [8] Beasley D., Bull, D. and Martin, R., "An Overview of Genetic Algorithms: Fundamentals", Morgan Kaufman, 1993.
- [9] Goldberg D.E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison Wesley, 1989.
- [10] Gen M., Cheng R., "Genetic Algorithms and Engineering Design", Wiley, New York, 1997.