

## 조향감을 고려한 자동차용 전동조향장치의 퍼지제어기의 개발

한창수\*, 이명호\*, 박 호\*\*

### Development of Fuzzy Controller for Electric Power Steering Considering Steering Feel

Chang Su Hahn\*, Meung Ho Rhee\*, Ho Park\*\*

#### Abstract

The test method using simulator to objectively measure the steering feel from several drivers was proposed. It has also described the ideas to analyse the principal factors affecting the steering feel of the driver using the correlation analysis of the measured data and the questionnaire. Proportional Derivative(PD) controller has been used to measure the steering feel, and the control parameters have been selected to obtain the optimal steering feel. Membership functions of Sugeno fuzzy model are constructed from the assist torque values calculated from PD controller at each steering state. Moreover to verify the performance, this fuzzy controller has been compared with the another fuzzy controller of which membership functions are derived from the knowledge of drivers. As a result, it can be concluded that the proposed fuzzy controller improves the steering feel at each steering state more than any other conventional methods.

**Key Words** : 조향감(Steering Feel), 상관분석(Correlation Analysis), 주관적 시험(Object Test), 시뮬레이터(Simulator), 퍼지제어기(Fuzzy Controller)

### 1. 서론

에너지 절약과 환경문제로 인하여 전세계적으로 경차와 전기자동차의 사용이 증가하고 있어 유압조향장치의 단점인 무게, 복잡성, 공간확보난이성, 엔진부하작용 등을 해결한 전동조향장치가 각광받고 있다<sup>(1),(2)</sup>. 그러나 전동조향장

치는 전동기의 회전자가 관성항으로 작용함으로 인하여 유압조향장치에 비하여 조향감이 다소 떨어지므로 이를 향상시키기 위한 연구가 계속되고 있다<sup>(3),(4)</sup>. 이전에는 주로 관성항 보상을 위한 연구가 진행되었으나 최근에는 운전자의 조향작용에 대한 지식을 활용한 퍼지제어기에 대한 연구가 증가하고 있다. 퍼지제어는 운전자의 조향상태를 파악하

\* 자동차부품연구원 경량소재실  
(한창수 cshahn@katech.re.kr)

\*\* 천안공업대학 자동차공학과

여 각 조향상태에 최적한 보조력을 제공할 수 있는 반면 조향감<sup>(5)(7)</sup>을 고려하여 퍼지(Fuzzy)제어기를 작성한다는 것은 다소 어려운 문제이다. 그 이유는 운전자의 직관적인 판단단을 이용하여 멤버십 함수(Membership Function)를 작성하는 것은 조향감이라는 주관적인 물성치를 고려해야 할 경우 수치적인 고려가 포함되어 매우 까다롭게 되기 때문이다<sup>(8)(9)</sup>.

그러므로 본 연구에서는 조향장치 시뮬레이터<sup>(10)</sup>를 이용하여 운전경력이나 요구하는 조향력이 다양한 운전자들에게서 조향감을 객관적으로 측정할 수 있는 실험방법을 제안하였으며, 측정된 수치적인 데이터와 설문조사의 응답결과간의 상관분석을 통해 운전자의 조향감에 영향을 미치는 제어변수를 추출할 수 있는 방안을 제시하였다.

또한 각 조향상태별로 선정된 제어변수를 이용하여 차속, 조향력, 조향휠 회전각가속도의 제어입력에 대한 제어력을 계산함으로써 제어입출력쌍을 구성하였다<sup>(11)(12)</sup>. 이 입출력쌍과 수제노 퍼지모델의 학습기능을 통해 출력부의 멤버십 함수를 추출하였으며, 기존의 운전자의 조향에 대한 지식만을 이용하여 멤버십 함수를 선정할 퍼지제어기와와의 제어결과를 비교하여 제안된 퍼지제어기의 타당성을 검증하였다.

## 2. 조향감 실험장치 및 제어기의 구성

조향감 실험장치는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 조향장치 시뮬레이터<sup>(13)</sup>에 전동조향장치와 비례미분제어기를 연결하여 구성되었다.

실험순서는 우선 운전자가 메뉴상에서 정지시 또는 주행시의 실험을 선택하고, 제어변수를 선택한 후 실험을 시작

한다. 운전자는 컴퓨터 모니터에 나타난 조향모드에 따라 조향휠을 조작함으로써 조향감을 느끼게 된다. 이 때 컴퓨터의 제어부는 모니터에 조향모드를 제공하는 동시에 조향력센서부의 신호를 이용하여 비례미분제어신호를 만들어 운전자에게 조력을 제공하게 된다.

비례미분제어기는 식 (1)과 같이 일정 토크 이상에서만 보조력을 제공하며 전동기 회전자의 관성에 의한 힘을 보상하고자 조향각의 2차미분항에 비례하게 보상해주는 제어방법을 사용하였다. 조향휠과 전동기의 회전자는 거기에 의해 상호 속도 및 가속도에 비례관계가 있으므로 측정이 가능한 조향휠의 회전각을 식에 이용하였다.

$$|F_i| \geq F_{th} \text{ 일 때} \quad (1)$$

$$T_i = K_p(|F_i| - F_{th}) \text{sgn}(F_i) + K_d(\dot{\theta}_{sw(i)} - \dot{\theta}_{sw(i-1)})$$

$$|F_i| \leq F_{th} \text{ 일 때}$$

$$T_i = 0$$

## 3. 주관적 실험해석

실험자는 28-35세의 5인으로 구성하였으며 2-10년까지 다양한 운전경력을 가지고 있다. 실험은 전실험, 본실험, 설문조사의 3단계로 실시하였다.

전실험은 운전자들의 조향력에 대한 민감도를 측정하기 위하여 시뮬레이터상의 전동조향장치를 적절히 구동시킴으로서 운전자에게 세가지의 조향반력(2 Nm, 4 Nm, 6 Nm)을 제공하였을 때의 각 조향력에 대한 운전자들의 느낌을 측정하였다. 실험은 시뮬레이터 상의 모니터에서 실험시작과 끝을 알리는 신호와 조향각패턴을 나타내고 운전자가 코스를 따라 조향을 하며 그 부하를 느끼게 함으로서 실시되었다.

본 실험은 전동조향장치의 비례미분제어기에 대한 제어변수값을 변경시키며 수행하였다. 실험횟수는 비례계수, 미분계수, 최소조향력의 3가지 제어변수에 대해 각각 2가지씩의 변수값을 제공하며 이를 각각 정지상태와 주행상태에 대해 측정함으로써 정지/주행, 비례계수, 미분계수, 최소조향력의 변화에 따라 총 16회를 실시하였다. 제어변수값을 순차적으로 변경시킬 경우 운전자에게 점차 증가하거나 감소하는 형태로 실험이 실시됨으로서 각 실험간의 독립적인 느낌전달이 되지 않을 수가 있으므로 정지상태와 주행상태의 그룹 내에서 8번씩의 실험을 임의적인 순서대로 1회씩 수행하였다. 실험은 시뮬레이터 상의 모니터에 실험시작과

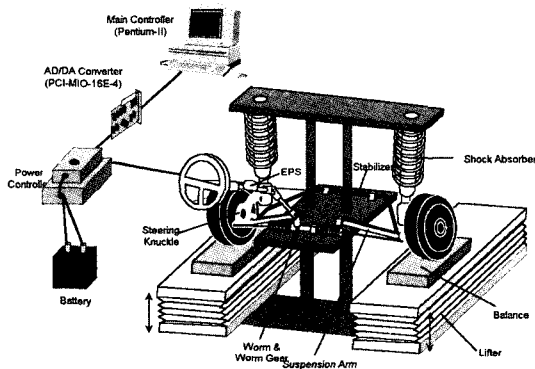
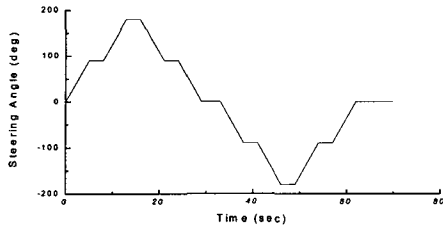
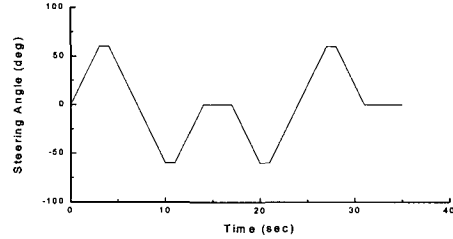


Fig. 1 Schematic diagram of simulator



(a) Static steering state



(b) Dynamic steering state

Fig. 2 Steering pattern

끝을 알리는 신호가 나타나고 Fig. 2와 같이 정지상태와 주행상태에 대해 특징적인 조향패턴에 의해 실시되었다. 전실험과 본실험에서 운전자에게는 단지 모니터상의 조향각만이 제공되며 각 실험후 데이터수집장치는 시간, 조향각, 조향토크 등을 측정하여 저장하였다.

또한 각 실험시 조향감에 대한 주관적인 평가사항을 조사하기 위하여 Table 1과 같은 항목에 대하여 설문조사를 실시하였다. 설문조사 항목은 실제 조향시 운전자에게 친근한 어휘를 이용하였고 각 조향감 어휘는 각 실험자간의 감각적인

일치를 위하여 실험전에 실험자들에게 그 의미를 숙지시켰다. 선정된 어휘들은 특히 운전자의 손을 통해 전달되는 조향력의 크기와 변화량에 관련된 것으로 하였으며 각 실험에 사용된 전동조향장치는 동일하고 제어기의 파라미터 값만을 변경시키므로 동일한 조향장치를 사용함으로써 시험상 변화가 없는 조향감은 제외하였다. 그리고 감성어휘는 Osgood 등에 의해 제안된 의미구별법(SD: Semantic Differential)을 이용하여 반대의미를 나타내는 형용사 쌍으로 구성하였다. 선정된 조향감 어휘는 설문조사표에 나타낸 것과 같다.

실험결과에 대한 분석을 위하여 다음과 같은 성능지수를 정의하였다. 시뮬레이터의 화면상 표시된 조향각을  $\theta_c$ 라 하고 운전자의 각 실험후 계측된 조향각을  $\theta_d$ 라고 두면 운전자가 제시된 조향각을 최대한 가까이 쫓아갈 수 있는 능력인 숙련도  $E$ 를 식 (2)를 통해 계산할 수 있으며 이로서 각 시험이 제대로 된 시험인지를 파악할 수 있다.

$$E = \sqrt{\frac{1}{t_{\max}} \left[ \sum_{t=0}^{t_{\max}} (\theta_d - \theta_c)^2 \Delta t \right]} \quad (2)$$

조향력의 크기를 측정하기 위하여 계측된 조향력  $f_d$ 의 RMS(Root mean square) 값을 이용하여 조향력  $F$ 를 식 (3)과 같이 계산하였다.

$$F = \sqrt{\frac{1}{t_{\max}} \left[ \sum_{t=0}^{t_{\max}} f_d^2 \Delta t \right]} \quad (3)$$

또한 조향력이 선형으로 증가 또는 감소하는 정도에 대해 파악하기 위하여 조향각이 일정한 구간을 제외한 곳에서 계

Table 1 Questionnaire for object test

조향감	응답치	목표치
a. 꺾는 처음 부분에서 핸들이 ...	가볍다 무겁다	( )
b. 양끝단에서 핸들이 ...	가볍다 무겁다	( )
c. 전체적으로 핸들의 ...이 무겁다	왼쪽 오른쪽	( )
d. 전동조향장치의 조력이 ...	작다 크다	( )
e. 핸들을 꺾을 때의 느낌이 ...	좋다 나쁘다	( )
f. 핸들의 강성느낌이 ...	작다 크다	( )
g. 양끝단에서 핸들을 유지하기가...	쉽다 어렵다	( )
h. 핸들의 돌아오는 힘이 ...	작다 크다	( )
i. 핸들을 복귀시키기가 ...	쉽다 어렵다	( )
j. 중앙에서 핸들의 떨림이 ...	작다 크다	( )
k. 전체적으로 핸들에 떨림이 ...	작다 크다	( )
l. 핸들의 매끄러운 느낌이 ...	작다 크다	( )
m. 핸들의 조작시 걸리는 것이 ...	없다 있다	( )
n. 핸들이 탄성적인 느낌이 ...	작다 크다	( )
o. 핸들을 고정하고 유지하기가 ...	쉽다 어렵다	( )
p. 전동조향장치의 조력이 ...하다	불안 안정	( )

측된 조향력  $f_d$ 가 증가 또는 감소하는 경향인 기울기  $G$ 를 식 (4)와 같이 나타내었다.

$$G = \text{slope of } f_d \quad (4)$$

조향력의 오버슈트를 측정하기 위하여 식 (5)와 같이 조향력의 증가 또는 감소가 끝난 다음 조향휠을 고정시킬 때 발생하는 조향력의 최대값과 최소값의 차를 이용하여 오버슈트(overshoot)  $H$ 를 계산하였다.

$$H = |f_{d\max} - f_{d\min}| \quad (5)$$

#### 4. 비례미분제어기의 각 조향감별 최적제어변수 선정

Fig. 3에는 조향 시뮬레이터에서 수집된 데이터와 설문조사를 통해 수집된 결과를 이용하여 각 조향감에 적합한 비례미분제어기의 제어변수를 선정하는 절차를 나타내었고 다음과 같이 수행하였다.

- 1) 조향 시뮬레이터에서 수집된 데이터로부터 식 (2)-(5)에 나타난 숙련도, 조향력, 기울기, 오버슈트 등 성능지수를 계산한다. 이 때 각 운전자에 대해 총 16회의 실험에 대한 데이터를 처리하여 데이터베이스를 구축하였고 숙련도가 일정치 이하의 실험에 대해서는 재실험을 실시하였다.
- 2) 1)에서 계산된 성능지수와 설문조사 결과 수집된 응답치 사이에 상관분석을 수행하여 상관계수를 구하고 상관계수가 0.7 이상인 것만을 선정한다. 이 때 계산의 편리성을 위하여 상관계수는 모두 양수로 변환하여 사용한다.
- 3) 각 조향감에 대해 선정된 성능지수의 선형관계를 이용하여 각 운전자가 목표값으로 제안한 성능을 만족시킬 수 있는 제어변수값을 추정한다.
- 4) 수정된 제어변수값을 이용하여 제어를 실시하여 목표치에 접근하였는지 확인한다.

상관계수가 0.7 이상인 경우 조향감과 성능지수는 대략적으로 1차 방정식의 형식으로 나타낼 수 있으므로 조향감을 목표값과 유사한 값으로 얻기 위한 주요성능지수의 값을 산출하고 각각의 주요성능지수의 값을 평균하여 제어변수의 값을 보정하게 된다.

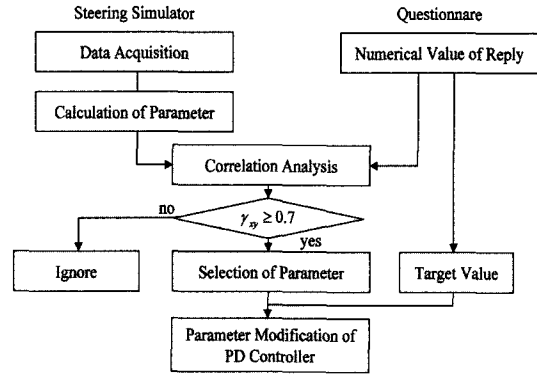


Fig. 3 Flowchart for compensation algorithm of steering feel

#### 5. 조향감을 고려한 퍼지제어기의 개발<sup>(14)</sup>

##### 5.1 퍼지제어기 개발시 고려사항

전동조향장치용 제어기를 개발하는데 있어 운전자의 조향 상태를 파악하여 이에 적절한 제어출력을 제공하는 것은 다소 까다로운 문제로서 이는 타이어의 마찰력과 조향장치 및 현가장치의 기하학적인 형상에 따른 조향력 변화, 주행시의 셀프얼라이닝 토크의 영향 등 비선형적인 요소가 많기 때문이다<sup>(15)</sup>. 또한 조향장치는 운전자의 선회작업과 복귀작업에 적절한 보조력의 증감을 제공해야 하며, 선회중에는 조향휠을 고정시키는 상황도 고려되어야 하므로 가변적인 상황에 적절하게 대응하기 위해서는 인간의 판단방식과 유사한 방식으로 추론을 할 수 있는 퍼지제어기가 유용하게 된다.

퍼지제어의 정밀도는 입력력에 대한 멤버십함수에 따라 좌우되는데 일반적으로 널리 사용되는 맴다니(Mamdani) 모델은 어느 정도 한도내의 정밀도를 유지하면서 강건한 제어에 유리하나, 직관적인 판단을 기본으로 한 제어방식이므로 조향감을 고려해야 하는 경우와 같이 다소 민감한 제어에서는 불리하게 된다. 반면 수제노(Sugeno) 모델은 출력의 멤버십함수를 수치적으로 표현함으로써 수치제어에 유리하고 학습에 의해 적절한 멤버십함수의 자동설정이 가능하므로 정밀한 제어에 있어 다소 불리하다는 퍼지제어기법의 단점을 보완해 주는 모델이다.

그러므로 본 장에서는 비례미분제어기의 실험을 통해 수집된 각 조향상태에 따른 최적의 전동기 제어력을 학습시킨 멤버십함수를 가진 수제노 모델에 의한 제어기와 운전자의 직관적인 판단에 의한 맴다니 모델의 멤버십함수를 비교함으로써 개발된 조향감을 고려한 전동조향장치용 제어기의 효용성을 검증하였고 다수의 운전자들에게 만족시킬 수 있

는 조향감을 제어장치에 자동으로 학습시킬 수 있는 도구를 제안하였다.

운전자가 정지시와 주행시 느끼는 조향감은 조향력의 크기와 조향력의 크기 변화에 의해 감지되는 경우가 대부분이다. 또한 차속이 증가함에 따라 타이어의 셀프일라이닝 토크의 증가와 타이어의 마찰 감소 및 단위조향각에 대한 주행거리의 증가로 인하여 작은 조향각에도 차량의 변화가 심하므로 보조력의 크기가 너무 클 경우에는 운전자는 불안감을 느끼게 되므로 차속에 따라 적절하게 감소하는 형태의 제어가 필요하다. 그리고 조향각가속도는 회전자에 의한 관성항과 비례하므로 이를 보상하기 위하여 비례미분제어기에서 사용하였던 것과 같이 조향각가속도를 입력변수로 선정하였다. 그러므로 퍼지제어기의 입력은 차속, 조향력의

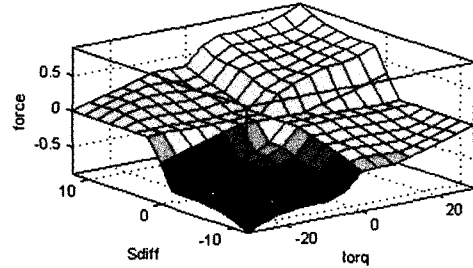
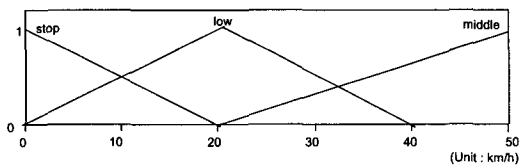


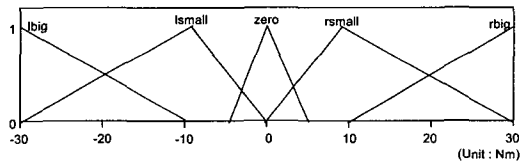
Fig. 6 Output surface of mamdani type

크기, 조향각가속도의 3가지 변수에 대하여 고려되었고 Fig. 4와 같이 입력 멤버십함수를 구성하였고 출력 멤버십함수는 Fig. 5와 같다.

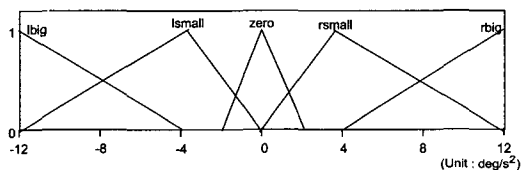
멤다니 모델의 퍼지규칙 및 출력 멤버십함수는 운전자의 지식에 의해 설정되는 것으로서 다음과 같은 전동조향장치의 보조력 제공에 대한 직관적인 지식을 이용하여 다음과 같은 규칙을 선정하였고 이 규칙에 따른 멤다니 모델의 출력곡면은 Fig. 6과 같다.



(a) Car speed "Vcar"



(b) Steering torque "Torq"



(c) Steering Angle Acceleration "Sdiff"

Fig. 4 Membership function for input

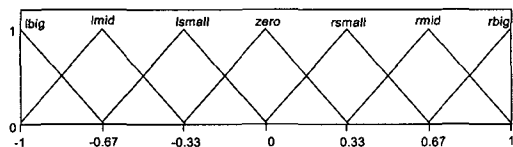


Fig. 5 Membership function for output

- 1) 직진 주행시 전동조향장치의 보조력은 거의 제공되지 않는다.
- 2) 정지 또는 주행상태에서 조향력에 비례한 보조력을 제공한다.
- 3) 조향장치의 끝단에서 매우 큰 조향력이 발생하는데 이 때에는 시스템 보호를 위하여 보조력을 거의 제공하지 않는다.
- 4) 정지상태에서 복귀시 보조력은 작게 제공한다.
- 5) 주행상태에서 선회시 조향휠을 유지시키기 위해 유지력에 대응한 보조력이 필요하다.

Table 2 Input value for fuzzy logic

조향감	보정된 제어변수		
	비례	미분	조향력
a. 꺾는 처음 부분에서 핸들이...	5.6	0.32	2.2
b. 양끝단에서 핸들이...	5.2	0.43	2.4
g. 양끝단에서 핸들을 유지하기가...	5.9	0.34	2.6
h. 핸들의 돌아오는 힘이...	6.0	0.57	4.0
i. 핸들을 복귀시키기가...	7.3	0.36	4.1
j. 중앙에서 핸들의 떨림이...	7.2	0.44	3.8
k. 전체적으로 핸들에 떨림이...	4.3	0.32	3.0
o. 핸들을 고정하고 유지하기가...	6.2	0.44	2.1

Table 3 Fuzzy rule for Sugeno Type

		Steering Torque				
		lbig	lsmall	zero	rsmall	rbig
Steering Angle Accel.	lbig	b	l	k	h	h
	lsmall	o	a	k	i	h
	zero	g	o	j	o	g
	rsmall	h	i	k	a	o
	rbig	h	h	k	l	b

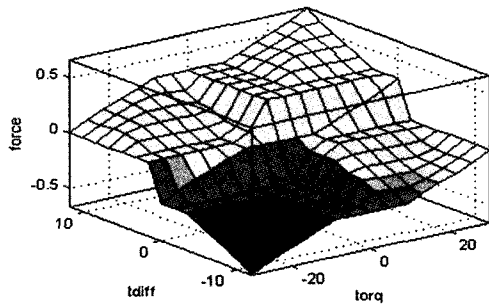


Fig. 7 Output surface of sugeno type

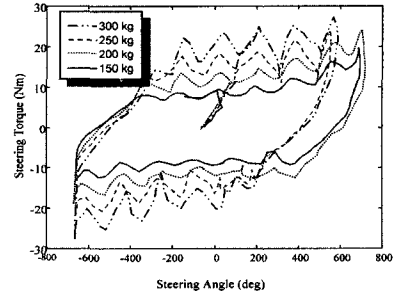
6) 차속의 증가에 따라 보조력은 감소한다.

또한 4장에서 선정된 각 조향감에 대한 최적 제어값으로 수제노 퍼지모델에 대한 학습을 수행하였다. 입출력 값은 Table 2에 나타낸 것과 같이 비례미분제어기의 출력값 및 조향력값을 이용하였고 MATLAB의 함수를 이용하여 학습시켰다. Table 4는 정지시와 주행시 공히 학습에 이용한 퍼지룰을 나타내고 있고 톨 속의 부호는 Table 2의 조향감에 대한 기호이다. 이 규칙에 의해 학습한 수제노 모델의 출력곡면은 Fig. 7과 같다.

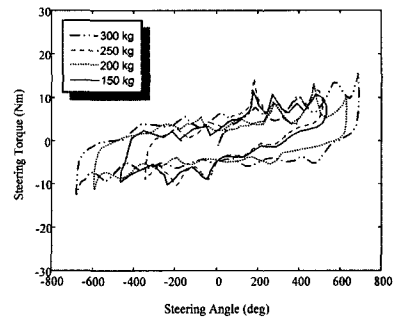
## 5.2 전동조향장치 작동여부에 따른 실험결과

### 1) 정지상태에서 적절한 보조력의 제공과 조향 끝단에서의 보조력의 감소

Fig. 8은 정지상태에서 하중의 변화에 따른 전동조향장치의 구동과 정지에 따른 조향력 및 각 하중에 대한 전동조향장치의 조향력을 비교하고 있다. (a)는 전동조향장치를 구동하지 않았을 때 전륜수직하중에 비례한 조향부하를 나타낸다. (b)는 전동조향장치를 구동하였을 때로서 구동하지 않았을 때 비해 부하가 1/2 정도로 감소한 것을 알 수 있다.



(a) EPS Off



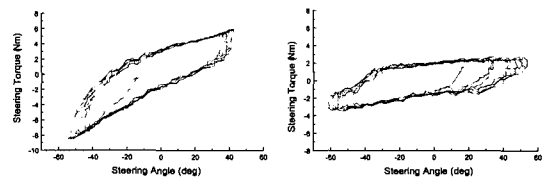
(b) EPS on

Fig. 8 Comparison of steering torque

며 왼쪽 끝단에서의 조향부하가 급속히 증가하는 것은 전동기 내부회로를 보호하기 위하여 보조력을 떨어뜨리기 때문이다.

### 2) 주행상태에 따른 전동조향장치의 응답분석

차량의 주행상태를 시뮬레이션하기 위하여 Fig. 9와 같은 미소각의 슬라롬 시험을 실시하였다. 시험은 20 km/h 정도의 저속에서의 주행상태를 시뮬레이터에서 구현하였으며 시험결과 전동조향장치가 없을 때와 비교하여 조향력감소와 함께 좌우조향에 대해 비례적으로 미소증가하는 형태로



(a) EPS off

(b) EPS on

Fig. 9 Comparison of slalom test near on-center

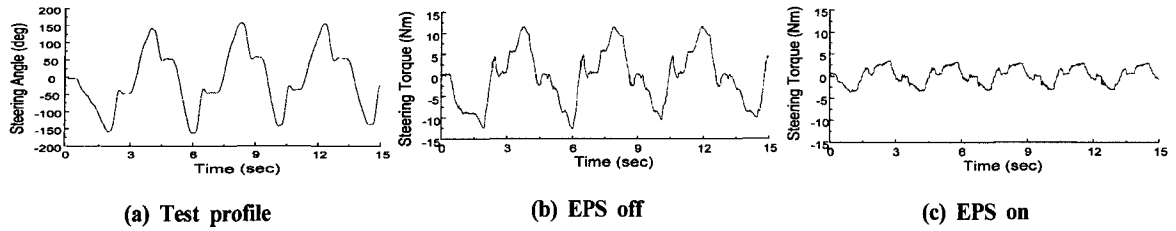


Fig. 10 Comparison of slalom & hand-off test near on-center status

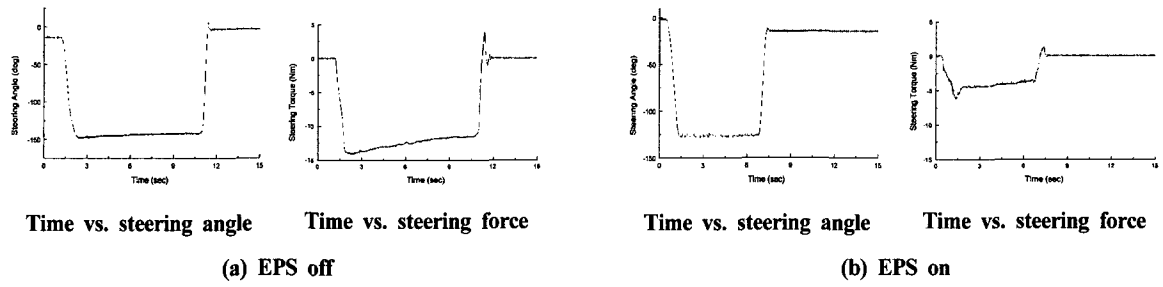


Fig. 11 Comparison of steering torque at cornering

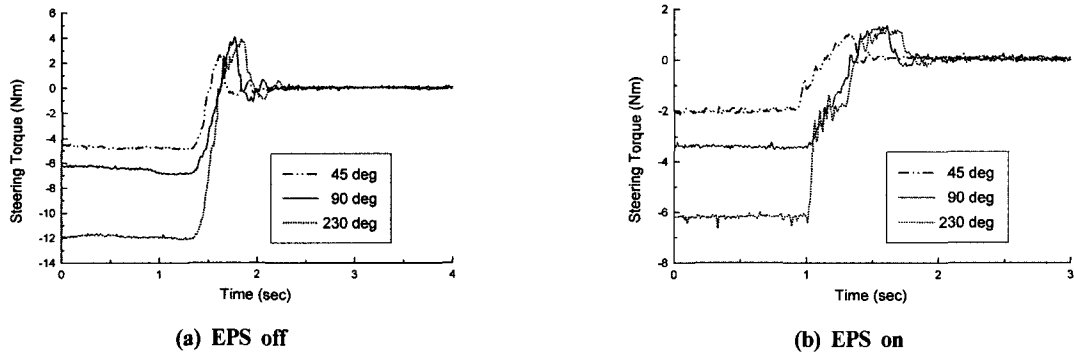


Fig. 12 Comparison of steering torque at returning

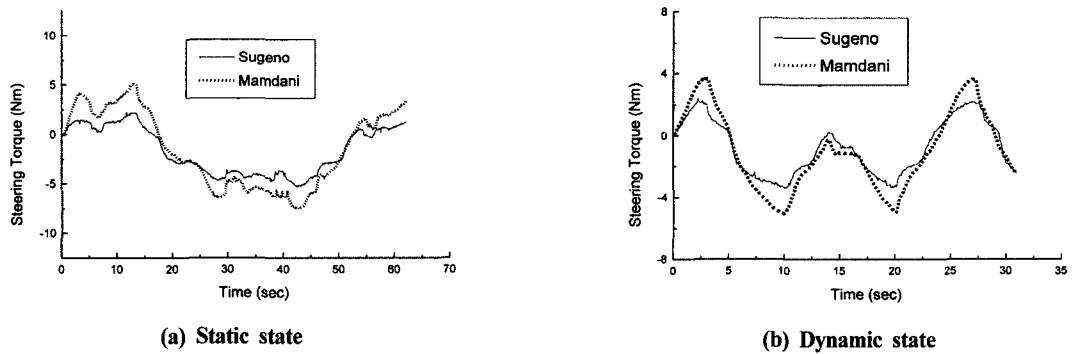


Fig. 13 Comparison of the results between Sugeno and Mamdani type

운전자가 느낄 수 있도록 보조력을 제공하고 있다.

또한 조향장치의 신뢰성을 확인하기 위하여 미소각의 슬라룸과 손놓음 시험을 함께 실시하였다. 시험은 핸들을 좌로 돌린 후 손놓음, 우로 돌린 후 손놓음의 형식으로 연속적으로 실시하였다. 이는 조향장치의 작동중 선회후 셀프얼라잉 토크에 대한 전동조향장치의 반응을 알아보기 위함이다. 실험결과 Fig. 10과 같이 전동조향장치가 없는 경우 조향부하도 작고 안정되게 조향되는 것을 알 수 있다.

**3) 선회상태에 대한 전동조향장치의 응답**

Fig. 11은 선회상태를 시뮬레이션한 것이다. 조향각은 우측으로 150° 정도로 꺾은 상태에서 유지되며 선회후 셀프얼라잉 토크로 복귀하는 실험으로서 조향각과 조향부하를 나타내었다. (a)의 경우 복귀력을 유지하는데 피로감이 와 조향각이 서서히 줄어드는 것을 알 수 있고 복귀시 큰 피크가 발생하게 된다.

반면 (b)의 경우 조향력이 작으므로 유지하기가 수월하고 복귀시에도 피크가 작게 발생하게 하는 것을 알 수 있다.

Fig. 12에서는 여러 가지 선회상태에서의 복귀시에 대한 전동조향장치의 응답을 나타내었다. (a)의 전동조향장치가 없을 경우에는 빠른 복귀가 가능하지만 전반적으로 큰 피크가 발생하고 있음을 알 수 있으며 (b)의 전동조향장치가 있는 경우에는 (a)에 비하여 복귀속도는 다소 느리나 작은 양의 조향력 변화가 발생하므로 운전자에게는 부드러운 조향을 제공할 수 있다.

**5.3 맴다니 모델과 수제노 모델에 의한 실험결과**

Fig. 13은 맴다니 모델과 수제노 모델에 의한 실험결과를 나타낸 것이다. Table 4에 나타낸 성능지수를 통해 수제노 모델에 의한 제어가 모든 성능지수에 대해 조향력, 기울기, 오버슈트가 적정함을 알 수 있다.

**6. 결 론**

본 연구를 통하여 조향감을 고려한 전동조향장치용 퍼지 제어기 개발에 대해 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- (1) 여러 운전자의 조향감에 대한 객관적인 평가를 위하여 조향시뮬레이터를 개발하였고 이를 이용하여 주관적인 조향감을 수치화할 수 있는 실험절차 및 분석 알고리즘을 제시하였다.
- (2) 수제노 퍼지제어기의 학습기능을 이용하여 상관분석을 통해 선정된 최적 조향력을 발휘할 수 있는 멤버쉽 함수를 추출함으로써 향상된 조향감을 가지는 조향장치용 퍼지제어기를 개발하였다.
- (3) 개발된 퍼지제어기를 통해 변화하는 하중에 대한 응답 특성, 슬라룸 및 손놓음 실험특성, 선회 및 복귀시에 대한 조향특성에 적절한 조향력을 제공함으로써 조향감 향상을 꾀할 수 있었으며 운전자의 지식만을 이용하여 제안된 퍼지제어기에 비하여 전동조향장치의 조향감을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

**참 고 문 헌**

(1) T. Nakayama, E. Suda, "The present and future of electric power steering", Int. J. of Vehicle Design, Vol. 15, Nos 3/4/5, pp. 243 ~ 154, 1994.

**Table 4 Comparison of performance index**

Performance Index	Static State		Dynamic State	
	Sugeno Type	Mamdani Type	Sugeno Type	Mamdani Type
F1	0.544	0.643	0.372	0.561
F2	0.788	0.873	0.413	0.517
F3	1.465	1.523	1.203	1.651
F4	0.508	0.732	0.002	0.027
F5	1.008	1.234	0.738	0.912
F6	0.800	1.294	0.420	0.564
F7	1.412	2.083	0.621	0.923
G1	0.008	0.010	0.028	0.037
G3	0.027	0.030	0.048	0.062
G5	0.003	0.004	0.031	0.041
G7	0.023	0.025	0.030	0.052
H1	1.172	1.462	1.412	1.562
H2	1.523	2.037	1.101	1.732
H3	0.664	1.377	0.421	2.371
H4	1.523	2.377	1.451	2.762
H5	1.641	1.738	1.412	1.651
H6	0.820	1.277	0.621	0.761
H7	0.662	1.663	0.419	0.621



- (2) Kenjiro Okamoto, Isamu Chikuma, Naoki Saito, Hiroya Miyazaki, "Improvement of driver's feel of electric power steering", SAE Paper 890079, 1989.
- (3) 中山隆志, 神田耕治, "電動式パワーステアリングの實用化", 環境研究, No. 95, pp. 70~80, 1994.
- (4) 竹原伸, 坂本情, 花本芳宣, 則次俊郎, "電動式パワーステアリングのモータ慣性の影響と補償", 自動車技術會 學術講演會前刷集 974, pp. 69~72, 1997.
- (5) 平松金雄, 井上茂, 岩元貞雄, "フィーリングの解析方法について", 自動車技術, Vol. 35, No. 5, pp. 509~514, 1981.
- (6) 川上慎吾, 小出勝, "パワーステアリング付車のステアリング操舵感評價について", 自動車技術會 學術講演會前刷集 871, pp. 101~106, 1987.
- (7) 日本自動車研究所, "自動車の安定性・操縦性に關するフィーリングテスト體系化の研究", 研究報告書 第4号, 1972.
- (8) 楠田達文, "ファジイ制御用BASICインタープリタの製作", トランジスタ技術, Oct., pp. 591~598, 1990.
- (9) Tomohiro Takagi, Michio Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-15, No. 1, January/ February, pp. 116~132, 1985.
- (10) 名切末晴, 土居俊一, 松島悟, "シミュレタにおける操舵反力模擬法", 自動車技術會論文集, Vol. 25, No. 2, Apr., pp. 136~140, 1994.
- (11) 荒川哲, 鈴木勝博, 渡辺烈夫, "パワーステアリングの車速感應メカニズム", 自動車技術, Vol. 50, No. 2, pp. 36~41, 1996.
- (12) Hidekazu Suzuki, Mitsuhiro Harara, "Study on Suitable Steering Feeling for Various Driving Conditions - by Controlling Power Steering Assist Characteristic", AVEC'94, pp. 55~60, 1994.
- (13) 한창수, 이명호, 박호, 오재용, "경차용 전동조향장치의 성능평가를 위한 시뮬레이터의 개발", 대한기계학회 논문집 A권, 제25권, 제6호, 2001.
- (14) 한창수, "자동차용 전동조향장치의 조향감 향상에 관한 연구", 2000, 한양대학교 박사학위논문.
- (15) 杉時夫, 島田鐵雄, 1965, "すえ切り操舵力に關する考察", いすゞ技報 第46号, pp. 34~43.