

경차용 전동조향장치의 성능평가를 위한 시뮬레이터의 개발

한창수[†] · 이명호^{*} · 박 호^{**} · 오재응^{**}
(2000년 2월 22일 접수, 2001년 4월 19일 심사완료)

Development of Simulator for Performance Test of Electric Power Steering of Light Weight Vehicle

Chang Su Hahn, Meung Ho Rhee, Ho Park and Jae Eung Oh

Key Words: Steering Simulator(조향 시뮬레이터), Steering System(조향장치), Steering Torque(조향력), Self Aligning Torque(자기복원력), Steering Stiffness(조향강성)

Abstract

Steering system is most important for vehicle in safety and driving feel. However, testing using real car to improve steering feel is often difficult in aspect to repeatability, safety and money. Repeatability in testing steering system is very important because steering feel for driver is variable according to the environment condition. And steering testing of vehicle is so dangerous that driver may not concentrate in testing. In this paper, the steering system simulator using front part of steering and suspension system was developed. We can test the electric power steering system for the light weight vehicle using this simulator cheap, safely and repeatably.

1. 서 론

운전자가 정지시나 주행시 조향휠을 통해 감지하게 되는 조향력 및 조향감을 가장 잘 계측할 수 있는 방법은 실차상태에서의 실측을 통해 데이터를 얻는 것이다. 그러나 실차 주행 시험은 시험시마다 노면이나 차량상태 및 각종 주위 환경의 변화로 인하여 재현성의 측면에서 불리하며 시험중 안전성을 확보하지 못함으로 인해 운전자의 시험에 대한 집중력이 떨어지는 단점이 있다. 또한 최소폭 7m, 최소길이 1km의 주행시험장이 필요하여 1회 시험에 많은 비용이 소요되며 절차가 복잡해 지는 것도 큰 문제라고 할 수 있다.

그러므로 이와 같은 문제를 해결하고자 제한된 시험조건에서 실차상태와 유사한 성능을 발휘할 수 있는 조향 시뮬레이터가 필요하게 된다.⁽¹⁾

조향력을 측정하기 위한 시뮬레이터에 대한 연구로서 1965년 스키(杉)⁽²⁾는 정지시 조향력에 영향을 미치는 요인에 대한 분석하였고, 1979년 나가무라(仲村)⁽³⁾는 극저속시 주행상태에 대한 연구에 조향시뮬레이터를 이용하였으며, 1994년 나키(名切)⁽⁴⁾는 조향력을 모의하기 위하여 전문슬립각에 따른 무게합수를 줌으로서 조향시뮬레이터의 복원력을 실차상태를 근접하도록 제어할 수 있게 하였다.

이와 같이 많은 연구자들이 조향 시뮬레이터를 이용하여 주행상태를 재현시험하고 있으나 대부분의 조향 시뮬레이터들은 고속시의 셀프얼라이닝 토크에 대한 측정을 위한 것으로서 조향휠-조향칼럼-랙&피니언-타이로드로 이어지는 조향계에 스프링과 완충장치를 연결하여 셀프얼라이닝 토크를 재현하고 있어 현가장치나 타이어 등 기하학적인 형상에 대한 고려가 없다는 단점이 있다.⁽⁵⁾

그러므로 이와 같은 문제를 해결하기 위하여

[†] 책임저자, 회원, 자동차부품연구원 경량소재실

E-mail : cshahn@katech.re.kr

TEL : (041)559-3131 FAX : (041)559-3240

^{*} 자동차부품연구원 경량소재실

^{**} 천안공업대학 자동차공학과

^{***} 회원, 한양대학교 정밀기계공학과

일부 연구자들은 차량의 기하학적인 형상과 타이어의 영향으로 인한 비선형적인 응답을 전동모터 등을 이용한 HILS (Hardware In the Loop System) 로 구현하여 재현의 정확도를 높이고 있다.^(6~8) 그러나 이 경우 조향 시뮬레이터 개발비용이 매우 고가가 되므로 학교나 소규모 연구소에서는 부담이 되는 것이 현실이다. 그러므로 본 연구에서는 일정 수준 이상의 정밀도를 유지하면서 기존의 리프터를 이용하여 저렴한 비용으로 제작가능한 조향 시뮬레이터를 제안하였다.

특징으로서는 기존 차량의 조향장치, 현가장치 및 타이어를 그대로 사용함으로써 정지상태에서의 조향력을 실차 상태와 거의 유사하게 재현할 수 있으며, 타이어의 접촉면에 대한 수직력을 조절할 수 있으므로 차량의 중량변화에 따른 실험이 가능하고, 회전판내 스프링의 장력을 조절함으로써 여러 가지 속도의 정속주행시 발생하는 셀프얼라이닝 토크를 재현할 수 있다.

본 논문의 구성은 우선 실차 주행시험을 통해 주행속도에 따른 조향각과 조타력에 대한 데이터

를 실측하였고, 경차 전동조향장치용 시뮬레이터의 구성에 대해 소개하였으며, 앞장의 실차 주행 시험을 통해 구한 데이터와 시뮬레이터 상에서 구현한 데이터와의 비교를 정지시와 미속시 2개의 파라미터, 저속시 3개의 파라미터의 비교를 통해 그 효용성을 검증하였다.

2. 실차 상태의 조향 시험

실차시험은 본 연구에서 초점을 맞추고 있는 시스템이 경차용 전동조향장치이므로 대우국민차의 티코(Tico DX) 차량이 이용되었다.

조향각, 조향각속도 및 조향토크에 대한 데이터는 Fig. 1(a)에 나타낸 DATRON사의 RMS 장비의 조향휠각도 및 토크센서에서 회전토크, 회전각, 회전각속도를 계측하고 Fig. 1(b)의 신호처리 장치를 거쳐 Fig. 1(c)의 노트북 컴퓨터에서 수집하였다. RMS 장비의 샘플링 시간은 0.05초 이내로서 조향각 $\pm 720^\circ$, 조향토크 ± 200 Nm까지 측정할 수 있다.

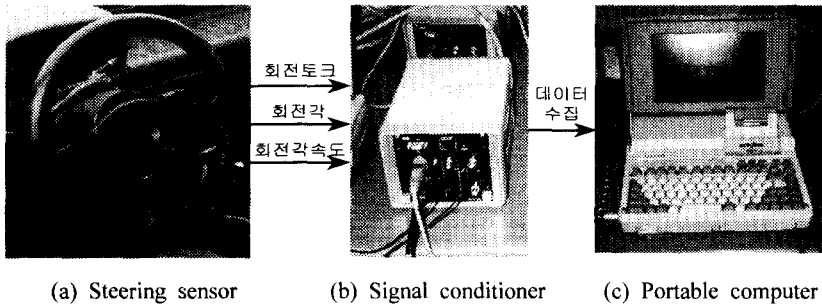


Fig. 1 Experimental apparatus

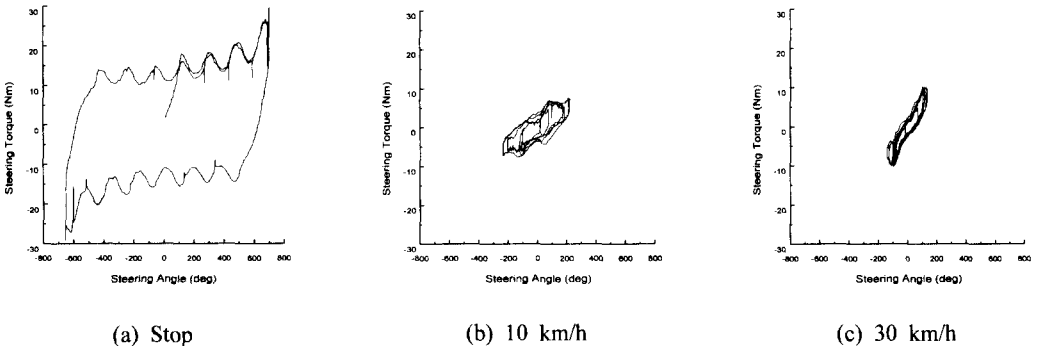


Fig. 2 Real vehicle test result according to the vehicle speed (steering force vs. steering angle)

정지상태에서의 제자리비틀력을 측정하는 것은 주차시 등에서 조향조작성을 파악하는데 중요한 시험항목으로서 조향력의 절대적인 크기 뿐만 아니라 조향력의 변화량도 조향감에 큰 영향을 주게 된다. 시험방법은 "JASO C705 제자리조향력 시험방법"에 의해 수행하였다. 시험은 전륜에 제동을 걸지 않은 상태에서 기어를 중립으로 둔 다음 조향각을 0에서 우최대조향각까지 조향후 좌최대조향각으로, 다시 우최대조향각으로 연속적으로 조향하며 시험하였다. 또한 주행시의 조향 성능을 시험하기 위하여 "JASO C706 슬라롬 주행성능 시험방법"에 의거하여 시험하였다. 일반적으로 슬라롬 시험은 직진이나 선회방향의 조향시 차랑거동 및 조향력을 측정하는 것을 목적으로 하므로 일직선 상에 일정간격의 과이론을 설치하여 주행로를 규제하는 방법과 규제하지 않고 주기적으로 조향을 하는 방법이 있으며 본 연구에

서는 후자의 개루프 시험으로 실시하였다. 차속은 정지시와 10, 30 km/h의 미저속에서 시험하였으며 중고속에서는 동력조향장치의 조력이 필요 없기 때문에 고려하지 않았다.

정지상태에서의 조향력의 발생현상은 조향초기에 타이어의 탄성에 의해 뒤틀림 변형이 발생하고, 이 변형이 미끌림 방지력보다 초과하게 되면 바닥에 대해 미끌림이 발생하게 된다.⁽⁹⁾ Fig. 2 (a)는 정지상태에서의 조향력을 보여주고 있다. 하중이 증가함에 따라 마찰력의 증가로 인해 조향력은 비례적으로 증가하고 있고 조향각이 커짐에 따라 타이어접지중심에서 킹핀까지의 거리가 증가함으로 인하여 마찰력이 증가하게 된다. 그래프상에서 물결모양은 조향계의 유니버설조인트의 영향으로 사료되고 조향시스템의 양끝단에서는 타이어의 강성에 의한 영향보다는 조향계의 기하학적인 경계조건에 의한 영향에 따라 급격한

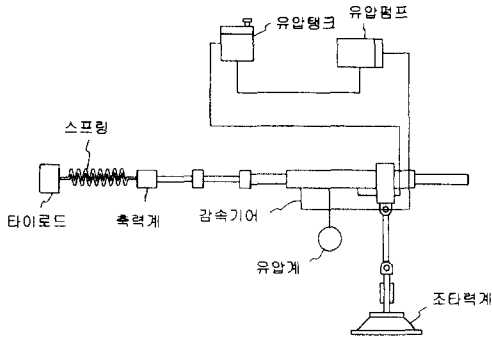


Fig. 3 Example of steering system simulator

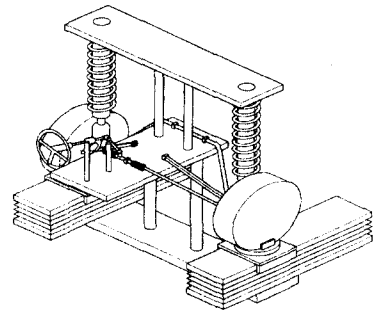


Fig. 4 Proposed simulator

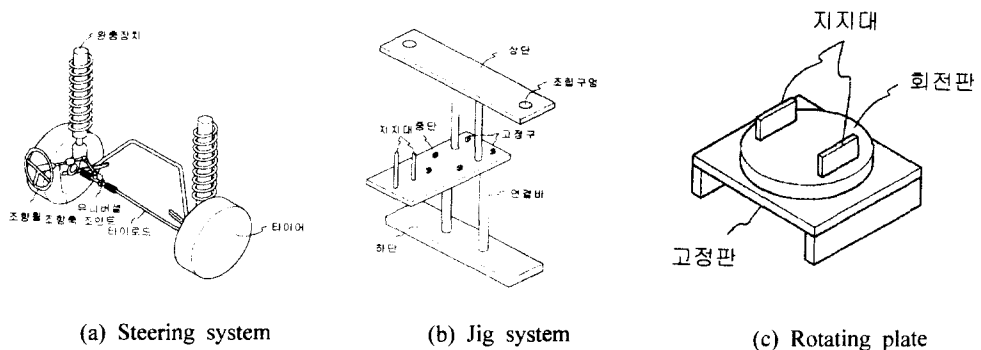


Fig. 5 Parts of steering system simulator

조향력의 증가를 보여주고 있다. Fig. 2(b)와 (c)는 각각 10 km/h의 미속과 30 km/h의 저속에 대한 조향력을 보여주고 있다. 속도가 증가할수록 조향각의 크기는 점차 줄어들고 있으며 조향각의 증가에 따른 조향력의 증가비율이 급격히 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

3. 전동조향장치용 시뮬레이터의 구성

Fig. 3에는 유압조향장치의 시험을 위한 기존의 조향장치 시뮬레이터의 예를 나타내었는데 일반적으로 마찰력과 셸프얼라이닝 토크를 제공하기 위하여 스프링과 완충장치를 삽입시킨 구조가 많다. 이와 같은 실험장치의 경우는 현가장치나 타이어 등 기하학적인 형상으로 인한 비선형적인 조향력에 대한 고려가 무시됨으로서 저속시와 같

이 타이어의 비틀림마찰력이 조향토크의 대부분을 차지하게 되는 경우 실차의 조향력과는 다소 차이가 발생하게 된다. 그러므로 제안된 시뮬레이터는 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 기존 차량의 부품을 최대한 활용하여 제작하였다.

시스템은 크게 분류하여 Fig. 5에 나타낸 것 같이 조향장치부, 지지부, 회전판의 3가지 모듈로 구성되고 리프터는 기존의 정비소 등에 많이 설치되어 있는 차량바닥지지형 리프터를 이용하였다. Fig. 5(a)의 조향장치부는 기존 차량의 조향장치와 전륜 현가장치를 그대로 이용하였다. Fig. 5(b)의 지지부는 상단, 중단, 하단의 3단 구조로 제작되었다. 중단과 상단에는 지그를 설치하여 각 주요부품에 대한 기하학적인 형태를 유지시키고 완충장치의 상단부를 지지할 수 있게 하였다. 지지부의 하단은 리프트의 아래에 고정시켜 전체적인 실험장치를 고정시킴과 동시에 리프트의 상단판을 들어올릴 때 타이어에 실차상태와 동일한 도로마찰력을 제공하는 역할을 하고 있다. 타이어에 제공되는 하중은 리프트 상단판을 상승시킴으로서 0~450 kg까지 여러 단계로 조절할 수 있다. Fig. 5(c)에 나타낸 회전판은 정속주행상태에서 대한 재현을 위한 것으로서 상단부에는 타이어를 고정시키고, 하단부는 리프트의 상하조절판상에 고정시킴으로서 상단면과 하단면 사이에 상대적인 각변위를 발생시킬 수 있으며 시험시 정속주행속도에 따라 발생하는 셸프얼라이닝 토크는 회전판의 내부에 장착된 스프링의 개수를 1~10개까지 선택함으로써 튜닝할 수 있도록 하였다.



Fig. 6 Photo of steering system simulator

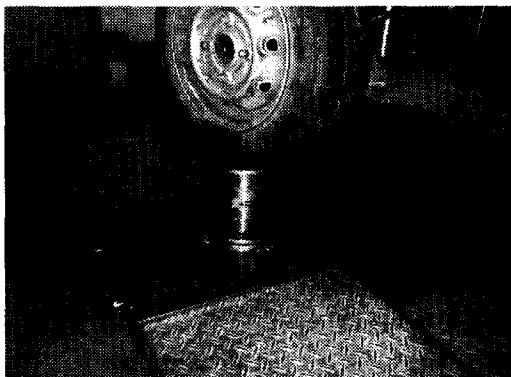


Fig. 7 Photo of rotating plate

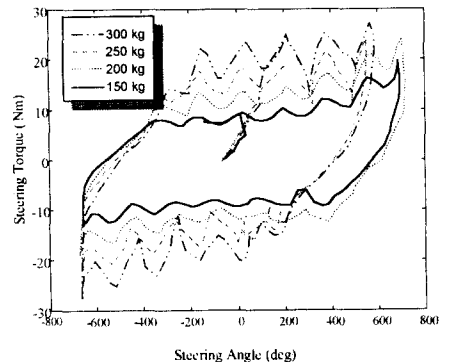


Fig. 8 Steering torque according to the front tire load

Fig. 6은 정지상태에서의 조향시험을 위한 시뮬레이터를 설치한 모습이며, Fig. 7은 주행상태를 시뮬레이션하기 위하여 회전판을 설치한 모습이다. Fig. 8은 시뮬레이터의 회전판을 제거한 상태에서 리프트를 상승시킴으로서 전륜하중을 150~300 kg 까지 증가시켜가며 조향력을 측정하는 것으로서 실험에서는 실차와 동일한 250 kg로 설정하였다. 주행상태에 대한 시뮬레이션은 회전판을 장착하고 타이어 수직하중과 회전판내의 스프링을 적절히 조절함으로써 각 주행상태에 대해 가장 유사한 조향력이 나타나도록 하였다. 운전자가 느끼는 조향상태는 크게 조향력과 조향력의 기울기에 좌우되므로 그 형상을 맞춤으로써 느낌을 일치시켰다.

4. 실차시험과 시뮬레이터 시험결과

실차시험과 시뮬레이터에서 조향시험한 결과는 다음의 세가지 성능계수에 대하여 비교되었다.

- 조향력 히스테리시스 (H) : 조향휠을 시계방향으로 조향할 때 조향각이 0을 지날 때의 조향력과 반시계방향으로 조향할 때 조향각이 0이 지날 조향력의 차이로서 계산되며 조향력의 크기를 나타낸다.

- 조향강성 (Sz) : 조향휠을 시계방향 또는 반시계방향으로 조향할 때 계속적인 조향작용으로 조향력의 증가분을 조향각의 증가분으로 나눈 값으로 계산되며 조향시 조향력의 변화로 인한 조향감을 나타낸다.

- 복원강성 (Sr) : 조향휠을 조향하는 방향과 반대방향으로 돌리는 직후 조향력이 급속히 감소하

면서 감지되는 것으로서 조향력의 감소분을 조향각의 감소분으로 나눈 값으로 계산되며 조향휠의 복원성을 나타낸다.

실차상태와 시뮬레이터 시험결과의 차이는 식 (1)과 같이 실차상태를 참값으로 두고 백분율을 구하여 계산되었다.

$$\text{오차} = \frac{\text{실차실험} - \text{시뮬레이터}}{\text{실차실험}} \times 100 \quad (1)$$

Fig. 9와 Table 1은 정지시의 조향력에 대한 실험결과로서 조향력의 크기와 증가하는 기울기는 전륜하중에 의한 타이어와 비틀림토크에 의해 발생되고 본 시뮬레이터의 경우 동일한 전륜하중을 동일한 기하학적인 형상하에 제공되었으므로 조향력 히스테리시스값(4.3%)과 조향강성(1.3%)에 대한 오차가 거의 발생하지 않았다. 복원시에는 우선 운전자가 감지하기 어려운 정도의 짧은 시간동안에 타이어의 변형이 복원된 후 반대방향의 비틀림토크에 의해 조향력 히스테리시스값과 조향강성이 발생하므로 복원강성은 고려하지 않았다.

Fig. 10과 Table 2는 10 km/h 주행시의 조향력에 대한 실험결과로서 정지상태와 같이 조향력 히스테리시스값(3.4%)과 조향강성(4%)에 대한 오차가 거의 발생하지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 11과 Table 3은 30 km/h 주행시의 조향력의 비교로서 히스테리시스값(9.6%), 조향강성(2%), 복원강성(9%)의 모든 항목에서 10% 이내의 좋은 재현성을 보임을 알 수 있었다. 이는 30 km/h 주행시에는 타이어의 회전마찰력도 중요한 파라미터이지만 주행에 따른 셀프얼라이닝 토크

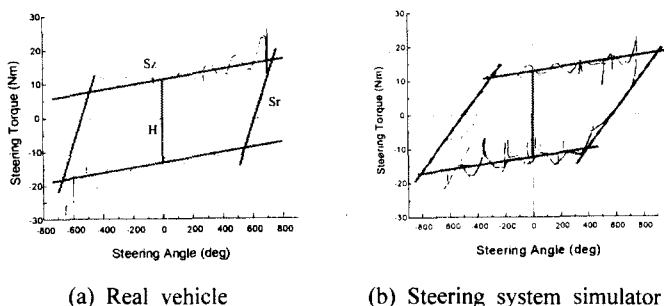


Fig. 9 Steering torque at static state

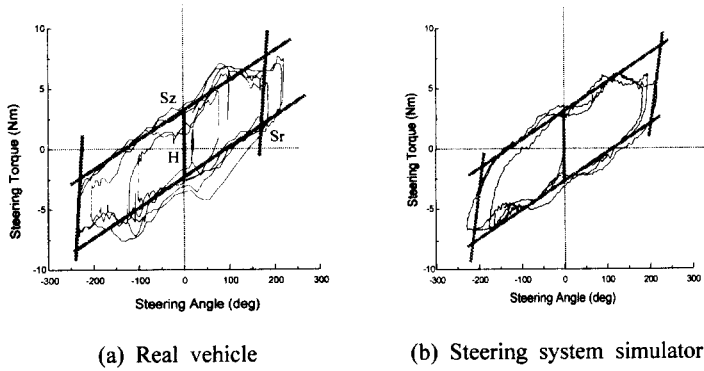


Fig. 10 Steering torque at 10 km/h state

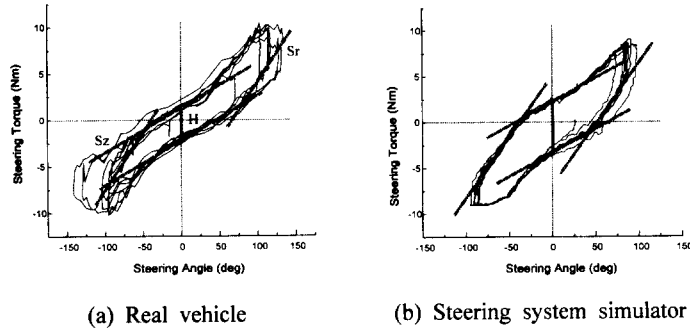


Fig. 11 Steering torque at 30 km/h state

Table 1 Comparison of steering torque parameter at stop state

Parameter	Real vehicle	Simulator	Error
H (Nm)	23	24	4.3 %
Sz (Nm/deg)	0.0075	0.0074	1.3 %

Table 2 Comparison of steering torque parameter at 10 km/h state

Parameter	Real vehicle	Simulator	Error
H (Nm)	5.8	6.0	3.4 %
Sz (Nm/deg)	0.0025	0.0024	4.0 %

의 영향도 크게 되므로 회전판의 복원력에 대한 조절이 잘 되었음을 알 수 있다.

본 조향장치 시뮬레이터는 현재 개선중으로서 바닥면을 콘크리트로 대체하거나 회전판의 형상을 변경할 경우 실차상태와 더욱 유사한 시험 결과를 얻을 수 있으리라 사료된다. 그러므로 본 연구에서는 기존 리프터를 이용하여 새로운 방식으로 조향장치 시뮬레이터를 구성하였다는데 초점을 맞추고 싶다.

Table 3 Comparison of steering torque parameter at 30 km/h state

Parameter	Real vehicle	Simulator	Error
H (Nm)	5.2	5.7	9.6 %
Sz (Nm/deg)	0.0050	0.0049	2.0 %
Sr (Nm/deg)	0.0010	0.0091	9.0 %

5. 결 론

본 연구에서는 경차용 전동조향장치의 정지시와 미저속시의 성능평가를 위한 주행장치 시뮬레이터를 제안하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 본 연구에서 제시한 조향장치 시뮬레이터를 이용하여 정지시와 10 km/h 주행시의 조향상태에 대한 시험에 대한 실차시험과 조향장치 시뮬레이터 시험을 비교한 결과 조향력 히스테리시스와 조향강성에서 5% 미만의 오차로 잘 모의함을 알 수 있었다.

(2) 30 km/h 주행시의 조향상태에 대한 시험결과 비교를 통해 조향장치 시뮬레이터가 히스테리시스, 조향강성 및 복원강성계수 모두 10% 미만의 오차로 잘 모의함을 알 수 있었고 이를 통해 본 조향장치 시뮬레이터가 실차시험을 대체하여 정지시와 주행시의 조향시험에 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

(3) 본 연구결과 재현성, 안전성, 비용적인 측면에서 여러 가지 장점을 가지고 있는 리프터를 이용한 새로운 방식의 전동조향장치 시뮬레이터를 제안하였다.

참고문헌

- (1) 高波克治, 島田鐵雄, 1971, "走行時の操舵力の研究," *いすゞ技報*, 第50號, pp. 22~31.
- (2) 杉時夫, 島田鐵雄, 1965, "すえ切り操舵力に関する考察," *いすゞ技報* 第46号, pp. 34~43.
- (3) 仲村巖, 井川一夫, 1979, "微低速時の操だかの解析," *自動車技術會論文集*, Vol. 19, pp. 53~58.
- (4) 名切末晴, 土居俊一, 松島悟, 1994, "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, pp. 136~140.
- (5) 奥田英一郎, 瀧川益生, 中川享, 1990, "電動式パワ-ステアリングのモデリングと制御," *日本機械學會論文集(C編)*, 56卷, 527号, pp. 168~173.
- (6) Sucharu Nagiri, Shun'ichi Doi, etc., 1994, "Generating Method of Steering Reaction Torque on Driving Simulator," *JSAE Review* 15, pp. 73~86.
- (7) Ki-Han Noh, Ji-Sun Lee, Je-ha Ryu, 1997, "A Hardware-In-the-Loop Simulation (HILS) System for Testing Electronic Power Steering Systems," *The 9th International Pacific Conference on Automotive Engineering*, 971390.
- (8) Tatsuya Sagiyama, Fumihiko Baba, 1996, "Study of Improving Road-Load Simulation - Power Steering Dynamic Testing System," 960728.
- (9) 杉時夫, 島田鐵雄, 1965, "すえ切り操舵力に関する考察," *いすゞ技報*, 第46号, pp. 34~43.
- (10) 仲村巖, 井川一夫, 1979, "微低速時の操だかの解析," *自動車技術會論文集*, Vol. 19, pp. 53~58.