

HILS 시스템을 활용한 전동식 조향 시스템 성능평가에 관한 연구

A Study on EPS Performance Evaluation using HILS System

*#김혁수¹, 김선희¹, 박기홍², 허승진²

*#H. S. Kim¹(hyoks@naver.com), S. H. Kim¹, K. H. Park², S. J. Heo²

국민대학교 자동차공학대학원¹, 국민대학교 자동차공학과²

Key words : HILS(Hardware In the Loop Simulation), EPS(Electric Power Steering), On-Center Handling, Returnability

1. 서론

최근 차량 시스템의 개발에 있어 높아진 전기전자 기술의 접목에 따른 다양한 편의 및 안전장치들이 개발되고 있다. 차량의 진행 방향을 결정하는 조향 시스템에 있어서도 기존의 유압식 조향 장치에서 각종 센서 신호를 이용하여 전동 모터를 제어함으로써 운전자에게 보조력을 제공하는 전동식 파워 스티어링 시스템들이 개발되어 적용되고 있는 추세이다. 특히 현재 MDPS(Motor Driven Power Steering)같은 전동식 조향 시스템들은 양산 적용되고 있으며, 차종에 따른 적용 및 성능에 대한 신뢰성을 확보하기 위한 다양한 노력들이 이루어지고 있다. 하지만 MDPS와 같은 전동식 조향 시스템의 경우 차량의 안전과 직접적으로 연관된 시스템 중 하나이기 때문에, 실차에 의한 적용 및 테스트를 수행하기 이전 기본 성능 및 제어 로직의 평가를 통한 신뢰성 확보는 매우 중요한 요소이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 실차 적용 이전 단계에서 수학적 차량모델과 가상환경을 양산 중인 MDPS 시스템과 결합한 HILS 시스템을 많이 활용하기도 한다. HILS(Hardware In the Loop Simulation) 시스템은 차량모델 및 선형화 가능한 시스템을 소프트웨어 적인 수학적 가상모델로 대체하고 각종 비선형 하드웨어적 요소인 액츄에이터 또는 개발 시스템을 적용한 시뮬레이션을 수행하는 작업을 일컫는다. HILS 시스템을 구현하여 개발 시스템을 검증하는 경우 설계에서 실차 적용 단계에 이르는 많은 비용적 측면의 문제 및 검증되지 못한 개발 시스템 적용에 따른 실차 시험 진행의 위험요소를 배제할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 MDPS 뿐만 아니라 다양한 선형 조향 시스템 AFS 및 SBW에 대하여 성능평가 및 신뢰성 검증이 가능한 HILS 시스템을 활용하여 전동식 조향 시스템의 성능을 평가하고자 한다. 특히 최근 가장 주목 받고 있는 전동식 조향 시스템의 하나인 MDPS의 성능을 평가하고자 한다. MDPS의 기본성능을 평가하는 다양한 평가항목 중에서 안전성과 관련한 On-Center Handling에 관한 성능을 평가해 보고자 한다. 평가에 적용된 MDPS는 A사 B-Class 차량에 적용된 MDPS를 사용하였다.

2. HILS System 및 실차시험

본 연구에 사용된 HILS System 및 실차시험 측정 장비를 Fig.1 과 Fig. 2에 나타내었다. 조타계를 이용하여 조향 입력 신호가 전달되면 차량모델로부터 계산된 Rack-Force 를 서보모터의 입력으로 이용하여 노면 반력을 구현하였다. 실차시험에서는 3축 가속도센서와 조타계, DAQ장비를 이용하여 자동차부품연구원 PG(Proving Ground)에서 측정하였다.

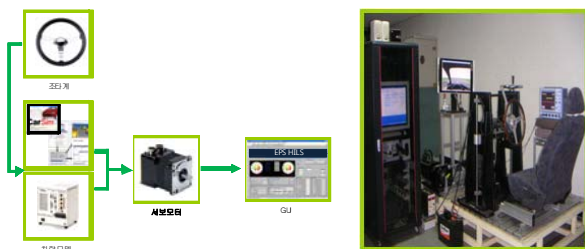


Fig. 1 HILS System for EPS

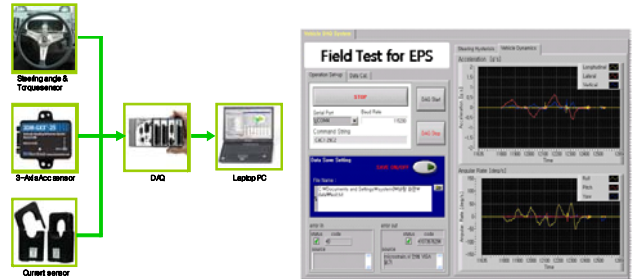


Fig. 2 Field Test For EPS

3. On-Center Handling

조향 시스템의 성능평가는 1970년대까지 주관적인 평가에 의존하였으나, 1984년, Norman에 의해 차량속도, 조향 휠 각, 조향 휠 토크, 휠 가속도, 선회 각속도를 측정하여 Steering Feel Index를 제시하면서부터 객관적인 성능지표들이 마련되기 시작했다. 조향 시스템의 성능을 평가하는데 중요한 요소 중 하나가 On-Center Handling으로써 낮은 횡가속도 영역을 일컫는 On-Center 구간에서의 조향특성을 평가 하고 전동식 조향 시스템의 성능 튜닝을 위해 수행된다. 운전자의 On-Center 구간에서의 조종성을 좋게 하기 위해서는 Steering Torque Gradient와 Steering Wheel Returnability가 중요한 역할을 수행하는데 Steering Torque Gradient는 On-Center 영역에서의 횡가속도에 대한 Steering Torque의 변화율을 말하고, Steering Wheel Returnability는 Steering Torque가 0일 때의 횡가속도를 말한다. Steering Torque Gradient는 조향각 증가에 따른 운전자가 느끼는 조향감을 나타내며, Steering Wheel Returnability가 크면 운전자에게 조향휠이 좌우로 헐거운 느낌을 주게 되므로 일반적으로 Steering Torque Gradient가 크고 Steering Wheel Returnability가 작을 때 운전자에게 좋은 조향감을 제공한다고 볼 수 있다.

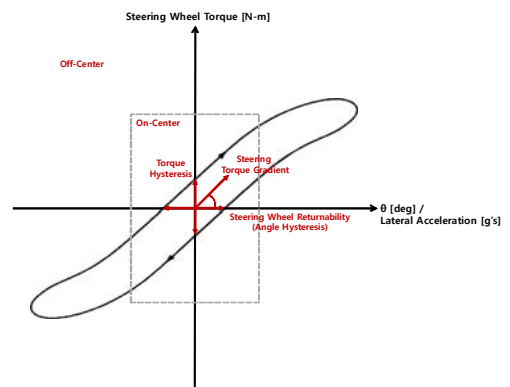


Fig. 3 On-Center Handling

4. 시뮬레이션 및 실차시험 결과

4.1 복원성 시험

On-Center Handling 시험 이전에 복원성 시험을 실시하였다. 복원성은 차량을 저속으로 운행시키면서 조향 입력 후 핸들을 놓아 차량의 조향 휠이 얼마나 빠르게 복원되는지를 평가하는 시험으로 저속의 차량의 경우 Self-Aligning Torque가 작아 복원력이 작게 된다. 또한 전동식 조향 시스템 차량의 경우 모터의 관성 등으로 인해 복원력이 부족해 인위적인 복원 로직을 채용하고 있

다. 시험조건 및 결과를 Table 1과 Fig 4. 에 나타내었다.

Table 1 Test Condition (Returnability)

Vehicle Speed	30 kph
Steering Input	100 deg & Steering Wheel release
Road Friction	0.85 u

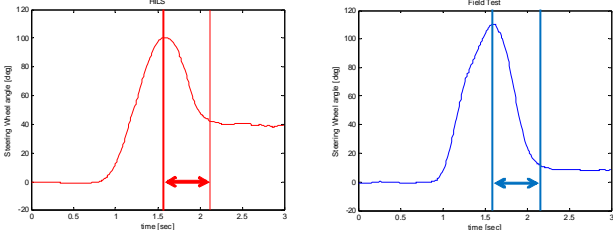


Fig. 4 Returnability Test Results

복원성 시험의 경우 보통 $\pm 10^\circ$ 이내로 수렴하는 시간으로 평가를 수행한다. 실차시험에서는 약 0.26초가 측정되었고 HILS에서는 10° 범위까지 복원이 되지 않아 최대 복원량인 40° 까지의 시간으로 평가 하였다. HILS에서의 복원 시간은 약 0.38초로 실차시험과는 차이를 보였지만 다양한 각도에서 실험을 수행한 결과 경향성을 보는 데는 큰 무리가 없는 것으로 판단되었다. 향후 HILS의 응답성과 복원성을 개선한다면 조금 더 실차시험에 근접한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 On-Center Handling 시험

On-Center Handling 시험은 낮은 횡가속도 영역에서의 조향 특성을 보기 위한 시험으로 직선로에서 좌우로 일정한 조향을 연속적으로 입력 하여 시험을 수행하였다. 시험조건은 Table 2 에 나타내었다.

Table 2 Test Condition (On-Center Handling)

Vehicle Speed	60 kph
Steering Input	20 deg/ 40 deg/ 60 deg, 0.5Hz Sinusoidal
Road Friction	0.85 u

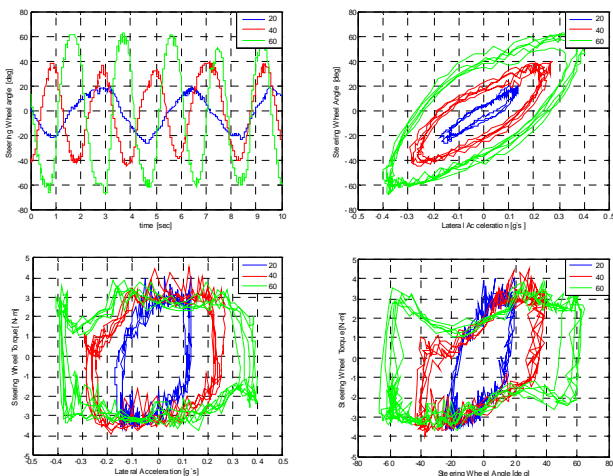


Fig. 5 On-Center Handling Test Results (HILS)

약 0.2g의 낮은 횡가속도의 상황을 구현하기 위해 20, 40, 60°의 조향각을 입력하였다. 조향토크-횡가속도의 결과를 보면 On-Center Handling을 평가 가능한 구간인 횡가속도 0.2g 이내의 차속 60kph, 조향입력 0.5Hz, 20deg 일 때, HILS에서는 Steering Torque Gradient 7.1Nm/g , Steering Wheel Returnability 0.23g로 측정되었고 실차시험에서는 Steering Torque Gradient 12.2Nm/g, Steering Wheel Returnability 0.23g 로 측정되었다. 조향토크-조향

각의 결과에서는 Steering Torque Gradient 0.08 Nm/deg , Steering Wheel Returnability 24.1deg로 측정되었고 실차시험에서는 Steering Torque Gradient 0.06Nm/deg , Steering Wheel Returnability 33.7 deg로 측정되었다. 비전문적인 시험 운전자에 의한 시험 결과임을 감안 한다면 경향성을 보는 데에는 큰 무리가 없는 것으로 판단된다. 향후 전문 드라이버에 의한 주행과 차량모델 및 노면반력제어의 최적화가 수반된다면 향상된 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

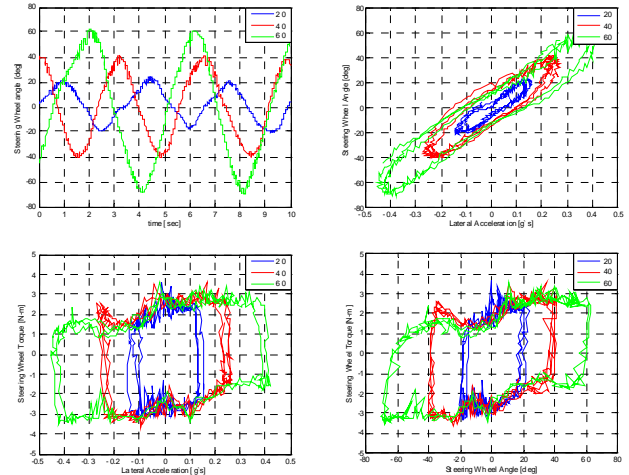


Fig. 6 On-Center Handling Test Results (Field Test)

5. 결론

본 논문에서는 전동식 조향 시스템 HILS를 이용하여 전동식 조향 시스템을 평가하고 실차시험 결과와 비교하였다.

1. 복원성 시험을 통해 HILS의 노면반력 제어에 따른 복원력을 확인하였으며, 실차와 비교를 통해 HILS 수치 연산 모델의 핵심인 차량모델 및 노면반력제어의 최적화가 필요함을 확인 하였다.
2. 호환성 있는 전동식 조향 시스템 평가용 HILS 구축에 따른 복원성 및 On-Center Handling 시험을 수행하였으며, 참고 문헌들을 통해 보았던 조향특성을 분석해 볼 수 있었다.
3. 향후 앞서 제기된 일부 문제점들을 최적화 할 것이며, 구축 완료된 HILS를 활용하여 전동식 조향 시스템에 대한 다양한 성능평가방법들에 대한 검증과 개선된 방식의 평가방법 및 기준에 대하여 연구해 보고자 한다.

후기

본 연구는 전동식 조향 시스템 성능평가용 HILS 시스템 구축 및 성능평가방법 연구를 위해 지능형차량설계 실험실과 차량구조안전 실험실 공동으로 진행되었습니다.

참고문헌

1. Kenneth D. Norman, "Objective Evaluation of On-Center Handling Performance", SAE 840069, 1984
2. 박진국, 김상섭, 정홍규, 박준홍, 이준모, "On-Center Handling 해석을 위한 비선형 조향시스템 및 차량 모델의 개발", 한국자동차공학회 2003년 심포지엄(차량), 27-35, 2003.
3. 김성규, 정대중, 김정탁, 최대근, "EPS 시스템의 On-Center Handling 특성개선", 한국자동차공학회 산학연 연합심포지엄, 2002.
4. Hae-Ryong Choi, Hong-Seok Song, Hogi Kim, "On-Center Handling Characteristic of MDPS System for Environmental Vehicle", IAS 2005.
5. 김두형, 정태영, 오세욱, 고상진, 여태정, "ESC-MDPS 샤시통합 제어시스템의 핸들링 제어", KSAE09-A0206, 2009