

외란 관측기를 사용한 조향 백투백(back to back) 시험기 개발

이성일¹⁾·최명복²⁾·신희규³⁾·하영민⁴⁾

만도 Global R&D Center Steering BU1), 3), 4), Gangneung-Wonju National Univ. 2)

Development of back to back test stand using disturbance observer

SeongIl Lee^{*1)} · Myeong-bok Choi²⁾ · Heegyung shin³⁾ · Youngmin Ha⁴⁾

^{1), 3), 4)} HL MANDO steering BU, 80 Munmakgongdan-gil, Munmak-eup, Wonju-si, Gangwon-do, Korea 26362

²⁾ 7-0 Heungeop-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea 26403

Abstract : Disturbance observer (DOB) has been one of the most widely used robust control tools since it was proposed in 1983. This paper introduces the methodology to implement EPS (Electric Power Steering) durability or functional test using DOB control. Furthermore, it explains the pros and cons about newly developed test method compared to existing test method and test stands. In final section, this paper presents concluding remarks on future engineering applications works.

Key words : Electric Power Steering (EPS), Disturbance observer (DOB)

Nomenclature

DOB: Disturbance observer

EPS : Electric Power Steering

HIL : Hardware In the Loop

SBW: Steer by Wire

1. 서 론

최근 차량용 반도체 품귀 현상으로 일반 EPS (Electric Power Steering) 성능 내구 시험기의 가격이 크게 증가하였으며 뿐만 아니라 납기 역시 크게 증대 되어 이슈가 되고 있다. EPS 시험기에 쓰이는 고성능 모터 인버터는 국내 수입이 불가능한 초저관성(Ultra-low inertia) 모터가 쓰이며 각종 정밀 제어를 위한 첨단 제어기법들이 적용되고 있어 중소기업들의 국산화에 대한 장벽이 높다.

조향 컬럼과 랙기어사이에 기구적 연결이 없는 SBW(Steer by Wire)제품의 경우 기존 EPS 제품의 개발 시험 조건 대비 난이도가 높아 관련 성능 및 내구시험기를 제작하기 위한 고주파 가진 성능이

향상된 액추에이터의 개발 및 제어기술 개발이 불가피하다. 관련된 SBW 시험에 대한 기본 조건은 이창희 등에 의해 그 성능 시험 방법론이 연구¹⁾되어 소개되었으며 기존 EPS에 없는 응답성 및 동특성 시험에 대한 요구조건이 까다롭다. 또한 SBW 제품은 안전을 위한 이중화(Redundancy) 기술이 적용되어 있어서 모든 통신과 전원이 이중화 되어 있고 고도의 암호화 기술이 적용되어 있어서 서브시스템(Sub System) 단위로 구동하기 위해서는 CAN 관련 시뮬레이션 기술이 필요하다.

EPS 시험에는 피로 시험, 도로 시뮬레이션 및 분석도 요구된다. 즉, RLDA(Road Load Data Acquisition)의 재현시험이나 가상 차량 시뮬레이터에서 나오는 불규칙한 파형을 제어하기 위해서는 원격 매개 변수 제어 (Remote Parameter Control[®]) 방법이 필요하며 이를 정밀하게 제어하기 위한 액추에이터와 정밀 제어 알고리즘이 필요하다. 일반적인 차량용 RLDA 신호를 재현하기 위해서는 액추에이터의 주파수 응답대역폭이 50Hz 이상은 되어야

¹ * 이성일, E-mail: si.lee@hlcompany.com

한다.

본 논문에서는 EPS 개발을 위한 액추에이터와 정밀 알고리즘을 개발하기 위해 모터와 인버터의 시험²⁾에 쓰이는 홉킨슨 시험(Hopkinson's test)을 모델로 새로운 접근방식을 채택하였다. 이러한 시험 방식을 통해 기존의 고가의 초저관성 액추에이터와 제어알고리즘을 대체할 수 있는 고성능의 경제형 시험기를 구성할 수 있었다.

2. Steer by Wire 시험기

SBW 시스템은 EPS의 한 종류로 운전자의 조향감을 제공하고 운전자의 의지를 조향각으로 보내는 SFA(Steer Feedback Actuator)와 노면의 정보를 SFA에 전달하거나 운전자의 조향 의지를 타이어에 전달하는 RWA(Road Wheel Actuator)로 이루어져 있다. 일반적으로 OEM 시험은 이 2가지 서브시스템을 각각 별도로 시험한다. 따라서 SFA를 시험하기 위해서는 RWA의 정보를 시뮬레이션하여 올려주어야 하며, RWA를 시험하기 위해서는 SFA의 정보를 시뮬레이션하여 내려주어야 한다. (Fig.1 참조)

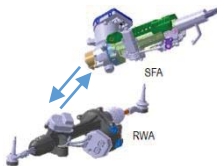


Fig.1 SBW system signal flow in operation

2.1 초 저관성 시험기

EPS 조향 시스템을 시험하기 위해서는 단축부터 다축의 다양한 성능내구시험기들이 사용된다. 작은 모터로 큰 힘을 발생시키기 위해서 다양한 감속비의 감속기가 사용되고 모터는 최대한 관성을 낮추기 위해 초저관성 설계가 적용된다. 가장 전형적인 RWA 2축 시험기를 예로 들면 운전자의 조향각은 SFA로부터 통신으로 전달되며 이는 RWA, 제품의 움직임으로 나타난다. 이 때 양쪽 타이어와 서스펜션에서 발생하는 반발력이 2개의 초저관성 액추에이터로 재현된다. 차속에 따른 노면의 다양한 주파수 입력을 표현하기 위해 다양한 파형이 요구되므로 고관성의 전기식 또는 유압 액추에이터로는 구현하기 어렵다. 최근 전기식 장비의 성능이 많이 향상되어 유압식 장비를 버금가기도 하지만

한다. Fig.2에는 구동 방식에 따른 성능과 가격의 차이를 구분해 보았다. 우리가 목표로 하는 액추에이터들은 저렴하면서도 고성능을 내는 대량 양산형 제품을 쓰고자 한다.



Fig.2 Actuators categorized by kind of power

2.2 Realtime Target Test Platform

앞에서 말한 복잡한 알고리즘에 의해 작동되는 통신 이중화 시스템에 대한 시뮬레이션을 정확한 타이밍에 맞추어 시험하기 위해서는 실시간성이 보장된 가상 환경을 갖추는 것이 중요하다. 이를 통해 통신 뿐 아니라 갖가지 입력과 출력을 이어주는 제어 로직을 정확히 실행할 수 있다. 이와 같은 가상 환경을 제어하기 위해 Serge Klein 등은 엔진 시험을 위한 페루프 대상시험기를 HIL 기술로 개발 하였다.³⁾

이러한 시험 환경이 주는 또 하나의 장점은 모델 기반 시험을 할 수 있다는 것이다. 이는 하나의 시험기로 다양한 구성과 시험을 해야하는 조건에 매우 적합하다. 이는 한 모델을 만들어 재사용에 유용하고 복잡한 코딩을 단순하게 블록으로 구성하여 이해하기 쉬우며 시험의 조건입력부터 실행 및 결과 분석과 보고서 자동화까지 일괄적인 구성이 가능하다.

3. 새로운 시험방법

홉킨슨 시험은 (Hopkinson Test) 원래 두 동일한 전기기계 예를 들면 모터와 발전기와 같은 DC 커플링에 대한 최대 부하에서의 효율을 측정하기 위해 개발되었다. 이 두 기계는 기계적으로 또한 회로적으로 결합되어 있어야 한다. 한 기계의 기계적 출력은 곧바로 다음 기계를 구동하기 위한 입력으로 되먹임되기 때문에 이러한 시험을 백투백 시험

(back to back test)이라고 부른다.

3.1 EPS Back to Back test

이러한 백투백 시험은 많은 장점을 가지고 있다. 먼저 두 기계가 서로를 구동하고 반력을 하기 때문에 별도의 시험용 액추에이터가 필요하지 않다는 점이다. 또한 두 기계가 서로 전기적으로 연결되어 있기 때문에 전력소모가 매우 낮다는 장점도 있다. 이러한 비용적 이유 때문에 모터뿐 아니라 여러 컨버터류의 시험에 이 시험이 적극적으로 활용되고 있다.

3.1.1 고성능 저비용 접근 방법

이를 위한 대상의 구조물은 두 전기 모터가 달린 액추에이터들을 사용하였으며 BLAC모터가 달린 이 액추에이터는 높은 동역학적 응답특성을 가진 초저관성의 물리적 특성을 지니고 있다. 단품특성으로는 50Hz 이상의 가진 능력을 보유하고 있으므로 조향 시험기의 용도로 사용에 무리가 없다.

또한 여러 신뢰성 평가를 통해 검증된 제품을 사용함으로써 강도와 피로 특성도 우수하며 저온 혹은 고온 다습한 환경에도 성능 열화가 적다. 이러한 높은 성능의 액추에이터들을 HIL(Hardware In the Loop)로 구성하여 최상의 제어 로직을 적용할 수 있도록 하였다. 이들은 대량 양산되는 제품들이므로 가격은 상용 시험기용 액추에이터보다 매우 낮은 것을 알 수 있다.

3.1.2 시험기 셋업

조향 시스템의 물리적 내구 수명 평가는 신뢰성 내구스펙으로 결정되며 내구스펙은 정적인 파킹내구와 동적인 피로내구로 나눌 수 있다. 시험은 조타각과 역입력 하중을 모사하는 것으로 두 모터 액추에이터를 기계 및 전기적으로 결합하여 시험하였다.

3.1.3 제어 방법

시험기의 컨셉을 연구하기 위해 다양한 시뮬레이션 모델이 활용되었다. MATLAB Simulink®와 Simscape® 모델을 이용하여 시험기의 컨셉을 시험하였고 이를 바탕으로 목표했던 시험성능 타겟이 만족될 수 있도록 미리 디지털 트윈을 통해 평가할 수 있었다. 제어의 핵심은 두 액추에이터가 서로 외란을 주며 제어를 해야하기 때문에 외란 관측기를 통해 외란을 제거하는 방법을 활용하였으며 이는 매우 효과적이란 것이 시험결과를 통해 증명되었다.

4. 결 론

EPS 성능과 내구 시험을 위한 새로운 시험방법을 확인하였다. 이를 위해 가장 저관성으로 시험을 시험할 수 있는 고성능 경제형 시험방법을 고안하였으며 ESG(Environment Social Governance) 경영방침에도 큰 도움이 될 수 있다.

1) 가상의 모델 기반 접근방법을 통해 시험기의 컨셉을 도출하고 필요한 제어 전략을 시험할 수 있었다.

2) 시험기 시장의 어려운 환경을 반영하여 고성능 저비용 액추에이터를 활용한 시험방법을 고안하였다. 새로운 접근방식으로 백투백(Back to Back) 시험방법 개발하였으며 상용 시험기를 능가하는 성능을 확인할 수 있었다.

References

- 1) 이창희,오하영,이성일,김경래, "Steer-by-Wire System 의 성능 시험 방법론 연구", KSAE 춘계학술대회, 222-226 page, 2021.
- 2) Andreas Kraus and Andreas Stieglmeier, "Dynamic Brake Test Stand", SAE, 2021-01-1274, 2021.
- 3) Serge Klein, Rene Savelsberg, Feihong Xia, Daniel Guse, and Jakob Andert, "Engine in the Loop: Closed Loop Test Bench Control with Real-Time Simulation", SAE, 2017-01-0219, 2017.