

바이모달 트램의 AWS ECU 테스트 플랫폼을 위한 조향반력장치에 관한 연구

A study on steering effort for AWS ECU test platform in bi-modal tram

*최성훈¹, #박태원², 이수호¹, 문경호³

*S. H. Choi¹, #T. W. Park(park@ajou.ac.kr)², S. H. Lee¹, K. H. Moon³

¹ 아주대학교 기계공학부, ² 아주대학교 기계공학과, ³ 한국철도기술연구원

Key words :Bi-modal tram, All-Wheel Steering, Hardware-In-the-Loop Simulation, Steering effort

1. 서론

바이모달 트램은 기존의 운송 수단과 비교하여 저공해 동력원으로 더 많은 인원을 더욱 편리하고 보다 정확한 시간 내에 운송할 수 있도록 개발 중인 차세대 운송 수단이다.¹⁾ 또한 노약자, 장애인 등의 교통 약자가 쉽게 오르내릴 수 있도록 차체 높이를 크게 낮추었으며, 이로 인하여 기존의 대량 운송 수단과는 다르게 각 축에 독립현가장치가 적용되었다. 대량 운송을 위하여 차체 길이가 길어지고 차체 중간이 굴절되도록 설계되었고, 굴절 차량이 가지는 선회 특성에서의 단점을 보완하기 위하여 All-Wheel-Steering System(AWS)를 적용하였다.²⁾

차량이 접하는 다양한 조건 속에서 안전하게 각각의 조향장치를 제어하기 위해서는 조향 제어 전용 ECU가 필요하며, 바이모달 트램의 AWS ECU 개발과 동시에 ECU의 성능을 시험 및 평가하기 위한 플랫폼이 개발 중이다. 이 테스트 플랫폼은 실제 차량과 동일한 주행 환경을 구현하는 것을 목적으로 하며, 이미 개발된 실제 차량에 탑재되는 ECU가 각 축별로 장착되어 있다. 장착된 ECU는 HILS(Hardware-In-the-Loop Simulation)을 기반으로 유압 시스템을 제어하여 AWS 알고리즘에 따라 후륜의 조향각을 제어한다. 개발된 테스트 플랫폼은 추후에 제작될 한국형 AWS ECU의 시험 및 평가를 위하여 사용된다.

테스트 플랫폼에서 실제 차량의 주행환경 구현을 중점에 두고 조향반력생성 측면에서 다양한 장치 구성을 이용한 방법을 검토하였다. 기존에 개발된 시험 장치의 경우, 전동 또는 유압시스템을 별도로 제어하여 생성되는 조향반력토크를 구현하는 방식을 주로 사용한다. AWS 테스트 플랫폼에는 이를 단순화한 장치를 적용하여 조향반력장치가 조향 시스템의 동작에 주는 영향을 분석하였으며, 실제 차량의 주행 데이터와도 비교하였다. 이를 기반으로 위치 제어 기반의 AWS 시스템에서 조향반력장치가 미치는 영향을 검토하였다.

2. AWS ECU 테스트 플랫폼

AWS ECU 테스트 플랫폼은 Fig. 1에서와 같이 바이모달 트램의 2, 3차축의 후륜 조향 시스템이 구축되어 있으며, AWS ECU는 각 차축의 움직임을 제어하기 위하여 총 2개가 설치되었다. 조향 제어를 위한 유압시스템은 각 축별 조향용 유압회로와 중앙의 유압공급회로로 구성된다. 테스트 플랫폼에는 HILS가 구축되어 있어, 임의의 가상 주행해석을 통하여 실차에서와 동일하게 ECU가 조향 시스템을 제어하는 것이 가능하다. 이를 이용하여 기존에 개발된 굴절 차량의 ECU의 특성을 파악할 수 있으며, 현재 개발 중인 한국형 AWS ECU를 각종 시나리오에 따라 평가할 수 있다.

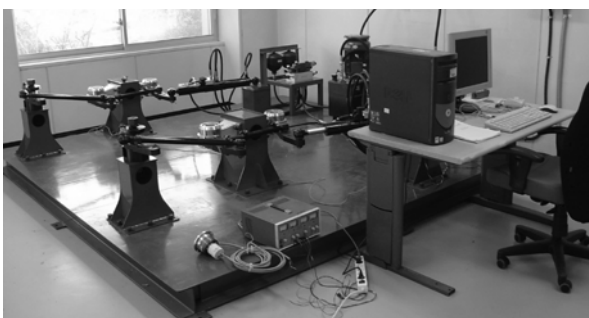


Fig. 1 AWS ECU Test Platform

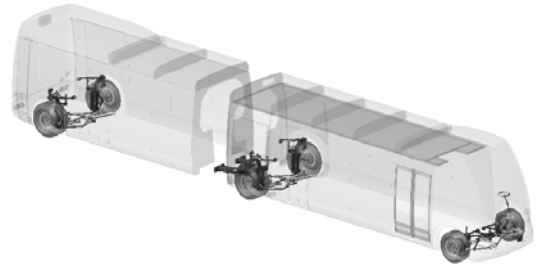


Fig. 2 Vehicle dynamic model

HILS 시스템을 구성하고 있는 각 모듈간의 통신은 실제 차량에 적용되는 것과 동일한 통신 규격인 CANopen을 사용한다. 차량 동역학 모델의 실시간 해석에서 계산된 결과 중에서 각 ECU에서 조향시스템을 제어하기 위한 필수적인 정보가 각 축의 AWS ECU에 입력된다. 이를 바탕으로 ECU는 유압 시스템을 제어하고 지속적으로 조향각을 피드백 받아 적절한 후륜의 조향이 이루어진다. 현재 테스트 플랫폼에 장착된 ECU는 실제로 차량에서 사용되는 것으로 단순히 후륜의 조향을 위한 기본적인 정보뿐만 아니라 차량의 안전을 위한 데이터들이 입력되어야 정상적으로 작동한다. 따라서 테스트 플랫폼에는 이를 위한 가상의 신호 발생 장치 또한 구현되어 있다.

3. 차량동역학 모델 주행해석

주행 중에 발생하는 조향반력을 추출하기 위하여 Fig. 2와 같은 차량동역학 모델을 이용한 주행해석을 실시하였으며, 모델의 구성하는 데에 범용 다물체 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 사용하였다.^{3),4)}

각 축의 조향장치는 링크구조로 좌, 우 양측이 서로 연결되어 있다. 이 링크 중 하나에 유압실린더를 연결하여 유압실린더의 작동에 의하여 조향이 이루어진다. 이를 이용하여 Fig. 3에서의 점선과 같은 조향각을 1차축에 입력하여 동역학 모델을 주행해석하고, 유압실린더가 AWS 알고리즘^{5),6)}에 따라 각 축을 조향하는 데에 작용하는 힘을 통하여 조향반력토크를 추출한다. 15초 동안의 주행 해석에서 입력된 1차축의 조향각과 AWS ECU에 의해 제어된 2차축의 조향각은 Fig. 3에서 실선으로 나타나 있으며 주행속도는 10km/h로 설정하였다. 여기서 얻은 반력토크의 형상은 Fig. 4의 실선과 같은 이력 현상을 나타낸다. 이러한 특성을 갖는 반력토크를 선형적으로 모사하기 위하여 Fig. 4에서의 점선과 같은 특성을 갖는 조향반력장치를 비틀림 스프링을 이용하여 구현하였다.

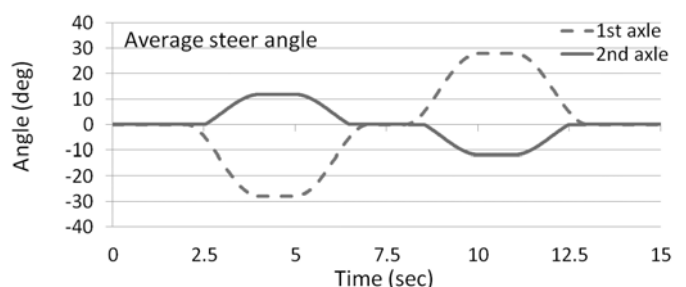


Fig. 3 Average steer angle of the 1st and 2nd axle in the dynamic analysis

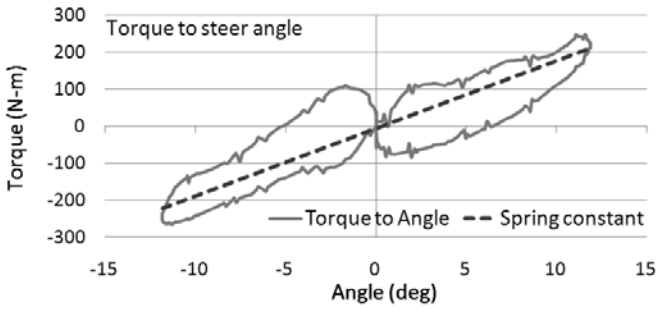


Fig. 4 Torque to steer angle of 2nd axle and alternative torsional spring constant

4. 조향반력장치 적용에 따른 데이터 비교

총 3개의 차축 중 2차축을 비교대상으로 설정하고 앞서 비틀림 스프링을 이용하여 구현한 단순화된 조향반력장치가 실제 주행을 잘 구현하는가를 평가하였다. 비교 대상은 실제 차량의 주행 데이터와 조향반력장치가 적용되었을 때의 HILS 장치로부터 받은 데이터, 그리고 조향반력장치를 적용하지 않았을 때의 데이터이다. 각각의 경우에서 조향 시스템의 반응 속도와 작동 실린더 내부의 압력 강하에 중점을 두어 분석하였다.

먼저, 조향반력장치가 적용되었을 때와 적용되지 않았을 경우의 유압시스템의 압력변화 및 조향장치 반응속도를 비교한 것은 Fig. 5와 같다. 이 시험에서 1차축은 8초간 우측으로 35° 조향→5초간 동위상 유지→10초간 중립 순으로 조향된다. 이에 따른 후륜의 조향각은 기본적으로 조향 링크장치 내부에 탑재된 전위 차계로부터의 피드백을 통하여 ECU에 의하여 조향반력장치 유무와는 상관없이 거의 동일하게 제어되기 때문에 2차축의 유압회로의 유압변화를 시험 결과로 측정하였다. Fig. 5에서 조향반력장치 적용 여부에 따른 유압의 변화를 볼 수 있다. 유압시스템의 설정압력은 130~150bar로 설정되어 있어, 초기의 작동 이후 압력이 떨어지다가 유압펌프의 작동에 의하여 압력을 회복하는 것을 볼 수 있다. 이후 5초간 조향각이 유지되며 압력이 일정하다가 역방향으로 조향되면서 압력이 변화하는 것을 볼 수 있다. Fig. 5의 시험 결과에 따라 조향반력토크가 적용될 때와 적용되지 않을 때에 유압 실린더에 작용하는 압력의 변화는 거의 유사함을 확인할 수 있다. 또한 조향시스템의 반응속도 측면에서도 동일한 결론을 얻을 수 있다.

서로 유사한 주행 조건하에서 실제 차량의 주행 자료와 테스트 플랫폼에서 조향반력장치가 적용되지 않은 경우를 Fig. 6에서 비교하였다. 이 경우에는 1차축의 조향각과 차량의 속도를 포함한 세부 주행 조건이 일정하지 않아 테스트 플랫폼에서 조향반력장치 적용에 여부에 따라 비교한 것보다 오차가 발생하나, 전체적인 경향에 있어서 테스트 플랫폼에서의 압력 특성과 조향장치의 반응속도는 실제 차량에서의 그것과 대체로 일치함을 보여준다.

추가적으로, 차량 동역학 모델 해석과 실제 유압시스템의 특성, 시스템에 적용되는 압력을 통하여 유압실린더에서 발생시킬 수 있는 토크와 2차축에서의 조향반력토크의 최대값을 비교한다. 유압실린더로부터의 조향입력토크는 작동압력의 평균값과

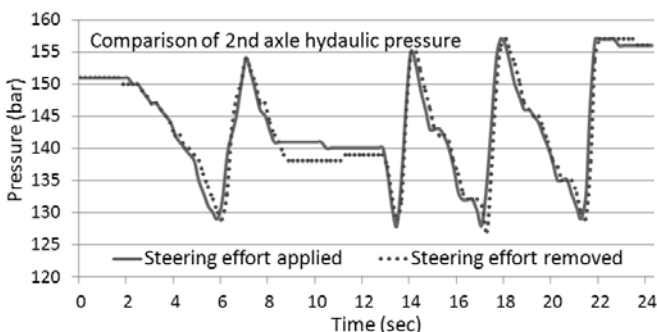


Fig. 5 Comparison of 2nd axle hydraulic pressure

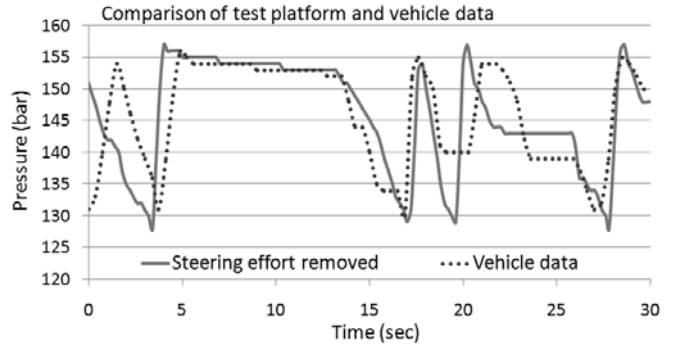


Fig. 6 Comparison of test platform and vehicle data

실린더의 작동면적, 작동력-조향토크의 관계를 이용하여 구할 수 있다. 이는 최대 조향반력토크의 약 20배 수준으로 위치 제어 기반으로 미세하게 반응하는 유압식 조향장치에 대하여 조향반력장치가 미치는 영향은 미미한 것으로 볼 수 있다.

5. 결론

본 연구는 개발 중인 AWS ECU 테스트 플랫폼이 실제 차량의 주행 환경을 구현할 수 있는지에 중점을 두어 진행되었다. 이를 위하여 조향반력장치를 차량 동역학 모델의 해석 결과를 근거로 제작하여 테스트 플랫폼에 적용하였다. 장착된 조향반력장치가 테스트 플랫폼의 조향 성능에 미치는 영향을 살펴보고, 실제 차량 주행 자료와도 비교하였다. 또한 유압시스템 측면에서도 조향반력장치의 영향을 검토하였다. 연구 내용을 토대로 AWS ECU 테스트 플랫폼이 어느 정도 실제 차량의 조향 장치와 유사하게 거동하는 지를 확인할 수 있었으며, 관련된 연구 결과는 AWS ECU 테스트 플랫폼의 시험 및 평가, 성능 개선에 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

후기

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업에서 지원된 신에너지 저상굴절차량 개발 과제의 일환으로 수행되었습니다. 도움주신 연구 관계자 분들께 감사의 말씀을 전합니다.

참고문헌

1. 목재균, 임정환, 조세현, “신에너지 Bimodal 저상굴절차량 기술 개발”, 기계저널, 45권-12호, 46-49, 2005
2. 문경호, 목재균, 장세기, 박우성, “굴절차량의 전 차륜 조향 시스템 적용에 관한 검토”, 한국철도학회 2006년도 춘계학술대회논문집, 1-6, 2006
3. Thomas D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics", SAE 199210
4. ADAMS 2003 User Manual, MSC. Software Corporation, USA, 2003
5. 이수호, 박태원, 문경호, 전용호, 이정식, 김덕기, “전차륜 조향장치를 장착한 굴절궤도 차량의 주행특성에 관한 연구”, 한국철도학회논문집, 10권-4호, 444-450, 2007
6. 전용호, 박태원, 이수호, 김덕기, 문경호, “저상굴절차량의 주행해석을 이용한 조향 알고리즘 개발”, 한국자동차공학회는 논문집, 16권-1호, 144-151, 2008