

지게차용 PSD-Axle의 동역학 모델링 및 해석에 관한 연구

A Study on the Dynamic Modeling and Analysis of the PSD-Axle for a Forklift

*최지훈¹, #박태원², 정성필¹, 이진희¹

*J. H. Choi¹, #T. W. Park(park@ajou.ac.kr)², S. P. Jung¹, J. H. Lee¹

¹아주대학교 기계공학과, ²아주대학교 기계공학부

Key words : PSD(Power Shift Drive)-Axle, Forklift, Planetary Gear, Matlab/Simulink

1. 서론

최근 차량의 자동변속기에 관한 연구는 여러 분야에서 이루어져 왔다. 특히 변속기의 과도 응답에 관한 연구와 변속특성, 그리고 상용 톨을 이용한 동적 시스템 모델링의 시뮬레이션에 관한 연구는 많은 진행이 되어왔다[1,2,3,4]. PSD(Power Shift Drive)-Axle은 기존의 지게차용 동력전달장치와 달리 변속장치가 베벨기어와 차동장치 사이에 혼합, 설치되어 중량 및 크기가 대폭 감소되며, 이로 인해 연비 상승의 효과를 가져 올 수 있다. PSD-Axle은 베벨기어를 지나 차동장치까지 동력전달 흐름이 바뀌지 않는 특징이 있다. 또한 여기에 안전, 편의 자동 주차 브레이크기능, 언덕에서 미끄럼 방지, 제자리 360도 회전 기능과 같은 부가기능이 추가된 신개념의 동력전달장치이다.

본 논문에서는 T-ECU test platform bench의 동적 모델 개발을 위해 CAE와 다물체 동역학을 이용하여 신개념 동력전달시스템인 PSD-Axle을 장착한 지게차량의 시스템 동역학 모델을 개발하고 수치해석을 통한 동적 거동 해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 Simulink를 이용하여 시스템 동역학 모델을 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 PSD-Axle시스템에 대한 동적 거동을 예측하였다.

2. 시스템 동역학 모델링

지게차량은 지면의 상태와 운전자의 조작과 같은 운전조건에 의해서 여러 가지 형태의 동적 거동을 보인다. 따라서 동력 전달 시스템의 모델링과 시뮬레이션을 통해서 여러 운전조건에 대한 각각의 시스템 구성요소의 동적 거동을 확인하는 것이 필요하다. 전체 동력 전달계의 세부적인 모델링을 위하여 각 단품의 질량, 관성 정보 및 제반 변수 등을 고려하였다. 엔진에서는 최대 출력, 최대 엔진 속도, 최대 출력 시 엔진 속도를 고려하였다. 토크컨버터는 용량계수, 속도비, 토크비 등을 고려하였다. 본 논문에서 사용되는 클러치와 브레이크는 실제 지게차에서 사용되는 습식 다판 클러치를 모델링하였고 Hub Reduction은 변형된 더블 피니온 방식의 유성치차로서 선기어, 링기어, 캐리어의 조합에 따라 결정되는 최종 기어비를 동일하게 적용하여 각각의 관성을 고려하여 모델링하였다.

이와 같은 모델링을 바탕으로 MATLAB/Simulink와 다물체 동역학 해석 범용프로그램인 ADAMS/View, ADAMS/Control을 이용하여 Fig.1과 같이 PSD-Axle을 장착한 지게차의 3차원 시스템 동역학 모델을 개발하였다.

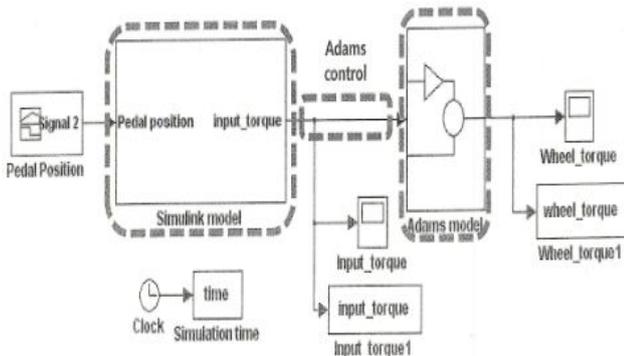


Fig. 1 Fwd/Rev PSD-Axle System Dynamic Model

2.1 동력계 모델

지게차는 전/후진 2단으로 수동 변속 및 제동이 구현 되었으며 스로틀, 브레이크, 전/후진 1, 2단 변속은 Fig.2 와 같이 구성하였다. Fig.2의 Simulink 모델에서는 PSD-Axle의 변속특성, 수학적 논리와 PSD-Axle이 장착될 지게차의 실차 엔진과 토크컨버터의 특성을 포함하고 있다.

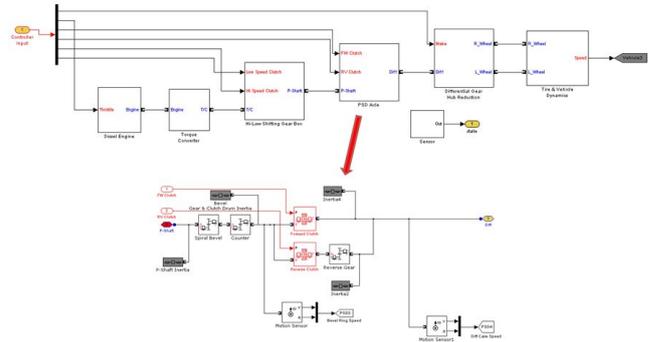


Fig. 2 Fwd/Rev PSD-Axle Full Model

2.2 지게차량 동역학 모델링

지게차의 다물체 동역학 모델은 ADAMS를 통해 구현하였다. 차량에 관련된 파라미터들은 실제 지게차에서 측정된 값을 반영하였다. 시뮬레이션은 화물이 적재되지 않은 차량으로 하였으며, 차량의 무게는 실제 지게차의 중량인 4430kg으로 설정하였다. Fig.3은 ADAMS로 모델링한 다물체 동역학 모델이다.

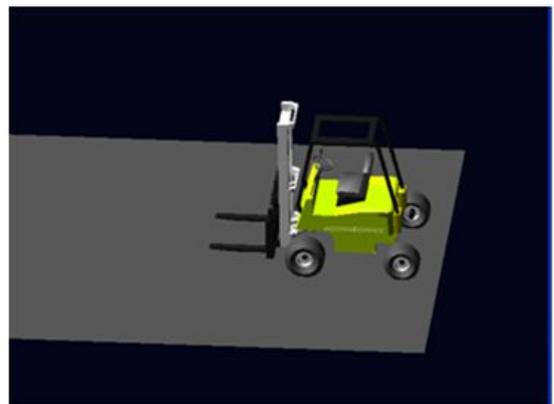


Fig. 3 Multibody dynamic model of forklift

3. 동역학 모델 검증

PSD-Axle Simulink 모델의 검증을 위해 PSD-Axle 다이내모 bench를 통해 실험을 수행하였다. Fig.4는 PSD-Axle 다이내모 실험값과의 비교 분석 결과를 보여주고 있다. 시뮬레이션 모델의 타당성을 위해 모델과 다이내모를 같은 위치에서의 입/출력 토크를 비교하였다. Simulink 모델에서는 실험값의 평균값을 고려하여 효율을 90%, 손실을 10%로 가정하여 모델을 설정하였다. 다이내모 실험에서는 입/출력값에 따른 효율까지 자세히 고려하여 입력 값을 넣어 주었다. 출력 값을 비교해 본 결과, 약간의 차이는 있었지만 효율을 감안할 때 전반적으로 오차 범위 안에서

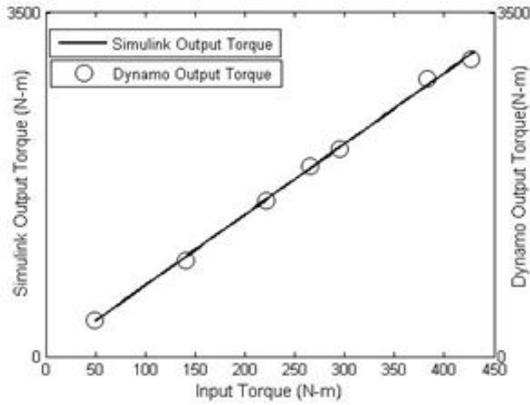


Fig. 4 Validation of System Model with PSD-Axle Dynamo

일치하는 것을 확인 할 수가 있었다.

4. 범프 테스트

ADAMS/View에서 구현된 지게차 시스템 동역학 모델을 이용하여 지게차가 평지를 주행하는 경우와 범프를 통과 할 때에 대하여 각각 주행 해석을 수행하였다. Simulink에서 실시간으로 계산되는 휠 토크를 바탕으로 지게차의 구동바퀴인 양쪽 앞바퀴에 구동력을 입력하였다. 각각의 상황에 대한 지게차량 차체의 수직방향에 대한 가속도 값은 Fig.5,6과 같다. 차체의 경우 앞바퀴에 가해진 진동과 반력이 접차 차체의 뒷 차축에도 그 영향이 나타나는 것을 알 수가 있었다. 지게차의 앞바퀴와 뒷바퀴가 범프 통과 시 충격에 의해 전체적으로 가속도가 크게 나타나는 경향을 시뮬레이션 해석으로 확인 할 수가 있었다.

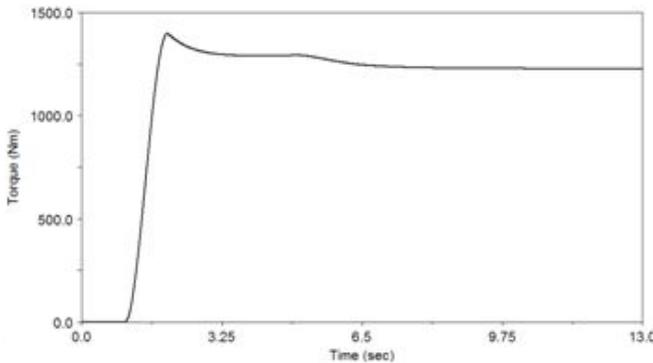


Fig. 5 Input Torque

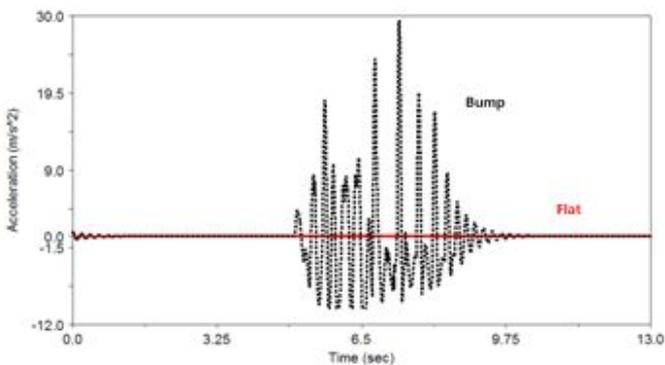


Fig. 6 Main Body Acceleration along Local Vertical Direction

본 실험에서는 시뮬레이션과 실차 테스트 모두 공차 상태에서 결과 값을 도출하였다. 실차 실험에서는 propeller shaft에서 측정된 터빈 토크 값을 바탕으로 휠 토크 값으로 계산하여, 본 시뮬레이션의 동일 조건에서 구동 바퀴의 토크 값을 비교하였다. 해석 결과 Fig.7과 같이 시뮬레이션 모델과 실제 지게차 실험의 구동바퀴 토크 곡선에 대한 가감속 현상에 대한 전반적인

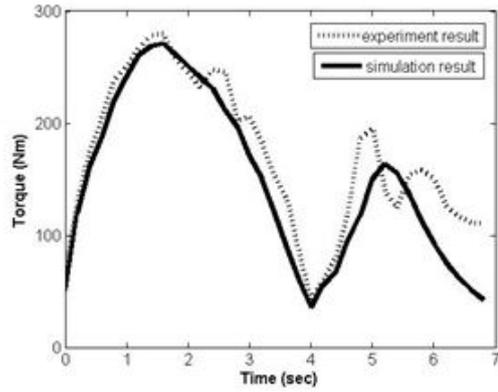


Fig. 7 Validation of Bump Test

경향을 확인 할 수 있었다. 해석 그래프가 다소 차이가 있는 것은 시뮬레이션 모델에서 범프 통과시 발생하는 물리적인 구동바퀴의 저항을 고려하지 않은 것이 원인으로 생각된다. 이상의 지게차 주행 해석과 실험 결과의 비교로부터 주행 해석 모델링 구축 및 주행 해석 방법의 타당성을 검증하였다.

5. 결론

본 논문에서는 다물체 동역학과 차량 동역학을 바탕으로 신개념 동력전달시스템인 PSD-Axle의 시스템 동역학 모델을 개발하고 수치해석을 통한 주행 및 동적 거동 해석을 수행하였다. 전/후진 전제 동력 전달계의 수학적 모델을 유도하고 엔진, 토크컨버터, 마찰요소, 감속기의 특성을 고려하여 동역학 모델을 구현하였다. 구현된 모델을 MATLAB/Simulink, ADAMS/View, ADAMS/Control을 이용하여 PSD-Axle을 장착한 지게차의 3차원 시스템 동역학 모델을 개발하였다. PSD-Axle 동적 모델을 사용하여 bump test와 같은 특정 상황에 대한 동특성 해석을 통해 실질적인 test platform bench의 시스템 동역학 모델로서의 가능성을 검토하였다.

향후 다양한 상태에서의 동적 거동에 대한 동역학 해석을 수행하여 다물체 모델의 반력과 진동을 이용한 피로 및 강도 평가의 결과를 설계에 반영함으로써 초기 설계 단계에서부터 지게차의 내부 부품들의 거동을 예측하고 평가하여 지게차량의 설계 및 개발 기간을 단축시키고 비용 절감 효과를 극대화 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. J. Kim and D. Cho, "Dynamically Correct Automatic Transmission Modeling," KSAE, 5, 73-85, 1997.
2. I. C. Kim and S. J. Yi, "The Development of the Software for the Power train Design Using Graphic User Interface," KSAE, 11, 205-215, 1996.
3. H. J. Kim and J. S. Song, "Modeling and Analysis of Transient Torque Characteristics of Power train an Automatic Transmission," KSAE, 1, 347-352, 1997.
4. B. K. Shin, "The Modeling and Analysis of the Power train in a Automatic Transmission for Passenger", KSME, 1, 730-737, 1998.