

# 지게차 다물체 동역학 모델과 동력전달계 모델의 연성해석에 관한 연구

## A Study on the Co-Simulation of the Multibody Dynamic Model and Power Train Model for a Forklift

\*이진희<sup>1</sup>, #박예원<sup>2</sup>, 이수호<sup>1</sup>, 박봉순<sup>3</sup>

\*J. H. Lee<sup>1</sup>, #T. W. Park(park@ajou.ac.kr)<sup>2</sup>, S. H. Lee<sup>1</sup>, J. S. Park<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>아주대학교 기계공학과, <sup>2</sup>아주대학교 기계공학부, <sup>3</sup>(주)우영유압

Key words : Co-Simulation, Forklift, Multibody Dynamic Model, ADAMS, MATLAB/Simulink

### 1. 서론

가상환경에서의 차량 시뮬레이션은 새로운 제품을 개발하는데 있어 개발기간 단축 및 비용절감의 측면에서 필수적인 과정이다. 이는 일반 차량 외에도 중장비 및 건설 장비에도 동일하게 적용되고 있다. [1,2] 시뮬레이션은 주행 특성 및 제반 변수 설정에 따른 동특성 변화 등을 비교적 손쉽게 파악할 수 있는 장점을 가지고 있다. 보다 정확한 모델링 및 변수 설정은 시뮬레이션의 정확도와 관련되며 실제와 유사한 결과를 도출하기 위하여 반드시 고려되어야 하는 사항이다. 시뮬레이션을 수행하기 위한 컴퓨터 프로그램으로는 현재 다양한 종류가 사용되고 있지만 각각의 특성상 장, 단점이 존재하며 세부적으로 표현할 수 있는 기능들에는 현격한 차이가 있다. 이러한 시뮬레이션 프로그램들이 기능적으로 결합하여 하나의 모델을 시뮬레이션 한다면, 차량 전체에 관한 보다 포괄적이며 유연한 시뮬레이션이 가능하다. [3] 본 논문에서는 MATLAB/Simulink로 구현된 지게차 동력전달계 모델과 ADAMS로 구현된 지게차의 다물체 동역학 모델을 연성해석을 수행한다. 차량에 임의의 입력이 주어졌을 때, 차량의 거동을 예측하고 특히, 요철을 통과하는 특정 주행 환경에서의 동특성을 파악한다.

### 2. 차량 동력계의 모델링

본 논문의 시뮬레이션 대상인 지게차는 신개념 동력전달장치인 PSD (Power Shift Drive)-Axle을 적용하였다. PSD-Axle은 기존의 지게차용 동력전달장치와 달리 변속장치가 베벨기어와 차동장치 사이에 혼합, 설치되어 있어 기존의 장치 대비 약 30% 경량화된 장치이다. 스로틀 입력을 통해 엔진에서 생성된 토크는 토크컨버터, 차동장치 등을 비롯하여 PSD-Axle, Hub Reduction을 거쳐 좌, 우측의 휠로 전달된다. 모델링은 MATLAB/Simulink를 이용하여 수행하였다. 세부적인 모델링을 위하여 각 단품의 질량, 관성 정보 및 제반 변수 등을 고려하였다. 엔진의 경우 최대 출력, 최대 엔진 속도, 최대 출력 시 엔진속도를 고려하였으며, 토크컨버터의 경우는 용량계수, 속도비, 토크비 등의 특성 파라미터를 토대로 모델을 구현하였다. PSD-Axle과 Hub Reduction에 각각 포함되어 있는 클러치와 브레이크는 실제 지게차에서 사용되고 있는 습식 다판 클러치를 모델링하였으며, 관련 파라미터로는 마찰면의 개수, 유효 토크 반경, 최대 수직 항력, 정적 마찰력, 효율 등이 세부적으로 고려되었다. Hub Reduction은 변형된 더블 피니온 방식의 유성치차로, 시뮬레이션 상에서 선기어, 링기어, 캐리어의 조합에 따라 결정되는 최종 기어비를 동일하게 적용하고 각각의 관성을 고려하여 모델링하였다. 지게차 차량 동력계와 PSD-Axle의 모델링은 Fig. 1과 같다.

지게차는 전/후진 2단으로 수동 변속 및 제동이 구현 되었으며 스로틀, 브레이크, 전/후진 1, 2단 변속은 시뮬레이션 수행 시 Fig. 2와 같이 설정하였다. 지게차는 전진 주행을 하면서 1단에서 2단으로 변속을 하고 일정 시간 주행 후 제동을 한다. 차량이 정지 한 후에는 후진 주행을 하며 다시 제동 후 전진 1/2단 주행을 한다. 이러한 입력 변수 프로파일은 변경가능하며 원하는 조건에서의 주행 특성 해석이 가능하다.

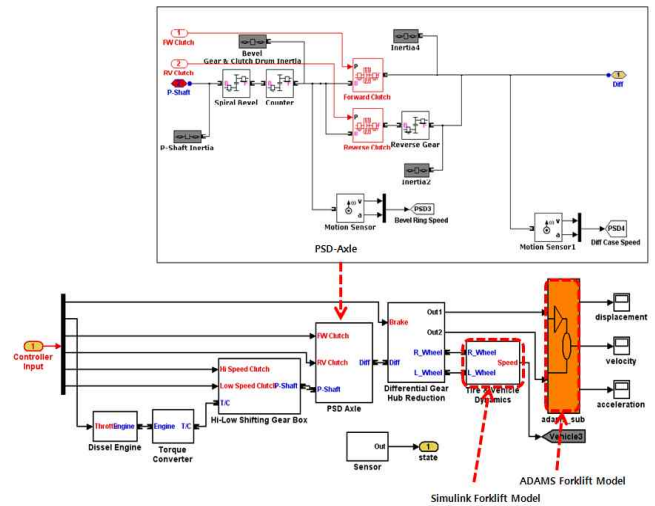


Fig. 1 Powertrain model of Forklift

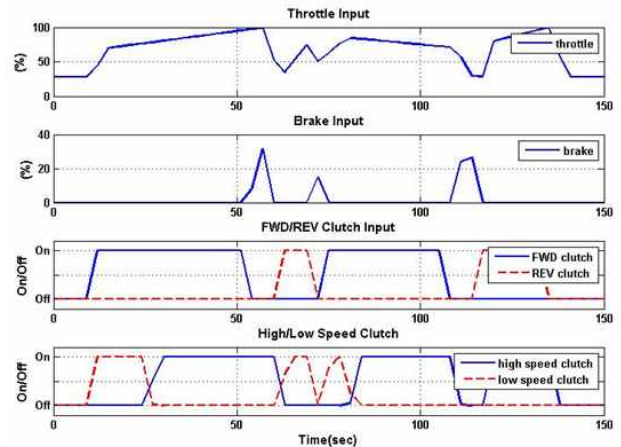


Fig. 2 Control Input (Throttle, Brake, F/R, H/L Clutch input)

### 3. 다물체 동역학 모델과의 연성해석

지게차의 다물체 동역학 모델은 ADAMS를 통해 구현하였다. 차량 제원 및 질량, 관성에 관련된 파라미터는 실제 대상이 되는 차량에서 측정된 값을 반영한다. 특히 타이어 모델의 파라미터 설정은 차량의 주행 동특성에 결정적인 영향을 미치므로 보다 세부적으로 고려해야한다. 시뮬레이션은 화물을 적재하지 않은 공차 시의 지게차를 대상으로 하였으며 차량의 무게는 실제 대상 지게차의 공차 중량인 약 4430 kg으로 설정하였다. MATLAB/Simulink 차량 동력계 수학적 모델로부터 계산된 토크가 다물체 동역학 모델의 좌, 우측 휠로 전달되고 차량은 구동된다. 다물체 동역학 모델은 MATLAB/Simulink로 구현된 차량 모델과 동일한 휠 토크로 주행 되고 이 두 시뮬레이션의 결과 비교를 통해 다물체 동역학 모델을 간접적으로 검증한다. Fig. 3은 ADAMS로 모델링된 다물체 동역학 모델이다. Fig. 4는 두 모델의 시뮬레이션 결과로 각각 차량의 속도와 가속도를 나타낸다. 시뮬레이션 수행 후 약 28초와 83초에서 변속이 일어나고 55초와 110초



Fig. 3 Multibody dynamic model of forklift

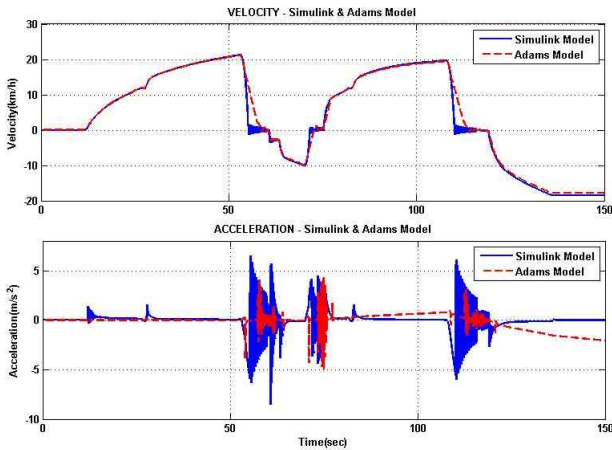


Fig. 4 Simulation result - Velocity and Acceleration for numerical and multibody dynamic model

부근에서 제동하면서 전진 최고 속도 21 km/h와 후진 18 km/h의 주행을 반복하는 것을 확인할 수 있다. 두 결과를 비교하였을 때, 다물체 동역학 모델의 시뮬레이션 결과의 차이가 발생하였다. 다물체 동역학 모델의 속도 및 가속도가 다소 작게 나온 것은 타이어 모델의 강성과 감쇠계수의 설정과 밀접하게 연관되어 있으며, MATLAB/Simulink 모델의 경우 전륜만을 고려한 1/2 차량인데 비해 다물체 동역학 모델은 전, 후륜을 모두 고려한 차량이기 때문이라 판단된다.

**4. 지게차 요철테스트 연성해석**

앞서, 다물체 동역학 모델과 수학적 모델의 결과 비교를 통하여 연성해석 결과의 타당성을 간접적으로 검증하였다. 본 논문에서는 이 결과를 토대로 연성해석의 예로 지게차의 요철테스트를 수행한다. 요철테스트는 지게차의 3차원적 거동 해석을 필요로 하며 ADAMS를 이용하면 손쉽게 구현할 수 있지만 MATLAB/Simulink를 이용한 단순 2차원적 수학적 모델로는 구현하는데 많은 제약이 따른다. 두 시뮬레이션 프로그램의 연성해석을 통하여 실제 지게차의 운전 상황에서 운전자가 특정 입력으로 지게차를 운행하였을 때 가해지는 수직방향 가속도를 예측할 수 있다. 그 밖에도 토크 등의 다양한 결과를 시뮬레이션을 통해 예측 가능하다. 요철테스트 시 차량은 약 5 km/h의 등속도로 요철을 통과한다. 요철의 형태는 Fig. 5와 같으며 요철테스트 시뮬레이션 결과인 수직방향 가속도는 Fig. 6과 같다. 시뮬레이션 결과로 최대 약 1g 미만의 수직방향 가속도가 차체에 영향을 주는 것을 확인할 수 있다.

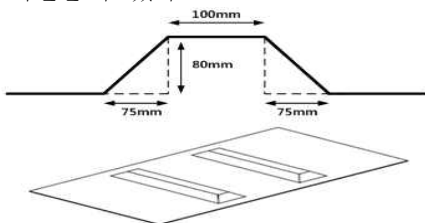


Fig. 5 Bump Profile

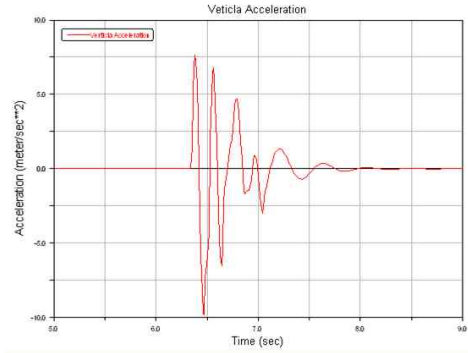


Fig. 6 Bump test result - Verticla acceleration

**5. 결론**

본 연구를 통해 수학적 모델을 통한 차량 동력계의 모델링과 다물체 동역학 모델링을 토대로 PSD-Axle을 적용한 지게차의 연성해석을 수행하였다. 차량 동력계는 엔진, 토크컨버터 등 각 단품의 특성이 모델링에 반영되었으며 지게차의 다물체 동역학 모델 또한 실제 차량의 제원 및 타이어 모델의 파라미터를 적용하였다. 연성해석의 타당성은 수학적 모델을 이용한 시뮬레이션 결과와의 비교를 통해 간접적으로 검증하였다. 이를 바탕으로 단순 MATLAB/Simulink 모델만으로는 해석하기 어려운 특정 조건에서 지게차의 동특성을 연성해석을 통해 해석하였다. 그 예로 요철 테스트를 수행하여 수직방향 가속도를 예측하였다. 위 결과를 토대로 동일한 조건에서의 실차 테스트 및 결과 비교가 수반된다면 시뮬레이션 결과의 신뢰성 확보가 가능하다. 본 연구 결과를 바탕으로 다물체 동역학 모델의 조향장치 모델링을 통한 선회모델 개발, 노면 조건 변화에 따른 차량의 동특성 분석 등의 보다 포괄적이고 다양한 시뮬레이션의 응용 및 개발이 기대된다.

**후기**

본 연구는 지식경제부 및 한국부품소재산업진흥원의 부품소재개발사업의 연구결과로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

**참고문헌**

1. 이기훈, 이근호, "동적 시스템 모델링을 이용한 지게차 자동 변속기의 시뮬레이션 및 해석", 한국자동차공학회 논문집, 897-902, 2006.
2. 오주영, 이근호, "클러치 직접 제어 방식을 이용한 지게차용 자동변속기의 클러치 시스템 모델링 및 변속 특성 해석", 한국동력기계공학회 논문집, 387-390, 2006.
3. 김상훈, 목형수, "RecurDyn과 Mat lab/Simulink를 이용한 전동지게차 시스템의 Co-Simulation", 전력전자학회 논문집, 342-344, 2006.