

## RecurDyn과 Matlab/Simulink를 연동한 전동기 구동시스템의 시뮬레이션

### Co-Simulation for Electric Motor Drive System Using RecurDyn and Matlab with Simulink

김 상 훈\*  
Kim, Sang-Hoon

---

#### Abstract

For an accurate computer simulation to motor drive systems, the target mechanical load system driven by a motor needs to be model its characteristics accurately. In general, a load system is modeled simply with system parameters such as approximated system inertia and friction. So, simulation results have some errors compared with experimental results for a real load system.

RecurDyn is a mechanics simulation program for 3-dimension analysis to mechanical load systems. From this program, parameters such as a load torque, a system inertia and a viscous friction can be obtained accurately which are required to model a mechanical system. Also, this program operates together Matlab/Simulink which is used to simulate electrical motor drive systems. So, an accurate simulation for the whole system with a motor drive system and a mechanical load is possible.

This paper introduces an application of RecurDyn program to an electric forklift drive system using IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) and examines the feasibility of co-simulation it with Matlab/Simulink.

키워드 : 전동기 구동 시스템 시뮬레이션, 부하 시스템 모델링

Keywords : motor drive system simulation, mechanical load system modeling

---

#### 1. 서론

전동기 제어분야를 포함한 전력전자 분야에서 Matlab/Simulink, PSIM, Spice, Simplorer 등의 시뮬레이션 프로그램을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션의 적용이 점차적으로 늘어나 현재는 필수사항이 되었다. 컴퓨터 시뮬레이션의 장점은 제반 설계 변수의 변화에 따른 결과를 손쉽게 확인할 수 있고, 문제 해결에 필요한 시간과 경비 절감뿐 아니라 제

작과 운용에 대한 고려를 설계단계부터 고려할 수 있다는 것으로, 설계 시에 컴퓨터 시뮬레이션을 반드시 수행하는 주요한 이유가 된다.

전동기 제어 분야에서 시뮬레이션 기법을 적용하기 위해서는 전동기, 전력변환기, 제어계, 부하 등의 모델을 필요로 하는데, 전동기, 전력변환기 및 제어기 모델은 비교적 정확한 모델이 알려져 있고, 상기의 시뮬레이션 프로그램에서 미리 작성된 라이브러리로 제공하는 경우가 대부분으로 쉽게 증명된 정확한 모델을 사용할 수 있다. 반면 부하모델은 적용 대상에 따라 시스템의 등가관성계수(inertia)와 마찰계수 등을 역학의 원리를 이용하

---

\* 강원대학교 전기전자공학부 부교수, 공학박사

여 미리 계산하여 얻고, 부하 특성에 따라 다양한 부하토크로부터 다음과 같은 회전운동계의 운동 방정식인 식(1)을 사용하여 얻는다[1].

$$T_e = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega + T_L(\omega) + K\Theta \quad (1)$$

여기서,  $T_e$  : 구동토크[nt-m]

$J$  : 시스템의 등가관성계수(Inertia)[kg-m<sup>2</sup>]

$B$  : 시스템의 마찰계수 [Nt-m/(rad/s)]

$\omega$  : 부하 각속도

$T_L(\omega)$  : 부하토크

$K$  : 강성계수 [nt-m/rad]

위의 식(1)은 그림 1에 보이는 바와 같이 기계 시스템에 연결된 전동기 구동시스템은 질량이 전동기 축과 부하 축의 두 곳에 집중되어 있고 그 사이에 축이 있어 토크(Torque)가 전달되는 것으로 시스템을 근사화하여 얻어진다.

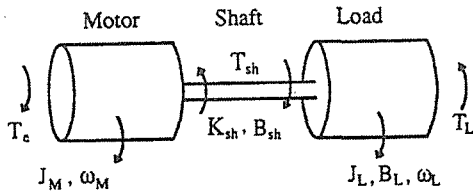


그림 1 기계 시스템에 연결된 전동기 구동시스템

일반적으로 전동기 구동시스템에 대한 시뮬레이션에서는 부하토크는 속도에 함수로 주어지며, 등가관성계수는 부하의 질량을 사용하여 개략적으로 구하여 사용하며, 마찰계수는 특별한 경우를 제외하면 대부분 부하토크에 포함시켜 무시된다. 또한 회전운동을 계속하는 경우에는 대개 강성계수는 0으로 설정한다. 이와 같이 부하시스템을 간략히 하여 대부분의 전동기 구동시스템에 대한 시뮬레이션을 수행하게 되므로 부하 시스템의 부정확한 모델링에 의한 시뮬레이션과 실제 상황과의 오차를 피할 수 없다. 제어 대상마다 기계의 특성이나 요구 성능이 다르므로, 전동기 구동 시스템의 제어를 위해서는 정확한 부하의 특성을 알 필요가 있다.

예를 들어 본 논문의 대상인 전동지게차의 구동시스템에 대한 시뮬레이션을 수행할 경우 사양 결정과 설계를 위해서는 부하의 부하토크, 관성계수, 마찰계수 등의 정보에 의한 정확한 부하 모델링이 반드시 필요하며, 이러한 모델링을 수행할 때 차체의 중량과, 바퀴의 제원 등 제한적인 정보를 기초

로 하여 번거로운 계산과정을 거쳐야 할 뿐 아니라 정확한 정보를 얻는 데는 어려움이 따른다.

RecurDyn은 기계시스템의 모델링과 시뮬레이션을 하는 3차원 해석이 가능한 역학분야의 시뮬레이션 프로그램으로서 3D의 기계적인 형상을 세부적으로 작성하고, 각 부분의 물성을 입력하면 이로부터 부하토크, 등가 관성계수, 마찰계수 등을 정확히 얻을 수 있다. 따라서 이를 사용하면 기계시스템 모델을 위한 여러 정확한 파라미터들을 쉽게 얻을 수 있을 뿐 아니라 전동기 구동시스템의 시뮬레이션 프로그램인 Matlab/Simulink와 연동하여 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 이러한 경우 Matlab/Simulink에서는 부하시스템에 대한 모델링을 할 필요 없이 전기적인 제어시스템만을 모델링하고, RecurDyn에서는 부하시스템을 모델링하며, 이들을 결합하여 시뮬레이션함으로써 전체 구동시스템의 특성 시뮬레이션을 정확하게 수행할 수 있다[2-6].

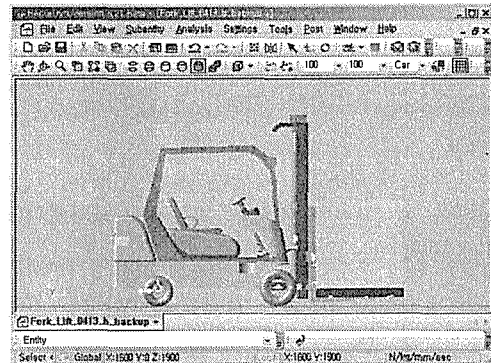
본 논문에서는 영구자석 동기전동기로 구동되는 전동지게차 구동시스템을 대상으로 RecurDyn 프로그램의 활용을 소개하고 Matlab/Simulink과 연동한 결합 시뮬레이션의 가능성을 보고자 한다.

## 2. RecurDyn과 Matlab/Simulink용 전동지게차 시스템 모델

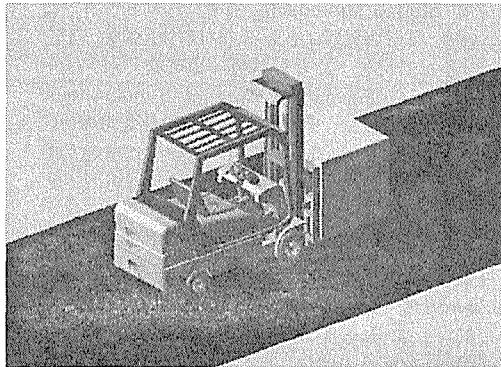
### 2.1 전동지게차 모델

그림 2에는 RecurDyn을 이용한 전동지게차 모델을 나타내었다. 모델의 작성은 3차원으로 전동지게차를 구성하는 여러 세부적인 부분을 실크기로 작성한다. 이렇게 작성된 각 부분들의 특성을 그림 3의 예처럼 입력한다[3,4].

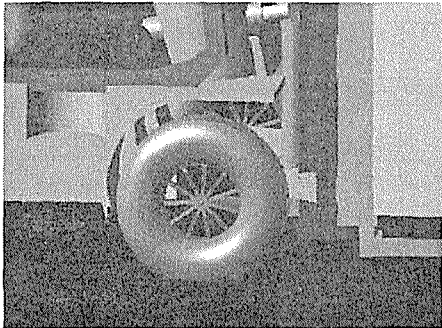
그림 3에는 전동지게차가 들어 올린 물체(질량 785[kg])에 대한 물성을 입력한 예를 나타내었다.



(a) 전체 구성도 1



(b) 전체 구성도 2



(c) 바퀴 및 구동부의 세부 부분

그림 2 전동지게차 모델

다. 그림 4에서 알 수 있듯이 예제로 사용한 전동지게차의 등가 관성계수는  $J=3.9[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$ 로, 별도의 번거로운 계산 없이 바로 얻을 수 있다.

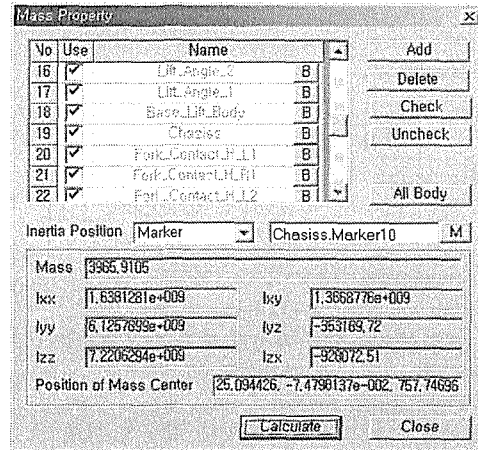


그림 4 RecurDyn으로 계산한 등가관성계수

### 2.1.2 전동지게차의 부하토크 계산

전동지게차가 질량 785[kg]의 이동물체를 들어 올린 상태에서 주어진 패턴의 도로를 주행할 경우 요구되는 부하토크를 RecurDyn을 이용하여 계산하였다. 주행에 사용된 도로 패턴은 그림 5에 보이는데, 기동특성과 가속 특성을 시험하기 위한 평탄한 길과 등판능력을 시험하기 위한 5%의 경사면을 설정하였다.

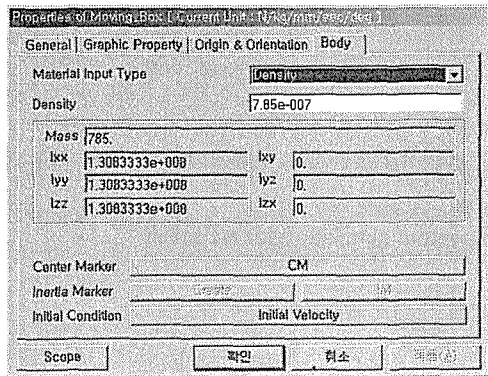


그림 3 이동물의 물성

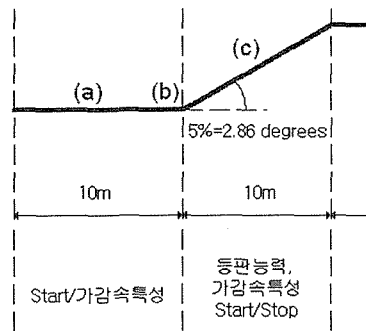


그림 5 도로 패턴

다른 부분에 대한 물성 값도 같은 방법으로 입력하여 전동지게차의 모델을 완성하게 된다. 또한 노면의 정보도 바퀴부분의 물성으로 입력하여 주행에 필요한 정보를 입력한다.

### 2.1.1 전동지게차의 등가관성계수 계산

전동지게차의 전체 기구물을 선택 한 후 구동 바퀴에서 본 등가 관성계수를 구하면 그림 4와 같

그림 6에는 견인전동기가 21[Nm]의 구동토크로 지게차를 구동하는 경우 RecurDyn으로부터 얻어진 그림 5의 도로 패턴상의 주행에 따른 가감속 특성과 부하토크 값을 보여준다.

그림 6으로부터 바퀴 특성에 따른 초기의 과도 현상이 보이며, 기동 시부터 8.2초까지는 평탄한 길을 주행하다가 5%의 경사면을 주행하는 경우

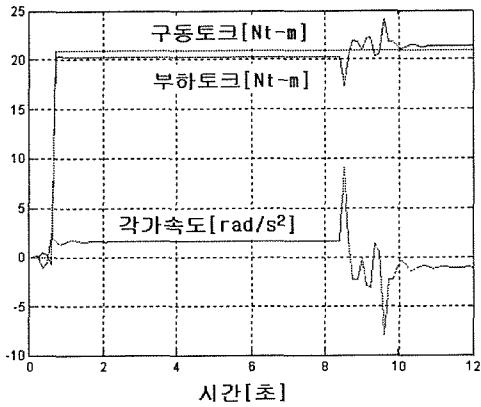


그림 6 RecurDyn에서 계산된 구동토크, 부하토크 및 각가속도

경사면에서는 미끄러지려는 힘의 작용에 의해 부하토크가 증가함을 알 수 있다. 또한, 경사면에 도달했을 때 부하토크가 크게 진동하는 것을 알 수 있는데 이는 바퀴 들림 현상과 재점착 현상의 반복에 의해 나타난다. 이러한 현상은 일반적으로 식 (1)을 사용하는 단순 부하 모델에서는 얻을 수 없는 부하특성이다.

여기에서 얻어진 각가속도 및 부하토크의 값은 시뮬레이션 조건에 따른 부하 토크 패턴으로 다른 시뮬레이션 프로그램에서 사용가능한 유용한 정보로 활용된다.

2.2 Matlab/Simulink를 이용한 전동지게차 구동시스템의 시뮬레이션

RecurDyn을 이용하여 계산한 전동지게차의 등가관성계수와 부하토크를 이용하여 Matlab/Simulink에서 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

그림 7에 Matlab/Simulink을 위한 전동지게차 구동시스템을 나타내었다. 전동지게차의 구동을 위한 견인 전동기로서는 고속회전에 유리한 5[kW]의 IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)를 사용하였고, 벡터제어기법을 적용하여 구동토크를 제어하였다[7]. 전동기 구동시스템은 크게 영구자석 동기전동기, 인버터, 전류제어기 및 PWM 부분으로 구성된다.

그림 5에 보이는 패턴의 도로주행에 따라 전동지게차를 구동하는데 요구되는 부하토크는 RecurDyn에서 계산된 토크를 Look-Up 테이블로 사용하였다. 그림 8에 Matlab/Simulink를 이용한 시뮬레이션 결과가 보인다.

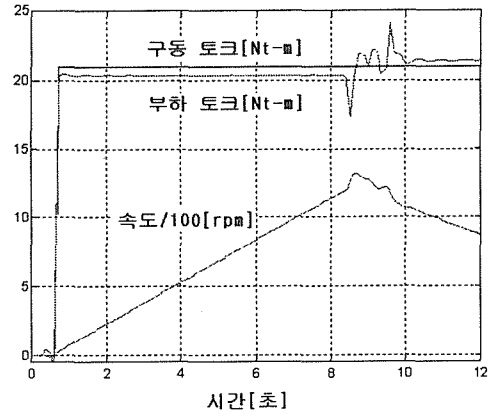


그림 8 Matlab/Simulink 시뮬레이션 결과

2.3 ReCurDyn과 Matlab/Simulink를 이용한 결합 시뮬레이션

부하토크를 Look-Up 테이블로 처리한 앞의 경우와 달리 ReCurDyn의 전동지게차 모델을 직접

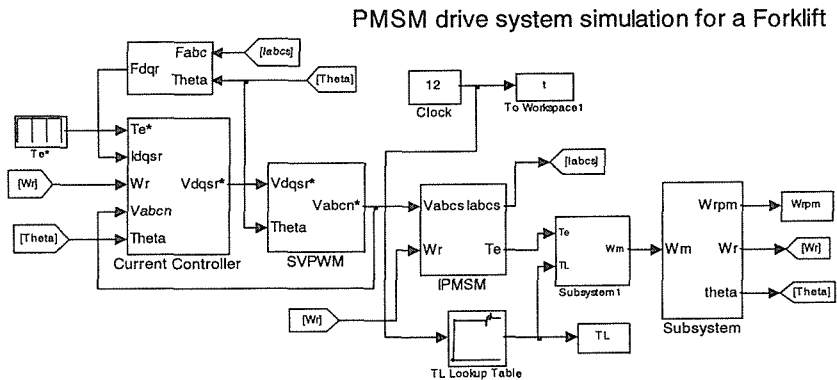


그림 7 Matlab/Simulink로 작성한 전동지게차 구동시스템

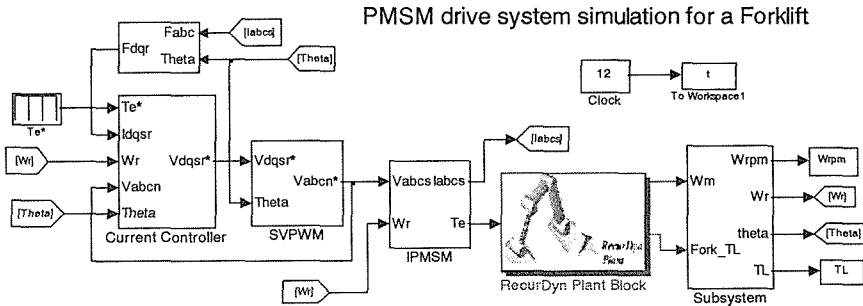


그림 9 ReCurDyn과 Matlab/Simulink를 결합한 전동지게차 구동시스템

Matlab/Simulink에 연동시켜 시뮬레이션을 할 수 있다. 이러한 경우에 대한 전동지게차 구동시스템의 블록도가 그림 9에 보인다. 그림 7과 비교해보면 부하 시스템이 ReCurDyn의 전동지게차 모델로 대체되어 있음을 알 수 있다.

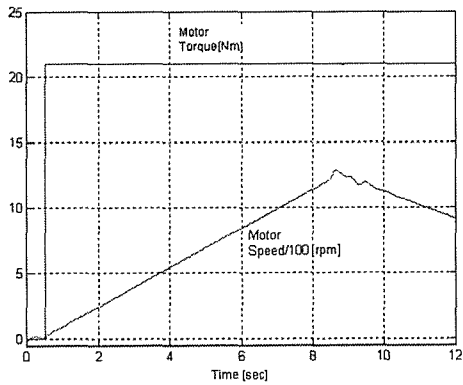
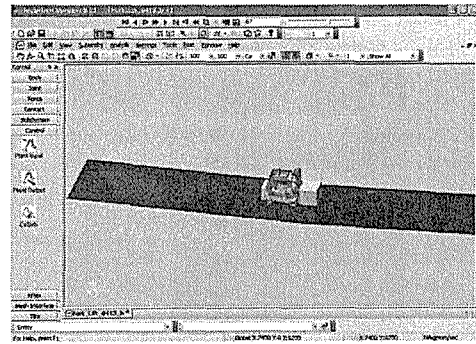
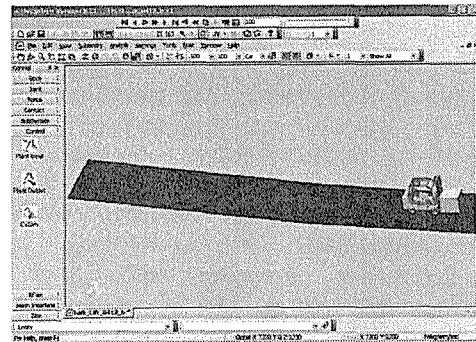


그림 10 결합 시뮬레이션 결과

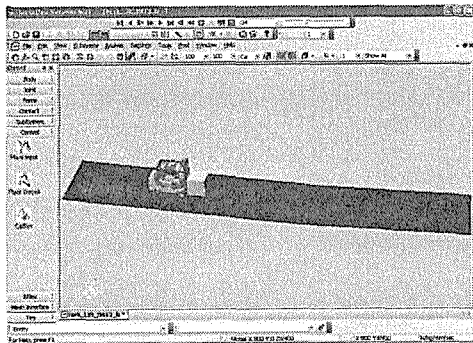


(b) 8 초



(c) 12 초

그림 11 시뮬레이션 결과의 애니메이션



(a) 4 초

이 경우 Matlab/Simulink에서는 전동지게차의 구동 전동기를 제어하는 시뮬레이션을 수행하여 구동토크를 출력하면, 이와 연동하여 ReCurDyn에서는 입력된 구동토크로부터 부하 시스템에 대한 동적 특성을 시뮬레이션하게 된다.

그림 10은 그림 5와 같은 도로 패턴 하에서 전동지게차를 일정 토크로 구동하도록 제어한 경우에 대한 ReCurDyn 프로그램과 Matlab/Simulink

프로그램의 결합 시뮬레이션 결과이다. 기동 후에 평지에서 계속 가속되다가 경사면에서는 감속되는데, 이러한 결과를 사용하여 RecurDyn 프로그램에서는 전동지게차의 구동상황을 애니메이션으로 볼 수 있다. 그림 5의 (a), (b) 및 (c) 지점에서의 전동지게차의 진행 상황이 그림 11에 보인다.

### 3. 결 론

3차원 해석이 가능한 역학분야의 시뮬레이션 프로그램인 RecurDyn을 이용하면 전동기 구동시스템에 필요한 복잡한 부하시스템의 어려운 모델링 과정과 계산 없이도 여러 부하에 관련된 파라미터들을 추출할 수 있다. 또한 부하모델을 포함한 시스템 해석과 제어기 설계에 정확도를 기할 수 있어 전동기 제어분야를 위한 여러 시뮬레이션 프로그램의 보조 도구로 활용할 수 있다. 이를 Matlab/Simulink와 결합하여 활용할 경우 다양한 조건에서의 시뮬레이션과 3차원의 Dynamics에 대한 애니메이션이 가능하여 설계자에게 보다 다양한 정보 제공이 가능하여 시뮬레이션기반의 설계 시스템의 수준을 향상시키는 역할을 할 수 있다.

본 논문에서는 영구자석 동기전동기로 구동하는 전동지게차 시스템을 대상으로 RecurDyn 프로그램의 활용을 소개하고 Matlab/ Simulink과 연동된 결합 시뮬레이션의 활용 가능성을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 설승기, *전기기기제어론*, 2장, 브레인 코리아, 2002.
- [2] 김형우, 김홍섭, 최중수, "RecurDyn과 TRACSIM을 이용한 해저 연약 지반 주행차량의 모델링", 2003 RecurDyn User Conference, 2003.
- [3] Functionbay, *RecurDyn v6.21 Solver Theoretical Manual*, 2005.
- [4] Functionbay, *RecurDyn v6.21 Basic Training Guide*, 2005.
- [5] Mathworks, *Matlab User's Guide*, 2005.
- [6] Mathworks, *Simulink User's Guide*, 2005.
- [7] Lipo, *Vector Control and Dynamics of AC Drive*, Oxford, 1996.