韓國精密工學會 2001年度 秋季學術大會論文集 pp.261~264 KSPE 01F071

궤도장력 조절을 위한 다물체로 이루어진 고속궤도차량의 실시간 시뮬레이션

백승한*(한양대 대학원 자동차공학과), 이승종** (한양대 기계공학부)

Real Time Simulation of the High Speed Multibody Tracted Vehicle for Track Tension Control

S-H Baek(Dept. of Automotive Eng. HYU), S-J Yi(School of Mechanical Eng. HYU)

ABSTRACT

In case of high speed and high mobility multibody tracked vehicle, it is hard to develop the realtime simulation model for track tension control because of the hundreds of highly nonlinear equations. In order to design more trustworthy realtime simulator for track tension control, it is necessary to use off-line tracked vehicle model. In this study, a step by step procedure is presented to develop realtime simulation model based on off-line tracked vehicle model. Simulation results show that modified off-line multibody tracked vehicle model can be used for real time simulation to control the track tension.

Key Words : real time simulation, off-line simulation, tracked vehicle, track tension

1. 서론

시뮬레이션은 저렴한 개발비용과 짧은 개발시간으로 개발자에게 매우 다양한 선택을 제공할 수 있다는 장점이 있다. Off-line 시뮬레이션은 실시간 시뮬레이션에 비해서 대상에 대한 보다 정확한 해석을 할수 있는 장점이 있고 만약 off-line 시뮬레이션이 확실하게 검증되면 이를 통해서 실시간 시뮬레이션으로 확장시킬수 있다. 또한 실제 시스템과의 상호 연관성을 더욱 정확히 하고 개발 단계에서의 복잡한 실패 양상을 평가, 개선하기 위하여 실시간 시뮬레이션을 수행하게 된다.

Off-line 시뮬레이션에서는 실제의 플랜트와 유사한 정밀한 모델을 사용할 수 있지만 실시간으로 계산을 수행하기는 매우 어렵다. 왜냐하면 플랜트의 모델이 크고 복잡해서 연산시간이 오래 걸리거나 안정성에도 문제가 되기 때문이다. 특히 궤도차량의 경우 다물체로 구성된 모델로 플랜트를 구성할 경우 실시간 시뮬레이터의 구성이 쉽지 않다. 각 구성요소들의 위치, 속도, 가속도에 대한 정보와 이에 맞물려있는 궤도시스템에 대한 모든 정보를 실시간으로 제어하려면 많은 시간이 소모되어 시뮬레이션이 어렵게 되기 때문이다. 따라서 플랜트 모델을 단순화 할 필요가 있다. 하지만 궤도의 장력을 제어하기 위한 ECU 를 설계하기 위해서는 궤도의 자유도를 고려한 모델에서 나오는 좀 더 실제에 가까운 장력을 이용해야 신뢰성있는 실시간 시뮬레이터 구성이 가능해진다.

따라서 본 연구에서는 일단 플랜트 모델을 최대한 단순화하여 실시간으로 구현이 가능하게 한 후 실제에 가까운 모델로 점차 확장시켜 나가서 그 가능성을 확인하였다.

2. Off-line 시뮬레이션 모델

지금까지 대상되어 온 궤도차량[1~3]에 대한 2차원 차량모델은 샤시부속시스템(chassis subsyst-em)과 궤도부속시스템 (track subsystem)의 2 개의 부속시스템으로 구성되었다. 샤시부속시스템은샤시프레임(chassis frame), 스프라킷(sprocket), 아이들러휠(idler wheel), 서포트롤러(support roller) 로드휠(road wheel), 로드휠암(road wheel arm) 및 아이들러휠암(idler wheel arm)으로 구성되며 궤도부속시스템은 회전이음으로 연결된 각각의 궤도링크와 엔드커넥터(end connector)의 강체 링크로 구

성된다. 즉 총 96 개의 강체로 구성되어 있는데 지면을 나타내는 강체 1 을 포함하여 강체 2 는 샤시, 강체 3 은 스프라킷, 강체 4~9 는 로드휠, 강체 10 은 아이들러휠, 강체 11~13 은 서포트롤러, 강체 14~19 는 로드휠암, 강체 20 은 아이들러휠암, 강체 21~96 은 엔드커넥터를 이용한 회전이음으로 연결 e 된 궤도링크이다. 이처럼 복잡한 요소들로 구성된 모델을 off-line 이 아닌 실시간 시뮬레이션을 위해서는 모델이 단순화 되야할 필요가 있다.

3. 실시간 시뮬레이션

3.1 최초의 단순화된 궤도차량 모델

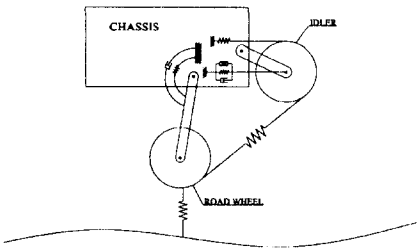

Fig. 1 First tracked vehicle model for real time simulation

Fig. 1 은 본 연구에 사용된 최초 모델을 보여주고 있고 이 모델은 트랙을 제외한 최소의 요소로 구성되어 있다. 궤도차량의 기본요소인 샤시, 로드휠, 로드휠암, 아이들러 그리고 아이들러암 이렇게 5 가지로만 모델을 구성하였다.

각 구성요소들은 Fig. 1 에서 보듯 샤시에 회전이음으로 연결되어있고 각각은 서로 스프링으로 연결 되어있다고 가정하였다. 그리고 각 요소들은 x 축, y 축, θ 의 3 자유도를 가지게 된다.

시뮬레이션시 노면 입력 없이 평지를 주행한다고 가정하였고 시뮬레이션 시간은 단순화된 모델 때문에 1/3 정도의 시간밖에 걸리지 않았다. 시뮬레이션 결과는 모델이 많이 단순화되어 있기 때문에 실제만큼 정확한 결과가 나오지 않았지만 Fig. 2 나 Fig. 3 에서 보듯이 아이들러나 아이들러 암의 y 축의 위치가 점차 일정한 값으로 수렴하면서 일정한 높이를 유지하였다. 따라서 궤도차량 움직임의 경향을 볼수 있음을 확인하였고 이 모델을 좀 더 복잡한 모델로 확장시켰다.

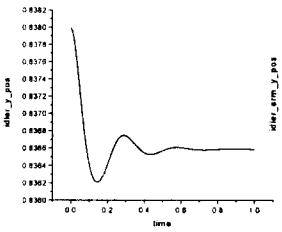

Fig. 2 Y position of idler

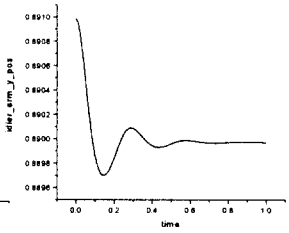

Fig. 3 Y position of idler arm

3.2 두번째 궤도차량 모델

두번째 모델은 샤시프레임에 첫번째 모델과는 달리 아이들러암과 로드휠암을 제거하고 로드휠을

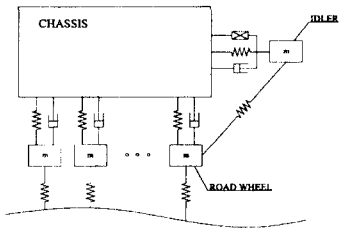

Fig. 4 Second tracked vehicle model for real time simulation

5 개 추가시켰다. 또한 자유도도 y 축 방향만으로 고정하여 샤시의 y 축 방향 움직임을 보고자 하였다. Fig. 4 에서 보는바와 같이 아이들러와 로드휠들은 샤시에 스프링댐퍼로 단순 연결되어 있고 회전이음은 없다고 가정하였다.

두번째 모델에 대한 시뮬레이션 결과는 Fig. 5 와 Fig. 6 에서 보듯이 샤시와 로드휠의 y 축 방향 값들 또한 시간이 감에 따라 일정한 값으로 수렴하고 있음을 보여주고 있다. 이 모델 또한 궤도차량 움직임을 확인하였고 첫번째 모델의 특성과 결합하여 확장시켜 보았다.

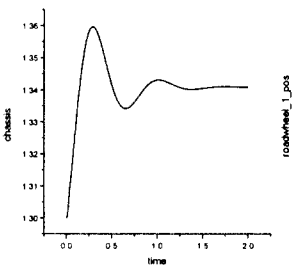

Fig. 5 Y position of chassis

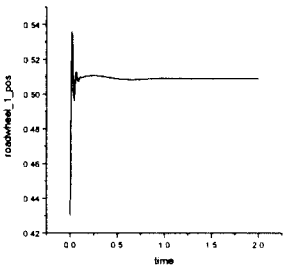

Fig. 6 Y position of road wheel

3.3 최종 궤도차량 모델

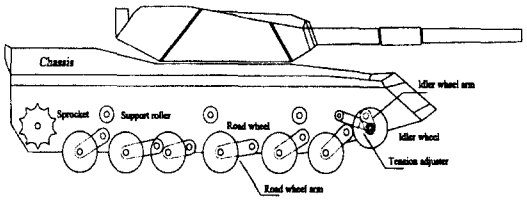

Fig. 7 2-D real time tracked vehicle model

Fig. 7 은 본 연구에 사용된 모델로 샤시부속시스템을 구성하는 요소들 중, 스프라킷, 로드휠암, 아이들러휠암, 서포트롤러는 Fig.7 과 같이 모두 샤시프레임에 직적 회전이음으로 연결되어있다, 로드휠과 아이들러휠은 각각 샤시프레임 및 샤시프레임에 대해 상대적인 회전운동을 하는 로드휠암과 아이들러휠암에 회전이음으로 연결되어 있다.

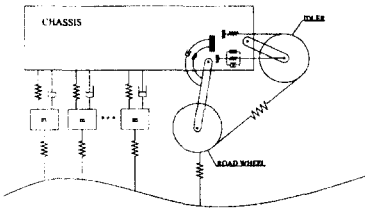

Fig. 8 Final tracked vehicle model

세번째 모델은 첫번째 모델과 두번째 모델을 합쳐서 만든 모델로 Fig. 7 의 모델을 Fig. 8 과 같이 샤시와 아이들러, 아이들러암, 로드휠 6 개, 로드휠암 등의 요소로 구성하였다. 앞의 두 모델보다 좀 더 실제에 가깝게 모델링되었으며 두 모델의 특성 또한 모두 가지게 되었다. 또 각 구성 요소들은 3 자유도를 가진다.

4. Profile IV

본 연구에서 사용된 노면입력 데이터는 대칭형 노면인 Profile IV 이다. Fig. 9 는 Profile IV 노면 거리에 대한 높이를 나타낸 것이다. Fig. 10 은 시뮬레이션시 실제로 사용되는 노면을 나타낸 것이다. Profile IV 노면입력을 그냥 사용하게 되면 입력이 갑자기 변하는 부분에서는 마치 impulse 입력같이 작용해 시뮬레이션에 오차를 발생시킨다. 따라서 일정한 시간상수를 갖는 시간지연을 시켰다. 시간지연 전달함수를 사용하였을 경우 노면입력 데이터는 Fig. 10 과 같이 변한다. 이는 실제 궤도차량이 지나가는 노면과 유사하다.

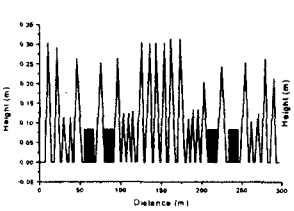

Fig. 9 Profile IV

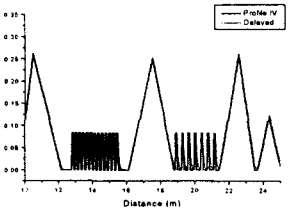

Fig. 10 Delayed road input

5. 시뮬레이션

먼저 Simulink 로 만들어진 블록선도[4] 는 설정된 환경과 I/O 에 맞게 C-code 가 생성이 되고, 이 생성된 코드들을 컴파일하여 다운로드시키게 되면 시뮬레이터는 동작을 시작하게 된다.

시뮬레이터에 의해서 실시간으로 시뮬레이션[5] 되는 결과는 시뮬레이터의 데이터 로깅 보드(data logging board)에 저장이 되고 주 컴퓨터(host computer)와 시뮬레이터간은 Ethernet 으로 연결되어 주 컴퓨터에서 트레이스(trace)를 통해 그 결과를 볼 수 있다.

Fig. 11 은 각각 시뮬레이션시와 실험에서 측정한 샤시의 피치 앵글을 나타낸 것이다. 시뮬레이션과 측정값이 잘 일치함을 알 수 있다.

Fig. 12 는 각각 시뮬레이션시와 측정한 샤시의 수직가속도를 나타낸 것이다. 높이가 낮은 다수의 범프를 통과할 때 상대적으로 가속도가 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 13 은 로드휠들의 수직위치를 나타낸 것이다. 속도에 따라 일정한 시간지연을 가지며 Profile IV 노면을 잘 따라감을 알 수 있다.

Fig. 14 는 각 로드휠암들의 각도를 나타낸 것이다. 로드휠암의 초기각도는 모두 다르며 노면입력에 따라 변화함을 알수 있다.

Fig. 15 는 각각 시뮬레이션시와 실험에서 측정한 1 번 로드휠암의 수직가속도이다. 높이가 낮은 다수의 범프를 통과할 때 상대적으로 가속도가 크게 나타남을 알 수 있다. 그러나 실험값의 경우 양의 방향과 음의 방향의 가속도의 크기가 시뮬레이션과 약간 차이가 났다. 이는 시뮬레이션의 경우 기울기가 일정한 선형 강성, 감쇠 모델을 사용했고 실제 차량의 경우 압축과 인장시의 서스펜션 특성이 틀리기 때문이다.

Fig. 16 은 각각 시뮬레이션시와 실험에서 측정한 3 번 로드휠암의 수직가속도이다. 3 번 로드휠암의 경우 1 번 로드휠암보다 작은 가속도가 발생하였다.

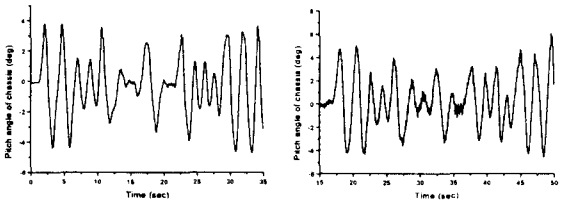

Fig. 11 Pitch angle of chassi (simulation and measured)

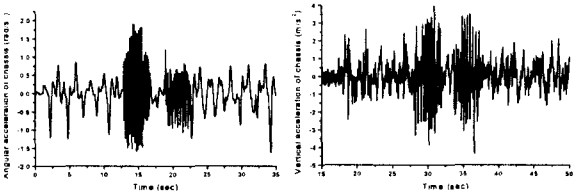

Fig.12 Verticl acceleration of chassis (simulation and measured)

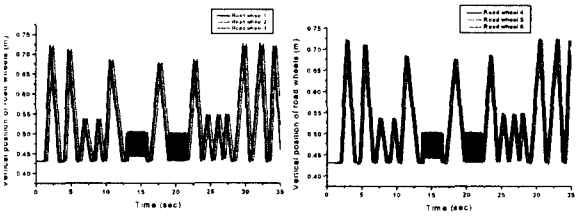

Fig. 13 Vertical position of road wheels (1, 2, 3 and 4, 5, 6)

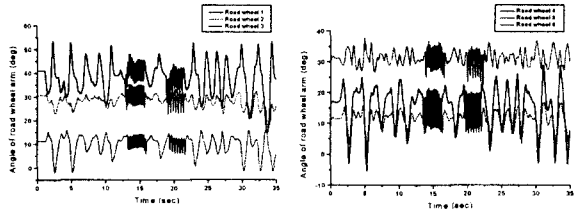

Fig. 14 Angle of road wheel (1,2,3 and 4,5,6)

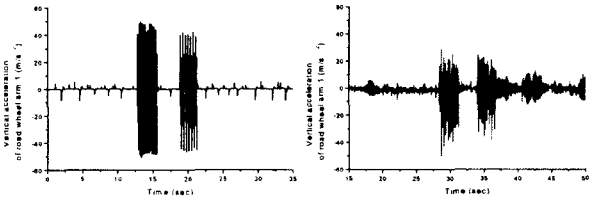

Fig. 15 Vertical acceleration of road road wheel arm 1 (simulation and measured)

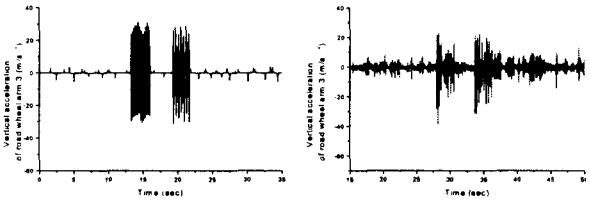

Fig. 16 Vertical acceleration of road road wheel arm 3 (simulation and measured)

5. 결론

다물체 동역학 이론[6]을 이용하여 실시간으로 궤도장력을 조절하기 위해서 실시간 시뮬레이션 2 차원 궤도차량을 모델링하였으며 각 요소들의 힘요소서 강성, 감쇠를 갖는 모델을 이용하였다. 시스템 모델의 연산속도 향상을 위하여 Matlab Simulink 에서 제공하는 C 언어를 이용한 S-function 을 사용하여 코딩하였으며 Pentium II PC 에서 실제시간보다 약 2 배 정도 빠르게 시뮬레이션이 수행되었다. 모델링된 차량 모델을 이용하여 시뮬레이션 하였을경우 Profile IV 를 주행할때 나타나는 특성이 측정값들과 유사하였다. 실험값들과 차이나는 부분은 궤도의 자유도를 고려하지 않았기 때문이다. 또한 유압장치들의 유압특성을 고려하지 않았는데 이는 차후에 좀 더 연구해야 할 부분이다.

참고문헌

1. 김상두, 이승종, "고속주행용 궤도차량의 동적해석," 한국자동차공학회 논문집 제 9 권 제 1 호, 2001
2. Berg, M., "A Non-Linear Rubber Spring Model for Rail Vehicle Dynamic Analysis", Vehicle System Dynamics, 30(1998), pp. 197-212.
3. A. Dhir and S. Sankar, "Analytical Track Models for Ride Dynamics Simulation of Tracked Vehicles," Journal of Terramechanics, Vol. 31, No. 2, 1994, pp. 107-138.
4. Dr. Ing. U. Kikkmeier, "Automatic Code Generation for Multi-Dsp Newworks on the Basis of Simulink Block Diagrams," Eurosim Congress 1995 in Wien, 11~15 September 1995.
5. H. Hanselmann and K. Smith, "Real-Time Simulation Replaces Test Drives," Test & Measurement, February 15, 1996.
6. Shabana, A. A., "Computational Dynamics", Wiley, NY. 1994.