

## 동역학분석 프로그램을 이용한 반궤도식 임내작업차의 주행안정성 분석

김재환<sup>1</sup> · 박상준<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 농업과학기술연구소, <sup>2</sup>경북대학교 임학과

### Running stability analysis of the Semi-Crawler Type Mini-Forwarder by Using a Dynamic Analysis Program

Jae-Hwan Kim<sup>1</sup> and Sang-Jun Park<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Agricultural Sciences & Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>2</sup>Department of Forestry, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

**요 약:** 반궤도식 임내작업차의 주행안정성 분석을 위하여 동역학분석 프로그램인 RecurDyn을 이용하여 횡전도 분석, 등판능력 분석, 장애물 통과 시뮬레이션을 수행하였다. 동역학분석 프로그램을 해석하는데 필요한 반궤도식 임내작업차의 형상은 3D CAD모델러인 AutoCAD 3D를 이용하여 모델링하였다. 반궤도식 임내작업차의 공차 및 적재 시에 횡단기울기 20° 이하의 지형에서 주행하는 것이 안전하다는 것을 알 수 있었으며, 종단기울기 시뮬레이션에서는 공차 및 적재 시에 종단경사 28° 미만의 지형에서 주행하는 것이 안정적인 것으로 판단되었다. 장애물 통과 시의 주행안정성은 공차 및 적재의 경우, 전륜타이어가 주행속도 각각 5 km/hr 및 4 km/hr 이상일 때 지면과 분리되는 것으로 예측되었으며, 후륜궤도는 지면과의 분리현상이 나타나지 않았으므로 장애물 통과 시에는 최대 5 km/hr 이하가 안전하다는 것을 알 수 있었다.

**Abstract:** This study was conducted to analyze the running stability of a semi-crawler type mini-forwarder. The running stability analysis was performed by using a dynamic analysis program, RecurDyn. Physical properties of the semi-crawler type mini-forwarder was performed by using 3D CAD modeler, AutoCAD 3D. As a result from the computer simulation of stationary sideways overturning, it was found that the semi-crawler type mini-forwarder runs safely on a road with a slope not bigger than 20° regardless whether it is empty or loaded, but in case of a road with a slope bigger than 20°, it is assumed that it is difficult for the car to run safely due to some dangers. In addition, it was found that the critical slope of its sideways overturning gets much smaller when empty since the location of its gravity center is elevated and much higher when it is loaded. As a result from the computer simulation of its hill-climbing ability, since the running speed is unstable in case of a road with a vertical slope not smaller than 28°, it is assumed that it is safe to drive it on a road with a slope not bigger than 28°. Taking a look at the result from an analysis of the running safety when it passes an obstacle, it was observed that a front tire comes off the ground when the running speed of the car is 5 and 4 km per hour respectively when it is empty and loaded while the gravity center of the front tire is watched. When taking a look at the changes in the location of the gravity center of the rear wheel crawler shaft, it was not found that the shaft comes off the ground at the test speeds both when it is empty and loaded.

**Key words:** semi-crawler type, mini-forwarder, dynamic analysis program, running stability analysis

## 서 론

우리나라 목재생산작업에서의 소운반작업은 대부분 GMC 트럭 등을 개조·개량한 트럭(일명:영운기)에 의해 수행되고 있으므로, 그에 따른 임지훼손, 작업자의 안전성,

작업의 효율성 등의 문제가 발생되고 있다(Lee and Park, 2006). Park et al.(Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2010)이 전륜은 타이어식, 후륜은 크롤러식의 형태로 주행성과 등판력을 높여 임도 및 작업도를 수행하며 집재된 목재의 소운반작업과 사방사업 및 임도사업 등의 산림토목사업의 자재운반 등 다양한 산림작업에 유용하게 활용할 수 있도록 반궤도식 임내작업차를 개발

\*Corresponding author  
E-mail: sjupark@knu.ac.kr

하였다.

반궤도식 임내작업차는 산악지를 주행하며 목재를 운반하는 역할을 함으로 일반 차량보다 주행시 많은 위험이 따르는데, 위험은 주로 주행로의 조건에 의해 야기되며 주행로의 조건으로는 주행로의 중·횡 경사, 주행로의 상태, 장애물의 유무 등이 원인이 된다(Park, 2002).

따라서, 다양한 주행조건에서의 주행시험을 통하여 주행안정성을 분석해야하지만, 현실적으로 다양한 주행조건에서의 주행시험을 하기에는 많은 위험이 따르기 때문에 동역학분석을 통한 시뮬레이션 분석을 사용한다. 동역학 분석프로그램은 컴퓨터를 이용한 엔지니어링으로 복잡한 시스템을 컴퓨터에서 모델링 하여 이를 해석하게 되는데, 신제품 개발과정에서 시제품을 만들기 전 단계에서 가상의 시뮬레이션을 함으로써 미리 결과를 예측하고 설계 변경에 반영을 시키기 위해서 해석을 할 수 있다. 하지만, 이미 만들어져 있는 모델을 해석함으로써 성능개선 및 차후 개발 단계에 적용하기 위해서도 사용을 하고 있으며, 이를 이미 개발된 제품을 통해서 실험과 해석결과를 비교해 가며 인증하는 작업을 하는 경우가 많이 있다.

동역학 분석 프로그램을 이용한 연구로는 Park et al.(2002) 등이 다물체 동역학 해석 프로그램을 이용한 임내작업차의 횡전도 분석을 통하여 임내작업차의 횡전도 현상을 시뮬레이션 하고 횡전도에 대한 안정성을 평가하였고, Park et al.(2005) 등이 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 소형 임내작업차 시작기의 장애물 통과 및 적재 안정성을 평가하였다. Sim et al.(2007) 등은 측면 적재형 소형 임내작업 차량을 동역학 해석 프로그램을 이용한 횡전도 시뮬레이션을 통하여 작업 안정 영역을 규명하였다. 또한, Kim et al.(2007) 등은 동역학 분석 프로그램을 이용하여 연약지반 무한궤도차량의 동적거동을 해석하였고, Lee(2007)는 RecurDyn을 이용한 굴삭기 트랙의 모델링 및 운동을 분석한 연구가 있다.

본 연구는 반궤도식 임내작업차의 주행상의 안정성을 분석하기 위한 것으로서, 다양한 조건에서의 동역학 분석 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 통하여 시작기의 안정성을 평가하고, 신규모델 제작 시 설계 데이터 활용 등에 대한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

## 연구 내용 및 방법

### 1. 반궤도식 임내작업차 3D 모델 제작

동역학분석 프로그램을 통한 주행안정성을 분석하기 위하여 먼저 반궤도식 임내작업차를 실제 모형과 같은 3D 모델화 작업이 필요하다. 반궤도식 임내작업차의 제원은 Table 1과 같고, 각 제원과 설계도를 바탕으로 Auto CAD 3D를 이용하여 크게 차체부, 엔진부, 전륜 타이어부, 후륜

**Table 1. Specifications of the semi-crawler type mini-forwarder.**

Items	Specifications	
Capacity	Speed (km/h)	8.5
	Max. payload (kg)	2,500
	Vehicle weight (kg)	2,000
Standard	Overall length (mm)	5,000
	Overall height (mm)	1,645
	Overall width (mm)	1,900
	Load height (mm)	960
	Load length (mm)	3,652
Suspension	Independent suspension	
Crawler	Rubber crawler	

궤도부, 크레인부로 나누어 모델링 하고 결합하였다. 후륜 궤도부는 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn V8R1의 Track Toolkit을 이용하여 고무트랙형태로 모델링하였다.

또한, 반궤도식 임내작업차의 주행안정성 시뮬레이션 분석을 위해서 적재물인 목재의 모델을 모델링하였다. 산림작업에서 일반적으로 별목되는 목재의 길이와 반궤도식 임내작업차의 적재함 제원을 고려하여 적재물을 모델링하였다.

### 2. 반궤도식 임내작업차의 시뮬레이션 분석

반궤도식 임내작업차의 주행 시뮬레이션 프로그램으로 펑션베이(FunctionBay)사의 RecurDyn V8R1을 사용하였다. RecurDyn V8R1을 이용하여 반궤도식 임내작업차의 중량을 예측하고, 횡전도 분석과 등판능력분석, 주행안정성을 해석하였다.

시뮬레이션에서 설정한 주요 가정은 다음과 같다.

- 지면은 강체이며, 변형이 없다.
- 모형은 일정한 속도로 주행한다.
- 모형의 구성부를 연결하는 조인트의 마찰은 무시한다.
- 외부의 조건에 영향을 받지 않는다.
- 모형은 직선 주행성을 가진다.
- 전륜의 토우인(toe-in), 캐스터(caster), 캠버각(camber angle)은 무시한다.

또한 반궤도식 임내작업차의 자유도는 차체부의 경우 무게 중심을 원점으로 한 x, y, z방향의 병진 운동과 회전 운동, 앞차축부에서는 전륜의 회전 운동과 힌지점에 대한 앞차축의 회전운동, 후륜크롤러부에서는 스프로킷(sprocket)과 롤러(roller), 아이들러(idler)의 회전운동과 피봇점에 대한 크롤러의 회전운동을 나타낼 수 있도록 총 25 자유도로 하였다(Table 2).

#### 1) 물리적 속성 분석

모델링된 반궤도식 임내작업차를 RecurDyn V8R1에서

**Table 2. Degrees of freedom of Semi-crawler type mini-forwarder.**

Items	Degrees of freedom
Front axle	3 rotational
Rear axle	16 rotational
Body of forwarder	3 translational
	3 rotational
<b>Total</b>	<b>25</b>

각 부의 측정 가능한 기능품들 즉, 엔진, 유압펌프, 유압모터, 크레인, 타이어 등의 중량을 기입하고, 나머지 차체, 후륜케도 등은 프로그램상의 중량분석을 통하여 중량을 계산한 후 각 부의 계산된 값을 합하여 총 중량을 계산하였다.

2) 횡전도 분석

동역학분석프로그램인 RecurDyn V8R1에서 지면과 반케도식 임내작업차 3D모델의 횡단기울기를 조절하며 공차시와 적재시 차량의 한계 횡전도 기울기를 측정하였다.

마찰계수는 반케도식 임내작업차를 현장에서 실험하여 측정값을 기입하는 것이 정확하지만 다양한 지형에 따른 마찰계수를 모두 측정하기 어렵기 때문에 노면 포장별 차량의 마찰계수에 관한 연구(Lim, 2010)의 마찰계수 값 (Table 3)을 참고하여, 비포장 노면에서의 반케도식 임내작업차와 지면의 마찰계수 값을 추정하여 입력하였다.

3) 등관능력 분석

등관능력 분석에서의 반케도식 임내작업차의 주행속도는 평균속도인 4 km/h로 설정하고, 종단 기울기를 조절하며 주행 한계 종단 기울기를 측정하고, 기울기별(0°, 10°, 20°, 30°) 속도 변화를 측정하여 경사지 주행시의 안정성을 예측하였다.

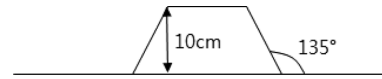
4) 주행안정성 분석

반케도식 임내작업차의 작업 환경 특성상 험준지에서 주행을 많이 하기 때문에 지면에 장애물을 설정하여 장애물 통과시의 주행 시뮬레이션 분석을 실시하였다.

장애물은 Figure 1과 같이 높이 10 cm, 접근각 135°의 마름모꼴 강체의 형태로 모델링하였으며, 주행속도는 3 km/

**Table 3. Coefficient of friction of vehicle at road condition.**

Road condition	Dry	Wet	Wettest (Water Saturated)	Freezing
Asphalt	0.8	0.7	0.6	0.3
Concrete	0.8	0.6	0.4	0.3
Block	0.7	0.4	0.3	0.2
Unpaved road	0.5	0.4	0.3	0.2



**Figure 1. Height and approach angle of obstacle.**

hr, 4 km/hr, 5 km/hr, 6 km/hr로 구분하여 반케도식 임내작업차가 장애물을 통과할 때 전륜 타이어, 후륜 케도축의 운동궤적을 예측하였다.

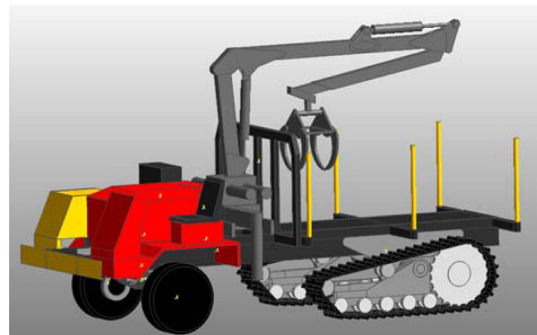
**결과 및 고찰**

1. 반케도식 임내작업차 3D 모델 제작

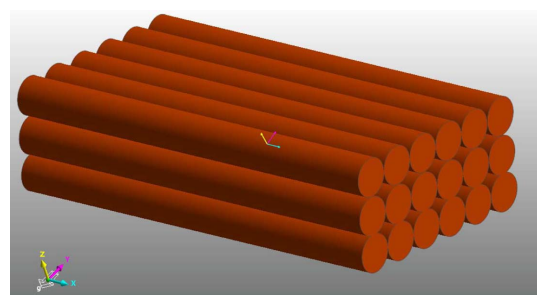
반케도식 임내작업차의 3D모델 제작완성 모습은 Figure 2와 같고, 동역학 분석에서 주행시에 차체의 외형적인 모양이 변수가 될 수 있기 때문에 세부설계도를 바탕으로 실제모형과 일치하도록 모형화 하였으며, 본 연구에서는 크레인의 작동분석을 필요로 하지 않기 때문에 세부적인 모형화가 필요하지 않아 크레인의 부분설계도를 바탕으로 크기 및 모양을 형상화 하여 모델링하였다.

반케도식 임내작업차의 후륜케도부의 모형은 RecurDyn V8R1의 Track LM 모듈을 이용하여 제작하였으며, 케도부는 스프라켓, 하부롤러, 상부롤러, 아이들러, 트랙의 5가지로 구성되어있으며 실 측정치를 프로그램상에 입력하여 모델화 하였다(Functionbay, 2013).

모델링한 목재는 길이 2.7 m, 지름 20 cm인 원목을 3단으로 적재한 형태로 Figure 3과 같고, 길이×폭×높이를 각각 2,700 mm × 1,400 mm × 60 mm의 형태로 모델링하였



**Figure 2. 3D model of the semi-crawler type mini-forwarder.**



**Figure 3. 3D modeling for cut-to-length log.**

다. 모델링의 편의상 지름이 일정한 원기둥 모양으로 하였으며, 목재의 밀도는 균일하고 목재의 무게는 2,000 kg으로 설정하였다(KFRI, 2001).

2. 반케도식 임내작업차의 시뮬레이션 분석

1) 물리적 속성 분석

반케도식 임내작업차의 모델링 작업 후 RecurDyn V8R1 프로그램의 중량특성(mass property)을 보면, 차체 및 케도 등의 속성을 스틸(Steel) 값으로 설정하고 타이어와 고무케도는 고무(Rubber) 값으로 설정한 후 무게 측정값을 계산한 결과 4,933 kg으로 계산 되었다. 반케도식 임내작업차의 중량 실 측정 결과 5,137 kg으로, 실 측정치와의 % 오차값은 약 4%로 나타났다. 기존연구인 KFRI (2001)의 연구과제에서 미니포워더의 오차값이 5%로 측정되었으며, 비슷한 오차값이 나타나는 원인은 반케도식 임내작업차를 모형화 한 경우 유압호스, 유압벨브, 유압유, 엔진오일 등의 값을 제외하였기 때문인 것으로 판단된다.

2) 횡전도 분석

(1) 공차시 횡전도 분석

공차시의 정지 횡전도 시뮬레이션의 모습은 Figure 4와 같고, 20° 기울기에서는 차량의 무게중심이 기울기 하부 방향으로 조금 기울어지지만 차량이 지면과 분리되는 현상은 없었으나, 25° 기울기에서는 기울기 상부의 후륜 케도 부분이 지면과 약간 분리되는 것을 볼 수 있었다. 임내작업차의 특성상 무게중심이 앞쪽에 있고 후륜부의 축이 차체와 고정되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

30° 기울기에서는 전도되지는 않았지만 기울기 상부의 후륜 케도 부분이 지면과 완전 분리되었으며, 33° 기울기에서 차량이 완전 전도되는 모습을 볼 수 있었다. 이는 유

사기종인 국립산림과학원에서 개발한 임내작업차(미니포워더)(KFRI, 2001)의 정지 횡전도각인 33°와 일치하는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과로 추정해봤을 때 횡단기울기 20° 이하의 지형에서는 안정적인 것으로 나타났으나 그 이상의 기울기에서는 위험요소가 있어 주행을 하기에는 무리가 있는 것으로 판단된다.

3) 적재시 횡전도 분석

적재시의 정지 횡전도 시뮬레이션은 Figure 5와 같고, 기울기 25°까지는 공차시의 시뮬레이션 모습과 비슷한 모습을 보였으나, 30° 기울기에서 차량이 완전 전도되는 모습을 볼 수 있었다.

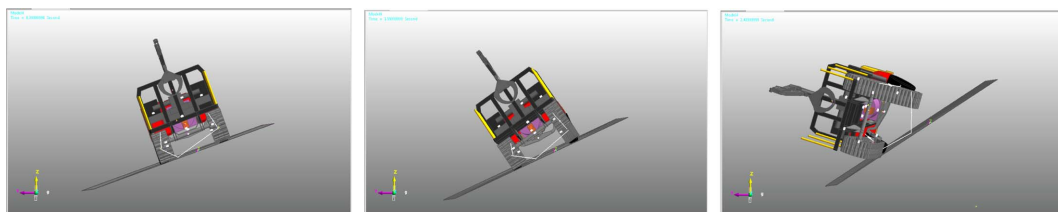
이와 같은 결과로 추정해봤을 때 반케도식 임내작업차가 적재시 횡단기울기 20° 이하의 지형에서는 안정적인 것으로 나타났으나 그 이상의 기울기에서는 위험요소가 있어 주행을 하기에는 무리가 있는 것으로 판단된다. 또한 적재시 무게중심의 위치가 더 높아지므로, 한계 횡전도 기울기는 더 작아지는 것으로 나타났다.

4) 등판능력 분석

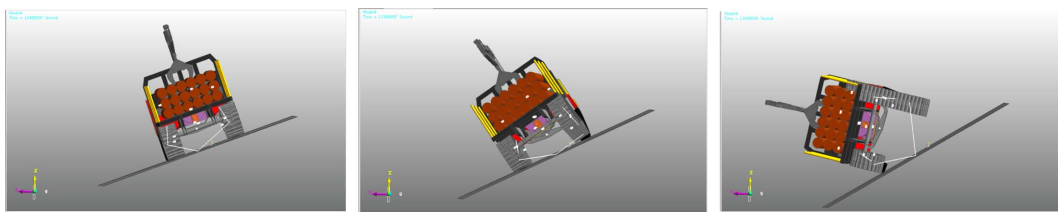
(1) 공차시 등판능력 분석

공차시 종단기울기에 따른 주행속도 변화는 Figure 6과 같다. 종단기울기 0°, 10°, 20°, 30°에서 속도 변화를 보면 종단경사가 급해질수록 속도가 감소하는 경향을 보이며, 종단기울기 30°에서는 속도 변화가 불안정하고 최고속도 도달 시간도 길어지는 것으로 나타났다.

공차시 한계 등판기울기는 35°로 나타났으나, 종단기울기 29° 이상의 지역에서는 주행속도가 불안정해짐으로 종단경사 29° 미만의 지역에서 주행하는 것이 안정적인 것



(a) slope 20° (b) slope 25° (c) slope 33°  
**Figure 4. Predicted static angle of sideways overturning by simulation when unloaded.**



(a) slope 20° (b) slope 25° (c) slope 30°  
**Figure 5. Predicted static angle of sideways overturning by simulation when loaded.**

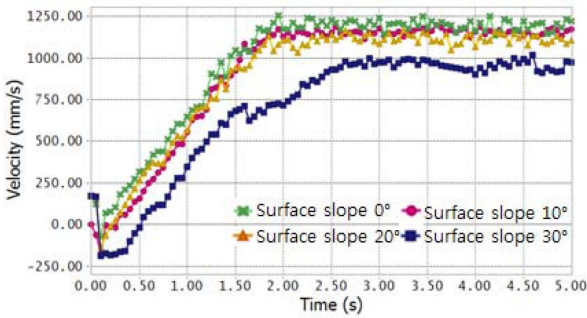


Figure 6. Variation of velocity for surface slope when unloaded.

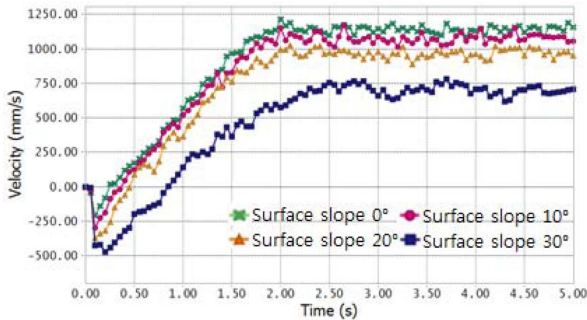


Figure 7. Variation of velocity for surface slope when loaded.

으로 판단된다.

(2) 적재시 등판능력 분석

적재시 종단기울기에 따른 주행속도 변화는 Figure 7과 같다. 종단기울기 0°, 10°, 20°, 30°에서 속도 변화를 보면 공차시 속도변화와 비슷하지만 적재무게의 영향으로 경사가 급해질수록 속도 감소 폭이 더 큰 것으로 나타났다. 종단기울기 30°에서는 공차시 속도 변화와 비슷하게 속도 변화가 불안정하고 최대속도도달 시간도 길어지는 것으로 나타났으며, 속도의 감소가 많이 나타났다. 또한 경사면에서 출발시 슬립현상이 크게 나타나는 것을 볼 수 있어 경사지에는 가급적 주·정차를 하지 않는 것이 안전할 것으로 판단된다.

적재시 한계 등판기울기는 34°로 나타났으나, 종단기울기 28° 이상의 지역에서는 주행속도가 불안정함으로 종단기울기 28° 미만의 지역에서 주행하는 것이 안정적인 것으로 판단된다.

5) 주행안정성 분석

(1) 공차시 주행안정성 분석

Figure 8은 반케도식 임내작업차가 4, 5, 6 km/hr로 주행했을 때 전륜 타이어 무게중심의 위치변화이다. 주행속도가 4 km/hr일 때 전륜 타이어는 장애물을 안전하게 넘어가는 것을 볼 수 있었으나, 주행속도가 5 km/hr일 때는 장애물을 넘을 때 타이어가 지면과 3 cm 정도 분리되는 현상이 나타났으며, 주행속도 6 km/hr일 때는 지면과 6 cm

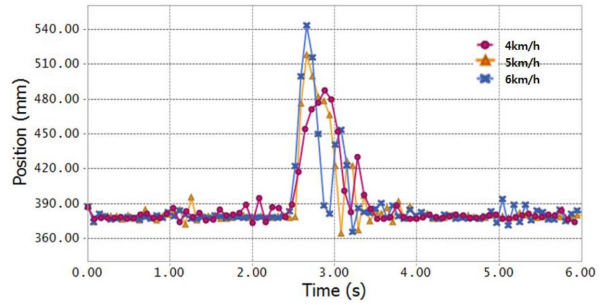


Figure 8. Variation of mass position of tire when crossing of obstacles at unloaded.

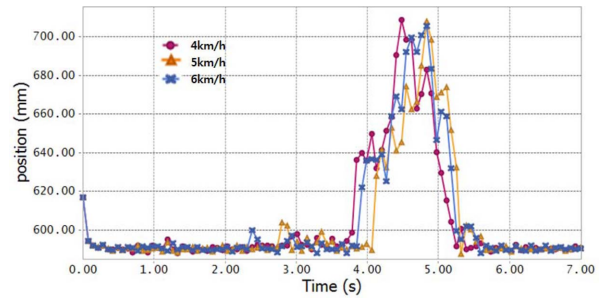


Figure 9. Variation of mass position of rear axle when crossing of obstacles at unloaded.

정도 분리되는 것으로 예측되었다.

Figure 9의 후륜 궤도 축의 무게중심 위치변화를 보면 4, 5, 6 km/hr 주행속도에서는 장애물 주행에서도 안정적인 것으로 주행하는 것으로 예측되었다. 후륜 궤도부분의 현가장치는 후륜축을 중심으로 한 앞뒤요동현상으로 궤도가 장애물을 타고 넘으면서 지면과의 분리현상이 나타나지 않는 것으로 판단된다.

(2) 적재시 주행안정성 분석

적재시 주행안정성 시뮬레이션을 보면, Figure 10과 같이 타이어의 무게중심위치 변화는 공차시보다 주행속도가 1 km/hr 낮은 4 km/hr 속도에서 장애물을 넘을 때 지면과 3 cm 정도 분리되는 현상이 나타났으며, 주행속도 5 km/hr일 때는 지면과 9 cm 정도 분리되는 것으로 예측되었다.

Figure 11의 후륜 궤도 축의 무게중심 위치변화를 보면

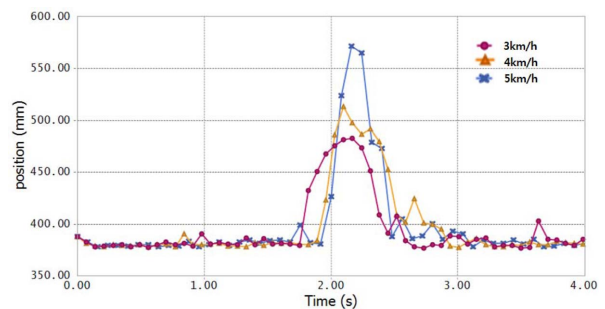


Figure 10. Variation of mass position of tire when crossing at loaded.

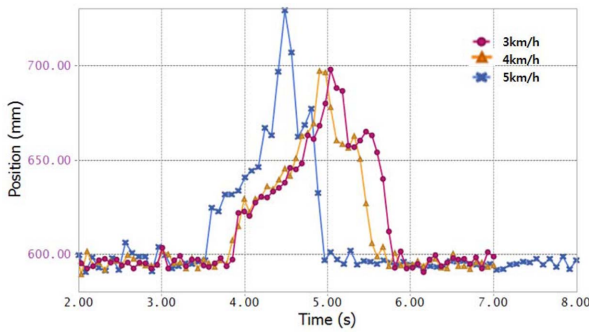


Figure 11. Variation of mass position of rear axle when crossing of obstacles at loaded.

3, 4 km/hr 주행속도에서는 장애물 주행에서도 안정적으로 주행하는 것으로 예측되었고, 5 km/hr의 주행속도에서 궤도가 장애물을 내려갈 때 3 cm정도 분리되는 것으로 예측되었다.

따라서 공차일 때 보다 적재시에 장애물 통과 지역에서는 20% 정도 저속 주행을 해야 할 것으로 판단된다.

### 결론

본 연구는 동역학분석프로그램인 FunctionBay사의 RecurDyn을 이용하여 시작기의 반궤도식 임내작업차의 물리적 분석과 횡전도 분석, 등판능력 분석, 장애물 통과시의 주행안정성을 분석하기 위하여 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

반궤도식 임내작업차와 3D 모델의 중량 비교 결과 4% 차이로 3D 모델로 주행안정성을 분석하는 데 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

반궤도식 임내작업차의 공차 및 적재 시에서 한계횡단 기울기는 각각 33°, 30°로 예측되었으나 20° 이상의 기울기에서 기울기 상부의 후륜 크롤러부가 지면과 분리되는 현상이 나타났으므로 횡단기울기 20° 이하의 지형에서 주행하는 것이 안전하다.

등판능력 분석결과 공차 및 적재 시에 한계등판기울기는 각각 35°, 34°로 예측되었으며, 28° 이상인 지역에서 주행 시 속도가 불안정하게 나타났으므로 중단경사 28° 미만의 지역에서 주행하는 것이 안정적이라고 판단된다. 또한, 적재 시 경사지에서 주·정차 후 이동할 때 공차 시보다 2배 이상의 슬립현상이 나타나므로 경사지에서의 작업은 위험할 것으로 판단된다.

장애물 통과 지역의 주행안정성은 공차 및 적재 시의 경우, 전륜타이어의 무게중심 위치변화를 보면 주행속도 각각 5 km/hr 및 4 km/hr 이상일 때 지면과 분리되는 것으로 예측되었으며, 후륜궤도 축의 무게중심 위치변화를 보면 지면과의 분리현상이 나타나지 않았으므로 장애물 통

과 지역에서는 30~40% 감속 주행하는 것이 안전할 것으로 판단된다.

동역학 분석프로그램을 활용하여 다양한 주행 조건에서의 안전사고를 미연에 방지하고, 신규 반궤도식 임내작업차 및 유사 임내작업차 등의 제작 시 참고 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2013학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었습니다.

### References

- FuntionBay. 2013. RecurDyn Professional Training Guide. pp. 210.
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2001. Development of the Mmini Forwarder for Logging Operation. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. pp. 186.
- Kim, H.W., Hong, S., Choi, J.S., and Yeu, T.K. 2007. Multi-body Dynamic Analysis of a Tracked Vehicle on Soft Cohesive Soil. Journal of Ocean Engineering and Technology 21(1): 69-74.
- Lee, G.T. and Park, S.J. 2006. Analysis of Process for the Development of Timber Harvesting. Journal of Korea Society for Engineer 4(1): 31-56.
- Lee, Y.S. 2007. Modeling and Simulation for the Track of the Excavator Using RecurDyn. The Graduate school of PNU. pp. 46.
- Lim, C.S. and Choi, Y.W. 2010. The Experimental Study on the Transient Brake Time of Vehicles by Road Pavement and Friction Coefficient. Korean Society of Civil Engineers 30(6): 587-597.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2010. Development of Half Crawler Type Mini-forwarder for Multiple Purpose. pp. 152.
- Park, H.K, Kim, K.U., Kim, J.W., Song, T.Y., Park, M.S., and Cho, K.H. 2002. Sideway Overtuning Analysis of Forwarder Using a Multibody Dynamics Analysis Program. Korean Society for Agricultural Machinery 27(3): 185-194.
- Park, H.K, Kim, K.U., Sim, S.B., Kim, J.W., Park, M.S., and Song, T.Y. 2005. Stability Evaluation of Bump Crossing and Loading of Proto-type Mini-Forwarder by Computer Simulation. Journal of Biosystems Engineer 30(6): 366-372.
- Shim, S.B., Park, Y.J., Kim, K.U., Park, M.S., and Song, T.Y. 2007. Computer Simulation of Sideways Overtuning of Side-Loaded Mini-Forwarder. Journal of Biosystems Engineer 32(2): 69-76.