

## 궤도차량과 토양의 상호관계에 대한 연구

박천서\*(효성그룹 수출부), 이승종\*\*(한양대 기계공학부)

### Study of the Interaction between a Tracked Vehicle and the terrain

Cheun-Seo Park\* (International trade Dept. Hyosung), Seung-Jong Yi\*\* (Mecha Eng. Dept., HYU)

#### ABSTRACT

The planar tracked vehicle model used in this investigation consists of two kinematically decoupled subsystems, i.e., the chassis subsystem and the track subsystem. The chassis subsystem includes the chassis frame, sprocket, idler and rollers, while the track subsystem is represented as a closed kinematic chain consisting of rigid links interconnected by revolute joints. In this paper, the recursive kinematic and dynamic formulation of the tracked vehicle is used to find the vertical forces and the distances of the certain track moved in the driving direction along the track. These distances and vertical forces obtained are used to calculate the sinkage of a terrain. The FEM is adopted to analyze the interaction between the tracked vehicle and terrain. The terrain is represented by a system of elements with specified constitutive relationships and considered as a piecewise linear elastic, plastic and isotropic material. When the tracked vehicle is moving with different speeds on the terrain, the elastic and plastic deformations and the maximum sinkage for the four different types of a isotropic soil are simulated

**Key Words :** Tracked vehicle, Sprocket, Idler, Roller, Elastic and Plastic Deformations, Isotropic, FEM (Finite Element Method), Sinkage(토양의 침하량)

#### 1. 서론

토양 위를 움직이는 저속궤도차량의 토양의 변형은 차량의 궤도와 토양사이의 상호관계 때문이다. 이러한 상호관계는 임의의 한 궤도에서 전단응력과 압력 그리고 여러 다른 현상들로 인하여 나타난다. 궤도차량과 토양의 상호관계는 실제적으로 매우 복잡하고 해결되지 않은 많은 문제점들을 가지고 있다.

이러한 단점들을 극복할 수 있는 방법이 유한 요소법이다. 이 방법은 궤도차량과 토양의 상호관계를 규명하는 방법으로는 비교적 최선의 방법이다. 유한 요소법은 토양 변형에 있어서 다양하게 적용할 수 있으며 연구 비용도 상당히 줄일 수 있다. 게다가 이 방법은 다양하고 복잡한 토양의 특성을 정확하게 적용시킬 수 있다.

우선 이 논문에서는 궤도차량의 각각의 휠에 작

용하는 수직하중과 주행거리를 알아내기 위해서 궤도차량 동역학을 사용하였다. 여기서 얻은 데이터는 유한요소법을 이용한 궤도차량과 토양의 상호관계 규명에 사용된다. 그리고 토양은 등방성이며 선형과 비선형을 모두 고려하였다.

#### 2. 궤도차량의 구성도 및 역학

##### 2.1 궤도차량의 구성도

본 연구에서는 우선 다양한 속도에서 토양의 힘을 계산하기 위해 궤도차량의 스프라켓, 아이들러, 휠에 작용하는 수직하중을 계산하였다. 이를 위해 54개의 강체들로 구성된 2차원 궤도차량을 선정하였다. 이 강체들은 지면을 1번, 샤프를 2번, 스프라켓을 3번, 아이들러는 4번, 휠은 5-11번, 위의 롤러는 12번, 그리고 42개의 트랙 링크들은 13-54번으로 정하였다. 이렇게 정해진 강체들은 다물체 동역학을 이용하여 각각의 시스템으로 구성

된다. 그림 1은 2차원 차량모델과 각각의 휠사이의 실제 거리를 나타낸다

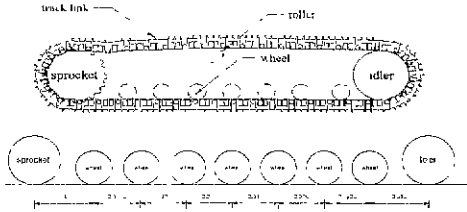


Fig 1 Planar tracked vehicle model and distances between sprocket, idler and wheels (unit; meter)

## 2.2 시뮬레이션

### 정적 상태(static state)

그림 2는 정적상태에서의 각각의 휠에 작용하는 수직하중을 보여주고 있다. 여기서 나타난 총 수직하중은 약 12,400kg 인데 이것은 궤도차량의 실제 무게인 12,434.68kg 에 근접하는 것이다. 또한 이 그림에서 최대 수직하중이 궤도의 중심에 있지 않는 것으로 나타나는데 이것은 실제로 차량의 무게 중심이 정 가운데 있지 않기 때문이다.

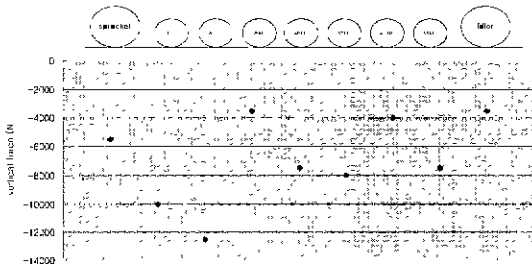


Fig 2 Load and distance under the moving speed at 3km/h

### 동적 상태(dynamic state)

트랙의 링크 중에서 임의의 한 점을 정한 후, 차량이 주행하는 동안 이 한 점을 관찰하였다. 이 점은 차량이 주행함에 따라 각각의 휠 아래를 지나 가게 된다. 속도에 따라 이러한 결과를 보여주는 것이 아래의 그림들이다

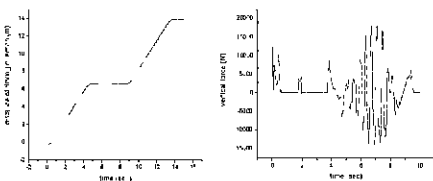


Fig. 3 Load and distance under the moving speed at 3km/h

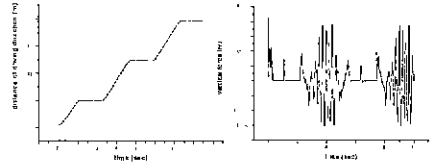


Fig. 4 Load and distance under the moving speed at 5km/h

그림 3은 주행속도가 3 km/h 일 때 각각의 휠에 작용하는 수직하중과 주행거리를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 수직하중의 분포가 상하 대칭으로 나타나는데 이것은 지반과 트랙의 링크 사이의 접촉 모델을 spring-damper 시스템으로 모델링 하였기 때문이다[10,11,12]. 그리고 3 km/h 에서 나타난 수직하중의 총합은 정적상태에서보다 증가하는 것으로 나타났다. 그림 4는 링크가 5 km/h 일 때 스프라켓과 아이들러 그리고 휠들 아래에 작용하는 수직하중과 주행거리를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 속도가 빨라질수록 임의의 링크가 더욱 더 빨리 돌기 때문에 수직하중의 폭도 더욱 더 작아짐을 볼 수 있다. 이들 결과는 다양한 토양의 함몰량을 계산하기 위한 데이터로 이용될 것이다

## 3. 선형 혹은 비선형성을 갖는 여러 토양에서의 시뮬레이션

### 3.1 선형성을 갖는 토양

본 연구에서는 토양을 매우 작게 나눔으로써 토양을 선형성을 갖는 것으로 간주하였다. 이러한 가정하에 토양은 각각의 잘려진 요소들이 서로 연속적인 관계를 갖는 것으로 생각되며 그림에서 보듯이 여러 요소들 중에서 삼각형 요소를 사용하였다. 그리고 토양의 윗 부분은 해의 정확도를 위해 보다 세밀하게 분할하였다.

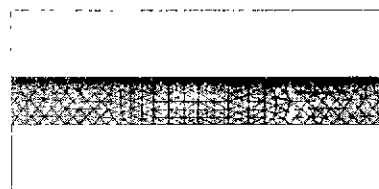


Fig 5 Mesh of triangular elements for the analysis of interaction between vehicle and soil

본 연구에서는 궤도차량과 토양의 상호관계 규명을 위해 주행 속도가 0 km/h, 3 km/h 일때 4 가지 다른 토양들(콘크리트, 자갈, 모래, 점토) 에서의 상호관계를 시뮬레이션 하였다. 각각의 토양에 대

한 특성은 다음의 표에 나와 있다.

Table 1 Young's modulus of the 4 different types of the terrain[15]

Species of the terrain	E (N/m <sup>2</sup> )
clay	60e5
sand	150e5
gravel	1000e5
concrete	6895e6

그림 6 또는 7 은 각각의 다른 주행속도에서의 4 가지 토양에 대한 토양의 변형을 보여준다.

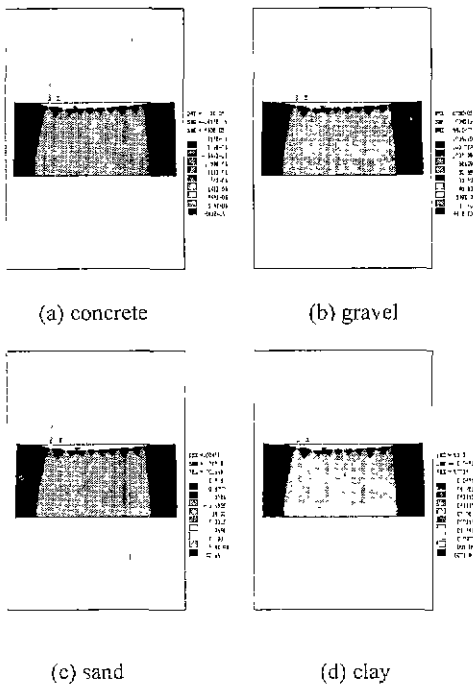


Fig 6 Deformations for the 4 different types of soil at a static state (0 km/h)

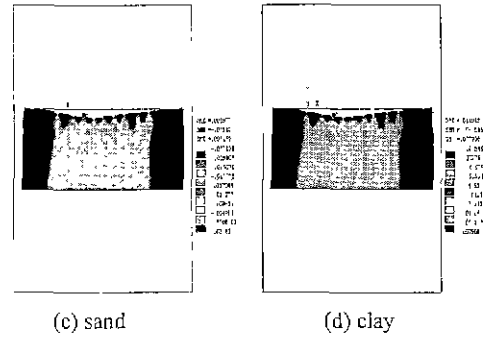
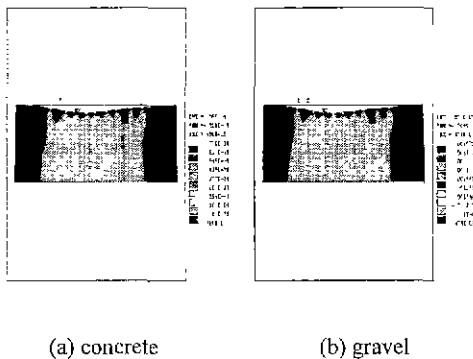


Fig 7 Deformations for the 4 different types of soil at a dynamic state (3 km/h)

### 3.2 비선형성을 갖는 토양

실제적으로 토양은 비선형성을 가지고 있다. 즉 다시 말하면 토양에 힘이 가해 졌을 때 토양은 비선형적으로 변형이 일어난다는 것이다. 이와 같은 실제적 토양에 근사하게 시뮬레이션을 진행하고자 어느 특정한 토양을 선택하여 시뮬레이션 하였다. 본 연구에서는 토양이 일정부분까지는 균일하다고 가정하였다. 그리고 시뮬레이션을 위해 태국에서 측정된 다음의 실험 데이터를 이용하였다.

Terrain	Moisture content (%)	$k$ (kN/m <sup>2</sup> )	$k_s$ (kN/m <sup>2</sup> )	b(mm)	n
Clay	38	13.19	692.15	51	0.5

이러한 데이터를 Bekker 가 제안한 식에 넣고 토양과 힘의 관계를 그래프로 그린 것이 그림 8 이다.

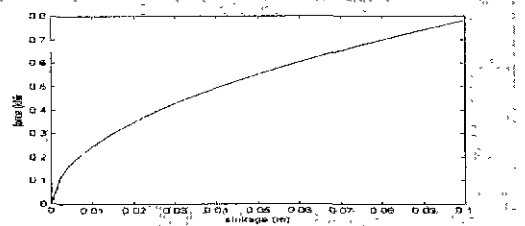


Fig. 8 The relational curve of force and sinkage

또한 이러한 데이터를 이용하여 정적상태에서의 점토에 관해 시뮬레이션 한 결과는 다음의 그림과 같다.

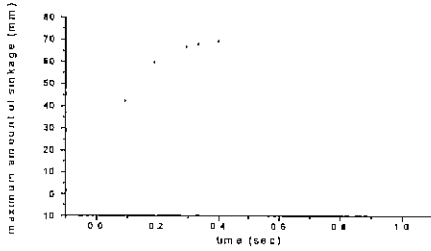


Fig. 9 The relational curve of force and sinkage

## 5. 결론

본 연구에서 순환 기구학(recursive kinematics) 과 multibody dynamics 를 이용하여 차량이 움직일 때와 정지했을 때에 케도트랙 방향의 주행거리와 수직하중을 계산하였다. 그리고 이들 데이터들을 유한요소법을 이용하여 각각의 다른 토양에서의 침하량 정도를 계산하였다. 여기서 토양은 등방성이고 균질한 선형 혹은 비선형성을 갖는 것으로 모델링 되었으며 각각의 토양에 따라 각각의 주행 속도에 따른 침하량을 계산하였다.

## 참고문헌

1. Garber, M. and Wong, J-Y, "Prediction of ground pressure distribution under tracked vehicles-2 Effects of design parameters of the track-suspension system on ground pressure distribution". Journal of Terramechanics, Vol 18, No. 2, pp. 71-79, 1981
2. Garber, M and Wong, J-Y., "Prediction of ground pressure distribution under tracked vehicles-1 An analytical method for predicting ground pressure distribution", Journal of Terramechanics, Vol. 18, No 1, pp 1-23, 1981
3. Hirota, T. Wanjun, s., Kataoka, T. and Ota, Y, "Stress analysis using FEM on stress distribution under a wheel considering friction with adhesion between a wheel and soil", Journal of Terramechanics, Vol. 34, No 4, pp 225-233, 1997
4. Kim S-D, 1999 "Dynamic analysis of high-speed tracked vehicles", Master Thesis, University of Hanyang at Seoul
5. Lim J-K, "Accuracy estimation and control methods of finite element solutions", The Korean Society of Mechanical Engineers Vol. 34, No. 7, 1994
6. Logan Daryl, L., 1992, "A first course in the finite element method", PWS Publishing Company, second edition
7. Molin, J-P., Leviticus, L-I., "Performance and use of tracks in agriculture - a review", Society of Automotive Engineers, 952131
8. Reddy, J-N, 1984, " An introduction to the finite element method", McGraw-Hill Book Company
9. Shabana. A a, 1994, "Computational Dynamics", Wiley, NY, 1994
10. Shin J-H, 1998 "Dynamic analysis of multibody tracked vehicles" Master Thesis, University of Hanyang at Seoul
11. Shin J-H, Choi J-W, Yi S-J, "Dynamic analysis of multibody tracked vehicles (i) Development of recursive kinematic and dynamic formulation module", The Korea Society of Automotive Engineering, Vol. 6, No 3, 1998,
12. Shin J-H., Choi J-W., Yi S-J., "Dynamic analysis of multibody tracked vehicles (2) Development of the nonlinear contact force module", The Korea Society of Automotive Engineering, Vol. 6, No. 4, 1998
13. Wong, J-Y., 1993, "Theory of ground vehicles". John Wiley & Sons. Inc. second edition
14. Wong, J-Y.. "Computer-aided methods for design evaluation of track systems", Society of Automotive Engineers, 941675
15. Woo, G-H.-"프릭스컴에 의한 토질-기초의 계산 예 해설" . 우기형, 기술경영사, 1992
16. Wyk. D J. van. Spoelstra, J and Klerk, J. H. de., "Mathematical modeling of the interaction between a tracked vehicle and the terrain", Appl. Math. Modeling 1996, Vol. 20, November
17. Yong, R-N., Pattah, E-A. and Boonsinsuk, "Analysis and prediction of tyre-soil interaction and performance using finite elements". Journal of Terramechanics. Vol. 15, No. 1, pp. 43-63. 1978