

## 로외에서 운용되는 궤도형차량의 견인성능에 관한 이론적 예측과 실험적 검증

### Theoretical Prediction and Experimental Substantiation of Tractive Performance of Off-Road Tracked Vehicles

박 원 엽\*, 이 규 승\*  
Wonyeop Park, Kyouseung Lee

#### ABSTRACT

A mathematical model was developed to investigate the mechanical interrelation between soil characteristics and main design factors of a tracked vehicles, and predict the tractive performance of the tracked vehicles. Based on the mathematical model, a computer simulation program(TPPMTV98) was developed in this study.

The effectiveness of the developed model was verified by comparing the predicted drawbar pulls using TPPMTV98 with measured ones from traction tests with a tracked vehicle reconstructed for test in loam soil with moisture content of 18.92%(d.b). The drawbar pulls measured by the TPPMTV98 were well matched to the measured ones. Such results implied that the model developed in this study could estimate the drawbar pulls well at various soil conditions, and would be very useful as a simulation tool for designing a tracked vehicle and predicting its tractive performance.

주요기술용어 : Tracked Vehicle(궤도형차량), Track Tension(궤도장력), Tractive Performance(견인성능), Roadwheel(전륜), 로외(Off-Road), Soil Characteristics(토양특성)

#### 1. 서 론

로외차량(off-road vehicle)의 주행장치로는 크게 휠형과 궤도형이 이용되고 있다. 휠형차량(wheeled vehicle)은 궤도형차량(tracked vehicle)에 비해 그 구조가 간단하고 내부 에너지의 손실이 적고, 단단한 지형에서 기동성이 좋은 장점을 갖고 있으나 연약한 지형에서는 높은 접지압으로

침하가 크게 발생하기 때문에 주행저항이 높게 나타나 견인성능면에서 비효율적이다. 이에 비해 궤도형차량은 구조가 복잡하고 내부 운동저항이 커서 에너지 손실은 많으나 휠형에 비해 같은 중량의 차량일 경우 접지압이 작으므로 연약지에서 높은 견인성능을 낼 수 있는 장점이 있어 로외에서 사용되는 차량에는 궤도형차량이 많이 사용되고 있다. 그러나 궤도형차량이 운용되고 있는 자연토양 지면은 매우 다양하기 때문에 궤도형차량

\* 정희원, 성균관대학교 생물기전공학과

의 견인 및 주행성능은 지면의 토양상태에 크게 영향을 받아 지면의 토양조건은 차량성능에 제한적인 요소로 작용하는 경우가 많다. 따라서 궤도형차량이 운용되고 있는 토양에 대한 역학적 특성과 주행장치(궤도)-토양의 역학적 상호작용에 대한 이해는 궤도형차량의 적절한 설계, 선택, 운용에 절대적으로 필요하다.

궤도형차량의 견인성능을 평가하는 방법은 궤도형차량의 견인성능이 궤도-토양 접지면에서의 수직압력과 전단응력에 밀접한 관련이 있다는 이론에서 나왔다. 따라서 궤도-토양의 상호 역학적 관계에 대한 연구는 주로 궤도와 토양 접촉면에 대한 수직응력과 전단응력 분포를 규명하여 궤도에 작용하는 하중과의 평형조건으로부터 차량의 성능을 예측하는데 있다. 이러한 접근방법은 Bekker<sup>1,2)</sup>에 의해 처음으로 제시되어 많은 사람들에 의해 수정되어 사용되어 왔으며 계속적으로 연구되어지고 있다.

Kogure<sup>3,4)</sup>는 궤도형차량의 토양 추진력을 평가하기 위해 전단시험으로부터 얻은 토양의 전단토극곡선과 궤도형차량의 추진력 곡선간의 관계를 분석하여 이들간의 변환법칙을 이용하여 토양추진력을 쉽게 평가할 수 있는 방법을 제안하였고, Muro<sup>5)</sup>는 연약지에서 운용되는 불도저의 견인성능을 예측하는데 있어 궤도의 토양반력은 궤도장력의 수직분력과 같다고 가정하여 구한 궤도의 침하로부터 접지압을 구하였다. 그러나 위의 연구에서는 궤도의 접지부 형태에 따른 장력의 변화를 고려하지 않았다.

Okello<sup>6)</sup>는 고부궤도형 차량의 궤도를 대상으로 궤도장력을 고려한 수학적 모델을 개발하였다. 여기서 그는 고무궤도-토양의 상호작용 형태로서 전륜(roadwheel) 사이의 궤도부분들의 형태를 유한요소의 절점좌표들에 의해 결정하고, 각각의 점에서의 토양변형을 모델에 포함시켜 모델에 의해 예측된 값과 측정된 값을 비교하여 고무궤도형차량의 견인성능 예측 모델의 타당성을 입증하였다. 그러나 토양을 회복이 없는 탄성체로 가정하였고, 각각의 전륜에서의 탈출각(exit

angle)을 고려하지 않았다.

Wong<sup>7,8)</sup>은 차량무게, 궤도장력, 궤도크기, 전륜 배열 등의 주요 차량설계변수와 토양의 압력-침하, 전단특성, 지형의 반복하중에 대한 반응특성 등을 포함하는 궤도-지형간의 상호작용에 영향을 주는 지형특성을 고려하여 궤도형차량의 접지압분포를 예측하여 궤도형차량의 성능을 평가할 수 있는 수학적 모델을 개발하여 타당성을 증명하였다. 그러나 궤도아래 접지압분포를 예측하는데 있어 전륜사이 궤도부분의 평균장력을 사용하여 궤도형상을 구했고, 궤도길이에 따른 연속적인 장력변화를 해석에 고려하지 않았다.

한편, 국내에서도 궤도형차량에 대한 연구가 점차 증가하고 있으나 토양특성을 고려한 궤도형차량 설계에 필요한 지식과 기술은 아직 초보단계에 머무르고 있어 궤도형차량의 성능을 높이기 위한 연구의 필요성이 크게 요구되고 있다.

본 연구의 목적은 국내의 건설기계, 농업기계, 군용차량 등의 주행장치로서 점차 그 이용 추세가 늘고 있는 궤도형차량의 성능을 평가하기 위하여 토양특성과 궤도형차량의 주요 설계변수들간의 역학적 상호작용을 분석하여 궤도형차량의 견인성능을 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하고, 모델로부터 궤도형차량의 성능을 종합적으로 평가할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 개발하는데 있다.

## 2. 견인성능 예측 모델

### 2.1 궤도계의 모형화

궤도형차량이 연약한 지반위에 놓여 있을 때, 궤도계를 통해 작용하는 수직하중은 전체 궤도계에 걸쳐 다르게 분포되어 전륜 아래의 궤도부분에서 최대 침하가 나타나고, 전륜 사이의 궤도부분(track segment part)에서 최소 침하가 발생하게 된다. 전륜 아래 궤도부분의 형상은 전륜의 형태에 의해 영향을 받고, 전륜 사이의 궤도구간의 형상은 토양-궤도의 상호작용, 특히 궤도장력에 크게 영향을 받아 전체 궤도계는 곡선형태를 나타

내게 된다. 한편, 궤도형차량의 주행에 따른 전륜의 연속적인 통과와 궤도 아래에서 발생하는 추진력과 슬립, 그리고 견인력 작용점(drawbar point)의 위치는 차량 후부(rear part)의 추가적인 침하를 유발하여 차량의 후부가 전부(front part)보다 낮아지는 상태가 된다(Fig.1). 따라서 궤도계의 해석은 토양변수와 차량의 설계변수, 그리고 운용조건에 따른 상호관계를 정확히 분석할 때 가능하게 된다.

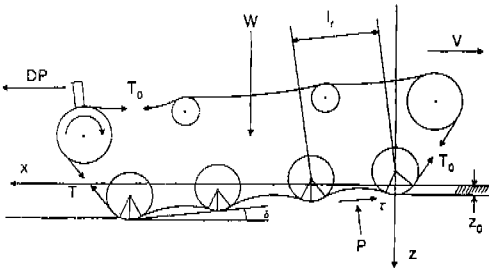


Fig. 1 Geometry and forces of a track system in contact with a soft ground

따라서 본 연구에서는 토양변수뿐만 아니라 궤도의 주요 설계변수를 궤도계의 해석에 고려하였다. 해석에 고려된 토양변수로는 토양의 압력-침하관계와 반복하중에 대한 반응특성 및 전단응력-전단변위 관계식에 포함된 점착력, 내부마찰각, 토양변형지수 등이며, 궤도의 설계변수로는 차량 무게, 차량의 무게중심 위치, 궤도 폭, 전륜수, 전륜 직경, 전륜간의 간격, 궤도의 초기 장력 등을 고려하였다. 한편, 차량의 운용에 관계되는 조건 변수로는 차량의 경사와 슬립, 그리고 견인력의 작용점 위치를 해석에 고려하여 궤도계를 미소길이 갖는 유한개의 요소로 구성하여 수치해석적 반복기법에 의해 궤도계를 해석하였다.

## 2.2 궤도계의 해석

입의의 각  $\delta$ 만큼 기울어진 궤도형차량에 대해, 첫 번째 전륜(first roadwheel)의 진입각(entry angle)  $\alpha_1$ 은 초기 침하를 가정함으로써 침하량

$Z_{01}$ 과 첫번째 전륜의 반경  $r$ 에 의해 결정된다(Fig.2, status 1). 그러나 침하( $Z_{02}$ )가 매우 커서 토양표면이 첫번째 전륜상의 점  $\alpha_0$ 보다 위에 있을 경우,  $\alpha_0$ 점의 윗 부분에 위치한 궤도부분에는 토양반력이 작용하게 된다. 따라서 궤도부분은 토양반력에 의해 장력이 증가하고, 궤도의 형태는 직선에서 곡선형태로 변형된다. 위의 결과로 첫번째 전륜의 진입각  $\alpha_1$ 은  $\alpha_1'$ 으로 변하고, 궤도와 스프로킷이 분리되는 스프로킷상의 점에서의 각  $\alpha_0$ 는  $\alpha_{fsp}$ 로 이동하여 궤도의 형상은 Fig.2의 status 1에서 status 2로 변형된다.

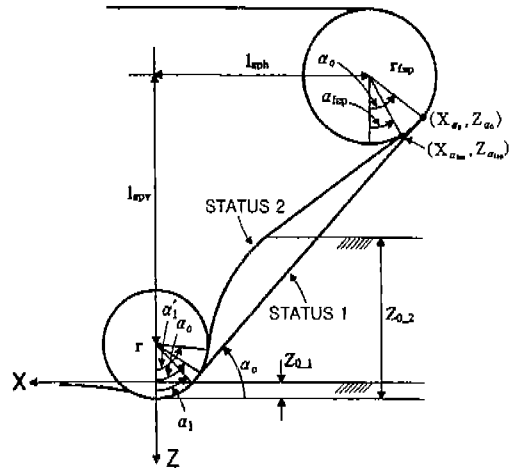


Fig. 2 The change in shape of track segment with the depth of sinkage

Fig.2의 status 2에 대해,  $\alpha_0$ 에서  $\alpha_{fsp}$ 까지 스프로킷과 접촉하고 있는 전체 궤도부분은 Fig.3에 나타낸 바와 같이  $\Delta l$ 의 미소길이를 갖는 유한개의 요소의 합으로 나타낼 수 있다.

$\alpha_0$ 에서  $\alpha_{fsp,i}$ 까지 스프로킷과 접하고 있는 궤도부분에 대해 첫번째 요소부터  $i$ 번째 요소까지 궤도요소의 평형을 고려하면, 각각의 요소에서의 평형방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 따라서 스프로킷상의 입의의 위치에서 분리되는 궤도요소의 장력은 식 (1)로부터 결정할 수 있다.

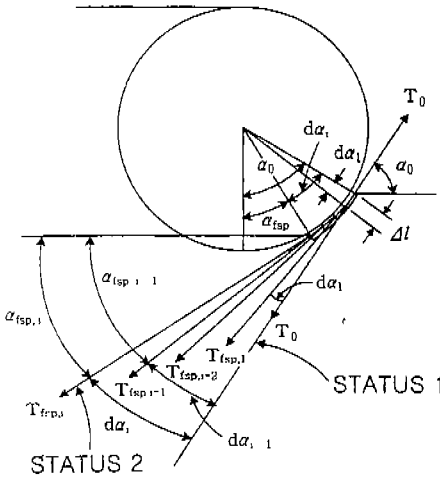


Fig. 3 The analysis of tensions acting on the track elements on the sprocket

$$T_{fsp,i} \cos d\alpha = T_{fsp,i-1} +$$

$$b \int_{\frac{\pi}{2} - \alpha_{fsp,i-1}}^{\frac{\pi}{2} - \alpha_{fsp,i}} \tau(\theta) \cos\left(\theta - \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_{fsp,i-1}\right)\right) r_{fsp} d\theta$$

$$b \int_{\frac{\pi}{2} - \alpha_{fsp,i-1}}^{\frac{\pi}{2} - \alpha_{fsp,i}} p(\theta) \sin\left(\theta - \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_{fsp,i-1}\right)\right) r_{fsp} d\theta$$

(1)

여기서,

$T_{fsp,i}$  : 스프로킷과 분리되는  $i$  번째 레도 요소에서의 장력

$\alpha_{fsp,i}$  : 스프로킷과 분리되는  $i$  번째 레도 요소의 수평면에 대한 각

(  $\alpha_{fsp,i} = \alpha_0 - d\alpha_1$ ,  $\alpha_{fsp,0} = \alpha_0$  )

$d\alpha_1$  :  $i$  번째 요소에서 초기각도  $\alpha_0$ 에 대한 스프로킷 원주상의 각변화

$$d\alpha = \frac{\Delta l}{r_{fsp}}, \quad d\alpha_1 = \frac{\Delta l}{r_{fsp}} \times i$$

$\Delta l$  : 요소 한 개의 길이

스프로킷과 첫번째 전륜 사이 레도부분의 형상의 장력변화를 결정하기 위해 스프로킷의 탈출각

$\alpha_{fsp}$ 로부터 첫번째 전륜과 접하는 점 사이의 레도부분을  $\Delta l$ 의 미소길이를 갖는 유한개의 요소의 합으로 가정하면(Fig.4), 그 때 레도부분의 각각의 요소에 작용하는 힘의 평형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

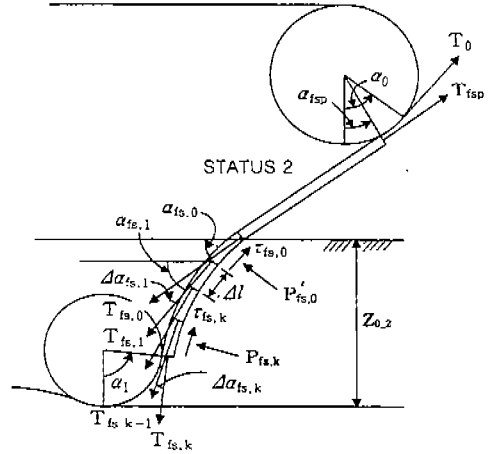


Fig. 4 Forces acting on elements of track segment between sprocket and first roadwheel

$$T_{fs,k} \cos \Delta\alpha_{fs,k} = T_{fs,k-1} + b \Delta l \tau_{fs,k-1}$$

$$T_{fs,k} \sin \Delta\alpha_{fs,k} = b \Delta l p_{fs,k-1} \quad (2)$$

여기서,

$T_{fs,k}$  : 레도부분의  $k$  번째 요소의 장력

$T_{fs,k-1}$  : 레도부분의  $k-1$  번째 요소의 장력

$\Delta\alpha_{fs,k}$  :  $k-1$ 과  $k$  번째 요소간의 각도 차

$\tau_{fs,k-1}$  :  $k-1$  번째 요소에서의 전단응력

$p_{fs,k-1}$  :  $k-1$  번째 요소에서의 수직응력

(단,  $Z \leq 0$ 이면,  $\tau_{fs,k-1} = p_{fs,k-1} = 0$ )

스프로킷상의 임의의 탈출각  $\alpha_{fsp,i}$ 에 대해, 레도부분의 임의 요소에서의 좌표와 장력은 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다. 그러나 초기단계에서 레도와 스프로킷이 분리되는 스프로킷상의 각  $\alpha_{fsp,i}$ 는 알 수 없다. 따라서 식 (1)로부터 구한 스프로킷상의 임의의 각에 대해 식 (2)로부터 구

한 궤도부분의 좌표값이 첫 번째 전륜과 접하고, 동시에 그 점에서의 궤도요소와 전륜상의 기울기가 같을 때까지 위의 과정을 반복하여 수행한다. 위의 조건이 만족될 때 계산은 완료되고 그 때, 궤도가 분리되는 스프로킷상의 탈출각과 첫 번째 전륜상의 진입각, 그리고 궤도부분의 형상과 임의 위치에서의 장력을 동시에 결정할 수 있다.

n개의 전륜으로 구성된 궤도형차량에 대해, 전체 궤도계의 형상은 위의 식 (1)과 (2)를 마지막 전륜과 궤도부분까지 확대 적용하여 반복 수행함으로써 결정할 수 있다. 그 때, 전체 궤도계에 대해 수직과 수평 및 모멘트의 평형상태를 조사하고, 세 가지 평형조건이 만족될 때까지 궤도형차량의 기울기와 침하를 변화시켜가며 앞의 과정을 반복 수행한다. 따라서 세 가지 평형조건이 만족될 때 전체 궤도계의 해석은 완료되고, 그 때 식 (3)과 같이 궤도형차량의 견인력을 구할 수 있다.

$$DP = DP_w + DP_s + DP_{fs} \quad (3)$$

여기서,  $DP_w$  : 전륜부분에서의 견인력

$DP_s$  : 궤도부분에서의 견인력

$DP_{fs}$  : 스프로킷과 첫번째 전륜사이  
궤도부분에서의 견인력

$$DP_w = 2b \sum_{n=1}^{N_n} \left[ \left( \int_{\frac{\pi}{2} - \alpha_n}^{\frac{\pi}{2}} \tau(\theta) \sin \theta r d\theta - \int_{\frac{\pi}{2} - \alpha_n}^{\frac{\pi}{2}} p(\theta) \cos \theta r d\theta \right) + \left( \int_0^{\beta_n} \tau(\theta) \cos \theta r d\theta + \int_0^{\beta_n} p(\theta) \sin \theta r d\theta \right) \right]$$

$$DP_s = 2b \Delta l \sum_{n=1}^{N_n-1} \sum_{k=1}^{N_n} [\tau_{sn,k} \cos \beta_{sn,k} - p_{sn,k} \sin \beta_{sn,k}]$$

$$DP_{fs} = 2b \Delta l \sum_{k=1}^{N_n} [\tau_{fs,k} \cos \alpha_{fs,k} - p_{fs,k} \sin \alpha_{fs,k}]$$

## 2.3 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 (TPPMTV98)

견인성능 예측 모델로부터 주어진 토양조건에서 궤도형차량의 견인성능을 예측할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램(Tractive Performance Prediction Model for Tracked Vehicles ; TPPMTV98)을 개발하였다.

TPPMTV98은 토양변수와 궤도형차량의 체원에 관한 입력자료로부터 궤도형차량의 궤도아래에서의 침하분포, 접지압분포, 전단응력분포 등을 계산하여 그 결과를 그래픽으로 나타낼 수 있고, 차량의 성능척도인 추진력, 운동저항, 견인력, 견인효율 등을 차량슬립의 함수로서 예측할 수 있다. TPPMTV98은 C-언어로 작성하였으며 운영방식은 사용자가 편리하도록 자료를 입력한 후, 그 결과를 파일로 저장하거나 그래픽으로 볼 수 있도록 구성하였다. 프로그램은 데이터입력부(File), 견인성능 계산부(Calculation) 및 그래픽 출력부(Show graph)의 3개의 주요 부분으로 구성되었으며, Fig.5에 시뮬레이션 프로그램의 전체 구성을 나타내었다.

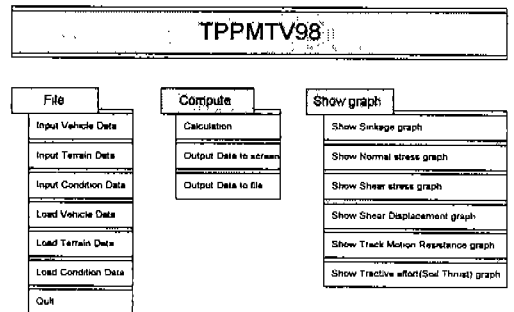


Fig.5 Schematic Diagram of TPPMTV98

## 3. 견인력 시험

수학적모델로부터 개발한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램(TPPMTV98)의 유효성을 검증하기 위해 실제 토양에서 궤도형차량을 이용하여 견인력 실험을 수행하였다. 견인력실험을 위해 궤도형차량을 실험목적에 맞도록 개조하였고, 실험시의

토양상태를 측정하기 위해 토양물리성 측정장치인 베바메타(Bevameter)를 제작하여 견인력실험을 수행하기 전에 토양의 성질을 측정한 후 견인력 실험을 수행하였다.

### 3.1 토양물리성 측정

견인력실험이 수행된 실험토양의 특성을 측정하기 위해 베바메타를 제작하였다. 베바메타는 크게 2개의 독립된 시스템, 즉 평판재하시험(plate penetration test) 장치와 전단시험(shear test) 장치로 구성되었다.

평판재하시험장치는 토양의 압력-침하관계와 반복하중에 대한 반응특성을 측정할 수 있다. 측정된 압력-침하관계로부터 차량의 침하량을 예측하고, 반복하중에 대한 반응특성으로부터 토양의 회복정도를 구명하여 다축차량 또는 전륜들의 연속적인 통과효과(multi pass effect)에 대한 토양의 반응특성을 예측할 수 있다.

전단시험장치는 토양의 전단응력-전단변위 특성을 측정하여 이로부터 토양과 접하는 차량주행부에서 산출되는 슬립-추진력관계를 구명할 수 있다. 한편, 베바메타는 측정의 기동성과 동력원의 공급을 위해 LG기계(주)의 소형굴삭기 LGX 100의 굴삭부를 개조하여 장착하였다. Fig.6은 토양물리성을 측정하기 위해 제작된 베바메타의 외형도를 보여주고 있다.

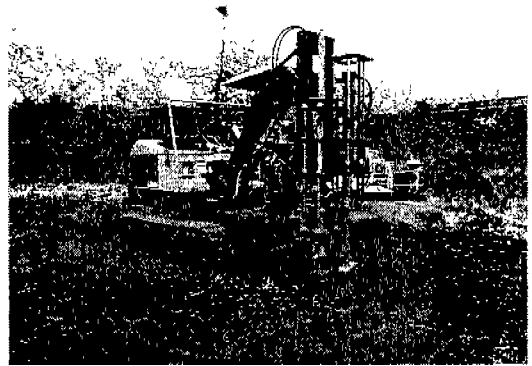


Fig. 6 Overall view of the bevameter for measuring soil properties

한편, 견인력실험이 수행된 실험토양에서 베바메타를 이용하여 측정한 자료로부터 유도된 토양변수들 Table 1에 나타내었다.

### 3.2 견인력 측정

견인력 측정장치는 궤도형시험차량과 시험차량에 수평하중을 가해주기 위한 하중차량으로 구성되었다. 견인력측정을 위해 사용된 시험차량은 삼력기계(주)에서 생산한 궤도형 소형 운반차량(SCC50D)으로서 본 연구의 실험목적에 적합하도록 궤도장력과 슬립 등을 측정하고, 또한 전륜의 수와 위치 등을 조절할 수 있는 장치를 구성하였다. 한편, 하중차량은 대동(주)의 22마력 트

Table 1 Characteristics of soil used in traction test

parametar derived from plate sinkage tests, $k_c$	: 108.6748	[kN/m <sup>n-1</sup> ]
parametar derived from plate sinkage tests, $k_\phi$	: 3021.6348	[kN/m <sup>n+2</sup> ]
plate sinkage exponent, n	: 1.2624	
unloading-reloading parameter, $k_u$	: 15751	[kN/m <sup>3</sup> ]
unloading-reloading parameter, $A_u$	: -102000	[kN/m <sup>4</sup> ]
soil cohesion, c	: 2.8026	[kN/m <sup>2</sup> ]
soil internal friction angle, $\phi$	: 33.2288	[degree]
soil shear deformation modulus, K	: 0.0105	[ m ]
unit weight, $\gamma$	: 14.34	[kN/m <sup>3</sup> ]
moisture content(d.b.), $u$	: 18.92	[ % ]

랙터를 이용하였으며, 하중차량에는 견인력실험 시 측정자료를 수집하기 위한 자료수집장치를 구성하였다. Fig.7과 Fig.8에 견인력 실험에 사용된 시험차량과 하중차량을 나타내었다.

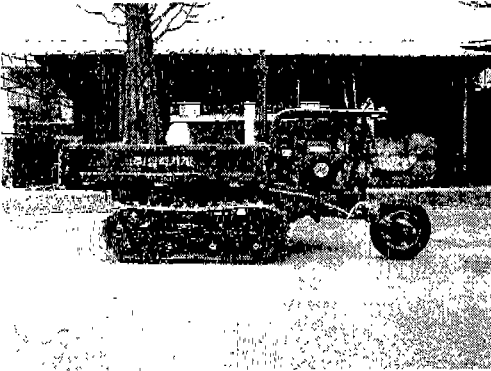


Fig.7 View of test vehicle

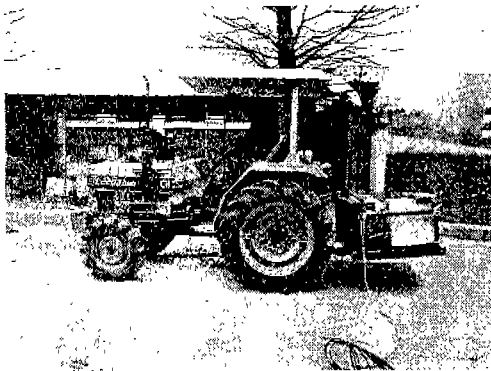


Fig. 8 View of load vehicle

### 3.3 견인력 실험 방법

견인력실험은 Fig.7에 나타난 궤도형차량에 대해 차량무게, 초기궤도장력, 전륜수 등의 설계인자를 실험목적에 적합하도록 조정하여 각각의 설계인자를 변화시킨 차량조건에 대해 견인력 실험을 수행하였다(table 2).

즉, 초기장력 0.49kN, 전륜수 4개, 차량무게 5.39kN의 설계변수를 갖는 기준차량(reference vehicle)과 기준차량에 대해 초기장력을 0.98kN, 전륜수를 3개, 차량무게를 4.606kN으로 각각 하

나의 변수만을 변화시킨 세 경우의 다른 조건을 갖는 차량(vehicle II, vehicle III, vehicle IV)을 포함한 총 4 종류의 다른 차량조건을 갖는 궤도형 차량을 이용하여 각 차량조건별로 5반복으로 견인력 실험을 수행하였다.

Table 2 Design conditions of vehicles for drawbar pull test

Factors	Initial track tension (kN)	Vehicle weight (kN)	Road wheel number	Difference to reference vehicle
Reference vehicle	0.49	5.39	4	-
Vehicle II	0.98	5.39	4	Initial track tension
Vehicle III	0.49	5.39	3	Road wheel number
Vehicle IV	0.49	4.61	4	Vehicle weight

## 4. 결과 및 고찰

본 연구에서 개발한 견인성능 예측 모델의 유효성을 검증하기 위해, 수학적 모델로부터 개발한 TPPMTV98에 의해 예측된 결과를 견인력실험 결과와 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

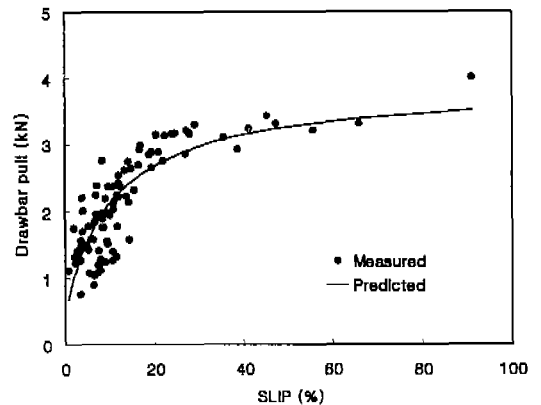


Fig. 9 Predicted and measured drawbar pulls with slip for reference vehicle

Fig.9~Fig.12는 기준차량, 차량Ⅱ, 차량Ⅲ 및 차량Ⅳ에 대해 슬립에 변화에 따라 측정된 견인력과 예측된 견인력의 결과를 나타내고 있다. 각각의 그림에서 볼 수 있듯이, 4가지 차량조건 모두에 대해 슬립의 변화에 따라 예측된 견인력은 전체 슬립구간에 걸쳐 측정된 견인력과 거의 유사한 경향을 나타내었고, 각각의 슬립에서 예측된 견인력은 4가지 차량조건 모두에 대해 측정된 견인력과 잘 일치하는 것으로 나타났다.

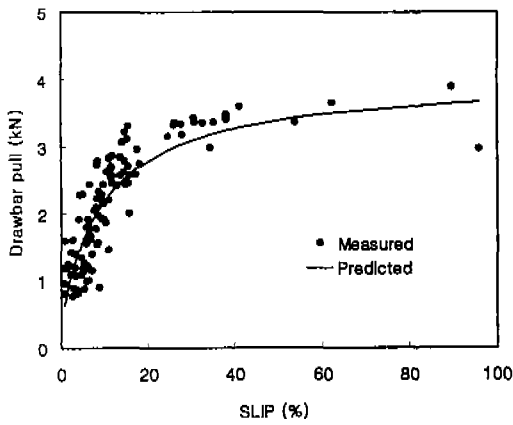


Fig.10 Predicted and measured drawbar pulls with slip for for vehicle II

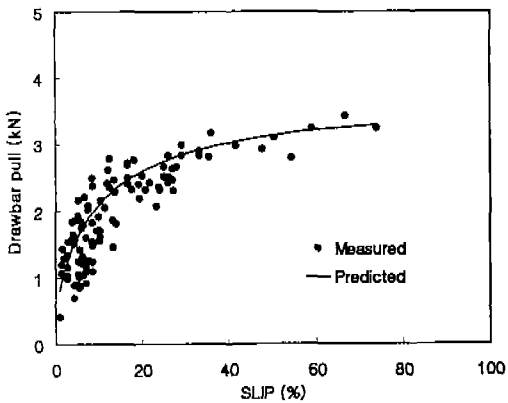


Fig.11 Predicted and measured drawbar pulls with slip for vehicle III

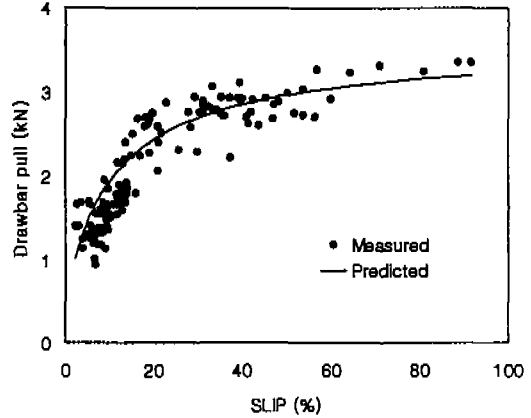


Fig.12 Predicted and measured drawbar pulls with slip for vehicle IV

Fig.13~16은 4가지 차량조건에 대한 예측치와 측정치간의 상관관계를 나타낸 결과로서, 결정계수( $R^2$ )는 각각 0.7033, 0.7623, 0.7362, 0.8341이고, 회귀계수는 각각 1.039, 1.0594, 0.9958, 1.1533으로 예측치와 측정치간에는 높은 상관관계를 나타내고 있어, 4가지 차량조건에 대한 견인력 예측결과는 측정치와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

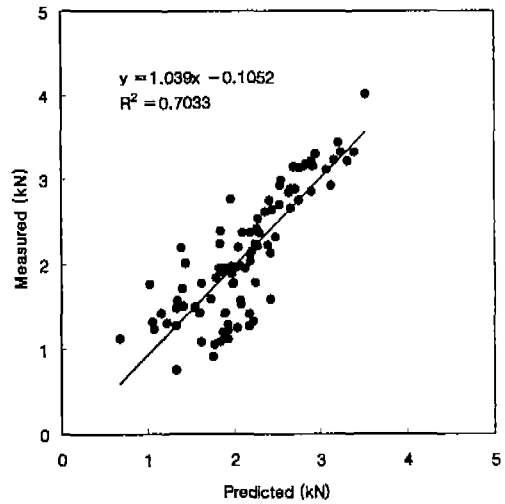


Fig.13 Comparisons of measured and predicted drawbar pulls for reference vehicle



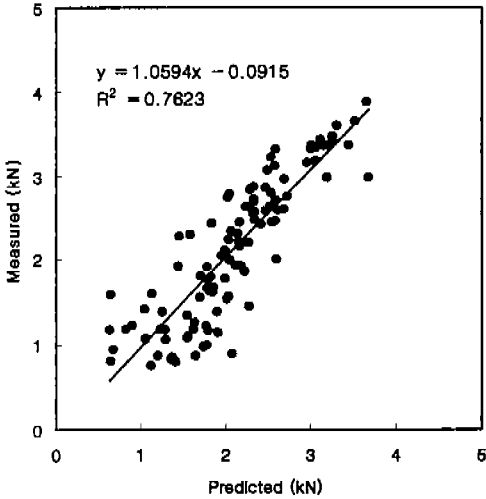


Fig.14 Comparisons of measured and predicted drawbar pulls for tracked vehicle II

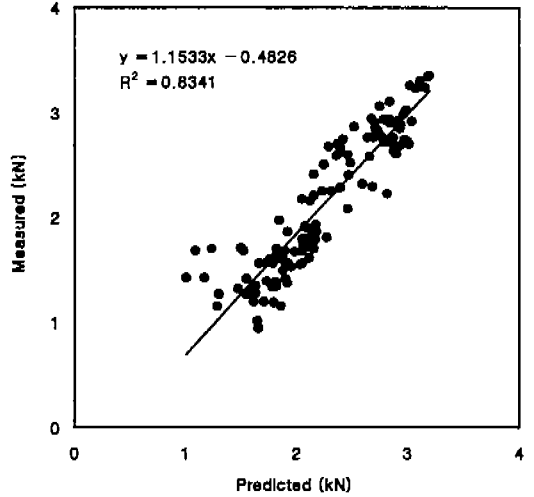


Fig.16 Comparisons of measured and predicted drawbar pulls for tracked vehicle IV

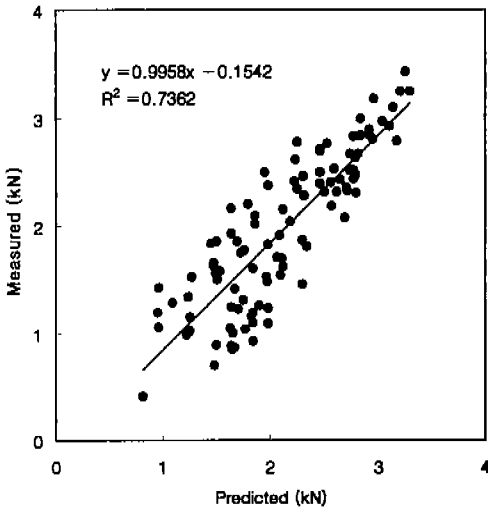


Fig.15 Comparisons of measured and predicted drawbar pulls for tracked vehicle III

Fig.9~Fig.16의 결과로부터, 본 연구에서 개발한 견인성능 예측모델은 주어진 토양상태에서 궤도형차량의 견인력을 잘 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 토양특성과 궤도형차량의 주요 설계변수간의 상호작용을 구명하여 궤도형차량의 견인성능을 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하고, 이로 부터 궤도형차량의 견인성능을 종합적으로 평가할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 TPPMTV98을 개발하였다. 개발된 모델의 유효성은 실제 토양에서 궤도형차량을 이용하여 측정된 결과와 수학적 모델로부터 개발한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 TPPMTV98에 의해 예측된 결과를 비교함으로써 그 유효성을 검증하였다.

유효성 검증결과, 차량무게, 초기궤도장력, 전륜수 등의 설계인자에 변화를 준 4가지 차량조건 모두에 대해, TPPMTV98을 이용하여 슬립의 변화에 따라 예측된 견인력은 전체 슬립구간에 걸쳐 측정된 견인력과 잘 일치하는 것으로 나타났다. 한편, 4가지 차량에 대한 예측치와 측정치간의 회귀계수는 각각 1.039, 1.0594, 0.9958, 1.1533으로서 높은 상관관계를 나타내어 견인성능 예측 모델은 주어진 토양조건에서 다양한 설계조건을 갖는 궤도형차량의 견인력을 매우 정확

하게 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발한 시뮬레이션 프로그램 TPPMTV98은 궤도형차량의 성능예측뿐만 아니라 성능향상을 위한 설계에도 매우 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. M.G.Bekker, "Theory of land locomotion", University of Michigan Press, 1956.
2. M.G.Bekker, "Introduction to terrain vehicle system", University of Michigan Press, 1969.
3. K.Kogure, Y.Ohira and H.Yaaguchi, "A simplified method for the estimation of soil thrust exerted by a tracked vehicle", Journal of Terramechanics, Vol. 19, No. 3, pp. 165-181, 1982.
4. K.Kogure, Y.Ohira and H.Yamaguchi, "Prediction of sinkage and motion resistance vehicle using plate penetration test", Journal of Terramechanics, Vol. 20, No. 3/4, pp. 121-128, 1983.
5. T. Muro, "Tractive performance of a bulldozer running on weak ground", Journal of Terramechanics, Vol. 26, No. 3/4, pp. 249-273, 1989.
6. J.A.Okello, "Prediction and experimental validation of the field tractive performance of a rubber track unit", Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 59(2), pp. 163-171, 1994.
7. J.Y.Wong, Garber,M, and Preston-Thomas, J., "Theoretical prediction and experimental substantiation of the ground pressure distribution and tractive performance of tracked vehicles", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 198D, No. 15, pp. 265-285, 1984.
8. J.Y.Wong, "Terramechanics and off-road vehicles", Elsevier Publishers, 1989.