

# 軟弱地에서 相似性 原理를 利用한 車輪의 性能分析에 관한 研究

## Similitude Study of Performance of Lugged Wheel on Soft Soils<sup>+</sup>

이규승\*

K.S. Lee

### Summary

A dimensional analysis was carried out to investigate if model agricultural radial tire can predict the tractive performance of prototype tires. Experimental data was analyzed to prove the results of dimensional analysis.

The results was summerized as follows :

1. When the model and prototype tires are tested under the same soil conditions, inflation pressure, slip and dynamic load, traction coefficient ratio between two tires depend on the geometry of two tires.
2. According to the regression analysis of the experimental data, traction equation parameters of the prototype tires can be predicted from the that of model tire
3. Predicted traction coefficient of prototype tire, calculated from the traction equation paramters, showed good correlation with that of experimental results. Thus it was possible to predict net and gross traction of prototype tire from the model traction equation parameters.

### 1. 緒 論

1930년대 부터 철車輪을 대치하여 농용트랙터의 牽引裝置로 사용되어지기 시작한 低壓 광폭타이어는 그의 牽引性能에 있어서 鐵車輪에 비해 뛰어나다. 그러나 아직도 農用車輪이 작업을 하는 대부분의 연약한 圃場상태에서 牽引效率은 50% 미만인 것으로 보고 되고 있다.<sup>(3)</sup> 위와 같이 엔진의 동력을 충분히 유용한 에너지로 전환시키지 못하는 이유는 牽引裝置에 기인한다고 알려져 있다.

牽引裝置의 적절한 설계를 위해 오래전부터 牽引裝置와 토양간의 相互作用에 대한 많은 연

구가 수행되어 왔으나 아직도 충분히 分析되어 지지 않고 있는 실정이다. 이는 牽引裝置에 대한 土壤反作用에 관한 충분한 지식의 결핍에서 기인한다고 볼 수 있다. 이러한 土壤反作用에 대한 기존의 이론적 배경은 고전적인 土質力學에 근거를 두고 있으며, 이는 주로 荷重에 대한 土壤의 복잡한 현상을 靜的인 관점에서 고려한 것이다. 그러나 農用車輪이 작업을 하는 연약한 圃場狀態 下에서의 車輪의 土壤에 대한 荷重은 靜的이라기 보다는 動的이다. 따라서 車輪-土壤 상호 작용을 순수한 해석적 방법에 의해 分析한다는 것은 매우 어렵다. 또한 시작기에 의한 체계적인 실험은 이 시스템에 포함된 많은 變數때문에 설

+ 본 연구는 1991년도 연암문화재단 교수 해외연구비에 의해 미국 캘리포니아 주립대학교(Davis 소재)에서 수행되었음.

\* 성균관대학교 농과대학 농업기계공학과 교수

계변경과 재실험에 따른 시간과 경비가 많이 소요되어 바람직한 방법이 아니라고 생각된다. 이와 같이 순수한 해석적인 방법에 의해 車輪의 성능을 해석하기 어려운 경우나, 시작기에 의한 실험이 바람직하지 않은 경우에는 시간과 경비를 줄이기 위해 모델테스트에 의해 車輪의 성능을 豫測하는 방법이 많이 이용되고 있다. 이러한 모델테스트는 相似性 理論에 기초를 두고 있으며 空氣力學 또는 流體力學의 발전에도 큰 역할을 하였다. 따라서 本 研究의 目的은 작은 크기의 모델 농용 래디얼 타이어를 이용하여 原型타이어의 性能豫測 가능성을 次元解析法에 의해 이론적으로 검토하고, 實驗資料에 의해 檢證하는데 있다.

## 2. 타이어-土壤 시스템 分析

타이어-土壤 시스템에 관련되는 變數들은 크게 獨立變數와 從屬變數로 나눌 수 있다. 타이어 성능에 독립적으로 영향을 미치는 變數들을 獨立變數, 타이어 성능을 나타내는 變數들을 從屬變數로 볼 수 있다. 표 1은 타이어-토양 시스템에 관련되는 變數들 중 本 分析에 이용된 獨立變數들을, 표 2는 從屬變數들을 보여주고 있다. 여기서 獨立變數는 타이어, 토양 그리고 타이어-토양 시스템 變數들의 세 그룹으로 크게 나누었다. 각 變數들의 次元은 힘(F), 길이(L), 시간(T)의 基本次元으로 표시하였다.

타이어의 직경(d)과 폭(b)은 타이어에서 가장 중요시되는 幾何學的 變數들이며, 러그의 길이, 높이, 폭 등은 기타 길이변수( $\lambda$ )에 포함시켰다. 이외에 타이어 變數로서 러그의 각도를 포함시켰다. 土壤變數로서는 土壤剪斷力 相關變數인 粘着力(C)과 内部摩擦角( $\phi$ ) 그리고 걸보기밀도( $\gamma$ )등을 택하였으며, 이외에 無次元과 應力の次元을 갖는 2개의 變數를 기타 土壤變數로서 포함시켰다. 타이어-토양 시스템 變數로서는 타이어에 대한 動荷重, 타이어공기압 및 슬립을 포함시켰다. 이외에 시스템 變數로서 走行速度, 타이어-토양마찰력 등을 들 수 있다. 그러나

Table 1. Independent tire-soil system parameters

Parameter	Symbol	Dimension
<b>Tire :</b>		
Diameter	d	L
Section Width	b	L
Lug Angle	$\theta$	-
Other Length	$\lambda$	L
<b>Soil :</b>		
Internal Friction Angle	$\phi$	-
Cohesion	C	$FL^{-2}$
Bulk Density	$\gamma$	$FL^{-3}$
Other Soil Property A	$\alpha$	-
Other Soil Property B	$\beta$	$FL^{-2}$
<b>System :</b>		
Dynamic Weight	W	F
Inflation Pressure	P	$FL^{-2}$
Slip	S	-

Clark<sup>(4)</sup> 등에 의하면 走行速度 0.15~1.5 m/s의 범위에서는 슬립이 일정할 경우 走行速度가 牽引力에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보고 되고 있다. 대부분의 實驗速度가 이 범위내에 있으므로 속도를 시스템 變數에서 제외시켰다. 또한 타이어-토양마찰력은 토양이 아주 단단한 경우를 제외하고는 牽引力에 큰 영향을 미치지 않는다고 보고 되고 있다.<sup>(6)</sup> 本 研究에 이용된 대부분의 토양은 비교적 연약한 발토양 일 뿐아니라, 토양 준비작업 등에 의해 연약해진 토양이므로 타이어-토양 마찰력도 시스템 變數에서 제외시켰다. 從屬變數로는 표 2에 나타난 바와 같이 總牽引力과 純牽引力을 分析하였다.

Table 2. Dependent tire-soil system parameters

Parameter	Symbol	Dimension
Gross traction	GT	F
Net tractive	NT	F

위의 變數들로부터 Buckingham의 pi정리에 의해 pi항을 구하면 타이어-토양 시스템 관련

變數가 14개, 基本次元이 2개 이므로 12개의 pi 항을 만들 수 있으며, 이 pi항들로 부터 驅動輪의 牽引力 豫測을 위한 函數關係를 만들면 다음식과 같다.

$$\frac{GT}{W}, \frac{NT}{W} = F\left(\frac{b}{a}, \frac{\lambda}{d}, \theta, \frac{Cbd}{W}, \frac{C}{\beta}, \frac{\gamma d^3}{W}, \phi, \alpha, \frac{Pbd}{W}, s\right) \dots\dots\dots (1)$$

타이어의 形狀, 荷重條件, 타이어 內壓, 그리고 슬립을 일정하게 유지한다면 위 식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{GT}{W}, \frac{NT}{W} = G\left(\frac{Cbd}{W}, \frac{C}{\beta}, \frac{\gamma d^3}{W}, \phi, \alpha\right) \dots\dots\dots (2)$$

따라서 타이어의 形狀, 荷重條件, 타이어내압, 슬립이 일정할 경우 牽引係數는 주로 土壤條件에 대한 函數로 나타내어짐을 알 수 있다. (2)식은 일반적인 土壤狀態下에서는 다음과 같은 식으로 다시 쓸 수 있다.

$$\frac{GT}{W}, \frac{NT}{W} = C_a \left(\frac{Cbd}{W}\right)^{c_1} \left(\frac{C}{\beta}\right)^{c_2} \left(\frac{\gamma d^3}{W}\right)^{c_3} (\phi)^{c_4} (\alpha)^{c_5} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 C<sub>a</sub>는 (2)식의 變數들에 의해 결정되는 無次元 係數이다. 만일 原型타이어(P로 표기)와 모델타이어(m으로 표기)가 同一 土壤條件下에서 實驗되어 진다면 식 (3)은 原形과 모델에 대하여 각각 식 (4)와 (5)같이 된다.

$$\left(\frac{GT}{W}\right)_p, \left(\frac{NT}{W}\right)_p = (C_a)_p \left[\left(\frac{Cbd}{W}\right)_p^{c_1} \left(\frac{C}{\beta}\right)_p^{c_2} \left(\frac{\gamma d^3}{W}\right)_p^{c_3} (\phi)_p^{c_4} (\alpha)_p^{c_5}\right] \dots\dots\dots (4)$$

$$\left(\frac{GT}{W}\right)_m, \left(\frac{NT}{W}\right)_m = (C_a)_m \left[\left(\frac{Cbd}{W}\right)_m^{c_1} \left(\frac{C}{\beta}\right)_m^{c_2} \left(\frac{\gamma d^3}{W}\right)_m^{c_3} (\phi)_m^{c_4} (\alpha)_m^{c_5}\right] \dots\dots\dots (5)$$

式 (4)를 (5)로 나누면 위의 언급한 조건에 의해 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\left(\frac{GT}{W}\right)_p}{\left(\frac{GT}{W}\right)_m}, \frac{\left(\frac{NT}{W}\right)_p}{\left(\frac{NT}{W}\right)_m} = \frac{(C_a)_p}{(C_a)_m} \frac{(b_p^{c_1} d_p^{c_1+3c_3})}{(b_m^{c_1} d_m^{c_1+3c_3})} \dots\dots\dots (6)$$

만일 두 타이어가 同一 土壤條件, 荷重條件, 타이어 내압상태와 슬립상태하에서 실험되어진다면 두 타이어의 純牽引係數와 總牽引係數의 比는 두 타이어의 幾何學的 重要變數인 직경(d)과 폭(b)에 의해 결정됨을 위 식으로부터 알 수 있다. 따라서 위의 언급한 條件下에서 두 타이어가 實驗되어 진다면 두 타이어의 總牽引係數 및 純牽引係數와의 比는 두 타이어의 직경과 폭에 의해 결정되기 때문에 모델타이어에 의해 原型타이어의 純牽引力과 總牽引力의 豫測이 가능하게 된다.

### 3. 材料 및 方法

本 研究의 分析에 이용된 實驗資料는 Upadh-yaya<sup>(14)</sup>에 의해 1987년에 U.C.Davis에서 이루어진 實驗에 의한 것이며, 實驗材料 및 方法을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

#### 가. 公試 材料

本 實驗에는 16.4R 38, 18.4R 38과 24.5R 32의 농용 래디얼 타이어가 사용되었다. 세 타이어에 대한 實驗 空氣壓은 83 kpa과 124 kpa 이었으며, 實驗 垂直荷重은 약 15kN, 21kN, 26kN의 세 수준이었다. 本 實驗은 Capay clay와 Yolo loam의 두 토양타입에 대해 遂行되었다. 表層 12cm까지의 Capay clay의 구성성분은 모래 11.7%, 실트 45.4%, 점토 42.9% 였으며, Yolo loam의 구성성분은 表層 20cm에서 모래 27.4%, 실트 46.6% 그리고 점토가 26% 이었다. 위의 두 토양타입에 대해 表層의 토양조작을 달리함으로써 서로 다른 5개의 土壤條件을 얻을 수 있었다. 實驗圃場의 크기는 각 30m x 180m 이었다. 서로 다른 세 크기의 타이어들은 同一 土壤條件下에서 實驗이 遂行되어졌다. 표 3은 5개의 서로 다른 土壤條件을 얻기 위한 토양조작의 정도를 보여주고 있으며, 耕耘作業機에 의한 土壤加工 깊이는 15cm 이었다.

표 3은 위와 같은 방법에 의해 土壤을 조작한 후 각 토양타입에 따른 圓錐指數, 密度 그리고 水分含量을 試驗前에 測定한 것을 보여주고 있다. 각 實驗 區間에서의 圓錐指數 測定은 36곳을 임의 선정하여 油壓駒動式 표준 콘 페니트로미터를 이용하여 測定하였다. 土壤密度와 水分含量은 實驗區間에서 임의의 18곳을 선정하여 5, 10, 15cm의 깊이에서 測定하였다.

표 4에서 Yolo loam과 Capay clay에 있어서 土壤 水分含量이 현저히 차이가 나고 있음을 알 수 있는데 이것은 두 토양타입에 대한 土壤加工 前 灌溉의 정도가 틀리기 때문이다. 土壤加工前 Capay clay에 대해서는 灌溉에 의해 土壤 水分含量을 높였고, Yolo loam에는 灌溉를 하지 않았다. 위의 각 土壤條件에 대해 위에서 언급한 크기가 서로 다른 세개의 농용 래디얼 타이어에 대한 實驗이 遂行되었다.

나. 實驗 裝置

本 實驗에 이용된 車輪性能測定 實驗裝置는 미국 Davis에 위치한 캘리포니아 주립대학교에서 제작한 것으로서 하나의 실험車輪을 圃場의 원하는 장소에 이동하면서 實驗을 할 수 있는 移動型이다. 車輪 性能 測定裝置의 프레임은 前後 4개의 移動用 바퀴 위에 2組의 17.7m짜리 트랙을 고정시켜 구성하였다. 實驗車輪은 移動裝置(Carriage) 위에 裝着되어 유압구동장치로부터 動力을 전달받는다. 實驗車輪의 實驗 가능한 길이는 12.2m이다. 그림 1은 각종 測定用 센서를 포함한 車輪性能 測定裝置의 개략도를 보여주고 있다.

實驗 가능한 車輪의 직경은 0.46~2m이며 車輪의 폭은 1m까지 實驗이 가능하다. 각종 센서로부터 수집된 자료는 Compbell Scientific Digital Data Aquisition System과 마이크로 컴퓨터에 의해 처리되어 牽引力, 垂直荷重, 토크, 슬립,

Table 3. Soil preparation for five different soil conditions

Soil Condition	Treatment
1	Undisturbed(UD)
2	Disced twice with a heavy stubble disc (SD <sub>2</sub> )
3	Stubble disced two times+disced two times with a finishing disc(SD <sub>2</sub> +D <sub>2</sub> )
4	Stubble disced two times+disced four times with a finishing disc(SD <sub>2</sub> +D <sub>4</sub> )
5	Same with 4th plot+flood irrigated to creat a crust(SD <sub>2</sub> +D <sub>4</sub> R)

Table 4. Soil physical properties before experiment

Soil type	Soil Condition	Item	Cone Index(kpa)	Density(kg/cm <sup>3</sup> )	Moisture content(%)
Yolo loam	UD		30814	1591	6.52
	SD <sub>2</sub>		597.8	1395.5	5.08
	SD <sub>2</sub> +D <sub>2</sub>		509	1329	6.1
	SD <sub>2</sub> +D <sub>4</sub>		418.5	1353	6.38
	SD <sub>2</sub> +D <sub>4</sub> R		1027.6	1378.8	9.72
Capay clay	UD		835.7	1406.5	19.13
	SD <sub>2</sub>		375.17	1102.3	13.7
	SD <sub>2</sub> +D <sub>2</sub>		508	1173.3	12.7
	SD <sub>2</sub> +D <sub>4</sub>		543.8	1178.3	14.08
	SD <sub>2</sub> +D <sub>4</sub> R		364.5	1389	21.9

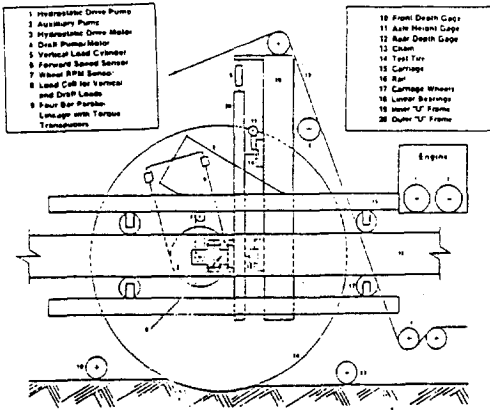


Figure 1. Schematic of the single wheel tester showing the various components of the machine and the locations of various transducers.<sup>(12)</sup>

차륜침하깊이, 타이어변형 등의 자료를 제공한다. 實驗車輪에 대한 垂直荷重은 최고 26.7kN 범위 내에서, 牽引荷重은 13.3kN 범위 내에서 임의로 조절이 가능하도록 設計되었다. 이 實驗裝置는 牽引力과 슬링을 임의로 조절하면서 野外圃場에서 實驗할 수 있게 製作되었다.

다. 分析 方法

本 研究에서는 모델타이어에 의한 原型타이어의 性能 豫測 可能性을 檢討하기 위해 次元解析法에 의한 이론적인 分析과 함께 實驗資料를 이용하여 檢證하기로 하였다. 앞질의 次元解析法으로 부터 유도한 式 (6)에 의하면 앞에서 서술된 實驗條件 下에서는 原型타이어와 모델타이어의 總牽引係數와 純牽引係數의 比는 타이어의 重要 기하학적 變數인 타이어직경(d)과 폭(b)의 함수로 구해졌다. 이로부터 原型타이어의 總牽引力과 純牽引力은 모델타이어의 牽引力들로부터 예측 가능함을 알 수 있었다. 實驗자료에 의한 分析은 Upadhyaya<sup>(14)</sup>가 1987년도에 앞에서 설명한 實驗裝置로 부터 얻은 자료를 이용하였다. Upadhyaya는 이 實驗에서 다음과 같은 牽引力 豫測 모델을 구하였다.

$$\frac{NT}{W} = a[1 - e^{-ci}] \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{T}{r \cdot \omega} = \frac{GT}{W} = a'[1 - b'e^{-c'i}] \dots\dots\dots (8)$$

여기서,

- NT : 純牽引力, kN
- GT : 總牽引力, kN
- W ; 動荷重, kN
- i ; 슬링, (1 - Va/rw) x 100
- r ; 구름반경, m
- ω ; 車輪의 角速度, rad/s
- Va ; 車輪의 實際 速度, m/s
- T ; 차축에 주어진 토크
- a, c, a', b', c' ; 牽引力 豫測式 變數

윗 式에서의 제로컨디션은 實驗圃場에서 슬링이 제로일 때 純牽引力이 전혀 없을 때를 의미한다. 本 分析에서 式(6)은 次元解析에 의해 모델타이어가 原型타이어의 牽引力을 豫測할 수 있는지 이론적으로 檢證하기 위한 것이며, 實驗자료에 의한 檢證에는 實驗式(7), (8)을 이용하였다.

本 分析에서는 모델타이어의 牽引力 豫測式 變數들인 a, c, a', b', c'가 原型타이어의 牽引力 豫測式 變數들을 豫測할 수 있는지 檢토하기 위해 두 變數 그룹간의 關係를 회기분석법을 이용하여 分析하였다. 이 分析에 이용된 타이어들의 牽引力 豫測式 變數들은 앞질에서 언급한 實驗에 의해 Upadhyaya<sup>(14)</sup>가 구한 實驗 자료들이다. 이 경우 모델타이어가 原型타이어의 牽引力을 예측할 수 있기 위해서는 實驗으로부터 구한 두 타이어의 牽引力 豫測式 變數들 (a, c, a', b', c') 사이에는 유의성 있는 상관관계가 성립되어야 한다. 두 變數 그룹간의 회기분석은 a, c, a', b', c'를 별개로 따로 分析하지 않고, 각 變數들간의 범위가 뚜렷이 구별되므로 하나의 회기방정식에 모두 포함시켜 分析하였다. 여기서 c와 c'는 거의 같은 것으로 판명되었기 때문에<sup>(15)</sup> c만 포함시켰으며 a의 범위는 0.35~0.55, c의 범위는 0.04~0.2, a'의 범위는 0.55~0.75, b'의 범위는 0.75~1.00이었다.<sup>(14)</sup>

위의 회귀분석법으로 부터 실험에서 구한 牽引力 豫測式 變數들 사이에 유의성 있는 상관관계가 검증되면, 모델타이어의 牽引力 豫測式 變數들로부터 原型타이어의 牽引力 豫測式 變數들을 구할 수 있다. 모델타이어로부터 구한 原型타이어의 牽引力 豫測式 變數들을 식 (7), (8)에 대입하면, 모델타이어로부터 豫測된 原型타이어의 總牽引係數와 純牽引係數를 구할 수 있다. 진모델 예측 가능성을 좀더 확실하게 검증하기 위해 모델타이어로부터 예측된 原型타이어의 豫測 牽引係數들을 實驗에서 구한 原型타이어의 牽引係數들과 회귀분석법에 의해 분석하였다.

4. 結果 및 考察

세 타이어중 직경이 제일 작은 16.9R 38 타이어를 모델로 그리고 직경이 이보다 큰 18.4R 38 과 25.4R 32의 두 타이어를 原型으로 간주하였다. 여기서 모델타이어는 M, 原型타이어는 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>로 표기하기로 하였다. 세 타이어에 대한 실험공기압은 83kpa과 124kpa 이었으며, 실험 수직하중은 약 15kN, 21kN, 26kN 이었다. 여기서 실험 공기압은 각각 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>로, 실험 수직하중은 W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>로 표기하기로 하였다. 그림 2는 타이어 공기

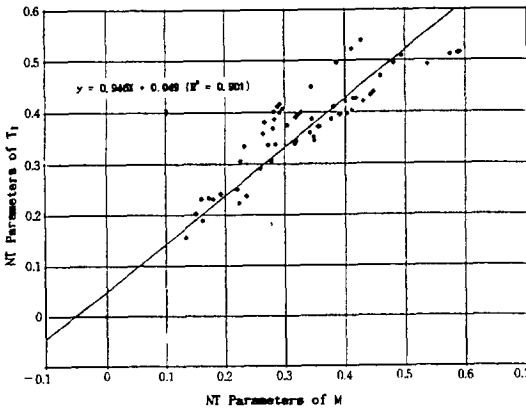


Figure 2. Variation of net traction parameters (a, c) for prototype tire (T<sub>1</sub>) as a function of corresponding parameters for model tire(M).

압 83kpa(P<sub>1</sub>), 실험공기압 21kN(W<sub>2</sub>)일때 실험으로 부터 구한 모델과 原型타이어(T<sub>1</sub>)의 純牽引力 豫測式 變數들 사이의 관계를 보여주고 있다.

위 그래프의 분석결과 실험조건 P<sub>1</sub>W<sub>2</sub> 상태에서는 모델타이어와 原型타이어의 純牽引力 豫測式 變數들 사이에는 유의성 있는 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 따라서 위의 결과로부터 모델타이어의 純牽引力 豫測式 變數로 부터 原型타이어의 純牽引力을 豫測할 수 있음을 알 수 있었다. 그림 3은 위와 동일한 실험조건인 P<sub>1</sub>W<sub>2</sub>상태에서 실험으로 부터 구한 모델타이어와 原型타이어(T<sub>1</sub>)의 總牽引力 豫測式 變數들 사이의 관계를 보여주고 있다.

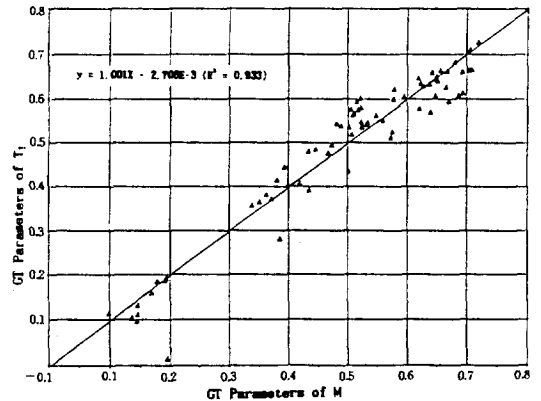


Figure 3. Variation of gross traction parameters (a, b) for prototype tire (T<sub>1</sub>) as a function of corresponding parameters for model tire(M).

위의 그래프에서도 역시 모델타이어와 原型타이어(T<sub>1</sub>)의 總牽引力 豫測式 變數들 사이에는 유의성 있는 상관관계가 있어 모델타이어의 總牽引力으로부터 原型타이어의 總牽引力을 豫測이 가능함을 알 수 있다.

그림 4와 5는 P<sub>1</sub>W<sub>2</sub> 상태에서 모델타이어와 또 다른 原型타이어인 T<sub>2</sub>의 純牽引力과 總牽引力 變數들 사이의 관계를 보여 주고 있다.

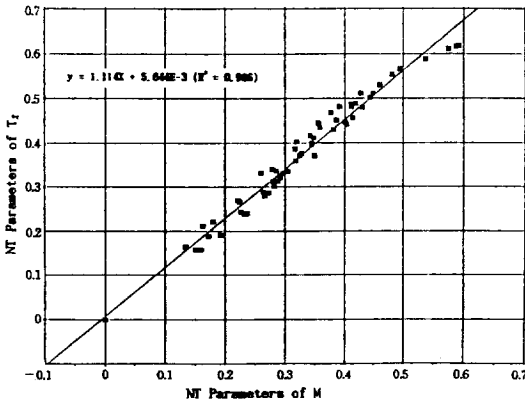


Figure 4. Variation of net traction parameters (a, c) for prototype tire ( $T_2$ ) as a function of corresponding parameters for model tire(M).

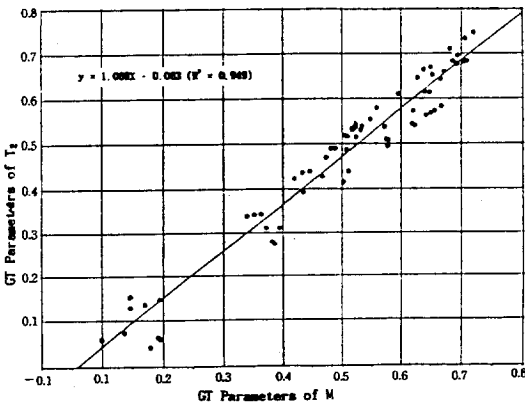


Figure 5. Variation of gross traction parameters (a', b') for prototype tire ( $T_2$ ) as a function of corresponding parameters for model tire(M).

위의 두 그래프로 부터도 모델타이어와 原型타이어( $T_2$ )의 純牽引力과 總牽引力 豫測式 變數들 사이에는 유의성 있는 상관관계가 있는 것으로 분석되어  $P_1, W_2$  상태에서도 모델타이어로 부터 原型타이어( $T_3$ )의 純牽引力과 總牽引力을 豫測할 수 있음을 알 수 있었다. 모델타이어의 牽引力 豫測 變數와 原型타이어의 牽引力 豫測 變數들 사이에는 위와 같은 유의성 있는 상관관계가  $P_1W_1, P_1W_3, P_2W_1, P_2W_2, P_2W_3$ 의 모든 실험

조건에서도 유사하게 나타나 위의 모든 조건下에서 모델타이어로 부터 原型타이어들의 純牽引力과 總牽引力이 豫測될 수 있음을 알 수 있었다. 위의 결과에 근거하여 앞에서 언급한 모든 실험 조건들에 있어서 모델타이어와 原型타이어의 牽引力 豫測式 變數들 사이의 상관관계를 알아보기 위해, 실험으로 부터 구한 모델타이어와 原型타이어( $T_1$ )의 牽引力 豫測式 變數들 사이의 관계를 그림 6에 나타내었다.

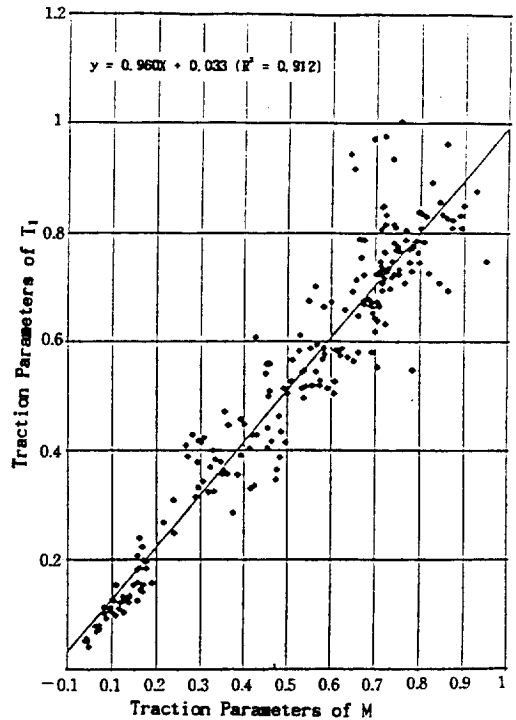


Figure 6. Variation of all traction parameters for a prototype tire( $T_1$ ) as a function of corresponding parameters for a model tire(M).

위의 그림으로 부터도 모델타이어와 原型타이어( $T_1$ )의 牽引力 豫測式 變數들 사이에는 유의성 있는 상관관계가 있음을 알 수 있었으며, 앞에서 설명한 모든 실험조건에 대해 모델타이어에 의해 原型타이어의 純牽引力과 總牽引力을 豫測할 수 있음을 알 수 있었다.

그림 7은 역시 모든 실험조건에 대한 모델타

이어와 原型타이어( $T_2$ )의 牽引力 豫測式 變數들 사이의 關係를 보여주고 있다.

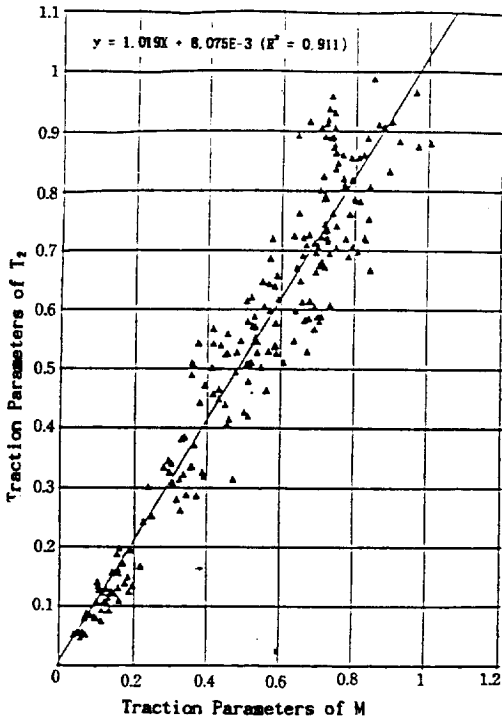


Figure 7. Variation of all traction parameters for a prototype tire( $T_2$ ) as a function of corresponding parameters for a model tire(M)

위의 그림에서도 역시 두 타이어의 牽引力 豫測式 變數들 사이에는 유의성 있는 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

그림 8은 그림 6의 회귀방정식으로 부터 구한 原型타이어( $T_1$ )의 牽引力 豫測式 變數들을 式 7의 牽引力 豫測式에 대입하여 구한 純牽引力 係數와 실험으로 부터 구한 原型타이어의 純牽引力 係數와의 關係를 보여주고 있다. 두 牽引力 係數 사이는 유의성 있는 회귀방정식  $y=1.0462x-0.19$ 으로 나타낼 수 있었다. 위의 式으로 原型타이어 ( $T_1$ )의 純牽引力 係數는 모델타이어의 牽引力 豫測式 變數로 부터 豫測할 수 있음을 알 수 있다.

또 다른 原型타이어( $T_2$ )의 純牽引力 係數도 앞의  $T_1$ 의 경우와 마찬가지로 모델타이어의 牽

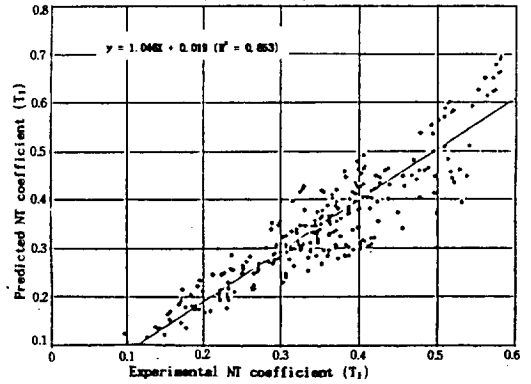


Figure 8. Variation of predicted net traction coefficient of a 18.4R38 tire( $T_1$ ) as a function of experimentally determined net traction coefficient for the same tire.

引力 豫測 變數로 부터 豫測할 수 있었으며, 豫測 牽引力 係數와 實驗 牽引力 係數와의 關係는  $y=1.046x-0.19(R^2=0.87)$ 이었다.(그림 9) 위의 결과로 모델타이어에 대한 實驗으로 부터 原型타이어의 純牽引力 豫測이 가능함을 알 수 있다.

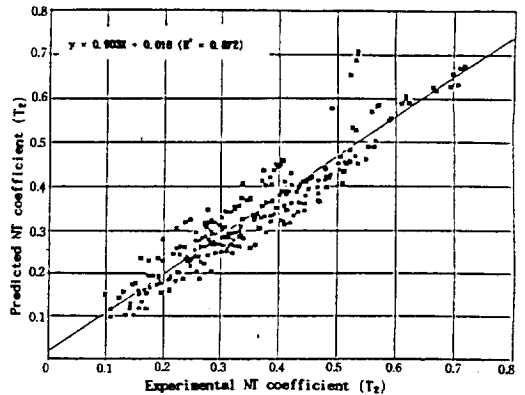


Figure 9. Variation of predicted net traction coefficient of a 24.5R32 tire( $T_2$ ) as a function of experimentally determined net traction coefficient for the same tire.

그림 10은 모델타이어의 牽引力 豫測式 變數들로 부터 구한 原型타이어( $P_1$ )의 變數들을 牽



引力 豫測式(式 7)에 대입하여 구한 豫測 純牽引係數와 實驗으로 부터 구한 實驗 總牽引係數와의 관계를 보여 주고 있다. 이 경우 상관관계식은  $y=0.935X+0.066(R^2=0.85)$  이었으며 유의성이 있었다. 위의 결과로 부터 原型타이어( $T_1$ )의 總牽引 係數도 모델타이어의 牽引力 豫測 變數로 부터 豫測이 가능함을 알 수 있었다. 또 다른 原型타이어( $T_2$ )에 대한 總牽引力 係數 分析에서도 原型타이어의 경우와 거의 같은 결과를 얻을 수 있었다. 위의 결과를 종합하여 볼때 原型타이어의 純牽引力과 總牽引力은 모델타이어의 牽引力 豫測 變數로 부터 豫測이 가능함을 알 수 있었다.

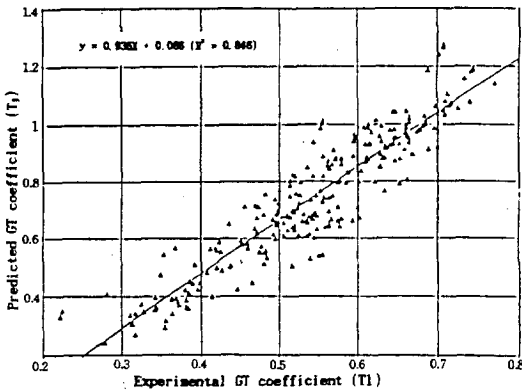


Figure 10. Variation of predicted gross traction coefficient of a 18.4R38 tire( $T_1$ ) as a function of experimentally determined gross traction coefficient for the same tire.

### 5. 結 論

本 研究는 모델 농용 래디얼 타이어의 原型 래디얼 타이어에 대한 牽引力 豫測 가능성을 檢討하기 위해 次元解析法에 의해 이론적으로 檢討하고 實驗資料를 이용하여 檢證하고자 遂行되었다. 실험자료는 캘리포니아 주립대학교에서 이동형 차륜실험장치에 의해 얻어진 자료를 이용하였다. 實驗에 사용된 타이어는 16.4R 38, 18.4R 38, 24.5R 32의 세 크기였으며, 여기서 16.4R

38을 모델로 18.4R 38, 24.5R 32의 두 타이어를 原型타이어로 간주하여 分析하였다. 實驗에 사용된 土壤은 Capay clay와 Yolo loam의 두 종류였다. 실험타이어에 대한 空氣壓은 83kpa과 124 kpa 이었으며, 타이어에 대한 垂直荷重은 15kN, 21kN, 26kN의 세 수준이었다.

分析 結果를 요약하면 다음과 같다.

1. 모델과 原型타이어가 同一 土壤條件, 荷重條件, 空氣壓, 슬립 狀態下에서 實驗되어 진다면, 두 타이어의 純牽引係數 및 總牽引係數의 比는 두 타이어의 幾何學的 形狀에 의해 결정됨을 次元解析法에 의해 알 수 있었다.
2. 실험자료 분석결과 모델 농용 래디얼 타이어와 原型 래디얼 타이어의 牽引力 豫測 變數들 사이에는 회기분석결과 유의성 있는 상관관계를 보여, 모델타이어의 牽引力 豫測 變數들로부터 原型타이어의 牽引力 豫測 變數들을 구할 수 있는 것으로 判斷되었다.
3. 모델타이어의 牽引力 豫測 變數들로부터 구한 原型타이어들의 變數들을 牽引力 豫測式에 대 입하여 구한 豫測 牽引係數와 實驗으로 부터 구한 實驗 牽引係數와의 사이에는 유의성 있는 상관관계를 보였다. 위의 결과로 부터 原型타이어의 純牽引力과 總牽引力은 모델타이어의 牽引力 豫測 變數들로부터 豫測이 가능함을 알 수 있었다.

### • 謝 辭

本 研究를 위해 도와주신 연암 문화 재단과 미국 U.C.Davis의 S.K. upadhyaya 교수님에게 감사드립니다.

### 參 考 文 獻

1. 李揆昇. 1986. 砂土에 있어서 모델 테스트에 의한 車輪의 性能 豫測에 관한 研究. 韓國農業機械學會誌 13(4) : 1-8.
2. 李揆昇. 1990. 砂壤土에 있어서 相似法에 의한 車輪의 牽引力 豫測. 成均館大學校 論文

- 集(科學技術編) 41(1) : 351-363.
3. Clark, S.J. 1986. "Pneumatic-Tire Mechanics and the Tractive Performance of Single, Dual and Tandem Tires Soil." Unpublished Ph.D. Thesis, Purdue University.
  4. Clark, S.J. and J.B. Liljedahl. 1969. "Model Studies of Single, Dual and Tandem Wheels." Trans. of the ASAE 12 : 240-245.
  5. Donald, F. Young. 1969. "Similitude of Soil-Machine Systems." Trans. of the ASAE 11 : 653-657.
  6. Freitag, D.R. 1965. "A Dimensional Analysis of the Performance of Pneumatic Tires on Soft Soils." Unpublished Ph.D. Thesis, Auburn University.
  7. Murphy, Glenn. 1950. "Similitude in Engineering." The Ronald Press Company, New York.
  8. Murphy, Glenn. 1972. "Identifying Soil Dynamic Parameters for Soil-Machine Systems." Trans. of the ASAE 15 : 8-13.
  9. Pierrot, M.C. and W.F. Buchele. 1968. "A Similitude of an Unpowered Pneumatic Tire." Trans. of the ASAE 11 : 673-676.
  10. Schafer, R.L., D.R. Freitag and R.D. Wismer. 1970. "Similitude Studies of Soil-Machine Systems." Journal of Terramechanics, Vol.7, No.2 : 25-59.
  11. Schafer, R.L., D.R. Freitag and R.D. Wismer. 1976. "Application of Similitude to Soil-Machine Systems." Journal of Terramechanics, Vol.13, No.3 : 153-182.
  12. Upadhyaya, S.K., J. Mehlschau, D. Wulfsohn and J.L. Glancey. 1986. "Development of a Unique, Mobile, Single Wheel Traction Testing Machine." Trans. of the ASAE 29 : 1243-1246.
  13. Upadhyaya, S.K., W.J. Chancellor, D. Wulfsohn and J.L. Glancey. 1988. "Sources of Variable in Traction Data." Journal of Terramechanics, Vol.4, No.4 : 249-272
  14. Upadhyaya, S.K., 1988. "Matching Tire Size to Soil Condition. - A Final Report -" The Goodyear Tire and Rubber Co. Akron, Ohio, 44316-0001
  15. Upadhyaya, S.K., D. Wulfsohn and G. Jubbal. 1989. "Traction Prediction Equations for Radial Ply Tires." Journal of Terramechanics, Vol.26, No.2 : 149-175