

驅動輪의 性能豫測에 적합한 土壤變數의 次元解析을
위한 車輪-土壤 시스템의 相似性 研究(II)
- 沈下量 豫測 分析 -

A Similitude Study of Soil-Wheel System for Identifying
the Dimension of Pertinent Soil Parameter (II)
- Sinkage Prediction Analysis -

李 揆 昇*, 鄭 昌 柱**
K. S. Lee, C. J. Chung

Summary

This study was conducted to investigate the applicability of true model theory in a powered lugged wheel-soil system and to examine the possibility of using principles of similitude in investigating the dimensions of soil parameters pertinent to a powered lugged wheel-soil system concerning the sinkage prediction.

The following conclusions were derived from the study;

- 1) The sinkage of prototype wheels proved to be predicted by those of the model wheels for the range of the dynamic weight tested.
- 2) A conditional equation which can be used for the prediction of sinkage of prototype by model test was derived as $n_f = n_g^{-b}$. The range of the numerical value of b , which is the exponent on the length dimension of the soil property α , was found to be $-1.48 \sim -2.54$.
- 3) Considering a relatively wide variation of b values, it was concluded that there are several soil properties which are pertinent to the powered lugged-wheel soil system concerning the sinkage prediction.

1. 緒 論

牽引裝置의 적절한 설계를 위해 오래전부터 牽引 裝置와 土壤과의 상호작용에 대해 많은 연구를 수행 하여 왔으나, 아직 충분히 분석되어 있지 않은 상태 이다. 이와 같이 牽引裝置와 土壤과의 상호작용을 설명 할 수 있는 적절한 牽引理論의 발전이 이루어지고 있지 않는 것은, 牽引力學과 관련된 土壤의 물리적 특성 의 복잡성과 이에 대한 지식의 결핍에서 기인된

다고 볼 수 있다. 많은 實驗에 의해 이와 관련된 土壤變數들이 제시되어 왔으나, 아직도 견인장치-토 양시스템에 관련되는 土壤의 물리적 특성을 충분히 설명하기에는 부적합한 것 같다. 따라서 이러한 土壤의 물리적 특성을 정확히 파악하기 전에는 적절한 牽引理論의 발전이 어렵다고 생각된다. 그러나 이와 같이 기본적인 牽引理論의 결핍에도 불구하고 牽引 시스템의 발전이 상당히 이루어져 왔다. 이러한 발전 은 비슷한 土壤狀態에서 牽引裝置들간의 비교시험 에 의해 이루어진 것이다. 그러나 위와 같은 實驗적

*成均館大學校 農科大學 農業機械工學科
**서울大學校 農科大學 農工學科

인 방법은 많은 노력과 경비가 소요될 뿐 아니라, 牽引力學과 관련된 基本的인 理論의 발전에는 큰 도움이 되지 못했다.

牽引力學과 관련된 土壤의 물리적 특성을 연구하는데 있어서 相似性理論은 상당히 유효한 방법으로 인식되어 왔으며, 많은 농공학자들이 車輪-土壤 시스템에 대한 물리적 기본현상을 이해하기 위해 相似性理論을 이용한 연구를 수행하여 왔다. 이러한 相似性 研究들은 車輪-土壤 시스템과 관련된 물리적 變數들의 영향, 크기 특성 등을 이해하는 데는 크게 도움이 되어 왔다. 그러나 아직 車輪-土壤 시스템의 성능분석에 충분한 土壤變數를 적절한 선택이 이루어지지 않아 많은 연구의 필요성을 느끼고 있다^(2,4). 이와 같은 土壤變數들의 적절한 선택은 우선 車輪-土壤 시스템과 관련된 土壤變數들의 차원을 연구함으로써 그 가능성을 높일 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 다음과 같다.

(1) 러그가 있는 驅動輪의 沈下量 豫測을 위해 驅動輪-土壤 시스템에 있어서 진모델 예측의 가능성을 검토한다.

(2) 러그가 있는 驅動輪-土壤 시스템의 沈下量 豫測에 적합한 土壤變數들의 次元을 연구하는데 있어서 相似性理論의 이용가능성을 검토하여, 이 시스템에 관련된 土壤變數의 次元을 결정한다.

2. 相似法에 의한 車輪-土壤 시스템의 分析

가. 變數와 設計條件

表 1은 본 分析에 이용된 러그가 있는 驅動輪-土壤 시스템 變數들을 보여주고 있다.

위의 변수들로부터 Buckingham의 Pi정리에 의해 Pi항을 구하여 驅動輪의 沈下量 豫測을 위한 함수관계를 만들면 다음 식과 같다.

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{i+j+k})$$

$$\frac{Z}{d} = f(b/d, \epsilon/d, \theta, S, W/\alpha \epsilon^b, \alpha_i/\alpha \epsilon^{(bi-b)}, \beta_j) \dots \dots \dots (1)$$

모델이론에 의하면 모델이 原型의 性能을 정확히 豫

Table 1. Lugged wheel-soil system parameters

Parameters	Symbol	Dimensions
<u>Dependent Parameters</u>		
Sinkage	Z	L
<u>Independent Parameters</u>		
Soil:		
soil property A	α	FL^b
soil property A _i	α_i	FL^{bi}
soil property B _j	β_j	-
Wheel:		
Diameter	d	L
Width	b	L
Lug angle	θ	-
Other Length	ϵ	L
System:		
Dynamic weight	W	F
Slip	S	-

여기서 $i=1,2,\dots,P; j=1,2,\dots,q$

測하기 위하여는 표 3의 設計條件을 만족시켜야 하며, 만일 이 設計條件이 만족된다면, 다음과 같은 예측식을 얻을 수 있다.

$$\pi_{1m} = \pi_1$$

Table 2. Design conditions and similarity requirements in terms of scales.

Design condition	Scales
1) $b/d = (b/d)_m$	1) $n_d = n_b = n_\epsilon$
2) $\epsilon/d = (\epsilon/d)_m$	2) $n_\theta = 1$
3) $\theta = \theta_m$	3) $n_s = 1$
4) $S = S_m$	4) $n_w = n_\alpha n_\epsilon^{-b} = n_f$
5) $W/\alpha \epsilon^{-b} = (W/\alpha \epsilon^{-b})_m$	5) $n_{\alpha i} = n_\alpha n_\epsilon^{(bi-b)}$
6) $\alpha_i/\alpha \epsilon^{(bi-b)} = [\alpha_i/\alpha \epsilon^{(bi-b)}]_m$	6) $n_{\beta j} = 1$
7) $\beta_j = \beta_{jm}$	

표 2의 設計條件을 검토하여 보면 土壤變數 α, α_i 의 次元을 연구할 수 있는 가능성을 제시하여 주고 있다. 만일 α 의 次元이 α_i 의 次元과 같다면 즉 $bi=b$ 라면 設計條件 (6)은 $\alpha_i/\alpha = (\alpha_i/\alpha)_m$ 이 된다.

따라서 $n\alpha_i = n\alpha$ 가 된다. 또는 α 가 다른 차원을 가진 여러 토양의 곱으로 나타나는 경우와 α 가 α_i 의 함수인 경우에는 α_i 는 α 에 포함되기 때문에 設計條件(6)은 없어지게 된다. 이외에 차원을 가진 土壤變數를 포함하고 있는 設計條件은 $n_r = n\alpha_i^{-b}$ 이 남는다. 만일 모델과 原型이 같은 土壤條件에서 작동된다면 $n\alpha = 1$ 이 되어 $n_r = n\alpha_i^{-b}$ 이 만족되면 성립한다. 이러한 가정하에서 식(1)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{Z}{d} = f'(b/d, \ell/d, \theta, S, W/\alpha\ell^b, d, \alpha_i/\alpha, \beta) \dots\dots\dots (2)$$

이러한 식은 동일한 물리적 시스템에 의해 지배되는 모델에도 성립되므로 모델에 대한 식은 다음과 같다.

$$\left(\frac{Z}{d}\right)_m = f'[(b/d)_m, \theta, S_m, (W/\alpha\ell^b)_m, (\alpha_i/\alpha)_m, \beta_m] \dots\dots\dots (3)$$

위의 두 식으로부터 모델이 原型의 性能을 예측하기 위하여는 다음 설계조건을 만족시켜야 한다.

- (1) $b/d = (b/d)_m$ (5) $W/\alpha\ell^b = (W/\alpha\ell^b)_m$
- (2) $\ell/d = (\ell/d)_m$ (6) $\alpha_i/\alpha = (\alpha_i/\alpha)_m$
- (3) $\theta = \theta_m$ (7) $\beta_i = \beta_m$
- (4) $S = S_m$

위의 설계조건을 검토하면 설계조건 (1) (2)는 모델과 原型의 모든 길이 척도(length scale, n_l)를 $n\alpha$ 에 따라 제작하면 성립되며, 설계조건 (3)은 러그의 각도를 모델과 原型에 동일하게 제작하면 성립된다. 설계조건 (4)는 모델과 原型의 슬립을 동일하게 유지하면 성립되며, 설계조건 (6) (7)은 同一 土壤 상태하에서 실험을 하게 되면 성립된다. 이외에 설계조건 (5)가 남게 되는데 이 設計條件이 성립되는지 여부는 실험을 통해서 증명되어야 한다. 만일 W 를 변화시켜가며 실험을 하였을때 모델과 原型의 기본적인 거동이 같고 設計條件 (5)가 만족되면

$\frac{Z}{d} = \left(\frac{Z}{d}\right)_m$ 식이 성립된다. 즉, 진모델이 성립한다. 그러면 앞의 가정으로부터 $n_r = n_i^{-b}$ 식이 성립되게 되며, 次元을 갖은 土壤變數의 길이次元의 지수 b 를 구할 수 있다.

나. 實驗設計 및 分析方法

1) 實驗設計

앞절에서 沈下量 豫測式은 다음과 같이 주어졌다. $Z/d = f(b/d, \ell/d, \theta, S, W/\alpha\ell^b, \alpha_i/\alpha, \beta)$

잊식을 검토하여 보면 왜곡을 초래치 않고 Pi항의 값을 변화시킬 수 있는 독립변수는 $\pi_1 = W/\alpha\ell^b$ 임을 알 수 있다. 여기서 α 는 정의되지도 않고 측정되지도 않았기 때문에 π_1 값을 구할수는 없어도 W 를 변화시켜서 새로운 값을 얻을 수 있다. 만일 W 를 변화시키면서 진모델 예측이 가능할때 $\pi_1 = \pi_{1m}$ 임은 명백하고 $n_r = n_i^{-b}$ 는 성립한다. 이에 따라 $n_r = n_i^{-b}$ 식을 검토할 수 있도록 실험을 설계하였다. 동일토양 조건하에서 슬립과 속도를 일정하게 유지하면서 모델들과 모델들에 대한 동하중을 변화시키도록 하였다. 이의 실험결과 $Z/d = (Z/d)_m$ 식이 성립하여 진 모델이 성립되는 動荷重 값으로부터 힘의 척도(n_r) 즉 W/W_m 값을 구할 수 있다. 세계의 모델과 한개의 원형이 본 실험에 이용되며, 이에 따라 길이 척도와 힘의 척도의 관계를 로그-로그 그래프에 나타내어, $n_r = n_i^{-b}$ 식의 b 값을 구할 수 있다. 실험을 수행하기 전에는 힘의 척도를 알 수 없으므로, 각 車輪 크기에 따라 최대 動荷重을 결정할 수가 없다. 그러나 기존의 일부 실험결과에 의하면 $n_r = n_i^2$ 으로 보고되고 있다. 이에 따라 기존 트랙터의 중량을 고려하여 原型車輪에 대한 動荷重을 결정하고 모델들에 대한 動荷重을 결정하였다.

2) 分析方法

우선 실험데이터를 이용하여 실험車輪의 직경에 대한 沈下量比 (Z/d)와 動荷重 (W)과의 관계를 나타내는 回歸方程式을 최소자승법에 의해 구하였다. 이렇게 구하여진 原型과 모델들에 대한 回歸方程式을 그림 1과 같이 한 그래프에 모두 나타내었다. 실험차원의 직경에 대한 沈荷量比 (Z/d)는 앞으로 沈下量 分析에 자주 언급이 되므로 앞으로는 간단히 沈下比 (sinkage ratio)라고 칭하기로 한다. 만일 $Z/d = c \ln$ 선이 車輪에 가해진 動荷重과 沈下比와의 관계를 나타내는 회귀방정식 중 두 개 이상과 교차하였다면 이 점들에서는 $Z/d = (Z/d)_m$ 식이 성립하며 진모델 예측이 가능하다. 이러한 점들은 W_m 과 W 에 의해 정의되는 힘의 척도값의 계산

을 가능케 한다. 만일 c 값이 변하는 경우에도 계속 해서 교차점이 나타나면 이는 또다른 힘의 척도값을 제시하게 된다. 沈下量分析의 경우에도 견인력 분석과 같이 다음과 같은 방정식으로부터 교차점을 찾아, 실험動下重의 범위내에 있는 動下重값으로부터 힘의 척도값을 계산하였다.

$$Z/d=c \dots\dots\dots (4)$$

$$Z/d=a_1W+a_2W^2+a_3W^3 \dots\dots\dots (5)$$

$$0=-c+a_1W+a_2W^2+a_3W^3 \dots\dots\dots (6)$$

윗 식으로부터 구한 動荷重과 길이척도로부터 $n_r = n_e^b$ 식에 의해 b 값을 계산할 수 있다.

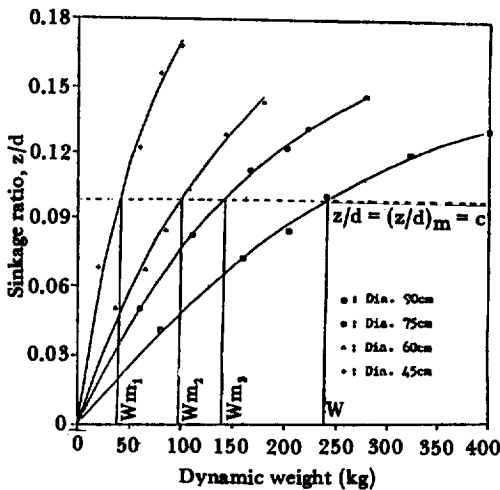


Fig. 1. Sinkage ratio versus dynamic weight curves for computing force scales in sinkage analysis.

3. 材料 및 方法

材料 및 方法은 제 1보에서 보고한 바와 같다.

4. 結果 및 考察

沈下量 (Z)은 牽引力 (P)과 동시에 측정이 되었으므로 土壤가공에 의한 土壤條件의 조정등 모든 實驗條件은 제 1보에서 보고한 바와 같다.

牽引力의 경우와 마찬가지로 動荷重이 없는 경우에는 침하량도 없으므로, 動荷重과 침하비의 관계

식은 원점을 통과하는 3차식으로 하였다. 침하량의 분석에 있어서도 牽引力의 경우와 마찬가지로 회귀방정식에 의해 구한 힘척도의 값을 이용하여, 모델車輪의 性能曲線을 확장하여 原型車輪의 性能曲線과 비교하여 진모델 豫測가능성을 검토하였다. 본 分析에 있어서 모델車輪의 性能曲線은 다음과 같은 방법에 의해 확장하였다.

우선 原型車輪과 모델車輪의 性能곡선은 다음과 같이 나타낼 수 있다. (그림 2)

$$Z/d=a_1W+a_2W^2+a_3W^3$$

$$(Z/d)_m=a_{1m}W_m+a_{2m}W_m^2+a_{3m}W_m^3$$

그림 2에서 $Z/d=c$ 인 直線과 두 性能曲線이 만나는 점에서는 $Z/d=(Z/d)_m=c$ 가 성립되어 진모델 豫測이 가능한 점이 되며, 이 두 점의 좌표는 $A(W_m, (Z/d)_m)$, $B(W, Z/d)$ 이다. 이 경우 $W/W_m = n_r$ 이므로 $W=n_r \times W_m$ 이 된다. 따라서 A , B 점의 좌표에 있어서 $Z/d=(Z/d)_m=c$ 이며 $W=n_r \times W_m$ 이므로 A 점의 좌표를 이용한 B 점의 豫測 좌표는 $B'(W_m \times n_r, (Z/d)_m)$ 가 된다.

위와 같이 진모델 豫測이 되는 경우에는 B 점의 좌표는 정확히 B' 점의 좌표와 같다. 즉 모델에 의한 原型의 性能豫測이 정확히 가능하다. 위와 같은 방법에 의해 $0 \leq W_m \times n_r \leq W_r$ 의 범위내에서 모델의 각 점을 확장하면 모델車輪에 의한 性能 豫測曲線을 얻을 수 있다.

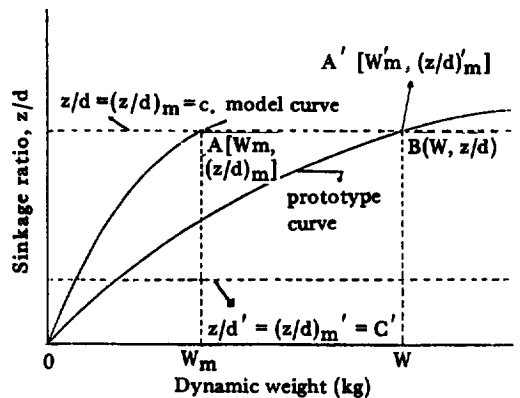


Fig. 2. Extension of model performance curve for sinkage analysis.

그러나 진모델 豫測이 가능한 $Z/d=c$ 인 직선은

Table 3. Physical properties of sandy loam before experiment.

Soil condition \ Item	Passes of subsurface roller	Passes of surface roller	Mean moisture content. (%)	Mean bulk density (g/cc)	Cone index (kg/cm ²)	Remarks
Dry	2	2	7.42	1.38	3.90	soil condition A
	4	4	7.42	1.42	4.21	B
Wet	2	2	17.8	1.56	4.07	C
	4	4	17.8	1.57	4.89	D

그림 2에서 알 수 있듯이 여러개 얻을 수 있으므로 이에 따른 힘척도 값도 여러개 얻을 수 있다. 그러나 만일 힘척도의 값이 $Z/d=c$ 값에 관계없이 일정하다면 모델의 성능곡선은 위와 같은 방법으로 모든 점을 확장하였을 경우 완전히 일치하게 되어 완벽한 진모델 豫測이 가능하게 된다. 따라서 $Z/d=c$ 값이 변함에 따라 변하는 힘척도 값의 분산정도가 모델 車輪의 침하량 豫測에 어느 정도 영향을 미치는지 알아보기 위해, 실제 實驗에 의해 구한 $\log n_f$ 와 $\log n_i$ 의 직선회귀방정식으로부터 길이척도에 따른 힘척도의 값을 구하여 위에서 언급한 방법에 의해 모델 車輪의 성능곡선을 확장하여 原型 車輪의 성능곡선과 비교하기 위하여 동일 그래프상에 나타내었다. 이 방법에 의하면 모델 車輪에 의한 原型 車輪의 성능 豫測 가능성 즉 진모델 豫測 가능성을 검토할 수 있게 된다. 본 분석은 편의상 土壤타입 별로 나누어 하였다.

가. 砂壤土

砂壤土에서의 실험은 수분함량을 두 수준으로 하여 실시하였다.

표 3은 實驗直前に 측정된 값이다. 각 토양 조건은 편의상 표 3에 나타난 것처럼 土壤條件 A, B, C, D라고 칭하기로 한다.

그림 3은 土壤條件 A(건조 사양토, 토양가공 1회 왕복)에 있어서 직경 90cm의 原型 車輪과 직경 75, 60, 45cm의 세개 모델 車輪들의 동하중과 침하비와의 관계를 동일 그래프상에 나타낸 것이다. 각 점

들은 실험치를 나타낸 것이고 실선으로 표시된 그래프들은 이 점들로부터 최소자승법에 의해 구한 회귀방정식의 그래프들이다. 이 그림에 의하면 $Z/d=c$ 인 직선은 c 가 거의 0에 가까운 값에서부터 原型 車輪과 모델 車輪들의 성능곡선들과 교차하기 시작하고 있다. 그러나 동하중이 아주 적은 경우는 실제 실험 동하중의 범위에 있지 않으므로 고려치 않기로 했으며 $Z/d=0.02$ 인 직선부터 분석에 이용하기로 했다. $Z/d=c$ 인 직선과 4개의 성능곡선들과의 교점은 $Z/d=0.02$ 에서부터 0.01간격으로 c 값을 증가시켰을 때 $Z/d=0.13$ 까지 나타났다. 이 교점들은 $0=c+a_1W+a_2W^2+a_3W^3$ 의 식에 의해서 구했으며 실험 동하중 범위를 벗어나는 값은 고려

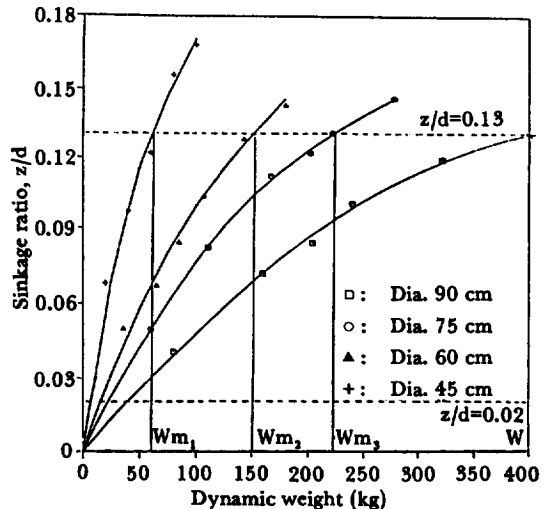


Fig. 3. Sinkage ratio versus dynamic weight curves for computing force scales n_f in sinkage analysis on soil condition A.

Table 4. Values of force scale showing true model prediction in sinkage analysis on the soil condition A.

$n_f \backslash z/d$.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09	.10	.11	.12	.13
1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.20	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8
1.50	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.6
2.00	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.3	6.6

치 않았다. 이 점들은 진모델 예측이 가능한 동하중들의 값을 의미하며, 이들로부터 W/W_m 에 의해 힘척도의 값을 구할 수 있었다.

표 4는 그림 3으로부터 구한 힘의 척도를 길이척도와 침하비 z/d 에 따라 정리한 것이다.

그림 4는 표 4에 나타난 데이터를 이용해 $n_f = n_l^{2.54}$ 식에서의 b 값을 구하기 위해 힘의 척도와 길이척도의 관계를 로그-로그 그래프에 나타낸 것이다. 각 점들은 진모델 예측치로부터 구한 실험데이터이며 직선은 이 점들로부터 구한 회귀방정식을 보여주고 있다. 표 4와 그림 4에 의하면 토양조건 A에 있어서 진모델 예측이 가능한 침하비의 범위는 0.02에서 0.13까지 넓은 범위에 걸쳐 나타나고 있으나, 이에 따른 진모델 예측이 가능한 힘의 척도는 대부

분 2~3개의 값에 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 이로부터 모델車輪에 의한 原型車輪의 沈下量 豫測 가능할 것으로 예상된다. 그림 4에 있어서 직선의 회귀방정식은 $n_f = n_l^{2.54}$ 로서 b 의 값은 -2.54로 나타났다. 이것은 土壤條件 A에 있어서 車輪의 沈下量과 관련이 있는 車輪-土壤 시스템이 土壤變數들의 次元이 동일하다고 가정했을 때 또는 土壤變數들의 次元을 하나의 次元으로 나타낼 수 있다고 가정했을 때 이 토양변수가 갖는 길이 차원의 지수값이 -2.54가 되는 것을 의미한다.

토양조건 A에 있어서 모델車輪들의 沈下學動과 原型車輪의 沈下學動을 살펴보고, 沈下量 豫測에 있어서 진모델 豫測이 가능한지 검토하기 위해 앞에서 설명한 바와 같이 모델車輪들의 沈下 性能曲線을 확장하여 原型車輪들의 침하 性能曲線과 동일 그래프상에 나타내었다. (그림 5) 이 그래프들을 검토하여 보면 모든 그래프들에 있어서 모델 車輪들의 沈下性能 豫測曲線들과 原型車輪들의 沈下性能曲線의 모양은 교차점 없이 거의 같은 것을 알 수 있다. 즉 모델과 原型車輪의 沈下學動이 유사한 것을 보여주고 있다. 모델車輪들과 原型車輪들의 沈下比는 그 차이가 상당히 큰 경우가 있는데(그림 a, b, e) 이것은 직경 60cm 車輪의 沈下比가 다른 車輪에 비해 적게 나타났기 때문이다. 그 차이는 實驗 動荷重 범위내에서는 제일 큰 경우가 10% 안밖으로 큰 편이 아니며 그 외의 경우는 모델과 原型에 있어서 沈下比가 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다. 이와같이 沈下學動이 유사하고 모델에 의한 原型의 沈下量 豫測이 가능한 것은 진모델 豫測이 가능한 힘척도 값의 분산이 적은데서 기인한 것이라 판단되었다. 따라서 토양조건 A에서는 沈下量 豫測에 있어서 진모델 豫測이 가능한 것으로 판단되었다. 이에 의해 건조 砂壤土에 있어서 車輪-土壤 시스템의 沈下學動에 영

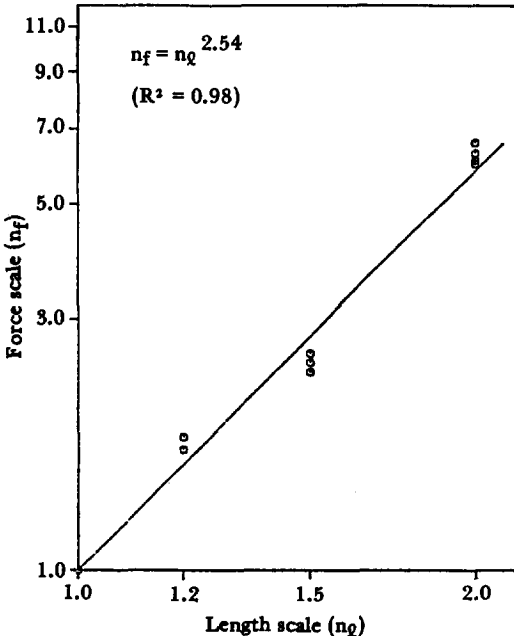


Fig. 4. Relationship between force scale and length scale in sinkage analysis on the soil condition A.

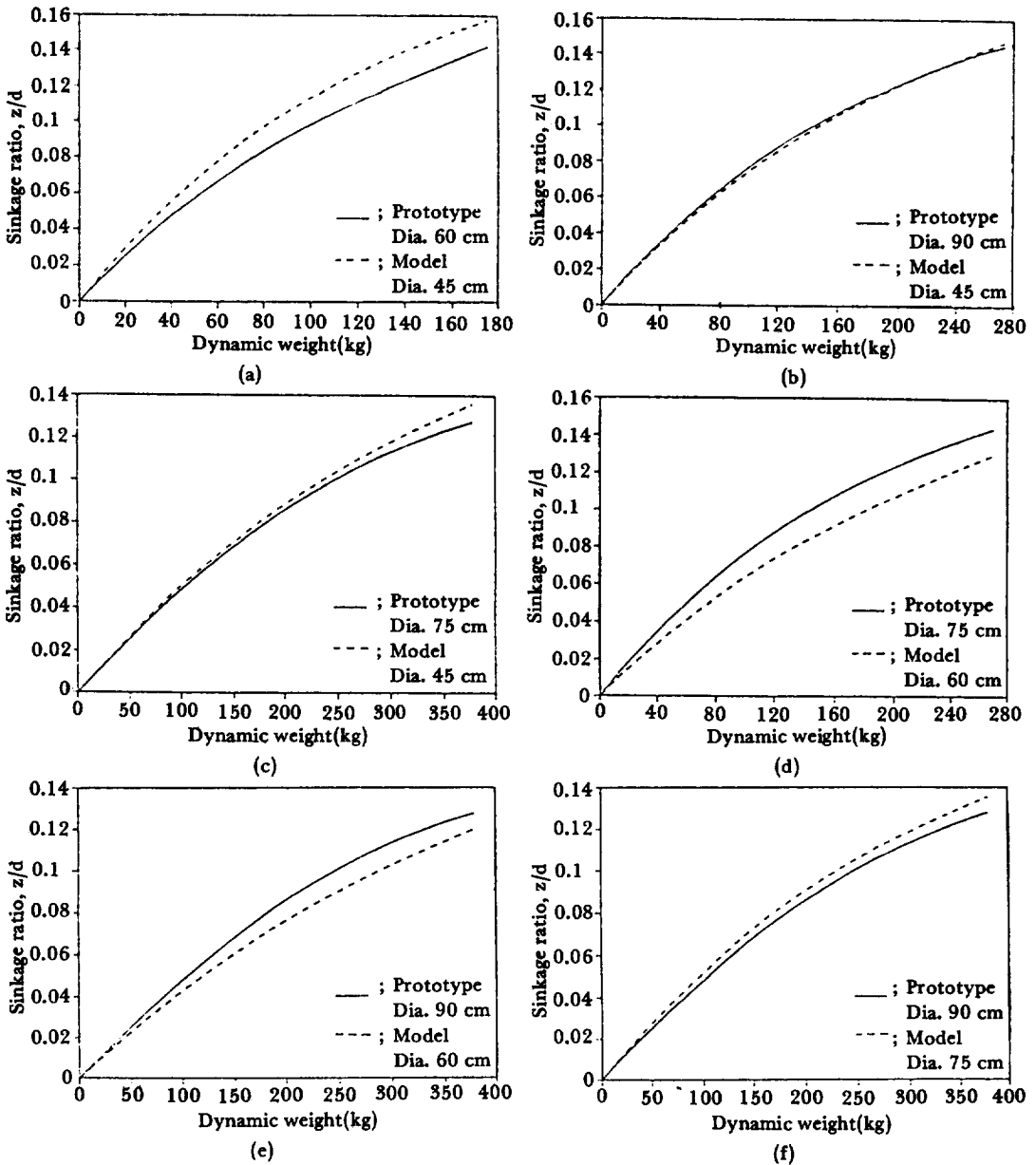


Fig. 5. Sinkage ratio versus dynamic weight curves of prototype and model-prediction on the soil condition A.

Table 5. Distribution of b values of the equation $n_f = n_g^{-b}$ in accordance with soil condition for sinkage analysis.

Soil condition	b	R ²
Dry sandy loam I(A)	-2.54	0.98
Dry sandy loam II(B)	-2.42	0.98
Wet sandy loam I(C)	-1.48	0.99
Wet sandy loam II(D)	-1.75	0.95

향을 미치는 土壤變數의 次元을 복합적으로 하나의 次元 또는 동일 次元으로 나타낼 수 있다고 가정할 때 $n_f = n_g^{-b}$ 식이 성립함을 알 수 있다.

土壤條件 B, C, D에 대해서도 토양조건 A에서와 같은 방법으로 分析한 결과 각 토양조건 모두에 대해서 진모델 豫測이 가능한 것으로 나타났다. 위의 결과로 미루어 사양토에 있어서는 침하량예측과 관

Table 6. Physical properties of sand before experiment.

Soil condition \ Item	Passes of subsurface roller	Passes of surface roller	Mean moisture content (%)	Mean bulk density (g/cc)	Cone index (kg/cm ²)	Remarks
Dry	2	2	0.29	1.5	4.36	soil condition I
	4	4	0.29	1.53	4.55	" II
Wet	2	2	4.93	1.4	9.71	" III
	4	4	4.93	1.4	10.08	" IV

런해 $n_r = n_i^{-0.5}$ 식이 성립함을 알 수 있었으며 이경우 토양조건에 따른 b값은 표 5에 나타난 바와 같다.

나. 砂土

砂土에서의 實驗도 수분함량이 거의 없는 건조한 경우와 수분함량이 약 5%인 두토양상태하에서 수행되었다. 표 6은 實驗 土壤의 물리적 상태를 나타낸 것으로 實驗직전에 측정된 값이다. 사토에 있어서도 각 土壤條件은 편의상 I, II, III, IV로 칭하기로 하였다.

표 7은 土壤條件 I에 있어서 沈下比와 길이척도에 따라 沈下量의 진모델 豫測이 가능한 動荷重으로부터 구한 힘척도의 분포를 보여주고 있다. 건조 砂土인 토양조건 I에 있어서 진모델 豫測이 가능한 沈下比는 거의 0에서 0.2의 범위까지 걸쳐 나타나고 있다. 이 범위는 砂壤土에 비해 그 범위가 거의 2배 정도 되는 것으로 이러한 현상은 砂土에 있어서 車輪의 沈下量은 砂壤土에서의 沈下量에 비해 거의 2배이상에 달하기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 최소 沈下比의 값도 0.06으로 하고 그 증

가폭도 0.02으로 하여 표 7과 같이 힘척도의 값을 길이척도와 沈下比에 따라 정리하였다.

건조 砂土인 土壤條件 I에 있어서 힘척도의 분포는 砂壤土와 달리 그 분산 정도가 상당히 큰 것으로 나타났다. 이 분산 정도는 그림 6에서 쉽게 알 수가 있다.

土壤條件 I에 있어서 힘의 척도와 길이척도의 관계는 $n_r = n_i^{2.55}$ 과 같은 회귀방정식으로 구해졌다.

이 식으로부터 土壤條件 I에서는 車輪의 沈下學動에 관계되는 次元을 갖는 土壤變數의 次元을 하나의 次元으로 가정할때 길이 次元의 지수 값이 2.35가 되는 것을 알 수 있다.

그림 7은 土壤條件 I에 있어서 모델車輪들의 性能 豫測曲線과 原型車輪들의 性能 豫測曲線의 모양은 原型車輪의 性能曲線과 정확히 같지는 않지만 상당히 유사하며, 각 그래프에 있어서 두 性能曲線들은 서로 상당히 접근하고 있어 모델車輪들에 대한 原型車輪들의 性能 豫測이 가능한 것으로 판단되었다. 따라서 건조 모래에 있어서도 $n_r = n_i^{-0.5}$ 식이 성립됨을 알 수 있다.

Table 7. Values of force scale showing true model prediction in sinkage analysis on the soil condition I.

n_i \ z/d	.06	.08	.10	.12	.14	.16	.18	.20
1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.20	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.9	1.7
1.50	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	4.0	4.0
2.00	3.7	3.8	3.9	4.1	4.3	4.8	6.3	6.8

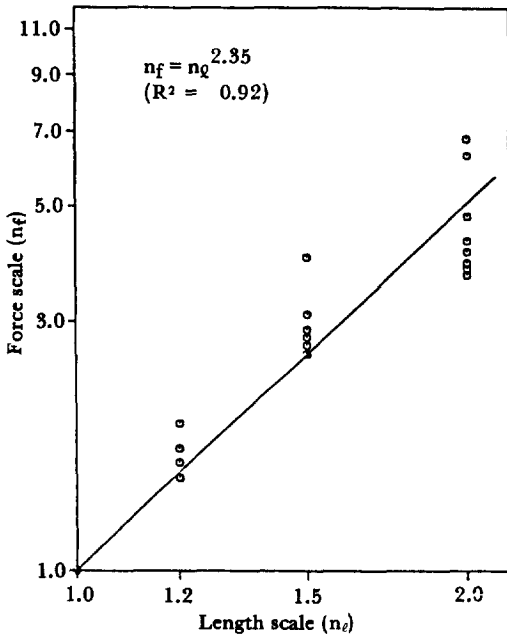
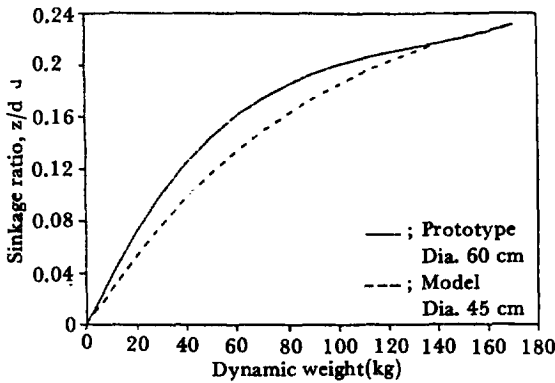


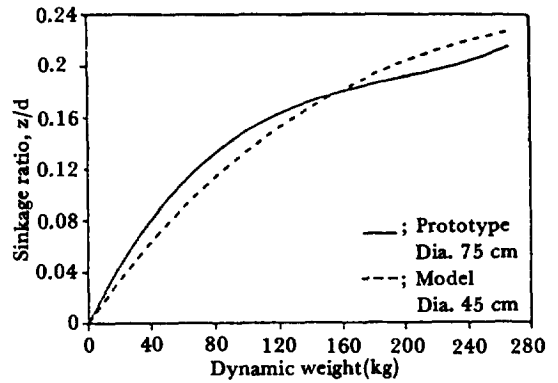
Fig. 6. Relationship between force scale and length scale in sinkage analysis on the soil condition I.

토양조건 II, III, IV에 대해서도 토양조건 I에서와 같은 방법으로 분석한 결과 각 토양조건 모두에 대해서 진모델 豫測이 가능한 것으로 나타났다. 위의 결과로 미루어 砂土에 있어서도 $n_f = n_l^{2.35}$ 식이 성립함을 알 수 있었다. 砂土에 있어서 토양 조건에 따른 b 값의 분포는 표 8과 같다.

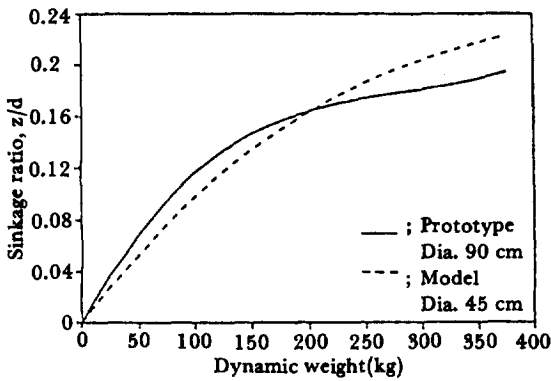
표 5와 8을 종합 검토하여 보면 b 값은 토양타입과 조건에 따라 -1.48에서 -2.54의 범위에 있음을 알 수 있다. 이와 같이 b 값이 토양조건에 따라 크게 변하고 있는 것은 차륜의 침하와 관련해 車輪-土壤 시스템에 영향을 미치는 土壤變數의 次元이 同-하다고 가정할 수 없음을 보여주고 있는 것이다. 따라서 차륜의 침하와 관련해 車輪-土壤 시스템에 영향을 미치는 次元을 갖는 土壤 즉 b가bi의 합 또는 함수임을 알 수 있었다.



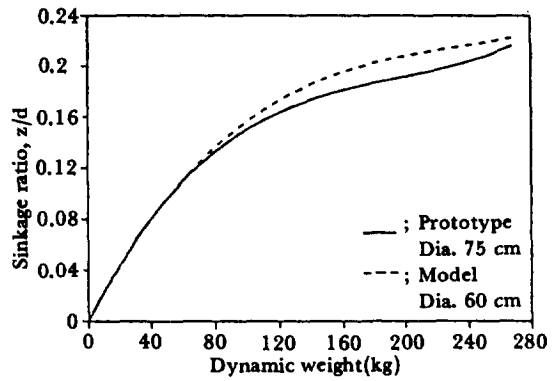
(a)



(b)



(c)



(d)

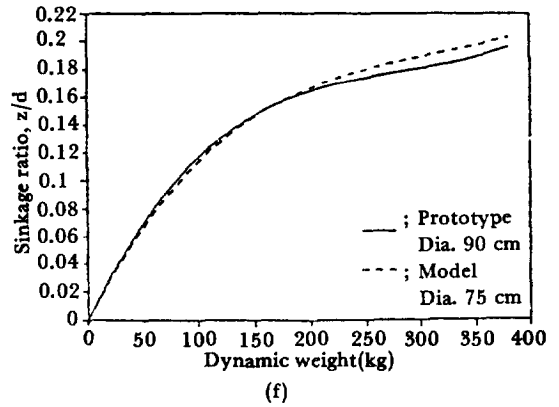
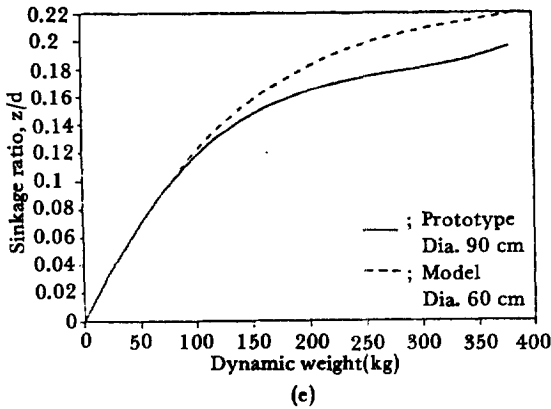


Fig. 7. Sinkage ratio versus dynamic weight curves of prototype and model prediction on the soil condition I.

Table 8. Distribution of b values of the equation $n_f = n_0^{-b}$ in accordance with soil condition for analysis.

Soil condition	b	R ²
Dry sand I(I)	-2.35	0.92
Dry sand II(II)	-2.49	0.94
Wet sand I(III)	-1.89	0.92
Wet sand II(IV)	-1.94	0.98

5. 結 論

본 연구는 러그가 있는 驅動輪-土壤 시스템에 있어서 車輪의 沈下量과 관련해 진모델 예측 가능성을 검토하고, 구동륜과 土壤과의 상호작용을 해석 하는데 필요한 土壤變數의 次元을 연구하는데 있어 相似性 理論의 이용가능성을 검토하여 이 시스템에 관련되는 土壤變數의 次元을 결정하기 위해 수행되 었다.

실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 실험 動荷重 범위내에서 세모델 車輪과 原型 車輪의 沈下學動은 相似하여 진모델 豫測이 가능한 것으로 판단되었다.

(2) 모델 車輪에 의한 原型車輪의 沈下量을 예측 키 위한 조건식은 $n_f = n_0^{-b}$ 로 구해졌으며, 特性 土壤變數의 길이 次元의 指數인 b값의 범위는 토양의 종류, 수분함량, 다짐정도에 따라 -1.48 ~ -2.5로 나타났다.

(3) b값이 이와 같이 넓은 범위내에서 변하고 있는 것은 車輪의 沈下學動에 영향을 미치는 土壤變數는 여러개 있으며, 이들은 土壤狀態에 따라 車輪의 沈下에 서로 다른 효과를 미치며, 동일한 次元을 갖지 않는다고 판단할 수 있었다.

參 考 文 獻

- Burt, E.C., R.S. Schafer and J.H. Taylor. 1974. "Similitude of a Model Traction Device: Part 2. Prediction of Wheel Sinkage." Trans. of the ASAE 17:662-665.
- Donald, F. Young. 1968. "Similitude of Soil - Machine Systems." Trans. of the ASAE 11:653-657.
- Murphy, Glenn. 1966. "Application of Similitude to Agricultural Engineering Research." Trans. of the ASAE 9:637-640.
- Murphy, Glenn. 1972. "Identifying Soil Dynamic Parameters for Soil - Machine Systems." Trans. of the ASAE 15:8-13.
- Pierrot, V.C. and W.F. Buchele. 1968. "A Similitude of a Unpowered Pneumatic Similitude of a Unpowered Pneumatic Tire." Trans. of the ASAE 11:673-676.
- 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.