

모델 테스트에 의한 Bulldozer Blade의 牽引力 豫測

Draft Prediction of Bulldozer Blade by Model Tests

이규승*
K. S. Lee

노상철**
S. C. Roh

Summary

A series of soil bin experiment was carried out on sand to investigate if true model theory is applicable to blade-soil system and finally to find mathematical relationship between the dimensionless terms which contain the blade-soil parameters. The following conclusions were derived from the study.

1. It was proved that the draft of the prototype blade can be predicted without distortion by those of model blades with the length scale of 1.2, 2 and 2.4.
2. For the sand, bulk density was found to be a good measure of soil physical properties which are pertinent to predict the draft of the blade-soil system.
3. The mathematical relationship between $D/\gamma W$ and d/W , β , and V^2/Wg are as follows :

$$\frac{D}{\gamma W^3} = 124.98 \left[\frac{d}{W} \right]^2 + 7.16 \left[\frac{d}{W} \right] + 0.43$$

$$\frac{D}{\gamma W^3} = -0.00099\beta^2 + 0.13\beta - 2.01$$

$$\frac{D}{\gamma W^3} = 0.041 \left[\frac{V^2}{Wg} \right]^2 + 0.08 \left[\frac{V^2}{Wg} \right] + 1.3$$

1. 緒論

現在 우리나라의 트랙터 農家 保有 大수는 5 만대를 넘어서고 있으나, 트랙터 作業의 대부분은 耕耘과 運搬作業에 限定되어 있는 實情이다. 그러나 歐美에서는 트랙터의 附着作業機로 그레이더, Blade, 로더 등을 開發하여 사용함으로써, 作業 領域의 擴大로 트랙터의 利用率을 높이고 있다. 따라서 國內에서도 트랙터의 利用率을 增

대시키기 위해 그레이더, Blade 등 다양한 트랙터 附着作業機를 開發하여 사용하는 것이 바람직하다. 트랙터 前方 附着作業機들인 그레이더, Blade 등의 土壤 運搬作業機의 性能은 土壤의 物理的 特性이나 作業條件과 밀접한 關係가 있기 때문에, 이들의 設計나 選定은 國內의 土壤條件과 使用條件을 考慮하여 決定하는 것이 바람직하다. 그러나 土壤의 物理的 特性的 複雜性 때문에 土壤 運搬作業機와 土壤間의 相互作用을

* 성균관대학교 농과대학 농업기계공학과 교수

** 한라 중공업

순수한 解析的인 方法으로 解析한다는 것은 매우 어렵다. 이와 같이 순수한 解析的인 方法에 의해 作業機의 性能을 豫測하기 어려울 경우에는 時間과 經費를 줄이기 위해 相似性理論에 基礎를 둔 모델테스트에 의해 性能을 豫測하는 方法이 사용되고 있다.⁽⁹⁾

Larson⁽⁶⁾은 모델 모울드보드 플라우에 의한 原形플라우의 牽引力을 土壤 타입에 關係없이 豫測할 수 있는 數學的인 모델을 구하기 위해 一般土壤에서 相似性 理論을 이용한 實驗을 遂行하였다. 그는 實驗 結果 모델에 의한 原形 플라우의 牽引力 豫測이 可能하며 土壤-플라우 시스템 變數로는 粘着力, 内部摩擦角 그리고 걸보기 密度가 適切하다고 主張하였다. Reaves⁽¹⁰⁾ 등은 歪曲 모델 條件에서 Bulldozer Blade의 牽引力 豫測을 위한 모델理論의 適用 可能性을 보여 주었으며, 모델시스템의 歪曲 條件들을 길이 尺度에 대한 函數 關係로 나타내었다. Schafer⁽¹²⁾는 土壤-機械 시스템에 있어서 歪曲 要因을 調整함으로써 한쪽의 設計條件의 歪曲效果를 다른 한쪽의 設計條件에 대해 除去될 수 있다고 主張하였다.

相似性 理論에 基礎를 두고 있는 모델테스트는 幾何學的, 運動學的, 그리고 動力學的으로 相似한 모델에 의해 한 係(System) 내에서 일어나는 基本的인 現狀을 究明하여, 그 속에 포함되어 있는 物理的인 變數에 미치는 影響을 알 수 있게 함으로서 모델에 의한 土壤 關聯 作業機의 性能 豫測을 可能하게 한다.

따라서 本 研究은 砂土에서 모델테스트에 의해 Bulldozer Blade의 牽引力 豫測 可能性을 究

明하고자 遂行되었으며 具體的인 目的은 다음과 같다.

- 1) Blade-土壤 시스템의 牽引力에 影響을 미치는 變數들을 檢討, 選定하고, 選定된 變數들에 의해 모델의 原形시스템에 대한 牽引力 豫測 可能性을 究明하여,
- 2) 選定된 Blade-土壤 變數들을 包含하는 無次元量들을 使用하여 Blade의 牽引力을 豫測할 수 있는 數學的인 모델을 구하는데 있다.

2. 相似法에 의한 Blade-土壤 시스템의 分析

가. 變數의 選擇

相似法에 의해 Blade-土壤 시스템을 分析하는데 있어서 가장 중요한 것은 이 시스템에 影響을 미치는 土壤-Blade 關聯 變數들을 選定하고 評價하는 것이다. 만일 이 시스템에 크게 影響을 미치는 變數가 包含되지 않는다면 모델과 原形의 舉動이 서로 相異하게 나타남으로서 歪曲 모델이 되어 모델이 原形의 性能을 豫測할 수 없게 된다. 먼저 Blade의 牽引力에 獨立的으로 影響을 미친다고 보고 되어지는 變數를 獨立變數로 選定하였다. 이 變數는 Blade變數, 土壤變數, 그리고 Blade-土壤 關係 變數이다. 각 變數의 基本次元은 F(힘), L(길이), T(시간)으로써 표시하였다.

Blade 變數는 Blade의 폭(W), 높이(H)로써

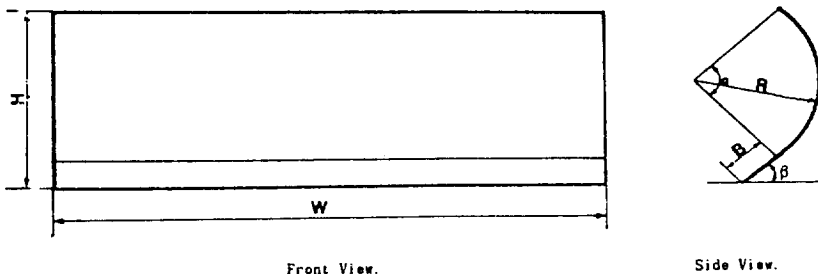


Fig. 1. Bulldozer blade geometry.

Blade에서 가장 중요한 幾何學的 變數이다. 이 밖에 切削 Blade의 角(β), 모울드보드의 曲率半徑(R), 切削 Blade의 길이(B) 그리고 모울드보드의 曲率角(α) 등이 Blade의 牽引力에 影響을 미치는 變數로 알려져 있으므로 選定하였다.⁽¹⁰⁾ 그림 1은 Bulldozer Blade의 幾何學的 형태를 나타내고 있다.

土壤變數로는 粒보기 密度(γ), 内部摩擦角(ϕ), 粘着力(C) 등을 選定하였다. Blade-土壤 시스템 變數로서는 重力加速度(g), Blade의 作業速度(V), Blade-土壤間의 摩擦係數(μ), 그리고 Blade의 作業깊이(d)를 選擇하였다. 從屬變數로는 일반적으로 Blade의 견인性能을 나타내는 Blade의 水平方向의 土壤反力を 選擇하였다. 표 1은 選定된 Blade-土壤 시스템 變數를 보여

주고 있다.

나. Pi項 및 設計條件

1) Pi項의 決定

Blade-土壤시스템에 關係되는 變數들은 모두 14개로서 Buckingham의 Pi 定理에 의해 基本次元의 갯수 3개를 빼면 11개의 Pi項을 만들 수 있다. 각 Pi項들은 Rayleigh式에 의해 反復變數를 W, γ, g 로 決定하고 새로운 Pi項을 만들기 위해 D 를 包含시키면 된다. 그리고 나머지 Pi項들은 反復變數를 제외한 나머지 變數 중 하나를 選擇하여 包含시키면 표 2와 같이 11개의 Pi項을 만들 수 있다.

Table 1. Blade-soil system parameters.

Parameters	System	Dimension
Independent Parameters		
Blade :		
Width	W	L
Height	H	L
Radius of curvature of Moldboard	R	L
Angle of Curvature of Moldboard	α	-
Angle of Cutting Blade	β	-
Length of Cutting Blade	β	L
Soil :		
Bulk Density	γ	FL^{-3}
Internal Friction Angle	ϕ	-
Cohesion	C	FL^{-2}
System :		
Gravity	g	LT^{-2}
Velocity	V	LT^{-1}
Soil-Blade Friction	μ	-
Cutting Depth	d	L
Dependent Parameters		
Horizontal Component of Soil Reaction on Blade	D	F

Table 2. List of Pi terms.

$\Pi_1 = \frac{D}{\gamma W^3}$,	$\Pi_2 = \frac{H}{W}$	$\Pi_3 = \frac{R}{W}$	$\Pi_4 = \frac{B}{W}$
$\Pi_5 = \frac{d}{W}$	$\Pi_6 = \frac{C}{W\gamma}$,	$\Pi_7 = \alpha$,	$\Pi_8 = \beta$
$\Pi_9 = \phi$,	$\Pi_{10} = \mu$	$\Pi_{11} = \frac{V^2}{Wg}$	

Table 3. Design conditions.

1) $\frac{H}{W} = \left(\frac{H}{W}\right)_m$	6) $\alpha = \alpha_m$
2) $\frac{R}{W} = \left(\frac{R}{W}\right)_m$	7) $\beta = \beta_m$
3) $\frac{B}{W} = \left(\frac{B}{W}\right)_m$	8) $\phi = \phi_m$
4) $\frac{d}{W} = \left(\frac{d}{W}\right)_m$	9) $\mu = \mu_m$
5) $\frac{C}{W\gamma} = \left(\frac{C}{W\gamma}\right)_m$	10) $\frac{V^2}{Wg} = \left(\frac{V^2}{Wg}\right)_m$

여기서 m; 모델을 표시함

위 Pi項들로 부터 Blade-土壤 시스템에 대한 函數關係를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{D}{\gamma W^3} = f\left(\frac{H}{W}, \frac{R}{W}, \frac{B}{W}, \frac{d}{W}, \frac{C}{W\gamma}, \alpha, \beta, \phi, \mu, \frac{V^2}{Wg}\right)$$

2) 設計條件의 調節

모델 理論에 의하면 모델이 原形의 性能을 正確히 豫測하기 위해서는 표 3의 設計條件을 만족해야 한다.

표 3의 設計條件들이 모두 만족된다면, 다음과 같은 推定式을 얻을 수 있다.

$$\frac{D}{\gamma W^3} = \left(\frac{D}{\gamma W^3}\right)_m$$

그러나 많은 變數들 사이의 相互關係를 모두 實驗的으로 究明하기 위해서는 많은 量의 實驗을 하여야 하며, 모든 設計條件을 만족시킨다는 것은 거의 不可能하다. 따라서 實驗條件을 土壤의 적절한 加工등에 의해 調節하고 또한 設計條

件에 맞게 모델과 原形을 設計하고, Blade-土壤 시스템에 影響이 미약하다고 추정되는 變數들을 除外 시킴으로써 필요한 情報만을 얻을 수 있는 實驗의 크기로 줄이는 것이 필요하다.

표 3의 設計條件들을 檢討해보면, 設計條件 1), 2), 3)은 Blade의 幾何學的인 變數로서 길이 尺度에 맞도록 原形과 모델 Blade를 製作하면 成立한다.($nW=nH=nR=nB$, n: 길이 尺度) 設計條件 4)는 作業깊이를 길이 尺度에 맞추어 作業을 하면 成立하게 된다. 設計條件 5)는 一般土壤을 사용하지 않고 건조한 砂土를 사용하면 粘着力(C)이 미약함으로 무시할 수 있어 除外시켰다. 設計條件 6)과 7)은 Blade의 角度로서 모델과 原形을 同一하게 製作하면 成立한다. 그리고 設計條件 8)은 原形과 모델 Blade가 同一土壤狀態 하에서 實驗을 遂行하게 되면 成立한다. 設計條件 9)는 原形과 모델 Blade를 同一材料로 製作하여 同一土壤狀態에서 實驗을 遂

行하면 成立한다. 設計條件 10)은 速度와 加速度의 項으로 重力加速度는 거의 一定하다고 볼 수 있으므로 모델의 實驗速度를 $V_m = V/\sqrt{n}$ 으로 하면 設計條件을 만족시킨다.

모델理論에 의하면 모델과 原形이 幾何學的, 運動學的, 動力學的 相似가 成立되면 모델은 原形の 舉動을 豫測할 수 있다고 하였다. 그리고 일반적으로 幾何學的 相似와 動力學的 相似가 成立되면, 運動學的 相似가 成立되는 것으로 간주한다. 그러므로 모델과 原形이 設計條件에 맞게 調節되고 實驗되어지면 原形과 모델의 舉動이 같게 되어 이 경우 모델은 진모델로 간주된다. 따라서 위에서 언급한대로 모델과 原形の 設計條件이 만족되면 모델 Blade에 의해 原形 Blade의 牽引力 豫測이 可能하게 됨으로서 Blade의 牽引性能에 영향을 많이 미치는 作業깊이(d), 切削角도(β) 그리고 作業速度(V)의 影響을 알아보기 위해 P項들 間의 關係式을 다시 세우면 다음과 같다.

$$\frac{D}{\gamma W^3} = f\left(\frac{d}{W}, \frac{V^2}{Wg}, \beta\right)$$

3. 材料 및 方法

가. 公試 材料

1) Blade

實驗에 사용된 Blade의 形態는 Bulldozer에 많이 사용되고 있는 직선형 Blade로써 原形에 대해 완전한 모델이 될 수 있도록 길이 尺度에

맞추어 직접 製作하여 사용하였다. 原形 Blade의 폭과 높이의 비는 3 : 1로써 그 크기는 600(W) × 200(H)mm로 製作하였다. 原形에 대한 모델은 500 × 167mm, 300 × 100mm, 그리고 250 × 83mm 3개의 크기로 製作하였다. 표 4는 實驗 Bulldozer Blade의 幾何學的 變數의 값을 나타내고 있다. 原形 Blade에 대한 모델들의 길이 尺度는 1.2, 2, 2.4 이다. 그림 2는 實驗에 사용된 Blade들을 보여주고 있다.

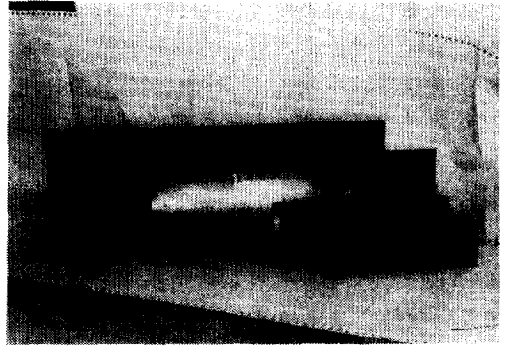


Fig. 2. Test blades used for experiment.

2) 實驗 土壤

土壤은 한강에서 채취한 사토를 5mm체로 선별하여 사용하였으며, 표 5는 土壤의 구성 성분을 나타내고 있다.

나. 實驗 裝置

1) 人工土槽 시스템

Table 4. Dimensions of test bulldozer blade.

Item \ Blade	Blade I (Prototype)	Blade II (Model I)	Blade III (Model II)	Blade IV (Model III)
Blade Width(mm)	600	500	300	250
Blade Height(mm)	200	167	100	83
Curvature Radius(mm)	200	167	100	83
Cutting Length(mm)	40	33	20	17
Curvature Angle(Deg)	54	54	54	54
Cutting Angle(Deg)	45	45	45	45

Table 5. Test Soil properties by USDA classification.

Soil	Composition (%)			Texture
	Sand	Silt	Clay	
	94.4	4.2	1.4	Sand

Blade-土壤間の相互作用을 正確히 理解하기 위해서는 測定裝置로 부터 正確하고 信賴性 있는 資料를 얻을 수 있어야 한다. 그러나 一般 圃場에서의 實驗은 土壤狀態의 不均一성과 調節의 不可能, 같은 狀態下에서 同一 實驗의 再現이 不可能하며, 날씨등에 의한 水分含量 調節의 어려움과 實驗時期의 制限 및 기타 實驗 外的인 要因에 의해 影響을 받으므로 信賴性 있는 데이터를 얻기가 어렵다. 따라서 이러한 野外圃場 實驗의 問題點을 補完하고, Blade-土壤 間的의 相互關係를 正確히 理解하기 위하여는 信賴性 있는 데이터를 얻을 필요가 있으며 이를 위해 人工土槽에서 實驗을 實施하였다.

人工土槽 시스템에서 Blade의 牽引力 測定을 위한 資料 募集 시스템은 그림 3과 같다.

牽引力 측정 장치는 4개의 축에 8개의 직선운동 베어링을 사용하여 水平方向의 힘만 測定하게 製作되었다. 수평방향(牽引力)의 힘은 200

kg의 Load cell에 의해 測定된다.(그림 4)

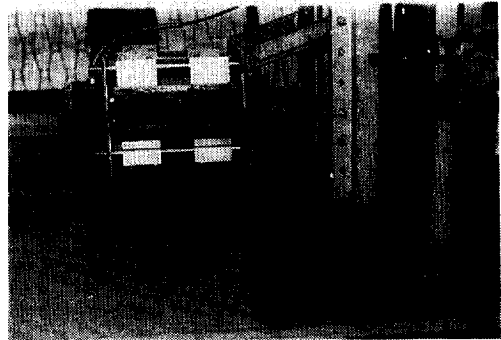


Fig.4. Overall View of Draft Dynamometer.

다. 實驗 方法

1) 土壤加工

土壤加工은 매 회 實驗사이에 적합한 土壤狀態를 만들기 위해 土壤加工 臺車를 이용하였다. 그 순서와 횟수는 土壤狀態에 따라 一定하게 하였

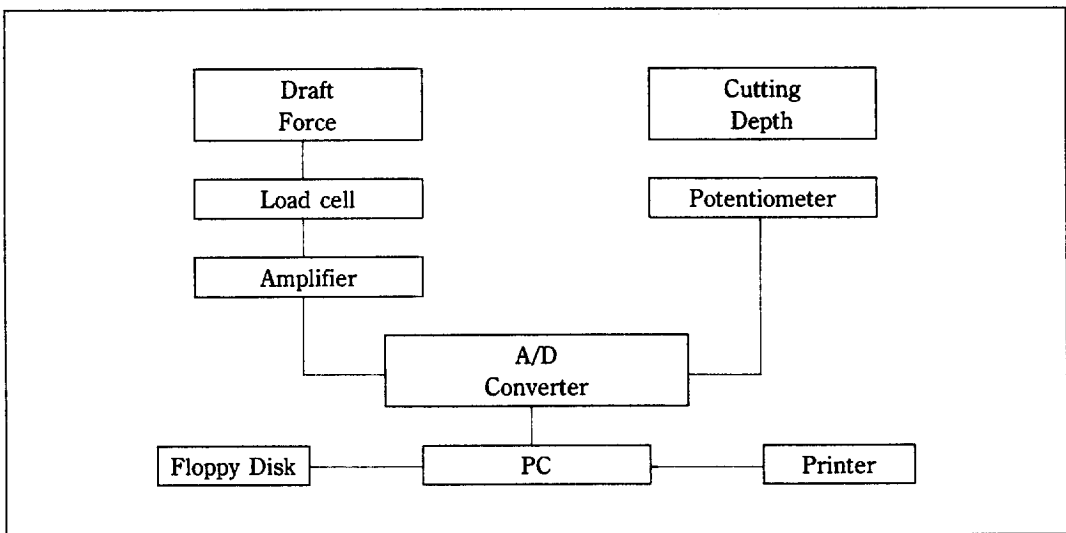


Fig. 3. Schematic diagram of data acquisition system for soil bin experiment.

다.

2) 土壤의 物理性 測定

가) 겉보기 密度

土壤의 겉보기 密度는 100cc 容量의 채취관을 이용하여 土壤加工이 끝난 직후에 測定하였다. 土壤의 겉보기 密度는 表面의 土壤을 걷어낸 후 약 10cm, 15cm의 두 깊이에서 그리고 土槽에서 임의의 세 곳을 選定하여 測定하였다.

나) 土壤剪斷抵抗

土壤의 粘着力과 内部摩擦角은 SR-2모델의 土壤 剪斷力 測定裝置를 사용하여 測定하였다.

3) Blade의 牽引力 測定

Blade의 牽引力을 測定하기 위해 앞에서 언급한 人工土槽 시스템의 牽引力 測定 시스템을 이용하였다. 作業의 깊이는 牽引力에 큰 影響을 주는 因子이므로 精密度를 기하기 위해 測定臺車가 움직이지 않는 狀態에서 土壤의 加工面으로부터 作業 깊이 만큼 Blade를 土壤 속으로 들어가게 한 다음에 測定臺車가 이동하면서 牽引力을 測定하였다.

Blade의 牽引力은 일정한 作業깊이, 角度, 速度 등의 狀態에서 Blade의 전면에 土壤이 충분히 쌓여 牽引力이 더 이상 增加하지 않고 거의 일

정한 狀態로 유지되는 평균 最大牽引力을 意味한다.

原形 Blade의 實驗條件은 人工土槽시스템에서의 實驗可能性과 實際 사용깊이, 角度 등을 考慮하여 決定하였으며, 모델들의 實驗條件은 設計條件으로 부터 구하여 표 6과 같이 定理하였다.

Blade-土壤시스템의 幾何學的 獨立 變數項인 (d/W) 項의 影響에 대한 牽引力의 變化를 檢討하기 위해 作業速度를 0.14m/s로, Blade의 角度를 45 로 고정하고, Blade들의 作業깊이(d)는 표 6에 따라 變化시켜 가면서 實驗을 遂行하였다.

Blade의 幾何學的 變數인 절삭각(β)項과 牽引力의 關係를 檢討하기 위해 作業速度는 0.14 m/s로, 作業 깊이는 각 Blade들 높이의 20%로 하여 Blade의 角度를 30°, 45°, 60°, 75°로 變化시켜 實驗을 實施하였다.

Blade-土壤 시스템의 動力學的인 獨立變數들을 포함하고 있는 (V^2/Wg) 項과 牽引力의 關係를 檢討하기 위해서는 作業의 깊이를 각 Blade들 높이의 20%로, Blade의 角度를 45°로 一定하게 한 다음 作業速度를 표 6과 같이 變化시켜 실험을 遂行하여야 하나 耕耘機 變속장치로 作業速度를 調節해야 하는 人工土槽시스템의 제약 때

Table 6. Levels of variables used for blade draft test

Variables \ Blade	Blade I	Blade II	Blade III	Blade IV
Cutting Depth(d) (mm)	20	16.7	10	8.3
	40	33.3	20	16.7
	60	50.0	30	25.0
	80	66.7	40	33.3
Cutting Velocity(V) (m/s)	0.09	0.08	0.06	0.06
	0.14	0.13	0.10	0.09
	0.22	0.20	0.16	0.14
	0.33	0.30	0.23	0.21
Cutting Angle(β) (deg.)	30	30	30	30
	45	45	45	45
	60	60	60	60
	75	75	75	75

문에 속도를 0.09m/s, 0.14m/s, 0.22m/s, 0.33m/s로 변화 시키며 실험을遂行하였다. 이상의 모든 실험은 3反復으로 實施하였다.

4. 結果 및 考察

本 實驗은 水分含量이 0.3%인 건조한 砂土에서 遂行되어 졌다. 표 9는 實驗 土壤의 物理的 狀態를 나타낸 것으로 實驗 직전에 測定한 값이다.

Table 7. Physical properites of test soil

Item	Values
Internal Friction Angle(Deg.)	34.40
Cohesion(kg/cm ²)	0.02
Cone Index(kg/cm ²)	0.32
Bulk Density(kg/cm ³)	2.52
Moisture Content(%)	0.30

實驗에서 폭과 높이가 60×20cm인 Blade를 原形(Prototype)으로 간주하였고 모델 I, II, III은 原形과 幾何學的으로 形態가 같고 크기가 다른 (50×16.7, 30×10, 25×8.3)cm의 세 Blade들이다.

Blade-土壤 시스템의 實驗的 研究에 次元解析法을 適用한다는 것은 相似인 시스템들의 舉動은 類似할 수 있다는 가정이 內包되어 있다. 따라서 서로 相似인 原形 Blade와 모델 blade에 대해 獨立變數들을 包含하고 있는 Pi項을 體系的으로 變化시켜 가면서 實驗을 遂行하였을때 性能을 나타내는 Pi項이 Blade의 크기에 關係없이 豫測할 수 있는 값을 갖게되면, 모델과 原形 시스템의 舉動은 類似하여 진모델 豫測이 可能하다. 本 研究에서는 표 6에 나타나 있듯이 Blade의 性能을 나타내는 Pi項인 $D/\gamma W^3$ 項과 獨立變數를 包含하는 Pi項인 d/W 項의 關係에서는 d 를, $D/\gamma W^3$ 項과 β 의 關係에서는 β 를, $D/\gamma W^3$ 項과 V^2/Wg 의 關係에서는 V 를 變化시킴으로서, 主要 獨立變數들이 Blade의 性能에 미치는 影響과 아울러 진모델 豫測의 可能性을 檢討하였다.

가. $\frac{D}{\gamma W^3}$ 項과 $\frac{d}{W}$ 項의 關係

그림 4는 $(D/\gamma W^3)$ 項과 (d/W) 項의 關係를 보여주고 있다. 모델 I의 牽引力曲線은 原形과 거의 一致하는 반면에, 모델 II와 III의 牽引力曲線은 길이 尺度가 커질 수록 原形의 曲線과 떨어져 가는 傾向을 보이면서 牽引性能을 原形보다 낮게 豫測하고 있음을 알 수 있다. 위의 結果로 보아 尺度效果가 있는 것으로 추정되나, 이를 證明하기 위해서는 縮尺이 큰 모델에 대한 補完 實驗이 必要하다고 思料된다. 그림 5의 각 牽引力 曲線間 차이에 대한 平均값을 比較하면, 原形에 대해 모델 II는 3.5%, 모델 III은 5%의 差이를 보여주고 있다.

따라서 진모델 豫測 可能性을 檢討하기 위하여 原形과 모델 實驗에 의한 모든 데이터들을 하나의 牽引力 豫測曲線으로 나타내어 回歸分析한 結果 有意性 있는 牽引力 豫測式을 얻을 수 있었다.(그림 6)

위의 結果로부터 作業깊이에 따른 Blade들의 견인性能은 진모델 豫測이 可能한 것으로 판단된다. 또한 그림 6의 牽引力 豫測曲線으로부터 Blade의 牽引性能은 作業깊이(d)가 增加함에 따라 2次函數 關係로 增加함을 알 수 있다.

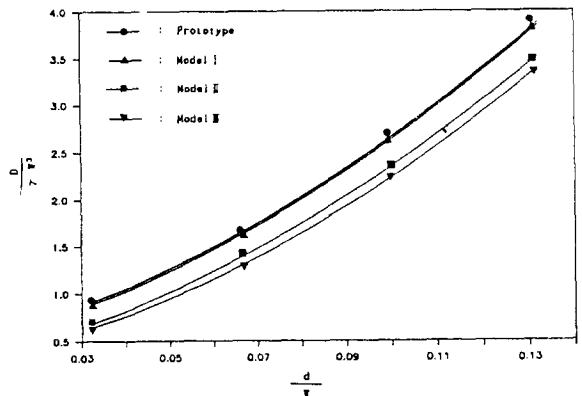


Fig.5. Draft term as a function of depth ratio from test results of three models and prototype.

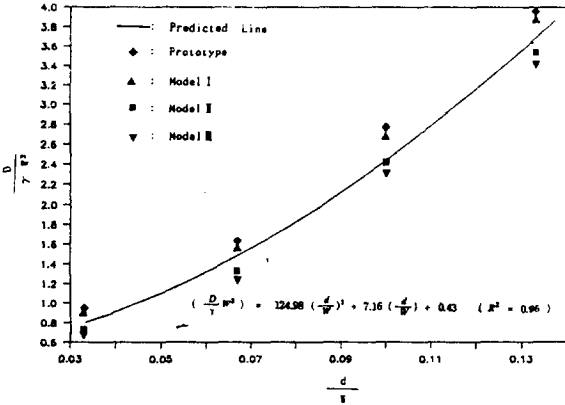


Fig.6. Draft prediction of bulldozer blade from test results of three models and prototype on dry sand.

나. $\frac{D}{\gamma W^3}$ 項과 β 의關係

그림 7은 Blade의牽引性能을 나타내는 $D/\gamma W^3$ 項과 Blade의切削角(β)과의關係를 보여주고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 原形 Blade와 모델 I의曲線은 거의一致하며 이와 약간 떨어져 모델 II와 III의曲線이 거의一致하여 나타남을 알 수 있다. 앞 절의 경우와 마찬가지로 이 경우에도尺度效果가 있는 것으로 판단되나,尺度效果를糾明하기 위해서는 좀더 많은尺度에 대해 별도의實驗이遂行되어져야 할 것이다.

原形 Blade와 모델 Blade들간의牽引力平均値差異를 살펴보면 原形과 모델 I과는 1%, 모

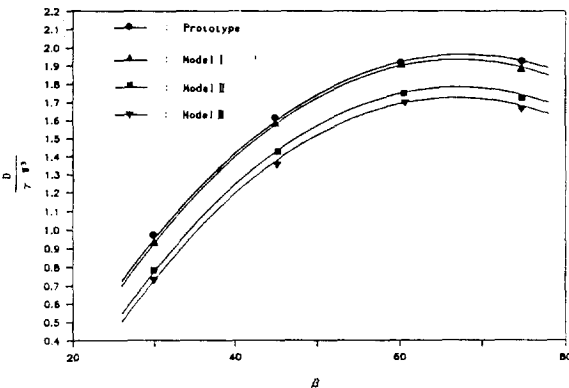


Fig.7. Draft term as a function of blade angle.

델 II와는 3.5%, 모델 III과는 6%의 차이를 보이고 있다.

이 경우에도 진모델豫測可能性을檢討하기 위해 原形과 모델들의實驗에 의한 모든 데이터를 하나의牽引力豫測式으로 나타내기 위해 回歸分析을 한結果 有意性 있는 函數式을 얻을 수 있었다.(그림8)

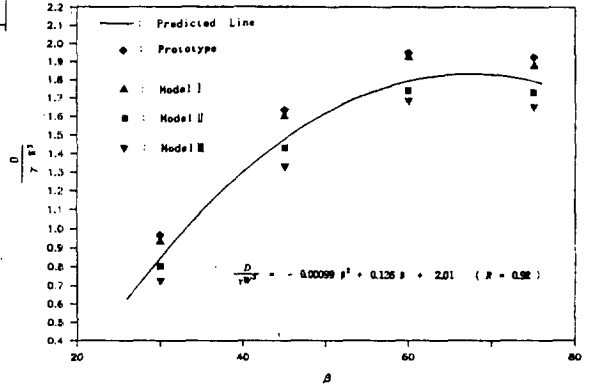


Fig.8. Draft prediction of bulldozer blade from test results of three models and prototype on dry sand.

위의結果로 미추어 볼때 이 경우에도 진모델豫測이 가능한 것으로 判斷된다. 그림 8에 의하면 Bulldozer Blade의切削角(β)과牽引抵抗과의 사이에는 2次函數의關係가 나타나고 있으며切削角이 65° 일때牽引抵抗이最大가 됨을 알 수 있다.

다. $\frac{D}{\gamma W^3}$ 項과 $(\frac{V^2}{Wg})$ 項의關係

그림 9는 $(D/\gamma W^3)$ 과 (V^2/Wg) 項의關係를 보여주고 있다. 原形의牽引力曲線으로 부터 세 모델의牽引力曲線은 앞의 (d/W) 項과 β 項의關係와 같이 모델尺度가 커질수록 原形의曲線과一定하게 멀어지고 있음을 알 수 있었다. 모델 I의牽引力曲線은 原形의曲線과 2.5%, 모델 II는 7%, 모델 III은 8.5% 차이를 나타내고 있으며, (V^2/Wg) 값이 증가할 수록 그 차이가 커지는 傾向을 알 수 있다.

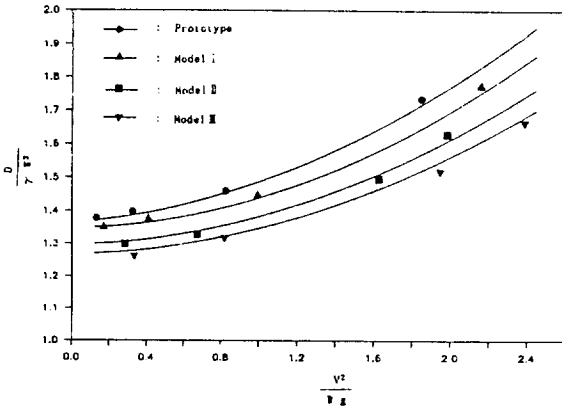


Fig.9. Draft term as a function of inertia force term.

이 경우에도 진모델 可能性을 檢査하기 위하여 原形과 모델 實驗에 의한 모든 점들을 하나의 牽引力 豫測式으로 나타낼 수 있는지를 回歸分析한 結果 有意性 있는 牽引力 豫測式을 얻을 수 있었다.(그림 10)

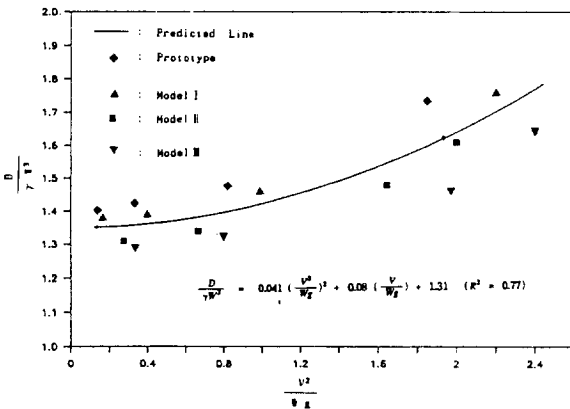


Fig.10. Draft prediction of bulldozer blade test results of three models and prototype on dry sand.

위의 結果로 미루어 Blade의 牽引抵抗과 速度와의 關係에서도 진모델 豫測이 가능하나 앞의 두 경우에 비해 R 값이 떨어짐을 알 수 있다. 이는 좀더 다양한 速度에 대해 實驗을 함으로서 再檢討해 볼 必要가 있다고 判斷된다.

牽引抵抗과 作業速度의 關係는 2次函數로 나타났으며, 앞의 作業깊이, 切削角도 등의 變化에 비해 牽引力의 增加幅이 크지 않음을 알 수 있어, 作業깊이와 切削角에 비해 作業速度가 Blade의

牽引抵抗에 미치는 影響이 상대적으로 적음을 알 수 있다.

라. $\frac{D}{\gamma W^3}$ 項과 길이 尺度의 關係

앞의 分析結果 대부분 경우 모델의 길이 尺度가 커질수록 모델의 牽引力 豫測曲線은 原形の 牽引力 豫測曲線과 멀어지는 傾向을 보였다. 이러한 傾向이 모델들의 尺度效果 (Scale Effect)에 기인한 것인지를 糾明하기 위하여 길이 尺度와 牽引力의 關係를 檢査하여 본 結果, 그림 11에서 알 수 있듯이 1:1로 나타남으로 尺度效果가 미약한 것으로 判斷되었다. 그러나 이것의 좀더 명확한 關係를 알려면 尺度가 더 큰 모델에 대한 補完 實驗이 必要할 것으로 思料된다.

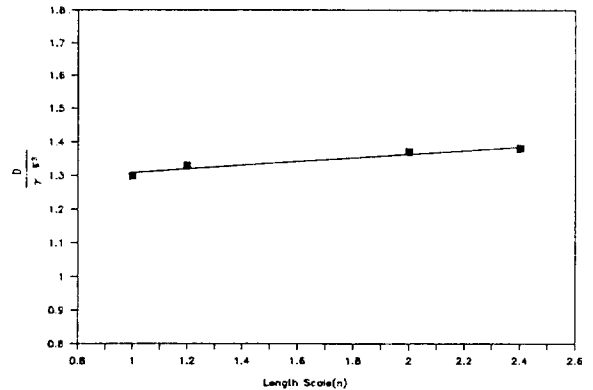


Fig.11. Draft term as a function of blade length scale.

앞의 結果로 보아 건조한 砂土에서 Blade-土壤 시스템에 影響을 미치는 土壤의 物理的 特性으로 걸보기 密度가 적절한 變數로 사료되며, 이 경우 Blade-土壤 시스템의 진모델 豫測이 가능한 것으로 判斷된다.

5. 結論

本 實驗은 砂土에서 모델 Blade에 의한 原形 Blade의 牽引力 豫測 可能性을 檢査하고, 궁극적으로 Blade의 牽引力을 豫測할 수 있는 數學的

모델을 구하기 위해 人工土槽시스템을 이용하여 遂行되었다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 길이 尺度(Length Scale)가 1.2, 2, 2.4인 세 모델 Blade는 건조한 砂土에서 原形 Blade의 牽引力을 歪曲(Distortion) 없이 잘 豫測하는 眞 모델로 判斷된다.
- 2) 砂土에서 Blade-土壤 시스템의 牽引力에 影響을 미치는 土壤의 物理的 特性으로는 粒보기 密度가 적절한 것으로 判斷된다.
- 3) 모델 Blade의 길이 尺度가 커짐에 따라 모델의 牽引力 豫測 曲線이 原形의 牽引力 豫測 曲線으로 부터 멀어지는 傾向을 보여 미세한 尺度 效果 (Scale effect)가 있는 것으로 추정되나 尺度가 더 큰 모델들에 대한 補完 實驗이 必要할 것으로 判斷된다.
- 4) Blade의 牽引力을 나타내는 無次元量($D/\gamma W^3$)과 獨立變數의 無次元量(d/W), β , (V^2/Wg)들의 關係는 다음의 式으로 나타났 다.

$$\left(\frac{D}{\gamma W^3}\right) = 124.98\left(\frac{d}{W}\right)^2 + 7.16\left(\frac{d}{W}\right) + 0.43$$

$$\frac{D}{\gamma W^3} = -0.00099\beta^2 + 0.13\beta - 2.01$$

$$\frac{D}{\gamma W^3} = 0.041\left(\frac{V^2}{Wg}\right)^2 + 0.08\left(\frac{V^2}{Wg}\right) + 1.30$$

參 考 文 獻

1. 李 揆 昇. 1988. 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. 서울大學校 大學院 博士學位 論文.
2. 李 揆 昇, 李 鎔 國, 朴 勝 濟. 1988. 砂土에 있어 서 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.
3. 崔 瑄 祐. 1987. 모델 테스트에 의한 車輪의 性能 豫測에 관한 研究. 成均館大學校 大學

院碩士學位 論文.

4. Barnes, K.K, C.W, Bockhop. 1960. Similitude in Studies of Tillage Implement Forces. Trans. of the ASAE 3 : 32-42.
5. Luth, H.J. 1971. Performance of Plane Soil Cutting Blade in Sand. Trans. of the ASAE 14 : 255-262.
6. Larson, L.W. 1968. Predicting Draft Forces Using Model Moldboard Plows in Agricultural Soils. Trans. of the ASAE 11 : 665-668.
7. Langhaar, H.L. 1951. Dimensional Analysis and Theory of Models. John Wiley and sons, Inc, New York.
8. Murphy, G. 1950. Similitude in Engineering. Ronald press, New York.
9. Murphy, G. 1966. Application of similitude to Agricultural Engineering Research Trans. of the ASAE 9 : 637-640.
10. Reaves, C.A, R.L. Schafer. 1969. Similitude of Bulldozer Blades. Trans. of the ASAE 12 : 577-583.
11. Reaves, C.A. 1968. Similitude in Performance Studies of Soil-Chisel System Trans. of the ASAE 11 : 658-664.
12. Schafer, R.L., C.A. Reaves. 1969. An Interpretation of Distortion in the Similitude of Certain Soil-Machine Systems. Trans. of the ASAE 12 : 145-149.
13. Schafer, R.L., D.R. Freitag. 1976. Application of Similitude of Soil-Machine Systems. Journale of Terramechanics Vol.13.No.3 : 153-182.
14. Sirohi, B.S. 1969. Similitude Techniques Applied to Performance Studies of Cultivator Sweeps. Trans. of the ASAE 12 : 786-789.