

步行용 트랙터의 牽引性能 模型과 分析 프로그램의 개발

Development of Traction and Field Performance Model of Two-Wheel Tractor

李 仲 用* · 鄭 昌 柱*
Rhee, Joong Yong · Chung, Chang Joo

Summary

This study intended to develop the prediction models of the traction and field performance of two-wheel tractors by using the principles which were applied for predicting those of the four-wheel tractors. The traction model developed in this study consists of the net traction coefficient, rolling resistance coefficient and traction efficiency, which are expressed as functions of both wheel numeric and slip. A computer program on the field performance of two-wheel tractors is also developed to predict the drawbar horsepower, traction force, traction efficiency, rotational speed of engine and engine horsepower if the characteristics of the engine performance and operational condition of the two-wheel tractor are known. Based on the developed models, the conditions of basic variables to maximize the field performance were analyzed so as to assess the existing two-wheel tractor.

1. 緒 論

步行용 트랙터(動力耕種機)는 耕耘, 碎土, 運搬, 脫穀 등의 여러 作業에 널리 利用되는 多目的 機械로서 그 普及台수가 1984年末 현재 50餘萬台를 훨씬 招過하고 있는 우리나라 農業機械化의 主機種이라고 할 수 있다. 近來에 와서 트랙터나 自走式 機械가 많이 普及되고 있기는 하지만 우리나라의 農業經營 規模나 기타의 농업기계화 條件을 감안할때 이러한 步行용트랙터의 役割은 앞으로도 當分間 지속될것으로 判斷된다.

우리나라에 普及된 步行용 트랙터는 原來 6P.S. 程度의 外製 組立品이었으나 國産化 過程에서 一部 特定作業에 適合하도록 8~10P.S.로 大型化되었고 이에따라 余他 作業에 있어서는 性能, 重量, 操作性 利用效率 等 여러가지面에서 相當한 問題가 있는 것으로 알려져 있다. 特히 步行용 트랙터의 多目的 利用을 위한 作業機의 開發을 企圖함에 있어서는 機関 出力, 車體의 重量, 車輪의 크기를 비롯한 트랙터의

諸要因과 各種 作業機의 作業特性이 하나의 體系를 이루고 機能적으로 잘 附合되는가를 檢討 할 필요가 있다.

트랙터의 중요한 性能中的 하나인 牽引性能이다. 乘用트랙터의 牽引性能은 Wismer와 Luth 模型¹⁾, D. Gee- Clough¹³⁾나 芝野保徳⁵⁾ 등이 제시한 指數函數的인 模型, Bekker式, 吉村靖立에 의한 2次式 模型, Grecenko⁷⁾에 의한 2項式 模型 等에 의하여 推定되어 왔으며 트랙터의 適正設計 및 性能 適正化의 基本資料로 活用되고 있다. 그러나 步行용 트랙터는 이들 方法에 준하는 牽引性能에 대한 模型이 아직 開發되지 않고 있다.

따라서 本研究의 目的은 步行용 트랙터의 牽引性能 模型을 개발하고 이 模型에 의거하여 利用效率의 增大 및 設計의 適正化를 위한 諸要因間的 關係를 究明하는데 있다.

2. 材料 및 方法

步行용 트랙터의 牽引特性 模型을 구하고 圃場에서

* 서울대학교 農科大學 農工學科

牽引性能을 豫測할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 開發하기 위해서는 牽引試驗資料와 塔載엔진의 特性, 變速比, 機械效率 等에 關한 資料가 必要하였다. 表 1 은 朴¹⁾의 논문에서 報告된 8 P.S. 步行用 트랙터의 牽引試驗資料이며 본 연구의 基本資料로 利用되었다. 本 研究에 사용된 엔진의 特性은 그림1에 나타

낸 바와 같으며 2200rpm에서 最大出力을, 1550rpm에서 最大토크를 발생하였다. 또한 컴퓨터 프로그램 내에서 各 回轉速度에 따른 制動馬力과 토크를 數值化하기 위하여 그림 1의 曲線을 그림 2와 같이 2차식으로 假定하여 그 式의 계수를 구하여 利用하였다.

Table 1. Data used in predicting the traction characteristics.

Slip (%)	6.3	6.9	8.0	16.5	12.45	16.2	20.7
Traction force (kg)	58	65	103	123	126	144	162
Slip (%)	16.8	27.5	38.4	27.6	33.6	50.4	
Traction force (kg)	178	200	206	207	218	215	

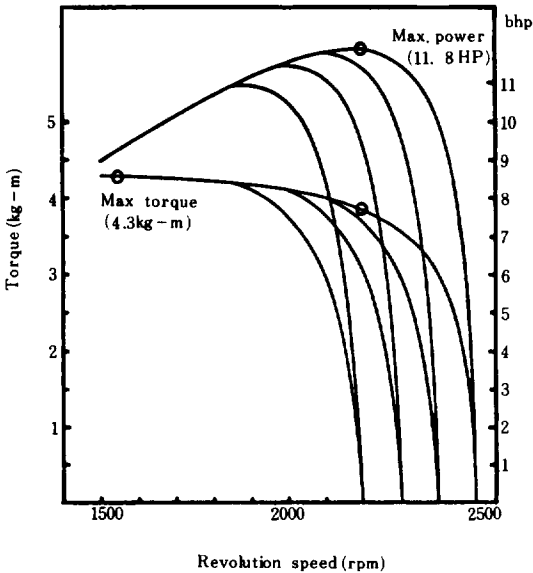


Fig. 1 Full load test of the 10HP CI engine.

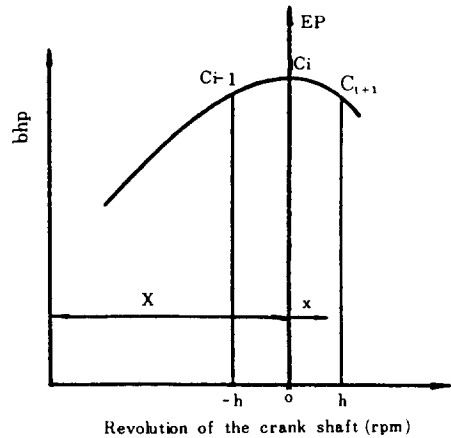


Fig. 2 2nd degree polynomial interpolation

Table 2. Travelling speed of the tested two-wheel tractor

Speed level	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th
Velocity (m/s)	0.361	0.528	0.806	6.25	1.83	2.89

制動馬力(EP)을 구하는 식은 다음과 같다.

$$EP = \left(\frac{C_{i+1} + C_{i-1} - 2C_i}{2h^2} \right) X^2 + \left(\frac{C_{i+1} - C_{i-1}}{2h} \right) X + C_i$$

여기서 X; 크랭크축의 회전속도에서 X만큼 뺀값
(그림참조)

C_{i+1} , C_i , C_{i-1} ; h , o , $-h$ 에서의 制動馬力
供試 步行用 트랙터의 重量은 350kg이었으며 타

이어는 6.00-12를 使用하였다. 表 2는 供試機의 變速段數別 走行速度를 나타낸 것이다.

機械效率는 구체적인 資料를 얻을 수 없었으므로 일반적인 값으로 假定하여, 체인傳動의 效率를 93%, 벨트傳動을 95%, 기어 傳動을 98%로 하였으며 따라서 供試機의 機械效率는 80%였다.

3. 結果 및 考察

가. 牽引特性 模型의 開發

1) 牽引特性 模型의 決定

車輪의 牽引特性을 나타내는 模型은 이미 言及했듯이 여러가지가 있다.

그러나 本 研究에서는 包含되어질 要因을 考慮하여 Wismer와 Luth의 模型을 本 研究에서 사용할 牽引特性 模型로 選擇하였다.

Wismer와 Luth에 의한 純牽引係數(μ)의 模型은 다음과 같다.

Table 3. Factor related to traction characteristic

Parameter	Symbol
Cone index	CI
Tire section width	b
Overall tire diameter	d
Tire rolling radius	r
Dynamic load	w
Towed force	TF
Pull	H
Gross tractive force	F
Slip (decimnal)	S

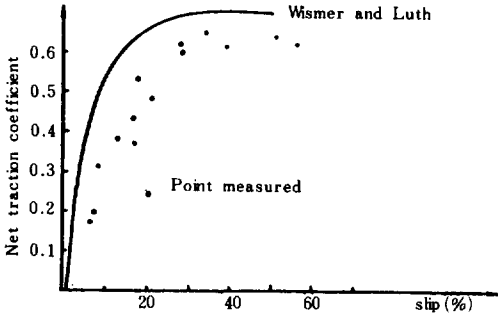


Fig. 3 Wismer and Luth Equation.

Table 4. Comparison of the tires between two-wheel tractor and tractors in Wismer and Luth Model

	Wismer & Luth model	TWO wheel tractor
Width	14-33 in	6 in
Diameter	33 - 65 in	24 in
Wheel load	227-295 kg	175 kg

$$\mu = 0.75(1 - e^{-0.3CnS}) - \left(\frac{1.2}{Cn} + 0.04\right) \quad (2)$$

여기서 $Cn = \frac{Clbd}{W}$

表 3은 이 模型에서 考慮한 要因을 나타낸 것이다.

그림 3은, (2)식에 의한 豫測結果와 表1의 牽引力 試驗資料를 나타낸 것으로 Wismer와 Luth식에 의한 牽引係數는 實際보다 더 큰 값을 갖는 것임을 잘 나타내고 있다.

表 4는 Wismer와 Luth 模型에서 使用한 타이어의 諸元과 供試機의 車輪을 對比한 것이다.

이상에서 알 수 있듯이 步行用 트랙터의 車輪은 Wismer와 Luth 模型의 適用範圍에 있지 않으며 실제로 豫測結果가 다르므로 이 模型을 修正할 必要가 있었다.

Wismer와 Luth의 模型에서 常數 0.75와 0.04는 매우 단단한 土壤에서 트랙터 車輪의 最大 總牽引係數(μ_{gmax})와 최소 구름抵抗係數(ρ_{min})을 나타낸다. 이들 값은 研究者에 따라서 多少의 差異가 있으나 μ_{gmax} 는 0.75~0.85, ρ_{min} 은 0.02~0.04정도로 報告되고 있다. 일반적으로 車輪의 直徑이 커짐에 따라서 牽引係數도 커지며 단단한 土壤에서는 차륜의 직경 차이에 의한 牽引係數의 차이가 뚜렷하게 크지 않으므로 步行用 트랙터 車輪에 있어서 μ_{gmax} 는 작은 값인 0.75를 ρ_{min} 은 0.04를 택하였다.

본 연구에서는 위와 같은 假定을 통하여 (2) 식을 (3)식과 같이 표시하여 常數 A와 B를 調整함으로써 새로운 牽引特性 模型을 구하고자 하였다.

$$\mu = 0.75(1 - e^{-ACnS}) - \left(\frac{B}{Cn} + 0.04\right) \quad (3)$$

常數 A와 B를 구하기 위하여 純牽引係數(μ)와 總牽引係數(μ_g)의 關係를 利用하여 (2)식을 整理하면 (4)식이 된다.

$$A = \frac{1}{CnS} \log\left(1 - \frac{\mu_g}{\mu_{gmax}}\right) \quad (4)$$

(4) 식에 牽引試驗資料와 μ_{gmax} 대신에 0.75를 代入하면 여러개의 A값이 구해진다. 또한 常數 B의 값을 0에서부터 4까지 주어서 A값과 B값을 미소량씩 變化시켜가면서 牽引試驗資料에 가장 近接한 값을 찾도록 하였다. 이를 위해서 (3)식이 牽引試驗資料와 最少의 誤差를 갖도록 컴퓨터 프로그램을 作成(그림 4 參照)하여 常數 A와 B를 구한 結果 (3)식은 다음식으로 표시되었다.

$$\mu = 0.75(1 - e^{-0.123 CnS}) - \left(\frac{1.8}{Cn} + 0.04\right) \quad (5)$$

이 豫測式의 r값은 0.9644였다. 한편 차의 資料를 利用함에 있어서 土壤의 Cone Index를 ASAE

R 313.1에 定義된 圓錐에 의한 값으로 換算하기 위하여 金須正幸 이 提示한 式을 利用하였다.

2) 牽引特性 모델에 의한 分析

토양의 硬度가 주어지면 (5)식에 의하여 純牽引係數를 구할 수 있다. 또한 牽引馬力과 驅動軸의 動力을 牽引係數와 連関시켜 생각하면 牽引效率(TE)은 (6)식으로 表示된다.

$$TE = \frac{HV_a}{T\omega} = \frac{HV_a}{T V_t} \frac{V_t}{r} = \frac{(H/W)}{(F/W)} (1-S) \quad (6)$$

여기서 T: 車軸에서의 토크

V_a: 실제 주행 속도

V_t: 이론적인 속도

ω: 車輪의 回轉速度

(6)식을 整理하면

$$TE = \left(1 - \frac{\rho}{\mu_g}\right) (1-S) =$$

$$\left\{1 - \frac{1.8}{Cn} + 0.04\right\} (1-S) \quad (7)$$

가 된다. 이 식에 의하면 牽引效率은 엔진의 出力이나 速度와는 無關하고 주어진 슬립에서 견인효율이 增大하기 위하여서는 $\frac{\rho}{\mu_g}$ 가 減少되어야 한다는 것을 알 수 있다. (7)식에 의해 牽引效率을 分析하면 그림 5와 같다.

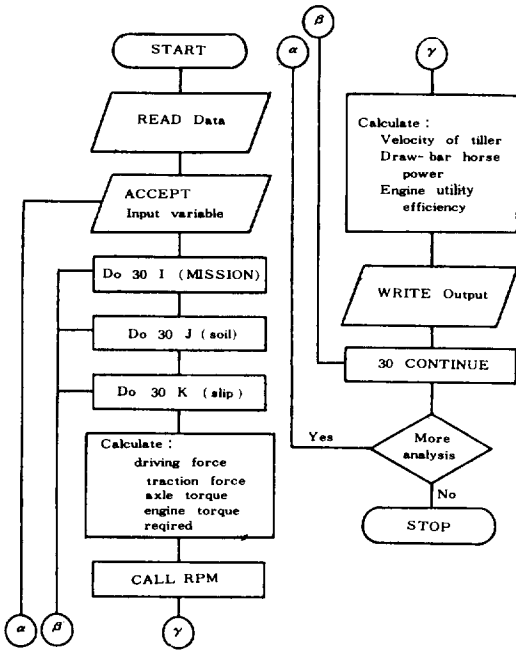


Fig. 4 Flow chart of the main program for the analysis of the field performance.

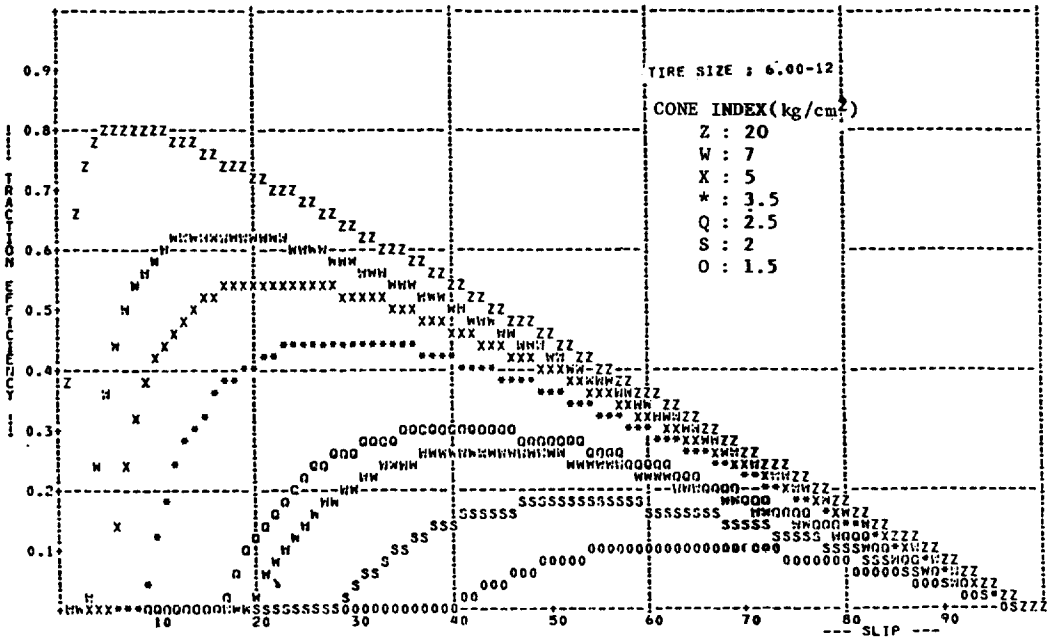


Fig. 5 Traction efficiency of the power tiller.

나. 牽引性能 分析 模型의 開發

1) 牽引性能의 概念

步行用 트랙터의 牽引性能에 關係되는 要因으로는 走行速度, 牽引力, 牽引馬力, 엔진의 最大出力과 實際作動出力, 變速比 및 步行用 트랙터의 重量 등이 있으며 이러한 要因이 복합적으로 작용한다. 그림 6 은 이들 要因間의 相互作用을 도표로서 나타낸 것이다. 가장 理想的인 牽引特性은 牽引效率曲線의 最大 點에서 常用 作業速度와 所要牽引力을 얻을 수 있고, 이같은 作業狀態에서 엔진이 定格出力을 發生하는 狀態라고 할 것이다. 最大牽引效率보다 낮은 효율에서 作業하는 경우에는 엔진에서 發生한 動力이 슬립 등에 의해 動力의 浪費를 가져오게 된다.

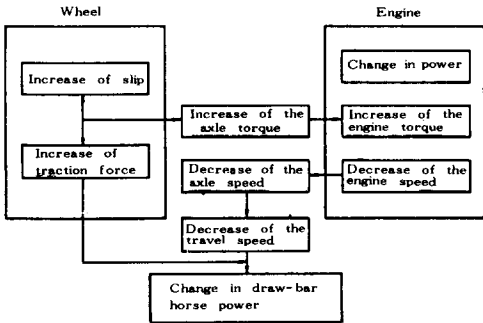


Fig. 6 Mutual relation of the factors on field performance.

2) 牽引性能 分析 模型 關係式

牽引效率의 分析을 위한 프로그램에서는 앞에서 말한 要因間의 關係式이 필요하다. 차축에서의 驅動力(T)은 動荷重에 총견인계수와 구름반경을 곱하여 얻을 수 있으므로

$$T = W \times 0.75 (1 - e^{-0.133 \times 0.85 CnS}) r \quad (8)$$

또한 엔진軸에서의 토크(Te)는

$$T_e = T \times TRi / \eta m \quad (9)$$

여기서 TRi : i번째 변속단수의 변속비

ηm : 機械效率

엔진의 所要토크에 相當하는 엔진의 回轉速度 (ω_e , rpm)는 엔진의 特性曲線에 의하여 決定되는 것으로서 (1)식을 이용하여 試行誤差法으로 구하였으며 차축의 회전속도(ω , rpm)는 變速比를 곱하여 얻었다.

$$\omega = \omega_e \times TRi \quad (10)$$

주행속도 (V_a)는 (11)식으로 表示되며 牽引馬力(D

P)은 走行速度와 牽引力의 곱으로 表示되므로

$$V_a = \frac{2\pi}{60} \cdot r\omega \cdot (1-S) = \frac{2\pi}{60} \cdot r \cdot \omega_e \cdot TRi \cdot (1-S) \quad (11)$$

$$DP = \frac{H \cdot V_a}{75} \quad (12)$$

3) 컴퓨터 프로그램의 개발

土壤의 硬度和 變速比, 슬립의 範圍, 變速機의 初期位置와 트랙터의 重量을 對話식으로 入力하여 牽引力과 牽引效率, 엔진出力, 엔진의 回轉速度, 走行速度, 牽引馬力を 計算할 수 있는 프로그램을 개발하였으며 그림 7은 프로그램의 유통도이다.

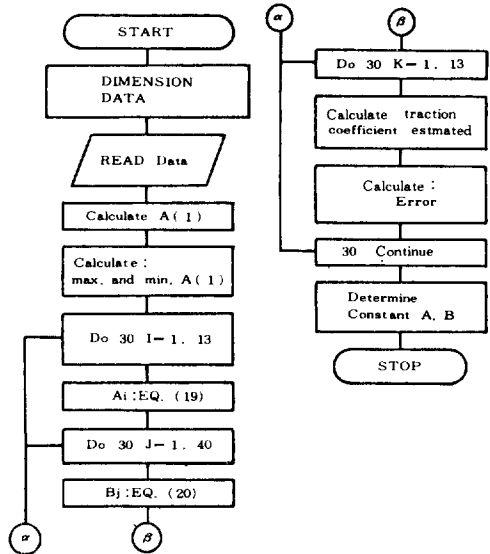


Fig. 7 Flow chart of the PREDICT subprogram

4) 牽引性能의 分析

가) 搭載엔진에 따른 牽引性能

步行用 트랙터의 牽引性能은 搭載엔진의 定格出力에 따라서 달라진다. D회사의 步行用 트랙터 탑재 엔진에 대한 諸元에 의하면 定格出力을 發生하는 엔진의 定格回轉速度와 無負荷 最大 回轉速度가 정격출력에 상관없이 거의 같은 것으로 나타났으며 이 점은 他会社製品에도 大体로 공통된 特性으로 나타나고 있다. 이와 같은 공통된 特性은 각 엔진의 出力이 엔진의 回轉速度에 따라 같은 傾向을 갖는다는 意味가 되므로 本 研究에서는 10마력 엔진에 대한 既知의 性能曲線의 出力에 0.8과 0.6을 각각 곱하여 8마력과 6마력 엔진의 性能曲線으로 假定하여 搭載엔진의 定格出力別로 牽引性能의 變化에 대한 概況을 分析하였다.

그림 8은 牽引性能의 分析結果를 나타낸 것이다. 變速段數가 6단인 경우에 탑재엔진간에 큰 差異가 있으나 3단에서는 엔진의 出力에 相關없이 같은 牽引馬力을 나타내고 있다. 走行速度도 6단에서는 多少의 差異가 있으나 3단에서는 그 차이를 찾아볼 수 없다. 따라서 步行用 트랙터가 運搬作業과 같이 高速 作業이 아니고 整기作業과 같이 農土에서 牽引作業을 위주로 사용된다면 8마력이나 10마력 엔진은 過度한 能力을 가진 것으로 思料된다.

나) 步行用 트랙터 重量에 따른 牽引性能

그림 9는 본연구에 使用된 350kg의 步行用 트랙터와 450kg에 대한 것의 牽引性能을 分析하여 나타낸 것이다. 여기에서 曲線의 實線이 끝나는 곳은 엔진이 過度한 토오르크를 받아서 停止하는 것을 나타낸다. 重量을 增加시킬 경우 牽引力과 牽引馬力의 增加를 나타내었으나 步行用 트랙터의 重量 增加에는 한계가 있을 것으로 思料된다. 즉 牽引力 150kg以下에서는 重量에 의한 차이가 없는 것으로 나타나므로 150kg 程度까지의 牽引力이 要求되는 作業에 있어서 重量의 增加는 無意味한 것으로 思料된다.

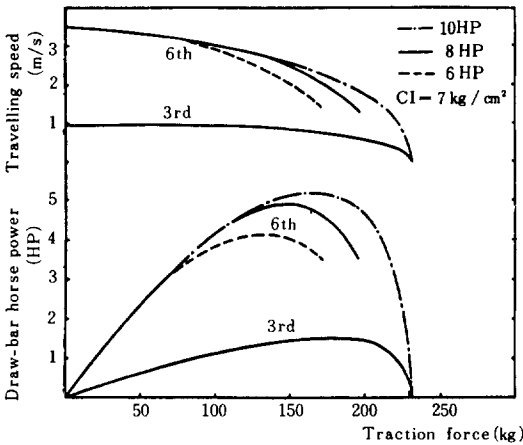


Fig. 8 Field performance dependent on the rated horse power

5) 步行用 트랙터 牽引性能의 特性

步行用 트랙터는 變速段數가 制限되어 있어 變速段數가 無限할 경우 충분히 利用할 수 있는 牽引馬力을 모두 얻을 수 없다. 그림 10에서 点線은 Cone Index 7kg/cm²의 土壤에서 步行用 트랙터가 各 牽引力에서 最大 엔진出力을 發生할 때 얻을 수 있는 牽引馬力을 나타낸 것이다. 步行用 트랙터의 變速段數別 牽引馬力의 利用은 그림에서 보는 바와 같이 低

速에서는 理論的인 能力보다 훨씬 적은 能力에서 利用될 수 밖에 없으며 最高度인 6단에서만 엔진의 最大出力(▼표)에 가까운 것을 利用할 수 있음을 나타내고 있다. 最大牽引馬力 曲線에 준하는 트랙터의 具備 要件은 高速의 變速裝置를 갖추는 것이라 할 수 있다.

步行用 트랙터의 牽引性能은 첫째로 步行用 트랙터의 牽引力이 150-200kg 範圍일 때 최대의 牽引馬力을 나타내고 둘째로 最大牽引馬力의 利用이란 視點에서 보면 實際의 牽引作業은 낮은 牽引效率에서 이루어진다는 것을 들 수 있다.

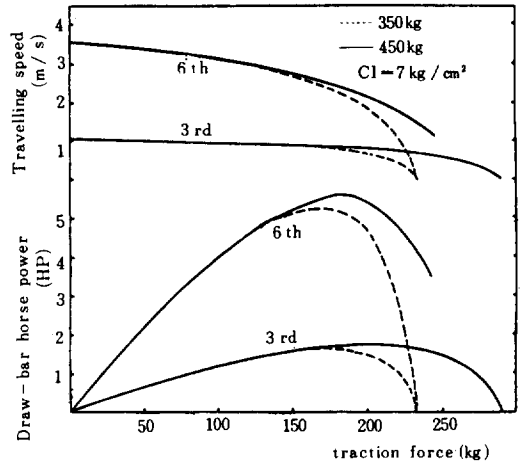


Fig. 9 Field performance dependent on the weight of tiller.

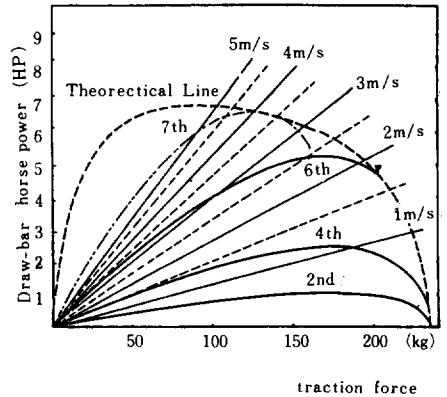


Fig. 10 Characteristic of the field performance for power tiller.

다. 重量, 定格馬力, 作業速度間의 適正化

1) 最大牽引力을 얻기 위한 步行用 트랙터 重量에 關한 分析

最大牽引力을 얻기 위한 動荷重은 牽引效率을 無視할 때 슬립율이 100%인 狀態에서 $\frac{\partial H}{\partial W} = 0$ 인 條件을 滿足하는 狀態이다. (5)식을 μ 의 定義를 利用하여 H에 관한 식으로 變形하면 (13)식과 같다.

$$H = 0.75W(1 - e^{-0.123 CnS}) - \left(\frac{1.8}{Cn} + 0.04\right)W \quad (13)$$

따라서 (13)식을 動荷重에 대하여 偏微分하면

$$\frac{\partial H}{\partial W} = 0.71 - (-0.0924 CnS + 0.75) e^{-0.123 CnS} - \frac{3.6}{Cn} = 0 \quad (14)$$

最大牽引效率을 얻을 수 있는 슬립율에서 最大牽引力을 얻는 重量을, (14)식에 數直解釋의인 方法을 適用하여 구하고 最大牽引效率의 80%를 發生시키는 슬립율에서 適正重量을 分析하면 그림 11과 같다. 이 그림에 의하면 概存 步行用 트랙터의 重量은 一般의 所以 Cone Index 7 kg/cm^2 이상에서는 適正值와 비슷하나 그 이하에서는 過重한 重量이라고 思料된다.

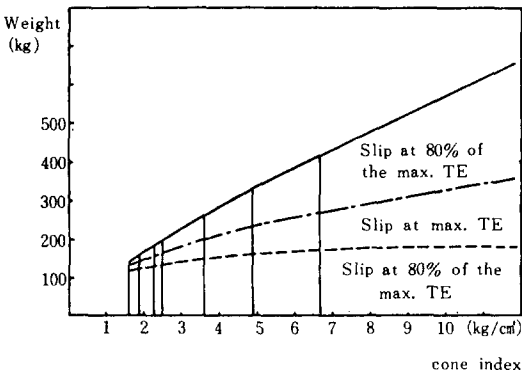


Fig. 11 Optimum weight dependent on kind of soil and traction efficiency.

2) 步行用 트랙터의 重量과 엔진의 定格馬力, 作業速度間의 適正關係式

驅動輪에서 發生하는 牽引馬力(P_1)은 (15)식으로 표시되며 엔진에서 驅動輪에 傳達하는 動力(P_2)은 牽引效率, 機械效率, 엔진의 定格出力과의 相乘積으로 나타낼 수 있다.

$$P_1 = W \cdot \mu g \cdot V / 75 \quad (15)$$

$$P_2 = TE \cdot P_1 \cdot \eta_m \quad (16)$$

여기서 P : 엔진의 生産出力

어떤 수준의 牽引力에서든지 엔진의 最大出力(P^*)을 利用할 수 있도록 變速하는 것이 가장 理想的이므로 (16)식에서 P가 P^* 가 되도록 하고 等式을 세우면

$$W \cdot \mu g \cdot V / 75 = TE \cdot P^* \cdot \eta_m \quad (17)$$

이 된다. 이 식을 정리하면

$$\frac{W}{P^*} - 75 \left(\frac{\eta_m \cdot TE}{\mu g} \right) \frac{1}{V} = K \frac{1}{V} \quad (18)$$

이 된다. (18)식에서 K값은 슬립의 函數이므로 最大牽引效率을 얻는 슬립에서 K값을 구하면 表 5와 같다. 이 식에서 Cone Index가 $7 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ 範圍의 토양에서 作業速度를 1 m/S 로 가정하고 트랙터의 重量을 350 kg 으로 하면 要求되는 엔진의 定格馬力은 3.5 HP 정도가 된다는 것을 알 수 있다.

4. 結論

本 研究의 目的은 土壤狀態와 步行用트랙터의 重量, 엔진의 特性, 變速比 및 車輪의 寸數 등이 주어졌을 때 牽引特性의 豫測과 牽引性能 分析模型을 開發하는 데 있었다. 또한 開發된 模型을 基礎로 하여 步行用 트랙터의 牽引性能을 適正化하는 條件을 分析, 提示하고자하였다. 이상의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 步行用 트랙터 驅動輪의 牽引特性모델은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mu = 0.75(1 - e^{-0.123 CnS}) - \left(\frac{1.8}{Cn} + 0.04\right)$$

$$\rho = \frac{1.8}{Cn} + 0.04$$

Table 5. The value of K dependent on kind of soil at maximum TE

Cone Index	3.5	5	7	11	20
Slip (%)	26	22	17	12	7
TE max	0.4537	0.556	0.639	0.734	0.814
μg	0.3625	0.380	0.394	0.432	0.454
K	75.10	87.82	92.27	102.0	107.5

$$TE = 1 - \left\{ \frac{\frac{1.8}{C_n} + 0.04}{0.75(1 - e^{0.123 C_n \cdot S})} \right\} (1 - S)$$

2. 步行用 트랙터의 重量(W)과 搭載엔진의 定格馬力(P*), 走行速度(V)간의 理想的인 關係式은 다음과 같다.

$$\frac{W}{P^*} = \frac{K}{V}$$

여기서 K = 92~107 (Cone Index 7~20kg/cm²)
K = 50~91 (Cone Index 2.5~7 kg/cm²)

3. 牽引性能 分析에 依하면 最大牽引馬力은 牽引力이 150~200kg 範圍일 때 發生하였으며 最大牽引馬力の 側面에서 보면 實際의 牽引作業은 낮은 牽引效率에서 이루어 지는 것으로 나타났다.

4. 最大牽引效率點에서 最大牽引力을 얻기 위한 重量에 對한 分析結果 概存 步行用 트랙터는 Cone Index 7kg/cm²이하의 土壤에서는 重量이 過度한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 朴虎錫 1981 장궤형 트랙터의 경사지 전인 및 작업특성에 관한 연구. 農試報告 第23輯(農機編) pp.37-43
2. 趙誠瓚 1980. 동력경운기 이경작업의 역학적특성에 관한 연구. 忠北大 論文集 第6輯 pp.227-244
3. Kisu, M 1972. Soil physical properties and Machine performance JARQ 6 (3) pp. 151-154
4. 金須正幸外 1964. 트랙터의けん引性能因子と

しての土壤の すべり係数. 日農機誌 28(2) pp. 78-81

5. 芝野保徳 1960. 小形トラクタの 駆動性能に関する研究(第一報) 日農機誌 32(1) pp. 2-9
6. 吉村靖生外 1981. 트랙터 車輪의對路面特性을 表おす諸係數とそのほ場測定法 (1):日農機誌 () pp. 31~38
7. A. Grecento 1968. Predicting the performance of wheel tractors in combination with implement. JAER 13(1) pp49-63.
8. Alvin C. Baily, Eddie C. Burt 1976. Theoretical considerations of a rigid wheel mechanis. TASAE pp1005-1007.
9. Frank M. Zoz 1972. Predicting tractor field performance TASAE pp249-255.
10. John E. Macnab 1977. Modeling wheel tractor energy requirement and tractive performance. TASAE pp602-605, 609.
11. Sverker P.E. Persson 1967. Parameters for tractor-wheel Performance.
12. Wismer, R.D. and H.J. Luth 1974. Off the road traction prediction for wheeled Vehicles. TASAE 17(1):8-10, 14.
13. D. Gee-Clough etal 1982. Ballasting wheeled tractors to achieve maximum power output in frictional-chesive soil. JAER 27(1)1-19.
14. J.H. Taylor, et al 1967. Effect of diameter on Performance of powered Tractor wheels.