

로우터리 耕耘의 負荷特性 및 所要動力에 關한 研究⁺

Tilling Load Characteristics and Power Requirement for Rotary Tillers*

崔圭烘* · 柳寬熙*

Choi, Kyu Hong · Ryu, Kwan Hee

Summary

This study was carried out to investigate the effects of the tilling depth, tilling travel speed and soil shear stress on the tilling load characteristics and power requirement for rotary tillers.

The results obtained from the study are summarized as follows.

1. The average and maximum PTO torque increased as the tilling depth, tilling pitch and soil shear stress increased. A multiple linear regression equation to estimate the average PTO torque in terms of the above parameters was developed.
2. The ratios of maximum PTO torque to the average torque were in the range of 1.17 to 1.65 for the various tilling conditions tested. The variation in PTO torque increased greatly as the tilling pitch and soil shear stress increased, but decreased as the tilling depth increased.
3. Power requirement for the PTO shaft increased with the tilling depth, travel speed and soil shear stress, but decreased slightly as the tilling pitch increased. A multiple linear regression equation to estimate power requirement for the PTO shaft in terms of the above parameters was developed.
4. The specific power requirement for the rotary tiller was in the range of 0.008-0.015 ps/cm² for the various tilling conditions tested. The specific tilling capacity decreased as the tilling depth and soil shear stress increased, but increased with the tilling pitch. A multiple linear regression equation to estimate the specific tilling capacity in terms of the above parameters was developed.

1. 緒論

政府가 農業機械化 事業의 一環으로서 60년대 初부터 普及하기 시작한 動力耕耘機는 1983年末 現在 약 50餘萬臺나 普及되어 使用되고 있으며 農家의 營農規模로 볼때 앞으로 더욱 普及될 展望이다. 이와같이 動力耕耘機 普及臺數가 增加함에 따라 動力耕耘機 本來의 機能인 農作業 利用時間이 增大하고 있으나 現在 普及되고 있는 動力耕耘機가 主로 大型인 관계로 操作상의 어려움, 事故의 유발, 燃料의 經濟性 등을 考慮할 때 不合理한 點들을 내포하고 있어 이런 點들을 改善시킬 수 있는 動力耕耘機 開發은 매우 바람직한 것으로 생각된다.

그러나 適正 動力耕耘機의 開發에 앞서 考慮해야 할 點으로는 動力耕耘機를 利用하는 各 農作業의 負荷特性, 農民의 嗜好性 등이라 하겠다. 이미 國內에서도 動力耕耘機의 傾斜地 牽引 및 走行特性¹⁾, 로우터리 麥類播種機 경운날의 改良試驗²⁾ 犁耕作業의 力學的 特性³⁾ 등이 研究 報告된 바 있으나 圃場에서의 로우터리 耕耘作業에 대한 實驗的 研究는 아직 遂行된 바는 없다.

따라서本 研究의 目的은 로우터리 作業機의 設計에 基礎資料를 提供하기 위하여 로우터리 耕耘作業時 耕耘條件의 變化가 負荷特性 및 所要動力에 미치는 影響을 實驗的으로 究明하는데 있다.

⁺ 本 研究는 1983年度 Coefficients 韓國科學財團의 研究費 支授으로 遂行된 것임

* 서울大學校 農科大學 農工學科

2. 林料및 方法

가. 供試 圃場및 供試機

本 實驗은 1983年 10月 京畿道 水原市 西屯洞, 塔洞 및 九雲洞에 所在한 3個 地区의 圃場과 1984年 5月 塔洞 所在 圃場에서 각각 實施하였다. 供試 圃場의 土壤狀態를 調查하기 위하여 土壤標本을 채취하여 含水率을 측정하고, 粒度분석은 美國 農務省 法으로 분석하였으며, 그 결과는 Table 1 과 같다.

또한 SR-2 型 土壤抵抗測定計를 사용하여 土壤剪 斷應力을 측정하였으며 垂直應力과 剪斷應力의 關係 線圖로 부터 應集力 C와 内部摩擦係數 $\tan\phi$ 를 구

하였으며, 이밖에 供試된 動力耕機 및 로우터리 耕機部의 主要 仕様은 Table 2 와 같다.

나. 測定裝置

로우터리 경우 작업시 負荷特性을 조사하기 위하 여 2軸 스트레인 게이지를 軸에 대해 45°로 接觸 시켜 토오크 變換器를 만들었으며, 測度設定(Calibr- ation)으로 부터 구한 토오크와 스트레인의 관계식 은 다음과 같다.

$$T = 12198.99\epsilon - 0.04437$$

여기서 ϵ : 스트레인

T: 토오크(kg · m)

Table 1 Physical properties of soils in the experimental fields

Soil		Soil A	Soil B	Soil C	Soil D
Location of field		Tap-dong	Guwoon-dong	Seoul National Univ. Farm	Tap-Dong
USDA soil textural classification		Silt loam(SiL)	Loam(L)	Sandy loam(SL)	Silt Clayey Loam(SiCL)
Sieve analysis	sand(%)	21.6	39.2	54.8	6.5
	silt (%)	54.0	44.0	35.8	64.6
	clay (%)	24.4	16.8	9.4	28.8
Moisture content d. b. (%)		39	35	30	28
Bulk density (g/cc)		1.1	1.2	1.4	1.1
Internal friction coefficient		1.42	1.13	1.16	0.78
Shear stress (kg/cm ²) (Normal stress=0.2kg/cm ²)		0.50	0.42	0.37	0.52
Date		Nov. 2 1983	Nov. 5 1983	Oct. 25 1983	May. 25 1984

Table 2 Specifications of Rotary Tiller Used in the Experiment

Power Tiller	Type	4 -Cycle Water Cooling Diesel (Dae-Dong)	
		Continuous rated output Weight	8 ps / 2200 rpm 327kg
Rotary	Weight	83kg	
	Tilling width	60cm	
	Number of tines	18	
	Shape of tines	Japanese-Rotary tine	
	Radius of tines	25cm	
	Driving method	Side-drive	
	Tines rpm at 2300 engine rpm	High (rpm)	347
		Low (rpm)	235

PTO 軸의 回轉速度는 탄성체 測力計에 스트레인 게이지를 接觸시키고 로우터리 連結軸에 돌기를 만들어 이것이 회전함에 따라 測力計을 움직여서 스트레인의 讀數로 나타나게 하여 測定하였다.

耕深은 耕耘作業 이후 1.5m 간격으로 耕耘部分과 未耕耘部分의 差로써 나타냈으며 이를 平均值와 標準偏差로써 표시하였다.

다. 엔진의 動力 測定

耕耘作業時 엔진의 出力을 직접 測定하기란 매우 어려운 일이므로 간접적인 방법을 사용하였다. 즉 圃場에서는 無負荷時(耕耘作業前) 및 負荷時(耕耘作業中)의 엔진의 回轉速度만을 測定하였다. 그리고 同一 엔진을 電氣動力計로써 無負荷時의 엔진 回轉速度別로 負荷를 變化시켜 토오크 및 回轉速度를 測定하여 다음과 같은 2次 多項式으로 얻어지는 負荷時의 回轉速度和 엔진 出力의 關係로부터 엔진 出力을 算出하였다.

$$P=C_1N^2+C_2N+C_3 \dots\dots\dots (2)$$

여기서

P : 엔진의 出力(PS)

C_1, C_2, C_3 ; 常數

N : 엔진의 負荷時 回轉速度(rpm)

回帰分析에 의하여 算出된 常數 및 決定係數(R^2)는 Table 3 과 같다.

라. 實驗 方法

土性이 다른 4個 地區의 供試 土壤에서 耕深을 5~13cm의 범위에서 5cm, 8cm, 12cm의 3水準으로 하였으며, 耕耘 變速 段數는 低速 1段 잘게(1-H), 低速 2段 잘게(2-H), 低速 2단 굵게(2-L)의 3段階로 變化시켰다. 이때 土壤간의 比較 基準으로서는 垂直應力이 0.2kg/cm² 일때의 토양 剪斷應力을 使用하였다. 그리고 엔진의 回轉 速度는 負荷時 回轉 速度가 가능한한 定格 回轉速度 2200rpm의 범위에 있도록 하고 無負荷時 回轉速度는 2200rpm 이상이 되도록 調整하였다. 具體的인 實驗 設計 및 測定 項目은 Table 4 와 같다.

마. 土壤의 剪斷應力 算出

로우터리 耕耘作業時 耕耘抵抗은 토양의 變形 抵抗(壓縮, 引張, 剪斷抵抗), 摩擦力, 慣性力, 遠心力

Table 3 Coefficients for Engine-Performance Prediction Equations.

No-load engine speed	C_1	C_2	C_3	Speed range (rpm)		Coefficient of determination (R^2)
				Max.	Min.	
2300rpm	0.89327E-04	-0.47151	611.86	2300	2170	0.99858
2280	-0.86654E-04	0.31810	-275.53	2280	2100	0.98476
2260	-0.64848E-04	0.21957	-165.32	2260	2100	0.99706
2240	-0.40366E-04	0.10689	-36.994	2240	2100	0.99972
2220	-0.90927E-04	0.33195	-228.94	2220	2050	0.99264
2200	0.93192E-04	-0.45436	548.51	2200	2000	0.99946
2000	-0.99689E-04	-0.01678	73.33	2000	1850	0.99974

Table 4 Combination of the Experimental Variables and Investigated Items.

Variable	Level	Investigated Items
Soil shear stress (Normal stress=0.2kg/cm ²)	0.27kg/cm ² (SL)	PTO shaft torque PTO shaft speed
	0.32kg/cm ² (L)	
	0.37kg/cm ² (SiL)	
	0.52kg/cm ² (SiCL)	
Gear setting	低速 1段 잘게 (1-H)	Engine speed Tilling speed
	低速 2段 잘게 (2-H)	
	低速 2段 굵게 (2-L)	
Tilling depth	5cm, 8cm, 12cm	

으로 分類되지만, 本 實驗에서는 轉의상 耕耘抵抗은 수평날(경운날의 曲面部)의 剪斷抵抗만에 의한 것으로 假定하였다.

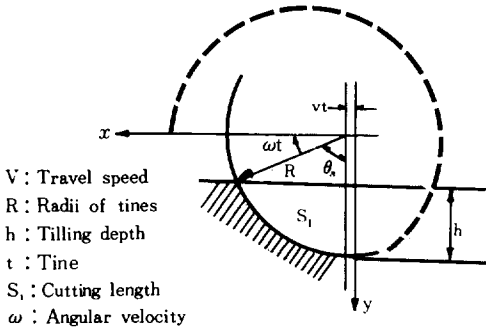


Fig. 1 Path of the horizontal tine

Fig. 1 으로부터 耕耘날 先端의 軌跡은 다음과 같은 式으로 나타낼 수 있다.

$$X = V \cdot t + R \cos \omega t \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$Y = R \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (4)$$

式 (3) 과 (4) 를 時間 t에 대하여 微分하면

$$\frac{dx}{dt} = V - R\omega \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{dy}{dt} = R\omega \cos \omega t \quad \dots\dots\dots (6)$$

을 얻는다.

경운날 先端이 그리는 弧의 길이 (절삭 길이)는

$$(ds_s)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 = \{V^2 + (R\omega)^2 - 2VR\omega \sin \omega t\} (dt)^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

로 표시된다. 式 (7) 을 積分하면

$$S_1 = \int_0^{\theta_s} \sqrt{V^2 + (R\omega)^2 - 2VR\omega \sin \omega t} \cdot dt$$

이 된다. $\dots\dots\dots (8)$

여기서 $\omega t = \tau$ 로 놓고,

$t = t_1$ 일 때 즉 경운날의 先端이 地表에 到達할 때,

$$\omega t_1 = \theta$$

$t = t_2$ 일 때 즉 경운날의 先端이 耕深 h에 到達할 때,

$$\omega t_2 = \frac{\pi}{2}$$

또한 $\sin \theta = (R-h) / R$ 를 이용하여,

$$S_1 = \frac{1}{\omega} \int_{\theta}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{V^2 + (R\omega)^2 - 2VR\omega \sin \tau} d\tau$$

$$= \frac{1}{\omega} \sqrt{V^2 + (R\omega)^2} \cdot \int_{\theta}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - K \sin \tau} d\tau$$

$$\dots\dots\dots (9)$$

를 얻는다.

여기서

$$K = 2VR\omega / (V^2 + (R\omega)^2) = 2\beta / (\beta^2 + 1) \quad (10)$$

$$\beta = V/R\omega \quad \dots\dots\dots (11)$$

그리고 耕耘 치치 p와 前進速度 V의 關係는

$$p = \frac{60V}{Nr} = \frac{V}{\omega} = \frac{\omega p}{2\pi}, \quad V = \frac{\omega p}{2\pi} \quad \dots\dots\dots (12)$$

여기서 Nr: 경운날의 회전속도 (rpm)

따라서

$$\beta = \frac{p}{2\pi R} \quad \dots\dots\dots (13)$$

를 얻는다.

式 (10) 로 부터,

$$1 - K = \frac{(1-\beta)^2}{1+\beta^2} \geq 0, \quad \text{즉 } 1 \geq K \quad \dots\dots (14)$$

를 얻게 된다.

만약 $\beta \neq 1$ 이면, $1 > K$ 로 된다.

그러므로 式 (9) 는

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{1}{\omega} \sqrt{V^2 + (R\omega)^2} \int_{\theta}^{\frac{\pi}{2}} (1 - K \sin \tau)^{\frac{1}{2}} d\tau \\ &= \frac{1}{\omega} \sqrt{V^2 - 1} (R\omega)^{\frac{1}{2}} \int_{\theta}^{\frac{\pi}{2}} (1 - \frac{K}{2} \sin \tau \\ &\quad - \frac{K^2}{8} \sin^2 \tau - \frac{K^2}{16} \sin^3 \tau \dots\dots) d\tau \dots\dots (15) \end{aligned}$$

로 되고, 따라서

$$\begin{aligned} S_1 &= R\sqrt{\beta^2 + 1} \left\{ \frac{\pi}{2} - \theta - \frac{K}{2} \cos \theta - \frac{\pi}{4} \frac{K^2}{8} + \frac{K^2}{8} \right. \\ &\quad \left. \left(\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right) - \frac{1}{3} \frac{K^2}{16} \cos \theta (\sin^2 \theta + 2) \right\} \quad \dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

로 된다.

一定한 耕耘 조건에서 토양을 동시에 切削하고 있는 耕耘날의 數 M은

$$M = \theta_s / \left(\frac{2\pi}{N} \right) \quad \dots\dots\dots (17)$$

여기서 $\theta_s = \frac{\pi}{2} - \theta$

N : 경운날의 總數 (=18)

PTO軸의 토오크 T_p 로부터 耕耘軸의 토오크 T_t 를 回轉 速度比로부터 求하면

$$T_t = T_p \times \frac{n_r}{n_t} \dots\dots\dots (18)$$

여기서 n_r : PTO축의 회전속도
 n_t : 耕耘軸의 회전속도

이 된다.

또한 토양 切削力 F' 는 $F' = \frac{T_t}{R}$ 이고, 경운날

1개의 토양 切削力 F 는

$$F = \frac{F'}{M} \dots\dots\dots (19)$$

이 된다.

Fig. 2로 부터 토양 剪斷 面積 A 는

$$A = b \times S_1 \dots\dots\dots (20)$$

따라서 경운날의 수평날이 토양을 切削할 때 일어나는 토양의 剪斷應力 s 는

$$s = \frac{F}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (21)$$

로 算出된다.

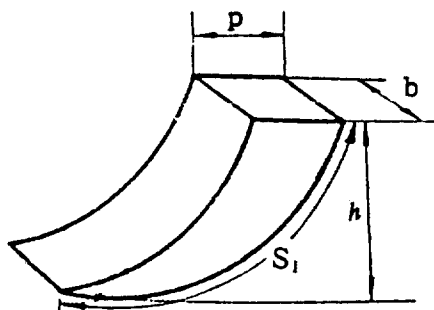


Fig. 2. Shape of soil slice.

실제 로우터리 耕耘 實驗에서 얻은 耕耘軸 토오크로부터 위의 分析 方法에 의하여 算出한 土壤의 剪斷應力은 0.29—0.55kg/cm²인 것으로 나타났다. 한편 供試 圃場에서 SR-2型 土壤抵抗測定計로 측정 한 토양 剪斷應力은 垂直應力이 0.2kg/cm²일때 0.27~0.52kg/cm²이었으므로, 本 實驗結果의 分析에서 사용되는 토양 剪斷應力은 垂直應力이 0.2kg/cm²일 때의 값을 基準으로 하였다.

바. 負荷 特性의 分析

負荷 特性 및 所要 動力을 分析하기 위하여 PTO

軸의 토오크와 回轉 速度를 오실로그래프(Oscillo graph)에 기록하였으며, 이의 分析은 記錄紙에서 前期, 中期, 後期 각각 5秒間을 採取하여 求積計(planimeter)로서 面積을 求하여 平均하는 方法을 택하였다.

또한 最大 토오크는 極大點의 값들을 平均하여 구하였다. 그리고 PTO軸 토오크의 極大值 分布 및 負荷 變動을 分析하고자 極大值 分布 曲線 및 토오크 比를 구하였다.

사. 用語 및 計算式

로우터리 作業機의 諸 特性을 나타내는 用語 및 計算式은 다음과 같다.

$$\text{耕耘 피치 } P = \frac{60 \cdot V}{n_t} \text{ (cp)} \dots\dots\dots (22)$$

$$\text{토오크 比 } T_r = \frac{T_{pmax}}{T_{paver.}} \dots\dots\dots (23)$$

$$\text{動力 效率 } \eta_p = \frac{P_p}{P_e} \times 100(\%) \dots\dots\dots (24)$$

$$\text{耕耘比動力 } N_p = \frac{P_p}{A} = \frac{P_p}{b \cdot D} \text{ (ps/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (25)$$

$$\begin{aligned} \text{馬力當 作業能率 } Q &= \frac{3600 \cdot b \cdot v}{100 \cdot 100 \cdot P_p} \\ &= 0.36 \frac{b \cdot v}{P_p} \text{ (a/hr} \cdot \text{ps)} \dots\dots\dots (26) \end{aligned}$$

여기서

- V : 走行 速度(m/sec)
- n_t : 耕耘軸의 回轉 速度(rpm)
- b : 耕 幅(cm) (=60cm)
- D : 耕 深(cm)
- P_p : PTO軸의 平均 動力(ps)
- P_e : 엔진의 平均 動力(Ps)
- T_{pmax} : PTO軸의 最大 토오크(kg·m)
- $T_{paver.}$: PTO軸의 平均 토오크(kg·m)

3. 結果 및 考察

가. 動力耕耘機의 走行 動力

動力耕耘機에 로우터리 作業機를 附着하고 로우터리 耕耘作業을 하지 않는 狀態에서 고무 타이어

Table 5 Power Required for the Power Tiller to Travel at No Rotary-Tilling Load

Gear setting	Travel speed(m/s)	Power required(ps)	Remark
1-L	0.42	1.10	Equipped with
2-L	0.61	1.73	rubber tire

로 乾畝를 走行할 때의 動力을 測定하였던 바 Table 5에서 보는 바와 같다.

나. PTO軸의 平均 토크 및 最大 토크

土性이 다른 4개 地區에서 로우터리 耕耘實驗을 實施하여 分析한 平均 토크 및 最大 토크는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 各 供試 土壤에서 耕深이 증가함에 따라 거의 直線의 傾向이 나타났다.

경운 피치가 클수록 토크가 크게 나타났는데 이것은 耕耘 피치가 증가함에 따라 경운날이 切削

하여 後方으로 放出해야 할 흙의 體積이 增加함으로써 耕耘抵抗이 增加하였기 때문인 것으로 판단된다.

또한 金須正幸¹⁾과 增田正三²⁾ 등의 研究結果와 같이 PTO軸 토크는 土壤의 剪斷抵抗에 거의 比制하여 增加하는 傾向을 나타냈다.

本 실험의 要因인 耕深, 耕耘 피치 및 토양 剪斷應力은 耕耘軸 토크에 크게 影響을 미치는 것으로 나타났으며 PTO軸의 平均 토크는 回歸分析 結果 다음과 같은 重線形 方程式으로 나타낼 수 있었다.

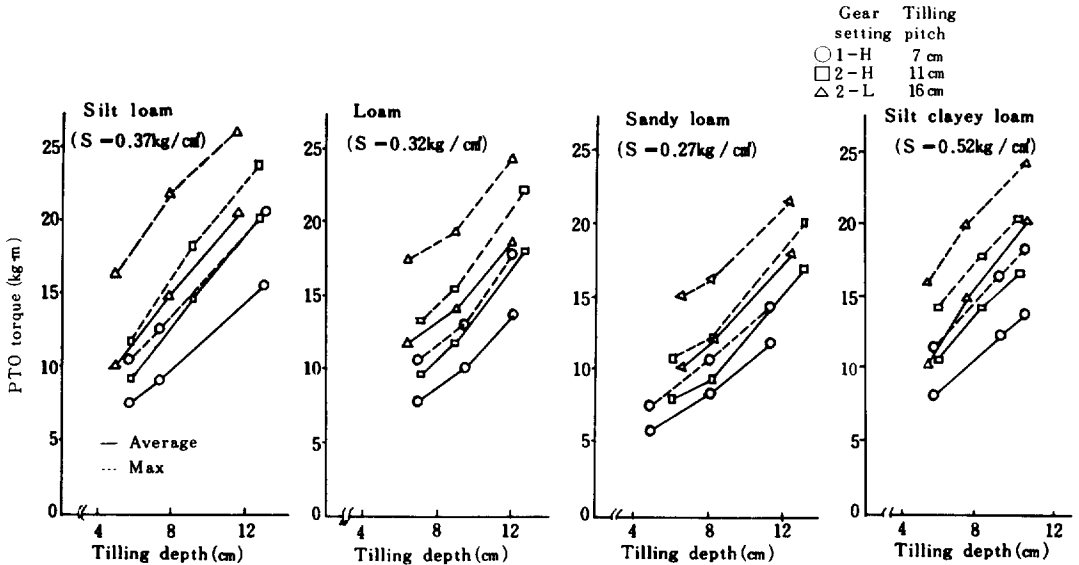


Fig. 3 Relations between Tilling Depth and PTO Torque for Four Types of Soil

$$T_p = -9.4646 + 1.2925D + 0.50674P + 14.499S$$

$$(R^2 = 0.94168) \dots\dots\dots (27)$$

여기서

T_p : PTO軸의 平均 토크(kg·m)

D : 耕深(cm) (= 5~13cm)

P : 耕耘 피치(cm) (= 7~16cm)

S : 垂直應力이 $0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 때의 토양 剪斷應力(kg/cm^2) (= $0.27 \sim 0.52\text{kg}/\text{cm}^2$)

Table. 6의 7, 8, 9行은 平均 토크의 實測値와 위의 回歸 方程式으로 算出된 推定値를 比較하여 나타낸 것으로 大体로 잘 附合함을 알 수 있다.

다. PTO軸 토크의 變動

各 耕耘作業條件에서의 負荷變動을 나타내는 토크비는 Table 6의 6行에서 보는 바와 같이 殖壤

土 및 微砂質 壤土에서 1.17~1.65, 壤土와 砂壤土에서 1.18~1.49로서 脱穀作業時의 1.17~1.27¹⁾에 비하여 負荷變動이 매우 큰 것으로 나타났다. 그리고 耕耘피치와 土壤剪斷應力이 증가할 수록 토크비가 증가하는 傾向이 나타났으므로 負荷變動이 커짐을 알 수 있다.

Fig. 4는 PTO軸 토크의 極大値가 各 耕耘條件에 따라 어떻게 分布하는가를 比較하기 위하여 微砂質 壤土에서의 極大値 分布曲線을 例로 나타낸 것이다. 여기에서도 토크비에서 高찰한 것처럼 極大値 토크의 變動이 減少함을 알 수 있다.

平均토크가 일정하다면 토크의 變動이 PTO 所要動力에 影響을 주지 않는다고 하더라도, 토크 變動이 클 수록 耕耘軸의 回轉이 원활하지 못하여 機體의 抵抗이 심하게 되어 바람직하지 못하다.

Table 1. Comparisons between Measured and Predicted Values of Average PTO Torque and Average PTO Power.

Soil	Tiller gear setting	Tilling depth (cm)	Travel speed (m/sec)	Tilling pitch (cm)	Torque ratio	Average Torque			Average Power		
						Investigated (kg. m)	Predicted (kg. m)	Error (%)	Investigated (kg. m)	Predicted (kg. m)	Error (%)
Silt Loam S=0.37 (kg/cm ²)	1-H	5.6	0.40	7	1.39	7.60	6.69	-11.9	4.20	3.71	-11.7
	2-H	5.8	0.64	11	1.28	9.34	8.97	-3.9	5.16	5.58	4.3
	2-L	4.9	0.61	16	1.64	10.22	10.34	1.2	3.85	3.38	-12.2
	1-H	7.3	0.41	7	1.37	9.12	8.80	-3.5	4.97	4.88	-1.8
	2-H	9.1	0.61	11	1.24	14.73	13.24	-10.1	7.90	7.27	-8.0
	2-L	7.8	0.60	16	1.47	14.87	14.09	-5.2	5.54	5.06	-8.7
	1-H	13.0	0.41	7	1.30	15.80	16.25	2.8	8.47	8.40	-0.8
	2-H	12.7	0.53	12	1.18	20.33	18.40	-9.5	8.86	8.31	-6.2
	2-L	11.4	0.65	17	1.27	20.59	19.25	-6.5	7.68	7.61	-0.9
Loam S=0.32 (kg/cm ²)	1-H	7.0	0.40	7	1.35	7.78	7.77	-0.1	4.21	4.22	0.2
	2-H	7.1	0.57	10	1.35	9.67	10.42	-1.8	5.21	5.48	5.2
	2-L	6.4	0.61	16	1.49	11.74	11.56	-1.5	4.32	3.96	-8.3
	1-H	9.5	0.41	7	1.28	10.06	11.00	9.3	5.33	5.88	10.3
	2-H	8.9	0.56	10	1.32	11.76	11.75	-0.1	6.16	6.47	5.0
	2-L	8.9	0.63	17	1.37	14.01	15.29	9.1	5.16	5.47	6.0
	1-H	12.0	0.41	7	1.30	13.70	14.23	3.9	7.17	7.43	3.6
	2-H	12.6	0.59	12	1.23	18.15	17.54	-3.4	9.28	8.59	-7.4
	2-L	11.9	0.61	17	1.30	18.66	19.17	2.7	6.72	7.10	5.7
Sandy Loam S=0.27 (kg/cm ²)	1-H	4.8	0.41	7	1.32	5.73	4.20	-26.7	3.19	2.62	-17.9
	2-H	6.0	0.58	10	1.33	8.03	7.27	-9.4	4.37	4.55	4.1
	2-L	6.5	0.61	16	1.41	10.71	10.96	2.3	3.99	3.66	-8.3
	1-H	8.0	0.41	7	1.28	8.27	8.34	0.8	4.50	4.60	2.2
	2-H	8.1	0.59	11	1.30	9.38	10.49	11.8	5.11	5.71	11.7
	2-L	8.2	0.60	16	1.33	12.18	13.16	-8.0	4.59	4.60	0.2
	1-H	11.2	0.43	7	1.20	11.76	12.47	-6.0	6.40	6.81	6.4
	2-H	13.0	0.62	13	1.19	16.95	17.84	-5.2	8.87	8.60	-3.0
	2-L	12.3	0.60	16	1.20	18.04	18.46	-2.3	6.60	7.13	8.0
Silt Clayey Loam S=0.50 (kg/cm ²)	1-H	5.7	0.36	7	1.43	7.78	7.77	12.2	4.29	4.38	2.1
	2-H	5.9	0.53	10	1.35	9.67	10.42	1.5	5.47	5.70	4.2
	2-L	5.4	0.55	14	1.54	11.74	11.56	17.5	3.85	4.58	19.0
	1-H	9.3	0.35	7	1.33	10.06	11.00	10.1	6.45	6.49	0.6
	2-H	8.3	0.49	9	1.25	11.76	11.75	-6.4	7.24	6.97	3.7
	2-L	7.6	0.52	14	1.35	14.01	15.29	0.9	5.37	5.60	4.3
	1-H	10.6	0.35	7	1.37	13.70	14.23	11.7	7.06	7.29	3.3
	2-H	10.3	0.41	8	1.22	18.15	17.54	-8.0	8.36	7.54	-9.8
	2-L	10.8	0.48	13	1.20	18.66	19.17	-7.6	7.07	7.37	4.2

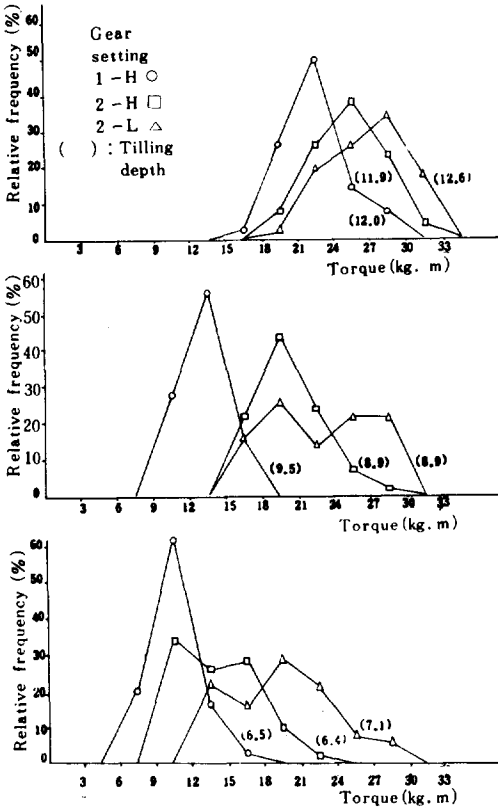


Fig. 4 Distribution of Peak PTO Torque in Silt Loam Soil.

라. PTO軸 所要 動力

PTO軸의 平均 및 最大 所要動力은 Fig. 5 에서 보는 바와 같이 耕深이 증가함에 따라 顯著히 증가하는 경향이 나타났다.

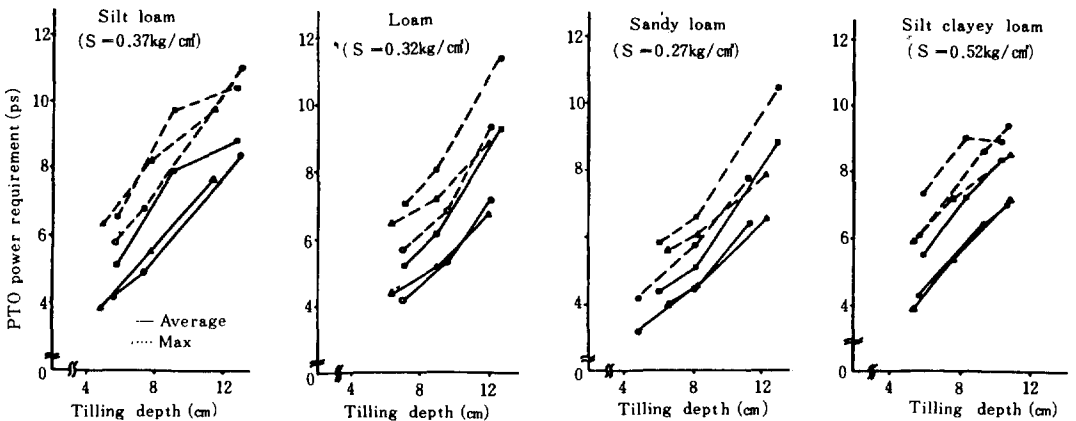


Fig. 5 Relations between Tilling Depth and PTO Power Requirement for Four Types of Soil. (Refer to Fig. 3 for the symbols used)

一定한 耕深에서 低速 1段 잘기 (1-H)에서 低速 2段 잘기 (2-H)로 變速하였을 경우, 즉 耕軸의 회전속도는 같고 走行速度만을 증가시켰을 경우 耕 耘 피치의 증가와 함께 토오크가 증가하여 소요동력이 증가하였다. 그러나, 低速 2段 굵기 (2-L)에서 低速 2段 잘기 (2-H)로 變速하였을 경우, 耕 耘 피치의 감소와 함께 토오크는 감소하지만 소요동력은 훨씬 증가했는데 이것은 耕軸의 回轉速度의 증가와 함께 그만큼 토양을 잘게 切削, 破碎하기 때문인 것으로 판단된다.

微砂質壤土에서 低速 2段 잘기 (2-H)의 경우 耕 耘의 증가에 따른 所要動力의 增加率이 顯著히 減少하는 경향을 나타내고 있는데, 이것은 耕 耘抵抗의 증가로 인한 토오크 增加率 보다도 速度의 減少率이 더 크게 나타났기 때문이다.

또한 PTO軸의 所要動力은 PTO軸 토오크와 마찬가지로 土壤의 剪斷抵抗에 거의 比例하여 증가하는 것으로 나타났으며 走行速度에 따라서도 증가하는 현상이 나타났다.

PTO軸의 平均 所要動力은 回歸分析 結果 耕深, 走行速度, 耕 耘 피치 및 土壤 剪斷應力의 要因들에 의하여 다음과 같은 重線形 方程式으로 나타났다.

$$P_p = -5.2098 + 0.61816D + 11.578V - 0.25837P + 7.1255S \quad (R^2 = 0.93946) \quad \dots\dots\dots (28)$$

여기서

- P_p : PTO 軸의 所要動力 (ps)
- D : 耕深 (cm) (5~13cm)
- V : 走行速度 (m/sec) (0.36~0.65m/sec)
- P : 耕 耘 피치 (cm) (7~16cm)

S : 垂直 應力이 0.2kg/cm² 일 때의 土壤 剪斷 應力(kg/cm²) (0.27~0.52kg/cm²)

PTO軸의 平均 所要動力의 實測値와 回歸 方程式으로 推定한 推定値를 比較한 結果 Table 6의 10, 11, 12行에서 보는 바와 같이 대체로 10% 이하의 誤差로 推定値와 實測値가 잘 附合함을 나타내었다.

마. 엔진의 所要 動力

式 (2)로 부터 각각의 로우터리 耕耘 實驗時의 엔진 所要動力을 算出한 결과 Fig. 6에서 보는 바와 같이 PTO軸의 所要 動力과 비슷한 傾向을 나타냈다. 動力效率은 耕深이 증가할 수록, 즉 負荷가 증가할 수록 증가했으며, 72~96%로 높게 나타났다. 이와 같이 動力效率이 높게 나타난 것은 엔진이 過 負荷 狀態로 되기 이전까지는 耕深이 증가할 수록

경운날이 토양을 切削할 때에 생기는 反力으로 인하여 機體의 推進力이 증가하게 되어 走行 動力이 減少하게 되기 때문인 것으로 판단된다. 즉 엔진 動力의 大部分이 PTO動力으로 利用되기 때문인 것이다.

바. 耕耘比動力 및 馬力당 作業能率

耕耘 比動力은 耕耘 條件에 따라 差異가 크게 나타나서 0.008~0.015ps/cm²이었으며, Fig. 7에서 보는 바와 같이 耕深의 증가에 따라 감소하다가 8~9cm부터는 鈍化되는 現象이 나타났다. 그러나 耕深이 12cm 이상에서는 負荷의 增大로 인하여 경운날이 土壤을 切削만 하고 後方으로의 放出이 圓滑하지 못하여 碎土 作業을 하기에는 不適合함을 考慮할 때, 8ps 動力 耕耘機로서 效率的으로 로우터리 耕耘 作業을 할 수 있는 耕深은 9cm정도가 될 것으로 判

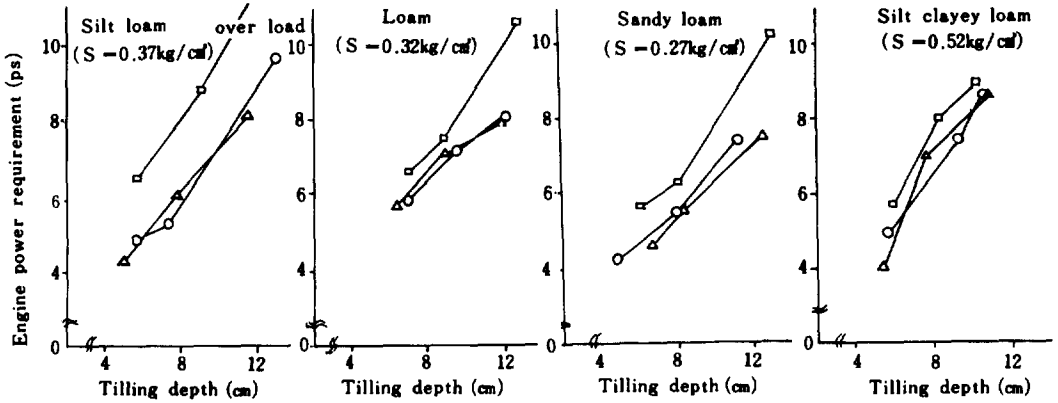


Fig. 6 Relations between Tilling Depth and Engine Power Requirement for Four Types of Soil. (Refer to Fig. 3 for the symbols used)

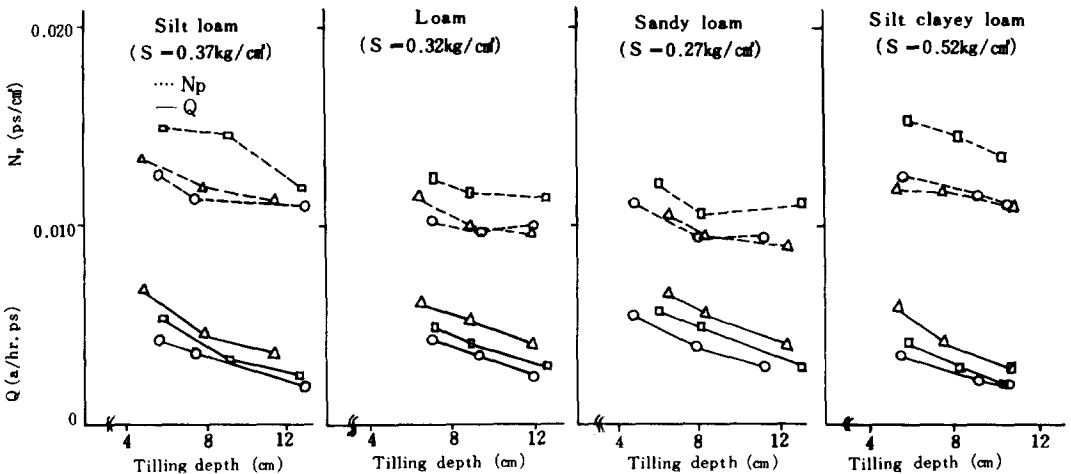


Fig. 7 Specific Power Requirement and Specific Capacity of Rotary Tilling (Refer to Fig. 3 for the symbols used)

斷된다.

馬力當 作業能率(단 回行 時間은 고려하지 않았음)은 耕深, 耕耘 피치 및 土壤 剪斷應力이 증가함에 따라 거의 直線의 으로 減小하는 경향이 나타났으며 回歸 分析 結果 다음과 같은 重線形 方程式으로 나타났다.

$$Q = 3.7081 - 0.20714D + 0.08943P - 2.3435S$$

$$(R^2 = 0.95012) \dots\dots\dots (26)$$

여기서

- Q : 馬力當 作業 能率(a/hr·ps)
- D : 耕深(cm) (5~13cm)
- P : 耕耘 피치(cm) (7~16cm)
- S : 垂直應力이 0.2kg/cm² 일때의 토양 剪斷應力(kg/cm²) (0.27~0.52kg/cm²)

4. 要約 및 結論

본 實驗은 動力耕耘機를 利用한 로우터리 耕耘 作業時 耕深, 走行 速度, 耕耘 피치 및 土壤 剪斷應力의 變化가 負荷特性, 所要動力 및 作業 能率에 미치는 影響을 調査 分析하고자 微砂質 壤土, 壤土, 砂壤土, 微砂質 殖壤土의 4 가지 圃場에서 實施되었으며 그 結果는 다음과 같이 要約된다.

가. PTO軸의 平均 및 最大 토오크는 耕深(D, cm) 耕耘 피치(P, cm), 토양 剪斷應力(S, kg/cm²) 이 증가할수록 증가하는 경향이 나타났으며, PTO軸의 平均 토오크(T_p, kg·m)는 이들 因子로 부터 다음과 같은 重線形 方程式으로 推定될 수 있었다.

$$T_p = -9.4646 + 1.2925D + 0.50674P + 14.499S$$

나. PTO軸의 토오크比(平均 토오크에 대한 最大 토오크의 比率)는 1.17~1.65로서 耕耘作業 條件에 따라 負荷變動이 심한 것으로 나타났으며, 耕耘이 증가함에 따라 감소하는 反面에 耕耘 피치와 토양 剪斷應力이 增加할수록 증가하는 傾向이 나타났다.

다. PTO軸의 平均(S, kg/cm²) 所要動力(P_p, ps)은 耕深(D, cm) 走行速度(V, m/sec) 및 土壤 剪斷應力에 따라 증가하는 반면 耕耘 피치(P, cm)가 증가할수록 오히려 감소하는 것으로 나타났으며, 다음

과 같은 重線形 方程式으로 推定될 수 있었다.

$$P_p = -5.2098 + 0.61816D + 11.578V - 0.25837P$$

$$+ 7.1255S$$

라. 耕耘 比動力은 0.008~0.015ps/cm²이었으며, 耕深이 증가함에 따라 減小하다가 8~9cm 이상에서는 鈍化되는 傾向을 나타냈다. 馬力當 作業能率(Q, a/ps·hr)은 耕深(D, cm)과 土壤 剪斷應力(S, kg/cm²)이 클 수록 直線의 으로 減小하는 반면, 耕耘 피치가 클수록 증가하는 경향을 나타냈으며, 다음과 같은 重線形 方程式으로 推定될 수 있었다.

$$Q = 3.7081 - 0.20714D + 0.08943P - 2.3435S$$

引用 文獻

1. 朴虎錫. 1981 裝軌型 트랙터의 傾斜地 牽引 및 作業特性에 관한 研究. 農試報告 第23輯(農機編) 37~43.
2. 趙誠瓚. 1980. 動力耕耘機 犁耕作業의 力學的 特性에 관한 研究. 忠北大論文集 第6輯 227~224.
3. 金聲來, 金文圭 外. 1979. 로우터리 麥類播種 機 耕耘날의 改良試驗. 韓國農業機械學會誌 4(1) 1~23.
4. 劉壽男, 柳實熙. 1981, 바인더 넛단의 크기가 自動脫穀機의 脫穀性能 및 負荷特性에 미치는 影響. 韓國農機學會誌. 6(1), 60~72.
5. 金項正幸. 1966. 乘用 트랙터의 走行, 牽引および 耕耘性能에 關する 研究. 農業機械化研究所 報告. 86~103.
6. 增田正三, 田中孝 外. 1968, 로터리 耕うん における 土性 と 所要動力에 關する 研究. 關西支部 報 25. 61~64
7. 土屋功位. 1959. 로터리式 耕耘刃による 水田 土壤의 耕耘性에 關する 實驗的 研究, 出形大 紀要. 3(1).
8. Jun Sakai, 1977. Some Design Know-hows of Edge-Curve Angle of Rotary Blades for Paddy Rice Cultivation. AMA. Vol. 3(2) 49-57.