

動力耕耘機 Plow System의 力學的 平衡改善에 關한 研究

Study on the Dynamic Balance of the Power-tiller Plow System

Song, Hyun Kap
宋 鉉 甲*

Summary

A study was investigated to find out the mechanical optimum conditions of power tiller-plow system on both paddy field and upland.

Mathematical model was developed for the theoretical analysis of this system and the experimentation on the field was carried out with two different sizes of 5 PS and 8 PS power tiller equipped with rubber tire.

The results of the theoretical and experimental analysis may be summarized as follows;

1) The relationship between the plowing depth and draft resistance of the power tiller-plow system was a quadratic function.

2) The minimum point of the specific draft resistance of the 5PS plow was found at the smaller plowing depth than that of 8 PS plow, therefore we can find that the curved surface of 5 PS plow bottom should be improved for the effective plowing operation.

3) As the improvement of the mechanical balance by the desirable change of the curved surface of plow bottom, the relative position of hitch point and dimension of plow beam would be realized, the 5 PS power tiller could be used to plow deeply (about 16-17cm).

4) The virtual acting point of the total draft resistance on the plow bottom approached to the landside as the plowing depth increased.

5) The resultant of vertical reaction force R_2 on the landside was increased with the plowing depth, while the vertical reaction force R_1 on the wheel was decreased as the slope angle of the body of power tiller increased.

6) For the effective plowing operations;

a) The slope angle of the body should be as small as possible.

b) The diameter of the wheel should be as small as possible.

c) The horizontal and vertical distances l_2 , h_1 between the wheel axis and plow bottom should be as large as possible.

* 忠北大學校 農大 農業機械科

7) To use the 5 PS power tiller as the major unit of agricultural machinery, the curved surface of the 5 PS plow bottom and the mechanism of attachment between the power tiller and the plow should be changed as the indications of this study, and in addition to these, the new operation method of the field work should be developed.

1. 諸 論

우리나라 農業이 機械化 方向으로 發展됨에 따라 農事作業의 原動機 役割을 하는 動力耕耘機는 '78 年 現在 20餘萬臺가 普及되었으며 繼續普及 使用될 전망이다. 現在까지는 8~10馬力型 動力耕耘機가 普及臺數의 大部分을 차지하여 왔으나, 婦女子나 老弱者가 使用하기에는 機體重量이 너무 무겁기 때문에 보다 가볍고 에너지 節約形의 小型動力耕耘機가 절실히 必要하게 되었다. 이와같은 必要性에 副應하여 5馬力型 動力耕耘機를 開發하여 普及단계에 이르게 되었다. 8~10馬力型 動力耕耘機에 依한 大部分의 農事作業은 5馬力型 耕耘機로 代치할 수 있으나, 農事作業中 가장 힘이 많이 드는 作業의 하나인 犁耕作業은 5馬力型 耕耘機로 하기에는 어려움이 있다.

犁耕作業에 關한 實驗結果²⁾ 耕深 18~20cm의 깊이같이 作業에 所要되는 動力은 1.5~3.0馬力이므로 5馬力型 動力耕耘機는 犁耕作業을 하기 充分한 動力規模를 가지고 있다고 판단된다. 다만 動力 傳達裝置를 改善하고, 플라우 曲面等 犁耕作業系의 다른 機械의 條件을 바꾸어 엔진이 所有하고 있는 全體動力이 犁耕作業에 보다 많이 使用될 수 있도록 하는 것이 問題로 제기된다.

本研究에서는 動力耕耘機-플라우系의 犁耕作業 能力을 提高시킬 수 있는 最適條件을 究明하기 위하여 이 系에 주어진 連結지수, 荷重狀態, 耕深에 따른 作業走行狀態, 牽引抵抗增加와 荷重轉移等を 考慮한 數學的 模型을 만들고, 이 式을 通하여 이 系의 作業能力에 큰 影響을 주는 要因들을 分析하였다. 그리고 이 模型에 依한 理論分析結果를 補充하기 爲하여 5馬力과 8馬力型 動力耕耘機에 포크形 플라우를 附着하여 논과 밭에서 犁耕作業實驗을 하였다.

이상과 같은 理論分析和 實驗을 通하여 動力耕耘機-플라우系의 力學的平衡條件을 改善하여 보다 効率 높은 犁耕作業을 할 수 있는 具體的인 機械의 條

件을 제시하려 하였다.

2. 理論分析

動力耕耘機-플라우系가 作業할 때 일어나는 힘의 平衡關係를 分析하여 犁耕作業에 影響을 주는 主要 要因을 찾으려 하였다. 이 分析을 爲한 座標系 設定에서 耕地面을 $X-Y$ 座標로 하고 이 地面에 垂直한 上方向을 Z 軸의 陽의 方向으로 하여 固定座標系로 하였으며, 本輪軸을 y 좌표로 하고 이 系의 進行反對方向을 x 軸의 陽의 方向, $x-y$ 座標系에 垂直上方向을 z 軸의 陽의 方向으로 하는 $x-y-z$ 좌표系를 移動座標系로 하였다. (Fig.1 참고)

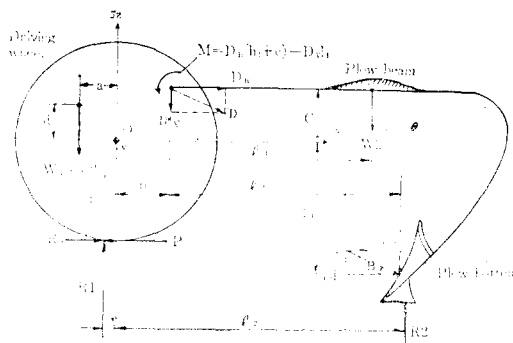


Fig. 1. Schematic diagram of forces exerted on the power-tiller plow system.

犁耕作業時 耕耘機와 플라우에 作用하는 힘은 多様하며 더우기 本輪, 플라우와 耕土間에 作用하는 抵抗力의 作用點을 定하는 是는 많은 어려움이 있다. 이를 보다 簡潔하게 하기 爲하여 다음과 같은 假定을 세웠다.

- 1) 플라우들은 曲面에 依한 耕土反轉抵抗力中 y 軸方向力은 未耕地側 土壤反力에 依하여 상쇄되는 것으로 하였다.
- 2) 犁耕作業時 한쪽 車輪이 犁耕된 깊은 몰을 딛고 走行하므로 機體는 耕深만큼 기울어 지는 것으로 하였다.

3) 動力耕耘機는 平地에서 一定한 速度로 直線走行 犁耕作業을 하므로 加速度가 없는 것으로 하였다.

4) 플라우는 딛치점을 中心으로 하여 $x-z$ 平面上에서는 固定되었으며 耕幅調節을 爲하여 $x-y$ 平面內에서만 움직이는 것으로 하였다.

5) 牽引抵抗의 合力과 牽引抵抗의 水平分力이 이루는 角은 $\beta=18^\circ \sim 22^\circ$ 로 하였다.

6) 구름抵抗거리 e 는 車輪沈下量과 구름抵抗거리와의 關係式⁹⁾으로 定하였다.

7) 플라우 바닥쇠에 作用하는 土壤垂直反力은 바닥 最後端⁹⁾ 부근에 그 作用點이 있는 것으로 하였다.

가. 垂直荷重 轉移

動力耕耘機-플라우系의 地面接觸部인 車輪과 플라우 바닥쇠에 作用하는 垂直反力은 自重, 牽引抵抗 및 牽引驅動力, 連結치수 等과 앞에서 設定한 假定들을 考慮하므로써 決定된다.

Fig. 1에서와 같이 플라우에 걸리는 牽引抵抗을 딛치點에 옮기고 힘의 平衡式을 세우면 다음과 같다.

◎ 垂直方向力의 平衡 :

$$R_1 + R_2 - W_1 \cos\theta - D_v - W_2 \cos\theta = 0 \dots\dots\dots (a)$$

◎ 車輪軸을 中心으로 한 力矩의 平衡

$$W_1 a \cos\theta - D_v b - D_h c - W_2 l_2 \cos\theta + R_2 l_2 - (P - R_2) r_0 - R_1 e + D_h (h_1 + c) - D_h l_1 = 0 \dots\dots\dots (b)$$

여기서 $P - R_2 = D_h$

(a)와 (b)式에 依하여 車輪에 作用하는 垂直反力은 다음과 같다.

$$R_1 = \frac{W_1 (a + l_2) \cos\theta + W_2 (l_2 - l_1) \cos\theta + D_h \{ (h_1 - r_0) + (l_2 - l_1 - b) \tan\beta \}}{(l_2 + e)} \dots\dots\dots (1)$$

(b)式과 (1)式에 依하여 플라우 바닥쇠에 作用하는 垂直反力은 다음과 같다.

$$R_2 = \frac{W_1 (e - a) \cos\theta + W_2 (e + l_2) \cos\theta + D_h \{ (r_0 - h_1) + (e + b + l_1) \tan\beta \}}{(l_2 + e)} \dots\dots\dots (2)$$

나. 左右車輪의 垂直反力

犁耕作業中 動力耕耘機의 한쪽 車輪이 플라우가 갈고간 낮은 곳을 돌고 走行하게 되어 機體傾斜가 일어나므로 左右車輪의 垂直反力差가 생긴다.

Fig. 2.에서 힘과 力矩의 平衡式으로 左右車輪의 垂直反力을 求하면 다음과 같다.

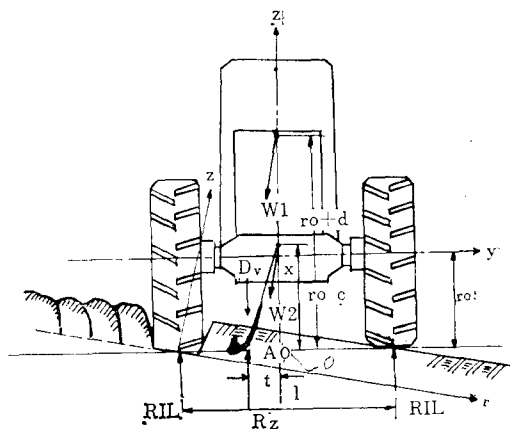


Fig. 2. Schematic diagram of force balance of power-tiller plow system.

$$R_1 = R_{1R} + R_{1L} \dots\dots\dots (c)$$

$$R_{1R} = \frac{R_1 (l - 2t) + 2W_1 \{ t \cos\theta - (r_0 + d) \sin\theta \} + 2W_2 \{ t \cos\theta - (r_0 + c) \sin\theta \}}{2l} \dots\dots\dots (3)$$

$$R_{1L} = \frac{R_1 (l + 2t) - 2W_1 \{ t \cos\theta - (r_0 + d) \sin\theta \} - 2W_2 \{ t \cos\theta - (r_0 + c) \sin\theta \}}{2l} \dots\dots\dots (4)$$

(3)과 (4)式으로 左右車輪垂直壓力比 K 를 求하면 다음과 같다.

$$K = \frac{R_{1R}}{R_{1L}} = \frac{R_1 (l - 2t) + 2W_1 \{ t \cos\theta - (r_0 + d) \sin\theta \} + 2W_2 \{ t \cos\theta - (r_0 + c) \sin\theta \}}{R_1 (l + 2t) - 2W_1 \{ t \cos\theta - (r_0 + d) \sin\theta \} - 2W_2 \{ t \cos\theta - (r_0 + c) \sin\theta \}} \dots\dots\dots (5)$$

다. 左右車輪의 水平牽引力比

驅動輪의 水平牽引力은 다음과 같은 要因들과 函數關係를 갖는다.

$$\left. \begin{aligned} D_h &= f(R_1, A, q, S, C_0) \\ A &= f(r_0, b_1, R_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (d)$$

(d)式에서 土壤 및 機械의 條件이 固定되면 大部分의 變數要因이 固定되며 水平牽引力 D_h 는 主로 車輪의 垂直壓力과 車輪接地面積 및 沈下量에 따른 구름抵抗에 影響을 받게 된다. 그런데 接地面積과

沈下量은 다시 R_1 의 영향을 받게되므로結局은 R_1 은 D_h 와 가장 밀접한 函數關係를 갖게되며 이에 따라 左右車輪反力比는 左右車輪水平牽引力比에 接近한다. 數式으로 表示하면 다음과 같다.

$$K = \frac{R_{1R}}{R_{1L}} \doteq \frac{D_{dR}}{D_{dL}} \dots\dots\dots (e)$$

全體水平牽引力은

$$D_h = D_{hL} + D_{hR} \dots\dots\dots (f)$$

이므로, (e)와 (f)式에 依하여 左右車輪牽引力은 다음 式으로 表示할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} D_{hL} &\doteq \frac{D_h}{K+1} \\ D_{hR} &\doteq \frac{K}{K+1} D_h \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

라. $x-y$ 平面上에서의 力學的 平衡

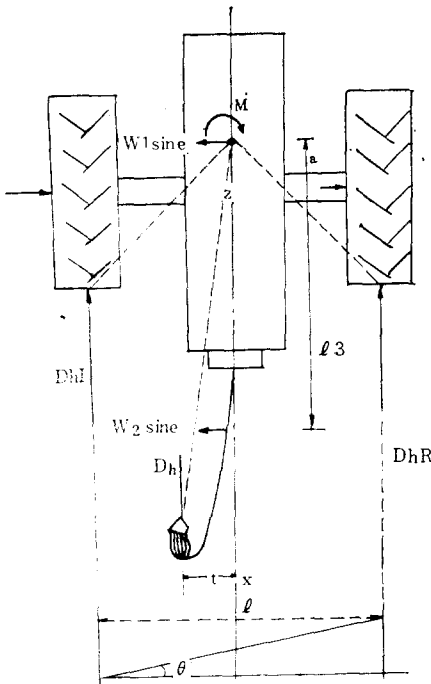


Fig. 3. Schematic diagram of forces on $x-y$ plane of power-tiller plow system.

犁耕作業時 機體傾斜 때문에 生기는 左右車輪의 水平牽引力差와 耕幅調節을 하기 爲하여 플라우를 左右로 이동시킴에 따른 牽引抵抗作用線의 位置變

化는 $x-y$ 平面上에서 機體의 力學的 平衡을 수치로 變化시킨다(Fig. 3 참고).

이와 같은 狀態의 機體平衡을 主軸을 中心으로한 모멘트의 平衡式으로 求하면 다음과 같다.

$$M = \frac{D_h}{K+1} \left\{ \left(\frac{l}{2} \right) (1-K) - t(1+K) \right\} + (W_2 l_3 - W_1 a) \sin \theta \dots\dots\dots (7)$$

LIST OF SYMBOLS

- R_1 : vertical reaction force between soil and wheel (kg)
- R_2 : vertical reaction force between soil and land side of plow bottom (kg)
- R_3 : rolling resistance (kg)
- P : driving force (kg)
- D : resultant draft resistance (kg)
- D_h : horizontal component of draft resistance(kg)
- D_v : vertical component of draft resistance (kg)
- W_1 : weight of power tiller (kg)
- W_2 : weight of plow (kg)
- l_1 : horizontal distance between hitch point and virtual acting point of draft resistance (cm)
- l_2 : horizontal distance between wheel axis and acting point of R_2 (cm)
- l_3 : horizontal distance between wheel axis and gravity center of plow (cm)
- l : The distance between the left and right driving wheels of power tiller (cm)
- h_1 : vertical distance between hitch point and virtual acting point of draft resistance (cm)
- a : horizontal distance between wheel axis and gravity center of power tiller (cm)
- b : horizontal distance between wheel axis and hitch point (cm)
- c : vertical distance between wheel axis and hitch point (cm)
- d : vertical distance between wheel axis and gravity center of power tiller (cm)
- e : eccentric distance of rolling resistance (cm)
- r_o : real radius of driving wheel (cm)
- θ : side slop angle of power tiller (degree)
- β : the angle between resultant draft resistance and horizontal component of draft resistance

(degree)

P_d : plowing depth (cm)

S : travel reduction (%)

K : specific draft resistance(g/cm^2)

v : plowing speed (m/sec)

A : contact area between the soil and wheel (cm^2)

R_{1L} : vertical reaction force on the left driving wheel (kg)

R_{1R} : vertical reaction force on the right driving wheel (kg)

ϕ : angle of internal friction of soil (radian)

t : eccentric distance of plow from the center position (cm)

M : torque of the power tiller-plow system (kg-m)

C_0 : cohesion of soil

b_1 : width of rubber tire (cm)

5-R-F : 5PS-Rubber wheel-dry field

5-R-P : 5PS-Rubber wheel-paddy field

8-R-F : 8PS-Rubber wheel-dry field

8-R-P : 8PS-Rubber wheel-paddy field

5-R-F- R_1 : 5-R-F-Vertical reaction force between soil and wheel (kg)

5-R-P- R_1 : 5-R-P-Vertical reaction force between soil and wheel (kg)

5-R-F- R_2 : 5-R-F-Vertical reaction force between soil and land side plow (kg)

5-R-P- R_2 : 5-R-P-Vertical reaction force between soil and land side of plow (kg)

8-R-F- R_1 : 8-R-F-Vertical reaction force between soil and wheel (kg)

8-R-P- R_1 : 8-R-P-Vertical reaction force between soil and wheel (kg)

8-R-F- R_2 : 8-R-F-Vertical reaction force between soil and land side (kg)

8-R-P- R_2 : 8-R-P-Vertical reaction force between soil and land side (kg)

3. 實驗裝置 및 方法

가. 實驗裝置

1) 實驗對相機種의 諸元

8馬力 動力耕耘機와 새로 製作普及中에 있는 5馬力動力耕耘機에 플라우를 附着한 動力耕耘機-플라우系를 實驗對相으로 하였다. 動力耕耘機의 主要諸元과 動力耕耘機-플라우系의 相互連結치수는 Table 2와 같다.

2) 測定裝置

動力耕耘機-플라우系의 犁耕作業實驗에서 測定項目은 耕深, 水平牽引抵抗, 플라우曲面上에 作用하는 牽引抵抗作用點, 耕速과 走行低下率(slip)等으로 하였다.

이들 項目에 關한 實驗値을 얻기 爲하여 穢치점과 플라우브롬 사이에 牽引抵抗測定裝置를 附着하였다.

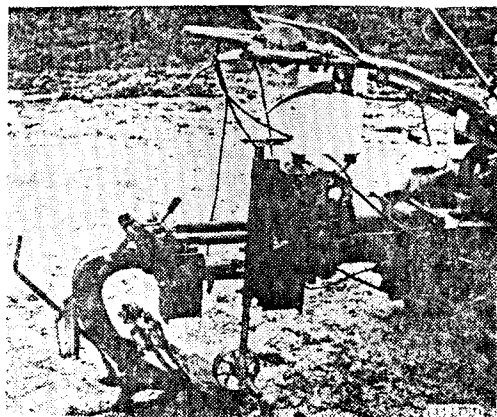


Fig. 4. Instrument of experiment.

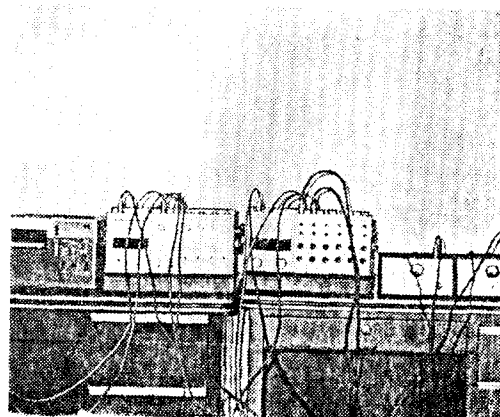


Fig. 5. Dynamic strain amplifier system.

Table 2. Dimensions of power tiller (5PS and 8PS) and power tiller-plow system

Items	Size of power tiller		5PS	8PS
	Dimensions			
Engine	Type	Air-cooling, 4 stroke single cylinder		Water-Cooling, 4 stroke single cylinder
	Normal output power (ps/rpm)		5~6.5/1,800	8/2,200
	Fuel		Kerosene	Diesel
Weight	Power tiller only (kg)		163.6	363.6
	Ballast (kg)		25.8	25.8
	Plow and gauge system (kg)		90.5	100.2
Driving wheel	Actual radius of wheel r_0 (cm)		25	30
	Air pressure (kg/cm ²)		1.5	1.5
Dimensions of power-tiller plow system	a (cm)		19.7	19.5
	b (cm)		30.5	59.0
	c (cm)		13.0	22.5
	l_1 (cm)		71.8	88.9
	l_2 (cm)		120	170
	l_3 (cm)		81.5	122
	h_1 (cm)		39~47	45.2~48.6
	t (cm)		0	7.5
	l (cm)		68	77
	d (cm)		10.5	17.8
Gear sets			Foward 1, 2, 3 Reverse 1	Foward 1, 2, 3, 4, 5, 6 Reverse 1, 2

이 測定裝置의 構成은 Fig. 4와 같이 水平牽引抵抗을 測定하기 爲한 Compression load cell, 플라우 曲面에 作用하는 牽引抵抗作用點을 찾아내기 爲한 Tension load cell과 自動記錄耕深測定 計器의 三部分으로 되어 있다. 이 測定裝置의 Compression과 Tension load cells에서 感知된 Strain은 Dynamic strain amplifier 와 Low pass filter를 通하여 Recorder에 同時記錄되도록 하였다. 이때 耕深變化는 接地 Roller에 依하여 얻어지며 耕耘機車輪軸으로부터 回轉力을 받아 作動하는 耕深記錄紙에 記錄되도록 하였다. 以上과 같이 同時性を 가지고 連續해서 測定된 牽引抵抗과 耕深은 Fig.5와 같이 3쌍의 Oscillographs를 이룬다. 한편 耕速과 走行低下率

(slip)은 慣行方法으로 測定하였다.

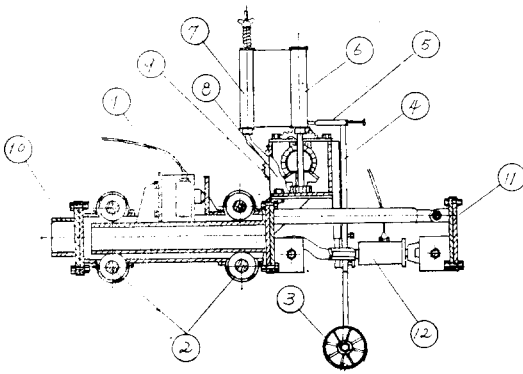
나. 實驗方法

1) 土壤條件

動力耕耘機-플라우系의 牽引抵抗에 影響을 주는 要因은 이系의 機械의 條件과 圃場의 土壤條件이며 이 外에도 많은 要因들에 影響을 받고 있지만 本實驗에서는 Table 3과 같은 논, 밭 2가지 土壤條件에서 施行하였다

2) 變數要因의 組合

앞에서 提示한 土壤條件을 가진 田, 畝에서 5馬力과 8馬力 動力 耕耘機에 고무車輪을 附着하였고, 耕耘作業走行速度는 低速 2단으로 하였다. 實驗走



① Compression load cell ② Roller bearing ③ Contact roller with the plowing soil ④ Connecting bar of indicating pen ⑤ Indicating pen of plowing depth ⑥ Main paper roller ⑦ Following paper roller ⑧ Gear box ⑨ Driving sprocket ⑩ Hitching part of power tiller ⑪ Hitching part of plow ⑫ Tension load cell.

Fig. 6. Measuring gauge system composed of compression load cell, tension load cell and plowing depth gauge.

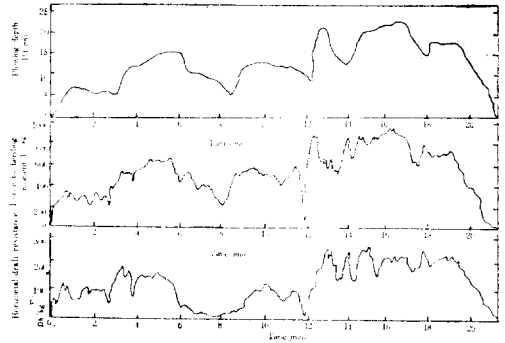


Fig. 7. Example of oscillographs to measure the plowing depth, the horizontal draft resistance and the force by bending moment.

行 거리를 10m로 하여 3회 반복 實驗하였다. 이때 反復區內的 圃場狀態를 一定하게 하기 爲하여 한번 走行한 자리는 피하여 施行하였다. 本實驗의 變數 要因은 供試機種 및 플라우, 圃場條件, 耕深 및 耕幅으로 하였으며, 이들 變數 要因의 水準과 그 組合은 Table 4와 같다.

Table 3. Soil properties of the test field

Field	Item	Particle size distribution					Moisture Content (%)	Wet soil density	Bulk density
		Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture (%)			
	Paddy field	7.3	45.8	39.3	14.9	Loam	19.3	1.76	1.46
	Dry field	4.5	11.6	57.2	31.2	Silty clay loam	29.2	1.88	1.45
Field	Item	Three phase			PL (%)	LL (%)	PI (%)	Coefficient of friction	
		Solid (%)	Liquid (%)	Air (%)				Steel-soil	Rubber-soil
	Paddy field	55.0	28.1	16.9	19.2	23.4	4.2	0.5	0.32
	Dry field	54.8	42.3	2.9	23.0	34.7	11.7	0.64	0.53

Table 4. Combinations of the experimental variables

Field	Power-tiller	Plow	Plowing width (cm)	Plowing depth (cm)
Paddy field	5PS	plow for 5PS	25	2~14
	8PS	plow for 8PS	30	2~22
Dry field	5PS	plow for 5PS	25	2~18
	8PS	plow for 8PS	30	4~20

4. 實驗結果 및 考察

가. 耕深과 牽引抵抗과의 關係

5馬力과 8馬力 動力耕耘機에 各各 5馬力과 8馬力 用 포크형 플라우를 附着하여 논과 밭에서 견인 實驗한 結果를 Fig. 6(a), (b), (c), (d)에 圖示하였다. 이때 耕速은 그림 中에 表示한 바와 같이 $v=0.28\sim 0.397\text{m/sec}$ 이었고 走行低下率 $s=23.6\sim 37.3\%$ 이었다.

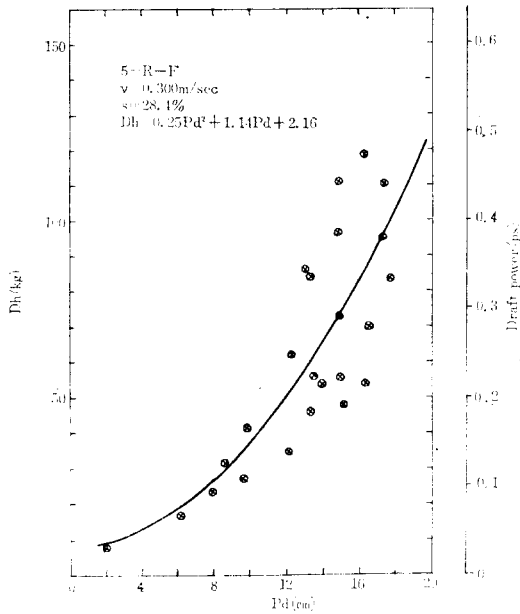


Fig. 8(a) Relationship between horizontal draft resistance and plowing depth.

Fig. 6(a)는 고무차륜을 가진 5馬力 動力耕耘機에 5馬力用 포크형 플라우를 附着하고 밭에서 實驗한 耕深과 牽引抵抗과의 關係를 表示하고 있다. 여기서 耕深이 4cm에서 8cm까지 增加할때는 牽引抵抗이 서서히 增加하다가 耕深 8cm에서 最大耕深 범위에서는 급격히 增加하고 있음을 관찰할 수 있었다. 全體의으로는 耕深과 牽引抵抗과는 二次函數關係를 가지고 있음을 알 수 있었다. 이때 最大耕深 17.5cm에서의 水平牽引抵抗은 112kg이었다.

Fig. 6(b)는 Fig. 8(a)에서의와 같은 機械의 條件

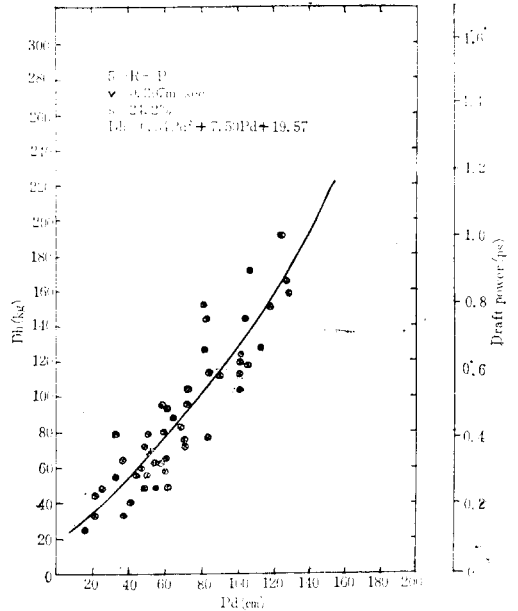


Fig. 8(b) Relationship between horizontal draft resistance and plowing depth.

으로 논에서 實驗한 耕深과 牽引抵抗과의 關係를 圖示하고 있다. 밭에서 보다 논에서는 耕深增加에 따른 牽引抵抗 增加率이 컸으며, 最大耕深 18cm에서 水平牽引抵抗 D_h 는 178kg으로 밭에서보다 견인 저항이 훨씬 컸다. 그 이유는 水分이 밭에서 보다 는 많기 때문에 牽引抵抗中 마찰抵抗은 적었을 것으로 思料되나 물다짐에 依하여 土壤의 剪斷抵抗이 밭에서 보다 훨씬 크기때문인 것으로 思料된다.

이 경우에 耕速 v 는 0.397m/sec이었고 走行低下率 s 는 24.2%이었으며 耕深과 牽引抵抗은 밭에서의 경우와 같이 二次函數關係를 가지고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 6(c)는 고무車輪을 가진 8馬力 動力耕耘機에 8馬力用 포크형 플라우를 附着하여 밭에서 시험한 耕深과 牽引抵抗과의 關係를 圖示하고 있다. 이 경우에 耕速 $v=0.300\text{m/sec}$ 이었고, 走行低下率 $S=22.7\%$ 이었으며, 最大耕深 $P_d=18\text{cm}$ 에서 水平牽引抵抗 $D_h=111\text{kg}$ 이었다. 耕深증가에 따른 牽引抵抗의 增加경향은 5馬力의 경우와 유사하였다.

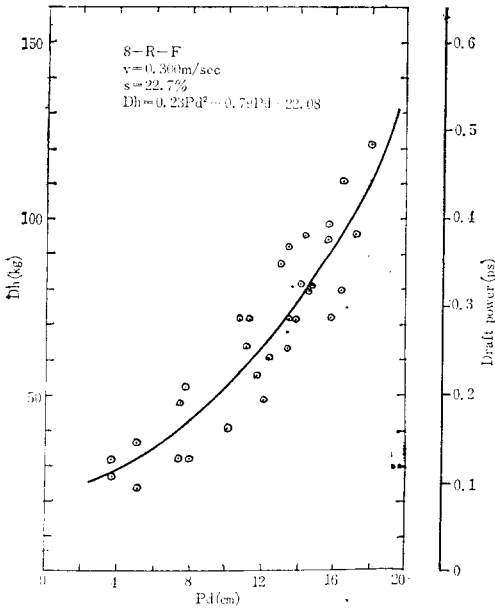


Fig. 8(c). Relationship between horizontal draft resistance and plowing depth.

Fig. 6(d)는 Fig. 8(c)에서와 같은 機械的 條件으로 논에서 實驗한 耕深과 견인저항과의 關係를 圖示하고 있다.

이 경우의 耕深增加에 따른 牽引抵抗의 增加傾向은 直線에 가까운 二次函數 曲線이었다. 耕速 $v=0.37\text{m/sec}$ 이었고, 走行低下率 $S=29.0\%$ 일때 最大 耕深 $P_d=22\text{cm}$ 에서 水平牽引抵抗 $D_h=320\text{kg}$ 이었다.

한편 犁耕作業에 使用된 最大牽引馬力은 5馬力 動力 耕機의 경우 밭에서 0.45PS, 논에서 1.0PS 이었고, 8馬力 動力 耕機의 경우에는 밭에서 0.47, 논에서 1.6PS로 엔진이 가지고 있는 全體動力의 約 20%만이 犁耕作業에 使用되었음을 알 수 있었다.

8馬力의 경우에는 5馬力의 경우보다 견인저항이 적게 걸렸으며 이에 따라 深耕할 수 있는 餘地가 있었다. 8馬力의 경우는 5馬力의 경우보다 엔진마력과 機體重量이 크기 때문이기도 하지만 같은 경심에서도 8馬力用 플라우의 牽引抵抗이 5馬力의 경우보다 적게 걸렸음을 알 수 있었다. 이는 같은 土壤條件에서도 耕機-플라우의 機械的條件을 달리하면

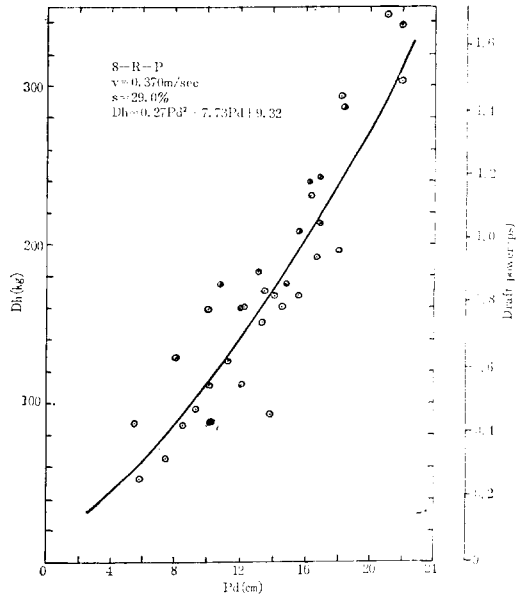


Fig. 8(d). Relationship between horizontal draft resistance and plowing depth.

보다 적은 動力으로도 犁耕作業이 可能하다는 것을 시사해 주는 것이라 思料된다.

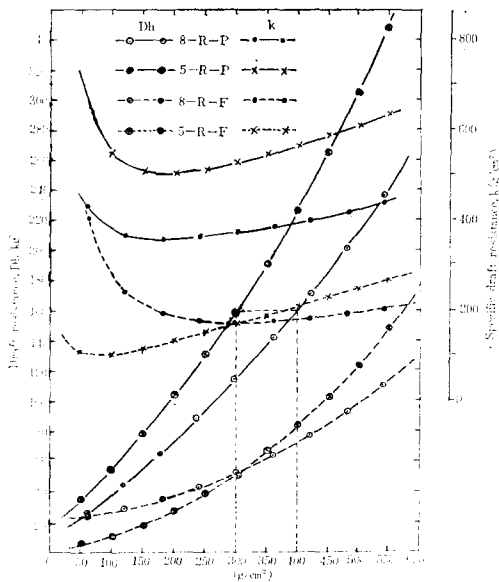
나. 논과 밭에서의 牽引抵抗 및 比抵抗比較

1) 牽引抵抗比較

Fig. 7은 耕土斷面積과 牽引抵抗과의 關係를 논과 밭에서 比較한 것이며 同時에 耕土斷面積과 牽引比抵抗과의 關係를 논과 밭에서 比較한 값을 圖示하고 있다.

밭에서의 牽引抵抗은 耕土斷面이 $50\text{cm}^2 \sim 300\text{cm}^2$ 인 범위에서는 5馬力의 경우보다 8馬力의 경우가 컸으나 耕土斷面이 300cm^2 이상에서는 5馬力의 경우가 오히려 크게 나타났다. 다시말해서 5馬力의 경우 경심 12cm와, 8馬力의 경우 경심 10cm를 기점으로 견인저항 차이가 반대로 바뀌었다. 이 현상은 10cm 이상의 경심에서는 8馬力의 경우가 5馬力의 경우보다 犁耕作業能率이 좋다는 것을 말해주는 것이다. 논에서는 耕土斷面 50cm^2 에서 550cm^2 에 이르기까지 8馬力의 경우가 5馬力의 경우보다 견인 抵抗이 적었다. 더우기 耕土斷面이 增加할수록 견인 抵抗差異

가 점점 커졌다. 이와같은 事實은 5馬力 경운기-플라우系는 8馬力경운기-플라우系를 기준으로 하더라도 改善의 餘地가 많다는 것을 시사해주고 있다. 5馬力의 경우 耕深 12cm인 경토단면 300cm²에서 牽引抵抗이 160kg이며 이 牽引力으로 8馬力의 경우에는 Fig. 7에서 읽을 수 있는 바와 같이 경심 16cm까지 深耕할 수 있음을 쉽게 알 수 있었다. 이 사실은 5馬力경운기-플라우系를 보다 効率的으로 改良하면 深耕할 수 있는 充分한 可能性을 입증해 주는 것이라 할 수 있다.



Cross-sectional area of furrow slice(cm²)

Fig. 9. Comparisons of the draft resistances of rubber wheel equipped 5 and 8 horse power tillers in both upland and paddy field.

2) 牽引比抵抗 比較

밭에서 5馬力경운기-플라우系와 8馬力경운기-플라우系의 牽引比抵抗을 耕土斷面變化에 따라 比較하여 보면, Fig. 7에서와 같이 8馬力경운기-플라우系에서는 耕土斷面 300cm²(경심 10cm)에서 牽引比抵抗의 最小値가 나타났는데 比하여 5馬力경운기-플라우系에서는 그 보다 훨씬 작은 경토단면 75cm²(경심 3cm)에서 그 最小値가 나타났다. 이는 5馬力用플라우 보톱은 얇은 耕深에 効率的이고, 8馬力用 플라우보톱은 深耕에 効率的이라는 明確한

증거라고 思料된다.

논에서 5馬力경운기-플라우系와 8馬力경운기-플라우系의 牽引比抵抗을 比較해 보면, 耕土斷面 50cm²에서 550cm²에 이르기까지 모두 5馬力의 경우가 8馬力의 경우보다 견인비저항이 約 100gr/cm²정도 컸다. 牽引比抵抗의 最小値는 5馬力의 경우 경토단면 175cm²에서 比저항이 356gr/cm²이었고, 8馬力의 경우 경토단면 175cm²에서 514gr/cm²으로 거의 같은 耕土斷面에서 그 最小値가 發生하였다. 이는 5馬力用플라우가 밭에서 보다 논에서는 深耕効率が 높은 것임을 시사해 주었다.

다. 플라우曲面上的 견인저항 作用點位置

Fig. 8(a), (b)는 5馬力과 8馬力用 플라우보톱曲面上的 中心線을 x-z 平面上에 圖示한 것이며 그 曲線上에 등근 點들은 耕深變化에 따라 달라진 牽引抵抗의 作用點 位置를 表示한 것이다.

Fig. 4와 같이 裝置한 load cell로 牽引抵抗과 바닥에 作用하는 垂直土壤反력이 플라우 Beam에 주는 Moment를 測定하였으며, 이 Moment와 Fig. 6(a)~(d)에서 제시한 水平牽引抵抗에 依한 Moment로 平衡式을 만들어 견인저항 作用點의 位置를 찾았다. 물론 이 作用點이 플라우 曲面上的 中心線에서 약간 벗어나는 경우도 있겠지만 x-z 平面上的 位置만을 찾아본 것이다. 이때 플라우 曲面上的 牽引抵抗作用點位置는 Fig. 10(a), (b)에서 보는 바와 같이 耕深이 깊을수록 그 作用點이 바닥에 가까이 接近해 감을 알 수 있었다. 그 이유는 耕耘抵抗은 土壤과 플라우보톱 間의 摩擦抵抗, 土壤의 剪斷抵抗 그리고 耕土의 반전抵抗등으로 構成되는데, 그 中 剪斷과 摩擦抵抗이 耕土반전 抵抗보다 크며, 摩擦抵抗은 플라우보톱의 앞끝부분에서 大部分이 일어나고, 摩擦抵抗의 大部分은 바닥에 집중되기 때문인 것으로 思料된다. 耕深增加에 따라 8馬力用 플라우에서는 5馬力用 플라우에서 보다 그 作用點位置의 地面接近도가 컸다. 그 이유는 5馬力用 플라우보톱의 曲率半徑이 8馬力의 것보다 작기 때문에 8馬力의 경우보다 牽引抵抗作用點을 뒤로 유도하는 耕土反轉抵抗이 크기 때문인 것으로 思料된다. 牽引抵抗比較에서 考察한 바와 같이 같은 土壤條件에서 5馬力用 플라우의 水平견인저항이 8馬力의 경우보다 큰 것은 플라우보톱의 曲率半徑에 지배를 받는 경토반전 抵抗의 영향인 것으로 思料된다.

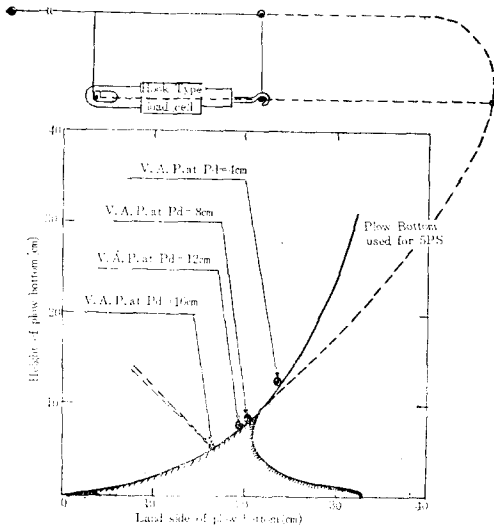


Fig. 10(a) Virtual acting point of plowing resistance on the plow bottom.

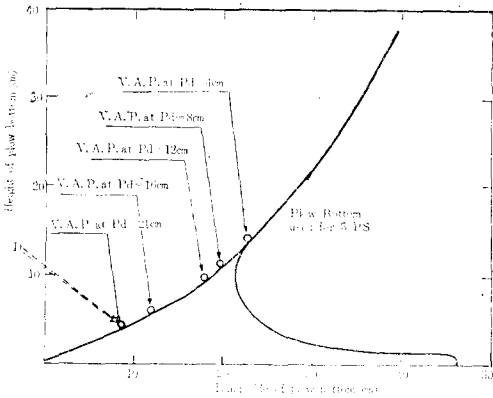


Fig. 10-b. Virtual acting point of plowing resistance on the plow bottom.

라. 動力耕耘機와 풀라우間的 荷重傳移

動力耕耘機-풀라우系의 荷重狀態, 連結치수와 牽引走行狀態를 考慮한 理論式 (1)과 (2)式을 通하여 牽引驅動力을 算出하는데 重要한 역할을 하는 車輪 反力 R_1 을 크게하고, 牽引抵抗에 重要한 要因이 되는 풀라우 바닥의 垂直反力 R_2 를 적게하는 方向으로 이 系의 力學的 平衡을 改善하려 하였다. 이 平衡改善에 큰 역할을 하는 主된 要因을 變數로 하는 Computer program에 依하여 計算한 結果 다음

과 같은 몇가지 特性을 찾을수 있었다.

1) 耕深 Pd가 荷重傳移에 미치는 影響

Fig. 9 (a), (b)는 耕深變化에 따른 R_1 과 R_2 의 關係를 表示하고 있다.

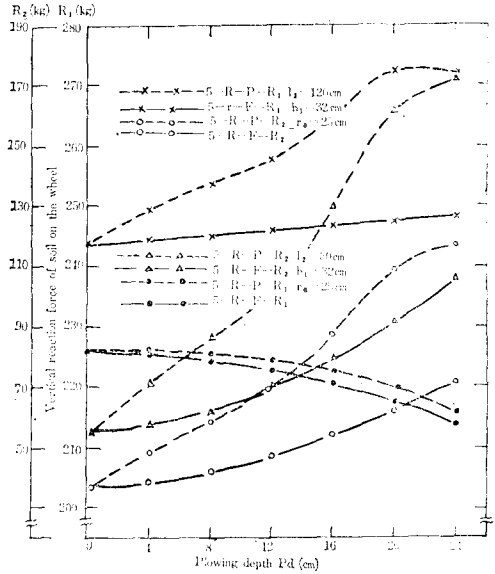


Fig. 11(a). Relationship among Pd, R_1 , and R_2 of 5PS power tiller-plow system.

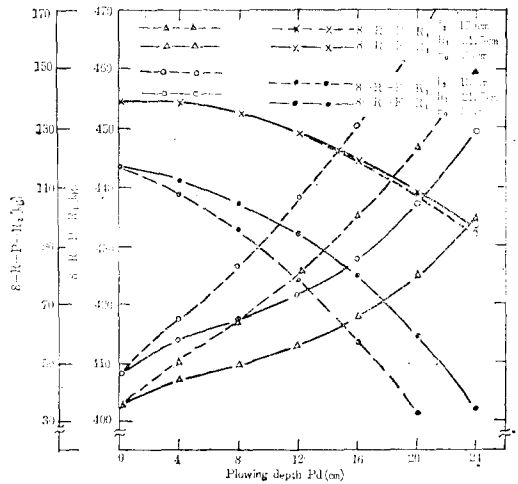


Fig. 11(b). Relationship among Pd, R_1 and R_2 of 8PS power tiller-plow system in accordance with l_1 .

Fig. 9 (a)에서 보는 바와 같이 5馬力の 8우 車輪軸에서 플라우보톰까지의 거리 l_2 가 120cm일 때는 車輪에 垂直한 土壤反力 R_1 이 논, 밭에서 모두 耕深增加에 따라 增加하는 경향을 보였으나 l_2 가 80cm인 경우에는 논, 밭에서 모두 耕深 P_d 가 增加함에 따라 R_1 이 減少하였다. 한편 플라우 바닥에 垂直한 土壤反力 R_2 는 l_2 가 80과 120cm에서 모두 경심증가에 따라 增加하였다. 논과 밭에서 共히 l_2 가 큰 120cm에서는 l_2 가 작은 80cm에서 보다 R_2 의 增加율이 작은 것을 볼 수 있었다. Fig. 9 (b)에서 보는 바와 같이 8馬力の 경우에는 耕深 P_d 가 增加함에 따라 車輪反力 R_1 은 논과 밭에서 모두 減少하였다. 이와는 反對로 플라우 바닥의 垂直反力 R_2 는 耕深增加에 따라 급격히 增加하였으며 l_2 가 큰 경우에는 작은 경우보다 R_2 의 增加율이 적었음을 觀察할 수 있었다.

以上과 같은 現狀은 理論分析에서 얻은 (1)과 (2)式에서 찾아 볼 수 있는 바와 같이 牽引抵抗增加에 依한 R_1 과 R_2 의 增加効果와 耕深增加로 因하여 機體가 傾斜走行함에 따라 생기는 R_1 과 R_2 의 減少 효과가 同時에 內在되어 있기 때문인 것으로 思料된다. 具體的으로 살펴보면 耕深增加에 따라 R_1 이 減少한 것은 앞에서 말한 견인저항 增加에 依한 R_1 의 增加 효과보다 機體傾斜에 依한 R_1 의 減少 효과가 크기 때문이었고, 耕深增加에 따라 R_2 가 增加한 것은 牽引抵抗 增加에 依한 R_2 의 增加 효과가 機體傾斜에 依한 R_2 의 減少 효과 보다 크기 때문이었다. 動力耕耘機-플라우系의 보다 効率的인 犁耕作業을 爲한 力學的 平衡改善을 하기 위해서는 犁耕作時 耕深에 따라 機體傾斜이 일어나지 않도록 하는 機械的인 構造改善이 必要하다.

2) 車輪半徑 r_0 가 荷重傳移에 미치는 영향

Fig. 10은 5馬力과 8馬力の 車輪半徑 r_0 를 달리함에 따른 車輪荷重 R_1 과 바닥에 垂直反力 R_2 의 크기 變化를 表示하고 있다. 5馬力과 8馬力の 경우 모두 車輪半徑 r_0 가 減少함에 따라 R_1 은 急격히 增加한데 반하여 R_2 는 急격히 減少하였다. 이와 같은 現狀은 犁耕作時 견인력 증가를 爲하여 바람직한 結果이다. 한편 車輪半徑이 작으면 구름抵抗이 增加하는 경향이 있으며 耕速이 늦어지기 때문에 車輪回轉數 (RPM)를 크게 해야하는 문제 등이 있으나 犁耕作時 견인력을 증가시키기 위하여서는 가능한 한 도내에서 車輪半徑을 작게 하는 것이 바람직하다.

3) l_2 가 荷重傳移에 미치는 영향

Fig. 11 (a), (b)는 車輪軸에서 R_2 反力까지의 수

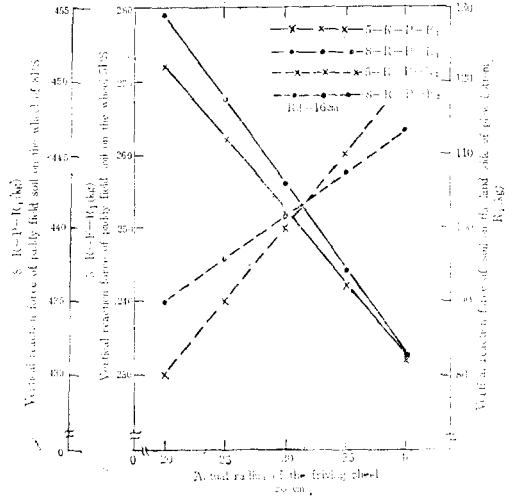


Fig. 12. Relationship among R_1 , R_2 , and r_0 of 5PS and 8PS power tiller-plow system on the paddy field.

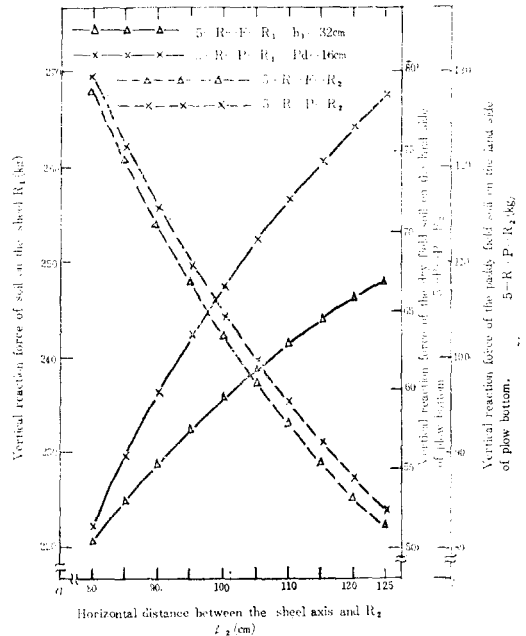


Fig. 13(a). Relationship among R_1 , R_2 and l_2 of the 5PS power tiller-plow system on the dry and paddy fields.

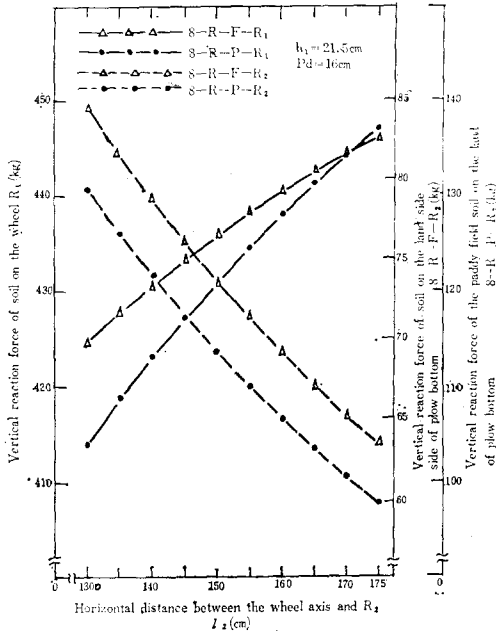


Fig. 13(b). Relationship among R_1 , R_2 of the 8PS power tiller-plow system on the dry and paddy fields.

평거리 l_2 와 R_1 및 R_2 와의 관계를 圖示한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 5馬力의 경우와 8馬力의 경우 共히 l_2 가 增加함에 따라 車輪의 垂直荷重 R_1 은 급격히 增加하였으며, 밭에서보다 논에서 그 增加率이 훨씬 컸다. 犁耕作業의 牽引抵抗要因이 되는 바닥의 垂直反力 R_2 는 l_2 가 增加함에 따라 減少하였으며 논과 밭에서 그 減少率이 거의 같은 傾向을 보였다. 이와같은 現狀은 犁耕作業效率를 높이고, 深耕을 可能하게 하는 바람직한 條件이다. 그러므로 可能한 限 l_2 를 增加시켜 犁耕作業에 유익한 荷重 傳移가 일어나도록 力學的平衡條件을 改善한다는 것은 바람직한 것으로 思料된다.

4) h_1 이 荷重傳移에 미치는 영향

Fig. 12 (a), (b)는 車輪軸과 플라우보텀간의 垂直거리 h_1 과 R_1 및 R_2 와의 關係를 圖示하고 있다.

5馬力과 8馬力의 경우 共히 h_1 이 增加함에 따라 車輪의 垂直反力 R_1 이 급격히 增加하였으며 밭에서 보다 논에서 그 增加率이 컸다. 이와는 反對로 R_2 는 h_1 이 增加함에 따라 급속히 감소하였으므로, 그 減少

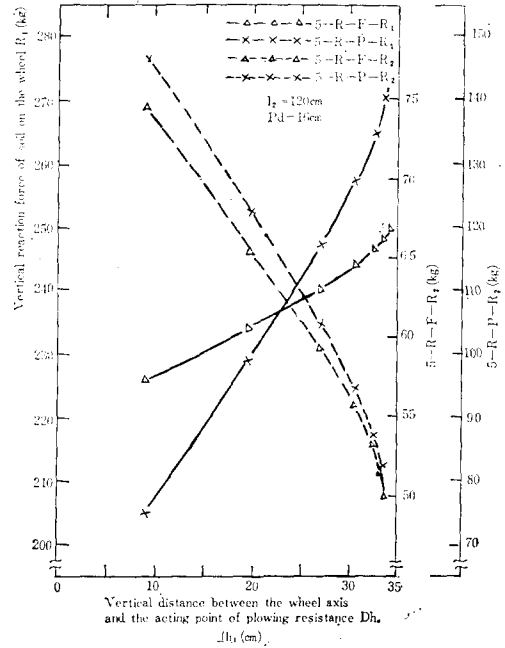


Fig. 14(a). Relationship among R_1 , R_2 and h_1 of 5PS power tiller-plow system on the dry and paddy fields.

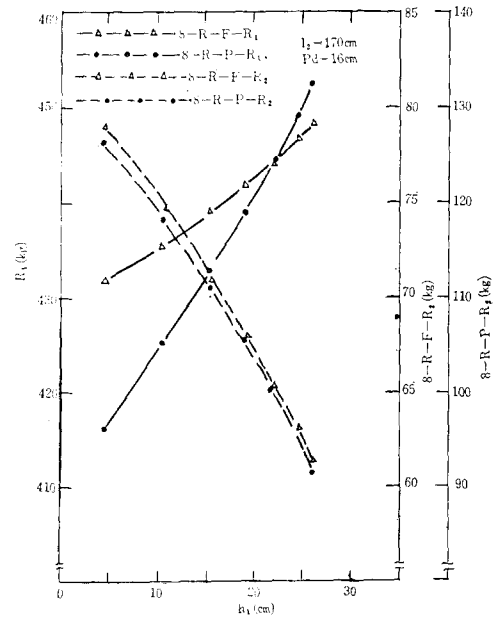


Fig. 14(b). Relationship among R_1 , R_2 and h_2 of 8PS power tiller-plow system on the dry and paddy fields.

率은 논과 밭에서 큰 차이가 없었다. 이와같은 結果를 미루어 보아 可能的 限 플라우보트를 車輪軸에서 輻선 밑으로 내려 오도록 하는 것이 R_1 을 증가시키고, R_2 를 감소시킬 것이며, 따라서 犁耕作業의 效果的이 될 것으로 思料된다.

以上과 같은 犁耕作業系의 理論分析과 實驗結果를 要約하면 動力耕耘機-플라우系이 效率인 作業을 爲한 力學的平衡改善은 作業走行時 機體傾斜를 적게 하고, 경운기와 플라우간의 연결치수를 適切하게 調和시키는데 있었다.

5. 結 論

動力耕耘機-플라우系의 作業能力을 提高시킬 수 있는 最近條件을 究明하기 爲하여 이 系에 주어지는 連結치수, 荷重狀態, 耕深變化에 따른 作業走行狀態와 牽引抵抗增加에 따른 荷重傳移等を 考慮한 數學的 模型을 만들었으며 이 系의 作業能力에 影響을 주는 要因들을 그 模型을 通하여 分析하였다. 그리고 이 模型의 依한 理論分析을 보충하기 爲하여 5馬力과 8馬力 動力耕耘機에 5馬力과 8馬力用 포크형 플라우를 附着하여 논과 밭에서 몇개의 要因들을 變化시켜 牽引抵抗實驗을 한 結果 다음과 같이 要約할 수 있었다.

1) 動力耕耘機-플라우系의 犁耕作業에서 耕深增加에 따른 牽引抵抗은 二次函數關係로 增加하였으며 밭에서 보다 논에서 그 저항이 컸다.

2) 牽引抵抗의 最小值가 8馬力用 플라우에서보다 5馬力用플라우에서는 더 낮은 耕深에서 나타났다. 이는 5馬力用 플라우보트의 曲面改良 餘地를 제시해 주는 것이었다.

3) 플라우의 曲面改良과 連接치수조절을 포함하는 力學的 平衡을 改善하면 5馬力 動力耕耘機가 가지고 있는 牽引驅動力으로 充分히 深耕(16~17cm) 할 수 있는 可能性이 있다고 思料된다.

4) 플라우보트 曲面上的의 牽引抵抗作用點은 경심이 增加함에 따라 地面가 사이에 接近해 갔으며 牽引抵抗이 적은 曲面일수록 그 作用點의 地面接近도가 컸다.

5) 耕深이 增加함에 따라 플라우바닥의 垂直反力 R_2 는 增加하였고, 이때 車體傾斜가 커짐으로 因하여 車輪의 垂直反力 R_1 은 減少하였다.

6) 效率높은 犁耕作業을 爲한 力學的 平衡改善을 爲해서는 첫째로 耕深增加로 인한 機體傾斜가 없어

야 하며, 둘째로 車輪半徑을 可能的 限度內에서 작게 해야 하고 셋째로 車輪軸플라우보트間의 垂直 距水平거리 h_1 과 h_2 를 作業運轉에 불편을 주지 않는 限度內에서 크게 하여야 함을 알 수 있었다.

7) 에너지를 절약할 수 있으며 走行 및 作業運轉이 便利한 5馬力 動力耕耘機를 보다 完全한 農作業 原動機로 다듬기 爲해서는 本研究의 理論 및 實驗 分析에서 제시한 5馬力用 플라우보트의 곡면 改良, 경심變化에 따른 機體경사방지를 위한 기계적 구조 개선 및 새로운 작업방법개발과 경운기-플라우간의 連接치수조절연구가 계속되어야 할 것이다.

謝 辭

本研究는 峨山社會福祉事業財團의 研究費支援에 依하여 遂行되었음.

貴財團에 謝意를 表함.

參 考 文 獻

1. Cowell P.A., 1976. A Theory for the Dynamic Behaviour of Mouldboard Ploughs During Penetration. J. Agric. Engng. Res. 21(3) ; 313-323
2. Dwyer M.L. & G. Pearson. A Field Comparison of the Tractive Performance of Two-and Four-Wheel Drive Tractor. J. Agric. Engng. Res. 21(1) ; 77-85
3. 橋口公一 外 二人, 1975. 土의 2次元 切削理論. 日本農業機械學會誌, 37(2) ; 179-186.
4. Masayuki Kisu, 1972. Soil Physical Properties and Machine Performances. Japan Agricultural Research Quarterly, 6(3) ; 151-154
5. 芝野保徳, 1970. 小型トラクタ의 驅動性能에 關する研究(第1報)-水平けん引特性- 日本農業機械學會誌, 32(1), 2-9
6. 芝野保徳, 1970. 小型トラクタ의 驅動性能에 關する研究(第2報)-り耕およびロータリ耕うん特性- 日本農業機械學會誌, 32(2) ; 87-91
7. 宋鉉甲, 鄭昌柱, 1978. 動力耕耘機의 傾斜地牽引 및 走行特性에 關한 研究. 一動力耕耘機의 傾斜地 牽引性能- 農業機械學會誌, 3(2), 34-61
8. 土壤物理性測定法委員會, 1975. 土壤物理性測定法, 養賢堂, pp.308-365