

로우터리 麥類播種機 耕耘날의 改良試驗

Improvement of Rotary Tine for Barley Seeder Attached to Rotary Tiller

金 聲 來* · 金 文 圭** · 金 基 大* · 許 潤 根*
Kim, Soung Rai · Kim, Moon Kyu · Kim, Kee Dae · Hur, Yun Kun

Summary

The use of barley seeder attached to rotary tiller in the rural area has a significant meaning not only for the solution of labor peak season, but also for the increase of land utilization efficiency.

The facts that presently being used barley seeders are all based on the mechanical principles of the reverse rotation, center drive and are all using forward rotating tine, which is used to be easily and heavily worn out when it rotates reversely, raise problem of recommending them to rural area in Korea. Therefore, the main objective of the study was to develop new type of rotary tine attachable to barley seeders. To attain the objective the following approaches were applied.

- (1) The kinematic analysis of reverse rotating barley seeders.
- (2) The studies on the soil bin and artificial soil.
- (3) The comparative experiment on the power requirement of prototype tine.

The results obtained from the studies are summarized as follow:

1. The kinematic analysis of barley seeder attached to rotary tiller:

The following results were obtained from the kinematic analysis for deriving general formulae of the motion and velocity characterizing the rotary tine of barley seeders presently being used by farmers.

a) The position vector (\mathbf{P}) of edge point (P) in the rotary tine of reverse rotating, center drive was obtained by the following formula.

$$\mathbf{P} = (vt + R \cos \omega t) \mathbf{i} + R \sin \omega t \mathbf{j} + \{R \cos \theta r \sin \alpha \cos (\omega t - \beta + \theta r) + R \sin \theta r \sin \alpha \sin (\omega t - \beta + \theta r)\} \mathbf{k}$$

b) The velocity of edge point (\mathbf{P}') of reverse rotating, center drive rotary tine was obtained by the following formula.

$$\mathbf{P}' = (V - \omega R \sin \omega t) \mathbf{i} + (\omega \cdot R \cos \omega t) \mathbf{j} + \{-\omega \cdot R \cos \theta r \cdot \sin \alpha \cdot \sin (\omega t - \beta + \theta r) + \omega \cdot R \sin \theta r \cdot \sin \alpha \cdot \cos (\omega t - \beta + \theta r)\} \mathbf{k}$$

c) In order to reduce the power requirement of rotary tine, the angle between holder and edge point was desired to be reduced.

* 忠南大學校 農科大學 農業機械學科

** 忠南大學校 農科大學 農化學科

d) In order to reduce the power requirement, the edge point of rotary tine should be moved from the angle at the beginning of cutting to center line of machine, and the additional cutting width should be also reduced.

2. The studies on the soil bin and artificial soil:

In order to measure the power requirement of various cutting tines under the same physical condition of soil, the indoor experiments were conducted by filling soil bin with artificially made soil similar to the common paddy soil and the results were as follows:

a) When the rolling frequencies(x) of the artificial soil were increased, the density(y) was also increased as follows:

$$y = 1.073200 + 0.070780x - 0.002263x^2 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

b) The absolute hardness (Y) of soil had following relationship with the rolling frequencies(x) and were increased as the rolling frequencies were increased.

$$Y = 37.74 - \frac{0.64 + 0.17x - 0.0054x^2}{(3.36 - 0.17x + 0.0054x^2)^3} \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

c) The density of soil had significant effect on the cohesion and angle of internal friction of soil. For instance, the soil with density of 1.6 to 1.75 had equivalent density of sandy loam soil with 29.5% of natural soil moisture content.

d) The coefficient of kinetic friction of iron plate on artificial soil was 0.31 to 0.41 and was comparable with that of the natural soil.

e) When the pulling speed of soil bin was the 2nd forward speed of power tiller, the rpm of driving shaft of rotary was similar to that of power tiller, soil bin apparatus is indicating the good indoor tester.

3. The comparative experiment on the power requirement of prototype tine of reverse rotating rotary:

According to the preliminary test of rotary tine developed with various degrees of angle between holder and edge point due to the kinematic analysis, comparative test between prototype rotary tine with 30° and 10° of it and presently being used rotary tine was carried out and the results were as follows:

a) The total cutting torque was low when the angle between holder and edge point was reduced.

b) θ_r (angle between holder and edge point) of rotary tine seemed to be one of the factors maximizing the increase of torque.

c) As the angle between holder and edge point (θ_r) of rotary tine was 30° rather than 45°, the angle of rotation during cutting soil was reduced and the total cutting torque was accordingly reduced about 10%, and the reduction efficiency of total cutting torque was low when the angle between holder and edge point (θ_r) of rotary tine was 10°, which indicates that the proper angle between holder and edge point of rotary tine should be larger than 10° and smaller than 30°.

From above results, it could be concluded that the use of the prototype rotary tine which reduced the angle between holder and edge point to 30° instead of 45°, is

disirable not only decreasing the power requirements, but also increasing the durable hour of it. Also forward researches are needed, which determine the optimum tilted angle of rotary brocket, and rearrangement of the rotary tine on the rotary boss.

I. 緒 論

第2,3次 産業의 急進的인 成長과 海外의 人力進出로 良質의 農業勞動力은 急激히 減少하여 政府에서는 우리나라의 農業機械化事業 推進에 力點을 두고 있다.

특히 政府에서는 土地利用率의 向上을 爲하여 畜糞作의 表類栽培를 積溼 勸奨하고 있으나 보리價格이 낮고 또 麥類播種時期가 勞動 peak를 이루어 麥類栽培實績이 不振하여 1976년부터 動力耕耘機用 rotary 麥類播種機를 開發, 農村에 普及하여 麥類播種作業의 省力化를 圖謀하고 있다.

그러나 이 麥類播種機는 動力耕耘機用의 正回轉用 rotary날을 改良없이 그대로 逆回轉用으로 使用하고 있기 때문에 正回轉作業에서는 15~20時間의 耐用時間이 逆回轉時는 10時間內外로 短縮되어 이것이 農村에서는 큰 問題點으로 擡頭되었고 이로 인하여 農村의 普及이 不振한 狀態이다.

rotary 播種機의 農村 普及擴大를 爲하여는 逆回轉에 適合한 耕耘날의 設計로 耐用時間을 延長시키는 것이 時急한 課題인 것이다.

rotary날의 耐久時間延長을 爲하여 農工利用研究所에서는 材質別 硬度別의 對比試驗을 實施하였으나 效果를 얻지 못하였다.

本 實驗은 rotary 麥類播種機의 農村普及擴大를 爲하여 逆回轉에 適合한 耕耘날의 改良製作을 目的으로 既存 逆回轉, center drive 播種機의 機構學의 分析을 實施하여 所要動力減少要因을 分析하고 所要動力減少의 要因을 試驗的으로 反證하기 爲한 基礎實驗으로 國內에서는 最初로 soil bin에 人工土壤을 넣고 여러 種類의 耕耘날의 所要動力을 測定하여 所要動力減少要因을 究明하였다.

機構學의 分析과 基礎實驗의 結果를 바탕으로 가장 理想的인 逆回轉用 耕耘날을 試作하였고 이 試作날과 在來耕耘날의 所要動力의 對比試驗을 室內實驗으로 比較하였다.

II. 文獻概要

實用的인 로우터리는 1910年 스위스의 Von Mey-

enberg가 elasticclaw principle을 로우터리에 使用하면서부터 急進的으로 發展하게 되었다. 이것이 1930年代에 美屬으로 紹介되었고 많은 研究와 製作에 들어가게 되었다.

初期에 스위스에서 特許를 받은 本來의 로우터리 耕耘機 (rotary tillage machine)는 크기가 작았지만 유럽에서 6~7ft의 폭으로 耕耘할 수 있는 現在의 tractor用 rotovator로 發展하였다.

Frevert는 rotary tiller가 몰드보드 풀라우에 비해 三倍程度의 過多한 Energy가 所要된다고 發表하였으며 S形날에 比하여 point type날이 所要動力을 節減시킬 수 있다고 하였다. 로우터리의 所要動力節減을 爲한 研究는 1930年代부터 이루어졌으며 最近에는 碎土性能이 優秀한 點을 最大로 살려 播種床의 準備나 土壤殺虫劑의 混合等을 爲해 活發히 研究가 進行되고 있다.

世界的으로는 1930年代부터 美國, 러시아, 1950年代부터 西獨, 1960年代에 日本, 中國 등에서 많은 研究가 이루어지고 있으며 主로 正回轉, 大型 tractor用이 많이 研究되고 있다.

로우터리날(rotary tine)의 形態는 아주 多樣하여 日本의 松尾昌樹⁽¹⁾는 로우터리날의 表示方法으로,

① 3平面法

② 同心圓法

③ 軌跡法 등으로 區分하여 論文을 發表할 程度이며 따라서 그 形態들이 所要動力이나 性能에 미치는 影響은 매우 複雜하게 나타난다.

Hendric等^(18~21)은 rotary設計時의 考慮事項으로,

① 回轉方向

② 로우터리 直徑對 耕深의 比

③ 車體走行速度에 對한 rotary先端의 圓周速度의 比

④ 로우터리날의 各種 間隙 等に 關한 많은 文獻들을 蒐集 整理한 結果들을 報告한 바 있다.

逆回轉(reverse rotation, up-cut method)이란 普通 車바퀴의 回轉方向과 反對로 回轉하는 로우터리를 말하는데 이의 最初의 特許는 1919年 B.W. Jackson이 得하였으나⁽²²⁾ 逆回轉 rotary의 使用은 거의 없는 實情이며 이에 對한 研究도 正回轉에 比하여 아

주 未備한 實情이다.

Hendric⁽¹⁹⁾의 報告에 依하던 耕深(H)가 로우터리 回轉半徑 R보다 큰 境遇는 逆回轉에서만 可能하며 이때 所要動力이 아주 적다고 報告된 바 있다.

또한 Grinchuck와 Matyahn等⁽¹⁸⁾은 逆回轉 로우터리 軸의 所要 動力에서는 12~16%의 動力이 덜 必要하다고 報告하였다.

松尾昌樹^(64,65)는 日本의 普通形 로우터리날의 逆回轉에 關해 研究한 結果로 pitch, 耕深 및 로우터리의 rpm에 따라 差는 있으나 一般的으로 逆回轉에서 로우터리 軸의 驅動力은 적게 나타난다고 報告하였다.

一般的으로 逆回轉에서는 rotary車體를 뒤로 끄는 힘 即 車體의 走行을 妨害하는 힘이 생기므로 不利하다고 松尾昌樹⁽⁶⁶⁾等은 報告한 바 있다.

그러나 Hendric等의 研究結果^(18~21) 逆回轉에서는 正回轉과 反對로 intersection angle이 O에서 부터 차츰 增加하고 正回轉보다 적게 나타나므로 날이 最適角度에서 土壤을 切削할 수 있는 結果가 되므로 研究할 意義가 있다고 報告하였다.

1976年 우리나라 農村振興廳에서 研究開發한 로우터리 麥類 播種機^(60,61)는 逆回轉을 하도록 되어 있으며 로우터리 브라켓트를 傾斜지게 製作한 center drive方式을 採擇하였다.

이러한 逆回轉 center drive날에 關한 研究는 國內에서는 勿論 外國에서도 찾아보기 어려운 實情이다.

耕耘用 機具의 改良 및 開發을 爲한 研究로 室外에서 直接開場實驗을 實施하던 莫大한 實驗裝置가 必要하고 氣候에 依한 여러가지 制約과 時刻으로 變하는 水分變化에 依한 測定值의 精密度 등이 問題가되어 일찍부터 soil bin에서 實驗을 하였다. 文獻^(41,42)에 依하던 1935年頃부터 美國과 유럽에서 定置式의 soil bin을 製作하여 使用하였으며 世界最大 規模는 Auburn의 The tillage machinery laboratory에서 250'×20'×2'의 soil bin 9個를 製作하여 實驗에 使用하였다.

固定式 soil bin은 測定의 精密度를 높이기 爲해 soil bin을 移動하는 移動式으로 發達하였고 初期에 製作된 soil bin들은 比較的 大形이었으나 最近에 strain gage等 測定技術이 高度로 發達하면서 오히려 작은 實驗裝置로 精密實驗을 하는 方向으로 研究가 進行되고 있다. soil bin의 驅動力도 mechanical type에서 最近 hydraulic system을 採用하고 있으나^(60,61) 우리나라에서는 이와같은 室內試驗을 實施

한 報告가 없다.

Siemens⁽³⁰⁾等은 室內試驗을 爲한 soil bin을 製作 自然土壤을 그대로 使用하여 實驗하였으나 含水率을 調節하는데 어려움이 있어 自然土壤에 類似한 人工土壤을 製造하는 것이 바람직하며 相似理論을 適用하여 模型實驗을 實施한 結果를 報告하였다.

Korayem⁽²⁴⁾은 粘土와 모래 및 ethylene glycol의 比率를 달리하여 製造한 人工土壤의 實驗에서 自然土壤과 類似한 性質을 가지며 比較的 오랜 時間 동안 ethylene glycol의 蒸發없이 再現性이 良好한 몇개의 實驗例을 發表한 바 있다.

Reaves⁽²⁷⁾은 spindle oil과 ethylene glycol을 使用한 人工土壤을 製造하여 密度 粘着力 內部摩擦角 動摩擦係數 等을 測定, 2個月以上の 實驗期間에도 再現性이 좋았으며 또 自然土壤에 類似한 여러 가지 人工土壤에 關해 報告하였다. 그는 또한 모래를 使用하지 않고 Houston clay와 spindle oil이나 ethylene glycol을 使用한 研究結果에서 oil을 使用한 人工土壤이 自然土壤의 粘土와 類似한 粘着力을 갖는다고 發表하였다.

Barley⁽⁸⁾는 Ballclay 모래 및 SAE 10W gear oil을 使用한 人工土壤이 自然土壤에 類似하며 再現性이 가장 良好하였다고 報告하였다. 笈玉^(68~70)은 bentonite와 모래 및 各種 oil을 使用한 人工土壤을 製造하여 bentonite, 모래, oil이 粘着力 및 內部摩擦角에 미치는 影響에 關하여 發表하였으며 90w cylinder oil과 bentonite 및 모래를 混合한 人工土壤이 自然土壤의 砂質壤土와 類似하다고 發表하였다. 그는 또한 人工土의 貫入抵抗에 關한 理論的 考察과 再現性에 關한 實驗에서 人工土壤은 優秀한 再現性이 있다고 하였다.

以上的 研究들을 綜合하여 볼 때 粘土만 使用하는 경우보다는 모래를 使用하는 것이 바람직하다고 判斷되며 bentonite와 모래에 oil을 使用하면 粘着力은 自然土壤의 粘質土보다 적은 傾向을 나타내나 再現性이 良好한 便이고 bentonite, 모래 및 ethylene glycol을 使用하면 粘着力은 增大되나 蒸發이 많고 再現性도 不良한 傾向으로 나타났다.

Ⅲ. 로우터리播種機의 機構學的 分析

1. 目 的

現在 普及되고 있는 로우터리 麥類播種날의 運動

과 速度의 一般式을 誘導하고 그 特性을 究明하여 날의 改良 및 配列等의 研究를 爲한 基礎資料를 얻는데 그 目的이 있다.

2. 供試機 및 機構學的 分析要素

가. 供試機

本研究에 使用한 供試機는 國內에서 製作 普及되고 있는 로우터리 麥類播種機로서 動力耕耘機에 附着한 概略圖는 그림 (1)과 같으며 主要諸元은 表(1)과 같다.

分析에서 使用한 날의 種類는 그림 (2)과 같은 3가지 種類이다.

나. 機構學的 分析要素

本分析에서 使用한 供試機의 機構學的 分析要素는 表(2)와 같으며 各 要素는 그림 (1)(2)(3)과 같다.

3. 理論的 分析

가. 逆回轉 Center drive 로우터리날 先端軌跡의 一般式

逆回轉 Center drive 로우터리날의 先端의 點 P의 運動을 數式化하기 爲해 그림 (3)과 같이 X, Y, Z座標를 잡았다.

그림 (3)에서 點 P의 位置를 벡터로 나타내면 다음과 같다.

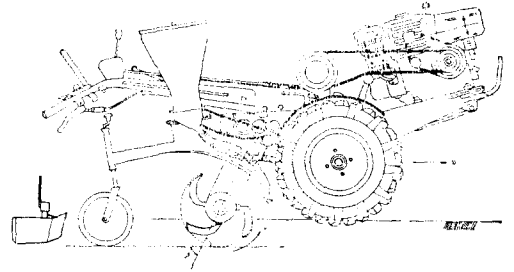
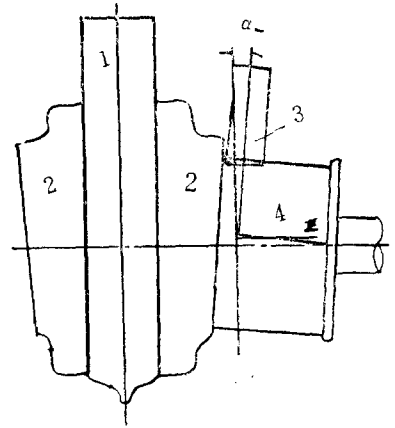


Fig. 1 (a). Schematic diagram of barley seeder attached to rotary tiller.



- ① chain case ② rotary brocket
- ③ " holder ④ " boss

Fig. 1 (b). Driving system of rotary tine

Table 1. The Specification of the barley seeder being attached to rotary tiller.

Size of machine(L×W×H,mm)	1150×1370×1120
Weight(kg)	116
Direction of rotation	reverse rotation
Rotational velocity(rpm)	high:420, low:300

Table 2. Parameters for analysis the reverse center dive rotary system

Symbol.	Unit.	Definition	Remarks
α	rad	Inclined angle of rotary brocket	Fig. 1
β	rad	Tilted angle of rotary brocket	"
θ_r	rad	Angle between the center line of rotary holder and the edge point of rotary tine	Fig. 2
R	mm	Turning radius of rotary tine	Fig. 3
ω	rad/s	Angular velocity of rotary shaft	
V	mm/s	Forward speed of seeder	

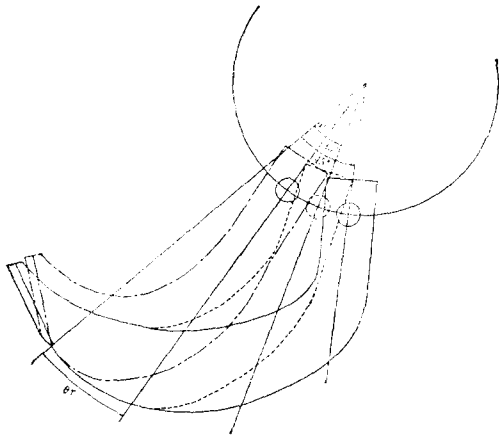


Fig. 2. Three kinds of rotary tine for analysis is of mechanism

$$P = P_x i + P_y j + P_z k \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 P : 로우터리날 先端의 位置벡터

$$P_x : \quad \text{''} \quad \text{''} \quad \text{x成分(mm)}$$

$$P_y : \quad \text{''} \quad \text{''} \quad \text{y成分(mm)}$$

$$P_z : \quad \text{''} \quad \text{''} \quad \text{z成分(mm)}$$

여기서 P_x 및 P_y는 Dalin 등 많은 研究報告^(1), 13, 33, 34, 62, 64, 67)가 있으며 다음식으로 求할 수 있다.

$$R_x = Vt + R \cos \omega t \dots\dots\dots (2)$$

$$P_y = R \sin \omega t \dots\dots\dots (3)$$

Where R = radius of rotor

V = forward velocity of machine

ω = angular velocity of rotary shaft

$\omega t = \theta$ = angular rotation measured from

X axis, in the directn of rotation

to the edge point

그림 (3)에서 點 D는 x-z平面에서 β 만큼 기울어져 있고 x-y 平面과 로우터리 브라켓트의 傾斜角과 같은 α 만큼 傾斜된 面의 頂點이다.

$$\text{그러므로, } \overline{Dd} = R \sin \alpha \dots\dots\dots (a)$$

點 D가 θt 만큼 回轉된 點 E의 Z座標는

$$\overline{EG} \perp \overline{DG} \dots\dots\dots (b)$$

$$\overline{Ee} = \overline{Gg} \dots\dots\dots (c)$$

$$\text{현편, } \triangle Gog \sim \triangle Dcd \dots\dots\dots (d)$$

$$\therefore \overline{Gg} = \overline{Ee} = \frac{R \cos \theta t \cdot R \sin \alpha}{R} = R \cos \theta t \cdot \sin \alpha$$

$$\text{따라서 } \theta z' = \sin^{-1} \frac{\overline{Ee}}{R} = \sin^{-1} (\cos \theta t \cdot \sin \alpha) \quad (4')$$

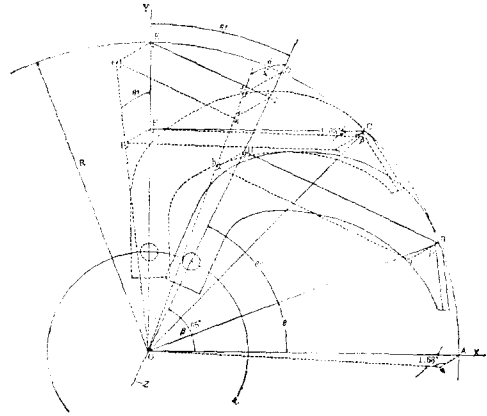


Fig. 3. Figure explaining the position of edge point(p) on the angle(theta) rotation.

그러므로 x軸으로 부터 θ 만큼 回轉한 時의 x-y 平面과 \overline{OP} 가 이루는 角 $\theta z'$ 의 一般式은 다음과 같다.

$$\theta z' = \sin^{-1} \{ \cos(\theta - \beta) \cdot \sin \alpha \} \dots\dots\dots (4)$$

한편 로우터리날의 點 P가 θ 만큼 回轉되었을 時의 z座標 \overline{Bb} 는 \overline{Hh} 와 같으며 $\overline{Hh} = \overline{OH} \sin (\angle Hoh)$

$$\dots\dots\dots e$$

여기서 $\angle Hoh$ 는 式(4)로부터

$$\angle Hoh = \sin^{-1} \{ \cos(\theta - \beta + \theta r) \cdot \sin \alpha \} \dots\dots\dots f$$

$$\overline{OH} = R \cos \theta r \dots\dots\dots g$$

$$\therefore \overline{Hh} = \overline{Bb} = R \cos \theta r \cdot \sin \{ \sin^{-1} [\cos^{-1}(\theta - \beta + \theta r) \cdot \sin \alpha] \} \dots\dots\dots h$$

또한 點 P가 C로 갔을 時의 Z座標는

$$P_z c = \overline{Cc} = \overline{OF} \sin (\angle Fof) + \overline{Fc} \sin (\angle Aoa)$$

$$\dots\dots\dots i$$

$$\text{여기서 } \overline{OF} = R \cos \theta r \dots\dots\dots j$$

$$\overline{Fc} = R \sin \theta r \dots\dots\dots k$$

$\angle Fof$ 와 $\angle Aoa$ 는 式(4)로부터

$$\angle Fof = \sin^{-1} \{ \cos(\theta' - \beta + \theta r) \cdot \sin \alpha \} \dots\dots\dots l$$

$$\angle Aoa = \sin^{-1} \{ \cos(\theta' - \beta + \theta r - \frac{\pi}{2}) \cdot \sin \alpha \}$$

$$= \sin^{-1} \{ \sin(\theta' - \beta + \theta r) \cdot \sin \alpha \} \dots\dots m$$

그러므로 點 P가 反時計方向으로 θ 만큼 回轉했을 時의 z座標를 나타내는 一般式 P_z는 式(i) (j) (k) (l) (m)으로 부터,

$$P_z = R \cos \theta r \cdot \sin \{ \sin^{-1} [\sin \alpha \cdot \cos(\theta - \beta + \theta r)] \} + R \sin \theta r \cdot \sin \{ \sin^{-1} [\sin \alpha \cdot \sin(\theta - \beta + \theta r)] \} \dots\dots\dots (5')$$

여기서 $\theta = \omega t$ 를 代入하고 간단히 하면

$$P_z = R \cos \theta r \cdot \sin \alpha \cdot \cos(\omega t - \beta + \theta r) + R \sin \theta r \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\omega t - \beta + \theta r) \dots \dots \dots (5)$$

그러므로 임의 時間의 로우터리 先端의 點P의 位置 벡터를 나타내는 一般式 P는 式(1)(2)(3)(5)으로 부터

$$P = (Vt + R \cos \omega t) i + R \sin \omega t \cdot j + \{ R \cos \theta r \cdot \sin \alpha \cdot \cos(\omega t - \beta + \theta r) + R \sin \theta r \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\omega t - \beta + \theta r) \} k \dots \dots \dots (6)$$

나. 逆回轉 Center drive 로우터리날 先端速度的 一般式

로우터리날의 先端軌跡의 速度 Vector를 求하기 爲해 式(6)을 時間 t로 微分하면

$$P' = \frac{dP}{dt} = (V - \omega R \sin \omega t) i + (\omega \cdot R \cos \omega t) j + \{ -\omega \cdot R \cos \theta r \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\omega t - \beta + \theta r) + \omega \cdot R \sin \theta r \cdot \sin \alpha \cos(\omega t - \beta + \theta r) \} \dots \dots \dots (7)$$

任意 瞬間에서 點 P의 x-y平面에 投影된 速度 vector와 x-z 平面이 이루는 角을 γ , x-z 平面에 投影된 速度 vector와 x-y 平面이 이루는 角을 ϕ 라고 하면 다음과 같이 求할 수 있다.

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{P_{y'}}{P_{x'}} \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{또한 } \phi = \tan^{-1} \frac{P_{z'}}{P_{x'}} \dots \dots \dots (9)$$

4. 結果 및 考察

가. 既存 로우터리 麥類播種機用 耕耘날 先端軌跡에 關한 解析

既存 로우터리 麥類播種機는 普通 車體前進速度 1, 2段, 로우터리 軸回轉速度 1, 2段을 使用하여 作業을 하며 그 機構學的 要素는 表(3)의 mechanism(1)과 같다.

1) 一般事項

Table 3. Machine parameters used for analysis of mechanisms.

Parameters	Mechanism						
	1-1	1-2	1-3	1-4	2	3	4
α (deg)	4°						
β (°)	65°						85°
θr (°)	45°			30°		10°	
R(mm)	217.8						
ω (rad/s, rpm)	12 π (360)	10 π (300)	14 π (420)	10 π (300)			
V(mm/s)	361.1		527			361	
pitch(mm/rev)	52	72	75	106		72	

式(6)에 表(3)의 mechanism 1-2를 代入하여 x-y, y-z, x-z 平面에 나타내던 그림(4)와 같다.

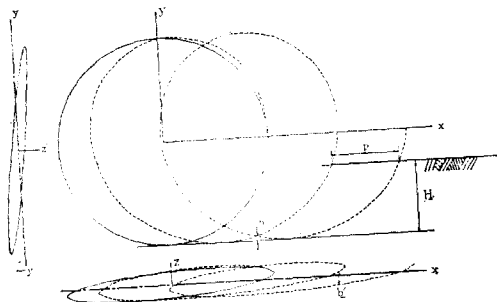


Fig. 4. Trochoidal path of mechanism (1-2) relative to machine frame and ground.

그림에서 P는 pitch를 나타내며 이것은 車體前進速度(V)와 角速度(ω)에 依하여 決定되는데 그 關係는 表(3)에 나타내었다.

點 P가 x-y平面에서 未耕地와 接觸할 時의 x軸으로부터의 角 θ_1 를 作用開始角이라고 하는데 pitch가 52mm에서 106mm로 增加하는 동안 263.6°에서 256.8°로 減少하였다

로우터리 先端의 點 P가 耕深 H만큼 도달하였을 때 x軸과 이루는 角 θ_f 를 作用終了角이라 말하며 H가 150mm인 境遇 346.8° 程度이다.

未耕地處理를 爲해 4°만큼 傾斜지게 製作한 것은 作用開始點에서 最大로 안으로 들어가게 하고 Chain case에 부딪히지 않기 爲해서는 θ 가 65°일때 가장

밖으로 나오는 것도 必要하다.

θ 의 變化에 따른 P_z 의 값을 그림 (5)에 나타내었다.

그림에서 P_{zmin} 이 作用開始角보다 먼저 나타났으므로 P_{zmin} 을 10° 만큼 右側으로 옮긴 것이 點線이다.

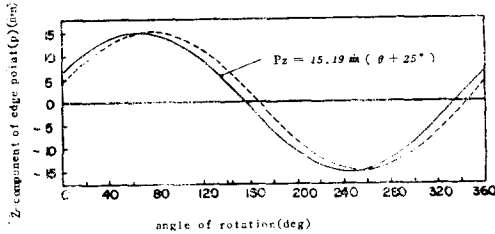


Fig. 5. Z-component of position vector P relative to angle of rotation.

2) 先端跡曲線과 作溝狀態

그림 (4)의 x-y 平面에서의 h, x-z 平面에서의 b' 등을 作溝狀態의 不均一이라 할 수 있다.

또한 그림 (6)은 y-z 平面에서 로우터리날을 그림과 같이 끼웠을때 低面의 狀態를 나타낸 것으로 麥類播種機에서는 오히려 低面이 點線과 같이 되는 것이 바람직할 것이다. 이렇게 하기 爲해서는 로우터리날의 回轉半徑을 달리해야 하는데 로우터리 보스틀 taper로 하던가 로우터리 칼집의 길이를 달리 하던가 로우터리날의 길이를 달리하는 등의 方法이

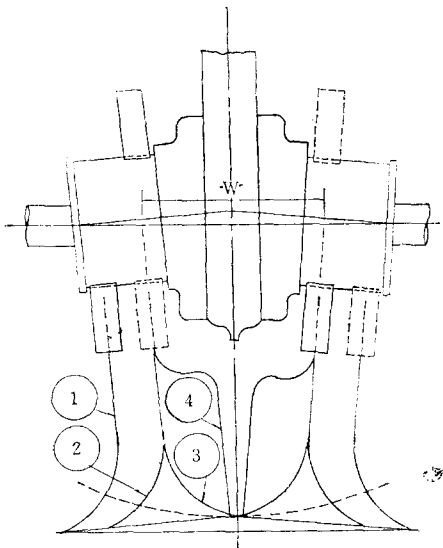


Fig. 6. Figure showing the irregularity of furrow bottom.

있을 것이며 그림 (1)에서와 같이 整地板을 使用하는 方法이 있을 것이다.

측값의 得失에 關하여는 보다 具體的인 研究가 이루어져야 할 것이다.

3) 로우터리 브라켓의 傾斜角 α 와 先端軌跡曲線

로우터리 브라켓의 傾斜角 α 를 增大시키면 P_{zmax} 이 增加하여 그림 (6)의 1번날에 依해서는 作溝幅 보다 커질 것이며 4번날에 依해서는 未耕地를 보다 잘 處理해줄 것이다. 一般的으로 α 를 키우면 未耕地를 잘 處理해준다는 結果는 로우터리날 1개로 여러 로우터리날에 依해 遂行하는 耕幅을 堪當하는 것과 같으므로 같은 種類의 날이라면 磨耗를 促進시키는 結果가 될 것이다.

α 의 適當한 크기는 그림 (6)에서 W에 依해 決定되는데 이에 關하여는 보다 具體的인 研究가 이루어져야 할 것이다.

나. 既存 로우터리 麥類播種機 耕耘날의 先端速度 解析

既存 로우터리 麥類播種機 耕耘날의 先端速度 解析을 爲해 式 (7)(8)(9)에 表(3)의 Mechanism 1-2의 값을 代入하여 求한값을 表(4)에 나타내었다.

γ 에 關한 研究報告는 매우 많으나 f 는 side drive의 境遇에는 나타나지 않으므로 이에 關한 論文은 거의 없는 實情이며 f 는 Center drive 로우터리날의 所要動力과 磨耗에 重要한 影響을 미칠 것으로 思料된다.

이들의 關係를 考察하기 爲해 $\theta=300^\circ$ 일때 로우터리날과의 關係를 그림 (7)에 나타내었다.

그림에서 γ 는 x-z 平面과 로우터리날 先端에 作用하는 힘 F와 이루는 角을 나타내며 이때 f 는 進行方向인 x-y 平面과 힘이 作用하는 角을 나타내므로 f 가 적을수록 힘이 적게 될 것이며 힘 F 方向의 로우터리날의 길이 l이 짧을수록 所要動力이 적게 될 것이므로 그림에서와 같이 로우터리날의 形狀角 θr 을 적게 하는 것이 바람직하다.

한편 θr 을 줄이면 正回轉의 境遇는 作用開始角에서 큰 負荷가 걸리고 障碍物 등이 問題가 되어 適當한 限界를 두어야 한다는 坂井純等(14)의 研究結果도 있으나 逆回轉의 境遇는 作用開始角에서의 切斷幅이 0에서 始作하므로 θr 을 줄여도 正回轉의 境遇보다 影響이 적을 것으로 思料되어 本研究에서는 θr 을 달리하는 날을 分析하였다.

Table 4. Z-components of Velocity, γ , and f as a function of angle of revolution(θ) with the mechanism 1-2, 2, 3, and 4.

θ	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360
Pz_1	41.60	123.53	201.70	273.75	337.49	390.96	432.56	461.01	475.46	475.46	461.01	432.56
Pz_3	119.54	196.66	267.81	330.92	383.78	425.08	453.46	468.07	468.45	454.60	426.93	386.29
Pz_4	-43.150	38.784	119.54	119.66	267.81	330.82	383.78	425.08	453.46	468.07	468.45	454.60
γ	-19.01	-9.50	0	9.50	19.01	28.55	38.13	47.76	57.45	67.21	77.05	86.98
f_1	0.351	0.997	1.604	2.208	2.845	3.559	4.415	5.533	7.165	9.982	16.571	50.145
f_3	1.01	1.58	2.13	2.67	3.23	3.87	4.63	5.62	7.06	9.55	15.41	46.93
f_4	-0.364	0.313	0.951	1.587	2.258	3.012	3.919	5.104	6.937	9.830	16.824	51.539

다. 로우터리날의 形狀角 變化와 先端軌跡曲線 및 그 速度解析

1) 로우터리날의 形狀角 變化에 따른 先端軌跡曲線의 解析

그림(2)과 같이 로우터리날의 形狀角 θ 가 10° , 30° , 45° 로 변하는 表(3)의 Mechanism (1-2), (2), (3)을 先端軌跡曲線의 式(5)에 代入하여 Pz_1 , Pz_2 , Pz_3 의 變化를 250° 에서 350° 까지 나타내면 그림(8)과 같다.

그림(8)에서 作用開始角에서의 Pz 의 값과 作用終了角에서의 Pz 가 이루는 길이 b_1 , b_2 , b_3 들은 追加耕幅이라고 말할 수 있으며 로우터리날의 耕幅과 같이 總 耕幅을 만드는 값이 되는데 이 b 가 클수록 實際의인 耕幅이 增加하므로 로우터리날의 所要動

力이 增大될 뿐 아니라 磨耗도 增加될 것이다. 勿論 單位耕幅에서 생각하면 所要動力面에서 그

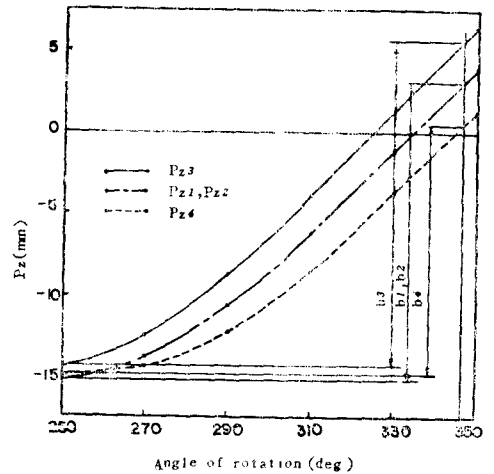


Fig. 8. Z-component (Pz) of position vector P relative to the angle of rotation and showing the additional cutting width(b)

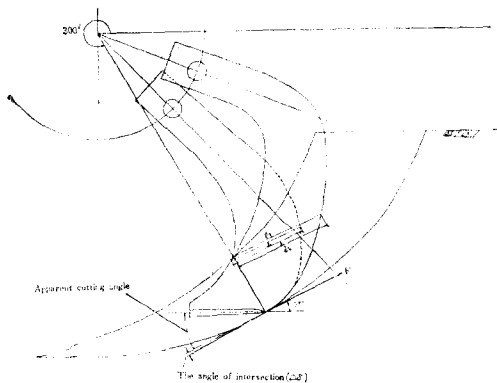


Fig. 7. Velocity of edge point at the angle of rotation, 300°

反對의 傾向일 수 도있으나 Center drive에서 로우터리 브라켓을 傾斜지게 製作하는 것은 로우터리 Chain case 밑部分의 未耕地를 處理하는 것이 主目的이므로 作用開始角에서 가장 안쪽으로 들어가면서 b 를 적게 한다던 로우터리날의 耐磨耗面에서는 有利한 것이다.

b 를 적게하기 爲해서는 Pz 의 最小值를 作用開始角으로 右側移動하면 b_1 가 가장 적게 될 것인데 Pz 를 移動시키려면 β 를 달리하면 될 것이다. 앞절에서 考察한 바와같이 逆回轉 Center drive 로우터리

날에서 로우더리날의 形狀角 θ 가 적은 것이 有利하므로 Pz_0 를 右側으로 20° 移動시킨 表(3)의 mechanism 4로 구한 값 Pz_1 가 같은 날의 使用時間에서 磨耗率은 最小가 될 것이다.

2) 로우더리날의 形狀角 變化와 先端速度의 解析

로우더리날의 形狀角 變化와 先端速度의 解析을 爲해 式 (8) (10), (12)에 表(3)의 mechanism(1-2), (3), (4)의 값들을 代入하여 求한 ϕ 와 θ 의 關係를 그림(9)에 나타내었다.

一般的으로 作業開始角에서 作兩終了角中에 ϕ 가 적은 것이 有利하다고 한다면 Pz_1 가 가장 有利할 것이다.

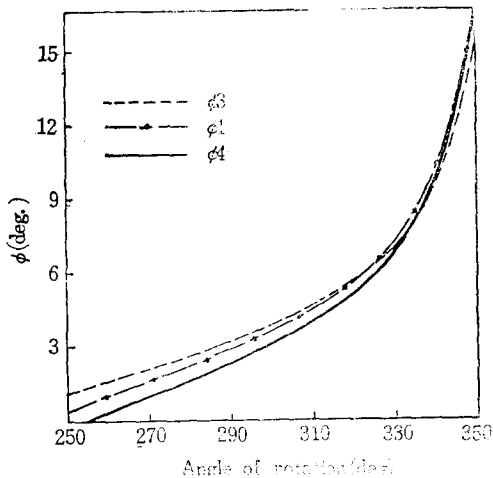


Fig. 9. The angle(ϕ) between the direction of edge point speed, and x-y plane with three different mechanisms.

IV. Soil bin 및 人工土壤에 關한 研究

1. 目的

土壤의 物理的 特性이 같은 條件下에서 各種 耕 耘날의 所要動力 測定을 效率의 爲로 遂行하기 爲하여 移動式 soil bin을 製作하고 普通 土의 自然土壤과 類似한 人工土壤을 製造하여 室內에서의 耕耘裝置實驗을 可能케 하는데 그 目的이 있다.

2. Soil bin 및 測定裝置

가 Soil bin

本 研究에서는 Clark等(9)의 研究報告를 參考로 하여 mechanical type인 移動式 soil bin을 設計製

作하였으며, 그 概略圖는 그림(10) (11)과 같고 主要諸元은 表(5)와 같다.

本 實驗에서는 高速耕耘實驗이므로 그림 (11)에서와 같이 로우더리 驅動裝置와 soil bin의 驅動을 別途로 設置하여 驅動에서 發生하는 振動의 影響을 最低로 하도록 設計하였다.

驅動裝置는 前進 後進을 自由로 調整할 수 있는 chain sprocket을 利用한 無限軌道型을 使用하였으며 原動力은 2PS 電氣 motor이고 變速은 耕耘機 變速裝置를 使用하였다.

Table 5. Specification of the soil bin system and roller

Soil bin system	width (mm)	450
	depth (mm)	300
	length(mm)	4,800
Roller	weight (kg)	58
	width(mm)	330
	diameter(mm)	270

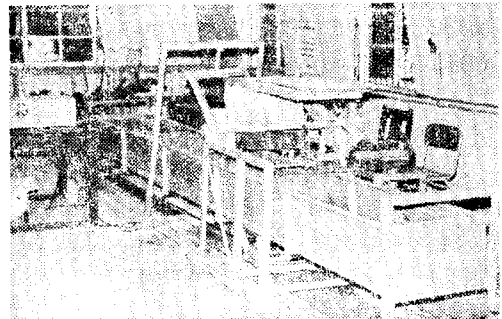
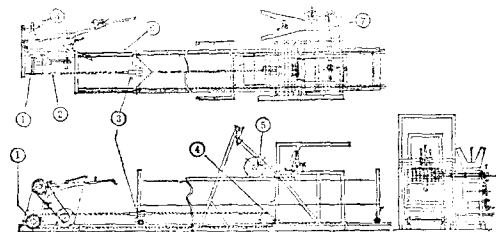


Fig. 10. General view of the soil bin system



- ① Driving sprocket ② Driving chain
- ③ Strain gage load cell ④ Idle pulley
- ⑥ Rail ⑦ Torque meter
- ⑧ Speed checker

Fig. 11. Schematc diagram of the soil bin system.

soil bin滑走를 圓滑하게 하기 爲해 베일과 철바퀴를 使用하였으며 파퀴軸은 二重 bearing으로 製作하였고 實驗後 人工土壤의 再處理를 爲한 rake, leveler 및 轉壓 roller를 附着시켰고 轉壓 roller, 는 重量을 調節할 수 있도록 製作하였다. 轉壓 roller는 轉壓時에 soil 이 附着되지 말아야 되는데 本 soil bin의 roller는 vinyl을 씌워 使用하였다. 測定用 로우터리 軸을 驅動하는 motor와 變速機는 別途로 設置하였으며, 로우터리날이 回轉할 때, 그 反動을 줄이기 爲해 別途의 基礎에 turnbuckle로 充分히 固定시켰다.

나. 測定裝置

實驗의 精密度를 높이기 爲해 dynamic strain gage system을 使用하였으며 測定項目과 gage의 構成은 그림 (12)과 같다.

(1) soil bin의 牽引力 測定裝置

soil bin驅動 牽引力 測定은 tension load cell를 使用하였으며 그림 (13)a, (13)b에서 load cell holder는 soil bin frame hook와 驅動用 chain에 固定시켰는데 牽引方向의 變化에 無關한 牽引力을 正確히 測定하기 爲해 linear bearing을 製作하여 使用하였다.

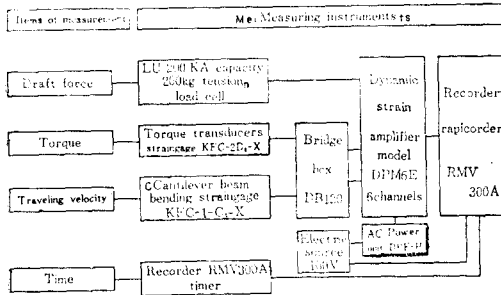


Fig. 12. Block diagram of measuring instruments.

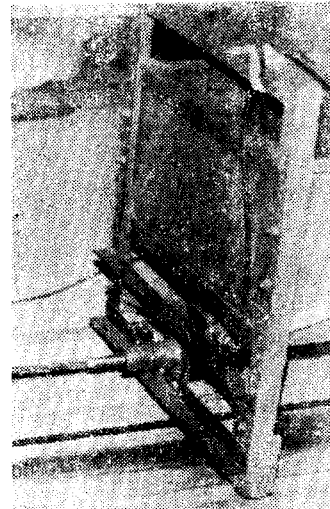
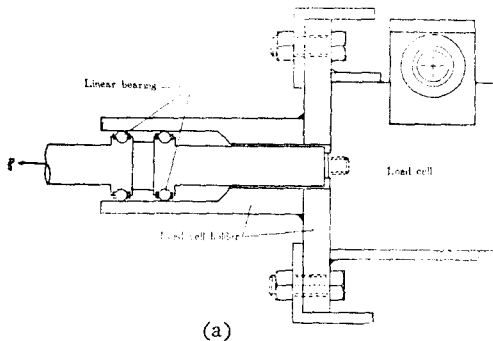


Fig. 13. Schematic diagram and general view of load cell arrangement.

2) Speed checker

soil bin의 移動速度를 測定하기 爲해 그림 (14)와 같이 chain 驅動 sprocket의 6角型軸에 直角方向으로 strain gage를 接着시킨 Cantilever를 附着시켜 soil bin의 平均 移動速度를 測定할 수 있도록 하였다.

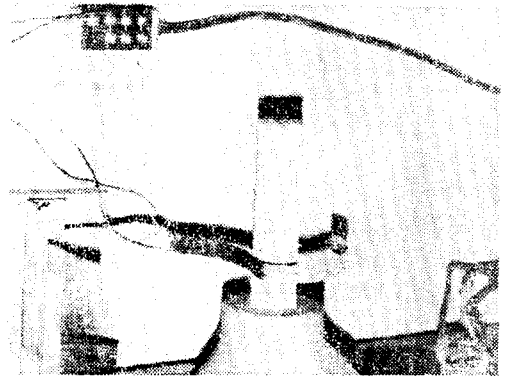


Fig. 14. General view of speed checker.

3) Torque 測定裝置



- ① Input shaft
- ② Steel ball(4×2ea)
- ③ Movable housing
- ④ Angular ball bearing #7203
- ⑤ Conical insert.
- ⑥ Strain gage (KFC-2-D_x-X)
- ⑦ 12mm dia. steel ball(6ea).
- ⑧ Transducer shell.
- ⑨ Stationary housing.
- ⑩ Output shaft.

Fig. 15. Detailed view of the brushless torque meter.

torque meter는 Mahmoud 等⁽²⁵⁾이 研究報告한 strain gage를 利用한 brushless torque meter의 基礎原理를 利用, 本 實驗에 適當하도록 設計-製作 하였으며 그 細部圖는 그림 (15)와 같다.

그림에서 input軸과 output軸은 同一軸 上에서 6個의 steel ball들로 接觸되어 있는데 그 鋼球들을 支持하는 conical insert는 torque를 받으면 두軸을 바깥쪽으로 밀어내도록 되어있다. 그때 軸에 發生한 推力은 angular bearing에 依해 支持된 transducer shell로 傳達되며 이때 發生되는 strain을 測定하기 爲해 兩方向 strain gage 2個를 附着하고 bridge box를 使用하여 Wheatstone bridge를 形成하도록 하였다.

또한 stationary housing과 反對쪽 housing을 둘 다 固定한다면 torque에 依해 conical inserts에 發生된 推力은 transducer shell에 傳達되지 못하게 되므로 한쪽의 housing을 linear bearing과 같이 steel ball 8個를 利用하여 movable housing으로 設計하였다.

stationary housing 쪽의 軸을 output shaft로 하여 實驗用 로우터리 軸에는 影響이 가지 않도록 하였으며 movable軸을 input軸으로 하였다.

다. 人工土壤의 製造 및 物理的 特性調査

1) 人工土壤의 製造

本實驗에 使用된 人工土壤은 Reaves⁽²⁷⁾ 等의 여러 研究報告를 參考로 基礎實驗을 통해 重量比로 bentonite 39.35%, 모래 41.10% 및 SAE 10w oil 12.55%로 製造하였다.

人工土壤의 製造에 使用된 材料의 理化學的 成分은 表(6)와 같고 그림 (16)은 bentonite와 모래 混合物의 粒度分布曲線을 나타낸 것이다.

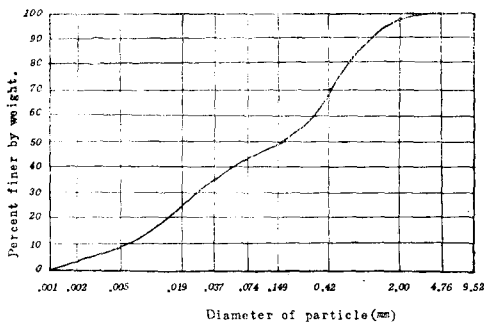


Fig. 16. Grain-size distribution curve for the mixture of bentonite and sand.

Table 6. The physical and chemical components of the tested artificial soil

Bentonite (39.35%, by weight)	Bulk density(g/cc)	0.56	
	Bulk volume(cc/g)	1.83	
Oil (12.55%)	PH	7.6	
	Chemical components		
	SiO ₂	62.36	
	Al ₂ O ₃	21.76	
	Fe ₂ O ₃	0.31	
	CaO	1.52	
	MgO	2.73	
	Ig loss	12.34	
	Sand (41.10%)	Specific gravity	2.59
		Unit weight(g/cm ³)	1.41
Oil (12.55%)	SAE No.	10w	
	Gravity (°API)	30.5	
	Viscosity sec(210°F)	46.2	
	Viscosity index.	95	
	Flash point(°C)	218	
	Flow point(°C)	-32.5	

2) 物理的 特性 實驗方法

가) 人工土壤의 密度測定: 狹小한 soil bin內에서 測定이 便利한 直徑 63mm, 높이 20mm의 cutter를 使用하였다.

나) 土壤硬度的 測定: 山中式 土壤硬度計를 使用하여 3cm/sec의 一定한 速度로 土壤속에 貫入시키면서 土壤의 硬도를 測定하였다.

다) 內部 摩擦角 및 粘着力의 測定: 直徑, 높이 55mm의 cutter를 附着한 落下式를 使用하여 試料를 採取하였고 Sampler strain controlled direct shear apparatus로 1mm/min의 速度로 剪斷實驗을 實施하여 그 結果로부터 內部摩擦角 및 粘着力을 求하였다.

라) 鐵板의 動摩擦係數의 測定: 垂直荷重을 달리한 鐵板을 速度를 달리하며 strain gage system으로 견인력을 測定하여 鐵板과 人工土壤의 動摩擦係數를 換算하였다.

3. 結果 및 考察

가. 轉壓回數와 密度(bulk density)와의 關係

soil bin內에 人工土壤을 넣어 roller의 轉壓速度를 달리하여 轉壓回數別 密度를 測定한 結果는 그림 (17)에 나타낸바와 같이 6회 轉壓에서 密度가 1.41g/cm³, 10회 轉壓에서 1.60g/cm³, 16회 轉壓에서 1.63g/cm³ 程度로 增加하였으며 初期에는 轉壓回數가 增加함에 따라 密度가 急增하다가 轉壓回數가 더 增加함에 따라 그 增加率은 차츰 줄어드는 傾向을 나타냈는데 Clark等⁽⁹⁾의 研究結果에서도 이와비슷한 傾向이었다. 密度 (y)와 轉壓回數 (x)와의 關係式은 다음과 같다.

$$y = 1.073200 + 0.070780x - 0.002263x^2 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

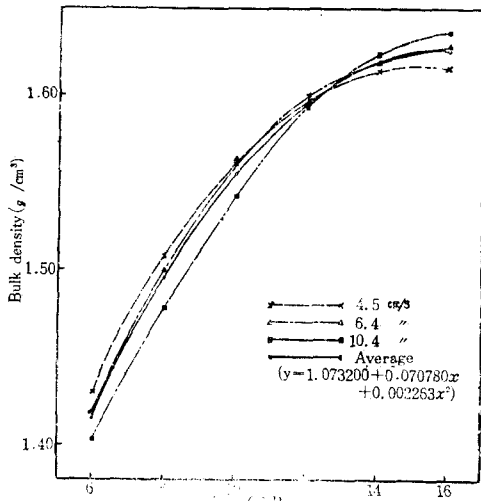


Fig. 17. Relationship between the bulk density of artificial soil and the numbers of rolling with various rolling speed.

나, 轉壓速度와 密度와의 關係

roller의 轉壓速度가 4.5~10.4cm/sec의 範圍에서는 轉壓回數가 密度에 큰 影響을 미치는데 반해 roller의 轉壓速度에 따른 密度變化는 그림 (18)과 같이 微小한 것으로 나타나 人工土壤의 密度를 增大시키기 爲해서는 轉壓速度의 變化보다는 轉壓回數를 增加시키는 것이 바람직한 것으로 判斷되었다

다. 轉壓回數와 土壤絕對硬度와의 關係

roller의 轉壓回數와 土壤絕對硬度와의 關係는 그림 (19)에서와 같고 轉壓回數(x)와 土壤絕對硬度 (y)의 關係式은 다음과 같다.

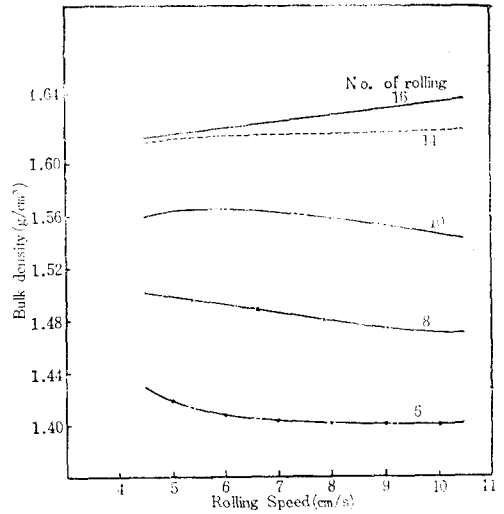


Fig. 18. Effect of the rolling speed on the bulk density of artificial soil.

$$y = 37.74 \frac{0.64 + 0.17x - 0.0054x^2}{(3.36 - 0.17x + 0.0054x^2)^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

土壤 絕對硬度는 密度와 같이 轉壓回數의 增加에 따라 急增加를 나타내었는데 그값은 6회에서 3.5kg/cm², 12회에서 8.0kg/cm², 16회에서 9.5kg/cm² 였다.

轉壓速度가 土壤 絕對硬度에 미치는 影響은 土壤 密度의 境遇와 類似한 傾向으로 나타났는데 本實驗

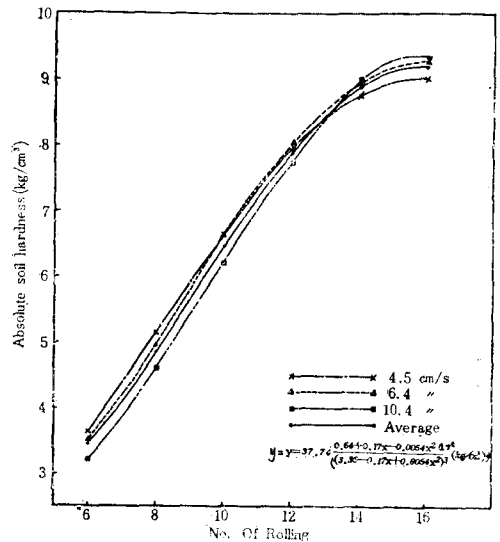


Fig. 19. Relationship between soil hardness and No. of rolling.

의 範圍內에서는 轉壓速度보다 轉壓回數가 土壤硬

도에 相當히 큰 影響을 주는 것으로 나타났다.

라. 土壤 絕對硬도와 密度와의 關係

土壤의 絕對硬도와 密度的 關係는 그림 (20)에서와 같이 密度가 增加할수록 絕對硬도도 增加하였으며 이들의 關係式은 다음과 같다.

$$y = 37.74 \frac{2.46x - 2.02}{(6.02 - 2.64)^2}$$

여기서, y = 土壤 絕對硬도 (kg/cm^2)

x = 土壤의 密度 (g/cm^3)

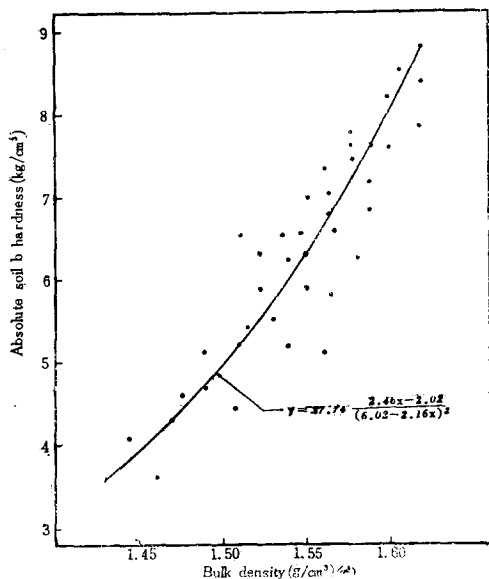


Fig. 20. Variations of the absolute soil hardness according to the it's density.

實驗을 實施함에 있어서는 土壤의 密度보다 土壤의 硬도를 測定하는 것이 有利할 뿐만 아니라 같은 soil bin內에서 土壤을 적게 攪亂시키게 되므로 能率의이며 이들 關係式이 相互 有效하게 使用될 수 있을 것이다.

마. 土壤硬도가 粘着力에 미치는 影響

本實驗에 使用한 人工土壤의 密度와 粘着力의 關係는 그림 (21)에 나타낸바와 같이 密度的 增加는 一般的으로 粘着力의 增加를 가져왔는데 그 變化率은 一定하지 않았다. 趙⁽⁸⁴⁾ 등의 自然土壤에 關한 實驗에서는 乾燥密度가 增加함에 따라 粘着力이 增加하는 傾向을 나타냈으나 一率의인 傾向을 나타내지 않았다고 報告된 바 있고 笈田 등^(88~70)이 oil을

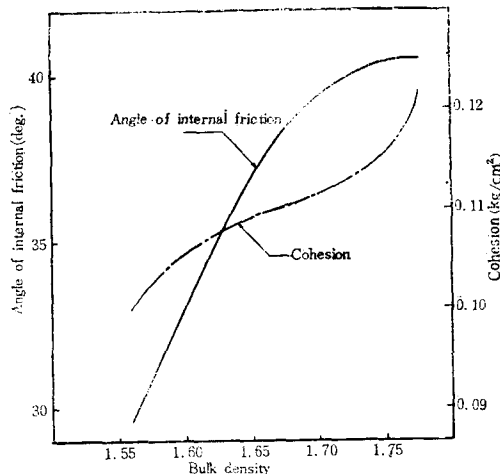


Fig. 21. The comparison of the angle of internal friction and the cohesion of artificial soil with variation of bulk density.

使用한 人工土壤에 關한 研究結果에서도 本實驗의 結果와 類似한 傾向을 나타냈다.

바. 土壤密度가 內部摩擦角에 미치는 影響

密度的 增加에 따른 內部摩擦角의 變化는 그림 (21)과 같으며 密度가 1.5g/cm^3 에서 1.7g/cm^3 까지 變化하는 동안 內部摩擦角은 25° 에서 38° 까지 急激히 增加하다가 1.7g/cm^3 以後는 서서히 增加하여 1.75g/cm^3 에서 40° 程度로 나타났다. 自然土壤으로 實驗한 趙等⁽⁸⁴⁾의 實驗結果도 內部摩擦角이 40° 程度의 큰값을 나타내기도 하였으나 大部分 40° 以下인 것으로 報告되었다.

本實驗에서 使用한 人工土壤의 內部摩擦角과 粘着力은 自然土壤에서 耕耘날 實驗을 實施한 宋⁽⁷⁷⁾의 實驗에 使用된 土壤의 土質中 含水比가 29.5%인 砂質 壤土와 類似한 값으로 나타났으며 自然土壤의 粘質 壤土와 같이 粘着力이 큰 自然土壤과 比較할때 密度를 1.7g/cm^3 以上으로 다지던 粘着力은 比較的 적더라도 內部摩擦角이 큼으로 剪斷強度의 差異는 크지 않을 것이다.

사. 人工土壤과 鐵板의 動摩擦係數

耕耘裝置의 所要動力에 큰 影響을 미치는 動摩擦係數의 測定을 爲하여 農業機械의 材料로서 많이 使用되고 있는 鐵板에 對하여 動摩擦係數를 測定한 結果 土壤密度的 增加에 따라 土壤과의 動摩擦係數는 減少하였으며, 대체로 0.31~0.41範圍로 나타났다.

또한 人工土壤面上에서의 走行速度 變化는 動摩擦係數에 거의 影響을 미치지 않는 것으로 알려져 있는데 그림 (22)에서와 같이 本 實驗에서도 같은 結果를 얻을 수 있다.

이러한 값들은 自然土壤에서의 實驗結果와 아주 잘 一致하는 것으로 나타났다.

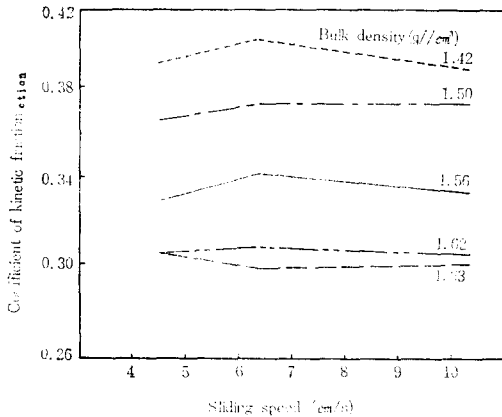


Fig. 22. The coefficient of kinetic friction of steel according to the sliding speed and bulk density of artificial soil.

V. 逆回轉 로우터리試作날의 所要動力對比實驗

1. 目的

Ⅲ章에서 機構學的으로 分析한 結果를 實驗的으로 確認하기 爲하여 로우터리날의 形狀角, apparent cutting angle을 달리한 9個의 試作날을 製作하여 所要動力의 減少傾向을 分析하고 이 實驗의 結果를 基礎로 合理的인 로우터리播種機의 試作날을 再設計製作하여 既存날과의 對比實驗을 實施, 이의 實用性을 究明함에 있다.

2. 實驗材料 및 方法

가. 實驗材料

그림 (23)과 같은 形狀角, apparent cutting angle이 다른 9種類의 로우터리날을 設計 自由鍛造로 製作하여 基礎實驗을 實施하였고 實驗結果에 따라 그림 (24)a (24)b와 같은 4種類의 形狀角이 다른 로우터리날을 精密製作하여 比較實驗을 實施하였다.

나. 實驗方法

soil bin에서 人工土壤을 使用하여 soil bin 移動速度, 로우터리軸의 回轉速度, 人工土壤의 轉壓回數 등을 變化시키면서 soil bin의 牽引力, soil bin驅動軸의 回轉速度, 로우터리軸의 torque 등을 測定하였다.

recorder는 記錄紙의 送出速度를 20cm/sec로 하였으며 每回 實驗은 soil bin의 中間 2m 程度를 測定記錄하였으며 3反復實驗을 實施하였다.

다. 分析方法

recording paper에 나타난 記錄에서 牽引力 및 torque는 planimeter로 3回씩 面積을 求하여 算術平均値를 擇하였으며 다음과 같이 分析하였다.

1) Soil bin의 移動速度 : speed checker 에 依해

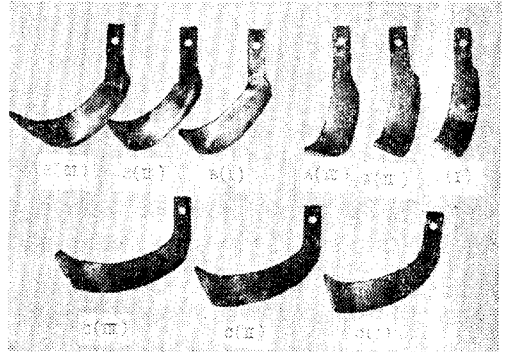
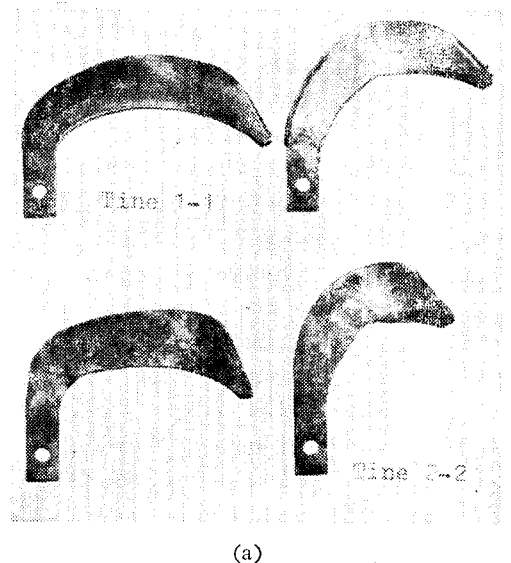


Fig. 23. Prototype rotary tines for preliminary test.



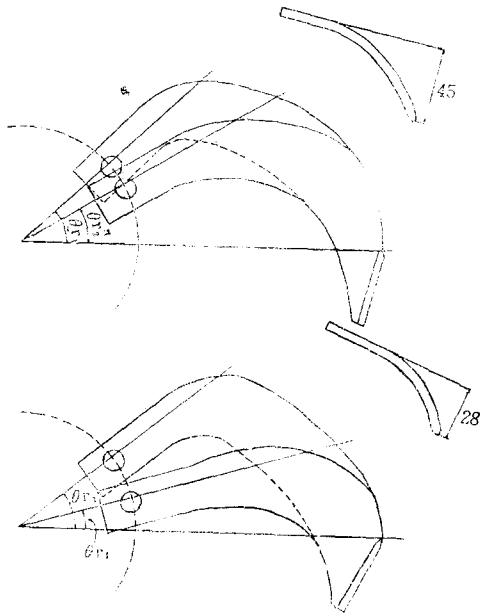


Fig. 24. Two pairs of prototype tine for preliminary test.

記錄紙에 나타난 10 cycle 程度를 秒로 換算하고 여기서 驅動 sprocket軸의 rpm을 求해 chain pitch 의 關係에서 soil bin의 移動速度를 測定하였다.

2) 로우터리 軸의 回轉速度: torquemeter에 依해 나타난 cycle과 記錄紙의 time線과의 關係에서 로우터리 軸의 rpm을 換算하였다.

3) 耕 耘 pitch: 앞에서 求한 soil bin 移動速度와 로우터리 軸의 rpm에서 耕 耘 pitch를 求하였다.

4) 作用角: 每 cycle에서 耕 耘torque가 나타난 길이와 回轉時에 所要되는 torque란 나타난 길이를 合한 값에 對한 耕 耘 torque가 나타난 길이의 比를 360°換算하여 作用角으로 하였다.

5) 일 (work, 全 耕 耘 torque, kg-m-deg): 로우터리 1개가 實際로 土壤을 1回 切斷할때 行하 여진 일은 torque meter에 依하여 記錄된 平均값에 作用角을 곱하여 kg-m-deg로 表示하였다.

6) 最大 torque (Tmax, kg-m): 耕 耘 作業中 每 cycle마다 發生한 最大 torque의 20個內외의 算術 平均値를 求하여 Tmax로 表示하였다.

7) 平均 torque (Tave, kg-m): 全 耕 耘 torque 를 360°로 나누어 平均 torque를 求하였다.

8) 平均牽引力: load cell에 依해 記錄紙에 나타 난 曲線의 面積을 求해 作用角으로 나누어 平均値 를 取하였다.

3. 結果 및 考察

가. 로우터리날의 形態와 全耕 耘 torque

그림 (25)는 9個 種類의 날에 對한 全耕 耘 torque 의 값을 나타낸 것이며 一般적으로 로우터리날의 形狀角이 큰쪽보다는 작은쪽이 적고 極端적으로 작은 쪽보다는 中間쪽의 所要動力이 적게 나타났다.

形狀角이 간을때 apparent cutting angle이 큰쪽 과 작은쪽에서 各各 所要動力이 크게 나타났으며 中間인 25°程度에서 最小로 나타났다.

이는 Hendric⁽²⁾ 등의 研究結果에서 一定範圍內에서 apparent cutting angle을 增加시키면 torque로 增加된다는 報告와 一致한다.

그러나 이 基礎實驗에서는 試作로우터리날의 製作 精密度가 낮을뿐만 아니라 形狀角과 apparent cutting angle이 다르므로 正確한 試驗値를 分析할 수 없으나 形狀角이 apparent cutting angle 보다 全耕 耘 torque에 큰 影響을 주는 것으로 認定된다.

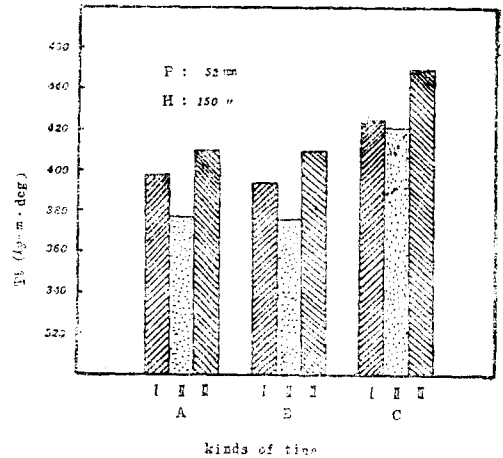


Fig. 25. Total cutting torque (Tt) of 9 kinds of rotary tines.

나. 로우터리날 形狀角 30°와 45°의 對比 實驗

1) 耕 耘速度의 變化와 全耕 耘 torque의 比較

그림 (26)은 로우터리날 形狀角 θ_{ri} 이 45°, 30°이며 屈曲部는 같고 apparent cutting angle이 13°인 로우터리날 A와 B의 耕 耘速度 變化에 따른 全耕 耘 torque를 나타낸 것이다. 現在 使用되는 로우터리 麥類播種機는 單純히 耕 耘뿐만 아니라 排水溝를 만 들어야 하므로 車體의 走行速度에 比하여 로우터리

軸 回轉速度가 크므로 走行 速度에 對한 周速度의 比를 매우 크게하고 있다.

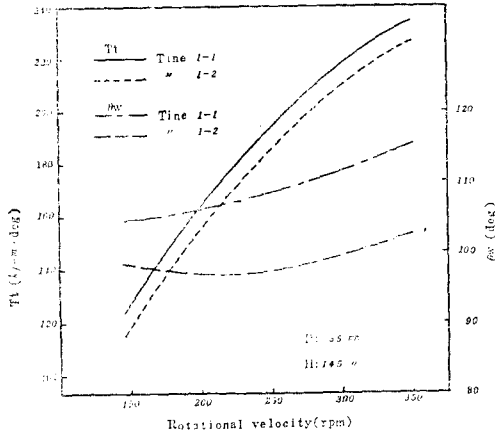


Fig. 26. The comparison of total cutting torque (Tt) and/or angle of rotation during cutting soil(θ_w) with tine 1-1, and 1-2.

Bernark나 Bok⁽¹⁸⁻²¹⁾ 등의 研究에 依하면 이 x 는 耕耘 pitch에 依하여 左右되는 것이다. x 가 같은 境遇 intersection angle ($\Delta\delta$)은 正回轉의 境遇보다 逆回轉時에 變化가 적었다고 報告하였다. 그러므로 本 實驗에서는 走行速度를 變化시켜 pitch를 一定하게 維持하면서 로우터리軸의 rpm을 增加시키더라도 로우터리날의 形狀角이 45°보다 30°에서 全耕耘 torque가 크게 나타났다.

2) 作用角度的 比較

作用角度란 로우터리날의 土壤에 接地하기 始하여 끝나는 cycle當 回轉角度를 말하는 것으로 로우터리날 先端의 尖端에 對한 作用角度는 로우터리軸의 rpm과 車體의 走行速度, 로우터리날의 回轉半徑 및 耕深에 따라 決定되나 로우터리날 全體로 보던 形狀角에 따라 크게 變化하며 이를 그림(26)에 나타내었다. 後者는 任意 先端의 一點의 作用開始點이 아니라 未耕地와 가장 먼저 닿는 곳에서 全體 로우터리날이 通過해야 하는 角度이므로 一般의 으로는 로우터리날의 形狀角(θ_r)이 클수록 作用角度도 커지는 것이다.

그러나 正回轉에 있어서는 θ_r 이 크므로 作用角度가 커지는 것이 나쁜 것만은 아니다.

坂井純 等⁽²⁴⁾의 研究에 따르면 正回轉에서 이 θ_r

이 너무 적은 境遇 질과 같은 障礙物이 많이 감겨 게 되므로 實際의 利用面에서 θ_r 이 最小限의 어느 範圍를 維持해야 한다고 報告되었다.

3) 最大 및 平均 torque의 比較

그림 (27)은 實驗에서의 最大 torque 및 平均 torque의 變化를 나타낸 것이다.

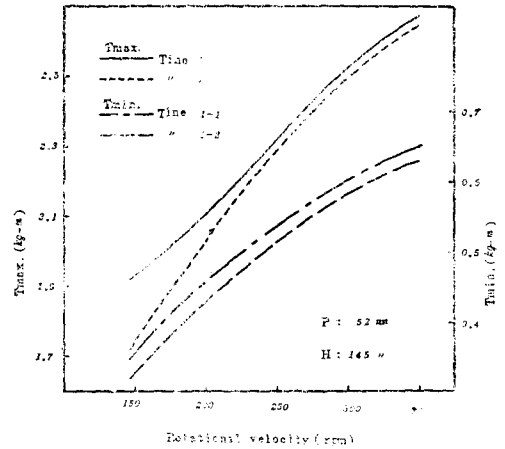


Fig. 27. The Comparison of maximum and minimum torque with tine 1-1 and tine 1-2.

로우터리날의 形狀角(θ_r)이 45°인 既存로우터리날과 屈曲部는 이와 같으면서 θ_r 만을 30°로 改造한 로우터리試作날을 比較 實驗한 結果 300 rpm에서 45°인 날의 最大 torque 및 平均 torque는 各各 2.53kg-m, 2.21kg-m이고 30°인 날의 값은 各各 2.49kg-m, 2.16kg-m로 θ_r 이 30°인 날이 작은 값으로 나타났다.

이는 形狀角이 耕耘날의 最大 torque에 크게 影響을 주는 要因으로 思料된다.

다. 로우터리날의 形狀角 10°와 45°인 날의 對比實驗

1) 全耕耘 torque의 比較

本 實驗에서는 形狀角 θ_r 이 10°, 45°로 다르며 屈曲部는 같고 apparent cutting angle이 25°인 그림 (28)와 같은 날들을 對比한 結果 45°인 날과 10°인 날의 全耕耘 torque는 300 rpm에서 160kg m-deg, 156kg-m-deg로 나타나 그 傾向은 앞에서 分析된 θ_r 45°, 30°일때와 같았으나 그 差異는 그보다 작았다.

2) 作用角度的 比較

本實驗에서도 作用角度는 그림 (28)와 같이 θ_r 10°인 境遇에 比하여 45°인 境遇가 若干 큰값으로 나타났다.

3) 最大 torque 및 平均 torque의 比較

最大 torque와 平均 torque의 θ_r 45°, 10°에서의 差異는 적으나 그림 (29)와 같이 減少하는 傾向은 θ_r 45°, 30°의 境遇와 類似하게 나타났다.

apparent cutting angle이 다르더라도 最大 torque 및 平均 torque에 큰 影響이 없이 로우터리의 形狀角 θ_r 에 依해 最大 torque 및 平均 torque의 差異가 있음을 나타낸 이것다.

그러므로 Ⅱ章에서 考察한 바와 같이 θ_r 이 適當히 적은 로우터리날을 逆回轉에 使用하던 energy 節約面에서 보다 有利할 것으로 思料된다.

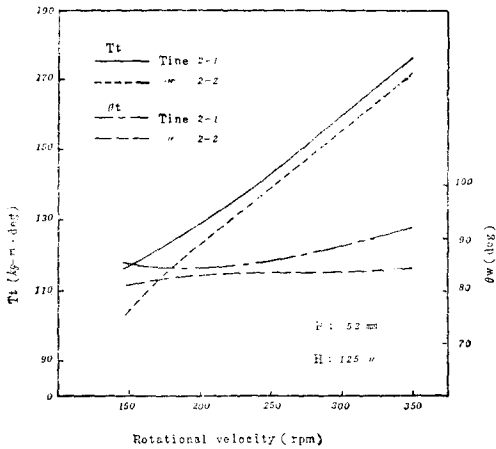


Fig. 28. The comparison of total cutting torque (T_t) and/or angle of rotation during cutting soil (θ_w) with tine 2-1 and tine 2-2.

라. 耕耘 pitch變化에 따른 所要動力

로우터리날의 形狀角인 θ_r 및 pitch의 變化가 所要動力에 미치는 影響은 그림 (30)과 같다.

그림에서 보는바와 같이 θ_r 이 變化하면서 耕耘 pitch도 變化할때 所要動力 增加 傾向에서 두 變化的 要因의 相乘效果는 찾을 수 없었다.

마. 土壤硬度 및 로우터리날의 形狀角의 變化에 따른 所要動力

土壤硬度 및 로우터리날의 形狀角 θ_r 이 로우터리날의 所要動力에 미치는 影響을 究明하기 爲한 實

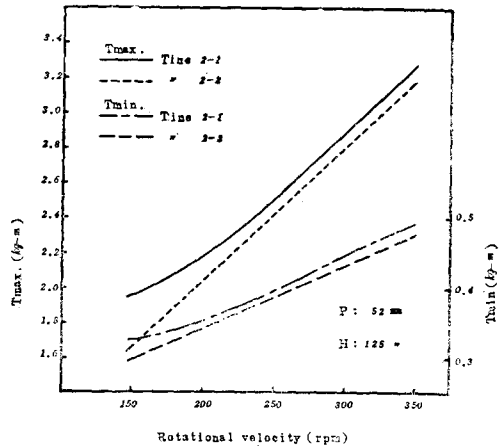


Fig. 29. Comparison of maximum torque (T_{max}) and/or minimum torque (T_{min}) with tine 2-1 and tine 2-2

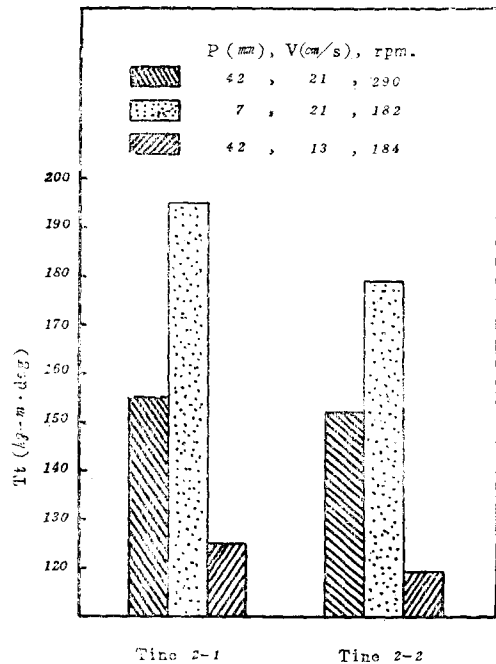


Fig. 30. Total cutting torque (T_t) with different cutting pitches (P , mm/cycle).

驗結果는 그림 (31)과 같다.

이 實驗에서 全 耕耘 torque에 미치는 θ_r 의 影響은 土壤硬度의 影響에 比하여 아주 적게 나타났다.

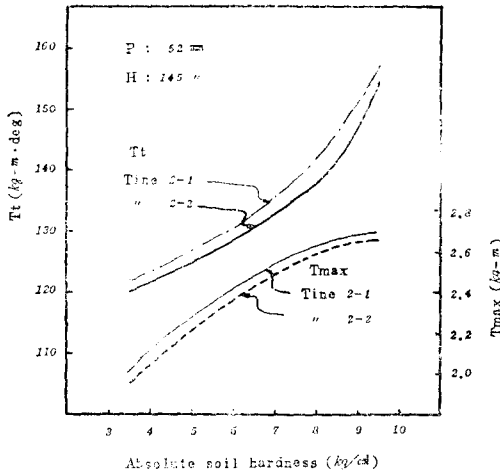


Fig. 31. Total cutting torque (Tt) and/or maximum torque (Tmax) relative to absolute soil hardness.

逆回轉에서는 作用開始角에서의 切斷斷面이 0으로부터 서서히 增加하므로 θr 이 減少하여도 所要動力이 正回轉의 境遇보다 比較的 적은 것으로 思料된다.

VI. 結 論

動力耕耘機 附着用 麥類播種機 農村普及은 勞動 peak의 解消뿐만 아니라 土地利用增大 등 重量한 意味가 있다.

現在 生産되는 麥類播種機는 逆回轉 center drive 方式를 採擇하고 있으나 在來의 正回轉날과 같은 날을 使用하므로 磨耗가 매우 甚하며 이는 農村普及에 큰 問題點으로 擡頭되고 있다.

本 研究의 主要目的은 로우터리 麥類播種機에 適當한 耕耘날의 改良製作에 있으며 이러한 問題點을 解決하기 爲하여

- (1) 逆回轉 로우터리날의 機構學的 分析
- (2) soil bin 및 人工土壤에 關한 研究
- (3) 逆回轉 로우터리 試作날의 所要動力 對比實驗 等の 研究를 實施하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 로우터리 播種機날의 機構學的 分析

現在 普及되고 있는 로우터리 麥類播種機用 耕耘날의 運動 및 速度의 一般式을 誘導하고 그 特性을 究明하기 爲한 機構學的 分析 結果는 다음과 같다.

가. 逆回轉 center drive 로우터리날의 先端點(P)의 position vector (\mathbf{P})는 다음式으로 求할 수 있다.

$$\mathbf{P} = (vt + R \cos \omega t) \mathbf{i} + R \sin \omega t \mathbf{j} + (R \cos \theta r \sin \alpha \cos(\omega t - \beta + \theta r) + R \sin \theta r \sin \alpha \sin(\omega t - \beta + \theta r)) \mathbf{k}$$

나. 逆回轉 center drive 로우터리날의 先端速度 (\mathbf{P}')를 다음 式으로 求할 수 있다.

$$\mathbf{P}' = (V - \omega R \sin \omega t) \mathbf{i} + (\omega R \cos \omega t) \mathbf{j} + \{-\omega R \cos \theta r \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\omega t - \beta + \theta r) + \omega R \sin \theta r \cdot \sin \alpha \cdot \cos(\omega t - \beta + \theta r)\} \mathbf{k}$$

다. 로우터리날의 所要動力을 줄이기 爲해서는 로우터리날의 形狀角 θr 을 줄이는 것이 바람직하다.

라. 所要動力을 줄이려면 作用開始角에서 로우터리날의 先端이 最大로 로우터리 中心線에 오도록 移動시켜 center drive에 나타나는 追加耕幅을 最低로 하는 方法이 有利하다고 思料된다.

2. soil bin 및 人工土壤에 關한 研究

土壤의 物理的인 特性을 同一하게 하고 各種 耕耘날의 所要動力測定을 爲하여 soil bin에 普通의 自然土壤과 類似한 人工土壤을 채워 室內實驗의 實用性을 檢討한 結果는 다음과 같다.

가. 人工土壤의 轉壓回數(x)가 增加할 수록 密度(y)는 다음과 같이 增加하였다.

$$y = 1.073200 + 0.070780x - 0.002263x^2 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

나. 土壤絕對硬度(Y)는 轉壓回數(x)의 增加에 對하여 다음과 같은 關係式으로 增加하였다.

$$Y = 37.74 \frac{0.64 + 0.17x - 0.0054x^2}{(3.36 - 0.17x + 0.0054x^2)^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

다. 密度(y)는 粘着力과 內部摩擦角에 큰 影響을 주는데 人工土壤은 密度 1.6~1.75(g/cm³)에서 自然土壤의 含水比 29.5%인 砂質壤土와 類似하였다.

라. 鐵板과 人工土壤의 動摩擦係數는 0.31~0.41로 自然土壤에서와 類似하였다.

마. soil bin의 牽引速度를 動力耕耘機의 2段速度와 一致하게 設計하였고 로우터리 驅動回轉數도 動力耕耘機回轉數와 類似함으로 室內實驗裝置로 妥當할 것으로 思料된다.

3. 逆回轉 로우터리 試作날의 所要動力 對比實驗 機構學的으로 分析한 結果에 依해 로우터리날의 形狀角 θr 을 다르게 製作한 로우터리날의 基礎實驗 結果에 따라, θr 을 30°, 10°로 製作한 試作 로우터리날과 既存로우터리날과의 對比實驗을 實施한 結果는 다음과 같다.

가. 形狀角이 적은 경우가 큰 경우보다 全耕鋤 torque가 적게 나타났다.

나. 로우터리날의 形狀角 θ 가 로우터리날의 最大 torque에 크게 影響을 미치는 要因으로 思料된다.

다. 로우터리날의 形狀角 θ 가 45° 인 경우보다 30° 에서 作用角이 減少하므로 全耕鋤 torque가 約 10% 減少하였으므로 로우터리날의 θ 가 10° 에서는 오히려 全耕鋤 torque의 減少效果가 적게 나타나 逆回轉 rotary날의 適當한 形狀角 θ 는 10° 以上 30° 未滿으로 推定된다.

以上的 結果를 綜合할 때, 로우터리날의 形狀角이 45° 인 既存날에 比하여 形狀角 30° 인 試作 로우터리날은 所要動力이 約 10% 減少함으로 로우터리 麥類播種作業의 所要動力을 줄이고 로우터리날의 耐久時間의 延長을 爲하여 試作날을 農村에 普及함이 妥當할 것으로 認定되며 로우터리 borocket와 로우터리 chain case와의 適當한 附着方法과 로우터리 boss에 로우터리날들의 配置問題 等の 研究가 繼續되어 할 것으로 認定된다.

參 考 文 獻

- Adams, W.J. Jr., and D.B. Furlong. 1959. Rotary tillage in soil preparation. Agr. Eng. 40(1) : 600-603, 607.
- Aref, K.E., W.J. Chancellor, and D.R. Nielsen. 1975. Dynamic shear strength properties of unsaturated soils. Trans. of the ASAE. 18 (5) : 818-823.
- Bailey, A.C. and J.A. Weber. 1965. Comparison of methods of measuring shear strength using artificial soils. Trans. of the ASAE. 8 (2) : 153-156, 160.
- Bainer, R., R. A. Kepner, and E. L. Barger. 1975. Principles of farm machinery. 2nd Ed. The AVI Publishing Co., Inc. 106-129.
- Beeny, J.M. 1973. Rotary cultivation of wet rice land, comparison of blade shape. J. Agr. Eng. Res. 18 : 249-251.
- Beeny, J. M. and D.C.P. Khoo. 1970. Preliminary investigations into the performance of different shaped blades for the rotary cultivation of wet rice soil. J. Agr. Eng. Res. 15(1) : 27
- Beeny, J.M. and D.J. Greig. 1965. The efficiency of a rotary cultivator. J. Agr. Eng. Res. 10(1) : 5
- Carter, L.M. and J.H. Miller. 1969. Characteristics of powered rotary cultivators for application of herbicides. Trans. of the ASAE 12(3) : 305-309.
- Clark, S. J. and T. B. Liljedahl. 1968. Soil bins, artificial soils and scale-model testing. Trans. of the ASAE. 11(2) : 198-202.
- Clyde, A.W. 1955. Drawbar dynamometer-using strain gages. Agr. Eng. 36(8) : 521-522.
- Dalin, A.D. and P.V. Pavlov. 1950. Rotary soil cultivating and excavating machines (Translated into English from Russian) National Technical Information Service, U.S.A.
- Fernstrom, K.J., R.D. Brazee, and W.H. Johnson. 1970. Tillage tool interaction with a bounded, artificial soil. Trans. of the ASAE. 13(3) : 409-416.
- Fox, W.R., D.L. Deason, and L. Wang. 1965. Tillage energy applications. ASAE paper no. 65-657.
- Ghosh, B.N. 1967. The power requirement of a rotary cultivator. J. of Ag. Eng. Res. 12 (1) : 5-12.
- Gill, W.R. 1970. Determination of oil content of artificial soils. Trans. of the ASAE. 13(3) : 417-18.
- Gill, W.R. and J.G. Hendric. 1976. The irregularity of soil disturbance depth by circular and rotating tillage tools. Trans. of the ASAE. 19(2) : 230-233.
- Greene, J.M. 1946. Some rotary tillage applications. Agr. Eng. 27(4) : 175
- Hendric, J.G. and W.R. Gill. 1971. Rotary tiller design parameters (I), direction of rotation. Trans of the ASAE. 14(4) : 669-674, 683.
- Hendric, J.G. and W.R. Gill. 1971. Rotary tiller design parameters (II), depth of tillage. Tansr. of the ASAE. 14(4) : 675-78.
- Hendric, J.G. and W.R. Gill. 1971. Rotary tiller design parameters (III), ratio of perip-

- heral and forward velocities. Trans. of the ASAE. 14(4) : 679-683.
21. Hendric, J. and W.R. Gill. 1974. Rotary tiller design parameters (IV), blade clearance angle. Trans. of the ASAE. 17(1) : 4-7.
22. Kelsey, C.W. 1946. Rotary soil tillage. Agr. Eng. 27(4) : 171-174.
23. Koolen, A.J. 1972. Mechanical behaviour of soil by treatment with a curved blade having a small angle of approach. J. Agr. Eng. Res. 17 : 335-367.
24. Korayem, A.Y. 1966. Artificial soils simulate natural soils in tillage studies (I), frictional properties of artificial soils. Trans. of the ASAE. 9(2) : 145-146.
25. Mahmoud, A.R., W.F. Buchele, and J.F. Andrew. 1972. A strain gage, brushless torque meter. J. Agr. Eng. Res. 17 : 231-235.
26. McCall, R.J. 1947. Transmission dynamometer for traction and power take-off power measurements. Agr. Eng. 28(1) : 19-21.
27. Reaves, C.A. 1966. Artificial soils simulated natural soils in tillage studies (II), similitude of plane chisels in artificial soils. Trans. of ASAE 9(2) : 147-150.
28. Reaves, C.A., A.W. Cooper, and F.A. Kummer. 1968. Similitude in performance studies of soil-chisel systems. Trans of the ASAE. 11 (5) : 658-662.
29. Richardson, R. C. D. 1967. The wear of materials by soil, practical phenomena. J. Agr. Eng. Res. 12(1) : 22-39.
30. Siemens, J. C., J. A. Weber, and T. H. Thornburn. 1965. Mechanics of soil under the influence of model tillage tools. Trans of the ASAE. 8(1) : 1-7.
31. Vomocil, J. A. and W. J. Chancellor. 1967. Compressive and tensile strengths of three agricultural soils. Trans. of the ASAE. 10(6) : 771.
32. Wald, A. J., C. W. Bockhop, and W. G. Lovely. 1971. Evaluation of rotary tillage systems for corn production. Trans. of the ASAE. 14(1) : 195-200.
33. Wright, M. E. and W. H. Carter. 1967. Design and operation characteristics of rotary hoe type devices for soil incorporation. Trans of the ASAE. 10(2) : 256.
34. 趙成燮, 姜信業, 姜又默, 金成完, 1978. 흙의 密度와 含水比가 剪斷強度에 미치는 影響 忠南 大學校 農業技術研究報告, 5(1) : 15~28.
35. 小池正之. 1972. 로터리耕耘날의 動的設計. 農機誌, 34(2) : 138~144.
36. 小池正之, 田中孝, 濱山康裕, 藤本榮治, 1974. 로터리트메 軸의 ねじ리 振動에 關する 研究. 農機誌, 36(2) : 213~220.
37. Hanamoto, B. 1957. Artificial soils for laboratory studies in land locomotion. Land Locomotion Laboratory Report No. 20.
38. 沈桓. 1969. 廻轉耕耘機附用 耕耘裝置之研究改良(二), 耕耘刀之 形式改良. 中國農業工程學報, 15 : 1~7.
39. 木谷資, 1962. 各種 耕耘裝置比較のための 基礎的 研究(第1報), 耕耘作用と各種耕耘裝置についての 基礎的 考察. 農機誌, 24(3) : 107-113.
40. 木谷資, 1963. 各種耕耘裝置比較のための 基礎的 研究(第2報), 各種 微小土壓計の試作とその 性能比較試驗. 農機誌, 24(4) : 163~170.
41. 木谷資 庄司英信. 1963. 各種耕耘裝置比較のための 基礎的 研究(第3報), 土壞槽と 實驗裝置について. 農機誌, 25(3) : 131~135, 184.
42. 木谷資, 1963. 各種 耕耘裝置比較のための 基礎的 研究(第4報), 耕耘要部因子가 土의 壓力および 抵抗に 及ぼす影響を 求める 實驗方法. 農機誌, 25(4) : 203.
43. 木谷資, 1964. 各種 耕耘裝置比較のための 基礎的 研究(第5報), 耕耘要部 因子가 土의 壓力および 抵抗分力 及ぼす 影響についての 實驗結果(1). 農機誌, 25(4) : 208~213.
44. 木谷資, 1965. 各種 耕耘裝置比較のための 基礎的 研究(第6報), 耕耘要部 因子가 土의 壓力および 抵抗分力 及ぼす 影響についての 實驗結果(2). 農機誌, 26(4) : 213~217.
45. 木谷資, 1965. 各種 耕耘裝置比較のための 基礎的 研究(第7報), 力量計型 及び 二面型 微小土壓計의 試作と その 性能. 農機誌, 27(1) : 24~27.
64. 木谷資. 1965. 各種 耕耘裝置比較のための 基

- 礎的 研究(第8報), 土の 各種 破壞形式に 關する 實驗. 農機誌. 27(2) : 98~104.
47. 木谷實. 1965. 各種 耕耘裝置比較の ための 基礎的 研究(第9報), 振動式耕耘方法の 研究. 農機誌. 27(3) : 162~167.
48. 木谷實. 1965. 各種 耕耘裝置比較の ための 基礎的 研究(第10報), 變形回轉式(クランク式) 耕耘方法の 研究. 農機誌. 27(4) : 231~238.
49. 木谷實. 1966. 各種 耕耘裝置比較の ための 基礎的 研究(第11報 總括), 各種 耕耘方式の 比較と 新しい 耕耘方式開發の ための 一指針. 農機誌. 28(1) : 26~29.
50. 木谷實, 坂井純, 市川眞祐, 堀部和雄. 1972. 油壓驅動式土壤槽試驗裝置の 試作研究(第1報), 試驗臺車とその 油壓, 空氣驅動裝置について. 農機誌. 34(1) : 327~333.
51. 木谷實, 坂井純, 市川眞祐, 堀部和雄. 1973. 油壓驅動式 土壤槽試驗裝置の 試作研究(第2報), 測定臺車とその 振動特性 および 安全裝置について. 農機誌. 35(1) : 58~64.
52. 古池壽 他. 1973. ロータリ耕耘機の 碎土性能と 株處理性能の 向上に 關する 研究(第一報). 農機誌. 35(2) : 163.
53. 小松實. 1970. ロータリ耕耘機による 整地耕耘 (第1報), プレートシールド使用時の 一般特性. 農機誌. 32(1) : 23~27.
54. 小松實, 川口錦敏, 田中孝. 1972. ロータリ耕耘機による 整地耕(第2報), 耕 刃の 形態による 特性. 農機誌. 34(1) : 19~27.
55. 小松實, 田中孝. 1972. ロータリ耕耘機による 整地耕 (第3報), 耕うん刃の 種類による シールド性能. 農機誌. 34(4) : 334~343.
56. 小松實, 田中孝. 1973. ロータリ耕うん機による 整地耕うん(第4報), 引張 變換形 耕深計の 開發. 農機誌. 35(1) : 21~24.
57. 小松實. 1973. ロータリ耕耘機による 整地耕耘 (第5報), 碎土ロータリによる 場合. 農機誌. 35(3) : 265~274.
58. 小松實. 1974. ロータリ耕耘機による 整地耕耘 (第6報), フルイ目拘束下の 碎土能. 農機誌. 36(1) : 58~71.
59. 小松實. 1974. ロータリ耕耘機による 整地耕耘 (第7報) 整地耕耘 仕事の 比較. 農機誌. 36(2) : 221~234.
60. 李英列, 金永建. 1977. 畦立 로우터리 麥類播種機を 改良試驗. 試驗研究報告書. 農村振興廳 農工利用研究所. 181~193.
61. 李英列. 1976. 動力耕耘機附着用 로우터리 播種機 製作試驗. 試驗研究報告書. 農村振興廳 農工利用研究所. 85~90.
62. 増田, 梅田. 1963. トラクタの 牽引性能に 關する 研究(第2報), ロータリ耕耘 試驗. 農機誌 25(3) : 150.
63. 松尾昌樹. 1961. ロータリ耕耘に 關する 基礎的 研究. 小形大學經要 第三卷, 第四卷.
64. 松尾昌樹. 1962. ロータリ・アップカット耕耘方式に 關する 研究(第1報), アップカット時の 負荷特性. 農機誌. 24(3) : 129~133.
65. 松尾昌樹. 1963. ロータリ・アップカット耕耘方式に 關する 研究(第2報), 碎土, 投アキ・反轉性能. 農機誌. 24(4) : 203~206.
66. 松尾昌樹. 1969. ロータリ耕耘 づめの 曲里表示と 三くちび角. 農機誌. 31(4) : 281~286, 280.
67. 長廣仁藏. (1970. ロータリートラクタの 基本設計理論の 研究.
68. 笈田昭, 山崎稔, 増田正三. 1964. 人工土壤に 關する 實驗的研究(第1報), 各種人工土の せん断特性. 農機誌. 36(2) : 251~263.
69. 笈田昭, 山崎稔, 増田正三. 1974. 人工土壤に 關する 實驗的研究(第2報), 貫入抵抗への 練り返し効果について. 農機誌. 36(3) : 391~398.
70. 笈田昭, 山崎稔, 増田正三. 1974. 人工土壤に 關する 實驗的研究(第3報), せん断特性への 練り返し効果について. 農機誌. 36(4) : 525~536.
71. 岡本川村. 1966. 農業機械への 自動制御の 應用に 關する 研究(第1報), ロータリ耕耘部の トルク制御. 農機誌. 28(2) : 6.
72. 岡本川村. 1968. ロータリ耕耘部の トルク制御 (第2報), 長周期的 變動に 關する 制御系の 應答特性. 農機誌. 30(2) : 79.
73. 坂井純. 1962. ロータリ式 動力耕耘機の 構造性能に 關する 理論的考察とその 應用. 農業機械學會九州支部. 新農林社. 46~53.
74. 坂井純, 紫田安雄, 田口知男. 1976. トラクタ用 ロータリ耕耘なた刃の 縁曲線の 設計について. 農機誌. 38(2) : 183~190.
75. 芝野保徳. 1971. ロータリ耕耘刃と 牽引切削刃の 組合せ耕耘に 關する 研究(第1報). 農機誌

- 33(3) : 245~249.
76. 芝野保徳, 1971. 로타리耕耘刃と 牽引切削刃
との 組合せ耕耘に 關する 研究(第2報), 農機誌
33(4) : 332~337.
77. 芝野保徳, 1972. 로타리耕耘刃と 牽引切削刃
との 組合せ耕耘に 關する 研究(第3報), 農機誌
34(1) : 28~33.
78. 宋鉉甲, 1967. 耕深變化에 따른 쟁기의 牽引抵抗
에 關한 研究, 서울大學校 大學院 論文集 1~115.
79. 土屋功位, 穂波信雄, 1963. 로타리式의 耕耘
動力輕減に 關する 研究(第1報), 農機誌, 24(4)
: 207~214.
80. 土屋功位, 穂波信雄, 1963. 로타리式의 耕耘
動力輕減に 關する 研究(第2報), 農機誌, 25(3)
: 155~160, 149.
81. 土屋功位, 1967. 로타리式의 耕耘特性に 關
する 研究, 縱ピッチと 橫ピッチ, 農機誌, 29(2)
: 70~72.