

振動耕耘의 컴퓨터制御에 관한 研究*

李 基 明

慶北大學校 農科大學 農工學科

Studies on the Computer Controlled Vibratory Tillage*

Lee, Ki Myung

Dept. of Agric. Engineering, Coll. of Agric, Kyungpook Natl. Univ.

Summary

A computer-controlled automatic vibratory tillage test equipment which attained minimum draft and power was developed. Three control program modes were developed and tested with this equipment. A computer simulation investigated the control performances of the above modes with the following primary results.

- 1) All of the three control modes converged to the same steady state when the velocity ratio was kept constant.
- 2) The control mode in which the blade frequency was twice of the soil shearing frequency (frequency control mode) showed optimum control with minimum draft and power, and also had greatest velocity convergence.
- 3) Results of the simulations showed the frequency control mode to have achieved the best control performance. The fluctuation of the draft reduction was less than 10% at various cutting depths and soil moistures.

緒 論

圃場作業中에서 所要 에너지가 대단히 큰 耕耘作業은 트랙터의 能力을 規制하는 경우가 많기 때문에 抵抗이 적고 耕耘作用이 우수한 耕耘裝置를 開發하는 것은 보다 小型의 트랙터로서 同一 能率을 올릴 수가 있고 小規模 經營에의 適應性을 높임과 동시에 他 農作業時에 손실도 감소하는 등 經濟性이 높은 機械化 體系를 確立하는데 重要하다고 思料된다. 이에 耕耘時 플라우를 振動시켜 견인저항의 減少를 圖謀한 振動耕耘에 關해서는 오래전부터 많은 研究^{2,3,10,11,13-17,26,27}가 이루어

어져 왔고 많은 特許^{12,18-20,25}도 등록되어 있다. 그렇지만 振動耕耘裝置가 일반적으로 널리 보급되지 못하고 있는 實情인 바 이것은 지금까지 이루어진 대부분의 研究가 플라우 등의 振動條件을 中心으로한것으로 抵抗減少의 Mechanism을 明確히 한 研究는 거의 없기 때문에, 多様な 土壤條件에 대하여 一定한 振動條件으로 Plow를 振動시키는 것만으로는 性能이 충분하지 못하거나 動力이 增大하는 것이 主要 原因이라고 본다.

本 研究는 주어진 土壤條件에 대하여 견인저장 및 動力을 最小로 하는 Plow의 振動條件을 구하여 그 振

*本 研究는 1983年度 韓南科學財團의 研究費 支援에 의하여 遂行된 것임.

動條件으로 Plow를 振動시키는 制御 시스템을 開發할 目的으로 본인이 수행한 바 있는 振動耕耘에 關한 基礎 實驗結果²⁾를 基礎로 振動耕耘裝置와 制御用 Computer를 連結하여 實驗裝置를 만들고 3가지 모드 的 制御 프로그램을 開發하여 耕耘抵抗 및 動力의 變化를 比較하는 實驗을 土壤槽에서 實施하여 制御性能을 比較檢討했다.

또한 實驗은 人工的으로 造成한 均一한 土壤條件의 土壤槽에서 실시 하였으므로 실제 田경에서는 地面의 凹凸에 의한 耕深의 變化 및 土壤水分의 變化 등이 制御에 影響을 미친다고 생각된다. 이에 土壤水分 및 地表面등을 變化시킨 土壤 Pattern을 컴퓨터에 發生시켜 振動耕耘時의 耕耘抵抗과 動力을 最適制御와 比較하여 制御性能을 檢討하는 Simulation을 실시하여 振動耕耘의 最適制御 System을 開發하였다. 지금까지 耕耘의 自動制御에 關한 研究는 Plow의 自動制御를 비롯하여 Rotary耕耘의 自動制御에 關한 一連의 研究³⁾가 수행되었지만 振動耕耘의 自動制御에 關하여는 아직 거의 研究가 수행되지 않고 있는 실정이다.

實 驗

가. 實驗裝置

實驗裝置는 振動耕耘裝置²⁾와 制御用 컴퓨터를 連結 그림 1 과 같이 造立하였다. 즉 Blade에 作用하는 耕耘抵抗을 8角形應力集中型 分力計^{4),5),9)}, Strain-meter에 의하여 計測하고 A/D變換器를 通하여 컴퓨터에 의해 最適振動條件(振動數, 振幅)을 구한다. 그 計算 結果를 D/A變換하여 Function generator,

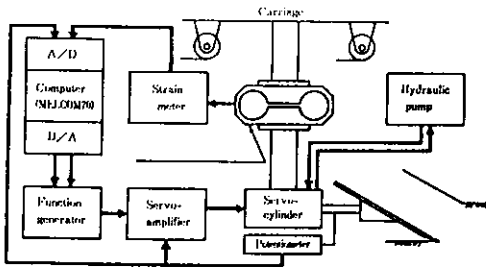


Fig.1. Schematic diagram of experimental equipment for the automatic control of vibratory tillage.

Servo-amplifier, Servo-Valve에 의하여 油壓Cylinder의 振動數와 振幅을 制御하도록 하였다.

나. 制御 프로그램

본 實驗에는 그림 2, 3, 4의 Flow-chart와 같은 3

가지 Mode의 制御用 프로그램을 開發 使用하였다.

그림 2는 耕耘抵抗을 最少로 하는 制御 Mode의 Flow-chart로서 耕耘抵抗이 最少로 되는 振動條件을 施行錯誤法으로 찾는 방법으로 그림에서 보는 바와 같이 (1)初期値를 設定한다. 즉 振動數 F, 다음 制御 stage에서의 振動數 増分 DF, 振動速度比(振動의 最大速度와 走行速度와의 比) VR⁷⁾, 耕耘速度 Vo 및 振幅 A 등을 設定한다. 振幅은 振動速度比의 定義로부터 $A = VR \cdot Vo / F$ 의 式으로 結定되고, 振動速度比 및 耕耘速度를 一定하게 하면 振幅은 振動數에 反比例하는 것으로 된다. (2)初期 Data에 의한 Blade 振動을 制御하면서 (3)第 1 制御 Stage의 耕耘抵抗을 測定한다. 이 경우 測定은 Sampling 간격 5ms로 600點의 값을 취하여 읽는다. 이 Sampling 點數는 흙의

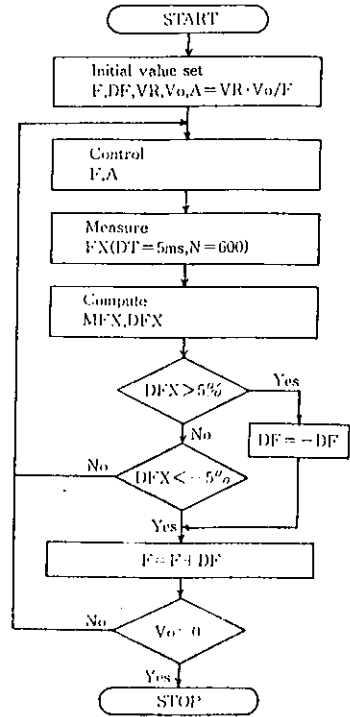


Fig.2. Flow-chart of automatic vibratory tillage control for minimum draft.

剪斷 Pitch의 最大値⁷⁾ 209 mm의 3주기의 길이를 耕耘速度 0.2 m/s로 주행하는 시간 즉 3초간에 相當한 것이고 耕耘抵抗의 平均値가 精確히 測定되는 시간과 Sample數로서 예비실험에서 구한 것이다. (4) 600點

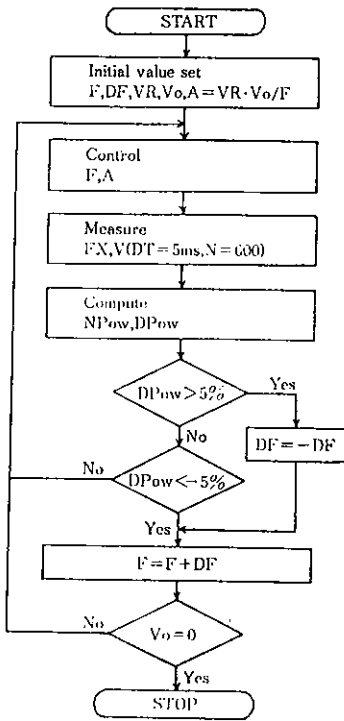


Fig. 3. Flow-chart of automatic vibratory tillage control minimum power.

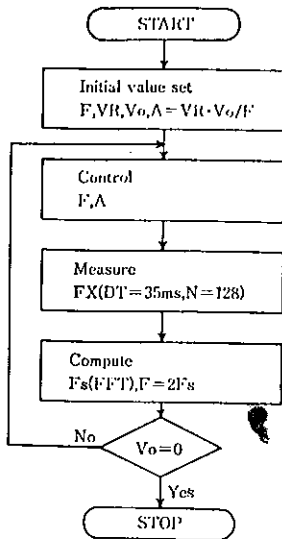


Fig. 4. Flow-chart of automatic vibratory tillage control by means of soil shearing frequency.

의 耕耘抵抗의 平均MFX를 계산하여 앞 制御 Stage 와의 미분DFX를 구한다. 그러나 第1 Stage의 경우는 앞Data가 없기 때문에 振動數를 $F = F + DF$ 로 하여 第2 制御 Stage로 들어간다. 第2 制御 Stage부터는 앞 制御 Stage와의 미분을 계산한다. (5)耕耘抵抗의 미분DFX가 $\pm 5\%$ 이내일 때는 현재의 振動과 동일 조건으로 다음 Stage의 振動을 시킨다. 5%보다 클 경우는 抵抗이 增加하는 方向이니까 $DF = -DF$ 로 하여 振動시키고, -5% 보다 적은 경우는 抵抗이 감소하는 方向이므로 DF를 그대로 하여 $F = F + DF$ 로 하여 制御하도록 되어 있는 Mode이다.

그림 3은 振動耕耘에 要하는 動力을 最少로 하는 制御 Mode의 Flow-chart이다. 이것은 그림에서 보는 바와 같이 抵抗을 最少로 하는 制御 Mode와 유사한 방식으로 動力의 計算을 위하여 Blade 速度의 測定이 추가 되었다. 즉 (1), (2)의 初期值의 設定, 그것에 의한 制御 등은 抵抗에 의한 方法과 同一하다. (3) 測定에 Blade 速度測定이 추가 되었다. 이번 Blade 速度V는 (1)式으로 Potentiometer에 의한 Blade 振動의 Carriage car에 대한 相對變位 X를 測定하여 그것의 미분치 dx/dt 와 주행속도 V_0 를 더하여 구하였다. (4)저항 FX와 속도 V와의 곱에 의한 動力의 平均Mpow를 구하여

$$V = V_0 + dx/dt \dots\dots\dots(1)$$

前 制御 Stage와의 미분 Dpow를 계산한다. (5)動力의 미분Dpow값을 $\pm 5\%$ 기준으로 하여 制御하는 것은 前述한 抵抗에 의한 方法과 같다.

그림 4는 흙의 剪斷周波數 f_s 를 구하여 그것의 2배로 Blade를 振動시키는 制御Mode의 Flow-chart이다. 흙의 剪斷周波數의 2배의 振動數로 Blade를 振動시키면 전인저항 및 動力 모두 最少로 되고 흙의 剪斷周波數는 土壤條件만의 函數로서 Blade의 振動條件에는 영향을 받지 않는다는 본인이 遂行한 研究²⁾ 結果를 基礎로한 制御 Mode이다. 그림에서와 같이 (1)振動數 F, 振動速度比 VR, 走行速度 V_0 및 振幅 A의 初期值를 設定한다. (2)初期值에 의해 Blade의 振動을 制御하면서 (3)耕耘抵抗의 波形을 測定한다. 測定은 Sampling 간격 35 ms로 128點을 읽는다. 이 Sampling 간격은 Fourier 變換에 의하여 土壤 剪斷周波數가 구하여 지는 最小 走行距離와 最小 計算時間이 되는 時間 및 Sample數를 예비 실험으로부터 구하였다. (4)고속 Fourier 變換 (FFT)에 의

한 Power spectrum density로부터 흙의 剪斷周波數 F_s 를 구하여 이것의 2배로 Blade 振動數를 계산하여 다음 制御 Stage의 振動條件을 구하는 방식의 制御 Mode이다.

다. 實驗方法

實驗은 거의 一定한 土壤條件(含水比, 土壤硬度)下에서 耕幅(20 cm), 切削角(30°), 耕耘速度(0.2 m/s)등을 一定하게 하여 실시하였다. Blade의 振動을 水平方向으로 하여 振動速度比를 1.5로 一定하게 하였다. 振動速度比를 일정하게 한 것은 흙에 가장 잘 에너지를 전달하여 흙을 파괴하는 振動速度比의 값¹⁰⁾을 取한 것이다. 以上の 實驗條件으로 前述한 3가지의 制御 Mode에 대하여 實驗하였다.

라. 實驗結果 및 考察

그림 5는 3가지 制御 Mode로 實施한 實驗結果의 각 制御 Stage에 있어서 Blade 振動을 나타낸 것이다.

흙의 剪斷周波數에 match시키는 方法 즉 흙의 剪斷周波數의 2배로 Blade를 振動시키는 方法은 그림과 같이 初期振動數를 6Hz로 했다. 따라서 第1 制御 Stage는 Blade 振動數 $F = 6\text{Hz}$, 振幅 $A = 8\text{mm}$ (이 振幅은 $A = VR \cdot V_0 / F$ 에서 $VR = 1.5$, $V_0 = 0.2\text{m/s}$ 로부터 계산한 것이다)였다. 第2 制御 Stage는 第1 制御 Stage에서 測定計算하여 구한 흙의 剪斷周波數 1.562 Hz의 2배인 3.125 Hz로 Blade를 振動시켰다. 第3 制御 Stage는 第2 Stage의 計算結果로부터 2.78Hz, 第4 制御 Stage는 第3 Stage의 計算結果로부터 2.78Hz, 이와 같이 앞 制御 Stage에서 구한 最適 振動條件을 다음 制御 Stage의 Blade 振動制御에 사용하였다. 이상과 같이 이 방식은 第1 Stage를 제외한 다른 Stage는 모두 最適 振動條件에 近접한 制御가 이루어 졌다. 그러나 토

壤條件이 不均一한 경우는 앞 制御 Stage에서 구한 振動條件을 다음 制御 Stage에 使用하면 Blade 振動條件이 最適條件과 차이가 날 염려가 있다고 思料된다. 이것에 關하여는 다음의 Simulation에서 論 하겠다.

견인저항을 最小로 하는 方法은 그림에서 나타낸 바와 같이 初期 振動條件을 振動數 4.0Hz 振幅 12.0 mm로 한 第1 制御 Stage, 이 경우 第1 Stage의 振動數를 4.0Hz부터 시작한 것은 土壤槽의 길이가 짧기 때문에 수렴 진동수를 고려한 것이다. 第2 Stage는 振動數增分 0.4Hz를 더한 振動數 $F = 4.0 + 0.4 = 4.4\text{ (Hz)}$, 振幅 $A = 10.91$ 로 制御한 結果 견인저항이 증가하였다. 따라서 第3 制御 Stage는 振動數增分 DF의 부호를 바꾸어 -0.4Hz 로 하여 $F = 4.4 - 0.4 = 4.0\text{ (Hz)}$ 로 한 결과 견인저항이 감소했다. 第4 制御 Stage는 DF를 그대로 한 $F = 4.0 - 0.4 = 3.6\text{ (Hz)}$ 로 했다. 第4 Stage도 견인저항이 감소하였기 때문에 第5 制御 Stage는 $F = 3.6 - 0.4 = 3.2\text{ (Hz)}$ 로 하여 수렴하였다.

動力을 最小로 하는 方法은 그림과 같이 初期 振動條件을 振動數 4.4Hz 振幅 10.91 mm로 한 第1 制御 Stage로부터 시작하여 第2 制御 Stage는 振動數增分 $DF = 0.4\text{ Hz}$ 를 더한 振動數 4.8Hz로 했다. 그 결과 動力이 증가하였기 때문에 第3 制御 Stage는 앞 Stage 振動數를 건너 뛰어 第1 Stage의 振動數로부터 振動數增分 -0.4 Hz 를 더한 $F = 4.4 - 0.4 = 4.0\text{ (Hz)}$ 로 했다. 이와 같이 動力을 最小로 하는 Mode의 경우는 動力이 증가하여 振動數增分の 부호가 바뀔 때에는 다음 Stage의 制御條件을 구하는 基準을 앞 Stage를 건너 뛰어 그 앞 Stage에 되돌아 오도록 하였다. 第3 Stage에서 動力이 減少했기 때문에 第4 Stage에서는 $F = 4.0 - 0.4 = 3.6\text{ (Hz)}$ 로 되고 또 動力이 감소했기 때문에 第5 Stage에서는 $F = 3.6 - 0.4 = 3.2\text{ (Hz)}$ 로 되어 수렴하였다.

한편 制御 實驗時 각 制御 Mode에 있어서 견인저항 감소율(無振動時에 대한 振動時의 견인저항 감소의 비율) 및 動力比(無振動時에 대한 振動時의 動力의 비)를 그림 6에 나타 냈다. 그림에서 A는 흙의 剪斷周波數에 Blade 振動數를 match시키는 方法으로 第2 Stage부터 20% 이상의 좋은 견인저항 감소율을 나타 냈고 動力比는 1.0에 가깝게 되었다. 이

Control Mode	1	2	3	4	5
Sluicing frequency mode	 F 6.00Hz A 8.00mm	 3.125Hz 15.36mm	 2.78Hz 17.92mm	 2.78Hz 17.92mm	 3.125Hz 15.36mm
Minimum draft mode	 F 4.00Hz A 12.00mm	 4.40Hz 10.91mm	 4.00Hz 12.00mm	 3.60Hz 13.33mm	 3.20Hz 15.00mm
Minimum power mode	 F 4.40Hz A 10.91mm	 4.80Hz 10.00mm	 4.00Hz 12.00mm	 3.60Hz 13.33mm	 3.20Hz 15.00mm

Fig. 5. Blade vibration patterns for various control modes.

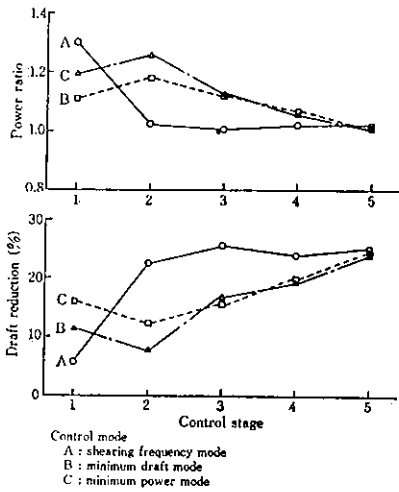


Fig. 6. Comparison of draft reduction and power ratio in terms of control modes.

와 같이 이 制御方式은 수렴시간이 빠른 것을 알았다. 그림에서 B는 견인저항을 最小로 하는 방법으로 第 4 Stage부터 20%의 감소율로 되었고 1.1 이하의 動力比를 나타 냈다. 수렴한 것은 第5 Stage인것으로 보아 수렴시간이 늦음을 알았다. 그림의 C는 動力를 最小로 하는 방법으로 前述한 견인저항에 의한 방법과 유사하며 第5 Stage에서 수렴하였다. 이것도 수렴 시간이 늦음을 알았다.

Computer Simulation

前述한 3가지 制御 Mode를 使用하여 實驗을 통하여 制御 性能을 檢討하여 본 결과 다소 시간차는 있지만 결과적으로는 同一 條件에 수렴함을 알았다. 이것은 人工的으로 造成한 土壤槽이기 때문에 土壤 條件이 어느 정도 均一하여 振動條件의 變化에 對應한 견인저항 및 動力의 變化 경향이 一定하고 그것도 측정이 精確한 때문이라고 思料된다. 그러나 실제의 圃場에서는 地面의 凹凸에 의한 耕深의 變化 및 土壤水分의 變化 등이 制御에 영향을 미친다고 思料된다. 이와 같이 多樣한 土壤條件에 대한 制御시스템의 性能 檢討를 위하여 Simulation을 실시하였다.

가. Simulation 方法

Simulation은 그림 7의 Simulation Flow-chart와 같이 行하였다.

土壤槽의 土壤은 土壤水分을 一定하게 하고 土壤

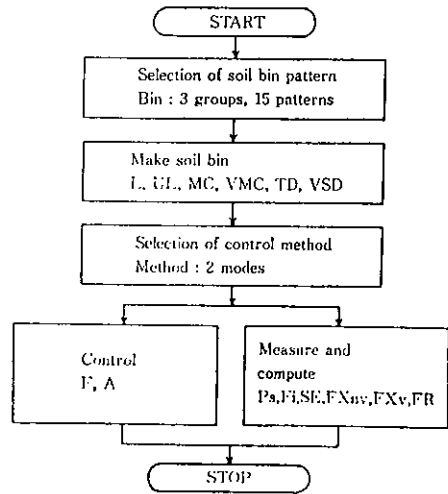


Fig. 7. Flow-chart of simulation in vibratory tillage.

面만의 變化 Pattern을 5 種類, 土壤面을 一定히 하고 土壤水分만의 變化 Pattern을 5 種類, 土壤面 및 土壤水分 兩者 同時 變化 Pattern 5 種類 등 3 그룹 합계 15 Pattern으로 하였다. 각 Pattern의 土壤은 길이 L을 10 m, 單位 制御 Stage 길이 UL을 0.6m (이것은 走行速度 0.2m/s, Sampling 시간 3초에 상당하며 이 區間은 同一 土壤條件이라고 가정하였다.), 基準 土壤含水比 MC를 24%, 含水比 變動幅 VMC를 5 (± 2.5) %, 基準 耕深 TD를 125 mm, 地表面 凹凸幅 VSD를 50 (± 25) mm로 設定했다. 制御 方式은 前述한 3가지 制御Mode中 흙의 剪斷周波數에 match시키는 방법과 耕耘抵抗을 最小로 하는 방법을 擇했다. 여기서 動力를 最小로 하는 방법을 제외한 것은 이 방법이 견인저항을 最小로 하는 방법과 유사한 방법으로 實驗結果도 거의 같았기 때문이다. 測定 및 計算은 基礎 實驗結果^{7), 8)}를 使用하였으며 각 制御 Stage의 剪斷 Pitch Ps를 측정, 最適 Blade 振動數 Fi를 구하여 실제 Blade 振動을 제어한 振動數 F와의 振動數 二乘 誤差 SE를 계산하였다. 한편 각 制御 Stage의 無振動, 振動時의 견인저항 FXnv, FXv를 각각 측정하여 견인저항비 FR을 구하여 견인저항 감소율을 계산하여 비교하였다.

나. Simulation 結果 및 考察

그림 8은 15 種類의 土壤 Pattern과 그 Pattern

Soil pattern		Beam Control mode	Draft reduction ratio		Square error of frequency	
			SFM	MDM	SFM	MDM
Type	150 100 mm		26.3	23.2	0.57	4.48
∇	150 100		26.2	19.8	0.51	11.52
□	150 100		26.3	23.2	0.79	3.47
U	150 100		26.0	23.3	0.96	4.94
Random surface	150 100		24.4	22.0	2.52	7.01
Moist	25 25		25.4	19.1	1.73	10.51
∇	25 20		25.1	16.8	2.42	22.01
Moist	25 20		24.9	17.5	2.53	10.59
□	25 20		24.4	16.8	5.78	20.60
U	25 20		24.4	16.8	5.78	20.60
Random moisture			21.1	17.9	5.10	15.76
Composite A			19.4	17.8	13.12	15.93
Composite B			24.2	20.7	5.34	10.90
Composite C			26.2	23.1	0.97	4.85
Composite D			24.3	19.1	6.13	13.04
Composite E			26.6	21.8	1.83	4.79
Average			24.7	20.4	3.52	10.97

SFM: shearing frequency mode, MDM: minimum draft mode. In the soil pattern, upper curve: soil surface, lower curve: moisture.

Fig.8. Results of simulation in terms of control mode. 이 대한 制御 方式別 Simulation 結果를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 15 種類 全 土壤 Pattern에 있어서 흙의 剪斷周波數에 match 시키는 制御 方式(剪斷周波數法)이 견인저항을 最

小로 하는 制御 方式(最小抵抗法)보다 견인저항 감소율이 크고, 制御時의 振動數와 最適 振動數(흙의 剪斷周波數의 2배의 振動數)의 차의 2乘인 振動數 二乘誤差가 적었다. 즉 견인저항 감소율은 剪斷周波數法이 平均 24.7%로 振動速度比 1.5 배의 最大值⁹⁾ 27.3%에 비해 10%이하의 誤差였고 最小抵抗法은 20.4%로 最大值의 25%以上の 誤差를 가져 왔다. 振動數 二乘誤差는 剪斷周波數法은 3.52 였고 最小抵抗法은 10.97로 약 3배 였었다.

以上の Simulation 結果로부터 흙의 剪斷周波數에 Blade의 振動을 match시키는 方式의 制御 Mode가 耕深 및 土壤水分의 變化와 같은 外亂의 影響이 가장 적음을 알았다.

摘 要

振動耕耘에 있어서 耕耘抵抗 및 動力을 最小로 하는 Computer에 의한 自動制御 시스템의 開發을 目的으로 3가지 Mode의 制御 program을 作成하여 實驗과 Simulation을 通하여 각 Mode의 制御性能을 調査하였다.

振動速度比를 一定(1.5)하게 한 경우 3가지 Mode 모두 同一 振動條件에 수렴하였다. 그러나 흙의 剪斷周波數에 Blade의 振動數를 match시키는 방법 즉 흙의 剪斷周波數의 2배의 振動數로 Blade를 振動시키는 制御 Mode가 수렴 시간이 짧고, 견인저항 및 동력의 最適値에 가장 가까웠다. 또 耕深 및 土壤水分의 變化와 같은 外亂에 대한 견인저항 감소율의 變動은 10%이하로 적었다. 以上과 같이 흙의 剪斷周波數에 Blade의 振動數를 match시키는 制御 Mode의 制御性能이 가장 우수함을 알았다.

引 用 文 獻

1. 川村登 外 3 名. 1966. 農業機械への自動制御の應用に關する研究(第1報), 日本農機誌, 28(2), 67-72
2. 金容煥, 川村登. 1977. 平衡式振動彈丸暗渠せん孔機の研究, 日本農機誌, 39(3), 299-304
3. 松尾昌樹. 1981. 耕うん機具の歴史, 日本農機誌, 42(4), 597-602
4. 鹽崎進, 宮下政和. 1969. 研削動力計の動力學的解析(第1報), 精密機械, 35(6), 389-396
5. 鹽崎進, 宮下政和. 1969. 研削動力計の動力學的解析(第2報), 精密機械, 35(7), 471-476
6. 岡本嗣男. 1972. ロータリ耕うん部のトルク制御に關する研究, 京都大學博士學位論文
7. 李基明外 4 名. 1982. 振動耕うんの自動制御に

- 關する基礎研究(第1報), 日本農機誌, 44(2)
275-280
8. 李基明, 木谷收, 岡木嗣男. 1982. 振動耕うんの自動制御に關する基礎研究(第2報), 日本農機誌, 44(3), 417-422
 9. 伊藤信孝, 木谷收, 仙田悦弘. 1971. 光彈性法による應力集中型分力計の研究, 三重大學農學部學術報告, 42, 69-102
 10. Bilotta, W. F. et al. 1971 Upward Cutting Vibratory Plowing, SAE Pa, 710729
 11. Brixius, W. W. and J. A. Weber. 1975. Soil Failure Characteristics for Oscillating Tillage Tool and Bulldozer Blade Models. Tr. ASAE, 18(4), 633-637
 12. Carter, O.L. 1967. Vibrating Plows, U.S. Patent No. 3,339,641, Sept. 5
 13. Choa, S.L. and W.J. Chancellor 1973. Optimum Design and Operation Parameters for a Resonant Oscillating Subsoiler, Tr. ASAE. 16(6), 1200-1208
 14. Eggenmüller, A. 1958. Schwingende Bodenbearbeitungswerkzeuge, G.d. Landtechn., Heft 10, 55-69
 15. Eggenmüller, A. 1958. Versuche mit Gruppen gegeneinander Schwingender Hackwerkzeuge, G.d. Landtechn., Heft 10, 70-88
 16. Gunn, J.T. and V.N. Tramontini. 1955. Oscillation of Tillage Implements, Ag. Eng., 36(11), 725-729
 17. Hendrick, J.G. 1979. An Annotated Bibliography on Vibratory Soil Dynamics (1969-1979), NTML U.S.
 18. Lamb, L.F. 1963. Vibrating Plow, U.S. Patent No. 3,103,250, Sept. 10
 19. Leo, I.A. 1965. Powered Moldboard Plow, U.S. Patent No. 3,167,134, Jan. 26
 20. Oldenburg, D. 1966. Loader Bucket with A Vibrating Blade, U.S. Patent No. 3,258,646. March 8
 21. Rhoten, C.M. 1954. Heating and Vibrating Means for Plow Moldboards, U.S. Patent No. 2,641,173, June. 9
 22. Rogers, T.A. 1967. Vibrating Plow, U.S. Patent No. 3,336,985, Aug. 22
 23. Seifert, A. 1962. Die Gleichmäßigkeit der Furchentiefe beim Pflügen, Landtechnik, 17(7), 226-230.
 24. Shelton, D.L. 1969. Vibrating Tillage Implement, U.S. Patent No. 3,425,946, Feb. 4
 25. Shelton, D.L. 1967. Oscillating Plow and Fertilizing Apparatus, U.S. Patent No. 3,296,985, Jan. 10
 26. Sommer, M.S. and J.A. Weber. 1977. Model Study of Vibrating Tines-Bulldozer Blade System, Tr. ASAE, 20(1), 18-20
 27. Verda, B.P. 1971. Oscillating Soil Tools - A Review, Tr ASAE, 14(6), 1107-1115