

平衡式振動彈丸暗渠穿孔機의 研究(Ⅱ)

—模垂實驗：振動에 對하여—

A Study on Balanced-Type Oscillating Mole Drainer(Ⅱ)

(Model Test For Vibration)

金 容 煥*

Yong Hwan Kim

Summary

1. When the frame of the experimental apparatus was directly fixed on the platform, result from the spectrum density analysis showed that the generated vibration frequency of the system was nearly same as the system's own characteristic vibration frequency, 80Hz, in the case of the forcing vibration frequency was 7.5 to 22.5Hz. The reduction ratio of acceleration by balanced type model compare to non-balanced type one was 26.66 percent.

2. When the frame of experimental apparatus was fixed on the platform with putting a shock absorbing rubber between the frame and the platform, the generated vibration frequency of the system was same as forcing vibration frequency. When either frequency or the amplitude of the forcing vibration was increased, the acceleration ratio was increased too. The average reduction ratio was resulted 44.77 percent. It was concluded that this method of acceleration measurement(the method using a shock absorbing rubber) was a reasonable method, because actual machine will work under such condition. As the vibration frequency and amplitude were increased, the absolute magnitude of acceleration was increased.

3. unbalanced rotating parts, and unbalanced moment of inertia of links were supposed to be causing factors of residual vibration in spite of using the balanced type oscillating mole drainer. This fact suggested that the attachment of the counter weight on the rotating parts which satisfy the condition $m_w \cdot r_w = m_o \cdot e$, was necessary. And also, it was expected that the shock absorbing effect could be improved by putting the shock absorbing materials between the moving parts and their supports.

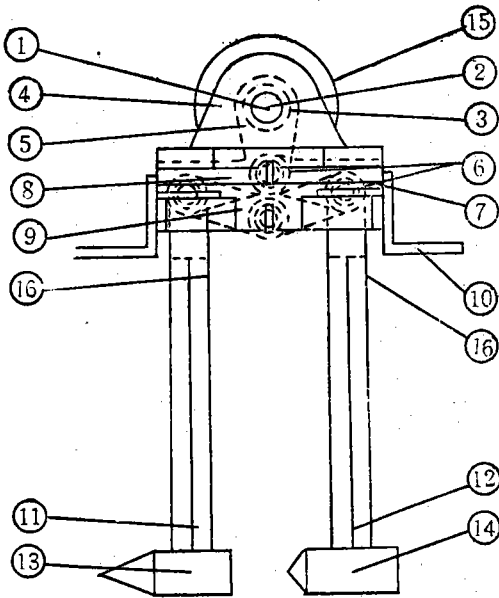
I. 序 言

振動式耕耘作業機는^{2-10,18,19} 非振動式의 것에 比하여 牽引抵抗이 30%~80% 減少하고 흙을 破碎하는 같은 作業에는 作業效果가 좋다는 長點을 갖

며 그 反面에 總動力이 非振動式의 것에 比하여 30~100% 增加한다는 缺點이 있다. 그러나 實用的見地에서 본다면 Tractor의 振動이 激甚하여 使用하기 어렵다는 것이 가장 큰 問題일 것이다. 이 振動의 主要原因은 往復運動部分의 慣性力 및 moment의 不平衡과 흙의 抵抗力의 不平衡에 의한 것이다. 이

* 慶尙大學 農工學科

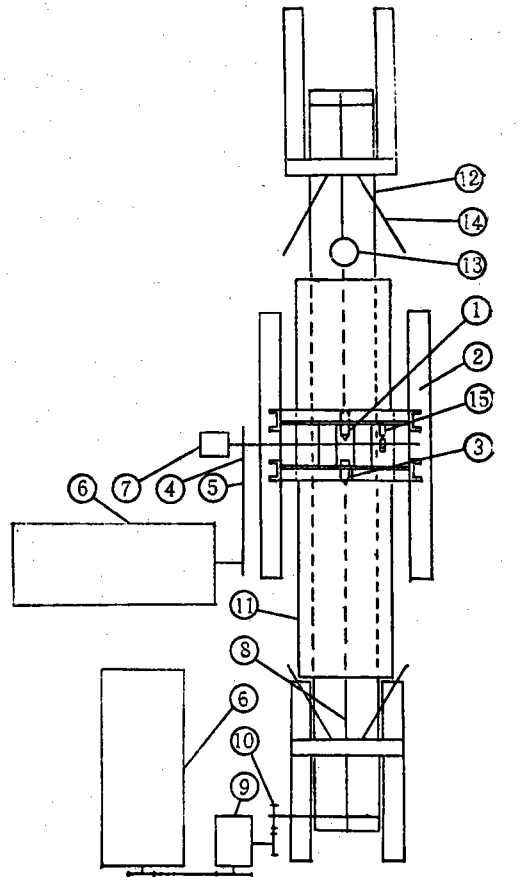
것을 除去하기 위하여 平衡式機構를 研究하게 된 것인데 從來의 研究에서는 平衡特性에 關하여 調査되어 있지 않다. 本研究는 振動式의 長點을 살리기 위하여 牽引抵抗이 커서 施工하기 어려운 彈丸暗渠穿孔機^{17,18}에 平衡式振動을 利用하였으며 製作經費와 製作의 迅速性, 計測과 實驗의 容易性 土壤條件의 再現性, 흙의 準備에 要하는 時間과 勞動力, 牽引抵抗의 測定等을 考慮하여 模型固定-土壤槽走行의 方式을 取하였다. 裝置의 設計에는 次元解析法^{11,11,12, 13,18,17,18,19}에서 얻어진 相似條件을 利用하고 Toggle 機構로 構成된 平衡式 Model에 關하여 振動, 抵抗, 動力等의 特性을 實驗하고 加速度 牽引抵抗moment, Torque等의 特性值에 對한 周波數, 振幅, 走行速度 彈丸體의 直徑比, 穿孔深等의 Parameter의 影響을 調査하여 주어진 範圍에서의 最適條件을 發見하여



- | | |
|-------------------|----------------|
| 1 MAIN SHAFT | 9 LOWER LINK |
| 2 ECCENTRIC SHAFT | 10 FLAME |
| 3 NEEDLE BEARING | 11 FRONT SHANK |
| 4 PILLOW BLOCK | 12 REAR SHANK |
| 5 CONNECTING ROD | 13 FRONT MOLE |
| 6 PIN | 14 REAR MOLE |
| 7 BLOCK | 15 SLIP RING |
| 8 UPPER LINK | 16 STRAIN GAGE |

Fig. 1. Side view of oscillating model

여기에서 얻어진 豫測값으로 부터 實機設計의 基礎資料를 얻으려고 하였다.



- | | |
|-----------------|----------------------------|
| 1 MODEL | 9 REDUCTION GEAR |
| 2 FLAME | 10 SPROCKET |
| 3 ACCELEROMETER | 11 SOIL BIN |
| 4 BELT PULLEY | 12 RAIL |
| 5 BELT | 13 PROVING RING |
| 6 MOTOR | 14 STOPPER |
| 7 SLIP RING | 15 ELECTRO-MAGNETIC-PIC-UP |
| 8 CHAIN | |

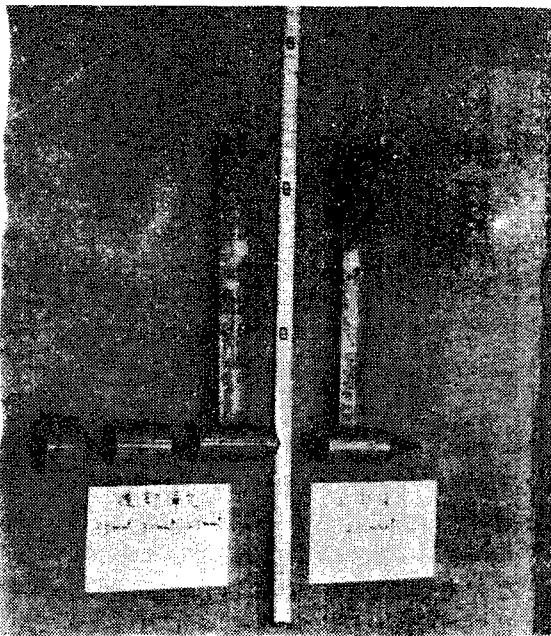
Fig. 2. Plane view of experimental apparatus

II. 實驗裝置 및 方法

Fig. 1 은 模型實驗機의 側面圖이다. 主軸 ①에 Taper pin으로서 固定되어 있는 偏心軸 ②의 回轉에 의하여 連接棒 ③은 上下로 運動하고 따라서 上部 link ⑧과 下部 link ⑨를 連結하는 pin ⑥은 block ⑦의 홈을 水平方向으로 滑動하고 上部 link ⑧과 一體로 되어있는 前部 shank ⑩과 後部 shank ⑪는 서로 反對方向으로 往復水平運動을 함으로서 慣性力 및 moment의 平衡을 이루어지도록 되어있다.

Fig. 2는 實驗裝置全體의 平面圖를 나타낸 것이다.

振動模型은 frame ②에 固定되어 있으며 車輪이 붙은 土壤槽 ①을 rail ⑫ 위를 走行시킨다. 變速 motor ⑥에 의하여 土壤槽는 驅動되는데 減速機 ⑧를 거쳐서 chain ⑩로서 牽引된다. 土壤槽의 側面은 透明한 plastic板으로 되어있어 切斷彈丸模型으로서 實際로 穿孔하는 光景을 觀察할 수 있도록 하였다. 系의 振動은 frame ② 위의 加速度計 ③으로서 檢出되고 抵抗力의 平衡狀態는 Fig. 1의 各各의 shank에 strain gage ⑭를 貼付하여 shank에 作用하는 moment로서 調査한다. 牽引抵抗은 Fig. 2의 土壤槽 ①을 牽引하는 chain ⑩의 途中에 附着되고 있는 probing ring ⑬에 의하여 測定하였다. probing ring에는 strain gauge가 貼付되어 있다. 振動시키는데 要하는 動力은 主軸에 strain gage를 貼付하여 ship ring ⑦을 통하여 Torque를 檢出하여 算出한다. 또 各特性値와 位相과의 關係를 보기 위하여 電磁式 pick up ⑮로서 主軸의 回轉角을 檢出한다. 主軸에 부치는 치차의 數는 Oscilloscope의 速度나 積分 혹은 Fourier의 解析을 考慮하여 12로 하였다. 軸의 抵抗力의 平衡은 前部彈丸과 後部彈丸의 直徑比가 問題가 될 것이라 생각되기 때문에 이것을 實驗의 parameter로 하여 實際로는 photograph 1에 나타나 있는 바와 같이 後部彈丸體의 直徑을 25, 30, 35mm의 3種類로 하였다.



photograph 1. one front bullet and three rear bullets

彈丸體의 水平振幅을 變化시키기 위하여는 偏心거

리가 다른 偏心軸을 交換하였다.

彈丸體의 振動數의 變化는 Fig. 2의 可變 motor ⑥의 回轉數를 變化시켜 얻었다. 土壤의 鎮壓에는 實驗條件의 再現性의 觀點에서 볼 때 特別한 鎮壓裝置를 設置하는 것이 바람직 하지만 迅速하고 싼값으로 진압하기 위하여 다음같은 簡單한 方法을 適用하였다. 即 土壤槽의 軸을 均等하게 攪亂하여 그 높이가 土壤槽의 높이와 一致하도록 그 위에 一定한 두께의 板을 놓고 그 위에 直角方向으로 板의 幅보다 긴 形鋼을 얹고 그 위에 載荷하던 板의 두께만 치 좁은 沈下하여 鎮壓된다. 이 方法은 미리 몇번하여 慣入抵抗을 測定하여 再現性이 있음을 確認하였다. 土壤槽를 使用하는 實驗의 再現性을 確保하기 위하여 土性에 影響을 주는 水分의 時間的變化를 막을 目的으로 蒸發하기 어려운 oil나 Ethlene glycol을 使用하여 水分代身으로 하는 人工土를 使用하는 方法이 있지만 이것은 準備에 많은 時間과 勞力이 要하며 또 自然土를 使用하면 보다 많은 相似條件을 滿足하기 때문에 供試土壤으로서 特히 人工土를 使用하지 않고 圃場의 것을 使用하였다.

平衡式으로서의 效果를 보기 위하여 彈丸體가 2個의 경우와 1個의 경우에 對하여 實驗하였으며 또 振動에 서있어의 牽引抵抗減少의 效果를 보기 위하여 振動시켰을 때와 振動시키지 않을 때에 對하여 實驗하였으며 더욱이 彈丸體의 抵抗과 shank部의 抵抗의 比率를 알기 위하여 彈丸體를 shank부터 除去하였을 때와 附着하였을 때 두 경우에 對하여 實驗하였다.

parameter의 種類는 走行速度 彈丸體의 振動數, 振幅, 前後彈丸體의 直徑比 穿孔深 等이다. 實驗順序는 原則적으로 無作爲로 配置하였다. 實驗條件으로서의 軸의 物理性은 土粒子의 比重 粒度分布, Comistency로서의 液性限界와 塑性限界 및 塑性指數, 含水比 剪斷試驗에 의한 粘着力과 內部摩擦角, 容積重量, 慣入抵抗으로서 表示하였다. 切斷彈丸模型을 土壤槽의 plastic 側板에 接觸시켜서 穿孔하는 光景을 8mm 영사기로서 기록하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 實驗條件

振動機械의 實驗條件

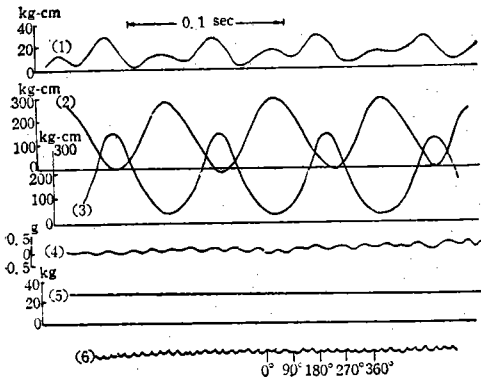
走行速度 $V_1 : 0.05, V_2 : 0.125, V_3 : 0.20$ (m/s)
 周波數 $f_1 : 7.5, f_2 : 1.5, f_3 : 22.5, f_4 : 30$ (Hz)
 振幅 $A_1 : 0.25, A_2 : 0.50, A_3 : 1.0$ (cm)

直徑比 $\lambda_1 : 1.0, \lambda_2 : 1.2, \lambda_3 : 1.4$
 穿孔深 $d_1 : 8.05, d_2 : 10.05, d_3 : 12.05, d_4 : 14.05(\text{cm})$
 供試土壤의 物理性¹³⁾

- (1) 土粒子의 比重
 2.9°C 의 물에 對하여 2.4788 g/cm^3
- (2) 粒土分布
 砂 : 56.194%, Silt : 29.057%, 粘土 : 14.0%
 土性은 砂質 loam이며 均等係數는 2000μ 以下의 것에 對하여 83.3이었다.
- (3) Consistency
 液性限界 : 43.980% 塑性限界 : 36.146% 따라서 塑性指數 : 7.744이다.
- (4) 含水比 : 24.47%
- (5) 直接剪斷試驗의 結果
 內部摩擦角 : $\phi = 20^\circ 49' 22''$, 粘着力 $c = 0.37783 \text{ kg/cm}^2$
- (6) 容接重量
 價入抵抗과 더불어 흙의 硬度를 나타내는 指標로서 흙의 平均密度를 구하였다.

$$r = \frac{\text{土壤槽속의 흙의 重量}}{\text{土壤槽의 容積}} = 1.5448 \text{ gr/cm}^3$$
- (7) 價入抵抗
 cone penetrometer에 의한 價入抵抗은 平均 11.65 kg이었다.

3.2 Oscillogram



- (1) Torque
- (2) Moment for Front Shank $A : 0.50 \text{ cm}$
- (3) Moment for Rear Shank $V : 0.05 \text{ m/sec}$
- (4) Acceleration $\lambda : 1.0$
- (5) Draft Force $f : 1.5 \text{ Hz}$
- (6) Angle of Rotation

Fig. 3. A example of oscillogram

Fig. 3은 實驗結果의 Oscillogram의 한 例이다. Torque, 前部 shank의 moment 및 後部 Shank의 moment는 周期的變動을 하고 牽引抵抗은 거의 一定하다는 것을 알수 있다. 따라서 Torque, moment의 代表值로서는 $\bar{T} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$ 같이 幾何學의 平均値를 取하며 simpson 公式으로서 計算하였다. 加速度는 代表值로서 一定區間內의 最大値를 取하였다.

3.3 切斷模型에 의한 穿孔사진



photograph 2, a pressed hole by cut bullets photograph는 切斷彈丸에 의한 穿孔사진이다. 赤行速度가 매우 느리고 振動數가 매우 큰 경우를 除外하고는 前部彈丸과 後部彈丸 사이의 空間에 흙이 들어 오는 일은 거의 없었다. 實際干拓地의 粘土質에서의 實質穿孔에서는 振動에 의하여 구멍이 埋沒되는 일은 없을 것으로 생각된다.

3.4 加速度

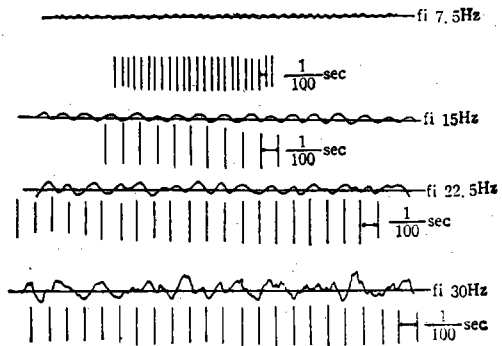


Fig. 4. Oscillograms for acceleration versus time

Fig. 4는 加速度의 時間的變化를 記錄한 典型的인 例이다. Oscillogram 부터 大略의 發生周波數를 推定하였든바 加振周波數 7.5 Hz.에 對하여 80.5 Hz. 15 Hz.에 對하여 72.5 Hz. 22.5 Hz.에 對하여 72

Hz. 30 Hz.에 대하여 53 Hz. 이었고 어느 것이나 加振周波數보다 높은 周波數가 測定되었다. 여기서 加速度의 周波數에 있어서 power의 spectrum의 分布를 알기 위하여 power spectrum 密度를 推定하였다. 그 計算結果의 한 例를 graph에 表示하면 Fig 5, Fig 6와 같이 나타냈다.

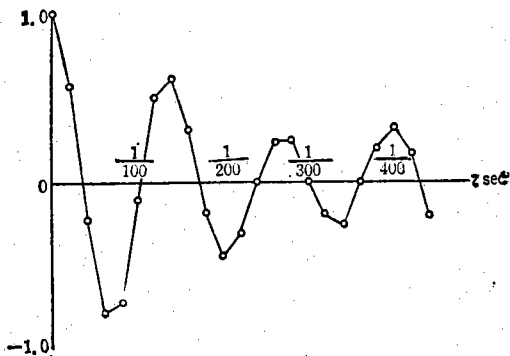


Fig. 5. Correlogram for acceleration(15Hz)

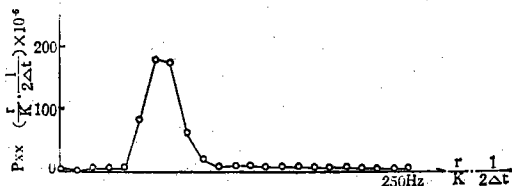


Fig. 6. spectrum density for 15 Hz

自己相關關數의 周期性과 power spectrum의 power의 spectrum의 分布 부러도 發生周波數가 推定된다. 그 結果를 Oscillogram부터 直接推定한 값과 比較하여 表示하면 Table 1과 같이 된다.

Table 1. Estimation for generated frequency

f_i	f_o	Oscillogram	Auto-Correlogram	Power-Spectrum
7.5 Hz	80.5 Hz	66.6 Hz	77.7	
15	72.5	71.42	68.18	
22.5	72	83.33	68.18	
30	53	45.45	45.45	

어느 것이나 加振周波數가 7.5 Hz부터 22.5 Hz의 範圍에서는 系의 固有振動數에 가까운 振動數가 測定되었다고 생각된다.

Fig. 7.은 여러가지 振幅에 對한 加速度和 周波數의 關係를 나타낸 것인데 15 Hz.~30 Hz. 範圍에서 平衡式은 加速度輕減의 效果가 있음이 明白하다. 周波數가 높을 때는 振動輕減이 크지만 周波數가 낮을 때는 彈丸體 1個와의 差는 매우 적다.

Fig. 8.은 直徑比를 달리하였을 때의 加速度和 周

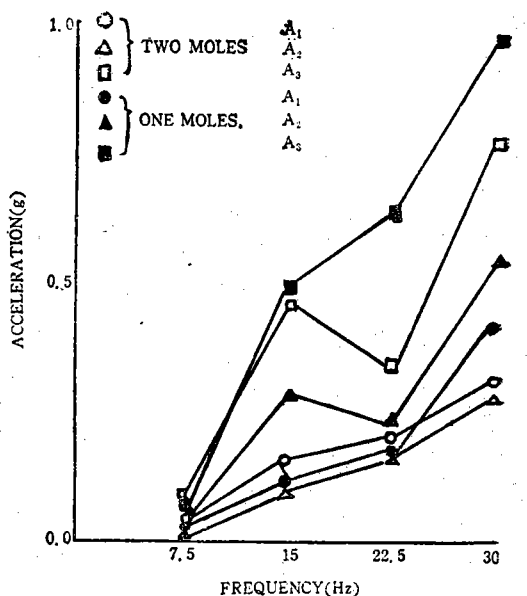


Fig. 7. Relation between acceleration and frequency for Various amplitude

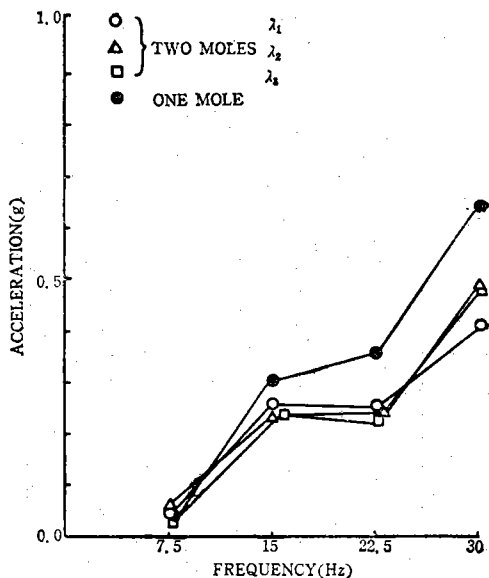


Fig. 8. Relation between acceleration and frequency for various diameter ratio

波數의 關係를 나타낸 것이다. 分明히 彈丸體 1個에 보다는 平衡式으로서의 效果를 認定할 수는 있으나 直徑比에 의한 영향은 거의 볼 수 없었다. 이것은 分散分析의 結果부터도 理解된다.

Fig. 9는 加速度和 周波數와의 關係에서 速度의 影響을 調査한 것이다. 速度의 빠르고 느림에 關係없이 15~30 Hz의 範圍에서 平衡式의 效果는 있지

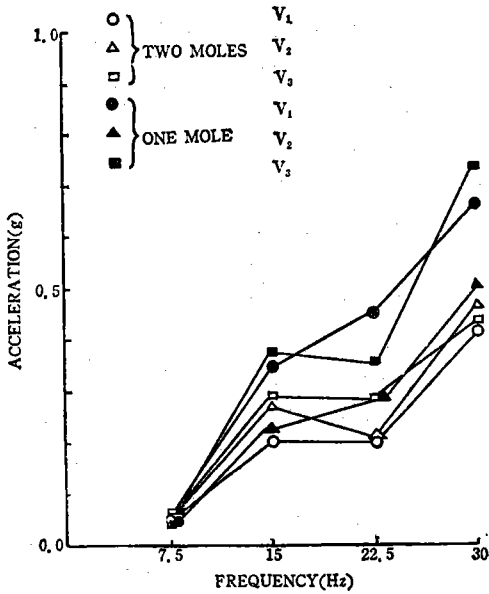


Fig. 9. Relation between acceleration and frequency for Various Velocity

만 7.5 Hz에서는 差異를 볼 수 없었다.全體로서 速度가 클때 加速度의 값이 큰것같다. 速度는 周波數나 振幅만큼 加速度에 큰 效果를 주지 않았다. 이것은 分散分析의 結果로 부터도 理解된다. 全實驗을 通하여 平衡式은 彈丸體 1個 때에 比하여 平均하여 加速度를 25.66% 輕減할 수 있었다. 그러나 이 結果는 Frame를 기초에 直接 固定하였을 경우이고 實際의 경우 어느 程度의 防振의 效果가 있는지는 豫

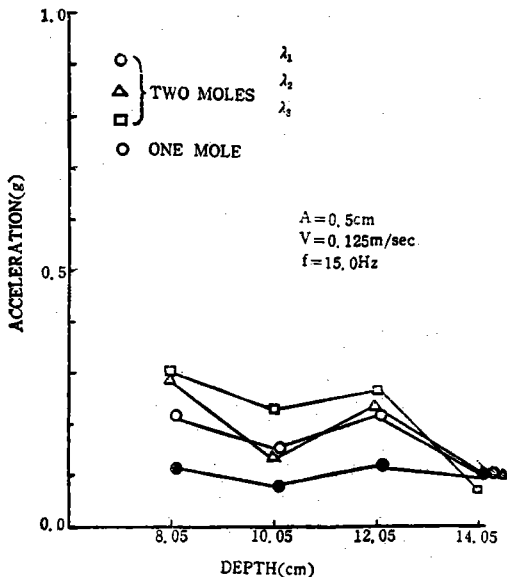


Fig. 10. Relation between acceleration and frequency for various depth.

測할 수 없다. 따라서 이 節의 끝에 Frame를 기초에 固定하지 않고 그 사이에 防振고무를 끼웠을때의 加速度測定에 關하여 檢討한다.

Fig. 10.은 $A=0.5cm$ $V=0.125m/s$ $f=15$ Hz.의 경우에 對하여 加速度와 穿孔深의 關係를 나타낸 것이다. 淸楚한 傾向은 볼수 없지만 全體로서 얇은 때 보다 깊은 때가 加速度가 적은 것은 흙에 의한 振動의 減長效果가 있기 때문이라 생각된다. 다음에 機械側의 Frame을 기초에 固定하지 않고 사이에 防振고무를 깔았을 때의 加速度測定에 關하여 檢討한다.

Fig 11.은 彈丸體 2個 때의 Oscillogram Fig 12.는 彈丸體 1個 때의 Oscillogram을 나타낸것이다. 彈丸體 1個의 경우나 2個의 경우나 低周波 임이 明白하고 그 周波數는 加振周波數에 一致하여 있고 frame을 기초에 固定한 경우와 다른 波形이 되었는데 이것이 보다 現實에 가까운 測定이라 생각된다. 왜 그런가 하면 實機에 있어서는 Tractor는 어디에도 固定되지 않고 自重만으로 地面과 接觸하고 있기 때문이다.

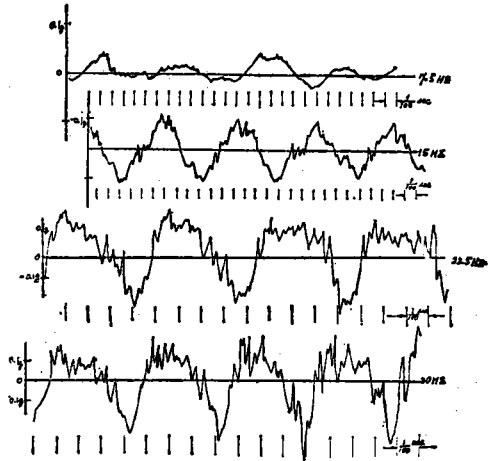


Fig. 11. Oscillograms for acceleration Two-mole

Fig. 13은 완충고무를 끼웠을 때의 加速度와 振幅 사이의 關係를 나타낸다. 加振周波數가 높을수록 또 振幅이 클수록 加速度의 輕減率이 크다는 것을 알 수 있다. 實際로 $A=0.25cm$ 일때 28.51% $A=0.50$ cm 일때 57.1%, $A=1.00cm$ 때 57.21%의 輕減率을 나타내고 모든 것을 平均하여 47.77%의 輕減率을 얻었다. 더욱 現實에 가까운 狀態의 性能을 豫測하려면 土壤側을 固定하고 機械側을 走行시키는

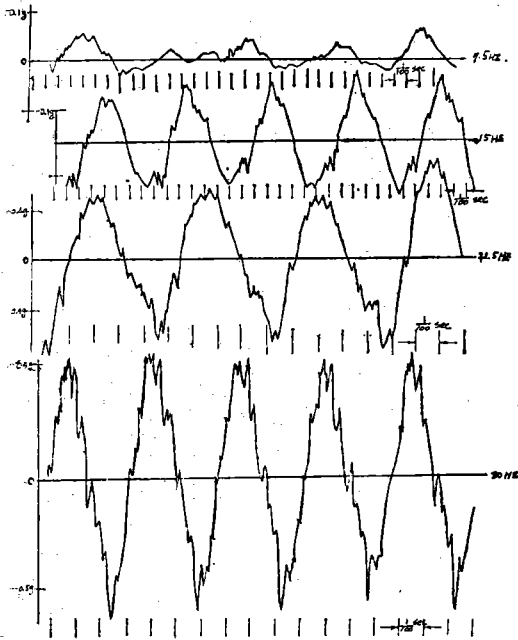


Fig. 12. Oscillograms for acceleration (One moles)

方式을 取하는 것이 바람직한 일이다.

나머지의 振動의 原因을 連接棒을 包含한 回轉運動部分의 不平衡 Link 部分의 慣性偶力의 不平衡 등이 생각되기 때문에 이들의 不平衡을 除去하고 더욱이 運動部分을 支持하는 部分에 防振材料를 끼우면 防振效果가 加一層 높아질 것이라 생각된다.

加速度에 對한 周波數(f), 振幅(A), 速度(V), 直徑比(λ) 등의 效果 및 이들의 交互作用을 調査하였다. 因子는 4個이고 되풀이 되지않는 實驗임으로 反復없는 4元配置로 하였다. 그 結果 加速度에 對하여는 振幅, 周波數, 振幅과 周波數의 交互作用의 效果가 크고, 1%의 有意水準에서 有意差가 있었다. 또 直徑比의 效果는 매우 적었고 거의 영향을 주지 않았다. 따라서 振動輕減의 觀點에서 본다면 振幅, 周波數는 過度히 크게할 수 없다. 牽引力, Torque, 動力, moment에 關한 報告는 다음에 할 豫定이다.

3.5 通 要

(1) 實驗裝置의 frame을 기초에 直接 固定하였을 때의 加速度 測定에서는 發生周波數는 spectrum 解析의 結果 加振周波數 7.5~22.5 Hz.의 範圍에서 系의 固有振動數 80 Hz.에 가깝고 또 平衡式으로서의

加速度輕減率은 26.66% 이었다.

(2) Frame을 기초에 固定하지 않고 그 사이에 防振고무를 끼웠을 때의 加速度測定에서는 發生周波數와 一致하며 加振周波數가 높을수록 또 振幅이 클수록 加速度의 輕減率이 크고 平均하여 47.77%의

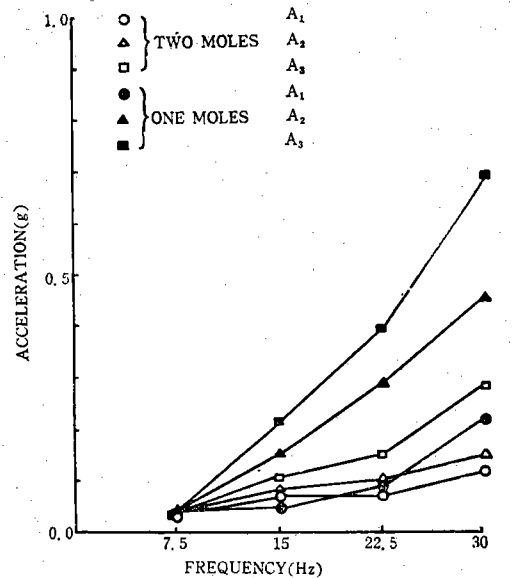


Fig. 13. Relation between acceleration and frequency for various amplitude, when shock absorbing rubber was put between france and base.

輕減率을 얻었다. 이것이 現實에 가까운 加速度測定이라고 생각된다. 加速度의 絶對值는 周波數, 振幅이 클수록 增大한다.

(3) 나머지 振動의 原因으로서 連接棒을 包含한 回轉運動部分의 不平衡 Link 部分의 慣性偶力의 不平衡 등이 생각됨으로 回轉運動部分에 $m_w r \omega = m_o e$ 를 滿足하는 平衡錘를 附加하며 더욱이 運動部를 支持하는 部分에 防振材料를 넣으면 防振效果가 높아질 것이 豫想된다.

References

1. Barnes, K.K., Bockhop, C.W. and McLeod, H. E.: Silitnde in Studies of Tillage Implements Forces. Agricultural Engineering, Vol 41, 1960.
2. Brahm P. Verma : Oscillabing Soil Tools-A Review. Tranesactions of the ASAE. Vol. 14, No 6, 1971.
3. Dubrovskii, A.A., Experiment to Oscillate a Drainge Plough. TRUDY, VIM, V.27, 1960, p. 241~263.
4. ——— : The Use of Oscillation Techingues for Improving Agricultural processes. MEKHA NIZ. ELETRIF. SEL. KHOZ., 1962, 20, 2, p.29 ~32. Nat'l Inst. of Agricultural Engineers, Translation, #190, 1962.
5. Eggenmüller, A. 1958 : Schwingenden Bodenbearbeitungs wer zeuge. Grundlagen der Landtechnik, Heft 10 : 55~69.
6. ——— : 1958. Verschemit Grappen gegeneinander schwingenden Hackwerkzeuge. Grundlagen der Landtechnik, Heft 10 : 70~88.
7. ——— : 1958. Feldversche mit einem schwingen Pflugkörper. Grundlagen der Landhnik, Heft 10 : 8995
8. Gunn, J.J. and Tramontini, V.N. : Oscillation of Tillage Implements. Agricultural Engineering, V.36, Nov. 1955.
9. Hendrdrick, J.G. and Buchle, W.F.: Tillage Energy of a Vibrating Tillage Tool. Transactions of the ASAE Vol 6, No. 3, 1963.
10. Lawyer, J.N., Chancellor, W.J. and Choa, S.L.: Subsoiler Performance Using a Repeating Inertial Propulsion prive. American Society of Agricultural Engineers. Paper No. 750 636, 1971
11. Larson, L.W., Lovely, W.G. and Bockhop, C.W. : Predicting Draft Forces Using Model Moldboard Plows in Agricultural Soils. Transactions of the ASME, Vol 11. 1968.
12. Reaves, C.A., Cooper, A.W. and Kummer, F.A.: Similitude in Performance Studies of Soil-Chisel Systems. Transaction, of the ASAE, Vol 11, 1968.
13. Schafer, R.L., Bockhop, C.W. and Lovely, W.G. : Prototype Studies of Tillage Implements. Transactions of the ASAE, Vol 11, 1968.
14. Venter, G. : Development of a Vibratory Plough. Supplement to Modern Farming, June, 1968.
15. 土質工學會編：土質試験法
16. 川村登：模型 プラウの相似法則について 農機誌 16巻 (3) 1954
17. 金容煥：平衡式振動彈丸暗渠穿孔機の研究(Ⅰ) 模型設計, 慶尙大 農資源利用研究所報 9號 1975.
18. 松岡：平衡式振動彈丸暗渠穿孔機の研究：京都大學 農學部 修士 論文 1974.
19. 田中孝：次元解析法による 土機械系の相似法則に関する研究. 農機誌 29巻 1967.