

動力耕耘機의 安定性 向上을 위한 走行 및 旋回에 關한 研究(Ⅲ) —動力耕耘機-트레일러 시스템 運動모델의 檢證—

Motion Analysis of Power Tiller for Stability Improvement (Ⅲ) —Verification of a Mathematical Model of Motion for Power Tiller-Trailer System—

朴 金 柱*, 柳 寬 熙**, 鄭 昌 柱**, 金 景 旭**, 劉 壽 男***
K. J. Park, K. H. Ryu, C. J. Chung, K. U. Kim Kim, S. N. Yoo

Summary

A scale model of power tiller-trailer system with the same kinematic characteristics was constructed one eighth of the actual size to validate the effectiveness of mathematical model of motion. The parameters for the scale model of power tiller-trailer system were measured by a series of laboratory experiments.

Validation tests for the scale model was conducted under several ground and operating conditions. The tests were performed on artificial ground surfaces with several kinds of slope and obstacle. The travel path of the scale model was photographed successively in three directions.

The travel paths obtained from both the film analysis and the simulation model appeared to be consistent with each other. It was concluded that the simulation model could be used to predict the motion of actual power tiller-trailer system if the parameters for actual power tiller and trailer are provided.

1. 緒 論

動力耕耘機-트레일러 시스템의 數學的 運動모델의 妥當性 檢證은 實際의 動力耕耘機 시스템을 직접 試驗하는 方法과 縮小模型(scale model)을 製作하여 試驗하는 方法이 있다. 實際의 시스템을 利用하는 것은 所要費用이 많고 運動狀態를 測定하는데 困難을 가지고 있으므로 縮小模型을 製作하여 運動모델을 檢證하는 方法이 一般的으로 利用되어 왔다.

本 研究은 이미 開發된 動力耕耘機-트레일러 시스템의 數學的 運動모델의 妥當性을 檢證하기 위하여 다음과 같은 具體的 內容을 遂行하였다.

1. 動力耕耘機-트레일러 시스템의 縮小模型과,

이 模型의 走行試驗을 實施하기 위하여 傾斜度를 任意로 調節할 수 있는 走行路面을 製作하였다.

2. 多樣한 走行條件에서 模型을 走行시켜 이의 運動狀態를 測定하고, 이 結果를 數學的 運動모델이 豫測한 값과 比較 分析하였다.

2. 材料 및 方法

가. 動力耕耘機-트레일러의 模型製作

動力耕耘機-트레일러 시스템 運動모델의 妥當性을 檢證하기 위하여 약 1/8로 縮小된 動力耕耘機-트레일러 시스템의 模型을 製作하였다(그림 1).

本體 바퀴의 驅動을 위한 2개의 스템모우터를 左右 對稱으로 設置되어 있으며 各各의 減速기어를

*安城農業專門大學 農業機械科

**서울大學校 農科大學 農工學科

***全南大學校 農科大學 農工學科

통하여 바퀴에 動力을 供給하도록 하였다. IC UCN 4202를 中心으로 構成된 스텝모우터 驅動回路는 컴퓨터로부터 펄스信號를 入力받아 스텝모우터를 驅動하였다.

旋回運動을 하기 위한 핸들력은 動力耕耘機 模型의 핸들에 가늘고 질긴 線의 한쪽 끝을 連結하고 트레일러에 搭載된 스텝모우터가 回轉하면서 이 連結線을 잡아당김으로써 作用할 수 있도록 製作하였다.

나. 走行路面

模型의 走行試驗을 하기 위한 走行路面은 實際의 콘크리트 路面과 類似하고 均一한 特性을 갖도록 하기 위하여 베니어 合板위에 샌드페이퍼(K35)를 입히어 製作하였다. 傾斜地에서의 走行試驗을 위하여 傾斜度를 任意로 調整할 수 있도록 하였으며, 障礙物 通過試驗을 위하여 사다리꼴 斷面의 障礙物을 製作하였다. 障礙物의 表面은 走行路面과 같이 샌드페이퍼를 입히었다.

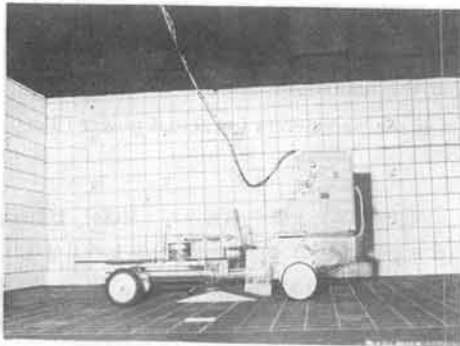


Fig. 1. Scale model of power tiller-trailer system.

다. 運動모델에 包含된 常數의 決定

數學的 運動모델에 包含된 常數는 動力耕耘機의 主要 寸數, 質量, 質量中心, 質量慣性모멘트와 타이어의 스프링常數, 댐핑係數, 구름抵抗係數, 牽引係數, 側面力係數 등이 있다. 이들은 實驗 혹은 文獻資料에 의하여 決定되었다.

1) 質量中心 및 主要 寸數

質量中心은 一般的으로 利用되고 있는 suspension method를 適用하여 模型의 本體와 트레일러를 여러 點에서 와이어로 測定프레임에 매달고 靜止狀態에서 寫眞을 찍어, 와이어의 延長線이 共通

으로 交叉하는 點을 찾아 決定하였다.

2) 무게 및 質量慣性모멘트

動力耕耘機 模型의 무게는 電子저울을 利用하여 實測하였다. 質量慣性모멘트는 그 값을 구하고자 하는 軸이 地面과 平行하도록 매달고, 運動面이 軸과 垂直이 되도록 物體를 흔든 다음 物體의 흔들리는 週期를 測定하여 다음 식에 의하여 그 값을 구하였다.

$$I = Wl^2\tau^2 / 4\tau_L^2 - Wl^2 / g \dots\dots\dots (1)$$

여기서, I : 物質의 質量中心을 지나고 運動平面에 垂直한 軸에 대한 質量慣性 모멘트

W : 物體의 무게

τ : 振動 週期

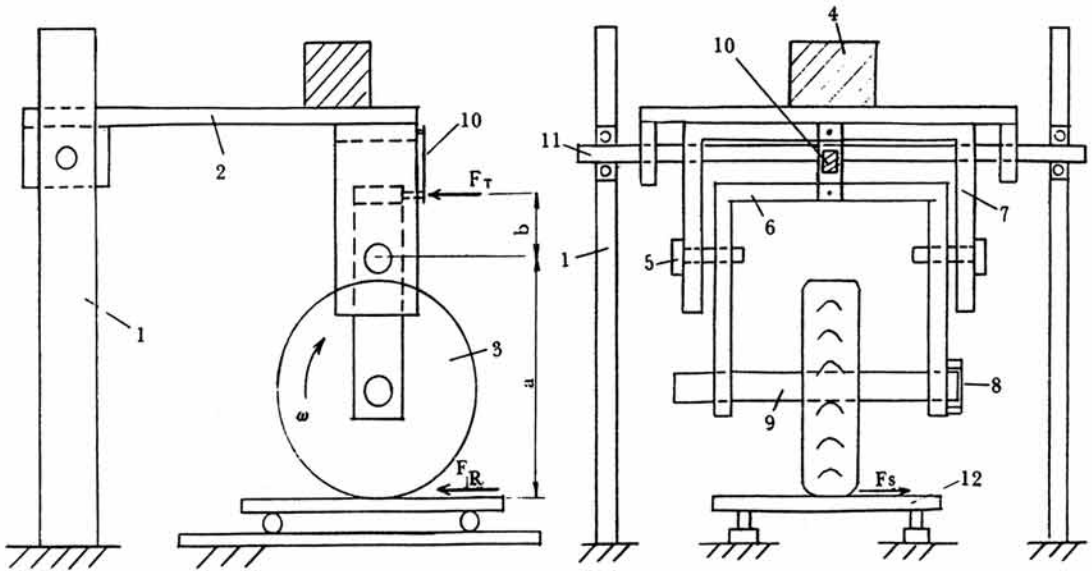
l : 物體가 흔들리는 中心點으로부터 質量中心까지의 垂直距離

3) 車輪力 係數

非驅動輪의 運動條件에 따른 구름抵抗力 및 側面力은 그림 2와 같은 實驗裝置를 제작하여 그 값을 구하였다. 그림에서와 같이 바퀴는 軸을 中心으로 자유롭게 回轉運動을 하며, 또한 軸과 함께 軸方向으로 미끄러질 수 있도록 内部 요오크의 양쪽 구멍에 軸이 끼워져 있다. 内部 요오크는 그림의 핀 5를 中心으로 外部 요오크에 대하여 回轉할 수 있도록 하였다. 外部 요오크는 다시 볼트에 의하여 베이스 프레임 2에 固定되어 있으며, 베이스 프레임은 축 11을 中心으로 回轉이 可能하도록 하였다.

바퀴 밑에는 샌드페이퍼(K35)를 입힌 表面이 레일을 따라 水平으로 移動할 수 있도록 하였다. 바퀴가 表面에 作用하는 垂直荷重은 베이스 프레임 위에 錘를 加減하여 그 값을 變化시키도록 하였으며, 表面 移動方向에 대한 外部 요오크의 設置方向을 바꾸어 바퀴의 슬립角을 變化시켰다.

구름抵抗力은 表面이 바퀴 밑을 移動할 때 바퀴가 구름運動을 하면서 内部 요오크가 2개의 핀 5를 中心으로 回轉하려는 作用을 抑制하는 힘을 測定함으로써 구한다. 즉, 바퀴가 구름運動을 할 때 内部 요오크의 回轉運動이 抑制될 수 있도록 外部 요오크에 외팔보버형 얇은 彈性體를 固定하였다. 内部 요오크가 回轉이 抑制되면서 彈性體에 가한 힘은 彈性體에 附着된 스트레인 게이지의 變形抵抗 값을 힘으로 換算하여 구하였다. 스트레인 게이지의



- | | | | |
|---------------------|---------------|----------------|------------------|
| 1. Supporting frame | 4. Weight | 7. Outer yoke | 10. Strain gage |
| 2. Base frame | 5. Pin | 8. Strain gage | 11. Shaft |
| 3. Wheel | 6. Inner yoke | 9. Wheel shaft | 12. Moving plane |

Fig. 2. Apparatus for measuring circumferential and lateral force coefficient of tire.

變形抵抗은 브리지 回路, 增幅器, A/D 變換器를 통하여 8 bit 퍼스널 컴퓨터에 入力되도록 하였다.

구름表面에 作用하는 垂直荷重을 4 가지, 슬립각을 4 가지로 變化시키면서 구름抵抗력을 測定하고 이로부터 구름抵抗係數를 計算한 結果 垂直荷重에 따라서는 큰 變化가 없었으나 슬립각에 따라 거의 線型的으로 增加하는 것으로 나타났다. 이 關係를 運動모델에 適用하기 위하여 구름抵抗係數를 그림 3 에서와 같이 슬립각의 一次 回歸方程式으로 表現 하였다.

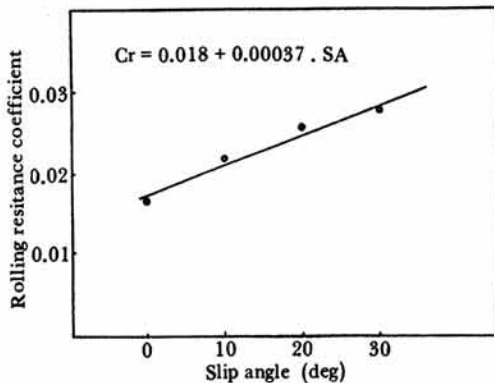


Fig. 3. Relation between slip angle and rolling resistance coefficient of tire.

側面力은 바퀴가 任意的 滑脫角을 가지고 走行할 때 軸方向으로 軸과 함께 밀려가면서 요오크 바깥 쪽에 設置된 철편을 變形시키도록 製作하여 철편에 가하여진 스트레인을 힘으로 換算하여 구하였다.

側面力은 滑脫角을 4 수준, 垂直荷重을 4 수준으로 變化시키면서 測定한 結果 그림 4 와 같이 垂直荷重과 滑脫角에 따라서 그 값이 變化하였다.

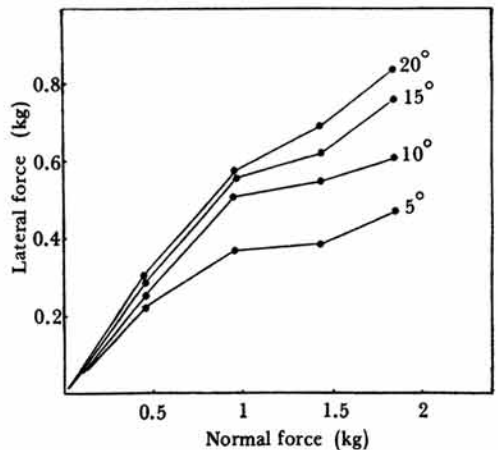


Fig. 4. Relations between normal force and lateral force at each slip angle.

4) 타이어 스프링상수

운동모델에서 바퀴에 작용하는 반경방향의 힘(radial force)은 타이어의 압축변형량의 함수로表現하였다. 본 실험에서는 타이어의 압축변형량과 반경방향의 힘의 관계를 구하기 위하여 반경방향의 힘을 변화시키면서 타이어의 변형량을測定하였다. 앞節의 車輪力係수를 구한 測定裝置를 利用하여 베이스 프레임 위에 錘를 加減하여 반경방향의 荷重을 變化시키고 그에 따른 타이어의 壓縮變形量을 測定하였다.

타이어의 壓縮變形量은 그림 5에서와 같이 荷重의 增加에 따라 初期에는 急激히 增加하다가 漸次 緩慢히 增加하는 現象을 나타내었다.

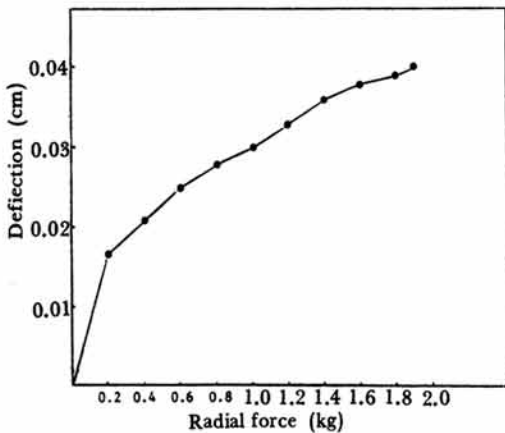


Fig. 5. Relation between radial force and deflection of tire.

5) 타이어 댐핑係數

바퀴가 走行表面에 대하여 垂直方向으로 運動을 하는 境遇에는 댐핑력이 作用하는데 이 힘은 바퀴의 地表面에 대한 速度와 댐핑係數의 함수로 구한다.

타이어의 댐핑係數(Cd)는 타이어의 댐핑減衰率(damping ratio)과 스프링상수(K)가 決定되면 다음 식으로 구한다.

$$C_d = 2\xi K \cdot m \dots\dots\dots(2)$$

위 식에서 K는 타이어 반경방향 荷重과 變形量의 關係에서 구하고, 댐핑減衰率(ξ)은 그림 6과 같은 實驗裝置를 製作하여 對數減衰方法(logarithmic decrement)에 의하여 推定하였다. 그림에서와 같이 바퀴를 프레임에 固定시키고 타이어에 質量 m을 갖

는 철편을 接着劑로 固定시킨 다음 任意로 힘(F)을 가하여 철편이 自由振動을 하도록 하고 이의 運動變位를 測定하였다.

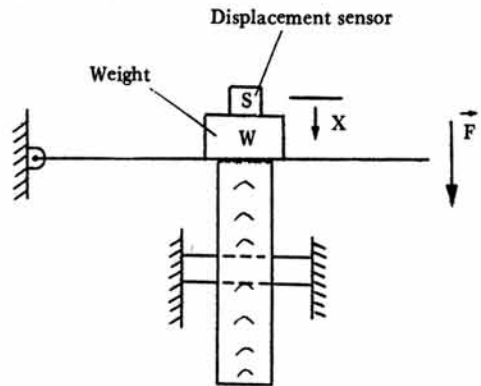


Fig. 6. Apparatus for determining damping ratio of tire.

3. 運動모델 檢證

가. 檢證 方法

動力耕耘機-트레일러 시스템의 數學的 運動모델의 檢證은 動力耕耘機 模型을 製作하여 이 模型의 實際의 運動과 數學的 모델에 의하여 豫測한 運動을 比較하는 方法을 利用하였다. 動力耕耘機 模型이 製作路面 위를 走行하는 동안 連續攝影을 實施하여 本體의 質量中心의 움직이는 軌跡을 구하였다.

動力耕耘機 模型의 運動軌跡을 나타내기 위하여 走行하는 模型의 뒷면에 바둑판 무늬가 그려진 畫面을 設置하고, 走行表面에도 바둑판 무늬를 表示하여 動力耕耘機 模型의 連續인 動作을 앞면 및 뒷면에서 촬영하였다. 動力耕耘機 模型이 走行하는 동안에 바둑판 무늬의 畫面에 投影된 質量中心의 位置를 寫眞分析을 통하여 구하고 時間變化에 따른 運動軌跡을 컴퓨터 시뮬레이션 結果와 比較하였다.

走行試驗은 走行表面의 傾斜度, 障礙物의 크기와 같은 路面條件과 핸들 作用力의 有無, 走行速度 等의 運轉條件을 變化시켜 9가지의 境遇에 대하여 實施하였으며 이에 대한 具體的 內容은 表1과 같다.

나. 컴퓨터 시뮬레이션

走行試驗을 實施한 9가지 境遇에 대한 運動을 豫

Table 1. Conditions for testing the motion characteristics of model power tiller-trailer system.

Item	Roll angle (deg)	Pitch angle (deg)	Yaw angle (deg)	Height of obstacle (cm)	Initial velocity of main body (cm/s)	Handle force
Straight travel on horizontal plane	0	0	0	0	13	Not applied
	0	0	0	2	13	
Turning on horizontal plane	0	0	0	0	13	applied
Crossing inclined plane	12	0	0	0	13	Not applied
	-16	0	0	2	13	
Ascending on inclined plane	0	12	0	0	8.7	Not applied
	8.5	8.5	-45	0	13	
Descending on inclined plane	0	-12	0	0	13	Not applied
	-8.5	-8.5	-45	0	13	

測하기 위하여 數學的 運動모델을 利用하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 運動모델에 包含된 各種 常數와, 運動의 初期條件, 路面條件, 시뮬레이션 遂行條件이 入力되어야 한다.

1) 運動모델 常數

運動모델에 適用된 常數로서는 本體, 바퀴 및 트레일러에 關한 主要 諸元과 타이어의 常數 및 타이어-地表面 사이의 關係式等을 包含하고 있다.

이들의 값은 대부분 2章에서 記述한 實測資料를 入力하였으며 모우터 回轉速度와 토오크와의 關係는 製作會社에서 提示한 諸元表의 資料를 入力하였다. 바퀴의 牽引係數는 實測하지 않고 文獻資料에 의하여 $C_t = 0.6(1 - e^{-12.0 \text{ slip}})$ 의 식을 入力하였다.

2) 運動의 初期條件 및 運轉條件

運動 初期條件으로서는 動力耕耘機 模型의 本體, 左右 바퀴 및 트레일러의 初期運動速度와 變位가 있으며 이들은 모두 READ文을 통하여 入力하였다.

本體의 初期 竝進運動速度와 變位는 本體固定座標系上에서 表現된 값을 入力하였다. 本體 質量中心點의 速度는 스텝모우터의 回轉速度로부터 計算

된 값을 入力하였다. 運動變位를 表現하기 위한 空間固定座標系는 시뮬레이션을 始作한 初期에 本體固定座標系의 B₃축과 地表面이 만나는 점을 原點으로 하여 座標系를 設定하였다.

本體의 初期 角運動速度는 本體固定座標系, 角運動變位는 空間固定座標系에서의 값을 入力하였다. 角運動變位는 走行表面의 傾斜度와 本體의 竝進運動方向에 의하여 決定된다.

左右 바퀴와 트레일러의 相對的 角速度와 變位는 本體에 대한 값이다.

3) 路面條件 및 시뮬레이션 遂行條件

走行表面의 傾斜度 및 障礙物의 形狀 등의 路面條件은 READ文을 통하여 入力하였다.

시뮬레이션 遂行條件은 시뮬레이션 終了時間, 運動分析 時間間隔 및 出力時期 等으로서 READ文을 利用하여 入力하였다.

다. 運動모델 檢證 結果 및 考察

9 가지의 運動條件에서 動力耕耘機 模型의 運動을 3次元 空間上에서 시뮬레이션한 豫測值와 實測值를 比較·分析하였다.

1) 平地 直進走行

平地에서의 直進走行은 障礙物이 있는 境遇와 없는 境遇에 대하여 實施하였다. 直進走行은 핸들에 힘을 가하지 않고 양쪽 바퀴를 同一한 速度로 回轉시켜 走行하도록 하였다.

그림 7은 障礙物이 없는 平地에서 直進 走行하는 境遇에 運動軌跡을 나타낸 것으로 시뮬레이션에 의한 豫測値는 實測値와 잘 一致한 것으로 나타났다.

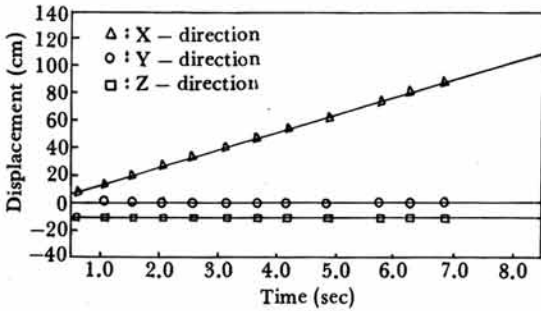


Fig. 7. Comparison of simulation and experimental paths of mass center of power tiller while travelling straight on the level ground.

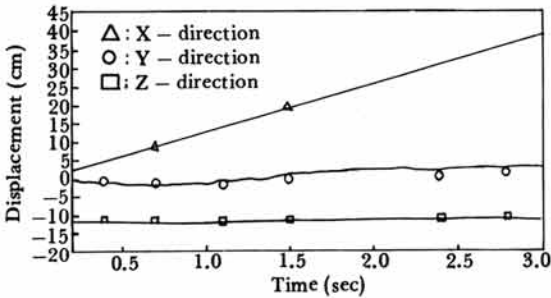


Fig. 8. Comparison of simulation and experimental paths of mass center of power tiller as the one tire encounters the 2 cm ramp when traveling across the level ground.

그림 8은 平地에서 2cm의 障礙物을 通過하는 境遇에 運動軌跡의 豫測値와 實測値를 나타내주고 있으며 이 境遇에도 豫測値와 實測値는 대체적으로 一致한 것으로 나타났다.

시뮬레이션 結果로 出力되는 X軸方向(진행방향) 走行速度는 平地區間에서는 12.8cm/sec로 나타나 거의 的 滑り가 發生하지 않았으며, 한쪽 바퀴가 障礙物의 傾斜面을 올라갈 때에는 11.9cm/sec의 速度로 減少하다가 障礙物의 傾斜面을 내려갈 때에는 13.3cm/sec의 速度로 增加되는 現象을 보였다.

2) 平面 旋回走行

그림 9는 Y軸 方向의 變位를 가로축, X軸 方向의 變位를 세로축으로 하여 運動軌跡을 구하였다. 시뮬레이션 經過時間 1.8sec까지의 豫測値는 實測値와 대체로 一致하였으나 그 以後에는 약간의 差異가 나타났다.

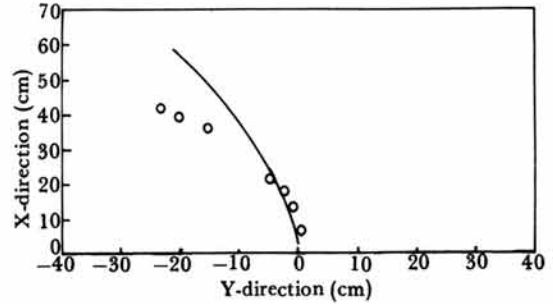


Fig. 9. Comparison of simulation and experimental paths of mass center of power tiller while turning by handle force on the level ground.

3) 傾斜地 等高線 方向 走行

傾斜地에서 等高線 方向의 走行은 障礙物이 있는 境遇에 대하여 各各 實施하였다.

그림 10은 障礙物이 없는 境遇의 運動軌跡에 대한 시뮬레이션 結果와 實測値를 나타내는 것으로서 서로 대체적으로 一致하고 있다. Y軸 方向의 變位가 점차 增加하는 것은 動力耕耘機가 傾斜度의 影響을 받아 조금씩 아래 쪽으로 미끄러지면서 走行하는 것으로 判斷된다. 實測値보다 시뮬레이션에 대한 豫測値가 약간 더 미끄러지는 現象을 나타내었다.

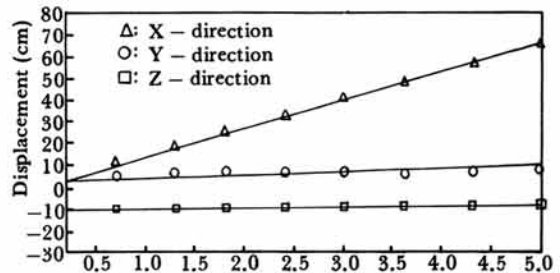


Fig. 10. Comparison of simulation and experimental paths of mass center of power tiller while traveling across the 12° inclined ground.

그림 11은 障礙物 높이가 2cm인 境遇의 시뮬레이션 結果와 實測値를 나타낸 것으로서 서로 거의

一致하고 있다.

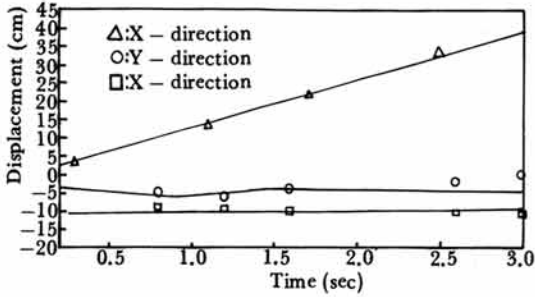


Fig. 11. Comparison of simulation and experimental paths of mass center of power tiller as the one tire encounters the 2 cm ramp when traveling across the 16° inclined ground.

4) 傾斜地 上向走行

傾斜地 上向走行은 前後方 傾斜度가 12°인 傾斜地를 正面으로 올라가는 境遇와 ($\varphi=0^\circ, \theta=12^\circ, \psi=0^\circ$), 45° 方向으로 올라가는 境遇에 ($\varphi=8.5^\circ, \theta=8.5^\circ, \psi=-45^\circ$) 대하여 實施하였다

그림 12는 傾斜地를 正面으로 올라가는 境遇에 대한 시뮬레이션 結果와 實測值을 나타낸 것이다. X 軸 方向의 運動軌跡은 豫測值과 實測值 사이에 약간의 差異를 보이고 있다. 이와 같이 시뮬레이션 모델에 의한 X 軸 方向의 運動變位가 初期에 實測值보다 적게 나타난 것은 動力耕耘機가 安定된 運動을 始作하기까지 自重에 의한 힘이 傾斜度 아래쪽으로 作用하여 순간적으로 뒷쪽으로 슬립이 發生한 것으로 判斷된다.

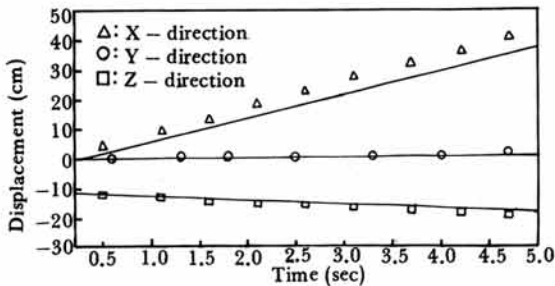


Fig. 12. Comparison of simulation and experimental paths of mass center of power tiller while traveling straight up the 12° inclined ground.

그림 13은 12° 傾斜地를 45° 方向으로 上向走行하는 境遇에 대한 運動變位軌跡을 나타낸 것이다.

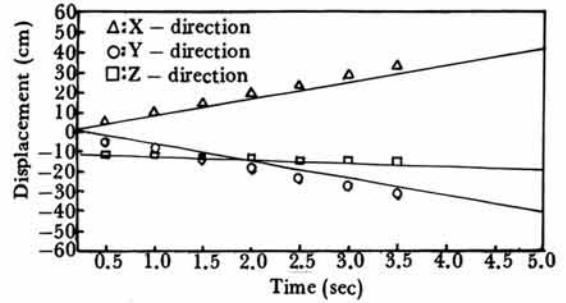


Fig. 13. Comparison of simulation and experimental paths of mass center of power tiller while traveling straight with angles of $\psi = 8.5^\circ, \theta = 8.5^\circ$ and $\psi = -45^\circ$.

이 境遇에도 X, Y 軸 方向의 運動軌跡이 豫測值과 實測值 사이에 약간의 差異를 보였다.

5) 傾斜地 下向走行

傾斜地 下向走行은 傾斜度가 12°인 傾斜地를 正面으로 내려가는 境遇와 ($\varphi=0^\circ, \theta=-12^\circ, \psi=0^\circ$), 45° 方向으로 내려가는 境遇에 ($\varphi=-8.5^\circ, \theta=-8.5^\circ, \psi=-45^\circ$) 대하여 實施하였다. 그림 14는 傾斜面을

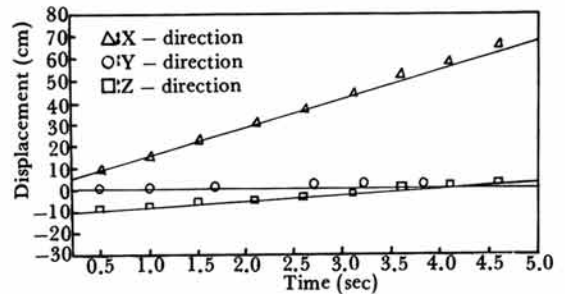


Fig. 14. Simulation and experimental paths of mass center of power tiller while traveling straight down the 12° inclined ground.

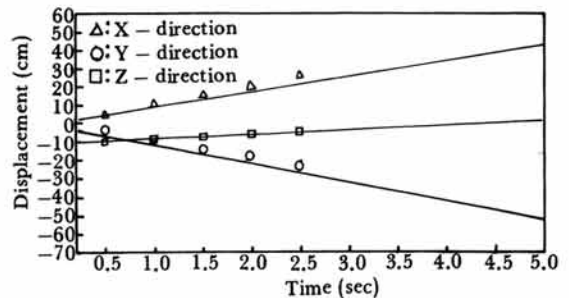


Fig. 15. Comparison of simulation and experimental paths of mass center of power tiller while traveling straight with angles of $\phi = -8.5^\circ, \theta = -8.5^\circ$ and $\psi = -45^\circ$.

正面으로 내려가는境遇, 그림 傾斜面을 45°方向으로 내려가는境遇에 대한 運動變位軌跡을 나타내었다. 이境遇의 시뮬레이션에 의한 豫測値는 實測値와 대체로 一致하는 것으로 나타났다.

4. 要約 및 結論

運動모델의 妥當性을 檢證하기 위하여 動力耕耘機-트레일러 시스템을 약 1/8로 縮小한 模型을 製作하였다. 動力耕耘機 模型에 대한 여러 가지 運動 모델 常數를 實驗的으로 測定하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 運動모델에 包含된 主要 常數는 動力耕耘機 트레일러 시스템을 4개로 分離한 各部分의 寸數, 質量, 質量中心 및 質量관성모멘트, 타이어의 스프링常數 및 댐핑係數, 타이어-地表面사이의 車輪係數 등이 있다.

運動모델의 檢證은 路面條件과 運轉條件을 變化시킨 9가지境遇에 대하여 模型의 走行試驗을 實施하고 이 結果를 運動모델에서 豫測한 값과 比較하는 方法에 의하여 遂行하였다. 動力耕耘機 模型이 走行路面 위에서 走行하는 動作을 連續的으로 촬영하여 本體 中心의 運動軌跡을 구하고 이를 컴퓨터 시뮬레이션 結果와 比較하였다.

運動모델에 의하여 豫測된 結果와 實測한 값이 대체로 一致한 것으로 나타나 運動모델의 妥當性이 立證되었다. 그러나 旋回走行時의 豫測 結果가 實測 값과 약간의 差異를 보이고 있었다.

運動狀態 豫測의 正確度를 높이기 위해서는 運動 모델에 包含된 常數의 正確한 값을 구하고 또한 分析의 單純化를 위하여 設定한 假定들을 實際에 符合되도록 改善해야 한다. 또한 一般 土壤에서도 이 運動모델을 適用하기 위해서는 走行路面의 物理的 特性을 考慮한 타이어 接地모델이 開發되어야 한다.

앞으로 實際의 動力耕耘機-트레일러 시스템이 갖는 運動特性常數를 實驗的으로 구하여 實際의인 路面條件에서 運動모델을 시뮬레이션함으로써 動力耕耘機의 構造의 改善과 安全 運行에 필요한 具體的 資料를 얻는 研究가 持續되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. 鄭昌柱, 柳寬熙. 1986. 動力耕耘機 安定性 向上

을 위한 走行 및 旋回 特性에 關한 力學的 分析. 農事試驗研究論文集(農業産學協同編). 農村振興廳. p.435-447.

2. 朴金柱. 1988. 動力耕耘機-트레일러 시스템의 運動모델 開發. 서울大學校 博士學位 論文.
3. 伊藤信孝, 増田正三. 1970. 農用車輪의 ころがり 抵抗(第1報). 日本農業機械學會誌 32(1):10-15.
4. Chisholm, C.J. 1979. Experimental validation of a tractor overturning simulation. J. Agric. Engng Res. 24:395-415.
5. Chisholm, C.J. 1979. Analysis of rigid-body motion from cine film measurements. J. Agric. Engng Res. 24:401-446.
6. Davis, D.C. and G.E. Rehkugler. 1974. Agricultural wheel tractor overturns, Part II: mathematical model verification by scale model study. Transactions of the ASAE. 17(3):484-402.
7. Goering, C.E., S.J. Marley, J.A. Koch and R.L. Parish. 1968. Determining the mass moment of inertia of a tractor using floor suspension. Transactions of the ASAE 11(3):416-418.
8. Rehkugler, G.E. 1982. Tractor steering dynamics-simulated and measured. Transactions of the ASAE 25(6):1512-1515.
9. Rehkugler, G.E. 1980. Simulation of articulated steer four-wheel drive agricultural tractor motion and overturns. Transactions of the ASAE 23(1):2-8.
10. Schwanghart, H. 1968. Lateral forces on steered tyres in loose soil. Journal of Terramechanics 5(1):9-29.
11. Steinbruegge, G.W. 1969. Improved methods of locating centers of gravity. Transactions of the ASAE 12(5):681-684.