

動力耕耘機의 傾斜地 牽引 및 走行 特性에 關한 연구(第一報)

— 動力耕耘機-트레일系の 히치點에 作用하는 衝擊力 —

Study on the Running and Drafting Characteristics of the Two-wheel Tractor on the General Slope Land

—The Impact Loads on the Hitch Point of the Tiller-Trailer System—

宋 鉉 甲*, 鄭 昌 柱**
Song, Hyun Kap Chung, Chang Joo

Summary

Transporting agricultural products and the other material by the two-wheel-tractor (power-tiller) and trailer system may be one of its most widely used farming functions. The safety and hitching load for all the prevailing performing conditions may be the general concern over the operation of the tiller-trailer system.

In this study, a mathematical model to determine the static and dynamic forces exerting on the hitch point were developed. Based on the analysis of the model and the field measurements, the limiting hitching load and critical slope were analyzed. The results of the study are summarized as follows;

1) The limit angle of slope land for the safety steering that two-wheel tractor-single axle trailer system was able to transport agricultural products was the direct angle (γ)=8; the cross angle(β) 15; and it was decreased in accordance with the increase of carrying load (W_4).

2) The critical velocity for safe operation in case of running on downward hill road was about 1.08m/sec.

3) The limiting carrying load for the safe steering was $W_4=600$ kg.

The degree of the safe steering for different braking methods was given in order as follows; Simultaneous braking the tractor and trailer, braking the trailer only, and braking tractor only.

4) Among the three components of impact loads exerting on the hitch point, the component in the lateral direction (P_{Vy}) was near zero in spite of increase of hitching load (W_4), while the components in the other two mutually perpendicular directi-

* 忠北大學 農工學科

** 서울大學校 農科大學 農工學科

ons(P_{V_x} and P_{V_z}) had larger values in horizontal plane than those in the slope lands.

5) Moment of forces on the lateral direction(M_y) had the largest value among the three components of impact moment acting on the hitch point, however all the components were sharply increased in accordance with the increase of hitching loads (W_4), Three components of the moment were the negative values.

1. 序 論

動力 耕耘機(two-wheel tractor)의 年間利用 時間中 運搬作業에 使用되는 時間比率는 全作業時間의 42.5percent를 차지하고 있는바⁽⁶⁾, 이는 動力耕耘機를 主軸으로 하는 우리나라 農業機械化에 있어서 二輪트랙터-트레일러系(two-wheel tractor trailer system)가 現實적으로 얼마나 重要な 位置를 점하고 있는가를 示現한 것이라고 하겠다. 이와 같은 運搬作業機의 能力과 여러가지 要因에 依하여 發生할 수 있는 위험性を 動的荷重의 均衡面에서 分析하여 全體 system의 安定과 연결부분의 衝擊力을 究明하는 일은 利用上의 安全性과 效率性を 높이는 데 極히 重要하다고 할 것이다.

더욱이 傾斜地開墾 周邊 農路에서는 機體가 여러 方向으로 기울어진 狀態에서 運搬作業을 하게되므로 運搬能力과 危險성이 더 많은 要因에 依하여 지배 될 것으로 생각된다.

G.Gilfillan⁽¹⁾은 傾斜地에서 農用트랙터가 走行할 때 일어나는 荷重平衡을 幾何學의 方法으로 解析하였고, R.Sagi⁽²⁾, A.Rocotch, D.Wolf는 一方向傾斜地地面을 走行하는 트랙터-트레일러系을 制動하는 경우 트랙터의 드로우바에 發生하는 最大動荷重을 決定하는 數式을 誘導하였다. 본 研究에서는 트랙-트레일러系와는 힘의 平衡條件이 다른 二輪트랙터 트레일러系가 一般傾斜(二方向傾斜) 面에서 運搬作業中 制動하는 경우 積載荷重, 地面傾斜角, 制動하는 方法이 hitch점 部位에 發生하는 衝擊力에 주는 影響을 豫測할 수 있는 模型을 開發하고 이 模型을 通하여 動力경운기-트레일러系의 安全한 運搬條件과 能力限界를 제시하는데 있었다.

2. 理論解析

二輪트랙터-트레일러系의 hitch 點 部位에 發生하는 最大動荷重을 決定하는 要因은 路面條件, 系의

幾何的 條件, 運動力學的 조건, 혹은 制動하는 方法등이라 할 수 있다. 이와같은 要因을 고려하여 座標 변환법과 vector 해석에 依한 힘의 平衡條件으로 hitch點에 作用하는 動的荷重에 關한 一般式을 유도 하였다.

가. 一般傾斜地地面의 設定

二輪트랙터-트레일러 를 基準으로 前後 傾斜角을 γ , 左右 傾斜角을 β 로 하여 γ 혹은 β 만을 갖는 경사면을 一方向 경사地面이라 하고 γ 와 β 를 同時に 갖는 경사면을 一般傾斜地面 혹은 二方向傾斜地面으로 한다. 正의 γ 각을 갖는 경우를 上向傾斜面, 負의 각을 갖는 경우를 下向傾斜面으로 하였다.

나. 一般傾斜地地面上에 놓인 荷重의 分力

앞에서 設定한 一般傾斜地地面에 놓인 任意荷重 W_4 가 이경사면에 주는 各方向分力을 分析하기 위하여 Fig.(1)와 같이 水平面上에 놓인 二輪트랙터-트레일러系의 前後方向을 X 軸 그에 直角한 橫方向을 Y 軸으로 하고 XY 平面에 垂直인 方向을 Z 軸으로 定하였다. XY 平面에 荷重을 놓고 Y 軸을 回轉軸으로

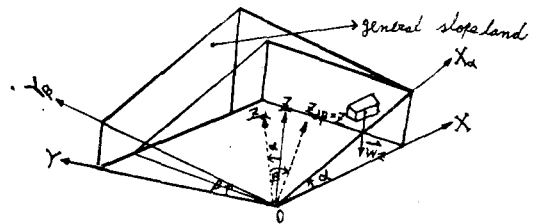


Fig. 1. Coordinate system for the general slope-land established for this study

하여 이 平面을 γ 角으로 回轉하고 다시 X_r 軸을 回轉軸으로 하여 $X_r Y$ 平面을 β 각 만큼 回轉하면 結局 荷重은 Fig.(1)와 같이 $X_r Y \beta$ 인 二方向 傾斜面에 놓이게 된다. 이 과정을 座標變換法으로 解析하기로 한다.

1) 座標變換法에 依한 荷重 向量 \vec{W} 의 各方向 分力 解析

Fig.(1)에서 보는바와 같이 XYZ 를 基準座標系로 하여 二方向 傾斜를 이루고 있는 $X_r Y \beta Z_{r\beta}$ 座標系 까지 二段階로 座標를 變換하여 이 最終座標系에 놓이게 될 荷重 向量 \vec{W} 의 各方向 分力を 解析코자 한다.

① XYZ 좌표계에서 $X_r Y Z_r$ 좌표계로 一段階 좌표 변환 :

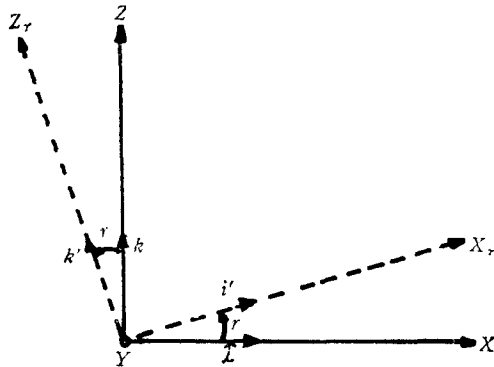


Fig. 1. - (a) Rectangular Coordinate system Rotated by angle γ about Y axis

Fig. 1. - (a)와 같이 Y 軸을 中心軸으로 X, Z 軸을 γ 角만큼 回轉하여 一段階座標變換을 하기 爲하여 i, j, k 를 X, Y, Z 軸에 對한 單位 向量으로 하고 i', j', k' 를 X_r, Z_r 軸에 對한 單位 向量으로 하면 이들 座標系에 對한 \vec{W} 向量의 各方向 分力은 다음과 같은 式으로 表示된다.

$$\vec{W} = W_{X_r} i' + W_Y j + W_{Z_r} k' = W_X i + W_Y j + W_Z k \dots \text{A}$$

A式에 i', j', k' 를 dot product하면 W_{X_r}, W_Y, W_{Z_r} 에 대한 다음과 같은 式을 얻는다.

$$\left. \begin{aligned} W_{X_r} &= W_X i \cdot i' + W_Y j \cdot i' + W_Z k \cdot i' \\ W_Y &= W_X i \cdot j + W_Y j \cdot j + W_Z k \cdot j \\ W_{Z_r} &= W_X i \cdot k' + W_Y j \cdot k' + W_Z k \cdot k' \end{aligned} \right\} \dots \text{B}$$

B式을 行列式으로 表示하면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} W_{X_r} \\ W_Y \\ W_{Z_r} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} i \cdot i' & j \cdot i' & k \cdot i' \\ i \cdot j & j \cdot j & k \cdot j \\ i \cdot k' & j \cdot k' & k \cdot k' \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} W_X \\ W_Y \\ W_Z \end{Bmatrix} \dots \text{C}$$

C式의 單位 向量의 dot products로 表示되어 있는 座標變換媒介行列(transfer matrix)을 方向餘弦으로 表示하면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} W_{X_r} \\ W_Y \\ W_{Z_r} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} W_X \\ W_Y \\ W_Z \end{Bmatrix} \dots \text{D}$$

② $X_r Y Z_r$ 좌표계에서 $X_r Y \beta Z_{r\beta}$ 좌표계로 二段階座標變換 :

Fig. 1-(b)와 같이 X_r 軸을 中心軸으로 Y, Z_r 軸을 β 角만큼 回轉하여 二段階座標變換을 하기 爲

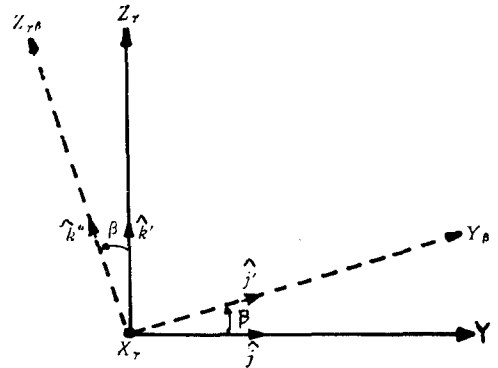


Fig. 1-(b) Rectangular coordinate system rotated by angle β about X_r axis

하여 i', j', k' 를 $X_r, Y \beta, Z_{r\beta}$ 軸에 對한 單位 向量으로 하고 一段階座標變換에서와 같은 方法으로 $X_r Y Z_r$ 座標系에서 $X_r Y \beta Z_{r\beta}$ 座標系로 變換하면 荷重 向量 \vec{W} 의 各方向 分力은 다음과 같은 行列式으로 表示된다.

$$\begin{Bmatrix} W_{X_r} \\ W_{Y \beta} \\ W_{Z_{r\beta}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} i' \cdot i' & j \cdot i' & k' \cdot i' \\ i' \cdot j' & i \cdot j' & k' \cdot j' \\ i' \cdot k'' & j \cdot k'' & k' \cdot k'' \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} W_{X_r} \\ W_Y \\ W_{Z_r} \end{Bmatrix} \dots \text{E}$$

E式에 單位 向量의 dot products로 表示되어 있는 二段階座標變換媒介行列(second transfer matrix)을 方向餘弦으로 表示하면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} W_{X_r} \\ W_{Y \beta} \\ W_{Z_{r\beta}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} W_{X_r} \\ W_Y \\ W_{Z_r} \end{Bmatrix} \dots \text{F}$$

F式에 E式을 代入하면 XYZ 기준 좌표계에서 $X_r Y \beta Z_{r\beta}$ 最終좌표계의 變換이 完成되며 다음式으로 表示된다.

$$\begin{Bmatrix} W_{X_r} \\ W_{Y \beta} \\ W_{Z_{r\beta}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} W_X \\ W_Y \\ W_Z \end{Bmatrix} \dots \text{G}$$

G式에 있는 두 座標變換媒介行列을 곱하면 다음

式을 얻는다.

$$\begin{Bmatrix} W_{X\gamma} \\ W_{Y\beta} \\ W_{Z\gamma\beta} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos\gamma & 0 & \sin\gamma \\ -\sin\beta \sin\gamma & \cos\gamma & \sin\beta \cos\gamma \\ -\cos\beta \sin\gamma & -\sin\beta & \cos\beta \cos\gamma \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} W_X \\ W_Y \\ W_Z \end{Bmatrix} \quad \text{⑧}$$

XYZ基準座標系에서 荷重 W 는 Z軸의 負方向 수직분력 $-W_Z$ 값만을 가지므로 $W_X=W_Y=0$ 임을 考慮하여 式⑧는 다음式으로 된다.

$$\begin{Bmatrix} W_{X\gamma} \\ W_{Y\beta} \\ W_{Z\gamma\beta} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos\gamma & 0 & \sin\gamma \\ -\sin\gamma \sin\beta & \cos\gamma & \cos\gamma \sin\beta \\ -\cos\beta \sin\gamma & -\sin\beta & \cos\beta \cos\gamma \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -W_Z \end{Bmatrix} \quad \text{⑧'}$$

最終座標系 $X_\gamma Y_\beta Z_{\gamma\beta}$ 에 놓인 荷重 벡터의 各分力은 ⑧'式으로부터 다음과 같이 정리된다.

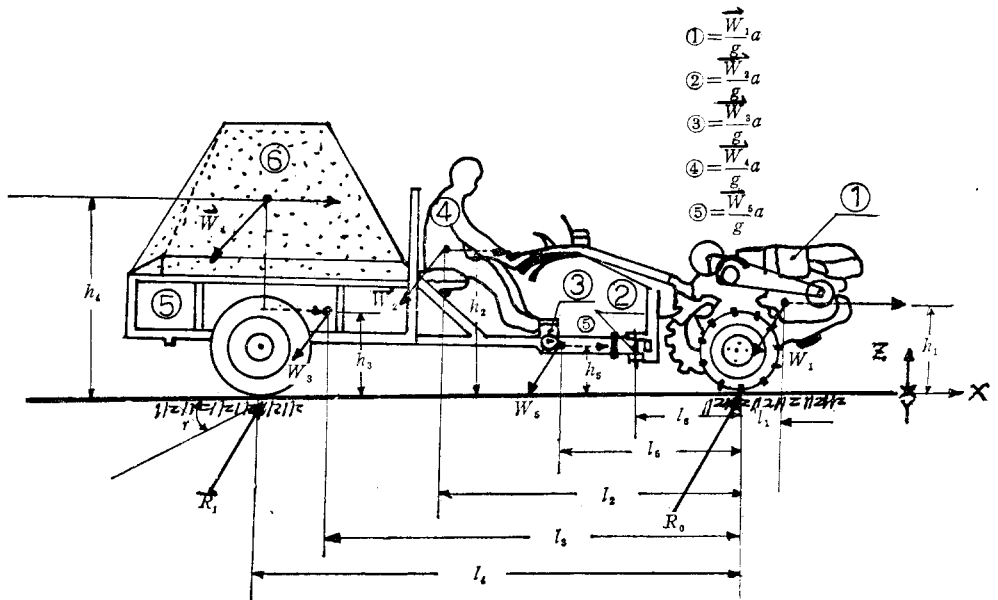
$$\left. \begin{aligned} W_{X\gamma} &= -W_Z \sin\gamma \\ W_{Y\beta} &= -W_Z \cos\gamma \sin\beta \\ W_{Z\gamma\beta} &= -W_Z \cos\gamma \cos\beta \end{aligned} \right\} \text{①}$$

一般傾斜面에 놓인 荷重 벡터 \vec{W} 를 各方向分力項으로 表示하면 ①式에 依하여 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \vec{W} &= \vec{W}_{X\gamma} + \vec{W}_{Y\beta} + \vec{W}_{Z\gamma\beta} \\ \therefore \vec{W} &= -W_Z (\hat{i} \sin\gamma + \hat{j} \cos\gamma \sin\beta + \hat{k} \cos\gamma \cos\beta) \quad \text{②} \end{aligned}$$

다. Hitch Point에 作用하는 衝擊力 分析

動力경운기-트레일러系의 各車輪이 不等沈下없이 二方向傾斜로된 直線農路에서 運搬作業中 制動하는 경우 動力경운기에 트레일러를 연결하는 hitch點에 作用하는 衝擊力을 分析하기 爲하여 諸荷重 및 反力과 制動時의 減速에 依한 慣性力을 Fig. (2)와 같이 表示할 수 있다.



- ① two-wheel tractor
- ② hitch-pin
- ③ gauge system
- ④ driver
- ⑤ trailer
- ⑥ carrying load

Fig. 2. The tow-wheel tractor-single axle trailer system on the slope land and all forces acting on it at braking instant.

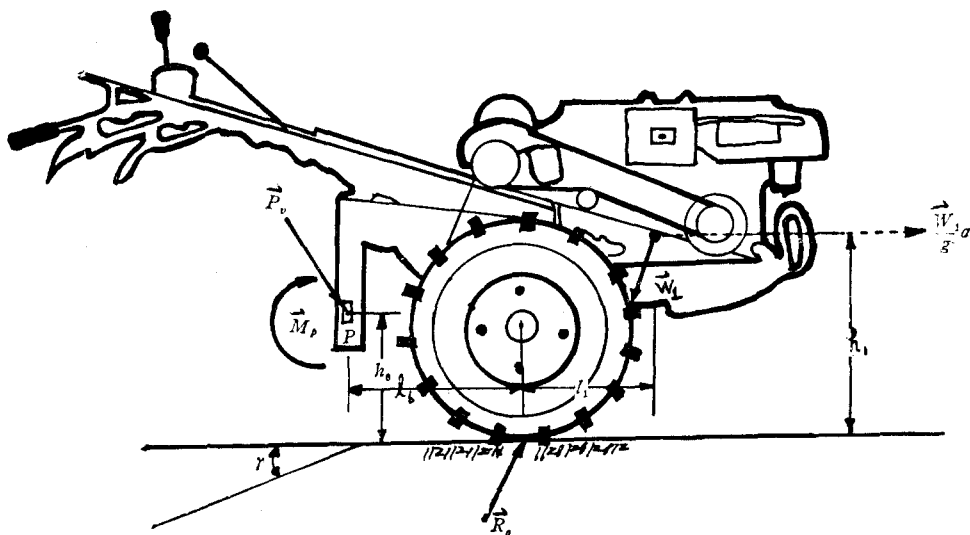


Fig. 3. Free-body diagram of two-wheel tractor on slope land at broking instant

Key to symbols

- γ : angle of direct slope (degree).
 β : angle of cross slope (degree).
 W_1 : weight of two-wheel tractor (kg).
 W_2 : weight of driver (kg).
 W_3 : weight of trailer (kg).
 W_4 : weight of carrying load (kg).
 W_0 : weight of gauge system (kg).
 l_1 : horizontal distance between the tractor axis and its center of gravity (m).
 l_2 : horizontal distance between the tractor axis and center of gravity of driver (m).
 l_3 : horizontal distance between the tractor axis and center of gravity of trailer (m).
 l_4 : horizontal distance between the tractor axis and center of gravity of the carrying load or the trailer axis (m).
 l_5 : horizontal distance between the tractor axis and center of gravity of gauge system (m).
 l_6 : horizontal distance between the tractor axis and hitch point (m).
 h_1 : vertical distance from land to the center of gravity of tractor(m).
 h_2 : vertical distance from land to the center of gravity of driver (m).
 h_3 : vertical distance from land to center of gravity of trailer(m).
 h_4 : vertical distance from land to center of gravity of carrying load(m).
 h_0 : vertical distance from land to center of gravity of gauge system (m).
 R_{1st} : resultant force acting on the trailer wheel on horizontal land in static balance.
 R_{0st} : resultant force acting on the tractor wheel on horizontal land in static balance.
 R_1 : resultant force acting on the trailer wheels in general condition (kg).
 R_0 : resultant force acting on the tractor wheels in general condition (kg).
 R_{1xyz} : x, y, z, compoment of R_1 (kg).
 R_{0xyz} : x, y, z, compoment of R_0 (kg).
 X_γ : x axis after rotation of the axis through the angle of γ (degree).
 Y_β : y axis after rotation of the axis the angle of β (degree).
 Z_γ : Z axis after rotation of the axis through the angle of γ (degree).

$Z_{\alpha\beta}$: Z axis after rotation of the axis through the angle of $\gamma\beta$ (degree).

T_γ : transfer matrix in γ .

T_β : transfer matrix in β .

W_z : Z component of a load (kg).

$W_{z\gamma}$: $Z\gamma$ component of a load (kg).

$W_{x\gamma}$: $X\gamma$ component of a load (kg).

$W_{y\beta}$: $y\beta$ component of a load (kg).

$W_{z\gamma\beta}$: $Z\gamma\beta$ component of a load (kg).

M_p : impact bending moment acting on hitch point (kg-m).

M_{pxyz} : x, y, z component of M_p (kg-m).

P_{V_i} : resultant impact force acting on the hitch point (kg).

P_{Vxyz} : x, y, z component of P_{V_i} (kg).

a_{01} : braking deceleration in case of braking tractor and trailer respectively (m/sec²).

a^2 : braking deceleration in case of braking tractor and trailer simultaneously (m/sec²).

a_3 : braking deceleration on horizontal plane (m/sec²).

$a_{\uparrow\downarrow}$: braking deceleration on up and down hill road (m/sec²).

$P_{V_{x1}}$: x component of P_{V_i} in case of braking the tractor only (kg).

P_{V_x} : x component of P_{V_i} in case of braking the trailer only (kg).

$S_{\uparrow\downarrow}$: braking distance on up and down hill road (m).

1) 一般傾斜地面上에서의 車輪反力

① 트레일러 車輪反力を 求하기 爲하여 Fig. (2)에 의한 平衡式을 세우면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & -l_1\hat{i} \times \vec{R}_1 + (l_1\hat{i} + h_1\hat{k}) \times \vec{W}_1 + (-l_2\hat{i} + h_2\hat{k}) \\ & + \vec{W}_2(-l_3\hat{i} + h_3\hat{k}) \times \vec{W}_3 + (-l_4\hat{i} + h_4\hat{k}) \\ & + \vec{W}_4(-l_5\hat{i} + h_5\hat{k}) \times \vec{W}_5 + \frac{a}{g} \{(l_1\hat{i} + h_1\hat{k})\} \\ & + W_1\hat{i}(-l_2\hat{i} + h_2\hat{k}) \times W_2\hat{i} + (-l_5\hat{i} + h_5\hat{k}) \\ & + W_3\hat{i}(-l_4\hat{i} + h_4\hat{k}) \times W_4\hat{i} + (-l_5\hat{i} + h_5\hat{k}) \times W_5\hat{i} \} = 0 \quad \text{②} \end{aligned}$$

式 ②로 부터

$$R_{1z} = \frac{\cos\gamma\cos\beta}{l_4} \left(\sum_{i=2}^5 l_i W_i - l_1 W_1 \right) - \left(-\frac{\sin\gamma}{l_4} + \frac{a}{gl_4} \right) \sum_{i=1}^5 h_i W_i \dots\dots\dots \text{①}$$

$$R_{1y} = \frac{\cos\gamma\sin\beta}{l_4} \left(\sum_{i=2}^5 l_i W_i - l_1 W_1 \right) \dots\dots\dots \text{②}$$

$$R_x = R_{1x} = - \left(-\sin\gamma + \frac{a}{g} \right) \sum_{i=1}^5 W_i \dots\dots\dots \text{③}$$

$$\left. \begin{aligned} \vec{R}_1 &= R_{1x}\hat{i} + R_{1y}\hat{j} + R_{1z}\hat{k} \\ R_1 &= \sqrt{R_{1x}^2 + R_{1y}^2 + R_{1z}^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{④}$$

윗식의 各項을 간단히 整理하면 水平面에서 靜止하고 있을때의 트레일러 바퀴에서의 反力은

$$R_{1st} = \frac{1}{l_4} \left(\sum_{i=2}^5 l_i W_i - l_1 W_1 \right)$$

이고 또 같은 條件에서 트레일러 車輪의 反力은

$$\text{Rost} = \sum_{i=1}^5 W_i - \frac{1}{l_4} \left(\sum_{i=2}^5 l_i W_i - l_1 W_1 \right)$$

이며 그스의 總重量은 $T_w = \sum_{i=1}^5 W_i$

이다. 지금 $I = (-\sin\gamma + \frac{a}{g})$

$$M = \sum_{i=1}^5 h_i W_i$$

$$H_1 = (h_1 - h_5) W_1$$

$$L = (l_1 + l_5) W_1$$

로 놓으면 ①, ②, ③式은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} R_{1z} &= R_{1st} \cos\gamma\cos\beta - \frac{I \cdot M}{l_4} \dots\dots\dots \text{①}' \\ R_{1y} &= R_{1st} \cos\gamma\sin\beta \dots\dots\dots \text{②}' \\ R_{1x} &= -I \cdot T_w \dots\dots\dots \text{③}' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{(I)}$$

② 動力경운기 車輪反力

$$\vec{R}_0 + \vec{R}_1 = \sum_{i=1}^5 \vec{W}_i \dots\dots\dots \text{⑥}$$

⑥式에 ①式과 ④式을 代入하여 R_0 에 關하여 整理하면 다음과 같다.

$$\vec{R}_0 = \sum_{i=1}^5 W_i (i\sin\gamma + j\cos\gamma\sin\beta + k\cos\gamma\cos\beta) - (\vec{R}_x + \vec{R}_{1y} + \vec{R}_{1z}) \dots\dots\dots \text{④}$$

④式에 ①, ②, ③式을 代入하여 整理하면

$$R_x = - \left(-\sin\gamma + \frac{a}{g} \right) \sum_{i=1}^5 W_i \dots\dots\dots \text{③}$$

$$R_{0y} = \cos\gamma\sin\beta \left(\sum_{i=1}^5 W_i \right) - \frac{\cos\gamma\sin\beta}{l_4} \left(\sum_{i=2}^5 l_i W_i - l_1 W_1 \right) \dots\dots\dots \text{⑤}$$

$$R_{0z} = \cos\gamma\cos\beta \left(\sum_{i=1}^5 W_i \right) - \frac{\cos\gamma\cos\beta}{l_4} \left(\sum_{i=2}^5 l_i W_i - l_1 W_1 \right) + \left(-\frac{\sin\gamma}{l_4} + \frac{a}{gl_4} \right) \sum_{i=1}^5 h_i W_i \dots\dots\dots \text{⑥}$$

$$\left. \begin{aligned} \vec{R}_0 &= \vec{R}_x + \vec{R}_{0y} + \vec{R}_{0z} \\ R_0 &= \sqrt{R_x^2 + R_{0y}^2 + R_{0z}^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{⑦}$$

③, ⑤, ⑥式을 간단히 整理하면

$$\left. \begin{aligned} R_x &= -I \cdot T_w \dots\dots\dots ③' \\ R_y &= R_{ost} \cos \gamma \sin \beta \dots\dots\dots ⑤' \\ R_{oz} &= R_{ost} \cos \gamma \cos \beta + \frac{I \cdot M}{l_4} \dots\dots\dots ⑥' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II)$$

2) 軋點에 作用하는 軋力멘트

Fig. (3)에 依한 平衡式을 세우면 다음과 같다.

$$\vec{M}_P + (l_6 \hat{i} - h_6 \hat{k}) \times \vec{R}_6 + \{(l_6 + l_1) \hat{i} + (h_1 - h_6) \hat{k}\} \times \vec{W}_1 + \{(l_6 + l_1) \hat{i} + (h_1 - h_6) \hat{k}\} \times \frac{a}{g} W_1 \hat{i} = 0 \dots\dots\dots ⑦$$

⑦式을 풀고 ①, ③, ⑤, ⑥式을 代入하여 整理하면 다음과 같다.

$$M_{Px} = h_6 \cos \gamma \sin \beta \left\{ \sum_{i=1}^6 W_i - \frac{1}{l_4} \left(\sum_{i=2}^6 l_i W_i - l_1 W_1 \right) \right\} + (h_1 - h_6) W_1 \cos \gamma \sin \beta \dots\dots\dots ⑧$$

$$M_{Py} = l_6 \cos \gamma \cos \beta \left\{ \sum_{i=1}^6 W_i - \frac{1}{l_4} \left(\sum_{i=2}^6 l_i W_i - l_1 W_1 \right) \right\} + \frac{l_6}{l_4} \left(-\sin \gamma + \frac{a}{g} \right) \sum_{i=1}^6 h_i W_i - h_6 \left(-\sin \gamma + \frac{a}{g} \right) \sum_{i=1}^6 W_i - (l_1 + l_6) W_1 \cos \gamma \cos \beta - (h_1 - h_6) \left(-\sin \gamma + \frac{a}{g} \right) W_1 \dots\dots\dots ⑨$$

$$M_{Pz} = -l_6 \cos \gamma \sin \beta \sum_{i=1}^6 W_i + \frac{l_6}{l_4} \cos \gamma \sin \beta \left\{ \sum_{i=2}^6 l_i W_i - l_1 W_1 \right\} + (l_1 + l_6) W_1 \cos \gamma \sin \beta \dots\dots\dots ⑩$$

$$\vec{M}_P = \vec{M}_{Px} + \vec{M}_{Py} + \vec{M}_{Pz} \text{ 또는 } M_P = \sqrt{M_{Px}^2 + M_{Py}^2 + M_{Pz}^2} \dots\dots\dots ⑪$$

⑧, ⑨, ⑩式을 간단히 整理하면

$$\left. \begin{aligned} M_{Px} &= (R_{ost} \cdot h_6 + H_1) \cos \gamma \sin \beta \dots\dots\dots ⑧' \\ M_{Py} &= (R_{ost} \cdot l_6 - L) \cos \gamma \cos \beta + I \left(\frac{l_6}{l_4} M - h_6 T_w - H_1 \right) \dots\dots\dots ⑨' \\ M_{Pz} &= (l_6 R_{1st} - l_6 T_w + L) \cos \gamma \sin \beta \dots\dots\dots ⑩' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (III)$$

3) 軋點에 作用하는 垂直水平的 3方向分力

軋點에 作用하는 x, y, z 三方向分力을 求하기 爲하여 平衡式을 세우면 다음과 같이 된다.

(Fig. (3)參照).

$$(h_6 \hat{k} - l_6 \hat{l}) \times \vec{P}_V + (h_1 \hat{k} + l_1 \hat{i}) \times \vec{W}_1 + (h_1 \hat{k} + l_1 \hat{i}) \times \frac{a}{g} W_1 \hat{i} + \vec{M}_P = 0 \dots\dots\dots ⑫$$

⑫式을 풀고 整理하면 다음式을 얻는다.

$$P_{Vx} = \left(-\sin \gamma + \frac{a}{g} \right) \left(\sum_{i=1}^6 W_i + W_1 \right) \dots\dots\dots ⑬$$

$$P_{Vy} = \cos \gamma \sin \beta \left\{ \sum_{i=1}^6 W_i - \frac{1}{l_4} \left(\sum_{i=2}^6 l_i W_i - l_1 W_1 \right) - W_1 \right\} \dots\dots\dots ⑭$$

$$P_{Vz} = \cos \gamma \cos \beta \left\{ \sum_{i=1}^6 W_i - \frac{1}{l_4} \left(\sum_{i=2}^6 l_i W_i - l_1 W_1 \right) - W_1 \right\} + \frac{1}{l_4} \left(-\sin \gamma + \frac{a}{g} \right) \sum_{i=1}^6 h_i W_i \dots\dots\dots ⑮$$

여기서는 P_{Vx} 는 制動하는 方法에 따라 그 값이 다음과 같이 解析된다.

① 動力경운기만 制動하는 경우

地面에 平行한 分力 R_x 가 制動되는 경우기 따

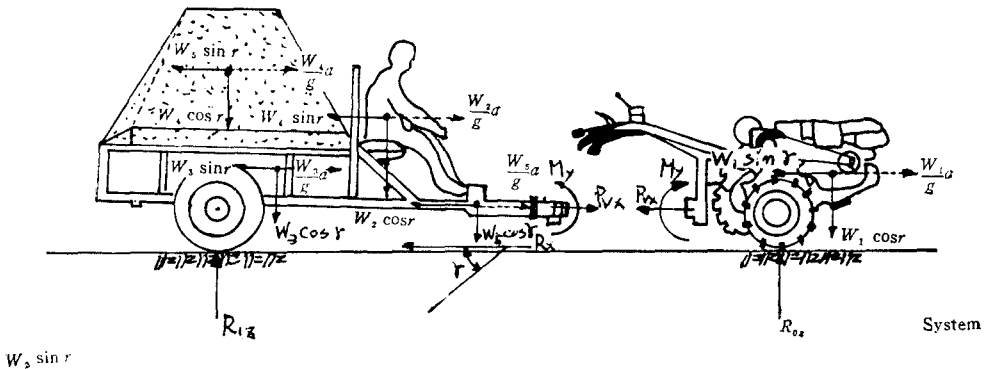


Fig. 4. Free body diagram of two-wheel tractor-trailer system on the slope land at braking instant

위의 接地面에 集中되므로 그순간 $R_{oz} \times f \geq R_x$ 의 限界에서 Fig. (4)에 依하여 다음과 같은 式이 成立한다.

$$P_{Vx1} = W_1 \left(-\sin\gamma + \frac{a}{g} \right) - R_x$$

$$= \left(-\sin\gamma + \frac{a}{g} \right) W_1 - \left(-\sin\gamma + \frac{a}{g} \right) \sum_{i=1}^5 W_i$$

$$\therefore P_{Vx1} = - \left(-\sin\gamma + \frac{a}{g} \right) \sum_{i=2}^5 W_i \dots\dots\dots(12-1)$$

여기서 P_{Vx1} 은 壓縮力 임을 알 수 있다.

② 트레일러단을 制動하는 경우

R_x 分力이 制動되는 트레일러 바퀴의 接地面에 集中되므로 그순간 $R_{1z} \times f \geq R_x$ 의 限界에서 다음式이 성립한다. (Fig. (4)參照)

$$P_{Vx2} = R_x - \sum_{i=2}^5 W_i \left(-\sin\gamma + \frac{a}{g} \right)$$

$$= \left(-\sin\gamma + \frac{a}{g} \right) \sum_{i=1}^5 W_i - \left(-\sin\gamma + \frac{a}{g} \right) \sum_{i=2}^5 W_i$$

$$\therefore P_{Vx2} = \left(-\sin\gamma + \frac{a}{g} \right) W_1 \dots\dots\dots(12-2)$$

여기서 P_{Vx2} 는 引張力임을 알 수 있다.

③ 動力경운기와 트레일러를 同時에 制動하는 경우

$$\left. \begin{aligned} R_{oz} \times f \geq R_x \\ R_{1z} \times f \geq R_x \end{aligned} \right\} \text{에서}$$

$$R_{oz} \times f - R_{1z} \times f \approx 0 = P_{Vx3} \dots\dots\dots(12-2)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{P}_{V1} = \bar{P}_{Vx1} + \bar{P}_{Vy} + \bar{P}_{Vz} \\ \bar{P}_{V2} = \bar{P}_{Vx2} + \bar{P}_{Vy} + \bar{P}_{Vz} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 15$$

⑫, ⑬, ⑭式을 간단히 하면

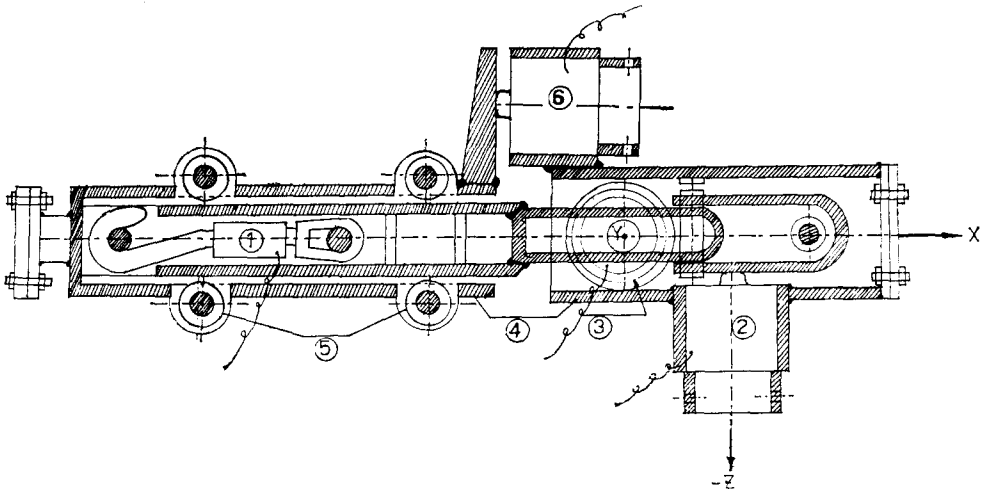
$$\left. \begin{aligned} P_{Vx} &= I(T + W_1) \dots\dots\dots(12') \\ P_{Vy} &= (R_{ost} - W_1) \cos\gamma \sin\beta \dots\dots\dots(13') \\ P_{Vz} &= (R_{ost} - W_1) \cos\gamma \cos\beta + \frac{I \cdot M}{l_4} \dots\dots\dots(14') \end{aligned} \right\} \dots\dots(IV)$$

지금까지 誘導한 (I), (II), (III), (IV)式은 平地에서 一般傾斜地에 이르기까지 모든 條件에서의 衝擊力을 計算 할 수 있도록 하였다.

3. 實驗裝置 및 方法

가. 實驗裝置

平地 및 一般傾斜로 된 4~5kg/cm²의 硬度로 다져진 砂質로오음 土壤의 農路에서 트레일러를 動力耕 耘機에 연결하여 運搬 作業中 制動하는 경우에 힘



- ① tension loadcell to measure horizontal force(X component)
- ② compression load cell to measure vertical force (Z component)
- ③ compression load cell to measure Y component
- ④ frame of gauge system
- ⑤ roller bearing
- ⑥ compression load cell to measure horizontal impact force.

Fig. 5. Gauge system with four load cells to measure three component of impact forces.

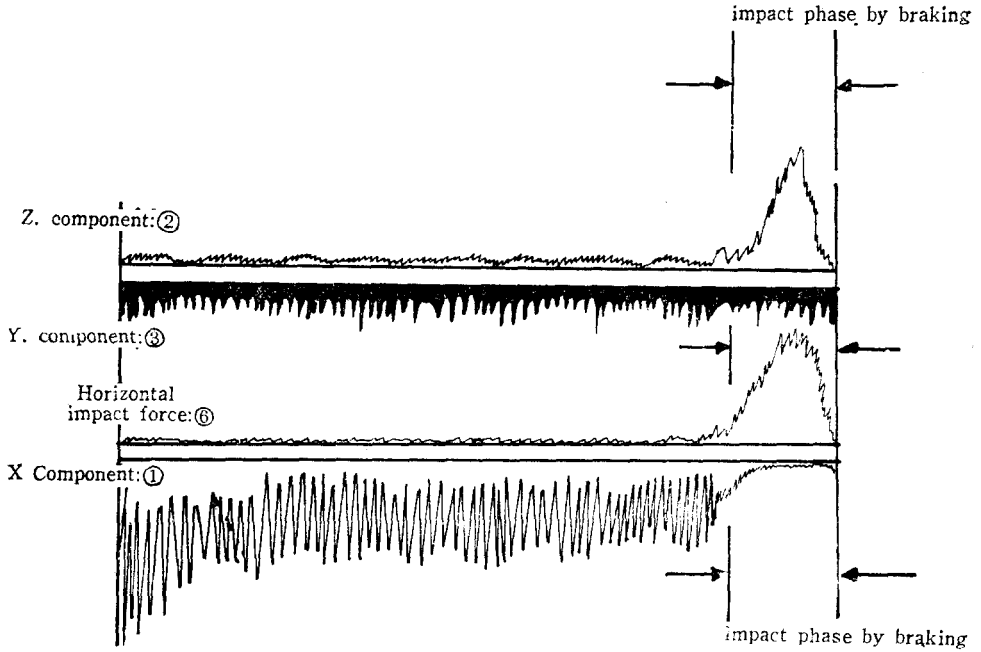


Fig. 6. An example of oscillograph for dynamic loads at hitch point.

치點 部位에 作用하는 衝擊荷重을 測定하기 爲하여 Fig. (2)과 같은 대동 8馬力 動力 경운기-트레일러 系의 hitch 點 位置에 Fig.(5)와 같은 gauge system 을 製作하여 부착하였다.

이 gauge system에서 보는 바와 같이 x軸 方向에 500kg의 容量을 가진 tension load cell, y軸 方向에 200kg 容量을 가진 tension load cell, z軸 方向에 1,000kg 容量의 compression load cell를 各 各 넣어 x,y,z의 三軸 方向 힘을 同時에 測定할 수

있게하였다.

이들 3개의 load cells에서 感知한 strain을 振幅 器에 연결확대하여 recorder를 通하여 三軸 方向 힘에 해당하는 Fig. (6)와 같은 波形曲線을 감광기록지 에 記錄케하였다.

나. 實驗方法

動力경운기-트레일러系의 hitch 點에 作用하는 動 荷重에 영향을 주는 重要한 要因은 全 system의 幾

Table 1. Condition of theoretical analysis and experiment

carriage condition	braking method	B.D. a (m/sec ²)	α	β	W_1 (kg)	h_1 (m)	experimental work	theoretical work
rest on horizontal plane	⊗	0	0°	0°	3,400, 600, 800, 1000	0~0.94	○ ×	○ ○
drive on horizontal plane	△△	a_1 a_2	0°	0°	"	0~0.94	○ ×	○ ○
	⊗	a_3	0°	0°	"	0~0.94	○ ×	○ ○
rest on up and down hill	⊗	0	5°~15° 20°~40°	5°~15° 20°~40°	"	0~0.94	○ ×	○ ○
drive on up and down hill	△△	$a_{1\uparrow}$ ↓ $a_{2\uparrow}$ ↑	5°~15° 20°~40°	5°~15° 20°~40°	"	0~0.94	○ ×	○ ○
rest on general slope land	⊗	0	"	"	"	0~0.94	○ ×	○ ○
drive on general slope land	△△	$a_{1\uparrow}$ ↓ $a_{2\uparrow}$ ↑	"	"	"	0~0.94	○ ×	○ ○
	⊗	$a_{3\uparrow}$ ↓	"	"	"	0~0.94	○ ×	○ ○

- ⊗ : rest on plane by braking the two wheels tractor only.
- △△ : two wheels tractor and trailer were braked independently.
- ⊙ : two wheels tractor and trailer were braked simultaneously
- : the theoretical analysis and experiment work are performed
- × : the theoretical and experimental are not carried out

Table 2. Dimensions of two-wheel tractor-single axle trailer system.

symbols	dimension	unit	symbols	dimension	unit.
W_1	307.5	kg	l_4	3.0	m
W_2	63	kg	l_5	1.42	m
W_3	178.5	kg	l_6	0.54	m
W_4	0, 400, 600, 800, 1000	kg	h_1	0.47	m
W_5	81.5	kg	h_2	0.9	m
l_1	0.097	m	h_3	0.4	m
l_2	1.9	m	h_4	0, 0.5499, 0.664, 0.795, 0.95	m
l_3	2.84	m	h_5	0.35	m

何學的치수, 制動方法에 따른 制動減加速度 a , 積載荷重 및 적재 方法, 地面 傾斜度, $\alpha\beta$ 等으로 設定하였으며 各變數와 그組合은 Table (1)과 같다.

各 경우를 모두 實驗하지 않고 Table(1)에서 "0"로 表示한 경우만 實驗하였으며 나머지 경우는 앞에서 유도한 模型에 Table(2)와 같은 경운기-트레일러의 치수를 넣어 예측하였다.

Table 1.에 表示하고 있는 積載荷重 W_4 , 荷重의 重心까지의 높이 h_4 , 制動時의 減加速度 a 는 다음과

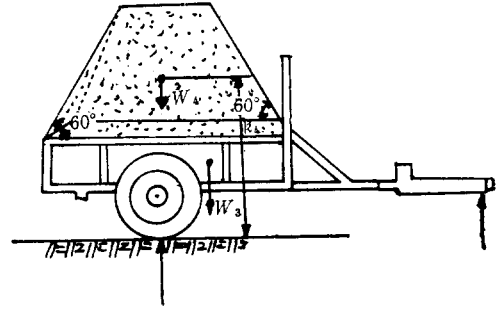


Fig. 8. Loading condition on the trailer

같이 決定하였다.

1) 積載荷重, W_4

運搬對相穀物은 主穀인 벼(單位重量 $\rho=555\text{kg}/\text{m}^3$)로 하였으며 트레일러에 積載하는 方法은 Fig.(8)와 같이 벼를 가마니에 넣어 60° 경사로 積載하고 全荷重의 重心이 트레일러 車軸 위에 오도록하였다. 積載荷重 W_4 는 0, 400, 600, 800, 1000kg의 5種類로 變化시켰으며 이에 따른 運搬荷重의 重心높이 h_4 는 (16)式으로 求하였다.

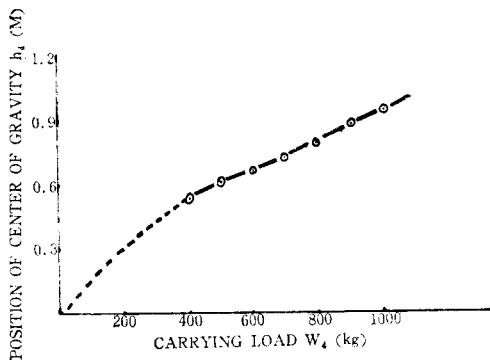


Fig. 7. Relation between W_4 and h_4

$$h_4 = 1 \left\{ \frac{1}{0.73 + 1.79H - 0.58H^2} \right\} \left\{ 0.15 + 0.73H - 0.24H^2 + (1.79H - 0.58H^2) \left(\frac{5.37H - 2.3H^2}{10.74 - 3.45H} \right) \right\} + 0.32 \dots \dots \dots (16)$$

$$\text{여기서 } H = \frac{1.6 - \sqrt{3.9 - 2.08 \frac{W_4}{\rho}}}{1.04}$$

W_4 와 \bar{h}_4 의 關係는 Fig.(7)과 같다.

2) 平地 및 上下向 경사地面에서의 制動 減加速度 (braking deceleration)

① 平地에서의 制動 減加速度(a_0)

動力耕耘機 變速 기어의 高速一段과 高速二段범위의 速度로 平地에서 運搬走行中 경운기와 트레일러를 각각 制動 할때 생기는 制動減加速度 a_{01} 을 求하기 위하여 制動할때 생기는 Fig.(6)과 같은 波形曲線으로 부터 x 方向의 衝擊力을 分析하므로써 얻어지는 實

驗值 P_{V_2} 를 (12-1)式, $P_{V_{x1}} = \frac{a_{01}}{g} \sum_{i=2}^6 W_i$ 에 代入하여

求하였던바 $a_{01} = 1.5 \text{m/sec}^2$ 였다. 動力경운기와 트레일러를 同時に 制動하는 경우에는 hitch點에 作用하는 衝擊力은 零에 가까운 아주 적은 값이므로 위의 方法으로는 制動減加速度를 求할수 없었으며 平地에서 制動할때 미끄러지는 거리 S 와 運搬走行速度 v 를 測定하여 미끄럼거리 S 와 走行速度 v 그리고 減加速度 a_0 와의 關係式 $a = \frac{v^2}{2S}$ 에 代入하여 求하였던바 $a_{02} = 1.85 \text{m/sec}^2$ 로 나타났다.

② 上下向 傾斜 地面에서의 制動減加速度($a_r \uparrow \downarrow$)

上下向 傾斜地面에서의 制動減加速度 $a_r \uparrow \downarrow$ 는 平地에서의 制動減加速度와 다음의 關係를 갖는다.

$$a_r \uparrow \downarrow = a_0 \cos \gamma + g \sin \gamma \dots\dots\dots (17)$$

⑰式에서 上向 傾斜角 γ 를 正으로 하고 下向 傾斜角 γ 를 負으로 하면 上下向 制動減加速度와 平地 制動減加速度와의 關係는 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} a_r \uparrow &= a_0 \cos \gamma + g \sin \gamma \\ a_r \downarrow &= a_0 \cos \gamma - g \sin \gamma \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

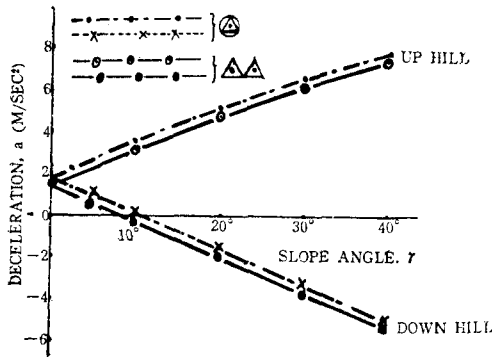


Fig. 9. Braking deceleration on up and down hill road

制動方法에 따라 上下向 傾斜角과 制動減加速度와의 關係를 그림으로 表示하면 Fig.(9)와 같다.

4. 結果 및 考察

傾斜開墾地 周邊에 있는 上下左右로 언덕진 農路에서 動力耕耘機-트레일러系를 運搬作業中 制動하는 경우 hitch點에 集中되는 衝擊荷重을 앞에서 誘導된 模型과 實驗에 依하여 얻은 結果를 分析考察하면 다음과 같다.

가. 安全運搬의 限界地面 傾斜

動力경운기-트레일러系가 運搬荷重을 積載하고 一般 傾斜(二方向 傾斜) 地面에서 制動에 依하여 靜止할때 安定을 維持할수 있는 狀態가 安全運搬에 前提條件이 된다. 이條件에 큰 影響을 주는 要因中 路面과 고무타이어 間에 마찰계수 f 는 本試驗與件에서는 $f = 0.35 \sim 0.467$ 이었다. Fig.(10)은 地面 傾斜角 積載荷重과 정지 감속속도의 관계식 ⑬으로 表示되는 미끄럼외력 R_x 와 이외력에 抵抗하는 地面과 車輪의 接地面에서의 靜摩擦抵抗力과의 關係를 나타내고 있으며 地面 傾斜角 γ 와 β 의 組合으로 形成

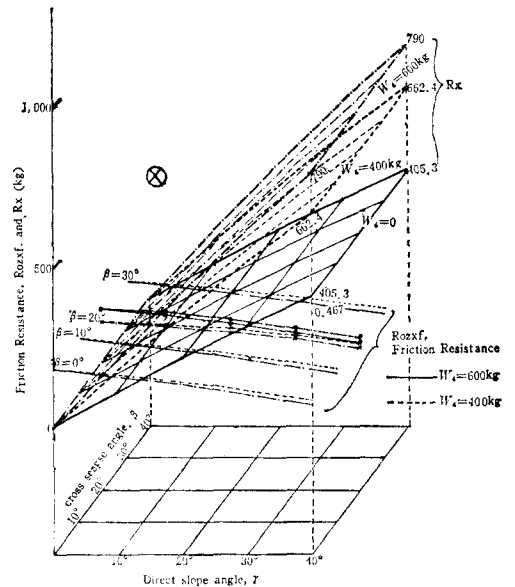


Fig. 10. Relations of external sliding force and friction resistance

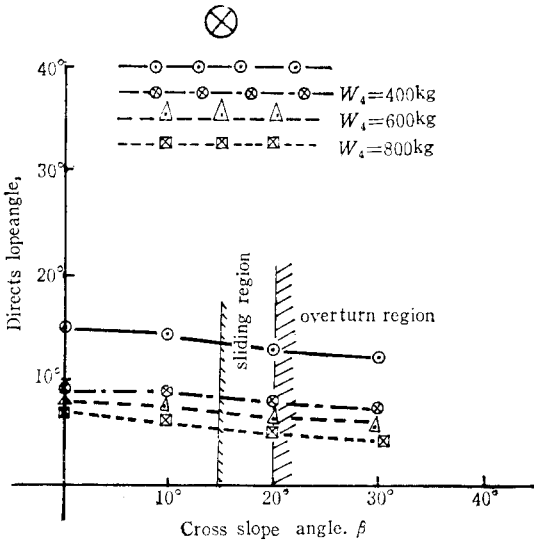


Fig. 11. Limiting angle of slope land for the safe transportation by the two-wheel tractor-trailer system

되는 40°미만의 모든 形態의 傾斜地面에 따라 變하는 많은 R_x 값이 하나의 面을 形成하고 있음을 보여 주고 있다. R_x 값은 γ 각의 增加에 따라 완만한 曲線的 增加를 보이고 있으며 β 각의 影響은 거의 받지 않고 있다. 積載荷重의 增加에 따라 段階的 增加를 보이고 있는데 反하여 安定을 維持하려는 車輪接地面 摩擦抵抗能力 $R_{s2} \times f$ 는 α, β 의 影響을 同時에 받아 減少하고 있으며 R_x 와 相互對應關係를 맺어 Fig.(11)와 같이 安全運搬의 限界地面傾斜角이 주어진다. $W_1=0$ 일때 $\alpha \leq 15^\circ, \beta \leq 20^\circ$ 로 提示되었고 積載荷重 W_1 가 400~800kg 으로 增加함에 따라 γ 의 限界角은 $9^\circ \sim 6^\circ$ 로 減少하였으며 β 角의 限界는 側面 ④ 滑動에 依하여 $\beta \leq 15^\circ$ 로 制限되었다. 以上과 같은 結果로 安全運搬의 限界地面傾斜角은 $\beta=15^\circ \sim 10^\circ$ 일때 $\gamma=9^\circ \sim 6^\circ$ 로 됨을 알 수 있으나 積載荷重 路面狀態, 走行速度, 制動方法에 따라 限界傾斜角은 약간씩의 變化를 갖을 것으로 생각된다.

나. 傾斜地面에서의 安全運搬을 위한 限界 走行速度

Fig. (11)에서 보여주고 있는 安全運搬을 爲한 限界傾斜地面에서 運搬走行中 制動하는 場合의 制動거리는 走行速度 v_1 와 走行方向 그리고 制動減加速度 a_0 에 따라 다음과 같은 關係를 갖는다.

$$v dv = a ds \text{에서}$$

$$S = \frac{v_1^2}{2a_0} \dots \dots \dots \text{①}$$

①式에 ②式을 代入하면

$$S \uparrow \downarrow = \frac{v_1^2}{2(a_0 \cos r \pm g \sin r)} \dots \dots \dots \text{②}$$

여기서 $S \uparrow$ = 上向走行時의 制動距離

$S \downarrow$ = 下向走行時의 " "

1). 安全을 고려한 制動距離 S;

制動減加速度 $a_0=1.85\text{m/sec}^2$ 과 變速齒車의 各段別로 實測한 走行速度를 ②式에 代入하여 制動距離 S를 求하면 Fig. (11-1)과 같다.

上向走行時에는 平地에서 $S=1.2\text{m}$ 로 가장 큰 값을 보였으며 경사각이 增加함에 따라 완만한 곡선

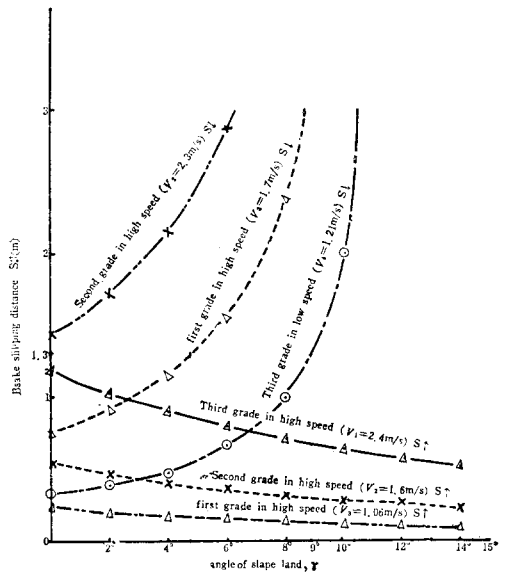


Fig. 11-1. Relationship between braking distance and running velocity in accordance with slope angle

으로 감소하여 $r=14^\circ$ 에서 $S=0.54\text{m}$ 의 적은 制動거리를 갖는데 反하여 下向走行時에는 저속 三段의 경우 平地에서 $S=0.34\text{m}$ 였으며 傾斜角이 增加함에 따라 曲線的인 급격한 增加를 보여 $r=9^\circ$ 에서 $S=1.3\text{m}$ 의 비교적 큰 값을 보이고 있다. 그런데 一般의 爲로 $4^\circ \sim 5^\circ$ 傾斜에서 많이 使用되고 있는 高速一段을 基準으로 할때 역시 $S=1.3\text{m}$ 가 됨을 Fig.(11-1)에서 찾아 볼수 있으며 走行하고 있는 前方에 장애물이 있는 경우 쉽게 발견 될수 있는 거리이므로 $S=1.3\text{m}$ 를 安全을 고려한 最大制動距離로 定하였다.

2). 下向走行時의 限界走行速度

Fig. (11-1)에서 보는바와 같이 上向走行時에는

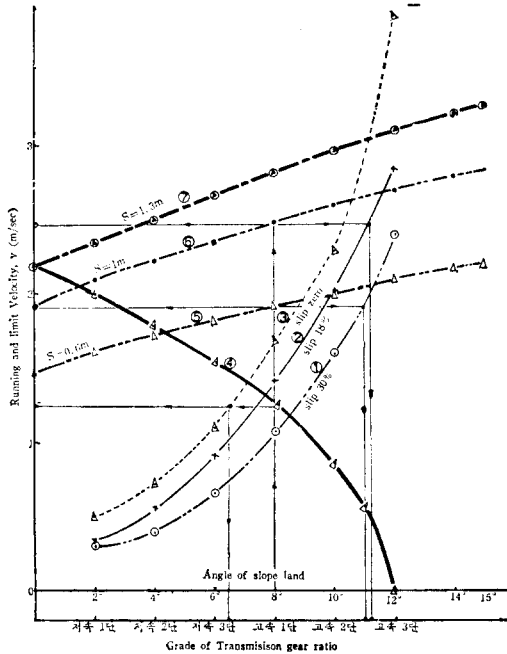


Fig. 11-2. Relation of safety-limit velocity bound by the brake-slipping distance and running velocity up and down hill road

- ①, ② : running velocity on up hill road with the grades of trans. gear ratio
- ③ : running velocity on down hill road with the grades of trans. gear ratio.
- ④ : Safety limit velocity bound by $S=1.3m$, $a_0=1.85m/s^2$ on down hill road.
- ⑤, ⑥, ⑦ : limit velocity bound by $S=0.6, 1, 1.3m$, $a_0=1.85m/s^2$ on up hill road

制動거리 S 가 적기때문에 走行速度 限界를 定할 必要가 없으나 下向走行時에는 走行速度와 傾斜角의 增加에 따라 S 가 급격히 增加하기 때문에 安全을 고려하여 결정한 $S=1.3m$ 를 ④式에 代入하여 傾斜度別限界速度를 결정하면 Fig. (11-2)와 같다. Fig.(11-2)에서 곡선 ①②③은 slip을 30%, 18%, slip이 없는 경우의 實測 走行速度이며 曲線④는 $a_0=1.85m/sec^2$ 와 $S=1.3m$ 에 依하여 限定된 下向走行時의 安全運搬을 위한 限界走行速度이다. 曲線 ⑤⑥⑦은 制動距離를 0.6m, 1m, 1.3m로 할때의 上向限界走

行速度이나 下向走行의 경우와 같은 제한적 의미는 없다.

이들 曲線들을 서로 연관하여 安全運搬을 위한 走行速度 및 變速 齒車段數를 선택 할 수 있도록 하였다.

예를 들면 8°傾斜路面을 安全하게 上下向 運搬을 行할 수 있는 速度 및 變速齒車 段數를 선택하려면 그림에 表示되어 있는 좌표를 따라가면 쉽게 찾을 수 있도록 하였다.

다. 車輪接地面에 平行한 衝擊力 R_x 와 積載 荷重 W_4 와의 關係

1) 動力耕耘機 혹은 트레일러만 制動하는 경우

一般傾斜地面에서 경운기-트레일러系가 運搬을 行하는 경우 경운기나 트레일러를 同時에 制動하지 않을 때 制動減加速度 $a_1=a_0 \cos \gamma + g \sin \gamma$ 에 依한 慣性力과 系의 自重의 x 方向分力으로 이루어지는 地面에 平行한 衝擊力(③式으로 表示됨), R_x 는 Fig

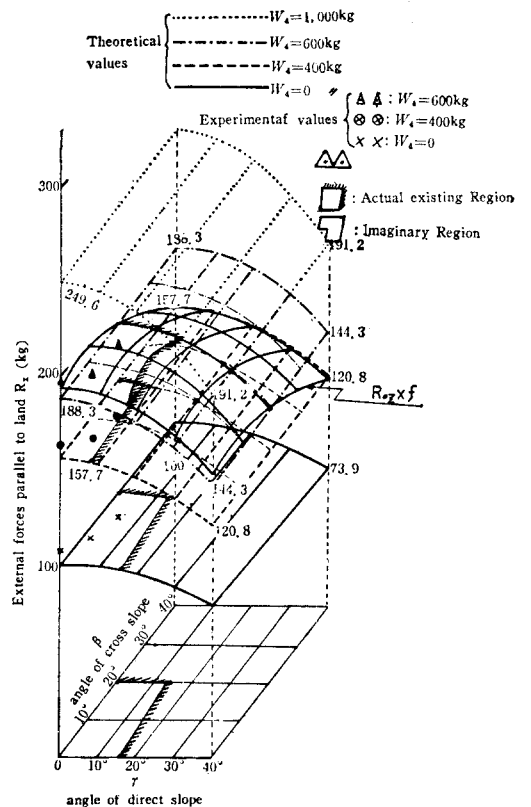


Fig. 12. External forces parallel to the double slope land in case of two-wheel tractor only braked

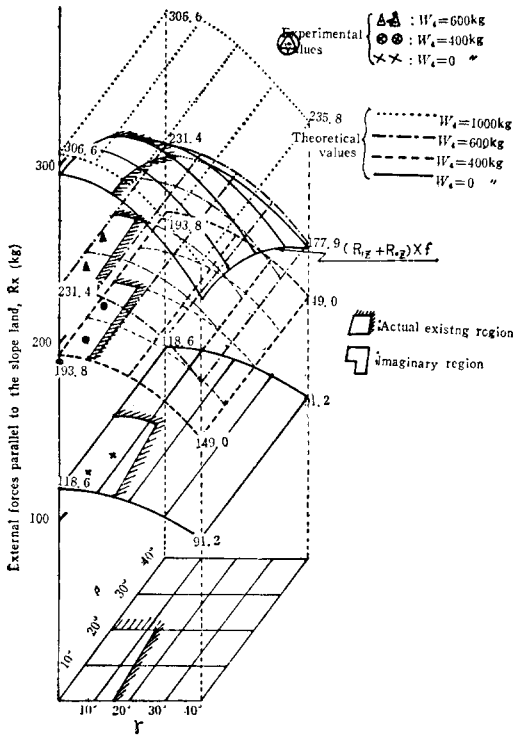


Fig. 13. External force parallel to the double slope land in case of two-wheel tractor and trailer braked simultaneously

(12)에서 보여주고 있는바와 같이 α 와 β 의 조합으로 이루어지는 다양한 地面傾斜와 積載荷重 W_t 에 對應하여 여러개의 曲面을 이룬다. R_x 는 β 에 영향을 받지 않고 γ 만의 영향을 받으며 γ 의 增加에 따라 曲線的으로 減少하였다. 이들 曲面中 검은 太線 (black full line)으로된 摩擦抵抗能力, $R_o z \times f$ 는 α 와 β 의 영향을 同時에 받으며 R_x 와의 關係에서 安全積載荷重限界를 $W_t=600\text{kg}$ 로 提示하여 주었다.

그림에 表示되어있는 實存可能領域 (actual existing region)은 積載荷重이 增加함에 따라 減少하였으며 이 領域에 相應하는 實驗値는 모두 이 範圍內에 包含되어 理論値와 實驗値가 맞고 있음을 보여 주었다. 그리고 R_x 값은 上向경사와 下向경사에서 같은 變化를 보였다.

2) 動力耕耘機와 トレイ러를 同時에 制動하는 경우

運搬走行中 動力耕耘機와 トレイ러를 同時에 制動하는 경우 制動減加速度는 $a_2 = a_{o2} \cos \gamma + g \sin \gamma$ 이며 이 減加速度에 依한 慣性力과 系自重의 x 方向分力으로 이루어지는 衝擊力, R_x 는 Fig(13)이 보여주고 있는바와 같이 地面傾斜와 積載荷重에 따른 變化경향이 경운기와 トレイ러를 各各 制動하는 경우와 같으며 이경우의 R_x 값은 各各 制動하는 경우보다 큰값으로 30~50kg이었다. 이경우의 積載荷重限界는 그림에서 검은太線의 曲面이 보여주고 있는 바와같이 各各 制動하는 경우보다 큰값을 보여 주고 있으나 β 경사각에 依한 미끄럼限界 때문에 $W_t=600\text{kg}$ 를 초과 할 수 없을것으로 사료된다.

이 경우에도 R_x 의 實驗値는 實際可能領域內에 포함되고 있어 理論値와 맞고 있음을 보여 주었다.

라. ھitch點에 作用하는 垂直, 水平力, P_{Vz} , P_{Vy} , P_{Vx} .

ھitch點에 作用하는 各方向 衝擊力은 式 (IV)式으로 表示되었으며 Fig.(14)에서 보는 바와 같이 運搬

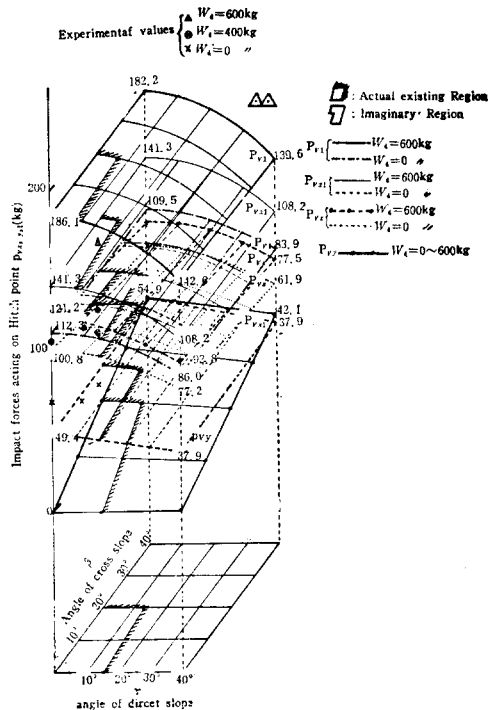


Fig. 14. Relationship among the impact forces, slope angle and carrying loads

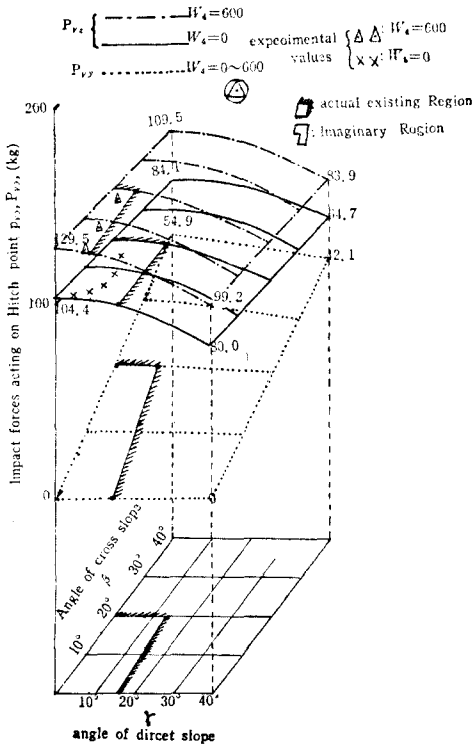


Fig. 15. Relationship among the impact forces slope angle and carrying loads

走行中 갑자기 경운기 혹은 트레일러를 制動하는 경우 ھitch點에 생기는 垂直衝擊力, P_{Vz} 는 γ 와 β 의 增加에 따라 曲線的으로 減少하였고 β 의 影響은 γ 의 影響보다 극히 적었으며 積載荷重 W_4 가 零에서 600kg로 증가함에 따라 P_{Vz} 는 100.8kg~121.2kg의 범위에서 增加하였다. 水平衝擊力 P_{Vy} 는 P_{Vz} 와 같이 γ 와 β 의 影響을 받았으나 γ 의 增加에 따라 減少하였고 β 의 增加에 따라 增加하였으며 積載荷重의 影響은 거의 받지 않았다.

Fig.(14)에서 볼수있는 바와 같이 牽引力과 밀접한 關係를 갖는 水平衝擊力 P_{Vx} 는 γ 가 增加함에 따라 減少하였고 β 의 影響은 받지 않았으며 $W_4=0\sim 600$ kg로 증가함에 따라 $P_{Vx}=49.4\sim 141.3$ 범위에서 增加하였다.

P_{V1} 는 P_{Vz} , P_{Vy} , P_{Vx} 의 合成衝擊力으로 γ 와 β 가 增加함에 따라 減少하였으나 β 의 影響은 γ 에 비하여 적었고 積載荷重 W_4 가 0~600kg로 增加함에 따라 $P_{V1}=112.3\sim 186.1$ kg로 增加하였다. 다른 衝擊力에

서와 같이 理論値와 實驗値는 잘 接近하였다.

動力耕耘機와 트레일러를 同時に 制動하는 경우에는 Fig.(15)에서 보여주고 있는바와 같이 P_{Vz} 는 零에 接近하는 값이 있고 P_{Vy} 는 (Fig 14)에서와 같았다. P_{Vz} 는 各各 制動하는 경우보다 4~15kg 큰 값을 가졌다.

上向傾斜地面에서와 下向傾斜地面에의 水平, 垂直力變化는 同一하였으므로 모두 평지인 $\alpha=0, \beta=0$ 에서 가장 큰 값을 가졌다.

마. ھitch點에 作用하는 ھitch모멘트, M_x, M_y, M_z, M_T

ھitch點에 作用하는 各方向 ھitch모멘트는 (II)式으로 表示되었으며 Fig(16)에서 보는바와 같이 경운기와 트레일러를 同時に 制動하는 경우 ھitch點에 作用하는 各方向 ھitch모멘트 中 Y方向 ھitch모멘트 M_y 가 가장 큰 값을 가지며 γ 가 增加함에 따라 減少하고 β 가 增加함에 따라 比例하여 增加하였다.

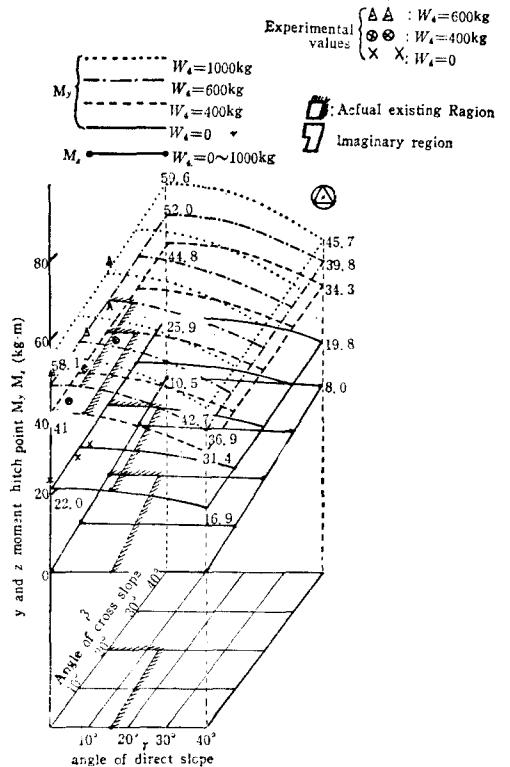


Fig. 16. Relationship between moment of hitch point and carrying loads on the double slope land in case of two wheels tractor and trailer braked simultaneously.

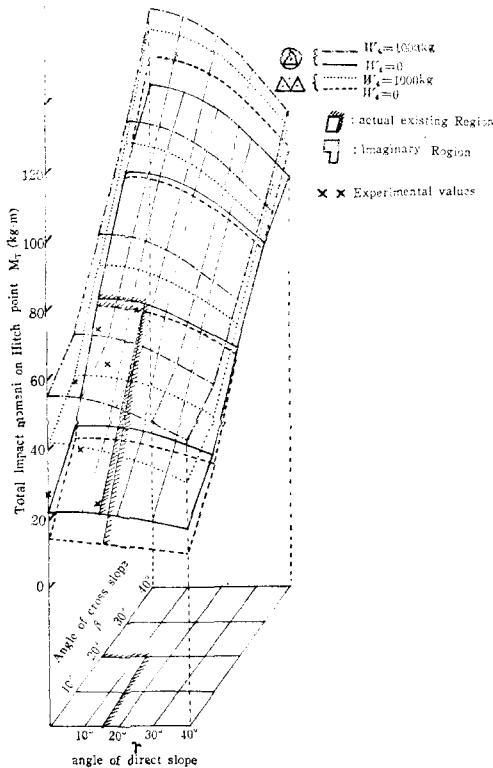


Fig. 17. Relationship among the total impact moment, slope angle, and carrying loads

그림에서 표시하고 있는 실제가능범위(actual existing region)는 적재하중 W_4 가 증가함에 따라 그 범위가 작아졌으며 W_4 가 0에서 600kg까지 증가함에 따라 M_T 는 21kg-m에서 50kg-m까지 증가하였다. x, z 방향 휨모멘트 M_x, M_z 는 0에 가까운 적은 값이었으며 적재하중 W_4 에 무관하였다. M_x, M_y, M_z 의 합성 휨모멘트 M_T 는 Fig.(17)에서 보여 주고 있는 바와같이 실제가능영역에서 W_4 가 0에서 600 kg까지 증가함에 따라 M_T 는 22kg-m에서 60kg-m까지 증가하였다. 이상의 각 충격 휨모멘트는 모두 0의 값을 가졌다.

그림에 표시된 실제가능영역의 범주내에서 보면 동시제동한 경우의 M_T 가 각 각 제동한 경우의 보다 약간 큰 값을 보였다.

5. 結 論

平地 및 一般傾斜農路에서 二輪트랙터-트레일러 계가 農産物 運搬作業을 할 때 安全하게 運轉할수 있는 적재하중 및 地面傾斜角限界와 hitch점에 作用하는 衝擊力을 決定하기 爲하여 이系를 制動하는 순

간 일어나는 靜的 및 動的 平衡狀態를 分析한 結果 다음과 같다.

가. 二輪트랙터-트레일러계가 一般傾斜農路에서 運搬作業을 할 수 있는 限界地面傾斜角은 $\gamma \leq 8^\circ$, $\beta \leq 15^\circ$ 이었고 積載荷重 W_4 의 增加에 따라 減少하였다.

나. 下向走行時에 必要한 安全速搬을 위한 限界走行速度는 $v = 1.08 \text{m/sec}$ 이었다.

다. 安全限界積載荷重은 動力耕機自重의 二倍인 $W_4 = 600 \text{kg}$ 이었고 制動方法에 따른 安全한 程度는 다음과 같다.

同時制動이 제일 안전하고 그 다음으로 트레일러만의 制動, 二輪트랙터만의 制動의 순이었다.

라. hitch점에 作用하는 各方向 衝擊力 중 P_{Vy} 는 W_4 에 關係없이 0에 가까운 적은 값이었으며 P_{Vx} 와 P_{Vz} 는 平地인 $\gamma = \beta = 0$ 에서 가장 큰 값을 보였다. hitch점에 作用하는 各方向 衝擊 모멘트 中 M_y 가 가장 큰 값을 가지며 W_4 의 增加에 따라 예민하게 增加하였으나 모두 負의 모멘트이었다.

參 考 文 獻

1. 鄭昌柱, 1976, 韓國農業機械化의 促進對策에 관한 研究
2. Sagi, R., Racotch, A., Wolf, D., 1973. Theoretical considerations in placing the center of gravity of single-axled trailers, J. agric. Engng. Res., 18 : 159~165.
3. Agricultural Engineers Yearbook of the ASAE. 1973.
4. Frantisek Habarta, 1971, Determination in relation to safety of operation of the minimal load on the front steering axle of a tractor with implements attached, J. Agric. Engng Res., 16(2) : 126~140
5. 松山龍男, 川崎健, 前岡邦彦, 1970, 傾斜地における 步行型 二輪トラクタ의 橫轉倒角, 日本農機誌 32(1) : 16~22
6. Cilfillan, G., 1967, Attitude of a tractor on sloping land, J. agric Engng Res., 12(4) : 293~299.