

# 人工土槽用 6分力計 開發에 관한 研究<sup>+</sup>

## Development of Dynamometer for Soil Bin Experiment

朴 濬 傑\*, 鄭 昌 柱\*\*, 李 揆 昇\*\*\*, 崔 昌 鉉\*\*\*, 朴 元 燁\*\*\*

J. G. Park, C. J. Chung, K. S. Lee, C. H. Choi, W. Y. Park

### Abstract

A dynamometer was designed and constructed to measure three directional forces and moments of pull type implement with eliminating the interference between the forces. The dynamometer consists of a linear motion bearing, self-aligning bearings, universal joints, and cantilevers where strain gages were attached.

A data acquisition system was developed to collect data and to analyze them. The data acquisition system consists of the dynamometer, a potentiometer to measure the implement depth, strain amplifiers, a A/D converter, and an IBM-AT compatible microcomputer. Program, written in C language, was developed to read data from transducers with given interval, to calculate forces and moments, to display them on screen, and to store them on disk.

The calibration results showed that cantilevers had good linearity and there was no interference among directional forces. When applied loads were reduced with constant rate, hysteresis was appeared on the dynamometer. It might to be reduced by using ball bearings instead of self-aligning bearings.

### I. 緒 論

효율적인 牽引作業을 위하여 牽引作業機에 대한 토양저항의 특성을 정확히 測定, 分析하여 牽引作業機를 설계 제작할 필요성이 있다. 일반적으로 牽引作業機에 대한 土壤反力은 3次元力系를 형성하고 있으므로 3 方向의 힘과 모멘트를 정확히 測定하여야 牽引抵抗의 크기, 方向, 作用線등을 구할 수 있다. 이들 자료는 牽引作業機의 改良, 適定 作業條件등에 이용할 수 있으며 더 나아가 作業機와 트랙터 등 動力機 사이의 作業安定性 예측에 이용할 수 있다. 그러나 대부분의 牽引力 測定裝置는 세 方向의 힘만을<sup>(3)</sup>, 또는 세

方向의 힘과 한 두 方向의 모멘트를<sup>(6)(11)(12)</sup> 측정할 수 있는 것이었으며, 세 方向의 힘과 모멘트를 측정할 수 있는 것도 測定部間의 간섭으로 정확한 측정이 어려운 등 문제점을 포함하고 있는 것이 많다. 이러한 간섭을 줄이기 위하여 볼베어링 조합을 사용한 경우도 構造가 복잡하고 클 뿐만 아니라 重量도 커서 荷重을 받을 경우 測定部와 베어링이 點接觸을 이루어야 함에도 點接觸이 되지않아 정확한 測定이 안되는 실정이다.<sup>(13)</sup><sup>(14)(15)</sup> 또한 이들 대부분은 트랙터 부착용으로設計되어 있어 精度 높은 측정이 요구되는 土壤槽用으로는 부적합하다고 생각 된다.

牽引作業機와 土壤과의 상호작용을 정확히 이

<sup>+</sup>本 研究는 1989年度 문교부 학술연구 조성비에 의하여 研究되었음.

\* 建國大學校 自然科學大學 農業機械工學科

\*\* 서울大學校 農科大學 農工學科

\*\*\* 成均館大學校 農科大學 農業機械工學科

해하고 牽引作業機의 성능을 향상시키기 위하여는, 測定裝置로부터 정확하고 신뢰성있는 자료를 얻을 필요가 있다. 그러나 일반포장에서 實驗은 토양상태의 불균일과 조절불가능, 동일상태하에서 동일실험의 재현 불가능, 환경 등에 의한 실험시기의 제한 및 기타 실험 외적인 요인에 의해 많은 영향을 받음으로써 신뢰성있는 자료를 얻기 어렵다. 따라서 포장실험시의 問題點을 보완하고 신뢰성있는 자료를 蒐集할 수 있는 人工土槽 시스템의 사용이 바람직하다. 따라서 本研究은 기존 6分力計의 문제점을 보완하여 人工土槽에서 作業機의 牽引抵抗을 정확하게 측정할 수 있는 牽引抵抗 測定裝置를 설계 및 제작하고, 자료의 蒐集 및 分析을 위하여 마이크로 컴퓨터를 이용한 人工土槽用 資料蒐集 시스템을 開發하는데 그 目的이 있다.

## II. 測定裝置 製作

### 가. 動力計

#### 1) 理論的 背景

렌치(Wrench)란 힘과 모멘트의 方向이 일치하는 힘의 합(resultant)을 표현하는 가장 간단한 형태로서 어떠한 力系도 하나의 렌치로 변형이 가능하다. 일반적으로 牽引作業機에 대한 土壤反力은 非平衡 3次元 力系를 형성하고 있다. 따라서 牽引作業機에 걸리는 3方向의 힘과 모멘트를 정확히 측정할 수 있다면, 牽引作業機에 대한 土壤反力도 하나의 렌치로 변형이 가능함으로써 土壤反力の 크기, 作用線 등을 구할 수 있어 牽引作業機의 효율적인 設計가 가능하다.

#### 2) 設計 方針

測定裝置는 다음과 같은 사항을 고려하여 設計한다.

- 가) 牽引作業機에 대한 세 方向의 힘과 모멘트를 測定하여 렌치 이론에 의해 합력의 크기와 作用線을 구할 수 있는 構造를 갖도록 한다.
- 나) 스트레인지게이지가 부착된 외팔보와 荷重變換器를 이용한 測定裝置로서 人工土槽 시스템의 測定臺車에 부착되도록 한다.

- 다) 作業機의 作業깊이를 조절할 수 있도록 測定裝置와 人工土槽 시스템의 測定臺車 사이에 油壓 制御 3점 히치 시스템을 設計 및 製作하여 장착한다.

- 라) 牽引力, 側方力, 垂直力 및 세 方向 모멘트의 각 測定部를 별개로 構成하며, 필요시 分離하여 部分的으로 이용할 수 있도록 한다.

- 마) 슬라이딩 베어링, 유니버설조인트, 볼베어링 등을 사용하여 測定部間의 간섭을 배제하며, 構造도 小型, 單純化 시킨다.

- 바) 측정범위는 牽引力은 1960N, 側方力과 垂直力은 2650N, 모멘트는 225 - 534N-m이며, 牽引力은 荷重變換器의 交換에 의해 容量을 變化시킬 수 있도록 한다.

- 사) 마이크로 컴퓨터를 이용하여 資料의 測定, 蒐集 및 分析을 할 수 있도록 한다.

### 3) 動力計의 構造

牽引抵抗 測定裝置는 그림 1과 그림 2에 나타난 바와같이 베어링을 이용한 構造로서 前部, 中部, 後部の 3개의 主要部分으로 되어있으며 前부와 中部는 힘을 測定하고 後部는 모멘트만 測定하도록 設計하였다.

前부에 설치된 용량 1960 N의 荷重變換器(共和電業 모델 LU-200KE)는 슬라이딩베어링의 선형 운동에 의하여 水平力만을 測定하도록 設計되었다. 中部는 유니버설조인트에 의해서 上下左右 方向으로 임의로 움직일 수 있도록 제작되었으며 스트레인지게이지가 부착된 4개의 외팔보에 의해 側方力과 垂直力이 測定되도록 하였다. 後部는 6個所에 부착된 외팔보로부터 우력에 의해 힘은 상쇄되고 모멘트만을 測定할 수 있도록 設計되었다.

외팔보는 탄소강으로 제작되었으며 中部에는 길이가 12.8cm, 높이가 1.6 cm, 폭이 1.6cm인 외팔보가, 後部에는 길이가 8.9cm, 높이가 1.2cm, 폭이 1.2cm인 외팔보가 사용되었다. 각 외팔보의 중앙에 부착된 4개의 스트레인지게이지는 휘스톤 브리지(Wheatston Bridge)를 구성하였다.

그림 1과 그림 2에서 測定部 A는 水平牽引力(Draft)을 B, C는 側方力(Side force)을 D, E는 垂直力(Vertical force)을 測定하도록 되어있고, 測定

部 F, G, H, I, J, K에서는 세 方向의 모멘트( $M_x, M_y, M_z$ )를 測定하도록 되어있다.

나. 資料 蒐集裝置

作業機의 牽引抵抗을 測定하기 위한 資料 蒐集裝置는 그림 3과 같이 세 方向의 힘과 모멘트를 측정하기 위한 동력계(Dynamometer), 作業機의 耕深을 측정하기 위한 포텐시미터(Potentiometer), 스트레인 增幅器, A/D 變換器, IBM-AT의 호환성을 가진 16MHz 마이크로 컴퓨터로 이루어졌다.

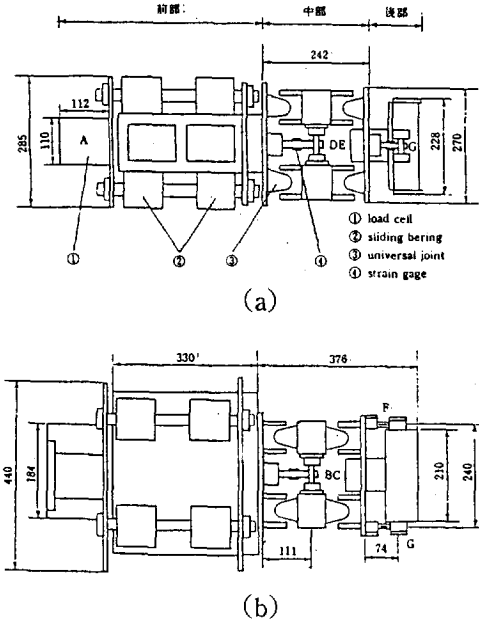


Fig. 1 Schematic diagram of dynamometer  
(a : Front view, b : Top view)

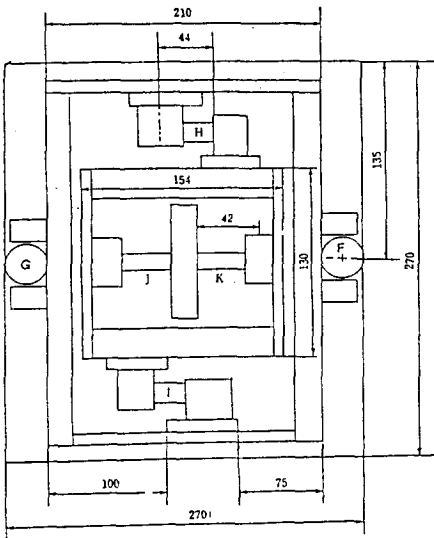


Fig. 2 Schematic diagram of dynamometer  
(Side view)

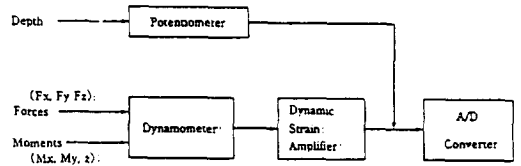


Fig. 3 Block diagram of data-acquisition system

1) 信號의 入力

動力計의 出力信號는  $\mu V$ 單位로 매우 작으므로 스트레인 증폭기를 통하여 A/D 變換器의 變換範圍인 0-5V 사이로 增幅시켰다. 스트레인 증폭기는 日本 共和電氣(KYOWA) 製品의 DPM-311A와 DPM-6H를 이용하였다. 動力計의 水平力 信號는 DPM-311A의 채널 2에, 側方力 및 垂直力 信號는 채널 3-6에 각각 연결하였고 모멘트 측정을 위한 信號는 DPM-6H의 채널 1-6에 연결하였다.

油壓式 3점히치에 부착된 作業機의 耕深을 측정하기 위하여 로터리형 포텐시미터를 이용하였다. 측정대차에 부착된 포텐시미터의 出力信號는 油壓式 3점히치의 위치에 비례하여 0V에서 5V까지 변화되었다.

2) A/D 變換器

本 研究에 사용된 A/D 變換器는 한도 엔지니어링의 PCL-714 I/O 인터페이스 보드에 내장되어 있다. PCL-714 보드는 16개의 아날로그 입력채널, 2개의 아날로그 출력채널, 16개의 디지털 입력채널, 16개의 디지털 출력채널, 타이머와 계수기(Counter) 기능을 가지고 있다.

A/D 變換器는 分解能(resolution)이 14 비트 이므로 正確度가 좋고, 變換時間이 40 μs 이하로 매우 빠르며 最小의 溫度偏差를 가지고 있다. 變換 方式은 逐次比較型(successive approximation ; SA) 方法을 채택하고 있으며 임피던스가 큰 比較器(comparator)와 5개의 스위치를 가진 16384R 전압분류기(Voltage divider)를 내장하고 있다.

動力計의 測定部에 작용하는 힘은 스트레인 게이지에 의하여 電氣의 信號로 變換되고 스트레인 增幅器에 의해 增幅되었으며, 포텐시오미터의 出力信號와 함께 A/D 變換機를 통하여 디지털 값으로 變換되어 컴퓨터에 入力되고 플로피 디스크에 貯藏되거나 프린터로 出力할 수 있도록 되어 있다. 아날로그 또는 디지털 入力 및 出力 信號를 PCL-714 보드로 쉽게 연결하기 위하여 PCLD-780 터미널 보드를 사용하였다.

3) 資料蒐集 프로그램

資料 蒐集裝置를 제어하는 마이크로 컴퓨터의 프로그램은 C-언어로 作成하였다. 本 프로그램은 각 채널에 들어오는 아날로그 信號를 A/D 變換器로 變換하여 디지털 信號로 읽고 分析하여 3 方向의 힘과 모멘트를 필요한 단위로 바꾼 후에 마이크로 컴퓨터의 화면에 出力하고 지정된 파일로 貯藏할 수 있도록 作成하였다. 이 프로그램은 蒐集週期를 入力하여 資料蒐集 間격을 調節할 수 있도록 하였고 파일이름을 入力하여 매 實驗마다 다른 파일에 資料를 저장할 수 있도록 하였다.

다. 合力 및 合모멘트 計算式

前部(水平力)와 中部(側方力, 垂直力)의 5개의 測定点에서는 힘만을 측정하고, 後部の 6개 測定点에서는 우력에 의해 힘은 상쇄되어 모멘트만을 測定하였다. 그림 4에서 後部の O 點을 原點으로 하고, 作業 進行方向을 X軸(後方向을 +), 側方向을 Y軸(右方向을 +), 鉛直方向을 Z軸(上方向을 +)으로 한 XYZ 直角좌표계에 있어서, 作業機의 全牽引抵抗을 R로 하면, R은 하

나의 힘  $P_x, P_y, P_z$ 와 하나의 모멘트  $M_x, M_y, M_z$ 로 나타낼 수 있다.

여기서 作業機의 抵抗 R에 대한 裝置의 支持 反力을  $F_x, F_y, F_z$  및 원점 O에 대한 회전모멘트  $M_{ox}, M_{oy}, M_{oz}$ 로 하면 다음과 같이 구해진다.

$$\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k} \text{ (N)}$$

$$\vec{F}_x = -P_A \vec{i} \dots\dots\dots (1)$$

$$\vec{F}_y = -(P_B + P_C) \vec{j} \dots\dots\dots (2)$$

$$\vec{F}_z = (P_D + P_E) \vec{k} \dots\dots\dots (3)$$

$$\vec{M}_O = M_{ox} \vec{i} + M_{oy} \vec{j} + M_{oz} \vec{k} \text{ (N m)}$$

$$\vec{M}_O = -d(P_F + P_G) \vec{i} + m(P_H + P_I) \vec{j} + w(P_J + P_K) \vec{k}$$

그러므로,  $\vec{M}_{Ox} = -d(P_F + P_G) \vec{i} \dots\dots\dots (4)$

$$\vec{M}_{Oy} = m(P_H + P_I) \vec{j} \dots\dots\dots (5)$$

$$\vec{M}_{Oz} = -w(P_J + P_K) \vec{k} \dots\dots\dots (6)$$

여기서  $\vec{F}_x, \vec{F}_y, \vec{F}_z$ 는  $\vec{P}(P_x, P_y, P_z)$ 과 균형되므로

$$\vec{P}_x = -\vec{F}_x = (P_A) \vec{i} \dots\dots\dots (7)$$

$$\vec{P}_y = -\vec{F}_y = (P_B + P_C) \vec{j} \dots\dots\dots (8)$$

$$\vec{P}_z = -\vec{F}_z = -(P_D + P_E) \vec{k} \dots\dots\dots (9)$$

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \dots\dots\dots (10)$$

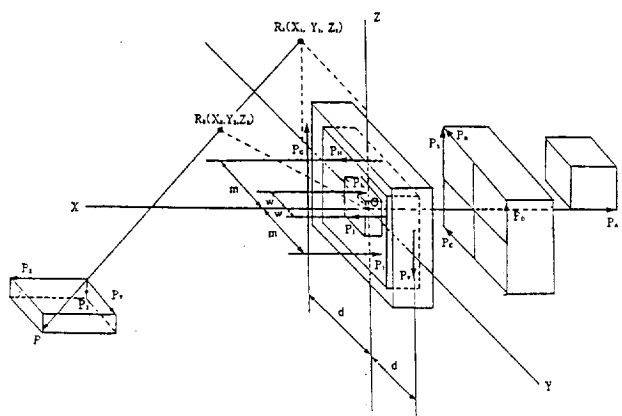


Fig.4 Applied forces on the plow and the dynamometer

위의 모멘트  $\vec{M}_0$ 는  $\vec{M}_{0H} + \vec{M}_{0V}$ 로 분리할 수 있다.

여기서,  $\vec{M}_{0H}$ 는  $\vec{M}_0$ 의  $\vec{F}$ 방향 성분벡터를,  $\vec{M}_{0V}$ 는  $\vec{M}_0$ 의  $\vec{F}$ 의 수직방향 성분벡터를 의미한다.

한편, 動力計의 좌표원점으로부터  $\vec{F} = \vec{F}_Q$ ,  $\vec{M}_{0H} = \vec{M}_Q$ 가 되는 Q점으로 F를 이동시켰을 때 이동된  $\vec{F}$ 의 위치벡터를  $\vec{r}$ 라 할 때

$\vec{F}_Q$ 와  $\vec{M}_Q$ 는 평행이고,  $\vec{r} = X \vec{i} + Y \vec{j} + Z \vec{k}$ 라 하면,  $\vec{r} \times \vec{F}_Q = \vec{M}_{0V}$ 가 만족될 때 이동된 위치에서 힘계는 렌치(Wrecch)를 만족한다.

$\vec{F}_Q$ ,  $\vec{F}$ 는  $\vec{M}_Q$ ,  $\vec{M}_{0H}$ 와 서로 평행하므로

$$\frac{F_x}{M_{Qx}} = \frac{F_y}{M_{Qy}} = \frac{F_z}{M_{Qz}} \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{또는, } F_x M_{Qy} - F_y M_{Qx} = 0 \dots\dots\dots (12)$$

$$F_x M_{Qz} - F_z M_{Qx} = 0 \dots\dots\dots (13)$$

$$F_y M_{Qz} - F_z M_{Qy} = 0 \dots\dots\dots (14)$$

렌치의 모멘트성분  $\vec{M}_Q$ 는  $\vec{M}_0 = \vec{M}_{0H} + \vec{M}_{0V} = \vec{M}_Q + \vec{r} \times \vec{F}$ 로 부터

$$\vec{M}_Q = \vec{M}_0 - \vec{r} \times \vec{F}_Q$$

$$= M_{0x} - Y F_z + Z F_y + M_{0y} - Z F_x + X F_z + M_{0z} - X F_y + Y F_x$$

윗 식을 정리하면,

$$M_{Qx} = M_{0x} - Y F_z + Z F_y \dots\dots\dots (15)$$

$$M_{Qy} = M_{0y} - Z F_x + X F_z \dots\dots\dots (16)$$

$$M_{Qz} = M_{0z} - X F_y + Y F_x \dots\dots\dots (17)$$

式 (12), (13), (14)에 식 (15), (16), (17)을 代入하여 정리하여 쓰면

$$F_x M_{0y} - F_y M_{0x} + X F_x F_z + Y F_y F_z - Z(F_x^2 + F_y^2) = 0 \dots\dots\dots (18)$$

$$F_x M_{0z} - F_z M_{0x} - X F_x F_y + Y(F_x^2 + F_z^2) - Z F_y F_z = 0 \dots\dots\dots (19)$$

$$F_y M_{0z} - F_z M_{0y} - X(F_y^2 + F_z^2) + Y F_x F_y + Z F_x F_z = 0 \dots\dots\dots (20)$$

여기서,  $A = F_x M_{0y} - F_y M_{0x}$ ,  $B = F_y M_{0z} - F_z M_{0y}$ 라 하면

式(18)과 식 (20)은

$$A + X F_x F_z + Y F_y F_z - Z(F_x^2 + F_y^2) = 0 \dots\dots (21)$$

$$B + X(F_y^2 + F_z^2) + Y F_x F_y + Z F_x F_z = 0 \dots\dots (22)$$

와 같이 되고, 式(21), (22)에 각각 2개의 임의의  $X_1$ ,  $X_2$ 를 넣고  $C = A + X F_x F_z$ ,  $D = B + X(F_y^2 + F_z^2)$ 라 놓으면 다음과 같이 된다.

$$C + Y F_y F_z - Z(F_x + F_y) = \dots\dots\dots (23)$$

$$D + Y F_x F_y + Z F_x F_z = 0 \dots\dots\dots (24)$$

식 (23)와 式(24)를 연립하면

$$Z = \frac{C F_x - D F_z}{F_x F_z} \dots\dots\dots (25)$$

$$Y = \frac{Z(F_x^2 + F_y^2 - F_x F_y) - C - D}{F_y(F_x + F_z)} \dots\dots (26)$$

위의 같은 방법으로 임의의 수  $X_1$ ,  $X_2$ 에 대해 式 (25), (26)에 의해  $Y_1$ ,  $Z_1$ 과  $Y_2$ ,  $Z_2$ 를 계산하여 中心軸의 두점  $R_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 과  $R_2(X_2, Y_2, Z_2)$ 를 구하여 作用線을 구할 수 있다.

한편, 임의의 X값과 이에 대응하는 식 (25), (26)을 식 (15), (16), (17)에 代入하여  $M_{Qx}$ ,  $M_{Qy}$ ,  $M_{Qz}$ 를 구할 수 있으므로 다음과 같이  $M_Q$ 를 구할 수 있다.

$$M_Q = \sqrt{M_{Qx}^2 + M_{Qy}^2 + M_{Qz}^2} \dots\dots\dots (27)$$

라. 測度 設定

動力計를 조립하기 전에 우선 스트레인게이지가 부착된 외팔보의 測定感度を 試驗하였다. 두 종류의 외팔보에 入力荷重을 98N 간격으로 증가시키면서 스트레인을 측정하는 測定感度 시험은 3회 反復되었다. 각 외팔보의 測定感度 試驗結果 入力荷重에 대한 스트레인은 좋은 직선성을 보여 주었으며 히스테리시스도 발견되지 않았다. 그림 5와 그림 6은 각 외팔보의 入力荷重에 대한 스트레인의 關係를 나타낸 것이다. 荷重變換器의 測定感度は 제작회사에서 제공한 자료를 사용하였다.

測定感度 試驗結果를 적용하여 動力計의 각

측정부인 荷重變換器와 외팔보에 작용하는 힘을 측정할 수 있다. 荷重變換器와 외팔보를 조립하여 제작된 動力計의 較正을 위하여 動力計에 각 방향으로 荷重을 증가 및 감소시키며 각 측정부에서 작용하는 힘을 資料 蒐集裝置로 측정하였다. 動力計에 정확한 水平力, 側方力 및 垂直力이 작용하도록 도르레를 설치하여 作業機가 附着되는 지점에서 각 방향으로 줄을 연결하고 크기를 알고 있는 무게추를 달아 지면에 垂直方向으로 荷重을 주었다. 모멘트의 入力은 두 축이 교차하는 지점에서 각 方向成分의 하중을 주어 動力計에 각 방향의 모멘트가 작용하게 하였다.

### III. 結果 및 考察

動力計에 각각 水平力, 側方力, 垂直力을 주며 資料 蒐集裝置를 이용하여 각 測定部의 힘을 측정한 결과 각 방향간의 힘의 干涉은 발견할 수 없었다. 水平方向의 하중을 주었을 때 荷重變換器에 작용한 힘은 그림 7과 같이  $R^2$ 값이 0.99로 뛰어난 直線性을 나타내며 式(1)을 만족하므로 較正이 필요하지 않았다.

그림 8은 側方力을 주었을 때 測定部 B와 C에서 측정된 힘을 나타내고 있으며 그림 9는 垂直力을 주었을 때 測定部 D와 E에서 측정된 힘을 나타내고 있다. 각 測定部의 결과는 입력하중에 대해 좋은 직선성을 보여주나 이론식인 式(2), (3)과는 달리 두 測定部의 합과 입력하중은 차이를 보이므로 最小제곱법을 사용하여 較正하였다. 그림 8과 그림 9의 점선은 較正係數를 사용한 出力荷重을 나타내며 모두  $R^2$ 값이 0.99 이상으로 매우 양호한 상관관계를 보여주고 있으며 최대오차는 4% 미만으로 나타났다.

히스테리시스는 水平力을 작용하였을 때는 매우 작았으나 側方力 또는 垂直力을 작용하였을 때는 증가되었다. 水平力에 비하여 側方力 및 垂直力 측정부의 誤差와 히스테리시스가 상대적으로 증가한 이유는 荷重이 가해지는 부분이 완전한 點接觸이 이루어지지 못하고, 測定裝置 자체의 무게와 入力荷重이 전달되는 垂直力 支持 베어링의 원활한 회전이 안되기 때문으로 사료된다. 이러한 문제점은 자동조심 베어링대신 볼 베어링을 사용하면 용이한 회전을 할 수 있기 때문에 回復力을 향상시켜 감소될 수 있을 것으로 判斷된다.

모멘트의 較正을 위하여 각 方向成分의 入力 荷重을 주었을 때 각 모멘트 測定部에서 측정된 힘은 式(4), (5), (6)에 의하여 모멘트로 算出되었다.

그림 10은 각 方向의 입력된 모멘트에 대한 산출된 모멘트  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ 를 나타내고 있으며 直線性은 좋으나 많은 차이를 보여주고 있다. 동력계에 모멘트를 입력하기 위하여 方向成分의 荷重을 주었으므로 中部의 측정부에서도 힘이 측

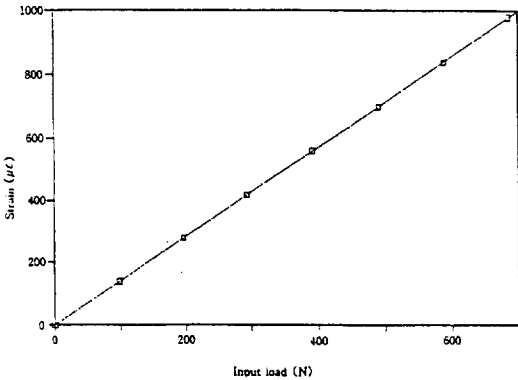


Fig. 5 Relationship between input load and strain of cantilever used for force measurement

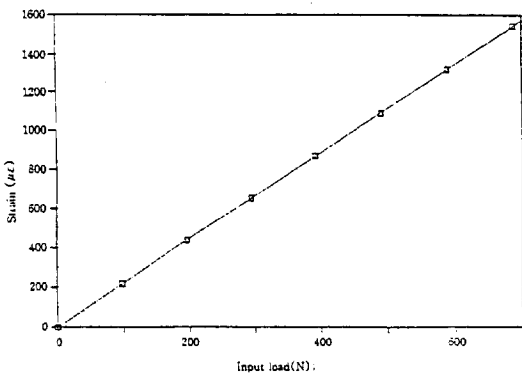


Fig. 6 Relationship between input load and strain of cantilever used for moment measurement

정되었다. 모멘트의 측정을 위한 後部는 별도로 제작되어 中部에 연결되었다. 方向成分의 入力荷重을 주었을 때 연결부에 비틀림 현상이 발생하였으며 入力荷重의 일부는 연결부에 전달되어 흡수되고 모멘트의 측정부에는 일부분만이 전달되어 측정된 것으로 생각된다. 이러한 문제점은 연결부를 改善하면 제거할 수 있을 것으로 생각된다.

한편 水平方向 하중( $F_x$ )에 의해 나타나는 側方向 모멘트( $M_y$ )는 50N 이하의 荷重 範圍內에서는 出力값이 측정되지 않았다. 쟁기 自體의 荷重으로 인하여 50N 이하의 荷重이 주어졌을 때 모멘트는 나타나지 않으나 실제 쟁기 作業時에는 水平方向에 가장 큰 荷重이 걸리기 때문에 50N 이하는 作業 範圍에서 무시할 수 있다고 判斷된다.

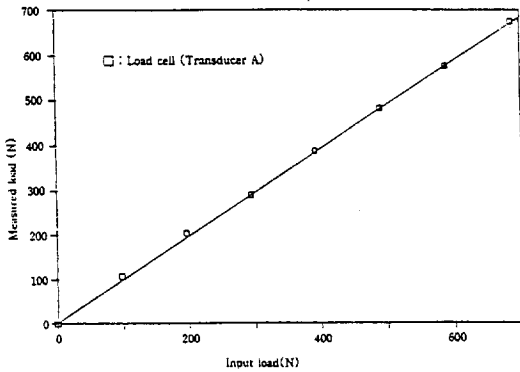


Fig. 7 Result for draft force calibration

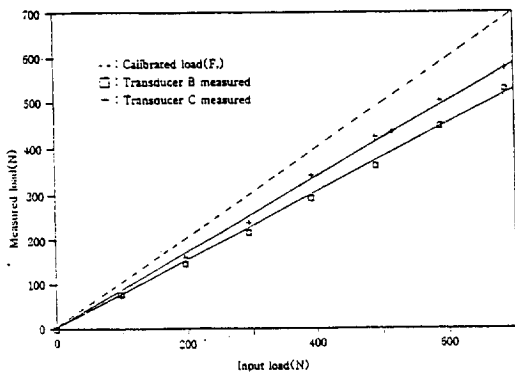


Fig. 8 Result for side force calibration

耕深을 조절하기 위하여 제작된 油壓式 3점하치는 牽引力 測定裝置가 水平을 유지하도록 上部 링크와 下部링크의 길이를 같게하였기 때문에 作業機의 垂直變位와 下部링크의 作業機 連結部의 變位는 같다. 3점하치에 장착된 作業機의 垂直變位를 測定하기 위해 로타리 포텐시미터와 實際 變位와의 관계를 測定한 結果는  $R^2$ 값이 0.99로 높은 直線性을 나타내었고 오차는 1% 이하로 나타났다.

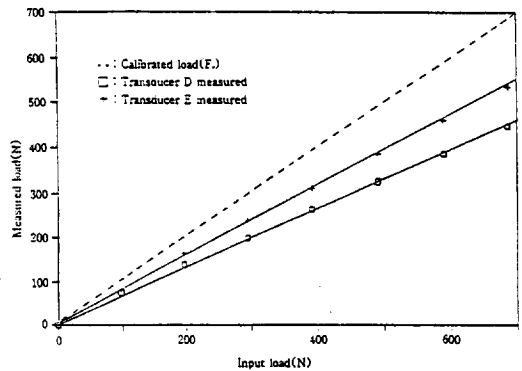


Fig. 9 Result for vertical force calibration

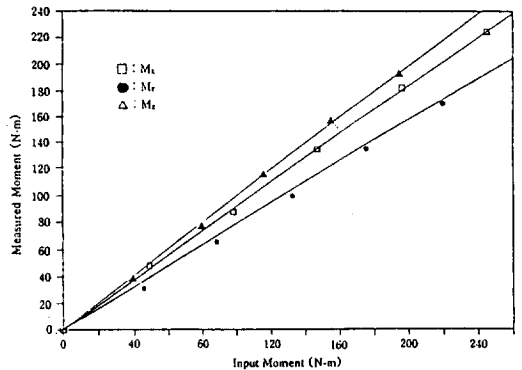


Fig. 10 Result for moment calibration

#### IV. 結 論

測定部間의 간섭을 최대한으로 줄여 測定誤差를 최소화 시킨 牽引抵抗 測定시스템을 開發하고, 이 시스템으로 부터의 測定資料를 正確하고 效果의으로 處理할 수 있는 資料蒐集 시스템을 開發하였다.

本測定 시스템은 作業機에 작용하는 6分力を 신뢰성있게 測定 및 蒐集하고 容易하게 分析할 수 있는 것으로 나타났다.

本 研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 本 6分力 測定 및 資料蒐集 시스템은 슬라이딩 베어링과 자동조심 베어링 및 유니버설조인트 등으로 이루어진 動力計와 마이크로 컴퓨터, 스트레인 增幅器(6 channel, 2 set), A/D 變換器 등으로 構成되었다.

2. 作業機의 牽引抵抗 測定에 필요한 6分力 및 耕深을 蒐集하기 위하여 開發된 C-言語 프로그램은 蒐集週期를 入力하여 資料蒐集 間격을 調節할 수 있도록 하였으며 資料를 컴퓨터의 화면에 出力하고 매 실험마다 화일에 貯藏할 수 있도록 함으로서 實驗 後 分析을 편리하게 遂行할 수 있었다.

3. 油壓式 3점히치에 裝着되는 動力計에 부착된 作業機는 로타리 포텐시오미터의 出力變位와 作業機의 실제 垂直變位와 R<sup>2</sup>값이 0.99 이상이고 오차는 1% 이하로 나타나 作業機의 耕深을 신뢰성 있게 測定할 수 있었다.

4. 動力計에 각각 水平力, 側方力, 垂直力을 주며 資料蒐集 裝置를 이용하여 각 測定部의 힘을 측정된 결과 각 방향간의 힘의 干涉은 발견할 수 없었으며 교정된 水平力, 側方力, 垂直力은 모두 R<sup>2</sup>값이 0.99 이상으로 매우 양호한 상관관계를 보여주고 있다.

5. 測定하여 算出된 모멘트 M<sub>x</sub>, M<sub>y</sub>, M<sub>z</sub>는 直線性이 좋으나 연결부의 비틀림 현상으로 入力된 모멘트와는 많은 차이가 있었다. 이러한 문제점은 모멘트 測定部의 연결부분을 改善하면 향상될 것으로 생각된다.

6. 入力荷重을 一定 比率로 감소시킬 때 나타나는 히스테리시스는 자동조심 베어링을 볼 베어링으로 바꾸어 좀 더 원활한 회전을 할 수 있게 하면 감소될 수 있을 것으로 判斷된다.

### 參 考 文 獻

1. 朴 成胤, 1989. 動力耕耙機 쟁기作業의 土壤

抵抗과 適正 作業 條件. 서울大學校 大學院 碩士學位論文.

2. 柳 永善, 1986. 트랙터의 圃場性能評價를 위한 資料蒐集處理 시스템의 開發. 서울大學校 大學院 碩士學位論文.

3. 張 裕燮, 尹 眞河, 吳 聖根, 柳 寬熙, 1985. 耕耘機用 쟁기 改良에 關한 研究. 農試論文集 (農機, 農經, 蠶業). 27(1) pp.1-9

4. 趙 誠瓚, 宋 鉉甲, 1986. 動力耕耘機 이경作業의 力學의 特性에 關한 研究. 農村 熱에너지 研究報告論文 2(1). pp.1872-1882

5. 韓 明範, 1987. 쟁기의 幾何學의 特性과 所要 牽引力에 關한 研究. 서울大學校 大學院 碩士學位論文.

6. Carter, L.M. 1981. Instrumentation for measuring average draft. Transaction of the ASAE 24(1) pp.23-25, 30

7. Johnson, Clarence.e., Ward B.Voorhees. 1979. A Force Dynamometer for Three-Point Hitches. Transaction of the ASAE. 22(2) pp. 226-228

8. Orlandea, N., S.H.Chen, T.Berenyi. 1983. A Study of Soil-Tool Interactions. Transactions of the ASAE. 26(6) pp.1619-1625

9. Perumpral, J.V., L.C.Chance, F.E.Woeste, C. S.Desai. 1980. A Matrix Method for Force and Moment Analysis on a Tillage Tool. Transactions of the ASAE. 23(5) pp.1072-1075

10. Reid, J.T., L.M.Carter, R.R.Clark. 1985. Draft Measurements with a Three-Point Hitch Dynamometer. Transaction of the ASAE. 28(1) pp.89-93

11. Scholts, D.C., 1966. A Three-Point Linkage Dynamometer for Restrained Linkages. Journal of agricultural engineering research. 11(1) pp.33-37

12. Smith, L.A., G.L.Barker. 1982. Equipment to Monitor Field Energy Requirements. Transactions of the ASAE.



13. Tetuka,U., T.Konaka. 1960. Studies on the Draft of Implements Mounted on Small Tractor(I). Measurement of Draft of Japanese Plow on the Field. JSAE 22(3) pp 95-98

14. Tetuka,U., T.Konata. 1961. Studies on the Draft of Implements Mounted on Small Tractor(II). Trial made of device for measuring three components and three moments of Draft. JSAE 22(4) pp.123-126

15. Tetuka,U., T.Konata. 1961. Studies on the Draft of Implements Mounted on Small Tractor(III). 6-Components of Draft of Japanese Plow.

JSAE 26(1) pp.30-34



### 學位取得



姓名: 李 忠 浩

生 年 月 日: 1949年 4月 25日

勤 務 處: 韓國農機具工業協同組合

取得學位名: 農學博士

學位授與大學: 檀國大學校 大學院

學位取得年月日: 1991年 2月 22日

學位論文: 모리 細條播機械化 栽培의 增收要因分析과 適應品種의 特性