

스트레인 게이지를 이용한 土壤 硬度計의 開發 (I)

金泰漢 · 李基明 · 章益柱*

慶北大學校 農科大學 農工學科

Development of a Soil Hardness Meter with Strain Gages.

Kim, Tae Han · Lee, Ki Myung · Jang, Ik Joo*

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

*Dept. of Agric. Engineering, Graduate School

Summary

A soil hardness meter with strain gages was developed in order to measure the hardness of the soil.

Soil hardness tests were conducted at the laboratory based on this measuring system.

Also, these results were compared with that from the cone penetrometer which is widely used for this purpose.

The following conclusions were drawn from the results.

1. Since the correlation coefficient of calibration curve obtained from the soil hardness meter with strain gages was 0.99876 and that of calibration curve obtained from the cone penetrometer with dial gage was 0.97150, the soil hardness meter with strain gages was more recommendable than that with dial gage for this purpose.

2. Standard deviations of soil hardness for sands and soil of paddy field when the soil hardness meter with strain gages was used were 6.794 and 8.271, respectively and that of soil hardness for sands and soil of paddy field when the cone penetrometer with dial gage was used were 7.490 and 9.169, respectively.

Thus, the soil hardness meter with strain gages seemed to have lower measuring error than with dial gage.

緒 論

現在 農家에 많이 普及된 動力耕耘機, 트랙터, 바인더, 콤바인 등의 農機械는 大部分의 作業이 土壤에 接하는 走行裝置에 依하여 이루어지며 특히 논, 밭 등 圃場의 土壤은 砂

質土에서 粘質土에 이르는 그 種類가 多樣하고 均一하지 못한데다 土壤의 水分과 硬度的 變化에 따라 그 物理的 性質이 크게 變化되므로서 圃場에서 農機械를 使用할 경우 圃場의 狀態가 農機械의 走行性能과 燃料 消耗率에 크게 影響을 미치는 것은 周知의 事實이다.

그러므로 우리나라 農耕地에 알맞는 農機械의 開發과 普及에 있어서는 우리나라 農耕地의 土壤狀態에 關한 調查資料를 基礎로 해야하나 現在 農機械와 關聯된 土壤調查資料는 거의 없는 狀態이므로 日本이나 美國 等 先進外國의 資料에 依存하고 있는 實情이다.

이에 本 研究는 이러한 點에 着眼하여 實際 現場測定에 어려운 諸土壤性質中 走行性能에 가장 크게 影響을 미치는 土壤硬度를 測定함에 있어서 使用이 便利하고 精密測定이 可能한 測定器를 開發하는 一段階 研究로서 現在 Dial gage를 使用하는 Cone penetrometer에 스트레인 게이지를 使用改造하여 깊이별 連續測定이 可能하도록 하고 精度가 높은 土壤硬度計의 開發을 目的으로 本 研究를 遂行하였다.

土壤硬度計의 設計

가. 理 論

1) Ring

Ring은 오랫동안 荷重測定裝置의 Spring으로서 使用되어 왔으나 1951年 Cook¹¹⁾에 의해서 Load Cell로서 Ring의 總에너지를 測定하는 것이 實現되어 이와같은 裝置의 利用率이 매우 높아지게 되었다.

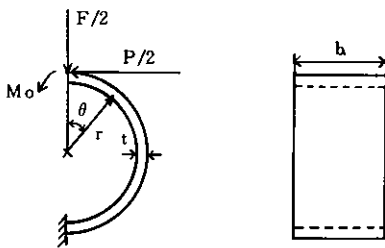


Fig. 1. Ring element for elastic analysis.

F: Vertical load P: Horizontal load
 Mo: Moment θ: Angle r: Radius
 b: Width t: Thickness
 E: Modulus of elasticity

지금 그림 1에서와 같이 垂直荷重 F와 水平荷重 P가 가해지는 半 Ring에서 Ring의 上

部와 F部가 回轉하지 않도록 固定되어 있다고 假定한다. 이 條件을 만족시키기 위해서 必要한 Moment를 Mo Ring의 任意의 點에 對한 Bending Moment를 Mo라고 한다면 다음 (1)式¹¹⁾이 成立된다.

$$M_{\theta} = M_0 + \frac{F \cdot r}{2} \cdot \sin \theta + \frac{P \cdot r}{2} (1 - \cos \theta) \quad (1)$$

또 Ring에 있어서의 全彈性에너지 U는 (2)式¹¹⁾으로 나타낼 수 있다.

$$U = \frac{1}{2EI} \int_0^{\pi} M_{\theta}^2 r d\theta \quad \dots\dots\dots(2)$$

θ=0에서 Ring의 角回轉量 φ는 0이다. 따라서

$$\left(\frac{\partial U}{\partial M_0} \right)_{M_0=0} = 0 = -\frac{1}{EI} \int_0^{\pi} M_{\theta} \frac{\partial M_{\theta}}{\partial M_0} r d\theta \quad \dots\dots\dots(3)$$

혹은

$$0 = \int_0^{\pi} \left[M_0 + \frac{F \cdot r}{2} \cdot \sin \theta + \frac{P \cdot r}{2} (1 - \cos \theta) \right] d\theta \quad \dots\dots\dots(4)$$

가 되어 이 (4)式을 積分하면

$$M_0 \pi + F r + \frac{P \cdot r}{2} \pi = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

혹은

$$M_0 = -\frac{F \cdot r}{\pi} - \frac{P \cdot r}{2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

의 式이 된다.

지금 (6)式을 (1)式에 代入하면

$$M_{\theta} = \frac{F \cdot r}{2} \left(\sin \theta - \frac{2}{\pi} \right) - \frac{P \cdot r}{2} \cos \theta \quad \dots\dots\dots(7)$$

의 式이 되고 여기에서 F와 P에 依한 Moment가 0이 되기 위해서는

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{2}{\pi} & \theta &= 39.6^{\circ} \\ \cos \theta &= 0 & \theta &= 90^{\circ} \end{aligned}$$

로 되어 $\theta=39.6^\circ$ 인 곳에서는 水平方向의 힘에 依해서, $\theta=90^\circ$ 인 곳에서는 垂直方向만의 힘에 依해서 Moment가 發生한다.

따라서

$$M_{39.6^\circ} = -\frac{P \cdot r}{2} \cos 39.6^\circ = -0.385 P \cdot r \dots (8)$$

$$M_{90^\circ} = \frac{F \cdot r}{2} \left(\sin 90^\circ - \frac{2}{\pi} \right) = 0.181 F \cdot r \dots (9)$$

의 式이 된다.

또한 얇은 Ring에 있어서 스트레인 ϵ 는¹⁾ Ring의 幅을 b 라 하면

$$\epsilon = \frac{6 M}{E b t^2} \dots (10)$$

의 式이 되고

$$\epsilon_{39.6^\circ} = 2.31 \frac{P \cdot r}{E b t^2} \dots (11)$$

$$\epsilon_{90^\circ} = 1.09 \frac{F \cdot r}{E b t^2} \dots (12)$$

이 된다.

그러므로 Cone penetrometer는 鉛直方向의 抵抗을 測定하는 器具이기 때문에 Ring에서 θ 가 90° 인 곳에 Strain gage를 附着한다면 垂直荷重에 따른 Strain의 變化를 測定하는 것이 可能할 것이다.

2) Strain gage의 測定回路

게이지 抵抗線의 抵抗變化를 測定하기 위해서는 微小抵抗變化의 測定에 正確도가 높은 그림 2와 같은 휘이트스톤 브리지(Wheat-stone bridge) 回路가 쓰이며,

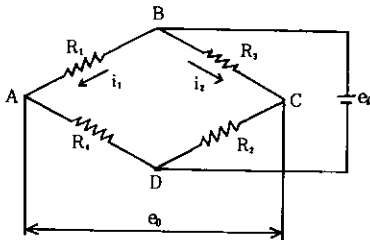


Fig. 2. Basic wheatstone bridge circuit.

그림 3에서와 같이 Ring모양의 荷重變換器를 製作하여 抵抗이 R인 Gage G_1, G_2, G_3, G_4 를 各各 그림 2의 抵抗 R_1, R_2, R_3, R_4 로 하면 荷重 M에 의해서 R_1 과 R_2 는 引張變形으로 各各 $R + \Delta R$ 로, R_3 와 R_4 는 壓縮變形으로 各各 $R - \Delta R$ 로 變한다.

따라서 出力電壓 e_0 는²⁾

$$e_0 = \left\{ \frac{R + \Delta R}{(R + \Delta R)(R - \Delta R)} - \frac{R - \Delta R}{(R + \Delta R)(R - \Delta R)} \right\} e = \frac{4 \Delta R}{R} e$$

로 된다. 그래서 $\frac{\Delta R}{R} = K$ 라 하면

$$e_0 = k e$$

가 되어 e_0 는 Strain ϵ 에 比例하므로 e_0 를 測定하므로써 Strain ϵ 를 求할 수 있다.

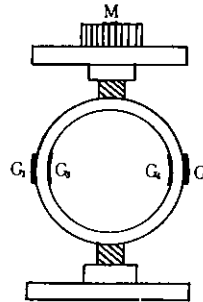


Fig. 3. Schematic diagram of the ring type load cell.

M: Load G_1, G_2, G_3, G_4 : Strain gages

나. 試作機 製作

現在 土木用 土壤硬度計로 使用되고 있는 Dial gage를 利用한 貫入試驗器를 抵抗測定用的 Ring에 抵抗 120Ω인 G_1, G_2, G_3, G_4 , 4枚의 Strain gage를 그림 4와 같이 부착하여 Full bridge로 回路를 構成시켜 試作機를 製作하였으며 Strain Amplifier (KYOWA DP M305B)에 依해 增幅하여 電子 Oscillo-graph에 依해 記錄되도록 하였다.

또한 貫入用的 Cone形態를 農機械와 關聯이 있다고 推定되는 여러 種類의 形態로 開發하여 比較試驗을 할 수 있도록 試作機를 製作하였다.

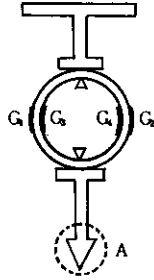


Fig. 4. Schematic diagram of the soil hardness meter.
 G_1, G_2, G_3 : Strain gages
 A : Cone

檢 定

가. 方 法

스트레인 게이지를 이용하여 제작한 土壤 硬度計를 固定시키고 40kg까지 既知의 荷重을 段階의으로 加하여 Strain을 測定하여 Calibration하였으며 既存의 것과 比較하기 위하여 Strain測定과 同時에 Dial gage를 附着하여 Dial gage에 依한 Calibration도 並行하였다.

나. 結果 및 考察

檢定實驗 結果 그림 5에서와 같이 Strain gage를 이용한 土壤硬度計의 Calibration 曲線은 相關係數가 0.99876이었고 그림 6에서와 같이 Dial gage를 이용한 既存 試驗器의 Calibration 曲線은 相關係數가 0.97150이었다.

따라서 Strain gage를 이용한 것이 Dial gage를 이용한 것에 비해 훨씬 더 좋은 直線性을 보여 正確한 測定이 可能함을 示唆해 주고 있다.

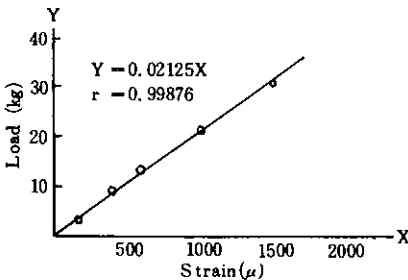


Fig. 5. Calibration curve of the soil hardness meter.

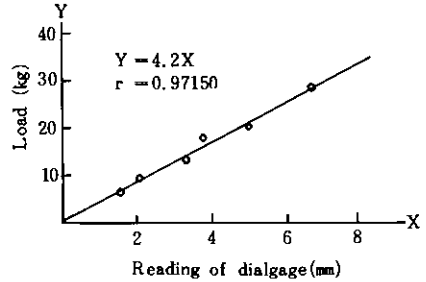


Fig. 6. Calibration curve of the cone penetrometer.

測 定 例

가. 實驗方法

同一한 土壤에 對한 測定誤差를 把握하기 위해서 크기가 45cm×45cm×45cm인 土壤槽를 製作하여 모래, 논흙 등 2種類의 土壤을 10cm 두께로 넣어 均一하게 다진 후 깊이별로 土壤硬度를 測定하였으며 土壤硬度計인 Strain gage를 이용한 것과 既存의 Dial gage를 이용한 것을 同時에 測定하여 比較하였다.

이때 土壤의 硬度 測定時 Cone의 貫入速度는 1cm/sec^{0.5}로 하였다.

나. 結果 및 考察

製作한 土壤硬度計와 既存 試驗器를 利用하여 同一 土壤에 對하여 土壤의 種類別로 깊이에 따른 土壤硬度를 5回 反復해서 測定한 값을 平均한 結果가 그림 7, 그림 8과 같이 나타났다.

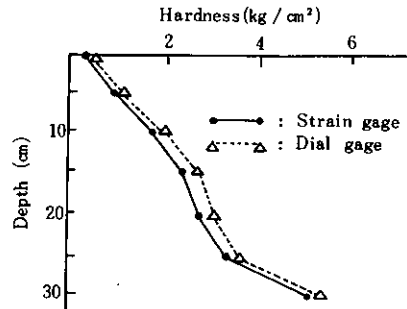


Fig. 7. Relation between soil hardness and depth in sands.

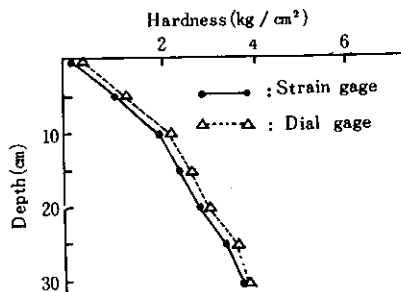


Fig. 8. Relation between soil hardness and depth in soil of paddy field.

그림 7 과 그림 8 은 各各 모래, 논흙에 對한 깊이별 土壤硬度를 나타낸 것으로서 스트레인 게이지를 利用한 土壤硬度計를 使用해서 測定한 것과 Dial gage를 利用한 既存 試驗器를 使用해서 測定한 것을 比較해 보면 모래, 논흙 다같이 깊이에 따라 土壤硬度가 增加하는 傾向을 보이고 있으나 그 크기는 相異함을 알 수 있다.

이와같이 同一 土壤에 對한 硬度가 相異하게 나타나는 理由는 여러가지 原因이 있겠지만 測定時 土壤의 다짐상태, 含水比, 土壤內 異物質의 內包 計測機器의 誤讀 等の 原因에 依한 경우와 計測機器의 缺陷에 依한 경우가 있다고 하겠다.

그러나 여기에 나타난 傾向은 土壤을 넣은 土壤槽內의 同一 地點에 對하여 土壤硬度計와 既存 試驗器를 同時에 使用해서 測定했기 때문에 土壤의 다짐상태, 含水比, 異物質의 內包 等の 原因으로 因한 誤差는 없을 것으로 생각되며 다만 Strain gage를 利用한 土壤硬度計에 比하여 Dial gage를 利用한 既存 試驗器가 零点調整이 不確實한 데에 主된 原因이 있는 것으로 思料된다.

또한 土壤硬度를 各各 5回 反復해서 測定한 後 깊이별로 反復回數에 따른 標準偏差를 計算한 結果 表 1, 表 2 와 같이 나타났다.

表 1 에서 나타난 바와 같이 모래에 對한 硬度의 標準偏差 平均이 Strain gage를 利用한 土壤硬度計의 경우 6,794 Dial gage를 利用한 既存 試驗器의 경우 7,490으로 나타났다으며 또한 表 2 에서 나타난 바와같이 논흙에

Table 1. Standard deviation of the soil hardness in sands.

Classi. No.	Soil hardness meter	Cone penetrometer
1	6,880	7,926
2	6,795	7,889
3	6,951	8,098
4	6,743	7,201
5	6,603	6,967
Mean	6,794	7,490

Table 2. Standard deviation of the soil hardness in soil of paddy field.

Classi. No.	Soil hardness meter	Cone penetrometer
1	8,330	9,289
2	8,218	10,206
3	8,009	9,449
4	8,516	8,524
5	8,282	8,338
Mean	8,271	9,161

對해서도 硬度의 標準偏差 平均이 土壤硬度의 경우 8,271 既存 試驗器의 경우 9,161로 나타나, Strain gage를 利用한 土壤硬度計가 Dial gage를 利用한 既存 試驗器에 比해 誤差가 작음을 알 수 있다.

摘 要

農機械의 圃場作業時 走行性能에 크게 影響을 미치는 土壤硬度를 깊이별로 測定하기 위한 土壤硬度計 開發을 目的으로 스트레인 게이지를 利用한 土壤硬度計를 製作하여 硬度를 測定한 實驗에서 얻어진 結果를 要約하면 다음과 같다.

Strain gage를 利用한 土壤硬度計의 Calibration曲線이 相關係數가 0.99876, Dial gage를 利用한 既存 試驗器의 Calibration曲線이 相關係數가 0.97150으로 나타나 Strain

gage를 이용하는 쪽이 더욱 精密한 測定이 可能하였다.

同一 土壤에 對한 測定置의 標準偏 差는 모래, 논흙 2種의 土壤에 對하여 各各 Strain gage를 利用한 土壤硬度計가 6.794, 8.271, Dial gage를 利用한 既存 試驗器가 7.490, 9.161로 나타나 Strain gage를 利用 하는 쪽이 測定誤差가 작았다.

引 用 文 獻

1. Cook, N.H., and Rabinowcz, E. 1963. Phys - ical measurment and analysis. pp153~166. Addison-Wesley publishing Company Inc.
2. 韓應教, 1976. 스트레인 게이지 pp18-184. 普成 文化社 서울.
3. Lambe, T W. 1967. Soil testng for engineers pp148-151 New York. John Wiley & Sons, Inc. London. Sydney.
4. 李基明, 李錫健, 金泰漢, 1982. 壠土内の 應力分 布에 關한 研究, 韓國農機誌 7(2); 1-7
5. 李癸昇, 高學均, 1979. 畝作의 效率의 耕整地 方法에 關한 研究, 韓國農機誌 4(1); 35~47
6. 朴虎錫, 車均度, 1977. 土壤水分과 硬度가 動力 耕耘機의 索引性能에 미치는 影響, 韓國農機誌 2(1) ; 25-32
7. 柳寬熙, 鄭昌柱, 高學均, 崔在甲, 劉壽男, 1980. 農業機械의 스트레인 게이지 應用에 關한 研究, 韓國農機誌 5(2): 40-57
8. 土質工學會編, 1980. 土質調査法 pp 213-233. 土質工學會 東京.
9. 土質工學會, 1979. 教育關係資料編集委員會編, 土 的試驗, 調査實習書 pp201-211 土質工學會 東京