

트랙터 附着用 土壤沈下 및 剪斷 試驗器의 設計

Design of a Tractor mountable Bevameter

柳 寬 熙*, 金 景 旭*, 孫 相 純
K. H. Ryu, K. U. Kim, S. S. Sohn

Summary

New design of a bevameter was attempted so that it can be not only attached to and powered by the tractor hydraulic control system, but is equipped with a data acquisition system using a microcomputer. Results of field tests of the new design showed that it has a good performance and practical applicability to the measurements of pressure-sinkage and shear stress-displacement relations from which soil parameters of the Bekker theory can be evaluated.

1. 緒 論

오늘날 走行裝置의 性能豫測에서 가장 普遍的으로 利用되고 있는 土壤變數에는 圓錐貫入抵抗 指數 (cone index), 土壤粘着係數, 土壤의 內部摩擦角, 土壤의 剪斷變形常數, 土壤變形指數 등이 있다. 이러한 變數들은 古典的인 Wismer-Luth 式¹⁾과 Bekker 理論²⁾에서 適用된 가장 基本的인 土壤變數로서, 그 自體로서는 物理的으로 의미가 없으나 최근까지도 測定의 간편성 때문에 제한된 범위에서는 가장 널리 사용되고 있는 變數이다. 특히 土壤推進力學 (soil traction mechanics)의 古典的 理論을 이해하고 應用하는 데에는 必須的이며 또한 그 重要性이 높다고 하겠다.

Bekker 理論의 基本 土壤變數인 土壤의 粘着係數, 內部摩擦角, 剪斷變形常數, 變形指數는 그 重要性에 比하여, 이들의 값을 決定하기 위한 測定裝置 및 데이터 蒐集裝置의 開發은 극히 부진한 實情이다. 대부분 필요에 따라 土壤의 荷重-沈下 및 剪斷試驗器를 設計·製作하여 活用하고 있으며, 이들 또한 室內의 土壤槽에서 사용될 목적으로 設計되었기 때문에 野外 圃場實驗에서는 적합하지 않는 경우가 많다. 國內에서 일부 活用되고 있는 SR-2型 土壤測定器도 圓錐貫入抵抗을 測定하는 데에는 적합하지만 土

壤의 荷重-沈下 및 剪斷 試驗用으로는 不足한 점이 있고, 人力으로 作動되기 때문에 連續的인 데이터 蒐集과 記錄은 不可能하다.

本 研究은 이러한 既存의 土壤測定裝置 (bevameter)의 缺陷을 補完할 수 있는 土壤의 荷重-沈下 및 剪斷試驗 裝置로서 트랙터 附着型 土壤測定裝置를 開發하기 위하여 試圖되었다. 트랙터 附着型 土壤測定裝置는 트랙터의 油壓을 利用하여 野外 圃場에서도 편리하게 荷重-沈下 및 剪斷試驗을 수행할 수 있고, 필요한 데이터 蒐集裝置를 開發하여 連續的인 데이터 蒐集 및 記錄이 可能하도록 하였다.

2. 研究史

土壤의 荷重-沈下 및 剪斷試驗의 基本原理는 土質力學 分野에서 定立되어 왔다. 그러나 그 原理에 의하여 車輪-土壤力學 (wheel-soil mechanics)에서 요구되는 土壤의 粘着係數, 內部摩擦角, 變形指數 등을 決定할 수 있는 荷重-沈下 및 剪斷試驗裝置는 Bekker²⁾ (1960)에 의하여 최초로 紹介되었다. Bekker는 剪斷試驗裝置에서 突起가 달린 직사각형의 剪斷板을 사용하였으나, Bekker의 裝置가 實用化되는 過程에서 직사각형의 剪斷板은 원형의 剪斷板 (shear ring)으로 改善되었다. 즉 直線的인 土壤

*서울大學校 農科大學 農工學科

의 剪斷變形보다는 회전變形(rotational distortion)을 測定하는 方法이 이용되었다. Weiss²⁾ (1952)의 土壤트러스(soil truss)도 원형의 剪斷板을 이용하여 Bekker의 裝置를 實用化한 것이다.

Weiss의 土壤트러스 以後 많은 研究者들에 의하여 荷重-沈下 및 剪斷試驗裝置가 製作되었으나 새로운 原理에 의하여 開發된 測定裝置라기 보다는 대부분 Bekker 裝置의 基本原理가 적용되었으며 研究目的에 따라 적절히 變化된 型式이 많았다. 沈下 速度와 沈下方向의 調整³⁾, 計測裝置의 改善⁴⁾ 등이 주된 變化의 方向이었다. 그러나 이러한 土壤測定 裝置는 公同적으로 土壤槽에서 使用하기 위한 것이었기 때문에, 野外 圃場에서 使用하는 경우에는 移動性과 作動에 필요한 動力을 供給하는 데 어려운 問題點이 있었다.

3. 土壤 沈下 및 剪斷試驗器의 設計

가. 基本 設計條件

試驗器의 移動性과 動力供給의 難題를 해결하고, 마이크로컴퓨터를 이용하여 데이터를 蒐集하고 處理할 수 있는 트랙터 附着型 土壤 沈下 및 剪斷試驗器를 開發하기 위하여 本 研究에서는 다음과 같은 基本 設計條件을 設定하였다.

1) 試驗器 作動에 필요한 動力은 트랙터의 油壓 動力을 利用한다. 따라서 試驗器의 油壓裝置는, 國內에서 生産되고 있는 트랙터의 油壓裝置를 고려하여, 最大 回路壓力과 流量을 각각 170Kg_r/cm², 40ℓ/min로 하였다.

2) 트랙터에 装着되는 試驗器의 3點 히치는 30~75kw의 트랙터를 기준으로 한 category II로 한다.

3) 試驗器는 荷重-沈下試驗裝置와 剪斷試驗裝置를 결합한 형태로 設計한다.

4) 試驗에서 使用되는 平板과 剪斷板은 필요에 따라 교환할 수 있도록 한다.

5) 汎用 마이크로컴퓨터를 利用하여 데이터의 測定과 蒐集 및 處理를 동시에 수행할 수 있도록 한다.

나. 試驗器의 基本構造와 構成裝置

수차의 브레인스토밍(brainstorming)過程을 통하여 基本 設計條件을 만족할 수 있는 試驗器의 構造를 Fig. 1에서와 같이 결정하고 각 構成裝置에 대한 細部設計를 실시하였다.

1) 프레임

프레임 外形은 中空長方形 構造로 設計하였으며, Fig. 1에서와 같이 内部에는, 上部에 하나의 固定 받침대의 下部에 프레임의 前面 기둥을 따라 滑動할

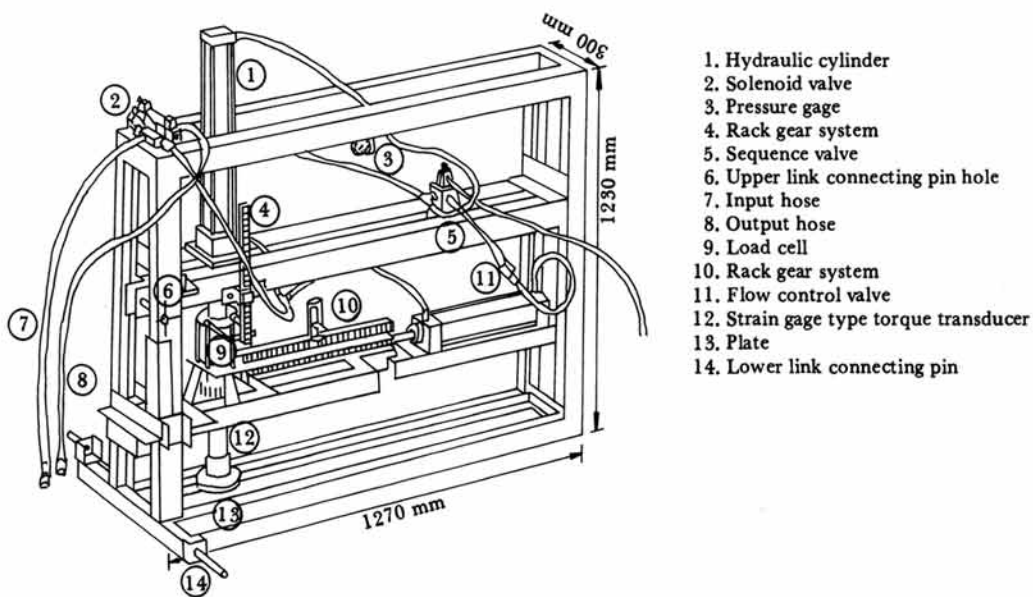


Fig. 1. Layout of prototype bevameter.

수 있는 移動 裝置臺을 설치하였다. 프레임에 固定된 上部받침대에는 沈下用 油壓실린더와 油壓裝置의 시퀀스밸브(sequence valve)를 설치하였으나 下部裝置臺에는 荷重-沈下 및 剪斷試驗裝置를 固定하여 試驗裝置 全體가 上下로 滑動할 수 있도록 하였다. 프레임의 前面에는 左右에 히치포인트 간격이 823mm인 下部링크 연결핀과 마스트 높이가 483mm인 下部링크 연결핀 구멍을 설치하여, 프레임이 category II의 3點히치에 裝着될 수 있도록 하였다. 그러나 프레임의 重量은 設計에서 고려되지 않았다.

2) 荷重-沈下 試驗裝置

荷重-沈下 裝置는 垂直荷重을 發生하는 油壓실린더, 作用荷重을 測定하는 힘 變換器, 沈下量을 測定하는 回轉型 포텐쇼미터(potentiometer)로 構成하였다. 平板에 作用하는 垂直荷重은 Fig. 2에서와 같이 油壓피스톤에 의하여 移動裝置臺가 移動함에 따라 平板으로 傳達되며, 힘變換器로써 測定된다.

- 1. Hydraulic piston
- 2. Load cell
- 3. Upper link connecting pin hole
- 4. Rack gear system
- 5. Moving bar
- 6. Plate holder

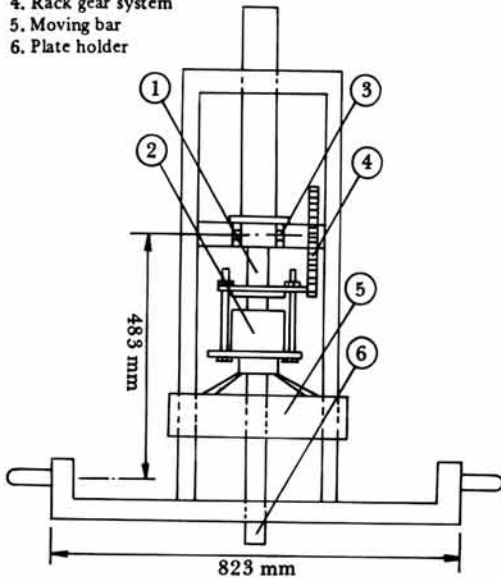


Fig. 2. Load-sinkage device.

平板이 沈下되면 移動裝置臺에 附着된 랙(rack)이 랙기어를 驅動하고, 랙기어는 다시 回轉型 포텐쇼미터를 作動하여 沈下量을 測定한다. 油壓피스톤으로 平板에 作用시킬 수 있는 最大 垂直荷重과 沈下

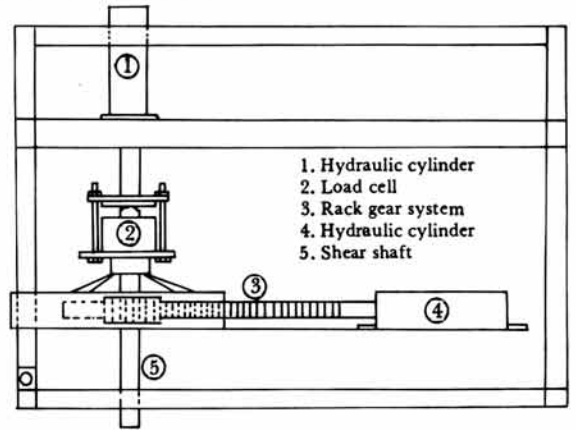


Fig. 3. Shear test device.

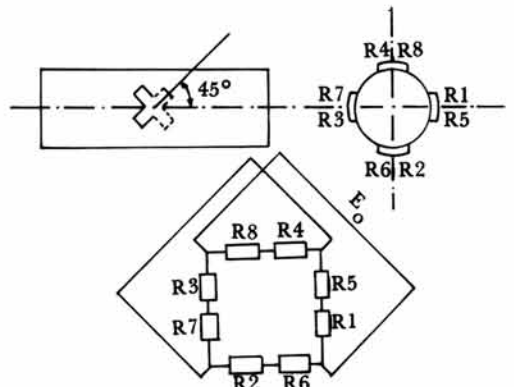


Fig. 4. Wheatstone bridge of torque transducer.

量은 각각 4000.Kgf, 50cm로 하였다.

3) 剪斷試驗裝置

移動裝置臺에 固定된 剪斷試驗裝置는 Fig. 3에서와 같이 油壓피스톤의 直線運動을 沈下軸의 回轉運動으로 變換하는 랙기어 시스템과 랙을 驅動하는 油壓실린더로 構成하였다. 剪斷링에 作用하는 垂直荷重은 荷重-沈下裝置의 油壓피스톤으로 調整되며, 剪斷토크는 Fig. 4에서와 같이 沈下軸에 스트레인 게이지형 토크變換器를 설치하여 測定한다. 剪斷링의 回轉變位는 랙기어에서 설치된 回轉型 포텐쇼미터로써 測定한다. 荷重-沈下 및 剪斷試驗裝置에 사용된 힘變換器, 回轉型 포텐쇼미터, 랙기어 시스템의 諸元은 Table 1에서와 같다.

4) 油壓裝置

油壓裝置는 트랙터의 遠隔油壓을 利用하여 各 試驗裝置의 油壓실린더를 作動하는 데 필요한 油壓밸브, 油壓게이지, 油壓호스 등으로 構成된다. 트랙터

Table 1. Components of load-sinkage and shear devices.

Components	Specification
Force transducer	Manufacturer: Kyowa Elec., Japan Model: LC-2 TE Capacity : 2 ton
Rotary potentiometer	Manufacturer: Sakae, Japan Model : 22 HP-110 Capacity : 10K Ω
Rack and gear for load-sinkage device	m = 1.82mm, Z = 11
for shear device	m = 2.10mm, Z = 19
for sinkage shaft	m = 2.70mm, Z = 37

m : Gear module, Z : No. of gear teeth

의 油壓은 트랙터의 油壓裝置에 설치한 遠隔油壓 調整밸브를 통하여引出되며, 솔레노이드밸브를 통하여 各 試驗裝置의 油壓실린더로 傳達된다. 油壓실린더는 設計油壓과 流量을 고려하여 選定하였으며 往復運動을 할 수 있도록 復動式을 택하였다. 솔레노이드밸브는 復動式 실린더에 適合한 4 port - 3 way 型 直流 솔레노이드밸브를 사용하였다. 一般의 油壓펌프를 사용하여 두개의 실린더를 驅動하기 위해서는 시퀀스밸브가 필요하므로, 트랙터의 油壓펌프를 1 개로 가정하고 시퀀스밸브를 설치하여 壓力調節나사로서 必要壓力를 設定할 수 있도록 하였다. 流量 調節밸브는 마이크로미터 調整式을 선택하였다. Fig. 5는 油壓裝置의 回路圖를 나타낸 것이며, 油壓裝置의 주요 部品에 대한 諸元은 Table 2에서와 같다.

5) 데이터 蒐集裝置

Table 2. Specifications of hydraulic components.

Components	Specifications
Hydraulic cylinder	Dia. x Stroke: 50x500mm Max. pressure: 210Kgf/cm ² Power: DC24V
Solenoid valve	Max. pressure: 210Kgf/cm ² Max. flow rate: 38 l/min Power: 30W
Sequence valve	Max. pressure: 210Kgf/cm ² Max. flow rate: 50 l/min Pressure control: 35-140Kgf/cm ² range
Flow control valve	Max. pressure: 150 Kgf/cm ² Max. flow rate: 9 l/min

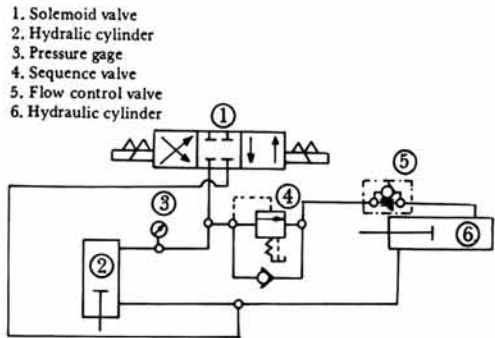


Fig. 5. Hydraulic circuit of the bevameter.

힘變換器, 回轉型 포텐쇼미터 및 토오크變換器에서 發生된 데이터를 마이크로컴퓨터에 入力하기 위하여 Fig. 6에서와 같이 信號調整 및 A/D 變換을 실시하였다. 스트레인지지型인 힘變換器와 토오크變換器에는 스트레인增幅器를 이용하였으며, 포텐쇼미터에는 DC調整器를 이용하였다. A/D變換器는 12bit 分解能과 8 채널의 멀티플렉서(multi plexer)

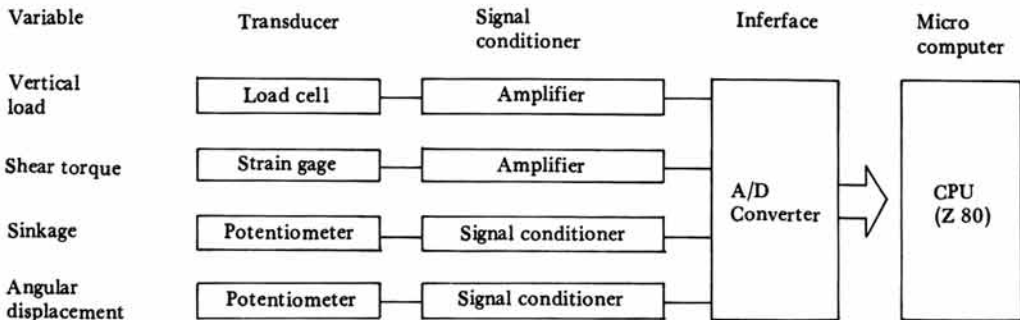


Fig. 6. Block diagram of data acquisition system.

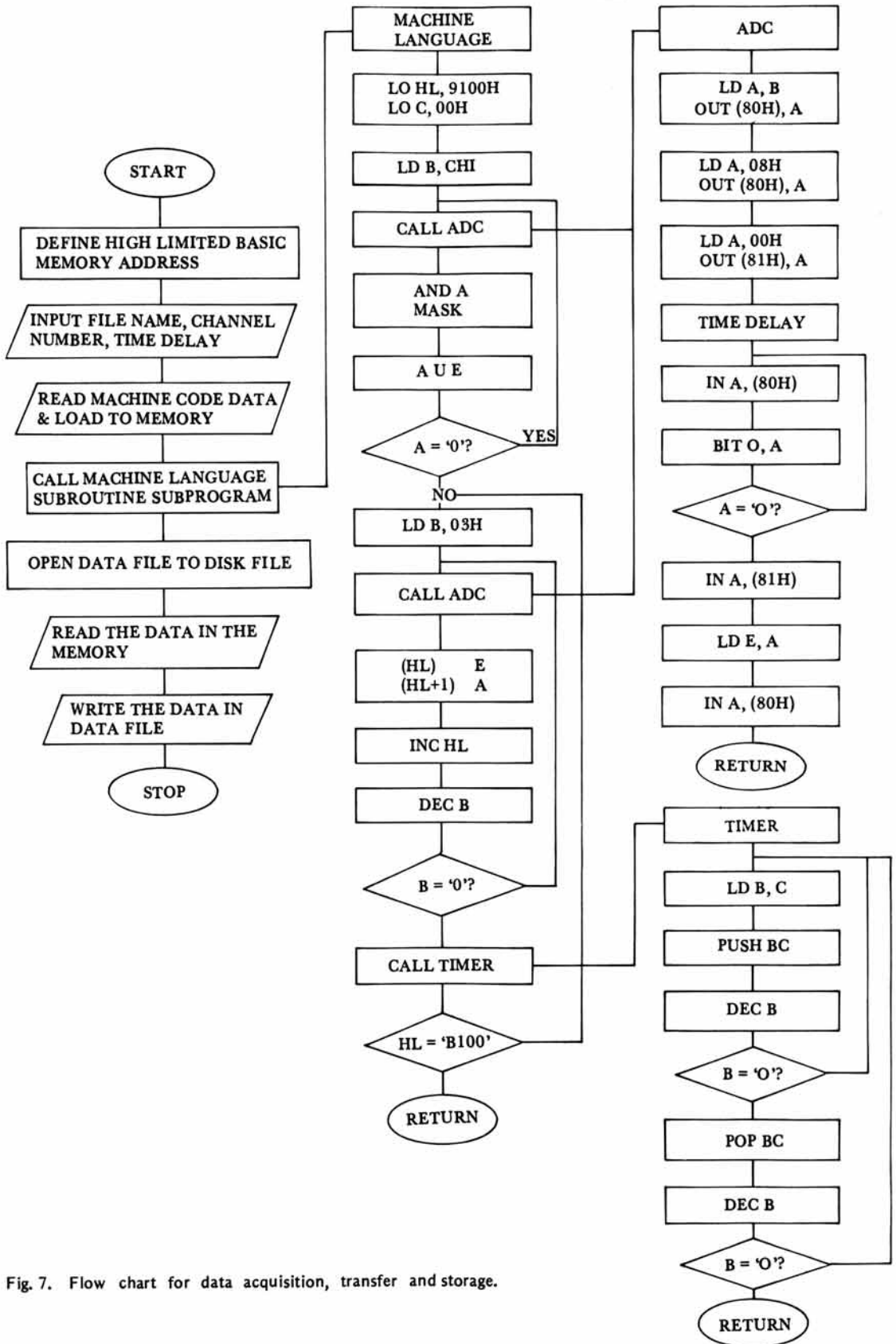


Fig. 7. Flow chart for data acquisition, transfer and storage.

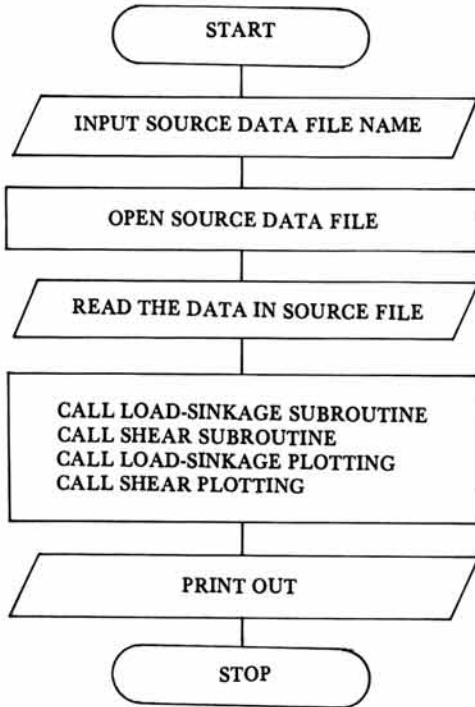


Fig. 8. Flow chart for data analysis.

水比는 각각 33.6%, 32.5% 程度이었다. 荷重-沈下試驗에서 사용된 平板은 75×150, 100×150, 125×150mm의 3 종류이었으며, 剪斷試驗에서는 Fig. 9에서와 같이 6개의 突起가 달린 剪斷링을 사용하였다.

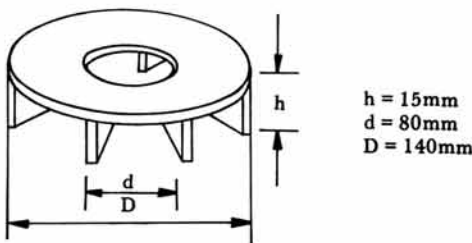


Fig. 9. Shear plate.

Fig. 10은 FIAT 480 46마력 트랙터에 装着된 試驗器의 性能試驗 光景을 나타낸 것이다. 性能試驗에서 데이터 蒐集은 약 6초 동안 실시하였으며, 데이터 分析에는 3~5분이 소요되었다. Fig. 11과 Fig. 12는 각각 同一한 土壤에서 5번씩 반복한 荷重-沈下 및 剪斷試驗의 結果를 컴퓨터가 그래픽화한 것이다.

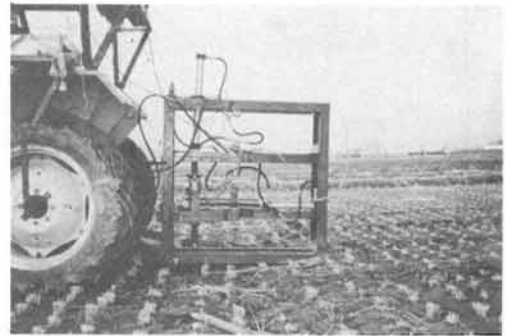


Fig. 10. View of performance test of bevameter.

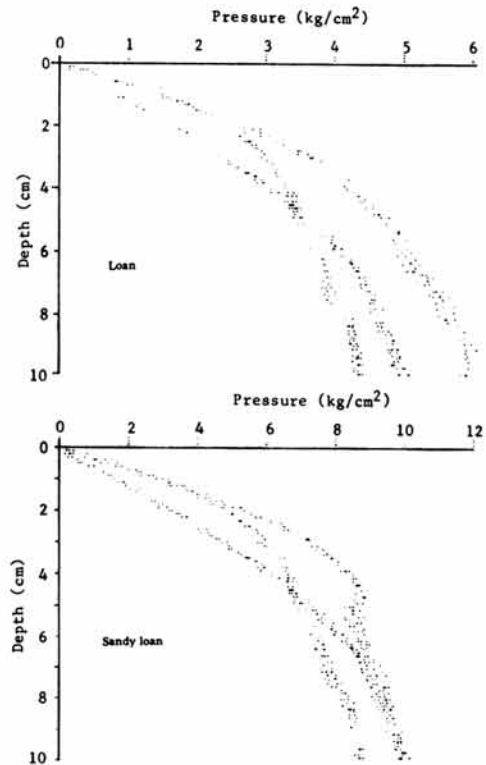


Fig. 11. Load-sinkage curve.

性能試驗에서 平板에 作用시킬 수 있는 最大 垂直荷重은 2000Kg_r이었으며, 剪斷링의 最大 토오크는 35Kg_r·m까지 가능하였다. 垂直荷重이 2000Kg_r以上으로 增加되면 試驗器의 프레임이 地面에서 分離되어 測定이 不可能하였으며, 試驗器를 地面에 固定시킬 수 있는 프레임 支持裝置가 필요하였다. 試驗器는 最大 垂直荷重까지 대체로 安定된 狀態에서 測定이 可能하였으며, 圃場狀態에는 큰 影響을 받지 않아 圃場適應性도 良好한 것으로 판단되었다.

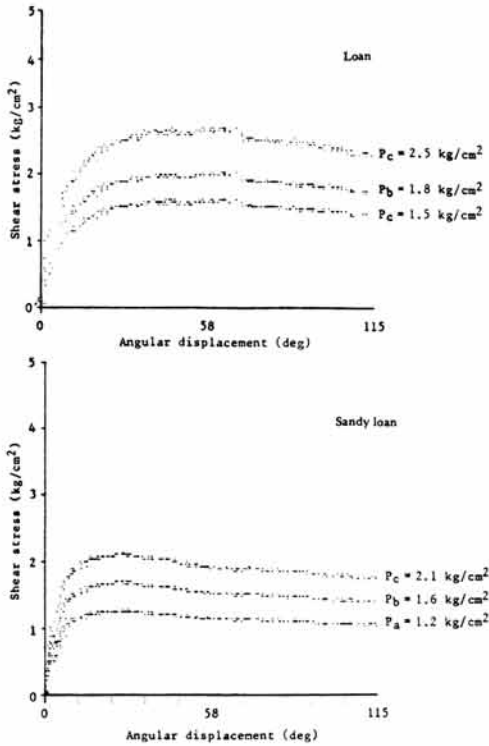


Fig. 12. Shear stress-displacement curve.

試驗 結果는 Fig. 11과 Fig. 12에서 보는 바와 같이 反復性이 良好하였으며, 荷重-沈下 및 剪斷應力-剪斷變位の 曲線도 土壤變數 c (粘着係數), ϕ (内部摩擦角), k_c (粘着에 의한 變形係數), k_s (摩擦에 의한 變形係數), n (土壤變形指數), K (剪斷變形係數) 의 값을 決定하는 데 충분한 精度로 표시되었다(각 曲線으로부터 土壤變數를 決定하는 方法은 引用文獻 7을 참고하기 바람).

5. 結 論

本 研究는 野外 圃場으로 移動하며 測定과 同時에 데이터를 蒐集하고 處理할 수 있는 트랙터 附着型 土壤沈下 및 剪斷試驗器를 開發하기 위하여 수행되었다. 開發된 試驗器는 트랙터의 3點 히치에 裝着되며, 油壓으로 作動되고, 마이크로컴퓨터를 利用한 데이터 蒐集 및 處理裝置를 附着하였으며, 平板과 剪斷링은 필요에 따라 교환할 수 있도록 設計되었다. 性能試驗에서 試驗器의 許容 最大 垂直荷重

과 剪斷토크는 각각 2000Kg_r, 35Kg_r·m 이었으며, 圃場適應性도 良好한 것으로 판단되었다. 데이터를 蒐集하고 處理하는 데는 約 3~5分이 所要되었으며, 荷重-沈下 및 剪斷應力-剪斷變位の 曲線도 Bekker理論의 土壤變數를 決定하는 데 충분한 精度로 표시되었다.

6. 參考文獻

1. 孫相純. 1987. 트랙터 附着用 土壤 沈下 및 剪斷試驗器의 設計 및 製作. 서울大學校 大學院, 碩士學位 論文.
2. Bekker, M.G. 1960. Off-the-road locomotion, Research and development in terramechanics. The University of Michigan Press. Ann Arbor, Michigan, USA. p.25-40.
3. McKyes, E. and T. Fan. 1985. Multiplate penetration tests to determine soil stiffness moduli. Journal of Terramechanics 22(3):157-162.
4. Sargana, M.A., D. Gee-Clough and C.P. Gupta. 1985. A dynamic equation for the pressure-sinkage relationship in Saturated clay soils. Journal of Terramechanics 22(2):110-120.
5. Shaaban, S. 1984. Evolution of the bearing capacity of dry loose sand with inclination of the load applied. Journal of Terramechanics. 21(3):253-260.
6. Wismer, R.D. and H.J. Luth. 1973. Off road traction prediction for wheeled vehicles. Journal of Terramechanics. 10(2):49-61.
7. Wong, J.Y. 1978. Theory of ground vehicles. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, USA. p.81-92.