

走行型 Cone-Penetrometer 開發에 關한 研究*

Development of Travelling Cone-Penetrometer

李 基 明**, 宋 在 滄**, 張 大 喆**, 鄭 盛 元***

K. M. Lee, J. G. Song, D. C. Chang, S. W. Chung

Summary

The objective of this study is to develop a soil hardness tester which can estimate tillage resistance with tae travelling cone-penetrometer.

For the study, a series of tests was performed using the cone penetrating in the horizontal direction. Based on the tests above, soil hardness was represented by travelling cone-index vs depth of cone penetration, travelling speed and moisture contents of the soil

Resistance characteristics obtained from the experiments were compared with those by a vertical cone-penetrometer and the Yamanaka's soil hardness tester.

Following conclusions were made from the study.

1. 8 to 9 peaks per one meter were detected in the resistance curve of cone penetration regardless of the travelling speed of cone-penetrometer when it penetrated the soil in the horizontal direction. This phenomenon seemed to be a similar one noticed in shearing pitch of plowing.
2. Cone index increased as travelling speed increased from 0.08m/sec to 0.5m/sec.
3. Linear relationship was found between the cone indices measured by the travelling coe-penetrometer and Yamanaka's hardness tester.
4. Increasing rate of the cone indices measured by vertical cone-penetrometer decreased as the depth of soil increased while the cone indices by the travelling cone-pentrometer increased linearly.

I. 緒 論

耕耘作業은 圃場作業중 가장 에너지가 많이 所要되는 작업으로 플라우의 종류에 따라 소요 견인력과 에너지는 많은 차이가 있다고 본다.

따라서 적정 플라우의 선택은 매우 중요한 일이라고 思料된다. 또한 논, 밭 등 圃場의 토양은 砂質土에서 粘質土에 이르고 그 종류가 多樣하고 均일하지 못한다. 토양의 水分 變化에 따른 硬度 등

물리적 성질이 크게 다르므로 이에 따른 경운저항의 推定 및 적정 플라우의 선택이 중요하다고 본다.

지금까지 耕耘抵抗 推定과 가장 相關이 있다고 認定되는 土壤의 物理性은 Cone 指數로서 나타낼 수 있다고 알려져 왔다. 그런데 Cone 指數는 경운 방향과는 無關한 鉛直 方向으로 Cone 을 토양에 貫入할 경우의 저항을 측정하여 얻은 값으로서 章¹⁾ 등의 研究結果에 의하면 鉛直 貫入型 Cone-Penetrometer 는 Cone 을 貫入할 때 Cone 直下에서 흙이 崩

*이 論文은 1986年度 文敎部 學術연구조성비에 의하여 연구되었음.

**慶北大學校 農科大學 農工學科

***尙州農業專門大學

쳐졌다 부서지기 때문에 土壤 硬度的 眞値를 얻기 어렵다고 하였다. 따라서 鉛直 貫入型 Cone Penetrometer 의 Cone 指數에 의한 耕耘抵抗 推定은 合理的이라 볼 수 없다.

本 研究는 경운저항을 합리적으로 추정할 수 있는 측정장치로서, 경운방향과 平行하게 Cone 이 貫入되도록 하는 走行型 Cone-Penetrometer 를 개발하는데 目的을 두었다. 또한 振動耕耘에 있어서 剪斷周波數 計測은 지금까지 경운저항 曲線을 FFT (Fast Fourier Transform)로 분석하는 方法을 사용하였으나 컴퓨터의 제한된 기억용량과 실험장치를 제작하는데 드는 비용 때문에 實用化에 문제점이 있었다. 본 연구에서는 走行型 Cone-Penetrometer 를 剪斷周波數 計測 센서로서의 利用與否에 대한 可能性도 아울러 檢討한 것이다.

走行型 Cone-Penetrometer 에 關한 종래의 研究로서는 端端¹⁾이 耕耘 自動化를 위하여 경운저항 추정용으로 개발을 시도한바 있다.

II. 實驗裝置 및 方法

1. 實驗裝置

가. 實驗裝置의 概要

實驗裝置는 Fig. 1 과 같이 土壤槽에서 Carriage Car 에 裝着한 Cone 을 水平으로 貫入할 경우 貫入抵抗을 八角型 應力集中型 分力計²⁾로 측정하여 스트레인 미터를 통하여 기록계에 기록되도록 하였으며 오실로스코프로 관입저항의 변화를 관찰하도록 하였다. 이 때 Carriage Car 의 走行속도는 入力으로 하였으며 走行速度는 土壤槽의 一定距離를 走行하는데 要하는 時間을 stop watch 로 측정하여 환산하였다.

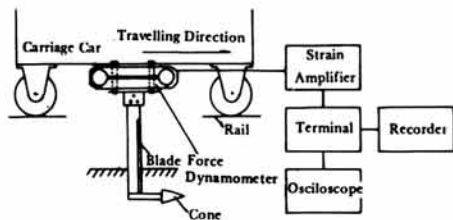


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental equipment.

나. 分力計

Cone 抵抗의 측정에 사용된 分力計³⁾는 Fig. 2 와 같다. 垂直力 F_x , 水平力 F_z , 모우멘트 M_y 를 측정할 수 있도록 스트레인 게이지의 부착위치를 표시하였다. 이 때 分力計에 부착한 스트레인 게이지의 브리지 構成圖⁴⁾는 Fig. 3 과 같다.

이 分力計의 측도설정곡선은 Fig. 4 와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 垂直力, 水平力, 모우멘트는 모두 相關係數가 0.999를 넘는 좋은 直線性을 보여 正確한 測定이 가능하였다.

다. Cone

試作機로 개발한 走行型 Cone-Penetrometer 에 부착한 Cone 은 鉛直貫入型에서 사용하는 Cone(Fig.

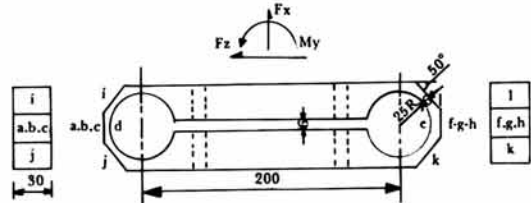


Fig. 2. Detail of the force dynamometer.

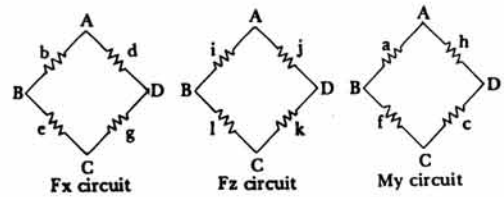


Fig. 3. Strain gauge circuits.

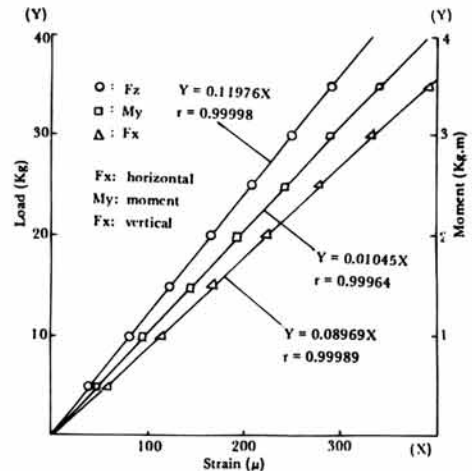


Fig. 4. Calibration curves of the force dynamometer.

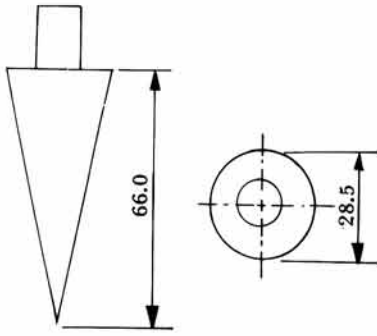


Fig. 5. Dimensions of the cone used.

4 참조)을 사용하였다.

라. 土壤槽

土壤槽는 폭 0.9m, 높이 0.6m, 길이 10m로 하였고, 土壤은 Table 1과 같은 砂質壤土를 使用하였다.

2. 實驗方法

토양조의 토양 다짐은 Cone의 처리 관입깊이(5, 10, 15, 20cm)의 최대치 20cm보다 10cm 깊은 30cm의 토양층을 매 실험마다 5cm씩 균일하게 펴고 Roller(5kg)로 2회, 4회, 6회 왕복하여 다져서 3처리로 하였다.

Carriage Car는 인력으로 주행시켰는데 設定 走行速度를 全區間에서 유지하도록 최대한 노력하였으며 출발후 1m 구간은 실험결과에서 제외하였다.

측정은 Cone 끝이 토양에 닿지 않은 상태에서 분력계를 영점 조정한 후 매 처리마다 관입저항을 Recorder에 기록하였다.

흙의 수분 상태에 따른 주행관입저항의 특성을 파악하기 위하여 토양의 함수비는 11.68%, 20.5%의 2수준으로 처리하였고 관입 깊이별(5~20cm), 주행 속도별(0.08~0.5m/sec) 관입저항 특성을 분석하였다.

또 매 實驗마다 기존 연직 관입 Cone-Penetro-

meter를 사용하여 연직 관입저항을 측정하고 비교하였다.

III. 結果 및 考察

1. 測定例

가. 走行型 Cone-Penetrometer

耕耘方向과 平行하게 Cone을 관입할 때 관입저항을 관입깊이별로 나타낸 측정예를 Fig. 6에 나타냈다.

Fig. 6(a)는 Cone과 Cone을 지지하는 Blade의 저항을 포함한 값이며 (b)는 Blade만의 저항치를 보인 것이다.

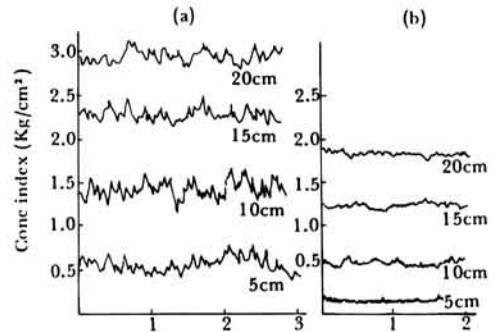


Fig. 6. Cone index measured by the travelling cone-penetrometer.

여기서 각 처리의 Cone指數는 기록치의 面積平均法으로 구한 값을 취하였다.

Fig. 6(a)에서 보는 바와 같이 동일한 깊이에서 주행 관입저항은 큰 변화가 없으며 1m당 Peak의 수가 8~9개로 一定한 Pitch를 나타냈다. 이것은 振動耕耘에 있어서 剪斷 Pitch⁵⁻⁷⁾와 관련이 있을 것으로 推定되며 앞으로 이 부분은 더 研究가 진행되어야 될줄로 思料된다.

나. 鉛直貫入型 Cone-Penetrometer

Table 1. Physical properties of the test soil

Coarse sand (%)	Fine sand (%)	Silt & clay (%)	Moisture content (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
48.9	34.7	16.4	11.68	29.0	14.7	14.3
			20.5			

鉛直貫入型 Cone-Penetrometer를 使用하여 土壤硬度를 測定한 例를 Fig. 7에 보였다. Fig. 7(a)는 含水比 20.5%에서 鉛直貫入 Cone指數를 나타내며, Fig. 7(b)는 含水比 11.68%에서 Cone指數를 나타낸다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 貫入깊이가 깊어짐에 따라 cone指數가 증가하다가 15cm부근에서 감소하는 현상이 나타났다. 이것은 章^{11,21)} 등의 研究結果와서와 같은 경향을 보였다.

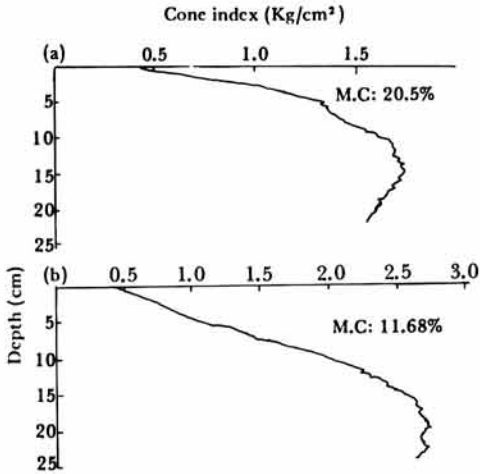


Fig. 7. Cone index vs soil depth by the vertical cone-penetrometer.

2. 走行抵抗 特性

가. 走行速度에 따른 Cone指數

走行速度의 변화에 따른 Cone指數를 Fig. 8에 나타

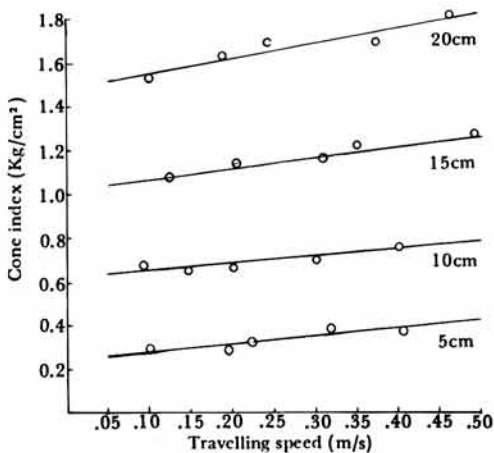


Fig. 8. Relations between the cone index and the travelling speed.

타냈다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 0.08m/s~0.5 m/s 사이에서 走行速度가 增加할수록 Cone指數는 直線的으로 增加하는 現象을 나타내고 있다. 이 傾向은 南部¹⁰⁾ 등의 研究結果와 같은 경향을 보여주고 있다.

나. 貫入 깊이에 따른 Cone指數

貫入깊이에 따른 Cone指數를 含水比別로 나타낸 것이 Fig. 9이다. Fig. 9(a)는 토양을 5cm층으로 하여 로울러로 2회 다진 상태에서 설정 주행속도를 0.2m/s로 한 것이다. 이 때의 貫入깊이별 토양 硬度를 山中(YAMANAKA)式 土壤硬度로 表示한 것이 Table 2이다.

Fig. 9(a)에서 보는 바와 같이 관입깊이가 5cm,

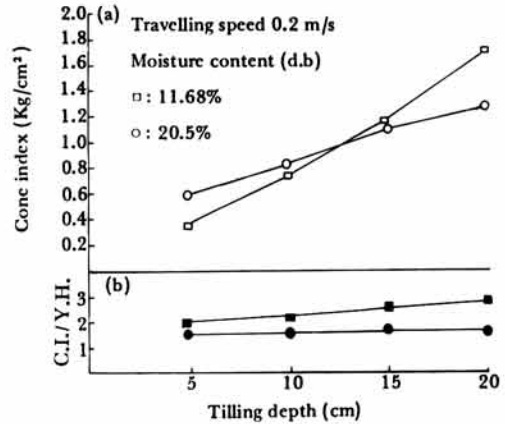


Fig. 9. Relations between the cone index and the depth of tillage.

Table 2. Distribution of Yamanaka's soil hardness value by moisture content.

Depth (cm)	(kg/cm ²)			
	5	10	15	20
M.C.%(db)				
11.68	0.174	0.346	0.437	0.599
20.5	0.365	0.540	0.653	0.901

10cm, 15cm, 20cm로 깊어짐에 따라 관입저항은 거의 直線的으로 增加하였으며 山中 硬度도 증가하였다.

Fig. 9(b)는 土壤 硬度가 一定하다면 Cone에 作用하는 힘은 깊이에 關係없이 일정할 것으로 推定하여 Cone指數를 山中 硬度로 나누어 無次元化시

켜본 것이다. 여기에서 完全한 수평으로 나타나지 않는 것은 測定 오차로 인한 원인이라 사료되며 토양의 점착력과 토압에도 약간의 영향이 있었을 것으로 推定된다.

다. 土壤 硬度에 따른 Cone 指數

土壤硬度的變化에 따른 Cone 指數를 나타낸 것이 Fig. 10이다.

土壤硬度的變化는 토양층 5cm를 로울러로 2회, 4회, 6회 통과시켜 다지는 방법으로 하였다. Table 3은 이 때 관입깊이별 토양경도를 山中式으로 나타낸 것이다.

Fig. 10(a)에서 보는 바와 같이 로울러의 다짐 횟수를 증가시키에 따라 同一 깊이에서 Cone 指數와 山中硬도는 增加하는 傾向을 보이고 있다.

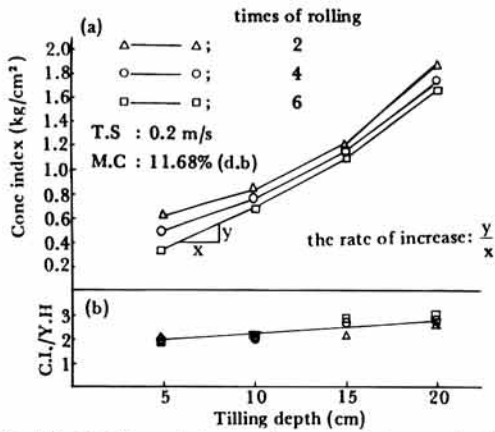


Fig. 10. Relations between the cone index and soil hardness.

Table 3. Yamanaka's soil hardness value by number of rollings.

(단위 : kg/cm²)

depth (cm) R.N.	5	10	15	20
2	0.174	0.346	0.437	0.599
4	0.244	0.362	0.449	0.637
6	0.297	0.412	0.548	0.703

그러나 走行 Cone 指數를 山中硬도로 나누어 Fig. 10(b)와 같이 無次元化한 결과 깊이별로 별차이없이 거의 一定한 값을 나타내었다. 이 결과는 走行 Cone 指數와 山中硬도가 서로 比例 關係에 있음을 보여주고 있다.

이것을 確認하기 위하여 走行 Cone 指數와 山中

硬度的의 關係를 Fig. 11에 나타냈다. Fig. 11에서

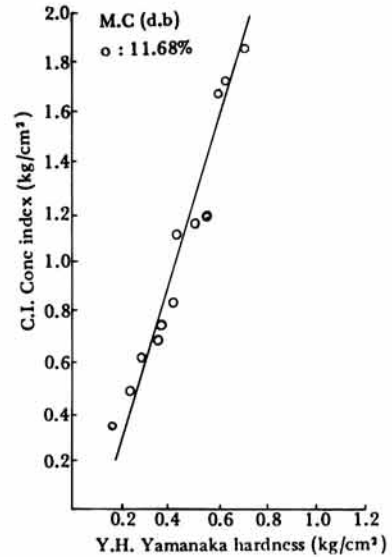


Fig. 11. Relation between the cone index and the Yamanaka's soil hardness.

보는 바와 같이 走行 Cone 指數와 山中硬도는 좋은 直線性을 보여주고 있다. 따라서 土壤硬度的 깊이별 眞值를 얻기 위하여 흙을 切削하여 山中式 硬度計로 測定하는 불편을 없애고 走行型 Cone-Penetrometer로 測定하는 것이 편리하다고 思料된다.

라. 鉛直 Cone-Penetrometer와 走行型 Cone-Penetrometer의 Cone 指數 비교

鉛直 Cone-Penetrometer로 측정된 Cone指數와 走行型 Cone-Penetrometer로 측정된 Cone指數와

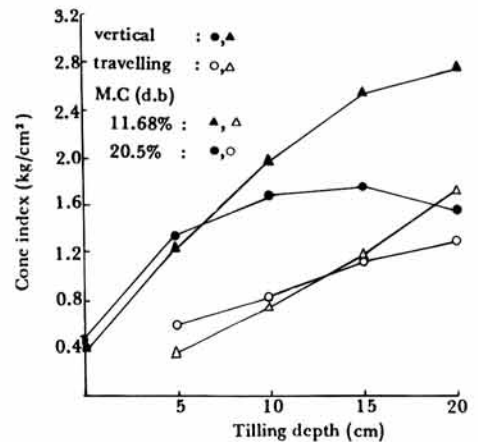


Fig. 12. Relation between the cone index and the depth of tillage in terms of the type of cone-pentrometer and the soil moisture content.

의 관계를 Fig. 12에 나타냈다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 鉛直 Cone 指數는 측정깊이가 깊어짐에 따라 增加하다가 15cm 부근에서 최대치를 나타냈는데 비하여 走行 Cone 指數는 거의 직선적으로 증가하였다. 여기에서 含水比에 따라 增加率이 차이가 나는 것은 含水比 20.5%인 경우 흙이 塑性限界를 넘은 塑性域에 속하고 11.68%인 경우는 收縮限界를 넘어 아직 塑性限界에 달하지 못한 흙의 性質 때문이라고 思料된다.

IV. 結 論

本 研究는 耕耘抵抗을 合理的으로 推定할 수 있는 走行型 Cone-Penetrrometer 를 개발하는데 目的을 두고 수행하였다. 實驗은 Cone 을 走行方向과 平行하게 貫入하여 走行시키면서 Cone 에 作用하는 貫入抵抗을 分力計를 사용하여 土壤水分含量別, 走行速度別, 貫入깊이別에 따른 土壤硬도를 走行 Cone 指數로 나타냈다. 그리고 既存 鉛直 貫入 Cone-Penetrrometer 와 山中(Yamanaka)式 土壤硬度計로 측정된 토양경도와 比較하였다. 以上 얻어진 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 走行型 Cone-Penetrrometer 에 의한 貫入抵抗 曲線은 走行速度에 關係없이 1m 當 8~9 개의 Peak 가 나타나 耕耘에 있어서 剪斷 Pitch 와 유사한 경향을 보였다.

2. 走行速度 0.08m/s~0.5m/s 사이에서 速度變化에 따른 Cone 指數는 直線的으로 증가하였다.

3. 走行型 Cone-Penetrrometer 의 Cone 指數와 山中(Yamanaka) 硬도와의 關係는 直線性을 나타냈다.

4. 鉛直 貫入型 Cone-Penetrrometer 의 Cone 指數는 측정깊이가 깊어짐에 따라 증가하다가 어느 깊이에 달하면 최대치를 나타내고 감소하지만 주행형 Cone-Penetrrometer 의 Cone 指數는 관입깊이가 깊어짐에 따라 직선적으로 증가하였다.

參 考 文 獻

1. 章益柱, 李基明, 金泰漢. 1984. 스트레인게이지

를 利用한 土壤硬度計의 開發, 慶北大農學誌 2 : 97-103.

2. 端 俊一, 南部 悟, 宮本啓二. 1981. 走行ペネトロメータとブラウ抵抗に關する研究, 農機學會第40回講演要旨. 3.

3. 伊藤信者, 木谷 収, 仙田悦弘. 1971. 光彈性法による応力集中型分力計の研究, 三重大學農學部學術報告第四十二號.

4. POTMA, T. Theory and application of strain gauges, copy right, 共立出版株式會社.

5. 李基明 外 4 名. 1982. 振動耕うんの自動制御に關する基礎研究(第一報), 農機誌, 44(2): 275-280.

6. 李基明, 木谷 収, 岡本嗣男. 1982. 振動耕うんの自動制御に關する基礎研究(第2報), 農機誌, 44(3): 417-422.

7. 李基明 外 4 名. 1983. 振動耕うんの自動制御に關する基礎研究(第3報), 農機誌, 44(4): 605-610.

8. Gill, W. R. and G. E. Vanden Berg. 1968. Soil dynamics in tillage and traction, 117-210. ARS, USDA.

9. 吉田 勲. 貫入速度が貫入量-貫入抵抗曲線に及ぼす影響.

10. 南部 悟, 端 俊一, 遠藤敏男. 1983. カルチベータ用シヤンクに關する研究, 農機誌. 45(3): 311-318.

11. 松尾昌樹. 1981. 耕うんの歴史. 農機誌. 42(4): 597-602.

12. Wells, L. G. and C. O. Lewis. 1980. Remote electronic aquisition of soil cone index measurement, ASAE paper 80-5024.

13. 根岸 久雄, 守屋 貢, 林境, 菅原和夫, 中川昭一郎. 1970. 耕地地耐力の研究(III), 農業土木試驗場報告第8號: 85-113.

14. 朴虎錫, 車均度. 1977. 土壤水分과 硬도가 動力耕耘機의 索引性能에 미치는 影響, 韓國農機誌 2: 25-32.