

ระบบเก็บข้อมูลภูมิอากาศแบบอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อ
ประเมินค่า evapotranspiration และควบคุมการให้น้ำ

An Automatic Weather Data Collection for Estimation of
Evapotranspiration and irrigation control

นาย อิทธิสุนทร นันทกิจ

Mr Itthisuntorn NUNTAGIJ

คุณวุฒิ Dr de l'INP (Agriculture)

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 7

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กทม 10520

หมายเลขโทรศัพท์ 3266132

บทคัดย่อ

ทำการประกอบสถานีตรวจอากาศแบบอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์
ตรวจวัดต่างๆ ได้แก่ 1) Thermometer แบบ RTD 3 อัน วัดอุณหภูมิอากาศที่ระดับความสูง
5 และ 100 ซม. จากผิวดิน และอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 15 ซม. 2) เครื่องวัดความชื้น
ในอากาศ ที่ระดับความสูง 100 ซม. 3) เครื่องวัดทิศทางและความเร็วลมที่ระดับความสูง
200 ซม. 5) เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน 6) เครื่องวัดแสงแบบ Pyranometer 7) เครื่องวัดความ
ชื้นในดินแบบ Tensiometer และ 8) เครื่องวัดปริมาณการระเหยน้ำ แบบ Class A
Evaporation Pan เครื่องวัดเหล่านี้จะต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์โดยผ่านแผ่นแปลง
สัญญาณ ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณที่ส่งออกจากเครื่องวัดเป็นสัญญาณ Digital หลังจากนั้น

RCH
S
600-43
D38
๑๖๒๘๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 23499
วัน, เดือน, ปี 3 ก.ค. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์
ในทางอื่นโดยทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบนี้ไปใช้

คอมพิวเตอร์จะทำการคำนวณค่าที่วัดได้ให้เป็นค่ามาตรฐาน และแสดงออกทางหน้าจอทั้งในรูปเส้นกราฟและตัวเลข นอกจากนั้นข้อมูลจะถูกเก็บลงในแผ่นดิสเกตในรูปของแฟ้มข้อมูลที่สามารถนำมาประมวลผลโดยโปรแกรมต่างๆ ได้ค่าต่างๆ ที่ได้จากการวัดจะนำมาคำนวณหาค่า Evapotranspiration เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดการให้น้ำแก่พืชอย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้อง สถานีตรวจอากาศที่สร้างขึ้นสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้องและต่อเนื่องลดความผิดพลาดจากการทำงานของคนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Automatic weather station is microcomputer-based system. It consists of 7 sensors: 1) 3 RTD thermometers measuring air temperature at 5 cm and 100 cm above ground surface and soil temperature at 15 cm depth; 2) Hygrometer to measure relative humidity at 100 cm height; 3) wind vane and three cup anemometer for wind speed and wind direction at 200 cm height; 5) tipping bucket rain gauge; 6) pyranometer for solar radiation ; 7) soil moisture tensiometer; 8) class A evaporation pan. These sensors with analog and digital output were connected to microcomputer via a data acquisition card to allow data acquisition and control of equipment. The data will be continuously provided by the sensors and will be processed by microcomputer. In addition, data will be automatically saved in a diskette for further used. Evapotranspiration (ETP) will be subsequently calculated by microcomputer and will be used for irrigation management purpose. This microcomputer-based system, which integrates all functions in a single unit, will provide a more dynamic and accurate measurement that reduce human errors.

บทนำ

ข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศจะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อม เป็นข้อมูลที่จะใช้ในการกำหนดการให้น้ำแก่พืช เลือกสถานที่ในการปลูกพืชให้เหมาะกับชนิดพืช ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเก็บรวบรวมโดยสถานีตรวจอากาศทางการเกษตรที่กระจายอยู่ทั่วไป ตามสถานีทดลองหรือสถานศึกษาต่างๆ ค่าทางภูมิอากาศที่ทำการตรวจวัดได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิ ทิศทางและความเร็วลม แสง ปริมาณการระเหยน้ำ ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาคำนวณ ค่า evapotranspiration เพื่อใช้ในการพิจารณาการให้น้ำแก่พืช นอกจากนี้ยังสามารถดัดแปลงใช้เกี่ยวกับการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมได้ด้วยเช่นการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำในแม่น้ำ ระดับน้ำใต้ดิน การแพร่กระจายของก๊าซพิษต่างๆเช่น CO_2 SO_2 ระดับเสียง ในการเก็บข้อมูลจะทำโดยการอ่านและจดข้อมูลจากเครื่องมือวัดต่างๆ โดยเจ้าหน้าที่ทำให้การเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่องสิ้นเปลืองแรงงาน และอาจเกิดการผิดพลาดได้ง่าย ถ้ามีอุปกรณ์ที่สามารถเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องโดยอัตโนมัติ ก็จะทำให้การเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างต่อเนื่องและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ไมโครคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีราคาถูกลงมากทำให้สามารถนำมาใช้งานได้อย่างแพร่หลาย และคู่กับการลงทุนโดยเฉพาะในงานควบคุมต่างๆที่มีขั้นตอนซับซ้อน (เช่นการเก็บข้อมูล และควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ) ซึ่งเครื่องตั้งเวลาทั่วไปไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นไมโครคอมพิวเตอร์จึงเป็น เครื่องมือที่สามารถนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลภูมิอากาศโดยอัตโนมัติได้ ซึ่งจะทำให้ระบบการเก็บข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้นนอกจากนี้ยังสามารถนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมการให้น้ำและควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆได้อย่างกว้างขวาง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างระบบเก็บข้อมูลทางภูมิอากาศโดยอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์
2. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณการใช้น้ำของพืช

การตรวจสอบเอกสาร

Ireland 1984, Goueffon 1984. อธิบายถึงหลักการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ (pH meter, Conductivity meter, Thermometer, Evaporimeter, Solarimeter, Humidity sensor etc.) โดยผ่านทางแผ่นแปลงสัญญาณ (A/D converter) ไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถคำนวณและเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้รับและเก็บรวบรวมไว้ในหน่วยความจำนอกจากนี้ยังสามารถส่งสัญญาณ เพื่อส่งงานไปยังอุปกรณ์ภายนอกเช่นวาล์วไฟฟ้า, ปั๊มน้ำ ฯลฯ

Nuntagij 1989. ใช้คอมพิวเตอร์ ร่วมกับ pH meter และ conductivity meter เพื่อเก็บข้อมูลและควบคุมค่า pH และค่า conductivity ของสารละลายธาตุอาหารพืชให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ และต่อพ่วงเครื่อง Tensiometer เข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ควบคุมการให้น้ำ โดยอัตโนมัติในการปลูกมะเขือเทศโดยไม่ใช้ดิน Jame, M.M and F.H. Harry 1985. หาค่าปริมาณการคายน้ำของพืชโดยวัดจากปริมาณการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศภายในห้องที่ควบคุมสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิ, ความชื้นของดินและของอากาศ, ความเข้มแสง) โดยอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์ Howille et al. 1984. Snyder et al. 1985 ทดลองติดตั้งสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติโดย ใช้คอมพิวเตอร์ต่อพ่วงกับเครื่องวัดต่างๆเก็บรวบรวมข้อมูลทางภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องลงในคอมพิวเตอร์และนำข้อมูลเหล่านี้มาคำนวณหาปริมาณ การใช้น้ำของพืช สถานีตรวจอากาศจะประจำอยู่ในสถานที่ต่างๆ และติดต่อเชื่อมโยงถึงกันเป็น Network ผ่าน Modem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัด (Sensors) ชนิดต่างๆที่สามารถต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ต้องมีสัญญาณไฟฟ้าส่งออกมา เช่นเครื่องวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer ที่มีเครื่องวัดความเครียดแบบ Pressure Transducer (Van Der Veken et al 1982, Nuntagij 1989) ถาดวัดการระเหยของน้ำแบบอัตโนมัติ Class A Evaporation Pan (James and Trent 1985, Phene and Campbell 1975) เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ Tripping bucket (พิเชษ เสนาะล้ำ 2535) Heat probe เพื่อวัดปริมาณความชื้นในดินโดยวัดความสามารถในการนำความร้อนของดินที่เปลี่ยนเมื่อความชื้นในดินเปลี่ยน (Kasubuchi 1992)

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration) อาจวัดและคำนวณได้จาก 1) เครื่องวัดปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณการใช้น้ำของพืช (Decroix et Puech 1985), 2)จากถาดวัดการระเหย Class A Evaporation Pan (James and Trent,T 1985) , 3)หาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวัดจากปริมาณการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศภายในห้องระบบปิดที่ควบคุมสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิ, ความชื้นของดินและของอากาศ, ความเข้มแสง) โดยอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์ (Jame,M.M and F.H.Harry 1985.)

องค์ประกอบสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ

ระบบเก็บข้อมูลประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้ (รูปที่ 1)

1.ภาครับข้อมูล ประกอบด้วย

Micro-computer 80386 SX-25 พร้อม Hard disk ขนาด 270 MB

แผ่นแปลงสัญญาณ PCL-718 High Performance Data Acquisition Card ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลโดยใช้ร่วมกับ คอมพิวเตอร์ IBM PC/XT/AT หรือ compatibles แผ่นแปลงสัญญาณนี้สามารถทำหน้าที่เป็น A/D converter, D/A converter, digital input and output, programmable timer/counter แผ่นแปลงสัญญาณนี้จะติดตั้งอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 2)

คุณสมบัติของแผ่น PCL-718 High Performance Data Acquisition Card

Analog input (A/D converter)

Channels	16 single-ended or 8 differential, switch selectable
Resolution	12 bits.
Input range	Unipolar : +10V, +5V, +2V, +1V Bipolar: +/-10V, +/-5V, +/-2.5V, +/-1V, +/-0.5V All input ranges are switch selectable.
Conversion type	Successive approximation.
Conversion speed	60 KHz max.
Accuracy	+/- (0.01% of reading) +/- 1 bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analog output (D/A Converter)

Channels	2 channels.
Resolution	12 bits.
Output range	0 - 5V
Conversion type	12 bit monolithic multiplying.
Linearity	+/-1/2 bit.
Output drive	+/-5mA max.

Digital input

Channel	16 bits.
Level	TTL compatible.
Input voltage	Low 0.8 V max. High 2.0 V min

Digital output

channel	16 bits.
Level	TTL compatible.

Programmable Timer/Counter

Device	INTEL 8254.
Counters	3 channels, 16 bit, 2 channels permanently configured as programmable pacer, 1 channel free for user application.
Input, gate	TTL/DTL/CMOS compatible.

General

Power	+5V: typ. 700 mA,max. 1A.
Consumption	+12V: typ. 140 mA, max. 200 mA. -12V: typ. 14 mA, max. 20 mA.
Operating Temp.	0 - +50 deg. C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นปรับแต่งสัญญาณ PCLD-770 Signal conditioning board ต่อพ่วงกับ PCL-718 อยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ multiplex สัญญาณ Analog ขาเข้า 8 ช่อง สัญญาณ เป็น 1 ช่องสัญญาณส่งไปยัง PCL-718 บนแผ่น PCLD-770 จะมีช่องสำหรับเสียบแผ่นปรับแต่งสัญญาณได้ 8 ช่อง ในการทดลองครั้งนี้จะใช้แผ่นปรับแต่งสัญญาณ PCLD-7701 และ PCLD-7702

คุณสมบัติของ PCLD-770 (Signal conditioning board, Carrier)

Providing connector slots for up to 8 signal conditioning modules

Multiplexing 8 signal conditioning module output to one analog output channel.

On board cold junction compensation circuits for direct thermocouple measurement.

On board second connectors allows daisy chaining up to 10 PCLD-770's and expanding the input channel number to 80.

Input channel	8 channels.
Signal output range	+/- 10V maximum.
Signal output load	+/- 5V maximum
Cold junction compensate	+ 24.4 mV/°C, 0.0V at 0.0°C
Power consumption	+ 5V (18mA maximum) +12V (80mA maximum)

PCLD-7701 (isolated amplifier module) ใช้วัดค่ากระแสที่ส่งจาก Pyranometer

คุณสมบัติของ PCLD-7701(isolated amplifier module)

Input channel	Isolated.
Input rang	+/- 5V maximum.
Gains	1, 2, 10, 50, 100, 200 and 1000
Safe differential voltage	+/- 30V continuous

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Signal output voltage	+/- 5V.
Operating temp. range	0 °C to + 50 °C
Power consumption	+12V (10mA maximum, 8mA typical).

PCLD-7702 (Resistance/Voltage measurement module) ใช้วัดสัญญาณที่ส่งจากเครื่องชั่งน้ำหนัก แบบ Strain gage ที่ต่ออยู่กับ Class A Evaporation Pan และใช้ร่วมกับ RTD Thermometer 3 ตัวเพื่อใช้วัดอุณหภูมิ

คุณสมบัติของ PCLD-7702 (Resistance/Voltage measurement module)

Input channel	differential input
Input range	+/- 10V maximum
Signal output range	+/- 10V maximum
Gains	0.5, 1, 2, 10, 50, 100, 200 and 1000
Common mode voltage	+/- 10V maximum
Power consumption	+ 12V (50mA maximum, 43 mA typical)
Over voltage protection	+/- 30V continuous.
Reference sources	current source : 1.000mA and 10.00mA. voltage range of current source : 0 to 5V voltage source : +/- 6.9V(user adjustable), 6mA max

การติดตั้ง แผง PCLD-7701 และ PCLD-7702 จะติดตั้งอยู่นอกเครื่องคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 3)

ภาครับข้อมูลแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งส่วนการรับข้อมูลนี้สามารถติดตั้งห่างจากส่วนเครื่องวัดได้ 25 เมตร ซึ่งอาจติดตั้งอยู่ในห้องหรือตู้ที่มีการระบายอากาศดี

2.เครื่องวัดต่างๆ Sensors

มีหน้าที่ตรวจวัดค่าทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ แสง ความเร็วลม ฯลฯ และเปลี่ยนค่าเหล่านี้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลต่อไป ซึ่งเครื่องวัดต่างๆ ที่วัดค่าในส่วนที่เหนือดินได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วและทิศทางลมจะติดตั้งอยู่บนขาตั้ง 3 ขา ทำจากท่อสเตลเลส ส่วนสูงจากผิวดิน 3 เมตร ส่วนเครื่องวัดอื่นๆ จะวัดอยู่ที่ระดับผิวดินจะวางอยู่ที่ผิวดิน รูปที่ 5 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดต่างๆ บนขาตั้ง 3 ขา และเครื่องวัดที่วางอยู่บนผิวดิน

เครื่องวัดต่างๆ เหล่านี้ได้แก่

1.เทอร์โมมิเตอร์แบบ RTD 3 อัน โดยวัด 1.อุณหภูมิอากาศ ที่ระดับความสูง 100 เซนติเมตรจากผิวดิน 2.อุณหภูมียอดหญ้าที่ระดับ 5 เซนติเมตรจากผิวดิน 3.อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร. เทอร์โมมิเตอร์แบบ RTD นี้จะต่อเข้าคอมพิวเตอร์ทาง PCLD-7702 รูปที่ 6

2.เครื่องวัดความเร็วลม แบบ Three cup Anemometer และเครื่องวัดทิศทางลม (Wind vane) (RM-Young รุ่น ES-020) วัดที่ระดับความสูง 200 เซนติเมตร จากพื้นดิน สัญญาณที่ส่งออกมาจะอยู่ในช่วง 0 - 1 volt ซึ่งจะต่อตรงเข้า PCL-718 ทางช่องของ A/D Converter รูปที่ 7

3.เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ Tipping Bucket Rain Gauge (OMNIDATA รุ่น ES-160) ส่งสัญญาณออกเป็น Digital ซึ่งจะต่อตรงเข้า PCL-718 ทางช่องของ Programmable Timer/Counter รูปที่ 8

4.เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ (Pyranometer) (Li-Cor รุ่น EI-200 SA) สัญญาณ Output เป็น μA ต่อเข้าคอมพิวเตอร์ผ่าน PCLD-7701 รูปที่ 9

5.เครื่องวัดปริมาณการระเหยน้ำแบบภาควัดการระเหย Class A Evaporation Pan ซึ่งการวัดปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากภาควัดจะใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของน้ำที่สูญหายไปจากการระเหย โดย Strain gauge (TRANSTRONIC รุ่น FAG-3M) ซึ่งสัญญาณที่ออกจะต่อเข้ากับ PCLD-7702 รูปที่ 10 และ 11

6.เครื่องวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer ค่าความชื้นในดินจะวัดออกเป็นค่าของความเครียดของน้ำในดิน (Soil moisture tension) โดยวัดจาก Pressure transducer (Motorola) ที่ต่ออยู่กับ Tensiometer และสัญญาณที่ส่งออกจาก Pressure transducer จะต่อเข้าทาง PCL-718 รูปที่ 12

7.เครื่องวัดความชื้นในอากาศ Hygrometer (ECOWELL รุ่น EWHS-28) สัญญาณออกเป็น mA ต่อเข้าทาง PCL-718 รูปที่ 13

3.ภาคโปรแกรม

ทำหน้าที่ในการควบคุมขั้นตอนการทำงานของระบบทั้งหมด โดยเขียนโปรแกรม ภาษา Quick Basic เพื่อใช้ควบคุมและสั่งงานระบบให้เป็นไปตามขั้นตอนที่ต้องการ รวมทั้งการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช การเก็บข้อมูล และการแสดงผลทางจอภาพ ในรูปตัวเลขและเส้นกราฟ โครงสร้างขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 2 การอ่านข้อมูลจะทำทุกๆ 1 นาที หลังจากนั้นข้อมูลนี้จะมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยหรือผลรวมขึ้นอยู่กับค่าที่วัด และคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration ETP) ทุกๆ 1 ชั่วโมง และเก็บลง diskette เป็นแฟ้มข้อมูลประจำวัน เพื่อสามารถนำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรมอื่นๆ ได้ เช่น Lotus 123 โครงสร้างขั้นตอนของโปรแกรม แสดงใน รูปที่ 14 รายละเอียดของโปรแกรมแสดงในภาคผนวก

4.ภาคควบคุม

ทำหน้าที่รับคำสั่งจาก Micro-computer และส่งงานไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ ได้แก่ รีเลย์ Solenoid valves โดยผ่านทางแผ่น PCLD-785 (16 Channel Relay Output Board)

ค่าต่างๆที่ทำการวัดและเก็บข้อมูล

1. ค่าเฉลี่ยทุก 1 ชม ของอุณหภูมิอากาศ ที่ระดับ 1 เมตรจากผิวดิน ($^{\circ}\text{C}$)
2. ค่าเฉลี่ยทุก 1 ชม ของอุณหภูมียอดหญ้า ที่ระดับผิวดิน ($^{\circ}\text{C}$)
3. ค่าเฉลี่ยทุก 1 ชม ของอุณหภูมิดิน ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตรจากผิวดิน ($^{\circ}\text{C}$)
4. ค่าเฉลี่ยทุก 1 ชม ของ Solar radiation ที่ระดับ 2 เมตรจากผิวดิน (W/m^2)
5. ค่าเฉลี่ยทุก 1 ชม ของความเร็วลม ที่ระดับ 2 เมตรจากผิวดิน (m/s)
6. ค่าเฉลี่ยทุก 1 ชม ของทิศทางลม ที่ระดับ 2 เมตรจากผิวดิน (degrees)
7. ค่าเฉลี่ยทุก 1 ชม ของค่าความชื้นในอากาศที่ระดับ 1 เมตรจากผิวดิน (%)
8. ค่าเฉลี่ยทุก 1 ชม ของค่าความเครียดของน้ำในดิน(Soil water tension) (cbar)
9. ค่าสูงสุดทุก 1 ชม ของอุณหภูมิอากาศ ที่ระดับ 1 เมตรจากผิวดิน ($^{\circ}\text{C}$)
10. ค่าสูงสุดทุก 1 ชม ของอุณหภูมียอดหญ้า ที่ระดับผิวดิน ($^{\circ}\text{C}$)
11. ค่าสูงสุดทุก 1 ชม ของอุณหภูมิดิน ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตรจากผิวดิน ($^{\circ}\text{C}$)
12. ค่าสูงสุดทุก 1 ชม ของความเร็วลม ที่ระดับ 2 เมตรจากผิวดิน (m/s)
13. ค่าผลรวมทุก 1 ชม ของการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยที่ระดับผิวดิน (mm)
14. ค่าผลรวมทุก 1 ชม ของปริมาณน้ำฝน (mm)

คุณสมบัติและลักษณะของเครื่องวัดต่างๆ

1.เครื่องวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบ RTD (Resistance Temperature Detectors) โดยหลักการที่ว่าความต้านทานไฟฟ้าในเส้นลวดโลหะจะเปลี่ยนเป็นสัดส่วนกับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยน วงจรพื้นฐานของ RTD คือ วิธสโตน บริดจ์ RTD ที่ใช้เป็นแบบ 3 สายเป็นแบบมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากที่สุดโดยสายทั้ง 3 ที่ใช้ต้องมีขนาด, ความยาวเท่ากัน เพื่อให้ความต้านทานในสายทั้ง 3 สายเปลี่ยนแปลงไปในขนาดและทิศทางเดียวกัน เพื่อเป็นการชดเชยเนื่องจากความต้านทานของสายไฟเมื่อมีการต่อสายจาก RTD ยาวๆ โพรบวัดอุณหภูมิ RTD ต่อเข้าคอมพิวเตอร์ทางแผงวงจรขยายสัญญาณ PCLD-7702 (Amplifier with V/I Source) โดยมีอัตราขยาย 200 เท่า รูปที่6

2.เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดความเร็วลมแบบ Three cup Anemometer รูปที่ 7 ประกอบด้วยถ้วยพลาสติกครึ่งวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 มม. 3 ถ้วย ต่อเชื่อมกันและหมุนรอบแกนหมุน การหมุนของถ้วยทั้งสามจะเกิดสัญญาณแบบ AC sine wave ซึ่งความถี่ที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับความเร็วลม

คุณสมบัติของเครื่องวัดความเร็วลม Wind speed

Range	0 to 50 m/s (112 mph), gust survival 60 m/s(134 mph)
Sensor	12 cm diameter cup wheel assembly, 40 mm diameter hemispherical cups
Transducer	Stationary coil, 1350 ohm nominal resistance
Transducer output	AC sine wave signal induced by rotating magnet on cup wheel shaft 100 mV p-p at 60 rpm. 6V p-p at 3600 rpm.
Output frequency	1 cycle per cup wheel revolution 0.75 m/s per Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องวัดทิศทางลม (Wind vane)

เครื่องวัดทิศทางลมแบบลูกศร ของ RM Young รุ่น ES-020 แสดง ในรูปที่ 8 ลูกศรลมจะหมุนรอบแกนหมุนซึ่งต่ออยู่กับ precision conductive plastic potentiometer เมื่อมีการให้ไฟฟ้ากับ Potentiometer ตำแหน่งและทิศทางของลูกศรจะสัมพันธ์กับค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งออกมา

คุณสมบัติของเครื่องวัดทิศทางลม Wind direction (azimuth)

Range	360 ° mechanical, 352 ° electrical (8 open)
Sensor	Balanced vane, 16 cm turning radius.
Transducer	Precision conductive plastic potentiometer, 10K ohm
Transducer excitation	regulated DC voltage, 15 VDC max.
Transducer output	Analog DC voltage proportional to wind direction angle with regulated excitation voltage applied across potentiometer

สัญญาณที่ออกจากเครื่องวัดความเร็วลม และเครื่องวัดทิศทางลม จะต่อผ่านแผงปรับแต่งสัญญาณ Young Model 03603 (Sensor interface circuit) ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนสัญญาณจากเครื่องวัดทั้งสองให้เป็นสัญญาณมีค่า 0 - 1 volt

องค์ประกอบของเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมแสดงใน รูปที่ 7

4. เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ Tipping Bucket Rain Gauge ของบริษัท Fluid isolation technology, inc. รุ่น RG-2000 กรวยรับน้ำฝนทำจากอะลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลางของกรวย = 8 นิ้ว ส่วน Tipping bucket ทำจาก acrylic ส่งสัญญาณออกเป็น Digital โดยสวิตช์เป็นแบบ magnetic reed การกระดกของถ้วยวัดน้ำฝนหนึ่งครั้งจะเท่ากับปริมาณฝน .01 นิ้ว (0.254 มม.) รูปที่8 ซึ่งจะต่อตรงเข้า PCL-718 ทางช่องของ Programmable Timer/Counter

คุณสมบัติของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

Orifice	8 inches (ID) 20.32 cm diameter
Switch	Magnetic reed (0.6 ms) 10 watts max.
Calibration	0.1 inch / bucket tip
Overall	12.25 " x 11 " weight 8 lbs. 8 ozs.

5.เครื่องวัดแสง

เครื่องวัดแสง (Pyranometer) ใช้ของ Li-Cor. รุ่น Li-200SA Pyranometer

Sensor ตัววัดเป็น High stability silicon photovoltaic สัญญาณที่ส่งออก $79.9 \mu\text{A} / 1000 \text{ Wm}^{-2}$ ต่อเข้าคอมพิวเตอร์ผ่าน PCLD-7701 โดยมีความต้านทาน 100Ω ต่อคล่อมขั้ววัดเพื่อ
ได้สัญญาณเป็นมิลลิโวลต์ รูปที่ 9

คุณสมบัติของเครื่องวัดแสง

Calibration	calibrated against an Eppley precision spectral pyranometer (PSP) under natural daylight conditions.
Sensitivity	$79.9 \mu\text{A} / 1000 \text{ Wm}^{-2}$
Linearity	maximum deviation of 1% up to 3000 Wm^{-2}
Stability	$\pm 2\%$ change over a 1 year period.
Cosine correction	cosine corrected up to 80° angle of incidence.
Detector	high stability silicon photovoltaic detector.
Sensors housing	weatherproof anodized aluminum case with acrylic diffuser and stainless steel hardware.
Size	2.38 diameter x 2.54 cm H
Weight	28 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ถาดวัดการระเหย แบบ Class A pan

ตัวถาดทำจากโลหะสเตลเลสมีลักษณะเป็นถาดทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 30 ซม. ที่พื้นด้านข้างเจาะรู และใส่ประตุน้ำขนาดเล็ก Ø 1/2 นิ้ว และต่อเชื่อมกับเครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งประกอบด้วย Strain gauge (TRANSTRONIC รุ่น FAG-3M) ซึ่งสามารถชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 3 กก. บนเครื่องชั่งยึดติดด้วยกระป๋องสเตลเลส ขนาด Ø 12 ซม. กันกระป๋องเจาะรูและต่อท่อพลาสติกอ่อนสีดำ Ø 2 มม. เชื่อมกับประตุน้ำของถาดวัดการระเหย ดังนั้นน้ำในถาดและในกระป๋องเครื่องชั่งจะเชื่อมถึงกัน นั่นคือระดับน้ำจะเท่ากัน หลักการทำงานเราจะเติมน้ำในถาดวัดการระเหยจนระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขอบประมาณ 5 ซม. น้ำจะไหลจากถาดเข้าในกระป๋องจนระดับน้ำเท่ากันก็จะหยุดไหล ต่อเครื่องชั่งน้ำหนักเข้ากับ คอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง PCLD-7702 คอมพิวเตอร์จะบันทึกน้ำหนักของน้ำในกระป๋องตลอดเวลา เมื่อน้ำในถาดวัดการระเหย ระเหยออกไปมีผลให้ระดับน้ำลดลง น้ำจากกระป๋องจะไหลเข้าในถาดวัดการระเหยเพื่อรักษาให้ระดับน้ำคงที่ เมื่อน้ำหยุดไหล น้ำหนักที่วัดได้จากเครื่องชั่งจะลดลงเป็นสัดส่วนกับการระเหยของน้ำ ในการเขียนโปรแกรมจะทำการเปลี่ยนค่าน้ำหนักที่ลดลงเป็นค่าความสูงของน้ำที่ระเหยออกไป องค์ประกอบของ ถาดวัดการระเหยแสดงใน รูปที่ 10 ลักษณะการติดตั้ง load cell กับกระป๋องสเตลเลสแสดงในรูปที่ 11

คุณสมบัติของ Load cell (TRANSTRONIC รุ่น FAG-3M)

Rate output	2.01150 mV/V
Temperature effect on output	0.002 % of applied output / °C
Temperature effect on zero	0.004 % of rated output / °C
Temperature compensated	-10 °C to +50°C
Recommended excitation	10 V DC/AC
Maximum excitation	20 V DC/AC

7. เครื่องวัดความชื้นในดิน

เป็นเครื่องวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ A. กระเปาะดินเผา(Porous cup) โดยนำดินเหนียวที่ใช้ทำเครื่องปั้นดินเผามาหล่อเป็นรูปกระเปาะทรงกระบอกกลวงเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 ซม. สูง 5 ซม. และนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1000 C (อิทธิสุนทร 2532) นำกระเปาะดินเผานี้ต่อเข้ากับท่อ PVC และปิดปลายด้วยจุกยางที่เจาะรูและต่อเข้ากับท่อพลาสติกอ่อนสีดำ Ø 2 มม และท่อพลาสติกนี้จะต่อเข้ากับเครื่องตรวจจับความดันแตกต่างของ (Differential Pressure transducer) ของ Motorola รุ่น MPX 2051 DP สัญญาณที่ส่งออกจาก Pressure transducer จะถูกขยายโดยวงจรขยายสัญญาณ และส่งไปคอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง PCL-718 องค์ประกอบของเครื่องวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer แสดงใน รูปที่ 12

คุณสมบัติของเครื่องวัดความดัน (Differential Pressure transducer)

Rate pressure range	0 to 15 PSI
Maximum pressure	60 PSI
Output	2.75mV / PSI (40mV max.)
Compensated temp. range	0 - 80 °C

8. เครื่องวัดความชื้นในอากาศ

เครื่องวัดความชื้นในอากาศ Hygrometer (ECOWELL รุ่น EWHS-28) เป็น Sensors แบบ Capacitive สัญญาณออกเป็น 3 - 18 mA เป็นสัดส่วนกับความชื้นสัมพัทธ์ 15 - 90 % RH สัญญาณที่ได้จะต่อเข้าทาง PCL-718 โดยใช้ความต้านทาน 100 Ω ต่อคล่อมหัววัดเพื่อได้สัญญาณเป็นโวลต์ คุณสมบัติและลักษณะของเครื่องวัดแสดงใน รูปที่ 13

คุณสมบัติของเครื่องวัดความชื้นในอากาศ

Power supply	9 to 20 VDC
Power consumption	20 mA (Max)
Protectionb	diode against reverse polarity

Ambient temperature	+14 to +158 °F (operating) -22 to +176°F (storage)
Operating range	15 to 90 %RH
Sensors type	capacitive
Accuracy	5 %
Response time	less than 60 seconds
Output signal	3 to 18 mA (15 to 90 %RH)
External load	120 Ω



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาสถานีตรวจอากาศโดยประมาณ

1.เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม	30,000
2.เครื่องวัดความชื้นในอากาศ	6,000
3.เครื่องวัดแสง	12,000
4.เครื่องวัดอุณหภูมิ (RTD)1200/เครื่อง*3	3,600
5.ภาควัดการระเหย	
ค่าจ้างทำภาค	5,000
ค่า Load cell	6,000
6.เครื่องวัดความชื้นในดิน	2,000
7.เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	13,000
8.ขาตั้งสถานีตรวจอากาศ	5,000
9.เครื่องคอมพิวเตอร์	30,000
10.แผงแปลงสัญญาณ	60,000
11.สายสัญญาณ	1,200
12.อุปกรณ์อื่นๆ	500
รวม	174,300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเครื่องวัด

เครื่องวัดที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จะมีที่ประกอบขึ้นเองคือ

1. เครื่องวัดการระเหยแบบ Class A Pan ราคา 11,000 บาท
2. เครื่องวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer ราคา 2,000 บาท

เครื่องมือเหล่านี้จะมีราคาถูกส่วนเครื่องวัดที่ซื้อจากต่างประเทศที่มีราคาแพงกว่าที่จะหาวิธีประกอบขึ้นใช้เอง เช่น

1. เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนอาจใช้หลักการเดียวกับเครื่องวัดปริมาณการระเหยน้ำโดยใช้ Load cell วัดปริมาณฝน
2. เครื่องวัดแสงอาจใช้ Phototransistor หรือ Photovoltaic cell แทนและ calibrate กับเครื่องวัดมาตรฐานเพื่อให้อ่านค่าที่ถูกต้อง จะทำให้มีราคาถูกลงอีกมาก

สถานที่ทำการวิจัยและพัฒนา

ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยาและสถานีวิจัยอากาศคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สรุป

เครื่องมือที่สร้างขึ้นสามารถเก็บข้อมูลทางภูมิอากาศได้อย่างต่อเนื่อง โดยอัตโนมัติ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration) ทำให้การใช้น้ำชลประทานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่นพื้นที่ในเขตชลประทานในหน้าแล้ง จะต้องมีการแบ่งปันการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจากข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดในช่วง ระยะเวลาหนึ่งๆ ที่คำนวณได้จากข้อมูลทางภูมิอากาศนี้ ทำให้สามารถกำหนดปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยไว้ในแต่ละพื้นที่ได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง สถานีตรวจอากาศนี้สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องลดข้อผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากผู้จัดข้อมูลลดขั้นตอนในการกรอกข้อมูล(ซึ่งอาจเกิดข้อผิดพลาดได้) และเมื่อต่อเข้ากับระบบควบคุมต่างๆ เช่น ปั๊มน้ำ ประตูเปิดปิดน้ำไฟฟ้า ก็จะเป็นระบบการให้น้ำโดยอัตโนมัติ สามารถทำการเชื่อมโยงระหว่างสถานีตรวจอากาศอื่นๆ ได้โดยผ่านทาง Modem เป็นระบบ Network นอกจากนี้หลักการทำงานของ การเก็บข้อมูลและการควบคุมยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเกษตรด้านอื่นๆ ได้อีก เช่น การควบคุมสภาพแวดล้อมในบ่ออนุบาลกุ้ง และปลา การควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนเพาะชำ การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมโดยเพิ่มเครื่องมือตรวจวัดอื่นๆ เช่น การวัดระดับน้ำในแม่น้ำ วัดระดับน้ำใต้ดิน วัดปริมาณกาซพิษอื่นๆ เช่น CO_2 SO_2 วัดระดับเสียง ฯลฯ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานที่จะทำต่อไป

จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นและข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ควรมีการทดลองเกี่ยวกับการควบคุมสภาพแวดล้อม ในเรือนกระจกหรือควบคุมสภาพแวดล้อมในบ่ออนุบาลลูกกุ้งต่อไป เนื่องจากโปรแกรมและเครื่องมือที่มีอยู่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมสิ่งต่างๆได้ และจะทำให้มีการทดลองอย่างต่อเนื่องและสามารถรวบรวมข้อมูลต่างๆ ได้มากขึ้น ซึ่งจะ เป็นประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาการเกษตรแม่นยำใหม่ของประเทศไทย ซึ่งยังมีการทดลองในด้านนี้น้อยมาก

เอกสารอ้างอิง

1.พิเชษ เสนาะล้ำ. อิทธิชัย อรุณศรีแสงชัย และ ถวิล พึ่งมา.2535 "การออกแบบวงจรแปลงความถี่เป็นศักดาไฟฟ้าสำหรับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบเที่ยงตรงสูง"วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง" หน้า 104-109.

2.สมศักดิ์ กীরติวุฒิสเรษฐ. 2535. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 340 หน้า

3.อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2532. การใช้วัสดุดินเผาภายในประเทศเพื่อประกอบเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer. รายงานผลการวิจัยสาขาพืชการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 28 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน. กทม.

4.Decroix et Puech 1985 . Le pilotage de l'irrigation a la parcelle Rapport de la conference internationale de Paris sur les besoins en eau des cultures. CIID.pp.693-724.

5.Goueffon, M. 1984. L'informatique au service de l'irrigation. Agromatic. vol 14, pp.34-40.

6.Howell,T.A. et al. 1984. "Automated Weather Data Collection for Research on Irrigation Scheduling." Tran. of the ASAE vol.27,No2,pp.386-391

7.Ireland,C.R. and S.P.Long 1984. Microcomputers in biology: a practical approach. Washington DC.Oxford.IRL Press Limited

8.Jame,M.M and F.H.Harry.1985. Automated system for measurement of Evapotranspiration from closed environmental growth chambers. Tran.of the ASAE. vol28,pp.1825-1828.

9.James,M.M.and Trent,T.1985.Automation of a class A evaporation pan. Tran. of the ASAE vol28,pp.169-191.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

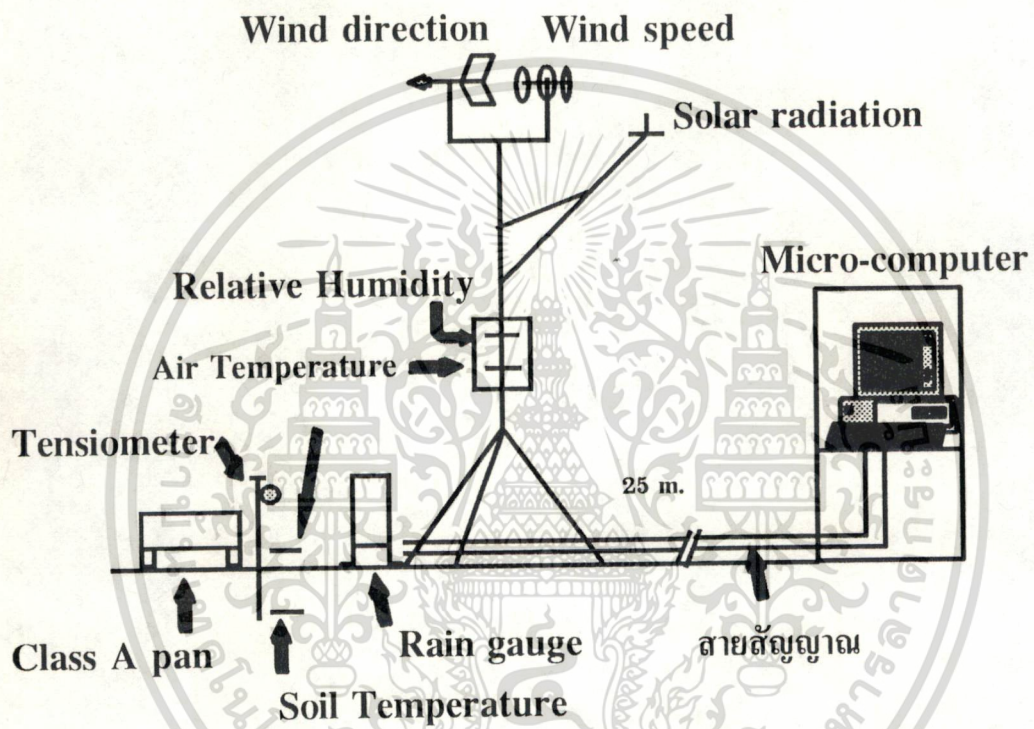
10.Kasubuchi, T (1992) Development of In-Situ soil water measurement by heat-probe methode. JARQ Vol.26: 178-181.

11.Nuntagij,I. 1989. Automatisation de l'irrigation au goutte a goutte de la tomate cultivee en sol et hors sol sous serre. These Dr. de l'INP Toulouse FRANCE.

12.Phene,C.J. and Campbelle,R.B. 1975. Automating par evaporation measurements for irrigation control. Agric.Meteorol.,vol15,pp.181-191

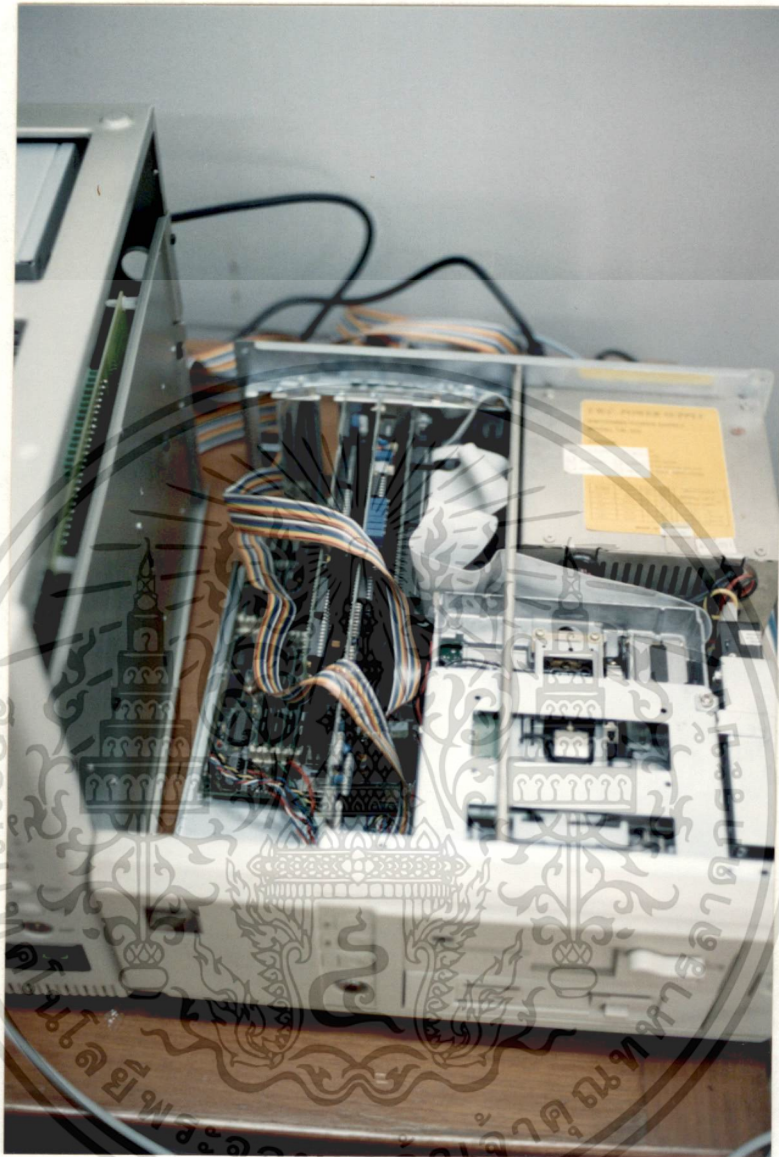
13.Snyder,R.L.,W.O.Pruitt,A.Dong.1985. "An automatic weather station network for estimation of evapotranspiration." Rapport de la conference internationale de Paris sur les besoins en eau des cultures. CIID.pp.133-141

14.Van Der Vekenet.al.1982. Optimization of the water application in greenhouse tomatoes by introducing a tensiometer-controlled drip irrigation system. Scientia Horticulturae., vol.18 pp.9-23.



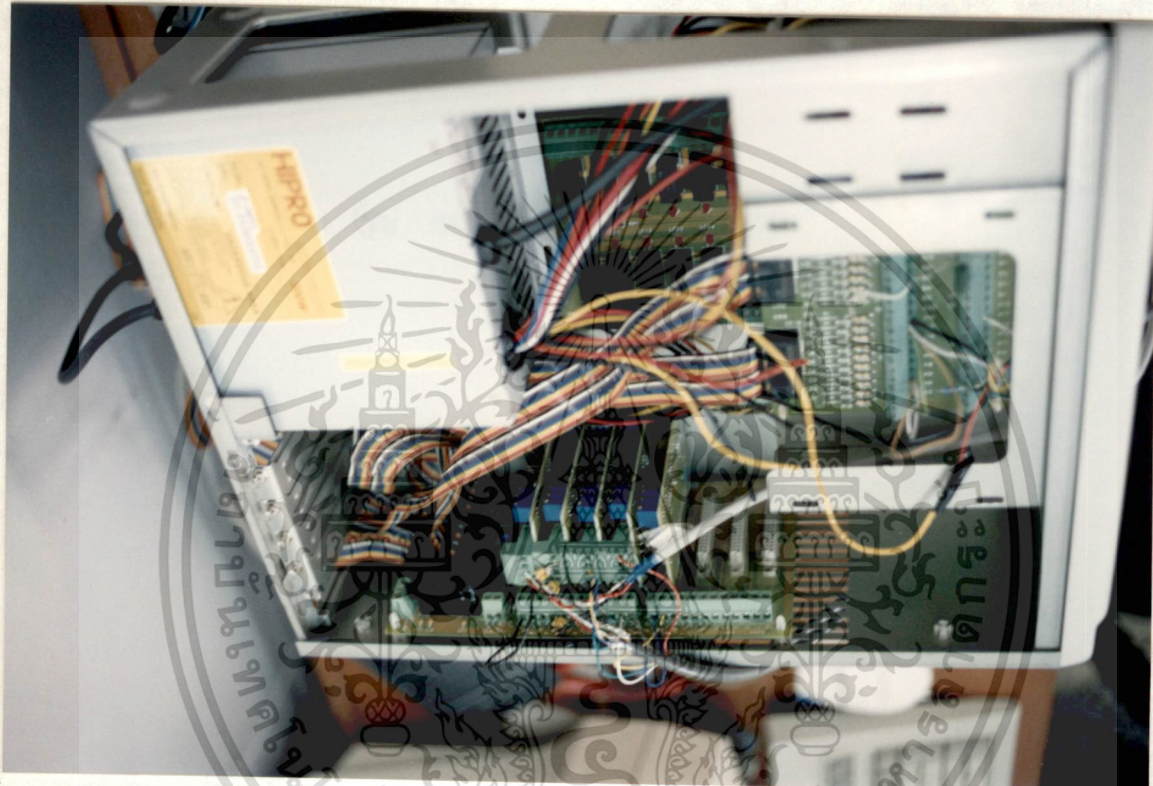
รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



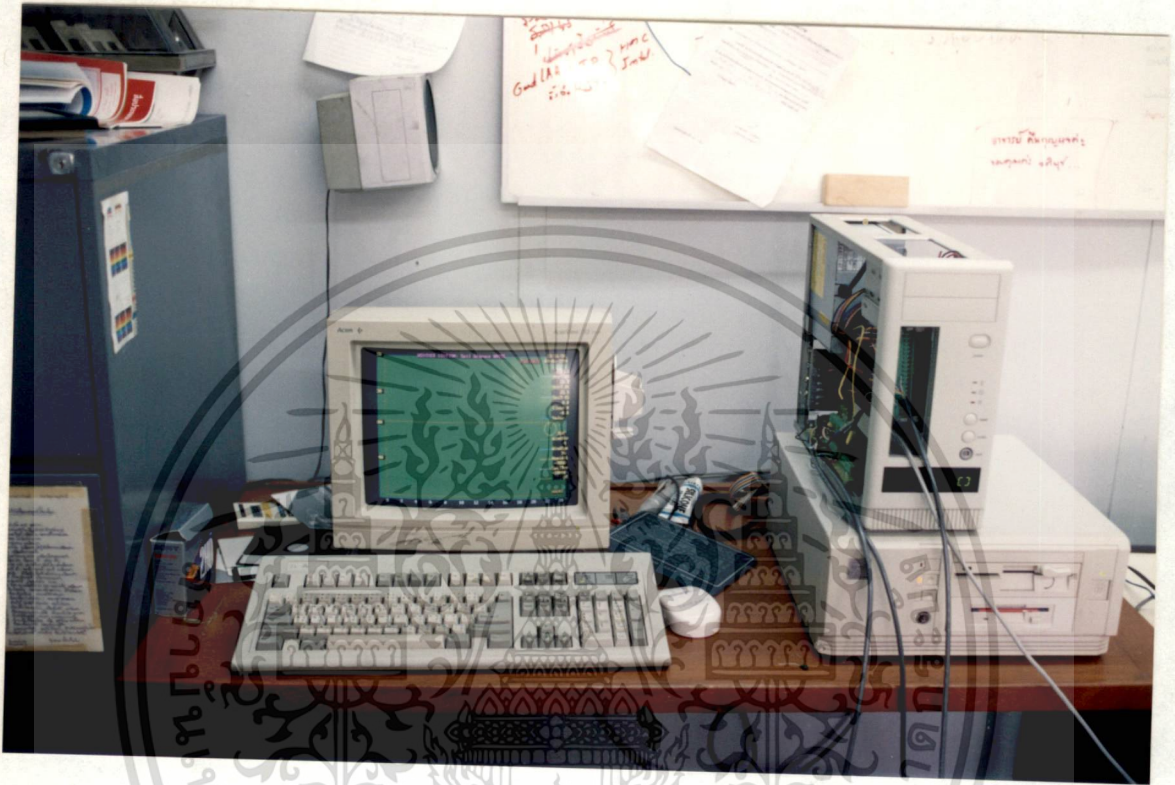
รูปที่ 2 แสดงแผ่นแปลงสัญญาณ PCL-718 (High Performance Data Acquisition Card) ติดตั้งอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



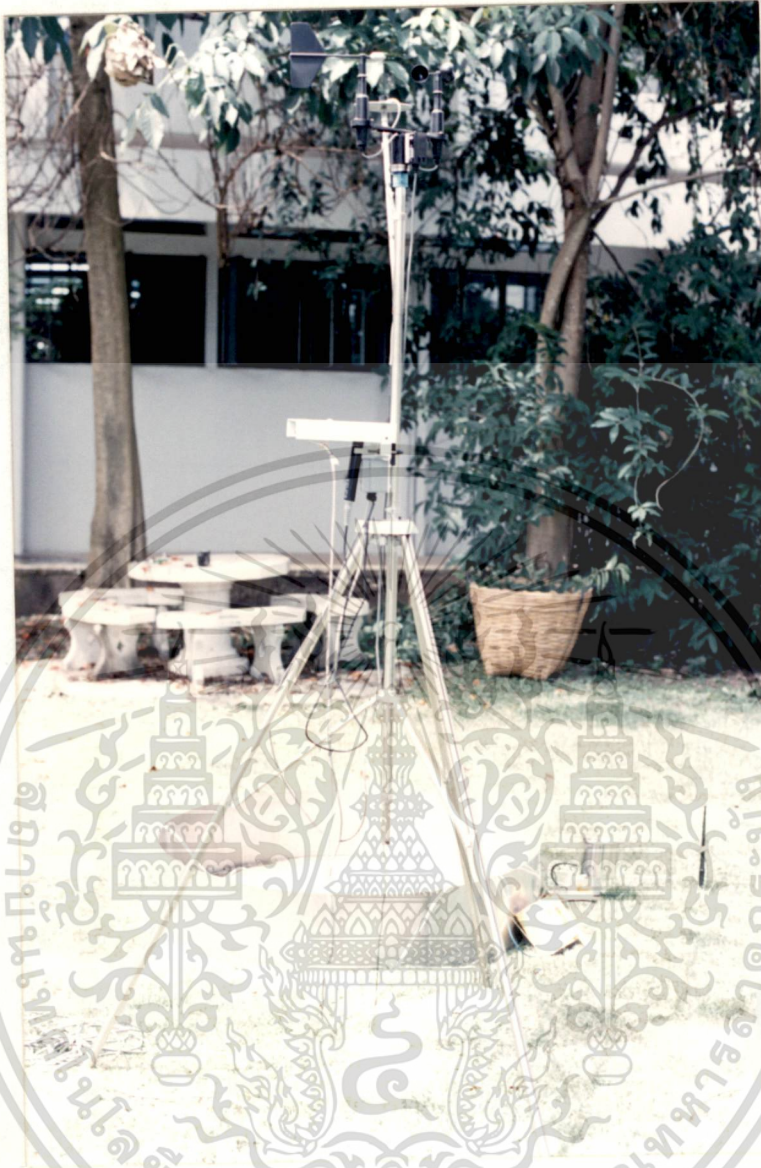
รูปที่ 3 แผ่นปรับแต่งสัญญาณ PCLD-770 (Signal conditioning board) ต่อกับแผ่น PCLD-7701 (isolated amplifier module) และแผ่น PCLD-7702 (Resistance/Voltage measurement module)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของภาควิชาข้อมูลประกอบด้วย Micro-computer และ
แผ่นแปลงสัญญาณ

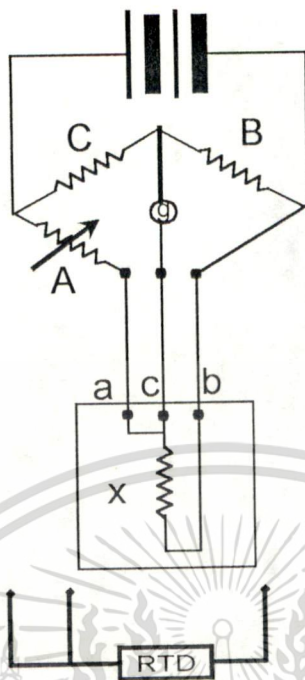
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดต่างๆบนขาตั้ง 3 ขา และเครื่องวัดที่วางอยู่บน

ผิวดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบ RTD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



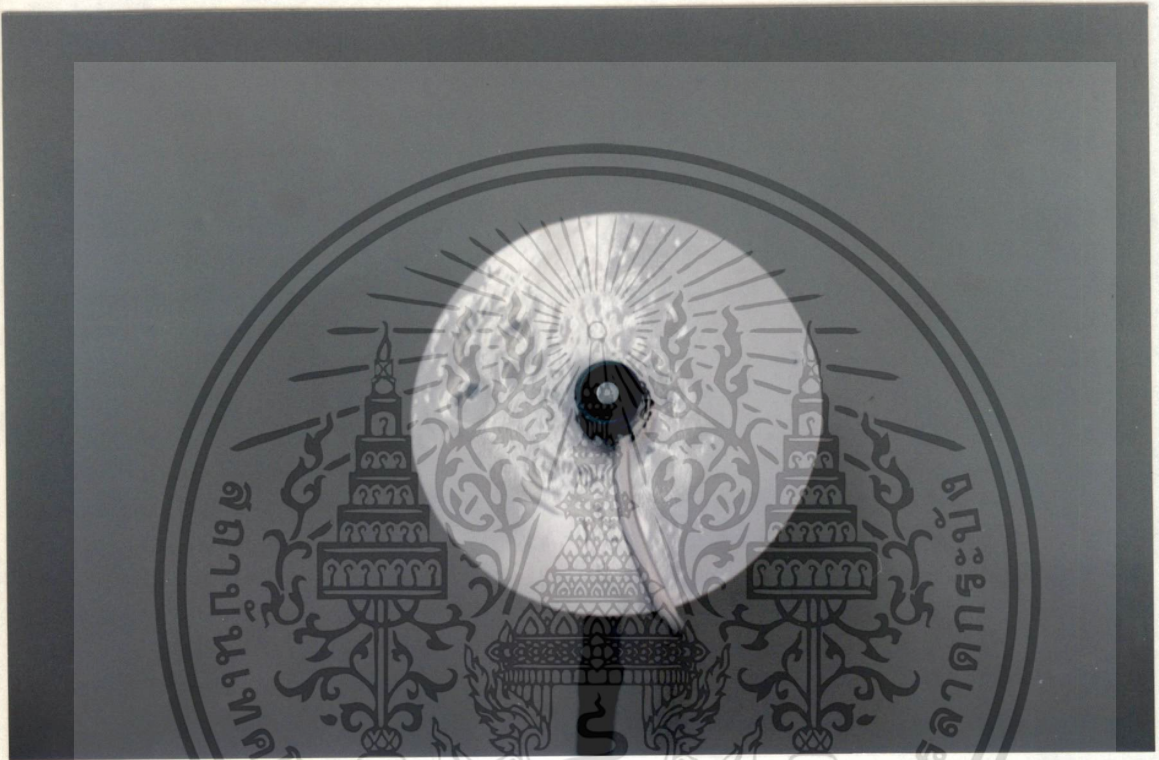
รูปที่ 7 เครื่องวัดความเร็วลมแบบ Three cup Anemometer และเครื่องวัดทิศทางลมแบบ Wind vane (RM Young รุ่น ES-020)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



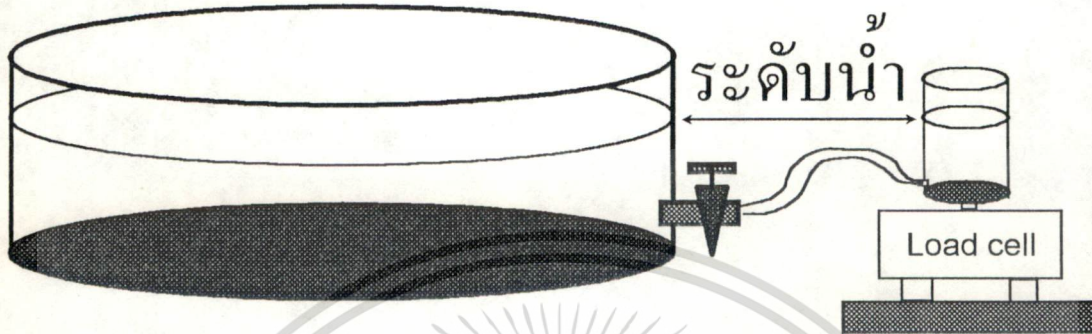
รูปที่ 8 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ Tipping Bucket Rain Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 เครื่องวัดแสง (Pyranometer) (Li-Cor รุ่น LI-200SA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

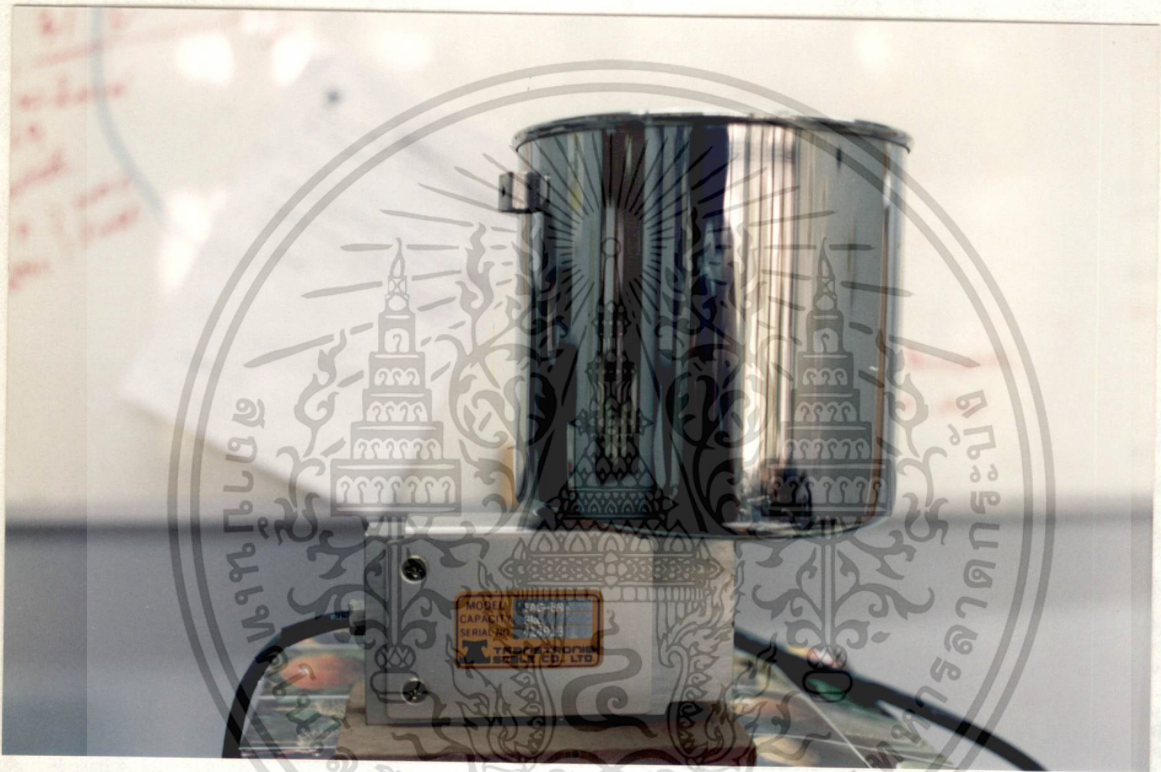


Class A Pan



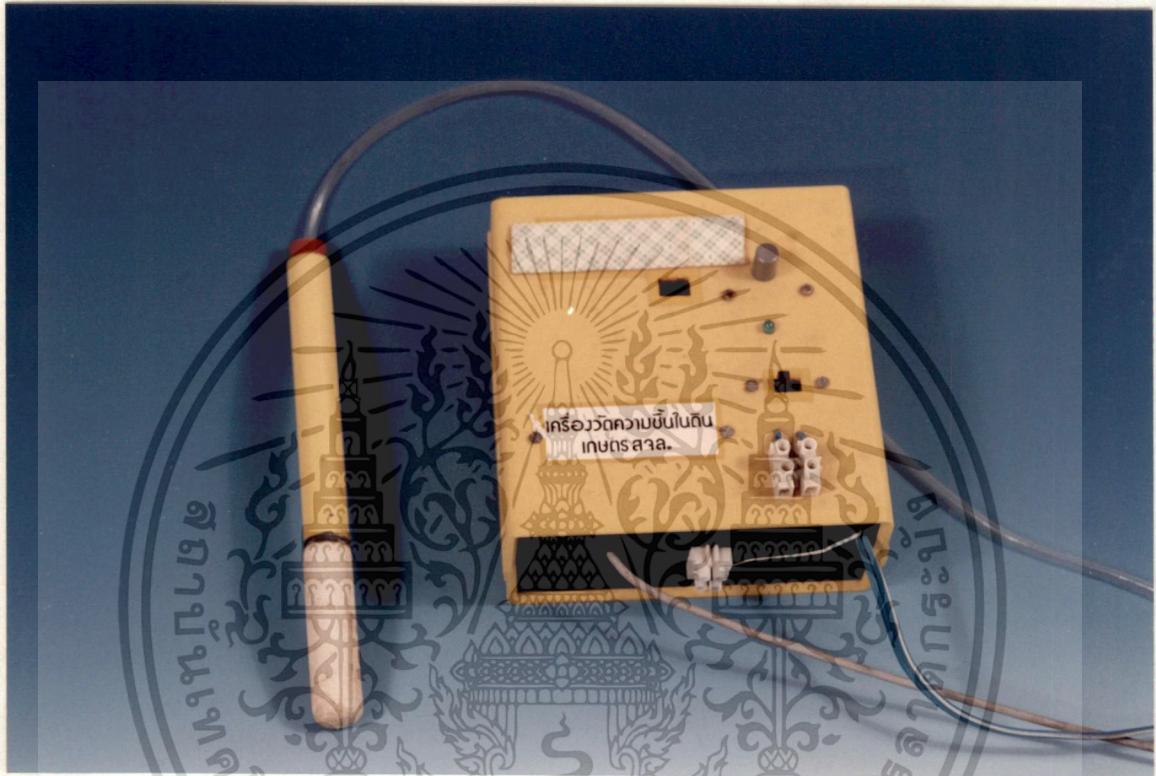
รูปที่ 10 แสดงองค์ประกอบเครื่องวัดการระเหยน้ำแบบ Class A Pan ต่อเชื่อมกับ Load cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



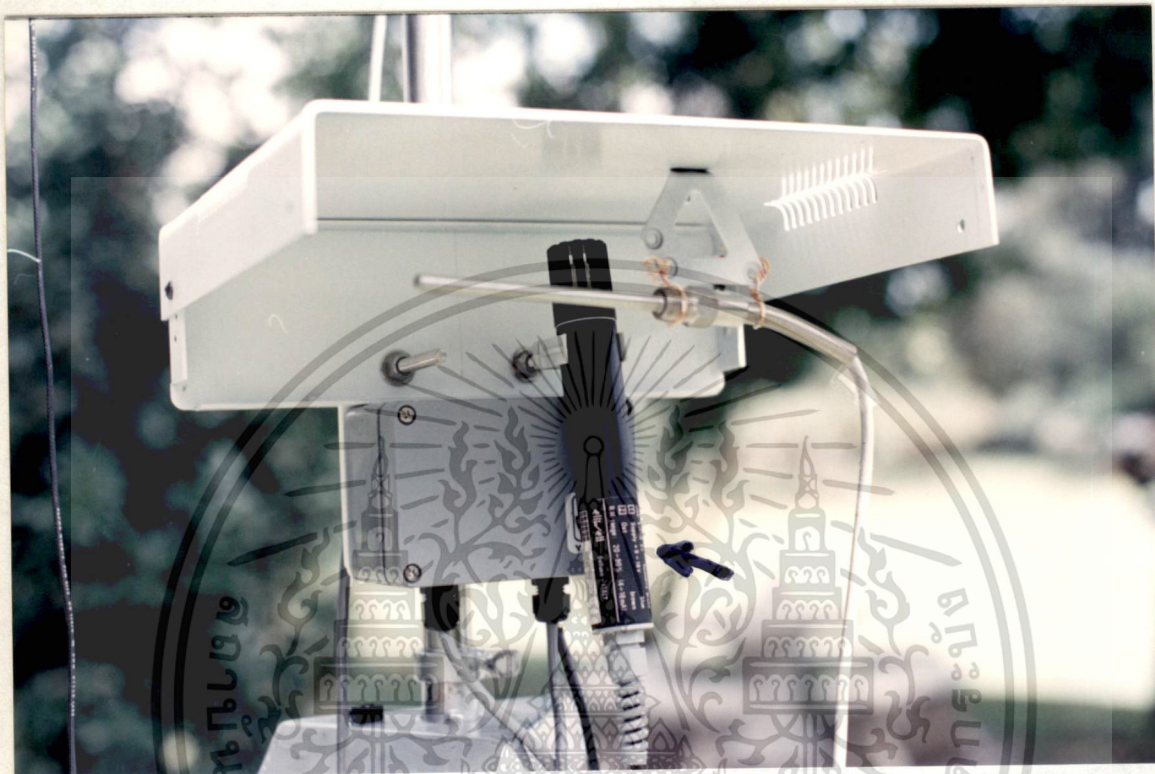
รูปที่ 11 ลักษณะการติดตั้ง load cell กับกระป๋องสเตลเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



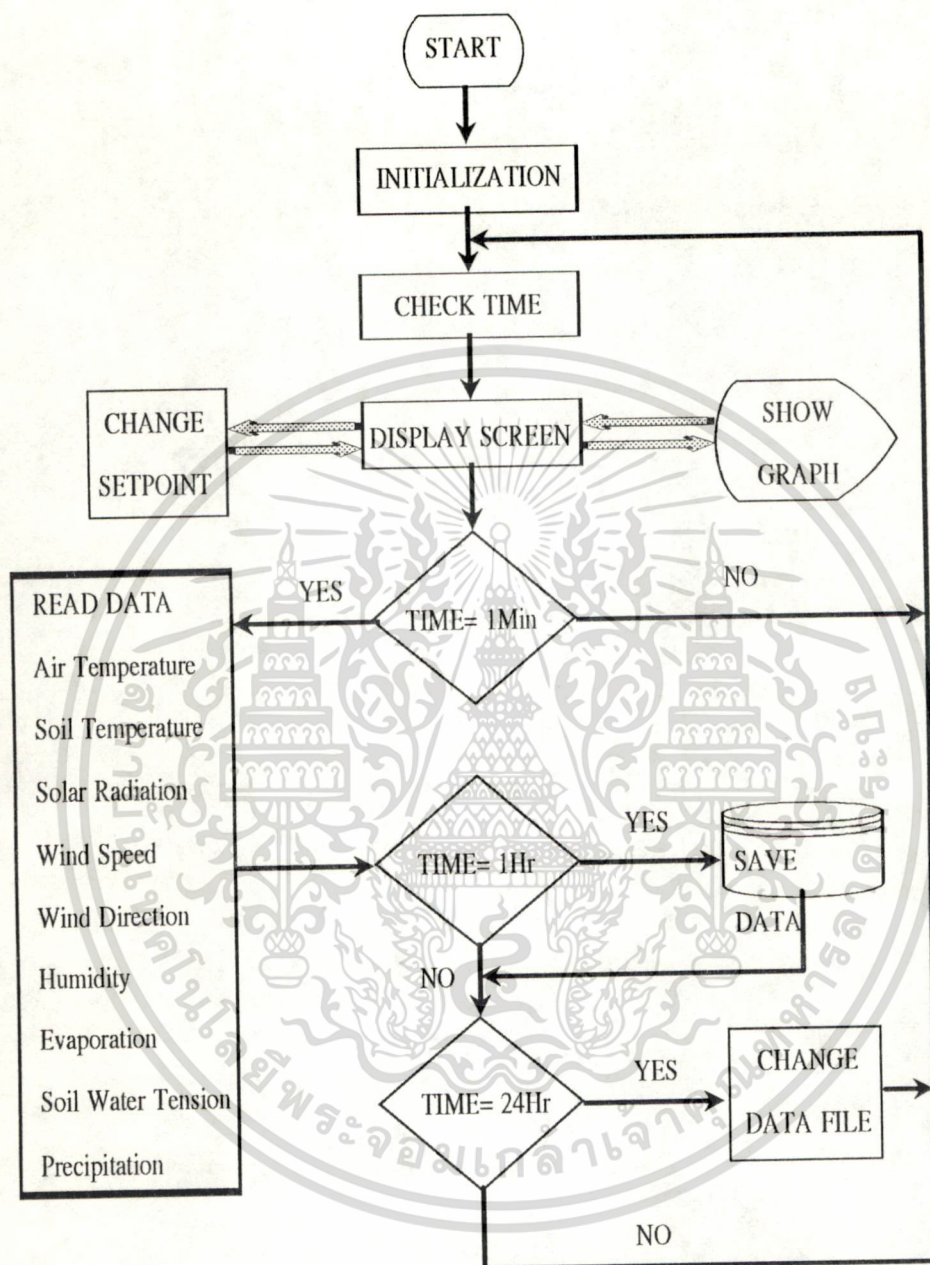
รูปที่ 12 แสดงเครื่องวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 แสดงเครื่องวัดความชื้นในอากาศ Hygrometer (ECOWELL รุ่น EWHS-28)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 ลักษณะโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้