



รายงานผลการประคิษฏ์  
ทุนอุดหนุนโครงการตั้งประคิษฏ์

๑  
๑๗๐๑

การพัฒนาเครื่องวัดและบันทึกครรชนที่อุณทภูมิ

แบบ WBGT รุ่น NTG 1701 A

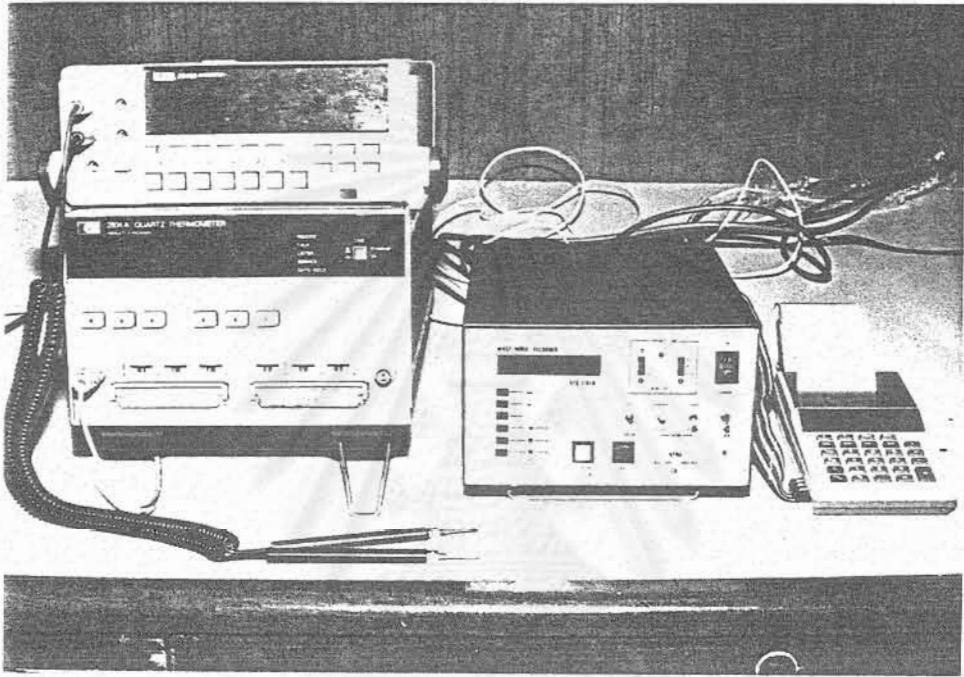
โดย

รัชชัย สุวิตร  
สุวิทย์ ปุณณชัยะ

536.502  
87  
ธ4315

เครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมิแบบ WBGT

WET BULB GLOBE TEMPERATURE (WBGT) RECORDER



รายงานฉบับสมบูรณ์  
การพัฒนาเครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมิ  
แบบ WBGT รุ่น NTG 1701 A



ธีรชัย สุมิตร  
สุวิทย์ ปุณศรีษะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานสิ่งประดิษฐ์



เครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมิแบบ WBGT  
WET BULB GLOBE TEMPERATURE (WBGT) INDEX RECORDER  
รุ่น NTG 1701 A

รศ.ดร. กฤษชัย สมิติน  
ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

กันยายน 2534



### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้มักยอมรับการวัดค่าอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมของการทำงานแล้วคำนวณออกมาในรูปของดรรชนีอุณหภูมิแบบ WBGT แทนการวัดอุณหภูมิจริงภายในร่างกายของคนงาน เพื่อกำหนดลักษณะการทำงานของคนงานในสภาพการทำงานที่ต้องสัมผัสกับความร้อนสูงกว่าปกติเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อคนงาน ดังนั้นจึงได้ทำการประดิษฐ์เครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมิแบบ WBGT นี้ขึ้น

เครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ที่พัฒนาขึ้น ออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวกและบำรุงรักษาง่าย ราคาประหยัด ใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศ เครื่องมือนี้ประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ระบบเชิงเลข 3 ชุด แต่ละชุดสามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส มีความละเอียดในการอ่านค่า 0.1 องศาเซลเซียส มีความคลาดเคลื่อนตลอดช่วงวัดน้อยกว่า  $\pm 0.5$  องศาเซลเซียส แสดงผลเชิงเลขด้วยไดโอดเปล่งแสง 3 1/2 หลัก สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิภายในลูกโลหะดำและกระเปาะแห้ง นอกจากนี้ยังออกแบบให้สามารถปรับค่าตัวประกอบผลคูณสำหรับคำนวณค่าดรรชนีอุณหภูมิ พิมพ์ผลอุณหภูมิพร้อมคำนวณค่าดรรชนีอุณหภูมิตามเครื่องคำนวณขนาดเล็กตามช่วงเวลาที่ตั้งไว้ การตั้งเวลาสามารถเลือกได้จาก 1 ถึง 50 นาที เป็นขั้นๆ จาก 1, 2, 5 และตัวประกอบ  $\times 1$  และ  $\times 10$  โดยวงจรตั้งเวลาควบคุมความถี่ฐานเวลาด้วยผลึกกำเนิดความถี่ สามารถเลือกใช้งานได้กับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ หรือไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### Abstract

At present the Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT) is the simplest technique to measure the environmental factors which closely correlate with deep body temperature of a worker. And since measurement of deep body temperature is not practical, the WBGT is the most widely used technique for determining permissible heat exposure Threshold Limit Values (TLV).

The NTG 1701A WBGT index recorder was designed and built for ease of use and maintenance, low cost, using local materials and electronic components. The instrument consists of 3 sets of 3 1/2 digits LED display digital thermometer. Each can measure temperatures in the range of 0 to 100°C with 0.1°C resolution and ±0.5°C accuracy. These thermometers are provided for measuring the natural wet bulb temperature, globe temperature and dry bulb temperature. Besides, this instrument can be adjusted the weighting factor of WBGT, print-out the reading temperatures and calculated the temperature index on the pocket electronic printing calculator at the desired setting time. The built-in crystal control timer can preset the time from 1 to 50 minutes in steps of 1,2,5 and multiplying factor of x1 and x10. It can operate with either 12 volts battery or 220 V 50 Hz AC source.

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### กิติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากการสนับสนุนของหน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้านทุนอุดหนุนและ เครื่องมือวิจัย ตลอดจนบุคคลากรที่ให้ความช่วยเหลือด้านการทดลองวงจร ประกอบเครื่องต้นแบบและทดสอบการใ้ใช้งาน จนกระทั่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สมบูรณ์

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนด้านเงินทุน ในการปรับปรุงสมรรถนะของ เครื่องวัดและบันทึกตรรกษีนอญหมูมินี้ และขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือ วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกให้ใช้เครื่องมือ กลสำหรับประกอบต้นแบบและเครื่องมือสำหรับปรับเทียบนอญหมูมินี้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ผู้วิจัยขอ ขอขอบคุณ คุณบัญชา อุณพานิช คุณพานิช นาประดิษฐ์ คุณเดโช ทองอร่าม คุณสันติ อังกูร- เทวารักษา และ คุณชรรชัย เกรียงไกรอุดม ซึ่งเป็นกำลังสนับสนุนสำคัญในการประกอบและ ปรับปรุงสมรรถนะของ เครื่องต้นแบบให้ลุล่วงตามวัตถุประสงค์ และขอขอบคุณ คุณอัยรา สกุลมัน ที่ช่วยจัดพิมพ์ต้นฉบับรายงานให้เสร็จสมบูรณ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	3
บทที่ 2 ธรรมชาติของเครื่องมือแบบ WBGT	5
2.1 การปรับอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์	6
2.2 การประเมินความเครียดจากผลของความร้อนแบบ WBGT	8
2.3 หลักเกณฑ์ในการประเมินค่าดัชนี WBGT	10
2.4 เครื่องมือวัดค่าดัชนี WBGT	11
บทที่ 3 การพัฒนาเครื่องวัดและบันทึกการวัดอุณหภูมิแบบ WBGT	13
3.1 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องวัดและบันทึกการวัดอุณหภูมิ	13
3.2 การออกแบบโปรบวัดอุณหภูมิและอุปกรณ์การวัด	13
3.3 การออกแบบเครื่องวัดและบันทึกการวัดอุณหภูมิ	17
3.4 การประกอบเครื่องต้นแบบ	26
บทที่ 4 ผลการทำงานของเครื่องวัดและบันทึกการวัดอุณหภูมิ	30
4.1 การปรับเทียบอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ระบบเชิงเลข	30
4.2 ผลทดสอบการทำงานของระบบ	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการวิจัย	39
5.2 ลักษณะพิกัดของเครื่องวัดและบันทึกการวัดอุณหภูมิแบบ WBGT	40
5.3 ปัญหาที่พบในงานวิจัย	42
5.4 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	45
ก. ตารางแสดงระดับ metabolic rate	45
ข. ข้อมูลเฉพาะของหัววัดอุณหภูมิ	46
ค. ผลการนำเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์แบบ WBGT ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ ประกอบการทำวิทยานิพนธ์	52



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1	14
3.2	15
3.3	15
3.4	16
3.5	17
3.6	19
3.7	20
3.8	20
3.9	21
3.10	23
3.11	25
3.12	27
3.13	27
3.14	28
3.15	29
3.16	29
4.1	30
4.2	33
4.3	34
4.4	36
4.5	36
4.6	37
4.7	37
4.8	38
4.9	38
ค.1	52
ค.2	53
ค.3	53

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	Permissible Heat Exposure Threshold Limit Value (°C WBGT)	9
4.1	ผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกันระหว่างเทอร์โมมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น กับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบคาลอर्थ	32
ก.1	แสดงระดับของ metabolic rate	45
ก.2	ค่าอ้างอิงสำหรับ दररชनอุณหภูมิ WBGT กับ metabolic rate ระดับต่างๆ ของ ISO 7243	45

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1  
บทนำ



เครื่องวัดและบันทึกการรบกวนของอุณหภูมิแบบ WBGT รุ่น NTG 1701 A เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ปรับปรุงให้มีสมรรถนะสูงจากเครื่องต้นแบบรุ่น NTG 1701 ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเครื่องต้นแบบรุ่น NTG 1701 ได้เคยนำออกแสดงในนิทรรศการสิ่งประดิษฐ์จุนาฯ ครั้งที่ 3 ระหว่างวันที่ 16-18 มกราคม 2532 และได้ขอรับทุนอุดหนุนโครงการสิ่งประดิษฐ์ของฝ่ายวิจัย เพื่อปรับปรุงสมรรถนะให้มีประสิทธิภาพและความทนทานเพียงพอที่จะนำไปใช้งานภาคสนามในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง ทดเทียมเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมหลายประเภทจำเป็นต้องอาศัยคนงานปฏิบัติงานใกล้ชิดกับจักรกลการผลิตในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ กันต่อเนื่องเป็นเวลานาน ในขณะที่สภาพแวดล้อมของอุตสาหกรรมบางอย่างมีผลกระทบต่อสุขภาพของคนงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมประเภทโรงหล่อเหล็ก ริดเหล็ก โรงหลอมแก้วหรือเซรามิก โรงผลิตอิฐทนไฟหรือซีเมนต์ เหล่านี้เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แหล่งกำเนิดความร้อนอุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิต คนงานจะต้องทำงานในบรรยากาศการแผ่รังสีความร้อนจากเตาเผาซึ่งจะมีผลกระทบต่อสุขภาพของคนงานโดยตรง กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิในร่างกายสูงขึ้นจากการทำงาน จะมีการปรับสมดุลอุณหภูมิด้วยปฏิกิริยาทางสรีระ โดยธรรมชาติของมนุษย์ด้วยการพาความร้อนในร่างกายสู่ผิวหนังและระบายความร้อนไปกับเหงื่อสู่อากาศแวดล้อม ดังนั้นถ้ามนุษย์ต้องทำงานในบรรยากาศที่ร้อนจัดต่อเนื่องเป็นเวลานาน อวัยวะที่ทำหน้าที่ในการช่วยปรับอุณหภูมิจะทำงานหนักทำให้ร่างกายอ่อนเพลียและทรุดโทรม และถ้าความร้อนของบรรยากาศการทำงานสูงมากจนร่างกายไม่สามารถปรับสมดุลอุณหภูมิได้ อุณหภูมิของร่างกายจะเพิ่มสูงขึ้นซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพถึงขั้นอันตรายได้ ด้วยเหตุนี้การประเมินผลกระทบของความร้อนต่อสุขภาพคนงานด้านชีวอนามัย จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

การประเมินผลกระทบของความร้อนต่อสุขภาพของมนุษย์อาศัยการประเมินความเครียดจากผลของความร้อน (heat stress) อันเป็นผลจากปฏิกิริยาปรับสมดุลอุณหภูมิของร่างกาย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิจากกระบวนการทางชีวเคมีในร่างกาย และการถ่ายเทความร้อนกับสภาพแวดล้อมภายนอก นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามแสวงหาวิธีประเมินผลกระทบดังกล่าวทั้งด้วยการวัดผลทางสรีรศาสตร์โดยตรง และการวัดสภาพแวดล้อมในเชิงความร้อน (thermal environment) [2] จนกระทั่งปัจจุบันได้มีการยอมรับวิธีประเมินผลด้วยการวัดอุณหภูมิที่มีสภาพ

คล้ายคลึงกับสภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมในรูปของดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT เพื่อใช้กำหนดเป็นค่า Threshold Limit Value (TLV) ของ heat stress เครื่องมือที่ใช้วัดค่าดัชนีความร้อนแบบ WBGT นี้ แต่เดิมประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท 3 ชุด สำหรับวัดอุณหภูมิของกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และอุณหภูมิภายในลูกโลหะดำ ต่อมาแม้ว่าจะมีการนำเทอร์โมมิเตอร์แบบเชิงเลขมาใช้งาน แต่ก็ยังต้องติดตามจดบันทึกผลการวัดอุณหภูมิ เพื่อนำไปคำนวณค่าดัชนีอุณหภูมิทำให้เสียเวลาและมีความล่าช้าเกิดขึ้น ตลอดจนข้อมูลจากการจดบันทึกอาจเลอะเลือน ผลการคำนวณก็จะผิดพลาดเกิดปัญหาในทางปฏิบัติ จากปัญหาเหล่านี้ จึงทำให้ผู้วิจัยคิดประดิษฐ์เครื่องวัดพร้อมบันทึกผลการวัดดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ไว้เป็นหน่วยเดียวกันในระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบประหยัดขึ้น มีลักษณะเป็นอุปกรณ์สำเร็จตั้งพื้น สามารถปรับตำแหน่งของโปรบวัดอุณหภูมิได้ อ่านผลการวัดดัชนีอุณหภูมิบริเวณวัดได้ทันที สมรรถนะของเครื่องวัดออกแบบโดยอาศัยมาตรฐานการวัดค่าดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ตามข้อกำหนด ISO 7243 และปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้สะดวกกว่าเครื่องที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การพัฒนาเครื่องวัดและบันทึกค่าดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT มีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ที่ให้ประโยชน์ต่อการใช้งานด้านการประเมินความเครียดจากผลของความร้อนสำหรับการบริหารสภาพการทำงานในบรรยากาศที่มีความร้อนสูง โดยมีเป้าหมายดังนี้

- 1.2.1 ออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับประเมินค่า TLV ของ heat stress เพื่อประโยชน์ในการประเมินความเครียดหรือผลกระทบต่อสุขภาพของคนงาน
- 1.2.2 สร้างเครื่องต้นแบบเพื่อทดสอบ ใช้งาน และปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องมือให้มีความทนทานและใช้งานภายใต้บรรยากาศความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรมได้
- 1.2.3 ออกแบบให้เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบแยกส่วนเพื่อการบำรุงรักษาได้ง่าย ใช้งานได้ ทั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ และแบตเตอรี่ 12 โวลต์ สามารถประกอบขึ้นเองได้ง่าย โดยใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

แนวทางในการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์เครื่องวัดและบันทึกดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ที่เป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปตั้งพื้นนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ อุปกรณ์วัด ได้แก่ ฮาร์ดแวร์ที่สามารถปรับตำแหน่งของโปรบวัดอุณหภูมิ 3 ชนิด และเครื่องประเมินดัชนีอุณหภูมิ ซึ่งสามารถแสดงผลการ

วัดอุณหภูมิ บันทึกอุณหภูมิพร้อมประเมินค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในรูปดัชนีอุณหภูมิ WBGT บนเครื่องพิมพ์ขนาดเล็ก โดยออกแบบอ้างอิงข้อมูลตามมาตรฐานการวัดดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ตามข้อกำหนด ISO 7243 [2] และปรับปรุงสมรรถนะเครื่องวัดให้สามารถใช้งานได้สะดวก ให้ผลการวัดทันที ซึ่งรวดเร็วกว่าเครื่องมือแบบเก่าที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์ปรอท ซึ่งแตกหักเสียหายง่ายและยังมีความไม่คล่องตัวในการใช้งาน เครื่องวัดและบันทึกดัชนีอุณหภูมินี้เลือกใช้โปรบวัดอุณหภูมิแบบกึ่งตัวนำ (precision temperature sensor) เบอร์ LM 335 ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ดีในช่วง ๑ ถึง 1๐๐ องศาเซลเซียส และมีระบบชดเชยอุณหภูมิสถานะแวดล้อมที่แปรเปลี่ยนเพื่อให้ผลการวัดอุณหภูมิมีความถูกต้อง

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

การศึกษาข้อมูลสำหรับการออกแบบและสร้าง จนกระทั่งมีการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องต้นแบบทำให้คณะผู้วิจัย ได้รับประโยชน์ซึ่งสามารถเผยแพร่ในเชิงวิชาการดังต่อไปนี้

- 1.4.1 ได้รับข้อมูลและปัญหาในการใช้งานจากเครื่องต้นแบบ และมีการปรับปรุงโครงสร้างของวงจรพร้อมอุปกรณ์วัดให้ได้มาตรฐานการวัดดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT
- 1.4.2 สามารถออกแบบและสร้างเครื่องวัดและบันทึกดัชนีอุณหภูมิที่มีสมรรถนะทัดเทียมเครื่องต่างประเทศ และยังใช้งานได้สะดวกกว่า
- 1.4.3 เป็นการเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจ และความจำเป็นในการวัดดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT เพื่อจัดสภาพการทำงานที่ถูกสุขลักษณะด้านชีวอนามัย
- 1.4.4 เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนี้จะมีประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยด้านการประเมินผลกระทบของความร้อนต่อมนุษย์ด้วยค่าดัชนีอุณหภูมิ ซึ่งจะ เป็นข้อมูลที่จำเป็นทั้งด้านการควบคุมสภาพการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมและการปรับอากาศในห้องทำงาน ที่ให้ความรู้ถึงสภาวะแก่ร่างกาย

#### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องวัดดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ทั้งที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท และเครื่องวัดจากต่างประเทศที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบเชิงเลข เพื่อประมวลข้อบกพร่องและความต้องการในการใช้งานกับสภาพในประเทศ
- 1.5.2 ออกแบบและสร้างโปรบวัดอุณหภูมิแบบกระเปาะเป็ยก กระเปาะแห้ง และภายในลูกโลหะดำพร้อมอุปกรณ์ยึดจับที่จะใช้งานในบริเวณปฏิบัติงาน

- 1.5.3 ออกแบบวงจรวัดอุณหภูมิแบบเชิง เลขและสร้างวงจรแผ่นนิมฟ์
- 1.5.4 ออกแบบวงจรบันทึกผลการวัดอุณหภูมิและคำนวณค่าตรงรชนิอุณหภูมิอัตโนมัติพร้อมทั้งสร้างวงจรแผ่นนิมฟ์ของวงจรที่ออกแบบขึ้น
- 1.5.5 ประกอบเครื่องต้นแบบและเปรียบเทียบอุณหภูมิกับเครื่องมือที่ได้มาตรฐานจากต่างประเทศ
- 1.5.6 ทดสอบการใช้งานและปรับปรุงสมรรถนะของ เครื่องต้นแบบให้สามารถใช้งานในบรรยากาศแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส
- 1.5.7 สรุปผลการวิจัยและเขียนรายงานการวิจัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT

อุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ในสภาพปกตินี้มีค่าประมาณ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งระดับอุณหภูมินี้เป็นสมดุลย์อุณหภูมิระหว่างความร้อนที่เกิดจากสภาพทางชีวเคมีในการแปรเปลี่ยนสารอาหารในร่างกายให้เป็นพลังงาน (metabolic heat) กับความร้อนของสภาพแวดล้อม (thermal environment) เมื่อใดก็ตามที่ร่างกายมนุษย์มีระดับอุณหภูมิสูงขึ้นจากการใช้กำลังงานหรือออกกำลังกาย ปฏิกริยาทางสรีระภายในร่างกายมนุษย์จะปรับสมดุลย์อุณหภูมิด้วยการปรับอัตราไหลเวียนของโลหิต ชับเหงื่อ และหายใจด้วยอัตราเร็วขึ้น เพื่อถ่ายเทความร้อนภายในร่างกายสู่สภาพแวดล้อม ในสภาพบรรยากาศแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง ร่างกายก็จะไม่สามารถรักษาสมดุลย์อุณหภูมิปกติได้ ความร้อนในร่างกายจะสูงขึ้น ถ้ามนุษย์ต้องทำงานในสภาพบรรยากาศร้อนจัด อาจจะทำให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงต่อสุขภาพได้ ผลกระทบนี้เรียกว่า ความเครียดที่เกิดจากผลของความร้อน (heat stress) ซึ่งร่างกายของมนุษย์สามารถทนสภาพความร้อนในขีดจำกัดระดับหนึ่งเท่านั้น ความเครียดจากผลของความร้อนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งสภาพการทำงานในที่โล่งแจ้งภายใต้แสงแดดร้อนจัด และการทำงานในบรรยากาศของอุตสาหกรรมที่ต้องใกล้ชิดกับแหล่งกำเนิดความร้อน เช่น อุตสาหกรรมผลิตโลหะต่างๆ แก้ว เซรามิก อิฐทนไฟ และซีเมนต์ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมสภาพการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อนสูงให้อยู่ในพิสัยที่สภาพร่างกายมนุษย์สามารถรับได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ปัญหาของผลกระทบจากความร้อนต่อร่างกายมนุษย์นี้เป็นปัญหาสำคัญในด้านการรักษาสุขภาพ ดังนั้นจึงมีผู้ที่ทำการศึกษาหาวิธีประเมินผล ด้วยการศึกษากฎกิริยาตอบสนองของมนุษย์กับการถ่ายเทความร้อนภายใต้อิทธิพลของตัวแปรในสภาพแวดล้อม อันได้แก่ ความชื้น ความเร็ว กระแสลม และการระเหยของเหงื่อบนสภาพซึมซับของเสื้อผ้าที่สวมใส่ เป็นต้น เพื่อจะคิดค้นวิธีวัดสภาพแวดล้อมเชิงความร้อน (thermal environment) ที่สามารถประเมินความเครียดของร่างกายในรูปของดัชนีอุณหภูมิได้ถูกต้องในวิธีต่าง ๆ กันหลายวิธี [2] จนกระทั่งเมื่อปี พ.ศ. 2493 ได้มีการยอมรับวิธีการประเมินค่าดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ในการประเมินความเครียดของร่างกายจากผลของความร้อน โดยนำมาใช้ครั้งแรกสำหรับการประเมินความสามารถในการทนความร้อนของทหารในสภาพต่าง ๆ กัน [4] และต่อมา ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) ก็ได้ใช้วิธีนี้เป็นวิธีเบื้องต้นในการประเมินค่า TLV (Threshold Limit Value) [3] จากผลของความเครียดอันเนื่องมาจากความร้อน และในปี พ.ศ. 2525 ISO (International Standard Organization) ก็ได้กำหนดมาตรฐานของวิธีวัดดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT สำหรับประเมินสภาพการทำงานในบรรยากาศความร้อน ดังรายละเอียดใน ISO 7243 [2]

## 2.1 การปรับอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์

ปฏิกิริยาทางสรีระของมนุษย์ในการปรับสมดุลอุณหภูมิของร่างกาย เมื่อระดับอุณหภูมิในร่างกายเปลี่ยนแปลงจากระดับปกติด้วยผลกระทบของความร้อนจะเป็นไปโดยอัตโนมัติเช่นเดียวกับระบบควบคุมอุณหภูมิอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีผิวหนังทำหน้าที่เป็นส่วนรับความรู้สึกต่อการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิแล้วส่งผ่านความรู้สึกไปยังระบบประสาท เพื่อควบคุมต่อมและอวัยวะบางส่วนในร่างกายให้ทำหน้าที่ปรับสมดุลอุณหภูมิของร่างกายให้เข้าสู่ระดับปกติ (37 องศาเซลเซียส) การปรับระดับอุณหภูมินี้เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากร่างกายให้กับสภาพแวดล้อม ซึ่งอาจจะเป็นการเพิ่มหรือลดปริมาณความร้อน (gain/loss) ภายในร่างกายขึ้นกับระดับอุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศรอบตัว การถ่ายเทความร้อนหลักมีด้วยกัน 3 วิธีคือ การพา (convection) การแผ่รังสี (radiation) และการระเหย (evaporation) อันจะเป็นตัวประกอบสำคัญในการเกิดความร้อนสะสมในร่างกาย โดยความสัมพันธ์ของสมดุลอุณหภูมิระหว่างความร้อนในร่างกายและสภาพแวดล้อมสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [2]

$$S = M - W - R - C - E - C_{res} - E_{res} - K \dots\dots\dots(1)$$

- |                    |   |                         |
|--------------------|---|-------------------------|
| เมื่อ S =          | อัตราสะสมความร้อน (heat storage rate)                             | วัตต์/เมตร <sup>2</sup> |
| M =                | อัตราแปรสภาพสารอาหาร (metabolic rate)                             | วัตต์/เมตร <sup>2</sup> |
| W =                | กำลังงานที่ใช้ทำงาน (external work)                               | วัตต์/เมตร <sup>2</sup> |
| R =                | การถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี<br>(heat loss by radiation)      | วัตต์/เมตร <sup>2</sup> |
| C =                | การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา<br>(heat loss by convection)           | วัตต์/เมตร <sup>2</sup> |
| E =                | การถ่ายเทความร้อนด้วยการระเหย<br>(heat loss by evaporation)       | วัตต์/เมตร <sup>2</sup> |
| C <sub>res</sub> = | การพาความร้อนไปกับลมหายใจ<br>(dry heat loss by respiration)       | วัตต์/เมตร <sup>2</sup> |
| E <sub>res</sub> = | การใช้ความร้อนแฝงผ่านลมหายใจ<br>(latent heat loss by respiration) | วัตต์/เมตร <sup>2</sup> |
| K =                | การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ<br>(heat loss by conduction)           | วัตต์/เมตร <sup>2</sup> |



จากสมการ (1) เมื่อพิจารณาสมคูลย์ของการถ่ายเทความร้อนในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงด้วยวิธีต่างๆแล้ว จะเห็นว่า การถ่ายเทความร้อนของร่างกายบางแบบไม่มีผลทำให้ระดับความร้อนเปลี่ยนแปลงมากนัก เช่น การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ (K) ความร้อนผ่านผิวหนัง บริเวณมือและเท้าที่สัมผัสกับพื้นหรือวัสดุนั้นเป็นการถ่ายเทความร้อนเป็นบริเวณน้อยมาก การหายใจ บริเวณบรรยากาศความร้อนสูงจะไม่ช่วยให้มีการสูญเสียความร้อนออกจากภายในร่างกาย ดังนั้น ค่า K,  $C_{\text{room}}$  และ  $E_{\text{room}}$  จึงไม่น่ามาคิดในด้านการชดเชยเพื่อรักษาสมคูลย์อุณหภูมิ ในสภาพที่อุณหภูมิภายในร่างกายคงที่นั้น อัตราสะสมความร้อน (s) จะมีค่าเป็นศูนย์ สมการสมคูลย์ของระดับอุณหภูมิในร่างกายจะขึ้นกับผลรวมของการถ่ายเทความร้อนด้วยการพา การแผ่รังสี และการระเหย (R+C+E) กับความร้อนที่เกิดจากสภาวะทางชีวเคมีในการแปรสภาพสารอาหารของร่างกาย (M-W) ดังสมการ

$$M - W = R + C + E \quad \dots\dots\dots(2)$$

ประสิทธิภาพของการแปรสภาพสารอาหารให้เป็นการทำงานของมนุษย์ (W/M) นั้น จะอยู่ระหว่างร้อยละ ๑ ถึง 25 ขึ้นกับลักษณะของงาน พลังงานส่วนที่เหลือร้อยละ 75 ขึ้นไปจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนเพิ่มขึ้นในร่างกาย (heat gain) อัตราการแปรสภาพสารอาหาร (metabolic rate) นี้ได้ถูกกำหนดตามมาตรฐาน ISO 7243 ไว้ 5 ระดับ คือ ๑ ถึง 4 จากสภาวะที่ร่างกายพักผ่อนจนกระทั่งใช้กำลังงานมากขึ้นตามลำดับ ความร้อนจะถูกพาออกสู่ผิวหนังจากน้อยไปหามากดังแสดงในตารางที่ 1 (ภาคผนวก) ซึ่งร่างกายจะถ่ายเทความร้อนนี้ออกสู่บรรยากาศแวดล้อม (heat loss) โดยเฉพาะการระเหยไปกับเหงื่อ ถ้าการถ่ายเทความร้อนนี้ไม่เพียงพอ จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นกว่าปกติ ในกรณีที่อุณหภูมิของบรรยากาศแวดล้อมสูงมากจนร่างกายไม่สามารถลดอุณหภูมิจากการขับเหงื่อเพื่อรักษาสมคูลย์อุณหภูมิได้ ระดับอุณหภูมิในร่างกายจะเพิ่มสูงจนถึงขีดอันตรายต่อสมอง ตับ ไต และอวัยวะอื่นๆ ซึ่งอาจถึงเสียชีวิตได้

ร่างกายมนุษย์จะสามารถทนต่อผลกระทบของความร้อนในขีดจำกัดระดับหนึ่งเท่านั้น ทางด้านสุขอนามัย จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความเครียดจากผลของความร้อนต่อร่างกาย เรียกว่า Permissible Heat Exposure Threshold Limit Values เพื่อให้สำหรับควบคุมสภาพการทำงานภายใต้บรรยากาศที่มีความร้อนค่อนข้างสูง ให้มีสัดส่วนของช่วงเวลาทำงานและเวลาหยุดพักที่เหมาะสม แม้ว่าอุณหภูมิแวดล้อมจะไม่สูงมากจนถึงขีดอันตราย แต่การทำงานหนักต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานนั้น ร่างกายจะต้องมีการขับเหงื่อเพื่อระเหยความร้อนภายในร่างกายจากต่อมเหงื่อกว่า 2๐๒๐ ต่อมผ่านผิวหนัง มีผลให้ต้องสูญเสียน้ำและเกลือแร่ที่ระเหยไปพร้อมกับเหงื่อในปริมาณมากทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย หัวใจและปอดต้องทำงานหนักกับการถ่ายเทความร้อนด้วยการสูดดมโลหิตและหายใจเร็วขึ้น ทำให้เกิดอาการเหนื่อย

อ่อนซึ่งหมายถึงอันตรายต่อสุขภาพ ตามปกติแล้วได้มีการกำหนดไว้ว่าจะไม่ยอมให้อุณหภูมิภายในร่างกายเพิ่มขึ้นกว่าระดับปกติเกิน 1 องศาเซลเซียส หรือ 38 องศาเซลเซียส [2] และการที่จะควบคุมผลกระทบดังกล่าวได้จะต้องมีมาตรฐานในการประเมินผลที่ถูกต้อง

## 2.2 การประเมินความเครียดจากผลของความร้อนแบบ WBGT

การวัดผลกระทบจากความร้อนที่มีต่อร่างกายจากปฏิกิริยาตอบสนองทางสรีระของร่างกายมนุษย์โดยตรงนั้นจะต้องทำกันทางการแพทย์ ซึ่งไม่สามารถใช้กับการประเมินผลกระทบของความร้อนเมื่อคนงานต้องทำงานภายใต้บรรยากาศความร้อน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องใช้วิธีวัดสภาพแวดล้อมเชิงความร้อน เพื่อประเมินค่าดัชนีอุณหภูมิหรือดัชนีความร้อนที่สอดคล้องกับสภาพการปรับอุณหภูมิของร่างกาย วิธีที่ยอมรับมาใช้ในการประเมินผลกระทบของความร้อน คือ การวัดค่าดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT (Wet Bulb Globe Temperature index)

ดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT เป็นการประเมินดัชนีอุณหภูมิโดยไม่ต้องมีการวัดความเร็วของกระแสลม อาศัยหลักการวัดอุณหภูมิ 3 ชนิด คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และอุณหภูมิภายในลูกโลหะดำ อุณหภูมิแต่ละส่วนเป็นการวัดสภาวะองค์ประกอบอุณหภูมิที่มีสภาพคล้ายคลึงกับผลตอบสนองการถ่ายเทอุณหภูมิจากปฏิกิริยาปรับสมดุลอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ กล่าวคือ การวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก เป็นการวัดอุณหภูมิประกอบที่สำคัญในการพิจารณาการถ่ายเทความร้อนจากร่างกายด้วยการระเหยเหงื่อผ่านผิวหนังที่สวมเสื้อผ้าอยู่ ในขณะที่การวัดอุณหภูมิภายในลูกโลหะดำเป็นการวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสี กระเปาะแห้งเป็นการวัดอุณหภูมิของกระแสลมที่พัดผ่านร่างกาย การวัดดัชนีอุณหภูมิจะให้ผลที่ถูกต้องได้นั้น จะต้องมีการจัดลักษณะของโปรบวัด (temperature sensor) ให้มีสภาพและตำแหน่งสอดคล้องกับสภาพการถ่ายเทความร้อนของร่างกายสู่บรรยากาศแวดล้อมซึ่งมีกำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 7243 ผลของอุณหภูมิประกอบที่วัดได้สามารถประเมินผลเฉลี่ยได้ใน 2 กรณีดังนี้

1. กรณีวัดภายในอาคาร (indoor) ค่าดัชนีอุณหภูมิจะเป็นไปตามสมการดังนี้

$$(WBGT)_{ID} = 0.7 (T_{wb}) + 0.3 (T_g) \dots\dots\dots(3)$$

2. กรณีวัดภายนอกอาคาร (outdoor) อุณหภูมิสะสมจากการแผ่รังสีความร้อน จะมีค่าสูงเกินความเป็นจริง เนื่องจากได้รับแสงแดดโดยตรง ดังนั้นอุณหภูมิภายในลูกโลหะดำจำเป็นต้องปรับแก้ด้วยตัวประกอบอุณหภูมิกระแสลมที่พัดผ่าน ทำให้ค่าดัชนีอุณหภูมิของสมการมีรูปเป็น



$$(WBGT)_{ob} = 0.7 (T_w) + 0.2 (T_g) + 0.1 (T_D) \quad \dots\dots(4)$$

โดยที่  $T_w$  = อุณหภูมิกระเปาะเปียก                      องศาเซลเซียส  
 $T_g$  = อุณหภูมิภายในลูกโลหะดำ                      องศาเซลเซียส  
 $T_D$  = อุณหภูมิกระเปาะแห้ง                                  องศาเซลเซียส

ค่าดัชนีอุณหภูมิ WBGT ที่วัดได้นั้น สามารถใช้อ้างอิงขีดจำกัดของอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแปรสภาพสารอาหาร (metabolic heat production) ที่มีมาตรฐานกำหนดไว้ดังตารางที่ 2 (ภาคผนวก) สำหรับการพิจารณาสภาพการทำงานที่ถูกสุลักษณะนั้น Physical Agents TLV Committee ปี ค.ศ.1985-1986 ได้มีการทบทวนมาตรฐานที่ยอมรับได้ของพิกัด TLV เพื่อป้องกันมิให้คนงานต้องรับผลกระทบจากการทำงานภายใต้บรรยากาศอันเกินความสามารถของร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 1 [5] ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของดัชนีอุณหภูมิ WBGT ในหน่วยองศาเซลเซียส WBGT กับสภาพการทำงานที่ระดับภาระงาน (work load) ต่างๆกัน

ตารางที่ 2.1 Permissible Heat Exposure Threshold Limit Values ( $^{\circ}C$  WBGT) [3]

Work - Rest Regimen	Work Load		
	Light	Moderate	Heavy
Continuous Work	30.0	26.7	25.0
75% Work - 25% Rest, each hour	30.6	28.0	25.9
50% Work - 50% Rest, each hour	31.4	29.4	27.9
25% Work - 75% Rest, each hour	32.2	31.1	30.0

สภาพการทำงานที่ระดับภาระงานต่าง ๆ ที่คณะกรรมการควบคุม TLV กำหนดไว้ตามสภาวะทางชีวเคมีในการแปรสภาพสารอาหารเป็นพลังงาน จัดลำดับไว้จากประเภทงานเบาจนกระทั่งงานหนักมาก ดังนี้

ก. ประเภทงานเบา (light work) กำหนดในช่วงปริมาณแคลอรีต่ำจนถึง 200 kcal/hr หรือ 800 Btu/hr ได้แก่ งานที่นั่งหรือยืนควบคุมเครื่องจักรกล หรือประเภทงานฝีมือ

ข. ประเภทงานหนักปานกลาง (moderate work) กำหนดในช่วง 200 - 350 kcal/hr หรือ 800 Btu/hr-1400 Btu/hr ได้แก่งานที่ต้องเคลื่อนไหวอวัยวะแขนขา ในการเดินโยกย้ายของเบา

ค. ประเภทงานหนัก (heavy work) กำหนดในช่วง 395-500 kcal/hr หรือ 1400 - 2000 Btu/hr ได้แก่งานที่ต้องใช้กำลังมาก เช่น งานแบกหาม ขุดดิน ยกของหนัก เป็นต้น

### 2.3 หลักเกณฑ์ในการประเมินค่าดัชนีอุณหภูมิ WBGT

การวัดค่าดัชนีอุณหภูมิจะต้องนำเครื่องมือไปวัดในบริเวณปฏิบัติงานของคนงาน และจัดตำแหน่งของโปรบวัดให้สอดคล้องกับลักษณะการทำงานจริงในกรณีที่นั่งปฏิบัติงาน จะจัดตำแหน่งโปรบวัดไว้สูงจากพื้นประมาณ 0.6 เมตร และในกรณียืนปฏิบัติงานจะจัดไว้สูงประมาณ 1.1 เมตรจากพื้น พร้อมทั้งติดตามผลการวัดทั้งพื้นที่ปฏิบัติงานและพักผ่อน เพื่อจะได้นำผลมาประเมินค่าดัชนีอุณหภูมิได้ถูกต้อง ในการวัดค่าดัชนีอุณหภูมิต่างบริเวณ การคำนวณผลจะอาศัยการเฉลี่ยผลการวัดกับช่วงเวลาทีวัด (time weight average) ตามสมการดังนี้

$$WBGT_{av} = \frac{WBGT_1 \times t_1 + WBGT_2 \times t_2 + \dots + WBGT_n \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \dots (5)$$

เมื่อ WBGT = ดรรชนีอุณหภูมิบริเวณตำแหน่งที่วัด

t = ช่วงเวลาที่วัดค่าดัชนีอุณหภูมิบริเวณนั้นๆ

ในกรณีที่ติดตามวัดผลต่อเนื่องหลายชั่วโมงตลอดวัน คาบเวลาของ  $t_1 + t_2 \dots t_n = 60$  นาที และถ้าการวัดต้องวัดเป็นช่วงๆ ขาดความต่อเนื่อง คาบเวลาของ  $t_1 + t_2 + \dots t_n = 120$  นาที ผลการวัดค่าดัชนีอุณหภูมิสำหรับการประเมินผล TVL นั้นใช้ประเมินสภาพการทำงานปกติ 5 วันต่อสัปดาห์ และ 8 ชั่วโมงต่อวัน มีช่วงพักเข้าและป่ายประมาณ 15 นาที และพักกลางวัน 30 นาที

## 2.4 เครื่องมือวัดค่าดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT

ชุดเครื่องมือวัดค่าดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ประกอบด้วยโปรบวัดอุณหภูมิ 3 ชุด เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิสะสมภายในลูกโลหะดำ และอุณหภูมิกระเปาะแห้งหรืออุณหภูมิของอากาศที่พัดผ่าน ลักษณะของโปรบวัดที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน ISO 7243 นั้น เป็นโปรบวัดอุณหภูมิที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทเป็นตัวอ่านค่า ซึ่งได้มีการกำหนดฟังก์ชันของโปรบแต่ละชนิดเพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ถ่ายเทความร้อนของร่างกายไว้ดังนี้

### 2.4.1 โปรบวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก จะมีลักษณะดังนี้

- ก. รูปร่างของเทอร์โมมิเตอร์มีลักษณะเป็นทรงกระบอก
- ข. ส่วนที่ไวอุณหภูมิ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง  $6 \pm 1$  มิลลิเมตร
- ค. มีความยาว  $30 \pm 5$  มิลลิเมตร
- ง. สามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้ในช่วง 5 ถึง 40 องศาเซลเซียส
- จ. มีความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิไม่เกิน  $\pm 0.5$  องศาเซลเซียส
- ฉ. ส่วนที่ไวอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์จะต้องห่อหุ้มด้วยไส้ผ้าฝ้าย (wick) หรือไส้ตะเกียง
- ช. บริเวณที่ห่อหุ้มจะต้องล้อมรอบมีดกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ ในช่วง 20 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการถ่ายเทอุณหภูมิไปบริเวณอื่น
- ซ. ไส้ผ้าฝ้ายที่ห่อหุ้มจะต้องไม่แน่นหรือหลวมเกินไป และผิวสัมผัสต้องสะอาดเพื่อให้การอ่านค่าอุณหภูมิเป็นไปอย่างถูกต้อง
- ฅ. ไส้ผ้าฝ้ายส่วนล่างต้องแช่อยู่ในภาชนะบรรจุน้ำกลั่น และมีบริเวณที่สัมผัสกับอากาศยาว 20 ถึง 30 มิลลิเมตร
- ฎ. ภาชนะบรรจุน้ำกลั่นจะต้องออกแบบมิให้อุณหภูมิของน้ำแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิแวดล้อม

### 2.4.2 โปรบวัดอุณหภูมิภายในลูกโลหะดำ จะมีลักษณะดังนี้

- ก. ลูกโลหะจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ภายนอกทาดำด้วยสีดำ (matte black furnish หรือเทียบเท่า)
- ข. มีสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน 0.95 (matte black globe)
- ค. ใช้วัสดุที่บางที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- ง. สามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้ในช่วง 20 ถึง 120 องศาเซลเซียส

- จ. มีความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิได้ดังนี้  
ช่วง 20-50 องศาเซลเซียส คลาดเคลื่อนได้  $\pm 0.5$  องศาเซลเซียส  
ช่วง 50-120 องศาเซลเซียส คลาดเคลื่อนได้  $\pm 1.0$  องศาเซลเซียส

2.4.3 โพรบวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง กำหนดให้สามารถอ่านอุณหภูมิได้ในช่วง 10 ถึง 60 องศาเซลเซียส มีความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิได้  $\pm 1.0$  องศาเซลเซียส

เครื่องมือวัดในปัจจุบันได้วิวัฒนาการมาใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบเชิงเลข ซึ่งใช้อุปกรณ์วัดแบบเทอร์โมคัปเบิล หรือสารกึ่งตัวนำที่มีผลการวัดได้แม่นยำกว่าแทนเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท และมีการปรับปรุงลักษณะของโพรบไปบ้าง เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานและความถูกต้องในการอ่านค่า ปัจจุบันมีผู้ผลิตขายในเชิงการค้าหลายบริษัทและมีราคาสูงมาก



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### การพัฒนาเครื่องวัดและบันทึกการรบกวนแบบ WBGT

เครื่องวัดและบันทึกการรบกวนแบบ WBGT ที่พัฒนาขึ้นนี้อาศัยข้อมูลในการออกแบบและสร้างจากพิกัดมาตรฐานการวัดค่าการรบกวนและทดสอบการทำงานเพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงเครื่องวัดการรบกวนที่พัฒนาขึ้นให้มีสมรรถนะด้านการวัดที่เที่ยมเครื่องต่างประเทศ และมีสมรรถนะในการใช้งานสะดวกเหนือกว่าเครื่องจากต่างประเทศ โดยสามารถบันทึกและคำนวณค่าการรบกวนที่บริเวณวัดผลทันที

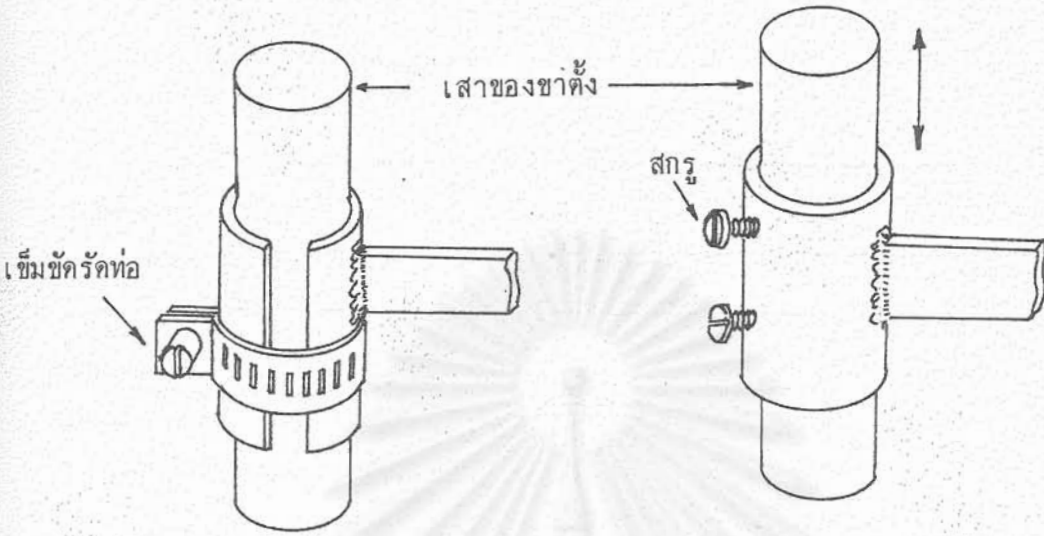
#### 3.1 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องวัดและบันทึกการรบกวน

- 3.1.1 ออกแบบและสร้างโปรบวัดอุณหภูมิและอุปกรณ์ติดตั้งให้มีลักษณะเป็นชุดสำเร็จรูปตั้งพื้น สามารถถอดประกอบในการเคลื่อนย้ายได้สะดวก
- 3.1.2 ออกแบบโครงสร้างภายในของเครื่องวัดและบันทึกการรบกวนให้สามารถใช้งานกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ หรือ ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์
- 3.1.3 ออกแบบและสร้างวงจรย่อยจากแผนภาพ โครงสร้าง ได้แก่ ระบบวัดอุณหภูมิ ระบบเชื่อมโยงสัญญาณ
- 3.1.4 ออกแบบและสร้างระบบบันทึกผลการวัดอุณหภูมิและคำนวณค่าการรบกวน WBGT ในหน่วยองศาเซลเซียส WBGT เพื่อพิมพ์ผลบนเครื่องคำนวณพร้อมเครื่องพิมพ์ขนาดเล็กซึ่งมีราคาประหยัด
- 3.1.5 ออกแบบและสร้างโครงเครื่องสำหรับบรรจุระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆและตำแหน่งปุ่มควบคุมบนแผงหน้าปัดให้มีสะดวกต่อการใช้งาน
- 3.1.6 ประกอบเครื่องต้นแบบและปรับเทียบค่าอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ระบบเชิงเลขทัง 3 ชุด พร้อมทดสอบการใช้งาน

#### 3.2 การออกแบบโปรบวัดอุณหภูมิและอุปกรณ์การวัด

##### 3.2.1 ขาดังอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่าย เหมาะจะนำมาทำขาดังและออกแบบส่วนยึดจับโปรบวัดอุณหภูมิ 3 ชุด พร้อมทั้งติดตั้งแทนยึดเครื่องวัดและบันทึกการรบกวนนั้น ผู้วิจัยเลือกใช้ขาดังไมโครโฟน เนื่องจากสามารถปรับระดับความสูงและถอดประกอบได้ง่าย อีกทั้งมีราคาประหยัดโดยไม่ต้องจัดสร้างชิ้นใหม่ ออกแบบเพียงอุปกรณ์เพิ่มเติมจำพวกแทนและขายึด แล้วใช้เข็มขัดโลหะสำหรับรัดต่อยึดจับอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้าไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการยึดอุปกรณ์กับขาตั้งเพื่อถอดประกอบได้ง่าย

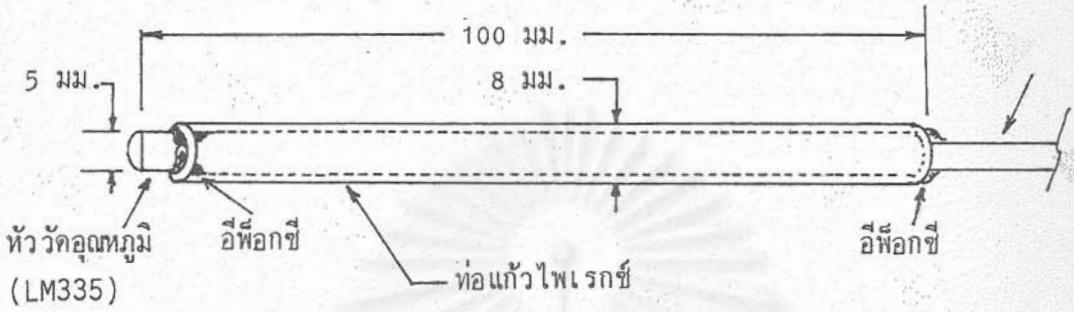
### 3.2.2 โพรบวัดอุณหภูมิ

โพรบวัดอุณหภูมิเลือกใช้อุปกรณ์วัดกึ่งตัวนำ (Precision temperature sensor LM 335) ซึ่งมีขนาดเล็ก ให้ผลการวัดที่แม่นยำในช่วง 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้ประกอบกับวงจรวัดอุณหภูมิ ลักษณะโพรบวัดนั้นจะยึดอุปกรณ์วัดไว้ที่ปลายหลอดแก้วไฟเร็กซ์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวโพรบทั้งหมด 8 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ดังแสดงในรูป 3.2 ท่อแก้วไฟเร็กซ์จะทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อนป้องกันไม่ให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์จับยึดเมื่อนำไปประกอบกับชุดอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิภายในลูกโลหะดำ และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

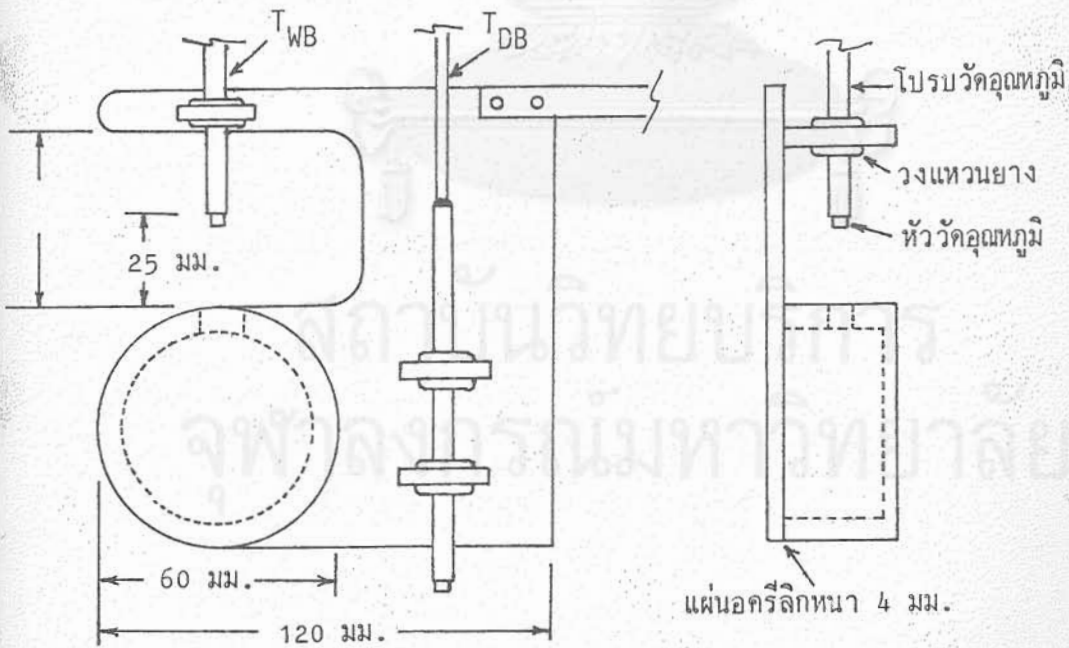
### 3.2.3 ชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

ชุดวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง จะติดตั้งไว้บนแผ่นจับยึดที่ออกแบบให้บริเวณไวต่ออุณหภูมิของโพรบวัดสัมผัสกระแสลมรอบด้าน เพื่อให้ผลของการวัดอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน แม้ว่าจะจัดตั้งอุปกรณ์วัดในทิศทางใด วัสดุที่ใช้ทำเลือกใช้แผ่นอะคริลิกหนา 0.4 เซนติเมตร ขึ้นรูปแผ่นยึด และภาชนะบรรจุน้ำกลั่นในปริมาตร 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร แผ่นอะคริลิกนี้เลือกใช้สีใสเพื่อป้องกันการดูดกลืนความร้อน อันจะมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำกลั่นในภาชนะแผ่นติดตั้งอุปกรณ์นี้มีขนาดพื้นที่ 12x12 เซนติเมตร<sup>2</sup> ดังแสดงในรูปที่ 3.3



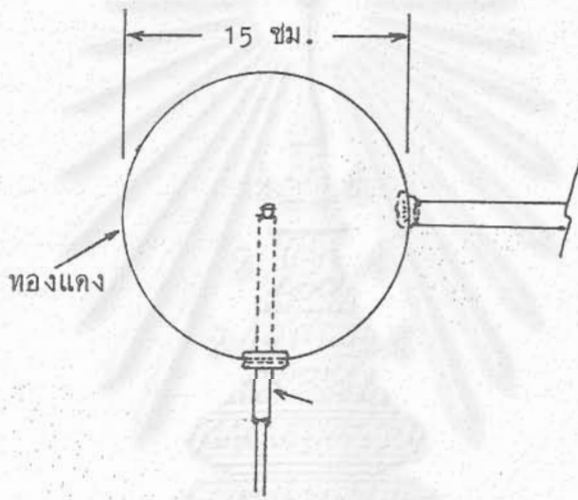


รูปที่ 3.2 แสดง โพรบวัดอุณหภูมิสำหรับอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และภายในลูกโลหะดำ



รูปที่ 3.3 แผ่นติดตั้ง โพรบวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง

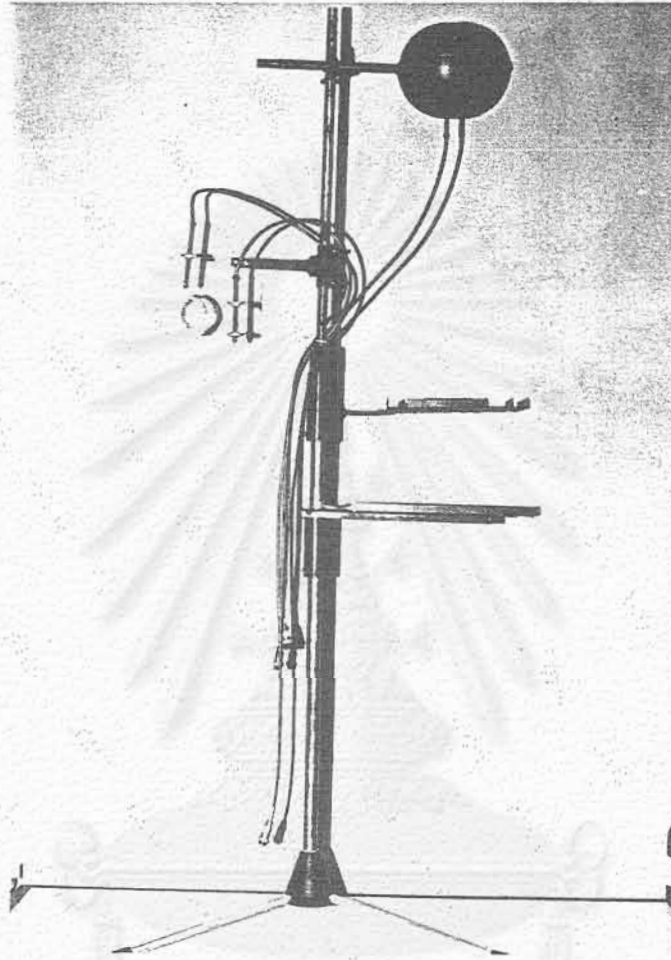
ชุดวัดอุณหภูมิของการแผ่รังสีความร้อน ประกอบด้วยลูกโลหะทรงกลมกลวงทำด้วยทองแดง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร ผนังสีดำด้าน มีก้านยึดกับขาตั้งพื้น และเจาะช่องใส่โพรบวัด ให้ปลายของโพรบวัดอยู่ตรงกลางลูกโลหะ ดังแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 ลูกโลหะสำหรับวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์สำเร็จเมื่อประกอบเป็นชุดวัดรหรชนีอณหภูมิ WBGT แบบตั้งพื้น แสดงในรูป 3.5



รูปที่ 3.5 ขาตั้งสำหรับโปรบวัดทั้ง 3 ชุดแบบตั้งพื้นสำเร็จรูป

### 3.3 การออกแบบเครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอณหภูมิแบบ WBGT

#### 3.3.1 โครงสร้างภายในเครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอณหภูมิ

โครงสร้างของระบบอิเล็กทรอนิกส์ออกแบบให้สามารถทำงานตามพิกัดที่ต้องการ และปรับปรุงให้เหมาะกับสภาพใช้งานภาคสนาม มีความสะดวกรวดเร็วในการอ่านค่าและยึดหยุ่นในการวัดที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ลดความผิดพลาดในการบันทึกค่าโดยนิมฟ์ผลด้วยเครื่องนิมฟ์สามารถตั้งเวลาบันทึกผลและอ่านค่าดรรชนีอณหภูมิที่ตำแหน่งวัดได้ทันที

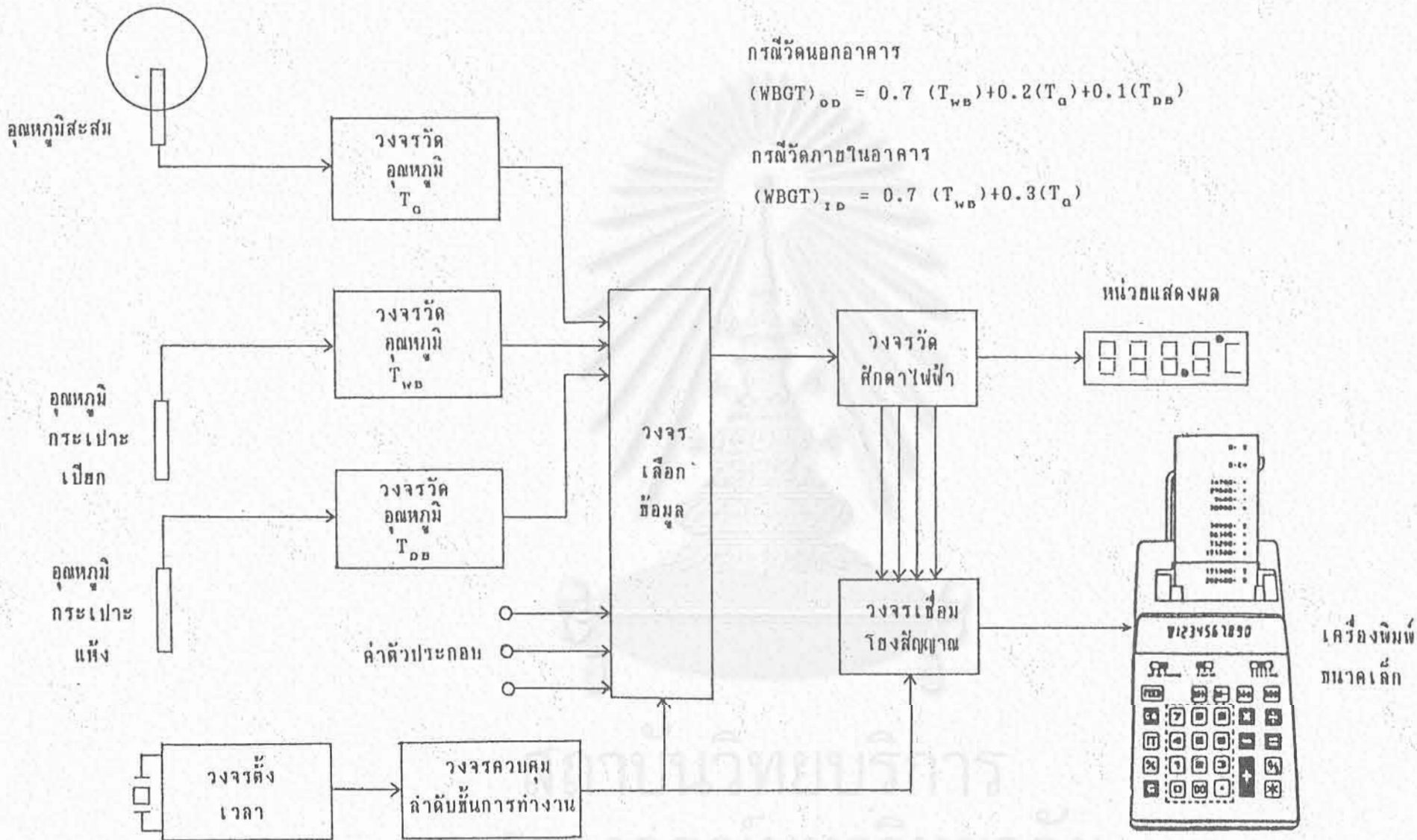
จากลักษณะพิกัดดังกล่าว สามารถออกแบบโครงสร้างภายในของเครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมิได้ดังแผนภาพรูปที่ 3.6 ประกอบด้วยวงจรย่อยดังนี้ วงจรวัดอุณหภูมิกระแสเปาะเปียก ( $T_w$ ) วงจรวัดอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน ( $T_e$ ) วงจรวัดอุณหภูมิกระแสเปาะแห้ง ( $T_d$ ) วงจรกำเนิดค่าคงที่ของตัวประกอบ วงจรเลือกข้อมูล วงจรตั้งเวลา วงจรควบคุมลำดับขั้นการทำงานภายในระบบ วงจรวัดศักดาไฟฟ้าเชิงเลขวงจรเชื่อมโยงสัญญาณสำหรับเครื่องคำนวณขนาดเล็กพร้อมเครื่องพิมพ์ และแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าของระบบซึ่งใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ หรือแบตเตอรี่ 12 โวลต์ สำหรับการใช้งานภาคสนาม หรือในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปัญหาเรื่องระบบไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรทั้งหมดจะบรรจุในโครงแทนเครื่องที่ทำด้วยอลูมิเนียม ซึ่งมีที่ว่างระหว่างแผ่นวงจรเพียงพอที่จะระบายอากาศได้

### 3.3.2 วงจรวัดอุณหภูมิ

วงจรวัดอุณหภูมิเป็นส่วนสำคัญของเครื่องวัดดรรชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ซึ่งจะต้องประกอบด้วยวงจรวัดอุณหภูมิที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน 3 ชุด สำหรับวัดอุณหภูมิ  $T_w$ ,  $T_e$  และ  $T_d$  วงจรแต่ละชุดแสดงในวงจรรูปที่ 3.7 วงจรวัดเลือกใช้ไอซี LM355 (precision temperature sensor) เป็นโปรบวัด และปรับแก้การแปรเปลี่ยนอุณหภูมิแวดล้อมด้วย ไอซี LM336 วงจรวัดส่วนหน้าจัดวงจรแบบแหล่งจ่ายกระแสคงที่ด้วย  $TR_1$  สัญญาณไฟฟ้าที่แปรเปลี่ยนสัมพันธ์กับอุณหภูมิจะส่งผ่านให้วงจรขยาย U2B ไปยังวงจรขยายผลต่าง U2A เพื่อรอรับการปรับแก้อุณหภูมิแวดล้อมจากวงจรขยาย U3 สัญญาณทางออกจากวงจรขยายผลต่างจะให้ค่าวัดอุณหภูมิ 10 mV/°C วงจรวัดอุณหภูมิทั้ง 3 ชุด จะส่งผลการวัดอุณหภูมิไปรอที่วงจรเลือกข้อมูล U2A, U4A และ U2B ในรูปที่ 3.9

### 3.3.3 วงจรตั้งเวลา

วงจรตั้งเวลาในรูป 3.8 ทำหน้าที่กำหนดช่วงเวลาในการบันทึกค่าดรรชนีอุณหภูมิ โดยส่งสัญญาณสิ้นสุดเวลาไปให้ U11 ในวงจรควบคุมลำดับขั้นการทำงานของวงจร (รูปที่ 3.9) ฐานเวลาของวงจรตั้งเวลาควบคุมความถี่ด้วยผลึก 3.579 MHz และจัดความถี่ทางออก 60 เฮิร์ตซ์ ด้วยไอซี U1 ความถี่นี้จะถูกหารแบ่งด้วย 60 เพื่อแบ่งความถี่เป็น 1 Hz หรือ 1 วินาที การตั้งเวลาจัดระบบเลือกเวลาไว้เป็นขั้น ๆ จาก 1, 2, 5 และค่าประกอบตัวคูณ  $\times 1$  และ  $\times 10$  ในหน่วยนาที โดยจัดการหารแบ่งค่าประกอบตัวคูณด้วย U3 และ U4 ในขณะที่หลักนัยสำคัญหารแบ่งด้วยตัวหาร 1, 2 และ 5 ที่ไอซี U5 สัญญาณแต่ละจุดจะเลือกด้วยสวิตช์ 2 ชุด SW1 และ SW2 การตั้งเวลาเริ่มด้วยการกด SW5 เพื่อเปลี่ยนสถานะของฟลิปฟล็อป U6D และเมื่อวงจรหารความถี่ทำงานครบเวลาที่ตั้งไว้ สัญญาณจะถูกส่งมาเปลี่ยนสถานะ U6A เพื่อส่งสัญญาณสิ้นสุด



การวัดนอกอาคาร

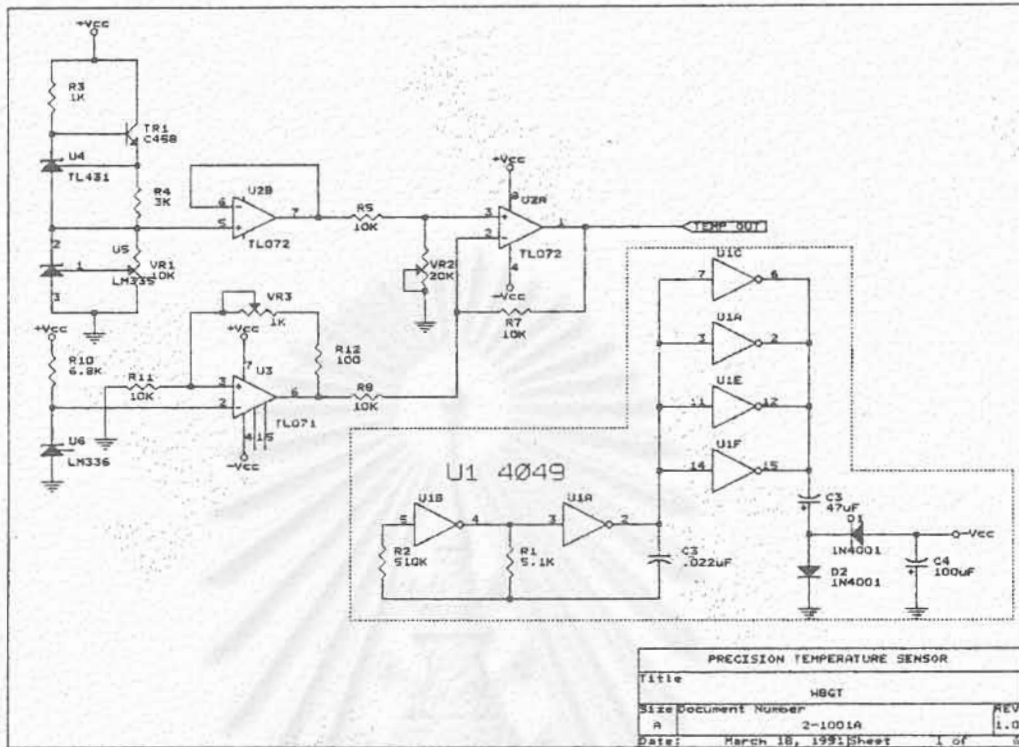
$$(WBGT)_{OD} = 0.7 (T_{WB}) + 0.2 (T_o) + 0.1 (T_{DB})$$

การวัดภายในอาคาร

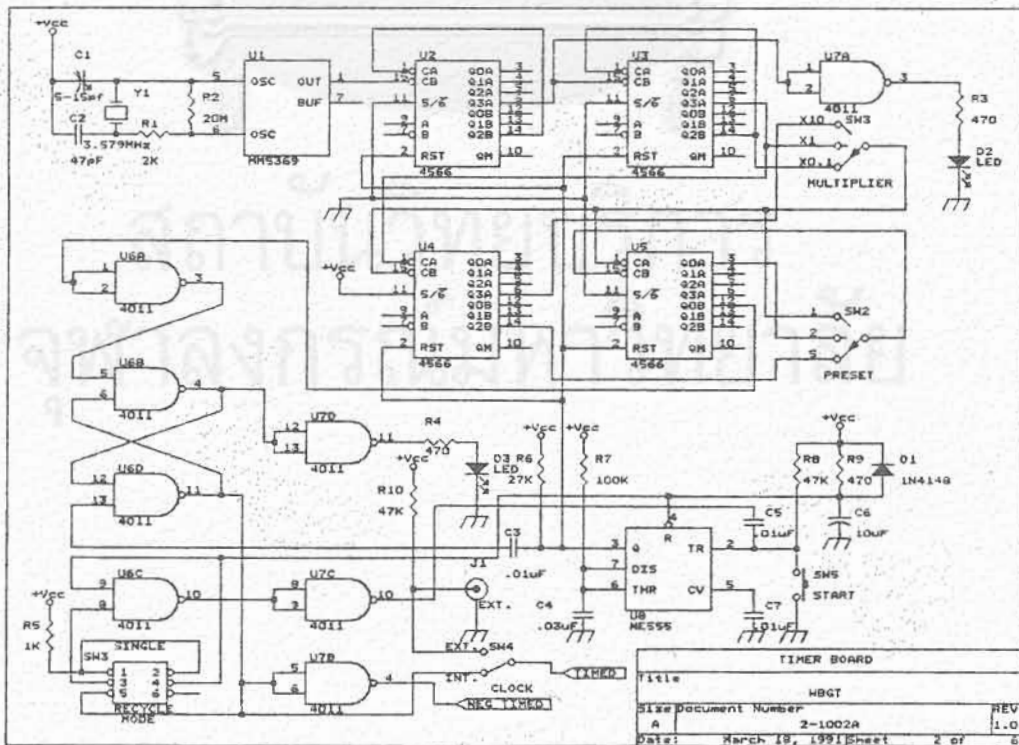
$$(WBGT)_{ID} = 0.7 (T_{WB}) + 0.3 (T_o)$$

รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานของเครื่องวัดและบันทึกครรชณอุณหภูมิแบบ WBGT

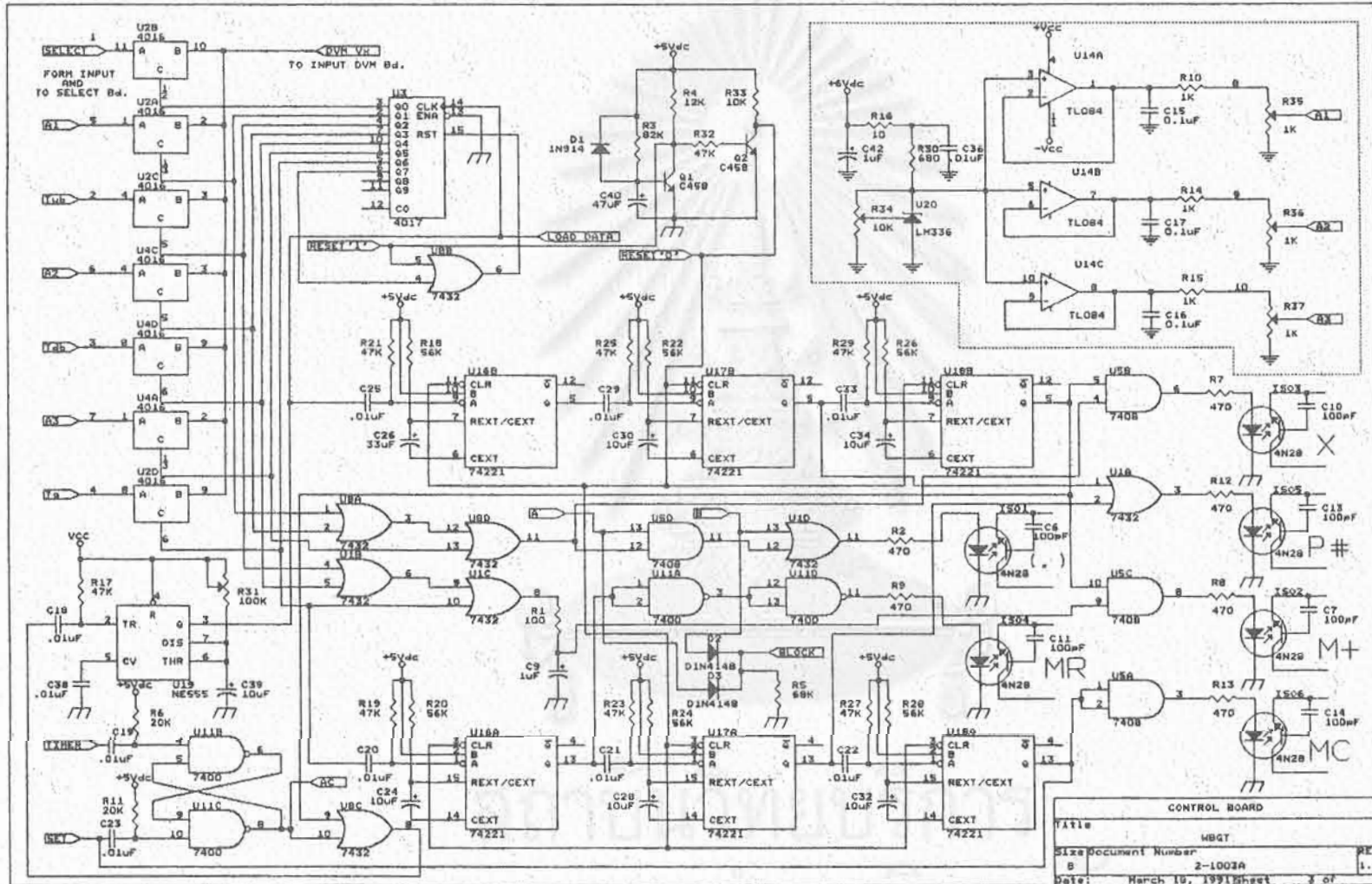
เครื่องพิมพ์  
ขนาดเล็ก



รูปที่ 3.7 วงจรวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.8 วงจรตั้งเวลา



รูปที่ 3.9 วงจรควบคุมลำดับขั้นตอนการทำงานและวงจรเลือกข้อมูล

เวลาทาง U6D สัญญาณอีกส่วนหนึ่งจะผ่าน SW3 และไอซี U64 มาเริ่มต้นวงรอบใหม่ของการตั้งเวลาด้วยการกระตุ้นไอซี U8 ซึ่งเป็นโมโนสเตเบิลให้กำเนิดสัญญาณช่วงสั้น ๆ เปลี่ยนสถานะของไอซี U6D อีกครั้ง

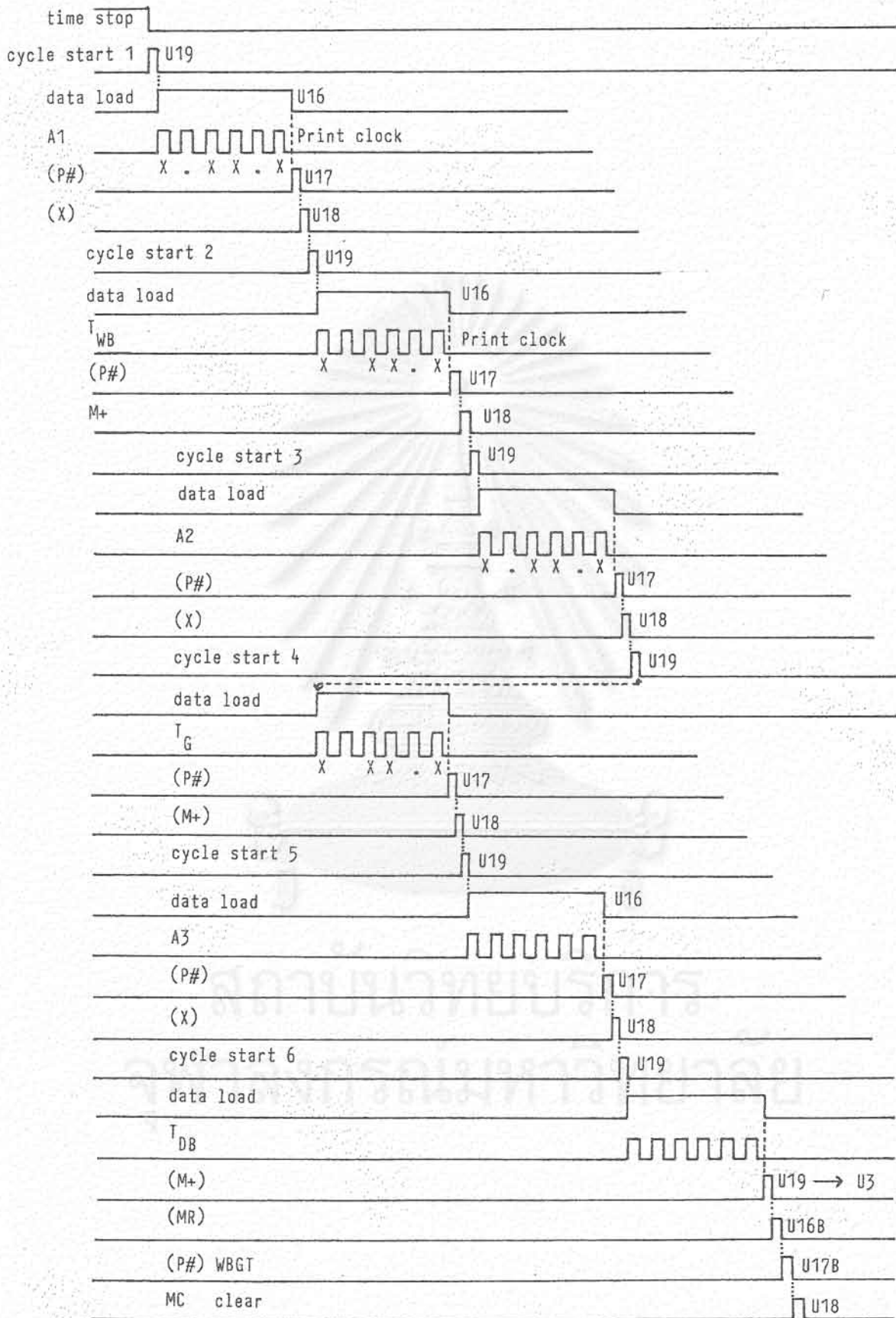
### 3.3.4 วงจรควบคุมลำดับชั้นการทำงานและวงจรถูกเลือกข้อมูล

วงจรถูกควบคุมลำดับชั้นการทำงานเป็นวงจรถูกหลักในการควบคุมกระบวนการบันทึกผลการวัดอุณหภูมิและจัดการให้เครื่องคำนวณประมวลค่าตรรกะของอุณหภูมิ ในการออกแบบสร้างจะแยกเอาวงจรถูกเลือกข้อมูลไอซี U2, U3 และ U4 ไว้ต่างหาก ส่วนวงจรถูกกำเนิดค่าคงที่ตัวประกอบ U4 ซึ่งทำหน้าที่กำเนิด A1, A2 และ A3 จะไว้บนแผ่นพิมพ์เดียวกันกับวงจรถูกควบคุมลำดับชั้นการทำงาน

จากวงจรถูกในรูป 3.9 วงจรถูกเลือกข้อมูลจะรับสัญญาณข้อมูลจากการวัดอุณหภูมิ 3 ชนิด ( $T_w$ ,  $T_c$ ,  $T_o$ ) และค่าคงที่ตัวประกอบ (A1, A2 และ A3) ส่งให้วงจรถูกตัดกดาไฟฟ้าเพื่อที่จะแปรระดับสัญญาณเหล่านี้เป็นรหัสเชิงเลขระบบ BCD และแสดงผลด้วยไดโอดเปล่งแสง ในระหว่างที่วงจรถูกควบคุมลำดับชั้นการทำงานอยู่ระหว่างรอคำสั่งบันทึกข้อมูลนั้น วงจรถูกเลือกข้อมูลจะส่งผ่านข้อมูลที่ถูกรับเลือกโดยวงจรถูกในรูป 3.13 ผ่าน U1 และ U2 ให้แสดงผลเฉพาะอุณหภูมิที่ต้องการอ่านค่าหรือปรับตั้งค่าตัวประกอบได้ ในกรณีที่สิ้นสุดช่วงเวลาที่ตั้งไว้ สัญญาณจากวงจรถูกตั้งเวลาจะกระตุ้นไอซี U11B ให้เปลี่ยนสถานะเริ่มวงรอบการส่งข้อมูล BCD ของผลการวัดอุณหภูมิและค่าคงที่ตัวประกอบให้กับเครื่องคำนวณผ่านวงจรถูกเชื่อมโยงสัญญาณพร้อมจัดการให้เครื่องให้เครื่องคำนวณพิมพ์ผลและคำนวณค่า WBGT โดยมีขั้นตอนตามแผนภาพเวลาในรูป 3.10

การส่งข้อมูลแต่ละชุดจะเป็นวงรอบเมื่อ U11 เปลี่ยนสถานะ U19 จะถูกกระตุ้นให้ส่งสัญญาณพัลส์ไป U3 เลือกข้อมูลชุดแรก (A1) เข้าวงจรถูกตัดกดาไฟฟ้า และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำชั่วคราว จากนั้นสัญญาณ print clock จากวงจรถูกเชื่อมโยงสัญญาณจะเลื่อนข้อมูลเชิงเลข BCD จากหน่วยความจำชั่วคราวเข้าเครื่องคำนวณ เมื่อจบข้อมูลชุดแรก U17B จะส่งสัญญาณพัลส์ให้เครื่องคำนวณพิมพ์ผลการวัด (A1) ตามด้วยการสั่งให้เครื่องคำนวณคูณโดย U18B เมื่อสิ้นสุดคำสั่งคูณ สัญญาณส่วนนี้จะส่งไปเริ่มวงรอบใหม่ด้วยการ OR ที่ U8C ทำให้ไอซี U19 ส่งพัลส์ให้ไอซี U3 นับเพิ่มขึ้น เป็นการเลือกผลการวัดอุณหภูมิ ( $T_w$ ) ข้อมูลเชิงเลขชุดใหม่จะเลื่อนเข้าเครื่องคำนวณในทำนองเดียวกับข้อมูลชุดแรกต่างที่ตำแหน่งทศนิยมของระบบเลข เมื่อจบชุดข้อมูล U17B จะส่งสัญญาณสั่งพิมพ์ให้เครื่องคำนวณอีกครั้ง ในวงรอบนี้ U5C จะผ่านคำสั่ง M+ เพื่อเก็บผลคูณในหน่วยความจำของเครื่องคำนวณ และเริ่มวงรอบใหม่โดยการเลื่อนข้อมูล (A2) จากนั้นจะสั่งพิมพ์ข้อมูล ตามด้วยคำสั่งให้คูณ ตามด้วยการเริ่มวงรอบใหม่เพื่อเลื่อนข้อมูล

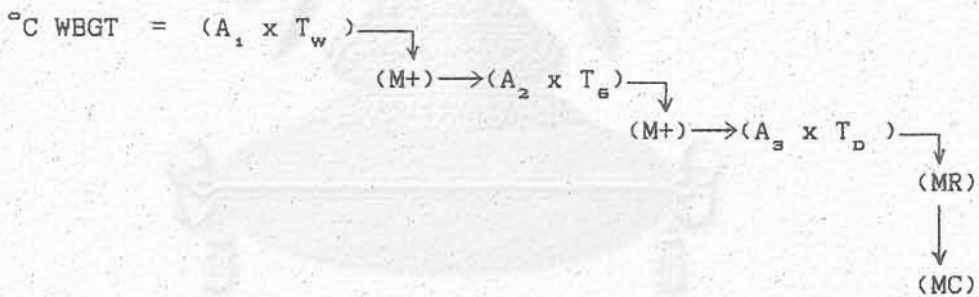




รูปที่ 3.10 แผนภาพเวลาของลำดับขั้นการบันทึกข้อมูลและการคำนวณค่าครรชื่อนุณหภูมิ

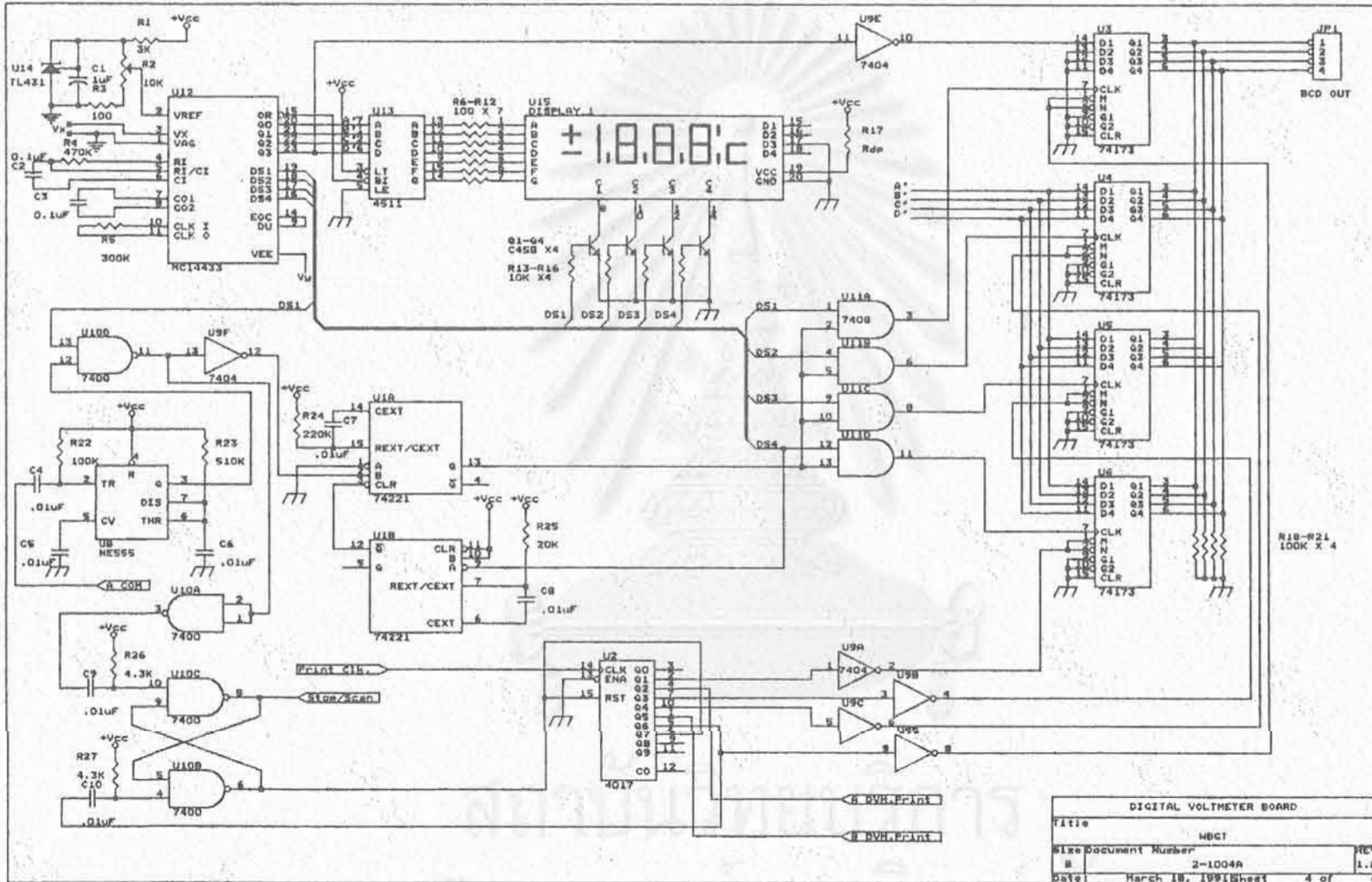
( $T_g$ ) และสั่งพิมพ์ผลการวัด ตามด้วยคำสั่ง M+ เพื่อรวมผลคูณชุดวัดอุณหภูมิใหม่กับผลคูณครั้งที่แล้ว พร้อมทั้งเริ่มวงรอบใหม่เพื่อเลื่อนข้อมูล (A3) สั่งพิมพ์ข้อมูล ตามด้วยเครื่องหมายคูณ เริ่มวงรอบใหม่ของการเลื่อนข้อมูล( $T_D$ ) เมื่อสิ้นสุดข้อมูลก็จะสั่งพิมพ์ผล ตามด้วยคำสั่ง M+ เพื่อรวมข้อมูลผลคูณชุดสุดท้ายในหน่วยความจำ หลังจากสิ้นสุดคำสั่ง M+ ซ้ำสุดท้าย ไอซี U16 จะถูกกระตุ้นให้ส่งคำสั่ง MR เพื่อเรียกผลคำนวณค่าตรรกษณิอุณหภูมิจนในหน่วยความจำมาบนเครื่องคำนวณ และตามด้วยคำสั่งพิมพ์ของ U17B เป็นการสิ้นสุดการคำนวณค่าตรรกษณิอุณหภูมิจนและพิมพ์ผล ไอซี U18A จะรับสัญญาณสิ้นสุดการคำนวณ และส่งสัญญาณ MC ให้เครื่องคำนวณ เพื่อล้างข้อมูลทั้งหมดในเครื่องคำนวณและรอรับข้อมูลใหม่เมื่อสิ้นสุดการตั้งเวลาในช่วงเวลาถัดไป การทำงานสามารถสรุปได้ตามแผนภาพเวลาของการทำงานภายในวงจรควบคุมลำดับขั้นทำงานในรูปที่ 3.10 ซึ่งเป็นการโอนถ่ายข้อมูล และคำสั่งเข้าเครื่องคำนวณขนาดเล็กพร้อมเครื่องพิมพ์ที่นิยมใช้กันในงานธุรกิจ เช่น CASIO หรือ CANON เป็นต้น

รูปสมการตรรกษณิอุณหภูมิจากกำหนดเป็นขั้นตอนการทำงานของระบบนั้น เป็นไปตามสมการ (4) สำหรับวัดค่าตรรกษณิอุณหภูมิกายนอกอาคาร ในกรณีที่วัดภายในอาคารนั้น เมื่อกำหนดค่า  $A3 = 0$  สมการในวงจรควบคุมลำดับขั้นการทำงานก็จะ เป็นไปตามสมการ (3) ดังแสดงขั้นตอนการคำนวณดังนี้



### 3.3.5 วงจรวัดศักดาไฟฟ้า

สัญญาณวัดอุณหภูมิ ( $T_w$ ,  $T_g$ ,  $T_D$ ) และค่าคงที่ตัวประกอบ ( $A1, A2, A3$ ) ที่ถูกเลือกตามลำดับวงรอบแต่ละครั้ง จากวงจรควบคุมลำดับขั้นการทำงานจะถูกส่งมาวัดศักดาไฟฟ้า เพื่อแสดงผลเชิงเลขที่วงจรวัดศักดาไฟฟ้าในวงจรรูปที่ 3.11 ซึ่งเลือกใช้ไอซี MC 14433 U12 สามารถแสดงผลเชิงเลขขนาด 3 1/2 หลัก และรับศักดาไฟฟ้าทางเข้าได้เต็มสเกล 1.999 โวลต์ สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิสูงสุด 199.9 °C U12 จะเปลี่ยนระดับศักดาไฟฟ้าแบบรหัสเชิงเลขแบบ BCD ที่ Q0 - Q3 สัญญาณที่จะนำไปใช้งาน 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะส่งผ่าน U13 ให้ถอดรหัสเป็นตัวเลข 7 ส่วน เพื่อแสดงผลการวัดอุณหภูมิ (°C) และค่าคงที่ตัวประกอบ (A) อีกส่วนหนึ่งจะส่งไปรอที่ U3-U6 ซึ่งจัดไว้เป็นหน่วยความจำชั่วคราว (buffer memory) ก่อนที่จะทำการเลื่อนข้อมูลส่งเข้าเครื่องคำนวณในแต่ละวงรอบ การจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำชั่วคราวเริ่ม



รูปที่ 3.11 วงจรวัดค่าไฟฟ้าเชิงเลข

เมื่อสัญญาณ load data จากวงจรควบคุมลำดับขั้นการทำงานถูกส่งมากระตุ้น U8 ให้กำเนิดพัลส์สัญญาณเลือกหลักจาก U12 หลักแรกจะ AND กับ U10D พร้อมทั้งเปลี่ยนสถานะของ U1A ให้เปิดเกท U11A-U11D ทำการเลือกหลักบันทึกข้อมูลเชิงเลขจาก U12 บนหน่วยความจำ ข้อมูล ABCD จาก U12 ที่รออยู่บนบัลลูนข้อมูลจะถูกเก็บลงบนหน่วยความจำจากหลักเริ่มต้นจนหลักสุดท้าย สัญญาณเลือกหลักสุดท้ายจะกระตุ้น U1B ให้ปิดเกท ขณะเดียวกับ U0B, C ซึ่งเป็นฟิลิปลอปจะเปลี่ยนสถานะ ส่งสัญญาณ stop/scan ให้วงจรเชื่อมโยงสัญญาณส่งสัญญาณ print clock มาเลื่อนข้อมูลเข้าเครื่องคำนวณ

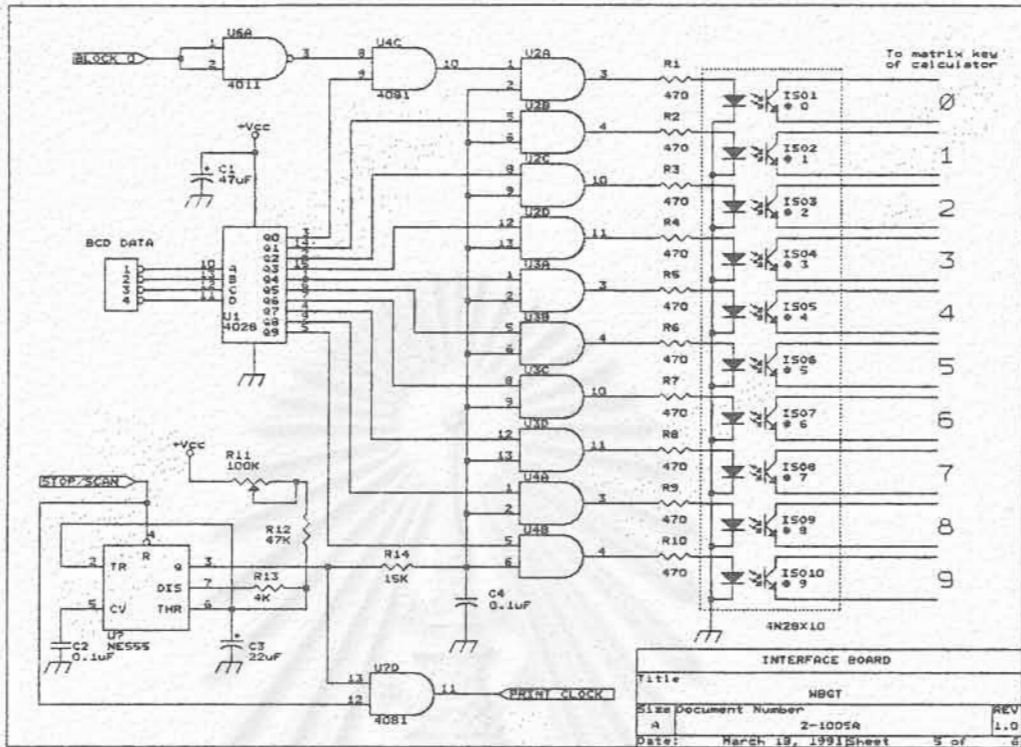
### 3.3.6 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

รูปที่ 3.12 เป็นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรวัดคิกดาไฟฟ้าและเครื่องคำนวณขนาดเล็ก วงจรจะทำหน้าที่รับข้อมูล BCD จากวงจรวัดคิกดาไฟฟ้า เมื่อ U5 ได้รับสัญญาณ stop/scan จะกำเนิดสัญญาณ print clock สำหรับเลื่อนข้อมูลขึ้น โดยสัญญาณส่วนหนึ่งใช้เปิดเกท U2A-D, U3A-D และ U4A,B เพื่อรับการถอดรหัส BCD เป็นรหัสเดซิมาลด้วยไอซี U1 (BCD to decimal) สัญญาณอีกส่วนหนึ่งจะส่งไปเลื่อนข้อมูลจากหน่วยความจำชั่วคราวบนแผ่นวงจรวัดคิกดาไฟฟ้า ข้อมูลตัวเลขจะผ่านเข้าเครื่องคำนวณขนาดเล็กโดยผ่านไอซี S01-S10 (optocoupler) ทางแมทริกซ์คีย์ภายในเครื่องและในทำนองเดียวกันคำสั่งฟังก์ชันของเครื่องคำนวณจากวงจรควบคุมลำดับขั้นการทำงานก็ส่งผ่านไอซี optocoupler ผ่านทางแมทริกซ์คีย์เช่นกัน

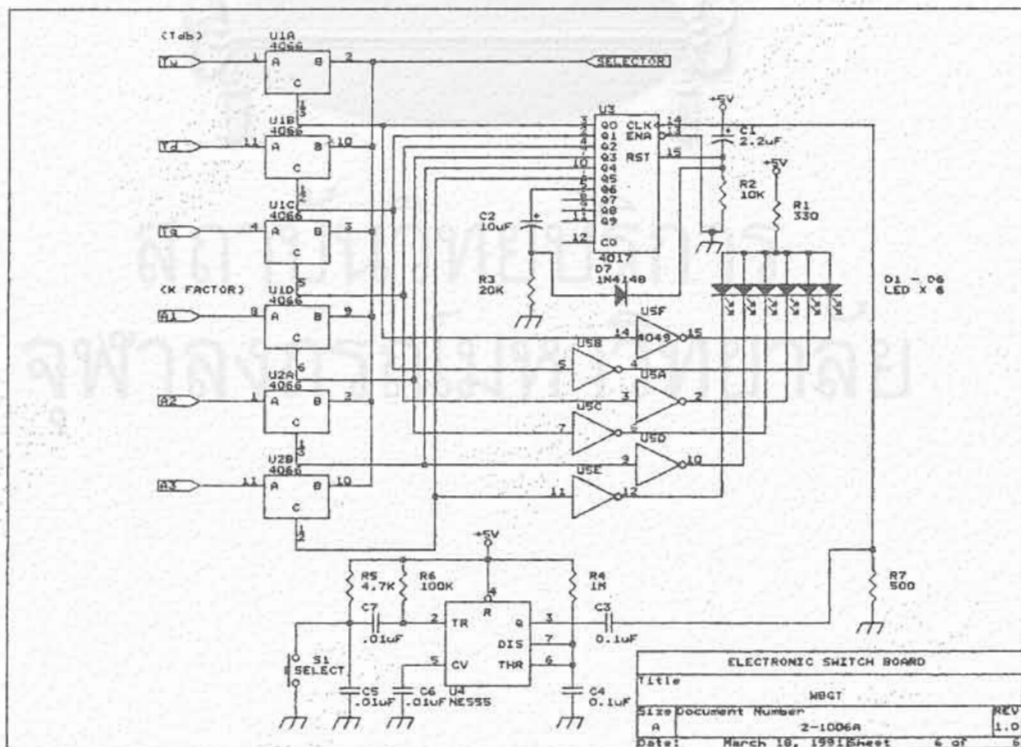
### 3.4 การประกอบเครื่องต้นแบบ

วงจรที่ออกแบบและผ่านการทดสอบบนแผ่นทดลอง ได้นำไปออกแบบวงจรแผ่นพิมพ์แยกส่วนย่อยๆ ทั้งหมด 10 แผ่น ได้แก่

1. แผ่นวงจรแสดงผลและสวิทช์เลือกข้อมูล
2. แผ่นวงจรวัดคิกดาไฟฟ้า
3. แผ่นวงจรควบคุมลำดับขั้นการทำงาน
4. แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ
5. แผ่นวงจรเลือกข้อมูล
6. แผ่นวงจรตั้งเวลา
7. แผ่นวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าคิกดาต่ำ
8. แผ่นวงจรวัดอุณหภูมิกระแสเปาะเป็ยก



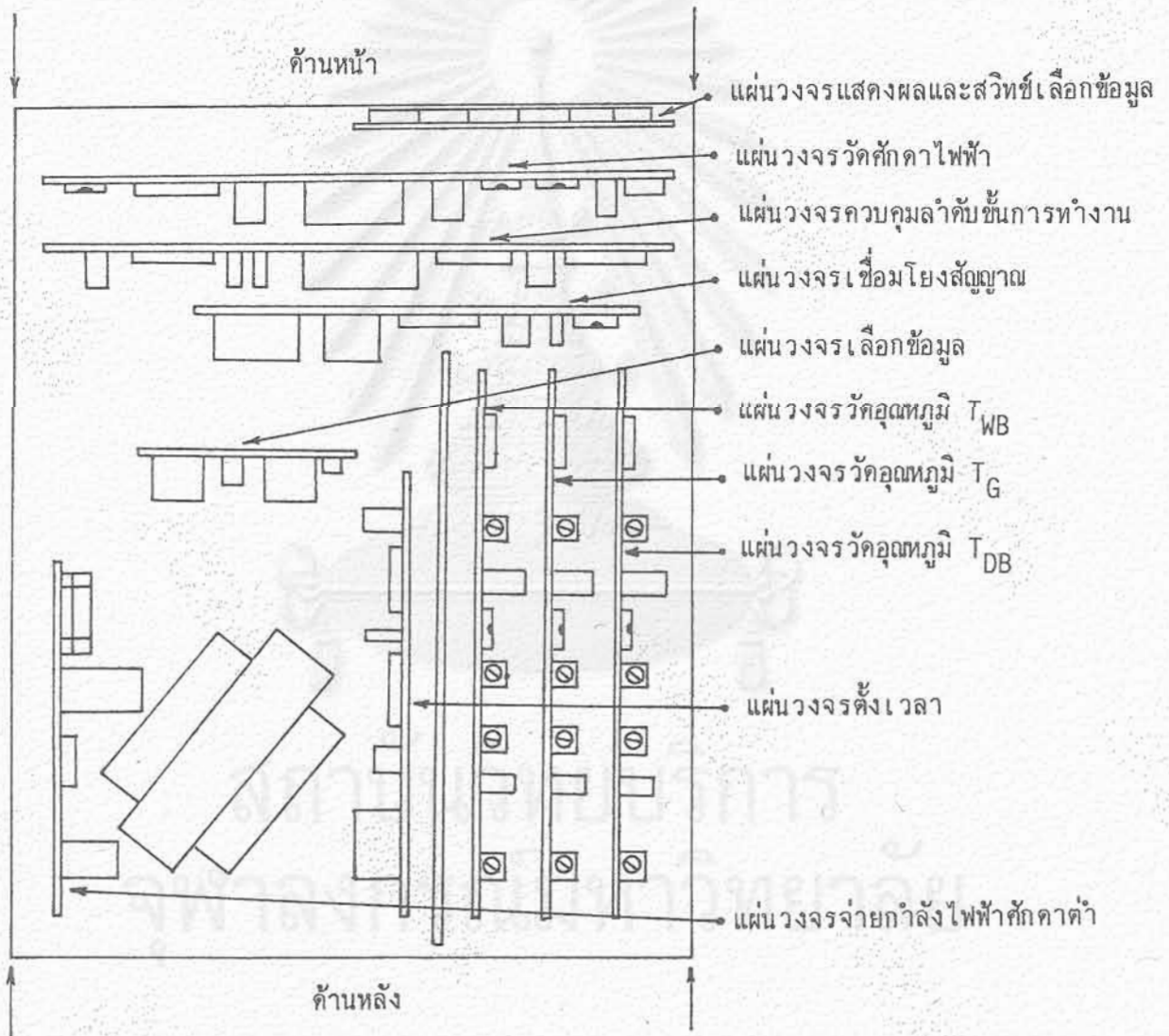
รูปที่ 3.12 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ



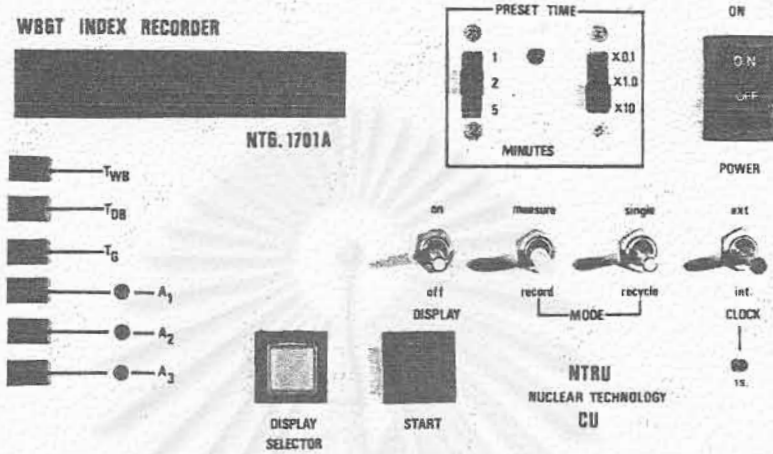
รูปที่ 3.13 วงจรสวิตช์เลือกอ่านผลการวัด

- 9. แผงวงจรวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง
- 10. แผงวงจรวัดอุณหภูมิภายในลูกโลหะดำ

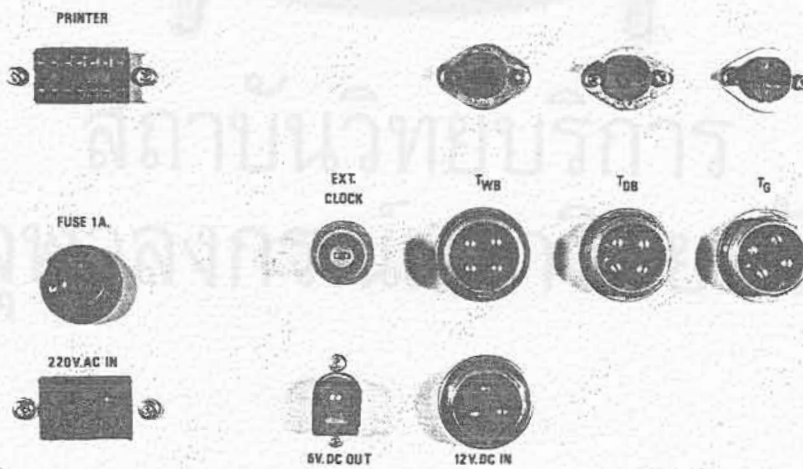
การจัดวางแผงวงจรเพื่อให้สะดวกในการเดินสายและวางวงจรให้ถูกต้องแห่งระบบกราวนด์ สามารถกำหนดขนาดโครงเครื่องและการจัดวางอุปกรณ์ควบคุมบนแผงหน้าปัดได้ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ซึ่งจะต้องใช้โครงแทนเครื่องขนาด (W x H x D) 19 x 12 x 24 เซนติเมตร การจัดอุปกรณ์บนแผงหน้าและหลังเครื่องแสดงในรูปที่ 3.15 และ 3.16



รูปที่ 3.14 การจัดวางแผงวงจรภายในโครงแทนเครื่อง



รูปที่ 3.15 แผงหน้าปัดด้านหน้าของเครื่อง



รูปที่ 3.16 แผงหน้าปัดด้านหลังของเครื่อง

#### บทที่ 4

### ผลการทำงานของเครื่องวัดและบันทึกครรชนีอุณหภูมิ

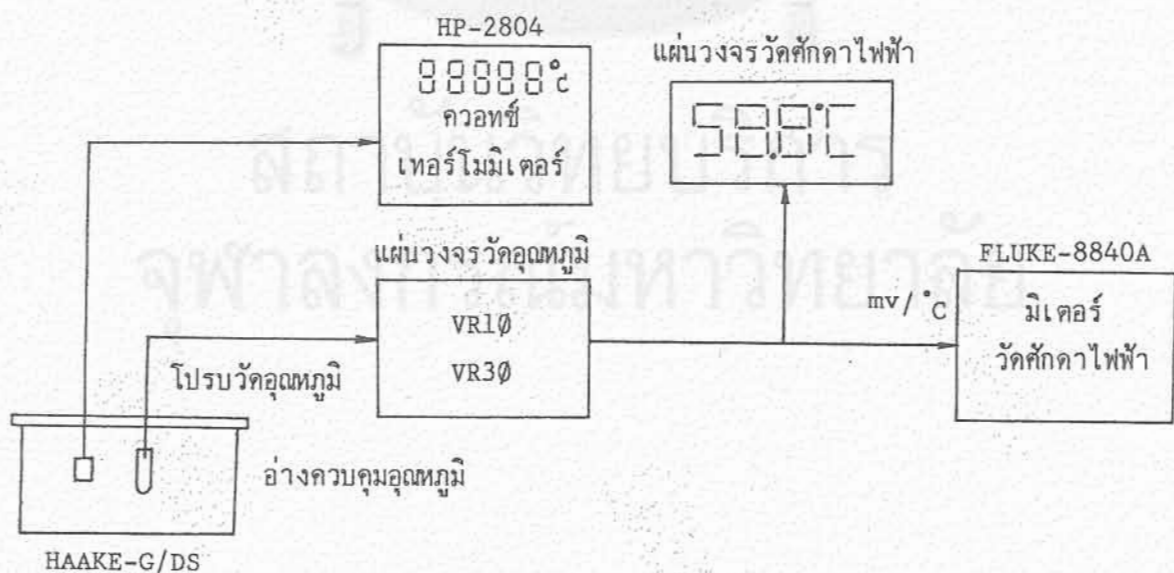
เครื่องต้นแบบที่ประกอบสมบูรณ์แล้ว ได้นำมาทำการทดสอบการทำงานของระบบต่างๆ ภายในเครื่อง ได้แก่ ระบบวัดอุณหภูมิ ระบบตั้งเวลา ระบบเลือกอ่านข้อมูล ระบบบันทึกผล และคำนวณค่าครรชนีอุณหภูมิ ตลอดจนการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า เพื่อหาลักษณะพิกัดของเครื่องที่พัฒนาขึ้นในขั้นสุดท้าย ดังนี้

#### 4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ระบบเชิงเลข

##### 4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

1. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบควอทซ์ความละเอียด 0.001 °C ของ Hewlett Packard รุ่น 2804
2. มิเตอร์วัดศักดาไฟฟ้าเชิงเลขความละเอียด 10  $\mu\text{V}$  ของ Fluke รุ่น 8840A
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ -5 ถึง 100 °C ของ Haake รุ่น G/D3
4. อ่างสำหรับทดสอบจุดเยือกแข็งและจุดเดือด

##### 4.1.2 การจัดอุปกรณ์เปรียบเทียบ



รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดเครื่องมือเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ



#### 4.1.3 ขั้นตอนการปรับเทียบ

1. การปรับวงจรชุดเซนเซอร์อุณหภูมิ เริ่มจากการปรับอุณหภูมิของอ่างควบคุมอุณหภูมิให้ได้ 25 องศาเซลเซียส แช่ U6 (LM336) ซึ่งหุ้มด้วยถุงพลาสติกทนความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิล่วงไว้ให้อุณหภูมิที่ U6 คงที่ วัดศักดาไฟฟ้าทางออกที่ขา 6 U3 ปรับ VR3 ให้ศักดาไฟฟ้าทางออก มีค่าเท่ากับ 2.732 โวลต์
2. การปรับวงจรวัดอุณหภูมิ แช่โพรบวัดอุณหภูมิลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ปล่องให้อุณหภูมิที่โพรบคงที่ ( $25^{\circ}\text{C}$ ) 2.982 โวลต์
3. การปรับศักดาวัดอุณหภูมิ เพื่อให้ได้ศักดาไฟฟ้าทางออก  $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  ใช้มิเตอร์วัดศักดาไฟฟ้าที่ขา 1U2A ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่า  $25 \times 10 = 250$  มิลลิโวลต์
4. ปรับเทียบอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์นี้โดยเริ่มปรับอุณหภูมิช่วงต่ำสุดที่ 0 องศา และสูงสุดที่ 100 องศาเซลเซียส ด้วย VR1 และ VR2 จนค่าที่อ่านบนมิเตอร์ถูกต้อง
5. แปรเปลี่ยนอุณหภูมิและปรับเทียบซ้ำที่จุดสูงสุด ต่ำสุด และจุดกึ่งกลางของการวัดอุณหภูมิให้ได้ค่าถูกต้องมากที่สุด
6. ทดสอบการอ่านค่าอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งและจุดเดือดเทียบกับเครื่องอ่านอุณหภูมิแบบควอทซ์

#### 4.1.4 ผลการวัดอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์แบบเชิงเลขที่พัฒนาขึ้น

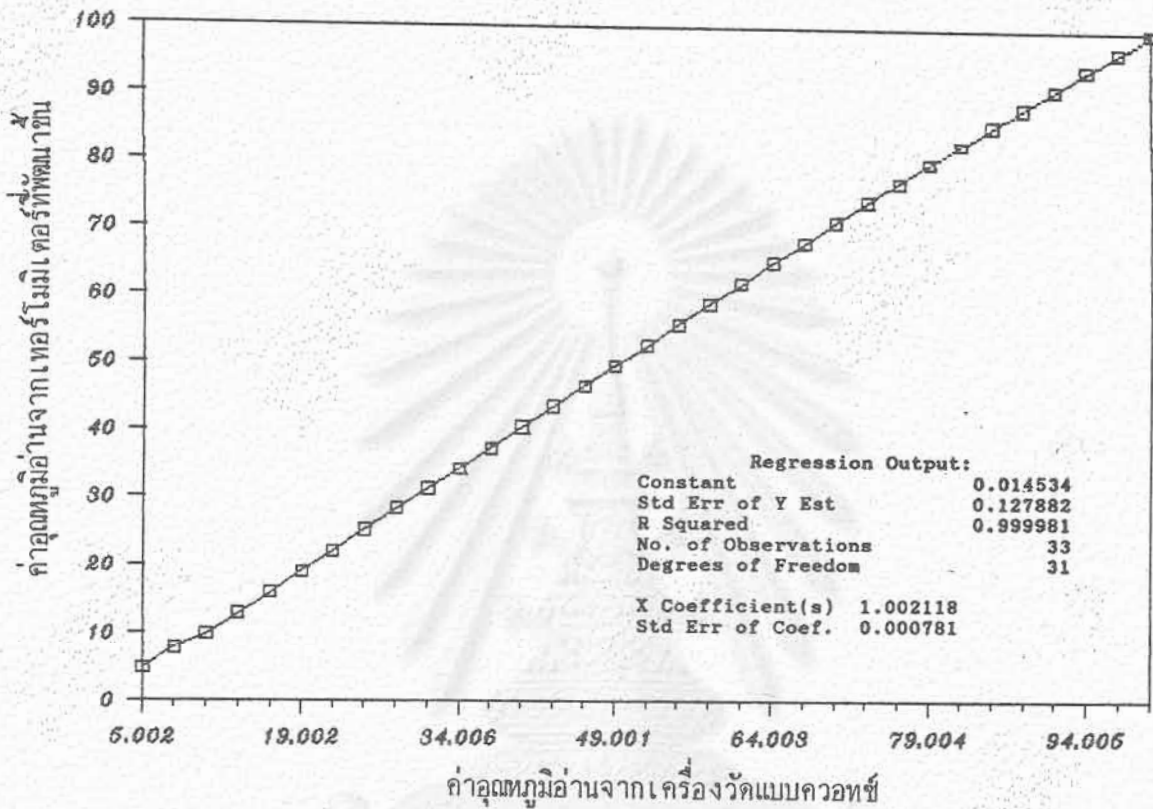
เทอร์โมมิเตอร์แบบเชิงเลขที่พัฒนาขึ้นหลังปรับเทียบแล้ว เมื่อนำไปวัดอุณหภูมิเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบควอทซ์ที่มีความละเอียดสูง ให้ผลการวัดดังตารางที่ 4.1 และเส้นกราฟรูปที่ 4.2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 4.1 ผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกันระหว่างเทอร์โมมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบควอทซ์

ค่าอุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบควอทซ์ °C	ค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น °C	ความคลาดเคลื่อน °C
5.002	4.9	-0.1
8.005	7.9	-0.1
10.001	9.9	-0.1
13.002	12.9	-0.1
16.005	15.9	-0.1
19.002	19.0	0.0
22.001	22.1	0.1
25.003	25.1	0.1
28.001	28.2	0.2
31.002	31.2	0.2
34.006	34.1	0.1
37.001	37.1	0.1
40.003	40.2	0.2
43.004	43.2	0.2
46.002	46.2	0.2
49.001	49.2	0.2
52.003	52.1	0.1
55.001	55.2	0.2
58.001	58.2	0.2
61.002	61.2	0.2
64.003	64.3	0.3
67.007	67.2	0.2
70.000	70.3	0.3
73.001	73.2	0.2
76.002	76.3	0.3
79.004	79.3	0.3
82.005	82.3	0.3
85.001	85.3	0.3
88.000	88.2	0.2
91.001	91.1	0.1
94.005	94.1	0.1
97.001	96.9	-0.1
100.003	99.9	-0.1



รูปที่ 4.2 เส้นกราฟแสดงผลทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่วัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์ระบบเชิงเลขที่พัฒนาขึ้นและค่าอุณหภูมิที่วัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบควอทซ์

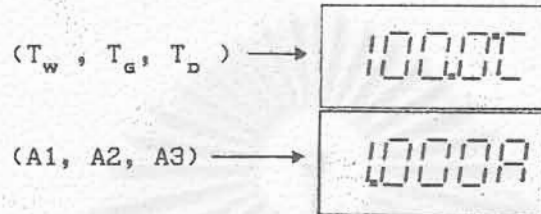
#### 4.2 ผลทดสอบการทำงานของระบบ

##### 4.2.1 ทดสอบวงจรตั้งเวลา

ใช้เครื่องนับความถี่ของ Hewlett-Packard รุ่น HP 5315 A วัดความถี่ที่ขา 1 U1 ปรับ C1 ให้ความถี่ทางออกได้ 60 ๑.1 เฮิรตซ์ ตรวจสอบการทำงานของวงจรตั้งเวลาด้วยการเลือกสวิตช์ 1, 2, 5 และตัวคูณ x1 จะต้องตั้งช่วงเวลาได้ 1,2 และ 5 นาทีตามลำดับ เมื่อเลือก SW3 ที่ RECYCLE วงจรตั้งเวลาจะเริ่มวงจรรอบใหม่โดยอัตโนมัติ

#### 4.2.2 ทดสอบการเริ่มต้นการทำงานของเครื่อง

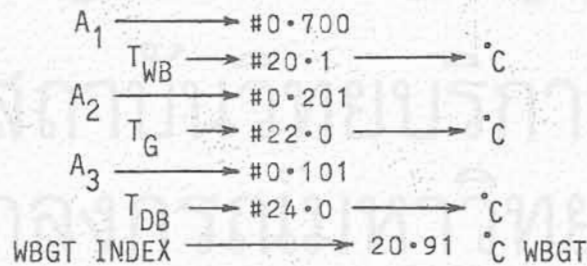
เมื่อเริ่มเปิดสวิตช์ วงจรรีเซ็ต (reset) ของเครื่องจะล้างข้อมูลในเครื่อง คำนวณ และวางจรวดตั้งเวลา พร้อมทั้งเลือกการปิดเศษทศนิยมของเครื่องคำนวณเป็น 5/4 หน่วย แสดงผลของ  $T_w$ ,  $T_g$ ,  $T_D$ , A1, A2 หรือ A3 ตามตำแหน่งของสวิตช์เลือกข้อมูล โดยจะแสดงผลตามตำแหน่งหลัก ดังนี้



ศักดาไฟฟ้าของค่าคงที่ตัวประกอบผลคูณ สามารถปรับได้จาก 0 ถึง 1 โวลต์ คลาดเคลื่อน  $\pm 0.002$  โวลต์ ความละเอียดของตัวประกอบนี้ จากสมการ (4) ต้องการความละเอียดทศนิยมเพียง 1 ตำแหน่ง แต่เครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมินี้ ออกแบบให้มีความละเอียด 3 ตำแหน่ง เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนจากผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อม

#### 4.2.3 การทดสอบการทำงานของระบบบันทึกข้อมูลและคำนวณค่าดรรชนีอุณหภูมิ

เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาที่ตั้งไว้ เครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมิจะเริ่มรายงานผลการวัดโดยสังพิมพ์ข้อมูลตามลำดับขั้นของสมการคำนวณค่าดรรชนีอุณหภูมิ ซึ่งมีรูปแบบตามที่แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รูปแบบของข้อมูลบนเครื่องพิมพ์

#### 4.2.4 การทดสอบสมรรถนะการทำงานต่อเนื่อง

การทดสอบขั้นสุดท้ายของเครื่องที่ประกอบขึ้นและปรับเทียบวงจรต่าง ๆ แล้วจะเปิดให้เครื่องทำงานติดต่อกัน 7 วัน ในบรรยากาศปกติ เพื่อหาข้อบกพร่องในการบันทึกผลและความคลาดเคลื่อนของค่าตัวประกอบและการอ่านอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ 3 ชุด

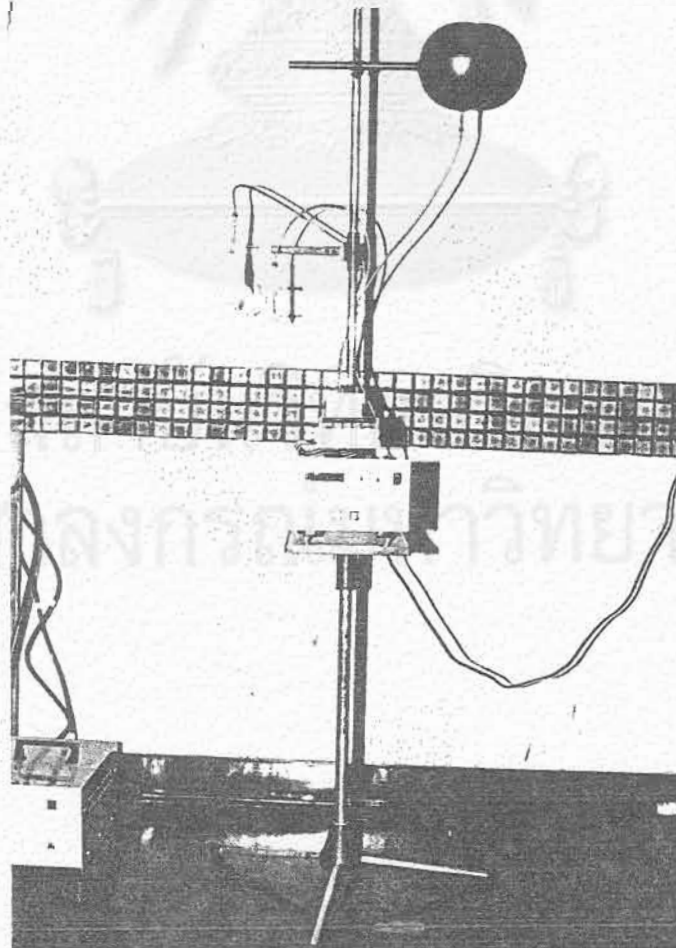
การวัดผลพิจารณาจากรายงานการบันทึกผลจากเครื่องพิมพ์ทุก ๆ 20 นาที ค่า A1, A2, A3 ที่ตั้งไว้จะคลาดเคลื่อนไม่เกิน  $\pm 0.005$  ค่า  $T_w$ ,  $T_e$ ,  $T_o$  ซึ่งวางโปรบไว้ในตำแหน่งเดียวกันจะให้ค่าแตกต่างกันไม่เกิน  $\pm 0.4$  องศาเซลเซียส



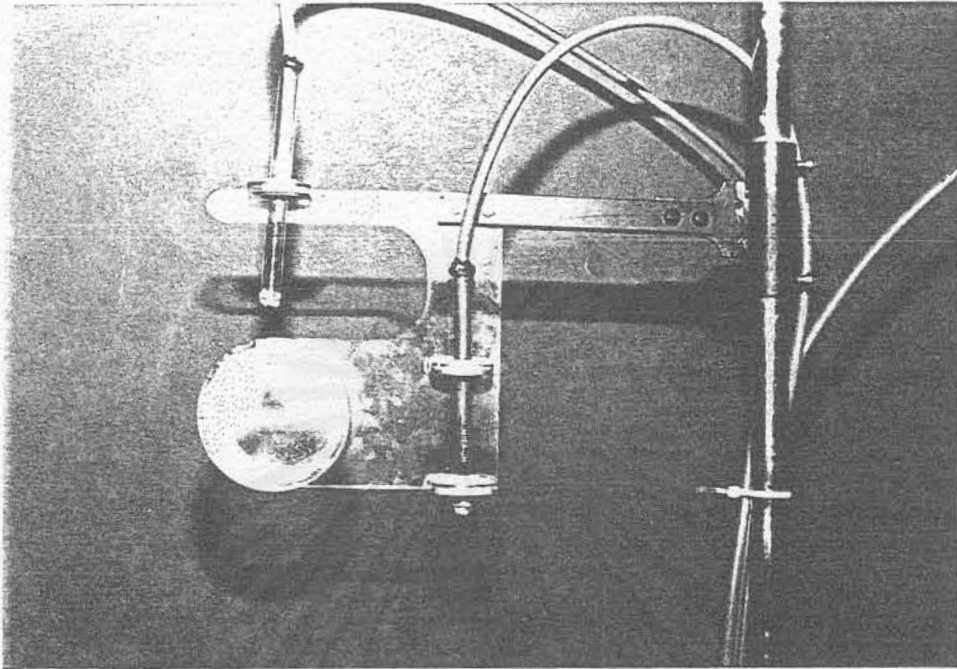
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



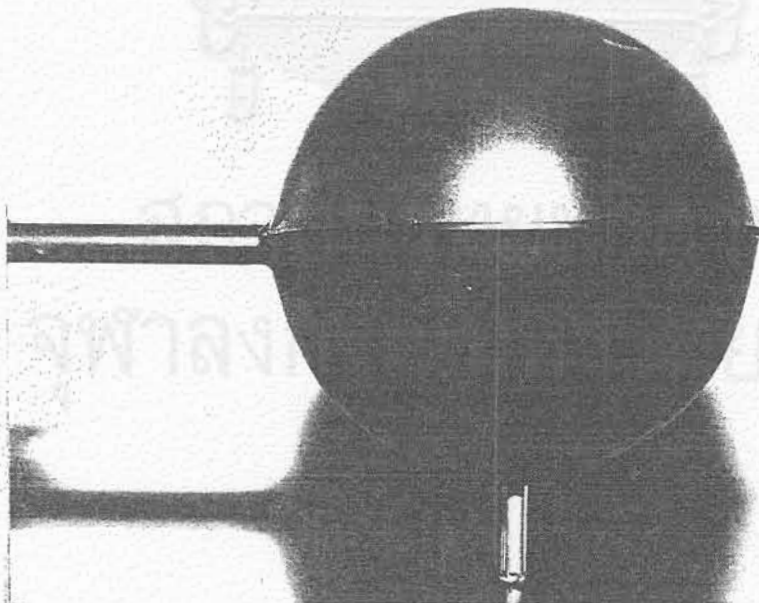
รูปที่ 4.4 เครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมิแบบ WBGT รุ่น NT 1701 A



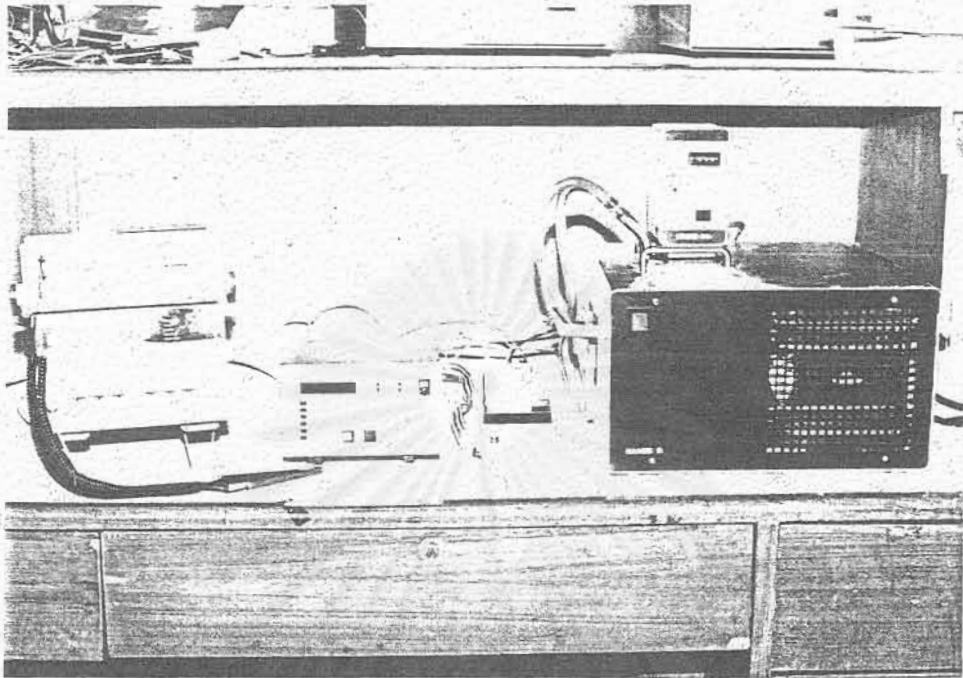
รูปที่ 4.5 ชุดเครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ขณะใช้งาน



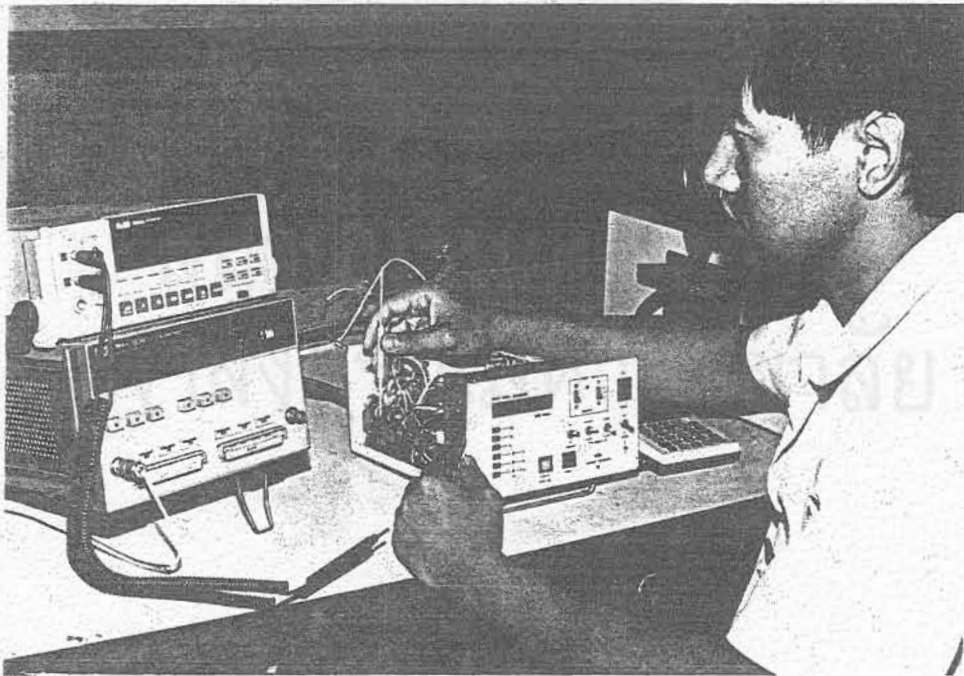
รูปที่ 4.6 โปรบวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง



รูปที่ 4.7 โปรบวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน



รูปที่ 4.8 อุปกรณ์ปรับเทียบอนุกรมและทดสอบการทำงานของเครื่องวัดและบันทึกตรรกะอนุกรม



รูปที่ 4.9 การปรับเทียบอนุกรมเครื่องต้นแบบก่อนนำไปทดลองใช้งาน



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องวัดและบันทึกการรชชี่อุณหภูมิแบบ WBGT เริ่มจากการพัฒนาต้นแบบเครื่องแรก รุ่น NTG 1701 และทดสอบใช้งาน ผลปรากฏว่าพบข้อบกพร่องและปัญหาด้านความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิ การรายงานข้อมูล และไม่สามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดวัน และยังพบปัญหาด้านความไม่สะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ จึงได้ทำการแก้ไขปรับปรุงระบบต่างๆ ของเครื่องวัดและบันทึกการรชชี่อุณหภูมิใหม่ เป็นรุ่น NTG 1701 A จากการปรับปรุงข้อบกพร่องจากเครื่องต้นแบบสามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

5.1.1 ในด้านการปรับปรุงระบบติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ทำให้สามารถแก้ไขข้อบกพร่องของต้นแบบเดิมได้ดังนี้

- ก. การจับยึดอุปกรณ์ด้วยเข็มขัดรัดท่อ และสกรูยึดทำให้สามารถถอดประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ง่าย สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย
- ข. เมื่อใช้แผ่นอะคริลิกใสเป็นแผ่นติดตั้ง โปรบวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง ช่วยแก้ปัญหาเรื่องการถ่ายเทอุณหภูมิจากการสะสมอุณหภูมิด้วยการแผ่รังสีความร้อน
- ค. การเปิดช่องทางให้อากาศพัดผ่านไส้ผ้าฝ้ายของกระเปาะเปียกและการปรับตำแหน่งโพรบวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งให้พ้นจากแผ่นติดตั้ง (รูปที่ 3.3) ช่วยให้อากาศในบริเวณตรวจวัดพัดผ่านส่วนที่ไวอุณหภูมิของ โพรบวัดรอบด้าน จึงสามารถติดตั้งเครื่องวัดได้โดยไม่จำเป็นต้องระวางเรื่องทิศทาง

5.1.2 ระบบวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นใหม่ มีวงจรชดเชยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแวดล้อม ทำให้ผลการอ่านค่าอุณหภูมิถูกต้องขึ้น และจากผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิพบว่า สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 100 องศาเซลเซียสได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า  $\pm 0.5$  องศาเซลเซียส และเมื่อเทียบผลการวัดอุณหภูมิของอ่างควบคุมอุณหภูมิเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีความละเอียดสูงสามารถให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น 0.999 และการประกอบแผ่นวงจรสามารถทำได้สะดวก ให้สมรรถนะใกล้เคียงกัน

5.1.3 การพัฒนาระบบการทำงานของเครื่อง NTG 1701 A ทำให้สามารถเลือกใช้งาน ได้ทั้งแบตเตอรี่ 12 โวลต์ และไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ การใช้แบตเตอรี่จะช่วยแก้ปัญหา การวัดค่าผิดพลาดเมื่อเครื่องวัดต้องนำไปใช้งานในสภาพกระแสไฟฟ้าที่มีการรบกวนและกระเพื่อม มากจากจักรกลไฟฟ้าในอุตสาหกรรม

5.1.4 สมรรถนะของเครื่องที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดวัน จากผลการ ทดสอบเปิดเครื่องทำงานในสภาพแวดล้อมปกติติดต่อกัน 7 วัน ไม่พบปัญหาเรื่องการพิมพ์ข้อมูลผิด พลาดและผลการอ่านอุณหภูมิของวงจรวัดอุณหภูมิ 3 ชุดของเครื่องในสภาพที่โปรดวัดอยู่ในตำแหน่ง วัดอุณหภูมิแวดล้อมเดียวกัน ให้ผลแตกต่างกันน้อยกว่า  $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$  ในขณะที่ค่าคงที่ตัวประกอบแปร เปลี่ยนน้อยกว่า  $\pm 0.005$

5.1.5 เครื่องต้นแบบที่ปรับปรุงใหม่นี้ ได้นำออกเผยแพร่ในงานนิทรรศการทางวิชาการ และเอกสารวิจัยแล้ว ปรากฏว่ามีผู้ให้ความสนใจติดต่อให้ประกอบขึ้นเพื่อใช้งาน 4 ราย โดย ให้การสนับสนุนด้านการเงิน ทางผู้วิจัยได้ดำเนินการประกอบสำเร็จไปแล้ว 3 เครื่อง และใน จำนวน 2 เครื่อง ได้มีการนำไปใช้งานภาคสนามเพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ของนิสิตปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้แจ้งผลการใช้งานเครื่องกลับมาให้ทราบดังรายละเอียดในภาคผนวก ค แล้ว ส่วนอีกเครื่อง หนึ่งเป็นของโรงงานหล่อโลหะเป็นของบริษัทเอกชน

## 5.2 ลักษณะนิคัตของเครื่องวัดและบันทึกครรชณอุณหภูมิแบบ WBGT

### 5.2.1 ลักษณะทั่วไป

- ก. เป็นเครื่องวัดและบันทึกครรชณอุณหภูมิชนิดอิเล็กทรอนิกส์
- ข. ประกอบด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องพิมพ์ และชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ พร้อม ใช้งานได้ทันที
- ค. สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ทั้งกรณีวัดภายนอกอาคารและภายในอาคาร
- ง. สามารถเลือกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และอุณหภูมิสะสม ภายในลูกโลหะดำได้
- จ. สามารถบันทึกค่าอุณหภูมิและคำนวณค่าครรชณอุณหภูมิพร้อมบันทึกในแต่ละช่วง เวลาที่ต้องการบันทึกได้

## 5.2.2 ลักษณะเฉพาะ

### 5.2.2.1 ระบบวัดอุณหภูมิ

- ก. สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส มีความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า  $\pm 0.5$  องศาเซลเซียส ตลอดย่านวัด
- ข. แสดงผลเชิงเลขด้วยไดโอดเปล่งแสงขนาด 3 1/2 หลัก พร้อมตรรกะที่แสดงสถานะของค่าที่อ่าน
- ค. มีระบบปรับแก้ค่าอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนแปลง
- ง. ระบบเลือกอ่านอุณหภูมิเป็นแบบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์
- จ. สามารถตั้งเวลาเพื่อบันทึกอุณหภูมิได้จาก 1 วินาที ถึง 50 นาที เป็นขั้นๆ ดังนี้ 1, 2, 5 และตัวประกอบ  $\times 1.0$  และ  $\times 10$  นาที
- ฉ. ความถี่ฐานเวลาควบคุมด้วยผลึกกำเนิดความถี่
- ช. สามารถตัดกระแสไฟที่จ่ายให้หน่วยแสดงผล เพื่อประหยัดกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่ได้

### 5.2.2.2 ระบบบันทึกอุณหภูมิ

- ก. ข้อมูลทางออกเป็นแบบ BCD พร้อมคำสั่งคำนวณของเครื่องพิมพ์ขนาดเล็ก
- ข. การบันทึกและคำนวณข้อมูลสามารถใช้กับเครื่องคำนวณพร้อมเครื่องพิมพ์ขนาดเล็ก
- ค. สามารถเลือกพิมพ์ผลครั้งเดียว หรือต่อเนื่องได้โดยเลือกสวิตช์
- ง. สามารถพิมพ์ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง อุณหภูมิสะสมในลูกโลหะ และค่าตัวประกอบการคำนวณ พร้อมพิมพ์ค่าตรรกะที่ความร้อนในการบันทึกแต่ละครั้งในหน่วย  $^{\circ}\text{C}$  WBGT

### 5.2.2.3 อุปกรณ์ประกอบสำหรับวัดอุณหภูมิ

- ก. ขาดังสามารถปรับระดับของชุดวัดกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และลูกโลหะ ดำได้
- ข. ลูกโลหะสำหรับวัดอุณหภูมิสะสมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร วัสดุทำด้วยทองแดงเจือโลหะ สีดำนาน

5.2.2.4 โครงเครื่องวัดมีขนาด 19x12x24 เซนติเมตร<sup>3</sup> มีน้ำหนัก 2.2 กิโลกรัม

5.2.2.5 สามารถใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ หรือแบตเตอรี่ 12 โวลต์ กินกำลังไฟฟ้า 4.2 วัตต์ ขณะเปิดส่วนแสดงผล และ 3.7 วัตต์ ขณะปิดส่วนแสดงผล

### 5.3 ปัญหาที่พบในงานวิจัย

5.3.1 ความผิดพลาดในการทำงานของวงจรภายในเครื่องวัด และบันทึกตรรกษานิวทอนุมิที่พบนั้น เกิดจากวงจรแผ่นพิมพ์แบบ 2 หน้า ซึ่งคุณภาพของการเชื่อมจุดต่อระหว่างด้านอุปกรณ์และด้านลายวงจรไม่ดี ส่วนการทำงานของวงจรที่ออกแบบนั้น ไม่มีปัญหาเป็นไปตามขั้นตอนที่กำหนดไว้

5.3.2 วงจรวัดอุณหภูมิที่ปรับเทียบเฉพาะชุดแล้ว เมื่อนำไปประกอบกับการทำงานของระบบทั้งหมดพบว่า มีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการอ่านค่าต้องเลือกสัญญาณวัดผ่านสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นคุณภาพของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์จะต้องมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

5.3.3 คุณภาพของหัวต่อสายที่มีจำหน่ายในประเทศ เป็นปัญหาอย่างหนึ่งที่ทำให้การส่งข้อมูลผิดพลาด เนื่องจากการหลอมระหว่างจุดต่อบางจุดในหัวต่อสาย

5.3.4 การประกอบโปรบวัดจะต้องมีความละเอียดในการวางตำแหน่งหัววัดส่วนที่ไวต่ออุณหภูมิให้เท่ากันทุกอัน และการยึดด้วยอิพ็อกซีจะต้องเสมอขอบแก้วพอดี เพื่อรักษาเนื้อที่สัมผัสอุณหภูมิให้ใกล้เคียงกัน เวลาในการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะใกล้เคียงกัน

5.3.5 แม้ว่าการใช้เครื่องพิมพ์ขนาดเล็กที่ติดกับเครื่องคำนวณจะมีราคาประหยัด แต่ปัญหาอย่างหนึ่งของการประกอบเครื่องที่ใช้เทคนิคการใช้เครื่องพิมพ์ขนาดเล็กที่ผู้วิจัยดำเนินการคำนวณมักจะเปลี่ยนรุ่นบ่อยๆ จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงระบบเชื่อมโยงสัญญาณให้เหมาะสมกับแต่ละรุ่น

5.3.6 การปรับปรุงแก้ไขวงจรแผ่นพิมพ์นั้นยังทำได้ช้าเพราะโปรแกรมออกแบบยังเป็นรุ่นเก่าซึ่งไม่สามารถหาตำแหน่งเดินสายอัตโนมัติแบบโปรแกรมรุ่นใหม่ได้

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 แผ่นพิมพ์วงจรที่จะประกอบเครื่องควรจะเป็นแบบ plate through hole ที่ได้มาตรฐาน จะช่วยลดการแก้ไขการประกอบแผ่นพิมพ์ก่อนประกอบ

5.4.2 การเลือกคุณภาพของชิ้นส่วนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะช่วยให้การทำงานของวงจรมีความเชื่อมั่นสูง

5.4.3 ผู้ที่ประกอบเครื่องมือที่เป็นเครื่องวัดเพื่ออ่านผลในเชิงวิทยาศาสตร์จะต้องมีความละเอียดสูงในการประกอบ การติดตั้ง การเดินสายเพื่อให้สมรรถนะของเครื่องออกมาในสภาพถูกต้องตามพิกัด

5.4.4 ในการทำวิจัยด้านเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์นั้น โปรแกรมการออกแบบวงจรแผ่นพิมพ์รุ่นใหม่ที่มีระบบ auto route จะช่วยให้การแก้ไขปรับปรุงทำได้รวดเร็วขึ้น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### เอกสารอ้างอิง

1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, "นิทรรศการสิ่งประดิษฐ์จุฬาฯ ครั้งที่ 3" กรุงเทพมหานคร, 16 - 18 มกราคม 2532.
2. Bjarne W. Olesen, (Ph.D.), "Heat Stress" Technical review No.2 (1985).
3. ACGIH, "TLV'S, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1972.
4. YAGLOU, C.P. and MINARD D., "Control of Heat Casualties at Military Training Centers." Arch. Indust. Health 16 : 302-316 (1957).
5. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และคณะ "เครื่องนิรภัยข้อมูลนำรังสีแบบประหยัด" การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ณ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ : B4 (2531).
6. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และ เดโซ ทองอร่าม "เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบประหยัด" Journal of STREC. Vol.1(1) 69-75, 2534.

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 แสดงระดับของ metabolic rate

Class	Metabolic rate ranges, Af		Value to be used for calculation of mean metabolic rate		Examples
	related to a unit skin surface area	for a mean skin surface area of 1.8 m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W	
	W/m <sup>2</sup>	W	W/m <sup>2</sup>	W	
0 Resting	Af < 65	Af < 117	65	117	Resting
1 Low metabolic rate	65 < Af < 130	117 < Af < 234	100	180	Sitting at ease; light manual work (writing, typing, drawing, sawing, book-keeping); hand and arm work (small bench tools, inspection, assembly or sorting of light materials); arm and leg work (driving vehicle in normal conditions, operating foot switch or pedal)  Blending; drill (small parts); milling machine (small parts); coil winding; small armature winding; machining with low power tools; casual walking (speed up to 3.5 km/h).
2 Moderate metabolic rate	130 < Af < 200	234 < Af < 360	165	297	Sustained hand and arm work (hammering in nails, filing); arm and leg work (off-road operation of lawns, tractors or construction equipment); arm and trunk work (work with pneumatic hammer, tractor assembly, planing); intermittent handling of moderately heavy material, weeding, hoeing, picking fruit or vegetables; pushing or pulling light-weight carts or wheelbarrows; walking at a speed of 3.5 to 5.5 km/h; forging.
3 High metabolic rate	200 < Af < 260	360 < Af < 468	230	414	Intense arm and trunk work; carrying heavy material; shovelling; sledge hammer work; sawing, planing or chiselling hard wood; hand mowing; digging; walking at a speed of 5.5 to 7 km/h.  Pushing or pulling heavily loaded handcarts or wheelbarrows; clipping castings; concrete block laying
4 Very high metabolic rate	Af > 260	Af > 468	290	522	Very intense activity at fast to maximum pace; working with an axe; intense shovelling or digging; climbing stairs, ramp or ladder; walking quickly with small steps, running, walking at a speed greater than 7 km/h.

Classification of levels of metabolic rate (after ISO 7243).

ตารางที่ ก.2 ค่าอ้างอิงสำหรับดัชนี WBGT กับ metabolic rate ระดับต่างๆ ของ ISO 7243

Metabolic rate class	Metabolic rate, M		Reference value of WBGT			
	Related to a unit skin surface area	Total (for a mean skin surface area of 1.8 m <sup>2</sup> )	Person acclimatized to heat		Person not acclimatized to heat	
	W/m <sup>2</sup>	W	°C		°C	
0 (resting)	Af < 65	M < 117	33		32	
1	65 < Af < 130	117 < M < 234	30		29	
2	130 < Af < 200	234 < M < 360	28		28	
3	200 < Af < 260	360 < M < 468	No sensible air movement	Sensible air movement	No sensible air movement	Sensible air movement
4	Af > 260	M > 468	25	26	22	23

Reference values for WBGT for different metabolic rates.

ภาคผนวก ข

ข้อมูลเฉพาะของหัววัดอุณหภูมิ เบอร์ LM 335



Industrial Blocks

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

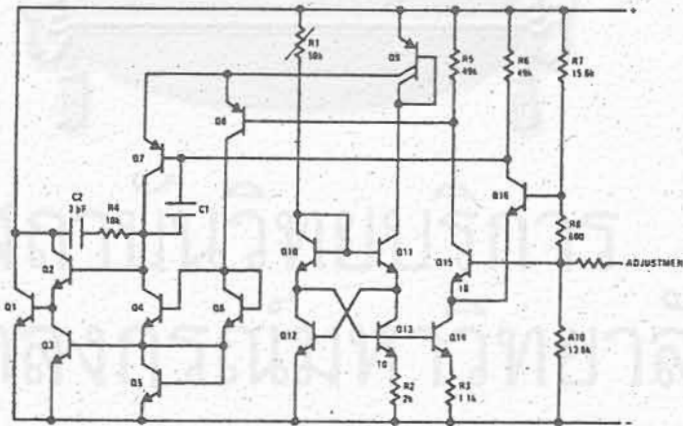
The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C

to +125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

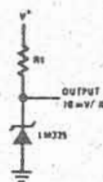
- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

Schematic Diagram

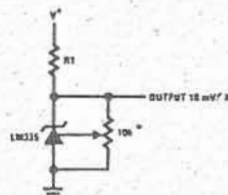


Typical Applications

Basic Temperature Sensor

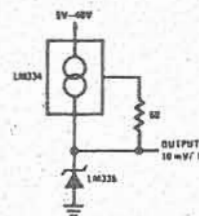


Calibrated Sensor



\* Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply





### Absolute Maximum Ratings

Reverse Current		15 mA
Forward Current		10 mA
Storage Temperature		
TO-46 Package		-60°C to +180°C
TO-92 Package		-60°C to +150°C
Specified Operating Temperature Range		
	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)		300°C

### Temperature Accuracy LM135/LM235, LM135A/LM235A (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM135A/LM235A			LM135/LM235			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

### Temperature Accuracy LM335, LM335A (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM335A			LM335			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

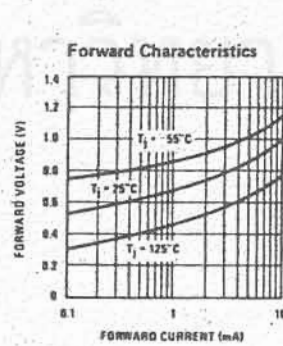
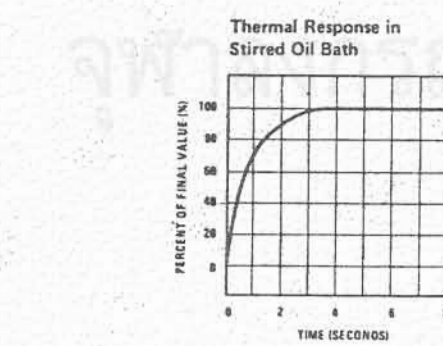
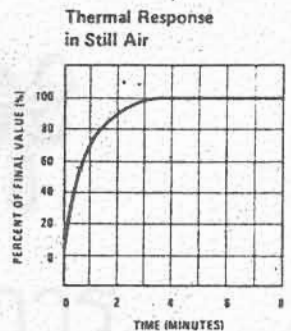
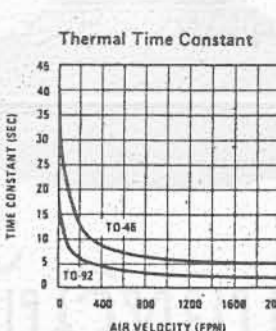
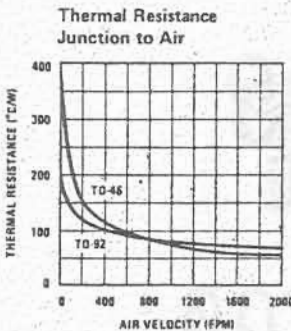
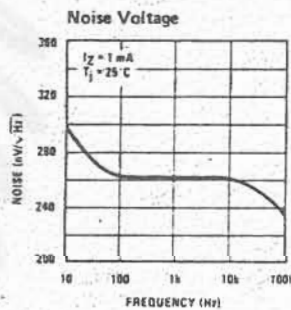
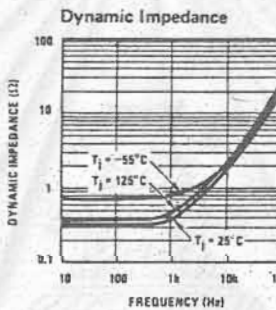
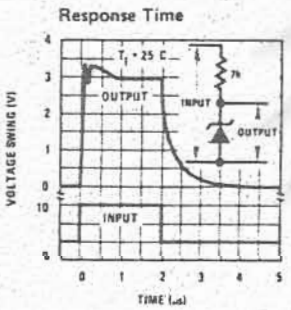
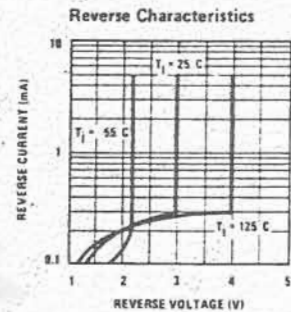
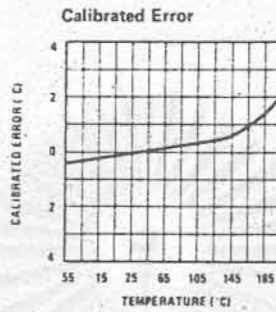
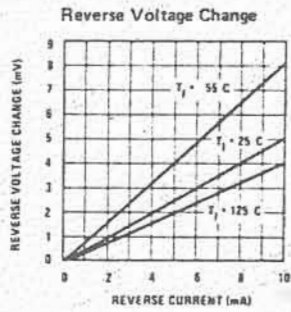
### Electrical Characteristics (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} < I_R < 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Drift			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/yr

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

### Typical Performance Characteristics



## Application Hints

### CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T<sub>0</sub> is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one

temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature.

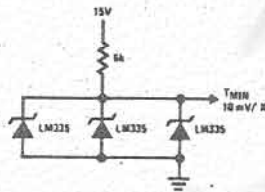
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

### WATERPROOFING SENSORS

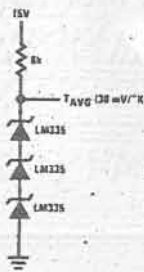
Melttable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

## Typical Applications (Continued)

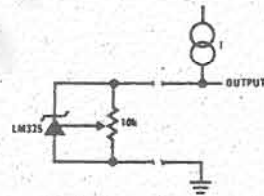
Minimum Temperature Sensing



Average Temperature Sensing



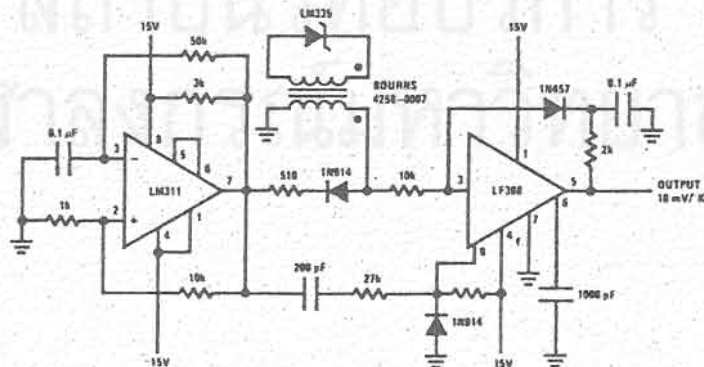
Remote Temperature Sensing



Wire length for 1° C error due to wire drop

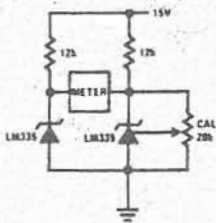
AWG	I <sub>R</sub> = 1 mA FEET	I <sub>R</sub> = 0.5 mA FEET
14	4000	8000
16	2500	5000
18	1600	3200
20	1000	2000
22	625	1250
24	400	800

Isolated Temperature Sensor

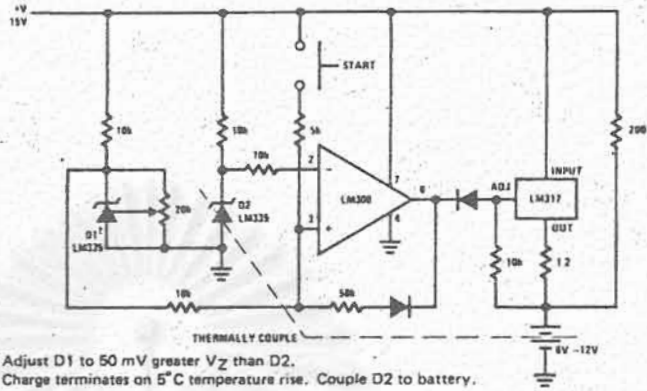


Typical Applications (Continued)

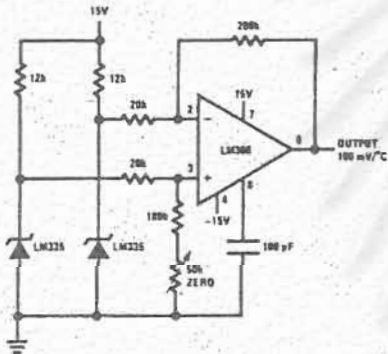
Differential Temperature Sensor



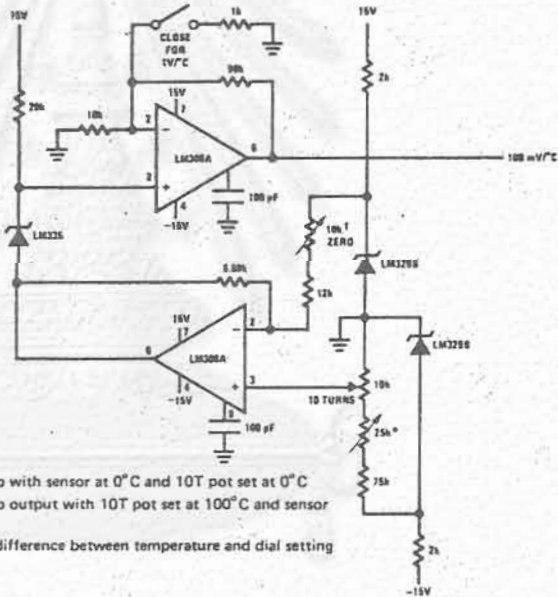
Fast Charger for Nickel-Cadmium Batteries



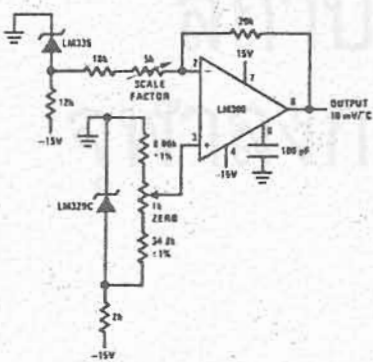
Differential Temperature Sensor



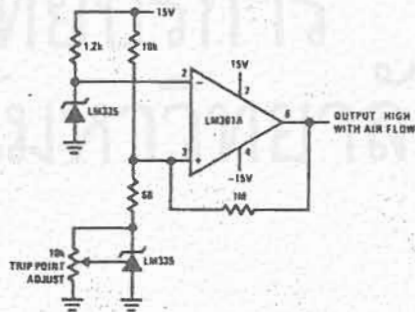
Variable Offset Thermometer †



Ground Referred Centigrade Thermometer



Air Flow Detector\*



\* Self heating is used to detect air flow



### Definition of Terms

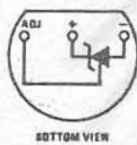
**Operating Output Voltage:** The voltage appearing across the positive and negative terminals of the device at specified conditions of operating temperature and current.

**Uncalibrated Temperature Error:** The error between the operating output voltage at  $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$  and case temperature at specified conditions of current and case temperature.

**Calibrated Temperature Error:** The error between operating output voltage and case temperature at  $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$  over a temperature range at a specified operating current with the  $25^\circ\text{C}$  error adjusted to zero.

### Connection Diagrams

TO-92  
Plastic Package



Order Number LM335Z  
or LM335AZ  
See NS Package Z03A

TO-46  
Metal Can Package\*



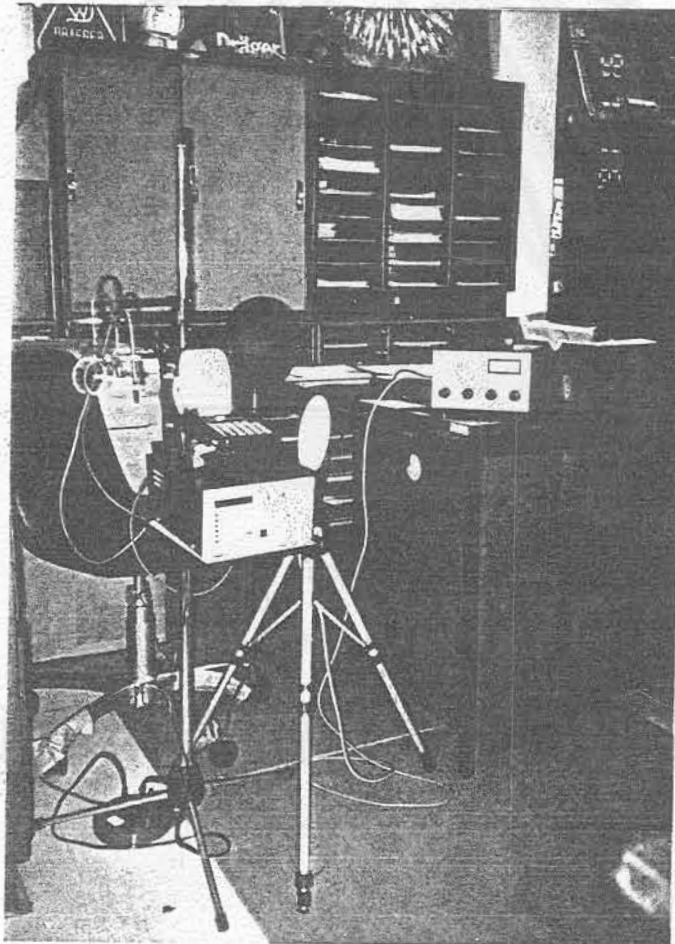
\* Case is connected to negative pin

Order Number LM135H,  
LM235H, LM335H, LM135AH,  
LM235AH or LM335AH  
See NS Package H03H

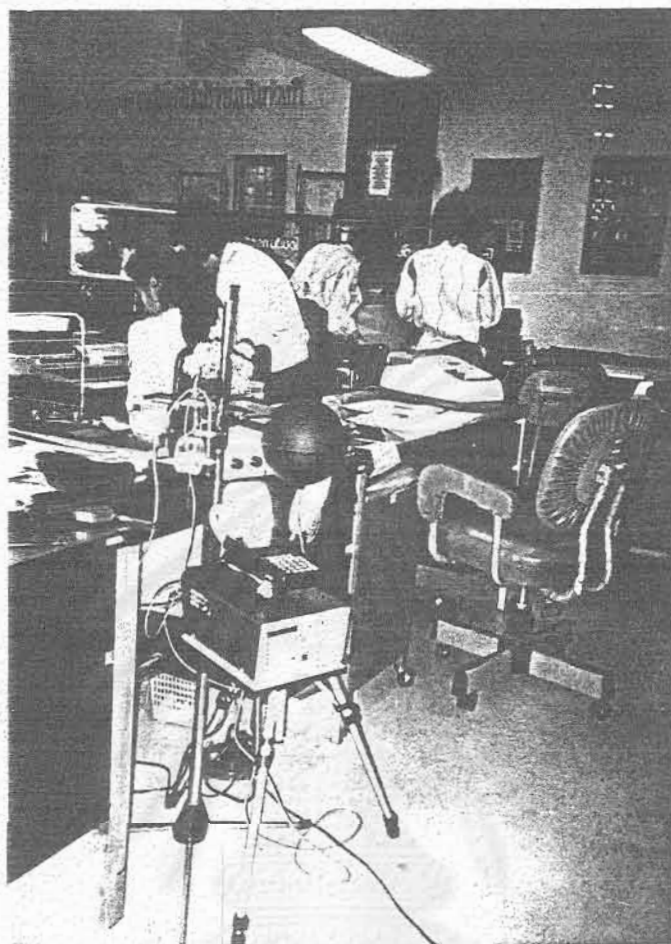
สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

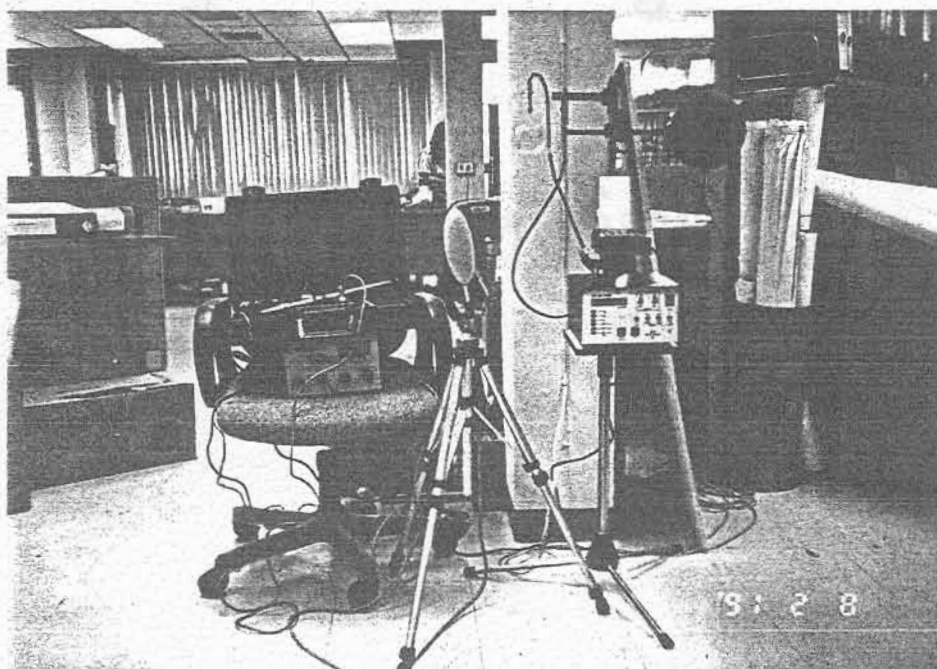
การนำเครื่องวัดและบันทึกดรรชนีอุณหภูมิแบบ WBGT รุ่น NTG 1702A ไปใช้วัดอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน เพื่อนำข้อมูลมาประกอบการประมวลค่าอุณหภูมิที่ให้ความรู้สึกสบายในห้องปรับอากาศ ในการทำวิทยานิพนธ์ของ นายประพันธ์ วงษ์ท่าเรือ นิสิตระดับปริญญาโทชั้นโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสถานที่ที่นำเครื่องมือไปทำการศึกษา ได้แก่ บริษัท จาร์ดีน จำกัด, แผนกวิทยาศาสตร์ บริษัท บิกريمแอนด์โก จำกัด และ ธนาคารกรุงเทพ จำกัด สาขาบางกอกน้อย นิสิตได้รายงานผลการใช้เครื่องบันทึกดรรชนีอุณหภูมิว่าให้ผลการวัดถูกต้อง สะดวกในการเก็บข้อมูล และมีความทนทานในการใช้งาน



รูป ค.1 การใช้เครื่องวัดที่แผนกวิทยาศาสตร์ บริษัท บิกريمแอนด์โก จำกัด



รูป ค.2 การใช้เครื่องวัดที่ธนาคารกรุงเทพ จำกัด สาขาบางกอกน้อย



รูป ค.3 การใช้เครื่องวัดที่ บริษัท จาร์ดีน จำกัด