ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ พธ
ลว 2

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์ 7ว

เรื่องที่ 2

เรื่อง การศึกษาวิธีการสอบเทียบเครื่องสร้างความชื้นโดยใช้ เครื่องวัดความชื้น ชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

โดย

นาย ประวิทย์ จงนิมิตรสถาพร

นักวิทยาศาสตร์ 6ว

สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ.2546

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์ 7ว

เรื่องที่ 2

เรื่อง การศึกษาวิธีการสอบเทียบเครื่องสร้างความชื้นโดยใช้ เครื่องวัดความชื้น ชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

เลขหมู่ วศ พศ
ศว ๒
เลขทะเบียน 14312
วันที่ 12 / ส.ค. / 47

โดย

นาย ประวิทย์ จงนิมิตรสถาพร

นักวิทยาศาสตร์ 6ว

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
.....ว.ศ.....

สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ.2546

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

วิธีการวัดจุดน้ำค้าง เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องวัดความชื้น ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิคงที่หนึ่งๆจะได้ค่าของอุณหภูมิ ณ จุดน้ำค้างหนึ่งค่า ดังนั้นการวัดอุณหภูมิที่จุดน้ำค้างจึงถูกกำหนดให้ใช้เป็นมาตรฐานทางด้านความชื้น ซึ่งวิธีนี้ถือว่าเป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องแม่นยำสูงสุดในปัจจุบัน และได้ทำการศึกษาทดลอง โดยได้ทำการวัดค่าของอุณหภูมิที่ จุดน้ำค้าง ที่อุณหภูมิของการปรับตั้งจากตู้สร้างความชื้นที่อุณหภูมิ 20.0 , 21.1 , 23.0 , 25.0 องศาเซลเซียส และที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20, 50 และ 80 ตามลำดับ ด้วยการผ่านอากาศชื้นเข้าสู่เครื่องมือวัดความชื้นชนิดวัดจุดน้ำค้าง(chilled mirror) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่บรรจุกระจกอยู่ภายใน แล้วทำการลดอุณหภูมิของกระจกจนถึงจุดที่เกิดการเปลี่ยนสถานะ เครื่องจะทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวกระจกโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดทองคำขาว(platinum resistance thermometer) ซึ่งให้ค่าความถูกต้องสูงและใช้เป็นมาตรฐานของห้องปฏิบัติการทางด้านมาตรวิทยา แล้วนำผลของการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ได้เปรียบเทียบกับใบรับรองการสอบเทียบเครื่องสร้างความชื้นของบริษัท Thunder Scientific Corporation และสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง ณ. ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิคงที่ ซึ่งวิธีการวัดชนิดนี้จะเป็นไปเพื่อการเปรียบเทียบความถูกต้องของเครื่องสร้างความชื้นมาตรฐานที่มีความถูกต้องสูง เนื่องจากไม่สามารถที่จะหาเครื่องมือวัดชนิดอื่นที่มีค่าความถูกต้องและมีประสิทธิภาพดีพอในการแสดงผลของการวัดทางด้านความชื้นในระบบมาตรวิทยา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
สารบัญตาราง	ก
สารบัญรูป	ข
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย	2
1.2 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	2
1.3 ระยะเวลาของการศึกษาวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2. ทฤษฎีการวัดจุดน้ำค้าง	4
บทที่ 3. เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการศึกษาทดลอง	6
3.1 เครื่องมือและ อุปกรณ์	6
3.2 วิธีการศึกษาทดลอง	6
บทที่ 4. ผลการทดลอง	8
บทที่ 5. วิจารณ์ผลการทดลอง	10
บทที่ 6. สรุปผลการศึกษาทดลอง	11
กิตติกรรมประกาศ	12
เอกสารอ้างอิง	13
ภาคผนวก	
ผนวก ก ข้อมูลดิบการวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง	14
ผนวก ข การคำนวนค่าความไม่แน่นอนของการวัด	18

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ผลการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างของการศึกษาทดลอง 8
ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างของการศึกษาทดลองที่อุณหภูมิและความชื้นคงที่ต่างๆ 9
ตารางที่ 3. ข้อมูลดิบการวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิคงที่21.1 องศาเซลเซียส 14
ตารางที่ 4. ข้อมูลดิบการวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิคงที่ 20.0 องศาเซลเซียส 15
ตารางที่ 5. ข้อมูลดิบการวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิคงที่ 23.0 องศาเซลเซียส 16
ตารางที่ 6. ข้อมูลดิบการวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิคงที่25.0 องศาเซลเซียส 17
ตารางที่ 7. การคำนวนค่าความไม่แน่นอนของการวัด 18
ตารางที่ 8. ค่าความแปรปรวน T ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 19

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. ไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบเครื่องวัดความชื้นโดยการวัดอุณหภูมิที่วัดจุดน้ำค้าง 4
รูปที่ 2. เครื่องแสดงผลการวัดความชื้นชนิดวัดจุดน้ำค้าง 5
รูปที่ 3. เครื่องวัดความชื้นชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างและชุดควบคุมการไหลของอากาศ 5
รูปที่ 4. การสอบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้าง 7
รูปที่ 5. กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างของการศึกษาทดลอง 8
รูปที่ 7. กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างของการศึกษาทดลองที่อุณหภูมิ และความชื้นคงที่ต่างๆ 9

บทที่ 1
บทนำ

ความชื้น คือ อัตราส่วนของไอน้ำที่เจือปนอยู่ในอากาศและความชื้นสัมพัทธ์เป็นค่าที่แสดงค่าความชื้นของอากาศมีหน่วย ร้อยละ หรือ ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์(%RH) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่แสดงหากมีค่าเท่ากับร้อยละ 0 จะหมายถึงสภาพที่ไม่มีไอน้ำเจือปนอยู่ในอากาศเลยและอากาศมีสภาพแห้งมาก หากมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 ก็จะแสดงถึงสภาพอากาศที่มีปริมาณไอน้ำอยู่ในระดับสูงที่สุดเท่าที่จะมีได้ หรือกล่าวได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์คืออัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่เจือปนอยู่ในอากาศ ต่อปริมาณไอน้ำอิ่มตัวในอากาศหนึ่งลูกบาศเมตร ณ อุณหภูมินั้น และเนื่องจากอิทธิพลของความชื้น ได้เข้ามามีส่วนสำคัญต่อชีวิตของมนุษย์และปัจจัยต่างๆทางเทคโนโลยีชั้นสูง เช่น การตรวจสอบอากาศในบ้านเรือน ที่ทำงาน ร้านอาหารหรือตามโรงแรม ซึ่งจะยึดถือระดับที่เหมาะสมของหน่วยงานสิ่งแวดล้อมโดยให้มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40 – 70 สำหรับในโรงงาน เช่น โรงงานทำขนมปัง โรงงานทำเยื่อกระดาษ ฯลฯ เนื่องจากมีความจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่มากับความชื้นและทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบ สินค้าที่ผลิตในเชิงอุตสาหกรรมจะได้รับอิทธิพลจากเรื่องของความชื้นไม่มากก็น้อย ทางการเกษตร แต่เดิมยึดตามความเอื้ออำนวยของสภาพพื้นที่อย่างไรก็ตามการพัฒนาทางด้านการผลิต การสร้างเรือนปลูกพืชในรูปแบบต่างๆเพื่อเพิ่มผลผลิต และจากเหตุผลเหล่านี้จึงมีการสร้างเครื่องมือวัดความชื้น เพื่อใช้ในการควบคุมสภาวะตามความจำเป็นของการใช้งาน

ปัจจุบันเครื่องมือวัดวิเคราะห์ทางด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ เครื่องวัดความชื้นชนิดตัวเลข เครื่องวัดความชื้นชนิดเส้นผม และเครื่องวัดความชื้นอื่นที่ไม่อยู่ใน 2 ประเภทข้างต้นและจากการที่ได้มีการพัฒนาให้มีความหลากหลายในด้านการใช้งาน ราคาจำหน่ายในท้องตลาดสูงหรือต่ำจึงขึ้นอยู่กับกรรมวิธีหรือเทคนิกของการผลิต เช่นการออกแบบให้ง่ายต่อการใช้งาน แต่ถ้าเป็นเครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องสูง มีอายุการใช้งานนาน มีความสามารถในการปรับตั้งหรือมีหน่วยความจำในการบันทึกค่าด้วยแล้วก็จะยิ่งมีราคาสูงมากขึ้น เครื่องวัดความชื้นหลากหลายชนิดที่ได้รับการผลิตขึ้นในปัจจุบัน มีขีดความสามารถในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วงกว้างเพื่อให้ครอบคลุมการใช้งาน แต่ค่าความถูกต้องของการใช้งานเป็นสิ่งสำคัญที่นำมาสู่การศึกษาวิธีการสอบเทียบ และถ่ายทอดความถูกต้องด้วยวิธีการที่ใช้เป็นมาตรฐานทางด้านความชื้น ซึ่งการสอบเทียบเครื่องวัดความชื้นหรือเครื่องสร้างความชื้นโดยการวัดความชื้นที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างนี้เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ห้องปฏิบัติการทางด้านความชื้นนิยมใช้ เนื่องจากเครื่องวัดความชื้นชนิดวัดจุดน้ำค้างเป็นเครื่องมือที่มีเสถียรภาพความถูกต้องสูงและถูกใช้เป็นเครื่องอ้างอิงขั้นต้น ในการถ่ายทอดค่าความถูกต้องทางด้านความชื้นให้กับเครื่องสร้างความชื้นของห้องปฏิบัติการและเป็นการขยายขีดความสามารถและยกระดับของห้องปฏิบัติการให้สูงขึ้น

1.1ปัญหาและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบัน การใช้เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิตามโรงงานอุตสาหกรรมหรือตามห้องปฏิบัติการจะต้องได้รับการสอบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือก่อนการใช้งานอยู่เสมอ เนื่องจากได้ถูกบังคับใช้ในระบบมาตรฐานคุณภาพซึ่งการควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นได้ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรหนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ถ้าผลที่ได้รับมีสาเหตุทำให้เกิดผลกระทบโดยตรงหรือโดยทางอ้อมต่อผลิตผลทางการวัดวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการหรือมีผลต่อผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรมและด้วยเหตุนี้อัตราความต้องการในการขอเข้ารับการบริการจากหน่วยงานที่ทำการสอบเทียบค่าความถูกต้องให้กับเครื่องมือควบคุมสภาวะจึงมีมากตลอดทั้งปี และเนื่องจากห้องปฏิบัติการที่ให้บริการสอบเทียบเครื่องควบคุมสภาวะมีน้อยไม่เพียงพอต่อการให้บริการแล้วพบว่ายังมีขีดความสามารถจำกัดตามพิสัยของการขอรับรองขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการและต้องมีการกำหนดช่วงระยะเวลาในการให้บริการสอบเทียบเครื่องมืออีกด้วย โดยมีสาเหตุมาจากการใช้เครื่องมือที่เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบก็อยู่ภายใต้การควบคุมตามระบบคุณภาพเช่นเดียวกัน ดังนั้นการส่งเครื่องสร้างความชื้นของห้องปฏิบัติการไปทำการสอบเทียบยังต่างประเทศเป็นประจำทุกๆปีเมื่อใบรับรองการสอบเทียบหมดอายุลง จึงเป็นการเสียเวลาที่หมดไปกับการขนส่งแล้วยังเสียค่าใช้จ่ายอย่างสูงจากการสอบเทียบใหม่รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ทางหน่วยงานนั้นๆจัดเปลี่ยนให้โดยไม่จำเป็นและจากการศึกษาทดลองการสอบเทียบความชื้นที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างนี้เป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้เป็นมาตรฐานในการถ่ายทอดความถูกต้องระหว่างเครื่องสร้างความชื้นที่มีระดับค่าความถูกต้องสูงและจะมีบทบาทสำคัญในการถ่ายทอดการสอบย้อนเพื่อให้เครื่องมือที่ใช้มีความถูกต้องตามมาตรฐานอยู่เสมอ

1.2 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงหลักการ การทำงานของเครื่องวัดจุดน้ำค้าง

1.2.2 เพื่อการศึกษาผลการวิเคราะห์ ในเชิงเปรียบเทียบความชื้นที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง จากการศึกษาทดลองกับผลการสอบเทียบจากหน่วยงานผู้ผลิต

1.2.3 ศึกษาคุณสมบัติของอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ถูกใช้เป็นมาตรฐานทางด้านความชื้น

1.3 ระยะเวลาของการศึกษาวิจัย

1 ปี 1 เดือน (ตุลาคม 2544 – ตุลาคม 2545)

แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการดำเนินการ

รายการดำเนินการ	ช่วงระยะเวลาดำเนินการวิจัย												
	2544			2545									
	ต.ค.	พ.ย	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1. รวบรวมเอกสารทางวิชาการ	←	→											
2. ศึกษาหลักการจากเอกสารอ้างอิง		←	→										
3. ดำเนินการจัดเตรียมอุปกรณ์				←	→								
4. ศึกษาการใช้เครื่องมือ						←	→						
5. เก็บข้อมูลในการศึกษาทดลอง							←	→					
6. เขียนรางานการศึกษาทดลอง									←	→	→		
7. ตรวจสอบและแก้ไขคำผิดและข้อบกพร่องต่างๆ												←	→

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 เพื่อใช้เป็นเอกสารอ้างอิงทางวิชาการและส่งเสริมความรู้ทักษะหลักการใช้เครื่องวัดความชื้นชนิดวัดจุดน้ำค้าง

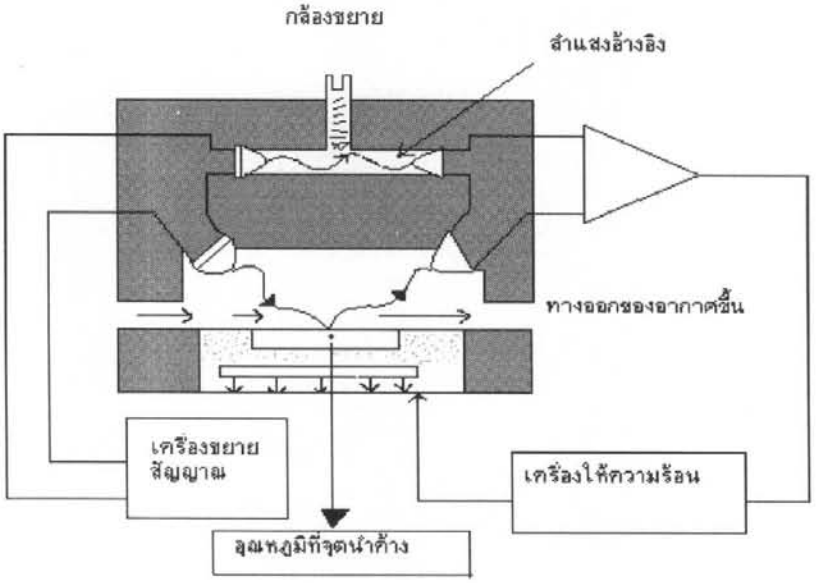
1.4.2 เป็นการขยายขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการทางด้านความชื้นในการรับรองค่าความถูกต้องให้กับเครื่องสร้างความชื้น

1.4.3 เพื่อเผยแพร่และกระตุ้นให้เกิดการผลิตเครื่องมือวัดทางด้านความชื้นของภาคอุตสาหกรรม

บทที่ 2

ทฤษฎีการวัดความชื้นโดยการวัดอุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง

การวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างโดยการวัดอุณหภูมิผิวกระจกโดยใช้เทคนิคการวัดแสง ดังแสดงในรูปที่ 1....



รูปที่ 1 ไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบเครื่องวัดความชื้นโดยการวัดอุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง

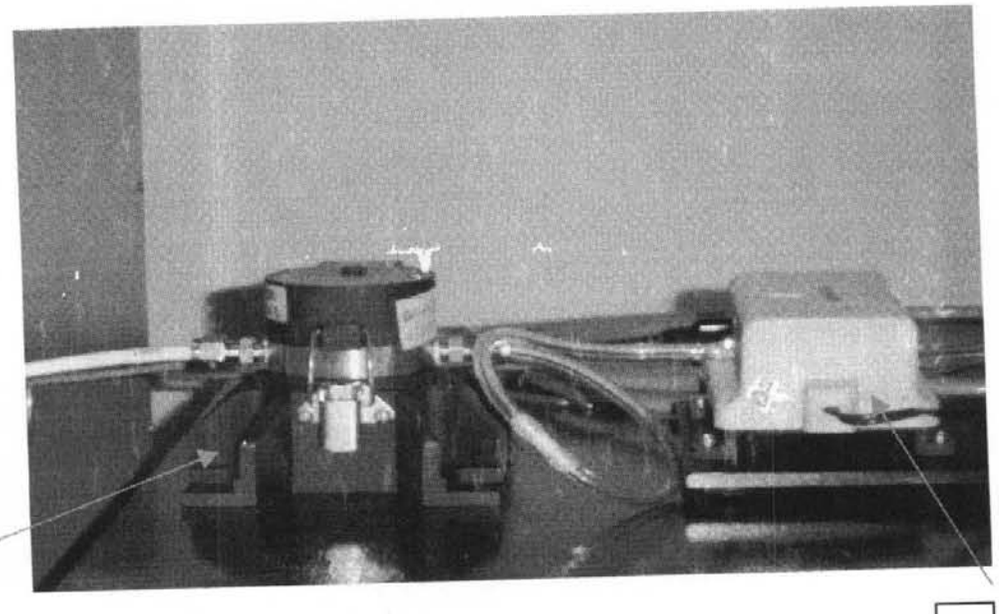
ซึ่งแสดงแผนภาพของเครื่องมือวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างโดยการลดอุณหภูมิของผิวกระจก

อากาศชื้นจะไหลผ่านเข้าสู่ห้องแคบๆที่มีกระจกอยู่ภายในแล้วลดอุณหภูมิของกระจกจนทำให้เกิดฝ้าของหยดน้ำ เครื่องมือวัดจะทำการวัดค่าของอุณหภูมิที่กระจกโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดทองคำขาววัดอุณหภูมิ ระบบการวัดจะใช้จากการอ่านค่าปฏิกิริยาการสะท้อนของหลอดไฟส่องสว่างบันทึกการเกิดฝ้าบนกระจก ซึ่งประกอบด้วยส่วนแผ่รังสีและส่วนรับรังสี 2 ชุด โดยชุดหนึ่งรับรังสีโดยตรงและอีกชุดหนึ่งรับรังสีสะท้อนกระจก

วงจรของส่วนแผ่รังสีและส่วนรับรังสีเป็นวงจรแบบบริดจ์สมดุล คือในกรณีที่ไม่มีหยดน้ำเกิดขึ้นบนกระจก วงจรจะอยู่ในสมดุล แต่เมื่อมีหยดน้ำเกาะบนกระจก การสะท้อนแสงที่บนกระจกจะไม่เป็นระเบียบทำให้ปริมาณรังสีที่ได้รับลดลงวงจรที่สมดุลจะเสียไป ทำให้ทราบได้ว่าเกิดหยดน้ำมาเกาะ

เนื่องจากหยดน้ำบนผิวกระจกเกิดการระเหยได้จึงต้องทำการควบคุมอุณหภูมิผิวกระจกให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้ปริมาณหยดน้ำลดลงนอกจากนี้เครื่องมือยังประกอบด้วยส่วนของกล้องขยาย ซึ่งจะช่วยยืนยันว่ามีการเกิดหยดน้ำบนกระจก

รูปที่ 2 เครื่องแสดงผลการวัดความชื้นชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง



รูปที่ 3 1) เครื่องวัดความชื้นชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง 2)ชุดควบคุมการไหลของอากาศ

บทที่ 3
เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการศึกษาทดลอง

3.1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.เครื่องวัดความชื้นชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-Point Hygrometer) ระบบทางเข้า-ออก 2 ทาง

ประกอบด้วย เครื่องรับสัญญาณ(sensor) ยี่ห้อ GENERAL EASTERN รุ่น D – 2 หมายเลขเครื่อง 2460202 ชุดแสดงผล ยี่ห้อ OMEGA รุ่น RHB –2A หมายเลขเครื่อง 0980402

2.เครื่องสร้างความชื้นแบบวัดค่าความดันสัมพัทธ์

เครื่องสร้างความชื้นสัมพัทธ์แบบวัดค่าความดันสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Thunder scientific corporation รุ่น 2500 หมายเลขเครื่อง 9211019 ใช้เป็นแหล่งจ่ายความชื้นและอุณหภูมิ ซึ่งจะมีชุดรับสัญญาณภายใน สามารถแสดงค่าของการสร้างความชื้นได้โดยการป้อนค่าความชื้นและอุณหภูมิที่ต้องการ โดยเครื่องจะทำงานระบบอัตโนมัติแสดงผลที่จอภาพ(display)

3.2.วิธีการศึกษาทดลอง

1.จัดวางเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสอบเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 4 คือต่อท่อส่งผ่านการไหลของอากาศเข้าสู่เครื่องวัดความชื้นชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับชุดควบคุมการไหลของอากาศ

2.ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (power supply)ให้กับเครื่องสร้างความชื้นแบบวัดค่าความดันสัมพัทธ์ และเครื่องวัดความชื้นชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง เปิดสวิสท์เครื่องเพื่อเริ่มการใช้งาน

3. เปิดสวิสท์เครื่องสร้างความชื้นแบบวัดค่าความดันสัมพัทธ์ ทำการป้อนแหล่งจ่ายอุณหภูมิที่ 21.1 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ทำการสอบเทียบร้อยละ 20 ,50 และ 80 ความชื้นสัมพัทธ์ตามลำดับ

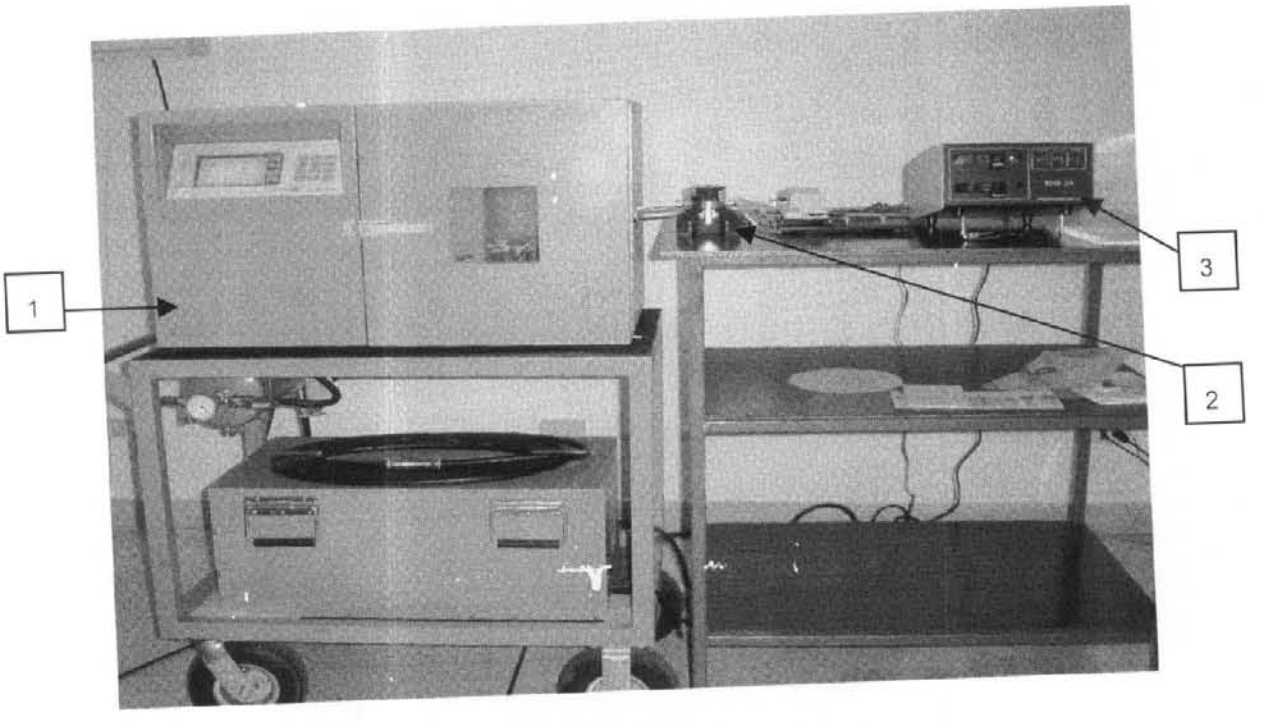
4.ก่อนทำการวัดค่าความชื้นสัมพัธ์ต้องให้ค่าอุณหภูมิและความชื้นในการปรับตั้งคงที่สามารถสังเกตุได้จากค่าที่แสดงบนจอภาพและเมื่อจะทำการอ่านค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง โดยการเปิดสวิสท์ชุดควบคุมการไหลของอากาศเพื่อนำความชื้นที่ได้จากการเตรียมเข้าสู่ชุดรับสัญญาณค่าที่อ่านจากเครื่องแสดงผลจะลดลงอย่างช้าๆจนถึงจุดคงที่

5.บันทึกข้อมูลจากการวัดค่าอุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง โดยทำการวัด 15 ครั้งต่ออุณหภูมิและความชื้น 1 จุด

6.คำนวนค่าความไม่แน่นอนของการวัดเพื่อใช้ในการถ่ายทอดค่าความถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

7.นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

8.เป็นการปฏิบัติซ้ำข้อ1-7 โดยกำหนดค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบที่ 20.0,23.0 และ25.0 องศาเซลเซียสความชื้นที่ทำการสอบเทียบร้อยละ 20 ,50และ 80 ความชื้นสัมพัทธ์ตามลำดับ



รูปที่ 4 การสอบเทียบอุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง

1) เครื่องสร้างความชื้นแบบวัดค่าความดันสัมพัทธ์

2) เครื่องวัดความชื้นชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

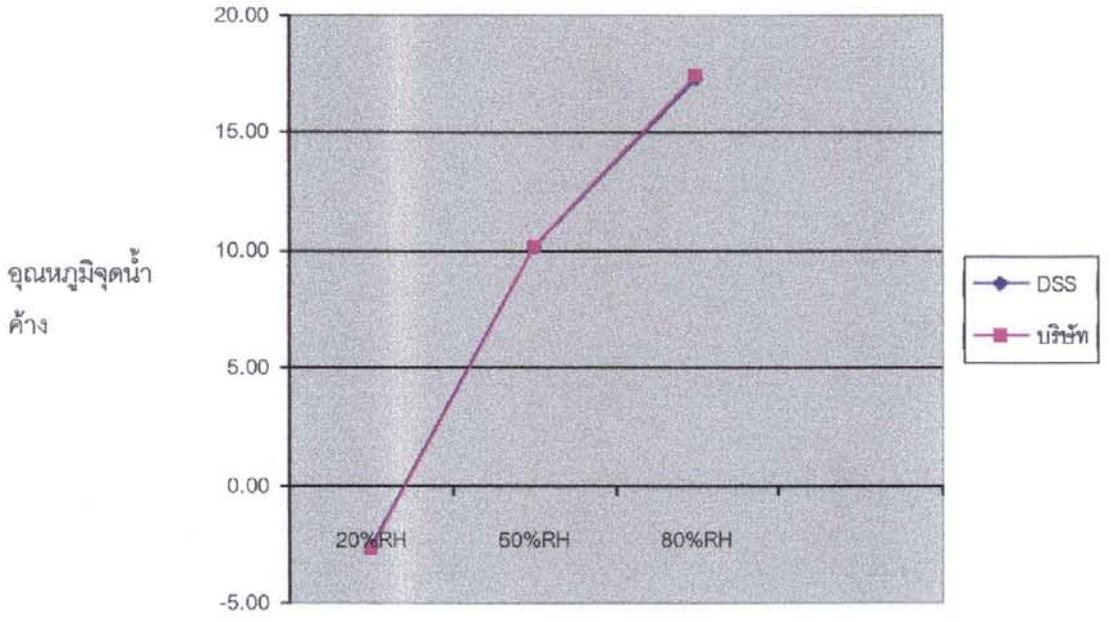
3) ชุดควบคุมการไหลของอากาศ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1ขั้นตอนวิธีการ

1.การเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่วัดโดยบริษัท Thunder scientific corporation และจากการศึกษาทดลอง



รูปที่ 5 กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างจากการศึกษาทดลอง

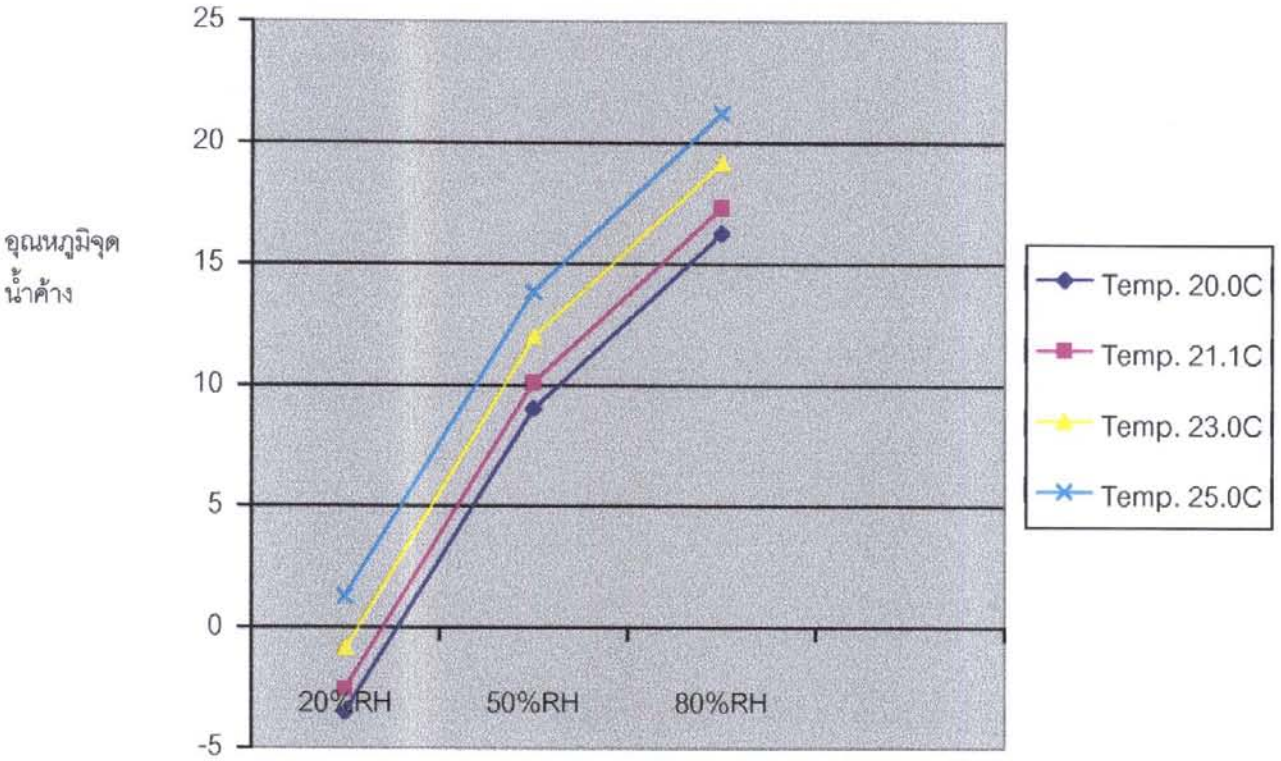
กราฟแสดงผลการสอบเทียบเครื่องสร้างความชื้น ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่อุณหภูมิ 21.10 องศาเซลเซียส และความชื้น 20%,50% และ 80% โดยการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งทำการ สอบเทียบโดยใช้เครื่องวัดความชื้นชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ที่ได้รับการสอบเทียบค่าความถูกต้องจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ(ประเทศไทย)

ตารางที่ 1 แสดงผลการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างจากการศึกษาทดลองเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่วัดโดยบริษัท Thunder scientific corporation

ความชื้นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 21.1 ^{o}C	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ที่อ่านได้	ค่าความไม่แน่นอน	อุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง ของบริษัท
20 %RH	-2.56	$\pm$ 0.21	-2.72
50 %RH	10.12	$\pm$ 0.21	10.15
80 %RH	17.31	$\pm$ 0.21	17.40

ผลการทดลอง

2. การศึกษาลักษณะทิศทางของอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ



ความชื้นสัมพัทธ์

รูปที่ 2 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ความชื้นและอุณหภูมิคงที่ต่างๆ

ตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ความชื้นและอุณหภูมิคงที่ต่างๆ

อุณหภูมิคงที่จากการทดลอง	อุณหภูมิ ณ.จุดน้ำค้างที่ความชื้นต่างๆ (องศาเซลเซียส)					
	20%RH	ความไม่แน่นอน	50%RH	ความไม่แน่นอน	80%RH	ความไม่แน่นอน
20.0 °C	-3.50	± 0.21	9.04	± 0.21	16.26	± 0.21
21.1 °C	-2.56	± 0.21	10.12	± 0.21	17.31	± 0.21
23.0 °C	-0.87	± 0.21	12.01	± 0.21	19.15	± 0.21
25.0 °C	1.28	± 0.21	13.89	± 0.21	21.22	± 0.21

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองการวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างโดยการกำหนดค่าคงที่ของอุณหภูมิที่ 21.1องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20, 50 และ 80 และเมื่อได้เปรียบเทียบกับผลการวัดของบริษัท Thunder scientific Corporation ที่สอบเทียบเครื่องสร้างความชื้นแล้วผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันคือมีผลต่างจากการสอบเทียบเมื่อปี ค.ศ. 1999 ที่ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20 ผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างเท่ากับ 0.16 องศาเซลเซียส ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างเท่ากับ 0.03 องศาเซลเซียส และที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 ผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างเท่ากับ 0.07 องศาเซลเซียส ซึ่งยังคงอยู่ภายใต้ขอบเขตค่าความถูกต้องของการวัดอุณหภูมิของเครื่อง วัดความชื้นชนิดวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง คือมีค่าความถูกต้องที่ (accuracy) $\pm$ 0.2 องศาเซลเซียส และถ้าพิจารณาว่าการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างไม่มีค่าความเบี่ยงเบนเลย แสดงให้เห็นได้ว่าแหล่งจ่ายความชื้นสัมพัทธ์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการจากเครื่องสร้างความชื้นยังคงให้ค่าความถูกต้อง แต่ถ้าผลจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิเปลี่ยนไปทั้งในทางบวกและทางลบเกินกว่าขอบเขตค่าความไม่แน่นอนแล้ว จะเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นสัมพัธ์จากเครื่องสร้างความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20, 50 และ 80 มีความเบี่ยงเบนไปจากเดิม เนื่องจากความสัมพันธ์จากผลของการทดลองคือ เมื่อค่าความชื้นสูงขึ้นหรือต่ำลงจะมีผลทำให้อุณหภูมิจุดน้ำค้างเปลี่ยนแปลงไปในทางที่สูงขึ้นหรือต่ำลงด้วย และจากผลของการวัดที่มีความแตกต่างไปจากเดิมนี้อาจมีผลมาจากการควบคุมสภาวะทางด้านความดันของบรรยากาศซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของประเทศนั้นๆ และจากผลของการศึกษาทดลองการเปรียบเทียบผลของการวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างและการศึกษาถึงคุณสมบัติของอุณหภูมิจุดน้ำค้างให้ผลเป็นที่น่าพอใจเพราะเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาทดลองเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องสูงจึงไม่เห็นค่าความแตกต่างในการเปรียบเทียบผลมากนักและจากการเก็บข้อมูลในการวัดโดยทำการวัดอย่างต่อเนื่องจะมีผลให้ข้อมูลที่ได้มีความผิดพลาดเนื่องจากเกิดการสะสมและจะเกิดเป็นหยดน้ำที่ผิวกระจกดังนั้นจากการศึกษาทดลองเมื่อพบสิ่งผิดสังเกตุคือค่าที่ได้ของการวัดต่ำหรือสูงผิดปกติจากค่าเดิมจึงต้องทำการเช็ดหรือระเหยน้ำโดยให้ความร้อนกับผิวกระจกเพื่อปรับสภาพให้พร้อมที่จะทำการวัดในครั้งต่อไป

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษาทดลอง

6. สรุปผลการศึกษาทดลอง

6.1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ 21.1 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับผลการสอบเทียบในใบรับรองผลที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เดียวกันการศึกษาทดลองผลการวัดค่าอุณหภูมิที่จุดน้ำค้างที่ 21.1 องศาเซลเซียส โดยได้ทำการปรับตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 20 , 50 และ 80 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการสอบเทียบในใบรับรองผลที่จุดของการสอบเทียบที่จุดเดียวกัน ซึ่งให้การรับรองโดย บริษัท Thunder Scientific Corporation อ้างอิงการสอบย้อนไปยังสถาบันมาตรวิทยาระดับสากล NIST ผลของการวัดอุณหภูมิที่จุดน้ำค้างมีค่าที่ได้ใกล้เคียงกันและลักษณะของเส้นกราฟที่ได้เกือบจะเหมือนกัน และถ้ากำหนดขอบเขตของความไม่แน่นอนของเครื่องสร้างความชื้นของกรมวิทยาศาสตร์บริการและเครื่องอ่านอุณหภูมิที่จุดน้ำค้างเข้าด้วยกันแล้วจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่ได้จากใบรับรองของบริษัทยังคงอยู่ในเส้นขอบเขตของความไม่แน่นอนนี้ ซึ่งจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าแหล่งจ่ายทางด้านความชื้นของกรมวิทยาศาสตร์บริการยังคงมีค่าความถูกต้องอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

6.2 ลักษณะทิศทางของเส้นกราฟแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจุดน้ำค้างอย่างมีระบบคือ

- เมื่อค่าความชื้นสูงขึ้นอุณหภูมิที่จุดน้ำค้างมีการเพิ่มขึ้น
- อุณหภูมิที่ปรับตั้งไว้คงที่ ณ.ค่าความชื้นต่างๆเมื่อได้รับการเปลี่ยนแปลงให้มีค่าที่สูงขึ้นก็จะทำให้อุณหภูมิของจุดน้ำค้างเพิ่มขึ้นด้วย

และจากผลของกราฟที่ค่าของการปรับตั้งอุณหภูมิต่างๆยังสามารถบอกได้ว่าเส้นกราฟมีลักษณะเหมือนเส้นขนาน ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าในช่วงของการศึกษาทดลองนี้เส้นกราฟที่ได้จะไม่มีการตัดกันหรือกล่าวได้ว่าค่าของการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะไม่มีค่าใดเลยที่ซ้ำกัน และจากเหตุผลของคุณสมบัตินี้การวัดอุณหภูมิของจุดน้ำค้างจึงถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานทางด้านความชื้นในปัจจุบันและถูกนำมาใช้เป็นตัวกลาง โดยใช้เป็นเครื่องมือวัดผลเพื่อการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องจากแหล่งสร้างความชื้นที่ต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ งานสอบเทียบฯ ทุกๆท่านที่ช่วยให้คำติชมการทำงานและเป็นแรงส่งเสริมการทำงานในครั้งนี้

ขอขอบคุณ นาย วันชัย ชินชูศักดิ์ ที่ช่วยแนะนำการใช้คอมพิวเตอร์ในการจัดรูปแบบรายงานการศึกษาทดลอง

ขอขอบคุณกลุ่มงานสอบเทียบทางด้านมิติที่ได้ช่วยเหลือในการถ่ายรูปเครื่องมือและอุปกรณ์ประกอบการศึกษาทดลอง

ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งเป็นสถานที่ที่ใช้ในการทำงานการศึกษาทดลองรวมไปถึงอุปกรณ์เครื่องมือในการดำเนินการตั้งแต่เริ่มต้นจนผลการดำเนินงานเสร็จสิ้นลง

เอกสารอ้างอิง

1. Technology Promotion Institute ,*Humidity Measurement and Calibration*, October 19-21, 2000
2. OMEGA,*RHB-2+ DEW POINT MONITOR Operator 's Manual*, U.S.A

ภาคผนวก

ผนวก ก

ข้อมูลดิบการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

ตารางที่ 3 ข้อมูลดิบการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิคงที่ 21.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20,50และ80

2500 Humidity Generator S/N 9211019		Dew-point hygrometer(Chilled mirror) Sensor S/N : 2460202 ,Controller S/N : 0980402		
ค่าความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิ. °C	ค่าความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิที่อ่านได้	อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อ่านได้
20.0	21.1	20.0 , 20.0 , 20.0 20.1 ,20.0 , 19.7 19.8 , 19.8 , 20.0 19.8 , 19.7 , 19.6 19.8 , 19.7 , 19.6 ค่าเฉลี่ย = 19.84	21.1	- 2.5 , - 2.6 , - 2.7 , - 2.6 , - 2.6 - 2.6 , - 2.7 , - 2.7 , - 2.7 ,- 2.6 - 2.6 , - 2.7 , - 2.7. - 2.7 , - 2.7 ค่าเฉลี่ย = -2.65 ค่าเบี่ยงเบน = 0.064
50.0	21.1	49.6,49.5,49.4 49.5,49.6,49.2 49.3,49.4,49.3 49.4,49.5,49.6 49.5,49.5,49.6 ค่าเฉลี่ย = 49.46	21.1	10.2 , 10.1 , 10.2 , 10.1 , 10.0 10.1 , 10.2 , 10.1 , 10.0 ,10.2 10.1 , 10.2 , 10.1 , 10.1 , 10.1 ค่าเฉลี่ย = 10.12 ค่าเบี่ยงเบน = 0.068
80.0	21.1	79.4 , 79.4 , 79.5 79.7 , 79.7 , 79.7 80.0 , 80.1 , 80.0 80.1, 80.0, 80.1 80.1, 80.1, 80.1 ค่าเฉลี่ย = 79.86	21.1	17.3 , 17.3 , 17.3 ,17.3 , 17.3 17.2 , 17.2 , 17.2 , 17.3 , 17.4 17.4 , 17.4 , 17.3 , 17.3 , 17.4 ค่าเฉลี่ย = 17.31 ค่าเบี่ยงเบน = 0.066

ตารางที่ 4 ข้อมูลดิบการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิคงที่ 20.0 °Cความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20,50และ80

2500 Humidity Generator S/N 9211019		Dew-point hygrometer(Chilled mirror) Sensor S/N : 2460202 ,Controller S/N : 0980402		
ค่าความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิ °C	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้	อุณหภูมิที่อ่านได้	อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อ่านได้
20.0	20.0	20.2,20.1,20.0 20.0,19.9,20.0 19.8,19.7,19.6 19.6,19.5,19.5 19.4,19.6,19.4 ค่าเฉลี่ย = 19.75	20.0	- 3.5,- 3.4,- 3.4,- 3.5,- 3.5 - 3.5,- 3.5,- 3.4,- 3.5,- 3.5 -3.6,- 3.6,- 3.5,- 3.6,- 3.5 ค่าเฉลี่ย = -3.5 ค่าเบี่ยงเบน = 0.065
50.0	20.0	49.6,49.5,49.4 49.5,49.6,49.2 49.3,49.4,49.3 49.4,49.5,49.6 49.5,49.5,49.6 ค่าเฉลี่ย = 49.46	20.0	9.0,9.0,9.0,9.0,9.0 9.1,9.1,9.1,9.0,9,0 9.0,9.1,9.1,9.0,9.1 ค่าเฉลี่ย = 9.04 ค่าเบี่ยงเบน = 0.051
80.0	20.0	79.1,79.2,79.3 79.2,79.3,79.3 79.1,79.2,79.3 79.2,79.3,79.3 79.2,79.3,79.3 ค่าเฉลี่ย = 79.24	20.0	16.3,16.3,16.4,16.3,16.3 16.3,16.2,16.3,16.3,16.2 16.2,16.2,16.2,16.2,16.2 ค่าเฉลี่ย = 16.26 ค่าเบี่ยงเบน = 0.063

ตารางที่ 5 ข้อมูลดิบการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิคงที่ 23.0 °Cความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20,50และ80

2500 Humidity Generator S/N 9211019		Dew-point hygrometer(Chilled mirror) Sensor S/N : 2460202 ,Controller S/N : 0980402		
ค่าความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิ °C	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้	อุณหภูมิที่อ่านได้	อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อ่านได้
20.0	23.0	20.2 , 20.1 , 20.1 20.1 , 20.1 , 20.1 20.2 , 20.1 , 20.1 20.2 , 20.2 , 20.2 20.2 , 20.2 , 20.2 ค่าเฉลี่ย = 20.15	23.0	- 0.9 , - 0.9 , - 0.9 – 0.8 , - 0.8 - 0.9 , - 0.9 , - 0.9 – 0.8 , - 0.8 - 0.9 , - 0.9 , - 0.9 – 0.9 , - 0.9 ค่าเฉลี่ย = -0.87 ค่าเบี่ยงเบน = 0.045
50.0	23.0	49.7,49.8,49.6 49.5,49.6,49.5 49.5,49.4,49.5 49.6,49.6,49.6 49.6,49.7,49.5 ค่าเฉลี่ย = 49.58	23.0	12.0,12.1,12.0,12.0,12.0 11.9,11.9,12.0,12.0,12,0 12.0,12.1,12.1,12.0,12.1 ค่าเฉลี่ย = 12.01 ค่าเบี่ยงเบน = 0.064
80.0	23.0	79.2 , 79.2 , 79.2 79.0 , 78.9 , 78.9 79.0 , 79.1 , 79.0 79.2, 79.1, 79.1 79.2, 79.0, 79.1 ค่าเฉลี่ย = 79.08	23.0	19.1 , 19.1 , 19.1 ,19.2 , 19.1 19.2 , 19.1 , 19.2 , 19.2 , 19.2 19.0 , 19.2 , 19.1 , 19.2 , 19.2 ค่าเฉลี่ย = 19.15 ค่าเบี่ยงเบน = 0.064

ตารางที่ 6 ข้อมูลดิบการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิคงที่ 25.0 °Cความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20,50และ80

2500 Humidity Generator S/N 9211019		Dew-point hygrometer(Chilled mirror) Sensor S/N : 2460202 ,Controller S/N : 0980402		
ค่าความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิ °C	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้	อุณหภูมิ ที่อ่านได้	อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อ่านได้
20.0	25.0	20.2 , 20.1 , 20.1 20.1 , 20.1 , 20.1 20.2 , 20.1 , 20.1 20.2 , 20.2 , 20.2 20.2 , 20.2 , 20.2 ค่าเฉลี่ย = 20.15	25.0	1.3 , 1.2 , 1.3 , 1.2 , 1.3 1.3 , 1.3 , 1.3 , 1.3 , 1.3 1.3 , 1.3 , 1.3 , 1.2 , 1.3 ค่าเฉลี่ย = 1.28 ค่าเบี่ยงเบน = 0.036
50.0	25.0	49.7,49.8,49.6 49.5,49.6,49.5 49.5,49.4,49.5 49.6,49.6,49.6 49.6,49.7,49.5 ค่าเฉลี่ย = 49.58	25.0	13.9 , 13.9 , 13.9 , 13.9 , 13.9 13.9 , 13.9 , 13.8 , 13.8 , 13.9 13.9 ,13.9 ,13.9 , 13.9 , 13.9 ค่าเฉลี่ย = 13.89 ค่าเบี่ยงเบน = 0.035
80.0	25.0	79.6 , 79.6 , 79.6 79.5 , 79.5 , 79.5 79.5 , 79.5 , 79.2 79.2, 79.4, 79.4 79.2, 79.3, 79.3 ค่าเฉลี่ย = 79.42	25.0	21.3 , 21.2 , 21.2 , 21.2 , 21.2 21.2 , 21.3 , 21.2 , 21.2 , 21.2 21.2 , 21.2 , 21.3 , 21.2 , 21.2 ค่าเฉลี่ย = 21.22 ค่าเบี่ยงเบน = 0.041

ผนวก ข

การคำนวนค่า ความไม่แน่นอน ของการวัด

ตารางที่ 7 การคำนวนค่า ความไม่แน่นอน ของการวัด

สัญลักษณ์	ที่มาของความไม่แน่นอน (Source of Uncertainty)	แสดงค่า ± (^{0} C)	ความน่าจะเป็น (Probability)	เลขหาร (Divisor)	แสดงค่า ± (^{0} C)	องศาอิสระ (V_i or V_{eff}) V_i= n-1
U_S	ค่าความถูกต้องของเครื่องวัดจุดน้ำค้าง (accuracy)	0.2	ปกติ	2	0.1	α
U_R	ค่าการวัดละเอียดของเครื่องแสดงผล(0.1/2)	0.05	รูปสี่เหลี่ยม	$\sqrt{3}$	0.0288	α
Ur	ค่าการวัดซ้ำ	Stdv / $\sqrt{n}$	ปกติ	1	U_i	14
$U_{Combined}$	ความไม่แน่นอนรวม	-	-	-	U_{e1}	>100
$U_{expanded}$	ความไม่แน่นอนขยายที่ 95%			K = 2	2 x U_{e1}	

n = 15

$$U^2_{e1} = U^2_S + U^2_R + U^2_r$$

$$\text{degree of freedom } (V_{eff}) = \frac{U^4_{ej}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{U^4_i}{V_i}} \qquad (1)$$

*หมายเหตุ ในกรณีที่ $\frac{Stdv}{\sqrt{n}} < 0.5$ และค่าของ n มากกว่า 2 สมาการนี้ไม่ต้องนำมาใช้

แทนค่าจากการคำนวนที่ค่าความชื้นต่างๆ และจะนำมาใช้ เป็นค่า coverage factor (k)=2 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอย่าง การคำนวนค่าความไม่แน่นอนของการวัดอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิ 21.1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 20

$$U^2_{e1} = U^2_S + U^2_R + U^2_r$$

$$U^2_{e1} = (0.01)^2 + (0.0288)^2 + (0.064/\sqrt{15})^2$$

$$U^2_{e1} = 0.01 + 0.00083 + 0.00027$$

$$U_C = U_{e1} = 0.105$$

ความไม่แน่นอนขยายที่ร้อยละ95 = 0.21

ตารางที่ 8 ค่าความแปรปรวน T ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (the t distribution table appropriate to a level of confidence of 95 %)

แสดงผลค่า K : K = t (V_{eff})

V_{eff}	1	2	3	4	5	6	7
$t(V_{eff})$	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43

V_{eff}	8	10	12	14	16	18	20
$t(V_{eff})$	2.37	2.28	2.23	2.20	2.17	2.15	2.13

V_{eff}	30	40	50	60	80	100	
$t(V_{eff})$	20.9	2.06	2.05	2.04	2.03	2.02	2.00

ความไม่แน่นอนของการวัด(Standard of measurement)

การวิเคราะห์จากจำนวนประชากร (Estimated population): S_x

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - x\right)^2}$$

ความแปรปรวนของการวัดซ้ำ = $\frac{S_x}{\sqrt{n}}$

หน่วยย่อยการอ่านค่าตัวเลข (resolution) : σ_x

ค่ากึ่งกลาง = $\frac{\sigma_x}{2}$

ค่าความไม่แน่นอนหน่วยย่อยของการวัด $U_r = \frac{\sigma_x}{2\sqrt{3}} = 0.29\sigma_x$