**รายงานฉบับสมบูรณ์**

# การพัฒนาระบบเพื่อลดค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มมาตรฐานด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิตอล

The Developed System for Minimising the Uncertainty of Electronic Balance and Mass Calibration by Digital Microscope

**รหัสโครงการ**

SCH-NR2011-361

**จิตตกานต์ อินเที่ยง**
**กรมวิทยาศาสตร์บริการ**

**รายงานฉบับสมบูรณ์**

# การพัฒนาระบบเพื่อลดค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องชั่ง และตุ้มมาตรฐานด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิตอล

The Developed System for Minimising the Uncertainty of Electronic Balance and Mass Calibration by Digital Microscope


**รายนามผู้วิจัย**

นางจิตตกานต์ อินเที่ยง

กรมวิทยาศาสตร์บริการ



วันเริ่มต้นโครงการ 1 กันยายน 2555

วันสิ้นสุดโครงการ 31 สิงหาคม 2556


( / **ตรวจสอบเนื้อหาแล้ว**)

**กิตติกรรมประกาศ**

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก

ศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2554

และ

กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ทดสอบ

โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ปี พ.ศ. ที่ได้รับทุน 2554

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงผลกระทบของความสามารถในการชั่งซ้ำและการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจานในการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักซึ่งมีผลกระทบต่อค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ตรงตำแหน่งเดิมและอยู่ตรงกลางจานโดยเทคนิคการใช้กล้องพร้อมโปรแกรมวิเคราะห์รูปภาพเพื่อทำการระบุตำแหน่งเดิมในการชั่งซ้ำและตำแหน่งกลางจานของเครื่องชั่งได้ จากนั้นจะทำการนำระบบนี้ไปประยุกต์ใช้ในการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนัก ค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการสอบเทียบโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการสอบเทียบโดยไม่มีระบบนี้ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการลดค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องชั่งที่มีอยู่โดยไม่จำเป็นต้องซื้อเครื่องชั่งที่มีระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ตรงกลางจานที่มีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ



คำสำคัญ (Key Words) – ความสามารถในการชั่งซ้ำ, การวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน, การสอบเทียบ, ค่าความไม่แน่นอน, เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์, ตุ้มน้ำหนัก

## Abstract

This research project aims to study the effect of repeatability and eccentricity test on the uncertainty estimation for electronic balance and mass calibration. The system used to assist the weighing at same position and at the center of the balance pan will be developed. This developed system will utilise the digital microscope and the image analysing program in order to identify the same position and the center of the balance pan so that the measurement can be repeated. The electronic balance and mass calibration will be performed by using this system and the uncertainty value will be evaluated. The comparison will be made between the uncertainty value obtained from calibrating with and without the developed system. The results will show that the uncertainty of electronic balance and mass calibration will be minimized by using the developed system. Moreover, this system can be applied to the existing balance without requiring the expensive balance come with the centermatic system.



Key Words – repeatability, eccentricity, calibration, uncertainty, electronic balance, mass

# สารบัญเรื่อง


| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| สารบัญเรื่อง | ง |
| สารบัญภาพ | จ |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| นิยามศัพท์ | ช |
| 1. บทนำ | 1 |
| 2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย | 1 |
| 3. การทบทวนวรรณกรรม | 2 |
| 4. การออกแบบการวิจัย | 3 |
| 5. ขอบเขตของการวิจัย | 3 |
| 6. ระเบียบวิธีวิจัย | |
| 6.1 ทฤษฎี กรอบแนวคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย | 4 |
| 6.2 อุปกรณ์ เครื่องมือ และเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการวิจัย | 6 |
| 6.3 ขั้นตอนวิธีการวิจัย | 7 |
| 7. ผลการวิจัย | |
| 7.1 การสอบเทียบเครื่องชั่ง | 8 |
| 7.2 การสอบเทียบตุ้มน้ำหนัก | 11 |
| 8. สรุปผล | 12 |
| 9. ปัญหาและอุปสรรค | 12 |
| 10. บรรณานุกรม | 13 |
| 11. ภาคผนวก | 14 |
| ประวัตินักวิจัย | 47 |

**สารบัญภาพ**

หน้า


ภาพที่ 1 ระบบที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน 8

ภาพที่ 2 กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล (Digital Microscope) ยี่ห้อ Dino-Lite รุ่น AM-4113ZT 14

ภาพที่ 3 โปรแกรม DinoCapture 2.0 15

ภาพที่ 4 ขาตั้งสำหรับกล้องจุลลทรรศน์ดิจิตอลรุ่น MS-36B 15

ภาพที่ 5 เสาต่อขาตั้งกล้อง (Pole for Stand) 16

ภาพที่ 6 ภาพจานชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล 17

ภาพที่ 7 การใช้คำสั่ง Three Points Circle วาดเส้นรอบวงของจานชั่งน้ำหนักเพื่อแสดงตำแหน่งจุดศูนย์กลาง 17

ภาพที่ 8 แสดงภาพตุ้มน้ำหนักที่อยู่บนจานชั่งน้ำหนักเมื่อทำการวางให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของตุ้มน้ำหนักอยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจานชั่งน้ำหนัก 18

ภาพที่ 9 การใช้คำสั่ง Three Points Circle วาดเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักที่อยู่บนจานชั่งน้ำหนัก 18

ภาพที่ 10 แสดงภาพเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักที่ถูกนำมาวางบนจานชั่งน้ำหนักก่อนหน้านี้ 19

ภาพที่ 11 แสดงภาพของการวางตุ้มน้ำหนัก 2 ตุ้มบนจานชั่งน้ำหนัก 19

ภาพที่ 12 แสดงภาพการวาดเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักทั้งสองที่วางบนจานชั่งน้ำหนัก 20

ภาพที่ 13 แสดงภาพเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักทั้งสองที่วางบนจานชั่งน้ำหนักหลังจากนำตุ้มน้ำหนักออก 20

**สารบัญตาราง**

หน้า

ตารางที่ 1 เครื่องชั่งที่นำมาใช้ในงานวิจัย 7

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักขณะที่ไม่มีการใช้ระบบ และมีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตรงตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน 9

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักขณะที่ไม่มีการใช้ระบบ และมีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตรงตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน 11

## นิยามศัพท์

**การสอบเทียบ** (Calibration)
ชุดของการดำเนินการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ชี้บอกโดยเครื่องมือวัดหรือระบบการวัด หรือค่าที่แสดงของวัสดุอ้างอิง กับค่าของตัวมาตรฐานการวัด

**ค่าความไม่แน่นอน** (Uncertainty)
พารามิเตอร์ที่ไม่ใช่จำนวนลบที่ใช้บ่งบอกลักษณะเฉพาะของการกระจายของค่าปริมาณต่างๆของสิ่งที่ถูกวัด สิ่งหนึ่งซึ่งกำหนดไว้บนพื้นฐานของข้อมูลที่ใช้

**มวล** (Mass)
ปริมาณของเนื้อสารที่รวมตัวกันอยู่ในวัตถุนั้น มวลของวัตถุมีค่าคงที่ ไม่ว่าวัตถุนั้นจะอยู่ที่ใด มวลมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

**ตุ้มน้ำหนัก** (Weight)
ชิ้นวัตถุที่ผลิตขึ้นให้มีน้ำหนักคงที่ตามขนาดต่างๆที่กำหนด และมีค่าระบุเป็นเลขจำนวนเต็ม เช่น 1 mg, 20 mg, 500 mg, 1 kg เป็นต้น

**ค่าความจุ** (Capacity)
ค่าน้ำหนักสูงสุดที่เครื่องชั่งสามารถรับได้ บางครั้งแสดงด้วยคำว่า ‘Max’

**ความสามารถในการอ่าน** (Readability)
ค่าผลต่างของค่าน้ำหนักที่น้อยที่สุดที่เครื่องชั่งสามารถแสดงได้

**ความสามารถในการชั่งซ้ำ** (Repeatability)
ความสามารถของเครื่องชั่งในการแสดงค่าน้ำหนักค่าเดิมเมื่อทำการชั่งซ้ำๆหลายครั้งภายใต้เงื่อนไขเดิม

**ค่าความเป็นเชิงเส้น** (Linearity)
ความสามารถของเครื่องชั่งในการแสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างค่าน้ำหนักของวัตถุที่นำมาชั่งกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง

## 1. บทนำ

ปัจจุบันเครื่องชั่งได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้น ทั้งในส่วนของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ ภาคอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ อุตสาหกรรมยา เป็นต้น ดังนั้นเครื่องชั่งที่ใช้งานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้อง ในการที่จะตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของเครื่องชั่งนั้น จะต้องทำการสอบเทียบเครื่องชั่งนั่นเองโดยที่จะใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานมาทำการตรวจสอบ หัวข้อหนึ่งในการสอบเทียบเครื่องชั่งคือการหาค่าความคลาดเคลื่อนของการชั่ง ณ ค่าน้ำหนักต่างๆ และในการหาค่านี้จะต้องทำการชั่งน้ำหนัก ณ ค่าที่ต้องการซ้ำๆ จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของค่าน้ำหนัก และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อนำไปหาค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องชั่ง ณ ค่าน้ำหนักนั้นต่อไป ซึ่งการชั่งซ้ำนี้จะต้องทำการชั่งตุ้มน้ำหนัก ณ ตำแหน่งเดิมซ้ำกันหลายครั้ง แต่การชั่งแต่ละครั้งไม่สามารถทำ ณ ตำแหน่งเดิมได้ส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีค่ามาก ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องชั่งมีค่ามากเช่นกัน สำหรับในส่วนของการสอบเทียบเครื่องชั่งนั้นจะใช้ตุ้มน้ำหนักเป็นตัวมาตรฐานทำการตรวจสอบ ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานนี้ก็จะต้องมีความถูกต้องน่าเชื่อถือได้ ดังนั้นตุ้มน้ำหนักที่เป็นตัวมาตรฐานก็จะต้องถูกทำการสอบเทียบเช่นเดียวกันโดยใช้เครื่องชั่งเฉพาะสำหรับทำการสอบเทียบ สำหรับในส่วนของการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักนั้น ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากกระบวนการชั่งซ้ำก็เป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักด้วยเช่นกัน แต่เครื่องชั่งที่มีระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ตรงกลางจานและสามารถชั่งซ้ำ ณ ตำแหน่งเดิมได้นั้นมีราคาสูง ทำให้ห้องปฏิบัติการที่ทำการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักจะต้องลงทุนสูงเพื่อซื้อเครื่องชั่งที่มีระบบนี้หากมีความต้องการค่าความไม่แน่นอนที่มีค่าน้อยๆ แต่ถ้าห้องปฏิบัติการไม่มีงบประมาณเพียงพอก็จะต้องยอมรับกับค่าความไม่แน่นอนที่มีค่ามากขึ้นนั่นเอง ดังนั้นควรมีการพัฒนาระบบที่ช่วยให้สามารถวางน้ำหนัก ณ ตำแหน่งเดิมได้ และสามารถวางน้ำหนักให้ตรงกลางจานด้วยเช่นกันเพื่อเป็นการลดค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนัก

## 2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาและสร้างระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ตรงตำแหน่งเดิมและอยู่ตรงกลางจานในการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักโดยเทคนิคการใช้กล้อง

2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อลดค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนัก

## 3. การทบทวนวรรณกรรม

ได้มีการกล่าวไว้ในเอกสารและบทความต่างๆเกี่ยวกับความสำคัญของการชั่งน้ำหนัก โดยกล่าวไว้ว่าการชั่งน้ำหนักเป็นกระบวนการทั่วไปในห้องปฏิบัติการและผลการชั่งถูกนำไปพิจารณาถึงการยอมรับผลิตภัณฑ์หรือผลการทดสอบที่ได้ ดังนั้นเครื่องชั่งควรได้รับการสอบเทียบเพื่อยืนยันค่าความถูกต้องของการชั่ง นอกจากนี้จะต้องทำการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดเมื่อห้องปฏิบัติการมีความต้องการได้รับการรับรอง[1] ในปัจจุบันได้มีการระบุไว้ในข้อกำหนดระหว่างประเทศและระดับประเทศเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบจะต้องทำการประเมินค่าความไม่แน่นอนแล้วรายงานพร้อมกับผลการวัด[2] ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของผลการชั่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสามสาเหตุดังนี้ ปัจจัยแรกมาจากเครื่องชั่ง ได้แก่ ความสามารถในการอ่าน ความสามารถในการชั่งซ้ำ ค่าความไม่เป็นเชิงเส้น ค่าความถูกต้องของความไวและสัมประสิทธิ์ด้านอุณหภูมิ ปัจจัยที่สองมีสาเหตุจากสภาวะแวดล้อม และปัจจัยสุดท้ายเกี่ยวกับอิทธิพลต่างๆที่ส่งผลโดยตรงต่อวัตถุที่นำมาชั่ง เช่น การพยุงตัวอากาศ ลักษณะการชั่งวัตถุตัวอย่าง ผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น นอกจากนี้ในส่วนของการประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจานนั้นได้มีการกล่าวไว้ว่าผลกระทบนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ หากผู้ปฏิบัติงานสามารถทำการวางวัตถุที่ต้องการชั่งให้ได้ตำแหน่งตรงกลางจานมากที่สุด[1] ซึ่งค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจานนี้ก็สามารถนำมาพิจารณาเป็นปัจจัยหนึ่งของแหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องชั่งได้เช่นกัน [3] ขั้นตอนวิธีการสอบเทียบเครื่องชั่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย[4] ก็ได้กล่าวไว้ว่าในการสอบเทียบเครื่องชั่งนั้นควรทำการตรวจสอบค่าความสามารถในการชั่งซ้ำ ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องชั่ง และค่าการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน ซึ่งในส่วนของการประเมินค่าความไม่แน่นอนไม่ได้มีการกล่าวไว้ แต่จะแนะนำให้ทำการประเมินตามเอกสารที่ว่าด้วยเรื่องการประเมินค่าความไม่แน่นอนและความเชื่อมั่นในการวัดโดยเฉพาะ[5] ซึ่งในส่วนของการหาค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องชั่งนั้นจะต้องทำการหาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการชั่งซ้ำด้วย สำหรับในส่วนของการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักจะนิยมอ้างอิงเอกสาร OIML R111[6] ซึ่งเป็นเอกสารที่ว่าด้วยข้อกำหนดของผู้ผลิตตุ้มน้ำหนัก รวมถึงวิธีการตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆที่จำเป็นของตุ้มน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีวิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักให้ด้วย

## 4. การออกแบบการวิจัย

สอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่ไม่มีระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

⇩

คำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมของการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่ไม่มีระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

⇩

ออกแบบระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

⇩

สร้างระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

⇩

สอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่ใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจานที่สร้างขึ้นมา

⇩

คำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมของการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่ใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจานที่สร้างขึ้นมา

⇩

เปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่ไม่มีระบบช่วยกับเครื่องชั่งที่ใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจานที่สร้างขึ้นมา

## 5. ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะทำการออกแบบและสร้างระบบที่ช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ ณ ตำแหน่งเดิมและตรงกลางจานเครื่องชั่งเพื่อลดค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนัก โดยการนำระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ประกอบกับเครื่องชั่งในการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนัก และนำผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการสอบเทียบไปทำการเปรียบเทียบกับค่าความไม่แน่นอนในกรณีที่เครื่องชั่งไม่มีระบบดังกล่าว

## 6. ระเบียบวิธีวิจัย

### 6.1 ทฤษฎี กรอบแนวคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

ในการสอบเทียบเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ตามวิธีที่แนะนำไว้ในเอกสารมาตรฐาน UKAS LAB14 [4] จะใช้ตุ้มน้ำหนักเป็นตัวมาตรฐาน สำหรับหัวข้อที่ทำการสอบเทียบนั้นประกอบไปด้วย ความสามารถในการชั่งซ้ำ ความคลาดเคลื่อนของเครื่องชั่ง และการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน ในส่วนของการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบจะอ้างอิงตามเอกสาร UKAS M3003 [5] ซึ่งแหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องชั่งจะประกอบไปด้วย

1. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากตัวตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ($W_S$)
2. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานภายหลังจากการสอบเทียบครั้งล่าสุด ($D_S$)
3. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของเครื่องชั่ง ณ ค่าที่อ่านได้เป็นศูนย์ ($\delta I_{d0}$)
4. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของเครื่องชั่ง ณ ค่าที่อ่านได้ ($\delta I_d$)
5. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าแก้แรงพยุงอากาศ ($A_b$)
6. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการอ่านค่าซ้ำๆ ($I_R$)

ซึ่งค่าความไม่แน่นอนรวมของการสอบเทียบเครื่องชั่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$u_C = \sqrt{W_S{}^2 + D_S{}^2 + \delta I_{d0}{}^2 + \delta I_d{}^2 + A_b{}^2 + I_R{}^2}$$

ในส่วนของค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการอ่านค่าซ้ำๆ ($I_R$) นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$I_R = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

โดยที่ $SD$ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$n$ คือจำนวนครั้งของการชั่งซ้ำ

ในส่วนของการคำนวณค่าความไม่แน่นอนนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบหัวข้อความคลาดเคลื่อนของการชั่งมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอน ซึ่งขั้นตอนในการสอบเทียบหัวข้อนี้จะทำการแบ่งช่วงน้ำหนักที่ต้องการสอบเทียบออกเป็น 10 ช่วงของค่าพิกัดสูงสุดของเครื่องชั่ง จากนั้นนำตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มี

ค่าตรงตามค่าน้ำหนักที่ต้องการแต่ละจุดซึ่งนิยมใช้ค่าน้ำหนักที่เกิดจากการใช้ตุ้มน้ำหนักเพียงตุ้มเดียวเพื่อให้เกิดความสะดวกในการชั่งมาทำการชั่งซ้ำหลายๆครั้งอย่างน้อย 4 ครั้ง แล้วทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของค่าน้ำหนักที่ต้องการตรวจสอบและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้นี้เองจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการอ่านค่าซ้ำๆ สำหรับในส่วนของการชั่งน้ำหนักนี้ควรจะวางตุ้มน้ำหนักให้จุดศูนย์ถ่วงของตุ้มน้ำหนักอยู่ ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจานชั่งน้ำหนักมากที่สุดเพื่อให้เกิดการกระจายแรงน้ำหนักไปยังตัวตรวจวัด (sensor) ค่าน้ำหนักของเครื่องชั่งในสัดส่วนที่เท่ากัน และเป็นการป้องกันความผิดพลาดเนื่องจากการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจานที่อาจเกิดขึ้นได้ และในส่วนของการชั่งซ้ำนี้ก็ควรจะทำให้มั่นใจว่าสามารถชั่งน้ำหนักซ้ำๆ ณ ตำแหน่งเดิมได้ แต่ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากที่จะสามารถชั่งน้ำหนัก ณ ตำแหน่งเดิมได้ทุกครั้ง ถ้าการชั่งน้ำหนักซ้ำๆ ณ ตำแหน่งเดิมมีความแตกต่างกันมากก็จะส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีค่ามากไปด้วยส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องชั่งมีค่ามากขึ้นไปด้วยเนื่องจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้เป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องชั่ง และสำหรับค่าน้ำหนักบางค่าไม่สามารถใช้ตุ้มน้ำหนักเพียงตุ้มเดียวได้แต่จะต้องทำการรวมตุ้มน้ำหนักหลายตุ้มพร้อมๆกันเพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักตามที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้เองการชั่งน้ำหนักซ้ำๆในแต่ละครั้งจึงมีความเสี่ยงอย่างมากที่จะไม่สามารถวางตุ้มน้ำหนักแต่ละตุ้มไว้ยังตำแหน่งเดิมได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งในการส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนรวมตามที่กล่าวมานั่นเอง

สำหรับในเรื่องการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักมาตรฐานนั้น ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จะทำตามวิธีที่แนะนำไว้ในเอกสารมาตรฐาน OIML R111[6] ซึ่งเป็นเอกสารที่เกี่ยวกับตุ้มน้ำหนักทั้งในส่วนของการผลิตและการตรวจสอบ ในส่วนของการตรวจสอบตุ้มน้ำหนักหรือที่เรียกว่าการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักมาตรฐานนั้น เครื่องมือหลักๆที่ใช้ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ เครื่องชั่ง และตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีระดับความถูกต้องสูงกว่า (ค่าความไม่แน่นอนน้อยกว่า) สำหรับเครื่องชั่งที่ใช้ในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักนั้นอาจใช้เครื่องชั่งที่ใช้งานทั่วไปในห้องปฏิบัติการ แต่ต้องมีความเหมาะสมในแง่ของความละเอียดและความถูกต้อง หรือใช้เครื่องชั่งเฉพาะสำหรับงานสอบเทียบตุ้มน้ำหนักที่เรียกว่าเครื่องชั่งสำหรับทำการเปรียบเทียบมวล (Mass Comparator) ซึ่งเครื่องชั่งชนิดนี้มีค่าความละเอียดและถูกต้องสูงกว่าเครื่องชั่งแบบแรก แต่ก็มีราคาแพงกว่าด้วยเช่นกัน วิธีการที่ใช้ในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักนี้มีหลายแบบแต่ทุกแบบมีหลักการเหมือนกันคือทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักระหว่างตุ้มน้ำหนักที่ใช้เป็นตัวมาตรฐานและตุ้มน้ำหนักที่ต้องการทำการสอบเทียบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร โดยใช้เครื่องชั่งเป็นเครื่องมือในการแสดงผลค่าความแตกต่าง ในเรื่องของการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักนั้น มีหลายปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง $(u_w)$
2. ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน $(u(m_{cr}))$
3. ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ $(u_b)$
4. ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง $(u_{ba})$

สำหรับค่าความไม่แน่นอนรวมสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$u_C = \sqrt{{u_W}^2 + u(m_{cr})^2 + {u_b}^2 + {u_{ba}}^2}$$

จะเห็นได้ว่าปัจจัยหนึ่งในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมคือค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่งที่เกิดจากการทำซ้ำนั่นเอง ซึ่งค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$u_W = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

โดยที่ $SD$ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$n$ คือจำนวนครั้งของการชั่งซ้ำ

จะเห็นได้ว่าถ้ากระบวนการชั่งซ้ำในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักนั้นสามารถกระทำได้ ณ ตำแหน่งเดิม จะส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีค่าน้อย ซึ่งก็ส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่งและค่าความไม่แน่นอนรวมมีค่าน้อยนั่นเอง

## 6.2 อุปกรณ์ เครื่องมือ และเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการวิจัย

6.2.1 ชุดเลนส์กล้องจุลทรรศน์พร้อมอุปกรณ์ประกอบดังนี้ (ภาคผนวกที่ 1)

- เลนส์ Dino Digital รุ่น AM-4113ZT (Polarizer)
- ขาตั้ง Stand MS-36B ปรับขึ้น-ลง แนวตั้ง และปรับเลื่อนซ้าย-ขวา แนวนอน
- เสาต่อขาตั้งกล้อง Pole for Stand

6.2.2 ตุ้มน้ำหนักอ้างอิง Class E2 ยี่ห้อ Hafner และ Sartorius ขนาด 1g – 2kg สำหรับสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก

6.2.3 ตุ้มน้ำหนักอ้างอิง Class E2 ยี่ห้อ Hafner และ Haigis ขนาด 1g – 1kg สำหรับสอบเทียบตุ้มน้ำหนักทดสอบ

6.2.4 เครื่องชั่งที่ใช้สำหรับชั่งเปรียบเทียบมวล (Mass Comparator) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น MC21S และ รุ่น CC1200 ใช้สำหรับสอบเทียบตุ้มน้ำหนักทดสอบ

6.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนักจำนวนทั้งหมด 3 เครื่องดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เครื่องชั่งที่นำมาใช้ในงานวิจัย

| เครื่องที่ | ยี่ห้อ | รุ่น | หมายเลขเครื่อง | ค่าความจุสูงสุด | ค่าความละเอียด |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Sartorius | ME215S | 12808711 | 210 g | 0.00001 g |
| 2 | Sartorius | ME414S | 12808719 | 410 g | 0.0001 g |
| 3 | Sartorius | CC3000 | 127071195 | 3,000 g | 0.0001 g |

6.2.6 ตุ้มน้ำหนักทดสอบ Class F1 ยี่ห้อ Mettler ขนาด 1g – 1kg

6.2.7 คอมพิวเตอร์พกพาพร้อมโปรแกรม DinoCapture

**6.3 ขั้นตอนวิธีการวิจัย**

6.3.1 ทำการศึกษาการใช้งานกล้องและโปรแกรมที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบ และออกแบบโครงสร้างของระบบที่จะนำมาใช้ร่วมกับกล้องเพื่อช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงกลางจาน

6.3.2 ทำการสร้างระบบที่ได้ออกแบบขึ้นมา โดยนำกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลติดตั้งเข้ากับขาตั้งกล้องที่ทำการเพิ่มระยะความสูงไว้แล้วด้วยเสาต่อขาตั้งกล้อง แล้วทำการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 1 พร้อมลงโปรแกรม DinoCapture เข้ากับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

6.3.3 ทำการเก็บข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่ไม่มีระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

สำหรับการสอบเทียบเครื่องชั่งจะอ้างอิงวิธีการในเอกสาร UKAS LAB14 ซึ่งจะทำการสอบเทียบในหัวข้อดังต่อไปนี้

1) ความสามารถในการชั่งซ้ำ (Reproducibility) ทำการตรวจสอบ 2 จุด

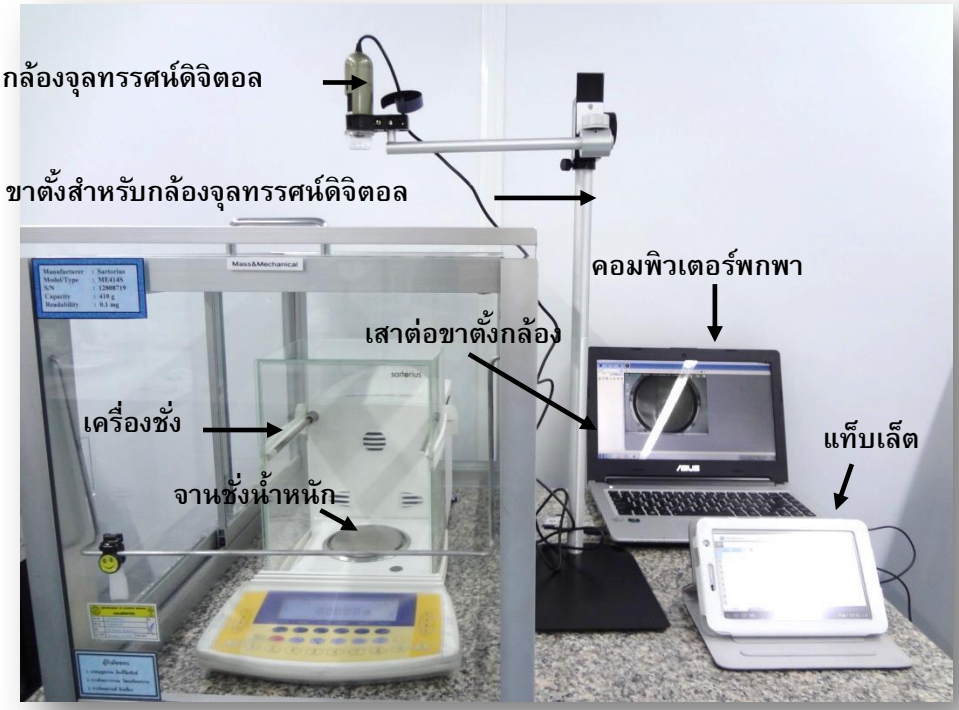
2) ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ทำการตรวจสอบอย่างน้อย 10 จุด

3) ค่าการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน (Eccentricity) ทำการตรวจสอบทั้งหมด 5 ตำแหน่ง

สำหรับการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักจะอ้างอิงวิธีการในเอกสาร OIML R111-1

6.3.4 ทำการเก็บข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจานที่พัฒนาขึ้นมา โดยตัวอย่างขั้นตอนการวางตุ้มน้ำหนักโดยใช้ระบบนี้แสดงไว้ในภาคผนวกที่ 2

6.3.5 ทำการคำนวณผลการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักขณะที่ไม่มีการใช้ระบบ และมีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน




ภาพที่ 1 ระบบที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

## 7. ผลการวิจัย

### 7.1 การสอบเทียบเครื่องชั่ง

สำหรับการสอบเทียบเครื่องชั่งจะใช้ตุ้มน้ำหนักอ้างอิงเป็นตัวมาตรฐานในการสอบเทียบ ผลการสอบเทียบขณะที่ไม่มีการใช้ระบบ และมีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตรงตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน ถูกแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 3 และ 4 ซึ่งจะแสดงค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการสอบเทียบที่ค่าน้ำหนักต่างๆ

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักขณะที่ไม่มีการใช้ระบบ และมีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตรงตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน โดยจะทำการเปรียบเทียบในแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

1) ค่าความสามารถในการชั่งซ้ำ (Reproducibility)
2) ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบในส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) และค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ณ จุดน้ำหนักสอบเทียบแต่ละจุด
3) ค่าการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน (Eccentricity) ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบในส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ของการวางน้ำหนักในแต่ละตำแหน่ง

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักขณะที่ไม่มีการใช้ระบบ และมีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตรงตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

| 1) ค่าความสามารถในการชั่งซ้ำ (Reproducibility) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก | Sartorius ME215S | | น้ำหนัก | Sartorius ME414S | | น้ำหนัก | Sartorius CC3000 | |
| (g) | ไม่มี | มี | (g) | ไม่มี | มี | (g) | ไม่มี | มี |
| 20 | 0.000023 | 0.000005 | 50 | 0.00007 | 0.00000 | 200 | 0.00018 | 0.00008 |
| 200 | 0.000015 | 0.000018 | 200 | 0.00010 | 0.00005 | 2000 | 0.00046 | 0.00005 |

| 2) ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *การเปรียบเทียบในส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, SD (g)* | | | | | | | | |
| น้ำหนัก | Sartorius ME215S | | น้ำหนัก | Sartorius ME414S | | น้ำหนัก | Sartorius CC3000 | |
| (g) | ไม่มี | มี | (g) | ไม่มี | มี | (g) | ไม่มี | มี |
| 20 | 0.000015 | 0.000006 | 10 | 0.00005 | 0.00000 | 200 | 0.00039 | 0.00006 |
| 40 | 0.000050 | 0.000005 | 25 | 0.00005 | 0.00005 | 400 | 0.00049 | 0.00006 |
| 60 | 0.000041 | 0.000005 | 50 | 0.00005 | 0.00005 | 600 | 0.00025 | 0.00005 |
| 80 | 0.000010 | 0.000010 | 100 | 0.00005 | 0.00000 | 800 | 0.00031 | 0.00006 |
| 100 | 0.000076 | 0.000000 | 150 | 0.00005 | 0.00000 | 1000 | 0.00010 | 0.00000 |
| 120 | 0.000021 | 0.000006 | 200 | 0.00005 | 0.00000 | 1200 | 0.00040 | 0.00006 |
| 140 | 0.000020 | 0.000008 | 250 | 0.00005 | 0.00006 | 1400 | 0.00010 | 0.00005 |
| 160 | 0.000033 | 0.000006 | 300 | 0.00005 | 0.00005 | 1600 | 0.00042 | 0.00006 |
| 180 | 0.000012 | 0.000008 | 350 | 0.00000 | 0.00006 | 1800 | 0.00085 | 0.00005 |
| 200 | 0.0000058 | 0.000010 | 400 | 0.00000 | 0.00000 | 2000 | 0.00018 | 0.00006 |
| | | | | | | 2500 | 0.00040 | 0.00006 |
| | | | | | | 3000 | 0.00116 | 0.00005 |

| 2) ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *การเปรียบเทียบในส่วนของค่าความไม่แน่นอน (g) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%* | | | | | | | | |
| น้ำหนัก | Sartorius ME215S | | น้ำหนัก | Sartorius ME414S | | น้ำหนัก | Sartorius CC3000 | |
| (g) | ไม่มี | มี | (g) | ไม่มี | มี | (g) | ไม่มี | มี |
| 20 | 0.000048 | 0.000045 | 10 | 0.00009 | 0.00007 | 200 | 0.00057 | 0.00029 |
| 40 | 0.000103 | 0.000090 | 25 | 0.00010 | 0.00010 | 400 | 0.00078 | 0.00056 |
| 60 | 0.000111 | 0.000103 | 50 | 0.00011 | 0.00011 | 600 | 0.00087 | 0.00083 |
| 80 | 0.000148 | 0.000148 | 100 | 0.00016 | 0.00015 | 800 | 0.00115 | 0.00111 |
| 100 | 0.000158 | 0.000139 | 150 | 0.00023 | 0.00022 | 1000 | 0.00139 | 0.00139 |
| 120 | 0.000181 | 0.000180 | 200 | 0.00029 | 0.00028 | 1200 | 0.00171 | 0.00166 |
| 140 | 0.000223 | 0.000223 | 250 | 0.00036 | 0.00036 | 1400 | 0.00194 | 0.00194 |
| 160 | 0.000242 | 0.000240 | 300 | 0.00042 | 0.00042 | 1600 | 0.00226 | 0.00222 |
| 180 | 0.000283 | 0.000282 | 350 | 0.00049 | 0.00050 | 1800 | 0.00263 | 0.00249 |
| 200 | 0.000277 | 0.000277 | 400 | 0.00056 | 0.00056 | 2000 | 0.00278 | 0.00277 |
| | | | | | | 2500 | 0.00348 | 0.00346 |
| | | | | | | 3000 | 0.00431 | 0.00415 |

| 3) ค่าการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน (Eccentricity) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, SD (g) | ตำแหน่งที่ | Sartorius ME215S | | Sartorius ME414S | | Sartorius CC3000 | |
| | | ไม่มี | มี | ไม่มี | มี | ไม่มี | มี |
| | 1 | 0.000015 | 0.000006 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00023 | 0.00006 |
| | 2 | 0.000006 | 0.000010 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00026 | 0.00012 |
| | 3 | 0.000006 | 0.000000 | 0.00006 | 0.00000 | 0.00070 | 0.00006 |
| | 4 | 0.000000 | 0.000006 | 0.00000 | 0.00006 | 0.00021 | 0.00006 |
| | 5 | 0.000006 | 0.000006 | 0.00000 | 0.00006 | 0.00026 | 0.00012 |

ในส่วนของการสอบเทียบเครื่องชั่งนั้น ค่าความไม่แน่นอนรวมจะขึ้นอยู่กับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดจากการวัดซ้ำขณะทำการสอบเทียบและถูกนำไปใช้คำนวณค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการอ่านค่าซ้ำๆซึ่งเป็นแหล่งที่มาแหล่งหนึ่งของการคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม

### 7.2 การสอบเทียบตุ้มน้ำหนัก

สำหรับการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักจะต้องทำการสอบเทียบโดยการชั่งเปรียบเทียบระหว่างตุ้มน้ำหนักทดสอบกับตุ้มน้ำหนักอ้างอิงที่มีขนาดเดียวกันด้วยเครื่องชั่งที่ใช้สำหรับชั่งเปรียบเทียบมวล (Mass Comparator) ในงานวิจัยนี้จะทำการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักในห้องปฏิบัติการสอบเทียบมวล กรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยมีสภาวะแวดล้อมควบคุมไว้ที่อุณหภูมิ 20±1°C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50±10%Rh ในที่นี้จะทำการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักยี่ห้อ Mettler Class F1 ขนาด 1 g – 1kg โดยใช้ตุ้มน้ำหนักอ้างอิงยี่ห้อ Hafner Class E2 สำหรับสอบเทียบขนาด 1 g – 20 g และยี่ห้อ Haigis Class E2 สำหรับตุ้มน้ำหนักขนาด 50 g – 1 kg สำหรับผลการทดลองขณะที่ยังไม่มีการใช้ระบบ และมีการใช้ระบบถูกแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 5 และ 6

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักขณะที่ไม่มีการใช้ระบบ และมีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตรงตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน โดยจะทำการเปรียบเทียบในส่วนของค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักที่ขนาดต่างๆ

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักขณะที่ไม่มีการใช้ระบบ และมีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตรงตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

| ค่าน้ำหนัก | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (±mg) | |
|---|---|---|
| | ไม่มี | มี |
| 1 g | 0.025 | 0.019 |
| 2 g | 0.027 | 0.022 |
| 2* g | 0.027 | 0.022 |
| 5 g | 0.031 | 0.027 |
| 10 g | 0.036 | 0.033 |
| 20 g | 0.044 | 0.041 |
| 20* g | 0.044 | 0.041 |
| 50 g | 0.94 | 0.18 |
| 100 g | 0.95 | 0.19 |
| 200 g | 0.96 | 0.23 |
| 200* g | 0.96 | 0.23 |
| 500 g | 1.1 | 0.43 |
| 1 kg | 1.3 | 0.81 |

ในส่วนของการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักนั้นแตกต่างจากการสอบเทียบเครื่องชั่ง เนื่องจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่นำไปใช้คำนวณค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่งซ้ำนั้นได้มาจากคุณลักษณะของเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวลที่ทางผู้ผลิตได้ทำการหาค่าไว้ให้แล้วไม่ได้เกิดจากการทำซ้ำขณะทำการสอบเทียบ เพราะฉะนั้นถ้าผู้ทำการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักเลือกเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวลที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยๆก็จะช่วยลดค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักได้ส่วนหนึ่ง และถ้ายิ่งเลือกเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวลที่มีระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตรงตำแหน่งกลางจานก็จะทำให้สามารถตัดทิ้งแหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจานได้ ส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอนรวมมีค่าลดลง

## 8. **สรุปผล**

ได้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ตรงตำแหน่งเดิมและอยู่ตรงกลางจานในการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักโดยเทคนิคการใช้กล้องเพื่อลดค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบ ทำให้ได้ผลการสอบเทียบที่มีความแม่นยำสูงขึ้น นอกจากนี้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนัก และภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องชั่ง สามารถนำระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อประหยัดงบประมาณในการซื้อเครื่องชั่งที่มีระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ตรงกลางจานที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง โดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีแผนไว้ว่าจะทำการตีพิมพ์งานวิจัยในการประชุมวิชาการ และวารสารวิชาการทางด้านมาตรวิทยา

## 9. **ปัญหาและอุปสรรค**

ในการปรับตั้ง (alignment) กล้องจุลทรรศน์เพื่อให้ได้แนวระนาบและแนวดิ่งต้องใช้ความระมัดระวัง เนื่องจากขาตั้งกล้องที่ใช้เป็นรุ่นที่ใช้มือหมุนและหนีบติดกับตัวเสาหรือคาน ไม่ได้เป็นแบบเกลียวหมุนหรือแบบเฟืองบรรทัด ทำให้ไม่สะดวกในการปรับกล้องเลื่อนขึ้น-ลง และเพิ่มระยะเวลาในการปรับ เพราะต้องปรับระยะของกล้องไปทางด้านซ้ายและขวาเพื่อให้กล้องนั้นอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม เมื่อมีการปรับเปลี่ยนขนาดของตุ้มน้ำหนักที่ใช้ในการสอบเทียบ ดังนั้นขาตั้งกล้องที่ใช้ควรเป็นแบบเกลียวหมุนหรือแบบเฟืองบรรทัดเพื่อให้สะดวกต่อการปรับระยะกล้อง และสำหรับตัวกล้องจุลทรรศน์ควรเลือกใช้กล้องชนิดอื่นๆที่มีความเหมาะสมกับวัตถุที่มีขนาดใหญ่แบบตุ้มน้ำหนักได้

นอกจากนี้ในส่วนของการใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของตุ้มน้ำหนัก ในกรณีที่ตุ้มน้ำหนักมีขนาดใหญ่ขึ้น จะต้องมีการปรับระยะห่างของกล้องให้มีระยะสูงขึ้นจากจานชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งเพื่อให้ได้ระยะโฟกัสที่ชัดเจน ทำให้ต้องหาอุปกรณ์ช่วยในการเพิ่มระยะห่างให้กับตัวกล้อง ซึ่งการใช้เสาต่อขาตั้งกล้องก็ยังไม่เพียงพอ เพราะบางครั้งต้องการระยะห่างที่สูงเกินกว่าความสูงของเสาต่อขาตั้งกล้อง ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ตัวปรับระดับ (Lab Jack) เพื่อใช้สำหรับการเพิ่มระยะห่างของตัวกล้องกับจานชั่งน้ำหนักสำหรับตุ้มน้ำหนักบางขนาด โดยทำการวางชุดเลนส์กล้องจุลทรรศน์พร้อมอุปกรณ์ทั้งชุดบนตัวปรับระดับนี้

## 10. บรรณานุกรม

[1] M.Salahinejad, F.Aflaki, *Uncertainty Measurement of Weighing Results from an Electronic Analytical Balance*, Measurement Science Review, Volume 7, Section 3, No. 6. 2007

[2] J.P. Clark, *Evaluation of Methods for Estimating the Uncertainty of Electronic Balance Measurements*, WSRC-MS-99-00958

[3] P. Tsimitras, *Calibration of Electronic Nonautomatic Weighing Instruments – Error Analysis*, OIML Bulletin, Volume XLIV, Number 2, April 2003

[4] UKAS LAB14 : Calibration of Weighing Machines, Edition 4, November 2006

[5] UKAS M3003 : The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement, Edition 2, January 2007

[6] OIML R 111-1 Edition 2004 (E) : Weights of Classes $E_1$, $E_2$, $F_1$, $F_2$, $M_1$, $M_{1-2}$, $M_2$, $M_{2-3}$ and $M_3$

## 11. ภาคผนวก

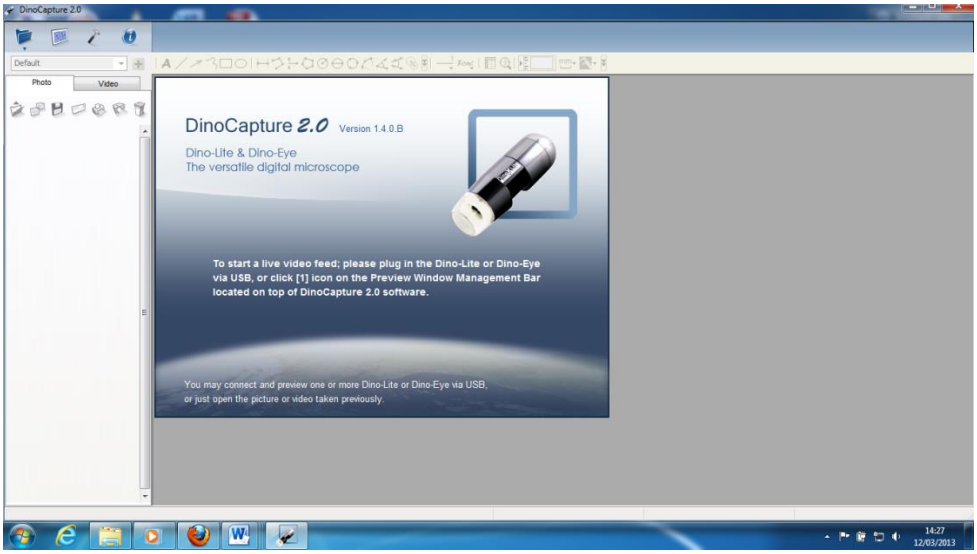
ภาคผนวกที่ 1 ชุดเลนส์กล้องจุลทรรศน์พร้อมอุปกรณ์

1. กล้องที่ใช้เป็นกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล (Digital Microscope) ยี่ห้อ Dino-Lite รุ่น AM-4113ZT (Polarizer) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยรุ่นที่เลือกใช้เป็นรุ่นที่มีการเพิ่มเลนส์ตัดแสงเพื่อช่วยลดแสงสะท้อน เหมาะกับชิ้นงานหรือวัตถุที่มีความเงา หรือมีแสงสะท้อน เช่น โลหะ, เหล็ก ฯลฯ ซึ่งเหมาะกับงานวิจัยนี้เนื่องจากนำไปใช้ประกอบกับจานชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่ง และตุ้มน้ำหนัก ซึ่งวัตถุทั้งสองอย่างทำมาจากโลหะที่มีความเงาทำให้เกิดแสงสะท้อนได้ ดังนั้นเพื่อให้ผู้ใช้งานระบบทำงานได้สะดวกและการทำงานของระบบมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้กล้องที่มีฟังก์ชันนี้

ภาพที่ 2 กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล (Digital Microscope) ยี่ห้อ Dino-Lite รุ่น AM-4113ZT

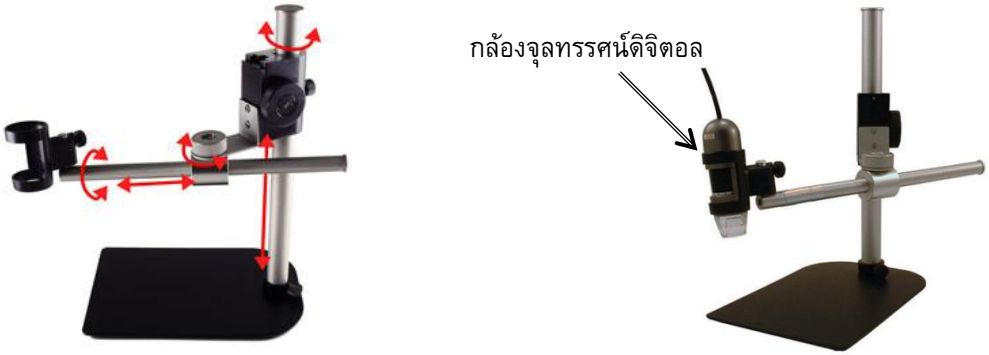
นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกล้องจุลทรรศน์กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB ได้เพื่อทำการแสดงภาพของวัตถุที่ต้องการผ่านทางโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีชื่อว่า DinoCapture ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม DinoCapture 2.0 (ภาพที่ 3)

สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล Dino-Lite เนื่องจากมีโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถทำการแสดงภาพของวัตถุที่ต้องการบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ พร้อมทั้งสามารถใช้ฟังก์ชันวาดรูปหรือวัดขนาดที่มีมาให้ในโปรแกรมเพื่อทำการวาดเส้นกำหนดตำแหน่งต่างๆบนวัตถุที่ทำการส่องดู ซึ่งในงานวิจัยคือการกำหนดตำแหน่งกลางจานของเครื่องชั่ง รวมทั้งตำแหน่งเดิมของตุ้มน้ำหนักที่ถูกชั่งไปในครั้งแรก




ภาพที่ 3 โปรแกรม DinoCapture 2.0

2. ขาตั้งสำหรับกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลรุ่น MS-36B (ภาพที่ 4) สามารถปรับขึ้น-ลงในแนวตั้งได้ระยะมากสุด 20 เซ็นติเมตร และปรับซ้าย-ขวาในแนวนอนได้ระยะมากสุด 25 เซ็นติเมตร นำมาใช้ประกอบกับกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลสำหรับส่องดูจานชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักที่วางบนเครื่องชั่ง




ภาพที่ 4 ขาตั้งสำหรับกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลรุ่น MS-36B

3. เสาต่อขาตั้งกล้อง (Pole for Stand) ใช้สำหรับต่อประกอบกับขาตั้งกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลรุ่น MS-36B เพื่อเพิ่มระยะในแนวตั้ง ดังแสดงในภาพที่ 5 เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลใช้สำหรับส่องดูวัตถุขนาดเล็กๆที่อยู่ใกล้ๆ แต่เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการส่องดูจานชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นมา ทำให้ต้องมีการปรับระยะห่างของกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลกับวัตถุที่จะส่องดูให้มีความเหมาะสม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะต้องทำการปรับระยะห่างให้เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้เสาต่อขาตั้งกล้องมาประกอบเพื่อเพิ่มระยะห่างในแนวตั้ง

ภาพที่ 5 เสาต่อขาตั้งกล้อง (Pole for Stand)

ภาคผนวกที่ 2 ตัวอย่างขั้นตอนการวางตุ้มน้ำหนักบนจานเครื่องชั่งน้ำหนักโดยการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจานที่พัฒนาขึ้นมา

1. ใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลส่องดูตำแหน่งของจานชั่งน้ำหนัก จากนั้นทำการแสดงภาพของจานชั่งน้ำหนักขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรม DinoCapture ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องทำการปรับระยะขยาย (Magnification) ของกล้องซึ่งมีอยู่แล้วที่ตัวกล้องเพื่อทำการปรับโฟกัสของภาพจานชั่งน้ำหนักให้ชัดเจน

ภาพที่ 6 ภาพจานชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล

2. จากนั้นเลือกฟังก์ชัน Measurement และใช้คำสั่ง Three Points Circle เพื่อทำการวาดเส้น รอบวงของจานชั่งน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งในขั้นตอนนี้จะปรากฏเส้นรัศมีที่ลากจากจุดศูนย์กลางของจานชั่งน้ำหนักปรากฏขึ้นในภาพด้วย ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งตรงกลางจานของจานชั่งน้ำหนักได้จุดศูนย์กลาง

ภาพที่ 7 การใช้คำสั่ง Three Points Circle วาดเส้นรอบวงของจานชั่งน้ำหนักเพื่อแสดงตำแหน่ง

3. จากนั้นทำการวางตุ้มน้ำหนักลงบนจานชั่งโดยพยายามให้จุดศูนย์กลางของตุ้มน้ำหนักอยู่ตรงตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์กลางของจานชั่งน้ำหนัก ในที่นี่จะได้ภาพตุ้มน้ำหนักที่อยู่บนเครื่องชั่งปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 8

ภาพที่ 8 แสดงภาพตุ้มน้ำหนักที่อยู่บนจานชั่งน้ำหนักเมื่อทำการวางให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของตุ้มน้ำหนักอยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่งจุดศูนย์กลางของจานชั่งน้ำหนัก

4. ทำการวาดเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักที่วางอยู่บนจานชั่งน้ำหนักโดยการเลือกฟังก์ชัน Measurement และใช้คำสั่ง Three Points Circle อีกครั้งเพื่อทำการวาดเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักดังแสดงในภาพที่ 9

ภาพที่ 9 การใช้คำสั่ง Three Points Circle วาดเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักที่อยู่บนจานชั่งน้ำหนัก

5. นำตุ้มน้ำหนักออกจากจานชั่งน้ำหนัก แต่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์จะยังคงปรากฏภาพเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักที่ทำการชั่งก่อนหน้านี้ดังแสดงในภาพที่ 10

ภาพที่ 10 แสดงภาพเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักที่ถูกนำมาวางบนจานชั่งน้ำหนักก่อนหน้านี้

6. เมื่อจะทำการวางตุ้มน้ำหนักตุ้มเดิม ณ ตำแหน่งเดิมบนจานชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งครั้งต่อไปก็สามารถกระทำได้โดยทำการวางตุ้มน้ำหนักให้อยู่ภายในเส้นรอบวงที่ได้กำหนดไว้แล้วจากการชั่งครั้งแรก ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความมั่นใจเพิ่มขึ้นว่าสามารถวางตุ้มน้ำหนักได้ ณ ตำแหน่งเดิมและใกล้เคียงตำแหน่งกลางจานด้วย

7. สำหรับในบางกรณีจะต้องทำการวางตุ้มน้ำหนักหลายตุ้มบนจานชั่งน้ำหนัก ในกรณีการสอบเทียบเครื่องชั่ง ซึ่งในกรณีนี้ก็สามารถกระทำได้โดยทำการวางตุ้มน้ำหนักทั้งหมดลงบนจานชั่งน้ำหนักดังแสดงในภาพที่ 11

ภาพที่ 11 แสดงภาพของการวางตุ้มน้ำหนัก 2 ตุ้มบนจานชั่งน้ำหนัก

8. จากนั้นทำการวาดเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักทั้งสองที่วางอยู่บนจานชั่งน้ำหนักดังแสดงในภาพที่ 12

ภาพที่ 12 แสดงภาพการวาดเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักทั้งสองที่วางบนจานชั่งน้ำหนัก

9. เมื่อนำตุ้มน้ำหนักออก บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ก็ยังคงแสดงภาพเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักทั้งสองที่ถูกวางบนจานชั่งน้ำหนักก่อนหน้านี้ ดังแสดงในภาพที่ 13

ภาพที่ 13 แสดงภาพเส้นรอบวงของตุ้มน้ำหนักทั้งสองที่วางบนจานชั่งน้ำหนักหลังจากนำตุ้มน้ำหนักออก

ภาคผนวกที่ 3 ผลการสอบเทียบเครื่องชั่งขณะที่ไม่มีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

เครื่องที่ 1 Sartorius ME215S

| 1) ค่าความสามารถในการชั่งซ้ำ (Reproducibility) | | |
|---|---|---|
| ครั้งที่ | น้ำหนัก 20 g | น้ำหนัก 200 g |
| 1 | 20.00003 | 200.00000 |
| 2 | 20.00003 | 199.99999 |
| 3 | 19.99999 | 199.99999 |
| 4 | 19.99997 | 199.99999 |
| 5 | 19.99997 | 199.99998 |
| 6 | 20.00000 | 199.99998 |
| 7 | 19.99997 | 199.99997 |
| 8 | 20.00000 | 199.99998 |
| 9 | 19.99998 | 199.99995 |
| 10 | 19.99998 | 199.99996 |
| SD. | 0.000023 | 0.000015 |

| 2) ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | | ค่า SD |
| (g) | 1 | 2 | 3 | 4 | (g) |
| 20 | 20.00000 | 20.00000 | 20.00000 | 19.99997 | 0.000015 |
| 40 | 40.00004 | 40.00000 | 39.99995 | 39.99993 | 0.000050 |
| 60 | 59.99997 | 59.99998 | 59.99989 | 59.99993 | 0.000041 |
| 80 | 79.99988 | 79.99989 | 79.99987 | 79.99987 | 0.000010 |
| 100 | 100.00034 | 100.00023 | 100.00019 | 100.00017 | 0.000076 |
| 120 | 120.00014 | 120.00013 | 120.00010 | 120.00010 | 0.000021 |
| 140 | 140.00015 | 140.00011 | 140.00011 | 140.00011 | 0.000020 |
| 160 | 160.00010 | 160.00005 | 160.00003 | 160.00003 | 0.000033 |
| 180 | 180.00008 | 180.00006 | 180.00006 | 180.00008 | 0.000012 |
| 200 | 200.00017 | 200.00017 | 200.00016 | 200.00016 | 0.0000058 |

| การคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก (g) | $I_R$ (g) | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนัก (g) | $W_S$ (g) | $D_S$ (g) | ค่าความละเอียด (g) | $\delta I_{d0}$ (g) | $\delta I_d$ (g) | $A_b$ (g) | $u_C$ (g) | $U = u_C * 2$ (g) |
| 20 | 0.000007 | 0.000025 | 0.000013 | 0.000014 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000012 | 0.000024 | 0.0000474 |
| 40 | 0.000025 | 0.000050 | 0.000025 | 0.000029 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000023 | 0.000051 | 0.0001026 |
| 60 | 0.000021 | 0.000050 | 0.000025 | 0.000029 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000035 | 0.000056 | 0.0001112 |
| 80 | 0.000005 | 0.000075 | 0.000038 | 0.000043 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000046 | 0.000074 | 0.0001476 |
| 100 | 0.000038 | 0.000050 | 0.000025 | 0.000029 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000058 | 0.000079 | 0.0001582 |
| 120 | 0.000010 | 0.000075 | 0.000038 | 0.000043 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000069 | 0.000091 | 0.0001811 |
| 140 | 0.000010 | 0.000100 | 0.000050 | 0.000058 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000081 | 0.000112 | 0.0002234 |
| 160 | 0.000017 | 0.00010 | 0.000050 | 0.000058 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000092 | 0.000121 | 0.0002421 |
| 180 | 0.000006 | 0.000125 | 0.000063 | 0.000072 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000104 | 0.000141 | 0.0002825 |
| 200 | 0.000003 | 0.000100 | 0.000050 | 0.000058 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000115 | 0.000139 | 0.0002770 |

| 3) ค่าการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน (Eccentricity) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ตำแหน่งที่ | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | ค่า SD (g) |
| | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 49.99991 | 49.99994 | 49.99993 | 0.00002 |
| 2 | 49.99986 | 49.99987 | 49.99987 | 0.00001 |
| 3 | 49.99982 | 49.99983 | 49.99983 | 0.00001 |
| 4 | 49.99988 | 49.99988 | 49.99988 | 0.00000 |
| 5 | 49.99987 | 49.99987 | 49.99988 | 0.00001 |

เครื่องที่ 2 Sartorius ME414S

| 1) ค่าความสามารถในการชั่งซ้ำ (Reproducibility) | | |
|---|---|---|
| ครั้งที่ | น้ำหนัก 50 g | น้ำหนัก 200 g |
| 1 | 50.0001 | 200.0003 |
| 2 | 50.0000 | 200.0002 |
| 3 | 50.0000 | 200.0002 |
| 4 | 50.0000 | 200.0001 |
| 5 | 49.9999 | 200.0001 |
| 6 | 49.9999 | 200.0001 |
| 7 | 49.9999 | 200.0000 |
| 8 | 49.9999 | 200.0000 |
| 9 | 49.9999 | 200.0001 |
| 10 | 50.0000 | 200.0000 |
| SD. | 0.00007 | 0.00010 |

| 2) ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | | ค่า SD |
| (g) | 1 | 2 | 3 | 4 | (g) |
| 10 | 10.0001 | 10.0001 | 10.0000 | 10.0001 | 0.000050 |
| 25 | 25.0001 | 25.0000 | 25.0000 | 25.0000 | 0.000050 |
| 50 | 50.0001 | 50.0000 | 50.0000 | 50.0000 | 0.000050 |
| 100 | 100.0003 | 100.0002 | 100.0002 | 100.0002 | 0.000050 |
| 150 | 150.0003 | 150.0003 | 150.0002 | 150.0003 | 0.000050 |
| 200 | 200.0004 | 200.0003 | 200.0003 | 200.0003 | 0.000050 |
| 250 | 250.0004 | 250.0004 | 250.0004 | 250.0003 | 0.000050 |
| 300 | 300.0006 | 300.0005 | 300.0005 | 300.0005 | 0.000050 |
| 350 | 350.0005 | 350.0005 | 350.0005 | 350.0005 | 0.000000 |
| 400 | 400.0006 | 400.0006 | 400.0006 | 400.0006 | 0.000000 |

| การคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก (g) | $I_R$ (g) | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนัก (g) | $W_S$ (g) | $D_S$ (g) | ค่าความละเอียด (g) | $\delta I_{d0}$ (g) | $\delta I_d$ (g) | $A_b$ (g) | $u_C$ (g) | $U= u_C * 2$ (g) |
| 10 | 0.000025 | 0.000020 | 0.000010 | 0.000012 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000006 | 0.000042 | 0.0000861 |
| 25 | 0.000025 | 0.000041 | 0.000021 | 0.000024 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000014 | 0.000052 | 0.0001033 |
| 50 | 0.000025 | 0.000030 | 0.000015 | 0.000017 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000029 | 0.000053 | 0.0001063 |
| 100 | 0.000025 | 0.000050 | 0.000025 | 0.000029 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000058 | 0.000079 | 0.0001582 |
| 150 | 0.000025 | 0.000080 | 0.000040 | 0.000046 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000087 | 0.000113 | 0.0002254 |
| 200 | 0.000025 | 0.000100 | 0.000050 | 0.000058 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000115 | 0.000144 | 0.0002873 |
| 250 | 0.000025 | 0.000130 | 0.000065 | 0.000075 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000144 | 0.000179 | 0.0003587 |
| 300 | 0.000025 | 0.00015 | 0.000075 | 0.000087 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000173 | 0.000211 | 0.0004223 |
| 350 | 0.000000 | 0.000180 | 0.000090 | 0.000104 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000202 | 0.000246 | 0.0004922 |
| 400 | 0.000000 | 0.000200 | 0.000100 | 0.000115 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000231 | 0.000278 | 0.0005568 |

| 3) ค่าการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน (Eccentricity) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ตำแหน่งที่ | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | ค่า SD (g) |
| | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 100.0003 | 100.0003 | 100.0003 | 0.0000 |
| 2 | 100.0001 | 100.0001 | 100.0001 | 0.0000 |
| 3 | 100.0002 | 100.0001 | 100.0001 | 0.0001 |
| 4 | 100.0001 | 100.0001 | 100.0001 | 0.0000 |
| 5 | 100.0001 | 100.0001 | 100.0001 | 0.0000 |

เครื่องที่ 3 Sartorius CC3000

| 1) ค่าความสามารถในการชั่งซ้ำ (Reproducibility) | | |
|---|---|---|
| ครั้งที่ | น้ำหนัก 200 g | น้ำหนัก 2000 g |
| 1 | 200.0006 | 2000.0093 |
| 2 | 200.0007 | 2000.0098 |
| 3 | 200.0008 | 2000.0098 |
| 4 | 200.0011 | 2000.0101 |
| 5 | 200.0005 | 2000.0099 |
| 6 | 200.0009 | 2000.0106 |
| 7 | 200.0008 | 2000.0103 |
| 8 | 200.0006 | 2000.0106 |
| 9 | 200.0006 | 2000.0106 |
| 10 | 200.0008 | 2000.0106 |
| SD. | 0.00018 | 0.00046 |

| 2) ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | | ค่า SD |
| (g) | 1 | 2 | 3 | 4 | (g) |
| 200 | 199.9986 | 199.9993 | 199.9994 | 199.9994 | 0.0004 |
| 400 | 400.0002 | 399.9991 | 399.9996 | 400.0000 | 0.0005 |
| 600 | 600.0006 | 600.0010 | 600.0004 | 600.0007 | 0.0002 |
| 800 | 800.0009 | 800.0012 | 800.0014 | 800.0007 | 0.0003 |
| 1000 | 1000.0019 | 1000.0017 | 1000.0019 | 1000.0018 | 0.0001 |
| 1200 | 1200.0024 | 1200.0032 | 1200.0032 | 1200.0032 | 0.0004 |
| 1400 | 1400.0024 | 1400.0023 | 1400.0025 | 1400.0023 | 0.0001 |
| 1600 | 1600.0047 | 1600.0042 | 1600.0040 | 1600.0049 | 0.0004 |
| 1800 | 1800.0034 | 1800.0030 | 1800.0047 | 1800.0046 | 0.0009 |
| 2000 | 2000.0056 | 2000.0053 | 2000.0054 | 2000.0057 | 0.0002 |
| 2500 | 2500.0075 | 2500.0078 | 2500.0082 | 2500.0084 | 0.0004 |
| 3000 | 3000.0073 | 3000.0097 | 3000.0086 | 3000.0073 | 0.0012 |

| การคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก (g) | $I_R$ (g) | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนัก (g) | $W_S$ (g) | $D_S$ (g) | ค่าความละเอียด (g) | $\delta I_{d0}$ (g) | $\delta I_d$ (g) | $A_b$ (g) | $u_C$ (g) | $U = u_C * 2$ (g) |
| 200 | 0.000193 | 0.000100 | 0.000050 | 0.000058 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000115 | 0.000239 | 0.000566 |
| 400 | 0.000243 | 0.000200 | 0.000100 | 0.000115 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000231 | 0.000369 | 0.000783 |
| 600 | 0.000125 | 0.000300 | 0.000150 | 0.000173 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000346 | 0.000435 | 0.000869 |
| 800 | 0.000155 | 0.000400 | 0.000200 | 0.000231 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000462 | 0.000576 | 0.001152 |
| 1000 | 0.000048 | 0.000500 | 0.000250 | 0.000289 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000577 | 0.000694 | 0.001389 |
| 1200 | 0.000200 | 0.000600 | 0.000300 | 0.000346 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000693 | 0.000855 | 0.001710 |
| 1400 | 0.000048 | 0.000700 | 0.000350 | 0.000404 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000808 | 0.000971 | 0.001941 |
| 1600 | 0.000210 | 0.00080 | 0.000400 | 0.000462 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000924 | 0.001128 | 0.002255 |
| 1800 | 0.000427 | 0.000900 | 0.000450 | 0.000520 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.001039 | 0.001317 | 0.002635 |
| 2000 | 0.000091 | 0.001000 | 0.000500 | 0.000577 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.001155 | 0.001388 | 0.002775 |
| 2500 | 0.000202 | 0.001250 | 0.000625 | 0.000722 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.001443 | 0.001742 | 0.003485 |
| 3000 | 0.000579 | 0.001500 | 0.000750 | 0.000866 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.001732 | 0.002156 | 0.004312 |

| 3) ค่าการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน (Eccentricity) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ตำแหน่งที่ | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | ค่า SD (g) |
| | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 1000.0036 | 1000.0032 | 1000.0036 | 0.0002 |
| 2 | 1000.0009 | 1000.0013 | 1000.0008 | 0.0003 |
| 3 | 1000.0005 | 999.9999 | 999.9991 | 0.0007 |
| 4 | 1000.0063 | 1000.0066 | 1000.0062 | 0.0002 |
| 5 | 1000.0075 | 1000.0076 | 1000.0071 | 0.0003 |

ภาคผนวกที่ 4 ผลการสอบเทียบเครื่องชั่งขณะที่มีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

เครื่องที่ 1 Sartorius ME215S

| 1) ค่าความสามารถในการชั่งซ้ำ (Reproducibility) | | |
|---|---|---|
| ครั้งที่ | น้ำหนัก 20 g | น้ำหนัก 200 g |
| 1 | 19.99999 | 199.99976 |
| 2 | 19.99999 | 199.99975 |
| 3 | 19.99999 | 199.99974 |
| 4 | 20.00000 | 199.99972 |
| 5 | 20.00000 | 199.99976 |
| 6 | 20.00000 | 199.99973 |
| 7 | 19.99999 | 199.99971 |
| 8 | 20.00000 | 199.99972 |
| 9 | 20.00000 | 199.99975 |
| 10 | 19.99999 | 199.99972 |
| SD. | 0.000005 | 0.000018 |

| 2) ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | | ค่า SD |
| (g) | 1 | 2 | 3 | 4 | (g) |
| 20 | 20.00000 | 19.99999 | 20.00000 | 19.99999 | 0.000006 |
| 40 | 39.99995 | 39.99995 | 39.99996 | 39.99995 | 0.000005 |
| 60 | 59.99988 | 59.99989 | 59.99989 | 59.99989 | 0.000005 |
| 80 | 79.99981 | 79.99981 | 79.99983 | 79.99981 | 0.000010 |
| 100 | 99.99989 | 99.99989 | 99.99989 | 99.99989 | 0.000000 |
| 120 | 119.99980 | 119.99980 | 119.99981 | 119.99981 | 0.000006 |
| 140 | 139.99982 | 139.99983 | 139.99981 | 139.99982 | 0.000008 |
| 160 | 160.00013 | 160.00012 | 160.00013 | 160.00012 | 0.000006 |
| 180 | 180.00015 | 180.00015 | 180.00014 | 180.00016 | 0.000008 |
| 200 | 200.00023 | 200.00023 | 200.00024 | 200.00025 | 0.000010 |

| การคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก (g) | $I_R$ (g) | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนัก (g) | $W_S$ (g) | $D_S$ (g) | ค่าความละเอียด (g) | $\delta I_{d0}$ (g) | $\delta I_d$ (g) | $A_b$ (g) | $u_C$ (g) | $U = u_C * 2$ (g) |
| 20 | 0.000003 | 0.000025 | 0.000013 | 0.000014 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000012 | 0.000023 | 0.0000454 |
| 40 | 0.000003 | 0.000050 | 0.000025 | 0.000029 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000023 | 0.000045 | 0.0000896 |
| 60 | 0.000003 | 0.000050 | 0.000025 | 0.000029 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000035 | 0.000052 | 0.0001034 |
| 80 | 0.000005 | 0.000075 | 0.000038 | 0.000043 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000046 | 0.000074 | 0.0001476 |
| 100 | 0.000000 | 0.000050 | 0.000025 | 0.000029 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000058 | 0.000069 | 0.0001386 |
| 120 | 0.000003 | 0.000075 | 0.000038 | 0.000043 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000069 | 0.000090 | 0.0001800 |
| 140 | 0.000004 | 0.000100 | 0.000050 | 0.000058 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000081 | 0.000111 | 0.0002226 |
| 160 | 0.000003 | 0.00010 | 0.000050 | 0.000058 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000092 | 0.000120 | 0.0002399 |
| 180 | 0.000004 | 0.000125 | 0.000063 | 0.000072 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000104 | 0.000141 | 0.0002824 |
| 200 | 0.000005 | 0.000100 | 0.000050 | 0.000058 | 0.00001 | 0.000000 | 0.000003 | 0.000115 | 0.000139 | 0.0002771 |

| 3) ค่าการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน (Eccentricity) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ตำแหน่งที่ | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | ค่า SD (g) |
| | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 49.99992 | 49.99993 | 49.99993 | 0.00001 |
| 2 | 49.99991 | 49.99990 | 49.99992 | 0.00001 |
| 3 | 49.99988 | 49.99988 | 49.99988 | 0.00000 |
| 4 | 49.99988 | 49.99987 | 49.99988 | 0.00001 |
| 5 | 49.99986 | 49.99987 | 49.99986 | 0.00001 |

เครื่องที่ 2 Sartorius ME414S

| 1) ค่าความสามารถในการชั่งซ้ำ (Reproducibility) | | |
|---|---|---|
| ครั้งที่ | น้ำหนัก 50 g | น้ำหนัก 200 g |
| 1 | 49.9999 | 199.9998 |
| 2 | 49.9999 | 199.9997 |
| 3 | 49.9999 | 199.9997 |
| 4 | 49.9999 | 199.9998 |
| 5 | 49.9999 | 199.9998 |
| 6 | 49.9999 | 199.9997 |
| 7 | 49.9999 | 199.9998 |
| 8 | 49.9999 | 199.9997 |
| 9 | 49.9999 | 199.9998 |
| 10 | 49.9999 | 199.9997 |
| SD. | 0.00000 | 0.00005 |

| 2) ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | | ค่า SD |
| (g) | 1 | 2 | 3 | 4 | (g) |
| 10 | 10.0000 | 10.0000 | 10.0000 | 10.0000 | 0.000000 |
| 25 | 25.0001 | 25.0000 | 25.0000 | 25.0000 | 0.000050 |
| 50 | 50.0000 | 50.0001 | 50.0000 | 50.0000 | 0.000050 |
| 100 | 100.0001 | 100.0001 | 100.0001 | 100.0001 | 0.000000 |
| 150 | 150.0001 | 150.0001 | 150.0001 | 150.0001 | 0.000000 |
| 200 | 200.0000 | 200.0000 | 200.0000 | 200.0000 | 0.000000 |
| 250 | 250.0000 | 250.0001 | 250.0000 | 250.0001 | 0.000058 |
| 300 | 300.0002 | 300.0002 | 300.0001 | 300.0002 | 0.000050 |
| 350 | 350.0000 | 350.0000 | 350.0001 | 350.0001 | 0.000058 |
| 400 | 400.0000 | 400.0000 | 400.0000 | 400.0000 | 0.000000 |

| การคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก (g) | $I_R$ (g) | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนัก (g) | $W_S$ (g) | $D_S$ (g) | ค่าความละเอียด (g) | $\delta I_{d0}$ (g) | $\delta I_d$ (g) | $A_b$ (g) | $u_C$ (g) | $U= u_C * 2$ (g) |
| 10 | 0.000000 | 0.000020 | 0.000010 | 0.000012 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000006 | 0.000033 | 0.0000666 |
| 25 | 0.000025 | 0.000041 | 0.000021 | 0.000024 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000014 | 0.000052 | 0.0001033 |
| 50 | 0.000025 | 0.000030 | 0.000015 | 0.000017 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000029 | 0.000053 | 0.0001063 |
| 100 | 0.000000 | 0.000050 | 0.000025 | 0.000029 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000058 | 0.000075 | 0.0001501 |
| 150 | 0.000000 | 0.000080 | 0.000040 | 0.000046 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000087 | 0.000110 | 0.0002198 |
| 200 | 0.000000 | 0.000100 | 0.000050 | 0.000058 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000115 | 0.000141 | 0.0002829 |
| 250 | 0.000029 | 0.000130 | 0.000065 | 0.000075 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000144 | 0.000180 | 0.0003598 |
| 300 | 0.000025 | 0.00015 | 0.000075 | 0.000087 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000173 | 0.000211 | 0.0004223 |
| 350 | 0.000029 | 0.00018 | 0.000090 | 0.000104 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000202 | 0.000248 | 0.0004956 |
| 400 | 0.000000 | 0.000200 | 0.000100 | 0.000115 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000231 | 0.000278 | 0.0005568 |

| 3) ค่าการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน (Eccentricity) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ตำแหน่งที่ | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | ค่า SD (g) |
| | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 0.0000 |
| 2 | 100.0001 | 100.0001 | 100.0001 | 0.0000 |
| 3 | 100.0001 | 100.0001 | 100.0001 | 0.0000 |
| 4 | 100.0000 | 100.0000 | 99.9999 | 0.0001 |
| 5 | 99.9999 | 99.9999 | 100.0000 | 0.0001 |

เครื่องที่ 3 Sartorius CC3000

| 1) ค่าความสามารถในการชั่งซ้ำ (Reproducibility) | | |
|---|---|---|
| ครั้งที่ | น้ำหนัก 200 g | น้ำหนัก 2000 g |
| 1 | 200.0000 | 2000.0005 |
| 2 | 199.9999 | 2000.0005 |
| 3 | 200.0000 | 2000.0005 |
| 4 | 199.9999 | 2000.0005 |
| 5 | 199.9999 | 2000.0006 |
| 6 | 199.9999 | 2000.0005 |
| 7 | 199.9999 | 2000.0006 |
| 8 | 200.0001 | 2000.0006 |
| 9 | 200.0001 | 2000.0006 |
| 10 | 199.9999 | 2000.0005 |
| SD. | 0.00008 | 0.00005 |

| 2) ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | | ค่า SD |
| (g) | 1 | 2 | 3 | 4 | (g) |
| 200 | 199.9997 | 199.9997 | 199.9998 | 199.9998 | 0.0001 |
| 400 | 400.0000 | 400.0001 | 400.0001 | 400.0000 | 0.0001 |
| 600 | 600.0002 | 600.0002 | 600.0001 | 600.0002 | 0.0000 |
| 800 | 800.0002 | 800.0001 | 800.0001 | 800.0002 | 0.0001 |
| 1000 | 999.9998 | 999.9998 | 999.9998 | 999.9998 | 0.0000 |
| 1200 | 1200.0005 | 1200.0006 | 1200.0005 | 1200.0006 | 0.0001 |
| 1400 | 1400.0000 | 1400.0000 | 1400.0001 | 1400.0000 | 0.0000 |
| 1600 | 1599.9993 | 1599.9994 | 1599.9994 | 1599.9993 | 0.0001 |
| 1800 | 1800.0031 | 1800.0031 | 1800.0032 | 1800.0031 | 0.0001 |
| 2000 | 2000.0003 | 2000.0004 | 2000.0004 | 2000.0003 | 0.0001 |
| 2500 | 2499.9999 | 2500.0000 | 2499.9999 | 2500.0000 | 0.0001 |
| 3000 | 3000.0001 | 3000.0000 | 3000.0000 | 3000.0000 | 0.0001 |

| การคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนัก (g) | $I_R$ (g) | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนัก (g) | $W_S$ (g) | $D_S$ (g) | ค่าความละเอียด (g) | $\delta I_{d0}$ (g) | $\delta I_d$ (g) | $A_b$ (g) | $u_C$ (g) | $U= u_C * 2$ (g) |
| 200 | 0.000029 | 0.000100 | 0.000050 | 0.000058 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000115 | 0.000144 | 0.000289 |
| 400 | 0.000029 | 0.000200 | 0.000100 | 0.000115 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000231 | 0.000280 | 0.000560 |
| 600 | 0.000025 | 0.000300 | 0.000150 | 0.000173 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000346 | 0.000417 | 0.000834 |
| 800 | 0.000029 | 0.000400 | 0.000200 | 0.000231 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000462 | 0.000555 | 0.001111 |
| 1000 | 0.000000 | 0.000500 | 0.000250 | 0.000289 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000577 | 0.000693 | 0.001386 |
| 1200 | 0.000029 | 0.000600 | 0.000300 | 0.000346 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000693 | 0.000832 | 0.001663 |
| 1400 | 0.000025 | 0.000700 | 0.000350 | 0.000404 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000808 | 0.000970 | 0.001940 |
| 1600 | 0.000029 | 0.00080 | 0.000400 | 0.000462 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.000924 | 0.001108 | 0.002217 |
| 1800 | 0.000025 | 0.000900 | 0.000450 | 0.000520 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.001039 | 0.001247 | 0.002493 |
| 2000 | 0.000029 | 0.001000 | 0.000500 | 0.000577 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.001155 | 0.001385 | 0.002770 |
| 2500 | 0.000029 | 0.001250 | 0.000625 | 0.000722 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.001443 | 0.001731 | 0.003462 |
| 3000 | 0.000025 | 0.001500 | 0.000750 | 0.000866 | 0.0001 | 0.000003 | 0.000029 | 0.001732 | 0.002077 | 0.004154 |

| 3) ค่าการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน (Eccentricity) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ตำแหน่งที่ | ค่าที่อ่านได้ (g) | | | ค่า SD (g) |
| | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 999.9999 | 1000.0000 | 1000.0000 | 0.0001 |
| 2 | 999.9975 | 999.9977 | 999.9977 | 0.0001 |
| 3 | 999.9978 | 999.9977 | 999.9978 | 0.0001 |
| 4 | 1000.0023 | 1000.0022 | 1000.0023 | 0.0001 |
| 5 | 1000.0026 | 1000.0028 | 1000.0028 | 0.0001 |

ภาคผนวกที่ 5 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักขณะที่ไม่มีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

1 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.007638 | Normal | 1 | 0.007638 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.000190 | Normal | 1 | 0.000190 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.007517 | Normal | 1 | 0.007517 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.012047 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.024093 |

2 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.009165 | Normal | 1 | 0.009165 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.000380 | Normal | 1 | 0.000380 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.007517 | Normal | 1 | 0.007517 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.013073 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.026145 |

2* g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.009165 | Normal | 1 | 0.009165 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.000380 | Normal | 1 | 0.000380 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.007517 | Normal | 1 | 0.007517 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.013073 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.026145 |

5 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.012220 | Normal | 1 | 0.012220 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.000950 | Normal | 1 | 0.000950 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.007517 | Normal | 1 | 0.007517 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.015394 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.030789 |

10 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.015275 | Normal | 1 | 0.015275 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.001900 | Normal | 1 | 0.001900 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.007517 | Normal | 1 | 0.007517 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.017991 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.035983 |

20 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.019094 | Normal | 1 | 0.019094 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.003799 | Normal | 1 | 0.003799 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.007518 | Normal | 1 | 0.007518 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.021582 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.043164 |

20* g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.019094 | Normal | 1 | 0.019094 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.003799 | Normal | 1 | 0.003799 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.007519 | Normal | 1 | 0.007519 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.021583 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.043165 |

50 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.022913 | Normal | 1 | 0.022913 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.004727 | Normal | 1 | 0.004727 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.463681 | Normal | 1 | 0.463681 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.469805 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.939610 |

100 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.038188 | Normal | 1 | 0.038188 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.009455 | Normal | 1 | 0.009455 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.463681 | Normal | 1 | 0.463681 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.470869 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.941737 |

200 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.076376 | Normal | 1 | 0.076376 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.018909 | Normal | 1 | 0.018909 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.463681 | Normal | 1 | 0.463681 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.475774 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.951547 |

200* g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.076376 | Normal | 1 | 0.076376 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.018909 | Normal | 1 | 0.018909 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.463681 | Normal | 1 | 0.463681 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.475774 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.951547 |

500 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.190941 | Normal | 1 | 0.190941 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.047273 | Normal | 1 | 0.047273 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.463681 | Normal | 1 | 0.463681 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.508786 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 1.017571 |

1 kg

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.381881 | Normal | 1 | 0.381881 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.094546 | Normal | 1 | 0.094546 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.463681 | Normal | 1 | 0.463681 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.612325 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 1.224651 |

ภาคผนวกที่ 6 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักขณะที่มีการใช้ระบบช่วยในการวางน้ำหนักให้ได้ตำแหน่งเดิมและตรงตำแหน่งกลางจาน

1 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.007638 | Normal | 1 | 0.007638 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.000191 | Normal | 1 | 0.000191 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.000408 | Normal | 1 | 0.000408 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.009423 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.018845 |

2 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.009165 | Normal | 1 | 0.009165 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.000383 | Normal | 1 | 0.000383 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.000410 | Normal | 1 | 0.000410 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.010703 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.021407 |

2* g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.009165 | Normal | 1 | 0.009165 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.000383 | Normal | 1 | 0.000383 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.000408 | Normal | 1 | 0.000408 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.010703 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.021407 |

5 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.012220 | Normal | 1 | 0.012220 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.000952 | Normal | 1 | 0.000952 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.000408 | Normal | 1 | 0.000408 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.013441 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.026882 |

10 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.015275 | Normal | 1 | 0.015275 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.001905 | Normal | 1 | 0.001905 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.000408 | Normal | 1 | 0.000408 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.016352 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.032704 |

20 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.019094 | Normal | 1 | 0.019094 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.003813 | Normal | 1 | 0.003813 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.000430 | Normal | 1 | 0.000430 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.020238 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.040475 |

20* g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.005500 | Normal | 1 | 0.005500 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.019094 | Normal | 1 | 0.019094 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.003817 | Normal | 1 | 0.003817 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.000458 | Normal | 1 | 0.000458 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.020239 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.040478 |

50 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.022913 | Normal | 1 | 0.022913 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.004971 | Normal | 1 | 0.004971 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.040825 | Normal | 1 | 0.040825 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.085942 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.171884 |

100 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.038188 | Normal | 1 | 0.038188 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.009611 | Normal | 1 | 0.009611 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.040825 | Normal | 1 | 0.040825 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.091580 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.183161 |

200 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.076376 | Normal | 1 | 0.076376 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.019625 | Normal | 1 | 0.019625 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.040825 | Normal | 1 | 0.040825 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.114257 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.228515 |

200* g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.076376 | Normal | 1 | 0.076376 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.019693 | Normal | 1 | 0.019693 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.040825 | Normal | 1 | 0.040825 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.114269 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.228538 |

500 g

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.190941 | Normal | 1 | 0.190941 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.049329 | Normal | 1 | 0.049329 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.040825 | Normal | 1 | 0.040825 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.213841 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.427682 |

1 kg

| Symbol | Source of Uncertainty | Value ± mg | Probability distribution | Sensitivity Coefficient | U ± mg |
|---|---|---|---|---|---|
| $u_W$ | ค่าความไม่แน่นอนของกระบวนการชั่ง | 0.071900 | Normal | 1 | 0.071900 |
| $u(m_{cr})$ | ค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน | 0.381881 | Normal | 1 | 0.381881 |
| $u_b$ | ค่าความไม่แน่นอนของการแก้ค่าแรงพยุงอากาศ | 0.098802 | Normal | 1 | 0.098802 |
| $u_{ba}$ | ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง | 0.040829 | Normal | 1 | 0.040829 |
| $u_C$ | ค่าความไม่แน่นอนรวม | | Normal | | 0.403028 |
| U | ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% | | Normal (k = 2) | | 0.806056 |

# ประวัตินักวิจัย


**ชื่อ**: นางจิตตกานต์ อินเที่ยง

**วันเดือนปีเกิด**: 7 สิงหาคม 2519

**ข้อมูลติดต่อ**: กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ทดสอบ, โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
75/7 ถนนพระรามที่ 6, ราชเทวี, กรุงเทพฯ 10400
โทร. 02-2017322, แฟ็กซ์ 02-2017323
อีเมล์: Jittakant@dss.go.th


**การศึกษา**:

| | |
|---|---|
| มิถุนายน 2553 | ปริญญาเอก Engineering and Design<br>Brunel University, UK |
| พฤษภาคม 2548 | ปริญญาโทวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ประยุกต์<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| เมษายน 2541 | ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ประยุกต์<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |

**ประวัติการทำงาน**:

| | |
|---|---|
| 2542-ปัจจุบัน | นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ<br>ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมวลและปริมาตร กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ทดสอบ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ |

**ประสบการณ์**:

- วิทยากรบรรยายเรื่องการสอบเทียบเครื่องชั่ง ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDiPT) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วิทยากรบรรยายเรื่องการเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเพื่อการทดสอบและสอบเทียบเครื่องชั่ง ในการสัมมนาพิเศษงาน Thailand Industrial Fair 2014
- วิทยากรบรรยายเรื่องการใช้เครื่องชั่งและเครื่องแก้วปริมาตร ให้แก่หน่วยงาน OTOP ภาคกลางและภาคอีสาน
- ผู้ช่วยวิทยากรเรื่องการสอบเทียบเครื่องชั่งและการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน กรมวิทยาศาสตร์บริการ
- ผู้ช่วยวิทยากรเรื่องการทวนสอบผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด กรมวิทยาศาสตร์บริการ
- เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา e-learning หลักสูตรการสอบเทียบเครื่องชั่ง (English version)

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

- รับผิดชอบดำเนินโครงการเป็น Provider ทดสอบความชำนาญทางด้านการสอบเทียบเครื่องชั่ง กรมวิทยาศาสตร์บริการ
- เป็นผู้ตรวจติดตามคุณภาพภายในของโครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ
- ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกสอบเด็กนักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- เป็น reviewer บทความตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาเกษตรศาสตร์

**ประวัติการฝึกอบรม**:

| หลักสูตร | หน่วยงาน |
|---|---|
| Basics of Industrial Metrology | สวทช. The British Council และ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี |
| Advances in Industrial Metrology | สวทช. The British Council และ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี |
| Uncertainty of Measurement | กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| Balance and Mass Calibration | สมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย |
| การสอบเทียบเครื่องแก้ว | กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| การจัดทำระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการตาม ISO/IEC Guide 25 | กรมวิทยาศาสตร์บริการและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม |
| ISO/IEC 17025 | กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| Internal Audit | กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| Mass Metrology | บริษัท Sartorius ณ ประเทศเยอรมันนี |
| การสอบเทียบไมโครมิเตอร์และเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ | กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| การสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ | กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| การสอบเทียบพีเอชมิเตอร์ | กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| การสอบเทียบเกจวัดความดัน | กรมวิทยาศาสตร์บริการ |
| Workshop on the National Standards System and Precision Measurement | Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS) ณ สาธารณรัฐเกาหลี |
| Calibration of Weight | สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ |
| Electronic Balance Calibration | สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ |

**บทความ**:

- Characteristics of 9 mm Metallic Triple-Beam Tuning Fork Resonant Sensor : Sensors and their Applications XIV
- Use of Metallic Resonant Sensor in Torque Measurement Transfer Standard : Sensor + Test Conference 2009
- ความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน : วารสาร UPDATE สมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย
- การปรับตั้งเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (ตอนที่ 1) : วารสาร UPDATE สมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย
- การปรับตั้งเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (ตอนที่ 2) : วารสาร UPDATE สมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย
- การวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน : วารสาร UPDATE สมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย
- ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน : Bulletin of Applied Science กรมวิทยาศาสตร์บริการ
- ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานเครื่องชั่ง : วารสาร UPDATE สมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย

**การบรรยาย**:

- "Characteristics of 9mm Metallic Triple-Beam Tuning Fork Resonant Sensor" : Sensors and their Applications XIV, Liverpool, United Kingdom
- "Miniaturisation of Metallic Resonant Sensors for Torque Measurement Applications" : SIMPosium 2008 of The Worshipful Company of Scientific Instrument Makers (WCSIM), London, United Kingdom
- "Use of Metallic Resonant Sensor in Torque Measurement Transfer Standard" : Sensor + Test Conference 2009, Nuremberg, Germany
- "Use of Metallic Resonant Sensor in Torque Measurement Transfer Standard" : Rescon'09 School of Engineering and Design, Brunel University, UK
- "การสอบเทียบเครื่องชั่ง" ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDiPT) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- การเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเพื่อการทดสอบและสอบเทียบเครื่องชั่ง ในการสัมมนาพิเศษงาน Thailand Industrial Fair 2014

- “การใช้เครื่องชั่งและเครื่องแก้วปริมาตร” ให้แก่หน่วยงาน OTOP ภาคกลางและภาคอีสาน

**งานวิจัย**: - การศึกษาความเป็นแม่เหล็กของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

- การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวกับค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

**รางวัลที่เคยได้รับ**: ทุนสนับสนุน Ph.D Project เป็นระยะเวลา 2 ปี จากหน่วยงาน The Worshipful Company of Scientific Instrument Makers (WCSIM), London, United Kingdom