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

วศกศ
อว 2

**เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง**
**นักวิทยาศาสตร์ 8 ว**

# การพัฒนาหลักสูตรการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

**โดย**
**นางอุมาพร สุขม่วง**
**ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7 ว**
*และ*
**นายอนุสิทธิ์ สุขม่วง**
**ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7 ว**

กองการศึกษาเคมีปฏิบัติ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

# เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

วท กส
ว 2
12148
16 ก.ย. 2547

# การพัฒนาหลักสูตรการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

โดย

**นางอุมาพร สุขม่วง**

**ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7 ว**

*และ*

**นายอนุสิทธิ์ สุขม่วง**

**ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7 ว**

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
16 ก.ย. 2547

กองการศึกษาเคมีปฏิบัติ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

# กิตติกรรมประกาศ

การพัฒนาคู่มือการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรนี้ สำเร็จได้ เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากผู้บังคับบัญชา ให้ข้อมูลที่เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของคู่มือ สนับสนุนให้เข้ารับการฝึกอบรมในหลักสูตรที่เกี่ยวข้อง ให้คำแนะนำแก้ไขปรับปรุงเนื้อหา ส่งเสริมให้นำคู่มือนี้สอนนักศึกษาของสถานศึกษาเคมีปฏิบัติ และใช้เป็นเอกสารในการฝึกอบรมในโครงการฝึกอบรมและพัฒนาเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ และเผยแพร่ในหน่วยงานภายนอก นอกจากนี้หัวหน้าห้องปฏิบัติการมาตรฐานวิศวกรรมทางกล และเจ้าหน้าที่สอบเทียบเครื่องแก้ว ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของ กศ. ยังให้ความร่วมมือในการจัดเตรียมเครื่องมือ/อุปกรณ์เพื่อการศึกษาทดลอง รวมทั้งผู้เรียนที่ให้ข้อมูลย้อนกลับเพื่อการพัฒนาปรับปรุงและแก้ไข จนการพัฒนาคู่มือประสบความสำเร็จ เป็นคู่มือทางวิชาการเพื่อใช้เป็นแนวทางสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์แก่ห้องปฏิบัติการ เพื่อการเข้าสู่ระบบมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025 ผู้พัฒนาฯ ขอขอบคุณ

# คำนำ

เครื่องแก้ววัดปริมาตรของเหลว มีความสำคัญต่อการดำเนินงานห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบและวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องใช้เครื่องแก้วที่ผ่านการสอบเทียบ เพื่อให้ผลการวัดน่าเชื่อถือ และสอดคล้องกับหลักการประกันคุณภาพห้องปฏิบัติการตามมาตรฐานสากล ISO / IEC 17025-1999 / มอก.17025-2543 และ ISO 9002 ปัจจุบันหน่วยงานในประเทศไทยที่ให้บริการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร สำหรับใช้งานในห้องปฏิบัติการมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของห้องปฏิบัติการที่จำเป็นต้องจัดทำการประกันคุณภาพตามมาตรฐานสากล ทำให้ห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ทั้งในภาครัฐและเอกชนต้องทำการสอบเทียบ และทวนสอบเครื่องแก้ววัดปริมาตรด้วยตนเอง (In - house calibration and verification) ซึ่งผู้ที่ทำหน้าที่สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ต้องมีความรู้ความชำนาญ และมีทักษะในการปฏิบัติ จึงจะได้ผลการสอบเทียบที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ การหาความรู้และทักษะ สามารถหาได้จากการศึกษา เรียนรู้ และฝึกอบรม ศูนย์ฝึกอบรมและพัฒนาเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ กองการศึกษาเคมีปฏิบัติ กรมวิทยาศาสตร์บริการ จึงได้สำรวจความต้องการฝึกอบรม (training need) และพบว่ามีบุคลากรทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต้องการฝึกอบรมเรื่องการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรเป็นจำนวนมาก จึงได้พัฒนาหลักสูตรการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรขึ้น และได้จัดฝึกอบรมรุ่นแรกเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ 2541

หลักสูตรการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่พัฒนาขึ้นมา เนื้อหาภาคทฤษฎี ประกอบด้วย ความสำคัญของเครื่องแก้ววัดปริมาตรต่อคุณภาพของผลการวัด ความรู้เกี่ยวกับเครื่องแก้ววัดปริมาตร การสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรตามหลักมาตรวิทยา และการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ว ใช้เวลาบรรยาย 6 ชั่วโมง ภาคปฏิบัติ ประกอบด้วยวิธีสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร และฝึกการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ว ใช้เวลา 6 ชั่วโมง รวมเวลาการฝึกอบรมตลอดหลักสูตร 12 ชั่วโมง ในการพัฒนาหลักสูตรได้จัดทำคู่มือการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร 1 เล่ม เพื่อใช้ประกอบการฝึกอบรม

การจัดทำคู่มือการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ได้รวบรวมข้อมูลและหลักเกณฑ์ต่างๆจากตำรา เอกสารมาตรฐานข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องแก้ววัดปริมาตร ทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งจากประสบการณ์การใช้และสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ซึ่งคลอบคลุมข้อมูลที่จำเป็นที่ผู้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรควรทราบ และสอดคล้องกับเนื้อหาในหลักสูตรการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ใช้เป็นเอกสารประกอบการฝึกอบรมและใช้ในการสอนนักศึกษาของสถานศึกษา เคมีปฏิบัติ คู่มือนี้เป็นเอกสารภาษาไทยเล่มแรกที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ครบถ้วน สามารถใช้เป็นแนวทางที่ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

# สารบัญ


หน้า

**บทที่ 1 บทนำ**

1.1 ความสำคัญของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร 1

1.2 สิ่งจำเป็นในการดำเนินงานสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร 2

1.3 ปัญหาที่อาจเกิดในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร 3

1.4 ความหมายของคำ 6

**บทที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

2.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องแก้ววัดปริมาตร 9

2.2 ความสำคัญของเครื่องแก้ววัดปริมาตร 12

2.3 หลักการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรอย่างถูกต้อง 15

2.4 ชนิดของเครื่องแก้ววัดปริมาตร 16

2.5 ชั้นคุณภาพ (Class) ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร 17

2.6 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องแก้ววัดปริมาตร 19

2.7 การกำหนดคุณลักษณะของเครื่องแก้ววัดปริมาตร 21

2.8 รายละเอียดที่แสดงบนเครื่องแก้ววัดปริมาตร 23

2.9 วิธีใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร 25

2.10 การล้างเครื่องแก้ว 30

**บทที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

3.1 องค์ประกอบของการสอบเทียบ 32

3.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร 39

3.3 วิธีการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร 41

3.4 จำนวนครั้งของการวัดซ้ำ 42

3.5 การคำนวณ 44

**บทที่ 4 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

4.1 ความหมายของความไม่แน่นอน 45

4.2 สถิติที่ใช้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอน 46

4.3 การแบ่งชนิดของความไม่แน่นอน 50

4.4 ขั้นตอนการประเมินค่าความไม่แน่นอน 51

4.5 วิธีประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร 51

4.6 การรายงานผลการวัด 55

หน้า

**บทที่ 5 ปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

5.1 วัตถุประสงค์ 60

5.2 หลักการ 60

5.3 ขอบข่าย 60

5.4 การทดลอง 60

5.5 การเตรียมสภาวะการทดลอง 61

5.6 วิธีทดลอง 61

**บทที่ 6 สรุปผลการพัฒนาคู่มือการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

6.1 ผลจากการใช้คู่มือ 71

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับ 72

6.3 สรุป 73

**เอกสารอ้างอิง** 74

**ภาคผนวก 1** ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณปริมาตรของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ 20 $^{0}$ซ 77

**ภาคผนวก 2** ข้อมูลที่ใช้ประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร 80

**ภาคผนวก 3** สมบัติของแก้ว 81

**ภาคผนวก 4** ค่า tolerance ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร 83

**ภาคผนวก 5** ค่า delivery time ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร 88

**ภาคผนวก 6** การใช้แถบสีบนปิเปตตามมาตรฐาน ISO 93

# สารบัญตาราง

หน้า


| | | |
|---|---|---|
| ตารางที่ 2.1 | แสดงรายละเอียดเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีปริมาตรคลาดเคลื่อนจากค่าที่ระบุ และความเข้มข้นที่คลาดเคลื่อนจากค่าที่คำนวณ | 14 |
| ตารางที่ 2.2 | แสดงข้อมูลของกราฟมาตรฐาน และการวัดค่าสารละลายตัวอย่าง | 15 |
| ตารางที่ 2.3 | แสดงวิธีถ่ายของเหลวออกจากปิเปตแบบต่างๆ | 17 |
| ตารางที่ 2.4 | แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของขวดวัดปริมาตรขนาดต่างๆ | 18 |
| ตารางที่ 2.5 | แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A ขนาดความจุ 25 มล. | 19 |
| ตารางที่ 2.6 | แสดงรายละเอียดของวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์วัดปริมาตรที่ไม่ใช้แก้วและสมบัติการใช้งาน | 22 |
| ตารางที่ 2.7 | แสดงค่าความแตกต่างสูงสุดที่ได้จากการวัดปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตรซ้ำโดยเป็นอิสระกัน | 26 |
| ตารางที่ 3.1 | แสดงความสัมพันธ์ของค่า tolerance ของปิเปตวัดปริมาตรกับค่าความไม่แน่นอนและความละเอียด ของเครื่องชั่งที่เป็นมาตรฐานการวัด | 35 |
| ตารางที่ 3.2 | แสดงความสัมพันธ์ของค่า tolerance ของขวดวัดปริมาตรกับค่าความไม่แน่นอนและความละเอียด ของเครื่องชั่งที่เป็นมาตรฐานการวัด | 35 |
| ตารางที่ 3.3 | แสดงผลการคำนวณเพื่อหาจำนวนครั้งของการวัด | 43 |
| ตารางที่ 4.1 | แสดงค่าตัวคูณประกอบที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ สำหรับการแจกแจงปกติ | 54 |
| ตารางที่ 4.2 | แสดงผลการสอบเทียบขวดวัดปริมาตรความจุ 50 มล. | 55 |
| ตารางที่ A1.1 | แสดงค่า Z สำหรับการคำนวณปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตร Type I Class A | 77 |
| ตารางที่ A1.2 | แสดงค่า Z สำหรับการคำนวณปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตร Type II | 78 |
| ตารางที่ A1.3 | แสดงค่า Z สำหรับการคำนวณปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตร Type I Class B | 78 |
| ตารางที่ A1.4 | Density of Air-Free Water, $\rho_w$ | 79 |
| ตารางที่ A1.5 | Density of Air, $\rho_a$, in g/cm$^3$ | 79 |
| ตารางที่ A1.6 | Coefficient of Cubical Expansion of Materials Commonly Used in Laboratory Ware | 79 |
| ตารางที่ A2.1 | STUDENTS T-DISTRIBUTION | 80 |
| ตารางที่ A2.2 | พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการวัดปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตร | 81 |

หน้า


| | | |
|---|---|---|
| ตารางที่ A3.1 | องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว Type I | 81 |
| ตารางที่ A3.2 | องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว Type II | 82 |
| ตารางที่ A3.3 | สมบัติทางฟิสิกส์ของแก้วแบบต่างๆ | 82 |
| ตารางที่ A4.1 | แสดงค่า tolerance ของขวดวัดปริมาตร | 83 |
| ตารางที่ A4.2 | แสดงค่า tolerance ของปิเปตวัดปริมาตร | 84 |
| ตารางที่ A4.3 | แสดงค่า tolerance ของปิเปตแกรดูเอตเตด | 85 |
| ตารางที่ A4.4 | แสดงค่า tolerance ของบิวเรต | 86 |
| ตารางที่ A4.5 | แสดงค่า tolerance ของกระบอกตวง | 87 |
| ตารางที่ A5.1 | แสดงค่า delivery time ของปิเปตวัดปริมาตร ASTM 969-95 | 88 |
| ตารางที่ A5.2 | แสดงค่า delivery time ของปิเปตวัดปริมาตร BS 1583-1986 | 89 |
| ตารางที่ A5.3 | แสดงค่า delivery time ของปิเปตวัดปริมาตร ISO 648-1977 | 90 |
| ตารางที่ A5.4 | แสดงค่า delivery time ของปิเปตแกรดูเอตเตด ISO 835 | 91 |
| ตารางที่ A5.5 | แสดงค่า delivery time ของบิวเรต | 91 |
| ตารางที่ A5.6 | แสดงค่า delivery time ของบิวเรต Class A มาตรฐาน ASTM 287 | 92 |
| ตารางที่ A6.1 | แสดงแถบสีบนปิเปตวัดปริมาตร ตามมาตรฐาน ISO 1769-1975 | 93 |
| ตารางที่ A6.2 | แสดงแถบสีบนปิเปตแกรดูเอตเตด ตามมาตรฐาน ISO 1769-1975 | 93 |

# สารบัญรูป

หน้า


| | | |
|---|---|---|
| รูปที่ 2.1 | แสดงเครื่องแก้ววัดปริมาตร | 11 |
| รูปที่ 2.2 | แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายเหล็ก | 14 |
| รูปที่ 2.3 | แสดงผลการทดสอบความคงทนของแก้วบอโรซิลิเกต การกัดกร่อนผิวแก้วเมื่อบรรจุกรดชนิด และความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ $100^0$ ซ นาน 16 ชม. | 20 |
| รูปที่ 2.4 | แสดงผลการทดสอบการกัดกร่อนของสารละลายด่าง ต่อแก้วบอโรซิลิเกต แช่แก้วในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ นาน 1 ชม. | 21 |
| รูปที่ 2.5 | แสดงรายละเอียดที่เขียนบนเครื่องแก้ววัดปริมาตร | 24 |
| รูปที่ 2.6 | แสดงการปรับส่วนโค้งของของเหลวบนขีดปริมาตรและการอ่านปริมาตรของเหลวในเครื่องแก้ววัดปริมาตร | 25 |
| รูปที่ 2.7 | แสดงวิธีใช้ปิเปต | 28 |
| รูปที่ 2.8 | แสดงการใช้บิวเรต | 29 |
| รูปที่ 3.1 | แสดงการสอบกลับของหน่วยวัดต่าง ๆ ไปยังหน่วยเอสไอ | 36 |
| รูปที่ 3.2 | แสดงการถ่ายทอดมาตรฐาน จากมาตรฐานสากลมายังมาตรฐานการวัดในห้องปฏิบัติการ | 37 |
| รูปที่ 4.1 | แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบปกติ | 46 |
| รูปที่ 4.2 | แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบที | 47 |
| รูปที่ 4.3 | แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า | 48 |
| รูปที่ 4.4 | แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบสามเหลี่ยม | 49 |

# บทที่ 1
# บทนำ

อุปกรณ์วัดปริมาตรของเหลว (volumetric apparatus) เป็นเครื่องมือวัดขั้นพื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ด้านเคมี ชีววิทยา และฟิสิกส์ อุปกรณ์วัดปริมาตรของเหลวในห้องปฏิบัติการ ส่วนมากทำด้วยแก้ว ในเอกสารคู่มือเล่มนี้จึงกล่าวเฉพาะอุปกรณ์วัดปริมาตรของเหลวที่ทำด้วยแก้ว ซึ่งเรียกว่าเครื่องแก้ววัดปริมาตร (volumetric glassware) ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีความคุ้นเคยกับเครื่องแก้ววัดปริมาตร เนื่องจากต้องใช้งานเป็นประจำ แต่การใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ผ่านมา ผู้ใช้ส่วนมากทำตามความเคยชิน หรือตามที่ได้รับการฝึกในห้องปฏิบัติการและใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่นใช้ขวดวัดปริมาตร (volumetric flasks) ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่าง ใช้ปิเปต (pipets)ในการถ่ายของเหลว และใช้บิวเรต (burets) ในการไทเทรต แต่การใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรในงานทางห้องปฏิบัติการ เพื่อให้เกิดความถูกต้องและเชื่อถือได้ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรตามวิธีสอบเทียบซึ่งบริษัทผู้ผลิตได้ทำการสอบเทียบ และระบุวิธีสอบเทียบไว้บนเครื่องแก้ว นอกจากนี้ เมื่อต้องการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรก็ต้องจำแนกชนิดของเครื่องแก้ววัดปริมาตรตามวิธีสอบเทียบแล้วดำเนินการสอบเทียบตามวิธีที่กำหนด มิฉะนั้นอาจทำให้เกิดปัญหาในการตัดสินใจและประเมินค่าความถูกต้องของปริมาตรเครื่องแก้ว เนื่องจากการสอบเทียบผิดวิธีอาจทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าที่กำหนด จากปัญหาดังกล่าวผู้สอบเทียบต้องมีความรู้เรื่องคุณลักษณะของเครื่องแก้ววัดปริมาตรอย่างถูกต้องจึงจะสามารถขจัดข้อผิดพลาดดังกล่าวได้

นอกจากนี้ในการนำเครื่องแก้ววัดปริมาตรมาใช้งานในอดีต มักไม่มีการตรวจสอบปริมาตรที่แท้จริงว่าเครื่องแก้ววัดปริมาตรดังกล่าวมีปริมาตรถูกต้องตรงตามที่ระบุไว้หรือไม่ เช่นเมื่อนำขวดวัดปริมาตรขนาดความจุ 50 มล. มาใช้งานก็จะเชื่อว่าขวดใบนั้นมีความจุ 50 มล. ซึ่งหากศึกษาในรายละเอียดพบว่าปริมาตรที่ระบุไว้บนเครื่องแก้วนั้น เป็นปริมาตรโดยประมาณ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerance) กำหนดไว้อีกค่าหนึ่ง เช่น ขวดวัดปริมาตร ความจุ 50 มล. มีค่า tolerance เท่ากับ $\pm$0.03 มล. ดังนั้นขวดวัดปริมาตรขนาดความจุ 50 มล. มีปริมาตร 50$\pm$0.03 มล. เมื่อนำขวดดังกล่าวไปใช้งานปริมาตรที่ได้อาจเป็นค่าใดค่าหนึ่งในช่วง 49.97 – 50.06 มล. ผู้ใช้จะทราบว่าปริมาตรจริงเป็นเท่าใดก็ต่อเมื่อได้ทำการสอบเทียบตามวิธีที่ระบุไว้บนขวดวัดปริมาตรนั้นก่อนนำมาใช้งานเท่านั้น

## 1.1 ความสำคัญของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

ปัจจุบันห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการประกันคุณภาพเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ทดสอบมีความน่าเชื่อถือเป็นที่ยอมรับในระดับสากล การสอบเทียบเครื่องมือที่มีผลกระทบต่อผลการวัดเป็นกิจกรรมหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการประกันคุณภาพห้องปฏิบัติการ เนื่องจากความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ทดสอบ ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของ

เครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ทดสอบนั้น ดังนั้นเครื่องมือวัดที่ใช้จำเป็นต้องมีการสอบเทียบในเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าที่วัดมีความถูกต้องตลอดเวลา นอกจากนี้ยังต้องจัดทำโปรแกรมการสอบเทียบ หรือทวนสอบในระยะเวลาที่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีความซับซ้อน เครื่องมือวัดทางกายภาพ เครื่องมือวัดทางเคมี รวมถึงเครื่องแก้ววัดปริมาตร ซึ่งจัดเป็นเครื่องมือวัดขั้นพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์เชิงปริมาตรเป็นอย่างมาก

ห้องปฏิบัติการที่ต้องการขอการรับรองคุณภาพห้องปฏิบัติการตามมาตรฐานสากล จำเป็นต้องใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ผ่านการสอบเทียบซึ่งเป็นข้อกำหนดในระบบประกันคุณภาพห้องปฏิบัติการสากล ISO/IEC Guide 25 ข้อ 9 ความสอบกลับได้ของการวัดและการสอบเทียบ และในมาตรฐาน ISO/IEC 17025/1999/มอก. 17025-2543 ข้อ 5.5 เครื่องมือวัด และข้อ 5.6 ความสอบกลับได้ของการวัด และข้อกำหนดในระบบคุณภาพ ISO 9002 ข้อ 4.11 การควบคุมเครื่องตรวจ เครื่องวัด และเครื่องทดสอบ ที่ผ่านมาห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ ต้องส่งเครื่องแก้ววัดปริมาตรไปสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบทั้งภาครัฐและเอกชน สำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบของหน่วยงานเอกชน ต้องเป็นห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองคุณภาพตามมาตรฐานสากลแล้ว ใบรับรองการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการนั้นจึงจะเป็นที่ยอมรับ หน่วยงานภาครัฐที่ให้บริการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรในปี พ.ศ. 2538 มีเพียงหน่วยงานเดียว คือศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของห้องปฏิบัติการที่ต้องการขอการรับรองคุณภาพ ดังนั้นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบต่างๆ จึงจำเป็นต้องทำการสอบเทียบและทำการทวนสอบเครื่องแก้ววัดปริมาตรด้วยตนเอง (In house Calibration or Verification) เพื่อให้เพียงพอและทันต่อเวลาในการใช้งาน

**1.2 สิ่งจำเป็นในการดำเนินงานสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

การสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรเป็นกิจกรรมใหม่ของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ การที่ห้องปฏิบัติการจะดำเนินการสอบเทียบและทวนสอบเองได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชานั้น ผู้ที่ทำหน้าที่สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ต้องมีความรู้เกี่ยวกับเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดต่างๆที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ มีความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบของการสอบเทียบ มีวิธีการสอบเทียบที่เป็นมาตรฐาน จัดหาเครื่องมือ จัดสภาพแวดล้อมของห้องสอบเทียบให้เหมาะสม มีความรู้เรื่องการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด ความรู้ด้านสถิติ และแคลคูลัสที่ใช้สำหรับการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด นอกจากนี้ยังต้องฝึกสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรจนมีความชำนาญ เพื่อให้มีทักษะในการปฏิบัติงานผ่านการทดสอบความสามารถ (competent) จึงจะเป็นผู้สอบเทียบที่ให้ผลการสอบเทียบที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ความรู้และเทคนิคที่ถูกต้อง สามารถหาได้จากการศึกษาค้นคว้าจากตำรา และการเข้าฝึกอบรมจากหลักสูตรการฝึกอบรมที่มีประสิทธิภาพ ในช่วงเริ่มต้นของการนำระบบประกันคุณภาพห้องปฏิบัติการมาใช้ในประเทศไทย ยังไม่มีหน่วยงานใดเปิดการฝึกอบรมหลักสูตรการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ผู้ทำการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจากหน่วยงานภาครัฐต้องเข้ารับ

การฝึกอบรมจากต่างประเทศ ส่วนห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบที่ต้องการสอบเทียบเอง ต้องศึกษาค้นคว้าจากเอกสารอ้างอิง ส่วนมากใช้วิธีมาตรฐาน (standard method) ของประเทศหรือวิธีที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรเป็นวิธีมาตรฐานจากหน่วยงานมาตรฐานต่างๆ ได้แก่ American Standard for Testing and Materials (ASTM), International Organization for Standardization (ISO) และ British Standards Institution (BSI) ในเอกสารวิธีสอบเทียบมีรายละเอียดเฉพาะหลักการ เครื่องมือที่ใช้ และวิธีการสอบเทียบ ข้อมูลอื่นๆ นอกจากนี้ ผู้สอบเทียบต้องตัดสินใจเอง เช่น จำนวนครั้งของการวัดซ้ำ วิธีการวัดซ้ำ การแยกชนิดของเครื่องแก้ววัดปริมาตร เช่น ปิเปตแบบต่างๆ ซึ่งมีวิธีการสอบเทียบต่างกัน การประเมินค่าความไม่แน่นอน ซึ่งไม่มีกล่าวไว้ในวิธีสอบเทียบมาตรฐาน จึงยังเป็นปัญหาสำหรับผู้สอบเทียบในการปฏิบัติให้ถูกต้องตามหลักวิชา

นอกจากนี้ ผู้ทำการสอบเทียบและทวนสอบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ต้องทราบองค์ประกอบของการสอบเทียบและการทวนสอบทางมาตรวิทยา และต้องทำให้ได้ครบทุกองค์ประกอบ ศึกษากระบวนการสอบเทียบให้เข้าใจ รวมถึงฝึกความชำนาญจนมีความสามารถในการสอบเทียบ

**1.3 ปัญหาที่อาจเกิดในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

เครื่องแก้ววัดปริมาตรเป็นอุปกรณ์ขั้นพื้นฐานที่ใช้งานประจำในห้องปฏิบัติการ ผู้ปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์หลายสาขาส่วนมากมีความคุ้นเคย จึงมักเข้าใจว่า เมื่อต้องการสอบเทียบ เพียงทำตามวิธีมาตรฐานให้ถูกต้องน่าจะสามารถสอบเทียบได้ แต่เมื่อดำเนินการสอบเทียบจะพบอุปสรรคและปัญหามากมาย เริ่มตั้งแต่การเลือกใช้เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการสอบเทียบ การควบคุมสภาวะการสอบเทียบ วิธีล้างทำความสะอาดของเครื่องแก้ว วิธีอ่านขีดปริมาตร เทคนิคการสอบเทียบ ความสามารถและการทดสอบความสามารถของผู้สอบเทียบ ตลอดจนการประเมินค่าความไม่แน่นอนและการรายงานผล ปัญหาต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นที่ผู้พัฒนาคู่มือฯ ได้พบจากการศึกษาทดลองสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร และจากคำถามของผู้เข้ารับการฝึกอบรมในช่วงเวลา 5 ปี ที่จัดฝึกอบรมหลักสูตรการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ได้รวบรวมและหาแนวทางแก้ปัญหา ดังนี้

1.3.1 เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีความแตกต่างกันหลายแบบ มีการผลิตจากหลายประเทศทั่วโลก และมีการรับรองคุณภาพจากหลายหน่วยงานมาตรฐาน เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้มาตรฐาน ASTM ประเทศอังกฤษใช้มาตรฐาน BSI และประเทศในยุโรปใช้มาตรฐาน ISO ทำให้ผู้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร มีปัญหาเรื่องวิธีการและเทคนิค ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรแต่ละแบบ รวมถึงการวินิจฉัยผลการสอบเทียบเมื่อเทียบกับมาตรฐานของผู้ผลิต

**แนวทางแก้ปัญหา**

ผู้สอบเทียบต้องศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนดคุณลักษณะ (specification) ของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่นำมาใช้ในห้องปฏิบัติการในประเทศไทยตามมาตรฐานสากล มาตรฐานของประเทศผู้ผลิต เพื่อหาข้อแตกต่าง และควรสังเกตความแตกต่าง รวมถึงรายละเอียด

ที่แสดงบนเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่กำหนดโดยแต่ละมาตรฐาน เพื่อให้สามารถจัดกลุ่มเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงสอบเทียบให้ถูกต้องตามวิธีมาตรฐานที่ผู้ผลิตอ้างอิง

1.3.2 วิธีสอบเทียบต้องใช้วิธีมาตรฐานสากล เช่น ASTM[5] , ISO[14] และ BSI[14] ผู้สอบเทียบต้องเลือกอ้างอิงตามวิธีที่สามารถดำเนินการได้ในห้องปฏิบัติการของตน อย่างไรก็ตามในแต่ละวิธีมาตรฐานมีข้อจำกัดในเรื่องของเครื่องมือ และสภาวะแวดล้อมที่ต้องจัดหาและจัดเตรียม บางครั้งเกิดความไม่คุ้มค่าสำหรับห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ ที่จะจัดหาเนื่องจากไม่ใช่งานหลัก แต่จำเป็นต้องทำด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

**แนวทางแก้ปัญหา**

ผู้สอบเทียบต้องศึกษาองค์ประกอบของการสอบเทียบให้เข้าใจ ต้องปฏิบัติตามให้ได้ทุกองค์ประกอบ ได้แก่การเลือกเครื่องมืออุปกรณ์ หากมีความเข้าใจถึงวิธีประมาณค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือแต่ละชนิด จะสามารถนำเครื่องมือที่มีอยู่มาใช้ได้อย่างเหมาะสม ส่วนการจัดเตรียมสภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรสามารถใช้ร่วมกับห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดอื่นได้ โดยข้อแนะนำในคู่มือเล่มนี้สามารถใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ ทำให้ห้องปฏิบัติการสามารถจัดหาจากสิ่งที่มีอยู่นำมาใช้ประโยชน์ได้

1.3.3 เอกสารที่เป็นวิธีมาตรฐานไม่ได้ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการวัดซ้ำ จำนวนครั้งที่ต้องวัด จึงทำให้เป็นเรื่องโต้แย้งกันในกลุ่มผู้สอบเทียบ และผู้ให้การรับรองห้องปฏิบัติการว่าต้องวัดซ้ำกี่ครั้งเพื่อให้ผลการวัดน่าเชื่อถือ และวิธีการวัดซ้ำต้องเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนใดในกรณีที่เริ่มวัดซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรกไม่ได้

**แนวทางแก้ปัญหา**

ผู้สอบเทียบต้องศึกษาทฤษฎีการใช้สถิติในการประเมินผลการวัด เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำมาประยุกต์ใช้ในการหาจำนวนครั้งของการวัดที่ให้ผลน่าเชื่อถือ โดยที่ห้องปฏิบัติการแต่ละห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือ อุปกรณ์ สภาวะแวดล้อม และความสามารถของผู้สอบเทียบแตกต่างกัน สามารถประเมินตนเองโดยวิธีทางสถิติเพื่อหาจำนวนครั้งของการวัดสำหรับห้องปฏิบัติการนั้นๆ ซึ่งอาจไม่เท่ากับห้องปฏิบัติการอื่น ส่วนเรื่องวิธีการทำซ้ำที่เป็นปัญหาต้องใช้วิธีทางสถิติประเมินความน่าเชื่อถือเช่นเดียวกัน

1.3.4 การรายงานผลการสอบเทียบ ต้องรายงานค่าความไม่แน่นอน การประเมินค่าความไม่แน่นอนเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก และในวิธีมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ไม่ได้แนะนำแนวทางการประเมินค่าความไม่แน่นอน ส่วนเอกสารอ้างอิงที่เป็นตำราเกี่ยวกับการประเมินค่าความไม่แน่นอน เป็นเพียงหลักการตามทฤษฎี และ

แนวทางโดยภาพรวมไม่มีตัวอย่างการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ทำให้ผู้สอบเทียบมีปัญหาเรื่องการประเมินค่าความไม่แน่นอน

**แนวทางแก้ปัญหา**

ผู้สอบเทียบต้องศึกษาวิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร พร้อมทั้งทำความเข้าใจหลักการประเมินอย่างละเอียด โดยใช้หลักสถิติแคลคูลัส รวมถึงหลักการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดตามมาตรฐานสากล และการนำมาประยุกต์สำหรับการประเมินค่าความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร (ดูรายละเอียดในบทที่ 4)

1.3.5 เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่นำมาสอบเทียบไม่สะอาดอย่างแท้จริง หรือมีรอยขีดข่วน

**แนวทางแก้ปัญหา**

ผู้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ต้องเรียนรู้วิธีล้างเครื่องแก้วที่ถูกวิธี เลือกใช้น้ำยาล้างเครื่องแก้วให้เหมาะสมกับสารมลทินโดยไม่ทำลายผิวแก้ว รู้วิธีตรวจความสะอาดของเครื่องแก้ว โดยที่ผิวแก้วภายในต้องเปียกน้ำสม่ำเสมอ ไม่มีน้ำเกาะติดภายในเครื่องแก้วเป็นหยดเหนือขีดปริมาตร หรือเมื่อบรรจุน้ำกลั่นแล้วรอยต่อระหว่างน้ำกลั่นกับอากาศที่ขีดปริมาตรต้องเป็นส่วนโค้งที่สมบูรณ์ ไม่เป็นเส้นตรง หรือเอียง

1.3.6 ความสามารถของผู้สอบเทียบไม่เพียงพอ และไม่รู้วิธีทดสอบความสามารถ

**แนวทางแก้ปัญหา**

ผู้สอบเทียบต้องฝึกปฏิบัติการสอบเทียบด้วยวิธีการและเทคนิคที่ถูกต้อง ภายใต้สภาวะที่กำหนดและฝึกสอบเทียบจนเกิดความชำนาญ แล้วจึงทดสอบความสามารถ โดยวิธีที่ห้องปฏิบัติการต้องกำหนดวิธีทดสอบความสามารถ เช่น สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรมาตรฐาน แล้วเปรียบเทียบผลกับค่าจากใบรับรอง สอบเทียบซ้ำหลายครั้ง แล้วประเมินความเที่ยง (precision) ของการวัดซ้ำเทียบกับค่ามาตรฐาน หรือวัดค่าเปรียบเทียบผลกับผู้ชำนาญการในห้องปฏิบัติการนั้นๆ

1.3.7 ผู้ใช้เครื่องแก้วไม่แน่ใจว่าเครื่องแก้วบางประเภทต้องสอบเทียบหรือไม่ เช่น หลอดหมุนเหวี่ยง (centrifuge tube) กรวยแยก (separating funnel)

**แนวทางแก้ปัญหา**

ผู้สอบเทียบต้องรู้เหตุผลทางวิชาการว่าทำไมต้องสอบเทียบ ไม่ใช่เพียงเพื่อการขอการรับรองเพียงอย่างเดียว เครื่องแก้วใดที่มีผลต่อผลการวัดโดยตรง ต้องสอบเทียบ เครื่องแก้วใดที่แสดงปริมาตรโดยประมาณ ไม่ต้องสอบเทียบ เป็นต้น (ดูรายละเอียดในบทที่ 2)

## 1.4 ความหมายของคำ

1.4.1 การวัด[24] (Measurement) หมายถึงชุดของการดำเนินการ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าของปริมาณใดปริมาณหนึ่ง เช่นการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรหมายถึง การวัดหาปริมาตรจริงของเครื่องแก้ววัดปริมาตร ที่ขีดปริมาตรที่กำหนด

1.4.2 สิ่งที่ถูกวัด[24] (Measurand) หมายถึง ปริมาณ ใด ๆ ที่ถูกนำมาวัด เช่น ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร สิ่งที่ถูกวัด คือ เครื่องแก้วที่นำมาสอบเทียบ

1.4.3 ปริมาณที่มีอิทธิพลต่อการวัด[24] (Influence Quantity) หมายถึงปริมาณที่ไม่ใช่สิ่งที่ถูกวัด แต่มีผลต่อการวัด ได้แก่สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อปริมาณที่วัด การหาว่าสิ่งใดมีอิทธิพลต่อการวัด ให้ดูจากสมการที่ใช้ในการคำนวณผลของการวัด ตัวแปรที่อยู่ในสมการเป็นสิ่งที่ส่งผลถึงค่าที่วัดได้ องค์ประกอบที่ทำให้ได้ค่าของตัวแปรจึงเป็นปริมาณที่มีผลต่อการวัดทั้งสิ้น เช่น ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร สมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อเปลี่ยน น้ำหนักเป็นปริมาตรที่ 20 $^{0}$ซ แสดงในสมการที่ 4.4 ประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่นของน้ำ ความหนาแน่นของอากาศ ซึ่งตัวแปรทั้ง 2 ค่านี้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศ ดังนั้น อุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศ จึงเป็นปริมาณที่มีอิทธิพลต่อผลการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

1.4.4 มาตรฐานการวัด[24] (Measurement Standard) หมายถึง เครื่องมือ สารเคมี อุปกรณ์ หรือวัสดุ ที่ได้รับการเทียบมาตรฐานและสามารถสอบกลับ (traceability) ได้ถึงหน่วยเอสไอ (International System of Unit)

1.4.5 หน่วยเอสไอ[28,30] คือระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศ ยอมรับให้ใช้โดยที่ประชุมใหญ่ว่าด้วยมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Conference Generale des Poids et Mesures) ในการประชุมครั้งที่ 11 พ.ศ. 2503 ระบบนี้ประกอบด้วยหน่วยรากฐาน (base unit) 7 หน่วย ได้แก่

1.4.5.1 กิโลกรัม (kilogram, kg) คือหน่วยของมวล ซึ่งเท่ากับมวล international prototype ทำจากโลหะผสมของ platinum-iridium เก็บรักษาไว้ที่ International Bureau of Weights and Measures (BIPM) ใกล้กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส

1.4.5.2 วินาที (second, s) คือระยะเวลาเท่ากับ 9192631770 คาบ ของการแผ่รังสีที่สมนัยกับการเลื่อนระดับพลังงาน (trasition) ภายในสถานะพื้น ของอะตอมซีเซียม- 133

1.4.5.3 เมตร (metre, m) คือความยาว ซึ่งเท่ากับระยะทางที่แสงเดินทางในสุญญากาศในช่วงเวลา 1/299792 วินาที

1.4.5.4 แอมแปร์ (ampere, A) คือปริมาณกระแสไฟฟ้า ซึ่งถ้ารักษาให้คงที่อยู่ในตัวนำ 2 เส้น ที่มีความยาวอนันต์ มีพื้นที่ภาคตัดขวางกลมเล็กมากจนไม่จำเป็นต้อง

คำนึงถึง และวางอยู่คู่ขนานห่างกัน 1 เมตรในสุญญากาศ แล้วจะทำให้เกิดแรงระหว่างตัวนำทั้งสองเท่ากับ $2x10^{-7}$ นิวตันต่อความยาวเมตร

1.4.5.5 เคลวิน (kelvin, K) คือหน่วยของอุณหภูมิอุณหพลวัต (thermodynamic temperature) ซึ่งเท่ากับ 1/273.16 เท่า ของอุณหภูมิที่จุดร่วมสามของน้ำ

1.4.5.6 โมล (mole, mol) คือปริมาณสารของระบบที่ประกอบด้วยองค์ประกอบมูลฐาน ซึ่งมีจำนวนเท่ากับจำนวนอะตอมใน 0.012 กิโลกรัมของคาร์บอน- 12 เมื่อใช้โมลต้องระบุองค์ประกอบมูลฐาน ซึ่งอาจเป็นอะตอม โมเลกุล ไอออน อิเล็กตรอน อนุภาคอื่นๆ หรือกลุ่มอนุภาคตามที่กำหนด

1.4.5.7 แคนเดลา (candela , cd) คือความเข้มของการส่องสว่างในทิศทางที่กำหนดให้ของแหล่งกำเนิดซึ่งแผ่รังสีเอกรงค์ (monochromatic radiation) ด้วยความถี่ $540x10^{12}$ เฮิรตซ์ มีความเข้มของการส่องสว่าง 1/683 วัตต์/สตีเรเดียน

1.4.6 ความสามารถในการวัดซ้ำได้[31,32] (Repeatability) หมายถึง ความใกล้เคียงของผลการวัดปริมาณที่ถูกวัดเดียวกัน หลาย ๆ ครั้ง โดยมีเงื่อนไขดังนี้ กระบวนการวัดเดียวกัน ผู้ทำการวัดคนเดียวกัน เครื่องมือวัดชุดเดียวกัน สถานที่เดียวกัน และวัดซ้ำในระยะเวลาอันสั้น ความสามารถในการวัดซ้ำ แสดงด้วยค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) หรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation, RSD)

1.4.7 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Tolerance) หมายถึงปริมาณที่อยู่รอบๆ ค่ากลางของปริมาณที่กำหนดโดยที่ยังยอมรับว่าถูกต้อง เช่น ขวดวัดปริมาตรขนาดความจุ 25 มล. มีค่า tolerance เท่ากับ $\pm$ 0.03 มล. แสดงว่าขวดวัดปริมาตรมีปริมาตรที่ยอมรับอยู่ในช่วง 24.97-25.03 มล.

1.4.8 ความไม่แน่นอนของการวัด[25,26] (Uncertainty of Measurement) หมายถึงพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะการกระจายของค่าที่วัดได้ ซึ่งสามารถบอกค่าของสิ่งที่ถูกวัดอย่างสมเหตุสมผล (ดูรายละเอียดเพิ่มเติม ในบทที่ 4)

1.4.9 การสอบเทียบ[24] (Calibration) เป็นการวัดทางมาตรวิทยาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่แสดงจากเครื่องมือวัดกับค่ามาตรฐานหรือค่าอ้างอิง โดยต้องทำการวัดภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนด ผลจากการสอบเทียบสามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อน (error) ของเครื่องมือวัด และหาค่าแก้ได้ โดยที่

ค่าความคลาดเคลื่อน = ค่าที่วัดได้หรือค่าที่แสดงโดยเครื่องมือวัด – ค่าจริง

ค่าแก้ = ค่าจริง – ค่าที่วัดได้หรือค่าที่แสดงโดยเครื่องมือวัด

ค่าความคลาดเคลื่อนและค่าแก้เป็นปริมาณที่มีเครื่องหมาย บวกหรือลบ เป็นตัวเลขเท่ากัน แต่เครื่องหมายตรงกันข้าม

**ตัวอย่าง**ในการสอบเทียบขวดวัดปริมาตรชนิด TC Class A ขนาดความจุ 50 มล. ใช้วิธีชั่งน้ำหนักของน้ำกลั่นที่บรรจุในขวดวัดปริมาตร มาตรฐานการวัดที่ใช้คือเครื่องชั่งไฟฟ้าที่มีเอกสารรับรองผลการสอบเทียบ ผลจากการสอบเทียบได้ค่าปริมาตรเป็น 50.01 มล. ค่าความไม่แน่นอนของการวัด $\pm$ 0.001 มล. ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนและค่าแก้ ดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| ปริมาตรที่แสดงบนขวดวัดปริมาตร | 50.00 มล. | |
| ปริมาตรที่ได้จากการสอบเทียบ | 50.01 มล. | |
| ค่าความคลาดเคลื่อน | 50.00 - 50.01 | = - 0.01 มล. |
| ค่าแก้ | 50.01 - 50.00 | = + 0.01 มล. |

ค่าความไม่แน่นอน $\pm$ 0.001 มล.

ปริมาตรของขวดวัดปริมาตร 50.01 $\pm$ 0.001 มล.

การรายงานผลการสอบเทียบต้องรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัดเพื่อให้ผลการสอบเทียบมีความสมบูรณ์ ค่าความไม่แน่นอนของการวัดยังบ่งชี้ถึงความสามารถของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ว่ามีความสามารถในการวัดเพียงพอหรือไม่ การประเมินค่าความไม่แน่นอนจะได้กล่าวรายละเอียดในบทที่ 4

1.4.10 การทวนสอบ[32] (Verification) เป็นการวัดทางมาตรวิทยาเพื่อตรวจสอบว่าเครื่องมือวัดนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้หรือไม่ ข้อกำหนดอาจได้จากการสอบเทียบครั้งก่อน หรือโดยการรับรองจากบริษัทผู้ผลิต ผลการทวนสอบช่วยให้ตัดสินใจ ว่าเครื่องมือนั้น ยังคงใช้งานต่อไป หรือต้องปรับตั้ง หรือต้องเลิกใช้

**ตัวอย่าง** การทวนสอบขวดวัดปริมาตรขนาดความจุ 50 มล. มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ $\pm$00.03 มล เมื่อทำการทวนสอบแล้วได้ปริมาตร 50.01 มล. ค่าความไม่นอน $\pm$ 0.005 มล. ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

| | | |
|---|---|---|
| ปริมาตรที่แสดงบนขวดวัดปริมาตร | 50.00 $\pm$ 0.03 | มล. |
| ปริมาตรที่วัดได้ | 50.01 $\pm$ 0.005 | มล. |
| ค่าความคลาดเคลื่อน | 50.01 - 50.00 = 0.01 | มล. |

ค่าความคลาดเคลื่อนรวมกับค่าความไม่แน่นอน 0.01 $\pm$ 0.005 มล.

= 0.015 - 0.005 < $\pm$0.03

สรุปผลการทวนสอบ ขวดวัดปริมาตรยังคงใช้ได้ เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนรวมกับค่าความไม่แน่นอน มีค่าน้อยกกว่า ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

# บทที่ 2
# ความรู้เกี่ยวกับเครื่องแก้ววัดปริมาตร

## 2.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องแก้ววัดปริมาตร

เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้งานในห้องปฏิบัติการ เช่น ขวดวัดปริมาตร ปิเปต บิวเรต กระบอกตวง (cylinders) ซีริงก์ (syringe) และ ดิสเพนเซอร์ (dispenser) เครื่องแก้วบางชนิดใช้วัดปริมาตรสำหรับงานเฉพาะ ได้แก่ ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ (specific gravity bottle) ใช้สำหรับหาความหนาแน่นของของเหลว และขวดหาปริมาณออกซิเจน (oxygen flasks) ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทั่วไปของเครื่องแก้ววัดปริมาตร รวบรวมจากข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องแก้ว ตามมาตรฐาน ASTM[1-4,6-9], BSI[11-13] และ ISO[17-20,22] รวมทั้งข้อมูลจากมาตรฐานเครื่องแก้วของผู้ผลิต[29]

2.1.1 ปิเปตวัดปริมาตร (volumetric pitpets) ความจุตั้งแต่ 0.5-100 มล. มีขีดแสดงปริมาตรขีดเดียว ใช้ถ่ายของเหลวที่ต้องการปริมาตรถูกต้องมาก

2.1.2 ปิเปตแกรดูเอตเตด (graduated pitpets) ความจุตั้งแต่ 0.5-25 มล.มีขีดแบ่งปริมาตรย่อย ความละเอียดของการแบ่งขีดปริมาตรขึ้นอยู่กับขนาด และความถูกต้องที่ต้องการ การแสดงขีดปริมาตรย่อยแบ่งเป็น 3 แบบ

2.1.2.1 ปิเปต type 1 ขีดปริมาตรศูนย์อยู่ด้านบน ขีดปริมาตรสูงสุดอยู่ล่างสุดเหนือปลายท่อ การถ่ายของเหลว เริ่มจากปริมาตรศูนย์ ถึงขีดปริมาตรใดๆ ไม่ถึงปลายท่อ

2.1.2.2 ปิเปต type 2 ขีดปริมาตรสูงสุดอยู่ด้านบน ถ่ายของเหลวตั้งแต่ขีดปริมาตรใดๆ จนถึงปลายท่อ

2.1.2.3 ปิเปต type 3 มีขีดปริมาตรศูนย์อยู่ด้านบน ถ่ายของเหลวตั้งแต่ขีดปริมาตรศูนย์ถึงปริมาตรใดๆ หากต้องการปริมาตรเท่ากับความจุที่ระบุต้องปล่อยของเหลวจนถึงปลายท่อ

2.1.3 ปิเปตที่ใช้เฉพาะงาน

2.1.3.1 micropitpets ความจุตั้งแต่ 0.1-2 มล. มีทั้งสำหรับบรรจุใช้สำหรับวัดความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่มีความหนืดและสำหรับถ่ายของเหลวใช้งานด้านจุลชีววิทยา

2.1.3.2 Serological pitpets ความจุตั้งแต่ 0.5-100 มล. ใช้สำหรับงานด้านจุลชีววิทยา และด้านสิ่งแวดล้อม มีแบบที่ปลายท่อกว้าง (wide tip) เพื่อให้สามารถถ่ายของเหลวที่มีตะกอนหรือสารแขวนลอย การกำหนดชั้นคุณภาพต่ำกว่าปิเปตทั่วไป

2.1.3.3 Blood diluting pitpets ใช้สำหรับการเจือจางเลือดเพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

2.1.3.4 Sahli pitpets ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณ hemoglobin

2.1.4 ขวดวัดปริมาตร มีความจุตั้งแต่ 5-2000 มล. ส่วนมากสอบเทียบสำหรับการบรรจุ การใช้งานโดยทั่วไปจึงใช้สำหรับเตรียมสารละลายที่ต้องการปริมาตรถูกต้อง ยกเว้นขวดวัดปริมาตรที่มีจุดประสงค์ใช้สำหรับถ่ายของเหลวจะสอบเทียบแบบถ่ายของเหลว

2.1.5 บิวเรต ใช้สำหรับการไทเทรต ความจุตั้งแต่ 1-100 มล.

2.1.6 กระบอกตวง ใช้สำหรับวัดปริมาตรของเหลวที่ความถูกต้องไม่สูง ความจุตั้งแต่ 5 - 4000 มล.

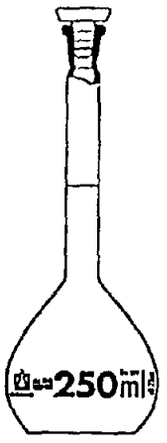
2.1.7 ซีริงก์ ใช้สำหรับวัดปริมาตรของเหลวที่ต้องการความถูกต้องสูง ความจุตั้งแต่ 1ไมโครลิตร-50 มล. การปล่อยของเหลวต้องใช้แรงดันภายในกระบอกสูบ

2.1.8 ดิสเพนเซอร์ ใช้สำหรับถ่ายของเหลวที่ความถูกต้องไม่สูงมาก การปล่อยของเหลวต้องใช้แรงดันภายในกระบอกสูบ

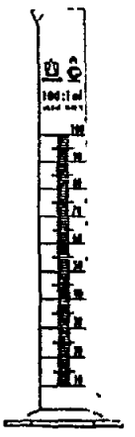
นอกจากนี้ยังมีเครื่องแก้วที่การใช้งานโดยทั่วไปไม่ใช้สำหรับวัดปริมาตร เช่น กรวยแยก (separating funnel) และ หลอดหมุนเหวี่ยง (centrifuge tubes) แต่ถ้านำมาใช้วัดปริมาตรของเหลวที่แยกชั้นโดยไม่ต้องถ่ายออกมาวัดด้วยภาชนะอื่นก็จำเป็นต้องสอบเทียบ

การพิจารณาว่าเครื่องแก้วประเภทใดต้องสอบเทียบหรือไม่ ให้ดูจากการนำผลการวัดปริมาตรไปใช้งาน เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ เช่น หลอดหมุนเหวี่ยง ถ้าใช้สำหรับแยกตะกอนของแข็งออกจากของเหลว แล้วนำของเหลวหรือตะกอนบางส่วนไปวิเคราะห์ โดยไม่สนใจปริมาตรของเหลวหรือปริมาตรตะกอนทั้งหมด การใช้งานลักษณะนี้ไม่ต้องสอบเทียบหลอดหมุนเหวี่ยง แต่หากนำไปใช้แยกตะกอน หรือแยกของเหลวที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน รายงานผลของการวัดเป็นปริมาตรส่วนที่แยกแต่ละชั้น กรณีนี้ต้องสอบเทียบหลอดหมุนเหวี่ยง การพิจารณาเครื่องแก้วชนิดอื่นๆใช้หลักเดียวกัน

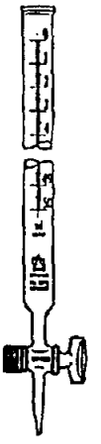
สำหรับเครื่องแก้วที่ไม่มีการแสดงวิธีสอบเทียบไว้บนเครื่องแก้ว ไม่ควรนำมาใช้วัดปริมาตรของเหลวเพื่อหาปริมาณ เพราะไม่สามารถสอบเทียบให้ถูกต้องได้ เนื่องจากรูปทรงไม่เหมาะสม เส้นผ่าศูนย์กลางยาว และค่าความคลาดเคลื่อนสูง เช่น บีกเกอร์ (beaker) ขวดรูปชมพู่ (conical flask) เป็นต้น เครื่องแก้ววัดปริมาตรแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 2.1



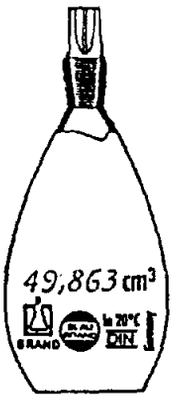

ขวดวัดปริมาตร



กระบอกตวง

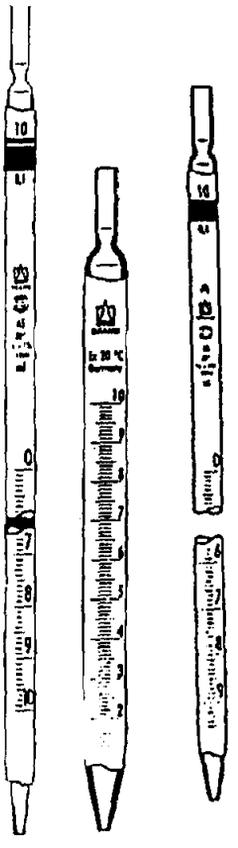


บิวเรต




ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ

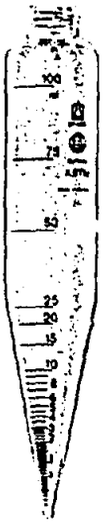
ปิเปตวัดปริมาตร



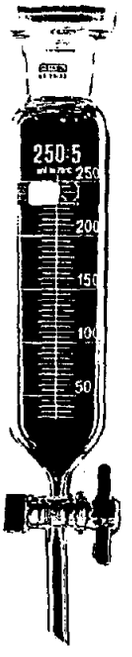
type 1 type 2 type 3

ปิเปตแกรดูเอต

ขวดหาปริมาณออกซิเจน



หลอดหมุนเหวี่ยง




กรวยแยก

รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องแก้ววัดปริมาตร[29]

## 2.2 ความสำคัญของเครื่องแก้ววัดปริมาตร

เครื่องแก้ววัดปริมาตรมีความสำคัญมากต่อการดำเนินงานห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบด้านวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ต้องการความถูกต้องสูง การใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรให้ได้ปริมาตรถูกต้อง ประกอบด้วย การเลือกใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรให้ตรงตามวิธีการสอบเทียบที่แสดงบนเครื่องแก้วและตรงกับวัตถุประสงค์การใช้งาน มีหลักฐานแสดงเพื่อยืนยันความถูกต้องของปริมาตรได้แก่เอกสารรับรองการสอบเทียบ เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้นั้นมีปริมาตรที่แท้จริงเท่าไร หรือเอกสารรับรองการทวนสอบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ตามที่ระบุในมาตรฐานหรือไม่ และผู้ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรมีวิธีการและเทคนิคการใช้ถูกต้อง เครื่องแก้ววัดปริมาตรมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณโดยวิธีดั้งเดิม (classical method) หรือการวิเคราะห์ทางเคมี และการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ (instrumental method)

2.2.1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีดั้งเดิมมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร ในขั้นตอนต่างๆ เช่น ใช้ขวดวัดปริมาตรในการเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ และสารละลายตัวอย่าง ใช้ปิเปตในการถ่ายสารละลายตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานเพื่อนำมาใช้ในปริมาตรที่ต้องการ และใช้บิวเรตในการไทเทรต หากใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ปริมาตรไม่ตรงกับที่ระบุ ทำให้ผลการวัดผิด ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

**ตัวอย่าง** ต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ โซเดียมคาร์บอเนต ($Na_2CO_3$) ความเข้มข้น 0.1000 นอร์แมล (normal , N) ปริมาตร 100 มล. แต่ใช้ขวดวัดปริมาตร ที่มีปริมาตร 100.03 มล. ซึ่งเป็นขวดที่ค่า tolerance ต่ำกว่ามาตรฐานทำให้ความเข้มข้นของสารละลายผิดไปเท่าไร

**กำหนดให้** น้ำหนักโมเลกุล ของ $Na_2CO_3$ คือ 105.99

**วิธีทำ**

คำนวณน้ำหนัก $Na_2CO_3$ ที่ต้องใช้เตรียมสารละลายปริมาตร 100 มล.

น้ำหนัก $Na_2CO_3$ = ความเข้มข้น x น้ำหนักสมมูลxปริมาตร /1000.....2.1

น้ำหนักสมมูล = น้ำหนักโมเลกุล/สมมูล.....2.2

= 0.1000(105.99/2)(100/1000) กรัม

= 0.5300 กรัม

ถ้าขวดวัดปริมาตรความจุ 100 มล. ซึ่งเป็นปริมาตรถูกต้องตรงกับที่ระบุบนขวด

ความเข้มข้น (นอร์แมล) = (น้ำหนัก $Na_2CO_3$x1000)/( น้ำหนักสมมูลxปริมาตร).....2.3

ความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2CO_3$= (0.5300x1000)/{(105.99/2)x100}

= 0.1000 นอร์แมล

ถ้าใช้ขวดวัดปริมาตร ความจุ 100.30 มล.

จากสมการที่ 2.3

ความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2CO_3$ = (0.5300x1000)/{(105.99/2)x100.3} นอร์แมล

= 0.0997 นอร์แมล

ค่าความคลาดเคลื่อน = ค่าที่วัดได้ ค่าจริง

= 0.1000-0.0997 นอร์แมล

= 0.0003 นอร์แมล

คิดเป็นร้อยละ = (0.0003*100)/0.1000 นอร์แมล

ความคลาดเคลื่อนร้อยละ = 0.3

ขวดวัดปริมาตรที่ปริมาตรต่างจากปริมาตรที่ระบุ ร้อยละ 0.3 ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.3 หากในการวิเคราะห์หาปริมาณสารในตัวอย่างต้องใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรหลายขั้นตอน ถ้าเครื่องแก้ววัดปริมาตรมีปริมาตรไม่ถูกต้อง จะเกิดความคลาดเคลื่อนสะสมทุกขั้นตอน ในที่สุดผลการวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนสูงจนกระทั่งอาจไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ดังนั้นหากต้องการผลการวิเคราะห์ที่มีความแม่น (accuracy) สูง จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ ที่มีความแม่นสูงและยืนยันปริมาตรที่ถูกต้องด้วยผลการสอบเทียบ

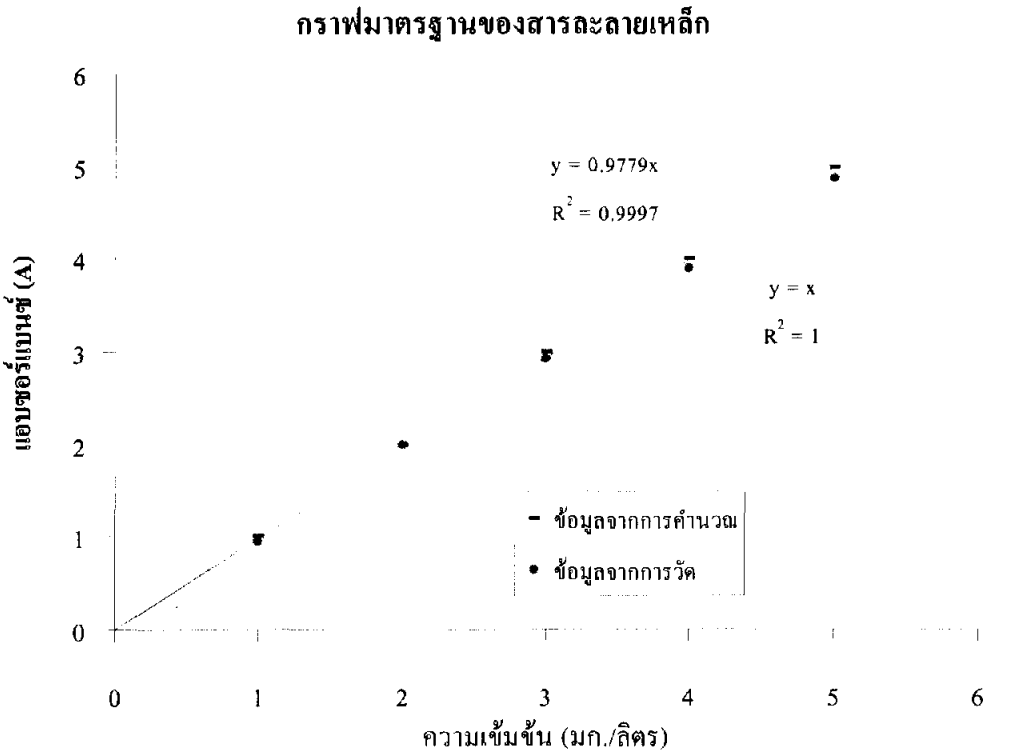
2.2.2 ผลกระทบของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ปริมาตรคลาดเคลื่อนต่อการวัดปริมาตรโดยใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ การหาปริมาตรจำเป็นต้องสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเปลี่ยนสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องมือไปเป็นปริมาณที่ต้องการวัด การเตรียมสารละลายเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน ต้องใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีความถูกต้อง หากเครื่องแก้ววัดปริมาตรไม่ถูกต้องจะส่งผลถึงผลการวิเคราะห์โดยตรง ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

**ตัวอย่าง** ในการวิเคราะห์หาปริมาณ เหล็กโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) เตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 1 , 2, 3, 4 และ 5 มก./ลิตร ความเข้มข้นละ 100 มล. โดยการเจือจางสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 100 มก./ลิตร การเตรียมสารละลายใช้ปิเปตวัดปริมาตร ความจุ 1 , 2, 3, 4 และ 5 มล. ปิเปตสารละลายเข้มข้น ถ่ายใส่ในขวดวัดปริมาตรความจุ 100 มล.จำนวน 5 ขวด ตามลำดับ และทำการทดสอบเปรียบเทียบโดยใช้ปิเปตและขวดวัดปริมาตร ที่ปริมาตรคลาดเคลื่อนจากค่าที่ระบุ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.1 ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเหล็กมาตรฐานที่เตรียมคลาดเคลื่อนจากความเข้มข้นที่คำนวณ

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีปริมาตรคลาดเคลื่อนจากค่าที่ระบุ และความเข้มข้นที่คลาดเคลื่อนจากค่าที่คำนวณ

| ปิเปตวัดปริมาตร | | ขวดวัดปริมาตร | | ความเข้มข้นของสารละลาย (มก./ลิตร) | |
|---|---|---|---|---|---|
| ปริมาตรที่ถูกต้อง(มล.) | ปริมาตรที่คลาดเคลื่อน (มล.) | ปริมาตรที่ถูกต้อง(มล.) | ปริมาตรที่คลาดเคลื่อน (มล.) | เตรียมจากเครื่องแก้วที่ถูกต้อง | เตรียมจากเครื่องแก้วที่คลาดเคลื่อน |
| 1 | 0.95 | 100 | 100.3 | 1 | .947 |
| 2 | 1.95 | 100 | 100.2 | 2 | 1.994 |
| 3 | 2.94 | 100 | 100.3 | 3 | 2.931 |
| 4 | 3.92 | 100 | 100.4 | 4 | 3.908 |
| 5 | 4.90 | 100 | 100.3 | 5 | 4.885 |

นำสารละลายที่เตรียมด้วยเครื่องแก้ววัดปริมาตรทั้งสองชุด ไปวัดค่าแอบซอร์แบนซ์ด้วยเครื่อง AAS เขียนกราฟมาตรฐาน ได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน (slope) และ ค่าความสัมพันธ์เชิงตรง (determination coefficient ,$R^2$) แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2




รูปที่ 2.2 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายเหล็ก

วิเคราะห์สารละลายตัวอย่าง ได้ค่าแอบซอร์แบนซ์ 3.45 A ปริมาณเหล็ก เทียบกับกราฟมาตรฐานที่ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีปริมาตรคลาดเคลื่อน เป็น 3.53 มก./ลิตร ค่าที่อ่านจากกราฟมาตรฐานที่ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ถูกต้องเป็น 3.45 มก./ลิตร ผลการวัดคลาดเคลื่อน 0.08 มก./ลิตร คิดเป็นร้อยละ 2.32 ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลของกราฟมาตรฐาน และการวัดค่าสารละลายตัวอย่าง

| ค่าที่วัด | C* | E** |
|---|---|---|
| ความชัน (A/(มก./ลิตร)) | 1.000 | 0.9779 |
| $R^2$ | 1.000 | 0.9997 |
| ปริมาณสารในตัวอย่าง(มก./ลิตร) | 3.45 | 3.53 |
| ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ) | 0.00 | 2.32 |

*C คือผลจากการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ถูกต้อง

**E คือผลจากการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ปริมาตรคลาดเคลื่อน

จะเห็นได้ว่าเครื่องแก้ววัดปริมาตรเป็นเครื่องมือที่มีผลกระทบโดยตรงต่อผลการวิเคราะห์ หาก**เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้มีความคลาดเคลื่อนสูง ผลการวิเคราะห์ย่อมมีความคลาดเคลื่อน** ซึ่งส่งผลทำให้ความน่าเชื่อถือลดลง

**2.3 หลักการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรอย่างถูกต้อง**

การใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรให้ได้ปริมาตรถูกต้อง ผู้ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องมั่นใจว่า ไม่มีความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากเครื่องแก้ววัดปริมาตร โดยปฏิบัติดังนี้

2.3.1 ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร ตามวิธีการสอบเทียบที่แสดงบนเครื่องแก้ว เลือกชั้นคุณภาพที่เหมาะสมกับงาน เช่นการเตรียมสารละลายมาตรฐาน สารละลายตัวอย่างควรใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A

2.3.2 ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร ที่ผ่านการสอบเทียบหรือทวนสอบ ในช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้มั่นใจว่าปริมาตรถูกต้องตรงตามที่ระบุในมาตรฐาน และ/หรือตามข้อกำหนดคุณลักษณะ

2.3.3 เทคนิคการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรถูกต้อง ผู้ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรควรผ่านการทดสอบความสามารถ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่จัดทำโดยห้องปฏิบัติการ

2.3.4 เครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องสะอาด สภาพของผิวแก้วภายในสมบูรณ์มีลักษณะเรียบใส ไม่มีรอยขีดข่วน หรือเป็นฝ้า เครื่องแก้ววัดปริมาตรแบบที่ปล่อยของเหลวออกทางปลายท่อ สภาพของปลายท่อต้องสมบูรณ์ ไม่แตกหรือบิ่น



ภรณวิทยาศาสตร์บริการ

## 2.4 ชนิดของเครื่องแก้ววัดปริมาตร

เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้งานในห้องปฏิบัติการ แบ่งตามวิธีการสอบเทียบ เป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.4.1 เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดสอบเทียบสำหรับบรรจุของเหลว (to contain) ใช้ตัวย่อ TC หรือ In หรือ C ปริมาตรระบุบนเครื่องแก้ว เป็นปริมาตรของน้ำกลั่นที่บรรจุอยู่ภายในเครื่องแก้วนั้นที่อุณหภูมิอ้างอิง ซึ่งโดยทั่วไปเป็นอุณหภูมิ 20 $^{0}$ซ ดังนั้นเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดนี้ควรใช้ในการบรรจุของเหลวที่ต้องการปริมาตรถูกต้อง เช่นการเตรียมสารละลาย การเจือจางสารละลาย และการวัดปริมาตรของเหลวที่บรรจุในเครื่องแก้ว ห้ามนำมาใช้ในการตวงหรือการถ่ายของเหลว เพราะจะทำให้ปริมาตรที่ถ่ายออกมาไม่ครบตามที่ระบุ เนื่องจากยังมีสารบางส่วนติดอยู่ภายในภาชนะไม่ว่าจะถ่ายออกโดยวิธีใด หากต้องการให้สารออกหมดต้องล้างด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม ตัวอย่างเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TC เช่น ขวดวัดปริมาตร ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ

2.4.2 เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดสอบเทียบสำหรับถ่ายของเหลว (to deliver) ใช้ตัวย่อ TD หรือ Ex หรือ D ปริมาตรที่ระบุบนเครื่องแก้ว เป็นปริมาตรของน้ำกลั่นที่ถ่ายออกจากเครื่องแก้วนั้น ที่อุณหภูมิอ้างอิง ดังนั้นเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดนี้ควรใช้ในการตวงหรือถ่ายของเหลว โดยต้องปฏิบัติตามวิธีการถ่ายของเหลวตามวิธีมาตรฐาน จึงจะได้ปริมาตรของเหลวตามที่ระบุ ตัวอย่างเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TD เช่น ปิเปต บิวเรต

2.4.2.1 เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TD ที่ไม่ระบุวิธีถ่ายของเหลว

1) ปิเปต ถ่ายของเหลวโดยให้ปลายปิเปตสัมผัสผนังด้านใน ของภาชนะรองรับ ปิเปตอยู่ในแนวตั้ง เมื่อของเหลวหยุดไหล รออีก 2-3 วินาที
2) ขวดวัดปริมาตร ถ่ายของเหลวโดยคว่ำขวดในแนวตั้ง เมื่อของเหลวหยุดไหล รออีก 30 วินาที แล้วแตะปากขวดกับผนังด้านในของภาชนะรองรับเพื่อกำจัดของเหลวที่ปากขวด

2.4.2.2 ปิเปตหรือบิวเรต ที่ระบุ waiting time ได้ออกแบบให้ของเหลวไหลออกทางปลายท่อได้รวดเร็ว และกำหนดเวลาที่ต้องรอหลังจากของเหลวหยุดไหลก่อนนำปิเปต ออกจากภาชนะหรือก่อนปรับปริมาตรบนบิวเรตให้ถึงขีด เพื่อให้ของเหลวออก จากปิเปตหรือบิวเรตได้มากที่สุด มาตรฐานกำหนด waiting time 15 วินาที สำหรับปิเปต และ 30 วินาที สำหรับบิวเรต และกำหนดให้เขียน +15S และ +30S บนปิเปตและบิวเรต ตามลำดับ

2.4.2.3 ปิเปตแบบ blow out ใช้ถ่ายของเหลวตามวิธีในข้อ 2.4.2.1 ข้อ 1) หลังจากของเหลวหยุดไหล ต้องเป่าเพื่อไล่ของเหลวออกจากปิเปตลงในภาชนะรองรับจนหมด ปิเปตชนิด blow out แสดงด้วยแถบสีขาวหรือแถบฝ้าเป็นวงรอบก้านของปิเปตเหนือแถบสีที่แสดงขนาด หรือ เขียน "blow out" บนปิเปต

เครื่องแก้ววัดปริมาตรบางประเภท เช่น ปิเปต และ ขวดวัดปริมาตร สอบเทียบสำหรับบรรจุและสำหรับถ่ายของเหลว เพื่อวัตถุประสงค์การใช้งานต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงวิธีถ่ายของเหลวออกจากปิเปตแบบต่าง ๆ[27]

| ชื่อปิเปต | วิธีสอบเทียบ | การถ่ายของเหลว | ความจุ (มล.) | วิธีปล่อยของเหลวออกจากปิเปต |
|---|---|---|---|---|
| Volumetric | TD | ถ่ายของเหลวปริมาตรคงที่ | 1 – 100 | ปล่อยของเหลวอย่างอิสระ |
| Mohr | TD | ถ่ายของเหลวปริมาตรต่างๆ | 1 – 25 | ปล่อยของเหลวถึงปริมาตรต่ำสุด |
| Serological | TD | ถ่ายของเหลวปริมาตรต่างๆ | 0.1 – 10 | เป่าของเหลวหยดสุดท้าย |
| Serological | TD | ถ่ายของเหลวปริมาตรต่างๆ | 0.1 – 10 | ปล่อยของเหลวถึงปริมาตรต่ำสุด |
| Ostwald – Folin | TD | ถ่ายของเหลวปริมาตรคงที่ | 0.5 – 10 | เป่าของเหลวหยดสุดท้าย |
| Lambda | TC | บรรจุของเหลวปริมาตรคงที่ | 0.001 – 2 | ปล่อยของเหลวและล้างด้วยตัวทำละลาย |
| Lambda | TD | ถ่ายของเหลวปริมาตรคงที่ | 0.001 – 2 | เป่าของเหลวหยดสุดท้าย |
| Eppendorf | TD | ถ่ายของเหลวปริมาตรคงที่ | 0.001 – 1 | ใช้อากาศแทนที่ของเหลวจนหมด |

นอกจากนี้ขวดวัดปริมาตรอาจสอบเทียบทั้งแบบสำหรับบรรจุและสำหรับถ่ายของเหลวอยู่ในใบเดียวกัน โดยมีขีดแสดงปริมาตร 2 ขีด คือขีดแสดงปริมาตรสำหรับการบรรจุ และขีดแสดงปริมาตรสำหรับการถ่ายของเหลว ดังนั้นจึงสามารถใช้งานได้ ทั้งการบรรจุและถ่ายของเหลว เพียงแต่ผู้ใช้ต้องดำเนินการให้ถูกต้อง

จากความหลากหลายของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ผลิตขาย ทำให้ผู้ซื้อ ผู้ใช้ จำเป็นต้องมีความรู้เรื่องเครื่องแก้ววัดปริมาตรเพื่อให้เลือกซื้อและ เลือกใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด

**2.5 ชั้นคุณภาพ (Class) ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

เครื่องแก้ววัดปริมาตรแบ่งชั้นคุณภาพตามความแม่น ซึ่งกำหนดด้วยค่า ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ( tolerance ) แบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

2.5.1 เครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีความแม่นสูง ค่า tolerance ต่ำ กำหนด tolerance ค่าเดียว ครอบคลุมตลอดช่วงปริมาตรที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.5.2 เครื่องแก้ววัดปริมาตร Class B เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตร ที่มีความแม่นต่ำกว่า Class A ค่า tolerance ไม่เกิน 2 เท่าของ Class A กำหนด tolerance ค่าเดียว ครอบคลุมตลอดช่วงปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.5.3 เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉพาะ (special tolerance) มีความแม่นเท่ากับ Class A แต่กำหนดค่า tolerance ทุกช่วงปริมาตรที่มีขีดแสดงปริมาตร เช่น เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊สโดยใช้ฟองอากาศ (flow meter) กำหนดขีดปริมาตรหลายช่วงในชุดเดียว ได้แก่ 0-1 , 1-10 , 10-100 , 100-200 มล. จึงต้องสอบเทียบปริมาตรทุกช่วงปริมาตร และกำหนด tolerance แต่ละช่วงตามมาตรฐานของเครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A ที่มีปริมาตรกัน

2.5.4 เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มี tolerance มากกว่าเครื่องแก้ววัดปริมาตร Class B เช่น ปิเปตแบบ serological ซึ่งใช้งานด้านจุลชีววิทยา ปิเปตแบบปลายท่อกว้าง ปิเปตทั้งสองแบบที่ไม่ระบุ Class A หรือ Class B มีค่า tolerance เป็น 2 เท่าของ Class B หรือมากกว่านั้น

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของขวดวัดปริมาตรขนาดต่างๆ[3]

| ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของขวดวัดปริมาตรขนาดความจุต่างๆ | | |
|---|---|---|
| **ความจุ (มล.)** | **Class A (มล.)** | **Class B (มล.)** |
| 5 | ±0.025 | ±0.05 |
| 10 | ±0.025 | ±0.05 |
| 25 | ±0.04 | ±0.08 |
| 50 | ±0.06 | ±0.12 |
| 100 | ±0.10 | ±0.20 |
| 200 | ±0.15 | ±0.30 |
| 250 | ±0.15 | ±0.30 |
| 500 | ±0.25 | ±0.50 |
| 1000 | ±0.40 | ±0.80 |
| 2000 | ±0.60 | ±1.20 |

เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบและวิจัยทางเคมี ส่วนมากเป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A และ Class B มีบางงานที่ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรชั้นคุณภาพต่ำกว่า Class B เช่น ปิเปตชนิดปลายท่อกว้าง ใช้ในการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) ในตัวอย่างน้ำทิ้ง และงานด้านจุลชีววิทยา การเลือกใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรชั้นคุณภาพใด ขึ้นอยู่กับงานที่ทำโดยพิจารณาจากค่า ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของผลการวิเคราะห์ เช่น การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สำหรับการวิเคราะห์โดยเครื่องมือ ต้องใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A เนื่องจากเครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A มีค่า tolerance ต่ำที่สุด ส่วนการเตรียมสารละลายที่ใช้ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร Class B หรือต่ำกว่า การใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรในงานวิเคราะห์ทดสอบต้องใช้ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากเครื่องแก้วมาประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด โดยใช้ค่า tolerance ดังนั้นเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ tolerance ต่ำ ย่อมทำให้เกิดความไม่แน่นอนของการวัดที่เป็นผลมาจากเครื่องแก้ว ต่ำกว่าการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีค่า tolerance สูง เครื่องแก้ววัดปริมาตรแต่ละประเภท แต่ละขนาดบรรจุ และแต่ละชั้นคุณภาพมีค่า tolerance แตกต่างกัน ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.5 และข้อมูลเพิ่มเติมในภาคผนวก

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A ขนาดความจุ 25 มล.[2,3,7,9,19]

| เครื่องแก้ววัดปริมาตร | ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (มล.) |
|---|---|
| กระบอกตวง | ±0.17 |
| ขวดวัดปริมาตร | ±0.03 |
| บิวเรต | ±0.03 |
| ปิเปตชนิดวัดปริมาตร | ±0.03 |
| ปิเปตชนิดแบ่งย่อยปริมาตร | ±0.05 |

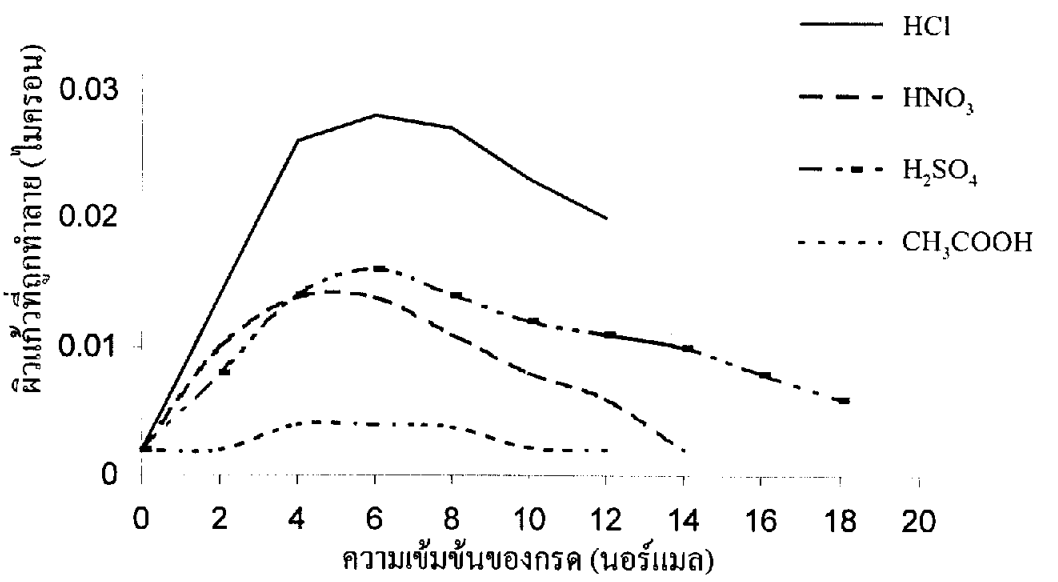
## 2.6 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องแก้ววัดปริมาตร

แก้วที่ใช้ทำเครื่องแก้ววัดปริมาตร แบ่งเป็น 2 แบบ (type ) ได้แก่ แก้วบอโรซิลิเกต (borosilicate) และแก้วชนิดโซดาไลม์ (soda lime) แก้วทั้ง 2 แบบนี้มีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ทำให้มีสมบัติแตกต่างกัน ได้แก่ สัมประสิทธิ์การขยาย (coefficient of cubical expansion) ความทนต่อการกัดกร่อนจาก กรด ด่าง สารเคมี ความสามารถในการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร จึงจำเป็นต้องทราบชนิดของแก้วที่ใช้ทำเครื่องแก้วนั้นๆ เนื่องจากการสอบเทียบที่อุณหภูมิอ้างอิงทำได้ยากในห้องปฏิบัติการทั่วไป การสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่อุณหภูมิอื่น ต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุ เพื่อคำนวณหาปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิง นอกจากนี้การเลือกเครื่องแก้ววัดปริมาตรมาใช้งานจำเป็นต้องคำนึงถึงความสำคัญข้อนี้ด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำเครื่องแก้ววัดปริมาตรไปใช้งานที่อุณภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิอ้างอิงมากๆ ทำให้ปริมาตรของเครื่องแก้ววัดปริมาตรเปลี่ยนแปลงจากปริมาตรที่ระบุ

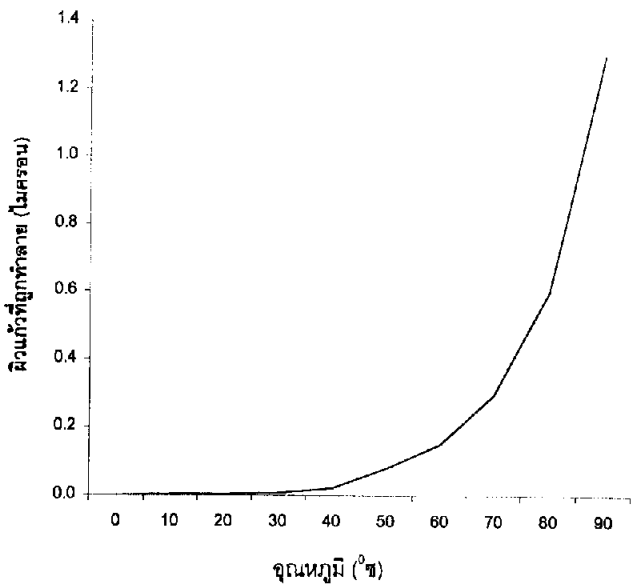
2.6.1 แก้ว Type I เป็นแก้วที่ทนความร้อนสูง ทนสารเคมีได้ดี นำมาทำเครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A และ Class B ดังแสดงผลการทดสอบความคงทนต่อสารเคมี และความร้อนในรูปที่ 2.3 จากผลการทดสอบ พบว่า แก้วที่แช่ในกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) ความเข้มข้น 6 นอร์แมล ที่อุณหภูมิ 100 $^{0}$ซ นาน 16 ชม.

ทำลายผิวแก้วมากที่สุดถึง 0.03 ไมครอน คิดเป็นปริมาตรสำหรับเครื่องแก้ววัดปริมาตรทรงกลม $4.84 \times 10^{-11}$ มล. แสดงให้เห็นว่ากรดต่างๆที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ในสภาวะการใช้งานปกติ ที่อุณหภูมิห้อง ไม่ทำลายสภาพผิวแก้วบอโรซิลิเกต แต่ผิวแก้วถูกทำลายได้ด้วยสารละลายด่างแก่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 $^{0}$ซ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

2.6.2 แก้ว Type II เป็นแก้วชนิดโซดาไลม์ ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี และความคงทนต่อความร้อนได้ไม่ดีเท่ากับแบบแรก ไม่นิยมนำมาทำเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ และวิจัยทางเคมี




รูปที่ 2.3 แสดงผลการทดสอบความคงทนของแก้วบอโรซิลิเกต การกัดกร่อนผิวแก้วเมื่อบรรจุกรดชนิด และความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 100 $^{0}$ซ นาน 16 ชม.[29]




รูปที่ 2.4 แสดงผลการทดสอบการกัดกร่อนของสารละลายด่างต่อแก้วบอโรซิลิเกต แช่แก้วในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ นาน 1 ชั่วโมง[29]

วัสดุอื่นๆ ที่ทำอุปกรณ์วัดปริมาตรที่ใช้แทนแก้วในกรณีที่แก้วไม่เหมาะสม เช่น พลาสติก polypropylene (PP), polymethylpentene (PMP) , polycarbonate (PC) และ polystyrene (PS) การเลือกใช้อุปกรณ์วัดปริมาตรเพื่อใช้งานกับสารเคมี แต่ทำจากวัสดุที่ไม่ใช่แก้วนั้นต้องคำนึงถึงความคงทนต่อสารเคมี ความร้อน และความโปร่งแสง อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แก้วนั้นต้องเลือกใช้เฉพาะงานซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้แก้ว เช่น สารละลายที่มีกรดกัดแก้ว (hydrofluoric acid ,HF) สารละลายของด่างแก่ที่ร้อน และการทำงานนอกห้องปฏิบัติการที่เสี่ยงต่อการแตกเสียหาย ตัวอย่างอุปกรณ์เหล่านี้แสดงไว้ใน ตารางที่ 2.6

**2.7 การกำหนดคุณลักษณะของเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

การผลิตเครื่องแก้ววัดปริมาตรในเชิงการค้า ต้องควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้มีคุณลักษณะตามมาตรฐานสากล จึงจะสามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ คุณลักษณะตามมาตรฐานสากล ได้แก่ National Institute of Standards and Technology (NIST) , American Society for Testing and Materials (ASTM) , Internationals Organization for Standardization (ISO) , British Standards Institution (BSI) และ มาตรฐานที่ใช้ในประเทศเยอรมัน (DIN) หน่วยงานด้านมาตรฐานดังกล่าว ได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับข้อกำหนดคุณลักษณะ (specification) ของเครื่องแก้ววัดปริมาตรรวมถึงวัสดุที่ใช้ทำเครื่องแก้ว นอกจากนี้บางมาตรฐานยังได้กำหนดวิธีใช้และวิธีการสอบเทียบ เพื่อให้ปฏิบัติได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชา สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรตามวิธีมาตรฐาน ผู้สอบเทียบต้องมีความรู้ ความเข้าใจเรื่องเครื่องแก้ววัดปริมาตรเพียงพอ แยกเครื่องแก้ววัดปริมาตรแต่ละชนิดได้ถูกต้อง มีทักษะในการ

ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร และผ่านการทดสอบความสามารถ นอกจากนี้ต้องเตรียมห้องปฏิบัติการให้มีสิ่งแวดล้อมตามที่กำหนดในวิธีมาตรฐาน (รายละเอียดในบทที่ 3) ข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องแก้ววัดปริมาตรตามมาตรฐานสากล ประกอบด้วย

ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดของวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์วัดปริมาตรที่ไม่ใช่แก้ว และสมบัติการใช้งาน[27]

| วัสดุ | การส่องผ่านของแสง | อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งาน ($^0$ซ) | ทนต่อการกัดกร่อน กรด Weak | กรด Strong | ด่าง Weak | ด่าง Strong | ความทนต่อสารอินทรีย์ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Polythene ( L.D.) | TL | 80 – 90 | R | R * | V | R | 1 ,2 |
| Polythene ( H.D. ) | TL – O | 100 – 110 | V | R* | V | V | 2 |
| Polypropylene | T – TL | 120 – 130 | V | R* | V | V | 2 |
| TPX ( Polymethylpentene ) | T | 170 – 180 | V | R* | V | V | 1,2 |
| Polystyrene | T | 85 | V | R* | V | V | Most |
| PTFE ( Teflon ) | O | 250 – 300 | V | V | V | V | V |
| Polycarbonate | T | 120 – 130 | R | A | F | A | Most |
| PVC [ Poly (vinyl chloride ) ] | T – O | 50 – 70 | R | R* | R | R | 2,3,4 |
| Nylon | TL - O | 120 | R | A | R | F | V |

O = ทึบแสง T = โปร่งใส TL = โปร่งแสง

A = ไม่ทน F =ทนพอใช้ R= ทนทาน R* = ทน แต่ ถูกกัดกร่อนโดยกรดผสมของกรดที่เป็นสารออกซิไดส์ V = ทนมาก.

1 = hydrocarbons ; 2 = chlorohydrocarbons ; 3 = ketones ; 4 = cyclic ethers ; V = very resistant

2.7.1 หน่วยที่ใช้วัดปริมาตรของเหลวเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร ($cm^3$) หรือ มิลลิลิตร (mL) อุณหภูมิอ้างอิง 20 $^0$ซ หรือ 27 $^0$ซ

2.7.2 สมบัติและองค์ประกอบของแก้วที่ใช้ทำเครื่องแก้ววัดปริมาตร

2.7.3 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

2.7.4 ความเสถียรของรูปทรง เช่น มาตรฐาน BS 1792 และISO 1042 กำหนดให้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีฐานเป็นวงกลม เช่น ขวดวัดปริมาตร กระบอกตวง เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีความจุตั้งแต่ 25 มล. ขึ้นไป สามารถวางบนพื้นเอียง 15 องศา ได้โดยไม่ล้ม เครื่องแก้ว

วัดปริมาตรที่มีความจุ ต่ำกว่า 25 มล. สามารถวางบนพื้นเอียง 10 องศา ได้โดยไม่ล้ม ส่วนมาตรฐาน ASTM กำหนดให้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีฐานเป็นวงกลมใช้งานโดยการวางบนพื้น ที่มีความจุ ตั้งแต่ 10 มล. ขึ้นไป สามารถวางบนพื้นเอียง 15 องศา ได้โดยไม่ล้ม และเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีความจุ ต่ำกว่า 10 มล. สามารถวางบนพื้นเอียง 10 องศา ได้โดยไม่ล้ม

2.7.5 ลักษณะของขีดกำหนดปริมาตร ต้องมีความกว้าง 0.2-0.4 มม. สำหรับเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีขีดกำหนดปริมาตรมากกว่า 1 ขีด และกว้าง 0.2-0.6 มม. สำหรับเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีขีดกำหนดปริมาตรขีดเดียว และขีดปริมาตรต้องทำจากวัสดุที่ทนต่อสารเคมีและความร้อน ใช้สี น้ำตาล หรือสีฟ้า ใช้วัสดุมีลักษณะที่มองเห็นชัดเจน ผู้ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรสามารถทดสอบก่อนซื้อเครื่องแก้ว โดยการแช่ในน้ำยาล้างเครื่องแก้ว สีต้องไม่ละลายหลุดออกมา หากขีดวัดปริมาตรไม่ชัดเจนมีผลกระทบต่อการวัดปริมาตร ทำให้การอ่านค่าคลาดเคลื่อน

2.7.6 กำหนดรายละเอียดที่ต้องแสดงบนเครื่องแก้ว (inscription) และกำหนดการให้สีบนเครื่องแก้ว (coding color) รายละเอียดที่แสดงบนเครื่องแก้วมีความสำคัญต่อผู้สอบเทียบและผู้ใช้เครื่องแก้ว เนื่องจากเป็นสิ่งที่แสดงวิธีสอบเทียบ ค่าความคลาดเคลื่อนชั้นคุณภาพ ทำให้สามารถแยกชนิดของเครื่องแก้วได้ถูกต้อง

**2.8 รายละเอียดที่แสดงบนเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานสากล ถูกกำหนดให้แสดงรายละเอียดบนเครื่องแก้ว เพื่อแสดงข้อมูลที่จำเป็นให้ผู้ใช้เข้าใจ ดังนั้นผู้ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องทำความเข้าใจกับสิ่งที่แสดงบนเครื่องแก้ว และควรสังเกตทุกครั้งก่อนใช้งาน เป็นการป้องกันข้อผิดพลาด เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ได้มาตรฐานต้องแสดงข้อมูลบนเครื่องแก้ว ดังนี้

2.8.1 แถบสี แถบสีต่างๆ บนก้านปิเปตด้านบน แสดงปิเปตที่ปริมาตรหรือขีดแบ่งปริมาตรย่อยมีความละเอียดแตกต่างกัน จะให้สีต่างกัน ตัวอย่างการแสดงแถบสีแสดงในตารางที่ 2.7

2.8.2 แสดงชั้นคุณภาพของเครื่องแก้ววัดปริมาตร ใช้ อักษร A หรือ B หมายถึงเครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A และ Class B ตามลำดับ

2.8.3 อุณหภูมิอ้างอิง 20 $^{0}$ซ หรือ 27 $^{0}$ซ

2.8.4 ขนาดบรรจุ

2.8.5 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ แสดงด้วย เครื่องหมาย $\pm$ ตามด้วยตัวเลข

2.8.6 วิธีสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ใช้ TD หรือ Ex หมายถึงเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่สอบเทียบแบบถ่ายของเหลว และ TC หรือ In หมายถึงเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่สอบเทียบแบบบรรจุของเหลว

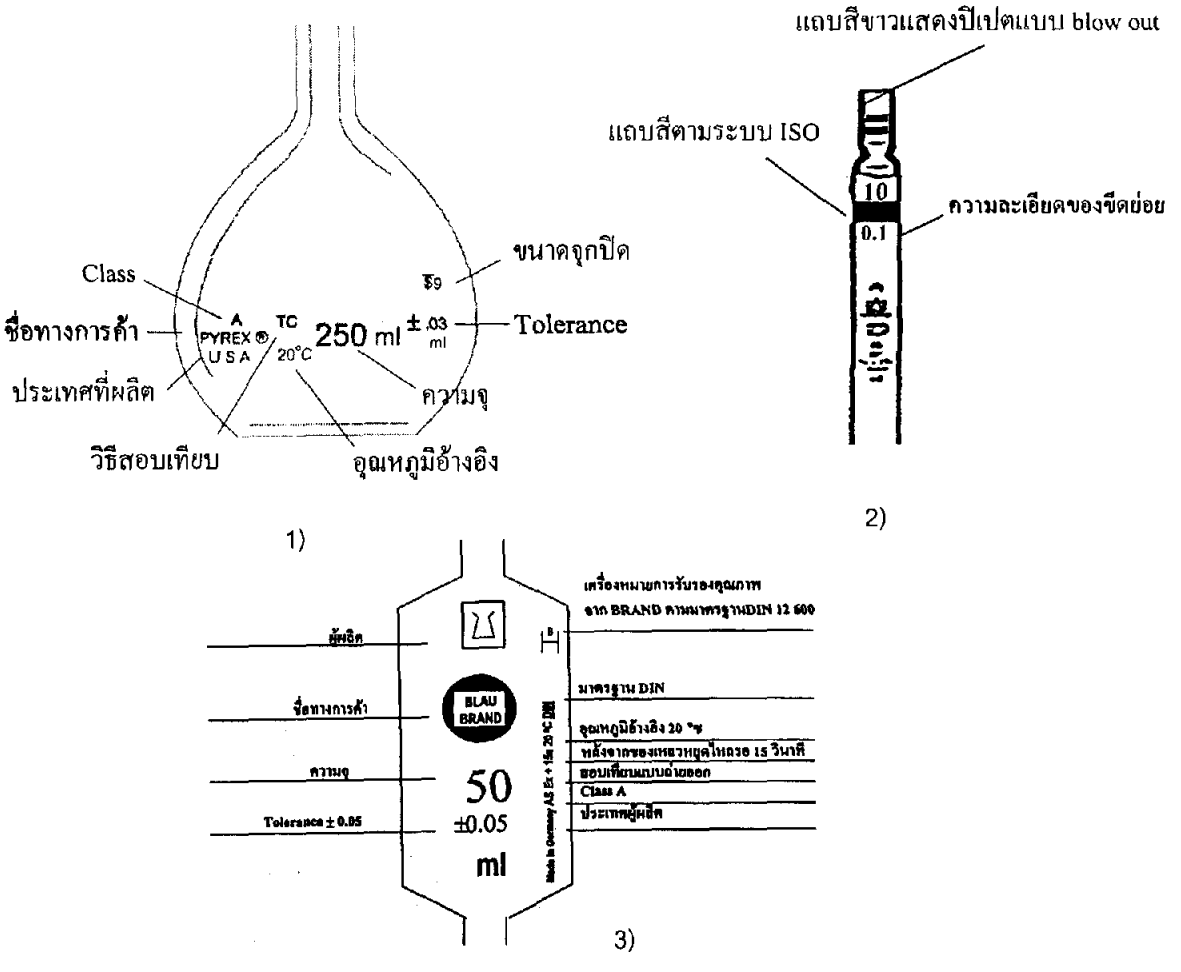
2.8.7 ความละเอียด (resolution) ของการแบ่งปริมาตรย่อย ในกรณีที่เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรแบบมีขีดแบ่งปริมาตรย่อย เช่น ความละเอียด 0.1 มล. แสดงด้วย 1 in 10 หรือ 1/10

2.8.8 แสดงชื่อบริษัทและประเทศผู้ผลิต รวมทั้งชื่อทางการค้า เพื่อให้สามารถสอบกลับได้ในกรณีที่เครื่องแก้วมีปัญหา

2.8.9 ในกรณีเครื่องแก้ววัดปริมาตรมีจุกปิด หรือมี stopcock ต้องแสดงหมายเลข บนเครื่องแก้ว และจุกปิด ที่ชัดเจน เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน ทำให้ไม่สับสน หรือกรณีที่ส่วนใดเสียหายสามารถซื้อมาทดแทนได้ง่าย

2.8.10 ในกรณีที่เครื่องแก้ววัดปริมาตรมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากเครื่องแก้วทั่วไปๆ ต้องแสดงรายละเอียดไว้ให้ชัดเจน ดังกล่าวแล้วใน ข้อ 2.4.2.2 และ2.4.2.3

รายละเอียดบนเครื่องแก้ววัดปริมาตรแสดงในรูปที่ 2.5

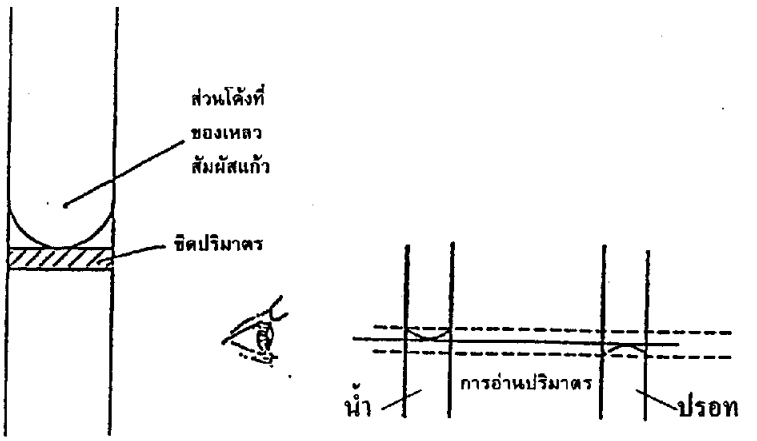



รูปที่ 2.5 แสดงรายละเอียดที่เขียนบนเครื่องแก้ววัดปริมาตร 1) ขวดวัดปริมาตร
2) ปิเปตแกรดูเอตเตด 3) ปิเปตวัดปริมาตร

## 2.9 วิธีใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร

การใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรให้ได้ปริมาตรของเหลวที่ถูกต้อง ต้องใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรให้ตรงตามรายละเอียดที่แสดงบนเครื่องแก้ว ผู้ใช้หรือผู้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องศึกษา ทำความเข้าใจกับสิ่งที่แสดงบนเครื่องแก้ว และปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด และต้องอ่านระดับของเหลวเพื่อบ่งชี้ปริมาตรของเหลวในเครื่องแก้ววัดปริมาตรได้ถูกต้อง

2.9.1 การอ่านปริมาตรของเหลวที่บรรจุในเครื่องแก้ววัดปริมาตร ในกรณีของเหลวที่บรรจุในเครื่องแก้วเป็นน้ำ ซึ่งมีสมบัติเปียกแก้ว ลักษณะการสัมผัสผิวแก้วที่รอยต่อเป็นส่วนโค้งลง การอ่านปริมาตรให้อ่านที่ส่วนโค้งล่างของของเหลว (meniscus) สัมผัสกับขอบบนของขีดกำหนดปริมาตร และให้สายตาอยู่ระดับเดียวกับระดับของเหลว ส่วนของเหลวที่มีสมบัติไม่เปียกแก้วหรือไม่เกาะแก้ว เช่น ปรอท ลักษณะการสัมผัสของของเหลวกับผิวแก้วที่รอยต่อเป็นส่วนโค้งขึ้น การอ่านปริมาตรให้อ่านจุดที่ส่วนโค้งด้านบนของของเหลวสัมผัสกับขอบด้านล่างของขีดแสดงปริมาตรและสายตาอยู่ระดับเดียวกับระดับของเหลวดังแสดงในรูปที่ 2.6 ผู้อ่านปริมาตรต้องสังเกตส่วนโค้งของของเหลวต้องมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่ชัดเจน และสมมาตร หากเป็นแบบอื่น เช่น การจับผิวแก้วแบนไม่เป็นส่วนโค้ง เอียง หรือขอบรอยต่อไม่สม่ำเสมอ แสดงว่าผิวแก้วไม่สะอาด **ต้องล้างเครื่องแก้วจนกระทั่งสะอาด** สังเกตจากการเปียกน้ำของผิวแก้วที่สม่ำเสมอและลักษณะของส่วนโค้งชัดเจน จึงจะนำมาสอบเทียบหรือใช้งาน หากล้างทุกวิธีแล้วแก้วยังไม่สะอาด เครื่องแก้วอาจเสียสภาพ หรือองค์ประกอบของแก้วผิดปกติ ไม่ควรนำมาใช้งานต่อไป ผู้ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องฝึกอ่านปริมาตรจนเกิดความชำนาญ สามารถทดสอบความสามารถในการอ่านปริมาตรของเหลว โดยการวัดซ้ำหลายครั้งหาผลต่างระหว่างผลของการวัดแต่ละชุดที่เป็นอิสระต่อกัน ผลต่างต้องไม่เกินค่าที่แสดงในตารางที่ 2.7




รูปที่ 2.6 แสดงการปรับส่วนโค้งของของเหลวบนขีดปริมาตร และการอ่านปริมาตรของเหลวในเครื่องแก้ววัดปริมาตร[14]

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าความแตกต่างสูงสุดที่ได้จากการวัดปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตรซ้ำโดยเป็นอิสระกัน[5]

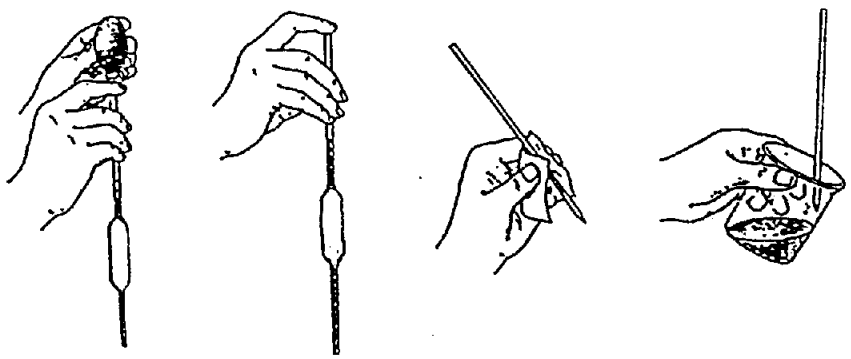
| เครื่องแก้ววัดปริมาตร | ขนาดความจุ(มล.) | ปริมาตรแตกต่างสูงสุด(มล.) |
|---|---|---|
| ปิเปตวัดปริมาตร | 1 | 0.002 |
| | 2 | 0.002 |
| | 5 | 0.002 |
| | 10 | 0.003 |
| | 15 | 0.005 |
| | 25 | 0.005 |
| | 50 | 0.007 |
| | 100 | 0.010 |
| ขวดวัดปริมาตร | 10 | 0.005 |
| | 25 | 0.005 |
| | 50 | 0.007 |
| | 100 | 0.011 |
| | 200 | 0.014 |
| | 250 | 0.017 |
| | 500 | 0.021 |
| | 1000 | 0.042 |
| บิวเรต | 10 | 0.003 |
| | 20 | 0.005 |
| | 50 | 0.007 |
| | 100 | 0.012 |

2.9.2 เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TD ใช้สำหรับถ่ายของเหลว และต้องถ่ายของเหลวตามวิธีที่กำหนดในมาตรฐานซึ่งแสดงไว้บนเครื่องแก้ว เนื่องจากการถ่ายของเหลวออกจากเครื่องแก้วไม่สามารถถ่ายออกได้หมด ยังคงมีบางส่วนติดอยู่ที่ผิวแก้วภายใน ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องกำหนดวิธีการถ่ายออกให้เป็นมาตรฐานเดียวเหมือนกับวิธีสอบเทียบ เพื่อให้ปริมาตรที่ถ่ายออกจากเครื่องแก้ววัดปริมาตรถูกต้องเท่ากับปริมาตรที่สอบเทียบและเท่ากันทุกครั้ง สำหรับเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ถ่ายของเหลวทางปลายท่อ ตามปกติของเหลวส่วนที่อยู่ตรงกลางจะไหลเร็วกว่าของเหลวที่สัมผัสผิวแก้ว เมื่อปล่อยของเหลว

ออกจากเครื่องแก้ววัดปริมาตรจนของเหลวส่วนใหญ่หยุดไหล ยังคงมีของเหลวส่วนที่สัมผัสผิวแก้วไหลลงมาที่ปลายท่อดังนั้นในการปล่อยของเหวออกทางปลายท่อให้ได้ปริมาตรถูกต้อง และทำซ้ำได้ ต้องควบคุมเวลาที่ปล่อยของเหลวออกจากเครื่องแก้ววัดปริมาตรจากขีดปริมาตรสูงสุด จนถึงขีดปริมาตรต่ำสุด เรียกว่า delivery times หาก delivery times นานเกินจากที่กำหนดในมาตรฐาน อาจเกิดจากปลายท่อมีสิ่งอุดตัน หรือเครื่องแก้วไม่ได้มาตรฐาน หรือปล่อยของเหลวผิดวิธี มีผลทำให้ของเหลวออกจากเครื่องแก้ววัดปริมาตรมากเกินปริมาตรที่กำหนด เนื่องจากของเหลวส่วนที่ติดผิวแก้วด้านในมีเวลาไหลตามออกมามาก และหาก delivery times น้อยเกินไปเนื่องจากปลายท่อชำรุด หรือเครื่องแก้วไม่ได้มาตรฐาน ทำให้ได้ปริมาตรของเหลวน้อยกว่าปริมาตรที่กำหนด เนื่องจากยังมีของเหลวติดที่ผิวแก้วด้านในมาก นอกจากนี้ขณะถ่ายของเหลวออกจากเครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องจับเครื่องแก้วในแนวตั้งตรง ปลายปิเปตหรือบิวเรตสัมผัสผนังด้านในของภาชนะรองรับ เปิดนิ้ว หรืออุปกรณ์ที่ปิดปลายด้านบนของปิเปตหรือเปิด stopcock ของบิวเรตให้เต็มที่ เพื่อให้ของเหลวไหลออกจากปลายท่อด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ที่เหมือนกันทุกครั้ง ทำให้เวลาที่ถ่ายของเหลวออกจากเครื่องแก้วชนิดเดียวกัน อยู่ในช่วงเดียวกัน ส่งผลให้ปริมาตรของเหลวที่ถ่ายจากเครื่องแก้ววัดปริมาตรเท่ากัน หากเครื่องแก้ววัดปริมาตรไม่อยู่ในแนวตั้งตรง ทำให้อัตราการไหลของของเหลวไม่เท่ากัน ส่งผลถึงปริมาตรดังกล่าวแล้ว หลังจากของเหลวหยุดไหลแล้วให้รออีก 2-3 วินาที หากมีการระบุบนเครื่องแก้ววัดปริมาตรให้รอหลังจากของเหลวหยุดไหลต้องรอตามเวลาที่กำหนด ส่วนเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TD ที่ไม่มีปลายท่อ เช่น ขวดวัดปริมาตร กระบอกตวง การถ่ายของเหลวใช้วิธีเทออก ให้เครื่องแก้วอยู่ในแนวตั้ง เมื่อของเหลวหยุดไหลให้รออีก 30 วินาที แล้วแตะปากเครื่องแก้วกับด้านในของภาชนะรองรับเพื่อกำจัดของเหลวหยดสุดท้ายที่ค้างอยู่

2.9.2.1 วิธีใช้ปิเปต ใช้กระเปาะยางหรืออุปกรณ์ช่วยดูด (pipet aid) สวมที่ก้านของปิเปต บีบกระเปาะยาง จุ่มปลายปิเปตลงในของเหลวปล่อยกระเปาะ ของเหลวจะถูกดูดเข้าในปิเปต จนกระทั่งระดับของเหลวสูงกว่าขีดปริมาตรประมาณ 10 มม. นำกระเปาะยางออกจากปลายปิเปตใช้นิ้วชี้ของมือที่จับปิเปตปิดปลายปิเปต ใช้กระดาษทิชชูซับข้างปิเปตด้านนอกตอนปลายให้แห้ง ปรับปริมาตรตามต้องการ ขณะปล่อยของเหลวเพื่อปรับปริมาตรให้ปลายปิเปตสัมผัสด้านในของภาชนะรองรับ การถ่ายของเหลวออกจากปิเปตโดยให้ปลายปิเปตสัมผัสด้านใน ของภาชนะรองรับ เมื่อของเหลวหยุดไหลแล้วรออีก 2 – 3 วินาที หรือในกรณีที่เป็นปิเปตแบบมี waiting time ให้รอเท่ากับเวลาที่กำหนด 15 วินาที

ในกรณีที่เป็นปิเปตแบบ blow out ใช้กระเปาะยางเป่าของเหลวด้านในออกจนหมด การใช้ปิเปตแสดงในรูปที่ 2.7

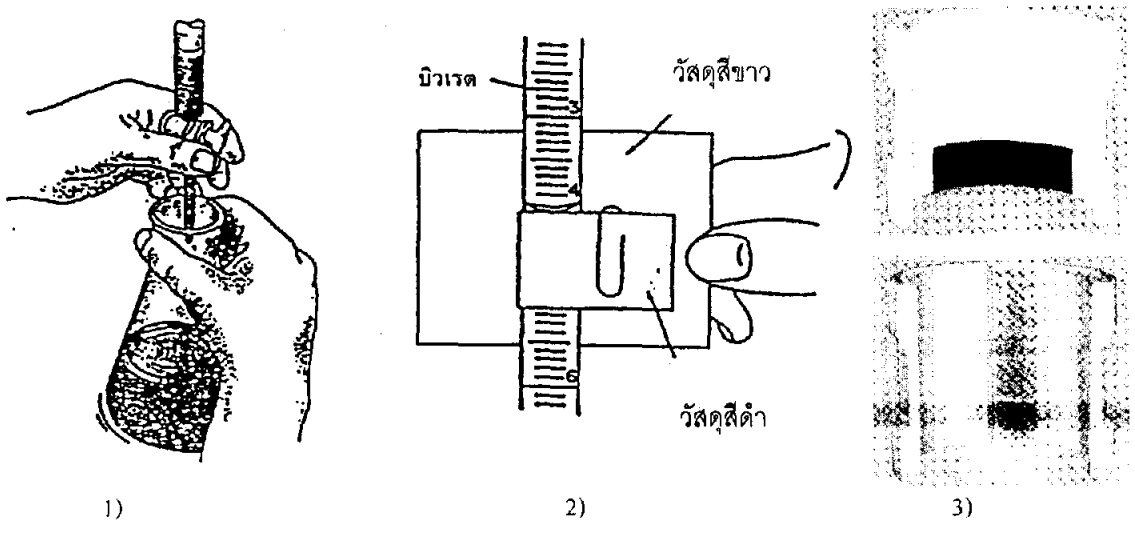


1) 2) 3) 4)

รูปที่ 2.7 แสดงวิธีใช้ปิเปต 1) ดูดของเหลวโดยใช้กระเปาะยางช่วย 2) ระดับของเหลวสูงกว่าขีดปริมาตรเล็กน้อย ยกปิเปตออกจากภาชนะ 3) ซับปลายปิเปต 4) ถ่ายของเหลวใส่ภาชนะรองรับ[27]

2.9.2.2 วิธีใช้บิวเรต บิวเรตที่ใช้ต้องสะอาด ก่อนใช้งานต้องกลั้วด้วยของเหลวที่จะบรรจุในบิวเรต โดยปิด stopcock ใช้มือซ้ายจับบิวเรต วางกรวยแก้วหรืออุปกรณ์ที่เหมาะสมลงในปลายด้านบนของบิวเรต ใช้หัวแม่มือของมือซ้ายดันกรวยเพื่อให้เกิดช่องว่างระหว่างกรวยกับปลายบิวเรต เทของเหลวปริมาตรประมาณ 5 มล. ลงในบิวเรตผ่านทางกรวย นำกรวยออกจากบิวเรต จับบิวเรตให้เอียงอยู่ในแนวนอน หมุนบิวเรตเพื่อให้ของเหลวล้างผนังด้านในจนทั่ว ตั้งบิวเรตในแนวตั้งตรง หมุน stopcock เปิดให้ของเหลวไหลออกจากบิวเรต กลั้วซ้ำอีกหนึ่งครั้ง การใช้บิวเรตให้บรรจุของเหลวลงในบิวเรตโดยเทของเหลวผ่านกรวยแก้วหรืออุปกรณ์ช่วยที่เหมาะสมทีละน้อย จนระดับของเหลวอยู่เหนือขีดศูนย์ หรือเหนือขีดปริมาตรที่ต้องการประมาณ 10 มม. นำกรวยออกจากบิวเรต เปิด stopcock ให้ของเหลวไหลลงมาเพื่อไล่อากาศจากปลายล่างของบิวเรต ถ้ามีฟองอากาศอยู่ที่ปลายบิวเรต ต้องไล่ฟองอากาศออกให้หมดโดยเปิด–ปิด stopcock เร็วๆ 2–3 ครั้ง ปรับระดับของของเหลวเริ่มต้นอยู่ที่ขีดปริมาตรที่ต้องการ การอ่านปริมาตรของของเหลวในบิวเรต ควรให้ระดับของของเหลวอยู่ระดับเดียวกับสายตา อ่านปริมาตรที่ส่วนโค้งของของเหลวสัมผัสขีดปริมาตร การใช้กระดาษสีขาวทาสีดำหรือสีน้ำตาลเข้มครึ่งหนึ่ง บังบิวเรต

ด้านหลัง ช่วยให้อ่านระดับของเหลวได้ชัดเจนขึ้น การใช้บิวเรตในการไทเทรต นำบิวเรตที่บรรจุของเหลวแล้วยึดไว้กับขาตั้ง (stand) และแคลมป์ยึดบิวเรต (buret clamp ) ใช้มือซ้ายจับ stopcock มือขวาจับฟลาสก์ หมุน stopcock ในแนวตั้งตรงเพื่อปล่อยของเหลวลงในฟลาสก์ พร้อมทั้งแกว่งฟลาสก์อย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ของเหลวผสมเข้ากัน จนกระทั่งเกือบถึงจุดยุติ (end point) หมุน stopcock ให้ของเหลวไหลช้าๆเพื่อให้สังเกตและควบคุมการปิดได้ทันที เมื่อ ถึงจุดยุติ การใช้แผ่นวัสดุที่ทำแถบสีทึบและสีสว่างบังด้านหลังบิวเรตช่วยให้อ่านปริมาตรของเหลวในบิวเรตง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8




รูปที่ 2.8 แสดงการใช้บิวเรต 1) การไทเทรต 2) การอ่านปริมาตรบนบิวเรต 3) อุปกรณ์ช่วยอ่านปริมาตร[27,29]

2.9.2.3 วิธีใช้ขวดวัดปริมาตรชนิด TD ขวดวัดปริมาตรชนิด TD เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตวงของเหลวที่ต้องการปริมาตรที่ถูกต้องมาก แต่ไม่สะดวกในการใช้ปิเปต เช่น การตวงตัวอย่างที่เป็นของเหลว ปริมาตร 200 มล. ไม่สามารถใช้ปิเปตเนื่องจากไม่มีขนาดความจุ 200 มล. หากต้องการใช้ต้องปิเปตตัวอย่าง 2 ครั้ง ทำให้ยุ่งยากและอาจมีความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนที่เพิ่มขึ้น การถ่ายของเหลวออกจากขวดวัดปริมาตร ให้คว่ำขวดในแนวดิ่ง หลังจากของเหลวออกหมดแล้วให้คว่ำค้างไว้อีก 30 วินาที แล้วจึงแตะปากขวดกับข้างภาชนะรองรับ เพื่อให้ของเหลวที่ติดปากขวดลงในภาชนะ

2.9.3 เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TC ได้แก่ ขวดวัดปริมาตร และกระบอกตวง ใช้สำหรับบรรจุของเหลว และการเตรียมสารละลาย ห้ามใช้ถ่ายของเหลว เพราะไม่สามารถถ่าย

ของเหลวออกจากเครื่องแก้วได้หมดดังกล่าวแล้ว ทำให้ปริมาตรคลาดเคลื่อนจากที่ระบุ การใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องระวังขณะเติมของเหลวต้องไม่ให้ด้านบนเหนือขีดปริมาตรเปียก หรือมีหยดของเหลว เพราะเป็นของเหลวส่วนที่ทำให้ปริมาตรเกิน มีผลทำให้ความเข้มข้นของสารละลายคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ควรใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิอ้างอิง เพื่อทำให้ได้ปริมาตรที่ถูกต้อง การอ่านปริมาตรของเหลวที่บรรจุในเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีฐานใหญ่ซึ่งวางบนพื้นโต๊ะได้ ควรวางเครื่องแก้ววัดปริมาตรไว้บนพื้นโต๊ะ เพื่อให้เครื่องแก้วอยู่ในระนาบ แล้วทำระดับสายตาให้อยู่ที่ระดับของเหลว ส่วนการยกขวดขึ้นเพื่อให้อยู่ที่ระดับสายตา ของเหลวอาจเอียงไม่ได้ระนาบ ทำให้อ่านปริมาตรผิด

2.9.3.1 วิธีใช้ขวดวัดปริมาตรชนิด TC ขวดวัดปริมาตรชนิด TC เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมและการเจือจางสารละลาย เช่น สารละลายตัวอย่างสารละลายมาตรฐาน การถ่ายของแข็งหรือของเหลวลงในขวดวัดปริมาตร ต้องใช้อุปกรณ์ช่วย เช่น กรวยแก้ว หลอดหยอด ปิเปต ในกรณีที่ถ่ายของแข็งให้ใช้กรวยสำหรับการถ่ายของแข็ง (powder funnel) ก่อนการปรับปริมาตร สารละลายต้องเป็นเนื้อเดียวกัน และอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง จึงจะเติมตัวทำละลายจนถึงขีดกำหนดปริมาตร หากสารละลายมีฟองต้องกำจัดฟองก่อนปรับและอ่านปริมาตร เช่นการเตรียมสารละลายตัวอย่างสบู่ ควรเติม ethanol 2-3 หยดเพื่อกำจัดฟอง

2.9.3.2 วิธีใช้ปิเปตชนิด TC ใช้สำหรับการถ่ายของเหลวที่มีความหนืดสูง หลังจากปล่อยของเหลวลงในภาชนะรองรับจนของเหลวหยุดไหลแล้ว ใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมล้างของเหลวภายในปิเปตออกจนหมด หรือใช้สำหรับวัดความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่มีความหนืด หรือใช้สำหรับผสมของเหลวปริมาณน้อย เช่น เลือดกับน้ำยาสำหรับทดสอบ

ส่วนเครื่องแก้ววัดปริมาตรประเภทอื่นๆ ให้ใช้ตามชนิดที่กล่าวรายละเอียดแล้วข้างต้น ได้แก่ กระบอกตวงที่สอบเทียบแบบ TD ใช้สำหรับถ่ายของเหลวที่ต้องการความถูกต้องไม่มากนัก เช่น สารที่ใช้ทำปฏิกิริยาเติมมากเกินพอ ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ สอบเทียบแบบ TC ใช้สำหรับหาความถ่วงจำเพาะของของเหลว

**2.10 การล้างเครื่องแก้ว**

เครื่องแก้วที่ไม่สะอาดสังเกตได้จากการเปียกน้ำไม่สม่ำเสมอ มีหยดน้ำเกาะผิวแก้ว หรือ แก้วไม่เปียกน้ำเนื่องจากมีคราบไขมัน เครื่องแก้วที่ไม่สะอาดทำให้การวัดปริมาตรไม่ถูกต้องเนื่องจากการอ่านส่วนโค้งของของเหลวไม่ชัดเจน ของเหลวส่วนที่ติดอยู่เหนือขีดปริมาตรไม่เป็นฟิล์มสม่ำเสมอ หากมีหยดของเหลวและไหลลงมารวมกับของเหลวในเครื่องแก้วหลังจากปรับปริมาตรแล้วทำให้

ปริมาตรคลาดเคลื่อน เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TD หากไม่สะอาดทำให้การถ่ายของเหลวออกจากเครื่องแก้วอาจไม่หมดและการถ่ายออกแต่ละครั้งไม่เท่ากันทำให้ได้ปริมาตรของเหลวไม่เท่ากับปริมาตรที่ต้องการ และความเที่ยงของการวัดต่ำ เนื่องจากเกิดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม นอกจากนี้หากมีสารปนเปื้อนติดอยู่ อาจมีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ทดสอบ

วิธีล้างเครื่องแก้วให้สะอาดโดยไม่ทำลายผิวแก้ว ต้องทิ้งส่วนที่เป็นของแข็งออกให้หมดก่อนจึงล้างด้วยน้ำเปล่าเพื่อทำความสะอาดเบื้องต้น แล้วล้างด้วยสารซักล้าง (detergent) ชนิดเหลว หลีกเลี่ยงสารซักล้างที่เป็นของแข็งเพราะทำให้เกิดสารตกค้าง หากเครื่องแก้วเปื้อนสารที่เป็นน้ำมัน หลังจากเทน้ำมันออกแล้ว ต้องเช็ดน้ำมัน ไขมันส่วนที่ติดแก้วออกก่อน แล้วจึงแช่ในสารซักล้างชนิดเหลวที่อุ่น หากยังไม่สะอาดให้แช่ในน้ำยาสำหรับล้างเครื่องแก้ว (cleaning solution) น้ำยาล้างเครื่องแก้วมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตอิ่มตัวในกรดซัลฟิวริก ($K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในไอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ (KOH/IPA) ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ กรดไนทริก ($HNO_3$) ความเข้มข้นร้อยละ 5-50 สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม ขึ้นอยู่กับความสกปรกของเครื่องแก้ว ชนิดของสารปนเปื้อน ไม่เป็น มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และมีความปลอดภัยในการใช้งาน วิธีการล้างเครื่องแก้ววัดปริมาตร ให้หลีกเลี่ยงการขัดถูด้วยแปรง หรืออุปกรณ์ที่ทำให้เกิดรอยขีดข่วน อาจใช้อ่างล้างเครื่องแก้วชนิดที่ใช้คลื่นความถี่สูง (ultrasonic bath) ทำให้เครื่องแก้วสะอาดโดยที่ผิวแก้วไม่เสียหาย

น้ำยาล้างเครื่องแก้วที่ใช้ได้ผลดี การเตรียมไม่ยุ่งยาก และปลอดภัยในการทำงาน ได้แก่ กรดไนทริก ความเข้มข้นร้อยละ 5-50 ในตอนเริ่มต้นควรทดลองล้างเพื่อหาความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสม โดยเริ่มใช้กรดที่ความเข้มข้นต่ำก่อน เพื่อความประหยัดและปลอดภัย แช่เครื่องแก้วทิ้งไว้ค้างคืน หลังจากนั้นจึงล้างด้วยน้ำจนสะอาด การตรวจดูเครื่องแก้วสะอาดเพียงพอหรือไม่ โดยดูการเปียกน้ำของผิวแก้วภายในเครื่องแก้ววัดปริมาตร และลักษณะของส่วนโค้งที่น้ำสัมผัสกับผิวแก้ว ต้องสมบูรณ์ ไม่เอียงหรือแบน ถ้าเครื่องแก้วสะอาดแล้วกลั้วด้วยน้ำกลั่นก่อนใช้ หากเครื่องแก้วไม่สะอาด ให้แช่ด้วยกรดที่ความเข้มข้นสูงขึ้น และใช้เวลามากขึ้น หรือในกรณีที่ไม่สามารถล้างให้สะอาดด้วยกรด อาจใช้น้ำยาล้างเครื่องแก้วชนิดที่เป็นด่าง ได้แก่ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2-10 ในไอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ แช่เครื่องแก้วในน้ำยาที่เป็นด่าง ประมาณ 10 นาที ล้างด้วยน้ำ และน้ำกลั่นตามลำดับ การใช้น้ำยาล้างเครื่องแก้วที่มีด่างแก่เป็นองค์ประกอบ ต้องระวังเรื่องเวลาที่แช่ และความเข้มข้นของด่าง เนื่องจากด่างมีสมบัติกัดผิวแก้ว และไม่ควรใช้น้ำยาประเภทด่างบ่อย ควรใช้ในกรณีที่มีปัญหาเท่านั้น ส่วนน้ำยาล้างเครื่องแก้วชนิดอื่นๆ มีรายละเอียดในเอกสารอ้างอิง ในการใช้น้ำยาชนิดที่เป็นกรด หรือเป็นสารกัดกร่อน ควรทำในตู้ดูดควันและใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เช่น ถุงมือ หน้ากากปิดจมูก แว่นตา การทำเครื่องแก้วให้แห้ง ควรทิ้งให้แห้งเองที่อุณหภูมิห้อง หลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนเพราะทำให้เครื่องแก้วเสียสภาพเร็วขึ้น หากต้องการให้เครื่องแก้วแห้งเร็วควรกลั้ว ด้วยอะซีโตนหรือแอลกอฮอล์ แล้วเป่าลม ที่อุณหภูมิห้อง

# บทที่ 3
# ข้อมูลเกี่ยวกับการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่นำมาใช้ในงานวิเคราะห์ทดสอบ ถึงแม้ว่าเป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรใหม่ที่ยังไม่ใช้งาน ควรมีเอกสารยืนยันปริมาตรที่ถูกต้องโดยหน่วยงานที่เชื่อถือได้ เช่น หน่วยงานสอบเทียบของภาครัฐ หน่วยสอบเทียบภาคเอกชนที่ได้รับการรับรองคุณภาพตามมาตรฐานสากล หรือใบรับรองปริมาตรจากผู้ผลิตที่ได้รับการรับรองคุณภาพตามมาตรฐานสากล หากไม่มีเอกสารดังกล่าวก่อนนำไปใช้งาน ห้องปฏิบัติการที่ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องทำการสอบเทียบเพื่อให้รู้ปริมาตรจริง หรือทวนสอบเพื่อให้มั่นใจว่ามีปริมาตรถูกต้องตามที่ระบุในข้อกำหนดคุณลักษณะ โดยปกติในการผลิตเครื่องแก้ววัดปริมาตร ผู้ผลิตได้ควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานสากลหรือมาตรฐานของประเทศ แต่เนื่องจากในการผลิตเครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องผลิตครั้งละจำนวนมาก การควบคุมคุณภาพเป็นกระบวนการตรวจสอบโดยวิธีสุ่มตัวอย่างจากเครื่องแก้ววัดปริมาตรจำนวนมาก ดังนั้นผู้ใช้ยังจำเป็นต้องสอบเทียบ เพื่อยืนยันปริมาตรจริงเฉพาะเครื่องแก้ววัดปริมาตรส่วนที่นำมาใช้ในห้องปฏิบัติการอีกครั้ง นอกจากนี้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ผ่านการใช้งานระยะหนึ่ง ปริมาตรของเครื่องแก้วอาจเปลี่ยนเนื่องจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่ การใช้งานที่อุณหภูมิสูงต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่น การอบเครื่องแก้ววัดปริมาตรเพื่อฆ่าเชื้อ ผิวแก้วถูกทำลายด้วยสารเคมี เช่น กรดกัดแก้ว (HF) กรดฟอสฟอริก ($H_3PO_4$) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และจากวิธีการล้างที่ไม่เหมาะสม ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงจำเป็นต้องทำการสอบเทียบหรือทวนสอบในช่วงเวลาที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยที่ห้องปฏิบัติการแต่ละห้องปฏิบัติการอาจกำหนดวงรอบของการสอบเทียบ หรือทวนสอบเครื่องแก้ววัดปริมาตรในเวลาแตกต่างกัน

## 3.1 องค์ประกอบของการสอบเทียบ

การสอบเทียบตามหลักมาตรวิทยา ต้องประกอบด้วยองค์ประกอบที่จำเป็นได้แก่ เครื่องมือ อุปกรณ์ (equipment) ความสามารถสอบกลับได้ (traecability) วิธีสอบเทียบ (method) และความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement)

3.1.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัด และเครื่องมือ อุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในกระบวนการวัด เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบต้องมีคุณลักษณะตรงตามความต้องการ กล่าวคือ ความแม่น ความเที่ยง ค่าการแยก หรือความสามารถในการแสดงค่าที่วัด รวมถึงความไม่แน่นอนของการวัด ต้องเป็นไปตามหลักการเลือกเครื่องมือวัดที่กำหนด มาตรฐาน ISO 10012 ข้อ 4.3 และต้องได้รับการสอบเทียบ พร้อมทั้งมีเอกสารแสดงผลการสอบเทียบว่าเป็นไปตามข้อกำหนด

การเลือกเครื่องมืออุปกรณ์ให้สามารถวัดค่าได้ถูกต้อง ความไม่แน่นอนของเครื่องมือต้องน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของสิ่งที่วัด 3 – 10 เท่า เช่น การสอบเทียบขวดวัดปริมาตร Class A ขนาดความจุ 100 มล. ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของขวดวัดปริมาตร คือ ±0.10 มล. เครื่องชั่งที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัด ต้องมีค่าความไม่แน่นอนอยู่ในช่วง 0.033 ถึง 0.01 กรัม ในกระบวนการสอบเทียบอาจต้องใช้เครื่องมือวัดอื่นๆ ร่วมด้วย เพื่อวัดสภาวะ แวดล้อม ได้แก่ เทอร์มอมิเตอร์ บารอมิเตอร์ และไฮโกรมิเตอร์ การเลือกเครื่องมือต้องพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของสภาวะแวดล้อม ซึ่งแสดงในวิธีสอบเทียบตามมาตรฐาน แล้วคำนวณค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของสภาวะแวดล้อม

การประมาณค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่งไฟฟ้าที่ผ่านการสอบเทียบและยอมรับว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ผลิต ใช้ค่าต่างๆตามข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องชั่ง ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ( linearlity, L) ความละเอียดของการอ่านค่าน้ำหนัก (R) ความเที่ยง (SD) ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอุณหภูมิไม่คงที่ (drift, D) และความไม่แน่นอนของมาตรฐานการวัดที่ใช้สอบเทียบเครื่องชั่งคือ ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (U) นำมารวมกันด้วยวิธี หารากที่สองของผลรวมของแต่ละค่ายกกำลังสอง (root sum square) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

**ตัวอย่าง** ต้องการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร Class A ขนาดความจุ 100 มล. ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของขวดวัดปริมาตรคือ ±0.10 มล. การเลือกเครื่องชั่งที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัด พิจารณาตามหลักเกณฑ์ ดังนี้

1. น้ำหนักสูงสุดที่เครื่องชั่งสามารถรับได้ ต้องไม่น้อยกว่า 200 กรัม โดยพิจารณาจากน้ำหนักสารที่ชั่ง (น้ำกลั่นปริมาตร 100 มล.) และน้ำหนักภาชนะ ประมาณ 100 กรัม เครื่องชั่งที่มีน้ำหนักสูงสุดไม่น้อยกว่า 200 กรัม เป็นเครื่องชั่งความละเอียด 0.001-0.0001กรัม
2. ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง ความละเอียด 0.001 กรัม

   กรณีที่หนึ่ง เครื่องชั่งมีข้อกำหนดคุณลักษณะ (specification) และผลการสอบเทียบแสดงว่าเป็นไปตามข้อกำหนดคุณลักษณะที่กำหนด ดังนี้

   ความละเอียด (R) 0.001 กรัม

   ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ (L) ±0.001 กรัม

   ความเที่ยง (SD) ±0.001 กรัม

   คิดเป็นความเที่ยงที่ 95 % = 0.001x2 = ±0.002 กรัม

   ค่าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิ (drift , D) 0.00005 กรัม/$^{0}$ซ

   สอบเทียบที่อุณหภูมิ 20±2.5 $^{0}$ซ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงขณะสอบเทียบ 5$^{0}$ซ

ดังนั้นค่าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิ ($D_T$) = 0.00005x5 = 0.00025 กรัม

ความไม่แน่นอนสูงสุดของตุ้มน้ำหนักที่สอบเทียบเครื่องชั่ง (U) ±0.0001 กรัม

ความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง $= \sqrt{R^2 + (2SD)^2 + L^2 + U^2 + D_\tau^2}$ .....3.1

$= \sqrt{(0.001)^2 + (0.002)^2 + (0.001)^2 (0.0001)^2 + (0.00025)^2}$

$= \pm 0.0025$ กรัม

เครื่องชั่งนี้สามารถใช้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในช่วง 3 x 0.0025 ถึง 10x0.0025 = 0.0075 ถึง 0.025 กรัม

3. สรุป ในการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร ความจุ 100 มล. สามารถใช้เครื่องชั่งที่มีข้อกำหนดคุณลักษณะ และสภาวะการสอบเทียบดังรายละเอียดข้างต้นได้

กรณีที่สอง หากเครื่องชั่งดังกล่าวถูกใช้งานในช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากสอบเทียบแล้วผลการสอบเทียบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดคุณลักษณะ ต้องใช้ข้อมูลจากใบรายงานผลการสอบเทียบมาประเมินค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง ผลการสอบเทียบเครื่องชั่งมีรายละเอียด ดังนี้

ค่าความคลาดเคลื่อน (error , E) 0.003 กรัม

ค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบ $\pm 0.0005$ กรัม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง $= \sqrt{R^2 + E^2 + U^2 + D_\tau^2}$ ..... .....3.2

$= \sqrt{(0.001)^2 + (0.003)^2 + (0.0005)^2 + (0.00025)^2}$

$= \pm 0.0032$ กรัม

ดังนั้น เครื่องชั่งเครื่องนี้สามารถใช้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ที่มีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ในช่วง 3 x 0.0032 ถึง 10x0.0032 = 0.0096 ถึง 0.032 กรัม

กรณีที่สาม เครื่องชั่งเครื่องเดิมถูกส่งสอบเทียบในหน่วยงานมาตรวิทยาแห่งชาติ ซึ่งใช้มาตรฐานการวัดสูงทำให้ค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบต่ำ และนำมาใช้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ และใช้ค่าแก้ในการบันทึกน้ำหนัก การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง คำนวณดังนี้

ความไม่แน่นอนจากน้ำหนักผิดพลาด ไม่มี

ความไม่แน่นอนจากค่า drift ไม่มี

ดังนั้นความไม่แน่นอนของเครื่องชั่งจึงมีเพียง 2 สาเหตุ คือ ความไม่แน่นอนจากผลการสอบเทียบเครื่องชั่ง และค่าความละเอียด

ความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง $= \sqrt{R^2 + U^2}$

$= \sqrt{(0.001)^2 + (0.0001)^2}$

$= 0.001$ กรัม

ดังนั้น เครื่องชั่งเครื่องนี้สามารถใช้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 3x0.001 ถึง 10x0.001 = 0.003 ถึง 0.01 กรัม

จากตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าเครื่องชั่งที่ความละเอียดเท่ากัน แต่สภาพของเครื่องชั่งต่างกัน ซึ่งอาจเป็นไปตามข้อกำหนดคุณลักษณะ หรือคุณลักษณะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการใช้งาน ทำให้มีค่าความไม่แน่นอนแตกต่างกัน จึงเป็นข้อคิดสำหรับผู้ใช้เครื่องมือ ต้องพิจารณาว่า เครื่องมือดังกล่าวความไม่แน่นอนของการวัดเกิดจากอะไรบ้าง ก่อนการเลือกซื้อต้องนำมาพิจารณาให้ครบถ้วน และต้องสอดคล้องกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของสิ่งที่วัด จะได้ไม่มีปัญหาเรื่องเครื่องมือไม่เหมาะสมกับงาน นอกจากนี้ในการนำเครื่องมือที่มีอยู่เดิมมาใช้ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร หากค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือสูงเกินไป สามารถทำให้ลดลงได้โดยการปรับตั้ง การใช้ค่าแก้ การส่งสอบเทียบในห้องปฏิบัติการที่มาตรฐานสูงเพื่อให้ค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบต่ำ และควบคุมสภาวะการสอบเทียบให้เหมาะสม

ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร สามารถสรุปแนวทางการเลือกใช้เครื่องชั่งที่เป็นมาตรฐานการวัดได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่า tolerance ของปิเปตวัดปริมาตรกับค่าความไม่แน่นอนและความละเอียด ของเครื่องชั่งที่เป็นมาตรฐานการวัด

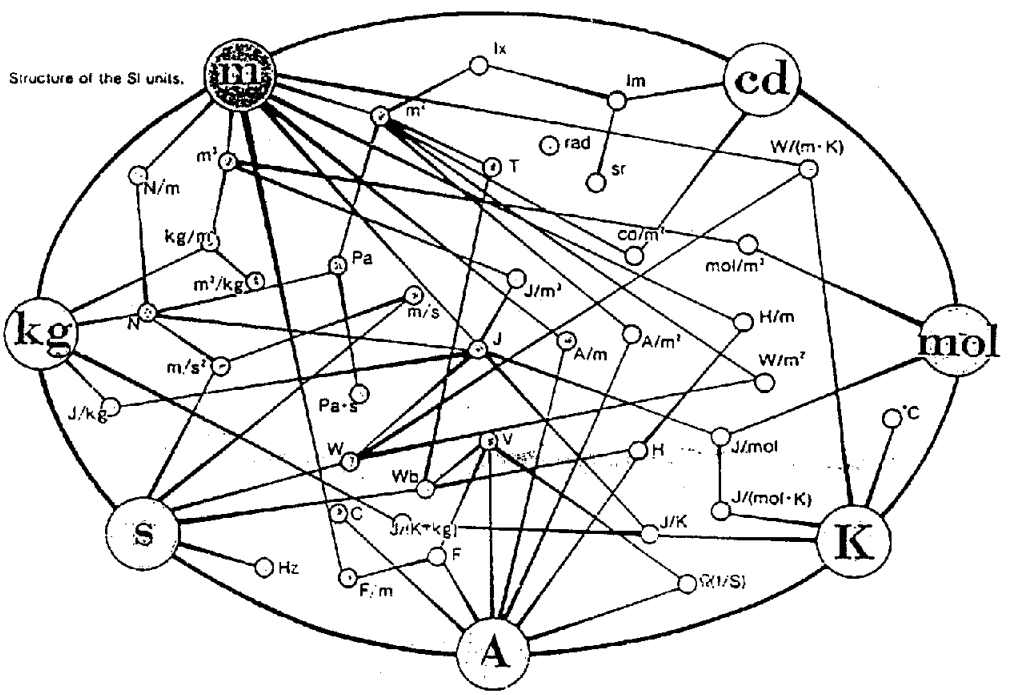
| ปิเปตวัดปริมาตร | | เครื่องชั่ง | |
|---|---|---|---|
| ความจุ (มล.) | tolerance (±มล.) | ค่าความไม่แน่นอน(กรัม) | ความละเอียด (กรัม) |
| 0.5 | 0.006 | 0.002-0.0006 | 0.0001 |
| 5 | 0.01 | 0.003-0.001 | 0.0001 |
| 10 | 0.02 | 0.006-0.002 | 0.001 |
| 25 | 0.03 | 0.010-0.003 | 0.001 |
| 50 | 0.05 | 0.016-0.005 | 0.001 |
| 100 | 0.08 | 0.026-0.008 | 0.001 |
| 200 | 0.1 | 0.03-0.01 | 0.001 |

ตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่า tolerance ของขวดวัดปริมาตรกับค่าความไม่แน่นอนและความละเอียด ของเครื่องชั่งที่เป็นมาตรฐานการวัด

| ขวดวัดปริมาตร | | เครื่องชั่ง | |
|---|---|---|---|
| ความจุ (มล.) | tolerance (±มล.) | ค่าความไม่แน่นอน(กรัม) | ความละเอียด (กรัม) |
| 250 | 0.12 | 0.04-0.012 | 0.01 |
| 500 | 0.20 | 0.06-0.02 | 0.01 |
| 1000 | 0.30 | 0.10-0.03 | 0.01 |
| 2000 | 0.50 | 0.16-0.05 | 0.01 |

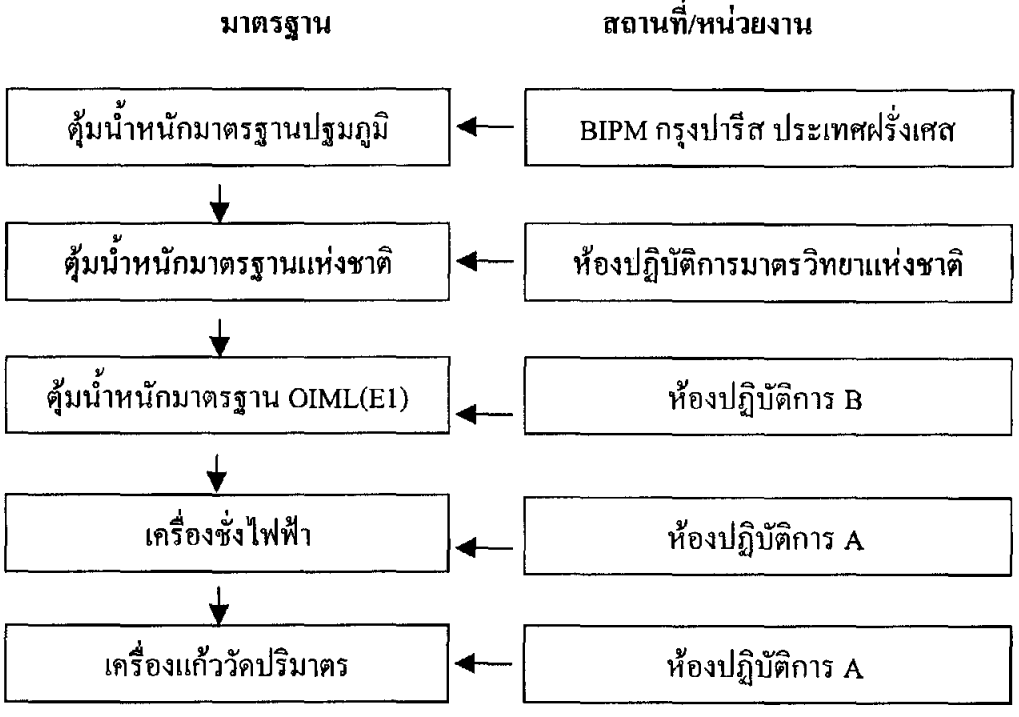
จากตารางที่ 3.1 และ 3.2 การสอบเทียบปิเปตวัดปริมาตร ความจุ 0.5-5 มล. ใช้เครื่องชั่งความละเอียด 0.0001 กรัม หรือเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง การสอบเทียบปิเปตวัดปริมาตร ความจุ 10-200 มล. ใช้เครื่องชั่งความละเอียด 0.001 กรัม หรือเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง และการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร ความจุ 250-2000 มล. ใช้เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม หรือเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ทั้งนี้ต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ ด้วย ได้แก่ อุณหภูมิห้อง ค่าความไม่แน่นอนจากใบรับรองการสอบเทียบ และค่าความถูกต้องของเครื่องชั่ง ในกรณีที่ต้องการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดและปริมาตรอื่นๆ ใช้หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกเครื่องมือที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัดและเครื่องมืออื่นๆ ในทำนองเดียวกัน

3.1.2 ความสามารถสอบกลับได้ การสอบเทียบเป็นการเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้โดยเครื่องมือวัดกับค่ามาตรฐานจากมาตรฐานการวัด ค่ามาตรฐานได้จากการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่สูงกว่าเป็นลูกโซ่โดยไม่ขาดสายจนถึงมาตรฐานสากลหน่วยเอสไอซึ่งเป็นหน่วยรากฐานมีจำนวน 7 หน่วย การวัดปริมาณในหน่วยใดๆ ต้องสอบกลับไปยังหน่วย เอสไอ ดังแสดงในรูปที่ 3.1




รูปที่ 3.1 แสดงการสอบกลับของหน่วยวัดต่างๆไปยังหน่วย เอสไอ[28]

**ตัวอย่าง** การแสดงความสอบกลับได้ของมาตรฐานการวัดที่ใช้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ดังนี้ ห้องปฏิบัติการ A ทำการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร โดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าเป็นมาตรฐานการวัด เครื่องชั่งไฟฟ้าได้รับการสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการ A โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเป็นมาตรฐานการวัด ตุ้มน้ำหนักได้รับการสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการ B ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการสอบเทียบแห่งชาติ ห้องปฏิบัติการ B ต้องแสดงความสอบกลับได้ของมาตรฐานการวัดที่ใช้ในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักให้ห้องปฏิบัติการ A เพื่อให้ห้องปฏิบัติการ A สามารถแสดงความสอบกลับได้ของเครื่องชั่งที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัดของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร การถ่ายทอดมาตรฐานจากมาตรฐานสากลมายังมาตรฐานการวัดในห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร แสดงโดยแผนภูมิ รูปที่ 3.2




รูปที่ 3.2 แสดงการถ่ายทอดมาตรฐาน จากมาตรฐานสากลมายังมาตรฐานการวัดในห้องปฏิบัติการ

3.1.3 วิธีสอบเทียบ การสอบเทียบต้องใช้วิธีสอบเทียบตามมาตรฐานสากล และต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดในวิธีมาตรฐาน ได้แก่ การเลือกเครื่องมือวัดรวมถึงวิธีตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ (performance check) การควบคุมสภาวะแวดล้อม การกำหนดคุณสมบัติ และทดสอบความสามารถของผู้สอบเทียบ ตลอดจนการตรวจสอบค่าความแม่นและความเที่ยงของผลการวัด (bias and precision )

การสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร มีวิธีมาตรฐาน ASTM E542-94 BS 6696 และ ISO 4787 ซึ่งทั้ง 3 มาตรฐานมีรายละเอียดคล้ายกัน ส่วนที่ต่างกันคือเรื่องเทคนิค เช่น การกำหนดสภาวะแวดล้อม มาตรฐาน BSI และ ISO กำหนดการเลื่อนไหล (drift) ของอุณหภูมิห้อง ส่วนมาตรฐาน ASTM กำหนดเป็นช่วงอุณหภูมิคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ เอกสารเล่มนี้อ้างอิงวิธีมาตรฐาน ASTM E542-94 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สอบเทียบในหน่วยงานสอบเทียบภาครัฐในประเทศไทย นอกจากนี้ในมาตรฐาน ASTM E542-94 กำหนดขอบข่าย เป็นวิธีสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรขนาดความจุ 0.1-2000 มล. เครื่องมืออุปกรณ์ ต้องผ่านการสอบเทียบและสอบกลับได้ถึงมาตรฐานสากล หน่วย SI โดยไม่ขาดช่วง ความไม่แน่นอนของเครื่องมือ เป็นไปตามรายละเอียดดังกล่าวแล้วในข้อ 3.2.1 ส่วนผู้สอบเทียบต้องศึกษาเทคนิคการสอบเทียบ ฝึกสอบเทียบด้วยเทคนิคที่ถูกต้อง และทดสอบความสามารถโดยทดสอบความเที่ยงและความแม่น ดังนี้

- ตรวจสอบความเที่ยงโดยการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรชิ้นเดียวกัน โดยสอบเทียบเป็นอิสระต่อกัน กล่าวคือการสอบเทียบแต่ละครั้งไม่มีส่วนเกี่ยวข้องหรือส่งผลกระทบต่อการสอบเทียบครั้งต่อไป ผลการสอบเทียบแตกต่างกันไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.7
- ตรวจสอบความแม่น โดยการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรมาตรฐาน ที่มีเอกสารแสดงปริมาตรจริง แล้วเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่แสดงในใบรับรอง ผลต่างต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด อาจใช้เกณฑ์ตามตารางที่ 2.7 หรือใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่สอบเทียบขึ้นอยู่กับความต้องการของห้องปฏิบัติการ โดยห้องปฏิบัติการสามารถกำหนดเอง
- ผู้สอบเทียบที่มีความสามารถต้องผ่านการทดสอบทั้งความเที่ยงและความแม่น จึงให้นำผลการสอบเทียบมาใช้งาน หากผู้สอบเทียบไม่มีความสามารถ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม และส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนจากการวัดสูง

3.1.4 ความไม่แน่นอนของการวัด เป็นการแสดงค่าการกระจายของผลการวัดรอบๆค่าเฉลี่ยได้จากการประมาณ ปัจจัยหลายอย่างที่อาจเป็นสาเหตุให้ผลการวัดคลาดเคลื่อน การประเมินค่าความไม่แน่นอนจะกล่าวโดยละเอียดในบทที่ 4

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ที่ต้องการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรให้มีประสิทธิภาพ ต้องจัดให้มีองค์ประกอบของการสอบเทียบครบทั้ง 4 องค์ประกอบ เครื่องมือที่เป็นมาตรฐานการวัดต้องมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเครื่องแก้ว 3-10 เท่า และมาตรฐานการวัดควรได้รับการถ่ายทอดมาตรฐานจาก มาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard) โดยตรง หรือ ขั้นตอนการถ่ายทอดมาตรฐานสั้นที่สุด เพื่อทำให้ค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบต่ำ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมของการสอบเทียบได้อย่างดี โดยกำหนดค่าควบคุมให้ต่ำกว่าค่าสูง

สุดที่ยอมรับ เพื่อให้ค่าความไม่แน่นอนของการวัดต่ำ และผู้สอบเทียบต้องผ่านการทดสอบความสามารถ และมีโปรแกรมการการทดสอบความสามารถสม่ำเสมอ

สำหรับห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบที่ต้องการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรเพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการเอง มักมีปัญหาเรื่องเครื่องมือที่เป็นมาตรฐานการวัด อุปกรณ์อื่นๆ และการควบคุมสภาวะแวดล้อม เนื่องจากไม่ได้ออกแบบห้องปฏิบัติการสอบเทียบโดยตรง การแก้ปัญหาให้พิจารณาปัญหาทีละเรื่อง กล่าวคือ กรณีเครื่องชั่งที่เป็นมาตรฐานการวัดมีผลจากการสอบเทียบแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสูง ส่งผลให้ความไม่แน่นอนในการวัดสูง ให้ใช้ค่าแก้ในการอ่านค่าน้ำหนัก และควบคุมอุณหภูมิห้องสอบเทียบให้คงที่ โดยที่ขณะทำการสอบเทียบไม่มีการเปิด-ปิดห้องหรือเดินเข้า-ออกบ่อยๆ เพื่อลดความไม่แน่นอนของการชั่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความคลาดเคลื่อนของเครื่องชั่ง ดังแสดงรายละเอียดในตัวอย่างข้อ 3.1.1 กล่าวคือถ้าชั่งน้ำหนักโดยไม่ใช้ค่าแก้สามารถสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ยอมรับความคลาดเคลื่อนไม่น้อยกว่า 0.0096 กรัม แต่ถ้าใช้ค่าแก้และควบคุมอุณหภูมิห้องสามารถสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ยอมรับความคลาดเคลื่อนไม่น้อยกว่า 0.003 กรัม จะเห็นว่าเครื่องชั่งเครื่องเดียวกัน ใช้งานในสภาวะต่างกัน วิธีใช้ต่างกัน ทำให้ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่งต่างกัน จากตัวอย่างดังกล่าวสามารถใช้เครื่องชั่งสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ยอมรับความคลาดเคลื่อนต่างกันประมาณ 3 เท่า ทำให้สามารถนำมาใช้งานได้กว้างขึ้น

ส่วนเครื่องมืออุปกรณ์อื่นสามารถแก้ปัญหาในทำนองเดียวกัน

**3.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

การสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรใช้วิธีชั่งน้ำหนักของน้ำกลั่นที่บรรจุ หรือถ่ายออกจากเครื่องแก้ววัดปริมาตร ชนิด TC และ TD ตามลำดับ นำมาคำนวณหาปริมาตร ที่อุณหภูมิ 20 °ซ โดยใช้สมการ

$V_{20} = (I_L - I_E) Z$ .....3.3

$V_{20}$ = ปริมาตรของน้ำที่ 20 °ซ

= ปริมาตรจริงของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ 20 °ซ

$I_L$ = น้ำหนักของขวดชั่งที่บรรจุน้ำที่อุณหภูมิห้อง (กรัม)

$I_E$ = น้ำหนักขวดชั่งเปล่าที่อุณหภูมิห้อง (กรัม)

Z = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ค่า Z ได้จาก ตารางในภาคผนวก

$Z = (Q)[1/(\rho_W - \rho_A)](1 - \rho_A / \rho_B)[1-\alpha(T-20)]$ .....3.4

$\rho_A$ , $\rho_B$, $\rho_W$ คือความหนาแน่นของ อากาศ ตุ้มน้ำหนัก และน้ำ ตามลำดับ

$\alpha$ คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุ ขึ้นอยู่กับชั้นคุณภาพของเครื่องแก้ววัดปริมาตร

T คืออุณหภูมิห้อง ($^0$ซ)

Q = mass conversion factor = 1.000013

การใช้ค่า Z จากตารางนั้นต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก้ว ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของน้ำกลั่นที่ใช้ และความชื้นสัมพัทธ์ ของห้องสอบเทียบ ดังนั้นในการสอบเทียบต้องทำการวัดและบันทึกค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งชนิดของแก้วที่ใช้เป็นวัสดุทำเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่สอบเทียบเพื่อใช้ในการหาคำนวณค่า Z

3.2.1 เตรียมเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่สอบเทียบ โดยล้างให้สะอาดด้วยการแช่ในกรดไนทริกความเข้มข้นไม่น้อยกว่า ร้อยละ 5 ล้างด้วยน้ำ แล้วตามด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2 การเตรียมห้องสอบเทียบ ต้องควบคุมสภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการสอบเทียบตามที่กำหนดในวิธีมาตรฐาน ASTM E542-94 กล่าวคืออุณหภูมิห้องเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm 2.5^{\circ}$ซ ความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ในช่วงร้อยละ $50 \pm 10$ อุปกรณ์ที่ใช้ และน้ำกลั่น ต้องมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

3.2.3 เตรียมมาตรฐานการวัดที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร คือ เครื่องชั่งที่มีใบรับรองผลการสอบเทียบ สามารถสอบกลับได้ถึงมาตรฐานหน่วยเอสไอ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 นอกจากนี้เครื่องชั่งที่ใช้เป็นมาตรฐานต้องมีความแม่นสอดคล้องกับความแม่นของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ต้องการสอบเทียบ กล่าวคือความไม่แน่นอนของการชั่งต้องต่ำกว่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร 3-10 เท่า และน้ำหนักสูงสุดที่เครื่องชั่งรับได้ เพียงพอกับสิ่งที่ต้องการชั่ง ตัวอย่างเช่น ต้องการสอบเทียบปิเปต Class A ความจุ 10 มล. ค่า tolerance ของปิเปตคือ $\pm$ 0.02 มล. สามารถใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าที่มีความไม่แน่นอนไม่เกิน 0.007 กรัม ซึ่งสามารถใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียด 0.001 กรัม ตามตัวอย่างในข้อ 3.1.1 และตารางที่ 3.1 เครื่องมืออื่นๆที่จำเป็นต้องใช้ในการสอบเทียบ ต้องมีสมบัติดังนี้

3.2.4.1 เทอร์มอมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิห้องช่วง 0-50 $^{\circ}$ซ ค่าความไม่แน่นอนไม่เกิน $\pm 1.0^{\circ}$ซ

3.2.4.2 เทอร์มอมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิน้ำ 0-50 $^{\circ}$ซ ค่าความไม่แน่นอนไม่เกิน $\pm 0.1^{\circ}$ซ

3.2.4.3 บารอมิเตอร์ ค่าความไม่แน่นอนไม่เกิน $\pm$ 2 mmHg

3.2.4.4 ไฮโกรมิเตอร์ ค่าความไม่แน่นอนไม่เกินร้อยละ $\pm$ 3

3.2.5 เตรียมอุปกรณ์ เครื่องแก้ว และน้ำกลั่นหรือน้ำที่กำจัดไอออน (deionized water) และเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ต้องการสอบเทียบ โดยนำไปวางในห้องสอบเทียบที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ก่อนทำการสอบเทียบประมาณ 2 ชม. หรือจนกว่าจะมั่นใจว่าอุณหภูมิของน้ำกลั่น เครื่องแก้ววัดปริมาตร และอุปกรณ์ ถึงสมดุล อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ ได้แก่ ขวดชั่งสาร บีกเกอร์ หลอดหยด อุปกรณ์ช่วยดูดน้ำ อุปกรณ์ช่วยถ่ายน้ำ

กรวยแก้ว นาฬิกาจับเวลา ถุงมือ ผ้าดิบ หรือกระดาษทิชชู และอุปกรณ์อื่นที่จำเป็นหรือทำให้สะดวกต่อการสอบเทียบ

3.2.6 ตรวจสอบสภาวะแวดล้อมของห้องสอบเทียบให้ได้ตามที่กำหนดในข้อ 3.2.2 ได้แก่ อุณหภูมิห้อง ความชื้น ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิน้ำกลั่นที่ใช้เป็นตัวกลาง อุณหภูมิน้ำกลั่น อุณหภูมิของเครื่องแก้ววัดปริมาตร และอุปกรณ์ที่ใช้สอบเทียบ ควรเท่ากับอุณหภูมิห้อง

3.2.7 เตรียมแบบบันทึกข้อมูล ช่วงทำการสอบเทียบต้องบันทึกข้อมูลลงในแบบบันทึกให้สมบูรณ์ ประกอบด้วยรายละเอียดของเครื่องแก้ววัดปริมาตร ได้แก่ ขนาดความจุ วิธีสอบเทียบ ความละเอียด ช่วงปริมาตรที่สอบเทียบ และชั้นคุณภาพ สภาวะในการวัด ได้แก่ อุณหภูมิห้อง ความดันบรรยากาศ ความชื้น (ตัวอย่างแบบบันทึกในบทที่ 5)

**3.3 วิธีการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

3.3.1 เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TD หรือ Ex ชนิดปล่อยของเหลวออกทางปลายท่อ ได้แก่ ปิเปต และ บิวเรต การสอบเทียบต้องเตรียมภาชนะที่แห้งและสะอาด สำหรับรองรับน้ำกลั่นที่ถ่ายออกเพื่อนำไปชั่งน้ำหนัก ต้องมีภาชนะสำหรับชั่งน้ำจำนวนเพียงพอต่อจำนวนเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ต้องการสอบเทียบและจำนวนการทำซ้ำ ไม่ควรใช้ภาชนะเปียกซ้ำ เนื่องจากอาจทำให้น้ำหนักที่ชั่งคลาดเคลื่อนเนื่องจากการระเหยของน้ำ การเกิดความชื้นในบริเวณชั่งสาร และหากชั่งต่อเนื่องหลายครั้งเป็นความคลาดเคลื่อนสะสมมากขึ้น ภาชนะรองรับควรมีสมบัติดังนี้

- เป็นแก้ว หลีกเลี่ยงภาชนะที่ทำจากพลาสติก เพราะทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตขณะชั่งน้ำหนัก ทำให้ค่าอ่านค่าน้ำหนักไม่นิ่ง และค่าที่ชั่งได้ผิดพลาด
- ความจุของภาชนะมากกว่าปริมาตรของน้ำเล็กน้อย เพื่อให้น้ำหนักจุดที่ชั่งภาชนะ รวมกับน้ำ แตกต่างกับน้ำหนักน้ำไม่มาก ซึ่งหากอยู่ในช่วงต่างกัน มีผลต่อการคำนวณค่าแก้และความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง
- ภาชนะมีฝาปิดเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำขณะชั่ง
- ภาชนะควรมีปากแคบ และคอยาว เพื่อลดการระเหยของน้ำขณะถ่ายน้ำจากเครื่องแก้ววัดปริมาตรลงในภาชนะ

วิธีการถ่ายของเหลวออกจากเครื่องแก้ววัดปริมาตร ทำตามวิธีที่ระบุตามชนิดของเครื่องแก้ว (ดูรายละเอียดในบทที่ 2 ) การสอบเทียบปิเปตชนิดมีขีดแบ่งปริมาตรย่อย และบิวเรตควรสอบเทียบอย่างน้อย 2 ช่วง คือ ช่วงครอบคลุมปริมาตรทั้งหมด และ ช่วงที่ครอบคลุมปริมาตรที่ใช้งาน

ก่อนการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ชนิดที่ถ่ายของเหลวออกทางปลายท่อ ผู้สอบเทียบต้องหา delivery time หน่วยเป็นวินาที delivery time เป็นค่าที่ใช้ประเมินคุณภาพของ

เครื่องแก้ววัดปริมาตรเบื้องต้น หาก delivery time ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด มีโอกาสสูงที่เครื่องแก้ววัดปริมาตรมีปริมาตรไม่ได้มาตรฐาน หรือเป็นการตรวจสภาพเครื่องแก้ว อุดตัน หรือปลายแตก

3.3.2 เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TD หรือ Ex ชนิดปล่อยของเหลวออกทางปากด้านบนที่มีความกว้าง และมีฐานกว้างสามารถวางบนพื้นเรียบได้ ได้แก่ ขวดวัดปริมาตร และกระบอกตวง การสอบเทียบใช้วิธีชั่งน้ำหนักน้ำที่บรรจุในเครื่องแก้ววัดปริมาตร (1) และน้ำหนักของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีน้ำคงเหลือหลังจากถ่ายน้ำออกโดยวิธีที่กำหนด (2) หาผลต่างของน้ำหนัก (1) - (2) เป็นน้ำหนักน้ำที่ถ่ายออกจากเครื่องแก้ววัดปริมาตร การถ่ายน้ำออกทำโดยคว่ำเครื่องแก้ววัดปริมาตรในแนวตั้ง หลังจากน้ำหยุดไหล ค้างไว้อีก 30 วินาที จึงแตะปากของเครื่องแก้ววัดปริมาตรกับภาชนะรองรับเพื่อให้น้ำที่ค้างอยู่หยดลงในภาชนะรองรับ

3.3.3 เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TC หรือ In ได้แก่ ขวดวัดปริมาตร กระบอกตวง ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ ชั่งน้ำหนักเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่แห้ง สะอาดพร้อมฝาปิด บรรจุน้ำกลั่นถึงขีดปริมาตร ชั่งน้ำหนักเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่บรรจุน้ำกลั่น หาน้ำหนักของน้ำกลั่นจากผลต่างของน้ำหนักครื่องแก้วที่บรรจุน้ำกับน้ำหนักเครื่องแก้ววัดปริมาตรเปล่า

**3.4 จำนวนครั้งของการวัดซ้ำ**

การสอบเทียบเป็นการหาค่าจริงของสิ่งที่วัด ดังนั้นจึงต้องการผลการวัดที่มีความถูกต้องสูง ดังนั้นในกระบวการวัดจำเป็นต้องทำการวัดซ้ำให้จำนวนของการวัดเพียงพอที่จะให้ผลการวัดน่าเชื่อถือ ปัจจุบันห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบที่ต้องสอบเทียบเครื่องมือวัด มีปัญหาเรื่องจำนวนครั้งที่ต้องวัดซ้ำ โดยมากทำตามข้อแนะนำจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการประกันคุณภาพ ซึ่งหากห้องปฏิบัติการที่ทำตามคำแนะนำต้องมั่นใจว่าสามารถทำได้ผลเหมือนกัน โดยการใช้เครื่องมือ ควบคุมสภาวะการวัดและความสามารถของผู้สอบเทียบควรเหมือนกัน ในทางปฏิบัติทำได้ยาก ดังนั้นห้องปฏิบัติการอาจทำตามข้อแนะนำ แต่ให้ประเมินผลการวัดโดยใช้วิธีทางสถิติ โดยใช้สมการ

$$n = \left(\frac{ts}{E}\right)^2 \quad \text{.....3.5}$$

$n$ คือจำนวนครั้งของการวัด

$s$ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$t$ ค่าการแจกแจง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

$E$ คือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

การประเมินโดยวิธีทางสถิติ ผู้สอบเทียบต้องกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดจากผลการวัดซ้ำที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับตามตารางที่ 2.7 และใช้ค่า $t$

ประมาณ 2 ในกรณีที่ไม่สามารถกำหนดความคลาดเคลื่อนของการวัด หรือการทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับต้องทำการวัดซ้ำจำนวนครั้งมากเกินไป อาจแก้ไขโดยควบคุมสภาวะการวัดให้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากระบบน้อยที่สุด แล้วทำการวัด ไม่น้อยกว่า 10 ครั้ง นำผลการวัดมาประเมินค่าความคลาดเคลื่อนโดยสมการ

$$E = \frac{ts}{\sqrt{n}} \quad \text{.....3.6}$$

คำนวณค่าความคลาดเคลื่อน จากผลการวัด 3-10 ครั้ง เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน จำนวนครั้งที่เหมาะสมคือจำนวนที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อน ที่ต้องการหรือค่าเกือบคงที่ดังแสดงในตัวอย่าง

**ตัวอย่าง** ทำการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร ความจุ 50 มล. ผลการวัด 10 ครั้ง ได้ผลการวัดดังนี้ 50.03 ,50.02, 50.01, 50.01, 50.02, 50.00, 50.01, 50.02, 50.00, และ 49.99 มล. จงวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาจำนวนครั้งของการวัดซ้ำ

**วิธีทำ** หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน โดยใช้สมการที่ 3.6 เปิดค่า $t$ จากตารางการแจกแจง $t$ ในภาคผนวกได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการคำนวณเพื่อหาจำนวนครั้งของการวัด

| จำนวนครั้ง | $t$ | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | ความคลาดเคลื่อน |
|---|---|---|---|
| 3 | 4.3 | 0.01 | 0.024827 |
| 4 | 3.18 | 0.009574 | 0.015223 |
| 5 | 2.78 | 0.008367 | 0.010402 |
| 6 | 2.57 | 0.010488 | 0.011006 |
| 7 | 2.45 | 0.009759 | 0.009036 |
| 8 | 2.36 | 0.009258 | 0.007726 |
| 9 | 2.31 | 0.008345 | 0.006426 |
| 10 | 2.26 | 0.011972 | 0.008557 |
| สรุปผล ควรวัดไม่น้อยกว่า 7 ครั้ง | | | |

จากผลการทดลองตามตัวอย่าง ผลการวัดจำนวน 3-6 ครั้ง มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง และมีค่าใกล้เคียงกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่สอบเทียบ แต่เมื่อทำการวัดจำนวน 7 ครั้ง ผลการวัดมีค่าความคลาดเคลื่อนลดลงถึงค่าที่ยอมรับได้ และเมื่อวัดจำนวนมากกว่า 7 ครั้ง ผลการวัดมีค่าความคลาดเคลื่อนลดลงเพียงเล็กน้อย จึงไม่จำเป็นต้องวัดซ้ำมากกว่า 7 ครั้ง

**3.5 การคำนวณ**

คำนวณหาปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่อุณหภูมิ 20 °ซ ($V_{20}$) จากสมการ

$V_{20} = (I_L - I_E) Z$ [5]

คำนวณหาปริมาตรของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่อุณหภูมิห้องขณะใช้งานโดยใช้สมการ

$V_T = V_{20}[1 + \alpha (T-20)]$

$V_T$ = ปริมาตรจริงของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่อุณหภูมิห้อง

$\alpha$ = สัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก้ว (มล./ °ซ)

= 0.00001 มล./ °ซ สำหรับ Borosilicate glassware (Type I Class A)

= 0.000015 มล./ °ซ สำหรับ Borosilicate glassware (Type I Class B)

= 0.000025 มล./ °ซ สำหรับ Soda-lime glassware

การใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรในการเตรียมสารละลายที่ต้องการความแม่นสูง เช่น การเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ จำเป็นต้องทราบปริมาตรของเครื่องแก้วที่อุณหภูมิที่ใช้งาน เพื่อจะได้คำนวณความเข้มข้นของสารได้ถูกต้อง การใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่อุณหภูมิห้องต่างจาก 20 °ซ มากๆ และเตรียมสารละลายที่ยอมรับความคลาดเคลื่อนต่ำ จำเป็นต้องใช้ปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ $V_T$ ซึ่งเป็นปริมาตรจริงของภาชนะที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมมีความถูกต้องยิ่งขึ้น

# บทที่ 4
# การประเมินค่าความไม่แน่นอน
# ของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จำเป็นในการสอบเทียบเครื่องมือวัด การรายงานผลโดยแสดงค่าความไม่แน่นอนของการวัด ทำให้ผลการวัดมีความสมบูรณ์น่าเชื่อถือ ความไม่แน่นอนของการวัดเป็นตัวชี้ถึงพิสัยของค่าการวัดว่าสิ่งที่ถูกวัดอยู่ภายในค่าที่ประเมินด้วยความเชื่อมั่นที่แสดงไว้ โดยทั่วไปแสดงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สำหรับการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ใช้แนวทางตาม ISO/TAG 4[25] และ NAMAS Publication M 3003[26] ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานสากลด้านการประเมินความไม่แน่นอนสำหรับงานสอบเทียบ

## 4.1 ความหมายของความไม่แน่นอน[25,26]

4.1.1 ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement) หมายถึงพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะการกระจายของค่าที่วัด ซึ่งสามารถบอกค่าของสิ่งที่ถูกวัดอย่างสมเหตุสมผล การประเมินค่าความไม่แน่นอน ต้องพิจารณาจากองค์ประกอบทั้งหมดของกระบวนการวัด ดังนี้

ให้ปริมาณที่เป็นผลของการวัด (output) มีค่า $Y$

ปริมาณที่ทำให้เกิดผลการวัด (input) $X_i$ ( $i = 1, 2, 3 \ldots n$ )

เขียนแสดงเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ $Y = f( X_1, X_2, X_3 \ldots X_n )$ ..... 4.1

ในการวัดปริมาณ $X_i$ ไม่สามารถหาค่าจริงได้ เป็นเพียงค่าโดยประมาณ ( estimate value )

ดังนั้น จึงเขียนฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ใหม่เป็น $y = f( x_1, x_2, x_3 \ldots x_n)$ .....4.2

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดของค่าประมาณ y เขียนแทนด้วย $u_c( y )$ หาได้จากค่าความไม่แน่นอนของค่าประมาณ $x_I$ เขียนแทนด้วย $u(x_i)$

4.1.2 ความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty , $u(x_i)$) เป็นความไม่แน่นอนที่ได้จากการประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลาง (Standard Deviation of the Mean) หรือความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่ากลาง (Standard Error of the Mean)

4.1.3 ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined Standard Uncertainty ,$u_c$) ผลรวมของความไม่แน่นอนมาตรฐาน ด้วยวิธีหารากที่สองของผลรวมของความไม่แน่นอนมาตรฐานยกกำลังสอง (root sum square)

4.1.4 ความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty, U(y)) เป็นความไม่แน่นอนรวมที่ขยายระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 68.27 %

## 4.2 สถิติที่ใช้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอน

4.2.1 ค่าเฉลี่ย ใช้แทนค่ากลางของการวัด

4.2.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้แสดงการกระจายของข้อมูลรอบค่ากลาง

4.2.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลาง ใช้เป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน

4.2.4 การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม ความไม่แน่นอนของเครื่องมืออุปกรณ์ สารเคมี และสิ่งที่มีผลกระทบต่อการวัด ที่นำมาใช้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากระบบการวัด ต้องทราบการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปร เพื่อนำมาหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลาง การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรที่ใช้ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร มี 4 แบบ ดังนี้

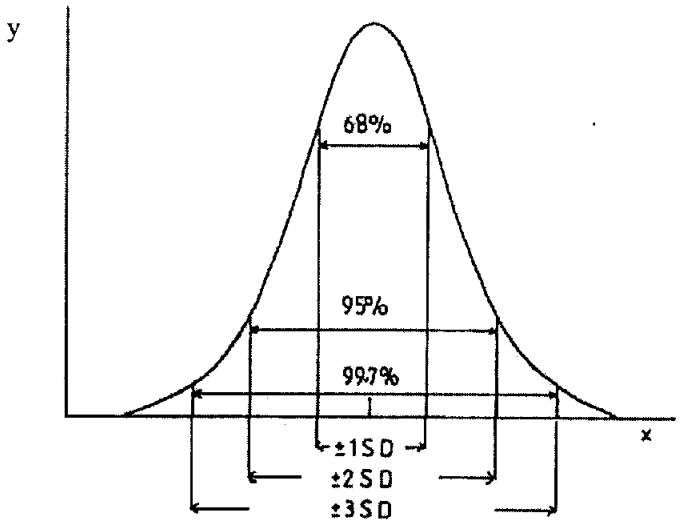
1) การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal distribution) มีฟังก์ชันของความน่าจะเป็น ดังนี้

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \qquad -\infty<x<+\infty \qquad .....4.3$$

เมื่อ $\mu$ คือค่าเฉลี่ย

$\sigma$ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ เป็นการแจกแจงข้อมูลจากการวัดค่าประชากร หรือตัวอย่างที่มี degree of freedom เข้าสู่ $\infty$




รูปที่ 4.1 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบปกติ[25,26]

ตัวอย่าง ข้อมูลที่การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบปกติ ได้แก่ ค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องชั่งที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัด ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ค่า

ความไม่แน่นอนที่แสดงในใบรายงานผลการสอบเทียบเป็นความไม่แน่นอนขยาย ($U$) ทำให้เป็นความไม่แน่นอนมาตรฐาน ($u(x_i)$) โดยหารด้วย ตัวคูณประกอบ ($k$)

$$u(x_i)=\frac{U}{k} \qquad \text{.....4.4}$$

2) การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ t (t-distribution) การแจกแจงแบบ t มีชื่อเต็มๆว่า Student-t-distribution มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น ดังนี้

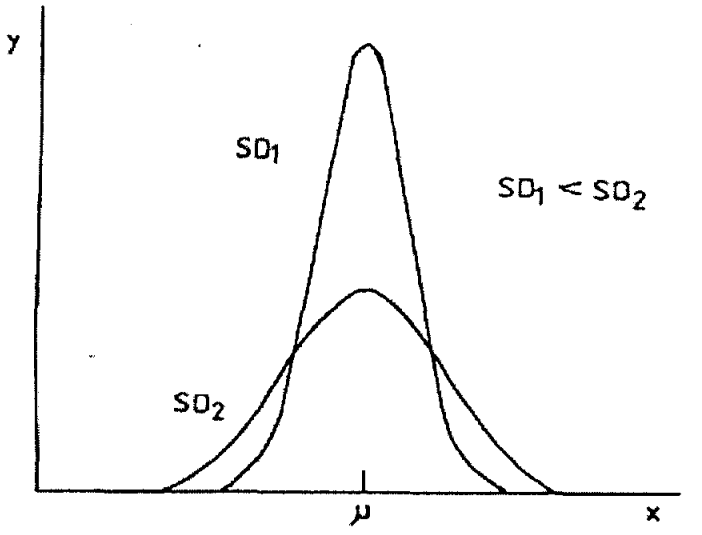
$$f(x,\nu)=\frac{1}{\sqrt{\pi\nu}}\frac{\tau\left[\frac{\nu+1}{2}\right]}{\tau\left[\frac{\nu}{2}\right]}\left[1+\frac{x^2}{\nu}\right] \qquad -\infty < x < +\infty \quad \text{....4.5}$$

เมื่อ $\tau$ เป็นฟังก์ชันแกมมา (Gamma function)

x เป็นตัวแปรสุ่ม

$\nu$ เป็นค่าองศาอิสระ (Degree of freedom)

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบt t เป็นการแจกแจงข้อมูลจากการวัดค่าตัวอย่างที่มี degree of freedom ต่ำกว่า 100

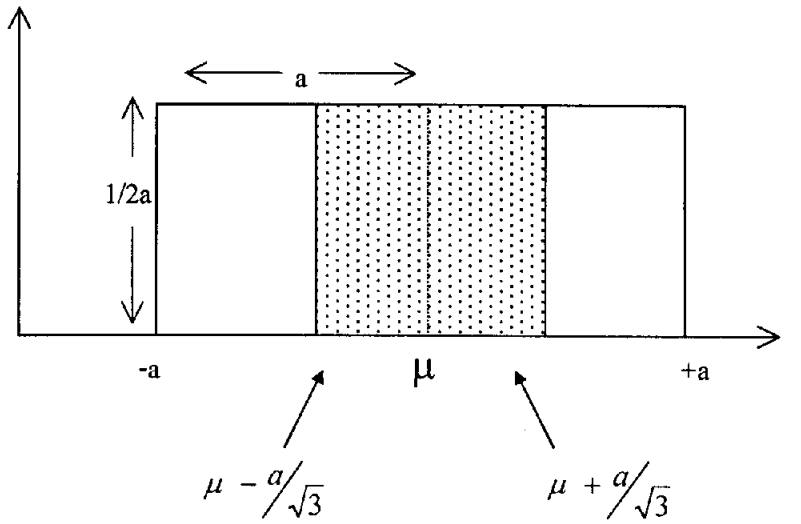



รูปที่ 4.2 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบ t[25,26]

ตัวอย่าง ข้อมูลที่การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบที ได้แก่ การวัดค่าปริมาตรของเครื่องแก้ว ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร เนื่องจากทำการวัดประมาณ 6-10 ครั้ง หรือการค่าความไม่แน่นอนที่แสดงในใบรายงานผลการสอบเทียบ และแสดงค่าตัวคูณประกอบที่แตกต่างจากค่าของการแจกแจงปกติ ที่ระดับความเชื่อมั่นเดียวกัน ทำให้เป็นความไม่แน่นอนมาตรฐาน โดยหารด้วยตัวคูณประกอบ เช่นเดียวกับการแจกแจงปกติ

3) การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Distribution)

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เป็นรูปแบบของการแจกแจงในกรณี ที่ความน่าจะเป็นของตัวแปร เป็นค่าที่มีขอบเขต ภายในกรอบที่กำหนด โดยที่ทุกๆค่ามีโอกาสที่จะเกิดขึ้นเท่าๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ข้อมูลที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยม ได้แก่ tolerance ที่กำหนดในข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี หรือ tolerance ที่กำหนดในวิธีวิเคราะห์ทดสอบ และ ความละเอียดในการอ่านค่าของเครื่องมือวัด (resolution)




รูปที่ 4.3 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

กำหนดให้ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะมีพื้นที่เท่ากับ 1 มีฐานเท่ากับ 2a ส่วนสูงของสี่เหลี่ยมผืนผ้าจึงเท่ากับ ½a ดังนั้น ฟังก์ชัน f(x) = ½a คำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร ($\sigma$)

$$\sigma^2 = 2\int_0^a (x-\mu)^2 f(x)dx$$

$$= 2\int_0^a x^2 \frac{1}{2a}dx$$

$$= \frac{2}{2a}\int_0^a x^2 dx$$

$$= \frac{1}{a}\left\langle \frac{x^3}{3}\right|_0^a$$

$$= \frac{a^3}{3a} = \frac{a^2}{3}$$

$$\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

$a$ = ครึ่งช่วงของการกระจายข้อมูล

ตัวอย่าง การสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ใช้ tolerance ในเอกสารอ้างอิงที่เป็นวิธีมาตรฐาน การแปลงจากค่า tolerance เป็นความไม่แน่นอนมาตรฐาน โดยหารด้วย $\sqrt{3}$

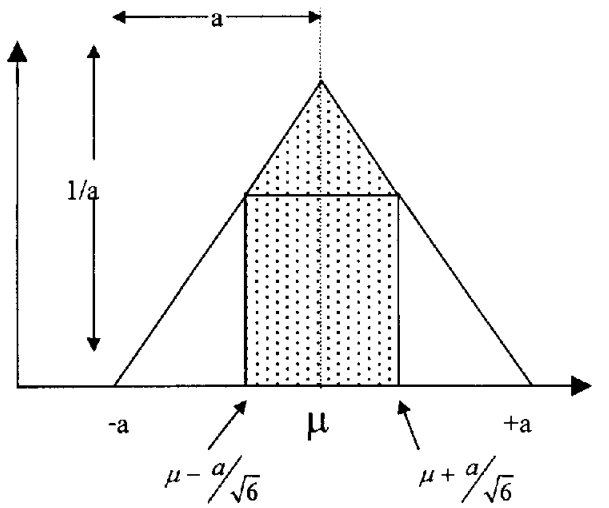
$$u(x_i) = \frac{tolerance}{\sqrt{3}} \quad \text{.....4.6}$$

กรณีที่ข้อมูลเป็นความละเอียดของเครื่องมือ ( $R$ )

$$u(x_i) = \frac{R}{2\sqrt{3}} \quad \text{.....4.7}$$

4) การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม (Triangle distribution)

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม จะเป็นรูปแบบของการแจกแจงที่มีขอบเขตแน่นอน ความน่าจะเป็นถูกกำหนดให้มีขอบเขตภายในกรอบที่กำหนด โดยที่ค่ากึ่งกลางมีความน่าจะเป็นสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ข้อมูลที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม ได้แก่ tolerance ที่กำหนดในข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือ อุปกรณ์ แต่มีข้อมูลแสดงว่า ความน่าจะเป็นของตัวแปรที่ใกล้ค่าเฉลี่ยมีค่ามาก




รูปที่ 4.4 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบสามเหลี่ยม

กำหนดให้การแจกแจงแบบสามเหลี่ยมมีพื้นที่เท่ากับ 1 มีฐานของสามเหลี่ยมเท่ากับ 2a จะมีส่วนสูงเท่ากับ 1/a ดังนั้น ฟังก์ชันของตัวแปร มีค่าดังสมการ

$f(x) = (x-a)/a^2$ เมื่อ $-a \leq x \leq 0$

$f(x) = (a-x)/a^2$ เมื่อ $0 \leq x \leq a$

คำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่เป็นประชากร

$$\sigma^2 = 2\int_0^a (x-\mu)^2 f(x)dx$$
$$= 2\int_0^a x^2 \frac{(a-x)}{a^2}dx$$
$$= \frac{2}{a^2}\int_0^a (ax^2 - x^3)dx$$
$$= \frac{2}{a^2}\left\langle \frac{ax^3}{3} - \frac{x^4}{4}\right|_0^a$$
$$= \frac{2}{a^2}\left(\frac{a^4}{3} - \frac{a^4}{4}\right) = \frac{2}{a^2}\left(\frac{a^4}{12}\right)$$
$$= \frac{a^2}{6}$$
$$\sigma = \frac{a}{\sqrt{6}}$$

$a =$ ครึ่งช่วงของการกระจายข้อมูล

ตัวอย่าง เครื่องแก้ววัดปริมาตร ที่มี tolerance เป็น $\pm a$ ปริมาตรเครื่องแก้วที่ยอมรับคือ ค่าระบุ $\pm a$ จากผลการทดลองมีหลักฐานแสดงว่าปริมาตรส่วนมาก หรือเกือบทั้งหมด อยู่ที่ปริมาตรระบุ แสดงว่าการกระจายข้อมูลมีค่ามากที่ค่ากลาง จึงกำหนดให้การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรเป็นแบบสามเหลี่ยม การนำเครื่องแก้ววัดปริมาตร ไปใช้งาน ประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของเครื่องแก้ว โดยหารด้วย $\sqrt{6}$

$$u(x_i) = \frac{tolerance}{\sqrt{6}} \qquad \text{.....4.8}$$

## 4.3 การแบ่งชนิดของความไม่แน่นอน [25,26]

ความไม่แน่นอนของการวัดแบ่งเป็น 2 ชนิด ตาม International Committee for Weights and Measures ( CIPM ) คือ ความไม่แน่นอน type A และ ความไม่แน่นอน type B

4.3.1 ความไม่แน่นอน type A เป็นความไม่แน่นอน ที่ประเมินค่าความคลาดเคลื่อนโดยประมาณด้วยวิธีทางสถิติ

4.3.2 ความไม่แน่นอน type B ได้จากการประเมินโดยวิธีอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ ความไม่แน่นอน type A เป็นความไม่แน่นอนที่เกิดจากระบบการวัด ได้แก่ความไม่แน่นอนของมาตรฐานการวัด วัสดุอ้างอิง เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้วัด สารเคมี และสิ่งแวดล้อม ซึ่งความไม่แน่นอนนี้มีค่าคงที่ตลอดกระบวนการสอบเทียบและไม่สามารถทำให้ลดลงได้

ด้วยการวัดซ้ำ ตัวอย่าง ข้อมูลที่ใช้ประเมินค่าความไม่แน่นอน type B ในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

4.3.2.1 ค่าความไม่แน่นอนของผลการสอบเทียบเครื่องชั่งที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัด

4.3.2.2 ความละเอียด (resolution) ของเครื่องมือ

4.3.2.3 ปริมาณที่มีอิทธิพลต่อการวัด ได้แก่ ค่า tolerance อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิน้ำที่ใช้เป็นตัวกลาง ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ได้จากข้อกำหนดในวิธีมาตรฐาน ASTM E542-94

4.3.2.4 ค่าความไม่แน่นอนของผลการสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ เทอร์มอมิเตอร์ บารอมิเตอร์ ไฮโกรมิเตอร์

**4.4 ขั้นตอนการประเมินค่าความไม่แน่นอน**

การประเมินค่าความไม่แน่นอนควรทำตามขั้นตอนดังนี้

4.4.1 รวบรวมข้อมูลที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของการวัดทั้งหมด โดยศึกษาจากขั้นตอนการวัด หาปริมาณที่มีผลต่อการวัด ทั้งด้านเครื่องมือ สารเคมี สิ่งแวดล้อม และกระบวนการวัด

4.4.2 คำนวณความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type A

4.4.3 คำนวณความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B

4.4.4 คำนวณความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

4.4.5 คำนวณค่า effective degree of freedom เพื่อใช้ในการหาค่าตัวคูณประกอบ (coverage factor)

4.4.6 คำนวณความไม่แน่นอนขยาย ที่ความเชื่อมั่น 95 % โดยคูณความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม จากข้อ 4.4.4 ด้วยตัวคูณประกอบ จากข้อ4.4.5

**4.5 วิธีประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร**

4.5.1 รวบรวมข้อมูลที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของการวัดทั้งหมด โดยพิจารณาสมการที่ใช้คำนวณหาค่าของปริมาณที่วัด ดังนี้

จากสมการ

$$V_{20} = mZ \qquad \text{.....4.9}$$

$$Z = (Q)\left(\frac{1}{\rho_w - \rho_A}\right)\left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_B}\right)(1 - \alpha(T - 20)) \qquad \text{.....4.10}$$

$V_{20}$ = ปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่อุณหภูมิ 20 °ซ

$m$ = น้ำหนักของน้ำกลั่นที่บรรจุ หรือถ่ายออกจากเครื่องแก้ววัดปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง

$Q$ = conversion factor ของเครื่องชั่งชนิด top load มีค่าประมาณ 1.0003

$\rho_A$ = ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิห้อง

$\rho_B$ = ความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนัก มีค่าประมาณ 7.78 กรัม/มล.

$\rho_W$ = ความหนาแน่นของน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิห้อง

$\alpha$ = สัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุที่ทำอุปกรณ์วัดปริมาตร

$T$ = อุณหภูมิห้อง

จากสมการ ปริมาณที่มีผลต่อผลการวัด ได้แก่

- เครื่องชั่งที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัด
- ความหนาแน่นของอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิห้อง ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์
- ความหนาแน่นของน้ำกลั่น ซึ่งขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิน้ำ
- สัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุ เป็นค่าคงที่สำหรับวัสดุชนิดหนึ่ง

4.5.2 ประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type A

**วิธีการ** คำนวณค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($s(x_i)$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standard deviation of the mean , $s(\bar{x})$) จากสมการ

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad \text{.....4.11}$$

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad \text{.....4.12}$$

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \qquad \text{.....4.13}$$

กำหนดให้ความไม่แน่นอนมาตรฐาน type A เท่ากับ ค่าประมาณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย เพราะฉะนั้นจะได้

$$u(x_i) = s(\bar{x}) \qquad \text{.....4.14}$$

ความไม่นอน Type A สามารถทำให้ลดลงได้โดยการวัดซ้ำหลายๆครั้ง

4.5.3 ประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B

ความไม่แน่นอน Type B เป็นความไม่แน่นอนที่เกิดจากระบบการวัด ได้แก่ ความไม่แน่นอนมาตรฐานการวัด และปริมาณที่มีอิทธิพลต่อการวัด ซึ่งความไม่แน่นอน Type B มีค่าคงที่ตลอดกระบวนการสอบเทียบภายใต้สภาวะการควบคุมของห้องปฏิบัติการหนึ่ง และไม่สามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการวัดซ้ำ ๆ การคำนวณความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B มีวิธีต่างกันขึ้นอยู่กับ การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มของข้อมูล และระดับความเชื่อมั่นของการรายงานผล

4.5.3.1 ข้อมูลแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบปกติ เช่นค่าความไม่แน่นอนขยายของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน = ความไม่แน่นอนขยาย/ตัวคูณประกอบ

4.5.3.2 ข้อมูลแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบที เช่น ค่าความไม่แน่นอนขยายของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ และรายงานค่าตัวคูณประกอบ

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน = ความไม่แน่นอนขยาย / ตัวคูณประกอบ

4.5.3.3 ข้อมูลแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบสี่เหลี่ยม เช่น tolerance ของเครื่องมือที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน = $\frac{tolerance}{\sqrt{3}}$

หรือนำค่าความละเอียดของเครื่องมือวัด (R) มาใช้ประเมินค่าความไม่แน่นอน

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน = $\frac{R}{2\sqrt{3}}$

4.5.3.4 ข้อมูลแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบสามเหลี่ยม เช่น นำค่า tolerance ของเครื่องมือที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ แต่มีหลักฐานบ่งชี้ว่าข้อมูลดังกล่าวแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน = $\frac{tolerance}{\sqrt{6}}$

4.5.4 การประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม เป็นการรวมความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type A กับความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B โดยวิธี root sum square เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ประเมินค่าความไม่แน่นอนมาจากหลายแหล่ง ทำให้มีหน่วยแตกต่างกัน ก่อนนำมารวมกันต้องทำให้เป็นหน่วยเดียวกัน หากทำเป็นหน่วยของปริมาณที่วัดใช้ sensitivity coefficient ($c_i$) คูณกับความไม่แน่นอนของ input ($u(x_i)$) ให้อยู่ในรูปความไม่แน่นอนของ output ($u(y_i)$) ดังสมการ

$$u_c(y)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}c_i^2u^2(x_i)}=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}u_i^2(y)} \qquad .....4.14$$

หรืออาจทำเป็นหน่วยสัมพัทธ์ (relative unit) เช่นหน่วย ร้อยละ (%) ส่วนในล้านส่วน (ppm) ใช้สมการ โดยที่ฟังก์ชันของ

$$y = cx_1^{p_1}.x_2^{p_2}...x_n^{p_n}$$

$$\frac{u_c(y)}{|y|}=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{p_iu(x_i)}{|x_i|}\right]^2} \qquad .....4.15$$

$p$ = ตัวเลขยกกำลังที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการที่ใช้คำนวณผลการวัด เป็นได้ทั้งค่าบวกและลบ

4.5.5 การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย ($U$) เป็นการเพิ่มระดับความมั่นใจในการรายงานค่าความไม่แน่นอน โดยการนำค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมคูณด้วยตัวคูณ

ประกอบ ($k$) ตัวคูณประกอบขึ้นอยู่กับการแจกแจงความน่าจะเป็น และระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ โดยทั่วไปรายงานค่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ถึง 99.7 % การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายใช้สมการ

$$U = ku_c(y) \qquad \text{.....4.16}$$

สำหรับผลการวัดที่มีการแจกแจงปกติตัวคูณประกอบมีค่า 2-3 ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95 % ถึง99.7 % ค่าตัวคูณประกอบที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆสำหรับการแจกแจงปกติแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าตัวคูณประกอบที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆสำหรับการแจกแจงปกติ[26]

| ระดับความเชื่อมั่น (%) | ตัวคูณประกอบ |
|---|---|
| 68.27 | 1 |
| 90.00 | 1.64 |
| 95.00 | 1.96 |
| 95.45 | 2.00 |
| 99.00 | 2.57 |
| 99.73 | 3.00 |

ในกรณีที่การประเมินความไม่แน่นอนรวบรวมมาจากความไม่แน่นอน Type A และ Type B ซึ่งมีการแจกแจงหลายแบบ ในการหาตัวคูณประกอบที่ระดับความเชื่อมั่น $p$ ($k_p$) ต้องเริ่มจากการคำนวณหา degree of freedom ($\nu_{eff}$) ของความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม โดยใช้สมการ Welch-Satterwaite

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{u^4(x_i)}{\nu_i}} \qquad \text{.....4.17}$$

$\nu_i$ คือ degree of freedom ของความไม่แน่นอน input สำหรับความไม่แน่นอน Type A มีค่าเท่ากับ n–1 สำหรับความไม่แน่นอน Type B จะเป็น $\infty$ เนื่องจาก Type B มี degree of certainty สูง

นำค่า $\nu_{eff}$ ที่คำนวณได้ไปหาค่า $k_p$ จากตารางการแจกแจงแบบที ภาคผนวกหน้า 76 ค่าความไม่แน่นอนขยายคำนวณจากสมการ

$$U = k_p u_c(y) \qquad \text{.....4.18}$$

สรุปขั้นตอนการหาค่า $k_p$ ที่ระดับความเชื่อมั่น p 95 %

1. คำนวณหาค่า $\nu_{eff}$ โดยใช้สมการของ Welch–Satterthwaite
2. เปิดตารางการแจกแจงที หา $k_p$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ถ้าหาก $\nu_{eff}$ ไม่ใช่เลขจำนวนเต็ม หรือเป็นเลขจำนวนเต็มที่ไม่ตรงกับตัวเลขที่กำหนดในตาราง ให้ใช้ค่า $\nu_{eff}$ ค่าต่ำกว่าที่อยู่ถัดไป เพื่อให้ได้ค่าประมาณของ $k_{95}$ ที่มีค่าสูงกว่า ค่าจริง เช่นคำนวณค่า$\nu_{eff}$ ได้ 22 ในตารางแจกแจงที มีเลข 20 แล25 การเปิดตารางทีให้ใช้ค่า$\nu_{eff}$ 20 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % มีค่า 2.09 สูงกว่าการใช้ค่า ที่ $\nu_{eff}$25 ทำให้การรายงานค่าปลอดภัยกว่าการรายงานค่าที่ต่ำ
3. คำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($U_{95}$)

$$U_{95} = k_{95} u_c(y)$$

ข้อเสนอแนะ การตัดสินใจใช้ k แทน $k_p$

3.1 หาค่า $\nu_{eff}$ หาก $\nu_{eff} > 30$ ค่า $k_p < 2.09$ ซึ่งสามารถประมาณให้ค่า $k_p = k = 2$ แต่เมื่อ $\nu_{eff} < 30$ ให้หาค่า $k_p$ จากตารางการแจกแจงที หรือ

3.2 อัตราส่วนของ $\frac{u_c(y)}{u_a} > 2$ และ $\nu_a \geq 2$ ให้ประมาณค่า $k_p = k = 2$

**4.6 การรายงานผลการวัด** ในงานสอบเทียบกำหนดให้รายงานค่าที่วัดได้พร้อมกับค่าความไม่แน่นอนขยาย โดยระบุค่าตัวคูณประกอบ และระดับความเชื่อมั่นไว้ด้วย

$$y \pm U$$

**ตัวอย่าง** การสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร Class A ความจุ 50 มล. ทำการวัด 6 ครั้ง ได้ผลการวัดในตารางที่ 4.2 แสดง วิธีประเมินค่าความไม่แน่นอน

**ตารางที่ 4.2** แสดงผลการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร ความจุ 50 มล.

| ครั้งที่ | น้ำหนัก (กรัม) | ปริมาตร (มล.) |
|---|---|---|
| 1 | 48.827 | 50.0009 |
| 2 | 49.831 | 50.0049 |
| 3 | 48.830 | 50.0039 |
| 4 | 49.826 | 49.9999 |
| 5 | 49.831 | 50.0049 |
| 6 | 49.832 | 50.0059 |
| เฉลี่ย | 49.830 | 50.0034 |
| SD | 0.00243 | 0.00244 |

**เครื่องมือ**

เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.001 กรัม ความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบ 0.003 กรัม ที่ 95 %

เทอร์มอมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิห้อง มีความไม่แน่นอนจากการวัดไม่เกิน $\pm$0.1 °ซ

เทอร์มอมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิห้อง มีความไม่แน่นอนจากการวัดไม่เกิน $\pm$0.05 °ซ

บารอมิเตอร์ มีความไม่แน่นอนจากการวัดไม่เกิน 1 มม.ปรอท

ไฮโกรมิเตอร์ มีความไม่แน่นอนจากการวัดไม่เกิน 1 %

**สภาวะการสอบเทียบ**

| | |
|---|---|
| อุณหภูมิห้อง | 22$\pm$2.5 °ซ |
| อุณหภูมิน้ำ | 23.00 °ซ |
| ความดันบรรยากาศ | 760 มม.ปรอท |
| ความชื้นสัมพัทธ์ | 50$\pm$ 10 % |

**วิธีทดสอบ**

ใช้วิธีมาตรฐาน ASTM E542-94

ประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบทำตามขั้นตอนดังนี้

1. แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร
   - 1.1 ความไม่แน่นอน Type A จากการประเมินโดยวิธีทางสถิติ ($u_A$)
   - 1.2 ความไม่แน่นอน Type B
     - 1.2.1 ความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องชั่งที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัด ($u_B$) ดูได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบเครื่องชั่ง
     - 1.2.2 ความละเอียดของเครื่องชั่ง ($u_R$)
     - 1.2.3 ความไม่แน่นอนเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำ ($u_w$) ได้จากค่า tolerance เป็นข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM E542 – 94
     - 1.2.4 ความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้อง ($u_T$) ได้จากค่า tolerance เป็นข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM E542 – 94
     - 1.2.5 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความชื้น ($u_H$) ได้จากค่า tolerance เป็นข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM E542 – 94
     - 1.2.6 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความดันบรรยากาศ ($u_P$) ได้จากค่า tolerance เป็นข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM E542 – 94
2. ประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type A ($u_A$)

| | | |
|---|---|---|
| ปริมาตรเฉลี่ย | = | 50.003 มล. |
| ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน | = | 0. 00244 มล. |

$u_A$ = $\frac{0.00244}{\sqrt{6}}$ = 0.0010 มล.

ทำเป็นหน่วย ppm $u_A$ = $(0.001/50.003)x10^6$ = 19.999 ppm

3. ประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B

3.1 ความไม่แน่นอนจากเครื่องชั่งที่ใช้เป็นมาตรฐานการวัด

3.1.1 ความไม่แน่นอนขยายจากใบรายงานการสอบเทียบเครื่องชั่ง ±0.003 กรัม

ค่าตัวคูณประกอบ = 2

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน ($u_b$) = 0.003/ 2 กรัม = 0.0015 กรัม

เปลี่ยนหน่วยเป็นppm.:$u_B$ = (ความไม่แน่นอนมาตรฐาน / น.น เฉลี่ย) x $10^6$

$$= \frac{0.0015}{49.83} \times 10^6 = 29.998$$

$$u_B = 29.998ppm$$

3.1.2 ค่าความไม่แน่นอนจากความสามารถในการอ่านของเครื่องชั่ง (resolution) $u_R$

R = 0.001 กรัม

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน = $0.001/2\sqrt{3}$ = 0.0003

เปลี่ยนหน่วยเป็น ppm.:$u_R$ = (ความไม่แน่นอนมาตรฐาน/น.น เฉลี่ยของน้ำ)$x10^6$

$$= \frac{0.0003}{49.83} \times 10^6 = 6.000$$

$$u_R = 6.000ppm$$

3.2 ค่าความไม่แน่นอนจากความชื้น : ค่าที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM E542-94 คือtolerance ของความชื้น ±10 % ค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตร ±1 ppm

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน $u_H$ = $1/\sqrt{3}$ ppm

= 0.577 ppm

3.3 ค่าความไม่แน่นอนจากความดันบรรยากาศ : ค่าที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM E542- 94 คือ tolerance ของความดันบรรยากาศ ± 6 mm.Hg ค่า tolerance ของปริมาตร ±10 ppm .

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน, $u_P$ = $10/\sqrt{3}$ ppm.

= 5.7737 ppm.

3.4 ค่าความไม่แน่นอนจากอุณหภูมิ:ค่าที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM E542- 94 คือ tolerance ของอุณหภูมิห้อง $\pm$ 2.5 $^{O}$C ค่า tolerance ของปริมาตร $\pm$10 ppm.

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน $u_T$ = $10/\sqrt{3}$ ppm.

= 5.7737 ppm.

3.5 ค่าความไม่แน่นอนจากอุณหภูมิน้ำ : ค่าที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM E542-94 คือ tolerance ของอุณหภูมิน้ำ $\pm$0.5 $^{O}$C ค่า tolerance ของปริมาตร $\pm$100 ppm

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน $u_W$ = 100 $\sqrt{3}$ ppm.

= 57.737 ppm.

4. คำนวณความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม โดย สมการ

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2 + u_R^2 + u_H^2 + u_T^2 + u_W^2 + u_P^2}$$

$u_c$ = ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม ในหน่วยสัมพัทธ์

$$u_c = \sqrt{\begin{matrix}(19.999)^2 + (29.998)^2 + (6.000)^2 + (0.577)^2 + (5.773)^2 \\ + (57.737)^2 + (5.773)^2\end{matrix}}$$

$$u_c = 68.82 ppm$$

ทำเป็นหน่วย มล.

$$u_c(y) = \frac{u_c \times \text{ปริมาตรเฉลี่ย}}{10^6}$$

$$u_c(y) = \frac{68.82}{10^6} \times 50.003$$

$$u_c(y) = 0.0034 \text{ มล.}$$

5. คำนวณความไม่แน่นอนขยาย = $k_p$ x ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

5.1 หาค่า $\nu_{eff}$ และ $k_p$ ใช้สมการ ประมาณค่า จาก $\nu_{eff}$

$$\frac{u_c}{u_a} = \frac{68.82}{19.999} = 3.4412 > 2$$

$$k_p = 2$$

5.2 ใช้สมการ Welch–Satterwaite

$$\nu_{eff} = \left(\frac{68.82}{19.999}\right)^4 \times 5 = 701$$

เมื่อได้ค่า $\nu_{eff}$ แล้วนำไปหาค่า โดยเปิดตารางที ที่ $\nu_{eff}$=701 ระดับความเชื่อมั่น 95%
ได้ค่า $k_p = 1.96 \approx 2.00$

ความไม่แน่นอนขยาย = 2xความไม่แน่นอนรวม
= 2x 0.0034 มล.
= 0.0068 มล.

ปริมาตรของขวดวัดปริมาตร = $50.03 \pm 0.007$ มล.
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตัวคูณประกอบ 2

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ที่เสนอนี้ใช้เป็นแนวทางหนึ่ง ผู้สอบเทียบเครื่องแก้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือของตนเอง โดยใช้หลักเกณฑ์ในบทที่ 3

# บทที่ 5
# ปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

## 5.1 วัตถุประสงค์

5.1.1 เพื่อฝึกการสอบเทียบเครื่องแก้วปริมาตรชนิด TD และ TC

5.1.2 เพื่อฝึกคำนวณค่าจากการวัด

5.1.3 เพื่อศึกษาวิธีประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

## 5.2 หลักการ

สอบเทียบโดยชั่งน้ำหนักของน้ำกลั่นที่บรรจุในเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TC และน้ำที่ถ่ายออกจากเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิด TD คำนวณปริมาตรที่ 20 °ซ โดยใช้สมการ

$V_{20} = (I_L - I_E) Z$

$V_{20}$ = ปริมาตรของน้ำกลั่นที่ 20 °ซ

= ปริมาตรจริงของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ 20 °ซ

$I_L$ = น้ำหนักของขวดชั่งที่บรรจุน้ำที่อุณหภูมิห้อง (กรัม)

$I_E$ = น้ำหนักขวดชั่งเปล่าที่อุณหภูมิห้อง (กรัม)

$Z$ = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำ และ ความดันบรรยากาศ

$\alpha$ = สัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก้ว ($cm^3$/ °ซ)

= 0.00001 มล./ °ซ สำหรับ Borosilicate glassware (Type I Class A)

= 0.000025 มล./ °ซ สำหรับ Soda-lime glassware

## 5.3 ขอบข่าย

วิธีมาตรฐาน ASTM E542-94 เป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ที่มีปริมาตรในช่วง 0.1-2000 มล.

## 5.4 การทดลอง

**เครื่องมือ** *ผ่านการสอบเทียบและสามารถสอบกลับได้ถึงมาตรฐานหน่วย SI*

1. เครื่องชั่งความละเอียด 0.001-0.0001 กรัม
2. เทอร์มอมิเตอร์ช่วง 0 - 100 °ซ ความละเอียด 0.1 °ซ จำนวน 2 แท่ง
3. บารอมิเตอร์ ความละเอียด 1 มม.ปรอท
4. ไฮโกรมิเตอร์ ความละเอียดร้อยละ 2

**อุปกรณ์**

1. ขวดใช้เป็นภาชนะรองรับน้ำกลั่นสำหรับชั่งน้ำหนัก มีจุกปิด ขนาด 15 มล. จำนวน 12 ขวด
2. บีกเกอร์ชนิดมีจุกปิด ขนาด 100 มล. จำนวน 12 ใบ
3. บีกเกอร์ขนาด 150 มล. จำนวน 2 ใบ
4. กระเปาะยาง หรือ อุปกรณ์ช่วยดูดน้ำเข้าปิเปต
5. กรวยแก้ว หรือ อุปกรณ์ช่วยถ่ายน้ำลงในขวดปริมาตร และ บิวเรต
6. นาฬิกาจับเวลา
7. อุปกรณ์ยึดบิวเรต

**สารเคมี**

1. เอธิลแอลกอฮอล์ หรือ อะซีโตน
2. กรีส (grease) หรือ วาสลีน

**ตัวกลาง** น้ำกลั่นหรือน้ำที่กำจัดไอออนแล้ว (deionized water)

**เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่สอบเทียบ** ต้องสะอาด มีรูปทรงและลักษณะภายนอกที่สมบูรณ์

1. ปิเปตวัดปริมาตร ความจุ 10 มล.
2. ปิเปตชนิดแบ่งขีดย่อยปริมาตร ความจุ 10 มล.
3. บิวเรต ความจุ 50 มล.
4. ขวดวัดปริมาตรชนิด TD และ TC ความจุ 50 มล.
5. ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ ความจุ 10 มล.
6. กระบอกตวง ชนิด TC ความจุ 25 มล.

**5.5 การเตรียมสภาวะการทดลอง**

1. เตรียมสภาวะการทดลองตามที่กำหนดในวิธีมาตรฐาน ASTM E542-94
2. นำเครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องแก้วที่จะสอบเทียบ ไว้ในห้องสอบเทียบ ก่อนการสอบเทียบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง
3. ถ่ายน้ำกลั่นปริมาตรประมาณ 200 มล. ใส่ในฟลาสก์ขนาด 250 มล. จุ่มเทอร์มอมิเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ยึดติดกับขาตั้ง ให้ปลายเทอร์มอมิเตอร์อยู่กึ่งกลางฟลาสก์

**5.6 วิธีทดลอง**

**1. สอบเทียบปิเปตวัดปริมาตร**

1.1 หา delivery time

1.1.1 ปิเปตที่สะอาดดูดน้ำกลั่นจากบีกเกอร์โดยใช้อุปกรณ์ช่วยดูด จนกระทั่งระดับน้ำ สูงกว่าขีดกำหนดปริมาตร เล็กน้อย

1.1.2 ปรับระดับน้ำ ให้เท่ากับขีดกำหนดปริมาตร โดยให้ปลายของปิเปตสัมผัสผนังด้านในของภาชนะรองรับ จนกระทั่งส่วนโค้งล่างของน้ำสัมผัสกับขอบบนของขีดกำหนดปริมาตร

1.1.3 ปล่อยให้น้ำจากปิเปตไหลลงในภาชนะรองรับ โดยให้ปิเปตอยู่ในแนวตั้งปลายปิเปตสัมผัสผนังด้านในของภาชนะรองรับ จนกระทั่งน้ำหยุดไหล บันทึกเวลาเป็นวินาที ลงในตารางที่ 5.1

1.1.4 ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

1.1.5 คำนวณค่า delivery time เฉลี่ย เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่ามาตรฐาน

1.2 หาปริมาตรของปิเปต

1.2.1 ชั่งขวดเปล่าพร้อมฝาปิด ที่สะอาดและแห้ง บันทึกน้ำหนัก หรือปรับน้ำหนักให้เป็นศูนย์ (กรณีที่เครื่องชั่งมีระบบ tare)

1.2.2 ดูดน้ำกลั่นจากบีกเกอร์เข้าในปิเปต โดยใช้อุปกรณ์ช่วยดูด จนกระทั่งระดับน้ำ สูงกว่าขีดกำหนดปริมาตรประมาณ 10 มม. ยกปิเปตออกจากบีกเกอร์ ซับปลายปิเปตด้านนอกด้วยกระดาษทิชชู หรือกระดาษกรอง ปรับระดับน้ำ ให้เท่ากับขีดกำหนดปริมาตร โดยให้ปิเปตอยู่ในแนวตั้ง ปลายปิเปตสัมผัสผนังด้านในของภาชนะรองรับ จนกระทั่งส่วนโค้งล่างของน้ำสัมผัสกับขอบบนของขีดกำหนดปริมาตร

1.2.3 ปล่อยน้ำให้ไหลลงในขวดที่ใช้รองรับ โดยให้ปิเปตอยู่ในแนวตั้ง ปลายปิเปตสัมผัสผนังด้านในของขวด จนกระทั่งน้ำหยุดไหล ปล่อยปิเปตไว้ในลักษณะเดิม อีก 2 วินาที แล้วจึงนำปิเปตออกจากขวด

1.2.4 ปิดฝาขวดที่บรรจุน้ำ นำไปชั่ง บันทึกน้ำหนัก

1.2.5 บันทึกอุณหภูมิของน้ำกลั่น

1.2.6 คำนวณหาปริมาตรของน้ำที่ถ่ายออกจากปิเปตที่อุณหภูมิ 20 °ซ

1.2.7 ทำการทดลองซ้ำข้อ 1.2.1 ถึงข้อ 1.2.6 อีกอย่างน้อย 9 ครั้ง

1.2.8 บันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 5.1

1.2.9 คำนวณปริมาตรเฉลี่ยของปิเปต

1.2.10 ประมาณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบปิเปต

**2. การสอบเทียบบิวเรต ความจุ 50 มล.**

2.1 หา delivery time ของบิวเรต

2.1.1 ใช้แคลมป์จับบิวเรตในแนวตั้งโดยยึดติดกับขาตั้ง

2.1.2 บรรจุน้ำกลั่นลงในบิวเรตให้สูงกว่าขีดศูนย์ประมาณ 10 มม. เปิด stopcock เพื่อปรับระดับน้ำให้อยู่ที่ขีดศูนย์ แตะปลายบิวเรตกับผนังด้านในของภาชนะ เพื่อขจัดหยดน้ำ

ที่ปลายบิวเรต ตรวจที่ปลายบิวเรตต้องไม่มีฟองอากาศ หากมีฟองอากาศต้องกำจัดโดยการปล่อยน้ำออก พร้อมทั้งเคาะเบาๆ จนฟองหมด

2.1.3 เปิด stopcock เต็มที่ เพื่อให้น้ำไหลออกจากบิวเรตอย่างอิสระ โดยปลายบิวเรตต้องไม่สัมผัสกับภาชนะรองรับ จนกระทั่งน้ำถึงขีดปริมาตรด้านล่างสุด บันทึกเวลาเป็นวินาที

2.1.4 ทำการวัดซ้ำข้อ 2.1.1 ถึงข้อ 2.1.3 อีก 2 ครั้ง

2.1.5 คำนวณ delivery time เฉลี่ย เปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดในมาตรฐาน

2.2 หาปริมาตรของบิวเรตช่วง 0-50 มล.

2.2.1 ใช้แคลมป์จับบิวเรตในแนวตั้งโดยยึดติดกับขาตั้ง บรรจุน้ำกลั่นลงในบิวเรตให้สูงกว่าขีดศูนย์ประมาณ 10 มม. เปิด stopcock เพื่อปรับระดับน้ำให้อยู่ที่ขีดศูนย์ แตะปลายบิวเรตกับผนังด้านในของภาชนะ เพื่อขจัดหยดน้ำที่ปลายบิวเรต ตรวจที่ปลายบิวเรตต้องไม่มีฟองอากาศ

2.2.2 ชั่งขวดเปล่าพร้อมฝาปิด ที่สะอาดและแห้ง

2.2.3 เปิด stopcock เต็มที่ ปล่อยน้ำให้ไหลลงในขวดที่ชั่งน้ำหนักแล้ว โดยให้ปลายบิวเรตสัมผัสผนังด้านในของขวด จนกระทั่งระดับน้ำสูงกว่าปริมาตรที่ ต้องการประมาณ 2-3 มม. หรือประมาณ 49 มล. จึงปรับ stopcock ให้เปิดเพียงเล็กน้อยเพื่อให้น้ำไหลออกช้าๆ จนกระทั่งถึงขีดปริมาตรที่ต้องการ

2.2.4 ชั่งน้ำหนักของขวดที่บรรจุน้ำพร้อมฝาปิด บันทึกน้ำหนัก

2.2.5 บันทึกอุณหภูมิของน้ำกลั่น

2.2.6 คำนวณหาปริมาตรน้ำที่ 20 °ซ

2.2.7 ทำการทดลองซ้ำข้อ 2.2.1 ถึงข้อ 2.2.6 อย่างน้อย 9 ครั้ง

2.2.8 คำนวณปริมาตรเฉลี่ย บันทึกผลลงในตารางที่ 5.2

2.2.9 ประมาณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบบิวเรต

2.3 หาปริมาตรของบิวเรตช่วง 0-25 มล. ทำการทดลองเหมือนข้อ 2.2 แต่ปล่อยน้ำออกจากบิวเรตเพียง 25 มล. และปรับ stopcock ให้น้ำไหลช้าๆ ที่ประมาณ 24 มล.

2.4 กรณีที่เป็นบิวเรตชนิดมี waiting time ทำการทดลองเหมือนข้อ 2.2 และข้อ 2.3 แต่เมื่อปล่อยน้ำขีดปริมาตร 49 มล. และ 24 มล. ตามลำดับให้ปิด stopcock รอ 30 วินาที แล้วจึงปรับปริมาตรน้ำกลั่นให้ถึงขีดปริมาตรที่ต้องการ

**3. การสอบเทียบปิเปตแกรดูเอดเตด ความจุ 10 มล.**

3.1 หา delivery time

3.1.1 ปิเปตที่สะอาดดูดน้ำกลั่นจากบีกเกอร์โดยใช้อุปกรณ์ช่วยดูด จนกระทั่งระดับน้ำ สูงกว่าขีดกำหนดปริมาตร เล็กน้อย

3.1.2 ปรับระดับน้ำ ให้เท่ากับขีดกำหนดปริมาตร โดยให้ปลายของปิเปตสัมผัสผนังด้านในของภาชนะรองรับ จนกระทั่งส่วนโค้งล่างของน้ำสัมผัสกับขอบบนของขีดกำหนดปริมาตร

3.1.3 ปล่อยให้น้ำจากปิเปตไหลลงในภาชนะรองรับ โดยให้ปิเปตอยู่ในแนวตั้งปลายปิเปตสัมผัสผนังด้านในของภาชนะรองรับ จนกระทั่งน้ำหยุดไหล บันทึกเวลาเป็นวินาที ลงในตารางที่ 5.3

3.1.4 ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

3.1.5 คำนวณค่า delivery time เฉลี่ย เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่ามาตรฐาน

3.2 หาปริมาตรของปิเปตช่วงปริมาตร 0-10 มล.

3.2.1 ชั่งขวดเปล่าพร้อมฝาปิด ที่สะอาดและแห้ง บันทึกน้ำหนัก หรือปรับน้ำหนักให้เป็นศูนย์ (กรณีที่เครื่องชั่งมีระบบ tare)

3.2.2 ดูดน้ำกลั่นจากบีกเกอร์เข้าในปิเปต โดยใช้อุปกรณ์ช่วยดูด จนกระทั่งระดับน้ำ สูงกว่าขีดกำหนดปริมาตรประมาณ 10 มม. ยกปิเปตออกจากบีกเกอร์ ซับปลายปิเปตด้านนอกด้วยกระดาษทิชชู หรือกระดาษกรอง ปรับระดับน้ำ ให้เท่ากับขีดกำหนดปริมาตร โดยให้ปิเปตอยู่ในแนวตั้ง ปลายปิเปตสัมผัสผนังด้านในของภาชนะรองรับ จนกระทั่งส่วนโค้งล่างของน้ำสัมผัสกับขอบบนของขีดกำหนดปริมาตร

3.2.3 ปล่อยน้ำให้ไหลลงในขวดรองรับ โดยให้ปิเปตอยู่ในแนวตั้ง ปลายปิเปตสัมผัสผนังด้านในของขวดชั่งสาร จนกระทั่งน้ำหยุดไหล ปล่อยปิเปตไว้ในลักษณะเดิม อีก 2 วินาที หรือ 15 วินาทีสำหรับปิเปตที่มี waiting time หรือเป่าน้ำหยดสุดท้ายสำหรับปิเปต แบบ blow out แล้วจึงนำปิเปตออกจากขวดชั่งสาร

3.2.4 ปิดฝาขวดที่บรรจุน้ำ นำไปชั่ง บันทึกน้ำหนัก

3.2.5 บันทึกอุณหภูมิของน้ำกลั่น

3.2.6 คำนวณหาปริมาตรของน้ำที่ถ่ายออกจากปิเปต ที่อุณหภูมิ 20 °ซ

3.2.7 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.2.1 ถึงข้อ 3.2.6 อีกอย่างน้อย 9 ครั้ง

3.2.8 บันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 5.3

3.2.9 คำนวณปริมาตรเฉลี่ยของปิเปต

3.2.10 ประมาณค่าความไม่แน่นอนของการสอบปิเปต

3.3 หาปริมาตรของปิเปตช่วงปริมาตร 0-5 มล. ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.2.1-3.2.10

**4. การสอบเทียบขวดวัดปริมาตร ชนิด TC ความจุ 50 มล.**

4.1 ชั่งขวดวัดปริมาตรพร้อมจุกปิด ที่สะอาดและแห้ง

4.2 เทน้ำกลั่นจากบีกเกอร์ใส่ในขวดวัดปริมาตร โดยใช้กรวยแก้วช่วย ให้ก้านกรวยอยู่ต่ำกว่าขีดวัดปริมาตร เพื่อไม่ให้น้ำเปียกคอขวดเหนือขีดวัดปริมาตร จนระดับน้ำต่ำกว่าขีดกำหนดปริมาตร เล็กน้อย ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที

4.3 ใช้หลอดหยด (dropper) หรืออุปกรณ์อื่นที่เหมาะสม เช่น ปิเปต บิวเรต เติมน้ำกลั่นลงในขวดจนกระทั่งถึงขีดกำหนดปริมาตร โดยให้ส่วนโค้งล่างของน้ำสัมผัสกับขอบบนของขีดกำหนดปริมาตร

4.4 ปิดจุกขวด ชั่งน้ำหนักขวดวัดปริมาตรที่บรรจุน้ำ บันทึกน้ำหนัก

4.5 บันทึกอุณหภูมิน้ำกลั่น

4.6 คำนวณหาปริมาตรของขวดวัดปริมาตรที่อุณหภูมิ 20 °ซ

4.7 ทำการทดลองซ้ำข้อ 4.1 ถึงข้อ 4.6 อย่างน้อย 9 ครั้ง

4.8 คำนวณปริมาตรเฉลี่ย

4.9 บันทึกข้อมูลในตารางที่ 5.4

4.10 ประมาณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบขวดปริมาตร

**5. การสอบเทียบขวดวัดปริมาตร ชนิด TD**

5.1 เติมน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรที่สะอาด (ไม่จำเป็นต้องแห้ง) ให้ระดับน้ำต่ำกว่าขีดกำหนดปริมาตรเล็กน้อย

5.2 เทน้ำออกจากขวดอย่างระมัดระวัง จนกระทั่งน้ำออกหมด จับขวดคว่ำในแนวตั้งค้างไว้ 30 วินาที แล้วจึงแตะปากขวดกับภาชนะรองรับเพื่อกำจัดหยดน้ำที่ปากขวด

5.3 ปิดจุก ชั่งขวดวัดปริมาตรพร้อมจุกปิดทันที บันทึกน้ำหนักขวดเปล่าที่เปียกน้ำ

5.4 เติมน้ำกลั่นลงในขวดใบเดิม วิธีทดลองเหมือนข้อ 4.2 ถึงข้อ 4.4

5.5 ปิดจุก ชั่งขวดวัดปริมาตรที่มีน้ำพร้อมจุกปิด บันทึกน้ำหนัก

5.6 บันทึกอุณหภูมิน้ำกลั่น

5.7 คำนวณน้ำหนักของน้ำที่ถ่ายออกจากขวด โดยหาผลต่างของน้ำหนักข้อ 5.5 กับข้อ 5.3

5.8 คำนวณหาปริมาตรของน้ำที่อุณหภูมิ 20 °ซ

5.9 ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 5.1 ถึงข้อ 5.7 อย่างน้อย 9 ครั้ง

5.10 คำนวณปริมาตรเฉลี่ย

5.11 บันทึกข้อมูลในตารางที่ 5.5

5.12 ประมาณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร

**6. การสอบเทียบกระบอกตวง ชนิด TC**

6.1 ชั่งกระบอกตวงที่แห้งและสะอาด พร้อมฝาปิด บันทึกน้ำหนัก

6.2 เทน้ำกลั่นจากบีกเกอร์ใส่ในกระบอกตวงอย่างระมัดระวัง ไม่ให้น้ำเปียกส่วนบนเหนือขีดวัดปริมาตร จนระดับน้ำต่ำกว่าขีดกำหนดปริมาตรเล็กน้อย ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที

6.3 ใช้หลอดหยด (dropper) หรืออุปกรณ์อื่นที่เหมาะสม เช่น ปิเปต บิวเรต เติมน้ำกลั่นลงในกระบอกตวงจนกระทั่งถึงขีดกำหนดปริมาตร โดยให้ส่วนโค้งล่างของน้ำสัมผัสกับขอบบนของขีดกำหนดปริมาตร

6.4 ปิดปากกระบอกตวง ชั่งกระบอกตวงที่บรรจุน้ำ บันทึกน้ำหนัก

6.5 บันทึกอุณหภูมิน้ำกลั่น

6.6 คำนวณหาปริมาตรของกระบอกตวงที่อุณหภูมิ 20 °ซ

6.7 ทำการทดลองซ้ำข้อ 6.1ถึงข้อ 6.6 อย่างน้อย 9 ครั้ง

6.8 คำนวณปริมาตรเฉลี่ย

6.9 บันทึกข้อมูลในตารางที่ 5.6

6.10 ประมาณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร

**7. การสอบเทียบขวดวัดความถ่วงจำเพาะ**

7.1 **ชั่งขวดวัดความถ่วงจำเพาะที่แห้งและสะอาด พร้อมจุกปิด บันทึกน้ำหนัก**

7.2 เทน้ำกลั่นจากบีกเกอร์ใส่ในขวดอย่างระมัดระวัง ไม่ให้น้ำล้นออกมาเปียกขวดด้านนอก ปิดจุกขวด หากมีน้ำล้นออกมาต้องซับให้แห้ง

7.3 วัดอุณหภูมิน้ำในบีกเกอร์

7.4 ชั่งขวดที่บรรจุน้ำ บันทึกน้ำหนัก

7.5 บันทึกอุณหภูมิน้ำกลั่น

7.6 คำนวณหาปริมาตรของขวดที่อุณหภูมิ 20 °ซ

7.7 ทำการทดลองซ้ำข้อ 7.1 ถึงข้อ 7.5 อย่างน้อย 9 ครั้ง

7.8 คำนวณปริมาตรเฉลี่ย

7.9 บันทึกข้อมูลในตารางที่ 5.7

7.10 ประมาณค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบขวดความถ่วงจำเพาะ

## ตารางบันทึกผลการทดลอง

**ตารางที่ 5.1** บันทึกข้อมูลการสอบเทียบปิเปตวัดปริมาตร

Class..... Tolerance .....

ความดันบรรยากาศ..... มม. ปรอท อุณหภูมิห้อง.....$^{0}$ซ

ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ..... ช่วงปริมาตร.....มล.

| ครั้งที่ | Delivery time (วินาที) | น้ำหนัก (กรัม) | อุณหภูมิน้ำ ($^{0}$ซ) | Z | ปริมาตร (มล.) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| เฉลี่ย | | | | | |

**ตารางที่ 5.2** บันทึกข้อมูลการสอบเทียบบิวเรต

Class..... Tolerance .....

ความดันบรรยากาศ..... มม. ปรอท อุณหภูมิห้อง.....$^{0}$ซ

ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ..... ช่วงปริมาตร.....มล.

| ครั้งที่ | Delivery time (วินาที) | น้ำหนัก (กรัม) | อุณหภูมิน้ำ ($^{0}$ซ) | Z | ปริมาตร (มล.) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| เฉลี่ย | | | | | |

**ตารางที่ 5.3** บันทึกข้อมูลการสอบเทียบปิเปตแกรดูเอตเดด

Class..... Tolerance .....

ความดันบรรยากาศ..... มม. ปรอท อุณหภูมิห้อง.....$^{0}$ซ

ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ..... ช่วงปริมาตร.....มล.

| ครั้งที่ | Delivery time (วินาที) | น้ำหนัก (กรัม) | อุณหภูมิน้ำ ($^{0}$ซ) | Z | ปริมาตร (มล.) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| เฉลี่ย | | | | | |

**ตารางที่ 5.4** บันทึกข้อมูลการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร ชนิด TC

ความดันบรรยากาศ..... มม. ปรอท อุณหภูมิห้อง.....$^{0}$ซ

ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ..... ช่วงปริมาตร.....มล.

| ครั้งที่ | Delivery time (วินาที) | น้ำหนัก (กรัม) | อุณหภูมิน้ำ ($^{0}$ซ) | Z | ปริมาตร (มล.) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| เฉลี่ย | | | | | |

**ตารางที่ 5.5** บันทึกข้อมูลการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร ชนิด TD

Class..... Tolerance .....

ความดันบรรยากาศ..... มม. ปรอท อุณหภูมิห้อง.....$^{0}$ซ

ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ..... ช่วงปริมาตร.....มล.

| ครั้งที่ | Delivery time (วินาที) | น้ำหนัก (กรัม) | อุณหภูมิน้ำ ($^{0}$ซ) | Z | ปริมาตร (มล.) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| เฉลี่ย | | | | | |

**ตารางที่ 5.6** บันทึกข้อมูลการสอบเทียบกระบอกตวง ชนิด TC

Class..... Tolerance .....

ความดันบรรยากาศ..... มม. ปรอท อุณหภูมิห้อง.....$^{0}$ซ

ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ..... ช่วงปริมาตร.....มล.

| ครั้งที่ | Delivery time (วินาที) | น้ำหนัก (กรัม) | อุณหภูมิน้ำ ($^{0}$ซ) | Z | ปริมาตร (มล.) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| เฉลี่ย | | | | | |

**ตารางที่ 5.7** บันทึกข้อมูลการสอบเทียบขวดวัดความถ่วงจำเพาะ

Class..... Tolerance .....

ความดันบรรยากาศ..... มม. ปรอท อุณหภูมิห้อง.....°ซ

ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ..... ช่วงปริมาตร.....มล.

| ครั้งที่ | Delivery time (วินาที) | น้ำหนัก (กรัม) | อุณหภูมิน้ำ (°ซ) | Z | ปริมาตร (มล.) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| เฉลี่ย | | | | | |

# บทที่ 6
# สรุปผลการพัฒนาคู่มือการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

การพัฒนาคู่มือการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ทำให้ได้เอกสารวิชาการเรื่องการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรเป็นภาษาไทยเล่มแรก ที่มีเนื้อหาวิชาการครบถ้วน ตามหลักวิชาการที่จำเป็นสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัด ประกอบด้วยเนื้อหา ภาคทฤษฎี ครอบคลุมเรื่องที่จำเป็นต้องใช้ประกอบการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับเครื่องแก้ว ความรู้เกี่ยวกับการสอบเทียบเครื่องมือวัด การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด และวิธีสอบเทียบตามมาตรฐานสากล นอกจากนี้ได้จัดทำตัวอย่างประกอบเพื่อให้เข้าใจเนื้อหาวิชายิ่งขึ้น ภาคปฏิบัติได้เขียนรายละเอียดวิธีสอบเทียบตามมาตรฐานสากล การเลือกเครื่องมืออุปกรณ์ การควบคุมสภาวะการสอบเทียบ การประเมินค่าความไม่แน่นอน และการคำนวณผล

## 6.1 ผลจากการใช้คู่มือ

หลักสูตรการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร ใช้ฝึกอบรมให้แก่ผู้ปฏิบัติงานด้านห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และสอนนักศึกษาเคมีปฏิบัติ ในช่วงปี 2541-2544 จำนวน 1575 คน จำนวน 249 หน่วยงาน ดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| **นักศึกษาสถานศึกษาเคมีปฏิบัติ** | 125 | คน |
| นักศึกษาจากสถานศึกษาอื่น | 350 | คน |
| ผู้เข้ารับการฝึกอบรม | | |
| จากภาครัฐ | 665 | คน |
| ภาคเอกชน | 435 | คน |

การประเมินผลการฝึกอบรม มีรายละเอียดดังนี้

6.1.1 ประเมินด้านความตั้งใจและการมีส่วนร่วม ผู้เรียนต้องเข้าเรียน ร้อยละ 80 ของเวลาเรียนทั้งหมด และต้องเข้าเรียนภาคปฏิบัติเต็มเวลา มีผลการทดลองปฏิบัติอย่างน้อยหนึ่งชนิด
**ผลการประเมิน** ผู้เรียนผ่านเกณฑ์การประเมิน ร้อยละ 99 ของจำนวนผู้เรียน

6.1.2 ประเมินด้านความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาที่เรียน โดยการทดสอบความรู้ ก่อนและหลังการเรียน และประเมินผลจากแบบสอบถาม

**ผลการประเมิน**

| | |
|---|---|
| ความรู้ก่อนเรียนเฉลี่ย | ร้อยละ 40.4 |
| ความรู้หลังเรียนเฉลี่ย | ร้อยละ 87.5 |
| ความรู้เพิ่มขึ้น | ร้อยละ 47.1 |

6.1.3 ประเมินด้านทักษะ โดยผู้เข้าฝึกอบรมเข้าฝึกปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรครบตามหลักสูตรที่กำหนด โดยให้สอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีเอกสารรับรองผลการสอบเทียบ ผู้เรียนต้องสามารถสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรได้ด้วยเทคนิคที่ถูกต้อง และได้ผลการสอบเทียบถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก tolerance ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร

**ผลการประเมิน** ผู้เรียนผ่านเกณฑ์การประเมิน ร้อยละ 75 ของจำนวนผู้เรียน

6.1.4 การประเมินทัศนคติของผู้เข้าเรียน ความพอใจในเนื้อหาวิชา โดยสำรวจจากแบบสอบถาม จากการพูดคุย จากการสังเกต ผู้เข้าเรียนมีความเข้าใจ มีความมั่นใจในการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร และมีความตั้งใจในการนำความรู้และทักษะไปพัฒนางานในความรับผิดชอบได้ดี ผู้เข้าเรียนเชื่อมั่นในวิธีการจากเนื้อหาวิชาที่จัดสอนโดยคู่มือฉบับนี้

6.1.5 ความชอบในหลักสูตร มีหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนหลายแห่งให้ความสนใจและขอให้นำหลักสูตรไปพัฒนาบุคลากรเฉพาะในหน่วยงานของตนเองหลายหน่วยงาน และเป็นหน่วยงานเดียวที่จัดฝึกอบรมหลักสูตรการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรอย่างต่อเนื่องรวม 5 รุ่น

จากผลการประเมินด้านต่างๆ แสดงถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการใช้คู่มือประกอบการสอน หลักสูตรการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ผู้ขอประเมินได้พัฒนาขึ้น

**6.2 ประโยชน์ที่ได้รับ**

6.2.1 ได้คู่มือการสอบเทียบเครื่องมือแก้ววัดปริมาตรที่มีประสิทธิภาพ สามารถใช้ประกอบการสอนได้อย่างมีประสิทธิผล ผู้เรียนสามารถนำไปปฏิบัติงานได้จริง ยืนยันได้จากผลการทดสอบทั้งด้านความรู้และทักษะ และข้อมูลการประเมินผลการการเรียนด้านต่างๆ

6.2.2 เป็นประโยชน์ต่อห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบและวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์ ใช้คู่มือสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร แล้วสามารถสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรได้เองอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ไม่ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการส่งไปสอบเทียบที่หน่วยงานภายนอก

6.2.3 ใช้เป็นเอกสารอ้างอิง และค้นคว้าข้อมูลที่สนใจได้ เช่น มาตรฐานเกี่ยวกับเครื่องแก้ววัดปริมาตรจากมาตรฐานสากล

6.2.4 สามารถนำวิธีการและเทคนิคการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรไปใช้ในงานวิเคราะห์ทดสอบ และวิจัย และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรได้ จัดเป็นเทคนิคพื้นฐานที่สำคัญที่ผู้ปฏิบัติงานควรปฏิบัติให้ถูกต้อง

นอกจากที่กล่าวมาแล้วประโยชน์ที่สำคัญยิ่งของคู่มือนี้คือ ผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจ และนำเทคนิคการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร ไปใช้ปฏิบัติงานด้านการหาปริมาณที่ต้องใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร

เป็นอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเตรียมสารละลายละลายมาตรฐาน ในงานการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ต้องการความถูกต้องสูง หลักเกณฑ์และองค์ประกอบของการสอบเทียบ รวมถึงการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดอื่นได้

**6.3 สรุป**

เครื่องแก้ววัดปริมาตรของเหลวเป็นเครื่องมือวัดขั้นพื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการด้านวิทยาศาสตร์ ผู้ปฏิบัติงานที่มีพื้นฐานความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ สามารถใช้และสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรได้เนื่องจากวิธีการไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่การที่จะใช้และสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ ได้ผลการวัดที่มีความแม่น ความเที่ยง และมีความน่าเชื่อถือนั้นทำได้ยาก ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องได้รับความรู้จากการฝึกอบรมในหลักสูตรที่มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วยเนื้อหาภาคทฤษฎีที่ให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องแก้ววัดปริมาตร เทคนิคการใช้และการสอบเทียบที่ถูกต้อง และภาคปฏิบัติที่ทำให้เกิดทักษะในการใช้ และการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร การพัฒนาคู่มือการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรเป็นเอกสารประกอบการสอน จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ปฏิบัติงาน และห้องปฏิบัติการที่กำลังดำเนินงานการประกันคุณภาพห้องปฏิบัติการตามระบบมาตรฐานสากล เพราะสามารถทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่เข้าอบรมในหลักสูตรหรือผู้นำเอกสารไปใช้ มีความรู้ ความเข้าใจเรื่องเครื่องแก้ววัดปริมาตรได้ดีขึ้น และยังสามารถเพิ่มทักษะในการใช้ การทวนสอบ และการสอบเทียบเครื่องแก้ว จนสามารถสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรในห้องปฏิบัติการได้เองอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ และมีความมั่นใจ

# เอกสารอ้างอิง


1. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Laboratory Glass Micropipets. ASTM E 193 ,1994. P.114-119.
2. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Glass Graduated Burets. ASTM E 287, 1994. P.161-162.
3. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Glass Volumetric Flasks. ASTM E 288 ,1994. P.164-165.
4. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Glass in Laboratory Apparatus. ASTM E 438, 1992. P. 241-242.
5. American Society for Testing and Materials. Standard Practice for Calibration of Laboratory Volumetric Apparatus. ASTM E 542, 1994. P.301-307
6. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Laboratory Glass Volumetric Apparatus. ASTM E 694, 1995. P 449-454.
7. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Glass Volumetric (transfer) Pipets. ASTM E 969, 1995. P644-645.
8. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Micro - Burets. ASTM E 1189 ,1987. P 736-737.
9. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Graduated Cylinders. ASTM E 1272 , 1989. P. 817-818.
10. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Piston Plunger Operated Volumetric Apparatus. ASTM E 1154 ,1997. P.661-669.
11. British Standards Institution. British Standard Specification for Burettes. BS 846 1986.
12. British Standards Institution. British Standard Specification for One - mark pipettes. BS 1583 1986.
13. British Standards Institution. British Standard Specification for One - mark volumetric flasks. BS 1792 1982.
14. British Standards Institution. Methods for Use and testing of capacity of volumetric glassware. BS 6696 1986/ISO 4787-1984.

15. British Standards Institution. Methods of test for Accuracy and precision of mechanical handpipettes of capacity 0.05 mL and above. BS 6018 1991.

16. British Standards Institution. Methods of test for Accuracy and precision of mechanical handpipettes of capacity less than 50 uL down to and including 10 uL. BS 7532 1991.

17. International Organization for Standardization. Laboratory glassware - Burettes. ISO 385 1984.

    1 General requirements

    2 Burettes for which no waiting time is specified

    3 Burettes for which a waiting time of 30 s is specified

18. International Organization for Standardization. Laboratory glassware - One - mark pipettes. ISO 648 1977.

19. International Organization for Standardization. Laboratory glassware - Graduated pipettes. ISO 835 1981.

    1- General requirements

    2- Pipettes for which no waiting time is specified

    3- Pipettes for which a waiting time of 15 s is specified

    4- Blow-out pipettes

20. International Organization for Standardization. Laboratory glassware - One - mark volumetric flasks. ISO 1042 1981.

21. International Organization for Standardization. Laboratory glassware – Pipettes – Colour coding. ISO 1769 1975.

22. International Organization for Standardization. Laboratory glassware - Graduated measuring cylinders. ISO 4788 1980.

23. International Organization for Standardization. Piston and /or Plunger Operated volumetric apparatus (POVA). ISO/DIS 8655 1990.

    1- Definition

    2- Operating consideration

    3- Methods of test

    4- Specification

24. International Organization for Standardization. Quality assurance requirements for measuring equipment. ISO 10012-1 1992.

25. **Guideline to The Expression of Uncertainty in Measurement** , prepared by ISO Technical Advisory Group 4 (TAG 4 ) , International Organization for Standardization , Edition 1 , January 1993

26. NAMAS Publication M 3003, **The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement** Edition 1 , December ,1997

27. D. A. Skoog, D. M. West, F.J. Holler, and S. R. Crouch, **Analytical Chemistry An Introduction, 7th ed.**, Saunderscollege publishing , USA , 1996.

28. National Research Laboratory of Metrology (NRLM). Basic Standard and the SI Unit.

29. Laboratory Glassware Catalog . Brand Laboratory Equipment Manufacturers. 1990-2000.

30. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหลักเกณฑ์การใช้หน่วยต่างๆของระบบเอสไอ. มอก. 230-2527.

31. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. การมาตรฐานและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง-คำศัพท์ทั่วไป. มอก. 5002-2541/ISO/IEC GUIDE 2:1996.

32. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. การบริหารคุณภาพและการประกันคุณภาพ-คำศัพท์. มอก. 8402-2541/ISO 8402 :1994.

# ภาคผนวก 1

## ข้อมูลที่ใช้คำนวณปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่อุณหภูมิ 20 $^{0}$ซ

**ตารางที่ A1.1** แสดงค่า Z สำหรับการคำนวณปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตร Type I Class A

Values of Z in Eq 2 as a Function of Temperature and Pressure for Use in Calibration of Type I, Class A, Borosilicate Glass[A]

| Barometric Pressure | | | Temperature, °C | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| kPa | mbar | mm Hg | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 77.33 | 773 | 580 | 1.00179 | 1.00193 | 1.00208 | 1.00225 | 1.00243 | 1.00262 | 1.00281 | 1.00302 | 1.00324 | 1.00347 | 1.00371 | 1.00396 | 1.00422 | 1.00449 |
| 79.99 | 800 | 600 | 1.00182 | 1.00196 | 1.00211 | 1.00228 | 1.00245 | 1.00264 | 1.00283 | 1.00304 | 1.00326 | 1.00349 | 1.00374 | 1.00399 | 1.00424 | 1.00451 |
| 82.66 | 827 | 620 | 1.00184 | 1.00199 | 1.00214 | 1.00231 | 1.00248 | 1.00267 | 1.00287 | 1.00308 | 1.00330 | 1.00353 | 1.00377 | 1.00402 | 1.00428 | 1.00455 |
| 85.33 | 853 | 640 | 1.00187 | 1.00201 | 1.00216 | 1.00233 | 1.00251 | 1.00270 | 1.00290 | 1.00311 | 1.00333 | 1.00356 | 1.00380 | 1.00405 | 1.00431 | 1.00458 |
| 87.99 | 880 | 660 | 1.00189 | 1.00204 | 1.00219 | 1.00236 | 1.00254 | 1.00272 | 1.00292 | 1.00313 | 1.00335 | 1.00358 | 1.00382 | 1.00408 | 1.00433 | 1.00460 |
| 90.66 | 907 | 680 | 1.00192 | 1.00207 | 1.00222 | 1.00239 | 1.00256 | 1.00275 | 1.00295 | 1.00316 | 1.00338 | 1.00361 | 1.00385 | 1.00410 | 1.00436 | 1.00463 |
| 93.33 | 933 | 700 | 1.00195 | 1.00209 | 1.00225 | 1.00242 | 1.00259 | 1.00278 | 1.00298 | 1.00319 | 1.00341 | 1.00364 | 1.00388 | 1.00413 | 1.00439 | 1.00466 |
| 95.99 | 960 | 720 | 1.00198 | 1.00212 | 1.00228 | 1.00245 | 1.00262 | 1.00281 | 1.00301 | 1.00322 | 1.00344 | 1.00367 | 1.00391 | 1.00416 | 1.00442 | 1.00468 |
| 98.66 | 987 | 740 | 1.00201 | 1.00215 | 1.00230 | 1.00247 | 1.00265 | 1.00284 | 1.00304 | 1.00324 | 1.00346 | 1.00370 | 1.00393 | 1.00418 | 1.00444 | 1.00471 |
| 101.32 | 1013 | 760 | 1.00204 | 1.00218 | 1.00233 | 1.00250 | 1.00268 | 1.00286 | 1.00306 | 1.00327 | 1.00349 | 1.00372 | 1.00396 | 1.00421 | 1.00447 | 1.00474 |
| 103.99 | 1040 | 780 | 1.00207 | 1.00221 | 1.00236 | 1.00253 | 1.00270 | 1.00289 | 1.00309 | 1.00330 | 1.00352 | 1.00375 | 1.00399 | 1.00424 | 1.00450 | 1.00477 |
| 106.66 | 1067 | 800 | 1.00209 | 1.00224 | 1.00239 | 1.00256 | 1.00273 | 1.00291 | 1.00312 | 1.00333 | 1.00355 | 1.00378 | 1.00402 | 1.00427 | 1.00452 | 1.00479 |

[A] Values of Z assume a relative humidity of 50 %.

**ตารางที่ A1.2** แสดงค่า Z สำหรับการคำนวณปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตร Type II

Values of Z in Eq 2 as a Function of Temperature and Pressure for Use in Calibration of Type II, Soda-Lime Glass[A]

| Barometric Pressure | | | Temperature, °C | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| kPa | mbar | mm Hg | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 77.33 | 773 | 580 | 1.00186 | 1.00199 | 1.00212 | 1.00228 | 1.00244 | 1.00262 | 1.00279 | 1.00299 | 1.00319 | 1.00341 | 1.00363 | 1.00387 | 1.00411 | 1.00437 |
| 79.99 | 800 | 600 | 1.00189 | 1.00202 | 1.00215 | 1.00231 | 1.00246 | 1.00264 | 1.00281 | 1.00301 | 1.00321 | 1.00343 | 1.00366 | 1.00390 | 1.00414 | 1.00439 |
| 82.66 | 827 | 620 | 1.00192 | 1.00205 | 1.00218 | 1.00234 | 1.00250 | 1.00267 | 1.00285 | 1.00305 | 1.00326 | 1.00347 | 1.00369 | 1.00393 | 1.00417 | 1.00443 |
| 85.33 | 853 | 640 | 1.00194 | 1.00207 | 1.00220 | 1.00236 | 1.00253 | 1.00270 | 1.00288 | 1.00308 | 1.00328 | 1.00350 | 1.00372 | 1.00396 | 1.00420 | 1.00446 |
| 87.99 | 880 | 660 | 1.00196 | 1.00210 | 1.00223 | 1.00239 | 1.00256 | 1.00272 | 1.00290 | 1.00310 | 1.00330 | 1.00352 | 1.00374 | 1.00399 | 1.00422 | 1.00448 |
| 90.66 | 907 | 680 | 1.00199 | 1.00213 | 1.00226 | 1.00242 | 1.00258 | 1.00275 | 1.00293 | 1.00313 | 1.00333 | 1.00355 | 1.00377 | 1.00401 | 1.00425 | 1.00451 |
| 93.33 | 933 | 700 | 1.00202 | 1.00215 | 1.00229 | 1.00245 | 1.00261 | 1.00278 | 1.00296 | 1.00316 | 1.00336 | 1.00357 | 1.00380 | 1.00404 | 1.00428 | 1.00454 |
| 95.99 | 960 | 720 | 1.00205 | 1.00218 | 1.00232 | 1.00248 | 1.00264 | 1.00281 | 1.00299 | 1.00319 | 1.00339 | 1.00361 | 1.00383 | 1.00407 | 1.00431 | 1.00456 |
| 98.66 | 987 | 740 | 1.00208 | 1.00221 | 1.00234 | 1.00250 | 1.00267 | 1.00284 | 1.00302 | 1.00321 | 1.00341 | 1.00364 | 1.00385 | 1.00409 | 1.00433 | 1.00459 |
| 101.32 | 1013 | 760 | 1.00212 | 1.00224 | 1.00237 | 1.00253 | 1.00270 | 1.00286 | 1.00304 | 1.00324 | 1.00344 | 1.00366 | 1.00388 | 1.00412 | 1.00436 | 1.00462 |
| 103.99 | 1040 | 780 | 1.00214 | 1.00227 | 1.00240 | 1.00256 | 1.00272 | 1.00289 | 1.00307 | 1.00327 | 1.00347 | 1.00369 | 1.00391 | 1.00415 | 1.00439 | 1.00465 |
| 106.66 | 1067 | 800 | 1.00216 | 1.00230 | 1.00243 | 1.00259 | 1.00275 | 1.00291 | 1.00310 | 1.00330 | 1.00350 | 1.00372 | 1.00394 | 1.00418 | 1.00441 | 1.00467 |

**ตารางที่ A1.3** แสดงค่า Z สำหรับการคำนวณปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตร Type I Class B

Values of Z in Eq 2 as a Function of Temperature and Pressure for Use in Calibration of Type I, Class B, Borosilicate Glass[A]

| Barometric Pressure | | | Temperature, °C | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| kPa | mbar | mm Hg | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 77.33 | 773 | 580 | 1.00182 | 1.00195 | 1.00210 | 1.00226 | 1.00243 | 1.00262 | 1.00281 | 1.00302 | 1.00323 | 1.00346 | 1.00370 | 1.00394 | 1.00420 | 1.00447 |
| 79.99 | 800 | 600 | 1.00184 | 1.00198 | 1.00212 | 1.00229 | 1.00246 | 1.00265 | 1.00284 | 1.00304 | 1.00326 | 1.00348 | 1.00372 | 1.00397 | 1.00422 | 1.00448 |
| 82.66 | 827 | 620 | 1.00186 | 1.00201 | 1.00215 | 1.00232 | 1.00249 | 1.00267 | 1.00287 | 1.00307 | 1.00328 | 1.00351 | 1.00375 | 1.00399 | 1.00425 | 1.00451 |
| 85.33 | 853 | 640 | 1.00190 | 1.00203 | 1.00218 | 1.00234 | 1.00251 | 1.00270 | 1.00289 | 1.00310 | 1.00331 | 1.00354 | 1.00378 | 1.00402 | 1.00427 | 1.00454 |
| 87.99 | 880 | 660 | 1.00192 | 1.00206 | 1.00221 | 1.00237 | 1.00254 | 1.00272 | 1.00292 | 1.00312 | 1.00334 | 1.00357 | 1.00380 | 1.00405 | 1.00430 | 1.00456 |
| 90.66 | 907 | 680 | 1.00195 | 1.00209 | 1.00224 | 1.00240 | 1.00257 | 1.00275 | 1.00295 | 1.00316 | 1.00337 | 1.00359 | 1.00383 | 1.00407 | 1.00433 | 1.00459 |
| 93.33 | 933 | 700 | 1.00198 | 1.00211 | 1.00226 | 1.00243 | 1.00259 | 1.00278 | 1.00298 | 1.00318 | 1.00340 | 1.00362 | 1.00386 | 1.00410 | 1.00435 | 1.00461 |
| 95.99 | 960 | 720 | 1.00200 | 1.00215 | 1.00229 | 1.00246 | 1.00262 | 1.00281 | 1.00301 | 1.00321 | 1.00342 | 1.00365 | 1.00389 | 1.00413 | 1.00438 | 1.00464 |
| 98.66 | 987 | 740 | 1.00204 | 1.00217 | 1.00232 | 1.00248 | 1.00266 | 1.00284 | 1.00303 | 1.00324 | 1.00345 | 1.00367 | 1.00391 | 1.00415 | 1.00441 | 1.00467 |
| 101.32 | 1013 | 760 | 1.00206 | 1.00220 | 1.00235 | 1.00251 | 1.00268 | 1.00286 | 1.00306 | 1.00326 | 1.00348 | 1.00370 | 1.00393 | 1.00418 | 1.00444 | 1.00470 |
| 103.99 | 1040 | 780 | 1.00209 | 1.00223 | 1.00238 | 1.00254 | 1.00271 | 1.00289 | 1.00309 | 1.00329 | 1.00350 | 1.00373 | 1.00397 | 1.00421 | 1.00447 | 1.00473 |
| 106.66 | 1067 | 800 | 1.00212 | 1.00226 | 1.00240 | 1.00257 | 1.00273 | 1.00292 | 1.00311 | 1.00331 | 1.00353 | 1.00375 | 1.00399 | 1.00424 | 1.00449 | 1.00476 |

[A] Values of Z assume a relative humidity of 50 %.

ตารางที่ A1.4 Density of Air-Free Water, $\rho_w$

| Temperature, °C | Density, g/cm³ |
|---|---|
| 15 | 0.999098 |
| 16 | 0.998941 |
| 17 | 0.998773 |
| 18 | 0.998593 |
| 19 | 0.998403 |
| 20 | 0.998202 |
| 21 | 0.997990 |
| 22 | 0.997768 |
| 23 | 0.997536 |
| 24 | 0.997294 |
| 25 | 0.997043 |
| 26 | 0.996782 |
| 27 | 0.996511 |
| 28 | 0.996232 |
| 29 | 0.995943 |
| 30 | 0.995645 |
| 31 | 0.995339 |
| 32 | 0.995024 |
| 33 | 0.994701 |
| 34 | 0.994369 |
| 35 | 0.994030 |

ตารางที่ A1.5 Density of Air, $\rho_A$, in g/cm³ [A]

| Barometric Pressure | | | Temperature, °C | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| kPa | mbar | mm Hg | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| 77.33 | 773 | 580 | 0.00094 | 0.00093 | 0.00093 | 0.00092 | 0.00092 | 0.00091 | 0.00091 | 0.00090 | 0.00090 |
| 79.99 | 800 | 600 | 0.00097 | 0.00096 | 0.00096 | 0.00095 | 0.00095 | 0.00094 | 0.00093 | 0.00093 | 0.00092 |
| 82.66 | 827 | 620 | 0.00100 | 0.00100 | 0.00099 | 0.00099 | 0.00098 | 0.00097 | 0.00096 | 0.00096 | 0.00095 |
| 85.33 | 853 | 640 | 0.00103 | 0.00103 | 0.00102 | 0.00102 | 0.00101 | 0.00100 | 0.00100 | 0.00099 | 0.00098 |
| 87.99 | 880 | 660 | 0.00106 | 0.00106 | 0.00105 | 0.00105 | 0.00104 | 0.00103 | 0.00103 | 0.00102 | 0.00101 |
| 90.66 | 907 | 680 | 0.00110 | 0.00109 | 0.00109 | 0.00108 | 0.00107 | 0.00107 | 0.00106 | 0.00105 | 0.00104 |
| 93.33 | 933 | 700 | 0.00113 | 0.00112 | 0.00112 | 0.00111 | 0.00110 | 0.00110 | 0.00109 | 0.00108 | 0.00107 |
| 95.99 | 960 | 720 | 0.00116 | 0.00116 | 0.00115 | 0.00114 | 0.00114 | 0.00113 | 0.00112 | 0.00112 | 0.00110 |
| 98.66 | 987 | 740 | 0.00119 | 0.00119 | 0.00118 | 0.00118 | 0.00117 | 0.00116 | 0.00115 | 0.00114 | 0.00113 |
| 101.32 | 1013 | 760 | 0.00123 | 0.00122 | 0.00122 | 0.00121 | 0.00120 | 0.00119 | 0.00118 | 0.00117 | 0.00117 |
| 103.99 | 1040 | 780 | 0.00126 | 0.00125 | 0.00125 | 0.00124 | 0.00123 | 0.00122 | 0.00121 | 0.00121 | 0.00120 |
| 106.66 | 1067 | 800 | 0.00129 | 0.00128 | 0.00128 | 0.00127 | 0.00126 | 0.00125 | 0.00124 | 0.00124 | 0.00123 |

[A] Computed for air at 50 % relative humidity.

ตารางที่ A1.6 Coefficient of Cubical Expansion of Materials Commonly Used in Laboratory Ware

| Material | cm³/° C |
|---|---|
| Fused silica (quartz) | 0.0000016 |
| Borosilicate glass (Type I, Class A) | 0.000010 |
| Borosilicate glass (Type I, Class B) | 0.000015 |
| Soda-lime glass | 0.000025 |
| Polypropylene plastic | 0.000240 |
| Polycarbonate plastic | 0.000450 |
| Polystyrene plastic | 0.000210 |

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.*

# ภาคผนวก 2

## ข้อมูลที่ใช้ประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร

### ตารางที่ A2.1 STUDENTS' T-DISTRIBUTION [6]

Value of $t_p(\upsilon)$ from the t-distribution for degrees of freedom $\nu$ that defines an interval $-t_p(\upsilon)$ to $+t_p(\upsilon)$ that encompasses the fraction $p$ of the distribution

| Degrees of freedom $\upsilon$ | Fraction $p$ in percent | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 68.27[a] | 90.00 | 95.00 | 95.45[a] | 99.00 | 99.73[a] |
| 1 | 1.84 | 6.31 | 12.71 | 13.97 | 63.66 | 235.8 |
| 2 | 1.32 | 2.92 | 4.30 | 4.53 | 9.92 | 19.21 |
| 3 | 1.20 | 2.35 | 3.18 | 3.31 | 5.84 | 9.22 |
| 4 | 1.14 | 2.13 | 2.78 | 2.87 | 4.60 | 6.62 |
| 5 | 1.11 | 2.02 | 2.57 | 2.65 | 4.03 | 5.51 |
| 6 | 1.09 | 1.94 | 2.45 | 2.52 | 3.71 | 4.90 |
| 7 | 1.08 | 1.89 | 2.36 | 2.43 | 3.50 | 4.53 |
| 8 | 1.07 | 1.86 | 2.31 | 2.37 | 3.36 | 4.28 |
| 9 | 1.06 | 1.83 | 2.26 | 2.32 | 3.25 | 4.09 |
| 10 | 1.05 | 1.81 | 2.23 | 2.28 | 3.17 | 3.96 |
| | | | | | | |
| 11 | 1.05 | 1.80 | 2.20 | 2.25 | 3.11 | 3.85 |
| 12 | 1.04 | 1.78 | 2.18 | 2.23 | 3.05 | 3.76 |
| 13 | 1.04 | 1.77 | 2.16 | 2.21 | 3.01 | 3.69 |
| 14 | 1.04 | 1.76 | 2.14 | 2.20 | 2.98 | 3.64 |
| 15 | 1.03 | 1.75 | 2.13 | 2.18 | 2.95 | 3.59 |
| | | | | | | |
| 16 | 1.03 | 1.75 | 2.12 | 2.17 | 2.92 | 3.54 |
| 17 | 1.03 | 1.74 | 2.11 | 2.16 | 2.90 | 3.51 |
| 18 | 1.03 | 1.73 | 2.10 | 2.15 | 2.88 | 3.48 |
| 19 | 1.03 | 1.73 | 2.09 | 2.14 | 2.86 | 3.45 |
| 20 | 1.03 | 1.72 | 2.09 | 2.13 | 2.85 | 3.42 |
| | | | | | | |
| 25 | 1.02 | 1.71 | 2.06 | 2.11 | 2.79 | 3.33 |
| 30 | 1.02 | 1.70 | 2.04 | 2.09 | 2.75 | 3.27 |
| 35 | 1.01 | 1.70 | 2.03 | 2.07 | 2.72 | 3.23 |
| 40 | 1.01 | 1.68 | 2.02 | 2.06 | 2.70 | 3.20 |
| 45 | 1.01 | 1.68 | 2.01 | 2.06 | 2.69 | 3.18 |
| | | | | | | |
| 50 | 1.01 | 1.68 | 2.01 | 2.05 | 2.68 | 3.16 |
| 100 | 1.005 | 1.660 | 1.984 | 2.025 | 2.626 | 3.077 |
| ∞ | 1.000 | 1.645 | 1.960 | 2.000 | 2.576 | 3.000 |

[a] For a quantity $z$ described by a normal distribution with expectation $\mu_z$ and standard deviation $\sigma$, the interval $\mu_z \pm k\sigma$ encompasses $p$ = 68.27, 95.45, and 99.73 percent of the distribution for $k$ = 1, 2 and 3, respectively.

| ตารางที่ A2.2 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการวัดปริมาตรเครื่องแก้ววัดปริมาตร | | |
|---|---|---|
| **พารามิเตอร์** | **Tolerance ของ พารามิเตอร์** | **Tolerance ของปริมาตร** |
| ความชื้นสัมพัทธ์ | ±10 % | 1 in $10^6$ |
| อุณหภูมิห้อง | ± 2.5 °ซ | 1 in $10^5$ |
| ความดันบรรยากาศ | ± 6 มม. ปรอท | 1 in $10^5$ |
| อุณหภูมิน้ำ | ± 0.5 °ซ | 1 in $10^4$ |

## ภาคผนวก 3

## สมบัติของแก้ว

ตารางที่ A3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว Type I

| **องค์ประกอบทางเคมี** | Type I, Class A.( weight %) | Type I, Class B.( weight %) |
|---|---|---|
| Major constituents. approximate : | | |
| $SiO_2$ | 81 | 73 |
| $B_2O_3$ | 13 | 10 |
| $AI_2O_3$ | 2 | 7 |
| BaO | see below | 0-2 |
| CaO | see below | 1 |
| $Na_2O$ | 4 | 6 |
| $K_2O$ | see below | 1 |
| Trace constituents. max | | |
| $As_2O_2$ plus $Sb_2O_3$ | 0.005 | 0.1 |
| PbO | 0.1 | 0.1 |
| MgO | 0.1 | 0.3 |
| ZnO | 0.1 | 0.1 |
| CaO | 0.1 | see above |
| $K_2O$ | 0.75[A] | see above |
| All other constituents. max | 0.2 | 1.0 |

[A] Each manufacturer must publish the maximum percentage in his glass because certain limites applications require a level under 0.1%

ตารางที่ A3.2 องค์ประกอบทางเคมีของแก้ว Type II

| องค์ประกอบทางเคมี | องค์ประกอบ A (น.น. %) | องค์ประกอบ B (น.น. %) |
|---|---|---|
| Major constituents. approximate | | |
| $SiO_2$ | 68 | 72 |
| $B_2O_3$ | 2 | ... |
| $Ai_2O_3$ | 3 | 2 |
| BaO | 2 | ... |
| CaO | 5 | 5 |
| MgO | 4 | 4 |
| $Na_2O$ | 15 | 16 |
| $K_2O$ | 1 | 1 |
| Trace constituents. max: | | |
| $As_2O_3 + Sb_2O_3$ | 0.1 | 0.1 |
| Pb O | 0.1 | 0.1 |
| All other constituents. max | 1.0 | 1.0 |

ตารางที่ A3.3 สมบัติทางฟิสิกส์ของแก้วแบบต่างๆ

| สมบัติ | Type I. Class A | Type I. Class B | Type II Glass | ASTM Test Method |
|---|---|---|---|---|
| Linear coefficient of expansion. 0 to 300°C. cm/cm. °C x $10^{-7}$ | (32-33) ± 1.5 | (48-56) ± 2 | (90-93) ± 2 | E 228 |
| Annealing point. °C | 560 ± 10 | 574 ± 10 | (520-540) ± 10 | C598 |
| Softening point. °C | (815-820) ± 10 | (783-799) ± 10 | (700-720) ± 10 | C 338 |
| Density. annealed. $g/cm^3$ | (2.23-2.24) ± 0.02 | (2.33-2.35) ± 0.02 | (2.47-2.53) ± 0.02 | C729* |
| Chemical durability. titration equivalents of : 0.02*N* $H_2SO_4$/10 g of glass. max, ml | 1.0 | 1.0 | 9.5 | C225 (Method P.W) |

*See Day , R , K., Glass Research Methods , Industrial Publications. Inc.. Chicago, IL, 1953, pp, 98-100.

# ภาคผนวก 4

## ค่า tolerance ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร

ตารางที่ A4.1 แสดงค่า tolerance ของขวดวัดปริมาตร

| ความจุ (มล.) | Tolerance ( ± มล.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ASTM E288-94 | | BS 1792 | | ISO 1042 | |
| | Class A | Class B | Class A | Class B | Class A | Class B |
| 5 | 0.02 | 0.04 | 0.025 | 0.05 | 0.025 | 0.05 |
| 10 | 0.02 | 0.04 | 0.025 | 0.05 | 0.025 | 0.05 |
| 25 | 0.03 | 0.06 | 0.04 | 0.08 | 0.04 | 0.08 |
| 50 | 0.05 | 0.10 | 0.06 | 0.12 | 0.06 | 0.12 |
| 100 | 0.08 | 0.16 | 0.10 | 0.20 | 0.10 | 0.20 |
| 200 | 0.10 | 0.20 | 0.15 | 0.30 | 0.15 | 0.30 |
| 250 | 0.12 | 0.24 | 0.15 | 0.30 | 0.15 | 0.30 |
| 500 | 0.20 | 0.40 | 0.25 | 0.50 | 0.25 | 0.50 |
| 1000 | 0.30 | 0.60 | 0.40 | 0.80 | 0.40 | 0.80 |
| 2000 | 0.50 | 1.00 | 0.60 | 1.20 | 0.60 | 1.20 |

ตารางที่ A4.2 แสดงค่า tolerance ของปิเปตวัดปริมาตร

| ความจุ (มล.) | Tolerance ( ± มล.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ASTM E964 | | BS 1583-1986 | | ISO 648-1977 | |
| | Class A | Class B | Class A | Class B | Class A | Class B |
| 0.5 | 0.006 | 0.012 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 |
| 1 | 0.006 | 0.012 | 0.008 | 0.015 | 0.008 | 0.015 |
| 2 | 0.006 | 0.012 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 3 | 0.01 | 0.02 | - | - | - | - |
| 4 | 0.01 | 0.02 | - | - | - | - |
| 5 | 0.01 | 0.02 | 0.015 | 0.03 | 0.015 | 0.03 |
| 6 | 0.01 | 0.03 | - | - | - | - |
| 7 | 0.01 | 0.03 | - | - | - | - |
| 8 | 0.02 | 0.04 | - | - | - | - |
| 9 | 0.02 | 0.04 | - | - | - | - |
| 10 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| 15 | 0.03 | 0.06 | - | - | - | - |
| 20 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.06 |
| 25 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.06 |
| 30 | 0.03 | ... | - | - | - | - |
| 40 | 0.05 | ... | - | - | - | - |
| 50 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.1 | 0.05 | 0.1 |
| 100 | 0.08 | 0.16 | 0.08 | 0.15 | 0.08 | 0.15 |
| 200 | - | - | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |

ตารางที่ A4.3 แสดงค่า tolerance ของปิเปตแกรดูเอตเดด

| ความจุ (มล.) | Tolerance ( ± มล.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ASTM E288-94 | | BS 1792 | | ISO 835 | |
| | Class A | Class B | Class A | Class B | Class A | Class B |
| 0.5 | | | | | 0.005 | - |
| 1 | | | | | 0.005 | 0.01 |
| 2 | | | | | 0.01 | 0.02 |
| 5 | | | | | 0.03 | 0.05 |
| 10 | | | | | 0.05 | 0.1 |
| 25 (0.1) | | | | | 0.1 | - |
| 25(0.2) | | | | | 0.1 | 0.2 |

ตารางที่ A4.4 แสดงค่า tolerance ของบิวเรต

| ความจุ (มล.) | Tolerance ( ± มล.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ASTM E287 | | BS 846-1985 | | ISO 385/1-1984 | |
| | Class A | Class B | Class A | Class B | Class A | Class B |
| 1 | - | - | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 2 | - | - | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 5 | - | - | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 10(0.02) | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 |
| 10(0.05) | - | - | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 |
| 25(0.05) | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.05 |
| 25(0.1) | - | - | 0.05 | 0.1 | 0.05 | 0.1 |
| 50 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.1 | 0.05 | 0.1 |
| 100 | 0.10 | 0.20 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |

ตารางที่ A4.5 แสดงค่า tolerance ของกระบอกตวง

| ความจุ (มล.) | ASTM E1272-89 | | ISO 4788 |
|---|---|---|---|
| | Class A | Class B | |
| 5 | 0.05 | 0.10 | 0.1 |
| 10(0.1) | 0.1 | 0.20 | - |
| 10(0.2) | 0.1 | 0.20 | 0.2 |
| 25(0.2) | 0.17 | 0.34 | - |
| 25(0.5) | 0.17 | 0.34 | 0.5 |
| 50 | 0.25 | 0.50 | 1 |
| 100 | 0.50 | 1.00 | 1 |
| 250 | 1.00 | 2.00 | 2 |
| 500 | 2.00 | 4.00 | 5 |
| 1000 | 3.00 | 6.00 | 10 |
| 2000 | 6.00 | 12.00 | 20 |
| 4000 | 14.50 | 29.00 | - |

# ภาคผนวก 5

## ค่า delivery time ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร

ตารางที่ A5.1 แสดงค่า delivery time ของปิเปตวัดปริมาตร ASTM E969-95

| ความจุ (มล.) | เวลาต่ำสุด (วินาที) | |
|---|---|---|
| | Class A | Class B |
| 0.5 | 5 | 3 |
| 1 | 8 | 3 |
| 2 | 8 | 3 |
| 3 | 8 | 5 |
| 4 | 8 | 5 |
| 5 | 8 | 8 |
| 6 | 10 | 8 |
| 7 | 10 | 8 |
| 8 | 10 | 8 |
| 9 | 10 | 8 |
| 10 | 15 | 8 |
| 15 | 25 | 10 |
| 20 | 25 | 10 |
| 25 | 25 | 15 |
| 30 | 25 | ... |
| 40 | 25 | ... |
| 50 | 25 | 15 |
| 100 | 30 | 20 |
| 200 | - | - |

ตารางที่ A5.2 แสดงค่า delivery time ของปิเปตวัดปริมาตร BS 1583-1986

| ความจุ(มล.) | delivery time (วินาที) | | | | ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ(วินาที) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Class A | | Class B | | |
| | เวลาต่ำสุด | เวลาสูงสุด | เวลาต่ำสุด | เวลาสูงสุด | |
| 0.5 | 10 | 20 | 4 | 20 | 2 |
| 1 | 10 | 20 | 5 | 20 | 2 |
| 2 | 10 | 25 | 5 | 25 | 2 |
| 5 | 15 | 30 | 7 | 30 | 3 |
| 10 | 15 | 40 | 8 | 40 | 3 |
| 20 | 25 | 50 | 9 | 50 | 4 |
| 25 | 25 | 50 | 10 | 50 | 4 |
| 50 | 30 | 60 | 13 | 60 | 5 |
| 100 | 40 | 60 | 25 | 60 | 5 |
| 200 | 50 | 70 | 40 | 70 | 5 |

ตารางที่ A5.3 แสดงค่า delivery time ของปิเปตวัดปริมาตร ISO 648-1977

| ความจุ (มล.) | delivery time (วินาที) | | | | | | ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ (วินาที) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Class A | | Class A มี waiting time | | Class B | | |
| | เวลาต่ำสุด | เวลาสูงสุด | เวลาต่ำสุด | เวลาสูงสุด | เวลาต่ำสุด | เวลาสูงสุด | |
| 0.5 | 10 | 20 | 4 | 8 | 4 | 20 | 2 |
| 1 | 10 | 20 | 5 | 9 | 5 | 20 | 2 |
| 2 | 10 | 25 | 5 | 9 | 5 | 25 | 2 |
| 5 | 15 | 30 | 7 | 11 | 7 | 30 | 3 |
| 10 | 15 | 40 | 8 | 12 | 8 | 40 | 3 |
| 20 | 25 | 50 | 9 | 13 | 9 | 50 | 4 |
| 25 | 25 | 50 | 10 | 15 | 10 | 50 | 4 |
| 50 | 30 | 60 | 10 | 18 | 13 | 60 | 5 |
| 100 | 40 | 60 | 20 | 30 | 25 | 60 | 5 |
| 200 | 50 | 70 | - | - | 40 | 70 | 5 |

ตารางที่ A5.4 แสดงค่า delivery time ของปิเปตแกรดูเอตเตด ISO 835

| ความจุ (มล.) | delivery time (วินาที) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Type 1 | | Type 2 | | Type 3 | Blow out | ไม่ระบุ |
| | Class A | Class B | Class A | Class B | | | |
| 0.5 | - | - | - | - | - | - | 2-5 |
| 1 | 7-10 | 2-10 | 5-7 | 2-10 | 2-10 | 3-5 | 2-8 |
| 2 | 8-12 | 2-12 | 6-9 | 2-12 | 2-12 | 4-6 | 2-8 |
| 5 | 10-14 | 5-14 | 8-11 | 5-14 | 5-14 | 5-7 | 5-11 |
| 10 | 13-17 | 5-17 | 10-13 | 5-17 | 5-17 | 6-9 | 5-11 |
| 25 (0.1) | 15-21 | 9-21 | 11-16 | 9-21 | 9-21 | 8-11 | 9-15 |

ตารางที่ A5.5 แสดงค่า delivery time ของบิวเรต

| ความจุ (มล.) | delivery time (วินาที) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ASTM E287 | BS 846-1985 | | ISO 385/1-1984 | | |
| | Class B | Class A | Class B | Class A | Class B | waiting time |
| 1 | - | 35-45 | 20-45 | 35-45 | 20-45 | 20-40 |
| 2 | - | 50-70 | 25-70 | 50-70 | 25-70 | 25-45 |
| 5 | - | 75-95 | 40-95 | 75-95 | 40-95 | 40-60 |
| 10(0.02) | 25 | 60-100 | 40-95 | 60-100 | 40-95 | 40-60 |
| 10(0.05) | - | 75-95 | 45-75 | 75-95 | 45-75 | 40-60 |
| 25(0.05) | 30 | 70-100 | 35-100 | 70-100 | 35-100 | 35-55 |
| 25(0.1) | - | 45-75 | 25-75 | 45-75 | 25-75 | 25-45 |
| 50 | 50 | 60-100 | 30-100 | 60-100 | 30-100 | 30-50 |
| 100 | 90 | 60-100 | 30-100 | 60-100 | 30-100 | 30-50 |

างที่ A5.6 แสดงค่า delivery time ของบิวเรต Class A มาตรฐาน ASTM E287

| ความยาวของส่วนปริมาตร(ซม.) | เวลาต่ำสุด(วินาที) |
|---|---|
| 15 | 30 |
| 20 | 35 |
| 25 | 40 |
| 30 | 50 |
| 35 | 60 |
| 40 | 70 |
| 45 | 80 |
| 50 | 90 |
| 55 | 105 |
| 60 | 120 |
| 65 | 140 |
| 70 | 160 |

# ภาคผนวก 6

## การใช้แถบสีบนปิเปตตามมาตรฐาน ISO

**ตารางที่ A6.1** แสดงแถบสีบนปิเปตวัดปริมาตร ตามมาตรฐาน ISO 1769-1975

| Nominal capacity ml | Colour code bands |
|---|---|
| 0,001 | 1 blue |
| 0,002 | 2 red |
| 0,003 | 1 yellow |
| 0,004 | 2 green |
| 0,005 | 1 white |
| 0,01 | 1 orange |
| 0,015 | 2 blue |
| 0,02 | 1 black |
| 0,025 | 2 white |
| 0,03 | 2 yellow |
| 0,035 | 2 black |
| 0,04 | 2 red |
| 0,05 | 1 green |
| 0,075 | 2 orange |
| 0,1 | 1 blue |
| 0,15 | 1 white |
| 0,2 | 1 red |
| 0,25 | 2 green |
| 0,3 | 1 yellow |
| 0,4 | 2 red |
| 0,5 | 2 black |
| 1 | 1 blue |
| 2 | 1 orange |
| 3 | 1 black |
| 4 | 2 red |
| 5 | 1 white |
| 6 | 2 orange |
| 7 | 2 green |
| 8 | 1 blue |
| 9 | 1 black |
| 10 | 1 red |
| 15 | 1 green |
| 20 | 1 yellow |
| 25 | 1 blue |
| 30 | 1 black |
| 40 | 1 white |
| 50 | 1 red |
| 75 | 1 green |
| 100 | 1 yellow |
| 150 | 2 black |
| 200 | 1 blue |

**ตารางที่ A6.2** แสดงแถบสีบนปิเปตแกรดูเอตเดด ตามมาตรฐาน ISO 1769-1975

| Nominal capacity ml | Sub-division ml | Colour code bands |
|---|---|---|
| 0,01 | 0,001 | 1 blue |
| 0,05 | 0,001 | 1 yellow |
| 0,1 | 0,001 | 2 green |
| | 0,005 | 1 red |
| | 0,01 | 1 white |
| | 0,05 | 2 orange |
| 0,125 | 0,0125 | 2 yellow |
| 0,2 | 0,001 | 2 blue |
| | 0,002 | 2 white |
| | 0,01 | 1 black |
| | 0,1 | 1 orange |
| 0,5 | 0,005 | 1 green |
| | 0,01 | 2 yellow |
| | 0,02 | 2 red |
| | 0,05 | 2 black |
| | 0,25 | 2 green |
| 1 | 0,01 | 1 yellow |
| | 0,05 | 2 green |
| | 0,1 | 1 red |
| 1,5 | 0,01 | 2 red |
| 2 | 0,01 | 2 white |
| | 0,02 | 1 black |
| | 0,05 | 2 orange |
| | 0,1 | 1 green |
| 3 | 0,01 | 2 blue |
| 5 | 0,05 | 1 red |
| | 0,1 | 1 blue |
| 10 | 0,1 | 1 orange |
| 15 | 0,1 | 2 green |
| 20 | 0,1 | 2 yellow |
| 25 | 0,1 | 1 white |
| | 0,2 | 1 green |
| 50 | 0,1 | 2 orange |
| | 0,2 | 1 black |
| 100 | 0,2 | 1 red |