

การพัฒนาเครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ

Development of automatic meniscus adjustment instrument

8

วีระชัย วาริยาตร์^{1*}, อัจฉราวรรณ วัฒนหัตถกรรม¹, ศักดิ์สิทธิ์ ดีอ่ำ¹

Weerachai Variyart^{1*}, Acharawan Wattanahuttakum¹, Saksit Deeum¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ โดยได้ทำการออกแบบโครงสร้างของชุดควบคุมการปรับระดับ เมนิสคัสแบบอัตโนมัติและโปรแกรมซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมการทำงาน โครงสร้างของเครื่องประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ 3 ส่วนหลัก คือ ชุดจับปิเปตที่ได้รับการออกแบบมาสำหรับการจับปิเปตขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 มิลลิลิตร ถึง 100 มิลลิลิตร สามารถควบคุมการปรับระดับขึ้น-ลงและอัตราเร็วได้ด้วยมอเตอร์ ชุดดูดและปล่อยของเหลวให้เข้าออกปิเปตด้วยมอเตอร์ (Water pump) ที่เชื่อมต่อกับโปรแกรมการประมวลผลภาพแบบ Real time และชุดจับยึดอุปกรณ์ขยายภาพแบบดิจิทัลไมโครสโคปที่เคลื่อนที่ได้ทั้งแนวแกน x, y และ z

ส่วนโปรแกรมซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องปรับระดับเมนิสคัสที่นักวิจัยได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาเองภายใต้ชื่อ DSS Pipette calibration สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในส่วนของการควบคุมตำแหน่งของปิเปตด้วยมอเตอร์ การควบคุมการดูดปล่อยของเหลวด้วยปั๊ม การแสดงภาพบนจอคอมพิวเตอร์แบบ Real time เพื่อใช้ตรวจสอบระดับของของเหลว และการควบคุมของเหลวที่ตำแหน่ง Meniscus ให้เป็นแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับระดับ Meniscus ให้อยู่ตำแหน่งที่ถูกต้อง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้เครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วิธีการตวงวัดแบบเดิมที่ไม่เป็นระบบอัตโนมัติ พบว่าการใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมาทำให้ผลการวัดปริมาตรของเครื่องแก้วชนิดปิเปตที่มีความแม่นยำและความเที่ยงของการวัดมากขึ้น (Accuracy and precision) อีกทั้งยังช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากทักษะความเชี่ยวชาญของผู้ปฏิบัติงาน (Human error) ในการปรับระดับเมนิสคัสให้อยู่บนระดับขีดบอกปริมาตร (Meniscus setting) ที่ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถปรับระดับเมนิสคัสให้อยู่ตำแหน่งขีดบอกปริมาตรได้

Abstract

This research is aimed to develop an automatic meniscus adjustment instrument. Its structure and computer software for system controlling are designed and constructed. This designed instrument is equipped with three main parts. Firstly, a pipet holder set is designed for holding the pipette with nominal capacities in the range of 1 ml to 100 ml. The speed and the movement in up-down direction are controlled by motor. Secondly, the set of the liquid suction and release system is the part controlled by the water pump connected to the computer programme and linked to the digital image processing system in real time. Thirdly, the microscope holder set is for holding the digital microscope device, which can move in x y and z axis directions. Our computer software, named as DSS Pipette calibration, is also specially developed to control the entire system of the automatic meniscus adjustment instrument. It efficiently works for operating activities such as the motorized adjustment of the pipette position, the pump controller for suction and release system, the presence of the real-time image processing on the computer screen to view the meniscus, and the meniscus adjustment at the graduation line.

The performance of the automatic meniscus adjustment instrument can be examined by the actual volume determination of pipettes. The results obtained from using the developed device show the better measurement accuracy and precision when compared with the result obtained from using the conventional method. This tool also plays an important role in reducing the human error from meniscus setting at the graduation line.

คำสำคัญ: การปรับระดับเมนิสคัส ความแม่นยำการวัด ความเที่ยงการวัด

Keywords: Meniscus setting, Measurement accuracy, Measurement precision

¹กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author e-mail address: acharawan@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

การปฏิบัติงานด้านการวัดและการสอบเทียบนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงความถูกต้องแม่นยำเพื่อให้ได้ผลการวัดที่ยอมรับและน่าเชื่อถือ การสอบเทียบด้านปริมาตรเป็นหนึ่งในสาขาการสอบเทียบที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดเพื่อให้ได้ปริมาตรที่ถูกต้อง ซึ่งการตรวจวัดให้ได้ปริมาตรที่ถูกต้องนั้นนอกจากผู้ใช้งานต้องเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมแล้ว การตรวจให้ถูกวิธีตามหลักการหรือตามมาตรฐานก็เป็นสิ่งที่จะต้องกระทำด้วย การตรวจปริมาตรของเหลวหรือเตรียมสารละลายในงานวิเคราะห์ / ตรวจสอบ / ทดสอบภายในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบด้านต่าง ๆ เช่น เคมี ชีวภาพ สิ่งแวดล้อม อาหารและยา ถือเป็นขั้นตอนแรกสำหรับงานวิเคราะห์ทดสอบทางเคมี หากขั้นตอนการตรวจวัดปริมาตรซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญไม่ได้อัตราส่วนที่ถูกต้องตั้งแต่แรกแล้ว ผลการทดสอบก็ผิดพลาด และท้ายสุดก็ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้น เราควรให้ความสำคัญกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้วัด วิธีการวัด และผู้ปฏิบัติงาน การวัดปริมาตรให้ถูกต้องจึงจำเป็นต้องเลือกใช้เครื่องมือแก้ววัดปริมาตรให้เหมาะสมด้วยเช่นกัน ปิเปตต์เป็นหนึ่งในเครื่องมือแก้ววัดปริมาตรที่มีความถูกต้องสูงและใช้มากในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ โดยเฉพาะในส่วนของภาคอุตสาหกรรมนั้นที่อาจจะเกี่ยวข้องในเรื่องของการประกันคุณภาพ การควบคุมคุณภาพของสินค้าและผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นและความน่าเชื่อถือให้แก่ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้า ยกตัวอย่าง การใช้เครื่องมือแก้วปิเปตต์ในงานวิเคราะห์ทดสอบต่าง ๆ เช่น การตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะหนัก (สารหนู ตะกั่ว และแคดเมียม) ในยาสมุนไพร [1-3] การวิเคราะห์หาโปรตีนในผลิตภัณฑ์ปรุงรสอาหารในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร [4-5] และการวิเคราะห์หาสารเคมีอันตรายที่ปนเปื้อนมาจากภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก [6-9] หากเตรียมตัวอย่างผิดก็กระทบต่อผลการทดสอบ สินค้าที่ผลิตออกมานั้นก็จะไม่ได้คุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกลุ่มอุตสาหกรรมด้านยาที่ต้องควบคุม หากยาที่ผลิตนั้นไม่สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานการผลิตยาอันเนื่องมาจากการผสมยาในปริมาณที่ไม่ถูกต้อง เมื่อนำผลิตภัณฑ์ออกจำหน่ายสู่ท้องตลาด ก็จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพผู้บริโภคจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ เช่นเดียวกับกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร หากเราต้องส่งสินค้าและผลิตภัณฑ์ที่วิเคราะห์แล้วไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ออกสู่ตลาดต่างประเทศ อาจถูกประเทศคู่ค้าสั่งห้ามนำเข้าสินค้านั้น จนกว่าสินค้านั้นจะได้รับการผลิตและทดสอบว่าได้เป็นไปตามมาตรฐานสากลหรือตามกฎหมายที่ประเทศคู่ค้ากำหนดไว้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ถือเป็นการสร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจนับเป็นมูลค่ามหาศาล [10-11]

โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตสินค้าให้ได้ตามมาตรฐานนั้นจะมีห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบเพื่อดำเนินการทดสอบคุณภาพของสินค้า การวิเคราะห์จะทำโดยเจ้าหน้าที่ที่มีทักษะความรู้ความสามารถ มีความชำนาญในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ รวมถึงเครื่องมือแก้ววัดปริมาตร ต้องเลือกใช้เครื่องมือแก้วที่เหมาะสมและอ่านปริมาตรเครื่องมือแก้วอย่างถูกวิธี การอ่านหรือวัดปริมาตรของเหลวต้องมองในระดับสายตา แล้วปรับระดับให้ห้องน้ำหรือส่วนโค้งล่างสุดของเมนิสคัส (Meniscus) อยู่บนขีดบอกปริมาตรของปิเปตต์ [12-13] หากผู้ปฏิบัติงานปรับระดับเมนิสคัสอยู่ตำแหน่งบนหรือล่างของขีดบอกระดับ ก็จะทำให้ปริมาตรของของเหลวมากหรือน้อยกว่าที่ต้องการ และจากผลการทดสอบความชำนาญสาขาการสอบเทียบปิเปตต์ในปี พ.ศ. 2562 ที่จัดโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ มีห้องปฏิบัติการจำนวนมากจากหน่วยงานทั้งภาครัฐ (ร้อยละ 23) และเอกชน (ร้อยละ 77) ที่เข้าร่วมกิจกรรมครั้งนี้ ผลการประเมินทางสถิติพบว่า มีจำนวนห้องปฏิบัติการมากถึงร้อยละ 50 ที่รายงานผลการวัดค่าปริมาตรปิเปตต์แตกต่างจากค่าปริมาตรอ้างอิง ซึ่งหนึ่งในสาเหตุสำคัญของความผิดพลาดในการวัดก็มาจากผู้ปฏิบัติงานที่ขาดทักษะการใช้เครื่องมือแก้วและอ่านค่าปริมาตรไม่ถูกต้อง [14] และส่วนใหญ่ก็มาจากห้องปฏิบัติการของภาคเอกชนที่รวมถึงผู้ประกอบการ โรงงาน และภาคอุตสาหกรรม หากห้องปฏิบัติการทดสอบในภาคอุตสาหกรรมไม่สามารถวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำแล้ว สินค้าที่ผลิตออกมานั้นย่อมจะมีคุณภาพไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

ความต้องการที่จะลดความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดของผู้ปฏิบัติงาน ทำให้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบด้านปริมาตรของกรมวิทยาศาสตร์บริการ มีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ พร้อมทั้งพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ ระบบการควบคุมการดูดและปล่อยของเหลว รวมทั้งโปรแกรมสำหรับการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพแบบ Real time ด้วย Digital image processing ซึ่งจะมีกล้องสำหรับขยายและบันทึกภาพ Meniscus ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมองผ่านจอรับภาพที่ขยายภาพ Meniscus ให้เห็นชัดเจน ช่วยป้องกันมิให้ผู้ปฏิบัติงานมีปัญหาด้านสายตาที่เกิดจากการเพ่งมองเป็นระยะเวลานาน และผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับระดับได้ตรงตำแหน่งเดิมหรือใกล้เคียงกับตำแหน่งเดิม ทำให้ได้ผลการการวัดถูกต้องน่าเชื่อถือ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติสำหรับเครื่องมือแก้วชนิดปิเปตต์ เพื่อใช้ในงานวิเคราะห์ทดสอบและสอบเทียบที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำสูง

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

การพัฒนาเครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติจะดำเนินงานใน 2 ส่วน หลัก คือ

2.1 การสร้างชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ

2.1.1 การออกแบบโครงสร้างของชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ

2.1.2 การออกแบบและเขียนโปรแกรมควบคุมเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมระบบการจ่ายของเหลวในปิเปตต์และการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ

2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ

2.2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

2.2.1.1 เครื่องแก้วปริมาตรชนิดปิเปตต์แบบ Volumetric pipette ขนาดความจุ 1-100 มิลลิลิตร จำนวน 7 ตัวอย่าง และปิเปตต์แบบ Graduated pipette ขนาด 1 - 25 มิลลิลิตร จำนวน 5 ตัวอย่าง ที่ระดับชั้นความถูกต้อง Class AS ซึ่งถูกผลิตตามมาตรฐาน ISO 648 : 2008 [15] และ ISO 835 : 2007 [16] ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอ้างอิงมาตรฐานตามใบรับรองผลการสอบเทียบจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจากสถาบัน Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) จากประเทศสาธารณรัฐเยอรมนี

2.2.1.2 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ Sartorius

- Model : ME 215S, Readability : 0.00001 g, Capacity : 210 g

- Model : ME 414S, Readability : 0.0001 g, Capacity : 410 g

2.2.1.3 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

2.2.1.4 ขวดชั่งสาร

2.2.2 วิธีการสอบเทียบ

หลักการสอบเทียบปิเปตต์คือการชั่งน้ำหนักของน้ำที่ถูกปล่อยออกจากปิเปตต์ภายใต้สภาวะแรงเนื่องจากอัตราเร่งความโน้มถ่วงของโลก (Gravimetric force) แล้วนำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาปริมาตรที่ถูกต้อง ณ อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 องศาเซลเซียส (Volume at the reference temperature of 20°C) ตามมาตรฐาน BS EN ISO 4787:2011 [12] หรือ ASTM E 542-01 (Reapproved 2012) [13] ห้องปฏิบัติการได้ดำเนินการสอบเทียบปิเปตต์ขนาดต่าง ๆ ทั้งแบบวิธีปกติที่ไม่ใช้ชุดเครื่องมือ และใช้เครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติที่พัฒนานั้นมาสอบเทียบเครื่องแก้ว แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงของปิเปตต์ที่มีใบรับรองผลการสอบเทียบจาก DAkkS ซึ่งวิธีการสอบเทียบปกตินั้นจะดำเนินการโดยเริ่มจากดูน้ำเข้าไปในปิเปตต์จนระดับน้ำอยู่เหนือขีดปริมาตร จากนั้นปรับระดับ Meniscus ณ ขีดปริมาตรและปล่อยน้ำสู่ภาชนะรองรับแล้วนำไปชั่ง ส่วนการสอบเทียบโดยใช้เครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัตินั้น จะเป็นแบบอัตโนมัติตั้งแต่การเริ่มการควบคุมการดูน้ำเข้าปิเปตต์จนถึงขั้นตอนการปรับระดับ Meniscus ณ ขีดบอกริมาตร

2.2.3 การคำนวณค่าปริมาตรของปิเปตต์ ณ อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 องศาเซลเซียส จะคำนวณโดยใช้สมการที่ (1)

$$V_{20} = (I_L - I_E) \left[\frac{1}{(\rho_w - \rho_A)} \right] \left[1 - \frac{\rho_A}{\rho_B} \right] [1 - \alpha(t_w - 20)] \quad (1)$$

แทนค่า $m = I_L - I_E$ จะได้

$$V_{20} = m \left[\frac{1}{(\rho_w - \rho_A)} \right] \left[1 - \frac{\rho_A}{\rho_B} \right] [1 - \alpha(t_w - 20)] \quad (2)$$

เมื่อ V_{20} ปริมาตรของเครื่องแก้วที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 °C (cm³ หรือ ml)

I_L = น้ำหนักของภาชนะที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ (g)

I_E = น้ำหนักของภาชนะเปล่า (g)

P_W = ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm³)

P_A = ความหนาแน่นของอากาศขณะสอบเทียบ (g/cm³)

P_B = ความหนาแน่นของมวลมาตรฐานในเครื่องชั่ง (กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 8.0 g/cm³)

α = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรเนื่องจากความร้อนสำหรับวัสดุที่ใช้ทำเครื่องแก้ว ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

t_w = อุณหภูมิของน้ำขณะสอบเทียบ ($^{\circ}\text{C}$)

2.2.4 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดปริมาตรเป็นค่าความไม่แน่นอนขยาย [17-18] ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (3)

$$U = k \times u_c \quad (3)$$

เมื่อ k = Coverage factor ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

u_c = ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

และ

$$u_c(V_{20}) = \sqrt{c_A^2 u_A^2 + c_m^2 u_{B1}^2 + c_m^2 u_{B2}^2 + c_m^2 u_{L1}^2 + c_m^2 u_{L2}^2 + c_m^2 u_{Rep1}^2 + c_m^2 u_{Rep2}^2 + c_m^2 u_{R1}^2 + c_m^2 u_{R2}^2 + c_m^2 u_{tw}^2 + c_m^2 u_{ta}^2 + c_p^2 u_p^2 + c_h^2 u_h^2 + c_\alpha^2 u_\alpha^2 + c_{mc}^2 u_{mc}^2}$$

เมื่อ U_A = ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากการวัดซ้ำ

U_{B1} = ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง (ภาชนะเปล่า)

U_{B2} = ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง (ภาชนะที่บรรจุน้ำ)

U_{L1} = ค่าความไม่แน่นอนจาก linearity ของเครื่องชั่ง (ภาชนะเปล่า)

U_{L2} = ค่าความไม่แน่นอนจาก linearity ของเครื่องชั่ง (ภาชนะที่บรรจุน้ำ)

U_{Rep1} = ค่าความไม่แน่นอนจาก reproducibility ของเครื่องชั่ง (ภาชนะเปล่า)

U_{Rep2} = ค่าความไม่แน่นอนจาก reproducibility ของเครื่องชั่ง (ภาชนะที่บรรจุน้ำ)

U_{R1} = ค่าความไม่แน่นอนจาก readability ของเครื่องชั่ง (ภาชนะเปล่า)

U_{R2} = ค่าความไม่แน่นอนจาก readability ของเครื่องชั่ง (ภาชนะที่บรรจุน้ำ)

U_{tw} = ค่าความไม่แน่นอนจากอุณหภูมิของน้ำ

U_{ta} = ค่าความไม่แน่นอนจากอุณหภูมิของห้อง

U_p = ค่าความไม่แน่นอนจากความดันบรรยากาศ

U_h = ค่าความไม่แน่นอนจากความชื้นสัมพัทธ์

U_α = ค่าความไม่แน่นอนจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเครื่องแก้ว

U_{mc} = ค่าความไม่แน่นอนจากการปรับปริมาตรหรือปรับระดับ Meniscus ณ ขีดบอกปริมาตร

และค่า c เป็น Sensitivity coefficient ซึ่งคำนวณโดยใช้ Partial derivatives ของสมการ (2) จะได้

$$c_m = \frac{\partial V_{20}}{\partial m}, c_{t_w} = \frac{\partial V_{20}}{\partial t_w}, c_{t_a} = \frac{\partial V_{20}}{\partial t_a}, c_p = \frac{\partial V_{20}}{\partial P}, c_h = \frac{\partial V_{20}}{\partial h}, c_\alpha = \frac{\partial V_{20}}{\partial \alpha}, c_A = 1 \text{ และ } c_{mc} = 1$$

3 ผลและวิจารณ์ (Result and discussion)

3.1 ผลการออกแบบโครงสร้างของชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ

ส่วนประกอบของชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสนั้นประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

3.1.1 ส่วนอุปกรณ์สำหรับจับปีเปตต์ที่สามารถควบคุมการปรับระดับขึ้น-ลงได้ด้วยระบบไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วได้ตามต้องการ อีกทั้งยังสามารถควบคุมได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือจากแผงควบคุมหน้าเครื่องปรับระดับ ประกอบด้วยอุปกรณ์ย่อย ดังนี้

3.1.1.1 รางเคลื่อนที่ (Linear guide) สำหรับเลื่อนปีเปตต์ขึ้น-ลง ซึ่งด้านบนของรางนั้นมีท่อนแลสสำหรับใส่ท่อหยดเพื่อต่อเข้ากับปลายด้านบนของปีเปตต์

3.1.1.2 ตัวจับปิเปตต์ (Pipette holder) เพื่อจับยึดปิเปตต์ที่มีความจุตั้งแต่ 1-100 มิลลิลิตร

3.1.1.3 แท่นวางเครื่องปรับระดับเมนิสคัสที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียมสีดำ ขนาดประมาณ 550 x 500 x 20 มิลลิเมตร พร้อมขาปรับระดับ แท่นวางนี้ใช้สำหรับยึดอุปกรณ์ ข้อ 1.1 และ 1.2 ให้ตั้งอยู่ในแนวฉาก

3.1.1.4 Pipette Adapter ด้านหนึ่งต่อกับท่อสำหรับระบบดูดและปล่อยของเหลว ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อกับปลายบนของปิเปตต์ ซึ่งใช้กับปิเปตต์ที่มีความจุตั้งแต่ 1-100 มิลลิลิตร

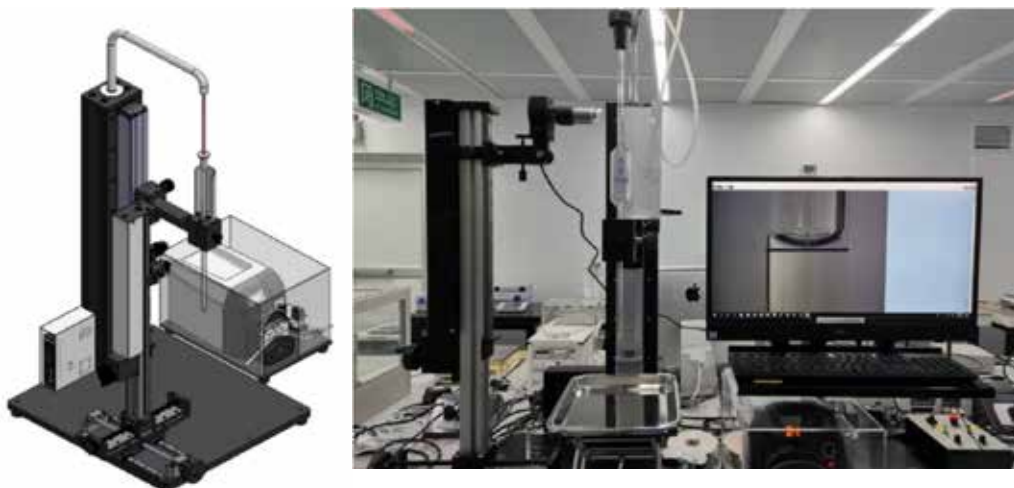
3.1.2 ส่วนอุปกรณ์สำหรับการดูดและปล่อยของเหลวให้เข้าออกปิเปตต์ด้วยมอเตอร์ (Water pump) ที่จะเชื่อมต่อกับโปรแกรมการประมวลผลภาพแบบ Real time ด้วย Digital image processing เพื่อให้การทำงานของชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสเป็นแบบอัตโนมัติ อีกทั้งยังควบคุมการทำงานระบบวาล์ว เพื่อปล่อยน้ำจากปิเปตต์ลงในภาชนะรองรับที่เตรียมไว้

3.1.3 ส่วนอุปกรณ์สำหรับจับกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่สามารถปรับเลื่อนด้วยมือเพื่อให้เคลื่อนที่ได้ทั้งแนวแกน x, y และ z ซึ่งในส่วนนี้นักวิจัยได้ทำการปรับแผนและออกแบบให้อุปกรณ์ส่วนนี้ถูกขับเคลื่อนด้วยมือแทนการขับเคลื่อนแบบอัตโนมัติเนื่องจากงบประมาณที่มีจำกัด อุปกรณ์ย่อยของส่วนนี้มี ดังนี้

- ตัวจับกล้องดิจิทัลไมโครสโคป (Digital microscope holder) และกล้องขยายที่ใช้เพื่อรับและบันทึกภาพขณะปรับระดับ Meniscus และขยายภาพ Meniscus ให้เห็นชัดโดยผ่านจอรับภาพ มีกำลังขยายจากตัวเลนส์ปรับได้ตั้งแต่ 10-200 เท่า มีเลนส์ตัดแสงสะท้อน Polarizer เพื่อใช้ลดแสงสะท้อนจากผิวแก้วของปิเปตต์ และสามารถเชื่อมต่อผ่านช่อง USB ของคอมพิวเตอร์ และมีโปรแกรมสำหรับบันทึกภาพ

- รางเคลื่อนที่ (Linear guide) สำหรับเลื่อนกล้องขึ้น-ลง (แกน z) ด้วยการใช้มือหมุนจากแกนราง
- รางเคลื่อนที่ (Linear guide) สำหรับเลื่อนกล้องในแนวซ้าย-ขวา หน้า-หลัง (แกน x, y) ด้วยการใช้มือหมุนจากแกนราง

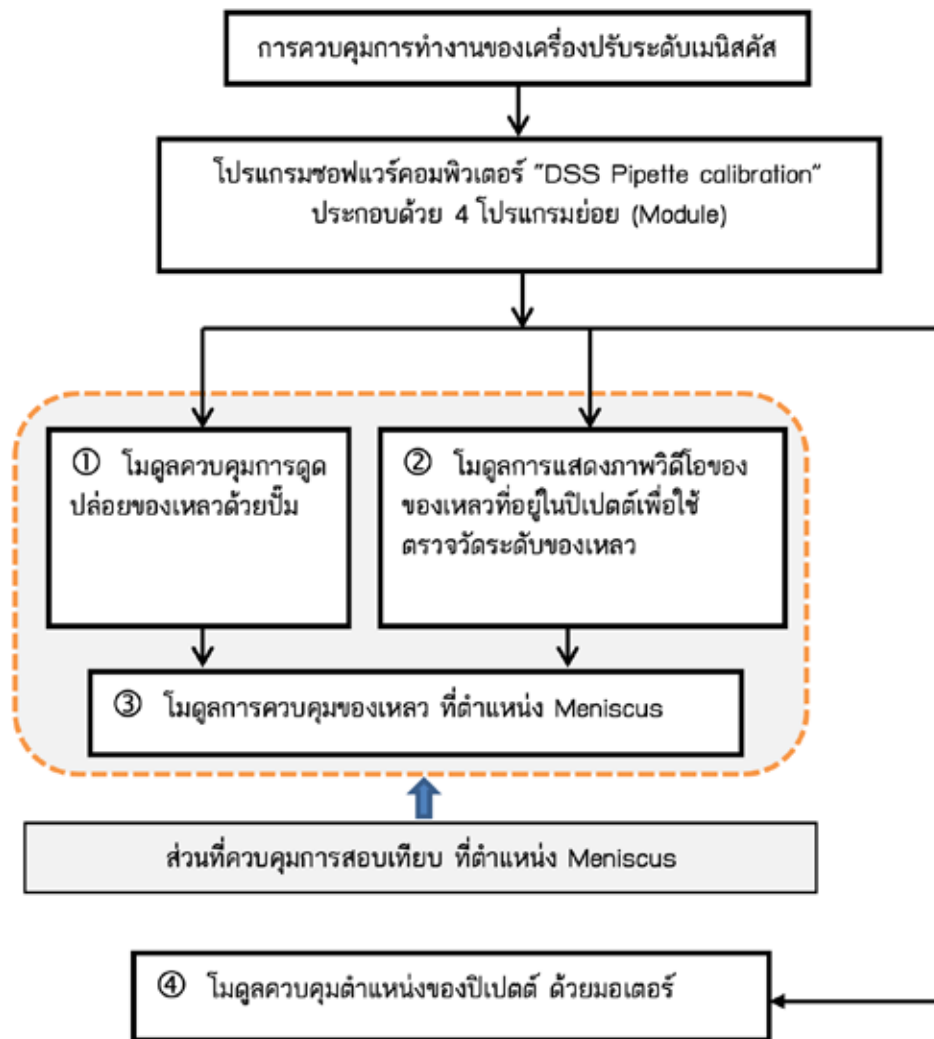
ภาพการออกแบบและตัวเครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติที่ได้รับการประกอบแล้วเสร็จนั้นเป็นไปตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างที่ได้ออกแบบ (ซ้าย) เครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติที่ประกอบและติดตั้ง (ขวา)

3.2 การออกแบบและเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของชุดปรับระดับเมนิสคัสด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

นักวิจัยได้พัฒนาและออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย Visual basic version 2005 เพื่อควบคุมการทำงานของชุดปรับระดับเมนิสคัส ตั้งชื่อว่า “DSS Pipette calibration” ประกอบด้วยโปรแกรมน้อยหรือที่เรียกว่าโมดูล (Module) ทั้งหมด 4 โมดูล ตามผังที่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังโปรแกรมการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับระดับเมนิสคัส

รายละเอียดแต่ละโมดูลเป็น ดังนี้

3.2.1 โมดูลการควบคุมการดูดปล่อยของเหลวด้วยปั๊ม

การใช้ชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสที่เป็นอัตโนมัตินั้น จะต้องดำเนินการออกแบบวงจรและเขียนโปรแกรมควบคุมการเชื่อมต่อกับส่วนฮาร์ดแวร์ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมระบบการดูดจ่ายของเหลวในปิเปตต์ ประกอบด้วย 3 โปรแกรมย่อย ดังนี้

3.2.1.1 วงจรที่ทำงานร่วมกับส่วน Servo motor สำหรับสั่งการมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ของรางเคลื่อนที่ (Linear guide) ที่ติดอยู่กับตัวจับปิเปตต์ (Pipette holder) ให้เลื่อนปิเปตต์ขึ้น-ลง ในแนวแกน z ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถบังคับการเคลื่อนที่ของรางได้จากปุ่มควบคุมที่อยู่ติดกับแท่นวางเครื่อง

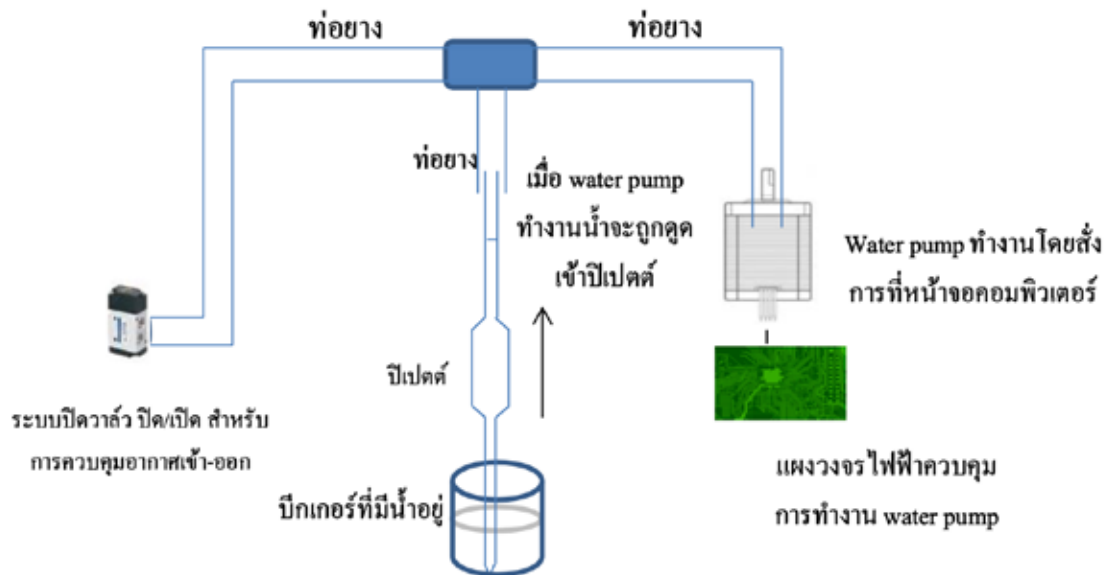
3.2.1.2 โปรแกรมสำหรับทำงานร่วมกับชุดควบคุมการทำงานของ Servo motor (Servo motor controller) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรางเคลื่อนที่ (Linear guide) ที่ติดอยู่กับตัวจับปิเปตต์ (Pipette holder) ให้เลื่อนปิเปตต์ขึ้น-ลงในแนวแกน z โดยผู้ปฏิบัติงานสั่งการผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งโปรแกรมนี้นักวิจัยได้พัฒนาและออกแบบโปรแกรมเอง

3.2.1.3 โปรแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับการดูด-ปล่อยของเหลวเข้าสู่ปิเปตต์ด้วยมอเตอร์ (Water pump) สามารถควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์โดยสั่งให้มอเตอร์หมุนในทิศทางที่ดูดของเหลวเข้า และหมุนในทิศทางตรงข้ามเพื่อปล่อยของเหลวออก

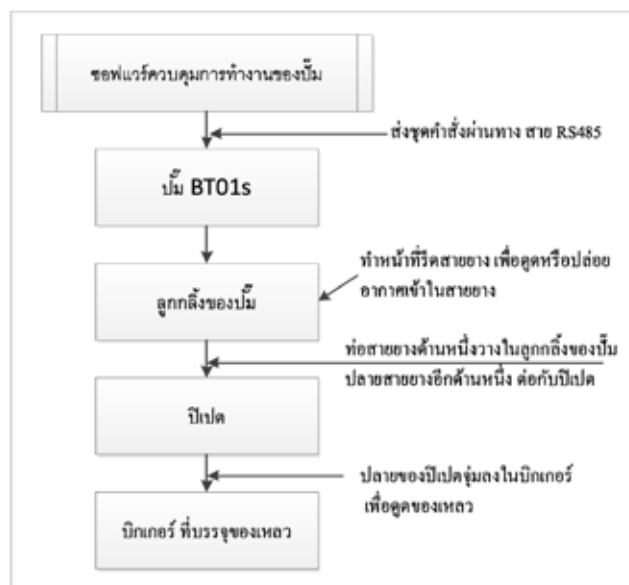
โปรแกรมดังกล่าวยังสามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมการประมวลผลภาพแบบ Real time ด้วย Digital image processing เพื่อให้การทำงานของชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสเป็นแบบอัตโนมัติ อีกทั้งยังควบคุมการทำงานของระบบวาล์วให้เปิดหรือปิดโดยหากเปิดวาล์วก็เพื่อปล่อยน้ำจากปีเปตต์ลงในภาชนะรองรับที่เตรียมไว้ หากปิดวาล์วก็จะใช้เมื่อต้องการดูดน้ำเข้าปีเปตต์

นอกจากนี้ ยังควบคุมการทำงานของปั๊ม BT101S ผ่านทางการเชื่อมต่อด้วย RS485 ด้วยรูปแบบการสื่อสารชนิด Modbus สามารถควบคุมความเร็วและทิศทางการดูดหรือปล่อยของเหลวของปีเปตต์ได้

ระบบการดูดปล่อยของเหลวในรูปที่ 3 โดยปลายของสายยางด้านหนึ่งอยู่ในปั๊ม ขณะที่อีกปลายหนึ่งของท่อสายยางต่อกับปีเปตต์ เมื่อปั๊มหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ลูกกลิ้งของปั๊มจะรีดอากาศออกจากสายยาง ซึ่งเป็นการดูดอากาศออกทำให้ของเหลวถูกดูดเข้าไปปีเปตต์ และเมื่อปั๊มหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จะทำงานตรงกันข้าม ทำให้ของเหลวถูกปล่อยออกจากปีเปตต์ ทิศทางและความเร็วการหมุนของปั๊มจะถูกสั่งผ่านทางโปรแกรมน้อยตามรูปที่ 4 (รูปโปรแกรมเฉพาะส่วนการควบคุมการทำงานของปั๊ม)



รูปที่ 3 ระบบการดูดปล่อยของเหลวเข้าสู่ปีเปตต์ด้วยระบบควบคุมการทำงานของปั๊ม



รูปที่ 4 ผังสรุปโมดูลสำหรับการควบคุมการดูดปล่อยของเหลวด้วยปั๊ม

3.2.2 โมดูลการแสดงผลภาพวิดีโอของของเหลวที่อยู่ในปิเปตต์เพื่อใช้ตรวจวัดระดับของเหลว

ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่แสดงผลภาพแบบ Real-time ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญในงานวิจัยนี้ เพื่อให้ขยายภาพขีดบอกปริมาตรของปิเปตต์ และคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ

- มีอัตราการขยายภาพสูงถึง 200 เท่า บางรุ่นสามารถขยายได้ถึง 1,000 เท่า อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยนี้ใช้ประมาณ 20 เท่า ซึ่งเพียงพอกับความต้องการ

- เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ง่าย ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมรองรับ และแสดงผลภาพแบบ Real-time

ถึงแม้ว่ากล้องนี้จะมีโปรแกรมสำหรับการแสดงผลภาพแบบสำเร็จรูป แต่นักวิจัยได้พัฒนาโปรแกรมน้อยขึ้นมาเพื่อใช้แสดงผลภาพแบบ Real-time ที่ทำงานเช่นเดียวกับโปรแกรมสำเร็จรูปของบริษัท โปรแกรมย่อยนี้รวมอยู่ในชุดคำสั่งในโปรแกรม DSS Pipette calibration เพื่อควบคุมการทำงานของชุดเครื่องมือที่นักวิจัยได้ออกแบบไว้ให้สามารถปรับระดับให้เป็นแบบอัตโนมัติ (Fully automatic system) โดยใช้เทคนิค Image processing จากภาพที่เป็นแบบ Real-time

3.2.3 โมดูลควบคุมของเหลว ที่ตำแหน่ง Meniscus

เป็นโปรแกรมที่นำโมดูลการควบคุมการดูดปล่อยของเหลวด้วยปั๊ม และโมดูลการแสดงผลภาพวิดีโอของของเหลวที่อยู่ในปิเปตต์เพื่อใช้ตรวจวัดระดับของเหลวมารวมในการทำงาน ก่อนใช้โปรแกรมย่อยนี้ ต้องเริ่มจากสั่งให้ปั๊มดูดของเหลวจนอยู่เหนือเส้นขีดบอกปริมาตรที่ต้องการสอบเทียบ แล้วให้โปรแกรมย่อยเริ่มทำงาน มีขั้นตอนของการทำงาน ตามแผนภาพในรูปที่ 5 ดังนี้

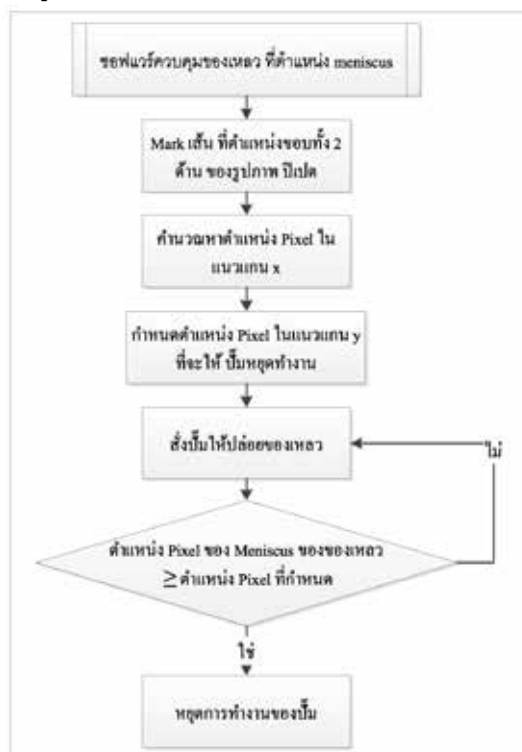
1. ตรวจสอบรูปภาพที่กล้องวิดีโอจับภาพได้ ให้วางเส้นตรงในแนวนอง ที่ขอบทั้ง 2 ด้านของปิเปตต์

2. คำนวณหาตำแหน่ง Pixel ในแนวนอน x โดยเฉลี่ยจาก Pixel ของเส้นตรงที่ขอบทั้ง 2 ด้านของปิเปตต์ ที่ได้ทำเครื่องหมายไว้

3. กำหนดตำแหน่ง Pixel ในแนวนอน y ซึ่งเป็นตำแหน่งของระดับปริมาตรที่ต้องการสอบเทียบ โดยวางเส้นตรงในแนวระนาบที่รูปภาพปิเปตต์

4. เมื่อกดปุ่มให้เริ่มทำงาน จะส่งคำสั่งให้ปั๊มปล่อยของเหลวออกจากปิเปตต์

5. ตรวจสอบรูปภาพจากกล้องวิดีโอ โดยวิเคราะห์ตำแหน่ง Pixel ของ Meniscus ทั้งในแนวนอน x และ y โดย Pixel ในแนวนอน x จะยึดถือค่าเดียวกับที่ได้คำนวณในข้อ 2 ส่วนค่า Pixel ในแนวนอน y จะนำมาเปรียบเทียบกับ ค่า Pixel ที่ได้กำหนดไว้ในข้อ 3 เมื่อมีค่าน้อยกว่า ปั๊มจะยังคงทำงานเพื่อปล่อยของเหลวต่อไป แต่เมื่อมีค่าเท่ากันหรือมากกว่า โปรแกรมจะสั่งให้ปั๊มหยุดทำงาน พร้อมกับบันทึกรูปภาพของปิเปตต์ที่ตำแหน่งนี้



รูปที่ 5 ผังแสดงการควบคุมของเหลวที่ตำแหน่ง Meniscus

3.2.4 โมดูลการควบคุมตำแหน่งของปิเปตต์ด้วยมอเตอร์

ทำหน้าที่ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ขนาด 100 องศา ที่ติดตั้งมาพร้อมกับแกนกล เมื่อมอเตอร์หมุนจะควบคุมให้แกนกลเลื่อนขึ้นหรือลงได้ การทำงานของโปรแกรมย่อยนี้เป็นไปตามรูปที่ 6 โดยโปรแกรมจะส่งคำสั่งการควบคุมมอเตอร์ผ่านทางสาย RS232 โดยส่งไปที่การ์ด Arduino Uno ซึ่งจะแปลงคำสั่งส่งต่อไปที่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ โดยใช้สัญญาณพัลส์ขับมอเตอร์ และส่งต่อไปให้กับเซอร์โวมอเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขับมอเตอร์โดยตรง



รูปที่ 6 แสดงการควบคุมตำแหน่งของปิเปตต์ด้วยมอเตอร์

3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ ทำโดยการนำเครื่องมือดังกล่าวมาใช้ในกระบวนการสอบเทียบเครื่องแก้ว เพื่อหาค่าปริมาตรที่คำนวณหาค่าปริมาตรที่ถูกต้อง ณ อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 องศาเซลเซียส (Volume at the reference temperature of 20°C) ตามวิธีมาตรฐาน

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงค่าผลการวัดปริมาตร (จากการวัดซ้ำ 5 ครั้ง) และค่าความไม่แน่นอนของการวัดจากการสอบเทียบของเครื่องแก้วปิเปตต์แบบ Volumetric pipette และ Graduated pipette โดยใช้วิธีการสอบเทียบแบบปกติและการใช้เครื่องปรับระดับเมนิสคัส ซึ่งตารางที่ 1 และ 2 นั้นจะเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DAkkS

ตารางที่ 1 ผลการวัด volumetric pipette โดยใช้วิธีแบบปกติและการใช้เครื่องปรับระดับเมนิสคัส เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DAkkS

ขนาดความจุ (มิลลิลิตร)	ค่าจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรอง จาก DAkkS		ผลการสอบเทียบโดยวิธีปกติ		ผลการสอบเทียบโดยโดยใช้เครื่อง ปรับระดับ	
	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	±ค่าความไม่ แน่นอน (มิลลิลิตร)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	±ค่าความไม่ แน่นอน (มิลลิลิตร)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	±ค่าความไม่ แน่นอน (มิลลิลิตร)
1	0.9975	0.0015	0.9991	0.0020	0.9963	0.0020
2	2.0025	0.0025	2.0031	0.0020	2.0021	0.0020
5	4.9980	0.0021	4.9989	0.0024	5.0000	0.0024
10	9.9992	0.0031	9.9969	0.0030	10.0029	0.0030
25	25.005	0.009	24.9968	0.0050	25.0127	0.0050

ขนาดความจุ (มิลลิลิตร)	ค่าจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรอง จาก DAkKS		ผลการสอบเทียบโดยวิธีปกติ		ผลการสอบเทียบโดยโดยใช้เครื่อง ปรับระดับ	
	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	±ค่าความไม่ แน่นอน (มิลลิลิตร)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	±ค่าความไม่ แน่นอน (มิลลิลิตร)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	±ค่าความไม่ แน่นอน (มิลลิลิตร)
50	49.999	0.010	50.0204	0.010	49.9872	0.010
100	100.014	0.014	100.0501	0.015	99.9948	0.015

ตารางที่ 2 ผลการวัด Graduated pipette โดยใช้วิธีแบบปกติและการใช้เครื่องปรับระดับเมนิสคัส เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DAkKS

ขนาดความจุ (มิลลิลิตร)	ค่าจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรอง จาก DAkKS		ผลการสอบเทียบโดยวิธีปกติ		ผลการสอบเทียบโดยโดยใช้เครื่อง ปรับระดับ	
	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	±ค่าความไม่ แน่นอน (มิลลิลิตร)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	±ค่าความไม่ แน่นอน (มิลลิลิตร)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	±ค่าความไม่ แน่นอน (มิลลิลิตร)
1	1.0003	0.0012	1.002	0.0040	1.00025	0.0040
2	1.9999	0.0017	2.0023	0.0040	2.0021	0.0040
5	4.994	0.005	5.0028	0.0060	5.0010	0.0060
10	10.021	0.009	10.0331	0.0060	10.0282	0.0060
25	25.012	0.016	25.0373	0.012	25.0316	0.012

3.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

การประเมินผลการสอบเทียบปิเปตต์ระหว่างการใช่วิธีแบบปกติและวิธีการใช้เครื่องปรับระดับเมนิสคัสอัตโนมัติ เปรียบเทียบผลการวัดกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DAkKS (ตารางที่ 1 และ 2) ห้องปฏิบัติการใช้วิธีการประเมินผลโดยเลือกใช้ E_n number [19] ที่คำนวณจากผลต่างระหว่างผลการวัดของห้องปฏิบัติการกับค่าอ้างอิง หารด้วยรากที่สองของผลรวมกำลังสองของค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของห้องปฏิบัติการและค่าอ้างอิง ดังแสดงในสมการด้านล่างนี้

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

เมื่อ x คือ ผลการวัดของห้องปฏิบัติการ

X คือ ค่าอ้างอิง (Assigned value) จากห้องปฏิบัติการอ้างอิง

U_{lab} คือ ค่าความไม่แน่นอนของห้องปฏิบัติการที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

U_{ref} คือ ค่าความไม่แน่นอนของค่าอ้างอิงที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สำหรับเกณฑ์การประเมิน E_n number เป็นดังนี้

ถ้า $|E_n| \leq 1$ แสดงว่าผลการสอบเทียบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Satisfactory)

ถ้า $|E_n| > 1$ แสดงว่าผลการสอบเทียบไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Unsatisfactory)

ผลการประเมิน E_n number จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 พบว่า ผลการวัดปิเปตต์ บางตัวอย่างได้ค่า $|E_n| > 1$ เมื่อใช้วิธีปกติสอบเทียบ ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่เมื่อทำการสอบเทียบตัวอย่างเดียวกันโดยใช้เครื่องปรับระดับอัตโนมัติ พบว่าค่า $|E_n| \leq 1$ แสดงว่าผลการสอบเทียบเป็นที่น่าพอใจอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 3 ค่า E_n number ของตัวอย่าง Volumetric pipette จากตารางที่ 1 จากการสอบเทียบโดยใช้วิธีแบบปกติและใช้เครื่องปรับระดับอัตโนมัติ เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DAkkS

ขนาดความจุ (มิลลิลิตร)	E_n number ($ E_n $)	
	โดยวิธีปกติ	โดยใช้เครื่องปรับระดับ
1	0.64	0.48
2	0.19	0.12
5	0.28	0.63
10	0.53	0.86
25	0.8	0.75
50	1.51*	0.83
100	1.76*	0.94
หมายเหตุ * หมายถึง ค่า $ E_n > 1$		

ตารางที่ 4 ค่า E_n number ของตัวอย่าง Graduated pipette จากตารางที่ 2 จากการสอบเทียบโดยใช้วิธีแบบปกติและใช้เครื่องปรับระดับอัตโนมัติ เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากหน่วยงานที่ได้รับการรับรองจาก DAkkS

ขนาดความจุ (มิลลิลิตร)	E_n number ($ E_n $)	
	โดยวิธีปกติ	โดยใช้เครื่องปรับระดับ
1	0.41	0.01
2	0.55	0.51
5	1.13*	0.90
10	1.12*	0.67
25	1.26*	0.98
หมายเหตุ * หมายถึง ค่า $ E_n > 1$		

สาเหตุที่ทำให้ได้ค่า E_n number อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ยอมรับนั้นอาจเกิดจากความผิดพลาดจากการปรับระดับตำแหน่ง Meniscus ณ ขีดบอกปริมาตร การสอบเทียบแบบเดิมนั้นอาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานปรับระดับท้องน้ำสูงหรือต่ำกว่าขีดบอกปริมาตร มีผลทำให้การวัดปริมาตรของปิเปตต์ผิดพลาด แต่การใช้ชุดปรับระดับอัตโนมัติจะมีกล้องขยายช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานเห็นภาพท้องน้ำชัดเจนยิ่งขึ้น อ่านขีดปริมาตรได้ง่าย ลดความคลาดเคลื่อนจากการวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ทำให้เกิดความเที่ยงในการวัดมากยิ่งขึ้น ซึ่งยืนยันได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) ของผลการวัดในตารางที่ 5 และ 6 ที่แสดงให้เห็นว่า ผลการใช้ชุดปรับระดับอัตโนมัติให้ค่าการวัดซ้ำที่ดีกว่าการสอบเทียบโดยวิธีปกติ จากตารางดังกล่าวพบว่า ค่า SD ที่ใช้ชุดเครื่อง

ปรับระดับเพียง 1 ค่าเท่านั้นที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับการใช้วิธีสอบเทียบปกติ คือตัวอย่างปิเปตต์ที่มีความจุ 2 มิลลิลิตร แต่มีค่าสูงกว่าเพียงเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างปิเปตต์อื่น ๆ ที่มีขนาดความจุน้อยกว่า 10 มิลลิลิตร ล้วนมีค่า SD ที่ต่ำกว่าเมื่อใช้วิธีการสอบเทียบปกติ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการควบคุมการปรับระดับ ณ ตำแหน่งเมนิสคัสสำหรับปิเปตต์ที่มีปริมาตรน้อย ๆ ที่ระบบ Hardware บางตัวอาจยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอในการควบคุมการปล่อยของเหลวซึ่งจะต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์บางตัวเพื่อความเหมาะสม

ตารางที่ 5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัดของตัวอย่าง Volumetric pipette จากตารางที่ 1 จากการสอบเทียบโดยใช้วิธีแบบปกติและใช้เครื่องปรับระดับอัตโนมัติ

ขนาดความจุ (มิลลิลิตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	โดยวิธีปกติ	โดยใช้เครื่องปรับระดับ
1	0.0005	0.0001
2	0.0006	0.0008
5	0.0006	0.0005
10	0.0007	0.0006
25	0.003	0.001
50	0.001	0.001
100	0.001	0.001

ตารางที่ 6 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัดของตัวอย่าง Graduated pipette จากตารางที่ 2 จากการสอบเทียบโดยใช้วิธีแบบปกติและใช้เครื่องปรับระดับอัตโนมัติ

ขนาดความจุ (มิลลิลิตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	
	โดยวิธีปกติ	โดยใช้เครื่องปรับระดับ
1	0.0007	0.0005
2	0.001	0.0005
5	0.001	0.001
10	0.001	0.0005
25	0.006	0.001

4. สรุป (Conclusion)

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากแนวคิดที่จะพัฒนาเทคโนโลยีนวัตกรรมและซอฟต์แวร์เพื่อใช้สำหรับปรับระดับเมนิสคัสให้เป็นแบบอัตโนมัติ โดยการพัฒนาเครื่องปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติดำเนินงานใน 2 ส่วน คือ การสร้างชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ และการทดสอบประสิทธิภาพของชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติ

ชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัตินั้น ประกอบด้วยเครื่องปรับระดับเมนิสคัสและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน โครงสร้างของชุดควบคุมที่เป็น Hardware ประกอบด้วย

- ส่วนอุปกรณ์จับปิเปตต์ที่ควบคุมการปรับระดับขึ้น-ลงด้วยระบบไฟฟ้าสามารถปรับความเร็วได้ตามต้องการ
- ส่วนอุปกรณ์การดูดจ่ายน้ำเข้าสู่ปิเปตต์ด้วยมอเตอร์ ที่เชื่อมต่อกับโปรแกรมการประมวลผลภาพแบบ Real time
- ส่วนอุปกรณ์จับกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่ปรับเลื่อนได้ด้วยมือเพื่อให้เคลื่อนที่ได้ทั้งแนวแกน x, y และ z

โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องปรับระดับเมนิสคัสชื่อว่า DSS Pipette calibration สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในส่วนของการควบคุมตำแหน่งของปิเปตต์ด้วยมอเตอร์ การควบคุมการดูดปล่อยของเหลวด้วยปั๊ม การแสดงภาพบนจอคอมพิวเตอร์แบบ Real time เพื่อใช้ตรวจสอบระดับของของเหลวและการควบคุมของเหลวที่ตำแหน่ง Meniscus ให้เป็นแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับระดับ Meniscus ให้อยู่ตำแหน่งที่ถูกต้อง

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดควบคุมการปรับระดับเมนิสคัสแบบอัตโนมัติเพื่อใช้สอบเทียบเครื่องแก้วประเภทปิเปตต์ทั้งแบบ Volumetric pipette และแบบ Graduated pipette นั้นได้ผล ดังนี้

- ผลการวัดมีความถูกต้องแม่นยำสูง (High accuracy and precision) ลดความผิดพลาดที่เกิดจากทักษะความเชี่ยวชาญของผู้ปฏิบัติงาน (Human error) ทำให้ลดความคลาดเคลื่อนจากการวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง
- ผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับระดับ Meniscus ได้ตรงตำแหน่งขีดบอกปริมาตรโดยการมองผ่านจอร์ับภาพที่ขยายภาพให้เห็นชัดเจน ช่วยป้องกันมิให้ผู้ปฏิบัติงานมีปัญหาด้านสายตาที่เกิดจากการเพ่งมองเป็นระยะเวลานาน

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารของกรมวิทยาศาสตร์บริการทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยนี้ และช่วยผลักดันให้โครงการสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ ยังให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมถึงข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและพัฒนางานด้านการวัดและการสอบเทียบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์การพิจารณาขึ้นทะเบียนตำรับยาแผนโบราณเกี่ยวกับมาตรฐานการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ และโลหะหนัก. *ราชกิจจานุเบกษา*. 21 เมษายน 2547, เล่มที่ 121 ตอนพิเศษที่ 43ง, 40-42.
- [2] สุภาณี ดวงธีรปรีชา จิราบุษ แจ่มทวีกุล ประภาพรรณ สุขพรรณ และปรัชญาพร อินทองแก้ว. การพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมในยาสมุนไพร. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*. 2558, ฉบับพิเศษ, 1 กรกฎาคม-กันยายน, 20-33.
- [3] จิตรา ชัยวัฒน์ จิราบุษ แจ่มทวีกุล สันติพงศ์ วงศ์เพ็ญทักษ์ และปรัชญาพร อินทองแก้ว. ความปลอดภัยของยาจากสมุนไพรในบัญชียาหลักแห่งชาติ. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*. 2557, กรกฎาคม-กันยายน, 56(3), 123-124.
- [4] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องผลิตภัณฑ์ปรุงรสที่ได้จากการย่อยโปรตีน ของถั่วเหลือง. *ราชกิจจานุเบกษา*. 14 มิถุนายน 2553, เล่มที่ 127 ตอนพิเศษที่ 74 ง, 46-48.
- [5] นิภาภรณ์ ลักษณะสมยา และจินตนา กิจเจริญวงศ์. การประเมินความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์โปรตีนในผลิตภัณฑ์ปรุงรสที่ได้จากการย่อยโปรตีนของถั่วเหลืองโดยการเปรียบเทียบกับผลระหว่างห้องปฏิบัติการที่มีความเชี่ยวชาญ. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*. 2558, ฉบับพิเศษ 1 กรกฎาคม-กันยายน, 54-71.
- [6] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) เรื่อง กำหนดคุณภาพ หรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุจากพลาสติก. *ราชกิจจานุเบกษา*. 6 มกราคม 2549, เล่มที่ 123 ตอนพิเศษ 1 ง, 10-11, เอกสารแนบท้าย 1-3.
- [7] GOETZ, GRETCHEN. *BPA Banned from Baby Bottles, Sippy Cups* [online]. Food Safety News, 18 July 2012. [viewed 11 June 2016]. Available from: <http://www.foodsafetynews.com/2012/07/bpa-banned-from-baby-bottles-sippy-cups/#.V2DPctJ97cs>.

- [8] อูมา บริบูรณ์, ศศิธร หอมดำรงวงศ์ และภัสสะริน สายสุวรรณ. การศึกษาปริมาณ บิสฟีนอล เอ ฟีนอล และ พี-ที-บิวทิลฟีนอล ที่แพร่อกจากขวดนมและภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กชนิดพอลิคาร์บอเนตที่สภาวะต่างๆ. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*. 2558, กรกฎาคม-กันยายน, 57(3), 205-218.
- [9] บริษัทตรวจสอบมาตรฐานและความปลอดภัยของสินค้าและบริการ. *วารสารข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากบริษัทเชลล์ [ออนไลน์]*. ๕.5, พฤษภาคม 2557. [อ้างถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2559]. เข้าถึงจาก : http://ostc.thaiembdc.org/13th/wp-content/uploads/2014/06/05-May-2014-newsletter_final.pdf
- [10] กองพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช กรมวิชาการเกษตร. *สิงคโปร์แจ้งเตือนปัญหาสารตกค้างในพืชผักส่งออกจากไทย [ออนไลน์]*. 5 กุมภาพันธ์ 2558. [อ้างถึงวันที่ 13 มิถุนายน 2559]. เข้าถึงจาก : <http://www.doa.go.th/psco/index.php?option=comcontent&view=article&id=234:2015-02-05-13-31-43&catid=42:2010-08-06-04-08-08&Itemid=71>.
- [11] ผู้จัดการออนไลน์. พบยาฆ่าแมลง-สารเคมีปนเปื้อนสินค้ากว่า 200 รายการ มะกัน-อียูตีกลับ. ผู้จัดการ 360° รายสัปดาห์ [ออนไลน์]. 5 ตุลาคม 2549. [อ้างถึงวันที่ 13 มิถุนายน 2559]. เข้าถึงจาก: <http://www2.manager.co.th/iBizChannel/ViewNews.aspx?NewsID=9490000124378>
- [12] BRITISH STANDARD INSTITUTE and EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION AND INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *BS EN ISO 4787:2011. Laboratory glassware–volumetric instruments–methods for testing of capacity and for use*. 2011.
- [13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E542-01 (Reapproved 2012). Standard practice for calibration of laboratory volumetric apparatus*. 2016.
- [14] DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE. CENTER FOR LABORATORY PROFICIENCY TESTING. *Final Report 2018 : Calibration of volumetric pipette*. 2018.
- [15] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 648:2008. Laboratory glassware–Single-volume pipettes*. 2008.
- [16] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 835:2007. Laboratory glassware–Graduated pipettes*. 2007.
- [17] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Technical report ISO/TR 20461:2000. Determination of uncertainty for volume measurements made using the gravimetric method*. 2000.
- [18] JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. *JCGM 100:2008. Evaluation of measurement Data–Guide to the expression of uncertainty in measurement*. 2008.
- [19] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *ISO/IEC 17043:2010. Conformity assessment general requirements for proficiency testing*. 2010.