ผลกระทบของไฟฟ้าสถิตที่มีต่อค่าความถูกต้องของการชั่งน้ำหนัก

Effect of electrostatic on weighing accuracy

8

อัจฉราวรรณ วัฒนหัตถกรรม[1*], ศักดิ์สิทธิ์ ดีอ่ำ[1], บุญธรรม ลิมป์ปิยพันธ์[1]
Acharawan Wattanahuttakum[1*], Saksit Deeum[1], Boontham Limpiyapun[1]

บทคัดย่อ

ไฟฟ้าสถิตเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของการชั่งน้ำหนัก เพียงแค่จับถูสัมผัสก็ก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนหรือถ่ายเทประจุไฟฟ้าขึ้น มักเกิดกับวัตถุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าประเภทยาง แก้ว พลาสติก และสารชนิดผง ตัวอย่างที่นำมาทดสอบนี้มีหลายประเภทด้วยกัน ได้แก่ แก้ว พลาสติก อลูมิเนียม ถุงมือยาง ธรรมชาติ และกระดาษ แต่พลาสติกและแก้วเป็นวัสดุที่มักเกิดไฟฟ้าสถิตได้ง่ายซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี Triboelectric series เมื่อเรานำตัวอย่างทั้งพลาสติกและแก้วที่มีไฟฟ้าสถิตและที่ได้รับการสลายไฟฟ้าสถิตมาทดสอบโดยการชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งประเภท Analytical balance และ Micro balance และนำผลการชั่งมาเปรียบเทียบกัน พบว่าตัวอย่างที่มีศักย์ไฟฟ้าแสดงค่าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงตลอด เครื่องชั่งขาดความเสถียรทำให้ไม่สามารถอ่านค่าได้ ค่าการวัดผิดพลาดไม่ถูกต้องเนื่องจากค่าน้ำหนักที่ได้มีค่ามากกว่าน้ำหนักจริงของตัวอย่างนั้นอันเป็นผลมาจากแรงกระทำระหว่างวัตถุและเครื่องชั่ง และค่าความทวนซ้ำได้ของผลการวัดไม่ดีดังเห็นได้จากผลการวัดที่กระจายตัวมากกว่าการชั่งตัวอย่างที่ไม่มีไฟฟ้าสถิต

ดังนั้นการกำจัดไฟฟ้าสถิตหรือการทำให้ตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั้นมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่ผู้ใช้งานควรตะหนักและให้ความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อให้เกิดความเสถียรขณะชั่ง ความแม่นและความเที่ยงของการวัดมีมากขึ้น ทำให้ได้ค่าผลการวัดที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับ

Abstract

One of several parameters causing inaccuracy in precision weighing is a static electricity. The charging occurs through rubbing during the handling of objects or containers. It mostly affects insulator materials such as rubber, plastic, glass and powder. Various types of materials such as glass, plastic, aluminium, rubber, and paper are tested in this research but plastic and glass samples are easily to get charged in conformity with the triboelectric series. The charged and neutralized objects are weighed with analytical and micro balances. The charged samples have the problems with the measurement drift and the balance stability. The electrostatic charge affects the measurement accuracy as the weight value of the charged object appears heavier. This measurement error is caused by the electrostatic forces acting between the object and the balance. The charged object also gives the poorer measurement repeatability than the discharged object, as confirmed by the high standard deviation.

Therefore, the removal of the electrostatic charge or the neutralization on charged samples is essential for weighing process. This is to improve the balance stability, measurement accuracy and measurement precision. The reliable measurement results will be finally obtained.

คำสำคัญ : ไฟฟ้าสถิต การชั่งน้ำหนัก ความแม่นการวัด ความเที่ยงการวัด
Keywords : Static electricity, Weighing, Measurement accuracy, Measurement precision

[1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ กองความสามารถห้องปฏิบัติการและรับรองผลิตภัณฑ์
*Corresponding author e-mail address: acharawan@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

เครื่องชั่งถือเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ชั่งสารหรือวัตถุตัวอย่างที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ ผู้ใช้งานต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการใช้และดูแลรักษาเครื่องชั่ง จึงควรหลีกเลี่ยงปัจจัยต่าง ๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องชั่ง เพื่อให้ได้ผลการวัดวิเคราะห์ทดสอบที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ

ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ผู้ใช้งานมักมองข้ามหรือละเลยที่ทำให้การชั่งน้ำหนักผิดพลาดคลาดเคลื่อนไป นั่นก็คือ ไฟฟ้าสถิต (Static electricity) [1] โดยทั่วไปนั้นไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นจาก 3 สาเหตุหลักด้วยกัน [2] คือ การเหนี่ยวนำ (Charging by induction) ซึ่งการถ่ายเทประจุจะเกิดขึ้นเมื่อเรานำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเข้าไปใกล้ ๆ วัตถุที่เป็นกลางแต่ไม่แตะสัมผัส (No direct contact) จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้ประจุไฟฟ้าที่อยู่ในวัตถุที่เป็นกลางเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ ประจุไฟฟ้าต่างขั้วกันจะแยกตัวอยู่ในทิศทางตรงกันข้าม หากเราต่อกราวด์ลงดิน (Grounding) ทางด้านฝั่งตรงข้ามกับด้านวัตถุที่นำมาเหนี่ยวนำ ก็จะเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าที่อยู่ทางด้านที่ต่อลงดิน ประจุด้านนี้ก็จะหายไป เมื่อเรานำสายดินออก ก็จะคงเหลือแต่ประจุที่ถูกวัตถุที่นำมาเหนี่ยวนำดูดไว้ เป็นผลทำให้วัตถุที่เป็นกลางเดิมมีประจุไฟฟ้าเกิดขึ้น การแตะสัมผัส (Charging by conduction) ประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นโดยการนำวัตถุที่มีอำนาจทางไฟฟ้าไปแตะหรือสัมผัสกับวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้า หรือแบบที่เรียกว่า Direct contact ทำให้อิเล็กตรอนมีการถ่ายเท จนกระทั่งวัตถุทั้งสองมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันจึงหยุดการถ่ายเท ทำให้วัตถุเดิมที่เป็นกลางกลายเป็นวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกับประจุไฟฟ้าของวัตถุที่นำมาแตะ ซึ่งขนาดของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนวัตถุเดิมที่เป็นกลางทางไฟฟ้านั้นจะมีเท่ากับขนาดประจุไฟฟ้าที่ลดลงของวัตถุที่นำมาแตะ และอีกหนึ่งสาเหตุคือการเสียดสีถูกัน (Charging by friction) เป็นการนำวัตถุ 2 ชนิดมาถูกัน (Rubbing) ทำให้มีการถ่ายเทของประจุไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ระหว่างวัตถุทั้งสอง หากวัตถุใดสูญเสียอิเล็กตรอนไปวัตถุนั้นจะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ส่วนวัตถุที่ได้รับอิเล็กตรอนก็จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ซึ่งวัตถุใดจะมีประจุชนิดใดมากกว่ากันภายหลังจากการเสียดสีกันนั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุทั้งสองตามลำดับของ Triboelectric series [3]

โดยส่วนใหญ่การปฏิบัติงานในขั้นตอนการชั่งตัวอย่างนั้น เราอาจหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะจับหรือสัมผัสตัวอย่างหรือภาชนะขณะนำไปชั่ง จึงทำให้มีการถ่ายเทประจุไฟฟ้า ส่งผลให้ประจุไฟฟ้าไม่สมดุล ซึ่งมักเกิดขึ้นได้เสมอเมื่อสภาวะอากาศในห้องปฏิบัติการแห้ง หรือห้องปฏิบัติการมีความชื้นสัมพัทธ์ในขณะชั่งอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 45 ซึ่งโดยปกติแล้วควรใช้งานในช่วงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 45 ถึง 60 ซึ่งปัญหานี้อาจแก้ได้โดยการควบคุมสภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม แม้เราจะทำการป้องกันมิให้เกิดไฟฟ้าสถิตด้วยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในเกณฑ์กำหนด แต่ไฟฟ้าสถิตก็ยังสามารถเกิดขึ้นได้แม้ในขณะเช็ดทำความสะอาดเครื่องแก้ว การนำภาชนะชั่งสารออกจากถุงพลาสติก หรือแม้แต่การใช้ช้อนตวงสารเป็นพลาสติก ก็ยังคงมีแนวโน้มที่จะเกิดประจุไฟฟ้าที่ผิวช้อนได้ และเมื่อเรานำช้อนตวงที่มีไฟฟ้าสถิตนั้นมาตักสารตัวอย่างที่เป็นผง ปัญหาใหญ่ที่อาจจะพบคือ เราไม่สามารถตวงสารลงสู่ภาชนะได้ เนื่องจากผงสารถูกดูดปลิวกระจายไปเกาะทั่วตามขอบภาชนะ ซึ่งแรงดึงดูดนี้เกิดแรงประจุไฟฟ้าสถิตนั่นเอง ปริมาณสารที่ชั่งก็จะได้น้อยกว่าที่เราต้องการ และถ้าผงสารที่จะใช้ในการวิเคราะห์มีปริมาณจำกัดและราคาแพงก็ย่อมก่อให้เกิดความเสียหาย เสียเวลา และเสียงบประมาณมากขึ้น

วัสดุต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มตัวนำไฟฟ้าหรือฉนวนไฟฟ้าก็สามารถเกิดไฟฟ้าสถิตได้เช่นเดียวกัน ความแตกต่างอยู่ที่วัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าสามารถสลายประจุได้ด้วยตัวมันเอง ส่วนถ้าเป็นฉนวนหรือวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้าประเภทยาง พลาสติก แก้ว สารชนิดผง เป็นต้น ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถสลายได้ด้วยตัวมันเอง ต้องอาศัยกระบวนการในการกำจัดประจุให้หมดไป หากนำตัวอย่างที่มีไฟฟ้าสถิตมาชั่งจะส่งผลต่อการวัด เช่น ค่าการวัดเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ค่าความทวนซ้ำได้ของผลการวัดไม่ดี และค่าการวัดผิดพลาดไม่ถูกต้อง [4] ซึ่งผู้ปฏิบัติงานอาจสังเกตเห็นได้ในขณะที่เรานำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเข้าใกล้จานเครื่องชั่ง ค่าตัวตัวเลขที่หน้าจอแสดงผลจากเดิมที่เป็นค่าศูนย์ก็จะมีการเปลี่ยนแปลง (Drifting) และเมื่อเราวางวัตถุที่มีไฟฟ้าสถิตนั้นบนเครื่องชั่ง ก็จะเกิดแรงดูดหรือแรงผลักขึ้นระหว่างวัตถุที่ชั่งกับจานเครื่องชั่ง ทำให้ค่าน้ำหนักของวัตถุนั้นไม่ถูกต้องอาจมากหรือน้อยกว่าค่าที่แท้จริง โดยน้ำหนักจะผิดพลาดเพียงแค่ไม่กี่มิลลิกรัมจนไปถึง 100 มิลลิกรัมก็เป็นได้ [5] หากคิดเป็นร้อยละก็อาจทำให้เกิดความผิดพลาดของการวัดสูงมากถึง 3 % [6] ห้องปฏิบัติการหลายหน่วยงานที่มีการใช้เครื่องชั่งจึงต้องตระหนักและคำนึงถึงผลกระทบและความเสียหายที่จะเกิดขึ้นไม่ว่าจะมากหรือน้อยหากเกิดการรายงานค่าผลการวัดที่ผิดพลาดไป ห้องปฏิบัติการอาจแก้ปัญหาดังกล่าวโดยใช้อุปกรณ์ในการทำลายล้างไฟฟ้าสถิตบนตัววัตถุก่อนนำไปชั่งเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่เกิดขึ้น หรือแม้แต่ในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตเครื่องชั่งชั้นนำของโลกก็เห็นถึงความสำคัญของปัญหานี้ จึงได้ผลิตเครื่องชั่งรุ่นใหม่ที่มีเทคโนโลยีระบบแจ้งเตือนว่าวัตถุที่อยู่บนจานชั่งนั้นมีไฟฟ้าสถิตหรือไม่ และบางรุ่นก็มีโปรแกรมกำจัดไฟฟ้าสถิตในตัวเอง

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของไฟฟ้าสถิตที่มีต่อการชั่งน้ำหนัก โดยเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างการชั่งวัตถุที่ไม่มีไฟฟ้าสถิตและที่มีไฟฟ้าสถิต โดยหาค่าความคลาดเคลื่อน (Measurement error) และค่าความทวนซ้ำได้ (Measurement repeatability) ที่แสดงได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 ตัวอย่างทดสอบ

2.1.1 ชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ตัวอย่าง ขนาดประมาณ 2.5 cm x 8 cm (กว้าง x ยาว) คือ แผ่นแก้ว แผ่นพลาสติกชนิด polypropylene แผ่นอลูมิเนียม ถุงมือยางธรรมชาติ และกระดาษกรอง ที่จัดเป็นกลุ่มวัสดุประเภทแก้ว พลาสติก โลหะ ยาง และกระดาษตามลำดับ ซึ่งทั้ง 5 ตัวอย่างนี้จะนำมาใช้ตรวจสอบไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนผิววัตถุสำหรับการทดสอบในหัวข้อ 2.3.1

2.1.2 ชิ้นงานทดสอบจำนวน 2 ตัวอย่าง คือ ขวดแก้วสำหรับชั่งสาร และขวดพลาสติกชนิด Polypropylene เพื่อใช้ศึกษาผลกระทบของไฟฟ้าสถิตในหัวข้อ 2.3.2

2.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้

2.2.1 เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electronic balance) จำนวน 3 เครื่อง โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

เครื่องที่	รุ่น	ผู้ผลิต	Readability	Capacity
1	MC21S	Sartorius	0.001 mg	21 g
2	ME414S	Sartorius	0.1 mg	410 g
3	LP6200S	Sartorius	10 mg	6,200 g

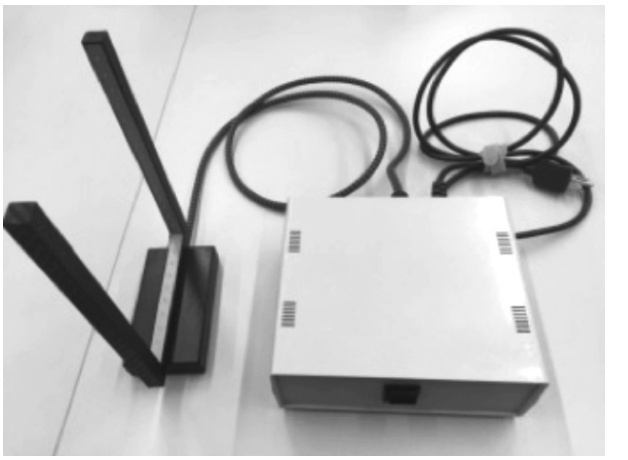
2.2.2 เครื่องวัดไฟฟ้าสถิตยี่ห้อ SIMCO รุ่น FMX-004 สำหรับวัด Static voltage ที่สามารถวัดค่าได้ทั้งประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบ ตั้งแต่ค่า -30kV ถึง +30kV ที่ระยะทดสอบ 1 นิ้ว หรือประมาณ 2.5 cm โดยแสดงผลเป็นตัวเลขและมีแถบแสดงผลการวัดที่เป็นประจุบวกหรือลบ และมี Accuracy ±10%

ช่วงการวัดไฟฟ้าสถิต

- Auto Mode 0 kV ถึง ± 1.49 kV (Low range), ± 1.0kV ถึง ± 30.0 kV (High range)
- Low Mode 0 kV ถึง ± 3.00 kV
- Hi Mode 0 kV ถึง ± 30.0 kV

ช่วงการวัด Ion Balance 0 ถึง ± 300V

2.2.3 อุปกรณ์กำจัดไฟฟ้าสถิตที่สร้างและพัฒนาโดยนักวิจัยของกรมวิทยาศาสตร์บริการ มีตัวสลายประจุไฟฟ้าสถิตหรือ Ionizer ที่จะปล่อยประจุไอออนบวกและลบออกมาเพื่อทำให้วัตถุที่นำมาชั่งมีสภาวะเป็นกลางทางไฟฟ้าก่อนนำไปชั่ง



2.2.4 คีมหรืออุปกรณ์สำหรับจับ

2.2.5 แอลกอฮอล์สำหรับทำความสะอาดชิ้นงานตัวอย่าง

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 การตรวจสอบไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนวัตถุ

งานวิจัยนี้ได้นำวัสดุที่มักใช้บ่อยในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มาทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มว่าวัสดุใดจะมีประจุบวกหรือลบมากกว่า โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั้นทำจากวัสดุต่างกัน จำนวน 5 ตัวอย่าง คือ แก้ว พลาสติก อลูมิเนียม ถุงมือยางธรรมชาติ และกระดาษ ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกนำมาถูกันเป็นคู่ ๆ ดังนี้ 1) แก้วและพลาสติก 2) แก้วและถุงมือยางธรรมชาติ 3) อลูมิเนียมและพลาสติก 4) อลูมิเนียมและถุงมือยางธรรมชาติ 5) พลาสติกและถุงมือยางธรรมชาติ 6) พลาสติกและกระดาษกรอง 7) ถุงมือยางธรรมชาติและกระดาษกรอง 8) แก้วและกระดาษกรอง และ 9) อลูมิเนียมและกระดาษกรอง จากนั้นวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานตัวอย่างแต่ละคู่

2.3.2 การทดสอบผลกระทบของไฟฟ้าสถิตที่มีต่อการชั่งน้ำหนัก

การศึกษาผลกระทบของไฟฟ้าสถิตทีมีต่อค่าความถูกต้องของการชั่งน้ำหนัก (Measurement error) ทำโดยการชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบซ้ำ 10 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวอย่าง และหาค่าการทวนซ้ำได้ของการวัด (Measurement repeatability) ซึ่งค่าการทวนซ้ำทำได้โดยการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดซ้ำ (Standard deviation, SD)

ตัวอย่างที่นำมาทดสอบคือ ขวดพลาสติกและขวดแก้วที่ไม่มีศักย์ไฟฟ้านั่นคือศักย์ไฟฟ้าเป็น 0 kV และมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนวัตถุนั้นอยู่ 2 ช่วงคือ ช่วงศักย์ไฟฟ้าไม่เกิน ± 5kV ($V < \pm 5kV$) และช่วงศักย์ไฟฟ้า ± 5kV ถึง ± 10kV ($\pm 5kV < V \leq \pm 10$ kV) นำมาชั่งบนเครื่องชั่งจำนวน 3 เครื่อง ที่อ่านค่าความละเอียด (Readability) ต่างกันคือ 10 mg 0.1 mg และ 0.001 mg จากนั้นนำเอาตัวอย่างที่มีประจุไฟฟ้ามาผ่านการล้างด้วยอุปกรณ์กำจัดไฟฟ้าสถิต แล้วทำการวัดอีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบกับผลการชั่ง

ตัวอย่างที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็น 0 kV ที่ทดสอบในครั้งแรก อุปกรณ์กำจัดไฟฟ้าสถิตนี้สร้างและพัฒนาโดยนักวิจัยของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งคุณสมบัติการทำลายล้างประจุไฟฟ้าของเครื่องนี้สามารถเทียบเท่ากับเครื่องกำจัดไฟฟ้าสถิตที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด [7] อุปกรณ์นี้จะทำให้วัตถุที่เสียสภาวะสมดุลทางประจุกลายเป็นวัตถุที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า (Neutralization)

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ผลการทดสอบ

3.1.1 การตรวจสอบไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนวัตถุ

ผลการทดสอบจากการถูชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นวัสดุต่างกัน จำนวน 5 ตัวอย่าง คือ แก้ว พลาสติก อลูมิเนียม ถุงมือยางธรรมชาติ และกระดาษ เป็นดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าวัตถุหนึ่งจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ในขณะที่อีกวัตถุหนึ่งจะเป็นลบหรือไม่มีศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้น นอกจากนี้ วัสดุประเภทแก้วและพลาสติก เกิดศักย์ไฟฟ้าได้ง่ายเมื่อเทียบกับวัสดุประเภทโลหะและยาง ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกวัสดุประเภทพลาสติกและแก้วมาทดสอบในหัวข้อผลกระทบของไฟฟ้าสถิตที่มีต่อการชั่งน้ำหนัก

ตารางที่ 1 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากการนำวัสดุต่างชนิดกันมาถูกัน

ตัวอย่าง	ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้		ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้	
แก้ว : พลาสติก	แก้ว	+ 9.9 kV	พลาสติก	- 15.7 kV
แก้ว : ถุงมือยางธรรมชาติ	แก้ว	+ 9.5 kV	ถุงมือยางธรรมชาติ	- 2.7 kV
แก้ว : อลูมิเนียม	แก้ว	+ 0.5 kV	อลูมิเนียม	0 kV
อลูมิเนียม : พลาสติก	อลูมิเนียม	+ 0.4 kV	พลาสติก	- 7.2 kV
อลูมิเนียม : ถุงมือยางธรรมชาติ	อลูมิเนียม	0 kV	ถุงมือยางธรรมชาติ	- 2.4 kV
พลาสติก : ถุงมือยางธรรมชาติ	พลาสติก	- 10.8 kV	ถุงมือยางธรรมชาติ	+ 2.3 kV
พลาสติก : กระดาษกรอง	พลาสติก	- 11.2 kV	กระดาษ	0 kV
ถุงมือยางธรรมชาติ : กระดาษกรอง	ถุงมือยางธรรมชาติ	- 5.8 kV	กระดาษ	0 kV
แก้ว : กระดาษกรอง	แก้ว	+ 10.2 kV	กระดาษ	0 kV
อลูมิเนียม : กระดาษกรอง	อลูมิเนียม	0 kV	กระดาษ	0 kV

3.1.2 การทดสอบผลกระทบของไฟฟ้าสถิตที่มีต่อการชั่งน้ำหนัก

ผลการชั่งตัวอย่างประเภทพลาสติกและแก้วที่มีและไม่มีศักย์ไฟฟ้า เป็นดังตารางที่ 2 ถึง 4 ดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าน้ำหนักของตัวอย่างพลาสติกและแก้วที่อ่านได้จากเครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียด 10 mg

ชั่งครั้งที่	ค่าที่อ่านได้ (g)							
	พลาสติก (0 kV)	พลาสติก (-4.3 kV)	พลาสติก (-9.5 kV)	พลาสติก (ล้างไฟฟ้าสถิต)	แก้ว (0 kV)	แก้ว (+ 4.7 kV)	แก้ว (+9.8 kV)	แก้ว (ล้างไฟฟ้าสถิต)
1	31.56	31.56	31.57	31.57	126.61	126.62	126.62	126.61
2	31.56	31.57	31.57	31.56	126.62	126.61	126.62	126.61
3	31.56	31.57	31.57	31.56	126.61	126.61	126.62	126.61
4	31.56	31.56	31.57	31.56	126.61	126.61	126.62	126.62
5	31.57	31.57	31.56	31.56	126.61	126.61	126.62	126.61
6	31.56	31.56	31.57	31.56	126.61	126.62	126.61	126.61
7	31.56	31.56	31.57	31.56	126.61	126.62	126.62	126.61
8	31.56	31.57	31.57	31.56	126.61	126.62	126.62	126.61
9	31.56	31.57	31.56	31.56	126.61	126.61	126.61	126.61
10	31.56	31.56	31.56	31.56	126.61	126.62	126.61	126.61
Mean	31.56	31.57	31.57	31.56	126.61	126.62	126.62	126.61
Error	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
SD	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003

ตารางที่ 3 ค่าน้ำหนักของตัวอย่างพลาสติกและแก้วที่อ่านได้จากเครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียด 0.1 mg

ชั่งครั้งที่	ค่าที่อ่านได้ (g)							
	พลาสติก (0 kV)	พลาสติก (-4.9 kV)	พลาสติก (-9.7 kV)	พลาสติก (ล้างไฟฟ้าสถิต)	แก้ว (0 kV)	แก้ว (+3.3 kV)	แก้ว (+7.6 kV)	แก้ว (ล้างไฟฟ้าสถิต)
1	31.5657	31.5665	31.6396	31.5656	61.1503	61.1549	61.1607	61.1502
2	31.5657	31.5664	31.6402	31.5656	61.1503	61.1548	61.1598	61.1503
3	31.5657	31.5663	31.6404	31.5657	61.1503	61.1547	61.1595	61.1503
4	31.5657	31.5662	31.6392	31.5657	61.1503	61.1543	61.1589	61.1502
5	31.5657	31.5684	31.6401	31.5657	61.1502	61.1545	61.1587	61.1502
6	31.5656	31.5678	31.6366	31.5656	61.1502	61.1542	61.1582	61.1502
7	31.5658	31.5671	31.6400	31.5658	61.1502	61.1543	61.1584	61.1502
8	31.5658	31.5668	31.6353	31.5658	61.1502	61.1542	61.1579	61.1502
9	31.5657	31.5661	31.6357	31.5657	61.1502	61.1543	61.1577	61.1502
10	31.5658	31.5653	31.6370	31.5658	61.1502	61.1541	61.1579	61.1501
Mean	31.5657	31.5667	31.6384	31.5657	61.1502	61.1544	61.1588	61.1502
Error	0.0000	0.0010	0.0727	0.0000	0.0000	0.0042	0.0086	0.0000
SD	0.00006	0.00089	0.00202	0.00008	0.00005	0.00028	0.00097	0.00006

ตารางที่ 4 ค่าน้ำหนักของตัวอย่างพลาสติกและแก้วที่อ่านได้จากเครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียด 0.001 mg

ชั่งครั้งที่	ค่าที่อ่านได้ (g)				ค่าที่อ่านได้ (g)			
	พลาสติก (0 kV)	พลาสติก (-0.8 kV)	พลาสติก (-2.2 kV)	พลาสติก (ล้างไฟฟ้าสถิต)	แก้ว (0 kV)	แก้ว (+0.6 kV)	แก้ว (+2.5 kV)	แก้ว (ล้างไฟฟ้าสถิต)
1	2.328289	2.331887	N/A	2.328295	12.235941	12.236241	N/A	12.235946
2	2.328290	2.331615		2.328294	12.235942	12.236018		12.235948
3	2.328290	2.331503		2.328294	12.235942	12.235972		12.235949
4	2.328288	2.331363		2.328292	12.235940	12.236188		12.235948
5	2.328288	2.331332		2.328293	12.235943	12.236175		12.235949
6	2.328287	2.330937		2.328292	12.235943	12.236163		12.235950
7	2.328288	2.331027		2.328294	12.235943	12.236151		12.235950
8	2.328288	2.330806		2.328294	12.235943	12.236138		12.235951
9	2.328287	2.330664		2.328292	12.235942	12.236112		12.235950
10	2.328287	2.330486		2.328293	12.235942	12.236075		12.235948
Mean	2.328288	2.331162		2.328293	12.235942	12.236123		12.235949
Error	0.000000	0.002874		0.000005	0.000000	0.000181		0.000007
SD	0.0000011	0.0004493		0.0000011	0.0000010	0.0000815		0.0000014

หมายเหตุ - N/A หมายถึง ค่าที่ปรากฏบนจอเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาอันเนื่องมาจากเครื่องชั่งไม่เข้าสู่สภาวะเสถียรทำให้ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถอ่านค่าการวัดได้

3.2 วิจารณ์ผลการทดสอบ

3.2.1 ผลการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนวัตถุ

ตัวอย่างที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกัน เมื่อมีการเสียดสีหรือถูกัน สิ่งที่เกิดขึ้นคือตัวอย่างหนึ่งจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ในขณะที่อีกตัวอย่างหนึ่งจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเสียดสีกันนั้นจะทำให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็วระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุทั้งสองชนิด อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากวัสดุหนึ่งไปยังอีกวัสดุหนึ่ง ทำให้วัตถุนั้นเสียสภาพความเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือเกิดความไม่สมดุลกันระหว่างอิเล็กตรอนและนิวตรอนนั่นเอง นั่นคือจำนวนประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ได้โดยใช้เครื่องวัดไฟฟ้าสถิต จากการทดสอบในหัวข้อ 3.1.1 ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำแก้วมาถูกับถุงมือยาง

ธรรมชาติและเมื่อนำพลาสติกมาถูกับถุงมือยางธรรมชาตินั้น ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนผิววัสดุยางธรรมชาตินั้นจะเกิดในลักษณะตรงกันข้าม คือถุงมือยางธรรมชาติมีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อนำมาถูกับแก้ว แต่จะเป็นบวกเมื่อนำมาถูกับพลาสติก บ่งชี้ว่ายางธรรมชาตินั้นสามารถรับหรือให้อิเล็กตรอนก็ได้ ซึ่งแตกต่างจากกระดาษที่ไม่ให้หรือรับอิเล็กตรอนเลย อลูมิเนียมจัดอยู่ในประเภทโลหะ สูญเสียอิเล็กตรอนทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบวก แต่ค่าศักย์ไฟฟ้าไม่สูงมากนัก หากเราพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้าแล้วมาเรียงลำดับว่าวัสดุใดมีแนวโน้มที่จะมีบวกและวัสดุจะมีประจุไฟฟ้าลบ จะเรียงตามลำดับได้ ดังนี้

แนวโน้มการเกิดประจุไฟฟ้าบวกและลบ

< ---------- ประจุบวก ประจุลบ---------->

แก้ว	อลูมิเนียม	กระดาษ	ถุงมือยาง	พลาสติก

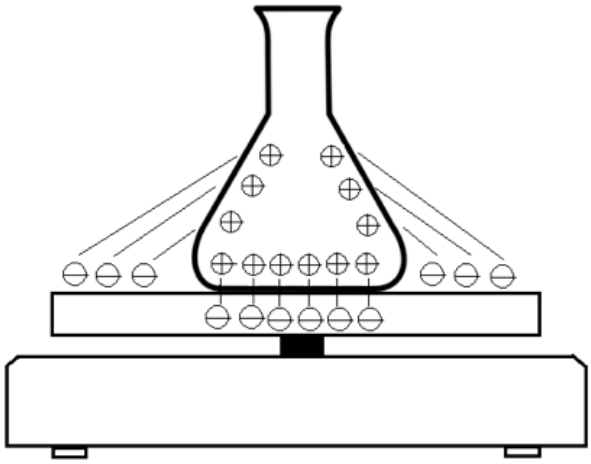
จะเห็นได้ว่าวัสดุประเภทแก้วและพลาสติกมีแนวโน้มที่จะเกิดศักย์ไฟฟ้าได้ง่ายเมื่อเทียบกับวัสดุประเภทอื่น ซึ่งผลการทดสอบนั้นได้สอดคล้องกับทฤษฎี Triboelectric series [2,3,8]

3.2.2 ผลกระทบต่อความผิดพลาดของการวัด (Measurement error) และค่าการทวนซ้ำได้ของการวัด (Measurement repeatability)

ตารางที่ 2 ถึง 4 แสดงผลการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อยู่ในสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้ากับน้ำหนักของตัวอย่างที่มีประจุไฟฟ้าสถิตที่มีค่าไฟฟ้าสถิตตั้งแต่ 0 kV ถึง ± 10 kV ในจากเครื่องชั่ง 3 เครื่อง พบว่าขวดพลาสติกและขวดแก้วที่มีประจุไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นบวกหรือลบนั้น จะมีน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักของวัตถุที่ไม่มีประจุไฟฟ้าหรือมีค่า 0 kV ไฟฟ้าสถิตอาจไม่มีผลกระทบมากนักเมื่อชั่งด้วยเครื่องชั่งประเภท Precision balance (Readability ≥ 1 mg) ซึ่งค่าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยมากแม้ว่าไฟฟ้าสถิตจะประมาณ ± 10 kV แต่จะส่งผลต่อการชั่งเป็นอย่างมากเมื่อเราชั่งด้วยเครื่องชั่งประเภท Analytical balance จนถึงระดับ Micro-balance (Readability ตั้งแต่ 0.1 mg จนถึง 0.001 mg) ซึ่งเป็นเครื่องชั่งที่มีค่าความละเอียดสูงและนิยมใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ หากชั่งด้วยเครื่องชั่งที่ละเอียดมาก ๆ แม้วัตถุนั้นจะมีประจุไฟฟ้าเกินมาเพียง 2 ถึง 3 kV ก็ทำให้ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถอ่านค่าการวัดได้ เนื่องจากค่าที่ปรากฏบนจอเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาอันเนื่องมาจากเครื่องชั่งไม่ข้าสู่สภาวะเสถียร ดังเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นกับผลการวัดในตารางที่ 4

สาเหตุที่ทำให้น้ำหนักของตัวอย่างที่มีไฟฟ้าสถิตหนักกว่าตัวอย่างที่ไม่มีไฟฟ้าสถิต ก็เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างตัวอย่างและจานชั่ง ทำให้เกิดแรงกดบนเครื่องชั่ง [9-11] ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 1

ด้วยเหตุนี้ หากเราชั่งวัตถุใดก็ตามที่มีไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนตัววัตถุนั้นแล้ว ค่าน้ำหนักที่ได้จะมากกว่าค่าน้ำหนักจริงของวัตถุนั้น



รูปที่ 1 แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างวัตถุกับเครื่องชั่ง

ผลการวัดที่ได้ก็จะผิดพลาดคลาดเคลื่อนไป และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 2 ถึง 4 มาแสดงผลในรูปกราฟดังรูปที่ 2 ถึง 4 จะเห็นได้ชัดว่าถ้าชั่งวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าสูง ๆ ค่าความผิดพลาดของการวัดก็จะยิ่งมากขึ้น และผิดได้มากถึง 72.7 mg (จากกราฟรูปที่ 2 ตัวอย่างพลาสติกที่มีค่าไฟฟ้าสถิต -9.7 kV ชั่งบนเครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียด 0.1 mg)

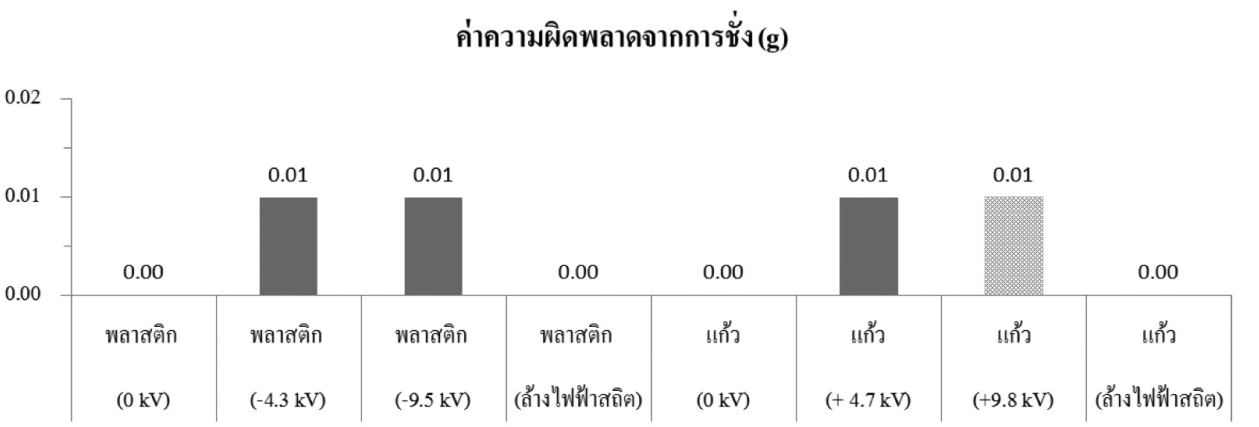
และเมื่อเรานำตัวอย่างพลาสติกและแก้วที่มีค่าศักย์ไฟฟ้านั้นไปผ่านเข้าอุปกรณ์กำจัดไฟฟ้าสถิตต้นแบบจนศักย์ไฟฟ้าเหลือเป็น 0 kV แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างพลาสติกและแก้ว พบว่าค่าน้ำหนักกลับเข้าใกล้สู่ค่าเดิมก่อนที่วัตถุจะถูกนำไปถูให้เกิดไฟฟ้าสถิตหรือมีความแตกต่างกันน้อยมาก

นอกจากนี้ การวัดค่าความทวนซ้ำได้ของการวัด (Measurement repeatability) ก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง ค่าความทวนซ้ำได้ของการวัดที่แสดงผลด้วยค่า SD ในตารางที่ 2 ถึง 4 ที่บ่งชัดว่าการชั่งวัตถุที่มีค่าไฟฟ้าสถิตสูง ๆ นั้น ผลการวัดจะเปลี่ยนแปลงไปทุกครั้งที่ชั่ง ทำให้ค่าความทวนซ้ำได้ของผลการวัดหรือความเที่ยงของการวัดไม่ดี

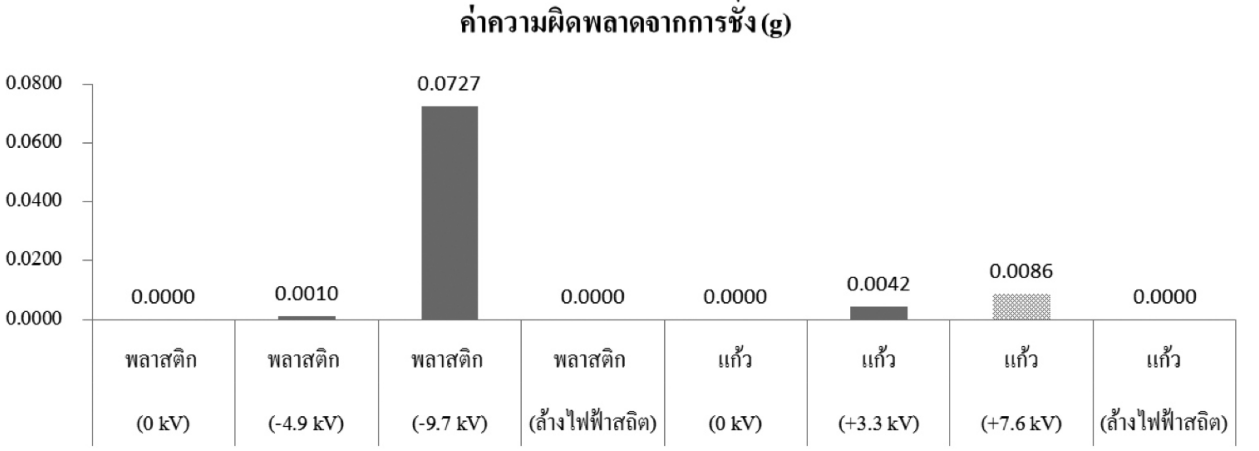
ดังนั้นไฟฟ้าสถิตเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของการชั่งน้ำหนักอย่างมาก โดยเฉพาะวัตถุชิ้นงานที่เป็นประเภทพลาสติก หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ ก็จำเป็นต้องกำจัดไฟฟ้าสถิตก่อนที่จะนำไปชั่งหรือทำให้ตัวอย่างมีสภาพสมดุลทางประจุไฟฟ้า (Neutralization) เพื่อให้ได้ค่าผลการวัดที่ถูกต้องน่าเชื่อถือ

4. **สรุป** (Conclusions)

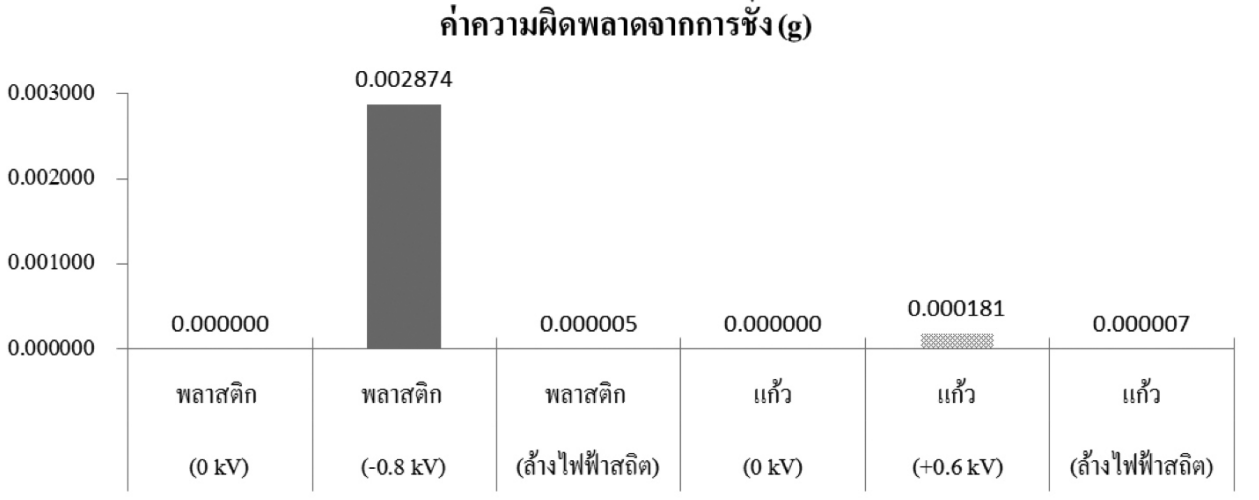
ปัจจัยที่ส่งผลให้การชั่งน้ำหนักผิดพลาดมีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน แต่หนึ่งในหลายปัจจัยนั้นก็คือไฟฟ้าสถิต วัสดุประเภทพลาสติกและแก้วจัดอยู่ในกลุ่มฉนวนไฟฟ้าที่ใช้กันมากในห้องปฏิบัติการ แต่ก็เป็นวัสดุที่เกิดไฟฟ้าสถิตได้ง่ายและมีแนวโน้มการเกิดประจุไฟฟ้าตามทฤษฎี Triboelectric series และหากนำวัตถุที่มีไฟฟ้าสถิตมา



รูปที่ 2 ค่าความผิดพลาดของการวัดจากการชั่งวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียด 10 mg



รูปที่ 3 ค่าความผิดพลาดของการวัดจากการชั่งวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียด 0.1 mg



รูปที่ 4 ค่าความผิดพลาดของการวัดจากการชั่งวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียด 0.001 mg

ชั่งบนเครื่องชั่งประเภท Analytical balance และ Micro balance ก็จะส่งผลต่อการวัด ดังนี้

1. เครื่องชั่งอาจไม่สามารถแสดงค่าการชั่งได้เนื่องจากเครื่องชั่งไม่เสถียร ค่าการวัดเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

2. ค่าการวัดผิดพลาดไม่ถูกต้อง

3. ค่าความทวนซ้ำได้ของผลการวัดไม่ดี

ดังนั้นการกำจัดไฟฟ้าสถิตหรือการทำให้ตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั้นมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าก่อนจะนำไปชั่ง จะช่วยลดความผิดพลาดจากการชั่งน้ำหนัก ทำให้ได้ค่าผลการวัดที่ถูกต้องน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับ

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารของกรมวิทยาศาสตร์บริการทุกท่านเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยนี้ และช่วยผลักดันให้โครงการสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ ยังให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมถึงข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและพัฒนางานด้านการวัดและการสอบเทียบให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] *Weighing the right way, proper weighing with laboratory*. Greifensee, Switzerland : Mettler-Toledo AG Laboratory & Weighing Technologies, 2008. 36 p.

[2] CROSS, J. A. *Electrostatics : principles, problems and applications*. Bristol, UK : IOP Publishing, 1987. 500 p.

[3] TEXTILE CENTRE OF EXCELLENCE. *Antistatic* [online]. 2017. [viewed 26 April 2019]. Available from: http://www.tikp.co.uk/knowledge/material-functionality/antistatic/.

[4] SHIMADZU EXCELLENCE IN SCIENCE. *Static electricity remover for electronic balances* [online]. 2013. [viewed 26 April 2019]. Available from: https://www.teopal.fi/wp-content/uploads/2015/10/Stablo-Ex_ionisaattori_Shimadzu.pdf.

[5] METTLER-TOLEDO. *Electrostatic charges and their effects on weighing* [online]. [viewed 26 April 2019]. Available from: https://www.mt.com/nz/en/home/library/collections/laboratory-weighing/electrostatic-and-weighing.html?smartRedirectEvent=true.

[6] GUMKOWSKI, G. and A. STEINMAN. NRD – Advanced Static Control, *Mitigating electrostatic effects on measurement accuracy* [online]. July 2014. [viewed 26 April 2019]. Available from: https://us.vwr.com/assetsvc/asset/en_US/id/22560272/contents.

[7] อัจฉราวรรณ วัฒนหัตถกรรม และว่าที่ ร.ต. ศักดิ์สิทธิ์ ดีอ่ำ. *การพัฒนาอุปกรณ์กำจัดไฟฟ้าสถิตเพื่อลดความผิดพลาดเครื่องชั่ง*. เอกสารผลงานที่เสนอขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ระดับชำนาญการพิเศษ, กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2560.

[8] พูลพงษ์ บุญพราหมณ์. *ไฟฟ้าสถิตในงานอุตสาหกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2530. 168 หน้า.

[9] SARTORIUS. *Sartorius Micro : Analytical, Semi-micro- and Microbalances Installation and Operating Instructions*. Goettingen, Germany : Sartorius.

[10] NATER, R., et al. *Dictionary of weighing terms : a guide to the terminology of weighing*. Dordrecht, Switzerland : Springer, 2009. 269 p.

[11] METTLER-TOLEDO. *Electrostatic charges in weighing, innovative detection solution* [online]. [viewed 28 August 2019]. Available from: https://www.mt.com/dam/P5/labtec/02_Analytical_Balances/10_Excellence_Line/WP_Antistatic_EN.pdf