

การสร้างตมน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111

FABRICATION OF OIML R111 WEIGHTS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1473-5

การสร้างตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111

FABRICATION OF OIML R111 WEIGHTS



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 60940
วัน,เดือน,ปี..... - 7 ก.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ISBN 974-15-1473-5 ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า -
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b.....
i.....

FABRICATION OF OIML R111 WEIGHTS



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

ISBN 974-15-1473-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน OIML R111
นักศึกษา	นางสาวจิตตกานต์ ไชยปัญญา
รหัสประจำตัว	43065010
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ วิจิต ศรีโชติ

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ทำการสร้างคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัมตาม OIML R111 และตรวจสอบคุณลักษณะของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น โดยการทดลองวัดค่าลักษณะทางกายภาพ ค่าความหนาผิว ค่าความเป็นแม่เหล็ก ค่าความหนาแน่นและค่ามวลจริงสัญญาณด้วยเครื่องมือวัดด้านความยาวและมิติ เครื่องวัด Stylus เครื่อง Susceptometer การชั่งแบบแทนที่ในน้ำและเครื่องชั่งแบบเปรียบเทียบมวลตามลำดับ พบว่าคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นมีคุณลักษณะเทียบเท่ากับคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ระดับชั้น F₂ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาผิวและค่าความเสถียรของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน ที่มีค่าความหนาผิวต่างกันดังต่อไปนี้ 0.02636, 0.15315, 0.48183, 0.87301 และ 1.04617 ไมโครเมตร โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาพบว่าภายในระยะเวลา 1 ปีคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานแต่ละตัวมีค่ามวลเพิ่มขึ้น 0.99, 1.28, 1.42, 1.97 และ 2.23 มิลลิกรัม ตามลำดับ

Thesis	Fabrication of OIML R111 Weights
Student	Ms.Jittakant Chaipanya
Student ID	43065010
Degree	Master of Science
Programme	Applied Physics
Year	2005
Thesis Advisor	Associate Professor Wichit Sirichote

ABSTRACT

A standard 1kg weight has been designed and fabricated with the international standard OIML R111. A physical characteristic, surface roughness, magnetism, density, and conventional mass of the weight have been characterized using dimensional instrument, stylus instrument, susceptometer, hydrostatic method and mass comparator respectively. The results showed standard class F₂ of the weight was achievable. In this research, relationship between surface roughness and stability of the weight with different roughness i.e. 0.02636, 0.15315, 0.48183, 0.87301 and 1.04617 micrometer was also studied. The study was made by obtaining least square approximation between mass changes versus time. We found that yearly increasing of the sample weights will be 0.99, 1.28, 1.42, 1.97 and 2.23 milligrams respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความเมตตากรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำชี้แนะ ตลอดจนเป็นตัวอย่งที่ดีในการทำงาน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราวุฒิ เถาถัดดา รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติ นัย แก้วแดง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร โอสดจันทร ที่กรุณาให้คำชี้แนะและแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณสมโภชน์ บุญสนิท ดร.พิระวัฒน์ สมนึก อาจารย์พิชิต อ่อนปรายค์ คุณกัมปนาท อ่วมกุล และนักวิทยาศาสตร์ของกลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ได้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (ประเทศไทย) บริษัทไทยเครื่องชั่ง บริษัทไซแอนติฟิก โปรโมชัน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณชนพล อินเทียง ที่เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่สนับสนุนด้านการศึกษาและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

จิตตกานต์ ไชยปัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับคຸ່ມນ້ຳນັກມາตรฐาน.....	4
2.1 คຸ່ມນ້ຳນັກມາตรฐาน.....	4
2.1.1 ความหมายของคຸ່ມນ້ຳນັກມາตรฐาน.....	4
2.1.2 มาตรฐานต่างๆของคຸ່ມນ້ຳນັກມາตรฐานที่ใช้โดยทั่วไป.....	4
2.1.3 ชนิดของคຸ່ມນ້ຳນັກມາตรฐาน.....	5
2.2 ความหยาบผิว.....	5
2.3 ความเป็นแม่เหล็ก.....	8
2.4 ความหนาแน่น.....	9
2.5 ค่ามวลจริงสัมบูรณ์.....	11
2.6 มาตรฐาน OIML R111.....	11
2.6.1 ระดับชั้นของคຸ່ມນ້ຳນັກມາตรฐาน.....	11
2.6.2 การจัดชุดของคຸ່ມນ້ຳນັກມາตรฐาน.....	12
2.6.3 ข้อกำหนดในการสร้างคຸ່ມນ້ຳນັກມາตรฐาน.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 คຸ່ມน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111.....	22
3.1 การสร้างคຸ່มน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111.....	22
3.2 การตรวจสอบคຸ່มน้ำหนักมาตรฐาน.....	25
3.2.1 การทดลองวัดค่าลักษณะทางกายภาพ.....	27
3.2.2 การทดลองวัดค่าความหยาบผิว.....	29
3.2.3 การทดลองวัดค่าความเป็นแม่เหล็ก.....	32
3.2.4 การทดลองวัดค่าความหนาแน่น.....	37
3.2.5 การทดลองวัดค่ามวลจริงสัญนิยม.....	42
บทที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวกับค่าความเสถียรของคຸ່มน้ำหนักมาตรฐาน.....	45
4.1 ค่าความเสถียรของคຸ່มน้ำหนักมาตรฐาน.....	45
4.2 อัตราแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของคຸ່มน้ำหนักมาตรฐานที่มี ค่าความหยาบผิวต่างกัน.....	48
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	57
5.1 สรุปผลการสร้างคຸ່มน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ขนาด 1 กิโลกรัม.....	57
5.2 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวต่อค่าความเสถียรของคຸ່มน้ำหนัก มาตรฐาน.....	57
5.3 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข.....	58
5.4 แนวทางวิจัยและการประยุกต์ใช้ในอนาคต.....	58
เอกสารอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก ก.....	61
ภาคผนวก ข.....	64
ภาคผนวก ค.....	65
ภาคผนวก ง.....	66
ประวัติผู้เขียน.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 วิธีที่ใช้พิจารณาค่าความหนาแน่นของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน.....	10
2.2 ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน ($\pm \delta m$ มิลลิกรัม).....	13
2.3 รูปร่างของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กรัมหรือน้อยกว่า.....	14
2.4 ค่าความเป็นแม่เหล็กถาวรสูงสุด, $\mu_0 M$ (μT) ของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน.....	17
2.5 ความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก, χ ของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน.....	17
2.6 ข้อจำกัดต่ำสุดและสูงสุดสำหรับค่าความหนาแน่น (ρ_{min}, ρ_{max}) ของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน....	18
2.7 ค่าความเรียบผิวสูงสุดที่ยอมรับได้ของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน.....	18
2.8 ค่าสูงสุดของการทำเครื่องหมายบนคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน.....	21
3.1 เวลาที่ใช้สำหรับให้คัมภ์น้ำหนักมาตรฐานมีความเสถียรภายหลังจากการทำความสะอาด.....	26
3.2 ระยะเวลาน้อยสุดของค่าความเสถียรด้านอุณหภูมิของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน (มีหน่วยเป็นชั่วโมง).....	27
3.3 ผลการวัดค่าลักษณะทางกายภาพของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น.....	29
3.4 ผลการวัดค่าความหยาบผิวของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น.....	31
3.5 ค่าสนามแม่เหล็กสูงสุด (H_{max}).....	34
3.6 ผลการวัดวัตถุอ้างอิงที่ทราบค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก.....	35
3.7 ผลการวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น.....	36
3.8 สรุปผลการวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น.....	37
3.9 ผลการวัดค่าปริมาตรของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น.....	41
3.10 สภาวะแวดล้อมระหว่างทำการสอบเทียบ.....	42
3.11 จำนวนรอบที่น้อยที่สุดของการวัด.....	43
3.12 ผลการสอบเทียบคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น.....	44
4.1 ค่าความหยาบผิวของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นมา 5 ตัว.....	48
4.2 สมการเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่มีค่า ความหยาบผิวต่างกัน 5 ตัว.....	56
4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน ณ เวลาต่างๆ.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ชนิดของค้อนน้ำหนักมาตรฐาน.....	5
2.2 ลักษณะพื้นผิวทั่วไปและคุณลักษณะทางด้านความยาว.....	6
2.3 ค่าความหยาบเฉลี่ย, R_a	7
2.4 ค่าความสูง 10 จุด, R_z	7
2.5 ค่าแก็งแรงของอากาศที่ขึ้นกับความหนาแน่นของวัตถุ.....	9
3.1 ลักษณะของใบมีด.....	23
3.2 การกลึงค้อนน้ำหนัก.....	23
3.3 การตรวจสอบขนาดของค้อนน้ำหนักมาตรฐานระหว่างการกลึง.....	23
3.4 การปรับผิวค้อนน้ำหนักมาตรฐานอย่างหยาบ.....	24
3.5 การตัดตัวค้อนน้ำหนักมาตรฐานออกจากแท่งโลหะ.....	24
3.6 การขัดผิวละเอียดด้วยมือ.....	24
3.7 การขัดผิวละเอียดด้วยเครื่องขัด.....	25
3.8 การขัดผิวละเอียดด้วยน้ำยาขัดโลหะ.....	25
3.9 ลักษณะทางกายภาพของค้อนน้ำหนักมาตรฐานทรงกระบอกแบบมีหัวจับ.....	28
3.10 การวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของค้อนน้ำหนักมาตรฐานด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์.....	28
3.11 การวัดค่ารัศมีความโค้งของค้อนน้ำหนักมาตรฐานด้วยเครื่องวัดทางมิติ 2 แกน.....	29
3.12 โครงสร้างของเครื่องมือแบบเข็ม.....	30
3.13 โครงสร้างของทรานส์ดิวเซอร์ LVDT.....	30
3.14 การวัดค่าความหยาบผิวของค้อนน้ำหนักมาตรฐานด้วยเครื่องมือแบบเข็ม.....	31
3.15 โครงสร้างของเครื่อง Susceptometer.....	33
3.16 การวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของค้อนน้ำหนักมาตรฐานด้วยเครื่อง Susceptometer.....	33
3.17 โครงสร้างของการวัดปริมาตร โดยวิธีการชั่งวัตถุแทนที่ในน้ำ.....	38
3.18 การวัดค่าปริมาตรของค้อนน้ำหนักมาตรฐาน โดยวิธีการชั่งวัตถุแทนที่ในน้ำ.....	39
3.19 การสอบเทียบค้อนน้ำหนักมาตรฐานด้วยเครื่องชั่งแบบเปรียบเทียบมวล.....	43
4.1 ตัวต้นแบบแพลทินัม-อิริเดียมที่เก็บรักษาไว้ที่ประเทศฝรั่งเศส.....	45
4.2 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลของตัวต้นแบบกิโลกรัม No.52 Δm_1 คือการเปลี่ยนแปลง ค่ามวลแบบผันกลับไม่ได้ในระยะเวลาใดๆ Δm_2 คือการเปลี่ยนแปลงค่ามวล แบบผันกลับได้เนื่องจากชั้นพื้นผิวซึ่งถูกเอาออกจากการทำความสะอาด.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 การเพิ่มขึ้นของค่ามวลโดยชั้นดูดซับน้ำที่ขึ้นกับค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสำหรับ พื้นผิวโลหะต่างๆสำหรับมวลมาตรฐานที่มีค่าความหนาผิว $R_z \approx 0.2$ ไมโครเมตร.....	47
4.4 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 1.....	49
4.5 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 2.....	50
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 3.....	50
4.7 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 4.....	51
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 5.....	51
4.9 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 1-5.....	52
4.10 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 1.....	53
4.11 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 2.....	53
4.12 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 3.....	54
4.13 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 4.....	54
4.14 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 5.....	55
4.15 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 1-5.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมประเภทต่างๆกำลังก้าวเข้าสู่ยุคแห่งการแข่งขัน และกีดกันทางการค้าระหว่างประเทศอย่างรุนแรง เพราะโลกได้ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มเศรษฐกิจต่างๆมากมาย ความมุ่งหมายของกลุ่มเศรษฐกิจเหล่านี้ต่างก็คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ต่างพยายามปกป้องผลประโยชน์ทางการค้าในกลุ่มของตนด้วยกันทั้งสิ้น โดยใช้มาตรการด้านการประกันคุณภาพด้วยการใช้มาตรฐาน ISO 9000 ซึ่งในมาตรฐานดังกล่าวมีการวัดและการทดสอบเป็นส่วนสำคัญอันหนึ่งในการรับรองคุณภาพของสินค้าและบริการส่งออก โดยผู้ผลิตต้องสามารถยืนยันได้ว่าผลของการวัดในกระบวนการควบคุมการผลิต และการทดสอบสินค้านั้น ได้กระทำอย่างถูกต้องตามระบบของมาตรวิทยาที่เป็นสากล กล่าวคืออุปกรณ์และเครื่องมือที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะต้องได้รับการสอบเทียบ(Calibration) และรับรองขอบเขตของความเที่ยงตรง โดยห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองความสามารถ(Accredited Laboratory) และสามารถสอบย้อนผลการสอบเทียบจนถึงมาตรฐานการวัดของชาติและสากลได้ ดัชนีน้ำหนักมาตรฐานก็เป็นมาตรฐานการวัดของชาติและสากลอีกหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญ แต่ปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ในประเทศไทยยังต้องสั่งซื้อดัชนีน้ำหนักมาตรฐานจากต่างประเทศซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับดัชนีน้ำหนักมาตรฐานที่ผลิตภายในประเทศเนื่องจากดัชนีน้ำหนักมาตรฐานที่ผลิตภายในประเทศยังไม่ได้รับความน่าเชื่อถือจากผู้บริโภค เนื่องจากผู้ผลิตไม่สามารถยืนยันได้ว่าดัชนีน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นเป็นไปตามมาตรฐานที่ยอมรับทั่วโลกนั่นเอง

สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการสร้างดัชนีน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม โดยอ้างอิงมาตรฐาน OIML R111 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ระบุข้อกำหนดต่างๆในการสร้างและตรวจสอบดัชนีน้ำหนักมาตรฐาน โดยจะทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ค่าความหยาบผิว ความเป็นแม่เหล็ก ความหนาแน่นและค่ามวลจริงสัมบูรณ์ของดัชนีน้ำหนักมาตรฐาน จากนั้นจะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวและค่าความเสถียรของดัชนีน้ำหนักมาตรฐาน

ผู้ผลิตดัชนีน้ำหนักมาตรฐานภายในประเทศสามารถใช้งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการสร้างและตรวจสอบดัชนีน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นมาเพื่อยืนยันว่าดัชนีน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นเป็นไปตามมาตรฐาน OIML R111 เพิ่มความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภคและเป็นการทดแทนการนำเข้าดัชนีน้ำหนักมาตรฐานจากต่างประเทศซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายให้แก่ภาคอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการต่างๆได้มาก นอกจากนี้ยังสามารถหารายได้เข้าประเทศได้จากการจำหน่ายไปยังประเทศอื่นๆได้

ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาแนวทางการสร้างคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111
- 1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐานตามหัวข้อต่อไปนี้
 - 1.2.2.1 ลักษณะทางกายภาพ
 - 1.2.2.2 ค่าความหยาบผิว
 - 1.2.2.3 ค่าความเป็นแม่เหล็ก
 - 1.2.2.4 ค่าความหนาแน่น
 - 1.2.2.5 ค่ามวลจริงสัญญนิยม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวและค่าความเสถียรของคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐาน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาข้อกำหนดต่างๆในการสร้างคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111
- 1.3.2 ศึกษาวิธีการทดลองวัดค่าลักษณะทางกายภาพ ค่าความหยาบผิว ความเป็นแม่เหล็ก ความหนาแน่นและค่ามวลจริงสัญญนิยมของคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐาน
- 1.3.3 ศึกษาการสร้างคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม
- 1.3.4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวและค่าความเสถียรของคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทำให้ทราบแนวทางการสร้างและตรวจสอบคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ซึ่งทางผู้ผลิตที่ต้องการสร้างคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐานสามารถนำไปใช้ได้
- 1.4.2 ทำให้ทราบว่าค่าความหยาบผิวส่งผลต่อค่าความเสถียรของคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐานหรือไม่ เพื่อนำไปใช้ปรับปรุงขบวนการสร้างคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐานต่อไป
- 1.4.3 ทำให้ทราบถึงศักยภาพในการสร้างคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐานของประเทศไทยว่าได้มาตรฐานหรือไม่เพื่อจะได้ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ

1.5 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอแนวทางการสร้างคຸ່ມน้ำหนักตามมาตรฐาน OIML R111 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก โดยในมาตรฐานนี้จะระบุข้อกำหนดต่างๆในการสร้างคຸ່ມน้ำหนักมาตรฐานและวิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบคຸ່ມน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ภายในเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็น ใบเซปอะเยชันนี้ การทำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานที่สร้างขึ้นว่ามีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้หรือไม่ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับตัวแปรค่าความหยาบผิวของค้อน้ำหนักมาตรฐานว่ามีความสัมพันธ์และส่งผลต่อค่าความเสถียรของค้อน้ำหนักมาตรฐานอย่างไร ในวิทยานิพนธ์นี้จะมีรายละเอียดแบ่งออกเป็นบทย่อยคือในบทที่ 2 จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับค้อน้ำหนักมาตรฐาน ความหยาบผิว ความเป็นแม่เหล็ก ความหนาแน่น ค่ามวลจริงสัญญนิยม (Conventional Mass) และมาตรฐาน OIML R111 ต่อไปในบทที่ 3 กล่าวถึงการสร้างค้อน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 การตรวจสอบค้อน้ำหนักมาตรฐาน ซึ่งได้แก่การทดลองวัดค่าลักษณะทางกายภาพ ค่าความหยาบผิว ค่าความเป็นแม่เหล็ก ค่าความหนาแน่นและค่ามวลจริงสัญญนิยม ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงค่าความเสถียรของค้อน้ำหนักมาตรฐานและอัตราการแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน สุดท้ายในบทที่ 5 จะสรุปผลการสร้างค้อน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ขนาด 1 กิโลกรัม ผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวต่อค่าความเสถียรของค้อน้ำหนักมาตรฐาน ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไขรวมทั้งแนวทางวิจัยและการประยุกต์ใช้ในอนาคต



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับคຸ່ມนำหนักมาตรฐาน

ระบบ SI ถูกเสนอครั้งแรกในการประชุม the 11th Conference Generale des Poids et Mesures ในปี ค.ศ. 1960 หน่วยพื้นฐานของ SI Units มีดังนี้

ปริมาณ	ชื่อหน่วย SI	สัญลักษณ์
ความยาว	เมตร	m
มวล	กิโลกรัม	kg
เวลา	วินาที	s
กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์	A
อุณหภูมิเทอร์โมไดนามิกส์	เคลวิน	K
ปริมาณสาร	โมล	mol
ความเข้มการส่องสว่าง	แคนเดลา	cd

คำจำกัดความของหน่วยในระบบ SI ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ตามธรรมชาติยกเว้นหน่วย กิโลกรัมซึ่งเป็นหน่วยของมวลที่เท่ากับมวลต้นแบบระหว่างชาติของกิโลกรัม มวลต้นแบบนี้มีลักษณะเป็นคຸ່มน้ำหนักมาตรฐานซึ่งถูกเก็บรักษาไว้ที่สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างชาติที่ แซร์เรอ ใกล้กับกรุงปารีส, BIPM ประเทศฝรั่งเศส

2.1 คຸ່มน้ำหนักมาตรฐาน

2.1.1 ความหมายของคຸ່มน้ำหนักมาตรฐาน

คຸ່มน้ำหนักมาตรฐาน หมายถึง มวลหรือชิ้นวัตถุที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงให้มีน้ำหนักคงที่ตามขนาดต่างๆที่กำหนด หรือค่าระบุเป็นเลขจำนวนเต็มจะเท่ากับ 1 มิลลิกรัม...500 มิลลิกรัม และ 1 กรัม...500 กรัม และ 1 กิโลกรัม...5000 กิโลกรัม

2.1.2 มาตรฐานต่างๆของคຸ່มน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้โดยทั่วไป

2.1.2.1 OIML (International Organization of Legal Metrology) ระดับชั้น E₁...M₃ ขนาด 1 มิลลิกรัม ถึง 50 กิโลกรัม ใช้ในกลุ่มประเทศยุโรป/เอเชีย/ญี่ปุ่น

2.1.2.2 ASTM (American Society For Testing and materials) ระดับชั้น 1...6 ขนาด 1 มิลลิกรัม ถึง 5000 กิโลกรัม ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา/เอเชีย/ญี่ปุ่น

2.1.2.3 NBS (National Bureau of Standards) ระดับชั้น J...T ขนาด 50 มิลลิกรัม ถึง 1000 กิโลกรัม ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ชนิดของตม้น้ำหนักมาตรฐาน

ตม้น้ำหนักมาตรฐานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดดังนี้

2.1.3.1 ตม้น้ำหนักชนิดชั่งเดียว เป็นแท่งโลหะตันรูปทรงกระบอก ส่วนบนอาจคอดเข้า เพื่อให้ใช้คีบจับได้ ส่วนมากเป็นตม้น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 และ E_2 มีขนาดตั้งแต่ 1 กรัม ถึง 50 กิโลกรัม

2.1.3.2 ตม้น้ำหนักชนิดมีช่องปรับน้ำหนัก เป็นแท่งโลหะทรงกระบอกหรือแท่งสี่เหลี่ยม มีช่องไว้สำหรับปรับน้ำหนักตามต้องการ ส่วนมากเป็นตม้น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F_1 และ F_2 มีขนาดตั้งแต่ 1 กรัม ถึง 1000 กิโลกรัม

2.1.3.3 ตม้น้ำหนักชนิดแผ่น เป็นแผ่นโลหะรูปสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมและห้าเหลี่ยม ทำมาจากโลหะสแตนเลสหรืออลูมิเนียม มีขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิกรัม ถึง 500 มิลลิกรัม

2.1.3.4 ตม้น้ำหนักชนิดเส้นลวด เป็นเส้นลวดโลหะที่ดัดงอเป็นรูปเส้นตรงที่ต่อกัน เพื่อให้จำได้ง่ายว่าเส้นใดมีน้ำหนักเท่าใด เช่น ลักษณะ 2 เส้นต่อกันมีขนาด 2 มิลลิกรัม, 20 มิลลิกรัม หรือ 200 มิลลิกรัม เป็นต้น มีขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิกรัม ถึง 500 มิลลิกรัม



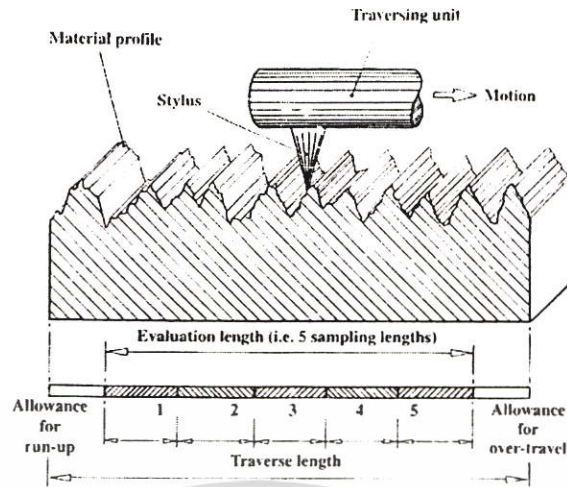
รูปที่ 2.1 ชนิดของตม้น้ำหนักมาตรฐาน

2.2 ความหยابผิว

ความหยابผิวเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งเกี่ยวกับราคาของสินค้าซึ่งเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงเบนระหว่างจุดต่างๆบนพื้นผิวจากจุดอื่นๆบนพื้นผิวเดียวกัน ขบวนการในการผลิตที่ต่างกันทำให้เกิดลักษณะพื้นผิวแตกต่างกัน

ลักษณะพื้นผิวทั่วไปประกอบไปด้วยองค์ประกอบอยู่สามแบบ ได้แก่ ความหยابผิว ความเป็นคลื่นและ โพรไฟล์ (profile) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลักษณะพื้นผิวทั่วไปและคุณลักษณะทางด้านความยาว

ในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่องมือวัดจะต้องทำการเลือกตัวกรอง (filter) ที่มีความเหมาะสม หลังจากนั้นจะต้องทำการเลือกค่าความถี่ตัดออก (cut-offs) เช่น ในมาตรฐาน ISO3274:1996 มีค่า 0.08 มิลลิเมตร, 0.25 มิลลิเมตร, 0.8 มิลลิเมตร, 2.5 มิลลิเมตร, 8.0 มิลลิเมตร เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีคุณลักษณะทางด้านความยาวที่เกี่ยวข้องกับ โปรไฟล์อยู่ 3 ค่า (รูปที่ 2.2) ดังนี้

- ค่าความยาวสุ่มในการวัด (sampling length) คือค่าความยาวในแนว x ที่เป็นค่าระยะทางที่น้อยที่สุดที่ใช้พิจารณาลักษณะพื้นผิวของโปรไฟล์ที่ต้องการประเมิน
- ค่าความยาวในการประเมิน (evaluation length) คือค่าความยาวทั้งหมดในแนว x ที่ใช้สำหรับประเมินโปรไฟล์ที่ต้องการทราบค่า
- ค่าความยาวของการลากผ่าน (traverse length) คือค่าความยาวทั้งหมดของพื้นผิวที่หัวเข็มลากผ่านเพื่อทำการวัด แต่ข้อมูลพื้นผิวไม่ได้ถูกเก็บตลอดช่วงความยาวนี้เนื่องจากอาจจะต้องรอให้กลไกการทำงานของหัวเข็มมีความเร็วคงที่ก่อนที่จะเริ่มทำการเก็บข้อมูล

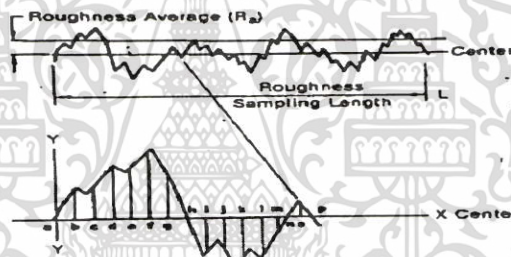
ในการประเมินค่าความหยาบผิวของค้อน้ำหนักมาตรฐานนั้น ขั้นแรกจะทำการตรวจสอบด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตามวิธีนี้สำหรับค้อน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้นสูงๆจะประเมิน โดยการเปรียบเทียบกับตัวมาตรฐานความหยาบผิว (roughness comparison specimen (CS)) วัดด้วยเครื่องมือแบบเข็ม (Stylus instrument (SI)) หรือเครื่องมืออื่นๆที่เป็นที่ยอมรับ

ถ้าไม่ต้องการค่าที่แท้จริงของความหยาบผิวแต่ต้องการแสดงว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่สามารถใช้การเปรียบเทียบกับตาเปล่ากับตัวมาตรฐานความหยาบผิวก็เพียงพอแล้ว ซึ่งตัวมาตรฐานนี้จะมีค่าความหยาบผิวแตกต่างกันไปแบ่งตามระดับชั้นและถูกผลิตด้วยวิธีการที่คล้ายกับการผลิตพื้นผิวของค้อน้ำหนักมาตรฐาน ในกรณีที่เกิดความสงสัยเกี่ยวกับค่าความหยาบผิว จะใช้เครื่องมือแบบเข็มซึ่งเป็นวิธีแบบสัมผัสทำการประเมินค่า โดยทำการลากไปบนพื้นผิวของค้อน้ำหนักมาตรฐานนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักมาตรฐาน ซึ่งการเคลื่อนที่ของเข็มในแนวตั้งจะถูกบันทึกไว้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเข็ม การใช้เครื่องมือแบบเข็มนี้อาจทำลายหรือขีดข่วนพื้นผิวของค้อนน้ำหนักมาตรฐานได้ สำหรับวิธีแบบไม่สัมผัสส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือที่ใช้ปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ ทางแสงและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้หลักการวัดการกระเจิงของแสง

ในการประเมินค่าความหยาบผิวของค้อนน้ำหนักมาตรฐานจะสนใจเฉพาะตัวแปรค่าความหยาบเฉลี่ย, R_a และค่าความสูง 10 จุด, R_z เท่านั้น

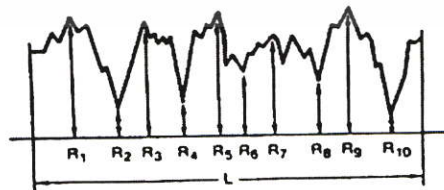
ค่าความหยาบเฉลี่ยหามาจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าสัมบูรณ์ค่าเบี่ยงเบนความสูงของโพรไฟล์ ซึ่งวัดจากเส้นกลางในช่วงความยาวที่กำหนด (รูปที่ 2.3) ในการพิจารณาค่าความหยาบเฉลี่ยนี้มีอยู่สองวิธีคือวิธีทางกราฟและวิธีเฉลี่ยทางไฟฟ้า ค่าที่ได้จากสองวิธีนี้มีค่าไม่เท่ากันจริงๆ เนื่องจากเส้นกลางของวิธีทางกราฟเป็นเส้นตรงในขณะที่เส้นกลางจากวิธีเฉลี่ยทางไฟฟ้ามีลักษณะเป็นคลื่น สำหรับวิธีเฉลี่ยทางไฟฟ้าจะต้องกำหนดค่าความถี่ตัดออกโดยให้มีข้อมูลเพียงพอสำหรับการประเมินซึ่งเรียกว่าค่าความยาวในการสุ่มวัดตัวอย่าง โดยปกติมีค่าเป็น 5 เท่าของความถี่ตัดออก



รูปที่ 2.3 ค่าความหยาบเฉลี่ย, R_a

$$R_a = \frac{y_a + y_b + y_c + \dots + y_n}{n} \quad (2.1)$$

ค่าความสูง 10 จุด, R_z หามาจากค่าผลต่างเฉลี่ยระหว่างค่าความสูงที่มีค่าสูงสุด 5 ค่ากับค่าต่ำสุด 5 ค่า (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 ค่าความสูง 10 จุด, R_z

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความเป็นแม่เหล็ก

ปฏิกิริยาทางแม่เหล็กอาจทำให้เกิดค่าผิดพลาดในการวัดมวลมาตรฐานที่ระดับความถูกต้องสูงๆได้ ถ้าคัมน์น้ำหนักมาตรฐานแสดงพฤติกรรมความเป็นแม่เหล็กจะไม่เหมาะสมกับการใช้งาน นอกเหนือจากค่าความเป็นแม่เหล็กถาวรที่อาจเกิดขึ้นกับตัวคัมน์น้ำหนักมาตรฐานแล้วยังมีค่าความเป็นแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความไวต่อแม่เหล็กและรูปร่างของคัมน์น้ำหนักมาตรฐานด้วย

เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์รุ่นใหม่จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมา เพราะว่าอุปกรณ์ในส่วนตัวรับรู้คัมน์น้ำหนักในเครื่องชั่งประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร ถ้าคัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่ถูกชั่งมีค่าความเป็นแม่เหล็กจะทำให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งไม่ถูกต้องเนื่องจากแรงทางแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างคัมน์น้ำหนักมาตรฐานและค่าสนามแม่เหล็กของโลกที่กระทำกับตัวเครื่องชั่ง

คัมน์น้ำหนักมาตรฐานอาจแสดงพฤติกรรมเกี่ยวกับความเป็นแม่เหล็กพร้อมกัน 2 รูปแบบ คือ ค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็กและค่าความเป็นแม่เหล็กถาวร คัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็กคือคัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่ถูกทำให้มีค่าความเป็นแม่เหล็กเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก (เช่น ใกล้ๆกับวัตถุที่เป็นแม่เหล็ก) และค่าความเป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำนี้จะหายไปก็ต่อเมื่อค่าสนามแม่เหล็กในบริเวณนั้นถูกเอาออกและเกิดขึ้นอีกเมื่อมีค่าสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นอีกครั้ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าเพอร์มิอิลิตี (permeability, μ) ดังนี้

$$\mu/\mu_0 = 1 + \chi \quad (2.3)$$

โดยที่ μ_0 คือ ค่าเพอร์มิอิลิตีของสุญญากาศ

คัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความเป็นแม่เหล็กถาวรคือคัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่ประพฤติตัวเสมือนเป็นวัตถุแม่เหล็กถาวรแม้จะไม่มีสนามแม่เหล็กอยู่ในบริเวณนั้น

ในการตรวจสอบพฤติกรรมเกี่ยวกับความเป็นแม่เหล็กของคัมน์น้ำหนักมาตรฐานนั้นได้มีการคิดค้นเครื่องมือและวิธีการต่างๆขึ้นมาใช้ตรวจสอบ เช่น Hall-probe Gaussmeter, Fluxgate Magnetometer และ Susceptometer

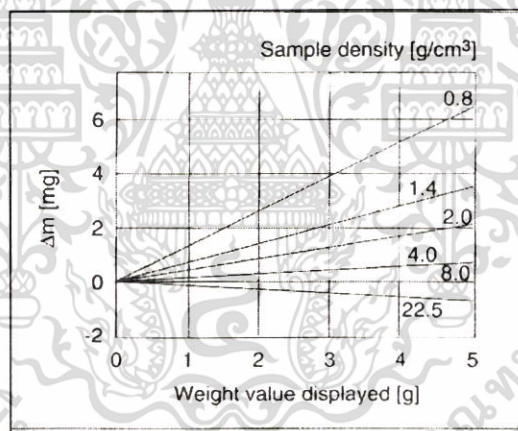
รูปแบบของแรงทางแม่เหล็กในแกน z ที่กระทำต่อตัวคัมน์น้ำหนักมาตรฐานในบริเวณที่มีค่าสนามแม่เหล็กหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$F_z = -\frac{\mu_0}{2} \frac{\partial}{\partial z} \int (\chi H * H) dV - \mu_0 \frac{\partial}{\partial z} \int (M * H) dV \quad (2.4)$$

โดยที่ χ คือค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก M คือค่าความเป็นแม่เหล็กถาวร (ค่าโมเมนต์แม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรในบริเวณที่ไม่มีค่าสนามแม่เหล็ก) H คือค่าความแรงของเอกสารนี้สนามแม่เหล็กในบริเวณนั้น และแกน z มีทิศทางกับความแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง g ในด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความหนาแน่น

วัตถุที่ชั่งในอากาศจะมีแรงพยุงอากาศกระทำต่อวัตถุ ค่าแรงพยุงอากาศนี้จะทำให้น้ำหนักของวัตถุที่ถูควัดมีค่าลดลงเท่ากับน้ำหนักที่อากาศถูกแทนที่ซึ่งเป็นไปตามหลักการของอาร์คิมิดีสในการค้นพบแรงพยุงของน้ำที่กระทำต่อร่างกายของมนุษย์เมื่ออยู่ในสระว่ายน้ำโดยไม่จมนลงไปได้สระแต่สามารถลอยอยู่ได้ ตัวอย่างในการแสดงผลกระทบของค่านี้ เช่น บนเครื่องชั่งแบบคานมีน้ำมวล 1 กิโลกรัม ถูชั่งเปรียบเทียบกับมวลมาตรฐานที่มีค่ามวลเท่ากัน ในสภาวะสุญญากาศคานจะเกิดความสมดุล แต่เมื่อเปรียบเทียบในสภาวะอากาศปกติ น้ำจะถูกแทนที่ด้วยปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์ เซนติเมตร มีแรงพยุงอากาศที่กระทำเท่ากับ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร * 1.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร = 1.2 กรัม ส่วนมวลมาตรฐานมีค่าความหนาแน่น 8 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เพราะฉะนั้นมีค่าปริมาตรเท่ากับ 125 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีแรงพยุงอากาศเท่ากับ 0.15 กรัม จะเห็นได้ว่าน้ำมีค่าน้ำหนักน้อยกว่าค่ามวลจริงๆอยู่เท่ากับค่าผลต่างระหว่างค่าแรงพยุงอากาศของทั้งสองอยู่ 1.05 กรัม ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อวัตถุที่นำมาพิจารณามีค่าความหนาแน่นแตกต่างจากมวลมาตรฐานมากก็จะทำให้น้ำหนักเบี่ยงเบนไปจากค่ามวลที่แท้จริงมากขึ้น (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 ค่าแก้แรงพยุงอากาศที่ขึ้นกับความหนาแน่นของวัตถุ

วิธีที่ใช้ในการพิจารณาค่าความหนาแน่นของค้อนน้ำหนักมาตรฐานมีอยู่ด้วยกัน 6 วิธีดังแสดงในตารางที่ 2.1 วิธี A, B, C และ D ใช้น้ำหรือของเหลวอื่นที่เหมาะสมเป็นตัวอ้างอิงค่าความหนาแน่น ส่วนวิธี E และ F เหมาะกับค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่มีระดับชั้นไม่สูงหรือไม่สามารถจุ่มในของเหลวได้

2.5 ค่ามวลจริงสัมบูรณ์นิยม

ค่ามวลจริงสัมบูรณ์นิยมของตุ้มน้ำหนักตัวอย่างมีค่าเท่ากับค่ามวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหนาแน่น 8000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เมื่อทำการชั่งในอากาศที่มีค่าความหนาแน่น 1.2 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ณ อุณหภูมิอ้างอิง 20 °C ตัวอย่างเช่น เมื่อสภาวะอากาศมีความหนาแน่น 1.2 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร มีค่าอุณหภูมิ 20 °C ทำการชั่งตุ้มน้ำหนักตัวอย่างขนาด 1 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม ที่มีค่ามวลจริง 1.000007 กิโลกรัม ถ้าตุ้มน้ำหนักมาตรฐานมีความหนาแน่น 8000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และเครื่องชั่งแสดงค่าเท่ากันเมื่อวางตุ้มน้ำหนักทั้งสอง จากคำจำกัดความของมวลจริงสัมบูรณ์นิยมจะได้ว่าตุ้มน้ำหนักตัวอย่างมีค่ามวลจริงสัมบูรณ์นิยมเท่ากับ 1.000007 กิโลกรัม

ในกรณีที่ทราบค่ามวล, m และค่าความหนาแน่น ρ ของตุ้มน้ำหนัก สามารถหาค่ามวลจริงสัมบูรณ์นิยม, m_c ของตุ้มน้ำหนักที่อุณหภูมิ 20 °C ได้ดังสมการ 2.6

$$m_c = m \cdot \frac{\rho - 1.2 \text{ kg m}^{-3}}{\left(1 - \frac{1.2}{8000}\right) \rho} = m \cdot \frac{\rho - 1.2 \text{ kg m}^{-3}}{0.999850 \cdot \rho} \quad (2.6)$$

2.6 มาตรฐาน OIML R111

มาตรฐาน OIML R111 นี้อธิบายถึงความต้องการทางด้านเทคนิคและมาตรวิทยาสำหรับตุ้มน้ำหนักที่ใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจสอบเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีระดับชั้นความถูกต้องต่ำกว่า โดยใช้กับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่ามวลที่ระบุตั้งแต่ 1 มิลลิกรัม ถึง 5,000 กิโลกรัม

2.6.1 ระดับชั้นของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

ระดับชั้นของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานตามข้อกำหนด OIML R111 มีดังนี้

2.6.1.1 ระดับชั้น E_1 เป็นตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการสอบย้อนกลับระหว่างมาตรฐานด้านมวลระดับชาติ (ที่หาค่ามาจากมวลต้นแบบกิโลกรัมระหว่างประเทศ) กับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_2 และต่ำกว่า ควรมีใบรับรองการสอบเทียบด้วย

2.6.1.2 ระดับชั้น E_2 เป็นตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F_1 และใช้กับเครื่องชั่งที่มีความถูกต้องในระดับชั้น 1 ควรมีใบรับรองการสอบเทียบด้วย ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_2 นี้สามารถใช้เป็นตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 ได้ ถ้ามีสมบัติของความเรียบผิวและสมบัติด้านความเป็นแม่เหล็กเหมือนตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.3 ระดับชั้น F_1 เป็นตม้่น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบตม้่น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F_2 และใช้กับเครื่องชั่งที่มีความถูกต้องในระดับชั้น 1 และ 2

2.6.1.4 ระดับชั้น F_2 เป็นตม้่น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบตม้่น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 และอาจใช้กับตม้่น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_2 ด้วย นอกจากนี้ยังใช้กับเครื่องชั่งที่มีความถูกต้องในระดับชั้น 2 ที่ใช้ชั่งวัตถุและหินมีค่า

2.6.1.5 ระดับชั้น M_1 เป็นตม้่น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบตม้่น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_2 และใช้กับเครื่องชั่งที่มีความถูกต้องในระดับชั้น 3

2.6.1.6 ระดับชั้น M_2 เป็นตม้่น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบตม้่น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_3 และใช้กับเครื่องชั่งการค้าทั่วไปที่มีความถูกต้องในระดับชั้น 3

2.6.1.7 ระดับชั้น M_3 เป็นตม้่น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้กับเครื่องชั่งที่มีความถูกต้องในระดับชั้น 4

2.6.1.8 ระดับชั้น $M_{1,2}$ และ $M_{2,3}$ เป็นตม้่น้ำหนักมาตรฐานที่มีขนาด 50 กิโลกรัม ถึง 5,000 กิโลกรัม ใช้กับเครื่องชั่งที่มีระดับความถูกต้องในระดับชั้น 3

2.6.2 การจัดชุดของตม้่น้ำหนักมาตรฐาน

ชุดของตม้่น้ำหนักมาตรฐานจะประกอบด้วยชุดใดชุดหนึ่งเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน เพื่อให้สามารถรวมตม้่น้ำหนักมาตรฐานให้มีขนาดต่างๆ ได้ตามต้องการ โดยมีการจัดชุดของตม้่น้ำหนักมาตรฐานดังนี้

$(1;1;2;5) \times 10^n$ กิโลกรัม \Rightarrow 1 1 2 5 10 10 20 50 100 100 ... มิลลิกรัม, กรัม, กิโลกรัม

$(1;1;1;2;5) \times 10^n$ กิโลกรัม \Rightarrow 1 1 1 2 5 10 10 10 20 50 100 ... มิลลิกรัม, กรัม, กิโลกรัม

$(1;2;2;5) \times 10^n$ กิโลกรัม \Rightarrow 1 2 2 5 10 20 20 50 100 200 ... มิลลิกรัม, กรัม, กิโลกรัม

$(1;1;2;2;5) \times 10^n$ กิโลกรัม \Rightarrow 1 1 2 2 5 10 10 20 20 50 100 100 ... มิลลิกรัม, กรัม, กิโลกรัม

ชุดของตม้่น้ำหนักมาตรฐานอาจประกอบด้วยตม้่น้ำหนักมาตรฐานหลายตัวที่มีค่าเดียวกัน (เช่น ในหนึ่งชุดของตม้่น้ำหนักมาตรฐานอาจประกอบด้วยตม้่น้ำหนักมาตรฐานขนาด 5×10^n กิโลกรัม จำนวน 10 อัน)

2.6.3 ข้อกำหนดในการสร้างตม้่น้ำหนักมาตรฐาน

2.6.3.1 ข้อกำหนดด้านมาตรวิทยา

ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับค่าของตม้่น้ำหนักมาตรฐานถูกกำหนดไว้ในตารางที่

2.2 ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่ามวลจริงสัญญนิยม

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กรัมหรือน้อยกว่าควรมีลักษณะเป็นแผ่นเหลี่ยมแบนหรือเป็นลวด ทำมุมโดยมีรูปร่างเหมาะสมต่อการจับ รูปร่างของค้อนน้ำหนักมาตรฐานควรระบุบอกถึงค่าน้ำหนักของมันได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รูปร่างของค้อนน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กรัมหรือน้อยกว่า

ค่าที่ระบุ	แผ่นเหลี่ยม	ลวด	
5-50-500 มิลลิกรัม	ห้าเหลี่ยม	ห้าเหลี่ยม	} หรือ {
2-20-200 มิลลิกรัม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	
1-10-100-1 000 มิลลิกรัม	สามเหลี่ยม	สามเหลี่ยม	1 ส่วน

สำหรับค้อนน้ำหนักมาตรฐาน 1 กรัม – 50 กิโลกรัมอาจมีรูปร่างดังแสดงในภาคผนวก ก ค้อนน้ำหนักมาตรฐานอาจมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ความสูงของตัวค้อนควรมีค่าประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหรือระหว่าง $3/4$ และ $5/4$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย อาจมีปุ่มสำหรับจับซึ่งมีความสูงระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวค้อน

นอกเหนือจากรูปร่างที่กล่าวมาแล้ว ค้อนน้ำหนักมาตรฐาน 5 กิโลกรัม – 50 กิโลกรัม อาจมีรูปร่างแตกต่างไปเพื่อให้เหมาะกับการจับคือแทนที่จะเป็นปุ่มจับก็อาจจะเป็นที่จับที่มีความแข็งแรง อย่างเช่น เป็นแกน, ค้ำ, ขอ, ช่องหรืออย่างอื่นที่มีลักษณะคล้ายๆกัน

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 5 กิโลกรัม – 50 กิโลกรัม อาจมีรูปร่างเป็นปริซึมเหลี่ยมขอบมนและมีที่จับที่แข็งแรง ตัวอย่างของขนาดและค่าขอบเขตของขนาดสำหรับค้อนน้ำหนักมาตรฐานแสดงอยู่ในภาคผนวก ก ค้อนน้ำหนักมาตรฐานมากกว่า 50 กิโลกรัม อาจมีรูปร่างทรงกระบอก, สี่เหลี่ยมหรืออื่นๆที่เหมาะสม อาจมีที่จับที่แข็งแรง เช่น แกน, ค้ำ, ขอ, ช่องหรืออย่างอื่นที่คล้ายๆกัน

2.6.3.2.2 โครงสร้าง

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 และ E_2 1 มิลลิกรัม – 50 กิโลกรัม ควรมีความแข็งแรง ไม่มีช่องเปิดสู่บรรยากาศและควรมีโครงสร้างเป็นเนื้อเดียวกัน (เช่น ประกอบด้วยวัสดุชิ้นเดียว)

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_2 มากกว่า 50 กิโลกรัมอาจมีช่องปรับน้ำหนักได้ ปริมาตรของช่องปรับนี้ไม่ควรเกิน $1/1000$ ของปริมาตรทั้งหมดของค้อนน้ำหนักมาตรฐาน ช่องปรับควรถูกปิดให้กันน้ำและอากาศ (เช่น ทำการเชื่อม) และควรถูกปิดด้วยปุ่ม, ค้ำ, ช่องหรืออย่างอื่นคล้ายๆกัน วัสดุที่ใส่ในช่องปรับควรเป็นวัสดุแบบเดียวกับตัวค้อนน้ำหนักมาตรฐาน หลังจากทำการปรับเบื้องต้นแล้วประมาณ $1/2$ ของปริมาตรทั้งหมดของช่องปรับน้ำหนักควรเป็นที่ว่าง

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F_1 และ F_2 อาจประกอบด้วยวัสดุแบบเดียวหรือหลายแบบในการผลิตค้อนน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กรัม – 50 กิโลกรัม อาจมีช่องปรับน้ำหนักโดยที่ปริมาตรของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องปรับไม่ควรเกิน $1/4$ ของปริมาตรทั้งหมดของค้อนน้ำหนักมาตรฐาน ช่องปรับควรถูกปิดด้วยที่จับ, ยกหรืออื่นๆที่เหมาะสม หลังจากทำการปรับน้ำหนักแล้วประมาณ $1/2$ ของปริมาตรทั้งหมดของช่องปรับน้ำหนักควรเป็นที่ว่าง ค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่มากกว่า 50 กิโลกรัม อาจมีช่องปรับน้ำหนักโดยที่ปริมาตรของช่องนี้ไม่ควรเกิน $1/20$ ของปริมาตรทั้งหมดของค้อนน้ำหนักมาตรฐาน ช่องปรับน้ำหนักควรถูกผนึกให้กันน้ำและอากาศโดยการปิดด้วยสกรูหรืออุปกรณ์จับคล้ายปุ่ม ค้ำมช่องหรือคล้ายกัน หลังจากปรับน้ำหนักแล้วประมาณ $1/2$ ของปริมาตรทั้งหมดของช่องปรับน้ำหนักควรเป็นที่ว่าง

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ตั้งแต่ 1 กรัม – 10 กรัม ควรมีความแข็งและไม่ มีช่องปรับ สำหรับค้อนน้ำหนักมาตรฐานตั้งแต่ 20 กรัม – 50 กรัม อาจมีช่องปรับได้ ค้อนน้ำหนักมาตรฐานตั้งแต่ 100 กรัม – 50 กิโลกรัม ควรมีช่องปรับ อย่างไรก็ตามถ้าผลิตจากโลหะสแตนเลส ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 และ M_2 ตั้งแต่ 20 กรัม – 200 กรัม อาจมีช่องปรับได้ ช่องปรับนี้ควรถูกออกแบบเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของสิ่งแปลกปลอมหรือเศษฝุ่นต่างๆ การออกแบบช่องปรับควรทำให้ปิดช่องปรับได้อย่างปลอดภัยและสามารถเปิดได้สำหรับปรับน้ำหนัก ปริมาตรของช่องปรับไม่ควรมากกว่า $1/4$ ของปริมาตรทั้งหมดของค้อน หลังจากทำการปรับน้ำหนักแล้วประมาณ $1/2$ ของปริมาตรทั้งหมดของช่องปรับน้ำหนักควรเป็นที่ว่าง

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ตั้งแต่ 1 กรัม – 50 กิโลกรัม แบบทรงกระบอกควรมีช่องปรับในแนวแกนตั้งของค้อนน้ำหนักมาตรฐานโดยเปิดด้านบนของที่จับ ช่องปรับถูกปิดด้วยสกรูหรือแผ่นวงกลมพร้อมรูจับตรงกลาง ที่ปิดหรือแผ่นวงกลมนี้ควรทำด้วยทองเหลืองหรือวัสดุโลหะอื่นๆที่เหมาะสมและถูกปิดด้วยวัสดุที่ทำจากตะกั่วหรือวัสดุคล้ายกันใส่ไปในช่องปรับ

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ตั้งแต่ 1 กรัม – 50 กิโลกรัม ที่มีรูปร่างแบบสี่เหลี่ยมขนานควรมีช่องปรับน้ำหนักภายในค้ำมจับ แต่ถ้าค้ำมจับเป็นวัสดุตัน ควรมีช่องปรับน้ำหนักภายในแนวตั้งด้านหนึ่งของค้อนน้ำหนักมาตรฐานซึ่งเปิดด้านข้างหรือด้านบนของค้อนน้ำหนักมาตรฐาน ถ้าช่องปรับน้ำหนักอยู่ภายในแนวตั้งและเปิดด้านข้างหรือด้านบนของแนวตั้ง ช่องปรับนี้ควรถูกปิดด้วยแผ่นที่ทำด้วยเหล็กอ่อนหรือวัสดุที่เหมาะสมอื่นๆ และถูกผนึกด้วยวัสดุที่ทำจากตะกั่วหรือวัสดุคล้ายกันใส่ไปภายในตัวค้อน

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ที่มากกว่า 50 กิโลกรัม ไม่ควรมีหลุมซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการสะสมฝุ่นหรือเศษต่างๆอย่างรวดเร็ว ค้อนน้ำหนักมาตรฐานควรมีช่องปรับ 1 ช่องหรือมากกว่านั้น ปริมาตรทั้งหมดของช่องปรับไม่ควรมากกว่า $1/10$ ของปริมาตรทั้งหมดของค้อน ช่องปรับควรถูกผนึกให้กันน้ำและอากาศและควรถูกปิดด้วยสกรูหรืออุปกรณ์จับ เช่น ที่จับค้ำมหรืออื่นๆที่คล้ายกัน หลังจากทำการปรับน้ำหนักแล้ว $1/3$ ของปริมาตรทั้งหมดของช่องปรับน้ำหนักควรเป็นที่ว่าง

2.6.3.2.3 วัสดุ

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานควรมีความต้านทานต่อการกัดกร่อน วัสดุที่ใช้ผลิตควรทำให้การเปลี่ยนแปลงค่ามวลของค้อนน้ำหนักมาตรฐานสามารถเพิกเฉยได้เมื่อเทียบกับค่าผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ภายใต้สภาวะปกติและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

สำหรับค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 และ E_2 ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1 กรัม ความแข็งของวัสดุและความต้านทานต่อการกัดกร่อนควรมีลักษณะใกล้เคียงหรือดีกว่าเหล็กสแตนเลสออสเทนิติก

พื้นผิวของค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F_1 และ F_2 ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1 กรัม อาจทำการชุบด้วยโลหะที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงความต้านทานการกัดกร่อนและความแข็ง ความแข็งของวัสดุที่ใช้ผลิตค้อนน้ำหนักมาตรฐานควรมีค่าน้อยเท่ากับทองเหลือง สำหรับค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่มากกว่า 50 กิโลกรัม ความแข็งของวัสดุที่ใช้ทำตัวค้อนหรือพื้นผิวภายนอกควรมีค่าน้อยเท่ากับเหล็กสแตนเลส

พื้นผิวของค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ที่เท่ากับหรือมากกว่า 1 กรัม อาจถูกเคลือบเพื่อปรับปรุงความต้านทานการกัดกร่อนหรือความแข็ง ค้อนน้ำหนักมาตรฐานน้อยกว่า 1 กรัม ควรทำด้วยวัสดุที่ต้านทานต่อการกัดกร่อนและการเกิดอ็อกไซด์ ค้อนน้ำหนักมาตรฐานทรงกระบอกตั้งแต่ 1 กรัม – 50 กิโลกรัม ควรทำด้วยทองเหลืองหรือวัสดุที่มีความต้านทานการกัดกร่อนและความแข็งใกล้เคียงหรือดีกว่าทองเหลือง ไม่ควรใช้เหล็กหล่อทำค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าน้อยกว่า 100 กรัม ค้อนน้ำหนักมาตรฐานสี่เหลี่ยมขนาดตั้งแต่ 5 กิโลกรัม – 50 กิโลกรัม ควรทำด้วยวัสดุที่มีความต้านทานการกัดกร่อนอย่างน้อยเท่ากับเหล็กหล่อ ความเปราะของมันไม่ควรมากกว่าเหล็กหล่อ ที่จับตัวค้อนน้ำหนักมาตรฐานควรทำด้วยท่อเหล็กที่ไม่มีรอยต่อหรือเป็นเหล็กหล่อและเป็นเนื้อเดียวกับตัวค้อนน้ำหนักมาตรฐาน

พื้นผิวของค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ที่มากกว่า 50 กิโลกรัมอาจถูกเคลือบเพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนให้ทนทานต่อการกระแทกและสภาวะอากาศภายนอก ควรทำด้วยวัสดุชนิดเดียวหรือหลายชนิดที่มีความต้านทานการกัดกร่อนเท่ากับหรือดีกว่าเหล็กหล่อ วัสดุที่ใช้ทำควรมีความแข็งเพื่อทนทานต่อการรับน้ำหนักและการกระแทกซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะใช้งานปกติ ที่จับตัวค้อนน้ำหนักมาตรฐานสี่เหลี่ยมระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ควรทำด้วยท่อเหล็กที่ไม่มีรอยต่อหรือเป็นเหล็กหล่อและเป็นเนื้อเดียวกับตัวค้อนน้ำหนักมาตรฐาน

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_3 ที่เท่ากับหรือมากกว่า 50 กิโลกรัม โดยทั่วไปทำด้วยเหล็กหล่อและอาจทำจากวัสดุชนิดเดียวหรือหลายชนิด วัสดุที่ใช้ทำควรมีความแข็งทนทานต่อการรับน้ำหนักและการกระแทกซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะใช้งานปกติ

2.6.3.2.4 ค่าความเป็นแม่เหล็ก (Magnetism)

2.6.3.2.4.1 ขอบเขตของค่าความเป็นแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnetization)

ค่าความเป็นแม่เหล็กไม่ควรมีค่าเกินค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าความเป็นแม่เหล็กถาวรสูงสุด, $\mu_0 M$ (μT) ของคัมน์น้ำหนัมาตรฐาน

ระดับชั้นคัมน์น้ำหนัก	E_1	E_2	F_1	F_2	M_1	$M_{1,2}$	M_2	$M_{2,3}$	M_3
ค่าความเป็นแม่เหล็กสูงสุด, $\mu_0 M$ (μT)	2.5	8	25	80	250	500	800	1600	2500

2.6.3.2.4.2 ขอบเขตของค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility)

ค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็กไม่ควรมีค่าเกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก, χ ของคัมน์น้ำหนัมาตรฐาน

ระดับชั้นคัมน์น้ำหนัก	E_1	E_2	F_1	F_2
$m \leq 1 \text{ g}$	0.25	0.9	10	-
$2 \text{ g} \leq m \leq 10 \text{ g}$	0.06	0.18	0.7	4
$20 \text{ g} \leq m$	0.02	0.07	0.2	0.8

2.6.3.2.5 ค่าความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำคัมน์น้ำหนัมาตรฐานถูกระบุไว้ในตาราง 5 โดยที่ค่าเบี่ยงเบน 10 % จากค่าความหนาแน่นอากาศที่ระบุ (1.2 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ไม่ควรส่งผลให้เกิดค่าผิดพลาดเกิน 1/4 ของค่าผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ข้อจำกัดต่ำสุดและสูงสุดสำหรับค่าความหนาแน่น (ρ_{\min} , ρ_{\max}) ของคัมน์น้ำหนัก
มาตรฐาน

Nominal Value	ρ_{\min} , ρ_{\max} (10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)							
	ระดับชั้นคัมน์น้ำหนัก (สำหรับระดับชั้น M_3 ไม่มีค่าระบุไว้)							
	E_1	E_2	F_1	F_2	M_1	M_{1-2}	M_2	M_{2-3}
≥ 100 g	7.934...8.067	7.81...8.21	7.39...8.73	6.4...10.7	≥ 4.4	> 3.0	≥ 2.3	≥ 1.5
50 g	7.92...8.08	7.74...8.28	7.27...8.89	6.0...12.0	≥ 4.0			
20 g	7.84...8.17	7.50...8.57	6.6...10.1	4.8...24.0	≥ 2.6			
10 g	7.74...8.28	7.27...8.89	6.0...12.0	≥ 4.0	≥ 2.0			
5 g	7.62...8.42	6.9...9.6	5.3...16.0	≥ 3.0				
2 g	7.27...8.89	6.0...12.0	≥ 4.0	≥ 2.0				
1 g	6.9...9.6	5.3...16.0	≥ 3.0					
500 mg	6.3...10.9	≥ 4.4	≥ 2.2					
200 mg	5.3...16.0	≥ 3.0						
100 mg	≥ 4.4							
50 mg	≥ 3.4							
20 mg	≥ 2.3							

2.6.3.2.6 เงื่อนไขพื้นผิว

ภายใต้สภาวะปกติที่ใช้งาน คุณภาพพื้นผิวควรจะทำให้การเปลี่ยนแปลงค่ามวลของคัมน์น้ำหนักมาตรฐานเพิกเฉยได้เมื่อเทียบกับค่าผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ พื้นผิวของคัมน์น้ำหนักมาตรฐาน (รวมทั้งด้านฐานและมุม) ควรจะเรียบและมีขอบมน

พื้นผิวของคัมน์น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 , E_2 , F_1 และ F_2 ไม่ควรเป็นรูพรุนและควรเป็นเงาวาวเมื่อมองด้วยตา

พื้นผิวของคัมน์น้ำหนักมาตรฐานทรงกระบอกระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 จาก 1 กรัม ถึง 50 กิโลกรัม ควรเรียบและไม่เป็นรูพรุนเมื่อมองด้วยตา

คัมน์น้ำหนักมาตรฐานสี่เหลี่ยมระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ที่มีค่า 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 20 กิโลกรัม, 50 กิโลกรัม และมากกว่า 50 กิโลกรัม ควรจะมีลักษณะคล้ายเหลี่ยมคั่วที่มีการหล่ออย่างดี การตรวจสอบด้วยตาเปล่าอาจมีความเพียงพอยกเว้นในกรณีที่มีความสงสัยเกี่ยวกับคุณภาพพื้นผิวควรใช้ค่าที่ระบุในตาราง 6 สำหรับค่าความเรียบผิวสูงสุดที่ยอมรับสำหรับคัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่มีค่ามากกว่า 50 กิโลกรัม ควรมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าที่ระบุในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าความเรียบผิวสูงสุดที่ยอมรับได้ของคัมน์น้ำหนักมาตรฐาน

ระดับชั้น	E_1	E_2	F_1	F_2
R_z (μm)	0.5	1	2	5
R_a (μm)	0.1	0.2	0.4	1

2.6.3.2.7 การปรับค่า

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานควรถูกปรับค่าโดยที่ค่ามวลจริงสัญญาณิยมที่ได้จากการชั่งตุ้มน้ำหนักมาตรฐานในอากาศมีค่าเท่ากับค่าที่ระบุโดยอยู่ในขอบเขตของค่าผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ที่กำหนดไว้สำหรับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละระดับชั้น

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 และ E_2 ควรถูกปรับค่าโดยการชั่ง การฝนหรือวิธีอื่นที่เหมาะสม เมื่อเสร็จสิ้นขบวนการปรับค่าแล้วควรจะได้ค่าพื้นผิวตามที่ต้องการ

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F_1 และ F_2 แบบตันควรถูกปรับ โดยการชั่ง การฝนหรือวิธีอื่นที่เหมาะสมซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงสมบัติทางพื้นผิว ส่วนตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีช่องปรับน้ำหนักควรถูกปรับด้วยวัสดุชนิดเดียวกับที่ใช้ทำตุ้มน้ำหนักมาตรฐานหรือดีบุก โมลิบดีนัมหรือทั้งสแตน

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ตั้งแต่ 100 กรัม – 50 กิโลกรัม ควรถูกปรับด้วยวัสดุโลหะเนื้อแน่น เช่น ลูกตะกั่ว ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานทรงกระบอกตั้งแต่ 1 กรัม – 50 กรัม ที่ไม่มีช่องปรับควรถูกปรับโดยการเอาเนื้อวัสดุออกหรือการฝน ถ้าตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเหล่านี้มีช่องปรับน้ำหนักได้ควรปรับด้วยวัสดุโลหะเนื้อแน่น เช่น ลูกตะกั่ว ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแบบแผ่นบางหรือลวดตั้งแต่ 1 มิลลิกรัม – 1 กรัม ควรถูกปรับโดยการตัด การขัดหรือการฝน

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ที่มากกว่า 50 กิโลกรัมควรถูกปรับให้สอดคล้องกับความต้องการตามที่กล่าวมาแล้ว

วัสดุที่ใช้สำหรับปรับน้ำหนักควรเป็นวัสดุแข็งซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่ามวล (ทางเคมีหรืออิเล็กทรอนิกส์) และองค์ประกอบของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ถูกปรับ

สภาวะอ้างอิงที่ใช้สำหรับปรับค่าตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเป็นดังนี้

- ความหนาแน่นอ้างอิงมาตรฐานของวัสดุ: 8,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
- ความหนาแน่นอากาศแวดล้อม: 1.2 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
- สภาวะสมดุลในอากาศที่ 20°C โดยไม่มีการแก้ค่าแรงพุงอากาศ

2.6.3.2.8 การทำเครื่องหมาย

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 และ E_2 และตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่า 1 กรัม บางตัวไม่ต้องมีการทำเครื่องหมาย ควรมีการแสดงตัวเลขระบุค่ามวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานดังนี้

กิโลกรัม – สำหรับค่ามวล 1 กิโลกรัมและมากกว่า

กรัม – สำหรับค่ามวลตั้งแต่ 1 กรัม – 500 กรัม

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าเดียวกัน 2 หรือ 3 ตัว ที่อยู่ในชุดเดียวกันควรมีการแบ่งแยกชัดเจนด้วยเครื่องหมายดอกจันหรือจุด 1 หรือ 2 จุด บนตำแหน่งกลางผิว ยกเว้นตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแบบลวดซึ่งควรถูกแบ่งแยกด้วยขอ 1 หรือ 2 อัน

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 และ E_2 ควรแสดงค่าระดับชั้นไว้บนกล่องใส่ค้อนน้ำหนักมาตรฐานแต่ไม่ควรทำเครื่องหมายบนตัวค้อนยกเว้นการทำเครื่องหมายเพื่อแบ่งแยกค้อนน้ำหนักมาตรฐานออกจากกัน คุณภาพพื้นผิวและความเสถียรของค้อนน้ำหนักมาตรฐานไม่ควรถูกระทบจากการทำเครื่องหมายหรือขบวนการที่ใช้ทำเครื่องหมาย สำหรับค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_2 อาจมีจุดที่ไม่อยู่ตำแหน่งกลางบนพื้นผิวด้านบนเพื่อทำการแบ่งแยกออกจากค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F_1 และ F_2 ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1 กรัม ควรถูกขัดเงาหรือถูกสลักเพื่อแสดงค่าที่ระบุ (ไม่ต้องตามด้วยชื่อหรือสัญลักษณ์ของหน่วย) ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F_1 ไม่ควรแสดงระดับชั้น แต่ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F_2 ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1 กรัม ควรแสดงระดับชั้นเป็นตัวอักษร “F” พร้อมกับแสดงค่าที่ระบุของมัน

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานสี่เหลี่ยมระดับชั้น M_1 , M_2 และ M_3 ตั้งแต่ 5 กิโลกรัม – 5,000 กิโลกรัม ควรแสดงค่าที่ระบุของค้อนน้ำหนักมาตรฐานตามด้วยสัญลักษณ์ “kg” บนตัวค้อนน้ำหนักมาตรฐาน ค้อนน้ำหนักมาตรฐานทรงกระบอกตั้งแต่ 1 กรัม – 5,000 กิโลกรัม ควรแสดงค่าที่ระบุของค้อนน้ำหนักมาตรฐานตามด้วยสัญลักษณ์ “g” หรือ “kg” บนที่จับ บนค้อนน้ำหนักมาตรฐานทรงกระบอกตั้งแต่ 500 กรัม – 5,000 กิโลกรัม อาจมีการแสดงค่าต่างๆ ข้างบนพื้นผิวของตัวค้อนน้ำหนักมาตรฐาน

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_1 ควรมีสัญลักษณ์ M_1 หรือ M พร้อมค่าที่ระบุ ค้อนน้ำหนักมาตรฐาน M_1 แบบสี่เหลี่ยมอาจแสดงเครื่องหมายของผู้ผลิตตรงส่วนกลางของค้อนน้ำหนักมาตรฐาน

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_2 ควรแสดงทั้งค่าที่ระบุและสัญลักษณ์ M_2 หรือไม่แสดงระดับชั้น

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_3 ควรแสดงสัญลักษณ์ M_3 หรือ X พร้อมกับค่าที่ระบุด้วย

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_2 และ M_3 (ยกเว้นค้อนน้ำหนักมาตรฐานแบบลวด) อาจแสดงเครื่องหมายของผู้ผลิต ในกรณีนี้เครื่องหมายของผู้ผลิตควรแสดงตรงส่วนกลางของค้อนน้ำหนักมาตรฐานบนพื้นผิวด้านบนของที่จับของค้อนน้ำหนักมาตรฐานทรงกระบอก และบนพื้นผิวด้านบนของรูปทรงกระบอกสำหรับค้อนน้ำหนักมาตรฐานทรงกระบอกระดับชั้น M_3 ซึ่งถูกยึดติดกับด้ามจับ

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M_3 ที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 50 กิโลกรัมควรระบุค่าที่ระบุเป็นตัวเลขตามด้วยสัญลักษณ์หน่วย

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น $M_{1,2}$ และ $M_{2,3}$ ที่มีค่ามากกว่า 50 กิโลกรัมควรแสดงสัญลักษณ์ $M_{1,2}$ และ $M_{2,3}$ เป็นตัวว่าหรืออนุกรมพร้อมค่าที่ระบุ

การทำเครื่องหมายเป็นการทำเพื่อแบ่งแยกค้อนน้ำหนักมาตรฐานแต่ละค้อนได้ชัดเจนซึ่งทำให้สามารถเชื่อมโยงค้อนน้ำหนักมาตรฐานกับค่าในใบรับรองการสอบเทียบหรือเอกสารที่ใช้ตรวจสอบได้ ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับการทำเครื่องหมายกำหนดไว้ในตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ค่าสูงสุดของการทำเครื่องหมายบนค้อนน้ำหนักมาตรฐาน

ระดับชั้น	ค่าที่ระบุ	ความสูงของตัวอักษร	จำนวนสูงสุดของเครื่องหมายตัวเลขหรือตัวอักษร
E, F, M ₁ และ M ₂	< 1 กรัม	1 มิลลิเมตร	1
E ₁	≥ 1 กรัม	2 มิลลิเมตร	3
E ₂	≥ 1 กรัม	3 มิลลิเมตร	5
F ₁ – M ₂	1 กรัม – 100 กรัม	3 มิลลิเมตร	5
F ₁ – M ₂	200 กรัม – 10 กิโลกรัม	5 มิลลิเมตร	5
F ₁ – M ₂	≥ 20 กิโลกรัม	7 มิลลิเมตร	5

การทำเครื่องหมายควรประกอบด้วยตัวเลขหรือตัวอักษรเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนระหว่างค่าที่ระบุหรือระดับชั้น

2.6.3.2.9 การแสดงลักษณะทั่วไป

ควรมีการแสดงให้เห็นสอดคล้องตามข้อกำหนด ฝาปิดกล่องที่บรรจุค้อนน้ำหนักมาตรฐานควรมีการทำเครื่องหมายแสดงระดับชั้นในรูป E₁, E₂, F₁, F₂, M₁ ยกเว้นค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M₂ และ M₃ ค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่อยู่ในชุดเดียวกันควรเป็นระดับชั้นเดียวกัน

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E₁, E₂, F₁ และ F₂ แต่ละตัวและชุดค้อนน้ำหนักมาตรฐานควรมีการป้องกันการสึกหรอหรือการทำลายเนื่องจากการกระแทก ค้อนน้ำหนักมาตรฐานควรถูกบรรจุในกล่องที่ทำด้วยไม้ พลาสติกหรือวัสดุอื่นที่เหมาะสมและมีช่องสำหรับใส่ค้อนน้ำหนักมาตรฐานแต่ละตัวโดยเฉพาะ ที่จับสำหรับค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E₁, E₂, F₁ และ F₂ ควรมีโครงสร้างที่ไม่ขูดขีดหรือกระทบกับผิวค้อนน้ำหนักมาตรฐาน

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานทรงกระบอกระดับชั้น M₁ ที่มากกว่าและเท่ากับ 50 กรัม (แต่ละค้อนหรือเป็นชุด) ควรถูกบรรจุในกล่องที่มีช่องสำหรับใส่ค้อนน้ำหนักมาตรฐานแต่ละตัวโดยเฉพาะ ค้อนน้ำหนักมาตรฐานแบบแผ่นและลวดควรถูกบรรจุในกล่องที่มีช่องสำหรับใส่ค้อนน้ำหนักมาตรฐานแต่ละตัวโดยเฉพาะ ควรมีการแสดงระดับชั้นไว้บนกล่อง (M₁)

บทที่ 3

คຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນ OIML R111

ເນື້ອຫາຕໍ່ໄປນີ້ຈະບຣຣຍາກສຳຣຳສ້າງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນ OIML R111 ດ້ວຍຮວມດຶງເລືອກວັດສຸດ ກອກອອກແບບ ກອກຄຶງ ກອກຂັດຜົວແລະກອກປຶບຄ່ານຳນຳນຳ ນອກຈາກນີ້ຍັງແສງຮະບບແລະເຄື່ອງມື ວັດສຳຣຳບຣຣວງສອບຄຸນຄັກຣະຕ່າງໆຂອງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນທີ່ສ້າງຂຶ້ນ ຈຶ່ງໄດ້ແກ່ຄັກຣະທາງ ກາຍກາຢ ຄ່າຄວາມຫຍາບຜົວ ຄ່າຄວາມເປັນແມ່ເຫຼັກ ຄ່າຄວາມຫນາແຫນ້ນແລະຄ່າວລຶງຈຶ່ງສັງຄຸນຍົມ

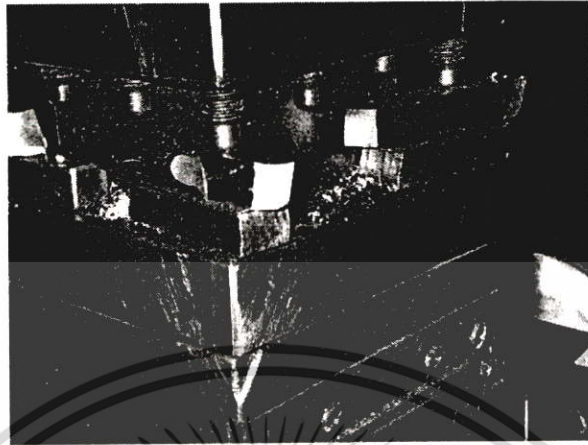
3.1 ກອກສ້າງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນ OIML R111

ໃນກອກສ້າງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນນີ້ຈະເປັນກອກສ້າງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນຂຶ້ນ 1 ກິໂລກຣຳ ດ້ວຍ ອັງອິງຕາມເອກສາຣ OIML R111 ຣີ່ມຕົ້ນຈາກເລືອກວັດສຸດທີ່ນຳມາສ້າງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນກ່ອນ ຕາມເອກສາຣ OIML R111 ໄດ້ແນະນຳວ່າວັດສຸດທີ່ນຳມາສ້າງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນກວ່າ 1 ກຣຳ ໃນ ຣະດັບຂັ້ນສູງໆຄວຣຳມີຄວາມເຈັງແລະຄວາມດຳນາທາທອກຄັກຣອນເໝືອນຫຼືດີກວ່າໂລຫະສເຕນເລສ ສຸນິດອອສເຕນິດິກ ນອກຈາກນີ້ຄວຣຳຄຳນຶ່ງດຶງຄ່າຄວາມຫນາແຫນ້ນຂອງວັດສຸດດ້ວຍໂດຍເປັນ ໄປຕາມ ຂໍ້ກຳນາດດ້ານຄວາມຫນາແຫນ້ນ ຫຼັງຈາກທຳກອກເລືອກວັດສຸດໄດ້ແລ້ວຈະຕ້ອງມີກອກອອກແບບຄັກຣະ ຮູຢຳງຂອງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນ ໂດຍເປັນ ໄປຕາມຂໍ້ກຳນາດ (ກາດຜຸນວ ກ) ຈຶ່ງຈະບອກຄັກຣະ ຮູຢຳງຂອງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນຕ່າລະຂຶ້ນ ສຳຣຳກອກສ້າງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນໃຫ້ມີຮູຢຳງ ຕາມທີ່ຕ້ອງກຳນາດນັ້ນຈະໃຊ້ເຄື່ອງຄຶງທຳກອກຄຶງຈຶ່ງມີທັງແບບຄວບຄຸມກອກທຳກອກດ້ວຍຄອມພິວເຕີ (CNC Turning Machine) ແລະແບບຄວບຄຸມດ້ວຍມືທຳກອກຄຶງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນໃຫ້ໄດ້ຕາມແບບ ເມື່ອໄດ້ຄຸ່ມ ນຳນຳກຳມາຕຣຳນທີ່ມີຮູຢຳງຄັກຣະຕາມທີ່ຕ້ອງກຳນາດແລ້ວຈະຕ້ອງທຳກອກປຶບຜົວຂອງຄຸ່ມນຳນຳ ກຳມາຕຣຳນດ້ວຍກອກຂັດແລະທຳກອກປຶບຄ່ານຳນຳກຳມາຕຣຳນໃຫ້ໄດ້ຕາມຂໍ້ກຳນາດທາງດ້ານກຳມາຕຣຳນ

ກອກສ້າງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນໃນກອກວິຈານນີ້ວັດສຸດທີ່ນຳມາໃຊ້ໃນກອກສ້າງເປັນໂລຫະສເຕນເລສ 316L ຈຶ່ງເປັນໂລຫະສຸນິດໜຶ່ງໃນຕຣະຄຸລອອສເຕນິດິກ ແບບທີ່ໃຊ້ໃນກອກສ້າງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນ ອັງອິງຕາມກາດຜຸນວ ກ ສຳຣຳຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນຂຶ້ນ 1 ກິໂລກຣຳ ຈຶ່ງມີກອກຮະບຸດ ຄ່າ ເສັ້ນຜ່າສຸນຍັກລາງແລະຣັສມີຄວາມໄດ້ ຄ ສ່ວນຕ່າງໆຂອງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນ ເຄື່ອງຄຶງທີ່ໃຊ້ເປັນ ແບບຄວບຄຸມດ້ວຍມື ສ່ວນໂບມິດທີ່ໃຊ້ຄຶງເປັນແບບທີ່ຊື່ອມາເປັນແຫ່ງແລ້ວທຳກອກປຶບໃຫ້ມີຄັກຣະ ເໝາະສຳຣຳກອກໃຊ້ກອກ ຄືສ່ວນທີ່ໃຊ້ປາດຜົວຫນ້າ ປອກຜົວ ທຳກອກຄວເວົ້າແລະລບມຸມ (ຮູຢຳງທີ່ 3.1) ໂດຍ ໃນຂັ້ນແຣກຈະນຳແຫ່ງໂລຫະ 316L ທັງແຫ່ງເຂົ້າເຄື່ອງຄຶງ ຈາກນັ້ນທຳກອກປາດຮ່ວງສ່ວນທີ່ຈະເປັນຫົວຄຸ່ມ ນຳນຳກຳມາຕຣຳນ ປອກຜົວດ້ານຂ້າງ ທຳກອກເວົ້າແລະລບມຸມ (ຮູຢຳງທີ່ 3.2) ຮ່ວງທຳກອກຄຶງຈະມີກອກ ບຣຣວງສອບຂຶ້ນຂອງຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນດ້ວຍເວີເນີຣ໌ຄາລິປເປີເອີ (ຮູຢຳງທີ່ 3.3) ທຳກອກປຶບຜົວດ້ວຍ ຕະໂປ ຜ້າທຣາຍແລະກະດາສທຣາຍເບີເອີ (ຮູຢຳງທີ່ 3.4) ຈາກນັ້ນທຳກອກຕັດຕົວຄຸ່ມນຳນຳກຳມາຕຣຳນ

ເອກສາຣນີ້ເປັນເອກສາຣທີ່ສວນໄວ້ສຳຣຳກອກໃຊ້ກອກເພື່ອກອກຄຶງເພື່ອກອກຄຶງເພື່ອກອກຄຶງ ແມ່ນຸຍາດໃຫ້ນຳໄປໃຊ້ປະໂຫຍດດ້ານກຳມາຕຣຳນ ແມ່ນຸຍາດໃຫ້ ທັງສິ່ງ ອີກທັງຫ້າມມີໃຫ້ຕັດແປງເນື້ອຫາ ແລະຕ້ອງອັງອິງດຶງເຈົ້າຂອງເອກສາຣທຸກຄັ້ງທີ່ມີກອກນຳໄປໃຊ້

ออกจากแท่งโลหะด้วยเครื่องตัด (รูปที่ 3.5) นำมาปาดผิวที่ฐานของค้อนน้ำหนักมาตรฐานพร้อมลบมุมอีกครั้ง



รูปที่ 3.1 ลักษณะของใบมีด



รูปที่ 3.2 การกลึงค้อนน้ำหนักมาตรฐาน



รูปที่ 3.3 การตรวจสอบขนาดของค้อนน้ำหนักมาตรฐานระหว่างการกลึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

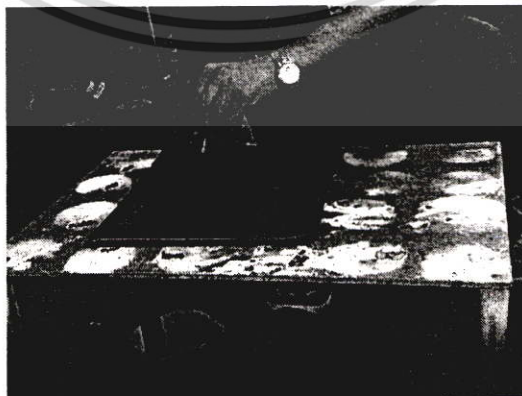


รูปที่ 3.4 การปรับผิวค้อนน้ำหนักมาตรฐานอย่างหยาบ



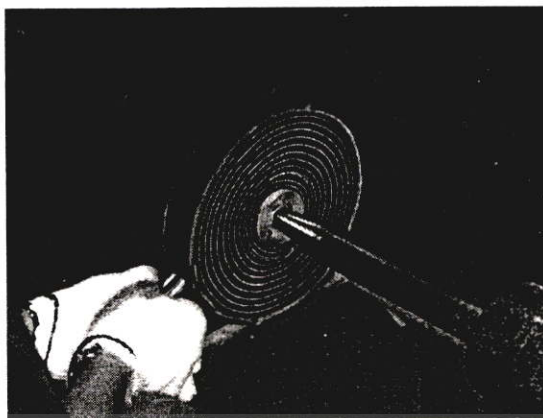
รูปที่ 3.5 การตัดตัวค้อนน้ำหนักมาตรฐานออกจากแท่งโลหะ

ในส่วนของการขัดผิวละเอียดจะทำการขัดด้วยมือก่อน โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ละเอียดขัดที่ฐานก่อนแล้วตามด้วยส่วนหัว (รูปที่ 3.6) โดยขัดจนค้อนน้ำหนักมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงค่าน้ำหนักที่ต้องการมากที่สุด ต่อมาทำการขัดด้วยเครื่องขัดอีกที (รูปที่ 3.7) จากนั้นนำไปขัดละเอียดสุดท้ายอีกทีโดยใช้น้ำยาขัดโลหะประกอบกับเครื่องขัด (รูปที่ 3.8) ในขั้นตอนนี้จะมีการตรวจสอบน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียดควบคู่ไปด้วยเพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักตามที่ต้องการ

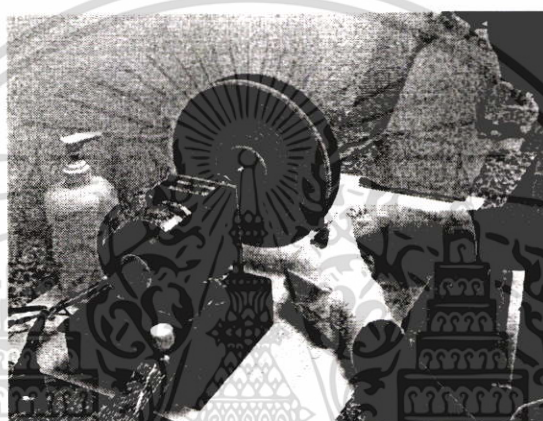


รูปที่ 3.6 การขัดผิวละเอียดด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การขัดผิวโลหะด้วยเครื่องขัด



รูปที่ 3.8 การขัดผิวโลหะด้วยน้ำยาขัดโลหะ

3.2 การตรวจสอบตลับน้ำหนัมาตรฐาน

ในการตรวจสอบตลับน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นจะต้องทำการพิจารณาคุณลักษณะต่างๆตามข้อกำหนดของมาตรฐาน OIML R111 วิธีการตรวจสอบนี้สามารถใช้ได้กับตลับน้ำหนักมาตรฐานแต่ละตลับหรือชุดตลับน้ำหนักมาตรฐาน คุณลักษณะที่จะต้องทำการตรวจสอบ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ค่าความหยาบผิว ค่าความเป็นแม่เหล็ก ค่าความหนาแน่นและค่ามวลจริงสัมบูรณ์

ก่อนที่จะทำการตรวจสอบตลับน้ำหนักมาตรฐานจะต้องมีการทำความสะอาดตลับน้ำหนักมาตรฐานก่อนทำการวัดค่า ในการทำความสะอาดตลับน้ำหนักมาตรฐานจะต้องเอาฝุ่นและอนุภาคแปลกปลอมออกด้วยแปรงขนนุ่ม และต้องระวังไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางพื้นผิวของตลับน้ำหนักมาตรฐาน เช่น เกิดการขีดข่วน ถ้าไม่สามารถเอาฝุ่นออกจากตลับน้ำหนักมาตรฐานด้วยวิธีที่กล่าวมาข้างต้นได้ ควรนำตลับน้ำหนักมาตรฐานหรือบางส่วนของมัน ไปล้างด้วยแอลกอฮอล์ที่สะอาด น้ำกลั่นหรือสารละลายอื่นๆ ตลับน้ำหนักมาตรฐานที่มีช่องปรับน้ำหนักไม่ควรนำไปจุ่มในสารละลายเพราะอาจทำให้สารละลายแพร่เข้าไปในช่องปรับน้ำหนักได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังการทำความสะอาดคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานด้วยสารละลาย จะต้องทิ้งคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานไว้ให้มีความเสถียรก่อนในช่วงเวลาหนึ่งดังที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้สำหรับให้คัมภ์น้ำหนักมาตรฐานมีความเสถียรภายหลังการทำความสะอาด

ระดับชั้นคัมภ์น้ำหนัก	E_1	E_2	F_1	F_2 ถึง M_3
หลังจากทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์	7-10 วัน	3-6 วัน	1-2 วัน	1 ชั่วโมง
หลังจากทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น	4-6 วัน	2-3 วัน	1 วัน	1 ชั่วโมง

ก่อนทำการวัดจะต้องมีการปรับอุณหภูมิของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานให้ใกล้เคียงกับสภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 , E_2 และ F_1 ระยะเวลาอย่างน้อยที่สุดในการปรับค่าอุณหภูมิให้เท่ากันแสดงไว้ในตารางที่ 3.2



ตารางที่ 3.2 ระยะเวลาน้อยสุดของค่าความเสถียรด้านอุณหภูมิของค้อนน้ำหนักมาตรฐาน(มีหน่วยเป็นชั่วโมง)

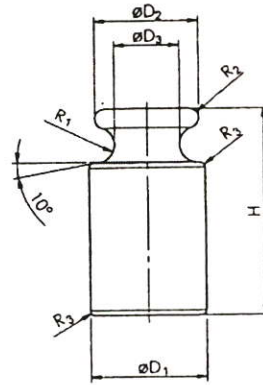
ΔT	ค่าที่ระบุ	ระดับชั้น E ₁	ระดับชั้น E ₂	ระดับชั้น F ₁	ระดับชั้น F ₂
± 20°C	1000, 2000, 5000 kg	-	-	79	5
	100, 200, 500 kg	-	70	33	4
	10, 20, 50 kg	45	27	12	3
	1, 2, 5 kg	18	12	6	2
	100, 200, 500 g	8	5	3	1
	10, 20, 50 g	2	2	1	1
	< 10 g		1		0.5
± 5°C	1000, 2000, 5000 kg	-	-	1	1
	100, 200, 500 kg	-	40	2	1
	10, 20, 50 kg	36	18	4	1
	1, 2, 5 kg	15	8	3	1
	100, 200, 500 g	6	4	2	0.5
	10, 20, 50 g	2	1	1	0.5
	< 10 g		0.5		
± 2°C	1000, 2000, 5000 kg	-	-	1	5
	100, 200, 500 kg	-	16	1	0.5
	10, 20, 50 kg	27	10	1	0.5
	1, 2, 5 kg	12	5	1	0.5
	100, 200, 500 g	5	3	1	0.5
	< 100 g	2	1		0.5
± 0.5°C	1000, 2000, 5000 kg	-	-	-	-
	100, 200, 500 kg	-	1	0.5	0.5
	10, 20, 50 kg	11	1	0.5	0.5
	1, 2, 5 kg	7	1	0.5	0.5
	100, 200, 500 g	3	1	0.5	0.5
	< 10 g	1		0.5	

* ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิตอนต้นของค้อนน้ำหนักมาตรฐานกับอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการ

3.2.1 การทดลองวัดค่าลักษณะทางกายภาพ

เอกสารมาตรฐาน OIML R111 ได้มีการกำหนดลักษณะทางกายภาพของค้อนน้ำหนักมาตรฐานไว้ในภาคผนวก ก ซึ่งในการสร้างค้อนน้ำหนักมาตรฐานขึ้นมาจะต้องทำการตรวจสอบลักษณะดังกล่าว ได้แก่ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางและค่ารัศมีความโค้ง ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



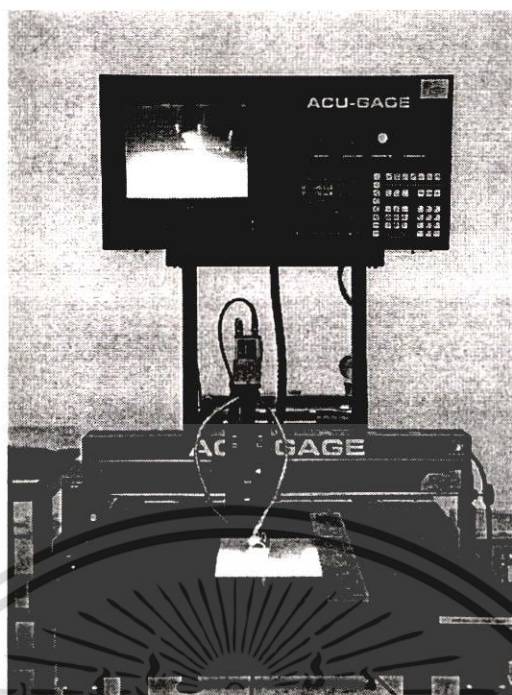
รูปที่ 3.9 ลักษณะทางกายภาพของค้อน้ำหนักมาตรฐานทรงกระบอกแบบมีหัวจับ

จากรูปที่ 3.9 ค่าตัวแปร H เป็นค่าความสูงของค้อน้ำหนักมาตรฐานซึ่งไม่ได้มีการกำหนดค่าไว้แน่นอนขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้สร้าง ซึ่งคำนวณมาจากค่าปริมาตรของค้อน้ำหนักมาตรฐานที่หามาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและค่ามวลของค้อน้ำหนักมาตรฐานอีกที

ในการทดลองวัดค่าลักษณะทางกายภาพนี้จะใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ ขนาด 200 มิลลิเมตร ค่าความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร วัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของค้อน้ำหนักมาตรฐาน (รูปที่ 3.10) ส่วนค่ารัศมีความโค้งจะใช้เครื่องวัดทางมิติ 2 แกน (ACU-GAGE) ขนาด 0-500 มิลลิเมตร ค่าความละเอียด 2 ไมโครเมตร ทำการวัด (รูปที่ 3.11) ก่อนทำการวัดจะต้องทำความสะอาดค้อน้ำหนักมาตรฐานที่จะวัดก่อน จากนั้นนำไปวางไว้ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกิดความเสถียรทางด้านอุณหภูมิแล้วถึงค่อยทำการวัด



รูปที่ 3.10 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของค้อน้ำหนักมาตรฐานด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์



รูปที่ 3.11 การวัดค่ารัศมีความโค้งของค้อน้ำหนักมาตรฐานด้วยเครื่องวัดทางมิติ 2 แกน

ผลการวัดค่าลักษณะทางกายภาพของค้อน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นขนาด 1 กิโลกรัม เป็นไปดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลการวัดค่าลักษณะทางกายภาพของค้อน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น

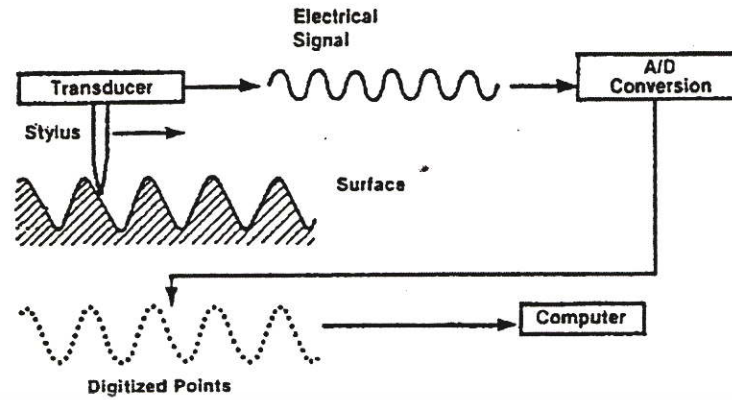
ค่าที่ระบุ	ผลการวัด (มิลลิเมตร)					
	D_1	D_2	D_3	R_1	R_2	R_3
1 กิโลกรัม	47.94	42.8	27	7.786	5.612	2.268

3.2.2 การทดสอบวัดค่าความหยาบผิว

การประเมินค่าความหยาบผิวนี้ใช้กับค้อน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 , E_2 , F_1 และ F_2 ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 กรัม โดยใช้เครื่องมือแบบเข็ม ก่อนใช้งานเครื่องมือจะต้องถูกสอบเทียบด้วยตัวอย่างที่ได้รับการสอบเทียบและมีการรับรองแล้วโดยสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO 5436 สามารถใช้เครื่องมืออื่นได้ถ้าสามารถสอบย้อนกลับไปยังหน่วยความยาวและมีเอกสารยืนยัน

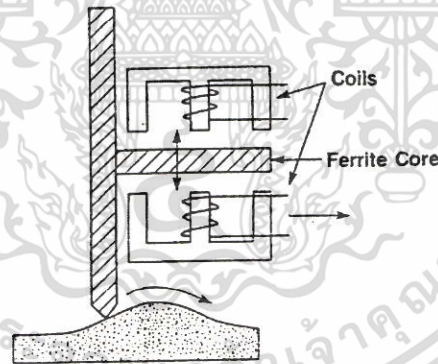
รูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างและระบบการวัดของเครื่องมือแบบเข็ม ปลายเข็มที่มีความแหลมจะถูกลากไปอย่างเบาๆบนพื้นผิว การเคลื่อนที่ของเข็มในแนวตั้งจะถูกบันทึกไว้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งการเคลื่อนที่และถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยตัวทรานสดิวเซอร์ จากนั้นจะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางดิจิทัลหรืออนาล็อกโดยที่รูปร่างของพื้นผิวจะถูกบันทึกไว้ เครื่องมือสมัยใหม่นี้จะทำการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นดิจิทัลและเก็บผลดิจิทัลโพรไฟล์ (digital profile) ที่ได้ไว้ในคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ค่าความหยาบผิวต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาเบไซบรีโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 โครงสร้างของเครื่องมือแบบเข็ม

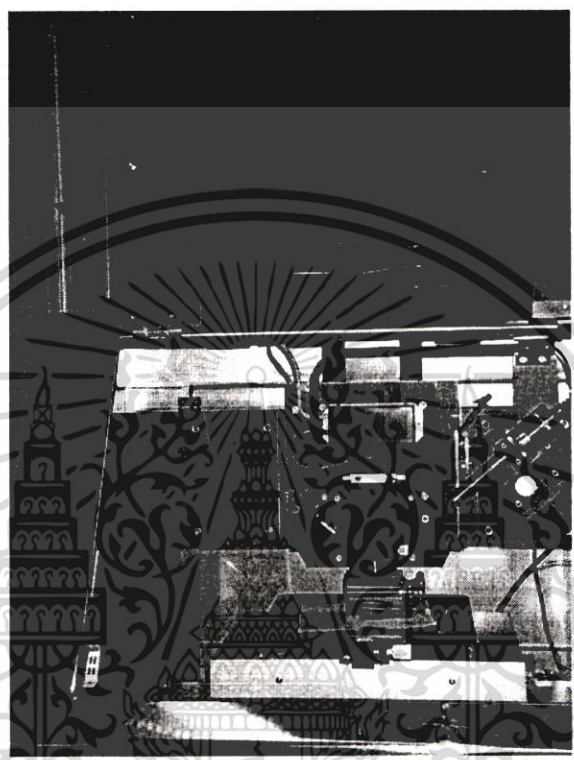
ตัวทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้ในเครื่องมือแบบเข็มเป็นแบบ LVDT (Linear Variable Differential Transformer) หัวเข็มจะถูกทำให้ติดอยู่กับแกนเฟโรไรต์ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ระหว่างขดลวด 2 อันที่สร้างวงจรบริดจ์กระแสไฟฟ้าสลับ (รูปที่ 3.13) เมื่อแกนเฟโรไรต์มีการเคลื่อนที่ขึ้นลงระหว่างขดลวดจะทำให้ความสมดุลของบริดจ์เกิดการเปลี่ยนแปลง ผลที่ได้ภายหลังจากทำการคิมอดูเลชั่นและขยายสัญญาณแล้วจะเป็นสัญญาณค่าความต่างศักย์ที่เป็นสัดส่วนกับการเคลื่อนที่ของหัวเข็ม เพราะฉะนั้นสัญญาณที่ออกมาจาก LVDT จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสูงของพื้นผิวที่วัด



รูปที่ 3.13 โครงสร้างของทรานส์ดิวเซอร์ LVDT

ในการทดลองวัดค่าความหยาบผิวของค้อน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นมาจะใช้เครื่องวัดความหยาบผิวแบบหัวเข็ม ขนาดการวัด 7 ไมโครเมตร ค่าความละเอียด 0.01 ไมโครเมตร โดยฐานที่ใช้วางชิ้นงานที่จะวัดมีการเคลื่อนที่แต่หัวเข็มอยู่กับที่ เริ่มต้นทำความสะอาดค้อน้ำหนักมาตรฐานที่จะวัดค่าก่อน จากนั้นนำไปวางไว้ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกิดความเสถียรทางด้านอุณหภูมิแล้วจึงค่อยทำการวัด เปิดการทำงานของเครื่องมือโดยที่เครื่องมือนี้จะทำการตรวจสอบกลไกการเคลื่อนที่ในแนว x, y, z โดยอัตโนมัติก่อน นำค้อน้ำหนักมาตรฐานไปวางบนฐานที่ใช้วางชิ้นงานที่จะวัด จัดให้หัวเข็มแตะค้อน้ำหนักมาตรฐานโดยสังเกตจากจอภาพที่ต่อจากกล้องที่ติดตั้งอยู่ภายใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้ที่ทำการวัด ปรับการเคลื่อนที่ในแนว x, y, z ของเครื่องมือในช่วงความยาวไม่น้อยกว่าค่าความยาวของการลากผ่าน เริ่มทำการวัดโดยกำหนดแรงในการกดหัวเข็มบนผิวคัมภ์น้ำหนัมาตรฐาน ค่ากำลังขยายรูปกราฟ ค่าความถี่ตัดออกและค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของฐานขณะทำการวัด ทำการวัดค่าตามตำแหน่งต่างๆของคัมภ์น้ำหนัมาตรฐานดังรูปที่ 3.14 โดยวัดตามแนวอนทั้งหมด 4 แนว ซึ่งในแต่ละแนวจะทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง



รูปที่ 3.14 การวัดค่าความหยาบผิวของคัมภ์น้ำหนัมาตรฐานด้วยเครื่องมือแบบเข็ม

กราฟแสดงผลการวัดค่าความหยาบผิวของคัมภ์น้ำหนัมาตรฐานที่สร้างขึ้นขนาด 1 กิโลกรัมแสดงไว้ในภาคผนวก ก ซึ่งสามารถสรุปผลการวัดค่าความหยาบผิวได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ผลการวัดค่าความหยาบผิวของคัมภ์น้ำหนัมาตรฐานที่สร้างขึ้น

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (ไมโครเมตร)								สรุปผลการวัด	
	แนวที่ 1		แนวที่ 2		แนวที่ 3		แนวที่ 4			
	R_x	R_y	R_x	R_y	R_x	R_y	R_x	R_y	R_x	R_y
1	0.0052	0.0355	0.0081	0.0461	0.0083	0.0446	0.0065	0.0426		
2	0.0052	0.0356	0.0082	0.0478	0.0081	0.0427	0.0062	0.0424		
3	0.0052	0.0355	0.0082	0.0478	0.0082	0.0413	0.0061	0.0399		
4	0.0052	0.0351	0.0082	0.0474	0.0082	0.0415	0.0061	0.0396		
5	0.0052	0.0355	0.0082	0.0474	0.0082	0.0419	0.0061	0.038		
ค่าสูงสุด	0.0052	0.0356	0.0082	0.0478	0.0083	0.0446	0.0065	0.0426	0.0083	0.04
SD.									0.0000734	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทดลองวัดค่าความเป็นแม่เหล็ก

แรงแม่เหล็กสามารถส่งผลต่อกระบวนการชั่งน้ำหนักได้และไม่สามารถแยกออกจากแรงโน้มถ่วงในการพิจารณาค่ามวลได้ แรงแม่เหล็กนี้สามารถเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างคัมน์น้ำหนักมาตรฐาน 2 คัมน์หรือระหว่างคัมน์น้ำหนักมาตรฐาน 1 คัมน์กับเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวลที่ใช้ชั่งหรือวัตถุอื่นๆที่อยู่บริเวณใกล้เคียง

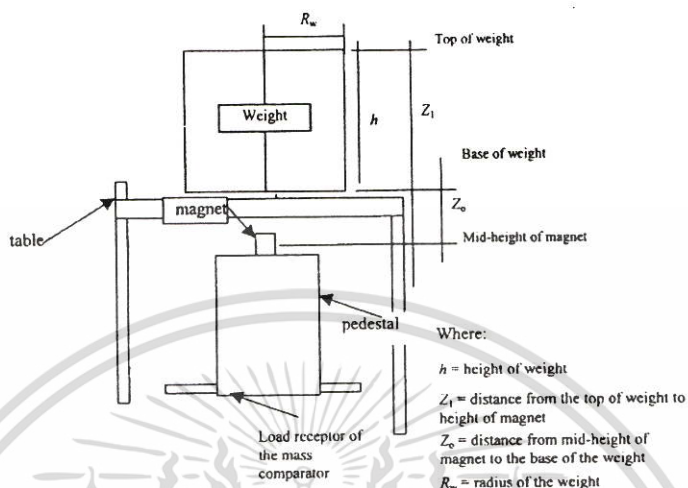
สมบัติความเป็นแม่เหล็ก (ค่าความเป็นแม่เหล็กถาวรและความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก) ของคัมน์น้ำหนักมาตรฐานควรถูกพิจารณา ก่อนทำการสอบเทียบมวลเพื่อให้แน่ใจว่าปฏิกิริยาทางแม่เหล็กสามารถละทิ้งได้ คัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบความเป็นแม่เหล็กไม่ควรถูกสอบเทียบ

คัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่ทำจากอลูมิเนียมไม่มีความจำเป็นที่จะต้องวัดสมบัติความเป็นแม่เหล็ก เพราะเป็นวัสดุที่ไม่มีความเป็นแม่เหล็กและมีค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก χ น้อยกว่า 0.01 มาก นอกจากนี้สำหรับคัมน์น้ำหนักมาตรฐานขนาดเล็ก (น้อยกว่า 2 กรัม) และระดับชั้นต่ำๆ (E_2 และต่ำกว่า, น้อยกว่า 20 กรัม) สามารถที่จะอ้างคุณลักษณะสมบัติความเป็นแม่เหล็กจากผู้ผลิตได้

คัมน์น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M ส่วนใหญ่ทำมาจากเหล็กหล่อหรือโลหะผสมธรรมดา เพราะฉะนั้นคัมน์น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M มีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์เนื่องจากปฏิกิริยาแม่เหล็กระหว่างคัมน์น้ำหนักมาตรฐานและอุปกรณ์ชั่งน้ำหนักมากกว่าคัมน์น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E และ F โลหะทุกชนิดมีความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก อย่างไรก็ตาม โลหะผสมที่ประกอบด้วยสารประกอบที่เป็นแม่เหล็กจะมีค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็กมากขึ้นและอาจกลายเป็นแม่เหล็กได้

เครื่อง Susceptometer เป็นเครื่องมือที่ใช้พิจารณาทั้งค่าความสามารถในการซึมซับความเป็นแม่เหล็กและค่าความเป็นแม่เหล็กถาวรของคัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่เป็นแม่เหล็กอ่อนๆ โดยทำการวัดแรง (F_1 และ F_2) ที่กระทำต่อคัมน์น้ำหนักมาตรฐาน ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวร วิธีนี้เหมาะสมกับคัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก $\chi < 1$ และไม่นำเสนอสำหรับคัมน์น้ำหนักมาตรฐานหลายชั้น การวัดโดยวิธีนี้อาจเป็นสาเหตุทำให้คัมน์น้ำหนักมาตรฐานที่นำมาทดสอบมีความเป็นแม่เหล็กถาวรได้ถ้าทำการวัดในบริเวณที่มีค่าสนามแม่เหล็กสูงมาก สำหรับการตรวจสอบคัมน์น้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E_1 ควรทำการวัดก่อนที่ระยะ Z_0 โดยที่ระยะทางระหว่างแม่เหล็กและฐานของคัมน์น้ำหนักมาตรฐานมีค่าประมาณ 20 มิลลิเมตร จากนั้นทำการลดค่า Z_0 ถ้าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็กของคัมน์น้ำหนักทดสอบมีค่าน้อยมากที่จะผลิตสัญญาณออกมา

โครงสร้างของเครื่อง Susceptometer แสดงดังรูปที่ 3.15 ค่าความสูงของแม่เหล็กในทางอุดมคติควรเท่ากับ $0.78 \times$ เส้นผ่านศูนย์กลางของมัน Z_0 คือระยะทางจากความสูงกึ่งกลางแม่เหล็กถึงฐานของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน



รูปที่ 3.15 โครงสร้างของเครื่อง Susceptometer

ในการทดลองวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นมานี้จะใช้เครื่อง Susceptometer ที่ประกอบด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ค่าความจุสูงสุด 5.1 กรัม ค่าความละเอียด 0.1 ไมโครกรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานด้วยเครื่อง Susceptometer

เริ่มต้นทำความสะอาดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ต้องการวัดค่าแล้วนำไปวางไว้บริเวณใกล้เครื่องมือวัดในระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้เกิดความเสถียรด้านอุณหภูมิ ทำการวัดค่าตัวแปรต่างๆ (Z_0 , R_w , h) และหาค่าอัตราเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง g บันทึกสถานะแวดล้อมที่เริ่มและสิ้นสุดการวัด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางแม่เหล็กโดยให้ทิศเหนือชี้ลงก่อน (ตรวจสอบทิศของแม่เหล็กด้วยเข็มทิศ) ในกรณีนี้จะทำเครื่องหมายไว้ที่ทิศเหนือของแม่เหล็ก แม่เหล็กจะทำการสร้างสนามแม่เหล็กสูงสุดที่พื้นผิวด้านบนของโต๊ะ ค่า H ไม่ควรมีค่าเกินค่าสูงสุดที่กำหนดในตารางที่ 3.5 สำหรับคຸ່ມน้ำหนัมาตรฐานแต่ละระดับชั้น

ตารางที่ 3.5 ค่าสนามแม่เหล็กสูงสุด (H_{\max})

ระดับชั้น	ค่าสนามแม่เหล็กสูงสุด (H_{\max})
E_1	2000
E_2	800
อื่นๆ	200

ทำการหาค่าไดโพลโมเมนต์, m_p ได้จากการวัดวัตถุอ้างอิงที่ทราบค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็กแล้วจากการสอบเทียบ โดยนำไปซึ่งแบบ ABA, BA, ... โดยที่ A เป็นการอ่านค่าที่แสดงบนเครื่องซึ่งขณะที่ไม่มืวัตถุวาง ส่วน B เป็นการอ่านค่าที่แสดงบนเครื่องซึ่งขณะที่มีการวางวัตถุ โดยในที่นี้จะทำการวัดตามเข็มนาฬิกาไปที่ละ 90 องศา จนกลับมาตำแหน่งเดิม ในขั้นตอนนี้จะได้ค่าแรง F_1 ทำการเปลี่ยนทิศของแม่เหล็กโดยให้ทิศเหนือชี้ขึ้นแล้วทำการวัดอย่างเดิม ในขั้นตอนนี้จะได้ค่าแรง F_2 ทำการวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของคຸ່ມน้ำหนัมาตรฐานโดยวิธีเดียวกับการวัดวัตถุอ้างอิง โดยใช้ค่าไดโพลโมเมนต์ที่คำนวณได้จากการวัดวัตถุอ้างอิงมาใช้ในการคำนวณหาค่าความเป็นแม่เหล็กของคຸ່ມน้ำหนัมาตรฐานอีกที ผลการวัดวัตถุอ้างอิงที่ทราบค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็กแล้วจากการสอบเทียบที่มีรัศมี (R_0) 20 มิลลิเมตร ค่าความสูง (h) 25 มิลลิเมตร ค่าระยะห่างจากความสูงกึ่งกลางของแม่เหล็กถึงส่วนฐานของวัตถุอ้างอิง (Z_0) 25.18 มิลลิเมตร ค่าเพอร์มิอิตีวี่ในสุญญากาศ (μ_0) $4\pi \times 10^{-7}$ นิวตัน/แอมแปร์² ซึ่งเป็นค่าคงที่ มีค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก (χ) 0.00506 จากใบรับรองการสอบเทียบ ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ผลการวัดวัตถุอ้างอิงที่ทราบค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก

ทิศเหนือ	ตำแหน่ง	A	B	A	Δm (มิลลิกรัม)
↓	1	-2.0232	-2.1602	-2.0276	-0.1348
	2	-	-2.1590	-2.0265	-0.13195
	3	-	-2.1570	-2.0256	-0.13095
	4	-	-2.1583	-2.0248	-0.1331
	5	-	-2.1578	-2.0245	-0.13315
	6	-	-2.1559	-2.0235	-0.1319
$F1 = (-\Delta mg) = 1.29763E-06$				ค่าเฉลี่ย	-0.13264
ทิศเหนือ	ตำแหน่ง	A	B	A	Δm (มิลลิกรัม)
↑	1	-0.0886	-0.2196	-0.0874	-0.1316
	2	-	-0.2188	-0.0882	-0.131
	3	-	-0.2191	-0.0880	-0.131
	4	-	-0.2186	-0.0888	-0.1302
	5	-	-0.2206	-0.0891	-0.13165
	6	-	-0.2168	-0.0907	-0.1269
$F2 = (-\Delta mg) = 1.27562E-06$				ค่าเฉลี่ย	-0.13039
หมายเหตุ : ค่า $g = 9.782970341$ เมตร/วินาที ²					

จากผลการวัดวัตถุอ้างอิงในตารางข้างบน สามารถคำนวณหาค่าไดโพล โมเมนต์ (m_d) ได้เท่ากับ 0.088308316 อังสตรอม·ตารางเมตร และนำมาคำนวณค่าสนามแม่เหล็กสูงสุด (H_{max}) ได้เท่ากับ 880 อังสตรอม/เมตร ซึ่งไม่เกินค่าในตารางที่ 3.5

ต่อมาทำการวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นขนาด 1 กิโลกรัม ที่มี คาร์ซีมี (R_w) 23.99 มิลลิเมตร ค่าความสูง (h) 80.37 มิลลิเมตร ค่าระยะห่างจากความสูงกึ่งกลางของแม่เหล็กถึงส่วนฐานของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐาน (Z_0) 25.18 มิลลิเมตร ได้ข้อมูลดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ผลการวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของคัมภ์น้ำหนัมาตรฐานที่สร้างขึ้น

ทิศเหนือ	ตำแหน่ง	A	B	A	Δm (มิลลิกรัม)
↓	1	-2.0072	3.7023	-1.9693	5.69055
	2	-	3.9813	-1.9725	5.9522
	3	-	4.8187	-1.9797	6.7948
	4	-	7.4506	-1.9718	9.42635
	5	-	3.1021	-1.9744	5.0752
	6	-	5.8860	-2.0224	7.8844
$F1 = (-\Delta mg) = -6.65625E-05$				ค่าเฉลี่ย	6.80392
ทิศเหนือ	ตำแหน่ง	A	B	A	Δm (มิลลิกรัม)
↑	1	-0.1117	-32.2017	-0.1506	-32.071
	2	-	-32.6110	-0.1426	-32.464
	3	-	-36.1256	-0.1433	-35.983
	4	-	-32.2439	-0.1547	-32.095
	5	-	-34.4388	-0.1413	-34.291
	6	-	-35.1221	-0.0956	-35.004
$F2 = (-\Delta mg) = 0.000329208$				ค่าเฉลี่ย	-33.651
หมายเหตุ : ค่า $g = 9.782970341$ เมตร/วินาที ²					

ค่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็ก χ ของคัมภ์น้ำหนัมาตรฐานคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\chi = \frac{F_a}{I_a \times F_{\max} - 0.4 \times F_a} \quad (3.1)$$

โดยที่

$$F_{\max} = \frac{3\mu_0}{64\pi} \times \frac{m^2}{Z_0^4} \quad (3.2)$$

และ $F_a = \frac{F_1 + F_2}{2}$

ค่าความเป็นแม่เหล็กถาวร $\mu_0 M_2$ ของคัมภ์น้ำหนัมาตรฐานหาได้จากสมการต่อไปนี้ โดยสมมุติว่าความสามารถในการซึมซับแม่เหล็กของอากาศโดยทั่วไปมีค่าน้อยมากจนตัดทิ้งได้

$$\mu_0 M_z = \frac{F_b}{\frac{m_d}{Z_0} \times \frac{1}{4\pi} \times I_b} - \frac{\chi}{1+0.23\chi} B_{EZ} \quad (3.3)$$

โดยที่ $F_b = \frac{F_1 - F_2}{2}$

ค่า B_{EZ} เป็นองค์ประกอบในแนวตั้งของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กของโลกกับสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ โดยปกติมีค่า $-48 \mu T < B_{EZ} < 60 \mu T$ ขึ้นอยู่กับเส้นรุ้งเส้นแวง ขนาดของ B_{EZ} มีค่าเป็นศูนย์ที่เส้นศูนย์สูตรของโลกและมีค่าสูงสุดที่ขั้วโลก เครื่องหมาย B_{EZ} เป็นบวกสำหรับครึ่งวงกลมทิศเหนือและเป็นลบสำหรับครึ่งวงกลมทิศใต้ สำหรับกรณีนี้ทำการวัด ณ ตำแหน่ง 13 องศา 46 ลิปดาเหนือ และ 100 องศา 32 ลิปดาตะวันออก ที่ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 2 เมตร ได้ค่า B_{EZ} เท่ากับ $42.181 \mu T$

สำหรับแฟลคเตอร์แก้ค่าทางเรขาคณิต I_a และ I_b ในสมการข้างบนมีค่าดังนี้

$$I_a = 1 - \left[\frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 \frac{1 + \frac{(R_w/Z_0)^2}{3}}{\left[1 + \left(\frac{R_w}{Z_0} \right)^2 \right]^3} + \left[\frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 \frac{1 + \frac{(R_w/Z_1)^2}{3}}{\left[1 + \left(\frac{R_w}{Z_1} \right)^2 \right]^3} \quad (3.4)$$

และ

$$I_b = 2\pi \frac{\left[\frac{\left(\frac{R_w}{Z_0} \right)^2}{\left(1 + \left(\frac{R_w}{Z_0} \right)^2 \right)^{3/2}} - \frac{\left(\frac{R_w}{Z_0} \right)^2 / \left(\frac{Z_1}{Z_0} \right)^3}{\left(1 + \left(\frac{R_w}{Z_1/Z_0} \right)^2 \right)^{3/2}} \right]}{\quad} \quad (3.5)$$

สรุปผลการทดลองวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นขนาด 1 กิโลกรัม ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 สรุปผลการวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น

ค่าที่ระบุ	$\mu_0 M$ (μT)	χ
1 กิโลกรัม	20.2895	0.54084 ± 0.059

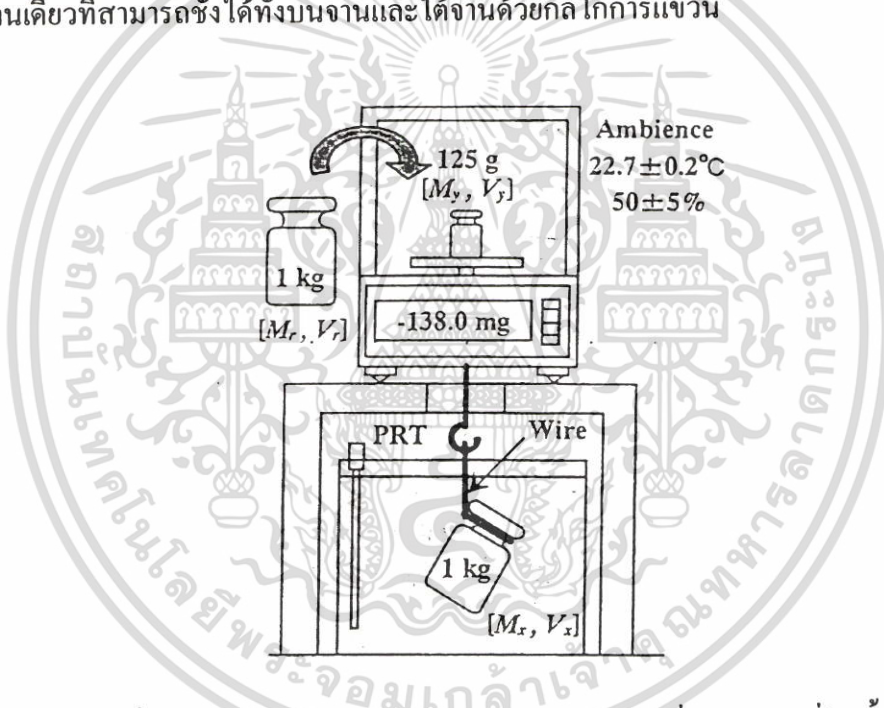
3.2.4 การทดลองวัดค่าความหนาแน่น

จากนิยามของความหนาแน่น $\rho = m/V$ โดยที่ ρ คือค่าความหนาแน่น, m คือค่ามวลและ V คือค่าปริมาตร จะเห็นได้ว่าถ้าสามารถทำการหาปริมาตรและค่ามวลของค้อนน้ำหนักมาตรฐาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ก็จะสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานได้ ค่ามวลของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานหาได้จากการชั่ง ส่วนค่าปริมาตรหาได้โดยวิธีการชั่งวัตถุแทนที่ในน้ำ (Hydrostatic) ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลการวัดถูกต้องเที่ยงตรงสูงใช้ได้กับวัตถุไม่จำกัดรูปทรง

หลักการโดยสังเขปของการหาค่าปริมาตร โดยวิธีการชั่งวัตถุแทนที่ในน้ำเป็นดังนี้ ขั้นแรกทำการชั่งหาค่ามวลของคัมภ์น้ำหนักตัวอย่าง จากนั้นนำคัมภ์น้ำหนักตัวอย่างไปชั่งในน้ำที่วัดอุณหภูมิในขั้นตอนนี้จะเกิดแรงพยุงตัวของน้ำกระทำต่อคัมภ์น้ำหนักตัวอย่างทำให้มวลของคัมภ์น้ำหนักตัวอย่างลดลง ค่ามวลที่ลดลงจะมีค่าเท่ากับมวลของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรคัมภ์น้ำหนักตัวอย่าง นำมวลของน้ำมาคำนวณปริมาตรก็จะได้ปริมาตรของคัมภ์น้ำหนักตัวอย่าง

โครงสร้างของการวัดปริมาตร โดยวิธีการชั่งวัตถุแทนที่ในน้ำถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.17 ในกรณีนี้เป็นตัวอย่างการวัดคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม เครื่องชั่งที่ใช้เป็นเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวลงานเดียวที่สามารถชั่งได้ทั้งบนงานและใต้งานด้วยกลไกการแขวน



รูปที่ 3.17 โครงสร้างของการวัดปริมาตร โดยวิธีการชั่งวัตถุแทนที่ในน้ำ

สำหรับการหาค่าความหนาแน่นของคัมภ์น้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นมานี้จะใช้เครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยเครื่องชั่งที่ใช้เป็นเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวลงานเดียวที่สามารถชั่งได้ทั้งบนงานและใต้งานด้วยกลไกการแขวน ค่าความจุสูงสุด 1 กิโลกรัม ค่าความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

โดยที่ ΔI_w คือค่าผลต่างระหว่างค่าที่อ่านได้ในเครื่อง

g_2 คือค่าความโน้มถ่วงที่ระดับของศูนย์กลางมวลของตุ้มน้ำหนักที่ถูกแขวน

M_y คือค่ามวลของตุ้มน้ำหนักตัวช่วย

V_y คือค่าปริมาตรทั้งหมดของตุ้มน้ำหนักตัวช่วย

ρ_w คือค่าความหนาแน่นของน้ำ

C_s คือค่าแก้ของลวดแขวน

ค่าปริมาตร V_x ของตุ้มน้ำหนักทดสอบที่อุณหภูมิมาตรฐานถูกหามาจากสมการ (3.6) และ (3.7) ดังนี้

$$V_x = \frac{1}{(\rho_w - \rho_a)} \left\{ \Delta I_a - \Delta I_w + (M_y - \rho_a V_r) - (\rho_a - \rho_a') V_r + C_s \right\} \quad (3.8)$$

ค่าแก้สำหรับลวดแขวน C_s หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$C_s = \frac{\pi d_s^3 \gamma}{g} + (M_s - \rho_w V_s') \quad (3.9)$$

โดยที่ d_s คือเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดแขวน

γ คือแรงตึงผิวของน้ำ

M_s คือมวลของลวดแขวน

V_s' คือปริมาตรของส่วนของลวดแขวนที่จุ่มลงในน้ำ

ค่าปริมาตร $V_x (20^\circ C)$ ที่อุณหภูมิมาตรฐาน $20^\circ C$ ถูกกำหนดมาจากอุณหภูมิของน้ำ t และสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางอุณหภูมิของรูปทรงลูกบาศก์ของวัสดุที่ใช้ทำตุ้ม β ดังต่อไปนี้

$$V_x (20^\circ C) = V_x \{1 + (20 - t)\beta\} \quad (3.10)$$

ผลการวัดค่าปริมาตรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นขนาด 1 กิโลกรัม โดยวิธีการชั่งวัตถุแทนที่ในน้ำ แสดงไว้ในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ผลการวัดค่าปริมาตรของค้อน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น

การชั่งเปรียบเทียบในอากาศ					
สภาวะแวดล้อม :					
อุณหภูมิอากาศเริ่มต้น 21.9°C		อุณหภูมิอากาศสิ้นสุด 21.9°C			
ความชื้นอากาศเริ่มต้น 62.2%RH		ความชื้นอากาศสิ้นสุด 60.3%RH			
ความดันบรรยากาศเริ่มต้น 1011.85 มิลลิบาร์		ความดันบรรยากาศสิ้นสุด 1011.85 มิลลิบาร์			
จำนวนการชั่ง	M_r	M_x		M_r	ΔI_a (มิลลิกรัม)
1	0	1	1.1	0.2	0.95
2	0.1	1.1	1	0	1
3	0.2	0.9	1.1	0	0.9
				ค่าเฉลี่ย	0.95
การชั่งเปรียบเทียบในน้ำ					
สภาวะแวดล้อม :					
อุณหภูมิอากาศเริ่มต้น 22.2°C		อุณหภูมิอากาศสิ้นสุด 22.3°C			
ความชื้นอากาศเริ่มต้น 65.9%RH		ความชื้นอากาศสิ้นสุด 57.2%RH			
ความดันบรรยากาศเริ่มต้น 1008.52 มิลลิบาร์		ความดันบรรยากาศสิ้นสุด 1007.85 มิลลิบาร์			
อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 22.89°C		อุณหภูมิน้ำสิ้นสุด 23.09°C			
จำนวนการชั่ง	M_r	$M_x(\text{ในน้ำ}) + M_y$		M_r	ΔI_w (มิลลิกรัม)
1	0	-202.9	-205.9	0.6	-204.7
2	0.7	-202.6	-203.1	0.6	-203.5
3	0.6	-203	-203.3	1	-203.95
				ค่าเฉลี่ย	-204.05

จากผลการวัดปริมาตรของค้อน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นขนาด 1 กิโลกรัม โดยทำการชั่งเปรียบเทียบกับค้อน้ำหนักอ้างอิงมวล 1 กิโลกรัม ที่มีค่าปริมาตร 125.44 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค้อน้ำหนักตัวช่วยมวล 125 กรัม ที่มีค่าปริมาตร 15.7029 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้ลวดแขวนมวล 89.6 มิลลิกรัม มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.00052 มิลลิเมตร ระยะของลวดแขวนที่จมน้ำเท่ากับ 0.16 มิลลิเมตร ค่า g เท่ากับ 9.7829703 เมตร/วินาที² ทำให้คำนวณค่าปริมาตรที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C ได้เท่ากับ 125.6934 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณค่าความหนาแน่นตามความสัมพันธ์ $\rho = m/V$ จะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของค้อน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นเท่ากับ 7955.87334 ± 0.2555 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การทดลองวัดค่ามวลจริงสัมบูรณ์

การทดลองวัดค่ามวลจริงสัมบูรณ์ทำได้โดยการสอบเทียบค้อนน้ำหนักมาตรฐานซึ่งควรกระทำ ณ สภาวะแวดล้อมที่คงที่ สภาวะแวดล้อมโดยทั่วไปกำหนดไว้ในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 สภาวะแวดล้อมระหว่างทำการสอบเทียบ

ระดับชั้นค้อนน้ำหนัก	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างทำการสอบเทียบ
E ₁	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ต่อชั่วโมงด้วยค่ามากที่สุด $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ต่อ 12 ชั่วโมง
E ₂	$\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ ต่อชั่วโมงด้วยค่ามากที่สุด $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ต่อ 12 ชั่วโมง
F ₁	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ต่อชั่วโมงด้วยค่ามากที่สุด $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ต่อ 12 ชั่วโมง
F ₂	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ ต่อชั่วโมงด้วยค่ามากที่สุด $\pm 3.5^{\circ}\text{C}$ ต่อ 12 ชั่วโมง
M ₁	$\pm 3^{\circ}\text{C}$ ต่อชั่วโมงด้วยค่ามากที่สุด $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ต่อ 12 ชั่วโมง

ระดับชั้นค้อนน้ำหนัก	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศควรมีค่าอยู่ในช่วง
E ₁	40 – 60% ด้วยค่ามากที่สุด $\pm 5\%$ ต่อ 4 ชั่วโมง
E ₂	40 – 60% ด้วยค่ามากที่สุด $\pm 10\%$ ต่อ 4 ชั่วโมง
F	40 – 60% ด้วยค่ามากที่สุด $\pm 15\%$ ต่อ 4 ชั่วโมง

ควรทราบคุณลักษณะทางมาตรวิทยาของเครื่องมือสำหรับชั่งน้ำหนักจากการวัดครั้งก่อน ค้อนน้ำหนักอ้างอิงควรมีค่าระดับชั้นความถูกต้องสูงกว่าค้อนน้ำหนักที่ถูกสอบเทียบ ในการสอบเทียบค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E, ค้อนน้ำหนักอ้างอิงควรมีคุณลักษณะทางมาตรวิทยาเทียบเท่าหรือดีกว่า (สมบัติทางแม่เหล็ก, ค่าความหนาแน่น) ค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่ถูกสอบเทียบ

ค้อนน้ำหนักทดสอบควรถูกสอบเทียบโดยเปรียบเทียบกับค้อนน้ำหนักอ้างอิง 1 ค้อนหรือมากกว่าในแต่ละครั้งของการเปรียบเทียบค่ามวลที่ระบุของค้อนน้ำหนักทดสอบและค้อนน้ำหนักอ้างอิงควรเท่ากัน

การสอบเทียบค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E และ F จะทำการชั่งแบบ ABBA หรือ ABA ตัว “A” หมายถึงการชั่งค้อนน้ำหนักอ้างอิงและ “B” หมายถึงการชั่งค้อนน้ำหนักทดสอบ สำหรับค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น M จะทำการชั่งแบบ AB₁...B_nA แต่ถ้าเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวลมีกลไกการชั่งและเปลี่ยนตำแหน่งค้อนน้ำหนักแบบอัตโนมัติและถูกติดตั้งในสถานที่ที่มีการป้องกันอย่างดีก็สามารถใช้กับค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E และ F ได้ ในกรณีที่การสอบเทียบมีค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในระบบอยู่ 2 ค้อน จะทำการชั่งแบบ ABBA และ ABA ซึ่งสามารถกำจัดค่าการเลื่อนเชิงเส้นตามเวลาได้

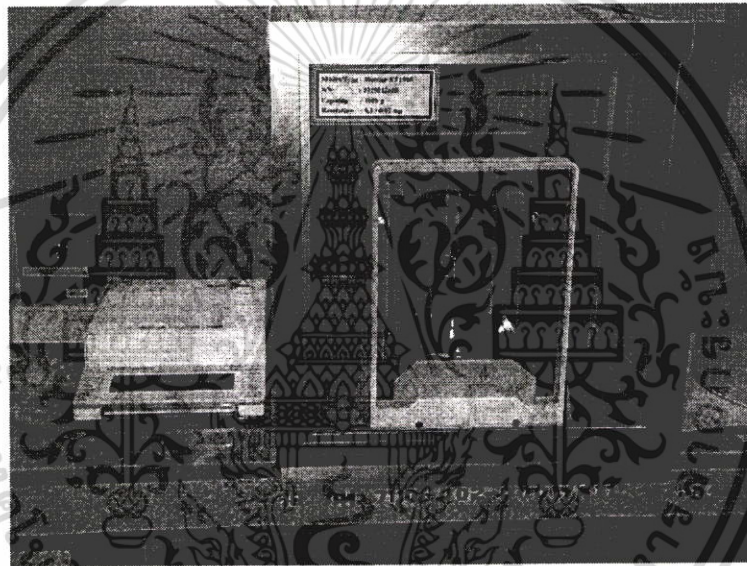
จำนวนรอบของการวัด n ที่น้อยที่สุดสำหรับระดับชั้น E₁ ถึง M₃ เป็นดังตารางที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.11 จำนวนรอบที่น้อยที่สุดของการวัด

ระดับชั้น	E_1	E_2	F_1	F_2	M_1, M_2, M_3
จำนวนน้อยที่สุดของ ABBA	3	2	1	1	1
จำนวนน้อยที่สุดของ ABA	5	3	2	1	1
จำนวนน้อยที่สุดของ $AB_1 \dots B_n A$	-	-	-	-	1

ในการทดลองวัดค่ามวลจริงสัมบูรณ์ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นมานี้จะทำการสอบเทียบกับตุ้มน้ำหนักอ้างอิงด้วยเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวลแบบงานเดียว ค่าความจุสูงสุด 1 กิโลกรัม ค่าความละเอียด 0.01 มิลลิกรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.19 วิธีการที่ใช้ในการสอบเทียบใช้วิธีการชั่งแบบแทนที่ ABBA



รูปที่ 3.19 การสอบเทียบตุ้มน้ำหนักมาตรฐานด้วยเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวล

เริ่มต้นทำความสะอาดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่จะตรวจสอบและตุ้มน้ำหนักอ้างอิง จากนั้นนำไปวางไว้ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกิดความเสถียรด้านอุณหภูมิ เริ่มต้นทำการสอบเทียบโดยการบันทึกสภาวะแวดล้อมห้องปฏิบัติการ จากนั้นทำการชั่งตุ้มน้ำหนักแบบ ABBA เป็นจำนวน 3 รอบ ช่วงเวลาระหว่างการชั่ง A และ B ควรมีค่าคงที่ โดยที่ A เป็นการชั่งตุ้มน้ำหนักอ้างอิงและ B เป็นการชั่งตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่จะตรวจสอบ ทำการหาค่าผลต่างที่ได้จากจำนวนขั้นตอนการวัด i (ΔI_i) ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta I_i = (I_{1i} - I_{1i} - I_{2i} + I_{2i})/2 \quad (3.11)$$

โดยที่ $i = 1, \dots, n$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n คือจำนวนรอบของการวัด ค่า i ถูกกำหนดตามลำดับที่ค้ำน้ำหนักมาตรฐานถูกชั่งบนจานชั่งตัวห้อย r และ t แสดงถึงค้ำน้ำหนักอ้างอิงและค้ำน้ำหนักมาตรฐานที่ตรวจสอบ ค้ำมวลจริงสัมบูรณ์ของค้ำน้ำหนักมาตรฐานที่จะตรวจสอบคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$m_{ci} = m_{cr} + \overline{\Delta m_c} \tag{3.12}$$

โดยที่ $\overline{\Delta m_c}$ คือค่าผลต่างเฉลี่ยของมวลจริงสัมบูรณ์สำหรับการชั่ง n รอบ หาได้จากสมการ

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta m_{ci} \tag{3.13}$$

$$\Delta m_{ci} = f \times \Delta I_i + m_{cr} C_i, \quad C_i = (\rho_{ai} - \rho_0) \times \left(\frac{1}{\rho_i} - \frac{1}{\rho_r} \right)$$

f คืออัตราส่วนค้ำมวลของค้ำน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ตรวจสอบความไว, m_{cr} คือค่าผลต่างของค่าที่แสดงบนเครื่องชั่ง, ΔI_i เมื่อทำการชั่งค้ำน้ำหนักมาตรฐานนี้บนเครื่องชั่ง, m_{cr} คือค้ำมวลจริงสัมบูรณ์ของค้ำน้ำหนักอ้างอิง, C_i คือค่าแก้ไขของผลต่างแรงพยุงของอากาศที่กระทำต่อค้ำน้ำหนักอ้างอิงและค้ำน้ำหนักมาตรฐานที่ตรวจสอบ, ρ_{ai} คือค่าความหนาแน่นอากาศขณะทำการสอบเทียบ, ρ_0 คือค่าความหนาแน่นสัมบูรณ์เท่ากับ 1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ρ_i คือค่าความหนาแน่นของค้ำน้ำหนักมาตรฐานที่ตรวจสอบ, ρ_r คือค่าความหนาแน่นของค้ำน้ำหนักอ้างอิง

ผลการสอบเทียบค้ำน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นขนาด 1 กิโลกรัม โดยชั่งเปรียบเทียบกับค้ำน้ำหนักอ้างอิง 1.0000002 กิโลกรัม ความหนาแน่น 8,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ภายในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิ 20.9°C ความชื้นสัมพัทธ์ 53.5%RH ความดันบรรยากาศ 1011.6 ปาสกาล เป็นไปดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ผลการสอบเทียบค้ำน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้น

จำนวนการวัด	ค่าที่อ่านได้, I (มิลลิกรัม)				ΔI
	A	B	B	A	
1	0	0.58	0.58	0.02	0.57
2	0.03	0.6	0.59	0.02	0.57
3	0.02	0.6	0.6	0.04	0.57
	ค่าเฉลี่ย ($\overline{\Delta I}$)				0.57

เมื่อนำมาคำนวณค้ำมวลจริงสัมบูรณ์ตามสมการทำให้ได้ค้ำมวลจริงสัมบูรณ์ของค้ำน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นเท่ากับ 1 กิโลกรัม + 0.77 มิลลิกรัม ค่าความไม่แน่นอน ± 0.78

มิลลิกรัม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวกับค่าความเสถียรของคัม น้ำหนักมาตรฐาน

ค่าความเสถียรของค่ามวลของคัมน้ำหนักมาตรฐานขึ้นอยู่กับโครงสร้างพื้นผิวของคัมน้ำหนักมาตรฐานเป็นอย่างมาก คัมน้ำหนักมาตรฐานที่มีพื้นผิวเรียบถูกคาดหวังว่ามีค่าความเสถียรมากกว่าคัมน้ำหนักมาตรฐานที่มีพื้นผิวหยาบกว่า ดังนั้นในบทนี้จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวต่อค่าความเสถียรของคัมน้ำหนักมาตรฐาน โดยสังเกตอัตราแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของคัมน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน 5 ค่า

4.1 ค่าความเสถียรของคัมน้ำหนักมาตรฐาน

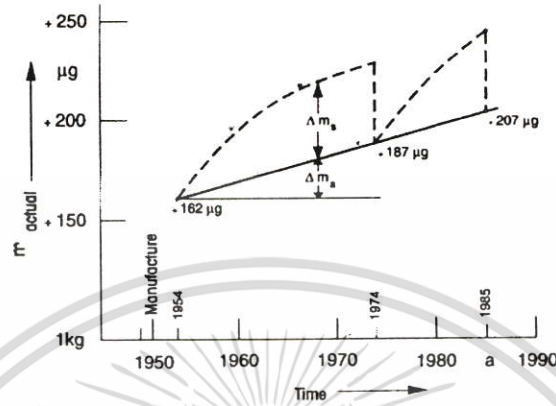
ความสำคัญสูงสุดที่ต้องการของคัมน้ำหนักมาตรฐานคือค่ามวลของมันมีค่าคงที่ภายในขอบเขตและเงื่อนไขที่กำหนดไว้ แม้ว่าจะมีการใช้งานอย่างระมัดระวังและป้องกันภายใต้ที่ครอบแก้ว 2-3 ชั้น (รูปที่ 4.1) อย่างไรก็ตามในระยะเวลาหนึ่งชั้นการดูดซับได้เกิดขึ้นบนพื้นผิว ในปัจจุบันที่เครื่องชั่งเปรียบเทียบมวลมีค่าความละเอียดสูงๆ สามารถพิสูจน์ได้ว่าค่ามวลของตัวต้นแบบ Pt-Ir เปลี่ยนแปลงไปด้วยอัตราประมาณ 1 ไมโครกรัม ต่อเดือนในช่วง 3-4 เดือนแรกหลังจากถูกทำควมสะอาด



รูปที่ 4.1 ตัวต้นแบบแพลทินัม-อิริเดียมที่เก็บรักษาไว้ที่ประเทศฝรั่งเศส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงค่ามวลแบบผันกลับได้ที่สามารถกำจัดได้โดยการทำความสะอาดแล้ว ตัวต้นแบบส่วนใหญ่ยังแสดงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงค่ามวลแบบผันกลับไม่ได้ ในระยะเวลานานด้วยดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นตัวอย่างของตัวต้นแบบเยอรมันนี้ No. 52



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลของตัวต้นแบบกิโลกรัม No.52 Δm_r คือการเปลี่ยนแปลงค่ามวลแบบผันกลับไม่ได้ในระยะเวลานานๆ Δm_s คือการเปลี่ยนแปลงค่ามวลแบบผันกลับได้เนื่องจากชั้นพื้นผิวซึ่งถูกเอาออกจากการทำความสะอาด

ความต้านทานของวัสดุต่อการกัดกร่อนในสภาวะแวดล้อมจากอากาศ น้ำ ตัวทำความสะอาดกรดเจือจาง เป็นต้น ควรมีค่ามากเพื่อให้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของมวลต่อปีมีค่าน้อยกว่า 1/20 ของค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้สูงสุดในแต่ละระดับชั้น

ได้มีการทดสอบที่แสดงว่าพฤติกรรมในระยะยาวของตัวต้นแบบ Pt-Ir ได้รับอิทธิพลจากปรอทที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆห้องปฏิบัติการ ซึ่งปรอทจะไปเกาะได้ง่ายบนพื้นผิวแพลทินัม นอกจากนี้ตัวต้นแบบ Pt-Ir อาจได้รับอิทธิพลจากการระเหยของก๊าซไฮโดรเจน เนื่องจาก Pt-Ir เป็นโลหะผสมที่ไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถดูดซับปริมาณไฮโดรเจนในระหว่างขบวนการผลิตได้

สำหรับพื้นผิวของ Pt-Ir มีการสะสมของสิ่งเจือปนที่เกิดขึ้นได้ 3 แบบคือการดูดซับของไอน้ำ การสะสมสิ่งเจือปนของส่วนประกอบคาร์บอนและการสะสมสิ่งเจือปนของปรอท

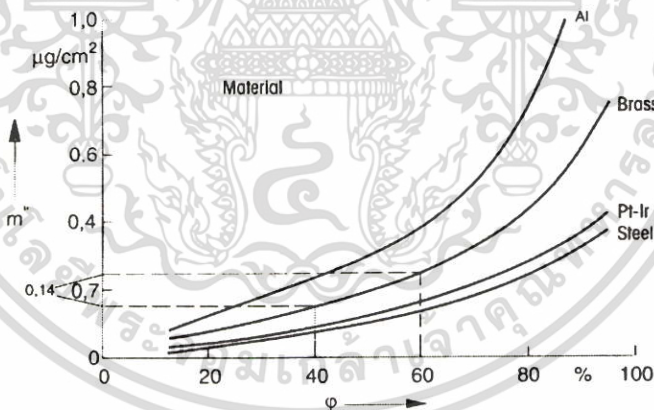
แนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงค่าความเสถียรของมวลของตัวต้นแบบมวล Pt-Ir คือการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการเก็บตัวต้นแบบ Pt-Ir เพื่อจัดการสะสมสิ่งเจือปนของส่วนประกอบคาร์บอนจากสภาพบรรยากาศ หรือการทำความสะอาดที่สามารถทำซ้ำได้ง่ายเป็นประจำก่อนใช้งาน เพื่อจัดการสิ่งเจือปน

แนวทางแรกถูกพิจารณาว่าเป็นไปได้ยากเนื่องจากการกำจัดสิ่งเจือปนของส่วนประกอบคาร์บอนจากอากาศถูกพิจารณาว่าแทบจะเป็นไปไม่ได้ เพราะฉะนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการทำ

ความสะอาดที่สามารถจัดสิ่งเจือปนที่มีส่วนประกอบคาร์บอนซึ่งมีความเป็นมาตรฐานและสามารถทำซ้ำได้ง่าย

ตัวอย่าง Pt-10%Ir ถูกศึกษาโดยวิธี XPS โดย Cumpson และ Seah เพื่อประเมินการสะสมจากสิ่งแวดล้อมของตัวกิโลกรัมอ้างอิงที่สถาบัน NPL ของสหราชอาณาจักร จากการศึกษาพบว่าเกิดการสะสมของคาร์บอน ออกซิเจนและการสะสมของปรอทในระดับที่เปลี่ยนแปลงตามสถานที่ซึ่งทำปฏิกิริยากับแพลทินัม แต่สำหรับโลหะสแตนเลสที่ทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อมเดียวกันถูกพบว่าการสะสมของปรอทเกิดขึ้น

ในกรณีที่มีการเปลี่ยนค่าความชื้นในอากาศ ค่าความเสถียรของค่ามวลของค้อนน้ำหนักมาตรฐานในระดับความแม่นยำสูงอาจได้รับอิทธิพลจากชั้นการดูดซับน้ำ การดูดซับของน้ำบนพื้นผิวโลหะต่างๆ ได้ถูกตรวจสอบโดย Kobayashi และ Kochsiek ที่ PTB ในเยอรมันนีเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของมวลเนื่องจากการดูดซับของน้ำ จากการตรวจสอบได้แสดงว่าชั้นดูดซับน้ำบนพื้นผิวจะต้องนำมาพิจารณาเมื่อสภาวะแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ค่ามวลที่เปลี่ยนแปลงของตัวมาตรฐาน 1 กิโลกรัม (พื้นที่ผิว = 140 ตารางเซนติเมตร) มีค่าประมาณ 20 ไมโครกรัม ($m'' = m'' \cdot O$) เมื่อค่าความชื้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นจาก 40% ถึง 60% ($m'' = 0.14$ ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร) (รูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.3 การเพิ่มขึ้นของค่ามวลโดยชั้นดูดซับน้ำที่ขึ้นกับค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสำหรับพื้นผิวโลหะต่างๆ สำหรับมวลมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิว $R_a \approx 0.2$ ไมโครเมตร

สรุปได้ว่าค่าความเสถียรในระยะยาวของค่ามวลของมวลมาตรฐานในระดับความแม่นยำสูง เช่น มวลค้อนแบบกิโลกรัม Pt-Ir ขึ้นอยู่กับผลกระทบของการดูดซับบนพื้นผิว

สำหรับมวลมาตรฐานโลหะสแตนเลสได้มีการตรวจสอบโดย Schwartz โดยทำการพิจารณาชั้นดูดซับบนมวลมาตรฐานโลหะสแตนเลส 1 กิโลกรัม ซึ่งถูกพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวอาจเนื่องมาจากการดูดซับทางเคมีของน้ำในสิ่งแวดล้อมพร้อมกับการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆของชั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกใช้ค้บนพื้นผิวโลหะสแตนเลสเพราะว่าพื้นผิวโลหะสแตนเลสเป็นพื้นผิวทั่วไปที่คู่ค้บนำได้ง่าย

สถาบัน INM ของฝรั่งเศสได้ใช้เวลาระมาณ 2 ปีในการตรวจสอบความเสถียรของตัวมาตรฐานทุคยภูมิ Alacrite ซึ่งได้ข้อสรุปว่าหลังจากการทำความสะอาดได้มีการเพิ่มขึ้นของมวลเป็นฟังก์ชันลอการิทึมกับเวลาในตอนต้นและมีแนวโนม้เข้าสู่ค่าคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป

ความเสถียรค่ามวลของตัวกิโกรัม No. 18 ที่ BNS สร้างขึ้นในปี 1884 ได้ถูกสังเกตโดย NPL ภายหลังกการทำความสะอาดที่ BIPM ในปี 1985 ค่ามวลที่เพิ่มขึ้นของตัวต้นแบบ ได้ถูกสังเกตมานานกว่า 1 ปี และหลังจากปี 1990 รูปกราฟของข้อมูลได้แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ามวลที่เป็นฟังก์ชันกับเวลาดังนี้

$$M_t = M_0 + 0.356097t^{0.511678} \quad (4.1.1)$$

โดยที่ M_t = มวลของตัวต้นแบบ ณ เวลา t หลังจากการทำความสะอาดและชะล้าง

M_0 = มวลของตัวต้นแบบ ณ เวลาของการทำความสะอาดและชะล้าง

t = ช่วงระยะเวลาในหน่วยวัน

4.2 อัตราแนวโนม้การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน

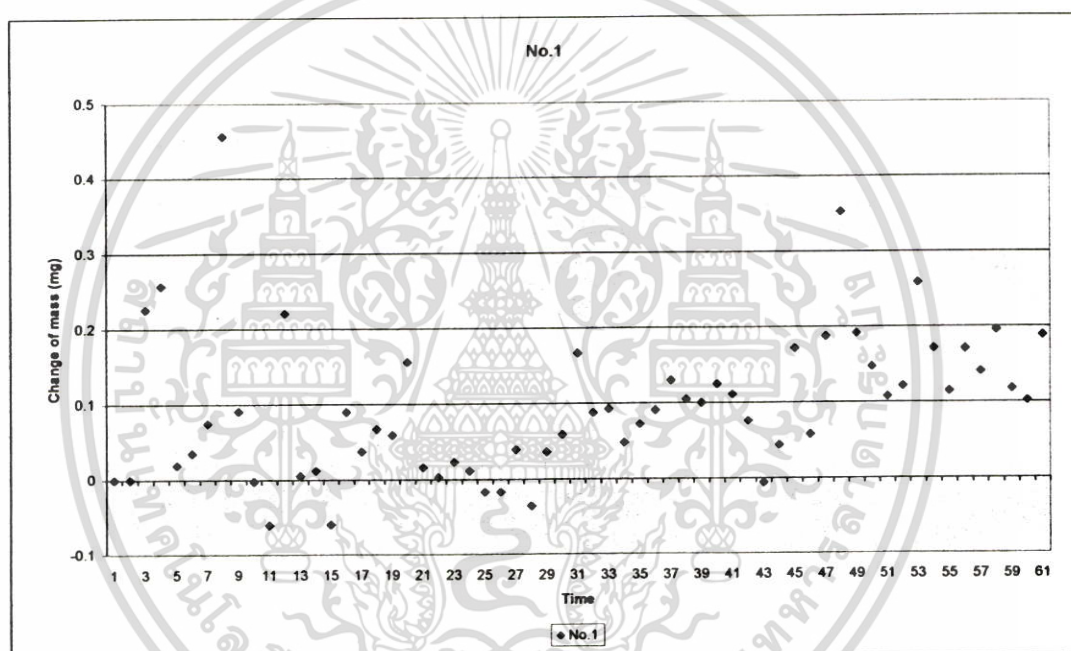
ในหัวข้อนี้จะทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวต่อค่าความเสถียรของค้มน้ำหนักมาตรฐาน โดยสังเกตอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างๆกันเมื่อทิ้งไว้ในสภาวะห้องปฏิบัติการทั่วไปในระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นทำการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละค้มน้ำหนัก โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยในการทดลองนี้จะทำการสร้างค้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม ขึ้นมา 5 ตัว โดยมีค่าความหยาบผิวต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความหยาบผิวของค้มน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นมา 5 ตัว

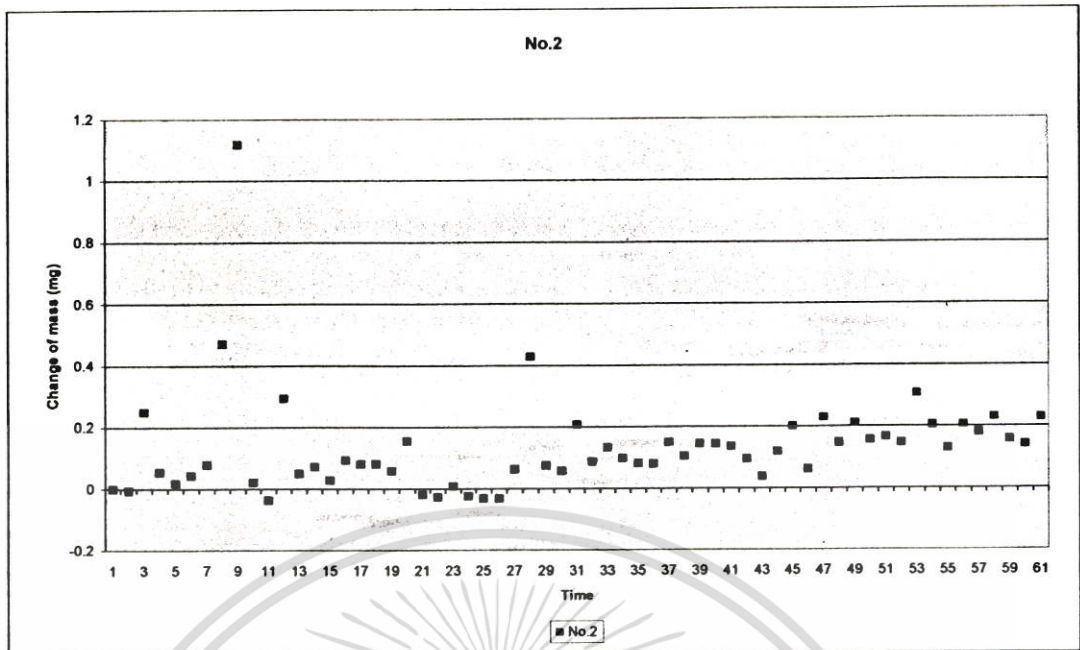
หมายเลขค้มน้ำหนัก	ค่าความหยาบผิว R_a (ไมโครเมตร)	ค่าความหยาบผิว R_z (ไมโครเมตร)
1	0.0286	0.3724
2	0.1594	1.9263
3	0.5167	4.7970
4	0.9042	7.0151
5	1.0999	8.7070

ในการทดลองจะทำความสะอาดค้อน้ำหนักมาตรฐานทั้ง 5 ตัวก่อน จากนั้นนำไปทิ้งไว้ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกิดความเสถียรด้านอุณหภูมิ แล้วนำไปชั่งหาค่ามวลภายหลังการทำความสะอาด โดยทิ้งค้อน้ำหนักมาตรฐานทั้งหมดไว้ในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้คงที่โดยมีค่าอุณหภูมิ $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ $50 \pm 10\%$ ทำการเก็บข้อมูลค่ามวลของค้อน้ำหนักมาตรฐานทุกตัวเป็นระยะเวลา 3 เดือน ด้วยเครื่องชั่งเปรียบเทียบมวล ขนาด 1 กิโลกรัม ค่าความละเอียด 0.01 มิลลิกรัม โดยวิธีการชั่งแบบแทนที่ ABBA โดยเทียบกับค้อน้ำหนักมาตรฐานอ้างอิง หาผลต่างระหว่างค่ามวลที่ชั่งครั้งแรกภายหลังการทำความสะอาดกับค่ามวลที่เก็บข้อมูลไว้ในระยะเวลาที่กำหนด

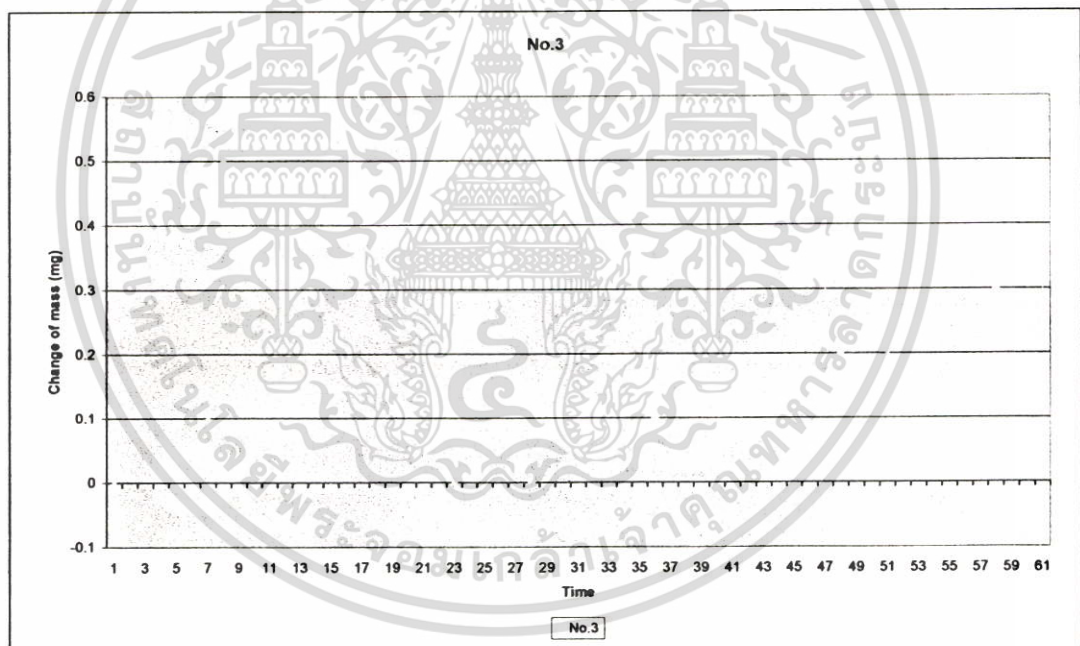
จากการเก็บข้อมูลภายในระยะเวลา 3 เดือน (ภาคผนวก ง) นำมาเขียนกราฟระหว่างค่าผลต่างค่ามวลกับเวลาได้ดังรูปที่ 4.4-4.9



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 1

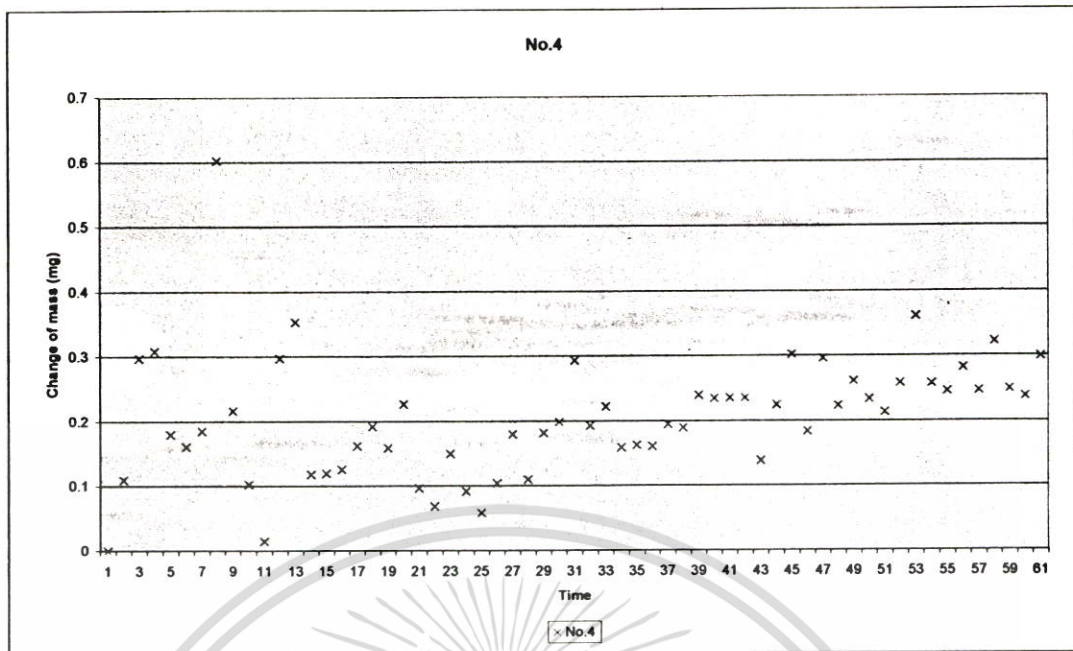


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 2

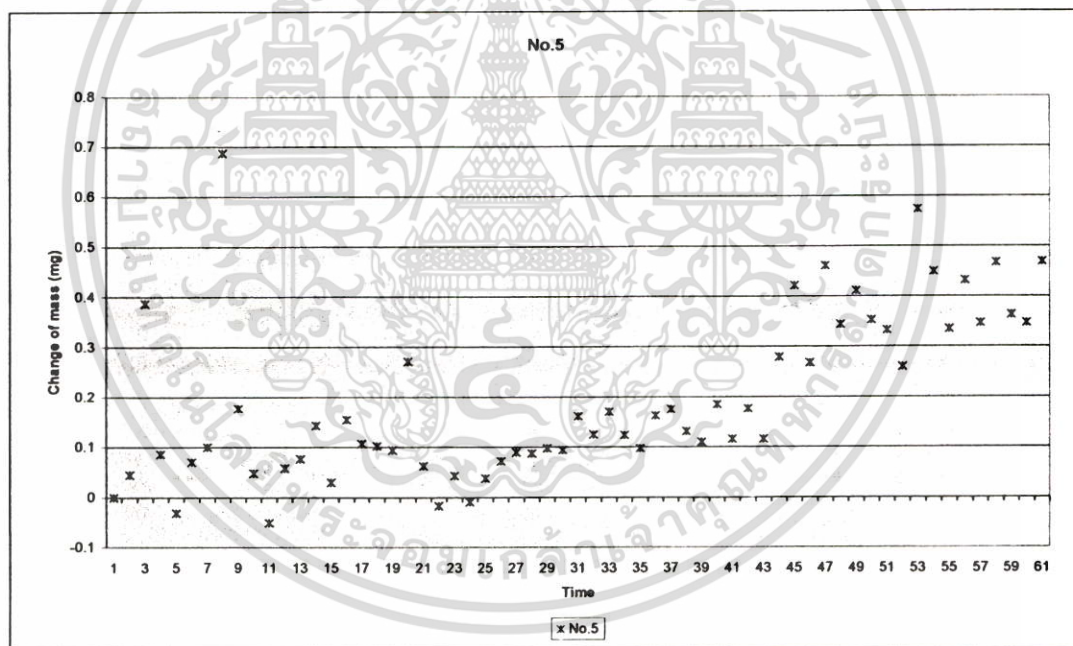


รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

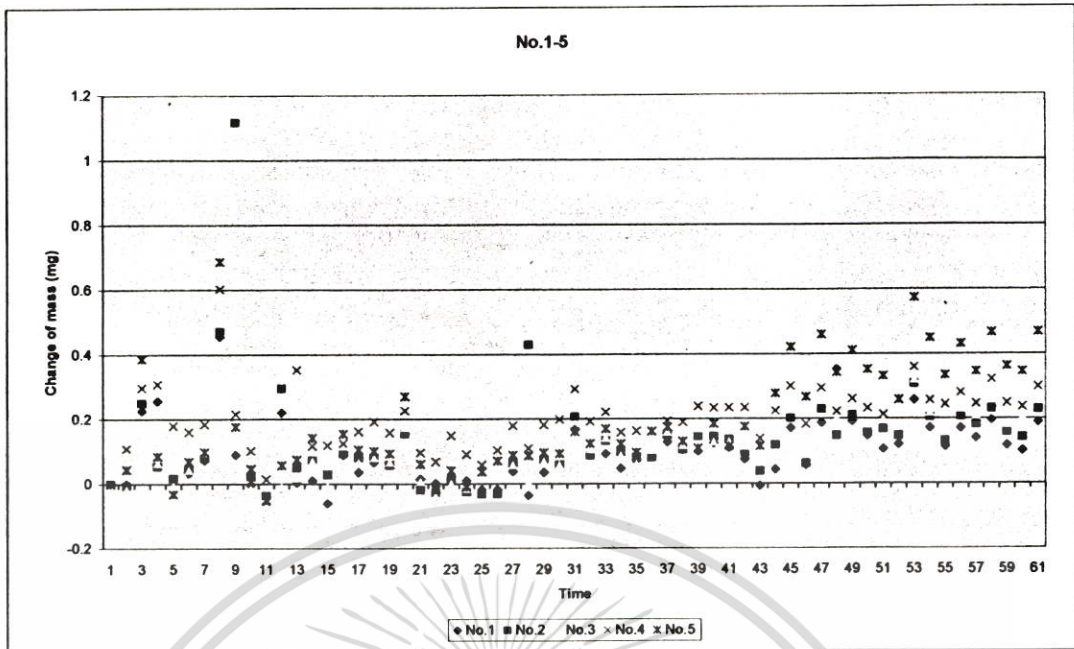


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 4



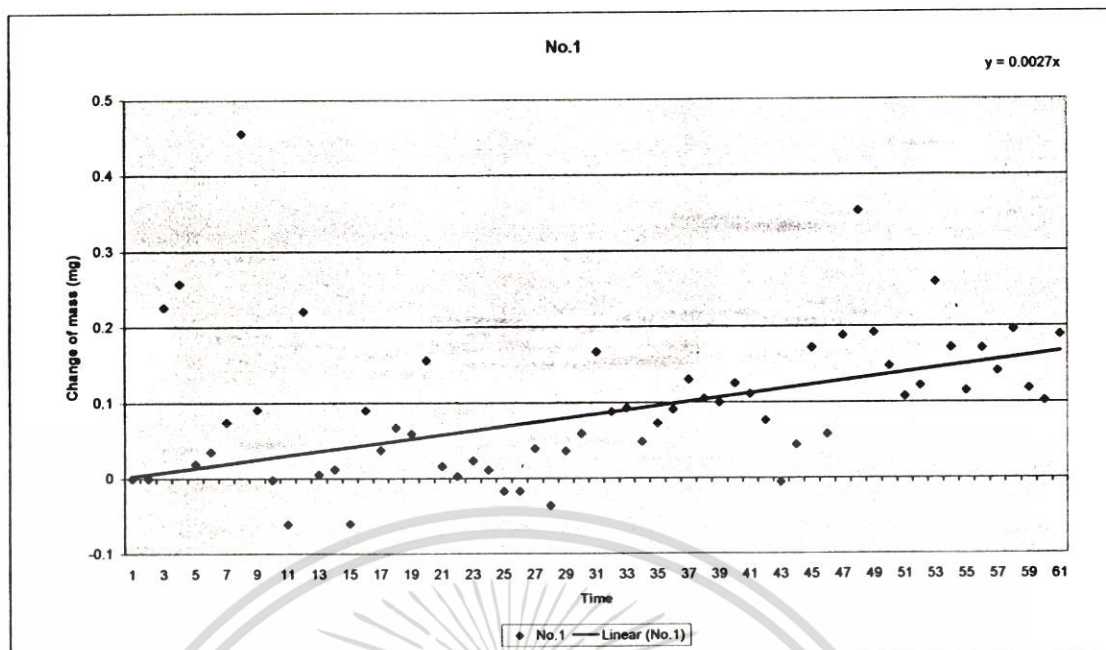
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

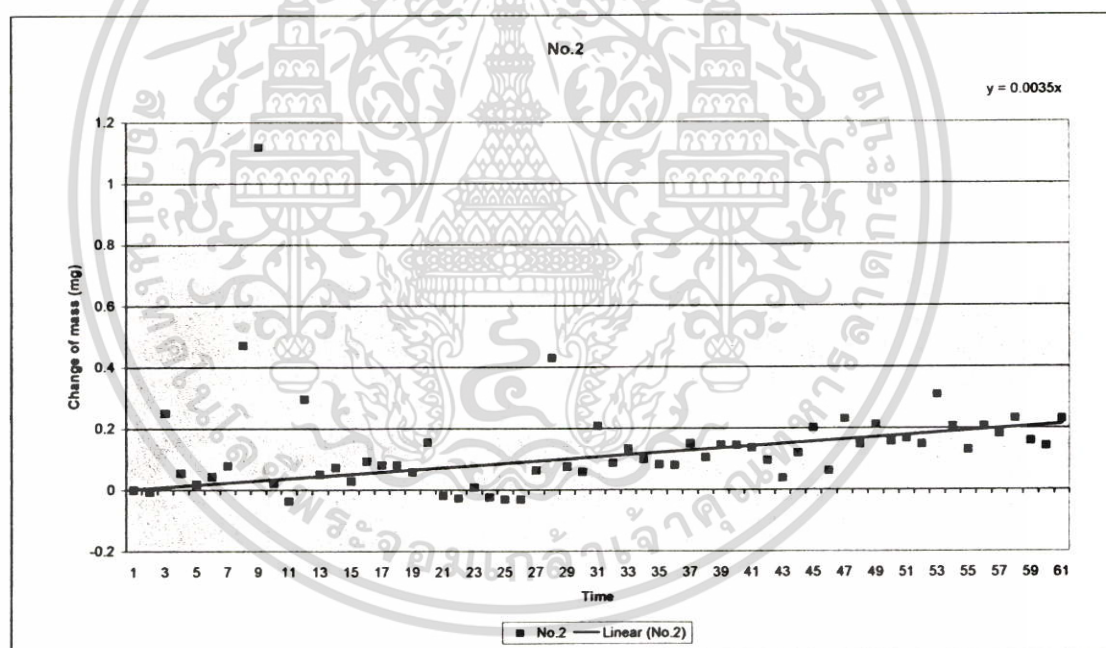


รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 1-5

จากรูปกราฟของค้อน้ำหนักมาตรฐานทั้ง 5 ค้อน พบว่าในช่วงแรกข้อมูลมีการกระจายขึ้นลง เนื่องจากความไม่เสถียรของค้อน้ำหนักมาตรฐานภายหลังการทำความสะอาดทันทีแต่เมื่อระยะเวลามากขึ้นพบว่าข้อมูลเริ่มมีความเสถียรและมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน จะทำการหาเส้นแนวโน้มและสมการจากรูปกราฟการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของค้อน้ำหนักมาตรฐานแต่ละตัวโดยใช้ความสัมพันธ์แบบฟังก์ชันเชิงเส้น ซึ่งจะได้รูปกราฟพร้อมเส้นแนวโน้มดังรูปที่ 4.10-4.15

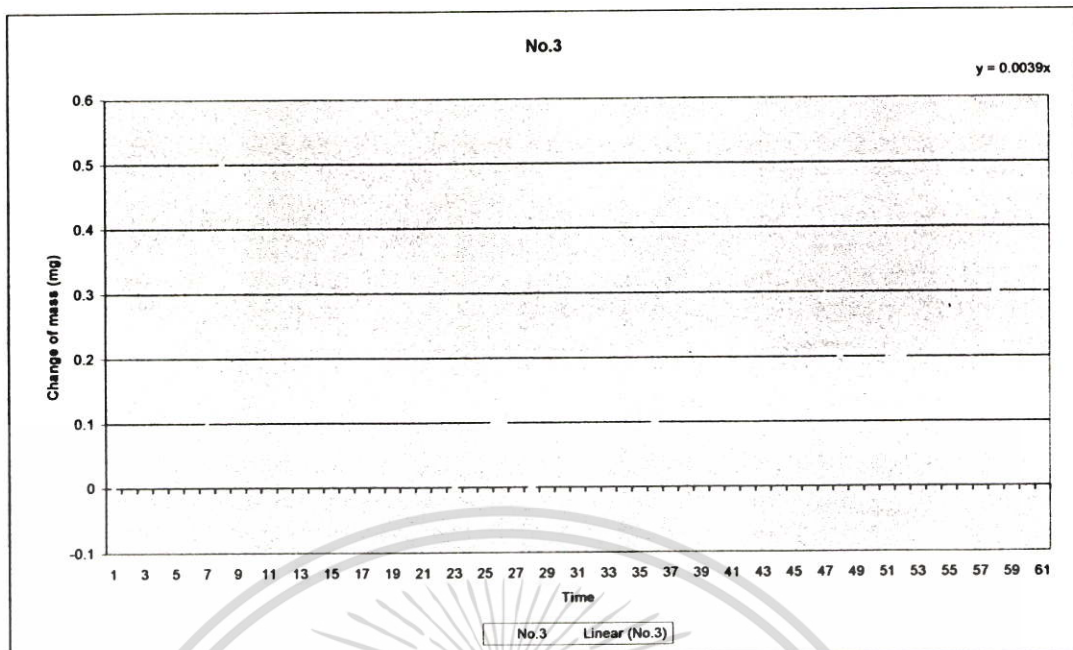


รูปที่ 4.10 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของคีม้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 1

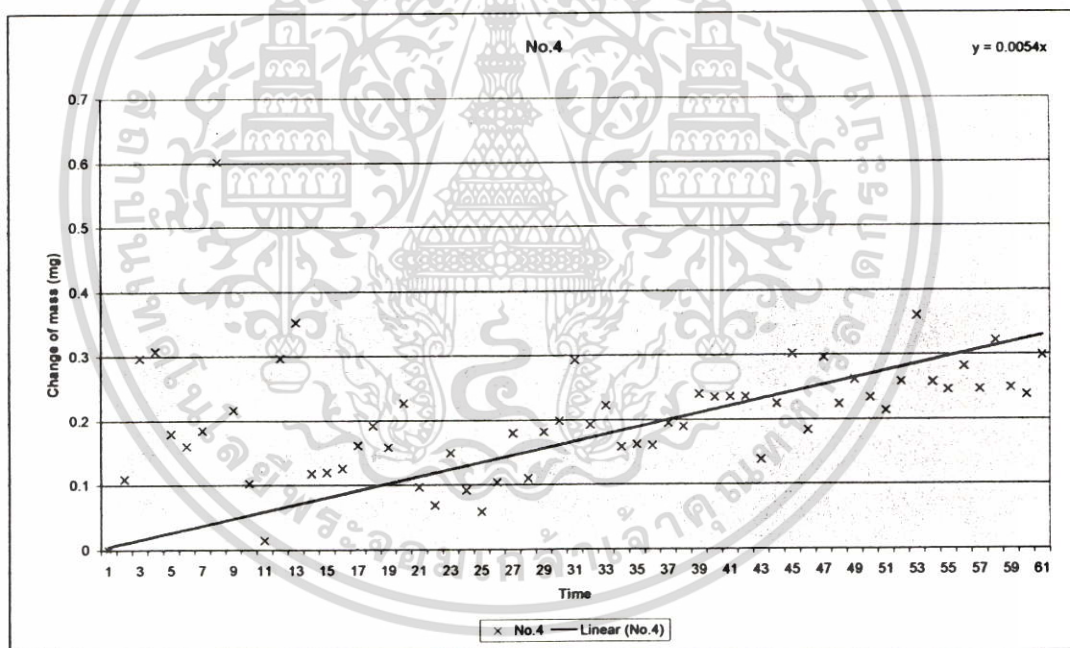


รูปที่ 4.11 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของคีม้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

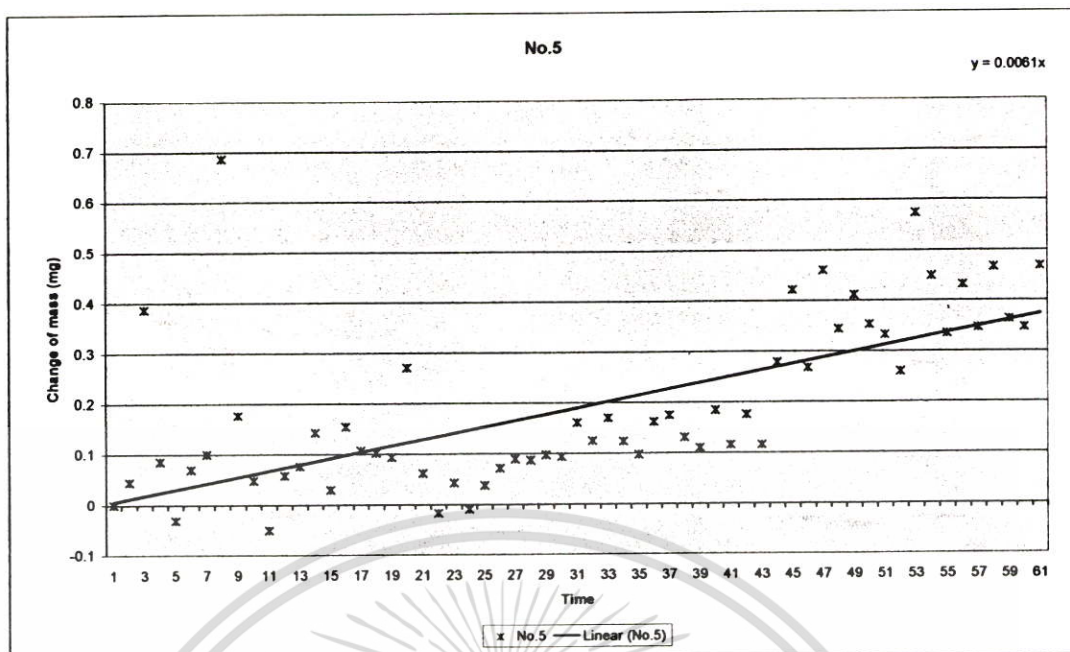


รูปที่ 4.12 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 3

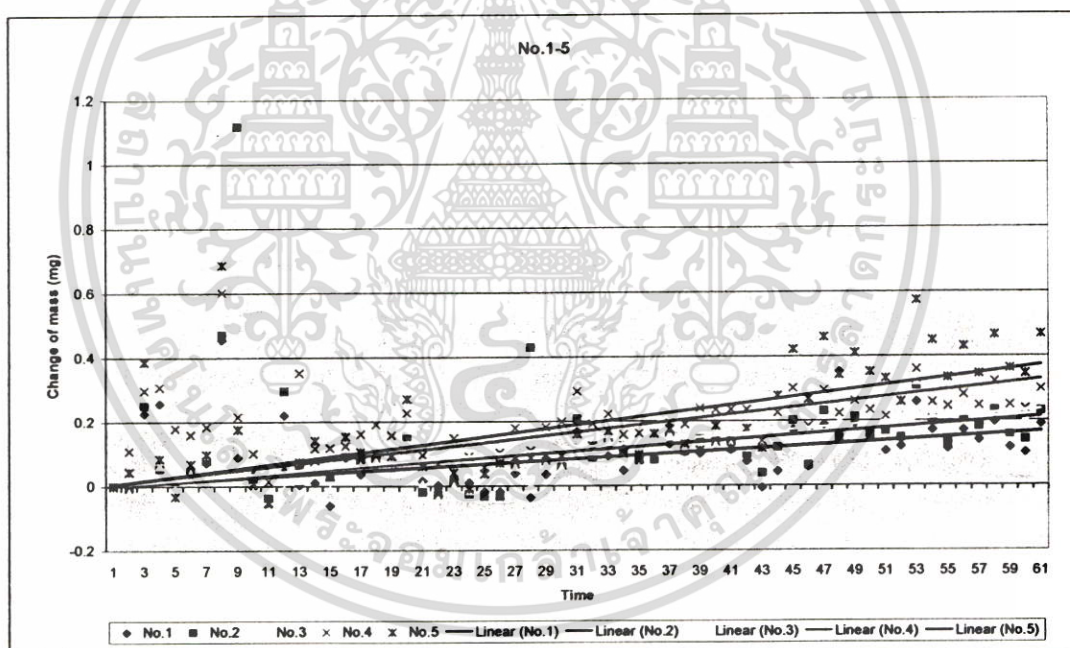


รูปที่ 4.13 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 5



รูปที่ 4.15 เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานหมายเลข 1-5

สำหรับสมการเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละตัวนี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 โดยที่ y คือการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน x คือค่าเวลา

ตารางที่ 4.2 สมการเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของดื่มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน 5 ตัว

หมายเลขดื่มน้ำหนัก	สมการเส้นแนวโน้ม
1	$0.0027x$
2	$0.0035x$
3	$0.0039x$
4	$0.0054x$
5	$0.0061x$

จากสมการของเส้นแนวโน้มในตารางที่ 4.2 เมื่อลองคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของดื่มน้ำหนักมาตรฐาน (y) ที่ค่าเวลา (x) ต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของดื่มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน ณ เวลาต่างๆ

หมายเลขดื่มน้ำหนักมาตรฐาน	การเปลี่ยนแปลงค่ามวลของดื่มน้ำหนักมาตรฐาน (y) มิลลิกรัม	
	ค่าเวลา (x) = 100 วัน	ค่าเวลา (x) = 365 วัน
1	0.27	0.99
2	0.35	1.28
3	0.39	1.42
4	0.54	1.97
5	0.61	2.23

จากผลที่ได้ในตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อนำมาทำการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของดื่มน้ำหนักมาตรฐานภายในระยะเวลา 1 ปี พบว่ามีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปหามากแปรผันตามค่าความหยาบผิว

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

ในบทนี้เป็นบทสรุปและวิจารณ์ผลการวิจัยเกี่ยวกับการสร้างตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ขนาด 1 กิโลกรัม และความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวกับค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ตลอดจนปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข ในส่วนของท้ายบทได้เสนอแนวทางวิจัยและการประยุกต์ใช้งานวิจัยนี้ต่อไปในอนาคต โดยในรายละเอียดของบทสรุปและวิจารณ์มีดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการสร้างตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ขนาด 1 กิโลกรัม

จากการสร้างตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ขนาด 1 กิโลกรัม โดยใช้โลหะสแตนเลส 316L มาทำการกลึงด้วยเครื่องกลึงแบบควบคุมด้วยมือ ทำการขัดผิวและปรับค่าน้ำหนักด้วยกระดาษทราย เครื่องขัดและน้ำยาขัด โลหะ พบว่าเมื่อทำการทดลองวัดค่าคุณลักษณะต่างๆของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นตามข้อกำหนด OIML R111 นี้แล้ว ลักษณะทางกายภาพเป็นไปตามข้อกำหนดค่าความหยาบผิวและค่าความหนาแน่นมีค่าเทียบเท่าได้กับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E1 ค่ามวลจริงสัญญาณนิยมมีค่าเทียบเท่าได้กับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น E₂ ส่วนค่าความเป็นแม่เหล็กพบว่ามีความเทียบเท่าได้กับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F₂ ดังนั้นตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ขนาด 1 กิโลกรัม ที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติเทียบเท่าได้กับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้น F₂

5.2 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวกับค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวกับค่าความเสถียรของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน โดยการเปรียบเทียบสมการเส้นแนวโน้มแบบฟังก์ชันลอการิทึมของรูปกราฟระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ามวลกับเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 5 ตัวที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน ภายในระยะเวลา 3 เดือน พบว่าเมื่อทำนายพฤติกรรมภายในระยะเวลา 1 ปี การเปลี่ยนแปลงค่ามวลต่อเวลาของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานมีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปหามากดังนี้ 0.461, 0.481, 0.578, 0.580 และ 0.730 มิลลิกรัม โดยแปรผันตามค่าความหยาบผิว โดยตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวมากกว่าจะมีอัตราการสะสมสิ่งเจือปนมากกว่าตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่มีค่าความหยาบผิวน้อยกว่า

5.3 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

ค้อนน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ขนาด 1 กิโลกรัม ที่สร้างขึ้นนี้จะต้องมีค่าต่างๆเป็นไปตามข้อกำหนดของ OIML R111 แต่จากการทดลองวัดค่าคุณลักษณะต่างๆของค้อนน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ที่สร้างขึ้นนี้ พบว่าค่าความเป็นแม่เหล็กของค้อนน้ำหนักมาตรฐานมีค่าสูงเกินไปสำหรับการสร้างค้อนน้ำหนักมาตรฐานในระดับชั้นที่สูงกว่า F_2 เนื่องจากคุณสมบัติของโลหะสแตนเลส 316L ที่นำมาใช้ในการสร้างค้อนน้ำหนักมาตรฐานเป็นโลหะที่มีคาร์บอนต่ำทำให้เกิดการเรียงตัวได้ง่ายเมื่อถูกกลึงจึงสามารถถูกทำให้เป็นแม่เหล็กได้ง่ายแบบเดียวกับวัสดุที่เป็นเฟอร์โรแมกเนติก ดังนั้นจึงควรเลือกวัสดุที่ไม่เกิดการเรียงตัวได้ง่ายเมื่อทำการกลึง

5.4 แนวทางวิจัยและการประยุกต์ใช้ในอนาคต

1. โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตค้อนน้ำหนักมาตรฐานจำหน่ายสามารถนำงานวิจัยนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการสร้างค้อนน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111 ได้
2. โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตค้อนน้ำหนักมาตรฐานสามารถนำงานวิจัยนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบคุณลักษณะของค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่สร้างขึ้นว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ ซึ่งเป็นการเพิ่มความมั่นใจให้แก่ผู้ผลิตว่าได้ผลิตค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่มีคุณภาพตาม OIML R111 นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้าที่จะซื้อค้อนน้ำหนักมาตรฐานนี้เพื่อทดแทนการซื้อค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่ผลิตจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงมาก
3. หน่วยงานที่ให้การรับรองค้อนน้ำหนักมาตรฐานสามารถนำงานวิจัยนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบคุณลักษณะของค้อนน้ำหนักมาตรฐานเพื่อให้การรับรองได้
4. สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเลือกวัสดุที่มีค่าความเป็นแม่เหล็กเหมาะสมในการสร้างค้อนน้ำหนักมาตรฐานระดับชั้นสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] International Organization of Legal Metrology. **Recommendation 111-Weights of Classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃, and M₃ Part 1 : Metrological and Technical Requirements.** France : n.p.. 2003.
- [2] Stephan Weyhe. **Weighing Technology in the Laboratory : Technology and Applications.** Germany : Sartorius. 1997.
- [3] Kochsiek M. **Fundamentals of Mass Determination.** Switzerland : Mettler-Toledo. n.d..
- [4] David Whitehouse. **Surfaces and their Measurement.** London : Hermes Penton Science. 2002.
- [5] กฤษดา วิสวธีรานนท์. คู่มือการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : ส่วนวารสารวิชาการ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2546
- [6] วีระศักดิ์ วิสุทธิธรรม และปัญญาธิ สมวงศ์. การวัดมวล. นนทบุรี : ฝ่ายมาตรฐานฯ กองชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า กระทรวงพาณิชย์. ม.ป.ป.
- [7] Ted Busch, Roger Harlow, Richard Thompson. **Fundamentals of Dimensional Metrology.** 3rd ED. Edition, Delmar. 1966.
- [8] Borburger T.V. and Raja J. **Surface Finish Metrology Tutorial.** U.S. : Department of Commerce. 1990.
- [9] Graham T. Smith. **Industrial Metrology Surfaces and Roundness.** London : Springer. 2002.
- [10] Kochsiek M. and Gläser M. **Comprehensive Mass Metrology.** Berlin : Wiley-Vch. 2000.
- [11] Frank E. Jones and Randall M. Schoonover. **Handbook of Mass Measurement.** U.S. : CRC. 2002.
- [12] William D. Callister and Jr. **Materials Science and Engineering an Introduction.** U.S. : John Wiley & Sons. 4th ED. 1996.
- [13] Ueki M., Kobata T., Mizushima S., Nezu Y., Ooiwa A., Ishii Y.. **“Application of an Acoustic Volumeter to Standard Weights”** Japan : NRLM.
- [14] Richard S.Davis. “Determining the Magnetic Properties of 1 kg Mass Standards” **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology,** vol.100, no. 3, May-June 1995. pp. 209-226.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] Richard S.Davis. “New method to measure magnetic susceptibility” **Meas. Sci. Technol.**, vol. 4, 1993. pp. 141-147.
- [16] Nava J., Davis R S., Moran J. “Intercomparison between CENAM, BIPM and TROEMNER to determine the volume magnetic susceptibility of a 100 g weight”.
- [17] “Magnetic Effects in Weighing” **Technical Guide 6.** Measurement Standards Laboratory (MSL). New Zealand.
- [18] Gläser M. “Magnetic interactions between weights and weighing instruments” **Meas. Sci. Technol.** vol. 12, 2001. pp. 709-715.



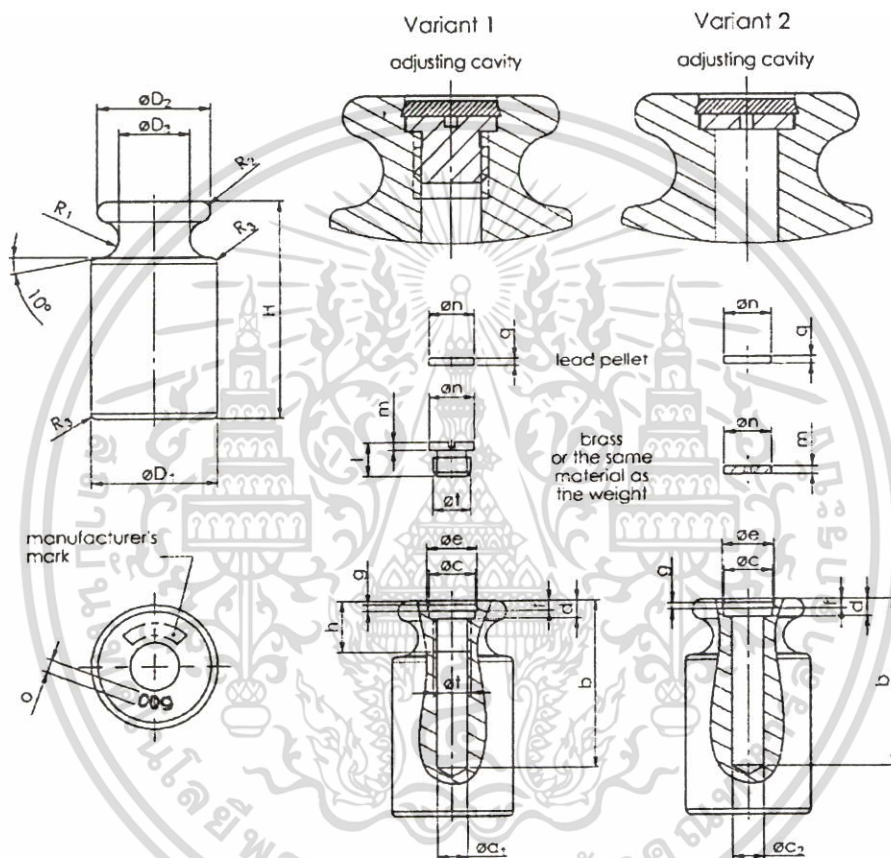
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ขนาดและค่าขอบเขตของขนาดสำหรับตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน OIML R111

Examples of different shapes and dimensions

Figure 1 Examples of cylindrical weights



Examples of different shapes and dimensions
Table of dimensions (in millimeters)

Nominal value	D ₁	D ₂	D ₃	H	R ₁	R ₂	R ₃	ϕ	a ₁	a ₂	b ₁	c	d	e	f	g	h	l	m	n	q	t
1 g	6	5,5	3		0,9	0,5	0,5	1														
2 g	6	5,5	3		0,9	0,5	0,5	1														
5 g	8	7	4,5		1,25	0,7	0,5	1														
10 g	10	9	6		1,5	0,8	0,5	1														
20 g	13	11,5	7,5		1,8	1	0,5	1,5														
50 g	18	16	10		2,5	1,5	1	2														
20 g	13	11,5	7,5		1,8	1	0,5	1,5	3,5	3	18	5,5	2,5	6,5	1,5	1	9	5	1	5	1	M4 x 0,5
50 g	18	16	10		2,5	1,5	1	2	5,5	4,5	25	7,5	3,5	9	2	1	10	5	1,5	7	1,5	M6 x 0,5
100 g	22	20	13		3,5	2	1	2	5,5	4,5	30	7,5	3,5	9	2	1	10	5	1,5	7	1,5	M6 x 0,5
200 g	28	25	16		4	2,25	1,5	3,2	6,9	7	40	10,5	4,5	12	2,5	1,5	15	8	2	10	2	M8 x 1
500 g	38	34	22		5,5	3	1,5	3,2	6,9	7	50	10,5	4,5	12	2,5	1,5	15	8	2	10	2	M8 x 1
1 kg	48	43	27		7	4	2	5	12,4	12	65	18,5	7	20	4	2,5	20	13	3	18	3	M14 x 1,5
2 kg	60	54	36		9	5	2	5	12,4	12	80	18,5	7	20	4	2,5	20	13	3	18	3	M14 x 1,5
5 kg	80	72	46		12	6,5	2	10	18,4	18	120	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5
10 kg	100	90	58		15	8,5	3	10	18,4	18	150	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5
20 kg	128	112	74		18	11	3	10	18,4	18	160	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5

① The depth of the adjusting cavities is given only as an indication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 2 Examples of rectangular bar weights (Type 1)

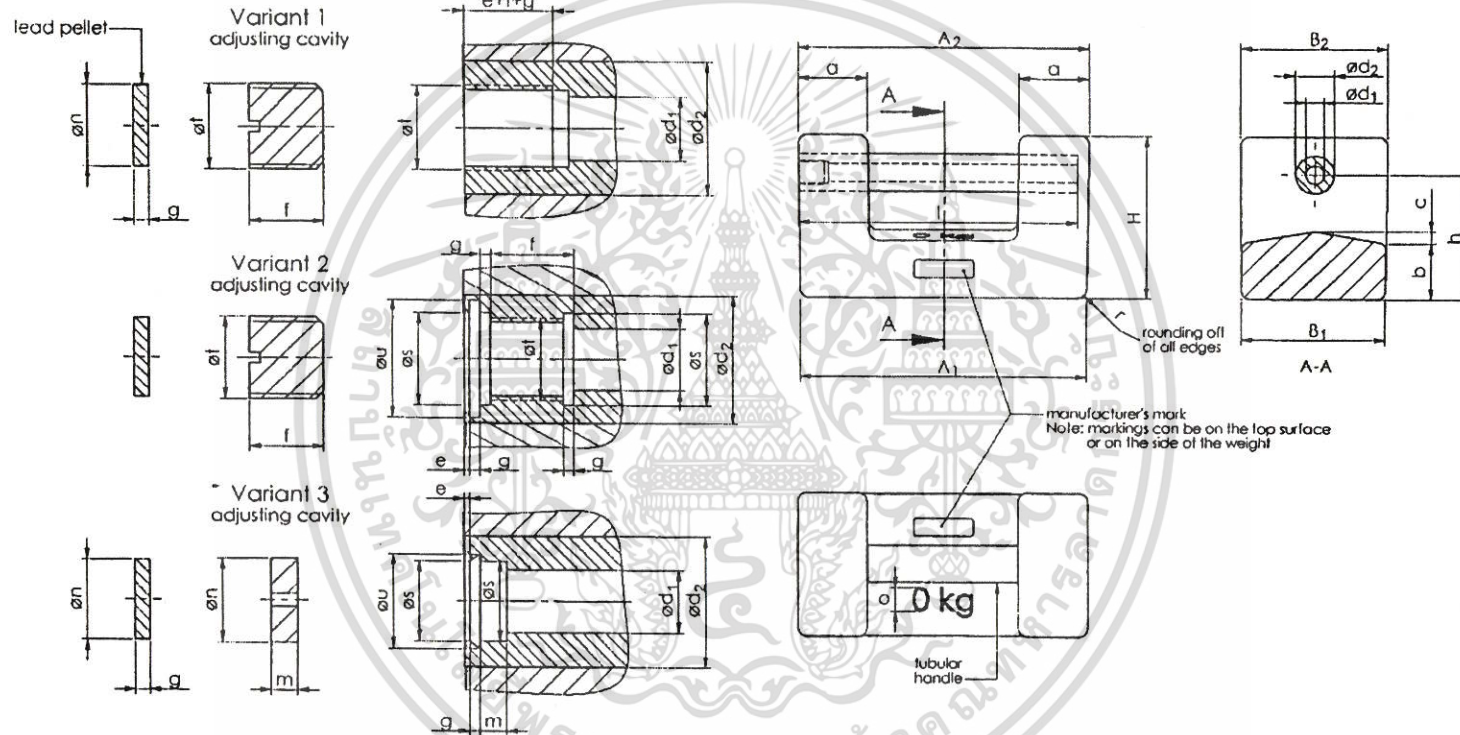
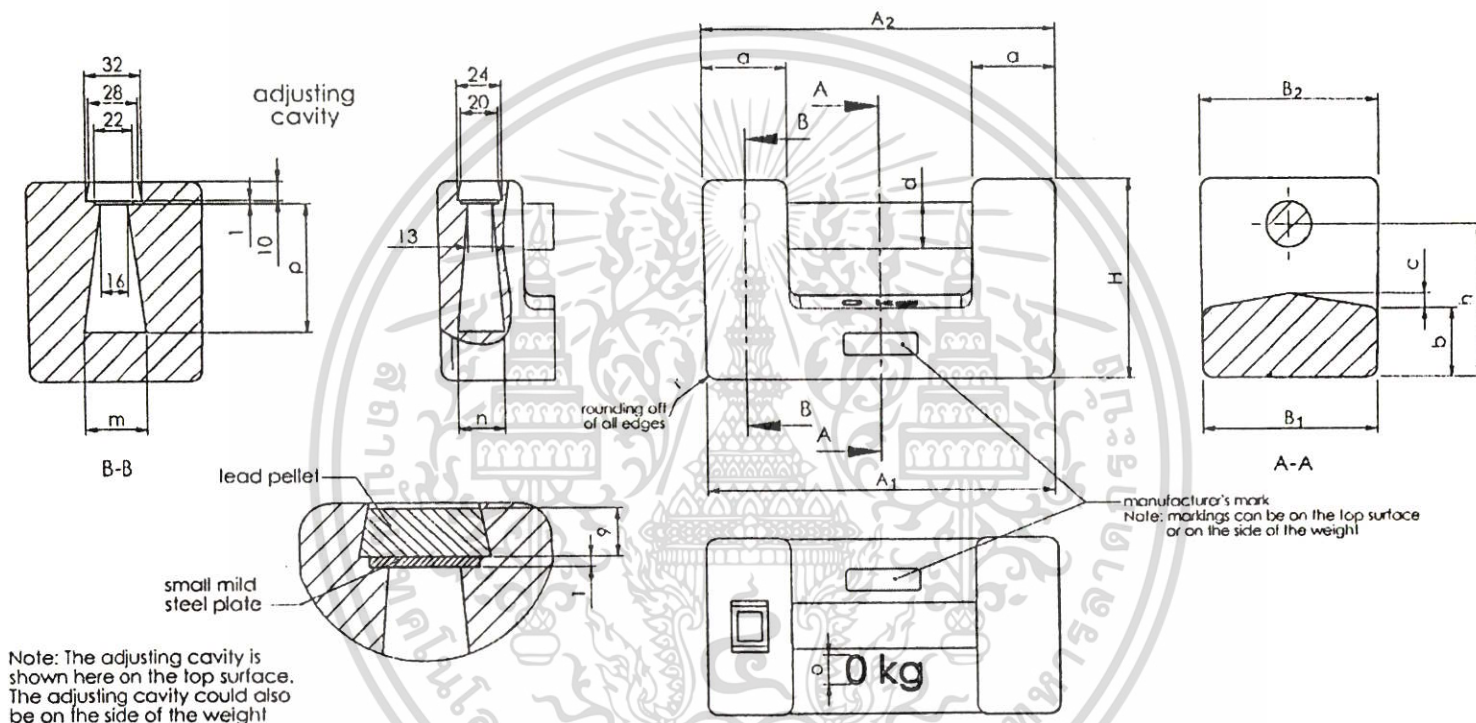


Table of dimensions (in millimeter)

Nominal value	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	H	a	b	c	d ₁	d ₂	e	f	g	h	l	m	n	o	r	s	t	u
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	12	19	1	14	2	66	145	5	16	12	5	16,5	M16x1,5	18
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	12	25	1	14	2	84	185	5	16	16	6	16,5	M16x1,5	18
20 kg	230	234	115	117	138	81	52	12	24	29	2	21	3	109	220	8	27	20	8	27,5	M27x1,5	30
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	24	40	2	21	3	152	300	8	27	25	10	27,5	M27x1,5	30

Dimensions A and A' as well as B and B' can be reversed.

Figure 3 Examples of rectangular bar weights (Type 2)



Note: The adjusting cavity is shown here on the top surface. The adjusting cavity could also be on the side of the weight

Table of dimensions (in millimeter)

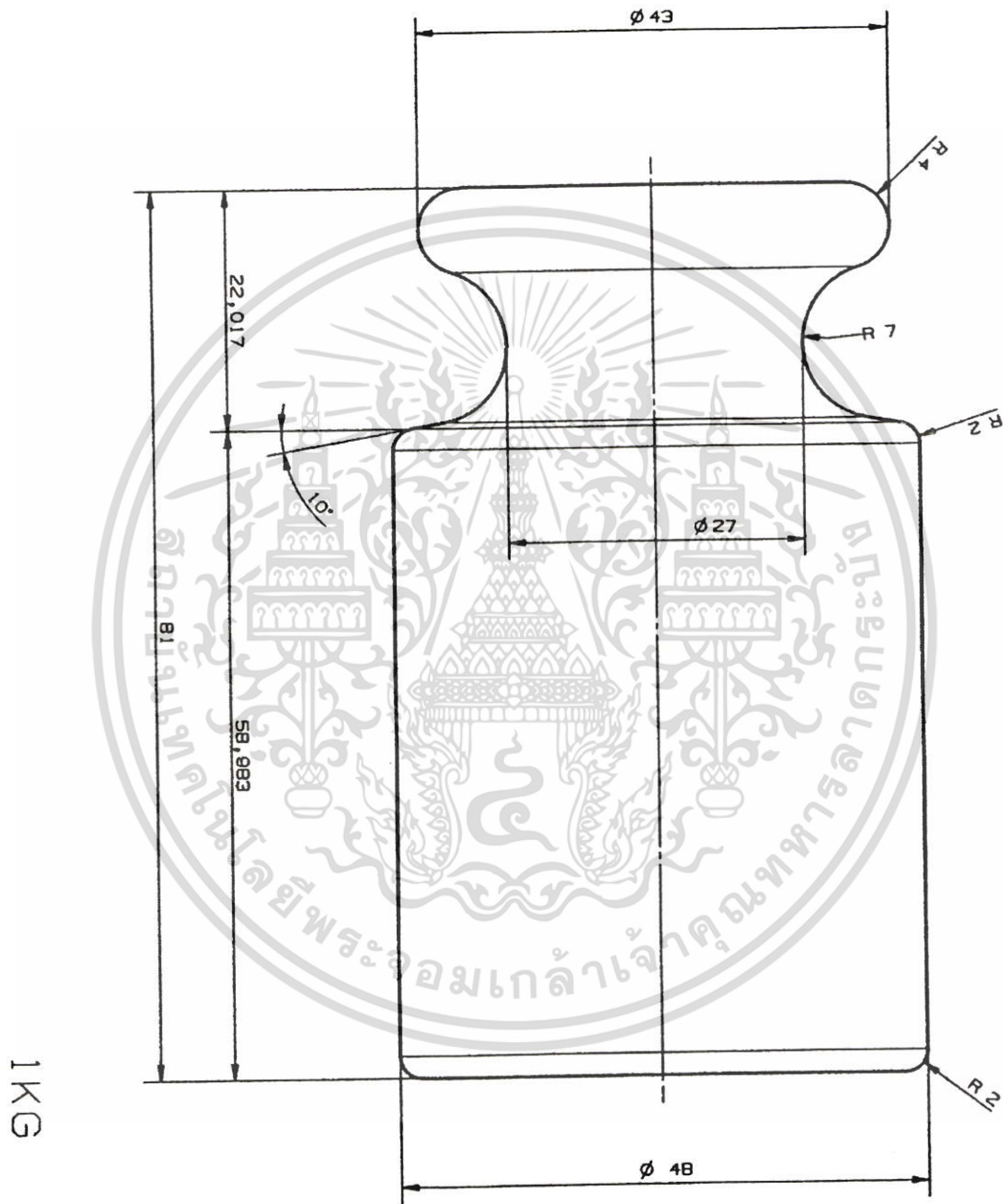
Nominal value	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	H	a	b	c	d	h	m	n	o	p	r
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	19	66	16	13	12	55	5
10 kg	190	193	85	87	109	46	38	8	25	84	35	25	16	70	6
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	29	109	50	30	20	95	8
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	40	152	70	40	25	148	10

Dimensions A and A' as well as B and B' can be reversed.

The internal dimensions m, n, p of the adjusting cavities are given only as an indication.

ภาคผนวก ข.

การออกแบบลักษณะรูปร่างของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างกราฟแสดงผลการวัดค่าความหยาบผิวของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม

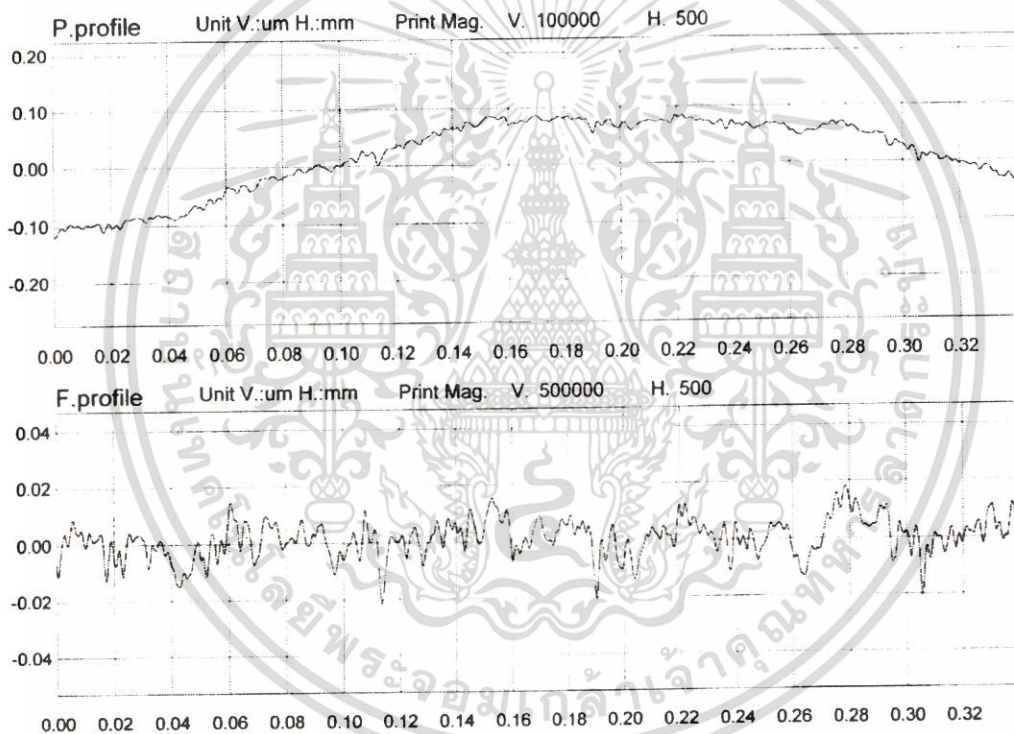


Measurement Result

Calibration Record No.

 Laboratory : Length
 Department : Dimensional Metrology

Page of Pages

 Meas. Mag. V. 100000
 H. 200


[Parameters]

Roughness of weight standard1	Ra	0.0052um
Sampling 0.08 micron	Rz	0.0355um
2um		
Cutoff	0.08mm	
Filter	Gauss	
E.length	0.400mm	
S.length	0.080mm	
Levelling	Straight (all)	
Polarity	normal	
Start-up	Cutoff X 1	
Data	8000points	
Form Data	0points	
Drive speed	0.05mm/s	
Pick-up	PickUp1	
Meas.force	400uN	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ผลต่างค่ามวล (มิลลิกรัม) ของค้อนน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม 5 ตัว ที่มีค่าความ
หยาบผิวต่างกัน

วัน/เดือน/ปี	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
23/7/2004	0	0	0	0	0
29/7/2004	0	-0.005	-0.016	0.110	0.045
30/7/2004	0.226	0.251	0.290	0.297	0.387
3/8/2004	0.257	0.056	0.065	0.308	0.086
4/8/2004	0.019	0.019	-0.007	0.180	-0.031
5/8/2004	0.035	0.045	0.044	-0.161	0.070
6/8/2004	0.074	0.080	0.099	0.185	0.100
9/8/2004	0.456	0.471	0.501	0.602	0.687
10/8/2004	0.091	1.117	0.131	0.217	0.177
11/8/2004	-0.002	0.023	-0.013	0.103	0.048
13/8/2004	-0.061	-0.036	-0.066	0.015	-0.051
16/8/2004	0.221	0.296	-0.007	0.297	0.058
17/8/2004	0.005	0.051	0.020	0.353	0.076
18/8/2004	0.012	0.073	0.072	0.118	0.143
19/8/2004	-0.060	0.030	-0.006	0.120	0.030
20/8/2004	0.090	0.095	0.119	0.126	0.155
23/8/2004	0.037	0.082	0.067	0.162	0.107
24/8/2004	0.067	0.082	0.082	0.192	0.102
25/8/2004	0.059	0.059	0.068	0.159	0.094
26/8/2004	0.156	0.156	0.175	0.227	0.271
28/8/2004	0.016	-0.018	0.011	0.097	0.062
30/8/2004	0.003	-0.026	-0.037	0.069	-0.017
31/8/2004	0.023	0.009	0.003	0.150	0.043
1/9/2004	0.011	-0.024	-0.014	0.092	-0.009
2/9/2004	-0.017	-0.031	0.023	0.059	0.038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลต่างค่ามวล (มิลลิกรัม) ของคຸ່ມนำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม 5 ตัว ที่มีค่าความ
หยาบผิวต่างกัน (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
4/9/2004	-0.017	-0.031	0.073	0.104	0.072
6/9/2004	0.039	0.064	0.059	0.180	0.089
7/9/2004	-0.036	0.430	0.006	0.110	0.087
8/9/2004	0.036	0.076	0.071	0.182	0.097
9/9/2004	0.059	0.059	0.059	0.199	0.094
11/9/2004	0.167	0.208	0.252	0.293	0.161
13/9/2004	0.088	0.088	0.108	0.193	0.125
14/9/2004	0.093	0.134	0.143	0.223	0.170
15/9/2004	0.048	0.099	0.088	0.159	0.124
16/9/2004	0.072	0.083	0.062	0.163	0.097
18/9/2004	0.091	0.081	0.105	0.161	0.162
20/9/2004	0.130	0.151	0.160	0.195	0.175
21/9/2004	0.105	0.106	0.120	0.190	0.131
22/9/2004	0.100	0.146	0.170	0.240	0.110
23/9/2004	0.125	0.145	0.130	0.235	0.185
24/9/2004	0.111	0.137	0.131	0.236	0.116
29/9/2004	0.076	0.096	0.116	0.236	0.176
30/9/2004	-0.006	0.039	0.069	0.139	0.116
1/10/2004	0.044	0.120	0.149	0.225	0.279
2/10/2004	0.172	0.202	0.281	0.302	0.422
3/10/2004	0.058	0.063	0.127	0.184	0.268
4/10/2004	0.188	0.231	0.295	0.296	0.461
5/10/2004	0.353	0.149	0.203	0.224	0.344
6/10/2004	0.192	0.212	0.251	0.262	0.412
7/10/2004	0.148	0.158	0.183	0.234	0.353
8/10/2004	0.108	0.168	0.198	0.214	0.333
9/10/2004	0.122	0.148	0.248	0.259	0.260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามการโฆษณาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ตามการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลต่างค่ามวล (มิลลิกรัม) ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กิโลกรัม 5 ตัว ที่มีค่าความ
 หยาดผิวต่างกัน (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
10/10/2004	0.259	0.309	0.322	0.361	0.574
11/10/2004	0.172	0.205	0.220	0.258	0.450
12/10/2004	0.115	0.131	0.180	0.246	0.335
13/10/2004	0.171	0.207	0.232	0.282	0.432
14/10/2004	0.141	0.182	0.211	0.247	0.347
15/10/2004	0.196	0.232	0.306	0.322	0.467
16/10/2004	0.118	0.159	0.183	0.249	0.363
17/10/2004	0.102	0.143	0.207	0.238	0.347
18/10/2004	0.189	0.230	0.294	0.299	0.469

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวจิตตกานต์ ไชยปัญญา
 วัน เดือน ปีเกิด 7 สิงหาคม 2519 ที่กรุงเทพมหานคร
 ที่อยู่ 1911/65 หมู่บ้านสินวงศ์ หมู่ 4 ซ.สุขุมวิท 115 (อภิชาติ) ถ.สุขุมวิท
 ตำบลเทพารักษ์ อำเภอเมือง สมุทรปราการ 10270
 โทร. 0-2757-8048

ประวัติการศึกษา 2541 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) การสอบเทียบคัมภ์น้ำหนัก
 2.) การสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก

ประสบการณ์การทำงาน
 พ.ศ.2542-ปัจจุบัน ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 5 ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมวล-เชิงกล
 กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัด วิเคราะห์ ทดสอบ
 โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ
 กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้