

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

วศ กฟ'
๑๖ 63

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 7
และ
นักวิทยาศาสตร์ 6

การเปรียบเทียบวิธีทดสอบหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกโดย
วิธีพิคโนมิเตอร์กับวิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์

โดย

- 1 นางสาวเดือนเพ็ญ วนิชพิมลอนันต์
นักวิทยาศาสตร์ 6ว
- 2 นางสาวสิริวรรณ ลีศิริสรรพ
นักวิทยาศาสตร์ 5

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

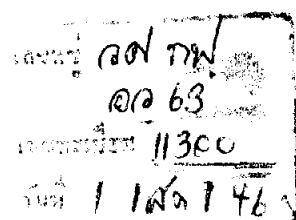
เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 7
และ
นักวิทยาศาสตร์ 6

การเปรียบเทียบวิธีทดสอบหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกโดย
วิธีพิคโนมิเตอร์กับวิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์

โดย

- 1 นางสาวเดือนเพ็ญ วณิชพิมลอนันต์
นักวิทยาศาสตร์ 6ว
- 2 นางสาวสิริวรรณ ตีศิริสรรพ
นักวิทยาศาสตร์ 5

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม



บทคัดย่อ

การหาความหนาแน่นของพลาสติกสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นกับลักษณะตัวอย่าง เช่น ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีขนาดใหญ่ซึ่งไม่สามารถใส่ลงไปในปากขวดพิคโนมิเตอร์ได้ก็จะใช้วิธีแทนที่น้ำ (ASTM D792 Method A) โดยการชั่งขึ้นทดสอบพลาสติก จำนวน 3 ชิ้นในอากาศและในน้ำ แต่ละชิ้นมีน้ำหนักประมาณ 1-50 กรัมในอากาศ แต่ถ้าตัวอย่างเป็นเม็ด พลาสติกจะหา ความหนาแน่นโดยวิธีพิคโนมิเตอร์ (ASTM D792 Method B) หรือวิธีเคนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์ (ASTM D1505) ได้ ซึ่งในรายงานฉบับนี้จะเปรียบเทียบการหาความหนาแน่น ของเม็ดพลาสติก 2 วิธี คือ วิธีพิคโนมิเตอร์และวิธีเคนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์

การหาความหนาแน่นโดยวิธีพิคโนมิเตอร์ ทำโดยหาความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของเม็ดพลาสติกก่อนแล้วคูณด้วยความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิที่ทดสอบ ผลที่ได้จะเป็นความหนาแน่นของพลาสติก ในการหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดพลาสติกทำโดย ชั่งน้ำหนักของเม็ดพลาสติกในอากาศ และชั่งน้ำหนักของเม็ดพลาสติกที่จมอยู่ในของเหลวในขวดพิคโนมิเตอร์ ความถ่วงจำเพาะจะเท่ากับน้ำหนักของเม็ดพลาสติกที่ชั่งในอากาศหารด้วยน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับเม็ดพลาสติก

การหาความหนาแน่นโดยวิธีเคนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์ ทำโดยเตรียมสารละลายผสมของของเหลวที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงที่ต้องการใส่ลงในคอลัมน์ โดยความหนาแน่นมากที่สุดจะอยู่ที่ก้นคอลัมน์ และค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ เป็นชั้น ๆ ชั้นบนสุดของคอลัมน์จะมีความหนาแน่นต่ำสุด เมื่อหย่อนเม็ดพลาสติกลงในคอลัมน์ ความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกจะเท่ากับความหนาแน่นของของเหลวในระดับที่เม็ดพลาสติกลอยตัวอยู่ การทดลองนี้จะต้องมีลูกลอยแก้วมาตรฐานที่ทราบความหนาแน่นแล้วใส่ลงไปในคอลัมน์เพื่อใช้เปรียบเทียบค่าความหนาแน่น

จากการเปรียบเทียบการหาความหนาแน่น โดยวิธีฟิค โนมิเตอร์และวิธีเคนซีดี-เกรเดียน คอลัมน์พบว่า วิธีเคนซีดี-เกรเดียน คอลัมน์ให้ผลการทำซ้ำ (Repeatability) ที่ใกล้เคียงกันมากกว่าวิธีฟิค โนมิเตอร์ และ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (mean) ของทั้ง 2 วิธี ในเชิงสถิติพบว่าทั้งสองวิธี ให้ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	iii
สารบัญตาราง	iv
สารบัญภาพ	v
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาทดลอง	2
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินการ	3
บทที่ 2 ความหนาแน่นของพลาสติก	4
2.1 วิธีอิมเมอร์ชัน	5
2.2 วิธีพิคโนมิเตอร์	9
2.3 วิธีซิงค์ไฟลท์	10
2.4 วิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์	11
บทที่ 3 ขั้นตอนดำเนินการและผลการทดสอบ	19
3.1 ขั้นตอนดำเนินงาน	19
3.2 ทำการหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกโดยใช้วิธีพิคโนมิเตอร์	19
3.3 ทำการหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกโดยใช้วิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์	20
3.4 ผลการทดสอบโดยวิธีพิคโนมิเตอร์และเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์	22
3.5 วิเคราะห์ผลด้วยวิธีทางสถิติ	23
บทที่ 4 วิจัยและสรุปผลการทดลอง	26
4.1 วิจัยผลการทดลอง	26
4.2 สรุปผลการทดลอง	27
กิตติกรรมประกาศ	28
เอกสารอ้างอิง	29
ภาคผนวก	30

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1 ตัวอย่างค่า K ที่อุณหภูมิ 20-30 ° C	2
ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างของเหลว 2 ชนิดที่ผสมกันเพื่อเตรียมของเหลวที่มีช่วง ความหนาแน่นต่างๆ	12
ตารางที่ 3-1 ตารางแสดงผลการทดสอบ	22

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง พลาสติกบวกกับน้ำหนักเส้นลวดในน้ำเพื่อหา ความถ่วงจำเพาะ	6
รูปที่ 2-2 ฐานรองรับบีกเกอร์ซึ่งไม่กคน้ำหนักลงบนจานชั่ง และตะขอแขวน ตัวอย่างที่มีฐานวางบนจานชั่งตัวอย่างได้	7
รูปที่ 2-3 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพลาสติกบวกกับเส้นลวด และตัวถ่วงน้ำหนักเพื่อ หาความถ่วงจำเพาะ	7
รูปที่ 2-4 อุปกรณ์หาความหนาแน่นของพลาสติกที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ (ใช้ sample holder)	8
รูปที่ 2-5 อุปกรณ์หาความหนาแน่นของพลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ (ใช้ sieve)	8
รูปที่ 2-6 การหาความถ่วงจำเพาะ โดยวิธีซิงค์ โพลท์	10
รูปที่ 2-7 การหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกโดยวิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์	11
รูปที่ 2-8 เครื่องมือสำหรับเตรียมเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์ (Method B)	14
รูปที่ 2-9 เครื่องมือสำหรับเตรียมเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์ (Method A)	16

บทที่ 1

บทนำ

ในการวิเคราะห์หาชนิดของพลาสติก สมบัติอย่างหนึ่งที่สำคัญและใช้ประกอบการวินิจฉัยว่าเป็นพลาสติกชนิดใดก็คือความหนาแน่น(Density)ของพลาสติก ความหนาแน่นคือน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของสารที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส หมายถึงอุณหภูมิที่ทดสอบ ความหนาแน่นของสารจะแปรเปลี่ยนไปขึ้นกับอุณหภูมิและความยาวของโซ่ไฮโดรคาบอน พลาสติกที่มีมวลอะตอมมากจะมีความหนาแน่นสูง ดังนั้นถ้าไฮโดรเจนอะตอมในโพลิเอทิลีนถูกแทนที่โดยอะตอมคลอรีน (Cl) ความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น ความเป็นผลึกในโพลิเมอร์จะมีผลต่อความหนาแน่นเช่นเดียวกัน โพลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูงจะมีความหนาแน่นสูงกว่าโพลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกต่ำ ชนิดและปริมาณของสารเสริม(filler)และสารเสริมสภาพพลาสติก(Plasticizers)มีผลทำให้ความหนาแน่นของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกันแต่ สารเสริมสภาพพลาสติกจะมีผลต่อความหนาแน่นค่อนข้างน้อย

การทดสอบหาความหนาแน่นของพลาสติกที่เป็นของแข็ง จะมีความคลาดเคลื่อนจากหลายสาเหตุ ได้แก่ ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของพลาสติก, ผิวที่ขรุขระ, ฟองอากาศที่เกาะบนชิ้นงาน ฯลฯ การหาความหนาแน่นของโพลิเมอร์ที่เป็นของแข็งอาจจะหาโดยวิธีพิคโนมิเตอร์ (ASTM D 792 method B), วิธีแทนที่น้ำ (ASTM D 792 method A) และวิธีเคนซีตี-เกรเดียน คอลัมน์ (ASTM D 1505)

ความหนาแน่นสามารถใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาชนิดของพลาสติก และสำหรับโพลิเอทิลีนแล้ว ข้อมูลในเรื่องความหนาแน่นเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ตัดสินว่าเป็นโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหรือความหนาแน่นต่ำ นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นยังสามารถบ่งบอกว่าตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่จึงสามารถใช้ควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตพลาสติกด้วย

ความหนาแน่นที่อุณหภูมิสามารถเปลี่ยนไปเป็นความถ่วงจำเพาะ(Specificgravity)ที่อุณหภูมิต่างกันได้โดยสมการต่อไปนี้

$$S = \rho/K$$

S = ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส

ρ = ความหนาแน่นของตัวอย่างที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส; กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

K = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส; กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ 1-1 ตัวอย่างค่า K ที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส	K (g /cm ³)
20	0.9982
23	0.9975
25	0.9970
27	0.9965
30	0.9956

1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาทดลอง

ในการทดสอบความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกนั้นสามารถจะเลือกวิธีทดสอบได้หลายวิธีซึ่งส่วนใหญ่แล้วในห้องปฏิบัติการของงานวิเคราะห์ทดสอบพลาสติก จะเลือกใช้วิธีพิคโนมิเตอร์และวิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์เทคนิค การจะเลือกวิธีใดนั้นขึ้นกับความหนาแน่นของตัวอย่างด้วย เช่น ถ้าตัวอย่างมีความหนาแน่นเกินช่วงความหนาแน่นของเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์ ก็จะเลือกใช้วิธีพิค-

โนมิเตอร์ แต่ถ้าวางมีความหนาแน่นในช่วง ที่ทำได้ทั้งสองวิธี การที่จะรู้ว่าวิธีใดมีความเที่ยง มาก (precision) กว่ากัน และ วิธีทั้งสองมีค่าเฉลี่ย (mean) ใกล้เคียงกันหรือต่างกันนั้น จำเป็นต้องอาศัย ข้อมูลหลายค่า และวิธีทางสถิติในการตัดสินใจ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาทดลองเพื่อเปรียบเทียบการหา ความหนาแน่นทั้ง 2 วิธี

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบวิธีทดสอบหาความหนาแน่นของพลาสติกด้วยวิธีพิก โนมิเตอร์และวิธีเดน ซิตี-เกรเดียน คอลัมน์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ทดสอบหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกชนิด โพลีเอทิลีนด้วยวิธีพิก โนมิเตอร์และวิธี เดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์

1.3.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบ และสรุปผล

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ใช้เป็นข้อมูลสำหรับ โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตเม็ดพลาสติกในประเทศเพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพเม็ดพลาสติก

1.4.2 ใช้เป็นคู่มือในการทดสอบหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกของกลุ่มเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์

1.4.3 เพื่อเผยแพร่วิธีการทดสอบและให้คำแนะนำแก่โรงงานอุตสาหกรรมและหน่วยงานของ รัฐบาล

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินการ

ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2542-ธันวาคม 2543 รวมเวลา 1 ปี

บทที่ 2

ความหนาแน่นของพลาสติก

ความหนาแน่นของพลาสติกขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ, ความเป็นผลึก, ปริมาณและชนิดของสารเติมแต่ง (additive) เป็นต้น เมื่อให้ความร้อนแก่พลาสติก จะทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น จึงมีผลต่อความหนาแน่นของพลาสติก สำหรับความเป็นผลึก เกี่ยวข้องกับรูปร่างของโมเลกุล ถ้าโมเลกุลของพลาสติกเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่ง จะทำให้โมเลกุลของพลาสติกจัดเรียงตัวกันเป็นผลึกได้ดี จึงทำให้มีความหนาแน่นสูง (high density) ถ้าโมเลกุลมีกิ่งจะทำให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลไม่เป็นระเบียบจะทำให้การตกผลึกไม่ดีและได้สารที่มีความหนาแน่นต่ำ (low density)

สำหรับ โพลีเอทิลีนสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่ม โดยอาศัยความหนาแน่นเป็นหลักได้ดังนี้

- โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.910 - 0.925 กรัม/ ลบ.ซม.
- โพลีเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.926 - 0.940 กรัม/ ลบ.ซม.
- โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.941- 0.965 กรัม/ลบ.ซม.

สมบัติบางอย่างของพลาสติกขึ้นกับความหนาแน่นของพลาสติกด้วยยกตัวอย่างเช่น

ถ้าความหนาแน่นของพลาสติกเพิ่มขึ้น สมบัติของพลาสติกจะเปลี่ยนแปลงดังนี้

ความต้านทานต่อการคงรูป (stiffness)	เพิ่ม
ความต้านแรงดึงที่จุดคราก (yield strength)	เพิ่ม
ความแข็ง (hardness)	เพิ่ม
ความต้านการคืบ (creep resistance)	เพิ่ม
ความเหนียว (toughness)	ลด

อุณหภูมิอ่อนตัว (softening temperature)	เพิ่ม
ความต้านทานต่อการแตกร้าว (stress-crack resistance)	ลด
ความสามารถในการให้ก๊าซซึมผ่าน (permeability)	ลด
ความเงา (gloss)	เพิ่ม
ความต้านทานการหักพับ (crease resistance)	เพิ่ม

ความหนาแน่นของพลาสติกสามารถหาได้โดยตรง หรือหาความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ก่อนแล้วนำมาคูณด้วยความหนาแน่นของน้ำ ก็จะได้ความหนาแน่นของพลาสติก วิธีหาความหนาแน่นของพลาสติกและความถ่วงจำเพาะของพลาสติก มีหลายวิธีดังต่อไปนี้

2.1 วิธีอิมเมอร์ชัน (Immersion method)^{2,6}

ชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบควรเตรียมจากฟิล์ม, แผ่น, แท่ง, หลอด หรือรูปร่างต่างๆ ซึ่งมีผิวเรียบเพื่อป้องกันการเกาะของฟองอากาศเมื่อจุ่มตัวอย่างลงในน้ำ ขนาดตัวอย่างควรจะเล็กพอที่จะใส่ในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตรได้ หรือมีน้ำหนักอยู่ในช่วงประมาณ 1-5 กรัม และไม่ควรมีรูพรุนในชิ้นตัวอย่าง วิธีทดสอบความถ่วงจำเพาะโดยวิธีอิมเมอร์ชันทำได้หลายวิธี ขึ้นกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ เช่น

2.1.1 วิธีชั่งตัวอย่างในอากาศและในน้ำ การชั่งตัวอย่างในอากาศทำโดย คอเส้นลวดขนาดเล็กเข้ากับตัวอย่าง และต่อปลายเส้นลวดอีกด้านหนึ่งเข้ากับตะขอซึ่งเกี่ยวบนปลายด้านหนึ่งของจานชั่งของเครื่องชั่ง บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างรวมกับลวด และบันทึกน้ำหนักของลวดเพียงอย่างเดียว ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างในน้ำทำโดย คอลวดเข้ากับตะขอของจานชั่งและปลายค้ำหนึ่งผูกติดกับตัวอย่างซึ่งจุ่มอยู่ในน้ำในบีกเกอร์ ดูรูปที่ 2-1 บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างซึ่งจุ่มอยู่ในน้ำรวมกับน้ำหนักของเส้นลวด ที่จุ่มลงในน้ำบางส่วน แล้วเอาตัวอย่างที่ผูกกับเส้นลวดออก บันทึกน้ำหนักของเส้นลวดที่จุ่มอยู่ในน้ำบางส่วนเพียงอย่างเดียว กำหนดหาความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างดังนี้

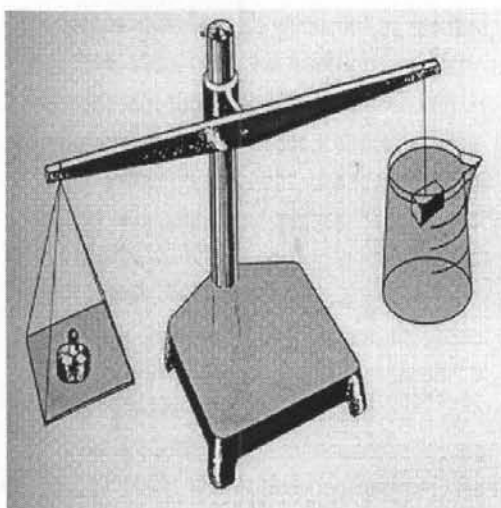
$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = (B - A) / (B - A + C - D)$$

โดยที่ B = น้ำหนักของตัวอย่างและเส้นลวดในอากาศ; กรัม

A = น้ำหนักของเส้นลวดในอากาศ; กรัม

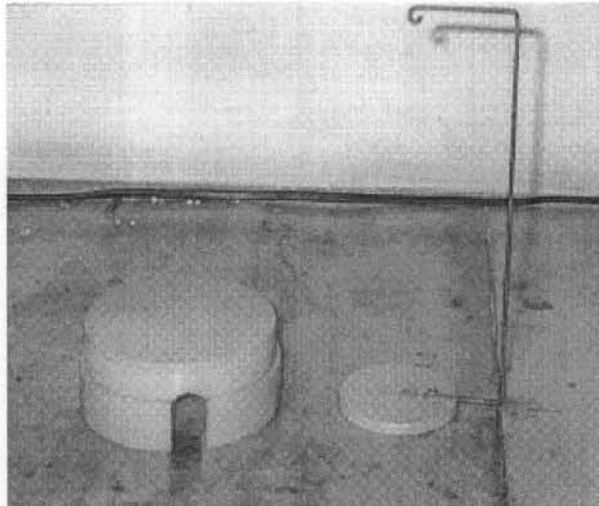
D = น้ำหนักของเส้นลวดรวมกับตัวอย่างในน้ำ; กรัม

C = น้ำหนักของเส้นลวดที่จุ่มอยู่ในน้ำบางส่วน; กรัม



รูปที่ 2-1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพลาสติกบวกกับน้ำหนักเส้นลวดในน้ำเพื่อหาความถ่วงจำเพาะ

2.1.2 ใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ซึ่งมีอุปกรณ์เพิ่มขึ้นอีกคือ ฐานรองรับบีกเกอร์ซึ่งไม่กคน้ำหนักลงบนจานชั่ง และตะขอแขวนตัวอย่างที่มีฐานวางบนจานชั่งตัวอย่างได้ ดังรูปที่ 2-2 วิธีหาความถ่วงจำเพาะทำโดย ชั่งตัวอย่างในอากาศ (a) บันทึกลงให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ต่อมาวางตะขอแขวนตัวอย่างที่มีฐานวางบนจานชั่งตัวอย่างแล้วกด tare เพื่อให้น้ำหนักเป็นศูนย์ แล้ววางฐานรองรับบีกเกอร์ซึ่งไม่กคน้ำหนักลงบนจานชั่งครอบบนตะขอแขวนตัวอย่าง ใส่ น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ในบีกเกอร์แล้ววางฐานรองรับบีกเกอร์ซึ่งไม่กคน้ำหนักบนจานชั่ง ผูกชิ้นตัวอย่างด้วยปลายข้างหนึ่งของเส้นลวด แล้วนำปลายอีกข้างหนึ่งแขวนบนตะขอแขวนตัวอย่าง ดังในรูปที่ 2-3 ตัวอย่างทั้งหมดจะต้อง



รูปที่ 2-2 ฐานรองรับบีกเกอร์ซึ่งไม่ก่น้ำหนักลงบนจานชั่งและ
ตะขอแขวนตัวอย่างที่มีฐานวางบนจานชั่งตัวอย่างได้
จมน้ำในบีกเกอร์ ถ้าตัวอย่างไม่จม ให้ใช้ตัวถ่วงน้ำหนักให้ตัวอย่างจม ใล่ฟองอากาศที่ติดกับตัวอย่างและ
ตัวถ่วง (ถ้าใช้) โดยใช้ลวดโลหะหรือแท่งแก้วกวนสาร แล้วบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่แขวนบนเส้นลวด
และตัวถ่วง (b) ต่อมาเอาตัวอย่างออกจากลวดผูกตัวอย่าง แล้วชั่งน้ำหนักของลวดแขวนตัวอย่างซึ่งจมอยู่
ในน้ำกลั่นเพียงบางส่วนรวมทั้งตัวถ่วง (ถ้าใช้) บันทึกน้ำหนักเป็น w แล้วคำนวณหาความถ่วงจำเพาะ
ดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = a / (a + w - b)$$



รูปที่ 2-3 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพลาสติกบวกกับเส้นลวดและตัวถ่วงน้ำหนักเพื่อหาความถ่วงจำเพาะ

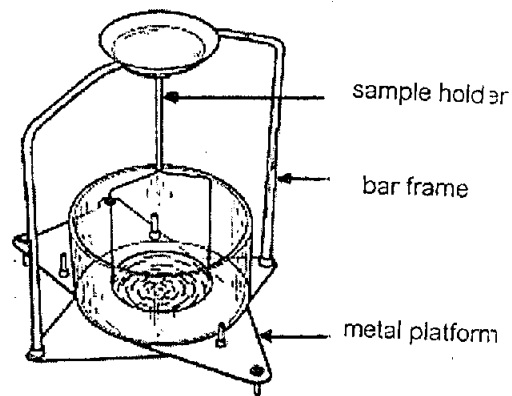
โดยที่ a = น้ำหนักของตัวอย่างซึ่งในอากาศไม่รวมถึงลวดและตัวถ่วงน้ำหนัก; กรัม

b = น้ำหนักของตัวอย่างที่จุ่มในของเหลวทั้งหมดและน้ำหนักตัวถ่วง (ถ้าใช้)

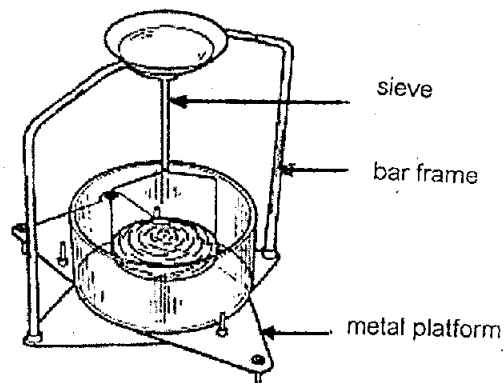
และลวดแขวนตัวอย่างซึ่งจุ่มในของเหลวบางส่วน; กรัม

w = น้ำหนักของตัวถ่วง (ถ้าใช้) และลวดที่ผูกตัวอย่างซึ่งจุ่มในของเหลวบางส่วน; กรัม

2.1.3 ใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.1 หรือ 0.01 มิลลิกรัม ซึ่งมีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2-4 อุปกรณ์หาความหนาแน่นของพลาสติกที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ (ใช้ sample holder)



รูปที่ 2-5 อุปกรณ์หาความหนาแน่นของพลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ (ใช้ sieve)

เอาจานชั่งออกจากฐาน และวาง bar frame และ metal platform ลงบนเครื่องชั่งแล้ว จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 2-4 ถ้าตัวอย่างมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ หรือจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 2-5 ถ้าตัวอย่างมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ใส่ น้ำกลั่น ให้ต่ำกว่าขอบปีกเกอร์ 0.5 เซนติเมตร แล้ว tare เครื่องชั่งให้เป็นศูนย์ วางชิ้นตัวอย่างบนจานด้านบนของ sample holder หรือ sieve บันทึกน้ำหนักชั่งในอากาศเป็นกรัม $w_{(a)}$ แล้ว tare เครื่องชั่งในขณะที่ตัวอย่างยังอยู่บนจานด้านบนของ sample holder หรือ sieve เครื่องชั่งจะอ่านเป็นศูนย์ ต่อมานำตัวอย่างออกจากจานด้านบนแล้ววางตัวอย่างใน sample holder หรือวางใต้ sieve บันทึกน้ำหนัก G (ไม่คิดเครื่องหมายซึ่งจะเป็นลบ) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะ ดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = w_{(a)} / G$$

โดยที่ $w_{(a)}$ = น้ำหนักตัวอย่างชั่งในอากาศ; กรัม

G = แรงลอยตัว (buoyancy); กรัม

2.2 วิธีหาความถ่วงจำเพาะโดยใช้พิคโนมิเตอร์ (pycnometer)¹

วิธีนี้ใช้กับตัวอย่างที่เป็นเม็ด, แผ่น หรือผง ซึ่งสามารถใส่ลงในปากขวดพิคโนมิเตอร์ได้ การหาความถ่วงจำเพาะโดยวิธีนี้ทำโดย ชั่งพิคโนมิเตอร์พร้อมกับจุก บันทึกน้ำหนักเป็นกรัม (e) แล้วใส่ตัวอย่างลงในพิคโนมิเตอร์ ปิดฝาจุก แล้วบันทึกน้ำหนัก ต่อมานำน้ำมันก๊าดลงในพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุตัวอย่างนี้จนเต็ม แล้วปิดฝาจุกให้น้ำมันก๊าดล้นออกมา เช็ดขวดพิคโนมิเตอร์ด้วยผ้าที่สะอาด แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (m) เทตัวอย่างและน้ำมันก๊าดออกจาก พิค โนมิเตอร์ให้หมด แล้วเติมน้ำมันก๊าดเพียงอย่างเดียวลงไป ในพิค โนมิเตอร์จนเต็ม ปิดจุก แล้วเช็ดน้ำมันก๊าดที่ไหลล้นออกมาภายนอก ชั่งพิคโนมิเตอร์บวกกับน้ำมันก๊าด (b) เทน้ำมันก๊าดออกให้หมด ล้างขวดพิคโนมิเตอร์ให้สะอาด เติมน้ำกลั่นลงในพิคโนมิเตอร์ ปิดจุก

เขี่ยน้ำที่ไหลล้นออกมา แล้วนำไปชั่งอีกครั้ง บันทึกน้ำหนักพิคโนมิเตอร์บวกกับน้ำกลั่น (w) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดพลาสติก ตามสมการข้างล่างนี้

$$d = (b-e)/(w-e)$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของพลาสติก} = (a \times d)/(b + a - m)$$

โดยที่ d = ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันก๊าด; กรัม

e = น้ำหนักของพิคโนมิเตอร์; กรัม

w = น้ำหนักของพิคโนมิเตอร์บวกน้ำหนักของน้ำกลั่น; กรัม

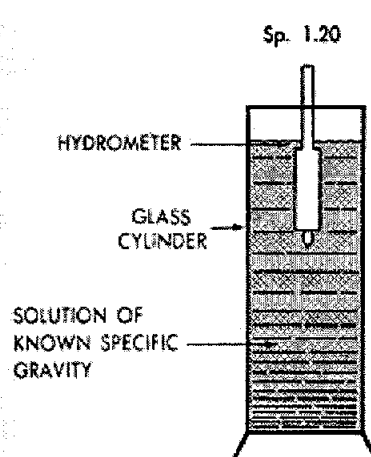
a = น้ำหนักของตัวอย่างพลาสติก; กรัม

b = น้ำหนักของพิคโนมิเตอร์บวกน้ำหนักของน้ำมันก๊าด; กรัม

m = น้ำหนักของพิคโนมิเตอร์บวกน้ำหนักของตัวอย่างและน้ำมันก๊าด; กรัม

2.3 วิธีหาความถ่วงจำเพาะโดยวิธีซิงค์โฟลท (Sink-float method)⁷

ชิ้นตัวอย่างที่สมควรเป็นชิ้นตัวอย่างของแข็งที่มีรูปร่างและขนาดที่เหมาะสมที่สามารถใส่ในกระบอกตวงได้



รูปที่ 2-6 การหาความถ่วงจำเพาะ โดยวิธีซิงค์โฟลท

วิธีทดสอบทำโดยใส่สารละลาย 2 ชนิดที่มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับตัวอย่างลงในกระบอกลงแก้ว 2 อันโดยแยกกัน จุ่มกระบอกลงในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 23 องศาเซลเซียส โดยให้ระดับของสารละลายในกระบอกลงอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในอ่าง ใส่ชั้นทดสอบ 2 ชั้นที่ตัดจากตัวอย่างเดียวกันลงในกระบอกลงอันละชั้น ระวังไม่ให้ฟองอากาศติดอยู่ที่ชั้นทดสอบ สังเกตสารละลายที่ทดสอบซึ่งชั้นทดสอบจมและสารละลายที่ชั้นทดสอบลอย และวัดความหนาแน่นของสารละลายทั้งสองที่ 23 องศาเซลเซียส โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ซึ่งมีความละเอียดถึง 0.001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้น ความหนาแน่นของชั้นทดสอบจะอยู่ในระหว่างค่าความหนาแน่นทั้งสองของสารละลายที่เตรียม จากรูปที่ 2-6

2.4 วิธีหาความหนาแน่นโดยวิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์ (Density-Gradient column)^{4,5}

ชั้นตัวอย่างควรเป็นชั้นที่มีรูปร่างซึ่งง่ายต่อการหาจุดกึ่งกลางปริมาตร
ตัวอย่างควรปราศจากสิ่งเจือปนหรือรูพรุนภายใน



รูปที่ 2-7 การหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกโดยวิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์

หลักการของวิธีนี้อาศัยการอ่านระดับซึ่งตัวอย่างจมอยู่ในคอลัมน์ของเหลวที่แสดงเดนซิตี-
 เกรเดียน แล้วเปรียบเทียบกับความหนาแน่นมาตรฐานของลูกลอยแก้วที่ทราบความหนาแน่น จากรูปที่ 2-7
 วิธีเตรียมเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์ ทำโดยใช้ของเหลว 2 ชนิดผสมกันเพื่อให้ได้ความหนาแน่นใน
 ช่วงที่ต้องการ ดังในตารางที่ 2-1 ข้างล่างนี้
 ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างของเหลว 2 ชนิด ที่ผสมกันเพื่อเตรียมของเหลวให้ได้ความหนาแน่นต่างๆ

System	Density range
Methanol-benzyl alcohol	0.80-0.92
Isopropanol-water	0.79-1.00
Isopropanol-diethylene glycol	0.79-1.11
Ethanol-carbon tetrachloride	0.79-1.59
Toluene-carbon tetrachloride	0.87-1.59
Water-sodium bromide	1.00-1.41
Water-calcium nitrate	1.00-1.60
Carbon tetrachloride-trimethylene dibromide	1.60-1.99
Trimethylene dibromide-ethylene bromide	1.99-2.18
Ethylene bromide- bromoform	2.18-2.89

การเตรียมเดนซิติ์-เกรเดียน คอลัมน์ เตรียมได้ 3 วิธี คือ Method A, Method B และ Method C

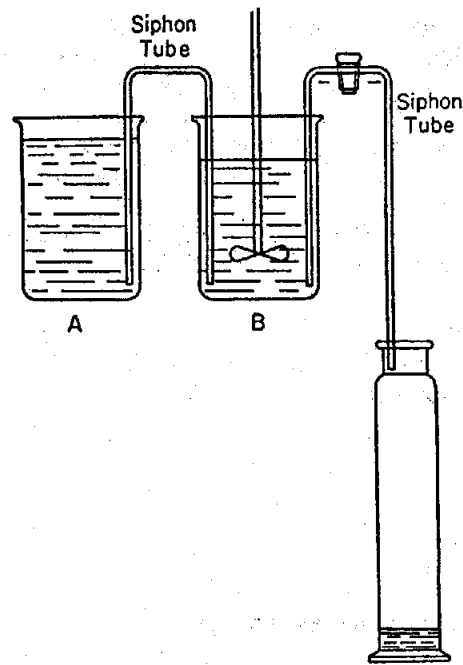
Method A เดิมของเหลวลงในเกรเดียนคอลัมน์ทีละชั้น (Stepwise Addition)

ใช้ของเหลว 2 ชนิด ผสมกันเพื่อให้มีความหนาแน่นตามต้องการ ใช้ไซฟอน (siphon) หรือปิเปต เดิมสารละลายลงในเดนซิติ์-เกรเดียน คอลัมน์ด้วยปริมาตรที่เท่ากัน โดยเริ่มจากสารละลายที่มีความหนาแน่นมากที่สุดก่อน และต้องมีวิธีการที่เหมาะสมในการป้องกันอากาศละลายเข้าไปในของเหลว หลังจากการเติมของเหลวที่มีความหนาแน่นมากที่สุดแล้ว ให้ค่อย ๆ รินปริมาตรที่เท่ากันของของเหลวที่มีความหนาแน่นเป็นที่สองอย่างช้า ๆ และระมัดระวังโดยให้ของเหลวไหลตามด้านข้างของคอลัมน์ โดยดีไอไซฟอน หรือปิเปตแต่ละด้านข้างของคอลัมน์เป็นมุมเล็กน้อย หลีกเลี่ยงการสะเทือนหรือการกวน ทำซ้ำโดยใช้ของเหลวที่มีความหนาแน่นค่อย ๆ น้อยลง จนหมดสารละลาย ด้วยอาการอย่างนี้ สารละลายที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดจะอยู่ข้างบนสุดของเดนซิติ์-เกรเดียน คอลัมน์ และสารละลายที่มีความหนาแน่นมากที่สุดจะอยู่ข้างล่างของคอลัมน์

วางเดนซิติ์-เกรเดียน คอลัมน์ลงในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ระดับของอ่างน้ำจะต้องเท่ากับหรือมากกว่าสารละลายในเกรเดียน คอลัมน์

Method B เดิมของเหลวอย่างต่อเนื่องลงในเกรเดียน คอลัมน์ โดยสารละลายค่อย ๆ มีความหนาแน่นน้อยลง

ประกอบเครื่องมือ ดังรูป 2-8 ใช้บีกเกอร์ที่มีขนาดเท่ากัน แล้วเลือกของเหลว 2 ชนิด ที่มีช่วงความหนาแน่นที่ต้องการ (ดูตารางที่ 2-1) ซึ่งผ่านการเอาก๊าซออกโดยการให้ความร้อนเบา ๆ หรือใช้ vacuum ปริมาตรของสารละลายที่หนักกว่า ซึ่งถูกใช้ในเครื่องผสม (บีกเกอร์ B แสดงในรูปที่ 2-8) จะต้องเท่ากับหรืออย่างน้อยที่สุดครึ่งหนึ่งของปริมาตรที่ต้องการในเกรเดียน คอลัมน์



รูปที่ 2-8 เครื่องมือสำหรับเตรียมเกรเดียน คอลัมน์ (Method B)

การประมาณปริมาตรของของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าที่ใช้ในบีกเกอร์ A เพื่อให้ของเหลวไหลจาก A ไป B สามารถหาได้จาก

$$V_A > d_B \times V_B / d_A$$

V_A = ปริมาตรเริ่มต้นของของเหลวในบีกเกอร์ A; ลูกบาศก์เซนติเมตร

V_B = ปริมาตรเริ่มต้นของของเหลวในบีกเกอร์ B; ลูกบาศก์เซนติเมตร

d_A = ความหนาแน่นของของเหลวเริ่มต้นในบีกเกอร์ A; กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

d_B = ความหนาแน่นของของเหลวเริ่มต้นในบีกเกอร์ B; กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตรที่มากกว่า (ไม่เกิน 5 %) เล็กน้อยจากที่ระบุในสมการข้างต้นจะใช้เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิด

การไหลจาก A ไป B และให้ผลที่เป็น linear gradient column

เติมของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าประมาณ 800 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ B ที่มีขนาด 1000

มิลลิลิตร ดูดของเหลวผ่านไซฟอนจาก บีกเกอร์ B ลงในเกรเดียน คอลัมน์ ปิด stopcock

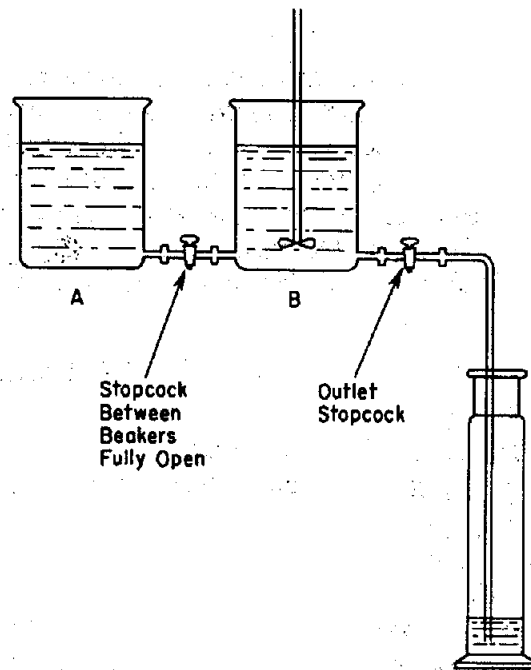
เติมของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าประมาณ 800 มิลลิกรัมลงในบีกเกอร์ A ดูคของเหลวผ่านไซฟอนจากบีกเกอร์ A ไปยัง B ปิด stopcock ใช้เครื่องกวนที่เหมาะสมกวนของเหลวใน บีกเกอร์ B

เริ่มปล่อยของเหลวลงสู่เกรเดียน คอลัมน์ โดยเปิด stopcocks พร้อมกัน ปรับการไหลของของเหลวลงสู่เกรเดียน คอลัมน์ ด้วยอัตราที่ช้า ปล่อยให้ของเหลวไหลลงด้านล่างของเกรเดียน คอลัมน์ เติมของเหลวจนได้ระดับที่ต้องการ ด้วยการทำดังกล่าวข้างต้นจะทำให้ได้ของเหลวที่มีความหนาแน่นมาอยู่ข้างล่าง และของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยอยู่ข้างบน โดยที่ความหนาแน่นจะค่อย ๆ ลดลงจากล่างขึ้นข้างบน

Method C เติมของเหลวอย่างค่อยเป็นค่อยลงในเกรเดียน คอลัมน์ โดยให้ของเหลวที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

วิธีนี้เหมือนกับ Method B แต่มีข้อแตกต่างกันดังต่อไปนี้

- ของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าวางในบีกเกอร์ B
- ของเหลวไหลสู่เกรเดียน คอลัมน์จากก้นของคอลัมน์ ของเหลวแรกที่ใส่เข้าไปจะอยู่ปลายข้างที่ความหนาแน่นน้อยที่สุดและถูกดันขึ้นในคอลัมน์ขณะที่ของเหลวที่กำลังใส่เข้าไปมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ
- ของเหลวจากบีกเกอร์ A จะเข้าไปในบีกเกอร์ B โดยการไหลจากก้นของบีกเกอร์ A ไปสู่ก้นของบีกเกอร์ B มากกว่าที่จะใช้ไซฟอนด้านบนเหมือนกับ Method B การเติมคอลัมน์โดยวิธีนี้อาจทำได้เร็วกว่า Method A และ B, stopcock ระหว่างบีกเกอร์ A และ B ควรจะเท่าหรือใหญ่กว่า stopcock ที่ไหลลงสู่คอลัมน์ รูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 เครื่องมือสำหรับเตรียมเกรเดียน คอลัมน์ (Method C)

วิธีทดสอบทำโดย ค่อยๆ หย่อนตะกร้าลงในเดนซิติ-เกรเดียน คอลัมน์ อย่างช้า ๆ (ประมาณ 30 นาทีต่อความยาว 300 มิลลิเมตรของคอลัมน์) อาจทำได้ดีโดยใช้มอเตอร์ เพื่อไม่ให้เกรเดียน คอลัมน์ ถูกทำลาย

นำเม็ดพลาสติกที่ต้องการหาความหนาแน่น และลูกลอยแก้วมาตรฐาน (2-6 เม็ด) ที่มีความหนาแน่นในช่วงใกล้เคียงกับเม็ดพลาสติก มาทำให้เปียกด้วยของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า แล้วค่อย ๆ หย่อนเม็ดพลาสติกและลูกลอยแก้วมาตรฐานลงในเดนซิติ-เกรเดียน คอลัมน์ คอยจดตัวอย่างหยุดนิ่งซึ่งต้องใช้เวลา 10 นาที หรือมากกว่า อ่านค่าความสูงของตัวอย่าง และลูกลอยแก้วมาตรฐาน โดยใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของปริมาตร บันทึกกระยะความสูงของเม็ดพลาสติกและลูกลอยแก้วมาตรฐาน แล้วคำนวณหาความหนาแน่นของตัวอย่างเม็ดพลาสติก ซึ่งอาจทำได้ 2 วิธี คือ

1) คำนวณโดยใช้กราฟ เขียนกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นระดับความสูงของลูกลอยแก้วมาตรฐาน และแนวนอนเป็นความหนาแน่นของลูกลอยแก้วมาตรฐานซึ่งจะได้กราฟเป็นรูปเส้นตรง Plot ระยะความสูงของตัวอย่างลงบนเส้นกราฟ แล้วอ่านค่าความหนาแน่นของตัวอย่างจากกราฟ

2) คำนวณโดยใช้ตัวเลขคังสมการข้างล่างนี้

$$\text{Density at } x = a + [(x-y)(b-a) / (z-y)]$$

โดยที่ a และ b = ความหนาแน่นของลูกลอยแก้วมาตรฐาน 2 อัน
ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าและมากกว่าตัวอย่าง; กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

y และ z = ระยะความสูงของลูกลอยแก้วมาตรฐาน a และ b ตามลำดับ

x = ระยะความสูงของเม็ดพลาสติกที่ต้องการหาความหนาแน่น

2.4.1 วิธีการสอบเทียบลูกลอยแก้วมาตรฐาน (Calibration of Standard Glass Float)

วางกระบอกตวงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ± 0.1 องศาเซลเซียส เทของเหลวที่เหมาะสมลงในกระบอกตวงนี้ประมาณ 2 ใน 3 ความหนาแน่นของของเหลวที่ใส่นี้สามารถจะแปรเปลี่ยนได้ในช่วงที่ต้องการซึ่งทำโดยเติมของเหลวที่เป็นองค์ประกอบตัวใดตัวหนึ่ง ลงในของผสมในกระบอกตวง หลังจากการที่กระบอกตวงที่บรรจุของเหลวผสมนี้มีอุณหภูมิถึงสมดุลที่ตั้งไว้ หย่อนลูกลอยแก้วลงในของเหลวในกระบอกตวง ถ้าลูกลอยแก้วจมก็เติมของเหลวที่มีความหนาแน่นมากลงไป พร้อมกับกววนจนกระทั่งลูกลอยแก้วเคลื่อนที่ขึ้นมาจากก้นกระบอกตวง ถ้าลูกลอยแก้วลอยขึ้นมาบนผิวของของเหลวก็เติมของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าลงไป พร้อมกับกววนให้ทั่วถึง จนกระทั่งลูกลอยเคลื่อนที่ไปที่ก้นกระบอกตวง

เมื่อสังเกตลูกลอยเคลื่อนที่กลับไปมา ให้ลดปริมาณของเหลวที่เติมลงไป เมื่อเติมของเหลวแล้วมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นประมาณ 0.0001 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่กลับไป

ไปมาของลูกลอยแก้ว หรือเมื่อลูกลอยแก้วหยุดนิ่งอยู่ในของเหลวอย่างน้อย 15 นาที ก็ถือว่าของเหลวหรือลูกลอยแก้วอยู่ในสมดุลซึ่งกันและกัน กระจกบอควงควรมีฝาปิด เมื่อมีการสังเกตลูกลอยแก้วที่อยู่ในสมดุล และระดับของเหลวในกระจกบอควงจะต้องต่ำกว่าระดับของเหลวในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และเมื่อมีการกวนของเหลวอย่างแรง ซึ่งจะทำให้ของเหลวในกระจกบอควงเคลื่อนไหวไปมา เวลาสังเกตลูกลอยแก้วจึงต้องแน่ใจว่าลูกลอยแก้วไม่ได้เคลื่อนที่โดยการกวนนี้ จึงต้องคอยอย่างน้อยที่สุด 15 นาที หลังจากหยุดกวนก่อนจะสังเกตลูกลอยแก้ว

เมื่อได้สมดุลระหว่างลูกลอยแก้วและของเหลวในกระจกบอควง ให้เติมสารละลายในกระจกบอควงลงในพิคโนมิเตอร์ แบบสองแขน (Bicapillary Pycnometer) ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ± 0.1 องศาเซลเซียส คอยระยะหนึ่งเพื่อให้อุณหภูมิอยู่ในสมดุลที่ 23 ± 0.1 องศาเซลเซียส แล้วหาความหนาแน่นตาม ASTM D 941 ในภาคผนวก ทำซ้ำ ขบวนการข้างต้นสำหรับลูกลอยแก้วแต่ละอัน

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการและผลการทดสอบ

3.1 ขั้นตอนดำเนินการ

3.1.1 ทำการหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกโดยใช้วิธีพิกโนมิเตอร์ โดยทำ 10 ครั้งการทดสอบ

3.1.2 ทำการหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกโดยใช้วิธีเคนซิติ์-เกรเดียน คอลัมน์

ของตัวอย่างเดียวกับข้อ 3.1.1 จำนวน 10 เม็ด

3.1.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบความหนาแน่นด้วยวิธีพิกโนมิเตอร์กับวิธีเคนซิติ์-เกรเดียน คอลัมน์

3.2 การหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกโดยใช้วิธีพิกโนมิเตอร์

3.2.1 อุปกรณ์

3.2.1.1 เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ที่ได้รับการสอบเทียบแล้ว

3.2.1.2 ขวดพิกโนมิเตอร์

3.2.1.3 เทอร์โมมิเตอร์

3.2.1.4 ผ่าสะอาด

3.2.2 ตัวอย่างและสารเคมี

3.2.2.1 ตัวอย่างเม็ดพลาสติก โพลีเอทิลีน

3.2.2.2 น้ำกลั่น

3.2.2.3 น้ำมันก๊าด

3.2.3 วิธีทดสอบ

วางตัวอย่าง, อุปกรณ์และสารเคมีในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 23°C เมื่อได้อุณหภูมิ 23°C แล้ว

จึงทำการทดสอบโดยชั่งพิกโนมิเตอร์พร้อมกับจุก บันทึกน้ำหนักเป็นกรัม (e) แล้วใส่ตัวอย่างลงในพิกโน

มิเตอร์ ปิดฝาจุก แล้วบันทึกน้ำหนัก ต่อมาเติมน้ำมันก๊าดลงในพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุตัวอย่างนี้จนเต็ม แล้วปิดฝาจุกให้น้ำมันก๊าดล้นออกมา เช็ดขวดพิคโนมิเตอร์ด้วยผ้าที่สะอาด แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (m) ต่อมาเทตัวอย่างและน้ำมันก๊าดออกจากพิคโนมิเตอร์ให้หมด แล้วเทน้ำมันก๊าดเพียงอย่างเดียวเข้าไปในพิคโนมิเตอร์ใหม่จนเต็ม ปิดจุก เช็ดน้ำมันก๊าดที่ไหลล้นออกมาภายนอก ซึ่งพิคโนมิเตอร์บวกับน้ำมันก๊าด (b) เทน้ำมันก๊าดออกให้หมด ล้างขวดพิคโนมิเตอร์ให้สะอาด เติมน้ำกลั่นลงในพิคโนมิเตอร์ ปิดจุก เช็ดน้ำที่ไหลล้นออกมา แล้วนำไปชั่งอีก บันทึกน้ำหนักพิคโนมิเตอร์บวกับน้ำกลั่น (w) ทำซ้ำ คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดพลาสติก ตามสมการข้างล่างนี้ แล้วหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, S.D. ของแต่ละตัวอย่าง

$$d = (b-e)/(w-e)$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของพลาสติก} = (a \times d)/(b + a - m)$$

โดยที่ d = ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันก๊าด; กรัม

e = น้ำหนักของพิคโนมิเตอร์; กรัม

w = น้ำหนักของพิคโนมิเตอร์บวกับน้ำหนักของน้ำกลั่นที่บรรจุ; กรัม

a = น้ำหนักของตัวอย่างพลาสติก; กรัม

b = น้ำหนักของพิคโนมิเตอร์บวกับน้ำหนักของน้ำมันก๊าดที่บรรจุ; กรัม

m = น้ำหนักของพิคโนมิเตอร์บวกับน้ำหนักของตัวอย่างและน้ำมันก๊าดที่บรรจุ; กรัม

3.3 การหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกโดยใช้วิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์

3.3.1 อุปกรณ์

3.3.1.2 คอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร

3.3.1.3 ลูกลอยแก้วมาตรฐานที่มีความหนาแน่น 0.9001, 0.9125, 0.9201, 0.9400, 0.9500, 0.9626 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3.2 ตัวอย่างและสารเคมี

3.3.2.1 ตัวอย่างเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน ตัวอย่างเดียวกับที่ทดสอบโดยวิธี พิคโนมิเตอร์

3.3.2.2 ไดเอทิลีนไกลคอล เกรดสำหรับงานวิเคราะห์

3.3.2.3 ไอโซโพรพานอล เกรดสำหรับงานวิเคราะห์

3.3.3 วิธีทดสอบ

เตรียมคอลัมน์ตามวิธี A (Stepwise addition) โดยใช้ของเหลว 2 ชนิด คือ ไดเอทิลีนไกลคอล และไอโซโพรพานอล ให้มีความหนาแน่นในช่วง 0.79 - 1.11 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จับยึดคอลัมน์ตามแนวตั้ง เท 50 มิลลิลิตรของไดเอทิลีนไกลคอลในคอลัมน์ ต่อมาเตรียมสารละลายของผสมของไดเอทิลีนไกลคอลกับไอโซโพรพานอล โดยสัดส่วนของไดเอทิลีนไกลคอลลงดังนี้ 48/2, 46/4, 44/6, 42/8, 40/10, 38/12, 36/14, 34/16, 32/18, 30/20, 28/22, 26/24, 24/26, 22/28, 20/30, 18/32, 16/34, 14/36, 12/38, 10/40, 8/42, 6/44, 4/46, 2/48 เทสารละลายแต่ละตัวตามลำดับให้ไหลไปตามค้ำข้างของเคนซีดี-เกรดดีเยนคอลัมน์ สุดท้ายจึงเติม 50 มิลลิลิตรของไอโซโพรพานอลอยู่ข้างบนสุด ทิ้งคอลัมน์เพื่อให้อยู่ในสมดุลนาน 24 ชั่วโมง หย่อนลูกลอยแก้วมาตรฐานที่ทราบความหนาแน่นลงในคอลัมน์ ต่อมาหย่อนตัวอย่างเม็ดพลาสติก 10 เม็ดลงในคอลัมน์ คอยอย่างน้อย 10 นาที จึงอ่านระดับความสูงของลูกลอยแก้วมาตรฐาน และตัวอย่าง คำนวณหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติก โดยใช้สมการข้างล่างนี้ จากนั้นหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, S.D. ของแต่ละตัวอย่าง

$$D = a + [(x-y)(a-b)/(z-y)]$$

โดยที่ a และ b = ความหนาแน่นของลูกลอยแก้วมาตรฐาน 2 อัน ที่มีความหนาแน่นน้อย

กว่าและมากกว่าตัวอย่าง; กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

y และ z = ระยะความสูงของลูกลอยแก้วมาตรฐาน a และ b ตามลำดับ

x = ระยะความสูงของเม็ดพลาสติกที่ต้องการหาความหนาแน่น

3.4 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 3-1 แสดงผลการทดสอบ

ครั้งที่	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)		ผลต่างของ 2 วิธี
	วิธีพิคโนมิเตอร์	วิธีเดนซิตี-เกรเดียน	
1	0.9207	0.9190	0.0017
2	0.9119	0.9190	0.0071
3	0.9168	0.9190	0.0022
4	0.9132	0.9190	0.0058
5	0.9189	0.9190	0.0001
6	0.9128	0.9190	0.0062
7	0.9194	0.9190	0.0004
8	0.9183	0.9190	0.0004
9	0.9203	0.9190	0.0013
10	0.9201	0.9201	0.0000
	$\bar{X}_1 = 0.9172$	$\bar{X}_2 = 0.9191$	$\bar{d} = 0.0025$
	S.D. = 0.0034	S.D. = 0.0003	S.D. = 0.0028

จากตารางจะเห็นว่า วิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลลิมนให้ผลการทดสอบที่เกือบจะเท่ากันทั้ง 10 ครั้ง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจึงเป็น 0.0003 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าวิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลลิมนมีความแม่นยำสูง วิธีทดสอบนั้นสามารถทำได้ง่าย เพียงแค่อ่านระดับความสูงของเม็ดพลาสติก

ตัวอย่างและของลูกลอยแก้วมาตรฐานที่ทราบความหนาแน่นที่หย่อนลงไปในคอลัมน์ ก็สามารถคำนวณความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกตัวอย่างได้แล้ว

ส่วนวิธีพิคโนมิเตอร์ ให้ผลการทดสอบที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0034 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าวิธีพิคโนมิเตอร์มีความแม่นยำน้อยกว่า เนื่องมาจากวิธีทดสอบนั้นมีหลายขั้นตอนกว่า คือ ต้องทำการชั่งน้ำหนักหลายครั้ง ในการชั่งน้ำหนักของ ขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำกลั่นหรือน้ำมันก๊าด อาจมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการที่มีฟองอากาศเล็กๆเกิดขึ้นในขวด ทำให้น้ำหนักที่ชั่งได้มีค่าน้อยกว่า ที่ควรเป็น และความผิดพลาดจากการเขี่ยน้ำกลั่นหรือน้ำ น้ำมันก๊าดที่ล้นออกมาจากขวดได้แห้งไม่เท่ากันทุกครั้ง

3.5 วิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีทางสถิติ

3.5.1 พิจารณา precision ของ 2 วิธี โดยดูการกระจายของข้อมูล โดยใช้ F-test

ซึ่งมีสูตรต่อไปนี้

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{โดยที่ } S_1 > S_2 \dots\dots\dots 1$$

S_1 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธีพิคโนมิเตอร์

S_2 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธีเคนซิติ-เกรเดียน คอลัมน์

พบว่า F จากการคำนวณในสมการ 1 มีค่าเท่ากับ 128 ซึ่งมากกว่า F critical ในตารางภาคผนวกข้อ 3 ที่ degree of freedom (V_1) ของวิธีพิคโนมิเตอร์ เท่ากับ 9 และ degree of freedom (V_2) ของวิธีเคนซิติ-เกรเดียน คอลัมน์ เท่ากับ 9 เช่นเดียวกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.179 แสดงว่า 2 วิธีมี precision ต่างกันมาก

3.5.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (mean) ของ 2 วิธี ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้ t-distribution

คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \dots\dots\dots 2$$

$$\text{degree of freedom} = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\left(\frac{\frac{S_1^4}{n_1^2}}{n_1 - 1} + \frac{\frac{S_2^4}{n_2^2}}{n_2 - 1} \right)} \dots\dots\dots 3$$

\bar{X}_1 = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลของวิธีพิกโนมิเตอร์

\bar{X}_2 = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลของวิธีเคนซิติ-เกรเดียน คอลัมน์

S_1 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธีพิกโนมิเตอร์

S_2 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของวิธีเคนซิติ-เกรเดียน คอลัมน์

n_1 = จำนวนการทำซ้ำของวิธีพิก โนมิเตอร์

n_2 = จำนวนการทำซ้ำของวิธีเคนซิติ-เกรเดียน คอลัมน์

เมื่อแทนค่าลงในสูตรลงในสมการ 2 จะได้จะได้ดังนี้

$$t = \frac{0.9172 - 0.9191}{\sqrt{\frac{(0.0034)^2}{10} + \frac{(0.0003)^2}{10}}}$$

$$t = 1.76$$

Degree of freedom คำนวณตามสมการ 3 ได้เท่ากับ 9

เปรียบเทียบค่า t ที่คำนวณได้จากการทดลอง กับ ค่า t -distribution ในตารางในภาคผนวก

ข้อ 2 ที่ Degree of freedom เท่ากับ 9 ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 % มีค่าเท่ากับ 1.83, ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % มีค่าเท่ากับ 2.26, ที่ระดับความเชื่อมั่น 98 % มีค่าเท่ากับ 2.83 และที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % มีค่าเท่ากับ 3.25 ค่าที่คำนวณได้จากการทดลองข้างต้นมีค่าเท่ากับ 1.76 มีค่าน้อยกว่าค่า t -distribution ในทั้ง 4 ระดับความเชื่อมั่น โดยทั่วไปถ้าค่า t จากการทดลองน้อยกว่าค่า t -distribution ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แล้ว จะถือว่าการหาความหนาแน่นทั้งสองวิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ถ้าค่า t เป็น 0 แสดงว่าค่า mean ของทั้งสองวิธี ไม่มีความแตกต่างกัน)

บทที่ 4

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

4.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองหาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกตัวอย่าง พบว่าวิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์ มีความแม่นยำสูงกว่าวิธีพิคโนมิเตอร์ เนื่องจากผลการทดสอบ 10 ครั้ง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.0003 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

สาเหตุความคลาดเคลื่อนของวิธีพิคโนมิเตอร์เนื่องมาจากการชั่งน้ำหนัก เช่น การที่มีฟองอากาศเล็ก ๆ ที่สังเกตเห็นเกิดอยู่ในขวดพิคโนมิเตอร์เมื่อเติมของเหลวลงไปขวด จะทำให้น้ำหนักที่ชั่งได้มีค่าน้อยกว่าที่ควรเป็น หรือในขั้นตอนของการซับของเหลวที่ล้นออกมาทางปลายจุกของขวดพิคโนมิเตอร์ใน แต่ละครั้งเป็นการยากที่จะทำได้เท่ากันทุกครั้ง ฉะนั้นถ้าซับมากไปน้ำหนักก็จะน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ถ้าซับน้อยไปน้ำหนักที่ชั่งได้ก็จะมากไป แต่วิธีพิคโนมิเตอร์มีข้อดีคือ สามารถหาค่าความหนาแน่นได้ สะดวก รวดเร็ว

ส่วนวิธีเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์ ความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากการอ่านค่าความสูงของเม็ดพลาสติก ตัวอย่างและลูกลอยแก้วมาตรฐานที่ลอยอยู่ในคอลัมน์ หลักในการอ่านควรให้ลูกตาอยู่ในระดับเดียวกันกับเม็ดพลาสติกและลูกลอยแก้วมาตรฐานขณะอ่านค่า การเตรียมเดนซิตี-เกรเดียน คอลัมน์ก็ต้องให้ความระมัดระวังอย่างมาก การสะท้อนอาจทำให้สารละลายที่ควรอยู่แยกกันเป็นชั้น ๆ ตามความหนาแน่นใน คอลัมน์เกิดการรวมกันเป็นชั้นเดียวได้ ทำให้ต้องเสียเวลาและสารเคมีในการเตรียมใหม่ นอกจากนี้วิธีนี้ยังมีข้อจำกัดตรงที่ต้องใช้ลูกลอยแก้วมาตรฐานที่มีความหนาแน่นครอบคลุมความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกตัวอย่างที่ทดสอบ ซึ่งห้องปฏิบัติการของกลุ่มเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1 มีลูกลอยแก้วมาตรฐานในช่วงความหนาแน่น 0.9001 – 2.4001 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรเท่านั้น จึงไม่สามารถทดสอบเม็ดพลาสติก

ตัวอย่างมีความหนาแน่นอยู่นอกช่วงความหนาแน่นดังกล่าว ทำให้ต้องทดสอบด้วยวิธีอื่น เช่น วิธีฟิสิกโนมิเตอร์

4.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าวิธีฟิสิกโนมิเตอร์และวิธีเคนซิติ-เกรเดียน คอลัมน์ แม้จะให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของเม็ดพลาสติกแตกต่างกัน แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือผลการทดสอบของแต่ละวิธีมีค่า t ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่า t -distribution ในตารางมาตรฐาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%, 95%, 98%, และ 99% ดังนั้นทั้งวิธีฟิสิกโนมิเตอร์และวิธีเคนซิติ-เกรเดียน คอลัมน์ ต่างก็ใช้หาความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกได้ดีพอๆกัน โดยวิธีเคนซิติ-เกรเดียน คอลัมน์จะให้ค่าความหนาแน่นที่มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่า แต่มีข้อจำกัดเรื่องลูกลอยแก้วมาตรฐาน ส่วนวิธีฟิสิกโนมิเตอร์ จะสะดวก รวดเร็ว แต่ค่าที่ได้จะมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่า

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลือจากนางจินตนา ลีกิจวัฒน์ และหัวหน้างานเทคโนโลยี

ผลิตภัณฑ์ 1 ที่ได้ตรวจแก้ไขให้

เอกสารอ้างอิง

1. ASTM D 792-66 Method B, Specific Gravity and Density of Plastics by Displacement,
Vol. 08.01, 1985
2. ASTM D 792 -98, Specific Gravity of Plastics by Displacement, Vol. 08.01, 1979
3. ASTM D 941-88, Density and Relative Density (Specific Gravity) of Liquids by Lipkin
Bicapillary Pycnometer, Vol. 05.01, 1992
4. ASTM D 1505-98, Density of Plastics by Density-Gradient Technique, Vol. 08.01, 2000
5. DIN 53479, Determination of Density, July 1976
6. JIS K 7112-80, Method for Determining the Density and Specific Gravity of Plastics, 1980

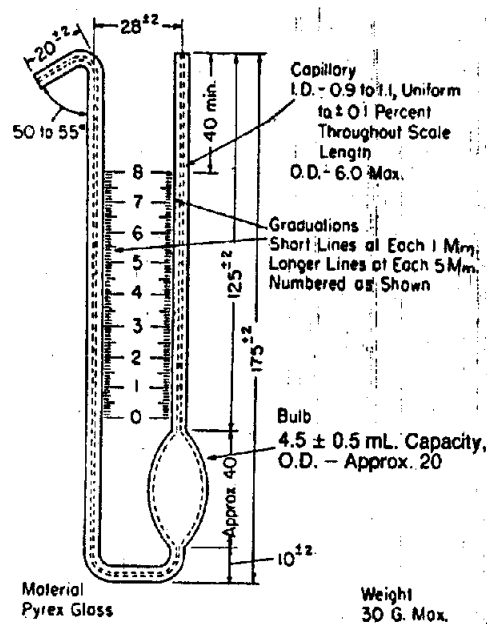
ภาคผนวก

ภาคผนวก

1. วิธีหาความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของของเหลวโดยใช้ลิปकिन ไบเคปิลารี่พิกโนมิเตอร์ (Lipkin Bicapillary Pycnometer)

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 พิกโนมิเตอร์ ดังรูปที่ 1 ซึ่ง ทำจากแก้วโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass) มีน้ำหนักทั้งหมด ไม่เกิน 30 กรัม



รูปที่ 1 พิกโนมิเตอร์

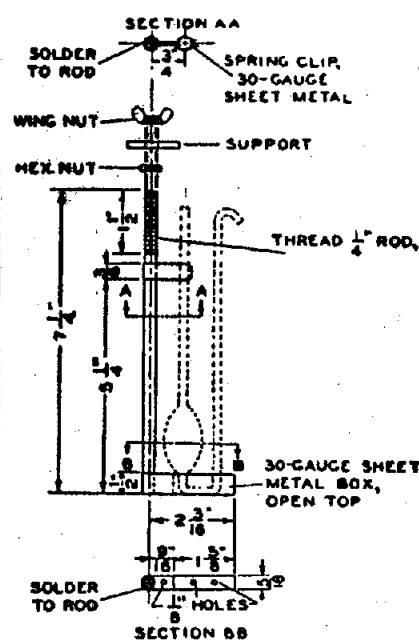
1.1.2 อุปกรณ์จับยึดพิกโนมิเตอร์ ดังรูปที่ 2 สามารถทำจากทองเหลือง หรือโลหะอื่นใดที่ไม่ถูกกัดกร่อนโดยของเหลวในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

1.1.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ มีความลึกอย่างน้อยที่สุด 12 นิ้ว ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 23

± 0.1 องศาเซลเซียส

1.1.4 เทอร์โมมิเตอร์ วัดอุณหภูมิของน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

1.1.5 เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.1 มิลลิกรัม



รูปที่ 2 อุปกรณ์จับยึดพิคโนมิเตอร์

1.2 วิธีหาความหนาแน่นของของเหลว

1.2.1 วิธี A หาความหนาแน่นของสารประกอบบริสุทธิ์ หรือของผสมที่ไม่ระเหยมาก

คือ ไม่มีสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

1.2.1.1 ชั่งน้ำหนักพิคโนมิเตอร์ที่แห้งและสะอาดให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนัก

1.2.1.2 ใส่ตัวอย่างของเหลวลงในพิคโนมิเตอร์ ที่อุณหภูมิประมาณ 23 องศาเซลเซียส โดยตั้งพิคโนมิเตอร์ให้ตรง และจุ่มปลายที่เป็นตะขอลงในตัวอย่างของเหลว ปล่อยให้ของเหลวถูกดึงผ่านส่วนโค้งในหลอดโดยความตึงผิว (Surface tension) ปล่อยให้ของเหลวไหลลงสู่พิคโนมิเตอร์ โดยใช้ไซฟอน (ใช้เวลาประมาณ 1 นาที และเอาไซฟอนออกเมื่อระดับของของเหลวในแขนข้างที่มีกระเปาะของพิคโนมิเตอร์ถึงขีดต่ำสุดของปริมาตรที่สอบเทียบไว้)

1.2.1.3 เช็ดปลายที่เปียกด้วยผ้าที่ปราศจากฝุ่นหรือสำลีที่มีความชื้นเล็กน้อย และนำไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม

1.2.1.4 วางฟิคโนมิเตอร์ในที่จับยึดที่อุณหภูมิที่ทดสอบ (23 ± 0.02 องศาเซลเซียส) เมื่อของเหลวถึงสมดุล (ตามปกติประมาณ 10 นาที) อ่านสเกลที่มีขีดบอกปริมาตรช่วงเล็กๆ ให้ละเอียดถึง 0.2 ที่ระดับของของเหลวในแต่ละแขนของฟิคโนมิเตอร์

1.2.1.5 คำนวณหาความหนาแน่นของ เกล็ดดังนี้

$$D = (W/V) + C$$

D = ความหนาแน่นเป็นกรัม/ มิลลิลิตรที่ 23 องศาเซลเซียส

W = ตัวอย่างชั่งในอากาศที่บรรจุอยู่ในฟิคโนมิเตอร์ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส

V = ปริมาตรเป็นมิลลิลิตร ได้จากผลบวกของสเกลที่อ่านได้ที่แขนทั้งสองของฟิคโนมิเตอร์ซึ่งได้รับการกะติเบทแล้ว

C = ค่าแก้แรงลอยตัวของอากาศ หาได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1

W/V	Correction, Plus	W/V	Correction, Plus
0.70	0.00036	0.85	0.00018
0.71	0.00035	0.86	0.00017
0.72	0.00033	0.87	0.00016
0.73	0.00032	0.88	0.00014
0.74	0.00031	0.89	0.00013
0.75	0.00030	0.90	0.00012
0.76	0.00029	0.91	0.00011
0.77	0.00028	0.92	0.00010
0.78	0.00026	0.93	0.00009
0.79	0.00025	0.94	0.00007
0.80	0.00024	0.95	0.00006
0.81	0.00023	0.96	0.00005
0.82	0.00022	0.97	0.00004
0.83	0.00020	0.98	0.00003
0.84	0.00019	0.99	0.00001

*ตารางนี้ใช้กับความหนาแน่นของอากาศระหว่าง 0.0011-0.0013 กรัม/มิลลิลิตร สำหรับความหนาแน่นของอากาศนอกช่วงนี้ ค่า air buoyancy correction, C ควรจะคำนวณดังต่อไปนี้

$$C = (d_u / 0.99823) \times [0.99823 - (W / V)]$$

โดยที่ C = ค่าแก้แรงลอยตัวของอากาศ (air buoyancy correction)

d_u = ความหนาแน่นของอากาศในเครื่องชั่ง, กรัม/ มิลลิลิตร

W = น้ำหนักของตัวอย่างในพิคโนมิเตอร์, กรัม

V = ปริมาตรของตัวอย่างในพิคโนมิเตอร์, มิลลิลิตร

1.2.2 วิธี B ใช้สำหรับหาความหนาแน่นของของเหลวผสมที่ระเหยได้ง่าย ซึ่งบรรจุน้ำที่ มีจุดเดือดต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

1.2.2.1 ชั่งพิคโนมิเตอร์

1.2.2.2 ทำให้ตัวอย่างเย็นที่ประมาณ 0-5 องศาเซลเซียส ก่อนเติมของเหลวลงในพิคโนมิเตอร์ หลีกเลี่ยงจุดที่จะทำให้เกิดหยดน้ำในพิคโนมิเตอร์ ใส่ตัวอย่างลงในพิคโนมิเตอร์ในอ่างควบคุมอุณหภูมิและอ่านปริมาตรตามที่บรรยายในข้อ 1.2.1.4

1.2.2.3 เอาพิคโนมิเตอร์ออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ ถูด้วยกระดาษซับไขมัน และต่อมาเช็ดให้แห้งด้วยผ้าที่ปราศจากฝุ่นและสำลี ซึ่งทำให้ชื้นเล็กน้อยด้วยน้ำกลั่น ชั่งพิคโนมิเตอร์ให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม

1.2.2.4 คำนวณหาความหนาแน่น ตามข้อ 1.2.1.5

1.3 การสอบเทียบพิคโนมิเตอร์แบบสองแขน (Calibration of Lipkin Bicapillary Pycnometer)

1.3.1 ทำตามหัวข้อ 1.2 หาน้ำหนักของน้ำกลั่นเดือดใหม่ ที่อยู่ในฟิคโนมิเตอร์ที่อยู่ใน สมดุลที่ 23 องศาเซลเซียส โดยที่ระดับน้ำอยู่ที่สเกลของแกนฟิคโนมิเตอร์ซึ่งแตกต่างกัน 3 จุด โดยมีสอง จุดอยู่ที่ปลายของสเกล เตรียม calibration curve โดยเขียนกราฟระหว่างผลรวมของสเกลที่อ่านจาก 2 แกน ของฟิคโนมิเตอร์ กับค่าปริมาตรที่ได้ จากการคำนวณ (apparent volume) ถ้า curve ไม่เป็นเส้น ตรงให้เช็คจุดใหม่อีก ถ้าไม่เป็นเส้นตรงให้เปลี่ยนฟิคโนมิเตอร์ใหม่ ถ้าถือว่าได้เส้นตรงตามข้อ 1.3.2 คำนวณหาปริมาตรของฟิคโนมิเตอร์ เป็นมิลลิลิตร โดยหารน้ำหนักของน้ำที่บรรจุอยู่ในฟิคโนมิเตอร์ด้วย ค่าความหนาแน่นของน้ำที่ 23 องศาเซลเซียส (0.99756 กรัม/ ลูกบาศก์เซนติเมตร)

1.3.2 ถ้าไม่สามารถลากเส้นตรงผ่าน 3 จุดได้ ให้หาจุดเพิ่มเติมเพื่อให้ได้เส้นตรงที่ คะ ทิบท โดยที่เส้นตรงนี้ไม่ห่างจากจุดที่ลากเส้นตรงนี้เกิน 0.0002 มิลลิลิตร

2.ตารางมาตรฐาน t-distribution

ค่า t ที่ระดับความเชื่อมั่น	90%	95%	98%	99%
Number of degrees of freedom				
1	6.31	12.71	31.82	63.66
2	2.92	4.30	6.96	9.92
3	2.35	3.18	4.54	5.84
4	2.13	2.27	3.75	4.60
5	2.02	2.57	3.36	4.03
6	1.94	2.45	3.14	3.71
7	1.89	2.36	3.00	3.50
8	1.86	2.31	2.90	3.36
9	1.83	2.26	2.82	3.25
10	1.81	2.23	2.76	3.17
12	1.78	2.18	2.68	3.05
14	1.76	2.14	2.62	2.98
16	1.75	2.12	2.58	2.92
18	1.73	2.10	2.55	2.88
20	1.72	2.09	2.53	2.85
30	1.70	2.04	2.46	2.75
50	1.68	2.01	2.40	2.68

3 ตาราง F สำหรับ One-Tailed Test ที่ $\alpha = 0.05$ (95% Confidence Level)

v_2/v_1^a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	245.9	248.0	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.43	19.45	19.50
3	10.13	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786	8.703	8.660	8.526
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.858	5.803	5.628
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.619	4.558	4.365
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	3.938	3.874	3.669
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.511	3.445	3.230
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.687	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.218	3.150	2.928
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.006	2.936	2.707
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.845	2.774	2.538
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.719	2.646	2.404
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.617	2.544	2.296
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.533	2.459	2.206
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.463	2.388	2.131
15	4.534	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.403	2.328	2.066
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.352	2.276	2.010
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.308	2.230	1.960
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.269	2.191	1.917
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.234	2.155	1.878
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.203	2.124	1.843
∞	3.842	2.996	2.605	2.372	2.214	2.099	2.010	1.938	1.880	1.831	1.666	1.570	1.000

^a v_1 = degrees of freedom in numerator; v_2 = degrees of freedom in denominator.