

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

งานศึกษานี้เป็นการทดลองศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำกากดิน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการล้างดินสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกพื้นฐานมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการทำแก้วร่วมกับสารประกอบออกไซด์อื่น ๆ คือ เลดออกไซด์ (PbO) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ใช้อุณหภูมิหลอมสารประกอบออกไซด์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันที่ $1100^{\circ}C$ แล้วทำให้กลายเป็นแก้วด้วยการทำให้ส่วนผสมหลอมเหลวนั้นเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นศึกษาความหนาแน่น ครรชนหักเห การเปลี่ยนแปลงของแก้วเมื่อได้รับความร้อน และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์

การเตรียมแก้วแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดที่หนึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของ $PbO-K_2CO_3-SiO_2$ ชุดที่สองประกอบด้วยส่วนผสมของ $PbO-K_2CO_3-Silica$ HP และ ชุดที่สามประกอบด้วยส่วนผสมของ $PbO-K_2CO_3$ - กากดิน ใช้สัญลักษณ์แทนแต่ละชุดการทดลองเป็น PKS PKHP และ PKWS ตามลำดับ

3.1 สารตั้งต้น

สารตั้งต้นสำหรับการเตรียมแก้วระบบเลดอัลคาไลซิลิเกต แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสารเคมี และกลุ่มวัตถุดิบธรรมชาติแปรรูป แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สารตั้งต้นที่นำมาใช้เตรียมแก้วระบบแลคอัลคาไลซิลิเกต

	สารตั้งต้น	ที่มา	หมายเหตุ
กลุ่มสารเคมี	PbO K ₂ CO ₃ SiO ₂	FLUKA MERCK SIGMA	
กลุ่มวัตถุดิบธรรมชาติแปรรูป	Silica sand (ทราย) กากดิน	บริษัทเกลย์แอนด์มี เนอร์รัลส์(ประเทศ ไทย) จำกัด ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดิน เผาจังหวัดลำปาง	เกรดสำหรับอุตสาหกรรมการผลิต แก้วกระจก ชื่อการค้า "Silica HP" การกระจายขนาดอนุภาค ดูภาค ผนวก ข การกระจายขนาดอนุภาค ดูภาค ผนวก ข

สำหรับสารตั้งต้นที่ทำหน้าที่เป็น Network Former จะนำมาวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี และ ส่วนประกอบทางแร่ โดยเทคนิคทาง X – ray Fluorescence และ X – ray Diffraction ตามลำดับ

3.1.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคทาง X – ray Fluorescence โดย X – ray Spectrometer (Rigaku RIX 1000) อาศัยหลักการพื้นฐานคือ เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบบอะตอมของสารตัวอย่างจะเกิดการดูดกลืนรังสีเอกซ์ และอะตอมจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา เรียกว่าปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric effect) หลังจากเกิดปรากฏการณ์นี้แล้วอะตอมจะปลดปล่อยพลังงานส่วนที่เหลือออกมาในรูปของโฟนอน และถ้าโฟนอนที่ถูกปลดปล่อยออกมานี้มี

พลังงานในย่านของรังสีเอกซ์ก็จะถูกเรียกว่า X – ray Fluorescence ดังนั้นในการกระตุ้นให้อะตอมเปล่งรังสีเอกซ์ออกมาได้จึงต้องใช้รังสีเอกซ์ตกกระทบที่มีพลังงานมากพอที่จะชนอิเล็กตรอนในชั้น K หรือชั้น L ให้หลุดออกไปได้

เมื่อรังสีเอกซ์พุ่งชนอิเล็กตรอนในชั้น K ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอม ถ้าอิเล็กตรอนจากชั้น L เข้ามาแทนที่และปลดปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัวออกมา รังสีเอกซ์นี้จะมีพลังงานเท่ากับผลต่างของพลังงานยึดเหนี่ยวของชั้น K และชั้น L เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{x-ray} = E_k - E_l \quad (3.1)$$

เมื่อ E_k และ E_l คือ พลังงานยึดเหนี่ยวของชั้น K และชั้น L รังสีเอกซ์ที่ได้นี้เรียกว่า K-alpha (K_α) ในทำนองเดียวกัน ถ้าอิเล็กตรอนในชั้น M เข้ามาแทนที่ในชั้น K ก็จะสามารถปลดปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัวออกมาได้เช่นกัน ดังสมการ

$$E_{x-ray} = E_k - E_m \quad (3.2)$$

เมื่อ E_k และ E_m คือ พลังงานยึดเหนี่ยวของชั้น K และชั้น M รังสีเอกซ์ที่ได้นี้เรียกว่า K-beta (K_β) โดย K-alpha และ K-beta รวมเรียก K-series ของสเปกตรัมรังสีเอกซ์ และเนื่องจากอะตอมแต่ละชนิดมีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้น K และ ชั้น L ไม่เท่ากัน ดังนั้น K-alpha และ K-beta ที่ถูกเปล่งออกมาจากอะตอมแต่ละชนิดจึงมีค่าพลังงานที่ต่างกันซึ่งสามารถนำมาเป็นหลักการในการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างได้

3.1.2 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่ตัวอย่างด้วยเทคนิค X – ray Diffraction โดย X – ray diffractometer (JEOL JDX – 8030) ใช้ความต่างศักย์ 3 kV กระแส 20 mA ได้ Diffraction pattern นำมาหา peak และคำนวณ d – spacing โดยใช้สมการที่ (3.3) จากกฎ Bragg

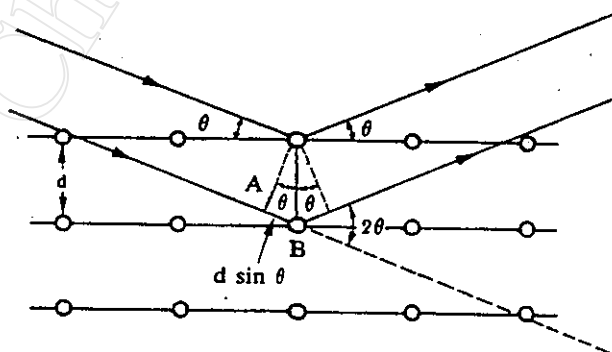
$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3.3)$$

โดย d คือ ค่า d – spacing

λ คือ ความยาวคลื่นของ X – ray กำเนิดจากเป้าทองแดง (1.54 อังสตรอม)

θ คือ Bragg' s angle หรือมุมที่ทำให้สมการของ Bragg เป็นจริง

หลักการสะท้อนลำแสงจากระนาบอะตอมที่ขนานกัน มาแทรกสอดกันและ/หรือหักล้างกันไปตามกฎของ Bragg แสดงในรูปที่ 3.1 d-spacing ของตัวอย่างมีหลายค่า เนื่องจากอะตอมที่ขนานกันมีหลายระนาบ แต่ละระนาบทำให้เกิดการสะท้อนและการแทรกสอดมากน้อยต่างกัน ทำให้ความเข้มที่ปรากฏใน Diffraction pattern แตกต่างกัน จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างเปรียบเทียบกับมาตรฐานจาก JCPDS ได้



รูปที่ 3.1 การสะท้อนจากระนาบอะตอมที่ขนานกัน และห่างกันเป็นระยะ d

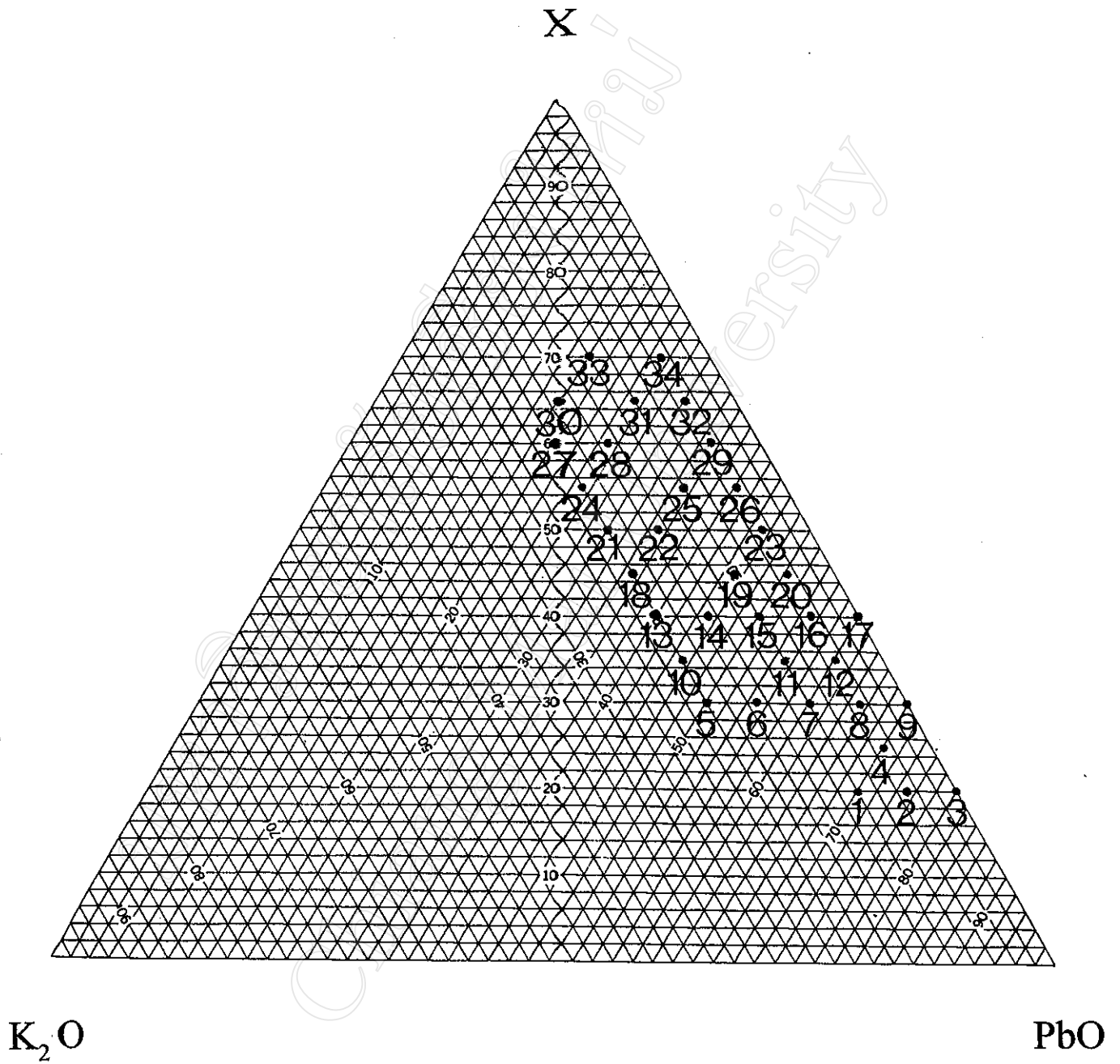
3.2 การเตรียมตัวอย่างแก้ว

การเตรียมตัวอย่างแก้ว ประกอบด้วยขั้นตอนของการหลอมสารประกอบออกไซด์ต่าง ๆ จนหลอมเหลว และทำให้ส่วนผสมที่หลอมเหลวนั้นเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (Rapid cooling) สำหรับงานศึกษาทดลองนี้ได้กำหนดอุณหภูมิหลอมสารประกอบออกไซด์ที่ 1100°C รักษาอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นตัวลงโดยการเทส่วนผสมที่หลอมเหลวลงในน้ำ (Water quench) และโดยการเทส่วนผสมที่หลอมเหลวลงบนเบ้าโลหะ (Air quench)

3.2.1 การเตรียมส่วนผสมผงแห้ง

ส่วนผสมในการเตรียมแก้วระบบเลดอัลคาไลซilikate ถูกเตรียมขึ้น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลอง PKS PKHP และ PKWS เมื่อใช้สารตั้งต้นเป็น $\text{PbO-K}_2\text{CO}_3\text{-SiO}_2$ $\text{PbO-K}_2\text{CO}_3\text{-Silica HP}$ และ $\text{PbO-K}_2\text{CO}_3\text{-กากดิน}$ ตามลำดับ แต่ละชุดการทดลองมีประมาณ 30 สูตร

ร้อยละส่วนผสมโดยน้ำหนักของสารตั้งต้นคือ PbO K_2O และ X เมื่อ X แทนด้วย SiO_2 Silica HP หรือ กากดิน แสดงไว้ในแผนภาพสามเหลี่ยม (Triaxial diagram) รูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงร้อยละ โดยน้ำหนักของส่วนผสมในระบบ $\text{PbO}-\text{K}_2\text{O}-\text{X}$

ตารางที่ 3.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนผสมสารตั้งต้น

สูตร	ร้อยละโดยน้ำหนัก				สูตร	ร้อยละโดยน้ำหนัก			
	PbO	K ₂ O	K ₂ CO ₃	X		PbO	K ₂ O	K ₂ CO ₃	X
1	70	10	14.67	20	18	35	20	29.34	45
2	75	5	7.34	20	19	45	10	14.67	45
3	80	-	-	20	20	50	5	7.34	45
4	70	5	7.34	25	21	30	20	29.34	50
5	50	20	29.34	30	22	35	15	22.01	50
6	55	15	22.01	30	23	45	5	7.34	50
7	60	10	14.67	30	24	25	20	29.34	55
8	65	5	7.34	30	25	35	10	14.67	55
9	70	-	-	30	26	40	5	7.34	55
10	45	20	29.34	35	27	20	20	29.34	60
11	55	10	14.67	35	28	25	15	22.01	60
12	60	5	7.34	35	29	35	5	7.34	60
13	40	20	29.34	40	30	18	17	24.94	65
14	45	15	22.01	40	31	25	10	14.67	65
15	50	10	14.67	40	32	30	5	7.34	65
16	55	5	7.34	40	33	18	12	17.61	70
17	60	-	-	40	34	25	5	7.34	70

เตรียมส่วนผสมสารตั้งต้นมวลรวม 40 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งสาร HM – 300 ความละเอียด 0.001 กรัม ซึ่งสามารถชั่งได้ไม่เกิน 310 กรัม นำส่วนผสมของสารตั้งต้นมาผสมให้เข้ากันด้วยการบดผสมแห้งโดยใช้ครกอะลูมินา จากนั้นนำมาใส่ในสโตนแวร์ครุชีเบิ้ล (Stoneware crucible) ซึ่งผ่านการเผาแล้วที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1250 °C (ทั้งนี้ปริมาณส่วนผสมของสารตั้งต้น 40 กรัม ดังกล่าว เมื่อใส่ในสโตนแวร์ครุชีเบิ้ล จะมีปริมาณเพียงสองในสามของความสามารถในการบรรจุ เนื่องจากขณะเผาจนส่วนผสมหลอมเหลวจะมีการขยายตัวทางปริมาตร)

3.2.2 การหลอมส่วนผสมของสารตั้งต้น

ทำการหลอมส่วนผสมของสารตั้งต้นโดยใช้เตาไฟฟ้า เริ่มการเผาโดยรักษาอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 200 °C นาน 10 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิการเผาในอัตราของการเผาเร็ว คือ ประมาณ 7 °C ต่อนาทีกระทั่งถึงอุณหภูมิ 1100 °C รักษาอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง จากนั้นเปิดฝาดานำสโตนแวร์ครุชีเบิ้ลออกจากห้องเผา และเทส่วนผสมหลอมเหลวลงในเบ้าโลหะ ส่วนผสมหลอมเหลวที่เหลือหลงในน้ำ สำหรับขั้นตอนการเทจะต้องทำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากส่วนผสมหลอมเหลวจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ลดลงจนกลายเป็นของแข็ง ซึ่งไม่สามารถเทออกจากสโตนแวร์ครุชีเบิ้ลได้

3.3 การตรวจสอบสมบัติตัวอย่างแก้ว

3.3.1 การหาความหนาแน่น

นำตัวอย่างแก้วที่ได้จากการเทลงน้ำซึ่งมีลักษณะเป็นเศษแก้วขนาดต่าง ๆ ในบางกรณีมีลักษณะเป็นเส้นมาทำให้แห้ง โดยใช้ความร้อนจากตู้อบที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 160 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คัดเศษแก้วที่มีขนาด 1 ถึง 5 มม. มาหาความหนาแน่นโดยวิธีใช้ขวดความถ่วงจำเพาะ (Pycnometer)

ขั้นตอนการหาความหนาแน่นโดยใช้ชุดความถ่วงจำเพาะ

1. ทำความสะอาดขวด ถฟ. ให้เรียบร้อยแล้วนำไปชั่งพร้อมจุก บันทึกค่าเป็น M_1
2. ใส่ตัวอย่างแก้วลงในขวดถฟ. ประมาณ 1 ใน 3 ของขวดแล้วนำไปชั่งพร้อมจุกบันทึกค่าเป็น M_2
3. เติมน้ำกลั่นลงในขวด ถฟ. ที่ใส่ตัวอย่างแก้วจนเต็มขวด นำไปชั่งพร้อมจุก บันทึกค่าเป็น M_3
4. เทน้ำกลั่นและตัวอย่างแก้วออก ทำความสะอาดขวด ถฟ. ให้แห้งสนิท เติมน้ำกลั่นลงในขวด ถฟ. จนเต็มขวด นำไปชั่งพร้อมจุก บันทึกค่าเป็น M_4

ดังนั้น ความหนาแน่นของตัวอย่างแก้ว (ρ) คำนวณได้จากสมการ (3.4)

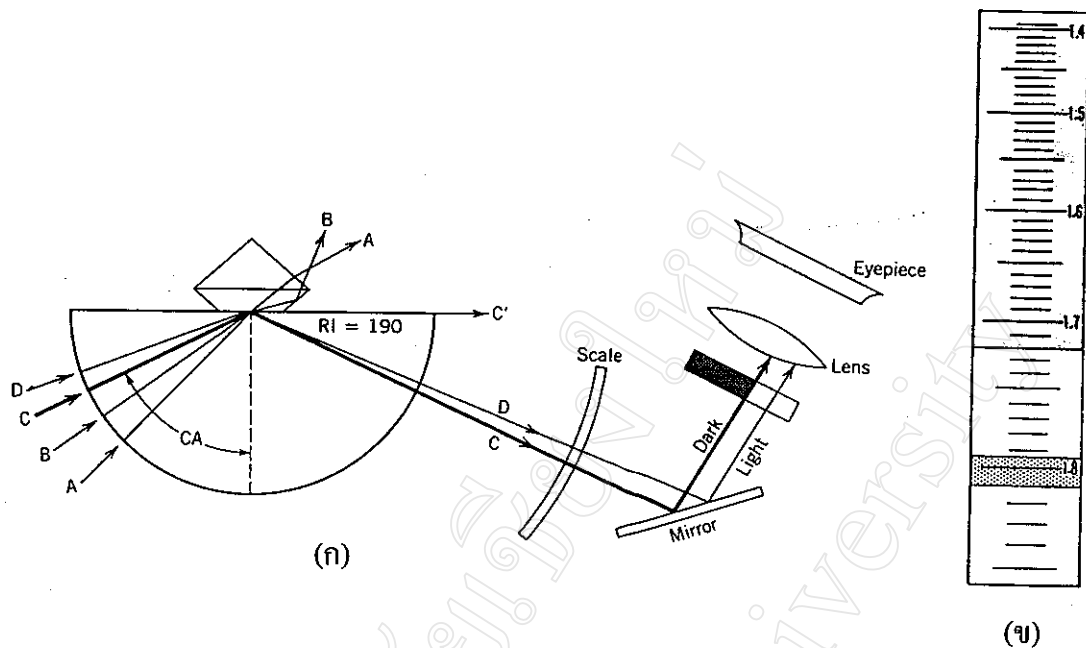
$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)} \rho_0 \quad (3.4)$$

เมื่อ ρ_0 เป็นความหนาแน่นของน้ำกลั่นที่อุณหภูมิขณะชั่ง

3.3.2 การหาดัชนีหักเห

นำตัวอย่างที่ได้จากการเทลงบนเบ้าโลหะ ซึ่งเป็นชิ้นแก้วผิวไม่เรียบมาหล่อด้วยเรซินและนำมาขัดผิวหน้าทั้งสองด้วยกระดาษทรายเบอร์ 320, 400 และ 600 ตามลำดับ จากนั้นขัดผิวหน้าให้มีความมันด้วยผ้าสักหลาดโดยใช้ผงอะลูมินา 0.1 ไมโครเมตร เป็นผงขัด นำตัวอย่างแก้วออกจากเรซิน และทำความสะอาดผิวหน้า โดยการเช็ดด้วยผ้าสักหลาด แล้วนำมาวัดดัชนีหักเหของตัวอย่างแก้ว โดยใช้ Rayner Illuminated Refractometer (Ref RD475) ซึ่งสามารถวัดดัชนีหักเหได้ในช่วง 1.30 ถึง 1.79

การวัดดัชนีหักเหโดย Rayner Illuminated Refractometer อาศัยหลักการของมุมวิกฤต (Critical angle CA) ที่เกิดขึ้นระหว่างตัวอย่างแก้วกับปริซึมครึ่งทรงกลมทำจากแก้วตะกั่ว (Lead glass prism) ซึ่งมีดัชนีหักเหสูง⁽¹⁹⁾ แสดงดังรูปที่ 3.3 (ก)



รูปที่ 3.3 (ก) แสดงลำแสง (A, B, C, D) ซึ่งตกกระทบบริเวณรอยต่อระหว่าง Lead glass prism และ ตัวอย่างเป็นมุมตกกระทบบ้าง ๆ ลำแสง A, B ซึ่งทำมุมน้อยกว่ามุมวิกฤตผ่านเข้าไปในตัวอย่างไม่ให้ลำแสง C, D เกิดการสะท้อนกลับ (ข) สเกลอ่านดัชนีหักเหที่มองเห็นโดยผ่านเลนส์ตา จากภาพอ่านได้ 1.720 ในขณะที่ 1.81 เป็นค่าของ Contact liquid ที่ใช้ ⁽²⁰⁾

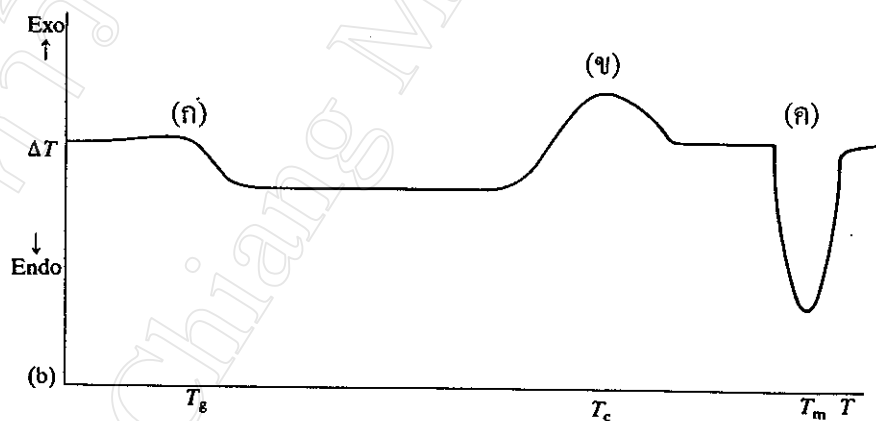
แสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบบริเวณรอยต่อระหว่างแก้วตะกั่วครึ่งทรงกลม และตัวอย่างแก้วเป็นมุมต่าง ๆ (บริเวณผิวรอยต่อใส่ “contact liquid” เพื่อกำจัดฟิล์มบางของอากาศ) รังสีตกกระทบบนที่ทำมุมกับเส้นปกติน้อยกว่ามุมวิกฤต CA จะหักเหเข้าไปในตัวอย่างไม่ให้รังสีตกกระทบบนที่ทำมุมกับเส้นปกติมากกว่ามุมวิกฤต CA จะสะท้อนกลับหมด จึงทำให้เกิดส่วนต่างของการหักเหและการสะท้อนกลับเป็นแถบมืดและแถบสว่าง รังสีที่สะท้อนกลับออกมาจากแก้วตะกั่วครึ่งทรงกลมจะตกกระทบบนกระจก ซึ่งจะสะท้อนแสงเข้ามายังระบบเลนส์ ดังนั้นเมื่อสังเกตผ่านเลนส์ตาจะเห็นเป็นแถบมืดและแถบสว่าง ครรชนหักเหจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของรอยต่อระหว่างแถบมืดและแถบสว่าง ดังแสดงในรูป 3.3 (ข)

สำหรับ Ref RD 475 จะใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็น Yellow light-emitting diode แก้วตะกั่วครึ่งทรงกลมมีครรชนหักเห 1.79 Contact liquid ซึ่งทำจาก Di-iodomethane และ Suphur มีครรชนหักเห 1.79 ในส่วนของกระจกสะท้อนถูกแทนที่ด้วยปริซึมมุมฉากและไม่มีระบบสเกล แต่ทั้งนี้จะสามารถอ่านครรชนหักเหได้โดยการหมุนปุ่มสเกล ซึ่งจะเลื่อน “Ribbon like cursor” มายังบริเวณรอยต่อของแถบมืดและแถบสว่าง

3.3.3 การวิเคราะห์ผลของความร้อนที่มีต่อตัวอย่างแก้วด้วย DTA

การวิเคราะห์ผลของความร้อนอาศัยเทคนิคที่เรียก Differential Thermal Analysis (DTA) ซึ่งจะวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของตัวอย่างกับสารอ้างอิง (Reference material) ที่เวลาหรืออุณหภูมิต่าง ๆ โดยทั้งตัวอย่างและสารอ้างอิงอยู่ในระบบเดียวกันเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบด้วยอัตราคงที่ ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของตัวอย่างเทียบกับสารอ้างอิงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานในตัวอย่าง แสดงออกมาในรูปแบบของการคายความร้อน หรือดูดความร้อนตามลำดับ

โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์ผงแก้ว (Powdered glass) ด้วย DTA จะพบการเปลี่ยนแปลงหลักเพียง 2 ลักษณะ คือ (1) ปฏิริยาดูดความร้อนซึ่งจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าปฏิริยาคายความร้อนและเกิดในช่วงอุณหภูมิที่เรียก Transformation rang ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์หลายประการ และ (2) ปฏิริยาคายความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการตกผลึก (Crystallization หรือ Devitrification) แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่เกิดปฏิริยาดังกล่าวขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของแก้ว⁽¹⁹⁾ อย่างไรก็ตาม โดยทางทฤษฎีแล้ว ผลการวิเคราะห์ผงแก้วด้วย DTA ควรจะเป็นดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กราฟ DTA แสดง (ก) Glass transformation temperature (T_g) (ข) Crystallization temperature (T_c) และ (ค) Melting temperature (T_m)⁽²²⁻²³⁾

การวิเคราะห์ตัวอย่างแก้วด้วย DTA ไม่เพียงแต่จะทำให้ทราบตัวแปรสำคัญดังที่กล่าวแล้ว ยังจะสามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์อื่น เช่น ปฏิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน การเปลี่ยนเฟส (Phase transition) การสลายตัว (Decomposition) การปลดปล่อยก๊าซ (Gas evolution) ปฏิริยาเคมี

(Thermochemical reaction) รวมไปถึงการทำข้อมูลทาง DTA เพื่อประโยชน์ทาง Firing cycle development ได้เช่นกัน⁽²⁴⁾

ในส่วนของการวิเคราะห์ตัวอย่างแก้วด้วย DTA นั้น เพื่อทราบตัวแปรพื้นฐานคือ T_g , T_c และ T_m อาศัยเครื่องมือ Thermal Analyzer (NETZSCH STA 409 EP) ทำการวิเคราะห์ผงตัวอย่าง แก้วขนาดต่ำกว่า 100 เมช ประมาณ 150 ถึง 200 มิลลิกรัม โดยมีผงอะลูมินาที่แคลไซน์แล้วเป็นสาร อ้างอิง ใส่ในครุฑชิลิตที่ทำจากอะลูมินา (Alumina crucible) และให้ความร้อนกับระบบด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C ต่อนาทีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20 ถึง 1250°C

3.3.4 การหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์

การหาค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์สำหรับตัวอย่างแก้วบางตัวอย่าง เพื่อการเปรียบ เทียบแนวโน้มข้อมูลค่าความจุไฟฟ้า (C) โดยใช้เครื่องมือ Impedance Analyzer (Hewlett Packard 4276 A) ที่ 1 kHz ถึง 20 kHz ซึ่งค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคงที่ ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ตามสมการที่ (3.5)

$$\epsilon_r = \frac{Cd}{\epsilon_0 A} \quad (3.5)$$

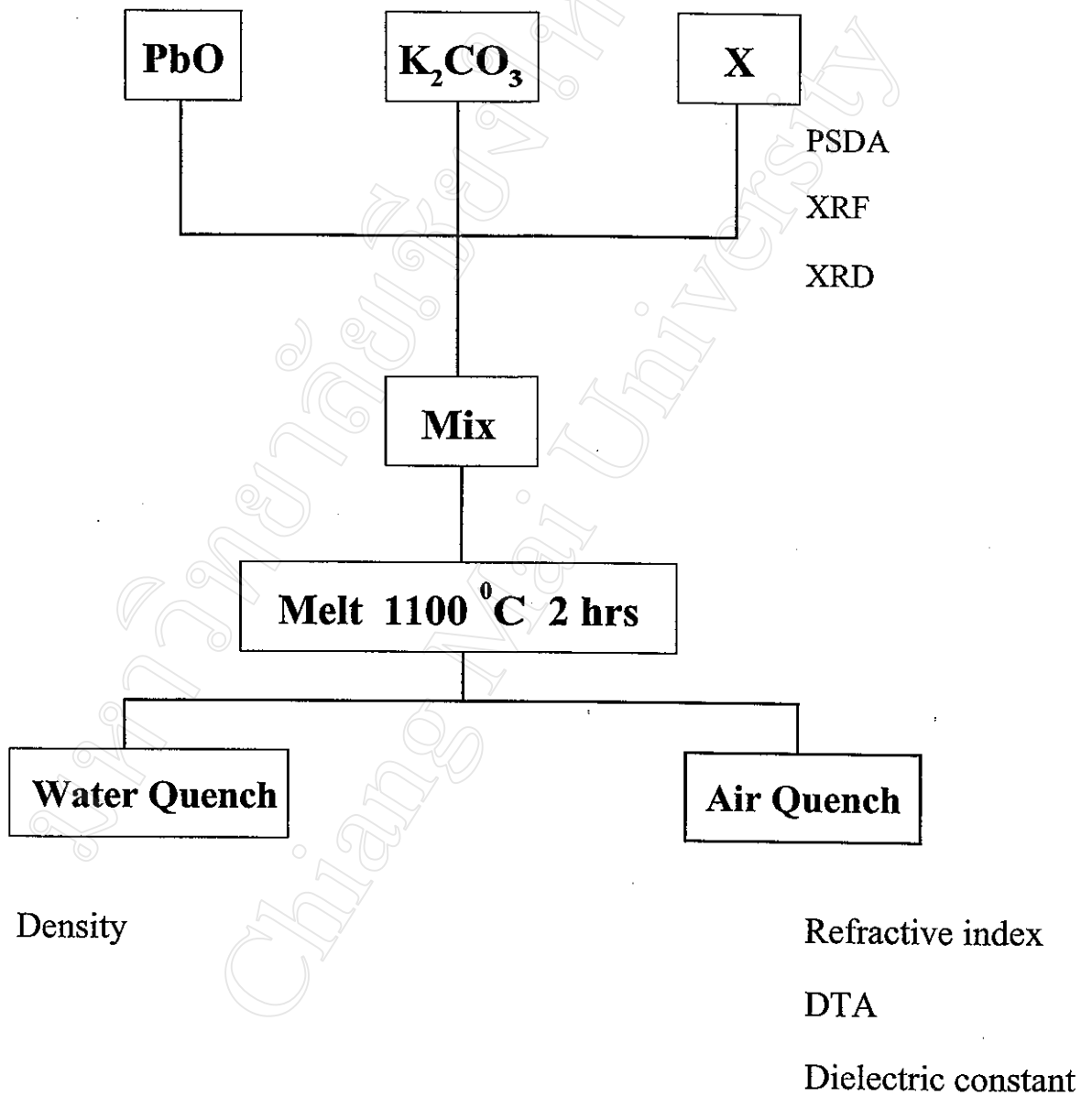
โดย d คือ ความหนาของตัวอย่างแก้ว (mm)

ϵ_0 คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสุญญากาศ (8.85×10^{-15} F/mm)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโตรด (mm^2)

สำหรับการทำขั้วใช้กาวเงิน (Silver paste) ชนิดแห้งเอง ทาผิวหน้าทั้งสองด้านของตัวอย่าง แก้วที่ได้ทำการขัดผิวให้เรียบแล้ว โดยการทาเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.6 มิลลิเมตร ปล่อยให้แห้ง จากนั้นจึงนำมาวัดค่าความจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ช่วงความถี่ 1 kHz ถึง 20 kHz

สรุปแผนผังการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังการทดลอง