

บทที่ 4 วิจารณ์และสรุป

จากการศึกษาการผ่อนคลายของแก้วซิลิกาที่มีปริมาณตะกั่วสูงชนิดหนึ่งในวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาการอบแก้ว และอัตราการเย็นตัวของแก้วที่มีผลต่อค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่น เพื่อเป็นข้อมูลที่น่าไปอธิบายและแสดงให้เห็นถึงกระบวนการผ่อนคลายในแก้วชนิดนี้ จากความหมายของกระบวนการผ่อนคลายที่แสดงพฤติกรรมการผ่อนคลายความเครียดของโครงสร้างแก้ว ซึ่งพยายามจัดเรียงตัวให้เข้าสู่สภาพสมดุล หรือสภาพเสถียร โดยเป็นที่เข้าใจกันแล้วว่าเมื่อส่วนผสมแก้วมีการหลอมตัวอย่างสมบูรณ์แล้ว น้ำแก้วเหลวจะเข้าสู่กระบวนการเกิดแก้วที่เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งในขณะนั้นแก้วเริ่มมีการจัดโครงสร้างขึ้น ทั้งนี้มีจุดเริ่มต้นจากจุดเยือกแข็ง หรือจุดหลอมตัวที่ถือได้ว่าแก้วเริ่มมีการจัดเรียงโครงสร้าง โดยอะตอมของธาตุต่างๆ เริ่มเคลื่อนตัวเข้าหากัน ครั้นเมื่ออุณหภูมิเย็นตัวลงถึงจุดที่เรียกว่าจุดอ่อนตัว ในขณะนั้นแก้วเริ่มมีโครงสร้างเกิดขึ้นในระดับหนึ่งที่ยังไม่สมดุล และยังคงมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในได้ แต่แก้วจะมีรูปทรงภายนอกคงที่ จากอุณหภูมิต่ำกว่าจุดอ่อนตัวเป็นต้นไปแก้วจะเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีจุดที่สำคัญในการพิจารณาประกอบด้วย จุดอบแก้ว จุดการแปรเปลี่ยนสภาพแก้ว และจุดเครียดที่เป็นจุดสุดท้ายในช่วงนี้ ความเข้าใจเกี่ยวกับจุดเครียดนั้น เป็นจุดที่แก้วมีความเครียดต่ำสุดในขณะที่ยังเข้าสู่สภาพสมดุล ทำให้โครงสร้างของแก้วไม่เปลี่ยนแปลง และอะตอมของธาตุต่างๆ หยุดนิ่งหรือคงที่ โดยมีผู้ศึกษา [8] ได้กล่าวไว้ว่า ขณะที่แก้วมีอุณหภูมิสูงตั้งแต่จุดอ่อนตัว อะตอมมีการเปลี่ยนแปลงได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ การเคลื่อนตัว การหมุน และการสั่น เมื่ออุณหภูมิต่ำลงเข้าใกล้จุด T_g ทำให้อะตอมหยุดการเคลื่อนตัวแต่ยังมีการหมุนและการสั่นอยู่บ้าง จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึงจุดเครียด จะทำให้การหมุนและการสั่นของอะตอมจะสิ้นสุดลง ในขณะนั้นแก้วยังคงมีความเครียดเหลือ ซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของอะตอมหรือการจัดเรียงตัวระหว่าง Cation และ Anion ที่เข้าสู่สภาพสมดุล โดยมีปัจจัยที่สำคัญ คือ อุณหภูมิและเวลา ทั้งนี้เมื่อพิจารณาการผ่อนคลายความเครียดของแก้วตั้งแต่จุดตั้งต้นของแก้วที่อุณหภูมิสูง ถ้าลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว จะทำให้แก้วเกิดความเครียดมากเนื่องมีเวลาในการจัดโครงสร้างน้อยและหยุดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เข้าสู่สภาพสมดุลได้ไม่ดี อาจทำให้แก้วแตกเสียหายได้ง่าย แต่ถ้าลดอุณหภูมิ

อย่างช้าๆ หรือแช่อุณหภูมิให้คงที่เป็นเวลานาน จะทำให้แก้วมีเวลาเพียงพอในการจัดโครงสร้างให้เป็นระเบียบและเข้าสู่สมดุลได้ดี ส่งผลให้แก้วมีความเครียดต่ำสุด ซึ่งเป็นที่ต้องการในการทำแก้วในหีบปฏิบัติการหรือการผลิตแก้วทางอุตสาหกรรม ด้วยเหตุนี้การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผ่อนคลายในแก้ว จึงเป็นการผ่อนคลายความเครียดให้เหลือน้อยที่สุดในระหว่างที่แก้วจัดโครงสร้างเพื่อเข้าสู่สภาพสมดุล โดยการวิจัยครั้งนี้ได้มุ่งเน้นศึกษากระบวนการผ่อนคลายสำหรับแก้ว ซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงชนิดหนึ่ง ซึ่งมีองค์ประกอบ (wt%) เป็น K_2O 8 , PbO 70 และ SiO_2 22

จากการศึกษาของ H.N. Ritland [9] ได้กล่าวไว้ถึงการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการผ่อนคลายของแก้วในช่วงการเปลี่ยนแปลงที่แก้วกำลังจัดโครงสร้างให้เข้าสู่สมดุล สามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกให้อุณหภูมิคงที่ (Isotherm) โดยขึ้นกับระยะเวลา (Time dependence) ที่ปล่อยให้แก้วเกิดการผ่อนคลายได้ในเวลาที่เพียงพอ เรียกวิธีนี้ว่า Soak treatment สำหรับวิธีที่สองทำการลดอุณหภูมิด้วยอัตราที่คงที่เรียกว่า Rate treatment จะทำให้แก้วเกิดการผ่อนคลายและเข้าสู่สมดุลได้โดยขึ้นกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (Temperature dependence) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ Ritland ได้เสนอแนะแนวทางการทดลองที่ติดตามจากสมบัติทางกายภาพเกี่ยวกับครรชนึกเหและความหนาแน่น เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผ่อนคลาย

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการศึกษากระบวนการผ่อนคลายที่ผู้ปฏิบัติจะต้องติดตามและวัดค่าครรชนึกเหและความหนาแน่นที่อุณหภูมิสูงซึ่งยากต่อการปฏิบัติงาน ด้วยเหตุนี้จึงยึดถือแนวปฏิบัติที่ได้นำปรากฏการณ์สำคัญที่ผู้ศึกษา [7] กล่าวถึง Memory effect อาจแปลได้ว่าเป็นความทรงจำหรือความสามารถในการเลียนแบบจากของเดิม เช่น ขณะที่แก้วมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิสูง ครั้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แก้วจะมีการจดจำการเปลี่ยนแปลงนั้นไว้จนอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง ทำให้ที่อุณหภูมิสูงและที่อุณหภูมิห้องแก้วยังคงมีพฤติกรรมคล้ายกัน ดังนั้นปรากฏการณ์ Memory effect นี้จึงทำให้ผู้ศึกษาสามารถติดตามกระบวนการผ่อนคลายของแก้วในช่วงการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิห้องได้ สำหรับการศึกษากระบวนการผ่อนคลายในแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงได้ดำเนินการคล้ายกับวิธีการของ Ritland ที่ศึกษาการผ่อนคลายในช่วงการเปลี่ยนแปลง โดยยึดที่อุณหภูมิ T_g เป็นหลัก พร้อมเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่สูงและต่ำกว่าในช่วง $T_g \pm 50^\circ C$ โดยคาดว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g จะเข้าใกล้จุดอบแก้ว และที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะเข้าใกล้จุดเครียด ดังนั้นข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมาได้นำมาเป็นขอบเขตและวิธีการศึกษากระบวนการผ่อนคลายในแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงในที่นี้

ผลการศึกษากระบวนการผ่นคลายในแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ - ระยะเวลาของการอบแก้วที่มีผลต่อค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่น การทดลองในเรื่องนี้ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับระยะเวลาของการอบแก้ว โดยให้อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ ในช่วงการแปรเปลี่ยนสภาพแก้ว ($T_g \pm 50^\circ\text{C}$) ซึ่งผลจากการวัดค่า T_g เท่ากับ 225°C ดังนั้นการทดลองประกอบด้วย 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 275°C , 225°C และ 175°C จากอุณหภูมิเริ่มต้นที่คงที่และทำการอบแก้วโดยมีระยะเวลาแตกต่างกันระหว่าง 4 ถึง 60 ชั่วโมง เมื่อทำการอบแก้วครบในแต่ละระยะเวลา ได้ลดอุณหภูมิลงด้วยอัตราคงที่ (5°C/นาท) จนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำขึ้นทดสอบ 5 ชิ้นจากส่วนผสมแก้วซิลิเกตตะกั่วสูงเดียวกันไปวัดค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่นของแต่ละระยะเวลาการอบจาก 4 ถึง 60 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่นกับระยะเวลาอบแก้วในแต่ละอุณหภูมิการอบ ดังแสดงผลการทดลองไว้ในรูปที่ 33 - 35, 37 - 39 และแสดงเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละอุณหภูมิแสดงไว้ในรูปที่ 36 และ 40 (ดูในบทที่ 3)

จากการทดลองอบแก้วที่อุณหภูมิคงที่ ทำให้เข้าใจว่าการอบแก้วจะต้องมีระยะเวลาหนึ่งที่ทำให้แก้วเข้าสู่สภาพสมดุล โดยในแต่ละระยะเวลาที่ผ่านไปอาจทำให้อะตอมในองค์ประกอบแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยอะตอมของตะกั่ว ซิลิกอน โปแตสเซียม และออกซิเจน พยายามจะเคลื่อนตัวเข้ามาจัดระเบียบ หรืออยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อทำให้โครงสร้างเกิดการผ่นคลายและเข้าสู่สภาพสมดุลได้ในระยะเวลาหนึ่งต่อนั้นแก้วจะเกิดความคงที่ โดยเห็นได้จากผลการทดลองที่ค่าดรรชนีหักเหหรือความหนาแน่นในระยะเวลาเริ่มต้นมีค่าต่ำ เมื่อระยะเวลานานขึ้นทำให้ค่าเหล่านี้สูงขึ้นและปรากฏค่าสูงสุดต่อนั้นจะคงที่ ทำให้ทราบได้ว่าในระหว่างที่แก้วมีค่าดรรชนีหักเหหรือความหนาแน่นสูงขึ้นนั้น แก้วจะแสดงพฤติกรรมหรือมีกลไกเป็นกระบวนการผ่นคลาย ครั้นเมื่อค่าดรรชนีหักเหหรือความหนาแน่นคงที่ อาจกล่าวได้ว่าขณะนั้นแก้วมีการผ่นคลายและเข้าสู่สมดุลของการจัดเรียงโครงสร้าง ทั้งนี้กระบวนการผ่นคลายในแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงของการทดลองนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ O.S. Narayanaswamy [7] ที่ศึกษาในแก้วบอโรซิลิเกต ซึ่งแสดงผลของการเข้าสู่สภาพสมดุลได้เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณากระบวนการผ่นคลายของแก้วซิลิเกตตะกั่วสูงทั้ง 3 อุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟเฉลี่ยในรูปที่ 36 แสดงให้เห็นว่าลักษณะของเส้นกราฟคล้ายกัน แต่แตกต่างกันที่ระดับของค่าดรรชนีหักเห โดยการอบแก้วที่อุณหภูมิสูง (275°C) จะมีค่าดรรชนีหักเหต่ำกว่าอบแก้วที่อุณหภูมิต่ำ (225 และ 175°C) ซึ่งเข้าใจว่าการอบแก้วที่อุณหภูมิสูงนั้น อาจทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมมีมาก จึงเป็นเหตุให้ค่าดรรชนีหักเหมีค่าต่ำทุกระยะเวลาอบแก้ว แต่แก้วที่อบที่อุณหภูมิ 275°C จะใช้เวลาผ่นคลายเพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น แก้วสามารถเข้าสู่สมดุลได้ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงอะตอมต่างๆ

สามารถเคลื่อนที่มาอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมได้อย่างอิสระ และเข้าสู่สภาพสมดุลได้ง่ายกว่าอุณหภูมิ ต่ำ ครั้นเมื่อพิจารณาการอบแก้วที่อุณหภูมิ 225 °C และ 175 °C พบว่ามีค่าดรรชนีหักเหสูงกว่าที่อุณหภูมิ 275 °C ตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำอะตอมจะอยู่ใกล้กัน แต่ทำให้อะตอมเคลื่อนตัวเพื่อจัดเรียง โครงสร้างให้เข้าสู่สมดุลได้ยาก จึงต้องใช้ระยะเวลาการอบแก้วที่นาน โดยที่อุณหภูมิ 225 °C ใช้เวลา 36 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิ 175 °C ต้องใช้เวลานานถึง 48 ชั่วโมงจึงจะทำให้แก้วเข้าสู่สมดุลได้ ดังนั้นในการทดลองอบแก้วที่อุณหภูมิต่างๆ นั้นสามารถทำให้แก้วเข้าสู่สมดุลได้เช่นเดียวกัน เพียงแต่ ต่างกันที่ระยะเวลาที่ใช้อบและค่าดรรชนีหักเหที่จุดสมดุล ซึ่งในทางปฏิบัติการเลือกใช้อุณหภูมิอบ แก้วที่อุณหภูมิ 225 °C หรืออุณหภูมิ T_g ของแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงชนิดนี้ น่าจะเป็นผลดีเนื่องจากมีค่าดรรชนีหักเหที่จุดสมดุลสูงและใช้เวลาอบในช่วงเวลา 24 – 36 ชั่วโมงแก้วจะสามารถเข้าสู่สมดุลได้ ถ้าพิจารณาการปฏิบัติงานในระดับอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องอบแก้วโดยใช้เวลาน้อยเท่าที่จะทำได้ อาจเลือกอบแก้วที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g ได้ ซึ่งจะใช้เวลาเพียง 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ผลการทดลองที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นกับเวลาการอบแก้วที่อุณหภูมิต่างๆ จะให้ผลสอดคล้องกับการวัดค่าดรรชนีหักเหดังกล่าวมา ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าเมื่ออบแก้วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมมีมากจึงส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าการอบแก้วที่อุณหภูมิต่ำ

เมื่อพิจารณาถึงขั้นตอนทดสอบทั้ง 5 ขั้นตอนของแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงเดียวกันที่นำมาทดลอง พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหหรือความหนาแน่นกับระยะเวลาอบแก้วที่อุณหภูมิ ต่างๆ จะให้ค่าแตกต่างกันทั้งๆ ที่เป็นแก้วส่วนผสมเดียวกัน การปรากฏค่าที่แตกต่างกันนี้อาจเนื่องมาจากขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบแก้วที่ต้องมีการตัดและขัด ซึ่งการทำให้ทุกชิ้นเหมือนกันนั้นทำได้ยากทั้งในเรื่องของความหนา ความเรียบของผิวแก้ว เป็นเหตุให้เกิดความแตกต่างขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าเหล่านั้นมาเฉลี่ยเพื่อแสดงให้เห็นถึงกระบวนการผอมคลาย สามารถแสดงและอธิบาย ได้ดังที่กล่าวมา พร้อมกับแสดงสมการเพื่อติดตามการผอมคลายที่อุณหภูมิอื่นๆ ดังในภาคผนวก จ

ผลการศึกษากระบวนการผอมคลายในแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ – อัตราการเย็นตัวของแก้วที่มีผลต่อค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่น การทดลองในเรื่องนี้ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับอัตราการเย็นตัวของแก้วที่คงที่ จากอุณหภูมิ หนึ่งๆ ในช่วง $T_g \pm 50$ °C นอกจากนี้ผู้วิจัยยังมีความสนใจที่อุณหภูมิสูงที่ 325 °C เพราะต้องการ ศึกษาดูว่าที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดอ่อนตัวของแก้วซิลิเกตตะกั่วสูงนี้ แก้วจะมีพฤติกรรมการผอมคลายเป็นอย่างไร ผลการทดลองแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่น กับอัตราการเย็นตัวจากช้าไปเร็วด้วยอัตรา 5 ถึง 50 °C/นาที่ ให้ผลดังแสดงในรูปที่ 41 – 44 , 46 - 49

และแสดงเป็นค่าเฉลี่ยในรูปที่ 45 และ 50 (ดูในบทที่ 3) ผลที่ได้กล่าวคือ แต่ละอุณหภูมิตั้งต้นหนึ่งๆ แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงจากช้าไปเร็วตามที่กำหนดจนกระทั่งถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำขึ้นทดสอบไปวัดค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่น ทั้งนี้โดยยึดเหตุผลของ Memory effect [7] มาปฏิบัติ ผลการทดลองเห็นได้ว่าถ้าอัตราการเย็นตัวอย่างช้า เช่น $5^{\circ}\text{C}/\text{นาท}$ จะมีค่าดรรชนีหักเหสูง ที่เข้าใจว่าเมื่ออัตราการเย็นตัวช้า อะตอมมีเวลาที่สามารถจัดเรียงตัวได้ดีและเรียงตัวได้หนาแน่น (Packing density) เป็นเหตุให้ค่าดรรชนีหักเหสูง ครั้นเมื่อพิจารณาอัตราการเย็นตัวที่เร็วขึ้นเป็น 10 ถึง $50^{\circ}\text{C}/\text{นาท}$ ที่ตามลำดับ ค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่นลดต่ำลง เป็นผลมาจากเมื่ออัตราเย็นตัวเร็วขึ้นจะทำให้อะตอมมีเวลาเคลื่อนตัวได้น้อยและหยุดเคลื่อนที่เร็ว ซึ่งในขณะนั้นการจัดเรียงตัวของอะตอมยังอยู่ห่างกันมาก ทำให้ค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่นต่ำ ยิ่งอัตราเย็นตัวเร็วขึ้นเท่าใดค่าทั้งสองนี้ยิ่งลดต่ำลงและมีแนวโน้มว่าจะเข้าใกล้ค่าต่ำสุด ซึ่งการทดลองเกี่ยวกับอัตราการเย็นตัวนี้จะไม่พบการคงที่ของเส้นกราฟ เนื่องจากขณะที่แก้วเย็นตัวลงนั้นแก้วเกิดความเครียดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราการเย็นตัวเร็วทำให้แก้วมีความเครียดมาก

ผลการพิจารณาลักษณะของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีหักเหกับอัตราการเย็นตัว เห็นได้ว่าลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้ง แต่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราการเย็นตัวของแก้วชนิดเดียวกันจะได้กราฟเป็นเส้นตรงมากกว่า ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่นน่าจะมีผลการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน คือน่าจะเป็นเส้นตรงที่เป็นปฏิภาคโดยตรงกับการจัดเรียงโครงสร้างของอะตอมในแก้วเมื่ออุณหภูมิลดลง เหตุผลที่กราฟของค่าดรรชนีหักเหเป็นเส้นโค้งอาจเป็นเพราะว่าขึ้นทดสอบแก้วแต่ละชิ้นมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยและเมื่อนำไปวัดค่าดรรชนีหักเหซึ่งค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อการปฏิบัติงาน แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ที่ได้สามารถแสดงกระบวนการผ่อนคลายของแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงได้ โดยเส้นกราฟที่เริ่มต้นจากอุณหภูมิหนึ่งๆ ประกอบด้วย 325 , 275 , 225 และ 175°C เห็นได้ว่ายิ่งอัตราการเย็นตัวช้าลงเท่าใดจะทำให้ค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่นสูงขึ้น ซึ่งนำไปสู่ความสมดุลของแก้วขณะที่เย็นตัวลงถึงอุณหภูมิห้อง ทั้งนี้ถ้าลดอุณหภูมิด้วยอัตราที่ช้ามากเป็น $1^{\circ}\text{C}/\text{นาท}$ หรือ $0.1^{\circ}\text{C}/\text{นาท}$ อาจทำให้ได้ค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่นสูงที่สุดได้ นั่นคือ แก้วมีความเครียดต่ำและเข้าสู่สภาพสมดุลได้ดีที่สุดของแก้วซิลิเกตตะกั่วสูงชนิดนี้ ครั้นเมื่อพิจารณาในแต่ละอุณหภูมิเริ่มต้น พบว่า ถ้าลดอุณหภูมิจากจุดเริ่มต้นที่อุณหภูมิสูง (325°C) จะมีค่าดรรชนีหักเหและความหนาแน่นต่ำกว่าจุดเริ่มต้นที่อุณหภูมิต่ำที่ 275 , 225 และ 175°C ตามลำดับ ดังนั้น หากเริ่มต้นลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิ T_0 (225°C) หรือต่ำกว่าที่ 175°C (เข้าใกล้จุดเครียด) ย่อมจะมีผลทำให้แก้วเข้าสู่สภาพสมดุลของโครงสร้างได้ดีขึ้น ทั้งนี้ในทางปฏิบัติจะต้องพิจารณาอัตราการเย็นตัวของแก้วให้เหมาะสมในเรื่องของการผ่อนคลาย

คล้ายของแก้ว รวมถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานทางอุตสาหกรรมด้วย นอกจากนี้ยังได้แสดงสมการเพื่อติดตามการผ่นคล้ายที่อุณหภูมิอื่นๆ เกี่ยวกับอัตราการเย็นตัวไว้ในภาคผนวก จ

สรุปผลการทดลองศึกษากระบวนการผ่นคล้ายในแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงที่ประกอบด้วย (wt%) K_2O 8 , PbO 70 และ SiO_2 22 ทำให้เห็นว่ากระบวนการผ่นคล้ายในแก้วมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้แก้วเกิดสภาพสมดุลหรือเสถียรที่หมายถึง การจัดโครงสร้างของแก้วที่เป็นระเบียบอะตอมต่างๆ อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ทำให้แก้วผ่นคล้ายโครงสร้างและมีความเครียดต่ำ ซึ่งกระบวนการผ่นคล้ายนี้เป็นกลไกสำคัญในช่วงท้ายของการผลิตแก้วที่เป็นขั้นตอนการอบแก้วที่ผู้ปฏิบัติต้องให้ความสนใจอย่างมาก โดยการอบแก้วอาจพิจารณาได้เป็น 2 แนวทาง คือ แนวทางแรกเป็นการอบแก้วที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่งเป็นระยะเวลานานระยะหนึ่งทีเพียงพอให้แก้วเข้าสู่สมดุลได้ ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแก้วคือที่อุณหภูมิ $225^{\circ}C$ หรือ T_g โดยใช้เวลาอบแก้วประมาณ 36 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้อุณหภูมิในการอบแก้วจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานอีกด้วย สำหรับแนวทางที่สองเป็นการลดอุณหภูมิของแก้วด้วยอัตราการเย็นตัวคงที่ที่ช้าทำให้แก้วเข้าสู่สมดุลได้ดี ทั้งนี้อุณหภูมิเริ่มต้นที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ $225^{\circ}C$ หรือ T_g เช่นเดียวกัน และใช้อัตราการเย็นตัว $5^{\circ}C/นาท$ จนถึงอุณหภูมิห้อง หรือทำที่อุณหภูมิ $175^{\circ}C$ ก็ได้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน

สำหรับประโยชน์ที่ได้จากการศึกษากระบวนการผ่นคล้ายในแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงนี้ สามารถนำไปพิจารณาออกแบบขั้นตอนการอบแก้วให้เหมาะสมได้ เพื่อที่จะได้แก้วที่มีความสมดุลมาใช้งาน โดยการอบแก้วอาจทำได้ในช่วงการแปรเปลี่ยนสภาพแก้ว (Glass transition range ; $T_g \pm 50^{\circ}C$) โดยอาจเลือกใช้ที่จุดการแปรเปลี่ยนสภาพแก้ว หรือต่ำกว่า ซึ่งจะต้องอบแก้วเป็นระยะเวลานานเพียงพอ รวมถึงการลดอุณหภูมิด้วยอัตราที่ช้า แต่การอบแก้วที่อุณหภูมิดังกล่าวนี้มักไม่นิยมทำในอุตสาหกรรมเพราะต้องใช้เวลารอบนานมาก อีกประการหนึ่งยังเป็นประโยชน์ในเรื่องของการปรับปรุงค่าดัชนีหักเหหรือความหนาแน่นให้ได้ตามความต้องการ โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของแก้ว เช่น ถ้าต้องการให้ได้ค่าดัชนีหักเหหรือความหนาแน่นที่สูงขึ้น อาจทำได้โดยอบแก้วที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานาน หรือลดอุณหภูมิด้วยอัตราการเย็นตัวที่ช้า ประโยชน์อีกประการหนึ่งที่ได้จากการทดลองนี้เกี่ยวกับแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงที่สามารถทำไปใช้เป็นแก้วทางแสง เนื่องจากมีค่าดัชนีหักเหที่สูง หรืออาจนำไปทำเป็นแก้วฉีกรังสี รวมถึงการที่แก้วชนิดนี้มีปริมาณตะกั่วสูง 65 – 70 wt% ซึ่งมีความหนาแน่นสูงจะเป็นแก้วที่สามารถป้องกันรังสีเอกซ์ (X-ray radiation shielding) ได้ นอกจากนี้ในการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการผ่นคล้ายในแก้วซิลิเกตที่มีปริมาณตะกั่วสูงยังติดตามได้จากสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น ความแข็งเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า ทำให้สามารถใช้แก้วเป็นวัสดุเพื่อการทำงานเฉพาะทาง และงานทางด้านอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี