บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการชะละลายเม็ดยางธรรมชาติด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ โดยงานวิจัยจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ การเตรียมยางเม็ดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ การพิสูจน์สมมติฐานการชะละลายสารที่มีขั้วออกจากเม็ดยางธรรมชาติด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ และการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ และเวลาในการชะละลาย ฯลฯ ที่มีอิทธิพลต่อการลดปริมาณไนโตรเจนในเนื้อยาง และการปรับปรุงสีของยางด้วย

4.1 การเตรียมยางเม็ดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ

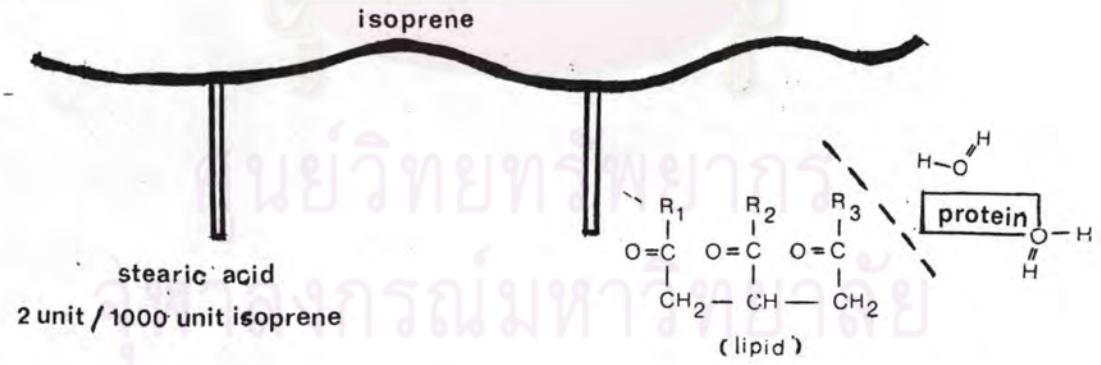
การผลิตยางเม็ดเป็นการพัฒนาเทคนิคการผลิตยางในรูปแบบใหม่แบบหนึ่ง เพื่อเพิ่มความสะดวกในการขนส่งในกระบวนการผลิต การขึ้นรูป และช่วยให้เกิดความสม่ำเสมอในการผสมสารเข้าสู่เนื้อยางในรูปลักษณะคล้ายเม็ดพอลิเมอร์และพลาสติกทั่วไป อีกทั้งจะช่วยลดพลังงานในการผสมสารต่าง ๆ เข้าไปในเนื้อยางด้วย การทดลองเริ่มต้นด้วยการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของน้ำยางข้นที่ใช้ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ ค.1 และ ค.2 ในภาคผนวก ค พบว่าน้ำยางข้นมีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.943 ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ในการทดลองจึงใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของกรดฟอร์มิก 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้ยางจับตัวเป็นก้อนได้ดี และมีการผสมเอธานอลเพื่อปรับค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายผสมให้ต่ำกว่าค่าของน้ำยางข้น คือประมาณ 0.935 ซึ่งจะทำให้ยางจมตัวลงในสารละลาย เมื่อหยดน้ำยางลงไปยางจะห่อตัวเข้าหากันจับตัวเป็นก้อนกลมซึ่งเป็นผลเนื่องจากแรงตึงผิว อัตราส่วนของสารละลายผสมระหว่างน้ำ เอธานอล และกรดฟอร์มิก คือ 22:23:5 โดยปริมาตร

เม็ดยางที่ได้จากการเตรียมตามวิธีข้างต้น จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 3.9 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.02 น้ำหนักเฉลี่ยต่อเม็ด 0.028 กรัม โดยที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.041 ยางที่ได้มีสีเหลือง เมื่อนำมาเก็บรวมกันจะเกาะติดกัน

ไม่ร่วน จึงทำการเคลือบผิวเม็ดยางด้วยไขพาราฟินเพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดยางสัมผัสกัน โดยตรง ยางจะร่วนเป็นเม็ดไม่ติดกัน ซึ่งไขพาราฟินนี้สามารถกำจัดออกโดยการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส เม็ดยางที่ได้นี้จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในขั้นต่อไป

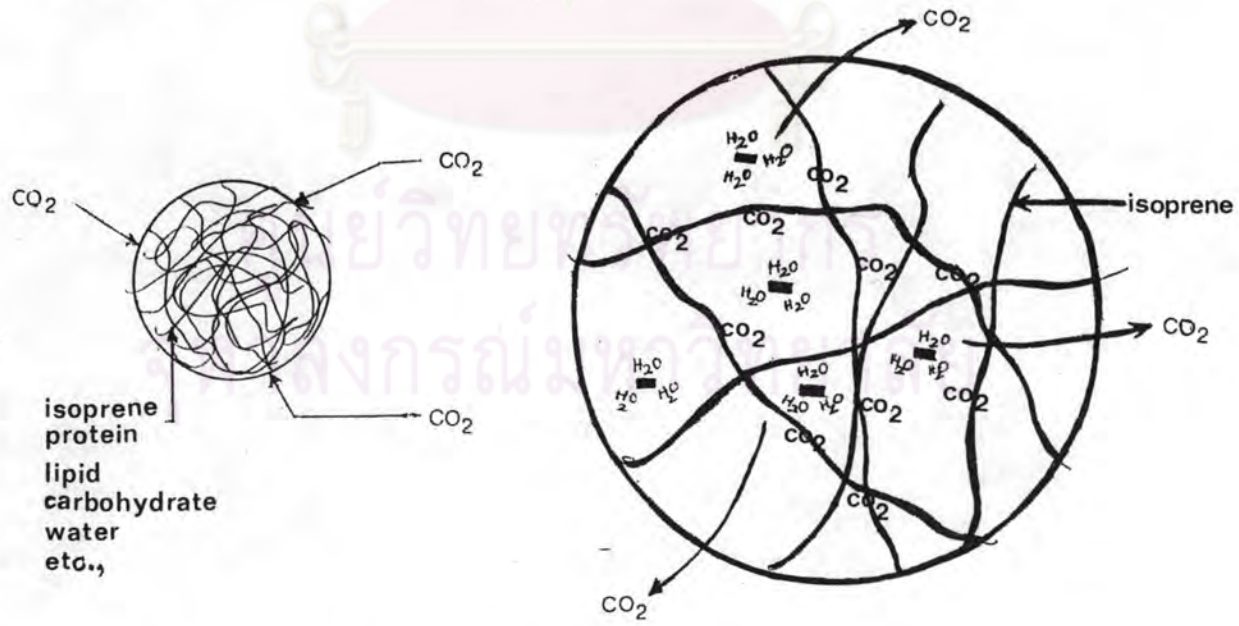
4.2 สมมติฐานการชะละลายสารที่มีขั้วออกจากเม็ดยางธรรมชาติด้วยคาร์บอนไดออกไซด์

เม็ดยางธรรมชาติประกอบไปด้วยโมเลกุลของยางไอโซพรีนซึ่งเป็นสายยาวเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบและสารอื่น ๆ เช่น โปรตีน ฟอสฟอไลปิดหรือไขมัน น้ำตาล และสารจำพวกคาโรทีนอยด์ ฯลฯ โดยพบว่าโมเลกุลยางไอโซพรีนทุก ๆ 1000 หน่วย จะมีกรดสเตอริก grafted อยู่ 2 หน่วย ซึ่งสามารถจับตัวกับโมเลกุลของฟอสฟอไลปิดได้ ส่วนสารจำพวกโปรตีนจะมาเกาะกับโมเลกุลของฟอสฟอไลปิดอีกทีหนึ่ง ทำให้โมเลกุลของยางไอโซพรีนถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของฟอสฟอไลปิดและโปรตีน สารอื่น ๆ ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน และยังอาจจับตัวเกาะอยู่กับโมเลกุลไอโซพรีนได้ด้วย พบว่าสารที่มีขั้วในเม็ดยาง เช่น โปรตีน สามารถละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ และละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วได้น้อย



รูปที่ 4.1 แสดงการจับตัวกันของโมเลกุลยางไอโซพรีนและสารอื่น ๆ

สมมติฐานในงานวิจัยนี้คือเมื่อผ่านคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในเม็ดยางธรรมชาติ เม็ดยางจะพองตัวขยายใหญ่ขึ้น โดยโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์จะไปห้อมล้อมสายไอโซพรีนและแทรกตัวอยู่ระหว่างสายยาวของพอลิเมอร์ และถ่างให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลกว้างขึ้น ทำให้เกิดการแพร่เข้าออกของสารต่าง ๆ ผ่านคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีและง่ายขึ้น ในขณะที่โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปแทรกตัวบนสายไอโซพรีน จะผลักโมเลกุลของสารที่มีขั้วที่ล้อมรอบด้วยน้ำให้หลุดออกมาจากสายโมเลกุลของยางไอโซพรีน โมเลกุลของสารที่มีขั้วที่มีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบจะลอยอยู่ในคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างระหว่างสายไอโซพรีนภายในเม็ดยาง และค่อย ๆ แพร่ออกมาที่ผิวนอกของเม็ดยางซึ่งในกลไกนี้จะใช้เวลานานพอสมควรทีเดียว แต่เมื่อลดความดันลง โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ภายในช่องว่างของเนื้อยางจะไหลออกมาอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการชะหรือผลักเอาโมเลกุลของสารที่มีขั้วที่มีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบอยู่ออกมาด้วยกัน แต่จะมีโมเลกุลของโปรตีนที่มีน้ำล้อมรอบอยู่บางส่วนที่หลุดออกมาไม่หมดเหลือติดอยู่ภายในเม็ดยาง เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า การชะเอาโมเลกุลของสารที่มีขั้วออกจากเม็ดยางธรรมชาติควรจะขึ้นอยู่กับกลไกการชะหรือผลักกลุ่มโมเลกุลโปรตีนให้ออกมาโดยคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการแพร่ของโมเลกุลของสารที่มีขั้วเอง สำหรับสารที่ไม่มีขั้วนั้นคาดว่าจะสามารถละลายอยู่ในคาร์บอนไดออกไซด์ และถูกชะให้หลุดออกมากับโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ได้เลย ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงสมมติฐานการชะละลายเม็ดยางธรรมชาติด้วยคาร์บอนไดออกไซด์

การชะละลายสารที่มีขั้วออกจากเม็ดยางธรรมชาติ มีความแตกต่างจากการสกัดสาร (extraction) โดยทั่ว ๆ ไป คือ การสกัดสารจะใช้หลักของการละลายโดยโมเลกุลของตัวทำละลายซึ่งเป็นของเหลวจะเข้าล้อมรอบโมเลกุลของตัวถูกละลายและพาเคลื่อนที่ไปทั่วของเหลวทำให้เกิดความสมดุลของสารในแต่ละวัฏภาค แต่การชะละลายที่เกิดขึ้นในการทดลองนั้นเป็นการชะละลายหรือไล่เอาโมเลกุลของสารที่มีขั้วที่มีน้ำล้อมรอบอยู่ให้หลุดออกมาจากเม็ดยางธรรมชาติโดยโมเลกุลของสารที่มีขั้วที่มีน้ำล้อมรอบอยู่โมเลกุลใดอยู่ในตำแหน่งที่สามารถจะถูกชะออกมาได้ง่ายก็จะถูกชะออกมาก่อน ส่วนที่อยู่ในตำแหน่งที่ยากและซับซ้อนก็จะถูกชะออกมาภายหลังหรือติดค้างเหลืออยู่ภายในเม็ดยางได้ ทำให้การชะละลายเกิดขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งเม็ดยาง ดังนั้นการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะต่าง ๆ กัน คือ ในสภาวะที่เป็นก๊าซ ของเหลวและของไหลสภาวะวิกฤต จึงสามารถทำการชะละลายสารที่มีขั้วออกมาจากเม็ดยางธรรมชาติได้โดยในสภาวะที่เป็นของเหลวและของไหลสภาวะวิกฤตซึ่งมีความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์สูง ปริมาตรต่อโมเลกุลต่ำทำให้สามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่บนสายไอโซพรีนได้มาก เมื่อมีการลดความดันลงคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นของเหลวและของไหลสภาวะวิกฤต จะเข้าไปล้อมรอบกลุ่มโมเลกุลของสารที่มีขั้วและน้ำได้ใกล้กว่าในสภาวะที่เป็นก๊าซ และพากลุ่มโมเลกุลนี้ให้ไหลออกมาด้วย แต่ในสภาวะที่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาแน่นต่ำ ปริมาตรต่อโมเลกุลสูงทำให้สามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่บนสายไอโซพรีนได้น้อย เมื่อมีการลดความดันลงคาร์บอนไดออกไซด์จะฟุ่งออกมาอย่างรวดเร็ว และเข้าไปผลักโมเลกุลของสารที่มีขั้วที่มีน้ำล้อมรอบอยู่ให้หลุดออกมาด้วยกัน แต่เนื่องจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์มีขนาดเล็ก จึงไม่สามารถผลักกลุ่มโมเลกุลของโปรตีนและน้ำให้ออกมาได้หมดจึงเหลือค้างอยู่ภายในเม็ดยางมาก

จากสมมติฐานดังกล่าวสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ และการลดของปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางได้ในรูปสมการ ดังนี้

ให้

$$\left[\begin{array}{c}\text{ปริมาณโปรตีนหรือไนโตรเจน}\\ \text{ที่เหลืออยู่ในเนื้อยาง}\end{array}\right] \propto \left[\begin{array}{c}\text{ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์}\\ \text{แทรกตัวในเนื้อยาง}\end{array}\right]^{-1}$$

จากทฤษฎีการละลายของของแข็งในสารละลายเจือจางในหัวข้อ 2.4.2 เมื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของการชะละลายตามสมมติฐานที่ได้กำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการทดลอง กับ

สมการที่ (2.3) และ (2.4) ในทฤษฎีการละลาย จะได้ว่า

$$(\varepsilon_{max} - \varepsilon) \propto 1/Y$$

ดังนั้น

$$(\varepsilon_{max} - \varepsilon) = A/Y \qquad (4.1)$$

$$(\varepsilon_{max} - \varepsilon) = A/[E\ (P_s/P)] \qquad (4.2)$$

เมื่อ

ε = สัดส่วนของปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะออกมาต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ε_{max} = สัดส่วนของปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะออกมาสูงสุดต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

A, B, c_o = ค่าคงที่ต่าง ๆ

η = สัดส่วนน้ำหนักของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยาง

ให้เทอม $(V_s - 2B_{12})$ ในสมการ (2.4) ขึ้นกับช่องว่างภายในเนื้อยาง โดยเมื่อเนื้อยางโปร่ง (η มาก) การชะโปรตีนออกมาจะมาก แต่เมื่อเนื้อยางแน่น (η น้อย) การชะโปรตีนออกมาจะน้อย ซึ่งจะได้ว่า

$$(V_s - 2B_{12}) \propto \left[\begin{array}{c}\text{ช่องว่างภายในเนื้อยางหรือ} \\ \text{ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่แทรกตัวในเนื้อยาง}\end{array}\right]$$

หรือ

$$(V_s - 2B_{12}) \propto \eta$$

ดังนั้นจึงสมมติให้

$$(V_s - 2B_{12}) = B\eta + c_o \qquad (4.3)$$

$$\ln E = B\eta + c_o$$

$$E = e^{(B\eta + c_o)}$$

$$E = c_1 . e^{B\eta} \qquad (4.4)$$

ส่วนค่าความดันไอของของแข็งให้ขึ้นกับอุณหภูมิในการทดลอง

$$P_s \propto T$$

$$P_s = c_2 T_r \qquad (4.5)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ P_s = ความดันไอของของแข็ง

P_r = ความดันลดทอน , ไม่มีหน่วย

T_r = อุณหภูมิลดทอน , ไม่มีหน่วย

c_1, c_2 = ค่าคงที่ต่าง ๆ

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ (4.2) จะได้

$$(\varepsilon_{max} - \varepsilon) = A/[E\,(P_s/P)]$$

$$= A/[(c_1 . e^{B\eta})\,(P_s/P)]$$

$$= A/[(c_1 . e^{B\eta})\,(c_2\,T_r\,P_c/\,PP_c)]$$

$$= A/[(c_1 c_2/P_c)\,(T_r/P_r)\;e^{B\eta}]$$

$$= (A.P_c/c_1 c_2)\,(P_r/T_r)\,e^{-B\eta}$$

ให้ $D = (A.P_c/c_1 c_2)$ ดังนั้น

$$(\varepsilon_{max} - \varepsilon) = D\,(P_r/T_r) . e^{-B\eta} \qquad (4.6)$$

จากสมมติฐานการชะละลายโปรตีนออกจากเม็ดยางธรรมชาติด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้กำหนดไว้ข้างต้นซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ความดันลดทอน (P_r) อุณหภูมิลดทอน (T_r) สัดส่วนระหว่างน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยาง (η) และ สัดส่วนของปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะออกมาต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ε)

สมมติว่าการชะเอาโปรตีนออกจากเม็ดยางสามารถชะออกได้ทั้งหมด นั่นคือ

$$\varepsilon_{max} = 1.00$$

จะได้สมการในรูป

$$(1 - \varepsilon) = D\,(P_r/T_r) . e^{-B\eta} \qquad (4.7)$$

จัดรูปสมการแบบใหม่เพื่อหาค่าคงที่ต่าง ๆ ดังนี้

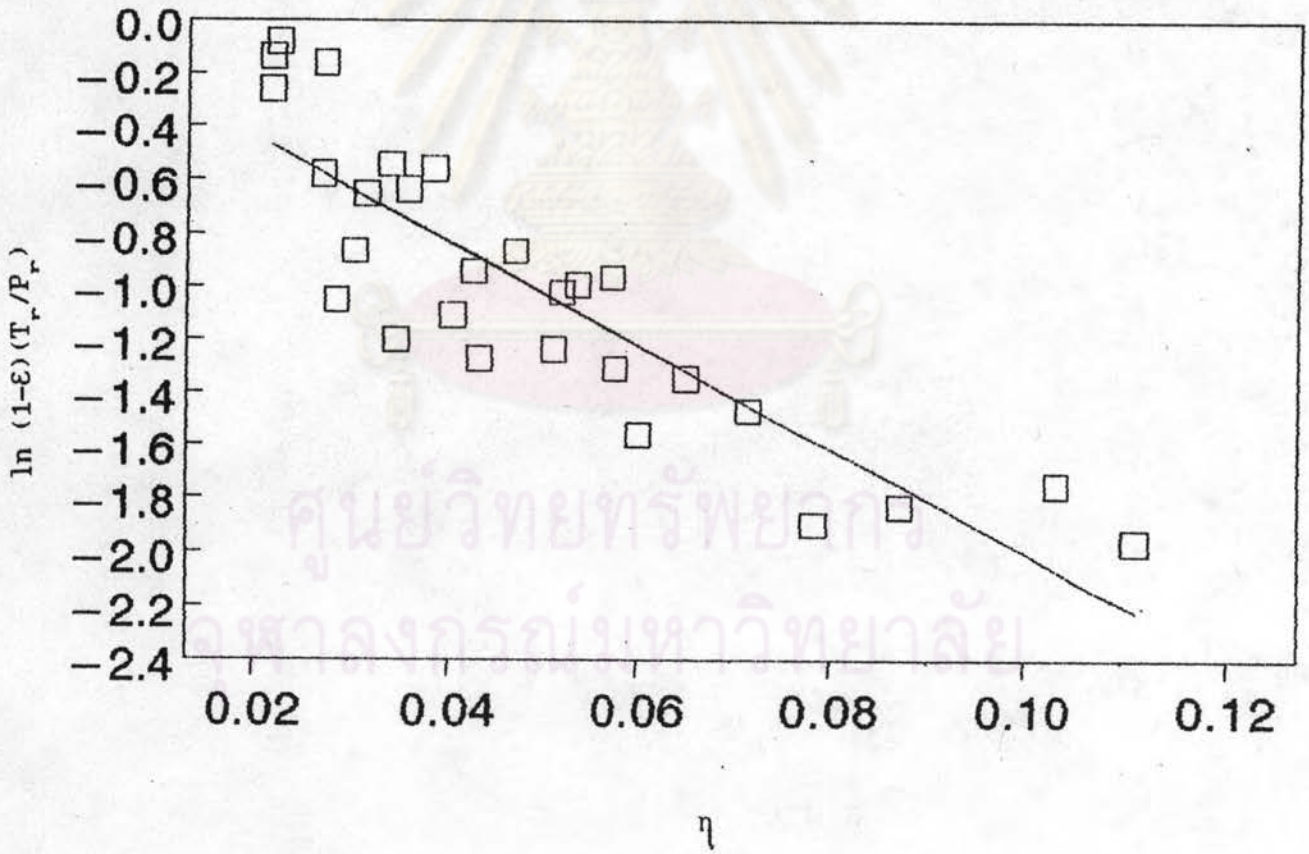
$$(1 - \varepsilon)(T_r/P_r) = D . e^{-B\eta} \qquad (4.8)$$

เมื่อนำข้อมูลการทดลองไปเขียนกราฟระหว่างค่า $\ln (1 - \varepsilon)(T_r/P_r)$ และ η ตามความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential, $y = a.e^{bx}$ หรือ $\ln y = \ln a + bx$) เพื่อหาค่าคงที่ต่าง ๆ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.3

จากกราฟจะได้จุดตัดที่ $\ln (1 - \varepsilon)(T_r/P_r)$ เท่ากับ -0.05286 ซึ่งให้ค่าคงที่ D ในสมการ เท่ากับ 0.95 และให้ค่าความชัน (slope) ของกราฟเท่ากับ -20 ดังนั้นค่าคงที่ B เท่ากับ 20 โดยที่ R-squared เท่ากับ 0.77

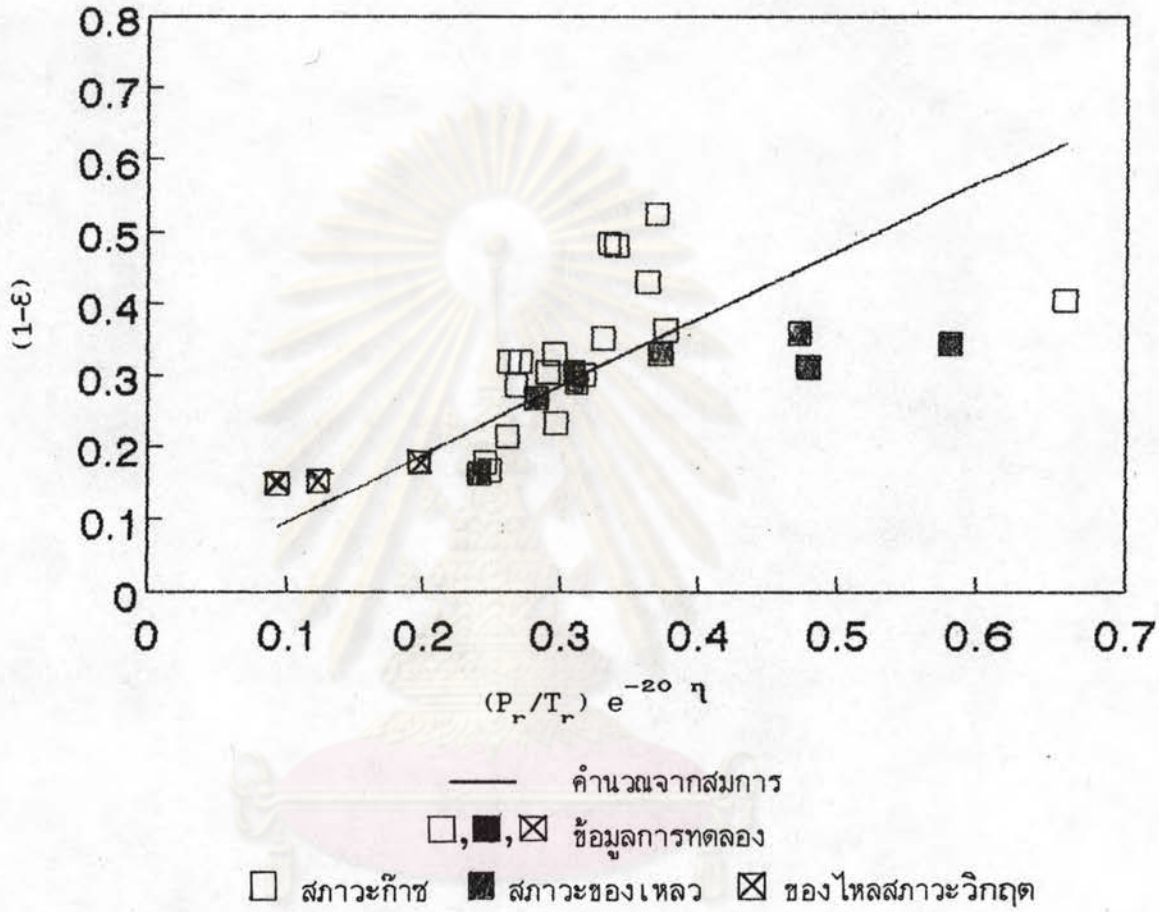
แทนค่าคงที่ต่าง ๆ ในสมการ (4.7) จะได้สมการ

$$\varepsilon = 1 - 0.95\,(P_r/T_r)\,.\,e^{-20\,\eta} \qquad (4.9)$$



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า $\ln (1 - \varepsilon)(T_r/P_r)$ และ η ในการหาสมการเส้นตรงในรูปแบบสมการเอ็กซ์โปเนนเชียล

จากสมการสมมติฐานที่ได้และข้อมูลการทดลองจริงสามารถนำมาเขียนกราฟในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(1 - \varepsilon)$ และ $(P_r/T_r) \cdot e^{-20\eta}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณและผลการทดลอง

จากกราฟ พบว่าสมมติฐานและความสัมพันธ์ที่กำหนดขึ้นนั้นให้แนวโน้มไปในทางเดียวกันกับผลการทดลองที่ได้ แสดงว่าสมมติฐานและความสัมพันธ์ที่กำหนดขึ้นนั้น ให้แนวโน้มไปในทางถูกต้องและมีความเป็นไปได้จริง ค่า error ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการวัดปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากเม็ดยางไม่เที่ยงตรงนัก มีก๊าซบางส่วนที่ไม่สามารถวัดปริมาตรได้

การสังเกตกราฟรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าข้อมูลการทดลองที่ได้มีการรวมกลุ่มและให้แนวโน้มความชันเป็น 2 กลุ่ม คือ ในช่วง η ต่ำ ๆ ซึ่งมักอยู่ในสถานะก๊าซจะให้ค่าความชันของกราฟสูงและที่ η สูง ๆ ซึ่งมักอยู่ในสถานะของเหลวและของไหลสภาวะวิกฤตจะให้ค่าความชันของกราฟต่ำ เป็นผลเนื่องจากกลไกในการชะโปรตีนออกจากเม็ดยางเกิดขึ้นต่างกันอธิบายได้ว่าเมื่อ η ต่ำ คาร์บอนไดออกไซด์ในเม็ดยางจะน้อย ยางจะบวมพองได้น้อยช่องว่างระหว่างสายไอโซพรีนจะเล็กทำให้โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และสารอื่น ๆ เช่น โปรตีน ฯลฯ แพร่เข้าออกได้ยาก เกิดการชะเอาโปรตีนออกได้น้อยกว่าเมื่อ η สูง ซึ่งยางจะบวมพองได้มากกว่าการที่ไม่ทำการหาค่าความชันของกลุ่มข้อมูลทั้งสอง เนื่องจากมีข้อผิดพลาดในการวัดปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

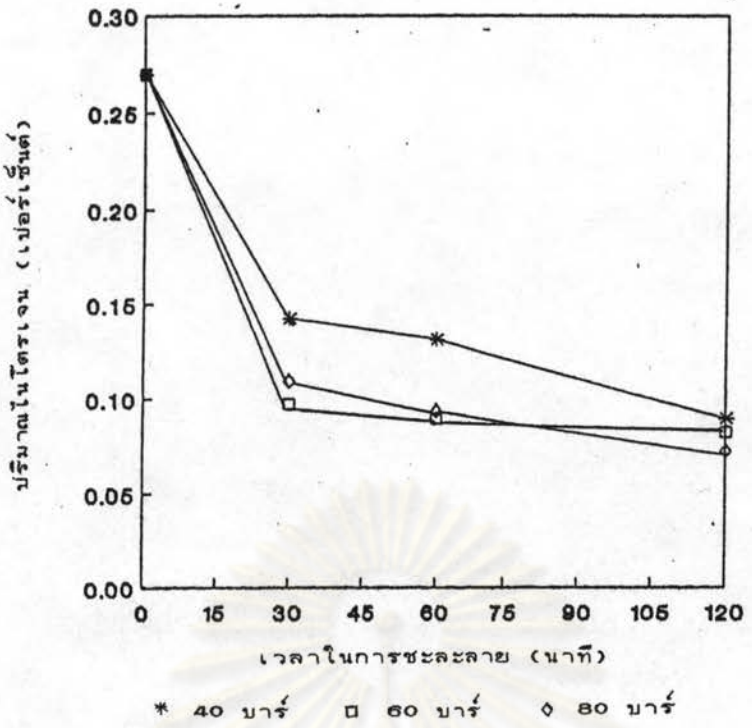
4.3 การศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อการลดปริมาณไนโตรเจนและการปรับปรุงสีของยาง

ในการศึกษาการชะละลายเม็ดยางธรรมชาติ พบว่า ค่าที่ได้รับความสนใจและสามารถตรวจวิเคราะห์ได้ง่าย คือ ปริมาณไนโตรเจนหรือโปรตีนในเม็ดยางและดัชนีสี (color index) ของยาง เมื่อทำการศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ และเวลาในการชะละลาย การทดลองใช้เม็ดยางน้ำหนักประมาณ 15 กรัม ผ่านคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เคมีควบคุมให้ได้ตามสภาวะที่กำหนดทิ้งไว้ให้เกิดการชะละลาย โดยกำหนดอุณหภูมิที่ 18, 28, 38 และ 48 องศาเซลเซียส จากนั้นแปรค่าความดันที่ 20, 40, 50, 60 และ 80 บาร์ ตามลำดับ เวลาในการชะละลายอยู่ในช่วง 15-120 นาที จากนั้นนำเม็ดยางไปทำการตรวจวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ที่ได้นำมาแสดงเปรียบเทียบกับตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังนี้

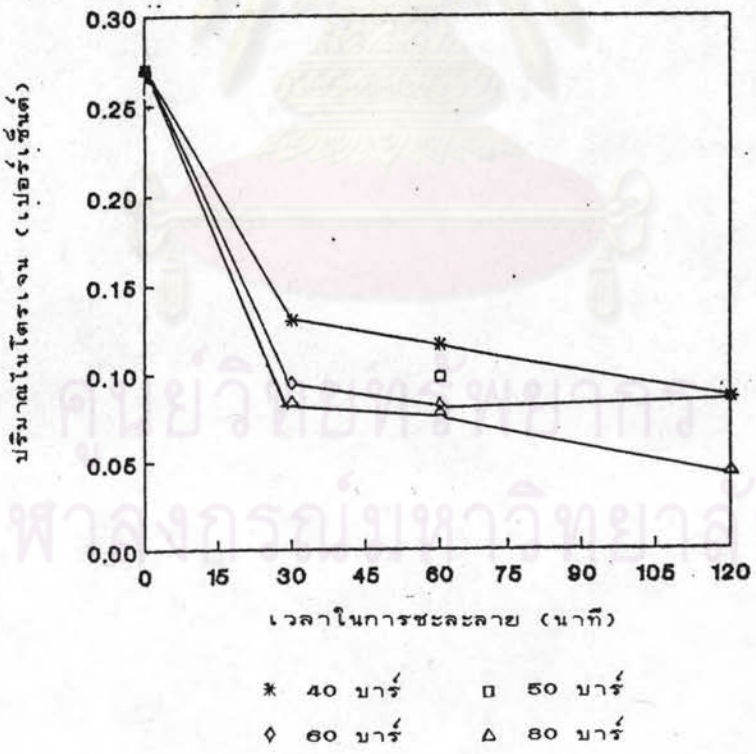
1) อิทธิพลของความดันต่อการลดลงของปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยาง

รูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางและเวลาในการชะละลาย ที่อุณหภูมิ 18, 28 และ 38 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยแปรค่าความดันที่ 40, 60 และ 80 บาร์ พบว่าปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางจะลดลงเล็กน้อยจนเกือบคงที่ แสดงว่าเกิดการชะเอาโปรตีนออกได้มากแล้วในช่วงเวลา 30 นาทีแรก

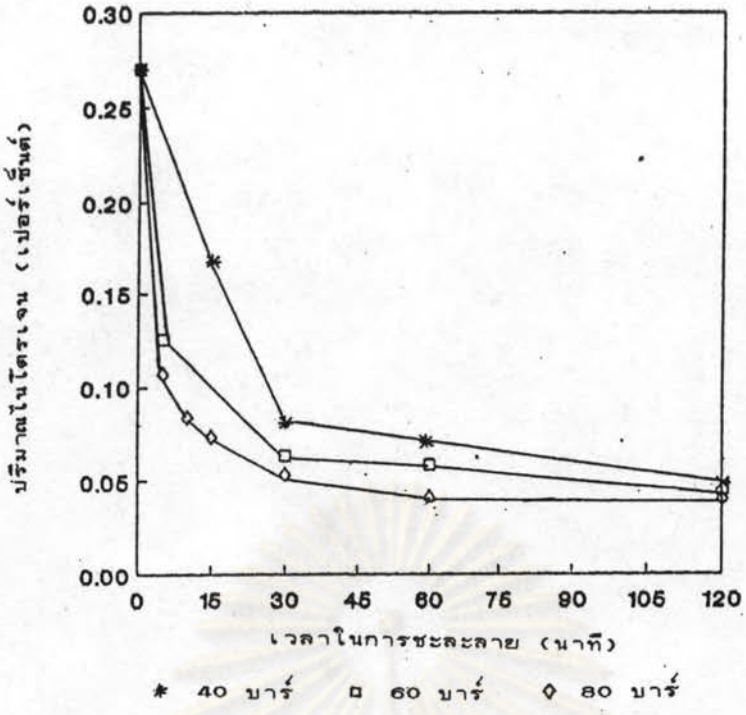
ในรูปที่ 4.5 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส พิจารณาที่เวลาในการชะละลาย 60 นาที พบว่าปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางลดลงจาก 0.27 เปอร์เซ็นต์เหลือ 0.131, 0.089 และ 0.093 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 40, 60 และ 80 บาร์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ความดัน 40 บาร์ ปริมาณไนโตรเจนจะลดลงประมาณ 51 เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณเริ่มต้นแต่จะลดลงได้น้อยกว่าที่ความดัน 60 และ 80 บาร์ ซึ่งลดได้ประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณเริ่มต้น ส่วนที่เวลาในการชะละลาย 120 นาที ปริมาณไนโตรเจนจะลดลงพอ ๆ กัน คือ จาก 0.27 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.08 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณเริ่มต้น



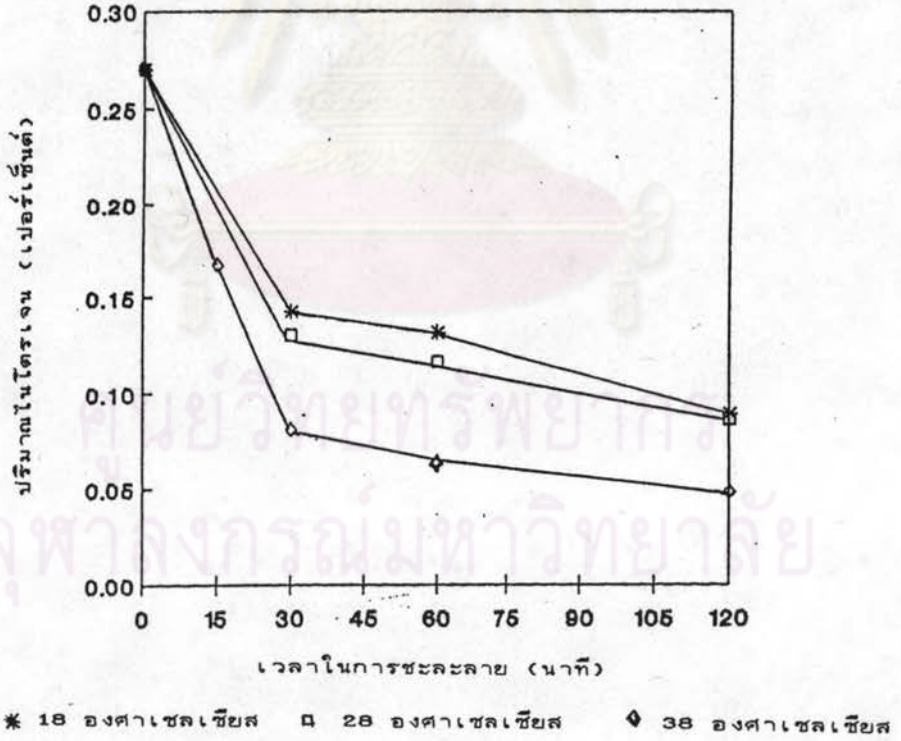
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางและเวลาในการชะละลาย ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ความดัน 40, 60 และ 80 บาร์



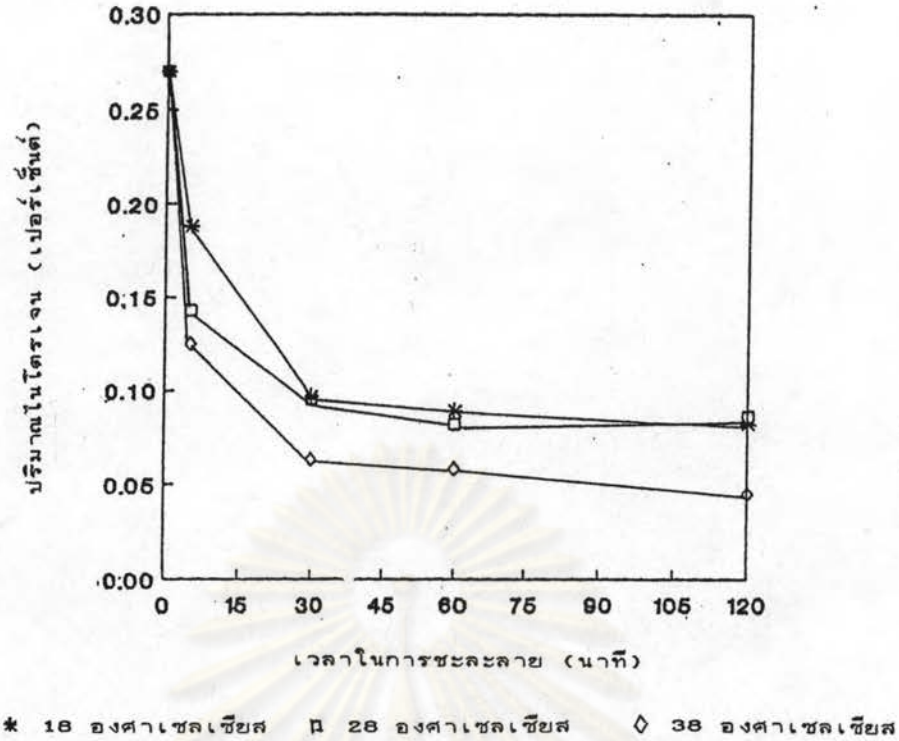
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางและเวลาในการชะละลาย ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความดัน 40, 50, 60 และ 80 บาร์



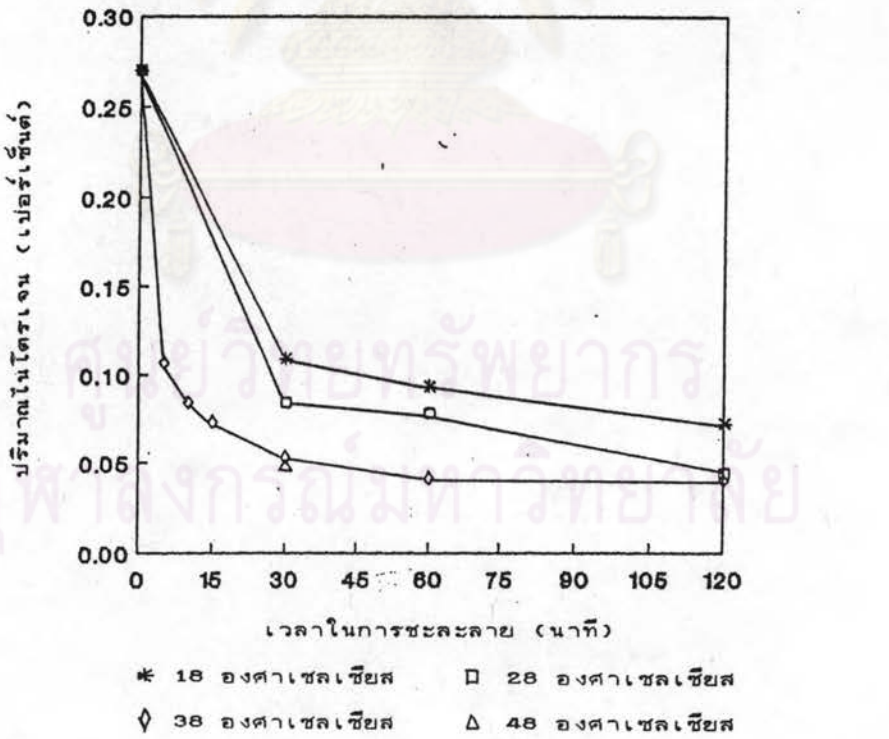
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางและเวลาในการชะละลาย ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความดัน 40, 60 และ 80 บาร์



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางและเวลาในการชะละลาย ที่ความดัน 40 บาร์ อุณหภูมิ 18, 28 และ 38 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางและเวลาในการชะละลาย ที่ความดัน 60 บาร์ อุณหภูมิ 18, 28 และ 38 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางและเวลาในการชะละลาย ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 18, 28, 38 และ 48 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.6 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส พิจารณาที่เวลาในการชะละลาย 60 นาที จะได้แนวโน้มเดียวกับที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส โดยปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางจะลดลงจาก 0.27 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.116, 0.082 และ 0.078 เปอร์เซ็นต์ หรือลดลงประมาณ 57, 70 และ 71 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณเริ่มต้น ที่ความดัน 40, 60 และ 80 บาร์ ตามลำดับ

รูปที่ 4.7 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ได้ทำการชะละลายเม็ดยางที่เวลาต่าง ๆ กันมากขึ้น พบว่าปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นของการชะละลาย พิจารณาที่เวลาในการชะละลาย 30 นาที พบว่าปริมาณไนโตรเจนจะลดลงจาก 0.27 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.081, 0.063 และ 0.048 เปอร์เซ็นต์ หรือลดลงประมาณ 70, 77 และ 82 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 40, 60 และ 80 บาร์ ตามลำดับ ที่เวลาในการชะละลาย 60 นาที จะได้แนวโน้มเช่นเดิมแต่ปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางจะลดลงจาก 0.27 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.077, 0.058 และ 0.041 เปอร์เซ็นต์ หรือลดลงประมาณ 71,79 และ 85 เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณเริ่มต้น ที่ความดัน 40, 60 และ 80 บาร์ ตามลำดับ ส่วนที่เวลาในการชะละลาย 120 นาที ปริมาณไนโตรเจนจะลดลงใกล้เคียงกัน คือ จาก 0.27 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.04 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 83 เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณเริ่มต้น จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความดัน 80 บาร์ ที่เวลาต่าง ๆ กัน จะลดปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางได้ใกล้เคียงกัน

ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงผลของความดันต่อการชะละลาย พบว่าเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณไนโตรเจนที่เหลือในเม็ดยางที่แต่ละอุณหภูมิคงที่จะลดลงมากขึ้นด้วย แสดงว่าการชะเอาโปรตีนออกเกิดได้ดีที่ความดันสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งใช้เป็นตัวชะเอาโปรตีนหรือไนโตรเจนออกจากเม็ดยาง จากรูปที่ 2.8 พบว่าเมื่อความดันสูงขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงขึ้นด้วย ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติในการชะละลายดีขึ้น คือเมื่อความหนาแน่นสูง ปริมาตรต่อมวลของคาร์บอนไดออกไซด์จะต่ำ โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์จะอยู่ใกล้กันมากขึ้นในปริมาตรที่เท่ากัน ดังนั้นโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าสู่เม็ดยางจะมากขึ้นด้วย ทำให้มีโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเข้าไปแทรกตัวอยู่บนสายยางไอโซพรีนได้มากขึ้นจึงสามารถไล่กลุ่มโมเลกุลของโปรตีนและน้ำให้หลุดออกมาได้มากขึ้นด้วย จากผลการทดลอง (ข้อมูลในตารางที่ ค.5 ภาคผนวก ค) ที่ความดัน 40 และ

60 บาร์ ช่วงอุณหภูมิ 18 ถึง 38 องศาเซลเซียส คาร์บอนไดออกไซด์จะมีความหนาแน่นต่ำ อยู่ในช่วง 0.0862-0.1902 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิในช่วงเดียวกัน ซึ่งเป็นช่วงที่ใกล้จุดวิกฤต ความหนาแน่นสูงอยู่ในช่วง 0.4180 ถึง 0.6700 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้การชะโปรตีนออกจากเม็ดยางโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะวิกฤตจะเกิดการชะได้ดี และมีปริมาณโปรตีนที่ชะได้สูงกว่าการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในสภาวะก๊าซหรือของเหลว

2) อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการลดลงของปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยาง

รูปที่ 4.8,4.9 และ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยาง และเวลาในการชะละลาย ที่ความดันคงที่ 40, 60 และ 80 บาร์ ตามลำดับ โดยแปรค่าอุณหภูมิที่ 18, 28 และ 38 องศาเซลเซียส พบว่า แนวโน้มและลักษณะกราฟที่ได้คล้ายกับรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 คือ ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อยางจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรกและปริมาณไนโตรเจนที่เหลือในเม็ดยางที่แต่ละความดันจะลดลงมากขึ้นด้วย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จากกราฟที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ทุกความดันคงที่จะสามารถลดปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางให้ต่ำลงได้มาก คือ ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณเริ่มต้น ซึ่งลดลงได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 18 และ 28 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.10 ได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส ความดัน 80 บาร์ เวลา 30 นาที ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.2344 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าปริมาณไนโตรเจนในเนื้อยางลดลงจาก 0.27 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.048 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.4180 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากรูปที่ 2.8 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ที่ความดันคงที่ ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงแต่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แสดงว่าที่สภาวะวิกฤตอุณหภูมิมีผลต่อการลดของปริมาณโปรตีนน้อยมาก จากกราฟสังเกตได้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะวิกฤต คือ ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 38 และ 48 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางได้สูงกว่าการชะโปรตีนออกจากเม็ดยางโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในสภาวะที่เป็นก๊าซหรือของเหลว

3) อิทธิพลของเวลาในการชะละลายต่อการลดลงของปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยาง

รูปที่ 4.5 ถึง 4.10 พบว่าปริมาณไนโตรเจนจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ต่อมาจะลดเพียงเล็กน้อยเกือบคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากการชะโปรตีนออกจากเม็ดยางขึ้นกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่แทรกตัวในเนื้อยางบนสายไอโซพรีน เมื่อพิจารณาถึงการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์จากข้อมูลจากตารางที่ ค.5 ภาคผนวก ค พบว่าการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่เม็ดยางจะสูงในช่วงเริ่มต้น คือในช่วง 0-30 นาที ซึ่งจะทำให้มีโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปแทรกตัวอยู่บนสายไอโซพรีนได้มาก ทำให้เกิดการไล่กลุ่มโมเลกุลโปรตีนและน้ำให้หลุดออกมาจากเม็ดยางได้มาก จากนั้นการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย เพราะว่าโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์จะอยู่ในเม็ดยางมากแล้ว ทำให้เกิดการกีดขวางการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์จากภายนอกเข้าสู่เม็ดยางซึ่งจะทำให้มีโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเข้าไปแทรกตัวอยู่บนสายไอโซพรีนไม่มากขึ้นกว่าในช่วง 30 นาที มากนัก ทำให้ผลการชะโปรตีนออกจากเนื้อยางใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการชะละลายจึงควรเลือกใช้เวลาในการชะละลายประมาณ 30 นาที ขึ้นกับความดันและอุณหภูมิที่ใช้ เนื่องจากถ้าใช้เวลานานเกินไปก็ไม่เกิดประโยชน์ต่อการลดปริมาณไนโตรเจนแต่อย่างใด จากผลการทดลองที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เวลาในการชะละลาย 30 นาที จากรูปที่ 4.9 จะสามารถดึงไนโตรเจนออกได้สูงถึง 82 เปอร์เซ็นต์

จากสมมติฐานที่ใช้อธิบายกลไกการชะละลายสารที่มีขั้วออกจากเม็ดยางธรรมชาติ ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลวตามหัวข้อ 4.2 จะเห็นว่าผลของการทดลองสนับสนุนสมมติฐานนั้นเนื่องจากโปรตีนในเม็ดยางเป็นสารที่มีขั้วและในเม็ดยางมีความชื้นอยู่ โปรตีนจึงละลายและจับตัวกับโมเลกุลของน้ำในเม็ดยาง เมื่อผ่านคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เคมี คาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่เข้าสู่เม็ดยางทำให้ยางเกิดการพองตัว ขยายใหญ่ขึ้น ลักษณะภายในของเนื้อยางเปลี่ยนไปมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลของยางกว้างมากขึ้น ทำให้โมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์และสารต่าง ๆ สามารถแพร่ผ่านเข้าออกได้ดี และโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์จะแทรกตัวเข้าไปเกาะล้อม รอบโมเลกุลของยางไอโซพรีนแล้วผลักโมเลกุลของน้ำที่จับตัวกับโปรตีนรวมทั้งสารจำพวกอื่น เช่น คาโรทีนอยด์ ฯลฯ ออกจากโมเลกุลของยาง จากนั้นจะถูกชะออกมาโดย

โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์สู่ภายนอกเม็ดยาง เมื่อมีการลดความดันลงคาร์บอนไดออกไซด์ไหลออกมาจากช่องว่างภายในเนื้อยางนั้น

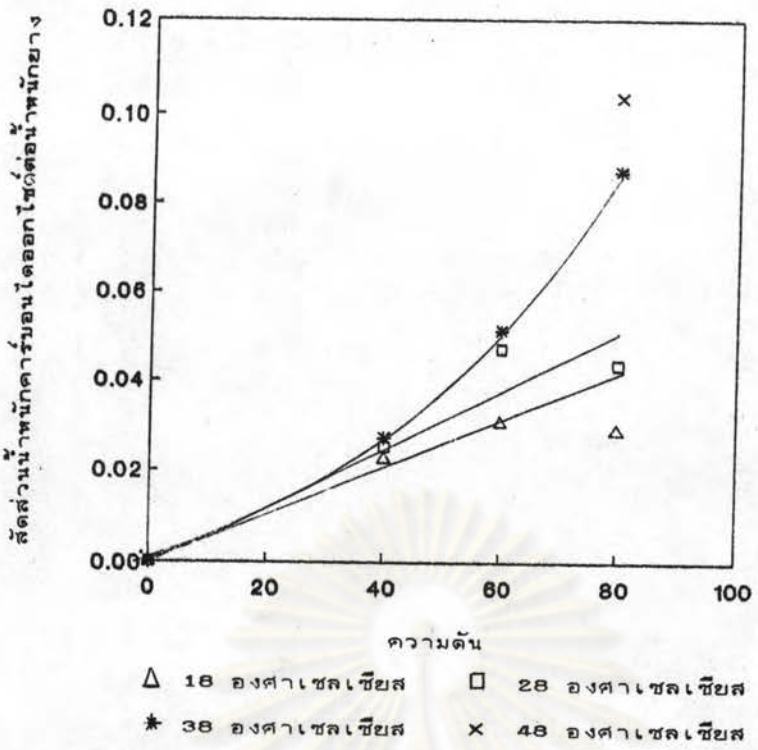
จากสมมติฐานดังกล่าวสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ เช่น สัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยาง ซึ่งคำนวณได้จากปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากเม็ดยางธรรมชาติ และสัดส่วนการพองตัวของเบดยางกับปริมาณไนโตรเจนในเนื้อยาง อุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการชะละลายในแต่ละการทดลองได้ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 ถึง 4.16

4) อิทธิพลของสัดส่วนของน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยางที่มีต่อการลดลงของปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยาง

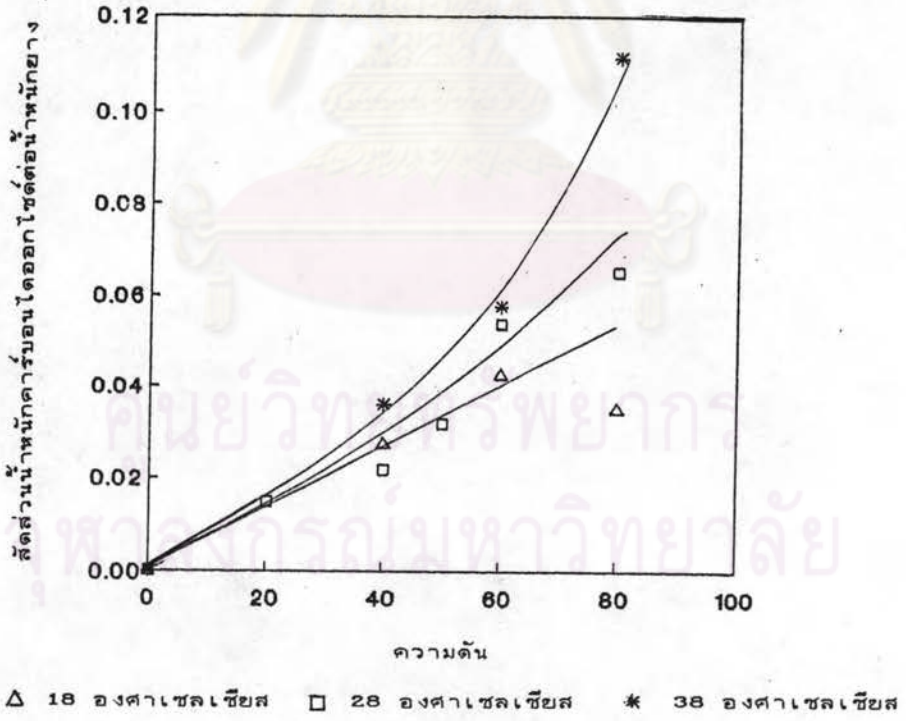
รูปที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยางและความดัน ที่เวลาในการชะละลาย 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ โดยแปรค่าอุณหภูมิที่ 18, 28 และ 38 องศาเซลเซียส

พบว่าที่ความดันต่ำกว่า 40 บาร์ อุณหภูมิมีผลน้อยมากต่อสัดส่วนของน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยาง ที่ความดัน 40 บาร์ สัดส่วนนี้จะอยู่ระหว่าง 0.02-0.04 และที่ความดันสูงกว่า 60 บาร์ อุณหภูมิและเวลาจะมีผลต่อสัดส่วนของน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยาง คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสัดส่วนนี้จะสูงขึ้นด้วย โดยที่ความดัน 60 บาร์ สัดส่วนนี้จะอยู่ระหว่าง 0.024-0.06 และที่ความดัน 80 บาร์ สัดส่วนนี้อยู่ระหว่าง 0.029-0.126 เมื่อเวลานานมากขึ้น อุณหภูมิจะมีผลต่อสัดส่วนนี้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ความดันต่ำ ยกเว้นเมื่อเข้าใกล้สภาวะวิกฤต เช่นที่อุณหภูมิ 38 และ 48 องศาเซลเซียส จะพบว่าสัดส่วนนี้จะมีค่าสูงกว่าที่สภาวะอื่น ๆ คือประมาณ 0.12 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกรัมยาง ทั้งนี้เพราะที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูงคาร์บอนไดออกไซด์สามารถแพร่เข้าไปในเม็ดยางได้มาก เมื่อเวลานานขึ้นสัดส่วนที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน คือประมาณ 0.06-0.08 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกรัมยาง

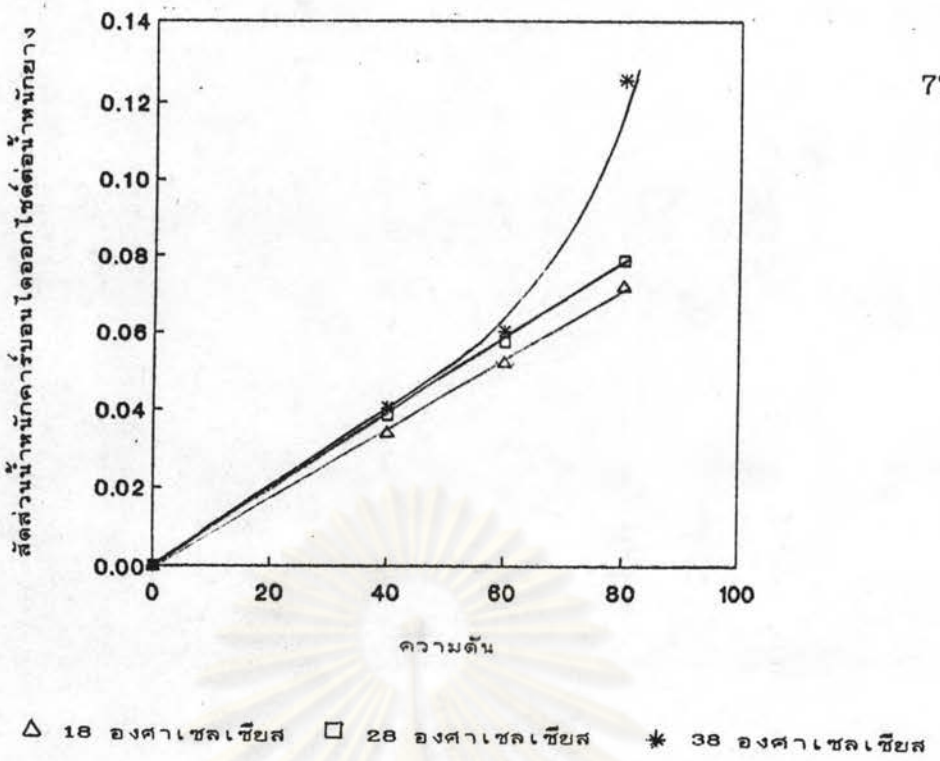
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยางและเวลาในการชะละลาย ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วงแรกคาร์บอนไดออกไซด์สามารถแพร่เข้าไปในเม็ดยางได้มาก เมื่อเวลามากขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์



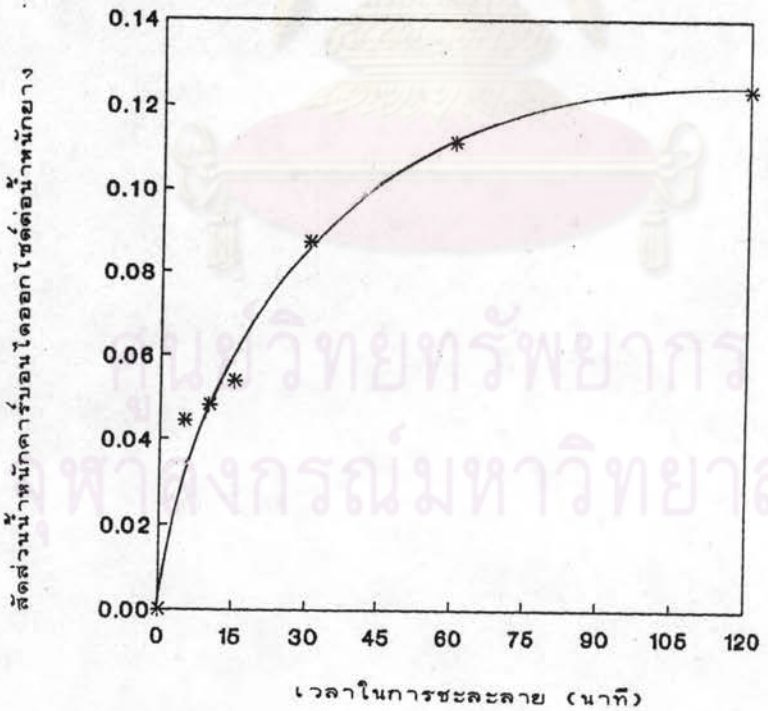
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยาง และความดันที่เวลาในการชะละลาย 30 นาที อุณหภูมิ 18,28,38 และ 48 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยางและความดันที่เวลาในการชะละลาย 60 นาที อุณหภูมิ 18,28 และ 38 องศาเซลเซียส



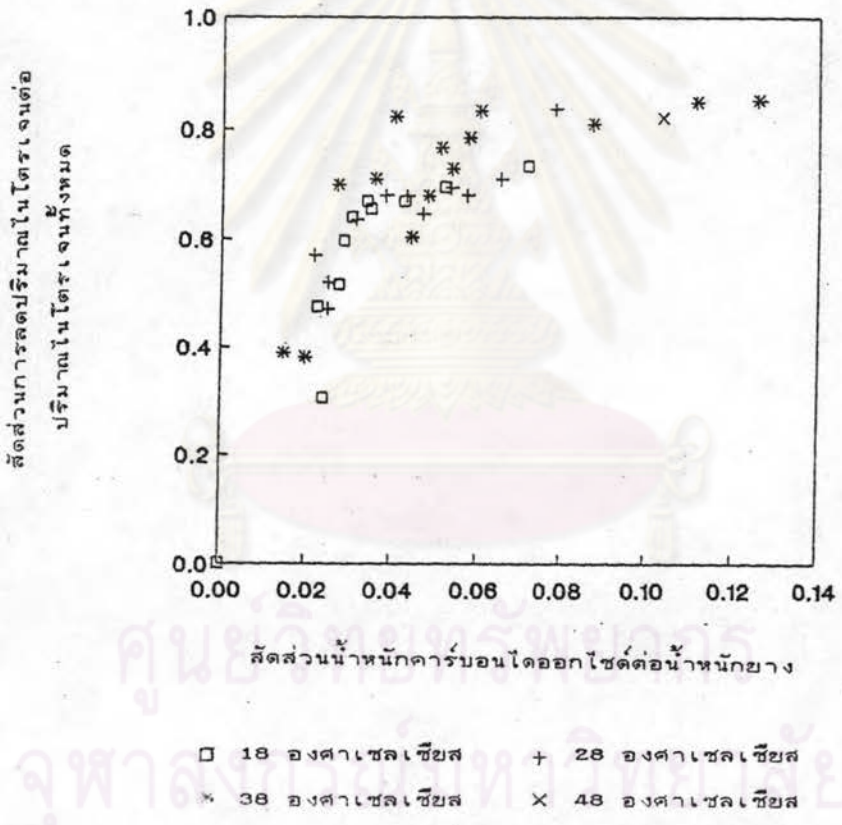
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยางและความดัน ที่เวลาในการชะละลาย 120 นาที อุณหภูมิ 18, 28 และ 38 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยางและเวลาในการชะละลาย ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส

จะแพร่เข้าไปในเม็ดยางได้น้อยลงตามลำดับ เนื่องมาจากการกีดขวางกันของโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าไปอยู่กันอย่างหนาแน่นก่อนแล้วในตอนต้น ซึ่งพบว่าถ้าสัดส่วนของน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยางสูง แสดงว่ามีคาร์บอนไดออกไซด์ไปจับตัวกับโมเลกุลของยางไอโซพรีนได้มากขึ้น ทำให้สามารถไล่โมเลกุลโปรตีนและน้ำออกได้มากขึ้นด้วย

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าที่สัดส่วนของน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ในเม็ดยางเป็น 0.08 เท่าของน้ำหนักยาง ปริมาณไนโตรเจนที่ชะออกได้จะมีค่าเกือบจะสูงสุดแล้ว แม้จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นก็จะลดไนโตรเจนได้อีกไม่มากนัก



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดของปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางและน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยาง

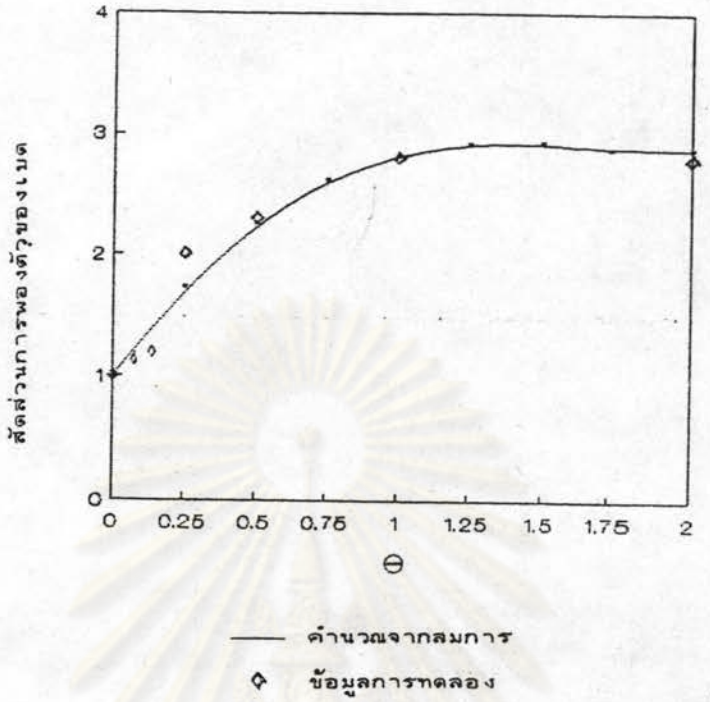
5) ผลของเวลาในการชะละลายต่อสัดส่วนการพองตัวของเบดของเม็ดยาง

รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการพองตัวของเบด และเวลาในการชะละลายที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส พบว่ายางจะพองตัวขึ้นช้าในช่วง 10 นาทีแรก และพองตัวรวดเร็วขึ้นในช่วง 10-30 นาที จากนั้นจะเริ่มคงที่และมีสัดส่วนการพองตัวอยู่ประมาณ 2.5-3.0 เท่า

อัตราการพองตัวของเบดในช่วง 10 นาทีแรก พบว่าเป็นไปอย่างช้า ๆ เนื่องจากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ภายในเม็ดยางเป็นศูนย์ แต่ที่ภายนอกของเม็ดยางมีค่าสูงกว่ามาก ๆ ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ แทรกตัวแพร่เข้าสู่เม็ดยางอย่างช้า ๆ ผ่านช่องว่างระหว่างสายโมเลกุลพอลิเมอร์ไอโซพรีนซึ่งเรียงตัวกันแน่นและไม่เป็นระเบียบ ในขั้นตอนนี้การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวแปรที่ควบคุมอัตราการพองตัวของยาง

ในช่วงเวลา 10-30 นาทีต่อมา พบว่าอัตราการพองตัวของเบดยางเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากภายในเม็ดยางยังมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์อยู่น้อย และคาร์บอนไดออกไซด์ที่แพร่เข้าสู่เม็ดยางจะไปเกาะกับสายโมเลกุลพอลิเมอร์ไอโซพรีน ทำให้สายโมเลกุลไอโซพรีนค่อย ๆ ยืดตัวออกเป็นสายตรงเกิดช่องว่างระหว่างสายโมเลกุลมากขึ้น ผิวของเม็ดยางมีช่องว่างกว้างมากขึ้นทำให้คาร์บอนไดออกไซด์แพร่และไหลเข้าสู่ภายในเม็ดยางอย่างรวดเร็ว

เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่าอัตราการพองตัวของเบดยางเริ่มคงที่ เนื่องจากภายในเม็ดยางมีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่เป็นปริมาณมาก และมีความเข้มข้นสูงใกล้เคียงกับที่ภายนอกเม็ดยางทำให้สายโมเลกุลพอลิเมอร์ไอโซพรีนยืดตัวออกเป็นสายตรง และมีโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์มาเกาะอยู่เป็นจำนวนมากก่อให้เกิดการกีดขวาง และการหน่วงการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่เม็ดยางให้ช้าลง อีกทั้งปริมาตรของเม็ดยางใหญ่ขึ้นเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์แพร่เข้าสู่เม็ดยางปริมาณหนึ่ง จะมีการขยายขนาดหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดยางเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากมีปริมาตรใหญ่กว่าในช่วงแรกมาก



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการพองตัวของเบด และสัดส่วนเวลา (Θ) ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส

กำหนดให้ Θ = สัดส่วนเวลา (ไม่มีหน่วย) = t / t_{max}

t = เวลาในการชะละลาย (นาที)

t_{max} = เวลาในการชะละลายที่เบดของเม็ดยางมีการพองตัวสูงสุด (นาที)

จากข้อมูลการทดลอง พบว่าเบดของเม็ดยางเริ่มพองตัวคงที่ที่เวลา 60 นาที

ดังนั้น t_{max} = 60 นาที

จากรูปที่ 4.16 สัดส่วนการพองตัวของเบดของเม็ดยาง (ϕ) สามารถแสดงได้ในรูปของสมการดังนี้ โดย

สัดส่วนการพองตัวของเบดของเม็ดยาง (ϕ) = ความสูงเบดสุดท้าย / ความสูงเบดเริ่มต้น

$$= 1 + 3.362\,\Theta - 1.839\,\Theta^2 + 0.304\,\Theta^3$$

6) อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อดัชนีสีของเม็ดยางธรรมชาติ

ตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงข้อมูลการเปรียบเทียบดัชนีสี (Color Index) ของยาง พบว่าเมื่อทำการชะละลายเม็ดยางโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวแล้ว จะทำให้เม็ดยางที่มีสีเหลืองนั้นจางลงและมีสีที่ขาวขึ้น ดัชนีสีลดลงจาก 2.0-2.5 เหลือ 1.0-1.5 หรือน้อยกว่านั้น ที่ความดัน 40 บาร์ อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ถ้าทำการชะละลายที่เวลา 30 นาที ดัชนีสีของยางจะลดลงเหลือ 2.0 แต่ถ้าทำการชะละลายที่เวลานานขึ้นดัชนีสีจะลดลงเหลือ 1.0-1.5 เมื่อใช้ความดันสูงขึ้นดัชนีสีจะลดลงเหลือ 1.5 และที่ความดัน 80 บาร์ จะลดลงเหลือประมาณ 1.0 ส่วนอุณหภูมิมีผลต่อดัชนีสีของยางเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อทำการชะละลายในคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลานาน 120 นาที สังเกตเห็นว่าเม็ดยางที่ได้จะเกิดการขยายตัวพองใหญ่มีลักษณะคล้ายกับโฟม สีขาวครีม ฉีกขาดได้ง่ายเมื่อดึง และถ้านำไปละลายในคาร์บอนเตตระคลอไรด์เพื่อนำไปอ่านค่าดัชนีสี เนื้อยางจะละลายได้ไม่หมดเหลือเป็นเจล (gel) ข่น นำไปส่องไฟจะทึบทำให้อ่านค่าดัชนีสีไม่ได้

เม็ดยางที่ผ่านการชะละลายแล้ว เมื่อทิ้งไว้นาน ๆ โดยไม่เก็บไว้ในที่ทึบแสง จะถูกออกซิไดซ์ด้วยแสงและออกซิเจน ทำให้ยางมีสีน้ำตาลคล้ำ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสารที่มีผลต่อสีเหลืองของยาง ได้แก่ คาโรทีนอยด์ (carotenoid) ในแบบของ β-carotene ซึ่งเป็นเทอร์ปีนโมเลกุลใหญ่ (higher terpenes or long polyisoprenoid molecules) ซึ่งสามารถถูกชะละลายออกมาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ตามทฤษฎีข้างต้น สำหรับสารที่มีผลต่อสีดำของยาง คือ สารโพลีฟีนอล (polyphenol) ซึ่งคาดว่าตกค้างอยู่ในเม็ดยาง ทำให้ถูกออกซิไดซ์โดยแสงและออกซิเจนทำให้เม็ดยางเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลถึงสีดำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลการเทียบดัชนีสีของยาง

ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาในการชะละลาย(นาที)	ดัชนีสีที่อ่านได้ (Color Index)
40	18	30	ชุ่น เหลือง
		60	2.0
		120	ทึบ ชุ่นขาว
	28	30	2.0
		60	2.0
		120	1.0
	38	30	1.5
		60	2.0
		120	ทึบ ชุ่นเหลือง
60	18	30	1.5-2.0
		60	1.5
		120	1.5
	28	30	1.5-2.0
		60	1.5
		120	1.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ต่อ)

ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาในการชะละลาย(นาที)	ดัชนีสีที่อ่านได้ (Color Index)
	38	30	ขาว ชุ่นมาก
		60	ขาว ชุ่นมาก
		120	1.5
80	18	30	1.5-2.0
		60	1.5
		120	1.5
	28	30	1.5
		60	1.0
		120	ขาว ชุ่นมาก
	38	30	1.0
		60	ทึบ ชุ่นเหลือง
		120	ทึบ ชุ่นเหลือง

<u>หมายเหตุ</u> : เม็ดยางเริ่มต้นมีดัชนีสี = 2.0-2.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7) การลดปริมาณไนโตรเจนในเม็ดยางเปรียบเทียบกับน้ำยางข้น

รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนภายหลังการชะละลายเมื่อใช้ยางเม็ด (รูปที่ 14.7ก) และน้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง(DRC)30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 14.7ข) เป็นวัตถุดิบในการชะละลาย โดยยางเม็ดจะทำการทดลองที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ส่วนน้ำยางข้นจะทำการทดลองที่ความดัน 80 บาร์ และอุณหภูมิ 38 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากการศึกษา พบว่าปริมาณไนโตรเจนในยางเม็ดเมื่อผ่าน การชะละลายแล้วจะลดลงจากเริ่มต้น 0.27 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงมากกว่าการใช้น้ำยางข้นเป็นวัตถุดิบ โดยมีกลไกในการชะละลายดังที่ได้กล่าวไปแล้วตอนต้น

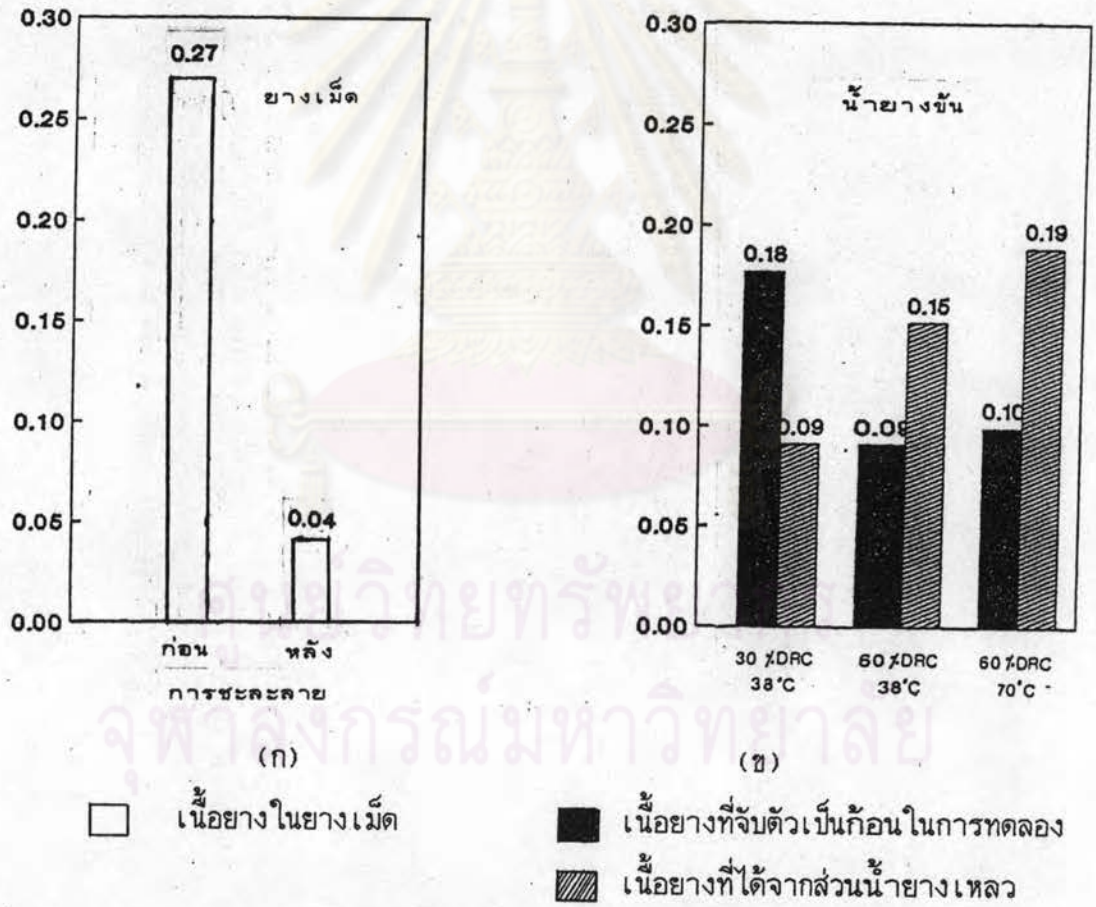
เมื่อทำการชะละลายโดยใช้น้ำยางข้นเป็นวัตถุดิบยางบางส่วนจะจับตัวเป็นก้อนติดกับใบพัดกวน และยางส่วนที่เหลือจะอยู่ในน้ำยางเหลวด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์เคมี นำยางทั้งสองส่วนไปทำการจับตัวเป็นก้อนด้วยกรด ล้างน้ำ นำมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน พบว่าเมื่อทำการชะละลายที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างกัน คือ 30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่พบในเนื้อยางที่จับตัวเป็นก้อนจากการใช้น้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 30 เปอร์เซ็นต์ จะสูงกว่าเนื้อยางที่ได้จากการใช้น้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์

ส่วนน้ำยางเหลวที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์เคมี เมื่อนำไปทำให้จับตัวเป็นก้อนด้วยกรด แล้วนำมาหาปริมาณไนโตรเจนเพื่อเปรียบเทียบ พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่พบน้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 30 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าเนื้อยางที่ได้จากการใช้น้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นวัตถุดิบ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายเข้าไปอยู่ในส่วนของน้ำมากกว่าที่จะไปจับกับเนื้อยาง ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ชะเอาโมเลกุลโปรตีนออกได้น้อย และจะเห็นได้ว่าเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายในน้ำได้มาก โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์จะไปจับกับโมเลกุลไอโซพรีนที่อยู่ในน้ำยางเหลว และไล่โปรตีนออกมาได้ทำให้เนื้อยางที่ได้จากส่วนที่เป็นน้ำยางเหลวมีปริมาณไนโตรเจนลดลงมากกว่าด้วย

เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้น้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งเท่ากัน คือ 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ทำการทดลองที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 38 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณ

ไนโตรเจนที่พบในเนื้อยางที่จับตัวเป็นก้อนจากการทดลองในตอนแรก ที่อุณหภูมิต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณไนโตรเจนที่พบในเนื้อยางที่ได้จากน้ำยางเหลวในการทดลอง ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสจะมีปริมาณต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิในการชะละลายมีผลต่อการลดของปริมาณไนโตรเจนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ในส่วนของน้ำยางเหลวนั้นเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในน้ำได้น้อยลงทำให้มีโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปไล่โปรตีนน้อยลง ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อยางที่ได้จึงมีปริมาณสูง

ดังนั้นจึงเห็นว่าการชะละลายเม็ดยางธรรมชาติด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเพื่อลดปริมาณไนโตรเจนในเนื้อยางลงนั้นเหมาะที่จะใช้เม็ดยางเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากมีปริมาณน้ำน้อย คาร์บอนไดออกไซด์สามารถเข้าไปไล่โมเลกุลโปรตีนออกจากเนื้อยางได้มาก



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนหลังการชะละลายเมื่อใช้ (ก) ยางเม็ด และ (ข) น้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นวัตถุดิบ ที่ความดัน 80 บาร์ อุณหภูมิ 38 และ 70 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย