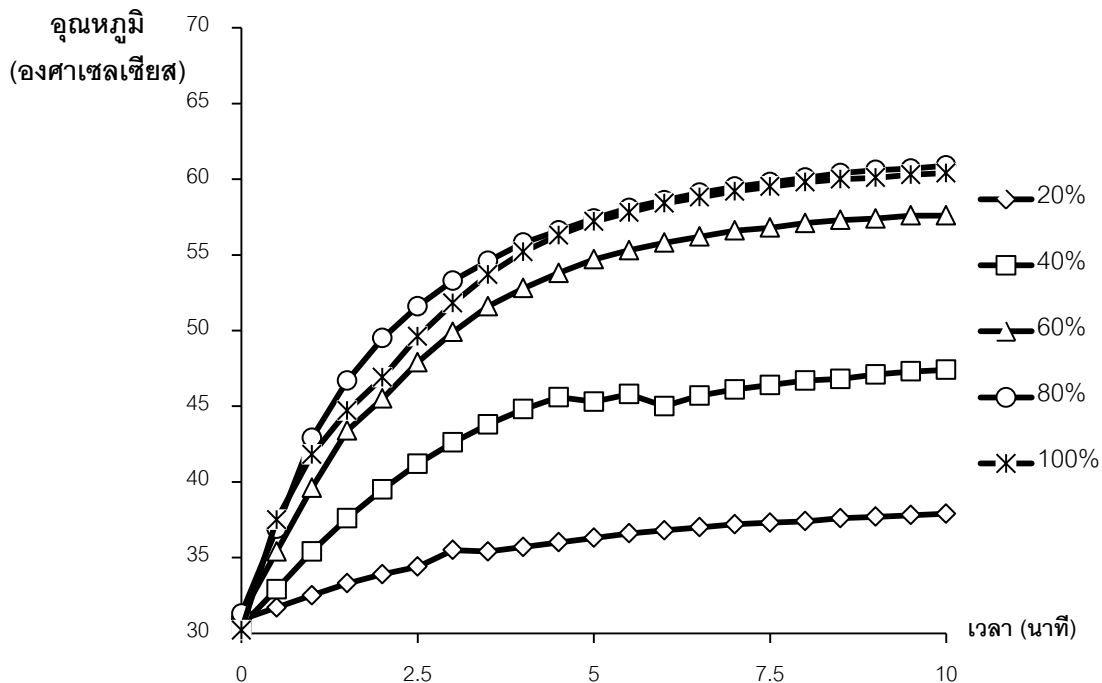


บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของระดับแอมพลิจูดต่อพลังงานที่ตัวอย่างได้รับ

จากการศึกษาพลังงานของคลื่นอัลตราซาวด์ที่ระดับแอมพลิจูดร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับแอมพลิจูดมีผลต่อพลังงานที่กระทำต่อตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำภายในปีกเกอร์ เมื่อตั้งค่าระดับแอมพลิจูดต่างๆ การคำนวณพลังงานที่ตัวอย่างได้รับสามารถหาได้จากสมการ (1) (Gibson และคณะ, 2009)

$$P = mC_p (dT / dt)_0 \quad (1)$$

P = พลังงาน (J)

M = มวลของน้ำ

C_p = heat capacity (4.184 J/g/°C)

$(dT/dt)_0$ = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นระหว่าง 30 วินาทีแรก

เมื่อแทนค่าลงในสมการ (1) พบว่า ที่ระดับแอมพลิจูดร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 นั้นเครื่องอัลตราซาวด์ที่ใช้ในการทดลองให้พลังงานแก่ตัวอย่างเท่ากับ 334.96, 1004.16, 1757.28, 2343.04 และ

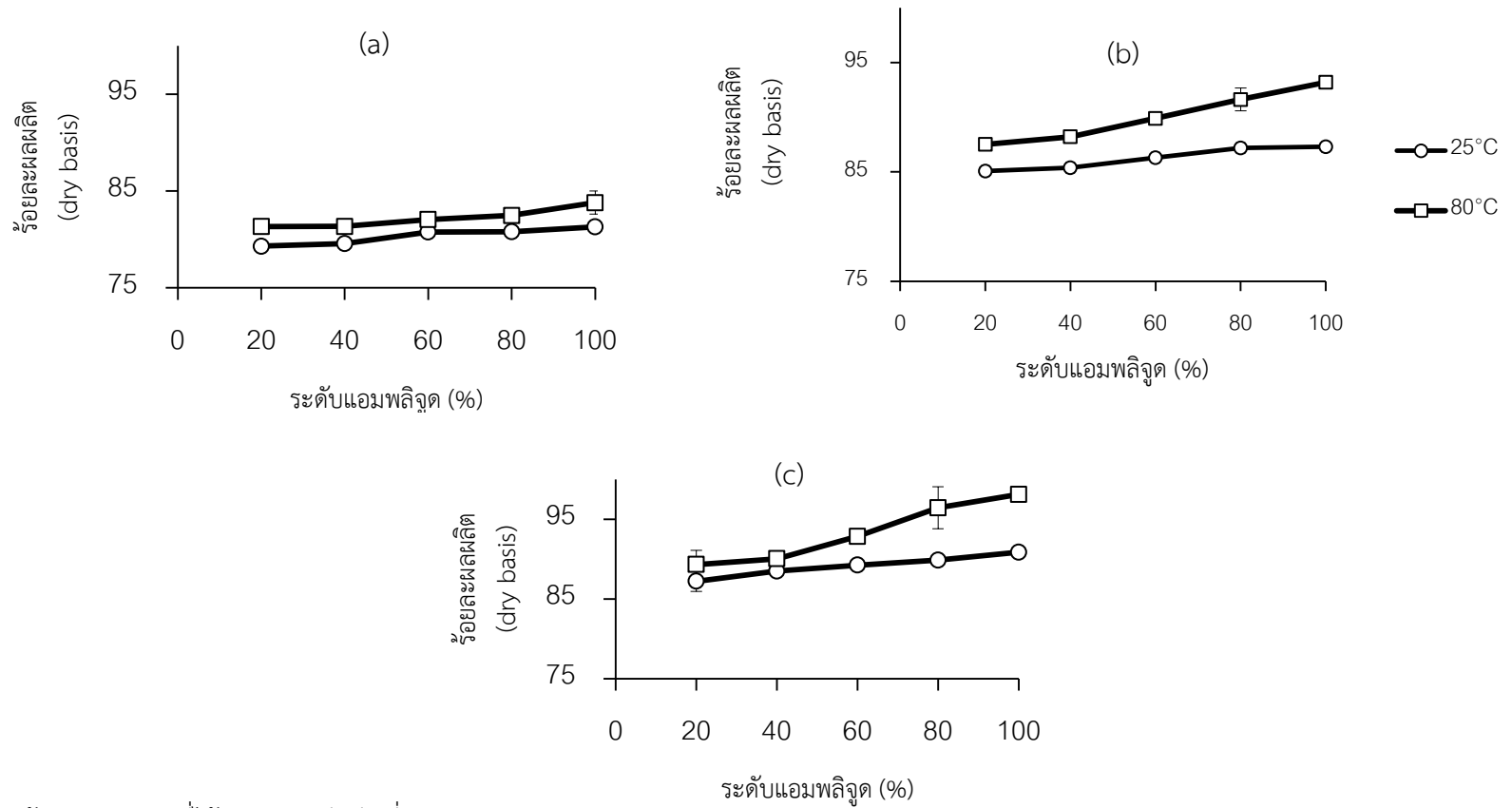
3054.32 จูล ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระดับแอมพลิจูดของเครื่องอัลตราซาวด์โพรบเป็นการทำให้พลังงานที่กระทำต่อตัวอย่างนั้นเพิ่มสูงขึ้น

4.2 ผลของการพรีทรีตด้วยอัลตราซาวด์

การทดลองนี้ใช้การพรีทรีตด้วยอัลตราซาวด์ร่วมกับการสกัดด้วยน้ำร้อน โดยมีปัจจัยในการศึกษาการพรีทรีตด้วยอัลตราซาวด์จำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ ระดับแอมพลิจูด เวลา และอุณหภูมิ ระดับของแอมพลิจูดมีการแปรค่า 5 ระดับคือร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 เวลาที่ใช้มี 3 ระดับคือ 1, 5 และ 10 นาที และอุณหภูมิมี 2 ระดับคือ 25 และ 80 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นไปสกัดต่อในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.2.1 ร้อยละของผลผลิต

เมื่อนำของเหลวที่ได้จากการพรีทรีตด้วยอัลตราซาวด์มาวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของผลผลิต แล้วนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ เวลา และระดับของแอมพลิจูดในการพรีทรีตพบว่า การสกัดด้วยน้ำร้อนเพียงขั้นตอนเดียว (ไม่ผ่านขั้นตอนการพรีทรีตเมนต์ด้วยอัลตราซาวด์) ให้ปริมาณร้อยละผลผลิตต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 78.05 แต่เมื่อเปรียบเทียบการสกัดด้วยน้ำร้อนเพียงขั้นตอนเดียวกับการใช้อัลตราซาวด์ในการพรีทรีตก่อนที่นำไปสกัดด้วยน้ำร้อนพบว่า ปริมาณร้อยละผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการวิเคราะห์ผลการพรีทรีตแก่นตะวันด้วยอัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิและระดับแอมพลิจูดต่างกัน ร่วมกับการสกัดด้วยน้ำร้อน พบว่า การพรีทรีตที่ระดับแอมพลิจูดร้อยละ 20-100 เป็นเวลา 1, 5 และ 10 นาที ให้ปริมาณร้อยละผลผลิต 79-81, 85-93 และ 87-98 ตามลำดับ เมื่อนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาปัจจัยของเวลาและระดับแอมพลิจูดที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลผลิตที่การพรีทรีตที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาผลของแอมพลิจูดพบว่า ระดับแอมพลิจูดที่ต่างกันให้ปริมาณร้อยละผลผลิตแตกต่างกัน โดยที่ระดับแอมพลิจูดร้อยละ 80 และ 100 ให้ปริมาณร้อยละผลผลิตที่สูงกว่าระดับแอมพลิจูดอื่นๆ รองลงมาคือแอมพลิจูดร้อยละ 60, 40 และ 20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของเวลาในการพรีทรีตก็ให้ผลในลักษณะเดียวกันคือ เวลาที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลผลิต โดยปริมาณร้อยละผลผลิตมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการพรีทรีตเพิ่มขึ้น



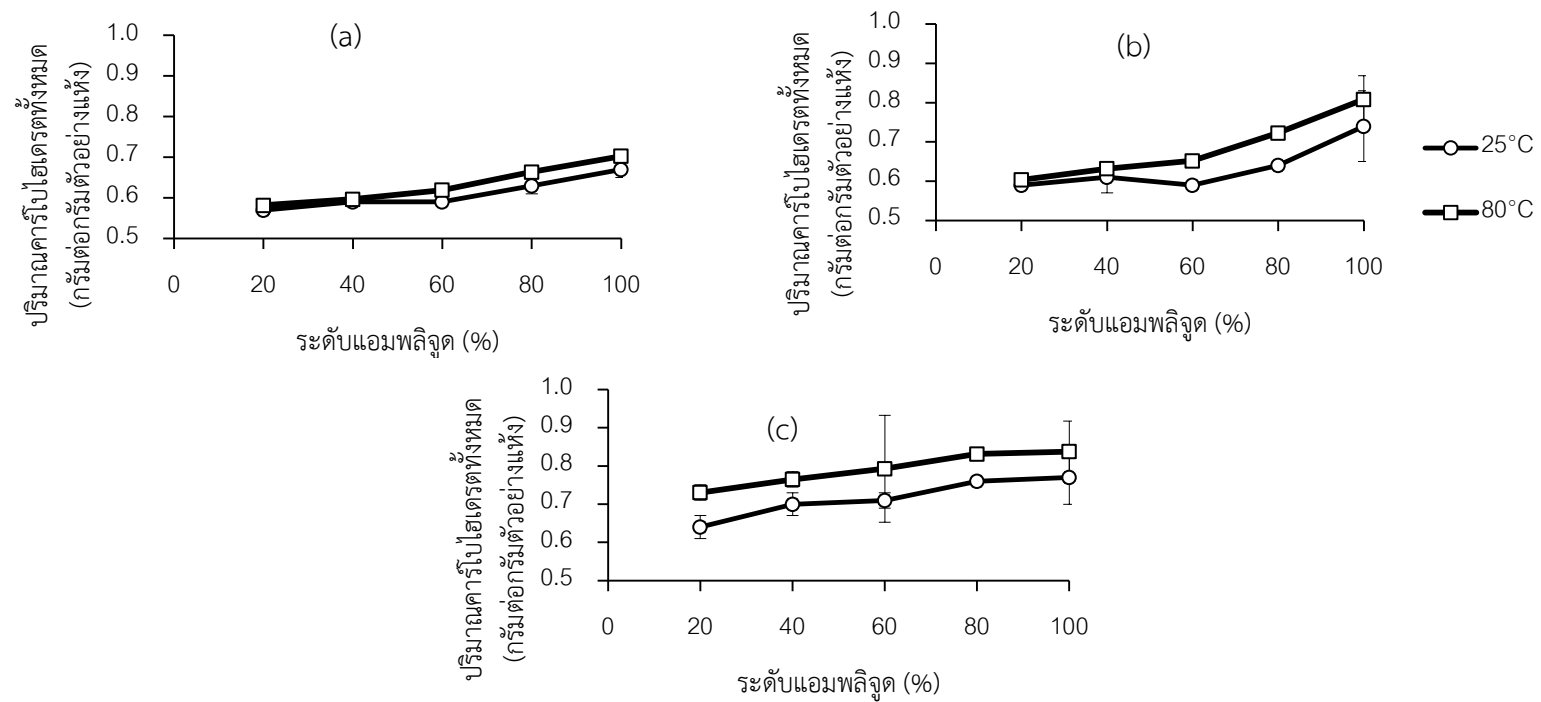
ภาพที่ 6 ร้อยละผลผลิตที่ได้จากการพรีรีทที่ระดับแอมพลิจูดและ อุณหภูมิต่างๆ โดยเวลาในการพรีรีท (a) 1 นาที (b) 5 นาที (c) 10 นาที

แม้ว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะแสดงให้เห็นว่า การสกัดด้วยน้ำร้อนเพียงขั้นตอนเดียว กับการใช้อัลตราซาวด์ในการพรีทรีทให้ปริมาณร้อยละผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มปริมาณร้อยละผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเมื่อระดับแอมพลิจูด อุณหภูมิและเวลาในการพรีทรีทเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sharma และ Gupta (2006) ที่พบว่า เมื่อมีการใช้อัลตราซาวด์เป็นเวลา 2-15 นาที ร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดอัลมอนด์และแอปเปิลคอต ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น การใช้อัลตราซาวด์เป็นเวลา 15 นาที ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำมันได้ถึงร้อยละ 19 และ 22 ตามลำดับ สำหรับการใช้อัลตราซาวด์เป็นเวลาสั้นๆ เพียง 2 นาที ก็ทำให้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน เนื่องจากการพรีทรีทด้วยอัลตราซาวด์ทำให้ผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อพืชถูกทำลาย โครงสร้างเกิดลักษณะเป็นรูพรุน ตัวทำละลายจึงสามารถแพร่ผ่านเข้าออกผนังเซลล์ได้ง่ายและชะสารสกัดที่สามารถละลายน้ำออกมาได้มากขึ้น โดยปริมาณร้อยละผลผลิตสูงสุดคือที่ระดับแอมพลิจูดร้อยละ 100 เวลาในการพรีทรีท 10 นาที ซึ่งการใช้ระดับแอมพลิจูดสูงในการพรีทรีทเป็นการทำให้เกิดลักษณะการกวนอย่างรุนแรง ผนังเซลล์จึงถูกทำลายมากขึ้น

สาเหตุของการที่การสกัดด้วยน้ำร้อนเพียงขั้นตอนเดียวกับการใช้อัลตราซาวด์ในการพรีทรีทให้ปริมาณร้อยละผลผลิตไม่แตกต่างกันอาจเกิดเนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการสกัดด้วยน้ำร้อนในการศึกษานี้มีประสิทธิภาพสูงเพียงพอสำหรับการสกัดสารที่สามารถละลายได้จากหัวแค้นตะวันอยู่แล้ว การพรีทรีทจึงไม่ส่งผลดีต่อร้อยละผลผลิต การสกัดอินนูลินโดยทั่วไปนิยมใช้น้ำร้อนอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดอยู่ระหว่าง 60 และ 85 องศาเซลเซียส บางครั้งก็สูงถึง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาทีถึง 1 ชั่วโมง (Berghofer และคณะ, 1993)

4.2.2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

ภาพที่ 7 แสดงให้เห็นผลของการพรีทรีทแต่ละสภาวะต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า การสกัดด้วยน้ำร้อนเพียงขั้นตอนเดียวให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดต่ำสุดเท่ากับ 0.533 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวที่ผ่านการพรีทรีทด้วยอัลตราซาวด์พบว่า การพรีทรีทมีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการวิเคราะห์ผลการพรีทรีทแค้นตะวันด้วยอัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิและระดับแอมพลิจูดต่างกันร่วมกับการสกัดด้วยน้ำร้อน พบว่าการพรีทรีทที่ระดับแอมพลิจูดร้อยละ 20-100 เป็นเวลา 1, 5 และ 10 นาที ให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.5-0.7, 0.5-0.8 และ 0.6-0.8 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดสามารถใช้บ่งบอกถึงปริมาณอินนูลินได้โดยการหกลบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Lingyun และคณะ, 2007) ซึ่งพบในปริมาณต่ำประมาณ 0.05 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งจะได้แสดงผลการทดลองใน 4.2.3 ต่อไป ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าปริมาณผลผลิตอินนูลินอยู่ในช่วงร้อยละ 50 สำหรับการสกัดด้วยน้ำร้อน และร้อยละ 45-75 สำหรับการพรีทรีทด้วยอัลตราซาวด์ Lingyun และคณะ (2007) รายงานร้อยละผลผลิตอินนูลินสูงสุดจากหัวแค้นตะวันที่ 83.6% ด้วยการสกัดด้วยน้ำร้อนที่ 76.65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที

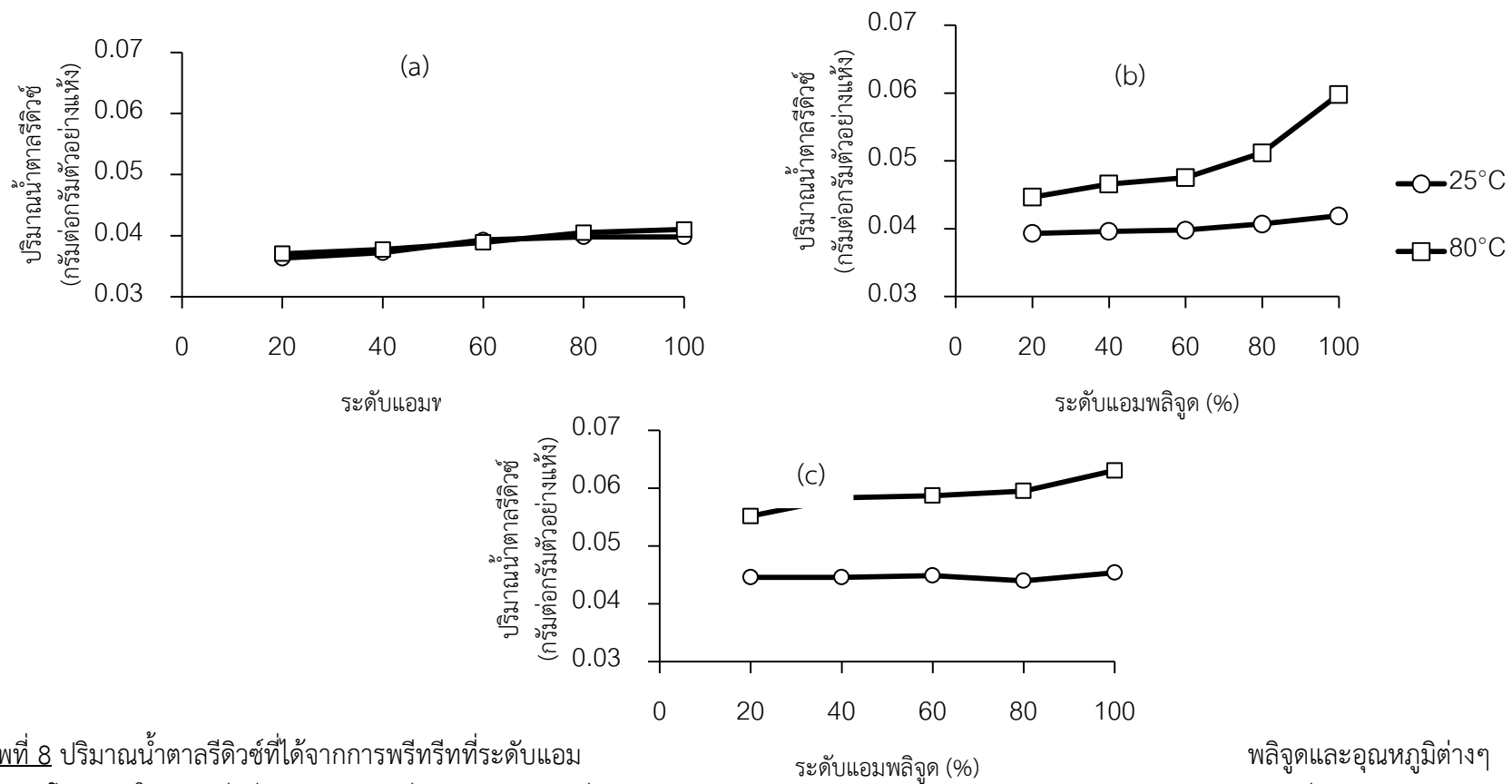


ภาพที่ 7 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่ได้จากการพรีทรีทที่ระดับแอมพลิจูดและอุณหภูมิต่างๆ โดยเวลาในการพรีทรีท (a) 1 นาที (b) 5 นาที (c) 10 นาที

การพรีทรีทที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แอมพลิจูดและเวลาที่มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในการพรีทรีทที่ระดับแอมพลิจูดร้อยละ 20, 40 และ 60 ให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มระดับแอมพลิจูดให้สูงขึ้นเป็นร้อยละ 80 และ 100 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ เช่นเดียวกับอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการพรีทรีท ซึ่งการพรีทรีทเพียง 1 และ 5 นาที ให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการพรีทรีทให้นานขึ้นเป็น 10 นาที ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับแอมพลิจูดและเวลาที่ใช้ในการพรีทรีทสูงขึ้น เมื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดคืออุณหภูมิ กล่าวคือปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุณหภูมิของการพรีทรีทเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลของเวลาในการพรีทรีทพบว่า การเพิ่มเวลาในการพรีทรีททำให้แนวโน้มปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดสูงขึ้น ซึ่งสภาวะการทดลองที่ให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากที่สุดคือ การพรีทรีทที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระดับของแอมพลิจูดร้อยละ 100 เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งมีค่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเท่ากับ 0.838 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wang และคณะ (2011) ที่ศึกษาผลของเวลาของการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ต่อสารสกัดจากรากชิคอร์ียพบว่า การเพิ่มเวลาในการสกัดด้วยอัลตราซาวด์จะทำให้สารสกัดจากรากชิคอร์ียมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มระยะเวลาทำให้โพลีแซคคาไรด์เกิดการสลายตัวได้มากขึ้น อีกทั้งการที่คลื่นอัลตราซาวด์เกิดปรากฏการณ์ควิเท็นซ์ที่นานขึ้นส่งผลให้เกิดการทำลายของผนังเซลล์และเกิดการถ่ายเทมวลมากขึ้น

4.2.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

เมื่อนำของเหลวที่ได้จากการพรีทรีทด้วยอัลตราซาวด์มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แล้วนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในการพรีทรีท เวลา และระดับแอมพลิจูด โดยการสกัดด้วยน้ำร้อนเพียงอย่างเดียวให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพียง 0.035 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวที่ผ่านการพรีทรีทด้วยอัลตราซาวด์พบว่า การพรีทรีทมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการวิเคราะห์ผลการพรีทรีทแก่นตะวันด้วยอัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิและระดับแอมพลิจูดต่างกันร่วมกับการสกัดด้วยน้ำร้อน พบว่า การพรีทรีทที่ระดับแอมพลิจูดร้อยละ 20-100 เป็นเวลา 1, 5 และ 10 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ในช่วง 0.03-0.04, 0.03-0.06 และ 0.04-0.06 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า ของเหลวที่ได้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ค่อนข้างน้อยมากจึงไม่วิเคราะห์ผลทางสถิติ แต่จากภาพที่ 8 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มผลการทดลองของการพรีทรีทในแต่ละแอมพลิจูดที่อุณหภูมิ 25 และ 80 องศาเซลเซียส เวลาในการพรีทรีทต่างๆ พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อย่างเห็นได้ชัดที่เวลาในการพรีทรีท 5 และ 10 นาที แต่การพรีทรีทเพียง 1 นาที ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเวลาในการพรีทรีทอาจน้อยเกินไป ในการพรีทรีทที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การใช้ระดับแอมพลิจูดและเวลาในการพรีทรีทที่สูงขึ้น จะทำให้สารสกัดมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เช่นเดียวกับการพรีทรีทที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ให้ผลการทดลองในแนวโน้มลักษณะเดียวกัน



ภาพที่ 8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการพรีทรีทที่ระดับแอม
โดยเวลาในการพรีทรีท (a) 1 นาที (b) 5 นาที (c) 10

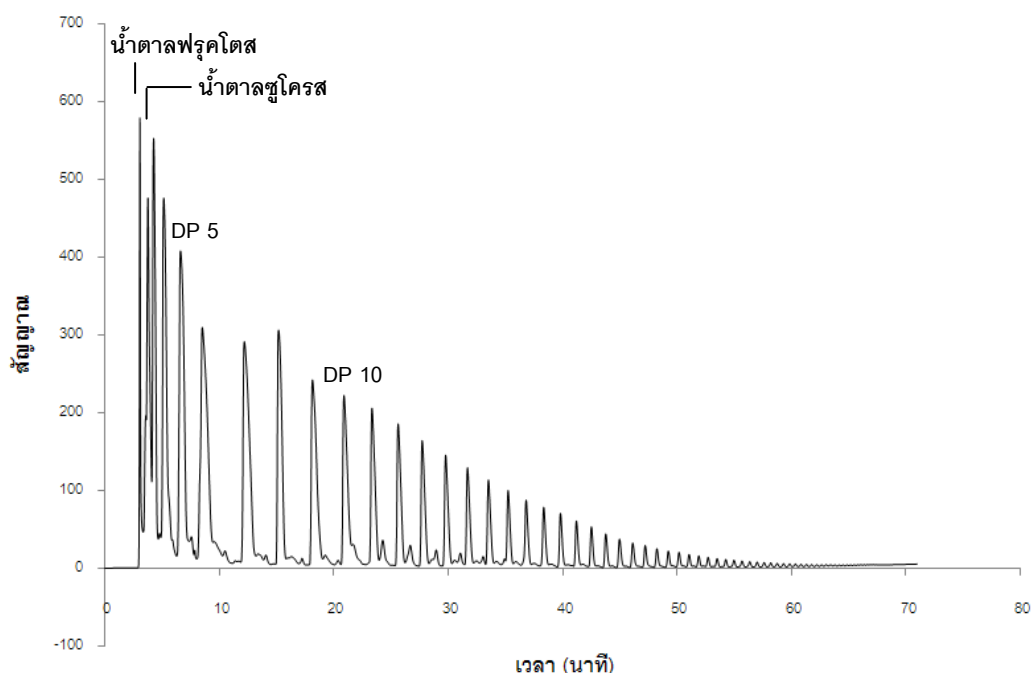
พรีทรีทและอุณหภูมิต่างๆ
นาที

4.2.4 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจากสารสกัดแก่นตะวัน แล้วนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในการพรีทรีท เวลา และระดับแอมพลิจูด พบว่าการสกัดด้วยน้ำร้อนและการพรีทรีทด้วยอัลตราซาวด์มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการสกัดด้วยน้ำร้อนเพียงขั้นตอนเดียวให้ปริมาณฟีนอลิกต่ำสุดคือเท่ากับ 3.57 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ผลของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจะคล้ายกับผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ คือ ปริมาณฟีนอลิกมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่น ๆ จึงไม่ทำการวิเคราะห์ทางสถิติในส่วนของการพรีทรีท

4.2.5 ความยาวสาย (DP) ของคาร์โบไฮเดรตที่สกัดได้

เมื่อนำของเหลวที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำร้อนและการพรีทรีทด้วยอัลตราซาวด์มาวิเคราะห์หาความยาวสายของคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธี HPAEC ได้โครมาโตแกรมดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าความยาวสายของคาร์โบไฮเดรตที่สามารถระบุชนิดของน้ำตาลได้มี 2 ชนิดคือ น้ำตาล ฟรุคโตสและน้ำตาลซูโครส (DP1 และ DP2) เนื่องจากไม่มีสารมาตรฐานที่ระบุขนาดความยาวสายของคาร์โบไฮเดรตขนาดอื่นที่แน่นอนได้ ดังนั้นความยาวสายถัดไปจึงใช้การนับพีคที่เกิดขึ้นตามลำดับเช่นเดียวกับการศึกษาของ Saengthongpinit และ Sajjaanantakul (2005) ที่ศึกษาผลของการเก็บรักษาต่อความยาวสายของอินนูลินในแก่นตะวันด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เดียวกัน



ภาพที่ 9 โครมาโตแกรมของคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสกัด

จากตารางที่ 4, 5 และ 6 แสดงการกระจายตัวของความยาวสายของคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการพรีทรีท ซึ่งจากการทดลองพบว่า ของเหลวที่ได้มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่หลากหลายทั้งน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (น้ำตาลฟรุคโตส) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (น้ำตาลซูโครส) โอลิโกแซคคาไรด์ (DP 3-10) และโพลีแซคคาไรด์ แต่

ความยาวสายของคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของโอลิโกแซคคาไรด์ซึ่งมีถึงร้อยละ 50-60 ของคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในของเหลว ซึ่งอินนูลินที่มีค่า DP ต่ำนี้มีประโยชน์ในการเป็นสารพรีไบโอติกส์ (Li และคณะ, 2015; Rubel และคณะ, 2014) มากกว่า DP สูง จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีปริมาณน้อยมากซึ่งสอดคล้องกับการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้วิเคราะห์มาแล้วข้างต้น โดยเมื่อเปรียบเทียบความยาวสายของคาร์โบไฮเดรตของของเหลวที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำร้อนเพียงขั้นตอนเดียวกับการพรีทรีทด้วยอัลตราซาวด์พบว่า น้ำตาลฟรุคโตสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อพรีทรีทเมนต์เพียง 1 นาที แต่เมื่อเพิ่มการพรีทรีทเป็นเวลา 5 และ 10 นาที ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อุณหภูมิในการพรีทรีทมีผลต่อปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสเช่นเดียวกัน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสและโอลิโกแซคคาไรด์จะเห็นว่า การพรีทรีทเป็นเวลา 1, 5 และ 10 นาที ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสและโอลิโกแซคคาไรด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่โพลีแซคคาไรด์ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการพรีทรีทนี้ใช้อัลตราซาวด์ร่วมกับการสกัดด้วยน้ำร้อน ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส น้ำตาลซูโครส และโอลิโกแซคคาไรด์ที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดด้วยน้ำร้อนนั้นสูงถึง 80 องศาเซลเซียสและสกัดเป็นเวลานาน องค์ประกอบภายในของเหลวจึงเกิดการสลายตัวอันเนื่องมาจากความร้อนได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ying และคณะ (2011) ที่ศึกษาผลของการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ต่อโพลีแซคคาไรด์ ในใบมะลเบอร์รี่พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลทำให้แรงตึงผิวลดลงและความดันไอบนผิวของผลไม้เพิ่มขึ้น ทำให้ผิวของผลไม้เกิดการสลายตัวและแตกออกอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดลักษณะการกวนที่เพิ่มความรุนแรงมากขึ้น

ตารางที่ 4 ร้อยละของคาร์โบไฮเดรตขนาดความยาวสายต่างๆ ที่ได้จากการพรีทรีทเป็นเวลา 1 นาที

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	ความยาวสาย	ระดับแอมพลิจูด (ร้อยละ)				
		20	40	60	80	100
control	DP 1			1.03		
25 °C	DP 1	0.60	1.00	1.07	0.61	1.45
80 °C	DP 1	0.72	0.44	0.98	0.97	2.05
control	DP 2			2.51		
25 °C	DP 2	1.99	3.22	4.60	7.80	5.38
80 °C	DP 2	2.21	5.09	3.45	7.96	4.22
control	DP 3-10			56.29		
25 °C	DP 3-10	48.78	56.52	61.53	59.26	60.75
80 °C	DP 3-10	56.33	58.24	60.15	61.79	58.23
control	DP > 10			40.17		
25 °C	DP > 10	48.64	39.25	32.80	32.33	32.42
80 °C	DP > 10	40.74	36.22	35.42	29.28	35.5

หมายเหตุ control คือ ตัวอย่างที่สกัดด้วยน้ำร้อนเพียงขั้นตอนเดียว

ตารางที่ 5 ร้อยละของคาร์โบไฮเดรตขนาดความยาวสายต่างๆ ที่ได้จากการพรีทรีทเป็นเวลา 5 นาที

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	ความยาวสาย	ระดับแอมพลิจูด (ร้อยละ)				
-------------------------	------------	-------------------------	--	--	--	--

		20	40	60	80	100
control	DP 1			1.03		
25 °C	DP 1	2.44	3.20	3.66	3.87	4.47
80 °C	DP 1	4.13	4.31	5.64	7.12	8.60
control	DP 2			2.51		
25 °C	DP 2	8.76	5.01	5.00	5.12	5.81
80 °C	DP 2	6.71	5.36	6.40	5.89	4.54
control	DP 3-10			56.29		
25 °C	DP 3-10	63.06	58.23	57.03	62.64	61.32
80 °C	DP 3-10	62.38	59.98	57.11	58.89	59.37
control	DP > 10			40.17		
25 °C	DP > 10	25.73	33.56	34.31	28.38	28.40
80 °C	DP > 10	26.77	30.36	30.86	28.10	27.49

หมายเหตุ control คือ ตัวอย่างที่สกัดด้วยน้ำร้อนเพียงขั้นตอนเดียว

ตารางที่ 6 ร้อยละของคาร์โบไฮเดรตขนาดความยาวสายต่างๆ ที่ได้จากการพรีทรีเป็นเวลา 10 นาที

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	ความยาวสาย	ระดับแอมพลิจูด (ร้อยละ)				
		20	40	60	80	100
control	DP 1			1.03		
25 °C	DP 1	3.95	3.28	3.56	4.21	5.54

80 °C	DP 1	5.08	5.38	7.33	9.32	9.95
control	DP 2			2.51		
25 °C	DP 2	5.21	5.29	5.64	5.64	5.13
80 °C	DP 2	5.31	4.21	5.01	7.80	2.28
control	DP 3-10			56.29		
25 °C	DP 3-10	60.03	60.05	55.59	60.84	61.55
80 °C	DP 3-10	62.34	60.11	52.88	55.28	53.32
control	DP > 10			40.17		
25 °C	DP > 10	30.81	31.38	35.21	29.31	27.78
80 °C	DP > 10	27.27	30.31	34.78	27.60	34.45

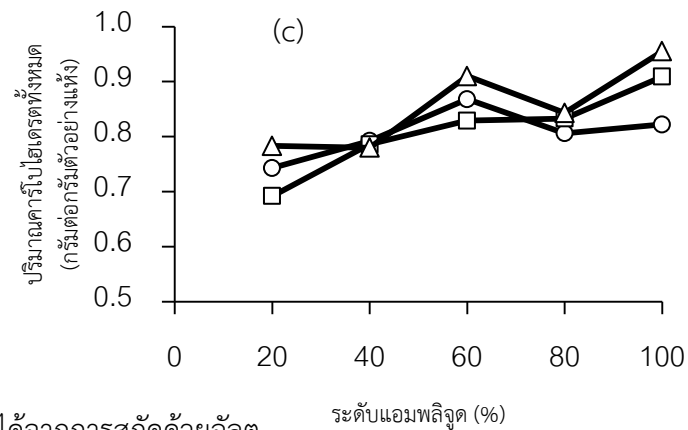
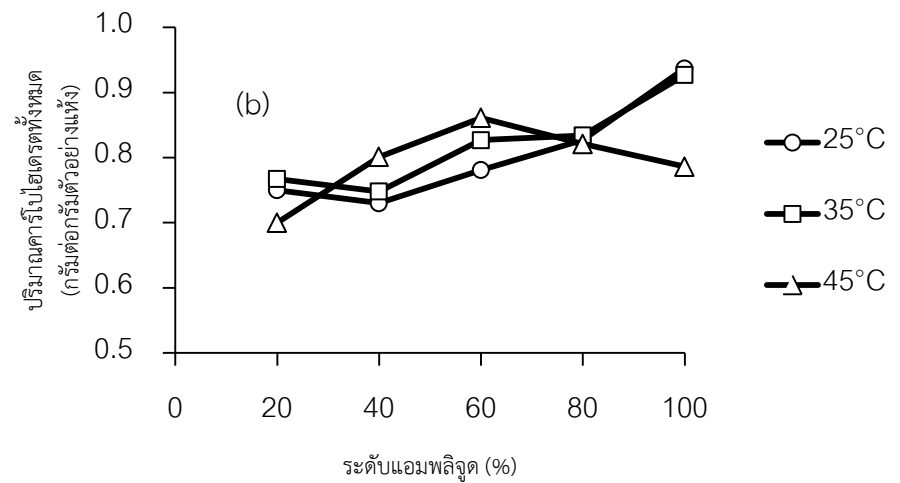
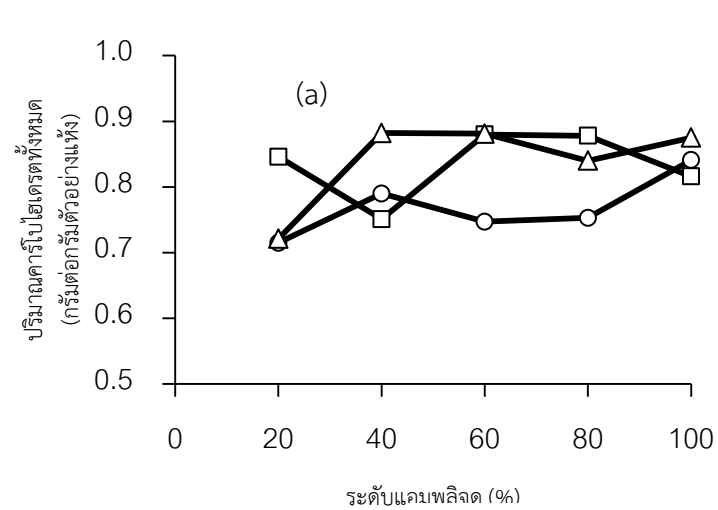
หมายเหตุ control คือ ตัวอย่างที่สกัดด้วยน้ำร้อนเพียงขั้นตอนเดียว

4.3 ผลของการสกัดด้วยอัลตราซาวด์

การทดลองนี้ใช้อัลตราซาวด์ในการสกัดอินนูลินจากแก่นตะวัน มีปัจจัยของอัลตราซาวด์ 3 ปัจจัย คือ แอมพลิจูด เวลา และอุณหภูมิ ซึ่งแอมพลิจูดมี 5 ระดับคือ 20, 40, 60, 80 และ 100% เวลา มี 3 ระดับคือ 10, 20 และ 30 นาที และอุณหภูมิมมี 3 ระดับคือ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส

4.3.1. ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบการสกัดด้วยน้ำร้อนเพียงอย่างเดียวกับการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ในแต่ ละสภาวะต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด พบว่าการสกัดด้วยอัลตราซาวด์กับการสกัดด้วยน้ำร้อนให้ปริมาณ คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ให้ปริมาณ คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำร้อน แสดงว่าการสกัดด้วยอัลตราซาวด์มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการ สกัดด้วยน้ำร้อน โดยการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ได้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.7-0.9 กรัมต่อกรัม ตัวอย่างแห้ง หรือกล่าวได้ว่าร้อยละผลผลิตอินนูลินอยู่ในช่วง 65-85% เนื่องจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ที่ ประมาณ 0.05 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง จากภาพที่ 10 แสดงผลการศึกษาอิทธิพลของแอมพลิจูด เวลา และ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดด้วยอัลตราซาวด์พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิมีแนวโน้มทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดส่งผลให้เกิดการสลายตัวขององค์ประกอบต่างๆ ของแก่นตะวัน ซึ่งส่งผล ให้สารประกอบที่ละลายน้ำได้ในของเหลวมีปริมาณสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang และคณะ (2009) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิของการสกัด epimedin C ด้วยอัลตราซาวด์ พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิของการ สกัดจาก 15 เป็น 45 องศาเซลเซียส ทำให้สารสกัด epimedin C เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ระหว่างการสกัดด้วยอัลตราซาวด์มีสาเหตุมาจากพลังงานเชิงกลที่เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน จึงช่วยเพิ่ม ความสามารถในการถ่ายเทมวลให้สูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลของเวลาและแอมพลิจูดพบว่า เวลาในการ สกัดที่นานขึ้นก็ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากขึ้นด้วยเพราะจะทำให้เกิดปรากฏการณ์คาวีเทชันนานขึ้น เช่นเดียวกัน การเพิ่มระดับแอมพลิจูดให้มากขึ้นทำให้เกิดลักษณะการกวนอย่างรุนแรง ผงเซลล์ถูกทำลาย มากขึ้น เกิดการแพร่ผ่านได้ง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งเมื่อระยะเวลาในการชะสอยยาวนานขึ้น

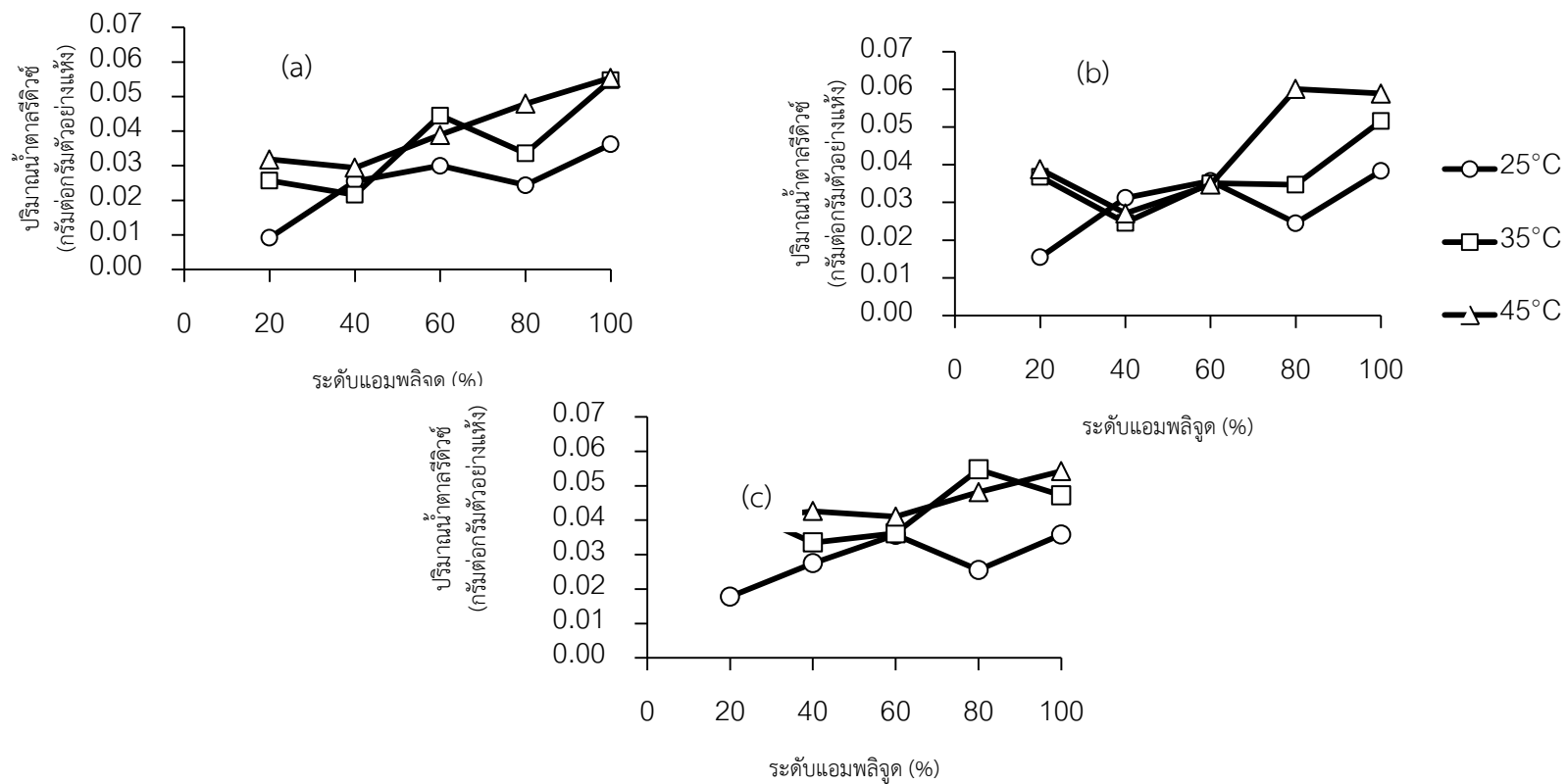


ภาพที่ 10 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่ได้จากการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ที่ระดับแอมพลิจูดและอุณหภูมิต่างๆ โดยเวลาในการสกัด (a) 10 นาที (b) 20 นาที (c) 30 นาที

4.3.2. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

เมื่อนำของเหลวที่ได้จากการสกัดด้วยอัลตราซาวด์มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แล้วนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ เวลา และระดับแอมพลิจูดในการสกัด พบว่า การสกัดด้วยน้ำร้อนและการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 11 พบว่า การสกัดด้วยอัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำกว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส

การสกัดด้วยอัลตราซาวด์ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ค่อนข้างน้อยมากจึงไม่วิเคราะห์ผลทางสถิติ แต่จากภาพแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มผลการทดลอง โดยการใช้ระดับแอมพลิจูดและเวลาในการสกัดที่สูงขึ้น ทำให้สารสกัดมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย



ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำตาลรีตีวซ์ที่ได้จากการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ที่ระดับแอมพลิจูดและอุณหภูมิต่างๆ โดยเวลาในการสกัด (a) 10 นาที (b) 20 นาที (c) 30 นาที

4.3.3. ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

เมื่อนำสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยอัลตราซาวด์มาวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด แล้วนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในการพรีทรีท เวลา และระดับแอมพลิจูด พบว่า การสกัดด้วยน้ำร้อนกับการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบอื่นๆ จึงไม่วิเคราะห์ทางสถิติ แต่จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองบ่งบอกว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดให้สูงขึ้นเป็น 45 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิของการสกัดส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Jerman และคณะ (2010) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ต่อสารประกอบฟีนอลิกในผลมะกอก พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 เป็น 45 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดการสร้างจำนวนนิวเคลียสที่สามารถเกิดปรากฏการณ์คาร์บิเดชันได้มากขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทมวลเพิ่มมากขึ้น ทำให้ตัวทำละลายเข้าสู่องค์ประกอบของเซลล์ได้ดีขึ้น

4.3.4. ความยาวสายของคาร์โบไฮเดรตที่สกัดได้

เมื่อนำของเหลวที่ได้จากการสกัดด้วยอัลตราซาวด์มาวิเคราะห์หาความยาวสายของคาร์โบไฮเดรต แล้วนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในการพรีทรีท เวลา และระดับแอมพลิจูดพบว่า ของเหลวที่ได้ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่มีความยาวสายที่หลากหลาย ดังแสดงในตารางที่ 7, 8 และ 9 โดยคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60) เป็นกลุ่มของโอลิโกแซคคาไรด์ (DP 3-10) และมีปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด เมื่อศึกษาอิทธิพลของการสกัดคือ ระดับแอมพลิจูด อุณหภูมิและเวลาในการสกัด พบว่า ระดับแอมพลิจูด อุณหภูมิและเวลาในการสกัดมีอิทธิพลต่อความยาวสายของคาร์โบไฮเดรต โดยการใช้ระดับแอมพลิจูดสูง อุณหภูมิในการสกัดต่ำส่งผลทำให้สัดส่วนของโอลิโกแซคคาไรด์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chen และ คณะ (2011) ที่ศึกษาผลของการสกัดด้วยอัลตราซาวด์ต่อสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ในผลลิ้นจี่ พบว่าการเพิ่มระดับแอมพลิจูดทำให้สารประกอบโพลีแซคคาไรด์มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มระดับแอมพลิจูดทำให้อัตราการสกัดเพิ่มขึ้น โดยผนังเซลล์ถูกทำลาย ทำให้เกิดการแพร่ผ่านของตัวทำละลายได้มากขึ้นและคลื่นอัลตราซาวด์ทำให้เกิดกลไกการหดตัวและขยายตัวของฟองอากาศภายในตัวทำละลายจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างของเซลล์เกิดการยุบตัวและด้วยการใช้อุณหภูมิต่ำจะเป็นการป้องกันการสลายตัวของโพลีแซคคาไรด์ไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอันเนื่องมาจากความร้อนด้วย

ตารางที่ 7 ร้อยละของคาร์โบไฮเดรตขนาดความยาวสายต่างๆ ที่ได้จากการสกัดเป็นเวลา 10 นาที

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	ความยาวสาย	ระดับแอมพลิจูด (ร้อยละ)				
		20	40	60	80	100
control	DP 1			1.03		
25 °C	DP 1	0.90	1.26	0.92	0.79	1.87
35 °C	DP 1	0.99	1.04	0.88	0.89	0.97
45 °C	DP 1	0.89	0.98	0.68	0.95	1.48
control	DP 2			2.51		
25 °C	DP 2	8.16	9.83	8.78	8.18	6.12
35 °C	DP 2	8.09	9.37	8.23	8.55	7.73
45 °C	DP 2	7.27	7.86	6.68	7.75	7.72
control	DP 3-10			56.29		
25 °C	DP 3-10	62.74	60.11	63.67	62.17	63.95
35 °C	DP 3-10	62.05	60.77	62.31	62.47	61.70
45 °C	DP 3-10	62.54	61.32	61.19	61.62	62.41
control	DP > 10			40.17		
25 °C	DP > 10	28.20	28.80	26.62	28.86	28.06
35 °C	DP > 10	28.87	28.83	28.58	28.08	29.61
45 °C	DP > 10	29.30	29.85	31.46	29.68	28.39

ตารางที่ 8 ร้อยละของคาร์โบไฮเดรตขนาดความยาวสายต่างๆ ที่ได้จากการสกัดเป็นเวลา 20 นาที

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	ความยาวสาย	ระดับแอมพลิจูด (ร้อยละ)
-------------------------	------------	-------------------------

		20	40	60	80	100
control	DP 1			1.03		
25 °C	DP 1	1.24	0.83	1.08	1.20	1.27
35 °C	DP 1	0.79	1.08	0.75	0.96	1.25
45 °C	DP 1	0.73	1.92	0.94	2.36	2.92
control	DP 2			2.51		
25 °C	DP 2	1.94	8.40	7.44	8.63	8.61
35 °C	DP 2	2.31	10.03	8.73	7.75	7.36
45 °C	DP 2	7.12	7.56	7.41	7.06	6.95
control	DP 3-10			56.29		
25 °C	DP 3-10	60.50	64.50	64.70	60.08	61.61
35 °C	DP 3-10	60.85	59.59	60.68	61.72	61.38
45 °C	DP 3-10	63.06	59.26	62.91	59.88	56.78
control	DP > 10			40.17		
25 °C	DP > 10	36.31	26.26	26.78	33.09	29.49
35 °C	DP > 10	36.05	29.29	29.84	29.56	30.01
45 °C	DP > 10	29.09	31.26	28.74	30.70	33.36

ตารางที่ 9 ร้อยละของคาร์โบไฮเดรตขนาดความยาวสายต่างๆ ที่ได้จากการสกัดเป็นเวลา 30 นาที

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	ความยาวสาย	ระดับแอมพลิจูด (ร้อยละ)				
		20	40	60	80	100
control	DP 1			1.03		
25 °C	DP 1	1.12	0.97	1.65	0.70	1.41
35 °C	DP 1	1.24	1.46	0.72	0.92	0.78

45 °C	DP 1	0.83	1.13	1.08	1.00	1.71
control	DP 2			2.51		
25 °C	DP 2	1.44	2.31	7.87	5.44	5.06
35 °C	DP 2	1.41	9.54	7.50	5.75	6.52
45 °C	DP 2	6.59	6.36	7.46	8.27	4.87
control	DP 3-10			56.29		
25 °C	DP 3-10	59.05	64.76	62.99	58.51	58.12
35 °C	DP 3-10	60.95	57.92	62.34	58.18	59.43
45 °C	DP 3-10	59.13	60.08	60.24	60.63	63.54
control	DP > 10			40.17		
25 °C	DP > 10	38.39	31.96	27.48	35.33	35.41
35 °C	DP > 10	36.40	31.09	29.44	35.15	33.27
45 °C	DP > 10	33.44	32.43	31.22	30.11	29.88