

บทที่ 4

คุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหาร

ความหนืดของอาหารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการกลืนในมนุษย์ หากความหนืดของอาหารสูงมากก็จะทำให้กลืนยาก แต่หากความหนืดของอาหารน้อยมากเช่น น้ำ ก็อาจจะทำให้เกิดอาการสำลักถ้ากลืนเร็วเกินไป เพราะฉะนั้นความหนืดของอาหารต้องเหมาะสมกับความสามารถในการกลืนของแต่ละคน การศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหารนั้น ได้ศึกษาค่าความหนืด ความสามารถในการไหล สัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ผิวและความหนาแน่นของอาหาร โดยศึกษาและวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ของอาหารที่อุณหภูมิ 37 °C ยกเว้น เจลาตินที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลาย ๆ ค่า เพราะเจลาตินเป็นสารที่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางรีโอโลยีเร็วมากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยอาหารแต่ละชนิดที่นำมาศึกษาจะมีลักษณะเป็นอาหารเหลว ซึ่งผลการศึกษาค้นสมบัติทางรีโอโลยีของอาหารเป็นดังนี้

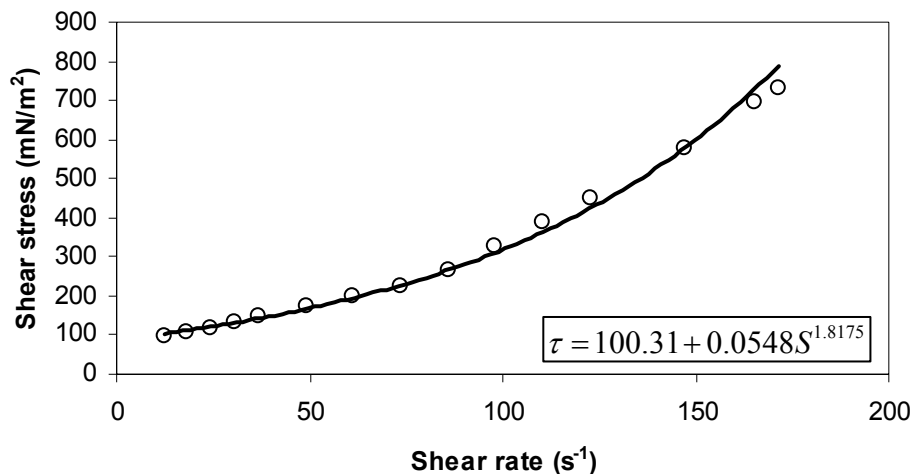
4.1 ผลการศึกษาค้นสมบัติทางรีโอโลยีของน้ำลายและสารตั้งต้นหลัก

ในเบื้องต้นของการศึกษาค้นสมบัติทางรีโอโลยีของอาหารนั้น ได้ศึกษาน้ำลาย แป้งแบบเตรียม และน้ำ เนื่องจากน้ำลายและน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของก้อนอาหารก่อนการกลืน และแป้งแบบเตรียมเป็นสารที่ใช้ศึกษาการกลืนของผู้ป่วยกลืนลำบากในปัจจุบัน เพราะฉะนั้น จึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงคุณสมบัติทางรีโอโลยีของน้ำลายและสารตั้งต้นหลักทั้ง 2 ชนิด

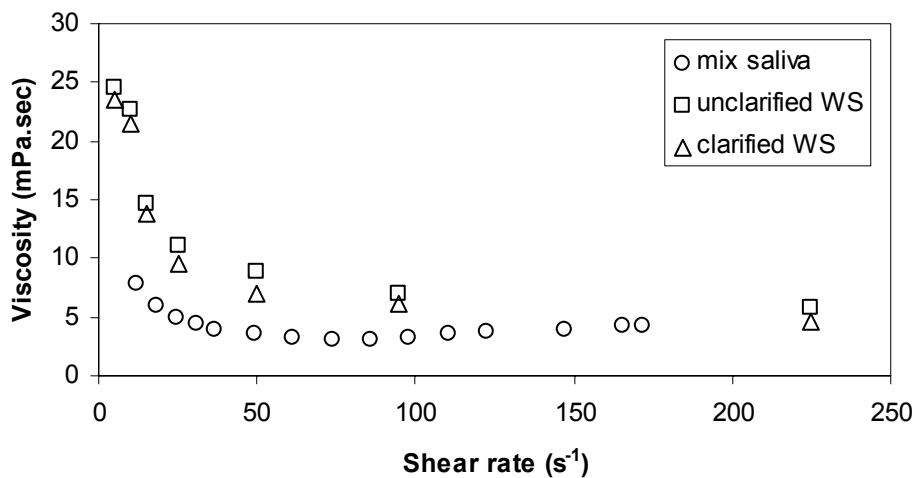
4.1.1 น้ำลาย

การเตรียมอาหารได้ศึกษาน้ำลายเป็นตัวอย่าง เนื่องจากน้ำลายเป็นสารที่ร่างกายสร้างขึ้นและมีคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่น ซึ่งน้ำลายที่ใช้ศึกษาได้จากอาสาสมัครเพศชาย อายุ 23 ปี จำนวน 2 คน มีสุขภาพแข็งแรง ไม่สูบบุหรี่ ไม่มีการดื่มหรือรับประทานอาหารก่อนเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าน้ำลายมีค่า n เท่ากับ 1.8175 และค่า k เท่ากับ 0.0548 จึงสรุปว่าน้ำลายเป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิด ดิลาแทนต์ (dilatant) ที่มีค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นที่ 100.31 มิลลินิวตันต่อตารางเมตร (mN/m^2) ดังรูปที่ 4.1 โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดที่ได้จากการทดลองกับ Hatton, et al. ,1987 พบว่าค่าความหนืดจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนเหมือนกัน แต่ค่าจากการทดลองนี้จะต่ำกว่าค่า unclarified WS และ clarified WS ประมาณ 53.29 % และ 45.53 % ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยค่า unclarified WS ได้จากการนำน้ำลายที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มาหาค่าความหนืด และค่า clarified WS ได้จากการนำน้ำลายมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ 12,000 เท่าของแรงโน้มถ่วง(g) เป็นเวลา

30 นาที ด้วยอุณหภูมิ 4 °C มาหาความหนืด ซึ่งผลที่แตกต่างระหว่างการทดลองครั้งนี้กับ Hatton, et al. ,1987 อาจเกิดจากการเก็บตัวอย่างที่ต่างกันในส่วนของเพศ และภูมิศาสตร์



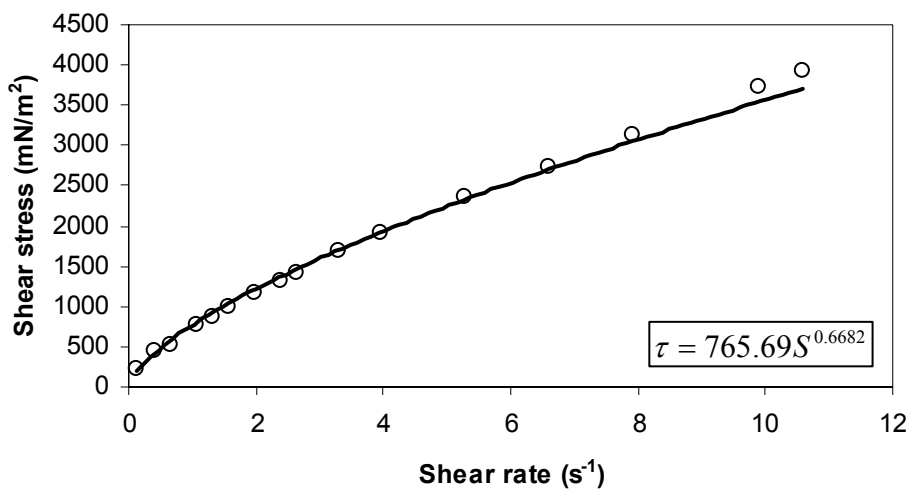
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำลาย



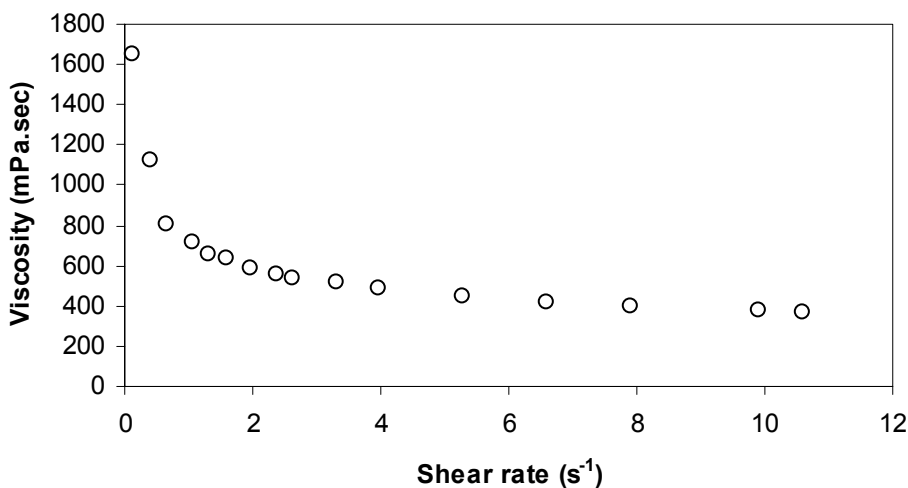
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำลายจากการทดลอง

4.1.2 แป้งแบเรียม

แป้งแบเรียมเป็นแป้งที่ให้ผู้ป่วยกลืนลำบากกลืนเพื่อใช้ในการตรวจรักษาด้วยวิธีการเอกซเรย์ โดยแป้งแบเรียมมีลักษณะขาวขุ่น ตกตะกอน ซึ่งในการศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยีของแป้งแบเรียมก็เพื่อต้องการทราบความหนืดทั่วไปที่ผู้ป่วยกลืนลำบากสามารถกลืนได้ และจากผลการศึกษาพบว่าแป้งแบเรียมมีค่า n เท่ากับ 0.6682 และค่า k เท่ากับ 765.69 จึงสรุปได้ว่าแป้งแบเรียมเป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดซูโดพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



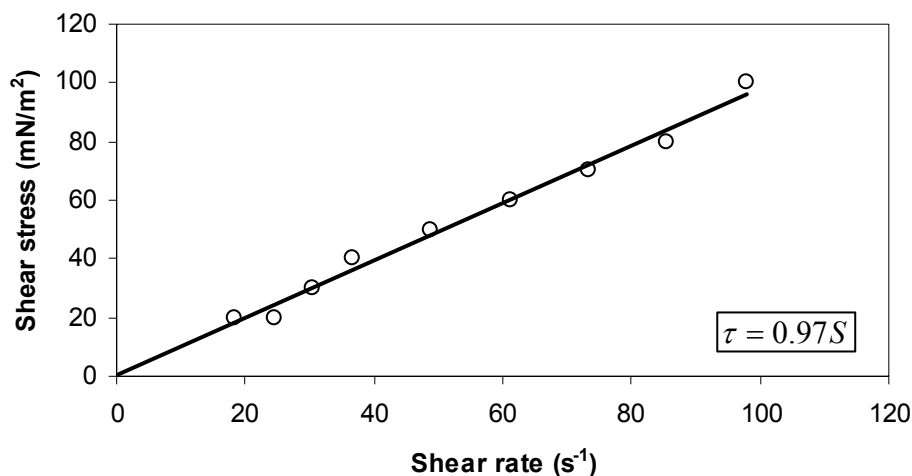
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแป้งแบเรียม



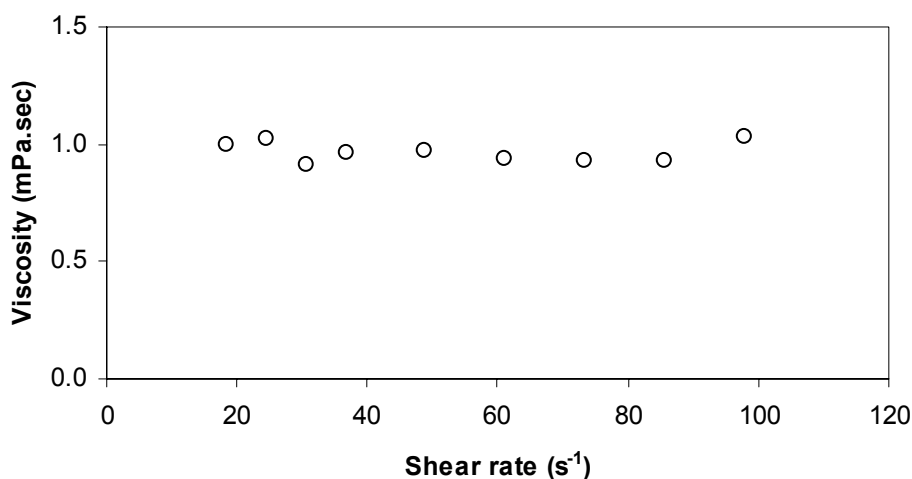
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแป้งแบเรียม

4.1.3 น้ำ

ในผู้ป่วยกลืนลำบากที่มีอาการหนักพบว่าการสำลักน้ำ เพราะฉะนั้นในการเตรียมอาหารจึงต้องมีความเข้าใจคุณสมบัติทางรีโอโลยีของน้ำ นั่นคือน้ำเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่สำคัญ ที่จะทำให้ค่าความหนืดของอาหารแปรเปลี่ยนไป ซึ่งจากการศึกษาพบว่าความหนืดของน้ำมีค่าคงที่เมื่อเพิ่มอัตราเฉือนนั่นคือมีค่า n เท่ากับ 1 และค่า k เท่ากับ 0.97 จึงสรุปได้ว่าน้ำเป็นของไหลนิวโตเนียน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ซึ่งมีความหนืด 0.97 มิลลิปาสคาล-วินาที (mPa.sec) แต่ความหนืดของน้ำที่ 37 °C ตามทฤษฎีเป็น 0.6965 มิลลิปาสคาล-วินาที (สุนันท์ ศรีณขนิตย์, 2542) ผลความแตกต่าง ๆ อาจะมาจากการใช้น้ำประปาการศึกษา โดยไม่ได้ผ่านการกลั่นบริสุทธิ์



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำ



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำ

จากศึกษาน้ำลาย แป้งแบเรียมและน้ำสามารถสรุปได้ว่า น้ำลายเป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดคิลาทেন্ট แป้งแบเรียมเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก และน้ำเป็นของไหลนิวโตเนียน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชนิดของของไหลและค่าคงที่ของน้ำลายและสารตั้งต้นหลัก

ลำดับที่	น้ำลาย สารตั้งต้นหลัก	ชนิดของของไหล	ค่าคงที่		
			τ_0	k	n
1	น้ำลาย	คิลาทেন্ট	100.31	0.0548	1.8175
2	แบเรียม	ซูโดพลาสติก	0	765.69	0.6682
3	น้ำ	นิวโตเนียน	0	0.97	1

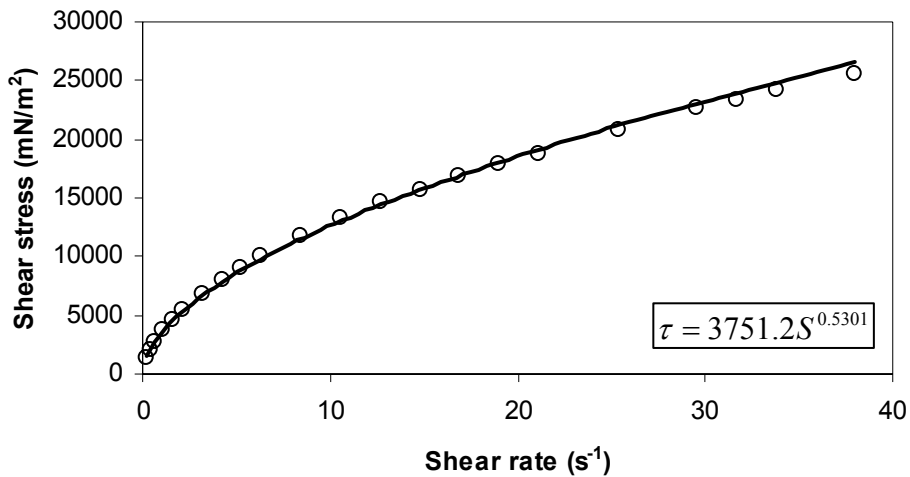
4.2 คุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหารตั้งต้น

อาหารตั้งต้นที่เลือกนำมาศึกษาเป็นอาหารที่มีขายในท้องตลาด มีความหลากหลาย เติร์ยมได้ง่าย ราคาถูก ให้ประโยชน์ทางโภชนาการ และสามารถพัฒนาไปเป็นอาหารผสมได้ ซึ่งอาหารตั้งต้นที่นำมาศึกษาค่าความหนืด มีดังนี้

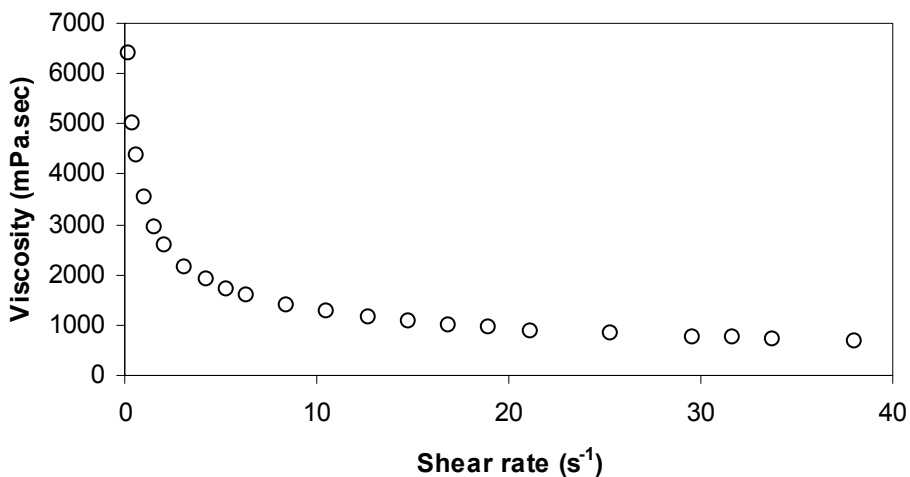
4.2.1 ข้าวปั้น

เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทย และเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ ในการเตรียมอาหารถ้ามีส่วนผสมของข้าวอาจจะทำให้ผู้ป่วยกลืนลำบากมีความต้องการรับประทานมากขึ้น ซึ่งข้าวปั้นที่ใช้ในการศึกษาได้จากการนำข้าวสารมาต้มจนมีลักษณะคล้าย โจ๊กแล้วนำไปปั้นให้ละเอียด

ผลการศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 พบว่าความหนืดของข้าวปั้นมีค่าลดลงเมื่ออัตราเลื่อนเพิ่มขึ้น มีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.5301 ซึ่งน้อยกว่า 1 และค่า k เท่ากับ 3,751.2 จึงสรุปได้ว่าข้าวปั้นเป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดซูโดพลาสติก



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของข้าวปุ้น

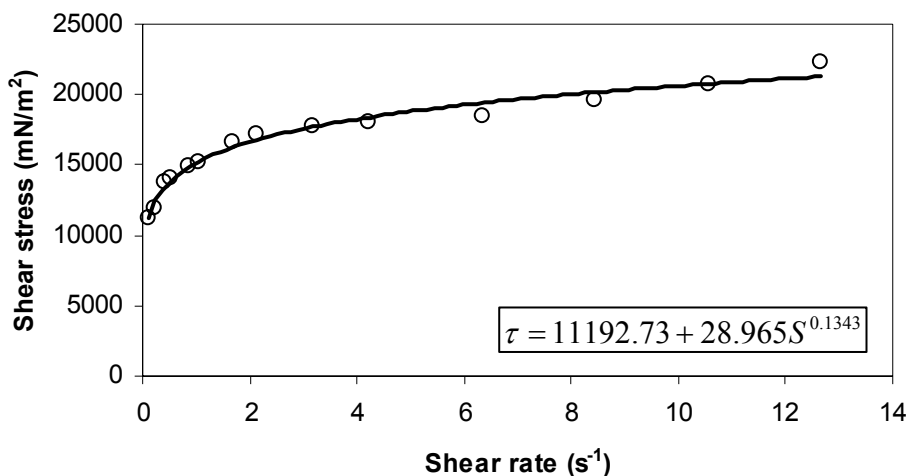


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของข้าวปุ้น

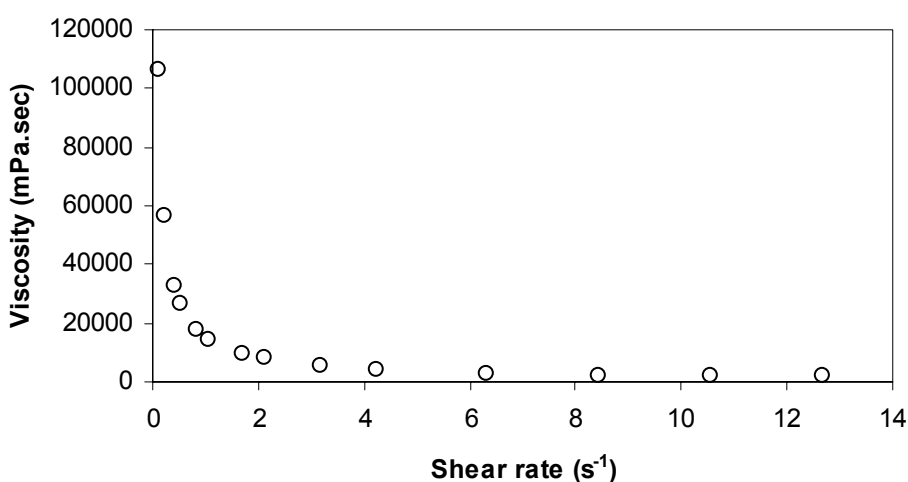
4.2.2 ไข่ตุ๋น

ไข่ไก่เป็นอาหารที่หาได้ง่าย มีราคาถูก และมีโปรตีนครบถ้วน เหมาะที่จะให้ผู้ป่วยกลืนลำบาก ซึ่งในการศึกษาใช้ไข่ไก่มาทำเป็นไข่ตุ๋น เพราะไข่ตุ๋นมีลักษณะที่นุ่ม ลื่น และง่ายที่จะนำมาทำเป็นอาหารเหลว

ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 พบว่าความหนืดของไข่ตุ๋นมีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น มีค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นที่ 11,192.73 มิลลินิวตันต่อตารางเมตร มีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.1343 ซึ่งน้อยกว่า 1 และค่า k เท่ากับ 28.965 จึงสรุปได้ว่าข้าวปั้นเป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดพลาสติก



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของไข่ตุ๋น

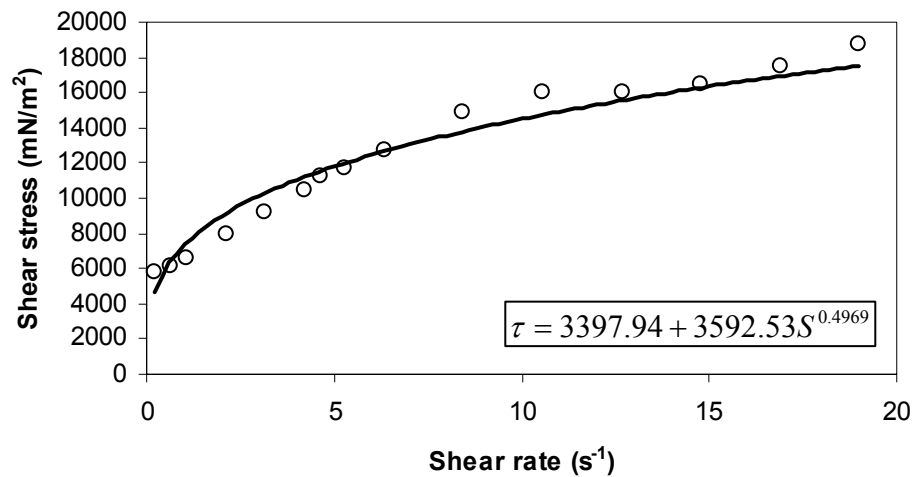


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของไข่ตุ๋น

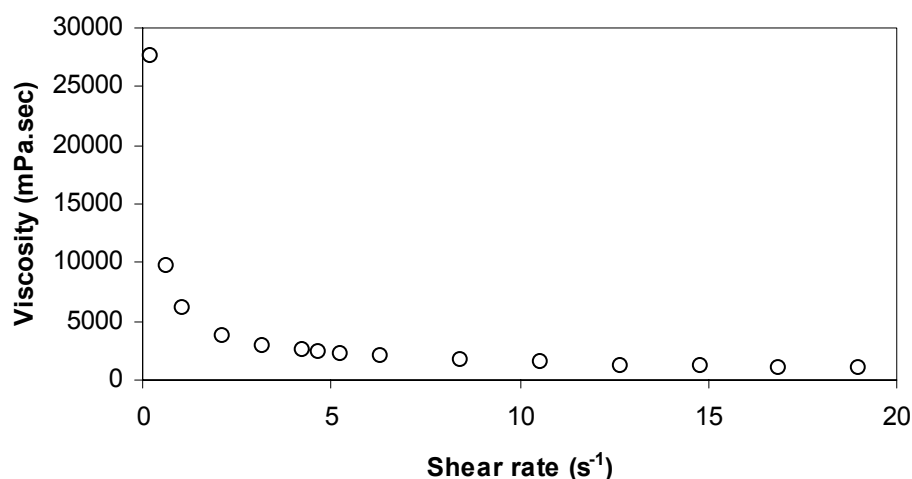
4.2.3 เต้าหู้

เต้าหู้เป็นอาหารที่มีโปรตีนจากพืช มีคุณค่าทางอาหารสูง และมีราคาถูก โดยเต้าหู้ที่นำมาศึกษามีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น นุ่มลื่น เข้าเครื่องปั่นละเอียดก่อนที่จะนำมาศึกษาความหนืด ซึ่งเต้าหู้ที่ใช้เป็นตรา เกษตร สามารถหาซื้อได้ง่าย

ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 พบว่าความหนืดของเต้าหู้มีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น มีค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นที่ 3,397.94 มิลลินิวตันต่อตารางเมตร มีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.4969 ซึ่งน้อยกว่า 1 และค่า k เท่ากับ 3,592.53 จึงสรุปได้ว่าเต้าหู้เป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดพลาสติก



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเต้าหู้

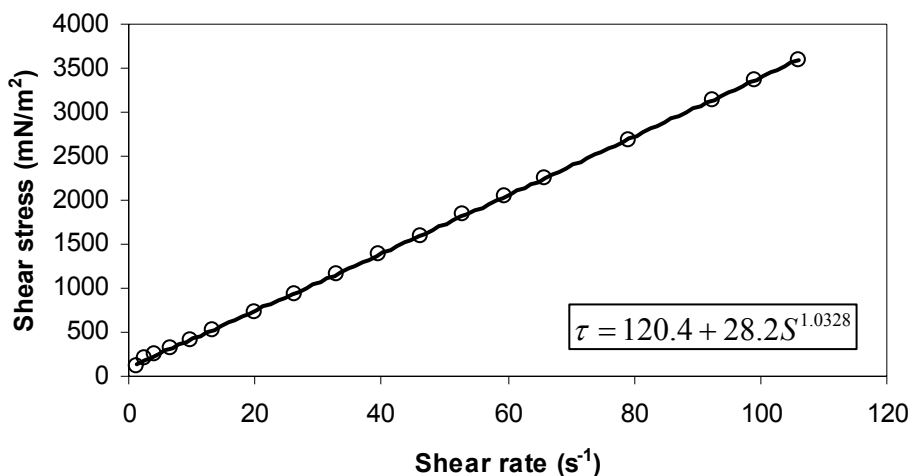


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเต้าหู้

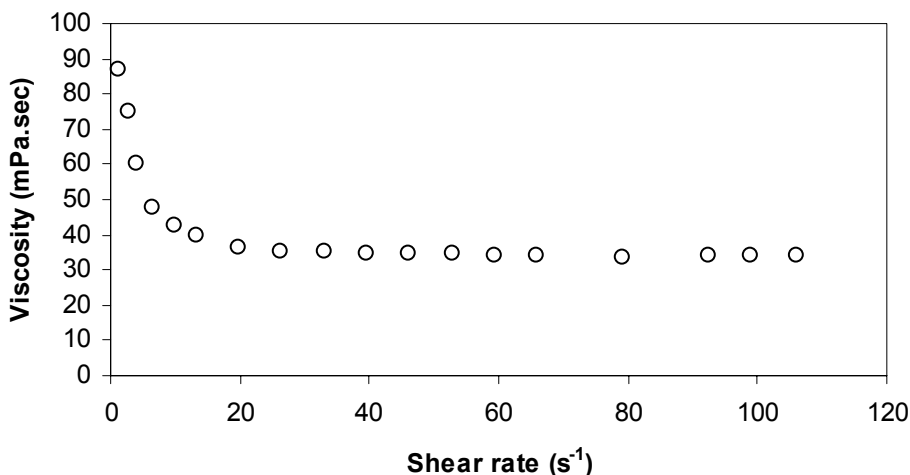
4.2.4 น้ำมันพืช

น้ำมันเป็นส่วนประกอบของอาหารหลาย ๆ ชนิด และอาจเป็นตัวแปรที่มีผลต่อความหนืดของอาหาร เพราะฉะนั้นในการเตรียมอาหารจึงต้องเข้าใจคุณสมบัติทางรีโอโลยีของน้ำมัน โดยน้ำมันที่ใช้ศึกษาเป็นน้ำมันพืชที่สกัดจากเมล็ดทานตะวัน ตรา มรกต

ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 พบว่าความหนืดของน้ำมันมีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่ม มีค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นที่ 120.4 มิลลินิวตันต่อตารางเมตร และมีค่าคงที่ n เท่ากับ 1.0328 ซึ่งมากกว่า 1 และค่า k เท่ากับ 28.2 จึงสรุปได้ว่าน้ำมันเป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดคิลาแทนต์



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำมันพืช



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของน้ำมันพืช

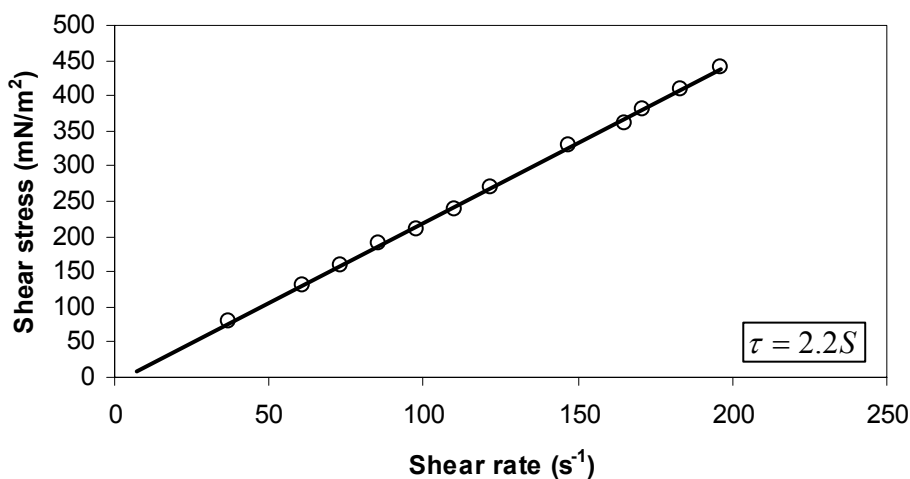
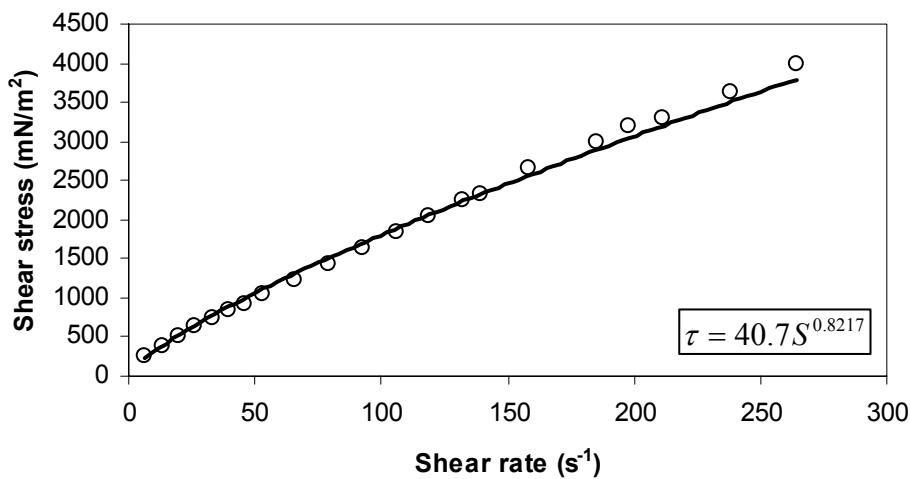
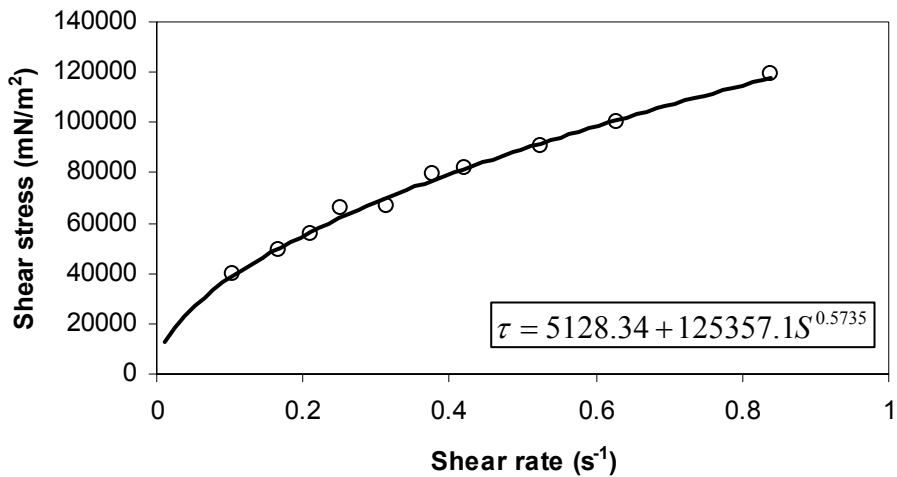
4.2.5 เจลลาติน

เจลลาตินเป็นสารที่มีลักษณะนุ่ม สลื่น สามารถสร้างเป็นอาหารได้หลายชนิด แต่เป็นสารที่ไวต่อความร้อน โดยในการศึกษาได้เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเจลลาตินจาก 19 °C 26 °C และ 37 °C ตามลำดับ ซึ่งในการเปลี่ยนอุณหภูมิของเจลลาตินก็ได้สังเกตลักษณะภายนอกของเจลลาตินไปพร้อมกัน

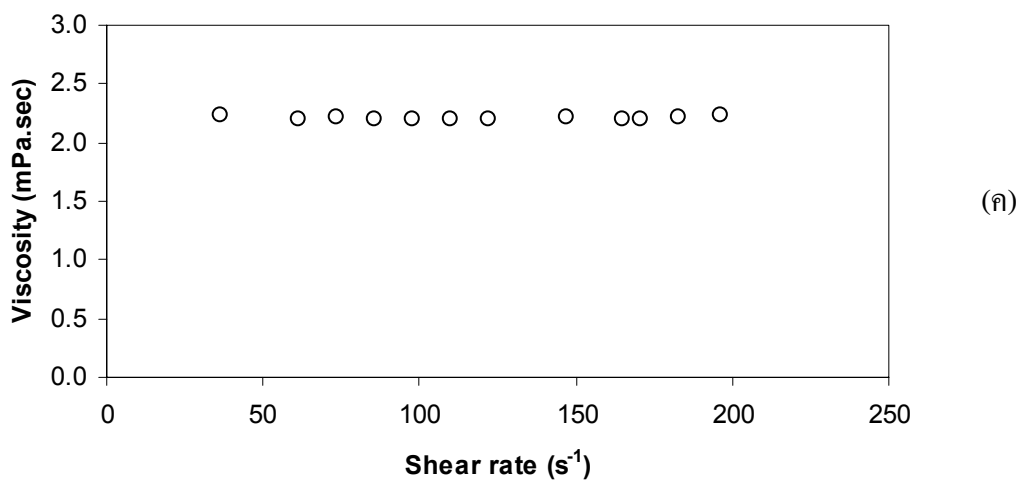
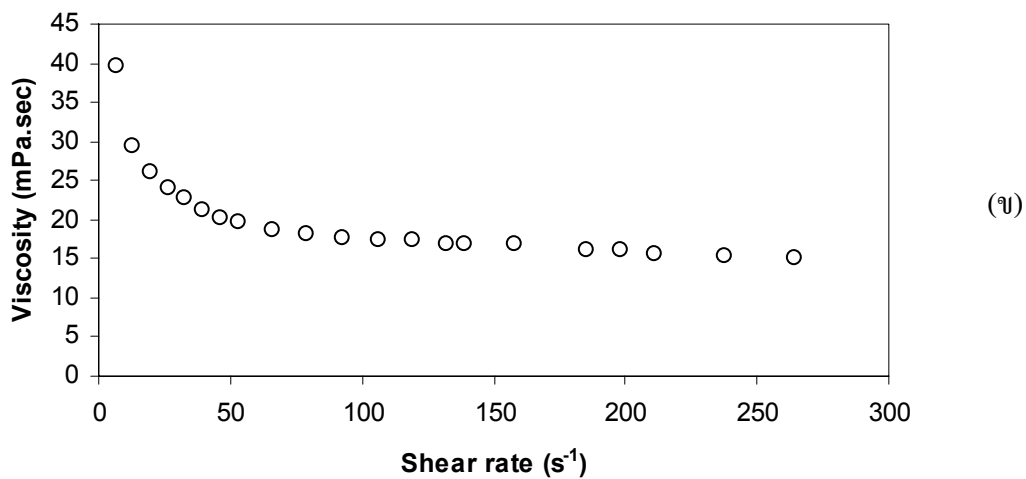
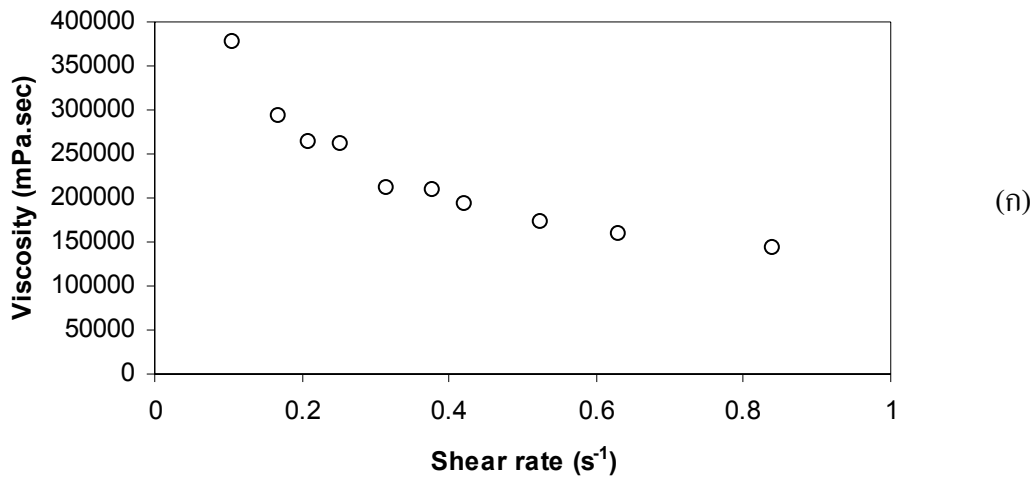
ผลการศึกษาเจลลาตินที่อุณหภูมิ 19 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ก) และรูปที่ 4.16 (ก) พบว่าความหนืดมีค่าลดลงเมื่ออัตราเงื่อนไขเพิ่มขึ้น มีค่าความข้นเหนียวเริ่มต้นเท่ากับ 5,128.34 มิลลินิวตันต่อตารางเมตร มีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.5735 ซึ่งน้อยกว่า 1 และค่า k เท่ากับ 125,357.1 จึงสรุปได้ว่าเจลลาตินที่อุณหภูมิ 19 °C เป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดพลาสติก

ผลการศึกษาเจลลาตินที่อุณหภูมิ 26 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ข) และ 4.16 (ข) พบว่าความหนืด มีค่าลดลงเมื่ออัตราเงื่อนไขเพิ่มขึ้น มีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.8217 ซึ่งน้อยกว่า 1 และค่า k เท่ากับ 40.7 จึงสรุปได้ว่าเจลลาตินที่อุณหภูมิ 26 °C เป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดซูโดพลาสติก

ส่วนผลการศึกษาเจลลาตินที่อุณหภูมิ 37 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ค) และ 4.16 (ค) พบว่าความหนืดมีค่าคงที่เมื่ออัตราเงื่อนไขเพิ่มขึ้น มีค่าคงที่ n เท่ากับ 1 และค่า k เท่ากับ 2.2 ซึ่งสรุปได้ว่าเจลลาตินที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นของไหลนิวโตเนียน มีความหนืด 2.2 มิลลิปาสคาล-วินาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเจลลาตินมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่เร็วมาก ก็จากของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดพลาสติก เป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก และของไหลนิวโตเนียนตามลำดับ



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของ (ก) เจลลาติน อุณหภูมิ 19 °C (ข) เจลลาติน อุณหภูมิ 26 °C (ค) เจลลาตินอุณหภูมิ 37 °C



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของ (ก) เจลลาติน อุณหภูมิ 19 °C (ข) เจลลาติน อุณหภูมิ 26 °C (ค) เจลลาติน อุณหภูมิ 37 °C

จากการศึกษาค่าความหนืดอาหารตั้งต้นพบว่า เจลาตินที่อุณหภูมิ 37 °C มีคุณสมบัติเป็นของไหลนิวโตเนียน และน้ำมันมีคุณสมบัติเป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดคิลาแทนต์ ข้าวปั้นไข่ตุ๋น เจลาติน อุณหภูมิ 26 °C สำหรับพมนาง แครอท ซอสแอปเปิล กล้วยเกอเบอร์ น้ำผึ้ง วุ้นผสมน้ำมัน และวุ้นผสมน้ำผึ้งมีคุณสมบัติเป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดซูโดพลาสติก เต้าหู้ เจลาติน อุณหภูมิ 19 °C น้ำสลัด กล้วยหอมปั่น ข้าวโอ๊ต เต้าฮวย วุ้น และวุ้นผสมน้ำมันน้ำผึ้งมีคุณสมบัติเป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดพลาสติก เจลลี่และโยเกิร์ตมีคุณสมบัติเป็นของไหลนอน นิวโตเนียน ชนิดบิงแฮมพลาสติก โดยได้แสดงชนิดของของไหลและค่าคงที่ของอาหารชนิดต่าง ๆ ในตารางที่ 4.2 (กราฟของอาหารตั้งต้นที่ไม่ได้แสดงในส่วนนี้ ได้แสดงใน ภาคผนวก ก)

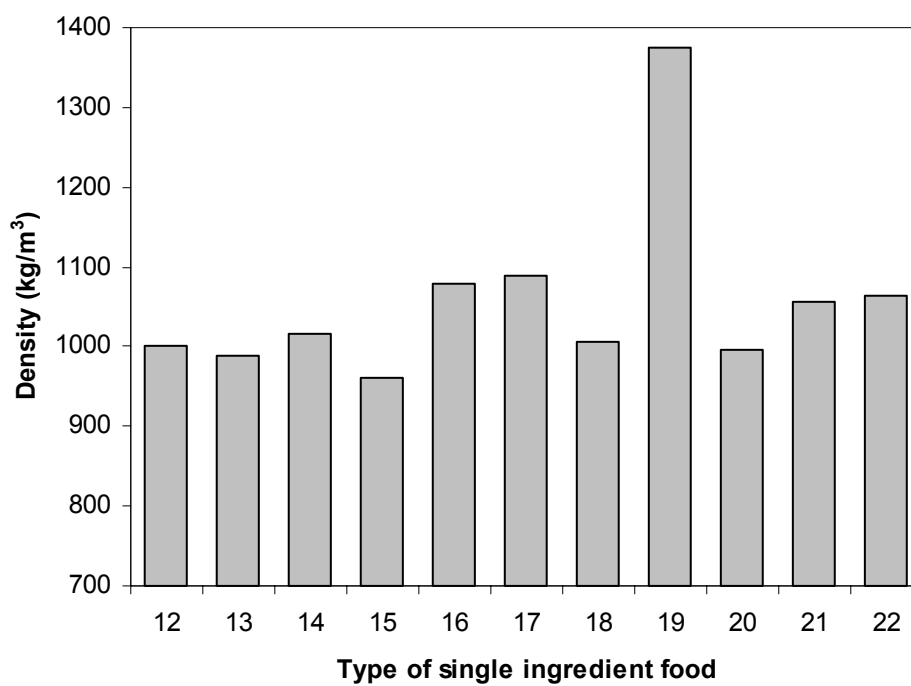
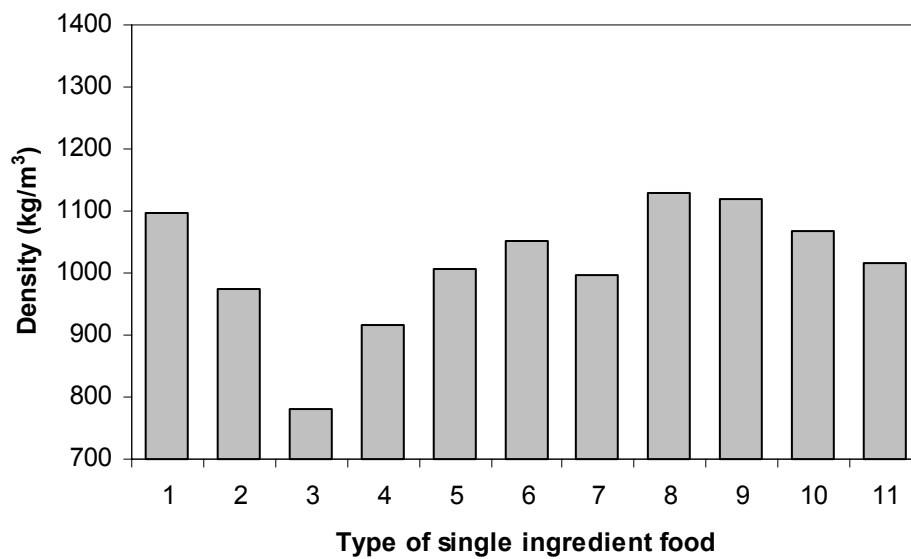
ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ และความสามารถในการไหลของอาหารตั้งต้นเป็นตัวแปรที่ต้องการศึกษาเพื่ออธิบายคุณสมบัติทางรีโอ โลยีของอาหารให้ชัดเจนมากขึ้น ซึ่งผลจากการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ของอาหารตั้งต้น พบว่าอาหารตั้งต้นแต่ละชนิดจะมีค่าความหนาแน่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ และความสามารถในการไหลแตกต่างกันเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของอาหารชนิดนั้น ๆ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3 โดยที่ความหนาแน่นของอาหารตั้งต้นที่ศึกษาจะมีช่วงอยู่ระหว่าง 780-1,375 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าของเต้าหู้และน้ำผึ้งตามลำดับ ในส่วนของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสของอาหารพบว่าน้ำมันและน้ำผึ้งมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเข้าใกล้ศูนย์ และแครอทมีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากที่สุดในอาหารตั้งต้น โดยมีค่า 0.376 ส่วนความเร็วในการไหลของอาหารตั้งต้นพบว่าเจลาตินที่อุณหภูมิ 37 °C มีความสามารถในการไหลเป็น 0.735 ซึ่งเป็นอาหารตั้งต้นที่มีความสามารถในการไหลมากที่สุด เจลาตินที่อุณหภูมิ 19 °C และวุ้นผสมน้ำมันน้ำผึ้ง มีความสามารถในการไหลเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นการไหลที่ช้าที่สุดของอาหารตั้งต้น โดยได้เปรียบเทียบค่าความหนาแน่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต และความสามารถในการไหลของอาหารตั้งต้นในรูปที่ 4.17-4.19

ตารางที่ 4.2 ชนิดของของไหลและค่าคงที่ของอาหารตั้งต้น

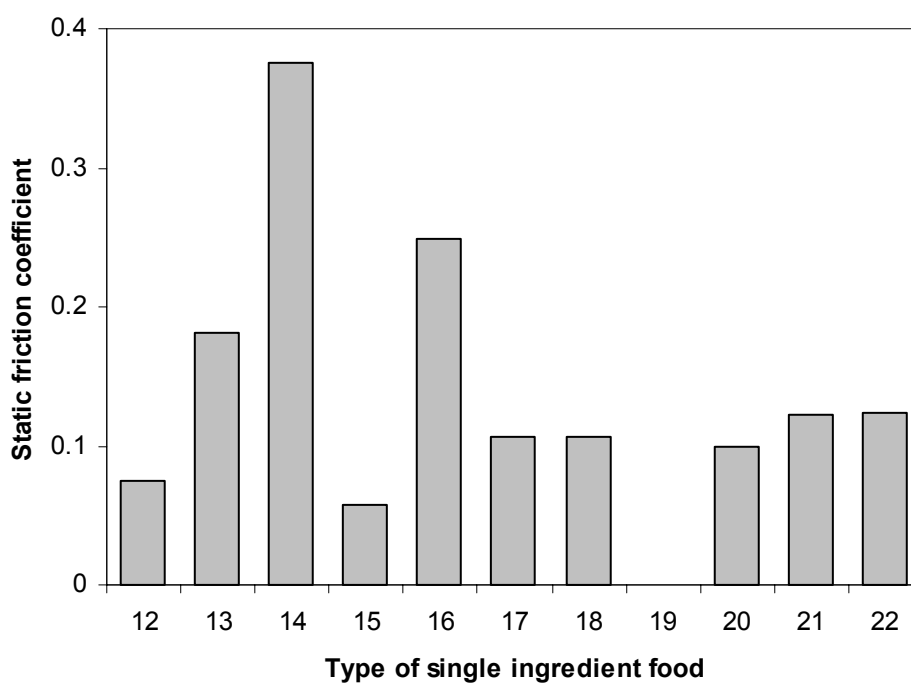
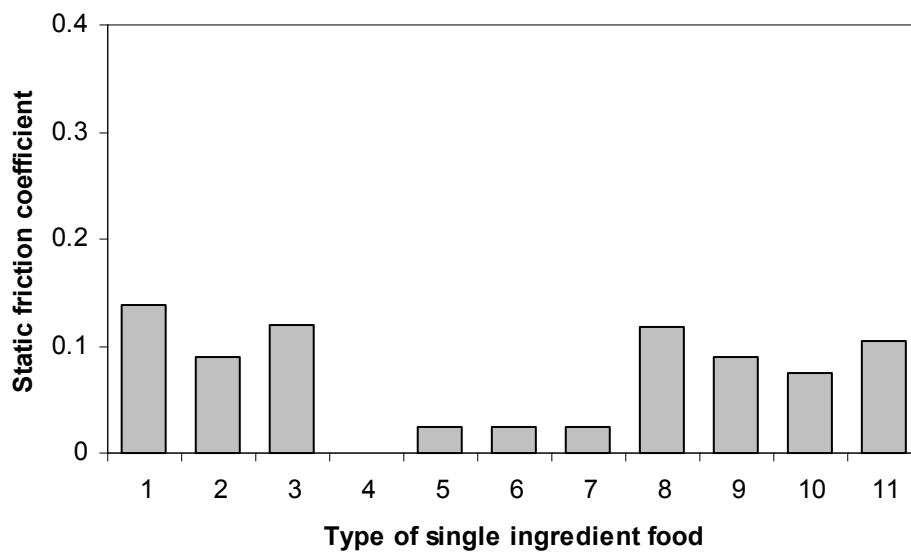
ลำดับที่	อาหารตั้งต้น	ชนิดของของไหล	ค่าคงที่		
			τ_0	k	n
1	ข้าวปุ้น	ซูโดพลาสติก	0	3751.2	0.5301
2	ไข่ตุ๋น	พลาสติก	11192.73	28.965	0.1343
3	เต้าหู้	พลาสติก	3397.94	3592.53	0.4969
4	น้ำมัน	คิลาแทนต์	120.4	28.2	1.0328
5	เจลาติน ที่ 19 °C	พลาสติก	5128.34	125357.1	0.5735
6	เจลาติน ที่ 26 °C	ซูโดพลาสติก	0	40.7	0.8217
7	เจลาติน ที่ 37 °C	นิวโตเนียน	0	2.2	1
8	น้ำสลัด	พลาสติก	41634.17	26673.32	0.3521
9	เจลลี่	บิงแฮมพลาสติก	11368.89	257.28	1
10	โยเกิร์ต	บิงแฮมพลาสติก	2072.41	74.42	1
11	กล้วยหอมปั่น	พลาสติก	1753.47	9648.75	0.323
12	ข้าวโอ๊ต	พลาสติก	1651.6	7539.98	0.7236
13	สาหร่ายผสมนาง	ซูโดพลาสติก	0	27421.05	0.4471
14	แครอท	ซูโดพลาสติก	0	22603.85	0.2454
15	เต้าฮวย	พลาสติก	1876.69	3753.95	0.3501
16	ซอสแอปเปิล	ซูโดพลาสติก	0	14935.43	0.2737
17	กล้วยเกอร์เบอร์	ซูโดพลาสติก	0	38565.5	0.2029
18	วุ้น	พลาสติก	4655.03	24219.39	0.8229
19	น้ำผึ้ง	ซูโดพลาสติก	0	1359	0.9428
20	วุ้นผสมน้ำมัน	ซูโดพลาสติก	0	24630.16	0.3355
21	วุ้นผสมน้ำผึ้ง	ซูโดพลาสติก	0	42570	0.1634
22	วุ้นผสมน้ำมันและน้ำผึ้ง	พลาสติก	2622.79	45646.96	0.7262

ตารางที่ 4.3 ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และความสามารถในการไหลของ
อาหารตั้งต้น

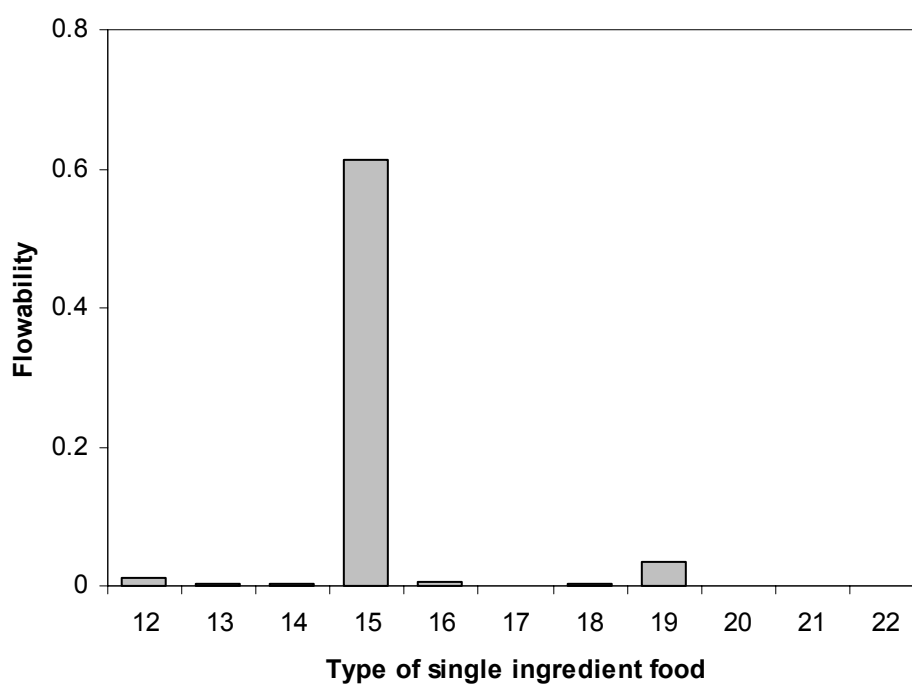
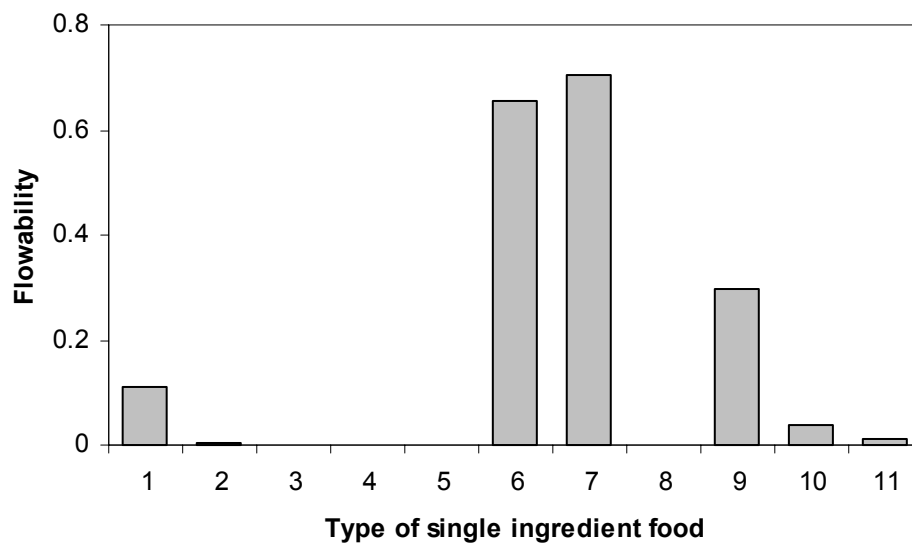
ลำดับที่	อาหารตั้งต้น	ความหนาแน่น (ρ) ,kg/m ³	สัมประสิทธิ์ แรงเสียดทาน (η_s)	ความสามารถ ในการไหล (F)
1	ข้าวปั้น	1098	0.138	0.110
2	ไข่ตุ๋น	974	0.090	0.002
3	เต้าหู้	780	0.120	0.001
4	น้ำมันพืช	917	~ 0	-
5	เจลาติน ที่ 19 °C	1008	0.025	0.000
6	เจลาติน ที่ 26 °C	1052	0.025	0.654
7	เจลาติน ที่ 37 °C	998	0.025	0.705
8	น้ำสลัด	1130	0.117	0.001
9	เจลลี่	1118	0.090	0.296
10	โยเกิร์ต	1069	0.074	0.037
11	กล้วยหอมปั่น	1016	0.105	0.010
12	ข้าวโอ๊ต	1000	0.075	0.011
13	สาหร่ายพมมานาง	988	0.181	0.003
14	แครอท	1017	0.376	0.003
15	เต้าฮวย	962	0.058	0.613
16	ซอสแอปเปิล	1079	0.249	0.005
17	กล้วยเกอเบอร์	1090	0.106	0.001
18	วุ้น	1007	0.106	0.002
19	น้ำผึ้ง	1375	~ 0	0.033
20	วุ้นผสมน้ำมันพืช	997	0.099	0.001
21	วุ้นผสมน้ำผึ้ง	1056	0.122	0.001
22	วุ้นผสมน้ำมันและน้ำผึ้ง	1063	0.124	0.000



รูปที่ 4.17 ความหนาแน่นของอาหารตั้งต้น โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.18 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ของอาหารตั้งต้น โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.2



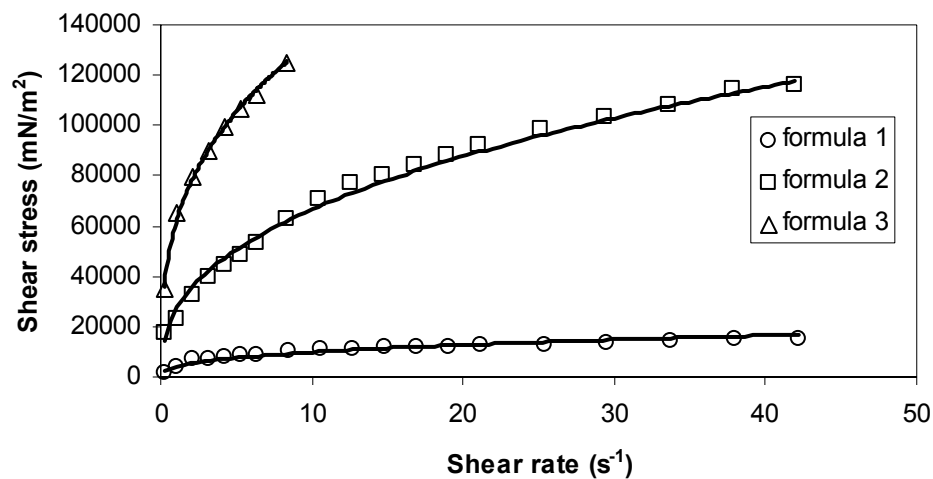
รูปที่ 4.19 ค่าความสามารถในการไหลของอาหารตั้งต้น โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.2

4.3 คุณสมบัติทางรีโอโลยีของอาหารผสม

อาการป่วยของผู้ป่วยกลืนลำบากมีขนาดที่แตกต่างกัน การที่ศึกษาอาหารผสมให้มีความหนืดที่หลากหลายก็จะทำให้ผู้ป่วยสามารถเลือกอาหารได้ ซึ่งจากการศึกษาน้ำลาย แป้งแบเรียม น้ำ และอาหารตั้งต้นก็ได้คุณสมบัติของต้นแบบที่จะสร้างอาหารผสมที่มีความหนืดหลากหลาย และมีคุณค่าทางโภชนาการ จากผลการศึกษาได้อาหารที่มีความหนืดหลากหลายจำนวน 8 ชนิด แบ่งเป็นอาหารคาว 4 ชนิด ได้แก่ ซุปข้าวโพด ซุปบะหมี่หอย โจ๊กปั้น และนมถั่วเหลือง อาหารหวาน 4 ชนิด ได้แก่ ชาเขียว เผือกปั้น ฟักทองปั้น และแยมสตอเบอรี่ โดยอาหารแต่ละชนิดจะมี 3 สูตร ซึ่งแต่ละสูตรจะมีความหนืดที่แตกต่างกัน โดยสูตรที่ 1 จะมีความหนืดน้อยที่สุด สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นตามลำดับที่อัตราเร็วเดียวกัน ซึ่งผลการศึกษาทั้ง 8 ชนิดเป็นดังนี้

4.3.1 ซุปข้าวโพด (corn soup)

ซุปข้าวโพด เป็นอาหารคาวที่มีส่วนผสมของ ข้าวโพด นมสด แป้งข้าวกล้อง และเกลือ ซึ่งผลการศึกษาซุปข้าวโพด แสดงในรูปที่ 4.20 และ 4.21 พบว่าความหนืดของซุปข้าวโพดทั้ง 3 สูตร มีค่าลดลงเมื่ออัตราเร็วเพิ่มขึ้น และมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.3021, 0.4095 และ 0.3296 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 1 จึงสรุปได้ว่าซุปข้าวโพดทั้ง 3 สูตร เป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดซูดพลาสติก

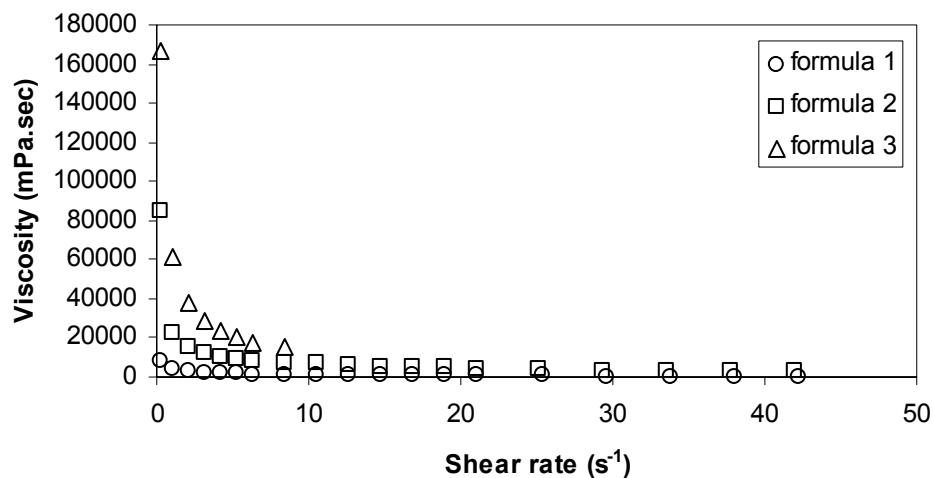


$$\text{formula 1: } \tau = 5000.96S^{0.3021}$$

$$\text{formula 2: } \tau = 25970.67S^{0.4095}$$

$$\text{formula 3: } \tau = 61792.6S^{0.3296}$$

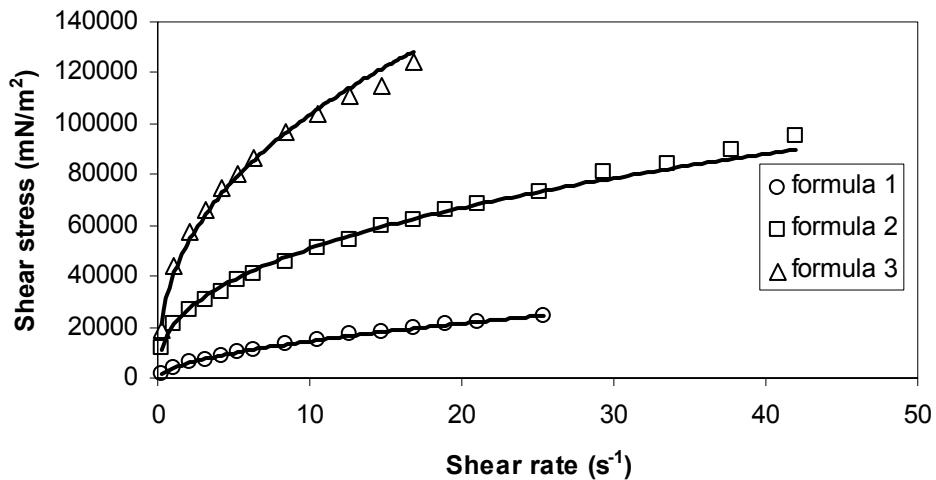
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของซุปข้าวโพด



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของซูปข้าวโพด

4.3.2 โจ๊กปั้น (porridge)

โจ๊กปั้น เป็นอาหารคาวที่มีส่วนผสมของ ข้าว กุ้ง เนื้อไก่ น้ำมันงา ซีอิ๊วใส น้ำ ซึ่งผลการศึกษาโจ๊กปั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 พบว่าความหนืดของโจ๊กปั้นทั้ง 3 สูตร มีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.5717, 0.4876 และ 0.3765 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 1 และโจ๊กปั้นสูตรที่ 2 มีค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นเท่ากับ 5818.34 มิลลินิวตันต่อตารางเมตรจึงสรุปได้ว่าโจ๊กปั้นทั้ง 3 สูตร เป็นของไหลนอนนิวโตเนียน โดยที่โจ๊กปั้นสูตรที่ 1 และ 3 เป็นชนิดซูโดพลาสติก และโจ๊กปั้นสูตรที่ 2 เป็นชนิดพลาสติก

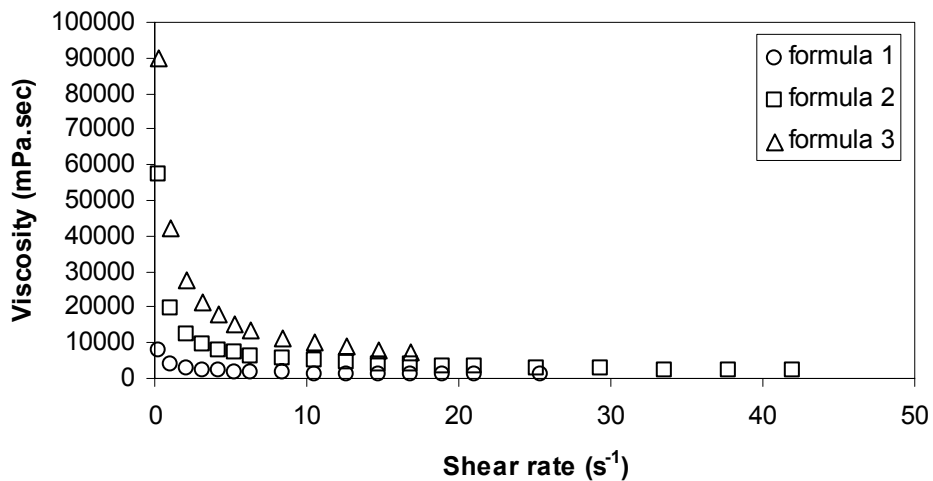


formula 1: $\tau = 3882.98S^{0.5717}$

formula 2: $\tau = 5818.34 + 14255.73S^{0.4876}$

formula 3: $\tau = 42830.57S^{0.3765}$

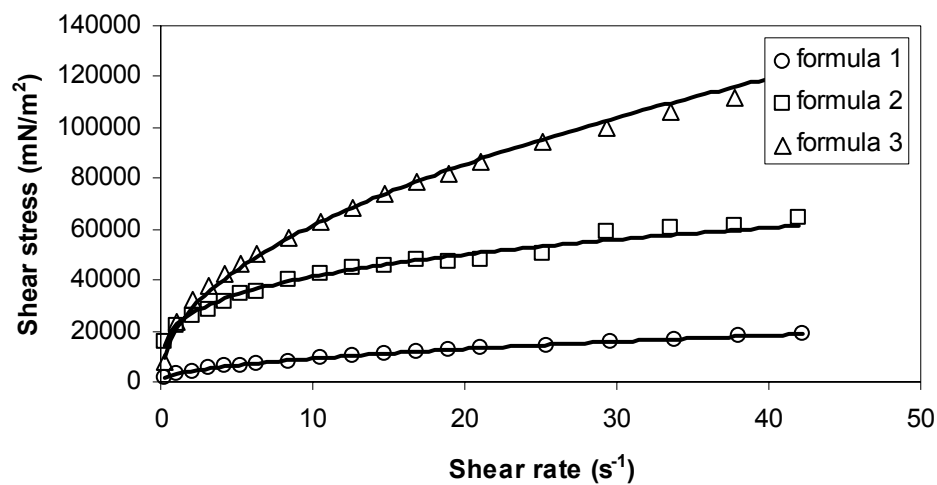
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของ โฉกปั้น



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของ โฉกปั้น

4.3.3 ชุปะหมี่หยก (noodle)

ชุปะหมี่หยก เป็นอาหารความีส่วนของ เส้นชุปะหมี่หยกlovak เนื้อไก่ ตำลึง น้ำชุป ซึ่ง ผลการศึกษาชุปะหมี่หยก (รูปที่ 4.24 และ 4.25) พบว่าความหนืดของชุปะหมี่หยกทั้ง 3 สูตร มี ค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.5195, 0.3762 และ 0.4444 ตามลำดับ ซึ่ง น้อยกว่า 1 และชุปะหมี่หยกสูตรที่ 1 และ 2 มีค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นเท่ากับ 222.93 และ 8352.04 มิลลินิวตันต่อตารางเมตรตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าชุปะหมี่หยกทั้ง 3 สูตร เป็นของไหล นอนนิวโตเนียน โดยที่ชุปะหมี่หยกสูตรที่ 1 และ 2 เป็นชนิดพลาสติก และชุปะหมี่หยกสูตรที่ 3 เป็นชนิดซูโดพลาสติก

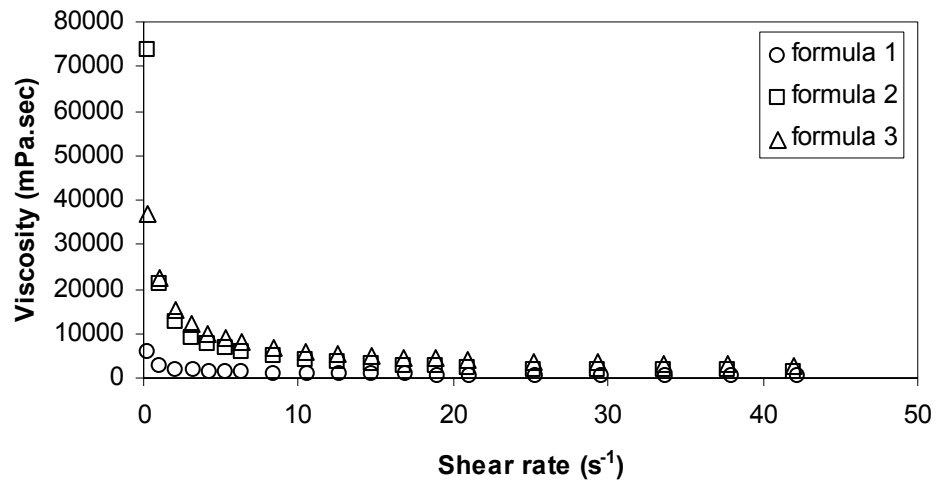


$$\text{formula 1: } \tau = 222.93 + 2669.28S^{0.5195}$$

$$\text{formula 2: } \tau = 8352.04 + 13571.02S^{0.3762}$$

$$\text{formula 3: } \tau = 22269.53S^{0.4444}$$

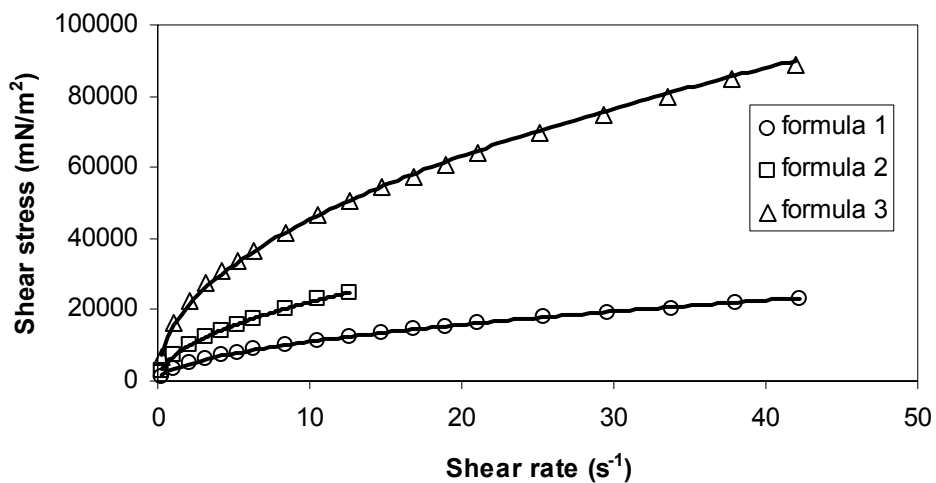
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของ ชุปะหมี่หยก



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของซูปปะหมี่หยก

4.3.4 นมถั่วเหลือง (soy milk)

นมถั่วเหลือง เป็นอาหารคาวที่มีส่วนผสมของ แป้งนมถั่วเหลือง นมสดสตรอเบอร์รี่ เต้าหู้ไข่ น้ำตาล น้ำมันพืช ไข่ เส้นบุก ซึ่งผลการศึกษานมถั่วเหลือง (รูปที่ 4.26 และ 4.27) พบว่าความหนืดของนมถั่วเหลืองทั้ง 3 สูตร มีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.5081, 0.5142 และ 0.4637 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 1 และนมถั่วเหลืองสูตรที่ 2 มีค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นเท่ากับ 237.39 มิลลินิวตันต่อตารางเมตรจึงสรุปได้ว่านมถั่วเหลืองทั้ง 3 สูตร เป็นของไหลนอนนิวโตเนียน โดยที่นมถั่วเหลืองสูตรที่ 1 และ 3 เป็นชนิดซูโดพลาสติก และนมถั่วเหลืองสูตรที่ 2 เป็นชนิดพลาสติก

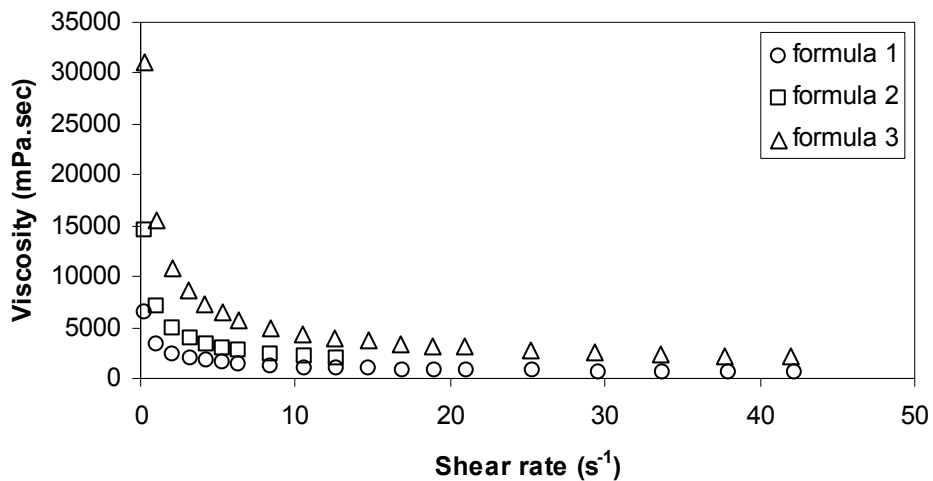


formula 1: $\tau = 3427.42S^{0.5081}$

formula 2: $\tau = 237.39 + 6692.75S^{0.5142}$

formula 3: $\tau = 15639.87S^{0.4637}$

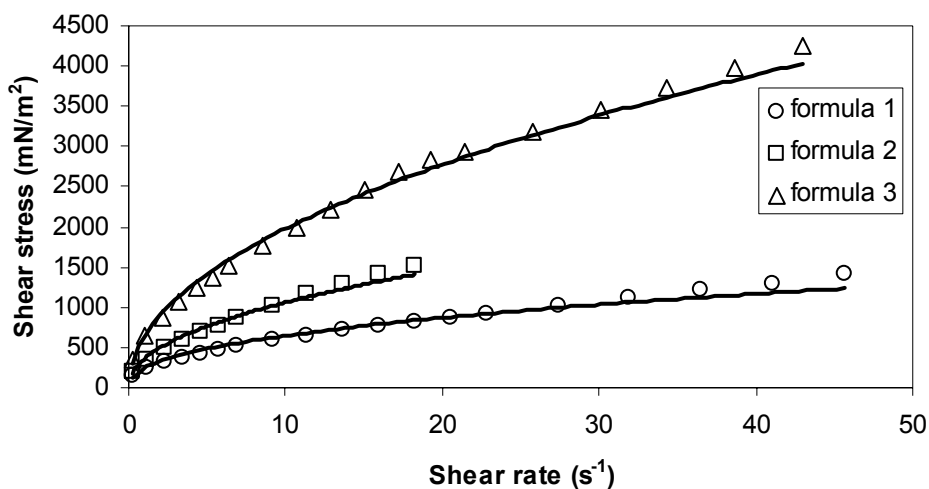
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของนมถั่วเหลือง

4.3.5 ชาเขียว (green tea)

ชาเขียว เป็นอาหารหวานที่มีส่วนผสมของ ชาเขียวผง น้ำตาล แป้งมัน เส้นบุก น้ำ ซึ่งผลการศึกษาชาเขียว (รูปที่ 4.28 และ 4.29) พบว่าความหนืดของชาเขียวทั้ง 3 สูตร มีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.6541, 0.6611 และ 0.5575 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 1 และชาเขียวทั้ง 3 สูตรมีค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นเท่ากับ 144.58, 128.92 และ 106.64 มิลลินิวตันต่อตารางเมตรตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าชาเขียวทั้ง 3 สูตร เป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดพลาสติก

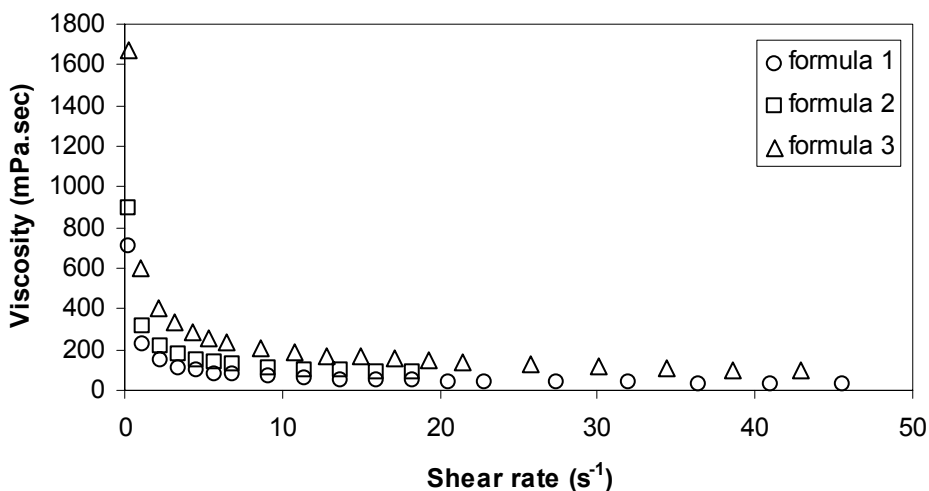


formula 1: $\tau = 144.58 + 101.99S^{0.6541}$

formula 2: $\tau = 128.92 + 205.60S^{0.6611}$

formula 3: $\tau = 106.64 + 507.92S^{0.5575}$

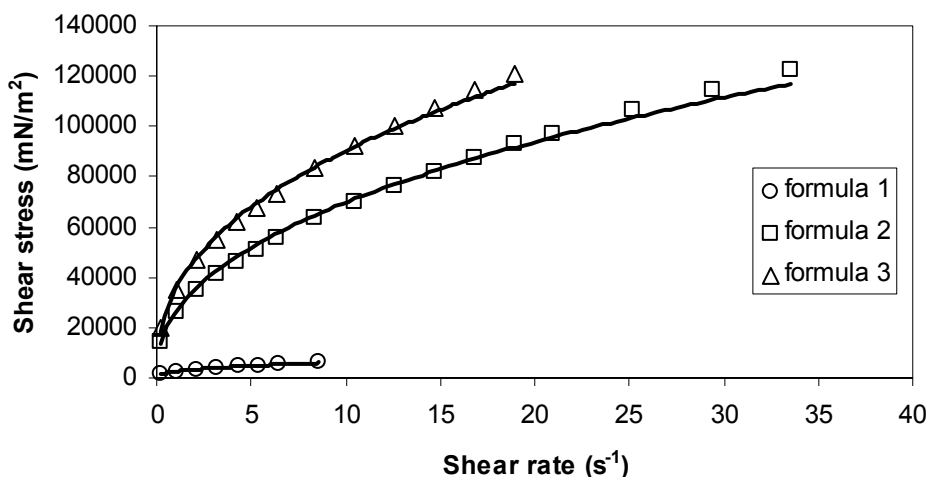
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของชาเขียว



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของชาเขียว

4.3.6 เผือกปั่น (sweet taro)

เผือกปั่น เป็นอาหารหวานที่มีส่วนของ เผือก น้ำตาล น้ำ ซึ่งผลการศึกษาเผือกปั่น (รูปที่ 4.30 และ 4.31) พบว่าความหนืดของเผือกปั่นทั้ง 3 สูตร มีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.5090, 0.5160 และ 0.4874 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 1 และเผือกปั่นทั้ง 3 สูตรมีค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นเท่ากับ 591.96, 6743.98 และ 7313.45 มิลลินิวตันต่อตารางเมตรตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าเผือกปั่นทั้ง 3 สูตร เป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดพลาสติก

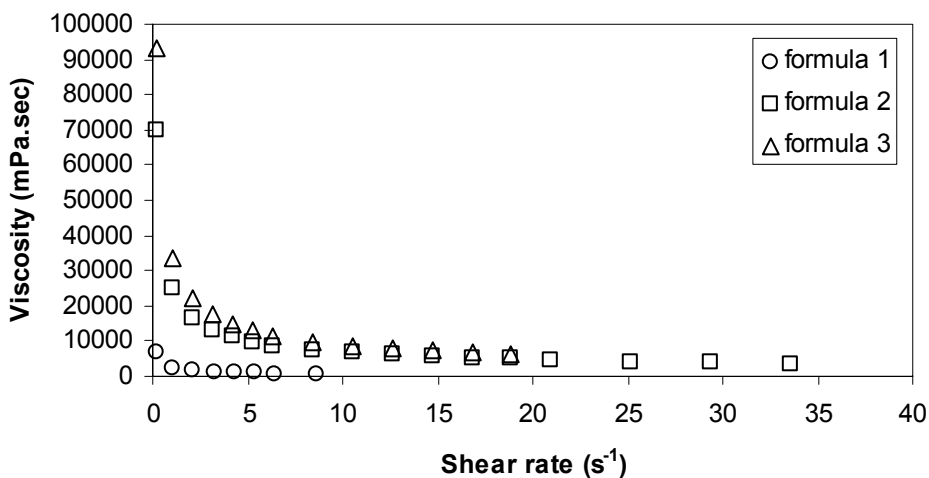


formula 1: $\tau = 591.96 + 1866.50S^{0.5090}$

formula 2: $\tau = 6743.98 + 18872.47S^{0.5160}$

formula 3: $\tau = 7313.45 + 27069.85S^{0.4874}$

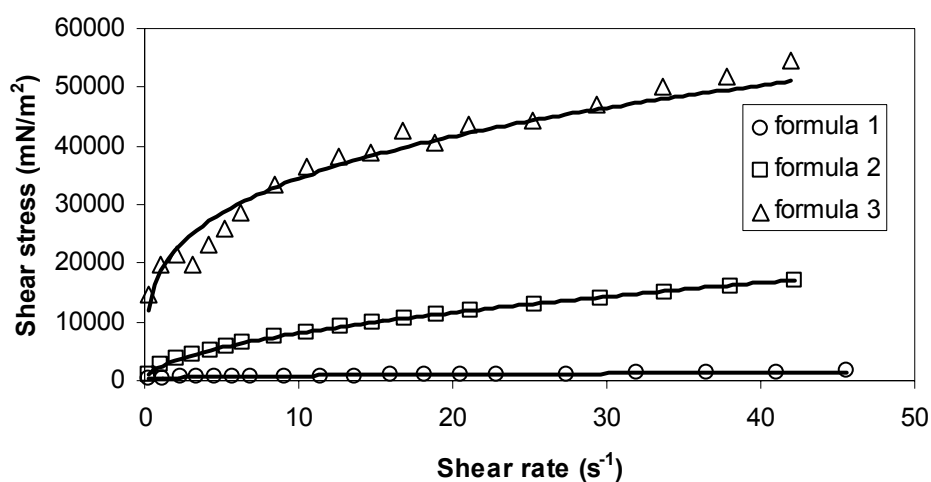
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเผือกปั่น



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเผือกปั่น

4.3.7 ฟักทองปั่น (sweet pumpkin)

เป็นอาหารหวาน ที่มีส่วนผสมของ ฟักทอง น้ำตาล น้ำ แป้งข้าวกล้อง ซึ่งผลการศึกษา ฟักทองปั่น (รูปที่ 4.32 และ 4.33) พบว่าความหนืดของฟักทองปั่นทั้ง 3 สูตร มีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.6782, 0.5159 และ 0.4276 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 1 และ ฟักทองปั่นสูตร 1 และ 3 มีค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นเป็น 316.97 และ 8690.35 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าฟักทองปั่นทั้ง 3 สูตร เป็นของไหลนอนนิวโตเนียน โดยที่ฟักทองปั่นสูตรที่ 1 และ 3 เป็นชนิดพลาสติก และฟักทองปั่นสูตรที่ 2 เป็นชนิดซูโดพลาสติก

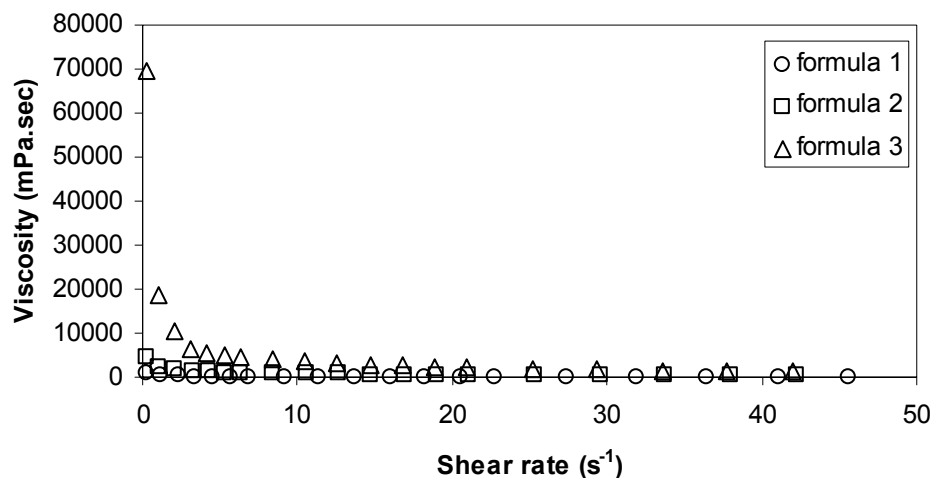


$$\text{formula 1: } \tau = 316.97 + 92.37S^{0.6782}$$

$$\text{formula 2: } \tau = 2460.45S^{0.5159}$$

$$\text{formula 3: } \tau = 8690.35 + 9282.23S^{0.4276}$$

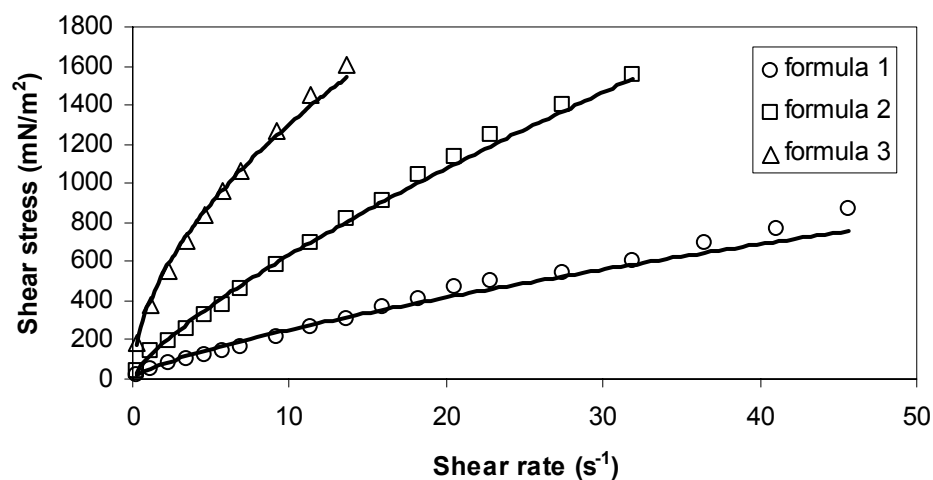
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของ ฟักทองปั่น



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของฟักทองปั่น

4.3.8 แยมสตรอเบอร์รี่ (strawberry jam)

เป็นอาหารหวานที่มีส่วนผสมของ เจลาติน น้ำ แยมสตรอเบอร์รี่ น้ำตาล และเส้นบุก ซึ่งผลการศึกษาแยมสตรอเบอร์รี่ (รูปที่ 4.34 และ 4.35) พบว่าความหนืดของแยมสตรอเบอร์รี่ทั้ง 3 สูตร มีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.8284, 0.7942 และ 0.5849 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 1 จึงสรุปได้ว่าแยมสตรอเบอร์รี่ทั้ง 3 สูตร เป็นของไหลนอนนิวโตเนียน ชนิดซูดอพลาสติก

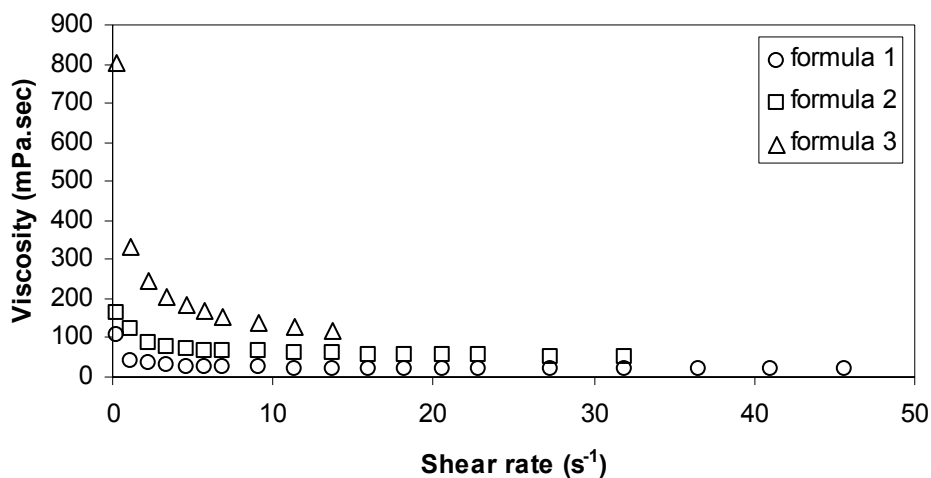


$$\text{formula 1: } \tau = 35.82S^{0.8284}$$

$$\text{formula 2: } \tau = 101.52S^{0.7942}$$

$$\text{formula 3: } \tau = 347.83S^{0.5849}$$

รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแยมสตรอเบอร์รี่



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแฮมสเตอร์

ผลการศึกษอาหารทั้ง 8 ชนิด มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งผลการศึกษอาหารคาวทั้ง 4 ชนิด พบว่า ชุปข้าวโพด ทั้งสามสูตรเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก ชุปบะหมี่หยก สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 เป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดพลาสติก สูตรที่ 3 เป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก โจ๊กปั่น สูตรที่ 1 และ 3 เป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก สูตรที่ 2 เป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดพลาสติก นมถั่วเหลืองปั่น สูตรที่ 1 และสูตรที่ 3 เป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก สูตรที่ 2 เป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดพลาสติก

ส่วนผลการศึกษอาหารหวานพบว่า ชาเขียว ทั้ง 3 สูตรเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดพลาสติก ผีอกปั่น ทั้ง 3 สูตรเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดพลาสติก ฟักทองปั่น สูตรที่ 1 และ 3 เป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดพลาสติก สูตรที่ 2 เป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก แฮมสเตอร์ ทั้งสามสูตรเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก

ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และความสามารถในการไหลของอาหารแต่ละชนิดแต่ละสูตรของอาหารผสมพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยมีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชุปข้าวโพดจะเพิ่มขึ้นและความสามารถในการไหลจะลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชุปบะหมี่หยกจะลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของโจ๊กปั่นจะเพิ่มขึ้นและความสามารถในการไหลจะลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น ความสามารถในการไหลของนมถั่วเหลืองจะลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชาเขียวจะเพิ่มขึ้นและความสามารถในการไหลจะลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น

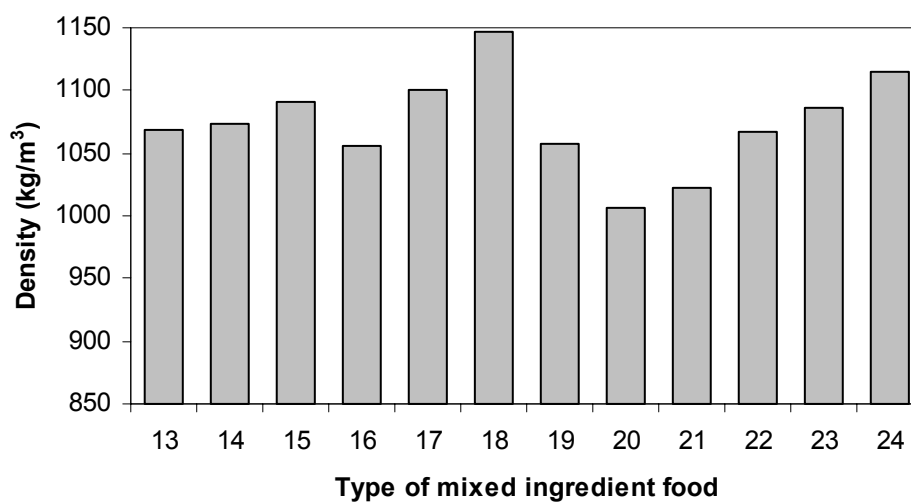
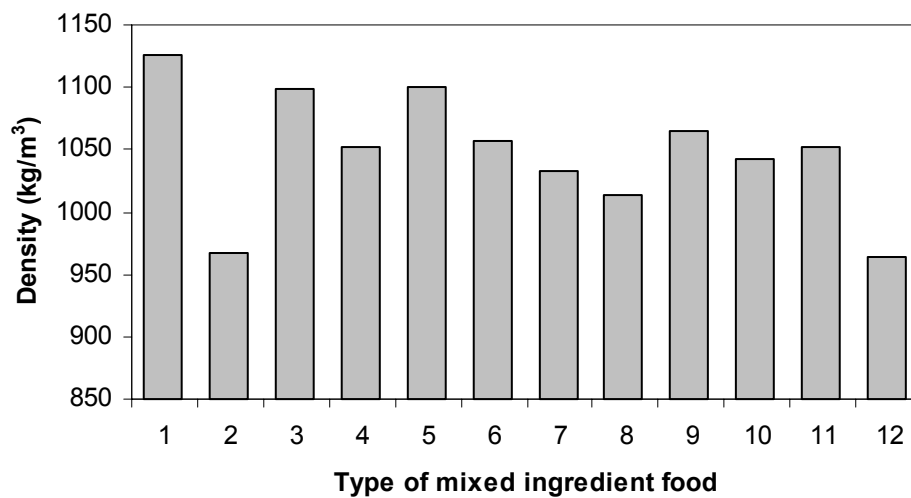
ความสามารถในการไหลของเลือดที่ขึ้นจะลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น โดยได้แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์และความสามารถในการไหลของอาหารผสมในรูปที่ 4.36-4.39

ตารางที่ 4.4 ชนิดของของไหลและค่าคงที่ของอาหารผสม

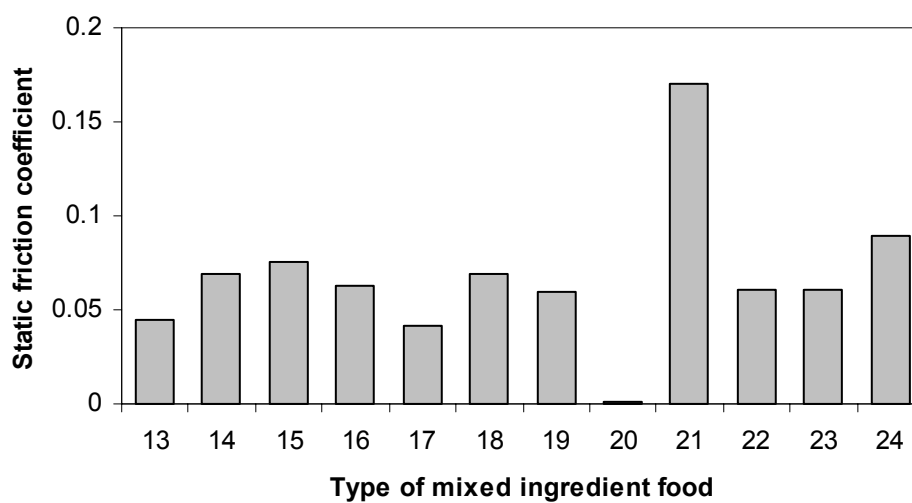
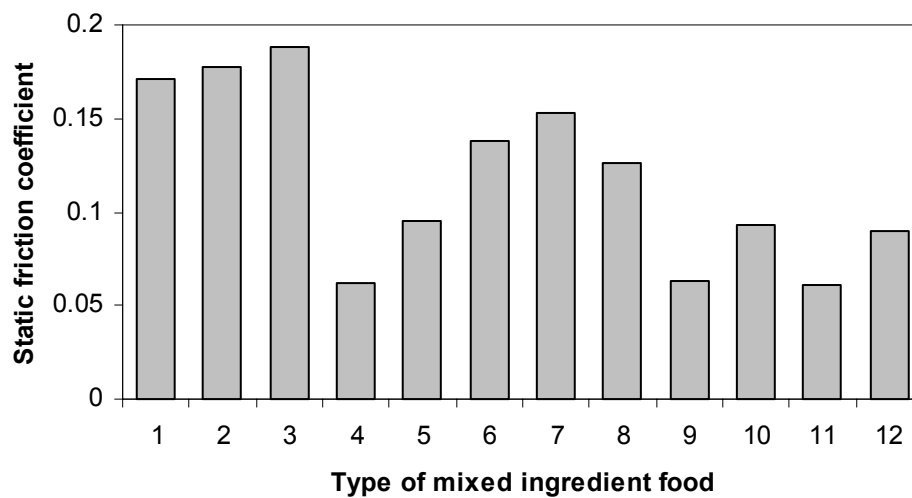
ลำดับที่	อาหารผสม	ชนิดของของไหล	ค่าคงที่		
			τ_0	k	n
1	ซูปข้าวโพด สูตร 1	ซูโดพลาสติก	0	5000.96	0.3021
2	ซูปข้าวโพด สูตร2	ซูโดพลาสติก	0	25970.67	0.4095
3	ซูปข้าวโพด สูตร 3	ซูโดพลาสติก	0	61792.6	0.3296
4	โจ๊กปั่น สูตร 1	ซูโดพลาสติก	0	3882.98	0.5717
5	โจ๊กปั่น สูตร 2	พลาสติก	5818.34	14255.73	0.4876
6	โจ๊กปั่น สูตร 3	ซูโดพลาสติก	0	42830.57	0.3765
7	ซูปะหมี่หยก สูตร 1	พลาสติก	222.93	2669.28	0.5195
8	ซูปะหมี่หยก สูตร 2	พลาสติก	8352.04	13571.02	0.3762
9	ซูปะหมี่หยก สูตร 3	ซูโดพลาสติก	0	22269.53	0.4444
10	นมถั่วเหลือง สูตร 1	ซูโดพลาสติก	0	3427.42	0.5081
11	นมถั่วเหลือง สูตร 2	พลาสติก	237.39	6692.75	0.5142
12	นมถั่วเหลือง สูตร 3	ซูโดพลาสติก	0	15639.87	0.4637
13	ชาเขียว สูตร 1	พลาสติก	144.58	101.99	0.6541
14	ชาเขียว สูตร2	พลาสติก	128.92	205.6	0.6611
15	ชาเขียว สูตร3	พลาสติก	106.64	507.92	0.5575
16	เผือกปั่น สูตร 1	พลาสติก	591.96	1866.5	0.509
17	เผือกปั่น สูตร2	พลาสติก	6743.98	18872.47	0.516
18	เผือกปั่น สูตร 3	พลาสติก	7313.45	27069.85	0.4874
19	ฟักทองปั่น สูตร 1	พลาสติก	316.97	92.37	0.6782
20	ฟักทองปั่น สูตร 2	ซูโดพลาสติก	0	2460.45	0.5159
21	ฟักทองปั่น สูตร3	พลาสติก	8690.35	9282.23	0.4276
22	แยมสตรอเบอร์รี่ สูตร 1	ซูโดพลาสติก	0	35.82	0.8284
23	แยมสตรอเบอร์รี่ สูตร 2	ซูโดพลาสติก	0	101.52	0.7942
24	แยมสตรอเบอร์รี่ สูตร 3	ซูโดพลาสติก	0	347.83	0.5849

ตารางที่ 4.5 ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ และความสามารถในการไหลของ
อาหารผสม

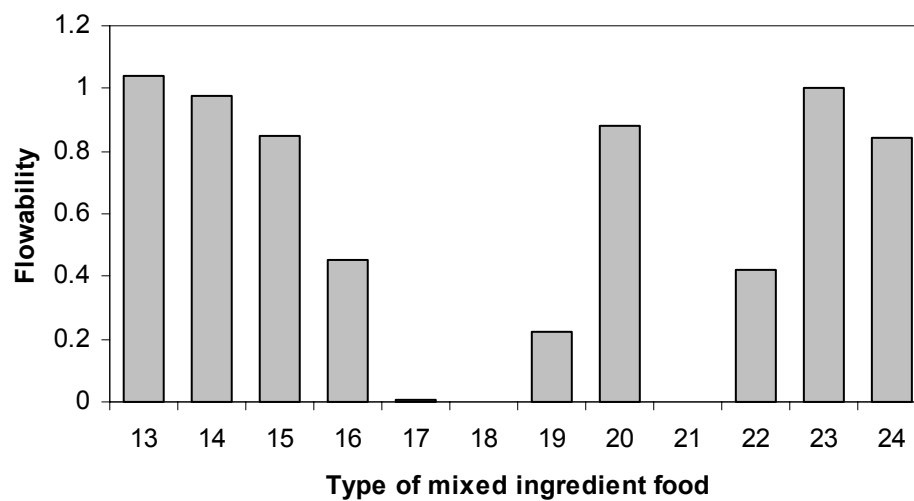
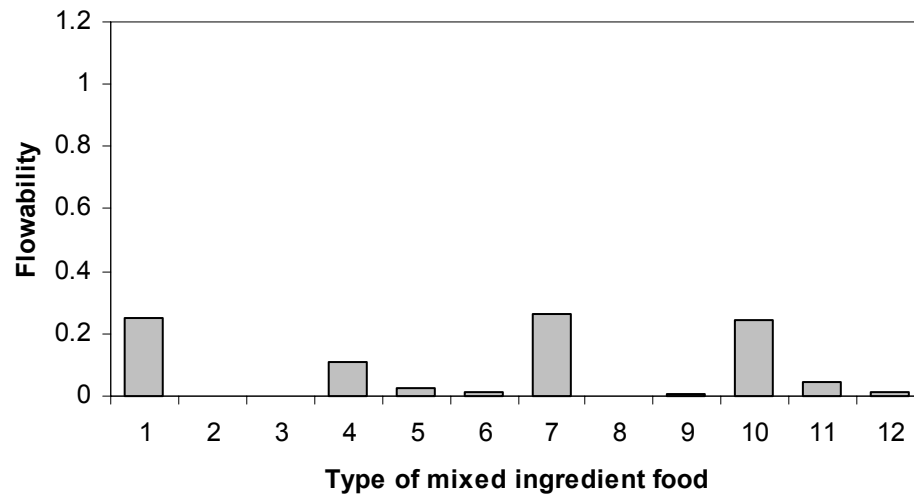
ลำดับที่	อาหารผสม	ความหนาแน่น (ρ) ,kg/m ³	สัมประสิทธิ์ แรงเสียดทาน (η_s)	ความสามารถ ในการไหล (F)
1	ซูปข้าวโพด สูตร 1	1126.696	0.171	0.249
2	ซูปข้าวโพด สูตร2	966.800	0.177	0.001
3	ซูปข้าวโพด สูตร 3	1098.875	0.188	0.001
4	โจ๊กป่น สูตร 1	1052.600	0.062	0.108
5	โจ๊กป่น สูตร 2	1099.783	0.095	0.025
6	โจ๊กป่น สูตร 3	1056.400	0.138	0.011
7	ซูปบะหมี่หยก สูตร 1	1032.652	0.153	0.260
8	ซูปบะหมี่หยก สูตร 2	1013.200	0.126	0.002
9	ซูปบะหมี่หยก สูตร 3	1065.043	0.063	0.005
10	นมถั่วเหลือง สูตร 1	1041.783	0.093	0.242
11	นมถั่วเหลือง สูตร 2	1051.450	0.061	0.046
12	นมถั่วเหลือง สูตร 3	964.000	0.090	0.012
13	ชาเขียว สูตร 1	1069.174	0.045	1.043
14	ชาเขียว สูตร2	1072.783	0.069	0.979
15	ชาเขียว สูตร3	1090.913	0.075	0.846
16	เผือกป่น สูตร 1	1056.565	0.063	0.451
17	เผือกป่น สูตร2	1100.267	0.042	0.007
18	เผือกป่น สูตร 3	1146.733	0.069	0.003
19	ฟักทองป่น สูตร 1	1057.304	0.060	0.221
20	ฟักทองป่น สูตร 2	1006.120	0.001	0.880
21	ฟักทองป่น สูตร3	1022.840	0.170	0.001
22	แยมสตอเบอร์รี่ สูตร 1	1067.400	0.061	0.424
23	แยมสตอเบอร์รี่ สูตร 2	1086.391	0.060	1.002
24	แยมสตอเบอร์รี่ สูตร 3	1114.478	0.090	0.839



รูปที่ 4.36 ความหนาแน่นของอาหารผสม โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.37 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ของอาหารผสม โดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.38 ค่าความสามารถในการไหลของอาหารผสมโดยเรียงลำดับอาหารตามตารางที่ 4.5