

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

ณรงค์ นิมวิทย์. 2528. วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะ
เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 110-146.

ภาษาอังกฤษ

Canovas, G. V. B., and Peleg, M. 1983. Flow parameters of selected commercial semi-liquid food products. J. Texture Studies. 14(3): 213-238.

Dail, R. V., and Steffe, J. F. 1990a. Dilatant in starch solutions under low acid aseptic processing conditions. J. Food Sci. 55: 1764-1765.

_____. 1990b. Rheological characterization of crosslinked waxy maize starch solutions under low acid aseptic processing conditions using tube viscometry techniques. J. Food Sci. 55: 1660-1665.

Dekee, D., Code, R. K., and Turcotte, G. 1983. Flow properties of time dependent foodstuffs. J. Rheol. 27: 581.

Dervisoglu, M., and Kokini, J. L. 1986. Steady shear rheology and fluid mechanics of four semi-solid foods. J. Food Sci. 51: 542-546, 625.

- Dolan, K. D., and Steffe, J. F. 1989. Back extrusion and simulation of viscosity development during starch gelatinization. J. Food Process Engineer, 11(2): 79-101.
- Doublier, J. L. 1981. Rheological studies on starch-flow behavior of wheat starch pastes. Starch/Starke, 33: 415-420.
- Evans, I. D., and Haisman, D. R. 1979. Rheology of gelatinised starch suspensions. J. Texture Studies, 10(4): 347-370.
- Fennema, O. R. 1985. Food Chemistry. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc. pp. 112-118.
- Glass, G. V., and Hopkins, K. D. 1984. Statistical Methods in Education and Psychology. New Jersey: Prentice-Hall. pp.370-372.
- Greenwood, C. T., and Munro, D. N. 1979. Carbohydrate in "Effects of Heating on Foodstuffs". London: Applied Science Publishers Ltd. Ltd. pp. 55-76.
- Harper, J. C., and Sahrici, F. E. 1965. Viscometric behavior of tomato concentrates. J. Food Sci, 30: 470-476.
- Härröd, M. 1989. Modelling of flow properties of starch pastes prepared by different procedures. J. Food Process Engineer, 11(4): 257-275.
- Jakl, L., and Kryslova, E. 1974. Flow of chocolate glazes in thin layers. II. Time dependent flow - The drainage case, Sborni Vysoke Skoly Chemicka - Technologike V Praze, E, 42: 19-46.
- Kawanti, M., Hamann, D. D., Swartzel, K. R., and Hansen, A.P. 1981. Rheological and texture studies of butter. J. Texture Studies, 12(4): 483-505.

- Kurasawa, H., Kanauchi, Y., and Wakayama, T. 1973. Relation of rheological properties with starch components among glutinous, sticky, less-sticky non-glutinous rice starches. Agr. Bio. Chem. 37(12): 2913-2916.
- Lee, J. P. 1984. Studies of dry-roasted and air-classified navy bean flour fractions: Physicochemical properties. Dissertation Abstract No. DAI 45/128, p.3675.
- Mitschka, P. 1982. Simple conversion of Brookfield R.V.T. reading into viscosity functions. Rheol Acta. 21: 207-209.
- Odigboh, E. U., and Mohsenin, N. N. 1975. Viscosity characterization of unmodified cassava starch paste. J. Texture Studies. 6(3):363-377.
- Radley, J. A. 1976. Examination and Analysis of Starch and Starch Products. London: Applied Science Publisher Ltd. pp. 61-89.
- Rao, M. A., and Cooley, H. J. 1986. Applicability of flow models with yield for tomato concentrates. J. Food Process Engineer. 6(3): 159-173.
- Rao, M. A., Cooley, H. J., Nogueira, J. N., and McLellan, M. R. 1986. Rheology of apple sauce: Effect of cultivar, firmness, and processing parameters. J. Food Sci. 51: 176-180.
- Rao, M. A., Okechukwu, P. E., Ngoddy, P. O., and Mcwatters, K. H. 1991. Flow behavior and gelatinization of cowpea flour and starch dispersions. J. Food Sci. 56: 1311-1315.
- Rao, M. A., and Vitali, A. A. 1984. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: Serum viscosity and effect of pulp content. J. Food Sci. 49: 876-881.

- Schutz, R. A. 1971. Characterization of starch with respect to their application in industry, especially in textile and paper industry. Die Starke. 23: 359-366.
- Sterling, C. 1978. Textural quality and molecular structure of starch products. J. Texture Studies. 9(3): 225-255.
- Webb, K. S., and Rao, V. N. M. 1988. Flow parameter for non-Newtonian foods using a co-axial cylinder viscometer. J. Food Processing & Preservation. 12: 243-249.
- Wein, O. 1977. Rotationsviskosimetrie mit kugelformigen Spindeln. Rheol Acta. 16: 248-260.
- Whistler, R. L., Be Miller, J. N., and Paschall, E. F. 1984. Starch: Chemistry and Technology. 2nd ed. New York: Academic Press. pp. 298-300.
- Williams, R. W. 1979. Determination of viscometric data from the Brookfield R.V.T. viscometer. Rheol Acta. 18: 345-359.

ภาคผนวก ก

วิธีการคำนวณ

ก.1 ตัวอย่างการคำนวณ ค่า shear stress (Pa)

จาก ค่า torque ที่อ่านได้จากเครื่อง Brookfield Viscometer RVT (Model DV-1) เมื่อใช้ disc spindle เบอร์ 2-6 คำนวณ shear stress (τ) โดยใช้สมการ(ก.1.1)
(Mitschka, 1982)

$$\tau_1 = K_1 \alpha_1 \quad (\text{ก.1.1})$$

- เมื่อ
- τ_1 = ค่าเฉลี่ยของ shear stress
 - α_1 = torque ที่อ่านได้จากเครื่อง Brookfield Viscometer (calibrated เครื่อง Brookfield Viscometer ด้วยสารละลาย sucrose)
 - K_1 = ค่าคงที่ของ disc spindle แต่ละเบอร์ (ตารางที่ ก.1)

ตารางที่ ก.1 ค่าคงที่ของเครื่อง Brookfield Viscometer RVT (Model DV-1)
(Mitschka, 1982)

disc spindle No.	K_t
2	0.119
3	0.279
4	0.539
5	1.05
6	2.35

ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวเหนียว ความเข้มข้น 3 % (w/v) อุณหภูมิ 75 °C เวลา 2 นาที
เมื่อใช้ discspindle เบอร์ 2 วัดที่ความเร็วรอบ 100 rpm อ่านค่า torque ได้เท่ากับ
15.11 ซึ่งจะมีค่า $\text{shear stress } (\tau) = 15.11 \times 0.119$
 $= 1.798 \text{ (Pa)}$

- ก.2 การคำนวณค่า yield value (τ_0) และ ค่า flow-behavior index (n)
ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate กับความเร็วรอบต่อนาที (rpm) ของเครื่อง
Brookfield Viscometer RVT (Model DV-1) เมื่อใช้ disc spindle เป็นไป
ตามสมการ (ก.2.1) (Williams, 1978)

$$\begin{aligned} \text{shear rate} &\propto \text{rpm} \\ &= a \text{ rpm} \end{aligned} \quad (\text{ก.2.1})$$

เมื่อ $a =$ ค่าคงที่สำหรับแต่ละ spindle

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate เป็นไปตามสมการ power law (สมการ(1))

$$\tau = K(a \text{ rpm})^n \quad (\text{ก.2.2})$$

ในกรณีที่มีค่า yield value สมการ (ก.2.2) สามารถเขียนได้ดังสมการ (ก.2.3)

$$\tau = \tau_0 + K(a \text{ rpm})^n \quad (\text{ก.2.3})$$

สำหรับการค่า yield สามารถหาได้จากวิธีของ Webb และ Rao (1988) ซึ่งใช้วิธี
trial and error ดังนี้

- เขียนสมการ (ก.2.3) ให้อยู่ในรูปที่ง่ายต่อการพิจารณา คือ สมการ (ก.2.4)

$$\tau = \tau_0 + \beta (\text{rpm})^n \quad (\text{ก.2.4})$$

เมื่อ $\beta = K a^n$

2. ทำการ regression ระหว่าง $\log(\tau - \tau_0)$ กับ $\log(\text{rpm})$ โดยกำหนดให้ $\tau_0 = 0$ (รอบที่ 1) จะได้ slope เท่ากับ $n(1)$ และ Y-intercept เท่ากับ $\log(p(1))$ (สัญลักษณ์ n และ p ที่มีตัวเลขที่อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ ต่อท้าย หมายถึงค่า n และ p ที่คำนวณได้ในรอบที่ระบุไว้เป็นตัวเลขใน เครื่องหมายวงเล็บ) ตั้งสมการ (ก.2.5)

$$\log(\tau) = \log p(1) + n(1) \log(\text{rpm}) \quad (\text{ก.2.5})$$

คำนวณหา sum of square of deviation จากสมการ (ก.2.6)

$$S_1 = \sum (\tau - p(1) \text{rpm}^{n(1)})^2 \quad (\text{ก.2.6})$$

3. ทำการคำนวณซ้ำ เหมือนในข้อ 2. แต่ กำหนดให้ $\tau_0 = 0.0001$ (รอบที่ 2) จะได้ผลดังนี้ คือ

$$\log(\tau - 0.0001) = \log p(2) + n(2) \log(\text{rpm}) \quad (\text{ก.2.7})$$

และ

$$S_2 = \sum (\tau - 0.0001 - p(2) \text{rpm}^{n(2)})^2 \quad (\text{ก.2.8})$$

4. เปรียบเทียบ ค่า sum of square of deviation ของสมการ (ก.2.6) กับ สมการ (ก.2.8)

ถ้า $S_2 < S_1$, เพิ่มค่า τ_0 แล้วคำนวณตามข้อ 3. ซ้ำ ซึ่งจะได้

$$\log(\tau - 2(0.0001)) = \log p(3) + n(3) \log(\text{rpm})$$

และ

$$S_3 = \sum (\tau - 2(0.0001) - p(3) \text{rpm}^{n(3)})^2$$

ทำการคำนวณซ้ำจนกว่า $s_{m+1} > s_m$ ซึ่งจะได้

$$\text{flow-behavior index } (n) = n(m)$$

และ

$$\text{yield value } (\tau_0) = (m-1)0.0001$$

แต่ถ้า $s_2 \geq s_1$ แสดงว่า ไม่มี "yield value" เกิดขึ้นในของไหลที่กำลังพิจารณา

ก.3 ตัวอย่างการคำนวณ ค่า shear rate และ consistency index (K)

ก.3.1 การคำนวณหา ค่า shear rate

เครื่อง Brookfield Viscometer RVT (Model DV-1) เมื่อใช้ disc spindle เบอร์ 2-6 สามารถหา shear rate ได้จากสมการ (ก.3.1) (Wien, 1977 และ Williams, 1979)

$$\text{shear rate} = g(n)\Omega \quad (\text{ก.3.1})$$

เมื่อ $\Omega =$ ความเร็วเชิงมุม

$$g(n) = (4/\pi) ((7(n)+1)/((3n)+1))^{1/n}$$

เมื่อ $n =$ flow-behavior index

ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวเหนียว ความเข้มข้น 3 % (w/v) อุณหภูมิ 75°C เวลา 2 นาที วัดโดยใช้ disc spindle เบอร์ 2 ที่ความเร็วรอบ 100 rpm จากการคำนวณตามข้อ ก.2 มีค่า flow-behavior index เท่ากับ 0.748 ดังนั้น

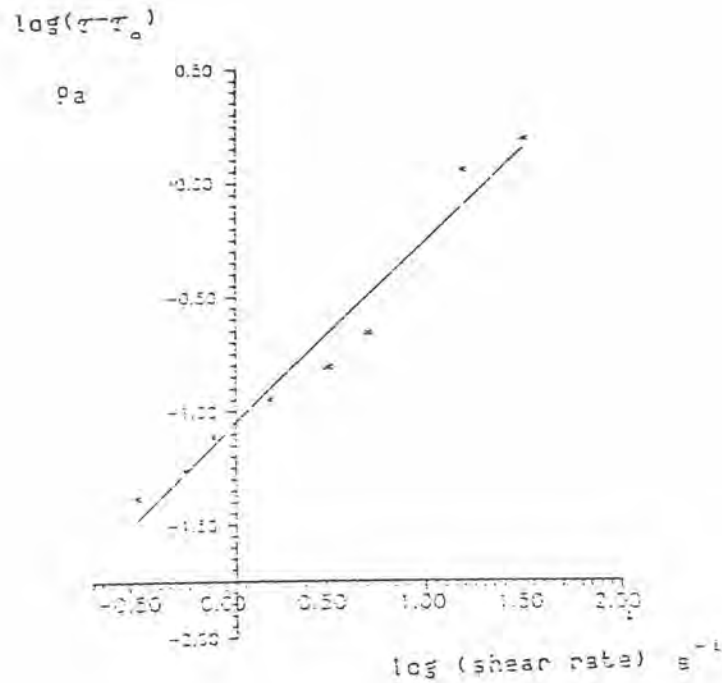
$$\begin{aligned} g(n) &= (4/\pi) (((7 \times 0.748) + 1) / ((3 \times 0.748) + 1))^{1/0.748} \\ &= (4/\pi) (6.236 / 3.244)^{1/0.748} \\ &= 3.0504 \end{aligned}$$

แทนค่า $g(n)$ ในสมการ (ก.3.1) จะได้

$$\begin{aligned} \text{shear rate} &= (3.0504)(100 \text{ rpm})((2\pi/60 \text{ s})/\text{rpm}) \\ &= 31.9436 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

ก.3.2 การคำนวณหาค่า consistency index (Pa.sⁿ)

เขียนกราฟระหว่าง $\log(\tau - \tau_0)$ กับ $\log(\text{shear rate})$ จะได้
Y-intercept เท่ากับ $\log(K)$



รูปที่ ก.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(\tau - \tau_0)$ กับ $\log(\text{shear rate})$
ของแป้งข้าวเหนียว ความเข้มข้น 3 % (w/v) อุณหภูมิ 75 °C วัดที่
เวลา 2 นาที ($R^2 = 0.982$)

จากกราฟ Y-intercept = -1.0501

ดังนั้น $K = 0.0891 \text{ Pa.s}^n$

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
1	65	2	2.248	2.039
		4	2.272	2.038
		6	2.286	2.033
		8	2.304	2.038
		10	2.304	2.038
	70	2	1.617	1.667
		4	1.625	1.603
		6	1.610	1.621
		8	1.623	1.631
		10	1.646	1.642
75	2	1.631	1.584	
	4	1.479	1.581	

ตารางที่ ข.1 ค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุดหนุมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุดหนุมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)		
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	
1	75	6	1.484	1.588	
		8	1.494	1.605	
		10	1.507	1.608	
	80	2	1.417	1.428	
		4	1.423	1.421	
		6	1.428	1.425	
		8	1.432	1.428	
		10	1.438	1.425	
		85	2	0.991	0.996
			4	0.999	1.004
	6		1.109	1.002	
			8	1.100	1.105
10			1.108	1.111	

ตารางที่ ข.1 ค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
2	65	2	1.704	1.651
		4	1.752	1.654
		6	1.733	1.641
		8	1.738	1.636
		10	1.746	1.639
2	70	2	1.484	1.439
		4	1.304	1.324
		6	1.448	1.323
		8	1.467	1.324
		10	1.458	1.329
	75	2	1.233	1.250
		4	1.146	1.247
		6	1.157	1.253
		8	1.158	1.156
		10	1.171	1.250

ตารางที่ ข.1 ค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
2	80	2	1.098	1.006
		4	1.105	1.002
		6	1.113	1.007
		8	1.114	1.130
		10	1.115	1.044
	85	2	0.820	0.830
		4	0.834	0.838
		6	0.887	0.836
		8	0.881	0.895
		10	0.881	0.893
3	65	2	1.024	1.182
		4	1.120	1.195
		6	1.021	1.187
		8	1.009	1.197
		10	1.026	1.205

ตารางที่ ข.1 ค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
3	70	2	1.024	1.182
		4	0.922	0.936
		6	0.915	0.938
		8	0.948	0.934
		10	0.907	0.934
	75	2	0.748	0.795
		4	0.741	0.792
		6	0.748	0.792
		8	0.752	0.791
		10	0.758	0.786
	80	2	0.742	0.740
		4	0.740	0.731
		6	0.737	0.745
		8	0.741	0.751
		10	0.746	0.749

ตารางที่ ข.1 ค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุดหนุมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุดหนุมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
3	85	2	0.668	0.654
		4	0.661	0.645
		6	0.660	0.642
		8	0.655	0.636
		10	0.645	0.629
4	65	2	0.912	1.036
		4	0.939	1.036
		6	0.937	1.187
		8	0.943	0.904
		10	0.948	0.910
	70	2	0.905	0.910
		4	0.885	0.936
		6	0.874	0.899
		8	0.872	0.879
		10	0.877	0.934

ตารางที่ ข.1 ค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
4	75	2	0.612	0.619
		4	0.628	0.634
		6	0.665	0.624
		8	0.664	0.615
		10	0.655	0.603
	80	2	0.533	0.563
		4	0.564	0.601
		6	0.604	0.623
		8	0.584	0.614
		10	0.564	0.603
	85	2	0.567	0.521
		4	0.520	0.561
		6	0.505	0.564
		8	0.543	0.575
		10	0.546	0.547

ตารางที่ ข.1 ค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
5	65	2	0.716	0.744
		4	0.703	0.687
		6	0.678	0.662
		8	0.678	0.678
		10	0.571	0.575
	70	2	0.581	0.522
		4	0.673	0.643
		6	0.634	0.631
		8	0.607	0.595
		10	0.524	0.531
	75	2	0.453	0.401
		4	0.547	0.508
		6	0.490	0.512
		8	0.516	0.516
		10	0.434	0.421

ตารางที่ ข.1 ค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อณูหุ้ม และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อณูหุ้ม ($^{\circ}$ C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
5	80	2	0.363	0.315
		4	0.368	0.347
		6	0.359	0.339
		8	0.353	0.353
		10	0.325	0.305
5	85	2	0.291	0.259
		4	0.276	0.247
		6	0.264	0.238
		8	0.258	0.258
		10	0.251	0.226

ตารางที่ ข.2 ค่า flow-behavior index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
1	65	2	1.802	1.820
		4	1.772	1.805
		6	1.799	1.842
		8	1.801	1.857
		10	1.828	1.884
	70	2	1.509	1.443
		4	1.650	1.585
		6	1.696	1.641
		8	1.725	1.638
		10	1.727	1.761
	75	2	1.569	1.456
		4	1.572	1.488
		6	1.564	1.555
		8	1.664	1.560
		10	1.673	1.674

ตารางที่ ข.2 ค่า flow-behavior index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
1	80	2	1.376	1.331
		4	1.430	1.336
		6	1.535	1.496
		8	1.447	1.505
		10	1.548	1.506
	85	2	1.290	1.299
		4	1.288	1.299
		6	1.293	1.309
		8	1.294	1.308
		10	1.329	1.314
2	65	2	1.476	1.562
		4	1.472	1.559
		6	1.484	1.579
		8	1.471	1.538
		10	1.482	1.593

ตารางที่ ข.2 ค่า flow-behavior index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
2	70	2	1.246	1.220
		4	1.259	1.275
		6	1.304	1.290
		8	1.294	1.274
		10	1.299	1.339
	75	2	1.126	1.138
		4	1.241	1.151
		6	1.154	1.190
		8	1.207	1.197
		10	1.196	1.265
	80	2	1.014	0.999
		4	1.042	0.998
		6	1.103	1.091
		8	1.054	1.104
		10	1.103	1.096

ตารางที่ ข.2 ค่า flow-behavior index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
2	85	2	0.945	0.949
		4	0.948	0.957
		6	0.920	0.964
		8	0.931	0.949
		10	0.928	0.963
3	65	2	1.231	1.355
		4	1.208	1.349
		6	1.206	1.334
		8	1.252	1.305
		10	1.202	1.304
	70	2	1.005	1.016
		4	0.972	0.927
		6	0.884	0.909
		8	0.873	0.865
		10	0.818	0.851

ตารางที่ ข.2 ค่า flow-behavior index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
3	75	2	0.751	0.791
		4	0.750	0.788
		6	0.730	0.784
		8	0.765	0.788
		10	0.780	0.787
	80	2	0.543	0.605
		4	0.538	0.605
		6	0.537	0.612
		8	0.538	0.604
		10	0.537	0.604
	85	2	0.558	0.553
		4	0.563	0.560
		6	0.583	0.581
		8	0.585	0.587
		10	0.588	0.587

ตารางที่ ข.2 ค่า flow-behavior index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
4	65	2	0.947	0.947
		4	1.008	0.993
		6	0.970	1.018
		8	0.874	0.870
		10	0.834	0.833
	70	2	0.710	0.738
		4	0.721	0.728
		6	0.637	0.645
		8	0.629	0.634
		10	0.618	0.627
	75	2	0.471	0.486
		4	0.477	0.501
		6	0.476	0.501
		8	0.575	0.561
		10	0.487	0.501

ตารางที่ ข.2 ค่า flow-behavior index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
4	80	2	0.458	0.456
		4	0.446	0.432
		6	0.427	0.431
		8	0.515	0.501
		10	0.459	0.438
	85	2	0.364	0.341
		4	0.385	0.385
		6	0.398	0.353
		8	0.421	0.433
		10	0.355	0.314
5	65	2	0.672	0.683
		4	0.609	0.651
		6	0.612	0.644
		8	0.601	0.641
		10	0.588	0.603

ตารางที่ ข.2 ค่า flow-behavior index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
5	70	2	0.648	0.624
		4	0.549	0.556
		6	0.555	0.554
		8	0.553	0.546
		10	0.556	0.543
	75	2	0.463	0.471
		4	0.465	0.452
		6	0.452	0.435
		8	0.468	0.456
		10	0.488	0.454
	80	2	0.440	0.421
		4	0.416	0.401
		6	0.407	0.410
		8	0.401	0.414
		10	0.397	0.411

ตารางที่ ข.2 ค่า flow-behavior index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ ($^{\circ}$ C)	เวลา (นาที)	flow-behavior index (n)	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
5	85	2	0.370	0.371
		4	0.361	0.340
		6	0.352	0.349
		8	0.358	0.364
		10	0.364	0.360

ตารางที่ ข.3 ค่า consistency index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
1	65	2	0.0011	0.0017
		4	0.0011	0.0017
		6	0.0010	0.0017
		8	0.0010	0.0017
		10	0.0010	0.0017
	70	2	0.0028	0.0031
		4	0.0025	0.0031
		6	0.0030	0.0032
		8	0.0028	0.0033
		10	0.0028	0.0032
	75	2	0.0074	0.0063
		4	0.0059	0.0062
		6	0.0076	0.0061
		8	0.0075	0.0061
		10	0.0074	0.0060

ตารางที่ ข.3 ค่า consistency index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
1	80	2	0.0107	0.0105
		4	0.0108	0.0106
		6	0.0111	0.0107
		8	0.0111	0.0108
		10	0.0112	0.0108
	85	2	0.0249	0.0244
		4	0.0257	0.0249
		6	0.0218	0.0259
		8	0.0228	0.0223
		10	0.0229	0.0223
2	65	2	0.0050	0.0058
		4	0.0053	0.0060
		6	0.0051	0.0062
		8	0.0052	0.0063
		10	0.0052	0.0063

ตารางที่ ข.3 ค่า consistency index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
2	70	2	0.0117	0.0117
		4	0.0108	0.0123
		6	0.0114	0.0128
		8	0.0113	0.0129
		10	0.0117	0.0130
	75	2	0.0250	0.0212
		4	0.0229	0.0226
		6	0.0262	0.0229
		8	0.0261	0.0257
		10	0.0261	0.0232
	80	2	0.0340	0.0308
		4	0.0352	0.0310
		6	0.0366	0.0346
		8	0.0373	0.0346
		10	0.0379	0.0343

ตารางที่ ข.3 ค่า consistency index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุดหนึ่ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุดหนึ่ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้าที่ 1	ซ้าที่ 2
2	85	2	0.0691	0.0679
		4	0.0726	0.0698
		6	0.0676	0.0723
		8	0.0706	0.0662
		10	0.0720	0.0673
3	65	2	0.0271	0.0200
		4	0.0248	0.0219
		6	0.0278	0.0232
		8	0.0289	0.0234
		10	0.0287	0.0236
	70	2	0.0644	0.0549
		4	0.0608	0.0589
		6	0.0650	0.0615
		8	0.0632	0.0637
		10	0.0710	0.0663

ตารางที่ ข.3 ค่า consistency index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
3	75	2	0.0957	0.0872
		4	0.1028	0.0932
		6	0.1067	0.0983
		8	0.1106	0.1023
		10	0.1129	0.1067
	80	2	0.1244	0.1229
		4	0.1306	0.1298
		6	0.1361	0.1316
		8	0.1407	0.1343
		10	0.1441	0.1381
85	2	0.2038	0.2116	
	4	0.2173	0.2245	
	6	0.2265	0.2343	
	8	0.2349	0.2447	
	10	0.2453	0.2538	

ตารางที่ ข.3 ค่า consistency index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
4	65	2	0.0798	0.0725
		4	0.0774	0.0788
		6	0.0793	0.0768
		8	0.0801	0.0781
		10	0.0807	0.0796
	70	2	0.1174	0.1242
		4	0.1251	0.1249
		6	0.1291	0.1303
		8	0.1294	0.1327
		10	0.1304	0.1342
	75	2	0.2293	0.2031
		4	0.2509	0.2374
		6	0.2393	0.2378
		8	0.2426	0.2380
		10	0.2503	0.2396

ตารางที่ ข.3 ค่า consistency index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
4	80	2	0.2642	0.2414
		4	0.2944	0.2966
		6	0.3140	0.3038
		8	0.3303	0.3049
		10	0.3477	0.3196
	85	2	0.4245	0.4194
		4	0.4517	0.4164
		6	0.4934	0.4195
		8	0.4804	0.3789
		10	0.4785	0.3682
5	65	2	0.4342	0.4137
		4	0.5847	0.5604
		6	0.6765	0.6725
		8	0.7644	0.7496
		10	0.8260	0.8167

ตารางที่ ข.3 ค่า consistency index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
5	70	2	0.8060	0.8149
		4	0.9489	0.9506
		6	1.0287	1.0443
		8	1.1174	1.0880
		10	1.1587	1.1532
	75	2	1.7113	1.6702
		4	1.5587	1.8083
		6	1.5602	1.7529
		8	1.6524	1.6376
		10	1.6119	1.6596
	80	2	2.0624	1.8059
		4	2.0816	2.0265
		6	2.0142	2.0126
		8	2.1552	1.9909
		10	2.0929	2.0905

ตารางที่ ข.3 ค่า consistency index ของแป้งข้าวเหนียว ที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
5	85	2	4.1317	4.2929
		4	4.0332	4.2242
		6	3.9757	4.2028
		8	3.9573	4.1797
		10	3.9421	4.1640

ตารางที่ ข.4 ค่า consistency index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
1	65	2	0.0025	0.0025
		4	0.0027	0.0026
		6	0.0026	0.0026
		8	0.0027	0.0026
		10	0.0027	0.0025
	70	2	0.0039	0.0033
		4	0.0037	0.0033
		6	0.0036	0.0034
		8	0.0036	0.0033
		10	0.0036	0.0037
75	2	0.0050	0.0052	
	4	0.0042	0.0043	
	6	0.0039	0.0041	
	8	0.0039	0.0041	
	10	0.0039	0.0044	

ตารางที่ ข.4 ค่า consistency index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
1	80	2	0.0066	0.0078
		4	0.0061	0.0061
		6	0.0051	0.0058
		8	0.0051	0.0058
		10	0.0051	0.0058
	85	2	0.0083	0.0080
		4	0.0087	0.0083
		6	0.0088	0.0081
		8	0.0088	0.0080
		10	0.0082	0.0081
2	65	2	0.0094	0.0085
		4	0.0103	0.0093
		6	0.0109	0.0097
		8	0.0117	0.0102
		10	0.0123	0.0103

ตารางที่ ข.4 ค่า consistency index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
2	70	2	0.0236	0.0210
		4	0.0294	0.0296
		6	0.0308	0.0305
		8	0.0310	0.0308
		10	0.0314	0.0311
	75	2	0.0254	0.0187
		4	0.0327	0.0343
		6	0.0278	0.0215
		8	0.0179	0.0224
		10	0.0198	0.0208
80	2	0.0450	0.0537	
	4	0.0412	0.0515	
	6	0.0466	0.0503	
	8	0.0448	0.0502	
	10	0.0450	0.0504	

ตารางที่ ข.4 ค่า consistency index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
2	85	2	0.0702	0.0746
		4	0.0691	0.0749
		6	0.0690	0.0744
		8	0.0685	0.0742
		10	0.0691	0.0744
3	65	2	0.0266	0.0206
		4	0.0329	0.0248
		6	0.0363	0.0280
		8	0.0394	0.0318
		10	0.0414	0.0334
	70	2	0.1531	0.1507
		4	0.1745	0.1801
		6	0.2019	0.1957
		8	0.2148	0.2135
		10	0.2369	0.2253

ตารางที่ ข.4 ค่า consistency index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
3	75	2	0.3585	0.3672
		4	0.3685	0.3744
		6	0.3726	0.3740
		8	0.3802	0.3810
		10	0.3900	0.3855
	80	2	0.4591	0.4094
		4	0.4513	0.3947
		6	0.4467	0.3837
		8	0.4444	0.3893
		10	0.4438	0.3891
85	2	0.3926	0.4003	
	4	0.3755	0.3816	
	6	0.3738	0.3694	
	8	0.3692	0.3664	
	10	0.3629	0.3635	

ตารางที่ ข.4 ค่า consistency index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
4	65	2	0.1549	0.1780
		4	0.1817	0.2091
		6	0.2116	0.2369
		8	0.2601	0.2640
		10	0.3111	0.2866
	70	2	0.7112	0.6912
		4	0.7696	0.7249
		6	0.8421	0.8121
		8	0.8499	0.8383
		10	0.8924	0.8582
	75	2	1.2891	1.2205
		4	1.1921	1.1817
		6	1.1927	1.1803
		8	1.2834	1.1777
		10	1.2806	1.1770

ตารางที่ ข.4 ค่า consistency index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
4	80	2	1.0658	1.1159
		4	0.9903	1.1130
		6	0.9572	1.0929
		8	0.9010	1.0512
		10	0.9489	1.0253
	85	2	0.7838	0.7950
		4	0.7697	0.7797
		6	0.7623	0.7735
		8	0.7576	0.7724
		10	0.7757	0.7713
5	65	2	1.3503	1.1211
		4	1.5098	1.2615
		6	1.5233	1.4457
		8	1.5467	1.5211
		10	1.5749	1.5981

ตารางที่ ข.4 ค่า consistency index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
5	70	2	1.9517	1.9192
		4	1.8404	1.8566
		6	1.8209	1.8556
		8	1.7865	1.8471
		10	1.7893	1.8328
	75	2	2.1361	2.4634
		4	2.1052	2.3731
		6	2.0349	2.2576
		8	2.0603	2.1074
		10	2.0113	2.0113
	80	2	2.3103	2.2914
		4	2.1523	2.1639
		6	2.0746	2.0661
		8	2.0256	2.0064
		10	1.9911	1.9548

ตารางที่ ข.4 ค่า consistency index ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น
อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ (ต่อ)

ความเข้มข้น (wt %)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	consistency index, (K) Pa.s ⁿ	
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
5	85	2	1.8452	1.8063
		4	1.7522	1.7083
		6	1.7108	1.6554
		8	1.6741	1.5908
		10	1.6498	1.5908

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลา ต่อค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียวในระหว่างการเกิด gelatinization ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1-5 อุณหภูมิ 65-85 °C และเวลา 2-10 นาที

SOV	df	SS	MS	F
ความเข้มข้น (C)	4	37.90	9.47	2355.10*
อุณหภูมิ (T)	4	12.37	3.09	768.97*
เวลา (t)	4	1.11×10^{-2}	2.77	0.69
CT	16	2.10	0.13	32.69*
Ct	16	8.21×10^{-2}	5.13×10^{-3}	1.28
Tt	16	4.87×10^{-2}	3.04×10^{-3}	0.76
CTt	64	0.13	2.05×10^{-3}	0.51
Error	125	0.50	4.02×10^{-3}	

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลา ต่อค่า consistency index ของแป้งข้าวเหนียวในระหว่างการเกิด gelatinization ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1-5 อุณหภูมิ 65 °C-85 °C และเวลา 2-10 นาที

SOV	df	SS	MS	F
ความเข้มข้น (C)	4	130.79	32.70	18391.56*
อุณหภูมิ (T)	4	20.52	5.13	2885.07*
เวลา (t)	4	3.95×10^{-2}	9.89×10^{-3}	5.56*
CT	16	53.69	3.36	1887.48*
Ct	16	7.88×10^{-2}	4.92×10^{-3}	2.77*
Tt	16	5.40×10^{-2}	3.37×10^{-3}	1.90*
CTt	64	0.25	3.97×10^{-3}	2.23*
Error	125	0.22	1.78×10^{-3}	

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค.3 ค่าเฉลี่ย consistency index ของแป้งข้าวเหนียว ระหว่างการเกิด gelatinization ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ร้อยละ)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย consistency index ที่อุณหภูมิ				
		65 ± 1 °C	70 ± 1 °C	75 ± 1 °C	80 ± 1 °C	85 ± 1 °C
1	2	0.0014 a, n, a	0.0030 a, ข, a	0.0069 a, ค, a	0.0106 a, ง, a	0.0247 a, จ, a
	4	0.0014 a, n, a	0.0029 a, ข, a	0.0061 a, ค, a	0.0107 a, ง, a	0.0253 a, จ, a
	6	0.0014 a, n, a	0.0031 a, ข, a	0.0069 a, ค, a	0.0109 a, ง, a	0.0239 a, จ, a
	8	0.0014 a, n, a	0.0031 a, ข, a	0.0068 a, ค, a	0.0110 a, ง, a	0.0226 a, จ, a
	10	0.0014 a, n, a	0.0030 a, ข, a	0.0067 a, ค, a	0.0110 a, ง, a	0.0226 a, จ, a
2	2	0.0054 a, n, a	0.0117 a, ข, a	0.0231 a, ค, a	0.0324 a, ง, a	0.0685 a, จ, a
	4	0.0057 a, n, a	0.0116 a, ข, a	0.0228 a, ค, a	0.0331 a, ง, a	0.0712 a, จ, a
	6	0.0057 a, n, a	0.0121 a, ข, a	0.0246 a, ค, a	0.0356 a, ง, a	0.0700 a, จ, a
	8	0.0058 a, n, a	0.0121 a, ข, a	0.0259 a, ค, a	0.0340 a, ง, a	0.0684 a, จ, a
	10	0.0058 a, n, a	0.0124 a, ข, a	0.0248 a, ค, a	0.0361 a, ง, a	0.0697 a, จ, a
3	2	0.0236 a, n, a	0.0597 b, ข, a	0.0915 b, ค, a	0.1237 b, ง, a	0.2077 b, จ, a
	4	0.0234 a, n, a	0.0599 b, ข, a	0.0980 b, ค, a	0.1302 b, ง, a	0.2209 a, จ, a
	6	0.0255 b, n, a	0.0633 b, ข, a	0.1025 b, ค, a	0.1339 b, ง, a	0.2304 a, จ, a
	8	0.0262 b, n, a	0.0635 b, ข, a	0.1065 b, ค, a	0.1375 a, ง, a	0.2398 a, จ, a
	10	0.0262 b, n, a	0.0687 b, ข, a	0.1098 b, ค, a	0.1411 b, ง, a	0.2496 a, จ, a
4	2	0.0762 b, n, a	0.1208 c, ข, a	0.2162 c, ค, a	0.2528 c, ง, a	0.4220 c, จ, a
	4	0.0756 b, n, a	0.1250 c, ข, a	0.2442 c, ค, b	0.2955 c, ง, b	0.4341 b, จ, a
	6	0.0781 c, n, a	0.1297 c, ข, a	0.2386 c, ค, b	0.3089 c, ง, b	0.4565 b, จ, a
	8	0.0791 c, n, a	0.1311 c, ข, a	0.2403 c, ค, b	0.3176 b, ง, b	0.4297 b, จ, a
	10	0.0802 c, n, a	0.1323 c, ข, a	0.2450 c, ค, b	0.3337 c, ง, b	0.4334 b, จ, a
5	2	0.4240 c, n, a	0.8105 d, ข, a	1.6908 d, ค, a	1.9342 d, ง, a	4.2123 d, จ, a
	4	0.5726 c, n, b	0.9498 d, ข, b	1.6835 d, ค, a	2.0541 d, ง, a	4.1287 c, จ, a
	6	0.6745 d, n, c	1.0365 d, ข, c	1.6566 d, ค, b	2.0134 d, ง, a	4.0893 c, จ, a
	8	0.7570 d, n, d	1.1027 d, ข, d	1.6450 d, ค, b	2.0731 c, ง, a	4.0685 c, จ, a
	10	0.8214 d, n, e	1.1560 d, ข, e	1.6358 d, ค, b	2.0917 d, ง, a	4.0531 c, จ, a

- * - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ย consistency index ที่ความเข้มข้นต่างกัน ของแต่ละเวลาและอุณหภูมิ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ตัวอักษรภาษาไทยที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ย consistency index ที่อุณหภูมิต่างกัน ของแต่ละเวลาและความเข้มข้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษ ซีดเส้นใต้ ในแต่ละช่อง หมายถึง ค่าเฉลี่ย consistency index ที่เวลาต่างกัน ของแต่ละความเข้มข้นและอุณหภูมิ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลา ต่อค่า flow-behavior index ของแป้งมันสำปะหลังในระหว่างการเกิด gelatinization ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1-5 อุณหภูมิ 65 °C-85 °C และเวลา 2-10 นาที

SOV	df	SS	MS	F
ความเข้มข้น (C)	4	39.65	9.91	2337.26*
อุณหภูมิ (T)	4	8.42	2.10	495.28*
เวลา (t)	4	8.76×10^{-3}	2.19×10^{-3}	0.52
CT	16	0.87	5.41×10^{-2}	12.76*
Ct	16	6.16×10^{-2}	3.85×10^{-3}	0.91
Tt	16	5.37×10^{-2}	3.36×10^{-3}	0.79
CTt	64	0.14	2.15×10^{-3}	0.51
Error	125	0.53	4.24×10^{-3}	

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลา ต่อค่า consistency index ของแป้งมันสำปะหลังในระหว่างการเกิด gelatinization ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1-5 อุณหภูมิ 65 °C-85 °C และเวลา 2-10 นาที

SOV	df	SS	MS	F
ความเข้มข้น (C)	4	119.10	29.77	15028.67*
อุณหภูมิ (T)	4	5.26	1.31	663.61*
เวลา (t)	4	7.93×10^{-3}	1.98×10^{-3}	1.00
CT	16	4.80	0.30	151.32*
Ct	16	9.26×10^{-2}	5.76×10^{-3}	2.92*
Tt	16	0.15	9.55×10^{-3}	4.82*
CTt	64	0.32	4.99×10^{-3}	2.52*
Error	125	0.25	1.98×10^{-3}	

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค.6 ค่าเฉลี่ย consistency index ของแป้งมันสำปะหลัง ระหว่างการเกิด gelatinization ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ

ความเข้มข้น (ร้อยละ)	เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ย consistency index ที่อุณหภูมิ *				
		65 ± 1 °C	70 ± 1 °C	75 ± 1 °C	80 ± 1 °C	85 ± 1 °C
1	2	0.0025 a, n, a	0.0036 a, ข, a	0.0051 a, ข, a	0.0072 a, ค, a	0.0082 a, ง, a
	4	0.0027 a, n, b	0.0035 a, ข, a	0.0043 a, ข, b	0.0061 a, ค, b	0.0085 a, ง, a
	6	0.0026 a, n, b	0.0035 a, ข, a	0.0040 a, ข, b	0.0055 a, ค, b	0.0085 a, ง, a
	8	0.0027 a, n, b	0.0035 a, ข, a	0.0040 a, ข, b	0.0055 a, ค, b	0.0084 a, ง, a
	10	0.0026 a, n, b	0.0037 a, ข, a	0.0042 a, ข, b	0.0055 a, ค, b	0.0082 d, ง, a
2	2	0.0090 a, n, a	0.0223 a, ข, a	0.0221 a, ข, a	0.0494 a, ค, a	0.0724 b, ง, a
	4	0.0098 a, n, a	0.0295 a, ข, b	0.0335 a, ข, b	0.0464 a, ค, a	0.0720 b, ง, a
	6	0.0103 a, n, a	0.0307 a, ข, b	0.0247 a, ข, b	0.0485 a, ค, a	0.0717 b, ง, a
	8	0.0110 a, n, a	0.0309 a, ข, b	0.0202 a, ข, b	0.0475 a, ค, a	0.0714 b, ง, a
	10	0.0113 a, n, a	0.0313 a, ข, b	0.0203 a, ข, b	0.0477 a, ค, a	0.0718 b, ง, a
3	2	0.0236 a, n, a	0.1519 b, ข, a	0.3629 b, ค, a	0.4343 b, ง, a	0.3965 c, ค, a
	4	0.0289 a, n, a	0.1773 b, ข, b	0.3715 b, ค, a	0.4230 b, ง, a	0.3786 c, ค, b
	6	0.0322 a, n, b	0.1988 b, ข, c	0.3733 b, ค, a	0.4152 b, ง, a	0.3716 c, ค, b
	8	0.0356 a, n, b	0.2142 b, ข, d	0.3806 b, ค, b	0.4169 a, ง, a	0.3678 c, ค, b
	10	0.0374 a, n, b	0.2311 b, ข, e	0.3878 b, ค, b	0.4165 b, ง, a	0.3632 c, ค, b
4	2	0.1665 a, n, a	0.7012 c, ข, a	1.2548 c, ค, a	1.0909 c, ง, a	0.7894 d, ข, a
	4	0.1954 a, n, a	0.7473 c, ข, a	1.1869 c, ค, a	1.0517 c, ง, a	0.7747 d, ข, a
	6	0.2243 b, n, b	0.8271 c, ข, b	1.1865 c, ค, a	1.0251 c, ง, a	0.7679 d, ข, b
	8	0.2621 b, n, b	0.8411 c, ข, b	1.2306 c, ค, a	0.9761 b, ง, a	0.7650 d, ข, b
	10	0.2989 b, n, c	0.8753 c, ข, b	1.2233 c, ค, a	0.9871 c, ง, a	0.7735 d, ข, b
5	2	1.2357 b, n, a	1.9355 d, ข, a	2.2998 d, ค, a	2.3009 d, ค, a	1.8258 e, ข, a
	4	1.3857 b, n, a	1.8485 d, ข, a	2.2392 d, ค, a	2.1581 d, ค, b	1.7303 e, ข, b
	6	1.4845 c, n, a	1.8383 d, ข, a	2.1463 d, ค, a	2.0704 d, ค, c	1.6831 e, ข, b
	8	1.5339 c, n, a	1.8168 d, ข, a	2.0839 d, ค, a	2.0150 c, ค, d	1.6325 e, ข, b
	10	1.5865 c, n, a	1.8111 d, ข, a	2.0113 d, ค, a	1.9730 d, ค, e	1.6203 e, ข, b

- * - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ย consistency index ที่ความเข้มข้นต่างกัน ของแต่ละเวลาและอุณหภูมิ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ตัวอักษรภาษาไทยที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ย consistency index ที่อุณหภูมิต่างกัน ของแต่ละเวลาและความเข้มข้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษ ซีดเส้นใต้ ในแต่ละช่อง หมายถึง ค่าเฉลี่ย consistency index ที่เวลาต่างกัน ของแต่ละความเข้มข้นและอุณหภูมิ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค.7 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

1. จัดอันดับค่าเฉลี่ยจากค่าต่ำสุดไปหาค่าสูงสุด หรือค่าสูงสุดไปค่าต่ำสุด
2. คำนวณ standard error (S_x) จาก

$$S_x = (MS_E / r)^{0.5}$$

เมื่อ MS_E = mean square error จาก one - way ANOVA

r = จำนวนซ้ำของการทดลอง

3. degree of freedom (df) ที่ใช้ คือ degree of freedom ของ residual error term
4. ใช้ตาราง Significant Studentized Ranges (SSR) หาค่าของ SSR ที่ degree of freedom นั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตั้งแต่ $p = 2$ ถึง จำนวนค่าเฉลี่ยที่จะเปรียบเทียบ
5. คำนวณค่า Least Significant Ranges (LSR) จาก

$$LSR = SSR \times S_x$$

6. เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละคู่ กับค่า LSR ถ้าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยมากกว่าค่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยทั้งสองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค.8 ตัวอย่างการคำนวณ mean square error

ค่า flow-behavior index ของแป้งข้าวเหนียว ความเข้มข้น 3 %
(w/v) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้

อุณหภูมิ 65 °C , n = 1.024, 1.120, 1.021, 1.021, 1.009,
1.182, 1.195, 1.187, 1.197, 1.205

อุณหภูมิ 70 °C , n = 1.024, 0.922, 0.915, 0.948, 0.907,
1.182, 0.936, 0.933, 0.934, 0.934

อุณหภูมิ 75 °C , n = 0.748, 0.741, 0.748, 0.752, 0.758,
0.795, 0.792, 0.792, 0.791, 0.786

อุณหภูมิ 80 °C , n = 0.742, 0.740, 0.737, 0.741, 0.746,
0.740, 0.731, 0.745, 0.751, 0.749

อุณหภูมิ 65 °C , n = 0.668, 0.661, 0.660, 0.655, 0.645,
0.654, 0.645, 0.642, 0.636, 0.629

ค.8.1 การวิเคราะห์ one-way ANOVA ของแป้งข้าวเหนียว ความเข้มข้น
3 % (w/v) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้

SOV	df	SS	MS	F
Treatment	4	1.4223	0.3556	118.149
Error	45	0.1354	3.00×10^{-3}	

ค.9 ตัวอย่างการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย flow-behavior index ที่ความเข้มข้น 3 % (w/v) ที่อุณหภูมิ
ต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{อุณหภูมิ } 85^{\circ}\text{C} , n(1) = 0.650$$

$$\text{อุณหภูมิ } 80^{\circ}\text{C} , n(2) = 0.742$$

$$\text{อุณหภูมิ } 75^{\circ}\text{C} , n(3) = 0.770$$

$$\text{อุณหภูมิ } 70^{\circ}\text{C} , n(4) = 0.964$$

$$\text{อุณหภูมิ } 65^{\circ}\text{C} , n(5) = 1.117$$

$$\text{Degree of freedom} = 45$$

$$\text{จาก one-way ANOVA} \quad MS_E = 3.00 \times 10^{-3}$$

$$S_x = (MS_E / r)^{0.5} = (3.00 \times 10^{-3} / 10)^{0.5} \\ = 0.017$$

$$LSR = SSR \times S_x$$

จากตาราง Significant Studentized Ranges

	p = 2	p = 3	p = 4	p = 5
SSR _{0.05}	2.85	3.43	3.78	4.03
ดังนั้น LSR _{0.05}	0.048	0.058	0.064	0.069

$$n(5) - n(4) = 1.117 - 0.964 = 0.153 > 0.048$$

$$n(5) - n(3) = 1.117 - 0.770 = 0.347 > 0.058$$

$$n(5) - n(2) = 1.117 - 0.742 = 0.375 > 0.064$$

$$n(5) - n(1) = 1.117 - 0.650 = 0.467 > 0.069$$

$$n(4) - n(3) = 0.964 - 0.770 = 0.194 > 0.048$$

$$n(4) - n(2) = 0.964 - 0.742 = 0.222 > 0.058$$

$$\begin{aligned}n(4) - n(1) &= 0.964 - 0.650 = 0.314 > 0.064 \\n(3) - n(2) &= 0.770 - 0.742 = 0.028 > 0.048 \\n(3) - n(1) &= 0.770 - 0.650 = 0.120 > 0.058 \\n(2) - n(1) &= 0.742 - 0.650 = 0.092 > 0.048\end{aligned}$$

แสดงว่า $n(5)$ และ $n(4)$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 $n(5)$ และ $n(3)$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 $n(5)$ และ $n(2)$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 $n(5)$ และ $n(1)$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 $n(4)$ และ $n(3)$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 $n(4)$ และ $n(2)$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 $n(4)$ และ $n(1)$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 $n(3)$ และ $n(2)$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 $n(3)$ และ $n(1)$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 $n(2)$ และ $n(1)$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ประวัติผู้เขียน

นายวัลลภ ชนะสังข์ เกิดวันที่ 17 กันยายน พ.ศ. 2509 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2531 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2532

