บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 สัดส่วนและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำกาแฟ

4.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำกาแฟสกัดเข้มข้น

น้ำกาแฟสกัดที่ได้จากการใช้สัดส่วนกาแฟบดต่อน้ำและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่าง ๆ มีสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำกาแฟสกัดที่ได้จากสัดส่วนของกาแฟบดต่อน้ำ ที่เวลาในการสกัดต่าง ๆ

สัดส่วนของกาแฟ : น้ำ : เวลา	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	ความหนืด (Cp)	ค่า L	ค่า a*	ค่า b*
10 : 100 : 1	$2.10^{a} \pm 0.05$	$1.07^{a} \pm 0.11$	$13.15^{a} \pm 0.96$	$+20.38^{a} \pm 2.27$	$-2.01^{a} \pm 1.43$
20 : 100 : 1	$3.69^{b} \pm 0.59$	$1.25^{b} \pm 0.09$	$10.07^{b} \pm 1.32$	$+15.60^{b} \pm 2.30$	$-6.89^{b} \pm 1.43$
30 : 100 : 1	$5.18^{c} \pm 1.27$	$1.48^{c} \pm 0.09$	$9.88^{b} \pm 0.50$	$+13.80^{b} \pm 2.22$	$-7.44^{b} \pm 0.63$
10 : 100 : 4	$2.25^{a} \pm 0.10$	$1.07^{a} \pm 0.04$	$12.51^{a} \pm 1.37$	$+18.88^{a} \pm 1.96$	$-3.44^{a} \pm 2.25$
20 : 100 : 4	$3.93^{b} \pm 0.65$	$1.22^{b} \pm 0.05$	$9.99^{b} \pm 1.17$	$+14.84^{b} \pm 1.86$	$-7.17^{b} \pm 1.56$
30 : 100 : 4	$5.41^{c} \pm 1.14$	$1.41^{c} \pm 0.09$	$10.04^{b} \pm 0.70$	$+12.98^{b} \pm 2.19$	$-7.22^{b} \pm 0.83$
10 : 100 : 8	$2.51^{a} \pm 0.31$	$1.09^{a} \pm 0.07$	$13.08^{a} \pm 1.89$	$+16.80^{a} \pm 5.15$	$-3.25^{a} \pm 1.53$
20 :100 : 8	$4.03^{b} \pm 0.56$	$1.19^{b} \pm 0.09$	$10.38^{b} \pm 0.92$	$+13.80^{b} \pm 2.82$	$-6.87^{b} \pm 0.92$
30 :100 : 8	$5.61^{c} \pm 1.49$	$1.37^{c} \pm 0.14$	$9.55^{b} \pm 0.45$	$+13.92^{b} \pm 2.07$	$-7.92^{b} \pm 0.82$

หมายเหตุ : ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.10 ถึงร้อยละ 5.61 ส่วนค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.07 ถึง 1.48 Cp เวลาที่ใช้ในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด และความหนืดของน้ำกาแฟสกัด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่สัดส่วนของกาแฟบด : น้ำ มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด และความหนืดของน้ำกาแฟสกัด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อสัดส่วนของกาแฟบด : น้ำ เพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมด และความหนืดสูงขึ้นตามไปด้วย

ค่าสี L (ความสว่าง) อยู่ในช่วง 9.55 ถึง 13.15 ส่วนค่าสี a* (สีแดง-สีเขียว) อยู่ในช่วง +12.98 ถึง +20.38 และค่าสี b* (สีเหลือง-สีน้ำเงิน) อยู่ในช่วง – 2.01 ถึง -7.92 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่สัดส่วนกาแฟบด : น้ำ เท่ากับ 10 : 100 นั้นมีค่าสี L a* และ b* นั้นแตกต่างจากสัดส่วนกาแฟบด : น้ำเท่ากับ 20 : 100 และ 30 : 100 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อสัดส่วนกาแฟบด : น้ำ ที่ใช้ในการสกัดสูง ทำให้ค่าความสว่าง (L) มีค่าลดลงหรือมีความสว่างน้อยลง ค่าสีแดง-สีเขียว (a*) ซึ่งมีค่าเป็นบวก (+) แสดงว่ามีค่าเข้าใกล้สีแดง และเมื่อสัดส่วนกาแฟบด : น้ำสูง ทำให้ค่า a* มีแนวโน้มลดลงคือมีค่าสีแดงน้อยลง ส่วนค่าสีเหลือง - น้ำเงิน (b*) มีค่าเป็นลบ (–) แสดงว่ามีค่าเข้าใกล้สีน้ำเงิน เมื่อสัดส่วนกาแฟบด : น้ำสูงค่า b*มีแน้วโน้มเพิ่มขึ้นคือมีค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น โดยรวมแล้วเมื่อสัดส่วนกาแฟบด : น้ำเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำกาแฟสกัดมีสีเข้มขึ้นนั่นเอง (HunterLab, 1996) แต่เวลาที่ใช้ในการสกัดน้ำกาแฟนั้น ไม่มีผลต่อสมบัติด้านสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพของน้ำกาแฟสกัด

	ปริมาณของแข็งทั้งหมด	ความหนืด	ค่าสี		
			L	a*	b*
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	1.00	0.946*	-0.898*	-0.906*	0.910*
ความหนืด	0.946*	1.00	-0.831*	-0.817*	0.832*
ค่าสี L	-0.898*	-0.831*	1.00	0.877*	-0.990*
a*	-0.906*	-0.817*	0.877*	1.00	-0.928*
b*	0.910*	0.832*	-0.990*	-0.928*	1.00

หมายเหตุ: * มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.2 เป็นตารางค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมบัติกายภาพ พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความหนืด และค่าสี b* ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ความหนืด และค่าสี b* สูงขึ้นตามไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันปริมาณของแข็งทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับค่าสี L และค่าสี a* ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ค่าสี L และ a* นั้นมีความสว่างและความเป็นสีแดง-สีเขียวลดลง

4.1.2 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำกาแฟสกัด

เมื่อนำน้ำกาแฟสกัดที่ได้ทั้งหมดไปทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส เพื่อหาระดับความชอบในด้านสี กลิ่นกาแฟ รสขม และความชอบรวม แสดงผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำกาแฟสกัดทั้ง 9 สิ่งทดลองพบว่าระดับความชอบในด้านสี อยู่ในช่วง 4.67 ถึง 7.33 โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านสีของน้ำกาแฟสกัดที่สัดส่วนกาแฟบด : น้ำ เท่ากับ 10 : 100 น้อยกว่า 20 : 100 และ 30 : 100 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)ในด้านกลิ่นกาแฟ คะแนนความชอบจะอยู่ในช่วง 5.73 ถึง 7.33 ซึ่งผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบกลิ่นของกาแฟในสัดส่วนกาแฟบด : น้ำ เท่ากับ 10 : 100 น้อยกว่าที่ระดับ 20 : 100 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ส่วนที่ระดับ 30 : 100 นั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างจากทั้งสองสัดส่วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คะแนนความชอบในด้านรสขมของกาแฟคะแนนจะอยู่ในช่วง 3.73 ถึง 5.40 โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบรสขมของกาแฟไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และคะแนนความชอบโดยรวมจะอยู่ในช่วง 4.00 ถึง 6.53 ซึ่งผู้ทดสอบชิมนั้นให้คะแนนความชอบโดยรวมในแต่ละสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบโดยรวมของน้ำกาแฟสกัดในสิ่งทดลองที่ 8 (สัดส่วนร้อยละ 20 เวลาสกัด 8 นาที) มีคะแนนสูงที่สุด คือ 6.53 ซึ่งในน้ำกาแฟสกัดที่ได้นี้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 4.3 มีความหนืดเท่ากับ 1.19 Cp และมีค่าความสว่าง (L) เท่ากับ 10.38 ค่าสีแดง-สีเขียว (a*) เท่ากับ 13.80 ค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b*) เท่ากับ -6.87 แสดงว่าน้ำกาแฟสกัดมีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้มเนื่องจากมีค่า L ต่ำ ซึ่งผู้ทดสอบชิมได้ให้คะแนนด้านสี กลิ่น และรสขม ของสิ่งทดลองนี้เท่ากับ 7.27 7.33 และ 5.33 ตามลำดับ แสดงว่าผู้ทดสอบชิมชอบสีและกลิ่นของกาแฟ แต่รสขมนั้นรู้สึกเฉย ๆ ดังแสดงในตาราง 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 สมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำกาแฟสกัดที่ได้จากสัดส่วนของกาแฟบดต่อน้ำ ที่เวลาในการสกัดต่าง ๆ

สัดส่วนกาแฟ : น้ำ : เวลา	สี	กลิ่นกาแฟ	รสขม^{ns}	ความชอบรวม
10 : 100 : 1	$4.67^{a} \pm 1.76$	$5.80^{a} \pm 1.37$	4.93 ± 1.58	$5.33^{ac} \pm 1.05$
20 : 100 : 1	$6.67^{b} \pm 1.63$	$7.00^{b} \pm 1.00$	4.73 ± 1.94	$6.33^{bc} \pm 1.50$
30 : 100 : 1	$7.33^{b} \pm 1.18$	$6.60^{ab} \pm 0.74$	5.40 ± 2.38	$6.33^{bc} \pm 1.35$
10 : 100 : 4	$5.20^{a} \pm 2.24$	$5.73^{a} \pm 2.19$	3.73 ± 2.12	$4.00^{ad} \pm 1.93$
20 : 100 : 4	$7.13^{b} \pm 1.06$	$6.60^{b} \pm 1.06$	5.33 ± 2.09	$6.00^{bd} \pm 1.41$
30 : 100 : 4	$7.27^{b} \pm 1.10$	$6.20^{ab} \pm 0.86$	5.00 ± 2.36	$5.73^{bd} \pm 1.22$
10 : 100 : 8	$5.80^{a} \pm 1.74$	$6.33^{a} \pm 1.23$	5.07 ± 1.58	$5.53^{acd} \pm 0.92$
20 :100 : 8	$7.27^{b} \pm 0.96$	$7.33^{b} \pm 0.90$	5.33 ± 2.06	$6.53^{bcd} \pm 1.68$
30 :100 : 8	$7.20^{b} \pm 1.26$	$6.60^{ab} \pm 1.68$	4.20 ± 2.08	$5.53^{bcd} \pm 1.68$

หมายเหตุ : ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตาราง 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำกาแฟสกัด

	ความชอบด้านสี	ความชอบด้านกลิ่น	ความชอบด้านรสขม	ความชอบรวม
ความชอบรวม	0.702*	0.841*	0.805*	1.00

หมายเหตุ: * มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 4.4 เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าความชอบรวมของผู้ทดสอบชิมน้ำกาแฟสกัด มีความสัมพันธ์กับความชอบในด้านสี กลิ่นกาแฟ และรสขมในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือเมื่อผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบในด้านสี กลิ่นกาแฟ และรสขมสูง ก็จะให้คะแนนความชอบรวมของน้ำกาแฟสกัดสูงขึ้นตามไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าสัดส่วนร้อยละ 20 นั้นมีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับที่สัดส่วนร้อยละ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการสกัด พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมของน้ำกาแฟสกัดที่ใช้เวลาในการสกัด 1 นาทีที่สัดส่วนร้อยละ 30 ได้คะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมมากที่สุดคือ 6.33 และไม่แตกต่างจากคะแนนเฉลี่ยของน้ำกาแฟสกัดที่ใช้เวลาในการสกัด 8 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่มีความแตกต่างจากน้ำกาแฟสกัดที่ใช้เวลาในการสกัด 4 นาทีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกสัดส่วนร้อยละ 30 และเวลาในการสกัด 1 นาทีเป็นสิ่งทดลองที่จะใช้ในการทดลองตอนที่ 2 ต่อไป

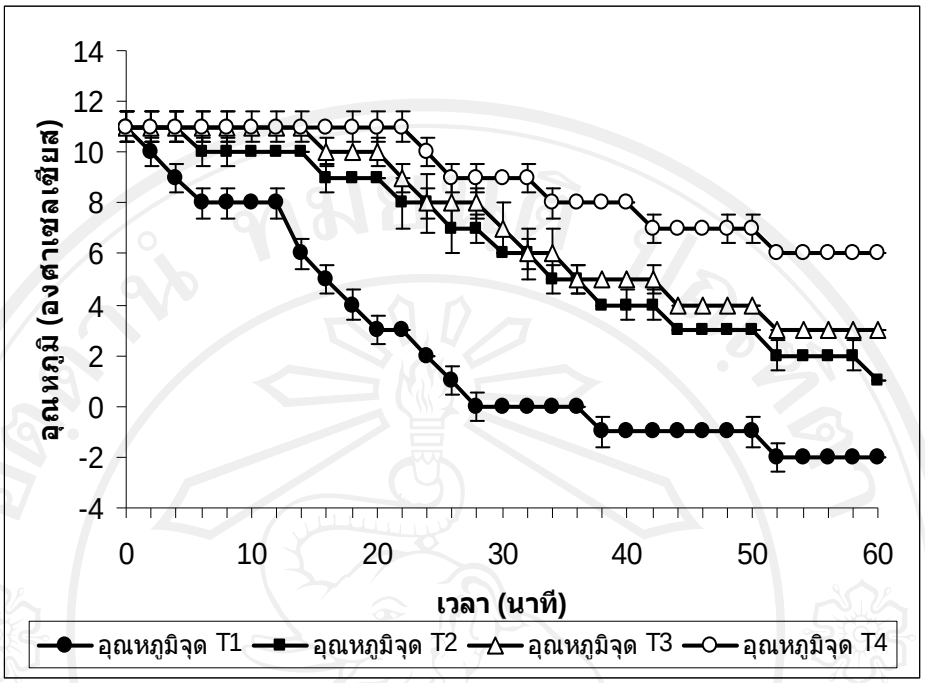
4.2 การเปรียบเทียบวิธีการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง

การทดลองในส่วนนี้ได้เลือกเอาน้ำกาแฟสกัดในสัดส่วนกาแฟบดต่อน้ำ 30 : 100 และเวลาในการสกัด 1 นาที มาศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งและการแพร่ความร้อน การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในระหว่างการแช่เยือกแข็ง พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization และ suspension crystallization

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะแช่เยือกแข็ง อัตราการแช่เยือกแข็งและการแพร่ความร้อนของน้ำกาแฟสกัด

จากการทดลองทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งน้ำกาแฟสกัดปริมาตร 10 ลิตร ด้วยวิธี progressive crystallization และ suspension crystallization ได้ลักษณะการลดลงของอุณหภูมิ (freezing curve) ของน้ำกาแฟสกัดดังแสดงในภาพ 4.1 และ 4.2

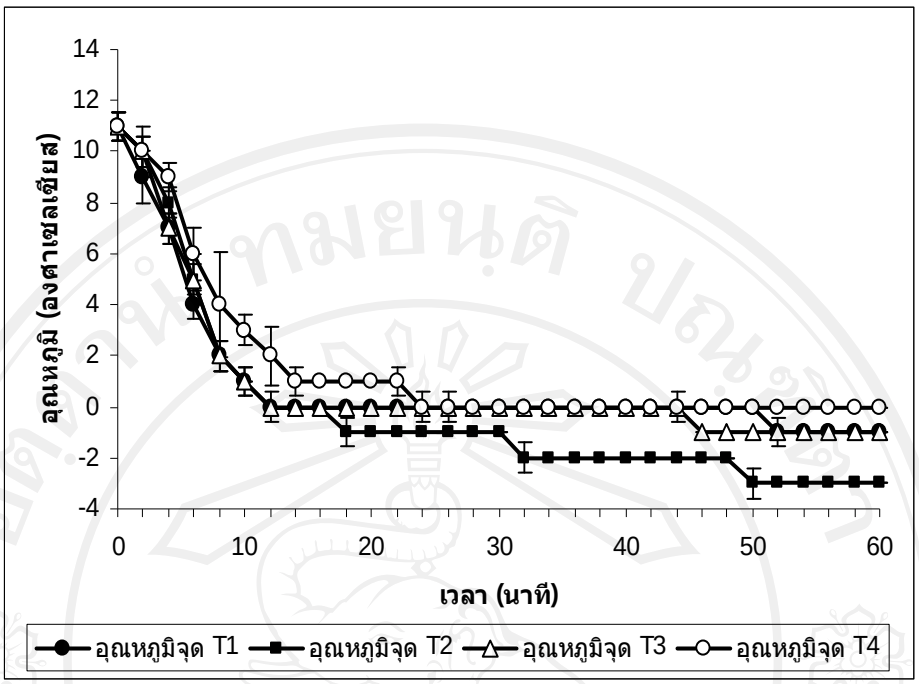
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.1 กราฟการแช่เยือกแข็งระหว่างการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization รอบที่ 1

จากรูป 4.1 และ 4.2 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งกับอุณหภูมิในแต่ละจุดที่ลดลง จะเห็นได้ว่าการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization อุณหภูมิในแต่ละจุดมีการลดลงไม่เท่ากัน โดยอุณหภูมิที่จุดข้างผนัง (T_1) นั้นลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากจุดนี้เป็นจุดที่สัมผัสโดยตรงกับคอล์ยทำความเย็น ถัดมาเป็นจุดที่ห่างจากผนังเครื่องทำความเย็นเป็นระยะทาง 6 เซนติเมตร (T_2) และ 12 เซนติเมตร (T_3) นั้น การลดลงของอุณหภูมิช้าลงตามลำดับ สำหรับจุดที่อุณหภูมิลดลงช้าที่สุดคือจุดกึ่งกลางถัง (T_4) เนื่องจากเป็นจุดที่ห่างจากเครื่องทำความเย็นมากที่สุดคือ 18 เซนติเมตร จึงมีการถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุด และจากกราฟอุณหภูมิที่จุด T_2 T_3 และ T_4 จะเห็นว่าอุณหภูมิลดลงไม่ถึง 0 องศาเซลเซียส เพราะว่าน้ำกาแฟสกัดที่อยู่บริเวณเหล่านี้ยังคงเป็นของเหลวอยู่ ส่วนการลดลงของอุณหภูมิในการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ suspension crystallization นั้น จะเห็นได้ว่าในช่วง 10 นาทีแรก อุณหภูมิที่จุด T_1 มีการลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอยู่ใกล้กับเครื่องทำความเย็น ถัดมาจึงเป็นจุด T_2 T_3 และ T_4 ตามลำดับ ใน 10 นาทีแรกนี้ยังคงเป็นขั้นการเกิดผลึกน้ำแข็ง (crystal formation) จึงมีปริมาณน้ำแข็งไม่มากนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



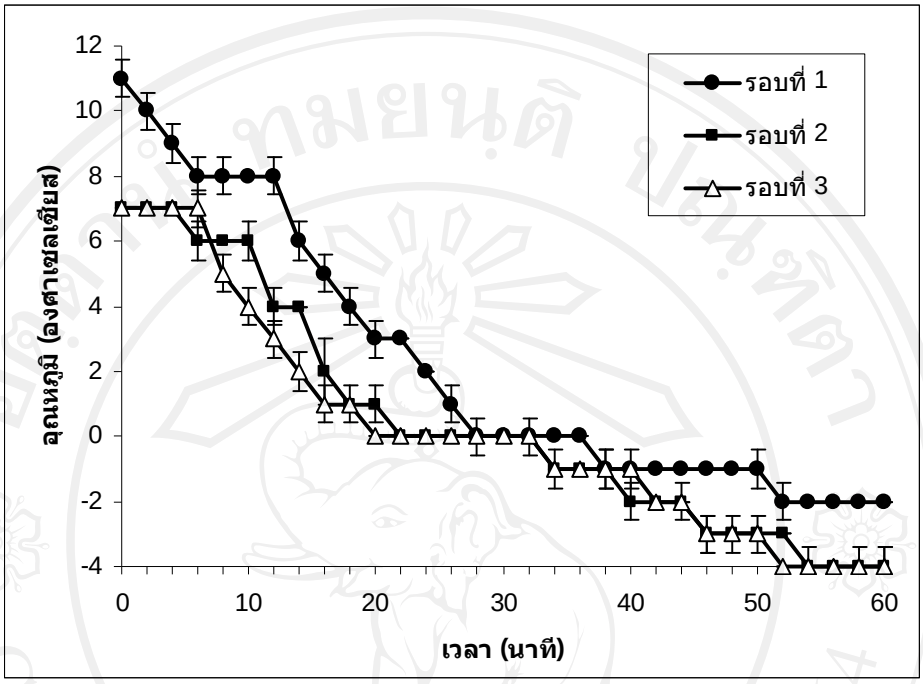
ภาพ 4.2 กราฟการแช่เยือกแข็งในระหว่างการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ Suspension crystallization รอบที่ 1

ทำให้ใบพัดไม่สามารถกวนผลึกน้ำแข็งให้กระจายสม่ำเสมอทั่วกัน และเมื่อเวลาการแช่เยือกแข็งผ่านไปหลังจาก 20 นาที อุณหภูมิในแต่ละจุดเริ่มลดลงมาใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีผลึกน้ำแข็งที่สร้างมากขึ้นจึงเกิดการกวนผลึกน้ำแข็งให้กระจายอยู่ทั่วทั้งสารละลาย จนกระทั่งเวลาในการแช่เยือกแข็งผ่านไป 50 นาที น้ำกาแฟสกัดกลายเป็นน้ำแข็งจนหมด จึงทำให้อุณหภูมิในจุด T_2 มีการลดลงต่ำกว่าจุดอื่น เนื่องจากมีแรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลางถังทำให้บริเวณนั้นมีผลึกน้ำแข็งเกาะอยู่มากที่สุด ในขณะที่จุด T_4 นั่นไม่มีน้ำแข็งเกาะอยู่เลย

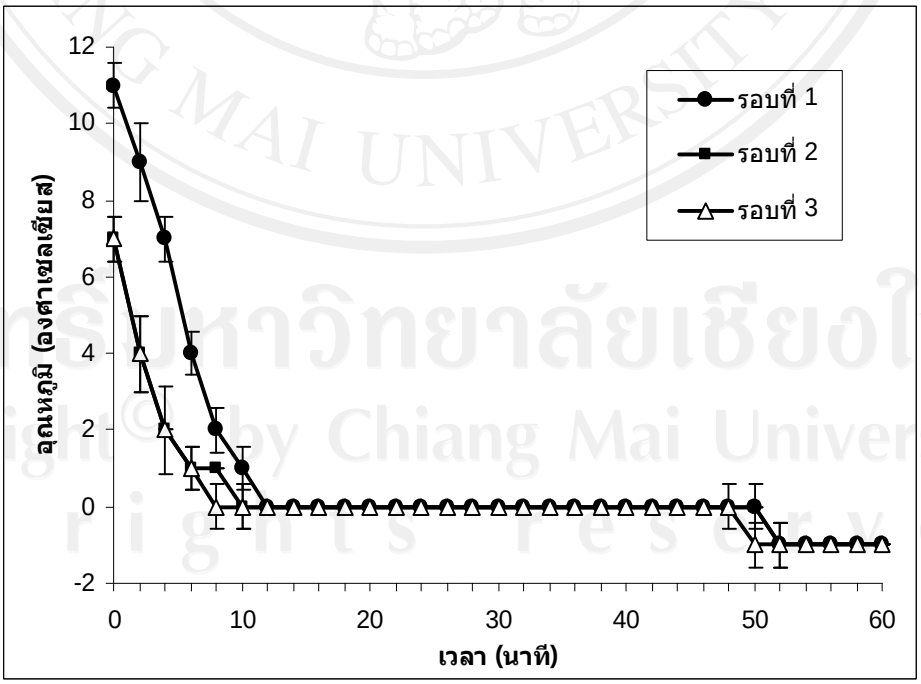
Pardo *et al.* (2002) ได้สร้างสมการหาจุดแช่เยือกแข็งของสารละลายน้ำกาแฟสกัด (สมการ 2.1) จึงสามารถคำนวณหาจุดเริ่มต้นการแช่เยือกแข็งน้ำกาแฟสกัดของการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization ในรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ได้เท่ากับ 0 -0.01 และ -0.04 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และในแบบ suspension crystallization ในรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ได้เท่ากับ 0 -0.01 และ -0.07 ตามลำดับ สาเหตุที่จุดเริ่มต้นการแช่เยือกแข็งของน้ำกาแฟในแต่ละรอบไม่เท่ากันนั้นเนื่องมาจากน้ำกาแฟสกัดมีปริมาณของแข็งไม่เท่ากันในแต่ละรอบนั่นเอง ซึ่งลักษณะการแช่เยือกแข็งของน้ำกาแฟจะมีลักษณะคล้ายกับการแช่เยือกแข็งของสารละลาย B ในหน้า 24 เนื่องจากในน้ำกาแฟสกัดไม่ได้มีเฉพาะน้ำบริสุทธิ์ จึงมีโอกาสเกิดผลึกของสารละลายได้หลายครั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาการลดลงของอุณหภูมิขณะแช่เยือกแข็ง ณ จุดข้างผนัง (T_1) ของการแช่เยือกแข็งทั้งสามรอบ จะได้กราฟการแช่เยือกแข็งดังภาพ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



ภาพ 4.3 กราฟการแช่เยือกแข็งในระหว่างการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization ณ จุด ข้างผนัง (T_1)



ภาพ 4.4 กราฟการแช่เยือกแข็งในระหว่างการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ suspension crystallization ณ จุด ข้างผนัง (T_1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

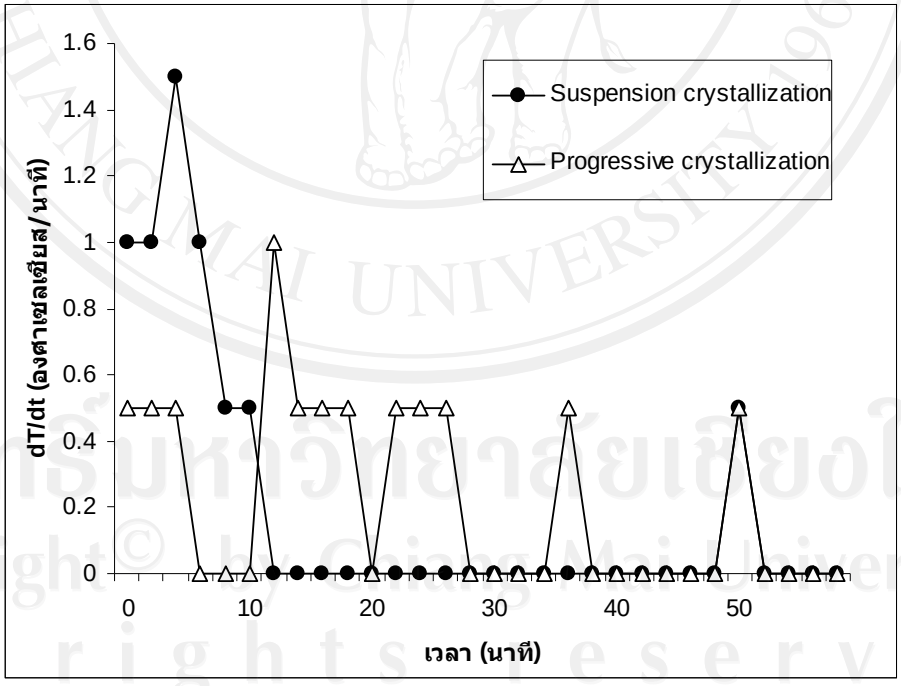
แนวโน้มการลดลงของอุณหภูมิใน การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization นั้นมีแนวโน้มการลดลงอย่างช้า ๆ ในช่วง 20 นาทีแรกเนื่องจากของเหลวจะมีการคายความร้อนออกมา และหลังจากนั้นอุณหภูมิของของเหลวจะลดต่ำลงจนถึงจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์คือ 0 องศาเซลเซียส น้ำในของเหลวจะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งและมีการคายความร้อนแฝงในช่วงนี้อุณหภูมิของสารละลายจะลดต่ำลง ไม่คงที่เหมือนการแช่แข็งน้ำบริสุทธิ์ เนื่องจากว่าเมื่อน้ำบางส่วนกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง ตัวถูกละลายในน้ำที่ไม่แข็งตัวจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้จุดเยือกแข็งของส่วนที่ยังไม่แข็งตัวลดต่ำลงไปอีก (วสันต์, 2550 ข) ดังจะเห็นได้จากช่วงเวลา 10 นาทีสุดท้าย อุณหภูมิของรอบที่ 2 และรอบที่ 3 จะลดลงต่ำสุดถึง -4 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาข้อมูลของกราฟในแต่ละเส้น ข้อมูลการลดลงของอุณหภูมิในรอบที่ 2 และรอบที่ 3 นั้นจะลดลงต่ำกว่าในรอบที่ 1 เนื่องจากน้ำกาแฟสกัดมีความปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟสกัดไม่เท่ากัน จึงเป็นเหตุให้อุณหภูมิลดต่ำกว่าอุณหภูมิในรอบที่ 1 ซึ่งอัตราการลดลงของอุณหภูมิถึง 0 องศาเซลเซียส ในแต่ละรอบมีค่าเท่ากับ 0.39 0.32 และ 0.35 องศาเซลเซียสต่อนาที ในรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ตามลำดับ

ส่วนการลดลงของอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งแบบ suspension crystallization นั้นมีแนวโน้มในการลดลงอย่างรวดเร็วและต่ำกว่าในช่วง 10 นาทีแรก เนื่องจากในกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ suspension crystallization นั้นมีการกวนของเหลวขณะทำการแช่เยือกแข็งตลอดเวลาจึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดี และช่วยให้เกิดการเพิ่มปริมาณของผลึกน้ำแข็งได้มากกว่าแบบ progressive crystallization จึงทำให้อุณหภูมิลดถึงจุดแช่เยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์ได้เร็วกว่า (Miyawaki, 2001) จากนั้นอุณหภูมิจะคงที่จนเวลาในการแช่เยือกแข็งผ่านไป 50 นาที ในช่วงนี้เป็นการเปลี่ยนสถานะของน้ำไปเป็นน้ำแข็งโดยอุณหภูมิจะคงที่ที่ 0 องศาเซลเซียส ในระหว่างนี้ยังคงมีการคายความร้อนแฝงออกมาจนกระทั่งน้ำกลายเป็นน้ำแข็งหมด และหลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงจากเดิมเนื่องจากมีการเกิดผลึกทั้งผลึกของน้ำแข็งและผลึกของตัวถูกละลาย จุดเยือกแข็งจึงลดต่ำลง (วสันต์, 2550 ข) อัตราการลดลงของอุณหภูมิถึง 0 องศาเซลเซียสในรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.92 0.72 และ 1 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการแช่เยือกแข็งที่สูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization

Haiying *et al*. (2006) ได้ศึกษาอัตราการแช่เยือกแข็งที่มีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็ง พบว่าที่อัตราการแช่เยือกแข็งที่สูง จะทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลดีต่อประสิทธิภาพการทำให้เข้มข้นของของเหลว

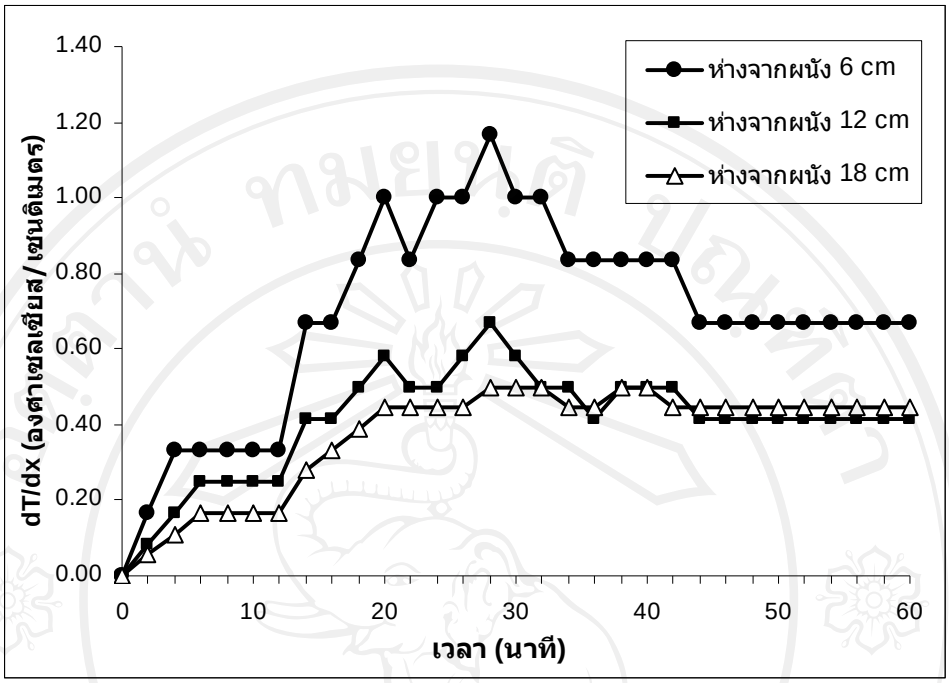
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อศึกษาถึงอัตราการแช่เยือกแข็งของแบบ progressive crystallization และ suspension crystallization ในกระบวนการทำให้เข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็งของน้ำกาแฟสกัดในรอบที่ 1 ณ จุดข้างผนัง (T_1) พบว่าการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization นั้นมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นไปอย่างช้า ๆ และเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาดังแสดงในภาพ 4.5 เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ไม่ดีจึงทำให้อุณหภูมิค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งกระบวนการแช่เยือกแข็งดำเนินการไปถึงเวลา 28 นาที น้ำกาแฟสกัดที่จุด T_1 กลายเป็นน้ำแข็งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจึงเริ่มคงที่ และเมื่อน้ำกาแฟสกัดเริ่มเข้มข้นขึ้นจุดเยือกแข็งของน้ำกาแฟสกัดก็เริ่มลดลง จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลา 36 และ 50 นาที ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบ suspension crystallization นั้นมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วใน 10 นาทีแรก และหลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ เนื่องจากมีการกวนผลึกน้ำแข็งจึงทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ดี เป็นผลทำให้อุณหภูมิเท่ากันทั่วทั้งน้ำกาแฟสกัด และเมื่อน้ำกาแฟสกัดเริ่มเข้มข้นขึ้นจุดเยือกแข็งของน้ำกาแฟสกัดก็เริ่มลดลง จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลา 50 นาที



ภาพ 4.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกาแฟสกัดเทียบกับเวลาในการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ progressive และ suspension crystallization ในรอบที่ 1 ณ จุดข้างผนัง (T_1)

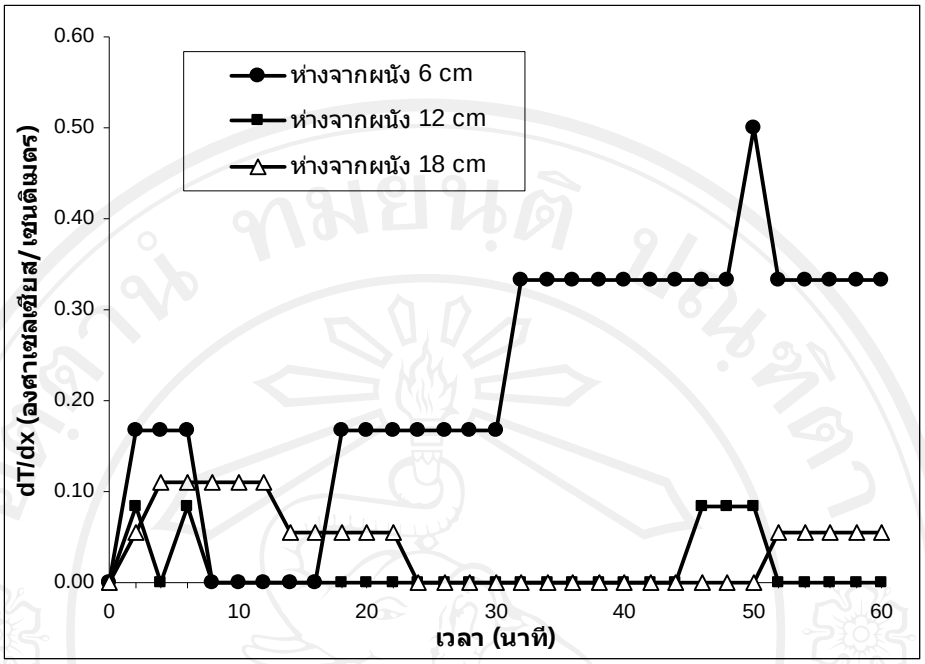
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกาแฟสกัด ณ จุดต่าง ๆ ในระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization รอบที่ 1

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกาแฟสกัดในแต่ละจุดภายในถังขณะทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization ได้ผลดังภาพ 4.6 เมื่อพิจารณา ณ จุดที่ห่างจากผนังเครื่องทำความเย็นเป็นระยะทาง 6 เซนติเมตร (T_2) จะเห็นได้ว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงกว่าจุดอื่น ๆ เนื่องจากอยู่ใกล้ผนังเครื่องทำความเย็นจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยในกระบวนการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization ในช่วง 30 นาทีแรกจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิ ณ จุด T_1 และ T_2 เริ่มห่างกันมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมื่อน้ำกาแฟสกัดที่จุด T_1 เป็นน้ำแข็งอุณหภูมิก็เริ่มคงที่ที่จุดเริ่มต้นแช่เยือกแข็งของน้ำกาแฟสกัดคือ 0 องศาเซลเซียส ทำให้ระยะห่าง ณ จุด T_1 และ T_2 เริ่มใกล้เข้ามาหากัน ทำให้ช่วง 10 นาทีหลังอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกาแฟสกัดในการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization มีค่าคงที่ และเมื่อชั้นของผลึกน้ำแข็งที่ผนังเครื่องทำความเย็นหนาขึ้น ตัวของผลึกน้ำแข็งเองจะเป็นฉนวนกั้นทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้ยากอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.7 กราฟอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกาแฟสกัด ณ จุดต่าง ๆ ในระหว่างการแช่เยือกแข็งแบบ suspension crystallization รอบที่ 1

ภาพ 4.7 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกาแฟสกัด ณ จุดต่าง ๆ ในระหว่างทำการแช่เยือกแข็งแบบ suspension crystallization พบว่าในช่วง 15 นาทีแรก อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละจุดนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากในระบบนี้มีการใช้ใบพัดช่วยในการกวนผลึกน้ำแข็งให้กระจายทั่วทั้งของเหลว เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที ปริมาณน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิที่จุด T_2 จึงห่างจากจุด T_1 มากขึ้นเนื่องจากที่จุด T_1 มีการขูดผลึกน้ำแข็งที่สร้างขึ้นมาใหม่ตลอดเวลาอุณหภูมิจึงคงที่ ในขณะที่เมื่อผลึกน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้นจุดที่ถ่ายเทความร้อนได้ดีอย่าง T_2 จึงมีอุณหภูมิที่ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเวลาประมาณ 10 นาทีสุดท้ายน้ำกาแฟสกัดกลายเป็นน้ำแข็งทั้งหมดจึงทำให้ผลึกน้ำแข็งหนีแรงเหวี่ยงจากศูนย์กลาง ไหลมารวมกันที่บริเวณข้างผนังเครื่องทำความเย็น โดยที่จุด T_4 นั้นไม่มีน้ำแข็งเกาะอยู่เลย จึงทำให้อุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง

จากกราฟอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกาแฟสกัด ณ จุดต่าง ๆ ทั้งสองกราฟนี้แสดงให้เห็นถึงการถ่ายเทความร้อนของน้ำกาแฟสกัดไปสู่ผนังเครื่องทำความเย็น ในการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization นั้นระยะห่างจากผนังเครื่องทำความเย็นมีผลทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ช้า ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งน้อยและมีอัตราการแช่เยือกแข็งที่ช้า ซึ่งจะส่งผลให้เกิดกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งนั้นมีประสิทธิภาพไม่ดี ซึ่งต่างจากการแช่เยือกแข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบ suspension crystallization มีการใช้ใบพัดกวนเพื่อช่วยในการกระจายผลึกน้ำแข็งและช่วยในการถ่ายเทความร้อน จึงทำให้อัตราการแช่เยือกแข็งเกิดขึ้นได้เร็ว ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งที่ดี (Miyawaki *et al,*. 2005)

อิทธิพลที่มีผลต่ออัตราการแช่เยือกแข็งนั้น นอกจากจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำกาแฟสกัดขณะแช่เยือกแข็งแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการพาความร้อนของน้ำกาแฟสกัดอีกด้วย สามารถวิเคราะห์สมบัติการพาความร้อนจากค่าการแพร่ความร้อน ซึ่งค่าการแพร่ความร้อนของน้ำกาแฟสกัดก่อนและหลังการทำให้เข้มข้น มีค่าดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ค่าการแพร่ความร้อนของน้ำกาแฟสกัดก่อนและหลังการทำให้เข้มข้นโดยวิธีแช่เยือกแข็งแบบ progressive และ suspension crystallization

ชนิดของการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง	**ค่าการแพร่ความร้อน (m^2/s)**	
	ก่อนการทำให้เข้มข้น	**หลังการทำให้เข้มข้น**
Progressive crystallization	3.31×10^{-5}	3.23×10^{-5}
Suspension crystallization	3.27×10^{-5}	2.86×10^{-5}

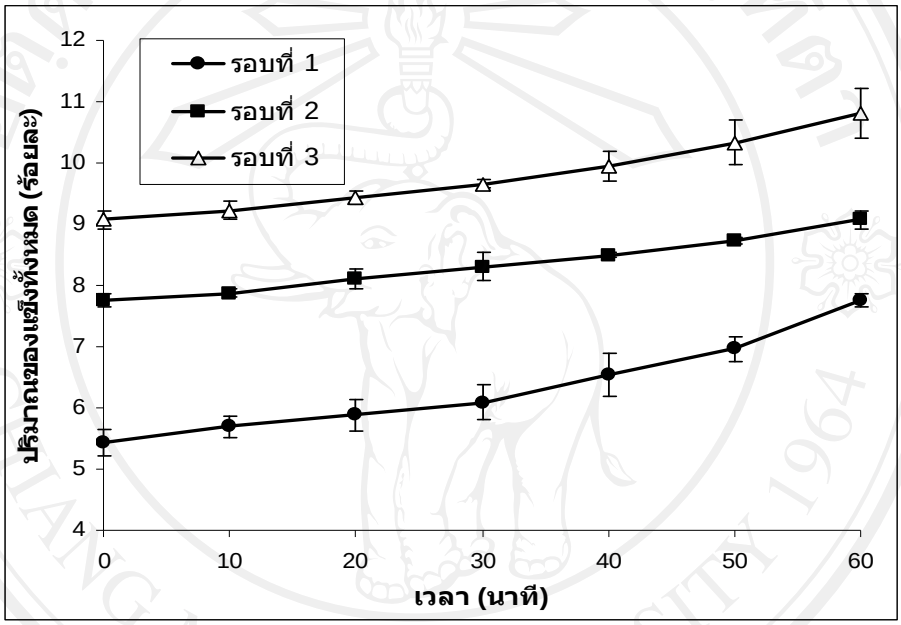
ค่าการแพร่ความร้อน สามารถคำนวณได้จาก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหารด้วยความหนาแน่นและค่าความร้อนจำเพาะของอาหาร (รุ่งนภา, 2535) ดังนั้นจากตาราง 4.6 จะเห็นได้ว่า น้ำกาแฟสกัดก่อนนำไปทำให้เข้มข้นจะมีค่าการแพร่ความร้อน (thermal diffusivity) มากกว่าน้ำกาแฟสกัดเข้มข้นที่ผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแล้ว เนื่องจากน้ำกาแฟสกัดเข้มข้นจะมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำกาแฟสกัดก่อนการนำไปทำแช่เยือกแข็งนั่นเอง และน้ำกาแฟสกัดเข้มข้นที่ผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ suspension crystallization มีค่าการแพร่ความร้อนน้อยที่สุด คือ 2.86×10^{-5} ตารางเมตร / วินาที เนื่องจากมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำกาแฟสกัดที่ผ่านกระบวนการแบบ progressive crystallization และแสดงให้เห็นว่าอัตราการแพร่ความร้อนในระหว่างการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5 นั่นคือเวลาในการแช่เยือกแข็งในช่วง 15 นาทีแรกนั้น น้ำกาแฟสกัดยังไม่เข้มข้นขึ้นมากนัก จึงยังสามารถแพร่ความร้อนได้ดีทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากที่น้ำกาแฟสกัดเข้มข้นขึ้นเรื่อย ๆ การแพร่ความร้อนจึงลดลง เป็นผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงและคงที่ในที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิของอาหาร ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) ของอาหาร และค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat) ของอาหารด้วย (รุ่งนภา, 2535)

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในระหว่างการแช่เยือกแข็ง

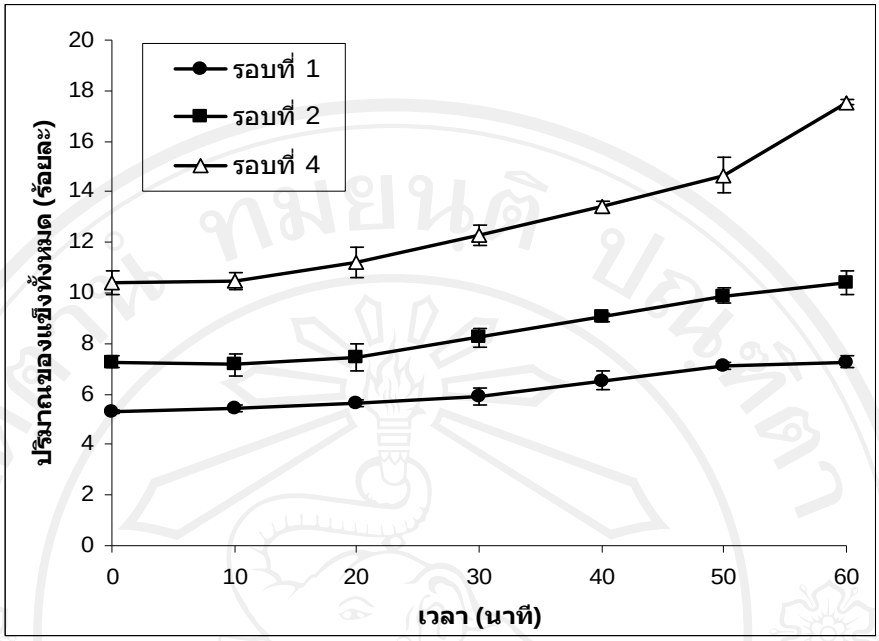
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในระหว่างการแช่เยือกแข็ง ทั้งหมด 3 รอบ ผลการทดลองดังภาพ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



ภาพ 4.8 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization

ภาพ 4.8 และ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำกาแฟสกัดในขณะแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization และแบบ suspension crystallization ตามลำดับ ทั้ง 3 รอบ จะเห็นได้ว่ากระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization นั้นมีการลดลงของอุณหภูมิค่อนข้างช้าและมีอัตราการลดลงอย่างคงที่ ทำให้ความเข้มข้นของน้ำกาแฟสกัดเริ่มต้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ร้อยละ 5.42 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10.80 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่ต่ำกว่าการใช้กระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ suspension crystallization คือมีการลดลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำกาแฟสกัดมากกว่า โดยน้ำกาแฟสกัดที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 5.32 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 17.54

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.9 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบ suspension crystallization

จากการทำให้เข้มข้นในรอบที่ 1 ด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบ progressive และ suspension crystallization ได้น้ำกาแฟสกัดเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 7.75 และ 7.27 ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นในระดับนี้ยังไม่เพียงพอต่อการนำไปแปรรูปเป็นกาแฟในขั้นตอนอื่นต่อไป เนื่องจากยังมีปริมาณตัวทำละลาย คือ น้ำ ในปริมาณที่สูงอยู่ เพราะฉนั้นในการค้นคว้าแบบอิสระครั้งนี้จึงต้องทำทั้งหมด 3 รอบเพื่อให้ได้น้ำกาแฟสกัดที่มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้กราฟทั้งสองรูปนั้น แต่ละรูปจะมีข้อมูล 3 ชุด นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 นั่นเอง เนื่องจากเมื่อสิ้นสุดกระบวนการแช่เยือกแข็งในแต่ละรอบจะมีการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากน้ำกาแฟสกัดเข้มข้น ก่อนนำไปทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งในรอบที่ 2 และรอบที่ 3 ของแบบ progressive crystallization จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 7.75 และ 9.08 ตามลำดับ และของแบบ suspension crystallization มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 7.72 และ 10.40 ตามลำดับเช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization และ suspension crystallization

จากการวัดปริมาตรที่เหลือของน้ำกาแฟสกัดหลังจากทำให้เข้มข้นด้วยวิธีแช่เยือกแข็งแล้ว ปริมาตรน้ำกาแฟสกัดเข้มข้นที่ได้จากวิธี progressive crystallization มีปริมาณ 3.86 ลิตร คิดเป็นร้อยละของผลผลิต (% yield)ได้เท่ากับร้อยละ 38.6 $\pm$ 0.11 ส่วนปริมาตรน้ำกาแฟสกัดเข้มข้นที่ได้จากวิธี suspension crystallization มีปริมาณ 1 ลิตร คิดเป็นร้อยละของผลผลิตรได้เท่ากับร้อยละ 9.5 $\pm$ 0.08

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีแช่เยือกแข็งแบบ progressive crystallization และ suspension crystallization นั้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.97 $\pm$ 2.04 และ 43.04 $\pm$ 3.63 ตามลำดับ

4.3 สมบัติทางเคมีและจุลินทรีย์ของน้ำกาแฟสกัดเข้มข้น

จากการวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในน้ำกาแฟสกัดเข้มข้น ได้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 2.9 x 10^5 โคโลนี/มิลลิลิตร และพบว่ามีจำนวนยีสต์และรา เท่ากับ 5.2 x 10^3 โคโลนี/มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าเกินกว่าที่กฎหมายกำหนดโดยที่กฎหมายกำหนดไว้ว่าสามารถพบจุลินทรีย์ ในน้ำกาแฟได้ไม่เกิน 2.2 x 10^2 โคโลนี/มิลลิลิตร ต้องไม่พบยีสต์และราและต้องไม่พบจุลินทรีย์ก่อโรค (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2543) สาเหตุที่พบเชื้อจุลินทรีย์ปริมาณมากอาจเนื่องมาจาก กระบวนการตั้งแต่การรับวัตถุดิบ การสกัดน้ำกาแฟ ตลอดจนการทำให้เข้มข้นโดยวิธีแช่เยือกแข็งนั่น ไม่มีการมาตรการควบคุมไม่ให้มีการปนเปื้อนของเชื้อนั่นเอง

ตาราง 4.6 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำกาแฟสกัดเข้มข้น

จำนวนวัน	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณกรดทั้งหมด	การเกิดแก๊ส
1	5.58 ± 0.00	0.0014 ± 0.00	ไม่เกิดแก๊ส
3	5.64 ± 0.01	0.0014 ± 0.00	เกิดแก๊ส
6	5.66 ± 0.00	0.0014 ± 0.00	เกิดแก๊ส

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในค่าของค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาน้ำกาแฟสกัดเข้มข้นเป็นระยะเวลา 6 วันดังแสดงในตาราง 4.6 แสดงว่าจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ไม่สามารถสร้างกรดได้ อีกทั้งพบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 3 วัน สังเกตุพบว่าบนผิวหน้าของน้ำกาแฟสกัดเข้มข้นมีฟองอากาศลอยอยู่ แสดงว่ายีสต์และราสามารถเจริญและสร้างแก๊สได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved