



บทที่ 7

ผลการทดลองเรื่องการทำแห้ง

7.1 การทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง (Spray Dryer)

นำสารละลายสกัด E₆ และ E₇ จากการทดลองที่ 4.4.4 มาทำให้มีความเข้มข้น โดยให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 8 แล้ว นำมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง

7.1.1 ผลของอุณหภูมิภายในเครื่องอบและอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง กำหนดให้สภาวะในการทำงานของเครื่องอบแห้งคงที่ โดยเปลี่ยนค่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบ (T_i) จาก 120 °ซ. ถึง 160 °ซ. เพิ่มครั้งละ 10 °ซ. และเปลี่ยนค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก (T_o) จาก 50 °ซ. ถึง 70 °ซ. เพิ่มครั้งละ 10 °ซ. พิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปริมาณเช่นไนซ์ต์ที่สูญเสียไป เนื่องจากความร้อน และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 7.1-7.3 และรูปที่ 7.1-7.4

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิภายในเครื่องอบ, T_i (°C)	อุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก, T_o (°C)	ปริมาณเขนโนไซด์ในผลิตภัณฑ์ (กรัม/กรัม) *	ปริมาณเขนโนไซด์ที่สูญเสียไป (อัตราส่วนร้อยละ) *	ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ (อัตราส่วนร้อยละ) *	น้ำหนักที่สูญหาย (อัตราส่วนร้อยละ) *
A ₁₁	120	50-55	0.0188	1.50	17.54	54.1
A ₁₂	130	50-55	0.0186	2.30	16.98	53.9
A ₁₃	140	50-55	0.0185	2.81	16.07	46.9
A ₁₄	150	50-56	0.0184	3.50	15.36	43.4
A ₁₅	160	50-56.5	0.0181	4.92	14.01	30.4

สารละลายสกัดที่ใช้ในการทดลองชุดนี้มี ปริมาณเขนโนไซด์ = 0.0191 กรัม/กรัม ของแข็งในสารละลายสกัด

ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ร้อยละ = 7.92,

ความหนาแน่น = 1.0244 กรัม/มล.

* เป็นค่าที่คำนวณจากมาตรฐานแห้ง (dry basis)

ตารางที่ 7.1 ผลของอุณหภูมิภายในเครื่องอบ ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่กำจัดจากเครื่องอบแห้งแบบทั่วทิศทางแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก

= 50 °C

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิภายใน เครื่องอบ, T _i (°C)	อุณหภูมิลมร้อน ที่ทางออก, T _o (°C)	ปริมาณเข้มนโมไซด์ใน ผลิตภัณฑ์ (กรัม/กรัม)*	ปริมาณเข้มนโมไซด์ ที่สูญเสียไป (อัตราส่วน ร้อยละ)*	ปริมาณความเข้มน ของผลิตภัณฑ์ (อัตราส่วนร้อยละ)*	น้ำหนักที่สูญหาย (อัตราส่วนร้อยละ) *
A ₂₁	120	60	0.0234	1.78	16.18	35.5
A ₂₂	130	60-62	0.0222	6.9	15.83	42.0
A ₂₃	140	60-62	0.0228	4.4	15.15	36.8
A ₂₄	150	60-63	0.0222	6.93	14.05	35.3
A ₂₅	160	60-64	0.0218	8.6	13.31	30.4

สารละลายสายลัดที่ใช้ในการทดลองชุดนี้มี ปริมาณเข้มนโมไซด์ = 0.0238 กรัม/กรัม ของแข็งในสารละลายสายลัด

ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ร้อยละ = 7.75

ความหนาแน่น = 1.024 กรัม/มล.

* เป็นค่าที่คำนวณจากมาตรฐานแห้ง

ตารางที่ 7.2 ผลของอุณหภูมิภายในเครื่องอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเครื่องอบแห้งแบบพวยชนิดกระจายให้เป็นผงแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อน

ที่ทางออก = 60 °C

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิภายใน เครื่องอบ, T _i (°C)	อุณหภูมิลมร้อน ที่ทางออก, T _o (°C)	ปริมาณเช่นไนไฮด์ ผลิตภัณฑ์ (กรัม/กรัม) *	ปริมาณเช่นไนไฮด์ ที่สูญเสียไป * (อัตราส่วนร้อยละ)	ปริมาณความชื้นของ ผลิตภัณฑ์ * (อัตราส่วนร้อยละ)	น้ำหนักที่สูญหาย (อัตราส่วนร้อยละ) *
A ₃₃	140	67.5-68.5	0.0215	10.08	13.28	44.3
A ₃₄	150	70	0.0194	18.82	12.01	29.4
A ₃₅	160	71	0.0186	22.34	11.07	38.5

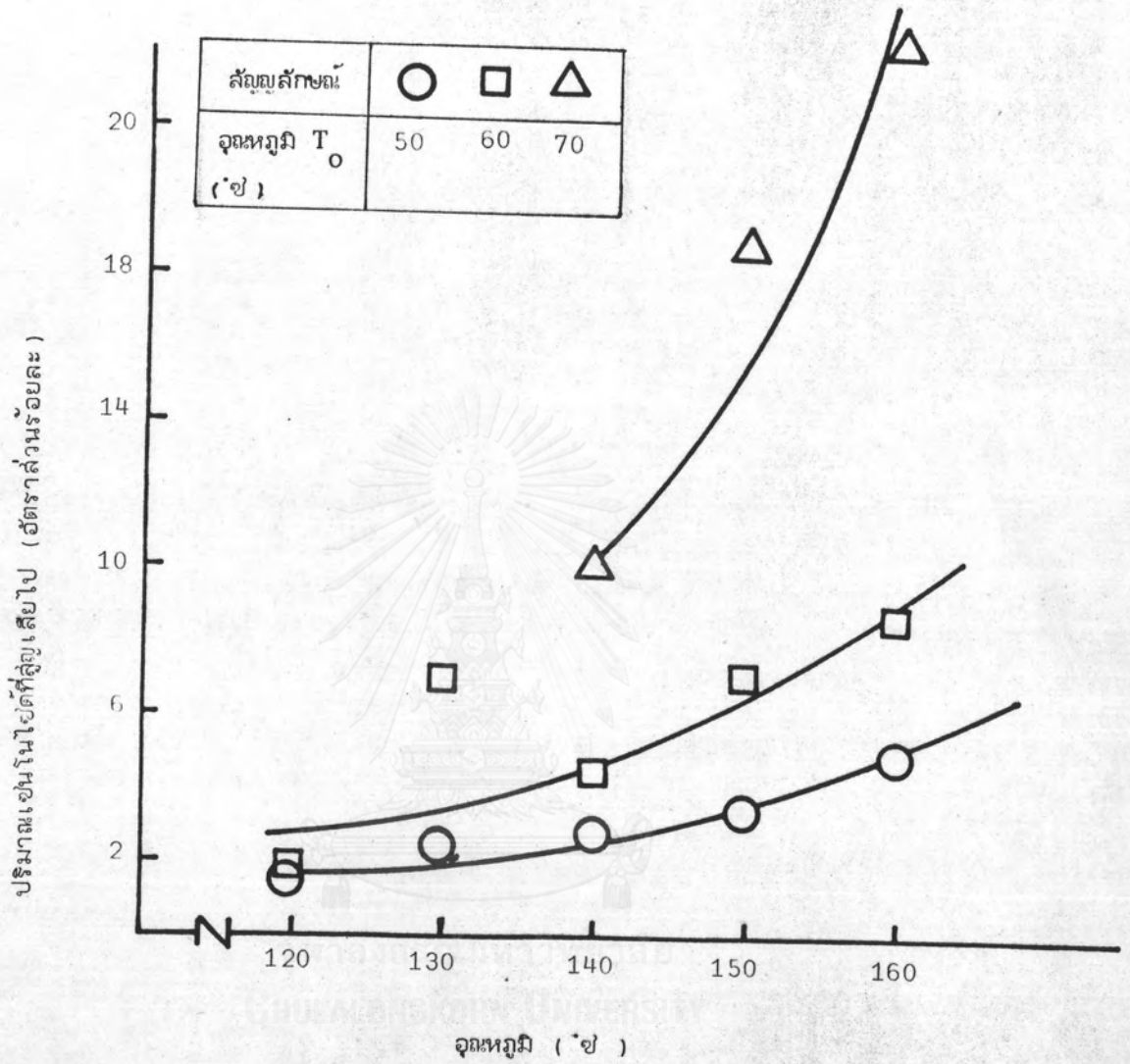
ค่าระเหยที่วัดได้ที่ใช้ในการทดลองชุดนี้มี ปริมาณเช่นไนไฮด์ = 0.0239 กรัม/กรัม ของแข็งในสารละลายผลิตภัณฑ์

ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ร้อยละ = 8.14

ความหนาแน่น = 1.027 กรัม/มล.

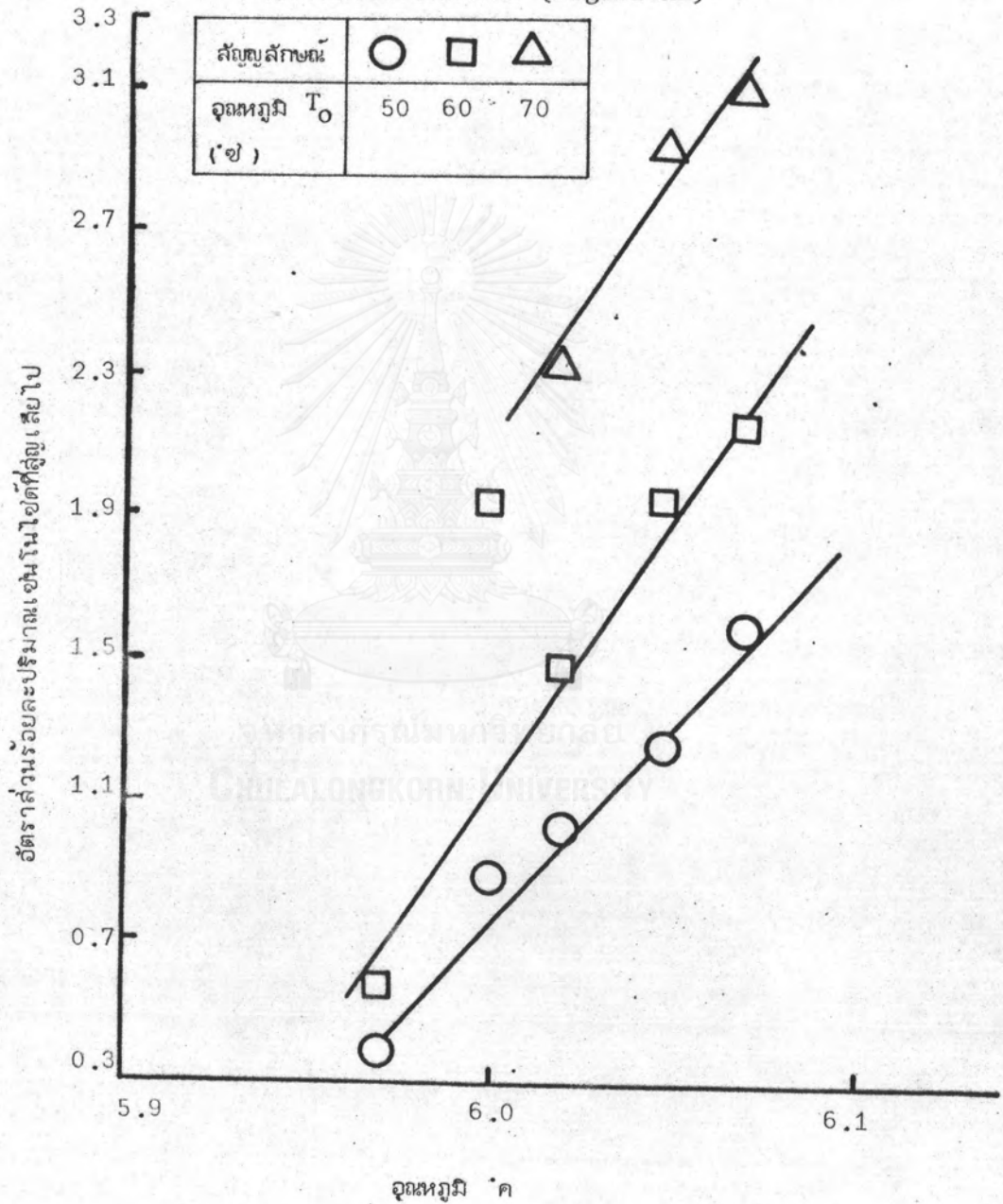
* เป็นค่าที่คำนวณจากมาตรฐานแห้ง

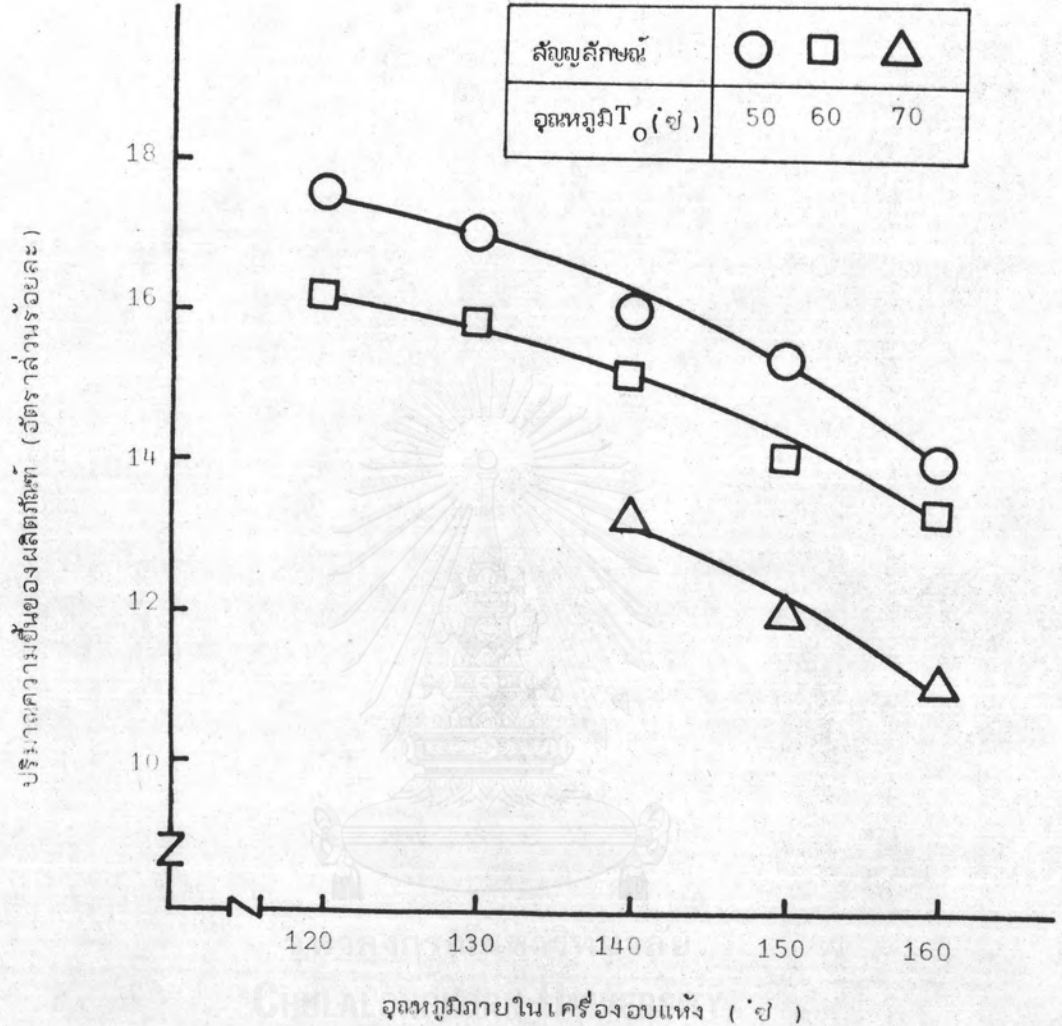
ตารางที่ 7.3 ผลของอุณหภูมิภายใน เครื่องอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้ เป็นผงแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก = 70 °C



รูปที่ 7.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซนไนต์ที่สูญเสียไปกับอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก (T_o) ต่าง ๆ กัน

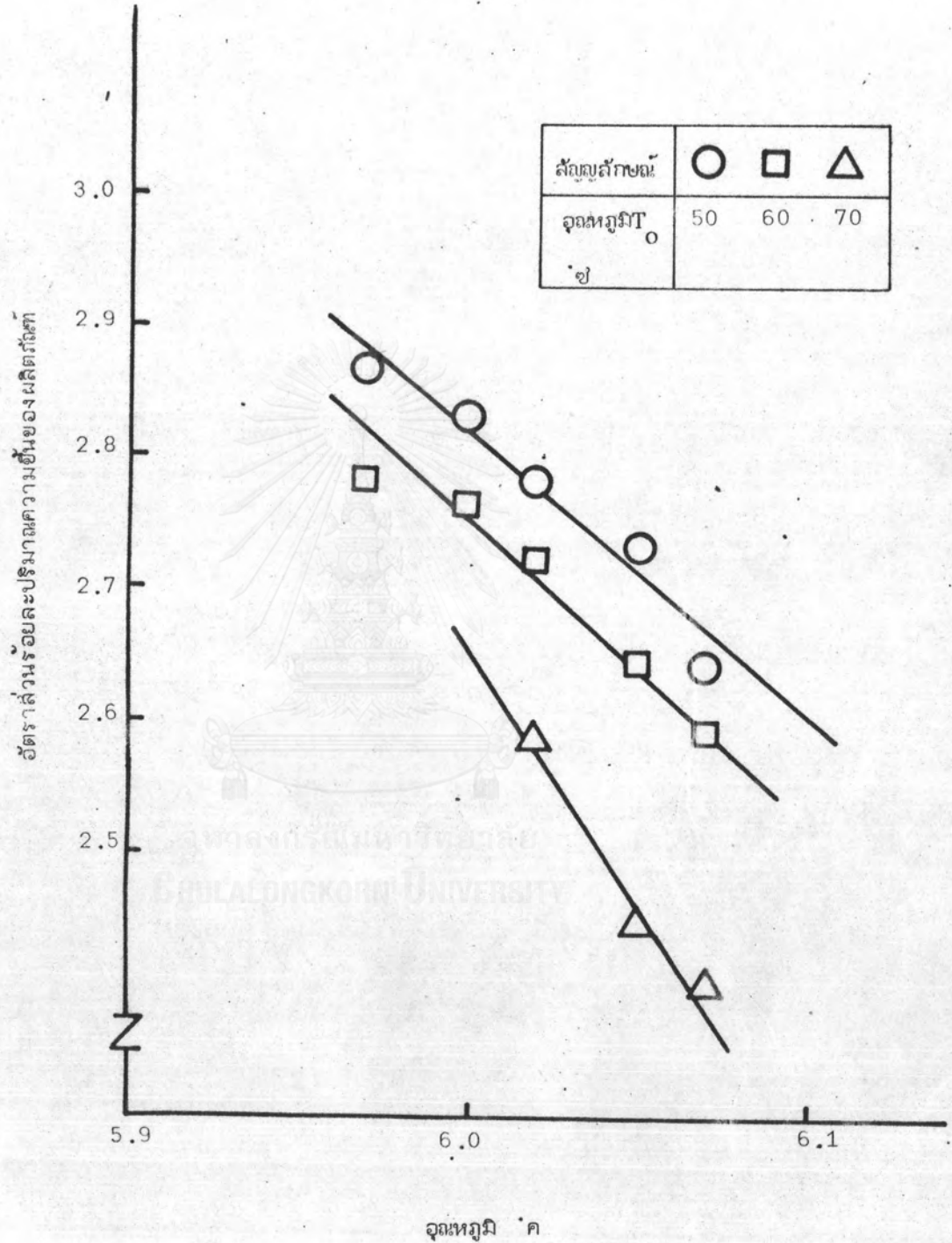
รูปที่ 7.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขนไนไซด์ที่สูญเสียไปกับอุณหภูมิ
ภายในเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ทางออก (T_0) ต่าง ๆ กัน
ในสเกลของลอกการิทึม (logarithm)





รูปที่ 7.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความขึ้นของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิร้อนที่ทางออก (T_o) ต่าง ๆ กัน

รูปที่ 7.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง (t_c) ที่อุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก (T_o) ต่าง ๆ กัน ในสเกลของลอการิทึม (logarithm)



7.2 การทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง (Freeze Dryer)

นำสารละลายสกัด E₆ และ E₇ จากการทดลองที่ 4.4.4 มาทำให้เข้มข้นขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองที่ 7.1 แล้วนำไปทำให้เป็นของเยือกแข็ง จากนั้นจึงนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง ที่ความดันภายในเครื่องประมาณ -759.9 มม.ปรอท, อุณหภูมิของเครื่องควบคุมประมาณ -80 °ซ เวลาในการทำงาน 16 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสารละลายสกัดร้อยละ 8.0 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 7.4

ผลิตภัณฑ์	น้ำหนักสารละลายสกัด (กรัม)	ปริมาณเซนโนไซด์ในสารละลายสกัด (กรัม)	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กรัม)	ปริมาณเซนโนไซด์ในผลิตภัณฑ์ (กรัม)	ปริมาณเซนโนไซด์ที่สูญเสียไป (อัตราส่วนร้อยละ)	ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ (อัตราส่วนร้อยละ)
B ₁	30.81	0.501	2.73	0.501	0	10.79
B ₂	31.32	0.509	2.782	0.509	0	11.04
B ₃	30.4	0.490	2.689	0.489	0.2	10.6

ตารางที่ 7.4 ปริมาณเซนโนไซด์ที่สูญเสียไปและปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งสารละลายสกัดด้วย เครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง

7.3 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์และการเก็บรักษา

7.3.1 คุณสมบัติในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งทั้งสองชนิด มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดีมาก เมื่อบางกึ่งไว้ในอากาศ ที่อุณหภูมิ 28 °ซ. จะดูดความชื้นได้สูงสุดในเวลา 2 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 7.5

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณความชื้น (อัตราส่วน* ร้อยละ) M	ปริมาณความชื้น หลัง 2 ชม. (อัตราส่วน* ร้อยละ) m	ปริมาณความชื้น ที่เพิ่มขึ้น m-M	ร้อยละปริมาณ ความชื้นที่เพิ่มขึ้น $\frac{(m-M)}{M} \times 100$
A ₁₁	17.54	26.34	8.8	50.2
A ₁₂	16.98	25.88	8.9	52.4
A ₁₃	16.07	26.1	10.03	62.4
A ₁₄	15.36	26.92	11.56	75.3
A ₁₅	14.01	25.87	11.86	84.6
A ₂₁	16.18	25.82	9.64	59.6
A ₂₂	15.83	26.23	10.4	65.7
A ₂₃	15.15	29.2	14.05	92.7
A ₂₄	14.05	26.04	11.99	85.3
A ₂₅	13.31	25.96	12.67	95.2
A ₃₃	13.28	26.0	12.73	95.8
A ₃₄	12.01	26.01	14.0	116.6
A ₃₅	11.07	26.17	15.1	136.4
B	10.6	24.76	14.16	133.6

* ค่า M และ m คำนวณจากมาตรฐานแห้ง

ตารางที่ 7.5 แสดงผลการดูดความชื้นสูงสุดในเวลา 2 ชั่วโมง ของผลิตภัณฑ์
ได้จากเครื่องอบแห้งทั้งสองชนิด

7.3.2 คุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำของผลิตภัณฑ์

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ทุกชนิด (A และ B ทุกตัวอย่าง) มาทดลองละลายในน้ำ พบว่าสามารถละลายในน้ำได้หมดทุกตัวอย่าง

7.3.3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์และการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งทั้งสองชนิดถูกเก็บไว้ในถุงพลาสติก polystyrene ที่ปิดไว้อย่างดี วางทิ้งไว้ในอากาศ ที่อุณหภูมิ 28 °C สังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ทุก 7 วัน จนครบ 21 วัน ทดลองเปลี่ยนภาชนะที่บรรจุเป็นอลูมิเนียมเคลือบพลาสติก ปิดอย่างดี โดยใช้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง B₁ เป็นตัวทดสอบ หาปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น โดยการชั่งน้ำหนักทุก 7 วัน จนครบ 1 เดือน ผลการทดลอง แสดงในตารางที่ 7.6, 7.7 และรูปที่ 7.5-7.18

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณความ ชื้น(อัตรา ส่วนร้อยละ) M *	ปริมาณความ ชื้นหลัง 7 วัน(อัตรา ส่วนร้อยละ) M ₁ *	ร้อยละปริมาณ ความชื้นที่เพิ่ม ขึ้น $\frac{(M_1-M)}{M} \times 100$	ปริมาณความชื้น หลัง 14 วัน (อัตราส่วนร้อยละ) และ M ₂ *	ร้อยละปริมาณ ความชื้นที่เพิ่ม ขึ้น $\frac{(M_2-M)}{M} \times 100$	ปริมาณความชื้น หลัง 21 วัน (อัตราส่วนร้อยละ) และ M ₃ *	ร้อยละปริมาณ ความชื้นที่เพิ่ม ขึ้น $\frac{(M_3-M)}{M} \times 100$	ปริมาณความชื้น หลัง 30 วัน (อัตราส่วนร้อยละ) และ M ₄ *	ร้อยละปริมาณ ความชื้นที่เพิ่ม ขึ้น $\frac{(M_4-M)}{M} \times 100$
B ₁	10.79	10.79	0	10.79	0	10.79	0	10.79	0
B ₂	11.04	15.51	22.37	16.91	53.2	19.27	74.5		
A ₁₁	17.54	20.78	18.5	23.76	35.5	26.43	50.7		
A ₁₂	16.98	19.12	12.6	21.39	26.0	23.48	38.3		
A ₁₃	16.07	19.96	24.2	23.21	44.4	26.20	63.0		
A ₁₄	15.36	17.59	14.5	19.78	28.8	21.70	41.3		
A ₁₅	14.01	16.47	17.6	18.81	34.3	20.87	49.0		
A ₂₁	16.18	18.42	13.8	20.68	27.8	22.77	40.7		
A ₂₂	15.83	18.72	18.2	21.45	35.5	23.96	51.3		
A ₂₃	15.15	17.66	16.6	20.08	32.5	22.22	46.7		
A ₂₄	14.05	16.22	15.4	18.41	31.0	20.41	45.3		
A ₂₅	13.31	14.78	11.0	16.37	23.0	17.81	33.8		
A ₃₃	13.28	14.80	11.5	16.22	22.1	17.7	33.3		
A ₃₄	12.01	13.44	11.9	14.75	22.8	16.27	35.5		
A ₃₅	11.07	12.20	10.2	13.4	21.0	14.62	32.1		

* ค่า M, M₁, M₂, M₃ และ M₄ คำนวณจากมาตรฐานแห้ง

ตารางที่ 7.6 แสดงปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในภาชนะพลาสติกและอลูมิเนียมเคลือบพลาสติกในเวลาต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 7.7 แสดงลักษณะและชื่อของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่เวลาต่าง ๆ กัน

ผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์เมื่อเริ่มต้น		ผลิตภัณฑ์หลังจาก 7 วัน		ผลิตภัณฑ์หลังจาก 14 วัน		ผลิตภัณฑ์หลังจาก 21 วัน	
	ลักษณะ	สี	ลักษณะ	สี	ลักษณะ	สี	ลักษณะ	สี
A11	ผง	น้ำตาลแดง	ผง	น้ำตาลแดง	เกล็ดขาวเป็นก้อน	น้ำตาลดำแดง	เป็นก้อนแข็ง	น้ำตาลดำ
A12	/	+	/	+	//	++	///	+++
A13	/	+	/	+	//	++	///	+++
A14	/	+	/	+	/	+	//	++
A15	/	+	/	+	/	+	//	++
A21	/	+	/	+	/	+	//	++
A22	/	+	/	+	/	+	//	++
A23	/	+	/	+	/	+	//	++
A24	/	+	/	+	/	+	//	++
A25	/	+	/	+	/	+	//	++
A33	/	+	/	+	/	+	//	++
A34	/	+	/	+	/	+	//	++
A35	/	+	/	+	/	+	//	++
B	กรอบ, รุพุน เป็นเกล็ด	++	กรอบ, รุพุน เป็นเกล็ด	++	ขุ่นขาว เกล็ดเป็นก้อนเหนียว	+++	เป็นก้อนเหนียว	+++

+ สีน้ำตาลแดง / ผง
 ++ สีน้ำตาลดำแดง // เป็นก้อน, ร่วน
 +++ สีน้ำตาลดำ /// เป็นก้อนแข็ง

ก.



รูปที่ 7.5

ผลิตภัณฑ์ A₁₁

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 14 วัน

ค. หลัง 21 วัน

ข.

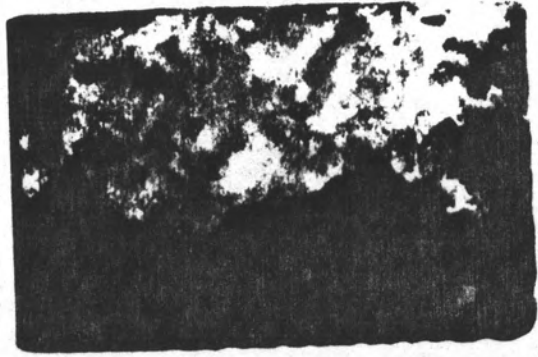


ค.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก.



รูปที่ 7.6

ผลิตภัณฑ์ A_{12}

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 14 วัน

ค. หลัง 21 วัน

ข.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค.



ก.



รูปที่ 7.7

ผลิตภัณฑ์ A₁₃

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 14 วัน

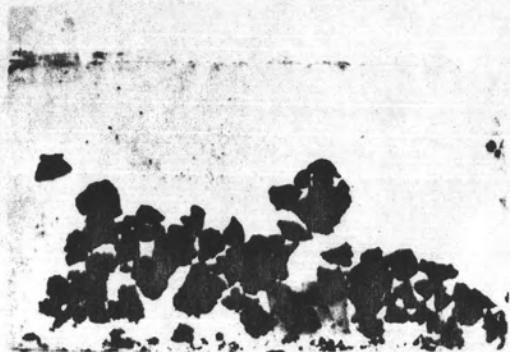
ค. หลัง 21 วัน

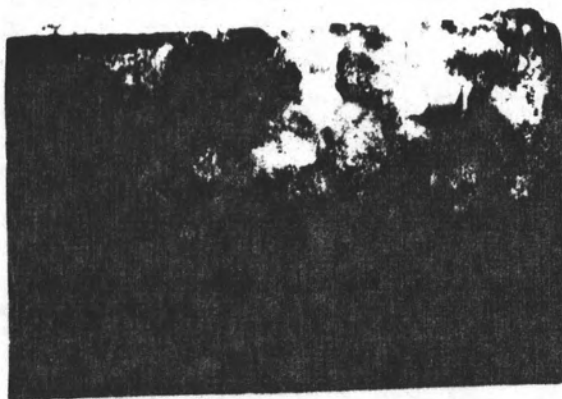
ข.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค.





รูปที่ 7.8

ผลิตภัณฑ์ A₁₄

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 21 วัน



ก.



ข.



รูปที่ 7.9

ผลิตภัณฑ์ A₁₅

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 21 วัน

ก.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ข.



รูปที่ 7.10

ผลิตภัณฑ์ A₂₁

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 21 วัน



ข.



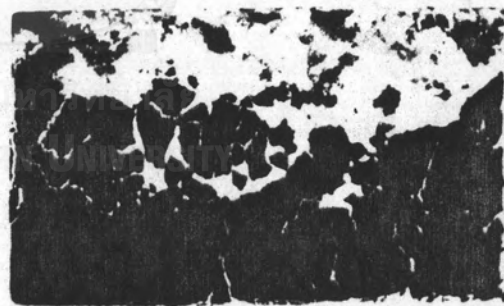
รูปที่ 7.11

ผลิตภัณฑ์ A₂₂

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 21 วัน

ก.



ข.

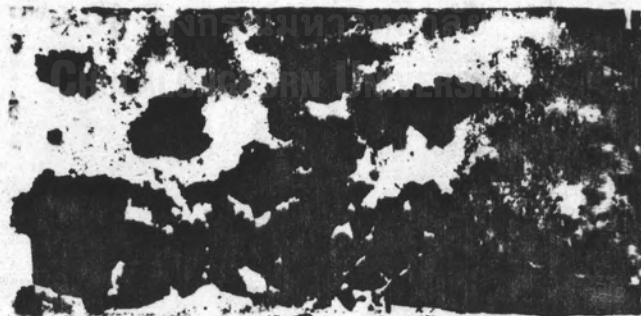


รูปที่ 7.12

ผลิตภัณฑ์ A₂₃

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 21 วัน



ข.



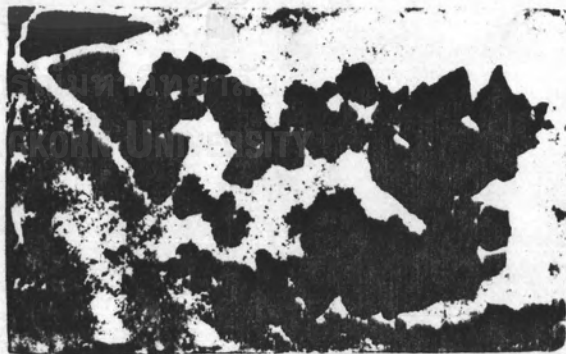
รูปที่ 7.13

ผลิตภัณฑ์ A₂₄

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 21 วัน

ก.



ข.



รูปที่ 7.14

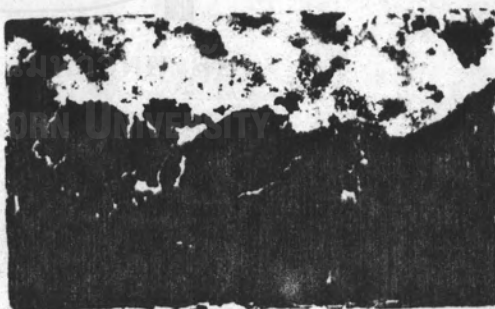
ผลิตภัณฑ์ A₂₅

ก. เริ่มต้น

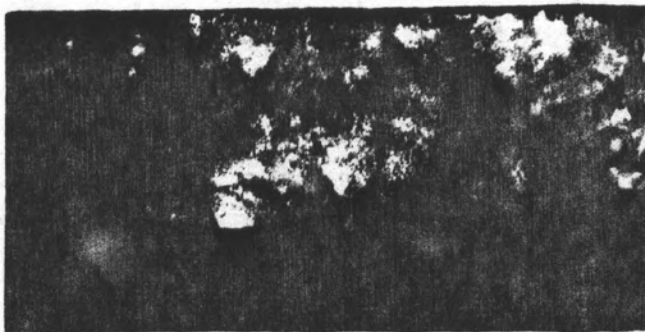
ข. หลัง 21 วัน



ก.



ข.



รูปที่ 7.15

ผลิตภัณฑ์ A33

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 21 วัน



ก.



ข.



รูปที่ 7.16

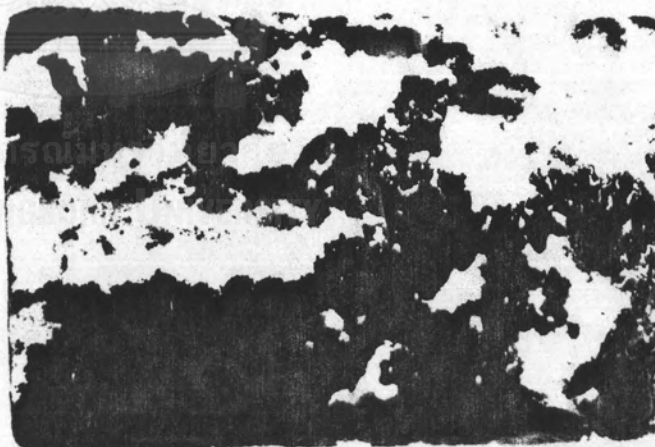
ผลิตภัณฑ์ A₃₄

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 21 วัน



ก.



ข.



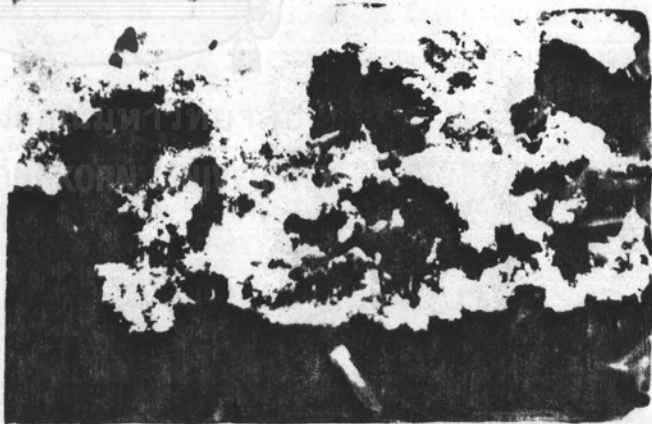
รูปที่ 7.17

ผลิตภัณฑ์ A₃₅

ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 21 วัน

ก.



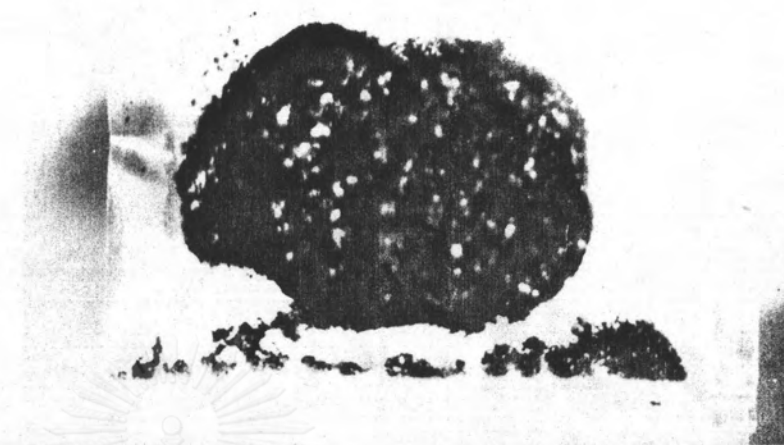
ข.

รูปที่ 7.18

ผลิตภัณฑ์ B

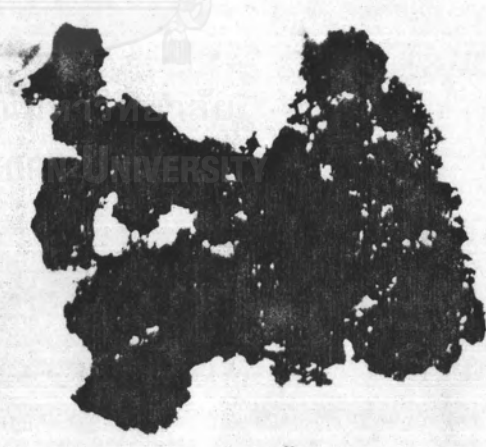
ก. เริ่มต้น

ข. หลัง 14 วัน



ก.

จุฬาลงกรณ์
UNIVERSITY



ข.



บทที่ 8

วิจารณ์ผลการทดลอง

8.1 การสกัดเช่นโนโซด์จากใบมะขามแขกด้วยวิธีการย่อยสลาย (maceration)

การทดลองใช้สภาวะในการทำงานตามวิธีการเตรียมสารละลายสกัด (fluidextract) ใน Remington's Pharmaceutical Sciences (9) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้อยู่ กล่าวคือ ใช้เวลาในการหมัก 24 ชั่วโมง และให้สารละลายไหลออกจากภาชนะ ด้วยอัตราเร็วประมาณ 4 มิลลิลิตร/นาที่ ที่อุณหภูมิห้อง ตัวทำละลายที่ใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ เอทานอลและน้ำ สำหรับ เอทานอลทำการทดลองโดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 15, 50, 70 และ 95 โดยน้ำหนัก และเนื่องจากต้องทำการทดลองนานถึง 24 ชั่วโมง น้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลายจึงต้องใส่สารเคมีบางชนิดลงไปเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา และแบคทีเรีย ได้แก่ คลอโรฟอร์มและอีเทอร์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 สกัดปริมาณเช่นโนโซด์ได้สูงร้อยละ 42.7 แต่ก็ยังเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ เพราะในเชิงอุตสาหกรรมควรจะสกัดให้ได้มากที่สุด

ตามธรรมดา เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด แต่จากการสกัดใบมะขามแขกด้วยวิธีการย่อยสลาย กลับปรากฏว่า เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก สามารถสกัดเช่นโนโซด์ได้สูงที่สุดด้วยวิธีนี้ในเวลา 24 ชั่วโมง คือ สกัดได้ร้อยละ 42.7 ของที่มีอยู่ในใบมะขามแขกเท่านั้น ซึ่งอาจอธิบายได้ดังนี้

1. พิจารณาจากโครงสร้างโมเลกุล เช่นโนโซด์มีขนาดโมเลกุลใหญ่มาก มีสูตรโมเลกุล $C_{42}H_{38}O_{20}$ (ดูบทที่ 2 ประกอบ) สารละลายเอทานอล มีโมเลกุลขนาดเล็กโดยปกติจะรวมตัวกับสารต่าง ๆ ด้วยแรงจากพันธะไฮโดรเจน (H-bond) และแรงแวนเดอร์วาล (vanderwaal force) เนื่องจากโมเลกุลของเช่นโนโซด์มีขนาดใหญ่มาก แรงในการรวมตัวกับสารต่าง ๆ ของเอทานอล จึงอาจจะไม่เพียงพอในการรวมตัวกับเช่นโนโซด์ได้ทั้งหมด ดังจะเห็นได้จากการทดลองว่า เอทานอล ร้อยละ 95 สกัดเช่นโนโซด์จากใบมะขามแขกด้วยวิธีการย่อยสลายได้เพียงร้อยละ 10.4 เท่านั้น สำหรับน้ำมีโครงสร้างโมเลกุลขนาดเล็ก รวมตัวกับสารต่าง ๆ ด้วยแรงโพลาริตี (polarity) จากผลการทดลองใช้น้ำในการสกัดเช่นโนโซด์ จากใบมะขามแขกด้วย

วิธีการย่อยสลายได้ผลการสกัดประมาณร้อยละ 10 เท่านั้น ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่าแรงโพลาริตีของน้ำไม่มากพอที่จะละลายเช่นโนไซด์ได้ทั้งหมด ดังนั้นการนำส่วนผสมของน้ำและเอทานอลผสมกันแล้วใช้เป็นตัวทำละลายอาจจะช่วยเพิ่มแรงในการรวมตัวกับเช่นโนไซด์มากขึ้น คือมีทั้งแรงจากพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ของเอทานอล กับแรงโพลาริตีของน้ำซึ่งทำให้เช่นโนไซด์ละลายอยู่ในตัวทำละลายทั้งสอง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างน้ำและเอทานอลที่เหมาะสมจะให้ผลในการสกัดสูงสุด

2. เนื่องจากสกัดด้วยวิธีการย่อยสลาย เป็นกระบวนการที่อาศัยระยะเวลาและแรงดึงดูดตามธรรมชาติของตัวทำละลายและตัวถูกละลายเอง เมื่อเติมตัวทำละลายลงบนใบมะขามแขก ตัวทำละลายจะค่อย ๆ แพร่กระจายเข้าไปในใบมะขามแขกจนทั่ว ส่วนต่าง ๆ ในใบมะขามแขกซึ่งสามารถละลายในตัวทำละลายได้ รวมทั้ง เช่นโนไซด์ก็จะละลายเข้ามาอยู่ในตัวทำละลาย เวลาผ่านไปมากขึ้นตัวถูกละลายก็จะมีมากขึ้นในตัวทำละลาย ในการทดลองใช้เวลาตามวิธีมาตรฐาน คือ 24 ชั่วโมง เท่านั้น ซึ่งอาจไม่เพียงพอที่ตัวทำละลายจะเข้าไปถึง เช่นโนไซด์ออกมามากกว่านี้

ถึงแม้ว่า การเพิ่มปริมาณเช่นโนไซด์จากการสกัดด้วยวิธีการย่อยสลายอาจกระทำได้โดยการเพิ่มระยะเวลาในการทำงาน แต่การทำงานที่อาศัยระยะเวลานานจะให้ผลการสกัดต่ำ ย่อมไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงาน อีกทั้งตัวทำละลายที่ให้ผลการสกัดสูงสุดคือ เอทานอลร้อยละ 50 ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการผลิต และไม่สะดวกในการแปรสภาพต่อไป จึงจำเป็นอย่างหนึ่งที่จะต้องปรับปรุงวิธีการสกัดต่อไปให้ได้ผลการสกัดสูงในระยะเวลาสั้น และใช้ตัวทำละลายที่สะดวกในการแปรสภาพต่อไป

8.2 การสกัดเช่นโนไซด์จากใบมะขามแขกด้วยวิธีการเขย่าในหลอดแก้ว (shaking in tube)

การทดลองนี้ใช้วิธีการสกัดของ Hayashi และคณะ (19) โดยการเขย่าในหลอดแก้ว ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ น้ำส้มสุราเคมีป้องกันการเกิดเชื้อรา และเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 15, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 95 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.2 พบว่า เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 15 ให้ผลการสกัดเช่นโนไซด์สูงสุดร้อยละ 86.2 โดยน้ำหนัก

เมื่อเปรียบเทียบผลการสกัดเช่นโนโซลต์ด้วยวิธีการเขย่าในหลอดแก้ว กับวิธีการย่อยสลายจะเห็นได้ว่า วิธีการเขย่าในหลอดแก้วให้ผลการสกัดเช่นโนโซลต์ที่ต่ำกว่าทุกตัวทำละลาย และตัวทำละลายที่ให้ผลการสกัดสูงสุดคือ เอทานอลร้อยละ 15 ให้ผลการสกัดร้อยละ 86.2 โดยน้ำหนัก ซึ่งแตกต่างจากการสกัดด้วยวิธีการย่อยสลายที่เอทานอลร้อยละ 50 เป็นตัวทำละลายที่ให้ผลการสกัดสูงสุดคือ ร้อยละ 42.7 โดยน้ำหนัก ความแตกต่างนี้อาจอธิบายได้ว่ามีสาเหตุมาจากกลไกในการทำงาน (mechanism) ที่แตกต่างกันของการสกัดทั้งสองวิธี ซึ่งอาจขยายความได้ดังนี้ การสกัดประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ 3 กระบวนการ กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการแรกเป็นการเปลี่ยนสถานะของตัวถูกละลายขณะที่ละลายในตัวทำละลาย กระบวนการที่ 2 เป็นการแพร่กระจายของตัวถูกละลายภายในตัวทำละลายที่อยู่ในช่องว่างของพีซี และกระบวนการสุดท้าย เป็นกระบวนการถ่ายเทมวลสารของตัวถูกละลาย จากสารละลายที่อยู่ภายในพีซีออกสู่สารละลายทั้งหมด กระบวนการแรกจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายเช่นโนโซลต์ของตัวทำละลาย กระบวนการที่ 2 ขึ้นอยู่กับลักษณะของพีซี ในการทดลองนี้เราพบไบเมซามแยกให้มีความเร็วช้า เพื่อช่วยย่นระยะทางที่ตัวถูกละลายต้องผ่านขณะ เกิดการถ่ายเทมวลสารให้สั้นลง และกระบวนการ

ที่ 3 การเขย่าหรือการกวนในระหว่างการสกัดจะช่วยให้การถ่ายเทมวลสาร เกิดได้เร็วและดีขึ้น จะเห็นได้ว่าการสกัดเช่นโนโซลต์จากไบเมซามแยก โดยใช้ไบเมซามแยกบดเขย่าในหลอดแก้ว เป็นวิธีการที่ช่วยให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้เร็วและดีขึ้นในกระบวนการที่ 2 และ 3 ของกระบวนการล้างออก ส่วนการย่อยสลายนั้นใช้ไบเมซามแยกบดบรรจุลงในภาชนะอย่างสม่ำเสมอ ทำให้การถ่ายเทมวลสารในกระบวนการที่ 3 คือ การถ่ายเทมวลสารของตัวถูกละลายจากสารละลายที่อยู่ภายในพีซี ออกสู่สารละลายทั้งหมดเกิดได้ยากและช้า ดังนั้นการสกัดเช่นโนโซลต์จากไบเมซามแยกด้วยวิธีการเขย่าในหลอดแก้วจึงมีประสิทธิภาพดีกว่าการสกัดด้วยวิธีการย่อยสลาย

8.3 การสกัดเช่นโนโซลต์จากไบเมซามแยกด้วยวิธีการไหลซึมผ่านโดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียน (pressure percolation with circulating system)

เช่นเดียวกัน การทดลองนี้เลือกใช้น้ำและเอทานอลร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เป็นตัวทำละลายทั้งนี้เพราะตัวทำละลายทั้งสองนี้สามารถสกัดเช่นโนโซลต์จากไบเมซามแยกได้ดี, สารละลายสกัดที่ได้ก็สะดวกในการนำไปแปรสภาพ และยังมีราคาถูกอีกด้วย การสกัดด้วยวิธีการไหลซึมผ่าน

โดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียน อาศัยแรงดันจากเครื่องสูบ ช่วยในการไหลของตัวทำละลาย ผ่านชั้นมะขามแขกที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ และทำให้เกิดการไหลเวียนของตัวทำละลายที่ทำการสกัด แล้ว ให้อ่อนกลับมาทำการสกัดมะขามแขกในคอลัมน์ ซ้ำ หลาย ๆ ครั้ง จากผลการทดลองแสดง ในรูปที่ 6.3 แสดงให้เห็นว่า ตลอดช่วงเวลา 8 ชั่วโมง ที่ทำการทดลองผลการสกัดเช่นโนโซด์ โดยใช้ น้ำและเอทานอล ร้อยละ 15 เป็นตัวทำละลาย เป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังนั้นที่เวลา 8 ชั่วโมง จึงให้ผลในการสกัดสูงสุด คือ ร้อยละ 25.33 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ เอทานอลร้อยละ 15 เป็นตัวทำละลายและร้อยละ 11.59 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ลักษณะการทำงานของวิธีการไหลซึมผ่านนั้นคล้ายคลึงกับวิธีการย่อยสลาย คือ บรรจุ ผงมะขามแขกที่บดแล้วไว้ในภาชนะให้ล้นมาเสมอ แล้วจึงเทตัวทำละลายลงไป ต่างกันที่ การไหลซึมผ่านไม่ต้องแช่มะขามแขกทิ้งไว้ในตัวทำละลาย แต่ปล่อยให้สารละลายไหลซึมผ่านชั้นของมะขามแขกลงมาเลย ปกติเทคนิคการไหลซึมผ่านจะอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกที่เกิดจากน้ำหนักของตัวทำละลายและที่ช่วยกันหักออกด้วยแรงในท่อรูเข็ม (capillary force) ของสารละลายเป็นแรงที่ใช้ในการดึงสารละลายลงมา สำหรับในการทดลองนี้ใช้แรงดันจากเครื่องสูบเข้าช่วย เพื่อให้ สารละลายที่ผ่านการสกัดมะขามแขกมาแล้ว กลับไปทำการสกัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จุดประสงค์เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ เช่นโนโซด์ในสารละลายสกัดและประหยัดตัวทำละลาย แต่จากการทดลอง พบว่า ในการสกัดแบบไหลซึมผ่านโดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียน ซึ่งใช้น้ำและเอทานอล ร้อยละ 15 เป็นตัวทำละลาย เมื่อเวลาผ่านไปชั้นของมะขามแขกที่บรรจุในคอลัมน์จะถูกแรงดันจาก เครื่องสูบดันให้อัดกันแน่นมากขึ้นจนน้ำและเอทานอล ร้อยละ 15 ไหลผ่านชั้นของมะขามแขกใน คอลัมน์ได้ยาก เนื่องจากทั้งน้ำและเอทานอลร้อยละ 15 มีแรงดึงผิวสูง ซึมผ่านชั้นของมะขาม- แขกได้ยาก แม้ว่าจะมีแรงจากเครื่องสูบช่วยก็ตาม เช่นโนโซด์ซึ่งแพร่กระจายอยู่ในตัวทำละลาย ที่อยู่ภายในช่องว่างของพืช จึงไม่สามารถถ่ายเทออกสู่สารละลายทั้งหมดได้ เช่นโนโซด์ส่วนใหญ่ จึงติดอยู่ตามช่องว่างของพืชที่มีตัวทำละลายอยู่ ดังนั้นปริมาณ เช่นโนโซด์ที่สกัดได้โดยวิธีนี้เมื่อใช้น้ำ และเอทานอล ร้อยละ 15 เป็นตัวทำละลายจึงมีปริมาณต่ำดังกล่าวข้างต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการ สกัดมะขามแขกด้วยวิธีการไหลซึมผ่านโดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียนไม่เหมาะกับตัวทำละลาย น้ำและเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 15

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลการทดลองในรูปที่ 6.3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ผลการสกัดและ เวลาที่ใช้ในการสกัดในสเกลของเซมิล็อกการิทึม (semilogarithm) พบว่า

ให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง มีความลาดเท่ากัน คือ 0.425 แสดงให้เห็นว่าผลการสกัดหรือความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย จะมามีค่าเป็นสัดส่วนแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลกับเวลา ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการถ่ายเทมวลสาร ในการสกัดแบบไม่ต่อเนื่องในสมการที่ 2.3 (ดูบทที่ 2 ประกอบ)

$$C = C_s (1 - e^{-(kA/bV)t}) \quad \text{----- (2.3)}$$

$$\ln \frac{C}{C_s} = \ln e^{-(kA/bV)t} = -\frac{(kA)t}{bV}$$

$$\frac{C}{C_s} = f(\exp t)$$

เมื่อนำค่า C และ t มาเขียนลงในเส้นกราฟของเซมิล็อกการิทึมจะให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง
มีค่าความลาด = $\frac{kA}{bV}$

8.4 การสกัดเช่นโนโซด์จากใบมะขามแฉกด้วยวิธีการสกัดอย่างต่อเนื่องแบบสวนทางกัน (continuous countercurrent extraction)

หลังจากได้ทำการทดลองสกัดเช่นโนโซด์จากใบมะขามแฉกด้วยวิธีต่าง ๆ กัน ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งยังไม่เป็นที่น่าพอใจนัก จึงได้หันมาทดลองใช้ความร้อนเข้าช่วยในการสกัดด้วย โดยพิจารณาทำการสกัดตามวิธีของ Muller และคณะ (20) ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีการของเขาเป็นมาตรฐานในการวัดปริมาณเช่นโนโซด์ คือ นำใบมะขามแฉกที่เป็นวัตถุดิบในการทดลองมาหาปริมาณเช่นโนโซด์ที่มีอยู่ ด้วยวิธีการของ Muller โดยคิดว่าค่าที่วัดได้ให้ผลถูกต้องร้อยละ 100 ในการวัดปริมาณเช่นโนโซด์ของมะขามแฉกโดยใช้วิธีของ Muller นี้ ต้องนำมะขามแฉกบดมาทำการสกัดก่อนด้วยน้ำเดือด และแช่ในน้ำร้อน 70 °ซ. นาน 10 นาที เขย่าตลอดเวลา ทำให้เย็น แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปจนเปลี่ยนสี โดยคิดว่าเช่นโนโซด์ในใบมะขามแฉกถูกสกัดอยู่ในสารละลายทั้งหมด

การสกัดเช่นโนโซด์จากใบมะขามแฉกโดยใช้น้ำร้อน เมื่อเริ่มการสกัดนั้นจะช่วยทำให้เซลล์ของพืชพองตัวออก เช่นโนโซด์ในมะขามแฉกจึงหลุดออกมาแขวนลอยในน้ำได้เร็วขึ้น และเมื่อนำไปแช่ในน้ำร้อน 70 °ซ. และเขย่าตลอดเวลา เช่นโนโซด์จะถูกกระตุ้นด้วยความร้อนและแรงเขย่าให้แพร่กระจายจากบริเวณภายในช่องว่างของพืชออกสู่ตัวสารละลายทั้งหมดได้เร็วขึ้น ส่วน

น้ำเอง เมื่อได้รับความร้อนความสามารถในการรวมตัวกับสารอินทรีย์จะสูงขึ้น ทำให้ละลาย เช่น โนโซลิต์ ออกมาได้มากขึ้น สำหรับอุณหภูมิของน้ำ 70 °ซ นี้ ได้จากการทดลองของ Muller (20) ซึ่งทำการทดลองเปรียบเทียบการสกัด เมื่อใช้ เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ กัน พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 70 °ซ ใช้เวลานาน 10 นาที จะให้ผลการสกัดที่ดีที่สุด หลังจากทำการสกัดด้วยน้ำร้อน นำสารละลายสกัดมาทำให้เย็นลง เพื่อหยุดปฏิกิริยาทั้งหมดของพืชและน้ำ จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N. ลงไปเพื่อให้สารละลายมีฤทธิ์เป็นเบสอ่อน ๆ ซึ่งดูได้จาก การที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดง เมื่อสารละลายมีฤทธิ์เป็นเบสอ่อน ๆ เช่น โนโซลิต์ซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำก็จะรวมตัวกับน้ำได้ทั้งหมด ในรูปของเกลือโซเดียม เช่น โนโซลิต์ (10)

การทดลอง เพื่อทำการสกัดอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกันแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ

8.4.1 การทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัด

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อหาเวลาในการสกัดที่อยู่ในภาวะสมดุล เมื่อทำการสกัดใบมะขามแขกด้วยน้ำเดือด แล้วสกัดต่อในน้ำร้อน 70 °ซ จะต้องใช้เวลาในการสกัดด้วยการแช่ในน้ำร้อน 70 °ซ นานเท่าใด จึงจะให้ผลการสกัดเช่น โนโซลิต์สูงสุด การทดลองใช้ อุปกรณ์เช่นเดียวกับ การทดลองของ Muller คือ Volumetric flask ใส่ใบมะขามแขกบดละเอียดลงไปประมาณ 1 กรัม ซึ่งละเอียดเติมน้ำเดือดลงไป นำไปแช่ในน้ำร้อนด้วยระยะเวลาต่าง ๆ กัน จากนั้นทำตามวิธีการหาปริมาณเช่น โนโซลิต์ของ Muller ทั้งหมด ปรากฏว่าที่เวลานาน 10, 13, 16 และ 20 นาที ให้ผลการสกัดเช่น โนโซลิต์สูงสุดได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน รูป 6.4 ประกอบ แสดงว่าระยะเวลา 10 นาที เป็นเวลาในการสกัดที่เช่น โนโซลิต์อยู่ในภาวะสมดุลกับน้ำคือไม่มีการละลายของ เช่น โนโซลิต์มาแขวนลอยในน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้น

8.4.2 การทดลองหาปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับโดยใบมะขามแขก

เมื่อได้เวลาที่ใช้ในการสกัดที่ภาวะสมดุลแล้วข้อมูลต่อไปที่ต้องทราบคือ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับโดยใบมะขามแขก โดยปกติพืชจะดูดซับตัวทำละลายไว้แล้วทำให้ตัวของพืชเองพองออก ในการสกัดที่ใช้ปริมาณใบมะขามแขกมาก ปริมาณน้ำที่ถูกใบมะขามแขกดูดซับไว้ย่อมมีผลต่อระบบ ดังนั้น ในการทำงานที่ต้องการควบคุมปริมาณของสารละลายที่เข้าและออกจากระบบ เช่น การสกัดแบบต่อเนื่องแบบไหลส่วนทางกัน จำเป็นต้องทราบปริมาณของน้ำที่ถูกดูดซับไว้ เพื่อเตรียมการได้ถูกต้อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ใบมะขามแขกบด 1 กรัม ดูดซับน้ำไว้ 2 มล. เป็นอัตราส่วนของพืชต่อน้ำ = 1 : 2 น้ำหนัก : ปริมาตร

8.4.3 การทดลองเพื่อคาดคะเนจำนวนขั้นตอนที่ใช้ในการทำงานและอัตราส่วนของพืชต่อตัวทำละลาย

การทดลองแยกเป็น 2 ช่วง คือ

1. อัตราส่วนของน้ำต่อใบมะขามแขก = 4 : 1 โดยน้ำหนัก ทำการสกัด 3 ขั้นตอน ใบมะขามแขกทั้งหมด 150 กรัม น้ำ 600 มล. โดยทำการสกัดมะขามแขกชุดแรกในขั้นตอนที่ 1 50 กรัม น้ำ 600 มล. คิดเป็นอัตราส่วน น้ำ : มะขามแขกในขั้นตอนนี้ = 12 : 1 ทำการทดลองโดยใช้วิธีของ Muller และผลการทดลองที่ 6.4.1 และ 6.4.2 คือ ก่อนการสกัด มะขามแขกจะถูกทำให้เปียกก่อนด้วยน้ำปริมาตร 2 เท่า ของน้ำหนักมะขามแขก และใช้เวลาในการสกัดในน้ำร้อน 70 °C นาน 10 นาที ได้ผลการสกัดเช่นโนโซลด์ร้อยละ 55.76 โดยน้ำหนัก คิดเป็นปริมาณเช่นโนโซลด์ในสารละลายสกัด = 0.805 กรัม นำสารละลายสกัดที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 (ส.1) ไปสกัดใบมะขามแขกชุดที่ 2 อีก 50 กรัม ด้วยวิธีการเช่นเดียวกัน สารละลายสกัดจากขั้นตอนที่ 2 (ส.2) ก็คือ สารละลายที่ได้จากการสกัดใบมะขามแขก 100 กรัม นั้นเอง โดยแยกทำการสกัด 2 ครั้ง อัตราส่วนของน้ำ : มะขามแขกในช่วงนี้จะเท่ากับ 600 : 100 หรือ 6 : 1 ได้ผลการสกัดเช่นโนโซลด์ร้อยละ 31.76 โดยน้ำหนัก คิดเป็นปริมาณเช่นโนโซลด์ในสารละลายสกัด (ส.2) 0.917 กรัม นำ ส.2 ไปสกัดใบมะขามแขกชุดที่ 3 อีก 50 กรัม ได้สารละลายสกัด (ส.3) ซึ่งก็คือสารละลายสกัดที่ได้จากการสกัดใบมะขามแขก 150 กรัม 3 ครั้ง นั้นเอง เป็นอัตราส่วนของน้ำ : มะขามแขก = 600 : 150 = 4 : 1 ได้ผลการสกัดเช่นโนโซลด์ร้อยละ 21.29 โดยน้ำหนัก และคิดเป็นปริมาณเช่นโนโซลด์ที่มีอยู่ในสารละลายสกัด (ส.3) = 0.922 กรัม พิจารณาจากปริมาณเช่นโนโซลด์ที่สกัดได้ใน ส.1, ส.2 และ ส.3 จะเห็นได้ว่า ส.2 และ ส.3 เกือบจะมีปริมาณเช่นโนโซลด์อยู่เท่ากัน ทั้ง ๆ ที่ ส.2 ได้จากการสกัดใบมะขามแขก 100 กรัม ส่วน ส.3 ได้จากการสกัดใบมะขามแขก 150 กรัม แสดงว่า การสกัดเพียง 2 ขั้นตอน ก็น่าจะเพียงพอแล้ว เพราะการสกัดในขั้นตอนที่ 3 เกือบจะไม่มีปริมาณเช่นโนโซลด์เพิ่มขึ้นเลย

2. อัตราส่วนของน้ำต่อใบมะขามแขก = 100 : 1 โดยน้ำหนัก ทำการสกัดขั้นตอนเดียว เนื่องจากผลการทดลองของช่วงที่ 1 ในการสกัดขั้นตอนแรกที่ใช้ น้ำ 600 มล. ใบมะขามแขก 50 กรัม คิดเป็นอัตราส่วนน้ำต่อมะขามแขก = 12 : 1 นั้นให้ผลการสกัดเช่นโนโซลด์เพียงร้อยละ 55.76 ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำ จึงทดลองเปลี่ยนจากอัตราส่วนน้ำต่อมะขามแขก จาก 12 : 1 มาเป็น 100 : 1 เท่ากับของ Muller ทำการสกัดขั้นตอนเดียว ได้ผลการสกัดเช่นโนโซลด์ ร้อยละ

91.5 และ 90.0 โดยน้ำหนัก แสดงว่าการสกัดตามวิธีของ Muller นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างการใช้อัตราส่วนของน้ำ : มะขามแขก = 12 : 1 และ 100 : 1 พบว่า อัตราส่วนของน้ำ : มะขามแขก = 100 : 1 ให้ผลการสกัดเช่นไนโซลิต์ที่ตีกว่ามาก ดังนั้นในการทดลองส่วนต่อไปจะใช้อัตราส่วนของน้ำ : มะขามแขก = 100 : 1 โดยน้ำหนัก

8.4.4 การสกัดเช่นไนโซลิต์จากใบมะขามแขก ด้วยวิธีการสกัดอย่างต่อเนื่องแบบล้นทางกัน เมื่อจำนวนขั้นตอน = 2

เครื่องมือที่ใช้คือ เครื่องสกัดแบบตั้งกวางในอ่างน้ำต้ม ซึ่งเป็นถัง 2 ชั้น ชั้นนอกใส่ น้ำต้มแช่เอาไว้เพื่อปรับอุณหภูมิให้สารที่อยู่ในถังชั้นในมีอุณหภูมิคงที่ ในการทดลองกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำต้มในถังใบนอก = 70°C . เวลาที่ใช้ในการสกัดเพียง 10 นาที อัตราส่วนของน้ำต่อใบมะขามแขก = 100 : 1 ในแต่ละถัง ทำการสกัด 6 แถว (ดูรูป 4.2 ประกอบ) แต่ละแถวทำการสกัด 2 ครั้ง S_1, S_2 และ S_3 จนถึง S_7 คือสัญลักษณ์ที่ใช้แทนใบมะขามแขกประมาณ 100 กรัมที่ถูกสกัดแต่ละชุดจากชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 7 ก่อนจะถูกสกัดต้องทำให้ใบมะขามแขกแต่ละชุดเปียกชุ่มก่อนด้วยน้ำปริมาตร เป็น 2 เท่าของน้ำหนักพืช คือ 200 มล. ในแถวแรก ใบมะขามแขกที่ถูกสกัดคือ S_1 และ S_2 ครั้งแรกใช้น้ำเดือด อุณหภูมิ 100°C ปริมาตร 10 ลิตร สกัด S_1 โดยการเทน้ำเดือดนี้ลงไปในถังกวางซึ่งบรรจุ S_1 ไว้ ให้อุณหภูมิของน้ำต้มในถังใบนอก = 70°C เปิดเครื่องให้ใบพัดกวางตลอดเวลา แช่ S_1 ไว้ในน้ำร้อนนาน 10 นาที แยกสารละลายสกัด E_1 ออกจากกากพืช S_1 เติมน้ำเติมไฮดรอกไซด์ 1 N ลงไปจนเปลี่ยนสี เพื่อให้เช่นไนโซลิต์ในน้ำรวมตัวกับน้ำทั้งหมด วัดอุณหภูมิของ E_1 ได้ $T_1 = 70^{\circ}\text{C}$ นำ E_1 มาสกัดพืชใหม่ชุดที่ 2 คือ S_2 โดยเท E_2 ซึ่งมีอุณหภูมิ = 70°C ปริมาตร 10 ลิตร ลงในถังกวางซึ่งบรรจุ S_2 เอาไว้ แช่ S_2 ไว้ใน E_1 นาน 10 นาที แยกสารละลายสกัดที่ได้ซึ่งเรียกว่า E_2 ออกจากกากพืช S_2 วัดอุณหภูมิได้ $T_2 = 62^{\circ}\text{C}$ E_2 เป็นสารละลายสกัดที่ได้จากการสกัดในแถวแรก และ E_3 จนถึง E_7 เป็นสารละลายสกัดที่ได้จากการสกัดในแถวที่ 2 ถึงแถวที่ 6 ตามลำดับ โดยเริ่มการสกัดครั้งแรกในแถวที่ 2 ด้วย น้ำเดือดอุณหภูมิ 100°C ทำการสกัดกากพืชที่ถูกสกัดมาแล้วในแถวแรก คือ S_2 ได้สารละลายสกัด E'_2 ไปสกัดพืชชุดใหม่คือ S_3 ได้สารละลายสกัด E_3 เป็น สารละลายสกัดในแถวที่ 3 ทำการทดลองเช่นนี้เรื่อย ๆ ไปจนถึงแถวที่ 6 อุณหภูมิ ของสารละลายสกัดในขั้นตอนแรก ของแต่ละแถว T_1 มีค่าเท่ากันคือ 70°C และอุณหภูมิของสารละลายสกัดในขั้นตอนที่ 2 ของแต่ละแถว, T_2 มีค่าเท่ากันคือ 62°C จะเห็นได้ว่า T_1 และ T_2 มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิของตัวทำละลายที่นำมาสกัดแตกต่างกัน เหตุที่เราไม่ทำให้อุณหภูมิ เร็งตัวของ

ตัวทำละลายที่นำมาสกัดมีค่าเท่ากับ $= 100 \text{ ๗}$ นั้น เนื่องจากการสกัดขั้นตอนที่ 2 ในแต่ละแถว เราใช้สารละลายสกัดจากขั้นตอนแรกมาเป็นตัวทำละลายในขั้นตอนที่ 2 ในสารละลายสกัดที่มี เชนโนไซด์ละลายอยู่แล้ว ถ้านำสารละลายที่ไปต้มให้มีอุณหภูมิ เพิ่มจาก 70 ๗ เป็น 100 ๗ คุณสมบัติในการเป็นยาของ เชนโนไซด์จะถูกทำลายไป (11) ดังนั้นในการสกัดขั้นตอนที่ 2 ในแต่ละแถวจึงใช้สารละลายซึ่งมีอุณหภูมิ 70 ๗ เป็นตัวทำละลายในการสกัด

พิจารณาการสกัดขั้นตอนเดียวในแถวแรกของการสกัด สารละลายสกัด E_1 ที่ได้มี ปริมาณ เชนโนไซด์ร้อยละ 2.55 ซึ่งคิดเป็นผลการสกัดร้อยละ 88.33 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การสกัดด้วยวิธีเดียวกันของ Muller และคณะ ซึ่งใช้ไบมะขามแขกเพียง 1 กรัม และใช้ Volumetric flask เป็นอุปกรณ์ในการทดลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้เรายอมรับว่าเป็นวิธีการสกัด ที่ให้ผลการสกัดร้อยละ 100 พบว่า การสกัดโดยใช้ผงกวนในอ่างน้ำร้อนและใช้ปริมาณไบมะขามแขก มากขึ้นเป็น 100 กรัม ให้ผลการสกัดต่ำลงร้อยละ 11.67 ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจาก

1. ภาชนะที่ใช้ในการทำงานแตกต่างกัน ของ Muller ใช้ Volumetric flask ซึ่งเป็นภาชนะแก้ว 100 มิลลิลิตร สามารถจุ่มลงในอ่างน้ำร้อนได้ทั้งภาชนะ การถ่ายเทความร้อนภายในย่อมเกิดขึ้นได้ทั่วถึง แต่ในการทดลองนี้เราใช้ถังสเตนเลสรูปทรงกระบอก 2 ใบซ้อนกัน ใบนอกบรรจุน้ำร้อน ซึ่งล้อมรอบถังใบในได้เพียงด้านข้างและด้านล่างเท่านั้น ตัวถังใบในมีขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 41 ซม. การส่งผ่านความร้อนภายในอาจไม่ทั่ว ภาชนะขนาดเล็กซึ่งจุ่มในน้ำร้อนได้ทั้งภาชนะ

2. ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกกากพืชจากสารละลายสกัด วิธีของ Muller นั้น ใช้ไบมะขามแขกเพียง 1 กรัม เมื่อทำการสกัดไม่จำเป็นต้องแยกเอากากพืชออก เพราะมีปริมาณน้อย แต่ในการทดลองนี้ใช้ไบมะขามแขก 100 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่มากพอสมควร และจำเป็นต้องแยกกากพืชออกเพื่อใช้ในการสกัดต่อไป เครื่องมือที่ใช้คือ เครื่องบีบน้ำแบบสกรู เป็นเครื่องมือที่อาศัยแรงกดของน้ำหนักที่เกิดจากการหมุนสกรูบีให้สารละลายที่ติดในกากพืชไหลออกมา เครื่องมือนี้ไม่สามารถทำงานให้ได้ผลอย่างสมบูรณ์ จึงมีสารละลายสกัดบางส่วนติดอยู่ใน กากพืช ปริมาณ เชนโนไซด์ที่ได้จึงลดลง

3. เทคนิคในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เมื่อการสกัดขั้นตอนเดียวไม่สามารทำให้ผลที่ดีพอ จึงต้องเพิ่มจำนวนครั้งในการสกัดขึ้นเป็นการสกัดหลายขั้นตอน และการสกัดหลายขั้นตอนที่ให้ผลดีที่สุดคือ การสกัดหลายขั้นตอน

แบบไหลสวนทางกัน ซึ่งเป็นเทคนิคในการสกัดที่ให้ผลการสกัดสูงสุดโดยใช้ตัวทำละลายน้อยที่สุด หลักการทำงานคือการนำตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งในการทดลองนี้คือ น้ำอุณหภูมิ 100 °C มาสกัด ไบโอมะขามแขกที่ถูกสกัดมาแล้ว และใช้สารละลายสกัดที่ทำ การสกัดมาแล้วมีความเข้มข้นของ เช่น โชนิโอยด์สูง มาสกัด ไบโอมะขามแขกที่ยังไม่ผ่านการสกัดเลย วิธีนี้เช่น โชนิโอยด์ จะถูกสกัดออกจาก ไบโอมะขามแขกจนหมด ถ้าใช้จำนวนขั้นตอนในการสกัดมากพอ โดยปกติการสกัดหลายขั้นตอนแบบ ลวนทางกันจะดำเนินการเป็นแบบต่อเนื่อง แต่เนื่องจากการสกัดในระบบของแข็งและของเหลว มีปัญหาในการเคลื่อนย้ายส่วนที่เป็นของแข็งหรือพืชจาก เครื่องหนึ่ง ไปสู่อีก เครื่องหนึ่ง ให้ไหลใน ลักษณะสวนทางกับสารละลาย จึงจำเป็นต้องใช้หลักการ ทำงานของ Shank system เข้าช่วย คือทำการสกัดแบบ extraction battery โดยสั ดเรียงส่งกวนเป็นแถว ไม่มีการเคลื่อนย้าย วัสดุติดจากถังหนึ่งสู่อีกถังหนึ่ง การไหลเข้าและออกของถังใด ๆ จะเป็นไปโดยการไหลอย่าง ต่อเนื่องของตัวทำละลาย ราวกับว่ามีน้ำกำลังเคลื่อนที่จากถังหนึ่งสู่อีกถังหนึ่งในระบบการไหลสวน ทางกัน ในการทดลองเราทำการสกัดเพียง 2 ขั้นตอน และใช้ถังกวนเพียงใบเดียว เนื่องจากขาด แคลนอุปกรณ์ โดยทำงานเสมือนว่ามีถังอยู่ 2 ใบ เรียงเป็นแถวอยู่ด้วยกัน ดังรูปที่ 4.2 การดำเนินการ จะเหมือนกับการทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง แต่หลังจากที่ผ่านการ ทำงานไปแล้ว 4 รอบ ความ เข้มข้นของ เช่น โชนิโอยด์ในสารละลายสกัดในแต่ละขั้นตอน ของแถวที่ 5 หรือระบบที่ 5 และ 6 มี ค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว (steady state) ค่าที่ได้นี้ จะเป็นเช่นเดียวกับค่าที่ได้จากการสกัดอย่างต่อเนื่อง 2 ขั้นตอน แบบลวนทางกันที่สภาวะคงที่ที่ ดำเนินการจริง (22)

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าสารละลายสกัด E_2 ในแถวแรก มีปริมาณเช่น โชนิโอยด์ สูงกว่า สารละลายสกัดในแถวอื่น ที่เป็นเช่นนี้เพราะไบโอมะขามแขก S_1 และ S_2 ที่ใช้ในการ สกัดแถวแรกเป็นไบโอมะขามแขกที่ยังไม่ผ่านการสกัดเลย ส่วนการที่สารละลายสกัด E_3 ที่ได้จากการ สกัดในแถวที่ 2 ที่ปริมาณเช่น โชนิโอยด์ต่ำกว่าแถวแรก เพราะไบโอมะขามแขก S_2 ที่ใช้ในการสกัด แถวที่ 2 นั้น ได้ถูกสกัดเช่น โชนิโอยด์ออกไปบางส่วนแล้วในแถวแรก สำหรับสารละลายสกัดที่ได้จาก แถวอื่น ๆ ก็เป็นเช่นเดียวกัน ปริมาณเช่น โชนิโอยด์ที่สกัดได้จะลดลงจากแถวแรก จนถึงแถวที่ 5 และ 6 ซึ่งปริมาณเช่น โชนิโอยด์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าถึงจุดคงที่ในกระบวนการทำงานแล้ว ดังผลการทดลองในรูปที่ 6.5

ที่จุดคงที่ในกระบวนการทำงาน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สภาวะคงที่ (steady state)

ให้ผลการสกัดเช่นไนโซด์ร้อยละ 95 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงพอที่จะยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเพิ่มจำนวนถังในการสกัดให้เป็น 3 ขั้นตอน ซึ่งจะให้ผลการสกัดสูงกว่านี้ จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายในการเพิ่มถังอีก 1 ใบในการสกัด ไม่สัมพันธ์กับปริมาณเช่นไนโซด์ที่จะได้เพิ่มขึ้นเพียง ร้อยละ 5 เมื่อคิดว่าการทำงานเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการสกัดเช่นไนโซด์จากใบมะขามแขก ด้วยวิธีการไหลล้นทาง อัตราส่วนของน้ำต่อใบมะขามแขกเป็น 100 : 1 ในแต่ละถัง ใช้จำนวน ขั้นตอนในการสกัด = 2 ขั้นตอน ก็เพียงพอแล้ว ซึ่งจะให้ผลการสกัดเช่นไนโซด์ถึงร้อยละ 95 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว

8.5 การทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้ง แบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง

เมื่อทำการทดลองสกัดเช่นไนโซด์จากใบมะขามแขก ได้สารละลายสกัดที่มีปริมาณ เช่นไนโซด์สูงพอจากการทดลองที่ 6.4.4 แล้ว จึงนำสารละลายสกัดที่ได้จากสภาวะคงที่ในการ สกัด (E_6 และ E_7) มาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมด ปรากฏว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพียงร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยเกินไปสำหรับการนำมาทำแห้งด้วย เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีด กระจายให้เป็นผงแห้ง ดังนั้นก่อนการทำแห้ง สารละลายสกัด E_6 และ E_7 จึงต้องนำมาทำให้ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องระเหยหมุนแบบแผ่นฟิล์ม บาง ซึ่งเป็นเครื่องระเหยที่ทำงานได้ที่อุณหภูมิที่ประมาณ 60-70 °C เหมาะสำหรับการระเหย น้ำออกจากสารละลายที่มีความไวต่อความร้อน เครื่องระเหยนี้ถูกออกแบบให้ทำงานภายใต้สุญญากาศ เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ เช่นไนโซด์ในสารละลายสกัดที่ระเหยน้ำออกแล้ว จึงไม่ถูก ความร้อนทำลายไป

การทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง ทดลอง ที่อุณหภูมิภายในเครื่องอบ (T_i) = 120 °C ถึง 160 °C โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 °C และที่ อุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก (T_o) จาก 50 °C ถึง 70 °C เพิ่มครั้งละ 10 °C ทิศทางการป้อน สารละลายเป็นแบบไหลไปทางเดียวกัน จากผลการทดลอง เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องอบสูงขึ้น ปริมาณเช่นไนโซด์ที่สูญเสียไปเนื่องจากความร้อนก็จะเพิ่มตามด้วย และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนที่ ทางออก (T_o) ให้สูงขึ้น ปริมาณเช่นไนโซด์ที่สูญเสียไปเนื่องจากความร้อนของผลิตภัณฑ์ผลิต จากอุณหภูมิภายในเครื่องอบแต่ละอุณหภูมิ ก็จะเพิ่มตามเช่นกัน ดังรูปที่ 7.1 และได้ความสัมพันธ์ เป็นไปในลักษณะ power function ดังในรูปที่ 7.2 ซึ่งเขียนในสเกลของล็อกการิทึม ได้กราฟ

เป็นเส้นตรงสำหรับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่จะมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในเครื่องอบ และอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก ดังในรูปที่ 7.3 และได้ความสัมพันธ์เป็นไปในลักษณะ power function เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนในสเกลล็อกการิทึม ได้กราฟเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกัน ดังในรูปที่ 7.4 พิจารณารูปที่ 2.5 ก. ในบทที่ 2 ซึ่งแสดงการกระจายอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีด กระจายให้เป็นผงแห้งที่มีการสัมผัสกันระหว่างอากาศร้อนกับสารละลายแบบไหลไปทางเดียวกัน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิต่ำสุดภายในเครื่องอบ จะเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก และตำแหน่งที่ผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก คือ บริเวณศูนย์กลางของเครื่องอบ ซึ่งผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยไหลผ่าน ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเกาะติดอยู่ตามผนังเครื่องอบ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก ประมาณ $10-20^{\circ}\text{C}$ โดยปกติการให้ความร้อนแก่สารละลายสกัดของมะขามแขกในการทำแห้งหรือการทำให้เข้มข้นขึ้น จะไม่ทำที่อุณหภูมิสูงเกิน 60°C (11) ทั้งนี้เพราะเช่นไนไซต์ในสารละลายจะถูกทำลายด้วยความร้อน ดังนั้นการทำแห้งสารละลายสกัดที่อุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก = 50°C จึงมีปริมาณเช่นไนไซต์ที่สูญเสียไปเนื่องจากความร้อนไม่มากนัก คือ สูงสุดที่อุณหภูมิภายในเครื่องอบ = 160°C = ร้อยละ 5 และเมื่ออุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออกเพิ่มขึ้นจาก 50°C เป็น 60°C และ 70°C ปริมาณเช่นไนไซต์ที่สูญเสียไป เนื่องจากความร้อนจึงมากขึ้นตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม การทำแห้งสารละลายที่อุณหภูมิต่ำเช่นนี้ ย่อมทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูงดังผลการทดลอง ในการเลือกสภาวะในการทำงานที่เหมาะสมของเครื่อง ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติทั้ง 2 นี้ควบคู่กันไป ผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้ควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14.0 โดยน้ำหนักแห้ง และไม่ควรมีปริมาณเช่นไนไซต์ที่สูญเสีย เนื่องจากความร้อนเกินร้อยละ 10.0 โดยน้ำหนัก ดังนั้นสภาวะในการทำงานของเครื่องที่ยอมรับได้คือ ทำงานที่อุณหภูมิภายในเครื่องอบ = 150°C - 160°C ที่อุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก = 60°C และทำงานที่อุณหภูมิภายในเครื่องอบ = 140°C ที่อุณหภูมิลมร้อนที่ทางออก = 70°C เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้งที่ใช้ในการทดลอง เป็นเครื่องอบขนาดเล็ก ได้รับการออกแบบเพื่อใช้ในห้องทดลองเท่านั้น ไม่สามารถควบคุมสภาวะในการทำงานต่าง ๆ ให้คงที่ได้ เช่น อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก, อัตราการไหลของสารละลายเข้าเครื่องอบและค่าความดันอากาศภายในเครื่องอบ การแสดงค่าสภาวะการทำงานเหล่านี้จึงเขียนเป็นช่วง เช่น อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก = $50-55^{\circ}\text{C}$ อัตราการไหลของสารละลายเข้าเครื่องอบ = 4-5 มิลลิลิตร/นาที เป็นต้น เมื่อเป็นเช่นนี้ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยเครื่องอบนี้ จึงเป็นค่าที่ค่อนข้างหายาก ใช้พิจารณาสภาพในการทำงานได้อย่างคร่าว ๆ เท่านั้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพของ

เครื่องแยกผลิตภัณฑ์ออกจากอากาศชื้นของเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้งที่ใช้ในการทดลอง ก็มีประสิทธิภาพต่ำ ดังจะเห็นได้จากปริมาณของผลิตภัณฑ์หรือน้ำหนักที่สูญหายไป ซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 30 ถึง 54 ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยเครื่องอบแห้ง จึงเป็นค่าที่ค่อนข้างหยاب ใช้พิจารณาสภาพในการทำงานได้อย่างคร่าว ๆ เท่านั้น

8.6 การทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง

เช่นเดียวกับการทำแห้งสารละลายสกัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้งน้ำสารละลายสกัดที่ได้จากการสกัดที่สภาวะคงที่ (E_6 และ E_7) มาทำให้เข้มข้นขึ้นจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องระเหยหมุนแบบแผ่นฟิล์มบาง จากนั้นบรรจุสารละลายเข้มข้นในปีกเกอร์แก้ว นำไปทำให้เป็นของเยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -4°C แล้ววางในเครื่องอบแห้ง ใช้เวลาการทำงาน 16 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์แห้งที่มีการสูญเสียเช่นโนโซลต์เนื่องจากความร้อนสูงสุดเพียงร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์แห้ง ประมาณร้อยละ 10.6-11.04 โดยน้ำหนัก มาตรฐานแห้ง

การทำแห้งด้วยวิธีนี้เป็นเทคนิคที่ใช้กับสารที่เสื่อมสลายได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน ต้องนำสารละลายที่จะทำแห้งมาทำให้เป็นของเยือกแข็งก่อนที่อุณหภูมิเยือกแข็งแล้วจึงนำมาทำแห้งในเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง ซึ่งทำงานภายใต้ความดันสูญญากาศและอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง น้ำแข็งในสารละลายสกัดที่เยือกแข็งแล้ว จะระเหิดเป็นไอ เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นไอโดยไม่ผ่านการเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อค่าความดันไอ (vapour pressure) และอุณหภูมิของผิวน้ำแข็งที่เกิดการระเหิด อยู่ต่ำกว่าจุดยูเทคติก (eutectic point) หรือจุดเยือกแข็งนั่นเอง ดังนั้นการทำแห้งสารละลายสกัดที่เยือกแข็งแล้วจึงเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำมาก ปริมาณเช่นโนโซลต์ที่สูญหายไปเนื่องจากความร้อนจึงมีน้อยมากจนถึงไม่มีเลย สำหรับการปรับตัวแปรต่าง ๆ ในการทำงานของเครื่องอบแห้งนั้นไม่สามารถกระทำได้เนื่องจากขีดจำกัดของเครื่องมือ ซึ่งมีขนาดเล็กรการทำงานเครื่องได้ถูกกำหนดไว้แล้วจากโรงงานผลิต ตัวแปรที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้ได้กำหนดเวลาที่ใช้ในการอบแห้งให้คงที่ = 16 ชั่วโมง เวลาที่ได้จากการทดลองทำแห้งสารละลายสกัดที่เยือกแข็งแล้วในเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็งที่เวลาต่าง ๆ กันจนสารละลายสกัดแห้งทั้งหมด ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 10.6-

11.04 โดยน้ำหนัก มาตรฐานแห้ง ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่สูงเกินไปนัก จะเห็นได้ว่า เครื่องอบแห้ง ในสภาพเยือกแข็งนั้นเหมาะกับการทำแห้งสารละลายสกัดเช่น โนโซด์จากใบมะขามแขกมาก เพราะ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการสูญเสีย เช่น โนโซด์น้อย และยังมีปริมาณความชื้นต่ำอีกด้วย แต่ข้อเสียที่ใช้ระยะเวลาในการทำงานนานเกินไป ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการใช้อุณหภูมิแห้งที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด สูงกว่า ร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำในตัวอย่างจะมีอยู่น้อยลง เวลาที่ใช้ในการระเหยน้ำ ก็จะลดลง

8.7 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์และการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ชนิด มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดี เมื่อนำผลิตภัณฑ์จากเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ชนิด มาวางทิ้งไว้ในอากาศ พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะดูดความชื้นในอากาศได้ดีมาก ผลิตภัณฑ์ที่แห้งมาก หรือมีปริมาณความชื้นในตัวเองต่ำจะดูดความชื้นได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงกว่า แต่ทุกผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้นได้สูงจุด หรือจนอิ่มตัวไม่ว่าจะวางทิ้งไว้ต่อไปอีกนานเท่าใด เมื่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 26 ในเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นจำนวนนี้คือปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่สมดุลกับความชื้นในอากาศขณะนั้น จากคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ข้อนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เป็นเม็ดยา ซึ่งต้องใช้สารประกอบหลายอย่างมาผสมกันได้แก่น้ำสำหรับละลายสารที่เป็นยา, ตัวยึด (binder) เพื่อให้สารประกอบต่าง ๆ ที่ผสมติดอยู่ด้วยกัน และส่วนที่เพิ่มน้ำหนักในยา (diluent) เช่น พวกร่าง เป็นต้น เมื่อผลิตภัณฑ์ที่เป็นยาสามารถดูดความชื้นในอากาศจนทำให้ตัวเองอยู่ในสภาพกึ่งของแข็งของเหลวได้ จึงจำเป็นต้องใช้น้ำหรือสารหล่อลื่น (lubricant) ในการผสมเนื้อยาสำหรับอัดเม็ด อย่างไรก็ตามแม้ว่าคุณสมบัติในการดูดความชื้นในอากาศของผลิตภัณฑ์จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่คุณสมบัติอันนี้ก็มักจะทำให้เกิดปัญหาในขณะที่ทำการผลิตกล่าวคือ ผลิตภัณฑ์จะเอี่ยมเป็นก้อนเกาะติดภายในผนัง เครื่องอบแห้งแบบ หัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง และผลิตภัณฑ์บางส่วนในขวดเก็บผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้น เป็นก้อนเหนียวติดอยู่ในขวด ก่อให้เกิดปัญหาในการผลิตมาก

2. มีคุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำได้ดี สามารถละลายได้หมดภายในเวลาอันสั้น

3. ลักษณะของผลิตภัณฑ์และการเก็บรักษา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีความสามารถในการดูดความชื้นในอากาศได้ดีมาก จึงจำเป็นต้องเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดไว้อย่างดี ความชื้นใน

อากาศไม่สามารถซึมผ่านไปได้ เมื่อทดลองเก็บผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไว้ในถุงพลาสติก polystyrene ที่ปิดไว้อย่างดี ในช่วงระยะเวลา 7 วัน ผลิตภัณฑ์จากเครื่องอบแห้งแบบหั่วสักระบายให้แห้งแห้ง (A) ทุกผลิตภัณฑ์ จะมีลักษณะเหมือนเดิมทุกประการคือ เป็นผงสีน้ำตาลแดง เมื่อครบ 14 วัน ผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตที่อุณหภูมิร้อนขาออก = 50 °ซ (A₁) ที่อุณหภูมิภายในเครื่องอบ = 120 °ซ , 130 °ซ และ 140 °ซ (A₁₁, A₁₂ และ A₁₃) เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีน้ำตาลดำแดง และจับตัวเป็นก้อน ร่วน ที่เป็นเช่นนี้เพราะ A₁₁, A₁₂ และ A₁₃ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นอยู่สูงคือร้อยละ 17.54, 16.98 และ 16.07 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อดูความชื้นจากอากาศเข้ามาเพิ่มเพียงเล็กน้อย สีจึงเปลี่ยนและลักษณะที่เป็นผงจึงจับตัวกันเป็นก้อน และเมื่อครบ 21 วัน ผลิตภัณฑ์ A₁₁, A₁₂ และ A₁₃ ได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นอีกจึงเปลี่ยนสีเป็นน้ำตาลดำและจับตัวเป็นก้อนแข็ง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เหลือทั้งหมดคือ A₁₄, A₁₅, A₂₁, A₂₂, A₂₃, A₂₄, A₂₅, A₃₃, A₃₄ และ A₃₅ ค่อยเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลแดงเป็นน้ำตาลดำแดง และลักษณะที่เป็นผงจับตัวกันเป็นก้อนร่วน แสดงว่าผลิตภัณฑ์ชุดหลังนี้มีปริมาณความชื้นอยู่ต่ำ การดูความชื้นเข้าไปเพิ่มในระยะ 14 วันแรก ยังไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่สามารถสังเกตเห็นได้ แต่เมื่อครบ 21 วัน ปริมาณความชื้นที่ผลิตภัณฑ์ได้รับสูงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะดังกล่าว

สำหรับผลิตภัณฑ์จากเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง (B) มีลักษณะและสีเมื่อเริ่มผลิตได้แตกต่างออกไป คือ มีสีน้ำตาลดำแดง มีรูปร่างเหมือนภาชนะที่บรรจุ มีรูพรุน กรอบ แตกง่าย เมื่อผลิตภัณฑ์นี้ไว้ในถุงพลาสติก polystyrene นาน 7 วัน พบว่า ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ และเมื่อครบ 14 วัน ผลิตภัณฑ์จึงเริ่มยุบตัวลงลดช่องว่างที่เป็นรูพรุนในโครงสร้าง สีเปลี่ยนเป็นน้ำตาลดำ และเมื่อครบกำหนด 21 วัน ผลิตภัณฑ์ยุบตัวลงจับกันเป็นก้อนเหนียว สีน้ำตาลดำ จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ B มีการเปลี่ยนแปลงเร็วมากเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ A ที่มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน (A₂₅, A₃₃, A₃₄, A₃₅) และบรรจุในถุงพลาสติกเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งในสภาพของน้ำแข็ง มีรูพรุนจากการระเหิดหายไปของน้ำในโมเลกุล ซึ่งเป็นลักษณะที่พร้อมจะดูดความชื้นกลับ (rehydration) ผลิตภัณฑ์ B จึงรวมตัวกับน้ำได้เร็วและดูดความชื้นได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ A

เมื่อการทดลองบรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติก polystyrene ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ จึงได้ทดลองเปลี่ยนภาชนะที่บรรจุใหม่เป็นภาชนะอลูมิเนียมเคลือบพลาสติก

ปิดอย่างดี โดยใช้ผลิตภัณฑ์ B ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความชื้นได้เร็วเป็นตัวทดสอบ
ปรากฏว่าให้ผลเป็นที่น่าพอใจมาก คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก หรือความชื้นของผลิตภัณฑ์
เลย เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในภาชนะอลูมิเนียมเคลือบพลาสติกนาน 1 เดือน แสดงว่า ภาชนะ
อลูมิเนียมเคลือบพลาสติกที่ปิดอย่างดีสามารถป้องกันความชื้นในอากาศได้ จึงสมควรเก็บผลิต
ภัณฑ์แห้งของ เช่น โนโซด์จากการสกัดใบมะขามแขกไว้ในภาชนะอลูมิเนียมเคลือบพลาสติกปิดอย่างดี





สรุปผลและเสนอแนะ

ได้ทดลองสกัดสาร เช่น โนโซลด์จากใบมะขามแขกแห้งบดละเอียด โดยวิธีการสกัดต่าง ๆ กันหลายวิธี ได้แก่ การย่อยสลาย, การเขย่าในหลอดแก้ว, การโหลซึมผ่านโดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียน และการสกัดในถังกวนแบบต่อเนื่องส่วนทางกัน เพื่อเปรียบเทียบว่าวิธีการสกัดแบบใดจะให้ผลการสกัดสูงสุดสำหรับใบมะขามแขกแห้ง แล้วสามารถนำไปทำแห้งได้สะดวกที่สุด นำสารละลายที่สกัดได้ไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง แบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้งกับเครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง เปรียบเทียบคุณสมบัติ, ลักษณะ และค่าใช้จ่ายในการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งทั้งสอง

การสกัด เช่น โนโซลด์จากใบมะขามแขกด้วยวิธีการย่อยสลายและวิธีการโหลซึมผ่านโดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียนนั้น ต้องใช้ระยะเวลาในการทำงานมาก จึงจะให้ผลการสกัดสูง และตัวทำละลายเอทานอลให้ผลการสกัดที่ดีกว่าตัวทำละลายน้ำ แม้ว่าเมืองไทยสามารถผลิตเอทานอลได้เองในราคาไม่แพงนัก แต่เอทานอลมีคุณสมบัติที่ระเหยได้ง่าย ไม่สะดวกในกระบวนการทำแห้งที่กระทำต่อเนื่องจากการสกัด ดังนั้นการสกัด เช่น โนโซลด์จากใบมะขามแขกด้วยวิธีการย่อยสลาย และวิธีการโหลซึมผ่านโดยใช้ความดันและระบบหมุนเวียนจึงไม่เหมาะกับการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม สำหรับการสกัดด้วยการเขย่าในหลอดแก้วนั้น ให้ผลการสกัดที่สูงกว่า การสกัด 2 วิธีแรก และใช้เวลาน้อยกว่า เพียง 15 นาที แต่การทำงานในขนาดใหญ่การทำให้ภาชนะที่บรรจุสารเขย่า เช่นเดียวกับการเขย่าในหลอดแก้ว ย่อมต้องใช้พลังงานจำนวนมาก การทำงานอีกลักษณะที่ให้ผลคล้ายคลึงกัน คือ การกวนในถังกวน เมื่อได้ทำการทดลองสกัด เช่น โนโซลด์จากใบมะขามแขกในถังกวน อย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกัน พบว่า ให้ผลการสกัดที่ดีที่สุด คือ ทำการสกัดในถังกวนอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกัน จำนวนขั้นตอน = 2 ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย โดยใช้อัตราส่วนระหว่างใบมะขามแขกและน้ำเท่ากับ 1 : 100 โดยน้ำหนัก เวลาในการสกัดแต่ละขั้นตอน = 10 นาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ให้ผลการสกัด เช่น โนโซลด์ร้อยละ 95 โดยน้ำหนักเมื่อเข้าสู่ภาวะคงที่ในการทำงาน

เพื่อนำสารละลายสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการสกัดอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกัน

2 ขั้นตอน มาทำแห้งด้วย เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง และเครื่องอบแห้งในสภาพเปือกแข็ง เครื่องอบแห้งชนิดแรกทำงานที่อุณหภูมิภายในเครื่องอบจาก 120 องศาเซลเซียสถึง 160 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิลมร้อนที่ทางออกจาก 50 องศาเซลเซียสถึง 70 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่ได้ เป็นผงสีน้ำตาลแดงมีปริมาณความชื้นร้อยละ 11.07 ถึง 17.54 โดยน้ำหนักแห้ง มีการสูญเสียปริมาณเช่นโนไซต์เนื่องจากความร้อน ร้อยละ 1.50 ถึง 22.34 โดยน้ำหนักแห้ง ผลผลิตที่ที่ยอมรับได้ ควรจะมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 14 โดยน้ำหนักแห้ง และมีการสูญเสียปริมาณเช่นโนไซต์เนื่องจากความร้อนไม่เกินร้อยละ 10.0 โดยน้ำหนักแห้ง ดังนั้นสภาวะในการทำงานของเครื่องอบแห้งที่ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีพอ ได้แก่ อุณหภูมิภายในเครื่องอบ 150 ถึง 160 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายในเครื่องอบ 140 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางออก 70 องศาเซลเซียส สำหรับเครื่องอบแห้งชนิดหลังทำงานที่ความดันภายในเครื่องอบ ประมาณ -759.9 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิของเครื่องควบแน่นประมาณ -80 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำงาน 16 ชั่วโมง ผลผลิตที่ได้มีสีน้ำตาลดำแดง มีรูปร่างตามภาชนะที่บรรจุขณะทำแห้งลักษณะเป็นรูปพูน กรอบแตกง่าย มีปริมาณความชื้นร้อยละ 10.6 ถึง 11.4 โดยน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณเช่นโนไซต์ที่สูญเสียไปขณะทำแห้งสูงสุดเพียง ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ผลผลิตที่จากเครื่องอบแห้งชนิดนี้ จึงได้รับการยอมรับทั้งหมด

ผลผลิตที่จากเครื่องอบแห้งทั้งสองมีคุณสมบัติที่เหมือนกันคือ ดูดความชื้นในอากาศได้ดีมาก สามารถดูดความชื้นจนมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 26 โดยน้ำหนักแห้ง ในเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยคุณสมบัตินี้เมื่อบรรจุผลผลิตทั้งสองไว้ในภาชนะพลาสติก polystyrene ปิดอย่างดี จึงไม่สามารถป้องกันผลผลิตที่จากความชื้นในอากาศได้ และเมื่อทดลองบรรจุผลผลิตที่ไว้ในภาชนะอลูมิเนียมเคลือบพลาสติก ปิดอย่างดี ปรากฏว่าปริมาณความชื้นของผลผลิตที่ไม่เพิ่มขึ้นเลย ดังนั้นจึงควรเก็บผลผลิตที่เหล่านี้ไว้ในภาชนะอลูมิเนียมเคลือบพลาสติก ปิดอย่างดี

พิจารณาค่าใช้จ่ายในการทำแห้งสารละลายที่สกัดได้ด้วยเครื่องอบแห้งทั้งสองชนิด (ดูภาคผนวก ง.) จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายในการทำเช่นโนไซต์ 1 กรัม ด้วยเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้งที่สภาวะการทำงานที่ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีพอ มีค่าสูงมาก จาก 157 บาท ถึง 178 บาท ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดกระจายให้เป็นผงแห้ง

ที่ใช้ในการทดลองที่มีขนาดเล็ก ได้รับการออกแบบมาให้ใช้กับห้องทดลองเท่านั้น ในการทำงาน
 ซึ่งมีปริมาณน้ำหนักผลิตภัณฑ์สูญหายไปกับอากาศเป็นจำนวนมาก จากร้อยละ 30.0 ถึง 54.1
 โดยน้ำหนักแห้ง (ดูตารางที่ 7.1-7.3) ค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งต้องเสียไปในการทำแห้งผลิตภัณฑ์
 ที่สูญหาย เมื่อนำค่าใช้จ่ายในการทำแห้งมาคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตเช่น โนโซลด์ 1 กรัม
 ค่าใช้จ่ายที่ได้จึงมีค่าสูงกว่าปกติ สำหรับค่าใช้จ่ายในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งในสภาพ
 เยือกแข็ง ซึ่งไม่มีปริมาณผลิตภัณฑ์สูญหายเลย มีค่าต่ำกว่ามากคือค่าใช้จ่ายในการผลิตเช่น โนโซลด์
 1 กรัม = 46.90 บาท เท่านั้น แสดงให้เห็นว่า การทำแห้งสารละลายสกัดที่ได้ด้วยเครื่องอบ
 แห้งในสภาพเยือกแข็งมีข้อได้เปรียบ เครื่องอบแห้งแบบหั่ว ผลิตกระจายให้เป็นผงแห้งหลายประการ
 คือ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ, มีการสูญเสียปริมาณเช่น โนโซลด์ในการทำแห้งน้อยมาก, ไม่มี
 การสูญหายของผลิตภัณฑ์และใช้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำกว่า แต่เครื่องอบแห้งในสภาพเยือกแข็ง
 มีข้อเสียที่ใช้เวลาในการทำงานมาก การเลือกใช้เครื่องอบแห้งทั้งสอง จึงต้องคำนึงถึงลักษณะ
 ของงานและความเหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ

ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยต่อไป

1. ปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเช่น โนโซลด์ เนื่องจากเช่น โนโซลด์เป็นสารที่มี
 อยู่ในใบมะขามแขก, ในสารละลาย และในผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนน้อย การวิเคราะห์หาปริมาณ
 ของเช่น โนโซลด์ในสารประกอบดังกล่าวจึงต้องใช้ความละเอียดรอบคอบมาก ในงานวิจัยนี้ใช้วิธี
 การวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งใช้เวลาในการทำงานมากและให้ความผิดพลาดในการวัดสูงพอสมควร
 คือ ร้อยละ 0.23 ในการวัดปริมาณเช่น โนโซลด์ในของแข็งและร้อยละ 0.21 ในการวัดปริมาณ
 เช่น โนโซลด์ในสารละลาย ดังนั้นสมควรที่จะมีการปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเช่น โนโซลด์
 ที่ใช้เวลาในการทำงานน้อยและให้ความผิดพลาดในการวัดต่ำ เช่น การใช้เครื่อง H P L C
 เป็นต้น

2. ทำการสกัดเช่น โนโซลด์จากใบมะขามแขกให้ได้สารละลายสกัดที่มีปริมาณของแข็ง
 สูง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการระเหยน้ำออกจากสารละลายสกัดที่ได้ ให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมด
 อย่างต่ำ ร้อยละ 8.0 ก่อนนำไปทำแห้ง การวิจัยดังกล่าวอาจทำได้โดยการทดลองสกัดเช่น โนโซลด์
 จากใบมะขามแขกในถึงกวนอย่างต่อเนื่องแบบส่วนทางกัน ใช้อัตราส่วนระหว่างมะขามแขกต่อพืช
 ในอัตราส่วนที่มากขึ้น ได้แก่ 1 : 5, 1 : 10, 1 : 20, 1 : 30 เป็นต้น แล้วหาจำนวน

ขั้นตอนที่เหมาะสมในการทำงานที่ให้มีปริมาณเช่นไนไฮต์ในสารละลายสกัดที่ได้สูงที่สุด

3. แก้ไขปัญหาเรื่องคุณสมบัติในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ คุณสมบัตินี้ก่อให้เกิดปัญหาในระหว่างการทำงาน เช่น เกาะตัวกันเป็นก้อนติดภาชนะและผนัง เครื่องอบและผลิตภัณฑ์ เป็นมาก่อนก่อนบรรจุในภาชนะ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดปัญหาเรื่องการเก็บรักษาซึ่งต้องใช้เวลาชงอนุภาคนิยมเคลือบพลาสติกแทนพลาสติกธรรมดา ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้น สัปดาห์ที่จะทำการค้นคว้าต่อไป เพื่อหาวิธีการสกัดเช่นไนไฮต์ออกมาในรูปของเกลือเช่นไนไฮต์บริสุทธิ์ที่ไม่มีสารที่มีสมบัติในการดูดความชื้นเสียบนมา เช่น แคลเซียมเช่นไนไฮต์ เป็นต้น

