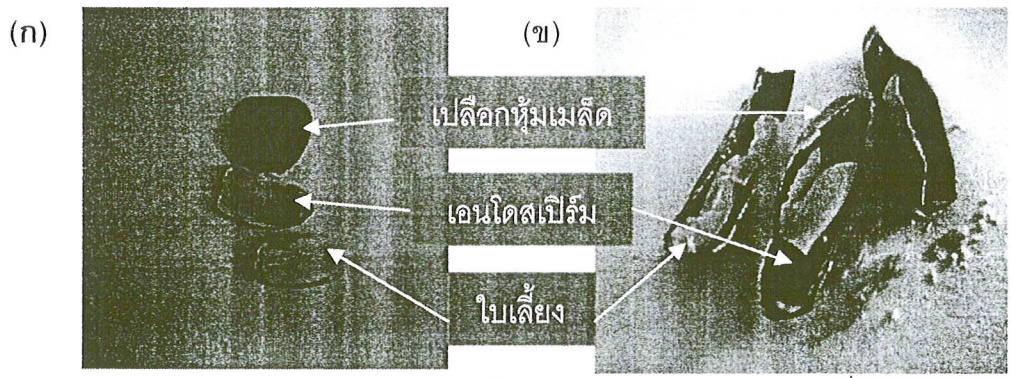
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การเตรียมกัมดิบและการสกัดกัม

ผงกัมดิบจากเมล็ดพืชตัวอย่างได้แก่ เมล็ดมะขาม ราชพฤกษ์ หางนกยูงฝรั่ง และหางนกยูงไทย สามารถเตรียมได้ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยกัมที่ได้จากเมล็ดพืชคือส่วนที่เรียกว่าเอ็นโดสเปิร์มซึ่งอยู่ติดกับเปลือกหุ้มเมล็ด (ดังแสดงในรูปที่ 4.1) ซึ่งการนำส่วนที่เป็นเอ็นโดสเปิร์มออกจากเปลือกหุ้มเมล็ดนั้นทำได้ค่อนข้างยาก โดยเฉพาะกับเมล็ดราชพฤกษ์ หางนกยูงไทย และหางนกยูงฝรั่ง ทำให้ปริมาณการสูญเสียกัมดิบของเมล็ดพืชตัวอย่างดังกล่าวมีปริมาณสูงกว่าเมล็ดมะขาม จากการเตรียมกัมดิบจากเมล็ดพืชตัวอย่าง พบว่า ปริมาณผงกัมดิบที่ได้จากเมล็ดมะขาม ราชพฤกษ์ หางนกยูงฝรั่ง และหางนกยูงไทย ประมาณร้อยละ 64, 54, 27 และ 34 ตามลำดับ (แสดงในตารางที่ 4.1) นอกจากนี้ความเหนียวของเปลือกหุ้มเมล็ดก็มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเนื้อในเมล็ดเช่นกัน กล่าวคือเมล็ดมะขามมีเปลือกหุ้มเมล็ดที่เปราะและบางกว่าเมล็ดหางนกยูงฝรั่ง จึงสามารถกะเทาะเปลือกได้ง่ายกว่า การสูญเสียเนื้อในเมล็ดจึงน้อยกว่า ทำให้ปริมาณของกัมดิบที่ได้จากเมล็ดมะขามมีมากกว่าที่ได้จากเมล็ดพืชชนิดอื่น



รูปที่ 4.1 ลักษณะภายในเมล็ดของเมล็ดหางนกยูงไทย (ก) และเมล็ดหางนกยูงฝรั่ง (ข)

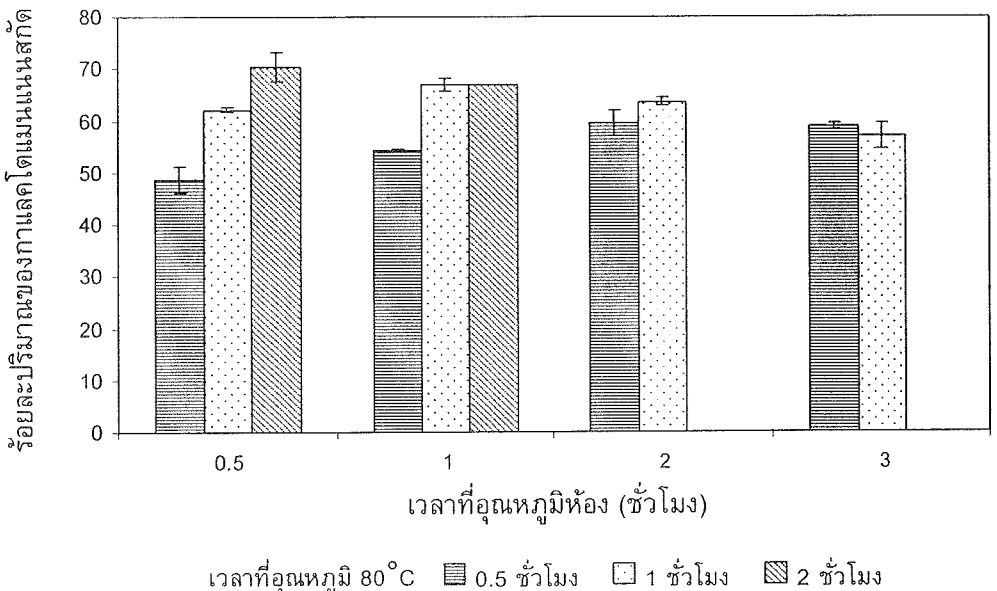
ตารางที่ 4.1 ปริมาณกัมดิบที่ได้จากเมล็ดพืชตัวอย่างชนิดต่างๆ

เมล็ดพืชตัวอย่าง	ปริมาณกัมดิบที่ได้ (ร้อยละ)
มะขาม (*Tamarind indica* L.)	63.66 $\pm$ 1.26
ราชพฤกษ์ (*Cassia fistula*)	53.67 $\pm$ 2.80
หางนกยูงฝรั่ง (*Delonix regia*)	27.05 $\pm$ 0.65
หางนกยูงไทย (Caesalpinia purcherrima)	33.51 $\pm$ 0.64

สำหรับการสกัดผงกัมจากเมล็ดพืชตัวอย่างให้บริสุทธิ์ขึ้นนั้นมีอยู่หลายวิธี ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดพืช และความเหมาะสมด้านอื่นประกอบ (Andrade et al., 1999; Chaubey and Kapoor, 2001; Vendruscolo et al., 2005; Sittikijyothin et al., 2005) สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารละลายไอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ เนื่องจากมีขั้นตอนง่าย ไม่ยุ่งยาก อีกทั้งสารละลายต่างๆ ที่ใช้เป็นอันตรายต่อผู้ทำการทดลองน้อยที่สุด สำหรับการสกัดผงกัมให้บริสุทธิ์นั้น จะทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการสกัดผงกัมที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กับร้อยละน้ำหนักของกัมสกัดที่ได้ และจากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นหัวข้อตามชนิดของเมล็ดพืชได้ดังนี้

เมล็ดมะขาม

ความเข้มข้นของสารละลายกัมดิบที่ใช้ คือ 5%(w/w) ระยะเวลาในการสกัดที่อุณหภูมิห้อง แปรค่าที่ 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง โดยระยะเวลาในการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสแปรค่าที่ 0.5, 1 และ 2 ชั่วโมง และจากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการสกัดที่อุณหภูมิห้อง 0.5 ชั่วโมง และช่วงระยะเวลาในการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสที่ 2 ชั่วโมง ให้ค่าปริมาณกัมสูงที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 72 ดังที่แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ปริมาณกัมสกัดจากเมล็ดมะขามที่ระยะเวลาการกวนต่างกันทั้งที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เมล็ดราชพฤกษ์ หางนกยูงไทย และหางนกยูงฝรั่ง

สำหรับการสกัดกัมจากเมล็ดราชพฤกษ์ หางนกยูงไทย และหางนกยูงฝรั่ง ได้ทำการทดลองในสภาวะการละลายเดียวกัน คือ ระยะเวลาในการสกัดที่อุณหภูมิห้อง จะแปรค่าที่ 0.5, 1 และ 3 และ 3.5 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง (เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ ซึ่งไม่ได้แสดงผลในรายงานฉบับนี้) จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 พบว่า กัมสกัดที่ได้จากเมล็ดหางนกยูงไทยและหางนกยูงฝรั่งนั้น ปริมาณกัมสกัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อช่วงระยะเวลาการละลายมากขึ้น ในขณะที่กัมสกัดที่ได้จากเมล็ดราชพฤกษ์ที่สภาวะ 0.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องนั้นให้ปริมาณมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายกัมที่ได้จากเมล็ดราชพฤกษ์นั้นมีความหนืดสูงกว่าสารละลายกัมอีกสองชนิด จึงเกิดการสูญเสียของสารละลายกัมบางส่วนในระหว่างขั้นตอนการกรอง

ตารางที่ 4.2 ปริมาณกัมสกัดจากเมล็ดราชพฤกษ์ หางนกยูงไทย และหางนกยูงฝรั่ง เมื่อใช้ระยะเวลาในการสกัดที่อุณหภูมิห้องต่างกัน (และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง)

ระยะเวลาในการสกัดที่ อุณหภูมิห้อง (ชั่วโมง)	ปริมาณเฉลี่ยของกัมสกัดที่ได้ (ร้อยละ)		
	ราชพฤกษ์	หางนกยูงไทย	หางนกยูงฝรั่ง
0.5	69.11±1.04	62.36±2.49	79.29±1.88
1.0	68.64±3.14	69.47±1.18	74.79±1.88
3.0	66.50±2.62	74.92±0.39	81.92±1.56

ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

4.2 องค์ประกอบทางเคมี

จากผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของกัมดิบและกัมสกัดของเมล็ดพืชตัวอย่างนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 พบว่า เอ็นโดสเปิร์มของเมล็ดพืชตัวอย่างนั้นประกอบไปด้วยปริมาณสารโพลีแซคคาไรด์ค่อนข้างสูงคือมากกว่าประมาณร้อยละ 75 สำหรับกัมจากเมล็ดมะขาม และมากกว่าประมาณร้อยละ 92 สำหรับกัมจากเมล็ดราชพฤกษ์ หางนกยูงไทยและหางนกยูงฝรั่ง นอกจากนั้นพบว่ากรรมวิธีที่นำมาใช้ในการสกัดกัมจะสามารถกำจัดปริมาณเถ้า ไขมัน และโปรตีนออกได้ ทำให้กัมสกัดที่ได้มีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้น โดยดูได้จากปริมาณสารโพลีแซคคาไรด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ทำการสกัดกัมจากเมล็ดพืชชนิดต่างๆ (Sittikijyothin et al., 2005; Youssef et al., 2009)

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของผงกัมจากเมล็ดพืชตัวอย่าง

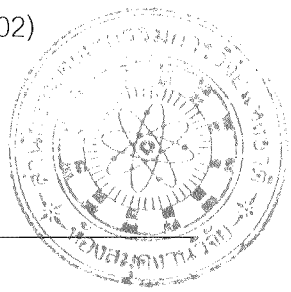
องค์ประกอบทางเคมี	มะขาม		ราชพฤกษ์		หางนกยูงไทย		หางนกยูงฝรั่ง	
	กัมดิบ	กัมสกัด	กัมดิบ	กัมสกัด	กัมดิบ	กัมสกัด	กัมดิบ	กัมสกัด
ความชื้น (ร้อยละ)	8.67	9.34	12.29	13.49	10.9	12.86	11.17	12.99
เถ้า (ร้อยละ)	0.11	0.08	0.08	0.05	0.06	0.05	0.11	0.10
โปรตีน (N x 5.7)	17.87	13.78	6.72	5.89	4.62	1.52	2.86	1.62
ไขมัน (ร้อยละ)	6.51	3.41	0.79	0.26	1.45	0.18	0.90	0.17
*โพลีแซคคาไรด์ (ร้อยละ)	75.51	82.73	92.44	93.77	93.87	98.25	96.13	98.11
น้ำตาลกลูโคส	2.54	2.80	-	-	-	-	-	-
น้ำตาลไซโรส	1.39	1.54	-	-	-	-	-	-
น้ำตาลแมนโนส	-	-	3.67	2.99	3.46	2.92	6.12	4.72
น้ำตาลกาแลคโตส	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

*ค่าร้อยละโพลีแซคคาไรด์ได้จากการคำนวณความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมี

จากทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 เกี่ยวกับโครงสร้างทางเคมีของกัม คือ กัมที่ได้จากเมล็ดพืชจะประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลชนิดต่างๆ ในสัดส่วนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดพืช (Srivastava and Kapoor, 2005) จากการวิเคราะห์ชนิดของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวของกัมที่ได้จากเมล็ดพืชตัวอย่าง พบว่า กัมที่ได้จากเมล็ดมะขาม จะประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 ชนิด คือน้ำตาลกลูโคสเป็นสายหลัก น้ำตาลไซโรส และน้ำตาลกาแลคโตสเป็นสายกิ่ง โดยเรียกกัมชนิดนี้ว่า "ไซโลกลูแคน" ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 มีสัดส่วนเท่ากับ 2.54 : 1.39 : 1 (น้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลไซโรสต่อน้ำตาลกาแลคโตส) สำหรับกัมดิบจากเมล็ดมะขาม และสัดส่วนของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจะเปลี่ยนไปคือ 2.80 : 1.54 : 1 (น้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลไซโรสต่อน้ำตาลกาแลคโตส) เมื่อผ่านกรรมวิธีการสกัด ซึ่งพบได้ในงานทดลองก่อนหน้านี้เช่นกัน (Andrade et al., 1999; Bouzouita et al., 2007) ในขณะที่กัมที่ได้จากเมล็ดราชพฤกษ์ หางนกยูงไทย และหางนกยูงฝรั่ง จะประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพียงสองชนิด คือ น้ำตาลแมนโนสเป็นสายหลัก และน้ำตาลกาแลคโตสเป็นสายกิ่ง โดยเรียกกัมชนิดนี้ว่า "กาแลคโตแมนแนน" โดยมีค่าสัดส่วนน้ำตาลแมนโนสต่อน้ำตาลกาแลคโตส (M/G) แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดพืช (Srivastava and Kapoor, 2005) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งสัดส่วนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวดังกล่าว มีความสอดคล้องกันกับงานวิจัยก่อนหน้าของผู้วิจัยท่านอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เป็นค่าสัดส่วน M/G ของกัมจากเมล็ดราชพฤกษ์ หางนกยูงไทย และหางนกยูงฝรั่งที่ได้จากงานวิจัยต่างๆ

ตารางที่ 4.4 สัดส่วน M/G ของกัมจากเมล็ดพืชที่ได้จากงานวิจัยอื่นๆ

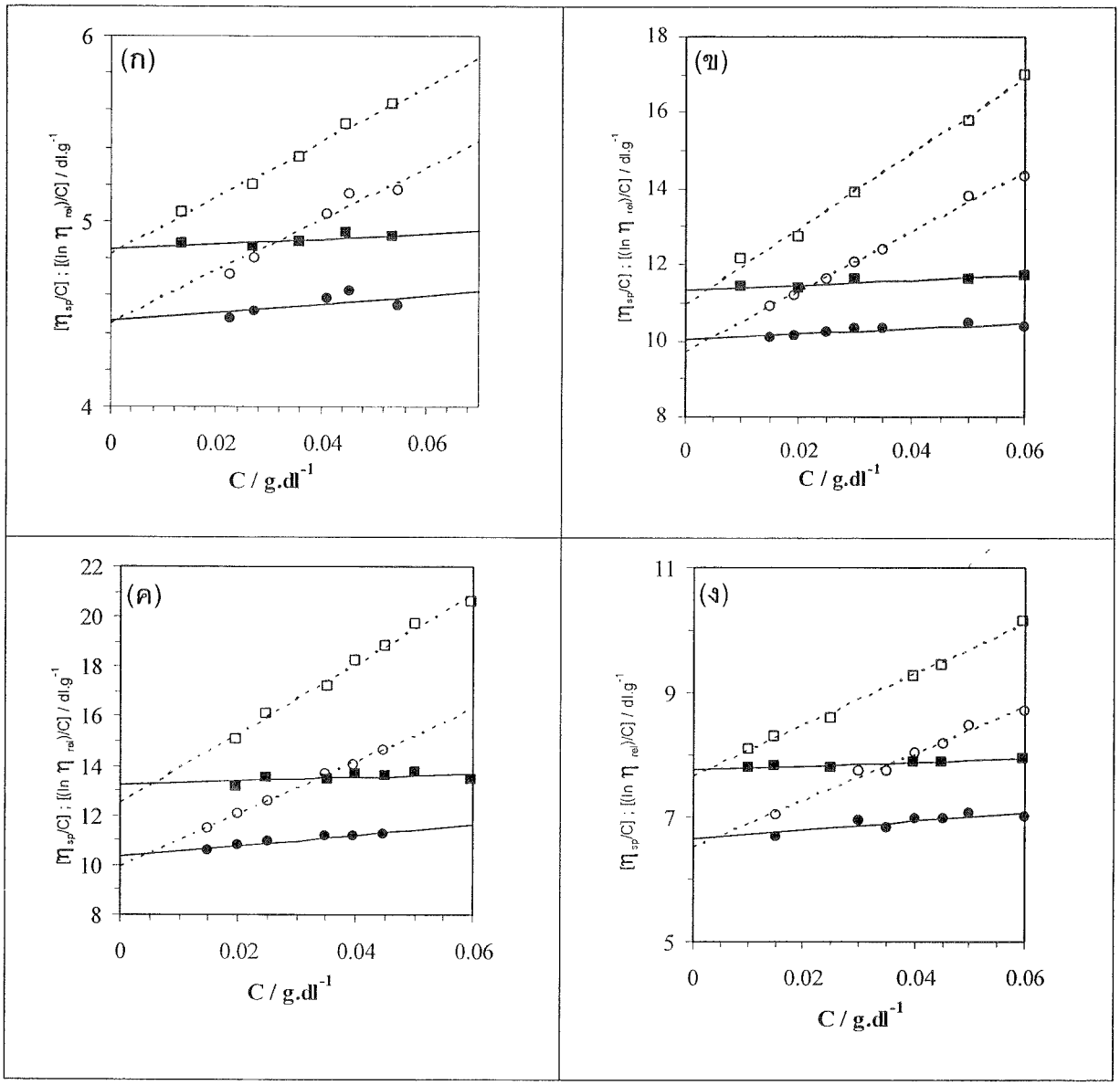
เมล็ดพืช	สัดส่วน M/G	จากงานวิจัย
ราชพฤกษ์	3.00	Sharma et al. (2008)
	3.00	Srivastava and Kapoor, 2005
หางนกยูงไทย	3.00	Morris (1990)
	2.80	Azero and Andrade (2002)
	2.70	Sharma et al. (2008)
หางนกยูงฝรั่ง	4.30	Anderson (1949)
	4.28	Sharma et al. (2008)



4.3 ค่าความหนืดแบบอินทริกซิค และค่าโมเลกุลเฉลี่ย

การหาค่าความหนืดแบบอินทริกซิค (Intrinsic Viscosity) ของสารละลายกัมจากเมล็ดพืชตัวอย่าง สามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบ Oswald Viscometer ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (สำหรับขั้นตอนได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3) นำผลการทดลองที่ได้มาประมาณหาค่าความหนืดแบบอินทริกซิคโดยใช้สมการของ Huggins' (1942) (สมการที่ 3.6) และ Kraemer (1938) (สมการที่ 3.7) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และค่าความหนืดที่ได้จากการประมาณแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดแบบอินทริกซิคที่ได้จากการประมาณจากทั้งสองสมการข้างต้นนั้นมีความใกล้เคียงกัน โดยค่าความหนืดของสารละลายกัมจะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางเคมีของกัมแต่ละชนิด พบว่าเมื่อสัดส่วนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเปลี่ยนไปทำให้ค่าความหนืดเปลี่ยนไปด้วย โดยค่าความหนืดแบบอินทริกซิคของกัมสกัดจะมีค่าที่มากกว่าซึ่งเป็นไปตามการคาดหมาย เนื่องจากว่ากัมสกัดนั้นมีปริมาณสารโพลีแซคคาไรด์ที่มากกว่า ซึ่งสารโพลีแซคคาไรด์ดังกล่าวมีคุณสมบัติในการละลายน้ำ และให้ความหนืดเมื่อละลายน้ำนั่นเอง จึงทำให้ค่าความหนืดของกัมสกัดสูงกว่าของกัมดิบ

ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ของ Huggins', $[k'_H]$ เป็นค่าคงที่ที่บอกถึงความสามารถของตัวทำละลายที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความหนืดอินทริกซิคว่ามีประสิทธิภาพในการเป็นตัวทำละลายได้ดีหรือไม่ สำหรับ k'_H ของการเป็นตัวทำละลายที่ดีนั้น ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.8 (Azero and Andrade, 2002) ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากการทดลองนั้นตัวทำละลาย (น้ำกลั่น) ที่ใช้ในการทดสอบหาปริมาณความหนืดคือน้ำกลั่น ผลการคำนวณที่ได้นั้นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.65 ถึง 1.07 ซึ่งค่าที่สูงนั้นอาจเกิดจากการตกตะกอนของกัมที่ละลายในสารละลายขณะที่ทำการทดลอง แต่กระนั้นตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองนี้ก็มีคุณสมบัติในการที่จะใช้เป็นตัวทำละลายเพื่อใช้ในการทดสอบได้ดี



รูปที่ 4.3 การประมาณค่าความหนืดแบบอินทริกซิคของกัมจากเมล็ดพืชตัวอย่าง ได้แก่เมล็ดมะขาม (ก) เมล็ดราชพฤกษ์ (ข) เมล็ดหางนกยูงไทย (ค) และเมล็ดหางนกยูงฝรั่ง (ง) โดยสมการของ Huggins' (เส้นประ) และ Kraemer's (เส้นทึบ) เมื่อวัดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (กัมดิบ: ○ และกัมสกัด: □)

นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดของสารละลายกัมมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดยเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสัดส่วน M/G สำหรับกัมที่ได้จากเมล็ดราชพฤกษ์ หางนกยูงไทย และหางนกยูงฝรั่ง กล่าวคือ ถ้าค่าสัดส่วน M/G น้อย สารละลายนั้นจะมีความหนืดมาก เนื่องจากน้ำตาลกาแลคโตสที่เป็นกิ่งจำนวนมากจะเพิ่มการละลายน้ำ ทำให้เกิดการพองตัวกับน้ำ สารละลายที่ได้จึงมีความหนืดสูง (Sittikijyothin et al., 2005; Cerqueira et al., 2009)

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดแบบอินทริกซิคของสารละลายกัมดิบ และกัมสกัดจากเมล็ดตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

องค์ประกอบทางเคมี	มะขาม		ราชพฤกษ์		หางนกยูงไทย		หางนกยูงฝรั่ง	
	กัมดิบ	กัมสกัด	กัมดิบ	กัมสกัด	กัมดิบ	กัมสกัด	กัมดิบ	กัมสกัด
[1] $[\eta]_H$ (เดซิลิตรต่อกรัม)	4.45	4.82	9.67	10.97	9.91	12.46	6.51	7.65
[2] $[\eta]_K$ (เดซิลิตรต่อกรัม)	4.47	4.85	10.02	11.35	10.32	13.27	6.64	7.76
[3] k'_H	0.70	0.65	0.85	0.82	1.07	0.90	0.88	0.70
[4] $\overline{M}_v \times 10^{-6}$ (Da)	0.83	0.96	1.41	1.68	1.46	1.92	0.86	1.06

[1]ค่าความหนืดอินทริกซิคจากสมการ Huggins'

[2]ค่าความหนืดอินทริกซิคจากสมการ Kraemer's

[3]ค่าสัมประสิทธิ์ของ Huggins

[4]ค่ามวลโมเลกุลเฉลี่ย

เนื่องจากความหนืดของสารละลายกัมขึ้นอยู่กับโครงสร้าง และมวลโมเลกุล ฉะนั้นจึงพบว่ามวลโมเลกุลสูงจะต้านทางการไหลได้มากกว่า ส่งผลให้สารละลายนั้นๆ มีค่าความหนืดสูง โดยในที่นี้ค่ามวลโมเลกุลเฉลี่ยแบบ Viscosity average molecular weight ($\overline{M}_v$) ของกัมดิบและกัมสกัดจากเมล็ดมะขามนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.9 โดยกำหนดค่า $[\eta]$ เท่ากับ 405 มิลลิลิตรต่อกรัม และ M_v เท่ากับ 70×10^4 กรัมต่อโมล จากการทดลองของ Patel และคณะ (2008) ซึ่งค่าที่ประมาณได้จะแสดงในตารางที่ 4.5 โดยจะเห็นว่าค่า $\overline{M}_v$ ของกัมสกัดจะมีค่าสูงกว่าของกัมดิบซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้น สำหรับค่า $\overline{M}_v$ ของกัมดิบและกัมสกัดจากเมล็ดราชพฤกษ์ หางนกยูงไทย และหางนกยูงฝรั่งนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.10 และ 3.11 โดยค่า $\overline{M}_v$ ที่ประมาณได้จะแสดงดังในตารางที่ 4.5 โดยค่า $\overline{M}_v$ ของกัมสกัดจะให้ค่าสูงกว่ากัมดิบ