# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 กัม

กัมเป็นสารคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ที่พบในพืชสามารถถูกเก็บไว้ได้หลายรูปแบบ เช่น กัม (Galactomannan) แมนแนน (Mannan) กลูโคแมนแนน (Glucomannan) และกาแลคโตกลูแคน (Galactoglucan) เป็นต้น โดยจะสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ของเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) หรือใบเลี้ยง (Cotyledons) จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ พบว่า สำหรับพืชตระกูลฝัก (Leguminous) จะมีผนังของเอนโดสเปิร์มที่หนา จึงพบกัมในปริมาณมาก เนื่องจากกัมมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้นาน ด้วยเหตุนี้เอง เอนโดสเปิร์มในเมล็ดพืช จึงมีหน้าที่สำหรับเก็บน้ำไว้ใช้ในการเจริญเติบโต (งอก) เป็นต้นพืชต่อไป (Srivastava and Kapoor, 2005)

## 2.2 แหล่งที่พบ

กัมเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ เช่นจากเมล็ดพืช (Plant Seed) แบคทีเรีย (Bacteria) (Shashkov, Steshinskaya, Kosmachevshaya, Senchenkova, Evtushenko, and Naumova, 2003) และเชื้อรา (Fungus) (Giménez-Abián, Bernabé, Leal, Jiménez-Barbero, and Prieto, 2007) (แสดงได้ดังตารางที่ 2.1) เป็นต้น สำหรับกัมที่ได้จากพืชนั้น ส่วนใหญ่พบมากในพืชตระกูลฝักดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งพืชตระกูลฝัก สามารถแบ่งออกเป็น 3 วงศ์ย่อย คือ PAPILIONOIDEAE, CAESALPINIOIDEAE และ MIMOSIODEAE จากการศึกษาความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมี พบว่า เมล็ดพืชจากวงศ์ CAESALPINIOIDEAE มีปริมาณกัมสูงถึง 84 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเมล็ดพืชจากวงศ์ MIMOSIODEAE และวงศ์ PAPILIONOIDEAE ที่พบ 52 และ 46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากมีอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลแมนโนส ต่อน้ำตาลกาแลคโตสมากกว่า (Buckeridge, Panegassi, Rocha and Dietrich, 1994)

นับตั้งแต่ปีค.ศ. 1940 เป็นต้นมา พบว่า มีพืชอย่างน้อย 120 สายพันธุ์ ได้ถูกนำไปสกัดสารกัมสำหรับใช้ผลิตเป็นสินค้า ยกตัวอย่างเช่น ลูคัสต์บีนกัม ซึ่งสกัดได้จากต้นคารอบ (*Ceretonia silique*) ทารากัม สกัดได้จากต้นทารา (*Caesalpinia spinosa*) กัวร์กัม สกัดได้จากต้นกัวร์ (*Cyamopsis tetragolobus*) และฟีนูกรีกกัม ที่สกัดได้จากต้นพีนูกรีก (*Trigonella foenumgraecum*) เป็นต้น (Dea and Morrison, 1975)

**ตารางที่** 2.1 แสดงแหล่งที่มาของกัมแต่ละชนิด (วรรณา, 2549)

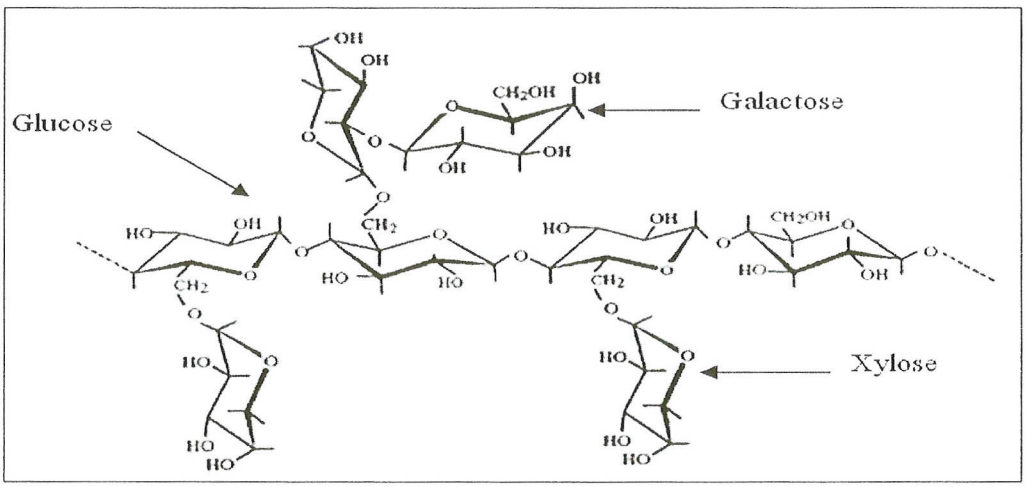
| แหล่งที่มา | ชนิดของกัม |
|---|---|
| กัมจากเมล็ดพืช | - โลคัสบีนกัมส์ (Locust Bean Gum)<br>- กัวร์กัม (Guar Gum)<br>- ทารากัม (Tara Gum) |
| กัมจากยางพืช | - กัมอะราบิค (Gum Arabic) หรือกัมอาคาเซีย (Gum Acacia)<br>- กัมแกตติ (Gum Ghatti)<br>- คารายากัม (Karaya Gum)<br>- กัมทรากาแคนต์ (Gum Tragacanth) |
| กัมที่ได้จากสาหร่าย | - คาราจีแนน (Carageenan)<br>- ผงวุ้น (Agar)<br>- อัลจิเนต (Alginate) |
| กัมจากรากหรือหัว | - สตาร์ช (Starch) |
| กัมจากจุลินทรีย์โดยกระบวนการหมัก | - แซนแทนกัม (Xanthan Gum)<br>- เดกซ์แทรน (Dextrans)<br>- ฟอสโฟแมนแนน (Phosphomannan)<br>- พอลิแซ็คคาไรด์ B-1973 (Polysaccharide B-1973)<br>- พอลิแซ็คคาไรด์ Y-1401(Polysaccharide Y-1401) |

## 2.3 โครงสร้างทางเคมี

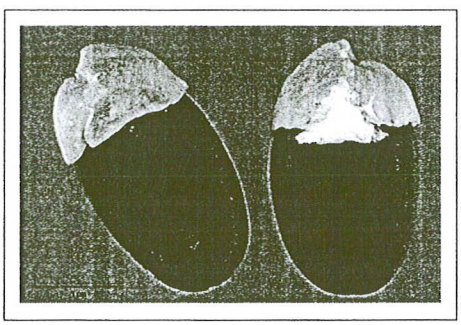
กัมเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่ง ประกอบไปด้วยโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) ที่เชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงกัมสองประเภท คือ ไซโลกลูแคน และกาแลคโตแมนแนน

2.3.1 ไซโลกลูแคน

ไซโลกลูแคนเป็นกัมชนิดหนึ่งซึ่งเป็นกัมที่ได้จากเมล็ดพืชประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโรสและน้ำตาลกาแลคโตส (Yamanaka, 2000) โดยมีโครงสร้างแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 เป็นสารประกอบประเภทพอลิแซคคาไรด์กัมสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ของเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) หรือใบเลี้ยง (Cotyledons) ส่วนมากพบในพืชตระกูลถั่ว เช่น มะขาม (*Tamarind*) มะค่าโมง *(Afzelia Xylocarpa* Craib) (Ren, Picout, Ellis, Ross-Murphy and Reid, 2005) *Afzelia Africana* ซึ่งพืชชนิดนี้ส่วนมากจะพบทางตะวันตกและตะวันออกของแอฟริกา ขึ้นบริเวณแถวทุ่งหญ้าสะวันนา ลักษณะผลของพืช *A. African* มีลักษณะที่แข็งมากเหมือนกับไม้ เมล็ดสีดำ ดังแสดงในรูป 2.2




**รูปที่** 2.1 โครงสร้างไซโลกลูแคนของเมล็ดมะขาม (Ren et al., 2005)



**รูปที่** 2.2 เมล็ดของพืช *Afzelia Africana*

ไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดพืชต่างชนิดกันจะมีอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลกลูโกส ต่อน้ำตาลไซโรสต่อน้ำตาลกาแลคโตสที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ไซโลกลูแคนต่างชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วย (Ren et al., 2005) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

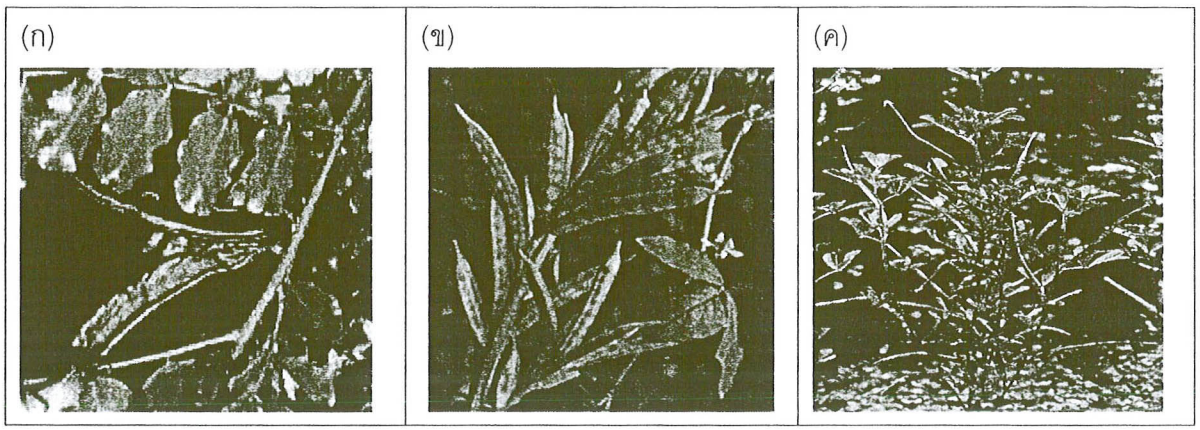
**ตารางที่** 2.2 อัตราส่วนระหว่าง น้ำตาลกลูโกส น้ำตาลไซโรส และน้ำตาลกาแลคโตสชนิดต่างๆ

| ชนิดของไซโลกลูแคน | อัตราส่วนระหว่างกลูโคส ต่อไซโลสต่อกาแลคโตส | ที่มา |
|---|---|---|
| มะขาม (*Tamarindus indica* L.) | 4.00 : 3.00 : 1.30 | Patel and co-workers (2008) |
| มะขาม (*Tamarindus indica* L.) | 3.09 : 2.33 : 1.00 | Ren and co-workers (2005) |
| เดทาเรียม (*Detarium senegalense Gmelin*) | 2.89 : 2.17 : 1.00 | Wang and co-workers (1996)<br>Busato and co-workers (2009) |
| อัฟซีเรีย (*Afzelia Africana* Se.) | 2.95 : 2.22 : 1.00 | Ren and co-workers (2005) |
| *Hymenaea courbaril* | 2.69 : 2.27 : 1.00 | Gibbon and Pain (1985) |

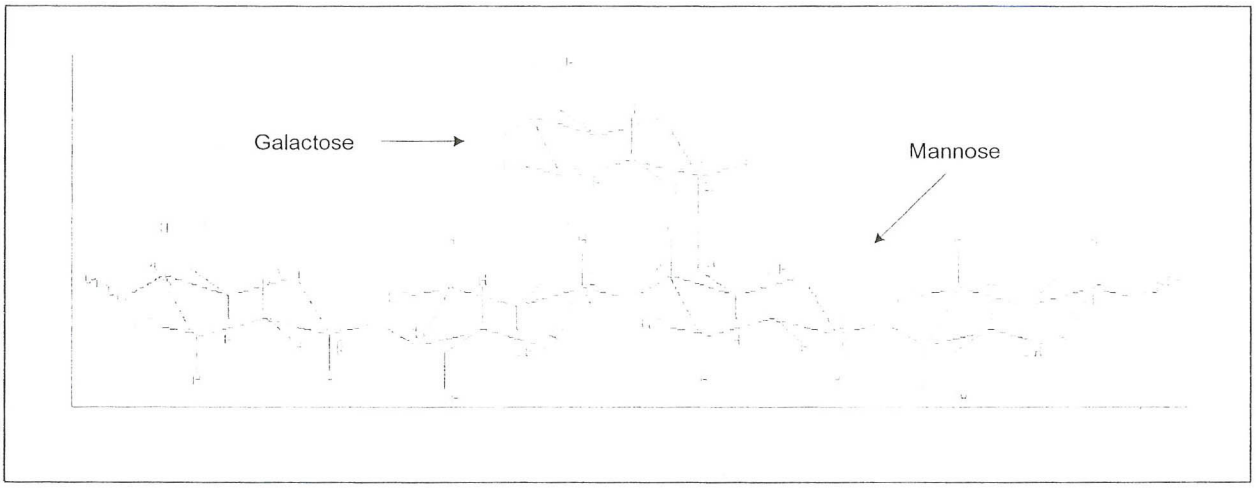
2.3.2 กาแลคโตแมนแนน

กาแลคโตแมนแนน (Galactomannan) เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง พบได้หลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น ฟีนูกรีคกัม (Fenugreek Gum) ทารากัม (Tara Gum) กัวร์กัม (Guar Gum) และลูคัสต์บีนกัม (Locust Bean Gum) (ดังแสดงในรูปที่ 2.3) แต่ที่นำไปประยุกต์ใช้กันมากคือ กัวร์กัม และลูคัสต์บีนกัม จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ พบว่าพืชตระกูลถั่ว (Leguminous Plant) จะมีผนังของเอนโดสเปิร์มที่หนา จึงพบกาแลคโตแมนแนนในปริมาณมาก เนื่องจากกาแลคโตแมนแนน มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้นาน ด้วยเหตุนี้เองเอนโดสเปิร์มในเมล็ดพืช จึงมีหน้าที่สำหรับเก็บน้ำไว้ใช้ในการเจริญเติบโต (งอก) เป็นต้นพืชต่อไป

โครงสร้างของกาแลคโตแมนแนนประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส (Mannose) เป็นสายโซ่หลัก และน้ำตาลกาแลคโตส (Galactose) เป็นสายกิ่ง จับกับสายหลัก ซึ่งถูกเชื่อมต่อด้วย D-mannosyl (Dea et al., 1975; Srivastava and Kapoor, 2005) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นโครงสร้างของกาแลคโตแมนแนนที่ได้จากเมล็ดของต้นลูคัสต์บีนกัม




**รูปที่** 2.3 ลักษณะฝักลูคัสต์บีนกัม (ก) ฝักกัวร์กัม (ข) และฝักฟีนูกรีคกัม (ค)




**รูปที่** 2.4 โครงสร้างของลูคัสต์บีนกัม

กัมที่สกัดได้จากเมล็ดพืชต่างชนิดกัน จะมีอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลแมนโนส ต่อน้ำตาลกาแลคโตสที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน (Srivastava and Kapoor, 2005) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

**ตารางที่** 2.3 อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลแมนโนส ต่อน้ำตาลกาแลคโตสของกัมชนิดต่างๆ

| ชนิดของกัม | อัตราส่วนระหว่างแมนโนส ต่อกาแลคโตส | ที่มา |
|---|---|---|
| ฟีนูกรีคกัม | 1:1 | FAO (2003) |
| กัวร์กัม | 2:1 | FAO (2003) |
| ทารากัม | 3:1 | FAO (2003) |
| ลูคัสต์บีนกัม | 4:1 | FAO (2003) |
| ราชพฤกษ์ | 3:1 | Srivastava and Kapoor (2005) |
| หางนกยูงไทย | 3:1 | Srivastava and Kapoor (2005) |

## 2.4 คุณสมบัติทั่วไปของกัม

กัมเป็นสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี จึงถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในหลายๆ อุตสาหกรรม เนื่องจากกัมทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น โดยกัมมีความสามารถดูดน้ำได้ดี พองหรือขยายตัวได้ โดยสามารถเกิดปฏิกิริยาภายในระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น กัมบางชนิดไม่เกิดเจล เพราะโครงสร้างมีกิ่งมาก ทำให้สายโซ่หลักไม่มีโอกาสที่จะเข้าใกล้กัน เพื่อสร้างเป็น Junction Zones

### 2.4.1 การกระจายตัวในน้ำ

กัมส่วนใหญ่สามารถละลายได้ดีในน้ำร้อน มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น เช่น กัมอะราบิก เป็นต้น และกัมบางชนิดละลายได้บ้างในสารละลายอินทรีย์ การที่กัมมีความสามารถในการละลาย หรือการกระจายตัวได้ในน้ำผันแปรแตกต่างกัน เรียกว่า Degree of Solubility ซึ่งปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง คือ อุณหภูมิและความเข้มข้น พอลิแซ็คคาไรด์กัมส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ดีที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 1 - 2 แต่อนุพันธ์เซลลูโลสบางชนิดสามารถละลายได้ที่ความเข้มข้นสูงๆ เนื่องจากมีความหนืดต่ำ การละลายของกัมส่วนใหญ่ต้องใช้ความร้อนจึงจะทำให้เกิดการไฮเดรชัน (Hydration) มากที่สุด เช่น โลคัสต์บีนกัม และทรากาแคนต์ แต่อะการ์ต้องต้มจนเดือดจึงจะเกิดการละลาย หรือกระจายตัวได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ได้ในทางตรงกันข้าม เมธิลเซลลูโลสไม่ละลายในน้ำร้อน แต่ละลายได้ดีในน้ำเย็น (นิธิยา, 2539)

การละลายหรือการทำให้พอลิแซ็คคาไรด์กัมกระจายตัวในน้ำต้องทำด้วยความระมัดระวัง เพื่อไม่ให้กัมเกาะตัวกันเป็นก้อน การที่กัมเกาะตัวกันได้เนื่องจากกัมเหล่านี้มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิค

(Hydrophilic) จึงดูดน้ำได้อย่างรวดเร็ว และเกาะตัวกันเป็นก้อน ข้อควรปฏิบัติเพื่อไม่ให้พอลิแซ็คคาไรด์กัมเกาะตัวกันเป็นก้อน มีหลายวิธีดังนี้ (นิธิยา, 2539)

ก. ทำให้กัมกระจายตัวในแอลกอฮอล์หรืออะซีโตน หรือน้ำเชื่อม หรือกลีเซอรีน จำนวนเล็กน้อย แล้วจึงเติมน้ำลงไป
ข. ผสมกับส่วนผสมอื่นๆ ที่เป็นของแข็ง เช่น น้ำตาล หรือ Icing Sugar เสียก่อนแล้วจึงเติมน้ำลงไป หรือนำไปเติมลงในส่วนผสมที่เป็นของเหลวอื่นๆ
ค. ค่อย ๆ เติมกัมลงในน้ำอย่างช้า ๆ โดยการร่อนผ่านตะแกรงลงบนผิวน้ำ
ง. เติมน้ำเย็นลงไปในกัมเพียงเล็กน้อยพอให้กัมเปียกทั่วกัน แล้วคนให้เข้ากันดี หลังจากนั้นจึงค่อยๆ เติมน้ำร้อนลงไปเพื่อให้กัมละลายได้ดีขึ้น

2.4.2 ความหนืด

พอลิแซ็คคาร์ไรด์กัมเมื่อละลายน้ำ ได้สารละลายที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยกัมแต่ละชนิดให้สารละลายที่มีความหนืดแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายกัม ได้แก่

ก. ธรรมชาติของพอลิแซ็คคาไรด์กัม
ข. อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ละลาย
ค. ความเข้มข้นของสารละลาย สารละลายกัมแต่ละชนิดจะให้ความหนืดสูงที่สุดที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เช่น คารายากัมและกัมอะราบิค จะให้ความหนืดสูงสุดเมื่อมีความเข้มข้นเพียงร้อยละ 10 - 20 แต่ทรากาแคนต์ โลคัสต์บีนกัม และกัวร์กัมจะให้ความหนืดสูงสุดเมื่อมีความเข้มข้นเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น

ระยะเวลาที่ใช้ในการละลายก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายกัม ตัวอย่างเช่น คาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลส และกัวร์กัมเมื่อละลายในน้ำจะได้สารละลายที่มีความหนืดสูงสุดอย่างรวดเร็ว ตรงกันข้ามกับทรากาแคนต์ จะละลายได้อย่างช้า ๆ จึงต้องใช้เวลานานในการละลาย เพื่อให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงสุด (นิธิยา, 2539)

**ตารางที่** 2.4 ค่าความหนืดสูงสุดของสารละลายกัม (Higher-Grade) ความเข้มข้น ร้อยละ 1 หลังจาก 24 ชั่วโมง (นิธิยา, 2539)

| ชนิดของกัม | ความหนืด(เซนติพอยส์) |
|---|---|
| กัมทรากาแคนต์ | 3400 |
| โลคัสต์บีนกัม | 3200 |
| กัวร์กัม | 3200 |
| กัมคารายา | 3000 |
| คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส | 1300 |
| เมธิลเซลลูโลส | 1100 |
| กัมแกตติ[1] | 700 |
| ไอริสมอส | 200 |
| กัมอะราบิก[2] | 100 |
| สตาร์ชข้นหนืด(Starch Paste)[3] | 100 |

[1] สารละลายความเข้มข้น ร้อยละ 5

[2] สารละลายความเข้มข้น ร้อยละ 10

[3] สารละลายความเข้มข้น ร้อยละ 12

2.4.3 การเกิดเจล

กัมบางชนิด สามารถเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม แต่บางชนิดต้องใช้สภาวะพิเศษขึ้น คือต้องผสมกับสารอื่นจึงสามารถเกิดเจลได้ ยกตัวอย่างเช่น เพคตินสามารถเกิดเจลได้ดีในน้ำร้อนที่มีน้ำตาลและกรด ด้วยเหตุนี้จึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมผลิตแยมและเยลลี่ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อเรียบ และเป็นเจลที่แผ่ได้ ในขณะที่อะการ์ละลายได้ดีเมื่อต้มจนเกือบเดือด และสามารถเกิดเจลได้ตั้งแต่อุณหภูมิระหว่าง 40-50 องศาเซลเซียส และเจลที่เกิดขึ้นจะไม่หลอมเหลวจนกว่าจะได้รับความร้อนสูงถึงอุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส สำหรับคาร์ราจีแนนและเฟอเซลลาแรนเมื่อละลายในน้ำร้อนและปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จะเกิดเจลชนิดเปลี่ยนกลับไปมาได้ด้วยความร้อน (Thermo-Reversible Gel) แต่อัลจิเนตจะให้เจลชนิด Irreversible Gel เมื่อละลายทั้งในน้ำร้อนหรือในน้ำเย็น เป็นต้น (นิธิยา, 2539)

## 2.5 การนำกัมไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

ปัจจุบันมีการศึกษา และวิจัยเกี่ยวกับการนำกัมไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง (ดังแสดงในตารางที่ 2.5) โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร ยกตัวอย่างเช่น กัมถูกนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงใน

ไอศกรีม เพราะสามารถละลายในน้ำเย็น ช่วยควบคุมการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่ละเอียด ในขณะเดียวกันก็มีความคงตัวที่ดีในระหว่างการเก็บรักษา อีกทั้งยังมีความคงตัวต่อวงจรการแช่เยือกแข็ง และการละลาย (Freezing and Thawing Cycles) (FAO, 2003) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อื่น ก็นำกัมไปประยุกต์ใช้เช่นกัน เช่นผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง ลูกกวาด แยม เยลลี่ น้ำสลัด ขนมหวาน และผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง ฯลฯ ไม่เพียงแต่ในอาหารเท่านั้น กัมยังถูกนำไปใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่น กระดาษ และสิ่งทออีกด้วย (Rol, 1973; Dea et al, 1975)

**ตารางที่** 2.5 ปริมาณการใช้กัมในอุตสาหกรรมของประเทศสหรัฐอเมริกา (Sharma, 1981)

| ไฮโดรคอลลอยด์ | ปริมาณการใช้ (ล้านปอนด์) | | |
|---|---|---|---|
| | อุตสาหกรรมอาหาร | อุตสาหกรรมอื่น | ปริมาณทั้งหมด |
| แป้งข้าวโพด | 600.0 | 2500.0 | 3100.0 |
| กัมอะราบิค | 24.0 | 7.0 | 31.0 |
| กัวร์กัม | 20.0 | 45.0 | 65.0 |
| คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส | 16.0 | 100.0 | 116.0 |
| เพคติน | 12.0 | 0.0 | 12.0 |
| อิลจิเนต | 10.0 | 2.0 | 12.0 |
| กัมแกตติ | 10.0 | 1.0 | 11.0 |
| โลคัสต์บีนกัม | 9.0 | 3.0 | 12.0 |
| คาร์ราจีแนน | 9.0 | 0.2 | 9.2 |
| แซนแธนกัม | 3.0 | 9.0 | 12.0 |
| เมธิลเซลลูโลส | 2.0 | 53.0 | 55.0 |
| กัมทรากาแคนต์ | 1.3 | 0.2 | 1.5 |
| กัมคารยา | 1.0 | 7.0 | 8.0 |
| อะการ์ | 0.3 | 0.4 | 0.7 |
| เฟอเซลลาแรน | 0.3 | 0.0 | 0.3 |

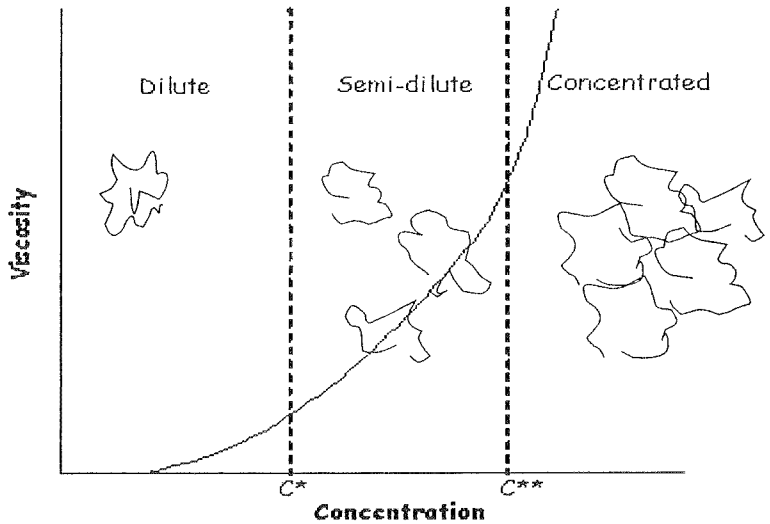
ในขณะที่ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง พบว่ากัมจากเมล็ดหางนกยูง ถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในลิปสติก และในอุตสาหกรรมยา กัมจากเมล็ดหางนกยูงดังกล่าว ได้ถูกนำไปใช้ในการบรรเทาอาการเจ็บป่วยและลดไข้ ในขณะที่กัมที่สกัดได้จากเมล็ดฟีนูกรีก ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน เพื่อช่วยในการลดระดับคลอเลสเตอรอล (Cholesterol) และน้ำตาลในเลือด (Garti, Madar, Aserin and Sternheim, 1997) นอกจากนี้กัมจากเมล็ดฟีนูกรีก ยังมีฤทธิ์สมานแผล โดยได้ทำ

การทดลองกับหนูทดลอง พบว่าทำให้แผลหายเร็วขึ้น มีการสร้างเนื้อเยื่อชั้นนอก และชั้นใต้ผิวหนังเร็วขึ้น มีการกระตุ้นการสร้างคอลลาเจน (Collagen) โปรตีน และ DNA

## 2.6 คุณสมบัติทางรีโอโลจีของสารละลายกัม

2.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความเข้มข้นต่อค่าความหนืดของสารละลาย

ความเข้มข้นของสารละลายโพลีแซคคาไรด์กัมสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ช่วงความเข้มข้น ได้แก่ สารละลายเจือจาง สารละลายกึ่งเจือจาง และสารละลายเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ในช่วงความเข้มข้นที่เรียกว่าสารละลายเจือจางนั้น จะมีโมเลกุลของโพลีเมอร์กระจายตัวอยู่ในตัวทำละลายอย่างชัดเจน ซึ่งจะมีค่าความเข้มข้นวิกฤติ (C*) เป็นค่าที่แบ่งช่วงความเข้มข้นที่เรียกว่าสารละลายเจือจางกับช่วงความเข้มข้นที่เรียกว่าสารละลายกึ่งเจือจาง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโพลีแซคคาไรด์กัมเพิ่มมากขึ้น ความเกี่ยวพันของโครงสร้างโพลีเมอร์จะมีมากขึ้นทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้ทำให้สารละลายที่อยู่ในช่วงกึ่งเจือจางนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในวงการอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีพฤติกรรมการไหลของสารละลายจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง สำหรับช่วงความเข้มข้นที่เรียกว่าสารละลายกึ่งเข้มข้น กับสารละลายเข้มข้นจะถูกแบ่งด้วยค่าความเข้มข้นวิกฤติตัวที่สอง (C**) ซึ่งสายโพลีเมอร์ในสารละลายในช่วงนี้จะเกิดการเกี่ยวพันกันมากยิ่งขึ้นส่งผลให้ความหนืดของสารละลายกัมมีค่ามากขึ้น (CUI, 2005) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

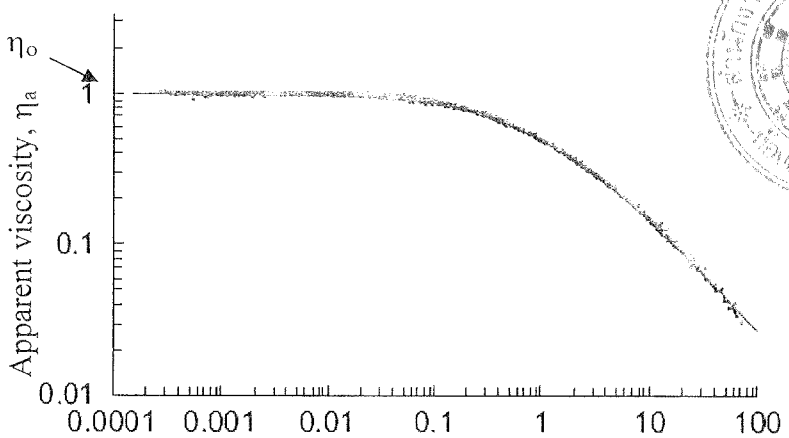



**รูปที่** 2.5 ช่วงความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายกัม

2.6.2 ความหนืดที่สภาวะแรงเฉือนคงที่

เป็นที่ทราบกันว่า สารโพลีแซคคาไรด์นั้นมีน้ำหนักโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น โครงสร้างของโพลีเมอร์ที่มีมากขึ้นจะไปกีดขวางการไหล จึงทำให้สารละลายนั้นมีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปพฤติกรรมการไหลของสารโพลีแซคคาไรด์ที่พบจะเป็นแบบ Shear-thinning โดยจะพบในช่วงความเข้มข้นของสารละลายกึ่งเข้มข้น และช่วงความเข้มข้นของสารละลายเข้มข้น ที่สามารถเกิดการเกี่ยวพันกันระหว่างสายโพลีเมอร์ด้วยกันเอง

พบว่าเมื่อเพิ่มแรงเฉือนสูง สายโพลีเมอร์จะมีทิศทางไปในทางเดียวกันทำให้โอกาสการเกี่ยวพันกันระหว่างสายโพลีเมอร์เกิดขึ้นได้น้อยลง จึงทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าว เป็นพฤติกรรมการไหลแบบ Shear-thinning โดยจะเกิดขึ้นในช่วงที่มีแรงเฉือนสูงๆ แต่ในขณะที่ช่วงค่าแรงเฉือนต่ำๆ สารละลายจะแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian คือความหนืดของสารละลายไม่ขึ้นกับแรงเฉือนดังแสดงในรูปที่ 2.6




**รูปที่** 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลีแซคคาไรด์เข้มข้น (ปรับปรุงมาจาก Fatinmi และคณะ (2008)

โดยทั่วไปสารละลายกัมจะความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของโพลีแซคคาไรด์กัมเพิ่มขึ้นและจะพบพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian ชัดเจนที่ช่วงค่าแรงเฉือนต่ำๆ ซึ่งในช่วงค่าแรงเฉือนต่ำๆ นี้จะสามารถทำนายค่าความหนืด (Zero-shear Rate Viscosity, $\eta_0$) (ดังแสดงในรูปที่ 2.6)

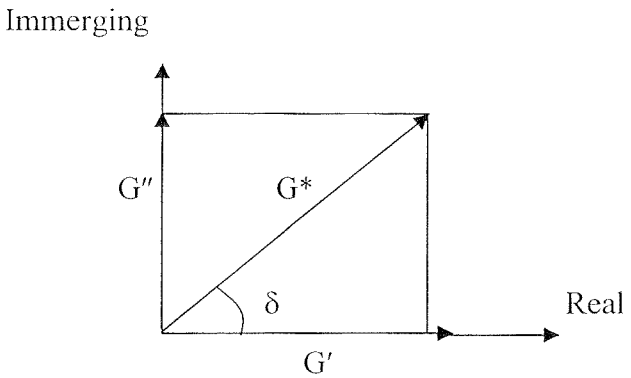
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 2 ก.ย. 2553
244040

2.6.3 คุณสมบัติทางวีสโคอีลาสติก

คุณสมบัติทางวีสโคอีลาสติกของสารละลายโพลีแซคคาไรด์ คือการที่สารละลายนั้นสามารถแสดงพฤติกรรมการเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว ซึ่งคุณสมบัติทางวีสโคอีลาสติกของสารละลายกัมนั้นสามารถทดสอบได้ด้วยการทดสอบ Dynamic Oscillatory Test ซึ่งเป็นการประเมินปริมาณวีสโคอีลาสติกในช่วงความถี่ที่ศึกษา ภายใต้ช่วงวีสโคอีลาสติกเชิงเส้นของสารละลายนั้น โดยพารามิเตอร์ที่สามารถอธิบายคุณสมบัติดังกล่าวได้ ก็คือ ค่า $G'$ (Storage Modulus) และ $G''$ (Loss Modulus) ในหน่วยความดัน เวลา โดยนิยามของค่า $G'$ และ $G''$ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ และดังรูปที่ 2.7

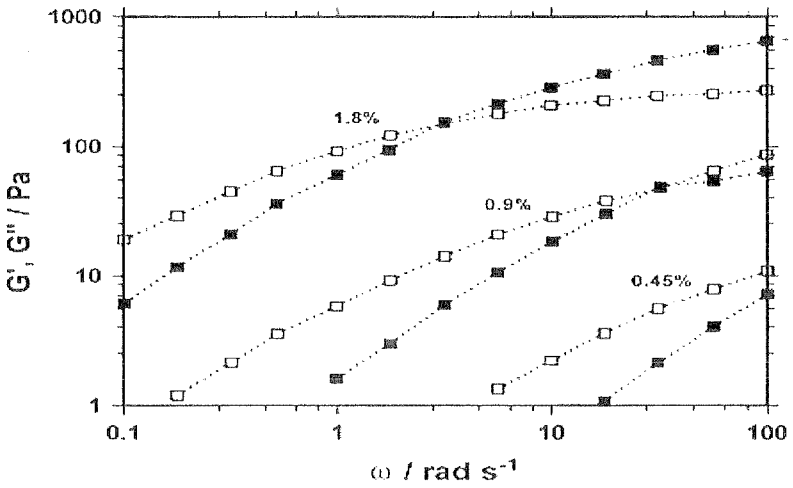
$$G' = \frac{\text{Shear stress, } \tau}{\text{Shear rate, } \dot{\gamma}} \cos\delta \qquad (2.1)$$

$$G'' = \frac{\text{Shear stress, } \tau}{\text{Shear rate, } \gamma} \sin\delta \qquad (2.2)$$




**รูปที่** 2.7 ไดอะแกรมแสดงเวกเตอร์ของ G', G'' และผลลัพธ์ G*

สำหรับคุณสมบัติทางวีสโคอีลาสติกของสารละลายโพลีแซคคาไรด์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ สารละลาย (Solution) เจลอ่อน (Weak Gel) เจล (Gel) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 กล่าวคือ ประเภทของสารละลายนั้น มีค่า $G'' >> G'$ ในขณะที่ ประเภทเจล จะมีค่า $G'' << G'$ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยที่ช่วงเปลี่ยนระหว่างสารละลายไปเป็นเจลนั้น จะเกิดเจลอ่อนเกิดขึ้น คือมีจุดตัดกันระหว่างค่า $G'' = G'$ เกิดขึ้น โดยจุดตัดดังกล่าวจะเกิดที่ความถี่ต่ำลง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น (ช่วงการเกิด $G'$ จะเกิดเร็วขึ้น) (HUI, 2006)




**รูปที่** 2.8 ชนิดของ Mechanical Spectra ของสารละลายเจือจาง (ร้อยละ 0.45) สารละลายเข้มข้น (ร้อยละ 0.9) และเจลอ่อน (ร้อยละ 1.8) (Ren et al., 2003)

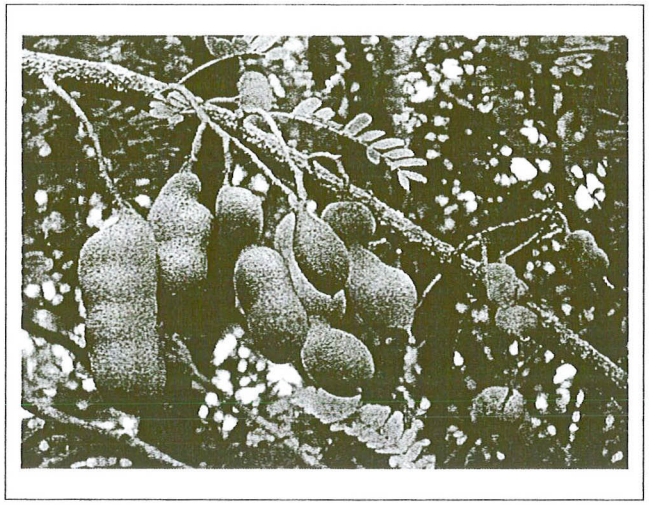
## 2.7 พืชตระกูลฝักที่ใช้เมล็ดในการศึกษา

2.7.1 มะขาม

มะขาม เป็นพืชตระกูลฝักมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica L.* อยู่ในวงศ์ LEGUMINOSAE-CAESALPINIOIDEAE ปลูกได้ทุกภาคของประเทศ สามารถทนอากาศแห้งแล้งและมลภาวะต่างๆ ได้ดี มะขามเป็นไม้ต้นขนาดกลาง ผลัดใบเรือนยอดเป็นพุ่มกลมทึบ เปลือกสีน้ำตาลแตกเป็นร่องลึกตามยาว และขวางลำต้น ใบประกอบแบบขนนกชั้นเดียว ปลายคู่ เรียงสลับ มีใบย่อย 10-18 คู่ ดอกมีสีเหลืองอมส้ม ออกเป็นช่อแบบช่อกระจายตามปลายกิ่งหรือลำต้น ฝักมีลักษณะโค้ง สีน้ำตาล รูปทรงขอบขนาน ดังรูปที่ 2.9 ฝักแก่ไม่แตก กว้าง 1-2.5 เซนติเมตร ยาว 5-15 เซนติเมตร ผนังชั้นกลางมีลักษณะอ่อนนุ่มรับประทานได้ เมล็ดแบนเกือบกลม สีดำมัน ออกดอกช่วงเดือนสิงหาคม-ตุลาคม และเป็นผลช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม (เอื้อมพร, 2547)

มะขาม เป็นพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน ลำต้นนิยมนำมาทำด้ามจอบ ด้ามมีด และเขียง เนื่องจากเป็นไม้เนื้อแข็ง มีความทนทานสูง ส่วนเนื้อมะขามมีกรดอินทรีย์หลายชนิด และอุดมไปด้วยวิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (ชนิกา และคณะ, 2547) อีกทั้งยังเป็นยาระบายอ่อนๆ ช่วยลดอุณหภูมิในร่างกาย ช่วยขับเสมหะและแก้ไอ ส่วนเมล็ดใช้เป็นยาถ่ายพยาธิ นอกจากนี้ยังมีการนำเนื้อในเมล็ดมะขามมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการทำกาวกระดาษ อุตสาหกรรมพลาสติก และสกัดสารประเภทกัมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

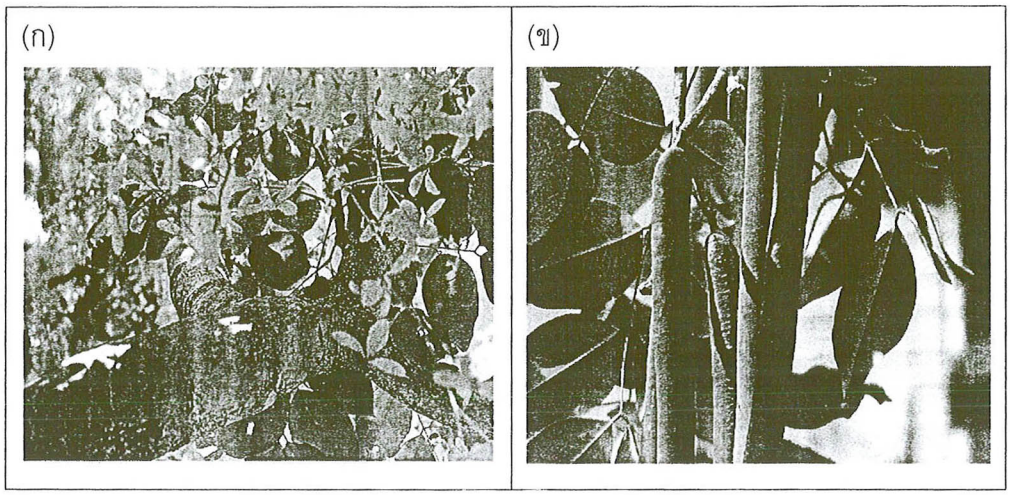


**รูปที่** 2.9 ลักษณะของฝักมะขาม

2.7.2 ราชพฤกษ์

ราชพฤกษ์ ชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Cassia fistula* L. อยู่ในวงศ์ LEGUMINOSAE-CAESALPINIOIDEAE เป็นพืชพื้นเมืองของเอเชียใต้ แถบตอนใต้ของปากีสถาน ไปจนถึงอินเดีย พม่า และศรีลังกา นิยมปลูกเป็นไม้ประดับในพื้นที่เขตร้อนและกึ่งเขตร้อน เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในที่โล่งแจ้ง สามารถปลูกได้ทั้งดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียว ทนต่อความแห้งแล้งและดินเค็มได้ดี แต่ไม่ทนในอากาศหนาวจัด

ราชพฤกษ์เป็นพรรณไม้ยืนต้นขนาดกลาง ลำต้นมีความสูงประมาณ 12-15 เมตร ผิวเปลือกสีขาวปนเทา ผิวเรียบมีรอยเส้นขอบต้นและรอยปมอยู่บริเวณที่เกิดของกิ่ง อยู่เป็นบางจุดของลำต้น ใบเป็นใบประกอบมีใบย่อยเป็นคู่ออกจากก้าน ดอกออกเป็นช่อห้อยลงล่าง เวลาออกดอกใบจะร่วงดอกมีสีเหลือง ผลมีลักษณะเป็นฝักยาวกลม ทรงกระบอกปลายแหลมสั้น มีสีเขียวเมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีดำ ผิวเปลือกแข็งเรียบ ภายในฝักจะมีชั้นกั้นเป็นช่องๆ แต่ละช่องประกอบด้วยเมล็ด มีลักษณะแบน ในแต่ละช่องจะมี 1 เมล็ด และมีสารสีดำนุ่มหุ้มเมล็ดอยู่ด้วย ความยาวฝักประมาณ 30-50 เซนติเมตร เส้นรอบวงประมาณ 5-7 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 2.10) นอกนั้นส่วนต่างๆ ของราชพฤกษ์ยังมีสรรพคุณดังนี้ ฝักแก่มีรสหวาน ใช้เป็นยาระบาย โดยใช้ต้มกับน้ำดื่มก่อนนอนหรือรับประทาน (เอื้อมพร, 2547; เศรษฐมันตร์, 2550)




**รูปที่** 2.10 ลักษณะของดอก (ก) และฝักราชพฤกษ์ (ข)