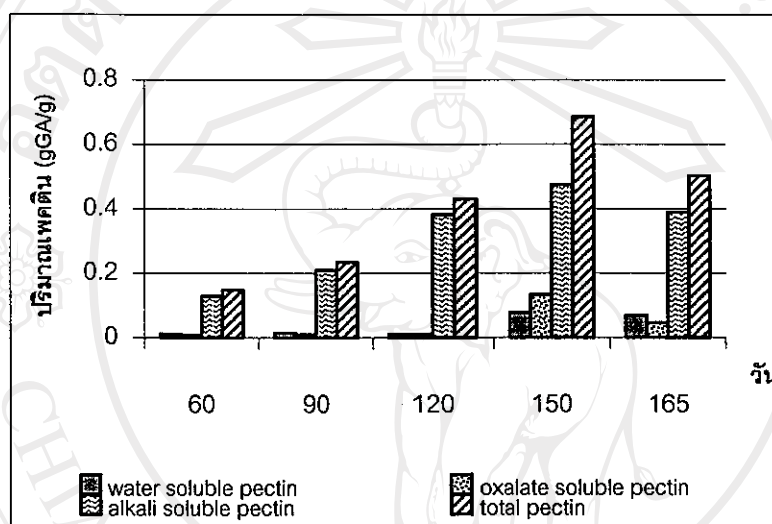


## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปราย

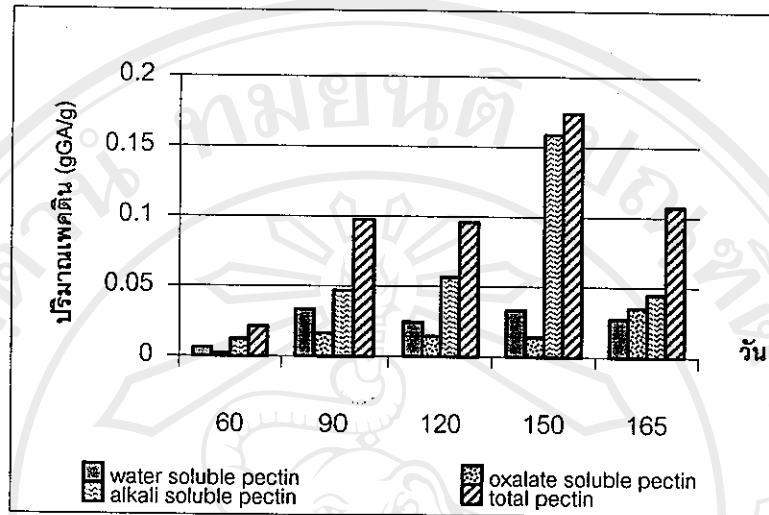
#### 4.1 การหาปริมาณเพคตินในฝรั่งแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต



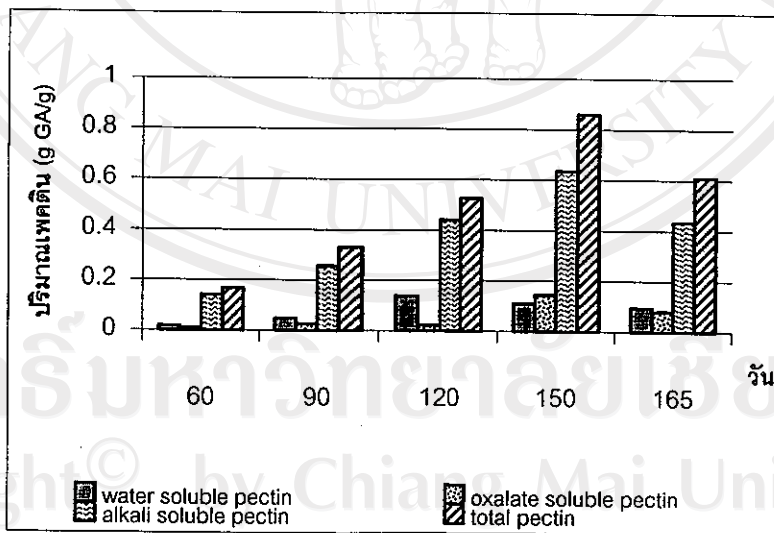
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินในรูปของกรดกาแลคทูโรนิกในกากฝรั่งในแต่ละช่วงของอายุการเจริญเติบโต

การศึกษาปริมาณเพคตินทั้ง 3 กลุ่ม คือ เพคตินที่ละลายได้ในน้ำ เพคตินที่ละลายได้ในกรด และเพคตินที่ละลายได้ในด่างในเนื้อฝรั่งและน้ำฝรั่งพันธุ์กลมสาส์พบว่า ปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้นในช่วงที่มีการเจริญเติบโต และจะมีปริมาณเพคตินสูงสุดเมื่อฝรั่งมีอายุ 150 วัน นับหลังจากวันออกดอก และจะมีปริมาณเพคตินลดลงเมื่อฝรั่งสุกคือ 165 วัน ทั้งนี้เพราะในช่วงการเจริญเติบโตความแน่นเนื้อของฝรั่งจะเกิดจากปริมาณของสารประกอบเพคติน เมื่อเข้าสู่ช่วงระยะการสุกการเสื่อมเสียจะเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยเพคติน (Huber, 1983) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chyan et al. (1992) และ El Bulk et al. (1997) ที่พบว่าในฝรั่งสายพันธุ์ Pakistani และ Ganib แต่อีก 2 สายพันธุ์คือ Shambati และ Shendi ผลจะตรงกันข้าม คือปริมาณเพคตินในฝรั่งจะมี

ปริมาณสูงในช่วงสุกมากกว่าช่วงที่กำลังเจริญเติบโต ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเกิดจากการที่มีปริมาณเอนไซม์ที่ย่อยเพคตินให้เป็นสารประกอบอื่นที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินในรูปของกรดกาแลคทูโรนิกในน้ำฝรั่งในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินในรูปของกรดกาแลคทูโรนิกในฝรั่งพันธุ์กลมสาเล่ทั้งผลในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต

ผลรวมของสารประกอบเพคตินทั้งหมดมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) คือมีปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโต โดยจะมีปริมาณเพคตินมากที่สุดที่อายุ 150 วัน แล้วจะลดลงเมื่อฝรั่งสุก คอ 165 วัน และยังพบว่าสัดส่วนของเพคตินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันด้วย เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรโตเพคตินในผลไม้ดิบไปเป็นกรดเพคตินิกในผลไม้ที่เจริญเติบโตเต็มที่ และเกิดเป็นกรดเพคตินิกในผลไม้สุก ตามลำดับ

#### 4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการลวกกากฝรั่งเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพคตินเนส

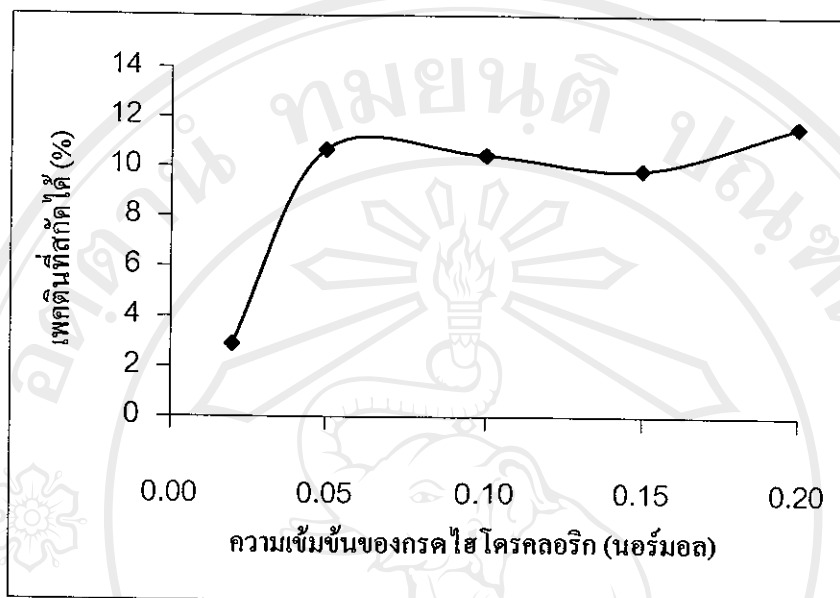
การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการลวกกากฝรั่งเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพคตินเนส พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเนสในกากฝรั่งหลังผ่านกระบวนการลวกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที มีปริมาณเอนไซม์อยู่  $6.22 \times 10^{-3}$  mg methoxyl / ml และ  $3.78 \times 10^{-3}$  mg methoxyl / ml ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีปริมาณเอนไซม์  $0.78 \times 10^{-3}$  mg methoxyl / ml แต่หากลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ไม่พบการทำงานของเอนไซม์เพคตินเนส นั้นแสดงว่าการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ก็เพียงพอสำหรับการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพคตินเนส โดยเริ่มจากเนื้อฝรั่งสดที่มีปริมาณการทำงานของเอนไซม์  $14.67 \times 10^{-3}$  mg methoxyl / ml เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติของการทำงานของเอนไซม์พบว่าการทำงานของเอนไซม์ที่เหลืออยู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อปริมาณการทำงานของเอนไซม์เพคตินเนส

อุณหภูมิ	เวลา	ปริมาณการทำงานของเอนไซม์เพคตินเนส (mg methoxyl / ml)			ค่าเฉลี่ย (mg methoxyl / ml)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ไม่ได้ลวก		0.1400	0.1467	0.1533	$0.1467^a \pm 0.01$
60	5	0.0600	0.0600	0.0667	$0.0622^b \pm 0.00$
60	10	0.0333	0.0400	0.0400	$0.0378^c \pm 0.00$
80	5	0.0100	0.0067	0.0067	$0.0078^d \pm 0.00$
80	10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

### 4.3 ผลการศึกษากรรมวิธีการสกัด

#### 4.3.1 ผลของความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เป็นสารสกัด



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกกับปริมาณของเพคตินที่สกัดได้

จากการศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 5 ระดับ คือ 0.02, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 นอร์มอล กับปริมาณร้อยละของเพคตินที่สกัดได้จากกากฝรั่งโดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณเพคติน  $2.9101 \pm 0.01$ ,  $10.6845 \pm 0.13$ ,  $10.4499 \pm 0.01$ ,  $9.8525 \pm 0.01$  และ  $11.6171 \pm 0.01$  กรัมต่อกากฝรั่ง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.4 พบว่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมที่จะนำมาสกัดเพคตินจากกากฝรั่งพันธุ์กลมสาลี คือ 0.05 นอร์มอล โดยสามารถสกัดเพคตินได้ 10.6845 กรัมต่อกากฝรั่ง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ถึงแม้ว่าการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเป็น 0.20 นอร์มอล จะมีปริมาณเพคตินที่สกัดได้มากกว่าที่ 0.05 นอร์มอล แต่ปริมาณมากกว่าเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณและค่าใช้จ่ายของกรดที่ต้องใช้ในการสกัดรวมทั้งแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการล้างอนุภาคคลอไรด์ในเพคตินที่สกัดได้แล้ว การสกัดด้วยความเข้มข้น 0.05 นอร์มอลน่าจะคุ้มค่าใช้จ่ายการลงทุนมากกว่า

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกกับปริมาณของเพคตินที่สกัดได้

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)	ร้อยละของปริมาณเพคตินที่สกัดได้			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.05	10.7971	10.7193	10.5370	10.6845 <sup>c</sup> ± 0.13
0.10	10.5301	10.4303	10.3892	10.4499 <sup>c</sup> ± 0.01
0.20	11.8474	11.3080	11.6961	11.1171 <sup>d</sup> ± 0.01

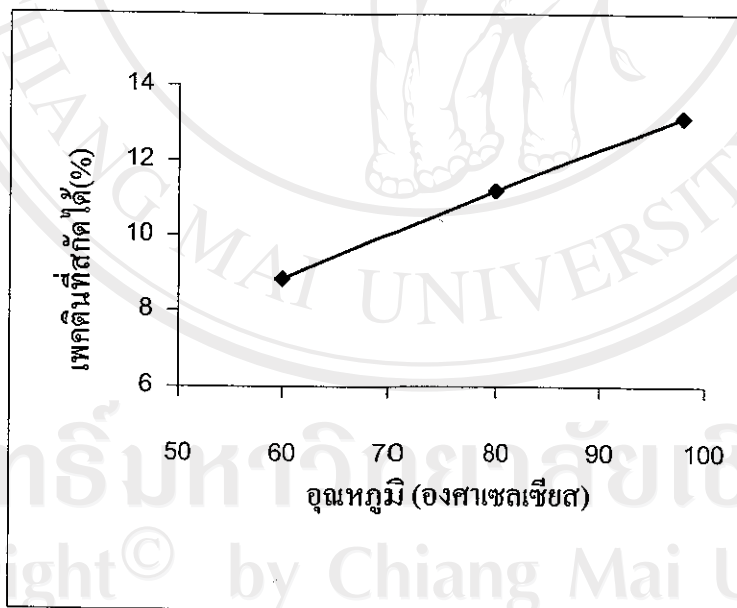
#### 4.3.2 ผลของอัตราส่วนของกรดต่อปริมาณวัตถุดิบที่ใช้สกัด

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้สกัดต่อกากฝรั่ง โดยให้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.05 นอร์มอล ใช้อัตราส่วนของกรดไฮโดรคลอริกต่อกากฝรั่ง ดังนี้ 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1, 4 : 1, 5 : 1, 6 : 1 และ 7 : 1 โดยทำการทดลองอัตราส่วนละ 3 ซ้ำ ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ได้ผลดังตารางที่ 4.3 พบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของกรดไฮโดรคลอริกที่เพิ่มขึ้น โดยการใช้อัตราส่วนของกรดไฮโดรคลอริกต่อกากฝรั่ง 1 : 1 และ 2 : 1 จะได้ปริมาณเพคตินออกมามีค่าน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของกรดอาจไม่เพียงพอที่จะทำการไฮโดรไลซิสเพคตินออกจากกากฝรั่งได้ แต่จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนของกรดไฮโดรคลอริกต่อกากฝรั่ง 3 : 1 และ 4 : 1 แต่อัตราส่วนของกรดไฮโดรคลอริกต่อกากฝรั่ง 5 : 1 นั้นสามารถสกัดเพคตินออกมาได้มากที่สุด คือ 13.2008 กรัม ต่อกากฝรั่ง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) และลดลงเมื่อใช้อัตราส่วน 6 : 1 และ 7 : 1 ปริมาณเพคตินจะลดลงเป็น 12.5264 และ 12.9078 กรัมต่อกากฝรั่ง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้สกัดกับปริมาณของเพคตินที่สกัดได้

อัตราส่วนของกรดไฮโดรคลอริก ต่อกากฝรั่ง	ร้อยละของปริมาณเพคตินที่สกัดได้			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1 : 1	6.5403	6.5942	6.5430	6.5592 <sup>a</sup> ± 0.03
2 : 1	8.8021	9.0817	8.7577	8.8805 <sup>b</sup> ± 0.17
3 : 1	10.1802	11.1001	10.7516	10.6773 <sup>c</sup> ± 0.46
4 : 1	10.7971	10.7193	10.5370	10.6845 <sup>c</sup> ± 0.13
5 : 1	12.9816	13.7244	12.8963	13.2008 <sup>d</sup> ± 0.45
6 : 1	14.1763	12.2736	11.1294	12.5264 <sup>d</sup> ± 1.53
7 : 1	12.8657	12.8226	13.0351	12.9078 <sup>d</sup> ± 0.11

#### 4.3.3 ผลของอุณหภูมิในการสกัดเพคติน



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเพคตินกับปริมาณเพคตินที่สกัดได้

ในการศึกษาอุณหภูมิในการสกัดเพคติน 3 ระดับ คือ 60, 80 และ 98 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.05 นอร์มอล และอัตราส่วนของกรดไฮโดรคลอริกต่อกาก



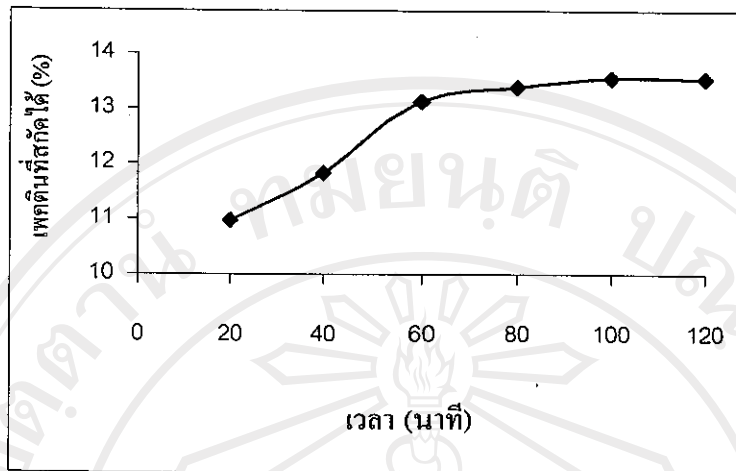
ฝรั่ง 5 : 1 ทำการทดลองอุณหภูมิละ 3 ชั้น ได้ปริมาณเพคตินเป็น  $8.3313 \pm 0.11$ ,  $11.1987 \pm 0.05$  และ  $13.1395 \pm 0.10$  กรัม ต่อกากฝรั่ง 100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.5 จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการสกัดเพคตินออกจากกากฝรั่งก็เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.4 และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินออกจากกากฝรั่ง คือ 98 องศาเซลเซียส โดยสามารถสกัดเพคตินได้ 13.1395 กรัม ต่อกากฝรั่ง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้สามารถสกัดเพคตินออกมาจากกากฝรั่งได้เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pagan et al (2001) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากขึ้น ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากพีช (peach) ก็จะมีมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเพคตินกับปริมาณเพคตินที่สกัดได้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละของปริมาณเพคตินที่สกัดได้			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
60	8.7736	8.7589	8.9614	$8.3313^a \pm 0.11$
80	11.1425	11.2395	11.2142	$11.1987^b \pm 0.05$
98	13.0183	13.1915	13.2088	$13.1395^c \pm 0.10$

หมายเหตุ 98 °C เป็นอุณหภูมิน้ำเดือดในจังหวัดเชียงใหม่

#### 4.3.4 ผลของเวลาในการสกัดเพคติน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสกัดเพคตินกับปริมาณของเพคตินที่สกัดได้

การศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัดเพคติน 6 ระดับ คือ 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที โดยใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.05 นอร์มอล อัตราส่วนกรดไฮโดรคลอริกต่อกากฝรั่ง 5 : 1 และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด คือ 98 องศาเซลเซียส ทำการทดลองเวลาละ 3 ซ้ำ พบว่าได้ปริมาณเพคติน  $10.9711 \pm 0.03$ ,  $11.8258 \pm 0.18$ ,  $13.1283 \pm 0.07$ ,  $13.3933 \pm 0.13$ ,  $13.5544 \pm 0.07$  และ  $13.5453 \pm 0.02$  กรัมต่อกากฝรั่ง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าปริมาณของเพคตินที่สกัดได้จะแปรผันตามเวลาที่ใช้ในการสกัด และเมื่อใช้เวลาในการสกัดตั้งแต่ 80 นาที ขึ้นไป จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.5 ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินมากที่สุด คือ 60 นาที โดยสามารถสกัดเพคตินได้ 13.3833 กรัม ต่อปริมาณกากฝรั่ง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ถึงแม้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จะน้อยกว่าการใช้เวลา 80 นาที แต่มีปริมาณที่แตกต่างกันน้อยมากประมาณร้อยละ 3 เท่านั้นเอง ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากกว่า และเวลาในการสกัดที่ยังนานมากขึ้นเท่าใดขนาดของโมเลกุลของเพคตินที่ได้จะยิ่งสั้นลง จึงเลือกเวลาในการสกัดเพียง 60 นาที สอดคล้องกับการศึกษาของ Sudhakar and Maini (2000) พบว่าที่เวลา 60 นาทีจะสามารถสกัดเพคตินออกจากกากมะม่วงได้มากที่สุด

๖

๖๖๔.๒๕

๗๕๗๒๗

เลขหมู่.....๕.๕.....

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



#### ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการสกัดเพศดินกับปริมาณของเพศดินที่สกัดได้

เวลา (นาที)	ร้อยละของปริมาณเพศดินที่สกัดได้			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
20	11.0021	10.9378	10.9733	10.9711 <sup>a</sup> ± 0.03
40	11.6115	11.9308	11.9351	11.8258 <sup>b</sup> ± 0.18
60	13.0397	13.1752	13.1699	13.1283 <sup>c</sup> ± 0.07
80	13.3711	13.2718	13.5371	13.3933 <sup>d</sup> ± 0.13
100	13.6184	13.5716	13.4733	13.5544 <sup>d</sup> ± 0.07
120	13.5242	13.5724	13.5392	13.5453 <sup>d</sup> ± 0.02

#### 4.3.5 ผลของจำนวนครั้งในการสกัด

จากการศึกษาจำนวนครั้งในการสกัดเพศดิน โดยศึกษา 4 ระดับคือ 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาเวลาในหัวข้อ 4.3.4 ใช้เวลาในการสกัด 60 นาที ได้ปริมาณเพศดินดังนี้ 13.1283 ± 0.07; 15.6000 ± 0.30, 15.073 ± 0.62 และ 15.0851 ± 0.66 กรัม ต่อกากฝรั่ง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง)ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าการสกัด 2 ครั้ง จะได้ปริมาณเพศดินมากที่สุด คือ 15.6000 กรัม ต่อ กากฝรั่ง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ดังนั้นในการสกัดเพศดินจากกากฝรั่งจึงควรทำการสกัด 2 ครั้ง เพื่อที่จะสามารถสกัดเพศดินออกมาได้มากที่สุด จากการศึกษาของ Sudhakar and Maini (2000) โดยทำการสกัดเพศดินจากกากมะม่วง 4 ครั้ง พบว่าการสกัด 2 ครั้งสามารถสกัดเพศดินจากกากมะม่วงได้มากที่สุด

#### ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ใช้สกัดกับปริมาณของเพศดินที่สกัดได้

จำนวนครั้งในการสกัด	ร้อยละของปริมาณเพศดินที่สกัดได้			ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	
1	13.0397	13.1752	13.1699	13.1283 <sup>a</sup> ± 0.07
2	15.2512	15.7612	15.7875	15.6000 <sup>b</sup> ± 0.30
3	15.6065	15.2245	14.3908	15.073 <sup>b</sup> ± 0.62
4	15.6127	15.3027	14.3398	15.0851 <sup>b</sup> ± 0.66

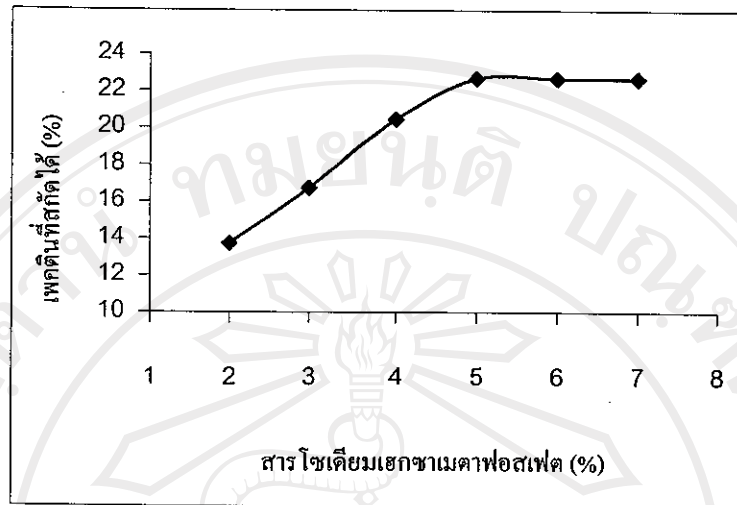
#### 4.3.6 ผลของอัตราส่วนสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอน

ผลการศึกษ้อัตราส่วนของเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอนเพคตินโดยใช้สารละลายกรดเพคติกที่สกัดได้จากกรรมวิธีการสกัดข้างต้น แล้วนำมาตกตะกอนด้วยสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยใช้ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ต่อปริมาณกรดเพคติกเป็น 1 : 1, 1.5 : 1, 2 : 1, 2.5 : 1 และ 3 : 1 ตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนของสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอนที่เหมาะสม คือ 1.5 : 1 โดยจะได้เพคตินปริมาณ  $15.5677 \pm 0.02$  กรัม ต่อกากฝรั่ง 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอนมากกว่า 1.5 : 1 เป็น 2 : 1, 2.5 : 1 และ 3 : 1 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอนต่อปริมาณสารละลายกรดเพคติก

จำนวนครั้งในการสกัด	ร้อยละของปริมาณเพคตินที่สกัดได้			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1.0 : 1	10.3216	10.2453	10.3862	$10.3177^a \pm 0.07$
1.5 : 1	15.5648	15.5855	15.5528	$15.5677^b \pm 0.02$
2.0 : 1	15.5698	15.5478	15.5864	$15.5680^b \pm 0.02$
2.5 : 1	15.5648	15.5688	15.6200	$15.5845^b \pm 0.03$
3.0 : 1	15.5682	15.5684	15.5724	$15.5697^b \pm 0.01$

#### 4.3.7 ผลของปริมาณสารโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ใช้สกัด



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของปริมาณสารโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตกับปริมาณของเพคตินที่สกัดได้

จากการศึกษาผลของการใช้สารโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตในการสกัดเพคตินจากกากฝรั่งโดยทำการศึกษาร่วมกับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล อัตราส่วนกรดไฮโดรคลอริกต่อกากฝรั่ง 5 : 1 อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด คือ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ทำการสกัด 2 ครั้ง ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยใช้สารโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 พบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นตาม หากต้องการนำสารโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตมาช่วยในการสกัดควรใช้ที่ระดับร้อยละ 5 ร่วมกับการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล จะสามารถสกัดเพคตินออกมาได้มากที่สุด คือ 22.6723 กรัม ต่อกากฝรั่ง 100 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dhingra and Gupta ที่ได้ทำการศึกษาค่าการใช้สารโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตในการสกัดเพคตินจากฝรั่งที่ระดับ 0.25, 0.50 และ 0.75 % พบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟตที่ใช้ในการสกัด

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของปริมาณสารโซเดียมเฮกซามेटาฟอสเฟต  
กับปริมาณของเพคตินที่สกัดได้

ปริมาณสารโซเดียมเฮกซามेटาฟอสเฟต (%)	ร้อยละของปริมาณเพคตินที่สกัดได้			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
2	15.1483	13.2487	12.7978	$13.7316^a \pm 1.24$
3	16.5373	16.8646	16.7707	$16.7242^b \pm 0.16$
4	20.0597	20.6686	20.6191	$20.4491^c \pm 0.33$
5	22.7054	22.7363	22.5753	$22.6723^d \pm 0.08$
6	19.8194	19.0233	19.3840	$19.4089^e \pm 0.39$
7	21.3545	21.5297	21.2047	$21.3630^d \pm 0.16$

#### 4.4 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของเพคตินที่สกัดได้

##### 4.4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง

เพคตินที่ได้จากกระบวนการสกัดข้อ 3.2.3.5 คือสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที โดยทำการสกัด 2 ครั้ง ปริมาณกรดต่อกากฝรั่ง 5 : 1 พบว่าผงเพคตินที่สกัดได้มีค่า Equivalent weight  $778.94 \pm 0.67$  มีค่าเมทอกซิล 8.17 % หรือมีค่า DE 50.06 % ซึ่งถ้าเพคตินมีค่าเมทอกซิลมากกว่า 8.16 % หรือมีค่า DE 50 % จัดเป็นเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง ในการที่เพคตินชนิดนี้จะเกิดเจลได้จะต้องอาศัยปริมาณของน้ำตาลและกรดที่เหมาะสมและภายใต้อุณหภูมิที่พอเหมาะได้ สมบัติทางเคมีและกายภาพของเพคตินดังกล่าวนี้ดูได้จากตารางที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.9 สมบัติทางเคมีของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง

สมบัติทางเคมี	เพคตินที่สกัดได้	เพคตินทางการค้า
ความชื้น (%)	10.06 ± 0.02	9.62 ± 0.03
เถ้า (%)	31.49 ± 1.31	22.38 ± 1.08
ค่า $a_w$	0.332 ± 0.05	0.313 ± 0.03
Equivalent weight	778.94 ± 0.67	513.6 ± 0.24
Methoxyl content (%)	8.17 ± 0.07	10.6 ± 0.03
Degree of esterification (%DE)	50.06 ± 0.07	64.95 ± 0.03
Acidic uronic acid	21.01 ± 0.72	18.04 ± 0.03
Total anhydrouronic acid	37.09 ± 0.12	26.12 ± 0.08

ตารางที่ 4.10 สมบัติกายภาพของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง

สมบัติทางกายภาพ	เพคตินที่สกัดได้	เพคตินทางการค้า
Jelly grade	150 - 170	150
Jelly unit	23.40 - 26.52	-*
Jelly rate	slow setting	Rapid setting
ค่าสี L	40.32 ± 0.06	53.28 ± 0.81
ค่าสี a	5.48 ± 0.09	0.95 ± 0.11
ค่าสี b	8.99 ± 0.09	18.79 ± 0.12

หมายเหตุ \* เนื่องจากการหาค่า Jelly unit ต้องใช้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มาคำนวณด้วย จึงไม่สามารถหาค่า Jelly unit ของเพคตินทางการค้าได้

#### 4.4.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ

เพคตินที่ใช้กระบวนการสกัดเช่นเดียวกับเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงแต่มีการใช้สารโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต 5 % ร่วมด้วยพบว่ามีค่าเมทอกซิล 3.49 % หรือมีค่า DE 21.38 % จึงจัดเป็นเพคตินกลุ่มที่มีค่าเมทอกซิลต่ำ เพราะมีค่าเมทอกซิลต่ำกว่า 8.16 % มีค่า DE 50.0 % ซึ่งในการเกิดเจลของเพคตินกลุ่มนี้จะต้องใช้แคลเซียมเป็นสารช่วยในการเกิดเจล อัตราการเกิดเจลของเพคตินเป็นการเกิดเจลแบบช้าคือใช้เวลาในการเกิดเจลมากกว่า 25 นาที (Rangana, 1986) ตารางที่ 4.11 และ 4.12 แสดงรายละเอียดทางเคมีและกายภาพของเพคตินชนิดนี้

ตารางที่ 4.11 สมบัติทางเคมีของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ

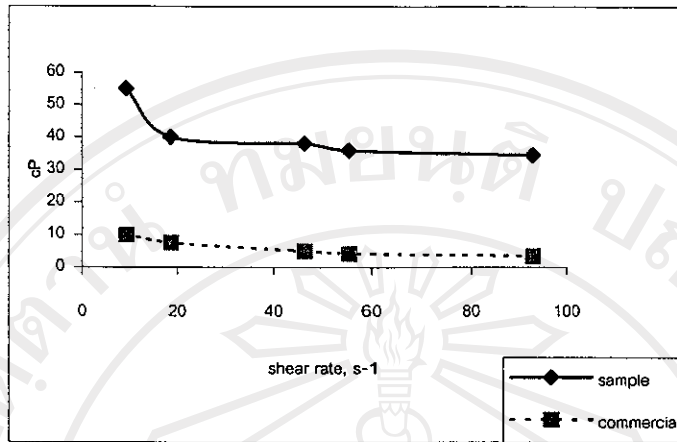
สมบัติทางเคมี	เพคตินที่สกัดได้	เพคตินทางการค้า
ความชื้น (%)	6.08 ± 0.10	8.13 ± 0.12
เถ้า (%)	24.47 ± 2.10	14.28 ± 1.02
ค่า $a_w$	0.257 ± 0.05	0.343 ± 0.03
Equivalent weight	665.75 ± 0.81	413.84 ± 0.24
Methoxyl content (%)	3.49 ± 0.14	4.12 ± 0.08
Degree of esterification (%DE)	21.38 ± 0.14	25.25 ± 0.08
Acidic uronic acid	25.64 ± 0.11	31.34 ± 0.14
Total anhydrouronic acid	53.91 ± 0.64	63.13 ± 0.12

ตารางที่ 4.12 สมบัติกายภาพของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ

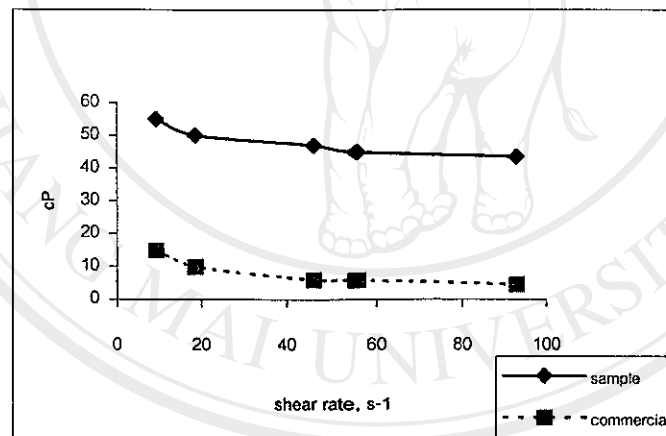
สมบัติทางกายภาพ	เพคตินที่สกัดได้	เพคตินทางการค้า
Jelly rate	slow setting	rapid setting
ค่าสี L	51.84 ± 0.24	57.05 ± 0.69
ค่าสี a	2.24 ± 0.14	0.09 ± 0.03
ค่าสี b	11.41 ± 0.28	14.38 ± 0.72



## 4.3.12 ความหนืด

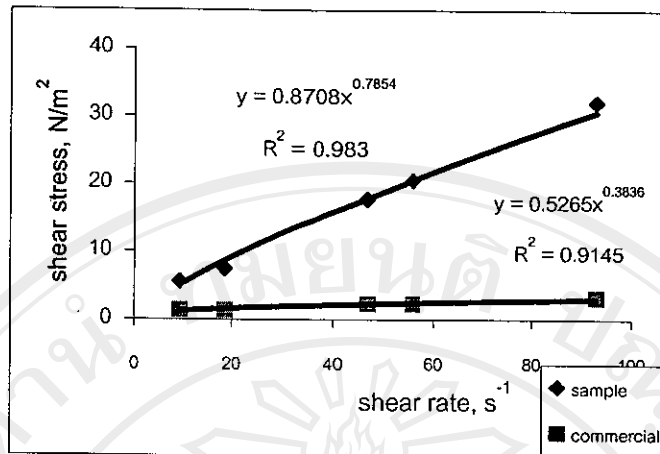


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Rate กับ ความหนืดของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง สกัดได้และเพคตินทางการค้า ที่ระดับความเข้มข้นของเพคติน 1%

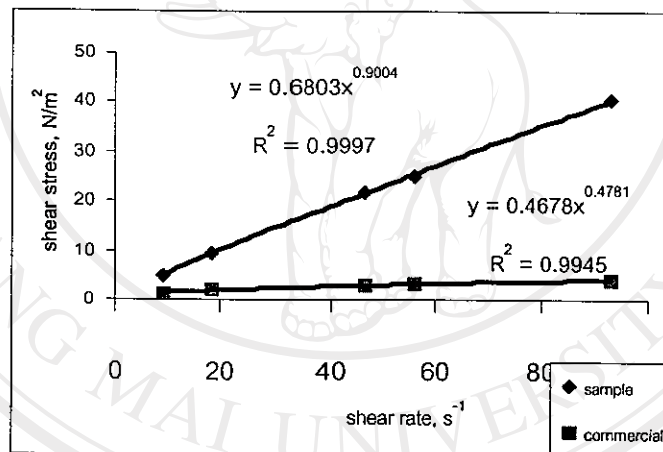


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Rate กับความหนืดของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ สกัดได้และเพคตินทางการค้า ที่ระดับความเข้มข้นของเพคติน 1%

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าความหนืดของเพคตินทั้ง 2 แบบไม่คงที่ เมื่อเพิ่มความเร็วของ shear rate ซึ่งแสดงว่าเพคตินนี้มีลักษณะการไหลแบบ Pseudoplastic เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate กับ shear stress ได้ดังรูป 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Rate กับ Shear Stress ของแป้งที่มีหมู่เมทอกซิลสูง สกัดได้และแป้งทางการค้า ที่ระดับความเข้มข้นของแป้ง 1%



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Rate กับ Shear Stress ของแป้งที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ สกัดได้และแป้งทางการค้า ที่ระดับความเข้มข้นของแป้ง 1%

จากการหาความหนืดของสารละลายแป้งเข้มข้น 1 % โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้เข็มวัดเบอร์ 27 โดยเปลี่ยนความเร็วรอบในการวัดเป็น 10, 20, 50, 60 และ 100 รอบต่อนาที พบว่าแป้งตัวอย่างที่สกัดได้ทั้งแป้งที่มีหมู่เมทอกซิลสูง และแป้งที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ จะมีค่า shear stress เพิ่มมากขึ้นเมื่อ shear rate เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress กับ shear rate ของสารละลายแป้งที่มีหมู่เมทอกซิลสูง

ของเพคตินตัวอย่างที่สกัดได้และเพคตินทางการค้าจะได้ว่า

เพคตินตัวอย่างที่มีหมู่เมทอกซิลสูง

$$y = 0.8708x^{0.7854}$$

และเพคตินทางการค้าที่มีหมู่เมทอกซิลสูง

$$y = 0.5265x^{0.3836}$$

ส่วนเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำของเพคตินตัวอย่างที่สกัดได้และเพคตินทางการค้านั้นมีค่าดังนี้

เพคตินตัวอย่างที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ

$$y = 0.6803x^{0.9004}$$

และเพคตินทางการค้าที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ

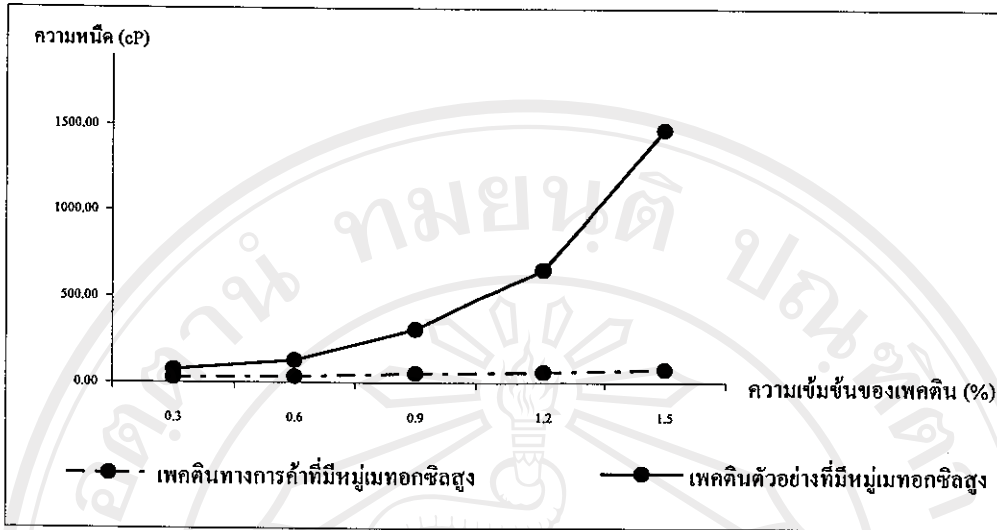
$$y = 0.4678x^{0.4781}$$

แสดงว่าเพคตินทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะเป็นของไหลแบบ Pseudoplastic เนื่องจากมีค่า consistency index ต่ำกว่า 1.0

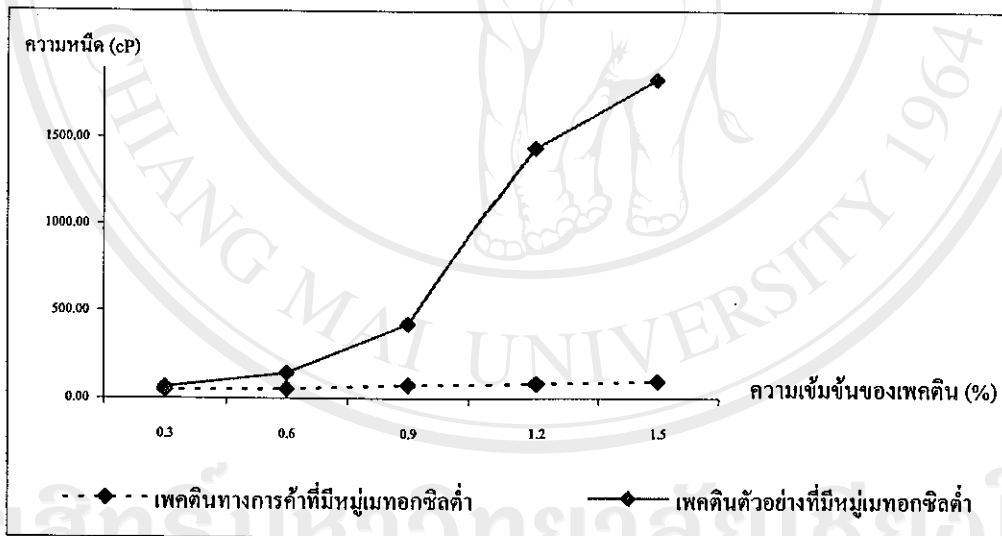
#### ผลของความเข้มข้นของเพคตินต่อความหนืด

ความข้นหนืดของสารละลายเพคตินวัดโดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้เข็มวัดเบอร์ 1 โดยใช้ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที ความข้นหนืดของสารละลายเพคตินที่สกัดได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มความข้นหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไม่ว่าจะเป็นเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงหรือต่ำ ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้าจะเห็นว่าเพคตินตัวอย่างที่ความเข้มข้นเดียวกัน จะมีความข้นหนืดสูงกว่าเพคตินทางการค้า โดยเฉพาะตั้งแต่ 0.90% ขึ้นไป โดยเพคตินตัวอย่างที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำจะมีความข้นหนืดเท่ากับ 311 cP ขณะที่เพคตินทางการค้ามีความข้นหนืดเพียง 52.67 cP เช่นเดียวกับเพคตินตัวอย่างที่มีหมู่เมทอกซิลสูงจะมีความข้นหนืดเท่ากับ 425 cP ขณะที่เพคตินทางการค้ามีความข้นหนืดเพียง 75.67 cP ทั้งนี้เนื่องจากเพคตินที่สกัดได้ทั้งสองกลุ่มมีค่า Equivalent weight สูงกว่าเพคตินทางการค้า จึงทำให้ความหนืดที่วัดได้จากเพคตินที่สกัดได้มีค่าสูงกว่าเพคตินทางการค้า

All rights reserved



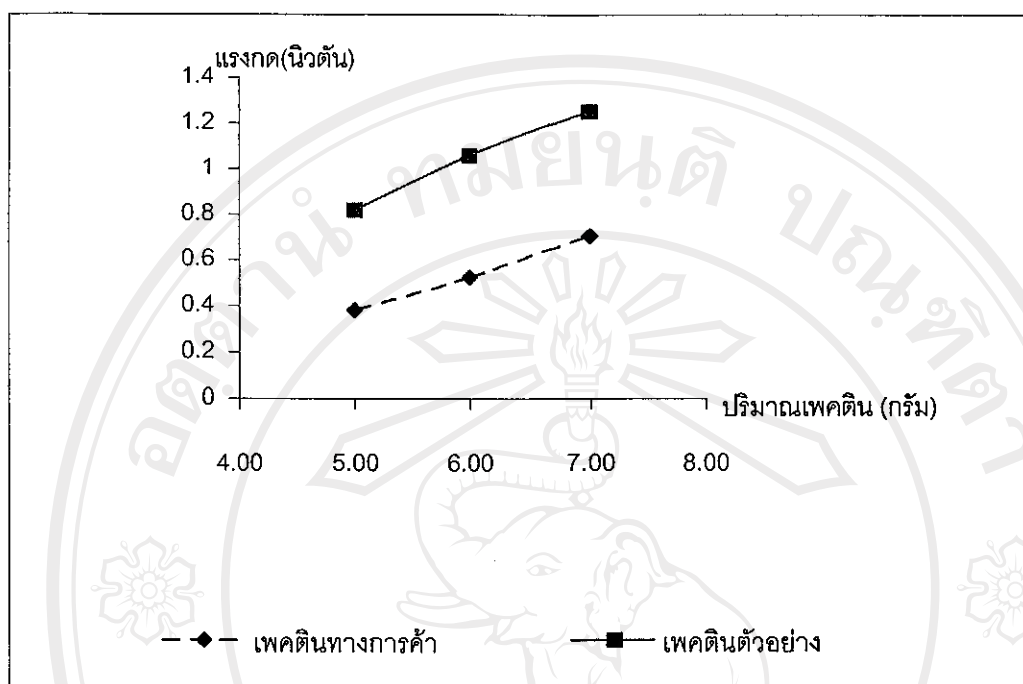
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงกับความชื้นแห้ง



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำกับความชื้นแห้ง

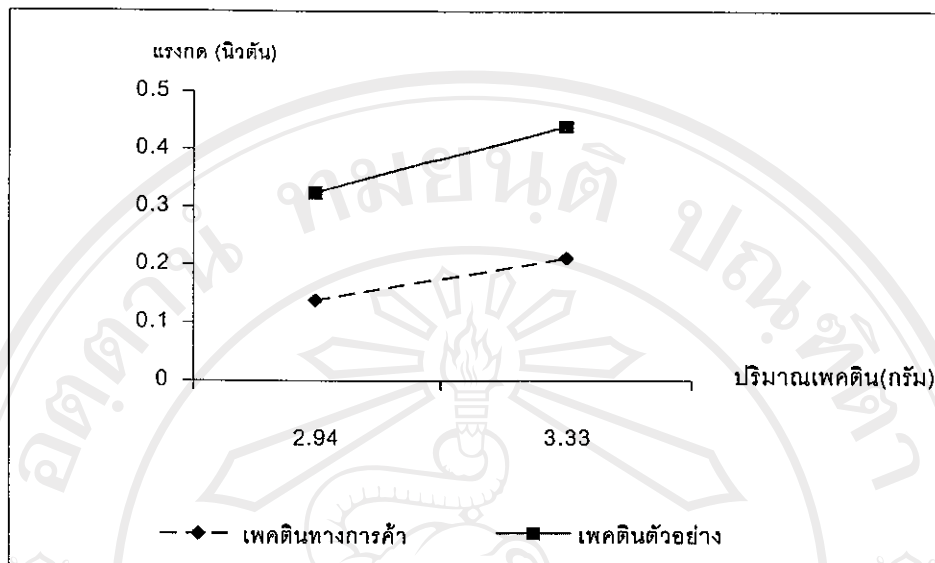
ลิขสิทธิ์ในภาพโดย Chiang Mai University  
All rights reserved

### 4.3.13 ค่าความแข็งแรงของเจล (Gel Strength)



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของเจลของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำกับปริมาณเพคติน

เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของเจลของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำที่สกัดได้กับเพคตินทางการค้าพบว่าที่ปริมาณเพคตินเท่ากัน เพคตินที่สกัดได้จะมีความแข็งแรงของเจลสูงกว่าเพคตินทางการค้า ดังรูปที่ 4.14 เช่นเดียวกับเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงที่สกัดได้ ดังรูปที่ 4.15

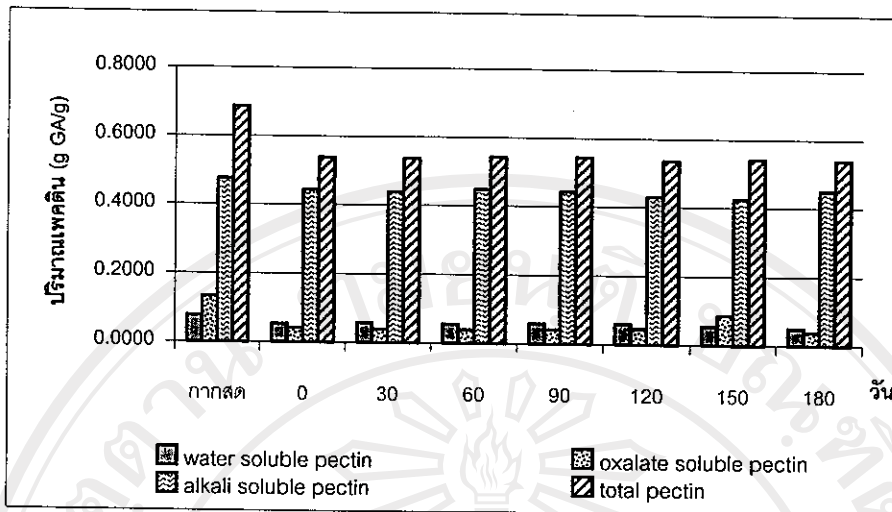


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของเจลเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงกับปริมาณเพคติน

#### 4.4 ผลการศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาจากฝรั่งอบแห้ง

ผลการเก็บรักษาจากฝรั่งที่ผ่านการอบแห้งเป็นเวลา 6 เดือนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเพคติน พบว่าปริมาณของเพคตินที่สกัดได้ในแต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แสดงว่าการอบแห้งจากฝรั่งนอกจากจะช่วยลดพื้นที่ในการเก็บรักษาวัตถุดิบ ยังจะช่วยยืดอายุและประหยัดพลังงานในการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากกากสดมีปริมาณมากกว่าที่สกัดได้จากกากที่ผ่านการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ดังรูป 4.16 โดยปริมาณเพคตินจะลดลงประมาณ 21.48 %





รูปที่ 4.16 ผลการเก็บรักษาจากฝรั่งด้วยวิธีการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเพคติน

การอบแห้งจากแอปเปิ้ลเพื่อป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์และมีปริมาณเพคตินอยู่ในจากแอปเปิ้ลอบแห้งปริมาณ 180 มิลลิกรัมต่อกรัมเพคติน (Bhalla et al., 1993) นอกจากนี้การอบแห้งวัตถุดิบยังช่วยในเรื่องความสะดวกในการนำมาสกัด (Dryden et al., 1952 ; Crandall; 1978)

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการแทนที่หมู่เมทิล (degree of methylation) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการเกิดเจลและ Anhydrogalacturonic acid นั้นจะมีผลกระทบจากกระบวนการอบแห้งเช่นเดียวกัน จากการศึกษาของ Constenla, Ponce and Lazano (2002) พบว่าความร้อนในระหว่างกระบวนการอบแห้งมีผลกระทบต่อค่า Degree of Esterification และ Molecular weight