บทที่ 4

ผลการทดลอง และ วิจารณ์

4.1 ปริมาณสารแทนนินในเปลือกเงาะ

การทดลองสกัดสารแทนนินที่มีอยู่ในเปลือกเงาะโดยเครื่องมือ Soxhlet และใช้ตัวสกัดที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ น้ำ, สารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตรต่อปริมาตร , สารละลายโซเดียมซัลไฟต์เข้มข้นร้อยละ 1 และ 3 น้ำหนักต่อปริมาตร ในกรณีใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟต์เป็นตัวทำละลาย จำเป็นต้องดูดสารละลายในขวดก้นกลมลงใน Soxhlet extraction tube ซึ่งบรรจุเปลือกเงาะเพื่อให้เป็นการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ทั้งนี้เนื่องจากสารโซเดียมซัลไฟต์ไม่ระเหย ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก ก. สำหรับผลการสกัดสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณสารแทนนินที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ

ตัวทำละลาย	ร้อยละของแทนนินในเปลือกเงาะ
น้ำ	14.97
สารละลายเอธานอล (50%v/v)	18.86
สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (1%w/v)	17.84
สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (3%w/v)	17.98

จากตารางที่ 4.1 พบว่าสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 50 มีประสิทธิภาพการสกัดสูงกว่าตัวทำละลายอื่น โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ โดยสารละลายเอธานอลอาจจะละลายแทนนินที่ไม่ละลายในน้ำให้ละลายออกมาในแอลกอฮอล์ สำหรับสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์มีประสิทธิภาพการสกัดต่ำกว่าสารละลายเอธานอลเล็กน้อย แต่ต้องใช้ความร้อนและเวลาสกัดมากกว่าเนื่องจากจุดเดือดสูงกว่าเอธานอลจึงไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายเอธานอลสกัดแทนนินและปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้ซึ่งเป็นค่าสูงสุด เป็นค่าเปรียบเทียบสำหรับคำนวณหาประสิทธิภาพการสกัด ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ในเปลือกเงาะแห้งที่ใช้ในการทดลองนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบของเปลือกเงาะที่ตากแห้งก่อนนำมาสกัด

ส่วนประกอบของเปลือกเงาะ	อัตราส่วนร้อยละของเปลือกเงาะ
ความชื้น	12.00
แทนนิน	16.59
ส่วนที่ละลายน้ำได้ไม่ใช่แทนนิน*	22.01
ส่วนที่ไม่ละลาย (กาก)	49.40

*ได้แก่ gallic acid, nitrogenous matter, น้ำตาล สี กรดอะซิติค และสารอื่น ๆ ซึ่งในที่นี้ได้จาก 100% - ผลรวมของ % (แทนนิน + ความชื้น + ส่วนที่ไม่ละลาย) ที่ได้จากการทดลอง

4.2 การสกัดแบบแช่ครั้งเดียวไม่มีการกวน

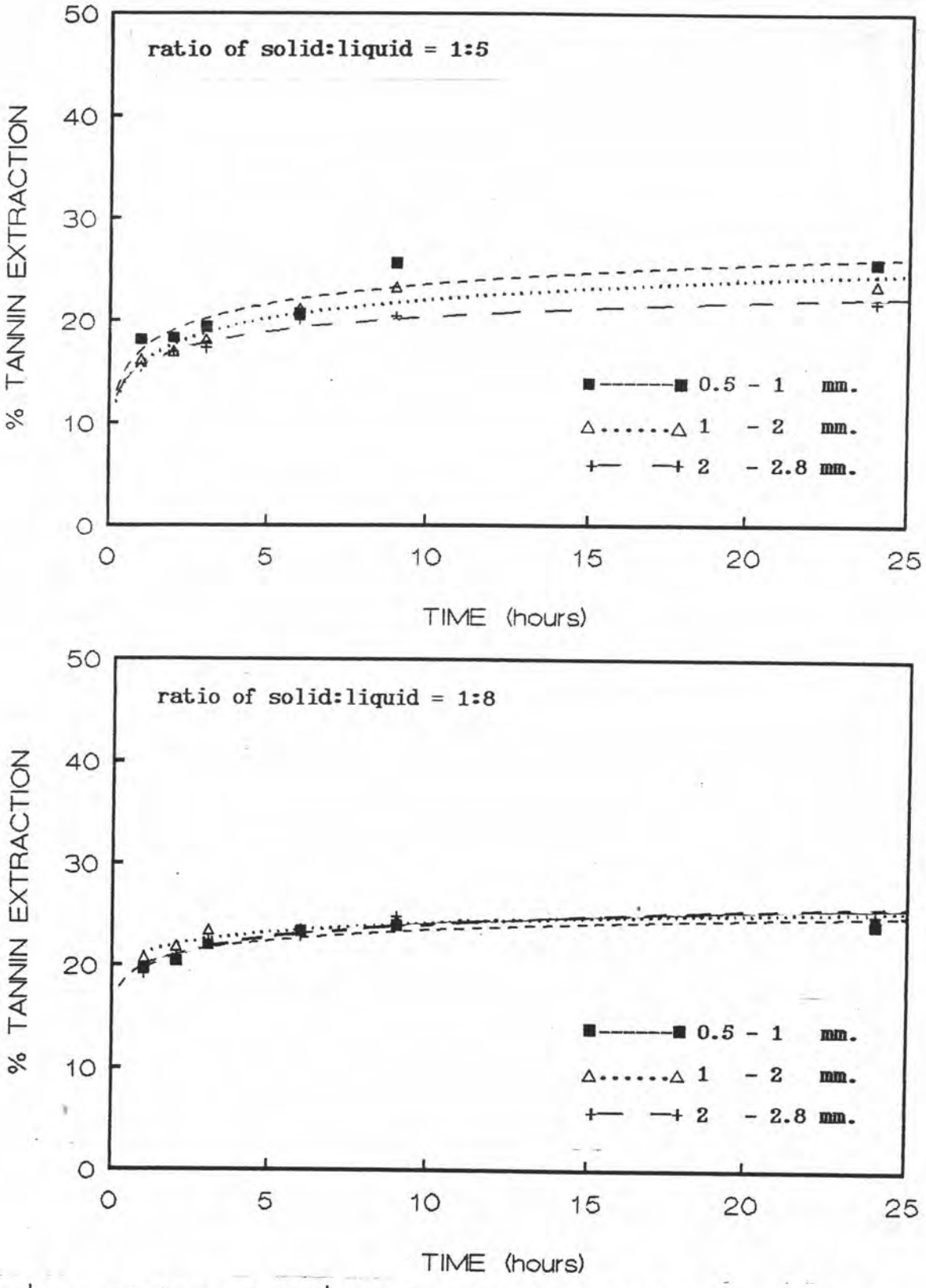
4.2.1 การทดลองใช้น้ำเป็นตัวสกัด

การทดลองสกัดครั้งเดียวไม่มีการกวน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดซึ่งจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่มีประโยชน์สำหรับนำไปใช้ในการทดลองสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน และสำหรับการออกแบบเครื่องมือสกัดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

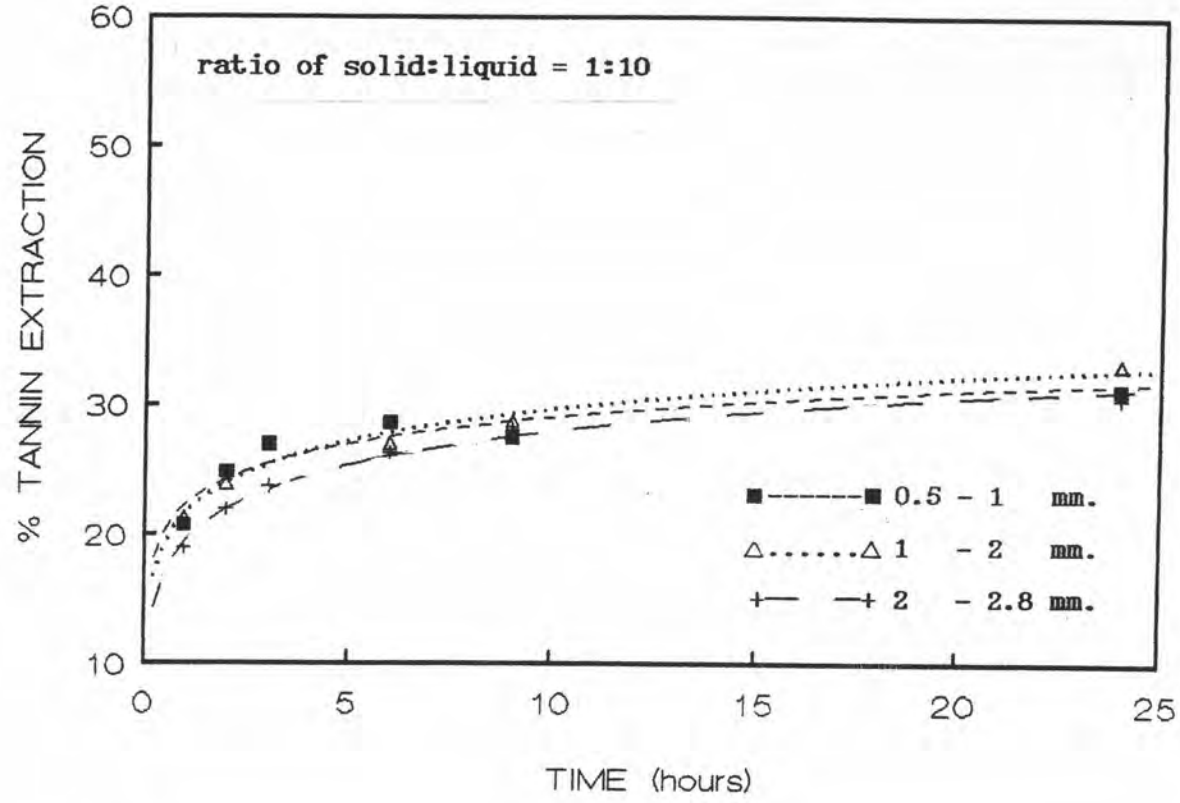
ตัวแปรที่คาดว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัด และได้ทำการศึกษาในการทดลองครั้งนี้คือ เวลาในการแช่ ขนาดของเปลือกเงาะ อุณหภูมิของตัวทำละลาย อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อตัวทำละลาย ความเข้มข้นเอธานอลในสารละลาย และปริมาณสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์ที่ใช้ในการสกัด ข้อมูลการทดลองการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวไม่มีการกวนนี้ได้รวบรวมแสดงในภาคผนวก ข. ผลการทดลองสามารถสรุปดังจะกล่าวต่อไป

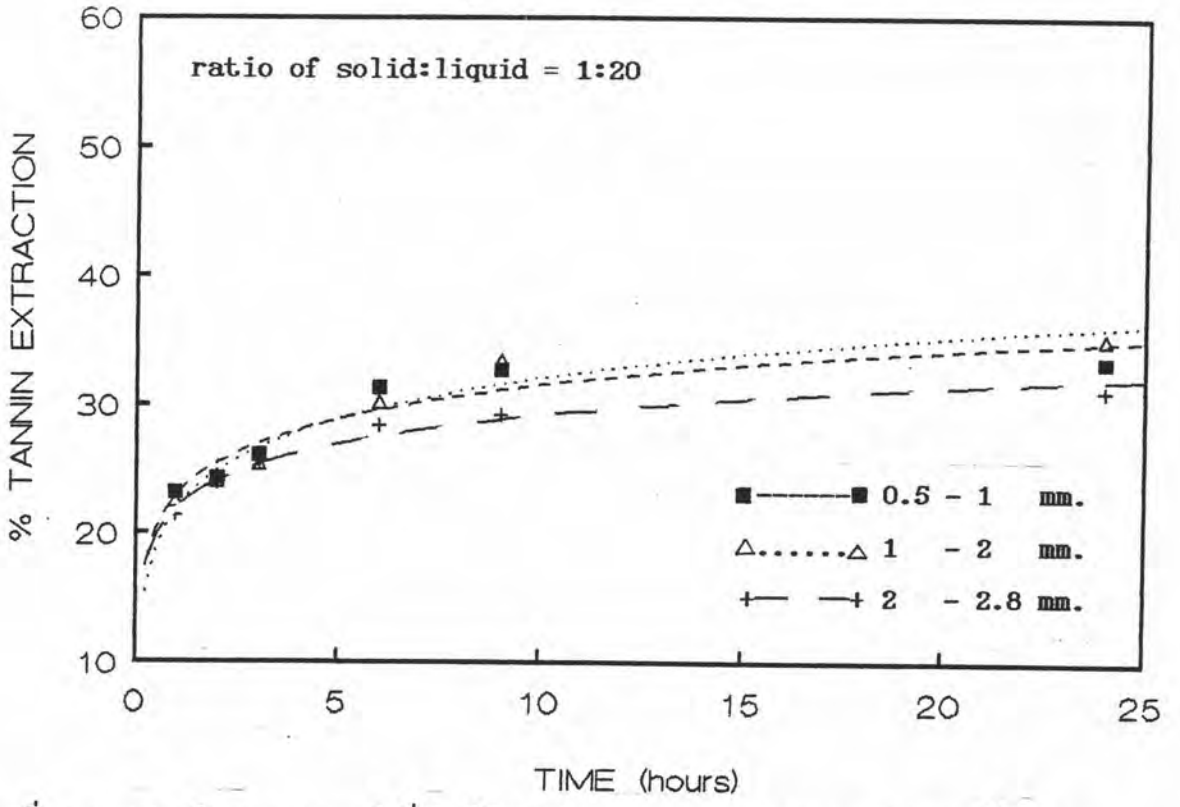
4.2.1.1 ผลของเวลาสกัดที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัด

การทดลองสกัดแบบแช่ครั้งเดียวไม่มีการกวน ได้ทำการทดลองภายใต้สภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิสกัด 30°เซลเซียส เปลือกเงาะขนาด 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำเป็น 1:5, 1:8, 1:10 และ 1:20 ภาพที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพการสกัดที่เวลาสกัดต่าง ๆ ที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5 และ 1:8 ส่วนภาพที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการสกัดที่เวลาสกัดต่าง ๆ ที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:10และ 1:20 ที่สภาวะอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5 น้ำหนักต่อปริมาตร ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1 มิลลิเมตร เวลาสกัดชั่วโมงที่ 1, 2 และ 3 ร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 15.48, 16.97



ภาพที่ 4.1 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาที่ใช้ในการสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว อุณหภูมิของน้ำ 30°เซลเซียส ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ

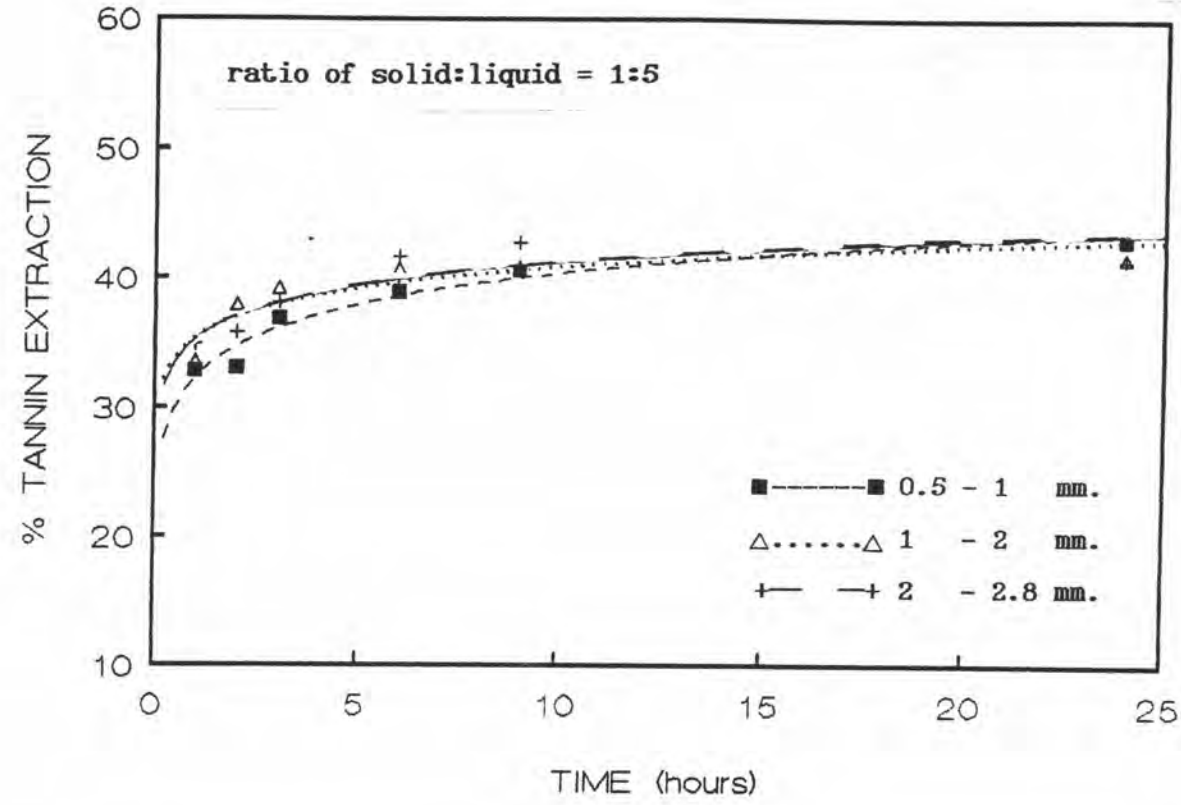


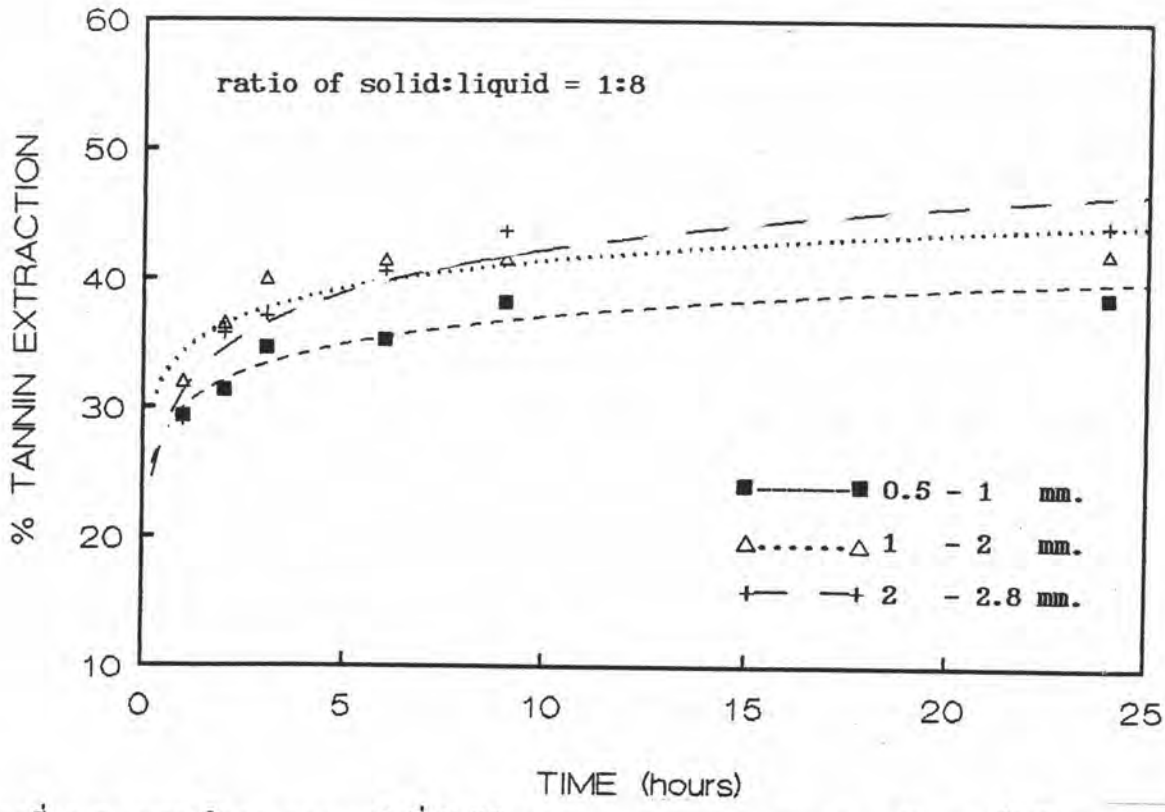


ภาพที่ 4.2 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาที่ใช้ในการสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว อุณหภูมิของน้ำ 30° เซลเซียส ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ

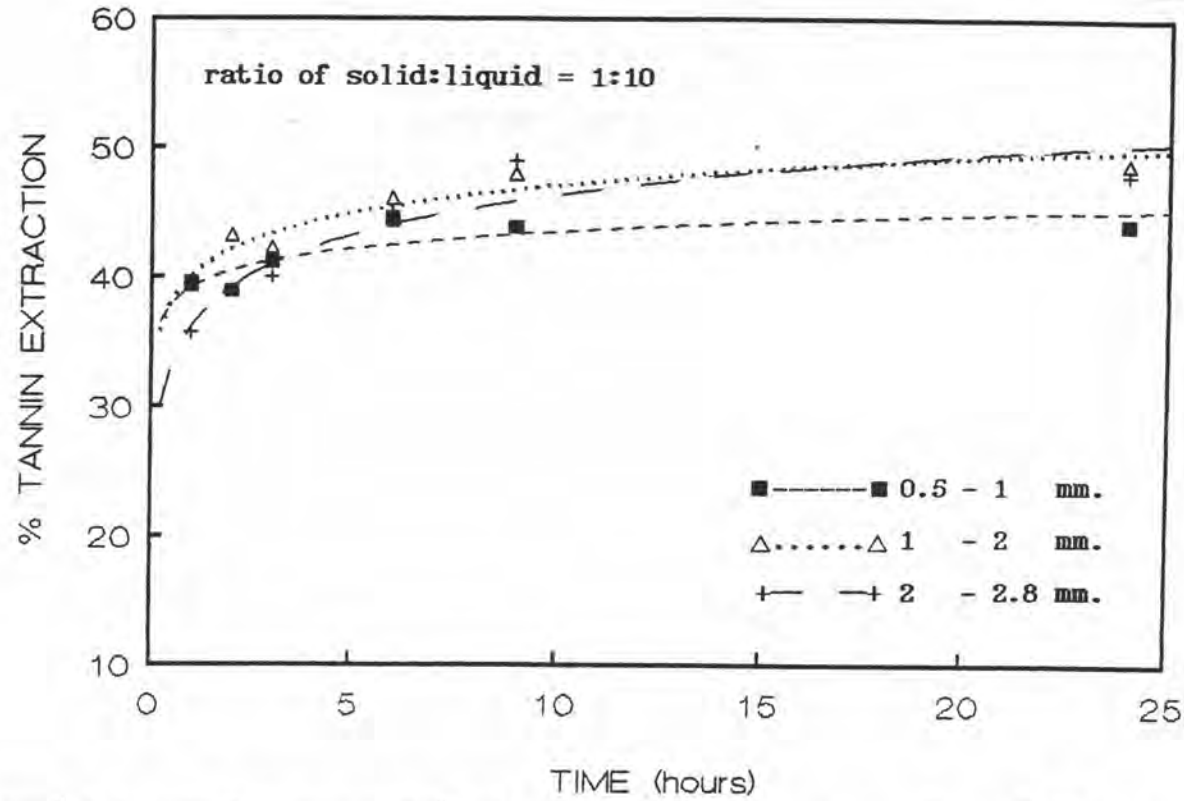
และ 17.28 และที่เวลาสกัดชั่วโมงที่ 6, 9 และ 24 ร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 19.99, 20.36 และ 21.74 พบว่าแนวโน้มของแทนนินที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตลอดเวลา และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงเวลาชั่วโมงที่ 9 จนถึงชั่วโมงที่ 24 และที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:8 , 1:10 และ 1:20 น้ำหนักต่อปริมาตรก็ให้ผลการทดลองคล้ายคลึงกัน แต่สำหรับอัตราส่วนของแข็งต่อน้ำหนึ่ง ๆ และเวลาสกัดหนึ่ง ๆ พบว่าขนาดเปลือกเงาะเล็กลงให้ผลการสกัดสูงขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกเงาะขนาดเล็กทำให้สารแทนนินถูกสกัดออกมาได้รวดเร็วขึ้น สำหรับเวลาสกัดสูงสุดในการทดลองนี้คือ 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำสูงขึ้นในการสกัดหรือลดอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ ประสิทธิภาพการสกัดสารแทนนินสูงขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องด้วยการเพิ่มปริมาณน้ำในการสกัด ทำให้ความเข้มข้นแทนนินในน้ำต่ำลง จึงเป็นการเพิ่มอัตราแพร่สารแทนนินจากเปลือกเงาะมายังน้ำ ตาม หลักการถ่ายโอนมวล (Mass Transfer) โดยในกรณีนี้เป็นแบบ Diffusion ซึ่งอัตราการถ่ายโอนมวลขึ้นตรงกับความแตกต่างความเข้มข้นสารแทนนิน จะเห็นจากภาพที่ 4.1 และ 4.2 ว่าการทดลองนี้ยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล ถ้าเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วประสิทธิภาพการสกัดจะไม่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของเปลือกเงาะ

การทดลองต่อมาทำการสกัดที่อุณหภูมิ 50°เซลเซียส โดยขนาดเปลือกเงาะอยู่ในช่วง 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5, 1:8 และ 1:10 ภาพที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการสกัดที่เวลาต่าง ๆ ที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5 และ 1:8 และภาพที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการสกัดที่เวลาต่าง ๆ ที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:10 ที่สภาวะอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5 ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1 มิลลิเมตร เวลาสกัดชั่วโมงที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 34.94, 35.79 และ 38.07 ตามลำดับ และ เวลาสกัดชั่วโมงที่ 6, 9 และ 24 ค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 41.62, 42.70 และ 41.46 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าแนวโน้มของแทนนินที่สกัดได้เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาชั่วโมงที่ 1 จนถึง 3 สำหรับช่วงเวลาชั่วโมงที่ 6 จนถึง 24 ค่อนข้างคงที่ สำหรับอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:8 และ 1:10 ก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับอัตราส่วน 1:5 จะแตกต่างกันที่ค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้มีค่าสูงขึ้นตามปริมาตรของน้ำที่ใช้เพิ่มขึ้น ช่วงเวลาที่ใช้ในการสกัดกล่าวได้ว่า ไม่ยาวนานพอที่ทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ทั้งนี้อาจสังเกตุได้จากประสิทธิภาพการสกัดยังไม่เท่ากันสำหรับขนาดของเปลือกเงาะต่าง ๆ โดยประสิทธิภาพการสกัดสูงขึ้นถ้าขนาดของเปลือกเงาะเล็กลง ถ้าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) แล้วประสิทธิภาพการสกัดจะไม่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของเปลือกเงาะ



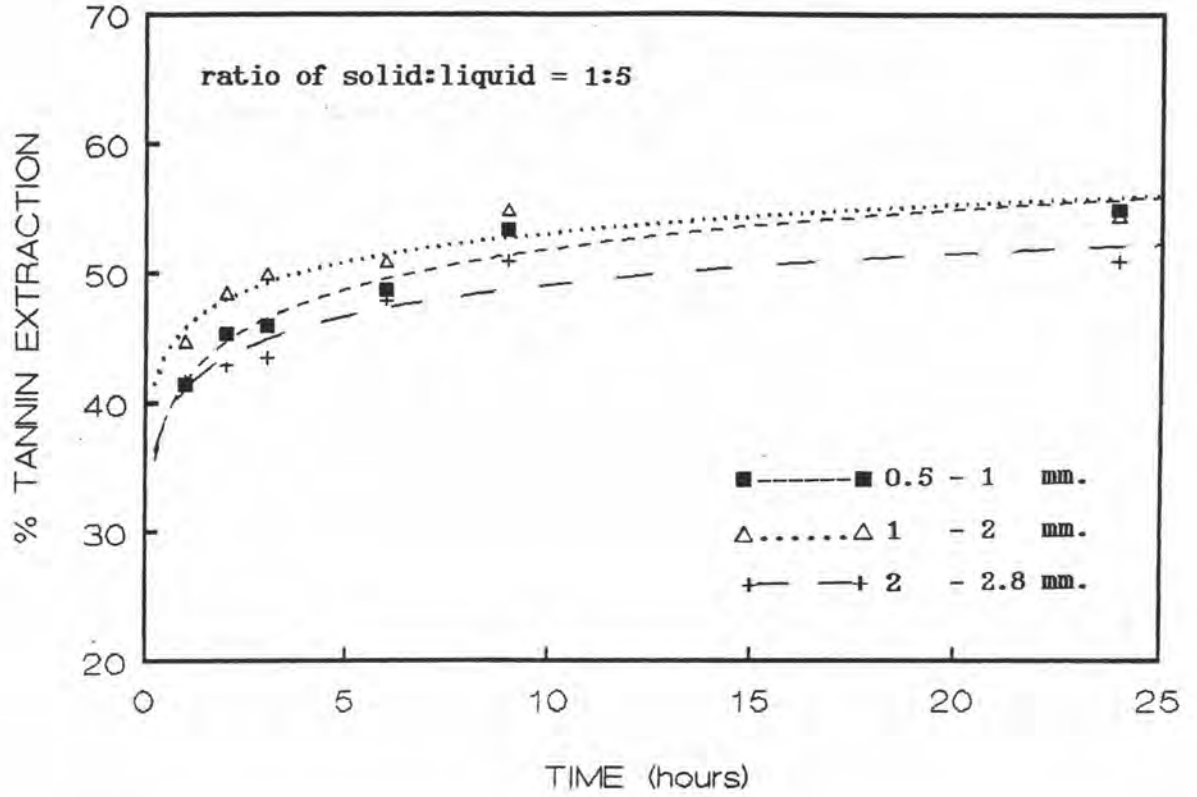


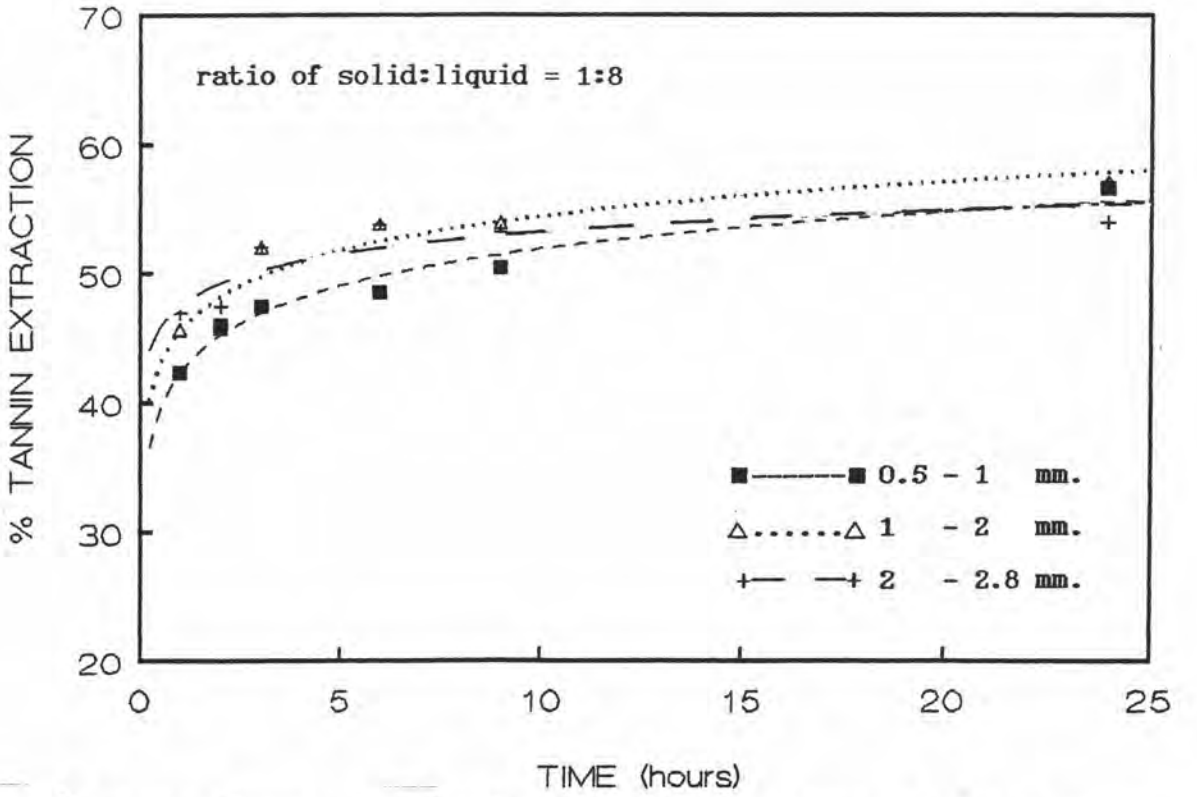
ภาพที่ 4.3 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาที่ใช้ในการสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว อุณหภูมิของน้ำ 50°เซลเซียส ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



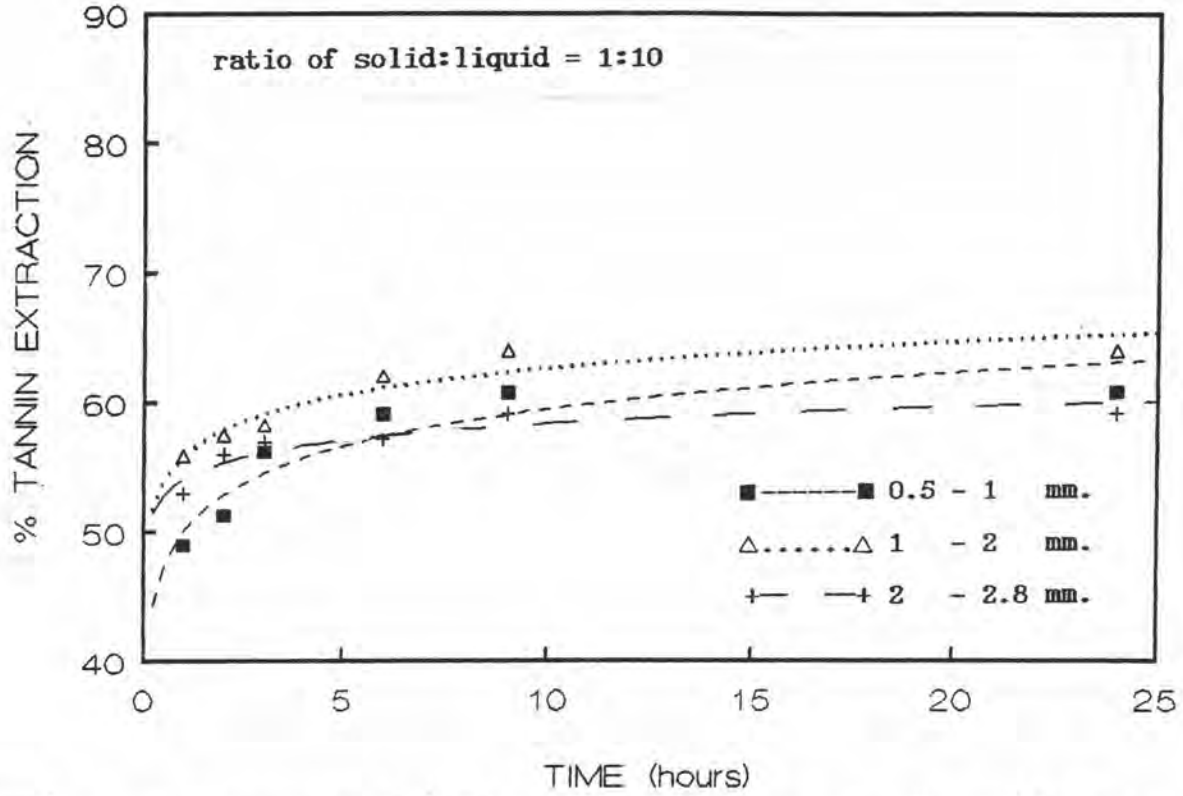
ภาพที่ 4.4 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาที่ใช้ในการสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว อุณหภูมิของน้ำ 50° เซลเซียส ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ

สำหรับการสกัดที่อุณหภูมิ 70° เซลเซียส ใช้ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตร ผลการทดลองที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5 และ 1:8 ได้แสดงในภาพที่ 4.5 และที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:10 ได้แสดงในภาพที่ 4.6 โดยที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5 ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1 มิลลิเมตร เวลาสกัด 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 41.67, 42.89 และ 43.48 และที่เวลาสกัด 6, 9 และ 24 ชั่วโมง ร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 47.83, 50.90 และ 50.88 พบว่าค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลาสกัด 1, 2, 3 และ 6 ชั่วโมง และค่อนข้างคงที่ในระยะเวลาชั่วโมงที่ 9 จนถึง 24 ที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:8 และ 1:10 ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แต่ค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้จะสูงขึ้นเมื่อใช้ปริมาตรน้ำมากขึ้น



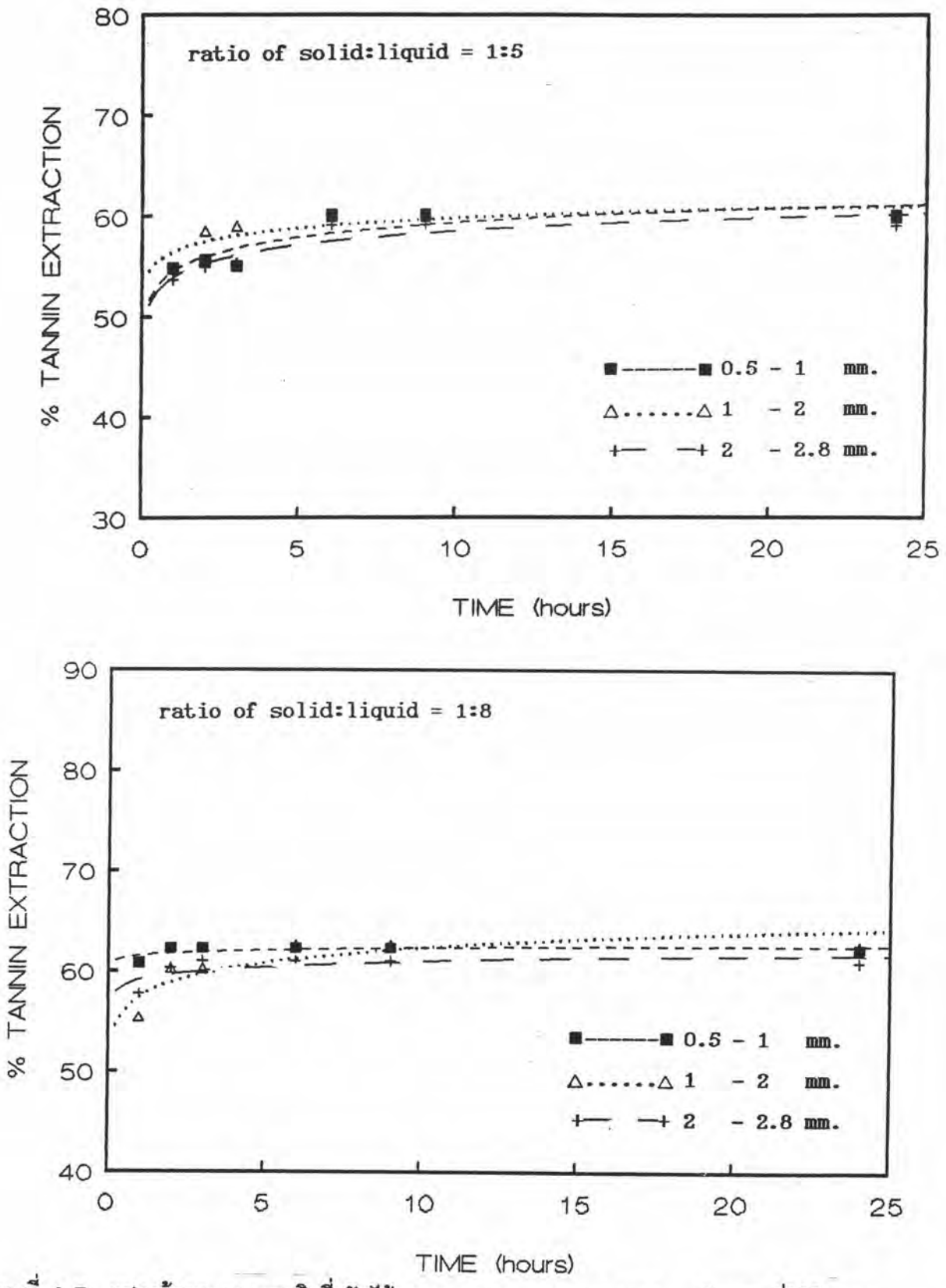


ภาพที่ 4.5 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาที่ใช้ในการสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว อุณหภูมิของน้ำ 70° เซลเซียส ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ

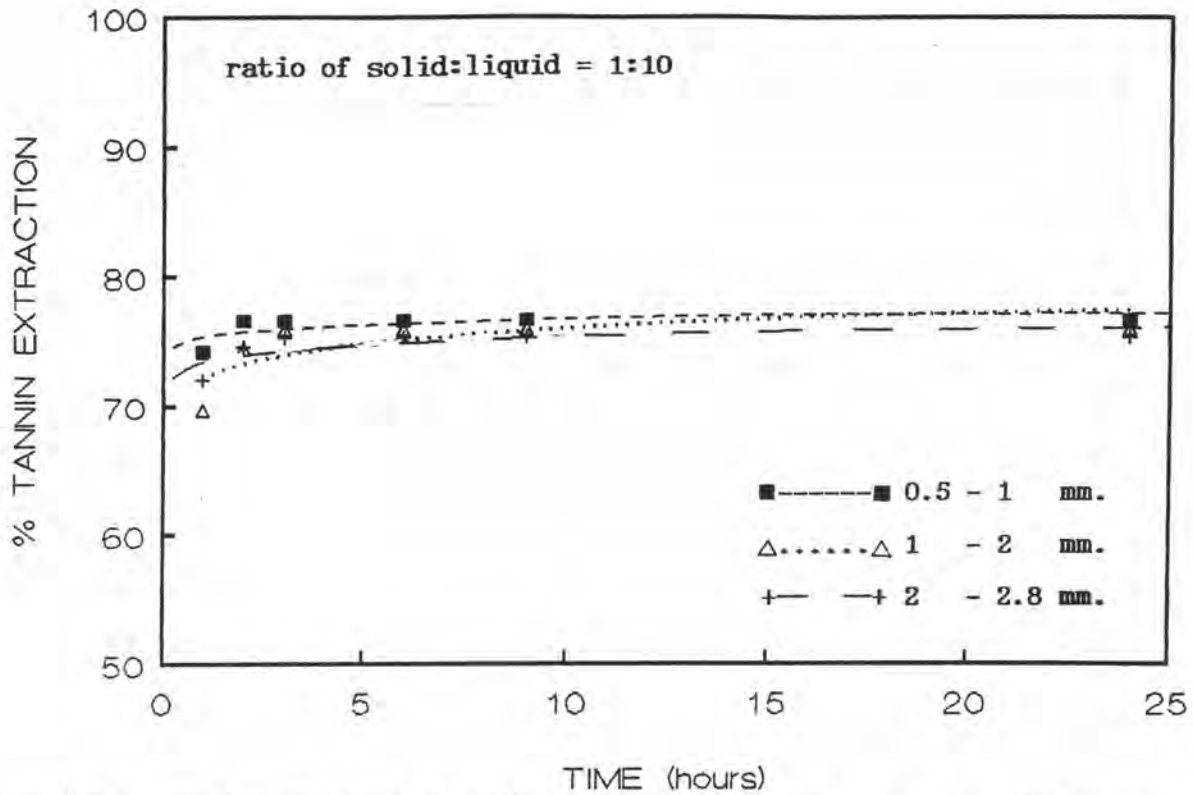


ภาพที่ 4.6 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาที่ใช้ในการสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว อุณหภูมิของน้ำ 70° เซลเซียส ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ

สำหรับการสกัดที่อุณหภูมิ 90° เซลเซียส ใช้ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตร ผลการทดลองที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5 และ 1:8 ได้แสดงในภาพที่ 4.7 ส่วนที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:10 ได้แสดงในภาพที่ 4.8 โดยที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:8 ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1 มิลลิเมตร เวลาสกัด 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 57.74, 60.34 และ 60.92 และเวลาสกัด 6, 9 และ 24 ชั่วโมง ร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 60.92, 60.92 และ 60.92 พบว่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาสกัดชั่วโมงที่ 1 และ 2 หลังจากชั่วโมงที่ 3 จนถึง 24 จะคงที่ สำหรับอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5 และ 1:10 ก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4.7 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาที่ใช้ในการสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว อุณหภูมิของน้ำ 90°เซลเซียส ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



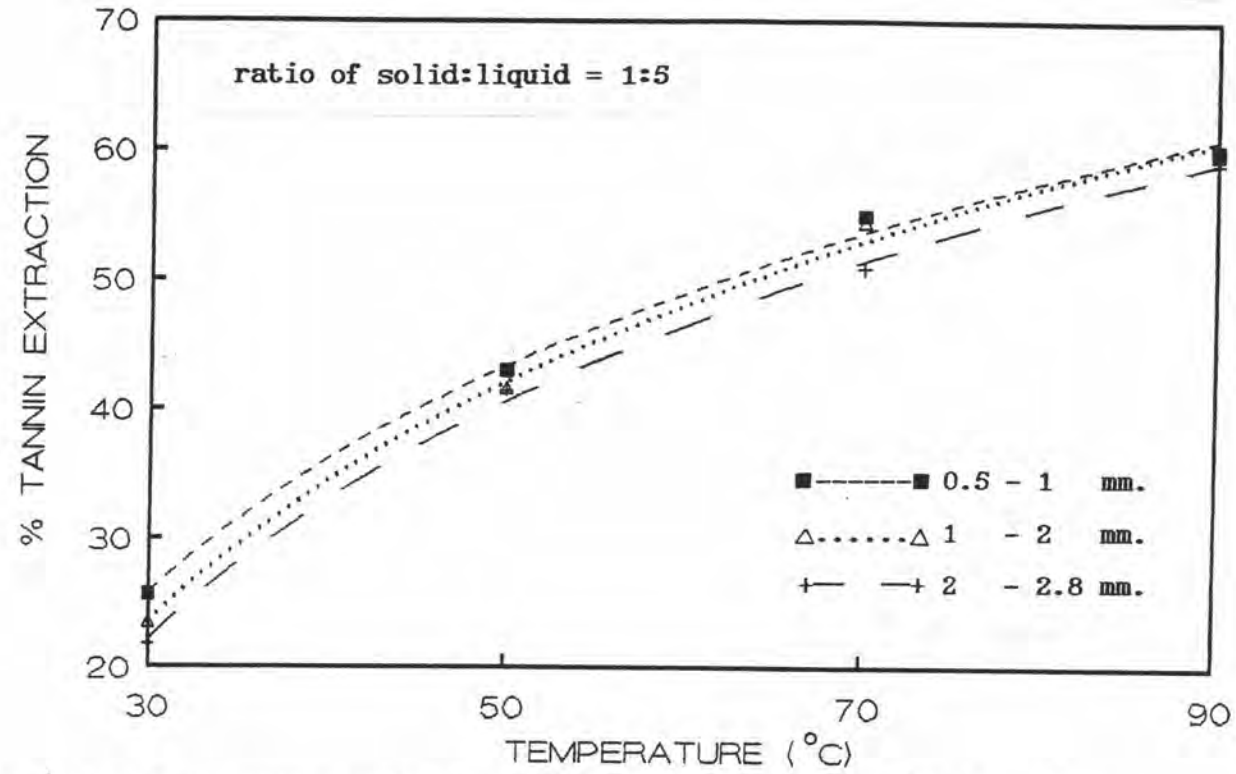
ภาพที่ 4.8 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาที่ใช้ในการสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว อุณหภูมิของน้ำ 90°เซลเซียส ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ

จากการทดลองสกัดแทนนินด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 30, 50, 70 และ90° เซลเซียส พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 30°เซลเซียส ต้องใช้เวลาแช่นานและค่าร้อยละของแทนนินมีค่าต่ำและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาสกัดยาวนานขึ้น เมื่อเพิ่มความร้อนให้สูงขึ้นเวลาที่ใช้แช่จะสั้นลง ช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษานี้ยาวนานเพียงประมาณ 24 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิการสกัด 30, 50 และ 70°เซลเซียส การสกัดยังไม่เข้าสู่สภาวะคงตัว แต่ที่อุณหภูมิการสกัด 90°เซลเซียส ที่เวลาการสกัด 24 ชั่วโมง การสกัดเข้าสู่สภาวะคงตัว ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลให้สูงขึ้นนั่นเอง การเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด จะใช้ข้อมูลเวลาสกัดชั่วโมงที่ 24 ซึ่งเป็นเวลาที่สกัดแทนนินได้ปริมาณมากกว่าเวลาสกัดอื่น ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

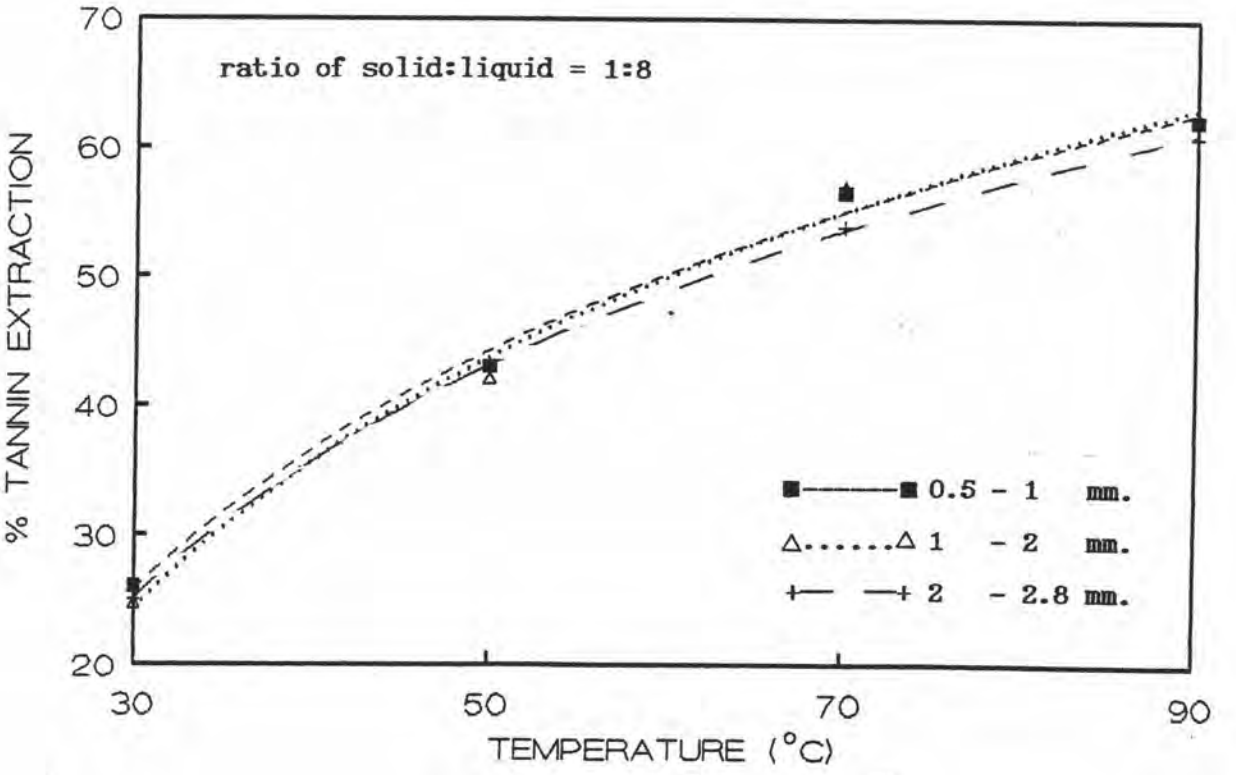
4.2.1.2 ผลของขนาดเปลือกเงาะที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัด

ภาพที่ 4.9, 4.10, 4.11 และ 4.12 แสดงประสิทธิภาพการสกัดแทนนินที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ ขนาดเปลือกเงาะมีต่อค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ที่อุณหภูมิของน้ำเป็น 30, 50, 70 และ 90°เซลเซียส เวลาสกัด 24 ชั่วโมง อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5, 1:8, 1:10 และ 1:20 โดยมีขนาดเปลือกเงาะเป็น 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:10 อุณหภูมิ 30°เซลเซียส เปลือกเงาะขนาด 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 สกัดแทนนินได้ร้อยละ 31.18, 33.14 และ 30.49 ตามลำดับหรือที่อุณหภูมิ 90°เซลเซียส สกัดแทนนินได้ร้อยละ 76.62, 76.96 และ 75.29 ตามลำดับ จากผลการทดลองเปลือกเงาะทั้งสามช่วงขนาดให้ประสิทธิภาพการสกัดได้ใกล้เคียงกัน โดยขนาด 1 - 2 มิลลิเมตร ช่วยในการสกัดได้ดีกว่าขนาดอื่นเล็กน้อย โดยขนาด 0.5 - 1 มิลลิเมตรน่าจะสกัดได้ดีกว่า แต่อาจจะเกิดความผิดพลาดระหว่างการกรองแยกสารละลายแทนนินออกจากกาก หรือข้อผิดพลาดจากการใช้ปริมาณเปลือกเงาะตัวอย่างน้อยเกินไป ซึ่งตามความเป็นจริงเปลือกเงาะที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัส ระหว่างเปลือกเงาะกับน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของผสมสูงกว่าเปลือกเงาะที่มีขนาดใหญ่ (ไพบูลย์, 2530) และเปลือกเงาะที่มีขนาดเล็กจะช่วยลดระยะทางที่ตัวถูกละลายต้องผ่าน ขณะเกิดการถ่ายเทมวลสารให้สั้นลง จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าขนาดเปลือกเงาะในช่วงทำการศึกษาทดลองคือ 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตร มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดสารแทนนินน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากมีประสิทธิภาพการสกัดแตกต่างในช่วง 6 - 8 % ที่อุณหภูมิ 30°เซลเซียส และ 1 - 2 % ที่อุณหภูมิ 90°

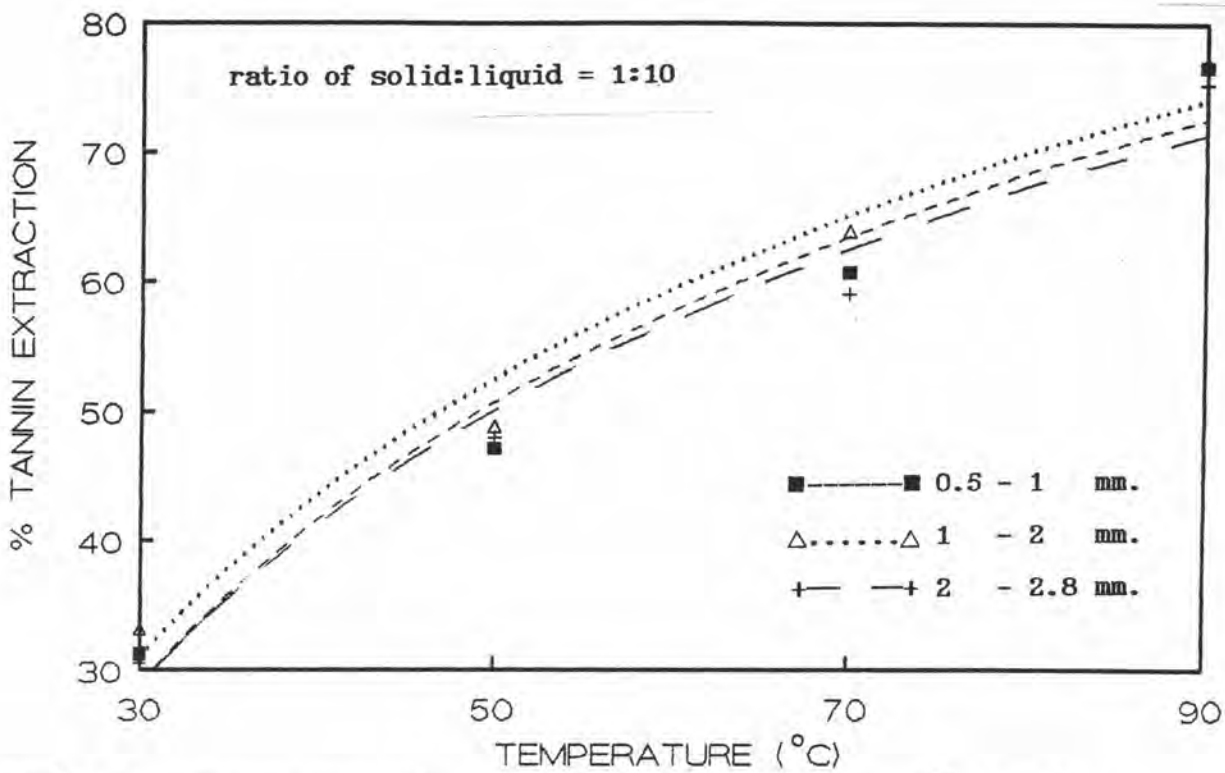
เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของสมศักดิ์ (2531) ได้ทำการสกัดแทนนินจากเปลือกไม้โกงกางโดยใช้เครื่องมือสกัดคอลัมน์แบบพัลส์ ประเภทวงแหวนกับจาน ที่อัตราการป้อนเปลือกไม้ 180 กรัมต่อชั่วโมง อัตราการไหลของน้ำ 54.9 ลิตรต่อชั่วโมง ผลคูณของความถี่และระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ (af) = 1.29 เซนติเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 30°เซลเซียส อัตราส่วนเปลือกไม้ต่อน้ำ 1:3 โดยแปรค่าขนาดเปลือกไม้ 0.25 - 0.355, 0.355 - 0.5, 0.5 - 1 และ 1 - 2 มิลลิเมตร ร้อยละของผลิตภัณฑ์แทนนินที่สกัดได้ต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แทนนินทั้งหมดที่มีอยู่ในเปลือกไม้เท่ากับ 46.3, 44.1, 33.5 และ 17.6 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อขนาดเปลือกไม้โกงกางเล็กลงจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการสกัดแทนนินสูงขึ้น



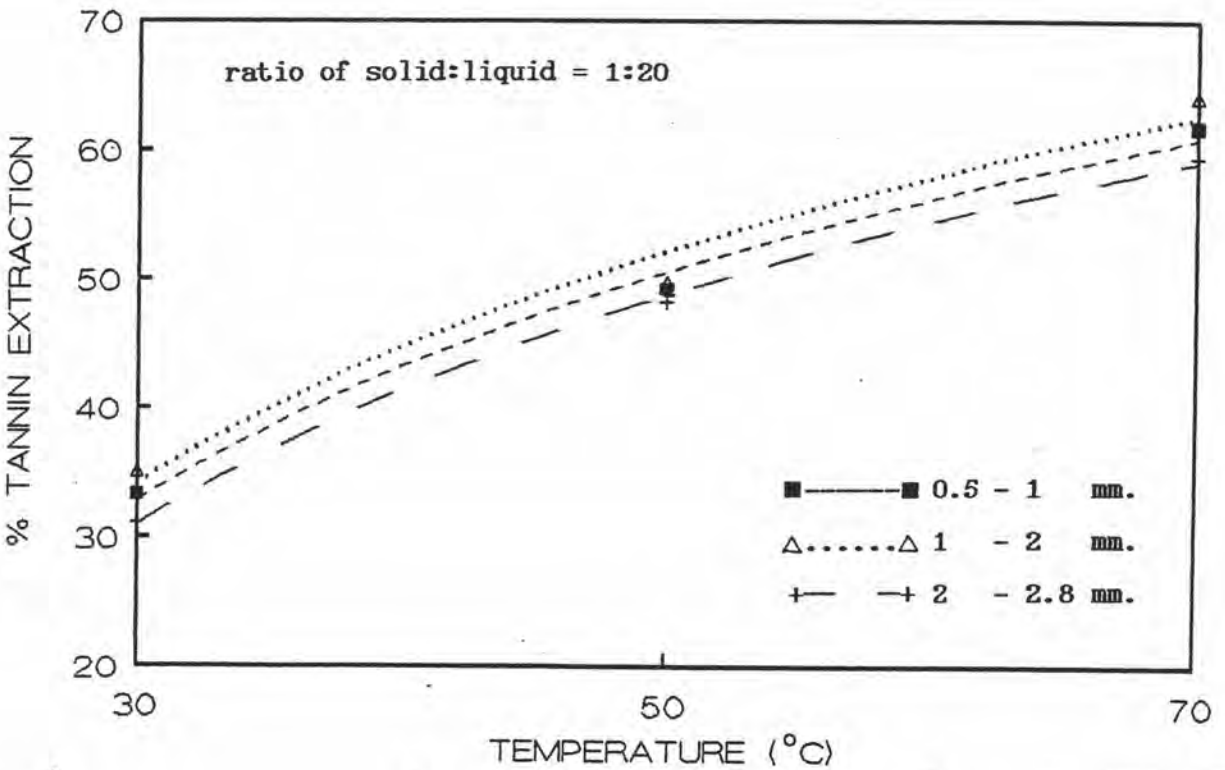
ภาพที่ 4.9 แสดงผลของขนาดเปลือกเงาะ ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว ที่สภาวะอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:5 เวลาที่ใช้แช่ 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.10 แสดงผลของขนาดเปลือกเงาะ ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว ที่สภาวะอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:8 เวลาที่ใช้แช่ 24 ชั่วโมง



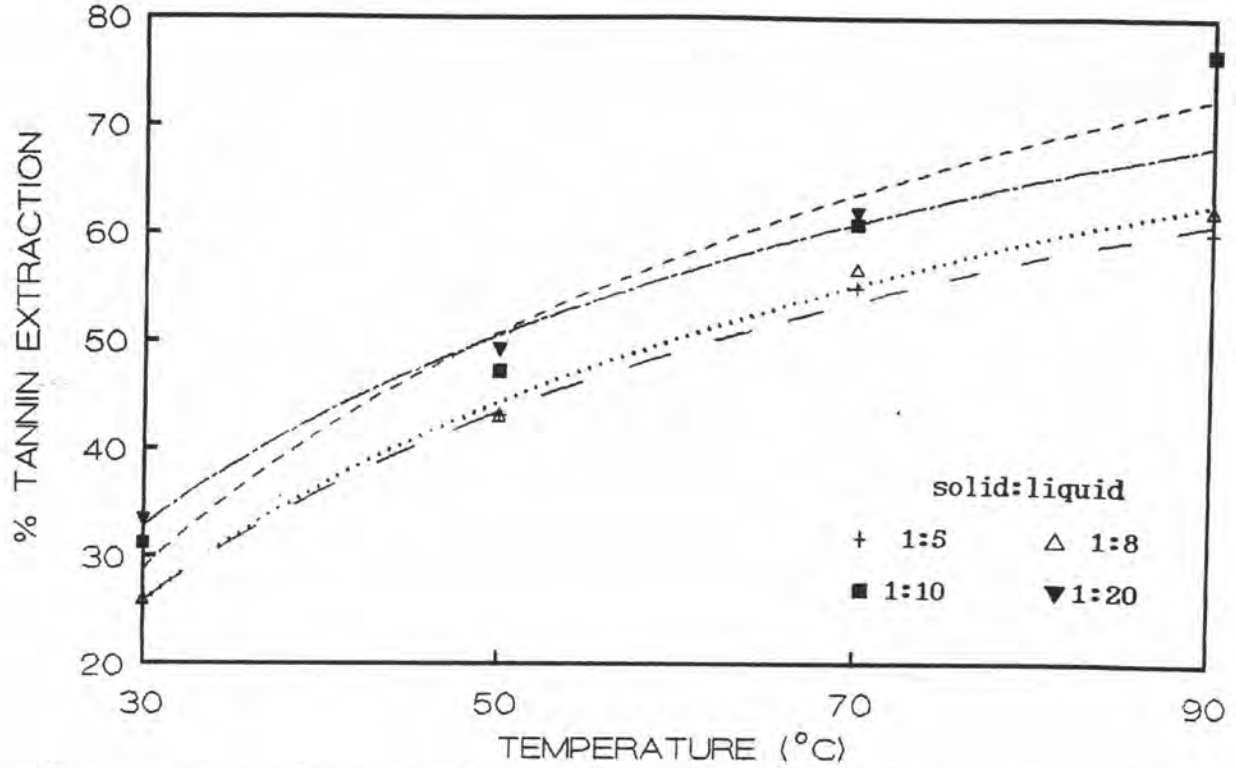
ภาพที่ 4.11 แสดงผลของขนาดเปลือกเงาะ ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว ที่สภาวะอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:10 เวลาที่ใช้แช่ 24 ชั่วโมง



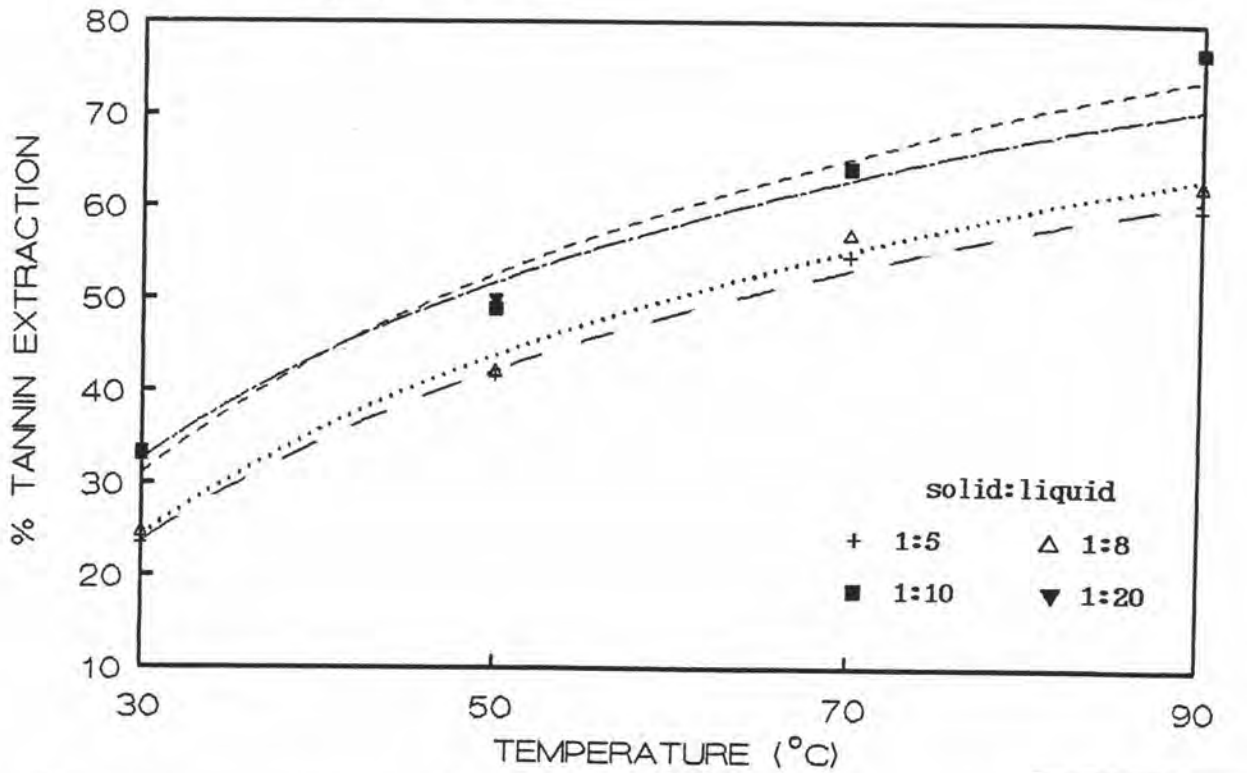
ภาพที่ 4.12 แสดงผลของขนาดเปลือกเงาะ ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว ที่สภาวะอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:20 เวลาที่ใช้แช่ 24 ชั่วโมง

4.2.1.3 ผลของอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัด

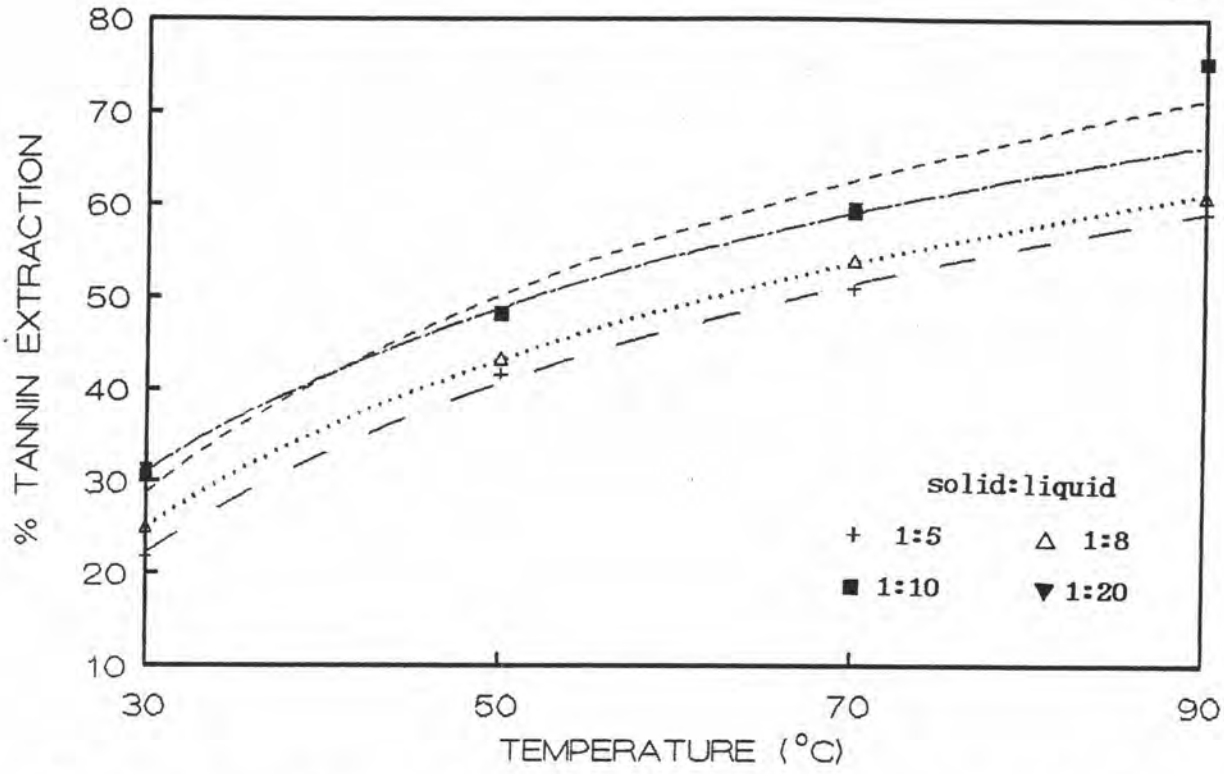
จากผลการทดลองนี้พบว่าอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด ตลอดช่วงอุณหภูมิของน้ำเป็น 30, 50, 70 และ 90°เซลเซียส ที่ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 สำหรับขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตรตามลำดับ ตัวอย่างเช่นที่สภาวะขนาดเปลือกเงาะ 1 - 2 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 30°เซลเซียส อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:5, 1:8, 1:10 และ 1:20 ค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 23.49, 24.76, 33.14 และ 33.30 และที่อุณหภูมิ 70°เซลเซียส ค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 54.41, 56.96, 63.99 และ 64.12 (ดูภาพที่ 4.14) ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาตรน้ำช่วยให้แทนนินแพร่กระจายได้ดีขึ้น การใช้ปริมาณน้ำที่ต่ำทำให้การถ่ายเทมวลสารลดลง เนื่องจากเปลือกเงาะรวมกันอยู่อย่างหนาแน่น ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างของเปลือกไม้ได้ยากขึ้น นอกจากนี้ผลต่างของความเข้มข้นแทนนินในสารละลายที่ผิวสัมผัสระหว่าง เปลือกเงาะกับสารละลายและความเข้มข้นของแทนนินในสารละลายเมื่อเวลาใด ๆ มีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำต่ำลง ซึ่งทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของไพบูลย์ (2530) ซึ่งทำการสกัดแทนนินจากเปลือกไม้โกงกางแบบแช่หลายครั้งโดยใช้น้ำประปาสกัด แปรค่าอัตราส่วนเปลือกไม้ต่อน้ำเป็น 1:3, 1:4, 1:5 และ 1:7 คำนวณร้อยละของน้ำหนักผลิตภัณฑ์แทนนินที่สกัดได้ต่อน้ำหนักเปลือกไม้เท่ากับ 23.9, 28.2, 29.2 และ 31.8 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองของไพบูลย์สรุปได้เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ คือ เมื่ออัตราส่วนเปลือกไม้ต่อน้ำต่ำลง ทำให้ประสิทธิภาพการสกัดแทนนินสูงขึ้น



ภาพที่ 4.13 แสดงผลของอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ ที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว สำหรับขนาดของเปลือกเงาะ = 0.5 - 1 มิลลิเมตร เวลาแช่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิสกัดต่าง ๆ



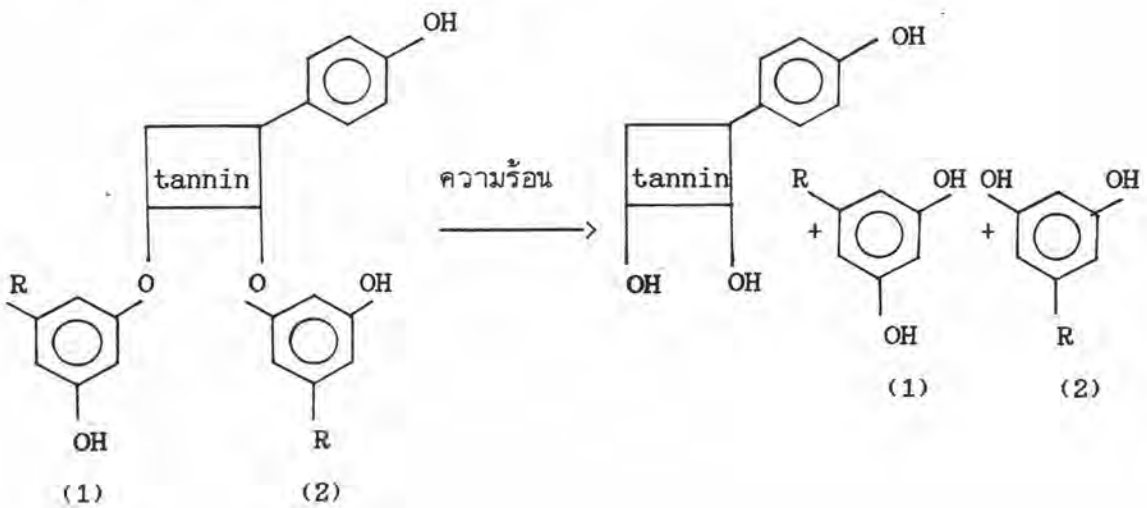
ภาพที่ 4.14 แสดงผลของอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ ที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว สำหรับขนาดของเปลือกเงาะ = 1 - 2 มิลลิเมตร เวลาแช่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิสกัดต่าง ๆ

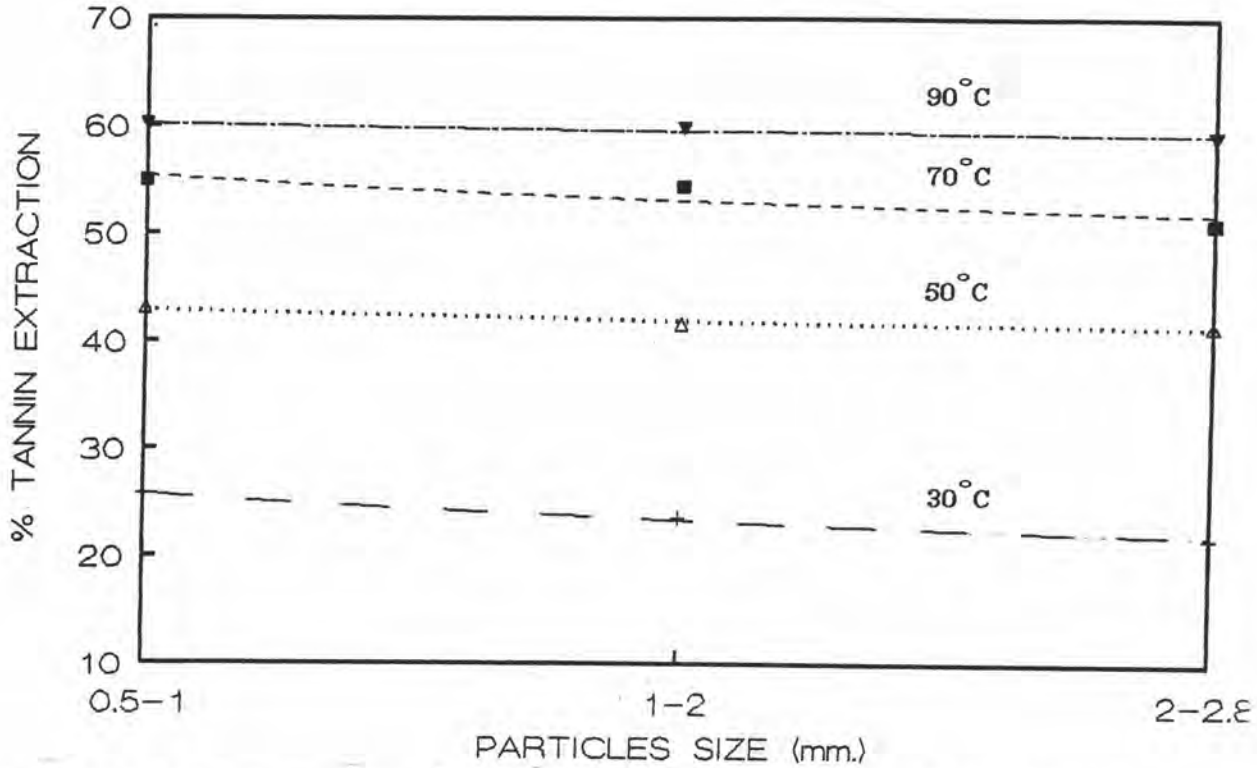


ภาพที่ 4.15 แสดงผลของอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ ที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว สำหรับขนาดของเปลือกเงาะ = 2 - 2.8 มิลลิเมตร เวลาแช่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิสกัดต่าง ๆ

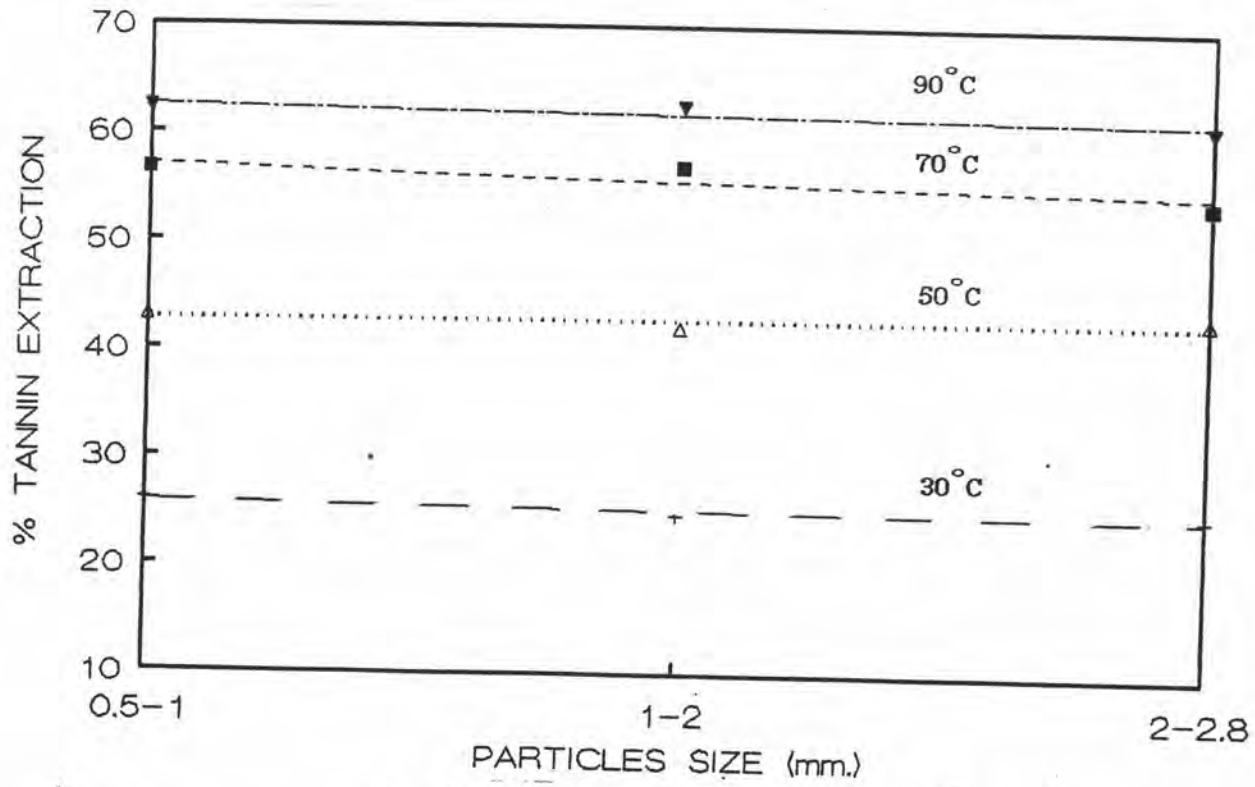
4.2.1.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัด

ภาพที่ 4.16, 4.17, 4.18 และ 4.19 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดแทนนินที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ สำหรับการทดลองที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:5, 1:8, 1:10 และ 1:20 ตามลำดับ เช่นที่ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1 มิลลิเมตร และที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:10 ใช้อุณหภูมิในการสกัด 30, 50, 70 และ 90°เซลเซียส ให้ค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ 31.18, 47.11, 60.71 และ 76.62 ตามลำดับ สำหรับที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ 1:20 ใช้อุณหภูมิในการสกัด 30, 50 และ 70 °เซลเซียส ได้ค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ 33.30, 49.10 และ 61.71 ตามลำดับดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิการสกัดทำให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเพิ่มขึ้น ทำให้การละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายสูงขึ้น ความหนืดของน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งช่วยให้ความสามารถในการแพร่มากขึ้น อนึ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัดสูงขึ้นทำให้เวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่สั้นลง ซึ่งแสดงเปรียบเทียบในภาพที่ 4.1 ถึง 4.6 เมื่อผลิตภัณฑ์แทนนินถูกความร้อนแล้ว phenol substance ที่อยู่รอบ ๆ จะแยกตัวออกมาทำให้ปริมาณแทนนินในผลิตภัณฑ์แทนนินมีมากขึ้นดังสมการเคมีด้านล่าง (ไพบูลย์, 2530)

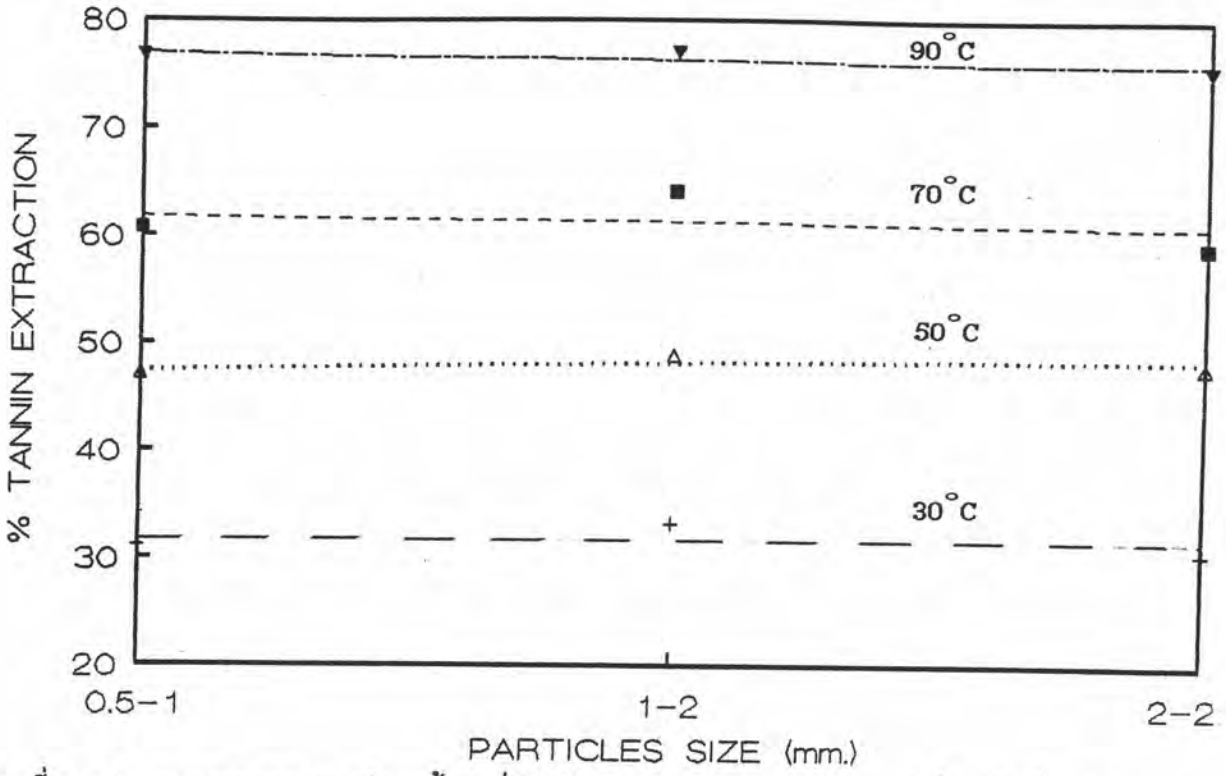




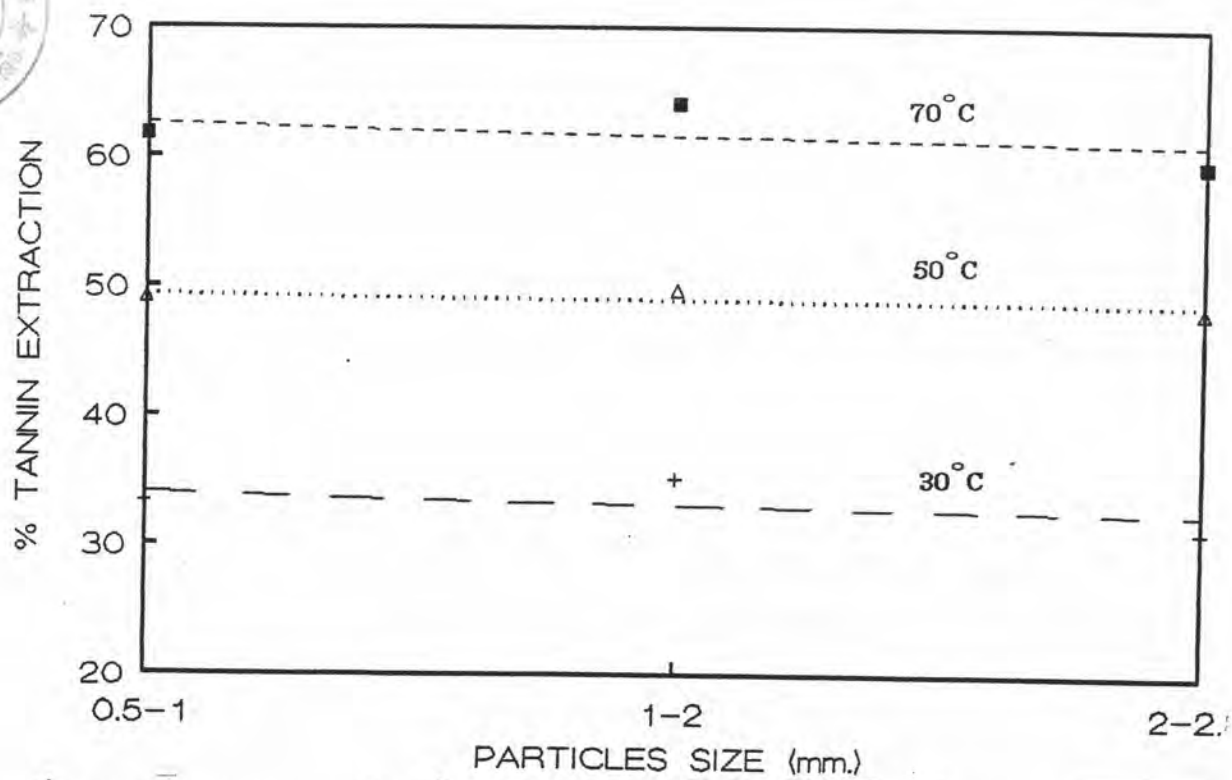
ภาพที่ 4.16 แสดงผลของอุณหภูมิของน้ำ ที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวที่สภาวะ อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:5 เวลาแช่ 24 ชั่วโมง ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



ภาพที่ 4.17 แสดงผลของอุณหภูมิของน้ำ ที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวที่สภาวะ อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:8 เวลาแช่ 24 ชั่วโมง ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



ภาพที่ 4.18 แสดงผลของอุณหภูมิของน้ำ ที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวที่สภาวะ อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:10 เวลาแช่ 24 ชั่วโมง ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ

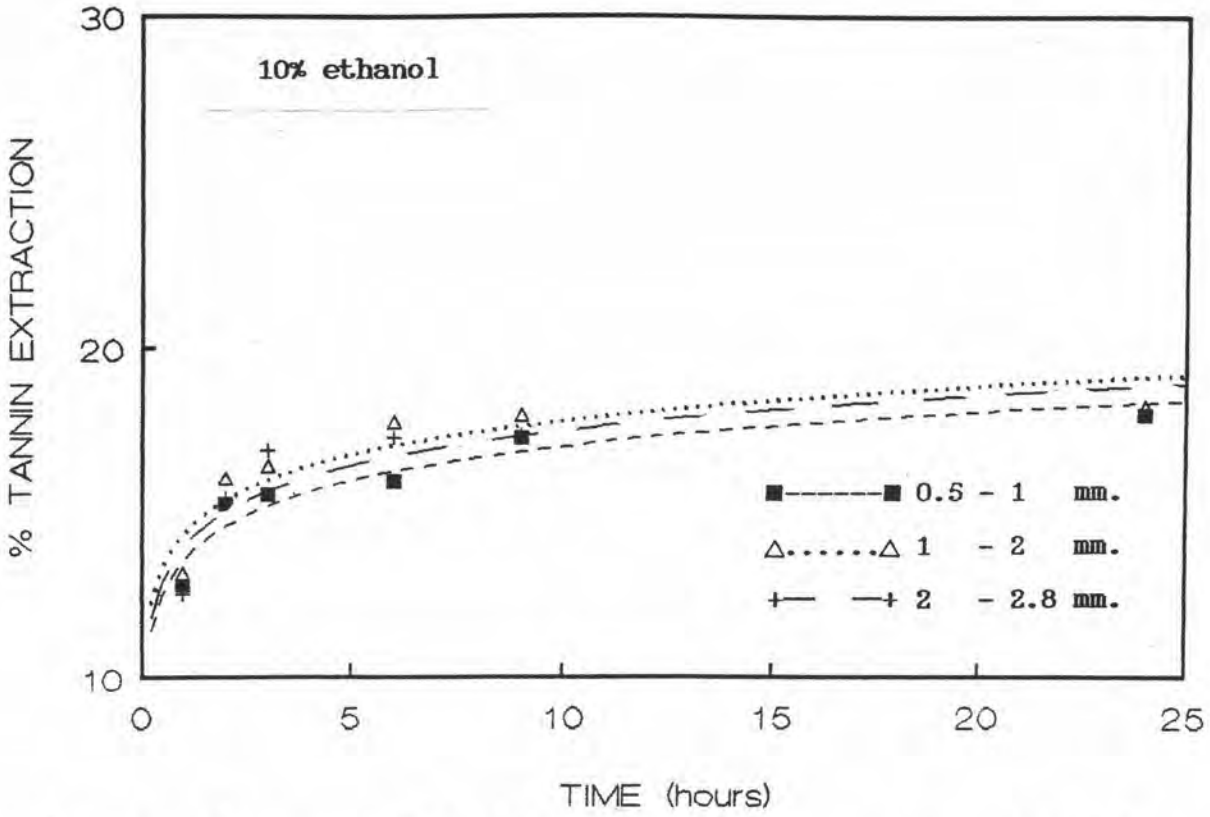


ภาพที่ 4.19 แสดงผลของอุณหภูมิของน้ำ ที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวที่สภาวะ อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:20 เวลาแช่ 24 ชั่วโมง ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ

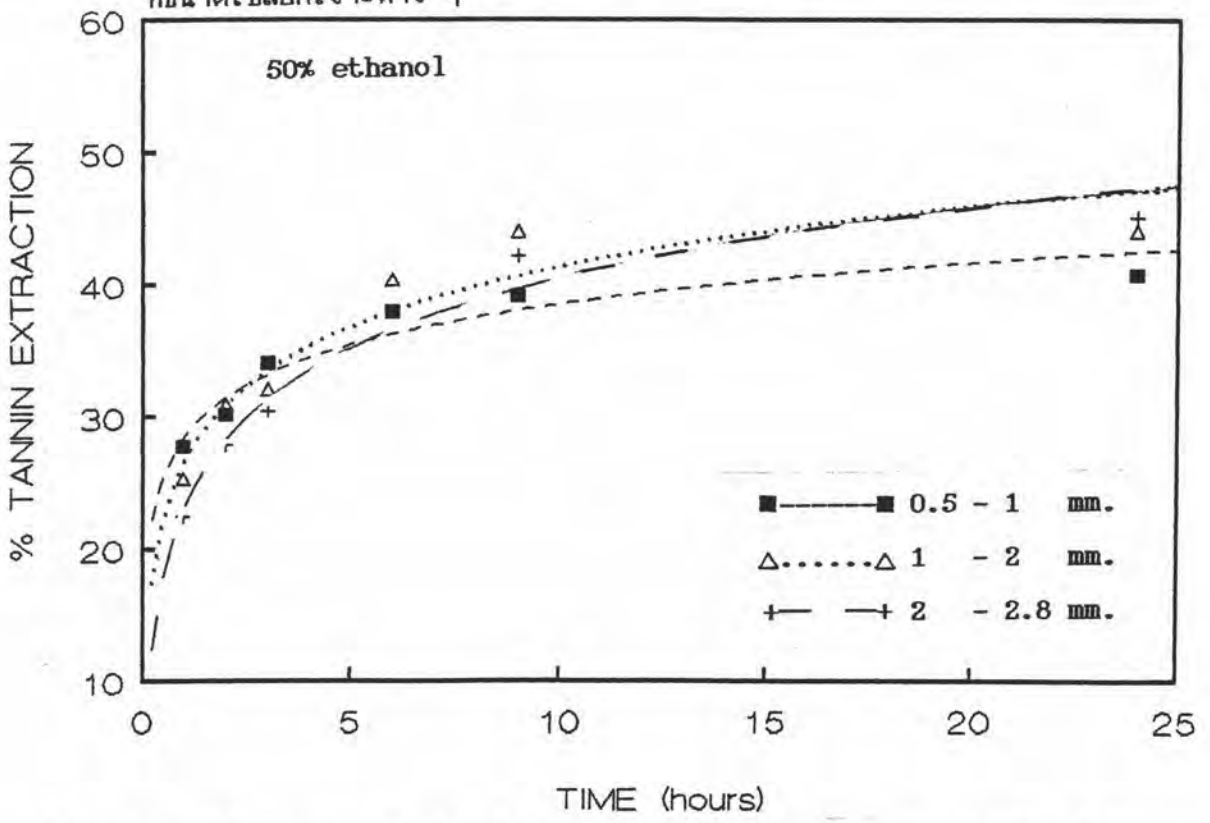
4.2.2 การใช้สารละลายเอธานอลเป็นสารสกัด

4.2.2.1 ผลของเวลาสกัดที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัด

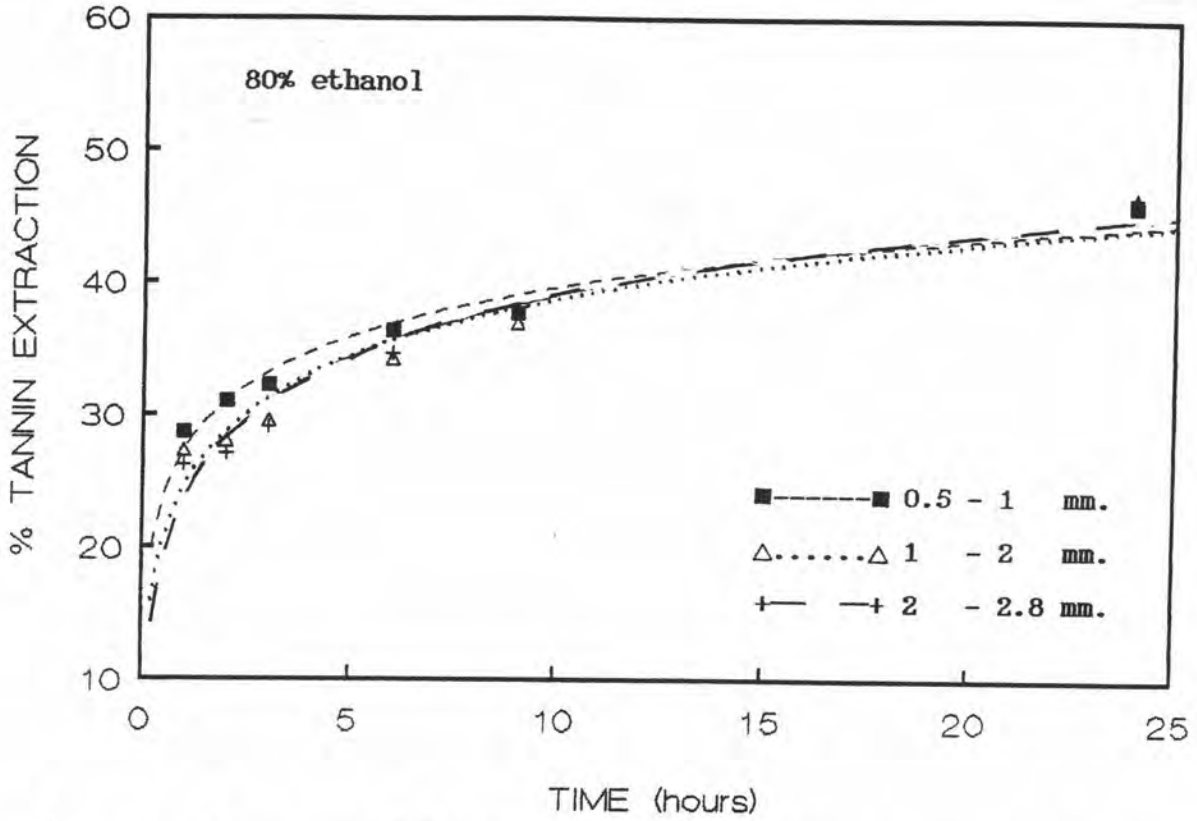
ในการทดลองนี้ได้ทำการสกัดแทนนิน ด้วยสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 10, 50 และ 80 ปริมาตรต่อปริมาตร ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อตัวทำละลาย 1:10 และ 1:20 และอุณหภูมิของสารละลายเอธานอล 30, 50 และ 70°เซลเซียส ผลการทดลองสกัดที่อุณหภูมิ 30°เซลเซียสของสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 10, 50 และ 80 ได้แสดงในภาพที่ 4.20, 4.21 และ4.22 ตามลำดับ สารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 50 ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1 มิลลิเมตร ผลการสกัดที่เวลาสกัด 1, 2, 3, 6, 9 และ 24 ชั่วโมง ค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้เท่ากับ 22.43, 27.84, 30.43, 37.96, 42.15 และ 45.01 ตามลำดับพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพการสกัดจะสูงขึ้นตลอดเวลา และสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 50 และ 80 ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน ส่วนผลการทดลองการสกัดโดยสารละลายเอธานอลอุณหภูมิ 50°เซลเซียส ที่สารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 10, 50 และ 80 ได้แสดงในภาพที่ 4.23, 4.24 และ 4.25 ตามลำดับค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นตลอดเวลาสกัด เช่นเดียวกับการสกัดที่อุณหภูมิ 30°เซลเซียส ตัวอย่างที่สภาวะขนาดเปลือกเงาะ 1 - 2 มิลลิเมตร สารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นตัวสกัด เวลาสกัดชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 6, 9 และ 24 สกัดแทนนินได้ร้อยละ 60.97, 65.57, 66.28, 71.85, 77.99 และ 79.21 ของแทนนินทั้งหมดในเปลือกเงาะตามลำดับ และอุณหภูมิสุดท้ายที่ทำการศึกษาคือ 70°เซลเซียส ลักษณะแนวโน้มประสิทธิภาพของการสกัดจะเป็นเช่นเดิม ดังแสดงในภาพที่ 4.26, 4.27 และ 4.28 ยกตัวอย่างสารละลายเอธานอล 50 % สกัดแทนนินจากเปลือกเงาะขนาด 1 - 2 มิลลิเมตร เวลาสกัด 1, 2, 3, 6, 9 และ 24 ชั่วโมง สกัดแทนนินได้ร้อยละ 69.72, 69.88, 72.75, 81.02 , 82.98 และ 85.26 ตามลำดับ ค่าร้อยละของการสกัดจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้แช่ และเพิ่มขึ้นตามความร้อนที่ให้กับตัวทำละลาย ดังนั้นการใช้สารละลายเอธานอลที่ร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด ดังจะเห็นจากค่าร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ สำหรับเวลาที่ใช้แช่นั้น การใช้เวลานานแทนนินจะแพร่ออกมาได้มากแต่ก็เสียเวลามากเช่นกัน อาจจะใช้สารละลายเอธานอลที่ร้อนมาสกัดเพื่อลดเวลาที่ใช้แช่ให้สั้นลง อนึ่งผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.21 ถึง 4.28 บ่งชี้ให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการแช่สกัดยาวนานไม่เพียงพอให้ได้สภาวะคงที่ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการสกัด จึงได้นำข้อมูลการทดลองนี้ที่ช่วงเวลาสกัด = 24 ชั่วโมงมาเปรียบเทียบดังจะกล่าวต่อไป



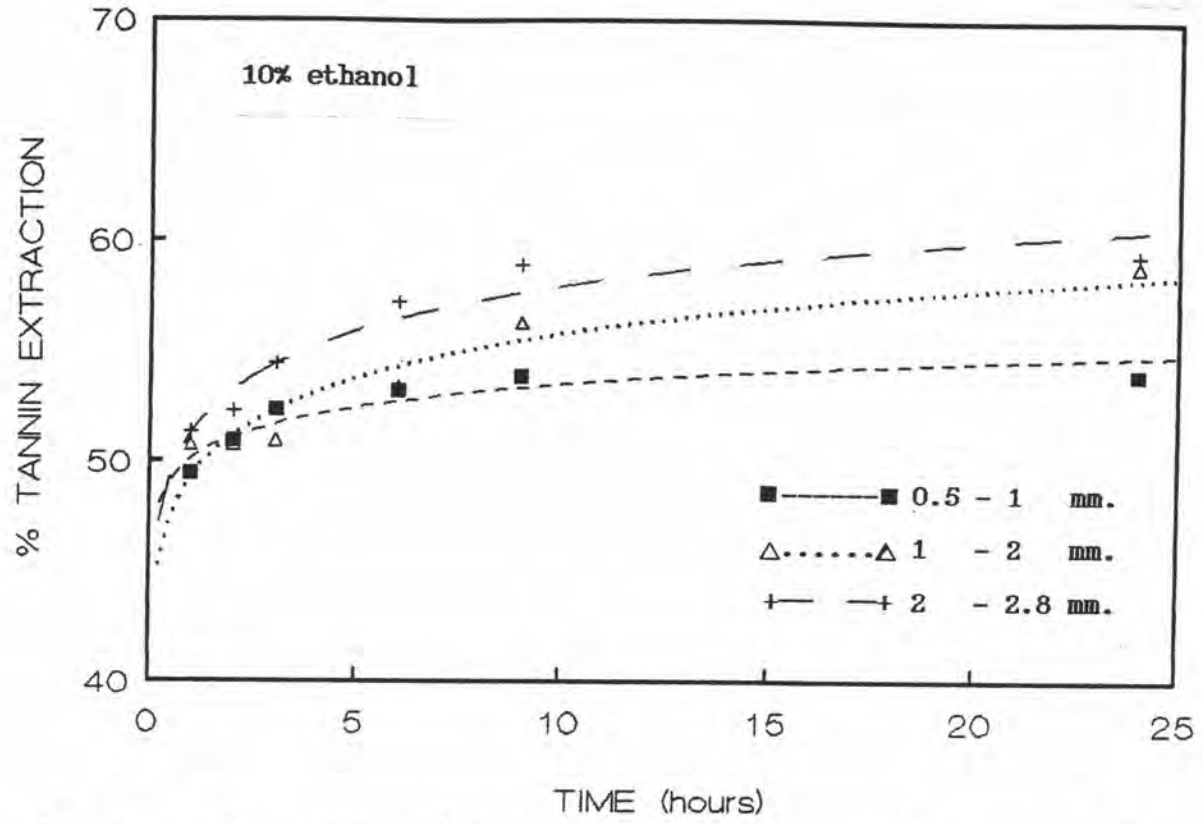
ภาพที่ 4.20 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว โดยสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 10 ที่ 30°ซ. ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



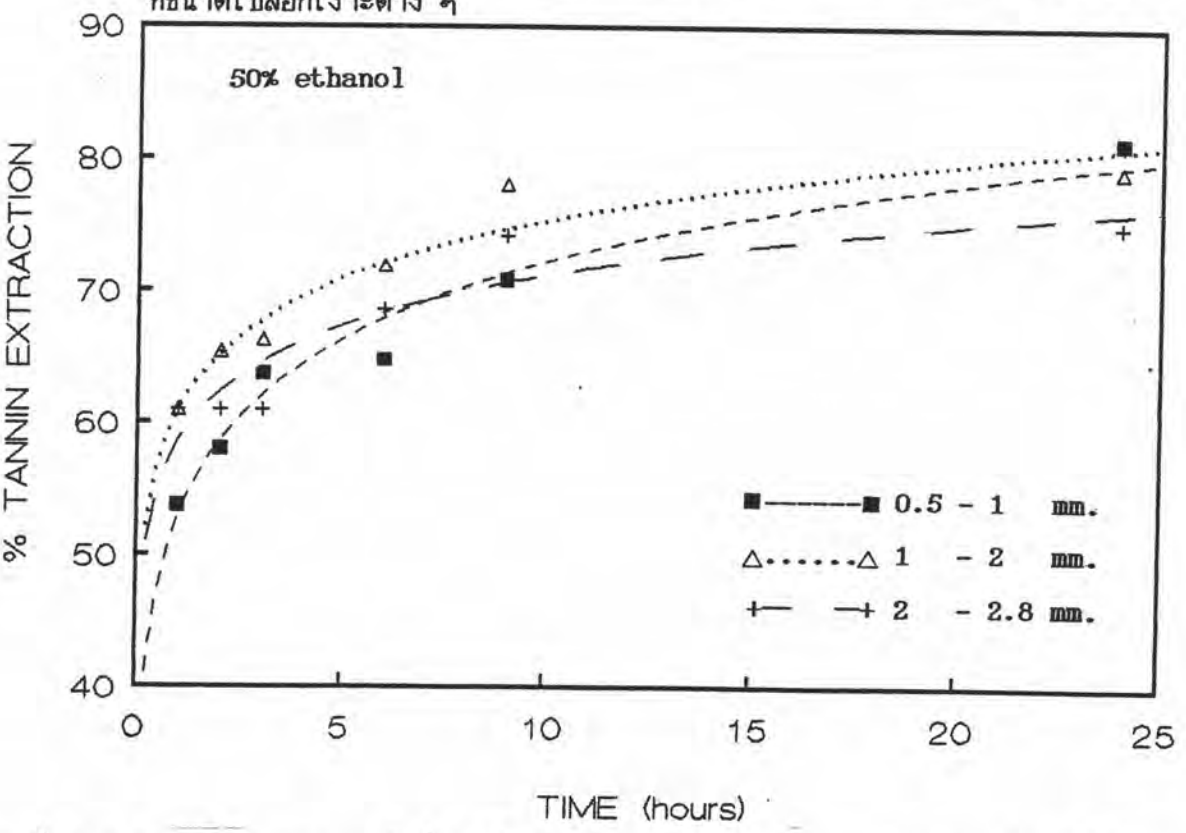
ภาพที่ 4.21 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว โดยสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 50 ที่ 30°ซ. ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



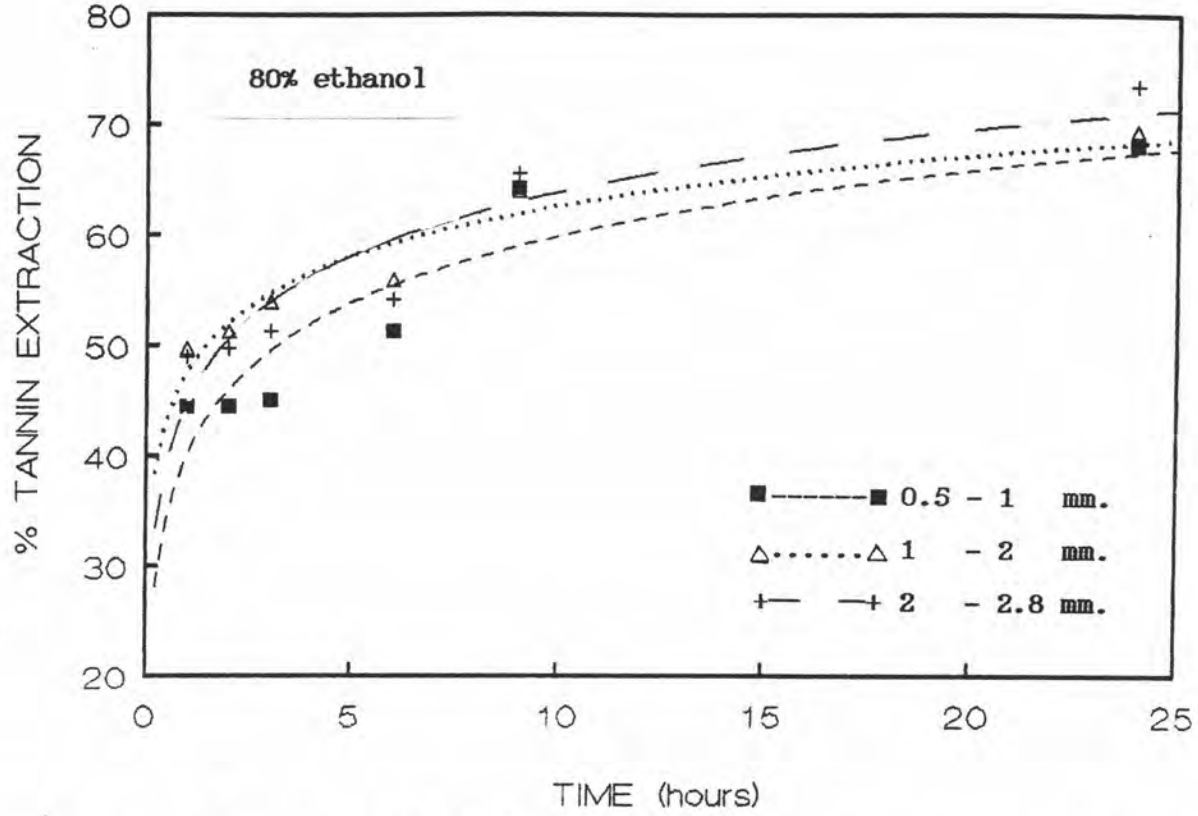
ภาพที่ 4.22 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว โดยสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ที่ 30°ซ. ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



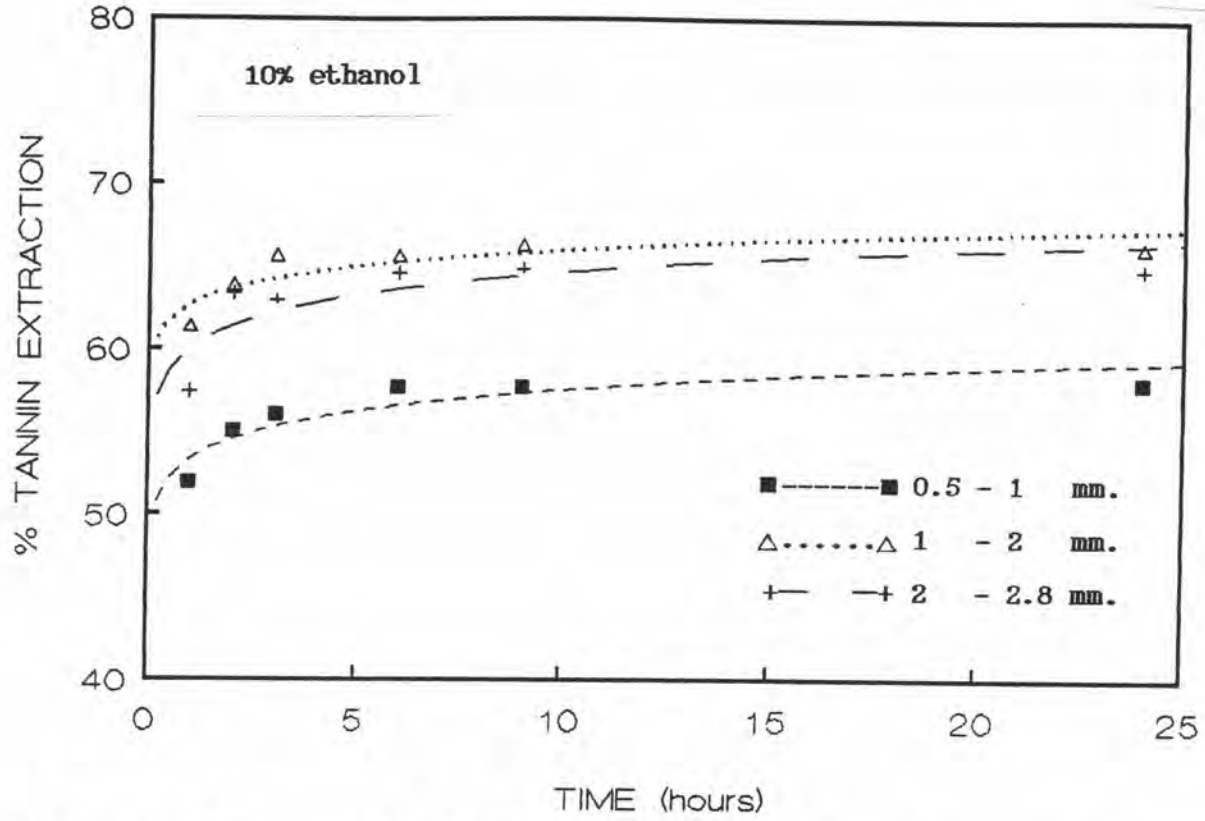
ภาพที่ 4.23 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว โดยสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 10 ที่ 50°ซ. ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



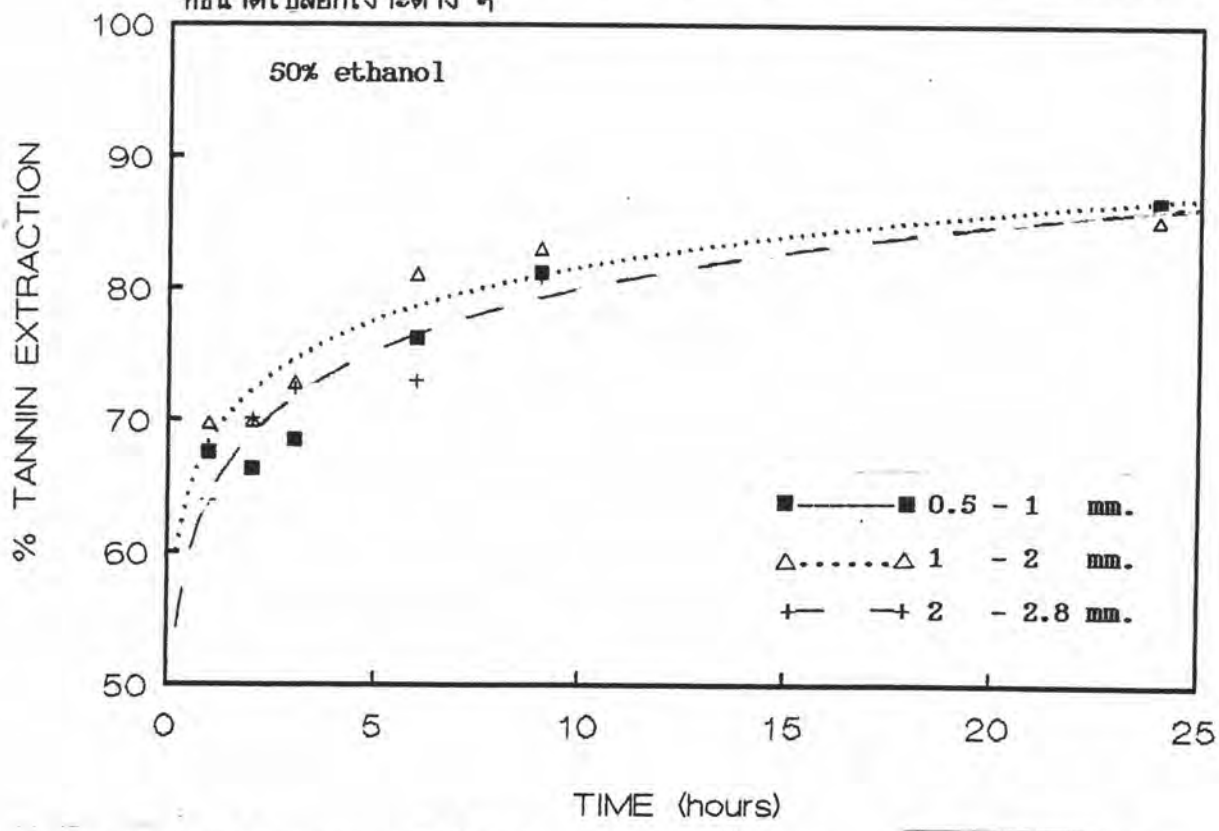
ภาพที่ 4.24 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว โดยสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 50 ที่ 50°ซ. ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



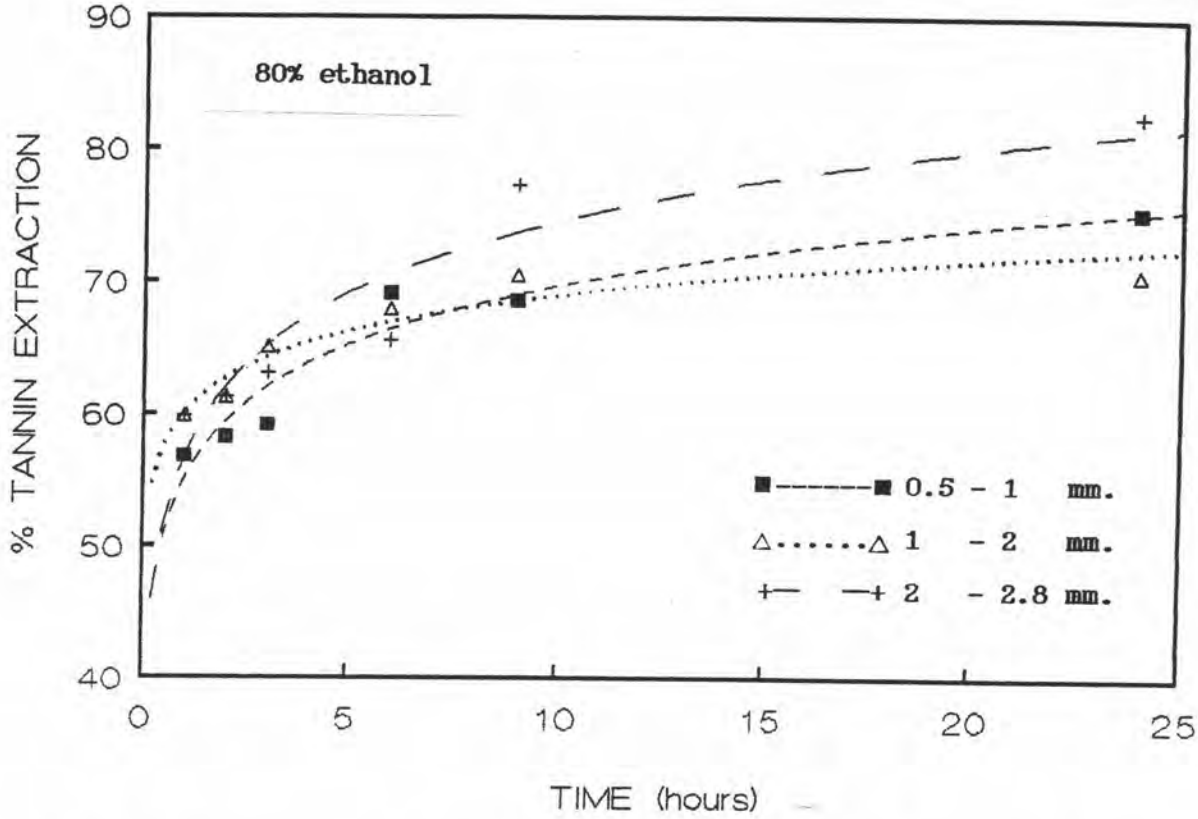
ภาพที่ 4.25 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว โดยสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ที่ 50°ซ. ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



ภาพที่ 4.26 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว โดยสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 10 ที่ 70°ซ. ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ



ภาพที่ 4.27 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว โดยสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 50 ที่ 70°ซ.



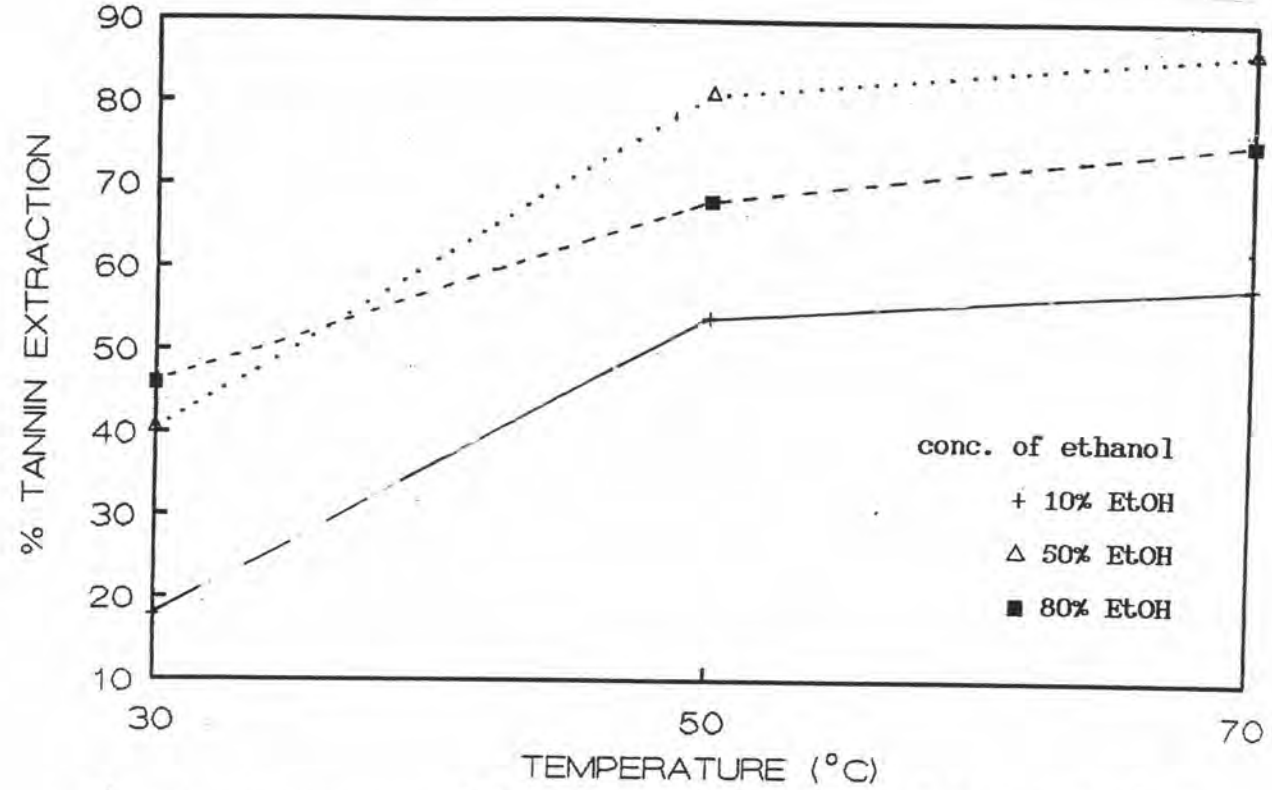
ภาพที่ 4.28 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) กับเวลาสกัด (ชั่วโมง) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว โดยสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ที่ 70°ซ. ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ

4.2.2.2 ความเข้มข้นของสารละลายเอธานอลที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัด

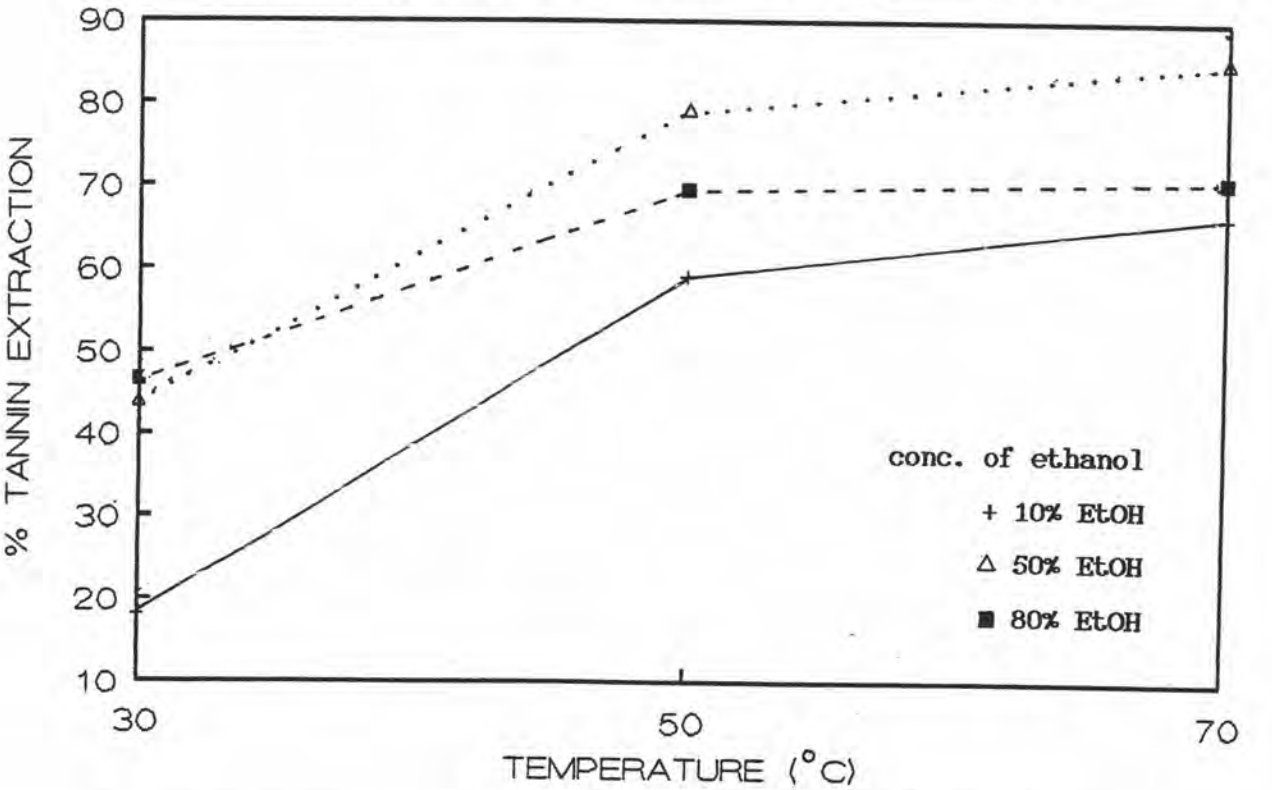
ภาพที่ 4.29, 4.30 และ 4.31 แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายเอธานอลที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดที่อุณหภูมิสกัดต่าง ๆ สำหรับการทดลองที่ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:10 ดังแสดงในภาพที่ 4.29 โดยพบว่าสำหรับสารสกัด 10% เอธานอลประสิทธิภาพการสกัดเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสกัดสูงขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอธานอลเป็น 50% ประสิทธิภาพการสกัดสูงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอธานอลเป็น 80% กลับมีประสิทธิภาพการสกัดลดต่ำกว่าที่ 50% เอธานอล ที่อุณหภูมิการสกัด 50° และ 70° เซลเซียส เช่นเดียวกับการทดลองที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อสารละลายเอธานอล = 1:20 ดังแสดงในภาพที่ 4.32 - 4.34 สารละลายเอธานอล 50% ให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดโดยใช้น้ำบริสุทธิ์ดังแสดงในภาพที่ 4.9 - 4.12 กับผลการทดลองการสกัดด้วยสารละลายเอธานอล สรุปได้ว่าสารละลายเอธานอลที่ความเข้มข้น 10% ไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของเอธานอลเป็น 50% สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดให้สูงขึ้น เอธานอลสามารถละลายแทนนินบางประเภทที่ไม่สามารถถูกละลายโดยน้ำ ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอธานอลจึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารแทนนินได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอธานอลสูงขึ้นเป็น 80% พบว่าประสิทธิภาพการสกัดสารแทนนินลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากที่สารละลายเอธานอล 80% นี้มีปริมาณน้ำลดน้อยลง ดังนั้นสารแทนนินที่ละลายน้ำได้ดีจึงถูกสกัดลดต่ำลง

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.29 - 4.34 อาจสรุปได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด กล่าวคือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นประสิทธิภาพการสกัดจะเพิ่มสูงขึ้น โดยการเพิ่มสูงขึ้นของประสิทธิภาพการสกัดแทนนินจะสูงมากในช่วงการเพิ่มอุณหภูมิจาก 30° เป็น 50° เซลเซียส และการเพิ่มสูงขึ้นของประสิทธิภาพการสกัดแทนนินจะลดต่ำลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 50° เป็น 70° เซลเซียส

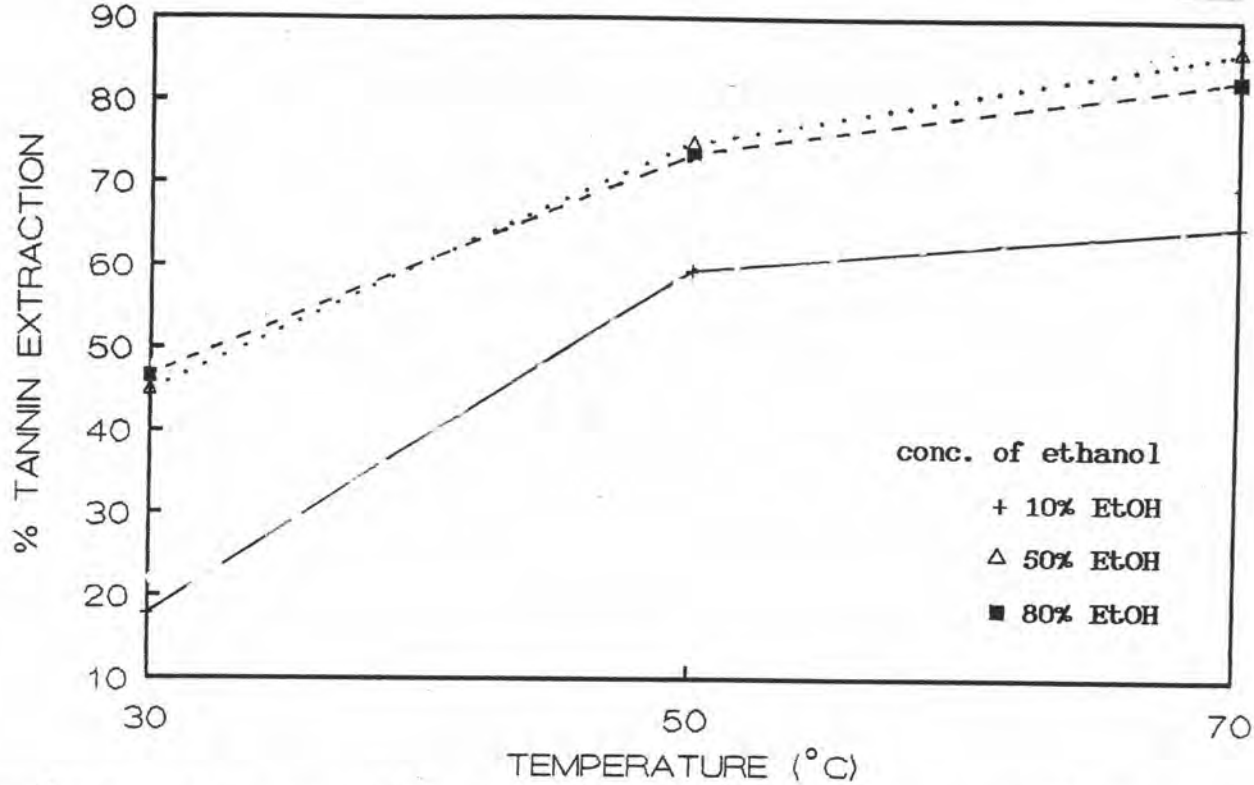
จากผลการทดลองเปรียบเทียบดังแสดงในภาพที่ 4.29 - 4.31 สำหรับการทดลองสกัดด้วยสารละลายเอธานอล ที่ขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ คือ 0.5 -1, 1 - 2 และ 2 - 2.8 มิลลิเมตร พบว่าขนาดเปลือกเงาะต่าง ๆ ให้ประสิทธิภาพการสกัดแทนนินไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในสภาพการทดลองนี้ ขนาดเปลือกเงาะในช่วงที่ทำการศึกษาไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดสารแทนนิน



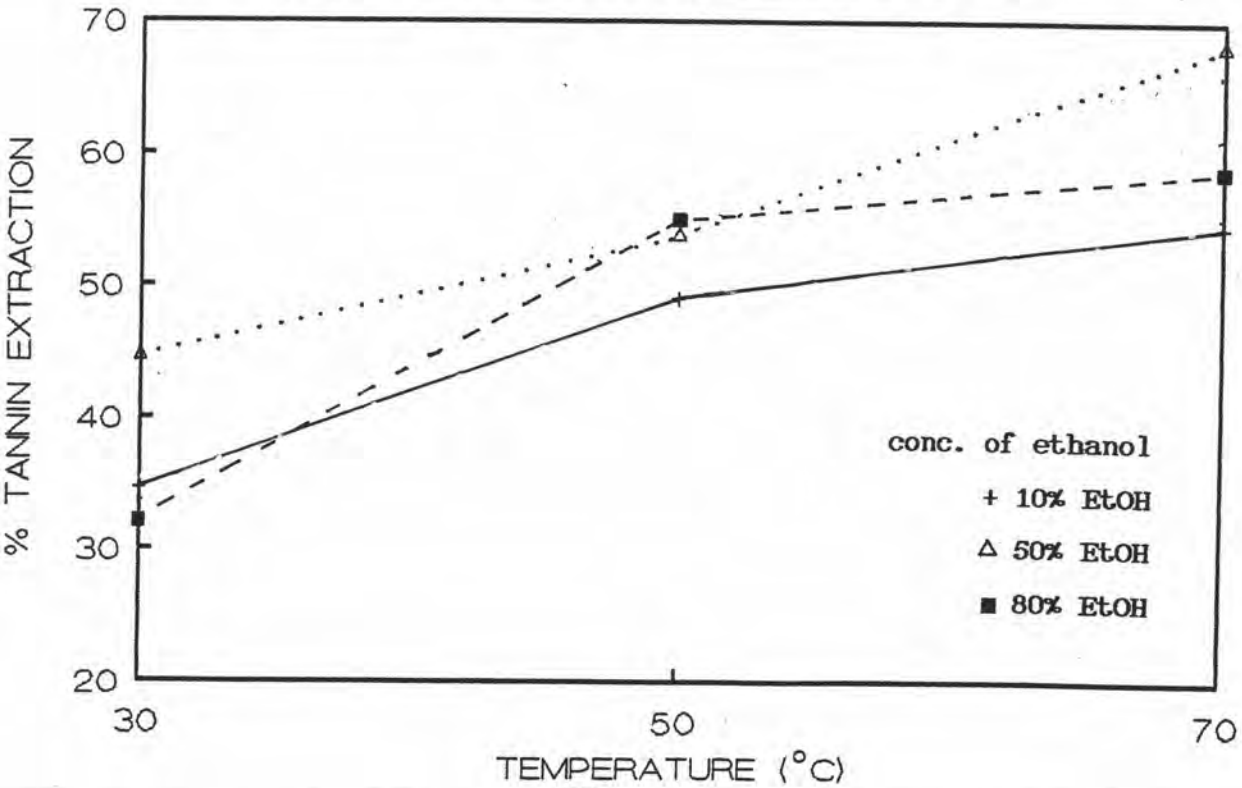
ภาพที่ 4.29 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายเอธานอล ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัด ที่สภาวะขนาดเปลือกเงาะ = 0.5 – 1 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อเอธานอล = 1:10 อุณหภูมิ 30, 50 และ 70°เซลเซียส และเวลาสกัด 24 ชม.



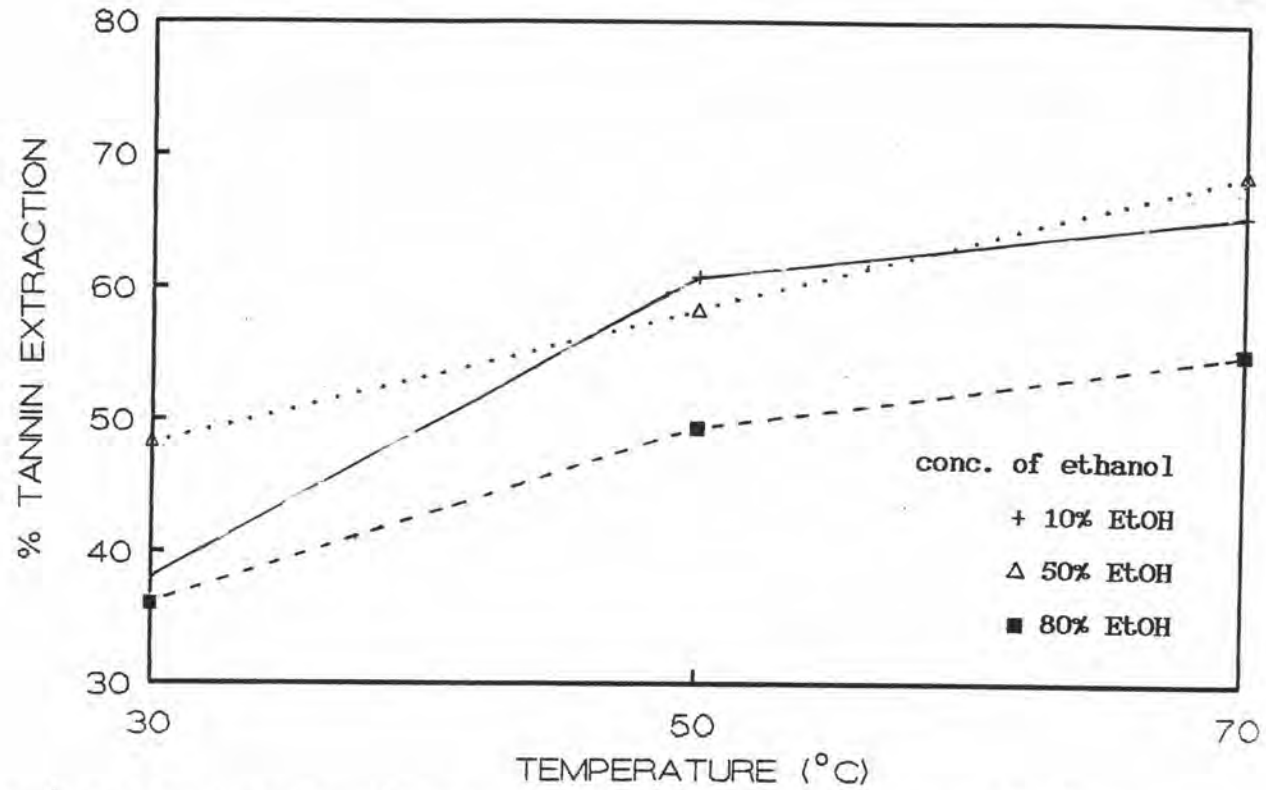
ภาพที่ 4.30 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายเอธานอล ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัด ที่สภาวะขนาดเปลือกเงาะ = 1 – 2 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อเอธานอล = 1:10 อุณหภูมิ 30, 50 และ 70°เซลเซียส และเวลาสกัด 24 ชม.



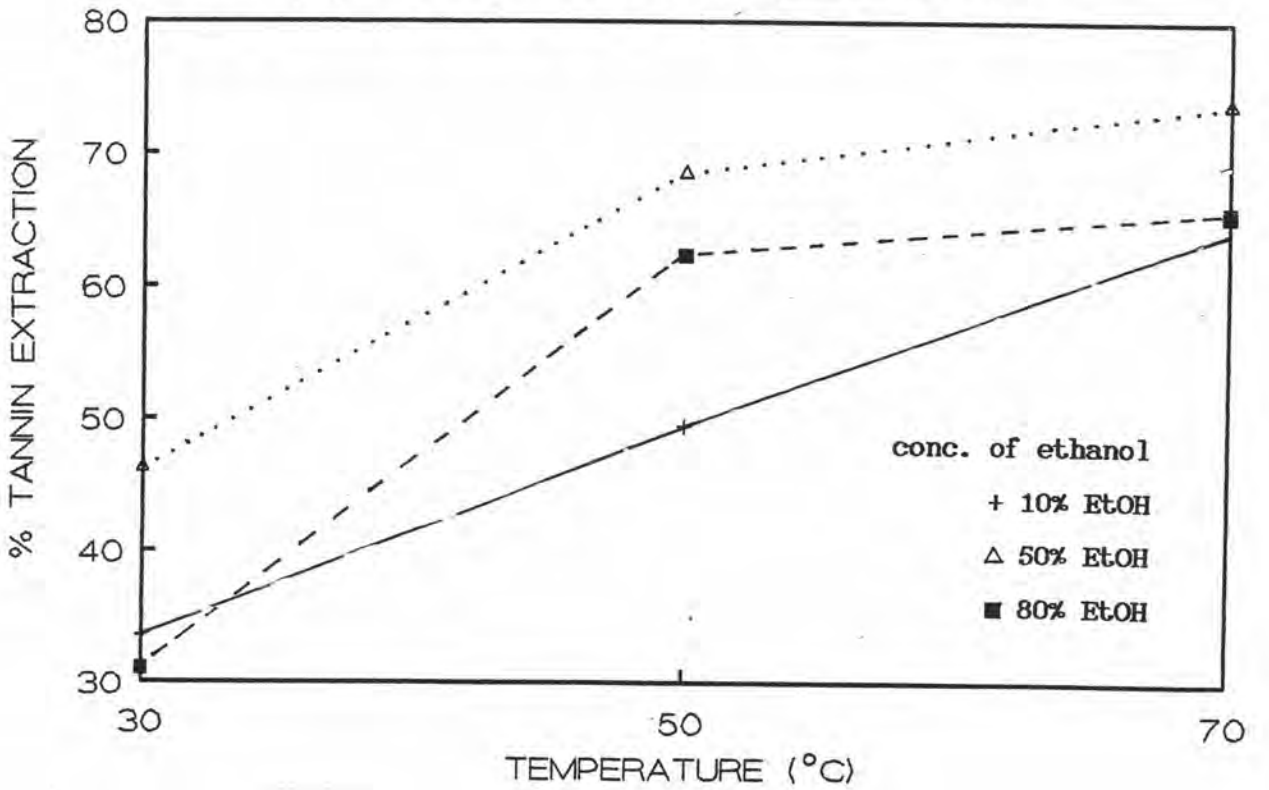
ภาพที่ 4.31 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายเอธานอล ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัด ที่สภาวะขนาดเปลือกเงาะ = 2 – 2.8 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อเอธานอล = 1:10 อุณหภูมิ 30, 50 และ 70°เซลเซียส และเวลาสกัด 24 ชม.



ภาพที่ 4.32 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายเอธานอล ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัด ที่สภาวะขนาดเปลือกเงาะ = 0.5 – 1 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อเอธานอล = 1:20 อุณหภูมิ 30, 50 และ 70°เซลเซียส และเวลาสกัด 24 ชม.



ภาพที่ 4.33 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายเอธานอล ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัด ที่สภาวะ ขนาดเปลือกเงาะ = 1 – 2 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อเอธานอล = 1:20 อุณหภูมิ 30, 50 และ 70°เซลเซียส และเวลาสกัด 24 ชม.



ภาพที่ 4.34 แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายเอธานอล ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัด ที่สภาวะ ขนาดเปลือกเงาะ = 2 – 2.8 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อเอธานอล = 1:20 อุณหภูมิ 30, 50 และ 70°เซลเซียส และเวลาสกัด 24 ชม.

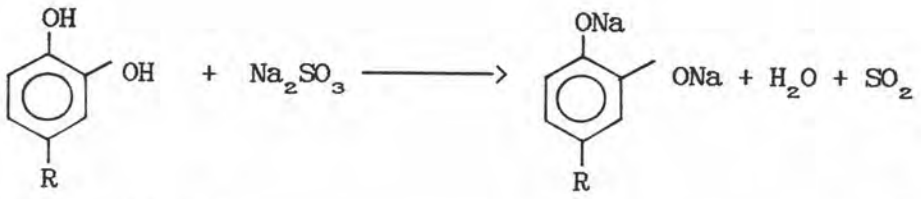
4.2.3 การสกัดสารแทนนินโดยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 สารโซเดียมซัลไฟต์สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารแทนนิน ดังนั้นจึงได้ทดลองการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ โดยมีตัวอย่างข้อมูลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ ที่ขนาดเปลือกเงาะ 0.5 - 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 30 และ 70° เซลเซียส โดยใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟต์เข้มข้นร้อยละ 1 และ 3 น้ำหนักต่อปริมาตร เป็นสารสกัดเปรียบเทียบกับน้ำ ใช้เวลาสกัด 72 ชั่วโมง และมีการกวนผสม

อุณหภูมิของตัวทำละลาย (องศาเซลเซียส)	ร้อยละของแทนนินที่สกัดได้		
	H_2O	1% Na_2SO_3	3% Na_2SO_3
30	43.38	65.07	70.12
70	54.61	73.09	79.76

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดโดยใช้น้ำและสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่อุณหภูมิการสกัด 30° และ 70° เซลเซียส ซึ่งจะเห็นว่าสารโซเดียมซัลไฟต์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดได้สูงขึ้น และการเพิ่มอุณหภูมิและความเข้มข้นสารโซเดียมซัลไฟต์จะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงขึ้นด้วย สารเคมีโซเดียมซัลไฟต์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดแทนนิน เนื่องจากสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์จะเข้าทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลของ phenol substance ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรด เกิดเป็นเกลือ sodium phenoxide ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกลางละลายน้ำได้ดีและค่าความเป็น กรด-ด่าง ของสารสกัดจะสูงขึ้นตามสมการของการเกิดปฏิกิริยา (ไพบูลย์, 2530)



phenol substance gas

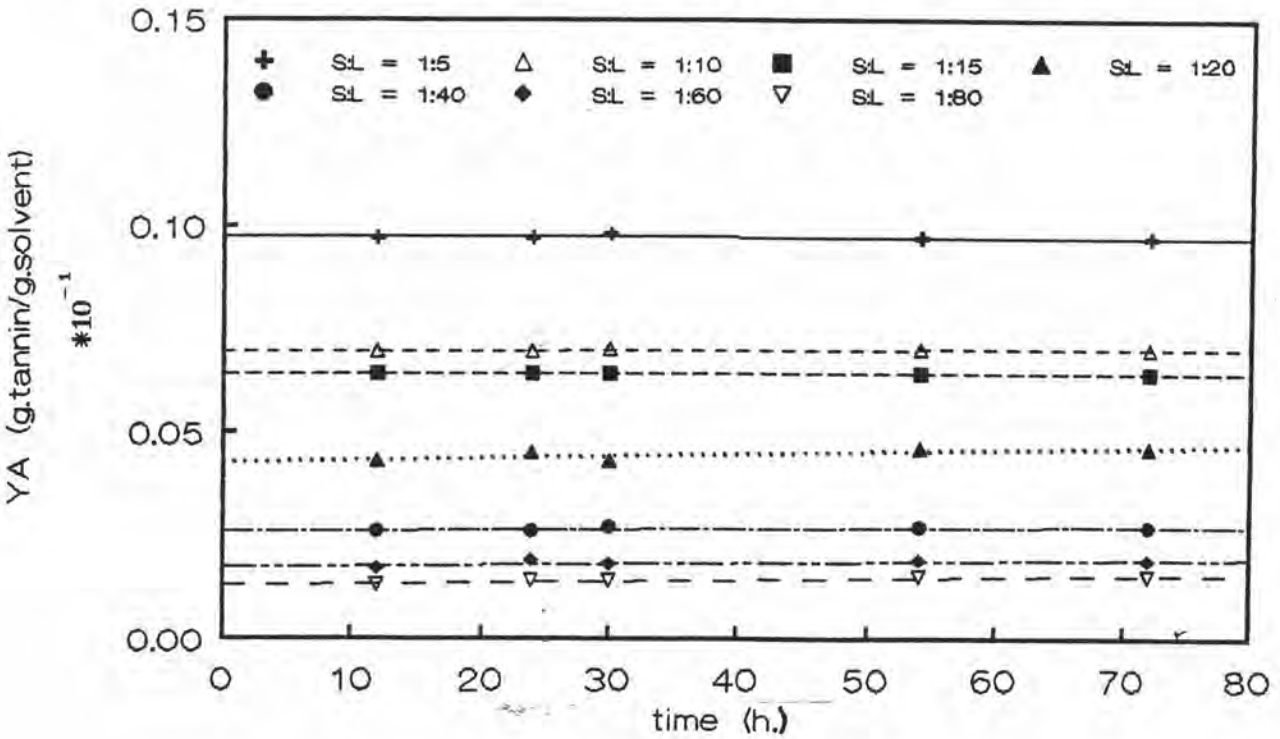
นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นยังทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์แทนนินได้อีกด้วย คือ กรดคาร์บอกซิลิก เช่น กรดแกลลิก เกิดเป็นสารพวก phenol substance ทำให้ปริมาณแทนนินในผลิตภัณฑ์แทนนินสูงขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของไพบูลย์ (2530) และ สมศักดิ์ (2531) ที่พบว่า Na_2SO_3 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด

4.3 การทดลองสกัดแบบแช่ครั้งเดียวและมีการกวนผสม

ข้อมูลการทดลองและตัวอย่างการคำนวณของการทดลองสกัดแบบแช่ครั้งเดียวได้แสดงในภาคผนวก ค. รายละเอียดผลการทดลองจะได้กล่าวต่อไป

4.3.1 การหา Equilibrium line ของระบบสกัดแทนนินจากเปลือกเงาะ

การทดลองสกัดแบบแช่ครั้งเดียวและมีการกวนผสมนี้ ได้กำหนดใช้เปลือกเงาะขนาดเล็กกว่า 0.1 มิลลิเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างเปลือกเงาะกับตัวทำละลาย และใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกเงาะต่อตัวทำละลายต่าง ๆ คือ 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:40 1:60 และ 1:80 สำหรับตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ น้ำ สารละลายเอธานอลเข้มข้น 50% สารละลาย 1% และ 3% Na_2SO_3 ในน้ำ โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 30° และ 70° เซลเซียส ภาพที่ 4.35 แสดงปริมาณสารแทนนินในตัวทำละลายที่เวลาสกัดต่าง ๆ คือชั่วโมงที่ 12, 24, 30, 54 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าปริมาณสารแทนนินในสารละลายตัวอย่างแทนนินนั้นเริ่มคงที่ตั้งแต่เวลาสกัดชั่วโมงที่ 24

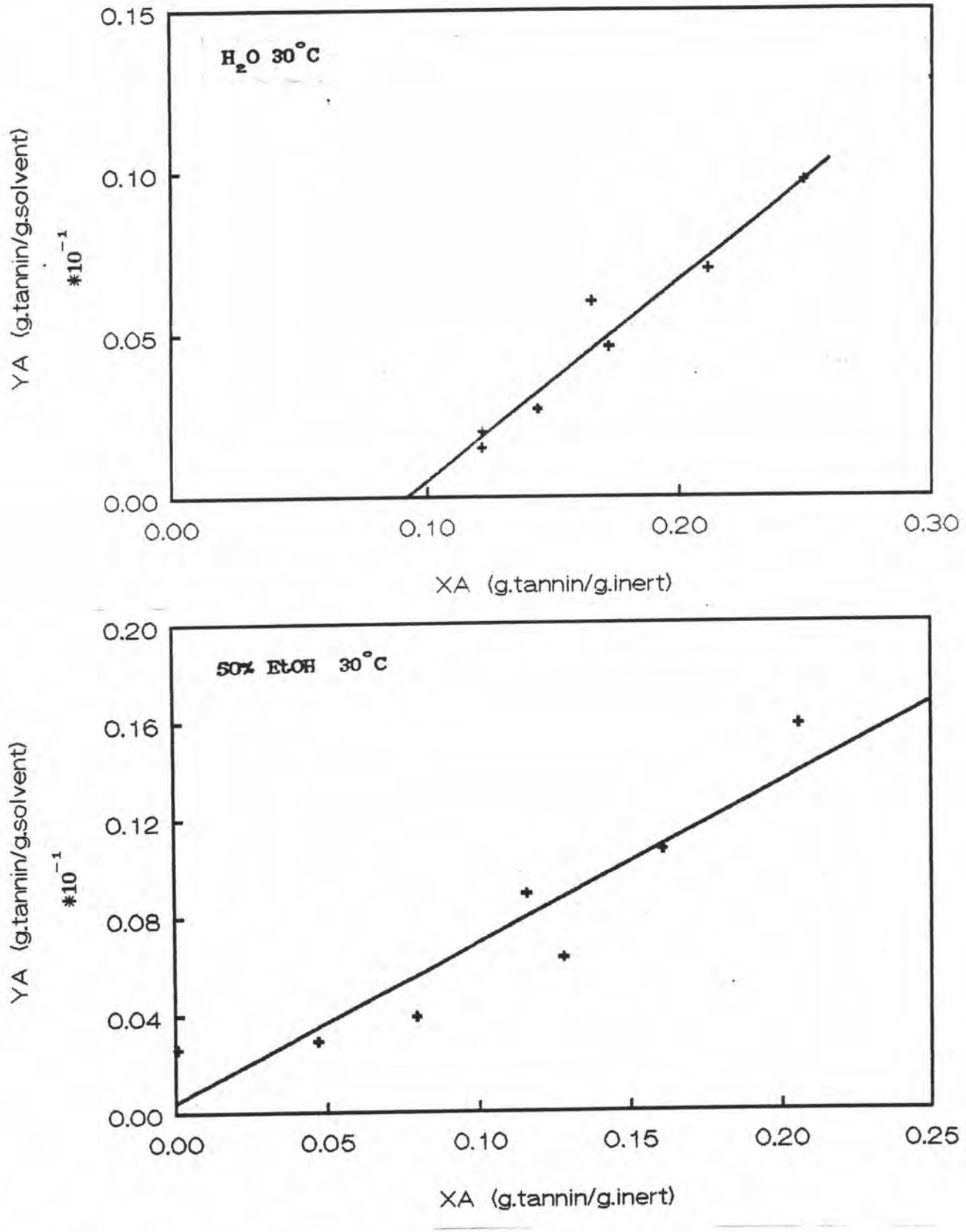


ภาพที่ 4.35 ปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้ด้วยวิธีการแช่ครั้งเดียวและมีการกวนผสม ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อสกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 30° เซลเซียส ที่อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ (S:L) ต่าง ๆ

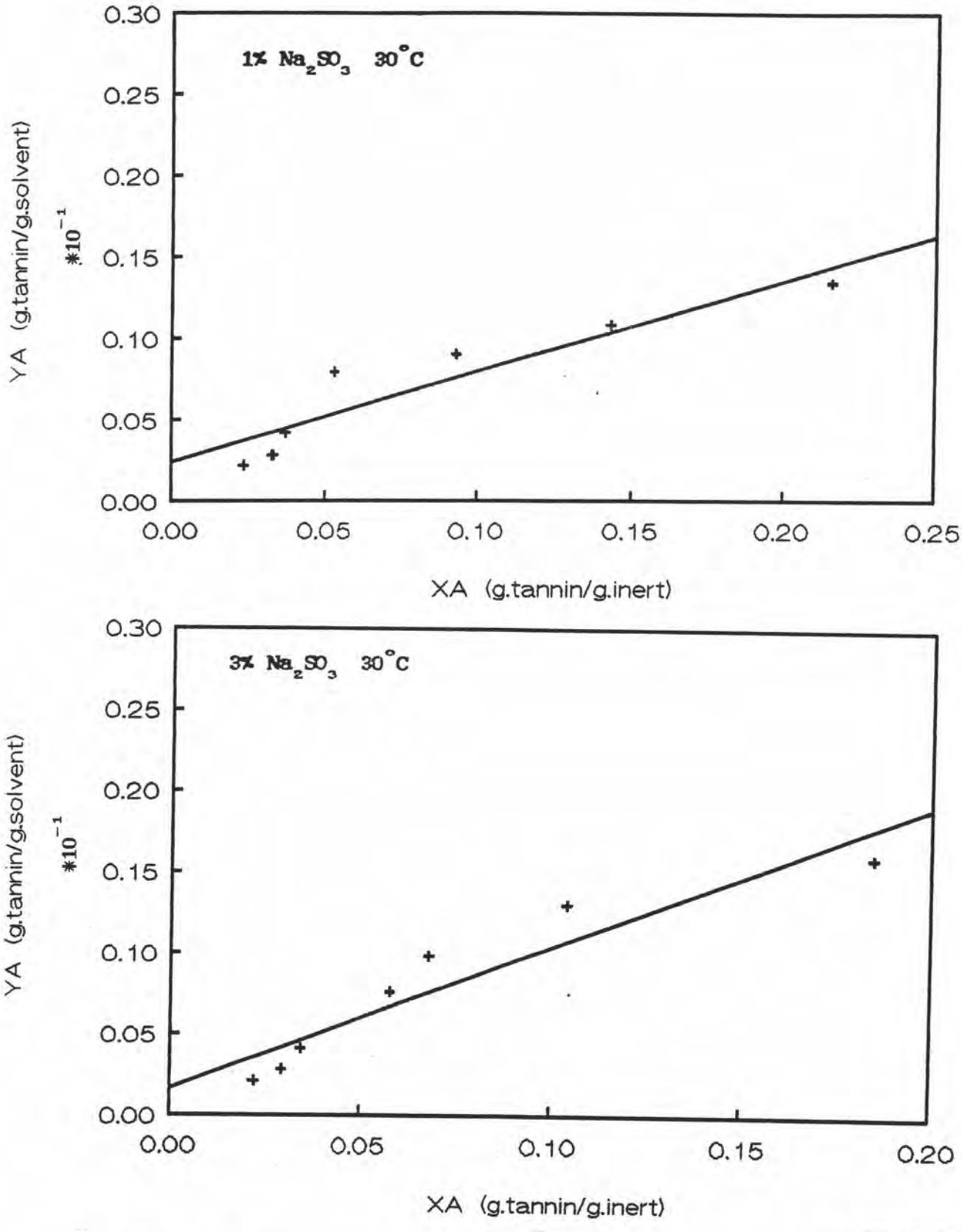
ที่อุณหภูมิการสกัดอื่น ๆ และตัวทำละลายอื่น ๆ ได้แสดงผลการทดลองดังเช่นภาพที่ 4.35 ในภาคผนวก ค. ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเวลาสกัดยาวนานกว่า 24 ชั่วโมง ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะคงที่สำหรับการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวและมีการกวนผสมมีเวลาสั้นเพียง 24 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวไม่มีการกวนผสมซึ่งต้องใช้ระยะเวลายาวนานกว่า 24 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากการกวนผสมจะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลให้สูงขึ้นกว่าระบบที่ไม่มีการกวนผสม สำหรับตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิดไม่พบความแตกต่างของเวลาที่จะเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในการคำนวณอัตราส่วนน้ำหนักแทนนินต่อน้ำหนักตัวทำละลาย ได้จากการวิเคราะห์หาความเข้มข้นสารแทนนินในตัวอย่างสารละลายที่ได้จากเวลาสกัดชั่วโมงที่ 24 ซึ่งเป็นสภาวะคงที่ ส่วนน้ำหนักแทนนินในเปลือกเงาะต่อน้ำหนักกากเปลือกเงาะ คำนวณโดยน้ำหนักแทนนินทั้งหมดที่มีอยู่ในเปลือกเงาะลบด้วยน้ำหนักแทนนินในสารสกัด รายละเอียดการคำนวณได้แสดงในภาคผนวก ค. จากค่าคำนวณน้ำหนักสารแทนนินต่อน้ำหนักตัวทำละลาย และน้ำหนักสารแทนนินในเปลือกเงาะต่อน้ำหนักกากเปลือกเงาะที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ ได้นำมาเขียนกราฟดังแสดงในภาพที่ 4.36 ถึง 4.39 เส้นกราฟที่ได้นี้เรียกว่า Equilirium line โดยภาพที่ 4.36 และ 4.37 แสดง Equilibrium line ของการทดลองสกัดด้วย น้ำ สารละลายเอธานอล 50% สารละลาย 1% และ 3% Na_2SO_3 ในน้ำ ที่อุณหภูมิ 30° เซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 70° เซลเซียสแสดงในภาพที่ 4.38 และ 4.39

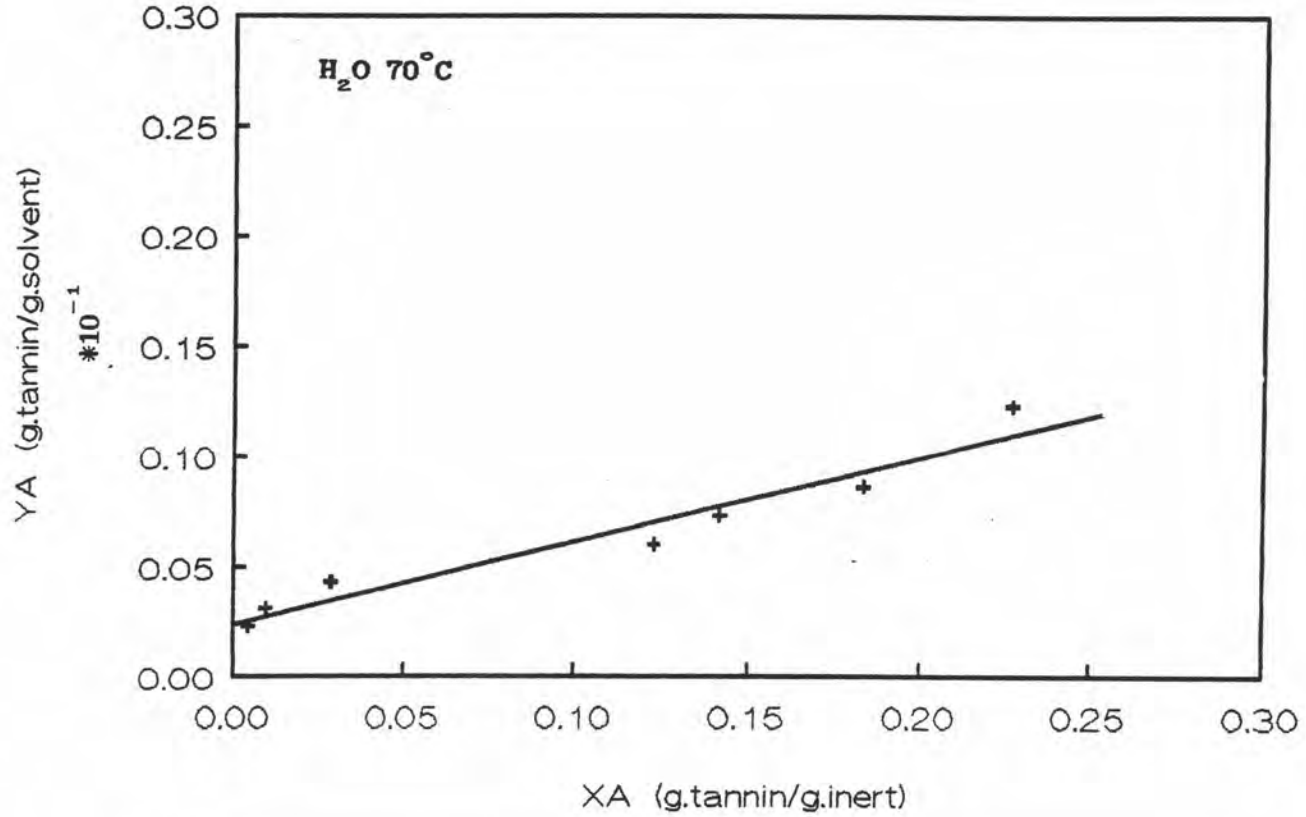
ลักษณะกราฟ Equilibrium line ทั้ง 8 เส้นเป็นเส้นตรงที่มีค่าเบี่ยงเบนค่อนข้างมากเนื่องจากเปลือกเงาะที่นำมาทดลองสกัดอาจมีความแปรปรวนของปริมาณสารแทนนินอยู่บ้างเมื่อนำมาสกัดที่สภาวะอัตราส่วนเปลือกเงาะต่อตัวทำละลายต่าง ๆ จึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น นอกจากนี้ข้อผิดพลาดขณะทำการวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินก็เป็นสาเหตุให้กราฟเส้นตรงที่ได้ มีค่าเบี่ยงเบนค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองนี้สามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อดูผลของตัวทำละลายต่าง ๆ ได้ดังแสดงในภาพที่ 4.40 ซึ่งสรุปได้ว่า สำหรับสารสกัดต่าง ๆ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 30° เป็น 70° เซลเซียส พบว่าสารแทนนินถูกสกัดมาอยู่ในชั้นสารสกัดสูงขึ้น ที่อุณหภูมิสกัดคงที่หนึ่ง น้ำเป็นตัวทำละลายที่ให้ประสิทธิภาพต่ำสุด ขณะที่ สารละลาย 1% Na_2SO_3 และ 50% เอธานอล ให้ประสิทธิภาพการสกัดสารแทนนินสูงกว่าและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ส่วนสารละลาย 3% Na_2SO_3 ให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงสุด

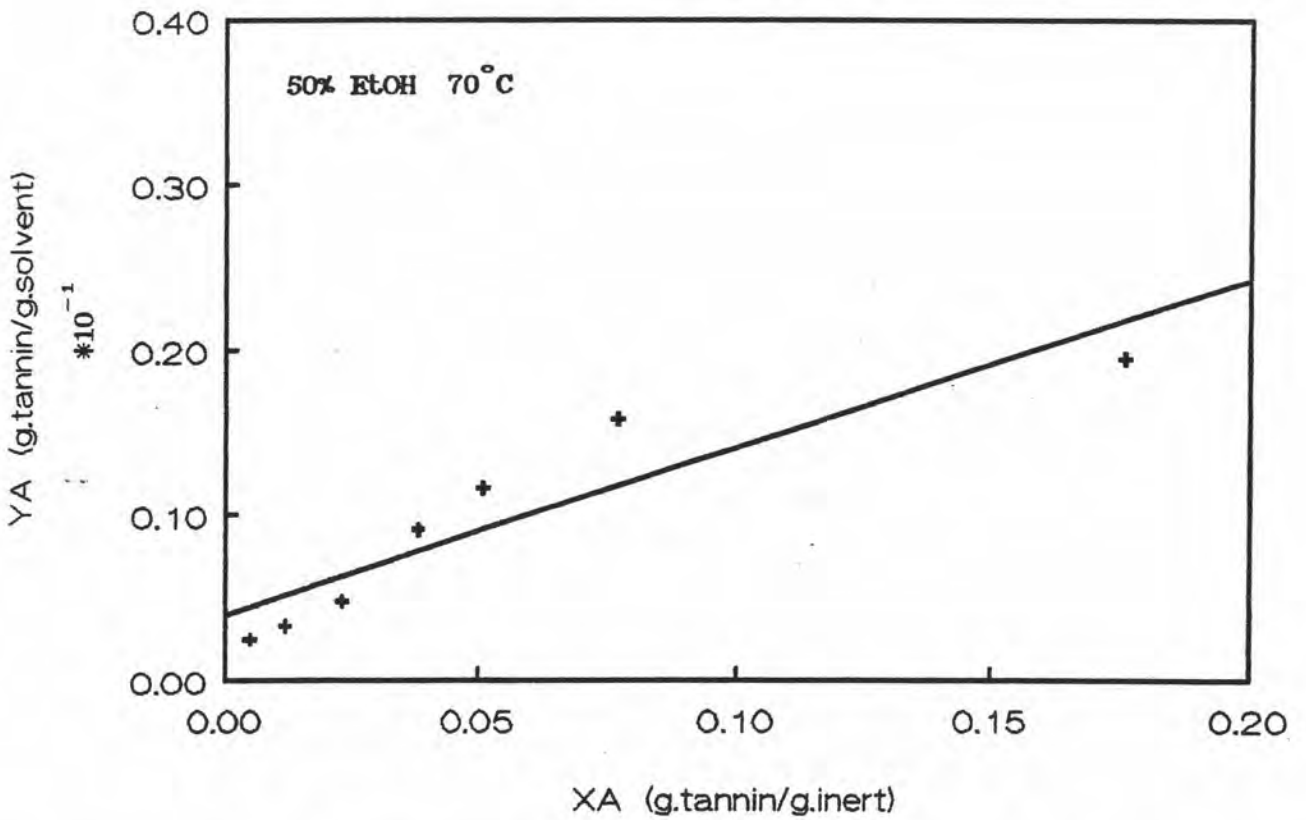


ภาพที่ 4.36 กราฟที่สภาวะสมดุล (Equilibrium line) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวและมีการกวนผสม ตัวทำละลายน้ำ และ สารละลายเอธานอล 50% อุณหภูมิ 30°ซ.

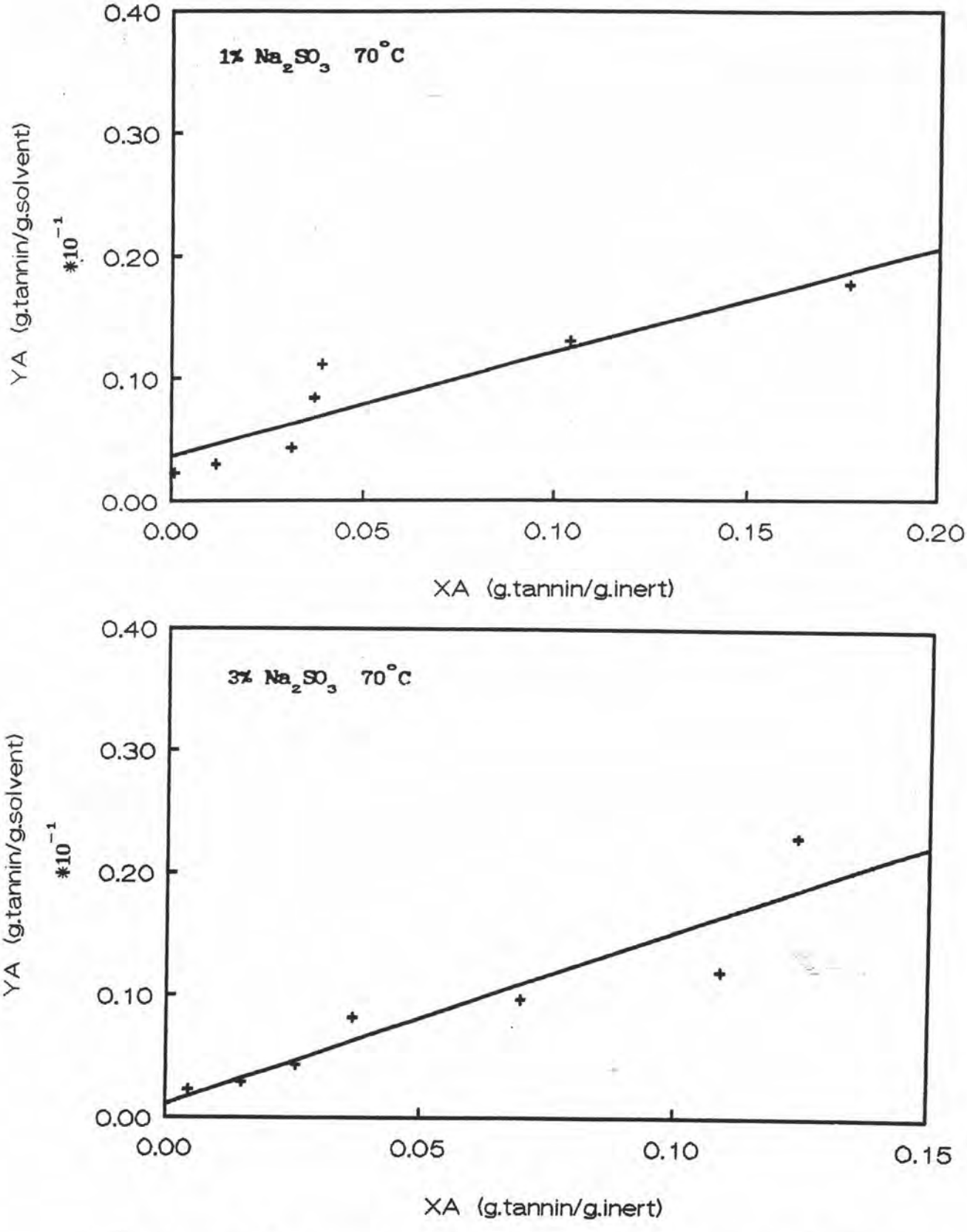


ภาพที่ 4.37 กราฟที่สภาวะสมดุล (Equilibrium line) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวและมีการกวนผสม สารละลาย 1% Na_2SO_3 และ 3% Na_2SO_3 อุณหภูมิ 30°ซ.

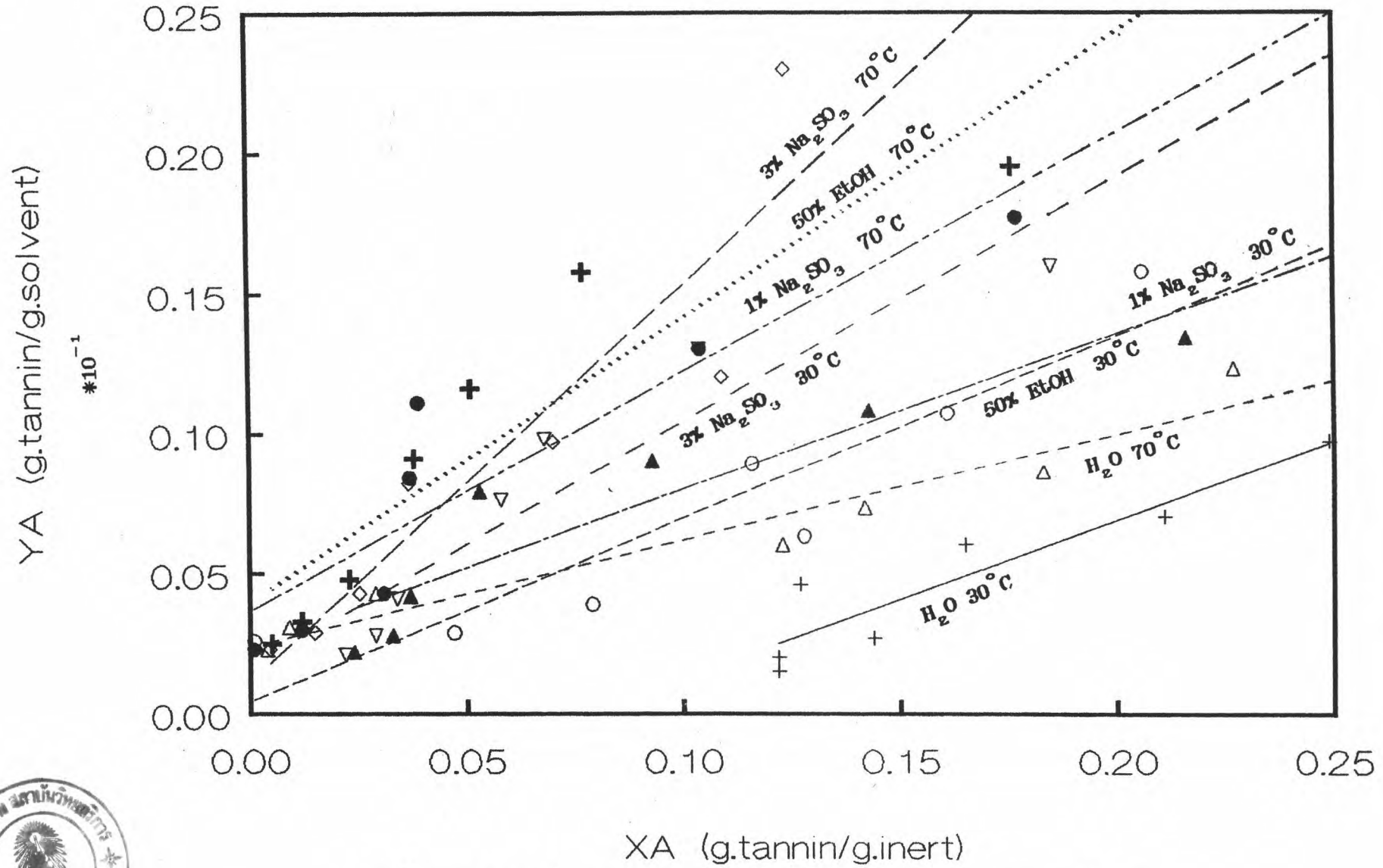




ภาพที่ 4.38 กราฟที่สภาวะสมดุล (Equilibrium line) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวและมีการกวนผสม ตัวทำละลายน้ำ และ สารละลายเอธานอล 50% อุณหภูมิ 70°ซ.



ภาพที่ 4.39 กราฟที่สภาวะสมดุล (Equilibrium line) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวและมีการกวนผสม สารละลาย 1% Na_2SO_3 และ 3% Na_2SO_3 อุณหภูมิ 70°ซ.



ภาพที่ 4.40 กราฟที่สภาวะสมดุล (Equilibrium line) ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวและมีการกวนผสม ตัวทำละลายน้ำ สารละลายเอธานอล 50% สารละลาย 1% และ 3% Na_2SO_3 ในน้ำ อุณหภูมิ 30° และ 70° เซลเซียส

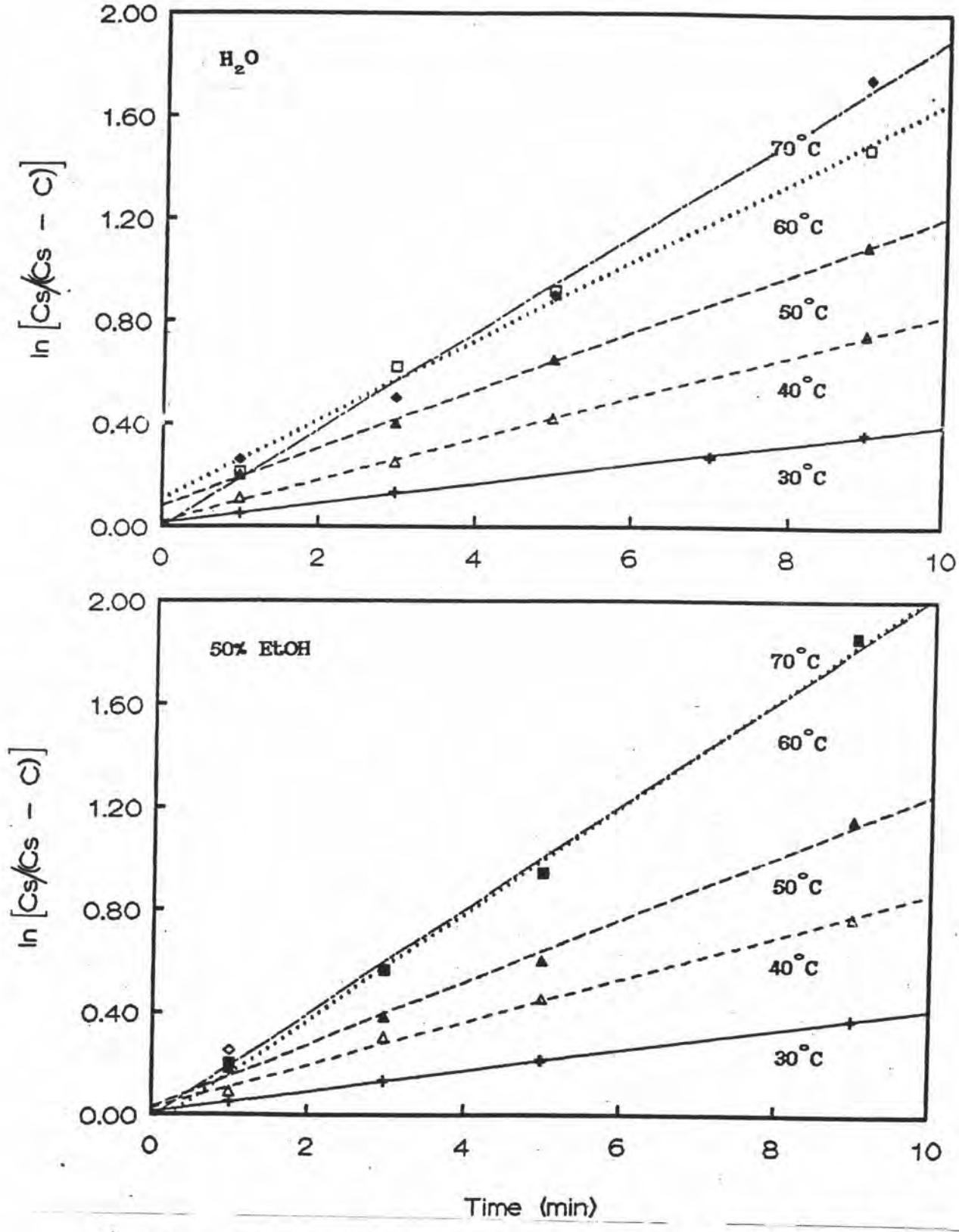
4.3.2 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสกัดแทนนินจากเปลือกเงาะ โดยวิธีสกัดแบบแช่ครั้งเดียว และมีการกวนผสมนี้ได้นำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการแพร่ของสารแทนนินในตัวทำละลายต่าง ๆ ว่าดีมากน้อยเพียงใดและเร็วช้าอย่างไร โดยอาศัยสมการการถ่ายโอนมวล (Coalson, 1978) ที่ว่า $\ln[C_s/(C_s - C)] = (k'A/Vb)t$ โดยแทนค่า C_s = ความเข้มข้นของสารแทนนินที่สภาวะอิ่มตัว ซึ่งค่า C_s นี้คือค่าความเข้มข้นแทนนินที่สภาวะคงตัวนั่นเอง ส่วนค่า C = ความเข้มข้นของสารแทนนินที่เวลาสกัดใด ๆ t = เวลาที่ใช้ในการสกัด V = ปริมาตรของตัวทำละลาย โดยเทอม $k'A/b$ เป็นความชันของสมการเส้นตรงระหว่าง $\ln[C_s/(C_s - C)]$ กับ t/V สำหรับ k' = สัมประสิทธิ์ของการแพร่ ซึ่งจำเป็นต้องอยู่ในเทอม $k'A/b$ เนื่องจาก A = พื้นที่สัมผัสระหว่างของแข็ง - ของเหลว และ b = ความหนาของฟิลม์บาง ๆ รอบอนุภาคที่ถูกสกัดนั้นเป็นค่าที่วัดได้ยากและไม่สามารถวัดได้ในการทดลองนี้ ในการศึกษาได้ทำการทดลองที่ขนาดเปลือกเงาะ 1 - 2 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อตัวทำละลาย = 1:10 อุณหภูมิของตัวทำละลาย 30, 40, 50, 60 และ 70°เซลเซียส โดยตัวทำละลายในการศึกษาทดลองนี้ได้แก่ น้ำและสารละลายเอธานอล 50% ตัวอย่างคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ได้แสดงในภาคผนวก ง. โดยผลการคำนวณได้เปรียบเทียบในภาพที่ 4.41 และ ตารางที่ 4.4 โดยพบว่าค่า $k'A/b$ มีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวทำละลายสูงขึ้น หรือการเพิ่มความร้อนให้กับตัวทำละลายจะช่วยให้สัมประสิทธิ์ของการแพร่กระจายสูงขึ้น ซึ่งทำให้สารแทนนินแพร่ออกมาในตัวทำละลายได้ดีขึ้นนั่นเอง ค่า $k'A/b$ เมื่อใช้สารละลายเอธานอล 50% ในการสกัดจะสูงกว่าเมื่อใช้น้ำเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.42 โดยค่า $k'A/b$ เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวทำละลายสูง และมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง อนึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ($k'A/b$) ที่ได้จากการทดลองนี้เป็นค่าที่ได้จากสภาพการทดลองเฉพาะคือ ที่ความเร็วรอบการกวนโดย Magnetic stirrer ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที และที่ขนาดเปลือกเงาะ 1 - 2 มิลลิเมตร โดยถ้าความเร็วรอบสูงขึ้นและขนาดเปลือกเงาะเล็กลงจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ ($k'A/b$) สูงขึ้น ส่วนค่า ($k'A/b$) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิสกัดเป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 4.42 สามารถหาเป็นสมการของความสัมพันธ์ได้ สมการที่ได้นี้มีความถูกต้อง (Valid) ภายใต้ช่วงอุณหภูมิการทดลอง (30° - 70°เซลเซียส) เท่านั้น กล่าวคือถ้าอุณหภูมิสกัดอยู่ภายนอกช่วงอุณหภูมิดังกล่าว การใช้สมการดังกล่าวเพื่อหาค่า $k'A/b$ จะเกิดการผิดพลาดได้ ความสัมพันธ์ค่า $k'A/b$ กับอุณหภูมิสามารถเขียนในรูปสมการคณิตศาสตร์คือ

ตัวทำละลายน้ำ $k'A/b = 0.192T - 56.09$ **4.3.1**

ตัวทำละลายเอธานอล $k'A/b = 0.203T - 59.37$ **4.3.2**

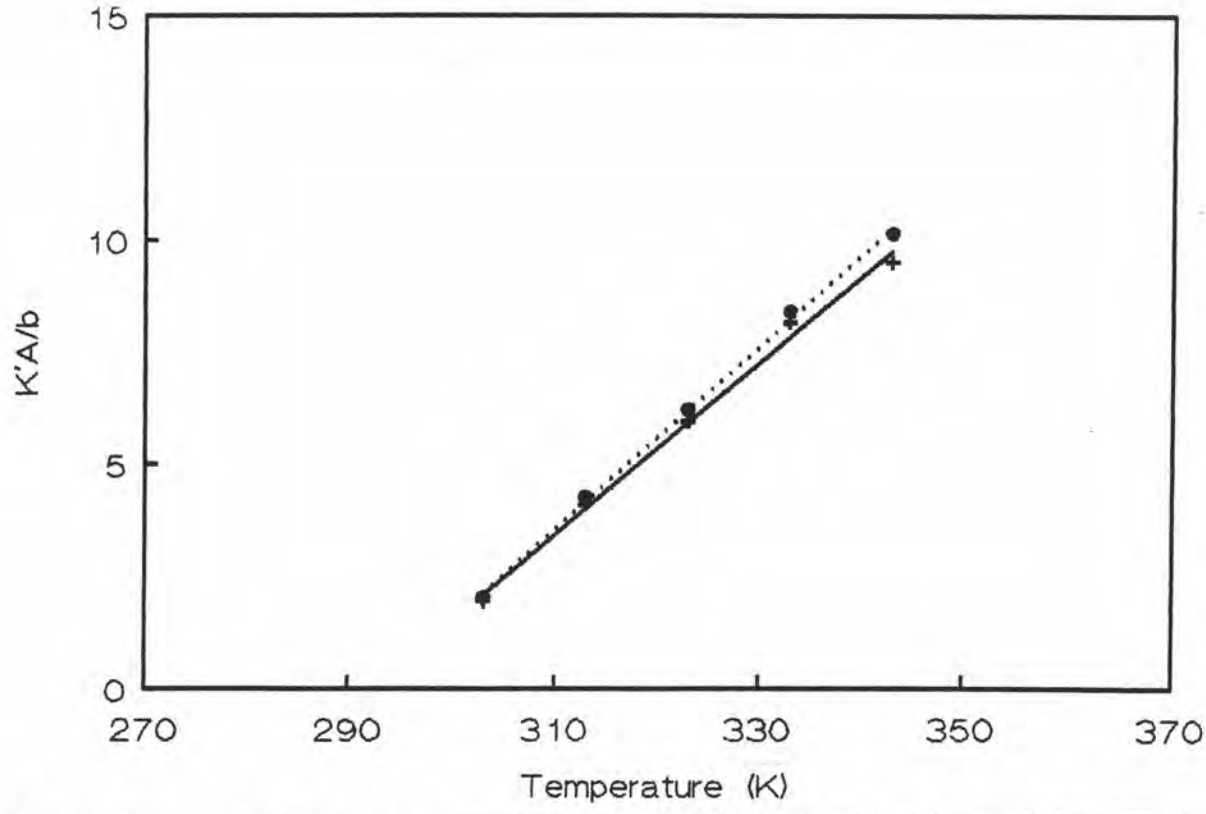
โดย T คือ อุณหภูมิสารละลาย (เคลวิน)



ภาพที่ 4.41 กราฟระหว่างค่า ln $[C_s/(C_s - C)]$ กับเวลา (นาที) ที่สภาวะตัวทำละลายน้ำ และ สารละลายเอธานอล 50% อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อตัวทำละลาย 1:10 ที่อุณหภูมิสกัดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.4 ค่า $k'A/b$ ที่สภาวะการทดลอง ขนาดเปลือกเงาะ 1-2 มิลลิเมตร อัตราส่วน-เปลือกเงาะต่อตัวทำละลาย 1:10 ตัวทำละลาย น้ำ และ 50% เอธานอล ความเร็วรอบของการกวน 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิสกัดต่าง ๆ

อุณหภูมิของตัวทำละลาย (องศาเซลเซียส)	$k'A/b$ (มิลลิลิตร/นาที)	
	น้ำ	50% เอธานอล
30	1.942	2.035
40	4.104	4.272
50	5.947	6.205
60	8.166	8.406
70	9.506	10.131

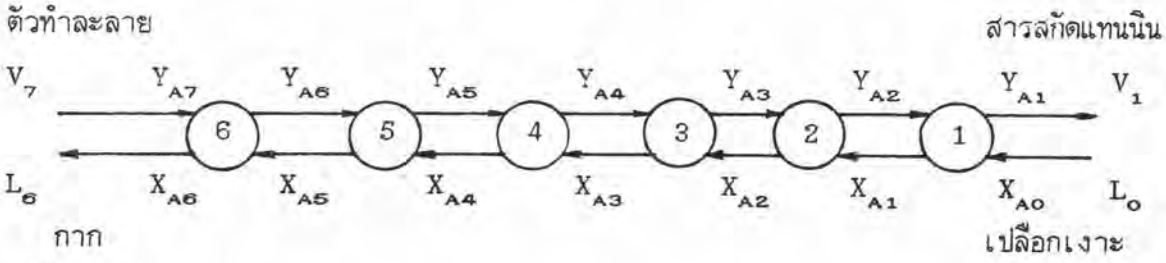


ภาพที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ ($k'A/b$) กับอุณหภูมิของตัวทำละลาย (เคลวิน) น้ำ และ สารละลายเอธานอล 50%

4.4 การสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน

4.4.1 เวลาสกัดที่เหมาะสม

ชุดเครื่องมือสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกันประกอบด้วยถังสกัดจำนวน 6 ถังโดยวางเรียงต่อกันในเครื่องอังไอน้ำ การเคลื่อนย้ายถุงเปลือกเงาะและถังสกัดเป็นแบบสวนทางกันดังแสดงในภาพที่ 4.43 และได้กล่าวในรายละเอียดในบทที่ 3 มาแล้ว โดยในการทดลองขั้นต้นนี้ได้กำหนดเวลาแช่นาน 1/2 และ 3 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบผลของเวลาแช่ต่อประสิทธิภาพการสกัด ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนินในส่วน overflow (Y_{A1}) เปรียบเทียบระหว่างเวลาแช่ 1/2 และ 3 ชั่วโมง ได้แสดงในตารางที่ 4.5



ภาพที่ 4.43 แสดงทิศทางเปลือกเงาะและตัวทำละลายเคลื่อนที่สวนทางกัน

ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าเวลาแช่ 1/2 และ 3 ชั่วโมง ทำให้สารแทนนินแพร่ออกมาในสารละลายได้ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเปรียบเทียบผลแตกต่างปริมาณแทนนินในสารละลาย (Y_{A1}) เพิ่มขึ้นประมาณ 2 - 3% ที่สภาวะคงที่ของการสกัดที่ 3 ชั่วโมงเมื่อเปรียบเทียบกับที่เวลาสกัด 1/2 ชั่วโมง และพบว่าระบบนี้จะเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อครบรอบการสกัดแล้ว 6 รอบขึ้นไป จากผลเปรียบเทียบเวลาแช่ทั้งสองไม่แตกต่างมากนั้น ดังนั้นจึงได้กำหนดใช้เวลาแช่ในการทดลองต่อไปเท่ากับ 1/2 ชั่วโมง โดยข้อมูลการทดลองได้แสดงในภาคผนวก จ ผลการทดลองสามารถสรุปดังจะกล่าวต่อไป

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักสารแทนนินต่อน้ำหนักตัวทำละลาย (กรัม/กรัม) ที่สภาวะการทดลอง ขนาดของเปลือกเงาะ 1 - 2 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อน้ำ = 1:20 อุณหภูมิ 30°เซลเซียส ที่เวลาแช่นาน 1/2 และ 3 ชั่วโมง

รอบของการสกัด	น้ำหนักสารแทนนินต่อน้ำหนักตัวทำละลาย (Y_{A1})		% แตกต่าง
	เวลาแช่ 1/2 ชั่วโมง	เวลาแช่ 3 ชั่วโมง	
1	$6.87*10^{-3}$	$7.11*10^{-3}$	3.37
2	$5.68*10^{-3}$	$5.97*10^{-3}$	4.86
3	$5.02*10^{-3}$	$5.20*10^{-3}$	3.46
4	$4.98*10^{-3}$	$5.04*10^{-3}$	1.19
5	$4.98*10^{-3}$	$5.02*10^{-3}$	0.79
6	$4.60*10^{-3}$	$4.92*10^{-3}$	2.54
7	$4.60*10^{-3}$	$4.72*10^{-3}$	2.54
8	$4.60*10^{-3}$	$4.72*10^{-3}$	2.54
9	$4.60*10^{-3}$	$4.72*10^{-3}$	2.54
10	$4.60*10^{-3}$	$4.72*10^{-3}$	2.54

4.4.2 การหา Operating line ของระบบสกัดสารแทนนินจากเปลือกเงาะ

ระบบสกัดสารแทนนินแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกันในงานวิจัยนี้ พบว่ามีเวลาช่วงหนึ่งที่ปริมาณสารแทนนินที่ละลายออกมาในตัวทำละลายมีค่าคงที่ โดยพิจารณาจากตารางที่ 4.5 เวลาสกัด 1/2 ชั่วโมง รอบการสกัดที่ 6 ปริมาณสารแทนนินจะเริ่มคงที่ จนกระทั่งถึงรอบที่ 10 ในที่นี้มีค่าเท่ากับ $4.46*10^{-3}$ (กรัม/กรัม) สำหรับสภาวะการทดลองที่ตัวทำละลายอื่น ๆ และอุณหภูมิอื่น ๆ พบว่าปริมาณสารแทนนินจะค่อย ๆ ลดลง และในที่สุดจะคงที่เช่นเดียวกับการใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งข้อมูลในตารางนี้ยังชี้ให้เห็นว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 70°เซลเซียส ช่วยให้แทนนินแพร่ออกมาในตัวทำละลายได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 30° เซลเซียส และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของตัวทำละลายที่ช่วยเร่งการสกัดที่อุณหภูมิสกัด 30°เซลเซียส

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นของสารสกัดแทนนิน (กรัม/ 100 มิลลิลิตร) ที่ขนาดเปลือกเงาะ 1 - 2 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อตัวทำละลาย 1:20 เวลาแช่ของแต่ละถัง 1/2 ชั่วโมง มีอุณหภูมิการสกัดที่ 30° และ 70° เซลเซียส

รอบของการสกัดที่	ความเข้มข้นของสารแทนนินในตัวทำละลาย (กรัม/ 100 มิลลิลิตร)*							
	อุณหภูมิ 30° เซลเซียส				อุณหภูมิ 70° เซลเซียส			
	H_2O	50%EtOH	1%Na_2SO_3	3%Na_2SO_3	H_2O	50%EtOH	1%Na_2SO_3	3%Na_2SO_3
1	6.84	9.36	8.21	7.58	14.09	15.41	11.49	13.85
2	5.66	7.90	7.90	7.48	11.19	14.02	11.34	12.82
3	4.99	7.57	7.84	7.56	10.94	13.92	11.03	12.61
4	4.96	7.41	7.81	7.24	10.18	12.63	10.51	12.61
5	4.96	7.01	7.78	7.18	9.89	11.97	10.23	12.45
6	4.58	7.01	7.72	7.06	9.89	8.66	8.52	12.00
7	4.58	6.61	7.63	7.06	9.06	8.66	8.52	8.55
8	4.58	6.61	7.63	7.06	7.92	8.59	8.52	8.55
9	4.58	6.61	6.86	7.06	7.92	8.59	8.52	8.55
10	4.58	6.61	6.86	7.06	7.92	8.59	8.52	8.55

* ความเข้มข้นคูณด้วย 10^{-3}

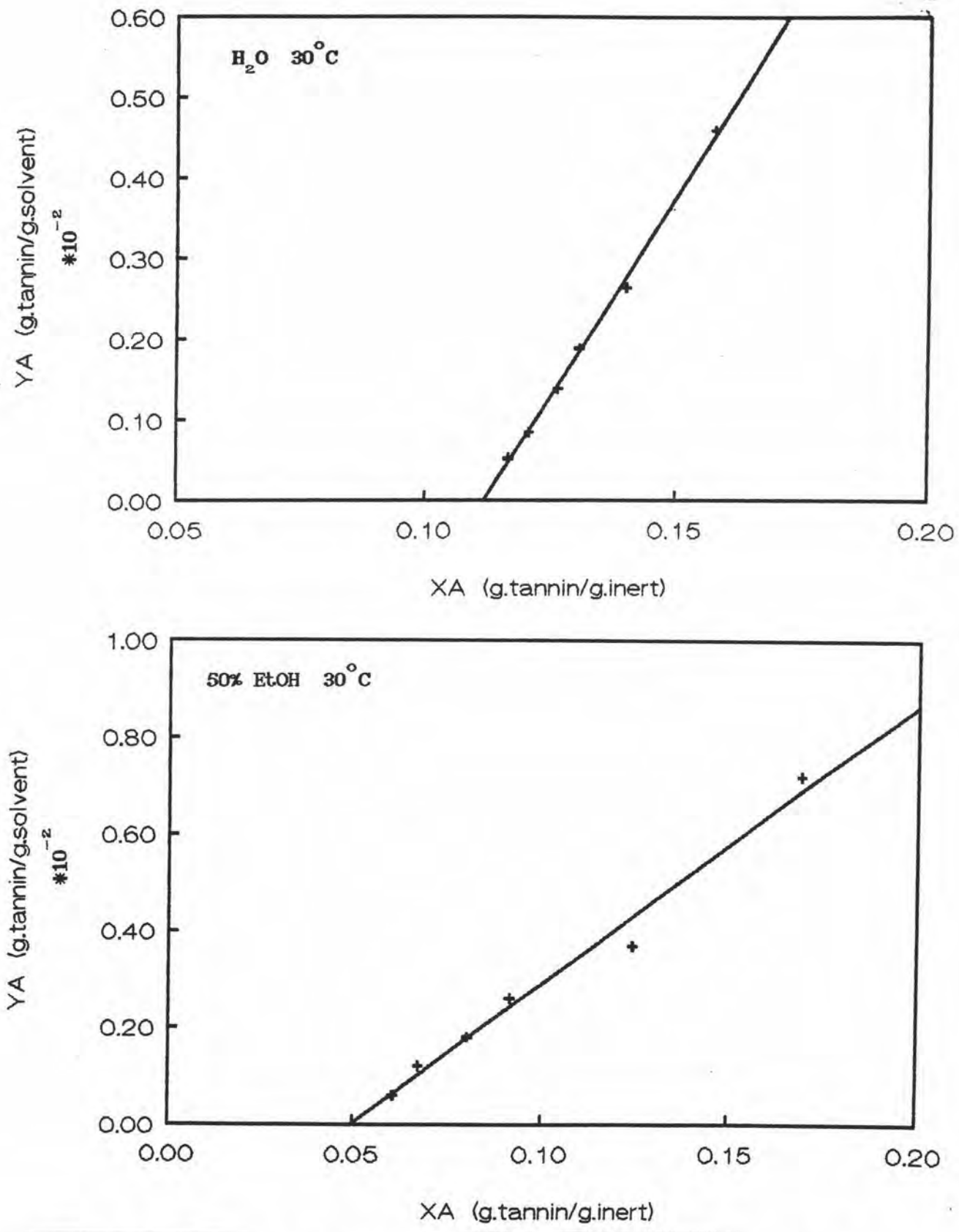
สารละลาย 3% Na_2SO_3 ช่วยเร่งการสกัดได้ดีกว่าสารละลาย 1% Na_2SO_3 และ สารละลาย-เอธานอล 50% โดยพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารสกัดแทนนินในหน่วย (กรัม/100 มิลลิลิตร) ที่สภาวะคงที่ของตัวทำละลายทั้งสามเท่ากับ $7.06*10^{-3}$, $6.86*10^{-3}$ และ $6.61*10^{-3}$ ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ 70° เซลเซียส ตัวทำละลายทั้งสามช่วยเร่งการสกัดได้ดีพอ ๆ กัน เนื่องจากค่าปริมาณแทนนินในสารสกัด เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลาย 3% Na_2SO_3, 1% Na_2SO_3 และสารละลายเอธานอล 50% เท่ากับ $8.55*10^{-3}$, $8.52*10^{-3}$ และ $8.59*10^{-3}$ (กรัม/100 มิลลิลิตร) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณสารเคมีที่นำมาใช้ช่วยเร่งการสกัด

สารเคมีโซเดียมซัลไฟต์น่าจะเหมาะสมกว่าเนื่องจากใช้ปริมาณน้อยและมีประสิทธิภาพดีพอ ๆ กับสารละลายเอธานอล

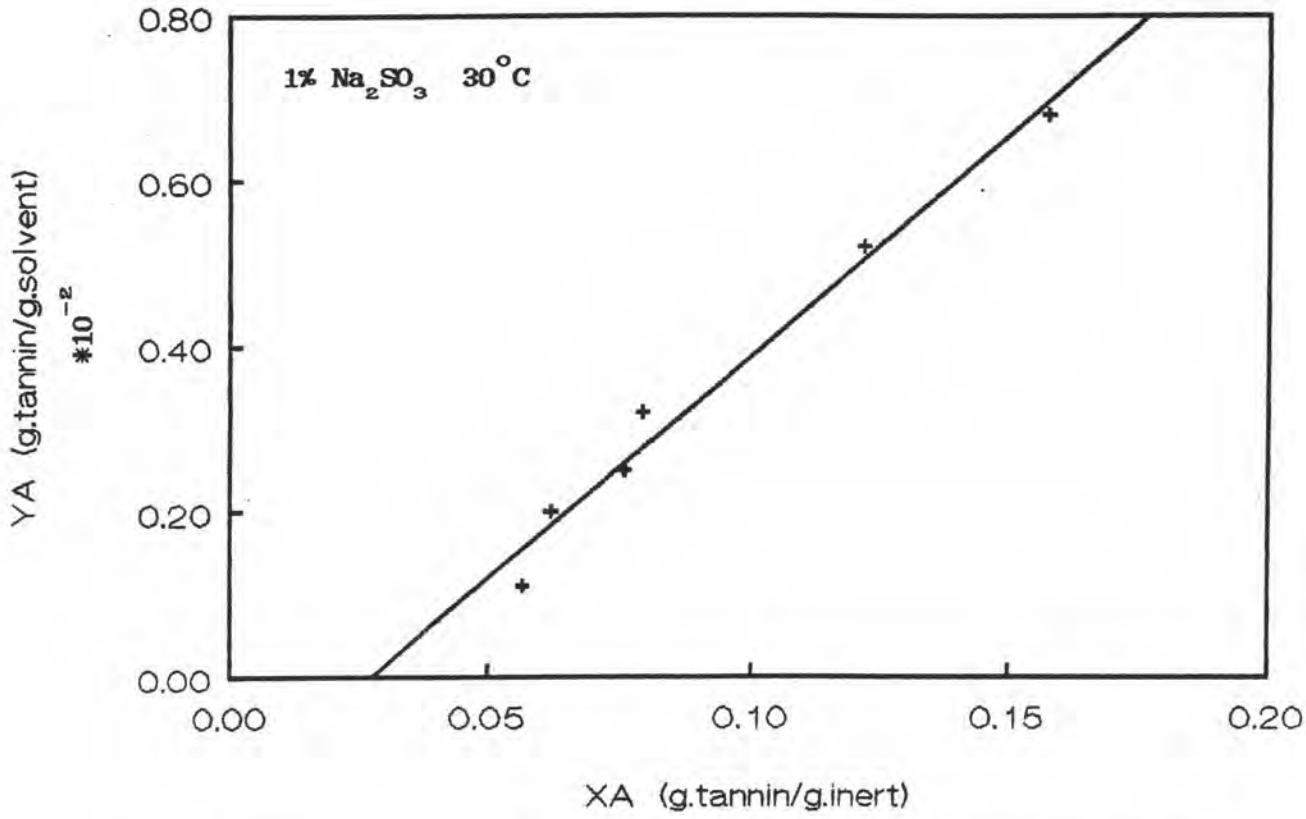
ในการทดลองเมื่อสภาวะการสกัดเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว ในที่นี้คือรอบการสกัดที่ 10 จะวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในส่วนสารสกัด (overflow) และนำกากเปลือกเงาะที่เหลือในแต่ละถังไปวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินเช่นเดียวกัน (solid phase) เพื่อนำมาคำนวณค่าน้ำหนักสารแทนนินในตัวทำละลาย/น้ำหนักตัวทำละลาย และ น้ำหนักแทนนินในเปลือกเงาะ/น้ำหนักเปลือกเงาะ โดยมีรายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก จ โดยค่าทั้งสองที่คำนวณได้จากสภาวะการทดลองต่าง ๆ ได้นำมาเขียนกราฟดังแสดงในภาพที่ 4.44 ถึง 4.47 เส้นกราฟที่ได้นี้เรียกว่า Operating line โดยภาพที่ 4.44 และ 4.45 แสดง Operating line ของการทดลองสกัดด้วยน้ำ สารละลายเอธานอล 50% สารละลาย 1% Na_2SO_3 และสารละลาย 3% Na_2SO_3 ในน้ำ ที่อุณหภูมิ 30°เซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 70°เซลเซียส แสดงในภาพที่ 4.46 และ 4.47 สำหรับภาพที่ 4.48 เป็นการเปรียบเทียบ Operating line ทั้ง 8 เส้น ซึ่งพบว่าสารละลาย 1% และ 3% Na_2SO_3 ช่วยเร่งการสกัดได้ดีกว่าสารละลายเอธานอล 50% เล็กน้อยเมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 70°เซลเซียส ดังนั้นการนำไปใช้งานสกัดจริง ๆ ควรเลือกสารละลาย 1% Na_2SO_3 เป็นตัวสกัดเนื่องจากมีประสิทธิภาพการสกัดที่สูง และใช้สารเคมีค่อนข้างน้อย

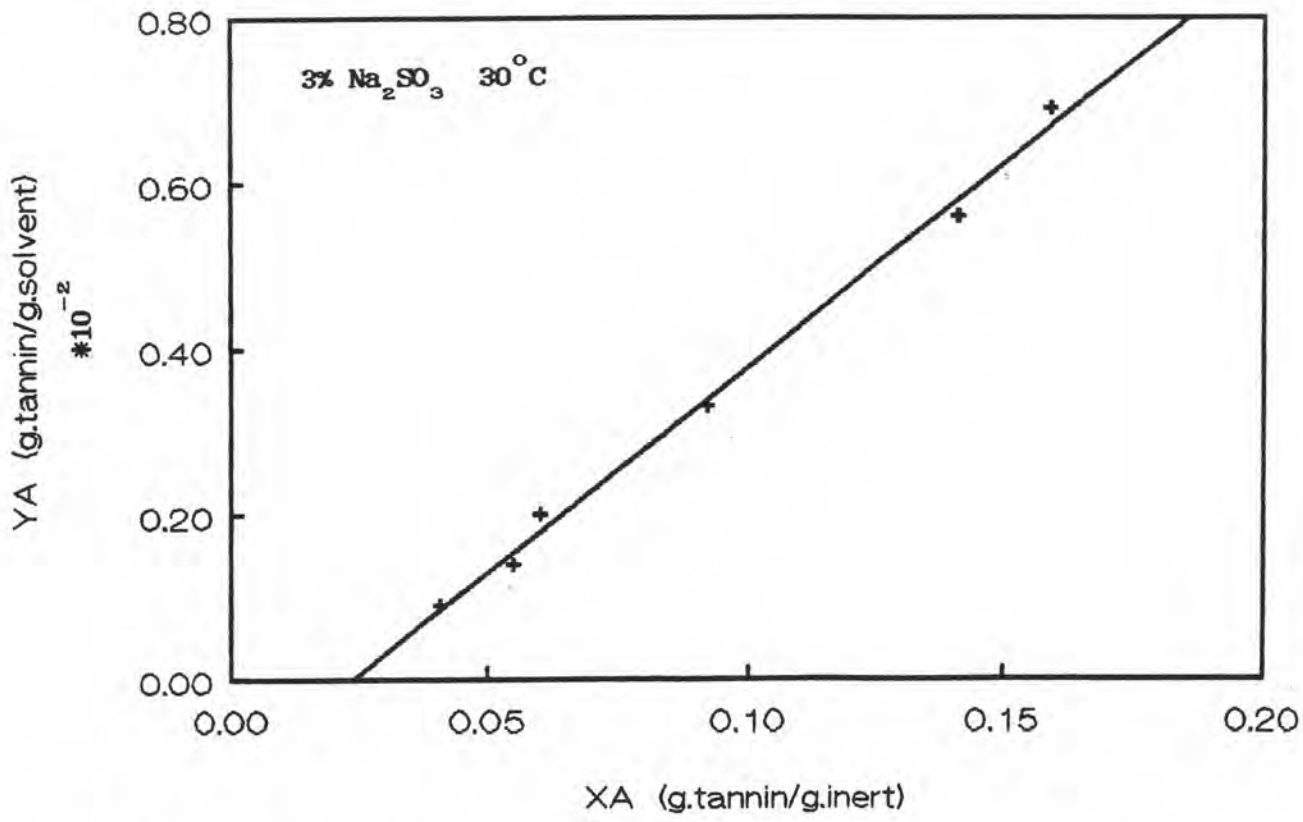
4.4.3 การเปรียบเทียบระหว่างการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวมีการกวนผสม และแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน

ผลการทดลองต่าง ๆ ที่ได้กล่าวในรายละเอียดมาแล้วนั้น พบว่าการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวไม่มีการกวนผสมมีประสิทธิภาพของการสกัดต่ำ ตารางที่ 4.7 แสดงเปรียบเทียบร้อยละของแทนนินที่สกัดได้จากการทดลองสกัดแบบแช่ครั้งเดียวมีการกวนผสม และแบบสกัดกึ่งต่อเนื่อง

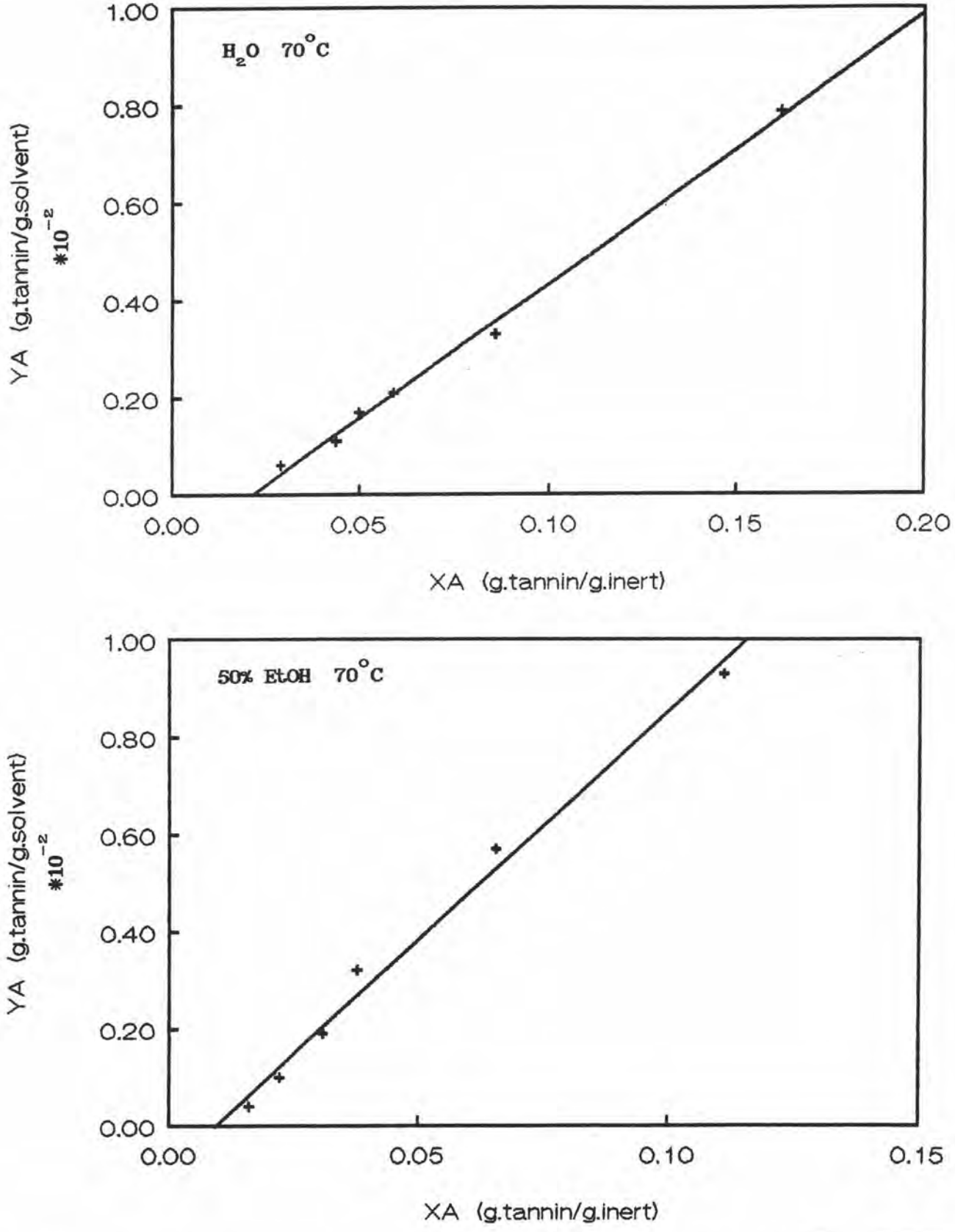


ภาพที่ 4.44 กราฟ Operating line ของการสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน ตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำ และสารละลายเอธานอล 50% ที่อุณหภูมิ 30°เซลเซียส

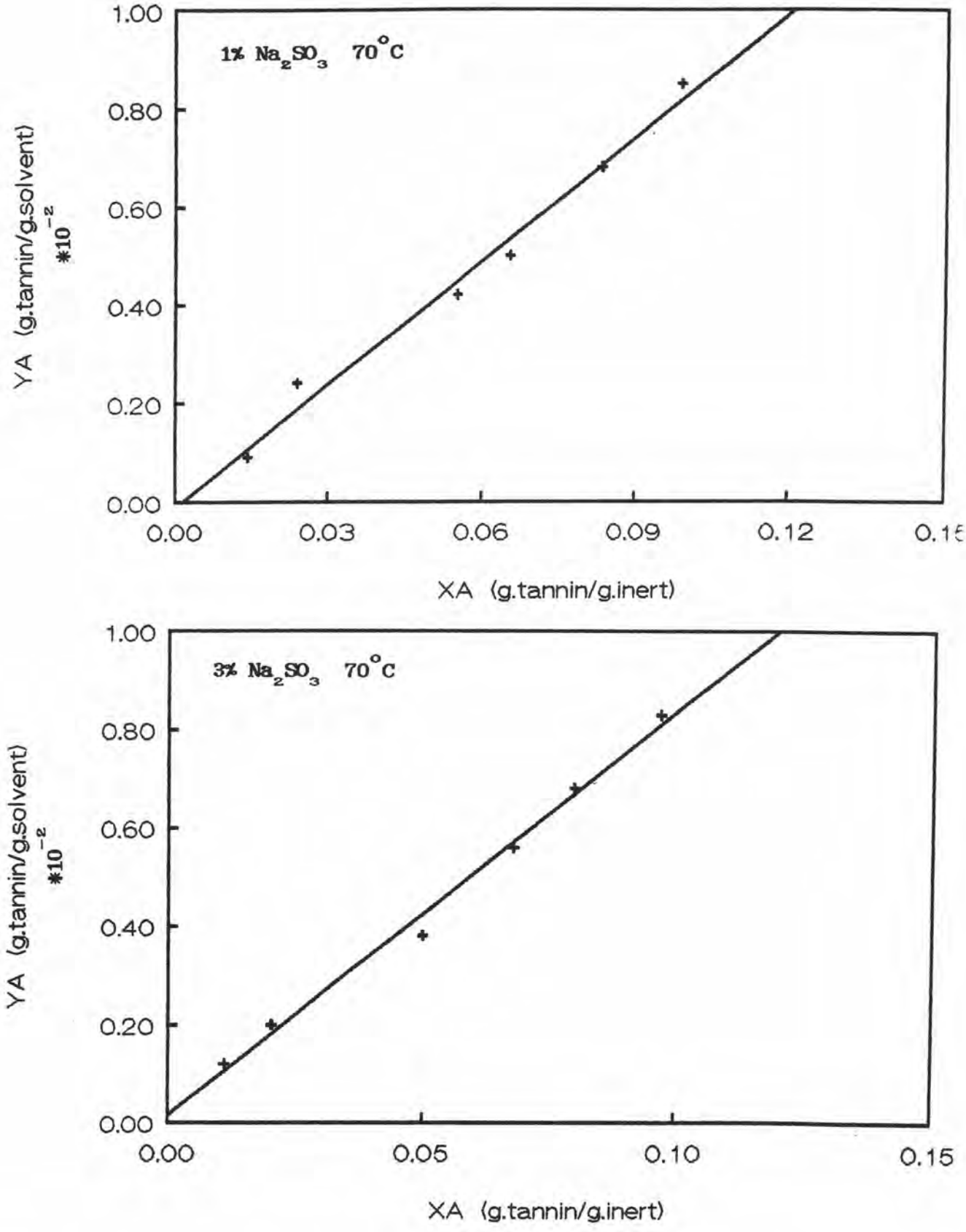




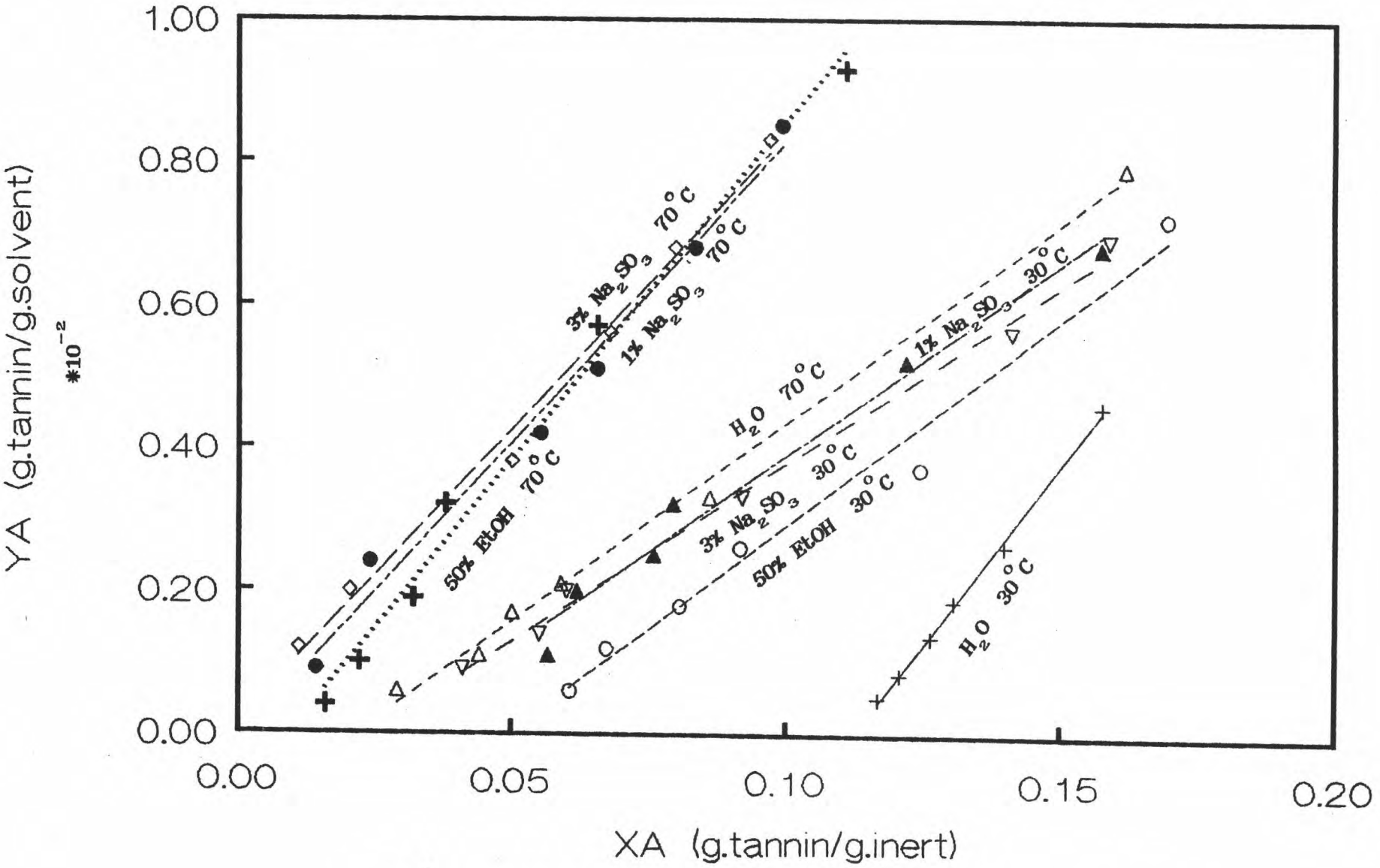
ภาพที่ 4.45 กราฟ Operating line ของการสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน ตัวทำละลายได้แก่ 1% Na_2SO_3 และ 3% Na_2SO_3 ที่อุณหภูมิ 30° เซลเซียส



ภาพที่ 4.46 กราฟ Operating line ของการสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน ตัวทำละลายได้แก่ น้ำ และสารละลายเอธานอล 50% ที่อุณหภูมิ 70° เซสเซียส



ภาพที่ 4.47 กราฟ Operating line ของการสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน ตัวทำละลาย ได้แก่ 1% Na_2SO_3 และ 3% Na_2SO_3 ที่อุณหภูมิ 70° เซลเซียส



ภาพที่ 4.48 กราฟ Operating line ของการสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน สภาวะตัวทำละลายน้ำ สารละลายเอธานอล 50% สารละลาย 1% Na_2SO_3 และ 3% Na_2SO_3 ที่อุณหภูมิสกัดต่าง ๆ

สวนทางกัน โดยมีสภาวะการทดลองขนาดเปลือกเงาะ 1 - 2 มิลลิเมตร อัตราส่วนเปลือกเงาะต่อตัวทำละลาย 1:20 อุณหภูมิสกัด 30° และ 70° เซลเซียส และตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ

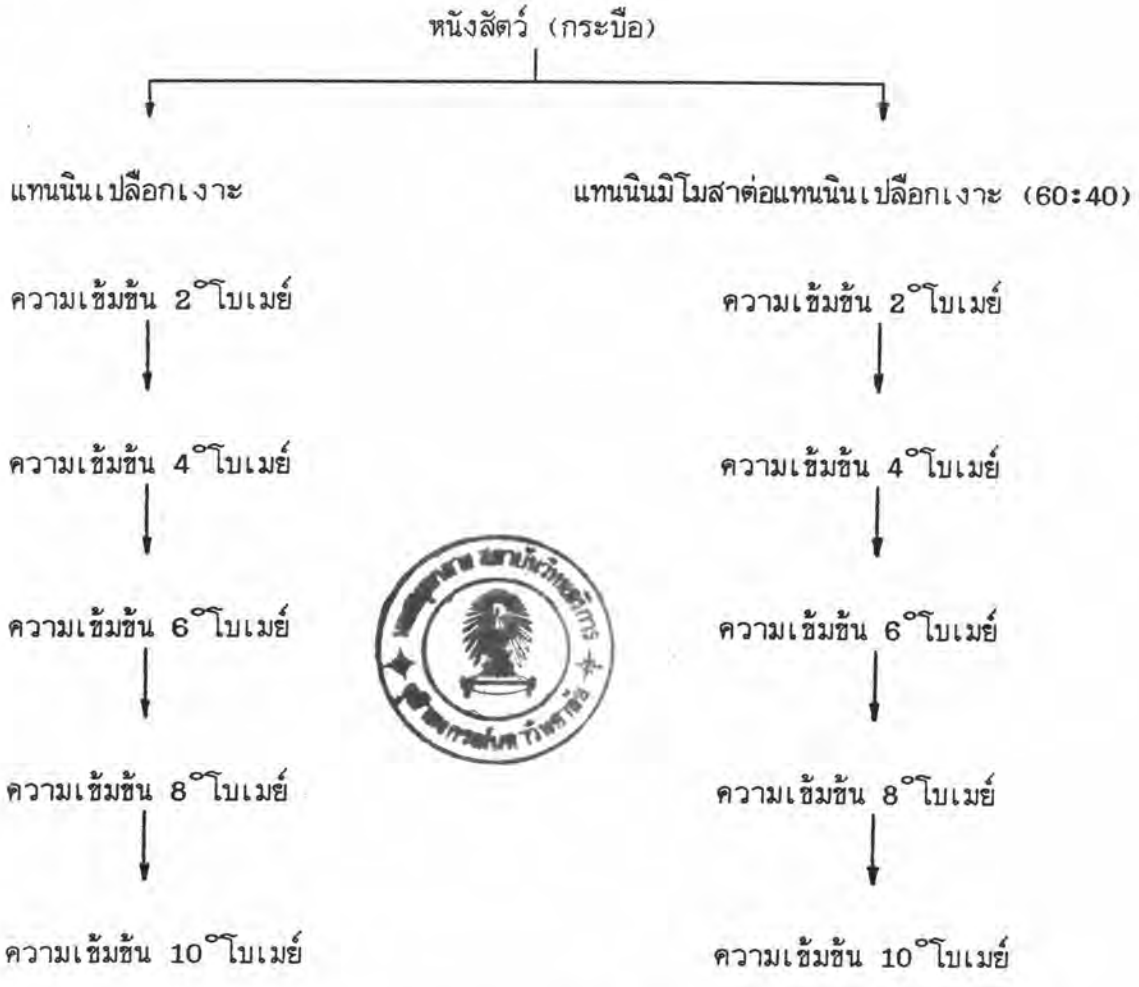
ตารางที่ 4.7 ร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction) ณ. สภาวะคงที่ของการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวมีการกวนผสมและแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน

ตัวทำละลาย	ร้อยละของแทนนินที่สกัดได้ (% tannin extraction)			
	อุณหภูมิ 30° เซลเซียส		อุณหภูมิ 70° เซลเซียส	
	มีการกวนผสม	กึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน	มีการกวนผสม	กึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน
น้ำ	43.38	43.20	54.61	71.73
50% เอธานอล	53.02	60.25	72.78	81.70
1% Na_2SO_3	65.07	69.89	73.09	82.32
3% Na_2SO_3	70.12	70.74	79.76	83.86

จากตารางที่ 4.7 ที่อุณหภูมิ 30° เซลเซียส ตัวทำละลายน้ำและสารละลาย 3% Na_2SO_3 มีประสิทธิภาพการสกัดใกล้เคียงกัน ทั้งวิธีการสกัดแบบครั้งเดียวมีการกวนผสม และแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน แต่ถ้าใช้สารละลายเอธานอล 50% และ สารละลาย 1% Na_2SO_3 สกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกันจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า และ สารละลาย 3% Na_2SO_3 เป็นสารทำละลายที่มีประสิทธิภาพการสกัดสูงกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ ส่วนที่อุณหภูมิ 70° เซลเซียส สารละลายทั้ง 4 ชนิด โดยวิธีสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกันจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าสกัดแบบแช่ครั้งเดียวมีการกวนผสม และสารละลาย 3% Na_2SO_3 มีประสิทธิภาพการสกัดสูงสุด สารละลายเอธานอล 50% และ สารละลาย 1% Na_2SO_3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันและดีกว่าน้ำมาก อย่างไรก็ตามจากผลการสกัดที่อุณหภูมิสกัด 30° และ 70° เซลเซียส พอที่จะสรุปได้ว่าผลการทดลองเป็นไปตามหลักการของการสกัด ซึ่งวิธีการสกัดหลายครั้งและสวนทางกันด้วยจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าและช่วยให้สารละลายที่สกัดได้มีความเข้มข้นสูงกว่าการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวและมีการกวนผสม

4.5 การทดลองฟอกหนังโดยแทนนินที่สกัดจากเปลือกเงาะ

สารสกัดแทนนินที่ได้จากการทดลองนี้ได้นำมาอบให้แห้ง ได้นำมาทดลองฟอกหนังว่าได้คุณภาพเป็นอย่างไร โดยสารสกัดแทนนินนี้ได้จากการสกัดแทนนินจากเปลือกเงาะด้วยสารละลายเอธานอล 50% และหนังสัตว์ที่ใช้ทดลองฟอกหนังได้รับความอนุเคราะห์จาก ฝ่ายผลิตหนังฟอก องค์การฟอกหนัง กระทรวงกลาโหม โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแทนนินที่สกัดจากเปลือกเงาะ และแทนนินผสมระหว่างแทนนินมิโมสา (mimosa) กับแทนนินเปลือกเงาะในอัตราส่วน 60:40 วิธีการฟอกหนังได้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจะแช่หนังด้วยสารละลายแทนนินที่มีความเข้ม 2°โบเมย์ (Baume') โดยมีรายละเอียดการแช่หนังแสดงในภาพที่ 4.49



ภาพที่ 4.49 ขั้นตอนการฟอกหนังในสารละลายแทนนินทั้งสองชนิด

ขั้นตอนหนึ่ง ๆ ของการแช่จะตัดหนังในแนวขวาง (cross section) เพื่อตรวจดูการซึมของสารแทนนินเข้าไปทำปฏิกิริยาเคมีกับโปรตีนในหนัง พบว่าแทนนินที่ผสมระหว่างมิโมสากับแทนนินเปลือกเงาะสามารถฟอกหนังให้สุกได้ภายในเวลา 11 วัน ที่ความเข้มข้นของสารละลายแทนนินผสม 4 องศาโบเม่ย์ ในขณะที่แทนนินจากเปลือกเงาะเพียงชนิดเดียวไม่สามารถฟอกให้หนังสุกได้ โดยใช้เวลาถึง 1 เดือน และได้เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแทนนินจากเปลือกเงาะถึง 10° โบเม่ย์ แสดงว่าคุณภาพของแทนนินเปลือกเงาะยังไม่ดีพอที่จะฟอกหนังให้สุก สำหรับแทนนินมิโมสาซึ่งเป็นแทนนินที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีปริมาณสารแทนนินในสารสกัดแห้งสูงกว่า 50% และมีปริมาณ insoluble ต่ำมากไม่เกิน 2% เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดเปลือกเงาะซึ่งมีค่า insoluble สูง และมีค่าสารแทนนินในสารสกัดแห้งต่ำ (ระหว่าง 30 - 40%) จึงมีคุณภาพต่ำกว่าแทนนินมิโมสา

การฟอกหนังขึ้นอยู่กับความสามารถของสารแทนนินที่แพร่เข้าไปทำปฏิกิริยากับโปรตีนในหนังสัตว์ การใช้สารเคมีโซเดียมซัลไฟต์เพื่อช่วยเพิ่มการละลายของสารแทนนินจึงมีความจำเป็น เนื่องจากช่วยให้สารแทนนินละลายน้ำได้ดีขึ้น สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ใช้สารสกัดแห้งแทนนินที่ถูกสกัดจากเปลือกเงาะด้วยสารละลายเอธานอล 50% คุณสมบัติของสารสกัดแทนนินแห้งมีปริมาณ insoluble สูง ซึ่งเป็นอุปสรรคขัดขวางการซึมของสารแทนนินเข้าไปในหนังสัตว์ ดังนั้นควรเลือกใช้สารเคมีโซเดียมซัลไฟต์เติมลงในสารละลายแทนนินเพื่อเพิ่มการละลายของแทนนินในน้ำ

ประเด็นสำคัญผลการทดลองฟอกหนังโดยใช้ผลิตภัณฑ์สกัดจากเปลือกเงาะ คือจำเป็นต้องผสมกับสารแทนนินจากมิโมสา ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์สกัดจากเปลือกเงาะนี้มีคุณภาพต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการสกัดสารแทนนินจากเปลือกเงาะจะสามารถช่วยลดการสั่งเข้าสารแทนนินจากต่างประเทศได้ส่วนหนึ่ง นอกจากนั้นยังเป็นการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งอีกด้วย อนึ่งควรหาวิธีปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือสกัดแทนนินจากเปลือกเงาะ และการทำให้สารละลายแทนนินเป็นสารสกัดแห้ง เพื่อให้ได้สารสกัดแทนนินแห้งที่มีปริมาณแทนนิน และคุณภาพสูงขึ้นเพียงพอที่จะนำไปใช้งานฟอกหนังได้ดีขึ้น