บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของไขปิโตรเลียม

คุณสมบัติเบื้องต้นของไขที่ศึกษามีดังนี้

1. ปริมาณน้ำมันในไข
2. ความหนาแน่นของไข
3. จุดหลอมเหลวของไข
4. ความหนืดของน้ำมันและไข

วิธีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของไขและน้ำมันแสดงในภาคผนวก ก.

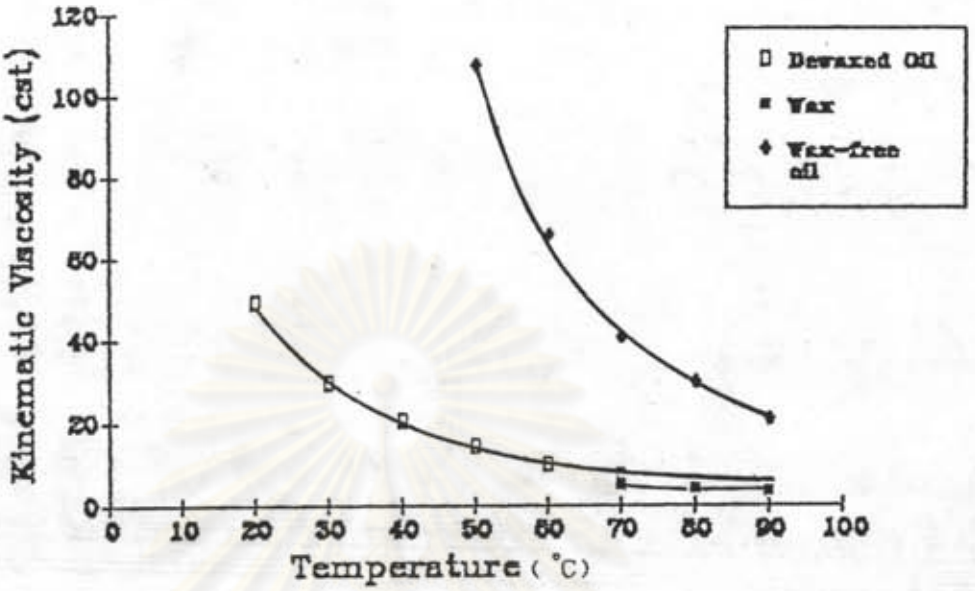
ตารางที่ 4.1 สมบัติเบื้องต้นของไข

คุณสมบัติ	
ปริมาณน้ำมันในไข (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	20.15
ความหนาแน่นของไข (กรัมต่อซม.^{3})	0.835
จุดหลอมเหลวของไข ($^\circ$ซ)	56.0

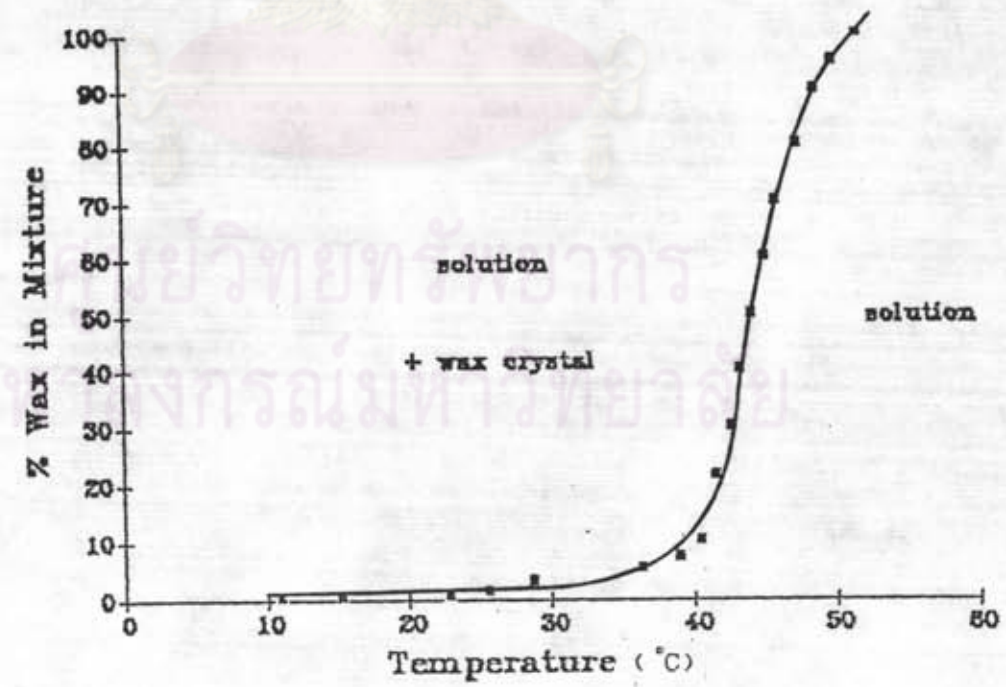
ศึกษาความหนืดของน้ำมันและไขในช่วง 20 ถึง 90 $^\circ$ซ พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดคิเนมาติคของน้ำมันและไขจะมีค่าลดลง และที่อุณหภูมิเดียวกันความหนืดคิเนมาติคของน้ำมันจะลดลงเมื่อปริมาณไขในน้ำมันเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.1 และตารางที่ ง.1

4.2 ผลของอุณหภูมิกับการละลายไขในตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน

การทดลองใช้ไขที่มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 20.15 ศึกษาอุณหภูมิของการละลายไขในตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนในปริมาณร้อยละ 0.06 ถึง 100 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2 และตารางที่ ง.2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การละลายของไขเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดคิเนมาติกของไขและน้ำมันกับอุณหภูมิ



4.2 ผลของอุณหภูมิกับการละลายของไขในตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน

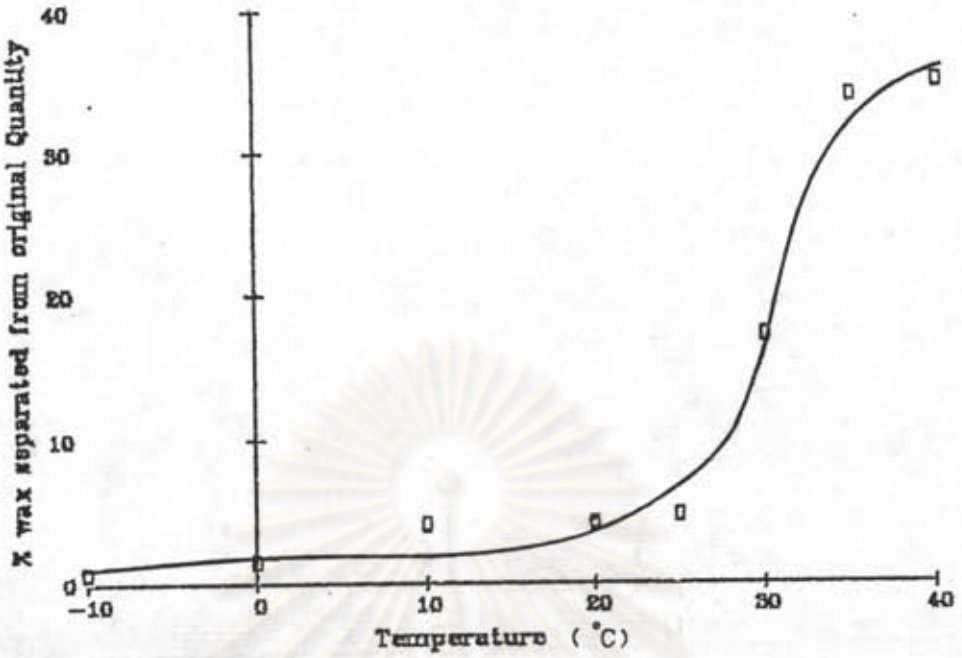
และที่อุณหภูมิการละลายสูงกว่า 40 °ซ ไขจะมีการละลายสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

4.3 ผลของลำดับอุณหภูมิการตกผลึกไขในตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง -10 °ซ

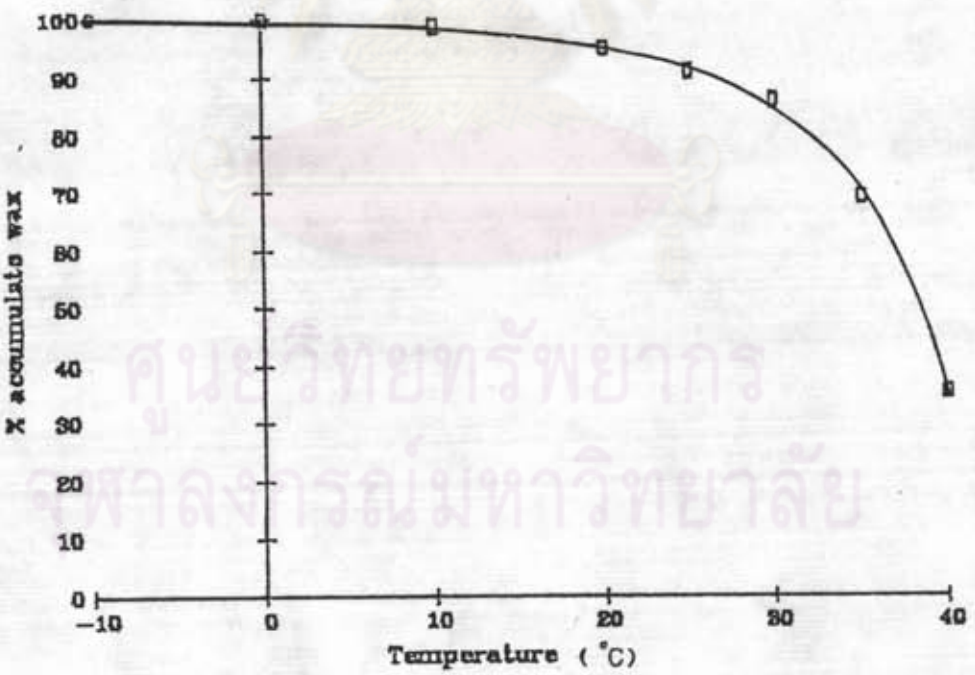
การทดลองใช้ไขปริมาณ 250 กรัมละลายในตัวทำละลาย 500 กรัม ที่ 50 °ซ แล้วลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ จนถึงอุณหภูมิ 40 °ซ กรองแยกผลึกไขที่อุณหภูมิ 40 °ซ ได้เค้กของไขและสารละลายที่กรองได้ (filtrate) นำส่วนของสารละลายที่กรองได้มาทำการตกผลึกและกรองที่อุณหภูมิ 30, 25, 20, 10, 0 และ -10 °ซ ได้เค้กของไขต่างๆกัน นำเค้กของไขไปหาปริมาณไขซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3, 4.4 และตารางที่ ง.3 พบว่าปริมาณไขที่ตกผลึกที่อุณหภูมิ 40 ถึง 25 °ซ จะมีไขตกผลึกในปริมาณสูงและลดลงตามลำดับ คือ ที่อุณหภูมิ 40 °ซ และ 25 °ซ มีไขตกผลึกร้อยละ 37.27 และ 4.53 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิการตกผลึกต่ำกว่า 25 °ซ มีปริมาณไขตกผลึกต่ำ จึงใช้อุณหภูมิที่ 25 °ซ เป็นอุณหภูมิของการตกผลึกไขที่จะศึกษาต่อไป

4.4 ผลของระบบสมดุลของไข น้ำมัน และตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน ที่อุณหภูมิ 30,25 และ 20 °ซ

การศึกษาระบบสมดุลของไข น้ำมัน และตัวทำละลาย โดยใช้ไขเริ่มต้นซึ่งมีน้ำมันปนอยู่ร้อยละ 20.15 ผสมกับตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนในปริมาณร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ นำของผสมนั้นมาทำการหลอมละลาย และลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิ 30, 25 และ 20 °ซ กรองแยกของผสมที่อุณหภูมินั้นจะได้ส่วนที่เป็นเค้กของไข (raffinate) และส่วนที่เป็นสารละลายที่กรองได้ (filtrate) นำส่วนทั้งสองมาหาปริมาณไข น้ำมัน และตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7 และตารางที่ ง.4 พบว่าส่วนของเค้กของไขจะอยู่ในส่วนบนของส่วนผสม และสารละลายจะอยู่ในส่วนล่างของส่วนผสมเริ่มต้น และที่ส่วนผสมเริ่มต้นเดียวกันที่อุณหภูมิ 30 °ซ จะมีเส้นโค้งของสมดุลของสารละลายที่กรองได้ที่สูงกว่าที่อุณหภูมิ 25 และ 20 °ซ ตามลำดับ

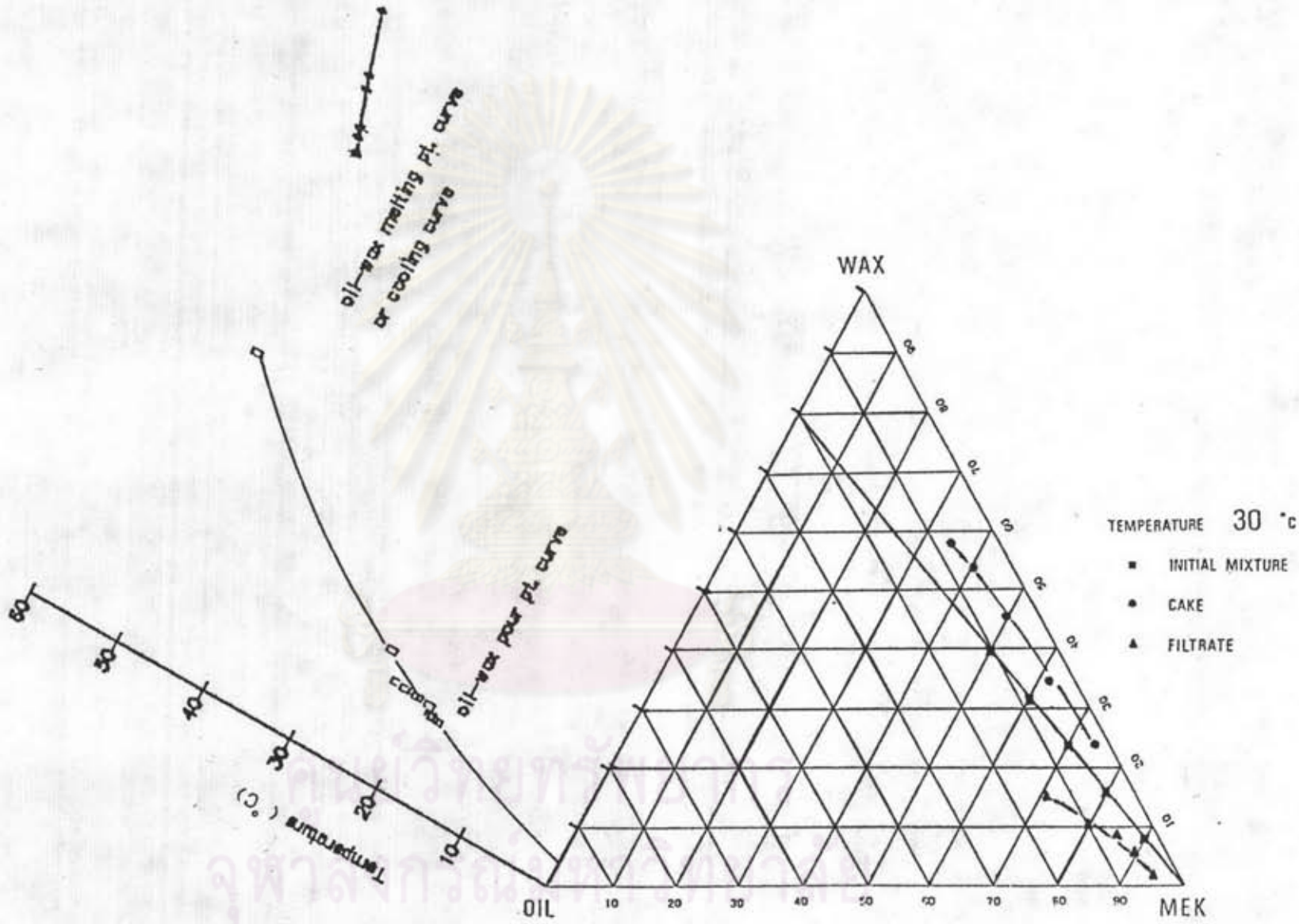


รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณการตกผลึกไข ที่อุณหภูมิ -10 ถึง 40 °ซ

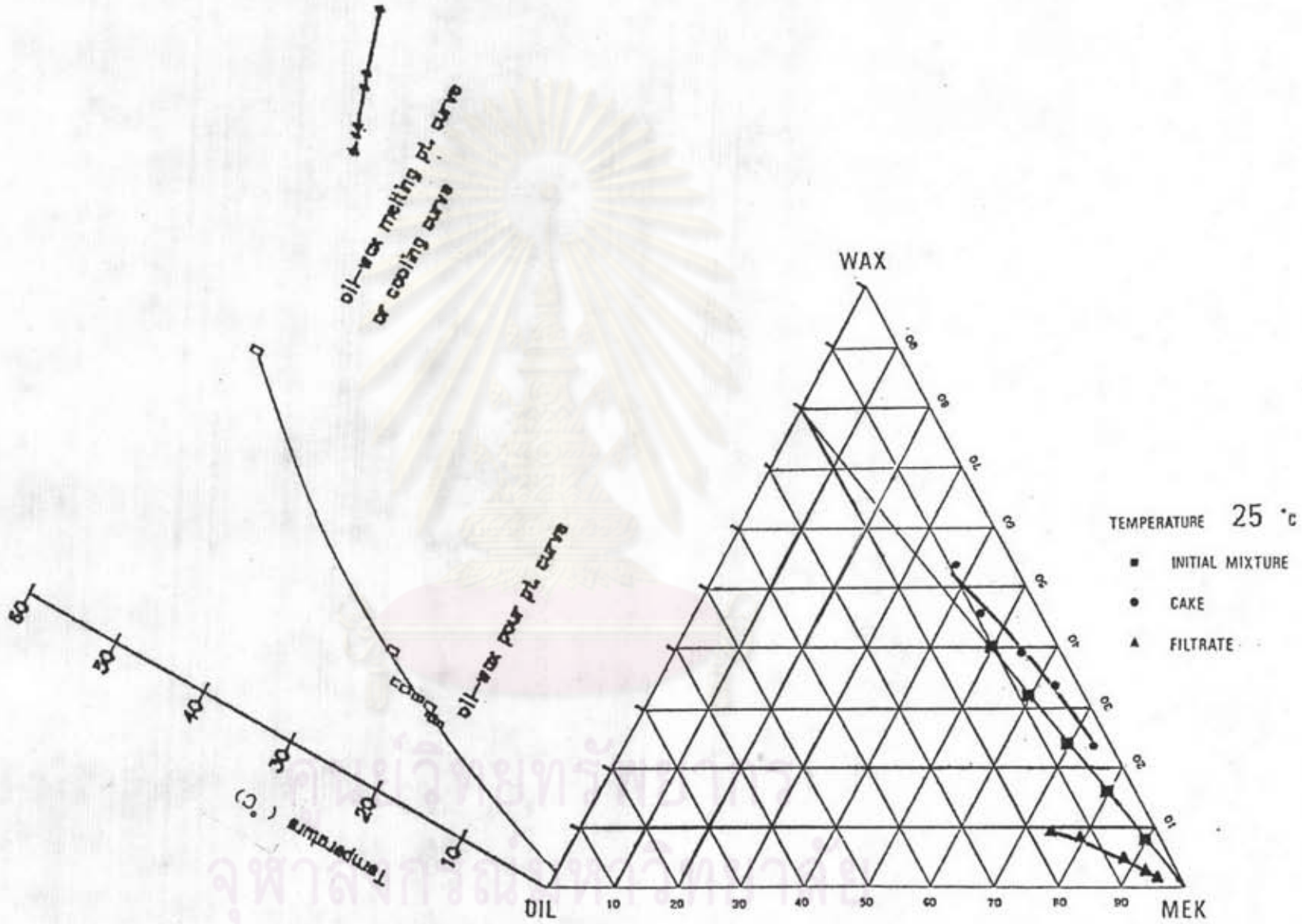


รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณการตกผลึกไขสะสม ที่อุณหภูมิ -10 ถึง 40 °ซ

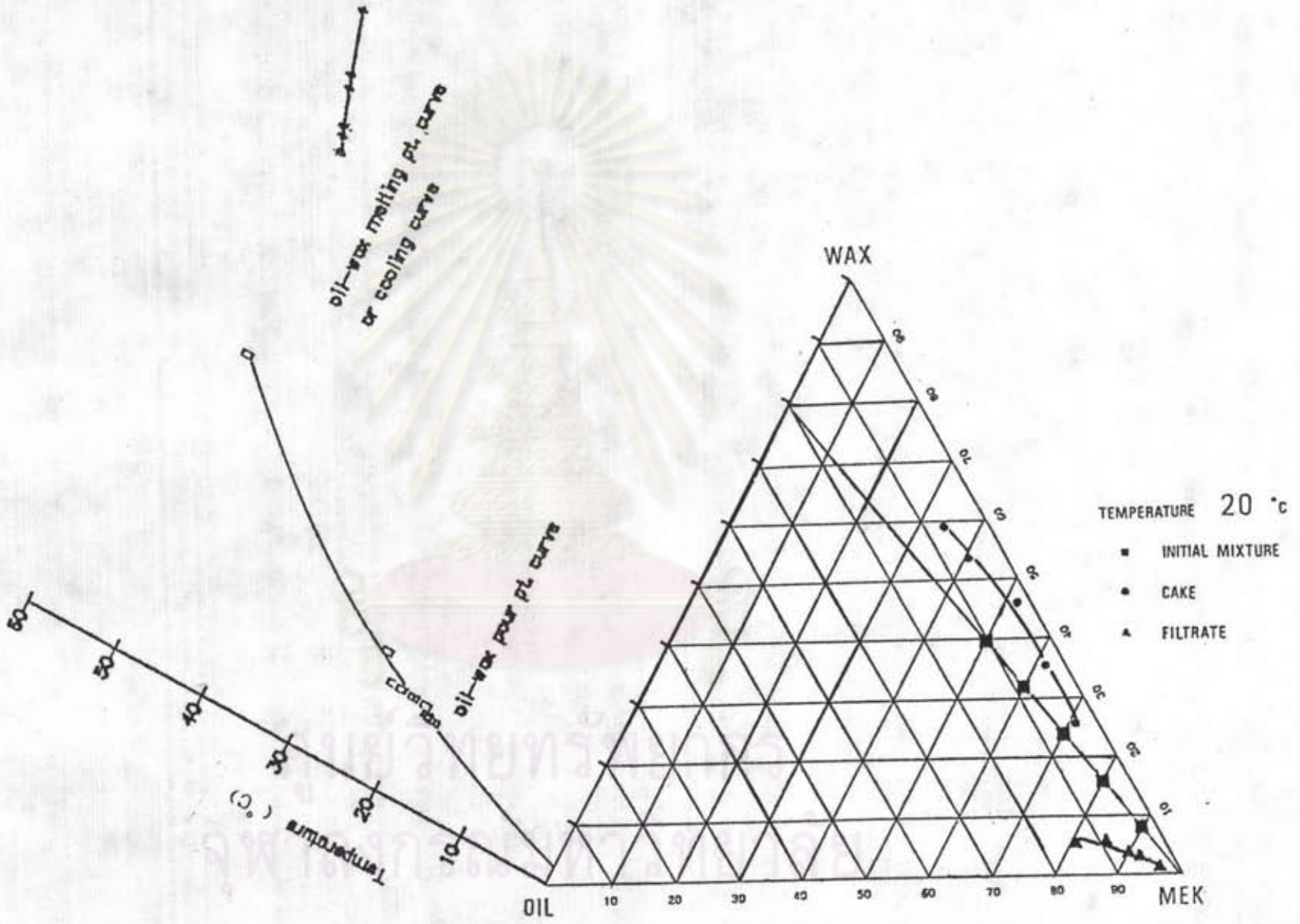
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงแผนภูมิ (equilibrium diagram) ของระบบ น้ำมัน ไข
และตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน ที่อุณหภูมิ 30 °ซ



รูปที่ 4.6 แสดงแผนภูมิ (equilibrium diagram) ของระบบ น้ำมัน ไข และตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน ที่อุณหภูมิ 25 °ซ



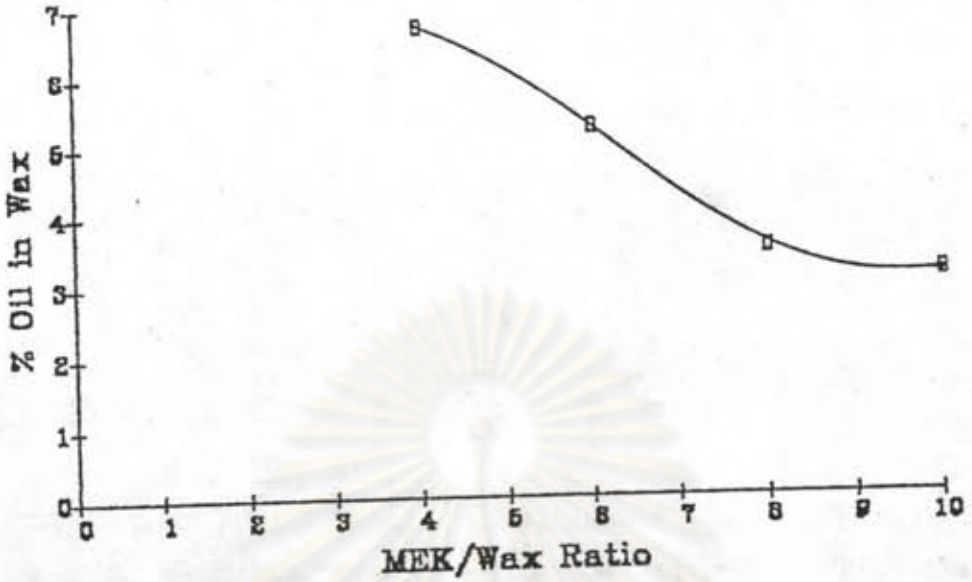
รูปที่ 4.7 แสดงแผนภูมิ (equilibrium diagram) ของระบบ น้ำมัน ไข และตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน ที่อุณหภูมิ 20 °ซ

4.5 ผลของอัตราส่วนไขต่อตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนต่อการขจัดน้ำมันในไข

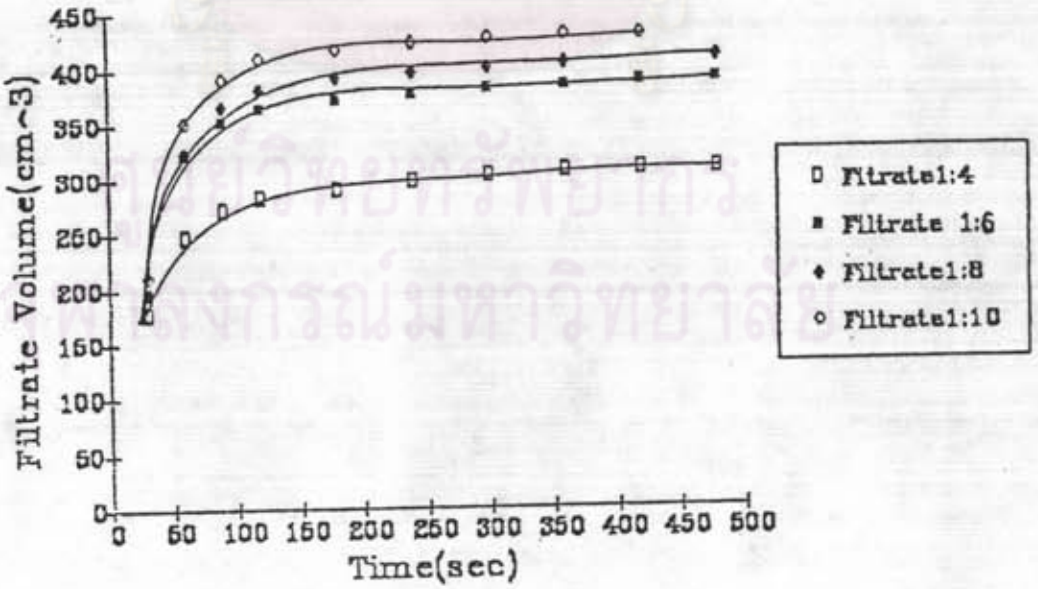
การทดลองใช้อัตราส่วนไขต่อตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน 1:4, 1:6, 1:8 และ 1:10 หลอมละลายที่อุณหภูมิ 50 °ซ นำมาตกผลึกไขและกรองที่ 25 °ซ ซึ่งเป็นสภาวะที่ได้จากข้อ 4.3 ความดันของการกรองเฉลี่ย 50 มม.ปรอท ด้วยตัวกรองแบบ Buchner funnel ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร ได้ส่วนที่เป็นเค้กกับสารละลายที่กรองได้ นำส่วนเค้กมากลั่นแยกตัวทำละลายออกและหาปริมาณน้ำมันในไข ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8, 4.9 และตารางที่ ง.5 พบว่าเมื่อปริมาณตัวทำละลายสูงขึ้น ปริมาณน้ำมันในไขจะลดลงและจะลดลงค่อนข้างคงที่เมื่ออัตราส่วนไขต่อตัวทำละลายเป็น 1:8 และ 1:10 ซึ่งมีปริมาณน้ำมันในไขเป็น 3.44 และ 3.02 และอัตราการกรองจะสูงขึ้น คือ ปริมาณสารละลายที่กรองได้ต่อหน่วยเวลาเมื่ออัตราส่วนตัวทำละลายต่อไขสูงขึ้น ซึ่งจะนำอัตราส่วนไขต่อตัวทำละลาย 1:8 ไปใช้เป็นสภาวะสำหรับการกรองพลวัตในการขจัดน้ำมันในไข

4.6 ผลของการกรองพลวัตกับความเข้มข้นของ slurry ที่ได้

การทดลองใช้อัตราส่วนไขต่อตัวทำละลาย 1:8 หลอมละลายที่อุณหภูมิ 50 °ซ ผ่านเข้าเครื่องตกผลึกไขให้อุณหภูมิของ slurry ที่ออกจากเครื่องตกผลึกคงที่ที่ 25 °ซ และผ่านต่อเข้าเครื่องกรองพลวัตซึ่งมีจำนวนเพลตกรอง 2 เพลต ความเร็วของใบกวนในเครื่องกรอง 85 รอบต่อนาทีความดันของการกรองเฉลี่ย 304 มม.ปรอท ทำการทดลองโดยกักเก็บ slurry ให้ข้นขึ้นด้วยการควบคุมวาล์วทางออกของเครื่องกรอง ให้ filtrate ไหลออกเพียงอย่างเดียวซึ่งใช้เวลาในการกักเก็บ 2, 3, 4, และ5 นาที (โดยประมาณ) จากนั้นค่อย ๆ เปิดวาล์วทางออกให้ slurry ไหลออกไป ควบคุมให้ slurry ที่ไหลออกมีความเข้มข้นคงที่ค่าหนึ่ง วัดอัตราการไหลของ slurry ที่ผ่านการกรองกับอัตราการไหลของ filtrate ในเวลาเดียว นำ slurry ที่ได้มาหาปริมาณของตัวทำละลายและผลึกไข ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10, 4.11 และตารางที่ 4.2 พบว่าอัตราการไหลของ slurry ที่ผ่านการกรองต่ออัตราการไหลรวมจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของ slurry ที่ผ่านเครื่องกรองมีความเข้มข้นสูงขึ้น คือ ค่าของตัวทำละลายต่อไขลดลง และอัตราส่วนไขต่อตัวทำละลายใน slurry เป็น 1:2.1 ที่อัตราการไหลของ slurry ต่ออัตราการไหลรวมเป็น 0.063 และรูปที่ 4.11 อัตราการไหลของสารละลายที่กรองได้ต่ออัตราการไหลรวม จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนตัวทำละลายต่อไขลดลง คือความเข้มข้นสูงขึ้น



รูปที่ 4.8 แสดงอัตราส่วนตัวทำละลายต่อไข กับปริมาณน้ำมันในไขหลังสกัด

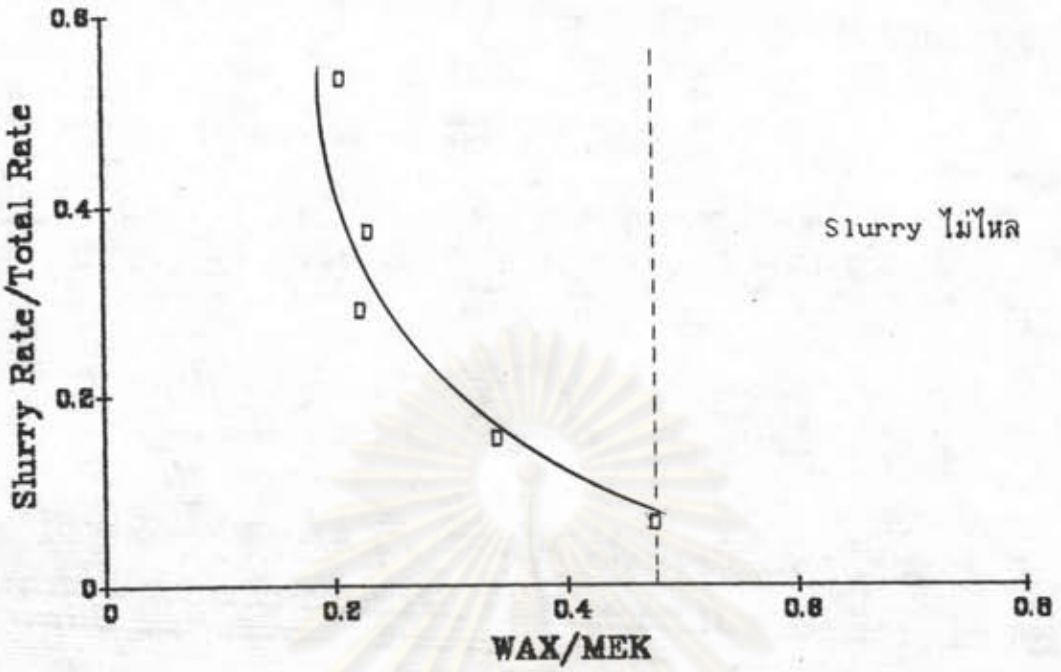


รูปที่ 4.9 แสดงอัตราการกรองที่อัตราส่วนต่าง ๆ

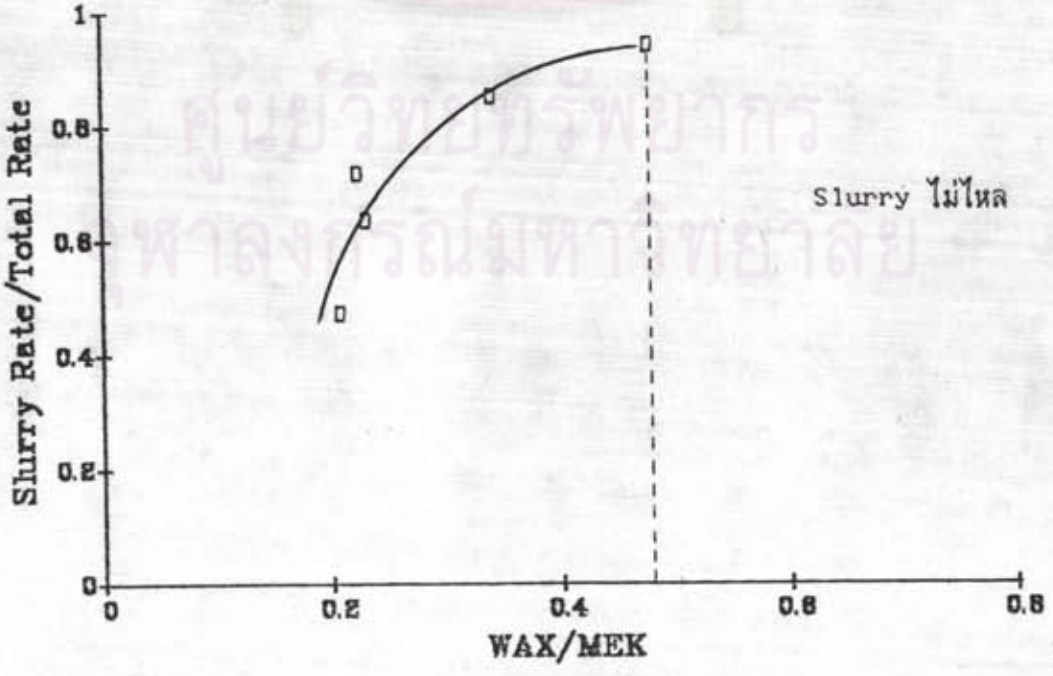
ตารางที่ 4.2 ผลของการกรองพลวัตกับความเข้มข้นของ slurry ที่ผ่านการกรอง

สภาวะการทดลอง อัตราส่วนไขต่อตัวทำละลาย MEK 1:8 อุณหภูมิการละลาย 50°ซ อุณหภูมิการตกผลึกและกรอง 25°ซ ความเร็วของใบกวนในเครื่องกรอง 85 รอบต่อนาที ความดันการกรองเฉลี่ย 304 มม.ปรอท จำนวนเพลตกรอง 2 เพลต

การทดลองที่	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วน WAX / MEK ใน slurry (wt/wt)	1:4.83	1:4.34	1:4.50	1:2.95	1:2.12	1:2.1
อัตราการไหลของ slurry ที่ผ่านการกรอง (กรัมต่อนาที)	218.26	101.62	74.48	30.90	10.62	10.18
อัตราการไหลของ filtrate (กรัมต่อนาที)	193.16	172.90	184.34	170.90	165.84	152.68
อัตราการไหลของ slurry ต่ออัตราการไหลรวม	0.531	0.370	0.288	0.153	0.060	0.063
อัตราการไหลของ filtrate ต่ออัตราการไหลรวม	0.469	0.630	0.712	0.847	0.940	0.937



รูปที่ 4.10 อัตราการไหลของ slurry กับปริมาณตัวทำละลายต่อผลึกไข ใน slurry

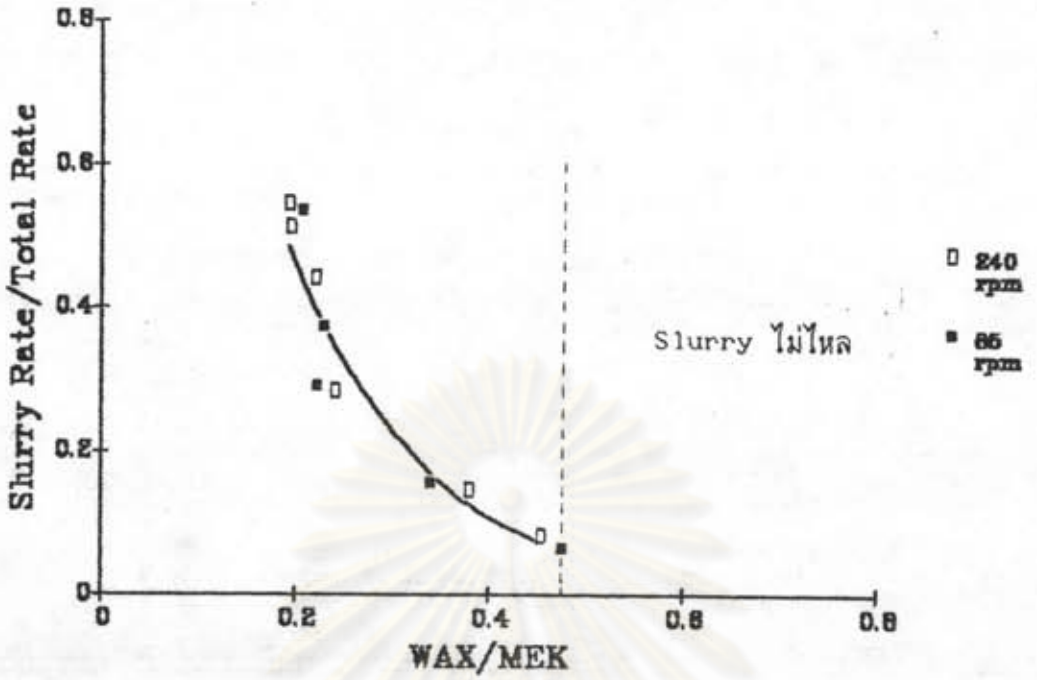


รูปที่ 4.11 อัตราการกรองกับปริมาณตัวทำละลายต่อผลึกไข ใน slurry

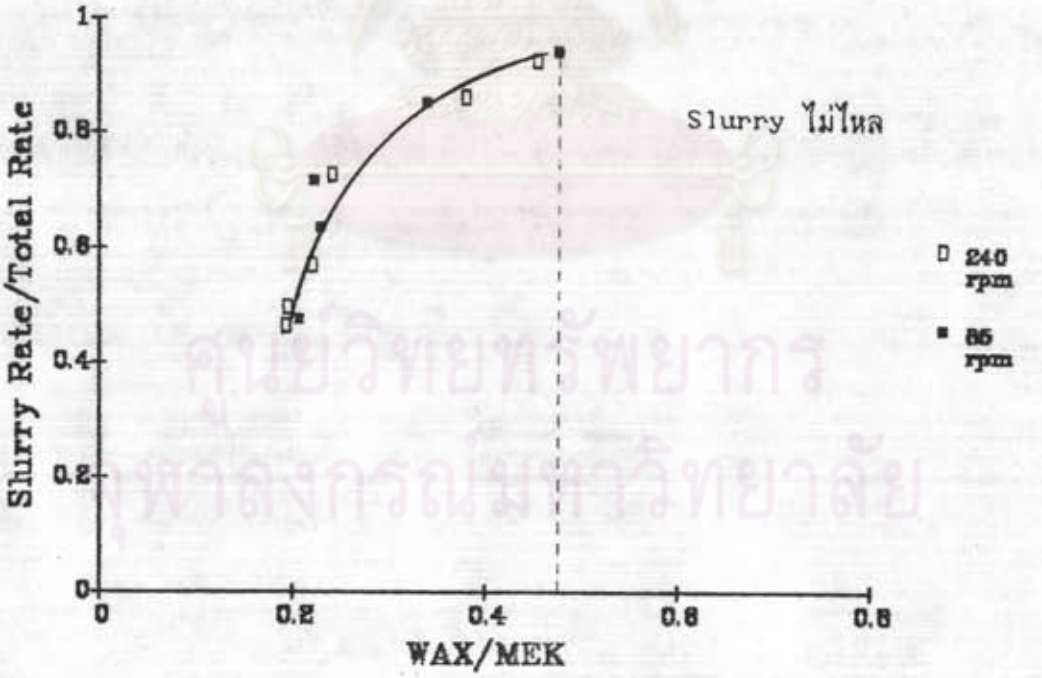
ตารางที่ 4.3 ผลของความเร็วของใบกวนในเครื่องกรองพลวัตกับความเข้มข้นและอัตราการไหลของ slurry

สภาวะการทดลอง อัตราส่วนไขต่อตัวทำละลาย MEK 1:8 อุณหภูมิการละลาย 50 °ซ อุณหภูมิการตกผลึกและกรอง 25 °ซ ความดันการกรองเฉลี่ย 314 มม.ปรอท จำนวนเพลตกรอง 2 เพลต ความเร็วใบกวนในเครื่องกรอง 240 รอบต่อนาที

การทดลองที่	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วน WAX /MEK ใน slurry (wt/wt)	1:5.17	1:5.14	1:4.52	1:4.14	1:2.63	1:2.20
อัตราการไหลของ slurry ที่ผ่านการกรอง (กรัมต่อนาที)	234.08	234.24	152.82	75.35	27.26	13.35
อัตราการไหลของ filtrate (กรัมต่อนาที)	198.22	225.74	187.08	193.21	164.00	155.00
อัตราการไหลของ slurry ต่ออัตราการไหลรวม	0.541	0.509	0.437	0.280	0.143	0.079
อัตราการไหลของ filtrate ต่ออัตราการไหลรวม	0.459	0.491	0.563	0.720	0.857	0.921



รูปที่ 4.12 ผลของอัตราการไหลของ slurry ที่ความเร็วใบกวนในเครื่องกรอง 85 และ 240 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.13 ผลของอัตราการกรองที่ความเร็วใบกวนในเครื่องกรอง 85 และ 240 รอบต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7 ผลของความเร็วของใบกวนในเครื่องกรองพลวัตกับความเข้มข้นของ slurry ที่ได้

การทดลองใช้สภาวะเดียวกับข้อ 4.6 แต่เปลี่ยนความเร็วของใบกวนในเครื่องกรองเป็น 240 รอบต่อนาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.12, 4.13 และตารางที่ 4.2, 4.3 ผลการทดลอง ที่ได้จะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลการทดลองในข้อ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบผลของความเร็วใบกวนในเครื่องกรองพบว่า ผลของความเร็วของใบกวนในเครื่องกรองที่ 240 และ 85 รอบต่อนาทีมีผลใกล้เคียงกัน ซึ่งผลของความเร็วใบกวนในเครื่องกรองช่วงนี้มีผลต่อเครื่องกรองพลวัตเพียงเล็กน้อย

4.8 ผลของอัตราการกรองในเครื่องกรองพลวัต

การทดลองใช้สภาวะการกรองคือ อัตราส่วนไขต่อตัวทำละลายเริ่มต้น 1:8 อุณหภูมิการละลาย 50 °ซ อุณหภูมิของการตกผลึกไขและการกรองที่ 25 °ซ จำนวนเพลตของการกรอง 2 เพลต ความเร็วของใบกวนในเครื่องกรอง 85 รอบต่อนาที ความดันของการกรองเฉลี่ย 314 มม.ปรอท ทำการทดลองโดยควบคุมให้ slurry ที่ผ่านเครื่องกรองมีความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถไหลได้อย่างต่อเนื่องด้วยการปิดวาล์วทางออกของ slurry ให้ slurry ในเครื่องกรองมีความเข้มข้นสูงขึ้นโดยใช้เวลาปริมาณ 3 นาที ค่อย ๆ เปิดวาล์วทางออกของเครื่องกรองให้ slurry ไหลออก และควบคุม slurry ที่ออกให้มีความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถไหลออกได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เกิดอุดตันบริเวณทางออกของ slurry ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 พบว่าอัตราการไหลของ slurry เฉลี่ย 69.05 กรัมต่อนาที จะมีการไหลที่ต่อเนื่องโดยไม่เกิดอุดตัน และผลดังรูปที่ 4.14 พบว่าปริมาณของ filtrate เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และเมื่อนำปริมาณ filtrate ที่ได้กับเวลามาหาค่าของ de/dv กับ v ดังรูปที่ 4.15 พบว่า ค่าของ de/dv เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณสารที่กรองได้อยู่ในช่วง 0-9 ซม. และความชันของเส้นกราฟจะน้อยลงเมื่อปริมาณสารที่กรองได้เพิ่มขึ้นจาก 9 ซม. เป็นต้นไป ซึ่งค่า de/dv จะบอกถึงค่าความต้านทานในการกรองของเค้กบนผ้ากรอง

ตารางที่ 4.4 ผลของการกรองพลวัต

สภาวะการทดลอง อัตราส่วนไขต่อตัวทำละลาย MEK 1:8 ไขเริ่มต้น 311.11 กรัม ปริมาณน้ำมันในไขร้อยละ 20.15 อุณหภูมิการละลาย 50 °ซ อุณหภูมิการตกผลึกและการกรอง 25 °ซ ความเร็วใบกวนในเครื่องกรอง 240 รอบต่อนาที ความดันการกรองเฉลี่ย 304 มม.ปรอท

1. Slurry

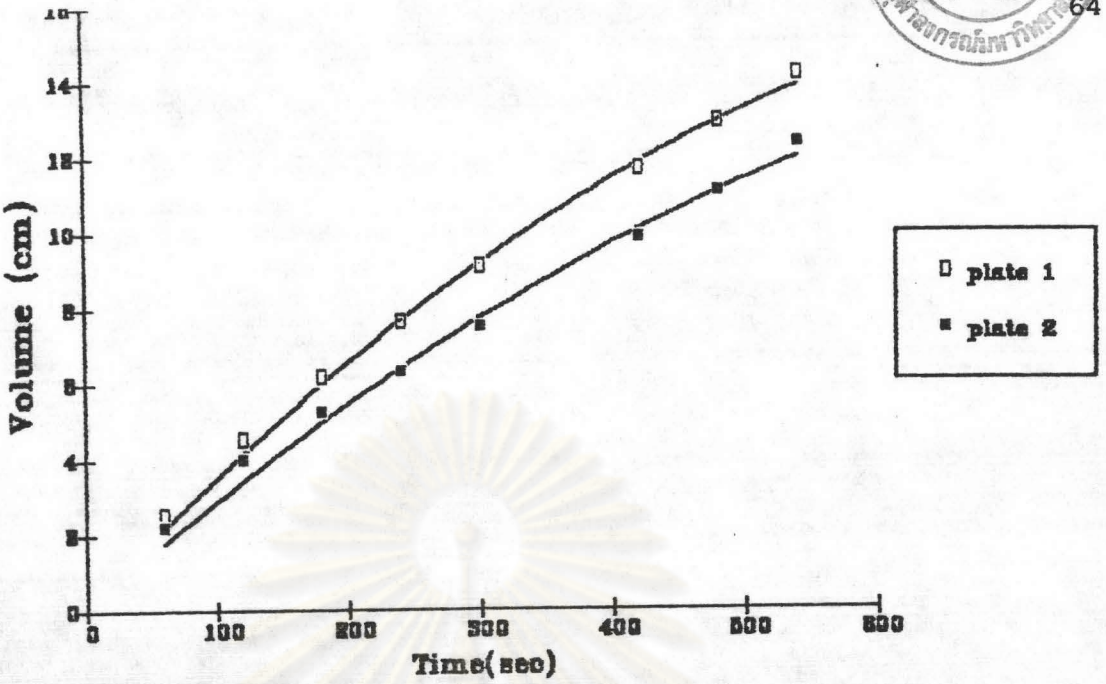
อัตราการไหลเฉลี่ย (กรัม/นาที)	69.05
ปริมาณตัวทำละลายต่อไขกับน้ำมัน(โดยน้ำหนัก)	3.65
ปริมาณผลึกไขใน slurry(%)	19.80
ปริมาณน้ำมันในไข(%)	9.56

2. Filtrate : ความหนาแน่น 0.803 กรัม/ซม.^{3} ความหนืด 0.440 กรัม/ซม-วินาที สัดส่วนโดยน้ำหนักใน filtrate ของตัวทำละลาย= 0.9542 น้ำมัน= 0.0242 ไข= 0.0217 อัตราการไหลคงที่รวม 155.86 ซม.^{3}/นาที

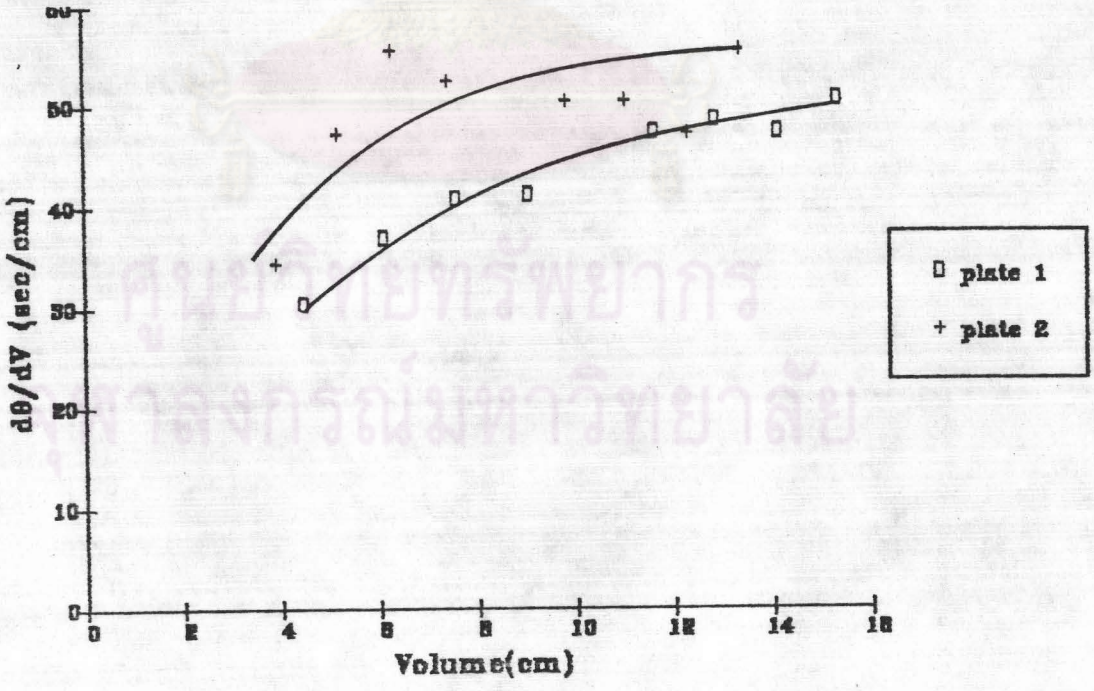
- อัตราการไหลคงที่เพลตที่ 1 และ 2 82.57 และ 73.29 ซม.^{3}/นาที และปริมาณ filtrate กับเวลาแสดงดังนี้

เวลา (วินาที)	ปริมาตรที่เพลตที่ 1 (ซม.^{3})	ปริมาตรที่เพลตที่ 2 (ซม.^{3})
60	155	135
120	280	245
180	383	325
240	476	393
300	568	465
420	728	615
480	806	690
540	886	770
620	961	838

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 ผลของปริมาณสารละลายที่กรองได้กับเวลา



รูปที่ 4.15 ผลของ de / dv กับ v

4.9 จำนวนครั้งของไขที่ผ่านเครื่องกรอง

การนำชุดของเครื่องกรองมาต่อเชื่อมกันเป็นอนุกรม มีผลทำให้ไขมีความบริสุทธิ์ขึ้น ซึ่งเปรียบได้กับการนำไขมาผ่านเครื่องกรองหลายครั้ง จำนวนชุดของเครื่องมีค่าเท่ากับจำนวนครั้งของไขที่ผ่านเครื่องกรอง การทดลองจะนำไขที่ผ่านเครื่องกรองในครั้งที่ 1 มาทำการทดลองเช่นเดิมโดยใช้สภาวะการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.8 แต่ไขเริ่มต้นแตกต่างกัน คือมีปริมาณน้ำมันในไขลดลง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 และ4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของจำนวนครั้งของไขที่ผ่านเครื่องกรอง

จำนวนครั้งที่ผ่านเครื่องกรอง	0	1	2*
ปริมาณร้อยละน้ำมันในไข	20.15	9.54	5.71

* ปริมาณน้ำมันในไขเริ่มต้นร้อยละ 10.54

จากผลการทดลองพบว่า จำนวนครั้งของการผ่านเครื่องกรองมากขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำมันในไขลดลงเมื่อไขผ่านเครื่องกรองครั้งที่ 1,2 เมื่อน้ำมันในไขเริ่มต้นเป็น (ร้อยละ) 20.15 ผ่านครั้งที่ 1 ลดลงเหลือ 9.54 และผ่านครั้งที่ 2 ลดลงเหลือ 5.71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ผลของการกรองพลวัตและการขจัดน้ำมันครั้งที่ 2

สภาวะการทดลอง อัตราส่วนไขต่อตัวทำละลาย MEK 1:8 ไขเริ่มต้น 311.11 กรัม ปริมาณน้ำมันในไขร้อยละ 20.15 อุณหภูมิการละลาย 50 °ซ อุณหภูมิการตกผลึกและการกรอง 25 °ซ ความเร็วใบกวนในเครื่องกรอง 240 รอบต่อนาที ความดันการกรองเฉลี่ย 314 มม.ปรอท

1. Slurry

อัตราการไหลเฉลี่ย (กรัม/นาที)	75.35
ปริมาณตัวทำละลายต่อไขกับน้ำมัน(โดยน้ำหนัก)	4.15
ปริมาณผลึกไขใน slurry(%)	18.37
ปริมาณน้ำมันในไข(%)	5.71

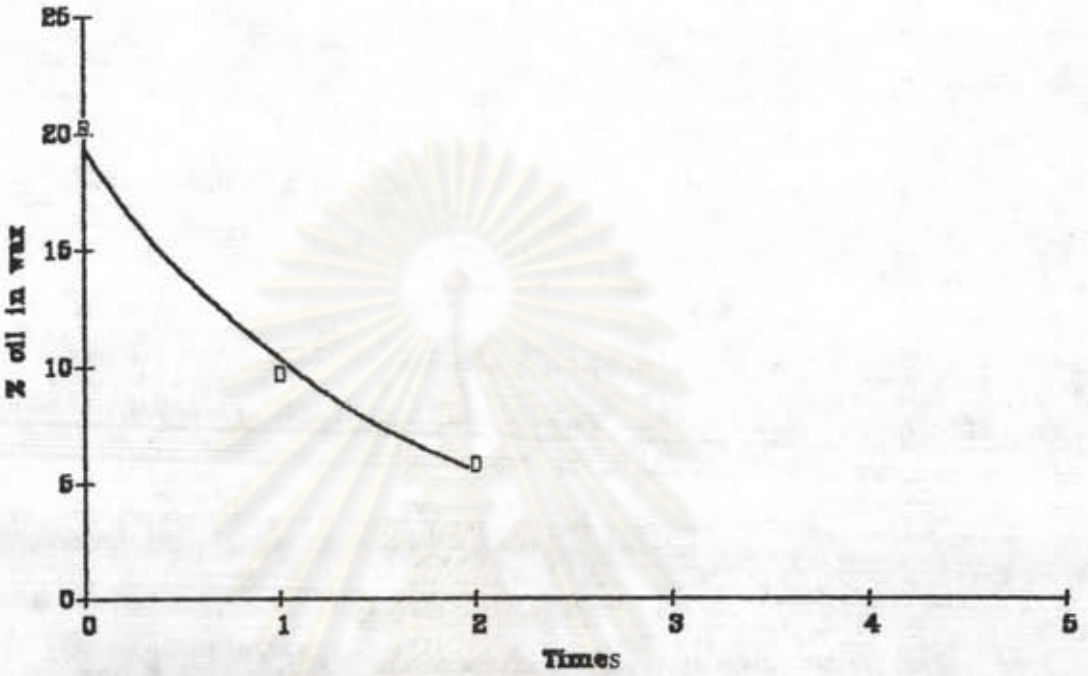
2. Filtrate : ความหนาแน่น 0.803 กรัม/ซม.^{3} ความหนืด 0.440 กรัม/ซม-วินาที สัดส่วนโดยน้ำหนักใน filtrate ของตัวทำละลาย= 0.960 น้ำมัน= 0.013 ไข= 0.027 อัตราการไหลคงที่รวม 141.87 ซม.^{3}/นาที

- อัตราการไหลคงที่เพลตที่ 1 และ 2 57.55 และ 84.32 ซม.^{3}/นาที

และปริมาณ filtrate กับเวลาแสดงดังนี้

เวลา (วินาที)	ปริมาตรที่เพลตที่ 1 (ซม.^{3})	ปริมาตรที่เพลตที่ 2 (ซม.^{3})
60	80	103
120	155	221
180	235	334
240	310	437
300	385	540
360	445	643
420	510	741
480	585	851

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 ผลของจำนวนครั้งของไขที่ผ่านเครื่องกรอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย