บทที่5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

5.1.1 การหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ (Appearance: Clear&Bright) โดยการสุ่มตัวอย่างทดสอบ จำนวน 10 ตัวอย่างให้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.1

จากข้อมูลที่ได้ในตารางพบว่า ปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่พบสูงสุดคือ 79.6 ppm. และที่ต่ำที่สุดคือ 33.6 ppm. และพบว่าปริมาณน้ำที่พบในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมีสภาพปกติเฉลี่ยแล้วคือ 56.07 ppm. ซึ่งจากข้อมูลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้ จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกตัวทำละลายที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ นั่นคือนอกจากจะมีคุณสมบัติที่สามารถละลายได้ดีกับน้ำ และไม่ละลายในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานแล้ว น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการสกัดน้ำด้วยตัวทำละลายนี้จะต้องมีปริมาณน้ำไม่สูงเกินกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบหาปริมาณน้ำที่พบในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ

5.1.2 การหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ที่มีสภาพไม่ปกติ(Appearance: Hazy) โดยการสุ่มตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ตัวอย่าง ซึ่งผลของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.2

จากตารางข้อมูลที่ได้พบว่า ปริมาณน้ำสูงสุดที่ตรวจพบคือ 3010 ppm. ปริมาณน้ำต่ำสุดที่พบคือ 478 ppm. และโดยเฉลี่ยแล้วปริมาณน้ำที่ตรวจพบว่ามีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคือ 1363.6 ppm. ซึ่งปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่พบขนาดนี้จะไม่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กับเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นจึงจะต้องมีการนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการเพื่อที่จะแยกน้ำออก ก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นสำหรับใช้งานต่อไป ซึ่งในปัจจุบัน

ตารางที่ 5.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ (Appearance: clear&bright)

sample	water(ppm)
1.	35.3
2.	43.9
3.	59.6
4.	33.6
5.	65.1
6.	79.6
7.	53.3
8.	71.8
9.	71.0
10.	47.5
min	33.6
max	79.6
avg	56.07

ตารางที่ 5.2 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพไม่ปกติ (Appearance: Hazy)

sample	water(ppm)
1.	682
2.	977
3.	478
4.	569
5.	1507
6.	3010
7.	482
8.	2190
9.	1280
10.	2461
min	478
max	3010
avg	1363.6

ในทางอุตสาหกรรมจะมีกรรมวิธีในการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน อยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ

5.1.2.1 โดยวิธีการปล่อยให้โมเลกุลของน้ำ ซึ่งหนักกว่าโมเลกุลของน้ำมันตกลงมาตามธรรมชาติ จากนั้นจึงค่อยๆ ถ่ายน้ำที่ตกลงมาออกทางด้านล่างของถังเก็บแล้วจึงนำน้ำมันส่วนบนมาใช้งานต่อไป แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือจะต้องใช้เวลานานมาก ในการปล่อยให้โมเลกุลของน้ำแยกตัวออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เพราะโมเลกุลของน้ำจะถูกทำให้เล็กลงมากในขณะที่ผ่านปั๊มพ์

และน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเองก็มีความหนืดสูงจึงทำให้น้ำไม่สามารถตกลงสู่ด้านล่างได้อย่างสะดวก วิธีนี้บางครั้งอาจต้องใช้เวลา 3-6 เดือนจึงจะสามารถนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานไปใช้งานได้ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการผลิตทางภาคอุตสาหกรรมไม่สามารถที่จะใช้วิธีนี้ได้ เพราะใช้เวลานานมากเกินไป

5.1.2.2 โดยวิธีใช้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ ผสมปนไปในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพไม่ปกติ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว แต่ข้อเสียคือจะต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติจำนวนมาก (ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ตรวจพบ) จนกว่าน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผสมนั้นมีปริมาณของน้ำอยู่ในเกฑณ์ที่สามารถจะนำไปใช้ในการผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ต่อไปได้

5.1.2.3 โดยวิธีการใช้ความร้อน เพื่อทำให้โมเลกุลของน้ำกลายเป็นไอแล้วระเหยออกไปในที่สุด ซึ่งวิธีนี้กระทำได้อย่างรวดเร็วและเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันหล่อลื่นในปัจจุบัน แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ ไม่สามารถ ที่จะใช้ความร้อน ได้สูงมากเกินกว่า 100 °C ทั้งนี้เพราะจะทำให้โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานบางส่วน เกิดการสลายตัวหรือเกิดการแตกหักของพันธะ ซึ่งจะมีผลทำให้สีของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากวิธีการนี้ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลไหม้ ซึ่งจะทำให้เกิดความยุ่งยากต่อกระบวนการผลิต และการควบคุมคุณภาพ

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ได้ประยุกต์เอาเอากรรมวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว มาใช้ในการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยอ้างอิงหลักการทำงานของคอลัมน์ แบบ scheibel Column เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น

จากข้อมูลในตารางที่ 5.1 และ 5.2 สามารถที่จะใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างกันของปริมาณน้ำที่ตรวจพบในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานทั้ง 2 ลักษณะ ซึ่งตัวเลขเหล่านี้อาจใช้เป็นเกฑณ์ ในการแยกน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานทั้ง 2 ลักษณะออกจากกัน สำหรับช่วงตัวเลขที่ขาดหายไประหว่าง79.7 -477 ppm. จากการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบจะไม่พบปริมาณของน้ำในช่วงนี้ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมาตรวจสอบ อาจจะทำการสุ่มตัวอย่างที่น้อยเกินไป

5.2 การทดสอบหาตัวทำละลายที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัย

การทดสอบหาตัวทำละลาย ที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัย โดยการพิจารณาความสามารถในการละลายน้ำของตัวทำละลาย ดังในตารางที่ ก.11 และพิจารณาจากตารางตัวอย่างการคัดเลือกสารที่ใช้ ในการสกัดของเหลวด้วยของเหลว ดังในตารางที่ ก.12 นอกจากนี้ยังพิจารณาจากสารที่อยู่ในกลุ่มของ surfactants โดยที่ตัวทำละลายที่นำมาทดสอบนั้นจะต้องมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี และจะต้องไม่ละลายในน้ำหล่อลื่นพื้นฐานที่มีน้ำปนอยู่ (ทดสอบปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานตัวอย่างได้ 15,558 ppm.) โดยนำมาผสมกับตัวทำละลาย ในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นเขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกสารที่ความเร็ว 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาทีเสร็จแล้วจึงนำเอาส่วนที่เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน มาตรวจสอบหาปริมาณน้ำที่มีเหลืออยู่ ผลการตรวจสอบหาปริมาณน้ำดังแสดงในตารางที่ 5.3

จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 5.3 จะพบว่าตัวทำละลายพวก surfactants จะสามารถละลายน้ำที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้ดีกว่า สารในกลุ่มที่เป็น organic และในกลุ่มที่เป็น surfactants นั้นกลุ่มของ Polyethylene glycol จะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่า กลุ่มของ Nonylphenol ethoxylate ดังนั้นกลุ่มของ surfactants ที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัย ในครั้งนี้คือ Polyethylene glycol โดยที่ในกลุ่มนี้ยังพบว่า ถ้ายิ่งมีมวลโมเลกุลมาก จะสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น แต่ข้อเสียคือจะมีความหนืดมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งจะทำให้การแยกตัวออกจากกันของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและตัวทำละลายลดลง ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ย 56.07 ppm. กับข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 5.3 พบว่าตัวที่น่าจะนำมาพิจารณาคือ PEG 300 และ PEG 400 โดยที่ PEG 300 จะให้ค่าใกล้เคียงกับ ค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 54.1 ppm.และ PEG 400 มีค่าเท่ากับ 45.1 ppm. ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งนี้จะใช้PEG 300 เป็นตัวทำละลายในการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

5.3 การทดสอบหาการตกค้างของ Polyethylene glycol(PEG) 300

การทดสอบทำได้ โดยการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของสาร ใน

ตารางที่ 5.3 การทดสอบความสามารถในการละลายน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ของตัวทำละลายชนิดต่างๆ

sample	water(ppm)
1.Base oil+acetone	460
2.Base oil+NaCl	3109
3.Base oil+Ethyl Alc	3472
4.Base oil+Acetic acid	788
5.Base oil+Teric GN10	64.9
6.Base oil+Teric PE61	75.2
7.Base oil+Teric PE64	180
8.Base oil+Teric PE304	460
9.Base oil+PEG200	102
10.Base oil+PEG300	54.1
11.Base oil+PEG400	45.1
12.Base oil+PEG600	21.3
min	21.3
max	3474

ช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 4000- 400 nm. จากนั้นจึงนำ peak ที่ได้มาเปรียบเทียบดูผลความแตกต่างกันอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ คือ เครื่อง Infrared Spectrophotometer ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ คือ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานสภาพปกติ, ตัวทำละลาย PEG 300, น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้หลังจากการแยกน้ำด้วย ตัวทำละลาย PEG300 ผลการทดสอบเพื่อหาโครงสร้างของสารด้วย

เครื่อง IR ดังแสดงในรูปที่ 5.1, 5.2, และ 5.3

จาก Peak ในรูปที่ 5.1 ซึ่งเป็น Peak ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะเห็นว่า Peak ที่ปรากฏชัดเจนจะขึ้นอยู่ในช่วง 2854-2922 nm. และที่ช่วง 1377-1461 nm.

จาก Peak ในรูปที่ 5.2 Peak ของ PEG 300 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง Peak ในรูปที่ 5.1 กับรูปที่ 5.2 จะพบได้อย่างชัดเจนว่าลักษณะของ Peak จะแตกต่างกันมากในทุกช่วงความยาวคลื่นซึ่งลักษณะของ Peak ที่ได้เช่นนี้ จะสามารถใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับลักษณะของ Peakที่ได้จากตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ที่ผ่านการแยกน้ำออกด้วยตัวทำละลาย PEG 300 แล้ว

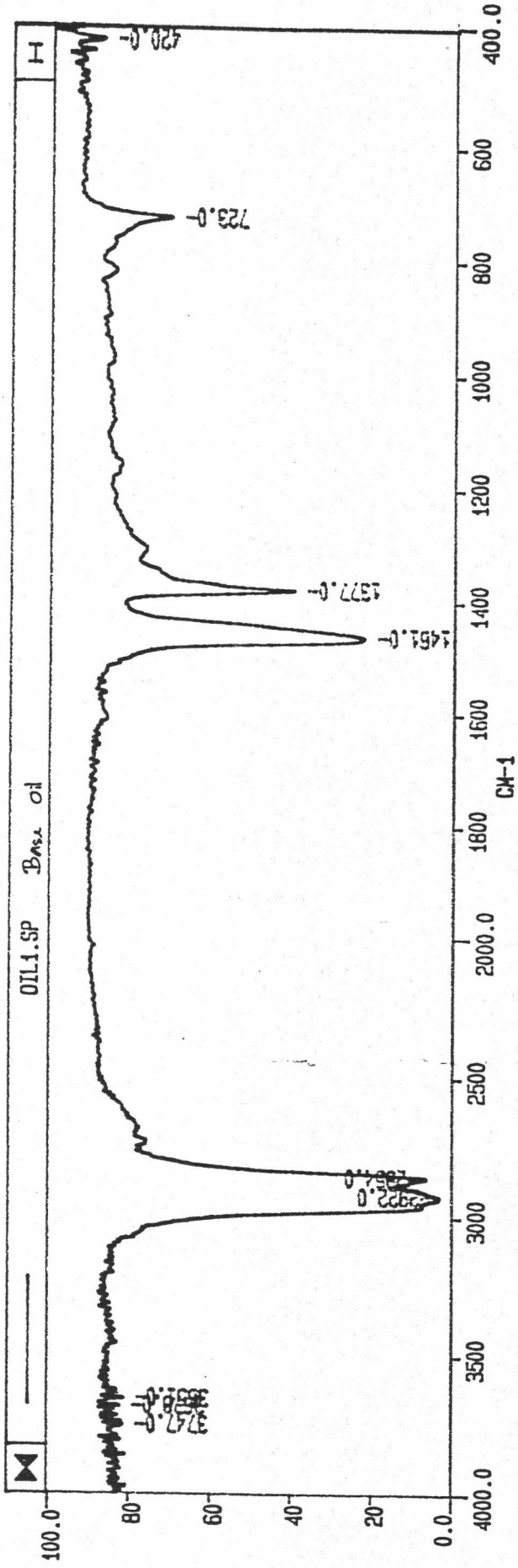
จากรูปที่ 5.3 ซึ่งเป็น Peak ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านการแยกน้ำออกด้วยตัวทำละลาย PEG 300 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบ Peak กับรูปที่ 5.1 จะพบว่า Peak ที่ปรากฏนั้นจะขึ้นอยู่ในช่วงเดียวกันทั้งสิ้นและเมื่อนำรูปที่ 5.1 และ 5.3 มาซ้อนทับกัน พบว่าสามารซ้อนทับกันได้พอดีซึ่งจากลักษณะของPeak ที่ได้เช่นนี้ย่อมแสดงว่า Polyethylene glycol (PEG)300 สามารถที่จะละลายน้ำที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้ดี และไม่ละลายรวมกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน หรือไม่เหลือตกค้างในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานหลังจากที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานแล้ว

5.4 การหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ

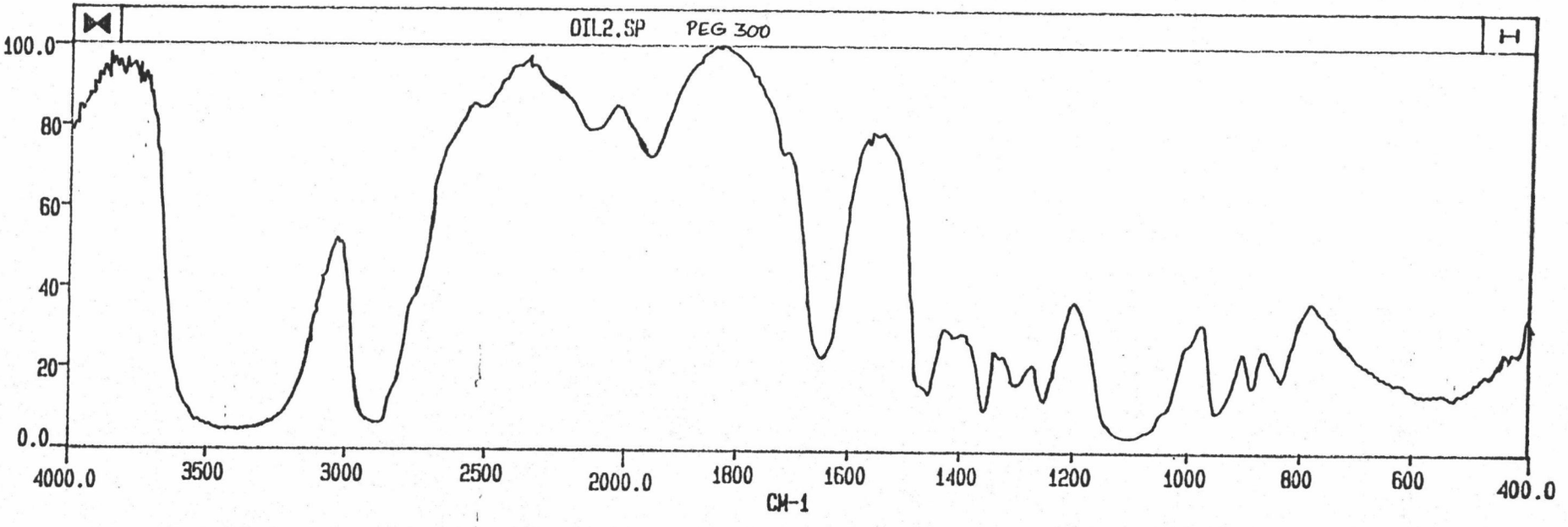
5.4.1 เมื่อกำหนดให้อัตราเร็วในการไหลของตัวทำละลายคงที่ จากการทดสอบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่จะนำมาใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองได้ 3578 ppm.

5.4.1.1เมื่อให้อัตราการไหลของตัวทำละลาย: อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 , และ 1:5 โดยที่ให้ความเร็วของมอเตอร์เป็น 100 รอบ/นาที ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.1และในกราฟรูปที่ ก.1

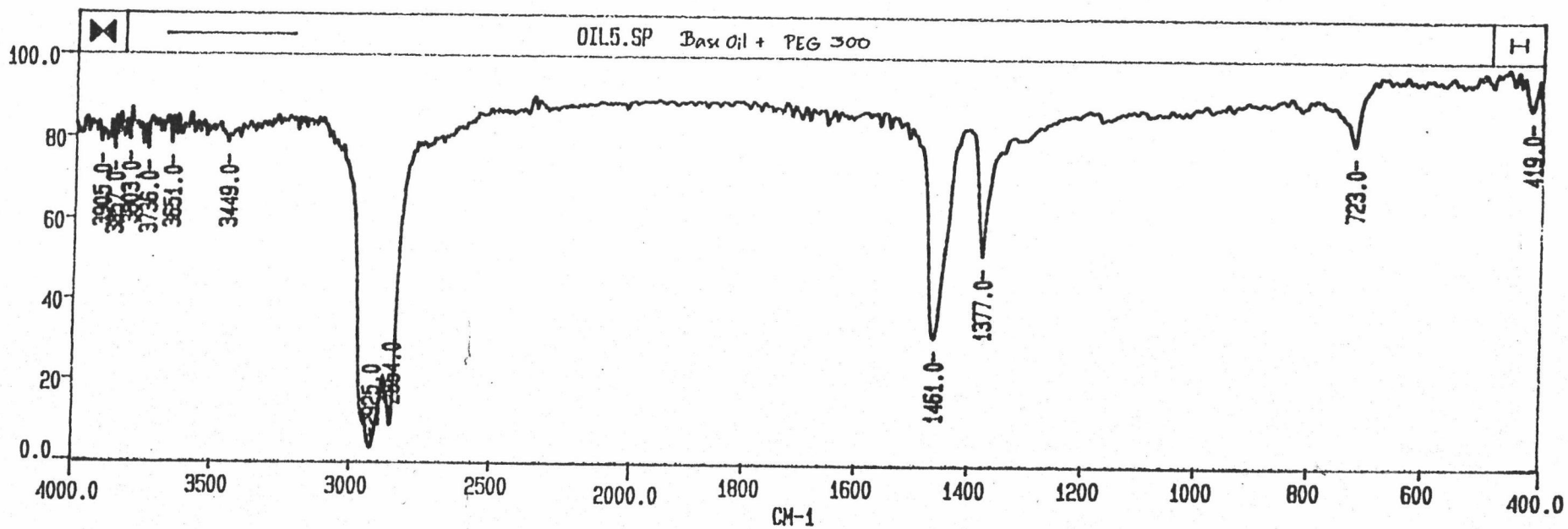
ซึ่งจากข้อมูลในตารางที่ ก.1และในกราฟรูปที่ ก.1 พบว่าที่อัตรา



รูปที่ 6.1 อินฟาเรดสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ



รูปที่ 6.2 อินฟาเรดสเปกตรัมของตัวทำละลาย PEG 300



รูปที่ 6.3 อินฟาเรดสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการแยกน้ำ
ด้วยตัวทำละลาย PEG 300

การไหลของตัวทำละลาย : น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เป็น 1:1 จะพบว่ามีน้ำอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน น้อยที่สุด คือ เฉลี่ยประมาณ 52.25 ppm.และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมากขึ้น จะพบว่าปริมาณน้ำที่พบในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานซึ่งผ่านกระบวนการสกัดแยกน้ำแล้วจะมีค่าสูงขึ้นและสูงที่สุดคือเฉลี่ยประมาณ 123.23 ppm.และยังพบอีกว่าที่ในแต่ละอัตราส่วนการไหลของสาร ปริมาณของน้ำที่ทดสอบได้จะมีค่าคงที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าเวลาที่ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นแต่ละโมเลกุลอยู่ในคอลัมน์จะใช้เวลาใกล้เคียงกัน ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารจึงเกิดใกล้เคียงกันด้วย ดังนั้นตัวอย่างของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่เก็บหลังจากผ่านกระบวนการแยกน้ำออกแล้ว จะมีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่าจะเก็บที่เวลาใดก็ตามนั่นคือปริมาณของน้ำที่ทดสอบได้จะไม่ขึ้นกับเวลา

และจากกราฟรูปที่ ก.1 ช่วงที่มีการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจาก 1:3 ไปเป็น 1:4 จะให้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานสูงที่สุด คือเปลี่ยนจาก 71.7ppmไปเป็น 102.88ppm.

5.4.1.2 เมื่อให้อัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 โดยที่ความเร็วของมอเตอร์เป็น 300 รอบ/นาที ผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.2 และใน กราฟรูปที่ ก.2

ซึ่งจากข้อมูลในตารางที่ ก.2 และในกราฟรูปที่ ก.2 พบว่าข้อมูลที่ได้จะสอดคล้องกับข้อมูลในหัวข้อที่ 5.4.1.1 นั่นคือที่อัตราการไหลของตัวทำละลาย: น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 1:1 พบว่ามีน้ำอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานน้อยที่สุด โดยมีปริมาณเฉลี่ยคือ 38.02 ppm. และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้สูงขึ้น พบว่าปริมาณน้ำที่พบในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ และจะมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วน 1:5 ซึ่งจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 95.3 ppm. และยังพบอีกว่าที่ในแต่ละอัตราส่วนการไหลของสารปริมาณน้ำที่ทดสอบได้ จะมีค่าคงที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากว่า เวลาที่ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานแต่ละโมเลกุล ใช้ในการสัมผัสกับตัวทำละลายภายในคอลัมน์จะใกล้เคียงกัน ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นใกล้เคียงกันด้วย ดังนั้นตัวอย่างของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ที่เก็บหลังจากผ่านกระบวนการแยกน้ำแล้ว จะมีค่าปริมาณของน้ำใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะเก็บที่เวลา

ใด ๆ ก็ตามนั่นคือจะไม่ขึ้นกับเวลา

และจากกราฟรูปที่ ก.2 พบว่าช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจาก 1:3 ไปเป็น 1:4 จะให้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานสูงที่สุดคือเปลี่ยนจาก 55.68 ppm. ไปเป็น 78.23 ppm.

5.4.1.3 เมื่อให้อัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, และ 1:5, โดยที่ให้ความเร็วของมอเตอร์เป็น 500 รอบ/นาที ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.3 และในกราฟรูปที่ ก.3

ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ ก.3 และในกราฟรูปที่ ก.3 พบว่าข้อมูลที่ได้จะสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้ในหัวข้อที่ 5.4.1.1 และ 5.4.1.2 นั่นคือที่อัตราการไหลของตัวทำละลาย : น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็น 1:1 พบว่าจะมีน้ำอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานน้อยที่สุด คือจะมีปริมาณน้ำเฉลี่ย 29.62 ppm. และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้สูงมากขึ้น พบว่าปริมาณน้ำที่พบในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ และจะมีค่าสูงที่สุดที่อัตราส่วน 1: 5 ซึ่งจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 65.58 ppm. แต่ปริมาณน้ำที่วัดได้ในหัวข้อ 5.4.1.3 จะต่ำกว่าปริมาณน้ำที่วัดได้จากหัวข้อ 5.4.1.2 และ 5.4.1.1 ตามลำดับ และยังพบอีกว่าในแต่ละอัตราส่วน ปริมาณของน้ำที่ทดสอบได้จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะเนื่องจากว่าเวลาที่ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานแต่ละโมเลกุลใช้ในการสัมผัสกับตัวทำละลายภายในคอลัมน์จะใกล้เคียงกันทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นใกล้เคียงกันด้วย ดังนั้นตัวอย่างของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่เก็บหลังจากผ่านกระบวนการแยกน้ำแล้วจะมีปริมาณของน้ำที่ใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะเก็บที่เวลาใดก็ตามและจากกราฟรูปที่ ก.3 พบว่าช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจาก 1:4 ไปเป็น1:5 จะให้อัตราการเพิ่มของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานสูงที่สุดคือเปลี่ยนจาก 46.72 ppm.ไปเป็น 65.50 ppm. และในช่วงที่เปลี่ยนจาก 1:1ไปเป็น 1:2 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานต่ำที่สุดคือเปลี่ยนจาก 29.62 ppm. ไปเป็น 30.6 ppm. ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกันมาก นั่นคือที่ความเร็วมอเตอร์ 500 รอบ/นาที โมเลกุลของตัวทำละลายและโมเล

กุลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ซึ่งแตกกระจายเป็นเม็ดเล็ก ๆ จะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากขึ้น เกิดการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น จนกระทั่งปฏิกิริยาเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลจึงทำให้ผลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกันมาก

5.4.1.4 เมื่อให้อัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, และ 1:5,โดยที่ความเร็วของมอเตอร์เป็น 700 รอบ/นาที ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.4 และในกราฟรูปที่ ก.4

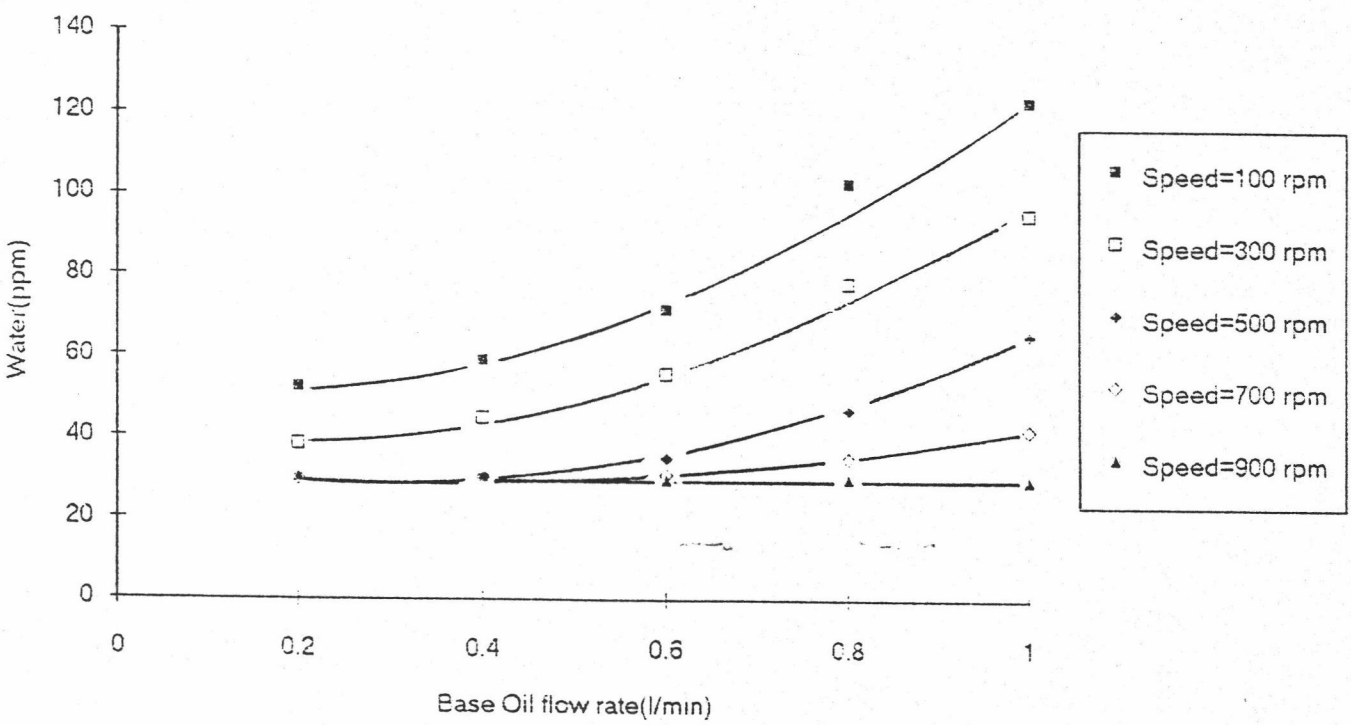
จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ ก.4 และในกราฟรูปที่ ก.4 พบว่าที่อัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 1:1,1:2, และ 1:3 จะมีปริมาณน้ำที่ตรวจพบในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 30 ppm. และที่อัตราส่วน 1:5 จะพบว่ามีปริมาณน้ำสูงสุดคือประมาณ 41.88 ppm. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองในหัวข้อ 5.4.1.3, 5.4.1.2, และ 5.4.1.1 แล้วจะมีค่าที่น้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะเมื่อความเร็วของมอเตอร์เพิ่มมากขึ้น จะเกิดการถ่ายเทมวลสารได้เพิ่มขึ้น และระบบจะปรับตัวเพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลได้มากขึ้น

และในขณะเดียวกัน ข้อมูลในแต่ละอัตราส่วนการไหลของสารก็จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบในหัวข้อก่อนหน้านี้

5.4.1.5 เมื่อให้อัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็น 1:1,1:2,1:3,1:4, และ 1:5 โดยที่อัตราเร็วมอเตอร์เป็น 900 รอบ/นาที ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.5 และในกราฟรูปที่ ก.5

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ ก.5และในกราฟรูปที่ ก.5 พบว่าที่อัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยที่ทุกอัตราส่วนจะให้ค่าในการทดสอบหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานใกล้เคียงกันทั้งหมด ทั้งนี้เพราะที่ความเร็ว 900 รอบ/นาที ปฏิกิริยาและการถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในทุกอัตราส่วน ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล นั่นคือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในทุกอัตราส่วน จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำที่วัดได้จากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน การถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ก่อนที่น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะไหลออกจากคอลัมน์

5.4.1.6 เมื่อให้อัตราการไหลของตัวทำละลาย:อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็น 1:1,1:2,1:3,1:4,และ 1:5 โดยที่ความเร็วของมอเตอร์เป็น 100,300,500,700 และ 900 รอบ/นาที ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.1-ก.5 และในกราฟรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เมื่ออัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 l/min.

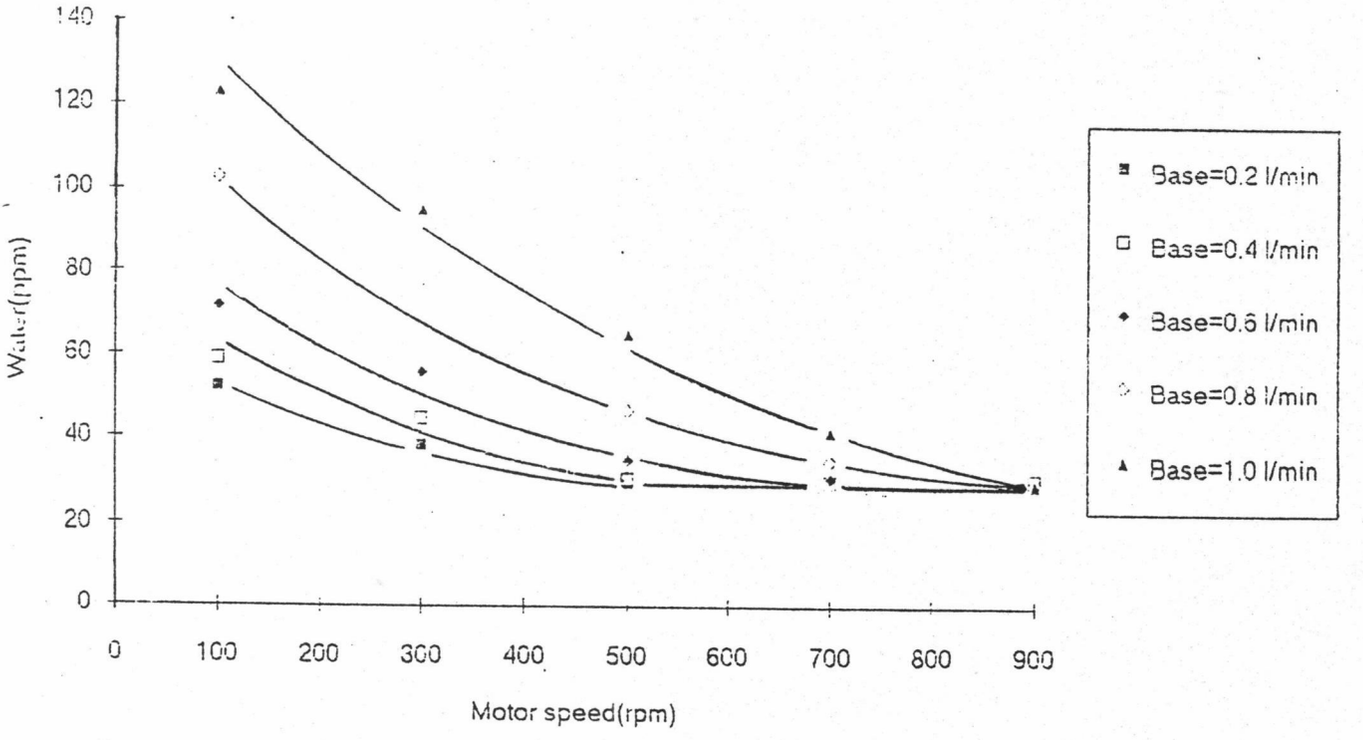
จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ ก.1-ก.5และในกราฟรูปที่ 5.4 พบว่าที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ ค่าเดียวกันเช่น ที่เส้นกราฟความเร็วรอบของมอเตอร์ 100

รอบ/นาที เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้มากขึ้น ปริมาณน้ำที่ตรวจพบในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก็จะสูงมากขึ้นตามไปด้วยแต่เมื่อเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ให้สูงขึ้น จะพบว่า ปริมาณของน้ำ ที่วัดได้ ที่อัตราการไหลของตัวทำละลาย: อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเดียวกัน จะมีปริมาณน้ำลดลงทั้งนี้เพราะเมื่อเพิ่มความเร็วของมอเตอร์น้ำมันจะถูกตีให้แตกกระจายเป็นเม็ดเล็ก ๆ ในตัวทำละลาย ทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกันของสารเพิ่มมากขึ้น เกิดการถ่ายเทมวลสารเพิ่มมากขึ้น และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อเพิ่มความเร็วของมอเตอร์มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 500 รอบ/นาที พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 0.2 และ 0.4 ลิตร/นาที จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกันกับที่ความเร็วมอเตอร์เป็น 700 และ 900 รอบ/นาที ส่วนที่ความเร็วมอเตอร์ 900 รอบ/นาที พบว่า อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่เพิ่มมากขึ้นจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่วัดได้ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในคอลัมน์ ก่อนที่น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะไหลออกจากคอลัมน์

จากกราฟรูปที่ 5.4 เมื่อพิจารณาถึงอัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน, ความเร็วของมอเตอร์ และปริมาณน้ำที่ทดสอบได้ จะพบว่าที่ตำแหน่งอัตราการไหล 1:2 ความเร็วมอเตอร์ 500 รอบ/นาที จะมีปริมาณน้ำที่ได้จากการทดสอบประมาณ 30 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้เพราะนอกจากปฏิกิริยาจะอยู่ในสภาวะสมดุล ปริมาณน้ำที่ได้จากการทดสอบ จะมีค่าประมาณ 30 ppm ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีสภาพปกติ (56.07 ppm) ความเร็วที่ใช้ในการทำงานก็ไม่สูงมากเกินไป ทำให้ง่ายต่อการควบคุมและประหยัดพลังงาน

5.4.1.7 เมื่ออัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 1:1,1:2,1:3,1:4 และ 1:5 โดยที่ความเร็วของมอเตอร์เป็น 100,300,500,700 และ 900 รอบ/นาที ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.1-ก.5 และในกราฟรูปที่ 5.5

จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ ก.1-ก.5และจากในกราฟรูปที่ 5.5 จะพบว่าในกราฟแต่ละเส้นจะแสดงถึงอัตราการไหลของตัวทำละลาย :อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยที่จากเส้นบนสุดจะมีอัตราส่วนเป็น 1:5,1:4,1:3,1:2 และ



รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับความเร็วมอเตอร์ เมื่อให้อัตราการไหลของตัวทำละลายคงที่ 0.2 l/min

1:1 ตามลำดับ ซึ่งในเส้นกราฟแต่ละเส้นได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อมอเตอร์มีความเร็วสูงมากขึ้น ปริมาณน้ำที่วัดได้ก็จะลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ความเร็วค่าหนึ่ง และเมื่อลดอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้ต่ำลง จะพบว่าการเข้าสู่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยานั้น จะใช้ความเร็วที่ลดลงด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่นที่อัตราส่วนการไหลของสารเป็น 1:5 ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ความเร็วประมาณ 900 รอบ/นาที ในขณะที่อัตราส่วนการไหลของสารเป็น 1:3 ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ความเร็วประมาณ 700 รอบ/นาที หรือที่อัตราส่วนการไหลของสารเป็น 1:2 และ 1:1 ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ความเร็วมอเตอร์ประมาณ 500 รอบ/นาที นั่นคือยิ่งมีการเพิ่มความเร็วมอเตอร์ให้มากขึ้น ปฏิกิริยาก็จะเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วมากขึ้นเพราะพื้นที่ผิวในการสัมผัสกันของสารเพิ่มมากขึ้นการถ่ายเทมวลสารก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

และจากกราฟที่ได้ จะพบว่าความเร็วของมอเตอร์ต่ำสุดที่ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สภาวะสมดุลได้คือ 500 รอบ/นาที ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 ดังนั้นถ้าพิจารณาถึงด้านค่าใช้จ่ายแล้ว ที่อัตราเร็ว 500 รอบ/นาที และที่อัตราส่วน 1:2 จะประหยัดกว่าเพราะนอกจากจะให้ผลในการแยกน้ำที่ใกล้เคียงกันแล้ว ที่อัตราส่วน 1:2 จะให้ผลผลิตที่มากกว่าอัตราส่วน 1:1ในขณะที่มีการใช้ปริมาณของตัวทำละลายเท่ากัน

5.4.2 เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ โดยที่อัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็น 1:1, 2:1,3:1,4:1 และ 5:1

5.4.2.1 เมื่อความเร็วของมอเตอร์เป็น 100 รอบ/นาที ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.6 และในกราฟรูปที่ ก.6

จากข้อมูลในตารางที่ ก.6 และในกราฟรูปที่ ก.6 พบว่าที่อัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เป็น1:1 คือเส้นบนสุด จะพบว่ามีปริมาณน้ำอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมากที่สุด คือจะมีปริมาณเฉลี่ย 52.25 ppm. และเมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลของตัวทำละลายให้มากขึ้น พบว่าปริมาณน้ำจะลดลงตามลำดับ ที่อัตราการไหล 4:1 และ 5:1 พบว่าปริมาณน้ำที่ทดสอบได้นั้น จะใกล้เคียงกันมาก นั่นคือที่อัตราส่วนการไหล 4:1 มีปริมาณน้ำเฉลี่ย 31.06 ppm. และที่ 5:1 มีปริมาณน้ำเฉลี่ย 29.92 ppm

นอกจากนี้ยังพบว่าในแต่ละอัตราส่วนการไหล ปริมาณของน้ำที่ทดสอบได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะอัตราการถ่ายเทมวลสารภายในคอลัมน์เกิดใกล้เคียงกัน เวลาที่สารใช้ในการสัมผัสกันภายในคอลัมน์ก็ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหลังจากที่ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานไหลออกจากคอลัมน์แล้ว ปริมาณของน้ำที่พบในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะเท่ากันตลอด จะไม่ขึ้นกับเวลา และจากกราฟช่วงที่มีการเปลี่ยนอัตราการไหลจาก 1:1 ไปเป็น 2.1 ปริมาณน้ำจะลดลงสูงที่สุดคือจาก 52.95 ppm ไปเป็น 42.78 ppm และที่อัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นจะเห็นว่า การลดลงของปริมาณน้ำก็จะน้อยลงเช่นกัน นั่นแสดงว่าเมื่ออัตราการไหลของตัวทำละลายเพิ่มสูงขึ้น การเข้าสู่สภาวะสมดุล ก็จะดำเนินไปได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

5.4.2.2 เมื่อความเร็วมอเตอร์เป็น 300 รอบ/นาที ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.7 และในกราฟรูปที่ ก.7

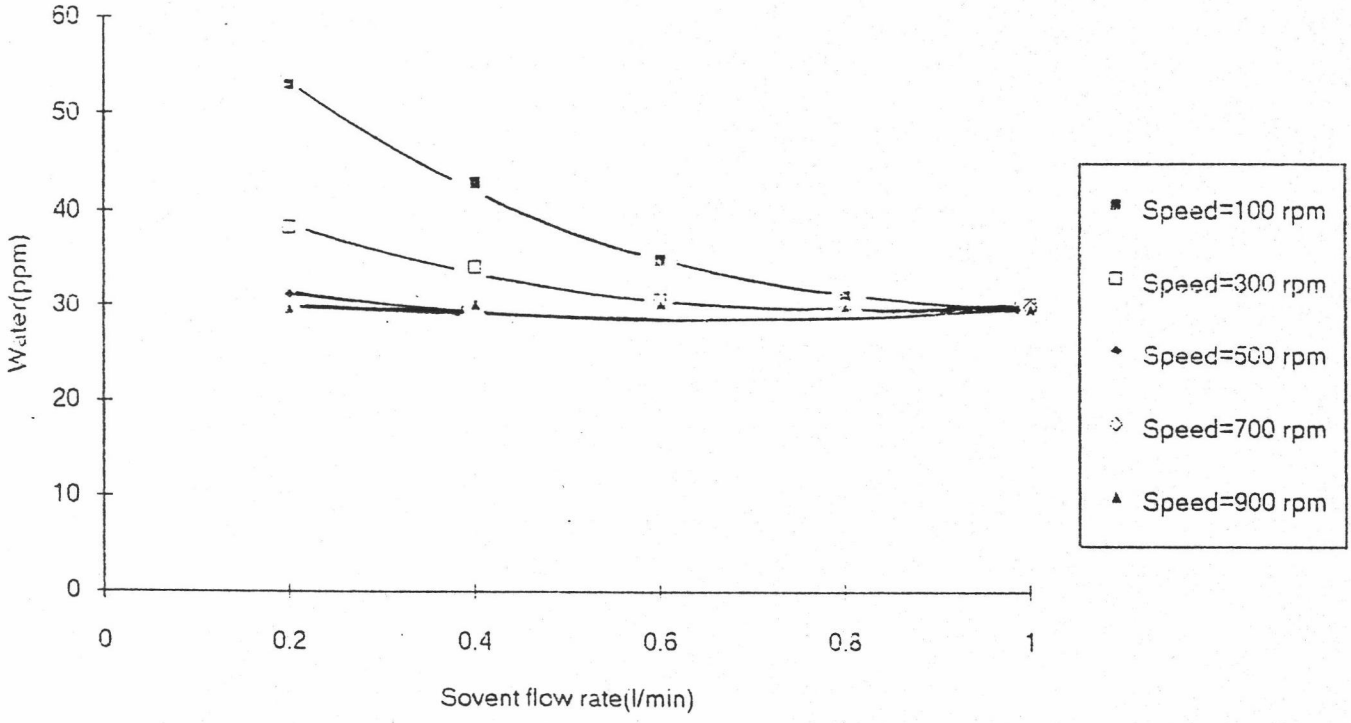
จากข้อมูลในตารางที่ ก.7 และในกราฟรูปที่ ก.7 พบว่าที่อัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เป็น 1:1 จะมีปริมาณน้ำสูงที่สุด คือมีค่าเฉลี่ย 38.26 ppm และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของตัวทำละลายมากขึ้น พบว่า ปริมาณน้ำที่ทดสอบได้จะลดลงอีก จนกระทั่งอัตราส่วนการไหลของสารตั้งแต่ 3:1, 4:1 และ 5:1ปริมาณน้ำที่ทดสอบได้จะมีปริมาณใกล้เคียงกันตลอด ซึ่งชี้ให้เห็นว่า นอกจากการเพิ่มอัตราการไหลของตัวทำละลายให้มากขึ้นจะช่วยให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้นแล้ว การเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ก็มีส่วนช่วยให้การถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นได้มากขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่าปริมาณน้ำที่ทดสอบได้เฉลี่ยในอัตราส่วนการไหลของสารเดียวกัน ที่ความเร็ว 100 รอบ/นาที และ 300 รอบ/นาที และอีกประการหนึ่งพบว่า เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว การถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว ถึงแม้จะมีการเพิ่มอัตราไหลของตัวทำละลายหรือเพิ่มความเร็วมอเตอร์ก็ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระบบแต่อย่างใด

5.4.2.3 เมื่อความเร็วมอเตอร์เป็น 500, 700 และ 900 รอบ/นาที ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ก.8, ก.9 และ ก.10 และแสดงในกราฟรูปที่ ก.8, ก.9 และ ก.10

จากข้อมูลในตารางที่ ก.8 ,ก.9 และ ก.10 และในกราฟรูปที่ ก.8, ก.9 และ ก.10 พบว่าที่ทุกอัตราการไหลของตัวทำละลาย จะทดสอบหาปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้ใกล้เคียงกันทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่า ปฏิกิริยาและการถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และเข้าสู่สภาวะสมดุลในทุกอัตราการไหลของตัวทำละลายที่ความเร็วของมอเตอร์ตั้งแต่500 รอบ/นาทีและเมื่อถึงสภาวะสมดุลแล้วถึงแม้จะมีการเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ให้สูงขึ้นหรือเพิ่มเวลาในการสัมผัสกันของสารเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาและเกิดการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น ก็จะไม่มีผลต่อสภาวะสมดุลนั้นดังจะเห็นได้จากปริมาณน้ำที่วัดได้จากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

5.4.2.4 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของตัวทำละลาย : อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ที่เพิ่มขึ้นจาก 1:1 ถึง 5:1 กับปริมาณของน้ำที่ทดสอบได้ที่ความเร็วมอเตอร์ต่างๆ กัน ผลที่ได้จากการทดลองดัง

แสดงในตารางที่ ก.6 - ก.10 และแสดงในกราฟรูปที่ 5.6

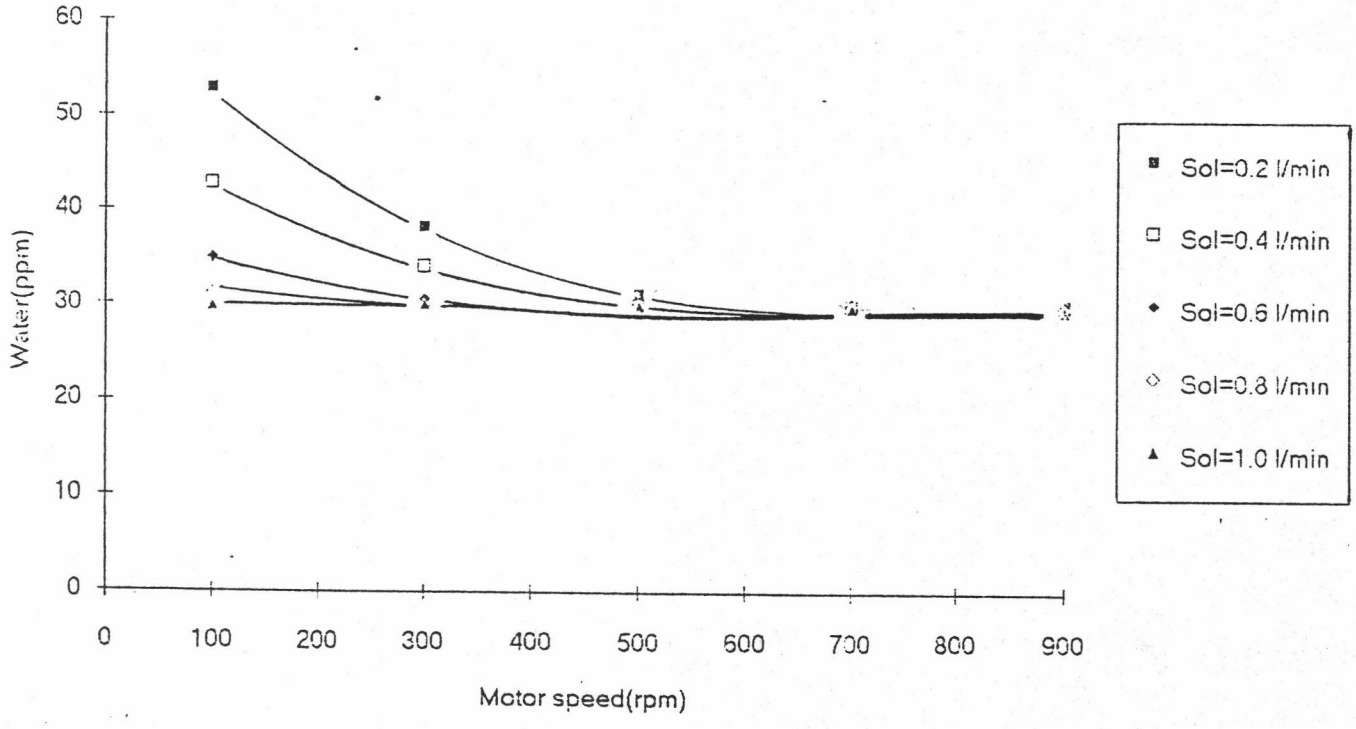


รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับอัตราการไหลของตัวทำละลายเมื่อให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 l/min

จากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ ก.6 -ก.10 และจากกราฟรูปที่ 5.6 เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของตัวทำละลายให้สูงขึ้น พบว่าปริมาณน้ำที่วัดได้ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะลดลงเรื่อง ๆ จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล และเมื่อเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ให้สูงขึ้น พบว่าที่อัตราส่วนการไหลของสารค่าเดียวกัน ปริมาณน้ำที่ได้จากการทดสอบจะลดลง และการเข้าสู่สภาวะสมดุลก็จะเร็วกว่า เส้นกราฟที่มีความเร็วมอเตอร์ต่ำ และเมื่อเพิ่มความเร็วของมอเตอร์จนถึง 500 รอบ/นาที พบว่าทุกอัตราส่วนการไหลของสาร จะทดสอบหาปริมาณน้ำได้ใกล้เคียงกับที่ความเร็วมอเตอร์ 700 และ900 รอบ/นาที นั่นคือทุกช่วงของอัตราส่วนการไหลของสารจะเข้า

สู่สภาวะสมดุลเหมือนกันทั้งหมด และถึงแม้จะมีการเพิ่มอัตราการไหลของสารให้สูงขึ้น หรือมีการเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ให้สูงขึ้นอีกก็ตาม ปริมาณน้ำที่วัดได้ก็ยังมีค่าเท่าเดิม ซึ่งแสดงว่าเมื่อปฏิกิริยาและการถ่ายเทมวลสารเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วการเพิ่มอัตราการไหลของตัวทำละลายและการเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะสมดุลของระบบ

5.4.2.5 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความเร็วมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้นจาก 100 ถึง 900 รอบ/นาที กับปริมาณน้ำที่ทดสอบได้ที่อัตราการไหลของตัวทำละลายต่างๆ กัน ผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ ก.6-ก.10 และแสดงในกราฟรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของน้ำกับความเร็วมอเตอร์ เมื่อให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคงที่ 0.2 l/min.

จากข้อมูลที่ได้ในตาราง ก.6 - ก.10 และจากกราฟรูปที่ 5.7 พบว่าในเส้นกราฟที่มีอัตราส่วนการไหลของสารค่าเดียวกันเช่นที่อัตราการไหล 1:1 ปริมาณน้ำที่ทดสอบได้จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลในที่สุดเมื่อความเร็วมอเตอร์สูงมากขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของตัวทำละลายให้สูงขึ้น พบว่าปริมาณน้ำที่ทดสอบได้จะลดลงเรื่อยๆและเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น แต่เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วถึงแม้จะมีการเพิ่มอัตราการไหลของตัวทำละลาย หรือมีการเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ ก็จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบ

และเมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 5.7 พบว่า ที่อัตราส่วนการไหลของสารเป็น 1:1 ระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเร็วมอเตอร์ประมาณ 700 รอบ/นาที ที่อัตราส่วนการไหลของสาร 2:1 ระบบจะเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าโดยจะเข้าสู่สมดุลที่ความเร็วมอเตอร์ประมาณ 500 รอบ/นาที และที่อัตราส่วนการไหลของสารเป็น 3:1, 4:1 และ 5:1 ระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุล ที่ความเร็วมอเตอร์ประมาณ 300 รอบ/นาที

5.5 การละลายของน้ำที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยใช้ Polyethylene Glycol (300) เป็นตัวทำละลาย(18)

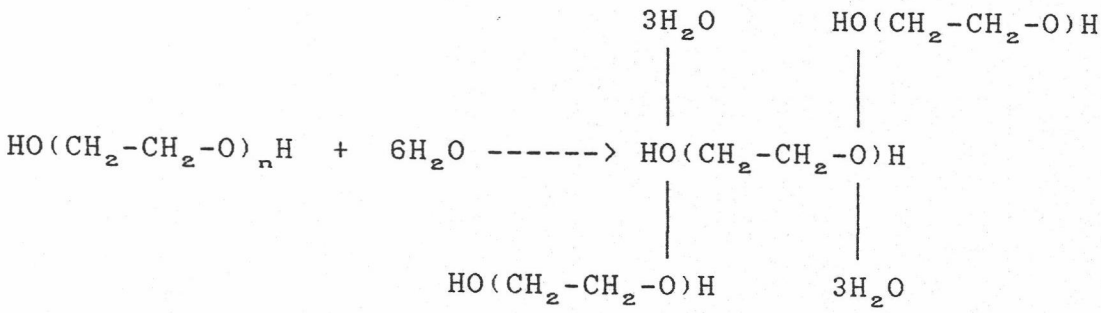
ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้สารละลาย Polyethylene glycol(300) เป็นตัวทำละลาย เพื่อที่จะละลายน้ำซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกมา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเขียนได้ดังนี้คือ

$$HO(CH_2\text{-}CH_2\text{-}O)_nH + 6H_2O \text{ ------> } HO(CH_2\text{-}CH_2\text{-}O)_nH.6H_2O$$

(PEG) (น้ำ)

เนื่องจากโมเลกุลของ PEG เป็นสายโซ่ที่ต่อกันอยู่ จำนวน n โมเลกุล ทำให้มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าน้ำ มีมวลโมเลกุลที่มากกว่าน้ำ มีความหนืดที่สูงกว่า และมีแรงดึงดูดของโมเลกุลที่มากกว่าน้ำ ดังนั้นจึงทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ส่วนน้ำจะเป็นตัวที่ถูกละลาย การละลายจะเกิดขึ้นโดยที่อะตอม O ของ PEG ทั้ง 2 อะตอม

ซึ่งแต่ละอะตอมจะมีอิเลคตรอนอิสระอยู่ 4 อิเลคตรอน และเมื่อนำมาผสมกับน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของ PEG กับโมเลกุลของน้ำ ซึ่งสามารถเขียนโครงสร้างของการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้



ที่อะตอม O ของ PEG แต่ละตัวนั้นจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ 3 พันธะ ส่วนอิเลคตรอนของ O ที่เหลืออีก 1 ตัว จะสร้างพันธะกับ O ของโมเลกุล PEG ตัวที่อยู่ติดกันเพื่อเกิดการเชื่อมต่อของสายโซ่โมเลกุลให้ยาวออกไป และจะเชื่อมต่อกันในลักษณะเช่นนี้ออกไปเรื่อยๆ

จากโครงสร้างของปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า PEG 1โมเลกุล สามารถที่จะละลายน้ำได้ถึง 6 โมเลกุล

5.6 ข้อแตกต่างการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยวิธีการให้ความร้อนกับวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว

จากตารางเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า การแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยวิธีการให้ความร้อน จะเป็นวิธีที่ใช้เวลาค่อนข้างมาก การให้ความร้อนสามารถกระทำได้ครั้งละ batch เมื่อเสร็จแล้วจึงทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน และนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน batch ใหม่มาให้ความร้อนต่อไป ซึ่งทำให้เสียเวลามาก น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้หลังการแยกน้ำโดยใช้ความร้อน จะมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป โดยสีของน้ำมันจะเข้มขึ้น เปลี่ยนจากสีอำพันไปเป็นสีน้ำตาลไหม้ นอกจากนี้โมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานบางส่วนยังเกิดการสลายตัวหรือเกิดการแตกหักของพันธะเนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบความแตกต่างของการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยวิธีการให้ความร้อนกับวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว

การให้ความร้อน	การสกัดของเหลวด้วยของเหลว
1. การทำงานมีลักษณะเป็นแบบ batch	1. การทำงานมีลักษณะเป็นแบบ continuous
2. ไม่สามารถให้ความร้อนสูงเกินกว่า 100 °C	2. สามารถทำงานที่อุณหภูมิห้องได้
3. ใช้เวลานาน(ประมาณ 3-30 วัน)	3. ใช้เวลาไม่นาน(2-10 ชั่วโมง)
4. สีของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้หลังการให้ความร้อนจะเข้มขึ้น	4. สีของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง
5. เสียค่าใช้จ่ายค่าน้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้ทำเป็น hot oil	5. เสียค่าใช้จ่ายค่าตัวทำละลาย Poly ethylene glycol 300
6. เสียค่าใช้จ่ายค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อใช้ให้ความร้อน	6. เสียค่าใช้จ่ายค่าสารดูดความชื้น (drying agent)
7. เสียค่าใช้จ่ายค่ากระแสไฟฟ้าของ pump และ agitator	7. เสียค่าใช้จ่ายค่ากระแสไฟฟ้าของ pump และ agitator

นอกจากนี้ยังต้องเสียค่าใช้จ่าย ในเรื่องของน้ำมันเชื้อเพลิงและค่ากระแสไฟฟ้าทุกๆ ครั้งที่มีการให้ความร้อนแก่น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ส่วนการแยกน้ำโดยการสกัดของเหลวด้วยของเหลวนั้น จะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง สามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้ก็ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เวลาที่ใช้ก็น้อยกว่า และค่ากระไฟฟ้าที่ใช้ก็น้อยกว่าวิธีการแยกน้ำโดยการให้ความร้อนทั้งนี้เพราะ pump และ agitator ที่ใช้มีขนาดเล็กกว่า pump และ agitator ที่ใช้ในการแยกน้ำโดยการให้ความร้อน

5.7 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยวิธีการให้ความร้อน กับวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว

จากตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน พบว่าในการลงทุนครั้งแรก(ยกเว้นค่าอุปกรณ์) การแยกน้ำโดยวิธีการให้ความร้อน จะลงทุนน้อยกว่าการแยกน้ำโดยวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว แต่ในทุกๆ ครั้งที่มีการให้ความร้อนแก่น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและค่ากระแสไฟฟ้า รวมเป็นเงินโดยประมาณ 2,923 บาท/batch

เมื่อเปรียบเทียบกับการแยกน้ำโดยวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว จะพบได้ว่าในการลงทุนครั้งแรก จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการแยกน้ำโดยวิธีการใช้ความร้อน และทุกๆ ครั้งที่แยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นค่ากระแสไฟฟ้าสำหรับ pump และ agitator เป็นเงินโดยประมาณ 446.25 บาท/batch ส่วนสารที่ใช้ดูดความชื้นอาจไม่มีความจำเป็นจะต้องนำมาอบไล่ความชื้นทุกครั้ง ยกเว้นสารดูดความชื้นจะเก็บน้ำไว้ในตัวของมันเองจนอิ่มตัว

เมื่อระยะการใช้งานนานมากขึ้น การแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว จะประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่า และใช้เวลาที่น้อยกว่า การแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยวิธีการให้ความร้อน

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการแยกน้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (จำนวนประมาณ 30,000 ลิตร) โดยการให้ความร้อน กับวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว

การให้ความร้อน	การสกัดของเหลวด้วยของเหลว
1.ค่าน้ำมันหล่อลื่นที่นำมาใช้ทำ hot oil ~3,000 ลิตรๆละ 10 บาท เป็นเงิน ~30,000 บาท	1.ค่าสารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำละลาย(PEG 300) ~1,000 ลิตรๆละ 50 บาท เป็นเงิน 50,000 บาท
2.ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อใช้ให้ความร้อนในการทำ hot oil ในแต่ละ batch เป็นเงิน ~1,348 บาท	2.ค่าสารดูดความชื้น(drying agent) ~ 50 กก.ๆละ ~200 บาท เป็นเงิน ~ 10,000 บาท
3.ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กับ pump และ agitator ในแต่ละ batch เป็นเงิน ~1,575 บาท	3.ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กับ pump และ agitator ในแต่ละ batch เป็นเงิน ~446.25 บาท
4.รวมค่าใช้จ่าย ~32,923 บาท	4.รวมค่าใช้จ่าย ~60,446.25 บาท