สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโอเลฟินส์หลอมเหลว ด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำโดยใช้คอมพิวเตอร์

นายณัฐพล อุดมชัยพานิช

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62712
วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2549

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETERMINATION OF MOLTENS POLY-OLEFINS SURFACE TENSION USING COMPUTER-AIDED IMAGE PROCESSING OF A PENDANT DROP

MR. NATTAPON UDOMCHAIPANICH

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BECHELOR IN ENGINEERING (CHEMICAL ENGINEERING)

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การวัดค่าแรงดึงผิวของพอลิโอเลฟินส์หลอมเหลวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำโดยใช้คอมพิวเตอร์

จัดทำโดย นายณัฐพล อุดมชัยพานิช เลขประจำตัว 45010244

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์)

.....กรรมการ
(ดร. นริศรา ทองบุญชู)

.....กรรมการ
(ดร. อภินันท์ นัมคณิสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อปริญญานิพนธ์	การวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโอเลฟินส์หลอมเหลวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำโดยใช้คอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นายณัฐพล อุดมชัยพานิช รหัสนักศึกษา 45010244
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คือ การพัฒนาเครื่องมือสำหรับใช้ในการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูง ด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการประมวลผล รวมไปถึงการพัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยในการใช้งานเครื่องมือ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานเครื่องมือได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น และได้ผลที่ถูกต้องและแม่นยำสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้ต่อไป

จากการศึกษาสามารถสร้างเครื่องมือวัดแรงตึงผิวที่อุณหภูมิสูงซึ่งมีความน่าเชื่อถือ สามารถวัดค่าแรงตึงผิวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 ถึง 220 องศาเซลเซียสสำหรับพอลิโอเลฟินส์ทั่วไปได้ และได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อทำการคำนวณโดยสมการพื้นฐานของลาปลาซ-ยัง ในส่วนของการทดลองได้ทำการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ 3 ชนิดคือ พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน และ พอลิสไตรีน เพื่อทำการหาช่วงแรงตึงผิวที่เครื่องมือวัดสามารถวัดค่าได้ และได้ทำการศึกษาถึงน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เหมาะสมในการทดลอง นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนที่อุณหภูมิต่างๆเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อค่าแรงตึงผิวที่วัดได้

จากผลการทดลองและการทดสอบการใช้เครื่องมือ พบว่า สามารถพัฒนาโปรแกรมคำนวณค่าแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำได้ และในการทำการทดลองพบว่าช่วงที่เครื่องมือวัดสามารถวัดค่าได้อยู่ระหว่าง 20-35 มิลลินิวตัน/เมตร โดยน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6-7 มิลลิกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงตึงผิวจะมีค่าลดลงโดยเครื่องมือวัดจะสามารถวัดค่าได้น่าเชื่อถือที่ช่วงอุณหภูมิการวัดประมาณ 200 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title **Determination of moltens poly-olefins surface tension using computer-aided image processing of a pendant drop**

Student	Nattapon Udomchaipanich ID:45010244
Thesis Advisor	Dr. Surat Areerat
Report for	Bachelor's Degree of Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering
	Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The main objective of this senior project is to develop an apparatus for measuring surface tension of molten poly-olefins at high temperature by using Pendant drop computer-aided image processing method, and also to develop the computerized calculation program for using with the apparatus which makes the measurement easier, faster and better accuracy for applied in the industry.

From this study, the simple surface tension measuring apparatus was built up which consists of VDO Camera and microscope lense. This apparatus is available to measure surface tension of molten polymer at temperature range 100 to 200°C. Together with, in-house written computer program to estimate surface tension was developed based on Laplace-Young equation. In the experiment, to verify both in-house program ability and the measuring capacity of apparatus the measurements for 3 polymer samples such as PP, PE and PS were conducted.

The Verification mainly aims to obtain measuring capacity and the proper sample weight. Moreover, the temperature effect on surface tension measurement for PP and PS were studied.

From the apparatus verification and experimental results, it was shown that the in-house written program is available to estimate surface tension from pendant drop, the measurement capacity is within the range 20-35 mN/m, the proper sample weight is about 6-7 mg. For the effect of temperature on measurement, the reduction of surface tension could be obtained by temperature increasing. The reliable measurement could be observed at temperature about 200°C for PP and PS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณดร.สุรัตน์ อารีรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ ตลอดจนดูแลเอาใจใส่การทำงานของผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณคุณนิกร เกิดทองหลาง คุณพงศ์ประภาษ ปียมโนชา นักศึกษาปริญญาโทและคุณพิสันต์ ผลโพธิ์ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการสร้างอุปกรณ์ รวมถึงให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทดลอง

ขอขอบคุณคุณพงศ์วุฒิ อุดมชัยพานิชที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรม

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน

ผู้จัดทำ

นายณัฐพล อุดมชัยพานิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ V

สารบัญตาราง VI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.4 ขั้นตอนของศึกษา 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 แรงตึงผิว 3

2.2 การวัดแรงตึงผิว 4

2.3 การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำ 6

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 11

3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 11

3.2 ขั้นตอนการทำการทดลอง 11

3.3 วิธีการทดลอง 13

3.4 การคำนวณ 14

บทที่ 4 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณและวิธีการใช้งาน 16

4.1 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณแรงตึงผิว 16

4.2 วิธีการใช้งานโปรแกรมคำนวณ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 5 ผลการศึกษาและทดลอง 23

5.1 การหาน้ำหนักที่เหมาะสมของสารตวอย่างในการทำการทดลอง 23

5.2 การวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโอเลฟินส์ 24

5.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงตึงผิวของสาร 25

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและแนวทางในการพัฒนาโครงงานต่อไป 28

6.1 สรุปผลการศึกษา 28

6.2 แนวทางในการพัฒนาโครงงานต่อไป 28

เอกสารอ้างอิง 29

ภาคผนวก ก. การคำนวณค่าแรงตึงผิวจากโปรไฟล์รูปหยดน้ำ 30

ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมคำนวณแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำ 33

ภาคผนวก ค. โปรแกรมวิชวลเบสิกสำหรับคำนวณหาค่าแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แรงระหว่างโมเลกุลในของไหล 3
รูปที่ 2.2 การวัดแรงตึงผิวของของเหลว 4
รูปที่ 2.3 การวัดโดยวงแหวน 5
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการดึงวงแหวน 5
รูปที่ 2.5 การวัดโดยวิธีแบบเพลท 6
รูปที่ 2.6 รูปทั่วไปแสดงดุลแรงของหยดวัสดุ 7
รูปที่ 2.7 แผนภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแรงตึงผิวของพอลิเมอร์แบบรูปหยดน้ำ 7
รูปที่ 2.8 ลักษณะรูปร่างของหยดวัสดุ 8
รูปที่ 2.9 การวัดขนาดของรูปหยดวัสดุ 10
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อวัดแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำที่อุณหภูมิสูง 12
รูปที่ 3.2 ส่วนบรรจุตัวอย่างอุณหภูมิสูง 12
รูปที่ 3.3 การวัดค่าจากลักษณะรูปร่างของรูปหยดพอลิเมอร์ 14
รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง s และ ϕ 15
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณ 18
รูปที่ 4.2 หน้าต่างระบุชื่อการทดลองและจำนวนข้อมูล 19
รูปที่ 4.3 หน้าต่างสำหรับระบุค่า ϕ, s, x และ z 20
รูปที่ 4.4 หน้าต่างระบุค่าสภาวะในการทดลองเช่นอุณหภูมิ ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง 21
รูปที่ 4.5 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณ 22
รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบผลของน้ำหนักสารตัวอย่างในการวัดค่าแรงตึงผิว 23
รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีนและอุณหภูมิ 26
รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวของพอลิสไตรีนและอุณหภูมิ 27
รูปที่ ก.1 หยดน้ำของพอลิโพรพิลีนที่ 180 องศาเซลเซียส 30
รูปที่ ก.2 การทำฟิตติงเพื่อหาสมการเส้นตรงของกราฟ 31
รูปที่ ข.1 หยดของพอลิโพรพิลีนที่ 200 องศาเซลเซียส 33
รูปที่ ข.2 ตัวอย่างการใส่ค่าลงในตารางโปรแกรม 34
รูปที่ ข.3 การใส่ค่าสภาวะลงในโปรแกรม 34
รูปที่ ข.4 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่สำหรับสมการโพลิโนเมียลในการคำนวณจากพารามิเตอร์รูปร่าง.....10
ตารางที่ 5.1 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีนที่น้ำหนักต่างกัน.....24
ตารางที่ 5.2 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส.....25
ตารางที่ 5.3 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิต่างๆ.....25
ตารางที่ 5.4 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิสไตรีนที่อุณหภูมิต่างๆ.....26
ตารางที่ ก.1 ขนาดและลักษณะรูปร่างที่วัดได้จากภาพหยดน้ำ.....31
ตารางที่ ข.1 ผลการวัดขนาดและลักษณะรูปร่างของหยด.....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แรงตึงผิวเป็นสมบัติหนึ่งของพอลิเมอร์ซึ่งมีความสำคัญในทางอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องมาจากแรงตึงผิวของพอลิเมอร์เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติหลายๆอย่างของพอลิเมอร์เช่นสมบัติของพอลิเมอร์เมื่อนำพอลิเมอร์มากกว่าสองชนิดมาผสมเข้าด้วยกัน [1] นอกจากนี้การวัดแรงตึงผิวยังเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของเม็ดพลาสติกที่ผลิตในอุตสาหกรรมอีกด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีวิธีการในการวัดที่รวดเร็ว สะดวกและให้ผลที่แม่นยำ ในอดีตวิธีการวัดแรงตึงผิวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการคือวิธีการวงแหวนดูนอย(Du Noüy ring) และวิธีเพลทวิลเฮล์ม (Wilhelmy plate) นอกจากนั้นยังมีการใช้วิธีการวัดรูปหยดน้ำ (Pendant drop)เช่นกันแต่ในอดีตวิธีการนี้ต้องใช้เวลามากและมีการคำนวณที่ซับซ้อน [2]

ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และการถ่ายภาพทำให้วิธีการวัดแบบภาพหยดน้ำเริ่มได้รับความสนใจมากขึ้น [3] ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการวัดแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกที่อุณหภูมิสูง [1] เนื่องจากในการประยุกต์ใช้งานพอลิเมอร์มักจะเป็นการใช้งานที่สภาวะอุณหภูมิสูงและพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกโดยส่วนมากเป็นสารที่สามารถหลอมเหลวและหาภาพหยดที่เสถียรในอุณหภูมิสูงได้ซึ่งในการวัดด้วยวิธีการนี้จะต้องใช้ชุดอุปกรณ์สำหรับการบันทึกภาพและคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการประมวลผลซึ่งจะต้องมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณจากภาพที่บันทึกได้จากการทดลองเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการวัดซึ่งจะเป็นประเด็นสำคัญในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกที่อุณหภูมิสูงซึ่งมีต้นทุนต่ำ

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการวัดค่าแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำ

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิต่อค่าแรงตึงผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ทำการสร้างเครื่องมือวัดแรงดึงผิวของพอลิเมอร์แบบรูปหยดน้ำ

1.3.2 ทำการปรับแต่งเครื่องมือให้มีความเหมาะสมในการทดลอง

1.3.3 ศึกษาถึงวิธีการคำนวณแรงดึงผิวจากภาพหยดน้ำ

1.3.4 สร้างโปรแกรมเพื่อความสะดวกในการใช้งานเครื่องมือ

1.3.5 ทำการทดลองเพื่อวัดค่าแรงดึงผิวของสารประเภทพอลิโอเลฟินส์

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1.4.1 สร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในการวัดแรงดึงผิว

1.4.2 ทำการปรับแต่งเครื่องให้เหมาะสมในการศึกษา

1.4.3 ศึกษาถึงวิธีการคำนวณและทำการทดลองคำนวณในเบื้องต้น

1.4.4 สร้างโปรแกรมสำหรับทำการคำนวณตามวิธีการที่ได้ศึกษามาแล้ว

1.4.5 ทำการทดลองวัดค่าแรงดึงผิวของพอลิโอเลฟินส์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.5.1 สามารถสร้างเครื่องมือวัดแรงดึงผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูงซึ่งมีความน่าเชื่อถือและมีต้นทุนต่ำ

1.5.2 สามารถพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือที่สร้างได้และให้ผลการคำนวณที่แม่นยำ

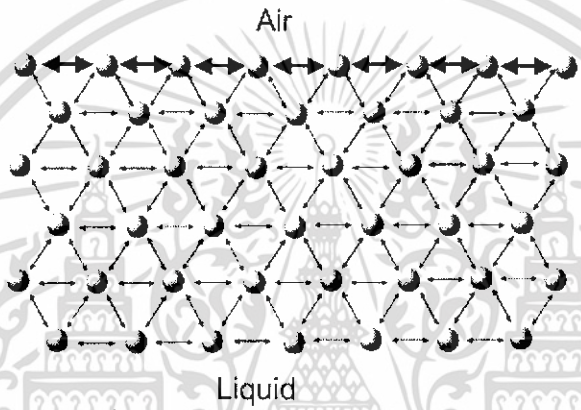
1.5.3 สามารถศึกษาถึงช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการวัดแรงดึงผิวด้วยการถ่ายภาพหยดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แรงตึงผิว

แรงตึงผิวคือการวัดแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของของไหล โมเลกุลของของไหลจะดึงดูดกับโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง แรงของโมเลกุลที่อยู่ในของเหลวดุลจากแรงกระทำของโมเลกุลอื่นๆที่อยู่โดยรอบ ในขณะที่โมเลกุลที่อยู่บนพื้นผิวเกิดการไม่สมดุลดังภาพ



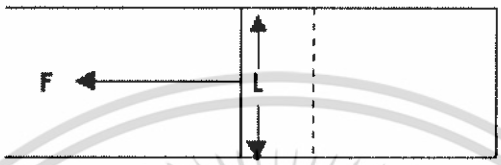
รูปที่ 2.1 แรงระหว่างโมเลกุลในของไหล

ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวคือจะเกิดพลังงานอิสระขึ้นที่ผิวของของไหล พลังงานที่มากเกินพอนี้เรียกว่าพลังงานอิสระที่พื้นผิว (surface free energy) มักถูกบอกปริมาณในรูปของพลังงาน/พื้นที่ นอกจากนี้ยังสามารถลดทอนให้เหลืออยู่ในรูปของ พลังงาน/ระยะทาง โดยทั่วไปหน่วยที่นิยมใช้ในการวัดแรงตึงผิวของ dyne/cm หรือ มิลลินิวตัน/เมตร พลังงานที่เกินพอนี้เกิดขึ้นที่ระหว่างผิวของของไหลสองชนิด ถ้าหากของไหลชนิดหนึ่งอยู่ในสถานะก๊าซ พลังงานที่วัดได้จากผิวของของไหลจะถูกเรียกว่าแรงตึงผิว (surface tension) แต่ถ้าหากการวัดเกิดขึ้นที่ระหว่างผิวของของเหลวสองชนิดจะเรียกพลังงานนี้ว่าแรงระหว่างผิว (interfacial tension) ผลจากการที่โมเลกุลจะถูกดึงดูดเข้าสู่ศูนย์กลางทำให้ของเหลวมีแนวโน้มที่จะมีรูปร่างซึ่งมีโมเลกุลอยู่บริเวณศูนย์กลางมากที่สุด โดยมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด นั่นก็คือจะมีรูปร่างเป็นทรงกลมซึ่งเป็นรูปร่างที่มีพื้นที่ผิวต่อมวลน้อยที่สุด [4] แรงตึงผิวของของเหลวสามารถหาได้จากอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นกรอบลวดซึ่งมีด้านหนึ่งที่เคลื่อนที่ได้จุ่มลงในของไหลและค่อยๆดึงออกโดยมีฟิล์มของของเหลวเกิดขึ้นในช่องว่างของลวดที่เคลื่อนที่ ฟิลม์จะพยายามเปลี่ยนรูปร่างเป็นทรงกลม แต่เมื่อฟิลม์ติดอยู่กับลวด ฟิลม์จะพยายามดึงลวดให้เคลื่อนที่ย้อนกลับ แรงที่เพียงพอในการต้านทานการเคลื่อนที่นี้ถูกวัดในรูปของน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนระหว่างแรงต่อระยะทางที่ลวดเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากันสำหรับของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิเดียวกันไม่ว่าชุดการทดลองจะมีขนาดที่ใหญ่แค่ไหนก็ตาม ฟิล์มที่เกิดขึ้นจะมีผิวสองด้านคือด้านหน้าและด้านหลัง ดังนั้นแรงต่อต่อหน่วยความยาวของพื้นผิวด้านหนึ่งจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงที่วัดได้ทั้งหมด จะสามารถหาแรงตึงผิวของของเหลวได้จาก

$$\text{แรงตึง ผิว} = \frac{\text{แรงดึงF}}{\text{ระยะทางL}} \qquad (2.1)$$



รูปที่ 2.2 การวัดแรงตึงผิวของของเหลว

ของเหลวจะสามารถยึดติดกับสารบางชนิดได้ดีแต่อาจไม่ยึดติดกับสารชนิดอื่นเช่นน้ำสามารถยึดติดได้ดีกับแก้วแต่ไม่ยึดติดกับพอลิเอทิลีน

ปรากฏการณ์อื่นๆที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากแรงตึงผิวคือการเกิดคะปิลลารีของของเหลวที่ไหลในท่อขนาดเล็ก และการที่สายของของเหลวมีแนวโน้มที่จะกลายเป็นทรงกลม แรงตึงผิวจะมีผลอย่างมากในระบบที่มีพื้นที่ผิวมากเช่นระบบที่เกี่ยวกับอีมัลชัน และในระบบที่มีสารหลายเฟสไหลผ่านสารตัวกลางที่มีรูพรุนเช่นระบบที่เกี่ยวกับน้ำมัน

ในทางพอลิเมอร์แรงตึงผิวมีความสำคัญคือ

- แรงตึงผิวเป็นหนึ่งในสมบัติที่เป็นตัวกำหนดสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยพอลิเมอร์ 2 ชนิดที่มีแรงตึงผิวใกล้เคียงกันจะสามารถรวมตัวกันได้ดีกว่าพอลิเมอร์ที่มีแรงตึงผิวแตกต่างกันมาก
- แรงตึงผิวเป็นตัวกำหนดความสามารถในการเปียกของสารชนิดหนึ่งบนสารอีกชนิดหนึ่ง
- ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันการเกาะติดกับพิมพ์ของเครื่องฉีดพลาสติกซึ่งแรงตึงผิวมีส่วนเกี่ยวข้องในการเกาะติดของพอลิเมอร์

2.2 การวัดแรงตึงผิว

การวัดแรงตึงผิวโดยใช้เครื่องวัดแรงตึงผิว (Tensiometer) มีพื้นฐานบนการวัดแรงกระทำระหว่างขั้ว (Probe) และผิวระหว่างของไหลสองชนิดซึ่งวิธีการดังที่จะกล่าวต่อไปนี้สามารถใช้ในการวัดแรงระหว่างผิว (interfacial tension) ได้เช่นเดียวกับในการวัดแรงตึงผิว ในการทดลองขั้วจะ

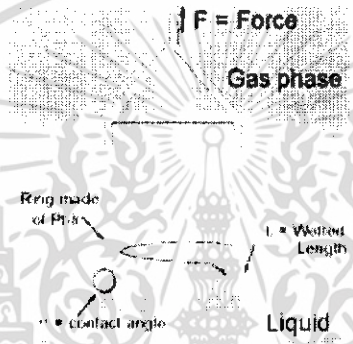
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกแขวนไว้ในสภาพสมดุล และถูกนำไปสัมผัสกับผิวของของเหลวที่ต้องการทดสอบ แรงที่เกิดขึ้นที่สมดุลที่ขั้วทำกับผิวของของเหลวจะสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงตึงผิวได้ แรงที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นกับตัวแปรดังต่อไปนี้ ขนาดและรูปร่างของขั้ว มุมสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว และแรงตึงผิวของของเหลว

วิธีการวัดแรงตึงผิวที่ใช้โดยทั่วไปมีดังนี้

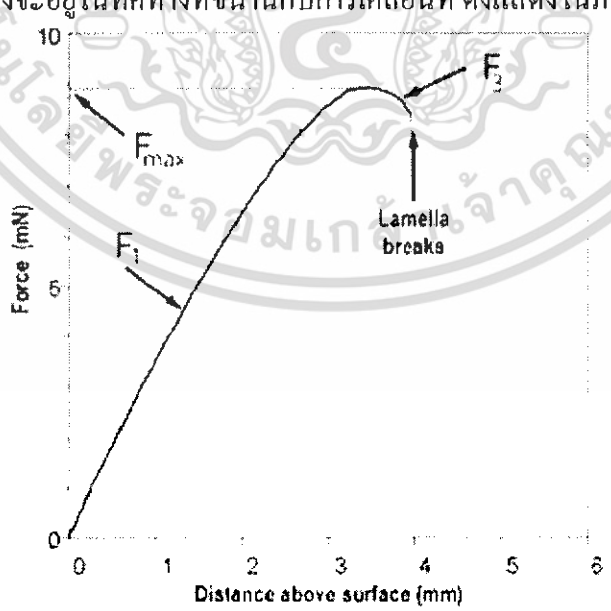
2.2.1 วิธีวงแหวนดูนอย (Dunouy's Ring Method)

การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีวงแหวนดูนอยเป็นวิธีการแรกที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยในวิธีการนี้จะทำการจุ่มวงแหวนลงในของเหลวตัวอย่างที่ต้องการทำการวัด จากนั้นจะทำการดึงวงแหวนขึ้นเกิดเป็นฟิลม์ของตัวอย่างที่วงแหวนขึ้น



รูปที่ 2.3 การวัดโดยวงแหวน [5]

ในขณะที่ฟิลม์ของตัวอย่างถูกดึงจะสามารถวัดแรงตึงผิวสูงสุดของตัวอย่างได้ ที่จุดที่แรงตึงผิวสูงที่สุดเวกเตอร์ของแรงจะอยู่ในทิศทางที่ขนานกับการเคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



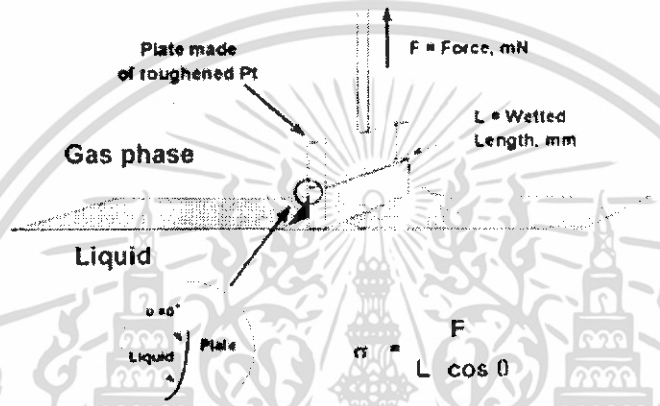
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการดึงวงแหวน [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำการวัด ระยะการดึงวงแหวนจะถูกเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งผ่านจุดที่แรงที่ผิวของสารมีค่าสูงสุดไป จากนั้นจะทำการลดระยะการดึงวงแหวนลงและผ่านจุดที่แรงสูงสุดอีกครั้งซึ่งการบันทึกค่าจะทำในขั้นตอนนี้จากนั้นจากค่าที่ได้จะสามารถนำไปทำการคำนวณหาค่าแรงตึงผิวต่อไป

2.2.2 วิธีแบบเพลท(Plate Method)

ในวิธีการวัดแบบเพลท จะทำการวัดโดยการทำการจุ่มแผ่นเพลทลงในของเหลวตัวอย่างจากนั้นแรงตึงผิวของตัวอย่างจะทำให้เกิดเป็นส่วนโค้งขึ้นบริเวณผิวของเพลท ซึ่งระยะที่ของเหลวตัวอย่างเกิดเป็นส่วนโค้งและแรงที่ใช้ในการดึงเพลทจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่าแรงตึงผิวต่อไป



รูปที่ 2.5 การวัดโดยวิธีแบบเพลท [5]

2.2.3 วิธีแบบแท่งโลหะ (Metal Rod)

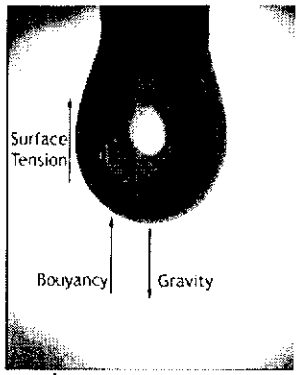
ในการวัดแรงตึงผิวของสารเมื่อสารมีปริมาณจำกัดอาจใช้วิธีการนำเพลตินัมมาใช้เป็นขั้ว แต่จากวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะต้องมีปริมาณของสารที่เพียงพอในการวัด เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาปริมาณของสารไม่เพียงพอต่อการวัดอาจใช้วิธีการใช้แท่งโลหะเป็นขั้ว ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ปริมาณของสารที่น้อยมาก

2.3 การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำ

2.3.1 หลักการ

การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพแบบรูปหยดน้ำอาศัยหลักการของดุลของแรง โดยเมื่อหยดของสารอยู่ในสภาวะที่เสถียรจะมีแรงที่กระทำต่อหยดในขณะนั้น 3 แรงคือ แรงตึงผิว แรงโน้มถ่วงของโลกและแรงลอยตัวอันเนื่องมาจากอากาศซึ่งแรงทั้ง 3 นี้จะอยู่ในสภาวะที่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 รูปทั่วไปแสดงดุลแรงของหยดวัสดุ

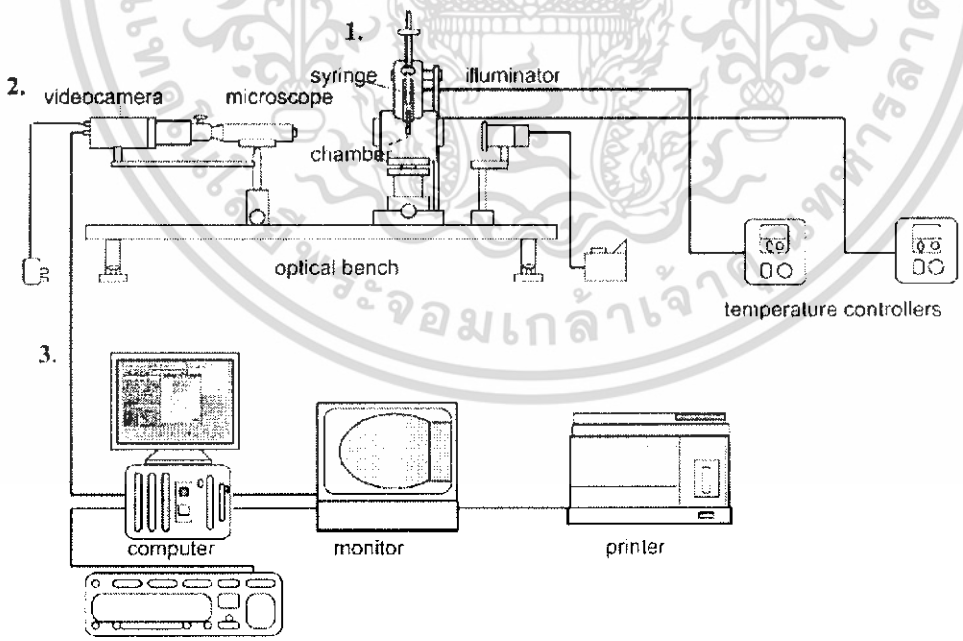
แต่อย่างไรก็ตามการวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำนี้ยังมีข้อจำกัดคือ

1. การวัดแบบถ่ายภาพหยดน้ำจำเป็นต้องให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งสารจำพวกพอลิเมอร์จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงในการหลอมเหลว ดังนั้นสารที่จะนำมาวัดจะต้องมีหยดที่เสถียรในอุณหภูมิสูงและไม่สลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการวัดค่า

2. สารเนื้อผสมอาจเกิดปัญหาในการนำมาวัดด้วยวิธีถ่ายภาพหยดน้ำเนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูงสารเหล่านี้อาจเกิดการแยกวัฏภาคทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ใช่ค่าของแรงตึงผิวของสารนั้น

2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดแรงตึงผิวสำหรับพอลิเมอร์จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแรงตึงผิวของพอลิเมอร์แบบรูปหยดน้ำ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 ชุดประกอบของเครื่องมือ

ส่วนที่ 1 ชุดบรรจุตัวอย่างประกอบด้วยช่องปิดสำหรับทำการบรรจุตัวอย่าง ซึ่งสามารถปรับตำแหน่งเพื่อความชัดเจนของภาพได้ สำหรับการวัดแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ในส่วนนี้มีการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิ นอกจากนี้มีการติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่างเพื่อให้การบันทึกภาพทำได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ส่วนที่ 2 ชุดบันทึกภาพ ในส่วนนี้จะประกอบด้วยกล้องวีดิโอซึ่งติดตั้งชุดเลนส์กำลังขยายสูงสำหรับบันทึกภาพหยดน้ำจากส่วนบรรจุตัวอย่าง ชุดอุปกรณ์บันทึกภาพนี้จะเชื่อมต่อเข้ากับชุดคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล

ส่วนที่ 3 ชุดประมวลผล ประกอบด้วยชุดคอมพิวเตอร์ซึ่งทำการบันทึกภาพที่ได้จากส่วนบันทึกภาพเก็บเป็นข้อมูลและมีโปรแกรมสำหรับทำการคำนวณจากภาพที่บันทึกได้

2.3.3 การคำนวณแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำ

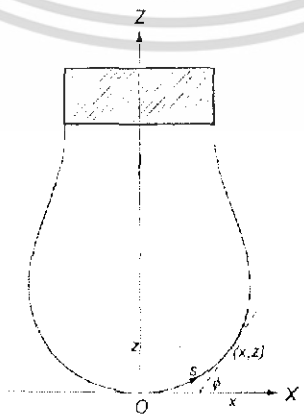
ในการคำนวณหาค่าแรงตึงผิวสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

- การคำนวณแรงตึงผิวด้วยวิธีการสร้างโพรไฟล์ของรูปหยดน้ำ เป็นวิธีการคำนวณจากสมการลาปลาซ-ยัง โดยอาศัยข้อมูลขนาดและลักษณะรูปร่างของภาพหยดน้ำของพอลิเมอร์วิธีการนี้เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวัดค่าแรงตึงผิวที่อุณหภูมิสูงของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก

- การคำนวณด้วยวิธีการโพลิโนเมียลฟิต เป็นอีกวิธีการหนึ่งในการวัดค่าแรงตึงผิวโดยอาศัยการวัดค่าพารามิเตอร์รูปร่าง แล้วทำการคำนวณด้วยการแทนค่าลงในสมการโพลิโนเมียลที่ได้จากการทำการทดลอง

2.3.3.1 การคำนวณแรงตึงผิวจากลักษณะรูปร่างของรูปหยดน้ำ

เมื่อทำการทดลองจนกระทั่งได้ภาพหยดวัสดุจะสามารถทำการสร้างโพรไฟล์ของรูปหยดวัสดุได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะรูปร่างของหยดวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพดังกล่าวโพรไฟล์ของรูปหยด p(x,z) จะสามารถอธิบายได้จากสมการดังนี้ [2]

$$\frac{d\phi}{dS} = \frac{2}{B} - Z - \frac{\sin\phi}{X} \tag{2.2}$$

$$\frac{dX}{dS} = \cos\phi \tag{2.3}$$

$$\frac{dZ}{dS} = \sin\phi \tag{2.4}$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

ที่จุดยอดของหยดวัสดุ $X = Z = S = \phi = 0$

$$\frac{\sin\phi}{X} = \frac{1}{B} \tag{2.5}$$

โดยที่

$$B = \frac{1}{ak_{apex}}, a = \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta\rho g}} \tag{2.6}$$

$\Delta\rho$ = ผลต่างของค่าความหนาแน่นของวัสดุ

และความหนาแน่นของอากาศ

ϕ = มุมสัมผัสโพรไฟล์ของหยดวัสดุ (องศา)

g = ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

γ = แรงตึงผิวของวัสดุที่นำมาวัด (mN/m)

$$k_{apex} = \left(\frac{x}{\sin\phi}\right)_{apex}$$

X, Z และ S เป็นรูปไร้หน่วยของพิกัด x, z และ s ดังแสดงในรูปที่ 2.3 หาได้จาก

$$x = X \cdot a \tag{2.7}$$

$$z = Z \cdot a \tag{2.8}$$

$$s = S \cdot a \tag{2.9}$$

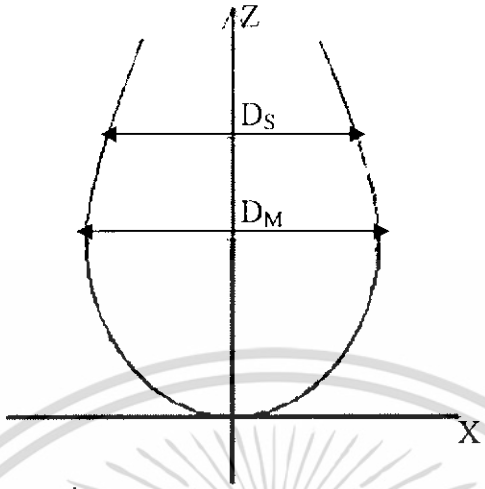
สมการที่ (2.2) – (2.4) เป็นรูปหนึ่งของสมการลาปลาซ-ยัง (Laplace – Young Equation) สำหรับกรณีของรูปหยดน้ำ ดังนั้นจากลักษณะรูปร่างที่ได้จากการทดลองและความหนาแน่นของพอลิเมอร์ซึ่งได้จากเอกสารอ้างอิง [6]จะสามารถหาค่าแรงตึงผิวได้

2.3.3.2 การคำนวณด้วยวิธีการโพลิโนเมียลฟิต

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่อาศัยสมการโพลิโนเมียลซึ่ง Finn Knut Hansen [3] ได้เสนอไว้ ซึ่งสมการโพลิโนเมียลนี้ได้จากการทดลองหลายๆครั้งแล้วนำลักษณะรูปร่างที่ได้จากการทดลองมาทำการคำนวณโดยอาศัยวิธีการ Kutta-Merson จนได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างเชิงมิติของหยดกับพารามิเตอร์รูปร่าง โดยจากพารามิเตอร์รูปร่างจะสามารถนำไปทำการคำนวณเพื่อหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงตึงผิวได้ ซึ่งวิธีนี้ง่ายในทางปฏิบัติโดยอาศัยการวัดขนาดจากภาพหยดที่ได้แล้วนำไปทำการคำนวณด้วยสมการโพลิโนเมียลในสมการที่ (2.10) และ (2.11)



รูปที่ 2.9 การวัดขนาดของรูปหยดวัสดุ

$$\beta = a + b\varepsilon + c\varepsilon^2 + d\varepsilon^3 \qquad (2.10)$$

$$\frac{D_m}{2R} = e + f\beta + g\beta^2 + h\beta^3 \qquad (2.11)$$

β = พารามิเตอร์รูปร่างของหยดวัสดุ

D_m = เส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุดของหยด (m)

R = ค่ารัศมีความโค้งของหยดวัสดุที่จุดยอดหยด (m)

$$\varepsilon = \frac{D_s}{D_m}$$

D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดที่ระยะ D_m จากจุดยอดของหยด (m)

a, b, c, d, e, f, g, h เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง โดยค่าคงที่เหล่านี้ได้ถูกเสนอไว้โดย Finn Knut hansen [3] ดังนี้

สำหรับหยดโดยทั่วไปที่มีความยาวพอที่จะวัดค่า D_s ได้จะมีค่าคงที่ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่สำหรับสมการโพลิโนเมียลในการคำนวณจากพารามิเตอร์รูปร่าง

a	b	c	d	e	f	g	h
-0.12836	0.7577	-1.7713	0.5426	0.9987	-0.1971	-0.0734	-0.34708

จากสมการ(2.10) (2.11)และตารางที่ 2.1 จะสามารถหาค่าแรงตึงผิวได้จาก

$$\gamma = \frac{\Delta\rho g R^2}{\beta} \quad (\text{mN/m}) \qquad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน แบ่งเป็นลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อประกอบการทำโครงงาน โดยในขั้นตอนนี้จะมีการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดแรงตึงผิวด้วยเครื่องมือแบบถ่ายภาพหยดน้ำ และวิธีการในการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ Microsoft Visual Basic 6.0

2. สร้างเครื่องมือ เพื่อให้เหมาะสมในการทดลอง โดยในขั้นตอนนี้จะทำการปรับตั้งเครื่องมือสำหรับถ่ายภาพหยดน้ำเพื่อให้สามารถบันทึกภาพได้ชัดเจน

3. การทดสอบเครื่องมือ โดยทำการทดลองนำสารตัวอย่างที่ทราบค่าแรงตึงผิวมาทำการวัดค่าเพื่อเป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องมือ

4. การคำนวณ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในวิธีการคำนวณแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำ

5. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณ เพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องมือเพื่อให้การวัดสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

6. ทดสอบโปรแกรม ทำการทดสอบโปรแกรมคำนวณเพื่อหาและแก้ไขข้อผิดพลาดที่มีในตัวโปรแกรม

7. ทดลองใช้เครื่องมือและโปรแกรมที่พัฒนาได้ โดยการทดลองทำการวัดตัวอย่างหลายๆชนิดเพื่อเป็นการทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือ

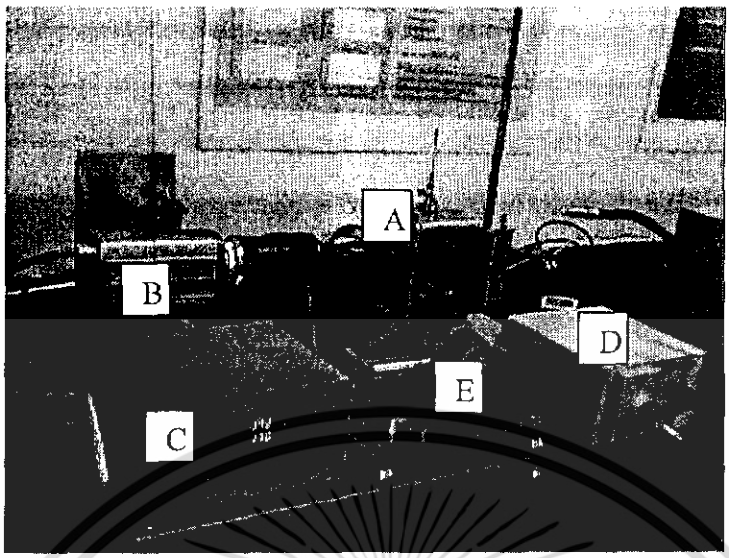
8. จัดทำปริญญานิพนธ์และเตรียมการนำเสนอ ในขั้นตอนนี้เป็นการจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ และเตรียมการนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับโครงงานทั้งหมด

3.2 ขั้นตอนการทำการทดลอง แบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

3.2.1 การสร้างเครื่องมือ

เครื่องมือสำหรับวัดแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูงประกอบด้วยชุดป้อนตัวอย่างซึ่งมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนสำหรับให้ความร้อนและ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ กล้องบันทึกภาพซึ่งติดตั้งเลนส์กำลังขยายสูงทำหน้าที่บันทึกภาพ และชุดคอมพิวเตอร์สำหรับทำการประมวลผล สำหรับเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีลักษณะดังรูปที่ 3.1

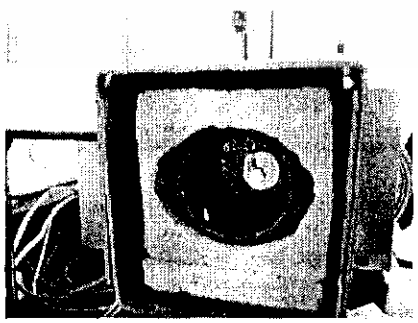
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อวัดแรงดึงผิวจากภาพหยดน้ำที่อุณหภูมิสูง

จากภาพที่ 3.1 A คือส่วนบรรจุตัวอย่างและทำการทดลอง B คือส่วนบันทึกภาพ C คือเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (heater) D คือเครื่องให้แสงสว่าง และ E คือลูกบิดหมุนปรับโฟกัสของภาพ

3.2.1.1 ส่วนบรรจุตัวอย่างอุณหภูมิสูง มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ปิด มีด้านหนึ่งสามารถเปิดได้เพื่อทำการบรรจุตัวอย่างและทำการเจาะรูสองด้าน ด้านหนึ่งเพื่อใช้ในการบันทึกภาพ ส่วนอีกด้านหนึ่งมีไว้สำหรับให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงผ่าน ที่บริเวณส่วนที่เปิด-ปิดได้ทางด้านหน้า ได้ทำการเจาะรูขนาดเล็ก เพื่อทำการต่อท่อก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ส่วนบรรจุตัวอย่าง ในส่วนของจุดยึดสารตัวอย่างมีลักษณะเป็นท่อแคพปิลลารี สำหรับจับยึดตัวอย่าง โดยให้ปลายอยู่บริเวณกึ่งกลางของกล่องบรรจุตัวอย่างซึ่งโดยรอบมีอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิ(heater) และในส่วนนี้มีการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิเอาไว้ด้วย



รูปที่ 3.2 ส่วนบรรจุตัวอย่างอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 ส่วนบันทึกภาพ เป็นกล้องสำหรับบันทึกภาพเคลื่อนไหวยี่ห้อ Sony รุ่น SSC-DC398P ซึ่งติดตั้งเลนส์ชนิดกำลังขยายสูง (Microscope lens) เพื่อใช้ในถ่ายภาพขยายจากส่วนทำการทดลอง และทำการเชื่อมต่อสายเข้าไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผล

3.2.2 หาปริมาณของตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลอง ในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณของสารตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการทดลอง โดยการนำตัวอย่างน้ำหนัก5-20 มิลลิกรัมโดยใช้เครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งมาทำการทดลองเพื่อสังเกตระยะเวลาที่หยดของสารตัวอย่างอยู่ในสภาวะสมดุล โดยที่หยดไม่หลุดออกจากแท่งแคพพิลลารี และให้รูปร่างของหยดที่คงที่ในช่วงเวลานานพอ โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 40 นาที

3.2.3 ขั้นตอนการวัดค่าแรงตึงผิวแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมเครื่องมือและปรับตั้งค่า เป็นขั้นตอนในการเตรียมเครื่องมือให้พร้อมในการทดลอง โดยทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ทำการต่อท่อก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่บริเวณส่วนบรรจุตัวอย่างและทำการทดลอง ปรับแสงและปรับโฟกัสของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่คมชัด รอจนกระทั่งอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้เริ่มมีค่าคงที่

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นบรรจุตัวอย่าง ทำการบรรจุตัวอย่างซึ่งถูกตัดขนาดให้เหมาะสมแล้วเข้าไปในส่วนบรรจุตัวอย่างของเครื่องมือ จนกระทั่งตัวอย่างยึดติดกับปลายของแท่งยึดตัวอย่างแล้วจึงทำการปิดช่องบรรจุตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นสังเกตและบันทึกผล โดยการทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหวของหยดพอลิเมอร์ที่เริ่มหลอมเหลวแล้วทำการจดบันทึกอุณหภูมิทุก 5 นาทีเพื่อนำมาเฉลี่ยเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการทำการทดลอง ทำต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 40 นาที

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการนำภาพที่บันทึกได้มาทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาได้ออกมาเป็นผลคือค่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่าง

3.3.2 ติดตั้งแท่งแคพพิลารีในส่วนบรรจุตัวอย่าง เปิดเครื่องให้ความร้อนและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการ รอประมาณ 60 นาที

3.3.3 เปิดกล้องวิดีโอ ทำการปรับโฟกัสให้ภาพชัดเจน

3.3.4 ทำการติดสารตัวอย่างที่ปลายแท่งแคพพิลลารี

3.3.5 เปิดโปรแกรมสำหรับบันทึกภาพ Lifeview TVR เลือก record เพื่อบันทึกภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 จดบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 40 นาที

3.3.7 หยุดการบันทึกภาพและนำสารตัวอย่างออกจากปลายแท่งแคพพิลลารี

3.3.8 เปิดไฟล์วิดีโอที่บันทึกได้ด้วยโปรแกรม MAGIX Movie Maker Deluxe Ver. 3.00 แล้วทำการบันทึกภาพนิ่งของหยดในขณะที่หยดอยู่ในสภาวะสมดุล

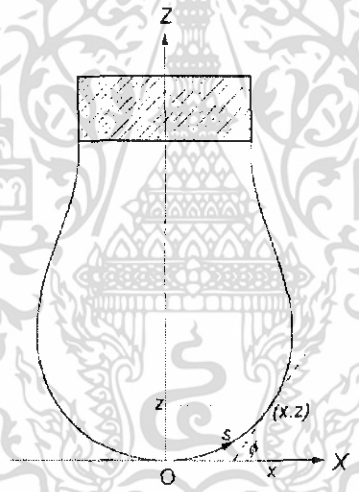
3.3.9 นำภาพนิ่งที่ได้ไปทำการวัดค่าความยาวตามแนวรูปหยดน้ำ มุมสัมผัส ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop 7.0

3.3.10 ป้อนค่าที่ได้ลงในโปรแกรมคำนวณ

3.4 การคำนวณ

การคำนวณจากลักษณะรูปร่างของหยด

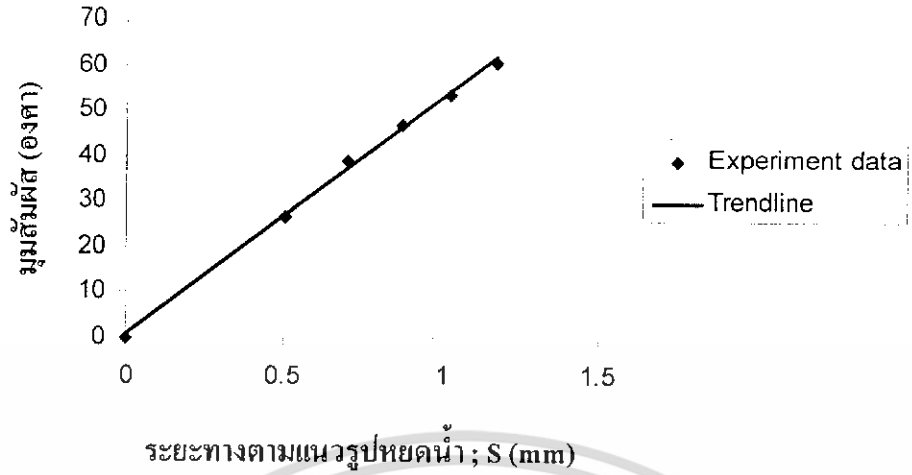
จากภาพหยดน้ำที่ได้จากการทดลอง ทำการวัดเพื่อหาค่าขนาดและรูปร่างโดยทำการวัดพารามิเตอร์ x, z, s และ ϕ ได้โดยทำการวัดค่าตามแนวของรูปหยดน้ำประมาณ 5 – 10 จุด โดยในการวัดค่าขนาดตามมิติรูปร่างใช้โปรแกรม Adobe Photoshop



รูปที่ 3.3 การวัดค่าจากลักษณะรูปร่างของรูปหยดพอลิเมอร์

โดย s คือระยะทางตามแนวของหยดไปยังจุดที่กำหนดและ ϕ คือมุมที่สัมผัสกับหยดในจุดที่กำหนด จากข้อมูลที่ได้ทั้งหมดนำค่า s และ ϕ มาทำการพลอตกราฟโดยให้ ϕ เป็นแกน Y และ s เป็นแกน X แสดงในรูปที่ 3.4 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ s และ ϕ สามารถหาความชันในเทอม $\frac{d\phi}{ds}$ ได้จากการประมาณค่าเชิงเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง s และ ϕ

จากนั้นเมื่อทำการแทนค่า B จากสมการ (2.5) และ (2.6) ลงในสมการ (2.2) และจัดรูปใหม่จะได้สมการ(3.1)

$$\frac{d\phi}{dS} = \frac{1}{B} - \frac{Z}{a} \qquad (3.1)$$

โดยค่า Z ที่ได้ได้จากการกำหนดจุดๆหนึ่งบนโพรไฟล์ของหยด หลังจากนั้นจึงทำการหาค่าของ B และ a จากความสัมพันธ์ในสมการ (3.1) และเมื่อได้ค่าของ B และ a แล้วนำไปแทนค่าในสมการ (2.7) ได้ค่าแรงตึงผิวของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณและวิธีการใช้งาน

4.1 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณแรงตึงผิว

โปรแกรมสำหรับทำการคำนวณนี้พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 เพื่อให้ผู้ใช้งานเครื่องมือสามารถคำนวณค่าแรงตึงผิวได้สะดวกมากขึ้น โดยโปรแกรมการคำนวณนี้ใช้วิธีการคำนวณแบบการหาลักษณะรูปร่าง (Profile) ของหยดน้ำซึ่งอาศัยสมการของลาปลาซ-ยัง เมื่อเริ่มต้นโปรแกรม ผู้ใช้งานต้องทำการระบุค่า x, z, s และ ϕ โดยเมื่อผู้ใช้เลือกที่ทำการคำนวณจากการใส่ค่า s และ ϕ โปรแกรมทำการคำนวณหาค่าความชันและจุดตัดแกน y ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง s และ ϕ ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น (linear regression method) [7]

สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (coefficient of correlation)หาได้จาก

$$r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{(n-1)SD_x SD_y} \qquad (4.1)$$

r = สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์

n = จำนวนของข้อมูล

SD_x,SD_y = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ x และ y ตามลำดับ

จากค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่ได้นำไปคำนวณหาค่าความชันของกราฟได้จาก

$$b = r\frac{SD_y}{SD_x} \qquad (4.2)$$

b = ความชันของกราฟ

และหาจุดที่กราฟตัดแกน y ได้จาก

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \qquad (4.3)$$

a = จุดที่กราฟตัดแกน y

จากการคำนวณนำค่าที่ได้ไปทำการคำนวณหาค่าแรงตึงผิวจากสมการของลาปลาซ-ยัง โดยผู้ใช้ต้องทำการระบุค่า x, z, มุมสัมผัสโดย 3 ค่าที่ระบุนี้คือค่าที่จุดที่ใกล้กับจุดยอดของหยดมาที่สุด และผู้ใช้ต้องระบุค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่าง อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพื่อทำการหาความ

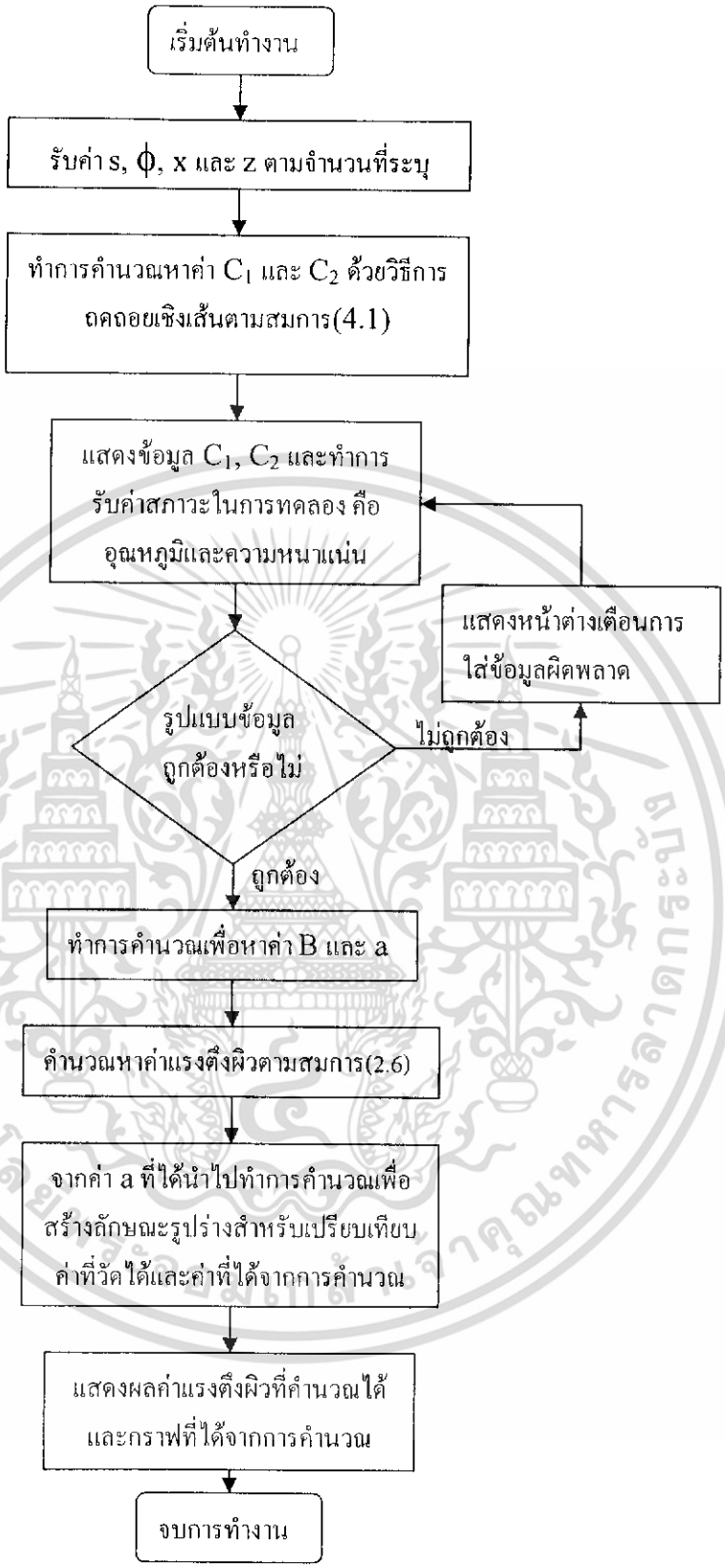
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นของอากาศ และทำการคำนวณหาค่าแรงตึงผิว นอกจากนี้จากค่า a ที่ได้นำไปทำการคำนวณเพื่อสร้างโพรไฟล์ความสัมพันธ์ระหว่าง x และ z โดยความสัมพันธ์เป็นดังสมการ

$$z = \frac{-a\cos(\sin^{-1}(\frac{xC_1}{a}))}{C_1} + \frac{a}{C_1} \qquad (4.4)$$

จากนั้นโปรแกรมจึงทำการแสดงผลออกมาคือค่าพารามิเตอร์รูปร่าง a และ B ของหยด สมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง S และ ϕ ค่าแรงตึงผิวที่คำนวณได้ในหน่วย มิลลินิวตัน/เมตร

62712
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

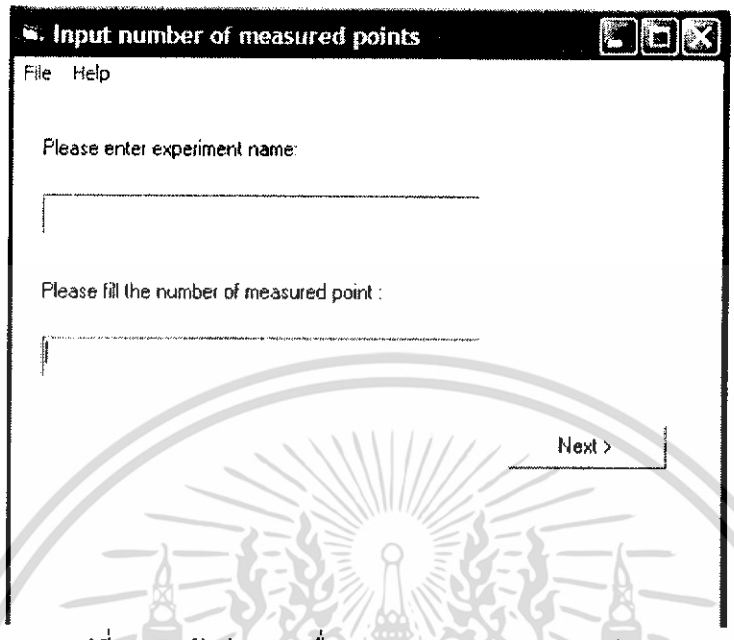


รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการใช้งานโปรแกรมการคำนวณ

เมื่อผู้ใช้ทำการเปิดโปรแกรมพบหน้าต่างดังนี้



รูปที่ 4.2 หน้าต่างระบุชื่อการทดลองและจำนวนข้อมูล

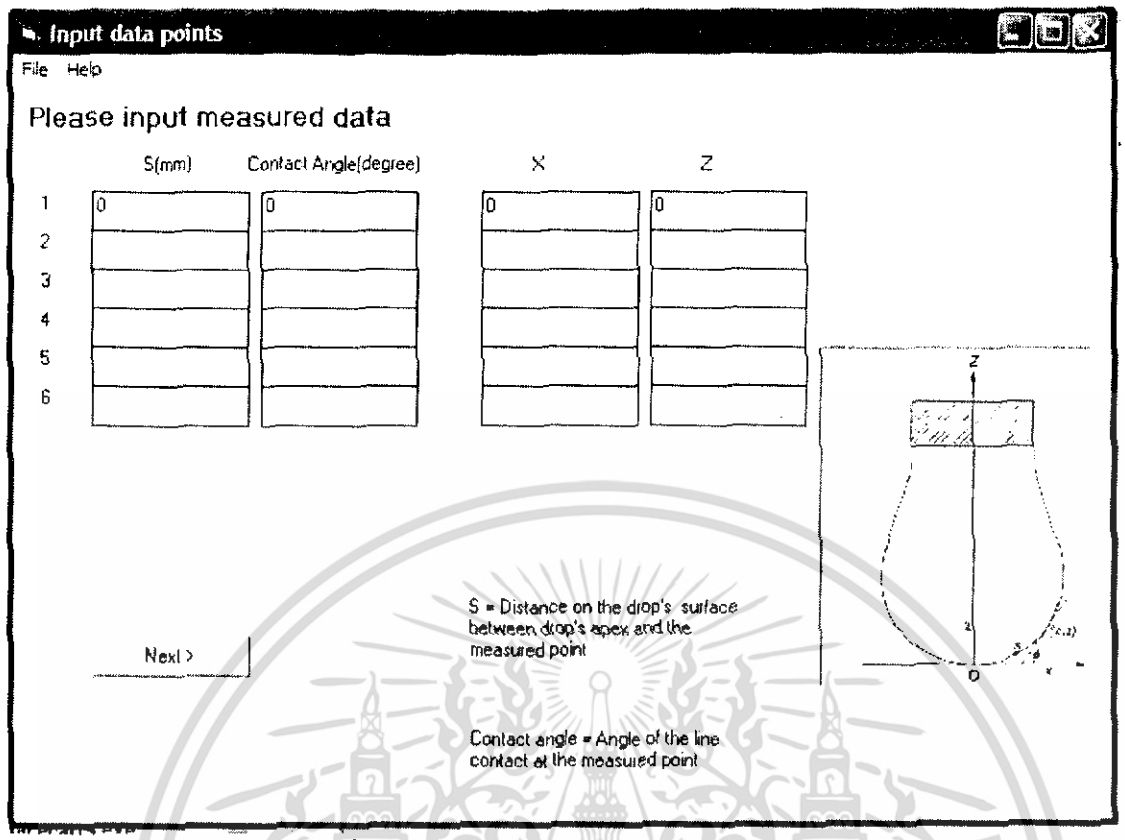
ผู้ใช้ต้องทำการระบุค่าดังนี้

-ชื่อการทดลอง(Experiment name) ใช้สำหรับระบุชื่อการทดลองสำหรับแสดงในหน้าการแสดงผล

-จำนวนข้อมูลที่ได้จากการวัด(number of measured points) ใช้สำหรับระบุจำนวนข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้ในการคำนวณ โดยค่าที่สามารถใช้ได้คืออยู่ระหว่าง 1-10

จากนั้นเมื่อผู้ใช้ทำการกดปุ่ม Next > จะพบกับหน้าต่างดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 หน้าต่างสำหรับระบุค่า ϕ, s, x และ z

โดยผู้ใช้งานต้องทำการระบุค่าดังนี้

-s คือค่าระยะทางตามแนวลักษณะรูปร่างของหยดโดยวัดเริ่มจากจุดยอดของหยดมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

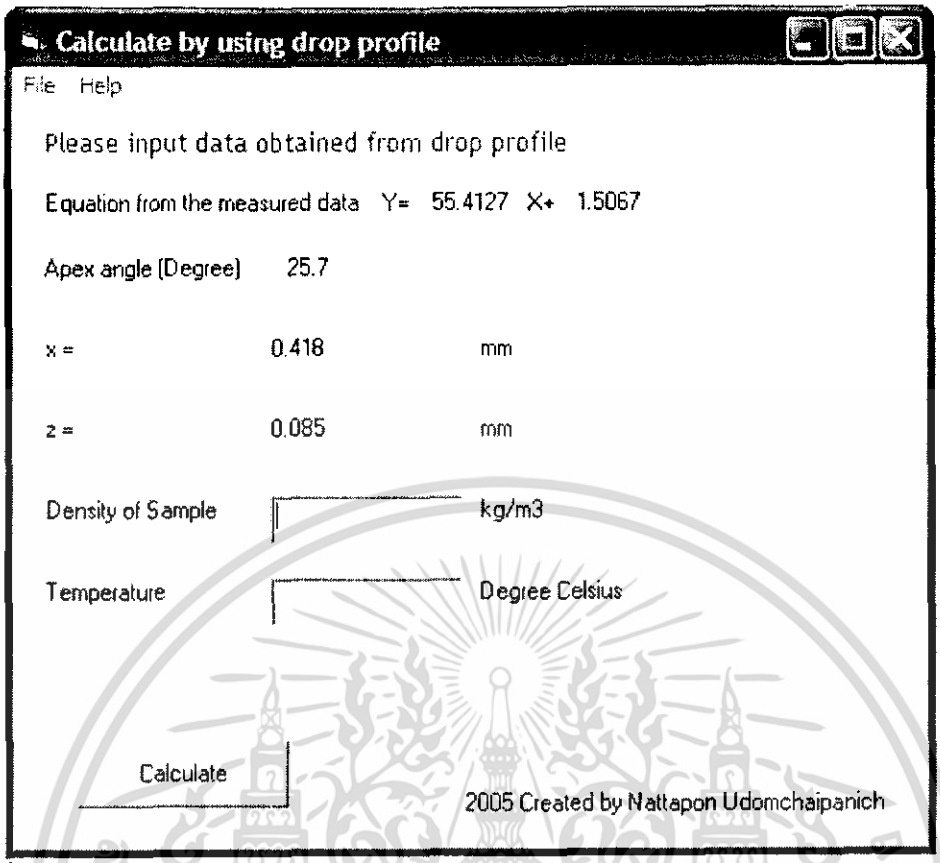
-ค่า ϕ คือมุมสัมผัสโดยวัดจากแกน X ไปสัมผัสกับหยดจุดที่ทำการวัด มีหน่วยเป็นองศา

-x คือระยะตามแนวแกนX จากจุดกึ่งกลางของหยดมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

-z คือระยะตามแนวแกน Y โดยเริ่มวัดจากจุดยอดของหยดมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

เมื่อทำการระบุค่าจนครบจำนวนแล้วกดปุ่ม Next > ไปสู่ขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 หน้าต่างระบุค่าสภาวะในการทดลองเช่นอุณหภูมิ ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง

โดยมีส่วนประกอบดังนี้

-สมการความสัมพันธ์ระหว่าง s และ ϕ ได้จากการคำนวณด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้นจากข้อมูลที่ระบุในหน้าต่างก่อนหน้า

-มุมสัมผัสที่จุดยอดของหยด(Apex angle) คือค่ามุมสัมผัสที่วัดได้ในจุดที่ใกล้กับจุดยอดของหยดมากที่สุดมีหน่วยเป็นองศา

-x คือค่า x ที่วัดได้ที่จุดเดียวกับจุดที่วัดค่ามุมสัมผัสที่จุดยอดมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

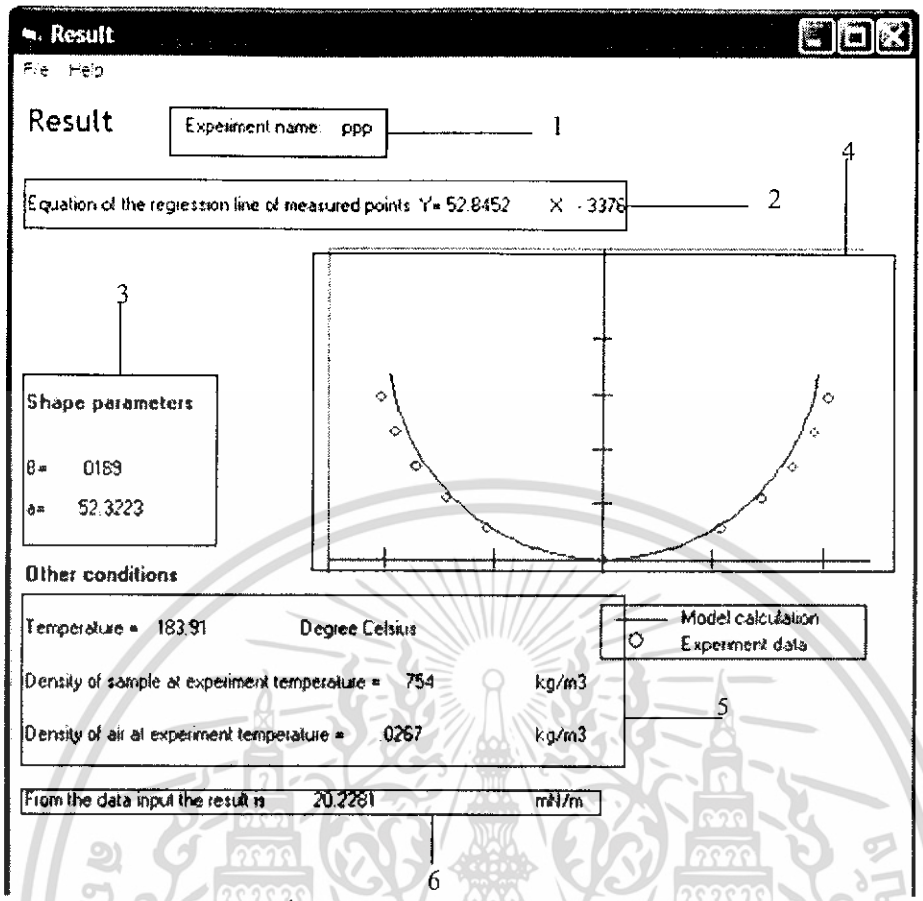
-z คือค่า z ที่วัดได้ที่จุดเดียวกับจุดที่วัดค่ามุมสัมผัสที่จุดยอดมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

-ความหนาแน่นของสารที่นำมาวัด (Density of Sample) คือค่าความหนาแน่นของสารที่นำมาวัดที่อุณหภูมิที่ทำการทดลองมีหน่วยเป็น kg/m^3

-อุณหภูมิ(Temperature) คือค่าอุณหภูมิที่ทำการทดลองมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส(°C)

เมื่อทำการระบุค่าจนครบถ้วนแล้วกดปุ่ม Calculate ไปสู่หน้าจอแสดงผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณ

หน้าต่างแสดงผลมีส่วนประกอบดังนี้

1.ชื่อการทดลอง

2.สมการความสัมพันธ์ระหว่าง s และ ϕ

3.พารามิเตอร์ขนาดและรูปร่าง คือค่าB และ a ที่คำนวณได้

4.กราฟเปรียบเทียบระหว่างลักษณะรูปร่างที่คำนวณได้เทียบกับค่า x และ z ที่ได้จากการทดลอง

5.ค่าอื่นๆประกอบด้วยอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ความหนาแน่นของสารตัวอย่างและอากาศที่อุณหภูมิที่ทำการทดลองตามลำดับ

6.ค่าแรงตึงผิว คือค่าแรงตึงผิวของสารตัวอย่างที่นำมาวัดซึ่งคำนวณได้ในหน่วยมิลลินิวตัน/เมตร (mN/m)

ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมการคำนวณแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูงและข้อมูลเพิ่มเติมได้ถูกอธิบายในภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

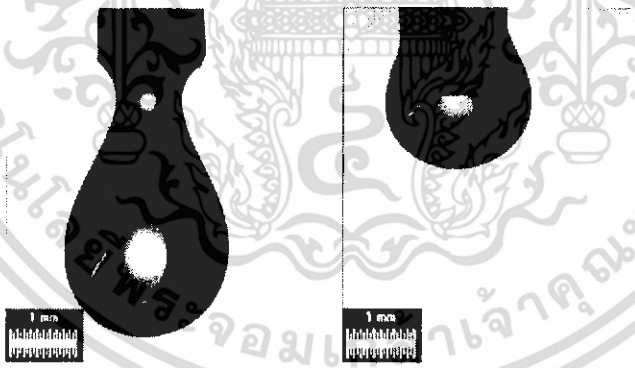
บทที่ 5
ผลการศึกษาและทดลอง

การทดลองทำโดยการนำพอลิโอเลฟินส์ชนิดต่างๆมาทำการวัดค่าแรงตึงผิวโดยใช้เครื่องมือวัดและโปรแกรมที่พัฒนาได้ได้ผลดังนี้

5.1 การหาน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เหมาะสมในการทำการทดลอง

5.1.1 การสังเกตรูปร่างของหยดที่น้ำหนักตัวอย่างต่างๆ

จากการทดลองเตรียมสารตัวอย่างที่มีน้ำหนักแตกต่างกันจากน้อยไปมากในช่วง 3- 9 มิลลิกรัมมาทำการทดลองวัดด้วยเครื่องมือ พบว่าน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างทุกชนิดที่นำมาทำการวัดอยู่ในช่วงน้ำหนัก 6-8 มิลลิกรัม ถ้าหากน้ำหนักมากกว่าในช่วงนี้หยดของตัวอย่างที่ได้จะไม่เสถียร และหลุดจากแท่งยึดจับตัวอย่างในเวลาสั้นทำให้ไม่สามารถหาจุดที่หยดอยู่ในสภาวะสมดุลถ้าหากน้ำหนักน้อยกว่าช่วงดังกล่าวหยดที่ได้มีลักษณะที่ไม่ชัดเจนหรือมีขนาดเล็กเกินไป ทำให้ไม่สามารถวัดค่าได้ได้ดังรูปที่ 5.1 รูป (ก) คือหยดที่มีน้ำหนักมากเกินไป ส่วนรูป (ข) คือหยดที่มีน้ำหนักน้อยเกินไป



(ก.) (ข.)

รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบผลของน้ำหนักสารตัวอย่างในการวัดค่าแรงตึงผิว

(ก.) หยดของพอลิโพรพิลีนที่ 190 °C น้ำหนักสารตัวอย่าง 8.6 มิลลิกรัม

(ข.) หยดของพอลิโพรพิลีนที่ 190 °C น้ำหนักสารตัวอย่าง 4.2 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การวัดค่าแรงตึงผิวของสารตัวอย่างที่มีน้ำหนักต่างๆกัน

จากการทดลองโดยการนำพอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักต่างกันมาทำการวัดค่าแรงตึงผิวที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องมือได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.1 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีนที่น้ำหนักต่างกัน

ครั้งที่	น้ำหนัก(มิลลิกรัม)	แรงตึงผิว (มิลลินิวตัน/เมตร)	ความแตกต่างจากค่าที่ได้จากเอกสารอ้างอิง[1]
1	5.5	22.39	9.61%
2	6.3	19.43	3.96%
3	6.3	20.83	3.02%
4	6.8	19.79	2.07%

จากตารางที่ 5.1 พบว่าที่น้ำหนักของสารเท่ากับ 5.5 มิลลิกรัมค่าแรงตึงผิวที่ได้แตกต่างจากค่าแรงตึงผิวจากเอกสารอ้างอิงมากที่สุดคือ 9.61% ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเมื่อมวลของสารตัวอย่างที่ใช้มีค่าน้อยทำให้ภาพหยดน้ำมีขนาดเล็ก ซึ่งในบางครั้งหยดมีการหดตัวทำให้วัดค่าได้ลำบากหรืออาจไม่สามารถวัดค่าได้ซึ่งจากการทดลองพบว่าน้ำหนักของสารที่เหมาะสมที่สุด สำหรับใช้ในการทดลองอยู่ในช่วงระหว่าง 6-7 มิลลิกรัมซึ่งถ้าหากน้ำหนักสารที่ใช้มีค่าน้อยกว่านี้จะทำให้ค่าที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อน ถ้าหากสารที่ใช้มีน้ำหนักมากกว่านี้คือตั้งแต่ 8 มิลลิกรัมขึ้นไปจะทำให้หยดได้รับผลกระทบจากแรงดึงดูดของโลกมากกว่าแรงตึงผิว ซึ่งเป็นผลให้หยดของวัสดุไม่อยู่ในสภาพสมดุลและหลุดออกจากปลายแท่งแคพพิลลารีเร็วขึ้นทำให้ไม่สามารถทำการวัดค่าได้

5.2 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก

การทดลองในขั้นตอนนี้ทำเพื่อตรวจสอบช่วงการวัดค่าแรงตึงผิวที่เครื่องมือสามารถวัดได้โดยได้ทำการทดลองวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก 3 ชนิดคือ พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสซึ่งพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดนี้มีค่าแรงตึงผิวอยู่ในช่วงระหว่าง 20 – 35 มิลลินิวตัน/เมตรโดยที่พอลิสไตรีนมีค่าแรงตึงผิวมากที่สุด ส่วนพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีนมีค่าลดลงมาตามลำดับ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

ชนิดของสารตัวอย่าง	แรงตึงผิว ; γ (มิลลินิวตัน/เมตร)		ความแตกต่าง%
	ผลการทดลอง	ผลจากเอกสารอ้างอิง [1],[8]	
พอลิโพรพิลีน, PP	23.82	21.12	12
พอลิเอทิลีน, PE	24.52	26.1	6.05
พอลิสไตรีน, PS	33.12	29.12	13.75

จากตารางที่ 5.2 เมื่อนำพอลิโอเลฟินส์ทั้ง 3 ชนิดมาทำการวัด ผลที่ได้คือค่าที่วัดได้จากการทดลองต่างจากค่าในเอกสารอ้างอิงคือ 12% 6.05% และ 13.75% สำหรับพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน และ พอลิสไตรีนตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าช่วงค่าแรงตึงผิวซึ่งเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าได้อยู่ในช่วงระหว่าง 20 – 35 มิลลินิวตัน/เมตร โดยค่าความแตกต่างกับเอกสารย้างอิงอยู่ในช่วงระหว่าง 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการเช่น ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องมือ องค์ประกอบของสารตัวอย่างที่อาจมีความแตกต่างกัน เป็นต้น

5.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงตึงผิวของสาร

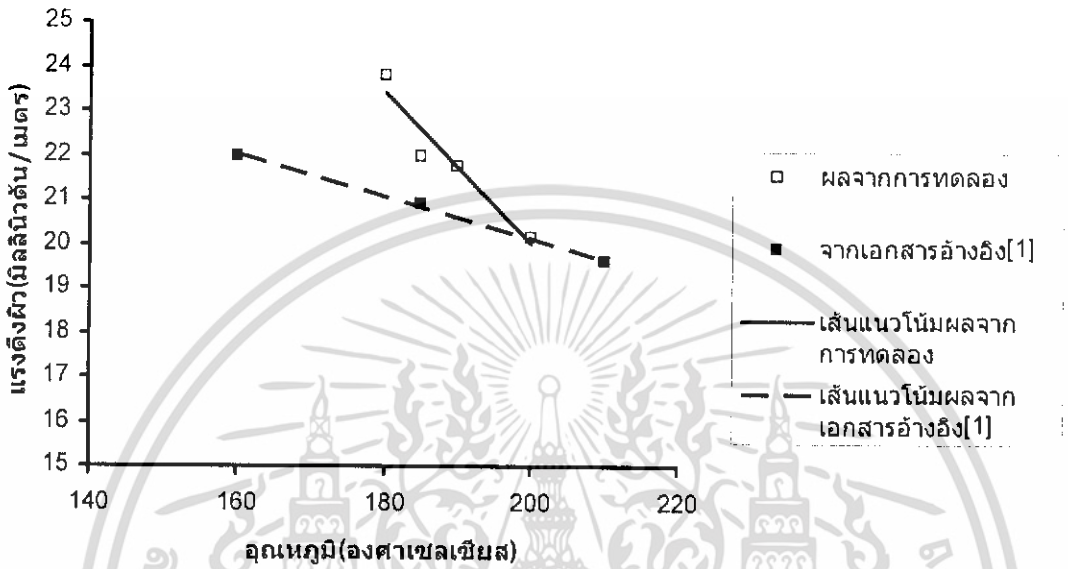
จากการทดลองโดยการนำพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนมาทำการวัดแรงตึงผิวด้วยเครื่องมือที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.3 และ 5.4

ตารางที่ 5.3 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิต่างๆ

ครั้งที่	แรงตึงผิว ; γ (มิลลินิวตัน/เมตร)			
	180°C	185°C	190°C	200°C
1	24.27	19.79	22.315	22.35
2	22.58	21.27	22.04	19.43
3	23.71	20.369	20.99	20.83
4	24.75	21.77	21.69	18.01
ค่าเฉลี่ย	**23.82**	**21.96**	**21.75**	**20.155**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองเมื่อนำค่าเฉลี่ยของแรงตึงผิวที่วัดได้มาทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงตึงผิว และนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลแรงตึงผิวจากเอกสารอ้างอิงได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5.3



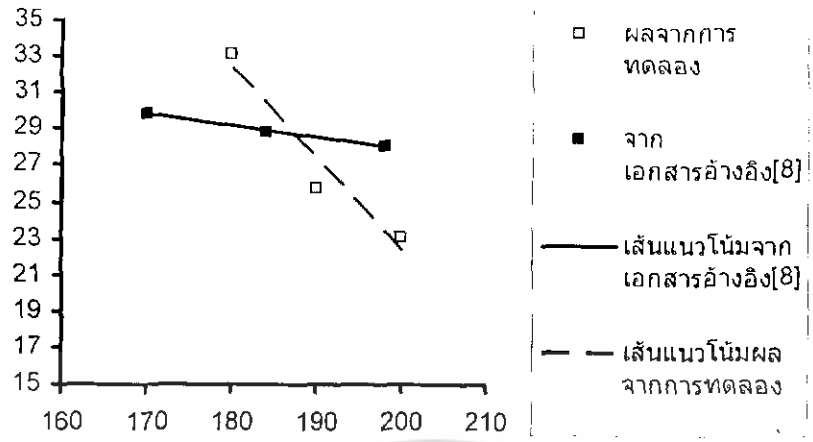
รูปที่ 5.3 แสดงผลของอุณหภูมิต่อค่าแรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีนที่วัดได้

ตารางที่ 5.4 ผลการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิสไตรีนที่อุณหภูมิต่างๆ

ครั้งที่	แรงตึงผิว ; γ (มิลลินิวตัน/เมตร)		
	180°C	190°C	200°C
1	32.68	25.23	24.82
2	33.57	26.27	21.35
ค่าเฉลี่ย	**33.12**	**25.75**	**23.08**

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของแรงตึงผิวที่วัดได้มาทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงตึงผิว และนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลแรงตึงผิวจากเอกสารอ้างอิงได้ผลดังแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงผลของอุณหภูมิต่อค่าแรงตึงผิวของพอลิสไตรีนที่วัดได้

จากตารางที่ 5.3 รูปที่ 5.3 ตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.4 พบว่าค่าแรงตึงผิวที่ได้มีค่าที่ลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น โดยผลที่ได้จากการทดลองมีค่าที่แตกต่างจากข้อมูลที่ตามทฤษฎีโดยข้อมูลที่วัดได้ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสแรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีนมีความแตกต่างจากค่าแรงตึงผิวจากเอกสารอ้างอิง 12 % และความแตกต่างนี้มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีนมีความแตกต่างจากเอกสารอ้างอิง 3.02% แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าแรงตึงผิวของสารได้แม่นยำที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากที่อุณหภูมิพอลิโพรพิลีนเกิดการหลอมเหลวได้ดีกว่าทำให้ภาพหยดน้ำที่ได้มีความชัดเจน นอกจากนี้ยังอาจเป็นผลจากปัจจัยอื่นๆคือ สภาวะในการทดลองที่ต่างกัน ความแม่นยำในการวัดค่า องค์ประกอบของสารที่อาจมีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษาและแนวทางในการพัฒนาโครงงานต่อไป

6.1 สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาในสามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังนี้

6.1.1 การสร้างเครื่องมือวัดและการพัฒนาโปรแกรม เครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือแบบถ่ายภาพหยดน้ำที่อุณหภูมิสูง ใช้ในการวัดแรงตึงผิวของสารจำพวกพอลิเมอร์โดยสามารถตั้งค่าอุณหภูมิได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 160 ถึง 220 องศาเซลเซียส และทำการบันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอกำลังขยายสูง แล้วนำภาพที่ได้ไปทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคำนวณ ซึ่งโปรแกรมการคำนวณที่พัฒนาขึ้น พัฒนาโดยโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 สามารถคำนวณได้ คือการคำนวณจากลักษณะรูปร่างของหยดโดยอาศัยสมการของลาปลาซ-ยัง ซึ่งวิธีการคำนวณนี้เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก

6.1.4 ผลของน้ำหนักสารตัวอย่างที่ใช้ น้ำหนักของสารตัวอย่างที่นำมาวัดมีผลต่อค่าแรงตึงผิวที่ได้ โดยน้ำหนักของสารที่น้อยกว่าจะให้ขนาดของหยดที่เล็กกว่าซึ่งถ้าหากหยดมีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้การวัดค่าทำได้ลำบาก ในขณะที่หยดที่มีน้ำหนักมากเกินไปจะมีผลของแรงโน้มถ่วงของโลกมากกว่าแรงตึงผิวทำให้หยดไม่อยู่ในสภาวะส่งผลให้ไม่สามารถวัดค่าแรงตึงผิวได้ โดยจากการทดลองพบว่าน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6-7 มิลลิกรัมแต่ไม่เกิน 8 มิลลิกรัม

6.1.5 ช่วงของค่าแรงตึงผิวที่เครื่องมือสามารถวัดได้จากการทดลองโดยการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน และ พอลิสไตรีน พบว่าช่วงแรงตึงผิวที่เครื่องมือสามารถวัดค่าได้อยู่ระหว่าง 20-35 มิลลินิวตัน/เมตร ซึ่งผลการวัดที่ได้ต่างจากเอกสารอ้างอิงในช่วง 5-10%

6.1.6 ผลของอุณหภูมิต่อค่าแรงตึงผิว พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงตึงผิวมีค่าลดลงโดยจากการทดลองพบว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าได้แม่นยำมากกว่าที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจาก ในสภาวะอุณหภูมิสูงพอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลวที่ดีกว่าทำให้หยดที่ได้มีความชัดเจนง่ายต่อการวัดค่า

6.2 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

6.2.1 พัฒนาโปรแกรมเพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายมากยิ่งขึ้น เช่นสามารถอ่านค่าจากรูปภาพที่ถ่ายได้จากอุปกรณ์ทันทีโดยไม่ต้องอาศัยโปรแกรมอื่น

6.2.2 ปรับปรุงอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่นการออกแบบเพื่อลดการรั่วไหลของความร้อนในส่วนบรรจุตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Petra Pötschke, Jürgen Pionteck and Herbert Stutz "Surface tension, interfacial tension, and morphology in blends of thermoplastic polyurethanes and polyolefins. Part I. Surface tension of melts of TPU model substances and polyolefins" Polymer, Vol.43 Issue25, 2002, Pages 6965-6972

[2] Bihai Song and Jürgen Springer "Determination of interfacial tension from the profile of a pendant drop using computer-aided image processing: 1. Theoretical" Journal of Colloid and Interface Science, Volume 184, Issue 1, 1 December 1996, Pages 64-76

[3] Finn Knut Hansen "Dropimage Program Description" [Online], Available: http://folk.uio.no/fhansen/dropbroc.html , 2003

[4] Noel de Nevers, 1991 "Fluid mechanics for chemical engineers" McGraw-Hill Inc., Singapore

[5] KRÜSS "Theory Measuring Techniques" [Online], Available: http:// http://www.kruss.info/techniques/surface_tension_e.html

[6] Paul Zoller and David J. Walsh, "Standard pressure-volume-temperature data for polymers" Technomic publication, U.S.A, 1995

[7] Douglas A. Lind, William G. Marchal and Samuel A. Wathen, "Statistical Techniques in Business & Economics", McGraw-Hill, 2005

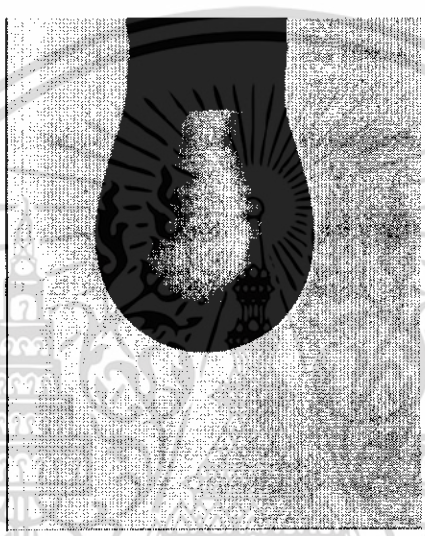
[8] M. Wulf, F. Michel and K. Grundke, "Simultaneous Determination of Surface Tension and Densityof Polymer Melts Using Axisymmetric Drop Shape Analysis", Journal of Colloid and Interface Science, 210, 1999, Page 172-181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
การคำนวณหาค่าแรงตึงผิวจากโพรไฟล์รูปหยดน้ำ

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าแรงตึงผิวจากสมการลาปลาซ-ยัง

ในการคำนวณค่าแรงตึงผิวจากรูปหยดน้ำ เริ่มต้นจากการวัดค่าพารามิเตอร์รูปร่างของหยดโดย ในที่นี้ยกตัวอย่างการหาค่าแรงตึงผิวของสารตัวอย่างคือพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส



รูปที่ ก.1 หยดน้ำของพอลิโพรพิลีนที่ 180 องศาเซลเซียส

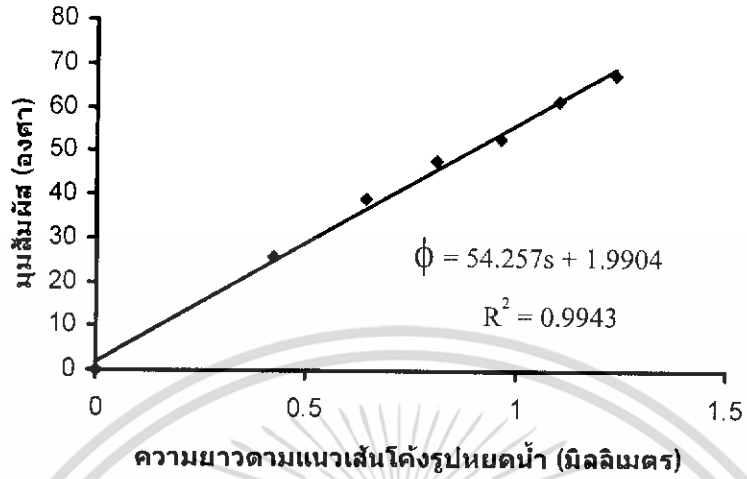
จากรูปหยดน้ำที่ได้วัดขนาดและลักษณะรูปร่างได้ดังนี้

ตารางที่ ก.1 ขนาดและลักษณะรูปร่างที่วัดได้จากภาพหยดน้ำ

ความยาวตามแนวรูปหยดน้ำ(มิลลิเมตร)	มุมสัมผัส(องศา)	x(มิลลิเมตร)	z(มิลลิเมตร)
0	0	0	0
0.4222	25.7	0.4181	0.0852
0.6414	39.2	0.6049	0.1908
0.8120	47.9	0.7348	0.3004
0.9622	52.7	0.8404	0.4060
1.1002	61.7	0.9175	0.5237
1.2383	67.6	0.9744	0.6455

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าที่วัดได้นำมาไปทำการคำนวณโดยใช้วิธีถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาค่าความชันของกราฟและจุดตัดแกน y ของกราฟระหว่างมุมสัมผัสและความยาวตามแนวรูปหยดน้ำ (s)



รูปที่ ก.2 การทำฟิตติงเพื่อหาสมการเส้นตรงของกราฟ

จากกราฟได้ค่าความชันกราฟและค่าจุดตัดแกน y ซึ่งกำหนดให้เป็นค่า C_1 และ C_2 ตามลำดับ จากสมการของกราฟได้

$$\frac{d\phi}{dS} = 54.257$$

และจากสมการลาปลาซ-ยังที่เงื่อนไขขอบเขตได้

$$\frac{d\phi}{dS} = \frac{1}{B} - \frac{z}{a} \qquad \text{(ก.1)}$$

แทนค่าข้อมูลที่จุดที่ใกล้กับจุดยอดของหยดมากที่สุดในสมการ(ก.1)โดนในที่นี้ที่นี้คือ z = 0.0852 mm จะได้

$$54.257 = \frac{1}{\mathrm{B}} - \frac{0.0852}{\mathrm{a}} \qquad \text{(ก.2)}$$

หาค่า a จาก

$$\frac{1}{a} = \frac{B \cdot x}{\sin\phi} \qquad \text{(ก.3)}$$

แทนค่า x = 0.4181 mm และ $\sin\phi$ = 0.4336 ในสมการ (ก.3) จะได้

$$\frac{1}{\mathrm{a}} = 0.9641\mathrm{B} \qquad \text{(ก.4)}$$

นำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการ(ก.2)จะได้

$$54.257 = \frac{1}{\mathrm{B}} - 0.0821\mathrm{B}$$

คูณ B ทั้งสมการแล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$0.0821\mathrm{B}^2 + 54.257\mathrm{B} - 1 = 0$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B^2 + 660B - 12.18 = 0$$

หาค่า B จาก

$$B = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-660 + \sqrt{660^2 - 4(1)(12.18)}}{2(1)}$$

$$B = 0.018$$

จากสมการ(ก.3)จะหาค่า a ได้คือ

$$\frac{1}{a} = 0.9641 \times 0.018$$

$$a = 57.62\,\text{mm}$$

จะสามารถหาค่าแรงตึงผิวได้จาก

$$a = \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta\rho g}}$$

$$(57.62 \times 10^{-3})^2 = \frac{\gamma}{761 \cdot 9.81}$$

$$\gamma = 24.78\,\frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

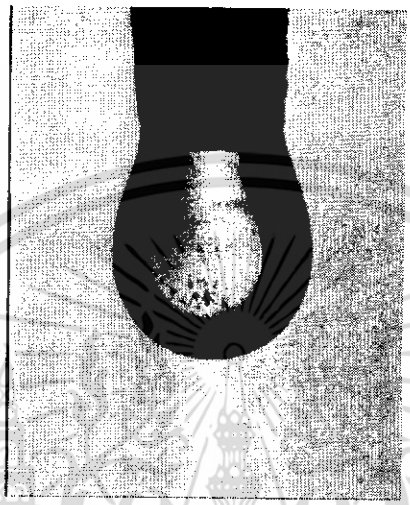
ดังนั้นจะได้ค่าแรงตึงผิวของสารตัวอย่างคือ 24.78 มิลลินิวตัน/เมตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมคำนวณแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำ

ในการวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสหลังจากทำการทดลองได้ภาพหยดน้ำดังรูป



รูปที่ ข.1 หยดของพอลิโพรพิลีนที่ 200 องศาเซลเซียส

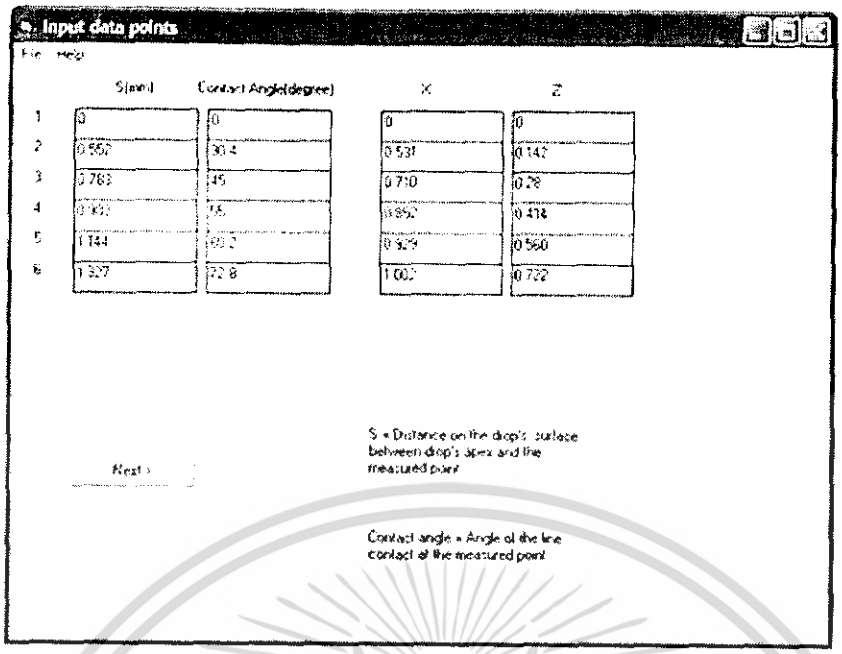
จากนั้นทำการวัดค่าได้ค่าต่างๆดังตาราง

ตารางที่ ข.1 ผลการวัดขนาดและลักษณะรูปร่างของหยด

ความยาวตามแนวรูปหยดน้ำ(มิลลิเมตร)	มุมสัมผัส(องศา)	x (มิลลิเมตร)	z (มิลลิเมตร)
0	0	0	0
0.552	30.4	0.531	0.142
0.783	45	0.710	0.280
0.982	55	0.852	0.414
1.144	60.2	0.929	0.560
1.327	72.8	1.002	0.722

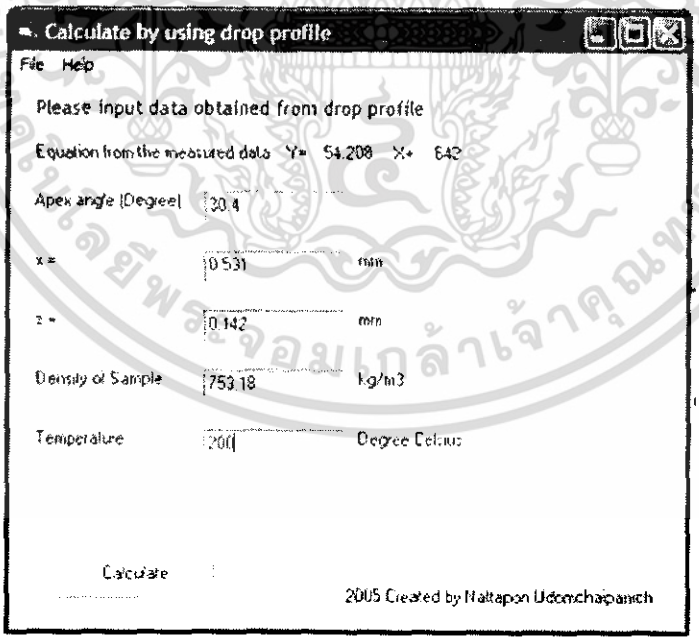
ทำการใส่ค่าในหน้าต่างโปรแกรมดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 ตัวอย่างการใส่ค่าลงในตารางโปรแกรม

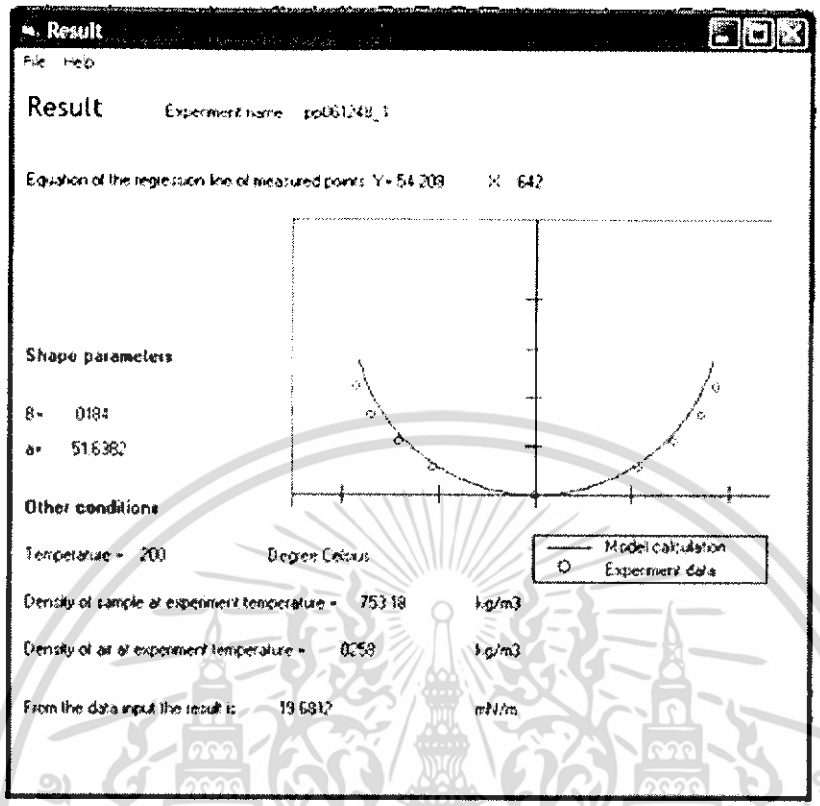
จากนั้นทำการป้อนสภาวะในการทดลองโดยที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสพอลิโพรพิลีนมีความหนาแน่น 753.18 kg/m^3



รูปที่ ข.3 การใส่ค่าสภาวะลงในโปรแกรม

จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณได้ผลดังภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณ

ดังนั้นค่าแรงตึงผิวที่ได้คือ 19.68 มิลลินิวตัน/เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

โปรแกรมวิชวลเบสิกคำนวณหาค่าแรงตึงผิวจากภาพหยดน้ำ

Module (ประกาศตัวแปรGlobal)

```
Module 1-1
Option Explicit
Global slope As Double
Global intercept As Double
Global Gla As Double
Global n As Integer
```

nInputF (หน้าต่างรับค่าจำนวนข้อมูล)

```
Private Sub about_Click()
aboutdrop.Show
End Sub
Private Sub exit_Click()
Unload Me
End Sub
Private Sub NextB_Click()
   RegressInpF.Show
   Me.Hide
End Sub
```

RegressInpF(หน้าต่างใส่ค่าS, ϕ, x, z)

```
Dim i As Integer
Dim SigmaX As Double, SigmaY As Double
Dim xbar As Double
Dim ybar As Double
Dim sx As Double
Dim sy As Double
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim r As Double
Private Sub Command1_Click()
   aboutdrop.Show
End Sub
Private Sub about_Click()
aboutdrop.Show
End Sub
Private Sub exit_Click()
Unload nInputF
Unload Me
End Sub
Private Sub Form_Load()
   For i = 1 To 10
      Xtext(i).Visible = False
      YText(i).Visible = False
      CX(i).Visible = False
      CY(i).Visible = False
      InputL(i).Visible = False
   Next i
   n = Val(nInputF.NumberTB.Text)
   For i = 1 To n
      Xtext(i).Visible = True
      YText(i).Visible = True
      CX(i).Visible = True
      CY(i).Visible = True
      InputL(i).Visible = True
   Next i
End Sub
Private Sub new_Click()
Unload nInputF
nInputF.Show
Unload Me
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Private Sub NextB_Click()
    SigmaX = 0
    SigmaY = 0
    For i = 1 To n
        SigmaX = SigmaX + Val(Xtext(i).Text)
        SigmaY = SigmaY + Val(YText(i).Text)
    Next i
        xbar = SigmaX / n
        ybar = SigmaY / n
        sx = 0
        sy = 0
        r = 0
    For i = 1 To n
        sx = sx + ((Val(Xtext(i).Text) - xbar) ^ 2)
        sy = sy + ((Val(YText(i).Text) - ybar) ^ 2)
        r = r + (Val(Xtext(i).Text) - xbar) * (Val(YText(i).Text) - ybar)
    Next i
        sx = Sqr((sx) / (n - 1))
        sy = Sqr((sy) / (n - 1))
        r = r / ((n - 1) * sx * sy)
        slope = r * (sy / sx)
        intercept = ybar - (slope * xbar)
        Me.Hide
        Form4.Show
End Sub
```

Form4(หน้าต่างใส่สภาวะการทดลอง)

```
Dim apex As Double
Dim zz As Double
Dim xx As Double
Dim x0 As Double
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim z0 As Double
Dim i As Integer
Dim j As Double
Dim ind As Integer
Option Explicit
Public Function arcsin(fx As Double) As Double
   arcsin = Atn(fx / Sqr(-fx * fx + 1))
End Function

Private Sub about_Click()
aboutdrop.Show
End Sub

Private Sub Form_Load()
      c1.Caption = Round(slope, 4)
      c2.Caption = Round(intercept, 4)
      Me.xval.Caption = RegressInpF.CX(2).Text
      Me.z.Caption = RegressInpF.CY(2).Text
      Me.angle.Caption = RegressInpF.YText(2).Text
End Sub
Private Sub Command1_Click()
            If IsNumeric(angle.Caption) Then
               If IsNumeric(xval.Caption) Then
                  If IsNumeric(z.Caption) Then
                     If IsNumeric(denpoly.Text) Then
                        If IsNumeric(t.Text) Then
      apex = xval.Caption / Sin((angle.Caption) * (3.14 / 180))
      c2apex.Caption = Val(z.Caption) * apex
      c1c2apex.Caption = Val(c1.Caption) / Val(c2apex.Caption)
      oneapex.Caption = -1 / Val(c2apex.Caption)
      b.Caption = ((-Val(c1c2apex.Caption)) + Sqr((((Val(c1c2apex.Caption) ^ 2) - (4 *
Val(oneapex.Caption)))))) / 2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
a.Caption = (1 / apex) / Val(b.Caption)
Gla = a.Caption
denair.Caption = (1 / (0.082 * (Val(t.Text) + 273.15)))
am.Caption = (Val(a.Caption) * (10 ^ (-3)))
dendiff.Caption = (Val(denpoly.Text)) - Val(denair.Caption)
surfaceten.Caption = (Val(am.Caption) ^ 2) * Val(dendiff.Caption) * 9.8
If surfaceten.Caption <= 50 Then
' MsgBox apex
'MsgBox c2apex.Caption
'MsgBox c1c2apex.Caption
'MsgBox oneapex.Caption
'MsgBox b.Caption
'MsgBox a.Caption
'MsgBox denair.Caption
'MsgBox am.Caption
'MsgBox dendiff.Caption
'MsgBox surfaceten.Caption
Form5.Show
Me.Hide
Else
MsgBox "Data input error or Out of range"
End If
                    Else: MsgBox ("Invalid temperature input")
                    End If
                Else: MsgBox ("Invalid density of sample input")
                End If
            Else: MsgBox ("Invalid z input")
            End If
        Else: MsgBox ("Invalid x input")
        End If
    Else: MsgBox ("Invalid contact angle input")
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Load Form5
Form5.Picture1.ForeColor = QBColor(0)
Form5.Picture1.Cls
x0 = 0
z0 = 0
j = 1
ind = 0
Do While ind = 0
   If ((j * slope) / Gla) > 1 Then
      j = j - 0.02
   Else
      ind = 1
   End If
Loop
For xx = 0.02 To j Step 0.02
   zz = (((-Gla) * Cos(arcsin((xx * slope) / Gla))) / slope) + (Gla / slope)
   Form5.Picture1.Line ((2500 + (x0 * 2000)), (2800 - (z0 * 2000)))-((2500 + (xx * 2000)),
(2800 - (zz * 2000)))
   Form5.Picture1.Line ((2500 - (x0 * 2000)), (2800 - (z0 * 2000)))-((2500 - (xx * 2000)),
(2800 - (zz * 2000)))
   Form5.Picture1.Line (0, 2800)-(5000, 2800)
   Form5.Picture1.Line (2500, 0)-(2500, 3000)
   Form5.Picture1.Line (3500, 2700)-(3500, 2900)
   Form5.Picture1.Line (4500, 2700)-(4500, 2900)
   Form5.Picture1.Line (1500, 2700)-(1500, 2900)
   Form5.Picture1.Line (500, 2700)-(500, 2900)
   Form5.Picture1.Line (2400, 2300)-(2600, 2300)
   Form5.Picture1.Line (2400, 1800)-(2600, 1800)
   Form5.Picture1.Line (2400, 1300)-(2600, 1300)
   Form5.Picture1.Line (2400, 800)-(2600, 800)
   x0 = xx
   z0 = zz
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        'Debug.Print x & " , " & z
    Next xx
    Form5.Picture1.ForeColor = QBColor(1)
    For i = 1 To n
        Form5.Picture1.Circle ((2500 + Val(RegressInpF.CX(i).Text) * 2000), (2800 -
Val(RegressInpF.CY(i).Text) * 2000)), 40
        Form5.Picture1.Circle ((2500 - Val(RegressInpF.CX(i).Text) * 2000), (2800 -
Val(RegressInpF.CY(i).Text) * 2000)), 40
        Debug.Print RegressInpF.CX(i).Text & " , " & RegressInpF.CY(i).Text
    Next i

End Sub

Private Sub New_Click()
Unload RegressInpF
Unload nInputF
Unload Me
nInputF.Show
End Sub
```

Form5 (หน้าต่างแสดงผล)

```
Dim sc1var As Double
Dim sc2var As Double
Dim avar As Double
Dim bvar As Double
Dim surfacetenvar As Double
Dim densamvar As Double
Dim denairtvar As Double

Option Explicit
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub about_Click()
   aboutdrop.Show
End Sub

Private Sub Exit_Click()
Unload RegressInpF
Unload Form4
Unload nInputF
Unload Me
End Sub

Private Sub Form_Load()
   Me.pjname.Caption = nInputF.pjname.Text
   sc1var = Form4.c1.Caption
   sc2var = Form4.c2.Caption
   avar = Form4.a.Caption
   bvar = Form4.B.Caption
   surfacetenvar = Form4.surfaceten.Caption
   densamvar = Form4.denpoly.Text
   denairtvar = Form4.denair.Caption

   Me.temp.Caption = Form4.t.Text
   Me.densam.Caption = Round(densamvar, 4)
   Me.denairt.Caption = Round(denairtvar, 4)
   Me.sc1.Caption = Round(sc1var, 4)
   Me.sc2.Caption = Round(sc2var, 4)
   Me.a.Caption = Round(avar, 4)
   Me.B.Caption = Round(bvar, 4)
   Me.surfaceten.Caption = Round(surfacetenvar, 4)
   'Picture1.ForeColor = QBColor(0)
   'x0 = 0
   'z0 = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    'For x = 0.02 To 1 Step 0.02
    '    z = (((-Gla) * Cos(arcsin((x * slope) / Gla))) / slope) + (Gla / slope)
    '    Picture1.Line ((2500 + (x0 * 1000)), (1500 - (z0 * 1000)))-((2500 + (x * 1000)), (1500 - (z *
1000)))
    '    x0 = x
    '    z0 = z
    '    Debug.Print x & " , " & z
    ' Next x
End Sub

Private Sub New_Click()
    Unload Form4
    Unload RegressInpF
    Unload nInputF
    nInputF.Show
    Unload Me
End Sub

Private Sub print_Click()
PrintForm
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้