

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิโอเลฟินส์หลอมเหลวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำโดยใช้
คอมพิวเตอร์

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



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72217
วัน,เดือน,ปี..... 1.2 ค.ย. 2550

b. 11765239
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การวัดค่าแรงดึงผิวของพอลิโলেฟินส์หลอมเหลวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำ
โดยใช้คอมพิวเตอร์

ชื่อนักศึกษา นายรัชณัฐ อัสสพันธ์ รหัสประจำตัว 46010632
นายอนุวัฒน์ ยศวงศ์ใจ รหัสประจำตัว 46012209

อาจารย์ที่ปรึกษา คร. พัทธ์ชัย ธรรมวาริน
คร. สุรัตน์ อารีรัตน์

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2549

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว



(คร. พัทธ์ชัย ธรรมวาริน)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การวัดค่าแรงตึงผิวของพอลิเอเลฟินส์หลอมเหลวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำ
โดยใช้คอมพิวเตอร์

ชื่อนักศึกษา นายรัชณัฐ อัสสพันธ์ รหัสประจำตัว 46010632
นายอนุวัฒน์ ยศวงศ์ใจ รหัสประจำตัว 46012209

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. พิทักษ์ ธรรมวาริน
ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โปรเจกต์เป็นการนำเสนอการพัฒนาาระบบอัตโนมัติสำหรับคำนวณค่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์
ด้วยวิธีถ่ายภาพหยดน้ำ ในขั้นต้นจะตรวจสอบหาตำแหน่งขอบของหยดน้ำจากการถ่ายภาพหยดน้ำ
และแปลงตำแหน่งที่ได้ให้อยู่ในรูปของคู่ลำดับคาร์ทีเซียน จากนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น
จะทำการประมาณค่าตำแหน่งขอบของหยดน้ำที่ได้ด้วยเส้นโค้งสไปร์น และสุดท้ายจะนำค่าที่ได้มาใช้
ในการคำนวณค่าแรงตึงผิวของหยดพอลิเมอร์ ประสิทธิภาพของระบบแสดงได้โดยการทำการทดลอง
คำนวณค่าแรงตึงผิวจากภาพถ่ายของสารตัวอย่างและเปรียบเทียบค่าจริง

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

Student Mr. Ratchanat Assapun ID. 46010632

Mr. Anuwat Yoswongjai ID. 46012209

Advisor Dr. Pitak Tammawarin

Dr. Surat Areerat

Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic Year 2006

ABSTRACT

This project presents an automatic system development for determination of molten polyolefin surface tension. First, the edge detection algorithm is used to determine the edge of the pendent drop. Then the positions of the edge of the pendent drop are transformed into Cartesian coordinates system. After that the spline curve is used to approximate the position of the edge of the pendent drop. Finally, the obtained position is used to calculate the surface tension using Laplace Young equation. The experimental results are given to show the efficient of the proposed method.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แรงตึงผิว	3
2.2 การวัดแรงตึงผิว	4
2.3 การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำ	6
2.4 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข	11
2.5 ไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป	15
2.6 การจัดเก็บไฟล์ข้อมูลชนิดบิตแมป	16
2.7 การสร้างภาพไบนารี	16
2.8 การแยกวัตถุจากภาพ	18
บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม	
3.1 การออกแบบโปรแกรม	20
3.2 โปรแกรมในส่วนการประมวลผลภาพ	21
3.3 โปรแกรมในส่วนติดต่อกับผู้ใช้	25
บทที่ 4 ผลการศึกษาและพัฒนาโปรแกรม	
4.1 ผลการทดสอบหาค่าแรงตึงผิวจากภาพที่ผ่านการทำขอบของภาพให้เรียบ	27
4.2 ผลการทดสอบความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม	29
บทที่ 5 สรุป	32
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก ก.	34
ภาคผนวก ข.	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

แรงดึงผิวเป็นคุณสมบัติของพอลิเมอร์ซึ่งมีความสำคัญในทางอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากแรงดึงผิวของพอลิเมอร์เป็นตัวกำหนด คุณสมบัติหลายๆอย่างของพอลิเมอร์เช่นสมบัติของพอลิเมอร์เมื่อนำพอลิเมอร์มากกว่าสองชนิดมาผสมเข้าด้วยกัน นอกจากนี้การวัดแรงดึงผิวยังเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของเม็ดพลาสติกที่ผลิตในอุตสาหกรรมอีกด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์ในการวัดที่สะดวก รวดเร็วและให้ผลที่แม่นยำ ปัจจุบันมีผู้พัฒนาเครื่องมือวัดค่าแรงดึงผิวของสารพอลิเมอร์จากภาพโดยใช้วิธีการคำนวณจากการหาลักษณะรูปร่างของหยดน้ำขึ้นมาเอง เพื่อใช้ทดแทนเครื่องของต่างประเทศที่มีราคาสูง แต่เครื่องมือรุ่นเก่ายังไม่สามารถนำภาพที่ได้จากเครื่องมือ ไปประมวลผลได้โดยตรง ยังต้องอาศัยการควบคุมจากผู้ใช้งานอยู่ ทำให้เครื่องมือมีขั้นตอนการใช้งานที่ยุ่งยากจนเกินไป โครงการนี้จึงเป็นการพัฒนา โปรแกรมสำหรับเครื่องมือวัดค่าแรงดึงผิวของสารพอลิเมอร์จากภาพโดยใช้วิธีการคำนวณจากการหาลักษณะรูปร่างของหยดน้ำให้มีประสิทธิภาพในการคำนวณที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดค่าแรงดึงผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูงซึ่งมีต้นทุนต่ำ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการวัดค่าแรงดึงผิวจากภาพหยดน้ำ
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องในการคำนวณมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาถึงวิธีการคำนวณแรงดึงผิวจากภาพหยดน้ำ
- 1.3.2 สร้างโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่าแรงดึงผิว
- 1.3.3 ออกแบบยูสเซอร์อินเทอร์เฟซของโปรแกรมเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาถึงวิธีการคำนวณและทำการทดลองคำนวณในเบื้องต้น
- 1.4.2 สร้างโปรแกรมประมวลผลภาพเพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆที่จำเป็นในการคำนวณ
- 1.4.3 สร้างโปรแกรมสำหรับทำการคำนวณตามวิธีการที่ได้ศึกษามาแล้ว
- 1.4.4 ทำการพัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถในการคำนวณได้ใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุด

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

- 1.5.1 สามารถสร้างเครื่องมือวัดแรงดึงผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูงซึ่งมีความน่าเชื่อถือและมีต้นทุนต่ำ
- 1.5.2 สามารถพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือที่สร้างได้และให้ผลการคำนวณที่แม่นยำ

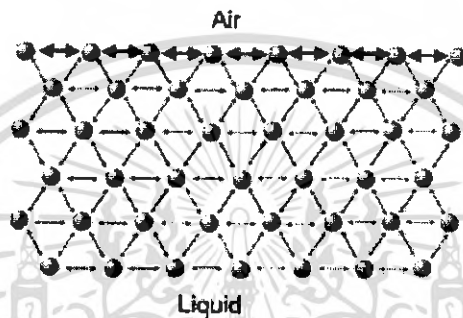


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แรงตึงผิว

แรงตึงผิวคือการวัดแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของของไหล โมเลกุลของของไหลจะดึงดูดกับ โมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง แรงของโมเลกุลที่อยู่ในของเหลวคูลจากแรงกระทำของ โมเลกุลอื่นๆที่อยู่โดยรอบในขณะที่โมเลกุลที่อยู่บนพื้นผิวเกิดการไม่สมดุลดังภาพ

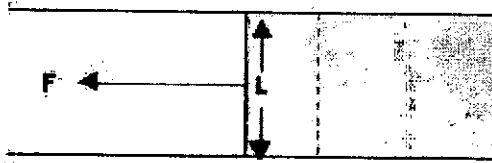


รูปที่ 2.1 แรงระหว่างโมเลกุลในของไหล

ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวคือจะเกิดพลังงานอิสระขึ้นที่ผิวของของไหล พลังงานที่มากเกินไปนี้เรียกว่าพลังงานอิสระที่พื้นผิว (surface free energy) มักถูกบอกปริมาณในรูปของพลังงาน/พื้นที่ นอกจากนี้ยังสามารถคตอนให้เหลืออยู่ในรูปของ พลังงาน/ระยะทาง โดยทั่วไปหน่วยที่นิยมใช้ในการวัดแรงตึงผิวของ dyne/cm หรือ มิลลินิวตัน/เมตร พลังงานที่เกินพอนี้เกิดขึ้นที่ระหว่างผิวของของไหลสองชนิด ถ้าหากของไหลชนิดหนึ่งอยู่ในสถานะก๊าซ พลังงานที่วัดได้จากผิวของของไหลจะถูกเรียกว่าแรงตึงผิว (surface tension) แต่ถ้าหากการวัดเกิดขึ้นที่ระหว่างผิวของของเหลวสองชนิดจะเรียกพลังงานนี้ว่าแรงระหว่างผิว (interfacial tension) ผลจากการที่โมเลกุลจะถูกดึงดูดเข้าสู่ศูนย์กลางทำให้ของเหลวมีแนวโน้มที่จะมีรูปร่างซึ่งมีโมเลกุลอยู่บริเวณศูนย์กลางมากที่สุด โดยมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด นั่นก็คือจะมีรูปร่างเป็นทรงกลมซึ่งเป็นรูปร่างที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด แรงตึงผิวของของเหลวสามารถหาได้จากอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นกรวยหลอดซึ่งมีด้านหนึ่งเคลื่อนที่ได้จุ่มลงในของไหลและค่อยๆดึงออกโดยมีฟิล์มของของเหลวเกิดขึ้นในช่องว่างของหลอดที่เคลื่อนที่ ฟิล์มจะพยายามเปลี่ยนรูปร่างเป็นทรงกลม แต่เมื่อฟิล์มติดอยู่กับหลอด ฟิล์มจะพยายามดึงหลอดให้เคลื่อนที่ย้อนกลับ แรงที่เพียงพอในการต้านทานการเคลื่อนที่นี้ถูกวัดในรูปของน้ำหนักจากการทดลองพบว่าอัตราส่วนระหว่างแรงต่อระยะทางที่หลอดเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากันสำหรับของเหลวชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิเดียวกันไม่ว่าชุดการทดลองจะมีขนาดที่ใหญ่แค่ไหนก็ตาม ฟิล์มที่เกิดขึ้นจะมีผิวสองด้านคือด้านหน้าและด้านหลัง ดังนั้นแรงต่อหน่วยความยาวของพื้นผิวด้านหนึ่งจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงที่วัดได้ทั้งหมด จะสามารถหาแรงตึงผิวของของเหลวได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{แรงดึงผิว} = \frac{\text{แรงดึง } F}{\text{ระยะทาง } L} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.2 การวัดแรงดึงผิวของของเหลว

ของเหลวจะสามารถยึดติดกับสารบางชนิดได้ดีแต่อาจไม่ยึดติดกับสารชนิดอื่นเช่นน้ำสามารถยึดติดได้ดีกับแก้วแต่ไม่ยึดติดกับพอลิเอทิลีน

ปรากฏการณ์อื่นๆที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากแรงดึงผิวคือการเกิดตะปิลลารีของของเหลวที่ไหลในท่อขนาดเล็ก และการที่สายของของเหลวมีแนวโน้มที่จะกลายเป็นทรงกลม แรงดึงผิวจะมีผลอย่างมากในระบบที่มีพื้นที่ผิวมากเช่นระบบที่เกี่ยวข้องกับอิมัลชัน และในระบบที่มีสารหลายเฟสไหลผ่านสารตัวกลางที่มีรูพรุนเช่นระบบที่เกี่ยวข้องกับน้ำมัน

ในทางพอลิเมอร์แรงดึงผิวมีความสำคัญคือ

- แรงดึงผิวเป็นตัวกำหนดความสามารถในการเปียกของสารชนิดหนึ่งบนสารอีกชนิดหนึ่ง
- ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันการเกาะติดของพอลิเมอร์กับพิมพ์ของเครื่องฉีดพลาสติกซึ่งแรงดึงผิวมีส่วนเกี่ยวข้องในการเกาะติดของพอลิเมอร์
- แรงดึงผิวเป็นหนึ่งในสมบัติที่เป็นตัวกำหนดสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยพอลิเมอร์ 2 ชนิดที่มีแรงดึงผิวใกล้เคียงกันจะสามารถรวมตัวกันได้ดีกว่าพอลิเมอร์ที่มีแรงดึงผิวแตกต่างกัน

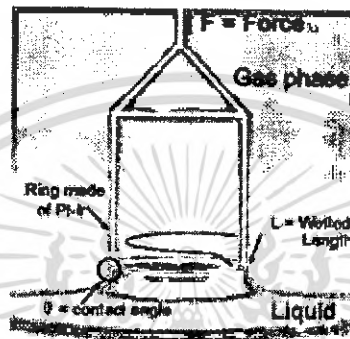
2.2 การวัดแรงดึงผิว

การวัดแรงดึงผิวโดยใช้เครื่องวัดแรงดึงผิว (Tensiometer) มีพื้นฐานบนการวัดแรงกระทำระหว่างขั้ว (Probe) และผิวระหว่างของไหลสองชนิดซึ่งวิธีการดังที่จะกล่าวต่อไปนี้สามารถใช้ในการวัดแรงระหว่างผิว ได้เช่นเดียวกับการวัดแรงดึงผิว ในการทดสอบขั้วจะถูกแขวนไว้ในสภาพสมดุล และถูกนำไปสัมผัสกับผิวของของเหลวที่ต้องการทดสอบ แรงที่เกิดขึ้นที่สมดุลที่ขั้วทำกับผิวของของเหลวจะสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดึงผิวได้ แรงที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นกับตัวแปรดังต่อไปนี้ ขนาดและรูปร่างของขั้ว มุมสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว และแรงดึงผิวของของเหลว

วิธีการวัดแรงตึงผิวที่ใช้โดยทั่วไปมีดังนี้

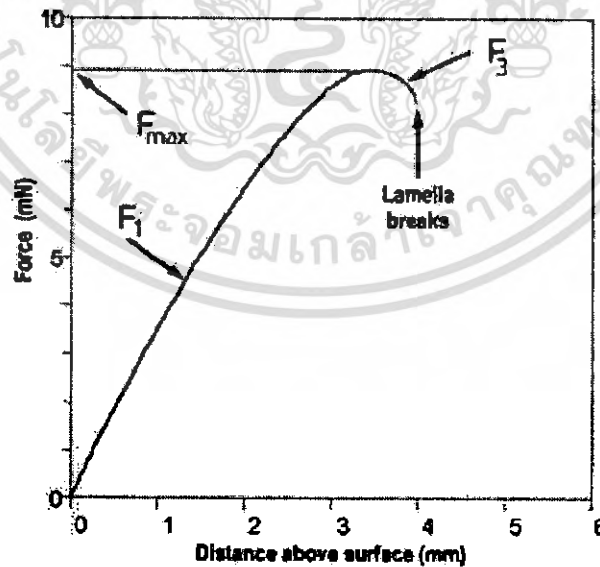
2.2.1 วิธีวงแหวนดุนอย (Dunouy's Ring Method)

การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีวงแหวนดุนอยเป็นวิธีการแรกที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยในวิธีการนี้จะทำการจุ่มวงแหวนลงในของเหลวตัวอย่างที่ต้องการทำการวัด จากนั้นจะทำการดึงวงแหวนขึ้นเกิดเป็นฟิล์มของตัวอย่างที่วงแหวนขึ้น



รูปที่ 2.3 การวัดโดยวงแหวน

ในขณะที่ฟิล์มของตัวอย่างถูกดึงจะสามารถวัดแรงตึงผิวสูงสุดของตัวอย่างได้ ที่จุดที่แรงตึงผิวสูงสุดเวกเตอร์ของแรงจะอยู่ในทิศทางที่ขนานกับการเคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



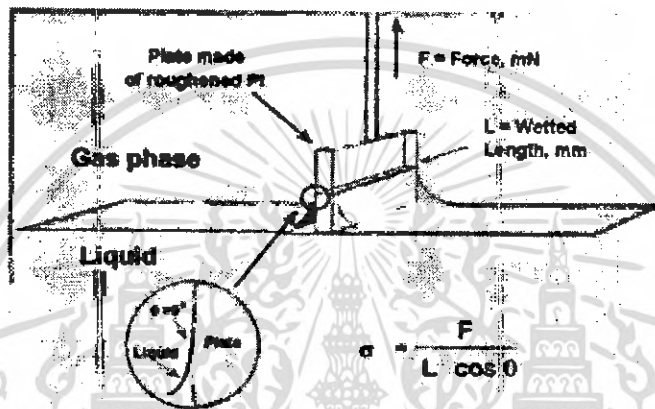
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการดึงวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำการวัด ระยะการคืบวงแหวนจะถูกเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งผ่านจุดที่แรงตึงผิวของสารมีค่าสูงสุดไป จากนั้นจะทำการลดระยะการคืบวงแหวนลงและผ่านจุดที่แรงตึงผิวอีกครั้งซึ่งการบันทึกค่าจะทำในขั้นตอนนี้จากนั้นจากค่าที่ได้จะสามารถนำไปทำการคำนวณหาค่าแรงตึงผิวต่อไป

2.2.2 วิธีแบบเพลท (Plate Method)

ในวิธีการวัดแบบเพลท จะทำการวัดโดยการทำการจุ่มแผ่นเพลทลงในของเหลวตัวอย่าง จากนั้นแรงตึงผิวของตัวอย่างจะทำให้เกิดเป็นส่วนโค้งขึ้นบริเวณผิวของเพลท ซึ่งระยะที่ของเหลวตัวอย่างเกิดเป็นส่วนโค้งและแรงที่ใช้ในการดึงเพลทจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่าแรงตึงผิวต่อไป



รูปที่ 2.5 การวัดโดยวิธีแบบเพลท

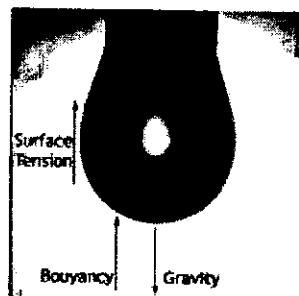
2.2.3 วิธีแบบแท่งโลหะ (Metal Rod)

ในการวัดแรงตึงผิวของสารเมื่อสารมีปริมาณจำกัดอาจใช้วิธีการนำเพลตินัมมาใช้เป็นขั้ว แต่จากวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะต้องมีปริมาณของสารที่เพียงพอในการวัด เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาปริมาณของสารไม่เพียงพอต่อการวัดอาจใช้วิธีการใช้แท่งโลหะเป็นขั้ว ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ปริมาณของสารที่น้อยมาก

2.3 การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำ

2.3.1 หลักการ

การวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพแบบรูปหยดน้ำอาศัยหลักการของดุลของแรง โดยเมื่อหยดของสารอยู่ในสถานะที่เสถียรจะมีแรงที่กระทำต่อหยดในขณะนั้น 3 แรงคือ แรงตึงผิว แรงโน้มถ่วงของโลกและแรงลอยตัวอันเนื่องมาจากอากาศซึ่งแรงทั้ง 3 นี้จะอยู่ในสถานะที่สมดุล



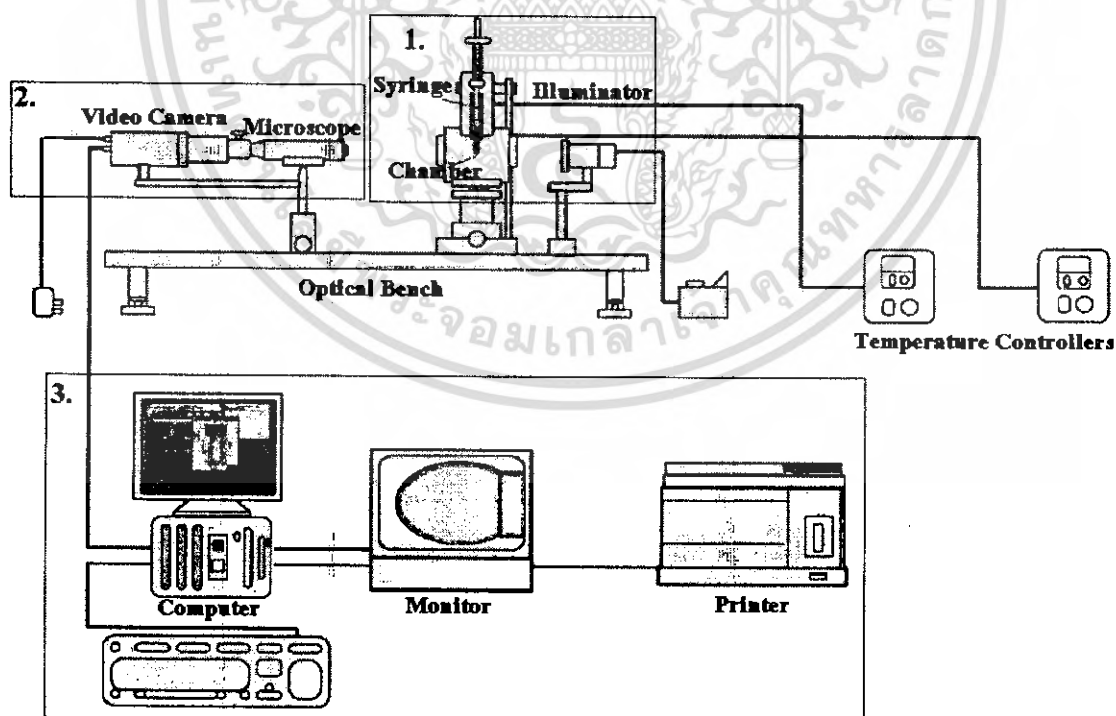
รูปที่ 2.6 รูปทั่วไปแสดงคุณแรงของหยดวัสดุ

แต่อย่างไรก็ตามการวัดแรงตึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำนี้ยังมีข้อจำกัดคือ

1. การวัดแบบถ่ายภาพหยดน้ำจำเป็นต้องให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งสารจำพวกพอลิเมอร์จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงในการหลอมเหลว ดังนั้นสารที่จะนำมาวัดจะต้องมีหยดที่เสถียร ในอุณหภูมิสูงและไม่สลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการวัดค่า
2. สารเนื้อผสมอาจเกิดปัญหาในการนำมาวัดด้วยวิธีถ่ายภาพหยดน้ำเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงสารเหล่านี้ อาจเกิดการแยกวัฏภาคทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ใช่ค่าของแรงตึงผิวของสารนั้น

2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดแรงตึงผิวสำหรับพอลิเมอร์จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแรงตึงผิวของพอลิเมอร์แบบรูปหยดน้ำ

ชุดประกอบของเครื่องมือประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1 ชุดบรรจุตัวอย่างประกอบด้วยช่องปิดสำหรับการบรรจุตัวอย่าง ซึ่งสามารถปรับตำแหน่งเพื่อความชัดเจนของภาพได้ สำหรับการวัดแรงดึงผิวของพอลิเมอร์ในส่วนนี้มีการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิ นอกจากนี้มีการติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่างเพื่อให้การบันทึกภาพทำได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ส่วนที่ 2 ชุดบันทึกภาพ ในส่วนนี้จะประกอบด้วยกล้องวิดีโอซึ่งติดตั้งชุดเลนส์กำลังขยายสูงสำหรับบันทึกภาพหยดน้ำจากส่วนบรรจุตัวอย่าง ชุดอุปกรณ์บันทึกภาพนี้จะเชื่อมต่อเข้ากับชุดคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล

ส่วนที่ 3 ชุดประมวลผล ประกอบด้วยชุดคอมพิวเตอร์ซึ่งทำการบันทึกภาพที่ได้จากส่วนบันทึกภาพเก็บเป็นข้อมูลและมีโปรแกรมสำหรับทำการคำนวณจากภาพที่บันทึกได้

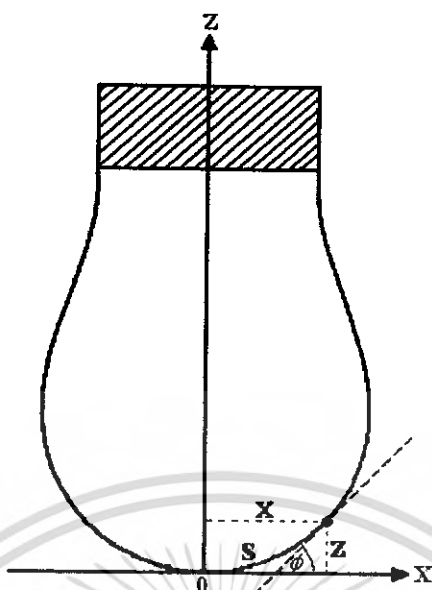
2.3.3 การคำนวณแรงดึงผิวจากภาพหยดน้ำ

ในการคำนวณหาค่าแรงดึงผิวสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

- การคำนวณแรงดึงผิวด้วยวิธีการสร้างโปรไฟล์ของรูปหยดน้ำ เป็นวิธีการคำนวณจากสมการลาปลาซ-ยัง โดยอาศัยข้อมูลขนาดและลักษณะรูปร่างของภาพหยดน้ำของพอลิเมอร์วิธีการนี้เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวัดค่าแรงดึงผิวที่อุณหภูมิสูงของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก
- การคำนวณด้วยวิธีการโพลีโนเมียลฟิต เป็นอีกวิธีการหนึ่งในการวัดค่าแรงดึงผิวโดยอาศัยการวัดค่าพารามิเตอร์รูปร่าง แล้วทำการคำนวณด้วยการแทนค่าลงในสมการโพลีโนเมียลที่ได้จากการทำการทดลอง

2.3.3.1 การคำนวณแรงดึงผิวจากลักษณะรูปร่างของรูปหยดน้ำ

เมื่อทำการทดลองจนกระทั่งได้ภาพหยดวัสดุจะสามารถทำการสร้างโปรไฟล์ของรูปหยดวัสดุได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะรูปร่างของหยดวัสดุ

จากภาพดังกล่าวโปรไฟล์ของรูปหยด $p(x,z)$ จะสามารถอธิบายได้จากสมการดังนี้

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

$$\frac{dX}{dS} = \cos \phi \quad (2.3)$$

$$\frac{dZ}{dS} = \sin \phi \quad (2.4)$$

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

$$\frac{\sin \phi}{X} = \frac{1}{B} \quad (2.5)$$

โดยที่
$$B = \frac{1}{ak_{apex}}, a = \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta\rho g}} \quad (2.6)$$

$\Delta\rho$ = ผลต่างของค่าความหนาแน่น ของวัสดุ

และความหนาแน่นของอากาศ

ϕ = มุมสัมผัสโปรไฟล์ของหยดวัสดุ (องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

g = ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s²)

γ = แรงตึงผิวของวัสดุที่นำมาวัด (mN/m)

$$k_{apex} = \left[\frac{X}{\sin \phi} \right]_{apex}$$

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

$$x = X \cdot a \quad (2.7)$$

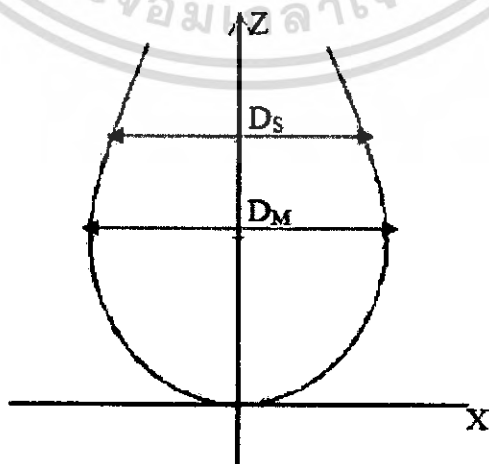
$$z = Z \cdot a \quad (2.8)$$

$$s = X \cdot a \quad (2.9)$$

สมการที่ (2.2) – (2.4) เป็นรูปหนึ่งของสมการลาปลาซ-ยั้ง (Laplace – Young Equation) สำหรับกรณีของรูปหยดน้ำ ดังนั้นจากลักษณะรูปร่างที่ได้จากการทดลองและความหนาแน่นของพอลิเมอร์ซึ่งได้จากเอกสารอ้างอิง จะสามารถหาค่าแรงตึงผิวได้

2.3.3.2 การคำนวณด้วยวิธีการโพลิโนเมียลฟิต

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่อาศัยสมการ โพลิโนเมียลซึ่ง Finn Knut Hansen ได้เสนอไว้ซึ่งสมการโพลิโนเมียลนี้ได้จากการทดลองหลายๆครั้งแล้วนำลักษณะรูปร่างที่ได้จากการทดลองมาทำการคำนวณโดยอาศัยวิธีการ Kutta-Merson จนได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างเชิงมิติของหยดกับพารามิเตอร์รูปร่าง โดยจากพารามิเตอร์รูปร่างจะสามารถนำไปทำการคำนวณเพื่อหาค่าแรงตึงผิวได้ ซึ่งวิธีนี้ง่ายในทางปฏิบัติโดยอาศัยการวัดขนาดจากภาพหยดที่ได้แล้วนำไปทำการคำนวณด้วยสมการโพลิโนเมียลในสมการที่ (2.10) และ (2.11)



รูปที่ 2.9 การวัดขนาดของรูปหยดวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

β = พารามิเตอร์รูปร่างของหยดวัสดุ

D_m = เส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุดของหยด (m)

R = ค่ารัศมีความโค้งของหยดวัสดุที่จุดยอดหยด (m)

D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดที่ระยะ D_m จากจุดยอดของหยด (m)

a, b, c, d, e, f, g, h เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองโดยค่าคงที่เหล่านี้ได้ถูกเสนอไว้โดย Finn Knut hansen ดังนี้

สำหรับหยดโดยทั่วไปที่มีความยาวพอที่จะวัดค่า DS ได้จะมีค่าคงที่ตามตารางที่ 2.1

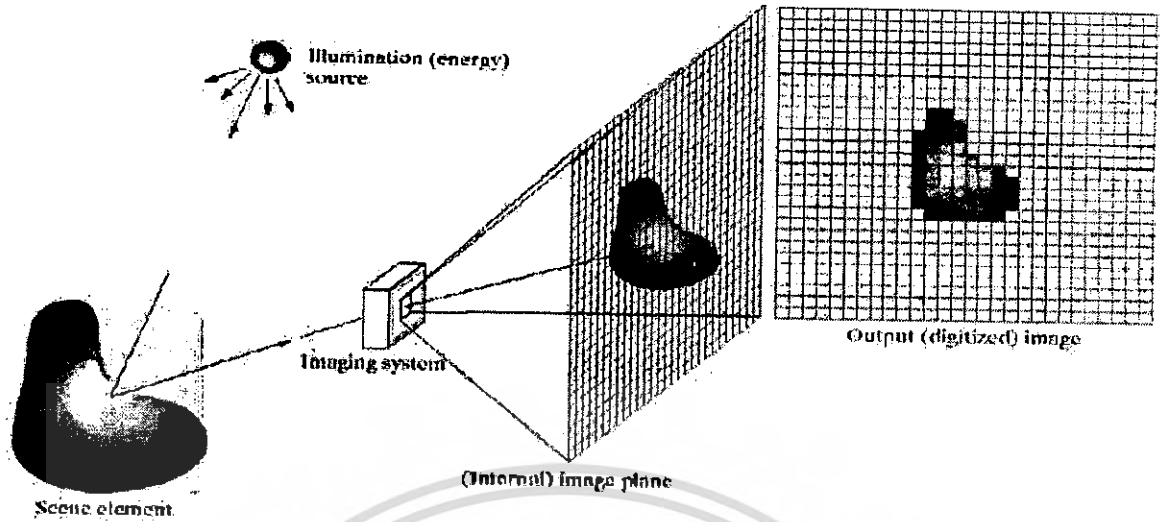
a	b	c	d	e	f	g	h
-0.12836	0.7577	-1.7713	0.5426	0.9987	-0.1971	-0.0734	-0.34708

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่สำหรับสมการ โพลีโนเมียลในการคำนวณจากพารามิเตอร์รูปร่าง จากสมการ(2.10) (2.11) และตารางที่ 2.1 จะสามารถหาค่าแรงตึงผิวได้จาก

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

2.4 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข (Digital Image Processing)

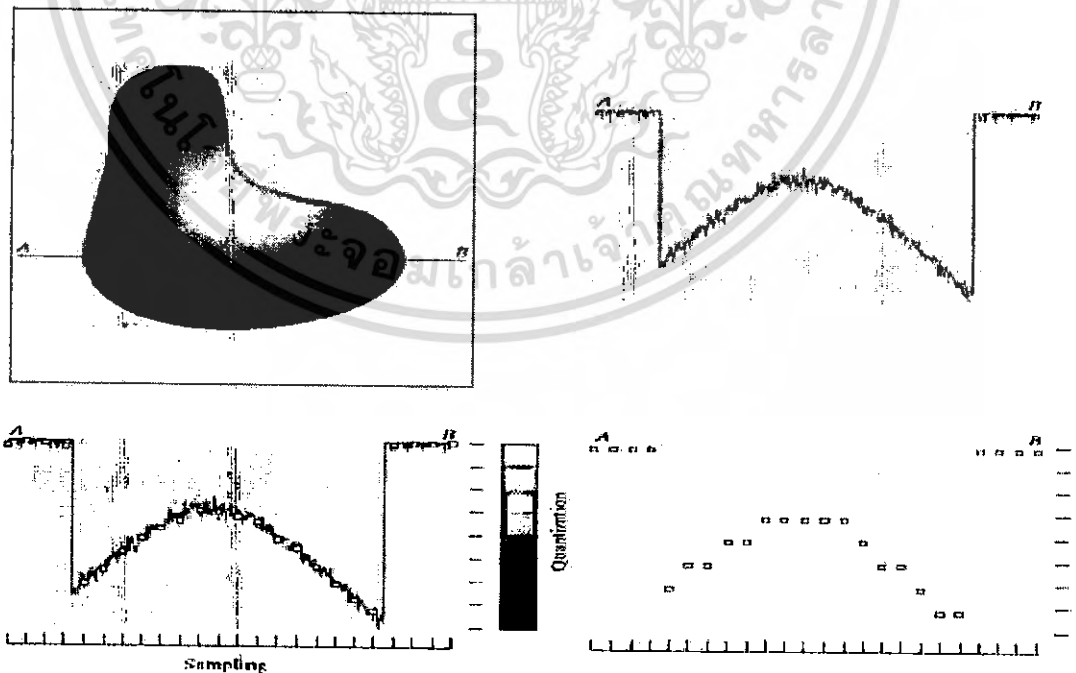
การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข คือ การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการแปลงภาพให้เป็นตัวเลข โดยที่ตัวเลขจะแทนอยู่ในลักษณะของตัวเลขในเมตริกซ์ ซึ่งค่าของแต่ละจุดพิกเซล (Pixel) ของภาพจะถูกแทนในรูปของฟังก์ชัน $f(x,y)$ (gray-level value) ที่ต่อเนื่องในระนาบ 2 มิติ โดยค่าของ $f(x,y)$ แต่ละจุดนั้นขึ้นอยู่กับความสว่างหรือความเข้มของภาพที่ตำแหน่ง (x,y) ซึ่งเรียกว่า Gray Level



รูปที่ 2.10 แสดงการได้มาซึ่งภาพ

2.4.1 การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล

การแปลงภาพเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลภาพข้อมูลแบบดิจิทัล(Digital Image) เป็นภาพแปลงมาจากอนาลอกให้อยู่ในรูปของตัวเลข โดยภาพอนาลอกจะถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่เรียกว่า พิกเซล การบอกตำแหน่งของแต่ละพิกเซล จะใช้ (x,y) เป็นตัวระบุตำแหน่งของพิกเซลที่อยู่ใน 2 มิติ (2-Dimension) โดยที่ $f(x,y)$ จะเป็นตัวบอกถึงค่าของระดับสีเทาของแต่ละพิกเซล เราสามารถแปลงภาพหรือสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลได้โดยมีวิธีการดังนี้

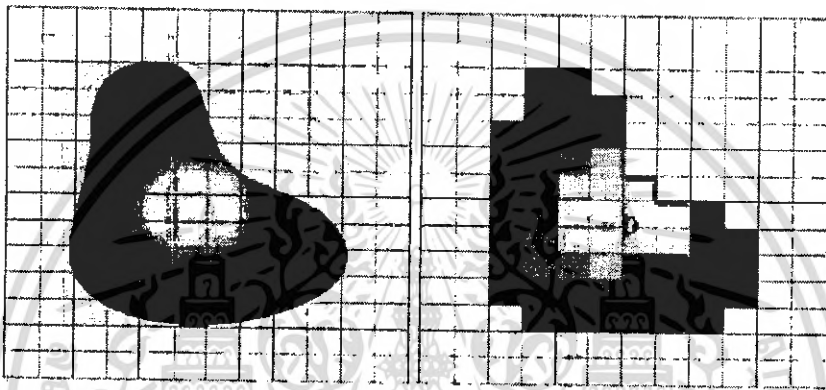


รูปที่ 2.11 แสดงกระบวนการ Sampling และ Quantization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเรานำภาพหรือสัญญาณอนาลอกที่ต้องการประมวลผลผ่านมาที่ส่วนที่เรียกว่า ดิจิไตเซอร์ (Digitizer) ซึ่งทำหน้าที่วนการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นทำการควอนไทซ์ (Quantizing) เพื่อที่จะประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชันของภาพ $f(x,y)$ จะถูกทำให้เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่องทั้งระนาบของภาพ ซึ่งเราเรียกว่า การสุ่มภาพ (Image Sampling) ของฟังก์ชันที่ได้เรียกว่าการควอนไทซ์ระดับสีเทา (Gray level quantization) ก็จะได้ข้อมูลที่เป็นดิจิทัล

สมมติว่าสัญญาณภาพต่อเนื่อง $f(x,y)$ ถูกดิจิไตซ์ในระนาบ x และ y เป็นช่วงๆเท่าๆกัน



รูปที่ 2.12 แสดงก่อนและหลังการทำ Sampling และ Quantization

เราสามารถจัด $f(x,y)$ ให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ขนาด $N \times N$ ได้ดังสมการ

$$f(x, y) = \begin{pmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1, 0) & f(M-1, 1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

ซึ่งทางขวาของสมการ จะเรียกได้ว่า ภาพดิจิทัล และทุกๆสมาชิกของเมตริกซ์ จะเรียกว่า พิกเซล จากขบวนการสร้างภาพดิจิทัลข้างต้น จะเห็นได้ว่าเราสามารถทราบขนาดของความละเอียดของภาพ $N \times N$ พิกเซล และจำนวนระดับของเกรย์สเกล ในทางปฏิบัติการทำคอนไดเซชันในระบบภาพดิจิทัล จะมีค่าดังสมการนี้

$$\begin{aligned}
 B &= N \times N \times M \quad \text{บิต} & (2.14) \\
 \text{เมื่อ } B &= \text{ขนาดของข้อมูลภาพที่เป็นดิจิทัล} \\
 G &= \text{จำนวนของเกรย์สเกล ที่ต้องการใช้ในการเก็บข้อมูลภาพ} \\
 M &= \text{จำนวนบิตที่ใช้ในการแทนข้อมูลภาพ 1 พิกเซล} \\
 \text{โดย } M & \text{สามารถหาได้จาก} \\
 G &= 2^M
 \end{aligned}$$

2.4.2 ลักษณะการจัดเก็บข้อมูลภาพแบบดิจิทัล

โดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลภาพจะมีค่าความเข้มตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไป แต่ที่ใช้กันมากจะใช้กันที่ค่าระดับความเข้มของจุดภาพเท่ากับ 256 ระดับ ซึ่งจะทำให้ค่าของจุดภาพอยู่ในช่วง (0-255) โดยใช้เนื้อที่การเก็บข้อมูลภาพขนาด 1 ไบต์ หรือ 8 บิต สำหรับข้อมูล 1 จุดภาพ ($2^8 = 256$) ในกรณีที่ต้องการภาพที่มีความละเอียดของระดับความเข้มสูงๆ อาจจะต้องการจำนวนบิตสำหรับการเก็บข้อมูลมากกว่า 8 บิต คืออาจจะเป็น 16 หรือ 24 บิต โดยค่าความเข้มของจุดภาพจะเท่ากับ 2^{16} และ 2^{24} โดยจะแยกให้เห็นชัดเจนดังนี้

1. ภาพ 2 ระดับ คือ มีเพียงแค่จุดขาวกับจุดดำเท่านั้น โดยแต่ละจุดภาพเป็นข้อมูลขนาด 1 บิต
2. ภาพ 16 ระดับ คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 4 บิต ซึ่งทำให้สามารถแสดงได้ 16 ระดับสี หรือ 16 เกรย์สเกล ขึ้นอยู่กับภาพนั้นเป็นภาพสีหรือภาพขาวดำ
3. ภาพ 256 ระดับ คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 8 บิต ซึ่งทำให้สามารถแสดงภาพได้ 256 ระดับสี หรือ 256 เกรย์สเกล ขึ้นอยู่กับภาพนั้นเป็นภาพสีหรือภาพขาวดำ
4. ภาพทิวทัศน์ (True Color) คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 24 บิต ทำให้สามารถแสดงผลภาพได้เหมือนภาพจริงที่สุด เพราะสามารถแสดงสีได้ถึง 16,777,216 สี

การแสดงภาพนี้ใช้วิธีตั้งค่าของแม่สีในตารางสี โดยอาจเลือกสีเป็นแบบ 16 สี จาก 64 สี หรือ 16 สี จาก 262,144 สี หรือ 256 สี จาก 262,144 สี ขึ้นอยู่กับโหมดการแสดงผล สำหรับทิวทัศน์ จะไม่มีการเลือกสี แสดงผลโดยการส่งค่าสี RGB ผ่าน D/A สีละ 8 บิต ออกไป ความแตกต่างของการแสดงผลและขาวดำ คือ ภาพขาวดำจะต้องตั้งให้แม่สีทั้งสามสี มีค่าเท่ากัน เนื่องจาก VGA กำหนดให้แม่สีแต่ละสีใช้ได้เพียง 64 ระดับเท่านั้น หากต้องการให้เห็นจริงทั้ง 256 ระดับ ต้องแสดงในโหมดทิวทัศน์ แล้วให้ RGB มีค่าเท่ากัน ซึ่งในโหมดนี้ จะสามารถใช้ รีจิสเตอร์ ได้ 8 บิต สำหรับแต่ละแม่สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปวิธีการประมวลผลภาพเชิงตัวเลขที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จักวัตถุภายในภาพได้นั้น เราจะแบ่งได้สองระดับด้วยกันคือ การประมวลผลภาพในระดับต่ำ (Low-Level Image Processing) และการประมวลผลภาพในระดับสูง (High-Level Image Processing) การประมวลผลในระดับต่ำจะเป็นการประมวลผลเชิงตัวเลขทั้งหมด เพื่อหาตัวแปรต่างๆ มาอธิบายข้อมูลภาพ โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำตัวแปรเหล่านั้นไปใช้ในการประมวลผลระดับสูงต่อไป โดยทั่วไปแล้วการประมวลผลภาพระดับต่ำจะประกอบไปด้วย การประมวลผลภาพก่อน (Preprocessing) การกำจัดสัญญาณรบกวนหรือการทำให้ภาพคมชัด การหาขอบภาพ เป็นต้น

การประมวลผลภาพในระดับสูง เป็นการนำผลลัพธ์หรือสัญลักษณ์ที่ได้จากการประมวลผลระดับต่ำมาตีความหรือประมวลผลเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จักและเข้าใจภาพได้สำหรับความแตกต่างของการประมวลผลภาพระดับต่ำและการประมวลผลภาพระดับสูงนั้นคือ ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผลภาพ โดยที่การประมวลผลภาพระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่างของจุดโดยตรง ส่วนการประมวลผลภาพระดับสูงนั้นข้อมูลภาพที่นำมาประมวลผลจะถูกแสดงในรูปของสัญลักษณ์ ซึ่งสัญลักษณ์เหล่านี้จะแสดงถึงสิ่งต่างๆ ที่มีอยู่ในภาพ เช่น ขนาดของวัตถุ รูปร่าง และความสัมพันธ์กันระหว่างวัตถุภายในภาพ

2.5 ไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป

2.5.1 รูปแบบของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป

รูปแบบของไฟล์ข้อมูลชนิดบิตแมป เป็นฟอร์แมตของวินโดวส์บิตแมป ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับไฟล์กราฟิกบนวินโดวส์ ซึ่งจะใช้ในการตัดต่อ หรือสำเนาภาพต่างๆ ลงบนคลิปบอร์ด (Clipboard) เมื่อเวลาจัดเก็บไฟล์ที่มีสกุล BMP

2.5.2 โครงสร้างของไฟล์ของข้อมูลภาพชนิดบิตแมป

โครงสร้างของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป จะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ข้อมูลเฮดเดอร์ (Header)
2. ข้อมูลจานสี (Palette)
3. ข้อมูลภาพ (Data)

2.5.2.1 ข้อมูลเฮดเดอร์ คือ ข้อมูลที่อยู่บริเวณส่วนหัวของไฟล์ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลที่บอกรายละเอียดต่างๆ ของภาพ เช่น ความกว้าง ความยาวภาพ จำนวนสี จำนวนบิต ความละเอียด เป็นต้น

2.5.2.2 ข้อมูลงานสี คือ ข้อมูลที่บอกถึงจุดของงานสีที่เกิดจากการผสมแม่สีทั้งสาม คือ แดง เขียว และน้ำเงินมาผสมกันได้เป็นสีต่างๆ ตามจำนวนสีของภาพ เช่น รูปขนาด 4 บิตจะมี 16 ระดับสี รูป 8 บิต จะมีขนาด 256 สี เป็นต้น ซึ่งถ้ามีจำนวนสีน้อยๆ ก็จะมีการเก็บค่างานสีนี้ลงไฟล์ด้วย แต่ถ้ารูปประเภท 24 บิต จะไม่มีค่างานสี แต่จะใช้วิธีเก็บค่าแม่สีทั้งสามลง ไปเป็นข้อมูลแทน เพราะถ้าเก็บค่างานสีที่มีถึง 16.7 ล้านสีลงไปด้วยจะเปลืองพื้นที่มาก ข้อแตกต่างที่สำคัญของบิตแมปขนาดนี้คือ ไฟล์บิตแมปจะเก็บงานสีจุดละ 4 ไบต์ แต่ก็ใช้แค่ 3 ไบต์ เช่นกันคือ แดง เขียว และน้ำเงิน

2.5.2.3 ข้อมูลภาพ คือ ข้อมูลสีของภาพแต่ละจุดที่มาประกอบกันเป็นรูปภาพ ซึ่งค่าที่เก็บนี้จะเป็นค่าที่ใช้ในการชี้ตารางข้อมูลงานสี หมายเลขอะไร เช่น จุดแรกมีค่าเป็น 10 ก็ให้ไปเปิดตารางข้อมูลงานสีหมายเลข 10 สมมุติว่าของแม่สีเป็น $R = 0, G = 0,$ และ $B = 100$ ก็จะได้จุดนี้เป็นสีน้ำเงิน ซึ่ง ถ้าเป็นกรณีของรูป 24 บิต จะเป็นการอ่านข้อมูลขึ้นมา 3 ค่า เป็นค่าของแม่สี RGB แล้วนำไปผสมบนจอภาพแทน

2.6 การจัดเก็บไฟล์ข้อมูลชนิดบิตแมป

การจัดเก็บไฟล์ข้อมูลชนิดบิตแมป มีการเก็บอยู่ 2 แบบ คือ

1. แบบบีบอัดข้อมูล

- RLE 4 เป็นการบีบอัดข้อมูลแบบ Run-length Encoder แบบ 4 บิต
- RLE 8 เป็นการบีบอัดข้อมูลแบบ Run-length Encoder แบบ 8 บิต

2. แบบไม่ได้บีบอัดข้อมูล

เป็นการเก็บข้อมูลจริงของสีของพิกเซล ซึ่งทำให้ขนาดของไฟล์ค่อนข้างใหญ่ แต่จะทำการแสดงภาพได้เร็วกว่า เพราะไม่ต้องเสียเวลาในการคลายข้อมูล

2.7 การสร้างภาพไบนารี

อุปกรณ์ที่มีความสามารถในการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับ หรือ 2 สี คือ สีขาวกับสีดำยังมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น เครื่องพิมพ์ (Printer) เครื่องโทรสาร (Fax) จอแสดงผลแบบโมโนโครม (Monochrome) เป็นต้น เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูกดังนั้นการแสดงผลหรือการพิมพ์รูปภาพที่มีความเข้มของภาพหลายระดับซึ่งมีมากกว่าความสามารถในการแสดงผลของอุปกรณ์เหล่านี้ที่มีเพียงสองระดับเท่านั้น

จะเห็นได้ว่าการแสดงผลของภาพที่มีความเข้มหลายระดับบนอุปกรณ์ที่มีการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับนั้น จะต้องแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพแบบไบนารี(Binary Image) ซึ่งการสร้างภาพแบบไบนารีการแปลงภาพที่มีความเข้มหลายระดับ(Multilevel Image) ให้เป็นภาพที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับ หรือ 1 บิต(bit) นั้นเอง โดย 0 แทน ด้วยจุดที่มีภาพสีขาว และ 1 แทนด้วยจุดที่มีภาพสีดำเมื่อเสร็จขั้นตอนในการทำไบนารีจึงนำภาพที่ได้ไปแสดงผลที่อุปกรณ์เหล่านั้นจะเห็นได้ว่าการแปลงข้อมูลภาพหลายระดับเป็นภาพไบนารีจึงมีความจำเป็นและมีประโยชน์มากในการแสดงผลภาพที่มีระดับความเข้มของภาพหลายระดับบนอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการแสดงผลได้ 2 ระดับสำหรับประโยชน์อีกประการหนึ่งในการแปลงข้อมูลภาพนั้นเป็นภาพไบนารีคือการลดเนื้อที่การเก็บข้อมูลภาพจะใช้เนื้อที่การเก็บ 8 บิต หรือ 256 ระดับเมื่อสร้างเป็นภาพไบนารีเมื่อสร้างเป็นภาพไบนารีแล้วสามารถลดลงจากเดิมได้ถึง 8 เท่า นั่นคือ 1 จุดจะใช้เนื้อที่ในการเก็บทั้งหมดคือ 1 บิต อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้งานได้อีกแพร่หลาย เช่น การประมวลผลขั้นต้น

ในการสร้างภาพไบนารีสามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคการทำเทรชโฮล(Thresholding Technique) เป็นการพิจารณาจุดพิกเซลในภาพว่าจุดใดควรจะเป็นจุดขาวที่มีค่าเท่ากับ 0 หรือจุดใดควรจะเป็นจุดที่มีค่าเท่ากับ 1 โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าของแต่ละพิกเซล($f(x,y)$) กับค่าคงที่ที่เรียกว่าค่า เทรช โฮล (Threshold Value) เทคนิคนี้ใช้กันมากในกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างวัตถุ(Object) และพื้นหลัง (Background) ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับสีขาวของป้ายทะเบียนและสีดำที่เป็นตัวอักษรของป้ายทะเบียน โดยค่าของพิกเซลในภาพ ที่มีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮลจะถูกกำหนดเป็น 1 (จุดดำ) และถ้าค่าของพิกเซลใดๆ ในภาพที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลจะถูกกำหนดให้เป็น 0 (จุดขาว)

$$b(x,y) = \begin{cases} 0 & ; g(x,y) < Thr \\ 1 & ; g(x,y) \geq Thr \end{cases} \quad (2.15)$$

- $b(x,y)$ ข้อมูลภาพผลลัพธ์เป็นภาพแบบไบนารี
- $g(x,y)$ ข้อมูลภาพอินพุตที่มีระดับความเข้ม 0 ถึง 1 ระดับ
- Thr ค่าเทรชโฮลเป็นค่าคงที่ที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง L ระดับ
- 0 จุดขาว
- 1 จุดดำ
- โดยที่ L เป็นระดับความเข้มของจุดภาพสูงสุด

ในการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคเทรชโฮลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีและคมชัด จะต้องเกิดจากการเลือกค่าเทรชโฮลที่ถูกต้องและเหมาะสม ถ้าเลือกค่าเทรชโฮลไม่เหมาะสม เช่น ค่าเทรชโฮลที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป ภาพที่ได้จะขาดความคมชัด หรืออาจจะทำให้รายละเอียดของภาพขาดหายไป หรือภาพที่ได้อาจจะมืดเกินไป หรือสว่างเกินไป หรืออาจจะเป็นภาพที่มีสิ่งรบกวน(Noise) เกิดขึ้นทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ดังนั้นปัญหาในการสร้างภาพแบบไบนารีคือ ทำอย่างไรจึงจะคำนวณค่าเทรชโฮลที่เหมาะสมกับภาพแต่ละภาพที่จะมาสร้างเป็นภาพแบบไบนารี ซึ่งค่าเทรชโฮลสามารถคำนวณได้หลายวิธี แต่จะวิธีจะเหมาะการทำงานที่แตกต่างกันไป เช่น การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดล่วงหน้า (Pre-assigned Threshold Value) การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง (Midrange Threshold Value) แต่ละวิธีจะอธิบายได้ดังนี้

2.7.1 การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดล่วงหน้า (Pre-assigned Threshold Value)

การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดล่วงหน้าเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดเป็นการคำนวณค่าโดยการกำหนดเองของผู้ใช้ ซึ่งการกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้ โดยการเลือกค่าคงที่ที่เรียกว่าค่าเทรชโฮลนั้น ค่าที่เลือกมานี้จะเป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของข้อมูลอินพุตแต่ละพิเซลของภาพ เช่น ภาพข้อมูลอินพุตมีเกรย์เลเวล 256 ระดับจะมีค่าทั้งหมด 0-255 เมื่อเลือกค่าเทรชโฮลแล้วก็สามารถนำค่าเทรชโฮลเป็นตัวกำหนดในการสร้างภาพไบนารีได้

2.7.2 การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value)

การหาค่าเทรชโฮลโดยพิจารณาจากค่ากลางเป็นการหาค่าเทรชโฮลที่แตกต่างจากการหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดล่วงหน้า สำหรับวิธีนี้จะเป็นการคำนวณโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องให้ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด โดยการหาค่าเทรชโฮลวิธีนี้อาศัยหลักการคำนวณพื้นฐานทางสถิติในเรื่องของการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย(Mean) มาประยุกต์ใช้ ค่าเทรชโฮลที่คำนวณได้จากค่ากึ่งกลางที่อยู่ระหว่างค่าที่มีความเข้มสูงสุด (Maximum Level) และระดับความเข้มต่ำสุด (Minimum Level) ของข้อมูลอินพุต เมื่อทำการคำนวณค่าเทรชโฮลได้แล้ว ก็จะสามารถนำค่าเทรชโฮลเป็นตัวกำหนดในการสร้างภาพไบนารีได้

2.8 การแยกวัตถุจากภาพ (Segmentation)

กระบวนการสำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งในการประมวลผลเบื้องต้นจะนำไปสู่ขั้นตอนการจดจำรูปแบบ ก็คือ กระบวนการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง ซึ่งในที่นี้จะเป็นการแยกข้อมูลภาพที่เป็นตัวอักษรออกจากข้อมูลภาพทั้งหมด โดยแยกออกมาทีละตัวอักษรเพื่อนำไปสู่กระบวนการจดจำรูปแบบซึ่งสามารถประมวลผลได้ที่ละหนึ่งตัวอักษรเท่านั้น

2.8.1 การแยกภาพด้วยการพิจารณาการต่อเนื่องของข้อมูล

เมื่อรับข้อมูลภาพที่ได้จากการเปลี่ยนข้อมูลเป็นรูปแบบไบนารีที่มีค่า 0 กับ 1 แล้ว ซึ่งข้อมูล 0 จะแทน ส่วนที่เป็นพื้นหลัง และ ข้อมูล 1 จะแทนส่วนที่เป็นตัวอักษร หลักการเบื้องต้นคือ หาค่า พิกเซลที่เป็น 0 ที่ต่อเนื่องกันตลอดทั้งแนวนิ่งและแนวนอนทำให้ได้ขนาดของกรอบ (Block) ข้อมูลภาพวัตถุที่มีขนาดต่างๆกัน จากนั้นจะพิจารณาเลือกขนาดของกรอบที่ต้องการจากความแตกต่างของจำนวนพิกเซลความสูงความกว้าง และตำแหน่ง เป็นต้น ซึ่งจะได้กรอบของตัวอักษรที่ต้องการ

2.8.2 การแยกภาพด้วยวิธี Region Labeling

ในการจำแนกภาพโดยวิธีนี้ได้ถือว่ามีบริเวณที่อยู่ข้างเคียงเป็นบริเวณที่สำคัญมาก จุดภาพที่อยู่ข้างเคียงกันมักจะมีคุณสมบัติทางสถิติที่คล้ายกันหรือใกล้เคียงกันสำหรับจุดรอบข้างที่มาเชื่อมต่อกัน ในวิธีนี้จะทำการพิจารณาภาพบริเวณย่อยๆจำนวนมากจากนั้นพื้นที่ติดกันจะถูกนำมาพิจารณาถึงความ เป็นเนื้อเดียวกันร่วมกัน การรวมตัวกันจะสิ้นสุดเมื่อพื้นที่ข้างเคียงไม่สามารถพิจารณาถึงความ เป็นเนื้อเดียวกันได้ แต่ถ้าจุดของภาพที่อยู่ใกล้เคียงกันนั้นตรวจสอบแล้วไม่อยู่ในเกณฑ์การรวม จุดภาพนั้นจะไม่ถูกรวมเข้าไปในส่วนนั้นของภาพแต่จะถูกเลือกให้เป็นจุดเริ่มต้นของส่วนอื่นๆต่อไป และหลังจากที่จุดภาพทุกจุดได้รวมตัวกันเป็นกลุ่มเรียบร้อยแล้ว

ในกรณีนี้จะกล่าวถึงภาพที่มีวัตถุในภาพมาก วิธีที่จะแยกวัตถุออกจากกันจะทำได้โดยพิจารณาจากการติดกันของพิกเซลที่เป็น 1 โดยสามารถพิจารณาได้ดังนี้

- การติดกันแบบ 4 จุด จะพิจารณา 4 พิกเซลรอบข้างทางด้านแนวนอน และแนวตั้ง
- การติดกันแบบ 8 จุด จะพิจารณา 8 พิกเซลรอบทางด้านแนวนอนและแนวตั้ง

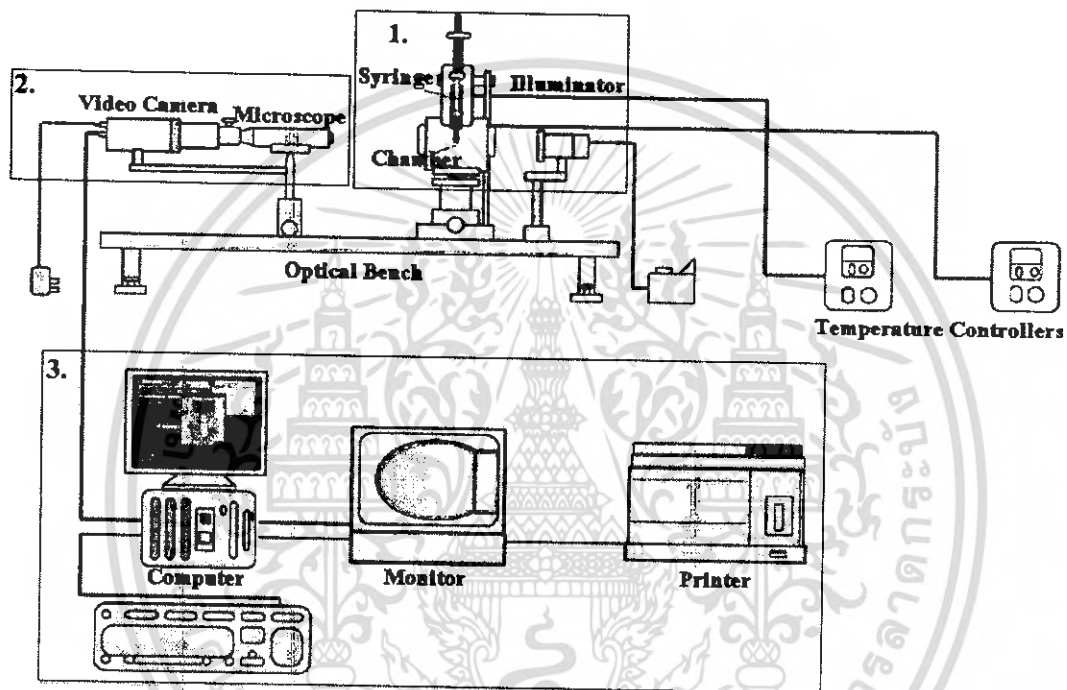
วิธีการแยกวัตถุแบบปริเจียนลาเบริงนี้ จะพิจารณาแบบไบนารีเฉพาะพิกเซลที่มีค่า 1 ที่ละแถว จากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง ซึ่งเมื่อพิจารณาที่พิกเซลใดพิกเซลหนึ่ง ถ้าพิกเซลแถวบนและทางซ้ายซึ่งผ่านการกำหนดข้อมูลภาคี แล้ว มีค่าไม่เป็น 1 ก็จะกำหนดข้อมูลภาคี เหมือนกับพิกเซลข้างเคียงที่เป็น 1 แต่ถ้าในกรณีที่พิกเซลข้างเคียงมีค่า 1 มากกว่า 1 พิกเซล และแต่ละพิกเซลมีข้อมูลภาคี ต่างกัน ก็จะกำหนดข้อมูลภาคี ให้กับพิกเซลที่พิจารณาอยู่ให้เหมือนกับข้อมูลภาคี ที่สมมูลกันให้เหมือนกันซึ่งจะสามารถทราบถึงความแตกต่างของแต่ละวัตถุในภาพ โดยดูจากข้อมูลภาคี ที่แตกต่างกัน

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม

3.1 การออกแบบโปรแกรม

การทำงานของเครื่องวัดแรงดึงผิวด้วยวิธีการถ่ายภาพหยดน้ำนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรกคือส่วนสำหรับบรรจุสารตัวอย่าง ส่วนที่สองคือส่วนสำหรับบันทึกภาพ และส่วนสุดท้ายคือส่วนของโปรแกรมในการประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแรงดึงผิวของพอลิเมอร์แบบรูปหยดน้ำ

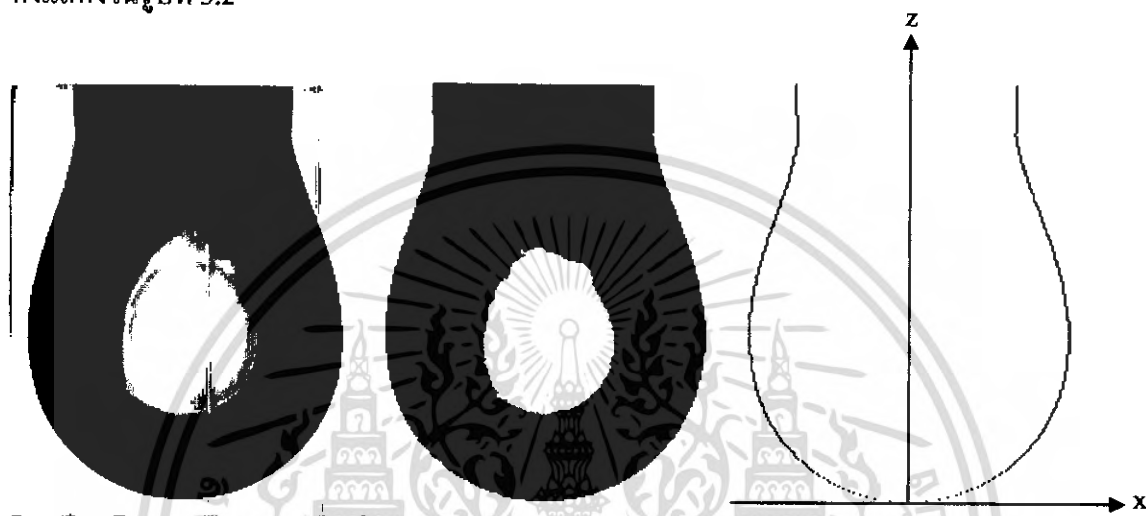
ส่วนที่ 1 ชุดบรรจุตัวอย่างประกอบด้วยช่องปิดสำหรับทำการบรรจุสารตัวอย่าง ซึ่งสามารถปรับตำแหน่งเพื่อความชัดเจนของภาพได้ สำหรับการวัดแรงดึงผิวของพอลิเมอร์ในส่วนนี้มีการติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิ นอกจากนี้มีการติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่างเพื่อให้ การบันทึกภาพทำได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ส่วนที่ 2 ชุดบันทึกภาพ ในส่วนนี้จะประกอบด้วยกล้องวิดีโอซึ่งติดตั้งชุดเลนส์ กำลังขยายสูง สำหรับบันทึกภาพหยดน้ำจากส่วนบรรจุตัวอย่าง ชุดอุปกรณ์บันทึกภาพนี้จะเชื่อมต่อเข้ากับชุดคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล

ส่วนที่ 3 ชุดประมวลผล ประกอบด้วยชุดคอมพิวเตอร์ซึ่งรับภาพจากส่วนบันทึกภาพเก็บเป็นข้อมูลและมีโปรแกรมสำหรับการคำนวณจากภาพที่บันทึกได้

3.2 ขั้นตอนในส่วนของการประมวลผล

3.2.1 การเตรียมข้อมูลภาพ ภาพที่รับเข้ามาเป็นภาพทิวทัศน์เลอร์ จึงต้องเปลี่ยนภาพเป็น 256 ระดับสีก่อน เพื่อสะดวกแก่การประมวลผลภาพ จากนั้นเลือกค่าเทรซโฮลคิงที่เหมาะสมแล้วนำไปทำเป็นไบนารี เพื่อแยกภาพหยคน้ำออกจากภาพแบล็คกราว จากนั้นตรวจจับเฉพาะเส้นขอบของภาพเพื่อนำมาหาค่าพิกัดต่างๆของขอบภาพที่ได้ ซึ่งสามารถแสดงได้โดยคู่ลำดับ $(x(t), z(t))$ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพที่ได้จากการประมวลผลภาพในแต่ละขั้นตอน

จากรูปที่ 3.2 รูปขวาสุดจะเห็นได้ว่าขอบของภาพที่ได้มีลักษณะไม่ราบเรียบมีลักษณะเป็นขั้นบันได เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากขึ้นจึงมีความจำเป็นต้องผ่านการทำขอบของภาพให้เรียบ (Smooth Curve) ขึ้น โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทดลองใช้วิธีการทำขอบของภาพให้เรียบ ด้วยวิธี บีซีเอสไปลีน (Bezier Spline)

3.2.2 มูฟวิงเอเวอเรจ (Moving Average) คือการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งในพิกัด x และ z ในช่วงที่กำหนดเพื่อนำมาใช้กำหนดตำแหน่งของพิกัดใหม่ดังแสดงในสมการที่ (5) และ (6)

$$x'(k) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{x_{k+i}}{n} \quad (5)$$

$$z'(k) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{z_{k+i}}{n} \quad (6)$$

โดย $(x'(k), z'(k))$ คือคู่ลำดับแสดงพิกัดใหม่ของเส้นขอบของภาพ โดย $k = (0,1,2,\dots,T)$ และ n คือจำนวนพิกัดข้อมูลในช่วงที่กำหนดที่นำมาใช้หาค่าเฉลี่ย โดยในการทดลองใช้ค่า $n = 5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 บีซีเอสไปล์ (Bezier Spline) การทำขอบของภาพให้เรียบด้วยวิธีนี้ทำได้โดยหาค่าตำแหน่ง $P(u)$ จากสมการBezier polynomial ระหว่างค่า p_0 ถึง p_n

$$P(u) = \sum_{k=0}^n p_k BEZ_{k,n}(u) \quad , \quad 0 \leq u \leq 1 \quad (3.1)$$

โดยค่า Bezier Blending functions $BEZ_{k,n}(u)$ คือค่า Bernstein polynomials

$$BEZ_{k,n}(u) = C(n,k)u^k(1-u)^{n-k} \quad (3.2)$$

และค่า $C(n,k)$ เป็นค่า Binomial coefficients

$$C(n,k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (3.3)$$

สามารถเขียนในรูป Coordinates x, z ได้

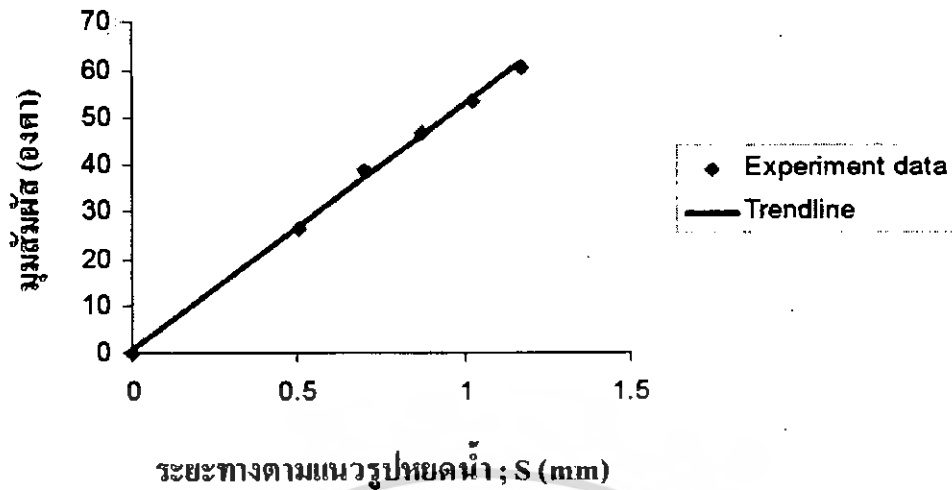
$$x'(u) = \sum_{k=0}^n x_k BEZ_{k,n}(u) \quad (3.4)$$

$$z'(u) = \sum_{k=0}^n z_k BEZ_{k,n}(u) \quad (3.5)$$

3.2.4 ขั้นตอนในส่วนของการคำนวณหาค่าแรงดึงผิว

วิธีการคำนวณแบบการหาลักษณะรูปร่าง (Profile) ของหยดน้ำซึ่งอาศัยสมการของลาปลาซ-ยัง เมื่อเริ่มต้นโปรแกรม จะทำการรับค่า x, z, s และ ϕ จากส่วนของการประมวลผลภาพ

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

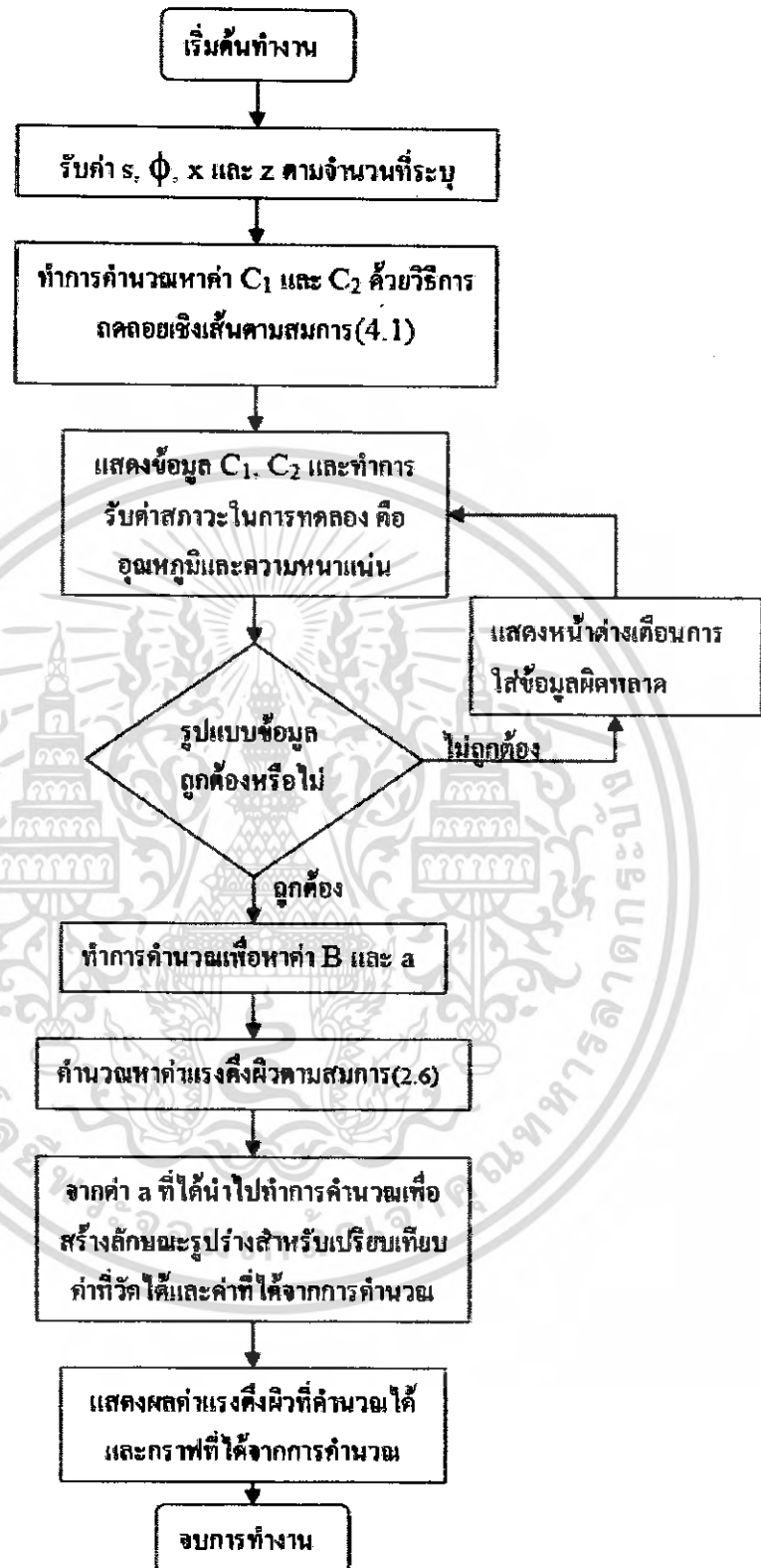


รูปที่ 3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง s และ ϕ

จากนั้นเมื่อทำการแทนค่า B จากสมการ (2.5) และ (2.6) ลงในสมการ (2.2) และจัดรูปใหม่จะได้ สมการ (3.6)

$$\frac{d\phi}{dS} = \frac{1}{B} \frac{Z}{a} \quad (3.6)$$

โดยค่า Z ที่ได้จากการกำหนดจุดๆหนึ่งบนโพรไฟล์ของหยด หลังจากนั้นจึงทำการหาค่าของ B และ a จากความสัมพันธ์ในสมการ (3.6) และเมื่อได้ค่าของ B และ a แล้วนำไปแทนค่าในสมการ (2.6) ได้ค่าแรงตึงผิวของวัสดุ



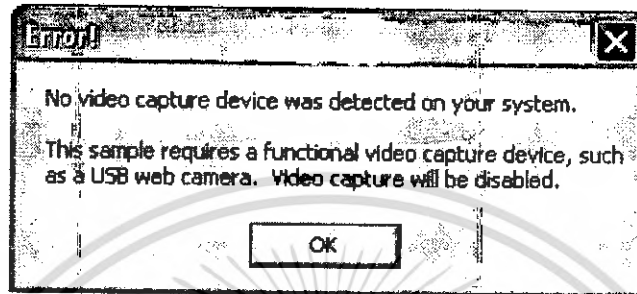
รูปที่ 3.4 แสดงการขั้นตอนการคำนวณหาค่าแรงดึงผิวและการแสดงผลการคำนวณของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โปรแกรมในส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ส่วนที่ 1 Status คือส่วนของการแสดงสถานะการเชื่อมต่อกับกล้องวิดีโอ

เป็นส่วนที่แสดงให้รู้ว่าเครื่องเชื่อมต่อกับกล้องอยู่หรือไม่ และแสดงข้อมูลและสถานะของกล้อง หากไม่ได้เชื่อมต่อจะมีหน้าต่างเตือนขึ้นมาดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงข้อความแจ้งเตือนเมื่อได้เชื่อมต่อกับกล้องวิดีโอ

ส่วนที่ 2 Input Value คือส่วนของการรับค่าอินพุต ประกอบไปด้วย ส่วนของการรับค่าต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความหนาแน่นเฉพาะของสาร รวมไปถึงส่วนของการตั้งชื่อในการทดลอง รายละเอียดดังนี้

- Name ชื่อการทดลอง
- Temperature ใส่ค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง
- Density ค่าความหนาแน่นของสารที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนที่ 3 คือส่วนของการแสดงผลภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ (Live Video Preview) และ ส่วนแสดงภาพที่ได้จากการจับภาพ (Capture video / Bitmap)

ส่วนที่ 4 Time คือส่วนของการแสดงเวลาในการทดลอง

ส่วนที่ 5 ส่วนของการกำหนดรายละเอียดในการจับภาพ ประกอบด้วย

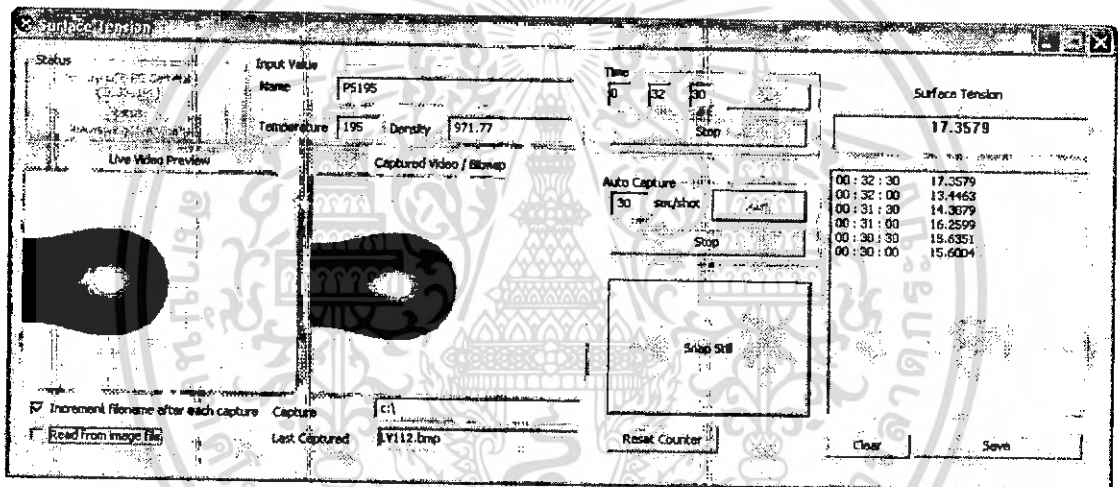
- Increment filename after each capture หากคลิกเลือกในส่วนนี้จะเป็นการบันทึกไฟล์ภาพทุกภาพที่ทำการจับภาพ หากไม่เลือกจะเป็นการบันทึกไฟล์ภาพใหม่ทับภาพเดิม
- Read form image file หากคลิกเลือกให้โปรแกรมอ่านค่าจากไฟล์ Bitmap ที่เรากำหนดแทนไฟล์วิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Capture คือส่วนกำหนดที่เก็บไฟล์ภาพที่ได้จากการจับภาพ หรือกำหนดเป็นที่กำหนดไฟล์ภาพที่ต้องก็ให้โปรแกรมอ่าน เมื่อกดเลือก Read from image file
- Last Capture แสดงชื่อไฟล์ล่าสุดที่ได้จากการจับภาพ
- Reset Counter คือปุ่มรีเซ็ตให้มีการเริ่มต้นที่ไฟล์ภาพใหม่

ส่วนที่ 6 ปุ่มที่ใช้ในการสั่งให้มีการจับภาพ (Snap still) และส่วนของการกำหนดระยะเวลาที่จะให้มีการจับภาพ ว่าให้จับภาพทุกๆกี่วินาที (Auto Capture)

ส่วนที่ 7 ส่วนแสดงค่าแรงตึงผิวที่ได้จากการคำนวณ โดยในส่วนนี้รวมไปถึงปุ่ม Clear ซึ่งใช้ในการเคลียร์หน้าต่างที่ใช้แสดงข้อมูลค่าแรงตึงผิว และปุ่มในการบันทึกไฟล์ผลการคำนวณด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

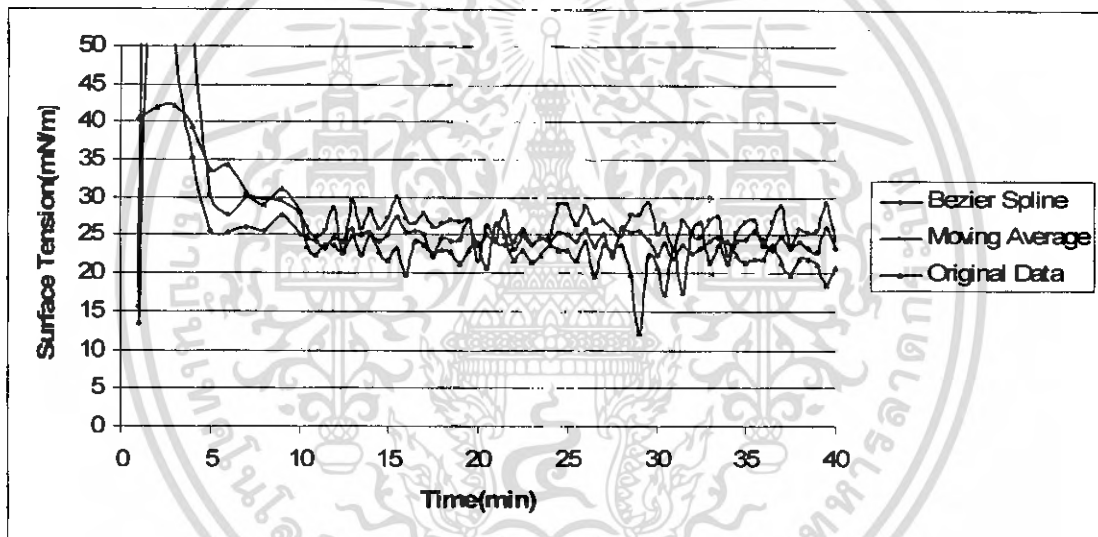
บทที่ 4

การทดลอง

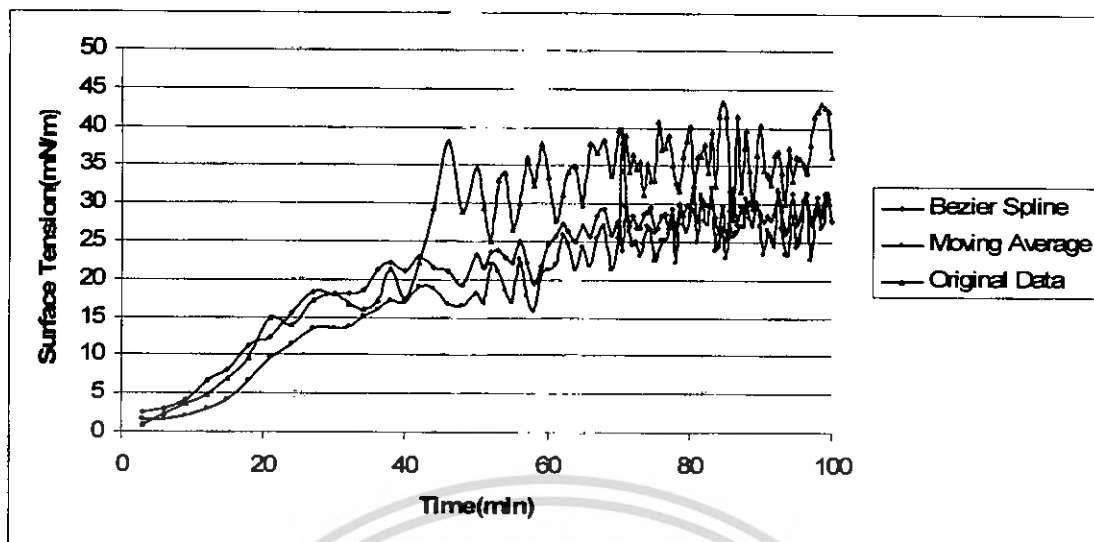
การทดลองคำนวณค่าแรงตึงผิวกระทำโดยใช้สาร 3 ชนิดคือ พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน และ เอทานอล โดยทดลองที่อุณหภูมิ 180°C , 185°C , 20°C ตามลำดับ

4.1 ผลการทดสอบหาค่าแรงตึงผิวจากภาพที่ผ่านการทำขอบของภาพให้เรียบ

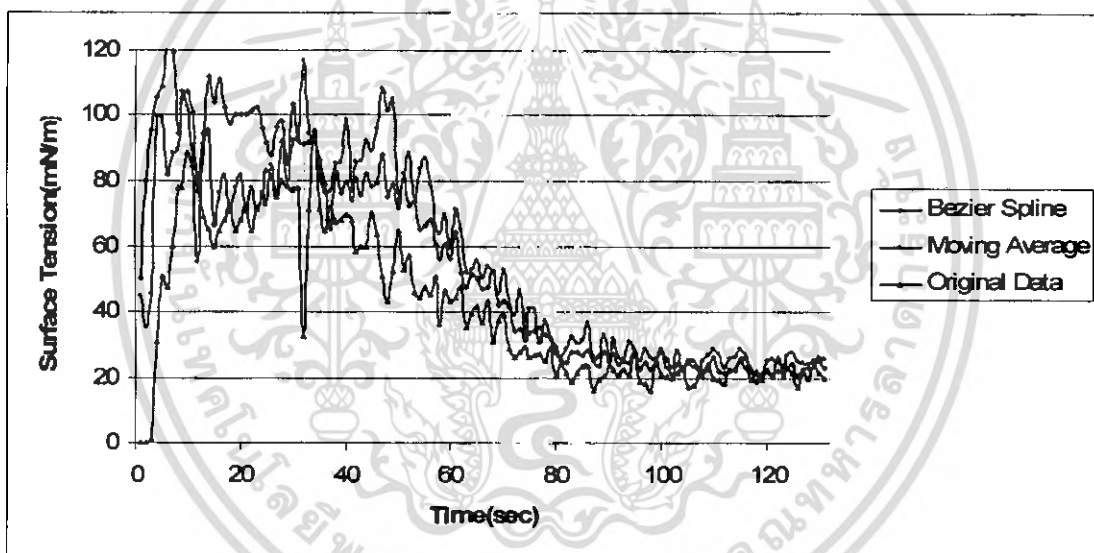
เมื่อได้ภาพที่ผ่านการประมวลผลมาแล้ว ก็จะเข้าสู่การหาค่าพิกัดจุดบนเส้นขอบของภาพเพื่อกำหนดค่าตัวแปรอื่นๆ โดยก่อนหาค่าพิกัดได้มีการทำขอบของภาพให้เรียบก่อน แต่เนื่องด้วยมีวิธีการหลายวิธีในการทำขอบของภาพให้เรียบ จึงได้ทำการทดลองหาค่าแรงตึงผิวจากค่าตัวแปรที่ได้จากภาพที่ผ่านการทำขอบของภาพให้เรียบ ในวิธีที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.1



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.1 ค่าแรงตึงผิวที่เปลี่ยนไปตามเวลาจากวิธีการทำขอบของภาพให้เรียบแบบต่างๆ โดยที่ (ก) แสดงพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิ 180 °C (ข) แสดงพอลิสไตรีนที่อุณหภูมิ 185 °C (ค) แสดงเอทานอลที่อุณหภูมิ 20 °C

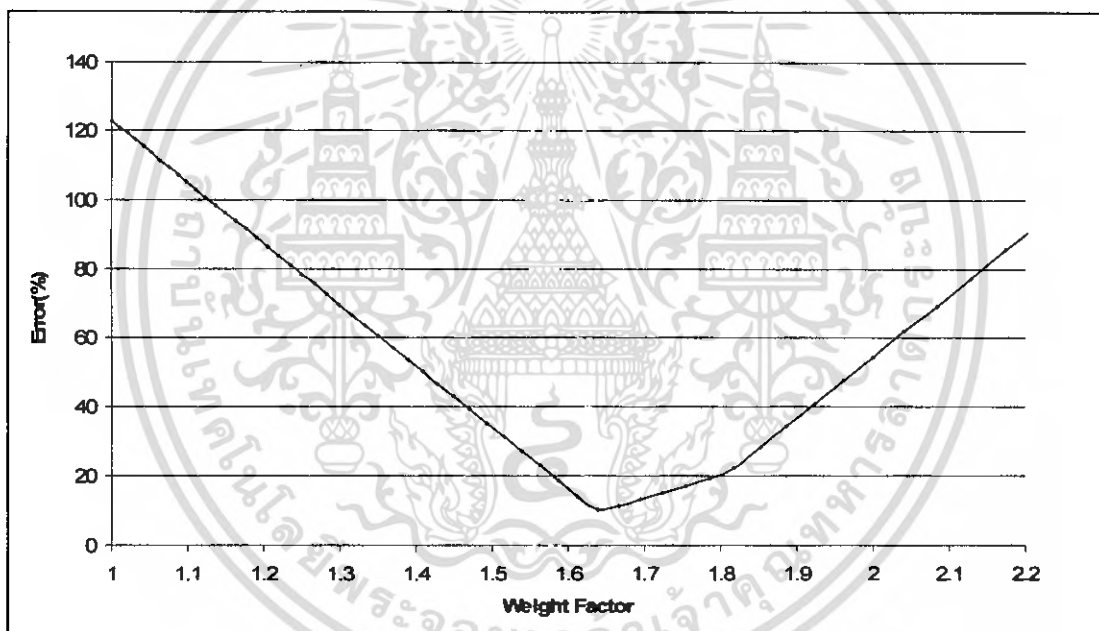
จากกราฟ จะเห็นว่าค่าแรงตึงผิวที่คำนวณได้จากโปรแกรมจะเริ่มเสถียรที่ช่วงเวลาหนึ่ง นั่นก็คือเมื่อหยดมีรูปร่างเสถียรนั่นเอง และการทำขอบของภาพให้เรียบ โดยวิธีบีซิเออส์ไปนี่ให้ค่าแรงตึงผิวที่มีค่าเสถียรมากที่สุดจึงเลือกนำวิธีนี้มาใช้ในการคำนวณ

4.2 ผลการทดสอบความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม

เพื่อความถูกต้องในการคำนวณค่าของโปรแกรมจึงทำการทดสอบวัดค่าแรงดึงผิวของสารตัวอย่าง 3 ชนิดคือ พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน และเอทานอล โดยนำค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight factor: w) มาใช้กับสมการ (2.6) ทำให้ได้สมการในการหาค่าแรงดึงผิวดังสมการที่ 4.1

$$\gamma = W\Delta\rho ga^2 \quad (4.1)$$

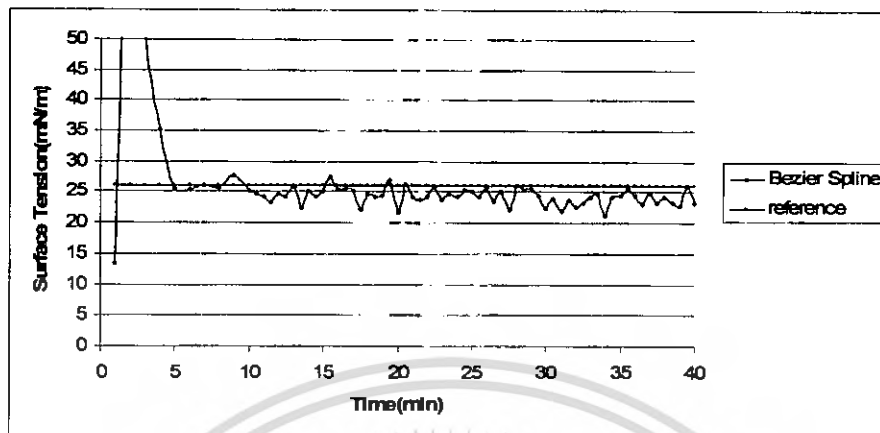
เพื่อให้ได้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมจึงทำการทดลองคำนวณค่าแรงดึงผิวโดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่แตกต่างกันจากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าแรงดึงผิวที่คำนวณได้ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



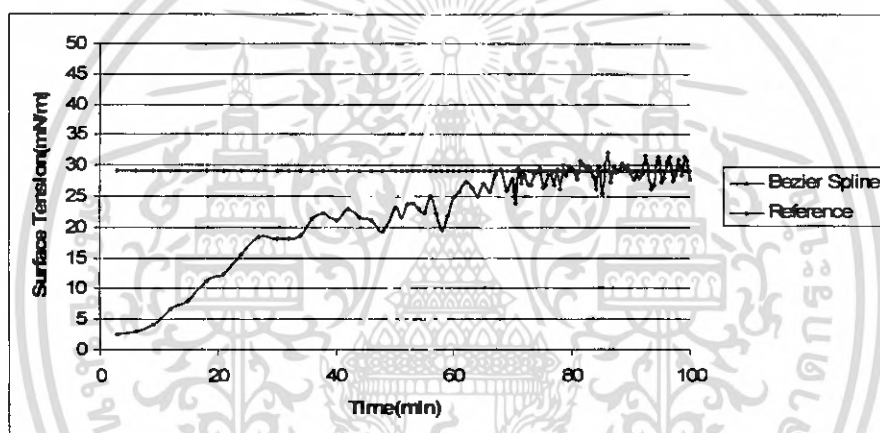
ภาพที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดจากการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ต่างกัน

จากกราฟจะพบว่าค่าที่ทำให้ผลการทดลองมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ ค่าแฟลคเตอร์น้ำหนักเท่ากับ 1.639344 จึงนำค่านี้มาใช้ในการคำนวณค่าแรงดึงผิว

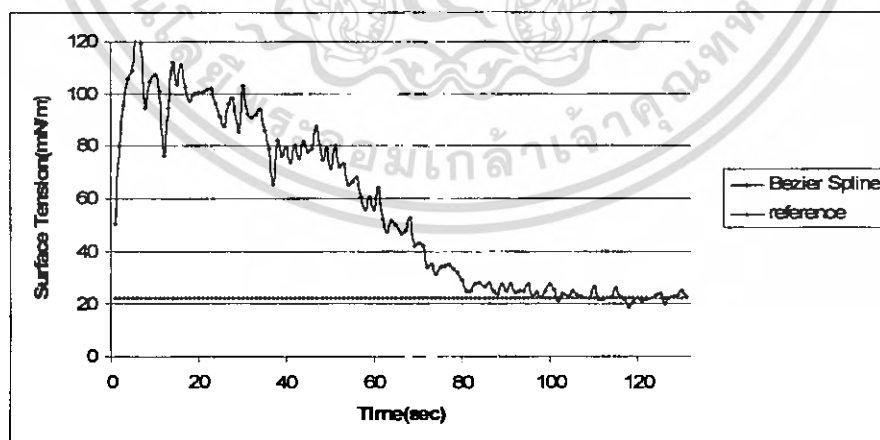
จากสมการ(4.1) เมื่อนำมาคำนวณหาค่าแรงดึงผิวจะได้ผลการคำนวณดังแสดงด้วยกราฟต่อไปนี้



(ก)



(ข)



(ค)

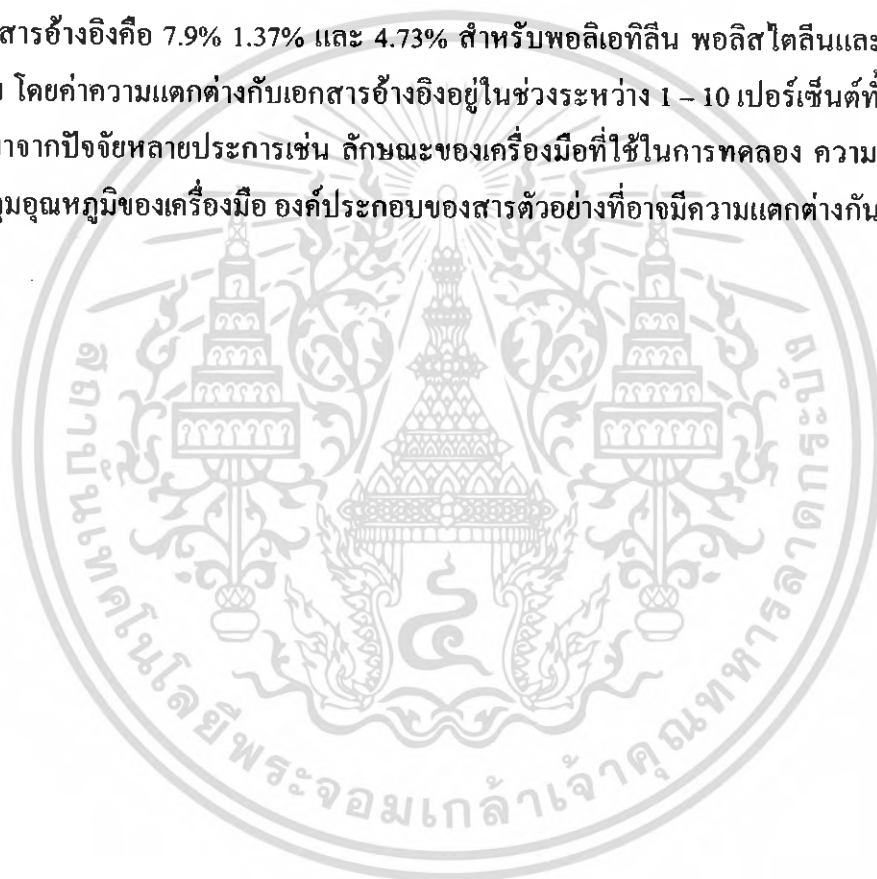
ภาพที่ 4.2 ค่าแรงดึงผิวที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาจากวิธีการทำขอบของภาพให้เรียบ โคยวิธีบีซิเอสไปสัน
เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง โดยที่ (ก) แสดงพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิ 180 °C
(ข) แสดงพอลิสไตรีนที่อุณหภูมิ 185 °C (ค) แสดงเอทานอลที่อุณหภูมิ 20 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าแรงดึงผิวของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

ชนิดของสารตัวอย่าง	แรงดึงผิว : γ (มิลลินิวตัน/เมตร)		ความแตกต่าง %
	ผลการทดลอง	ผลจากเอกสารอ้างอิง	
พอลิเอทิลีน, PE	24.04	26.1	7.9
พอลิสไตรีน, PS	29.52	29.12	1.37
เอทานอล	23.45	22.39	4.73

จากตารางที่ 4.1 เมื่อนำสารทั้ง 3 ชนิดมาทำการวัด ผลที่ได้คือค่าที่วัดได้จากการทดลองต่างจากค่าในเอกสารอ้างอิงคือ 7.9% 1.37% และ 4.73% สำหรับพอลิเอทิลีน พอลิสไตรีนและ เอทานอล ตามลำดับ โดยค่าความแตกต่างกับเอกสารอ้างอิงอยู่ในช่วงระหว่าง 1 – 10 เปอร์เซ็นต์ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการเช่น ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องมือ องค์ประกอบของสารตัวอย่างที่อาจมีความแตกต่างกัน เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป

จากการทดสอบ โปรแกรม ในขั้นตอนของการทำขอบของภาพให้เรียบนั้น วิธีบิซิเอสไปล์น และวิธีมูฟวี่งเอเวอเรจ นั้น ให้ค่าแรงตึงผิวที่ไม่ห่างกันมาก แต่วิธีบิซิเอสไปล์นนั้นให้ค่าที่ดูเสถียรมากกว่าวิธีมูฟวี่งเอเวอเรจ และคิดว่าภาพต้นฉบับ จึงนำวิธีบิซิเอสไปล์นไปใช้ในขั้นตอนการทำขอบของภาพให้เรียบก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการหาจุดพิกัด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าแรงตึงผิวโดยใช้สมการลาปลาซ-ยัง ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าแรงตึงผิวที่คำนวณได้นั้นมีค่าใกล้เคียงค่าจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

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

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

Finn Knut Hansen “Dropimage Program Description” [Online], Available: <http://folk.uio.no/fhansen/dropbroc.html>, 2003

Noel de Nevers, 1991 “Fluid mechanics for chemical engineers” McGraw-Hill Inc., Singapore

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

Paul Zoller and David J. Walsh, “Standard pressure-volume-temperature data for polymers” Technomic publication, U.S.A, 1995

Douglas A. Lind, William G. Marchal and Samuel A. Wathen, “Statistical Techniques in Business & Economics” , McGraw-Hill, 2005

M. Wulf, F. Michel and K. Grundke, “Simultaneous Determination of Surface Tension and Density of Polymer Melts Using Axisymmetric Drop Shape Analysis” , *Journal of Colloid and Interface Science*, 210, 1999, Page 172-181

ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาค่าแรงดึงผิวจากโพรไฟล์รูปหยดน้ำ

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าแรงดึงผิวจากสมการลาปลาซ-ยัง

ในการคำนวณค่าแรงดึงผิวจากรูปหยดน้ำ เริ่มต้นจากการวัดค่าพารามิเตอร์รูปร่างของหยด โดยในที่นี้ยกตัวอย่างการหาค่าแรงดึงผิวของสารตัวอย่างคือพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส



รูปที่ ก.1 หยดน้ำของพอลิโพรพิลีนที่ 180 องศาเซลเซียส

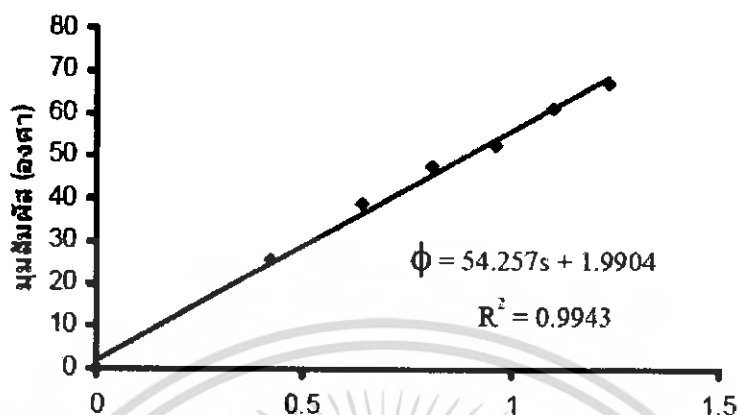
จากรูปหยดน้ำที่ได้วัดขนาดและลักษณะรูปร่างได้ดังนี้

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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าที่วัดได้นำมาไปทำการคำนวณโดยใช้วิธีถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาค่าความชันของกราฟและจุดตัดแกน y ของกราฟระหว่างมุมสัมผัสและความยาวตามแนวรูปหยดน้ำ (s)



ความยาวตามแนวเส้นโค้งรูปหยดน้ำ (มิลลิเมตร)

รูปที่ ก.2 การทำฟิตติ้งเพื่อหาสมการเส้นตรงของกราฟ

จากกราฟได้ค่าความชันกราฟและค่าจุดตัดแกน y ซึ่งกำหนดให้เป็นค่า C_1 และ C_2 ตามลำดับจากสมการของกราฟได้

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

และจากสมการลาปลาซ-ยังที่เงื่อนไขขอบเขตได้

$$\frac{d\phi}{ds} = \frac{1}{B} - \frac{Z}{a} \quad (\text{ก.1})$$

แทนค่าข้อมูลที่จุดที่ใกล้กับจุดยอดของหยดมากที่สุดในสมการ(ก.1) โดนในที่นี้ที่นี้คือ $Z = 0.0852 \text{ mm}$ จะได้

$$54.257 = \frac{1}{B} - \frac{0.085}{a} \quad (\text{ก.2})$$

หาค่า a จาก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $x = 0.4181 \text{ mm}$ และ $\sin \varphi = 0.4336$ ในสมการ (ก.3) จะได้

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

นำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการ(ก.2) จะได้

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

คูณ B ทั้งสมการแล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$0.0821B^2 + 54.257B - 1 = 0$$

หรือ

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

หาค่า B จาก

$$\begin{aligned} B &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-660 + \sqrt{660^2 - 4(1)(12.18)}}{2(1)} \\ &= 0.018 \end{aligned}$$

จากสมการ(ก.3) จะหาค่า a ได้คือ

$$\begin{aligned} \frac{1}{a} &= 0.9641 \times 0.018 \\ a &= 57.62 \text{ mm} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถหาค่าแรงตึงผิวได้จาก

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

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

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

ดังนั้นจะได้ค่าแรงตึงผิวของสารตัวอย่างคือ 24.78 มิลลินิวตัน/เมตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมคำนวณหาค่าแรงดึงผิวจากภาพหยดน้ำ

```
long int w,h;
unsigned char a[3][600][800];
int md[2][800],np,px[100],py[100],avr,mid[3];
float x[300],z[300],s[300],ceta[300],smtx[100],smty[100];
float mpipe,slope,ten,dp,tem;

float pixtomm(float x) <แปลงค่าจากหน่วยพิกเซลเป็นมิลลิเมตร>
{
    return x*mpipe;
}

void findxzsbysmooth(int i) <คำนวณหาค่า x,z,s,φ หลังจากการทำสมูทเคิร์ฟ>
{
    int m;
    float sum,0,h,l;
    sum=0;
    for(m=0;m<i;m++)
    {
        h=smtx[m+1]-smtx[m];
        l=smty[m+1]-smty[m];
        sum+=sqrt((h*h)+(l*l));
    }
    O=atan(float(smty[m-2]-smty[m+2])/float(smtx[m-2]-
smtx[m+2]));
    z[np]=pixtomm(smty[i]);
    x[np]=pixtomm(smtx[i]);
    s[np]=pixtomm(sum);
    ceta[np]=O*180/3.14;
    if(ceta[np]<0)
        ceta[np]+=180;
    np++;
}

void binomialcoeffs(int n,double *c) <คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ไบนอมิยล>
{
    long int k;
    c[0]=1;
    for(k=1;k<=n;k++)
    {
        c[k]=(c[k-1]*(n-k+1))/k;
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void computebez(float u, double *c, int np, int ca, int cb, int i)
```

<คำนวณหาค่าบีซิเออส์ไปเส้นแต่ละจุด>

```
{
    int k, n=np-1;
    double bezBlendFcn;
    double bx=0, by=0;
    for(k=0; k<np; k++)
    {
        bezBlendFcn = c[k]*pow(u, k)*pow(1-u, n-k);
        bx+=float(px[k])*bezBlendFcn;
        by+=float(py[k])*bezBlendFcn;
    }
    smtx[i]=bx-avr;
    smty[i+1]=mid[0]-by;
}
```

```
void bezier(int np, int ca, int cb) <คำนวณหาค่าบีซิเออส์ไปเส้น>
```

```
{
    double u, c[100];
    int k, m, i;
    m=np;
    np=0;
    py[np]=mid[0];
    px[np]=md[1][mid[0]];
    np++;
    py[np]=mid[0]-4;
    px[np]=md[1][mid[0]-4];
    np++;
    for(k=mid[0]-8; px[np-1]>px[np-2]; k-=4)
    {
        py[np]=k;
        px[np]=md[1][k];
        np++;
    }
    np--;
    binomialcoeffs(np-1, c);
    i=1;
    for(k=0; k<=m; k++)
    {
        u = float(k)/float(m);
        computebez(u, c, np, ca, cb, i);
        i++;
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void findslope() <คำนวณหาค่า  $\frac{d\phi}{dS}$ >
```

```
{
    float sbar, cbar, ss, sc, rs;
    int i;

    sbar=0;
    cbar=0;
    for(i=0; i<np; i++)
    {
        sbar+=s[i];
        cbar+=ceta[i];
    }
    sbar=sbar/np;
    cbar=cbar/np;
    ss=0;
    sc=0;
    rs=0;
    for(i=0; i<np-1; i++)
    {
        ss+=pow(s[i]-sbar, 2);
        sc+=pow(ceta[i]-cbar, 2);
        rs+=(s[i]-sbar)*(ceta[i]-cbar);
    }
    ss=sqrt(ss/(np-1));
    sc=sqrt(sc/(np-1));
    rs=rs/((np-1)*ss*sc);
    slope=rs*(sc/ss);
}
```

```
void findten(int i) <คำนวณหาค่าแรงดึงผิว>
```

```
{
    float a, b, B, W;
    W=0.6;
    a=z[i]*x[i]/sin(ceta[i]*3.14/180);
    b=slope;
    B=(sqrt((b*b)+(4*a))-b)/(2*a);
    a=sin(ceta[i]*3.14/180)/(x[i]*B);
    ten=(a*a)*dp*9.8/1000000;
}
```

<โปรแกรมส่วนเรียกใช้ฟังก์ชัน>

```
bezier(50, 254, 136);
for(i=3; i<50; i++)
    findxzsbysmooth(i);
findslope();
findten(1);
surten=ten;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้