

การปรับปรุงระบบการวัดสมบัติของพื้นผิวโดยวิธีมุมสัมผัส  
IMPROVEMENT OF SURFACE PROPERTY MEASURING  
SYSTEM USING CONTACT ANGLE MEASUREMENT METHOD



นางสาวสุรารัตนา ฉิมชูวงศ์  
นางสาวสุวิธยา ขันมหัศจรรย์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

ขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากรของมหาวิทยาลัยสุโขทัย

ปีการศึกษา 2556

การปรับปรุงระบบการวัดสมบัติของพื้นผิวโดยวิธีการวัดมุมสัมผัส  
IMPROVEMENT OF SURFACE PROPERTY MEASURING  
SYSTEM USING CONTACT ANGLE MEASUREMENT METHOD



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**IMPROVEMENT OF SURFACE PROPERTY MEASURING  
SYSTEM USING CONTACT ANGLE MEASUREMENT METHOD**



**MISS SURANGKANA SINTHURONG  
MISS SUREECHAY KHANCHAPHAT**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
APPLIED PHYSICS**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณที่งานนี้เป็นการศึกษาวิจัยที่มอบหมายให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG** ไปใช้

**ACADEMIC YEAR 2013**

หัวข้อโครงการพิเศษ การปรับปรุงระบบการวัดสมบัติของพื้นผิวโดยวิธีการวัดมุมสัมผัส  
IMPROVEMENT OF SURFACE PROPERTY MEASURING  
SYSTEM USING CONTACT ANGLE MEASUREMENT METHOD

ชื่อนักศึกษา นางสาวสุรางคณา สิ้นรุ่งรงค์  
นางสาวสุรีฉาย ขันชพัต

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต



สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ศ.ทิพวรรณ กล้ายบุญมี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.วิชาญ เตชิตธีระ	
รศ.สาหรัย เล็กชะอุ่ม	
ดร.ณัฐพร พรหมรส	
รศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา	
ดร.ศ.ทิพวรรณ กล้ายบุญมี	ศ.ทิพวรรณ กล้ายบุญมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงระบบการวัดสมบัติของพื้นผิวโดยวิธีการวัดมุมสัมผัส	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุรางคณา	สินธุรงค์
	นางสาวสุรีฉาย	ขันชพัค
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	ฟิสิกส์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วราวุฒิ	เถาลัดดา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ศ.ทิพวรรณ	กล้าบุญมี

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับการปรับปรุงโปรแกรมการวิเคราะห์ภาพสำหรับการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำปอดคประจุได้อย่างถูกต้องแม่นยำบนพื้นผิวในแนวราบผ่านการถ่ายภาพในระบบดิจิทัล นอกจากนี้ยังทำการศึกษาถึงวิธีการของทากูชิซึ่งใช้ตรวจสอบถึงตัวแปรควบคุมในเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติที่มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพในการควบคุมหยดน้ำ ซึ่งรูปทรงของหยดน้ำจะถูกจับภาพโดยกล้องถ่ายภาพระบบดิจิทัลรุ่น Cannon G8 ส่วนโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ภาพนั้นจะถูกพัฒนาจาก Microsoft Visual Basic 2008 ซึ่งซอฟต์แวร์นี้จะสามารถบ่งบอกถึงมุมสัมผัสโดยการสร้างเส้นสัมผัสจากการวาดเส้นตั้งฉากกับรัศมีของหยดน้ำร่วมกันกับจุดสัมผัสของเส้นฐานในแนวราบขนาดของหยดน้ำจะถูกควบคุมด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติรุ่นของ Iwashita IEI AD200D สำหรับพื้นผิวดัวอย่างที่ใช้ศึกษาคือแผ่นซิลิกอน, แผ่นปรีนทีทองแดง, กระจกสไลด์จีนและกระจกสไลด์เยอรมัน แผ่นอะคริลิกสีขาวขุ่นและแผ่นอะคริลิกใส ซึ่งผลที่ได้จากค่ามุมสัมผัสคือ  $52.48^{\circ}$  สำหรับแผ่นซิลิกอน,  $68.96^{\circ}$  สำหรับแผ่นปรีนทีทองแดง,  $71.25^{\circ}$  สำหรับแผ่นอะคริลิกสีขาวขุ่น,  $66.56^{\circ}$  สำหรับแผ่นอะคริลิกใส,  $38.48^{\circ}$  สำหรับกระจกสไลด์จีนและ  $37.19^{\circ}$  สำหรับกระจกสไลด์เยอรมัน นอกจากนี้ orthogonal arrays ของทากูชิยังแสดงได้อีกว่าป้อมลมเป็นตัวแปรที่เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมขนาดของหยดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คำสำคัญ :** มุมสัมผัส , วิธีการของ Taguchi

<b>Title</b>	IMPROVEMENT OF SURFACE PROPERTY MEASURING SYSTEM USING CONTACT ANGLE MEASUREMENT METHOD
<b>Students</b>	Miss. Surangkana Sinthuron Miss. Sureechay Khanchaphat
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Physics
<b>Academic Year</b>	2013
<b>Advisor</b>	Associate Professor Dr. Warawoot Thowladda
<b>Co-Advisor</b>	Dr. S Tipawan Khlayboonme

### ABSTRACT

This special project proposed the improvement of the image-analysis software for the accurate measurement of the deionized-water contact angle on horizontal surfaces via the digital image. It also proposed Taguchi method to investigate control parameters in an automatic dispenser that allowed precise and effective control of the water droplet. The shape of the droplet was captured by a Cannon G8 digital camera. The image analysis program was developed from Microsoft Visual Basic 2008. This software can identify the contact angle with construction of the tangent by drawing a line orthogonal to the drop radius that intersects the point contact with the horizontal surface. The droplet of water was controlled by a commercial Iwashita IEI AD200D automatic dispenser. The surface samples used for this study were as follows: silicon, copper printed circuit boards, China and German glass slides, and opaque and transparent acrylic sheets. The measuring results showed the contact angles were  $52.48^{\circ}$  for the silicon wafer,  $68.96^{\circ}$  for the copper printed circuit board,  $71.25^{\circ}$  for the opaque acrylic sheet,  $66.56^{\circ}$  for the transparent acrylic sheet,  $38.48^{\circ}$  for China glass slide and  $37.19^{\circ}$  for German glass slide. In addition, Taguchi's orthogonal arrays showed that the pressure inlet of the air compressor was the major factor in the control of the droplet size.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Keywords :** contact angle ,Taguchi Method

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความสนับสนุนช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ซึ่งต้องขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

รศ.ดร. วรารุณี เถาถัดดา

ผู้ซึ่งถ่ายทอดวิชาความรู้ทั้งทางด้านวิชาการให้  
คำปรึกษาในการทำงานเป็นอย่างดีมาตลอดจน  
โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณ ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญญี

ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆที่  
ใช้ในการทดลองของโครงการนี้ พร้อมกับให้  
คำแนะนำต่างๆ

คุณ สมภพ แซ่เจ็ย

ผู้ที่ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการ  
เขียน โปรแกรมทั้งตำราที่ใช้ประกอบการทำ  
รายงานนี้



นางสาวสุรางคณา สิ้นธรงค์

นางสาวสุรีฉาย ขันชพัค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII

## บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปฏิกิริยาการฉีกน้ำกลิ้งบนใบบัว	4
2.2 แรงตึงผิว (Surface tension)	5
2.3 ทฤษฎีการยึดเกาะ (Theories of Adhesion)	9
2.3.1 การดูดซับและการเปียก	9
2.3.2 การแพร่เข้าหากันหรืออินเตอร์ดิฟฟิวชัน	9
2.3.3 แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิต	10
2.3.4 พันธะเคมี	10
2.3.5 การยึดเกาะเชิงกล	10
2.4 มุมสัมผัส (Contact Angle)	10
2.4.1 ประเภทของการวัดมุมสัมผัส	13
2.4.2 การวัดมุมสัมผัส	14

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.5 Taguchi methods: orthogonal arrays ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 15 ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้ง 2.6 โปรแกรม Visual Basic 2008 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ 17 ไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6.1 ส่วนประกอบของหน้าต่างโปรแกรม	19
2.6.2 หลักการ โปรแกรมด้วย Visual Basic 2008	20
2.6.3 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมด้วย Visual Basic 2008	21
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 สารเคมี	23
3.2 แผ่นพื้นผิวที่นำมาทดสอบ	24
3.3 หัวเข็มแบบโลหะ	25
3.4 วิธีการทดสอบหัวเข็มและการเลือกสารเคมี	25
3.5 กระบวนการทำความสะอาดพื้นผิวที่นำมาทดสอบ	26
3.6 ส่วนที่ทำการปรับปรุงในการดำเนินงานวิจัย	27
3.7 การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการวัดมุมสัมผัส โดยใช้ Taguchi methods	37
3.8 วิธีการทดลอง	38
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	
4.1 ผลการทดสอบวัดค่ามุมสัมผัสของหยดของเหลวลงบนแผ่นพื้นผิว	41
4.2 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการวัดมุมสัมผัส โดยใช้ Taguchi methods แบบ 3 ตัวแปร	49
<b>บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	52
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	52
5.3 ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก ก การทดลองหาค่ามุมสัมผัสเฉลี่ย 3 ครั้งต่อ 1 ตำแหน่ง ของการทดลองวิธี Taguchi และตัวอย่างในการหาค่า SN	

เอกสารนี้เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ภาคผนวก ข Source Code Visual Basic 2008 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
2.1 แสดงมุมสัมพัทธ์ค่าต่างๆและปฏิสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้อง	11
2.2 ตัวอย่าง orthogonal arrays L9	16
2.3 การคำนวณหาค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุด	16
2.4 ตารางสรุปผลอันดับของตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุด	17
3.1 ตัวแปรในการทดลอง	37
3.2 การกำหนด Orthogonal Array	37
4.1 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 1	41
4.2 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 2	41
4.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 3	42
4.4 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นปรินท์ทองแดง ณ ตำแหน่งที่ 1	42
4.5 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นปรินท์ทองแดง ณ ตำแหน่งที่ 2	42
4.6 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นปรินท์ทองแดง ณ ตำแหน่งที่ 3	43
4.7 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีเขียวขุ่น ณ ตำแหน่งที่ 1	43
4.8 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีเขียวขุ่น ณ ตำแหน่งที่ 2	43
4.9 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีเขียวขุ่น ณ ตำแหน่งที่ 3	44
4.10 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (จีน) ณ ตำแหน่งที่ 1	44
4.11 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (จีน) ณ ตำแหน่งที่ 2	44
4.12 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (จีน) ณ ตำแหน่งที่ 3	45
4.13 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (เยอรมัน) ณ ตำแหน่งที่ 1	45
4.14 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (เยอรมัน) ณ ตำแหน่งที่ 2	45
4.15 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (เยอรมัน) ณ ตำแหน่งที่ 3	46
4.16 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีขาวใส ณ ตำแหน่งที่ 1	46
4.17 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีขาวใส ณ ตำแหน่งที่ 2	46
4.18 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีขาวใส ณ ตำแหน่งที่ 3	47
4.19 ค่า SN ที่ได้จากการทดลองวัดมุมสัมพัทธ์	50

เอกสาร 4.20 ตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดในการทดลองวัดมุมสัมพัทธ์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะหยดน้ำบนตำแหน่งต่างๆ	4
2.2 Cohesion และ Adhesion Forces	6
2.3 ค่าของแรงตึงผิว $\gamma$	6
2.4 Capillary Effect	7
2.5 Capillary Effect กรณีที่ Cohesion force มีค่ามากกว่า adhesion force	8
2.6 ลักษณะของหยดปรอท	8
2.7 หยดน้ำ พอลิเมอร์ซิลิโคน (silicone polymer)	9
2.8 มุมสัมผัส (Contact Angle, $\theta$ ) ระหว่างระนาบของปฏิสัมพันธ์ ของของเหลว-ก๊าซกับระนาบของปฏิสัมพันธ์ของเหลว-ของแข็ง	11
2.9 คุณสมบัติของหยดน้ำกับมุมสัมผัสที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว	13
2.10 วิธีการวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวของแข็งที่มีลักษณะเอียง	14
2.11 มุมสัมผัสของหยดน้ำ	14
3.1 น้ำปลอดประจุ (DI-water) ที่ใช้ในการทดลอง	23
3.2 พื้นผิวที่ใช้ในการทดสอบชนิดต่างๆ	24
3.3 หัวเข็มแบบ โลหะที่ใช้ในการทดลอง	25
3.4 ทดสอบหัวเข็มโลหะและหัวเข็มเทฟลอน	26
3.5 ภาพถ่ายของเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติ	31
3.6 ตัวเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติที่ใช้ในการทดลอง (ซ้าย) แบบจำลอง ระบบในส่วนของตัวเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติ (ขวา)	31
3.7 ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลซึ่งจะนำไปวิเคราะห์หาค่ามุมสัมผัส	32
3.8 ภาพถ่ายที่นำไปตัดเพื่อที่จะได้เห็นบริเวณรอยต่อที่ชัดเจน	33
3.9 หน้าจอการแสดงผลของโปรแกรม	34
3.10 การหาค่ามุมสัมผัสและระยะระหว่างขอบของหยดน้ำโดยระบบ Manual	35
3.11 การหาค่ามุมสัมผัสและระยะระหว่างขอบของหยดน้ำโดยระบบ Auto	35
3.12 โพลซาร์ทการคำนวณหาค่าระยะระหว่างขอบของหยดน้ำในหน่วยของ pixel	36
3.13 ตำแหน่งฟังก์ชันการทำงานต่างๆของเครื่องบีบลม	38
3.14 ตำแหน่งฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ของเครื่องปรับความดันลม	39
3.15 ภาพหยดน้ำที่ระนาบเดียวกัน 3 ตำแหน่ง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ ไปใช้	39

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยกับ ตำแหน่งการวัดมุมสัมผัส	47
4.2 ลักษณะหยดของเหลวของน้ำปาดคประบุ ซึ่งหยดลงบนพื้นผิว ทดสอบต่างๆ	49
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของตัวแปรต่างๆในการ ทดลองวัดค่ามุมสัมผัสกับค่า SN	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

จากพฤติกรรมของหยดน้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus effect) เป็นสิ่งที่น่าสนใจมานานแล้ว เราได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์คือ ใช้สำหรับการเคลือบกระจกและผิวกันน้ำในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ด้วยคุณสมบัตินี้จึงได้มีการศึกษาการวัดมุมสัมผัสซึ่งโดยทั่วไปแล้วการวัดมุมสัมผัสจะสามารถบ่งบอกคุณสมบัติของพื้นผิวได้ ถ้าหยดน้ำทำมุมสัมผัสน้อยกว่า 90 องศา แสดงว่าพื้นผิวนั้นชอบน้ำหรือเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) ถ้าหยดน้ำทำมุมสัมผัสระหว่าง 90 – 150 องศา แสดงว่าพื้นผิวนั้นไม่ชอบน้ำหรือไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) และถ้าหยดน้ำทำมุมสัมผัสตั้งแต่ 150 – 180 องศา แสดงว่าพื้นผิวนั้นไม่ชอบน้ำยิ่งยวดหรือเป็นซูเปอร์ไฮโดรโฟบิก (Super-hydrophobic) จึงได้มีการพัฒนาระบบการวัดมุมสัมผัสขึ้น ในทางปฏิบัติสามารถบอกลักษณะรูปทรงของหยดน้ำได้ด้วยการวัดมุมสัมผัส (contact angle) ระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งหยดน้ำนั้นจะมีมุมสัมผัสหรือรูปทรงเป็นหยดอย่างชัดเจนเมื่อความตึงผิวของน้ำมีค่ามากกว่าค่าแรงตึงผิวของวัสดุของแข็ง แต่เมื่อความตึงผิวของน้ำมีค่าเท่ากันหรือต่ำกว่าค่าแรงตึงผิวของวัสดุของแข็งจึงทำให้น้ำที่เคยเป็นหยดน้ำก็จะเกิดบนฟิล์มแผ่นเรียบ ซึ่งแรงตึงผิวคือคุณสมบัติของพื้นผิวของของเหลวเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดบางส่วนของพื้นผิวของของเหลวถูกยึดเข้าไว้ด้วยกัน และการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำยังบ่งบอกได้ถึงความสะอาดของพื้นผิวหรือการกระจายตัวของพื้นผิวว่ามีประสิทธิภาพได้เพียงใดจากค่ามุมสัมผัสที่ทำการทดลองวัดได้

เนื่องจากระบบวัดมุมสัมผัสที่ใช้ในการทดลองวัดค่ามุมสัมผัสนั้น เป็นระบบที่ทำการทดลองโดยผู้ทดลองต้องทำการหยดของเหลวลงบนพื้นผิวเพื่อวัดมุมสัมผัส ซึ่งเมื่อทำการทดลองบนพื้นผิวหลายประเภทจะทำให้ใช้เวลานานในการทำการทดลอง จึงเกิดแรงบันดาลใจขึ้นในการพัฒนาระบบวัดมุมสัมผัสที่สามารถทำการหยดของเหลวลงบนพื้นผิวได้อย่างอัตโนมัติ รวมไปถึงการปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรมวัดมุมสัมผัสที่ใช้งานร่วมกับระบบวัดมุมสัมผัส เพื่อใช้ในการวัดมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิว เพื่อความสะดวกต่อผู้ทำการทดลอง ประหยัดเวลาในการทดลองให้น้อยลง และผลการทดลองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการทดลองได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สำหรับการหาค่ามุมสัมผัส
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาการวัดมุมสัมผัสโดยใช้โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม Visual Basic
3. เพื่อศึกษาการวัดมุมสัมผัสโดยการใช้เครื่องมือวัดมุมสัมผัสที่พัฒนาระบบขึ้นมา
4. เพื่อทำการพัฒนาและสร้างระบบวัดมุมสัมผัสให้เป็นระบบอัตโนมัติ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการใช้โปรแกรมที่ถูกพัฒนาจากโปรแกรม Visual Basic
2. ศึกษาองค์ประกอบและการทำงานของระบบวัดมุมสัมผัส
3. ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทดลองของระบบวัดมุมสัมผัส
4. สร้างระบบวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบवालว

## 1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนการดำเนินงาน
มิถุนายน – กรกฎาคม พ.ศ.2556	- ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์คุณสมบัติของพื้นผิวด้วยวิธีการวัดมุมสัมผัส
สิงหาคม – กันยายน พ.ศ.2556	- ศึกษาวิธีการวัดมุมสัมผัสโดยการการใช้โปรแกรมโปรแกรม Visual Basic - ศึกษาการทำงานของชุดเครื่องมือ
ตุลาคม – ธันวาคม พ.ศ.2556	- ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทดลองของระบบวัดมุมสัมผัส - ทำการสร้างระบบวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติขึ้น - ปรับปรุงโปรแกรมวัดมุมสัมผัสเพิ่มเติม
มกราคม – มีนาคม พ.ศ.2557	- ทำการทดลองวัดมุมสัมผัสจากระบบวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติที่สร้างเสร็จสิ้น - ปรับปรุงโปรแกรมวัดมุมสัมผัสเสร็จสิ้น

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีและหลักการในการวิเคราะห์หาค่ามุมสัมพันธ์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของพื้นผิว
2. มีความรู้ความเข้าใจในโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์มุมสัมพันธ์และระบบการวัดมุมสัมพันธ์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของพื้นผิว
3. มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานของระบบวัดมุมสัมพันธ์และสามารถทำการพัฒนาเพื่อสร้างระบบวัดมุมสัมพันธ์แบบอัตโนมัติได้
4. สามารถปรับปรุงโปรแกรมวัดมุมสัมพันธ์ให้มีการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

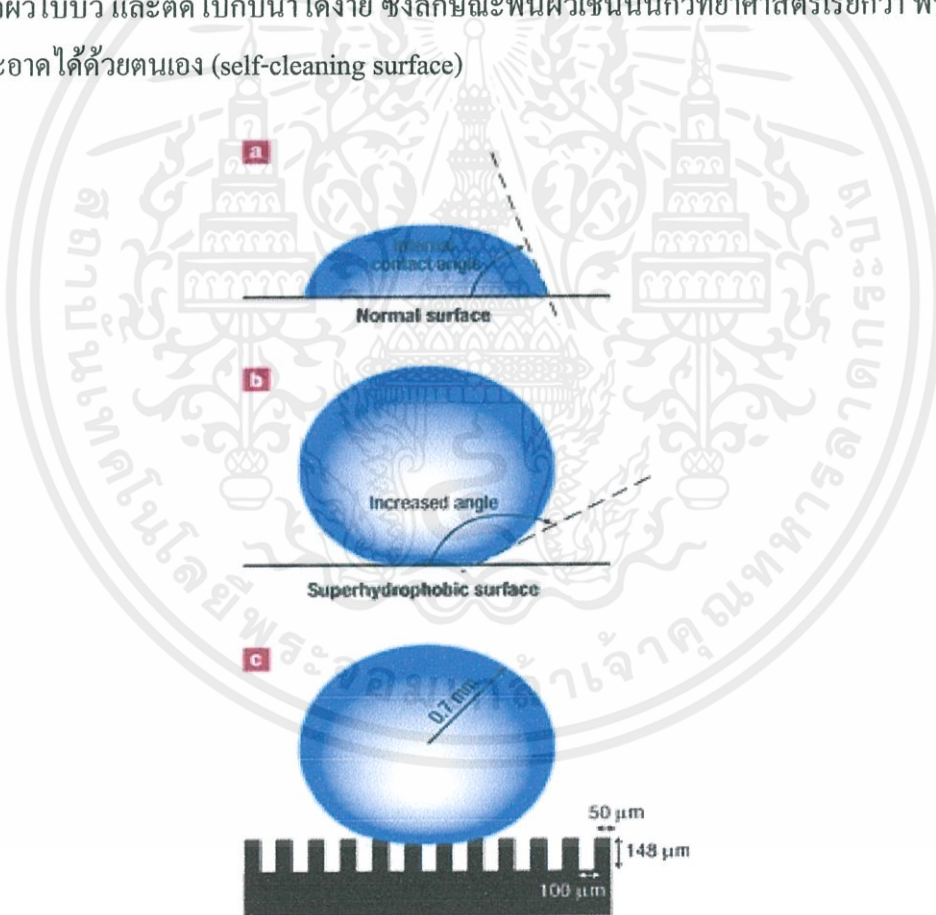


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ปรัชญาการณ้ำกึ่งบนใบบัว

ปรัชญาการณ้ำกึ่งบนใบบัว หรือโลตัสเอฟเฟค (lotus effect) เป็นคำที่เกิดขึ้นเมื่อ ดร. วิลเฮล์ม บาร์ทโลทท์ (Wilhelm Barthlott) และคณะวิจัยพบว่า ผิวใบบัวมีสมบัติพิเศษในการป้องกันเศษสิ่งสกปรก รวมถึงของเหลวต่างๆ ไม่ให้เกาะติดใบได้ เนื่องจากโครงสร้างระดับจุลภาคบนผิวใบบัวมีความขรุขระระดับไมโครเมตร และมีสารเคลือบไขมันหรือขี้ผึ้งคลุมอยู่บนตุ่มขรุขระทั้งหมด ทำให้น้ำซึ่งมีความตึงผิวสูงไปมาบนใบบัวได้ รวมทั้งทำให้ฝุ่นและสิ่งสกปรกอื่นๆ หลุดออกจากผิวใบบัว และติดไปกับน้ำได้ง่าย ซึ่งลักษณะพื้นผิวเช่นนี้นักวิทยาศาสตร์เรียกว่า พื้นผิวทำความสะอาดได้ด้วยตนเอง (self-cleaning surface)



รูปที่ 2.1 ลักษณะหยดน้ำบน (a) ผิววัสดุทั่วไป (b) ผิววัสดุซูเปอร์ไฮโดรโฟบิก และ (c) ผิววัสดุเลียนแบบผิวใบบัว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า งานวิจัยเรื่องผิวใบบัวของดร.บาร์ทโลทท์ส่งผลให้ช่วงทศวรรษที่ผ่านมา นักวิจัยทั่วโลก พยายามวิจัยเพื่อหาทางสร้างพื้นผิวเลียนแบบผิวใบบัว โดยอาศัยความรู้ทางเคมี ฟิสิกส์ วัสดุศาสตร์

และวิศวกรรมศาสตร์ ในการสร้างผิวสังเคราะห์บนวัสดุหรือแผ่นรองต่างๆ เช่น กระจก แผ่นซิลิคอน พลาสติก เป็นต้น

ปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้สร้างผิววัสดุให้มีสมบัติไม่เปียกน้ำ เพื่อเลียนแบบผิวใบบัวมี 2 วิธี คือ

1. นำวัสดุที่มีพลังงานเชิงพื้นผิวอิสระต่ำมาปรับสภาพผิวให้มีความขรุขระเหมาะสม เช่น การกัดพื้นผิวด้วยแสงเลเซอร์ พลาสมา หรือสารเคมี การใช้เทคนิคลิโธกราฟี การสร้างลวดลายระดับจุลภาค กระบวนการโซล-เจล การสร้างฟิล์มเป็นชั้นๆ (layer-by-layer assembly) การสร้างเส้นใยขนาดเล็กโดยการใช้ไฟฟ้า (electrospining) การใช้เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical deposition)

2. นำวัสดุทั่วไปมาปรับสภาพผิวให้ขรุขระแล้วเคลือบทับด้วยสารหรือโมเลกุลที่มีพลังงานเชิงพื้นผิวอิสระต่ำ ซึ่งวัสดุที่มีพลังงานเชิงผิวดำที่นิยมใช้มีหลายกลุ่ม เช่น วัสดุในกลุ่มเทฟลอนหรือโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (polytetrafluoroethylene, PTFE) ฟลูออรีเนตเต็ดเอทิลีนโพรพิลีน (fluorinated ethylene propylene, FEP) ซิลิโคนหรือโพลีไดเมทิลไซลอกเซน (polydimethylsiloxane, PDMS) โพลีเอทิลีน (polyethylene, PE) เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีสร้าง หรือปรับปรุงพื้นผิวเหล่านี้ไม่เหมาะสำหรับการสร้างพื้นผิวขนาดใหญ่ หรือการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม เพราะกระบวนการสร้าง หรือการเคลือบมีความซับซ้อน ต้องทำหลายขั้นตอน นอกจากนี้ชั้นฟิล์ม หรือพื้นผิวที่สร้างขึ้นยังไม่ทนทานต่อการขูดขีด

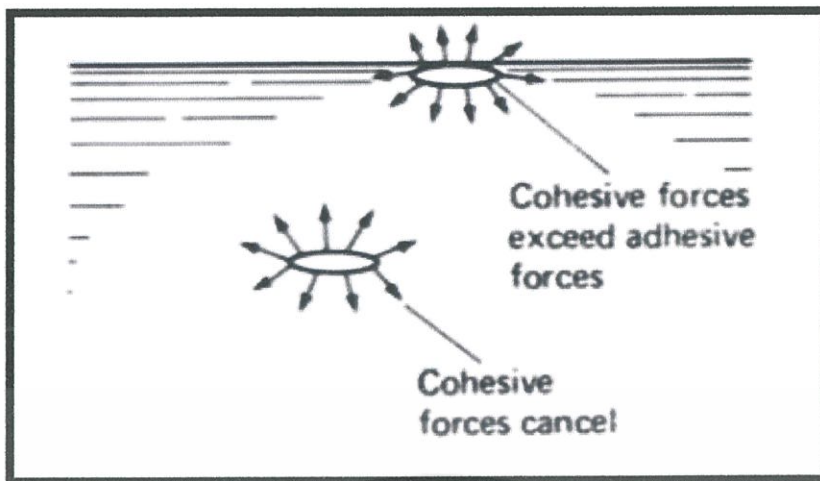
## 2.2 แรงตึงผิว (Surface tension)

แรงตึงผิว คือ แรงดึงที่เกิดขึ้นบนผิวน้ำของของเหลว เมื่อผิวน้ำของของเหลวสัมผัสกับก๊าซ ตัวอย่างเช่น เมื่อผิวน้ำของน้ำสัมผัสกับอากาศ การเกิดแรงตึงผิวน้ำนี้สืบเนื่องมาจาก แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

- 1) แรง Cohesion คือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่างชนิดเดียวกัน
- 2) แรง Adhesion คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่างชนิดกัน

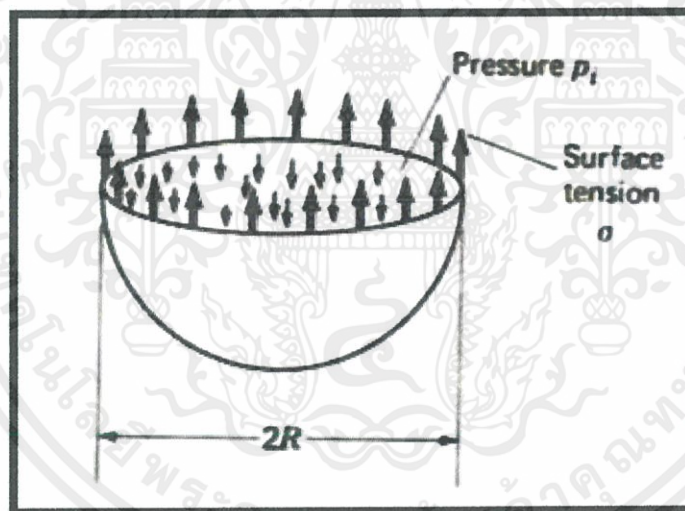
จากรูปเมื่อผิวอิสระของของเหลว(เช่นน้ำ) สัมผัสกับอากาศ บริเวณที่อยู่ใต้ผิวอิสระแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำจะหักล้างกันหมด แต่บริเวณผิวอิสระแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของอากาศ แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่าง Adhesion Force กับ Cohesion Force บริเวณผิวอิสระของของเหลวนี้ มีแนวโน้มทำให้โมเลกุลของของเหลวบริเวณผิวอิสระถูกดึงให้จมลง ดังนั้นทำให้บริเวณผิวอิสระมีความหนาแน่นของโมเลกุลสูง ผิวอิสระของของเหลวจึงมีสภาพคล้ายกับมีเยื่อบางๆ (Membrane) การค้า

ไม่ยากหุ้มอยู่ และแรงลัพธ์นี้เรียกว่า “แรงตึงผิว” แรงตึงผิวจะมีทิศทางสัมผัสกับผิวอิสระและตั้งฉากกับเส้นแสดง Membrane Section



รูปที่ 2.2 Cohesion และ Adhesion Forces

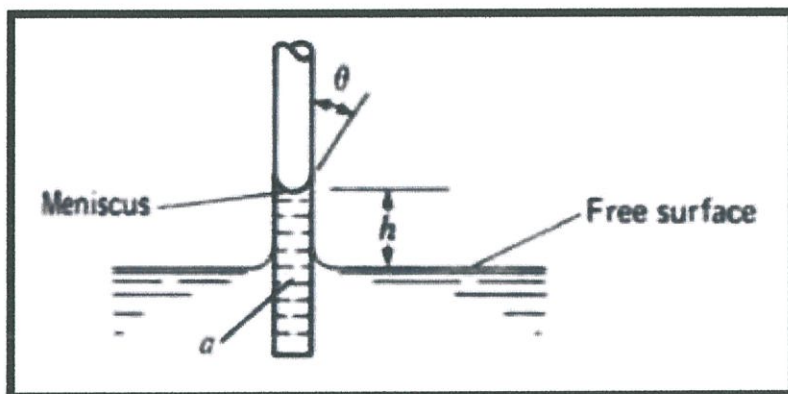
ค่าของแรงตึงผิวแสดงอยู่ในรูปแรงตึงผิว  $\gamma$  (Surface Tension, N / m) ซึ่งหมายถึง แรงต่อความยาวเส้นแสดง Membrane Section ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ค่าของแรงตึงผิว  $\gamma$

ในกรณีของเหลวสัมผัสกับของแข็ง เช่น หลอดแก้วจุ่มในอ่างน้ำหรืออ่างปรอท ถ้า Adhesion Force มีค่ามากกว่าระดับของของเหลวในอ่าง และผิวของของเหลวในหลอดแก้ว (Meniscus) จะมีลักษณะโค้งงอขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า capillary effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 Capillary Effect

พิจารณาการเกิด capillary ในหลอดแก้ว โดยสมมติให้ผิวโค้งที่เกิดขึ้นในหลอดแก้ว (Meniscus) มีลักษณะเป็นผิวของทรงกลม

จากรูปให้  $P_i$  เป็นความดันใกล้ผิวอิสระด้านที่เป็นอากาศ

$P_o$  เป็นความดันใกล้ผิวอิสระด้านที่เป็นของเหลว

$$P_o = -\rho gh, P_i = 0 \text{ (ความดันเกจ)}$$

$$\therefore P_i - P_o = \rho gh$$

$$\text{และ } R_1 = R_2 = R$$

$$\text{จาก } r/R = \cos\theta \Rightarrow R = r/\cos\theta$$

$$\text{จาก } P_i - P_o = 2\gamma/R$$

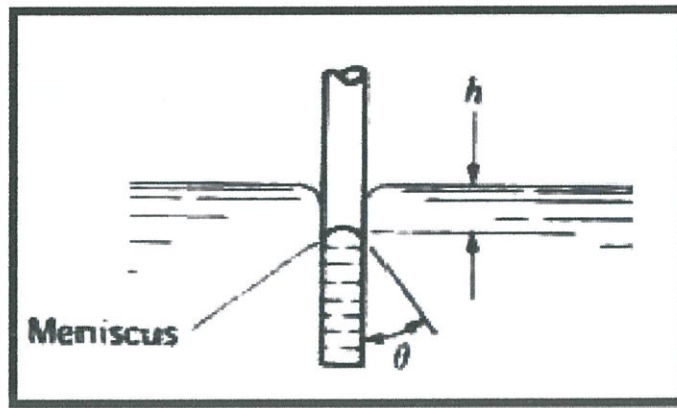
$$\text{ดังนั้น } \rho gh = 2\gamma/R$$

$$\text{หรือ } h = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho gr}$$

สมการนี้ใช้ได้เฉพาะในกรณีที่หลอดแก้วมีขนาดเล็กเท่านั้น คือ  $r < 2.5 \text{ mm}$ . และมุม  $\theta$  เรียกว่า angle of contact

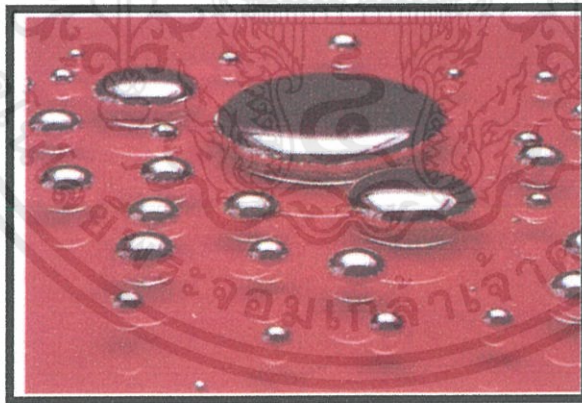
Capillary effect ที่เกิดขึ้นในกรณีที่ Cohesion force มีค่ามากกว่า adhesion force (กรณีหลอดแก้วจุ่มในอ่างปรอท) จะมีผลทำให้ระดับของเหลวในหลอดแก้ว มีระดับต่ำกว่าระดับของของเหลวในอ่าง และลักษณะของ Meniscus ที่เกิดขึ้นจะ โค้งลง ดังแสดงในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



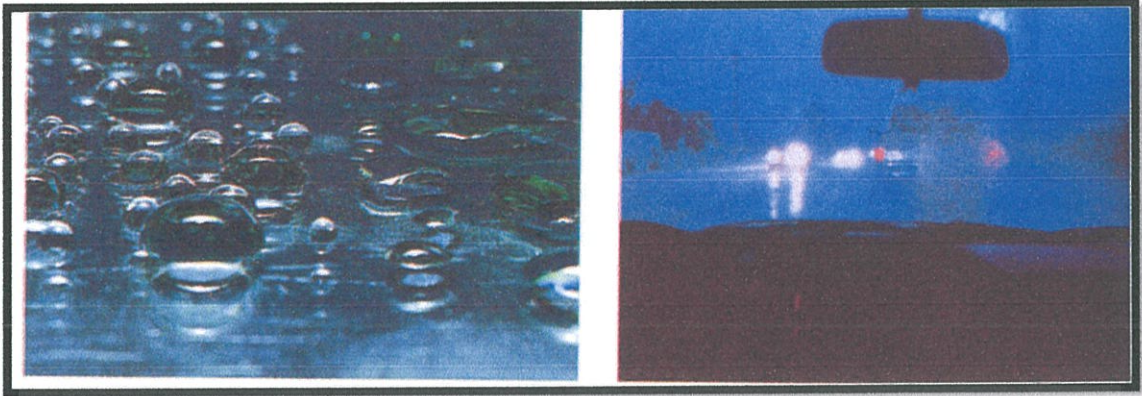
รูปที่ 2.5 Capillary Effect

ปรากฏการณ์ของแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นได้อีกประการหนึ่งคือการเกิดหยดของเหลว (droplet) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นกับของเหลวที่มีขนาดเล็กและอยู่อย่างอิสระ เช่น เม็ดของของเหลวในบรรยากาศ หรือเม็ดของของเหลวที่เกิดจากหัวฉีดที่ฉีดของเหลวออกมาเป็นฝอยหรือละอองเล็กๆ หรือเม็ดของของเหลวที่เกาะตามใบไม้ ซึ่งอิทธิพลของแรงตึงผิวจะพยายามปรับรูปร่างให้เม็ดของของเหลวมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ทำให้แรงดันในหยดของเหลวมากขึ้น เพื่อให้เกิดแรงต้านแรงตึงผิว เป็นผลให้หยดของเหลวคงสภาพอยู่ได้อย่างสมดุลถ้าพิจารณาหยดของเหลวทรงกลมที่มีรัศมี  $r$  และความดันภายในหยดของเหลว  $P$  โดย  $P = 2\gamma/r$



รูปที่ 2.6 หยดปรอท: หยดเล็ก ๆ จะมีรูปร่างเป็นทรงกลม ขณะที่หยดที่ใหญ่กว่าจะเป็นทรงกลมแบน เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 หยดน้ำ พอลิเมอร์ซิลิโคน (silicone polymer) ที่เคลือบบนแก้ว/กระจก จะลด Adhesive forces ระหว่างโมเลกุลของน้ำกับพื้นผิวทำให้น้ำไม่เกาะติดบนพื้นผิวของแก้ว/กระจก

## 2.3 ทฤษฎีการยึดเกาะ (Theories of Adhesion)

กลไกของการยึดเกาะ มีทั้งหมด 5 แบบ ได้แก่

### 2.3.1 การดูดซับและการเปียก (Absorption and wetting)

เมื่อพื้นผิวสองพื้นผิวที่ไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่ใกล้กันมากพอ จะเกิด “แรงดึงดูดเชิงกล” (Physical attraction) เช่นการเปียก (wetting) ของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง ในกรณีของของแข็ง 2 ชนิดอยู่ใกล้กันมากถึงระดับจุลภาค (ไมครอน) หรือระดับอะตอม ความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิวจะเป็นสิ่งขัดขวางไม่ให้เกิดการยึดเกาะหรือสัมผัส จะมีเพียงบางตำแหน่งเท่านั้นที่สามารถเกิดการสัมผัสกันได้ ในกรณีของเหลวบนของแข็งสามารถเกิดการเปียกได้ง่าย การเปียกจะเกิดมากหรือน้อยแสดงได้ด้วย “มุมสัมผัส” (contact angle,  $\theta$ ) ถ้าของเหลวมีความสามารถในการเปียก (Wettability) บนพื้นผิวของของแข็งดี ของเหลวชอบที่จะสัมผัสกับพื้นผิวของแข็งเกิดการแผ่กระจายบนพื้นผิวของแข็ง ทำให้ค่ามุมสัมผัสน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้าวัสดุมีความสามารถในการเปียกที่ต่ำ ของเหลวจะไม่ชอบสัมผัสกับของแข็งเป็นผลให้มีค่ามุมสัมผัสมาก

### 2.3.2 การแพร่เข้าหากันหรืออินเทอร์ดิฟฟิวชัน (Interdiffusion)

การยึดเกาะของพื้นผิวพอลิเมอร์สองชนิดสามารถเกิดได้ ถ้าโมเลกุลพอลิเมอร์บริเวณพื้นผิวสัมผัสทั้งสองชนิดมีการแพร่ (Diffusion) เข้าหากันและกัน ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้ จะขึ้นอยู่กับปริมาณเกี่ยวพันกับสายโซ่โมเลกุล (Molecular entanglement) ว่ามีมากหรือน้อย อีกทั้งขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนสายโซ่โมเลกุล เนื่องจากความสามารถในการแพร่และการพันกันของสายโซ่ขึ้นกับความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล (Molecular motion) ดังนั้นการยึดเกาะแบบอินเทอร์ดิฟฟิวชันสามารถเพิ่มได้โดยใช้ตัวทำละลาย (Solvents) ทาที่พื้นผิว หรือการใช้สารเติมแต่งจำพวกพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) ทำให้สายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่

ได้ง่าย กลไกการยึดเกาะแบบนี้สามารถเกิดกับพื้นผิวที่มีการเคลือบพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงผิวก่อนแล้วจึงทำการเคลือบกาวลงไป

### 2.3.3 แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction)

แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวทั้งสองชนิดที่มีประจุต่างกันมาอยู่ใกล้กัน นั่นคือถ้าพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นบวก (Net Positive Charge) และอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นลบ (Net Negative Charge) ตัวอย่างเช่น อันตรกิริยาระหว่างกรด – เบส (Acid-Base interaction) และพันธะไอออนิก (Ionic bonding) แรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าสถิตจะไม่ใช่แรงยึดเกาะระหว่างพื้นผิวสองพื้นผิว แต่แรงดึงดูดชนิดนี้มีส่วนร่วมกับกลไกการยึดเกาะชนิดอื่น ช่วยให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างสองพื้นผิวได้ดีขึ้น เช่นการยึดเกาะของสารควบคู่ประเภทไซเลน (Silane coupling agent) ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นประจุบวก (Cationic function groups) เป็นต้น

### 2.3.4 พันธะเคมี (Chemical Bonding)

เป็นกลไกการยึดเกาะที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวหนึ่งมีหมู่ฟังก์ชันทางเคมี (Function groups) บนพื้นผิวและอีกพื้นผิวหนึ่งมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดเป็นพันธะทางเคมีได้แก่ พันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างอินเตอร์เฟสจะเกี่ยวข้องกับการแตกหักของพันธะเคมีด้วย ตัวอย่างการยึดเกาะด้วยพันธะทางเคมีได้แก่ การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสารควบคู่ (Coupling agent) กับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวทั้งสอง

### 2.3.5 การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical Adhesion หรือ Mechanical Interlocking)

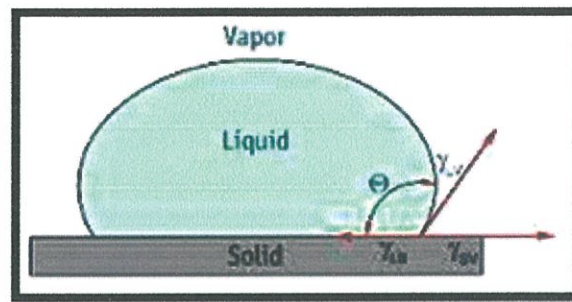
การยึดเกาะเชิงกลเกิดเมื่อกาวเปียกไปบนพื้นผิวที่เป็น backing ขณะที่ของไหลสามารถแทรกตัวไปบนพื้นผิวที่ขรุขระของ backing รวมทั้งซอกร่องรูและช่องว่างอื่นๆ บนพื้นผิวเมื่อสารละลายระเหยทำให้กาวเกิดการเซตตัวเป็นเหตุให้เกิดการติดติดกับพื้นผิวของ backing ความแข็งแรงของการยึดเกาะนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิวที่จะเกิดการสัมผัส ทำให้เกิดการแทรกตัวในพื้นผิวที่จะยึดติด เช่น ความหนืดของกาวบนพื้นผิวที่มีความเรียบเกินไปจะเกิดการยึดเกาะเชิงกลน้อยหรือไม่มีเลย

## 2.4 มุมสัมผัส (Contact Angle)

**มุมสัมผัส (Contact Angle)** คือ มุมระหว่างเส้นสัมผัสของหยดของเหลวที่ไม่เคลื่อนที่บนพื้นผิวโดยจุดเริ่มต้นอยู่ ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดสัมผัสของทั้งอากาศ ของเหลวและของแข็ง แสดงดัง

### รูป 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 มุมสัมผัส (Contact Angle,  $\theta$ ) ระหว่างระนาบของปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-ก๊าซกับระนาบของปฏิสัมพันธ์ของเหลว-ของแข็ง

มุมสัมผัสนี้จะบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นที่ผิวเรียบของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลวหรือภาวะการเปียก (wetting) และค่าของมุมสัมผัสจะขึ้นอยู่กับพลังงานของพื้นผิวและแรงตึงผิวของของเหลว มุมสัมผัสที่น้อยกว่า  $90^\circ$  โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก และของเหลวจะกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง มุมสัมผัสที่มากกว่า  $90^\circ$  โดยทั่วไปจะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อย และจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง

สำหรับกรณีถ้าของเหลวเป็นน้ำ, พื้นผิวที่มีการกระจายตัวได้ดีจะถูกเรียกว่า hydrophilic และพื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดีจะถูกเรียกว่า hydrophobic พื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ใช้อย่างยิ่งยวด (Superhydrophobic) จะให้มุมสัมผัสที่มากกว่า  $150^\circ$  ทำให้มีน้ำสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งน้อยมากๆ ซึ่งกรณีนี้บางครั้งถูกเรียกว่า "Lotus effect" หรือ "ปรากฏการณ์ใบบัว"

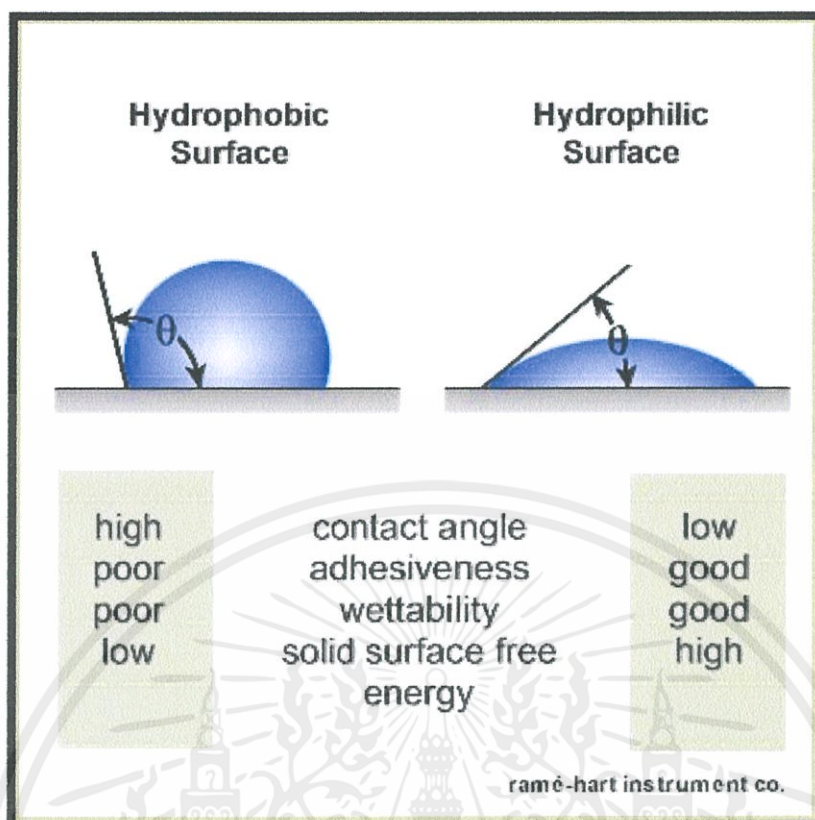
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงมุมสัมผัสค่าต่างๆและปฏิสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้อง

**Table 1: Varying contact angles and their corresponding solid/liquid and liquid/liquid interactions.**

Contact angle	Degree of wetting	Strength of:	
		Sol./Liq. interactions	Liq./Liq. interactions
$\theta = 0$	Perfect wetting	strong	weak
$0 < \theta < 90^\circ$	high wettability	strong	strong
		weak	weak
$90^\circ \leq \theta < 180^\circ$	low wettability	weak	strong
		weak	strong
$\theta = 180^\circ$	perfectly non-wetting	weak	strong

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 คุณสมบัติของหยดน้ำกับมุมสัมผัสที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว

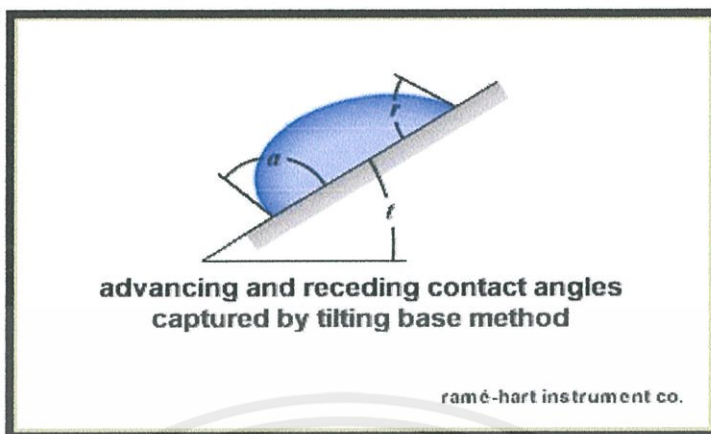
## 2.4.1 ประเภทของการวัดมุมสัมผัส

### 2.4.1.1 การวัดมุมสัมผัสสถิต (Static Contact Angle)

การวัดมุมสัมผัสด้วยวิธีนี้เป็นประเภทของการวัดที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนใหญ่ โดยใช้สำหรับการอ่านค่าในส่วนของหยดน้ำหรือของเหลวที่ไม่มีการเคลื่อนที่ด้วยระยะเวลาเพียงสั้นๆ ก็คือเมื่อหยดหยดน้ำหรือของเหลวลงไปบนพื้นผิวของแข็งตัวอย่างก็จะสามารถถ่ายรูปของหยดน้ำหรือของเหลวออกมาแล้วทำการคำนวณหาค่ามุมสัมผัสได้เลย วิธีการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำวิธีนี้ส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ในการวัดค่าความสะอาดของพื้นผิวของแข็งตัวอย่าง ซึ่งสิ่งปนเปื้อนสารอินทรีย์พวกนี้จะเป็นตัวขัดขวางคุณสมบัติการเปียก สำหรับพื้นผิวที่มีค่ามุมสัมผัสมากหรือเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) เมื่อพื้นผิวของแข็งถูกทำความสะอาดและได้รับการปรับสภาพเพื่อเอาสิ่งปนเปื้อนออก ค่ามุมสัมผัสก็จะลดลงจากเดิมจนกลายเป็นไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ขณะเดียวกันคุณสมบัติการเปียกจะมากขึ้นและจะส่งผลให้ค่าพลังงานของพื้นผิวเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1.2 การวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวของแข็งที่มีลักษณะเอียง (Tilting Plate Method)

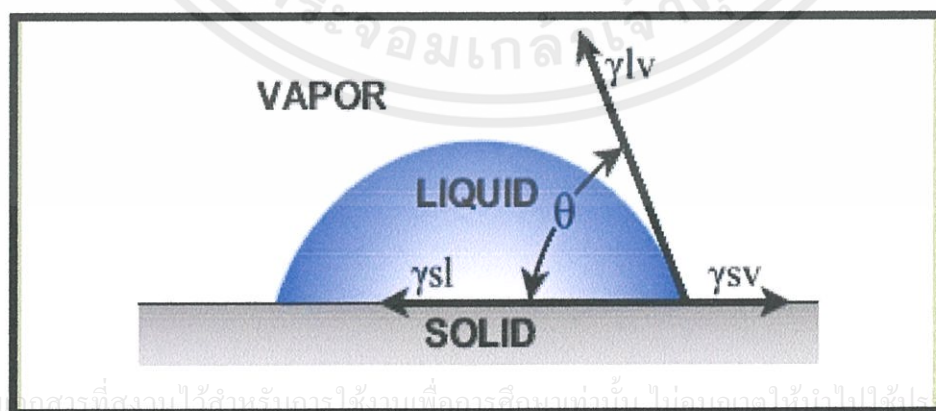


รูปที่ 2.10 วิธีการวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวของแข็งที่มีลักษณะเอียง

จากรูปที่ 2.10 การวัดมุมสัมผัสด้วยวิธีการวัดมุมสัมผัสบนพื้นผิวของแข็งที่มีลักษณะเอียง เป็นการวัดมุมสัมผัสโดยการถ่ายภาพ Sessile Drop ทั้งสองข้าง (ทั้งซ้ายและขวา) จากรูปในขณะที่พื้นผิวของของแข็งถูกทำให้เอียงจาก  $0^\circ$  จนถึง  $90^\circ$  มุมสัมผัสด้านบนที่เป็นเนินลาดลงมาจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมุมสัมผัสที่เนินด้านบนลดลงมาตามลำดับ

#### 2.4.2 การวัดมุมสัมผัส (Contact Angle Measurement)

การวัดมุมสัมผัสเป็นการวัดความสามารถของของเหลวที่แพร่กระจายไปบนพื้นผิว วิธีการนี้จะประกอบไปด้วยการวัดมุมระหว่างเส้นสัมผัสเคี้ยวของหยดน้ำที่ตำแหน่งจุดสัมผัสและพื้นผิวของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะเชื่อมโยงกันกับค่าพลังงานพื้นผิวทำให้สามารถคำนวณหาค่าพลังงานพื้นผิวได้ โดยที่จะแยกเป็นอันตรกิริยาระหว่างส่วนที่เป็นขั้วและส่วนที่ไม่เป็นขั้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 มุมสัมผัสของหยดน้ำ

การวัดมุมสัมผัสให้ข้อมูลดังต่อไปนี้

- ความสัมพันธ์ของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง : ของเหลวที่ใช้ในการวัดค่ามุมสัมผัสสามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติของพื้นผิว คือถ้าพื้นผิวเป็น hydrophobic แสดงถึงมุมสัมผัสที่มีขนาดใหญ่ และพื้นผิวเป็น hydrophilic แสดงถึงมุมสัมผัสมีขนาดเล็ก
- การหาค่ามุมสัมผัสสามารถนำไปคำนวณตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงที่สุดสำหรับการทดลองในการวัดมุมสัมผัสโดยวิธีการ Taguchi methods

## 2.5 Taguchi methods: orthogonal arrays

วิธีการ Taguchi คือ วิธีการลดจำนวนครั้งของการทดลองโดยจะทำการกำหนด orthogonal arrays จากตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลการทดลอง เช่น อัตราการไหล อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น หลังจากนั้นจึงกำหนดระดับของตัวแปรที่มีอิทธิพลตามที่ต้องการ ซึ่งตัวแปรเหล่านั้นสามารถเปลี่ยนแปลงภายในระบบและสามารถควบคุมได้ง่าย ซึ่งการเพิ่มจำนวนของระดับตัวแปรนั้นจะทำให้จำนวนครั้งของการทดลองเพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในการทำนายผลการทดลองทั้งหมดที่สามารถจะเป็นไปได้ในทุกๆกรณี หลังจากนั้นจะสามารถเลือกผลที่ดีที่สุดจากการทำนายในตอนสุดท้ายได้ ซึ่งการเลือก orthogonal arrays นั้นจะเลือกจำนวนตัวแปรและจำนวนระดับของตัวแปร ตามตารางที่ 2.2 ทำการดำเนินการทดลองตาม orthogonal arrays เพื่อที่จะรวบรวมข้อมูลที่สามารถส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง จากนั้นจึงนำข้อมูลมาเพื่อคำนวณหาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ โดยการคำนวณ SN (the signal-to-noise ratio) จากผลที่ได้ตามสมการที่ 2.1

$$SN_i = 10 \log \frac{\bar{y}_i^2}{s_i^2} \quad \text{-----} (2.1)$$

โดยที่  $\bar{y}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{u=1}^{N_i} y_{i,u}$  และ  $s_i = \frac{1}{N_i - 1} \sum_{u=1}^{N_i} (y_{i,u} - \bar{y}_i)^2$

เมื่อ  $y_i$  คือ ค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลอง

$S_i$  คือ ค่าความแปรปรวน

$i$  คือ ลำดับการทดลอง

$u$  คือ ตัวเลข trial (trial คือ จำนวนการทดลองในแต่ละลำดับการทดลอง)

$N_i$  คือ ตัวเลข trial สำหรับ  $i$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2562-0100

จากนั้นนำ SN ที่ได้ไปคำนวณตามสมการตัวอย่างที่ 2.2 ตามตารางที่ 2.3 แล้วจึงนำผลที่ได้ไปใส่ใน ตารางที่ 2.4 จากนั้นนำค่า SN แต่ละตัวแปรที่มีค่ามากที่สุดลบด้วย SN ที่มีค่าน้อยที่สุด ผลต่างของ ตัวแปรตัวใดมากที่สุดจะมีอิทธิพลสูงสุด

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่าง orthogonal arrays L9

Experiment	P1	P2	P3	P4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

ตารางที่ 2.3 การคำนวณหาค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุด

Experiment	P1	P2	P3	P4	SN
1	1	1	1	1	SN1
2	1	2	2	2	SN2
3	1	3	3	3	SN3
4	2	1	2	3	SN4
5	2	2	3	1	SN5
6	2	3	1	2	SN6
7	3	1	3	2	SN7
8	3	2	1	3	SN8
9	3	3	2	1	SN9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SN_{p3,1} = \frac{(SN_1+SN_6+SN_8)}{3}$$

$$SN_{p3,2} = \frac{(SN_2+SN_4+SN_9)}{3}$$

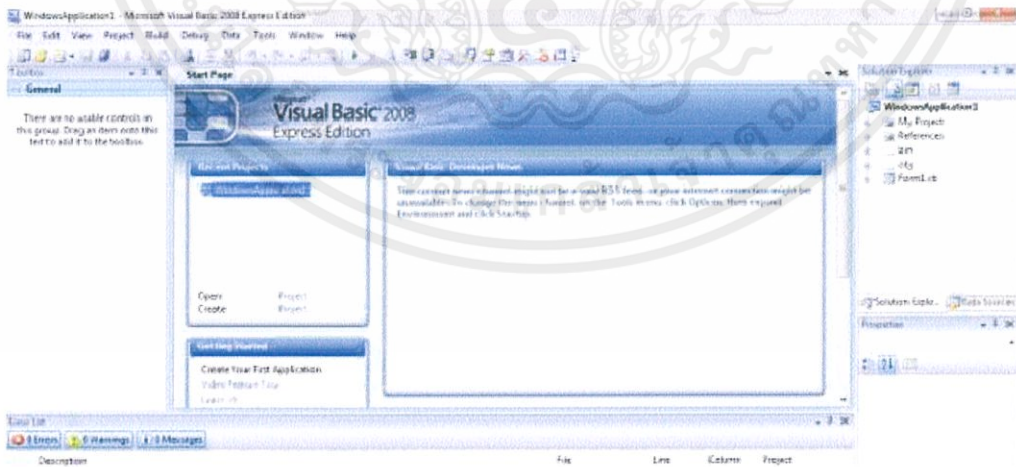
$$SN_{p3,3} = \frac{(SN_3+SN_5+SN_7)}{3} \text{ ----- (2.2)}$$

ตารางที่ 2.4 ตารางสรุปผลอันดับของตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุด

Level	P1	P2	P3	P4
1	SN <sub>p1,1</sub>	SN <sub>p2,1</sub>	SN <sub>p3,1</sub>	SN <sub>p4,1</sub>
2	SN <sub>p1,2</sub>	SN <sub>p2,2</sub>	SN <sub>p3,2</sub>	SN <sub>p4,2</sub>
3	SN <sub>p1,3</sub>	SN <sub>p2,3</sub>	SN <sub>p3,3</sub>	SN <sub>p4,3</sub>
max-min	R <sub>p1</sub>	R <sub>p2</sub>	R <sub>p3</sub>	R <sub>p4</sub>
Rank	...	...	...	...

## 2.6 โปรแกรม Visual Basic 2008

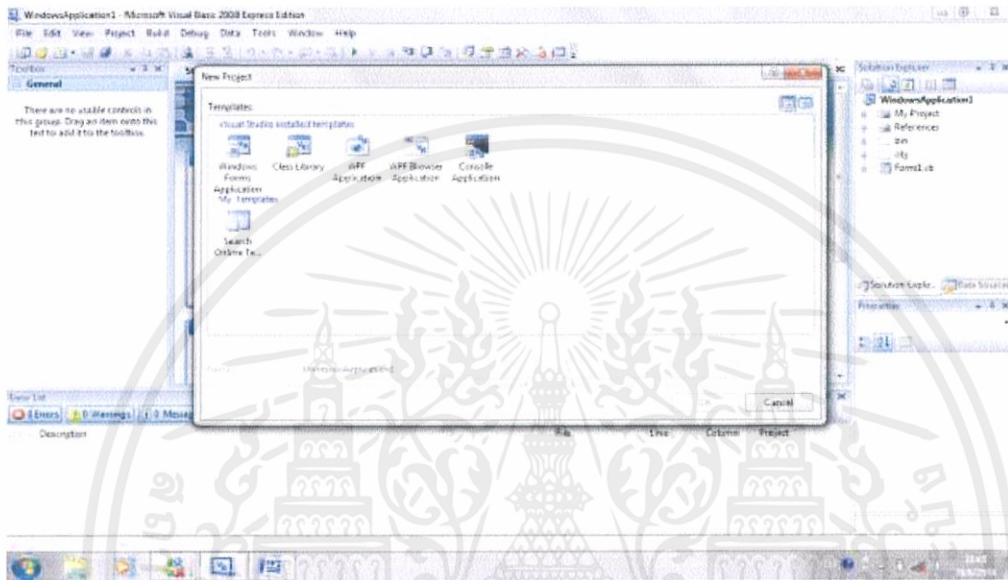
เมื่อเปิดโปรแกรม Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition จะพบหน้าต่างโปรแกรมดังนี้



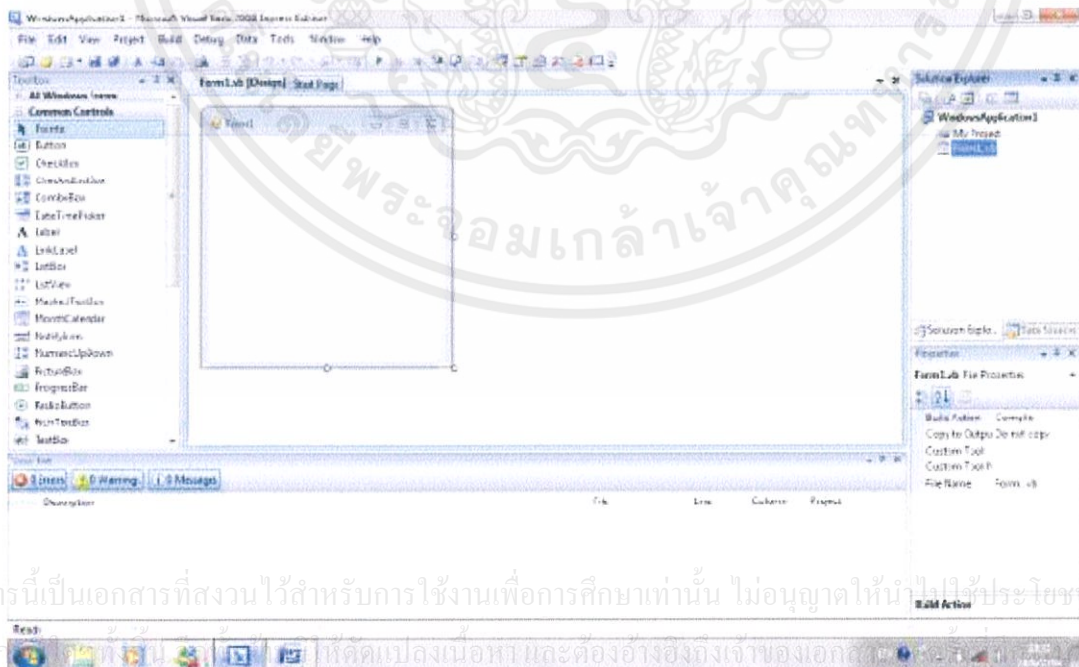
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนำไปใช้

ก่อนจะรู้จักรายละเอียดของการใช้งาน โปรแกรม เราต้องเปิดโปรเจกการงานขึ้นมา ก่อน เพื่อให้ได้เห็นส่วนการทำงานที่ต้องใช้

การเปิดโปรเจกใหม่ขึ้นมาใช้ สามารถทำได้โดยเลือกคำสั่งในเมนู File > New Project จะพบหน้าต่างย่อยเพื่อให้เลือกโปรเจกใหม่ที่เราต้องการ ให้คลิกเลือก Windows Forms Application เพื่อใช้สำหรับสร้างแอปพลิเคชันที่ใช้งานบน Windows

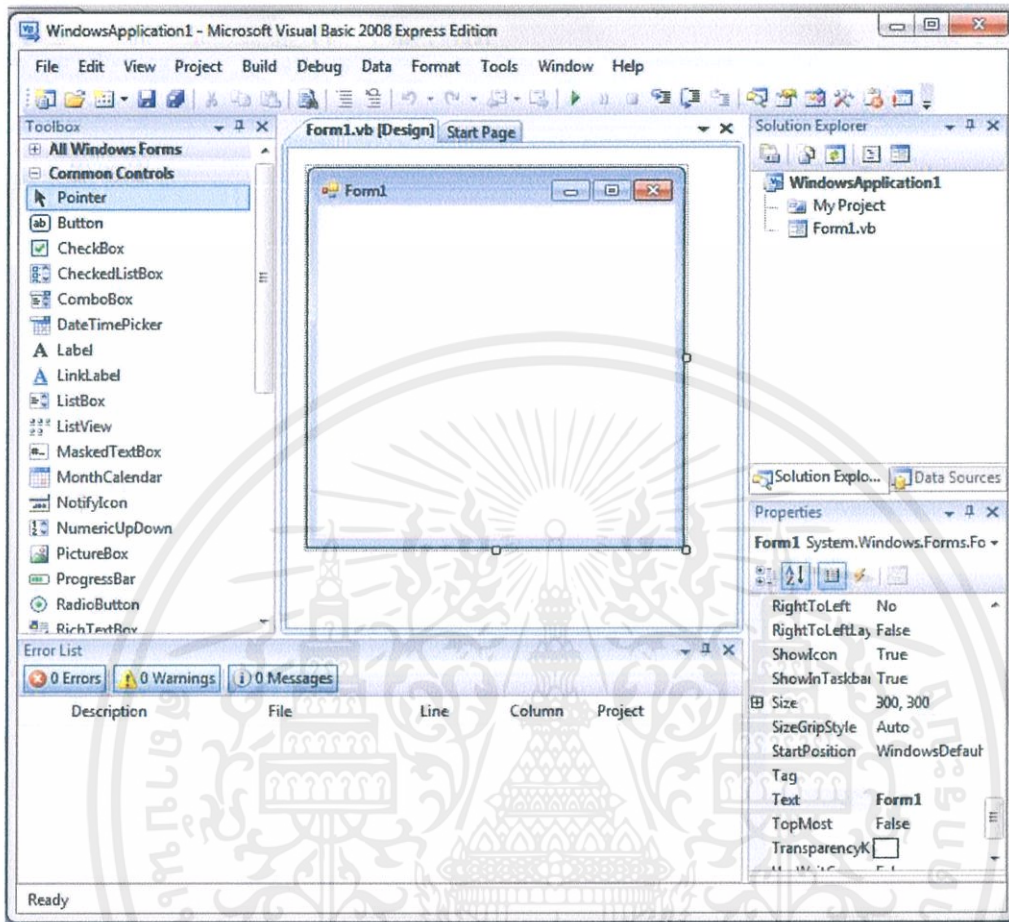


เมื่อคลิกปุ่ม OK จะได้นหน้าต่างการทำงานของโปรเจกใหม่ดังนี้



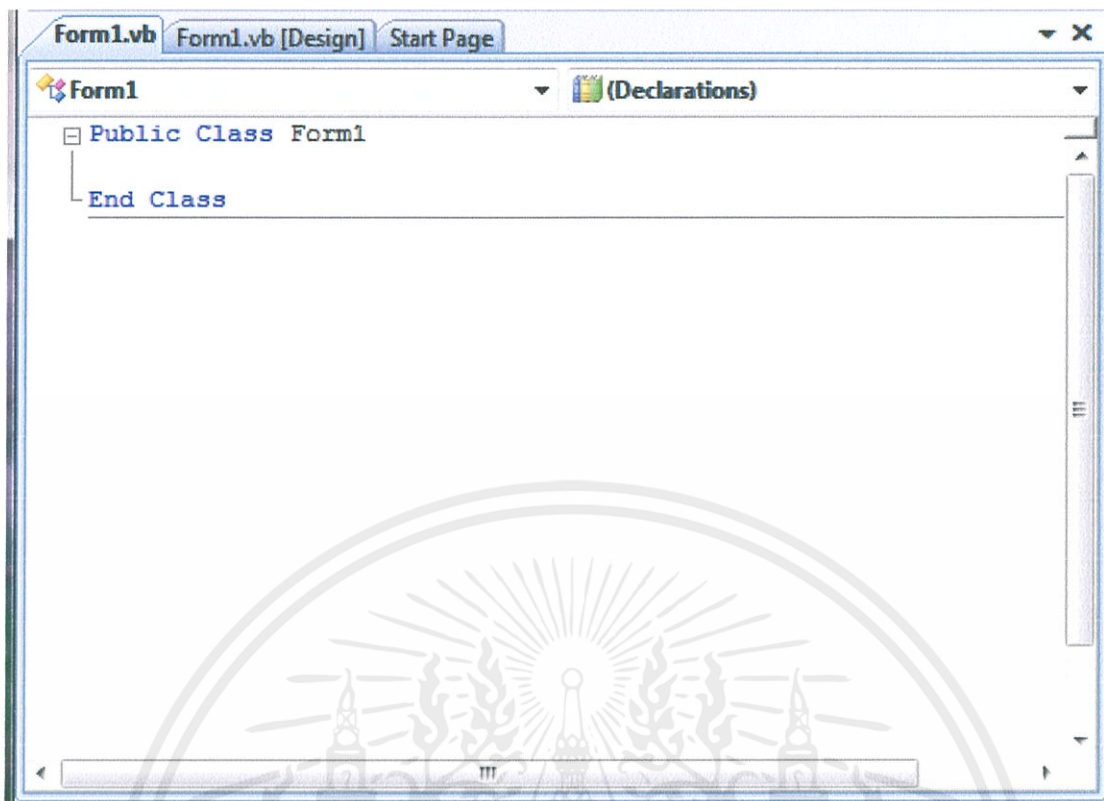
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากคิดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสาร กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารไปใช้

## 2.6.1 ส่วนประกอบของหน้าต่างโปรแกรม ที่จำเป็นต้องรู้จักก่อนใช้ในการทำงานแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้



- o Tool bar แถบเครื่องมือที่รวบรวมไอคอนคำสั่ง ต่างๆ ที่มักได้ใช้เป็นประจำ
- o Toolbox ส่วนรวบรวมเครื่องมือต่างๆ ที่เรียกว่าคอนโทรล สำหรับใช้ในการออกแบบฟอร์มของแอปพลิเคชัน
- o Windows Form Designer ส่วนแสดงฟอร์ม ที่ใช้ออกแบบหน้าจอโปรแกรมที่ต้องการสร้างขึ้น
- o Error List ส่วนแสดงรายการข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น กับ โค้ดคำสั่ง ที่เขียนขึ้นมา
- o Solution Explorer หน้าต่างแสดงส่วนประกอบต่างๆ ภายใต้ Solution ที่เปิดใช้งาน
- o Properties ส่วนแสดงและกำหนดคุณสมบัติของคอนโทรล ที่เลือกทำงานอยู่ในขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



o Editor ส่วนใช้ในการพิมพ์โค้ดคำสั่ง เพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรมตามที่เราต้องการ เรียกส่วนนี้มาใช้งานได้โดยการคลิกเมนู View > Code หรือคลิกไอคอน View Code ในหน้าต่าง Solution Explorer

## 2.6.2 หลักการโปรแกรมด้วย Visual Basic 2008

Visual Basic 2008 อาศัยหลักการพัฒนาโปรแกรมแบบเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming : OOP) ที่สามารถนำโครงสร้างที่สร้างไว้แล้วมาใช้ซ้ำโดยไม่จำเป็นต้องสร้างขึ้นมาใหม่ ทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาโปรแกรมได้ และยังใช้หลักการเขียนโปรแกรมแบบ Event Driven Programming นั่นคือ โปรแกรมจะทำงานตามเหตุการณ์ (Event) ที่เกิดขึ้นซึ่งแนวคิดนี้จะมองการทำงานแต่ละส่วนของโปรแกรมเป็น Object ไม่ว่าจะเป็นหน้าจอของโปรแกรมที่แสดงในลักษณะของหน้าต่าง หรือเรียกอีกอย่างว่า ฟอรัม (Form) คอนโทรลที่ประกอบกันเป็นหน้าจอการทำงาน เช่น เมนูคำสั่ง ปุ่มคำสั่งช่องรับข้อความ ฯลฯ การเขียนโค้ดคำสั่ง ให้กับ Object ต่างๆ ที่ปรากฏอยู่บนฟอรัม จะพิจารณาว่าแต่ละ Object มีเหตุการณ์อะไรเกิดขึ้นบ้าง แล้วจึงเขียนโค้ดคำสั่งเพื่อตอบสนองการทำงานต่อเหตุการณ์นั้น โดยเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นมิได้หลายกรณี เช่น ผู้ใช้คลิกปุ่ม กดแป้นคีย์บอร์ด หรือป้อนข้อมูลลงในกล่องรับข้อความ เป็นต้น

Object บนฟอรัมสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในชั้นเรียนเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คอนโทรล (Control) เป็น Object ที่ใช้ควบคุมการทำงานและมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน เช่น TextBox – ใช้รับข้อความ , Label – ใช้แสดงข้อความบนหน้าจอ , Button – ใช้เป็นปุ่มคำสั่ง เป็นต้น

2. คอมโพเนนต์ (Component) เป็น Object ที่นำมาใช้ประกอบการสร้างแอปพลิเคชัน แต่จะไม่แสดงให้เห็นในขณะที่ Run การทำงาน เช่น Timer – เป็นตัวจัดการเรื่องเวลา เป็นต้น

เนื่องจากฟอร์ม คอนโทรลและคอมโพเนนต์ ต่างก็เป็น Object ดังนั้นทั้งสามจึงมีคุณสมบัติหลักที่สำคัญซึ่งเป็นความสามารถเฉพาะของ Object มี 3 ส่วน ได้แก่ Property , Event และ Method

o Property คือคุณสมบัติหรือลักษณะเฉพาะของ Object แต่ละ Object ตัวอย่างของคุณสมบัติเช่น ฟอร์ม มีคุณสมบัติ คือ ชื่อฟอร์ม ความกว้าง ความสูงของฟอร์ม สีของฟอร์ม เป็นต้น เราสามารถกำหนด Property ได้ 2 วิธี

1. กำหนดในหน้าต่าง Properties โดยคลิกเลือก Object ที่ต้องการ ส่วนของหน้าต่าง Properties จะปรากฏรายการ Properties ของ Object นั้น

2. กำหนดโค้ดคำสั่ง ใน Editor ซึ่งใช้ความสามารถของเทคโนโลยี IntelliSense แสดง Properties ทำได้โดยการพิมพ์ชื่อ Object ที่ต้องการแล้วตามด้วยเครื่องหมายจุด (.) โปรแกรมจะปรากฏ Properties ของ Object นั้นขึ้นมาให้เลือกซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกในการเขียนโปรแกรมและช่วยลดข้อผิดพลาดได้ด้วย

o Event คือเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับ Object เช่น Event “ Click” เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการคลิกที่ Object นั้น โดย Object ต่างๆ ในโปรแกรมสามารถมีเหตุการณ์เกิดขึ้นด้วยได้มากมาย แต่ไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมเพื่อรองรับการทำงานทุกเหตุการณ์ สามารถเลือกเฉพาะบางเหตุการณ์ที่สนใจหรือต้องการให้มีการตอบสนองการทำงานของเหตุการณ์นั้น ให้กับ Object โดยสามารถกำหนดการตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้ในส่วน Editor ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

- Class Name คือส่วนใช้แสดงชื่อของ Object
- Event /Method คือส่วนแสดงรายชื่อเหตุการณ์ต่างๆตาม Object ที่ได้เลือกไว้ใน

ส่วนแรก

- Editor คือส่วนใช้พิมพ์โค้ดคำสั่ง ที่ประกอบกันเป็นโปรแกรม

o Method คือ พฤติกรรมที่ Object แสดงออกมาได้ เช่น Method “Focus” ของ Object “Button1” จะเป็นการโฟกัสที่ปุ่ม Button1 เป็นต้น การใช้ Method จะกำหนดในหน้าต่าง Editor โดยใช้ความสามารถของเทคโนโลยี IntelliSense แสดง Method ได้เช่นเดียวกับ Property

### 2.6.3 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมด้วย Visual Basic 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เป็นขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมแบบ Windows Form Application ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ออกแบบโปรแกรม ก่อนสร้างโปรแกรมผู้พัฒนาต้องรวบรวมข้อมูลความต้องการจาก ผู้ใช้งานและออกแบบก่อนว่าจะนำไปใช้ประโยชน์อะไร หรือต้องการให้โปรแกรมทำอะไรได้บ้าง

จะให้ มี หน้าจอ Interface อย่างไร เพื่อจะ ได้ สามารถ กำหนด เครื่องมือ ที่ จะ ใช้ ใน การ พัฒนา ได้ ถูก ต้อง โดย อาจ เขียน ขั้นตอน การ ทำงาน ด้วย Flowchart ก็ได้

2. สร้าง Project และ นำ คอนโทรล มา วาง ไว้ บน ฟอรั่ม เพื่อ จัด รูป แบบ ให้ สวยงาม และ เหมาะ สม ตาม ต้อง การ

3. กำหนด Property ให้กับ คอนโทรล โดย จะมี Property ที่ ใช้ บ่อย ๆ เช่น Name , Text , Font ,color เป็นต้น

4. เขียน โค้ด คำ สั่ง ควบคุม การ ทำงาน เพื่อให้ โปรแกรม สามารถ ทำงาน ได้ ตาม ต้อง การ ด้วย การ เขียน โค้ด คำ สั่ง ใน หน้า ต่าง Editor เพื่อ ร้อง รับ เหตุ การณ์ ต่าง ๆ ของ แต่ละ Object

5. ทดสอบ การ ทำงาน เพื่อ ตรวจสอบ การ ทำงาน ของ โปรแกรม ว่า สามารถ ทำงาน ได้ อย่าง ถูก ต้อง หรือ ไม่ โดยการ คลิก เมนู Debug > Start Debugging หรือ กด แป้น F5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

ในการทดลองนี้จะใช้สารเคมีเพียง 1 ชนิด คือ น้ำปลอดประจุ (DI-water) แล้วนำค่ามุมสัมผัสมาเปรียบเทียบหาคุณสมบัติของแต่ละพื้นผิวที่ใช้ในการทดสอบและทำการเปรียบเทียบถึงผลกระทบของตัวแปรสูงสุดที่มีผลในการทดลองวัดค่ามุมสัมผัสของระบบวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติ โดยที่มุมสัมผัสนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดึงผิวและความหนืดของสารซึ่งถ้าสารเคมีนั้นมีความหนืดที่ต่ำก็จะสามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับพื้นผิวได้ง่าย



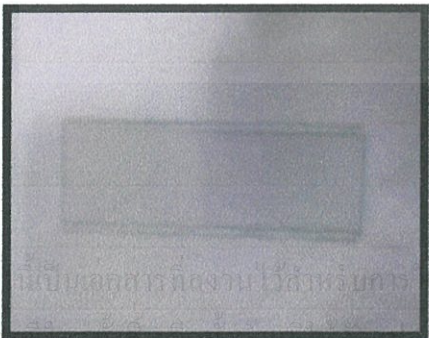
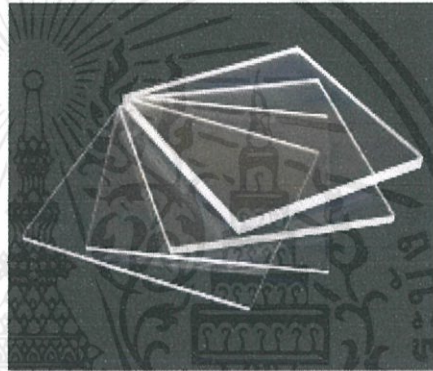
รูปที่ 3.1 น้ำปลอดประจุ (DI-water) ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 แผ่นพื้นผิวที่นำมาทดสอบ

สำหรับโครงการพิเศษนี้ได้ทำการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวเรียบ ไม่มีรอยขีดข่วนหรือมีความขรุขระ ได้แก่

- แผ่นอคริลิกสีขาวขุ่น
- แผ่นอคริลิกสีขาวใส
- แผ่นปริ้นท์ทองแดง
- แผ่นซิลิกอน
- แผ่นกระจกสไลด์ (ผลิตจากประเทศเยอรมัน)
- แผ่นกระจกสไลด์ (ผลิตจากประเทศจีน)



รูปที่ 3.2 พื้นผิวที่ใช้ในการทดสอบชนิดต่างๆ

### 3.3 หัวเข็มแบบโลหะ

หัวเข็มที่ใช้ในการทดลองมีขนาดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในแต่ละชนิด โดยลักษณะของหัวเข็มจะเป็นแบบหัวตัด ไม่มีปลายแหลม ซึ่งในการทดลองจะใช้หัวเข็มแบบโลหะที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.3 และใช้น้ำปลอดประจุ (DI-water) เป็นของเหลวในการทดสอบ



รูปที่ 3.3 หัวเข็มแบบโลหะที่ใช้ในการทดลอง

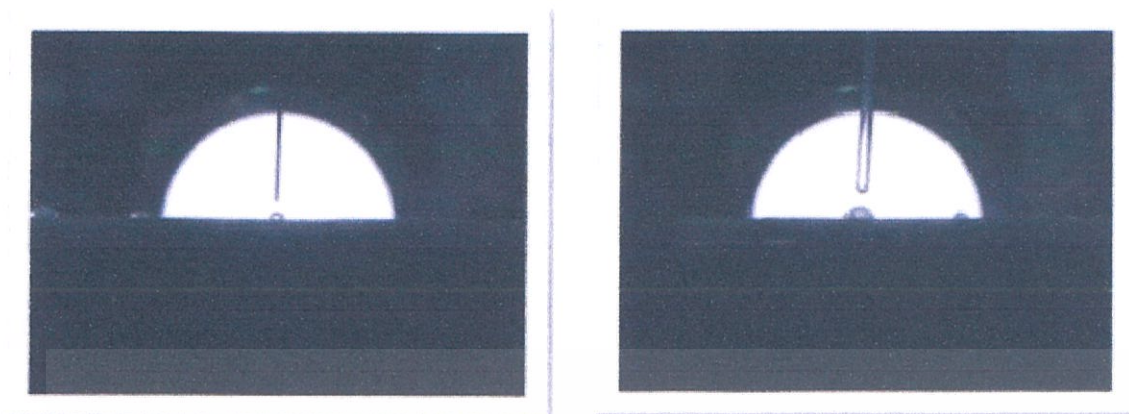
### 3.4 วิธีการทดสอบหัวเข็มและการเลือกสารเคมี

เนื่องจากสารเคมีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน บางชนิดมีความหนืดสูง ระเหยไว จึงต้องมีการเลือกสารเคมีที่สามารถนำมาใช้ได้จริงในการทดลองนี้ และสำหรับในการทดสอบหัวเข็มนั้นจะต้องเลือกใช้หัวเข็มให้เหมาะสมกับสารเคมีที่จะนำมาใช้ด้วย

#### หัวเข็ม

1. เลือกหัวเข็มที่มีขนาดเล็กที่สุดที่เหมาะสมกับสารเคมีแต่ละชนิดด้วยการนำสารเคมีมาหยดทดสอบ
2. เลือกใช้หัวเข็มระหว่างหัวเข็มโลหะหรือหัวเข็มเทฟลอน (กรณีใช้หัวเข็มโลหะควรเลือกหัวเข็มที่มีขนาดเล็กที่สุดและสำหรับหัวเข็มเทฟลอนนั้นเหมาะสำหรับนำไปใช้กับสารเคมีที่ป็นขี้ไปยงหัวเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ทดสอบหัวเข็ม โลหะและหัวเข็มเทฟลอน

#### สารเคมี

1. เลือกใช้สารเคมีที่มีค่าพลังงานพื้นผิว (surface energy) สูง
2. เลือกใช้สารเคมีที่ไม่ระเหยไว เนื่องจากหากเลือกใช้สารเคมีที่มีการระเหยไวแล้วจะไม่สามารถนำมาถ่ายภาพนิ่งเพื่อใช้ในการหาค่ามุมสัมผัสได้

#### 3.5 กระบวนการทำความสะอาดพื้นผิวที่นำมาทดสอบ

เนื่องจากแผ่นพื้นผิวก่อนที่จะมาทดสอบอาจมีคราบสกปรก หรือสารปนเปื้อนติดอยู่บนพื้นผิว จึงต้องมีการนำมาทำความสะอาดก่อนที่จะนำไปทดลอง ซึ่งสำหรับแต่ละพื้นผิวที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกันก็จะมีวิธีการทำความสะอาดแตกต่างกันออกไป ดังนี้

- แผ่นอะคริลิก ล้างด้วยน้ำยาล้างจาน แล้วนำไปเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน
- แผ่นปริ้นท์ทองแดง ล้างด้วยน้ำยาล้างจาน แล้วนำไปเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน
- แผ่นซิลิกอนและกระจกสไลด์ โดยมีวิธีการล้างดังนี้
  - 1.ล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 15 นาที
  - 2.ล้างด้วยอะซีโตนเป็นเวลา 15 นาที
  - 3.ล้างด้วยเมทานอลเป็นเวลา 15 นาที
  - 4.นำไปเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน

} ในอ่าง ultrasonic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุผลที่ต้องมีการล้างพื้นผิวของวัสดุก่อนไปวัดมุมสัมผัส มีดังนี้

1. เพื่อกำจัดหรือป้องกันการมีชั้นปนเปื้อนของสารอื่นบนผิวหน้าของวัสดุที่จะทำให้เกิดการยึดติดกันน้อยลง
2. เพื่อให้โมเลกุลของหยดของเหลวกับผิวหน้าของวัสดุสัมผัสกันได้ดีมากที่สุด
3. เพื่อเพิ่มแรงตึงผิวบนพื้นผิววัสดุซึ่งจะทำให้ผลการเปียกผิวดีมากขึ้น (good wetting)

### 3.6 ส่วนที่ทำการปรับปรุงในการดำเนินงานวิจัย

#### 1. เครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติ

มีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่

1. กล้องถ่ายรูประบบดิจิทัล (digital camera) ทำหน้าที่ในการบันทึกภาพระหว่างหยดของเหลวและพื้นผิว โดยที่แท่นวางกล้องถ่ายรูปสามารถปรับเลื่อนขึ้นลงซ้ายขวาได้แหล่งกำเนิดแสง ทำหน้าที่ในการปรับความเข้มแสงสำหรับพื้นผิว เพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างหยดของเหลวและพื้นผิวได้อย่างชัดเจน



2. แหล่งจ่ายไฟ (power supply) ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับแหล่งกำเนิดแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น หากท่านใดต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากข้าพเจ้าทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

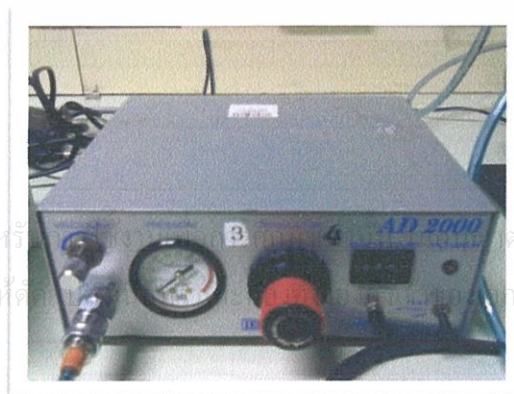
3. แหล่งกำเนิดแสง เป็นแสงขาวซึ่งสามารถปรับให้มีความสว่างมากหรือน้อยได้ โดยแหล่งจ่ายไฟ (power supply)



4. ปั๊มลม (pump) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการปล่อยลมเข้าสู่เครื่องปรับความดันลม



5. เครื่องปรับความดันลม ทำหน้าที่ในการปรับความดันลมที่ถูกละบายมาจากปั๊มลม สามารถตั้งเวลาให้เหมาะสม เพื่อทำการควบคุมระบบวาล์วให้สามารถทำการหยดน้ำออกจากหัวเข็ม ได้อัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ระบบวาล์ว จะเป็นส่วนรับลมที่มาจากเครื่องปรับความดันลม (ควบคุมการทำงานของระบบวาล์ว)



7. หม้อแปลงไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า สามารถเปลี่ยนขนาดแรงดันไฟฟ้า หรือขนาดของกระแสไฟฟ้าได้ (ในที่นี้ใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 100 V)



8. แท่นวางแผ่นพื้นผิว สามารถปรับขึ้นลง ซ้ายขวาได้

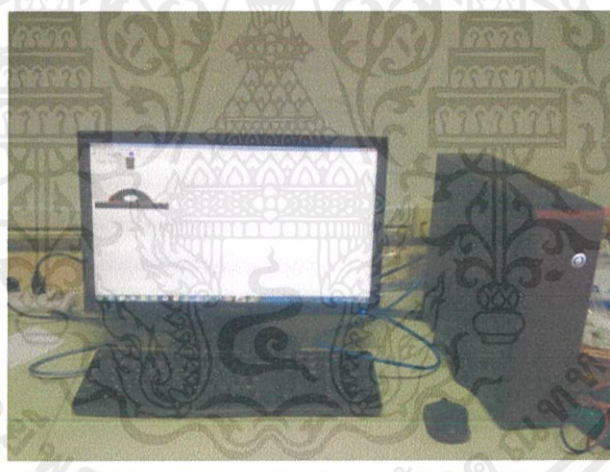


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

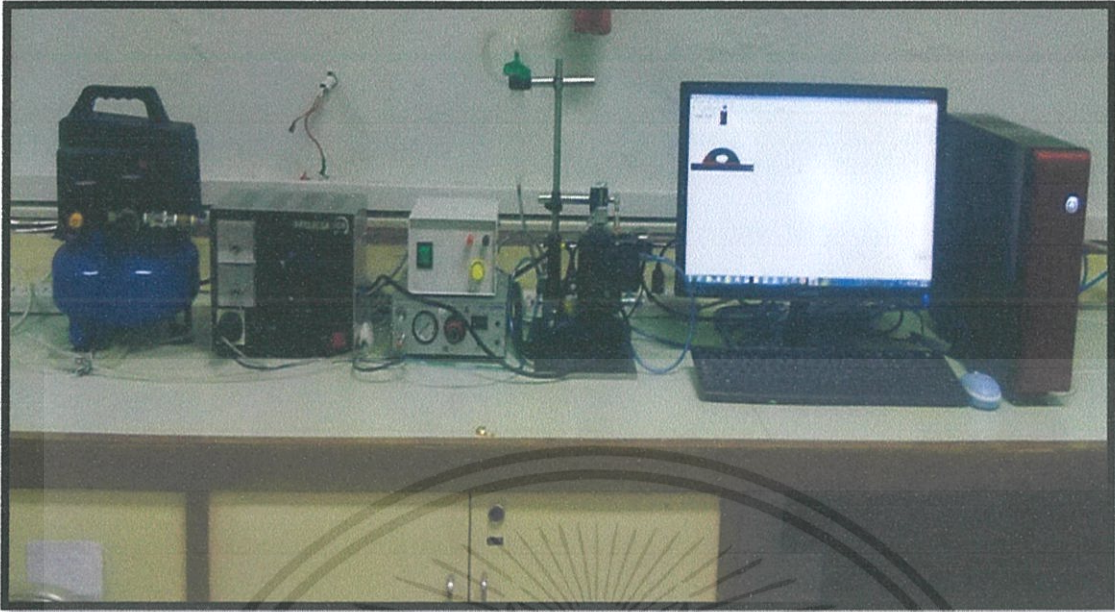
9. หลอดบรรจุสาร จะใช้ในการบรรจุสารเคมีหรือน้ำ



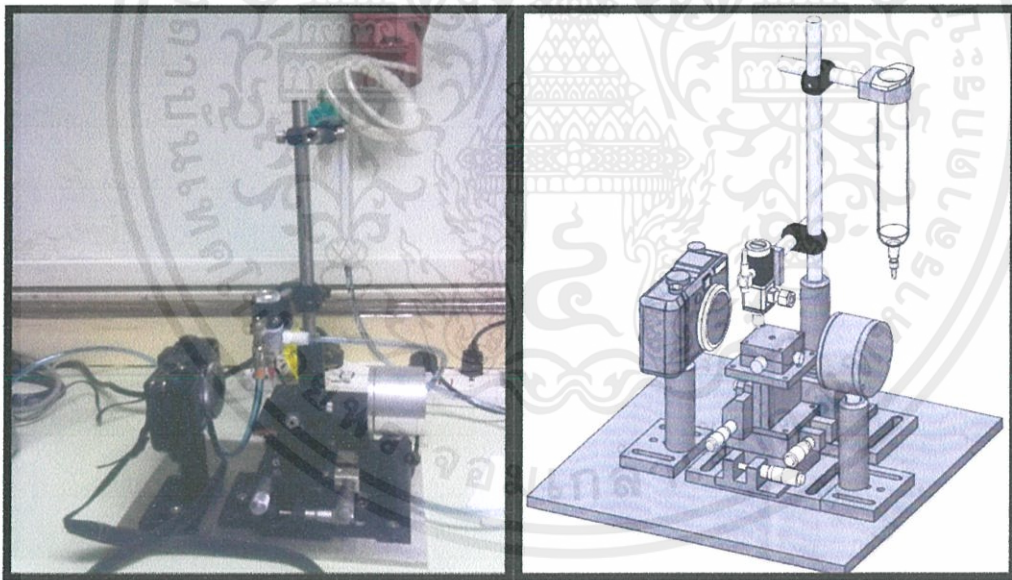
10. คอมพิวเตอร์ จะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับกล้องถ่ายรูป canon และวิเคราะห์การวัดมุมสัมผัสด้วยโปรแกรมการมุมสัมผัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายของเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติ

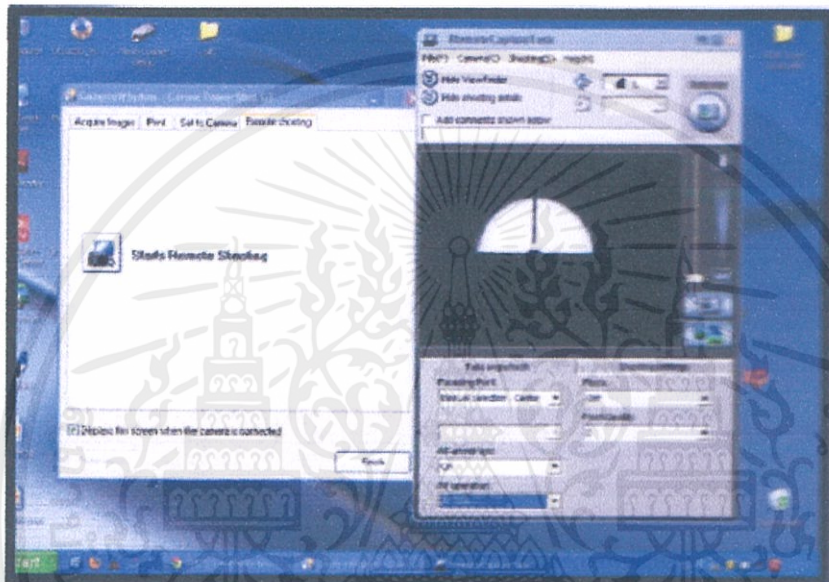


รูปที่ 3.6 ตัวเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติที่ใช้ในการทดลอง (ซ้าย) แบบจำลองระบบในส่วน  
ของตัวเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติ (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. โปรแกรมการคำนวณวัดมุมสัมผัสและวัดระยะระหว่างขอบของหยดน้ำ

เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นจากโปรแกรม visual basic 2008 ในการทดลองนี้จึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หามุมสัมผัส โดยการทำงานของโปรแกรมจะใช้วิธีการวัดแบบโปรแกรมเลือกทรงของหยดน้ำอัตโนมัติจะได้วัดได้แม่นยำกับรูปที่มีความละเอียดสูง เนื่องจากโปรแกรมจะนำตำแหน่งของ Pixel มาใช้ในการคำนวณ จากรูปที่ 3.7 เป็นรูปที่ได้จากการทดลองแล้วจะนำไปวิเคราะห์หามุมสัมผัส



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลซึ่งจะนำไปวิเคราะห์หาค่ามุมสัมผัส

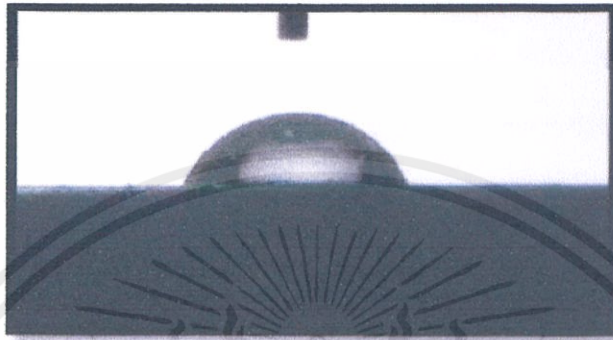
การปรับปรุงโปรแกรมวัดมุมสัมผัสสามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้

- ปรับเปลี่ยนการลากเส้นสัมผัสให้ทำการใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยการกดคลิกเมาส์ด้านซ้ายค้างไว้แล้วทำการลากเส้น (ซึ่งโปรแกรมก่อนทำการปรับปรุงจะเป็นแบบการคลิกเมาส์ 1 ครั้งแล้วปล่อย จึงจะสามารถทำการลากเส้นได้)
- ปรับเปลี่ยนการลากกรอบภาพให้ทำการใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยใช้วิธีการเดียวกับการลากเส้น
- ทำการใส่ ShortcutKeys เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน โปรแกรม (สามารถใช้ได้ทั้งเมาส์และคีย์บอร์ดในการเรียกใช้คำสั่งโปรแกรมได้)
- สามารถขยายรูปภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลงได้
- อธิบายถึงรายละเอียดฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมพร้อมทั้งวิธีการวัดมุมสัมผัส
- สามารถวัดระยะระหว่างขอบของหยดน้ำว่ามีกี่ pixel ได้
- ทำการปรับปรุงหน้าจอของโปรแกรมให้มีการใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เมื่อทำการปรับปรุงโปรแกรมแล้วขั้นตอนปฏิบัติการวัดมุมสัมผัสและวัดขนาดหยดน้ำของหยดน้ำมีดังต่อไปนี้

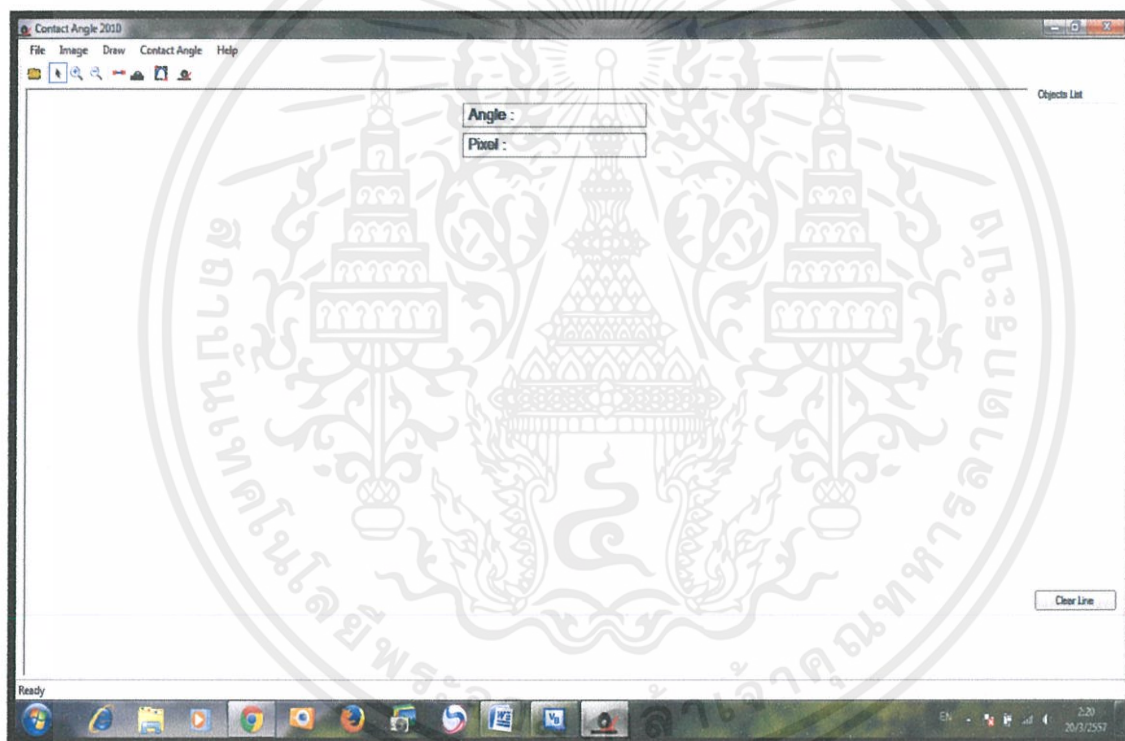
1. ทำการรันโปรแกรม
2. ทำการดาวน์โหลดไฟล์รูปภาพที่ต้องการวัดมุมสัมผัสโดยกดที่เมนู File > Open Image หรือ กดที่ไอคอน  หรือกด Ctrl+P จะได้ภาพดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายที่นำไปตัดเพื่อที่จะได้เห็นบริเวณรอยต่อที่ชัดเจน

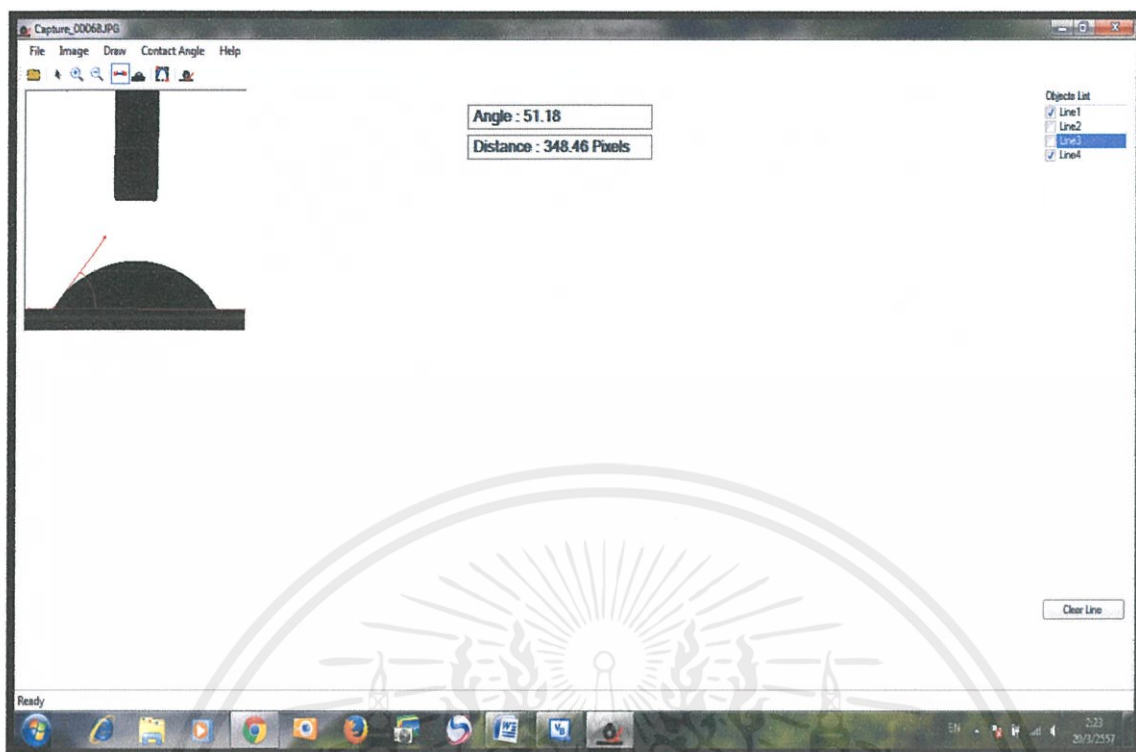
3. ก่อนการวัดมุมสัมผัสจะต้องทำการ Threshold ภาพก่อนทุกครั้ง และจะต้องป้อนค่า Threshold ให้เหมาะสมกับภาพ ซึ่งค่าที่ป้อนนั้นต้องอยู่ในช่วง 1-256 โดยเลือกที่เมนู Image > Threshold หรือกด Ctrl+T แล้วทำการป้อนค่า Threshold ลงไปใน Textbox
4. ทำการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำสามารถทำได้ 2 วิธี คือ
  - เลือกที่จะวัดมุมสัมผัสโดยการระบุตำแหน่ง (Manual Measurement) และทำการวัดระยะระหว่างขอบของหยดน้ำโดยเลือกที่เมนู Draw > Manually 2 points line หรือกดที่ไอคอน  หรือกด Ctrl+M แล้วทำการลากเส้นฐานของหยดน้ำ และเส้นสัมผัสของหยดน้ำ จากนั้นทำการการเลือกที่เมนู Contact Angle > Calculate Manual หรือกดที่ไอคอน  หรือกด Alt+M
  - เลือกที่จะวัดมุมสัมผัสและวัดระยะระหว่างขอบของหยดน้ำโดยให้โปรแกรมหาขอบของหยดน้ำให้ (Auto Detect) โดยเลือกที่เมนู Draw > Auto Detect Ellipse หรือกดที่ไอคอน  หรือกด Ctrl+A แล้วทำการลากกรอบให้ครอบคลุมด้านที่ต้องการวัด จากนั้นจะมีหน้าต่าง SideSelection ขึ้นมาให้เลือกว่าต้องการวัดขอบของหยดน้ำในด้านใด จากนั้นทำการการเลือกที่เมนู Contact Angle > Calculate Auto หรือกดที่ไอคอน  หรือกด Alt+A
5. ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจะแสดงค่าใน  ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
6. ค่าระยะระหว่างขอบของหยดน้ำจะแสดงค่าใน  ไม่ว่าจะวัดจากข้างบน อีกทั้งยังมีให้คัดลอกข้อมูล และต้องคัดลอกข้อมูลทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
7. หากต้องการลบฟังก์ชันการทำงานที่กระทำบนภาพอยู่ ให้ไปที่เมนู File > Clear Line

- หรือกดปุ่ม Clear Line หรือกด F3
8. หากต้องการให้ภาพกลับไปเป็นดังภาพเริ่มต้นที่ทำการดาวน์โหลดมา ให้เลือกเมนู Image > Original Image หรือกด Ctrl+O
  9. ถ้าต้องการออกจากโปรแกรม เลือกที่เมนู File > Exit Program หรือกดปุ่ม  หรือกด F5
  10. หากต้องการขยายรูปภาพให้ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลงจากภาพดั้งเดิมทำได้โดย
    - ไปที่เมนู Image > Zoom In หรือกดที่ไอคอน  หรือกด F10
    - ไปที่เมนู Image > Zoom Out หรือกดที่ไอคอน  หรือกด F11
  11. หากต้องการรู้ถึงการใช้งานของโปรแกรมไปที่เมนู Help > About Program หรือกด Shift+Del

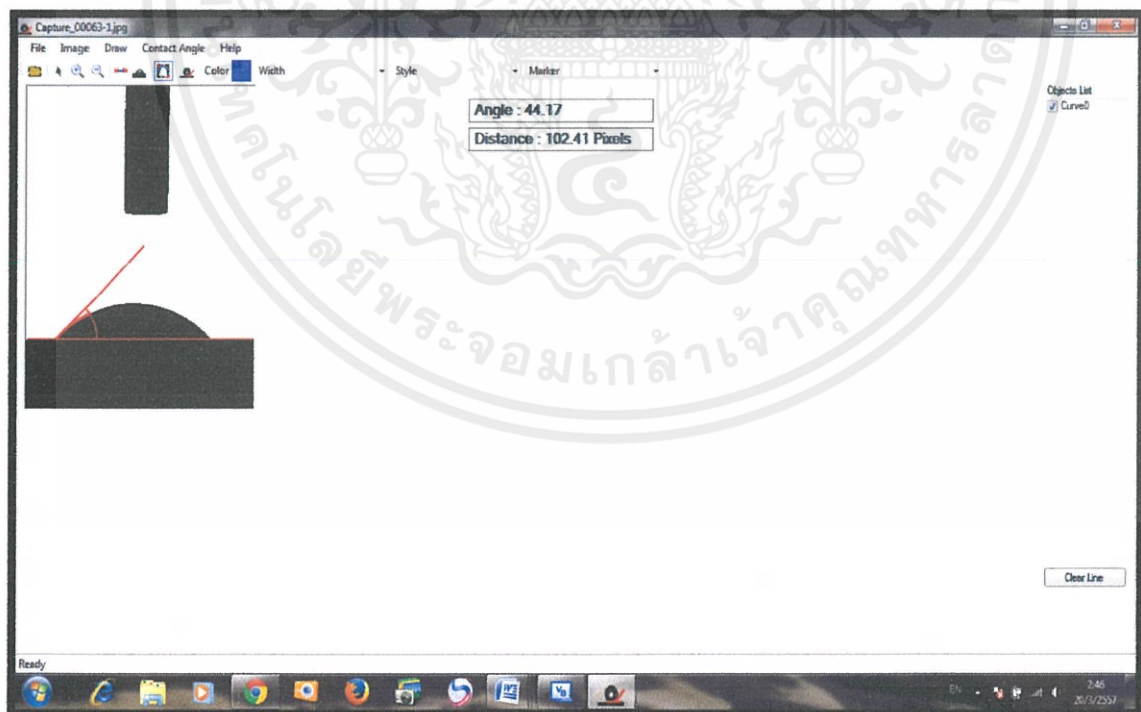


รูปที่ 3.9 หน้าจอการแสดงผลของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

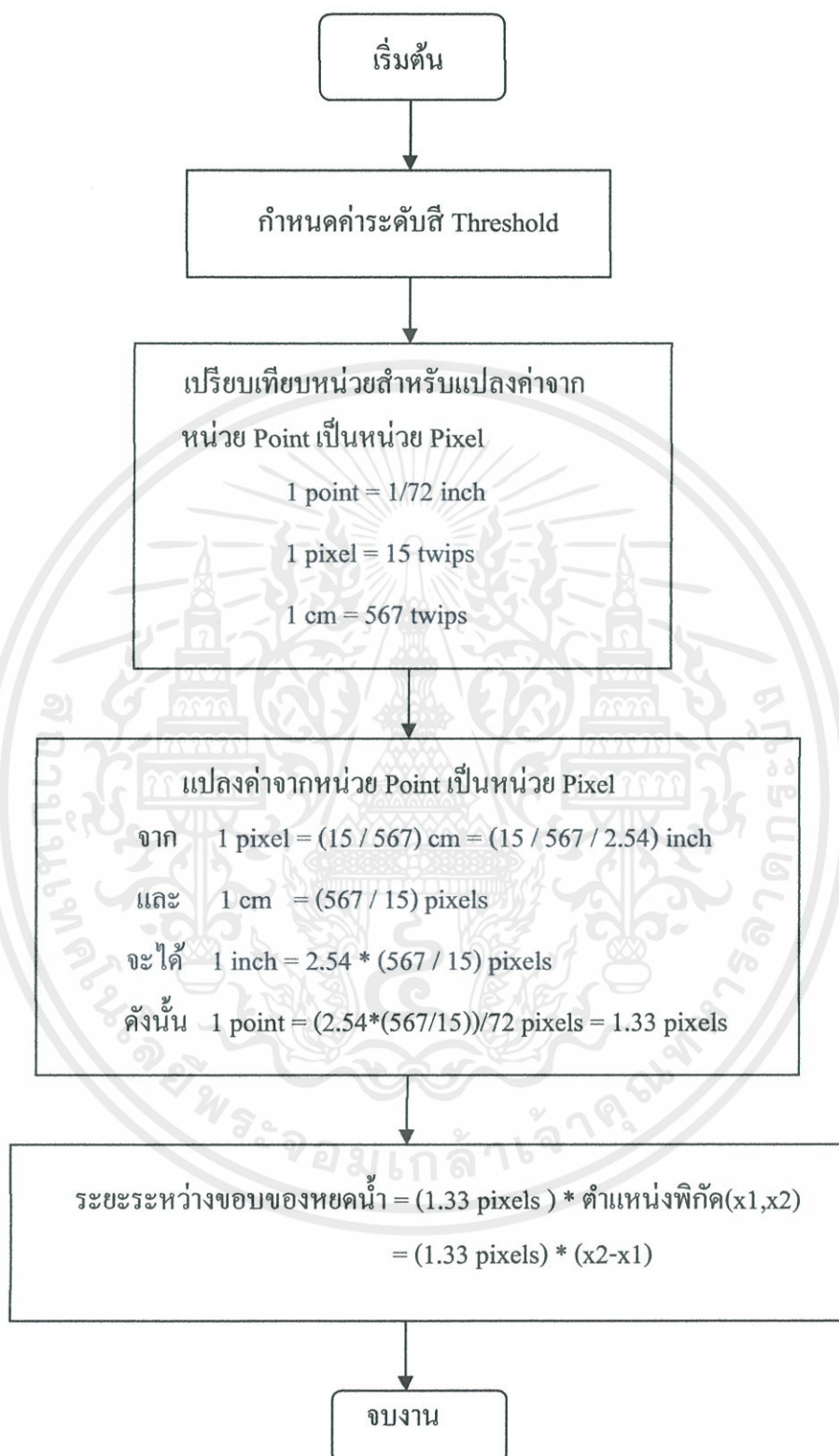


รูปที่ 3.10 การหาค่ามุมสัมผัสและระยะระหว่างขอบของหยดน้ำโดยใช้ระบบ Manual



รูปที่ 3.11 การหาค่ามุมสัมผัสและระยะระหว่างขอบของหยดน้ำโดยใช้ระบบ Auto

โพลซาร์ทการคำนวณหาค่าระยะระหว่างขอบของหยดน้ำในหน่วยของ pixel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.12 โพลซาร์ทการคำนวณหาค่าระยะระหว่างขอบของหยดน้ำในหน่วยของ pixel  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหลังและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

### 3.7 การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการวัดมุมสัมพัทธ์โดยใช้ Taguchi methods

จะทำการศึกษาโดยใช้ตัวแปร 3 ตัวแปรในการทดลอง และทำการกำหนดค่าของตัวแปรที่ต้องการศึกษาได้ดังตารางที่ 3.1 เนื่องจากตัวแปรที่ต้องการศึกษามี 3 ตัวแปร จึงสามารถเลือกใช้ Orthogonal Array L9 โดยสามารถจัด Orthogonal Array ได้ดังตารางที่ 3.2 (ใช้พื้นผิวชดิกอนในการวัดค่ามุมสัมพัทธ์)

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรในการทดลอง

ตัวแปร	ค่าที่ศึกษา
ป้่มลม (kPa)	4,5,6
เครื่องปรับความดันลม (MPa)	0.33,0,36,0,39
เวลาในการหยดน้ำ (s)	0.1,0.2,0.3

ตารางที่ 3.2 การกำหนด Orthogonal Array

การทดลอง	ป้่มลม (kPa)	เครื่องปรับความดันลม (MPa)	เวลาในการหยดน้ำ (sec)	ค่ามุมสัมพัทธ์เฉลี่ย (องศา)			
				ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	4	0.33	0.1	51.71	53.53	58.67	54.63
2	4	0.36	0.2	61.59	62.87	58.37	60.95
3	4	0.39	0.3	57.60	55.07	56.14	56.27
4	5	0.33	0.2	59.57	57.57	57.36	58.16
5	5	0.36	0.3	56.77	54.90	64.00	58.56
6	5	0.39	0.1	67.74	65.05	66.56	66.45
7	6	0.33	0.3	61.83	61.97	61.03	61.61
8	6	0.36	0.1	59.75	61.57	60.61	60.64
9	6	0.39	0.2	59.66	62.74	61.42	61.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 วิธีการทดลอง

โดยทำการวัดมุมสัมผัสระหว่างแผ่นพื้นผิวกับหยดสารละลาย โดยที่ใช้เครื่อง Contact Angle แบบอัตโนมัติที่สร้างระบบขึ้นมา

วิธีการเซตเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติ

1. เปิดปั๊มลมพร้อมทั้งปรับความดันลม (ปรับที่ปุ่ม REGULATOR) โดยให้อยู่ที่ค่าประมาณ 5 kPa ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งฟังก์ชันการทำงานต่างๆของเครื่องปั๊มลม

2. เปิดเครื่องปรับความดันลม (Pressure) พร้อมทั้งปรับความดันลมที่ปุ่ม REGULATOR ให้อยู่ที่ค่าในช่วง 0.3 – 0.4 MPa (ถ้าปรับมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้มีผลกับการหยดของหยดน้ำ)
3. ปรับเวลาให้อยู่ที่ 0.1 s เพื่อให้หยดน้ำมีขนาดที่พอดีกับการวัดมุมสัมผัสและเป็นการตั้งเวลาการหยดของหยดน้ำ ทำให้หยดน้ำไม่หยดลงบนพื้นผิวในทันทีทันใด (ถ้าหยดน้ำหยดลงในทันทีนั้น จะทำให้รูปทรงของหยดน้ำนั้นแบนเกินไป ซึ่งไม่เหมาะแก่การวัดมุมสัมผัส ดังนั้นผู้ทำการทดลองจะทำการเลื่อนตำแหน่งให้หัวเข็มลงไปสัมผัสกับที่พื้นผิวทดสอบเอง) พร้อมทั้งทำการเลือกฟังก์ชันการทำงาน ซึ่งจะมี 3 ระดับคือ OFF,STEADY,TIMED โดยจะทำการเลือกฟังก์ชันการทำงานของ TIMED
4. กดปุ่ม SHOT (กดแล้วปล่อยทันที) ซึ่งทำให้เครื่องปรับความดันลมไปควบคุมระบบวาล์วให้ทำการหยดน้ำอย่างอัตโนมัติ ดังแสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ของเครื่องปรับความดันลม

5. การตั้งกล้องควรตั้งให้อยู่ในระนาบที่ขนานกับแท่นวางแผ่นพื้นผิวอย่างพอดี เพื่อให้การถ่ายภาพของหยดน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
6. การปรับความเข้มของแสงควรปรับให้มีความสว่าง เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพหยดน้ำเวลาที่ทำการบันทึกภาพ

#### วิธีการวัดมุมสัมผัสและขนาดของหยดน้ำบนแผ่นทดสอบ

1. นำแผ่นพื้นผิวที่จะนำมาทดสอบที่ผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาดแล้ววางบนแท่นวางแผ่นทดสอบ ให้ได้ตำแหน่งตามต้องการ
2. หยดสารละลายลงในบรรจุในหลอดบรรจุสารลงบนพื้นผิวแผ่นทดสอบ โดยทำให้หยดน้ำมีขนาดเล็กที่สุด จะทำการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ของหยดน้ำต่างกัน 3 ตำแหน่ง ที่ระนาบเดียวกัน ดังภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.15 ภาพหยดน้ำที่ระนาบเดียวกัน 3 ตำแหน่ง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. บันทึกภาพโดยโปรแกรมบันทึกภาพจากโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีสาย USB เชื่อมต่ออยู่ระหว่างคอมพิวเตอร์กับกล้องถ่ายภาพระบบดิจิทัลหลังจากหยคน้ำลงไปบนพื้นผิวที่ได้เตรียมไว้
4. นำภาพที่ได้ไปตัดแต่งเพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนระหว่างหยคน้ำกับพื้นผิว
5. นำภาพที่ได้วิเคราะห์หามุมสัมผัสด้วยโปรแกรมวัดมุมสัมผัส
6. นำภาพไปวิเคราะห์หาขนาดของหยคน้ำด้วยโปรแกรมวัดมุมสัมผัสที่ได้ทำการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมในส่วนของการวัดขนาดของหยคน้ำเอาไว้
7. ทำการเปรียบเทียบถึงพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบในการทดลองมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการทดสอบวัดค่ามุมสัมผัสของหยดของเหลวลงบนแผ่นพื้นผิว

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นว่าสำหรับลักษณะรูปทรงของหยดของเหลวบนแผ่นพื้นผิวนั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะความเรียบหรือความขรุขระของพื้นผิว ซึ่งค่ามุมสัมผัสนี้จะบ่งบอกถึงคุณสมบัติของพื้นผิวด้วยว่ามีความสะอาดมากน้อยเพียงใด หากหยดน้ำนั้นมีลักษณะที่เป็นหยดอย่างชัดเจน แสดงว่าพื้นผิวที่ใช้ในการทดสอบนั้นเป็นพื้นผิวที่มีสมบัติความเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) แต่ถ้าหยดน้ำมีลักษณะที่แบนเรียบหรือไม่ชัดเจน แสดงว่าพื้นผิวที่ใช้ในการทดสอบนั้นเป็นพื้นผิวที่มีคุณสมบัติความเป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) จึงได้ทำการหยดของเหลวลงบนพื้นผิวในแต่ละชนิดและทำการวัดมุมสัมผัสด้วยโปรแกรมการวัดมุมสัมผัส ซึ่งแสดงผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.1-4.18

ตารางที่ 4.1 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นซิลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมผัส (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	50.06	50.59	50.33
2	52.27	50.99	51.63
3	53.99	52.42	53.21
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 51.72			

ตารางที่ 4.2 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นซิลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมผัส (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	51.18	52.29	51.74
2	52.24	50.56	51.40
3	51.73	50.59	51.16
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 51.43			

ตารางที่ 4.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	54.99	52.38	53.69
2	54.81	53.43	54.12
3	55.77	54.36	55.07
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 54.29			

ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอนทั้ง 3 ตำแหน่ง = 52.48 องศา

ตารางที่ 4.4 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นปริ้นท์ทองแดง ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	68.00	66.98	67.49
2	69.18	68.32	68.75
3	68.38	70.11	69.25
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 68.50			

ตารางที่ 4.5 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นปริ้นท์ทองแดง ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	67.65	69.70	68.68
2	69.15	70.23	69.69
3	70.24	69.04	69.64
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 69.34			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นปริ้นท์ทองแดง ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมผัส (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	69.34	66.39	67.87
2	70.01	68.63	69.32
3	70.89	69.03	69.96
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 69.05			

ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมผัสของแผ่นปริ้นท์ทองแดงทั้ง 3 ตำแหน่ง = 68.96 องศา

ตารางที่ 4.7 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นอะคริลิกสีขาวขุ่น ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมผัส (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	69.19	71.37	70.28
2	71.33	73.03	72.18
3	73.19	73.63	73.41
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 71.96			

ตารางที่ 4.8 ค่ามุมสัมผัสของแผ่นอะคริลิกสีขาวขุ่น ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมผัส (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	74.99	72.56	73.78
2	74.56	74.18	74.37
3	75.33	75.11	75.22
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 74.46			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีขาวรุ่น ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	64.62	65.07	64.85
2	66.59	68.63	67.61
3	68.89	70.24	69.57
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 67.34			

ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีขาวรุ่นทั้ง 3 ตำแหน่ง = 71.25 องศา

ตารางที่ 4.10 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (จีน) ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	43.67	41.24	42.46
2	42.89	40.80	41.85
3	44.05	41.77	42.91
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 42.40			

ตารางที่ 4.11 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (จีน) ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	39.60	38.37	38.99
2	37.70	39.74	38.72
3	38.60	39.63	39.12
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 38.94			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (จีน) ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	32.43	31.60	32.02
2	34.45	34.25	34.35
3	35.89	35.95	35.92
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 34.10			

ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (จีน) ทั้ง 3 ตำแหน่ง = 38.48 องศา

ตารางที่ 4.13 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (เยอรมัน) ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	38.49	40.55	39.52
2	40.65	42.47	41.56
3	41.43	43.39	42.41
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 41.16			

ตารางที่ 4.14 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (เยอรมัน) ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	38.90	39.08	38.99
2	36.69	38.95	37.82
3	38.67	38.77	38.72
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 38.51			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (เยอรมัน) ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	32.11	32.02	32.07
2	32.19	31.24	31.72
3	32.94	30.97	31.96
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 31.91			

ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นกระจกสไลด์ (เยอรมัน) ทั้ง 3 ตำแหน่ง = 37.19 องศา

ตารางที่ 4.16 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีขาวใส ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	65.97	65.28	65.63
2	67.24	66.92	67.08
3	67.95	65.79	66.87
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 66.53			

ตารางที่ 4.17 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีขาวใส ณ ตำแหน่งที่ 2

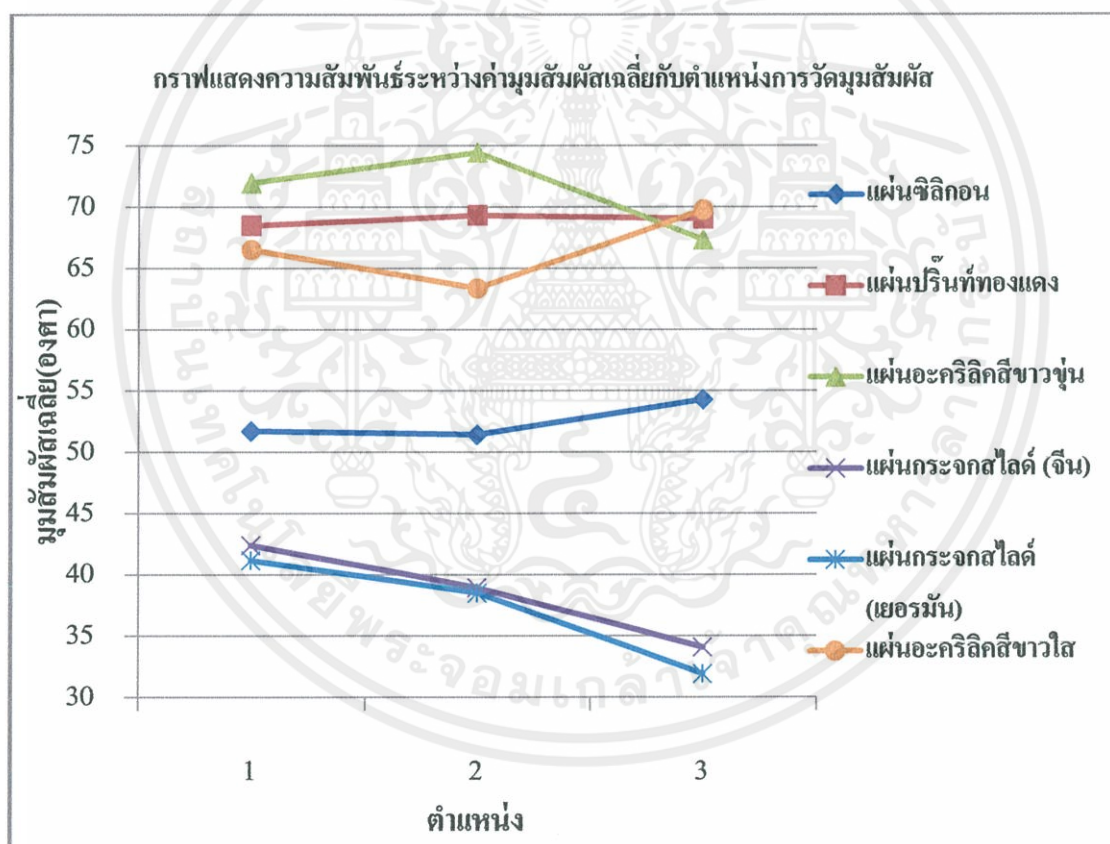
ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	63.01	63.52	63.27
2	63.62	63.62	63.62
3	63.23	63.27	63.25
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 63.38			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีขาวใส ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	67.65	70.63	69.14
2	68.46	70.11	69.59
3	69.84	71.37	70.61
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 69.78			

ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นอะคริลิกสีขาวใสทั้ง 3 ตำแหน่ง = 66.56 องศา



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมพัทธ์เฉลี่ยกับตำแหน่งการวัดมุมสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

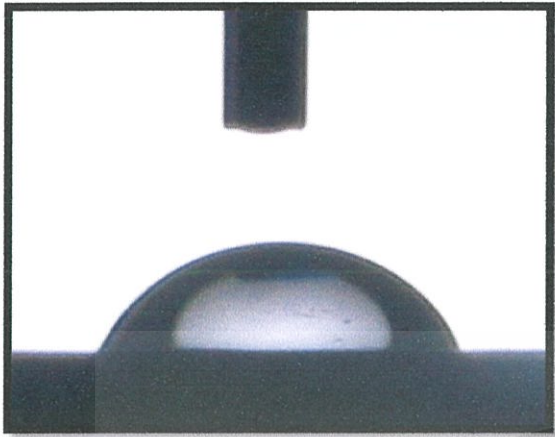
จากตารางที่ 4.1-4.18 และจากความสัมพันธ์ของกราฟจะพบว่ามุมสัมผัสเฉลี่ยของหยดน้ำปอดประจุที่หยดลงบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ นั้นมีค่าของมุมสัมผัสที่แตกต่างกันรวมถึงลักษณะของหยดน้ำซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติการเกาะติดระหว่างหยดน้ำปอดประจุกับพื้นผิวในแต่ละชนิดที่มีโครงสร้างที่แตกต่างกันทำให้ขนาดของมุมที่วัดได้นั้นมีขนาดที่แตกต่างกัน และขนาดของมุมสัมผัสนี้ยังบ่งบอกได้ถึงความสะดวกของพื้นผิวได้ด้วย ยิ่งค่ามุมสัมผัสน้อยแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวนั้นมีความสะดวกมาก จากตารางจะพบได้ว่าพื้นผิวของมุมสัมผัสของหยดน้ำปอดประจุบนพื้นผิวทุกชนิดที่ได้นำมาทดสอบนั้นมีความสะดวกของพื้นผิวอยู่ในระดับที่ดีมาก เนื่องจากการกระจายตัวหรือภาวะการเปียก (wetting) ของพื้นผิวอยู่ในระดับที่ดีมากซึ่งพบได้จากค่ามุมสัมผัสที่มีค่าน้อยกว่า 90 องศา แสดงได้ว่าพื้นผิวที่นำมาทดสอบนั้นมีสมบัติเป็น Hydrophilic และจากการเปรียบเทียบจะพบว่าแผ่นกระจกสไลด์ (เยอรมัน) มีความสะดวกมากที่สุดและแผ่นอะคริลิกสีขาวขุ่นนั้นมีความสะดวกน้อยที่สุด นอกจากนี้ค่ามุมสัมผัสยังบ่งบอกได้ถึงความสัมพันธ์กับพลังงานของแผ่นพื้นผิวที่นำมาทดสอบ ซึ่งค่ามุมสัมผัสน้อยๆจะบอกได้ว่าพื้นผิวนั้นมีสมบัติการยึดเกาะของหยดน้ำที่สูงและพื้นผิวที่นำมาทดสอบนั้นมีค่าพลังงานพื้นผิวที่สูงด้วย แสดงได้ดังรูปที่ 4.2



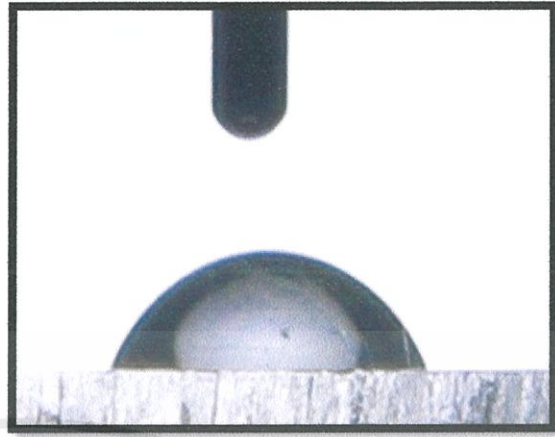
พื้นผิวซิลิกอน

พื้นผิวแผ่นปริ้นท์ทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



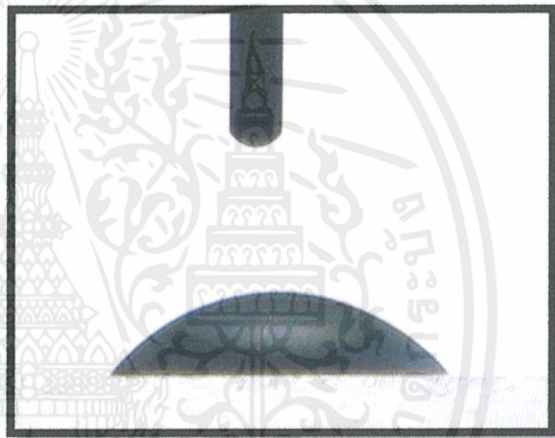
พื้นผิวอะคริลิกสีขาวขุ่น



พื้นผิวอะคริลิกสีขาวใส



พื้นผิวกระจกสไลด์ (จีน)



พื้นผิวกระจกสไลด์ (เยอรมัน)

รูปที่ 4.2 ลักษณะหยดของน้ำปอดประจุนพื้นผิวทดสอบชนิดต่างๆ

#### 4.2 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการวัดมุมสัมผัสโดยใช้ Taguchi methods แบบ 3 ตัวแปร

จากการออกแบบการทดลองในตารางที่ 3.2 ซึ่งใช้พื้นผิวซิลิกอนเป็นตัวทดสอบ ทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยจากการวัด 3 ตำแหน่ง ซึ่งค่าที่ได้จากการวัดมุมสัมผัสในตำแหน่งที่ 1-3 นั้นจะสามารถนำมาคำนวณหาค่า SN ได้จากสมการที่ 2.1 ผลที่ได้เป็นไปดังตารางที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ค่า SN ที่ได้จากการทดลองวัดมุมสัมผัส

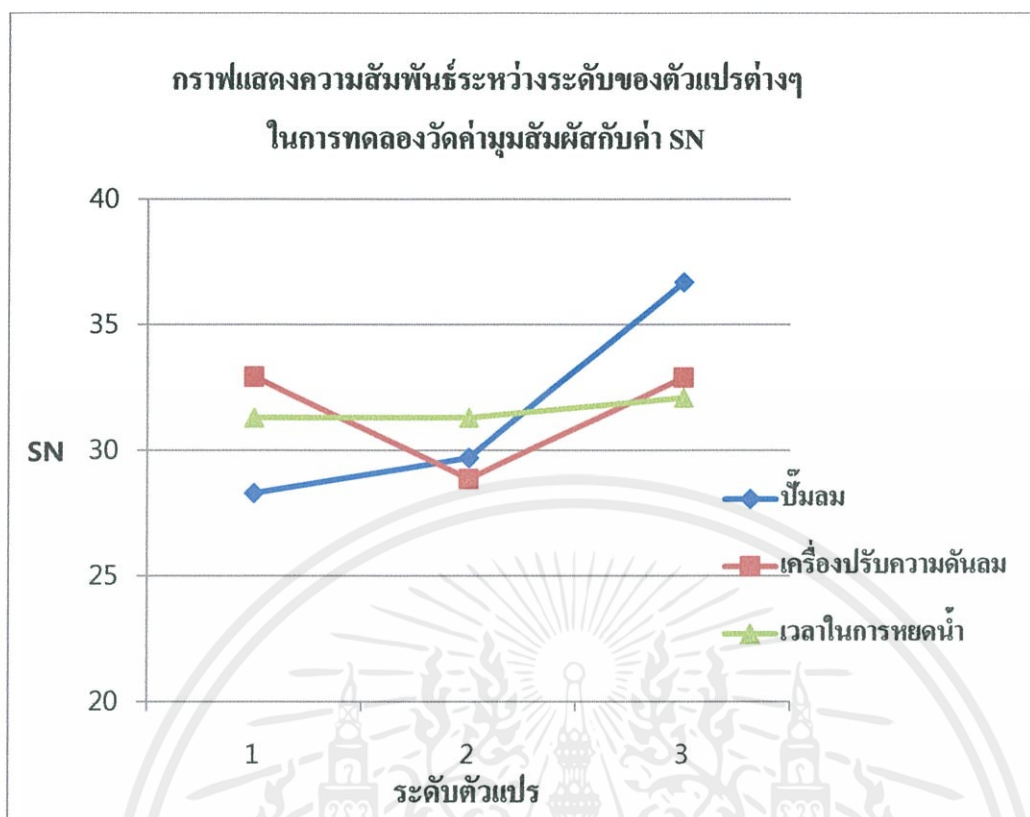
การทดลอง	ปี้มลม (kPa)	เครื่องปรับความดันลม (MPa)	เวลาในการหยดน้ำ (sec)	ค่ามุมสัมผัส (องศา)			SN
				ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	
1	4	0.33	0.1	51.71	53.53	58.67	23.59
2	4	0.36	0.2	61.59	62.87	58.37	28.39
3	4	0.39	0.3	57.60	55.07	56.14	32.92
4	5	0.33	0.2	59.57	57.57	57.36	33.56
5	5	0.36	0.3	56.77	54.90	64.00	21.71
6	5	0.39	0.1	67.74	65.05	66.56	33.83
7	6	0.33	0.3	61.83	61.97	61.03	41.64
8	6	0.36	0.1	59.75	61.57	60.61	36.49
9	6	0.39	0.2	59.66	62.74	61.42	31.95

เมื่อได้ค่า SN มาแล้วจึงนำไปคำนวณหาตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อการทดลองในการวัดมุมสัมผัสมากที่สุดตามสัมภาระที่ 2.2 ซึ่งจะ ได้ผลการทดลองเป็น ไปดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดในการทดลองวัดมุมสัมผัส

ระดับ	ปี้มลม	เครื่องปรับความดันลม	เวลาในการหยดน้ำ
1	28.30	32.93	31.30
2	29.70	28.86	31.30
3	36.69	32.90	32.09
max-min	8.39	4.07	0.79
ลำดับ	1	2	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของตัวแปรต่างๆในการทดลองวัดค่ามุมสัมพันธ์กับค่า SN

จากผลการทดลองที่ได้จะพบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลในการทดลองวัดมุมสัมพันธ์มากที่สุดนั้นคือบั้มลม ตัวแปรที่มีอิทธิพลรองลงมาคือเครื่องปรับความดันลมและตัวแปรที่มีอิทธิพลน้อยที่สุดคือเวลาที่ใช้ในการหยดน้ำ ซึ่งการหาตัวแปรที่มีอิทธิพลในการทดลองจะทำให้ทราบถึงตัวแปรใดที่จะส่งผลกระทบต่อผลการทดลองมากที่สุดเพื่อที่สามารถนำไปปรับปรุงทำการปรับค่าให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการการทดลองวัดมุมสัมพันธ์ของหยดน้ำที่ได้ค่าอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาทดลองมีการดำเนินการเกี่ยวกับการวัดมุมสัมผัสของหยดของเหลวบนพื้นผิวของซิลิกอน อะคริลิกสีขาวขุ่น อะคริลิกสีขาวใส แผ่นปรีนทิงทองแดง และกระจกสไลด์ เพื่อศึกษาถึงสมบัติของพื้นผิวที่นำมาทดสอบ โดยพัฒนาเครื่องวัดมุมสัมผัสให้มีระบบการหยดของเหลวแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะต้องทำการออกแบบตัวเครื่องวัดมุมสัมผัสและทำการเซตระบบเครื่องมือเพื่อให้ระบบสามารถทำการหยดของเหลวลงบนพื้นผิวได้โดยที่ขนาดของหยดน้ำมีขนาดที่เหมาะสม ไม่ใหญ่หรือเล็กจนเกินไป เพื่อที่สามารถนำไปทดลองหาค่ามุมสัมผัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการวัดมุมสัมผัสจะใช้โปรแกรมวัดมุมสัมผัสที่ถ่ายออกมาได้จากตัวกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ซึ่งเมื่อทำการหาค่ามุมสัมผัสได้แล้วนั้นจะทำการหาค่าตัวแปรของการทดลองที่มีผลกระทบสำหรับการทดลองหาค่ามุมสัมผัสมากที่สุดโดยใช้วิธีการ Taguchi methods เพื่อทำการหาตัวแปรที่มีผลกระทบสูงสุดสำหรับการทดลองวัดมุมสัมผัส ซึ่งได้ข้อสรุปเป็นดังนี้

1. สมบัติของพื้นผิวที่นำมาทดสอบนั้นมีความสะอาดของพื้นผิวอยู่ในระดับที่ดีมาก เนื่องจากการกระจายตัวหรือภาวะการเปียก (wetting) ของพื้นผิวอยู่ในระดับที่ดีมากและมีการยึดเกาะของหยดน้ำกับพื้นผิวที่สูง ซึ่งพบได้จากค่ามุมสัมผัสที่มีค่าน้อยกว่า 90 องศา แสดงได้ว่าพื้นผิวที่นำมาทดสอบนั้นมีสมบัติเป็น Hydrophilic ซึ่งจากการเปรียบเทียบจะพบว่าแผ่นกระจกสไลด์ (เยอรมัน) มีความสะอาดมากที่สุดและแผ่นอะคริลิกสีขาวขุ่นนั้นมีความสะอาดน้อยที่สุด
2. ค่ามุมสัมผัสที่ได้จากการทดลองสามารถบ่งบอกได้ถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทดลองซึ่งสามารถทำการหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทดลองสูงสุดได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีการของ Taguchi methods ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทดลองมากที่สุดคือปริมาณ
3. ข้อดีของเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติคือทำให้สามารถทำการทดลองได้อย่างรวดเร็ว ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพ เพราะเมื่อทำการเซตระบบแล้วจะสามารถทำการทดลองได้ตลอดจนจบการทดลอง และสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดของหยดน้ำตามที่ต้องการได้
4. ข้อเสียของเครื่องวัดมุมสัมผัสแบบอัตโนมัติคือสามารถทดลองได้กับของเหลวเพียงชนิดเดียวคือน้ำปอดประจุ (DI-water) เพราะถ้าทำการทดลองกับของเหลวชนิดอื่นแล้วอาจทำให้ระบบเกิดความเสียหายได้ เพราะสารเคมีบางชนิดจะไปกัดกร่อนพลาสติกที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องวัดมุมสัมผัส หรืออาจจะปนเปื้อนกับตัวเครื่องวัดมุมสัมผัสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการขออนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

สารเคมีแต่ละชนิดนั้นมีความยุ่งยากและทำในหลายกระบวนการ ถ้าไม่ระมัดระวังอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อตัวระบบวิศวกรรมได้

## 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะพบว่า ค่ามุมสัมผัสที่เราวัดได้แล้วนำมาหาสมบัติของพื้นผิว รวมถึงการคำนวณหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทดลองนั้นจะกระทำอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นของอากาศ การทำความสะอาดพื้นผิวและการเก็บรักษาพื้นผิวสำหรับการทดลอง โดยเงื่อนไขเหล่านี้อาจทำให้ผลของการทดลองนั้นมีความคลาดเคลื่อนไป

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรล้างทำความสะอาดพื้นผิวที่นำมาทดสอบอย่างระมัดระวังและเป็นไปตามขั้นตอนอย่างรอบคอบ
- ควรเลือกใช้พื้นผิวทดสอบหลากหลายประเภทเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบสมบัติของพื้นผิว
- ควรใช้สารเคมีสำหรับการทดลองให้หลากหลายมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. “Contact angle” [Online].Available :  
<http://www.kruss.de/en/theory/measurements/contact-angle/contact-angle.html>
2. “Surface and Interfacial Tension.” [Online].Available :  
[http://www.ksvinc.com/surface\\_tension1.htm.2005](http://www.ksvinc.com/surface_tension1.htm.2005)
3. “Contact angle” [Online].Available : <http://www.remehart.com/contactangle.htm>
4. “Taguchi Method” [Online].Available :  
[https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php/Design\\_of\\_experiments\\_via\\_taguchi\\_methods:\\_orthogonal\\_arrays](https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php/Design_of_experiments_via_taguchi_methods:_orthogonal_arrays)
5. “Taguchi Method” [Online].Available :  
<http://www.pe.kmutnb.ac.th/book/data/1-2555%20C7.pdf>
6. “get pixel” [Online].Available :  
<http://stackoverflow.com/questions/4610970/vb-net-picture-getpixel-setpixel-include-alpha>
7. Edward M.Petrie .2007. “Determining Critical Surface Tension of Solid Substrates”Specialchem.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

การทดลองหาค่ามุมสัมพัทธ์เฉลี่ย 3 ครั้ง

ต่อ 1 ตำแหน่งของการทดลองวิธี Taguchi

และตัวอย่างในการหาค่า SN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีกก่อนจากการวัดครั้งที่ 1

ตารางที่ 1.1 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีกก่อน ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	48.98	51.81	50.40
2	52.23	53.36	52.80
3	51.44	52.41	51.93
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 51.71			

ตารางที่ 1.2 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีกก่อน ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	53.87	55.54	54.71
2	52.42	54.23	53.33
3	53.21	51.92	52.57
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 53.53			

ตารางที่ 1.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีกก่อน ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	56.70	59.91	58.31
2	57.71	59.59	58.65
3	58.00	60.11	59.06
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 58.67			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้ใช้และผู้รับใช้ข้อมูลเหล่านี้ และผู้ส่งข้อมูลดังกล่าวออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีกก่อนทั้ง 3 ตำแหน่ง = 54.63 องศา

## ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอนจากการวัดครั้งที่ 2

ตารางที่ 2.1 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	62.34	63.64	62.99
2	62.03	60.16	61.10
3	60.36	61.03	60.70
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 61.59			

ตารางที่ 2.2 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	60.09	62.62	61.36
2	63.74	62.75	63.25
3	64.18	63.85	64.02
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 62.87			

ตารางที่ 2.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	56.99	57.97	57.48
2	57.85	59.39	58.62
3	58.13	59.90	59.02
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 58.37			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าการตีพิมพ์หรือการอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอนทั้ง 3 ตำแหน่ง = 60.95 องศา**

### ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอนจากการวัดครั้งที่ 3

ตารางที่ 3.1 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	57.72	56.27	57.00
2	59.03	57.86	58.45
3	57.94	56.77	57.36
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 57.60			

ตารางที่ 3.2 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	55.51	54.68	55.10
2	55.72	56.01	55.87
3	54.19	54.28	54.24
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 55.07			

ตารางที่ 3.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอน ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	58.63	57.33	57.98
2	57.09	54.44	55.77
3	55.88	53.49	54.69
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 56.14			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการถือลิขสิทธิ์หรือสิ่งอื่นใดในเอกสารฉบับนี้ จะเผยแพร่หรือดัดแปลงเอกสารฉบับนี้ออกมาเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซีลิกอนทั้ง 3 ตำแหน่ง = 56.27 องศา

## ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิกอนจากการวัดครั้งที่ 4

ตารางที่ 4.1 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิกอน ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	59.42	57.80	58.61
2	60.80	58.61	59.71
3	60.79	59.98	60.39
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 59.57			

ตารางที่ 4.2 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิกอน ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	57.29	56.89	57.09
2	57.53	57.72	57.63
3	57.93	58.03	57.98
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 57.57			

ตารางที่ 4.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิกอน ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	57.90	58.23	58.07
2	57.48	56.69	57.09
3	56.12	57.72	56.92
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 57.36			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานและข้อมูลอ้างอิงอื่นที่นอกเหนือจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิกอนทั้ง 3 ตำแหน่ง = 58.16 องศา

## ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิกอนจากการวัดครั้งที่ 5

ตารางที่ 5.1 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิกอน ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	58.63	57.78	58.21
2	57.11	55.87	56.49
3	56.57	54.66	55.62
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 56.77			

ตารางที่ 5.2 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิกอน ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	53.80	52.78	53.29
2	55.70	56.97	56.34
3	56.53	53.62	55.08
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 54.90			

ตารางที่ 5.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิกอน ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	64.62	62.33	63.48
2	65.54	63.58	64.56
3	64.59	63.31	63.95
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 64.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ผู้ใช้และผู้เผยแพร่เอกสารนี้จะต้องรับผิดชอบต่อการนำเอกสารนี้ไปใช้

ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิกอนทั้ง 3 ตำแหน่ง = 58.56 องศา

## ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซลิคอนจากการวัดครั้งที่ 6

ตารางที่ 6.1 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซลิคอน ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	66.05	66.42	66.24
2	69.55	68.14	68.85
3	68.40	67.90	68.15
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 67.74			

ตารางที่ 6.2 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซลิคอน ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	61.85	62.59	62.22
2	64.35	66.85	65.60
3	67.48	67.15	67.32
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 65.05			

ตารางที่ 6.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซลิคอน ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	62.86	65.97	64.42
2	67.00	67.93	67.47
3	68.01	67.59	67.80
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 66.56			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานเอกสารฉบับนี้ และผู้จัดทำเอกสารไม่รับผิดชอบต่อการใช้งานเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซลิคอนทั้ง 3 ตำแหน่ง = 66.45 องศา**

## ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิติคอนจากการวัดครั้งที่ 7

ตารางที่ 7.1 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิติคอน ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	59.19	62.50	60.85
2	61.35	62.66	62.01
3	62.42	62.86	62.64
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 61.83			

ตารางที่ 7.2 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิติคอน ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	61.52	61.75	71.64
2	61.36	62.76	62.06
3	61.32	63.11	62.22
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 61.97			

ตารางที่ 7.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิติคอน ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	61.11	59.75	60.43
2	62.14	60.73	61.44
3	61.02	61.40	61.21
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 61.03			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการตีพิมพ์ครั้งนี้จะมีขึ้นในนามของหน่วยงานราชการหรือเอกชนก็ตาม ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิติคอนทั้ง 3 ตำแหน่ง = 61.61 องศา**

## ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซลิคอนจากการวัดครั้งที่ 8

ตารางที่ 8.1 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซลิคอน ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	60.22	58.30	59.26
2	60.55	60.65	60.60
3	61.06	59.71	59.39
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 59.75			

ตารางที่ 8.2 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซลิคอน ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	59.12	60.87	60.00
2	62.77	63.54	63.16
3	61.06	62.04	61.55
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 61.57			

ตารางที่ 8.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซลิคอน ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	58.00	61.85	59.93
2	59.13	62.59	60.86
3	60.01	62.09	61.05
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 60.61			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานและข้อมูลอ้างอิงในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซลิคอนทั้ง 3 ตำแหน่ง = 60.64 องศา**

## ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิติคอนจากการวัดครั้งที่ 9

ตารางที่ 9.1 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิติคอน ณ ตำแหน่งที่ 1

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	58.00	60.84	59.42
2	59.65	60.12	59.89
3	58.95	60.38	59.67
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 59.66			

ตารางที่ 9.2 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิติคอน ณ ตำแหน่งที่ 2

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	62.53	62.53	62.53
2	62.40	63.47	62.94
3	63.20	62.33	62.77
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 62.74			

ตารางที่ 9.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิติคอน ณ ตำแหน่งที่ 3

ครั้งที่	มุมสัมพัทธ์ (องศา)		
	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
1	59.33	62.52	60.93
2	61.57	62.40	61.99
3	61.33	61.38	61.36
เฉลี่ยรวม 3 ครั้ง = 61.42			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม ผู้รับอนุญาตไม่รับผิดชอบต่อผลที่เกิดขึ้นจากข้อมูลอ้างอิงในเอกสารออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการเฉลี่ยค่ามุมสัมพัทธ์ของแผ่นซิติคอนทั้ง 3 ตำแหน่ง = 61.27 องศา**

## ตัวอย่างการหาค่า SN สำหรับการทดลองลำดับที่ 1

จากสูตร  $SN_i = 10 \log \frac{\bar{y}_i^2}{s_i^2}$

โดยที่  $\bar{y}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{u=1}^{N_i} y_{i,u}$  และ  $s_i = \frac{1}{N_i - 1} \sum_{u=1}^{N_i} (y_{i,u} - \bar{y}_i)$

ดังนั้นในการทดลองลำดับที่ 1 จะได้เป็น

$$\bar{y}_1 = \frac{1}{3} (y_{1,1} + y_{1,2} + y_{1,3})$$

$$\bar{y}_1^2 = \frac{(y_{1,1} + y_{1,2} + y_{1,3})^2}{3}$$

เมื่อแทนค่าจะได้

$$\bar{y}_1^2 = \frac{(57.71 + 53.53 + 58.67)^2}{3}$$

$$\bar{y}_1^2 = 8,954.76$$

และจาก

$$s_i = \frac{1}{N_i - 1} \sum_{u=1}^{N_i} (y_{i,u} - \bar{y}_i)$$

แทนค่าจะได้เป็น

$$s_i^2 = \frac{1}{2} [(57.71^2 + 53.53^2 + 58.67^2) - \bar{y}_1^2]$$

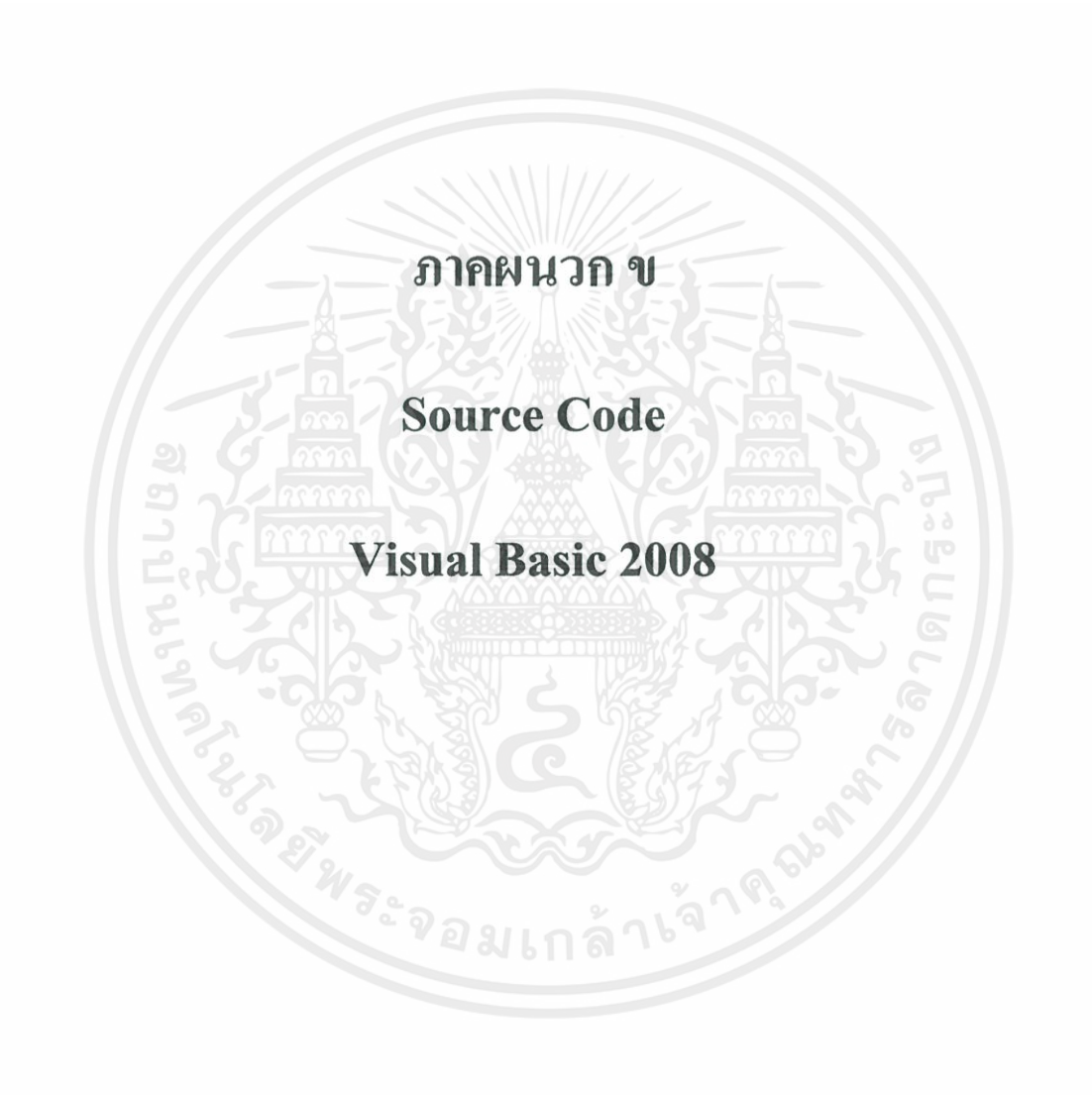
$$s_i^2 = 13.05$$

จากสูตร  $SN_i = 10 \log \frac{\bar{y}_i^2}{s_i^2}$

เมื่อแทนค่าจะได้

$SN_1 = 23.59$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โค้ดคลิกเมาส์แล้วลากเส้นและกรอบภาพสำหรับการวัดมุมสัมพันธ์

```
Private Sub picImage_MouseClick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles picImage.MouseClick
```

```
    Select Case e.Button
```

```
        Case Windows.Forms.MouseButtons.Left
```

```
            'Do drawing
```

```
            If ModeOfDrawing <> enumToolMode.NormalCursor Then
```

```
                ClickCount += 1
```

```
                Select Case ModeOfDrawing
```

```
                    'Case enumToolMode.LineManualToBeDraw
```

```
                        ' If ClickCount = 1 Then
```

```
                            'Drawing before Add new LINE class
```

```
                            PointsForAddline(0) = e.Location
```

```
                        ' Else
```

```
                            'Clear ClickCount to Zero
```

```
                            ClickCount = 0
```

```
                            'Point for Line entity
```

```
                            PointsForAddline(1) = e.Location
```

```
                            'Add LINE class to OBJECTS COLLECTION
```

```
                            AddNewLineToCollection()
```

```
                        ' End If
```

```
                    Case enumToolMode.EllipseAutoDetectToBeDraw
```

```
                        If ClickCount = 1 Then
```

```
                            PointsForDrawRect(0) = e.Location
```

```
                        Else
```

```
                            'Clear ClickCount to Zero
```

```
                            ClickCount = 0
```

```
                            PointsForDrawRect(1) = e.Location
```

```
                            ShowSideSelectionWindow()
```

```
                        End If
```

```
                    Case enumToolMode.EllipseAutoDetectToBeDraws
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งผู้เขียนมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    If ClickCount = 1 Then
        PointsForDrawRect(0) = e.Location
    Else
        'Clear ClickCount to Zero
        ClickCount = 0
        PointsForDrawRect(1) = e.Location
        ShowSideSelectionWindow2()
    End If
End Select
picImage.Invalidate()
End If
Case Windows.Forms.MouseButtons.Right
    'Cancel drawing mode
    mnuDrawNormalCursor_Click(mnuDrawNormalCursor, New System.EventArgs)
Case Else
    'Cancel drawing mode
    mnuDrawNormalCursor_Click(mnuDrawNormalCursor, New System.EventArgs)
End Select
End Sub
Private Sub picImage_MouseDown(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles picImage.MouseDown
    Select Case e.Button
        Case Windows.Forms.MouseButtons.Left
            'Do drawing
            If ModeOfDrawing <> enumToolMode.NormalCursor Then
                Select Case ModeOfDrawing
                    Case enumToolMode.LineManualToBeDraw
                        ClickCount = 1
                        PointsForAddline(0) = e.Location
                        PointsForAddline(1) = e.Location
                    Case enumToolMode.EllipseAutoDetectToBeDraw
                        ClickCount = 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        PointsForDrawRect(0) = e.Location
        PointsForDrawRect(1) = e.Location

    Case enumToolMode.EllipseAutoDetectToBeDraws
        ClickCount = 1
        PointsForDrawRect(0) = e.Location
        PointsForDrawRect(1) = e.Location

    End Select

    picImage.Invalidate()

End If

Case Windows.Forms.MouseButtons.Right
    'Cancel drawing mode
    mnuDrawNormalCursor_Click(mnuDrawNormalCursor, New System.EventArgs)

Case Else
    'Cancel drawing mode
    mnuDrawNormalCursor_Click(mnuDrawNormalCursor, New System.EventArgs)

End Select

End Sub

Private Sub picImage_MouseMove(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.MouseEventHandler) Handles picImage.MouseMove
    If ModeOfDrawing <> enumToolMode.NormalCursor Then
        PointsForAddline(1) = e.Location
        PointsForDrawRect(1) = e.Location
        picImage.Invalidate()

    End If

End Sub

Private Sub picImage_MouseUp(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.MouseEventHandler) Handles picImage.MouseUp
    Select Case e.Button
        Case Windows.Forms.MouseButtons.Left
            'Do drawing

```

```

If ModeOfDrawing <> enumToolMode.NormalCursor Then
    Select Case ModeOfDrawing
        Case enumToolMode.LineManualToBeDraw
            PointsForAddline(1) = e.Location
            AddNewLineToCollection()
        Case enumToolMode.EllipseAutoDetectToBeDraw
            PointsForDrawRect(1) = e.Location
        Case enumToolMode.EllipseAutoDetectToBeDraws
            PointsForDrawRect(1) = e.Location
    End Select
    picImage.Invalidate()
End If
Case Windows.Forms.MouseButtons.Right
    'Cancel drawing mode
    mnuDrawNormalCursor_Click(mnuDrawNormalCursor, New System.EventArgs)
Case Else
    'Cancel drawing mode
    mnuDrawNormalCursor_Click(mnuDrawNormalCursor, New System.EventArgs)
End Select
End Sub

```

### โค้ดการซูมภาพ

“ซูมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น”

```

Private Sub ZoomInToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ZoomInToolStripMenuItem.Click
    Dim SCALEMODE As Single = 1.25
    picImage.SizeMode = PictureBoxSizeMode.StretchImage
    picImage.Width = (picImage.Width * SCALEMODE)
    picImage.Height = (picImage.Height * SCALEMODE)
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“ซูมให้มีขนาดใหญ่เล็กลง”

```
Private Sub ZoomOutToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles ZoomOutToolStripMenuItem.Click
```

```
Dim SCALEMODE As Single = 0.9
```

```
picImage.SizeMode = PictureBoxSizeMode.StretchImage
```

```
picImage.Width = picImage.Width * SCALEMODE
```

```
picImage.Height = picImage.Height * SCALEMODE
```

```
End Sub
```

---

### โค้ดการ Clear Line

```
Private Sub ClearLineOnPictureBox()
```

```
TextBox1.Text = Nothing
```

```
TextBox1.Text = " Angle : "
```

```
LP1 = Nothing
```

```
LP2 = Nothing
```

```
cP3 = Nothing
```

```
cX = Nothing
```

```
cY = Nothing
```

```
nX = Nothing
```

```
nY = Nothing
```

```
EntitiesCollection.Clear()
```

```
CheckedListBox1.Items.Clear()
```

```
picImage.Invalidate()
```

```
End Sub
```

---

### โค้ดการแปลงค่าจาก point เป็น pixel

```
Private Function CalculateDistance(ByVal x1 As Double, ByVal x2 As Double) As Double
```

```
Return x2 - x1
```

```
End Function
```

```
Private Function ConvertPointToPixel(ByVal point As Double) As Double
```

```
Return point * 1.33
```

```
End Function
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อบุคคลที่สาม และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โค้ดการคำนวณมุมสัมผัสและระยะระหว่างขอบของหยดน้ำในระบบ Manual

```
Private Sub CaculateAngleForManualLine()
```

```
Try
```

```
Dim key1 As String = CheckedListBox1.CheckedItems(0).ToString
```

```
Dim key2 As String = CheckedListBox1.CheckedItems(1).ToString
```

```
Dim line1 As CLine = EntitiesCollection.Item(key1)
```

```
Dim line2 As CLine = EntitiesCollection.Item(key2)
```

```
Dim m1 As Double = (Convert.ToDouble(line1.P2.Y) - Convert.ToDouble(line1.P1.Y)) /  
(Convert.ToDouble(line1.P2.X) - Convert.ToDouble(line1.P1.X))
```

```
Dim m2 As Double = (Convert.ToDouble(line2.P2.Y) - Convert.ToDouble(line2.P1.Y)) /  
(Convert.ToDouble(line2.P2.X) - Convert.ToDouble(line2.P1.X))
```

```
Dim mc1 As Double
```

```
Dim mc2 As Double
```

```
Dim C1 As Double
```

```
Dim C2 As Double
```

```
If m2 > m1 Then
```

```
mc1 = m1
```

```
mc2 = m2
```

```
End If
```

```
If m1 > m2 Then
```

```
mc1 = m2
```

```
mc2 = m1
```

```
End If
```

```
If m1 = m2 Then
```

```
MsgBox("Can not caculate parallel lines", MsgBoxStyle.Exclamation)
```

```
Return
```

```
End If
```

```
C1 = Convert.ToDouble(line1.P1.Y) - m1 * (Convert.ToDouble(line1.P1.X))
```

```
C2 = Convert.ToDouble(line2.P1.Y) - m2 * (Convert.ToDouble(line2.P1.X))
```

```
cX = (-C1 + C2) / (m1 - m2)
```

```
cY = ((m1 * C2) - (m2 * C1)) / (m1 - m2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาแจ้งผู้จัดทำเอกสารล่วงหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If (Convert.ToDouble(line1.P2.X) - cX) > (cX - Convert.ToDouble(line1.P1.X)) Then
```

```
    If m2 > 0 Then
```

```
        angle = 180 - Math.Atan(Math.Abs((mc2 - mc1) / (1 + (mc1 * mc2)))) * 180 /
```

```
Math.PI
```

```
        startAngle = 180 + (Math.Atan(m2) * 180 / Math.PI)
```

```
        sweepAngle = angle
```

```
    Else
```

```
        angle = Math.Atan(Math.Abs((mc2 - mc1) / (1 + (mc1 * mc2)))) * 180 / Math.PI
```

```
        startAngle = (Math.Atan(m2) * 180 / Math.PI)
```

```
        sweepAngle = angle
```

```
    End If
```

```
Else
```

```
    If m2 < 0 Then
```

```
        angle = 180 - Math.Atan(Math.Abs((mc2 - mc1) / (1 + (mc1 * mc2)))) * 180 /
```

```
Math.PI
```

```
        startAngle = 180 + (Math.Atan(m1) * 180 / Math.PI)
```

```
        sweepAngle = angle
```

```
    Else
```

```
        angle = Math.Atan(Math.Abs((mc2 - mc1) / (1 + (mc1 * mc2)))) * 180 / Math.PI
```

```
        startAngle = 180 + (Math.Atan(m1) * 180 / Math.PI)
```

```
        sweepAngle = angle
```

```
    End If
```

```
End If
```

```
If line2.P2.X = line2.P1.X Then
```

```
    angle = 90.0
```

```
End If
```

```
Dim distance As Double = Me.CalculateDistance(line1.P1.X, line1.P2.X)
```

```
distance = Me.ConvertPointToPixel(distance)
```

```
TextBox1.Text = " Angle : " + angle.ToString("#0.00")
```

```
TextBox2.Text = " Distance : " + distance.ToString("#0.00") + " Pixels "
```

```
picImage.Invalidate()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Catch ex As Exception
```

```
MsgBox("Please draw at least two lines.")
```

```
End Try
```

```
End Sub
```

**โค้ดการคำนวณมุมสัมผัสและระยะระหว่างขอบของหยดน้ำในระบบ Auto**

```
Private Sub CaculationRightSide()
```

```
Dim cKey As String = CheckedListBox1.CheckedItems(0).ToString
```

```
Dim curve As CCurveLines = EntitiesCollection.Item(cKey)
```

```
Dim h As Double
```

```
Dim k As Double
```

```
Dim PAL As Integer = curve.aPoints.Length - 1
```

```
Dim x1 As Double = curve.aPoints(0).X
```

```
Dim x2 As Double = curve.aPoints(PAL / 2).X
```

```
Dim x3 As Double = curve.aPoints(PAL).X
```

```
Dim y1 As Double = curve.aPoints(0).Y
```

```
Dim y2 As Double = curve.aPoints(PAL / 2).Y
```

```
Dim y3 As Double = curve.aPoints(PAL).Y
```

```
Dim x1sqr As Double = x1 ^ 2
```

```
Dim x2sqr As Double = x2 ^ 2
```

```
Dim x3sqr As Double = x3 ^ 2
```

```
Dim y1sqr As Double = y1 ^ 2
```

```
Dim y2sqr As Double = y2 ^ 2
```

```
Dim y3sqr As Double = y3 ^ 2
```

```
cP1 = New PointF(x1, y1)
```

```
cP2 = New PointF(x2, y2)
```

```
cP3 = New PointF(x3, y3)
```

```
Dim hU As Double = ((x1sqr + y1sqr) * y2) + (y1 * (x3sqr + y3sqr)) + ((x2sqr + y2sqr) *  
y3) - ((x3sqr + y3sqr) * y2) - (y3 * (x1sqr + y1sqr)) - ((x2sqr + y2sqr) * y1)
```

```
Dim kU As Double = (x1 * (x2sqr + y2sqr)) + ((x1sqr + y1sqr) * x3) + (x2 * (x3sqr +  
y3sqr)) - (x3 * (x2sqr + y2sqr)) - ((x3sqr + y3sqr) * x1) - (x2 * (x1sqr + y1sqr))
```

```
Dim Div As Double = (x1 * y2) + (y1 * x3) + (x2 * y3) - (x3 * y2) - (y3 * x1) - (x2 * y1)
```

```
h = hU / (2 * Div)
```

```

k = kU / (2 * Div)
center = New PointF(h, k)
endOfCenter = New PointF(x3, y3)
LP1 = New Point(1, y3)
LP2 = New Point(sourceImage.Width - 1, y3)
Dim slpRad As Double
slpRad = (k - y3) / (h - x3)
R = Math.Sqrt(((x1 - h) ^ 2) + ((y1 - k) ^ 2))
If k < y3 Then
    nX = (x3 * 2) - h
ElseIf k > y3 Then
    nX = h
End If
nY = (((-1) / slpRad) * (nX - x3)) + y3
Dim m1 As Double = (y3 - y3) / (sourceImage.Width - 2)
Dim m2 As Double = (-1) / slpRad
If m2 > 0 Then
    angle = 180 - Math.Atan(Math.Abs((m2 - m1) / (1 + (m1 * m2)))) * 180 / Math.PI
    startAngle = 180 + (Math.Atan(m2) * 180 / Math.PI)
    sweepAngle = angle
Else
    angle = Math.Atan(Math.Abs((m2 - m1) / (1 + (m1 * m2)))) * 180 / Math.PI
    startAngle = (Math.Atan(m2) * 180 / Math.PI)
    sweepAngle = angle
End If
Dim distance As Double = Me.CalculateDistance(x1, x2)
distance = Me.ConvertPointToPixel(distance)
TextBox1.Text = " Angle : " + angle.ToString("#0.00")
TextBox2.Text = " Distance : " + distance.ToString("#0.00") + " Pixels "
picImage.Invalidate()
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Private Sub CaculationLeftSide()

Dim cKey As String = CheckedListBox1.CheckedItems(0).ToString

Dim curve As CCurveLines = EntitiesCollection.Item(cKey)

Dim h As Double

Dim k As Double

Dim PAL As Integer = curve.aPoints.Length - 1

Dim x1 As Double = curve.aPoints(0).X

Dim x2 As Double = curve.aPoints(PAL / 2).X

Dim x3 As Double = curve.aPoints(PAL).X

Dim y1 As Double = curve.aPoints(0).Y

Dim y2 As Double = curve.aPoints(PAL / 2).Y

Dim y3 As Double = curve.aPoints(PAL).Y

Dim x1sqr As Double = x1 ^ 2

Dim x2sqr As Double = x2 ^ 2

Dim x3sqr As Double = x3 ^ 2

Dim y1sqr As Double = y1 ^ 2

Dim y2sqr As Double = y2 ^ 2

Dim y3sqr As Double = y3 ^ 2

cP1 = New PointF(x1, y1)

cP2 = New PointF(x2, y2)

cP3 = New PointF(x3, y3)

Dim hU As Double = ((x1sqr + y1sqr) \* y2) + (y1 \* (x3sqr + y3sqr)) + ((x2sqr + y2sqr) \* y3) - ((x3sqr + y3sqr) \* y2) - (y3 \* (x1sqr + y1sqr)) - ((x2sqr + y2sqr) \* y1)

Dim kU As Double = (x1 \* (x2sqr + y2sqr)) + ((x1sqr + y1sqr) \* x3) + (x2 \* (x3sqr + y3sqr)) - (x3 \* (x2sqr + y2sqr)) - ((x3sqr + y3sqr) \* x1) - (x2 \* (x1sqr + y1sqr))

Dim Div As Double = (x1 \* y2) + (y1 \* x3) + (x2 \* y3) - (x3 \* y2) - (y3 \* x1) - (x2 \* y1)

h = hU / (2 \* Div)

k = kU / (2 \* Div)

center = New PointF(h, k)

endOfCenter = New PointF(x3, y3)

LP1 = New Point(1, y3)

LP2 = New Point(sourceImage.Width - 1, y3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงาน วิสักรบริหารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางประการที่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim slpRad As Double
```

```
slpRad = (k - y3) / (h - x3)
```

```
R = Math.Sqrt(((x1 - h) ^ 2) + ((y1 - k) ^ 2))
```

```
If k < y3 Then
```

```
    nX = (x3 * 2) - h
```

```
ElseIf k > y3 Then
```

```
    nX = h
```

```
End If
```

```
nY = (((-1) / slpRad) * (nX - x3)) + y3
```

```
Dim m1 As Double = (y3 - y3) / (sourceImage.Width - 2)
```

```
Dim m2 As Double = (-1) / slpRad
```

```
If m2 < 0 Then
```

```
    angle = 180 - Math.Atan(Math.Abs((m2 - m1) / (1 + (m1 * m2)))) * 180 / Math.PI
```

```
    startAngle = 180 + (Math.Atan(m1) * 180 / Math.PI)
```

```
    sweepAngle = angle
```

```
Else
```

```
    angle = Math.Atan(Math.Abs((m2 - m1) / (1 + (m1 * m2)))) * 180 / Math.PI
```

```
    startAngle = 180 + (Math.Atan(m1) * 180 / Math.PI)
```

```
    sweepAngle = angle
```

```
End If
```

```
Dim distance As Double = Me.CalculateDistance(x1, x2)
```

```
distance = Me.ConvertPointToPixel(distance)
```

```
TextBox1.Text = " Angle : " + angle.ToString("#0.00")
```

```
TextBox2.Text = " Distance : " + distance.ToString("#0.00") + " Pixels"
```

```
picImage.Invalidate()
```

```
End Sub
```

---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โค้ดอธิบายการทำงานของโปรแกรม (Help)

```
#Region "HELP"
```

```
Private Sub aboutprogram()
```

```
Dim f As New frmhelp
```

```
f.ShowDialog()
```

```
If f.DialogResult <> Windows.Forms.DialogResult.OK Then
```

```
Return
```

```
Else
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuHelpAboutProgram_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles mnuHelpAboutProgram.Click
```

```
aboutprogram()
```

```
End Sub
```

```
#End Region
```

---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้