

TRISM – กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนแบบส่องผ่าน สะท้อน และหัวกลับในหนึ่งเดียว

TRISM – 3-in-1 Transmission, Reflection, Inversion Smartphone Microscope



โดย

นางสาวณิชากรนต์ ถ้ำกลาง  
นายกฤตพัฒน์ พรหมพล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรื่อง TRISM – กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนแบบส่องผ่าน สะท้อน และหัวกลับในหนึ่งเดียว  
โดย นางสาวณิชกานต์ ถ้ำกลาง และ

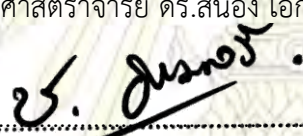
นายกฤตพัฒน์ พรหมพล

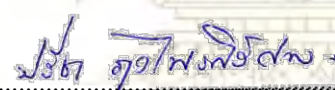
ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

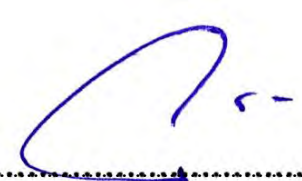
  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภณวิทย์ ไชยอนันต์สุจริต)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ชูชาติ ธรรมเจริญ)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ภูวไพโรศิรศาล)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

  
.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

หัวหน้าภาควิชาเคมี  
วันที่ 22 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2558

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ

ดีมาก

ดี

พอใช้

**ชื่อโครงการ** TRISM – กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนแบบส่องผ่าน สะท้อน และหัวกลับในหนึ่งเดียว  
**ชื่อนิติโนโครงการ** นางสาวณิชาภัทน์ ถ้ำกลาง เลขประจำตัว 5433090723  
 นายกฤตพัฒน์ พรหมพล เลขประจำตัว 5433055823  
**ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** รศ.ดร.สนอง เอกสิทธิ์  
**ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** รศ.ชูชาติ ธรรมเจริญ  
 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2557

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนที่สามารถถ่ายภาพที่มีความละเอียดสูงในโหมดส่องผ่าน, โหมดสะท้อนและโหมดหัวกลับในหนึ่งเดียว เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับสังเกตวัตถุที่มีขนาดเล็กเกินกว่าที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่า (น้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร) โดยงานวิจัยนี้เปลี่ยนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนให้กลายเป็นกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโดยการสร้างอุปกรณ์เสริมที่ประกอบด้วยเลนส์ที่มีกำลังขยายสูงและสามารถแสดงภาพวัตถุโดยไม่เกิดการบิดเบี้ยว คือ เลนส์พลาโนคอนเวกซ์ คณะผู้วิจัยเลือกเปลี่ยนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนให้กลายเป็นกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน เนื่องจากสมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย มีขนาดเล็ก กะทัดรัด พกพาได้สะดวก และมีแอปพลิเคชันสำหรับถ่ายภาพที่สามารถใช้ได้ในเวลาที่ต้องการได้ทันที กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนที่พัฒนาขึ้นนี้มีกำลังขยาย 13 เท่า ความละเอียดของภาพวัตถุที่ถ่ายได้อยู่ที่ 8 ล้านพิกเซล จากผลการทดลองถ่ายภาพผลึกของซิลเวอร์อะซีเตต, ซิลเวอร์ไมริสเตต, น้ำตาล และเกลือด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับภาพที่ถ่ายได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงในห้องปฏิบัติการที่มีกำลังขยาย 50 เท่า ความละเอียดของภาพวัตถุที่ถ่ายได้อยู่ที่ 1.5 ล้านพิกเซล พบว่า ภาพที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนที่พัฒนาขึ้นมีความคมชัด และสามารถแสดงรายละเอียดของขนาดและรูปร่างของตัวอย่างได้ชัดเจนและถูกต้องเทียบเท่ากับกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนยังมีราคาต้นทุนในการประดิษฐ์ต่ำกว่าราคาขายของกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการด้วย



**คำสำคัญ:** สมาร์ทโฟน, กล้องจุลทรรศน์, การสะท้อน, การส่องผ่าน, หัวกลับ, พลาโนคอนเวกซ์เลนส์

**Title** TRISM – 3 – in - 1 Transmission, Reflection, and Inversion Smartphone Microscope

**Student Names** Miss.Nichakan Thamklang ID 5433090723  
Mr.Kittapat Prompol ID 5433055823

**Advisor** Assoc. Prof. Dr. Sanong Ekgasit

**Co-Advisor** Assoc. Prof. Chuchaat Thammacharoen

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2014

### Abstract

This research aims to develop the TRISM, 3-in-1 transmission, reflection and inversion smartphone microscope, that can take pictures with high resolutions to be used as an instrument for seeing objects that are too small for the naked eye (smaller than 0.1 millimeter in size). A smartphone is simply transformed into a mobile microscope by attaching developed clip-on lens accessory. The main component of the accessory is the plano convex lens. A smartphone microscope has a magnification of 13x with the image resolution of 8 megapixels, which is the same result as that of an optical microscope with a magnification of 50x in reflection and transmission modes and the image resolution of 1.5 megapixels. The pictures captured by smartphone microscope clearly and accurately displayed the morphology of various test crystalline solids e.g. silver acetate, silver myristate, sugar and salt in the comparable quality with the pictures obtained from the optical microscope. In addition, the smartphone microscope possesses many advantages over the conventional optical microscope such as portability, simple operation, networking applications, accessibility, and inexpensive price.

Smartphone/ Tablet  
 Communication   
 Social Network   
 Game/ Music/  
 Entertainment   
 Search/ Education   
 Business/  
 E-Commerce



TRISM

- Record/ Collect Data/ Publish Data
- Portability
- Simple operation
- Accessibility
- Inexpensive price

**Keywords:** Smartphone, Microscope, Transmission, Reflection, Inversion, Plano Convex Lens

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ใช้สถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และ  
ทุนในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวก  
สะดวกด้านตำรา เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณหน่วยซ่อมบำรุง คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ใช้เครื่องมือในการประดิษฐ์  
อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนที่แบบส่องผ่าน, สะท้อนและหัวกลับ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้เป็นผู้ให้คำแนะนำ  
ตั้งแต่การเริ่มค้นคว้าข้อมูล ออกแบบ การประดิษฐ์ การทดลอง รวมถึงการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชูชาติ ธรรมเจริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการนี้เป็นผู้ให้  
คำแนะนำตั้งแต่การเริ่มค้นคว้าข้อมูล ออกแบบ การประดิษฐ์ การทดลอง รวมถึงการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น

ขอขอบพระคุณ นายทวิศักดิ์ จันทร์ดวง ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือในการทำงานช่างเพื่อ  
ประดิษฐ์อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนที่แบบส่องผ่าน, สะท้อนและหัวกลับ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสมวดี ไชยอนันต์สุจริต และ รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ภูวไพริศริ  
ศาล ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นประธานและกรรมการสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำที่ก่อให้เกิดประโยชน์ในการ  
ปรับปรุงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาของผู้วิจัย รวมทั้งเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือ  
จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ค
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 คุณสมบัติของสมาร์ทโฟน	15
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ	22
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	22
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี</b>	<b>23</b>
2.1 หลักการพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์	23
2.2 หลักการพื้นฐานของกล้องสมาร์ทโฟน	30
2.3 วิธีการพื้นฐานของเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing)	31
2.4 โปรแกรม SolidWorks	33
2.5 การคำนวณ	35
<b>บทที่ 3 การทดลอง</b>	<b>37</b>
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	37
3.2 สารเคมี	37
3.3 วิธีการทดลอง	41
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง</b>	<b>48</b>
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	<b>73</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	73
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก ก	76
ประวัติผู้วิจัย	77

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตาราง 1.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ Apple	15
ตาราง 1.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ Sony	16
ตาราง 1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ HTC	17
ตาราง 1.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ LG	18
ตาราง 1.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ Lenovo	19
ตาราง 1.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ Samsung	20
ตาราง 4.1 เปรียบเทียบชนิดของเลนส์ตามพารามิเตอร์	49
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความละเอียดของกล้องและจอภาพ	54



ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญแผนภูมิแท่ง

แผนภูมิแท่งที่

แผนภูมิแท่งที่ 4.1 แสดงขนาดไฟล์รูปภาพของแต่ละยี่ห้อสมาร์ทโฟน

หน้า

54



ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 ภาพอุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โทรศัพท์มือถือและภาพที่บันทึกได้	3
รูปที่ 1.2 ภาพของสมาร์ทโฟน อะแดปเตอร์และ microfluidic chip	4
รูปที่ 1.3 ภาพขั้นตอนขณะทำการวินิจฉัย	4
รูปที่ 1.4 ภาพองค์ประกอบภายในอุปกรณ์เสริมและภาพของกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน	5
รูปที่ 1.5 ภาพเรตินาจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน	5
รูปที่ 1.6 ลักษณะของอุปกรณ์เสริมใช้ต่อเข้ากับสมาร์ทโฟน	6
รูปที่ 1.7 การใช้งานสมาร์ทโฟนและ 3D เลนส์ที่ใช้บันทึก fundus	7
รูปที่ 1.8 วิธีการใช้งานของ Lateral Flow immune strip กับสมาร์ทโฟน	8
รูปที่ 1.9 ผลทางหน้าจอของการใช้แอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์ของสมาร์ทโฟน	8
รูปที่ 1.10 เปลือกกระโถดบนลำต้นข้าว	9
รูปที่ 1.11 การเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือกับกล้องจุลทรรศน์	10
รูปที่ 1.12 ภาพ malaria parasites จากกล้องโทรศัพท์มือถือ	10
รูปที่ 1.13 ภาพโทรศัพท์มือถือและภาพที่บันทึกได้จาก iPhone และ HTC	11
รูปที่ 1.14 ไดอะแกรมของการตรวจหาชนิดของหมูโลहित	12
รูปที่ 1.15 ผลของหมูโลहितต่างๆ	13
รูปที่ 1.16 ผลการแสดงผลการใช้งานของสมาร์ทโฟน	14
รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แสง	23
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แสง	25
รูปที่ 2.3 ภาพแสดงกล้องจุลทรรศน์แสง	25
รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ Inverted Reflected Light Microscope	26
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ Inverted Transmitted Light Microscope	26
รูปที่ 2.6 เส้นทางเดินลำอเล็กตรอนของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	28
รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ประเภทต่างๆ	29
รูปที่ 2.8 สมาร์ทโฟนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน	30
รูปที่ 2.9 การเตรียมไฟล์รูปจำลองสามมิติ (.stl)	31
รูปที่ 2.10 ลักษณะการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing)	32
รูปที่ 2.11 ภาพที่มีความละเอียด Resolution ต่ำ และสูง	36
รูปที่ 2.12 ภาพขนาด 1024x768 Resolution 300 และ 72ppi	36
รูปที่ 3.1 เครื่องกัด (Milling Machine)	38
รูปที่ 3.2 เครื่องกลึง (Lathe Machine)	38
รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์	39
รูปที่ 3.4 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	39
รูปที่ 3.5 เครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing)	40
รูปที่ 3.6 แสดงโมเดลสามมิติของกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)	42
รูปที่ 3.7 แสดงการขึ้นรูปของเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing)	43
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)	43

รูปที่ 3.9	การใช้งานอุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)	43
รูปที่ 3.10	โมเดลสามมิติของกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)	44
รูปที่ 3.11	อุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)	44
รูปที่ 3.12	การใช้งานอุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)	45
รูปที่ 3.13	โมเดลสามมิติของกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)	45
รูปที่ 3.14	อุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)	46
รูปที่ 3.15	การใช้งานอุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)	46
รูปที่ 4.1	ภาพถ่ายกระดาศกราฟโดยใช้เลนส์ชนิดต่างๆ	48
รูปที่ 4.2	ภาพถ่ายตัวอย่างหน้าปกหนังสือ	53
รูปที่ 4.3	ภาพถ่ายวงกลมด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)	57
รูปที่ 4.4	ภาพถ่ายวงกลมด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)	59
รูปที่ 4.5	ภาพถ่ายวงกลมด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)	61
รูปที่ 4.6	ภาพถ่ายกระดาศกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)	62
รูปที่ 4.7	ภาพถ่ายผลึกน้ำตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)	63
รูปที่ 4.8	ภาพถ่ายผลึกน้ำตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)	63
รูปที่ 4.9	ภาพถ่ายผลึกน้ำตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)	64
รูปที่ 4.10	ภาพถ่ายผลึกเกลือก่อนการตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)	65
รูปที่ 4.11	ภาพถ่ายผลึกเกลือก่อนการตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)	65
รูปที่ 4.12	ภาพถ่ายผลึกเกลือก่อนการตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)	66
รูปที่ 4.13	ภาพถ่ายผลึกเกลือหลังการตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)	67
รูปที่ 4.14	ภาพถ่ายผลึกเกลือหลังการตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)	67
รูปที่ 4.15	ภาพถ่ายผลึกเกลือหลังการตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)	68
รูปที่ 4.16	ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)	69
รูปที่ 4.17	ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)	69
รูปที่ 4.18	ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)	70
รูปที่ 4.19	ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)	71
รูปที่ 4.20	ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)	71
รูปที่ 4.21	ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)	72
รูปที่ ก.1	ภาพผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์ Scanning Electron Microscope	76
รูปที่ ก.2	ภาพผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์ Scanning Electron Microscope	76

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ปัจจุบันนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ที่เกิดจากการใช้ความรู้ ใช้ความคิดสร้างสรรค์ ที่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาประเทศ เริ่มมีการนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ศึกษาค้นคว้า วิจัยและวิเคราะห์ทั้งในสถาบันการศึกษา สถาบันการแพทย์ และสถาบันอื่นๆทั้งภาครัฐและภาคเอกชนอย่างหลากหลายมากขึ้น เพื่อนำประโยชน์ของสิ่งประดิษฐ์นั้นๆมาใช้งานตามความเหมาะสม นอกจากนี้สิ่งประดิษฐ์จะมีความทันสมัยและตอบโจทย์ต่อผู้ใช้งานแล้วยังมีขนาด รูปร่างที่กะทัดรัด สะดวก รวดเร็ว ใช้งานง่าย และมีประสิทธิภาพ ทางด้านวิทยาศาสตร์มีเครื่องมือที่เกี่ยวข้องในการใช้งานในสาขาต่างๆอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งหนึ่งในอุปกรณ์สำหรับดูภาพวัตถุที่มีขนาดเล็กเกินกว่ามองเห็นได้ด้วยตาเปล่าของมนุษย์ คือ กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้งานง่ายและมีอยู่ในทุกสถาบันและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อย่างไรก็ตามยังมีงานวิจัยอีกมากที่ต้องเก็บตัวอย่าง ชิ้นงาน หรือวัตถุ นอกสถานที่ และนำกลับมาตรวจสอบที่ห้องปฏิบัติการ เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์มีข้อจำกัดที่ต้องใช้ศึกษา คือ ต้องทดลองภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เพราะกล้องจุลทรรศน์เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาสูงและมีส่วนประกอบที่อาจเสียหายง่ายโดยเฉพาะเลนส์ จึงต้องใช้และเก็บรักษาด้วยความระมัดระวังให้ถูกวิธี นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์ยังมีขนาดและรูปร่างใหญ่ ซึ่งยากต่อการพกพาไปด้วยทุกที่ ทุกเวลา มีราคาแพง และไม่สามารถถ่ายรูวัตถุที่มีขนาดใหญ่ได้ เช่น ผนังศีรษะ ผิวบริเวณต่างๆของร่างกายมนุษย์ เป็นต้น

ต่อมาในยุคปัจจุบันได้มีการนำเอาความสามารถของสมาร์ตโฟนมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ ด้านการแพทย์ และด้านการเกษตร อย่างแพร่หลายมากขึ้น จากการที่สมาร์ตโฟนมีจำหน่ายในท้องตลาดหลายยี่ห้อ หลายราคา จึงเกิดการแข่งขันขึ้น และจากการแข่งขันนี้แต่ละยี่ห้อจึงได้ผลิตสมาร์ตโฟนที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพอย่างหลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น มีความละเอียดของหน้าจอและกล้องถ่ายรูปที่ดีขึ้น สามารถถ่ายภาพได้ทุกที่ แม้แสงน้อยและไม่ต้องการพลังงานเนื่องจากมีแบตเตอรี่ภายในตัว ด้วยประสิทธิภาพของสมาร์ตโฟนจึงได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมาร์ตโฟนอยู่เป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนากล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโดยใช้ศักยภาพของสมาร์ตโฟนที่สามารถถ่ายรูปได้ ถ่ายวิดีโอได้ พกพาสะดวก และสามารถถ่ายโอนข้อมูลได้รวดเร็วผ่านอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Wi-Fi) ซึ่งกล้องถ่ายรูปสมาร์ตโฟนธรรมดาไม่สามารถถ่ายรูวัตถุที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตรได้ ผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงกล้องสมาร์ตโฟนให้กลายเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่สามารถพกพาไปด้วยได้ ทุกที่ ทุกเวลา และใช้งานง่ายจึงมีความเหมาะสมต่อผู้ที่ต้องการนำไปทดลอง โดยไม่จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานในการใช้งานกล้องจุลทรรศน์มาก่อนก็สามารถใช้งานได้ การใช้งานกล้องจุลทรรศน์มีรูปแบบที่หลากหลายชนิดซึ่งแบ่งเป็น 1. แบบ Transmission กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะมีแหล่งกำเนิดแสงส่องผ่านวัตถุ เพื่อดูตัวอย่างที่ต้องการศึกษา ลักษณะของวัตถุที่เหมาะสมกับกล้องจุลทรรศน์แบบ Transmission คือ วัตถุที่มีลักษณะโปร่งใส 2. แบบ Reflection กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะใช้แหล่งกำเนิดแสง แสงจะส่องที่พื้นผิวของชิ้นงานแล้วแสงจะถูกสะท้อนกลับผ่านเลนส์ข้างต้นกลับมาไปจนถึง

Eyepiece หรือกล้องดิจิตอลที่สามารถบันทึกภาพได้ ลักษณะของวัตถุที่เหมาะสมกับกล้องจุลทรรศน์แบบ Reflection คือ วัตถุที่มีลักษณะทึบแสง แสงไม่สามารถทะลุวัตถุหรือชิ้นงานได้ 3. แบบ Inversion เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มี Objective Len อยู่ทางด้านใต้ชิ้นงาน ดังนั้นเราจะสามารถมองชิ้นงานได้จากทางด้านล่าง จึงถูกเรียกว่ากล้องจุลทรรศน์หัวกลับ แต่เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์ทั้งสามแบบนี้ มีลักษณะในการใช้งานที่แตกต่างกัน จึงไม่สะดวกในการใช้งาน หากต้องการใช้เครื่องมือทั้งสามแบบพร้อมกันในการดูลักษณะของตัวอย่างจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเครื่องมือทั้งสามแบบนี้อยู่แยกกันทำให้ผู้วิจัยมีความคิดที่จะนำกล้องจุลทรรศน์ทั้งสามแบบมาพัฒนาให้มีขนาดเล็ก และราคาถูกลง เพื่อตอบโจทย์ในการพกพาและทำให้สามารถดูวัตถุที่เราสนใจได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้นพร้อมทั้งอุปกรณ์เสริมของกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนมีขนาดเล็กไม่ซับซ้อน ประกอบง่ายทำให้บุคคลทั่วไปสามารถนำไปใช้ในการทดลองได้ โดยนำเลนส์ที่มีขนาดเล็กประกอบเข้ากับสมาร์ตโฟนเพื่อใช้ในการถ่ายภาพวัตถุที่เราสนใจพร้อมทั้งมีระบบแสงและตำแหน่งของกระดาดพรอยด์ที่ทำหน้าที่สะท้อนแสงที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้ได้กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนที่พร้อมใช้งาน

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาต้นแบบกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนที่สามารถถ่ายภาพที่มีความละเอียดสูงแบบส่องผ่าน, สะท้อนและหัวกลับในหนึ่งเดียว เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับมองดูวัตถุที่มีขนาดเล็กเกินกว่ามองเห็นด้วยตาเปล่า และนำไปใช้ประโยชน์ในการมองวัตถุต่างๆ ที่นำมาทดลอง ตัวอย่างเช่น ด้านวิทยาศาสตร์ เช่น ดูลักษณะพื้นผิวเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของสาร สีและตะกอนต่างๆ ซึ่งสามารถตรวจสอบและยืนยันผลได้ทันทีโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความยุ่งยาก และซับซ้อนทำให้ประหยัดงบประมาณและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งาน ด้านการแพทย์ เช่น การส่องไวรัส เชื้อโรค เชื้อแบคทีเรียต่างๆ ทำให้ได้มาซึ่งยาต้านโรค ที่มีประสิทธิภาพ ด้านความงาม เช่น ใช้กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนในการวิเคราะห์สภาพผิวหน้าให้แก่ผู้ใช้บริการ เพื่อเข้าสู่กระบวนการรักษาที่มีประสิทธิภาพ และด้านการศึกษา เช่น ในโรงเรียนที่มีจำนวนกล้องจุลทรรศน์ไม่เพียงพอต่อจำนวนนักเรียนสามารถนำกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนมาใช้ทดลองได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนเป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีความยุ่งยาก และราคาต่ำกว่ากล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการมาก ซึ่งยังมีอุปกรณ์ให้เล่น ให้ทดลองมาก ก็ยังเป็นประโยชน์สำหรับการศึกษา เป็นการเปิดโลกใหม่ๆ เห็นสิ่งใหม่ๆ และได้วิเคราะห์อะไรใหม่ๆ พร้อมทั้งเป็นการปลูกฝังให้เยาวชนได้ใกล้ชิดและรักในวิทยาศาสตร์มากขึ้นอีกด้วย

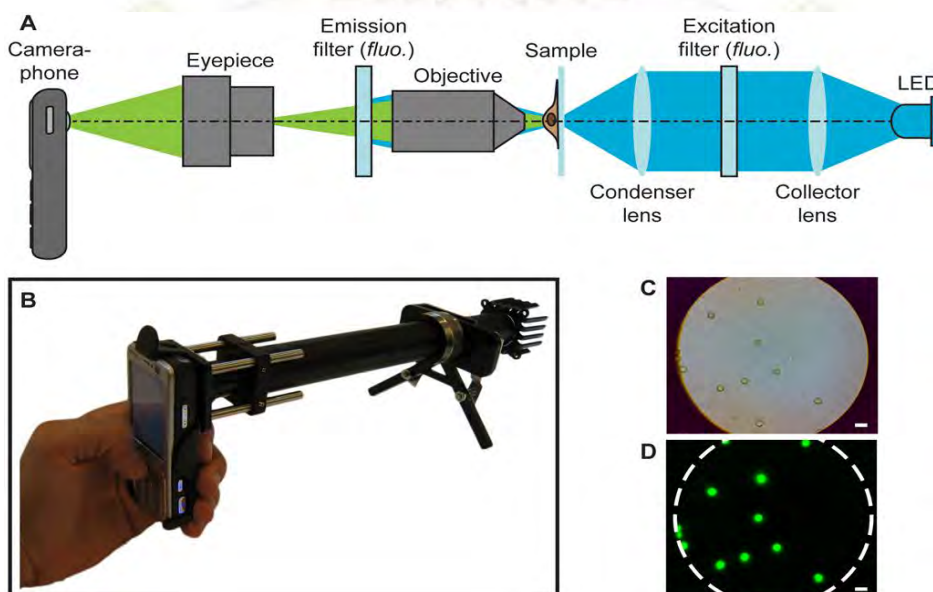
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากศักยภาพของสมาร์ทโฟนที่สามารถพกพา ถ่ายรูป ถ่ายวิดีโอ และประมวลผลได้ จึงได้มีการนำศักยภาพของสมาร์ทโฟนมาใช้งานในด้านต่างๆ และมีการนำมาประยุกต์ใช้งานให้กลายเป็นกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน ไม่ว่าจะทางด้านวิทยาศาสตร์ ด้านการแพทย์ และด้านการเกษตรอย่างแพร่หลายมากขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา ยกตัวอย่างเช่น

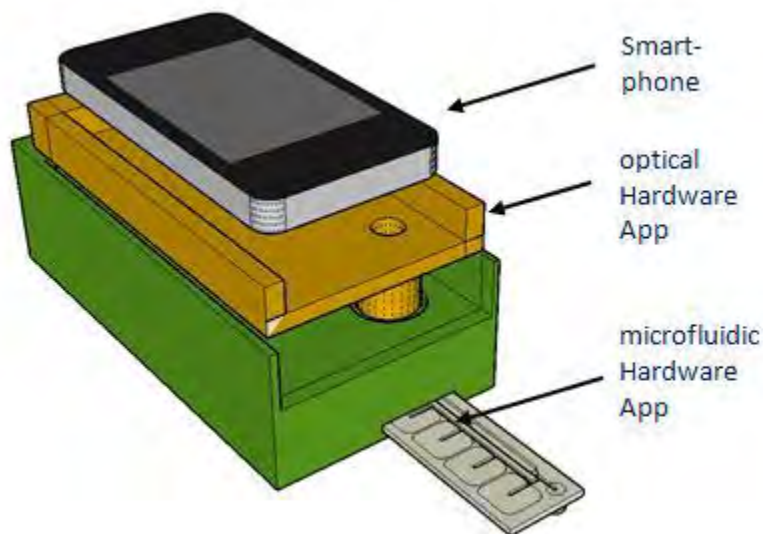
### ด้านการแพทย์

ในปี 2009 มีงานวิจัยเรื่อง Mobile Phone Based Clinical Microscopy for Global Health Applications โดย David N. Breslauer และคณะ (1) ได้กล่าวว่า กล้องจุลทรรศน์สามารถวินิจฉัยและตรวจคัดกรอง โลหิตและโรคติดเชื้อได้ โดยในหลายภูมิภาคของโลกกล้องจุลทรรศน์ยังไม่เพียงพอต่อการใช้งาน คณะผู้จัดจึงได้สร้าง โทรศัพท์มือถือที่มีแนวคิดคล้ายกับกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่านและสามารถแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการใช้งานทางคลินิกโดยการถ่ายภาพ *P. falciparum* เซลล์เม็ดเลือดและเชื้อวัณโรค (*M. tuberculosis*) ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการวินิจฉัยโรคและการตรวจคัดกรองโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่กำลังพัฒนาและพื้นที่ชนบทที่สิ่งอำนวยความสะดวกในห้องปฏิบัติการมีไม่เพียงพอ ซึ่งกล้องจุลทรรศน์โทรศัพท์มือถือแบบส่องผ่านสามารถตรวจเชื้อวัณโรคได้อย่างรวดเร็วซึ่งแต่ก่อนต้องใช้เวลาในการตรวจที่ยาวนานเป็นวันหรือสัปดาห์ อุปกรณ์ในการตรวจสอบมีดังนี้ โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ Nokia N73 (3.2 เมกะพิกเซล or 204,861,536 พิกเซล) ที่มีขนาดเซนเซอร์ 5.6x4.2 มิลลิเมตร ขนาดตัวอย่างที่สามารถตรวจสอบได้ 2.7 มิลลิเมตร เลนส์ใกล้ตัวกำลังขยาย 20X เลนส์ใกล้วัตถุ กำลังขยาย 60X 0.85NA, 160 mm tube length (Model NT38-340, Edmunds Optics)



รูปที่ 1.1 อุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โทรศัพท์มือถือและภาพที่บันทึกได้

ในปี 2013 มีงานวิจัยเรื่อง Modular Applications with Smartphones and Smartpads in Shape, Color and Spectral Measurements for Industry, Biology and Medicine plus Science, Education and Training โดย Prof. Dr. Dietrich Hofmann และคณะ (2) ได้กล่าวถึงการใช้งานของสมาร์ทโฟนในการวินิจฉัยทางการแพทย์ โดยการนำสมาร์ทโฟนและแผ่น microfluidic chip มาวิเคราะห์ และพัฒนาสำหรับการตรวจภูมิคุ้มกัน เช่น Francisella tularensis เป็นตัวอย่างการตรวจหาเชื้อโรค โดยอุปกรณ์ในการวินิจฉัยประกอบด้วย iPhone 4S อะแดปเตอร์กล้องจุลทรรศน์กับซอฟต์แวร์จาก FotoFinder และไมโครชิปจากไมโคร ChipShop โดยอะแดปเตอร์กล้องจุลทรรศน์พัฒนาโดย FotoFinder ระบบเป็น app ฮาร์ดแวร์ที่ติดตั้งเลนส์ที่มีกำลังขยาย 20x ดังรูปที่ 1.2



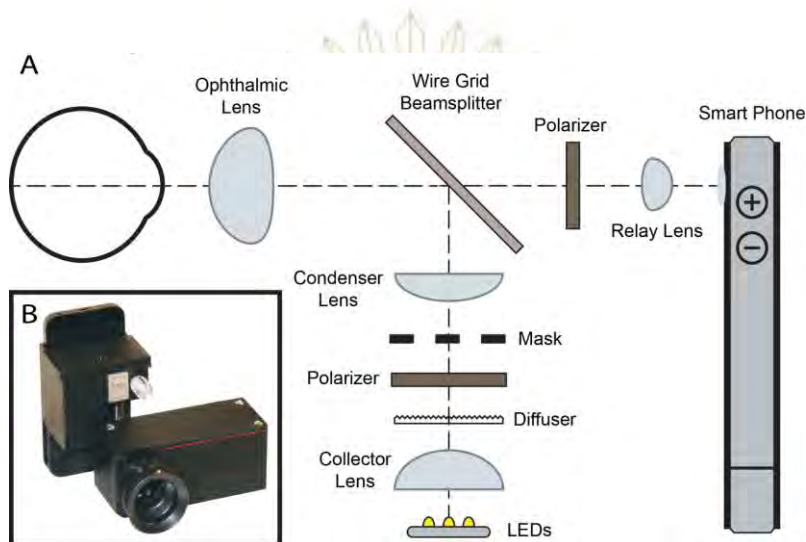
รูปที่ 1.2 สมาร์ทโฟน อะแดปเตอร์และ microfluidic chip



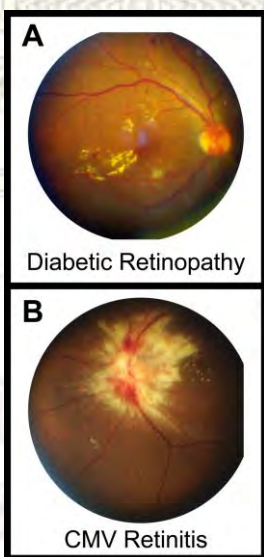
รูปที่ 1.3 ขั้นตอนขณะทำการวินิจฉัย

สมาร์ทโฟนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ระดับโลกที่มีความสะดวกสบาย น่าเชื่อถือและราคาไม่แพง การพัฒนาตลาดเหล่านี้ช่วยเปลี่ยนกระบวนการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการวัดทางชีวภาพและการแพทย์และการวินิจฉัยโรคด้วยแอปพลิเคชัน ฮาร์ดแวร์แบบแยกส่วนและซอฟต์แวร์จะช่วยลดเวลาในการพัฒนาและค่าใช้จ่ายลงได้

ภายในปีเดียวกัน มีงานวิจัยเรื่อง A mobile phone-based retinal camera for portable wide field imaging ของ Robi N Maamari และคณะ (3) ได้ทำการประดิษฐ์อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนที่มีการใช้แสงแบบสะท้อนในการถ่ายภาพจอประสาทตา โดยมีอุปกรณ์เสริมที่มีขนาด Dimension 14 ซม. x15.25 ซม. x9 ซม. ขนาด focal length 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1.4 และ 1.5

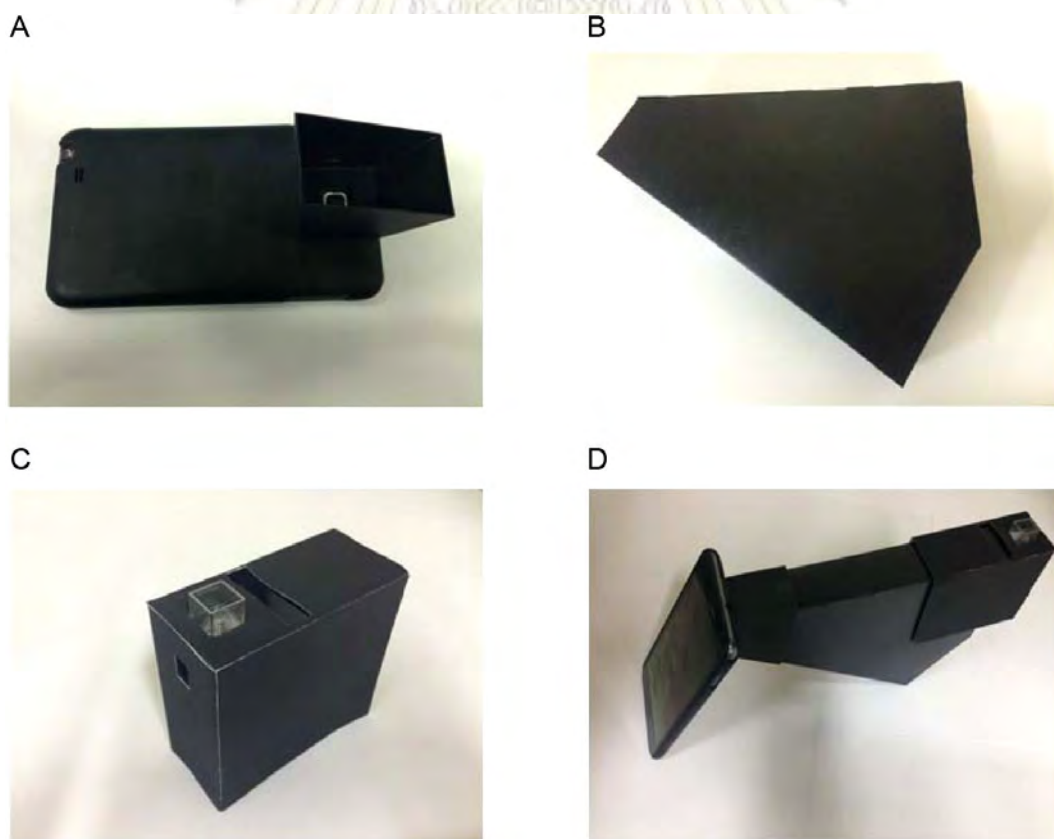


รูปที่ 1.4 A องค์ประกอบภายในอุปกรณ์เสริม และ B ภาพของกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน



รูปที่ 1.5 เรตินาที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน A ส่วนของตาที่เป็นโรคเบาหวาน และ B ส่วนของตาที่ติดเชื้อ Cytomegalovirus

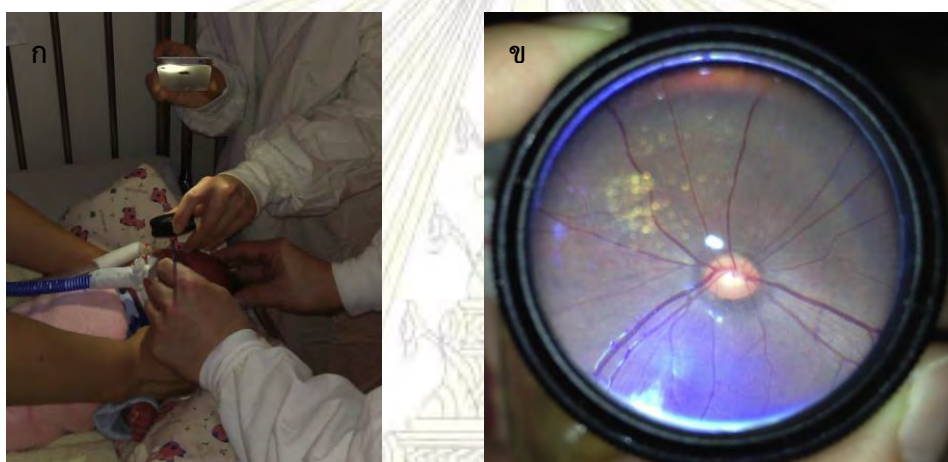
ในปี 2014 มีงานวิจัยเรื่อง A smartphone metabolomics platform and its application to the assessment of cisplatin-induced kidney toxicity ของ Hyuknam Kwon และคณะ (4) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้สมาร์ทโฟนกับอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการดูแลสุขภาพ โดยการศึกษา metabolomics คือ การศึกษาความหลากหลายของสารเคมีในเซลล์ขณะใดขณะหนึ่งว่ามีวิถีและกลไกที่สัมพันธ์กันอย่างไร การใช้งานอุปกรณ์ทางการแพทย์จำนวนมาก ยังมีความซับซ้อนและอุปกรณ์ราคาแพง คณะผู้วิจัยจึงได้ประดิษฐ์อุปกรณ์เสริมสมาร์ทโฟนแบบพกพา ซึ่งอุปกรณ์เสริมสมาร์ทโฟนแบบพกพาจะช่วยลดปัญหาของตัวอย่างที่จะทำให้คุณภาพของตัวอย่างตกต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บตัวอย่างหรือขั้นตอนการวิเคราะห์ วัสดุทั้งหมดสำหรับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีราคน้อยกว่า US \$ 20 หรือ 600 บาท สำหรับสเปกตรัมที่เก็บข้อมูลมีระบบแสงที่มองเห็นในช่วง 400-700 นาโนเมตร คณะผู้วิจัยทำการทดลองคล้าย UV-vis spectrophotometer โดยนำตัวอย่าง urine ปริมาณ 4 มิลลิลิตร เทลงใน cuvette ขนาด 4.5 มิลลิลิตรและวาง sample ให้อยู่ตำแหน่งตรงข้ามกับแสงฟลูออเรสเซนซ์ เพื่อให้แสงเดินทางผ่าน cuvette แล้วไปยังกล้องของสมาร์ทโฟน งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพิสูจน์แนวคิดเกี่ยวกับการศึกษา metabolomics ที่นำไปใช้ในการประเมินค่า cisplatin ซึ่งเป็นพิษในไต ที่เกิดขึ้นในหนูทดลองพบว่าสามารถตรวจสอบได้อย่างถูกต้องถึง 7 ใน 8 ของตัวอย่างทดสอบ ในทางทฤษฎีสามารถนำมาใช้กับโครงการ metabolomics ที่เกี่ยวข้องของของเหลวที่สามารถดูดซับแสงที่มองเห็นได้โดยไม่ต้องใช้ซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์ที่ยุ่งยาก ซับซ้อน ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 ลักษณะของอุปกรณ์เสริมใช้ต่อเข้ากับสมาร์ทโฟน



ภายในปีเดียวกันได้มีงานวิจัยเรื่อง Smartphone fundoscopy for retinopathy of prematurity (ROP) ของ Shan-Jiun Lin และคณะ (5) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการตรวจ fundus ซึ่งคือ ส่วนหลังสุดของลูกตาที่เห็นได้ด้วยการใช้กล้องส่อง โดยอุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้ สมาร์ทโฟนและ 30D lens (18-200 nm 50 f 1.8) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อนำความสามารถของสมาร์ทโฟนมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการถ่ายภาพของจอประสาทตาของทารกที่เกิดก่อนกำหนด (ROP) วิธีการตรวจสอบคือนำสมาร์ทโฟนและ 30D เลนส์ติดกับกระจกตาเพื่อดูการเคลื่อนไหวของตาทารก โดยจะถูกบันทึกภาพในโหมดวิดีโอ และเปิดแฟลชอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ไฟส่องสว่างอย่างต่อเนื่อง โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้มีความปลอดภัยต่อตามนุษย์ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า สมาร์ทโฟนสามารถจับภาพ Fundus โดยรูปที่ได้มีคุณภาพและได้รับการยอมรับในการวินิจฉัยพร้อมทั้งสามารถนำไปใช้กับผู้ป่วย ROP อุปกรณ์เสริมชนิดนี้ถือว่าเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกและราคาไม่แพงโดยต้องใช้งานคู่กับสมาร์ทโฟนของผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 1.7

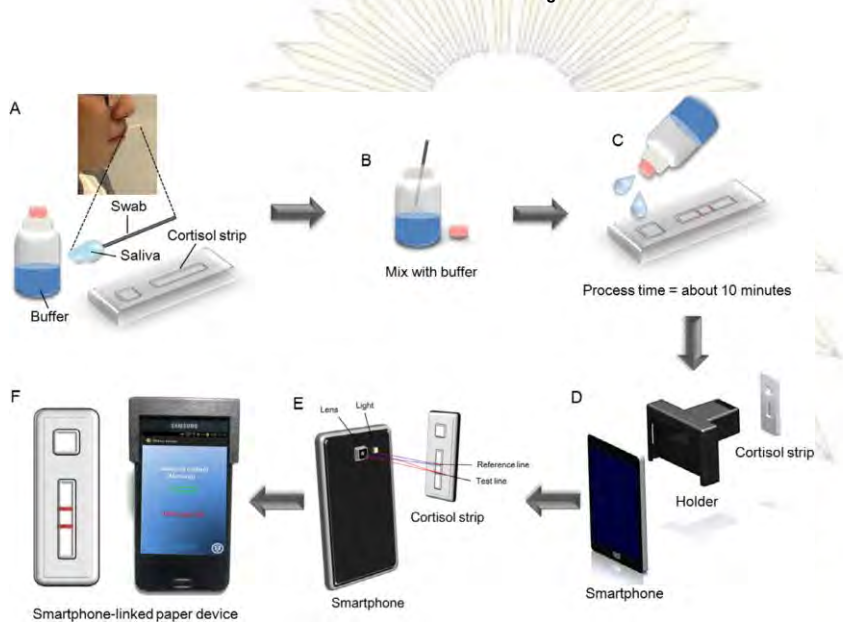


รูปที่ 1.7 ก การใช้งานสมาร์ทโฟนและ 30D เลนส์ที่ใช้บันทึก fundus ในโหมด Video และภาพ ข เรตินาปกติของลูกตาโดยการใช้โหมดถ่ายภาพของ iPhone 4s

และภายในปีเดียวกันนั้น ได้มีงานวิจัยเรื่อง Real-time measurement of human salivary cortisol for the assessment of psychological stress using a smartphone ของ Seoyoen Choi และคณะ (6) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการวัดคอร์ติซอลในน้ำลายมนุษย์ที่เกิดจากความเครียดโดยการใช้งานของสมาร์ทโฟน คอร์ติซอลเป็นฮอร์โมนความเครียดจะหลั่งออกมาเมื่ออยู่ในสภาวะเครียด โดยจะมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้คือ รักษาระดับน้ำตาลจากการเผาผลาญกลูโคส ควบคุมความดันโลหิต รักษาระดับอินซูลินในเลือด และทำให้ภูมิคุ้มกันบกพร่อง โดยอุปกรณ์นี้เป็นอุปกรณ์ส่วนตัวในการวัดคอร์ติซอล ซึ่งในส่วนของตาเราสามารถวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้แต่ยังไม่สามารถวิเคราะห์ในเชิงปริมาณได้ จึงมีการใช้ LFA (Lateral Flow Assay) strip ซึ่งมีการวัดที่จำเพาะและหาปริมาณของคอร์ติซอลในน้ำลายมนุษย์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยมีอุปกรณ์ดังนี้ สมาร์ทโฟนที่มีระยะโฟกัส 70 มิลลิเมตร holder ขนาด 70X90X130 มิลลิเมตร และ Lateral Flow immune strip ในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงคือ แฟลชของสมาร์ทโฟน ซึ่งเป็นการใช้งานเหมือนกับกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงจากผลการทดลองพบว่า งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จกับการแสดงผลความเข้มของสีในการทดสอบซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของคอร์ติซอลในช่วง 1-100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และอุปกรณ์ชนิดนี้สามารถวัดคอร์ติซอลในน้ำลายมนุษย์เพียงหยดน้ำลายของมนุษย์ ลงบน Lateral Flow immune strip ซึ่งเป็นไบโอเซนเซอร์ที่ใช้งานง่าย สะดวก และรวดเร็ว ดังรูปที่ 1.8 และ 1.9



รูปที่ 1.8 วิธีการใช้งานของ Lateral Flow immune strip กับสมาร์ทโฟน



รูปที่ 1.9 การแสดงผลทางหน้าจอของการใช้แอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์ของสมาร์ทโฟน

## ด้านการเกษตร

ในปี 2014 มีงานวิจัยเรื่อง Automated Counting of Rice Planthoppers in Paddy Fields Based on Image Processing ของ YAO Qing และคณะ (7) ได้ทำการสำรวจเชิงปริมาณของเพลี้ยกระโดดข้าวในนาข้าวซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการประเมินความหนาแน่นของเพลี้ยกระโดดข้าว ซึ่งโดยปกติเกษตรกรขณะทำการสำรวจเพลี้ยกระโดดในนาข้าวจะใช้เวลานานและน่าเบื่อ งานวิจัยนี้จึงได้ใช้โทรศัพท์มือถือในการจับภาพเพลี้ยกระโดดบนลำต้นข้าวและใช้วิธีอัตโนมัติสำหรับการนับเพลี้ยกระโดดในนาข้าวซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการประมวลผลภาพ (image processing) ผลการทดลองพบว่า ภาพที่ได้มีอัตราการตรวจจับที่ถูกต้องถึง 85.2% สามารถสรุปได้ว่าวิธีการนี้ง่าย รวดเร็วและถูกต้องสำหรับการประเมินความหนาแน่นของประชากรของเพลี้ยกระโดดข้าวในนาข้าว และนอกจากจะช่วยลดแรงงานความเหนื่อยของเกษตรกร วิธีนี้ยังเป็นการปรับปรุงความถูกต้องของการนับเพลี้ยกระโดดในนาข้าวอีกด้วย ดัง รูปที่

1.10



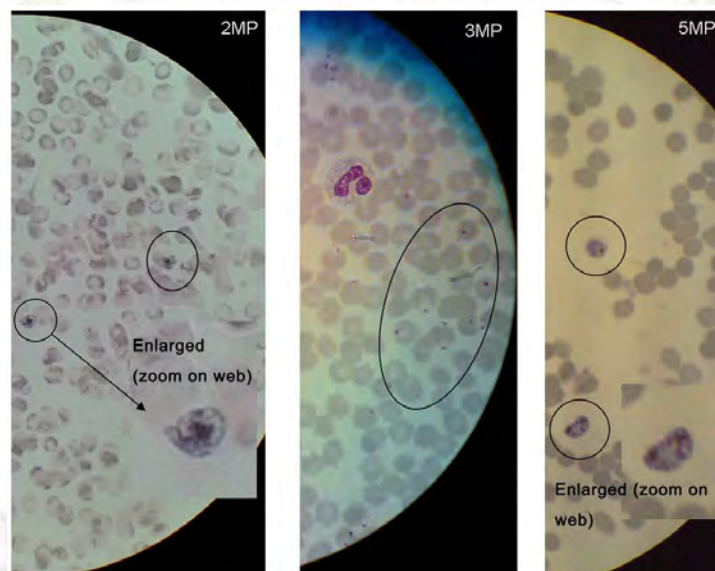
รูปที่ 1.10 ก เพลี้ยกระโดดบนลำต้นข้าวถ่ายด้วยโทรศัพท์มือถือและ ข การตรวจจับภาพของเพลี้ยกระโดด

## ด้านวิทยาศาสตร์

ในปี 2011 มีงานวิจัยเรื่อง Data and Image Transfer Using Mobile Phones to Strengthen Microscopy-Based Diagnostic Services in Low and Middle Income Country Laboratories ของ Coosje J. Tuijn และคณะ (8) มีวัตถุประสงค์ในงานวิจัยเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของการใช้โทรศัพท์มือถือสำหรับการจับภาพของ malaria parasites จากกล้องจุลทรรศน์และถ่ายโอนข้อมูลไปยังฐานข้อมูลกลางสำหรับการประเมินผล ปรากฏว่า ประสบความสำเร็จในการส่งภาพที่ถ่ายได้จากกล้องโทรศัพท์มือถือที่มีความละเอียด 2 ล้านพิกเซล (MP) ถึง 5 ล้านพิกเซล ไปยังฐานข้อมูลกลาง ดังรูปที่ 1.11 และ 1.12

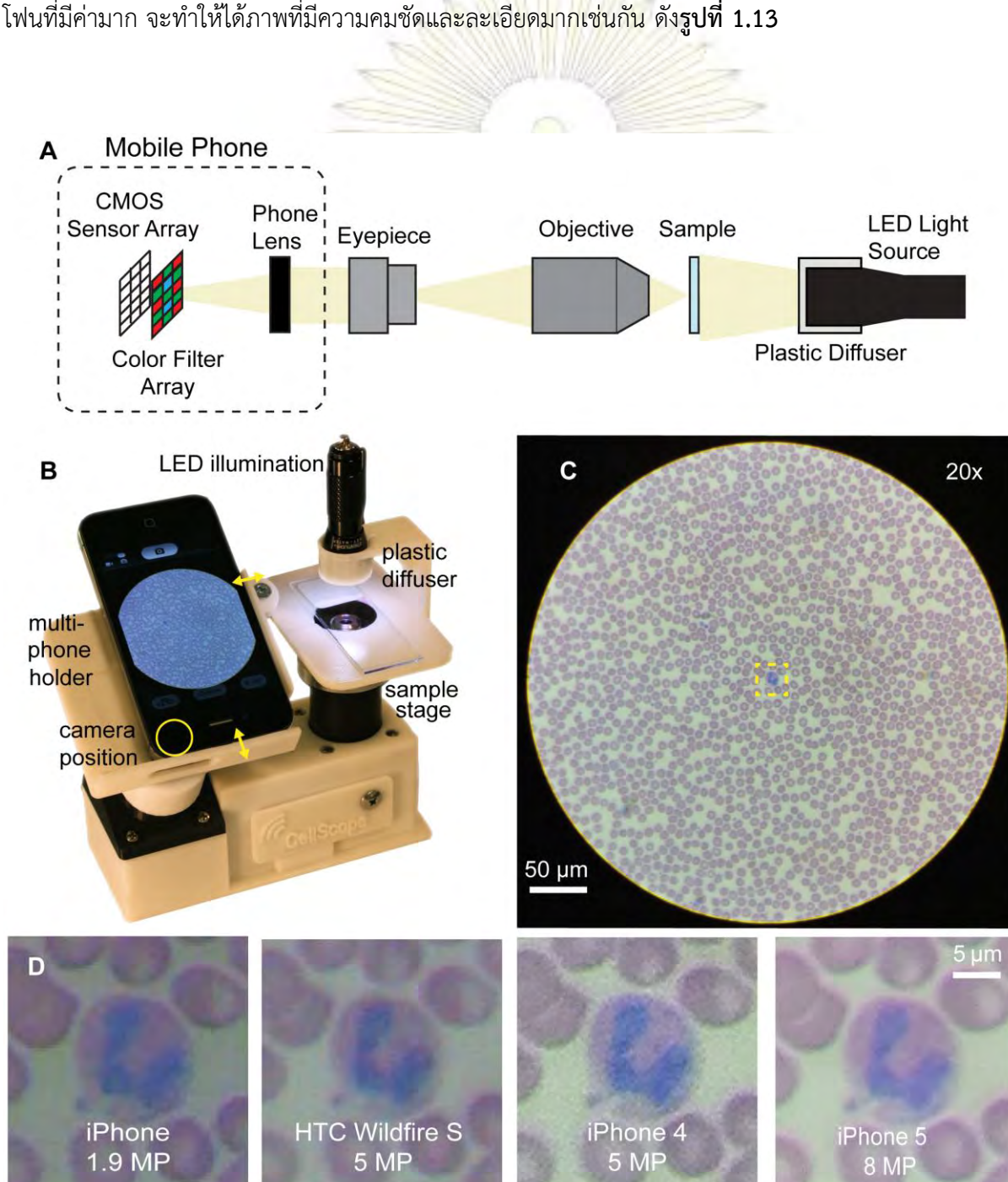


รูปที่ 1.11 การเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือกับกล้องจุลทรรศน์



รูปที่ 1.12 ภาพ malaria parasites ที่ถ่ายจากกล้องโทรศัพท์มือถือที่มีความละเอียด 2 ล้านพิกเซล (MP) ถึง 5 ล้านพิกเซล

ในปี 2014 มีงานวิจัยเรื่อง Quantitative Imaging with a Mobile Phone Microscope ของ Arunan Skandarajah และคณะ (9) ได้กล่าวว่าการใช้งานการถ่ายภาพสำหรับการใช้งานทางการแพทย์และทางวิทยาศาสตร์ ต้องใช้ปริมาณและคุณสมบัติต่างๆที่ถูกต้อง เช่น ขนาดของวัตถุ สีและความสว่าง งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา คุณภาพของกล้องสมาร์ทโฟนโดยเลือกทำการศึกษา iPhone และโทรศัพท์ Android ที่วางจำหน่ายระหว่างปี 2007 และ 2012 โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบส่องผ่าน และเลนส์มีกำลังขยาย 20x ผลปรากฏว่า ความละเอียดของกล้องสมาร์ทโฟนที่มีค่ามาก จะทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัดและละเอียดมากเช่นกัน ดังรูปที่ 1.13



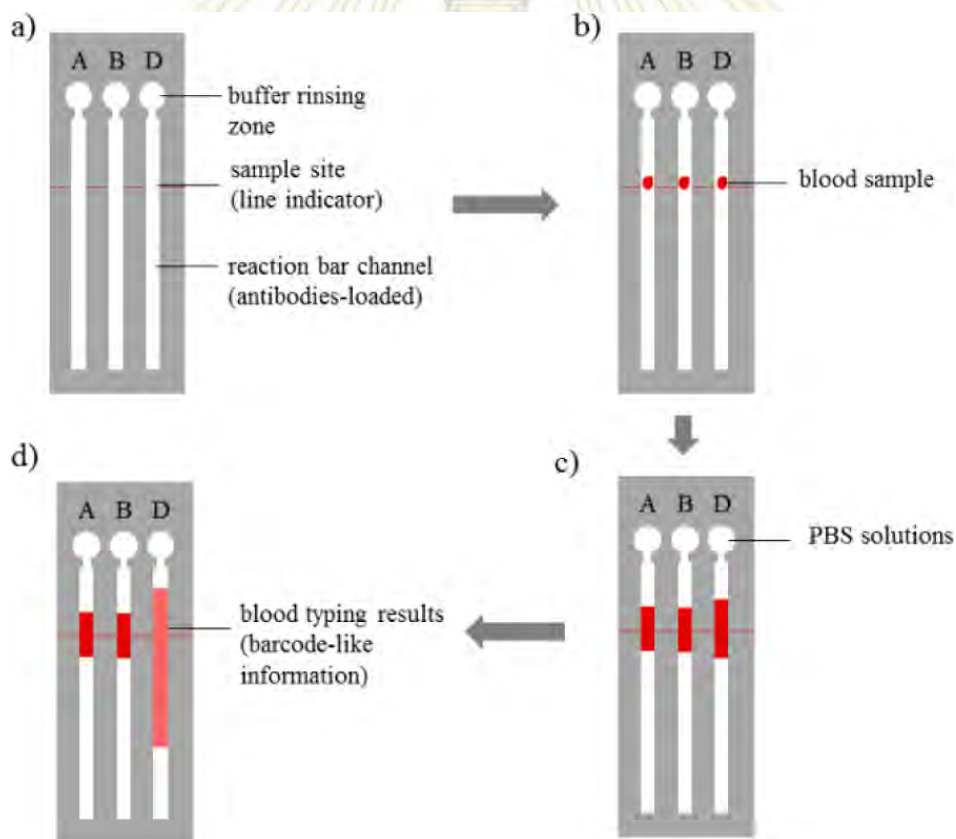
รูปที่ 1.13 ภาพโทรศัพท์มือถือและภาพที่บันทึกได้จาก iPhone และ HTC

ภายในปีเดียวกันมีงานวิจัยเรื่อง Barcode-Like Paper Sensor for Smartphone Diagnostics: An Application of Blood Typing ของ Liyun Guan และคณะ (10) ได้นำกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนแบบส่องผ่านมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการถ่ายภาพเพื่อที่จะได้เปรียบเทียบหมู่โลหิตบนกระดาษที่นำมาทดลองโดยแบ่งตามประเภทของกรุ๊ปโลหิตเพื่อที่จะได้ทำการวิเคราะห์เป็นข้อมูลเปรียบเทียบในผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดอุบัติเหตุหรือเหตุฉุกเฉินต่างๆ โดยการจำแนกหมู่โลหิตในระบบ ABO จะมีสารชีวเคมีชื่อว่า แอนติเจน เป็นตัวจำแนกหมู่โลหิต คือ แอนติเจน A (Antigen-A) และแอนติเจน B (Antigen-B) โดย หมู่โลหิต A คือหมู่โลหิตที่มีแอนติเจน-เอ (Antigen-A) อยู่ที่ผิวของเม็ดเลือดแดงและมีแอนติบอดี-บี (Antibody-B) อยู่ในน้ำเหลือง

หมู่โลหิต B คือหมู่โลหิตที่มีแอนติเจน-บี (Antigen-B) อยู่ที่ผิวของเม็ดเลือดแดงและมีแอนติบอดี-เอ (Antibody-A) อยู่ในน้ำเหลือง

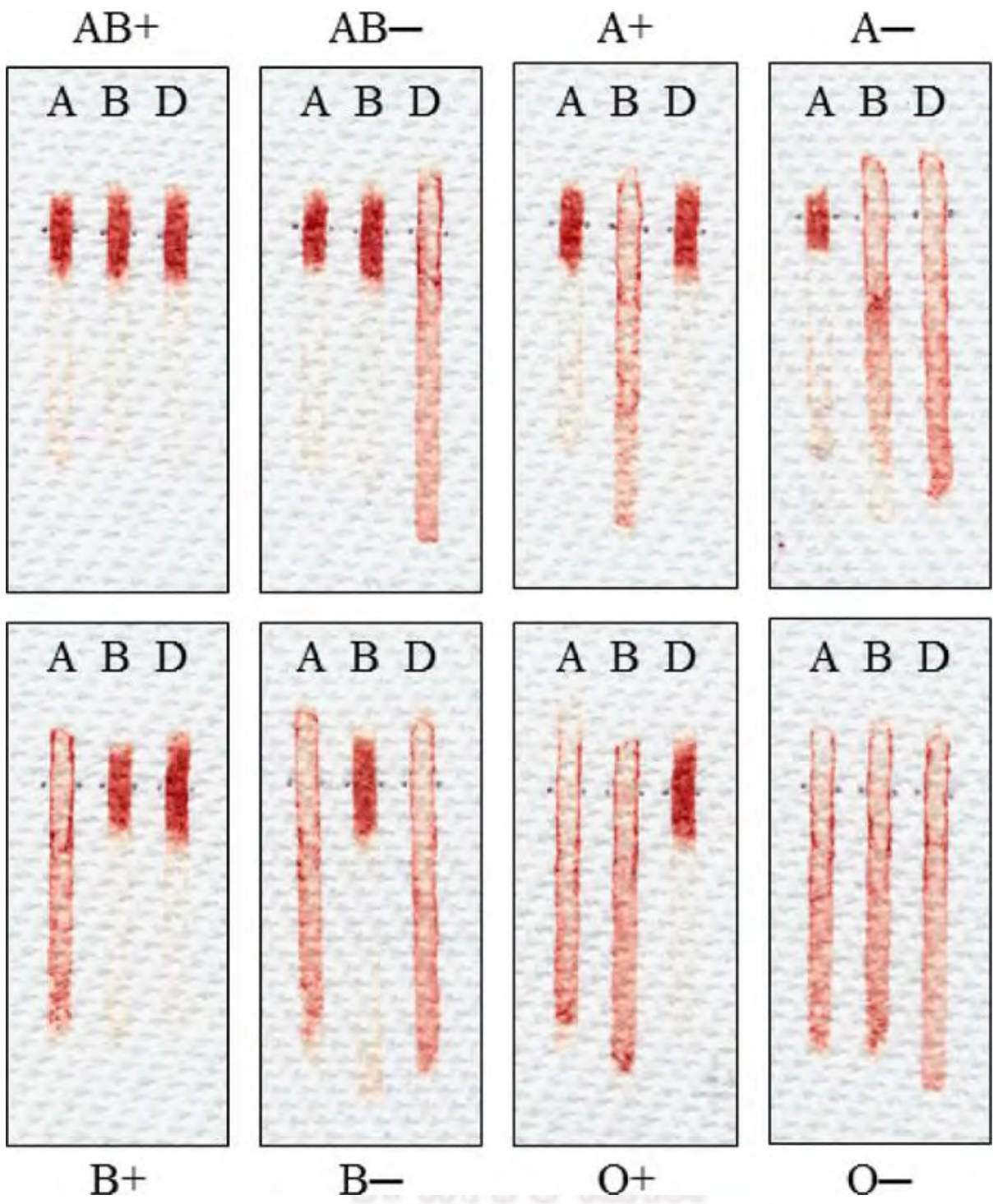
หมู่โลหิต O คือหมู่โลหิตที่ไม่มีแอนติเจน-เอ (Antigen-A) และแอนติเจน-บี (Antigen-B) อยู่ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง แต่มีแอนติบอดี-เอ (Antibody-A) และมีแอนติบอดี-บี (Antibody-B) อยู่ในน้ำเหลือง

หมู่โลหิต AB คือหมู่โลหิตที่มีแอนติเจน-เอ (Antigen-A) และแอนติเจน-บี (Antigen-B) อยู่ที่ผิวของเม็ดเลือดแดง แต่ในน้ำเหลือง ไม่มีแอนติบอดี-เอ (Antibody-A) และแอนติบอดี-บี (Antibody-B)



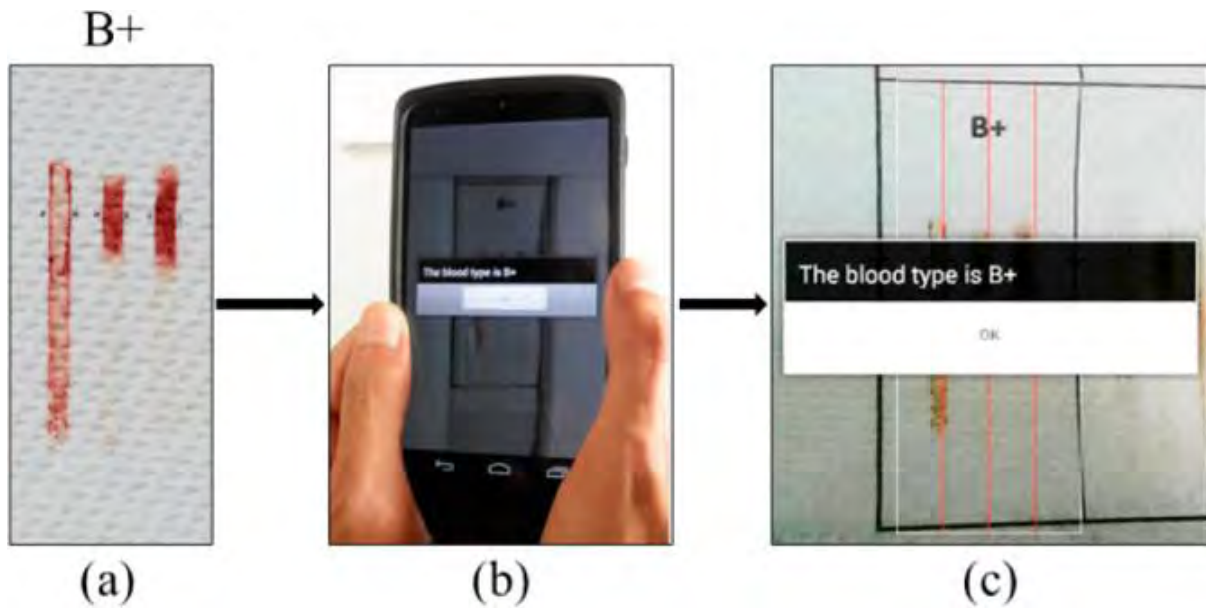
รูปที่ 1.14 ไดอะแกรมของการตรวจหาชนิดของหมู่โลหิต โดย a Anti-A, Anti-B, and Anti-D

b 3 ไมโครลิตรของตัวอย่างเลือดปฏิกิริยาเกิดภายในสามสิบวินาที c 10 ไมโครลิตรของสารละลาย PBS ปฏิกิริยาเกิดภายในหนึ่ง d อ่านผลของหมู่โลหิต



รูปที่ 1.15 ผลของหมู่โลหิตต่างๆ

คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.16 ผลการใช้งานของสมาร์ทโฟน a ผลของหมู่โลหิต (B+) b ผลของการใช้ Android app และ c การแสดงผลหมู่โลหิตบนหน้าจอสมาร์ทโฟน

Liyun Guan และคณะ (10) ได้นำแนวคิดของการอ่านบาร์โค้ดมาประยุกต์ใช้งานให้เป็นระบบเซ็นเซอร์เพื่อใช้ในการตรวจหมู่โลหิต โดยประเภทของหมู่โลหิตจะปรากฏผลบนหน้าจอของสมาร์ทโฟนโดยไม่ต้องตีความใดๆ นอกจากนี้ด้วยความสามารถของสมาร์ทโฟนที่สามารถถ่ายโอนข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Wi-Fi) ระหว่างผู้ใช้งานและผู้เชี่ยวชาญจะทำให้เกิดการวินิจฉัยผลที่รวดเร็วมากขึ้น จึงทำให้สมาร์ทโฟนถูกใช้งานอย่างแพร่หลายและนำไปใช้เป็นแพลตฟอร์มการวินิจฉัยทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อมในอนาคต

งานวิจัยเกี่ยวกับกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนแบบส่องผ่าน สะท้อน และห้วงกลับในหนึ่งเดียวมีความแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา คือ ใช้งานง่าย พกพาได้สะดวก ทุกที่ ทุกเวลา อุปกรณ์มีขนาดเล็ก กะทัดรัด ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแฟลชจากกล้องสมาร์ทโฟนที่ไม่ต้องสิ้นเปลืองแหล่งพลังงาน ไม่ต้องเปลี่ยนถ่านหรือแบตเตอรี่ มีอุปกรณ์เสริมจำนวน 2 ชิ้น ซึ่งใช้งานได้ทั้งกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนแบบส่องผ่าน, สะท้อนและห้วงกลับ ในขณะที่อุปกรณ์เสริมในงานวิจัยอื่น มีจำนวน 4-6 ชิ้น ใช้งานได้เพียงกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน, สะท้อน หรือห้วงกลับเพียงอย่างเดียวเท่านั้น และอุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนของงานวิจัยนี้มีน้ำหนักต่อชิ้นอยู่ที่ 17.16 กรัม, 11.11 กรัม และ 9.39 กรัมของกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนแบบส่องผ่าน, สะท้อนและห้วงกลับตามลำดับ ในขณะที่ attachment ในงานวิจัยอื่นมีน้ำหนักอยู่ที่ประมาณ 150 กรัม

คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### 1.3 คุณสมบัติของสมาร์ทโฟน

ตาราง1.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ Apple

Smartphone	Dimensions (mm)	Weight (g)	Display size (inch)	Resolution (pixel)	Camera	Features	VDO	Wi-Fi	Bluetooth
<b>Apple (11)</b>									
i4s	115.2 x 58.6 x 9.3	140	3.5"	640x960 330 ppi	8 MP, 3264 x 2448 pixels	1/3.2" sensor size, 1.4 $\mu$ m pixel size	1080p@ 30fps	802.11 b/g/n, hotsp ot	v4.0, A2DP, LE
i5s	123.8 x 58.6 x 7.6	112	4.0"	1136x640 326 ppi	8 MP, 3264 x 2448 pixels	1/3" sensor size, 1.5 $\mu$ m pixel size	1080p@ 30fps, 720p@ 120fps	802.11 a/b/g/ n hotsp ot	v4.0, A2DP
i6	138.1 x 67 x 6.9	129	4.7"	1334x750 326 ppi	8 MP, 3264 x 2448 pixels	1/3" sensor size, 1.5 $\mu$ m pixel size	1080p@ 60fps, 720p@ 240fps	802.11 a/b/g/ n/ac, hotsp ot	v4.0, A2DP, LE
i6 plus	158.1 x 77.8 x 7.1	172	5.5"	1920x1080 401 ppi	8 MP, 3264 x 2448 pixels	1/3" sensor size, 1.5 $\mu$ m pixel size	1080p@ 60fps, 720p@ 240fps	802.11 a/b/g/ n/ac, hotsp ot	v4.0, A2DP, LE

ตาราง1.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ Sony

Smartphone	Dimensions (mm)	Weight (g)	Display size (inch)	Resolution (pixel)	Camera	Features	VDO	Wi-Fi	Bluetooth
<b>Sony (12)</b>									
Sony Xperia E4 Dual	137 x 74.6 x 10.5	144	5.0"	540 x 960 220 ppi	5 MP, 2592 x 1944 pixels	Geo-tagging, touch focus, panorama	1080p@30fps	802.11 b/g/n, hotspot	v4.1, A2DP, apt-X
Sony Xperia E3 Dual	137.1 x 69.4 x 8.5	143.8	4.5"	480 x 854 pixels 218 ppi	5 MP, 2592 x 1944 pixels	Geo-tagging, touch focus, panorama	1080p@30fps	802.11 b/g/n, hotspot	v4.0, A2DP
Sony Xperia Z3 Dual	146 x 72 x 7.3	152	5.2"	1080 x 1920 pixels 424 ppi	20.7 MP, 5248 x 3936 pixels	1/2.3" sensor size, geo-tagging, touch focus, panorama	2160p@30fps, 1080p@60fps, 720p@120fps	802.11 a/b/g/n/ac, hotspot	v4.0, A2DP, apt-X
Sony Xperia Z2	146.8 x 73.3 x 8.2	163	5.2"	1080 x 1920 pixels 424 ppi	20.7 MP, 5248 x 3936 pixels	1/2.3" sensor size, geo-tagging, touch focus, panorama	2160p@30fps, 1080p@60fps, 720p@120fps	802.11 a/b/g/n/ac, hotspot	v4.0, A2DP, apt-X

ตาราง 1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ HTC

Smartphone	Dimensions (mm)	Weight (g)	Display size (inch)	Resolution (pixel)	Camera	Features	VDO	Wi-Fi	Bluetooth
<b>HTC (13)</b>									
HTC Desire 616 dual sim	142 x 71.9 x 9.2	150	5.0"	720 x 1280 pixels 294 ppi	8 MP, 3264 x 2448 pixels	Geo-tagging, touch focus	1080p@30fps	802.11 b/g/n, hotspot	v4.0, A2DP, apt-X, EDR
HTC Desire 626	146.9 x 70.9 x 8.2	140	5.0"	720 x 1280 pixels 294 ppi	13 MP, 4128 x 3096 pixels	Geo-tagging, touch focus, panorama	1080p@30fps	802.11 b/g/n, hotspot	v4.0, A2DP, apt-X
HTC Desire 816G dual sim	156.6 x 78.7 x 8	158	5.5"	720 x 1280 pixels 267 ppi	13 MP, 4160 x 3120 pixels	Geo-tagging, touch focus	1080p@30fps, 720p@60fps	802.11 b/g/n, hotspot	v4.0, A2DP, apt-X
HTC Desire 820	157.7 x 78.7 x 7.7	155	5.5"	720 x 1280 pixels 267 ppi	13 MP, 4160 x 3120 pixels	Geo-tagging, touch focus	1080p@30fps, 720p@60fps	802.11 a/b/g/n, hotspot	v4.0, A2DP, apt-X
HTC Desire 826	158 x 77.5 x 8	183	5.5"	1080 x 1920 pixels 401 ppi	13 MP, 4160 x 3120 pixels,	Geo-tagging, touch focus	1080p@30fps, 720p@60fps	802.11 a/b/g/n, hotspot	v4.1, A2DP, apt-X
HTC One (E8) CDMA	146.4 x 70.7 x 9.9	164	5.0"	1080 x 1920 pixels 441 ppi	13 MP, 4128 x 3096 pixels	Geo-tagging, touch focus, panorama	1080p@30fps	802.11 a/b/g/n, hotspot	v4.1, A2DP, apt-X

ตาราง1.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ LG

Smartphone	Dimensions (mm)	Weight (g)	Display size (inch)	Resolution (pixel)	Camera	Features	VDO	Wi-Fi	Bluetooth
<b>LG (14)</b>									
LG G Flex2	149.1 x 75.3 x 7.1-9.4	152	5.5"	1080 x 1920 pixels 403 ppi	13 MP, 4128 x 3096 pixels	Geo- taggin g, touch focus, panora ma	2160p@ 30fps, 1080p@ 60fps	802.11 a/b/g/ n/ac, hotsp ot	v4.1, A2DP, LE, apt- X
LG Tribute	127.5 x 67.8 x 10.7	138. 9	4.5"	480 x 800 pixels 207 ppi	5 MP, 2560 x 1920 pixels	Geo- taggin g, touch focus, panora ma	1080p@ 60fps	802.11 b/g/n, hotsp ot	v4.0, A2DP, LE
LG G3 Dual- LTE	146.3 x 74.6 x 8.9	149	5.5"	1440 x 2560 pixels 534 ppi	13 MP, 4160 x 3120 pixels	1/3" sensor size, Geo- taggin g, touch focus, panora ma	2160p@ 30fps, 1080p@ 30fps	802.11 a/b/g/ nhots pot	v4.0, A2DP, LE
LG L60 Dual	124.1 x 66.3 x 12	-	4.3"	480 x 800 pixels 217 ppi	5 MP, 2592 x 1944 pixels	Geo- taggin g, touch focus, panora ma	480p@ 30fps	802.11 b/g/n, hotsp ot	v4.0, A2DP

ตาราง 1.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ Lenovo

Smartphone	Dimensions (mm)	Weight (g)	Display size (inch)	Resolution (pixel)	Camera	Features	VDO	Wi-Fi	Bluetooth
Lenovo (15)									
Lenovo A7000	152.6 x 76.2 x 8	140	5.5"	720 x 1280 pixels 267 ppi	8 MP, 3264 x 2448 pixels	Geo-tagging, touch focus	-	802.11 b/g/n, hotspot	v4.0, A2DP
Lenovo A6000	141 x 70 x 8.2	128	5.0"	720 x 1280 pixels 294 ppi	8 MP, 3264 x 2448 pixels	Geo-tagging, touch focus	-	802.11 b/g/n, hotspot	v4.0, A2DP
Lenovo K3	141 x 70.5 x 7.9	128	5.0"	720 x 1280 pixels 294 ppi	8 MP, 3264 x 2448 pixels	Geo-tagging, touch focus	-	802.11 a/b/g/n hotspot	v4.0, A2DP, LE
Lenovo S856	151 x 77.8 x 9	175	5.5"	720 x 1280 pixels 267 ppi	8 MP, 3264 x 2448 pixels	Geo-tagging, touch focus	-	802.11 b/g/n, hotspot	v4.0
Lenovo A916	149.5 x 76.6 x 8.7	173	5.5"	720 x 1280 pixels 267 ppi	13 MP, 4128 x 3096 pixels	Geo-tagging	-	802.11 b/g/n, hotspot	v4.0
Lenovo S939	159 x 84 x 8.7	171.5	6.0"	720 x 1280 pixels 245 ppi	8 MP, 3264 x 2448 pixels	Geo-tagging, touch focus	-	802.11 b/g/n, hotspot	v4.0

ตาราง1.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คุณสมบัติของแต่ละรุ่น ยี่ห้อ Samsung

Smartphone	Dimensions (mm)	Weight (g)	Display size (inch)	Resolution (pixel)	Camera	Features	VDO	Wi-Fi	Bluetooth
<b>Samsung (16)</b>									
Samsung Galaxy S6	143.4 x 70.5 x 6.8	138	5.1”	1440 x 2560 pixels 577 ppi	16 MP, 2988 x 5312 pixels	Geo- taggin g, touch focus, panora ma	2160p@ 30fps, 1080p@ 60fps, 720p@ 120fps	802.11 a/b/g/ n/ac, hotsp ot	v4.1, A2DP, LE, apt- X
Samsung Galaxy S5 Plus	142 x 72.5 x 8.1	145	5.1”	1080 x 1920 pixels 432 ppi	16 MP, 5312 x 2988 pixels	1/2.6" sensor size, 1.12 µm pixel size	2160p@ 30fps, 1080p@ 60fps, 720p@ 120fps	802.11 a/b/g/ n/ac, hotsp ot	v4.0, A2DP, EDR, LE, apt- X
Samsung Galaxy Note 4 Duos	153.5 x 78.6 x 8.5	175	5.7”	1440 x 2560 pixels 515 ppi	16 MP, 5312 x 2988 pixels	Geo- taggin g, touch focus, panora ma	2160p@ 30fps, 1080p@ 60fps	802.11 a/b/g/ n/ac, hotsp ot	v4.1, A2DP, EDR, LE
Samsung Galaxy E7	151.3 x 77.2 x 7.3	141	5.5”	720 x 1280 pixels 267 ppi	13 MP, 4128 x 3096 pixels	Geo- taggin g, touch focus, panora ma	1080p@ 30fps	802.11 b/g/n, hotsp ot	v4.0, A2DP
Samsung Galaxy Grand Max	146 x 74.8 x 7.9	161	5.25”	720 x 1280 pixels 282 ppi	13 MP, 4128 x 3096 pixels	Geo- taggin g, panora ma	1080p@ 30fps	802.11 a/b/g/ nhots pot	v4.0, A2DP, EDR, LE

## นิยาม

1. Resolution (pixel) คือ ค่าความละเอียดของภาพ ๆ หนึ่งซึ่งกำหนดเป็นจำนวนเม็ดสี (pixels) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของภาพ และค่า Resolution ที่เรานิยมใช้คือ จำนวนพิกเซลต่อนิ้ว หรือ pixels/inch (ppi) (17)
2. Geo-tagging คือ เทคโนโลยีการระบุตำแหน่งพิกัด โดยใช้สัญญาณการรับส่งข้อมูลจากมือถือที่รองรับ GPS และ AGPS (18)
3. VDO 720p@120fps คือ 720 พิกเซล การถ่าย 120 ภาพต่อวินาที  
 VDO 1080p@30fps คือ 1080 พิกเซล การถ่าย 30 ภาพต่อวินาที  
 VDO 1080p@60fps คือ 1080 พิกเซล การถ่าย 60 ภาพต่อวินาที  
 VDO 2160p@30fps คือ 2160 พิกเซล การถ่าย 30 ภาพต่อวินาที  
 ส่วน p หมายถึง Progressive scanning ซึ่งเป็นการแสดงผลของภาพพร้อมๆ กันทุกเส้น (19)
4. Wi-Fi (IEEE 802.11a/b/g/n/ac) คือ ตัวกำหนดมาตรฐานความเร็วในการรับส่งข้อมูลไร้สาย ซึ่งแบ่งได้เป็น 5 Class ดังนี้
  - 4.1 Wi-Fi Class "a" หรือ IEEE 802.11a จะใช้คลื่นความถี่ 5 GHz ในการรับส่งสัญญาณข้อมูลไร้สาย โดยจะทำความเร็วได้สูงสุดที่ 54 Mbps
  - 4.2 Wi-Fi Class "b" หรือ IEEE 802.11b จะใช้คลื่นความถี่ 2.4 GHz ในการรับส่งสัญญาณข้อมูลไร้สาย โดยจะทำความเร็วได้สูงสุดที่ 11 Mbps
  - 4.3 Wi-Fi Class "g" หรือ IEEE 802.11g จะใช้คลื่นความถี่ 2.4 GHz ในการรับส่งสัญญาณข้อมูลไร้สาย โดยจะทำความเร็วได้สูงสุดที่ 54 Mbps
  - 4.4 Wi-Fi Class "n" หรือ IEEE 802.11n จะใช้คลื่นความถี่ 2.4 GHz ในการรับส่งสัญญาณข้อมูลไร้สาย โดยจะทำความเร็วได้สูงสุดที่ 150 Mbps และ 300 Mbps ซึ่งช่วงระยะหลังได้มีการพัฒนาการส่งสัญญาณแบบ "Dual-Band" หรือการใช้คลื่นความถี่ในย่าน 2.4 GHz และ 5 GHz ในการรับส่งสัญญาณ (จะใช้เสามากกว่า 1 ต้นขึ้นไป) ทำให้สามารถทำความเร็วได้สูงถึง 300 + 300 Mbps หรือเรียกสั้นๆ ว่า N600
  - 4.5 Wi-Fi Class "ac" หรือ IEEE 802.11ac จะใช้คลื่นความถี่ 5 GHz ในการรับส่งข้อมูลไร้สาย โดย Class ac เป็นมาตรฐานใหม่ล่าสุดที่จะได้รับการรับรองจาก IEEE ให้เป็นมาตรฐานใหม่ ซึ่งมาตรฐานในการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายของ Class ac สามารถทำความเร็วได้สูงถึง 6,930 Mbps หรือประมาณ 6.93 Gbps (20)

5. บลูทูธ v4.0 คือ เทคโนโลยีที่มีเป้าหมายในการใช้งานกับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ และบลูทูธ 4.0 ยังสามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์สื่อสารที่ต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์และมือถือ ด้วยความเร็วสูง โดยใช้อัตราการส่งข้อมูล 3 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps)

บลูทูธ A2DP ย่อมาจากคำเต็มว่า Advanced Audio Distribution Profile ซึ่งก็คือ Profile ชนิดหนึ่งของเทคโนโลยี Bluetooth ที่พัฒนาและออกแบบมาเพื่อส่งผ่านข้อมูลเสียงในแบบ Stereo

บลูทูธ EDR (Enhanced Data Rate) คือ ระบบอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการปรับปรุงให้สามารถสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายได้เร็วขึ้น โดยส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็ว 3 เมกะบิตต่อวินาที

บลูทูธ apt-X คือ เทคโนโลยีบีบอัดเสียงผ่านระบบบลูทูธที่ยังคงคุณภาพเสียงเหมือนต้นฉบับ หรือเหมือนแผ่น CD (21)

#### 1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อพัฒนาสมาร์ตโฟนให้กลายเป็นต้นแบบกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนที่สามารถถ่ายภาพที่มีความละเอียดสูงแบบส่องผ่าน, สะท้อนและหัวกลับ
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนที่พัฒนาขึ้นเทียบกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนที่สามารถถ่ายภาพที่มีความละเอียดสูง แบบส่องผ่าน, สะท้อนและหัวกลับ เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับมองดูวัตถุที่มีขนาดเล็กเกินกว่ามองเห็นด้วยตาเปล่า
2. ได้กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ สามารถนำไปบันทึกภาพนอกสถานที่ได้โดยปราศจากการใช้เครื่องมือที่อยู่ยากซับซ้อน

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



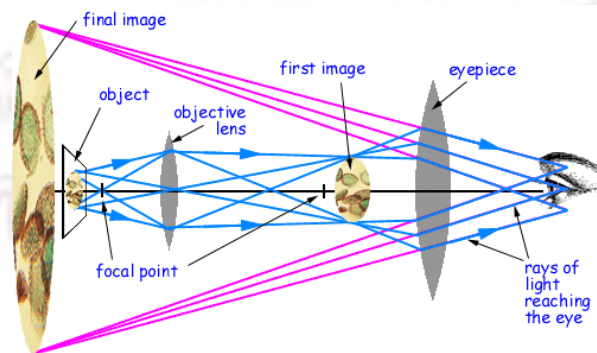
## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 หลักการพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์

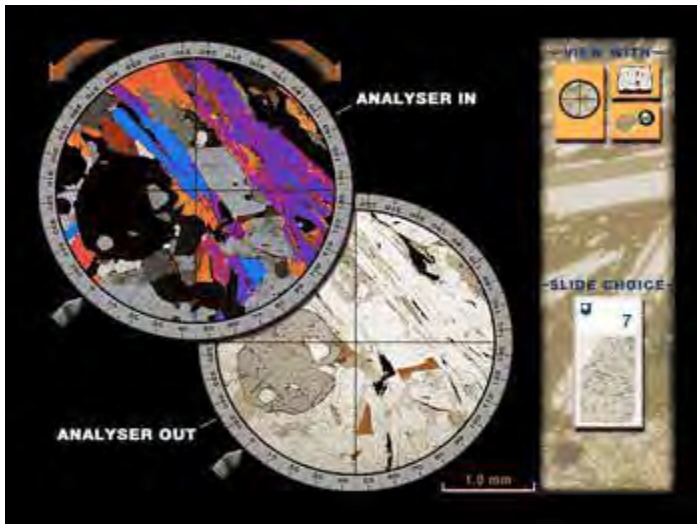
##### กล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์เป็นอุปกรณ์สำหรับดูภาพวัตถุที่มีขนาดเล็กเกินกว่ามองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยทั่วไปคนที่มียาสายตาปกติจะสามารถมองเห็นวัตถุที่มีขนาดเล็กที่สุดได้เพียงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร ส่วนวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่านั้น สายตาคคนเราจะไม่สามารถมองเห็นได้ ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้คิดประดิษฐ์เครื่องมือที่ช่วยให้สามารถมองเห็นวัตถุที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร และบุคคลแรกที่สามารถประดิษฐ์เครื่องมือที่ช่วยให้เราสามารถมองเห็นวัตถุเหล่านั้นได้ มีชื่อว่า Antony Van Leeuwenhoek เป็นชาวเนเธอร์แลนด์ กล้องจุลทรรศน์สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท คือ กล้องจุลทรรศน์แสง (Optical microscopes) ที่สามารถใช้ศึกษาวัตถุที่มีขนาดเล็กถึงระดับ 100 นาโนเมตร กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscopes) เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายมากกว่ากล้องจุลทรรศน์แสง (Optical microscopes) ซึ่งสามารถให้กำลังขยายได้ถึงหลักหมื่นหรือแสนเท่า และกล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวอ่านส่องกราด (Scanning Probe Microscope, SPM) เป็นกล้องที่แสดงภาพของวัตถุจากการใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กในระดับอะตอมเข้าไปสัมผัสกับผิวชิ้นงานแล้วแปลงมาเป็นสัญญาณภาพ สามารถใช้ศึกษาโครงสร้างขนาดต่ำกว่านาโนเมตรได้ ซึ่งมีหลักการทำงานที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.7 กล้องจุลทรรศน์แสง (Optical microscopes) เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้งานกันโดยทั่วไป เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีระบบเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพ 2 ชุดด้วยกัน คือ เลนส์ใกล้วัตถุ และเลนส์ใกล้ตา หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้ คือ แสงไฟจากหลอดไฟที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงจะถูกรวบรวมแสงโดย condenser lens ไปตกที่วัตถุที่วางบนแท่นวางวัตถุ (Specimen stage) จากนั้นเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) จะทำหน้าที่ขยายภาพให้ใหญ่ขึ้นและเลนส์ใกล้วัตถุเป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้น ดังนั้นวัตถุที่จะศึกษาจะต้องอยู่ห่างจากเลนส์ใกล้วัตถุมากกว่าความยาวโฟกัสเล็กน้อย เลนส์ใกล้วัตถุจะสร้างภาพแรกขึ้นมาเป็นภาพจริงหัวกลับขนาดใหญ่กว่าวัตถุ โดยที่ตำแหน่งของภาพจะไปตกใกล้เลนส์ใกล้ตา (Ocular lens หรือ Eyepiece) เกิดภาพเสมือนหัวกลับขนาดใหญ่กว่าวัตถุ ดังรูปที่ 2.1

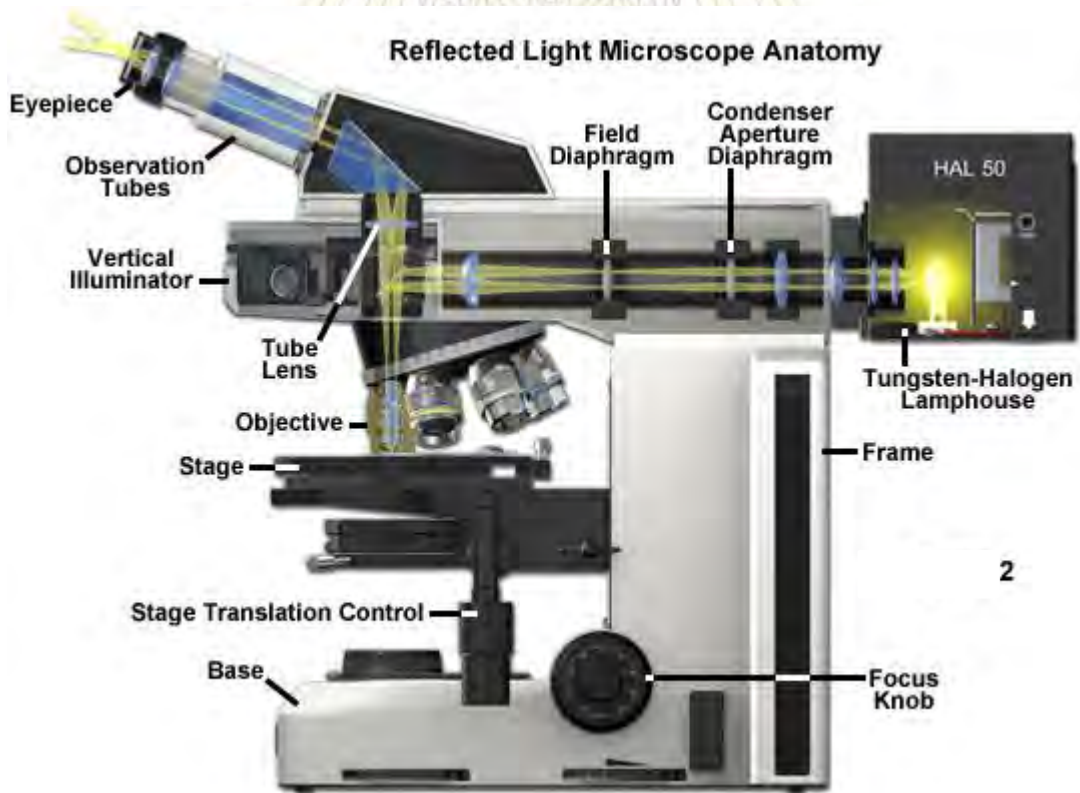


รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แสง (ที่มา:<http://en.wikipedia.org/wiki/Microscope>)

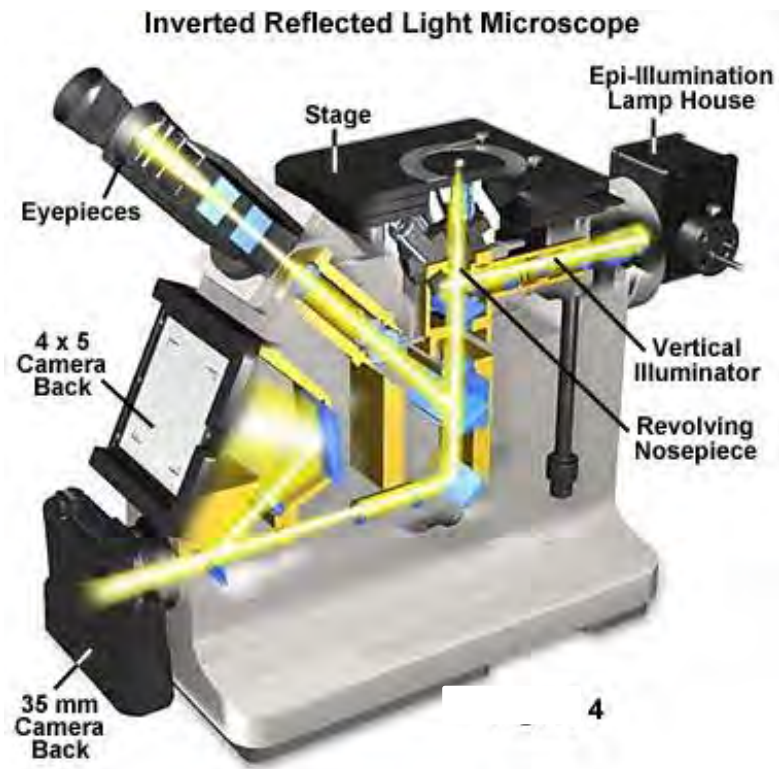
กล้องจุลทรรศน์แสง ( Light Microscope หรือ Optical Microscope หรือ Bright field Microscope) มีชนิดของกล้องที่หลากหลายได้แก่ Stereo Microscope ใช้ส่องดูสิ่งมีชีวิตที่ไม่เล็กมาก เช่น แมลง โดยจะแสดงภาพเป็นภาพ 3 มิติ, Dark Field Microscope ใช้การกระเจิงของแสงเพื่อสร้างภาพของวัตถุที่ใสไม่มีสีหรือย้อมสีติดยาก เช่น สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก หรือเนื้อเยื่อบางชนิด, Phase Contrast Microscope ใช้การหักเหของแสงสะท้อนในการสร้างภาพวัตถุที่เป็นสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ที่บางและโปร่งใส ไม่มีสี เช่น เนื้อเยื่อ เซลล์, Fluorescence Microscope ใช้งานในห้องวิจัยหรือห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาล เพื่อศึกษาสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติสามารถเรืองแสงหรือเปล่งแสงเองได้ เมื่อได้รับพลังงานแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีพลังงานสูง เช่น แสงอัลตราไวโอเล็ต, Polarizing Microscope เป็นกล้องจุลทรรศน์รูปแบบหนึ่งของกล้องจุลทรรศน์แสงซึ่งกล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะใช้ในการมองวัตถุประเภทชีววิทยาต่างๆ เช่น กล้ามเนื้อ และประเภทของสินแร่หรือแร่ธาตุต่างๆ เพื่อดูลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์ว่ามีทิศทางไปในทางใด เพื่อนำไปวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างของวัตถุนั้นๆ ซึ่งจะใช้หลักการ Polarize ของแสง ดังรูปที่ 2.2, Reflected Light Microscope เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีแหล่งกำเนิดแสงจากทางด้านข้าง โดยแสงจะส่องที่พื้นผิวของชิ้นงานแล้วสะท้อนเข้าสู่เลนส์ใกล้ตา กล้องประเภทนี้จะใช้ดูชิ้นงานที่มีลักษณะทึบแสง ดังรูปที่ 2.3 และ Inverted Microscope เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มี Objective Len อยู่ทางด้านใต้ชิ้นงาน ดังนั้นเราจะสามารถมองชิ้นงานได้จากทางด้านล่าง จึงถูกเรียกว่า กล้องจุลทรรศน์หัวกลับ ปัจจุบันจะมีการใช้งานอยู่ 2 ประเภทคือ Inverted Reflected Light Microscope กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะถูกนำไปใช้งานในการดูพื้นผิวโลหะ ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวจะต้องทำการขัดเงาจนถึงเนื้อโลหะ จึงทำให้ชิ้นงานส่วนใหญ่มักมีขนาดใหญ่และจะสะดวกกว่าถ้าหากเราจะคว่ำชิ้นงานลงและเลื่อน stage เพื่อดูพื้นผิวบริเวณอื่นๆได้ง่ายขึ้น ดังรูปที่ 2.4 และ Inverted Transmitted Light Microscope กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะมีแหล่งกำเนิดแสงถึงสองเส้นทาง โดยจะมีแหล่งกำเนิดจากทางด้านบนที่แสงส่องผ่านทะลุชิ้นงานลงมา Transmitted และแหล่งกำเนิดจากทางด้านข้างเช่นเดียวกับกล้อง Reflect Light โดยแสงที่มาจากการ Transmitted นั้นจะสามารถทำให้เราดูชิ้นงานตัวอย่างของสิ่งมีชีวิตที่ถูกบรรจุอยู่ในขวดแก้วทดลองซึ่งตัวอย่างชิ้นงานจะอยู่บริเวณก้นขวด ดังนั้นกล้องลักษณะนี้จึงสามารถใช้ดูชิ้นงานได้ทั้งงานชีววิทยา (Transmitted) และงานดูพื้นผิวโลหะ(Reflected) ดังรูปที่ 2.5



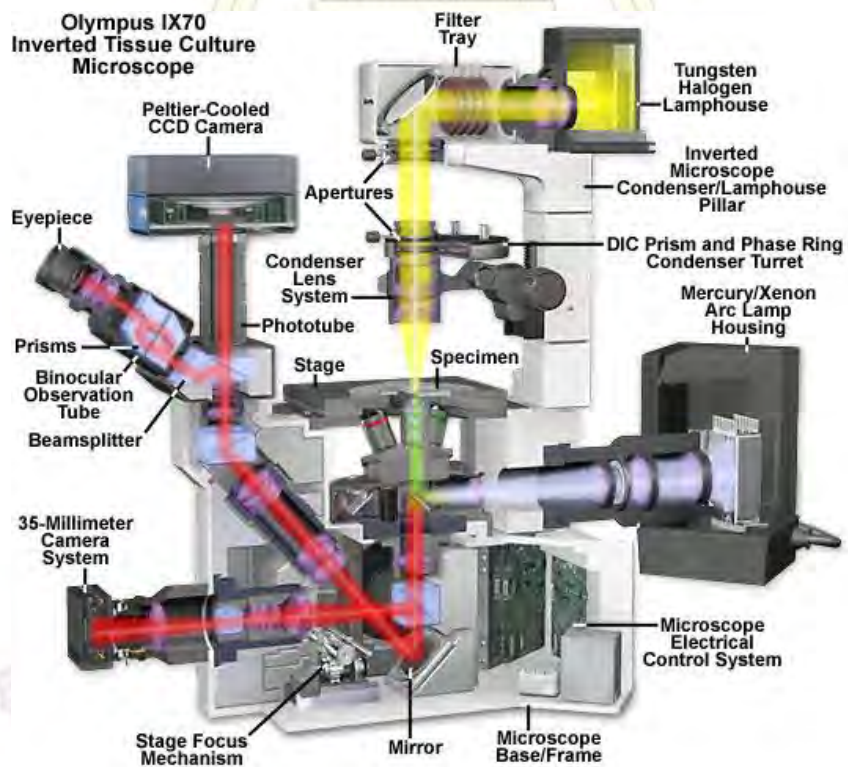
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แสง ( Optical microscopes) แบบ Polarizing Microscope (ที่มา:[http:// www.olympusmicro.com](http://www.olympusmicro.com))



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แสง ( Optical microscopes) แบบ Reflected Light Microscope (ที่มา:<http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/basics/reflected.html>)



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ Inverted Reflected Light Microscope  
(ที่มา:<http://www.olympusmicro.com>)

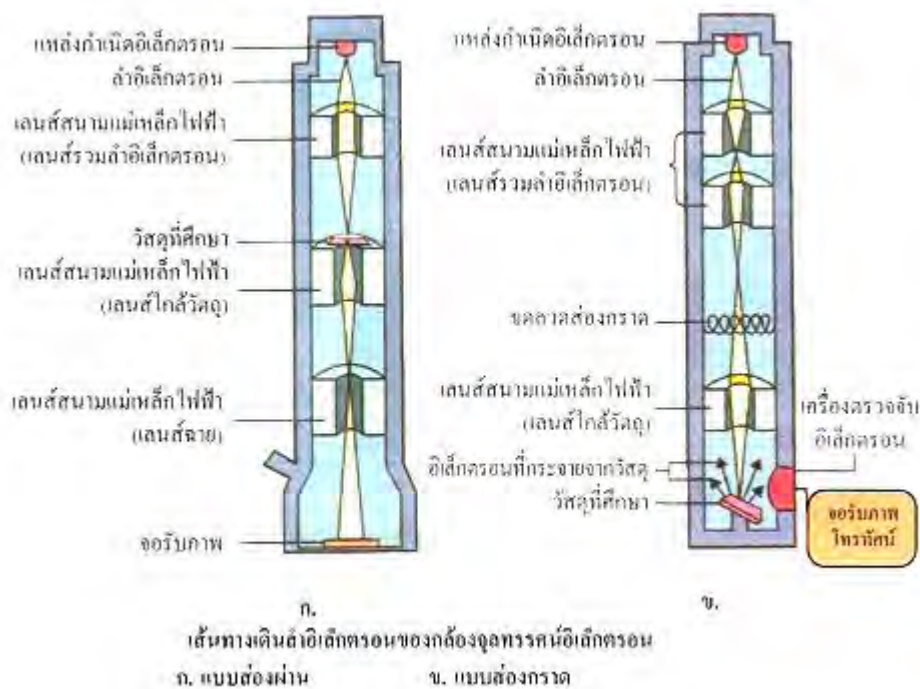


รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ Inverted Transmitted Light Microscope  
(ที่มา:<http://www.olympusmicro.com>)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เป็นเครื่องมือที่พัฒนามาจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา เหตุผลที่ทำให้ประดิษฐ์เครื่องมือนี้ขึ้นมาก็เนื่องจากว่า ประสิทธิภาพในการขยายภาพของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดานั้นไม่สามารถศึกษารายละเอียดของโครงสร้างภายในของสิ่งมีชีวิตและสิ่งที่มีขนาดเล็กมากๆอย่างเช่น ดีเอ็นเอ (Deoxyribonucleic acid : DNA) ได้และเครื่องมือนี้ได้ประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศเยอรมนี ในปีค.ศ.1932 โดยนักวิทยาศาสตร์ 2 ท่าน คือ แมกซ์ นอลล์ (Max Knoll) และ เอิร์นสต์ รุสกา (Ernst Ruska) ซึ่งแสงที่ใช้เป็นลำแสงอิเล็กตรอน ที่มีขนาดของความยาวคลื่นประมาณ 0.025 อังสตรอม (Å) มีกำลังขยายถึง 500,000 เท่า หรือมากกว่า

แหล่งกำเนิดแสงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้จากปืนยิงอิเล็กตรอน (Electron gun) ซึ่งเป็นขดลวดทังสเตน มีลักษณะเป็นรูปตัววี เมื่อขดลวดทังสเตนร้อนขึ้นโดยเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด ทำให้อิเล็กตรอนถูกปลดปล่อยออกมาจากขดลวดทังสเตน เนื่องจากอิเล็กตรอนมีขนาดเล็กมาก และเพื่อเป็นการป้องกันการชนกันของมวลอากาศกับลำแสงอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้เกิดการหักเหได้ จึงต้องมีการดูดอากาศจากตัวกล้องให้เป็นสุญญากาศ

ระบบเลนส์ที่ใช้เป็นระบบเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens) แทนเลนส์แก้วในกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดา เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดพันรอบแท่งเหล็ก เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้ลำแสงอิเล็กตรอนเข้มข้น เพื่อไปตกกระทบกับตัวอย่างวัตถุที่จะศึกษา เลนส์ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนประกอบด้วยเลนส์รวมแสง (Objective lens) และ Projector Lens โดยที่ Projector lens ทำหน้าที่ฉายภาพจากวัตถุ ตัวอย่างที่จะศึกษาลงบนจอภาพคล้ายกับ Eyepiece ของกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงธรรมดา จอภาพฉายด้วยสารเรืองแสงพวกฟอสฟอรัส เมื่อลำแสงอิเล็กตรอนตกลงบนจอ จะทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้นซึ่งเป็นสารสีเขียวแกมเหลืองที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ในปัจจุบันกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมี 2 ชนิด ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope) หรือเรียกว่า SEM โดยใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของเซลล์หรือพื้นผิวของตัวอย่างวัตถุที่นำมาศึกษา โดยลำแสงอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิวของวัตถุแล้วเกิดสัญญาณภาพซึ่งมีลักษณะเป็นภาพ 3 มิติ หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด คือ เกิดจากการที่ Primary electron วิ่งไปกระทบพื้นผิวของวัตถุ ทำให้มีการสะท้อนกลับของพลังงานในรูปแบบต่างๆ เช่น back-scatter electron, รังสีเอ็กซ์ (X-ray) หรือ secondary electron เป็นต้น และในลำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จะมีตัวรับสัญญาณที่ทำหน้าที่รับและเปลี่ยน secondary electron ให้เป็นสัญญาณอิเล็กตรอน (electrical signal) แล้วส่งสัญญาณไปยังจอภาพ (Cathode ray tube) เพื่อทำให้เกิดภาพที่ตามองเห็นได้ และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดที่สองคือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (transmission electron microscope) เรียกว่า TEM ใช้ในการศึกษาโครงสร้างภายในของเซลล์โดยลำแสงอิเล็กตรอนจะส่องผ่านเซลล์ หรือวัตถุตัวอย่างที่จะศึกษาต้องมีลักษณะบางเป็นพิเศษ หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน คือ ลำแสงอิเล็กตรอนเกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าแรงสูงเข้าไปในขดลวดทังสเตน (Tungsten filament) ทำให้มีอิเล็กตรอนวิ่งออกมาจากส่วนปลายของ filament จากนั้นจะวิ่งตรงไปยังวัตถุ ซึ่งลำแสงอิเล็กตรอนที่วิ่งผ่านวัตถุจะวิ่งไปยังเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) และจะถูกขยายสัญญาณให้ใหญ่ขึ้นโดย Objective lens อิเล็กตรอนจะไปกระตุ้นโมเลกุลของซิงค์ซัลไฟด์ (Zinc sulfide) ที่ฉาบอยู่บนฉากรับภาพ (Fluorescence screen) ทำให้เกิดเป็นภาพ 2 มิติ โดยวัตถุที่มีค่าเลขอะตอม (Atomic number) มาก ภาพที่ได้จะเห็นเป็นสีดำ ส่วนวัตถุที่มีค่าเลขอะตอมน้อย ภาพที่ได้จะเป็นสีขาว

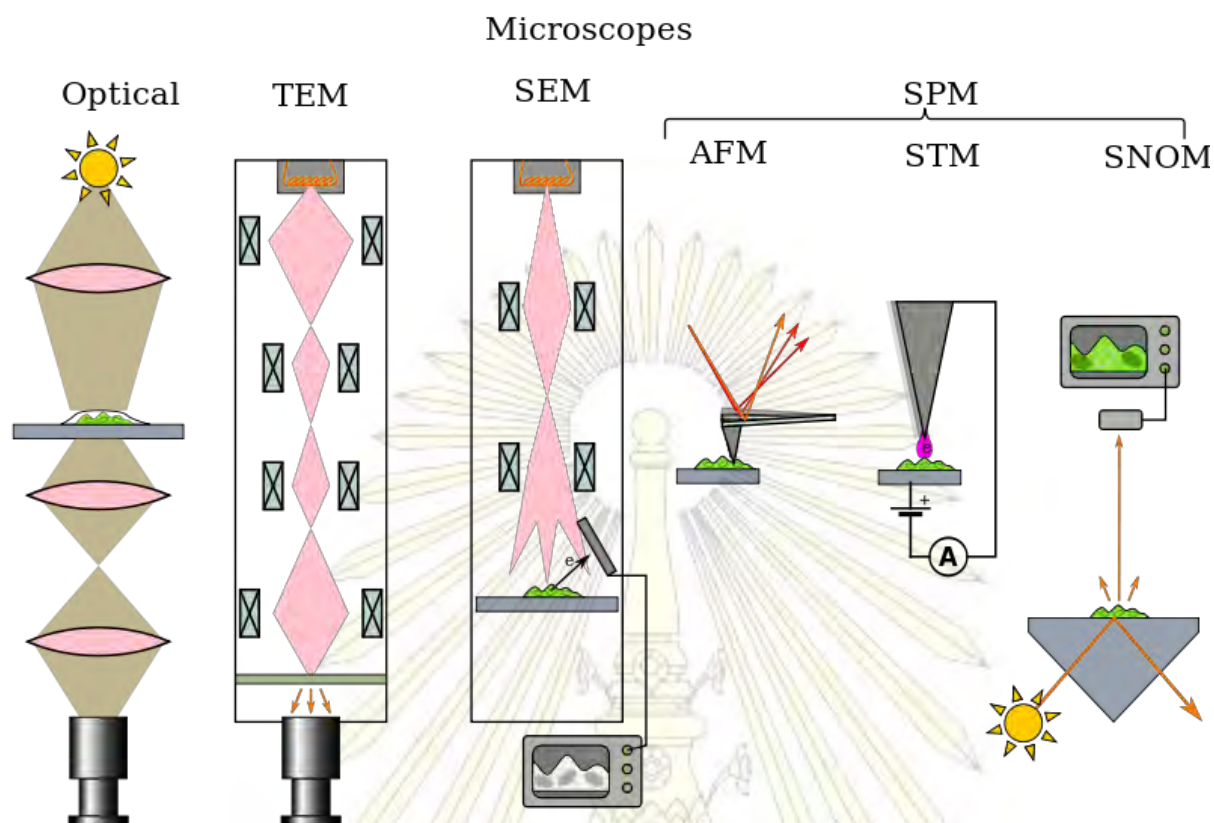


รูปที่ 2.6 เส้นทางเดินลำอเล็กตรอนของกล้องจุลทรรศน์อเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (ก.) และแบบส่องกราด (ข.)

(ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/Microscope>)

และกล้องจุลทรรศน์ชนิดสุดท้าย คือ กล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวอ่านส่องกราด (Scanning Probe Microscope, SPM) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานนาโนเทคโนโลยี กล้องจุลทรรศน์ประเภทนี้มีรูปแบบดังต่อไปนี้ Scanning Tunneling Microscope หรือเรียกว่า STM ใช้สำหรับศึกษาพื้นผิวของโลหะในระดับอะตอม และ Atomic Force Microscope หรือเรียกว่า AFM ใช้ในการศึกษาพื้นผิววัสดุได้มากมายหลายชนิดเช่น พื้นผิวโลหะ แก้ว พอลิเมอร์ เซรามิก และรวมถึงโมเลกุลทางชีวภาพต่างๆ เช่น โปรตีน เซลล์ ดีเอ็นเอ และยังสามารถตรวจวัดพื้นผิวที่ไม่เป็นฉนวนไฟฟ้า ซึ่งถือเป็นลักษณะจำเพาะพิเศษของเครื่อง AFM ที่มีมากกว่าเครื่อง STM นอกจากนี้เครื่อง AFM ยังสามารถศึกษาพื้นผิวได้ทั้งในสภาพแห้งและในสภาพที่อยู่ในน้ำ และไม่จำเป็นต้องมีการเคลือบพื้นผิวด้วยโลหะหรือคาร์บอนให้เป็นพื้นผิวที่นำไฟฟ้า และกล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวอ่านส่องกราดชนิดที่สามคือ Scanning Near-Field Optical Microscopy หรือเรียกว่า SNOM ใช้ศึกษาสมบัติทางแสงของวัสดุ

คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ประเภทต่างๆ (ที่มา:<http://en.wikipedia.org/wiki/Microscope>)

กล้องจุลทรรศน์ถือเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีความสำคัญต่อโลกมาก เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่นำมนุษย์ไปสู่การค้นพบสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กนานาชนิด ไม่ว่าจะเป็นสาหร่าย โปรโตซัว เห็ด รา หรือแม้กระทั่งเชื้อไวรัส, แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคร้ายแรงแก่มนุษย์ ดังนั้นกล้องจุลทรรศน์จึงถือเป็นสุดยอดสิ่งประดิษฐ์ที่ช่วยในกระบวนการศึกษา รักษา โครงสร้างภายในของเนื้อเยื่อมนุษย์เพื่อนำไปประกอบการวินิจฉัยและการรักษาโรค

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.2 หลักการพื้นฐานของกล้องสมาร์ทโฟน

สมาร์ทโฟน คือ โทรศัพท์มือถือเคลื่อนที่ที่มีความสามารถเพิ่มเติมนอกเหนือจากโทรศัพท์มือถือทั่วไป ผู้ใช้งานสามารถติดตั้งโปรแกรมเสริม หรือ แอปพลิเคชัน สำหรับเพิ่มความสามารถของโทรศัพท์ โดยรูปแบบนั้นขึ้นอยู่กับแพลตฟอร์มของโทรศัพท์และระบบปฏิบัติการ โดยระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนที่เป็นที่นิยม ได้แก่

- แบล็กเบอรี่โอเอส (BlackBerry OS)
- แอนดรอยด์ (Android)
- ไอโอเอส (iOS)
- วินโดวส์โมบาย (Windows Mobile)

### คุณสมบัติของสมาร์ทโฟน

1. เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไร้สาย เช่น การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์, โทรศัพท์เครื่องอื่น, ปริ้นเตอร์ หรือกล้องดิจิทัลผ่านทาง Bluetooth หรือ Wi-Fi
2. สามารถรองรับไฟล์ Multimedia ได้หลายรูปแบบ เช่น ไฟล์ภาพ, ภาพเคลื่อนไหว เช่น ภาพเคลื่อนไหว (สกุล .gif) เสียง (สกุล MP3, .cda, .wav) วิดีโอ (สกุล .3gp, .mp4) เป็นต้น

### ประโยชน์ของสมาร์ทโฟน

1. สามารถบันทึกภาพถ่าย วิดีโอ ได้ทุกที่ ทุกเวลา แม้ในสภาพที่แสงน้อยเนื่องจากมีระบบแฟลชภายในตัวกล้องสมาร์ทโฟน
2. สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ตลอดเวลา เนื่องจากมีระบบ Wi-Fi และ Bluetooth ที่สามารถถ่ายโอนข้อมูลได้ทันที จึงช่วยให้ผู้ใช้งานทำงานหรือติดต่อสื่อสารได้รวดเร็วมากขึ้น
3. รองรับแอปพลิเคชันที่อำนวยความสะดวกต่อวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน เช่น LINE, Facebook ฯลฯ
4. นำมาใช้ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ การแพทย์และการเกษตรได้ (18)



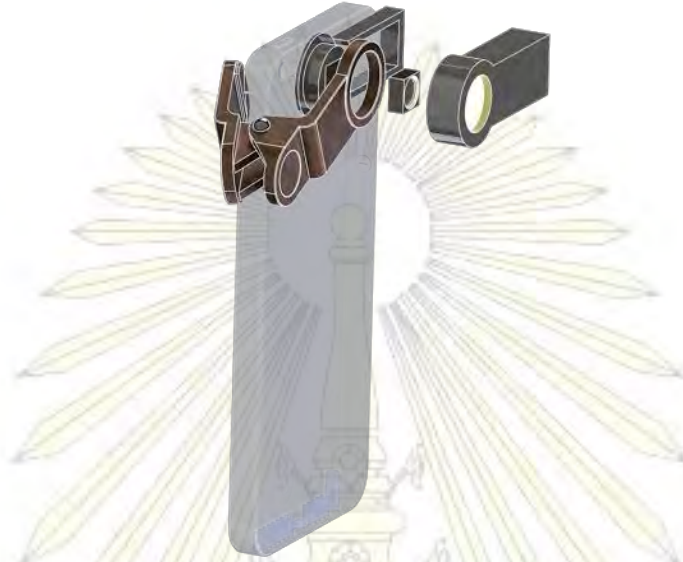
รูปที่ 2.8 สมาร์ทโฟนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

(ที่มา: <http://pctechmag.com/wp-content/uploads/2014/04/SmartphonesAll.png>)



## 2.3 วิธีการพื้นฐานของเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing)

1. การเตรียมโมเดลสามมิติที่เราต้องการจะพิมพ์ โดยคณะผู้วิจัยได้มีวิธีการเตรียมโมเดลคือการวาดโมเดลสามมิติโดยใช้โปรแกรม Solid Works จะได้ไฟล์นามสกุล .stl



รูปที่ 2.9 การเตรียมไฟล์รูปจำลองสามมิติ (.stl)

2. วิธีการเตรียมเครื่องพิมพ์สามมิติ ดังนี้ การเตรียมสภาพแวดล้อม เช่น พื้นที่ตั้งเครื่องพิมพ์ โต๊ะหรือพื้นที่รองรับเครื่องไม่สั่นหรือโยก อากาศถ่ายเทได้สะดวก อุณหภูมิห้องไม่ควรเปลี่ยนแปลงเร็ว

3. การเตรียมตัวเครื่องพิมพ์สามมิติ

3.1 ควรปรับฐานรองให้ได้ระดับ และระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับพื้นผิว (ห่างกันความหนาประมาณกระดาษ A4 1 แผ่น ถ้าห่างมากหรือชิดมากจะทำให้เส้นพลาสติกออกมาไม่ดี)

3.2 ทากาวลงบนพื้นผิวฐานที่รองรับโมเดล (Bed) เพื่อให้ชิ้นงานติดกับฐานรองรับโมเดล

4. โหลดไฟล์โมเดลสามมิติลงบนเครื่องพิมพ์สามมิติ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ออกแบบ Attachment housing จำนวนทั้งหมด 5 ชิ้นงาน เมื่อโหลดไฟล์งานเรียบร้อยแล้ว สั่งพิมพ์โดยใช้คำสั่ง print from SD Card แล้วเลือกไฟล์ที่ต้องการจะพิมพ์ หลังจากนั้นเครื่องจะพิมพ์ชิ้นงานตามคำสั่งเรา ซึ่งจะแสดงเวลาในการพิมพ์ของแต่ละชิ้นงานบนหน้าจอของเครื่องพิมพ์สามมิติ



รูปที่ 2.10 ลักษณะการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing)

5. เมื่อพิมพ์เสร็จ แกะชิ้นงานจากฐานรอง อาจจะใช้คัตเตอร์แซะหรือล้างน้ำ ค่อยๆ เอาออกจากฐาน หลังจากนั้นทำความสะอาดพื้นผิวฐานที่รองรับโมเดลโดยล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อเอาคราบขาวออกจากที่รองรับโมเดล

การพิมพ์ของเครื่องพิมพ์สามมิติ ที่คณะผู้วิจัยใช้คือ การพิมพ์แบบหัวฉีด (FDM: Fused Deposition Modeling) เป็นเทคนิคที่ทำงานด้วยกลไกหัวฉีด (nozzle) ซึ่งจะทำความร้อนเพื่อให้วัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้น (filament) อ่อนตัวลง แล้วจึงสร้างชิ้นงานขึ้นทีละชั้นโดยเริ่มจากฐาน วัสดุที่ใช้ในการพิมพ์คือ พลาสติก ABS

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.4 โปรแกรม SolidWorks

SolidWorks พัฒนาขึ้นในปี 1995 โดยบริษัท Dassault System ในฝรั่งเศส เป็นซอฟต์แวร์เพื่อให้นักออกแบบใช้ เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองใน Computer ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล CAD (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบงานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) เพื่อนำไปสร้างเป็น 2D Standard Engineering (CADD = Computer Aided Design and Drafting)

โปรแกรม SolidWorks เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงมาก คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น solid หรือ surface ก็มีเครื่องที่รองรับเป็นอย่างดี เมื่อสร้างชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้วสามารถที่จะประกอบชิ้นงานได้ใน Mode ของชุดคำสั่ง Assembly

### ลักษณะการทำงาน

SolidWorksแบ่งหมวดการทำงานหลักออกเป็น 3 หมวดคือ Part, Assembly และ Drawing โดยรูปแบบการทำงานทั้ง 3 หมวดมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1. Part Mode เป็นหมวดการทำงานเริ่มต้นก่อนที่จะก้าวสู่การทำงานในหมวด Assembly และ Drawing ในขั้นนี้จะมีแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การใช้ 2D Sketch เพื่อนำไปสู่การสร้างเป็น 3D Feature และมีเงื่อนไขเป็น Feature-Based Modeling และ Parametric โดยมีการอ้างอิงจาก Solid Mode

1. Feature-Based Modeling คือ การออกแบบซอฟต์แวร์ให้สามารถทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของ Solid Model ที่สร้างขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงและแก้ไข Model ในลำดับการทำงานแต่ละขั้นได้ง่ายและรวดเร็ว

2. Parametric Model คือ การออกแบบซอฟต์แวร์ซึ่งใช้เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขขนาดรูปร่างทางเรขาคณิตของ Model ที่สร้างขึ้นมา

3. Solid Model คือ แบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ที่สามารถแสดงค่าต่างๆ เช่น Density, Material, Mass, Weight เป็นต้น และยังสามารถมองเห็น 3D Model ได้ทุกมุมมอง

2. Assembly Mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อนำ Part Model เข้าไปประกอบเป็นเครื่องจักรกลหรือกลไกต่างๆ และมีเงื่อนไขเป็น Feature Base และ Parametric เช่นเดียวกับ Part Model โดย Part Model และ Assembly จะมีความสัมพันธ์กัน เมื่อทำการแก้ไขในหมวดใด หรือมีการประกอบที่ซ้อนหรือทับกันหมวดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการแก้ไขไปด้วย การทำงานใน Assembly สามารถช่วยให้นักออกแบบหรือวิศวกรสามารถตรวจสอบความผิดพลาดในการสร้าง Part ได้โดยการใช้คำสั่งต่างๆ เช่น คำสั่ง Interference Detection เพื่อตรวจสอบการขัดกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ โดยใช้คำสั่ง Move Component เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกลไก คำสั่ง Simulation เพื่อจำลองต้นกำลังในการทำงานจริงของเครื่องจักร หรือหากชิ้นงานจำลองที่ออกแบบมีข้อผิดพลาด ก็สามารถแก้ไข Part ใน Assembly ได้เลย ทำให้การออกแบบเป็นเรื่องง่าย และผู้ออกแบบจะสนุกกับการทำงาน Design

การทำงานใน Assembly Mode มีลักษณะการทำงาน 2 กรณีได้แก่

1. Bottom-Up Assembly คือ การนำ 3D Models ต่างๆที่สร้างเสร็จแล้วใน Part Mode ไปวางใน หน้าต่าง Assembly เพื่อทำการประกอบ โดยการใช้คำสั่ง Mate หรือ Smart Mate

2. Top-Down Assembly คือ การสร้าง 2D Sketch เป็นโครงร่างระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ระหว่าง Part หรือ การสร้าง Part ใน Assembly โดยให้มีขนาดและรูปร่างที่มีการอ้างอิงกับ Part อื่น ๆ ทั้งในส่วน Sketch และ Feature

3. Drawing Mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อสร้าง 2D Standard Engineering โดยในหมวดนี้เป็นการสร้างมุมมอง และกำหนดรายละเอียดตามระบบมาตรฐานต่าง ๆ โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. Generative Drafting ซึ่งเป็นการสร้าง 2D Sketch และ Interaction Drafting ซึ่งเป็นการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวางใน Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting จะมีลักษณะเป็น Parametric และ Relation เช่นกัน แต่จะไม่สามารถใช้คำสั่งใน Drawing Commands ได้เพราะคำสั่งต่าง ๆ จะต้องอ้างอิงกับ 3D Model

2. Interaction Drafting คือ การนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวาง Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting การทำงานในหมวดนี้สามารถใช้คำสั่งจาก Annotation Command และ Drawing Command เพื่อ สร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดได้โดยอัตโนมัติ (22)

## 2.5 การคำนวณ

### กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

กล้องจุลทรรศน์มีความสามารถขยาย (magnification) ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

1. Resolution (Resolving power) คือ ความสามารถของเลนส์ของกล้องจุลทรรศน์ในการแยกจุดสองจุด ซึ่งอยู่ใกล้กันที่สุดให้เห็นแยกออกเป็นสองจุด เรียกความสามารถนี้ว่า two points of discrimination Resolution ขึ้นอยู่กับ

- ระบบของแสง (optical system)
- ความยาวของคลื่นแสง (wavelength of the light source) ที่ผ่านเลนส์
- Numerical aperture (NA) ของเลนส์ที่อยู่ใกล้วัตถุ

$$\text{Limit of Resolution} = \frac{0.61\lambda}{NA} \quad (\lambda = \text{wavelength, NA} = \text{numerical aperture})$$

2. Numerical aperture (NA) คือ ความสามารถของเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ที่มีประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมแสงที่หักเหจากภายในวัตถุได้ละเอียด ดังสูตร

$$NA = n \sin \alpha$$

เมื่อ  $n$  = refractive index ของ medium

$\sin \alpha$  = Sin ของ semi angle ของ aperture

Limit of resolution ให้ค่าเป็นตัวเลข และมีค่าเป็นส่วนกลับกับ resolving power เช่น เมื่อกล้องจุลทรรศน์มี resolving power ดี ค่าตัวเลขของ limit of resolution จะต้องต่ำ คือ limit of resolution ยิ่งมีค่าน้อยก็จะยิ่งทำให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น

NA ของ objective lens แตกต่างกันตามกำลังขยายของเลนส์

กำลังขยายของเลนส์	4x	10x	40x	100x
ค่า NA	0.10	0.25	0.65	1.25

Resolution จึงเป็นส่วนโดยตรงกับ  $\lambda$  (ความยาวคลื่นแสง) เป็นส่วนกลับกับ NA ดังนั้น ภาพที่เห็นจาก objective lens ที่มีค่า NA มากจะเห็นรายละเอียดและคมชัดมากกว่า

Magnification (กำลังขยายของภาพ) อัตราส่วนระหว่างขนาดภาพ (I) และขนาดวัตถุ (O) คำนวณได้จาก

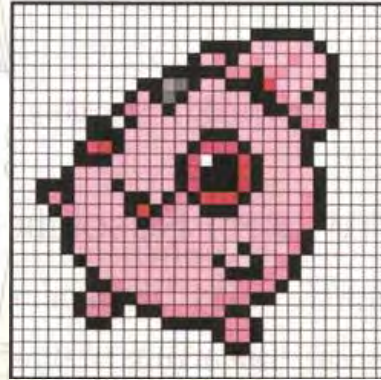
$$\text{Magnification} = \frac{I}{O}$$

## โทรศัพท์ (Smartphone)

Resolution คือ ค่าความละเอียดของภาพ ๆ หนึ่งซึ่งกำหนดเป็นจำนวนเม็ดสี (pixels) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของภาพ ตัวอย่างเช่น หากภาพนั้นมีค่า Resolution = 150 pixels/inches แสดงว่าในพื้นที่ 1 ตารางนิ้วของภาพนั้นประกอบไปด้วยเม็ดสีจำนวน 150 สี (Pixels) เป็นต้น



(ก.) ภาพที่มีความละเอียด Resolution ต่ำ  
(มีจำนวนเม็ดสีน้อย)



(ข.) ภาพที่มีความละเอียด Resolution สูง  
(มีจำนวนเม็ดสีมาก)

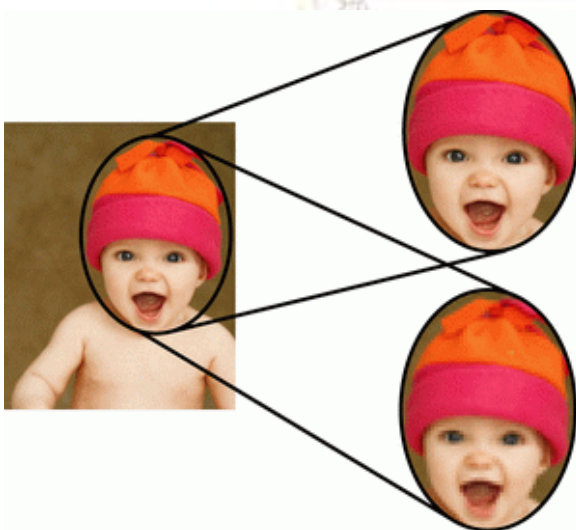
รูปที่ 2.11 แสดงภาพที่มีความละเอียด (ก.) Resolution ต่ำและภาพที่มีความละเอียด (ข.) Resolution สูง  
(ที่มา: <http://www.108award.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538696525>)

หน่วยของ Resolution มี 2 แบบคือ

pixels/inch - จำนวนหรือปริมาณของเม็ดสี ในพื้นที่ 1 ตารางนิ้ว

pixels/cm - จำนวนหรือปริมาณของเม็ดสี ในพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร

ค่า Resolution ที่เรานิยมใช้คือ จำนวนพิกเซลต่อนิ้ว หรือ pixels/inch (ppi)



(ก.) ภาพขนาด 1024x768 Resolution = 300 ppi  
ขนาดไฟล์ 2.87M เมื่อขยาย 200 เท่า

(ข.) ภาพขนาด 1024x768 Resolution = 72 ppi  
ขนาดไฟล์ 169 k เมื่อขยาย 200 เท่า

รูปที่ 2.12 แสดงภาพขนาด 1024x768 ที่มี (ก.) ค่าResolution = 300 ppi และ (ข.) ค่าResolution = 72 ppi  
(ที่มา: <http://www.108award.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538696525>)

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

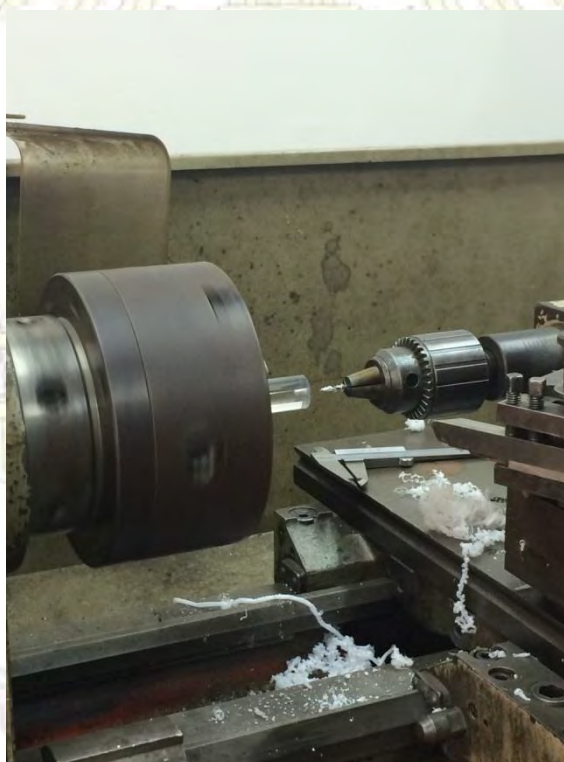
1. เครื่องกัด (Milling Machine)
2. เครื่องกลึง (Lathe Machine)
3. เวอร์เนีย (Vernier)
4. เครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing)
5. กระจกทราย
6. Smartphone ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6
7. กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1
8. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510A
9. Plano convex Lens
10. Macro Lens
11. กรรไกร
12. คัตเตอร์
13. กระจกกราฟ
14. โปรแกรม SolidWorks
15. อะคลิลิก
16. ตะไบ
17. กระจกพรอยด์

#### 3.2 สารเคมี

1. อะซิโตน (Acetone)  $C_3H_6O$
2. น้ำตาลทราย (Sucrose)  $C_{12}H_{22}O_{11}$
3. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)  $NaCl$
4. ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate)  $AgNO_3$
5. โซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate)  $CH_3COONa$
6. กรดไมริสติก (Myristic acid)  $CH_3(CH_2)_{12}COOH$
7. เอทานอล (Ethanol)  $C_2H_6O$



รูปที่ 3.1 เครื่องกัด (Milling Machine) ใช้ในการกัดอะคลิลิคให้มีพื้นผิวสม่ำเสมอ เรียบเนียน



รูปที่ 3.2 เครื่องกลึง (Lathe Machine)

ใช้ในการกลึงอะคลิลิคให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและตัดอะคลิลิคให้มีความหนาตามที่ต้องการ

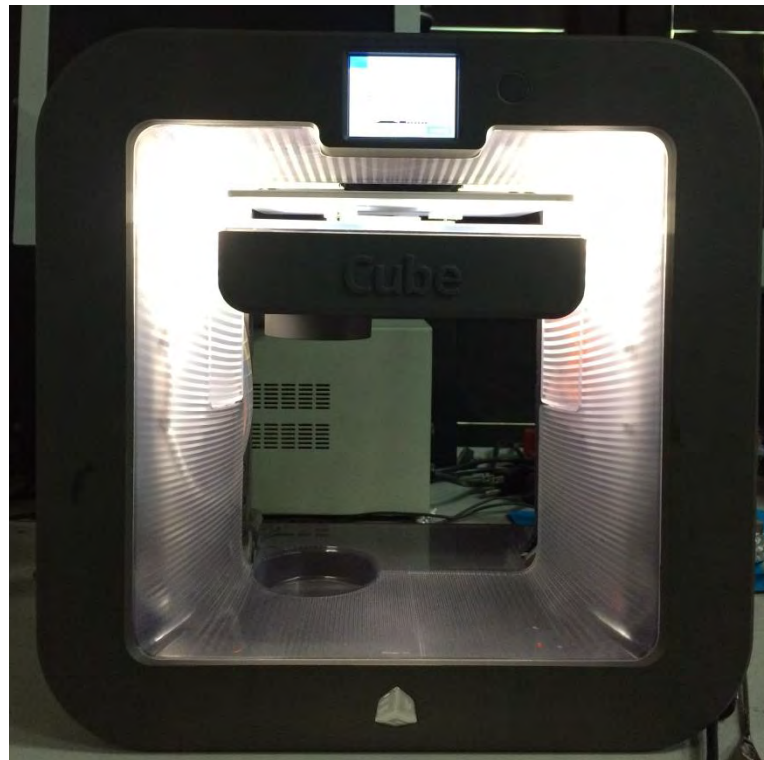




รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ใช้ในการถ่ายภาพวัตถุ



รูปที่ 3.4 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510A ใช้ในการถ่ายภาพวัตถุ



รูปที่ 3.5 เครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing) ใช้ในการพิมพ์อุปกรณ์เสริมของกล่องจูลทรศน์สมาร์ตโฟน



### 3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ค้นคว้าเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน

3.3.2 เลือกเลนส์และระยะโฟกัสที่เหมาะสมกับตัวอย่างที่ต้องการศึกษา โดยชนิดของเลนส์มีดังนี้

Plano convex Lens คือ เลนส์นูนแกมระนาบ โดยด้านหนึ่งมีลักษณะนูน อีกด้านจะเรียบ

Macro Lens คือ เลนส์ที่มีความสามารถที่จะนำเลนส์เข้าไปถ่ายวัตถุระยะใกล้ๆ ได้มากกว่าปกติ เช่น การถ่ายภาพแมลง

ทดสอบประสิทธิภาพของเลนส์โดยศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้

1. กำลังขยาย
2. Field of view (FOV)
3. Distortion
4. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเลนส์
5. วัสดุของเลนส์
6. ระยะโฟกัส

3.3.3 เลือกยี่ห้อสมาร์ทโฟนที่เหมาะสมกับตัวอย่างที่ต้องการศึกษา โดยยี่ห้อสมาร์ทโฟนมีดังนี้

ASUS Zenfone 6

BenQ F5

Lenovo Vibe X S960

iPhone 4S

iPhone 5S

iPhone 6

ทดสอบประสิทธิภาพของเลนส์โดยศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้

1. ขนาดของไฟล์ภาพ
2. ตำแหน่งของเลนส์กล้องบนสมาร์ทโฟน
3. ความละเอียดกล้องวิดีโอ

3.3.4 การออกแบบและประดิษฐ์ อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission), โหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดหัวกลับ (Inversion) โดยมีแนวคิด (Concept) คือ อุปกรณ์เสริมที่เชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนมีจำนวนน้อยชิ้นที่สุด ใช้งานง่าย สะดวก พกพาง่าย และราคาถูก

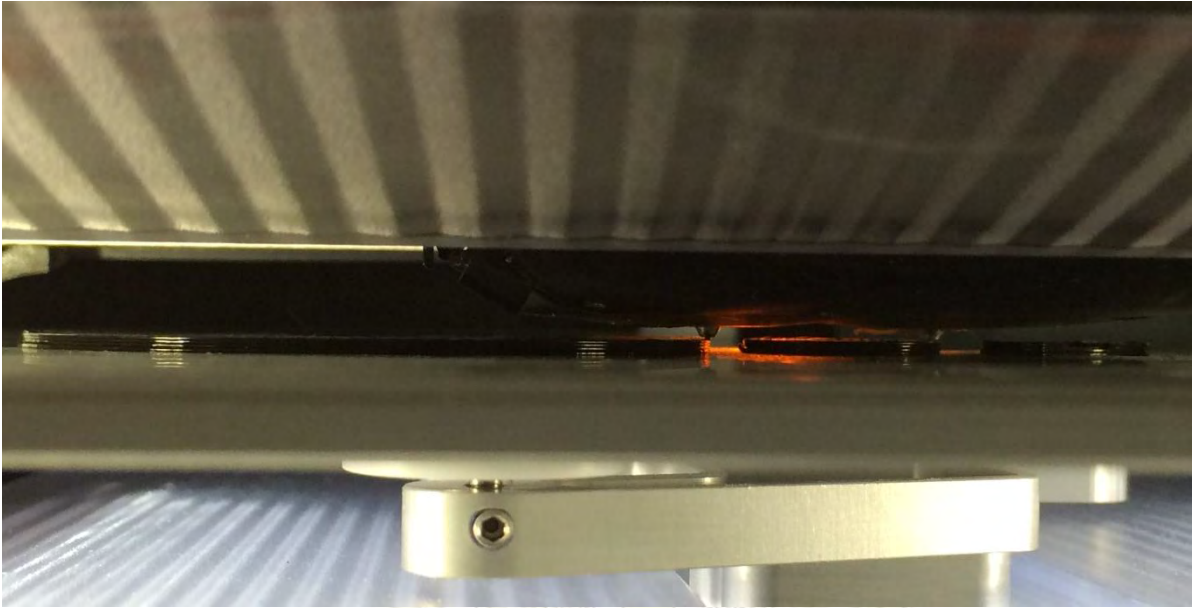
### 3.3.4.1 กล้องจุลทรรศน์โหมตส่องผ่าน (Transmission)

1. วาดโมเดลสามมิติลงโปรแกรม Solid Works
2. กลิ้งอะคลิลิกเป็นรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13.3 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องกลิ้งและเครื่องกัดเป็นเครื่องมือในการประดิษฐ์
3. พิมพ์โมเดลสามมิติลงบนเครื่องพิมพ์สามมิติ
4. นำกระดาษฟรอยด์ติดลงบนโมเดลสามมิติที่มีลักษณะสามเหลี่ยม หลังจากนั้นนำโมเดลสามมิติทั้งสองส่วนประกอบเข้าด้วยกัน
5. นำส่วนของอะคลิลิก, เลนส์และโมเดลสามมิติประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีแหล่งกำเนิดแสงคือ แสงแฟลชจากตัวกล้องสมาร์ทโฟน



รูปที่ 3.6 โมเดลสามมิติของกล้องจุลทรรศน์โหมตส่องผ่าน (Transmission)

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 การขึ้นรูปของเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing)



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)



รูปที่ 3.9 การใช้งานอุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)

### 3.3.4.2 กล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)

1. วาดโมเดลสามมิติลงโปรแกรม Solid Works
2. นำกระดาษฟรอยด์ติดลงบนโมเดลสามมิติที่มีลักษณะสามเหลี่ยม หลังจากนั้นนำโมเดลสามมิติทั้งสองส่วนประกอบเข้าด้วยกัน
3. นำส่วนของเลนส์และโมเดลสามมิติประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีแหล่งกำเนิดแสงคือ แสงแฟลชจากตัวกล้องสมาร์ทโฟน



รูปที่ 3.10 โมเดลสามมิติของกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)



รูปที่ 3.12 การใช้งานอุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)

### 3.3.4.3 กล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)

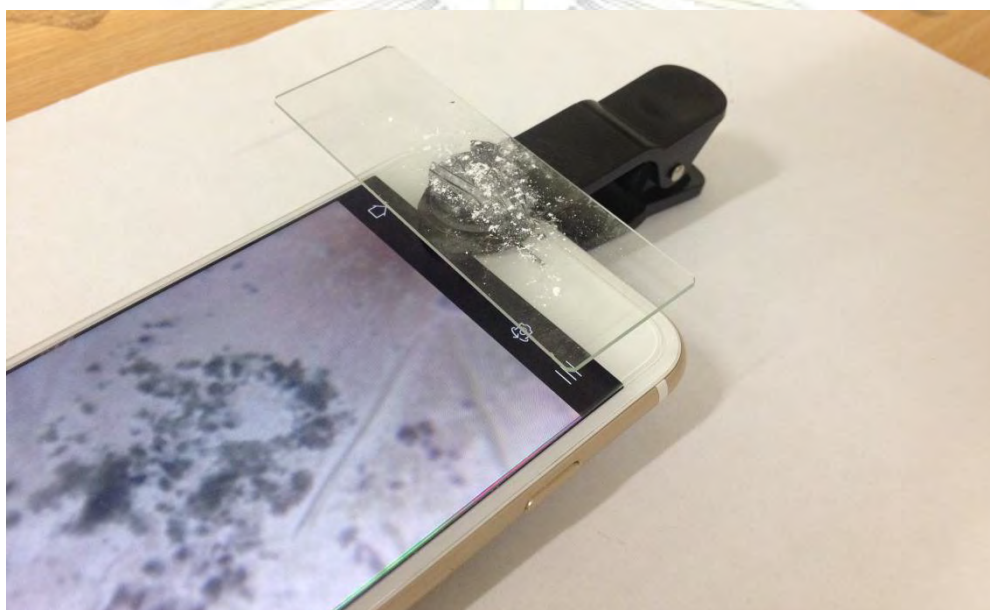
1. วาดโมเดลสามมิติลงโปรแกรม Solid Works
2. นำส่วนของเลนส์และโมเดลสามมิติประกอบเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.13 โมเดลสามมิติของกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)



รูปที่ 3.15 การใช้งานอุปกรณ์เสริมกล้องจุลทรรศน์โหมดหัวกลับ (Inversion)

3.3.5 ทดสอบอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) ที่พัฒนาขึ้นเทียบกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) และทดสอบอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission) ที่พัฒนาขึ้นเทียบกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission)

3.3.6 ทดสอบกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนที่พัฒนาขึ้น โดยศึกษา ดังนี้

3.3.6.1 ผลึกน้ำตาล ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )

3.3.6.2 ผลึกเกลือ (NaCl)

การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์

1. ชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl;  $M_w = 58.44 \text{ g mol}^{-1}$ ) 10.000 กรัม
2. นำเกลือโซเดียมคลอไรด์ มาละลายในน้ำปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนสารละลายเดือด หลังจากนั้นรอกเกลือโซเดียมคลอไรด์ตกผลึก



### 3.3.6.3 วิธีการสังเคราะห์ผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตต

1. ชั่งเกลือซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ ;  $M_w = 169.87 \text{ g mol}^{-1}$ ) 15.748 กรัม และ เกลือโซเดียมอะซีเตต ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ;  $M_w = 136.08 \text{ g mol}^{-1}$ ) 25.231 กรัม
2. นำเกลือแต่ละชนิดมาละลายในน้ำปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร
3. จากนั้นค่อย ๆ หยดสารละลายเกลือซิลเวอร์ไนเตรตลงในสารละลายเกลือโซเดียมอะซีเตต (อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลเวอร์ไนเตรตต่อเกลือซิลเวอร์อะซีเตต = 1:2)
4. กวนสารละลายให้แรงพอสมควรด้วยเครื่องกวนแท่งแม่เหล็กจนสังเกตเห็นผลึกสีขาวแยกออกมาจากสารละลายใส เมื่อหยดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตจนหมดแล้ว ให้ทิ้งสารละลายผสมไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการตกผลึกอย่างสมบูรณ์
5. แยกผลึกสีขาวออกจากสารละลายใสแล้วนำผลึกมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออนที่เย็น ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตตซึ่งมีสีขาว

### 3.3.6.4 วิธีการสังเคราะห์ผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตต

1. ชั่งเกลือซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ ;  $M_w = 169.87 \text{ g mol}^{-1}$ ) 15.748 กรัม และ กรดไมริสติก ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$ ;  $M_w = 228.37 \text{ g mol}^{-1}$ ) 42.342 กรัม
2. นำกรดไมริสติกมาละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร
3. จากนั้นเติมเกลือซิลเวอร์ไนเตรตที่เป็นของแข็งลงในสารละลายกรดไมริสติกในเอทานอล (อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลเวอร์ไนเตรตต่อกรดไมริสติก = 1:2) จะสังเกตเห็นผลึกสีขาวค่อย ๆ เกิดขึ้นในตัวทำละลายแอลกอฮอล์ กวนสารละลายทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการตกผลึกอย่างสมบูรณ์
4. แยกผลึกสีขาวออกจากสารละลายใสแล้วนำผลึกมาล้างทำความสะอาดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์และน้ำปราศจากไอออนตามลำดับเพื่อกำจัดกรดไมริสติกและไนเตรตไอออนที่เจือปนอยู่กับผลึกสีขาว ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตต

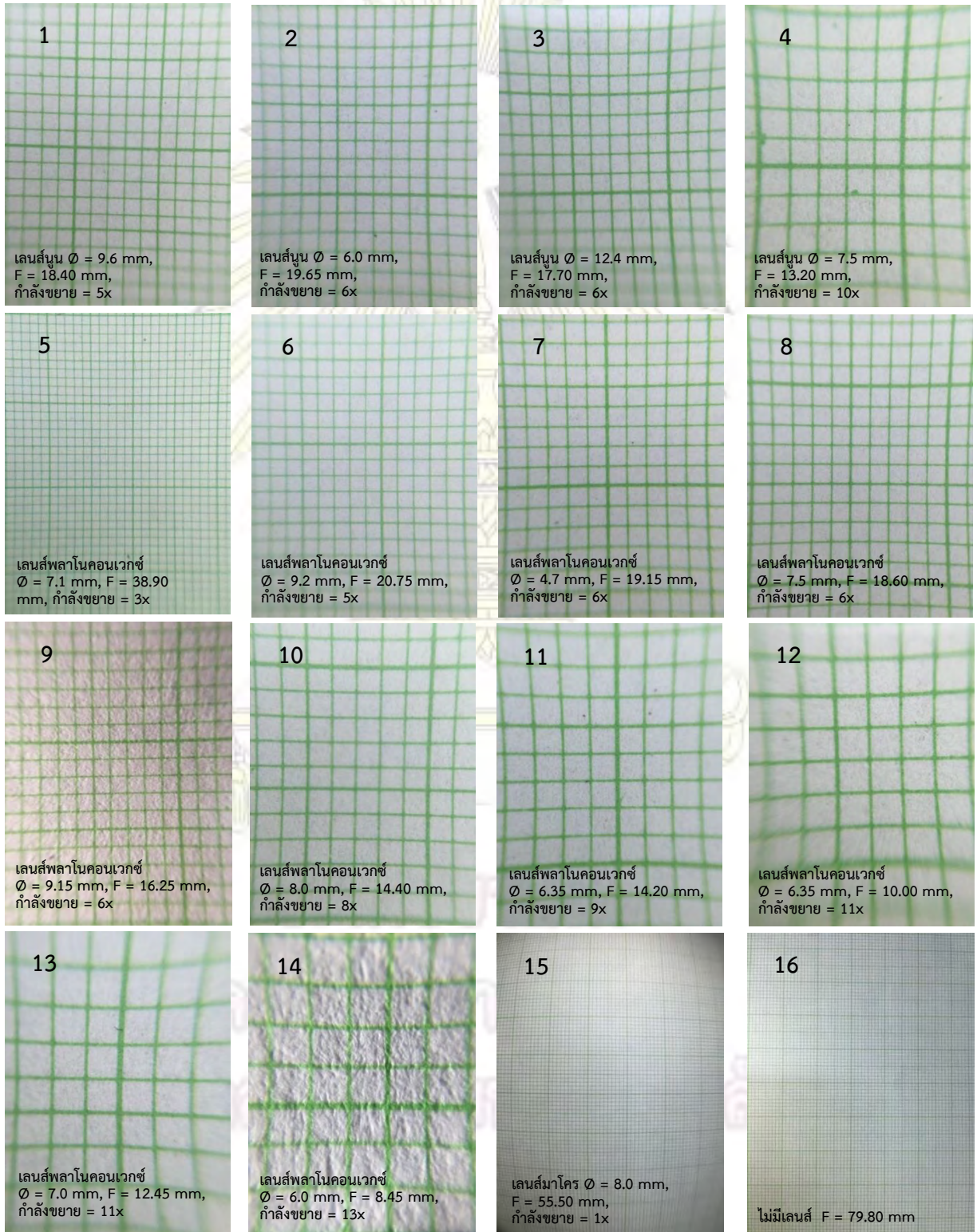
### 3.3.7 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลและเขียนรายงาน

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

#### 4.1 ภาพถ่ายกระดาษกราฟกับชนิดของเลนส์และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเลนส์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายกระดาษกราฟด้วยการใช้เลนส์ชนิดต่างๆ วัสดุของเลนส์ คือ แก้ว bk-7 วางหน้ากล้องสมาร์ตโฟนยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบชนิดของเลนส์ตามพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

รูปที่	ชนิดของเลนส์	กำลังขยาย	Field of view (FOV) (มิลลิเมตร <sup>2</sup> )	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเลนส์ (มิลลิเมตร)	ระยะโฟกัส (มิลลิเมตร)	ความหนาของเลนส์ (มิลลิเมตร)
1	เลนส์นูน	5x	13x17	9.6	18.4	1.85
2	เลนส์นูน	6x	11x15	6.0	19.65	3.10
3	เลนส์นูน	6x	11x15	12.4	17.7	4.50
4	เลนส์นูน	10x	7x9.5	7.5	13.2	3.00
5	Plano convex Lens	3x	26x35	7.1	38.9	3.15
6	Plano convex Lens	5x	13.5x17	9.2	20.75	1.65
7	Plano convex Lens	6x	11x14	4.7	19.15	2.25
8	Plano convex Lens	6x	11x14.5	7.5	18.6	3.50
9	Plano convex Lens	6x	12x16	9.15	16.25	1.75
10	Plano convex Lens	8x	9x11.5	8.0	14.4	1.90
11	Plano convex Lens	9x	8x10	6.35	14.20	2.30
12	Plano convex Lens	11x	6x8	6.35	10.00	1.75
13	Plano convex Lens	11x	6x8	7.0	12.45	4.80

รูปที่	ชนิดของเลนส์	กำลังขยาย	Field of view (FOV) (มิลลิเมตร <sup>2</sup> )	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเลนส์ (มิลลิเมตร)	ระยะโฟกัส (มิลลิเมตร)	ความหนาของเลนส์ (มิลลิเมตร)
14	Plano convex Lens	13x	5.5x7	6.0	8.45	2.00
15	Macro Lens	1x	60x85	8.0	55.5	1.9
16	ไม่มีเลนส์	-	67x90	-	79.80	-

**จากรูปที่ 4.1 ภาพ 1** พบว่า ภาพกระดาษกราฟมีลักษณะเรียบ ตรง ไม่โค้งงอ หรือนูน บริเวณขอบภาพโค้งงอเล็กน้อย สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนไม่ได้ควบคุมแสงจึงทำให้ภาพที่ได้มีสีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอและขอบภาพเบลอซึ่งเกิดจากระยะโฟกัสไม่คงที่ เนื่องจากไม่มี stage ที่ควบคุมระยะโฟกัสที่แน่นอน

**จากรูปที่ 4.1 ภาพ 2** พบว่า ภาพกระดาษกราฟมีลักษณะเรียบ ตรง ไม่โค้งงอ หรือนูน บริเวณขอบภาพโค้งงอเล็กน้อย สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนไม่ได้ควบคุมแสงจึงทำให้ภาพที่ได้มีสีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอและขอบภาพเบลอซึ่งเกิดจากระยะโฟกัสไม่คงที่ เนื่องจากไม่มี stage ที่ควบคุมระยะโฟกัสที่แน่นอน

**จากรูปที่ 4.1 ภาพ 3** พบว่า ภาพกระดาษกราฟมีลักษณะเรียบ ตรง ไม่โค้งงอ หรือนูน บริเวณขอบภาพโค้งงอ สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนไม่ได้ควบคุมแสงจึงทำให้ภาพที่ได้มีสีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอและขอบภาพเบลอซึ่งเกิดจากระยะโฟกัสไม่คงที่ เนื่องจากไม่มี stage ที่ควบคุมระยะโฟกัสที่แน่นอน

**จากรูปที่ 4.1 ภาพ 4** พบว่า ภาพกระดาษกราฟมีลักษณะเรียบ ตรง ไม่โค้งงอ หรือนูน บริเวณขอบภาพโค้งงอมาก สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนไม่ได้ควบคุมแสงจึงทำให้ภาพที่ได้มีสีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอและขอบภาพเบลอซึ่งเกิดจากระยะโฟกัสไม่คงที่ เนื่องจากไม่มี stage ที่ควบคุมระยะโฟกัสที่แน่นอน

**จากรูปที่ 4.1 ภาพ 5** พบว่า ภาพกระดาษกราฟมีลักษณะเรียบ ตรง ไม่โค้งงอ หรือนูน บริเวณขอบภาพโค้งงอเล็กน้อย สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนไม่ได้ควบคุมแสงจึงทำให้ภาพที่ได้มีสีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอและขอบภาพเบลอซึ่งเกิดจากระยะโฟกัสไม่คงที่ เนื่องจากไม่มี stage ที่ควบคุมระยะโฟกัสที่แน่นอน



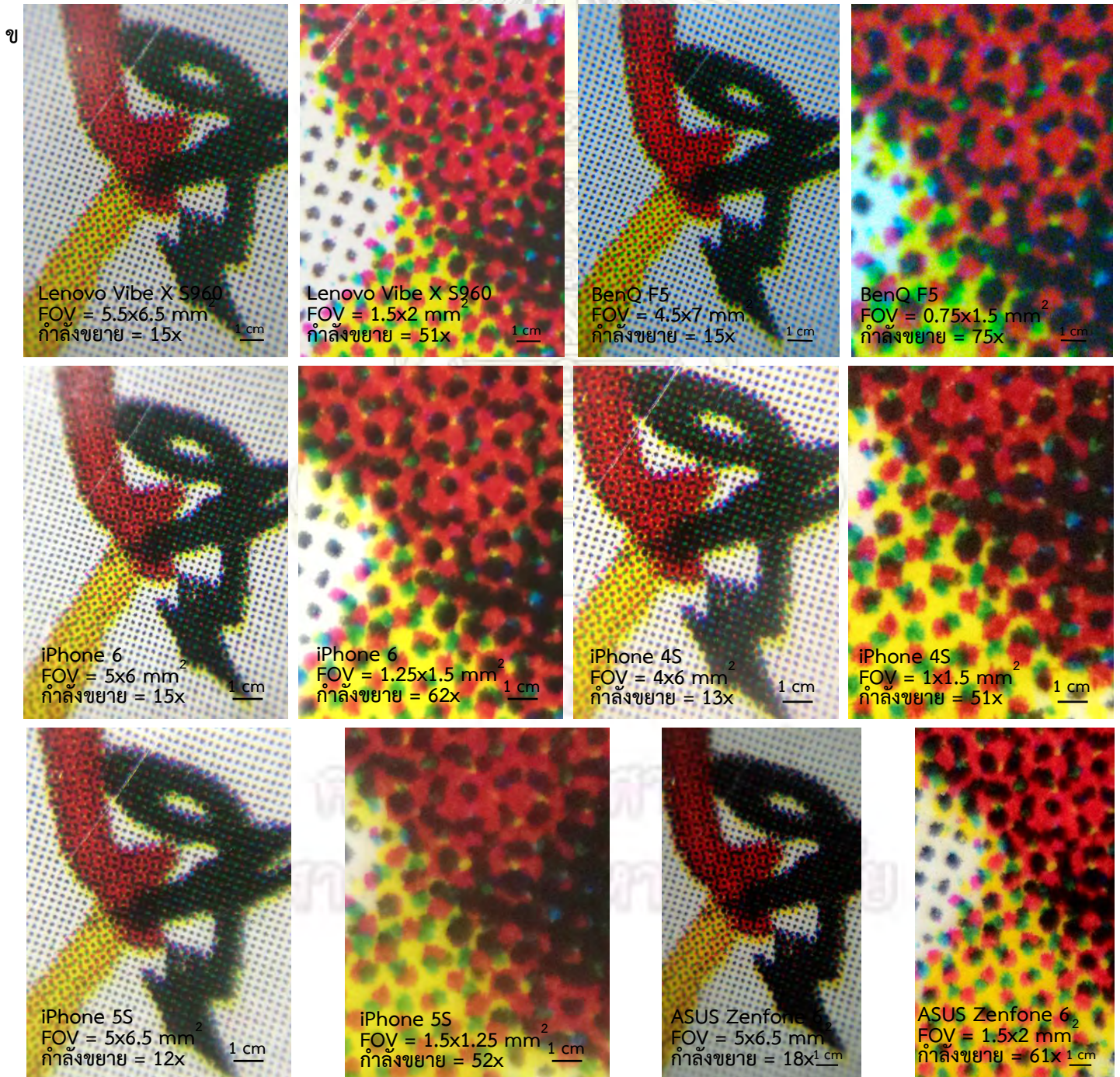
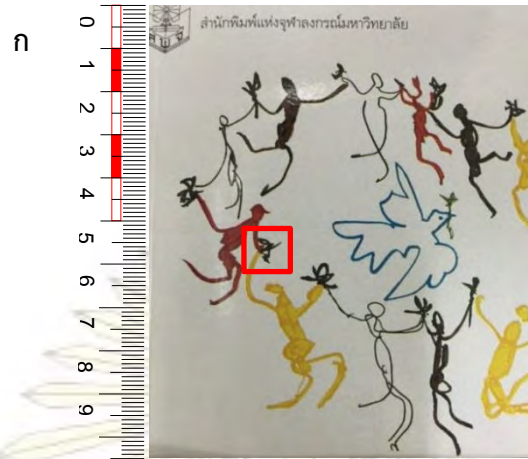
**จากรูปที่ 4.1 ภาพ 14** พบว่า ภาพกระดาษกราฟมีลักษณะเรียบ ตรง ไม่โค้งงอ หรือนูน บริเวณขอบภาพโค้งงอเล็กน้อย ลักษณะของพื้นผิวกระดาษกราฟขรุขระ สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนไม่ได้ควบคุมแสงจึงทำให้ภาพที่ได้มีสีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอและขอบภาพเบลอซึ่งเกิดจากระยะโฟกัสไม่คงที่ เนื่องจากไม่มี stage ที่ควบคุมระยะโฟกัสที่แน่นอนและเนื่องจากแสงส่องทางเดียวจึงทำให้ลักษณะของพื้นผิวกระดาษกราฟขรุขระ

**จากรูปที่ 4.1 ภาพ 15** พบว่า ภาพกระดาษกราฟมีลักษณะนูน สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนไม่ได้ควบคุมแสงจึงทำให้ภาพที่ได้มีสีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอและขอบภาพเบลอซึ่งเกิดจากระยะโฟกัสไม่คงที่ เนื่องจากไม่มี stage ที่ควบคุมระยะโฟกัสที่แน่นอน

ดังนั้น **จากรูปที่ 4.1** คณะผู้วิจัยเลือกใช้ชนิดของเลนส์ในการทดลอง คือ Plano convex Lens ที่มีกำลังขยาย 13x เนื่องจากมีกำลังขยายสูงสุด ภาพกระดาษกราฟมีลักษณะเรียบ ตรง ไม่โค้งงอ หรือนูน บริเวณขอบภาพโค้งงอเล็กน้อย ซึ่งใกล้เคียงกับตัวอย่างวัตถุที่เป็นกระดาษกราฟมากที่สุด ซึ่ง Plano convex Lens ที่มีกำลังขยาย 13x ให้ภาพที่แสดงรายละเอียดของวัตถุที่ถูกต้องและชัดเจน และเกิดบิดเบือนของภาพ (distortion) น้อย ซึ่งเกิดจากลักษณะของ Plano convex Lens ที่มีรูปร่างเลนส์นูนแกมระนาบ จากความโค้งของเลนส์นูนทำให้แสงที่ตกกระทบเลนส์เกิดทิศทางการเบี่ยงเบนของแสงไม่เท่ากันส่งผลกระทบให้เกิดมุมตกกระทบที่ไม่เท่ากัน บริเวณขอบภาพจึงมีลักษณะโค้งงอเล็กน้อย การบิดเบือนของภาพ (distortion) นี้เป็นความผิดพลาดที่สามารถรับได้เนื่องจากเลนส์ที่ใช้มีราคาต่ำซึ่งเป็นปกติของเลนส์ที่เกิดการบิดเบือนของภาพ (distortion)

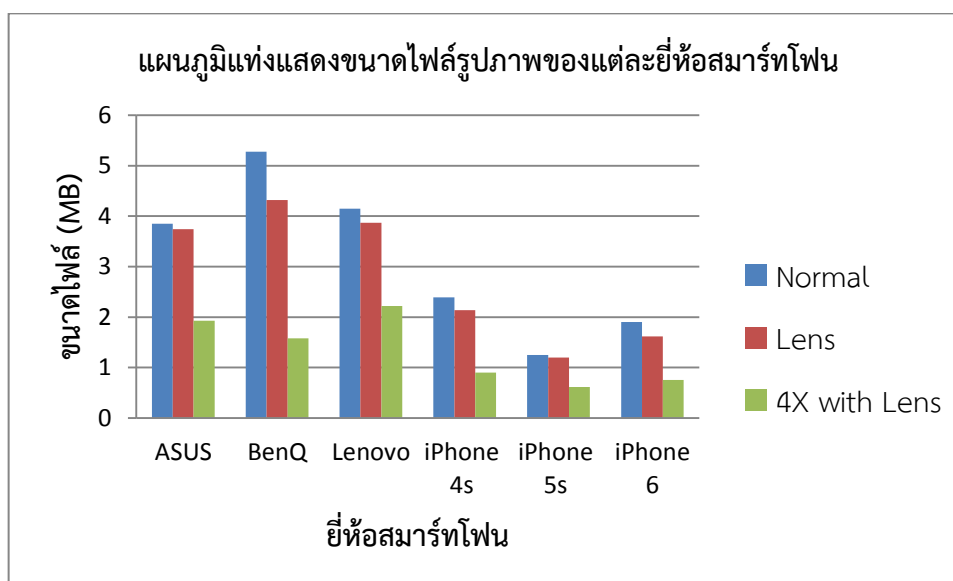
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ภาพถ่ายหน้าปกหนังสือกับชนิดของยี่ห้อสมาร์ทโฟนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.2 ก ภาพถ่ายหน้าปกหนังสือขนาดเท่าหนังสือจริง ข ภาพถ่ายหน้าปกหนังสือด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนยี่ห้อต่างๆมีเลนส์และ+ 4X Digital Zoom

แผนภูมิแท่งที่ 4.1 แสดงขนาดไฟล์รูปภาพของแต่ละยี่ห้อสมาร์ทโฟน



ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความละเอียดของกล้องและจอภาพ

ยี่ห้อสมาร์ทโฟน	ผู้ผลิต	ความละเอียดกล้อง (พิกเซล)	ขนาดหน้าจอ (นิ้ว) (มิลลิเมตร <sup>2</sup> )	ความละเอียดหน้าจอ (พิกเซล)
ASUS Zenfone 6	ASUSTeK Computer Inc. (Taiwan)	4128x3096 (13 MP)	6 (74x132 มิลลิเมตร <sup>2</sup> )	720x1280 (245 ppi)
BenQ F5	BenQ Corporation (Taiwan)	4128x3096 (13 MP)	5 (62.5x110 มิลลิเมตร <sup>2</sup> )	720x1280 (294 ppi)
Lenovo Vibe X S960	Lenovo Group Ltd. (China)	4128x3096 (13 MP)	5 (62x110 มิลลิเมตร <sup>2</sup> )	1080x1920 (441 ppi)
iPhone 4S	Apple Inc. (USA)	3264x2448 (8 MP)	3.5 (51.5x76.5 มิลลิเมตร <sup>2</sup> )	640x960 (330 ppi)
iPhone 5S	Apple Inc. (USA)	3264x2448 (8 MP)	4 (50.5x89.0 มิลลิเมตร <sup>2</sup> )	1136x640 (326 ppi)
iPhone 6	Apple Inc. (USA)	3264x2448 (8 MP)	4 (59.5x105.0 มิลลิเมตร <sup>2</sup> )	750 x 1334 (326 ppi)



**จากรูปที่ 4.2 ก** ภาพตัวอย่างหน้าปกหนังสือที่มีองค์ประกอบของสีที่ชัดเจน ประกอบด้วย สีดำ (key) สีเหลือง (yellow) สีขาว (white) สีแดงม่วง (magenta) และสีฟ้าอมเขียว (Cyan) เพื่อศึกษาคุณภาพความละเอียดของภาพโดยใช้สมาร์ทโฟนรุ่นต่างๆ ดังนี้ ยี่ห้อ ASUS รุ่น Zenfone 6, ยี่ห้อ BenQ รุ่น F5, ยี่ห้อ Lenovo รุ่น Vibe X S960, Apple รุ่น iPhone 4S, Apple รุ่น iPhone 5S และ Apple รุ่น iPhone 6

**จากรูปที่ 4.2 ข** ภาพตัวอย่างหน้าปกหนังสือจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนยี่ห้อ ASUS รุ่น Zenfone 6, ยี่ห้อ Lenovo รุ่น Vibe X S960, Apple รุ่น iPhone 4S, Apple รุ่น iPhone 5S และ Apple รุ่น iPhone 6 พบว่า องค์ประกอบของสีที่ชัดเจน ประกอบด้วย สีดำ (key) สีเหลือง (yellow) สีขาว (white) สีแดงม่วง (magenta) และสีฟ้าอมเขียว (Cyan) ขอบภาพเบลอ เนื่องจากระยะโฟกัสไม่คงที่ ภาพตัวอย่างหน้าปกหนังสือจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนยี่ห้อ BenQ รุ่น F5 พบว่า องค์ประกอบของสีที่ชัดเจน ประกอบด้วย สีดำ (key) สีเหลือง (yellow) สีแดงม่วง (magenta) และสีฟ้าอมเขียว (Cyan) แต่สีขาว (white) เปลี่ยนเป็นสีฟ้า ขอบภาพเบลอ เนื่องจากระยะโฟกัสไม่คงที่ และภาพตัวอย่างหน้าปกหนังสือจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนยี่ห้อ ASUS รุ่น Zenfone 6 + 4X Digital Zoom, ยี่ห้อ Lenovo รุ่น Vibe X S960 + 4X Digital Zoom, Apple รุ่น iPhone 4S + 4X Digital Zoom, Apple รุ่น iPhone 5S + 4X Digital Zoom และ Apple รุ่น iPhone 6 + 4X Digital Zoom พบว่า องค์ประกอบของสีที่ชัดเจน ประกอบด้วย สีดำ (key) สีเหลือง (yellow) สีขาว (white) สีแดงม่วง (magenta) และสีฟ้าอมเขียว (Cyan) ขอบภาพเบลอ เนื่องจากระยะโฟกัสไม่คงที่ ภาพตัวอย่างหน้าปกหนังสือจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนยี่ห้อ BenQ รุ่น F5 + 4X Digital Zoom พบว่า องค์ประกอบของสีที่ชัดเจน ประกอบด้วย สีดำ (key) สีเหลือง (yellow) สีแดงม่วง (magenta) และสีฟ้าอมเขียว (Cyan) แต่สีขาว (white) เปลี่ยนเป็นสีฟ้า ขอบภาพเบลอ เนื่องจากระยะโฟกัสไม่คงที่

**จากแผนภูมิแท่งที่ 4.1** แสดงขนาดไฟล์รูปภาพของแต่ละยี่ห้อสมาร์ทโฟน พบว่า ขนาดไฟล์ภาพของสมาร์ทโฟนยี่ห้อ BenQ รุ่น F5 (4.32 MB) มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับสมาร์ทโฟนยี่ห้อ Lenovo รุ่น Vibe X S960 (3.87 MB), สมาร์ทโฟนยี่ห้อ ASUS รุ่น Zenfone 6 (3.74 MB), สมาร์ทโฟนยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 4S (2.14 MB), สมาร์ทโฟนยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 (1.62 MB) และสมาร์ทโฟนยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 5S (1.20 MB) ตามลำดับ ซึ่งขนาดไฟล์ยังมีค่ามาก หมายความว่า ภาพถ่ายมีความคมชัดมาก สีที่ปรากฏมีความสดและชัดเจน จึงสามารถสรุปได้ว่า สมาร์ทโฟนยี่ห้อ BenQ รุ่น F5 ให้ภาพที่มีความละเอียดสูงสุดและคมชัดมากที่สุดเมื่อเทียบกับสมาร์ทโฟนยี่ห้อดังกล่าวข้างต้น แต่ภาพตัวอย่างหน้าปกหนังสือที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนยี่ห้อ BenQ รุ่น F5 มีองค์ประกอบของสีเปลี่ยนจากสีขาว (white) เป็นสีฟ้า ซึ่งภาพตัวอย่างหน้าปกหนังสือที่ได้ไม่ถูกต้อง และเมื่อเปรียบเทียบขนาดไฟล์รูปภาพของแต่ละยี่ห้อสมาร์ทโฟนที่มีเลนส์ และขนาดไฟล์รูปภาพของแต่ละยี่ห้อสมาร์ทโฟน + 4X Digital Zoom พบว่า ขนาดไฟล์มีขนาดลดลง เนื่องจากกำลังขยายมากขึ้นภาพที่ได้มีความคมชัดต่ำ จึงทำให้ความละเอียดลดลง และส่งผลทำให้ขนาดไฟล์ลดลง

เมื่อพิจารณาทางด้านกายภาพ (physical) พบว่า สมาร์ทโฟนยี่ห้อ Lenovo รุ่น Vibe X S960, ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 4S และยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 สามารถวางในแนวระนาบได้และตำแหน่งของเลนส์กล้องบนสมาร์ทโฟนซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน

เมื่อพิจารณาความละเอียดของกล้องวิดีโอพบว่าสมาร์ตโฟนยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 (1080p@60fps และ 720p@240fps) มีความละเอียดมากที่สุดเมื่อเทียบกับสมาร์ตโฟนยี่ห้อ ASUS รุ่น Zenfone 6 (1080p@30fps), สมาร์ตโฟนยี่ห้อ BenQ รุ่น F5 (1080p@30fps) และสมาร์ตโฟนยี่ห้อ Lenovo รุ่น Vibe X S960 (1080p@30fps)

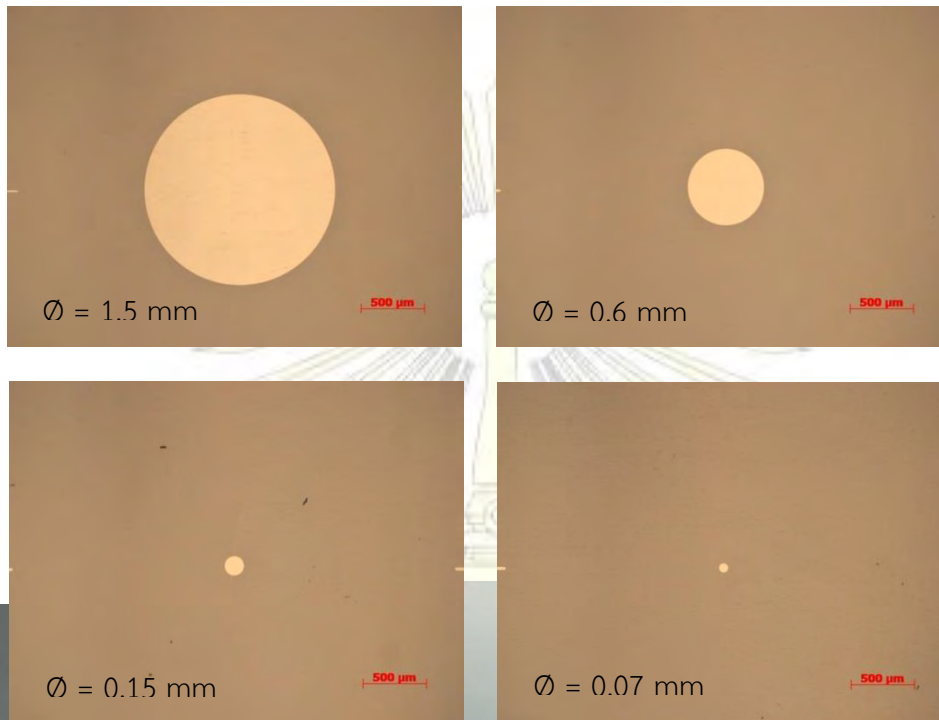
ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้สมาร์ตโฟนยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ในการทดลอง เนื่องจากสามารถติดตามการโตของผลึกได้มากกว่าสมาร์ตโฟนยี่ห้ออื่นถึง 2 เท่า พร้อมทั้งมีโหมด slow motion ที่สามารถติดตามการโตของผลึกได้อย่างละเอียดและชัดเจน



### 4.3 ภาพเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ

#### กล้องจุลทรรศน์โหมดสะท้อน (Reflection)

ก



ข

 $\varnothing = 1.5 \text{ mm}$ 
 $\varnothing = 0.6 \text{ mm}$ 
 $\varnothing = 0.15 \text{ mm}$ 
 $\varnothing = 0.07 \text{ mm}$ 
500  $\mu\text{m}$ 

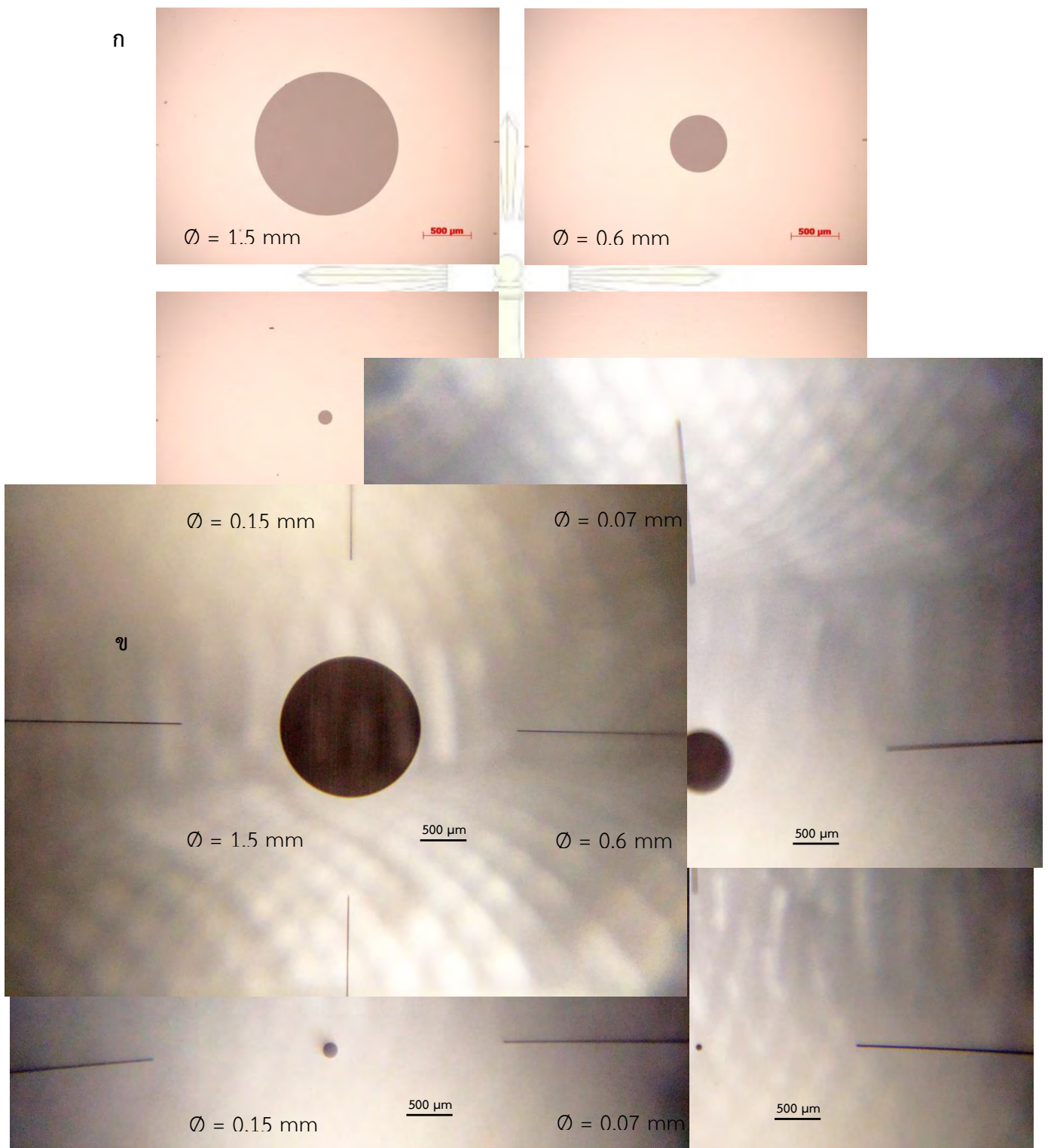
รูปที่ 4.3 ก ภาพถ่ายวงกลมด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 เลนส์ใกล้วัตถุ 17x ข ภาพถ่ายวงกลมด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 17x

จากรูปที่ 4.3 ก พบว่า วงกลมเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีขาว สีพื้นหลังของภาพมีความสม่ำเสมอ และจาก ข พบว่า วงกลมไม่เปลี่ยนสีซึ่งมีสีดำดั้งเดิม สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ และส่วนกลางวงกลมมีความคมชัดแต่ส่วนขอบวงกลมไม่คมชัด และจาก ก และ ข พบว่า ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมมีขนาดเท่ากันทั้งสองภาพ การที่วงกลมเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีขาวเนื่องจากมีความเข้มแสงมากจึงทำให้สีของวงกลมเปลี่ยนแปลง แสงสะท้อนได้เท่ากันหมดจึงทำให้สีพื้นหลังของภาพมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งภาพ ซึ่งกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการสามารถควบคุมแสงได้ แต่ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนไม่ได้ควบคุมแสงจึงทำให้ภาพที่ได้มีสีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอและขอบวงกลมที่ไม่คมชัดซึ่งเกิดจากระยะโฟกัสไม่คงที่ เนื่องจากไม่มี stage ที่ควบคุมระยะโฟกัสที่แน่นอน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) สามารถถ่ายภาพตัวอย่างหรือวัตถุที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 0.6, 0.15 และ 0.07 มิลลิเมตร โดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection)



### กล้องจุลทรรศน์โหมดส่องผ่าน (Transmission)



รูปที่ 4.4 ก ภาพถ่ายวงกลมด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 เลนส์ใกล้วัตถุ 17x ข ภาพถ่ายวงกลมด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 17x

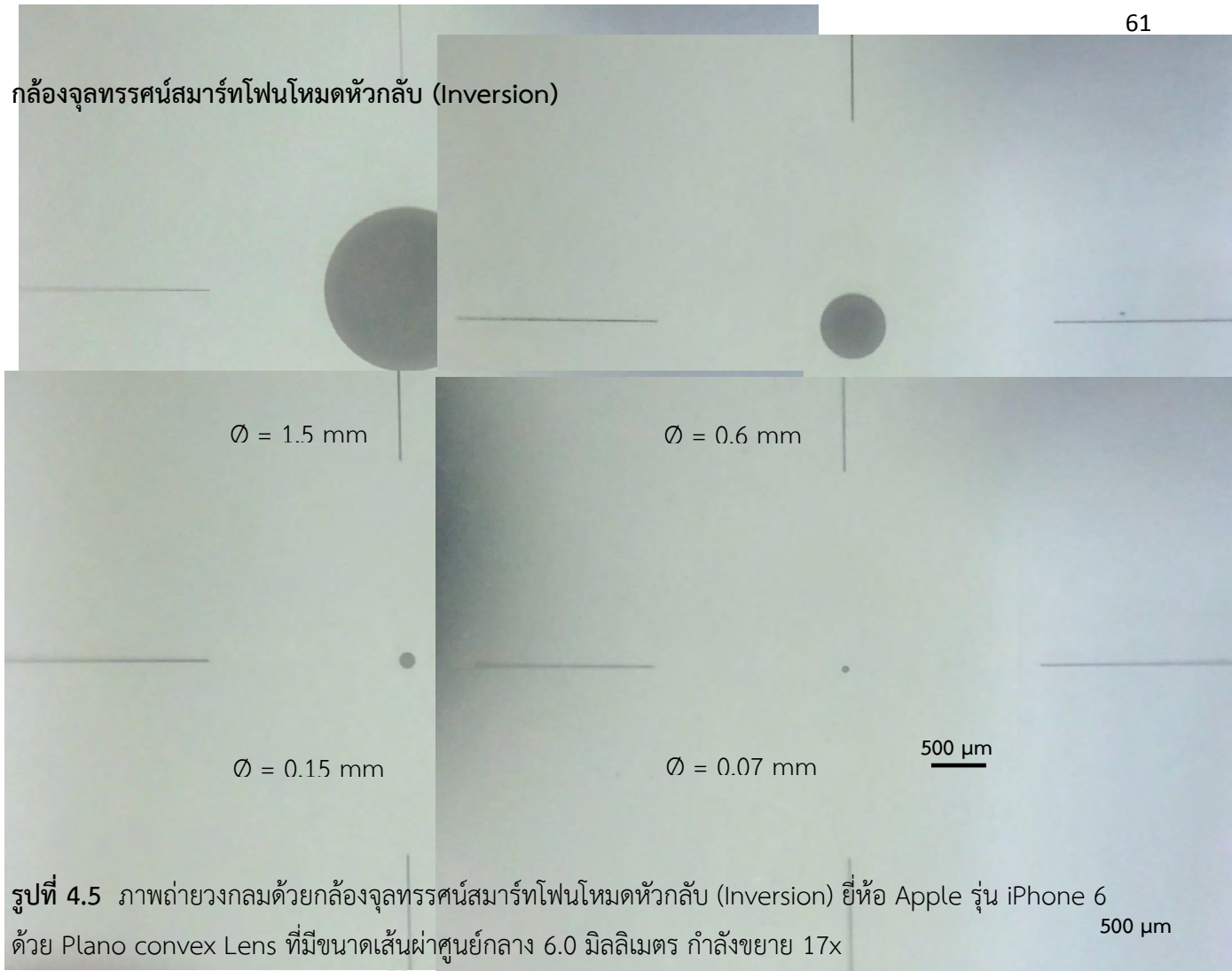
จากรูปที่ 4.4 ก พบว่า วงกลมเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีเทา สีพื้นหลังของภาพมีความสม่ำเสมอ และจาก ข พบว่า วงกลมไม่เปลี่ยนสีซึ่งมีสีดำดั้งเดิม สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ เห็นส่วนของอะคลิลิคบนพื้นหลังภาพ และ ส่วนกลางวงกลมมีความคมชัดแต่ส่วนของขอบวงกลมไม่คมชัด และจาก ก และ ข พบว่า ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมมีขนาดเท่ากันทั้งสองภาพ การที่วงกลมเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีเทาเนื่องจากมีความเข้มแสงมากจึงทำให้สีของวงกลมเปลี่ยนแปลง แสงสะท้อนได้เท่ากันหมดจึงทำให้สีพื้นหลังของภาพมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งภาพ ซึ่งกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการสามารถควบคุมแสงได้ แต่ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนไม่ได้ควบคุมแสงจึงทำให้ภาพที่ได้มีสีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ เห็นส่วนของอะคลิลิคบนพื้นหลังภาพเนื่องจากอะคลิลิคอยู่ในระยะโฟกัส และขอบวงกลมที่ไม่คมชัดซึ่งเกิดจากระยะโฟกัสไม่คงที่ เนื่องจากไม่มี stage ที่ควบคุมระยะโฟกัสที่แน่นอน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission) สามารถถ่ายภาพตัวอย่างหรือวัตถุที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 0.6, 0.15 และ 0.07 มิลลิเมตร โดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission)



ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดหัวกลับ (Inversion)

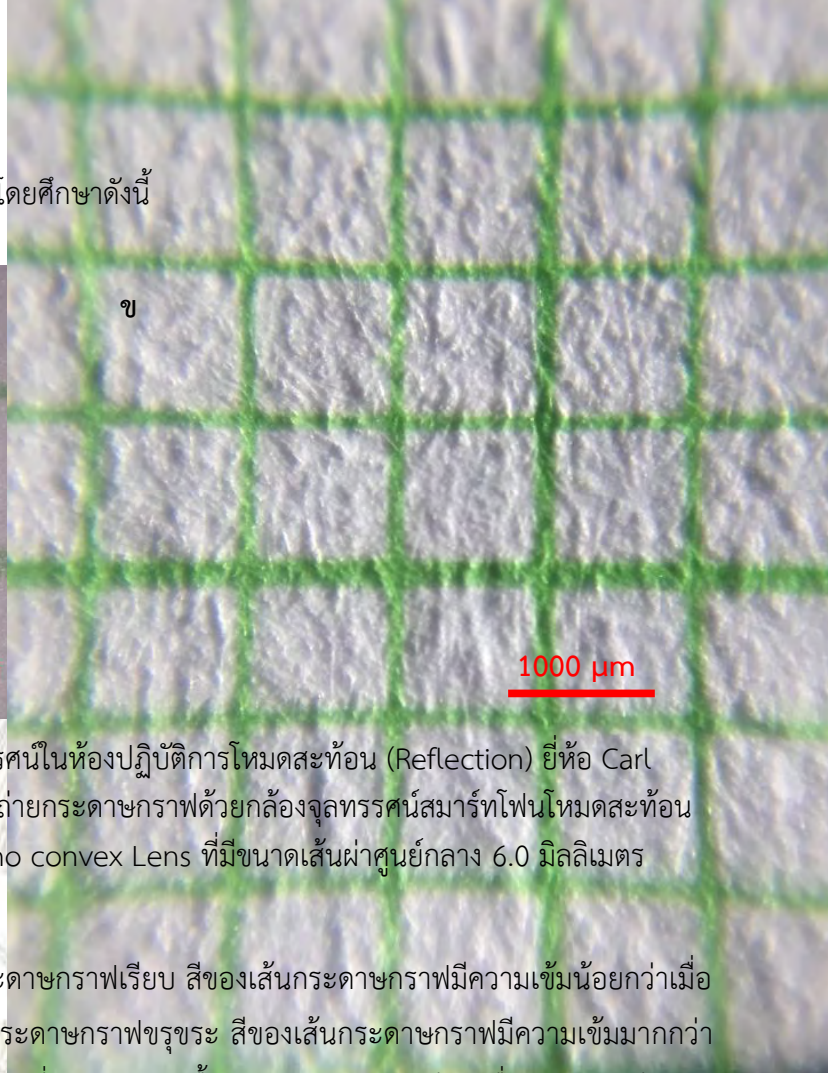
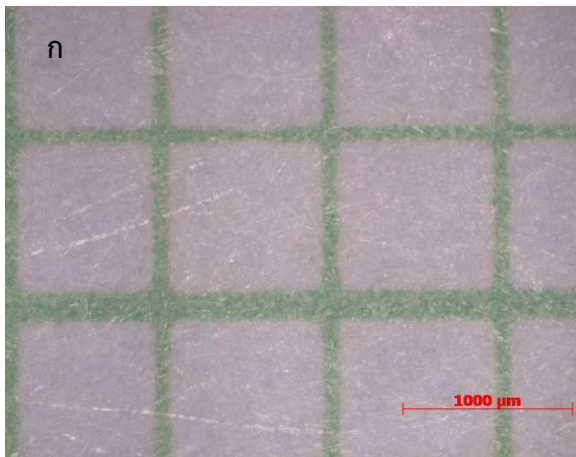


จากรูปที่ 4.5 พบว่า วงกลมเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีเทา สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ และส่วนกลางวงกลมมีความคมชัดแต่ส่วนขอบวงกลมไม่คมชัด การที่วงกลมเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีเทาเนื่องจากมีความเข้มแสงมากจึงทำให้สีของวงกลมเปลี่ยนแปลงและภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนไม่ได้ควบคุมแสงจึงทำให้ภาพที่ได้มีสีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ มีขอบวงกลมที่ไม่คมชัดซึ่งเกิดจากระยะโฟกัสไม่คงที่ เนื่องจากไม่มี stage ที่ควบคุมระยะโฟกัสที่แน่นอน

จากรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 พบว่า ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมมีขนาดเท่ากันทั้งสามภาพ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อน (Reflection), โหมดส่องผ่าน (Transmission) และโหมดหัวกลับ (Inversion) สามารถถ่ายภาพตัวอย่างหรือวัตถุที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5, 0.6, 0.15 และ 0.07 มิลลิเมตร โดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection), โหมดส่องผ่าน (Transmission) และโหมดหัวกลับ (Inversion)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.4 ภาพถ่ายตัวอย่างกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน โดยศึกษาดังนี้



**รูปที่ 4.6 ก** ภาพถ่ายกระดาศกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x **ข** ภาพถ่ายกระดาศกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x

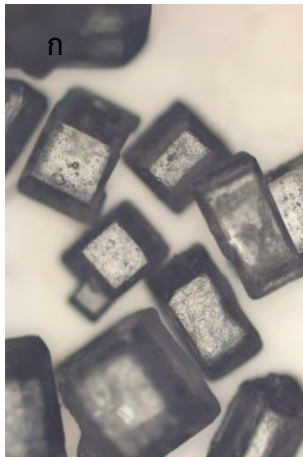
จากรูปที่ 4.6 ก พบว่า ลักษณะพื้นผิวกระดาศกราฟเรียบ สีของเส้นกระดาศกราฟมีความเข้มน้อยกว่าเมื่อเทียบกับภาพ ข และ ข พบว่า ลักษณะของพื้นผิวกระดาศกราฟขรุขระ สีของเส้นกระดาศกราฟมีความเข้มมากกว่าเมื่อเทียบกับภาพ ก และส่วนของขอบภาพเบลอ การที่ลักษณะของพื้นผิวกระดาศกราฟเรียบเนื่องจากแสงมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งภาพ ในขณะที่ภาพ ข แสงส่องทางเดียวจึงทำให้ลักษณะของพื้นผิวกระดาศกราฟขรุขระ ส่วนสีของเส้นกระดาศกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการมีความเข้มน้อยกว่าสีของเส้นกระดาศกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนเนื่องจากมีความเข้มแสงมากกว่า และเนื่องจากกระยะโฟกัสไม่คงที่ ไม่มี stage ที่ควบคุมกระยะโฟกัสที่แน่นอนจึงทำให้ภาพจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนบริเวณขอบภาพเบลอ

จากรูปที่ 4.6 ข ทำการขยายภาพให้มีกำลังขยาย 50x เท่ากับภาพ ก ซึ่งการขยายภาพของกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อนกลับที่มีจำนวนพิกเซลมากกว่า ทำให้เมื่อขยายภาพจากกำลังขยาย 13x เป็นกำลังขยาย 50x ภาพที่ได้มีความละเอียดของภาพเท่าเดิม เนื่องจากจำนวนพิกเซลของภาพจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อนมีค่าเท่ากับ 2448x3264 พิกเซล หรือ 7,990,272 พิกเซล และจำนวนพิกเซลของภาพจากกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อนกลับมีค่าเท่ากับ 1388x1040 พิกเซล หรือ 1,443,520 พิกเซล จากจำนวนพิกเซลพบว่ากล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 มีความละเอียดของภาพมากกว่ากล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 ถึง 5 เท่าทำให้สามารถขยายภาพจากคอมพิวเตอร์ได้อีกโดยไม่ทำให้ภาพมีความละเอียดลดลง

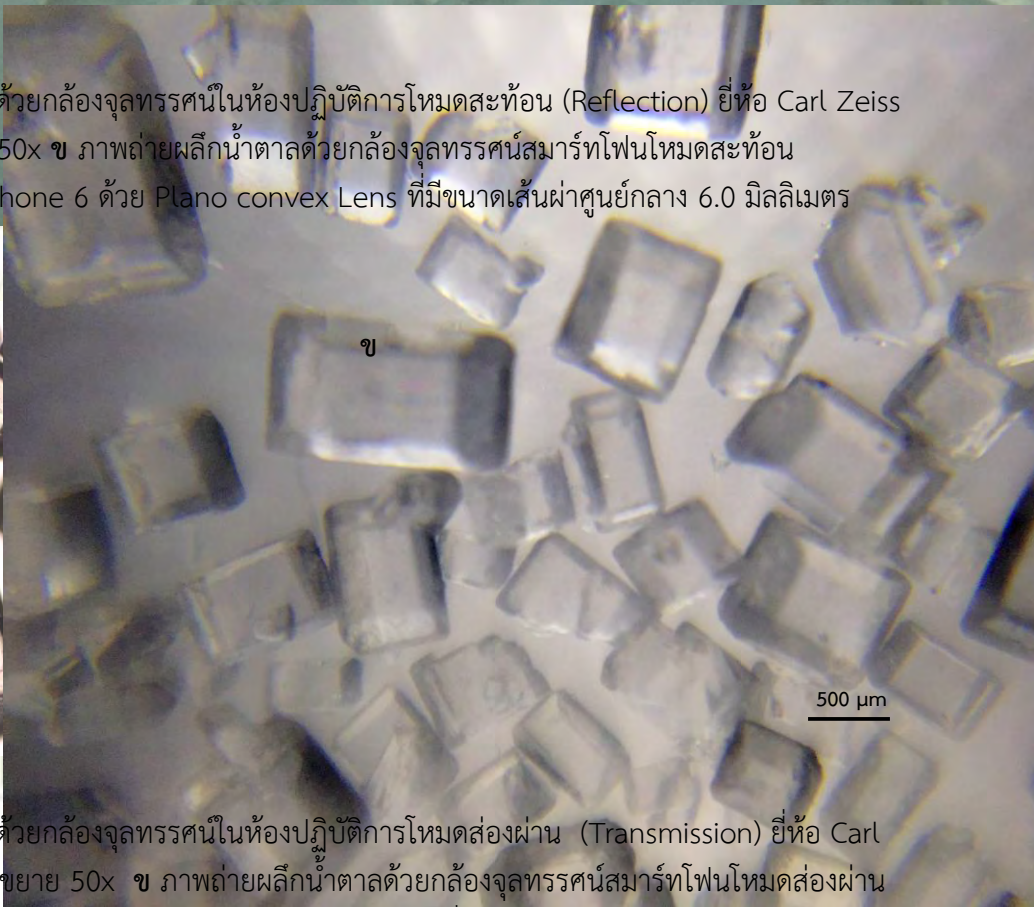
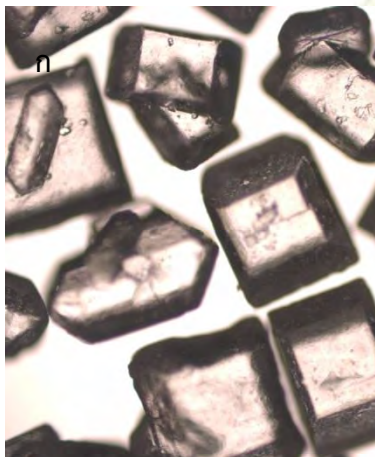
จากรูปที่ 4.6 ก และ ภาพ ข พบว่า ภาพจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อนมีขนาดของช่องสี่เหลี่ยมที่ได้จากการขยายเท่ากับภาพจากกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากระบวนการขยายภาพดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการศึกษารายละเอียดของตัวอย่างได้



#### 4.4.1 ผลึกน้ำตาล ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )

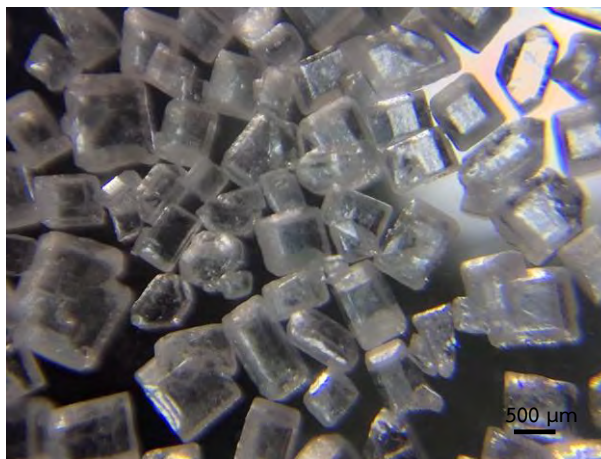


รูปที่ 4.7 ก ภาพถ่ายผลึกน้ำตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x ข ภาพถ่ายผลึกน้ำตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x



รูปที่ 4.8 ก ภาพถ่ายผลึกน้ำตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x ข ภาพถ่ายผลึกน้ำตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x

คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**รูปที่ 4.9** ภาพถ่ายผลึกน้ำตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดหัวกลับ (Inversion) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 13x

จากการผ่านกระบวนการขยายภาพที่สามารถวัดความถูกต้องได้แล้ว ผู้วิจัยจึงได้นำกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดสะท้อน (Reflection), โหมดส่องผ่าน (Transmission) และโหมดหัวกลับ (Inversion) ถ่ายวัตถุจริง คือ ผลึกน้ำตาล ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) ที่มีลักษณะผลึกหลายเหลี่ยม

จากรูปที่ 4.7 ก พบว่า ผลึกน้ำตาลมีลักษณะโปร่งแสง ผลึกหลายเหลี่ยม พื้นผิวของผลึกน้ำตาลขรุขระ ไม่เรียบ และจาก ข พบว่า ผลึกน้ำตาลมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกหลายเหลี่ยม พื้นผิวของผลึกน้ำตาลขรุขระ ไม่เรียบ แต่ไม่ชัดเจน สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขนาดผลึกน้ำตาลทั้งสองภาพมีขนาดใกล้เคียงกัน

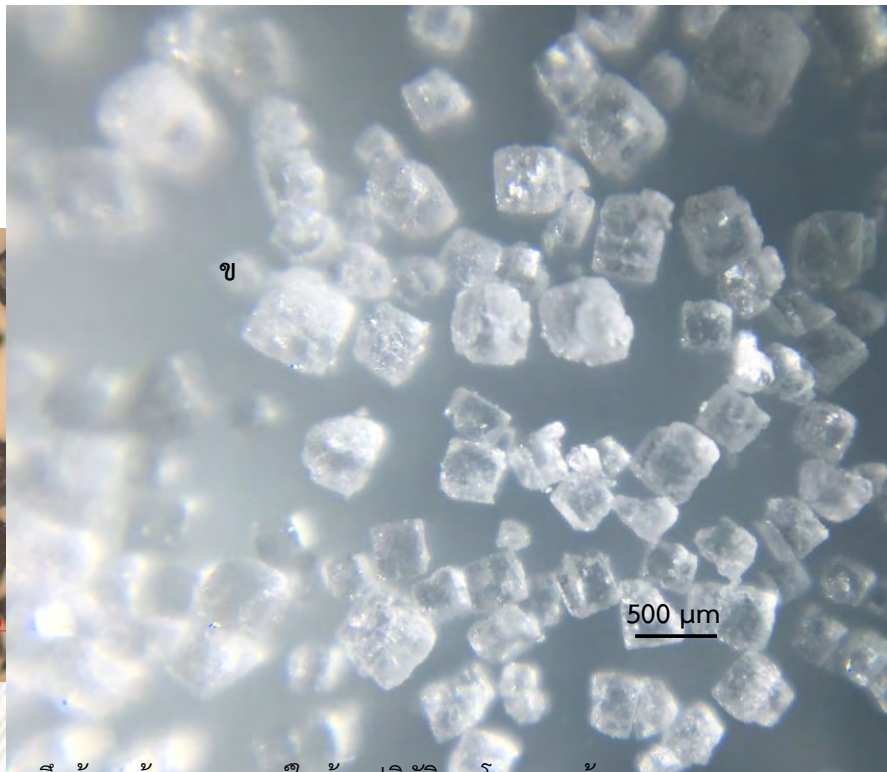
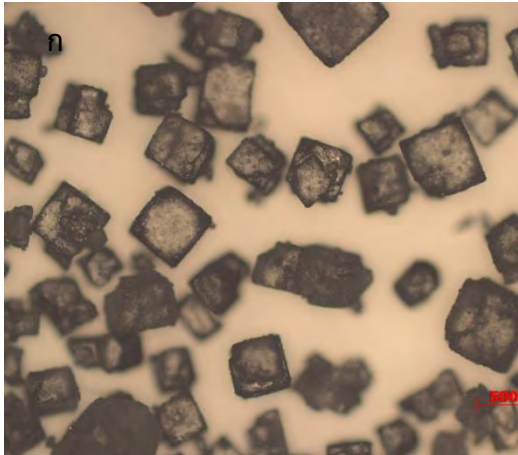
จากรูปที่ 4.8 ก พบว่า ผลึกน้ำตาลมีลักษณะโปร่งแสง ผลึกหลายเหลี่ยม พื้นผิวของผลึกน้ำตาลขรุขระ ไม่เรียบ และจาก ข พบว่า ผลึกน้ำตาลมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกหลายเหลี่ยม พื้นผิวของผลึกน้ำตาลขรุขระ ไม่เรียบ แต่ไม่ชัดเจน สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขนาดผลึกน้ำตาลทั้งสองภาพมีขนาดใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4.9 พบว่า ผลึกน้ำตาลมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกหลายเหลี่ยม พื้นผิวของผลึกน้ำตาลขรุขระ ไม่เรียบ สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ

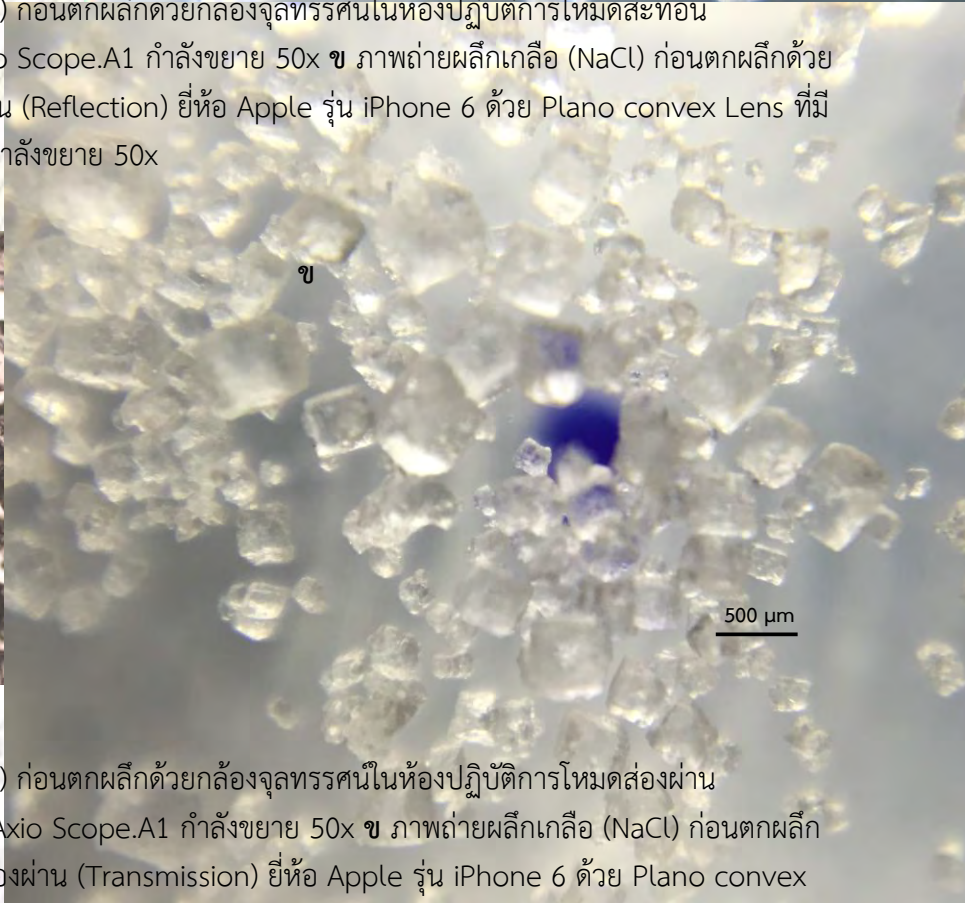
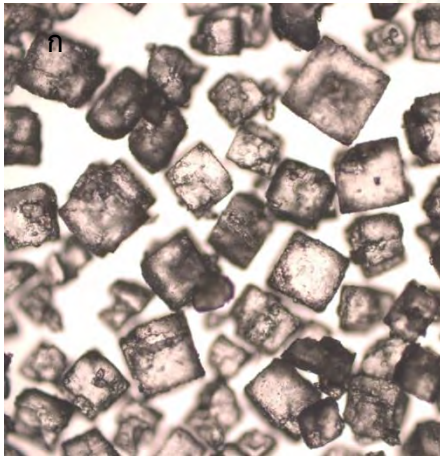
จากรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 เมื่อนำภาพของผลึกน้ำตาลที่มีรูปผลึกหลายเหลี่ยม หาขนาดของผลึกด้วยโปรแกรม Imagej พบว่า ขนาดผลึกน้ำตาลที่วัดได้จากโปรแกรม Imagej ด้วยภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection), กล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission) และกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดสะท้อน (Reflection), โหมดส่องผ่าน (Transmission) และโหมดหัวกลับ (Inversion) พบว่า ขนาดผลึกน้ำตาลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำตาล มีค่า  $418.15 \pm 81.83$ ,  $428.36 \pm 100.27$ ,  $447.85 \pm 104.58$ ,  $445.32 \pm 80.35$  และ  $428.97 \pm 99.63$  ไมโครเมตร ตามลำดับ

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) และ กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission) มีประสิทธิภาพของขนาดและรูปร่างวัตถุใกล้เคียงกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) และกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission) ซึ่งกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟน สามารถใช้ถ่ายวัตถุ หรือตัวอย่างที่กล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการไม่สามารถถ่ายได้ เช่น วัตถุที่มีขนาดใหญ่ สร้อยทอง เพชร เป็นต้น ซึ่งให้ข้อมูลที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ และมีคุณภาพขนาดและรูปร่างวัตถุเทียบเท่ากับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ

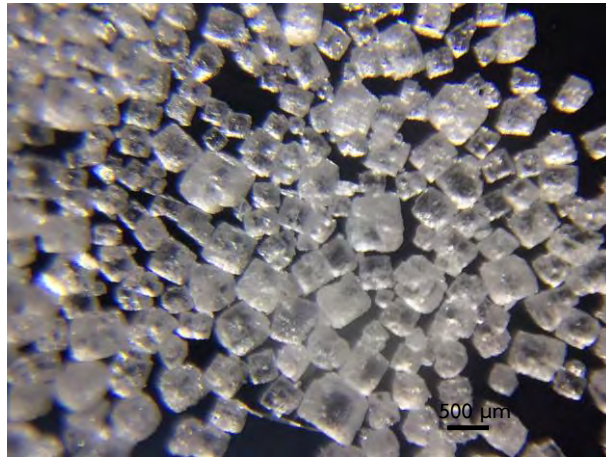
#### 4.4.2 ผลึกเกลือ (NaCl) ก่อนตกผลึก



รูปที่ 4.10 ก ภาพถ่ายผลึกเกลือ (NaCl) ก่อนตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมตสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x ข ภาพถ่ายผลึกเกลือ (NaCl) ก่อนตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมตสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x



รูปที่ 4.11 ก ภาพถ่ายผลึกเกลือ (NaCl) ก่อนตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมตส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x ข ภาพถ่ายผลึกเกลือ (NaCl) ก่อนตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมตส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x



**รูปที่ 4.12** ภาพถ่ายผลึกเกลือ (NaCl) ก่อนตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดหัวกลับ (Inversion) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 13x

จากการผ่านกระบวนการขยายภาพที่สามารถวัดความถูกต้องได้แล้ว ผู้วิจัยจึงได้นำกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดสะท้อน (Reflection), โหมดส่องผ่าน (Transmission) และโหมดหัวกลับ (Inversion) ถ่ายวัตถุจริง คือ ผลึกของเกลือ (NaCl) ก่อนการตกผลึกที่มีลักษณะรูปผลึกทรงลูกบาศก์

จากรูปที่ 4.10 ก พบว่า ผลึกมีลักษณะโปร่งแสง ผลึกทรงลูกบาศก์ พื้นผิวของผลึกขรุขระ ไม่เรียบ และจาก ข พบว่า ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกทรงลูกบาศก์ พื้นผิวของผลึกขรุขระ ไม่เรียบ แต่ไม่ชัดเจน สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ ขนาดผลึกทั้งสองภาพมีขนาดใกล้เคียงกัน

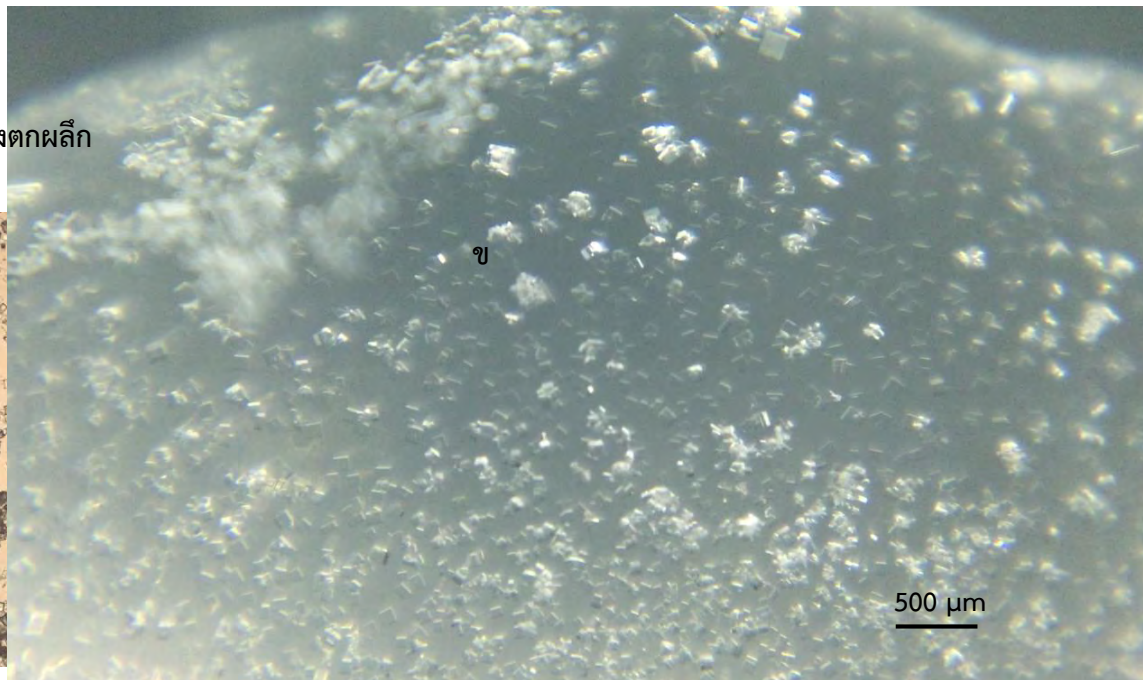
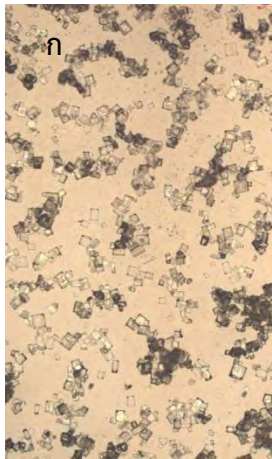
จากรูปที่ 4.11 ก พบว่า ผลึกมีลักษณะโปร่งแสง ผลึกทรงลูกบาศก์ พื้นผิวของผลึกขรุขระ ไม่เรียบ และจาก ข พบว่า ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกทรงลูกบาศก์ พื้นผิวของผลึกขรุขระ ไม่เรียบ แต่ไม่ชัดเจน สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ ขนาดผลึกทั้งสองภาพมีขนาดใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4.12 พบว่า ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกทรงลูกบาศก์ พื้นผิวของผลึกขรุขระ ไม่เรียบ สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ

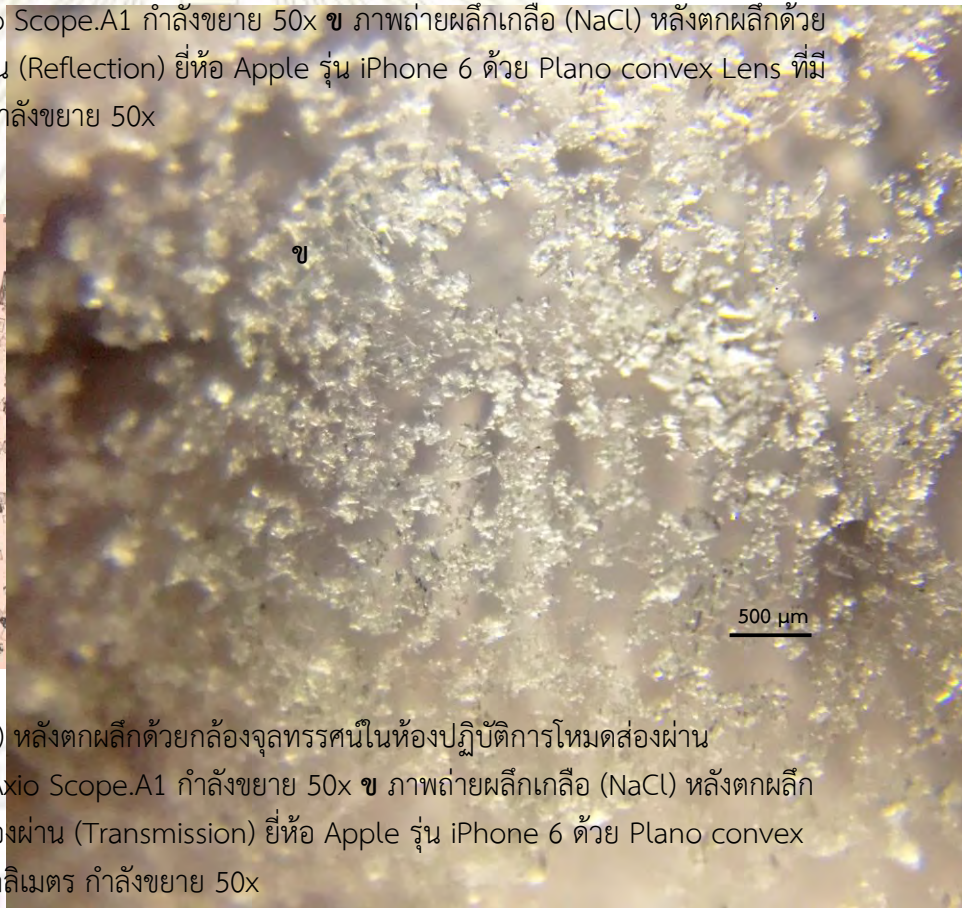
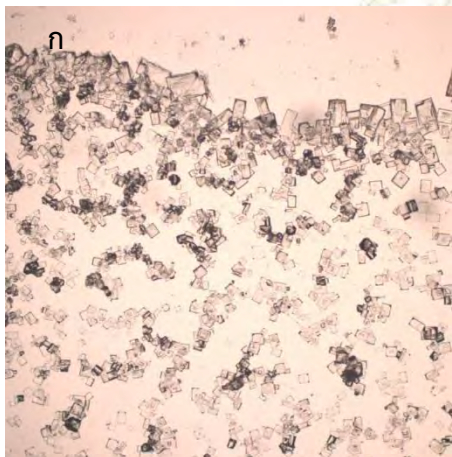
จากรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 เมื่อนำภาพของผลึกเกลือที่มีรูปผลึกทรงลูกบาศก์ หาขนาดของผลึกด้วยโปรแกรม Imagej พบว่า ขนาดผลึกที่วัดได้จากโปรแกรม Imagej ด้วยภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection), กล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission) และกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดสะท้อน (Reflection), โหมดส่องผ่าน (Transmission) และโหมดหัวกลับ (Inversion) พบว่า ขนาดผลึกที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดเฉลี่ยของผลึก มีค่า  $257.03 \pm 44.46$ ,  $274.62 \pm 46.81$ ,  $270.64 \pm 26.51$ ,  $293.36 \pm 49.63$  และ  $293.38 \pm 48.42$  ไมโครเมตร ตามลำดับ

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) และ กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission) มีประสิทธิภาพของขนาดและรูปร่างวัตถุใกล้เคียงกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) และกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission) ซึ่งกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟน สามารถใช้ถ่ายวัตถุ หรือตัวอย่างที่กล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการไม่สามารถถ่ายได้ เช่น วัตถุที่มีขนาดใหญ่ สร้อยทอง เพชร เป็นต้น ซึ่งให้ข้อมูลที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ และมีคุณภาพขนาดและรูปร่างวัตถุเทียบเท่ากับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ

ผลึกเกลือ (NaCl) หลังตกผลึก

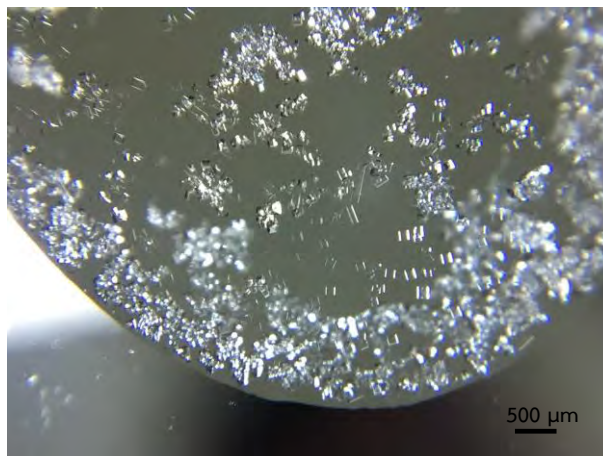


รูปที่ 4.13 ก ภาพถ่ายผลึกเกลือ (NaCl) หลังตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x ข ภาพถ่ายผลึกเกลือ (NaCl) หลังตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x



รูปที่ 4.14 ก ภาพถ่ายผลึกเกลือ (NaCl) หลังตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x ข ภาพถ่ายผลึกเกลือ (NaCl) หลังตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**รูปที่ 4.15** ภาพถ่ายผลึกเกลือ (NaCl) หลังตกผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดหัวกลับ (Inversion) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 13x

จากรูปที่ 4.13 ก พบว่า ผลึกมีลักษณะโปร่งแสง ผลึกทรงลูกบาศก์ ผลึกบางส่วนมีการรวมตัวเป็นกลุ่ม พื้นผิวของผลึกเรียบ และจาก ข พบว่า ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกทรงลูกบาศก์ ผลึกบางส่วนมีการรวมตัวเป็นกลุ่ม พื้นผิวของผลึกเรียบ แต่ไม่ชัดเจน สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ

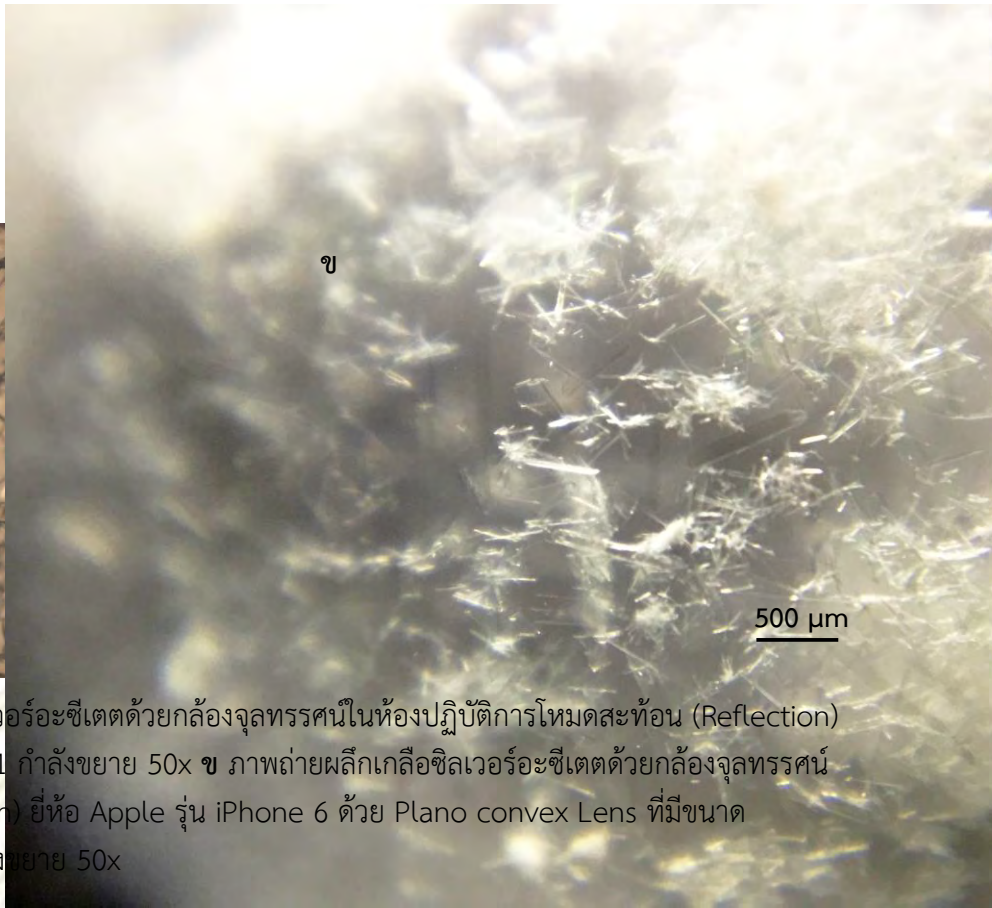
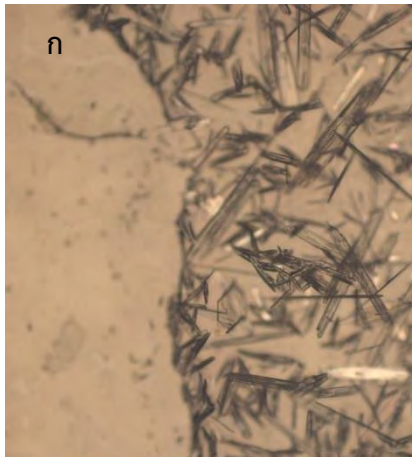
จากรูปที่ 4.14 ก พบว่า ผลึกมีลักษณะโปร่งแสง ผลึกทรงลูกบาศก์ พื้นผิวของผลึกเรียบ ผลึกบางส่วนมีการรวมตัวเป็นกลุ่ม และจาก ข พบว่า ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกทรงลูกบาศก์ ผลึกบางส่วนมีการรวมตัวเป็นกลุ่ม พื้นผิวของผลึกเรียบ แต่ไม่ชัดเจน สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ

จากรูปที่ 4.15 พบว่า ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกทรงลูกบาศก์ ผลึกบางส่วนมีการรวมตัวเป็นกลุ่ม พื้นผิวของผลึกเรียบ สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) และ กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission) มีประสิทธิภาพของขนาดและรูปร่างวัตถุใกล้เคียงกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) และกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission) ซึ่งกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน สามารถใช้ถ่ายวัตถุ หรือตัวอย่างที่กล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการไม่สามารถถ่ายได้ เช่น วัตถุที่มีขนาดใหญ่ สร้อยทอง เพชร เป็นต้น ซึ่งให้ข้อมูลที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ และมีคุณภาพขนาดและรูปร่างวัตถุเทียบเท่ากับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

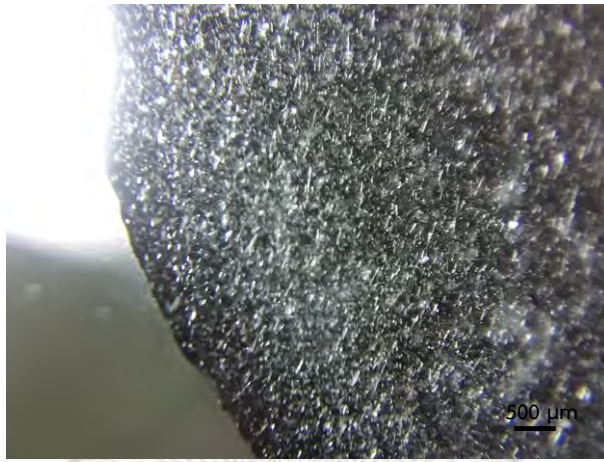
#### 4.4.3 ผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตต



รูปที่ 4.16 ก ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x ข ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x



รูปที่ 4.17 ก ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x ข ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x



**รูปที่ 4.18** ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดหัวกลับ (Inversion) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 13x

จากรูปที่ 4.16 ก พบว่า ผลึกมีลักษณะโปร่งแสง ผลึกรูปเข็ม พื้นผิวของผลึกเรียบ และจาก ข พบว่า ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกรูปเข็ม พื้นผิวของผลึกเรียบ แต่ไม่ชัดเจน สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ

จากรูปที่ 4.17 ก พบว่า ผลึกมีลักษณะโปร่งแสง ผลึกรูปเข็ม พื้นผิวของผลึกเรียบ และจาก ข พบว่า ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกรูปเข็ม พื้นผิวของผลึกเรียบ แต่ไม่ชัดเจน สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ

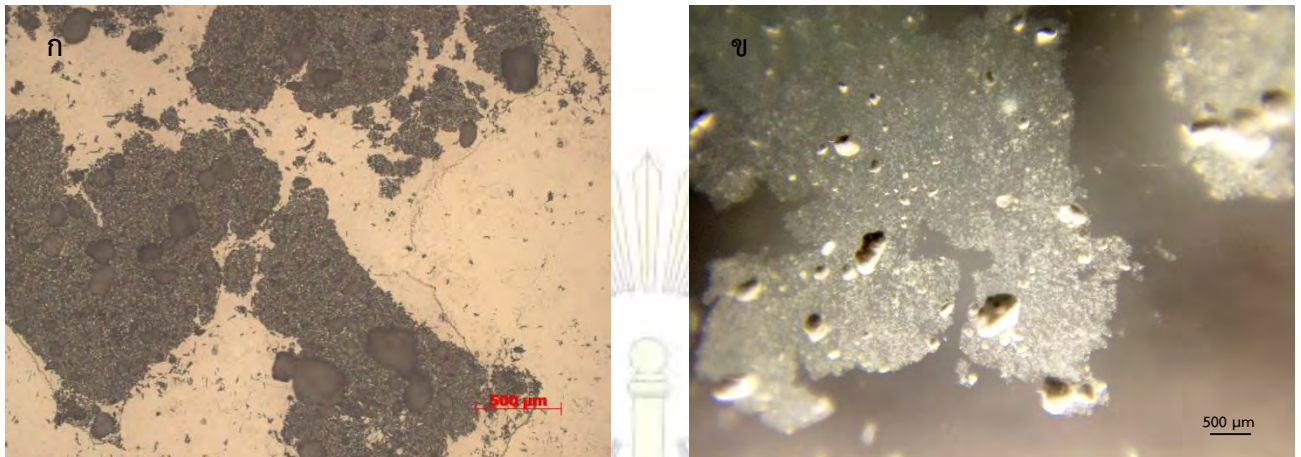
จากรูปที่ 4.18 พบว่า ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกรูปเข็ม พื้นผิวของผลึกเรียบ แต่ไม่ชัดเจน สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ภาพที่ได้จากทั้งกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดส่องผ่าน (Transmission) และกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดส่องผ่าน (Transmission) สามารถศึกษาลักษณะของผลึกได้ และจากรูปที่ ก.1 ภาพผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตต ด้วยกล้องจุลทรรศน์ Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510A พบว่า ผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตต มีขนาดความยาวของเข็ม 20 – 100 ไมโครเมตร ดังนั้นสามารถประมาณได้ว่าวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดส่องผ่าน (Transmission) สามารถศึกษาลักษณะของผลึกได้ในช่วง 20 – 100 ไมโครเมตร

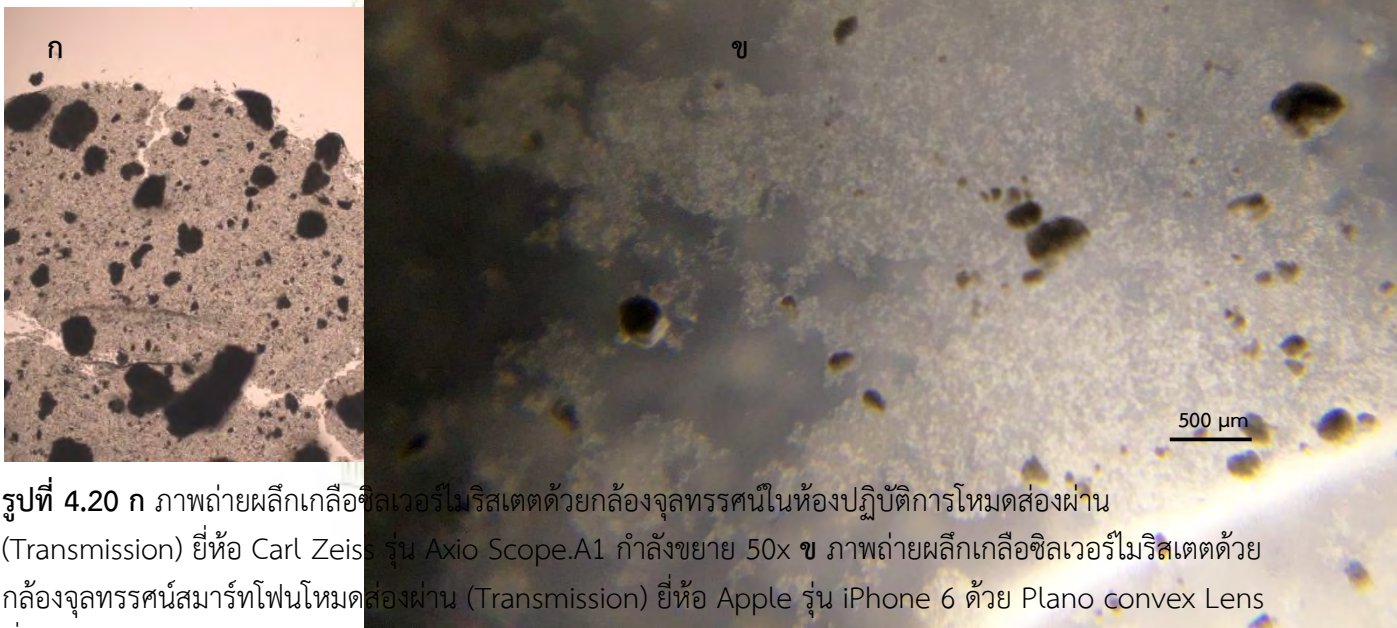
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



#### 4.4.4 ผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตต

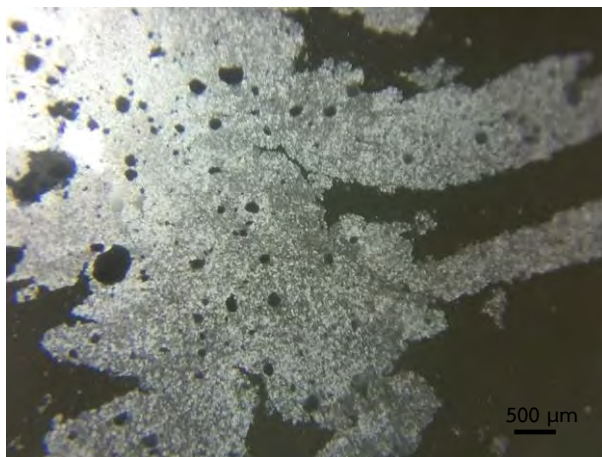


รูปที่ 4.19 ก ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมตสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x ข ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมตสะท้อน (Reflection) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x



รูปที่ 4.20 ก ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมตส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 กำลังขยาย 50x ข ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมตส่องผ่าน (Transmission) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 50x

คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**รูปที่ 4.21** ภาพถ่ายผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดหัวกลับ (Inversion) ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex Lens ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร กำลังขยาย 13x

จากรูปที่ 4.19 ก พบว่า ผลึกมีลักษณะรูปเข็มขนาดเล็กมาก ผลึกบางส่วนมีการรวมตัวเป็นกลุ่ม ผลึกมีลักษณะโปร่งแสง บริเวณที่มีจุดสีดำค้ำคือ เกลือซิลเวอร์ไมริสเตต ที่ไม่ละลายในน้ำ และจาก ข พบว่า ผลึกมีลักษณะรูปเข็มขนาดเล็กมาก ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี บริเวณที่มีจุดสีขาวค้ำคือ เกลือซิลเวอร์ไมริสเตต ที่ไม่ละลายในน้ำ สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ

จากรูปที่ 4.20 ก พบว่า ผลึกมีลักษณะรูปเข็มขนาดเล็กมาก ผลึกบางส่วนมีการรวมตัวเป็นกลุ่ม ผลึกมีลักษณะโปร่งแสง บริเวณที่มีจุดสีดำค้ำคือ เกลือซิลเวอร์ไมริสเตต ที่ไม่ละลายในน้ำ และจาก ข พบว่า ผลึกมีลักษณะรูปเข็มขนาดเล็กมาก ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี บริเวณที่มีจุดสีขาวค้ำคือ เกลือซิลเวอร์ไมริสเตต ที่ไม่ละลายในน้ำ สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ ขอบภาพเบลอ

จากรูปที่ 4.21 พบว่า ผลึกมีลักษณะใส ไม่มีสี ผลึกรูปเข็ม บริเวณที่มีจุดสีขาวค้ำคือ เกลือซิลเวอร์ไมริสเตต ที่ไม่ละลายในน้ำ สีพื้นหลังของภาพไม่สม่ำเสมอ

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 พบว่า ภาพที่ได้จากทั้งกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดส่องผ่าน (Transmission) และกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดส่องผ่าน (Transmission) สามารถศึกษาลักษณะของผลึกได้ และจากรูปที่ ก.2 ภาพผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์ Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510A พบว่า ผลึกเกลือซิลเวอร์ไมริสเตตมีความยาวของเข็ม 5 – 50 ไมโครเมตร ดังนั้นสามารถประมาณได้ว่าวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า 50 ไมโครเมตร กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดส่องผ่าน (Transmission) สามารถศึกษาลักษณะของผลึกได้ในช่วง 5 – 100 ไมโครเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สามารถออกแบบและประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission), โหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดหัวกลับ (Inversion) ที่มีกำลังขยาย 13x โดยสามารถตรวจสอบขนาดตัวอย่างได้ในช่วงประมาณ 0.005 – 0.10 มิลลิเมตร และภาพที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนที่พัฒนาขึ้นมีความคมชัด และสามารถแสดงรายละเอียดของขนาดและรูปร่างของตัวอย่างได้ชัดเจนและถูกต้อง เทียบเท่ากับกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงในห้องปฏิบัติการโหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดส่องผ่าน (Transmission) โดยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission), โหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดหัวกลับ (Inversion) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ภาพได้หลากหลายประเภท ทั้งภาพทางด้านการเกษตร การแพทย์ อุตสาหกรรม และด้านวิทยาศาสตร์ เป็นต้น นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission), โหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดหัวกลับ (Inversion) ยังมีราคาต้นทุนในการประดิษฐ์ต่ำกว่าราคาขายของกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการอีกด้วย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สามารถปรับปรุงอุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนโหมดส่องผ่าน (Transmission), โหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดหัวกลับ (Inversion) ให้มีกำลังขยายที่สูงขึ้นได้

5.2.2 สามารถเปลี่ยนการใช้กระดาษฟรอยด์ในการสะท้อนแสงเป็นกระจก (Optical mirror) ได้

#### 5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้ต้นแบบกล้องจุลทรรศน์สมาร์ตโฟนที่สามารถถ่ายภาพที่มีความละเอียดในโหมดส่องผ่าน (Transmission), โหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดหัวกลับ (Inversion) เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับมองดูวัตถุที่มีขนาดเล็กเกินกว่ามองเห็นด้วยตาเปล่าของมนุษย์และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการในโหมดสะท้อน (Reflection) และโหมดส่องผ่าน (Transmission) พร้อมทั้งสามารถบันทึกภาพที่มีความละเอียดสูงภายนอกสถานที่ โดยปราศจากการใช้เครื่องมือที่ยุ่งยากซับซ้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

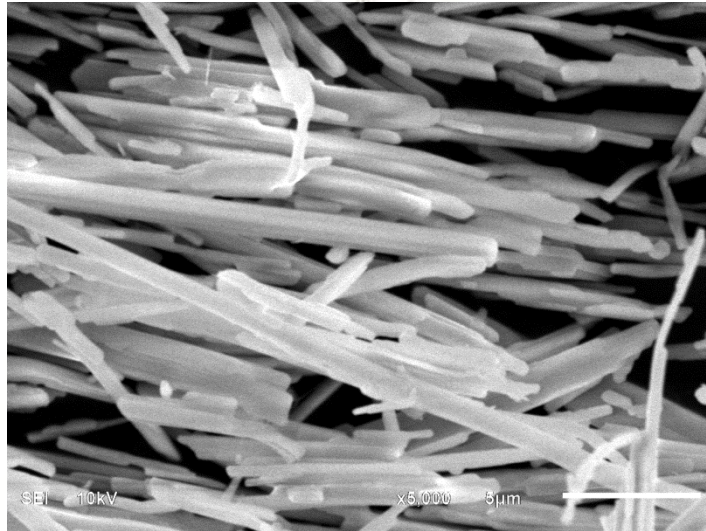
## เอกสารอ้างอิง

1. David N. B.; Robi N. M.; Neil A. L.; Wilbur A. L., Daniel A. F. Mobile Phone Based Clinical Microscopy for Global Health Applications. *Plos One*. 2009, 7, 1-7.
2. Dietrich H.; Paul-Gerald D.; Eric B.Eng. D.; Daniel K.; Claudia G.; Richard K.; Claudia G.; Richard K. Modular Applications with Smartphones and Smartpads in Shape, Color and Spectral Measurements for Industry, Biology and Medicine plus Science, Education and Training. *Phys*. 2013, 459, 1-7.
3. Robi N. M.; Jeremy D. K.; Daniel A. F.; Todd P. M. A mobile phone-based retinal camera for portable wide field imaging. *Br. J. Ophthalmol*. 2014, 98, 438-441.
4. Hyuknam K.; Joeeun P.; Yongjin A.; Jaeho S.; Sunghyouk P. A smartphone metabolomics platform and its application to the assessment of cisplatin-induced kidney toxicity. *Anal. Chim. Act*. 2014, 845, 15-22.
5. Shan-Jiun L.; Chung-May Y.; Po-Ting Y.; Tzyy-Chang H. Smartphone funduscopy for retinopathy of prematurity. *Taiwan J. Ophthalmology*. 2014, 4, 82-85.
6. Seoyoen C.; Soochool K.; Jung-Sik Y.; Jung-Hyun Lee.; Chulmin J.; Hyo-Il J. Real-time measurement of human salivary cortisol for the assessment of psychological stress using a smartphone. *Sensing and Bio-Sensing Research*. 2014, 2, 8-11.
7. Qing Y.; Ding-xiang X.; Qing-jie L.; Bao-jun Y.; Guang-qiang D.; Jian T. Automated Counting of Rice Planthoppers in Paddy Fields Based on Image Processing. *Int. Argi*. 2014, 13, 1736-1745.
8. Coosje J.t.; Bas J.H.; Hajo V.B.; Linda O.; Nicolas C. Data and Image Transfer Using Mobile Phones to Strengthen Microscopy-Based Diagnostic Services in Low and Middle Income Country Laboratories. *Plos One*. 2011, 12, 1-8.
9. Arunan S.; Clay D.R.; Neil A.S.; Daniel A. F. Quantitative Imaging with a Mobile Phone Microscope. *Plos One*. 2014, 5, 1-12.
10. Liyun G.; Junfei T.; Rong C.; Miaosi L.; Zhaoxiang C.; Wei S. Barcode-Like Paper Sensor for Smartphone Diagnostics: An Application of Blood Typing. *Anal. Chem*. 2014, 22, 11362–11367.
11. <http://www.siamphone.com/spec/apple/> 23 Mar 2015
12. <http://www.siamphone.com/spec/sony/> 23 Mar 2015
13. <http://www.siamphone.com/spec/HTC/> 23 Mar 2015
14. <http://www.siamphone.com/spec/LG/> 23 Mar 2015

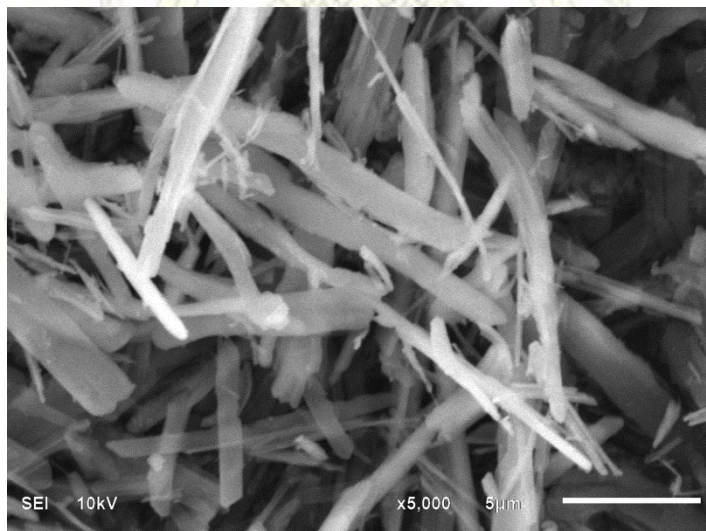
15. <http://www.siamphone.com/spec/lenovo/> 23 Mar 2015
16. <http://www.siamphone.com/spec/samsung/> 23 Mar 2015
17. [http://www.thainextstep.com/photoshop/photoshop\\_article.php?articlecat=2&articleid=12](http://www.thainextstep.com/photoshop/photoshop_article.php?articlecat=2&articleid=12)  
23 Mar 2015
18. <http://www.it24hrs.com/2012/photo-location-geotagging/> 25 Mar 2015
19. [http://dtv.mcot.net/data/up\\_show.php?id=1308457157&web=epost](http://dtv.mcot.net/data/up_show.php?id=1308457157&web=epost) 25 Mar 2015
20. <https://www.facebook.com/ltlabboy/posts/472969219439628> 25 Mar 2015
21. <https://www.facebook.com/chichangservice/posts/230734357000092> 25 Mar 2015
22. <http://solidworkweb.blogspot.com> 25 Mar 2015



## ภาคผนวก ก



รูปที่ ก.1 ผลึกเกลือซิลเวอร์อะซีเตต ด้วยกล้องจุลทรรศน์ Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510A



รูปที่ ก.2 ผลึกเกลือซิลเวอร์ไนเตรตด้วยกล้องจุลทรรศน์ Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510A

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้วิจัย

นางสาวณิกานต์ ถ้ำกลาง เกิดเมื่อวันที่ 17 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2536 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนก วิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ภาคเหนือ จังหวัดพิษณุโลก เมื่อปีการศึกษา 2553 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2554 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจบการศึกษาปริญญาตรี 65/7 หมู่ 11 ซอยร่วมใจสามัคคี ตำบลหัวรอ อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

นายกฤตพัฒน์ พรหมพล เกิดเมื่อวันที่ 28 เดือน กันยายน พ.ศ. 2535 ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนก วิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนพิบูลวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี เมื่อปีการศึกษา 2553 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2554 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจบการศึกษาปริญญาตรี 345 หมู่ 4 ซอยสุขสำราญ ตำบลถนนใหญ่ อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย