

การตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา  
FLOC DETECTION IN WATER TREATMENT PROCESS



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2561 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

# FLOC DETECTION IN WATER TREATMENT PROCESS



A SPECIAL PROBLEM SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN COMPUTER SCIENCE  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานของนักศึกษาชั้นปริญญาตรีให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ การตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา  
Floc Detection in Water Treatment Process

ชื่อนักศึกษา นายณัฐสรณ์ มากนวล 58050253  
นายวีรภัทร เจริญประเสริฐ 58050379

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิทยาการคอมพิวเตอร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อัคเดช อุดมชัยพร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.กฤษฏา บุชรา ประธานกรรมการ	
อ.สันธนะ อุอุดมยิ่ง กรรมการ	
ดร.อัคเดช อุดมชัยพร กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	อัคเดช

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา	
	Floc Detection in Water Treatment Process	
ชื่อนักศึกษา	นายณฤศร์ มากนวล	58050253
	นาวิรัชพร เจริญประเสริฐ	58050379
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
ภาควิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2561	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อัคเดช อุดมชัยพร	

### บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน มีการใช้สารเคมีเพื่อให้เกิดการตกตะกอนในน้ำดิบแต่ในปัจจุบันยังไม่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้าไปควบคุมการใช้สารเคมี ทำให้อาจมีการใช้สารเคมีในปริมาณที่มากเกินไปจนทำให้เกิดสารตกค้างอยู่ในน้ำจนเกินมาตรฐาน ปัญหาพิเศษนี้จึงนำเทคโนโลยีประมวลผลภาพมาใช้ในการตรวจจับจำนวนและขนาดของตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำประปาและสารเคมีที่ใช้ ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถแสดงแผนภาพได้แบบเรียลไทม์เพื่อช่วยตัดสินใจจำนวนสารเคมีที่น้อยที่สุดที่ควรใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาแต่ยังคงได้น้ำประปาที่มีคุณภาพ เพื่อลดต้นทุนของการใช้สารเคมีและป้องกันไม่ให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในน้ำประปา

**คำสำคัญ :** ประมวลผลภาพ ตรวจจับจำนวนและขนาดของตะกอน กระบวนการผลิตน้ำประปา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Title** Floc Detection in Water Treatment  
**Students** Mr. Narusorn Maknual 58050253  
Mr. Veeraphat Reanprasert 58050379  
**Degree** Bachelor of Science  
**Department** Computer Science  
**Faculty** Science  
**University** King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
**Academic Year** 2018  
**Advisor** Dr. Akadej Udomchaiporn

### Abstract

In water treatment process, there are some chemicals used to help form flocs quicker in the water in order to produce more clean water per a certain unit of time. However, there is no well-known existing technology to help control the usage of the chemicals at the moment. Therefore, this special problem proposes a web application is thus able to help decide the minimum amount of the chemicals and prevent the residue in the water.

**Keywords :** Image Processing, Floc Detection, Water Treatment Process

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาจัดทำ “ปัญหาพิเศษเรื่องการตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา” นี้จัดทำขึ้นในวิชาปัญหาพิเศษ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตเพื่อให้เกิดกระบวนการคิดและพัฒนาความรู้ทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์กับเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ ทั้งนี้ในการจัดทำจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตรงตามจุดประสงค์ที่กำหนดคณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.อัคเดช อุดมชัยพร เป็นอย่างสูง ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ตรวจสอบแก้ไข และให้กำลังใจอันเป็นแรงผลักดันให้คณะผู้วิจัยมีความพยายามในการจัดทำปัญหาพิเศษฯ เรื่องนี้ให้ประสบผลสำเร็จได้ในที่สุด

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ภุชญา บุขร่า ประธานกรรมการสอบและ อาจารย์สันธนะ อุ๋อุมยี่ง กรรมการสอบ ที่กรุณาให้ความรู้และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปแก้ไขให้ถูกต้อง สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบในการจัดทำปัญหาพิเศษฯ ฉบับนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ขอบคุณพี่น้อง และเพื่อน ๆ ที่รัก ทุกคนที่ให้กำลังใจและส่งเสริมสนับสนุนผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและจัดทำปัญหาพิเศษฯ นี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ตลอดมา

คณะผู้วิจัย

มิถุนายน 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา.....	3
2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing).....	5
2.2.1 ขั้นตอนการประมวลผลภาพพื้นฐาน.....	6
2.2.2 การปรับภาพให้เรียบ (Smoothing Images) .....	11
2.2.3 เทคนิคค่าขีดแบ่ง (Thresholding Techniques).....	14
2.2.4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐาน (Morphological) .....	16
2.2.5 แอคทีฟ คอนทัวร์ (Active Contour).....	21
2.3 ภาษาไพธอน (Python) .....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย .....	24
3.1.1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาและเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ .....	25
3.1.2 ทดลองการใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพในการตรวจจับตะกอน .....	25
3.1.3 ทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.1.4 ประเมินผลการทดลอง .....	25
3.1.5 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย .....	25
3.2 ขั้นตอนวิธีการทดลองการตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา .....	26
3.2.1 การนำรูปภาพเข้าสู่ระบบ (Image Acquisition).....	27
3.2.2 การเตรียมข้อมูล (Preprocessing).....	27
3.2.3 การกำหนดขอบเขตที่สนใจ (Region of Interest).....	30
3.2.4 การหาขนาดและจำนวนของตะกอน (Finding Size & Number of Floc) .....	38
3.2.5 การสร้างแผนภาพแสดงข้อมูล (Visualization).....	39
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการอภิปรายผล .....	41
4.1 ผลการดำเนินงาน .....	41
4.1.1 คู่มือช่างทางรถไฟ.....	41
4.1.2 บ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.....	48
4.1.3 บ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ.....	55
4.2 การอภิปรายผลการทดลอง.....	62
4.3 ปัญหาที่พบระหว่างดำเนินงาน .....	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	65
เอกสารอ้างอิง.....	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างข้อมูลจำนวนและขนาดของตะกอนในน้ำประปาโดยเฉลี่ยในแต่ละนาที่ .....	37
4.1 ตัวอย่างข้อมูลจำนวนและขนาดตะกอนในน้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารส้ม .....	43
4.2 ตัวอย่างข้อมูลจำนวนและขนาดตะกอนในน้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่ สารโพสไลลูมิเนียมคลอไรด์ .....	46
4.3 ตัวอย่างข้อมูลขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะ สถาปัตยกรรมหลังการทดลองใส่สารส้ม .....	50
4.4 ตัวอย่างข้อมูลขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะ สถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารโพสไลลูมิเนียมคลอไรด์ .....	53
4.5 ตัวอย่างข้อมูลขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวม สมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารส้ม .....	56
4.6 ตัวอย่างข้อมูลขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวม สมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารโพสไลลูมิเนียมคลอไรด์ .....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา .....	4
2.2 ขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพในกระบวนการประมวลผลภาพ .....	5
2.3 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพแบบดิจิทัล.....	6
2.4 ตัวอย่างการปรับปรุงภาพ.....	6
2.5 ตัวอย่างการฟื้นฟูภาพ .....	7
2.6 ตัวอย่างการประมวลผลภาพสี.....	7
2.7 ตัวอย่างการบีบอัดข้อมูล .....	8
2.8 ตัวอย่างการประมวลผลด้านโครงสร้าง.....	9
2.9 ตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพ.....	9
2.10 ตัวอย่างการแทนที่และการอธิบาย .....	10
2.11 ตัวอย่างการรู้จำแบบ.....	10
2.12 แผนภาพ Gaussian Distribution.....	11
2.13 kernel ของ Gaussian Filter.....	12
2.14 ตัวอย่างการใช้ Gaussian Filtering.....	13
2.15 ตัวอย่างการใช้ Median Filtering.....	13
2.16 ตัวอย่างการใช้ Bilateral Filtering.....	14
2.17 ตัวอย่างการปรับค่าขีดแบ่งอย่างง่าย .....	15
2.18 ตัวอย่างการใช้เทคนิคค่าขีดแบ่งแบบประยุกต์แบบต่าง ๆ .....	16
2.19 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นฐานโดยใช้อัลกอริทึม Erosion.....	18
2.20 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นฐานโดยใช้อัลกอริทึม Dilation.....	19
2.21 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นฐานโดยใช้อัลกอริทึม Closing.....	20
2.22 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นฐานโดยใช้อัลกอริทึม Opening.....	21
2.23 ตัวอย่างการทำงานของ Active Contour อัลกอริทึม Snake.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 แผนภาพขั้นตอนการตรวจจับตะกอนในน้ำประปา.....	26
3.3 กล้อง Dino-Lite Digital Microscope รุ่น AM4115 Series .....	27
3.4 ชุดคำสั่งการเรียกใช้อัลกอริทึม Gaussian Filter.....	28
3.5 ตัวอย่าง kernel ของ Gaussian Filter.....	28
3.6 ตัวอย่างการเบลอรูปภาพด้วยอัลกอริทึม Gaussian Filter.....	29
3.7 ชุดคำสั่งการปรับรูปภาพจากปริภูมิสีแบบ RGB เป็นระดับสีเทา .....	29
3.8 ตัวอย่างการปรับรูปภาพให้อยู่ในระดับสีเทา.....	30
3.9 ชุดคำสั่งการปรับค่าขีดแบ่งแบบประยุกต์ .....	31
3.10 ตัวอย่างการปรับค่าขีดแบ่งโดยใช้อัลกอริทึม Adaptive Gaussian Threshold .....	31
3.11 ตัวอย่างกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณ .....	32
3.12 ชุดคำสั่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้อัลกอริทึม Closing.....	34
3.13 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้อัลกอริทึม Closing .....	34
3.14 ชุดคำสั่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้อัลกอริทึม Opening.....	35
3.15 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้อัลกอริทึม Opening.....	35
3.16 ชุดคำสั่งกระบวนการ Active Contour.....	37
3.17 ตัวอย่างกระบวนการ Active Contour .....	37
3.18 แผนภาพข้อมูลจำนวนและขนาดของตะกอนกับเวลา.....	39
3.19 แผนภาพข้อมูลจำนวนและขนาดของตะกอนกับเวลาโดยกำหนดค่าขีดแบ่ง .....	39
4.1 คู่มือช่างทางรถไฟ.....	41
4.2 น้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟก่อนการทดลองใส่สารส้ม .....	42
4.3 น้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารส้ม .....	42
4.4 น้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารส้ม 1 ชั่วโมง .....	43
4.5 แผนภาพขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารส้ม.....	43
4.6 น้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟก่อนการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ .....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 น้ำจากคูลน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์.....	46
4.8 น้ำจากคูลน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 1 ชั่วโมง.....	46
4.9 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากคูลน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียม .....	47
4.10 บ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.....	48
4.11 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารส้ม.....	49
4.12 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารส้ม.....	49
4.13 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารส้ม 1 ชั่วโมง.....	50
4.14 แผนภาพขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารส้ม.....	50
4.15 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ก่อนการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ .....	52
4.16 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ .....	52
4.17 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 1 ชั่วโมง.....	53
4.18 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์.....	53
4.19 บ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ.....	55
4.20 น้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ ก่อนการทดลองใส่สารส้ม.....	56
4.21 น้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารส้ม.....	56
4.22 น้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารส้ม 1 ชั่วโมง .....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวม สมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารส้ม.....	57
4.24 น้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ ก่อนการทดลองใส่ สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ .....	59
4.25 น้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่ สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ .....	60
4.26 น้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่ สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 1 ชั่วโมง.....	60
4.27 แผนภาพขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวม สมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เทคโนโลยีการประมวลผลภาพเป็นเทคโนโลยีที่สามารถช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของมนุษย์ และยังเป็นเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์โดยการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการวินิจฉัยโรคต่าง ๆ ทั้งยังเป็นการลดระยะเวลาในการวินิจฉัยโรคและลดภาระการทำงานของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตน้ำประปายังสามารถนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการผลิตน้ำประปาได้อีกด้วย

ในการผลิตน้ำประปาโรงผลิตน้ำประปาจะทำการรวบรวมน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือแหล่งน้ำอื่น ๆ เข้ามาเก็บไว้ที่บ่อพักน้ำดิบและทำการลำเลียงน้ำจากบ่อพักน้ำดิบมาผ่านกระบวนการบำบัดน้ำ โดยการใส่สารเคมีเช่น สารส้มหรือปูนขาวลงไปในน้ำดิบเพื่อช่วยในการตกตะกอนและปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำดิบและนำน้ำที่ผ่านการผสมสารเคมีพักไว้เพื่อให้ตะกอนที่มีขนาดเล็กรวมตัวเป็นตะกอนขนาดใหญ่และตกลงสู่ก้นถังจนได้น้ำที่มีความใสสะอาด เมื่อนำน้ำที่มีความใสสะอาดแล้วน้ำจะถูกลำเลียงไปยังกระบวนการกรองตะกอนเพื่อกำจัดตะกอนหรือสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดเล็กมากอีกครั้ง โดยการกรองด้วยทรายและกรวดกรอง เพื่อให้ได้น้ำที่มีความใสสะอาดอย่างแท้จริง และทำการฆ่าเชื้อโรคโดยการใส่คลอรีนลงในน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อร่างกายแล้วนำไปเก็บยังถังน้ำใสเพื่อรอสูบน้ำให้ผู้บริโภคสามารถนำไปอุปโภคบริโภคได้

จากขั้นตอนการผลิตน้ำประปาดังกล่าว ผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อตรวจสอบการตกตะกอนของตะกอนในน้ำประปาและวัดความใสตั้งแต่ก่อนใส่สารเคมีไปจนกระทั่งตะกอนในน้ำตกตะกอน ก่อนที่จะนำไปบำบัดด้วยการกรองขนาดเล็กมากเพื่อเป็นการลดขั้นตอนและลดต้นทุนที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและทดลองวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการนับจำนวนตะกอนที่ปรากฏอยู่ในน้ำประปา
2. เพื่อศึกษาและทดลองวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้วัดขนาดตะกอนที่ปรากฏอยู่ในน้ำประปา
3. เพื่อศึกษาและทดลองวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดความใสของน้ำประปา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้แสดงผลจำนวนตะกอน ขนาดตะกอน และความใสของน้ำประปาแบบเรียลไทม์ได้

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ซอฟต์แวร์สามารถทำงานได้บนเว็บแอปพลิเคชันโดยสามารถใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์เท่านั้น
2. ซอฟต์แวร์สามารถแสดงผลลัพธ์ของ จำนวนตะกอน ขนาดตะกอน และค่าความใสของน้ำประปาได้โดยผลลัพธ์นั้นเป็นค่าเฉลี่ยหรือค่าประมาณ
3. ซอฟต์แวร์สามารถทำงานได้แบบเรียลไทม์

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รู้วิธีการที่ใช้ในการนับจำนวนตะกอนที่ปรากฏอยู่ในภาพถ่ายน้ำประปา
2. ได้รู้วิธีการที่ใช้ในการวัดขนาดตะกอนที่ปรากฏอยู่ในภาพถ่ายน้ำประปา
3. ได้รู้วิธีการที่ใช้ในการวัดความใสของน้ำประปาจากภาพถ่ายน้ำประปา
4. ได้เว็บแอปพลิเคชันที่สามารถแสดงผลลัพธ์ของ จำนวนตะกอน ขนาดตะกอน และความใสของน้ำประปาแบบเรียลไทม์ได้

### 1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษาเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ
2. รวบรวมข้อมูลที่เป็นในการพัฒนาซอฟต์แวร์
3. ออกแบบโครงสร้างและขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์
4. เริ่มทำการพัฒนาซอฟต์แวร์พร้อมกับการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์
5. แก้ไขและปรับปรุงข้อบกพร่อง
6. สรุปและประเมินผลผลการทำงาน
7. จัดทำเอกสารประกอบโครงการงานปัญหาพิเศษ
8. นำเสนอโครงการงานปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีบทและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาพิเศษ โดยได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของกระบวนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน ส่วนของการประมวลผลภาพ (Image Processing) และส่วนของภาษาไพธอน (Python)

กระบวนการผลิตน้ำประปา เป็นการนำน้ำผิวดินหรือน้ำดิบเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อให้ได้น้ำประปา ซึ่งน้ำที่ได้จะนำไปใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมบางประเภทที่ไม่ต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพสูง

การประมวลผลภาพ เป็นการนำภาพที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ แปลงให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล ภาพที่ได้มานั้นอาจมีความซับซ้อนคลุมเครือ ไม่ชัดเจน ด้วยวิธีการทางการประมวลผลภาพจะช่วยทำให้ภาพมีคุณภาพที่ดีขึ้น มีความชัดเจน และกำจัดสิ่งที่ไม่จำเป็นออกไปก่อนที่จะนำรูปภาพนั้นไปใช้งาน

ภาษาไพธอน คือภาษาระดับสูงที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมภาษาหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบันถูกพัฒนาโดยนักพัฒนาชาวดัตช์ (Dutch) ชื่อ Guido van Rossum ภาษาไพธอนเป็นซอฟต์แวร์เสรี (Open source software) เหมือนภาษาพีเอชพี (PHP) ทำให้นักพัฒนาทุกคนสามารถนำไพธอนมาพัฒนาโปรแกรมได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และคุณสมบัติการเป็นซอฟต์แวร์เสรีทำให้มีโปรแกรมเมอร์ทั่วโลกเข้ามาช่วยกันพัฒนาให้ภาษาไพธอนมีความสามารถสูงขึ้นเรื่อย ๆ

### 2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

กระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นการนำน้ำผิวดินหรือน้ำดิบเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อให้ได้น้ำประปา ซึ่งน้ำผิวดินหรือน้ำดิบได้มาจากแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น แม่น้ำ คลอง อ่างเก็บน้ำหรือทะเล นำมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้ได้น้ำสะอาดที่สามารถนำไปใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สูบน้ำผิวดินหรือน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือแหล่งน้ำอื่นที่จัดหาหรือจัดเตรียมไว้ ซึ่งน้ำดังกล่าวจะมีความขุ่นและมีสารละลายต่าง ๆ รวมถึงโลหะหนักเจือปนอยู่
2. ปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบโดยการใส่สารส้มหรือปูนขาวลงไป ในน้ำ เพื่อช่วยให้เกิดการตกตะกอนและปรับค่าความเป็น กรด-ด่างของน้ำดิบ
3. การตกตะกอนโดยน้ำที่ผสมสารส้มหรือปูนขาวแล้วจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน เพื่อให้ตะกอนที่มีขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่และตกลงสู่ก้นถังจนได้น้ำที่มีความใสสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูปที่ 2.1 เป็นการอธิบายขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค โดยเริ่มตั้งแต่การสูบน้ำจะแหล่งน้ำดิบ ผ่านกระบวนการกวนตะกอน ตกตะกอน กรองตะกอนขนาดเล็ก ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน จนพร้อมสำหรับการสูบน้ำประปาจากหอถังสูง

## 2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ คือการนำภาพมาประมวลผลให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการและสามารถนำไปทำการวิเคราะห์และจัดการภาพได้ โดยมีขั้นตอนการประมวลผล 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. การนำเข้าข้อมูล เป็นการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เช่น เฟรมจากกล้องวิดีโอหรือภาพถ่าย นำมาจัดเตรียมให้อยู่ในลักษณะที่พร้อมนำไปใช้งาน อาจมีการปรับแต่งภาพเพื่อให้ภาพมีคุณภาพที่ดีมากขึ้นก่อนที่จะนำไปประมวลผล
2. การประมวลผล เป็นการนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และจัดการรูปภาพเพื่อให้ได้คุณลักษณะที่ต้องการจากรูปภาพ เช่น การประมวลผลภาพสี การรู้จำรูปแบบหรือการหาข้อมูลเชิงปริมาณจากรูปภาพ
3. ตัวนำออก คือการนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล อาจมีการแสดงรูปภาพที่ผ่านการประมวลผลหรือแสดงรายงานที่ได้จากการวิเคราะห์รูปภาพ

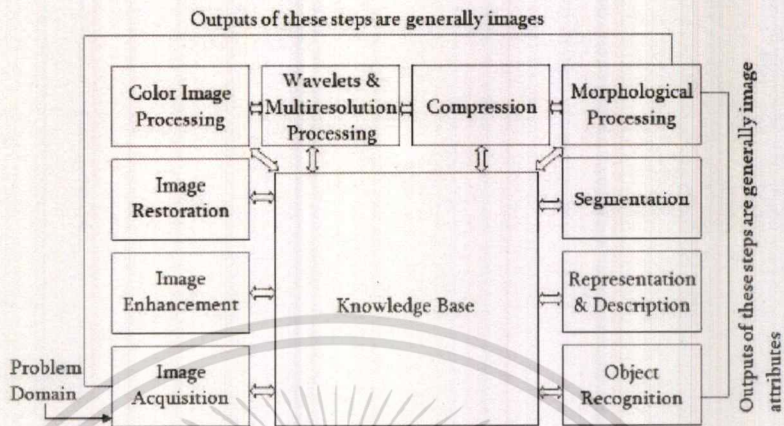


รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพในกระบวนการประมวลผลภาพ

จากรูปที่ 2.2 คือขั้นตอนของการแบ่งส่วนภาพโดยจะเริ่มจากการนำเข้าภาพ กำหนดส่วนที่เป็นวัตถุกับส่วนที่เป็นพื้นหลัง แสดงผลลัพธ์ที่ได้คือส่วนพื้นหลังของภาพและส่วนที่เป็นวัตถุในภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ขั้นตอนพื้นฐานการประมวลผลภาพดิจิทัล



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพแบบดิจิทัล

1. การนำภาพเข้าสู่ระบบ (Image Acquisition) เป็นการนำภาพเข้าสู่ระบบซึ่งมาจากหลายแหล่งที่มาเช่น กล้องถ่ายภาพ กล้องวิดีโอ โดยอาจจะมีการประมวลผลก่อนเบื้องต้น เช่นการปรับขนาดภาพ การลดสัญญาณรบกวน

2. การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) เป็นการปรับปรุงภาพที่ไม่มีคมชัดจนให้ได้ภาพที่มีความชัดจนมากยิ่งขึ้น หรือเพื่อให้ส่วนของลักษณะที่ต้องการจากภาพมีความเด่นชัดขึ้น



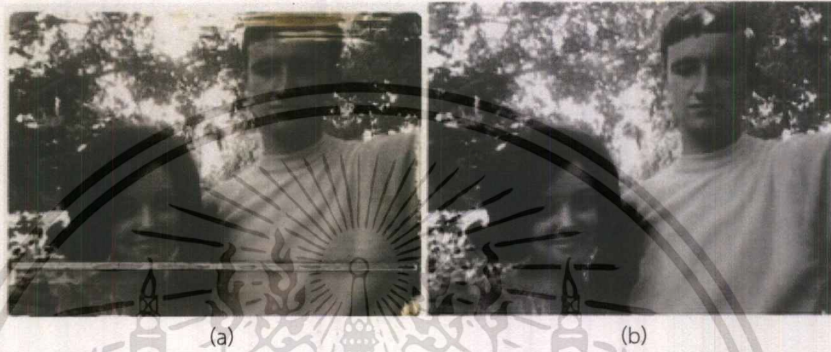
(a) (b)

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการปรับปรุงรูปภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 คือตัวอย่างการปรับปรุงรูปภาพ โดยรูปที่ 2.4 (a) คือรูปก่อนการปรับปรุงรูปภาพและรูปที่ 2.4 (b) คือรูปหลังจากผ่านการปรับปรุงรูปภาพ

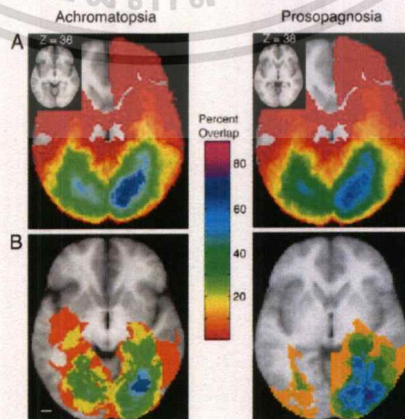
3. การฟื้นฟูภาพ (Image Restoration) เป็นการทำให้ภาพกลับสู่สภาพเดิม หรือปรับปรุงให้เหมาะสมแก่การมองเห็น



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการฟื้นฟูภาพ

จากรูปที่ 2.5 คือตัวอย่างการฟื้นฟูรูปภาพ โดยรูปที่ 2.5 (a) คือรูปก่อนการฟื้นฟูรูปภาพ และรูปที่ 2.5 (b) คือรูปหลังจากผ่านการฟื้นฟูรูปภาพ

4. การประมวลผลภาพสี (Color Image Processing) เป็นการประมวลผลโดยจะมีการใช้รูปแบบของสีแบบต่าง ๆ เช่น สี ความสว่างของสี เป็นตัวบอกการแยกคุณลักษณะที่สำคัญของภาพ เนื่องจากการใช้รูปแบบของสีมาระบุและแยกแยะวัตถุสามารถทำได้ง่าย



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการประมวลผลภาพสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 คือตัวอย่างการประมวลผลภาพสี เป็นรูปที่แสดงภาวะการเสียการรับรู้ทางตา โดยรูปที่แสดงสีแดงจะแสดงถึงการทับซ้อนกันของแผลที่น้อยไล่ตามเฉดสีขึ้นไปจนถึงสีชมพู ซึ่งแสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีการทับซ้อนกันมากที่สุด

5. การแปลงแบบเวฟเลต (Wavelets & Multi-resolution Processing) เนื่องจากขอบเขตของภาพเป็นจุดที่มีความถี่สูงสุดในภาพดิจิทัล การใช้ตัวกรองแบบเดิมจะช่วยขจัดสิ่งรบกวนได้อย่างดีแต่จะทำให้ขอบภาพเบลอ ดังนั้นการแปลงแบบเวฟเลตจะเป็นการแปลงภาพที่จะเลือกแปลงสัญญาณตามขนาดของความถี่ทำให้ภาพที่ได้นั้นขอบภาพไม่เบลอ และการขจัดสิ่งรบกวนก็ยังคงทำได้เป็นอย่างดี

6. การบีบอัดข้อมูล (Compression) เป็นการประมวลผลโดยการลดความละเอียดของภาพลง จากเดิมที่ภาพมีความละเอียดสูงหมายถึงภาพนั้นจะมีขนาดที่ใหญ่เพราะมีการเก็บข้อมูลของสีแต่ละพิกเซลที่มากกว่าภาพที่มีความละเอียดต่ำ การบีบอัดข้อมูลจะเป็นการลดการเก็บข้อมูลของสีในแต่ละภาพลง แต่ยังคงสามารถมองภาพออกได้

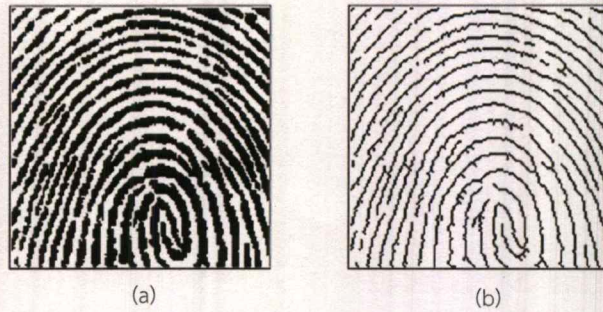


รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการบีบอัดข้อมูล

จากรูปที่ 2.7 คือตัวอย่างการบีบอัดข้อมูล โดยรูปที่ 2.7 (a) คือภาพก่อนนำมาบีบอัดข้อมูล รูปที่ 2.7 (b) คือรูปที่ถูกบีบอัดข้อมูลลง 50% และรูปที่ 2.7 (c) คือรูปที่ถูกบีบอัดข้อมูลลง 80%

7. การประมวลผลด้านโครงสร้าง (Morphological Processing) เป็นการประมวลผลเพื่อแยกเฉพาะรูปแบบหรือโครงสร้างของวัตถุในภาพออกมา โดยตัดส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างของวัตถุนั้นทิ้งไป

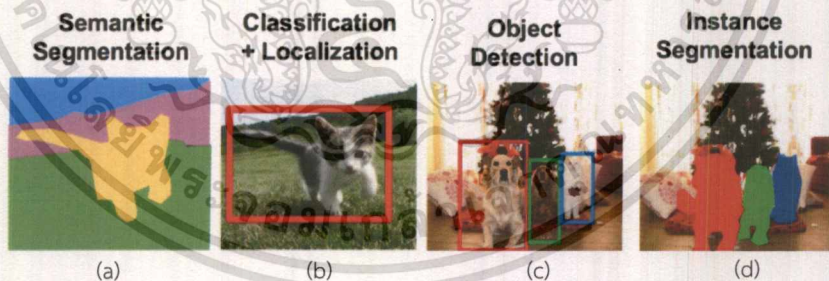
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการประมวลผลด้านโครงสร้าง

จากรูปที่ 2.8 คือตัวอย่างการประมวลผลด้านโครงสร้าง โดยรูปที่ 2.8 (a) คือรูปก่อนการนำมาผ่านกระบวนการประมวลผลด้านโครงสร้างและรูปที่ 2.8 (b) คือรูปหลังผ่านกระบวนการประมวลผลด้านโครงสร้าง

8. การแบ่งส่วนของภาพ (Segmentation) คือการแบ่งภาพออกเป็นหลาย ๆ ส่วนตามที่กำหนด เช่น แบ่งเป็น 2 หรือ 3 ส่วน จากนั้นจะทำการแยกส่วนทั้งหมดออกจากกัน แล้วจะเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล หากต้องการนำส่วนไหนไปใช้ประมวลผลในขั้นตอนอื่น ๆ ก็สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องนำภาพไปทั้งภาพ เนื่องจากใช้เวลามากกว่าการนำภาพไปส่วนเดียว

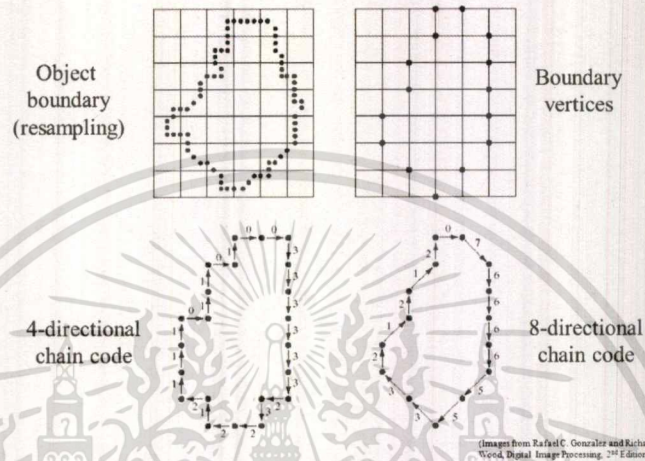


รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการแบ่งส่วนของภาพ

จากรูปที่ 2.9 คือตัวอย่างการแบ่งส่วนของภาพ โดยรูปที่ 2.9 (a) เป็นการแบ่งส่วนของภาพออกเป็น 4 ส่วนคือ หญ้า แมว ต้นไม้ ท้องฟ้า รูปที่ 2.9 (b) คือการตรวจจับและจำแนกวัตถุแบบเดี่ยว รูปที่ 2.9 (c) คือการตรวจจับและจำแนกวัตถุแบบหลายวัตถุและ รูปที่ 2.9 (d) คือตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพของการจำแนกแบบหลายวัตถุ

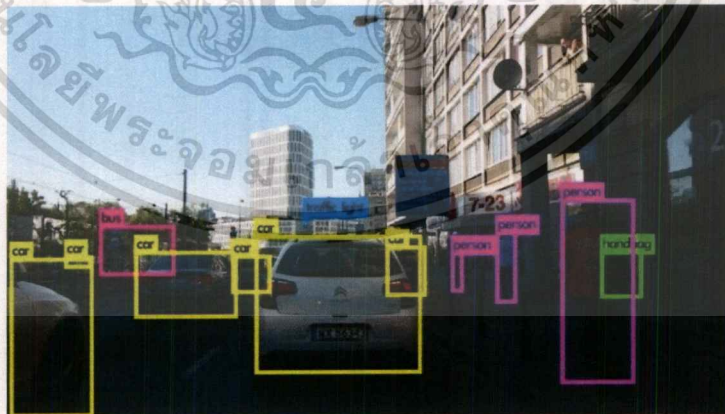
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การแทนที่และการอธิบาย (Representation and Description) เป็นขั้นตอนหลังจากการแบ่งส่วนของภาพ หลังจากที่ได้ส่วนของภาพมาแล้วนั้น พื้นที่ที่เป็นส่วนนั้น ๆ จะถูกแทนที่และนำมาอธิบาย โดยการแทนที่จะมี 2 แบบ คือ การแทนที่ภายนอก คือจะสนใจที่ขอบเขตรูปร่างของพื้นที่ และการแทนที่ภายใน คือจะสนใจที่สีหรือเนื้อหาของส่วนของภาพนั้น



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการแทนที่และการอธิบาย

10. การรู้จำรูปแบบ (Object Recognition) เป็นการเก็บรูปแบบหรือโครงสร้างของภาพมาเพื่อให้การดำเนินการขั้นตอนหรือครั้งต่อไป สามารถนำรูปแบบหรือโครงสร้างที่เก็บไว้มาใช้ โดยไม่ต้องมีการประมวลผลภาพใหม่ ส่วนใหญ่จะใช้ในการตรวจจบบัตุต่าง ๆ



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างของการรู้จำรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 การปรับภาพให้เรียบ (Smoothing Images)

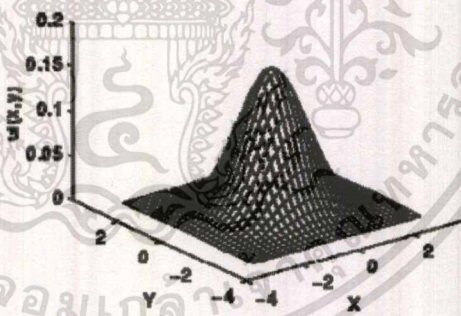
การปรับภาพให้เรียบเป็นวิธีหนึ่งของการเตรียมรูปภาพ โดยการปรับภาพให้เรียบเพื่อลดสัญญาณรบกวนในภาพ (noise) ก่อนที่จะนำไปเข้ากระบวนการต่อไปโดยวิธีการปรับภาพให้เรียบมีหลายวิธีการ เช่น Gaussian Filtering, Median Filtering, Bilateral Filtering

### 1. Gaussian Filtering

Gaussian Filtering คือฟิลเตอร์ที่ใช้ในการปรับภาพให้เรียบเพื่อลดสัญญาณรบกวนหรือรายละเอียดของรูปภาพ โดยสมการของ Gaussian Filtering ที่นำมาใช้กับรูปภาพ เป็นสมการสองมิติดังสมการที่ 2.1

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

จากสมการที่ 2.1 คือสมการ Gaussian Filter 2 มิติ โดยที่  $\sigma$  คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายและการกระจายจะถูกสมมติให้มีค่ากลางคือ 0



รูปที่ 2.12 แผนภาพ Gaussian Distribution

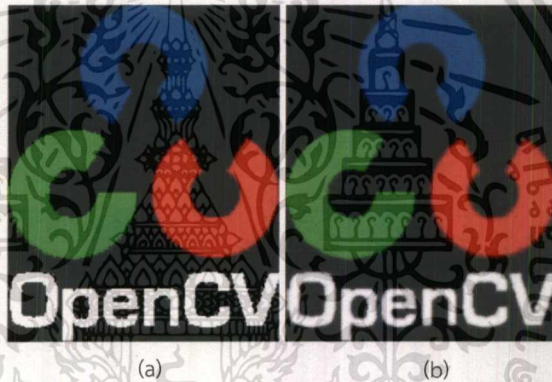
จากรูปที่ 2.12 คือแผนภาพ Gaussian Distribution แบบ 2 มิติโดยที่มีจุดศูนย์กลางคือ (0,0) และมีค่า  $\sigma$  เป็น 1

ในการนำ Gaussian Filter ไปใช้นั้นจะต้องทำเป็นแผง kernel ค่าสัมประสิทธิ์ของเกาส์ โดยใช้สมการต่อเนื่องของเกาส์ 2 มิติดังสมการที่ 2.1 โดยการเก็บค่าเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารพิกเซลความไม่ต่อเนื่อง (Discrete Pixels) นั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\frac{1}{273}$	1	4	7	4	1
	4	16	26	16	4
	7	26	41	26	7
	4	16	26	16	4
	1	4	7	4	1

รูปที่ 2.13 kernel ของ Gaussian Filter

จากรูปที่ 2.13 คือตาราง kernel ของ Gaussian Filter ขนาด 5x5 ที่ประมาณค่าเป็นจำนวนเต็มโดยมีค่า  $\sigma$  เป็น 1



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Gaussian Filtering

จากรูปที่ 2.14 คือตัวอย่างกระบวนการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Gaussian Filtering โดยรูป 2.14 (a) คือรูปภาพก่อนผ่านกระบวนการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Gaussian Filtering และรูปที่ 2.14 (b) คือรูปภาพหลังผ่านกระบวนการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Gaussian Filtering

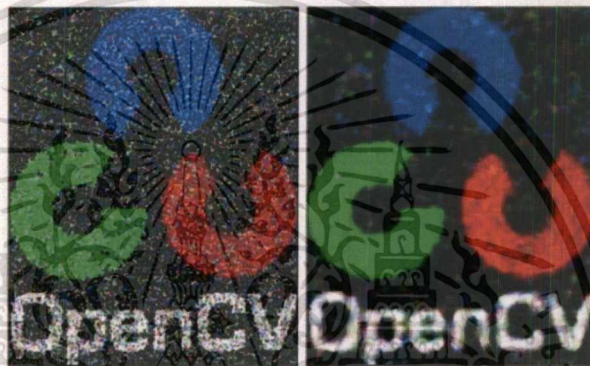
## 2. Median Filtering

Median Filtering คือฟิลเตอร์ที่ใช้ค่ากลางของพิกเซลสี่ในบริเวณรอบ ๆ นั้น เพื่อนำค่าสีไปแทนที่ในพิกเซลนั้น โดยจะต้องคำนวณแบบมัธยฐานถ่วงน้ำหนัก โดยขึ้นอยู่กับระยะห่างจากพิกเซลใกล้เคียงกับพิกเซลศูนย์กลางซึ่งเป็นการคำนวณโดยใช้ค่าสีของพิกเซลนั้น ๆ ซ้ำ ตามระยะห่างจากพิกเซลศูนย์กลางโดยมีสูตรคำนวณดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{k,l} w(k,l) |f(i+k, j+l) - g(i,j)|^p \quad (\text{สมการที่ 2.2})$$

จากสมการที่ 2.2  $w(k,l)$  คือสมการเส้นตรงถ่วงน้ำหนัก  $g(i,j)$  คือค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ และค่า  $p=1$  สำหรับค่ามัธยฐานถ่วงน้ำหนัก ส่วนค่า  $p = 2$  คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Median Filtering

จากรูปที่ 2.15 คือตัวอย่างกระบวนการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Median Filtering โดยรูปที่ 2.15 (a) คือรูปภาพก่อนผ่านกระบวนการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Median Filtering และรูปที่ 2.15 (b) คือรูปภาพหลังผ่านกระบวนการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Median Filtering

### 3. Bilateral Filtering

Bilateral Filtering เป็นวิธีการใช้การตัดค่าที่ไม่เข้าพวก (Outlier Rejection) ผสมกับการใช้ แผงฟิลเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Filter Kernel) แต่แตกต่างตรงที่ใช้วิธีตัดพิกเซลที่มีค่าสีแตกต่างมากเกินไปจากจุดกึ่งกลาง ค่าผลลัพธ์ค่าสีของพิกเซลขึ้นอยู่กับผลรวมของพิกเซลใกล้เคียงที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ดังสมการที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $g(i,j) = \frac{\sum_{k,l} f(k,l)w(i,j,k,l)}{\sum_{k,l} w(i,j,k,l)}$  เท่านั้น (สมการที่ 2.3)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.3 เป็นสมการ Bilateral Filtering โดยที่  $w(i, j, k, l)$  คือค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนัก จะมีค่าขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ของ domain kernel ( $d$ ) และ data-dependent range kernel ( $r$ ) ดังสมการที่ 2.4

$$w(i, j, k, l) = e^{\left( \frac{(i-k)^2 + (j-l)^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|f(i, j) - f(k, l)\|^2}{2\sigma_r^2} \right)}$$

(สมการที่ 2.4)



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Bilateral Filtering

จากรูปที่ 2.16 คือตัวอย่างกระบวนการปรับภาพให้เรียบโดยใช้วิธีการ Bilateral Filtering โดยรูปที่ 2.16 (a) คือรูปภาพก่อนผ่านกระบวนการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Bilateral Filtering และรูปที่ 2.16 (b) คือรูปภาพหลังผ่านกระบวนการปรับภาพให้เรียบโดยใช้อัลกอริทึม Bilateral Filtering

### 2.2.3 เทคนิคค่าขีดแบ่ง (Thresholding Techniques)

เทคนิคค่าขีดแบ่งเป็นหนึ่งในเทคนิคสำคัญในการแบ่งส่วนภาพ เพื่อแยกส่วนของภาพที่เราสนใจออกจากส่วนพื้นหลังของภาพ แบ่งเป็น 3 ลักษณะคือ ค่าขีดแบ่งอย่างง่าย (Simple Thresholding) ค่าขีดแบ่งแบบประยุกต์ (Adaptive Thresholding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ค่าขีดแบ่งอย่างง่าย (Simple Thresholding)

ค่าขีดแบ่งอย่างง่ายจัดเป็น Global Threshold เนื่องจากภาพทั้งภาพ ใช้ค่าขีดแบ่งค่าเดียวกันทั้งภาพใช้ได้ดีกับภาพที่มีค่าสีของวัตถุที่เราสนใจแตกต่างกับพื้นหลังโดยสิ้นเชิง โดยมีสมการค่าขีดแบ่งพื้นฐานดังสมการที่ 2.5

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (\text{สมการที่ 2.5})$$

จากสมการที่ 2.5 คือสมการค่าขีดแบ่งอย่างง่ายโดยที่  $f(x, y)$  คือค่าสีระดับเทาของพิกเซลนั้นและ  $T$  คือค่าขีดแบ่งที่กำหนด



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการปรับค่าขีดแบ่งอย่างง่าย

จากรูปที่ 2.17 คือตัวอย่างการปรับค่าขีดแบ่งอย่างง่าย กำหนดค่าขีดแบ่ง ( $T$ ) เท่ากับ 127 โดยรูป-2.17 (a) คือรูปก่อนนำมาปรับค่าขีดแบ่งอย่างง่ายและรูปที่ 2.17 (b) คือรูปหลังการปรับค่าขีดแบ่งอย่างง่าย

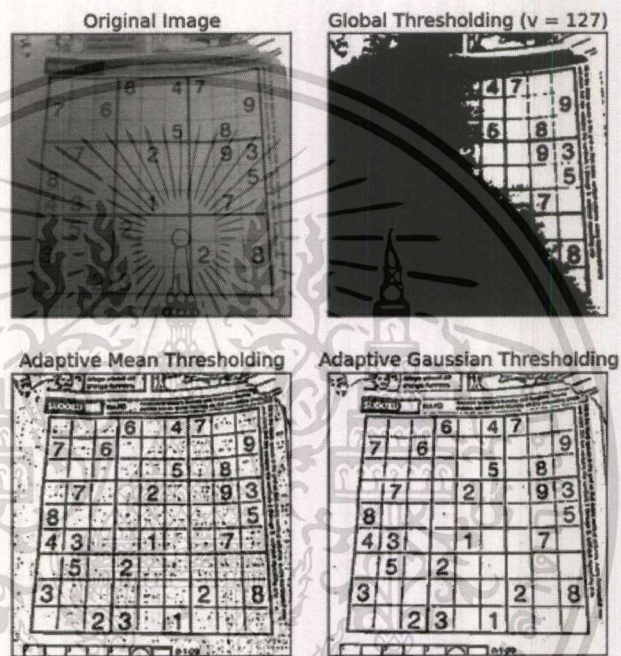
## 2. ค่าขีดแบ่งแบบประยุกต์ (Adaptive Thresholding)

เป็นการใช้ค่าขีดแบ่งที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ตามส่วนต่าง ๆ ของภาพ ซึ่งเป็นการคำนวณค่าขีดแบ่งใหม่เมื่อใช้ในส่วนต่าง ๆ ของภาพ โดยมีวิธีคำนวณ 2 แบบคือค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Mean Weight) คือการคำนวณค่าขีดแบ่งจากค่ากลางของค่าสีพิกเซลในบริเวณนั้น และอีกวิธีคือการใช้ การคำนวณเกาส์ถ่วงน้ำหนัก (Gaussian Weight) คือการถ่วงน้ำหนักผลบวกของค่าสีในบริเวณนั้น ดังสมการที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Omega(x) = e^{\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (\text{สมการที่ 2.6})$$

จากสมการที่ 2.6 คือสมการ Gaussian Weight โดยที่  $\mu$  คือตำแหน่งพิกเซล ศูนย์กลาง  $\sigma$  คือตัวกำหนดว่าค่าสีใกล้เคียงหรือไม่ โดยสมการนี้มีค่าสูงสุด 1 ที่ค่า  $x$  มีค่าเท่ากับ  $\mu$



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการใช้เทคนิคค่าขีดแบ่งแบบประยุกต์แบบต่าง ๆ

### 2.2.4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐาน (Morphological)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานเป็นการประมวลผลภาพโดยเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพลดความซับซ้อนของรูปให้เหลือแต่โครงสร้างภาพที่เป็นส่วนสำคัญ โดยใช้หลักของคณิตศาสตร์เรอองเซตและมีทิศทาง ซึ่งตามหลักพื้นฐานแล้วจะมีอยู่สองวิธีคือ Dilation และ Erosion และยังมีวิธีประยุกต์อีกสองวิธีคือ Opening และ Closing ซึ่งโดยสมการพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานมีสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ  $\theta(f, t) = \begin{cases} 1 & : f \geq t \\ 0 & : \text{else} \end{cases}$  (สมการที่ 2.7) ที่  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.7 คือสมการกำหนดค่าขีดแบ่งโดยที่  $f$  คือข้อมูลนำเข้าเป็นรูปภาพที่ผ่านกระบวนการปรับค่าขีดแบ่งและ  $t$  คือค่าที่กำหนดว่าจะเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้วิธีใด

$$c = f \otimes s \quad (\text{สมการที่ 2.8})$$

จากสมการที่ 2.8 คือสมการการกระทำของเซตรูปภาพ ( $f$ ) กับองค์ประกอบโครงสร้าง ( $s$ ) โดยที่วิธีการกระทำนั้นจะขึ้นอยู่กับว่าใช้ในกระบวนการ Erosion หรือ Dilation

### 1. การกร่อนภาพ (Erosion)

การกร่อนภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยการลดขนาดของจุดสนใจลง โดยมีสมการดังนี้

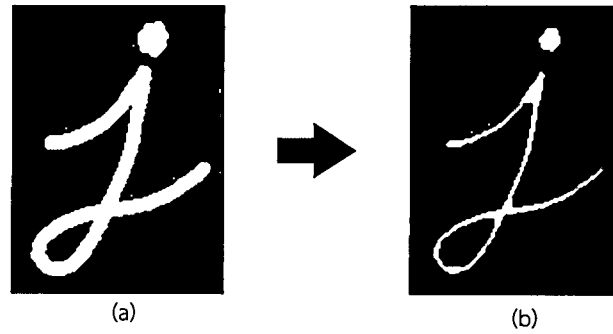
$$f \ominus s = \{c \in E^N \mid c + b \in f \text{ for every } b \in s\} \quad (\text{สมการที่ 2.9})$$

จากสมการที่ 2.9 คือสมการการคำนวณลักษณะสัญญาณแบบ Erosion โดยที่  $f$  คือข้อมูลภาพนำเข้าและ  $s$  คือองค์ประกอบโครงสร้าง (Structure Element) จากนั้นก็นำค่า  $c$  ที่ได้ไปเข้าสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้อัลกอริทึม Erosion ดังสมการที่ 2.10

$$\text{erode}(f, s) = \theta(c, S) \quad (\text{สมการที่ 2.10})$$

จากสมการที่ 2.10 คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้อัลกอริทึม Erosion โดยที่  $f$  คือข้อมูลภาพนำเข้า  $s$  คือองค์ประกอบโครงสร้าง (Structure Element) และ  $c$  คือผลลัพธ์จากการนำภาพเข้าไปคำนวณในสมการคำนวณลักษณะสัญญาณแบบ Erosion และ  $S$  คือขนาดของ Structure Element

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Erosion

จากรูปที่ 2.19 คือตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Erosion โดยรูปที่ 2.19 (a) คือรูปภาพก่อนผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Erosion และรูปที่ 2.19 (b) คือภาพหลังผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานของภาพโดยใช้อัลกอริทึม Erosion

## 2. การขยายภาพ (Dilation)

การขยายภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยการขยายขอบจุดสนใจให้กว้างขึ้นโดยมีสมการดังนี้

$$f \otimes s = \{c \in E^N | c = a + b \text{ for some } a \in f \text{ and } b \in s\} \quad (\text{สมการที่ 2.11})$$

จากสมการที่ 2.11 คือสมการการคำนวณลักษณะสัณฐานแบบ Dilation โดยที่  $f$  คือข้อมูลภาพนำเข้าและ  $s$  คือองค์ประกอบโครงสร้าง (Structure Element) จากนั้นก็นำค่า  $c$  ที่ได้ไปเข้าสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Dilation ดังสมการที่ 2.12

$$\text{dilate}(f, s) = \theta(c, 1) \quad (\text{สมการที่ 2.12})$$

จากสมการที่ 2.12 คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้  
 เอกสารนี้เป็นเอกสาร อัลกอริทึม Dilation โดยที่  $f$  คือข้อมูลภาพนำเข้า และ  $s$  คือองค์ประกอบโครงสร้าง  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Structure Element) และ  $c$  คือผลลัพธ์จากการนำภาพนำเข้าไปคำนวณลักษณะ  
 สัณฐานแบบ Dilation



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Dilation

จากรูปที่ 2.20 คือตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม  
 Dilation โดยรูปที่ 2.20 (a) คือรูปภาพก่อนผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะ  
 สัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Dilation และรูปที่ 2.20 (b) คือรูปภาพหลังผ่านกระบวนการ  
 เปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Dilation

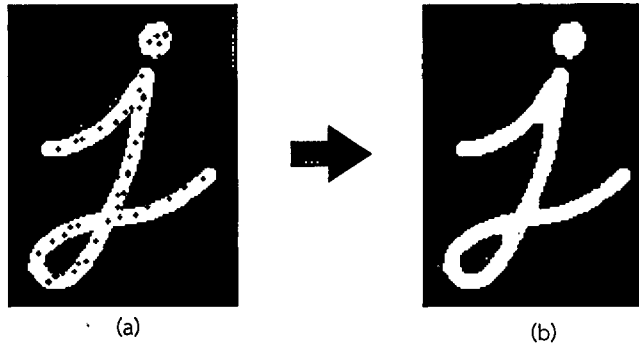
### 3. การปิดภาพ (Closing)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Closing เป็นการ  
 เปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานแบบประยุกต์ โดยเป็นการนำอัลกอริทึม Erosion และ  
 Dilation มาประยุกต์ใช้ร่วมกันดังสมการที่ 2.11

$$\text{close}(f, s) = \text{erode}(\text{dilate}(f, s), s) \quad (\text{สมการที่ 2.11})$$

จากสมการที่ 2.11 คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้  
 อัลกอริทึม Closing โดยเป็นการนำรูปภาพไปเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้  
 อัลกอริทึม Dilation ก่อนจะนำรูปภาพไปเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้  
 Erosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Closing

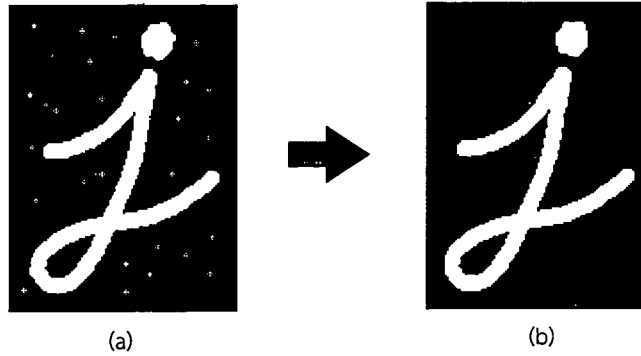
จากรูปที่ 2.21 คือตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Closing โดยรูปที่ 2.21 (a) คือรูปภาพก่อนผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Closing และรูปที่ 2.21 (b) คือรูปภาพหลังผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Closing

#### 4. การเปิดภาพ (Opening)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Opening เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานแบบประยุกต์ โดยเป็นการนำอัลกอริทึม Erosion และ Dilation มาประยุกต์ใช้ร่วมกันดังสมการที่ 2.12

$$open(f, s) = dilate(erode(f, s), s) \quad (\text{สมการที่ 2.12})$$

จากสมการที่ 2.12 คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Opening โดยเป็นการนำรูปภาพไปเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Erosion ก่อนจะนำรูปภาพไปเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Dilation



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Opening

จากรูปที่ 2.22 คือตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Opening โดยรูปที่ 2.22 (a) คือรูปภาพก่อนผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Opening และรูปที่ 2.22 (b) คือรูปภาพหลังผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Opening

### 2.2.5 แอคทีฟ คอนทัวร์ (Active Contour)

แอคทีฟคอนทัวร์ มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าสเนคโมเดล (Snake Model) เป็นโมเดลที่ใช้หลักการเส้นโค้งที่ควบคุมด้วยพลังงานภายในเส้นโค้ง ความต่อเนื่องของค่าสีในภาพและข้อจำกัดภายนอก ซึ่งจะดันให้เส้นโค้งนี้ไปสัมผัสกับขอบ มุมของสี โดยข้อจำกัดภายนอก จะเป็นตัวดึงดูดโมเดลนี้ไปหาพิกเซลค่าสีที่กำหนด โดยจะเบนไปหาจุดที่มีค่าสว่างมากหรือเข้มมาก ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ควบคุมโดยมีฟังก์ชันพลังงานดังนี้

$$E_{snake} = \int_0^1 E_{int}(v(s)) + E_{image}(v(s)) + E_{con}(v(s)) ds \quad (\text{สมการที่ 2.13})$$

โดยที่  $E_{int}$  คือฟังก์ชันพลังงานภายใน (Internal Energy Function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเส้นโค้งมีสมการคือ

$$E_{int} = \int \alpha(s) ||f_s(s)||^2 + \beta(s) ||f_{ss}(s)||^2 ds \quad (\text{สมการที่ 2.14})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $s$  คือความยาวเส้นโค้ง  $f(s) = (x(s), y(s))$  และ  $\alpha(s)$  คือตัวแปรถ่วงน้ำหนัก สมการตัวแรกกำหนดช่วงของจุด ไม่ให้ไกลเกินไปจนเส้นที่ลากผ่านระหว่างจุดเป็นเส้นตรง ส่วน  $\beta(s)$  คือตัวแปรถ่วงน้ำหนักสมการตัวที่สองที่กำหนดช่วงของจุด ไม่ให้ไกลเกินไปจนเส้นที่ลากผ่านระหว่างจุดคดเคี้ยวมากเกินไป  $E_{image}$  คือ ฟังก์ชันพลังงานของภาพ (Image Energy Function) เป็นฟังก์ชันที่เกี่ยวกับขอบ มุมของสีภาพที่จะดึงจุดเส้นโค้งโมเดลสเนคเข้าไปแนบกับขอบมุมของวัตถุที่สนใจและ  $E_{con}$  คือ ฟังก์ชันพลังงานข้อจำกัดภายนอก (Constraint Energy Function) เป็นฟังก์ชันจัดวางจุดเริ่มต้นของโมเดลสเนคให้ใกล้กับพื้นที่ที่ต้องการมากที่สุด



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างการทำงานของ Active Contour อัลกอริทึม Snake

## 2.3 ภาษาไพธอน (Python)

ไพธอน คือภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมภาษาหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน คุณสมบัติเด่นของภาษาไพธอนคือเป็นภาษาที่สวดยาง่ายต่อการเรียนรู้ สามารถเขียนโปรแกรมได้อย่างกระชับ เนื่องจากมีโครงสร้างของภาษาไม่ซับซ้อน เข้าใจง่าย เป็นภาษาที่มีความยืดหยุ่นสูงมาก ทั้งยังมีชุดไลบรารีสนับสนุนการประมวลผลทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 1. Dash

แดชคือเฟรมเวิร์ค (Framework) ของภาษาไพธอนสำหรับการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล โดยไม่จำเป็นต้องใช้ภาษา JavaScript ในการพัฒนา แดชถูกพัฒนาขึ้นบน Flask, Plotly.js, React และ React.js โดยแดชช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างแดชบอร์ดโดยใช้ภาษาไพธอนเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. OpenCV

โอเพ่นซีวีเป็นไลบรารีสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์เกี่ยวกับการประมวลผลภาพและคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) รองรับการพัฒนาด้วยภาษาไพธอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

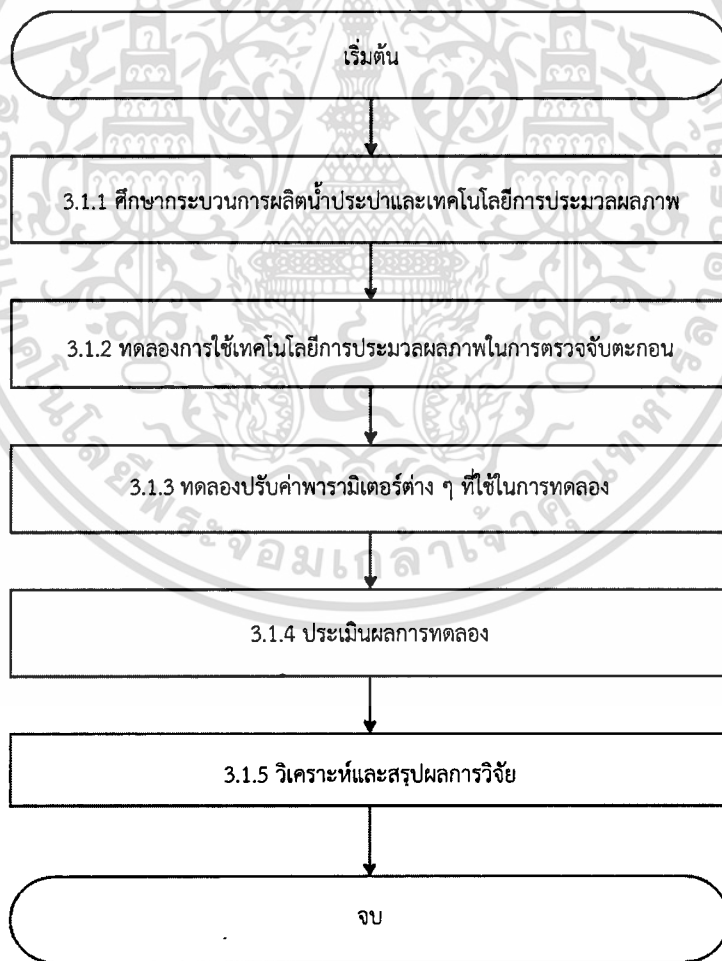
## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินการวิจัยเรื่องการตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยเนื้อหาประกอบด้วยระเบียบวิธีวิจัยและขั้นตอนวิธีการทดลองการตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ

#### 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยของการตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา มีลำดับการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1 โดยรายละเอียดวิธีการแต่ละขั้นตอนได้ถูกอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.1.1 ถึง 3.1.5



เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

รูปที่ 3.1 แผนภาพระเบียบวิธีวิจัยการตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาและเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ

ศึกษากระบวนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค โดยเริ่มตั้งแต่การสูบน้ำจากแหล่งน้ำดิบ ผ่านกระบวนการกวนตะกอน ตกตะกอน กรองตะกอนขนาดเล็ก ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน จนพร้อมสำหรับการสูบน้ำประปาจากหอถังสูงและเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ ดังที่กล่าวไปในบทที่ 2

### 3.1.2 ทดลองการใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพในการตรวจจับตะกอน

ทดลองการตรวจจับตะกอนในน้ำประปาโดยนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การนำรูปภาพเข้าสู่ระบบ (Image Acquisition)
2. การเตรียมรูปภาพ (Preprocessing)
3. การกำหนดขอบเขตส่วนที่สนใจ (Region of Interest)
4. การประมาณขนาดและปริมาณของตะกอนในประปา (Finding Size & Number of Floc)
5. นำข้อมูลขนาดและจำนวนตะกอนมาวิเคราะห์ (Visualization)

### 3.1.3 ทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ของวิธีการต่าง ๆ ที่ได้ศึกษามา เพื่อทดสอบว่าชุดข้อมูลพารามิเตอร์ชุดใดที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับการตรวจจับตะกอนในน้ำประปา และปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดที่สอดคล้องกับคุณภาพของน้ำดิบที่นำเข้ามาในกระบวนการผลิตน้ำประปา

### 3.1.4 ประเมินผลการทดลอง

การประเมินผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์จำนวนและขนาดตะกอนที่ซอฟต์แวร์ตรวจจับได้ในน้ำกับจำนวนที่มีอยู่จริงในน้ำโดยเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

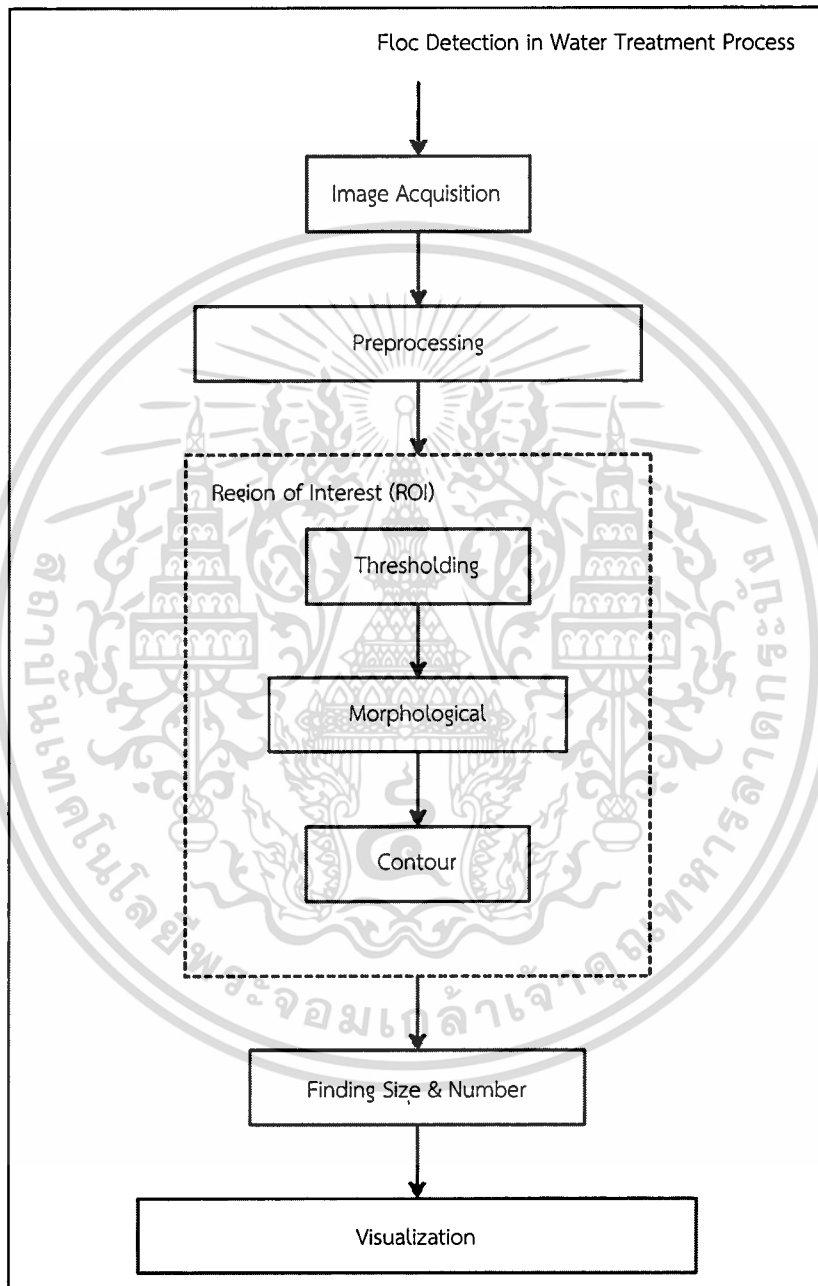
### 3.1.5 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยเป็นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อหาองค์ความรู้ที่ได้รับจากการทดลองและเปรียบเทียบกับกระบวนการและงานวิจัยอื่น ๆ ว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ขั้นตอนวิธีการทดลองการตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานทดลองการตรวจจับตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพขั้นตอนการตรวจจับตะกอนในน้ำประปา

จากรูปที่ 3.2 คือแผนภาพขั้นตอนการตรวจจับตะกอนในน้ำประปา โดยเริ่มตั้งแต่การนำภาพเข้าสู่ระบบ (Image Acquisition) ผ่านกระบวนการเตรียมรูปภาพ (Preprocessing) ในขั้นตอนนี้มี 2 เวกเตอร์ที่แสดงตำแหน่งของวัตถุที่สนใจ (ROI) ซึ่งจะถูกใช้เพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุที่สนใจในภาพไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการคือ การเบลอภาพ (Image Bluring) โดยใช้อัลกอริทึม Gaussian Blur และการปรับภาพให้อยู่ในระดับสีเทา (Gray Scale) การกำหนดขอบเขตที่สนใจ (Region of Interest) ในขั้นตอนนี้มี 3 กระบวนการคือ การปรับค่าขีดแบ่ง (Thresholding) โดยใช้อัลกอริทึม Adaptive Gaussian Thresholding การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณ (Morphological Transformation) โดยใช้อัลกอริทึม Closing และ Opening การหาขอบของวัตถุแอกทีฟคอนทัวร์ (Active Contour) การหาขนาดและจำนวนของตะกอน (Finding Size & Number) และการสร้างแผนภาพแสดงข้อมูล (Visualization)

### 3.2.1 การนำรูปภาพเข้าสู่ระบบ (Image Acquisition)

การนำภาพเข้าสู่ระบบใช้กล้องดิจิทัลไมโครสโคป (Digital Microscope) ระยะซูมที่ 200 เท่า โดยอัตรารีเฟรชแบบเรียลไทม์ความละเอียด 640x480 เฟรมเรทประมาณ 30 เฟรมเรทต่อวินาที



รูปที่ 3.3 กล้อง Dino-Lite Digital Microscope รุ่น AM4115 Series

จากรูปที่ 3.3 คือกล้อง Dino-Lite Digital Microscope รุ่น AM4115 Series ระยะซูมตั้งแต่ 20 เท่าถึง 230 เท่า บันทึกวิดีโอความละเอียดสูงสุด 1280x960 เฟรมเรทสูงสุดประมาณ 30 เฟรมเรทต่อวินาที

### 3.2.2 การเตรียมข้อมูล (Preprocessing)

การเตรียมข้อมูลก่อนนำไปผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ เพื่อลดสัญญาณรบกวนของภาพ ลดความละเอียดของภาพหรือเป็นการปรับค่าต่าง ๆ ของรูปภาพให้เหมาะสมกับการ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้งาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปใช้งาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการประมวลผลเพิ่มขึ้นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหลักของภาพและยังคงรายละเอียดที่สำคัญของภาพไว้เช่นเดิม

1. การเบลอรูปร่างภาพ (Image Blurring)

การเบลอรูปร่างภาพเป็นวิธีการลดสัญญาณรบกวนของภาพ เพื่อให้กระบวนการต่อ ๆ ไปมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลลัพธ์จากที่ผู้จัดทำได้ทำการทดลองใช้อัลกอริทึมการเบลอรูปร่างภาพต่าง ๆ เช่น Median Filtering, Bilateral filtering, Gaussian Filtering โดยวิธีที่เหมาะสมสำหรับการเบลอรูปร่างภาพในการทดลองนี้คืออัลกอริทึม Gaussian Filtering ซึ่งมีสมการดังนี้

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

จากสมการที่ 3.1 คือสมการ Gaussian Filter 2 มิติโดยที่ x คือ ระยะห่างแกน x จากจุดเริ่ม y คือ ระยะห่างแกน y จากจุดเริ่มและ  $\sigma$  คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจาย ซึ่งการกระจายของเกาส์จะถูกสมมติค่ากึ่งกลางคือ (0, 0)

```
# Gaussian Filtering
blur = cv2.GaussianBlur(frame, (5,5), 0)
```

รูปที่ 3.4 ชุดคำสั่งการเรียกใช้อัลกอริทึม Gaussian Filter

	1	4	7	4	1
	4	16	26	16	4
1	7	26	41	26	7
	4	16	26	16	4
	1	4	7	4	1

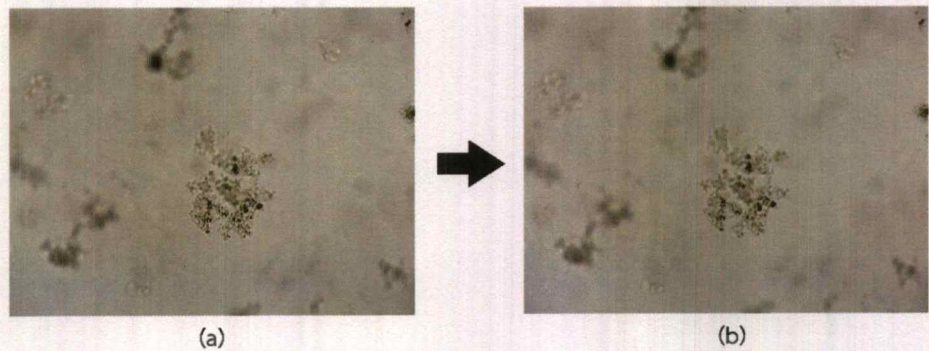
273

รูปที่ 3.5 ตัวอย่าง kernel ของ Gaussian Filter

จากรูปที่ 3.5 เป็นตาราง kernel ของ Gaussian Filter ขนาด 5x5 ที่ประมาณ

ค่าเป็นจำนวนเต็มโดยมีค่า  $\sigma$  เป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การเบลอรูปภาพด้วยอัลกอริทึม Gaussian Filter

จากรูปที่ 3.6 คือการเบลอรูปภาพด้วยอัลกอริทึม Gaussian Filter โดยรูปที่ 3.6 (a) คือรูปภาพที่ถูกนำเข้าสู่ระบบและรูปที่ 3.6 (b) คือรูปภาพที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการเบลอรูปภาพโดยใช้อัลกอริทึม Gaussian Filtering

## 2. การปรับรูปภาพให้อยู่ในระดับสีเทา (Grayscale)

การปรับรูปภาพให้อยู่ในระดับสีเทาเป็นการนำรูปภาพที่อยู่ในระบบปริภูมิสีแบบ RGB มาแปลงให้อยู่ในรูปแบบขาวดำ มีความเข้มข้นของค่าสีตั้งแต่ 0 ถึง 255 โดยการปรับรูปภาพให้อยู่ในระดับสีเทาเพื่อเป็นการลดปริมาณของข้อมูลในการประมวลผลและเป็นการเตรียมรูปภาพเพื่อนำไปกำหนดขอบเขตที่สนใจในหัวข้อที่ 3.2.3

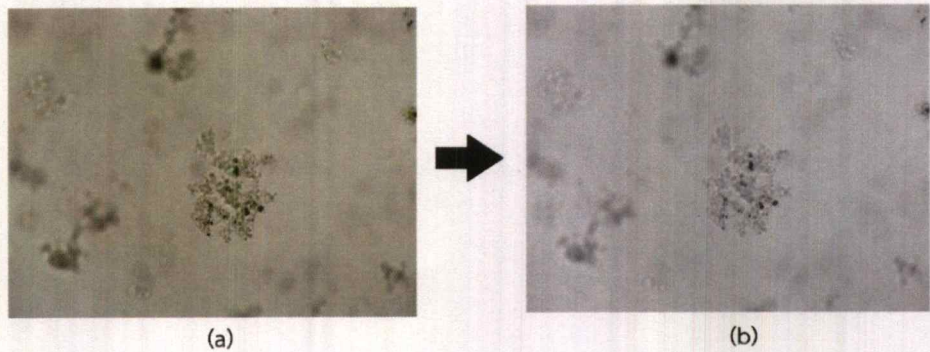
$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (\text{สมการที่ 3.2})$$

จากสมการที่ 3.2 คือสมการการปรับรูปภาพเป็นระดับสีเทาโดยที่ R คือค่าสีแดงของพิกเซล G คือค่าสีเขียวของพิกเซลและ B คือค่าสีน้ำเงินของพิกเซล

```
# Convert BGR to Gray
gray_roi = cv2.cvtColor(blur, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
```

## รูปที่ 3.7 ชุดคำสั่งการปรับรูปภาพจากปริภูมิสีแบบ BGR เป็นระดับสีเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างกระบวนการปรับปรุงภาพให้อยู่ในระดับสีเทา

จากรูปที่ 3.8 คือกระบวนการปรับปรุงภาพให้อยู่ในระดับสีเทา โดยรูปที่ 3.8 (a) คือรูปภาพก่อนการปรับปรุงภาพให้อยู่ในระดับสีเทาและรูปที่ 3.8 (b) คือรูปภาพหลังการปรับปรุงภาพให้อยู่ในระดับสีเทา

### 3.2.3 การกำหนดขอบเขตที่สนใจ (Region of Interest)

จากกระบวนการเตรียมข้อมูลจะได้รูปภาพที่พร้อมสำหรับการนำไปประมวลผลเพื่อหาวัตถุที่เราสนใจ โดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพเพื่อทำการสกัดคุณลักษณะของรูปภาพ โดยการสกัดคุณลักษณะจากรูปภาพมีขั้นตอนดังนี้

#### 3.2.3.1 การปรับค่าขีดแบ่ง (Thresholding)

การปรับค่าขีดแบ่ง เป็นการนำรูปภาพที่อยู่ในระดับสีเทามาประมวลผล โดยภาพจะถูกแปลงให้เป็นมีค่าสีของพิกเซลในภาพให้เป็นขาวหรือดำ เพื่อแยกพื้นหลังออกจากขอบเขตของวัตถุที่สนใจก่อนจะนำไปผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณ โดยผู้จัดทำได้ทำการทดลองใช้อัลกอริทึมในการปรับค่าขีดแบ่งต่าง ๆ เช่น Simple Thresholding, Adaptive Thresholding, O'tsu Thresholding โดยวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการปรับค่าขีดแบ่งสำหรับการทดลองนี้คือ Adaptive Gaussian Thresholding ซึ่งมีสมการดังนี้

$$G_i = \alpha * e^{\frac{(i - ksize - 1)^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{สมการที่ 3.3})$$

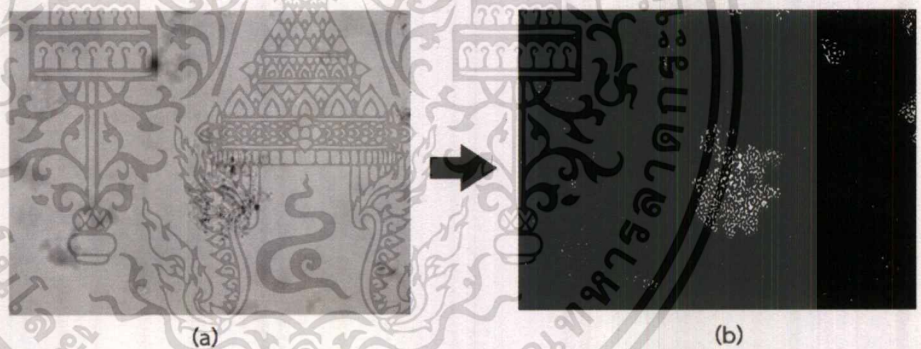
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.3 คือสมการ Adaptive Gaussian Threshold โดยที่  $ksize$  คือ ขนาด kernel,  $i$  คือค่า  $0 \dots ksize-1$ ,  $\alpha$  คือค่า Scale Factor ที่เลือก ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักทั้งหมดของเกาส์รวมกันจะมีค่าเท่ากับ 1

```
# Adaptive Gaussian Threshold
g_threshold = cv2.adaptiveThreshold(gray_roi, 255, \
cv2.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C, \
cv2.THRESH_BINARY_INV, 11, 2)
```

รูปที่ 3.9 ชุดคำสั่งการปรับค่าขีดแบ่งแบบประยุกต์

จากรูปที่ 3.9 คือชุดคำสั่งสำหรับเรียกใช้อัลกอริทึม Adaptive Threshold ที่ใช้สมการถ่วงน้ำหนักของเกาส์ (Gaussian Weight) มาปรับภาพข้อมูลนำเข้าที่ผ่านการทำให้ Gray Scale มาแล้ว



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการปรับค่าขีดแบ่งโดยใช้อัลกอริทึม Adaptive Gaussian Threshold

จากรูปที่ 3.10 คือการปรับค่าขีดแบ่งโดยใช้อัลกอริทึม Adaptive Gaussian Threshold โดยรูปที่ 3.10 (a) เป็นรูปภาพก่อนนำมาผ่านขั้นตอนการปรับค่าขีดแบ่งโดยใช้อัลกอริทึม Adaptive Gaussian Threshold และรูปที่ 3.10 (b) เป็นรูปภาพหลังปรับค่าขีดแบ่งโดยใช้อัลกอริทึม Adaptive Gaussian Threshold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐาน (Morphological Transformation)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานเป็นการประมวลผลภาพโดยเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพ เพื่อเป็นการลดสิ่งรบกวนออกจากภาพและทำให้ขอบเขตวัตถุที่สนใจนั้นเด่นชัดขึ้น โดยผู้จัดทำได้ทำการทดลองใช้อัลกอริทึมในการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานต่าง ๆ เช่น Erosion, Dilation, Opening, Closing และ ได้ทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จนได้วิธีการที่เหมาะสมดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐาน

จากรูปที่ 3.11 คือกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยรูปที่ 3.11 (a) คือรูปภาพที่ได้จากกระบวนการปรับค่าขีดแบ่ง รูปที่ 3.11 (b) คือรูปภาพที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Closing และรูปที่ 3.11 (c) คือรูปภาพที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Opening

#### 1. การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Closing

การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Closing เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานแบบประยุกต์ โดยเป็นการนำอัลกอริทึม Erosion และ Dilation มาประยุกต์ใช้ร่วมกันดังสมการที่ 3.4

$$\text{close}(f, s) = \text{erode}(\text{dilate}(f, s), s) \quad (\text{สมการที่ 3.4})$$

จากสมการที่ 3.4 คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Closing โดยที่  $f$  คือข้อมูลรูปภาพนำเข้า  $s$  คือองค์ประกอบโครงสร้างก้ำกั้ว ไม่ว่าจะเป็นเส้น ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Structure Element) และ dilate() คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะ  
 สัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Dilation ดังสมการที่ 3.5 และ erode() คือสมการ  
 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้อัลกอริทึม Erosion ดังสมการที่ 3.8

$$\text{dilate}(f, s) = \theta(c, 1) \quad (\text{สมการที่ 3.5})$$

จากสมการที่ 3.5 คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานโดยใช้  
 อัลกอริทึม Dilation โดยที่  $\theta()$  คือสมการพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงลักษณะ  
 สัณฐานดังสมการที่ 3.6 และ  $c$  คือผลลัพธ์จากสมการการคำนวณกระบวนการ  
 ขยายภาพดังสมการที่ 3.7

$$\theta(f, t) = \begin{cases} 1 & : f \geq t \\ 0 & : \text{else} \end{cases} \quad (\text{สมการที่ 3.6})$$

จากสมการที่ 3.6 คือสมการกำหนดค่าขีดแบ่งโดยที่  $f$  คือข้อมูลภาพ  
 นำเข้าและ  $t$  คือค่าขีดแบ่ง

$$f \oplus s = \{c \in E^N \mid c = a + b \\ \text{for some } a \in f \text{ and } b \in s\} \quad (\text{สมการที่ 3.7})$$

จากสมการที่ 3.7 คือสมการคำนวณลักษณะสัณฐานแบบ Dilation  
 โดยที่  $f$  คือข้อมูลภาพนำเข้าและ  $s$  คือองค์ประกอบโครงสร้าง (Structure  
 Element)

$$\text{erode}(f, s) = \theta(c, S) \quad (\text{สมการที่ 3.8})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.8 คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้  
อัลกอริทึม Erosion โดยที่  $\theta()$  คือสมการพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงลักษณะ  
สัญญาณดังสมการที่ 3.6 และ  $c$  คือผลลัพธ์จากสมการการคำนวณลักษณะ  
สัญญาณแบบ Erosion ดังนี้

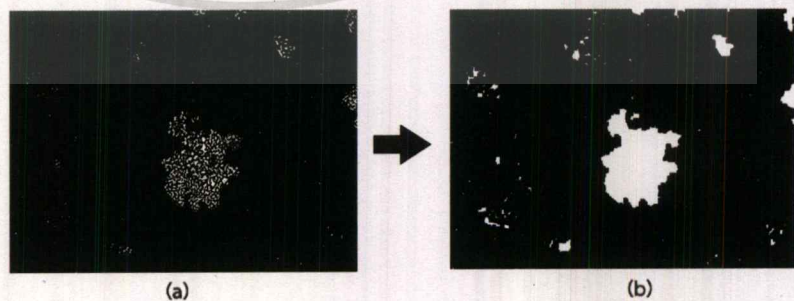
$$f \ominus s = \{c \in E^N | c + b \in f \text{ for every } b \in s\} \quad (\text{สมการที่ 3.9})$$

จากสมการที่ 3.9 คือสมการคำนวณลักษณะสัญญาณแบบ Erosion  
โดยที่  $f$  คือข้อมูลภาพนำเข้าและ  $s$  คือองค์ประกอบโครงสร้าง (Structure  
Element)

```
## Morphological Transformation Closing
closing = cv2.morphologyEx(g_threshold, \
cv2.MORPH_CLOSE, \
np.ones((13,13),np.uint8))
```

รูปที่ 3.12 ชุดคำสั่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้  
อัลกอริทึม Closing

จากรูปที่ 3.12 คือการเรียกใช้การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณแบบ  
ปิดภาพใช้องค์ประกอบโครงสร้างขนาด 13x13



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา **อัลกอริทึม Closing** ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.13 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณของรูปภาพโดยใช้ อัลกอริทึม Closing ขนาดของ Structure Element คือ  $13 \times 13$  โดยรูปที่ 3.13 (a) คือรูปภาพก่อนผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณและรูปที่ 3.13 (b) คือรูปผ่านหลังจากผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้ อัลกอริทึมแบบ Closing

## 2. การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้ อัลกอริทึม Opening

การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้ อัลกอริทึม Opening เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณแบบประยุกต์ โดยเป็นการนำ อัลกอริทึม Erosion และ Dilation มาประยุกต์ใช้ร่วมกันดังสมการที่ 3.10

$$\text{open}(f, s) = \text{dilate}(\text{erode}(f, s), s) \quad (\text{สมการที่ 3.10})$$

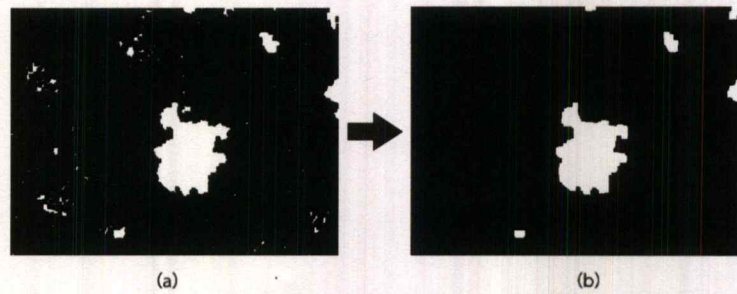
จากสมการที่ 3.4 คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้ อัลกอริทึม Opening โดยที่  $f$  คือข้อมูลภาพนำเข้า  $s$  คือองค์ประกอบโครงสร้าง (Structure Element)  $\text{erode}()$  คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณแบบกร่อนภาพในสมการที่ 3.8 และ  $\text{dilate}()$  คือสมการการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณแบบขยายภาพในสมการที่ 3.5

```
# Morphological Transformation Opening
opening = cv2.morphologyEx(closing, \
    cv2.MORPH_OPEN, \
    np.ones((21,21),np.uint8))
```

### รูปที่ 3.14 ชุดคำสั่งการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้ อัลกอริทึม Opening

จากรูปที่ 3.14 คือการเรียกใช้การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณแบบ เปิดภาพใช้ องค์ประกอบโครงสร้างขนาด  $21 \times 21$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณโดยใช้  
อัลกอริทึม Opening

จากรูปที่ 3.15 คือการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณของรูปภาพโดยใช้  
อัลกอริทึม Opening ขนาดของ Structure Element คือ 21x21 โดยรูปที่  
3.15 (a) คือรูปภาพก่อนผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณและรูป  
ที่ 3.15 (b) คือรูปภาพหลังจากผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัญญาณ  
โดยใช้อัลกอริทึมแบบ Opening

### 3.2.3.3 แอคทีฟคอนทัวร์ (Active Contour)

แอคทีฟคอนทัวร์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าโมเดลสเนค (Snake Model) คือ  
การวาดเส้นแสดงรูปร่างของวัตถุที่สนใจเพื่อระบุขอบเขตของวัตถุที่สนใจดังรูปที่ 3.15  
ซึ่งมีสมการพลังงานของสเนคดังนี้

$$E_{snake} = \int_0^1 E_{int}(v(s)) + E_{image}(v(s)) + E_{con}(v(s)) ds$$

(สมการที่ 3.10)

จากสมการที่ 3.10 คือสมการพลังงานของโมเดลสเนคโดยที่  $E_{int}$  คือ ฟังก์ชัน  
พลังงานภายใน (Internal Energy) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเส้นโค้ง มี  
สมการคือ

$$E_{int} = \int \alpha(s) ||f_s(s)||^2 + \beta(s) ||f_{ss}(s)||^2 ds \quad (\text{สมการที่ 3.11})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักศึกษาได้ศึกษาเนื้อหาแล้ว  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.11 คือสมการพลังงานภายในเส้นโค้งสแนคโดยที่  $s$  คือความยาวเส้นโค้ง  $f(s) = (x(s), y(s))$  และ  $\alpha(s)$  คือตัวแปรถ่วงน้ำหนักสมการตัวแรกกำหนดช่วงของจุด ไม่ให้ไกลเกินไปจนเส้นที่ลากผ่านระหว่างจุดเป็นเส้นตรง ส่วน  $\beta(s)$  คือตัวแปรถ่วงน้ำหนักสมการตัวที่สองที่กำหนดช่วงของจุด ไม่ให้ไกลเกินไปจนเส้นที่ลากผ่านระหว่างจุดคดเคี้ยวมากเกินไป  $E_{image}$  คือฟังก์ชันพลังงานของภาพ (Image Energy) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่เกี่ยวกับขอบ มุมของสีภาพที่จะดึงจุดเส้นโค้งโมเดลสแนคเข้าไปแนบกับขอบมุมของวัตถุที่สนใจ มีสมการคือ

$$E_{image} = w_{line}E_{line} + w_{edge}E_{edge} + w_{term}E_{term} \quad (\text{สมการที่ 3.12})$$

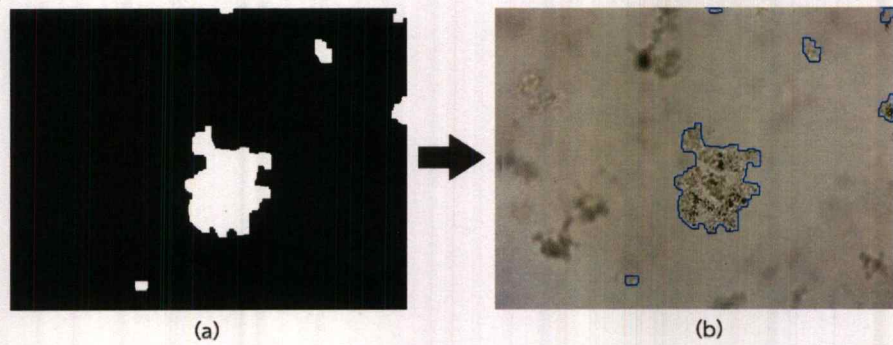
จากสมการที่ 3.12 คือสมการพลังงานรูปภาพโดยที่  $w$  คือค่าถ่วงน้ำหนักเฉพาะฟังก์ชันพลังงานย่อยต่าง ๆ ซึ่งฟังก์ชันพลังงานแต่ละฟังก์ชันมีผลที่จะดึงจุดโมเดลสแนคให้แนบไปตามวัตถุที่สนใจโดยที่  $E_{line}$  คือฟังก์ชันพลังงานลายเส้นของภาพ  $E_{edge}$  คือฟังก์ชันพลังงานรอยขอบของภาพ  $E_{term}$  คือฟังก์ชันพลังงานของจุดหมายสิ้นสุดของภาพและ  $E_{con}$  คือ ฟังก์ชันพลังงานข้อจำกัดภายนอก (External Constraint Energy Function)

```
# Find Contours
_, contours, _ = cv2.findContours(opening, cv2.RETR_TREE, \
    cv2.CHAIN_APPROX_NONE)
# Draw Contours
for cnt in contours:
    cv2.drawContour(img, cnt, -1, (255,0,0), 2)
```

### รูปที่ 3.16 ชุดคำสั่งกระบวนการ Active Contour

จากรูปที่ 3.16 คือชุดคำสั่งกระบวนการ Active Contour โดยเป็นการหาขอบเขตของ Contour เพื่อวาดเส้นล้อมรอบวัตถุที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างกระบวนการ Active Contour

จากรูปที่ 3.17 คือกระบวนการ Active Contour โดยรูปที่ 3.17 (a) เป็นรูปภาพก่อนผ่านกระบวนการ Active Contour และรูปที่ 3.17 (b) เป็นรูปภาพหลังผ่านกระบวนการ Active Contour

### 3.2.4 การหาขนาดและจำนวนของตะกอน (Finding Size & Number of Floc)

ในขั้นตอนนี้เป็นการนับขนาดและจำนวนของตะกอนที่ตรวจจับได้ในขั้นตอนที่ 3.2.3 โดยเก็บบันทึกจำนวนตะกอนและขนาดของตะกอนโดยเฉลี่ยต่อวินาทีโดยขนาดของตะกอนจะประมาณจากจำนวนพิกเซลของตะกอนที่จับได้และคำนวณพื้นที่ของตะกอนเป็นเปอร์เซ็นต์ดังสมการที่ 3.13

% พื้นที่เฉลี่ยของตะกอนในแต่ละนาที

$$= \frac{\text{จำนวนตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาที} \times \text{ขนาดตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาที}}{640 \times 480} \times 100$$

(สมการที่ 3.13)

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลจำนวนและขนาดตะกอนในน้ำประปาโดยเฉลี่ยในแต่ละนาที

	เวลา	จำนวนตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาที (หน่วย)	ขนาดตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาที (พิกเซล)	% พื้นที่เฉลี่ยของตะกอนในแต่ละนาที
1	24/5/2019 14:12:46	5.1	1834.6	3.0
2	24/5/2019 14:13:46	9.1	2121.9	6.3

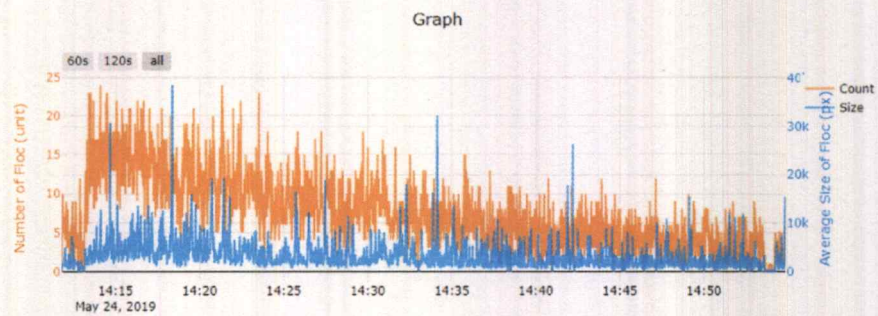
เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เวลา	จำนวนตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาทีก (หน่วย)	ขนาดตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาทีก (พิกเซล)	% พื้นที่เฉลี่ย ของตะกอนใน แต่ละนาทีก
3	24/5/2019 14:14:46	14.8	4764.6	23.0
4	24/5/2019 14:15:46	14.6	4664.7	22.2
5	24/5/2019 14:16:46	15.4	5692.8	28.5
6	24/5/2019 14:17:46	12.8	5092.6	21.2
7	24/5/2019 14:18:46	12.1	5905.1	23.3
8	24/5/2019 14:19:46	11.7	5311.9	20.2
9	24/5/2019 14:20:46	11.2	5268.5	19.2
10	24/5/2019 14:21:46	12.1	4739.4	18.7
11	24/5/2019 14:22:46	10.3	3344.9	11.2
12	24/5/2019 14:23:46	10.5	3559.0	12.2
13	24/5/2019 14:24:46	8.7	2613.5	7.4
14	24/5/2019 14:25:46	8.9	3278.2	9.5
15	24/5/2019 14:26:46	9.3	3321.0	10.1
16	24/5/2019 14:27:46	9	3351.7	9.8
17	24/5/2019 14:28:46	7.3	2678.0	6.4
18	24/5/2019 14:29:46	8.4	2858.5	7.8
19	24/5/2019 14:30:46	8.6	3196.8	8.9
20	24/5/2019 14:31:46	8.1	3562.7	9.4

### 3.2.5 การสร้างแผนภาพแสดงข้อมูล (Visualization)

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลขนาดและจำนวนตะกอนที่ตรวจจับได้ในขั้นตอนที่ 3.2.4 มาสร้างเป็นแผนภาพแสดงข้อมูลดังรูปที่ 3.18

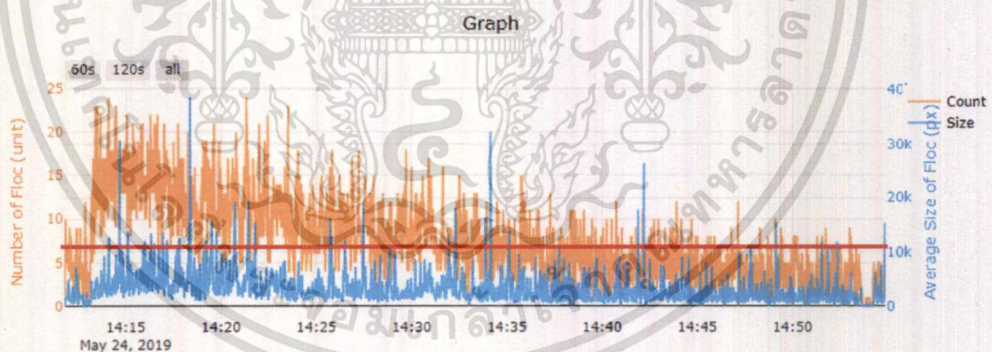
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แผนภาพข้อมูลจำนวนและขนาดของตะกอนกับเวลา

จากรูปที่ 3.18 คือแผนภาพแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลแกน x คือ เวลาและแกน y คือ จำนวนและขนาดของตะกอน โดยที่เส้นสีส้มแสดงข้อมูลจำนวนของตะกอนโดยประมาณและเส้นสีฟ้าแสดงขนาดของตะกอนโดยเฉลี่ย

หลังจากได้แผนภาพข้อมูลจำนวนและขนาดของตะกอนกับเวลา เราสามารถบ่งบอกความใสของน้ำได้โดยให้ผู้เชี่ยวชาญกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ของจำนวนตะกอนขึ้นมาเพื่อบ่งบอกความใสของน้ำอยู่ในระดับที่ดีพอแล้วหรือไม่



รูปที่ 3.19 แผนภาพข้อมูลจำนวนและขนาดของตะกอนกับเวลาโดยกำหนดค่าขีดแบ่ง

จากรูปที่ 3.19 คือแผนภาพแสดงข้อมูลจำนวนและขนาดตะกอนโดยกำหนดค่าขีดแบ่ง โดยเส้นสีแดงคือค่าขีดแบ่งของจำนวนตะกอนเมื่อจำนวนของตะกอนต่ำกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดแสดงว่าน้ำใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงาน การอภิปรายผลและปัญหาที่พบเจอระหว่างการดำเนินงานวิจัยโดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 ผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานจากการตรวจจับตะกอนในน้ำจากแหล่งน้ำดิบ 3 แหล่งที่มีคุณภาพน้ำต่างกัน คือ คูน้ำข้างทางรถไฟ บ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ บ่อน้ำหน้าโรงอาหาร อาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ โดยมีคุณภาพน้ำแย่มาก ปานกลางและดีตามลำดับ นำมาทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำโดยสังเกตความเปลี่ยนแปลงของจำนวนและขนาดของตะกอน ตั้งแต่ก่อนใส่สารเคมี ไปจนถึงหลังตะกอนตกตะกอนเรียบร้อยแล้วโดยสารเคมีที่นำมาทดลองคือสารส้ม (Aluminium Sulphate) และโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium Chloride)

##### 4.1.1 คูน้ำข้างทางรถไฟ

ตัวอย่างน้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟมีลักษณะเป็นดินแดงมีคราบไขมันจากน้ำมันและขยะ น้ำมีความขุ่นมากและมีกลิ่นเหม็น โดยการทดลองนำตัวอย่างน้ำมาใส่สารเคมีเพื่อสังเกตจำนวนและขนาดตะกอนโดยนำตัวอย่างน้ำมาทดลองโดยใช้สารเคมี 2 ชนิด คือสารส้มและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์เพื่อเร่งการตกตะกอนของตะกอนในน้ำ

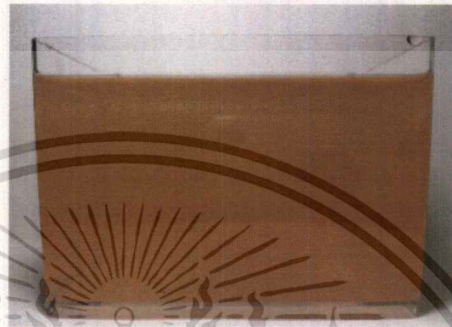


รูปที่ 4.1 คูน้ำข้างทางรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

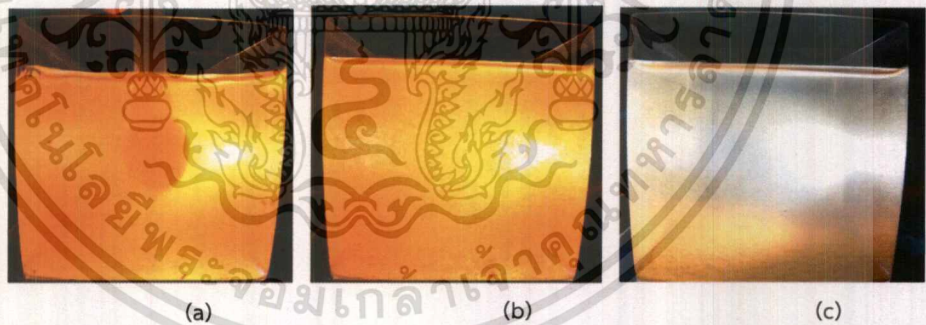
### 1. การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟโดยใช้สารส้ม

การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟโดยใช้สารส้มในการเร่งการตกตะกอน โดยเริ่มตรวจจับตะกอนตั้งแต่ก่อนใส่สารส้มกระทั่งตะกอนตกตะกอนจนน้ำเริ่มใสแล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาสร้างเป็นแผนภาพดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.2 น้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟก่อนการทดลองใส่สารส้ม

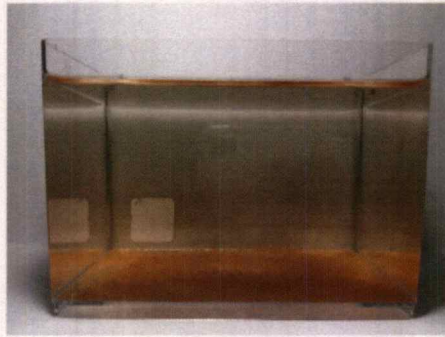
จากรูปที่ 4.2 การนำน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟมาเตรียมใส่ภาชนะในปริมาณประมาณ 700 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.3 น้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารส้ม

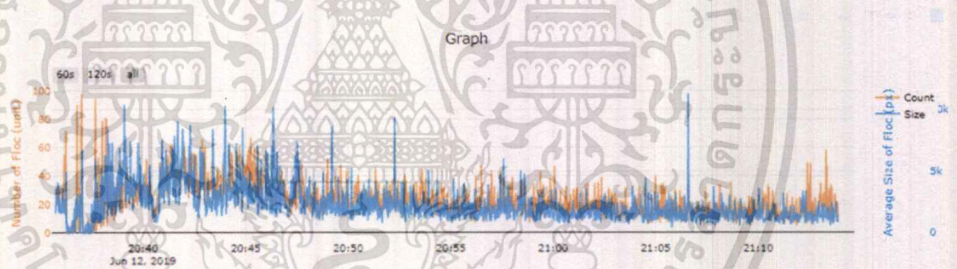
จากรูปที่ 4.3 เป็นการทดลองนำน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟมาใส่สารส้ม รูปที่ 4.3 (a) คือรูปภาพตอนใส่สารเคมี รูปที่ 4.3 (b) คือรูปหลังใส่สารส้ม 1 นาทีและรูปที่ 4.3 (c) คือรูปหลังใส่สารส้ม 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 น้ำจากคูลน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารส้ม 1 ชั่วโมง

จากการทดลองเมื่อใส่สารส้มและทำการกวนตะกอนจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนที่ทำการตรวจจับได้มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาทีจำนวนและขนาดตะกอนค่อย ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาทีน้ำจะเริ่มใส หลังจากผ่านไป 1 ชั่วโมงตะกอนในน้ำตกตะกอนจนเกือบหมดและน้ำที่นำมาทดลองใส



รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากคูลน้ำข้างทางรถไฟ หลังการทดลองใส่สารส้ม

จากรูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากคูลน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารส้ม นาทีที่ 20.40 การตรวจจับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนได้ในปริมาณมากเนื่องจากการกวนตะกอน หลังจากนาทีที่ 20.50 ตะกอนเริ่มตกตะกอน การตรวจจับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนได้ในปริมาณน้อยลงโดยข้อมูลดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจำนวนตะกอนในน้ำจากคุน้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่  
สารส้มโดยเฉลี่ยในแต่ละนาทิต

	เวลา	จำนวนตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาทิต (หน่วย)	ขนาดตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาทิต (ฟีกเซล)	% พื้นที่เฉลี่ย ของตะกอนใน แต่ละนาทิต
1	12/6/2019 20:36:41	16.9	1519.3	8.4
2	12/6/2019 20:37:41	12.6	1145.3	4.7
3	12/6/2019 20:38:42	22.9	2969.3	22.1
4	12/6/2019 20:39:42	28.4	4175.3	38.6
5	12/6/2019 20:40:42	25.9	2708.5	22.8
6	12/6/2019 20:41:42	38.75	4322.4	54.5
7	12/6/2019 20:42:43	42.3	4303.1	59.3
8	12/6/2019 20:43:43	34.3	3290.3	36.7
9	12/6/2019 20:44:43	35.6	3632.3	42.1
10	12/6/2019 20:45:43	38.6	3277.4	41.2
11	12/6/2019 20:46:43	31.3	3378.3	34.4
12	12/6/2019 20:47:43	25.5	3360.9	27.9
13	12/6/2019 20:48:43	23.1	2281.7	17.2
14	12/6/2019 20:49:43	25.0	2458.3	20.0
15	12/6/2019 20:50:43	22.9	2192.1	16.3
16	12/6/2019 20:51:43	23.0	2187.3	16.4
17	12/6/2019 20:52:43	23.0	2496.7	18.7
18	12/6/2019 20:53:43	23.8	2009.0	15.6
19	12/6/2019 20:54:43	21.8	1942.1	13.8
20	12/6/2019 20:55:43	18.3	1798.5	10.7
21	12/6/2019 20:56:43	18.5	1756.0	10.6
22	12/6/2019 20:57:43	21.1	1917.3	13.2
23	12/6/2019 20:58:43	21	2111.7	14.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เวลา	จำนวนตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาทีก (หน่วย)	ขนาดตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาทีก (พิกลเซล)	% พื้นที่เฉลี่ย ของตะกอนใน แต่ละนาทีก
24	12/6/2019 20:59:43	19.3	1723	10.8
25	12/6/2019 21:00:43	20	1651	10.7
26	12/6/2019 21:01:43	18.4	1584.7	9.5
27	12/6/2019 21:02:43	17.9	1746.6	10.2
28	12/6/2019 21:03:43	16.5	1477.8	7.9
29	12/6/2019 21:04:43	15.4	1730.5	8.7
30	12/6/2019 21:05:43	16	1685.3	8.8

## 2. การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟโดยใช้สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

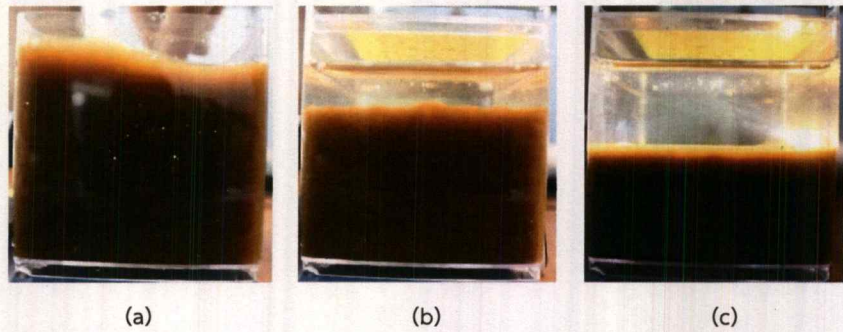
การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟโดยใช้สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ในการเร่งการตกตะกอน โดยเริ่มตรวจจับตะกอนตั้งแต่ก่อนใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์กระทั่งตะกอนตกตะกอนจนน้ำเริ่มใสแล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นแผนภาพดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.6 น้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟก่อนการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

จากรูปที่ 4.6 การนำน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟมาเตรียมใส่ภาชนะในปริมาตรประมาณ 700 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 น้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

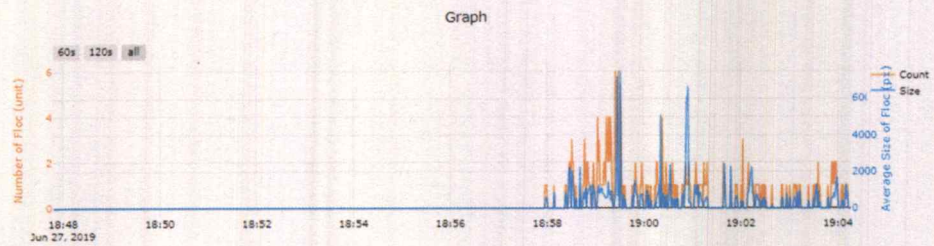
จากรูปที่ 4.7 เป็นการทดลองนำน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟมาใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ รูปที่ 4.7 (a) คือรูปตอนใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ รูปที่ 4.7 (b) คือรูปหลังใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 5 นาทีและรูปที่ 4.7 (c) รูปหลังใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 20 นาที



รูปที่ 4.8 น้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์  
1 ชั่วโมง

จากการทดลองเมื่อใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ทำการกวนตะกอน ไม่สามารถทำการตรวจจับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนเนื่องจากลักษณะตะกอนเมื่อทำการใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์มีลักษณะจับตัวกันหนาแน่นเป็นชั้นของตะกอน เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาทีชั้นของตะกอนจะค่อย ๆ ลดลงจนเห็นน้ำด้านบนของชั้นตะกอนใส เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาทีชั้นของตะกอนค่อย ๆ ลดลงอยู่ในระดับเดียวกับก้องดิจิตอลไมโครสโคปและเริ่มตรวจจับตะกอนขนาดเล็กที่ไม่ตกตะกอนได้ หลังจากผ่านไป 1 ชั่วโมงชั้นของตะกอนลดลงจนถึงก้นของภาชนะและน้ำในภาชนะใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

จากรูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ตั้งแต่เริ่มจนถึงนาทิตี่ 18.58 ไม่สามารถตรวจจับตะกอนได้เนื่องจากลักษณะตะกอนจับตัวกันหนาแน่น หลังจากนั้นที่ 18.58 เริ่มสามารถตรวจจับตะกอนได้เนื่องจากชั้นของตะกอนตกตะกอนมาอยู่ในระดับต่ำกว่ากล้องดิจิทัลไมโครโคป โดยข้อมูลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลตะกอนในน้ำจากคูล้ำข้างทางรถไฟหลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์โดยเฉลี่ยในแต่ละนาทิตี่

เวลา	จำนวนตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาทิตี่ (หน่วย)	ขนาดตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาทิตี่ (พิกเซล)	% พื้นที่เฉลี่ยของตะกอนในแต่ละนาทิตี่
1 27/6/2019 18:48:46	0	0	0.0
2 27/6/2019 18:49:47	0	0	0.0
3 27/6/2019 18:49:47	0	0	0.0
4 27/6/2019 18:50:47	0	0	0.0
5 27/6/2019 18:51:47	0	0	0.0
6 27/6/2019 18:52:47	0	0	0.0
7 27/6/2019 18:53:47	0	0	0.0
8 27/6/2019 18:54:47	0	0	0.0
9 27/6/2019 18:55:47	0	0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เวลา	จำนวนตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาที่ (หน่วย)	ขนาดตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาที่ (พิกเซล)	% พื้นที่เฉลี่ย ของตะกอนใน แต่ละนาที่
10	27/6/2019 18:56:47	0	0	0.0
11	27/6/2019 18:57:47	0.4	309.7	0.0
12	27/6/2019 18:58:47	1.4	794.1	0.4
13	27/6/2019 18:59:47	0.7	463	0.1
14	27/6/2019 19:00:47	0.5	631.4	0.1
15	27/6/2019 19:01:47	0.4	308.1	0.0
16	27/6/2019 19:02:47	0.3	192.2	0.0

#### 4.1.2 บ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

ตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มีลักษณะเป็นตะกอนดิน น้ำสีเขียว มีความขุ่นและมีตะกอนดินค่อนข้างเยอะ โดยการทดลองนำตัวอย่างน้ำมาใส่สารเคมีเพื่อสังเกตจำนวนและขนาดตะกอนโดยนำตัวอย่างน้ำมาทดลองโดยใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ สารส้มและฟอสฟอรัสเพื่อเร่งการตกตะกอนของตะกอนในน้ำ

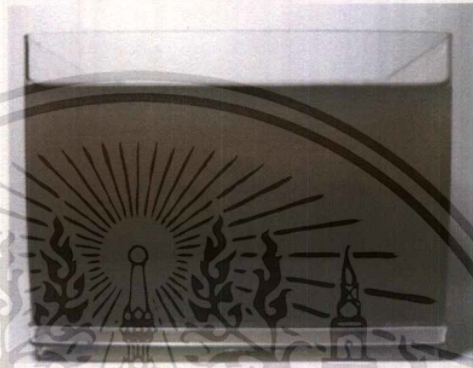


รูปที่ 4.10 บ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะ  
สถาปัตยกรรมศาสตร์โดยใช้สารส้ม

การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟโดยใช้สารส้มในการเร่ง  
การตกตะกอน โดยเริ่มตรวจจับตะกอนตั้งแต่ก่อนใส่สารส้มกระทั่งตะกอนตกตะกอนจน  
น้ำเริ่มใสแล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาสร้างเป็นแผนภาพดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.11 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ก่อน  
การทดลองใส่สารส้ม

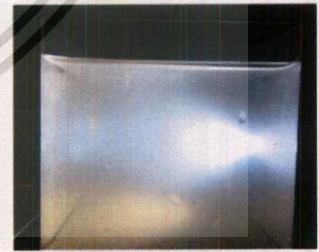
จากรูปที่ 4.11 การนำน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรม  
ศาสตร์มาเตรียมใส่ภาชนะในปริมาตรประมาณ 700 มิลลิลิตร



(a)



(b)

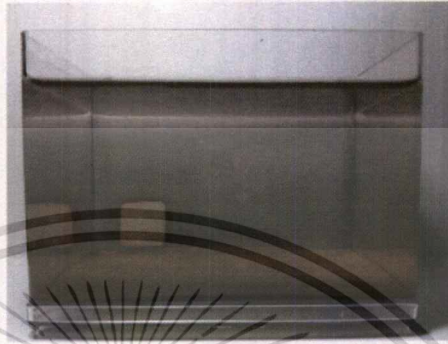


(c)

รูปที่ 4.12 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลัง  
การทดลองใส่สารส้ม

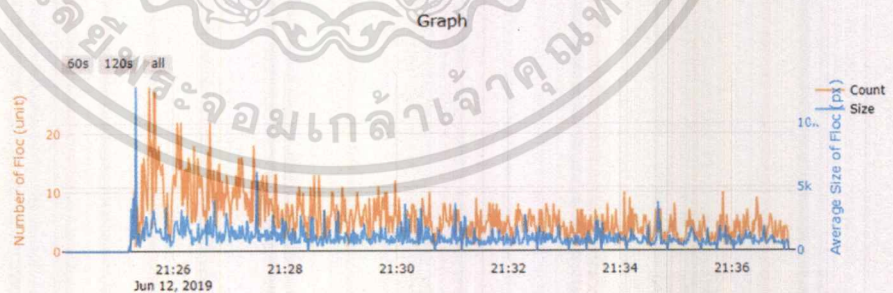
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 เป็นการทดลองนำน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มาใส่สารส้ม รูปที่ 4.12 (a) คือรูปตอนใส่สารส้ม รูปที่ 4.12 (b) คือรูปหลังใส่สารส้ม 1 นาทีและรูปที่ 4.12 (c) คือรูปหลังใส่สารส้ม 5 นาที



รูปที่ 4.13 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
หลังการทดลองใส่สารส้ม 1 ชั่วโมง

จากการทดลองเมื่อใส่สารส้มและทำการกวนตะกอนจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนที่ทำการตรวจจับได้มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาทีจำนวนและขนาดตะกอนค่อย ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาทีน้ำจะเริ่มใส หลังจากผ่านไป 1 ชั่วโมงตะกอนในน้ำตกตะกอนจนเกือบหมดและน้ำที่นำมาทดลองใส



รูปที่ 4.14 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารส้ม

จากรูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าเอกสารนี้เป็นเอกสารทางเข้าหอประชุมเข้าคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารส้ม นาทีที่ 21:26 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนได้ในปริมาณมากเนื่องจากการกวนตะกอนหลังจากนาที่ที่ 21.28 ตะกอนเริ่มตกตะกอน การตรวจจับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนค่อย ๆ มีปริมาณน้อยลงโดยมีข้อมูลดังตารางที่ 4.3

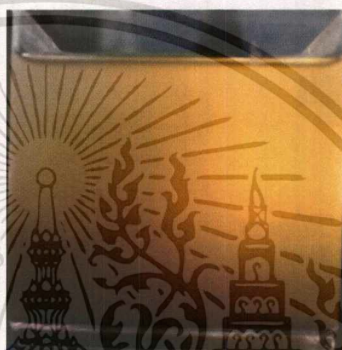
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารส้มโดยเฉลี่ยในแต่ละนาที่

	เวลา	จำนวนตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาที่ (หน่วย)	ขนาดตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาที่ (พิทเซล)	% พื้นที่เฉลี่ย ของตะกอนใน แต่ละนาที่
1	2019/06/12 21:25:02	0	0	0.0
2	2019/06/12 21:26:02	8.1	1475.7	3.9
3	2019/06/12 21:27:02	10.7	1553	5.4
4	2019/06/12 21:28:02	8.5	1443.9	4.0
5	2019/06/12 21:29:02	5.7	1109.7	2.1
6	2019/06/12 21:30:02	5.8	1037.2	2.0
7	2019/06/12 21:31:02	4.7	1091.1	1.7
8	2019/06/12 21:32:02	4.2	902.9	1.2
9	2019/06/12 21:33:02	4.5	956.5	1.4
10	2019/06/12 21:34:02	3.6	898.2	1.1
11	2019/06/12 21:35:02	3.6	866.9	1.0
12	2019/06/12 21:36:02	2.9	796.5	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

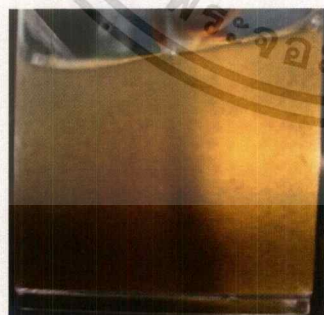
## 2. การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์โดยใช้สารโพลีลูมิเนียมเนียมคลอไรด์

การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟโดยใช้สารโพลีลูมิเนียมเนียมคลอไรด์ในการเร่งการตกตะกอน โดยเริ่มตรวจจับตะกอนตั้งแต่อ่อนใส่สารโพลีลูมิเนียมเนียมคลอไรด์กระทั่งตะกอนตกตะกอนจนน้ำเริ่มใสแล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นแผนภาพดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.15 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ก่อนการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมเนียมคลอไรด์

จากรูปที่ 4.15 การนำน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มาเตรียมใส่ภาชนะในปริมาตรประมาณ 700 มิลลิลิตร



(a)



(b)

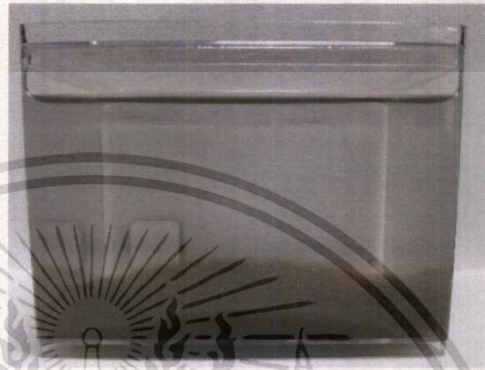


(c)

รูปที่ 4.16 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมเนียมคลอไรด์

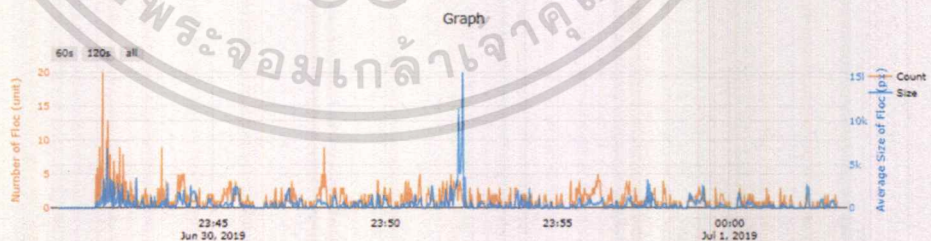
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 เป็นการทดลองนำน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มาใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ รูปที่ 4.16 (a) คือรูปภาพตอนใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ รูปที่ 4.16 (b) คือรูปหลังใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 1 นาทีและรูปที่ 4.16 (c) คือรูปหลังใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 5 นาที



รูปที่ 4.17 น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ หลังการทดลองใส่สารเคมี 1 ชั่วโมง

จากการทดลองเมื่อใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์และทำการกวนตะกอนจำนวน ตะกอนและขนาดตะกอนที่ทำการตรวจจับได้มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที จำนวนและขนาดตะกอนค่อย ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาทีน้ำจะเริ่มใส หลังจากผ่านไป 1 ชั่วโมงตะกอนในน้ำตกตะกอนจนเกือบหมดและน้ำที่นำมาทดลองใส



รูปที่ 4.18 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมเข้าคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ เริ่มต้นก่อนใส่สารเคมีและกวนตะกอนไม่สามารถตรวจจับตะกอนได้เนื่องจากลักษณะน้ำมีสีดำทึบ ชุ่นเนื่องจากตะกอนดิน นาที้ที่ 23.43 การตรวจจับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนได้ในปริมาณมากเนื่องจากการกวนตะกอน หลังจากนาที้ที่ 23.44 ตะกอนเริ่มตกตะกอน การตรวจจับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนค่อย ๆ มีปริมาณน้อยลงโดยมีข้อมูลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์โดยเฉลี่ยในแต่ละนาที้

เวลา	จำนวนตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาที้ (หน่วย)	ขนาดตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาที้ (พิทเซล)	% พื้นที่เฉลี่ยของตะกอนในแต่ละนาที้
30/6/2019 23:41:29	0	0	0.0
30/6/2019 23:42:29	3.4	2371.8	2.6
30/6/2019 23:43:29	1	793	0.3
30/6/2019 23:44:29	1.7	1718.8	1.0
30/6/2019 23:45:29	1.2	640.6	0.3
30/6/2019 23:46:29	0.9	1024.5	0.3
30/6/2019 23:47:29	1	994.5	0.3
30/6/2019 23:48:29	1.3	752.4	0.3
30/6/2019 23:49:29	0.9	663.6	0.2
30/6/2019 23:50:29	0.9	770.4	0.2
30/6/2019 23:51:29	1.3	1210.9	0.5
30/6/2019 23:52:29	1.6	4480.5	2.3
30/6/2019 23:53:29	0.7	463.7	0.1
30/6/2019 23:54:29	0.8	936.5	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลังการเสร็จสิ้นการศึกษาระดับปริญญาโทในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลใดๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เวลา	จำนวนตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาทีก (หน่วย)	ขนาดตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาทีก (พิกเซล)	% พื้นที่เฉลี่ย ของตะกอนใน แต่ละนาทีก
15	30/6/2019 23:55:29	0.5	275.9	0.0
16	30/6/2019 23:56:29	1.8	1004.7	0.6
17	30/6/2019 23:57:29	1	662.9	0.2
18	30/6/2019 23:58:29	0.9	1006.6	0.3
19	30/6/2019 23:59:29	0.9	1249.9	0.4
20	30/6/2019 0:00:29	0.6	492.8	0.1
21	30/6/2019 0:01:29	0.6	445.9	0.1
22	12/6/2019 20:57:29	21.1	1917.3	13.2

#### 4.1.3 บ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ

ตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ มีลักษณะน้ำเป็นสีเขียวอ่อน มีความขุ่นและมีตะไคร่น้ำ โดยการทดลองนำตัวอย่างน้ำมาใส่สารเคมีเพื่อสังเกตจำนวนและขนาดตะกอนโดยนำตัวอย่างน้ำมาทดลองโดยใช้สารเคมี 2 ชนิด คือสารส้มและโพสโวลูมิเนียมคลอไรด์เพื่อเร่งการตกตะกอนของตะกอนในน้ำ



รูปที่ 4.19 รูปภาพบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวม  
สมเด็จพระเทพฯ โดยใช้สารส้ม

การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟโดยใช้สารโพลิ  
อลูมิเนียมคลอไรด์ในการเร่งการตกตะกอน โดยเริ่มตรวจจับตะกอนตั้งแต่ก่อนใส่สารเคมี  
กระทั่งตะกอนตกตะกอนจนน้ำเริ่มใสแล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นแผนภาพดังรูปที่  
4.23



รูปที่ 4.20 น้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ  
ก่อนการทดลองใส่สารส้ม

จากรูปที่ 4.20 การนำน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระ  
เทพฯ มาเตรียมใส่ภาชนะในปริมาตรประมาณ 700 มิลลิลิตร



(a)

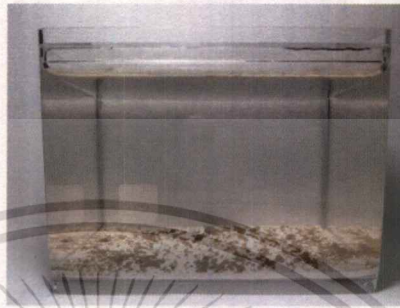
(b)

(c)

รูปที่ 4.21 น้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ  
หลังการทดลองใส่สารส้ม

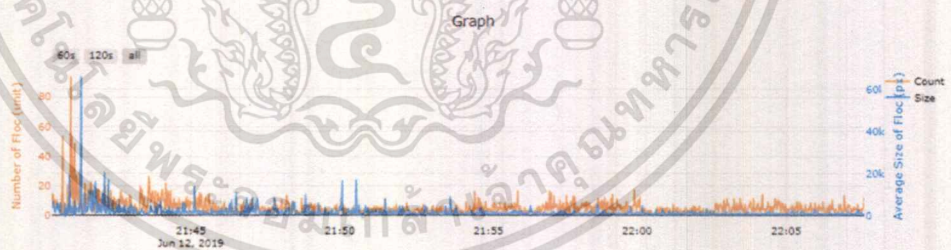
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 เป็นการทดลองนำน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ มาใส่สารส้ม รูป 4.21 (a) คือรูปภาพตอนใส่สารส้ม รูป 4.21 (b) คือรูปหลังใส่สารส้ม 1 นาทีและรูป 4.21 (b) คือรูปหลังใส่สารส้ม 5 นาที



รูปที่ 4.22 น้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารส้ม 1 ชั่วโมง

จากการทดลองเมื่อใส่สารส้มและทำการกวนตะกอนจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนที่ทำการตรวจนับได้มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาทีจำนวนและขนาดตะกอนค่อย ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาทีน้ำจะเริ่มใส หลังจากผ่านไป 1 ชั่วโมงตะกอนในน้ำตกตะกอนจนเกือบหมดและน้ำที่นำมาทดลองใส



รูปที่ 4.23 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารส้ม

จากรูปที่ 4.23 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมเข้าคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์หลังการทดลองใส่สารส้ม เริ่มต้นก่อนใส่สารเคมีและกวนตะกอน นาทีที่ 21:40 การตรวจนับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนได้ในปริมาณมากเนื่องจากใส่สารส้มและการกวนตะกอน หลังจากนาทีที่ 21:41 ตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ อย่างไม่เหมาะสม หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต จะถือว่าผิดกฎหมายและไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มตกตะกอน การตรวจจับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนค่อย ๆ มีปริมาณน้อยลง โดยมีข้อมูลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารส้มโดยเฉลี่ยในแต่ละนาที่

	เวลา	จำนวนตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาที่ (หน่วย)	ขนาดตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาที่ (พิกเซล)	% พื้นที่เฉลี่ยของตะกอนในแต่ละนาที่
1	12/6/2019 21:41:18	12.9	4028	16.9
2	12/6/2019 21:42:18	9.5	4690.8	14.5
3	12/6/2019 21:43:18	7.4	2302.3	5.5
4	12/6/2019 21:44:18	10.2	1974.5	6.6
5	12/6/2019 21:45:18	7.6	1963	4.9
6	12/6/2019 21:46:18	5.2	1321.4	2.2
7	12/6/2019 21:47:18	4.2	2576.9	3.5
8	12/6/2019 21:48:18	5	1701.6	2.8
9	12/6/2019 21:49:18	4.3	1867.1	2.6
10	12/6/2019 21:50:18	3.4	1802.4	2.0
11	12/6/2019 21:51:18	3.2	1835.3	1.9
12	12/6/2019 21:52:18	4.1	1697.3	2.3
13	12/6/2019 21:53:18	3.4	1211.7	1.3
14	12/6/2019 21:54:18	3.6	1403.5	1.6
15	12/6/2019 21:55:18	5.2	1173.9	2.0
16	12/6/2019 21:56:18	5	1153.5	1.9
17	12/6/2019 21:57:18	4.8	1162.1	1.8
18	12/6/2019 21:58:18	5.8	1026.4	1.9
19	12/6/2019 21:59:18	5.9	1229.5	2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบัณฑิตวิทยาลัย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เวลา	จำนวนตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาที (หน่วย)	ขนาดตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาที (พิกเซล)	% พื้นที่เฉลี่ย ของตะกอนใน แต่ละนาที
20	12/6/2019 22:00:18	5.6	1166	2.1
21	12/6/2019 22:01:18	2.6	968.1	0.8
22	12/6/2019 22:02:18	3.1	1097	1.1
23	12/6/2019 22:03:18	4.6	986.8	1.5
24	12/6/2019 22:04:18	5.3	930.3	1.6
25	12/6/2019 22:05:18	5.4	1022.8	1.8

## 2. การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวม สมเด็จพระเทพฯ โดยใช้สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

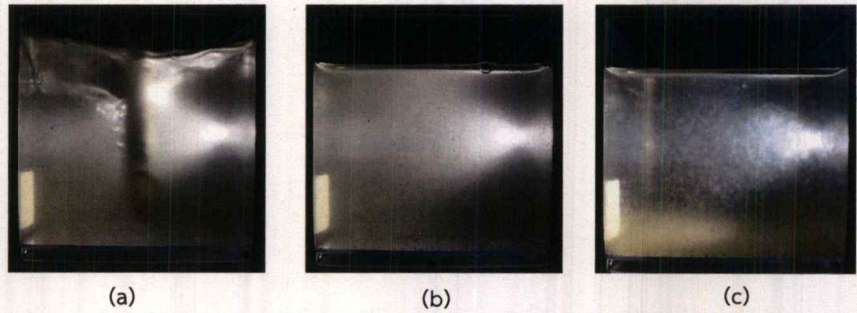
การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวม  
สมเด็จพระเทพฯ โดยใช้สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ในการเร่งการตกตะกอน โดยเริ่ม  
ตรวจจับตะกอนตั้งแต่ก่อนใส่สารเคมีกระทั่งตะกอนตกตะกอนจนน้ำเริ่มใสแล้วนำข้อมูล  
ที่ได้มาสร้างเป็นแผนภาพดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.24 น้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯก่อน  
การทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

จากรูปที่ 4.24 การนำน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระ  
เทพฯ มาเตรียมใส่ภาชนะในปริมาตรประมาณ 700 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



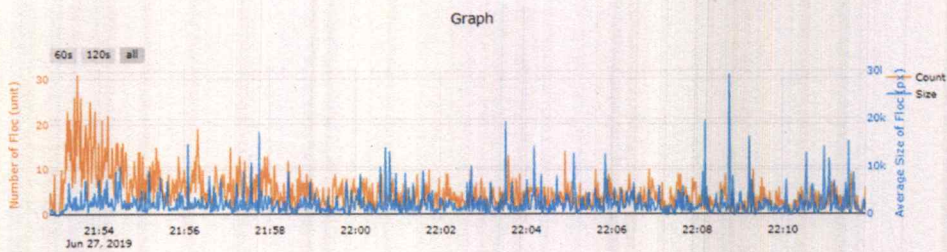
รูปที่ 4.25 น้ำจากบ่อน้ำหน้าร้านอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลัง  
การทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

จากรูปที่ 4.25 เป็นการทดลองนำน้ำจากบ่อน้ำหน้าร้านอาหารอาคารเรียนรวม  
สมเด็จพระเทพฯ มาใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ รูปที่ 4.25 (a) คือรูปภาพตอนใส่สาร  
โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ รูปที่ 4.25 (b) คือรูปหลังใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 1 นาที  
และรูปที่ 4.25 (c) คือรูปหลังใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 5 นาที

รูปที่ 4.26 น้ำจากบ่อน้ำหน้าร้านอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลัง  
การทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 1 ชั่วโมง

จากการทดลองเมื่อใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์และทำการกวนตะกอนจำนวน  
ตะกอนและขนาดตะกอนที่ทำการตรวจจับได้มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที  
จำนวนและขนาดตะกอนค่อย ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเวลาผ่าน 15 นาทีน้ำจะเริ่ม  
ใส หลังจากผ่านไป 1 ชั่วโมงตะกอนในน้ำตกตะกอนจนเกือบหมดและน้ำที่นำมาทดลอง  
ใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.27** แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

จากรูปที่ 4.27 แผนภาพแสดงขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์นาที่ที่ 21.54 การตรวจจับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนได้ในปริมาณมากเนื่องจากการใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์และกวนตะกอน หลังจากนั้นนาที่ที่ 21.55 ตะกอนเริ่มตกตะกอน การตรวจจับจำนวนตะกอนและขนาดตะกอนค่อย ๆ มีปริมาณน้อยลงโดยมีข้อมูลดังตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** ข้อมูลขนาดและจำนวนตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ หลังการทดลองใส่สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์โดยเฉลี่ยในแต่ละนาที่

เวลา	จำนวนตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาที่ (หน่วย)	ขนาดตะกอนเฉลี่ยในแต่ละนาที่ (พิกเซล)	% พื้นที่เฉลี่ยของตะกอนในแต่ละนาที่
1 27/6/2019 21:53:49	10.6	1633.1	5.6
2 27/6/2019 21:54:49	10	2919.5	9.5
3 27/6/2019 21:55:49	6.5	2342.8	5.0
4 27/6/2019 21:56:49	6.4	2336.5	4.9
5 27/6/2019 21:57:49	5.9	2614.5	5.0
6 27/6/2019 21:58:49	5.2	1898.2	3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เวลา	จำนวนตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาที่ (หน่วย)	ขนาดตะกอน เฉลี่ยในแต่ละ นาที่ (พิกเซล)	% พื้นที่เฉลี่ย ของตะกอนใน แต่ละนาที่
7	27/6/2019 21:59:49	4	1723.7	2.2
8	27/6/2019 22:00:49	4	2523	3.3
9	27/6/2019 22:01:49	3.7	2389.4	2.9
10	27/6/2019 22:02:49	3.5	1817	2.1
11	27/6/2019 22:03:49	3.6	2007.4	2.4
12	27/6/2019 22:04:49	3.7	2309.1	2.8
13	27/6/2019 22:05:49	3.4	2139.7	2.4
14	27/6/2019 22:06:49	4	2729	3.6
15	27/6/2019 22:07:49	3.6	1671	2.0
16	27/6/2019 22:08:49	3	2796	2.7
17	27/6/2019 22:09:49	2.6	1854.3	1.6
18	27/6/2019 22:10:49	2.4	1902.2	1.5
19	12/6/2019 21:59:49	5.9	1229.5	2.4

#### 4.2 การอภิปรายผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผลการทดลองโดยเปรียบเทียบการทดลองระหว่างสารเคมี 2 ชนิดคือ สารส้มและสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์กับแหล่งน้ำ 3 แหล่งคือ คูน้ำข้างทางรถไฟ บ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ บ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ โดยมีคุณภาพน้ำแย่มาก ปานกลางและดีตามลำดับ

##### 1. คูน้ำข้างทางรถไฟ

การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟในหัวข้อที่ 4.1.1 การทดลองตรวจจับตะกอนก่อนการใส่สารเคมีลงในน้ำไม่สามารถตรวจจับตะกอนได้เนื่องจากน้ำจากคูน้ำข้างทางรถไฟมีตะกอนหนาแน่นมาก เป็นดินโคลนสีน้ำตาล เมื่อเริ่มใส่สารส้มหรือสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์และกวนตะกอนเพื่อให้ตะกอนในน้ำจับตัวและตกตะกอน ตะกอนเริ่มจับตัว เอกสารนี้เป็น สามารถตรวจจับตะกอนได้มากขึ้น โดยการทดลองใช้สารส้มลักษณะตะกอนเมื่อเริ่มใส่สารส้ม มีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเป็นตะกอนขนาดเล็กจำนวนมากค่อย ๆ ตกตะกอนลง โดยระยะเวลาตั้งแต่ใส่สารส้มจน น้ำใส ระยะเวลาประมาณ 30 นาทีและการทดลองใช้สารโพสลิอูมิเนียมคลอไรด์ลักษณะตะกอน เมื่อเริ่มใส่สารโพสลิอูมิเนียมคลอไรด์และทำการกวนตะกอน ไม่สามารถทำการตรวจจับจำนวน ตะกอนและขนาดตะกอนเนื่องจากลักษณะตะกอนเมื่อทำการใส่สารโพสลิอูมิเนียมคลอไรด์มี ลักษณะจับตัวกันหนาแน่นเป็นชั้นของตะกอน เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาทีชั้นของตะกอนจะค่อย ๆ ลดลงจนเห็นน้ำด้านบนของชั้นตะกอนใส เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาทีชั้นของตะกอนค่อย ๆ ลดลง อยู่ในระดับเดียวกับกล่องดิจิตอลไมโครสโคปและเริ่มตรวจจับตะกอนขนาดเล็กที่ไม่ตกตะกอนได้ โดยระยะเวลาตั้งแต่ใส่สารเคมีจนตะกอนตกตะกอนลงจนถึงก้นภาชนะ ระยะเวลาประมาณ 30 นาที

## 2. บ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

การทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ในหัวข้อที่ 4.1.2 การทดลองตรวจจับตะกอนก่อนการใส่สารเคมีลงในน้ำไม่สามารถ ตรวจจับตะกอนได้เนื่องจากน้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมมีลักษณะขุ่น ดำ เป็นตะกอนดินจำนวนมาก เมื่อเริ่มใส่สารส้มหรือสารโพสลิอูมิเนียมคลอไรด์เพื่อให้ตะกอน ในน้ำจับตัวและตกตะกอน ตะกอนเริ่มจับตัวทำให้เห็นตะกอนชัดเจนมากขึ้นส่งผลให้สามารถ ตรวจจับตะกอนได้ โดยการทดลองใช้สารส้มลักษณะตะกอนเมื่อเริ่มใส่สารส้ม มีลักษณะเป็น ตะกอนขนาดเล็กจำนวนมากค่อย ๆ ตกตะกอนลง โดยระยะเวลาตั้งแต่ใส่สารส้มจนน้ำใส ระยะเวลาประมาณ 30 นาทีและการทดลองใช้สารโพสลิอูมิเนียมคลอไรด์ลักษณะตะกอนเมื่อเริ่ม ใส่สารโพสลิอูมิเนียมคลอไรด์ลักษณะตะกอนเป็นวุ้นขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เร็ว โดย ระยะเวลาตั้งแต่ใส่สารเคมีจนน้ำใส ระยะเวลาประมาณ 5 นาที

## 3. บ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ

ในการทดลองตรวจจับตะกอนในน้ำจากบ่อน้ำหน้าโรงอาหารอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ ในหัวข้อที่ 4.1.3 การทดลองตรวจจับตะกอนก่อนการใส่สารเคมีลงในน้ำสามารถ ตรวจจับตะกอนได้ เมื่อเริ่มใส่สารส้มหรือสารโพสลิอูมิเนียมคลอไรด์เพื่อให้ตะกอนในน้ำจับตัว และตกตะกอน โดยการทดลองใช้สารส้มลักษณะตะกอนเมื่อเริ่มใส่สารส้ม มีลักษณะเป็นตะกอน ขนาดเล็กจำนวนมากค่อย ๆ ตกตะกอนลง โดยระยะเวลาตั้งแต่ใส่สารส้มจนน้ำใส ระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 30 นาทีและการทดลองใช้สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ลักษณะตะกอนเมื่อเริ่มใสสารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ลักษณะตะกอนเป็นฟุ้งใสขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เร็ว โดยระยะเวลาตั้งแต่ใสสารเคมีจนน้ำใส ระยะเวลาประมาณ 15 นาที

### 4.3 ปัญหาที่พบระหว่างดำเนินงาน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงปัญหาที่พบระหว่างดำเนินงานวิจัยการตรวจจับตะกอนในน้ำประปา โดยรายละเอียดของปัญหาได้ถูกอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.3.1 ถึง 4.3.3

#### 4.3.1 การคำนวณหาพื้นที่ตามความเป็นจริงของตะกอนที่ตรวจจับได้

เนื่องด้วยวิธีการที่เราจะได้ภาพเข้าสู่ระบบมานั้น เป็นการถ่ายทำน้ำตัวอย่างที่ไม่สามารถวัดระยะโฟกัสได้แม่นยำนัก เนื่องด้วยตัวกล้องเป็นระบบโฟกัสแบบอัตโนมัติ จึงทำให้ระยะโฟกัสคลาดเคลื่อนได้จึงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าพิกเซลเป็นตารางมิลลิเมตรได้ ทำได้เพียงหาค่าประมาณของขนาดตะกอนเท่านั้นโดยที่หน่วยเป็นพิกเซล

#### 4.3.2 การทดลองการตกตะกอนของน้ำตัวอย่างกับสารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

จากการทดลองพบว่าการใช้สารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์เร่งการตกตะกอนในช่วงแรก กล้องไม่สามารถตรวจจับตะกอนได้ เนื่องจากมีความหนาแน่นของตะกอนสูง แสงไม่เข้มข้นพอที่จะส่องผ่านชั้นตะกอนได้ กล้องจึงไม่สามารถบันทึกภาพตะกอนได้ ทำให้ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของตะกอนผ่านกล้องในช่วงแรกต้องรอจนชั้นตะกอนตกลงจนผ่านระดับกล้องไปจึงจะเห็นตะกอนที่หลงเหลืออยู่ในน้ำทดลอง

#### 4.3.3 สิ่งแปลกปลอมที่รบกวนผลบันทึกค่าในน้ำทดลอง

ในระหว่างการทดลองบันทึกค่าจำนวนและขนาดตะกอนนั้น พบว่าภาพที่เข้าสู่ระบบมานั้น ได้บันทึกสิ่งแปลกปลอมในน้ำมาด้วย เช่น แผลงก่ต่อนสัตว์ในน้ำทดลองซึ่งมีจำนวนไม่แน่นอน แต่ถูกพบในทุกช่วงของการบันทึกภาพ จึงทำให้ขนาดและจำนวนของตะกอนในน้ำทดลองถูกรบกวนและได้ค่าที่คลาดเคลื่อนในบางช่วงของการบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ ซึ่งการสรุปผลการดำเนินงานจะ  
ถูกนำเสนอในหัวข้อ 5.1 และข้อเสนอแนะจะถูกนำเสนอในหัวข้อ 5.2

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและนำเอาเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับ  
ตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยการทดลองน้ำตัวอย่างจากแหล่งที่มา 3 แหล่งคือ น้ำจากคูน้ำ  
ข้างทางรถไฟ น้ำจากบ่อน้ำหน้าทางเข้าหอประชุมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และบ่อน้ำหน้าโรงอาหาร  
อาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯกับสารเคมี 2 ชนิดคือสารส้มและสารโพลิอูมิเนียมคลอไรด์ เพื่อทดสอบ  
การตรวจจับตะกอนตั้งแต่ก่อนใส่สารเคมีไปจนถึงหลังจากตะกอนในน้ำตกตะกอนแล้วและคู่อัตราการ  
ตกตะกอนหลังจากใส่สารเคมีเพื่อวัดความใสของตะกอนในน้ำประปาซึ่งผลการทดลองจะถูกบันทึกผลลง  
ในตารางแต่ละตารางเพื่อศึกษาต่อไป

จากผลการดำเนินงานพบว่าซอฟต์แวร์สามารถตรวจจับตะกอนและบอกความใสของน้ำได้  
หลังจากจำนวนตะกอนที่ตรวจจับได้ลดลง แต่ยังมีข้อจำกัดด้านทรัพยากรและอุปกรณ์อยู่มากอีกทั้งยังขาด  
ผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตน้ำประปามาให้คำแนะนำเชิงลึกในการทดลอง การวัดคุณภาพน้ำ การใส่สารเคมี  
ในการบำบัดน้ำเสีย ส่วนในด้านอุปกรณ์ ในการทดลองตรวจจับตะกอนเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีและแม่นยำ  
มากขึ้นอาจต้องใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทั้งคุณภาพกล้องในการตรวจจับตะกอนและแสงไฟที่  
ช่วยให้เห็นตะกอนได้ดียิ่งขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หากต้องการบ่งบอกปริมาณสารเคมีที่ใช้เพื่อทำให้ตะกอนตกตะกอนจำเป็นต้องให้  
ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อนที่จะนำมาทดลอง
2. หากต้องการรู้ขนาดของตะกอนโดยหน่วยเป็นมิลลิเมตรอาจต้องใช้กล้องดิจิทัลที่เป็นระบบ  
แมนนวลโฟกัส (Manual Focus) เพื่อหาระยะโฟกัสที่แน่นอนสำหรับการคำนวณหาขนาด  
ของตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

ไพรัชศักดิ์ สมรไกรสรกิจ “การควบคุมกระบวนการผลิตน้ำประปา” การประปานครหลวง  
[Online].[https://www.mwa.co.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=566](https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=566). (10 October 2018)

Senthilkumaran N and Vaithegi S. “Image Segmentation by Using Thresholding Techniques for Medical Images.” Computer Science & Engineering: An International Journal (CSEIJ), Vol. 6, No. 1, February 2016[Online].  
<http://aircconline.com/cseij/V6N1/6116cseij01.pdf>. (10 October 2018)

Rashmi, Mukesh Kumar, and Rohini Saxena”Algorithm and Technique on Various Edge Detection: A Survey.” Signal & Image Processing : An International Journal(SIPIJ) Vol. 4, No. 3, June 2013 [Online]. <http://aircconline.com/sipij/V4N3/4313sipij06.pdf>. (10 October 2018)

Michael Kass, Andrew Witkin, and Demetri Terzopoulos. “Snakes: Active Contour Models.” International Journal of Computer Vision 321-331(1988) [Online].  
<http://www.cs.ait.ac.th/~mdailey/cvreadings/Kass-Snakes.pdf>. (10 October 2018)

Richard Szeliski. “Computer Vision: Algorithms and Applications.”[Online].  
<http://szeliski.org/Book/>. (20 July 2019)

Robert M. Haralick, fellow, IEEE, Stanley R. Sternberg, and Xinhua Zhuang. “Image Analysis Using Mathematical Morphology.” IEEE Transaction on pattern Analysis and Machine Intelligence, VOL. PAMI-9, NO. 4. July 1987 [Online].  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.705.2541&rep=rep1&type=pdf>. (20 July 2019)

Marcus Brubaker. “CSC320 Tutorial Notes.” Feb 3, 2006 [Online].  
<http://people.csail.mit.edu/hasinoff/320/sliding-notes.pdf>. (25 July 2019)

The University of Auckland New Zealand. “Gaussian Filtering” 25 June 2010 [Online]. [https://www.cs.auckland.ac.nz/courses/compsci373s1c/PatricesLectures/Gaussian%20Filtering\\_1up.pdf](https://www.cs.auckland.ac.nz/courses/compsci373s1c/PatricesLectures/Gaussian%20Filtering_1up.pdf). (25 July 2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้