เครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด

AUTOMATIC BICYCLE WASHING MACHINE WITH CLOSED WATER SYSTEM

พิพัฒน์ เครือวัลย์
PIPAT KRUAWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-030-070

เครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด

AUTOMATIC BICYCLE WASHING MACHINE WITH CLOSED WATER SYSTEM

พิพัฒน์ เครือวัลย์

PIPAT KRUAWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-030-070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC BICYCLE WASHING MACHINE WITH CLOSED WATER SYSTEM

PIPAT KRUAWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

KMITL-2019-EN-M-030-070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด
นักศึกษา	นายพิพัฒน์ เครือวัลย์
รหัสประจำตัว	57601159
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด เพื่อส่งเสริมเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถต่อยอดประยุกต์ใช้กับระบบล้างหรือทำความสะอาดอัตโนมัติในกิจการลักษณะอื่นๆได้ โดยเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีโครงสร้างขนาด กว้าง 0.96 เมตร ยาว 1.92 เมตร สูง 1.8 เมตร ทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ ในการทดลองหาตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด และการใช้น้ำ ในการล้างรถจักรยานด้วยเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติ โดยอ้างอิงจากการล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว ที่ทาด้วยดินเหนียวซึ่งเป็นชนิดดินที่ล้างได้ยากที่สุด และมีอนุภาคของดินเล็กที่สุดในการทดลอง จากนั้นล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว ด้วยตัวแปรที่แตกต่างกัน คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด แรงดันน้ำ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด และระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว ซึ่งการวัดความสะอาดหลังจากล้างแล้ว ทำโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ความสะอาดในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์พิกเซลสีขาวเป็นตัวชี้วัด พบว่าค่าที่ดีที่สุดคือ 96 เปอร์เซ็นต์ ตัวแปรคือ หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.8 บาร์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด 15 วินาทีต่อรอบ ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว 300 มิลลิเมตร อัตราการใช้น้ำ 17 ลิตรต่อนาที จากนั้นทดลองหาอายุการใช้งานของไส้กรองหยาบ Sediment (PP) ซึ่งใช้เป็นตัวกรองน้ำเพื่อดูความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการนี้ โดยการกรองน้ำที่มีดินเหนียวผสมอยู่ นำน้ำตัวอย่างถ่ายภาพ แล้วใช้เทคนิคประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB เปลี่ยนภาพเป็นภาพแบบระดับสีเทา 20 ระดับ แล้วนำค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้ไปคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก โดยคุณลักษณะของน้ำที่จะนำกลับมาใช้ล้างรถจักรยานเมื่อนำมาล้างแล้วจะทิ้งคราบในระดับที่สังเกตได้ยาก ซึ่งค่าที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 7.1 ตามเกณฑ์วัดที่ได้กำหนดไว้ จากการทดลองพบว่าไส้กรองความละเอียด 1 ไมครอน อัตราการกรอง 17 ลิตรต่อนาที สามารถกรองน้ำได้ปริมาณ 4,580 ลิตร สามารถประหยัดค่าน้ำประปาได้ 30.04 บาทต่อการเปลี่ยนไส้กรอง 1 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Automatic Bicycle Washing Machine With Closed Water System
Student	Mr.Pipat Kruawan
Student ID.	57601159
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Akapot Tantrapiwat

ABSTRACT

This research is a study of the automatic bicycle washing machine with closed water system which can promote environmentally friendly technologies in order to maximize the use of water. It can be applied to other kinds of automatic washing or cleaning devices. The basic configuration of the automatic bicycle washing machine with close water system is 0.96 meters in width, 1.92 meters in length and 1.8 meters in height. Its structure was made out of aluminum profiles. During the study, important process parameters which relate to cleanness and water consumption were established. To evaluate the cleaning performance, the experiments were initially done on a white polypropylene board for consistent measurement. The board was coated with clay which has the highest surface adhesion in comparison to other types of soils. Then washing the board with the different sizes of hole spray nozzles, water pressure, speed of spray nozzles and distance between the nozzles and the washing surface. Using image processing technique by MATLAB, analyze cleaning process in each period by counting white pixel percentage and quantifying the value. The result of this studying has found that the best value as 96% at hole spray nozzles size 1.8 mm., water pressure at 1.8 bar, speed of spray nozzles moving as 15 seconds per round and the distance between the nozzles and the surface is 300 mm. With these parameters, the water consumption rate was 17 liters per minute. Another part of the research is exploring the filter working duration using cheap standard filter type. The evaluation of water quality was made by image processing technique by MATLAB, change the image to grayscale 20 levels and then

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

take the percentage calculated to the weighted average, the acceptable value is less than 7.1. The results showed that the sediment (PP) 0.1 micron, filter rate 17 liters per minutes can filter water 4,580 liters, can save 30.04 baths per filter change 1 piece.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ ด้วยคำแนะนำจาก ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้ และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะที่มีส่วนช่วยในการทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่เป็นกาลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครู อาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พิพัฒน์ เครือวัลย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
รายการสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การออกแบบหัวฉีดน้ำ	4
2.2 การประมวลผลภาพ	11
2.3 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ	14
2.4 หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล	24
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	35
3.1 ศึกษาเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด	35
3.2 ขั้นตอนการศึกษาตัวแปรในการล้างรถจักรยาน	38
3.3 ขั้นตอนการศึกษาการกรองน้ำเพื่อใช้งานเป็นระบบปิด	42
บทที่ 4 ผลการศึกษา	50
4.1 การศึกษาตัวแปรในการล้างรถจักรยาน	50
4.2 การศึกษาการกรองน้ำเพื่อใช้งานเป็นระบบปิด	57
4.3 การคำนวณระบบน้ำ	61
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	64
5.1 สรุปผลการศึกษา	64
เอกสารอ้างอิง	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก....68
ภาคผนวก ก. การประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB....69
ภาคผนวก ข. แบบเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด....109
ภาคผนวก ค. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์....112
ประวัติผู้เขียน....118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เลขกำลังการไหลสำหรับชนิดหัวฉีด	9
2.2 แสดงอัตราการกรองของไส้กรอง	21
2.3 ความหยาบของท่อสำหรับใช้ทำนายความดันตก	29
2.4 ค่า K ในข้อต่อ	30
2.5 ค่า K ในวาล์วขณะเปิดเต็มที่	30
3.1 ตัวแปรในการทดลองล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว	40
3.2 ตัวแปรในการทดลองกรองน้ำ	43
3.3 การคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	45
3.4 ระดับความสกปรกของน้ำ	47
4.1 ผลตอบแทนต่อไส้กรอง 1 ชิ้น	57
ก.1 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 1	70
ก.2 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 2	71
ก.3 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 3	72
ก.4 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 4	73
ก.5 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 5	74
ก.6 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 6	75
ก.7 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 7	76
ก.8 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 8	77
ก.9 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 9	78
ก.10 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 10	79
ก.11 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 11	80
ก.12 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 12	81
ก.13 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 13	82
ก.14 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 14	83
ก.15 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 15	84
ก.16 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 16	85
ก.17 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 17	86
ก.18 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 18	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.19 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 19 88
ก.20 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 20 89
ก.21 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 21 90
ก.22 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 22 91
ก.23 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 23 92
ก.24 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 24 93
ก.25 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 1 95
ก.26 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 2 98
ก.27 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 3 100
ก.28 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 4 102
ก.29 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 5 103
ก.30 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 6 104
ก.31 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 7 105
ก.32 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 8 106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FULL CONE NOZZLES	4
2.2 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FULL CONE (SPIRAL-TYPE)	5
2.3 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FULL CONE (OVAL-TYPE)	5
2.4 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FULL CONE (SQUARE-TYPE)	5
2.5 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FLAT SPRAY (TAPERED)	6
2.6 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FLAT SPRAY (EVEN)	6
2.7 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FLAT SPRAY (DEFLECTED-TYPE)	6
2.8 แสดงภาพหัวฉีดแบบ SOLID STREAM	7
2.9 แสดงภาพหัวฉีดแบบ HOLLOW CONE (WHIRLCHAMBER-TYPE)	7
2.10 แสดงภาพหัวฉีดแบบ HOLLOW CONE (DEFLECTED-TYPE)	7
2.11 แสดงภาพหัวฉีดแบบ HOLLOW CONE (SPIRAL-TYPE)	8
2.12 แสดงภาพหัวฉีดแบบ ATOMIZING/FOGGING/FINE SPRAY	8
2.13 แสดงภาพหัวฉีดแบบ SPRAY PATTERNS – AIR ATOMIZING NOZZLES	8
2.14 แสดงตัวอย่างขอบเขตการสเปรย์	10
2.15 แสดงพิกัดที่ใช้อ้างอิงภาพดิจิตอล	12
2.16 แสดงขาว-ดำ (Binary Image)	12
2.17 แสดงภาพระดับสีเทา (Grayscale or Intensity Image)	13
2.18 แสดงภาพดัชนี (Index Image)	13
2.19 แสดงภาพสีจริง	14
2.20 แสดงภาพการกรอง	15
2.21 แสดงภาพการกรองชนิดชั้นเค้ก	15
2.22 แสดงภาพการกรองชนิดพื้นผิว	16
2.23 แสดงภาพการกรองชนิดความลึก	16
2.24 แสดงภาพการไหลแนวตั้งฉาก และแนวขวางบนเยื่อกรอง	17
2.25 แสดงภาพชนิดของกรองด้วยเยื่อ (Membrane Filter)	17
2.26 แสดงไส้กรองหยาบ Sediment (PP)	18
2.27 แสดงไส้กรองน้ำคาร์บอนบล็อก CTO	19
2.28 แสดงไส้กรองน้ำเรซิ่น (Resin)	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.29 แสดงไส้กรองน้ำเกร็ดคาร์บอน GAC 19
2.30 แสดงไส้กรองน้ำเซรามิค (Ceramic) 19
2.31 แสดงไส้กรองไมโคร 20
2.32 แสดงไส้กรองน้ำยูเอฟ 20
2.33 แสดงไส้กรองนาโน 20
2.34 แสดงไส้กรองน้ำอาร์โอ 21
2.35 กราฟแสดงการสูญเสียแรงดันในไส้กรองหยาบ Sediment (PP) 22
2.36 แผนภาพแสดงขนาดอนุภาคของวัสดุชนิดต่างๆ 22
2.37 แผนภาพแสดงการไหลแบบไม่มีความหนืดภายในท่อ 24
2.38 แผนภาพแสดงการไหลแบบราบเรียบภายในท่อ 25
2.39 แผนภาพแสดงการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ 25
2.40 แผนภาพแสดงการไหลในท่อเปลี่ยนขนาด 26
2.41 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในของไหล 27
2.42 แผนภาพแสดงการสูญเสียความดันในท่อตรง 28
2.43 Moody chart 29
2.44 ผลการทดลองแผ่นยาง 31
2.45 ผลการจำแนกสีของตัวอย่างหมึก (ก) ภาพสีของหมึก 31
2.46 ภาพถ่ายดิจิตอลของกุ้งผ่าหลังแบบผีเสื้อ 32
2.47 การวิเคราะห์ค่าความสว่างความมืดของผิวไข่ 32
2.48 (ก) ภาพข้าวก่อนผ่านการประมวลผล (ข) ภาพข้าวหลังผ่านการประมวลผล 33
2.49 ภาพขาว-ดำ จากการประมวลผลภาพ 33
2.50 แสดงผลการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ 34
3.1 โครงสร้างเครื่อง 35
3.2 ระบบตกตะกอนน้ำ 36
3.3 เครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด 36
3.4 กลไกขับเคลื่อนหัวฉีด 37
3.5 หัวฉีดสเปรย์ 37
3.6 อนุภาคของดิน 38
3.7 การล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว 38
3.8 ผลการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB 41
3.9 ชุดทดลองเพื่อหาอายุไส้กรองน้ำ 42
3.10 ภาพถ่ายน้ำตัวอย่าง 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 น้ำที่มีความเข้มข้นของดินโคลนที่แตกต่างกัน 46
3.12 ผลการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB 46
4.1 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 1-4 50
4.2 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 5-8 51
4.3 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 9-12 52
4.4 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 13-16 53
4.5 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 17-20 54
4.6 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 21-24 55
4.7 แสดงค่าความสะอาดที่ดีที่สุด ในแต่ละกลุ่มการทดลอง 56
4.8 ความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง การทดลองที่ 1-4 58
4.9 ความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง การทดลองที่ 5-8 59
4.10 การทำงานของเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด 60
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกรอง กับอายุไส้กรองขนาด 1 ไมครอน 60
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกรอง กับผลตอบแทน ของไส้กรองขนาด 1 ไมครอน 61
4.13 ความยาวของท่อน้ำ และการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ 61
ข.1 แบบโครงสร้างเครื่อง 110
ข.2 ระบบตกตะกอนน้ำ 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

		หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหลภายในท่อ	m^2
D	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ	m
f	ตัวประกอบความเสียดทานของท่อ	
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
h	ความสูงระหว่างหัวฉีดกับปั๊ม	m
h_f	การสูญเสียหลัก	m
h_L	ความดันสูญเสีย	m
h_m	การสูญเสียรอง	m
L	ความยาวของท่อ	m
n	เลขกำลังการไหล	
P	ความดันของเหลว	bar
Q	อัตราการไหล	m^3/s
V	ความเร็วเฉลี่ยของของไหลในท่อ	m/s
v	ความเร็วในการไหล	m/s
ν	ความหนืดคิเนเมติค	m^2/s
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	kg/m^3
μ	ความหนืดสมบูรณ์	$N.s/m^2$

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของงานวิจัย

ในอดีตจักรยานมีความสำคัญในการเดินทางเป็นอย่างมาก แต่ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้มียานพาหนะเกิดขึ้นหลายประเภท เช่น รถยนต์ รถจักรยานยนต์ จึงทำให้จักรยานมีบทบาทในการเดินทางน้อยลง แต่เมื่อ 2-3 ปีที่ผ่านมาจักรยานเริ่มกลับมามีบทบาทเกี่ยวกับการเดินทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นกิจกรรมการออกกำลังกาย งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด เพื่อส่งเสริมเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การล้างยานพาหนะด้วยระบบอัตโนมัติ ใช้เวลาล้างต่อคันน้อยกว่า ไม่มีค่าแรงงาน มีปริมาณการใช้น้ำที่น้อยกว่า งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม การใช้น้ำระบบปิดในเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติ จะเป็นต้นแบบให้กับระบบล้างอัตโนมัติอื่นๆ ในเรื่องการประหยัดน้ำ

ภาวการณ์ขาดแคลนน้ำในขณะนี้กำลังเป็นเรื่องที่หลายประเทศ ให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการใช้น้ำในภาคการเกษตร ภาคอุตสาหกรรม และใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น บนพื้นโลกมีน้ำครอบคลุมพื้นที่ 2 ใน 3 ของพื้นที่รวม เป็นน้ำเค็มถึง 97.5% ส่วนพื้นที่น้ำที่เป็นน้ำจืดมีเพียงประมาณ 2.5% เท่านั้น และน้ำจืด 2.5% นี้ แบ่งเป็นน้ำแข็งขั้วโลกเหนือ ขั้วโลกใต้ และบนเทือกเขาสูง 68.9% น้ำที่อยู่ใต้ดิน 30.8% และน้ำในแม่น้ำและทะเลสาบ หรือที่เรียกว่า น้ำบนผิวดิน มีเพียง 0.3% ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา การขยายตัวทางเศรษฐกิจ และการเติบโตของจำนวนประชากรในประเทศต่างๆ ทำให้ความต้องการใช้น้ำทวีสูงขึ้น [1]

ปัญหาขาดแคลนน้ำ ถือว่าเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงถึงขั้นวิกฤติของมนุษยชาติ ในการประชุมสุดยอดระดับโลก ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืนที่เมืองโยฮันเนสเบิกร์กได้มีการหยิบยกเรื่องน้ำมาเป็นประเด็นหนึ่งของปัญหาการจัดการทรัพยากรเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน เพราะนับตั้งแต่การประชุมสุดยอดเมื่อ 10 กว่าปีที่แล้ว ณ เมืองริโอเดจาเนโร แม้จะมีข้อสรุปเกี่ยวกับการจัดการ และการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ แต่ปัญหาน้ำกลับทวีความรุนแรงมากขึ้น ซึ่งแสดงว่าประเทศต่างๆ ที่ยังไม่เดือดร้อนเรื่องน้ำ ต่างก็มองข้ามปัญหานี้ไป [2]

ธนาคารโลกยังประมาณการว่าในราวปี พ.ศ. 2568 หรืออีก 7 ปีข้างหน้า ประชากรใน 48 ประเทศทั่วโลก จำนวนราว 1,400 ล้านคน จะประสบปัญหาขาดแคลนน้ำ และผู้เชี่ยวชาญของธนาคารโลกยังได้ประมาณการอีกว่าในอีก 18 ปีข้างหน้า ครึ่งหนึ่งของประชากรโลกจะประสบภาวะขาดแคลนน้ำได้ หากยังมีการใช้น้ำที่ฟุ่มเฟือยในปัจจุบัน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าประเทศไทยไม่ได้อยู่ในกลุ่มที่จะประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงก็ตาม แต่หากยังมีการใช้น้ำที่ฟุ่มเฟือย ขาดการจัดการน้ำที่ดี ในไม่ช้าประเทศไทยก็จะประสบกับภาวะขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงได้ การแก้ปัญหาภาวการณ์ขาดแคลนน้ำเป็นสิ่งที่ทุกส่วนของสังคมจะต้องร่วมมือกันทั้งจากรัฐบาล ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรม เกษตรกร และประชาชนทั่วไป [1]

งานวิจัยนี้จึงอยากเป็นส่วนหนึ่ง ในการลดปริมาณการใช้น้ำด้วยการใช้น้ำระบบปิดในเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด

1.2.2 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด และการใช้น้ำของการล้างรถจักรยานด้วยเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติที่มีอยู่

1.2.3 ทดลองหาปริมาณน้ำที่เพียงพอสำหรับการล้างรถจักรยานด้วยเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติตามเงื่อนไขที่ได้ศึกษาเบื้องต้น ด้วยวิธีการกรองผ่านไส้กรอง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1.3.1 ทดลองหาตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด และการใช้น้ำที่น้อยที่สุด ในการล้างรถจักรยานโดยอ้างอิงจากการล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว ตรวจวัดความสะอาดด้วยวิธีประมวลผลภาพ มีตัวแปรคือ (1) หัวฉีดแบบ FLAT SPRAY มุมสเปรย์ 40 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 และ 2.4 มิลลิเมตร (2) แรงดันน้ำ 1.2 , 1.5 และ 1.8 บาร์ (3) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด 15 และ 30 วินาทีต่อรอบ (4) ระยะห่างของหัวฉีดจากพื้นผิว 300 และ 350 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็น 24 การทดลอง

1.3.2 ทดลองหาอายุไส้กรองหยาบ Sediment (PP) ที่ทำมาจากเส้นใย Polypropylene โดยใช้ไส้กรอง 2 ขนาด คือ 1 ไมครอน และ 5 ไมครอน

1.3.3 ศึกษาระบบน้ำที่เพียงพอในเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด ด้วยวิธีการกรองผ่านไส้กรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 ได้ตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด และการใช้น้ำของเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติ ที่ใช้น้ำในปริมาณที่น้อยที่สุด

1.4.2 ได้ระบบรีไซเคิลน้ำที่ใช้แล้วจากการล้างรถจักรยาน ด้วยเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติกลับมาใช้ใหม่ที่เหมาะสม

1.4.3 เป็นต้นแบบให้กับระบบล้างอัตโนมัติอื่นๆ ในเรื่องการการประหยัดน้ำ ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำ และตระหนักถึงการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบหัวฉีดน้ำ

การทดลองหาตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด และการใช้น้ำของการล้างรถจักรยานด้วยเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติ จะต้องมีอุปกรณ์คือ หัวฉีด (Nozzle) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ของเหลวกระจายเป็นฝอยละอองที่ละเอียด เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกับอนุภาคของฝุ่น หรือควัน ทำให้ฝุ่นมีน้ำหนักมากขึ้นแล้วตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ในการออกแบบหัวฉีดน้ำหลายๆหัว เราจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆดังนี้

2.1.1 ประเภทหัวฉีด

หัวฉีดแต่ละประเภทถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานในลักษณะที่แตกต่างกัน [4] การเลือกหัวฉีดที่ถูกต้องสำหรับการทำงานจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะเข้าใจความแตกต่างระหว่างประเภทต่างๆ

2.1.1.1 FULL CONE NOZZLES

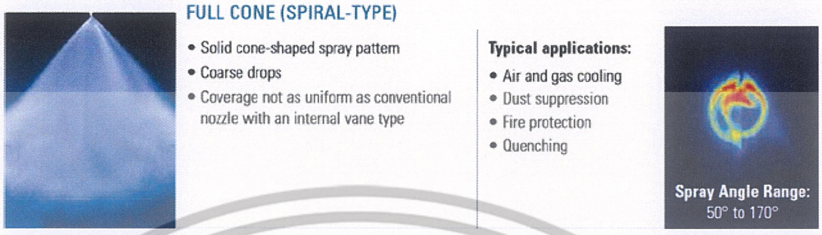
รูปแบบสเปรย์ทรงกรวย ขนาดหยดสเปรย์ปานกลางถึงใหญ่ เหมาะสำหรับการฉีกพ่นสารเคมี ระบบหล่อเย็น ระบบดักฝุ่น ระบบป้องกันอัคคีภัย การชำระล้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FULL CONE NOZZLES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 FULL CONE (SPIRAL-TYPE)

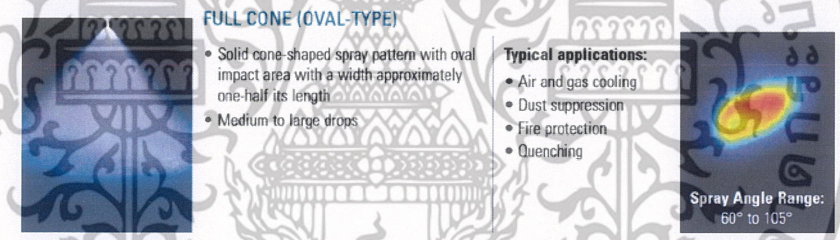
รูปแบบสเปรย์ทรงกรวย ขนาดหยดสเปรย์หยาบ ขอบเขตสเปรย์ครอบคลุมไม่เท่ากันเช่นเดียวกับหัวฉีดที่มีชนิดกลวงภายใน เหมาะสำหรับการระบายความร้อนด้วยอากาศ และแก๊ส ระบบดักฝุ่น ระบบป้องกันอัคคีภัย และการดับเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FULL CONE (SPIRAL-TYPE)

2.1.1.3 FULL CONE (OVAL-TYPE)

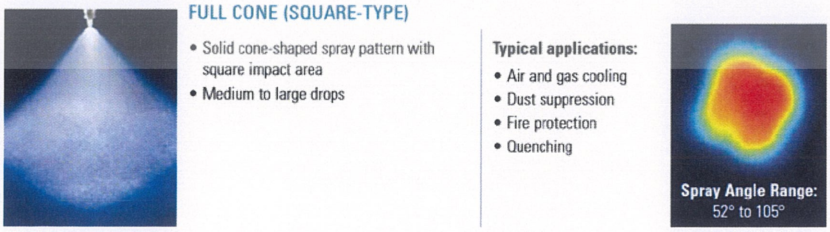
รูปแบบสเปรย์ทรงกรวยรูปไข่ พื้นที่กระทบมีความกว้างประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวขนาดหยดสเปรย์ปานกลางถึงใหญ่ เหมาะสำหรับการระบายความร้อนด้วยอากาศ และแก๊ส ระบบดักฝุ่น ระบบป้องกันอัคคีภัย และการดับเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FULL CONE (OVAL-TYPE)

2.1.1.4 FULL CONE (SQUARE-TYPE)

รูปแบบสเปรย์ทรงกรวย พื้นที่กระทบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดหยดสเปรย์ปานกลางถึงใหญ่ เหมาะสำหรับการระบายความร้อนด้วยอากาศ และแก๊ส ระบบดักฝุ่น ระบบป้องกันอัคคีภัย และการดับเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 2.4

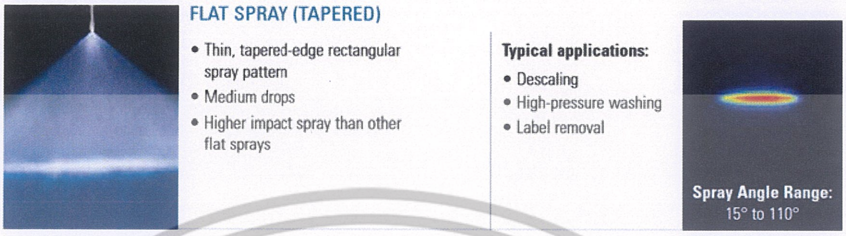


รูปที่ 2.4 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FULL CONE (SQUARE-TYPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.5 FLAT SPRAY (TAPERED)

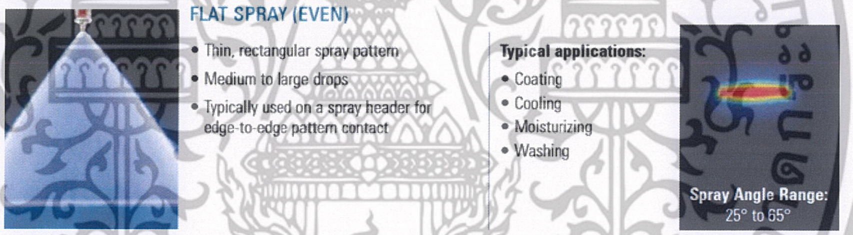
รูปแบบสเปรย์บาง เรียวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดหยดสเปรย์ปานกลาง การฉีดพ่นแรงกระแทกสูงกว่าสเปรย์แบบระนาบชนิดอื่น เหมาะสำหรับการขจัดคราบตะกรัน การล้างด้วยแรงดันสูง และการลบฉลาก ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FLAT SPRAY (TAPERED)

2.1.1.6 FLAT SPRAY (EVEN)

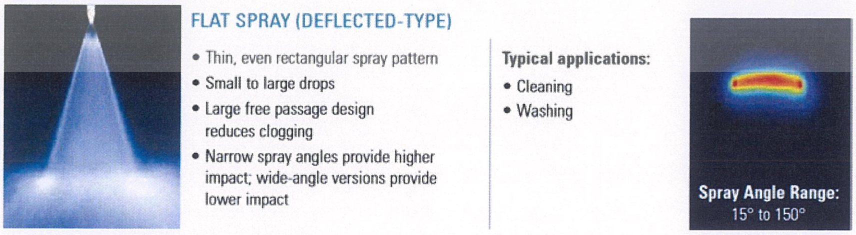
รูปแบบสเปรย์บาง รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดหยดสเปรย์ปานกลางถึงใหญ่ โดยปรกติใช้สำหรับรูปแบบการสัมผัสขอบต่อขอบ เหมาะสำหรับการเคลือบผิว การระบายความร้อน การให้ความชุ่มชื้น และการล้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FLAT SPRAY (EVEN)

2.1.1.7 FLAT SPRAY (DEFLECTED-TYPE)

รูปแบบสเปรย์บาง รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดหยดสเปรย์เล็กถึงใหญ่ การออกแบบทางผ่าน้ำขนาดใหญ่ช่วยลดการอุดตัน สเปรย์มุมแคบให้แรงกระทบ สูงกว่ามุมกว้าง เหมาะสำหรับการล้างทำความสะอาด ดังแสดงในรูปที่ 2.7

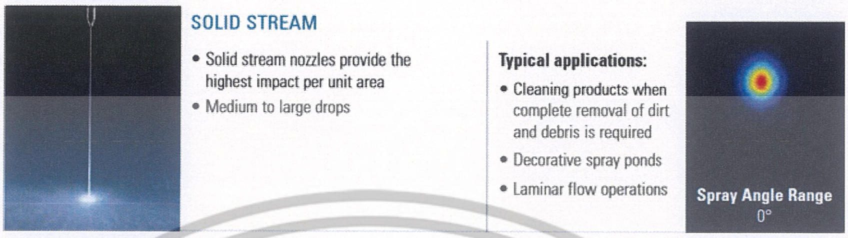


รูปที่ 2.7 แสดงภาพหัวฉีดแบบ FLAT SPRAY (DEFLECTED-TYPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.8 SOLID STREAM

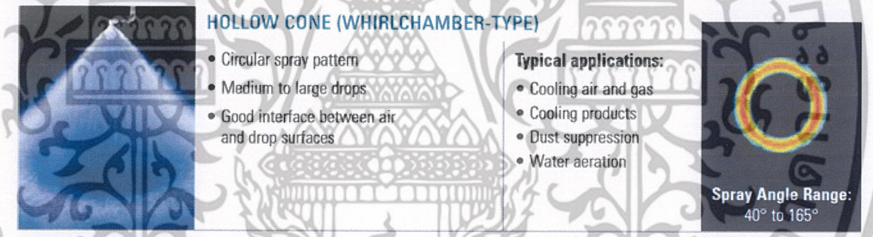
รูปแบบสเปรย์พุ่ง ให้แรงกระทบสูงสุดต่อพื้นที่ ขนาดหยดสเปรย์ปานกลาง เหมาะสำหรับการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์เมื่อต้องกำจัดสิ่งสกปรก และเศษชิ้นส่วนให้สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงภาพหัวฉีดแบบ SOLID STREAM

2.1.1.9 HOLLOW CONE (WHIRLCHAMBER-TYPE)

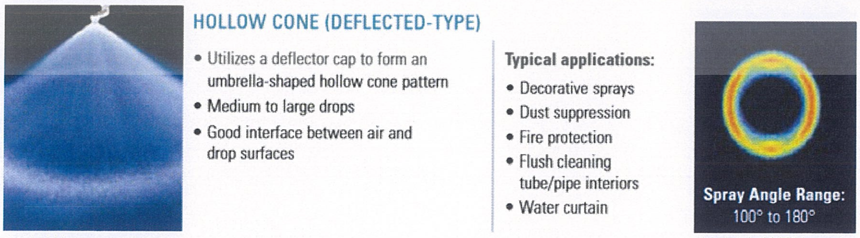
รูปแบบสเปรย์แบบวงกลม ขนาดหยดสเปรย์ปานกลางถึงใหญ่ พื้นที่ร่วมของสองสิ่งดีระหว่างอากาศ และพื้นผิวที่หยดลง เหมาะสำหรับการระบายความร้อนด้วยอากาศ และแก๊ส ผลิตภัณฑ์ทำความเย็น ระบบดักฝุ่น การเติมอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงภาพหัวฉีดแบบ HOLLOW CONE (WHIRLCHAMBER-TYPE)

2.1.1.10 HOLLOW CONE (DEFLECTED-TYPE)

ใช้ฝาเบนทางน้ำ เพื่อสร้างรูปแบบกรวยกลวงรูปร่ม ขนาดหยดสเปรย์ปานกลางถึงใหญ่ พื้นที่ร่วมของสองสิ่งดี ระหว่างอากาศ และพื้นผิวที่หยดลง เหมาะสำหรับระบบดักฝุ่น ระบบป้องกันอัคคีภัย ล้างทำความสะอาดภายในท่อ และทำม่านน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.10

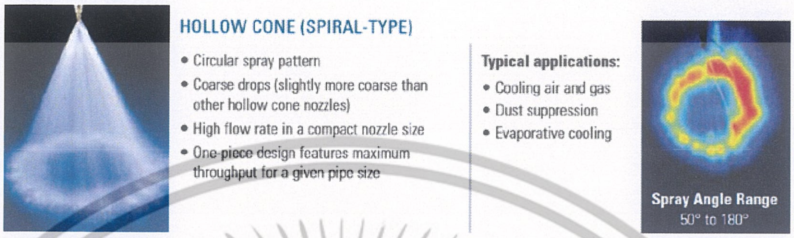


รูปที่ 2.10 แสดงภาพหัวฉีดแบบ HOLLOW CONE (DEFLECTED-TYPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.11 HOLLOW CONE (SPIRAL-TYPE)

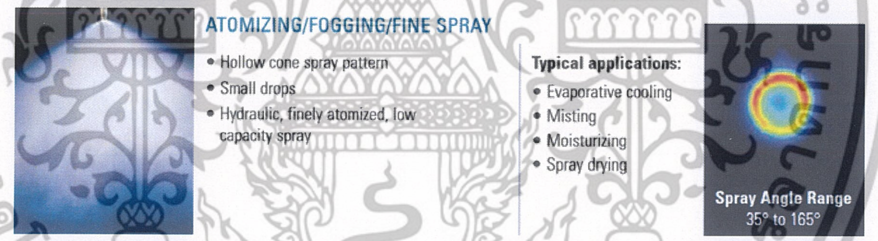
รูปแบบสเปรย์แบบวงกลม ขนาดหยดสเปรย์หยาบ อัตราการไหลสูงในขนาดหัวฉีดที่กะทัดรัด การออกแบบชิ้นเดียวมีคุณสมบัติส่งผ่านสูงสุดสำหรับขนาดท่อที่กำหนด เหมาะสำหรับการระบายความร้อนด้วยอากาศ และแก๊ส ระบบดักฝุ่น และการระบายความร้อนด้วยการระเหย ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงภาพหัวฉีดแบบ HOLLOW CONE (SPIRAL-TYPE)

2.1.1.12 ATOMIZING/FOGGING/FINE SPRAY

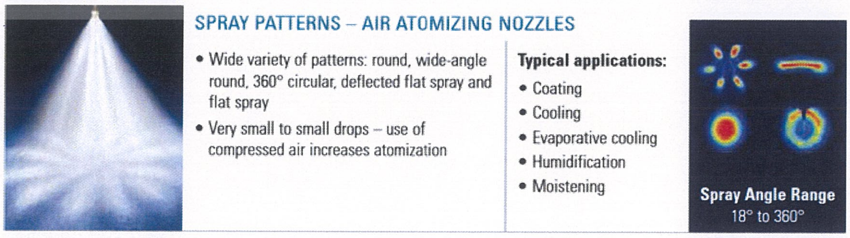
รูปแบบสเปรย์รูปกรวยกลวง ขนาดหยดสเปรย์เล็ก เป็นละออง ความจุสเปรย์ต่ำ เหมาะสำหรับการระบายความร้อนด้วยการระเหย การทำหมอก การให้ความชุ่มชื้น และการอบแห้งแบบพ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงภาพหัวฉีดแบบ ATOMIZING/FOGGING/FINE SPRAY

2.1.1.13 SPRAY PATTERNS – AIR ATOMIZING NOZZLES

รูปแบบสเปรย์หลากหลาย ขนาดหยดเล็กมาก ใช้อากาศเพิ่มการทำให้เป็นละออง เหมาะสำหรับการเคลือบผิว การระบายความร้อน การระบายความร้อนแบบระเหย และการให้ความชุ่มชื้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงภาพหัวฉีดแบบ SPRAY PATTERNS – AIR ATOMIZING NOZZLES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 อัตราการไหล และความถ่วงจำเพาะ

ปริมาณของเหลวจะแตกต่างกันที่ความดันในการฉีดพ่น นอกจากนี้ความถ่วงจำเพาะของของเหลวมีผลกระทบต่ออัตราการไหลดังสมการ 2.1

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{(P_1)^n}{(P_2)^n} \tag{2.1}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (Flow Rate)

P = ความดันของเหลว (Liquid pressure)

n = เลขกำลังการไหล (Flow exponent)

ประมาณการไหลที่ไม่ทราบค่า หรือความดัน ซึ่งใช้สูตรนี้เมื่อทราบตัวแปรอื่น "n" คือเลขกำลังที่ใช้ในการประมาณอัตราส่วนของความดันที่ไหล ขึ้นอยู่กับชนิด และรูปแบบการสเปรย์ดังแสดงในตารางที่ 2.1

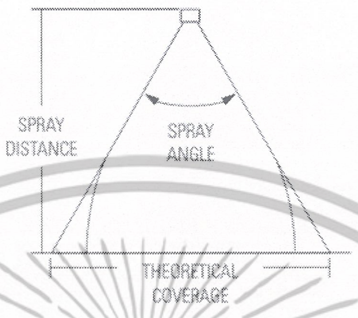
ตารางที่ 2.1 เลขกำลังการไหลสำหรับชนิดหัวฉีด

ชนิดหัวฉีด	เลขกำลังการไหล "n"
Hollow Cone Nozzles – All Full Cone Nozzles – Vaneless, 15° and 30° Series Flat Spray Nozzles – All Solid Stream Nozzles – All Spiral Nozzles – All	0.5
Full Cone Nozzles – Standard, Square, Oval and Large Capacity	0.46
Full Cone Nozzles – Wide Spray and Wide Square Spray	0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ขอบเขตสเปรย์ครอบคลุม

ประสิทธิภาพมุมสเปรย์ของหัวฉีด มีความแตกต่างกันไปตามระยะทางสเปรย์ ความหนืดของเหลว ความสามารถของหัวฉีด และความดัน อย่างไรก็ตามความครอบคลุมมักจะมีการคำนวณทางทฤษฎี และควรถูกนำมาใช้เป็นแนวทาง นอกจากนี้ยังมีมุมสเปรย์ที่ระบุไว้ในตารางขึ้นอยู่กับการฉีดพ่นน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างขอบเขตการสเปรย์

2.1.4 ความดันลดลง

ความดันลดลง คือการสูญเสียความดันเนื่องจากองค์ประกอบของท่อ แม้จะเป็นระบบที่ง่ายประกอบด้วยสายยาง และท่อ ก็ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบเพื่อให้มั่นใจว่าหัวฉีดทั้งหมดและส่วนประกอบอื่น ๆ จะได้รับของเหลวอย่างเพียงพอ หรือการไหลของอากาศ และความดัน

2.1.5 ความหนืด

ความหนืดเป็นคุณสมบัติของ ของเหลวที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือการจัดองค์ประกอบในช่วงการไหล ความหนืดของ ของเหลวเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อรูปแบบสเปรย์ การก่อตัว และองศาน้อยลง ของเหลวที่มีความหนืดสูงจำเป็นต้องมีความดันสูงกว่าขั้นต่ำที่จะเริ่มต้นการก่อตัวของรูปแบบสเปรย์ และให้สเปรย์มุมที่แคบกว่าเมื่อเทียบกับน้ำ

2.1.6 แรงตึงผิว

ผลกระทบหลักของแรงตึงผิว อยู่ในขั้นต่ำของความดันใช้งาน มุมสเปรย์ และขนาดหยดคุณสมบัติของแรงตึงผิวมีความชัดเจนมากขึ้นความดันใช้งานที่ต่ำ แรงตึงผิวสูงขึ้นช่วยลดมุมสเปรย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับหัวฉีดแบบกรวยกลวง และแนวราบ แรงตึงผิวต่ำสามารถช่วยให้หัวฉีดใช้งานที่ความดันต่ำ

2.1.7 ขนาดหยด

ขนาดหยด และการกระจายตัวของสเปรย์จะขึ้นอยู่กับรูปแบบหัวฉีดสเปรย์แต่ละแบบ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คุณสมบัติของ ของเหลว ปริมาตรหัวฉีด ความดัน และมุมสเปรย์ มีผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อขนาดหยด ความดันสเปรย์ที่ต่ำกว่าจะได้ขนาดหยดที่ใหญ่ และความดันสูงจะได้ขนาดหยดที่เล็ก ปริมาตรหัวฉีด จะได้ขนาดหยดที่เล็ก และหัวฉีดปริมาตรขนาดใหญ่จะได้ขนาดหยดที่ใหญ่ ขนาดหยดเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิผลของการใช้งานแต่ละแบบ

2.1.8 การออกแบบระบบ

ระบบท่อเพื่อส่งน้ำไปยังหัวฉีด ต้องได้รับการออกแบบให้ส่งแรงดันที่ถูกต้องให้หัวฉีดดังสมการ 2.2

$$P_{Pump} = P_{Nozzle} + P_{Pipe\ Losses} + \frac{\rho g h}{100000} \tag{2.2}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)

h = ความสูงระหว่างหัวฉีดกับปั๊ม (m)

P = ความดัน (bar)

2.2 การประมวลผลภาพ

ขั้นตอนการศึกษาตัวแปรในการล้างรถจักรยาน ได้ใช้การประมวลผลภาพ ในการวิเคราะห์ความสะอาดของแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว และขั้นตอนการศึกษาการรีไซเคิลน้ำระบบปิด ได้ใช้การประมวลผลภาพ ในการตรวจวัดความสะอาดของน้ำที่ผ่านการกรอง ซึ่งการประมวลผลภาพ (Image Processing) คือ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพเพื่อให้ทราบสิ่งที่เราสนใจในภาพนั้นโดยไม่ต้องใช้สายตาคนมาช่วยตัดสิน การคิดคำนวณนั้นมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับสิ่งที่เราสนใจ ไม่ว่าจะเป็นการนำเอาสีแต่ละจุด (Pixel) มาคิด การคิดคำนวณเป็นบริเวณหลายๆ จุดรวมกัน (Area) เช่น การดูผิว (Texture) การดูรูปแบบ (Pattern) การวิเคราะห์หารูปร่าง (Shape) หรือการวิเคราะห์แบบอื่นๆ เพื่อหาค่าต่างๆ [3]

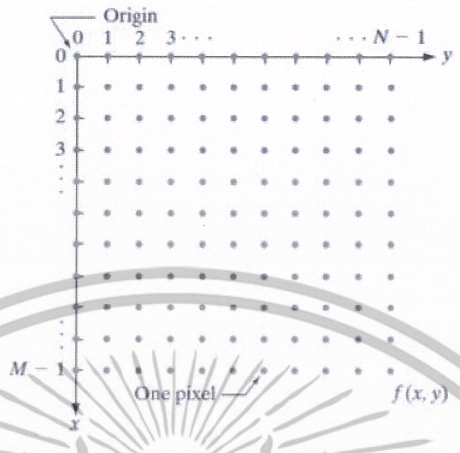
2.2.1 ความรู้เกี่ยวกับภาพดิจิตอล

การประมวลผลภาพดิจิตอล เมื่อระบบได้รับข้อมูลภาพดิจิตอลก็จะทำการคำนวณ แล้วส่งข้อมูลออกมาเก็บลงหน่วยความทรงจำของคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปของตัวแปรอาร์เรย์ที่เป็นโครงสร้างของข้อมูลที่จัดเรียงได้หลายมิติ โดยค่าในแต่ละช่องจะแสดงถึงคุณสมบัติของ จุดภาพ (Pixel) หรือค่าความเข้มของสี (Intensity) และตำแหน่งของช่องอาร์เรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุด

การจัดเก็บรูปภาพจะจัดเก็บข้อมูลของภาพไว้ในรูปของเมตริกซ์ สมมติว่าภาพมีขนาด M x N (แถว x คอลัมน์) ค่าของจุดภาพจะแทนด้วยเลขจำนวนเต็มสามารถอ้างอิงกับเมตริกซ์ได้ ดังเช่นจุดภาพที่อยู่ ณ ตำแหน่งจุดกำเนิดมีค่า (x,y) = (0,0) จะเท่ากับเมตริกซ์แถวที่ 0 คอลัมน์ที่ 0 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดที่อยู่แถวแรกมีค่า (x,y) = (0,1) จะเท่ากับเมตริกซ์แถวที่ 0 คอลัมน์ที่ 1 จะแสดงให้เห็นการอ้างอิงจุดภาพของภาพดังแสดงในรูปที่ 2.15



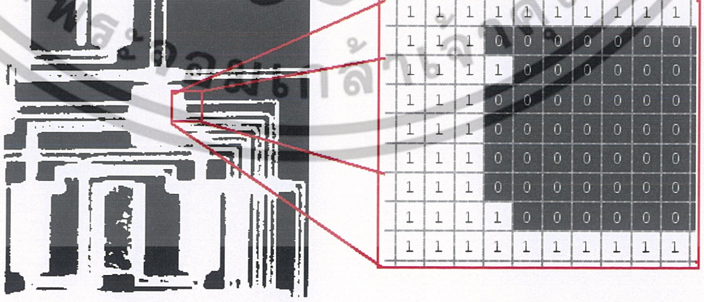
รูปที่ 2.15 แสดงพิกัดที่ใช้อ้างอิงภาพดิจิตอล

2.2.2 ประเภทของภาพ

ภาพจะประกอบด้วยข้อมูลแบบเมตริกซ์ และอาจจะเป็นแผนที่สีแบบเมตริกซ์ ประเภทของภาพพื้นฐานจะมีอยู่ 4 ประเภท และข้อมูลในแต่ละองค์ประกอบของเมตริกซ์ที่แตกต่างกันจะบ่งบอกว่าเป็นภาพประเภทใด ได้แก่

2.2.2.1 ภาพขาว-ดำ (Binary Image)

ลักษณะของภาพขาวดำ คือในแต่ละพิกเซลจะแสดงด้วยค่าแบบไบนารี่ (Binary) คือ มี 1 บิต ประกอบไปด้วยค่า 1 และ 0 โดยที่ 1 คือจุดภาพสีขาว และ 0 คือจุดภาพสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 2.16

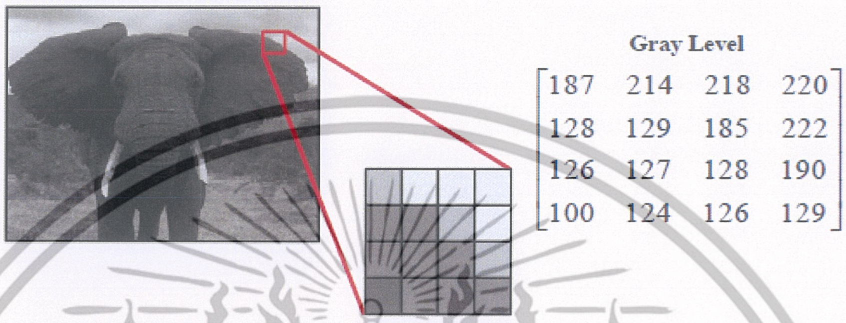


รูปที่ 2.16 แสดงขาว-ดำ (Binary Image)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 ภาพสีเทา (Grayscale or Intensity Image)

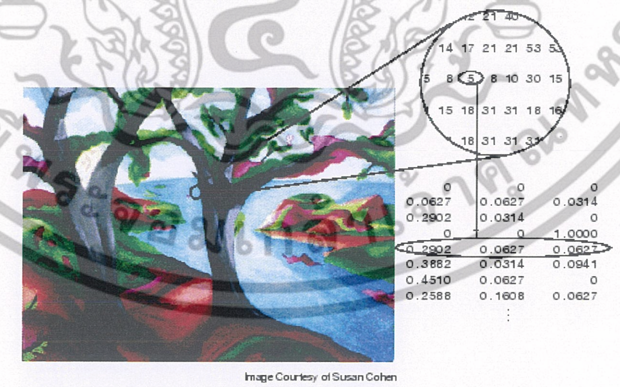
ลักษณะของภาพสีเทา คือในแต่ละพิกเซลจะมีค่าความเข้มของแสงที่แตกต่างกันไป ตั้งแต่สีขาวไปยังสีดำ โดยปกติแล้วภาพแบบระดับสีเทาจะมีความละเอียด (Resolution) เท่ากับ 8 บิต ซึ่งภาพจะมีค่าระดับความเข้มแสงของสีดำเท่ากับ 0 ส่วนค่าระดับความเข้มของสีขาวจะมีค่าเท่ากับ 255 ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงภาพระดับสีเทา (Grayscale or Intensity Image)

2.2.2.3 ภาพดัชนี (Index Image)

ลักษณะของภาพดัชนี คือในแต่ละพิกเซลของภาพจะเก็บค่าดัชนี (Index Number) ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม ซึ่งจะถูกนำค่าดัชนีดังกล่าวไปเทียบกับตารางสี (Color Table) ซึ่งเป็นตารางแสดงค่าแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งค่าดัชนีจะทำให้เห็นว่าในตำแหน่งพิกเซลนั้นๆ มีค่าอัตราส่วนของทั้ง 3 สีเท่าไร ดังแสดงในรูปที่ 2.18

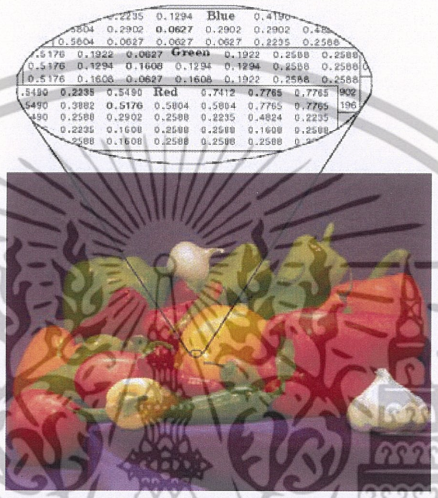


รูปที่ 2.18 แสดงภาพดัชนี (Index Image)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.4 ภาพสีจริง (Truecolor Image)

ลักษณะของภาพสีจริง หรือเรียกว่า ภาพ RGB คือแบบจำลองสีที่ประกอบด้วยสี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยแต่ละสีมีจำนวนบิตอย่างละ 8 บิต หรือมีค่าความเข้มตั้งแต่ 0-255 กล่าวคือภาพสี 1 จุดภาพจะประกอบด้วยจำนวนบิตทั้งหมด 24 บิต ทำให้ภาพสีมีจำนวนสีที่เป็นไปได้ทั้งหมด $(2^8)^3$ = 16,777,216 สี ภาพ RGB จะเป็นภาพที่เกิดจากการประกอบกันของภาพ 3 ภาพด้วยกัน แต่ละภาพที่มาประกอบจะแทนแม่สีแต่ละสี ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงภาพสีจริง

2.2.3 การแปลงภาพให้เป็นภาพขาว-ดำ

กระบวนการการทำขีดแบ่ง หรือเธรดโชลด์ (Threshold) ทำเพื่อที่จะช่วยแยกบริเวณที่สนใจออกจากบริเวณที่เป็นพื้นหลังเพื่อให้สามารถวิเคราะห์บริเวณที่สนใจได้ง่ายขึ้น การทำเธรดโชลด์ทำได้โดยการนำค่าแต่ละจุดภาพไปเปรียบเทียบกับค่าคงที่ค่าหนึ่งที่เรียกว่าค่าขีดแบ่ง (Threshold value) ซึ่งหากค่าของจุดภาพนี้มีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง จุดภาพนั้นจะเป็น 0 ซึ่งก็คือสีดำ และถ้าหากค่าของจุดภาพนั้นมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง จุดภาพนั้นจะเป็น 1 ซึ่งก็คือสีขาว

2.3 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

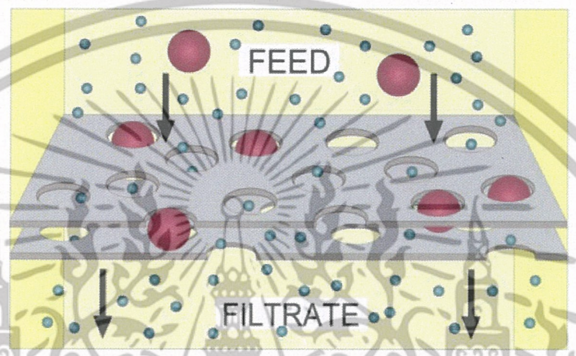
การศึกษาเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด จำเป็นต้องศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งมีหลายกระบวนการ อาทิ กระบวนการทางกายภาพ (Physical treatment processes) ทางชีวภาพ (Biological treatment processes) และ ทางเคมี (Chemical treatment processes) ซึ่งขึ้นอยู่กับสมบัติของเฟสน้ำที่เกี่ยวข้องเป็นสำคัญ สำหรับกระบวนการบำบัดทางกายภาพจัดเป็นขั้นตอนในการดักสิ่งเจือปนในเฟสน้ำ เช่น ตะกอน ของแข็งแขวนลอย คราบไขมันและน้ำมันต่างๆ ออกจากน้ำเสียในขั้นเริ่มต้นของกระบวนการ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น การตกตะกอน (sedimentation) การลอยตัวด้วยอากาศ (dissolved air floatation; DAF) และการกรอง (filtration)

2.3.1 การกรอง (Filtration)

การกรอง (filtration) เป็นการแยกทางกายภาพ เพื่อแยกอนุภาคของแข็งที่ไม่ละลาย ออกจากของเหลว โดยให้ของเหลวที่มีส่วนผสมของของแข็ง ไหลผ่านตัวกลางกรอง ซึ่งมีหน้าที่กักของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าช่องเปิดของตัวกรองไว้ และปล่อยให้ของเหลวไหลผ่าน ของเหลวที่กรองได้ เรียกว่า ฟิลเตรท [6] ดังแสดงในรูปที่ 2.20

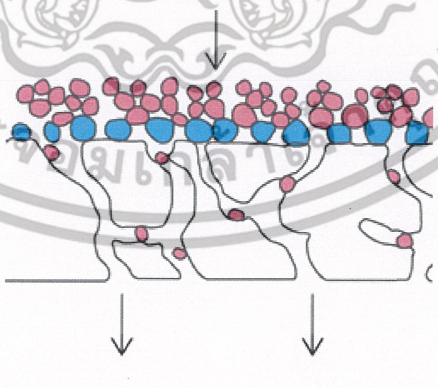


รูปที่ 2.20 แสดงภาพการกรอง

2.3.1.1 กลไกของการกรอง

กลไกของการกรอง มี 3 ลักษณะ คือ

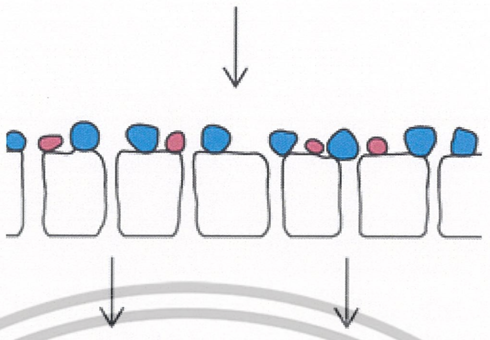
1. การกรองชนิดชั้นเค้ก (Cake Filtration) คือ การกรองที่เมื่อจับอนุภาคต่างๆจนเต็มช่องว่างแล้วจะเกิดเป็น ชั้นตะกอนอยู่บนผิวของตัวกรองซึ่งจะทำหน้าที่เป็นชั้นกรองไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงภาพการกรองชนิดชั้นเค้ก

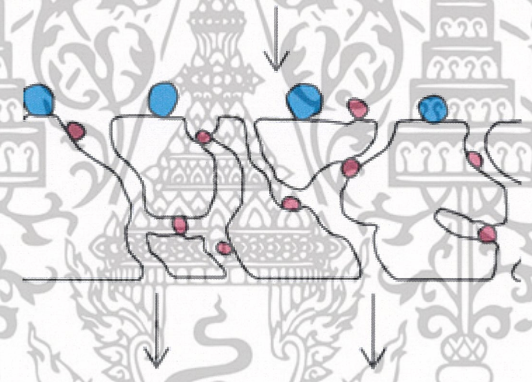
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกรองชนิดพื้นผิว (Surface Filtration) คือ การกรองที่ใช้ตัวกรองที่มีรูเล็กมาก จนสิ่งปนเปื้อนไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกรองได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงภาพการกรองชนิดพื้นผิว

3. การกรองชนิดความลึก (Depth Filtration) คือ การดักกรองภายในเนื้อตัวกรองเอง โดยสิ่งปนเปื้อนจะแทรกอยู่ภายในช่องว่างของตัวกรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.23



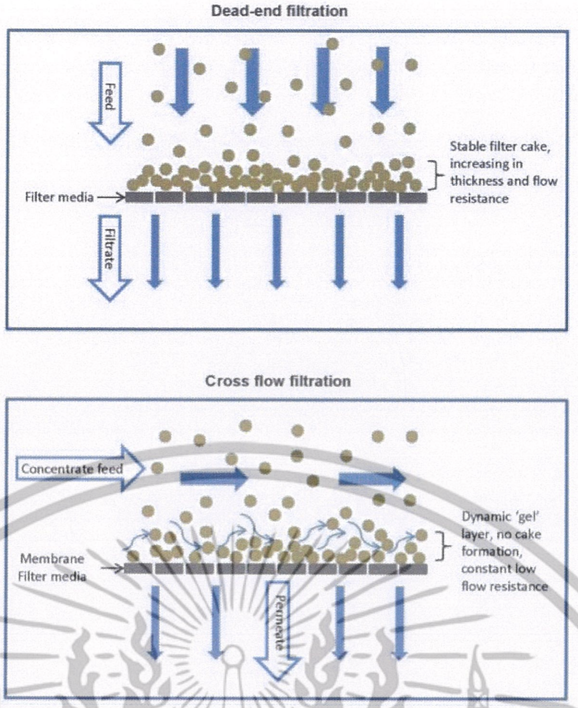
รูปที่ 2.23 แสดงภาพการกรองชนิดความลึก

2.3.1.2 ชนิดของกรอง

ชนิดของกรอง มี 3 แบบ คือ

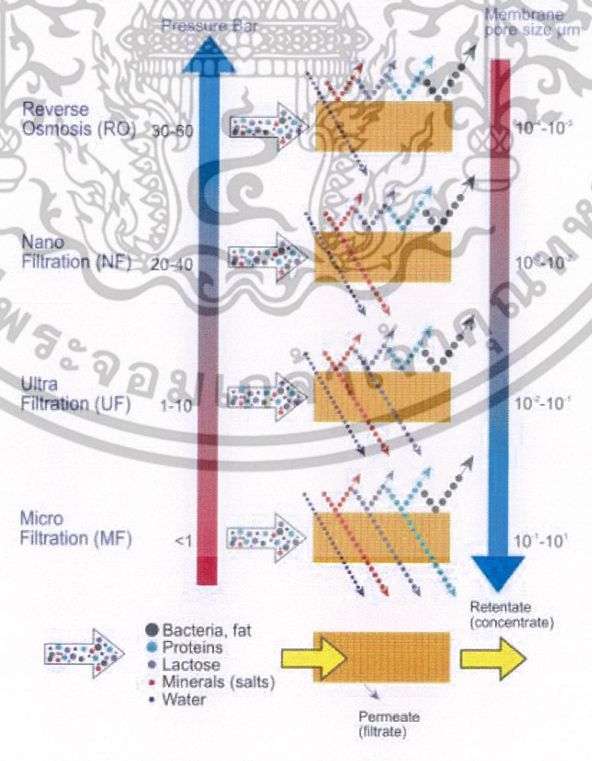
1. กรองแบบเยื่อ (Membrane Filter) เป็นการกรองชนิดพื้นผิว (Surface Filtration) มี 2 ลักษณะคือ ไหลแนวตั้งฉากบนเยื่อกรอง (Dead-End Filtration) ของเหลวจะไหลผ่านในลักษณะตั้งฉากกับตัวกรอง และไหลแนวขวางบนเยื่อกรอง (Cross flow Filtration) ของเหลวจะไหลผ่านในลักษณะขนานกับตัวกรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงภาพการไหลแนวตั้งฉาก และแนวขวางบนเยื่อกรอง

ชนิดของกรองด้วยเยื่อ (Membrane Filter) แบ่งตามขนาดของสิ่งปนเปื้อนที่กรองออกเป็น 4 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงภาพชนิดของกรองด้วยเยื่อ (Membrane Filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรองแบบชั้นกรอง (Bed Filter) เป็นการกรองชนิดความลึก (Depth Filtration) โดยใช้ตัวกรองที่มีหลายขนาดมาวางซ้อนกัน โดยชั้นนอกสุดมีความหนาแน่นน้อยไปสู่ชั้นในที่มีความหนาแน่นมาก

3. กรองแบบคาร์ทริจด์ (Cartridge Filter) เป็นการกรองชนิดความลึก (Depth Filtration) หรือการกรองชนิดพื้นผิว (Surface Filtration) หรือทั้ง 2 ลักษณะร่วมกัน โดยอยู่ภายในปลอกครอบทรงกระบอก และตรงกลางของปลอกครอบมีท่อให้ของเหลวไหล

2.3.1.3 ไส้กรองน้ำ

ไส้กรองสำหรับเครื่องกรองน้ำ [7] เป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับการกรอง มีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามรูปแบบของเครื่องกรองน้ำแต่ละประเภท แต่โดยปกติแล้วหลักการทำงานของไส้กรองจะมี 2 แบบด้วยกัน คือ ไส้กรองแบบปล่อยให้น้ำทะลุผ่าน และไส้กรองแบบที่น้ำผสมทำปฏิกิริยากับสารกรอง ซึ่งเราสามารถจำแนกไส้กรองประเภทต่าง ๆ และความสามารถในการใช้งานได้ดังนี้

1. ไส้กรองหยาบ Sediment (PP) ทำมาจากเส้นใย Polypropylene ที่มีขนาดเล็กพันจนมีความสามารถในการกรอง และขนาดที่ต้องการ มีความละเอียดของรูที่นิยมสำหรับน้ำดื่ม อยู่ที่ 1-10 ไมครอน ถูกนำมากรองที่ขั้นตอนแรก เพื่อทำการกรอง ผง ฝุ่น สารแขวงลอย สนิมเหล็ก โคลน และสิ่งสกปรกต่างๆที่มากับน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.26

รูปที่ 2.26 แสดงไส้กรองหยาบ Sediment (PP)

2. ไส้กรองน้ำคาร์บอนบล็อก CTO (Carbon Block : Reduce Chlorine Taste & Odor) เป็นการนำเอาคาร์บอนมาอัดแท่งแล้ว พันด้วยตาข่าย โดยคาร์บอนมีคุณสมบัติในการ ดูดซับกลิ่น สี สารเคมี คลอรีน และสิ่งสกปรกต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.27 แสดงไส้กรองน้ำคาร์บอนบล็อก CTO

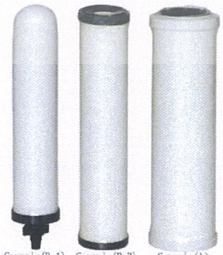
3. ไส้กรองน้ำเรซิ่น (Resin) จะช่วยเรื่องการลดปริมาณหินปูน ช่วยให้น้ำไม่กระด้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.28

รูปที่ 2.28 แสดงไส้กรองน้ำเรซิ่น (Resin)

4. ไส้กรองน้ำเกร็ดคาร์บอน GAC (Granular Activated Carbon) เป็นไส้กรองที่บรรจุคาร์บอนไว้ในกระบอกแต่ไม่ได้อัดแท่ง ทำหน้าที่ดูดซับคลอรีน สี สารเคมีต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.29

รูปที่ 2.29 แสดงไส้กรองน้ำเกร็ดคาร์บอน GAC

5. ไส้กรองน้ำเซรามิค (Ceramic) เป็นไส้กรองที่ทำจากเซรามิคนำมาอัดแท่ง ซึ่งคุณสมบัติของเซรามิคคือ มีช่องว่างระหว่างเนื้อเซรามิค ประมาณ 0.1-0.3 ไมครอน ซึ่งสามารถกรองเชื้อแบคทีเรียได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดงไส้กรองน้ำเซรามิค (Ceramic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ไส้กรองไมโคร (MF : Micro Filtration Membrane) เป็นไส้กรองที่มีความสามารถในการกรองอยู่ที่ 0.1-10 ไมครอน ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ (Synthetic Membrane) ชนิด Micro Filtration Membrane สามารถแยกสิ่งสกปรก และสารแขวงลอยต่างๆได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 2.31

รูปที่ 2.31 แสดงไส้กรองไมโคร

7. ไส้กรองน้ำยูเอฟ (UF : Ultra Filtration Membrane) เป็นไส้กรองที่มีความสามารถในการกรองอยู่ที่ 0.01-0.03 ไมครอน ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ (Synthetic Membrane) ชนิด Ultra Filtration Membrane สามารถกรองเชื้อแบคทีเรียได้ดี แต่ยังไม่ถึงขั้นกรองเชื้อไวรัส ดังแสดงในรูปที่ 2.32

รูปที่ 2.32 แสดงไส้กรองน้ำยูเอฟ

8. ไส้กรองนาโน (NF : Nano Filtration) มีความสามารถในการกรองประมาณ 0.001 ไมครอน ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ (Synthetic Membrane) ชนิด Nano Filtration Membrane ระบบ Nano ได้ถูกนำมาใช้ในหลายอุตสาหกรรม แต่ในระบบกรองน้ำยังมีไม่มากเพราะเนื่องด้วยมีความสามารถในการกรองที่สูงแต่ไม่มีระบบน้ำทิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.33

รูปที่ 2.33 แสดงไส้กรองนาโน

9. ไส้กรองน้ำอาร์โอ (RO : Reverse Osmosis) เป็นไส้กรองที่ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ (Synthetic Membrane) ชนิด RO Filtration Membrane เป็นระบบกรองน้ำที่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเอียด และสะอาดมากที่สุดในปัจจุบัน ด้วยความสามารถในการกรองถึง 0.0001 ไมครอน ซึ่งสามารถกรองได้ถึงระดับไวรัส ทำให้ได้น้ำที่สะอาดปราศจากเชื้อโรค ดังแสดงในรูปที่ 2.34

รูปที่ 2.34 แสดงไส้กรองน้ำอาร์โอ

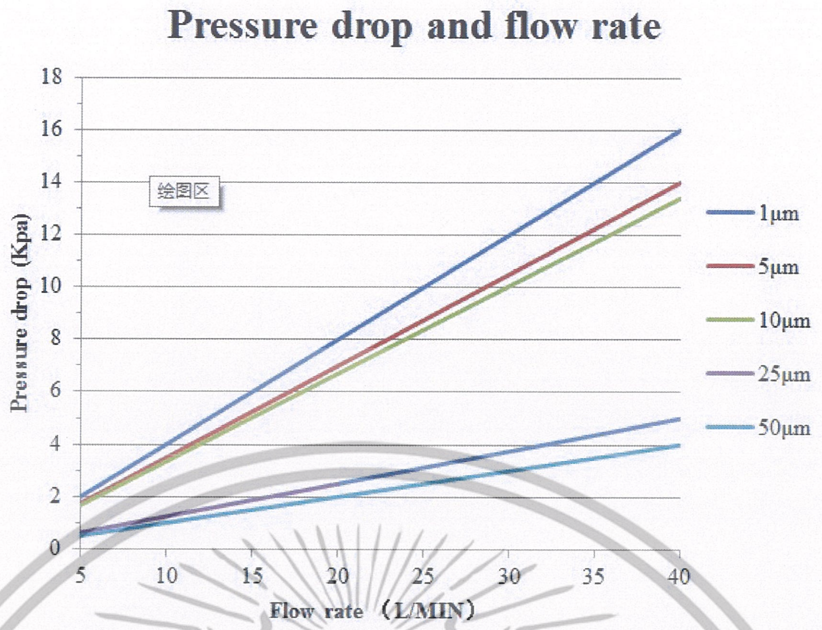
2.3.1.4 การเลือกไส้กรอง

การเลือกไส้กรองควรพิจารณาจากปริมาณการใช้น้ำ [8] โดยเลือกใช้ไส้กรองที่มีอัตราการกรองที่เหมาะสมกับปริมาณการใช้น้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ไส้กรองที่ความละเอียดแตกต่างกันจะสูญเสียแรงดันดังแสดงในรูปที่ 2.35 และเลือกใช้ไส้กรองตามคุณสมบัติของไส้กรองในการกำจัดอนุภาคของสิ่งที่ต้องการกรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.36

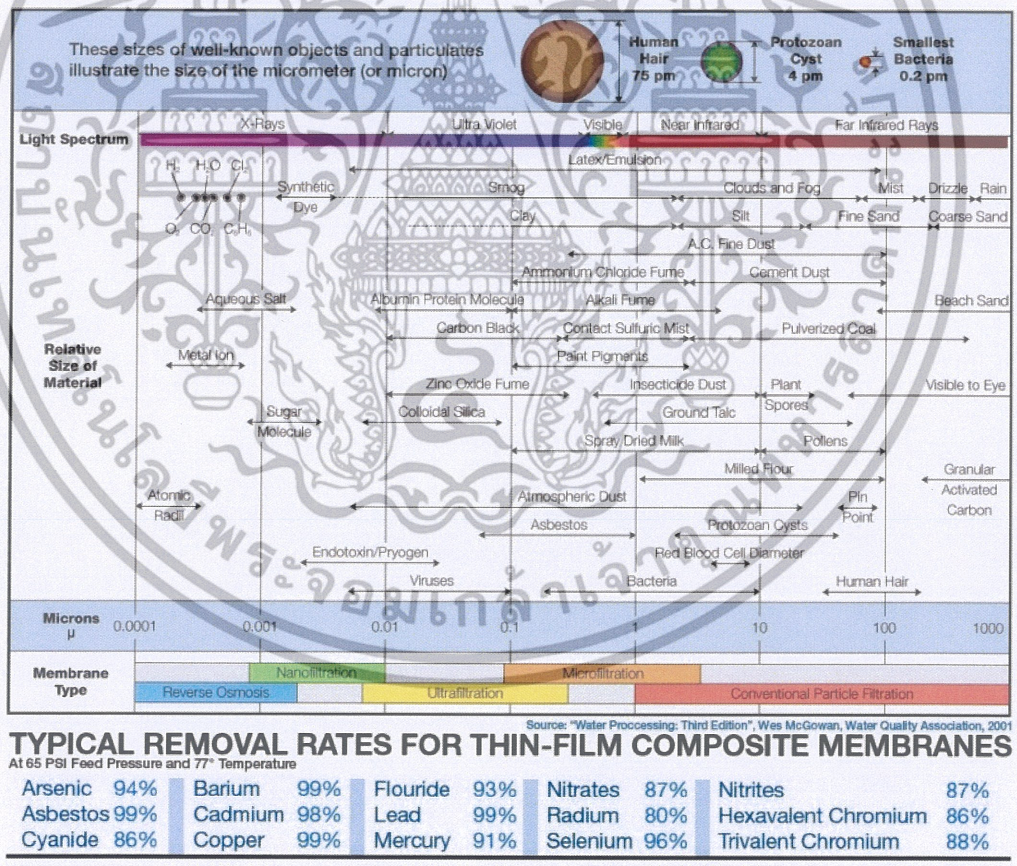
ตารางที่ 2.2 แสดงอัตราการกรองของไส้กรอง

ความสามารถในการกรอง (ไมครอน)	อัตราการกรอง (ลิตรต่อนาที)			
	2.5x9.75 นิ้ว	2.5x20 นิ้ว	4.5x10 นิ้ว	4.5x20 นิ้ว
0.35	15.14	30.28	34.07	49.21
1	15.14	30.28	37.85	56.78
5	26.5	53	56.78	94.64
20	30.28	60.57	56.78	94.64
50	37.85	75.71	56.78	94.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 กราฟแสดงการสูญเสียแรงดันในไส้กรองหยาบ Sediment (PP)



รูปที่ 2.36 แผนภาพแสดงขนาดอนุภาคของวัสดุชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำ หรือคุณลักษณะน้ำโดยทั่วไปสามารถจำแนกเป็น 3 ประเภท คือ

2.3.2.1 คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ

คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ [9] เป็นคุณลักษณะทั่วๆ ไป สามารถรับรู้ด้วยประสาทสัมผัส เช่น ด้วยตา ด้วยการดมกลิ่น และด้วยการลิ้มรส เป็นต้น ตามความจริงแล้วคุณภาพทางด้านกายภาพของน้ำไม่ได้มีโทษโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์เท่าใดนัก และสามารถใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยวิธีที่ง่ายกว่าคุณภาพน้ำด้านอื่นๆ ดัชนีหรือพารามิเตอร์ (Parameter) ทางด้านกายภาพที่สำคัญ มีดังต่อไปนี้

1. ความขุ่น (Turbidity)
2. สี (Color)
3. รสและกลิ่น (Taste and Odor)
4. ค่าความเป็นกรดด่าง หรือค่าพีเอช (pH)

2.3.2.2 คุณภาพน้ำทางด้านเคมี

คุณภาพน้ำทางด้านเคมี [9] เกิดจากการละลายของสารประกอบต่างๆ ทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่เจือปนในน้ำ เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีมาก สารประกอบเหล่านี้สามารถทำให้คุณภาพของน้ำเปลี่ยนแปลงไปได้ อาจทำให้น้ำนั้นไม่ปลอดภัยที่จะใช้ดื่ม เพราะสารบางชนิดอาจเป็นพิษต่อมนุษย์ได้ ดัชนีหรือพารามิเตอร์ทางด้านเคมีมีจำนวนพารามิเตอร์อยู่มาก ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะที่มีความสำคัญดังต่อไปนี้

1. ของแข็ง (Solid)
2. ความกระด้าง (Hardness)
3. เหล็ก (Iron; Fe) และแมงกานีส (Manganese; Mn)
4. คลอไรด์ (Chlorides: Cl^-)
5. ฟลูออไรด์ (Fluoride; F)
6. ไนไตรท์ (Nitrite; NO2) และไนเตรท (Nitrate; NO3
7. โลหะหนักที่เป็นพิษ (Toxic Heavy Metal)
8. ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane; THM)

2.3.2.3 คุณภาพน้ำทางชีวภาพ

เนื่องจากน้ำเป็นสื่อนำโรคได้ (Water Borne Disease) [10] ดังนั้น คุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพจึงมีความสำคัญมากเช่นกัน เพราะเชื้อโรคต่างๆ สามารถดำรงชีพอยู่ในน้ำได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงคุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพที่สำคัญต่อการอุปโภค บริโภค ซึ่งได้แก่ พวกจุลินทรีย์ เราสามารถแบ่งจุลินทรีย์โดยใช้การทำให้เกิดโรคเป็นเกณฑ์ได้ 2 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. จุลินทรีย์ที่ไม่ทำให้เกิดโรค (Nonpathogenic Microorganism)
2. จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Pathogenic Microorganism)

2.4 หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล

การศึกษาระบบน้ำที่เพียงพอในเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด จำเป็นต้องทราบหลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหลเพื่อที่จะสามารถคำนวณระบบน้ำได้ถูกต้อง ซึ่งของไหล (Fluid) คือของเหลว และก๊าซ ในการวิเคราะห์จะต่างกันตรงที่ก๊าซจะเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ ส่วนของเหลวนั้นไม่สามารถอัดตัวได้ ถึงแม้จะอัดตัวได้บ้าง แต่ต้องใช้ความดันสูงมาก จึงพิจารณาว่าของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ [5]

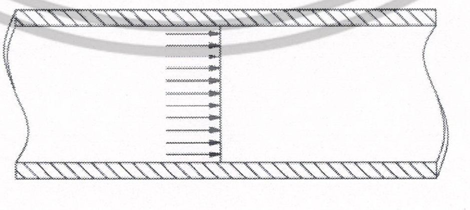
2.4.1 คุณสมบัติของของไหล และลักษณะการไหล

ตัวเลขเรโนลส์ (Reynolds number) คือปริมาณไร้หน่วยที่ใช้อธิบายลักษณะของการไหล โดยตัวเลขเรโนลส์ สำหรับการไหลในท่อสามารถหาได้จากสมการ 2.3

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu} \tag{2.3}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (m)
V = ความเร็วเฉลี่ยของของไหลในท่อ (m/s)
ν = ความหนืดคิเนเมติค (m^2/s)
μ = ความหนืดสมบูรณ์ (N.s/m^2)

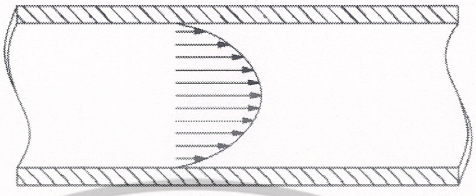
ตัวเลขเรโนลส์บอกถึงสัดส่วนระหว่างอิทธิพลของโมเมนตัมของการไหล ต่ออิทธิพลของความหนืด หากของไหลไม่มีความหนืด การไหลในท่อจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 แผนภาพแสดงการไหลแบบไม่มีความหนืดภายในท่อ

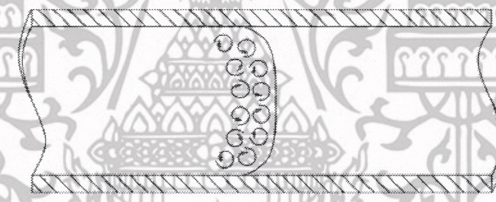
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไหลในความเป็นจริง ซึ่งมีความหนืด เมื่อค่าตัวเลขเรโนลส์ต่ำกว่า 2,300 การไหลจะเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ซึ่งมีอิทธิพลของความหนืดอยู่มาก แรงเสียดทานระหว่างของไหล และผิวท่อจะทำให้ความเร็วของของไหลบริเวณติดกับผิวท่อมีค่าเป็นศูนย์ และความเร็วสูงสุดเกิดขึ้นที่แนวศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะเป็นรูปพาราโบลา ดังแสดงในรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 แผนภาพแสดงการไหลแบบราบเรียบภายในท่อ

เมื่อตัวเลขเรโนลส์สูงเกิน 2,300 อิทธิพลของโมเมนตัมจะเริ่มสูงขึ้นทำให้การไหลเริ่มมีความปั่นป่วนเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเมื่อตัวเลขเรโนลส์สูงกว่า 10,000 การไหลจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) อย่างสมบูรณ์ซึ่งจะมีอิทธิพลของโมเมนตัมเป็นหลัก และจะมีการหมุนวนเล็กๆ (Eddy) อยู่ในการไหล ดังแสดงในรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 แผนภาพแสดงการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ

2.4.2 สมการพื้นฐานของการไหล

การไหลในท่อเป็นไปตามกฎพื้นฐาน คือ การสมดุลของมวล การสมดุลของพลังงาน และการสมดุลของโมเมนตัม โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.4.2.1 การสมดุลมวล

การไหลในท่อจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 จะต้องมีมวลคงที่

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 = \text{ค่าคงที่} \qquad (2.4)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

Q = อัตราการไหล (m^3/s)

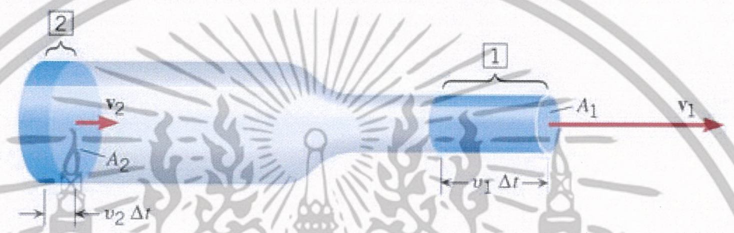
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เป็นการไหลของของเหลว เช่นน้ำ ความหนาแน่นจะคงที่ อัตราไหลในท่อจึงคงที่ ณ จุดใดๆ ในท่อ ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของท่อในระหว่างการไหลดังเช่นรูปที่ 2.40 จะได้ว่า

$$A_1v_1 = A_2v_2 = Q \qquad (2.5)$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหลภายในท่อ (m^2)

v = ความเร็วในการไหล (m/s)



รูปที่ 2.40 แผนภาพแสดงการไหลในท่อเปลี่ยนขนาด

2.4.2.2 การสมดุลพลังงาน

พลังงานในการไหลของของไหลในท่อสามารถแทนได้ในหน่วย J/kg หรือ Pa แต่เพื่อสะดวกในการใช้งานจะทำการแทนพลังงานด้วยหน่วยของความยาว (m) โดยการหารด้วยค่าแรงโน้มถ่วงของโลก เรียกปริมาณนี้ว่า เฮด-Head ของการไหล ซึ่งเฮดของของไหล ณ จุดใดๆประกอบด้วยส่วนประกอบสามส่วนคือ

เฮดจากพลังงานศักย์ในรูปของความสูง คือ z

เฮดจากพลังงานศักย์ในรูปของความดันสถิตย์ คือ $\frac{p}{\rho g}$

เฮดพลังงานจลน์ในรูปของความเร็ว คือ $\frac{v^2}{2g}$

เฮดของพลังงานรวม (ถ้าใช้ระบุสมรรถนะของปั๊มจะนิยมเรียกว่า Total Dynamic Head -TDH) ณ จุดใดๆในการไหลสามารถเขียนได้เป็นสมการ 2.6

$$E = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \qquad (2.6)$$

ซึ่งในการไหลจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปมาได้ โดยหากไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้น พลังงานรวมจะคงที่ หรือ $E_1 = E_2$ อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียพลังงานเกิดขึ้น เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างของเหลวกับผิวท่อ และจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหล ดังนั้นสมการสมดุลพลังงานจึงสามารถเขียนได้ดังสมการ 2.7

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \tag{2.7}$$

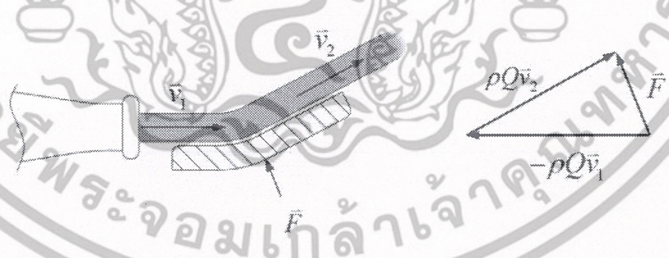
โดยที่ h_L คือ การสูญเสียซึ่งจะไปหักล้างออกจากพลังงานศักย์ในรูปของความดันสถิตย์ในของไหล (พจน์ $\frac{p}{\rho g}$) ซึ่ง การสูญเสียนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการไหลเท่านั้น

2.4.2.3 การสมดุลโมเมนตัม

ตามกฎของนิวตัน แรงที่กระทำต่อมวลสารทำให้เกิดความเร่ง ซึ่งในกรณีของของของไหลสามารถเขียนสมการของนิวตันในรูปแบบของการสมดุลโมเมนตัมดังสมการ 2.8

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \rho Q \Delta \vec{v} = \rho Q\,(\vec{v}_2 - \vec{v}_1) \tag{2.8}$$

สมการ 2.8 เป็นสมการเวคเตอร์ที่ต้องคิดทิศทางด้วย ตัวอย่างการใช้งานของสมการนี้แสดงในรูปที่ 2.41 ซึ่งเป็นการฉีดน้ำไปยังใบพัดที่ทำมุมเอียงทำให้ลำน้ำเปลี่ยนทิศทาง ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาที่ใบพัด ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม (ขนาด และ/หรือ ทิศทาง) ของอนุภาค และของการไหล จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสมอ ซึ่งทำให้ของไหลสูญเสียพลังงานเมื่อไหลผ่านข้อต่อข้องอ หรือวาล์วต่างๆ



รูปที่ 2.41 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในของไหล

2.4.3 การคำนวณความดันสูญเสียในระบบท่อ

การสูญเสียพลังงานจากการไหลในท่อเกิดจากสองสาเหตุหลักคือ การสูญเสียหลักซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างผิวท่อกับของไหล และการสูญเสียรองซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของการไหล (การเปลี่ยนแปลงขนาด และทิศทางของความเร็ว) ซึ่งการสูญเสียทั้งสองส่วนนี้ทำให้พลังงานในของไหลลดลง โดยจะไปหักล้างส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

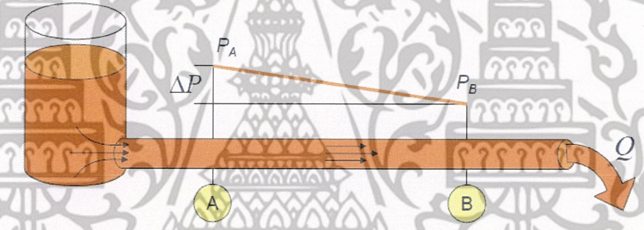
พลังงานศักย์ในรูปของความดันสถิตในของไหล ความดันสถิตที่ลดลง เขียนในรูปของเฮด ดังสมการ 2.9

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = h_L = h_f + h_m \tag{2.9}$$

เมื่อ h_f คือการสูญเสียหลักจากแรงเสียดทาน และ h_m คือการสูญเสียรองจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม รายละเอียดในการคำนวณการสูญเสียทั้งสองส่วนมีดังนี้

2.4.3.1 การสูญเสียหลัก

การสูญเสียหลัก (Major loss) เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิวท่อกับของไหล ซึ่งแรงเสียดทานนี้สัมพันธ์กับความหนืดของของไหล ความเร็วในการไหล และความหยาบของผิวท่อ โดยความสูญเสียจะมีอัตราคงที่ต่อความยาวท่อ ดังนั้นในการไหลในท่อตรงจากจุด A ไปยังอีกจุด B ความดันสถิตในของไหลจะลดลงอย่างสม่ำเสมอดังรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 แผนภาพแสดงการสูญเสียความดันในท่อตรง

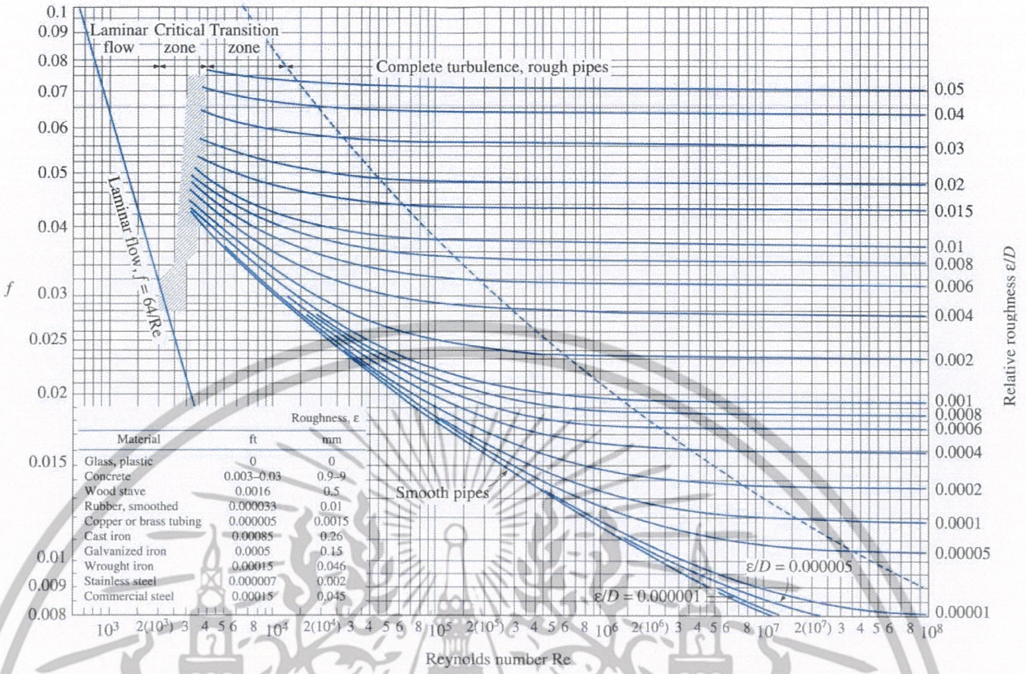
สมการที่ใช้ทำนายการสูญเสียหลักได้แม่นยำที่สุดคือ สมการของดาร์ซี่ และไวซบัค (Darcy-Weisbach equation) ซึ่งเขียนในรูปของเฮดได้ดังสมการ 2.10

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} \tag{2.10}$$

เมื่อ	h_f	=	ความดันสูญเสียวัดเป็นความสูงของของเหลว (m)
	D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (m)
	V	=	ความเร็วในการไหล (m/s)
	L	=	ความยาวของท่อ (m)
	g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)
	f	=	ตัวประกอบความเสียดทานของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า f สามารถหาได้จากกราฟของมูดี้ (Moody chart) ในรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 Moody chart

ค่าตัวประกอบความเสียดทานของท่อซึ่งหากการไหลอยู่ในช่วงราบเรียบ สามารถหาค่า f ได้จากสมการ 2.11

$$f = \frac{64}{Re} \tag{2.11}$$

แต่หากการไหลอยู่ในช่วงปั่นป่วนจำเป็นต้องหาค่า f จากกราฟของมูดี้ โดยต้องทราบค่าความหยาบของผิวท่อด้วย ซึ่งค่าความหยาบของผิวท่อบางชนิดเป็นดังตารางที่ 2.3 ทั้งนี้ความหยาบของท่อจะเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานด้วย

ตารางที่ 2.3 ความหยาบของท่อสำหรับใช้ทำนายความดันตก

ชนิดท่อ	ความหยาบ ε (mm)
ท่อทองแดง ทองเหลือง และ อลูมินัม	0.001 - 0.002
ท่อพีวีซี และพลาสติก	0.0015 - 0.007
ท่อสเตนเลส	0.015
ท่อเหล็กทั่วไป	0.045 - 0.09
ท่อเหล็กหล่อ	0.25 - 0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 การสูญเสียรอง

การสูญเสียรอง (Minor loss) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของการไหลเมื่อของไหล ไหลผ่านข้อต่อ ข้องอ และวาล์ว ซึ่งสามารถเขียนได้ในรูปของสมการ 2.12

$$h_m = K\frac{v^2}{2g} \tag{2.12}$$

โดยค่า K ในข้อต่อแบบต่างๆแสดงในตารางที่ 2.4 และค่า K สำหรับวาล์วแบบต่างๆ ขณะเปิดเต็มที่แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ค่า K ในข้อต่อ

ข้อต่อ	K
ข้องอฉาก	0.25
ข้องอฉากรัศมีใหญ่	0.18
ข้องอ 45 องศา	0.18
ข้อต่อสามทาง (ไหลตรง)	0.30
ข้อต่อสามทาง (ท่อกิ่ง)	0.75
ข้อต่อตัววาย	0.50
ทางเข้า-ปากแตร	0.05
ทางเข้า-ขอบมน	0.25
ทางเข้า-ขอบเหลี่ยม	0.50
ทางเข้า-ท่อยื่น	0.80
ทางออก	1.00

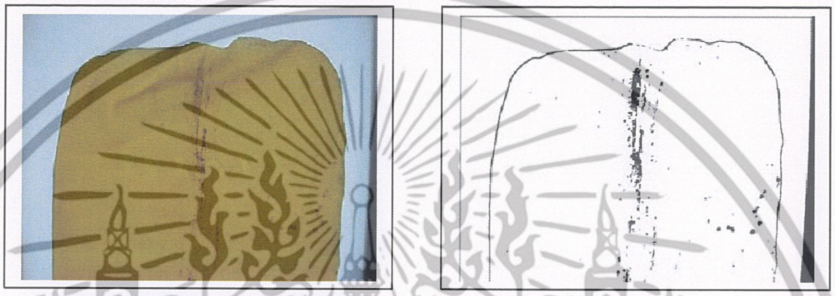
ตารางที่ 2.5 ค่า K ในวาล์วขณะเปิดเต็มที่

วาล์ว	K
บอลวาล์ว	0.04
วาล์วปีกผีเสื้อ	0.16 – 0.35
โกล้บวาล์ว	4.0 – 6.0
โกล้บวาล์วหักมุม (Angle valve)	1.8 – 2.9
เกทวาล์ว	0.1 – 0.3
เช็ควาล์วแบบสวิง	0.6 – 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

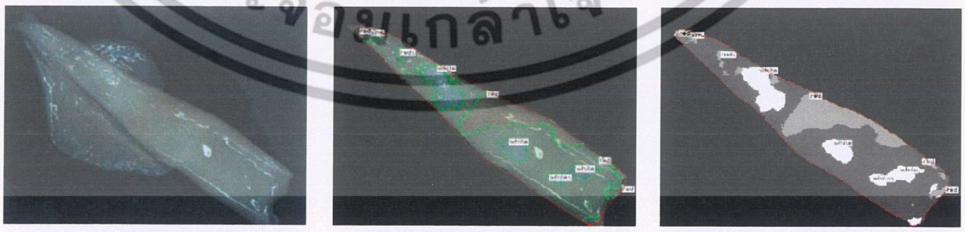
สันติ สถิตวรรธนะ [11] นำเสนอวิธีการตรวจสอบคุณภาพของยางแผ่น โดยใช้หลักการประมวลผลภาพ การตรวจสอบแบ่งเป็น 4 ส่วนคือ การตรวจสอบลายยาง ตรวจสอบสิ่งสกปรก ฟองอากาศ และตรวจสอบราขาว โดยการตรวจสอบใช้เทคนิคดังนี้ การตรวจสอบลายยางเริ่มจากถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอลในสภาพควบคุม จากนั้นหาขอบภาพโดยวิธีการ Canny ต่อมาแบ่งภาพทดสอบออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำการนับจำนวนเส้นที่ปรากฏในแต่ละส่วนเทียบกับเกณฑ์ที่ระบุบไว้ หากใกล้เคียงก็แสดงว่าภาพทดสอบดีหากไม่ก็ถือว่าภาพเสียดังแสดงในรูปที่ 2.44



ก) แผ่นยางต้นฉบับ (ข) ผลการประมวลผลภาพ

รูปที่ 2.44 ผลการทดลองแผ่นยาง

นิยดา มะสุนี [12] การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับ กระบวนการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป เพื่อพัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจสอบคุณภาพภายนอกของหมึกกล้วยแปรรูปชนิดหมึกหลอด โดยจำแนกคุณลักษณะสีเนื้อ และตำหนิบนลำตัวของหมึก ซึ่งจะใช้ลักษณะความแตกต่างของปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกเป็นลักษณะเด่นในการจำแนกได้แก่ สีขาว สีชมพู สีแดง และสีดำ โดยปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกถูกคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ผลลัพธ์จากการตรวจสอบคุณภาพหมึกด้วยเทคนิคนี้พบว่ามีความถูกต้อง 96.15% ดังแสดงในรูปที่ 2.45



(ก) (ข) (ค)

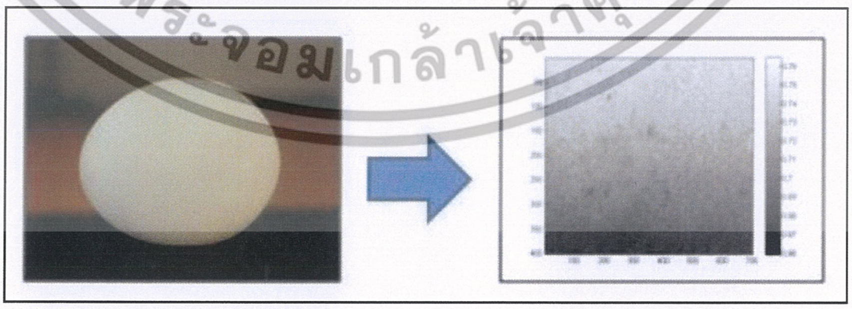
รูปที่ 2.45 ผลการจำแนกสีของตัวอย่างหมึก (ก) ภาพสีของหมึก (ข) ภาพสีหมึกแสดงบริเวณสี (ค) ภาพสีของหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกร หาญตระกูล และพูนพัฒน์ พูนน้อย [13] การพัฒนาเครื่องคัดขนาดกุ้งผ่าหลังแบบผีเสื้ออัตโนมัติระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ ที่พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณหาความยาวของกุ้งผ่าหลังแบบผีเสื้อจากภาพถ่ายอย่างอัตโนมัติ ที่อัตราเร็วสูงสุด 7,200 ตัวต่อชั่วโมง เมื่อทดสอบการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์กับระบบลำเลียงคัดแยกซึ่งติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของกุ้งและสายพานลำเลียง ระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์สามารถทำงานร่วมกับเซนเซอร์ทั้งสองตัวได้เป็นอย่างสมบูรณ์พร้อมควบคุมการทำงานระบบคัดแยกด้วยลมทำหน้าที่ผลักกุ้งลงตามขนาดที่กำหนดไว้แตกต่างกันจำนวน 3 ขนาด ดังดังแสดงในรูปที่ 2.46

รูปที่ 2.46 ภาพถ่ายดิจิตอลของกุ้งผ่าหลังแบบผีเสื้อ

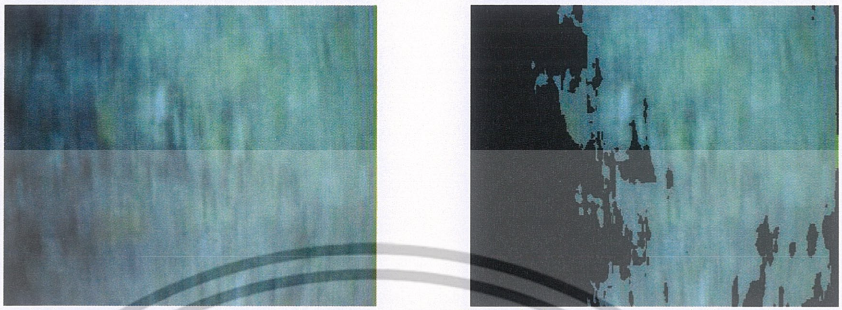
ธนกาญจน์ การีเพ็ชร์ [14] การออกแบบ และพัฒนาสร้างเครื่องล้างไข่เป็ดต้นแบบ หลังจากทำการทดสอบการใช้งานจริงแล้ว สุ่มเลือกไข่ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างไข่เป็ดต้นแบบจำนวน 20 ฟอง เพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพของไข่เป็ดด้วยวิธีการสอบเทียบสีโดยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเปลี่ยนปริภูมิของสีจาก RGB (Red,Green,Blue) เป็น HSI (Hue,Saturation,Intensity) จากนั้นวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย Intensity ของทั้งรูปภาพ ซึ่งทำการพัฒนาผ่านโปรแกรม MATLAB พบว่าไข่ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างไข่เป็ดต้นแบบมีความขาวสะอาดที่ยอมรับได้ และนำไปใช้งานได้จริง ดังแสดงในรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.47 การวิเคราะห์ค่าความสว่างความมืดของผิวไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

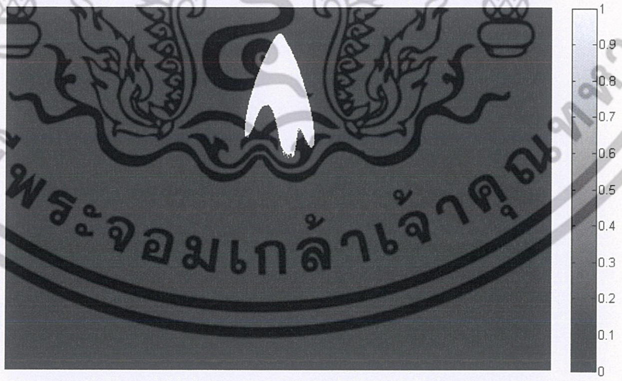
ชานนท์ จังกาจิตต์ และชัชชัย คุณบัว [15] การวิเคราะห์ความขาวของข้าวจากอุปกรณ์ตรวจวัดสี โดยทำการวัดค่าสีของเม็ดข้าวเพื่อจะนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของข้าว โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.48



(ก) (ข)

รูปที่ 2.48 (ก) ภาพข้าวก่อนผ่านการประมวลผล (ข) ภาพข้าวหลังผ่านการประมวลผล

ธนพัฒน์ ไพบูลย์ศิริจิต และน้ำทิพย์ สิทธิ์อมรพร [3] การศึกษาลักษณะฝอยละอองของของเหลวด้วยเทคนิคการถ่ายภาพ โดยนำภาพที่ได้ไปประมวลผลหาลักษณะของฝอยละออง ใช้หัวฉีดแบบโคนเต็ม (Full cone) ทั้งนี้จะใช้น้ำเป็นตัวแทนของของเหลวเพื่อดูภาพรวมที่เกิดขึ้น โดยการทดลองจะปรับความดันไปที่ 0.5, 1, 1.5 และ 2 bar ตามลำดับ เพื่อดูลักษณะของมุมของฝอยละอองสเปรย์ (Spray cone angle) ที่เกิดขึ้น ในการประมวลผลภาพ สำหรับโครงงานนี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB เปลี่ยนภาพสีให้เป็นภาพขาว-ดำ เพื่อหาเส้นขอบของละอองสเปรย์ทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.49



รูปที่ 2.49 ภาพขาว-ดำ จากการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vaibhav Karnawat and S.L.Patil [16] การออกแบบเทคนิคใหม่ เพื่อหาค่าความขุ่นของน้ำโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ มีวิธีการคือ ถ่ายภาพน้ำที่มีลักษณะความขุ่นที่ต่างกัน จากนั้นใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 2.50

รูปที่ 2.50 แสดงผลการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

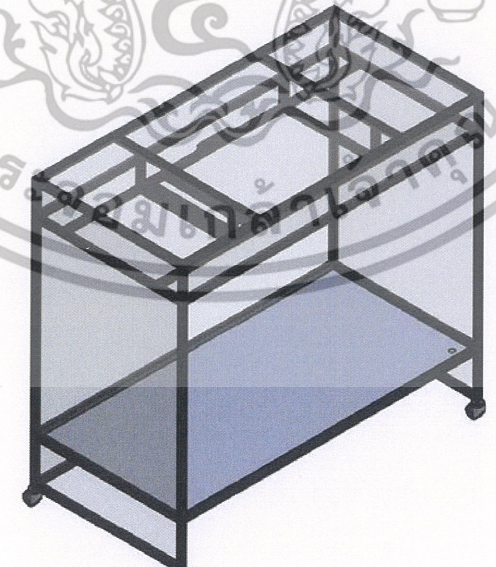
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด เพื่อส่งเสริมเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การล้างยานพาหนะด้วยระบบอัตโนมัติ ใช้เวลาล้างต่อคันน้อยกว่า ไม่มีค่าแรงงาน มีปริมาณการใช้น้ำที่น้อยกว่า งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม การใช้น้ำระบบปิดในเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติ จะเป็นต้นแบบให้กับระบบล้างอัตโนมัติอื่นๆ ในเรื่องการประหยัดน้ำ มีวิธีการดำเนินงานวิจัย 3 ขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด

ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิดที่มีอยู่ และพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นโดยมีส่วนประกอบดังนี้

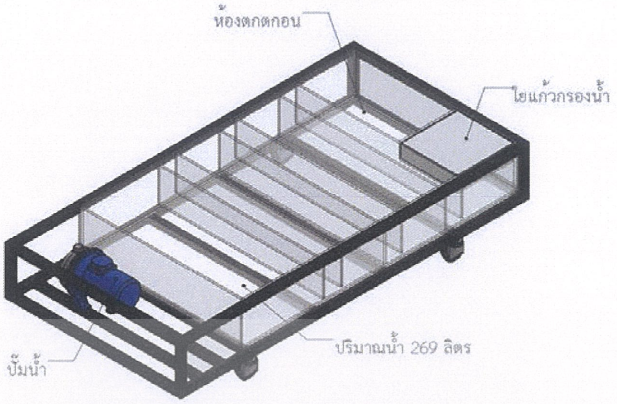
3.1.1 โครงสร้างเครื่อง

โครงสร้างเครื่องดังแสดงในรูปที่ 3.1 ขนาด กว้าง 0.96 เมตร ยาว 1.92 เมตร สูง 1.8 เมตร โดยทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ มีน้ำหนักเบา แข็งแรง สามารถประกอบได้ง่าย ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายไปตามสถานที่ต่างๆได้ มีการพัฒนาระบบตกตะกอนน้ำอยู่ด้านล่างเครื่องดังแสดงในรูปที่ 3.2 สามารถบรรจุน้ำได้สูงสุด 269 ลิตร ซึ่งสามารถดึงออกมาล้างทำความสะอาดได้ดังแสดงในรูปที่ 3.3

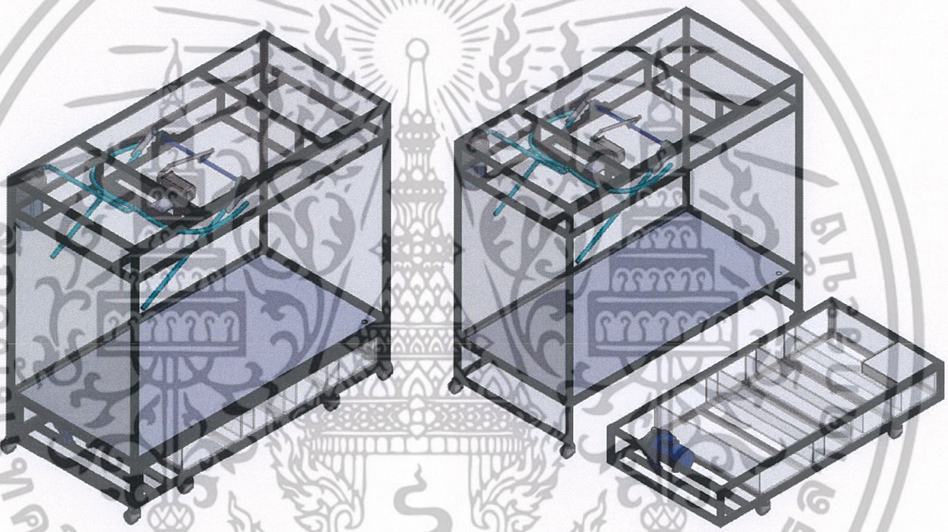


รูปที่ 3.1 โครงสร้างเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ระบบตกตะกอนน้ำ

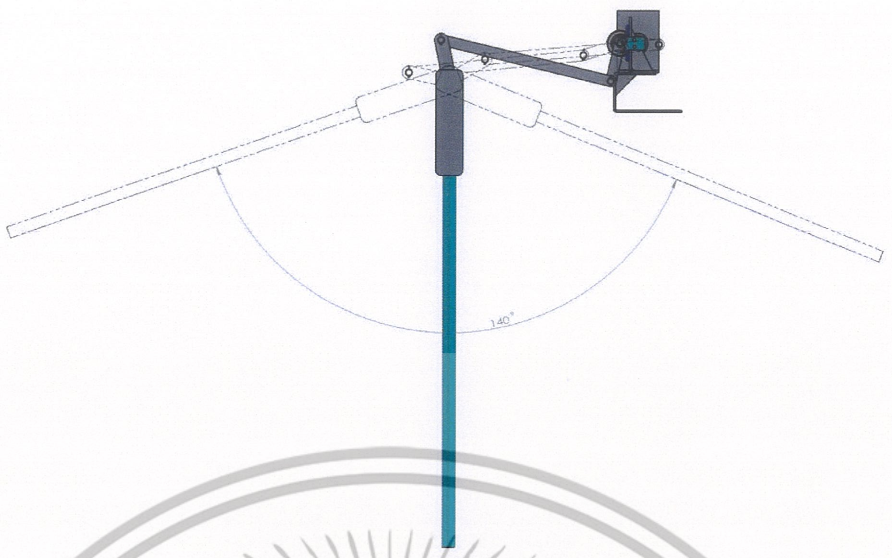


รูปที่ 3.3 เครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด

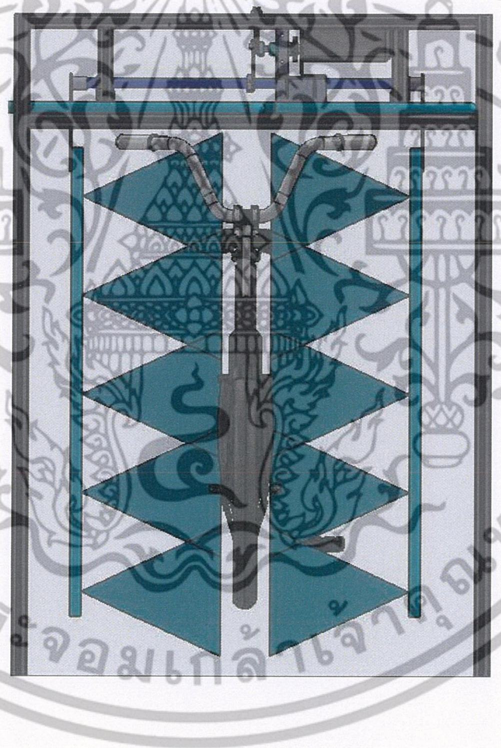
3.1.2 กลไกขับเคลื่อนหัวฉีด

จากการศึกษาเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติ ได้ทำการพัฒนากลไกขับเคลื่อนหัวฉีด ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ลักษณะกลไกเป็นแบบ Four-bar linkage มีการทำงานง่ายต่อการบำรุงรักษา มีองศาการทำงาน 140 องศา และจากการศึกษาประเภทหัวฉีดสเปรย์พบว่าหัวฉีดสเปรย์ที่เหมาะกับงานล้างรถจักรยานด้วยเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติ คือหัวฉีดแบบ FLAT SPRAY รูปแบบสเปรย์บาง เรียวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดหยดสเปรย์ปานกลาง การฉีดพ่นแรงกระแทกสูงกว่าสเปรย์แบบระนาบชนิดอื่น เหมาะสำหรับการขจัดคราบตะกรัน การล้างด้วยแรงดันสูง การจัดวางหัวฉีดสเปรย์ครอบคลุมพื้นที่รถจักรยานดังแสดงในรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 กลไกขับเคลื่อนหัวฉีด



รูปที่ 3.5 หัวฉีดสเปรย์

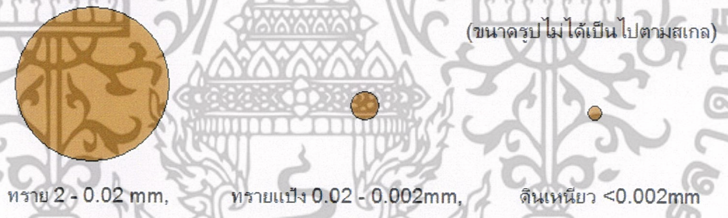
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการศึกษาตัวแปรในการล้างรถจักรยาน

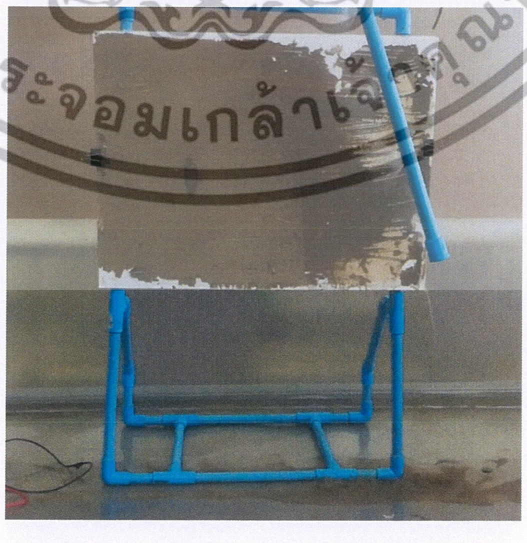
เมื่อทำการพัฒนาเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิดเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นแล้ว ต่อมาทำการศึกษาตัวแปรในการล้างรถจักรยาน ซึ่งตัวแปรนั้นมีอยู่มากมาย และจากการศึกษาการออกแบบหัวฉีดสเปรย์จึงได้เลือกตัวแปรที่คิดว่ามีผลต่อการล้างรถจักรยานด้วยเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติมา 4 ตัวแปร คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด แรงดันน้ำ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด และระยะห่างของหัวฉีดจากพื้นผิว โดยงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาดในการล้างรถจักรยานด้วยเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ค่าที่ใช้น้ำน้อยที่สุด โดยมีวิธีการดังนี้

3.2.1 จำลองการล้างรถจักรยาน

เนื่องจากรถจักรยานมีซอก หลืบ เป็นจำนวนมาก การล้างรถจักรยานเพื่อดูว่าตัวแปรไหนทำให้รถจักรยานสะอาดกว่ากันนั้นเป็นไปได้ยาก จึงได้จำลองการล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาวขึ้นมา ว่าเป็นพื้นผิวจักรยาน เนื่องจากพื้นผิวมีลักษณะใกล้เคียงกัน และสามารถตรวจวัดความสะอาดได้ง่าย โดยแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาวมีขนาด 490 X 650 มิลลิเมตร ทาด้วยดินเหนียวซึ่งมีการดูดยึดติดผิวมากที่สุด และมีอนุภาคของดินเล็กที่สุดดังแสดงในรูปที่ 3.6 ปริมาณ 150 กรัม ใช้เวลาในการล้าง 3 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ทำการบันทึกวีดิโอ โดยมีตัวแปรที่แตกต่างกัน 4 ตัวแปร ดังนี้



รูปที่ 3.6 อนุภาคของดิน



รูปที่ 3.7 การล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.1 หัวฉีด

หัวฉีดแบบ FLAT SPRAY รูปแบบสเปรย์บาง เรียวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดหยดสเปรย์ปานกลาง การฉีดพ่นแรงกระแทกสูงกว่าสเปรย์แบบระนาบชนิดอื่น เหมาะสำหรับการขจัดคราบตะกรัน การล้างด้วยแรงดันสูง และการลบฉลาก ใช้หัวฉีด 2 ชนิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันคือ 1.8 และ 2.4 มิลลิเมตร ซึ่งแต่ละชนิดปริมาณการใช้น้ำ และความเร็วในการไหลจะแตกต่างกัน เพื่อดูความสามารถในการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากรถจักรยาน มุมสเปรย์ที่ใช้คือ 40 องศา

3.2.1.2 แรงดันน้ำ

แรงดันน้ำเป็นอีกตัวแปรที่ให้ความสำคัญในงานวิจัยนี้ จึงควรหาแรงดันที่เหมาะสม มีตัวแปรแรงดันน้ำ 3 ตัวแปร คือ 1.2 , 1.5 และ 1.8 บาร์ ซึ่งแรงดันน้ำนี้ก็จะส่งผลต่อปริมาณการใช้น้ำ เพื่อดูปริมาณการใช้น้ำที่เหมาะสม เพียงพอต่อการล้างรถจักรยาน

3.2.1.3 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด ช้าหรือเร็วย่อมมีผลต่อความสามารถในการชำระล้างสิ่งสกปรก เพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมจึงมีตัวแปรความเร็ว 2 ตัวแปร คือ 15 และ 30 วินาทีต่อรอบ

3.2.1.4 ระยะห่างของหัวฉีด

ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิวที่ต้องการล้าง มีผลต่อแรงกระแทกของน้ำยิ่งใกล้ก็จะได้แรงกระแทกที่มากกว่า แต่ก็จะทำให้ใช้หัวฉีดในจำนวนที่มากขึ้น ปริมาณการใช้น้ำก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในงานวิจัยจึงมีตัวแปรระยะห่างของหัวฉีด 2 ตัวแปร คือ 300 และ 350 มิลลิเมตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปรสามารถแบ่งได้ 24 การทดลองดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรในการทดลองล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว

การทดลองที่	ขนาดหัวฉีด (มิลลิเมตร)	แรงดันน้ำ (บาร์)	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด (วินาทีต่อรอบ)	ระยะห่างของหัวฉีด (มิลลิเมตร)
1	1.8	1.2	15	300
2	1.8	1.2	15	350
3	1.8	1.2	30	300
4	1.8	1.2	30	350
5	1.8	1.5	15	300
6	1.8	1.5	15	350
7	1.8	1.5	30	300
8	1.8	1.5	30	350
9	1.8	1.8	15	300
10	1.8	1.8	15	350
11	1.8	1.8	30	300
12	1.8	1.8	30	350
13	2.4	1.2	15	300
14	2.4	1.2	15	350
15	2.4	1.2	30	300
16	2.4	1.2	30	350
17	2.4	1.5	15	300
18	2.4	1.5	15	350
19	2.4	1.5	30	300
20	2.4	1.5	30	350
21	2.4	1.8	15	300
22	2.4	1.8	15	350
23	2.4	1.8	30	300
24	2.4	1.8	30	350

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การตรวจวัดความสะอาดแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว

หลังจากทำการล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว ครบทั้ง 24 การทดลอง ก็จะต้องมีการตรวจวัดความสะอาดแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว ว่าตัวแปรในแต่ละการทดลองสามารถทำความสะอาดได้มากน้องเพียงใด มีวิธีการโดยทำการแคปเจอร์ภาพในแต่ละช่วงเวลาของการทดลอง แล้วนำภาพที่ได้ไปประมวลผลภาพ โดยสาเหตุที่ต้องใช้การประมวลผลภาพเนื่องจากสายตาไม่สามารถตรวจวัดความสะอาดได้ละเอียด ในงานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB โดยโปรแกรมจะทำการแปลงภาพ RGB เป็นภาพขาว ดำ การเปลี่ยนภาพจาก RGB เป็นภาพขาว ดำ จำเป็นต้องเลือกค่าเธรดโชลด์ให้เป็นขีดแบ่งระหว่างช่วงความเข้มแสงที่จะถูกเปลี่ยนเป็นสีขาว และช่วงความเข้มแสงที่จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสีดำกล่าวคือกรณีที่วัตถุมีความเข้มของแสงไม่ถึงค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ เมื่อแปลงเป็นภาพขาว-ดำ วัตถุนั้นก็จะถูกเปลี่ยนเป็นสีดำ ในทางกลับกันวัตถุใดมีค่าความเข้มแสงสูงเกินขีดที่กำหนดไว้จะถูกเปลี่ยนเป็นสีขาว ซึ่งจะต้องหาค่าเธรดโชลด์ที่เหมาะสมเพื่อที่จะได้ค่าความสะอาดที่ใกล้เคียงกับการล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว โดยค่าเธรดโชลด์ที่ใช้คือ 6.5 จากนั้นโปรแกรมจะแสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์พิกเซลสีขาว และสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ในการวิเคราะห์ความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาของแผ่นพลาสติกลูกฟูก ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์พิกเซลสีขวาเป็นตัวชี้วัด ดังแสดงในภาคผนวก ก. เมื่อได้ค่าตัวแปรที่ดีที่สุดในการล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกแล้ว จึงนำค่าที่ได้ไปใช้กับเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด

Name	Value
bw	*400x560 logical*
columns	560
NumberOfPixelsBlack	117296
NumberOfPixelsWhite	106704
PercentPixelsBlack	52.3643
PercentPixelsWhite	47.6357
rows	400
TotalNumberOfPixels	224000
x	*400x560x3 uint8*

รูปที่ 3.8 ผลการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB

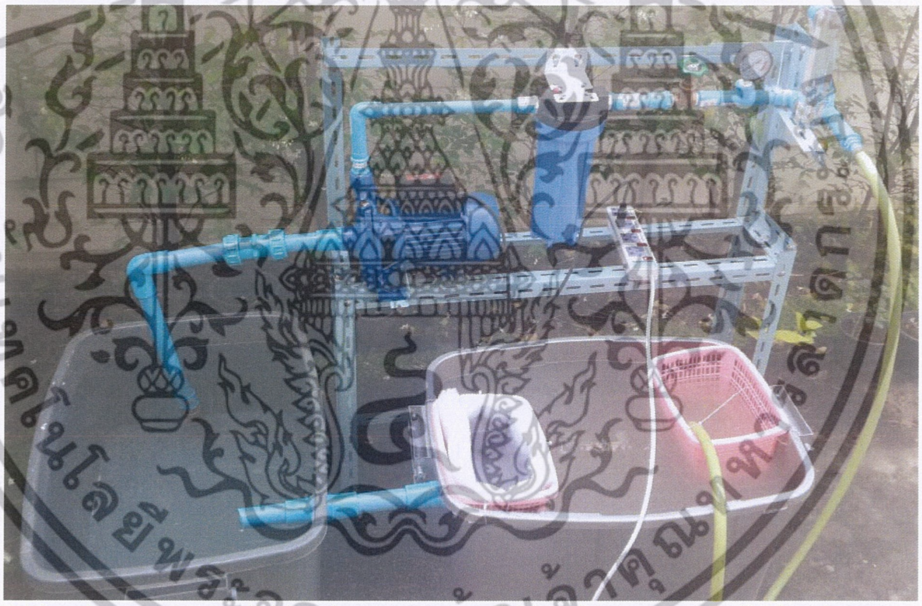
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการศึกษาการกรองน้ำเพื่อใช้งานเป็นระบบปิด

เมื่อทราบปริมาณการใช้น้ำจากขั้นตอนการศึกษาตัวแปรในการล้างรถจักรยาน จากนั้นทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำ พบว่างานวิจัยนี้เราต้องการกำจัดเพียงตะกอนดิน โคลน จากการล้างรถจักรยานเท่านั้น จึงเลือกใช้วิธีการกรอง ซึ่งเป็นการแยกทางกายภาพ โดยใช้กรองสำเร็จรูปซึ่งง่ายต่อการใช้งาน เลือกใช้ไส้กรองหยาบ ที่ทำมาจากเส้นใย Polypropylene ซึ่งมาราคาถูก หาซื้อง่าย แต่วิธีการกรองนั้นจะเหมาะสม คุ้มค่าหรือไม่นั้น เราจึงจำเป็นต้องศึกษาอายุไส้กรองก่อนการนำไปใช้กับเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด โดยมีวิธีการดังนี้

3.3.1 การหาอายุไส้กรองน้ำ

การหาอายุการใช้งานของไส้กรองหยาบ Sediment (PP) ที่มีขนาดความละเอียดของรูพรุน 1 และ 5 ไมครอน จะทำการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยจะทำการกรองน้ำรอบละ 100 ลิตร โดยมีตัวแปร คือปริมาณของดินโคลนที่ผสมลงในน้ำ และอัตราการกรอง แบ่งออกเป็น 8 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.9 ชุดทดลองเพื่อหาอายุไส้กรองน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรในการทดลองกรองน้ำ

การทดลองที่	ความละเอียดไส้กรอง (ไมครอน)	ปริมาณของดินโคลน (กรัมต่อรอบ)	อัตราการกรอง (ลิตรต่อนาที)
1	1	150	10
2	1	150	20
3	1	300	10
4	1	300	20
5	5	150	10
6	5	150	20
7	5	300	10
8	5	300	20

3.3.2 การตรวจวัดความสะอาดของน้ำที่ผ่านการกรอง

หลังจากการกรองน้ำที่มีดินโคลนผสมอยู่รอบละ 100 ลิตร เก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละรอบ นำน้ำตัวอย่างถ่ายภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 แล้วนำภาพที่ได้ไปประมวลผลภาพ ทำซ้ำจนกว่าน้ำจะมีค่าเกินกว่าคุณลักษณะของน้ำที่จะนำกลับมาใช้ล้างรถจักรยาน โดยคุณลักษณะของน้ำที่จะนำกลับมาใช้ล้างรถจักรยานอาจไม่จำเป็นต้องใสเหมือนน้ำสะอาด แต่เมื่อนำมาล้างแล้วจะต้องไม่ทิ้งคราบสกปรกหรือทิ้งคราบในระดับที่สังเกตได้ยาก

งานวิจัยนี้จึงได้มีการทดลองเพื่อหาคุณลักษณะของน้ำที่จะนำกลับมาใช้ล้างรถจักรยาน โดยการนำน้ำที่มีความเข้มข้นของดินโคลน ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1-10 กรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ถ่ายภาพแล้วนำภาพที่ได้ไปประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB โดยเปลี่ยนภาพเป็นภาพแบบระดับสีเทา 20 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 แล้วนำค่าเปอร์เซ็นต์แต่ละพิกเซลซึ่งมี 20 พิกเซล ไปคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 3.3 เพื่อหาค่าระดับความสกปรกของน้ำใช้อ้างอิงน้ำที่ผ่านการกรอง จากนั้นนำน้ำที่มีความเข้มข้นของดินโคลน ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1-10 กรัมต่อลิตรไปล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาวเพื่อดูการทิ้งคราบสกปรก ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งค่าที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 7.1 คือมีการทิ้งคราบในระดับที่สังเกตได้ยาก

การหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักนี้ใช้ในกรณีที่ข้อมูลแต่ละค่ามีความสำคัญไม่เท่ากัน เหมือนกับภาพระดับสีเทา 20 ระดับ แต่ละระดับความเข้มก็จะมีค่าระดับความสกปรกที่แตกต่างกันโดย ระดับความเข้ม 1 จะเป็นสีอ่อนที่สุดให้ค่าระดับความสกปรกเท่ากับ 1 และระดับความเข้ม 20 จะเป็นสีเข้มที่สุดให้ค่าระดับความสกปรกเท่ากับ 20 โดยค่าระดับความสกปรกจะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มของสีเทา ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ยกตัวอย่างการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของน้ำที่มีความเข้มข้นของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคลน 1 กรัมต่อลิตร จะมีระดับความเข้ม 7 เท่ากับ 90.12 % ค่าระดับความสกปรกเท่ากับ 7 และมีระดับความเข้ม 8 เท่ากับ 9.88 % ค่าระดับความสกปรกเท่ากับ 8 สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก} = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก} = \frac{(90.12 \times 7) + (9.88 \times 8)}{(90.12 + 9.88)} = 7.10$$

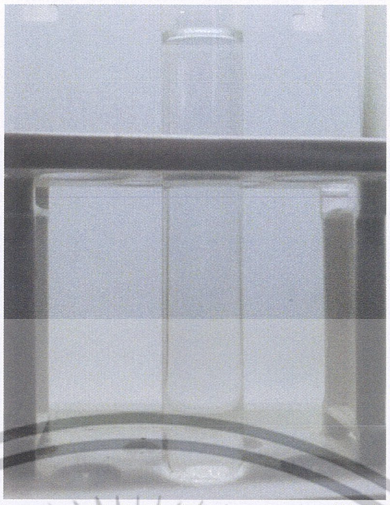
เมื่อ $\sum w_i x_i$ = ผลคูณของเปอร์เซ็นต์ระดับความเข้มกับค่าระดับความสกปรกแล้วเอาแต่ละตัวที่คูณกันนั้นมาบวกกัน

$\sum w_i$ = ผลรวมของเปอร์เซ็นต์ระดับความเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

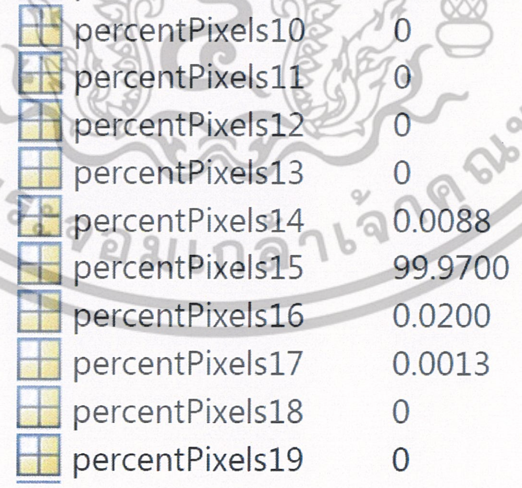
ตารางที่ 3.3 การคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก

ความเข้มข้นของดินโคลน (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มระดับ 20	ความเข้มระดับ 19	ความเข้มระดับ 18	ความเข้มระดับ 17	ความเข้มระดับ 16	ความเข้มระดับ 15	ความเข้มระดับ 14	ความเข้มระดับ 13	ความเข้มระดับ 12	ความเข้มระดับ 11	ความเข้มระดับ 10	ความเข้มระดับ 9	ความเข้มระดับ 8	ความเข้มระดับ 7	ความเข้มระดับ 6	ความเข้มระดับ 5	ความเข้มระดับ 4	ความเข้มระดับ 3	ความเข้มระดับ 2	ความเข้มระดับ 1	ระดับความสกปรกของน้ำ
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	99.97	0.02	0	0	0	0	6.00
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.88	90.12	0	0	0	0	0	0	7.10
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74.24	25.76	0	0	0	0	0	0	0	0	9.74
3	0	0	0	0	0	0	0	0	49.54	50.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.50
4	0	0	0	0	0	0.01	0.01	99.96	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.00
5	0	0	0	0	0	0	26.18	73.82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.26
6	0	0	0	0.01	0.01	40.01	59.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.40
7	0	0	0	0	0.23	99.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.00
8	0	0	0	0	59.14	40.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.59
9	0	0	0	0	99.85	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.00
10	0	0	0	58.27	41.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.58



รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายน้ำตัวอย่าง

รูปที่ 3.11 น้ำที่มีความเข้มข้นของดินโคลนที่แตกต่างกัน

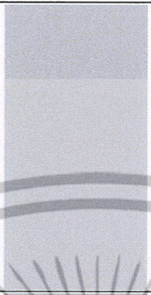
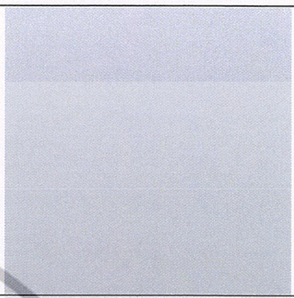
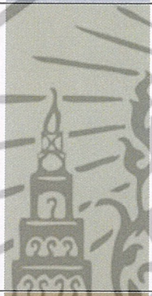
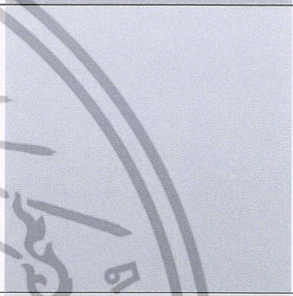
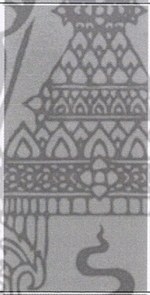
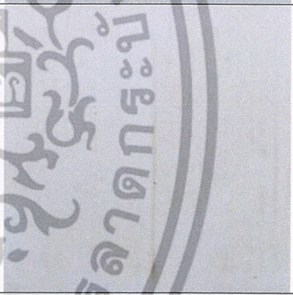
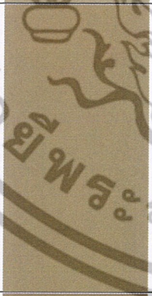
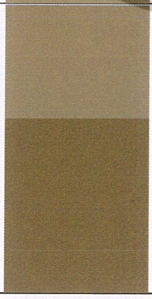
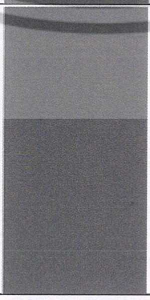
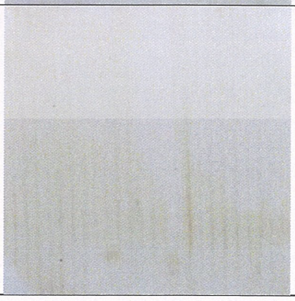


percentPixels10	0
percentPixels11	0
percentPixels12	0
percentPixels13	0
percentPixels14	0.0088
percentPixels15	99.9700
percentPixels16	0.0200
percentPixels17	0.0013
percentPixels18	0
percentPixels19	0

รูปที่ 3.12 ผลการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB

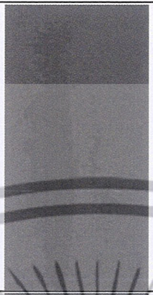
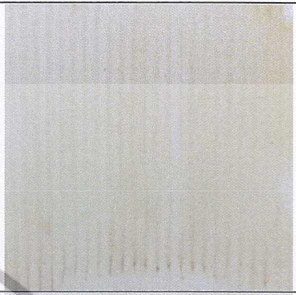
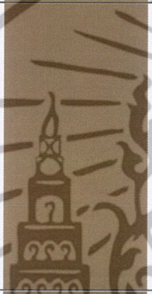
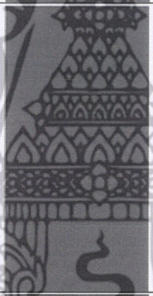
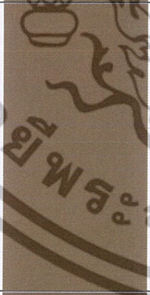
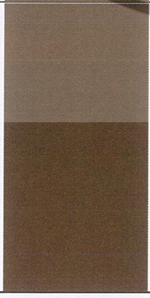
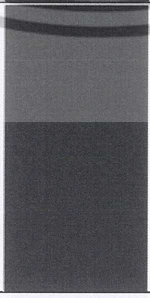
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ระดับความสกปรกของน้ำ

ความเข้มข้นของดินโคลน (กรัม/ลิตร)	RGB image	Grayscale Image	ระดับความสกปรกของน้ำ	การทิ้งคราบเมื่อนำน้ำไปใช้งาน
0			6.00	
1			7.10	
2			9.74	
3			11.50	
4			13.00	

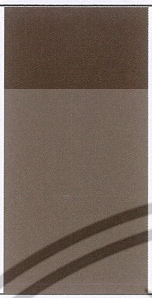
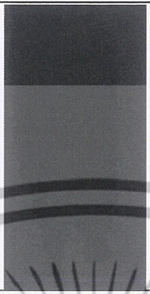
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ระดับความสกปรกของน้ำ (ต่อ)

ความเข้มข้นของดินโคลน (กรัม/ลิตร)	RGB image	Grayscale Image	ระดับความสกปรกของน้ำ	การทิ้งคราบเมื่อนำน้ำไปใช้งาน
5			13.26	
6			14.40	
7			15.00	
8			15.59	
9			16.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ระดับความสกปรกของน้ำ (ต่อ)

ความเข้มข้นของดินโคลน (กรัม/ลิตร)	RGB image	Grayscale Image	ระดับความสกปรกของน้ำ	การทิ้งคราบเมื่อนำน้ำไปใช้งาน
10			16.58	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

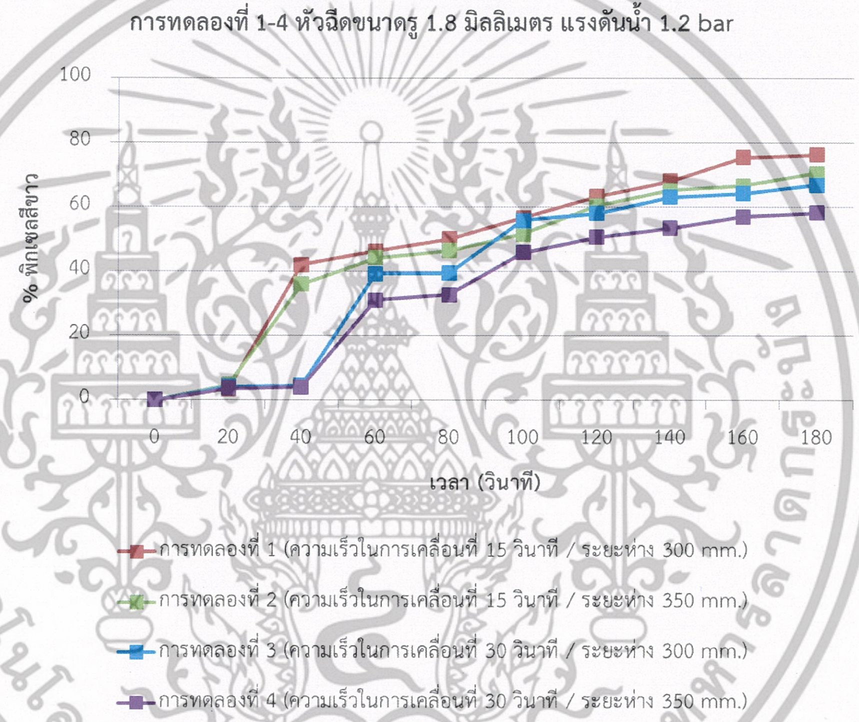
บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 การศึกษาตัวแปรในการล้างรถจักรยาน

การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด เพื่อให้ได้ค่าที่ใช้น้ำน้อยที่สุด แบ่งออกเป็น 24 การทดลอง มีผลการทดลองดังนี้

4.1.1 หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.2 บาร์



รูปที่ 4.1 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 1-4

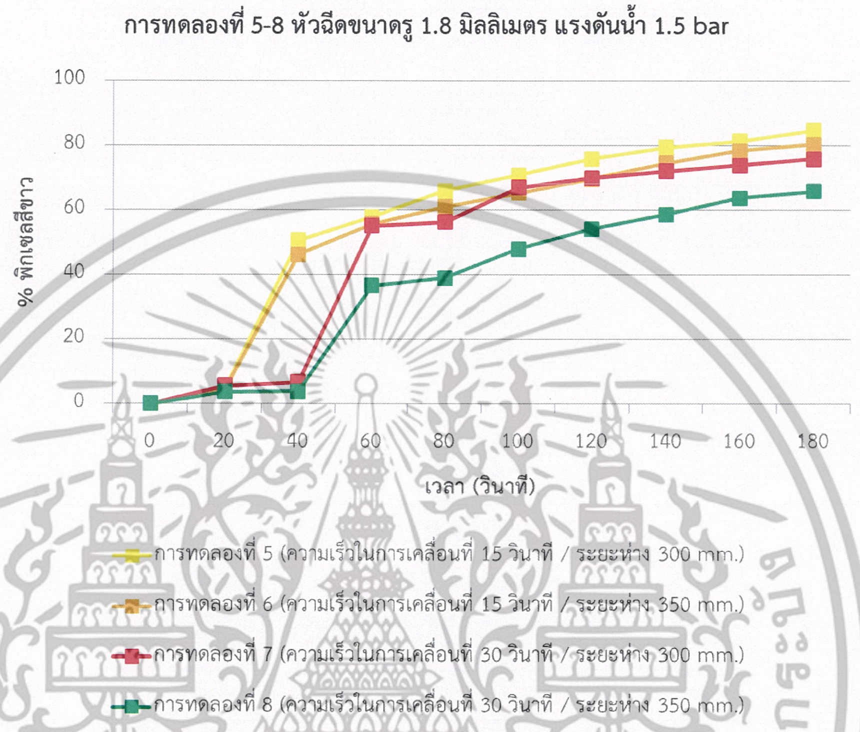
การทดลองหัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.2 บาร์ มี 4 การทดลอง ปริมาณการใช้น้ำ 6.5 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการล้าง 3 นาที จากการทดลองที่ 1-4 พบว่าการทดลองที่ 1 เป็นค่าที่ทำให้แผ่นพลาสติกลูกฟูกสะอาดที่สุด คิดเป็น 76.33 % ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากรูปจะเห็นว่าช่วง 40 วินาทีแรกจะทำความสะอาดได้รวดเร็ว หลังจากนั้นจะค่อยๆทำความสะอาดจนถึงวินาทีที่ 160 ก็จะไม่สามารถทำให้ความสะอาดเพิ่มขึ้นได้อีก

ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดที่ต่างกัน มีผลต่อความสะอาด กล่าวคือ หัวฉีดที่อยู่ห่างจากพื้นผิวจะทำให้ความสามารถในการทำความสะอาดลดลง ดังการทดลองที่ 2 กับ 4 และอีกปัจจัยคือความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดจะเห็นได้ว่าหัวฉีดที่เคลื่อนที่เร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าจะสามารถขจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่เพื่อทำความสะอาดได้รอบมากกว่าในเวลาที่เท่ากัน ดังการทดลองที่ 1 กับ 2 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 3 กับ 4

4.1.2 หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.5 บาร์



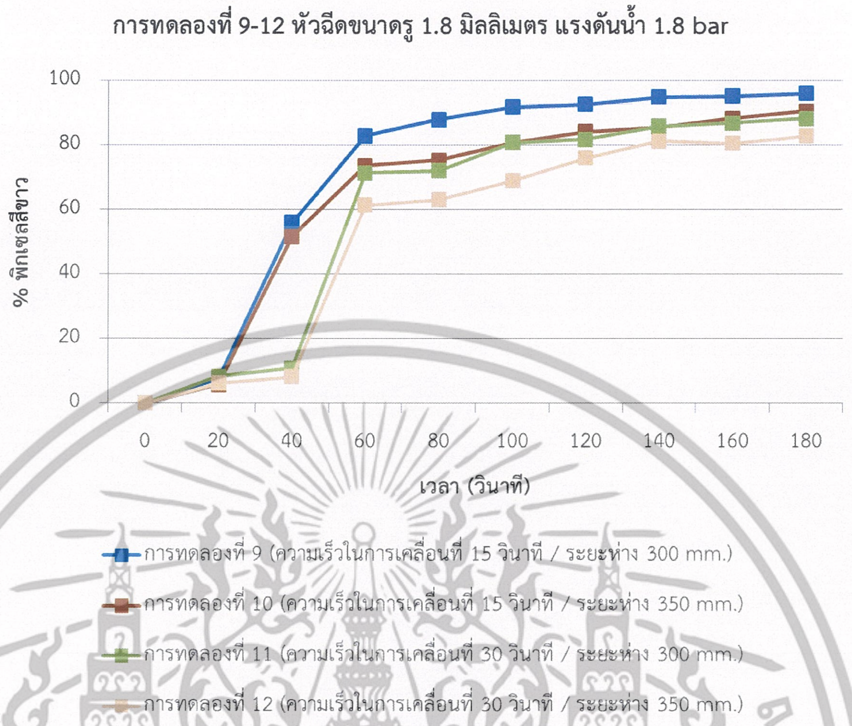
รูปที่ 4.2 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 5-8

การทดลองหัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.5 บาร์ มี 4 การทดลอง ปริมาณการใช้น้ำ 7.5 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการล้าง 3 นาที จากการทดลองที่ 5-8 พบว่าการทดลองที่ 5 เป็นค่าที่ทำให้แผ่นพลาสติกลูกฟูกสะอาดที่สุด คิดเป็น 84.81 % ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากรูปจะเห็นว่าช่วง 40 วินาทีแรกจะทำความสะอาดได้รวดเร็ว หลังจากนั้นจะค่อยๆทำความสะอาดจนถึงวินาทีที่ 160 ก็จะไม่สามารถทำให้ความสะอาดเพิ่มขึ้นได้อีก

ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดที่ต่างกัน มีผลต่อความสะอาดกล่าวคือ หัวฉีดที่อยู่ห่างจากพื้นผิวจะทำให้ความสามารถในการทำความสะอาดลดลง ดังการทดลองที่ 6 กับ 8 และอีกปัจจัยคือความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดจะเห็นได้ว่าหัวฉีดที่เคลื่อนที่เร็วกว่าจะสามารถขจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่เพื่อทำความสะอาดได้รอบมากกว่าในเวลาที่เท่ากัน ดังการทดลองที่ 5 กับ 6 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 7 กับ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.8 บาร์



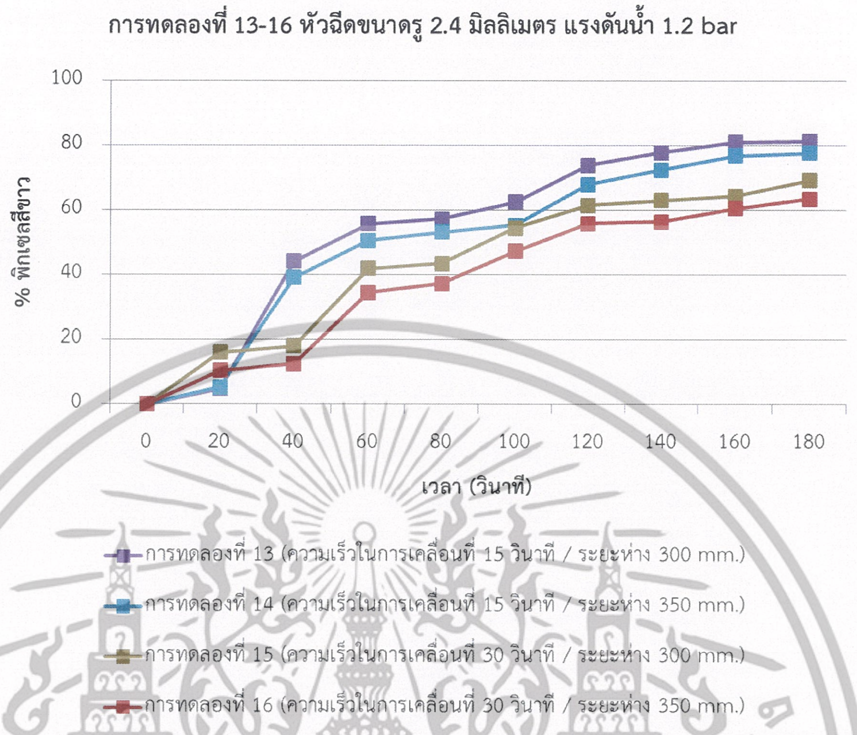
รูปที่ 4.3 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 9-12

การทดลองหัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.8 บาร์ มี 4 การทดลอง ปริมาณการใช้น้ำ 8.5 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการล้าง 3 นาที จากการทดลองที่ 9-12 พบว่า การทดลองที่ 9 เป็นค่าที่ทำให้แผ่นพลาสติกลูกฟูกสะอาดที่สุด คิดเป็น 96.10 % ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากรูปจะเห็นว่าช่วง 60 วินาทีแรกจะทำความสะอาดได้รวดเร็ว หลังจากนั้นจะค่อยๆทำความสะอาด จนถึงวินาทีที่ 140 ก็จะไม่สามารถทำให้ความสะอาดเพิ่มขึ้นได้อีก

ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดที่ต่างกัน มีผลต่อความสะอาดกล่าวคือ หัวฉีดที่อยู่ห่างจากพื้นผิวจะทำให้ความสามารถในการทำความสะอาดลดลง ดังการทดลองที่10 กับ 12 และอีกปัจจัยคือความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดจะเห็นได้ว่าหัวฉีดที่เคลื่อนที่เร็วกว่าจะสามารถขจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่เพื่อทำความสะอาดได้รอบมากกว่าในเวลาที่เท่ากัน ดังการทดลองที่ 9 กับ 10 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 11 กับ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.2 บาร์



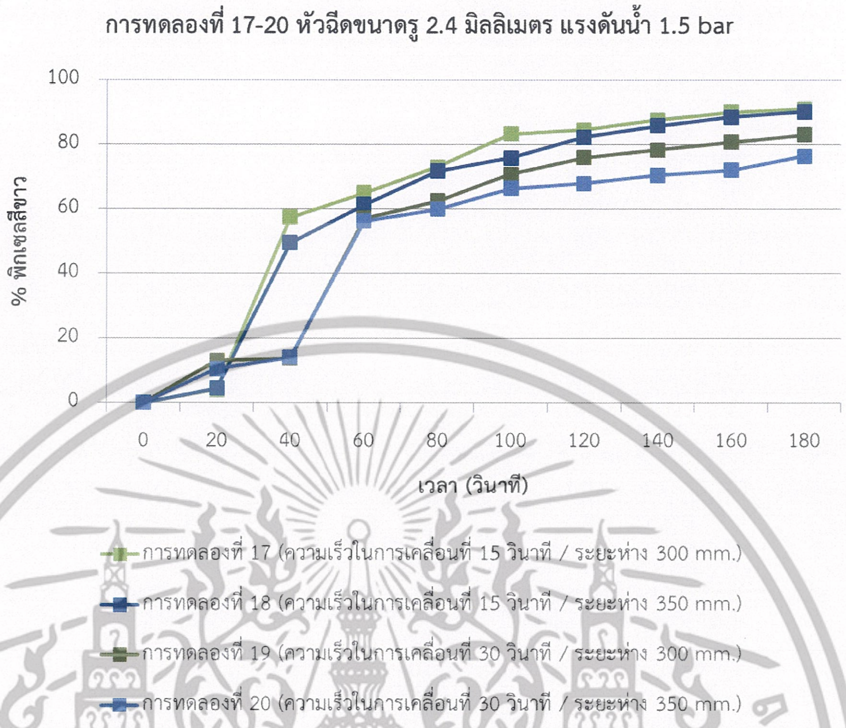
รูปที่ 4.4 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 13-16

การทดลองหัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.2 บาร์ มี 4 การทดลอง ปริมาณการใช้น้ำ 12 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการล้าง 3 นาที จากการทดลองที่ 13-16 พบว่า การทดลองที่ 13 เป็นค่าที่ทำให้แผ่นพลาสติกลูกฟูกสะอาดที่สุด คิดเป็น 81.41 % ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากรูปจะเห็นว่าช่วง 60 วินาทีแรกจะทำความสะอาดได้รวดเร็ว หลังจากนั้นจะค่อยๆทำความสะอาดจนถึงวินาทีที่ 160 ก็จะไม่สามารถทำให้ความสะอาดเพิ่มขึ้นได้อีก

ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดที่ต่างกัน มีผลต่อความสะอาดกล่าวคือ หัวฉีดที่อยู่ห่างจากพื้นผิวจะทำให้ความสามารถในการทำความสะอาดลดลง ดังการทดลองที่ 14 กับ 16 และอีกปัจจัยคือความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดจะเห็นได้ว่าหัวฉีดที่เคลื่อนที่เร็วกว่าจะสามารถขจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่เพื่อทำความสะอาดได้รอบมากกว่าในเวลาที่เท่ากัน ดังการทดลองที่ 13 กับ 14 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 15 กับ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.5 บาร์



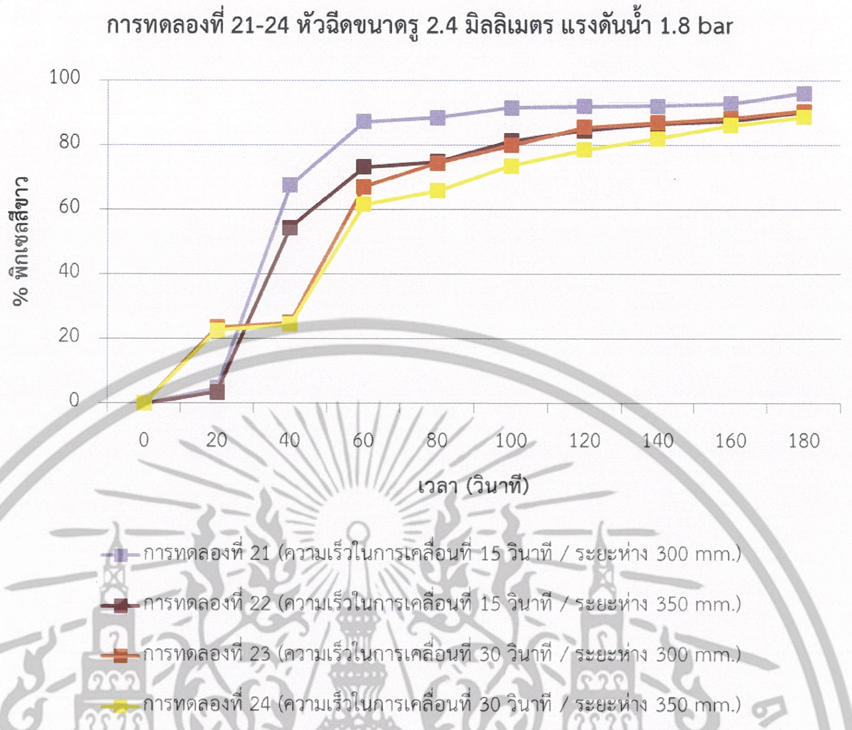
รูปที่ 4.5 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 17-20

การทดลองหัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.5 บาร์ มี 4 การทดลอง ปริมาณการใช้น้ำ 14 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการล้าง 3 นาที จากการทดลองที่ 17-20 พบว่า การทดลองที่ 17 เป็นค่าที่ทำให้แผ่นพลาสติกลูกฟูกสะอาดที่สุด คิดเป็น 91.07 % ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จากรูปจะเห็นว่าช่วง 40 วินาทีแรกจะทำความสะอาดได้รวดเร็ว หลังจากนั้นจะค่อยๆทำความสะอาดจนถึงวินาทีที่ 160 ก็จะไม่สามารถทำให้ความสะอาดเพิ่มขึ้นได้อีก

ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดที่ต่างกัน มีผลต่อความสะอาดกล่าวคือ หัวฉีดที่อยู่ห่างจากพื้นผิวจะทำให้ความสามารถในการทำความสะอาดลดลง ดังการทดลองที่ 18 กับ 20 และอีกปัจจัยคือความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดจะเห็นได้ว่าหัวฉีดที่เคลื่อนที่เร็วกว่าจะสามารถขจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่เพื่อทำความสะอาดได้รอบมากกว่าในเวลาที่เท่ากัน ดังการทดลองที่ 17 กับ 18 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 19 กับ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.8 บาร์



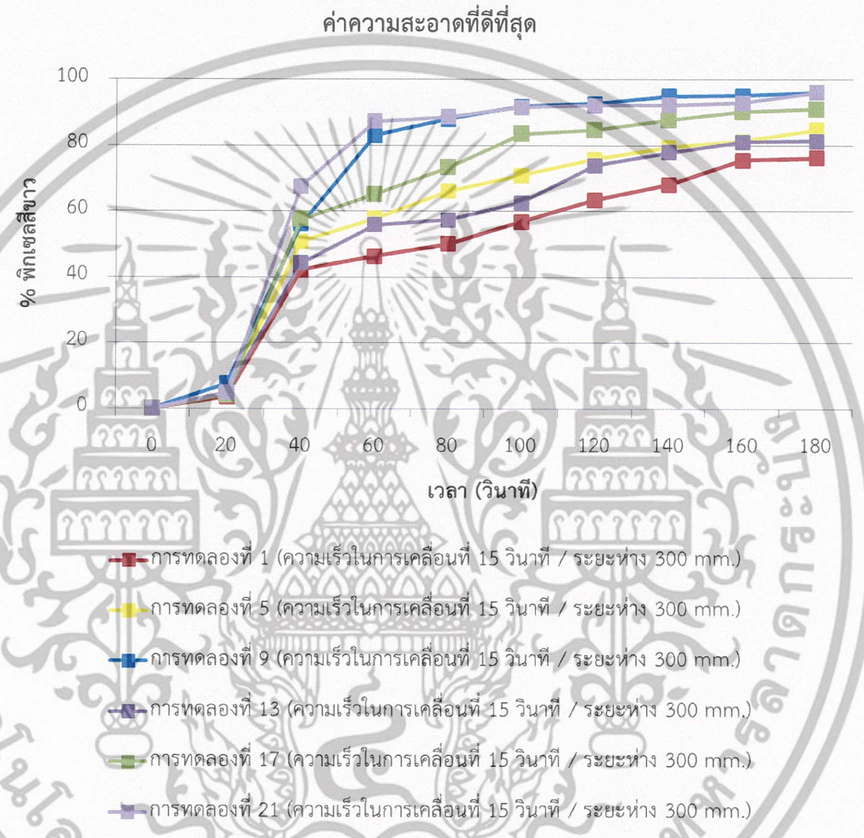
รูปที่ 4.6 ค่าความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 21-24

การทดลองหัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.8 บาร์ มี 4 การทดลอง ปริมาณการใช้น้ำ 16 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการล้าง 3 นาที จากการทดลองที่ 21-24 พบว่าการทดลองที่ 21 เป็นค่าที่ทำให้แผ่นพลาสติกลูกฟูกสะอาดที่สุด คิดเป็น 96.14 % ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากรูปจะเห็นว่าช่วง 60 วินาทีแรกจะทำความสะอาดได้รวดเร็ว หลังจากนั้นจะค่อยๆทำความสะอาดจนถึงวินาทีที่ 140 ก็จะไม่สามารถทำให้ความสะอาดเพิ่มขึ้นได้อีก

ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดที่ต่างกัน มีผลต่อความสะอาดกล่าวคือ หัวฉีดที่อยู่ห่างจากพื้นผิวจะทำให้ความสามารถในการทำความสะอาดลดลง ดังการทดลองที่ 22 กับ 24 และอีกปัจจัยคือความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดจะเห็นได้ว่าหัวฉีดที่เคลื่อนที่เร็วกว่าจะสามารถขจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่เพื่อทำความสะอาดได้รอบมากกว่าในเวลาที่เท่ากัน ดังการทดลองที่ 21 กับ 22 เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 23 กับ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด เพื่อให้ได้ค่าที่ใช้น้ำน้อยที่สุด แบ่งออกเป็น 24 การทดลอง พบว่าการทดลองที่ 9 และการทดลองที่ 21 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 มีค่าความสะอาดที่ใกล้เคียงกันคือ 96 % แต่การทดลองที่ 9 มีปริมาณการใช้น้ำที่น้อยกว่าคือ 8.5 ลิตรต่อนาที จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด เพื่อให้ได้ค่าที่ใช้น้ำน้อยที่สุด คือ หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.8 บาร์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด 15 วินาทีต่อรอบ ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว 300 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.7 แสดงค่าความสะอาดที่ดีที่สุด ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

การล้างรถจักรยานด้วยเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด สามารถสรุปได้ว่ามีอัตราการใช้น้ำมาจากการทดลองหาตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด และการใช้น้ำที่น้อยที่สุด ในการล้างรถจักรยานโดยอ้างอิงจากการล้างแผ่นพลาสติกลูกฟูกสีขาว ผลที่ได้คือ 8.5 ลิตรต่อนาที เป็นการล้างด้านเดียว ดังนั้นเมื่อใช้กับเครื่องจึงต้องเท่ากับ 17 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาการกรองน้ำเพื่อใช้งานเป็นระบบปิด

การกรองน้ำเพื่อหาอายุการใช้งานของไส้กรองหยาบ Sediment (PP) แบ่งออกเป็น 8 การทดลอง การทดลองไส้กรองความละเอียด 1 ไมครอน มี 4 การทดลอง จากการทดลองที่ 1-4 พบว่า การทดลองที่ 1 สามารถกรองน้ำได้ปริมาณมากที่สุดคือ 5700 ลิตร รองลงมาคือ การทดลองที่ 2 สามารถกรองน้ำได้ 4100 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จากรูปจะเห็นว่าอัตราการกรอง และปริมาณดินโคลนที่เติมลงไปในน้ำ ส่งผลต่ออายุการใช้งานของไส้กรอง

การทดลองไส้กรองความละเอียด 5 ไมครอน มี 4 การทดลอง จากการทดลองที่ 5-6 พบว่า การทดลองที่ 5 สามารถกรองน้ำได้ปริมาณมากที่สุดคือ 1800 ลิตร รองลงมาคือ การทดลองที่ 6 สามารถกรองน้ำได้ 1500 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 จากรูปจะเห็นว่าอัตราการกรอง และปริมาณดินโคลนที่เติมลงไปในน้ำ ส่งผลต่ออายุการใช้งานของไส้กรอง เช่นเดียวกับไส้กรองความละเอียด 1 ไมครอน

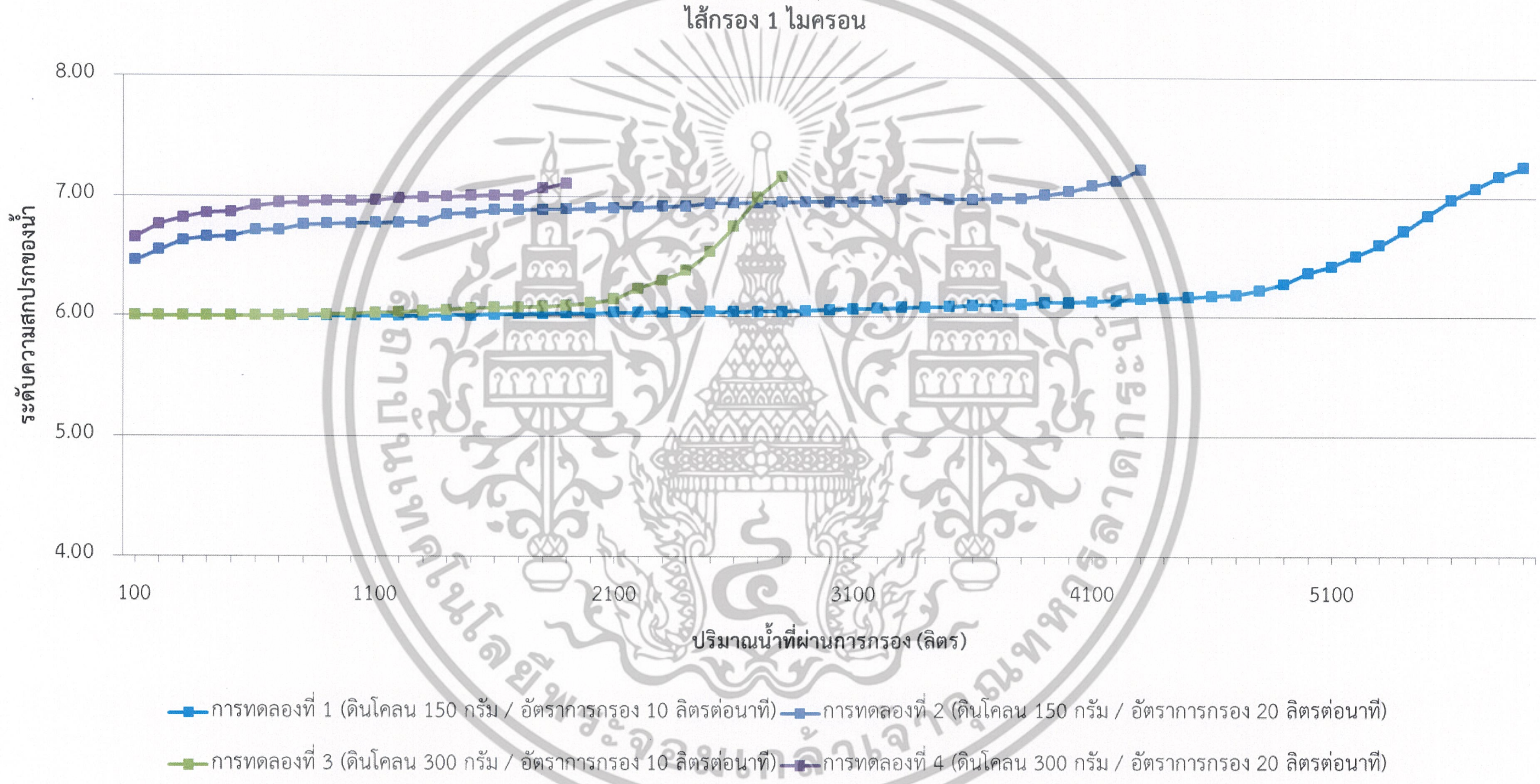
จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การกรองในอัตราที่ช้ากว่าทำให้น้ำค่อยๆไหลผ่านไส้กรอง ดินโคลนสามารถเกาะติดผิวไส้กรองได้ดีกว่าการกรองในอัตราที่เร็วกว่า ส่วนการกรองน้ำที่มีปริมาณดินโคลนที่มากกว่าย่อมทำให้ดินโคลนเข้าไปเกาะติดผิวไส้กรองได้เร็วกว่า และไส้กรองที่มีความละเอียดมากกว่าสามารถกรองสิ่งสกปรกได้ดีกว่า

สามารถสรุปผลตอบแทนได้ดังตารางที่ 4.1 คิดจากค่าไส้กรองราคา 18 บาทต่อชิ้น เทียบกับราคาน้ำประปา 10.5 บาทต่อหน่วย (1 หน่วย เท่ากับ 1000 ลิตร) จะเห็นว่าไส้กรองที่เหมาะจะนำมาใช้คือ ไส้กรองขนาด 1 ไมครอน

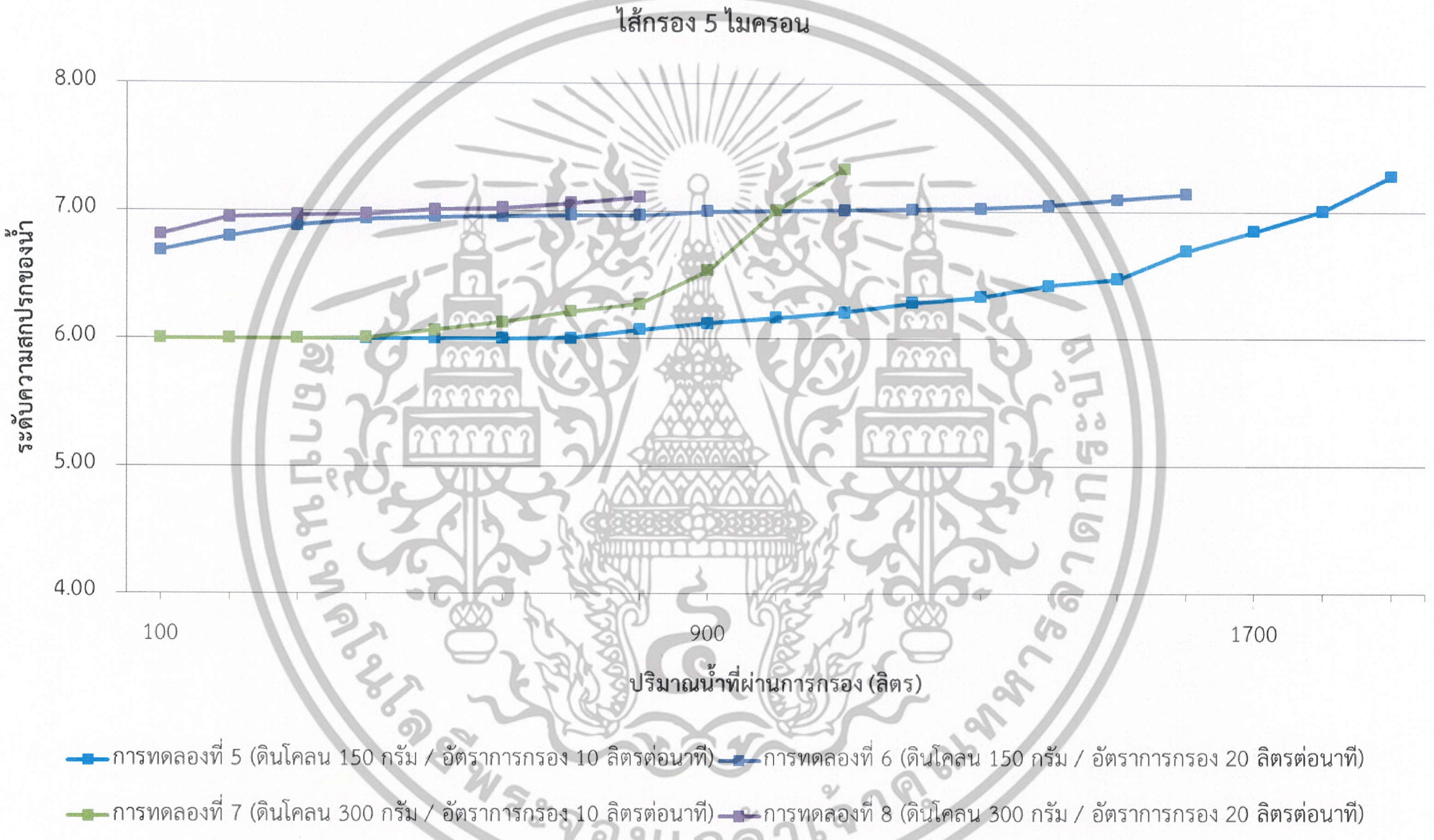
ตารางที่ 4.1 ผลตอบแทนต่อไส้กรอง 1 ชิ้น

การทดลองที่	ความละเอียดไส้กรอง (ไมครอน)	ปริมาณของดินโคลน (กรัมต่อรอบ)	อัตราการกรอง (ลิตรต่อนาที)	อายุไส้กรอง (ลิตร)	ผลตอบแทน (บาท)
1	1	150	10	5700	41.8
2	1	150	20	4100	25
3	1	300	10	2700	10.3
4	1	300	20	1800	0.9
5	5	150	10	1800	0.9
6	5	150	20	1500	-2.2
7	5	300	10	1000	-7.5
8	5	300	20	700	-10.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

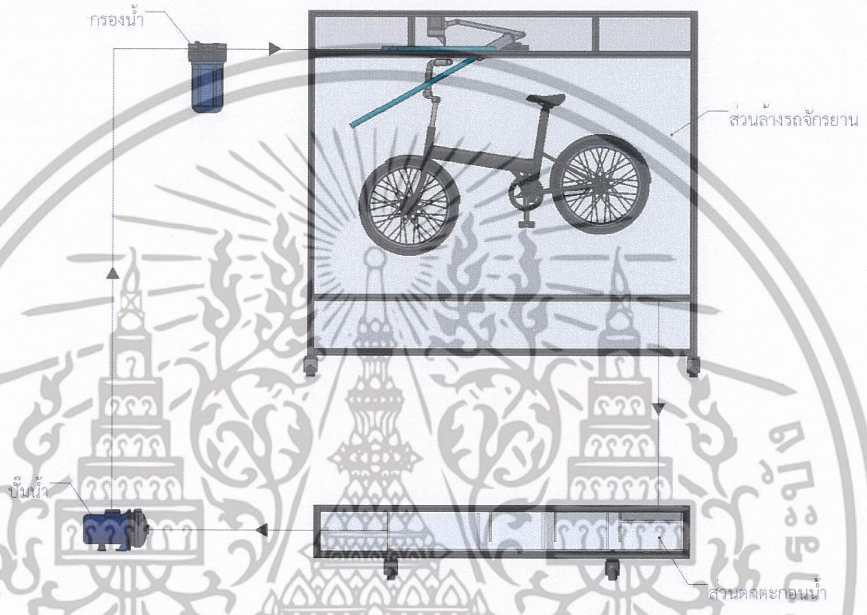


รูปที่ 4.8 ความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง การทดลองที่ 1-4

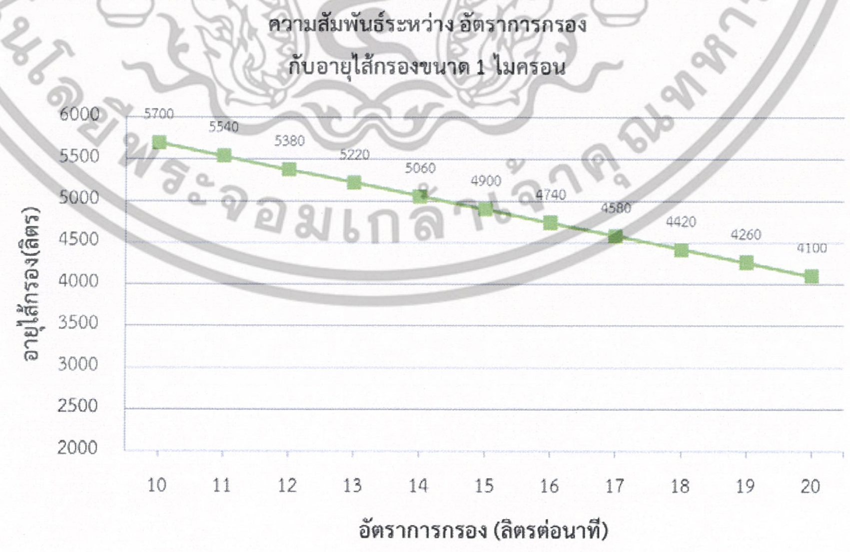


รูปที่ 4.9 ความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง การทดลองที่ 5-8

เนื่องจากเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด มีการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.10 น้ำจากการล้างรถจักรยานจะไหลลงสู่ส่วนตกตะกอน จากนั้นปั๊มน้ำก็จะดูดน้ำผ่านกรองเพื่อไปใช้ล้างรถจักรยานต่อไป ดังนั้นอัตราการกรองน้ำจึงเท่ากับอัตราการใช้น้ำคือ 17 ลิตรต่อนาที เมื่อใช้ไส้กรองความละเอียด 1 ไมครอน อัตราการกรอง 17 ลิตรต่อนาที จะสามารถกรองน้ำได้ปริมาณ 4,580 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และสามารถประหยัดค่าน้ำประปาได้ 30.04 บาท ต่อการเปลี่ยนไส้กรอง 1 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.12

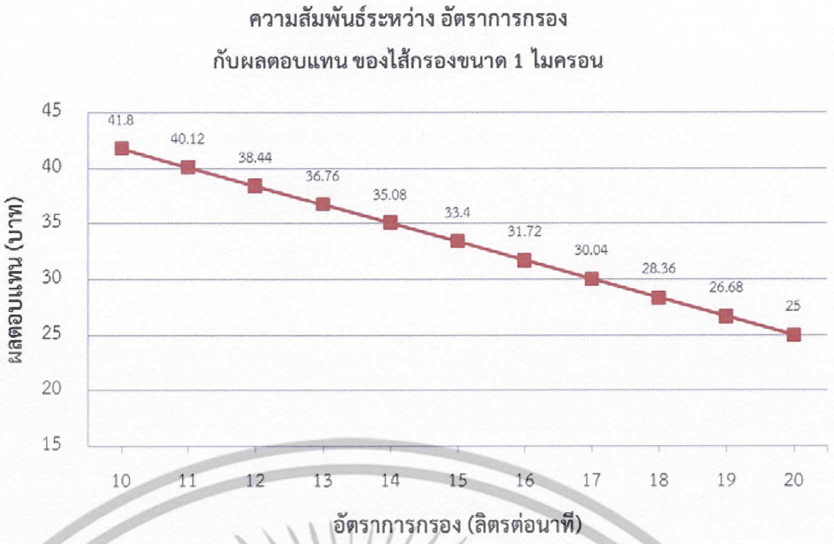


รูปที่ 4.10 การทำงานของเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกรอง กับอายุไส้กรองขนาด 1 ไมครอน

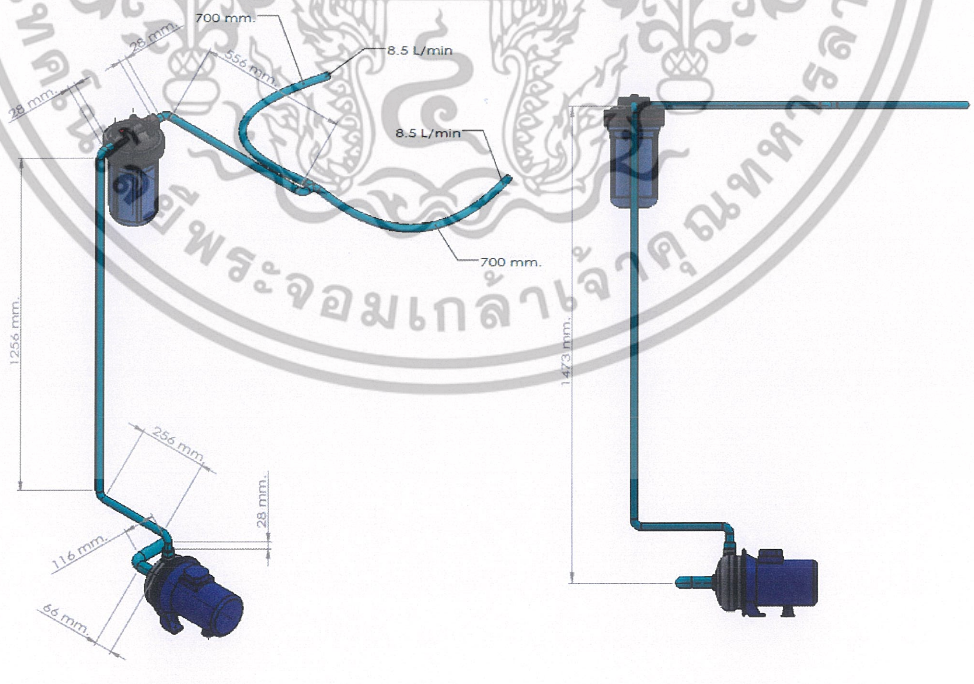
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกรอง กับผลตอบแทน ของไส้กรองขนาด 1 ไมครอน

4.3 การคำนวณระบบน้ำ

ระบบน้ำของเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด ดังแสดงในรูปที่ 4.13 มีระบบกรองน้ำโดยใช้ไส้กรองหยาบ Sediment (PP) ความละเอียด 1 ไมครอน มีอัตราการใช้น้ำเท่ากับ 17 ลิตรต่อนาที การเลือกใช้ปั๊มน้ำที่เหมาะสมเพียงพอต่อความต้องการของเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด ทั้งอัตราการไหล และแรงดัน โดยแสดงการคำนวณดังนี้



รูปที่ 4.13 ความยาวของท่อน้ำ และการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความเร็วการไหลของน้ำขาเข้า และขาออก ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 28 มิลลิเมตร และ 18 มิลลิเมตร อัตราการไหลของน้ำ ภายในท่อ 0.00028 m^3/s สามารถหาได้จากสมการ

$$Q = AV$$

$$0.00028 = \pi(\frac{0.028}{2})^2 V_1$$

$$V_1 = 0.45\ m/s$$

$$0.00028 = \pi(\frac{0.018}{2})^2 V_2$$

$$V_2 = 1.1\ m/s$$

น้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติดังนี้ ρ = 997 kg / m^3 , μ = 0.89 x 10^{-3} $N.s/m^2$ และจากข้อมูลเบื้องต้น V_1 = 0.45 m/s , V_2 = 1.1 m/s , D_1 = 0.028 m , D_2 = 0.018 m สามารถคำนวณตัวเลขเรโนลส์ (Reynolds number) จากสมการ

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

$$Re_{in} = \frac{997 \times 0.45 \times 0.028}{0.89 \times 10^{-3}}$$

$$Re_{in} = 14{,}114$$

$$Re_{out} = \frac{997 \times 1.1 \times 0.018}{0.89 \times 10^{-3}}$$

$$Re_{out} = 22{,}180$$

ความหยาบ (ε) ในท่อพีวีซี มีค่า 0.0015 และตัวเลขเรโนลส์ (Reynolds number) 14,114 และ 22,180 ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ซึ่งหาได้จาก Moody chart มีค่า 0.07 และ 0.09

สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน f_{in} = 0.07 , f_{out} = 0.09 , ความยาวท่อ L_{in} = 0.182 m , L_{out} = 3.552 m ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ D_1 = 0.028 m , D_2 = 0.018 m และความเร็วของน้ำ V_1 = 0.45 m/s , V_2 = 1.1 m/s สามารถหาการสูญเสียหลัก (Major loss) ได้จากสมการ

$$h_f = f\frac{L}{D}\ \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = \left(0.07 \times \frac{0.182}{0.028} \times \frac{0.45^2}{2g}\right) + \left(0.09 \times \frac{3.552}{0.018} \times \frac{1.1^2}{2g}\right)$$

$$h_f = 1.06\ m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบน้ำขาเข้าประกอบด้วยข้องอ 1 ตัว (K=0.25) และทางเข้า (K=1) ระบบน้ำขาออกประกอบด้วยข้องอ 5 ตัว (K=0.25) ข้อต่อลด 1 ตัว (K=0.18) และข้อต่อสามทาง 1 ตัว (K=0.75) ดังนั้นสามารถหาการสูญเสียรอง (Minor loss) ได้จากสมการ

$$h_m = K\frac{v^2}{2g}$$

$$h_m = \left((0.25 + 1) \times \frac{0.45^2}{2g}\right) + \left((5(0.25) + 0.75 + 0.18) \times \frac{1.1^2}{2g}\right)$$

$$h_m = 0.14\ m$$

ในระบบน้ำยังมีไส้กรอง 1 ไมครอน 1 ตัว ที่อัตราการไหล 17 ลิตรต่อนาที สูญเสียแรงดัน 0.71 m ดังนั้น h_m =0.71 + 0.14 = 0.85 m

$$h_L = h_f + h_m$$

$$h_L = 1.06 + 0.85$$

$$h_L = 1.91\ m$$

ดังนั้นสมการสมดุลพลังงานจึงสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

$$0 + \frac{p_1}{997g} + \frac{0.45^2}{2g} = 1.473 + \frac{0}{997g} + \frac{1.1^2}{2g} + 1.91$$

$$P_1 = 33{,}574.7\ Pa$$

ดังนั้นสามารถหา head ของปั๊มน้ำ ได้จากสมการ

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$$

$$H = 0 + \frac{33{,}574.7}{997g} + \frac{0.45^2}{2g}$$

$$H = 3.4\ m$$

ดังนั้นเลือกปั๊มน้ำที่มี H เท่ากับ 3.4 เมตร ที่อัตราการไหล 17 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด เพื่อให้ได้ค่าที่ใช้น้ำน้อยที่สุด แบ่งออกเป็น 24 การทดลอง พบว่าการทดลองที่ 9 และการทดลองที่ 21 ซึ่งมีตัวแปรที่เหมือนกัน คือแรงดันน้ำ 1.8 บาร์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด 15 วินาทีต่อรอบ ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว 300 มิลลิเมตร ส่วนตัวแปรที่ต่างกันคือ หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 และ 2.4 มิลลิเมตร มีค่าความสะอาดที่ใกล้เคียงกันคือ 96 % การทดลองที่ 9 มีปริมาณการใช้น้ำที่ 8.5 ลิตรต่อนาที ซึ่งน้อยกว่าการทดลองที่ 21 ถึง 7.5 ลิตรต่อนาที จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด เพื่อให้ได้ค่าที่ใช้น้ำน้อยที่สุด คือ หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร แรงดันน้ำ 1.8 บาร์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด 15 วินาทีต่อรอบ ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว 300 มิลลิเมตร จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า แรงดันน้ำ ระยะห่างของหัวฉีดกับพื้นผิว และความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดที่ต่างกัน มีผลต่อความสะอาดกล่าวคือ แรงดันที่มากกว่าจะมีแรงกระแทกมากกว่าจึงสามารถกำจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่า หัวฉีดที่อยู่ห่างจากพื้นผิวจะทำให้ความสามารถในการทำความสะอาดลดลง และอีกปัจจัยคือความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีดจะเห็นได้ว่าหัวฉีดที่เคลื่อนที่เร็วกว่าจะสามารถขจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่เพื่อทำความสะอาดได้รอบมากกว่าในเวลาที่เท่ากัน ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดที่เหมาะสมก็จะทำให้เกิดการใช้น้ำน้อยที่สุด

การกรองน้ำเพื่อหาอายุการใช้งานของไส้กรองหยาบ Sediment (PP) แบ่งออกเป็น 8 การทดลอง พบว่าไส้กรองความละเอียด 1 ไมครอน มีความเหมาะสมมากกว่าไส้กรองความละเอียด 5 ไมครอน อัตราการกรอง 10 ลิตรต่อนาที สามารถกรองน้ำได้ปริมาณมากที่สุดคือ 5700 ลิตร ส่วนอัตราการกรอง 20 ลิตรต่อนาที สามารถกรองน้ำได้ 4100 ลิตร จะเห็นว่าอัตราการกรอง และปริมาณดินโคลนที่เติมลงไปในน้ำ ส่งผลต่ออายุการใช้งานของไส้กรอง สามารถสรุปได้ว่า การกรองในอัตราที่ช้ากว่าทำให้น้ำค่อยๆไหลผ่านไส้กรอง ดินโคลนสามารถเกาะติดผิวไส้กรองได้ดีกว่าการกรองในอัตราที่เร็วกว่า ส่วนการกรองน้ำที่มีปริมาณดินโคลนที่มากกว่าย่อมทำให้ดินโคลนเข้าไปเกาะติดผิวไส้กรองได้เร็วกว่า และไส้กรองที่มีความละเอียดมากกว่าสามารถกรองสิ่งสกปรกได้ดีกว่า

เครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด โครงสร้างขนาด กว้าง 0.96 เมตร ยาว 1.92 เมตร สูง 1.8 เมตร โดยทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ มีน้ำหนักเบา แข็งแรง สามารถประกอบได้ง่าย ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายไปตามสถานที่ต่างๆได้ มีระบบตกตะกอนน้ำอยู่ด้านล่าง มีระบบกรองน้ำโดยใช้ไส้กรองหยาบ Sediment (PP) ความละเอียด 1 ไมครอน มีอัตราการใช้น้ำเท่ากับ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิตรต่อนาที การเลือกใช้ปั๊มน้ำที่เหมาะสมเพียงพอต่อความต้องการของเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด ควรเลือกปั๊มน้ำที่มี H เท่ากับ 3.4 เมตร ที่อัตราการไหล 17 ลิตรต่อนาที

เนื่องจากเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด มีการทำงาน คือน้ำจากการล้างรถจักรยานจะไหลลงสู่ส่วนตกตะกอน จากนั้นปั๊มน้ำก็จะดูดน้ำผ่านกรองเพื่อไปใช้ล้างรถจักรยานต่อไป ดังนั้นอัตราการกรองน้ำจึงเท่ากับอัตราการใช้น้ำคือ 17 ลิตรต่อนาที เมื่อใช้ไส้กรองความละเอียด 1 ไมครอน อัตราการกรอง 17 ลิตรต่อนาที จะสามารถกรองน้ำได้ปริมาณ 4,580 ลิตร และสามารถประหยัดค่าน้ำประปาได้ 30.04 บาท ต่อการเปลี่ยนไส้กรอง 1 ชิ้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฏฐา. " เกร็ดความรู้ทรัพยากรธรรมชาติเรื่องภาวะขาดแคลนน้ำ : ภัยร้ายที่กำลังมาเยือน " กรุงเทพฯ: ส่วนส่งเสริมการมีส่วนร่วม สำนักส่งเสริมและประสานมวลชน กรมทรัพยากรน้ำ. [Online].เข้าถึงได้จาก: http://www.dwr.go.th/contents/content/files/001002/0012763_1.pdf. 2553.

[2] ณัฏฐา. " เกร็ดความรู้ทรัพยากรธรรมชาติเรื่องน้ำ...อนาคตที่ต้องแย่งชิง " กรุงเทพฯ: ส่วนส่งเสริมการมีส่วนร่วม สำนักส่งเสริมและประสานมวลชน กรมทรัพยากรน้ำ. [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.dwr.go.th/contents/content/files/001002/0011197_1.pdf. 2552.

[3] ธนพัฒน์ ไพบูลย์ศิริจิต, น้ำทิพย์ สิทธิ์อมรพร. " การทดลองเพื่อศึกษาลักษณะฝอยละอองของของเหลวด้วยเทคนิคการถ่ายภาพ " ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2553.

[4] Spraying Systems Co. " Optimizing Your Spray System, Technical Manual ". [Online].Available : http://www.spray.com/literature_pdfs/TM4 1 0 B_Optimizing_Your_Spray_System.pdf. 2018.

[5] ดุลยโชติ ชลศึกษ์. " การออกแบบระบบท่อทางวิศวกรรม " ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. [Online].เข้าถึงได้จาก: http://www.dulyachot.me.engr.tu.ac.th/pipebook.pdf. 2559.

[6] ชฎิล ศรีรัตนโยธิน, นพดล สิโนทก. " การศึกษาและวิเคราะห์ค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการกรองน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว " ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2555.

[7] เว็บไซต์ www.dtsood.com. " มารู้จักคุณสมบัติของไส้กรอง ". [Online].เข้าถึงได้จาก: http://dtsood.igetweb.com/articles/42135265/. 2561.

[8] Pure Water Products. " How Sediment Filters Work ". [Online].Available : http://www.purewateroccasional.net/hwsedimentfilter.html. 2018.

[9] ปราโมช เชี่ยวชาญ. " จุลสารสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ตอนที่ 3 – คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี " นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. [Online].เข้าถึงได้จาก: http://www.stou.ac.th/Schools/Shs/booklet/2552_3/healthiness.html. 2552.

[10] ปราโมช เชี่ยวชาญ. " จุลสารสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ตอนที่ 4 – คุณภาพน้ำทางชีวภาพ " นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. [Online].เข้าถึงได้จาก:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://www.stou.ac.th/Schools/Shs/booklet/2552_3/OcupationHealth452.html . 2552.

[11] สันติ สถิตวรรธนะ. “ การตรวจสอบลายและสิ่งสกปรกบนผิวและในเนื้อยางแผ่น ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2548.

[12] นิยดา มะสุนี. “ การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2557.

[13] กิตติกร หาญตระกูล, พูนพัฒน์ พูนน้อย. “ การพัฒนาเครื่องคัดขนาดกุ้งผ่าหลังแบบผีเสื้ออัตโนมัติระบบคอมพิวเตอร์วิสัยทัศน์ ” รายงานผลการวิจัย, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2556.

[14] ธนกาญจน์ การีเพ็ชร์. “ การออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องล้างไข่เป็ดต้นแบบ ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2556.

[15] ชานนท์ จังกาจิตต์, ชัชชัย คุณบัว. “ การวิเคราะห์ความขาวของข้าวจากอุปกรณ์ตรวจวัดสี ” Graduate Research Conference, 2556. หน้า 238-243

[16] Vaibhav Karnawat., S.L.Patil. “ Turbidity detection using Image Processing. ” International Conference on Computing, Communication and Automation., 2016. Pp. 1086-1089

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

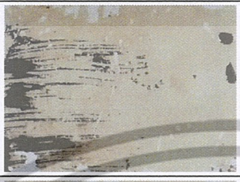
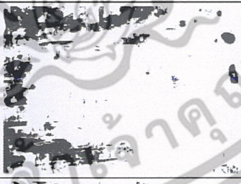
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB

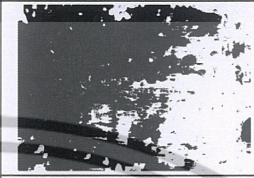
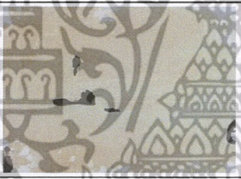
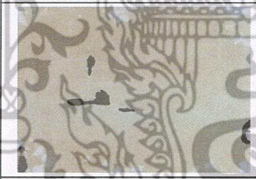
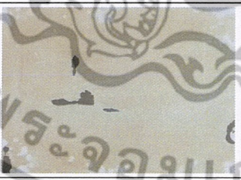
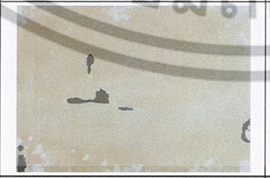
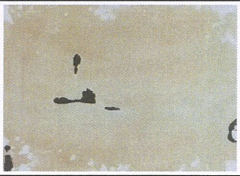
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 1

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			3.54
40			42.14
60			46.39
80			50.12
100			56.82
120			63.44
140			68.17
160			75.53
180			76.33

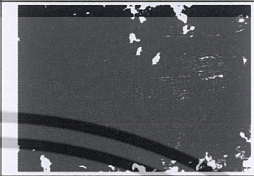
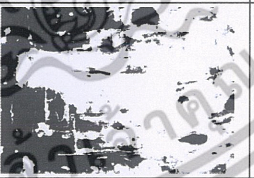
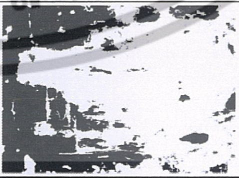
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 2

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			4.84
40			36.06
60			44.2
80			46.44
100			51.77
120			60.42
140			65.29
160			66.7
180			70.58

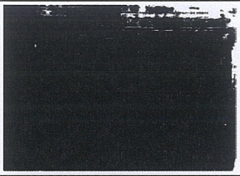
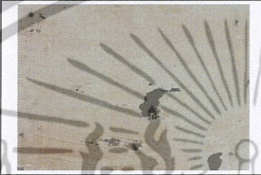
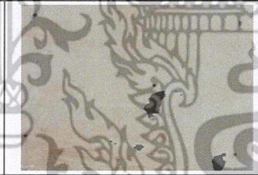
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 3

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			4.24
40			4.6
60			39.27
80			39.45
100			55.94
120			58
140			63.16
160			64.19
180			66.87

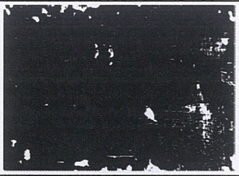
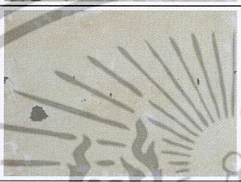
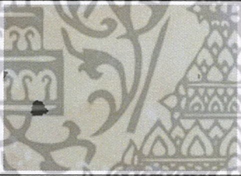
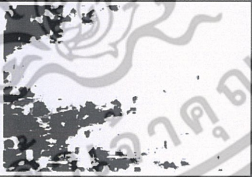
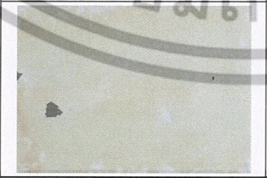
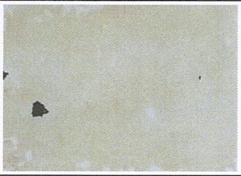
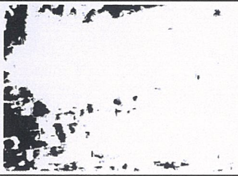
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 4

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			3.75
40			4.14
60			31.13
80			32.78
100			45.97
120			50.76
140			53.53
160			57.12
180			58.38

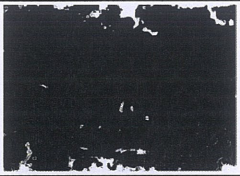
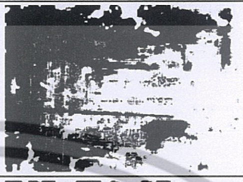
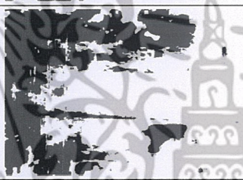
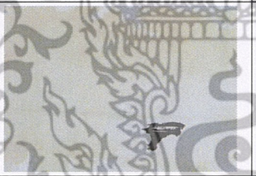
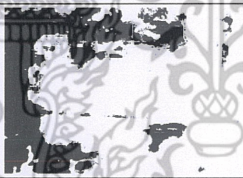
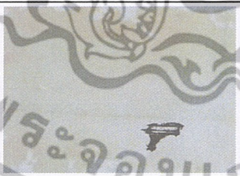
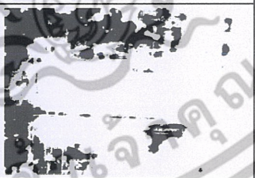
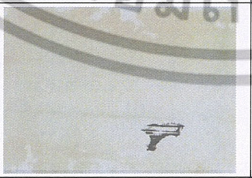
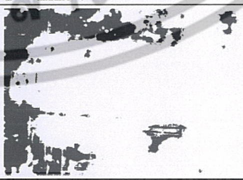
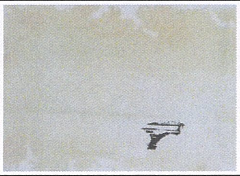
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 5

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			4.63
40			50.73
60			57.85
80			66.04
100			70.86
120			75.88
140			79.45
160			81.44
180			84.81

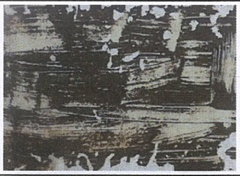
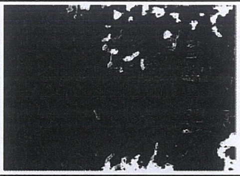
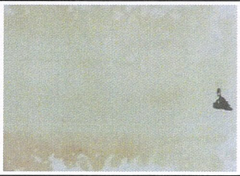
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 6

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			4.47
40			46.38
60			55.85
80			61.19
100			65.43
120			69.68
140			74.71
160			78.49
180			80.48

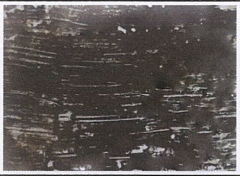
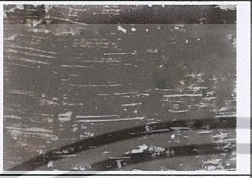
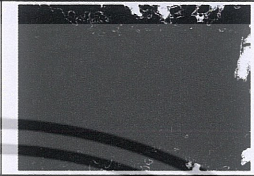
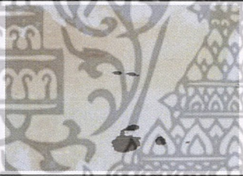
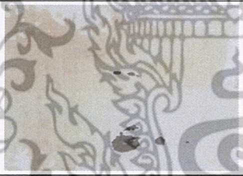
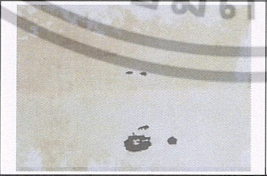
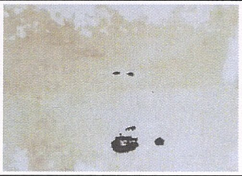
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 7

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			5.61
40			6.83
60			55.28
80			56.33
100			67.08
120			70.00
140			72.16
160			73.93
180			75.98

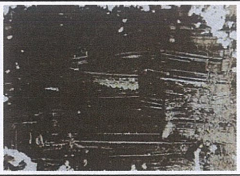
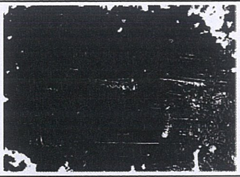
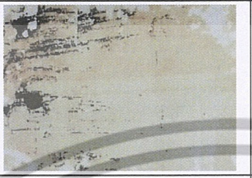
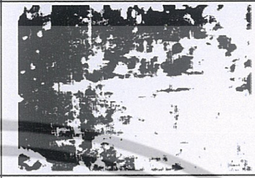
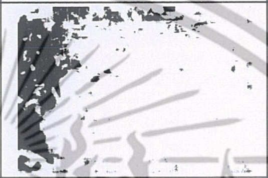
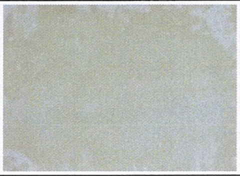
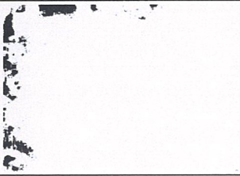
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 8

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			3.73
40			3.83
60			36.59
80			39.08
100			48.05
120			54.27
140			58.82
160			63.78
180			65.93

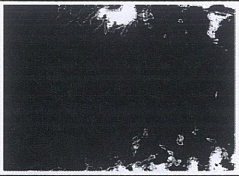
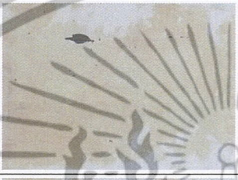
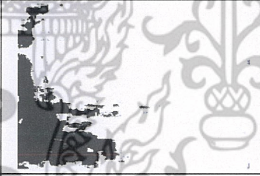
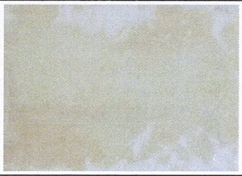
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 9

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			7.53
40			56.07
60			83.03
80			88.04
100			91.82
120			92.68
140			94.97
160			95.19
180			96.10

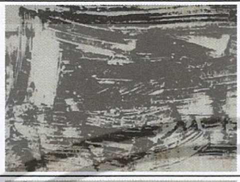
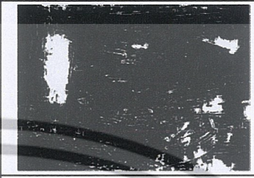
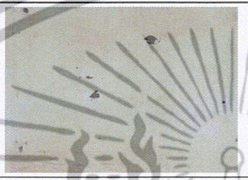
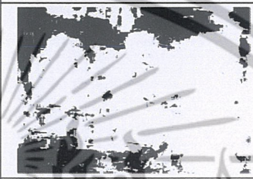
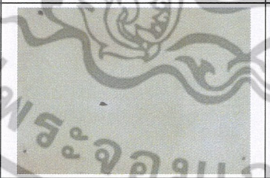
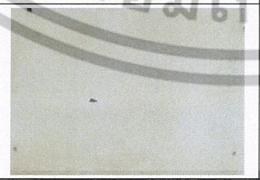
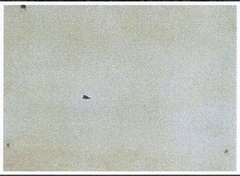
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 10

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			5.81
40			51.66
60			73.73
80			75.43
100			80.91
120			84.23
140			85.53
160			88.30
180			90.63

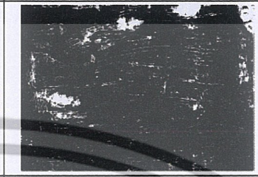
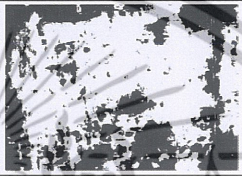
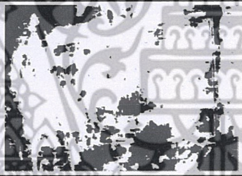
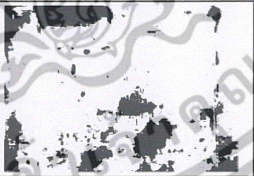
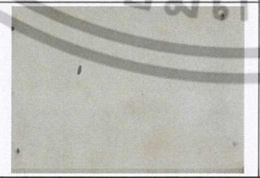
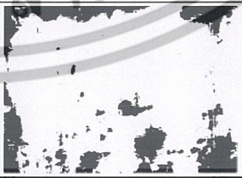
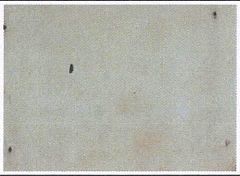
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 11

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			8.39
40			10.82
60			71.44
80			72.13
100			80.83
120			81.89
140			85.88
160			86.90
180			88.33

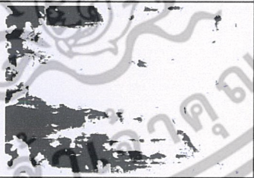
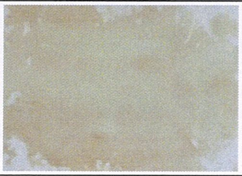
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 12

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			6.28
40			8.25
60			61.42
80			63.18
100			69.04
120			76.04
140			81.22
160			80.53
180			82.83

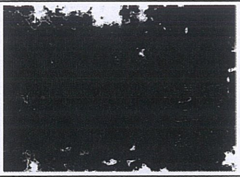
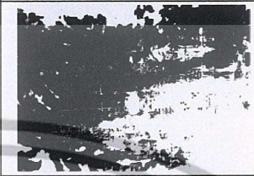
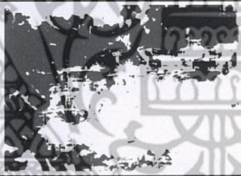
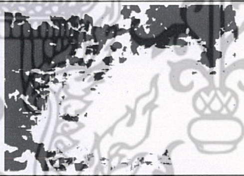
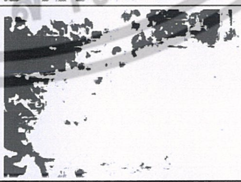
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 13

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			4.78
40			44.31
60			55.85
80			57.32
100			62.57
120			73.99
140			77.9
160			81.15
180			81.41

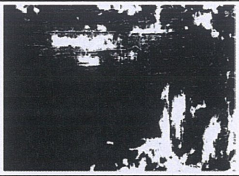
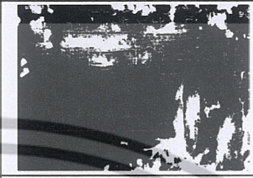
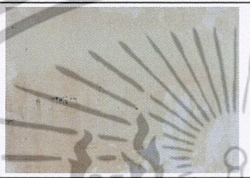
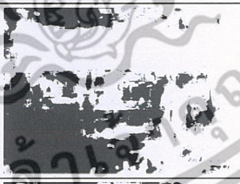
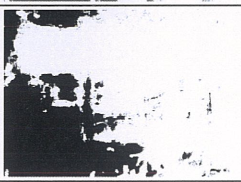
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 14

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			5.29
40			39.21
60			50.62
80			53.21
100			55.33
120			67.99
140			72.60
160			76.90
180			77.80

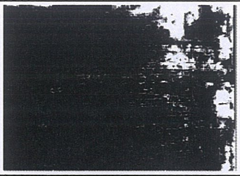
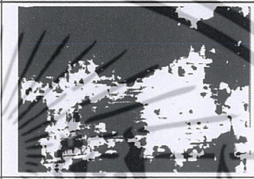
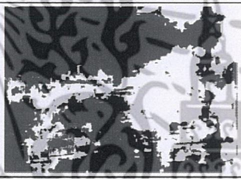
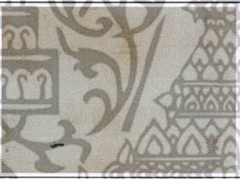
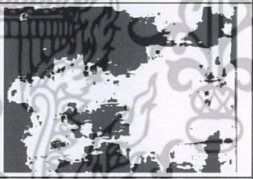
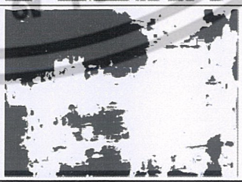
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 15

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			16.13
40			18.11
60			42.02
80			43.57
100			54.59
120			61.5
140			63.14
160			64.36
180			69.36

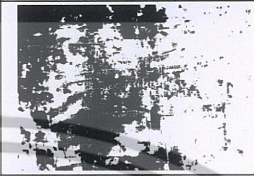
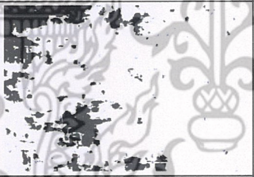
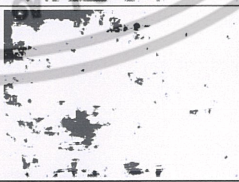
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.16 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 16

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			10.45
40			12.55
60			34.5
80			37.3
100			47.63
120			55.88
140			56.52
160			60.58
180			63.57

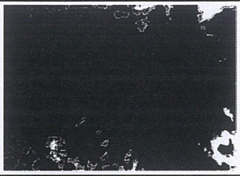
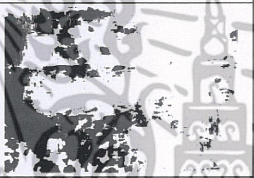
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.17 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 17

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			4.13
40			57.45
60			65.09
80			73.17
100			83.43
120			84.62
140			87.74
160			90.15
180			91.07

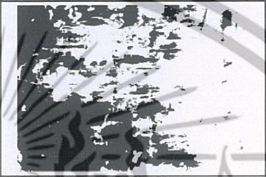
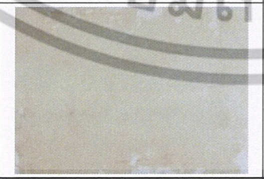
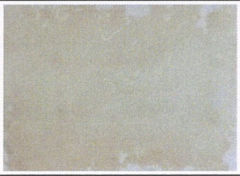
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.18 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 18

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			4.48
40			49.58
60			61.36
80			71.88
100			75.88
120			82.36
140			85.89
160			88.56
180			90.22

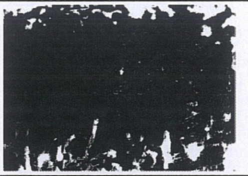
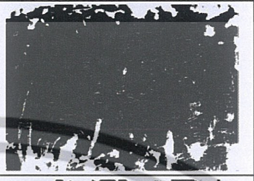
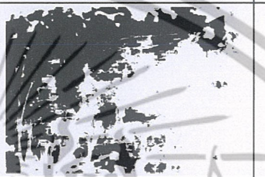
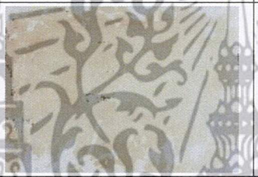
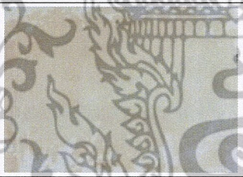
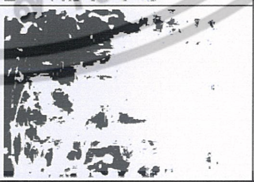
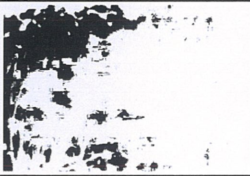
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.19 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 19

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			13.18
40			13.81
60			57.19
80			62.5
100			70.83
120			76.06
140			78.49
160			80.89
180			83.12

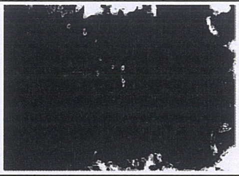
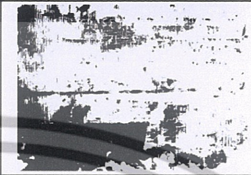
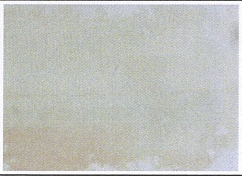
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.20 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 20

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			10.64
40			14.1
60			56.33
80			60.01
100			66.45
120			68.06
140			70.56
160			72.19
180			76.54

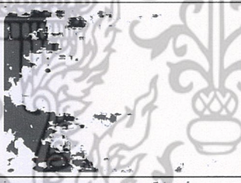
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.21 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 21

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			4.76
40			67.62
60			87.35
80			88.66
100			91.63
120			92.11
140			92.25
160			92.9
180			96.14

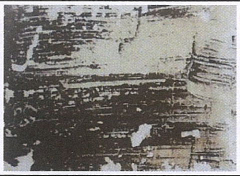
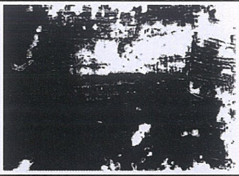
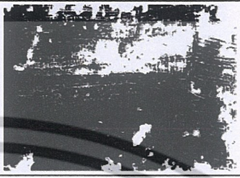
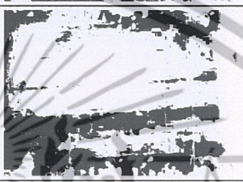
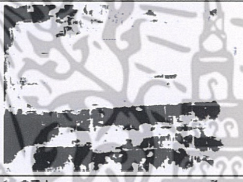
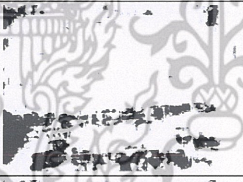
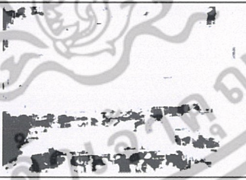
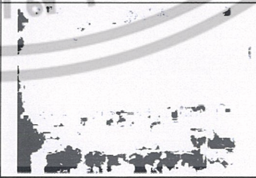
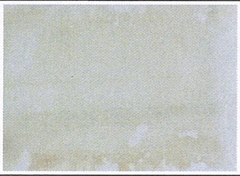
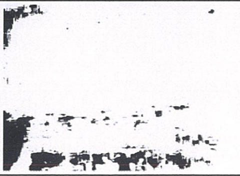
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.22 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 22

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			3.52
40			54.51
60			73.29
80			74.90
100			81.44
120			84.66
140			86.67
160			87.48
180			90.28

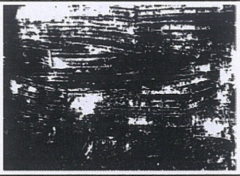
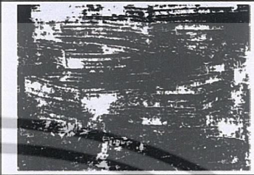
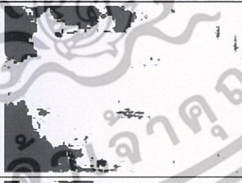
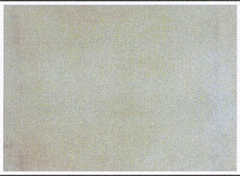
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.23 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 23

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			23.71
40			25.06
60			67.22
80			74.50
100			79.96
120			85.70
140			87.08
160			88.34
180			90.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.24 แสดงภาพความสะอาดในแต่ละช่วงเวลาการทดลองที่ 24

เวลา (วินาที)	RGB image	Binary image	White pixel %
20			22.74
40			24.51
60			61.71
80			65.93
100			73.73
120			78.65
140			82.08
160			86.16
180			88.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

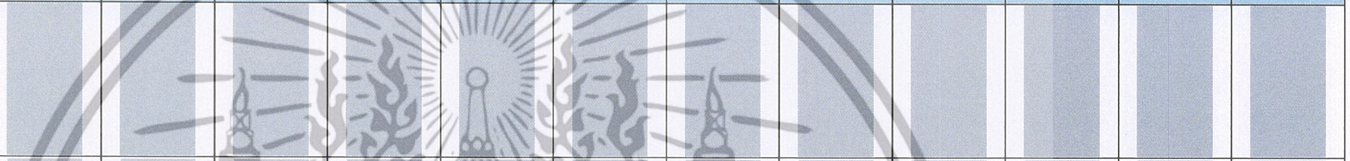
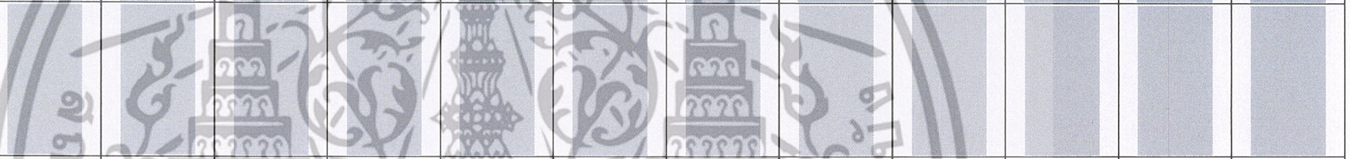
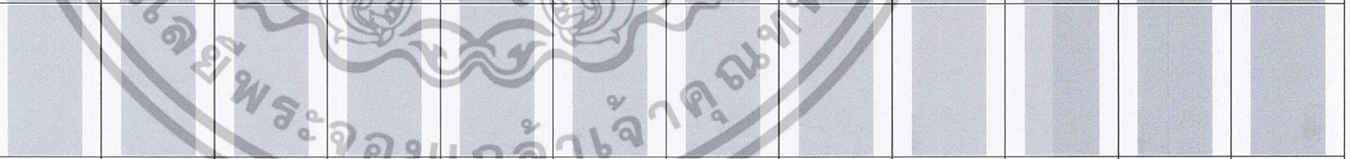
รายละเอียดคำสั่งของโปรแกรม MATLAB สำหรับการทดลองการหาตัวแปรที่มีผลต่อความสะอาด

```
x = imread('ชื่อรูป.jpg');
bw = im2bw(x,0.65);
imshow(bw)
[rows columns] = size(bw);
TotalNumberOfPixels = rows * columns;
NumberOfPixelsBlack = sum(sum(bw == 0));
NumberOfPixelsWhite = sum(sum(bw == 1));
PercentPixelsBlack = [100.0 * NumberOfPixelsBlack] /TotalNumberOfPixels;
PercentPixelsWhite = [100.0 * NumberOfPixelsWhite] /TotalNumberOfPixels;
```

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

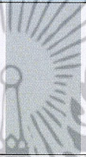
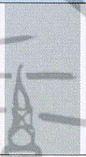
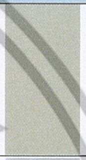
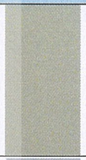
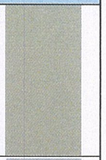
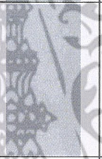
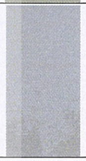
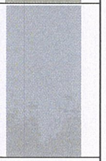
ตารางที่ ก.25 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 1

ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.00	6.00	6.01	6.01	6.02	6.02	6.02	6.02	6.03	6.03	6.04	6.04

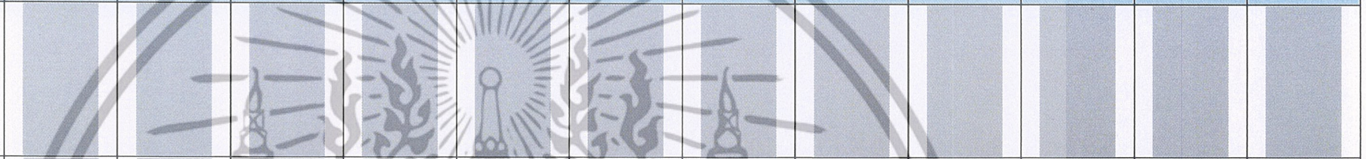
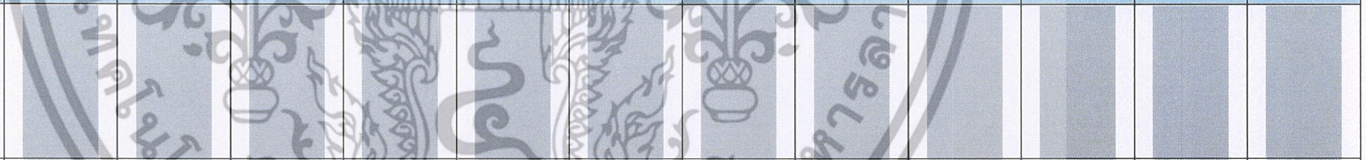
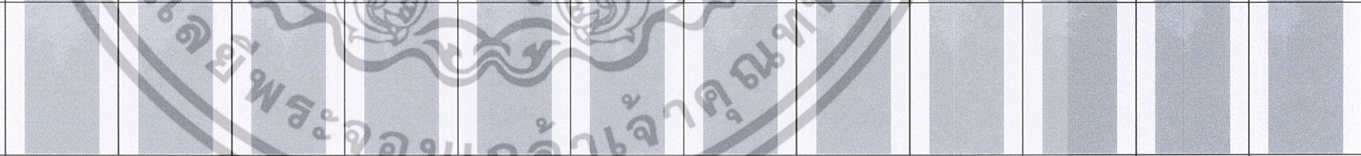
ตารางที่ ก.25 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 1 (ต่อ)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.04	6.04	6.05	6.05	6.05	6.06	6.07	6.07	6.08	6.08	6.09	6.10
ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	3700	3800	3900	4000	4100	4200	4300	4400	4500	4600	4700	4800
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.10	6.11	6.12	6.12	6.13	6.14	6.15	6.16	6.16	6.18	6.19	6.22

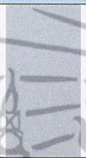
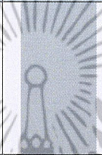
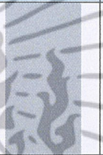
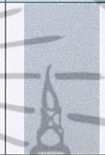
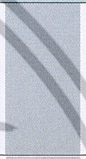
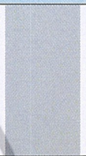
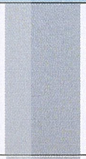
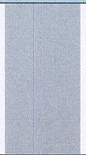
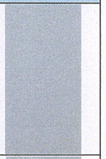
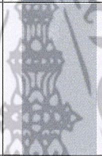
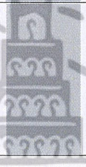
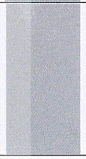
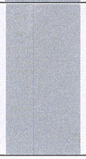
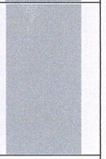
ตารางที่ ก.25 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 1 (ต่อ)

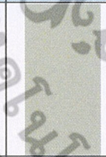
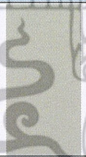
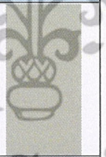
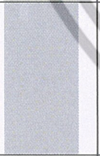
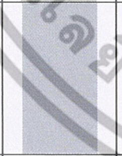
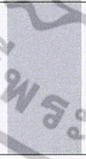
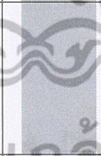
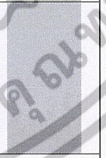
ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	4900	5000	5100	5200	5300	5400	5500	5600	5700	5800	5900
RGB image											
Grayscale Image											
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.28	6.38	6.43	6.52	6.60	6.72	6.85	6.99	7.08	7.18	7.25

ตารางที่ ก.26 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 2

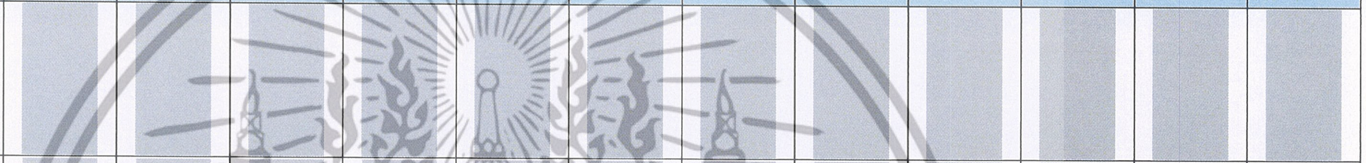
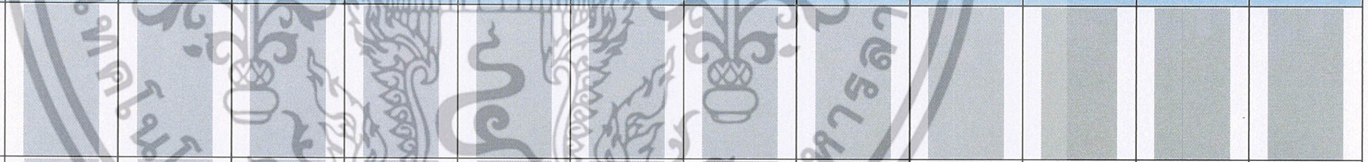
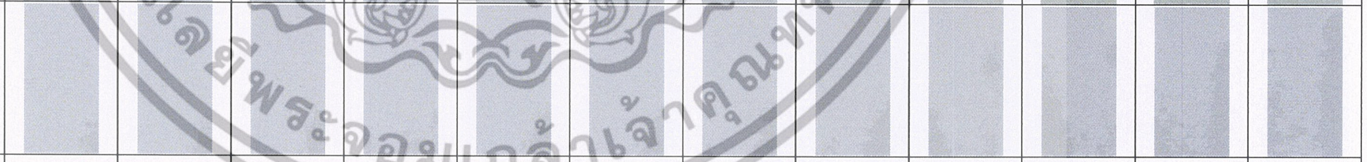
ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.46	6.55	6.63	6.66	6.66	6.72	6.72	6.76	6.77	6.77	6.78	6.78
ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.78	6.85	6.86	6.89	6.89	6.89	6.90	6.90	6.90	6.91	6.92	6.92

ตารางที่ ก.26 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 2 (ต่อ)

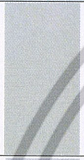
ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.94	6.95	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	6.97	6.98	6.98	6.99	6.99

ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	3700	3800	3900	4000	4100	4200	4300
RGB image							
Grayscale Image							
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.99	6.99	7.02	7.05	7.10	7.14	7.23

ตารางที่ ก.27 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 3

ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.01	6.01	6.02	6.03	6.03
ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.05	6.05	6.07	6.07	6.08	6.08	6.09	6.11	6.14	6.23	6.30	6.39

ตารางที่ ก.27 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 3 (ต่อ)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	2500	2600	2700	2800
RGB image				
Grayscale Image				
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.54	6.75	7.00	7.17

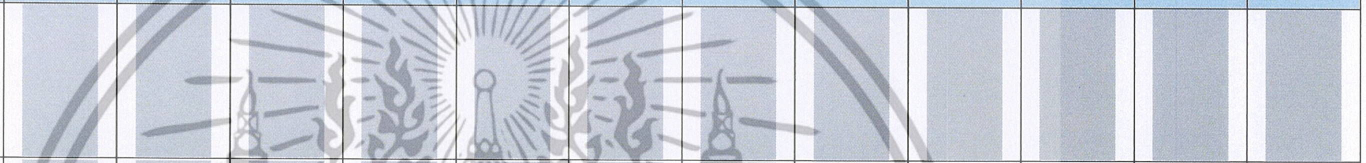
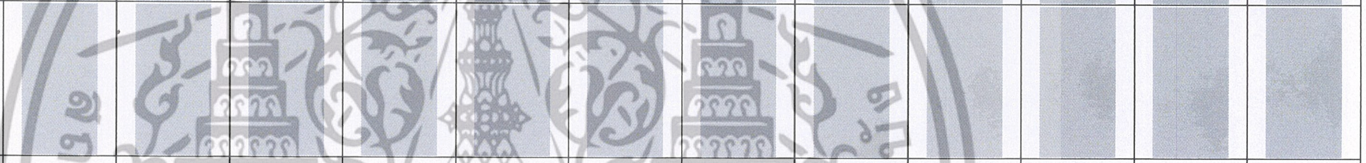
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ ก.28 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 4

ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.66	6.77	6.82	6.86	6.87	6.92	6.94	6.95	6.96	6.96	6.96	6.99

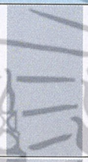
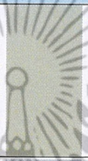
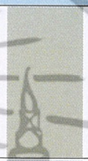
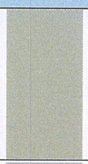
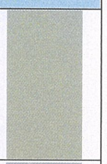
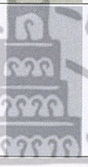
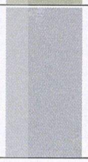
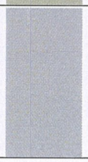
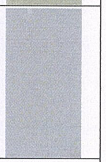
ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
RGB image							
Grayscale Image							
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.99	7.00	7.01	7.01	7.01	7.07	7.11

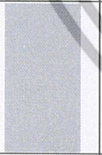
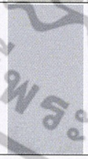
ตารางที่ ก.29 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 5

ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.01	6.07	6.12	6.17	6.21	6.28

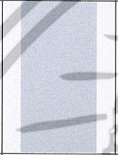
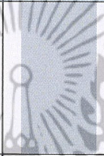
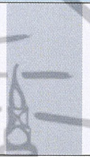
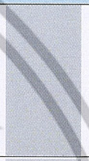
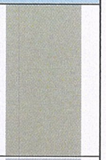
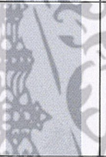
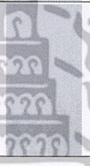
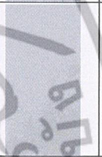
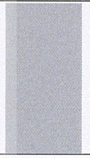
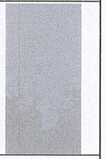
ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
RGB image							
Grayscale Image							
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.33	6.42	6.47	6.69	6.85	7.01	7.28

ตารางที่ ก.30 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 6

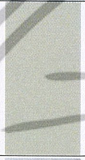
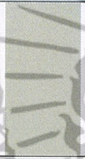
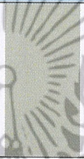
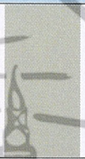
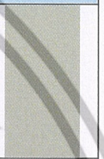
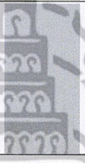
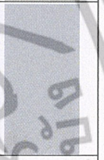
ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
RGB image												
Grayscale Image												
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.69	6.79	6.88	6.94	6.95	6.96	6.96	6.97	6.99	7.00	7.01	7.02

ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	1300	1400	1500	1600
RGB image				
Grayscale Image				
ระดับความสกปรกของน้ำ	7.03	7.05	7.10	7.14

ตารางที่ ก.31 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 7

ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
RGB image											
Grayscale Image											
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.00	6.00	6.00	6.01	6.07	6.13	6.21	6.27	6.53	7.01	7.33

ตารางที่ ก.32 แสดงภาพความสะอาดในการกรอง ตามปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองการทดลองที่ 8

ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรอง (ลิตร)	100	200	300	400	500	600	700	800
RGB image								
Grayscale Image								
ระดับความสกปรกของน้ำ	6.81	6.95	6.96	6.97	7.01	7.02	7.06	7.11

รายละเอียดคำสั่งของโปรแกรม MATLAB สำหรับการทดลองกรองน้ำ

```
RGB = imread('ชื่อรูป.jpg');
imshow(RGB)
I = rgb2gray(RGB);
figure
imshow(I)
[I,map]=gray2ind(I,20);imshow(I,map)
[rows columns] = size(I);
totalNumberOfPixels = rows * columns;
numberOfPixels1 = sum(sum(I==1));
numberOfPixels2 = sum(sum(I == 2));
numberOfPixels3 = sum(sum(I==3));
numberOfPixels4 = sum(sum(I==4));
numberOfPixels5 = sum(sum(I==5));
numberOfPixels6 = sum(sum(I==6));
numberOfPixels7 = sum(sum(I==7));
numberOfPixels8 = sum(sum(I==8));
numberOfPixels9 = sum(sum(I==9));
numberOfPixels10 = sum(sum(I==10));
numberOfPixels11 = sum(sum(I==11));
numberOfPixels12 = sum(sum(I==12));
numberOfPixels13 = sum(sum(I==13));
numberOfPixels14 = sum(sum(I==14));
numberOfPixels15 = sum(sum(I==15));
numberOfPixels16 = sum(sum(I==16));
numberOfPixels17 = sum(sum(I==17));
numberOfPixels18 = sum(sum(I==18));
numberOfPixels19 = sum(sum(I==19));
numberOfPixels20 = sum(sum(I==20));
percentPixels1 = [100.0 * numberOfPixels1] /totalNumberOfPixels;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
percentPixels2 = [100.0 * numberOfPixels2] /totalNumberOfPixels;
percentPixels3 = [100.0 * numberOfPixels3] /totalNumberOfPixels;
percentPixels4 = [100.0 * numberOfPixels4] /totalNumberOfPixels;
percentPixels5 = [100.0 * numberOfPixels5] /totalNumberOfPixels;
percentPixels6 = [100.0 * numberOfPixels6] /totalNumberOfPixels;
percentPixels7 = [100.0 * numberOfPixels7] /totalNumberOfPixels;
percentPixels8 = [100.0 * numberOfPixels8] /totalNumberOfPixels;
percentPixels9 = [100.0 * numberOfPixels9] /totalNumberOfPixels;
percentPixels10 = [100.0 * numberOfPixels10] /totalNumberOfPixels;
percentPixels11 = [100.0 * numberOfPixels11] /totalNumberOfPixels;
percentPixels12 = [100.0 * numberOfPixels12] /totalNumberOfPixels;
percentPixels13 = [100.0 * numberOfPixels13] /totalNumberOfPixels;
percentPixels14 = [100.0 * numberOfPixels14] /totalNumberOfPixels;
percentPixels15 = [100.0 * numberOfPixels15] /totalNumberOfPixels;
percentPixels16 = [100.0 * numberOfPixels16] /totalNumberOfPixels;
percentPixels17 = [100.0 * numberOfPixels17] /totalNumberOfPixels;
percentPixels18 = [100.0 * numberOfPixels18] /totalNumberOfPixels;
percentPixels19 = [100.0 * numberOfPixels19] /totalNumberOfPixels;
percentPixels20 = [100.0 * numberOfPixels20] /totalNumberOfPixels;
```

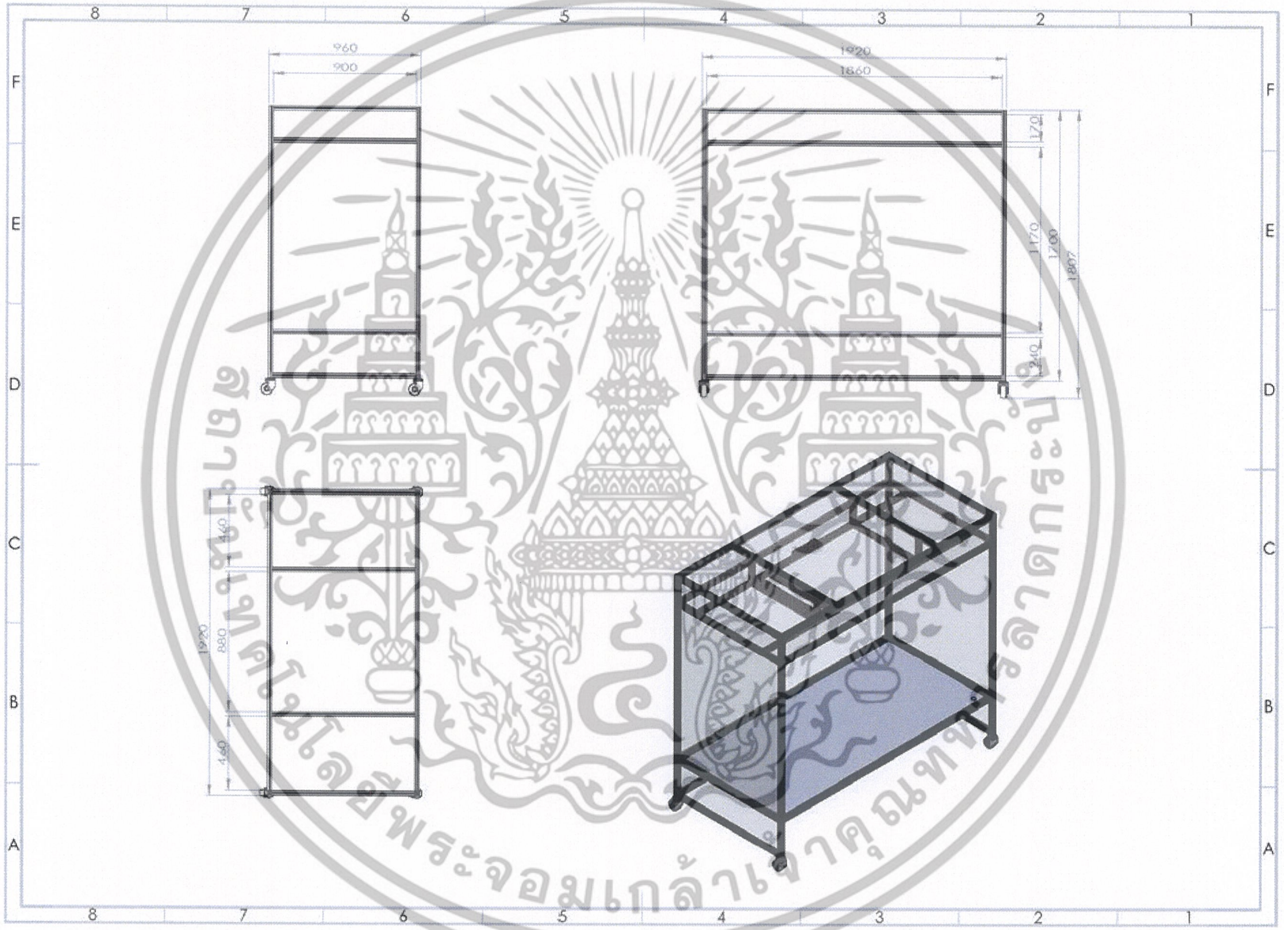
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

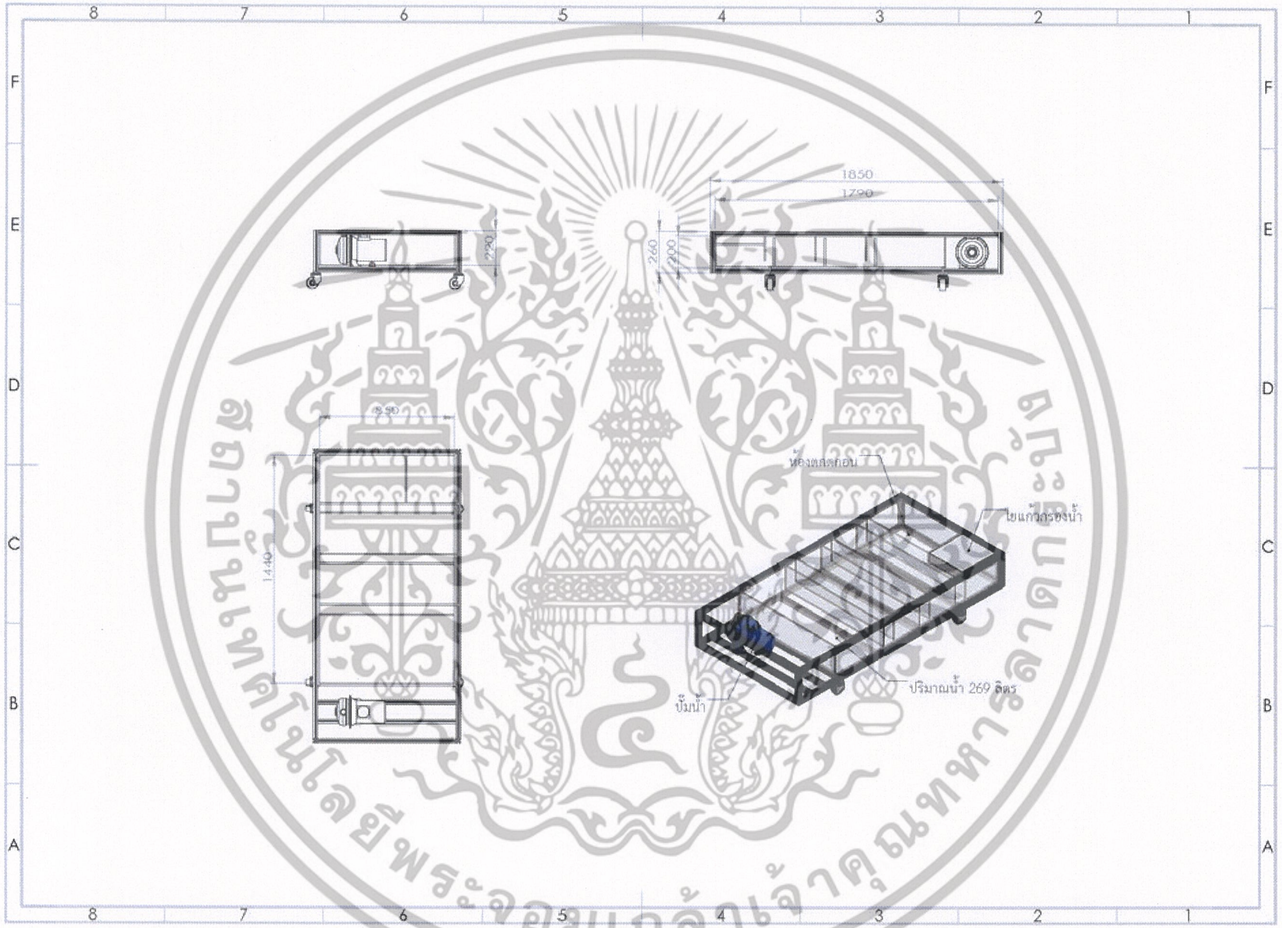
แบบเครื่องล้างรถจักรยานอัตโนมัติโดยใช้น้ำระบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 แบบโครงสร้างเครื่อง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ ข.2 ระบบตกตะกอนน้ำ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ค.

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEEDINGS

The 8th International Sciences, Social Sciences, Engineering and Energy Conference

I-SEEC 2017

A-ONE The Royal Cruise Hotel
Pattaya Beach Chonburi Thailand

March 15th-17th 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I-SEEC 2017 8th International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference
15th-17th March, 2017, The A-ONE Royal Cruise Hotel, Pattaya Beach, Thailand

http://iseec2017.pnru.ac.th

Development of Automatic Bicycle Washing Machine

Pipat Kruawan[e1], Akapot Tantrapiwat[e2]

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

[e1]bbbb7626@hotmail.com, [e2]ktakapot@kmitl.ac.th

Abstract

An automatic bicycle washing machine was designed and fabricated in order to save water and promote the idea of environmental friendly technology. The use of bicycle has been widely accepted as a mean of transportation which is friendly to the environment and also endorses our health in many ways. However maintaining care of the bikes becomes a challenge task for the same concept as using them. With the concern of excessive use of water in bicycle wash, an automatic bicycle washing machine was developed using materials such as stainless steel and aluminum which are also less polluted to the environment. The design can cope with bicycles ranging from small size as 16 inch to full size 26 inch wheel, and different frame patterns such as mountain bike and road bike. In the machine, two washing arms driven by an electric motor and equipped with multiple nozzles move alongside the hung bicycle, and high pressure water was sprayed to clean the bike. Two size of spray angles, 45° and 90°, were used in order to determine best angle for dirt removal. A set of experiments was then carried out, and it has shown that the amount of water used for the machine was 60% less in comparison to typical manual wash. The significant amount of water saved by the machine can surely encourage public to realize the excessive use of our natural resources. Also the outcome of this work can be applied to other types of vehicle cleaning process.

Keywords: Automatic Washing, Bicycle, Machine

1. Introduction

For decades, bicycles have been an important mean of transportation in many countries. Even though in these recent years the advancement of cars and other types of vehicles have made the bicycles less significant in term of transportation performance, the bicycles immerse as the kind of transportation which is friendly to the environment. Moreover, cycling activity also promotes people health for both exercise and recreation purposes. Today bicycle transportation become popular in many cities as a green transportation in big cities where their normal traffics are overwhelms.

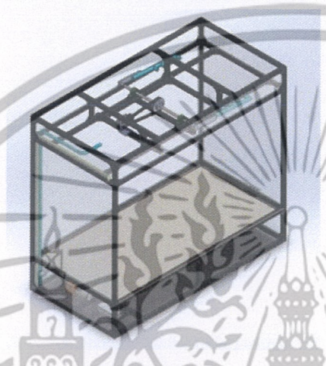
Another major environmental concern in many big cities is the water consumption. As water resources are limited in most regions of the world, the human population becomes a threat for our sustainable civilization. There are research and study which lead to the similar conclusion that in the near future, human will suffer from climate change and many regions will experience serious drought. Therefore saving water resources becomes one of the most concerned environmental problems in today's world.

With environmental concern on both pollution and water resource, a development of bicycle washing machine was developed in order to promote an environmental friendly technology applied to the environmental friendly transportation. In similar application such as automatic car washing industry, there has been studies shown that up to 70% of water consumption can be saved using automatic washing system [1-2]. Also, the automatic washing system can be conveniently combined with water recycle unit, and more water can be saved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Prototype Design

Based on a survey and study on various bicycle shapes and sizes, a washing chamber with dimension of 0.96 x 1.91 x 1.80 meters was selected. With this size, the machine can hold a bicycle ranging from the standard 16 to 26 inches wheel size. The machine was designed to have structure beams made of aluminum for corrosion resistance, and the washing chamber partitions are made of poly carbonate plastic for light weight property. At the bottom of washing chamber there is a stainless steel sheet tray used for collecting the waste water and draining it out through a pipe. Figure 1 (a) and (b) show the design drawing and actual machine respectively. The top part of the machine locates the mechanisms which are used for driving washing arms. The washing arms were equipped with nozzles received high pressure water which are supplied by a high pressure pump located at the bottom compartment of the machine. This compartment also provides space for water tanks and recycling system in order to reuse the waste water.


(a)

(b)

Figure 1 (a) model design of the automatic bicycle washing machine (b) The prototype machine

The high pressure water spray was selected as the cleaning method. The principle of this water stream impact can be effective depending on the liquid momentum which is derived from two parameters, pressure and flow rate. In Fluid Mechanics Theory, the average impact of water jet on a surface is proportional to the flow times the velocity at the impact divided by the surface area. Therefore the spray cleaning performance can be shown as:

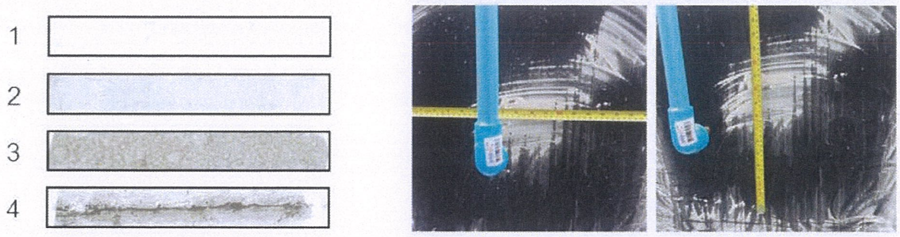
$$R_s \propto \frac{Q \cdot V}{A} \quad (1)$$

However the impact velocity depends on several parameters but mainly on the initial velocity when the water leaves the nozzle. And this initial velocity is highly depending on the fluid pressure forced through the nozzle. In this design, there were eight nozzles equipped on the washing arms, four on each side. The distance between nozzles are smaller near the end of the arm, because it will move passing the area of bicycle sprocket and chain which are normally more dirty than other parts of the bicycle. With all these nozzle fittings and pipe lengths, the Total Dynamic Head (TDH) loss was estimated to be 1.6 meters, and the flow rate produced by the pump was 0.25 liters per second. This flow rate of the pump was set at it maximum, while the velocity was controlled indirectly by the size of the spray. However the cleaning performance is also depending on the impact angle of the jet stream. The force impact on an inclined surface can be seen as:

$$F = m \cdot V(1 - \cos\theta) \quad (2)$$

Where angle θ is the impact angle and V is the velocity at the impact and m is the mass flow rate which correlates directly with the volume flow rate [3]. Therefore different angles of nozzle installation were used in this design and experimentation in order to evaluate the cleaning performance of different nozzle orientations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

Figure 2 (a) distinctive scales of dirtiness (b) Simple cleaning test for spray performance evaluation

3. Experiment Setup

To evaluate performance of the cleaning spry arm, a simple cleaning test was setup using a flat surface as the test sample. The levels of dirtiness were also classified by setting up four different scales as shown in figure 2-(a). By making some surveys on different passenger car condition of dirtiness and imitating the level of this dirtiness. The scales were established by collecting dirt using transparent tapes. Figure 2-b shows the basic test of the washing arm by creating the dirtiness condition on a flat surface of black polypropylene board. The board was coated with white stain made of a mixture of mud and powder. Then the washing spray arm was operated and adjusted to the design condition.

In bicycle cleaning experimentation setup, there are two design parameters, spray sizes and nozzle angles, which were varied for best washing condition. The spray sizes were controlled by adjusting the nozzle orifice, when the different nozzle angles were made through the fitting mount. Figure 3-(a), (b) and (c) show three different spray sizes, wide, medium and narrow stream respectively. At wide angle, the spray angle was adjusted to be approximate 90°. At medium angle the spray was changed to 30°, and the spray was tuned to have angle less than 10° for the narrow stream. These different spray angles caused different impact areas of the jet and produced different cleaning performances as stated in equation (1).

(a) (b) (c)

Fig3 (a) wide angle spray (b) medium angle spray and (c) narrow angle spray

During each test, an amount of 100 grams of wet clay soil was weighted and pasted throughout the bicycle frame imitating the dirt which is usually accumulated on the bicycle when using in muddy road. Then the bicycle was put on the machine and the washing process was activated for 3 minutes. After the washing process was finished, both amount of washed away and remaining clay soil were collected and weighted to compare with the initial amount. This process was done repeatedly on different working conditions as described previously. The summary of test result is shown in Table 1. It represents the different percentages of the remaining dirt in different washing conditions.

Table 1 the summary of bicycle washing test result

Spray sizes	45° Nozzle Angle	90° Nozzle Angle
Wide	22%	21%
Medium	19%	11%
Narrow	36%	17%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Result and Discussion

From the test result, it can be seen that the 90° nozzle angle was able to perform better than the 45° nozzle. Theoretically the 45° should give one direction of a stronger impact force from the jet which will be the wash away force for the stain. However, due to the complicated geometry of the bicycle frame the 45° spray direction does not provide the actual angle of the impact surface same as the angle of spray itself. This was resulted in some remaining dirt at corners where the spray angle seems to be less effective. In 90° nozzle angle case, the direction of spray was symmetrical to all directions especially when comparing to the bicycle frame configuration which often made by round tube. This 90° nozzle angle therefore seems to be the best direction for the bicycle washing process.

At the same nozzle angle, the medium spray angle gives the best washing performance. The reason behind this was simple and straight forward. Because the water pressure and flow rate were restricted by the performance of the pump, the large spray angle give less impact velocity of the spray over the larger surface area. In the case of narrow spray angle, the jet provides strongest impact force, but there was only small area affected by the jet. Therefore the medium spray angle gives the optimum result. It offers a moderate force of the jet impact and also covers enough area to remove most of the dirt in comparison to others cases. However the most effective parameters, both nozzle angle and spray angle, still leave about 11% of the dirt because the experiment was setup by purposely coating a thick chunk of mud and dirt on the bicycle frame as shown in figure 4-(a). After performing the machine, the result can be seen in figure 4-(b). On typical dirty condition of the bicycle, the machine can wash most of the stain with only 25-35 liters of water usage. This amount is about 60% of typical water use when washing a bicycle by regular water host spraying.

(a) (b)

Figure 4 (a) imitating condition of the bicycle before washing (b) bicycle after the washing process

5. Conclusion

The automatic bicycle washing machine was successfully designed and built as a prototype machine. It has performed on the experiments and shown its capability to clean out dirt on bicycle with a significant less amount of water usage. Although on a heavy dirty condition small amount of mud and dirt may be remained, an extension of washing time should be applied. This automatic bicycle washing machine can be used as a prototype for further study and development to save water in some other types of vehicle washing process.

References

[1] Rafael Zaneti., Ramiro Etchepare., Jorge Rubio. (2011). "Car wash wastewater reclamation. Full-scale application and upcoming features." *Resources, Conservation and Recycling.*, 55: 953-959

[2] David Phipps., Rafid AlKhaddar., Maxine Stiller. (2013). "Water saving in domestic car washing." *World Environmental and Water Resources Congress.*, pp. 3104-3113

[3] Guha, A., Barron, R. M., Balachandar, R. (2011). "An experimental and numerical study of water jet cleaning process." *Journal of Materials Processing Technology*, 11(4): 610-618

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพิพัฒน์ เครือวัลย์
วัน เดือน ปีเกิด	12 มิถุนายน 2528
ที่อยู่	107/253 หมู่ 13 ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยรังสิต

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2554	ทำงานที่บริษัทโชริเมะ (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรแผนกออกแบบ รับผิดชอบในส่วนการออกแบบ เขียนแบบเครื่องจักรกล
พ.ศ.2555-ปัจจุบัน	ทำงานที่บริษัทแอคคิวเรท เทคโนโลยี จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรแผนกวิจัยและพัฒนา รับผิดชอบในส่วนการออกแบบ เขียนแบบเครื่องจักรกลประเภทซัก อบ รีด

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

พ.ศ.2560	Development of Automatic Bicycle Washing Machine The 8th International Science, Social Sciences, Engineering and Energy Conference March 15th – 17th, 2017 A-ONE The Royal Cruise Hotel, Pattaya Beach, Chonburi, Thailand

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้