

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง
เครื่องเติมอากาศแบบเหนี่ยวนำอากาศโดยหัวฉีดพ่น
SELF-INDUCING AERATOR BY JET-EJECTOR



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62593
วัน,เดือน,ปี...19 ส.ค. 2549

b. 11626835
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องเติมอากาศแบบการเหนี่ยวนำอากาศโดยหัวฉีดพ่น

Self-Inducing Aerator by Jet-Ejector

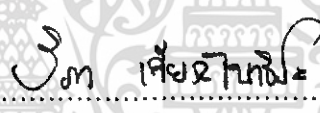
ผู้จัดทำ

นางสาวกฤษณา วงศิริ รหัสประจำตัว 45010024

นายกิตติคุณ คำเวียงสา รหัสประจำตัว 45010047

นายรุทพล ทิพยารมณ รหัสประจำตัว 45010360





..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. วิภา เจียรนะโนวชิระ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. วีระชัย ทิมพรชัยเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเติมอากาศแบบเหนี่ยวนำอากาศโดยหัวฉีดพ่น

นางสาวกฤษณา วงศิริ

นายกิตติคุณ คำเวียงสา

นายฐวพล ทิพยารมณ

ผศ.ดร. วิภา เจียรระโนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. วีระชัย ถิมพรชัยเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ เป็นการศึกษาถึงเรื่องการเติมอากาศแบบเหนี่ยวนำอากาศโดยใช้หัวฉีดพ่น ในส่วนแรกคือมีการออกแบบหัวฉีดพ่นออกมา 5 รูปแบบโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำอากาศ ส่วนที่สอง คือมีการถ่ายภาพการไหลของหัวฉีดพ่นรูปแบบต่างๆ โดยทำการทดลองในห้องมีด และ ส่วนที่สามคือมีการใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหล (Star CD) มาเปรียบเทียบกับทดลอง ในการทดลอง มีการปรับอัตราการไหล อยู่ 4 ค่า คือ 0.22, 0.27, 0.32 และ 0.37 ลิตร / วินาที สำหรับหัวฉีดพ่นทุกแบบ และทำการวิเคราะห์ผลจากค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำ (Dissolve Oxygen) จากผลการทดลอง พบว่า หัวฉีดพ่น รูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ไม่สามารถเหนี่ยวนำอากาศได้จึงไม่นำมาทำการทดลองต่อ ส่วนการเติมอากาศ แบบเหนี่ยวนำอากาศโดยใช้หัวฉีดพ่นแบบที่ 4 จะให้ประสิทธิภาพในการเติมอากาศดีที่สุด รองลงมาคือ หัวฉีดพ่นรูปแบบที่ 5 ซึ่งการเติมอากาศแบบเหนี่ยวนำอากาศโดยใช้หัวฉีดพ่นนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเติมอากาศ หรือการบำบัดน้ำเสียต่อไปได้

Self-Inducing Aerator by Jet-Ejector

Krissana Wongsiri

Kittikhun Khomwaingsa

Thuwaphol Tipayarom

Asst. Prof. Vipa Jayranaiwachira Advisor

Veerachai Limpornchaicharoen Advisor

ABSTRACT

This work is a study of self inducing aerator by using ejector jet which is divided into 3 parts of study. The first part is a design of five model types of ejector jet by utilizing the concept of self inducing air. In the second part, the flow visualization was conducted by taking several visual images in the dark room to observe the flow characteristics. To simulate the flow characteristics in different types of ejector jet, the Star CD program was used as a tool to compare the result in program and laboratory experiment in the last part. The experiment in each type of eject jets were set in four flow rates, such as 0.22, 0.27, 0.32 and 0.37 l/s and dissolve oxygen was analyzed. According to this study, the result shows that efficiency of type 4 is the most highest in aeration air into water following by type 5, type 1, type 2 and type 3 respectively. Moreover this study is an informative data that could be applied to design jet aerator used in wastewater system or in aquatic ponds.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งจากท่านอาจารย์วิภา เจียรระโนวจิระ และอาจารย์วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาพร้อมให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน และให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดจนการตรวจสอบเอกสารงานเสร็จสิ้น ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 สรุปแผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submerge Aerator)	3
2.2 เครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดพ่น (Jet Aerator)	3
2.3 Jet Mixing	4
2.4 ความตึงผิว	5
2.5 หลักการเติมอากาศและการถ่ายเทมวลระหว่างฟองอากาศกับน้ำ	6
2.6 ขั้นตอนของการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศไปสู่ชั้นของเหลว	8
2.7 วิธีวัดประสิทธิภาพในการเติมอากาศ	12
2.7.1 การคำนวณปรับค่า $K_L a$ สำหรับอุณหภูมิต่าง ๆ	12
2.7.2 การคำนวณปรับค่า C_s สำหรับอุณหภูมิต่างและความดันบรรยากาศใด ๆ	13
2.7.3 การคำนวณปรับค่า OC	14
2.7.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน	15
2.8 ปัจจัยที่ทำให้ออกซิเจนในน้ำมีมากหรือน้อย	15
2.9 การวัดอัตราการไหลของน้ำและการกักเก็บน้ำในถังเติมอากาศ	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	17
3.1 หลักในการคำนวณและออกแบบเครื่องเติมอากาศ	17
3.1.1 การคำนวณอัตราการไหลในเครื่องเติมอากาศ	18
3.1.2 หลักในการออกแบบหัวฉีดพ่น	19
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	25
3.2.1 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือ	25
3.2.2 การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ	27
3.2.3 การวัดค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO)	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	31
4.1 ข้อมูลผลการทดลอง	31
4.1.1 ผลการทดลองและการคำนวณของหัวฉีดพ่นแบบเดิม	31
4.1.2 ผลการทดลองและการคำนวณของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่	41
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	51
4.2.1 การวิเคราะห์ผลที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	52
4.2.2 การวิเคราะห์ผลที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	54
4.2.3 การวิเคราะห์ผลที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	56
4.2.4 การวิเคราะห์ผลที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	58
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการทดลอง	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลการทดลอง	64
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Star CD	84
ภาคผนวก ค. คำศัพท์เฉพาะ	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้าที่
ตารางที่ 1	ค่า C และค่า C _s -C ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ของทั้ง 4 อัตราการไหล ในหัวฉีดพ่น แบบเดิม	31
ตารางที่ 2	ค่า C และค่า C _s -C ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ของทั้ง 4 อัตราการไหล ในหัวฉีดพ่น แบบเดิม	41
ตารางที่ 3	การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	64
ตารางที่ 4	การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	65
ตารางที่ 5	การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	65
ตารางที่ 6	การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	66
ตารางที่ 7	การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	66
ตารางที่ 8	การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	67
ตารางที่ 9	การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	67
ตารางที่ 10	การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	68
ตารางที่ 11	การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	68
ตารางที่ 12	การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	69
ตารางที่ 13	การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	69
ตารางที่ 14	การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้าที่
ตารางที่ 15	เฉลี่ยค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	70
ตารางที่ 16	เฉลี่ยค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	71
ตารางที่ 17	เฉลี่ยค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	71
ตารางที่ 18	เฉลี่ยค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	72
ตารางที่ 19	เฉลี่ยค่า DO ทั้ง 5 ตำแหน่ง ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 4 อครา	72
ตารางที่ 20	การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	74
ตารางที่ 21	การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	75
ตารางที่ 22	การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	75
ตารางที่ 23	การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	76
ตารางที่ 24	การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	76
ตารางที่ 25	การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	77
ตารางที่ 26	การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	77
ตารางที่ 27	การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	78
ตารางที่ 28	การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้าที่	
ตารางที่ 29	การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	79
ตารางที่ 30	การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	79
ตารางที่ 31	การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	80
ตารางที่ 32	เฉลี่ยค่าค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	80
ตารางที่ 33	เฉลี่ยค่าค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	81
ตารางที่ 34	เฉลี่ยค่าค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	81
ตารางที่ 35	เฉลี่ยค่าค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	82
ตารางที่ 36	เฉลี่ยค่า DO ทั้ง 5 ตำแหน่ง ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 4 อัตรา	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 เครื่องกลเติมอากาศใต้น้ำ	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะการทำงานของ Jet Aerator	4
รูปที่ 2.3 กระแสการไหลของของเหลวที่ออกจากหัวฉีดพ่น	4
รูปที่ 2.4 แรงภายใน โมเมนต์ที่บริเวณผิวของของเหลว	5
รูปที่ 2.5 ออกซิเจนถ่ายเทอากาศให้กับหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการตีน้ำของเครื่องเติมอากาศ	6
รูปที่ 2.6 ออกซิเจนถ่ายเทจากฟองอากาศให้กับน้ำที่ห่อหุ้ม	6
รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นของก๊าซบริเวณชั้นผิวของเหลว	8
รูปที่ 3.1 ลักษณะการทำงานทิศทางของน้ำและอากาศในหัวฉีดพ่นแบบที่ 1	19
รูปที่ 3.2 ขนาดของหัวฉีดพ่นแบบที่ 1 ในหน่วยมิลลิเมตร	20
รูปที่ 3.3 ลักษณะการทำงานทิศทางของน้ำและอากาศในหัวฉีดพ่นแบบที่ 2	20
รูปที่ 3.4 ขนาดของหัวฉีดพ่นแบบที่ 2 ในหน่วยมิลลิเมตร	21
รูปที่ 3.5 ลักษณะการทำงานทิศทางของน้ำและอากาศในหัวฉีดพ่นแบบที่ 3	21
รูปที่ 3.6 ขนาดของหัวฉีดพ่นแบบที่ 3 ในหน่วยมิลลิเมตร	22
รูปที่ 3.7 ลักษณะการทำงานทิศทางของน้ำและอากาศในหัวฉีดพ่นแบบที่ 4	22
รูปที่ 3.8 ขนาดของหัวฉีดพ่นแบบที่ 4 ในหน่วยมิลลิเมตร	23
รูปที่ 3.9 ลักษณะการทำงานทิศทางของน้ำและอากาศในหัวฉีดพ่นแบบที่ 5	24
รูปที่ 3.10 ขนาดของหัวฉีดพ่นแบบที่ 5 ในหน่วยมิลลิเมตร	25
รูปที่ 3.11 หัวฉีดพ่นที่ทำการทดลอง	26
รูปที่ 3.12 สายยางพลาสติก	26
รูปที่ 3.13 DO meter	26
รูปที่ 3.14 การฉายแสงผ่านช่องแคบเพื่อให้ได้ลำแสงเป็นเส้นตรงเข้าสู่ไนโตรเจน	28
รูปที่ 3.15 หลอดไฟ	28
รูปที่ 3.16 แผ่นเหล็กครอบไฟสีดํา	28
รูปที่ 3.17 ก่อองอะคริลิกสีดํา	29
รูปที่ 3.18 ตำแหน่งการวัดค่า DO ทั้ง 5 จุด รอบถังผสม	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับเวลา ทั้ง 4 อัตราการไหล ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม	32
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	33
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	35
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	37
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	39
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับเวลา ทั้ง 4 อัตราการไหล ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่	42
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	43
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	45
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	47
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	49
รูปที่ 4.11 การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที	53
รูปที่ 4.12 การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที	55
รูปที่ 4.13 การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4.14	การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที	59
รูปที่ 1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO เฉลี่ยจากการวัด 5 ตำแหน่ง กับเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ทั้ง 4 อัตราการไหล	73
รูปที่ 2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO เฉลี่ยจากการวัด 5 ตำแหน่ง กับเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ทั้ง 4 อัตราการไหล	83
รูปที่ 3	ขั้นตอนที่ 1 ในโปรแกรม Star CD	85
รูปที่ 4	ขั้นตอนที่ 2 ในโปรแกรม Star CD	86
รูปที่ 5	ขั้นตอนที่ 3 ในโปรแกรม Star CD	87
รูปที่ 6	ขั้นตอนที่ 4 ในโปรแกรม Star CD	88
รูปที่ 7	ขั้นตอนที่ 5 ในโปรแกรม Star CD	89
รูปที่ 8	ขั้นตอนที่ 6 ในโปรแกรม Star CD	90
รูปที่ 9	ขั้นตอนที่ 7 ในโปรแกรม Star CD	91
รูปที่ 10	ขั้นตอนที่ 8 ในโปรแกรม Star CD	92
รูปที่ 11	ขั้นตอนที่ 9 ในโปรแกรม Star CD	93
รูปที่ 12	ขั้นตอนที่ 10 ในโปรแกรม Star CD	94
รูปที่ 13	การทำ Light Sheet	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลผลการทดลอง

ก.1 หัวฉีดพ่นแบบเดิม

ค่า DO ที่บันทึกจากการทดลองของหัวฉีดพ่นแบบเดิม โดยอ่านค่าจาก 5 ตำแหน่ง ในถังผสม ที่ความลึกของระดับน้ำ 14 เซนติเมตร เริ่มจากอัตราการไหล 0.37, 0.32, 0.27 และ 0.22 ลิตร / วินาที ตามลำดับ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 3 – 14 แล้วทำการเฉลี่ยค่าจากทั้ง 3 การทดลองซ้ำ ได้ข้อมูลในตารางที่ 15 – 18 จากนั้นเฉลี่ยค่า DO ทั้ง 5 ตำแหน่ง ได้ข้อมูลในตารางที่ 19

ตารางที่ 1 การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2.15	2.13	2.18	2.19	2.13
10	4.50	4.68	4.71	4.65	4.64
15	5.68	5.79	5.81	5.82	5.78
20	6.21	6.29	6.25	6.18	6.19
25	6.31	6.19	6.29	6.21	6.28
30	6.44	6.47	6.49	6.48	6.45
35	6.58	6.57	6.59	6.55	6.58
40	6.58	6.59	6.58	6.58	6.55
45	6.40	6.36	6.61	6.62	6.64
50	6.51	6.49	6.59	6.52	6.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2.19	2.01	2.13	2.43	2.15
10	3.99	4.23	4.63	3.97	4.53
15	5.47	5.62	5.67	5.56	5.78
20	6.13	5.98	6.21	6.10	6.23
25	6.47	6.31	6.36	6.31	6.32
30	6.53	6.43	6.42	6.43	6.42
35	6.61	6.52	6.53	6.55	6.58
40	6.56	6.56	6.58	6.64	6.59
45	6.72	6.57	6.69	6.72	6.72
50	6.66	6.63	6.57	6.64	6.69

ตารางที่ 3 การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2.23	2.15	2.31	2.32	2.18
10	4.60	4.72	4.79	4.72	4.53
15	5.73	5.63	5.93	5.88	5.69
20	6.30	6.32	6.20	6.21	6.23
25	6.41	6.24	6.34	6.47	6.32
30	6.54	6.53	6.43	6.56	6.47
35	6.68	6.64	6.63	6.59	6.64
40	6.72	6.68	6.66	6.68	6.60
45	6.63	6.43	6.72	6.67	6.74
50	6.67	6.71	6.71	6.67	6.72

ตารางที่ 4 การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2.42	2.40	2.46	2.44	2.39
10	4.71	4.75	4.78	4.77	4.78
15	5.75	5.78	5.77	5.78	5.75
20	6.21	6.22	6.25	6.24	6.23
25	6.41	6.33	6.42	6.41	6.40
30	6.64	6.60	6.63	6.68	6.65
35	6.52	6.57	6.58	6.59	6.61
40	6.49	6.49	6.51	6.56	6.52
45	6.51	6.44	6.54	6.48	6.58
50	6.54	6.57	6.58	6.52	6.60

ตารางที่ 5 การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2.27	2.19	2.37	2.39	2.24
10	4.64	4.77	4.86	4.63	4.63
15	5.77	5.68	6.01	2.91	5.68
20	6.34	6.37	6.26	6.24	6.26
25	6.45	6.29	6.40	6.50	6.37
30	6.59	6.58	6.47	6.59	6.51
35	6.72	6.69	6.70	6.62	6.69
40	6.77	6.73	6.67	6.71	6.63
45	6.67	6.48	6.76	6.72	6.67
50	6.71	6.76	6.75	6.72	6.66

ตารางที่ 6 การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2.37	2.46	2.51	2.39	2.44
10	4.68	4.85	4.82	4.83	4.82
15	5.64	5.82	5.76	5.84	5.80
20	6.15	6.32	6.31	6.31	6.28
25	6.38	6.35	6.46	6.42	6.45
30	6.60	6.66	6.65	6.69	6.71
35	6.48	6.61	6.53	6.61	6.66
40	6.56	6.53	6.67	6.62	6.57
45	6.47	6.64	6.61	6.64	6.59
50	6.55	6.59	6.61	6.60	6.62

ตารางที่ 7 การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.64	1.62	1.61	1.61	1.66
10	3.82	3.86	3.87	3.86	3.87
15	4.91	4.83	4.85	4.86	4.87
20	5.71	5.85	5.86	5.87	5.84
25	6.26	6.24	6.29	6.25	6.24
30	6.43	6.42	6.48	6.43	6.43
35	6.59	6.61	6.65	6.62	6.61
40	6.83	6.80	6.81	6.80	6.82
45	6.79	6.75	6.80	6.81	6.79
50	6.79	6.72	6.83	6.84	6.74

ตารางที่ 8 การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.67	1.67	1.64	1.67	1.75
10	3.92	3.92	3.84	3.91	3.87
15	4.96	4.90	4.65	4.92	4.96
20	5.80	5.86	5.96	5.91	5.87
25	6.32	6.25	6.34	6.26	6.31
30	6.47	6.43	6.52	6.47	6.48
35	6.63	6.64	6.72	6.68	6.62
40	6.81	6.84	6.83	6.79	6.75
45	6.76	6.82	6.84	6.82	6.78
50	6.82	6.82	6.83	6.80	6.76

ตารางที่ 9 การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.59	1.56	1.62	1.63	1.64
10	3.75	3.86	3.76	3.68	3.74
15	4.84	4.92	4.59	4.87	4.85
20	5.69	5.76	5.86	5.82	5.67
25	6.19	6.35	6.24	6.34	6.24
30	6.37	6.45	6.50	6.35	6.32
35	6.48	6.51	6.52	6.57	6.56
40	6.75	6.75	6.66	6.64	6.72
45	6.76	6.80	6.73	6.58	6.78
50	6.76	6.78	6.71	6.63	6.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะในโครงการวิจัยนี้ ไม่สามารถนำข้อมูลไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.34	1.32	1.35	1.32	1.41
10	2.34	2.35	2.35	2.38	2.42
15	3.11	3.12	3.16	3.21	3.19
20	3.79	3.85	3.84	3.82	3.86
25	4.77	4.88	4.79	4.83	4.84
30	4.89	4.65	4.87	4.82	4.87
35	5.02	5.00	5.07	4.99	5.06
40	5.74	5.70	5.73	5.69	5.71
45	5.98	5.97	5.98	5.91	5.94
50	6.02	6.10	6.04	6.08	6.11

ตารางที่ 11 การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.47	1.48	1.36	1.48	1.56
10	2.56	2.56	2.46	2.45	2.31
15	3.45	3.26	3.24	3.31	3.26
20	3.87	3.54	3.85	3.87	3.66
25	4.68	4.26	4.83	4.76	3.97
30	4.99	4.73	5.09	4.78	4.35
35	5.26	5.31	5.63	4.96	4.58
40	5.84	5.89	5.87	5.34	4.87
45	5.79	6.34	5.89	5.48	5.56
50	5.82	6.30	5.88	5.61	5.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากฝ่ายวิชาการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.40	1.36	1.29	1.37	1.62
10	2.36	2.45	2.43	2.45	2.42
15	3.21	3.32	3.26	3.36	3.45
20	3.89	3.76	3.75	3.92	3.66
25	4.56	4.78	4.68	4.68	3.99
30	4.69	4.65	4.86	4.76	4.21
35	5.02	5.32	5.14	5.03	4.35
40	5.64	5.46	5.67	5.46	4.68
45	5.73	5.78	5.88	5.83	5.65
50	5.72	5.76	5.92	5.86	5.98

ตารางที่ 13 เกลี่ยค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2.19	2.10	2.21	2.31	2.15
10	4.36	4.54	4.71	4.45	4.57
15	5.63	5.68	5.80	5.75	5.75
20	6.21	6.20	6.22	6.16	6.22
25	6.40	6.25	6.33	6.33	6.31
30	6.50	6.48	6.45	6.49	6.45
35	6.62	6.58	6.58	6.56	6.60
40	6.62	6.61	6.61	6.63	6.58
45	6.58	6.45	6.67	6.67	6.70
50	6.61	6.61	6.62	6.61	6.65

ตารางที่ 14 เฉลี่ยค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2.35	2.35	2.45	2.41	2.36
10	4.68	4.79	4.82	4.74	4.74
15	5.72	5.76	5.85	4.84	5.74
20	6.23	6.30	6.27	6.26	6.26
25	6.41	6.32	6.43	6.44	6.41
30	6.61	6.61	6.58	6.65	6.62
35	6.57	6.62	6.60	6.61	6.65
40	6.61	6.58	6.62	6.63	6.57
45	6.55	6.52	6.64	6.61	6.61
50	6.60	6.64	6.65	6.61	6.63

ตารางที่ 15 เฉลี่ยค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.63	1.62	1.62	1.64	1.68
10	3.83	3.88	3.82	3.82	3.83
15	4.90	4.88	4.70	4.88	4.89
20	5.73	5.82	5.89	5.87	5.79
25	6.26	6.28	6.29	6.28	6.26
30	6.42	6.43	6.50	6.42	6.41
35	6.57	6.59	6.63	6.62	6.60
40	6.80	6.80	6.77	6.74	6.76
45	6.77	6.79	6.79	6.74	6.78
50	6.79	6.77	6.79	6.76	6.76

ตารางที่ 16 เกลี่ยค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

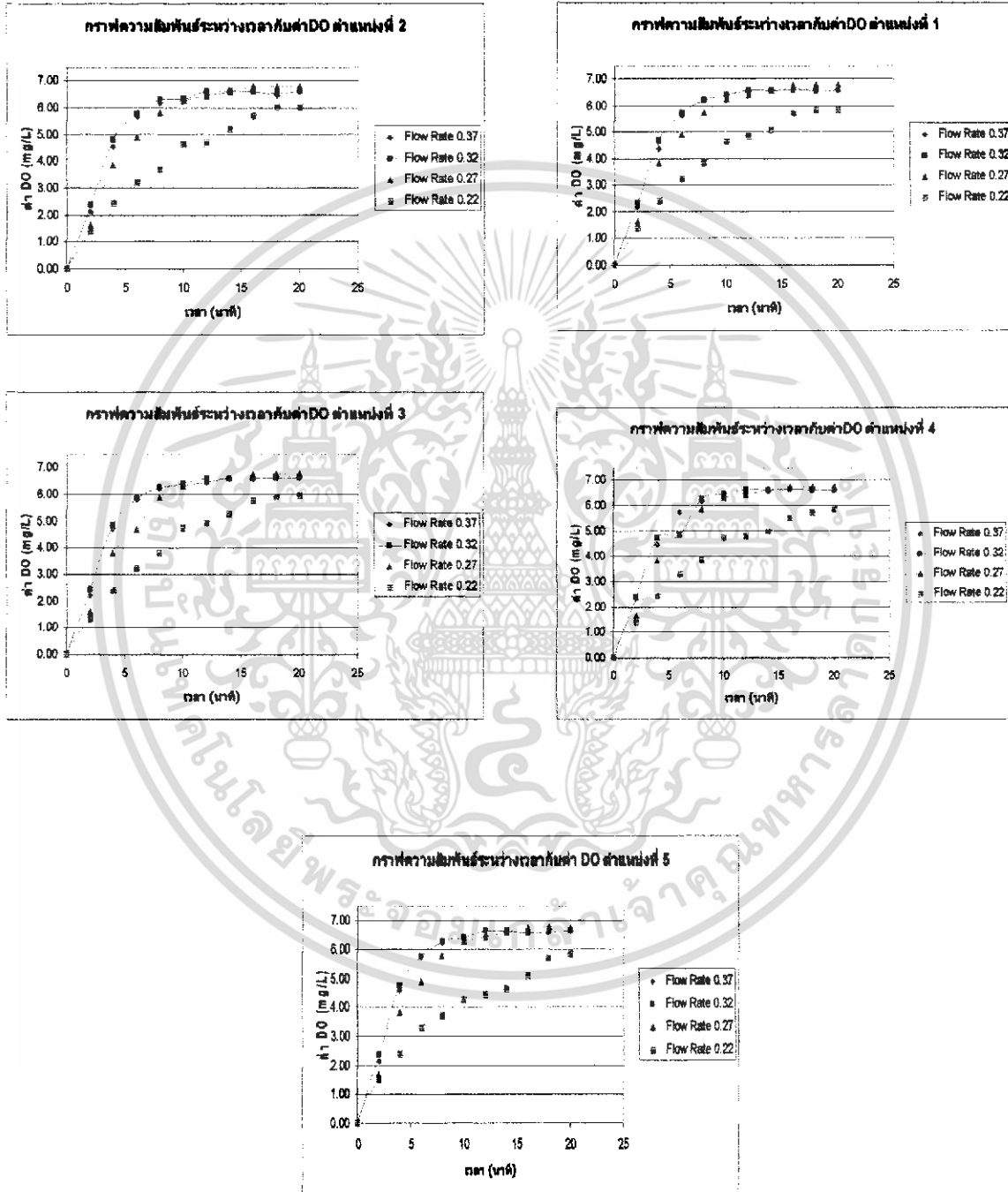
เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	1.40	1.39	1.33	1.39	1.53
5	2.42	2.45	2.41	2.43	2.38
10	3.26	3.23	3.22	3.29	3.30
15	3.85	3.72	3.81	3.87	3.73
20	4.67	4.64	4.77	4.76	4.27
25	4.86	4.68	4.94	4.79	4.48
30	5.10	5.21	5.28	4.99	4.66
35	5.74	5.68	5.76	5.50	5.09
40	5.83	6.03	5.92	5.74	5.72
45	5.85	6.05	5.95	5.85	5.86
50	1.40	1.39	1.33	1.39	1.53

ตารางที่ 17 เกลี่ยค่า DO ทั้ง 5 ตำแหน่ง ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 4 ลิตร

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l) ที่ 0.37 l/s	ค่า DO (mg / l) ที่ 0.32 l/s	ค่า DO (mg / l) ที่ 0.27 l/s	ค่า DO (mg / l) ที่ 0.22 l/s
0	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2.19	2.38	1.64	1.41
10	4.53	4.75	3.84	2.42
15	5.72	5.58	4.85	3.26
20	6.20	6.27	5.82	3.80
25	6.32	6.40	6.27	4.62
30	6.47	6.62	6.44	4.75
35	6.59	6.61	6.60	5.05
40	6.61	6.60	6.77	5.55
45	6.62	6.59	6.77	5.85
50	6.62	6.63	6.77	5.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 41 เมื่อทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO เฉลี่ยจากการวัด 5 ตำแหน่ง กับเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ทั้ง 4 อัตราการไหล จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของค่า DO ที่อัตราการไหลมากที่สุดจะสูงกว่าที่อัตราการไหลทั้ง 3 อัตรา ทั้ง 5 ตำแหน่ง



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO เฉลี่ยจากการวัด 5 ตำแหน่ง กับเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ทั้ง 4 อัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 หัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่

ค่า DO ที่บันทึกจากการทดลองของหัวฉีดพ่นแบบเดิม โดยอ่านค่าจาก 5 ตำแหน่ง ในถังผสม ที่ความลึกของระดับน้ำ 14 เซนติเมตร เริ่มจากอัตราการไหลที่มากที่สุด ปานกลาง และน้อยที่สุด ตามลำดับ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 20 – 31 แล้วทำการเฉลี่ยค่าจากทั้ง 3 การทดลองซ้ำ ได้ข้อมูลในตารางที่ 32 – 35 จากนั้นเฉลี่ยค่า DO ทั้ง 5 ตำแหน่ง ได้ข้อมูลในตารางที่ 36

ตารางที่ 18 การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.79	1.81	1.82	1.78	1.83
10	3.55	3.56	3.54	3.53	3.55
15	5.02	5.05	5.01	4.99	5.04
20	5.91	5.94	5.93	5.93	5.91
25	6.39	6.40	6.37	6.42	6.41
30	6.64	6.60	6.58	6.61	6.65
35	6.67	6.62	6.64	6.65	6.65
40	6.69	6.58	6.68	6.69	6.69
45	6.75	6.72	6.73	6.57	6.72
50	6.71	6.74	6.70	6.61	6.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19 การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.84	1.90	1.93	1.85	1.84
10	3.65	3.45	3.64	3.63	3.62
15	5.01	5.04	5.23	4.56	5.09
20	5.87	5.98	5.96	5.98	5.97
25	6.30	6.35	6.47	5.99	6.43
30	6.56	6.54	6.68	6.41	6.72
35	6.66	6.57	6.57	6.67	6.73
40	6.76	6.62	6.65	6.72	6.78
45	6.83	6.67	6.73	6.73	6.81
50	6.72	6.69	6.84	6.72	6.80

ตารางที่ 20 การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.67	1.71	1.75	1.66	1.75
10	3.45	3.46	3.45	3.45	3.46
15	4.97	4.99	5.00	4.87	5.01
20	5.81	5.86	5.87	5.86	5.87
25	6.28	6.30	6.25	6.31	5.84
30	6.53	6.54	5.57	6.58	6.57
35	6.58	6.67	6.60	6.67	6.63
40	6.59	6.83	6.57	6.71	6.68
45	6.66	6.82	6.70	6.54	6.72
50	6.70	6.82	6.74	6.57	6.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้ใช้เฉพาะงานวิจัยนี้ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 21 การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.28	1.30	1.32	1.32	1.34
10	2.92	2.97	2.98	2.91	2.96
15	4.01	4.05	4.02	4.03	3.98
20	5.25	5.20	5.21	5.24	5.19
25	5.84	5.88	5.89	5.87	5.84
30	6.35	6.37	6.41	6.39	6.37
35	6.57	6.55	6.58	6.54	6.58
40	6.71	6.74	6.78	6.72	6.75
45	6.82	6.81	6.83	6.85	6.80
50	6.81	6.82	6.80	6.81	6.82

ตารางที่ 22 การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.55	1.69	1.65	1.44	1.33
10	3.33	3.45	3.35	2.87	2.87
15	4.87	4.87	4.50	4.02	3.86
20	5.71	5.78	5.01	5.23	4.87
25	6.18	6.20	5.78	5.76	5.24
30	6.45	6.44	6.32	6.21	5.78
35	6.57	6.57	6.75	6.44	6.31
40	6.59	6.72	6.79	6.68	6.59
45	6.62	6.77	8.80	6.78	6.70
50	6.61	6.80	6.76	6.77	6.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 23 การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.45	1.47	1.56	1.43	1.37
10	3.46	3.56	3.46	2.78	2.84
15	4.97	4.95	4.58	3.67	3.54
20	5.89	5.88	5.01	4.59	4.58
25	6.34	6.04	5.45	5.06	5.38
30	6.78	6.49	5.79	6.21	6.35
35	6.83	6.87	6.04	6.34	6.57
40	6.85	6.85	6.35	6.58	6.78
45	6.84	6.88	6.60	6.73	6.68
50	6.84	6.88	6.67	6.70	6.70

ตารางที่ 24 การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.68	1.63	1.65	1.67	1.64
10	2.69	2.70	2.74	2.71	2.77
15	3.82	3.80	3.85	3.81	3.82
20	5.74	5.72	5.76	5.74	5.69
25	6.24	6.27	6.24	6.30	6.31
30	6.51	6.52	6.55	6.50	6.51
35	6.78	6.72	6.70	6.74	6.76
40	6.77	6.77	6.79	6.81	6.78
45	6.81	6.83	6.80	6.83	6.79
50	6.82	6.82	6.79	6.81	6.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 25 การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.67	1.76	1.83	1.56	1.78
10	2.49	2.45	2.97	2.71	3.26
15	3.54	3.58	3.25	3.26	5.78
20	4.93	5.62	4.03	4.98	6.24
25	5.55	6.24	5.06	5.26	6.37
30	6.03	6.35	5.78	6.03	6.48
35	6.21	6.49	6.36	6.24	6.66
40	6.34	6.71	6.47	6.53	6.73
45	6.56	6.82	6.58	6.67	6.82
50	6.63	6.81	6.60	6.76	6.81

ตารางที่ 26 การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.67	1.56	1.67	1.57	1.43
10	3.02	2.87	2.76	2.63	2.90
15	3.97	3.88	3.90	3.71	3.91
20	5.87	4.49	5.82	4.87	4.53
25	6.34	5.38	6.27	5.31	5.09
30	6.56	5.88	6.60	6.06	5.81
35	6.82	6.12	6.75	6.34	6.17
40	6.83	6.24	6.84	6.45	6.29
45	6.81	6.57	6.83	6.75	6.51
50	6.81	6.61	6.82	6.75	6.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 27 การทดลองครั้งที่ 1 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.46	1.45	1.43	1.43	1.50
10	2.87	2.91	2.92	2.90	2.89
15	3.88	3.98	3.94	3.91	3.97
20	4.49	4.51	4.52	4.53	4.50
25	5.12	5.09	5.02	5.09	5.04
30	5.88	5.82	5.84	5.81	5.82
35	6.12	6.10	6.13	6.17	6.09
40	6.31	6.28	6.32	6.29	6.32
45	6.57	6.53	6.55	6.51	6.57
50	6.61	6.67	6.64	6.58	6.59

ตารางที่ 28 การทดลองครั้งที่ 2 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.42	1.39	1.56	1.34	1.48
10	2.80	2.87	2.84	2.80	2.35
15	3.87	3.67	3.96	3.57	3.02
20	4.39	4.24	4.53	4.36	3.78
25	5.08	4.89	5.01	5.02	4.15
30	5.78	5.03	5.78	5.00	4.56
35	6.02	5.78	6.12	5.48	5.27
40	6.21	6.34	6.21	6.01	5.89
45	6.47	6.42	6.45	6.24	6.21
50	6.45	6.47	6.56	6.26	6.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 29 การทดลองครั้งที่ 3 ค่า DO ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.56	1.47	1.54	1.48	1.48
10	2.73	2.75	2.56	2.46	2.75
15	3.42	3.45	3.23	3.25	3.84
20	4.21	3.87	3.86	4.01	4.44
25	4.98	4.56	4.31	4.58	5.06
30	5.24	5.31	4.98	5.69	5.73
35	5.99	5.87	5.63	6.06	6.34
40	6.19	6.14	6.04	6.21	6.32
45	6.34	6.23	6.23	6.32	6.35
50	6.32	6.22	6.32	6.34	6.34

ตารางที่ 30 เปรียบเทียบค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.77	1.81	1.83	1.76	1.81
10	3.55	3.49	3.54	3.54	3.54
15	5.00	5.03	5.08	4.81	5.05
20	5.86	5.93	5.92	5.92	5.92
25	6.32	6.35	6.36	6.24	6.23
30	6.58	6.56	6.28	6.53	6.65
35	6.64	6.62	6.60	6.66	6.67
40	6.68	6.68	6.63	6.71	6.72
45	6.75	6.74	6.72	6.61	6.75
50	6.71	6.75	6.76	6.63	6.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 31 เกลี่ยค่าค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.43	1.49	1.51	1.40	1.35
10	3.24	3.33	3.26	2.85	2.89
15	4.62	4.62	4.37	3.85	3.79
20	5.62	5.62	5.08	5.02	4.88
25	6.12	6.04	5.71	5.56	5.49
30	6.53	6.43	6.17	6.27	6.17
35	6.66	6.66	6.46	6.44	6.49
40	6.72	6.77	6.64	6.66	6.71
45	6.76	6.82	7.41	6.79	6.73
50	6.75	6.83	6.74	6.76	6.76

ตารางที่ 32 เกลี่ยค่าค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.67	1.65	1.72	1.60	1.62
10	2.73	2.67	2.82	2.68	2.98
15	3.78	3.75	3.67	3.59	4.50
20	5.51	5.28	5.20	5.20	5.49
25	6.04	5.96	5.86	5.62	5.92
30	6.37	6.25	6.31	6.20	6.27
35	6.60	6.44	6.60	6.44	6.53
40	6.65	6.57	6.70	6.60	6.60
45	6.73	6.74	6.74	6.75	6.71
50	6.75	6.75	6.74	6.77	6.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 33 เกลี่ยค่าค่า DO ทั้ง 3 ครั้ง ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

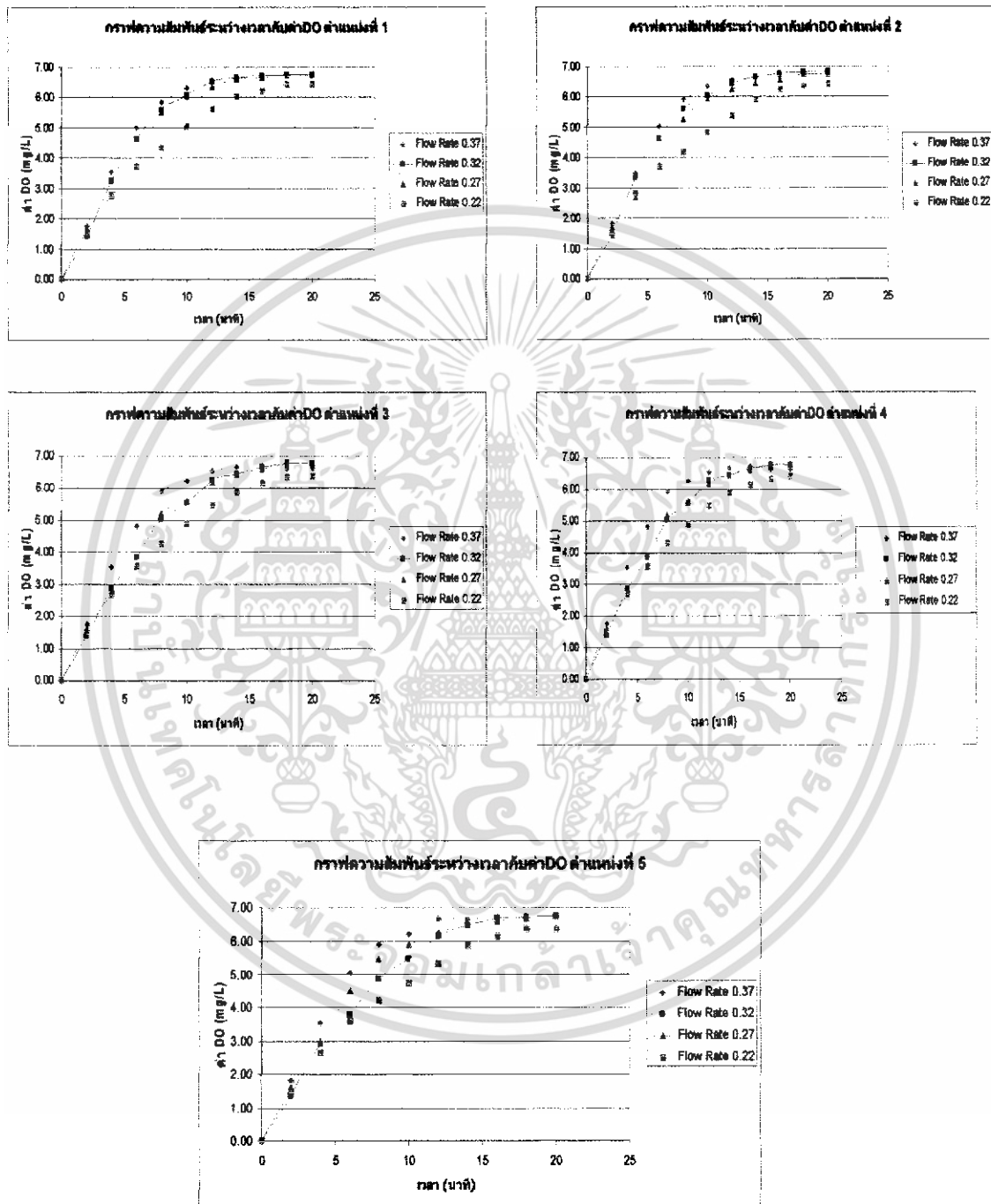
เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)				
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.48	1.44	1.51	1.42	1.49
10	2.80	2.84	2.77	2.72	2.66
15	3.72	3.70	3.71	3.58	3.61
20	4.36	4.21	4.30	4.30	4.24
25	5.06	4.85	4.78	4.90	4.75
30	5.63	5.39	5.53	5.50	5.37
35	6.04	5.92	5.96	5.90	5.90
40	6.24	6.25	6.19	6.17	6.18
45	6.46	6.39	6.41	6.36	6.38
50	6.46	6.45	6.51	6.39	6.38

ตารางที่ 34 เกลี่ยค่า DO ทั้ง 5 ตำแหน่ง ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 4 อัตรา

เวลา (min)	ค่า DO (mg / l)	ค่า DO (mg / l)	ค่า DO (mg / l)	ค่า DO (mg / l)
	ที่ 0.371 / s	ที่ 0.321 / s	ที่ 0.271 / s	ที่ 0.221 / s
0	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.80	1.43	1.65	1.47
10	3.53	3.11	2.78	2.76
15	4.99	4.25	3.86	3.66
20	5.91	5.24	5.34	4.28
25	6.30	5.78	5.88	4.87
30	6.52	6.31	6.28	5.48
35	6.64	6.54	6.52	5.94
40	6.68	6.70	6.62	6.21
45	6.71	6.90	6.73	6.40
50	6.72	6.77	6.75	6.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 42 เมื่อทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO เฉลี่ยจากการวัด 5 ตำแหน่ง กับเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ทั้ง 4 อัตราการไหล จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของค่า DO ที่อัตราการไหลมากที่สุดจะสูงกว่าที่อัตราการไหลทั้ง 3 อัตรา ทั้ง 5 ตำแหน่ง



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO เฉลี่ยจากการวัด 5 ตำแหน่ง กับเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ทั้ง 4 อัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

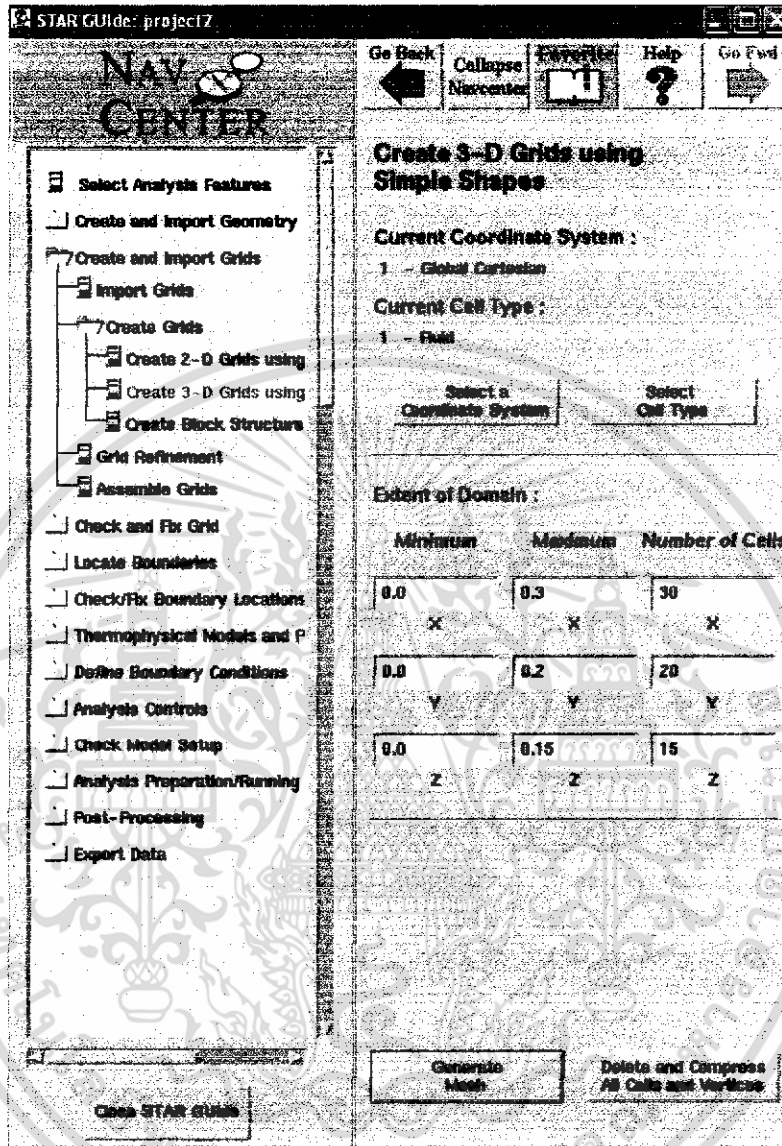
การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Star CD

โปรแกรม Star CD เป็นโปรแกรม Software สายการไหล ใช้ในการวิเคราะห์งาน 3D แบบ Finite Volume โดยสามารถวิเคราะห์งานออกมาในรูปของความเร็ว, ความดัน, อุณหภูมิ, ความหนืด และสามารถจำลองลักษณะการไหล ของของไหลชนิดต่าง ๆ ได้ สามารถแสดงผลได้ทั้งแบบ แสดงทิศทางการไหล (Vector) และแบบแสดงรูปร่าง (Contour) อีกทั้งสามารถตัดระนาบ (Plane) ใดระนาบหนึ่งเพื่อ ดูลักษณะการจำลองงาน (Simulation) ได้อย่างละเอียด

เนื่องจากโครงการนี้ ได้ทำการออกแบบหัวฉีดพ่น เพราะฉะนั้นจึงได้จำลองการไหลของของไหล ออกมาจากหัวฉีดพ่นลงสู่ถังผสม โดยใช้โปรแกรม Star CD เป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์การไหลโดยมี ขั้นตอนการวิเคราะห์อย่างคร่าว ๆ ดังนี้

1. กำหนดสร้างขอบเขตถังผสมเท่าขนาดจริง
2. กำหนดการพ่นน้ำและอากาศเข้ามาที่ความเร็วเดียวกัน โดยสร้างขอบเขตในการพ่นน้ำ และอากาศสลับกัน
3. กำหนด Property ของน้ำและอากาศจากข้อมูลภายในตัวโปรแกรม
4. เลือกการแสดงผล เป็น Velocity, Pressure, Viscosity ฯลฯ
5. ทำการ Run Program
6. วิเคราะห์ผลทั้งหมด เพื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายในห้องมีด

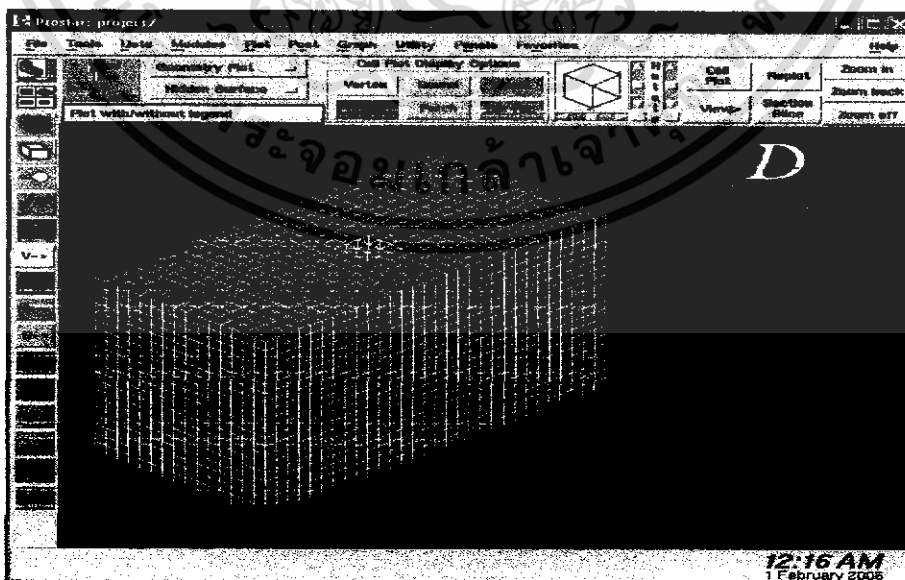
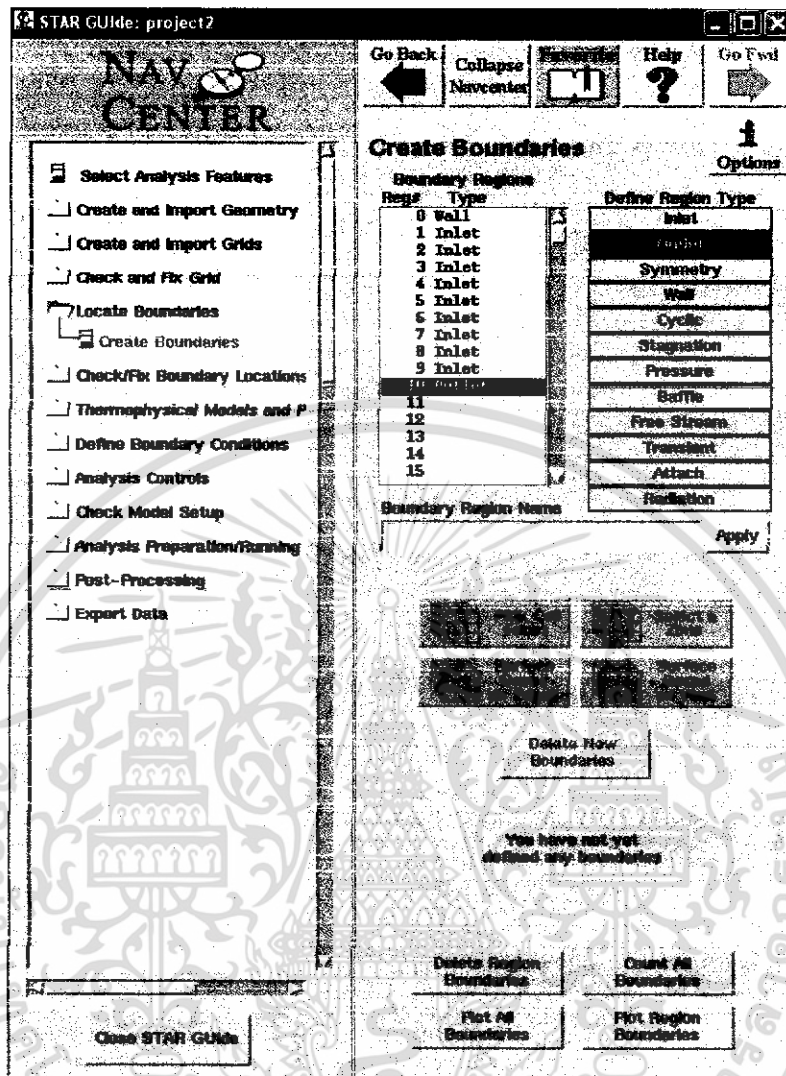
ขั้นที่ 1 กำหนดการสร้างถึงตามที่ได้ออกแบบ



รูปที่ 3 ขั้นตอนที่ 1 ในโปรแกรม Star CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

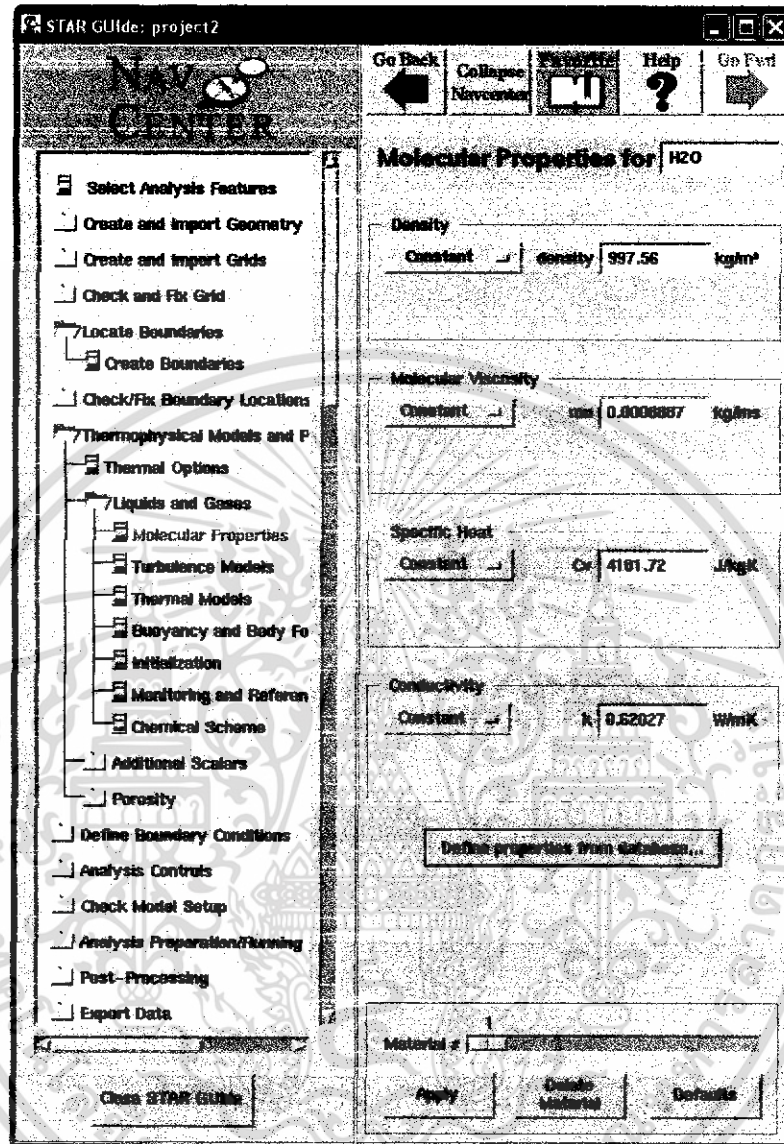
ขั้นที่ 2 กำหนด Inlet ทั้งหมด 9 อัน และ Outlet 1 อัน จะได้ดังภาพ



รูปที่ 4 ขั้นตอนที่ 2 ในโปรแกรม Star CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

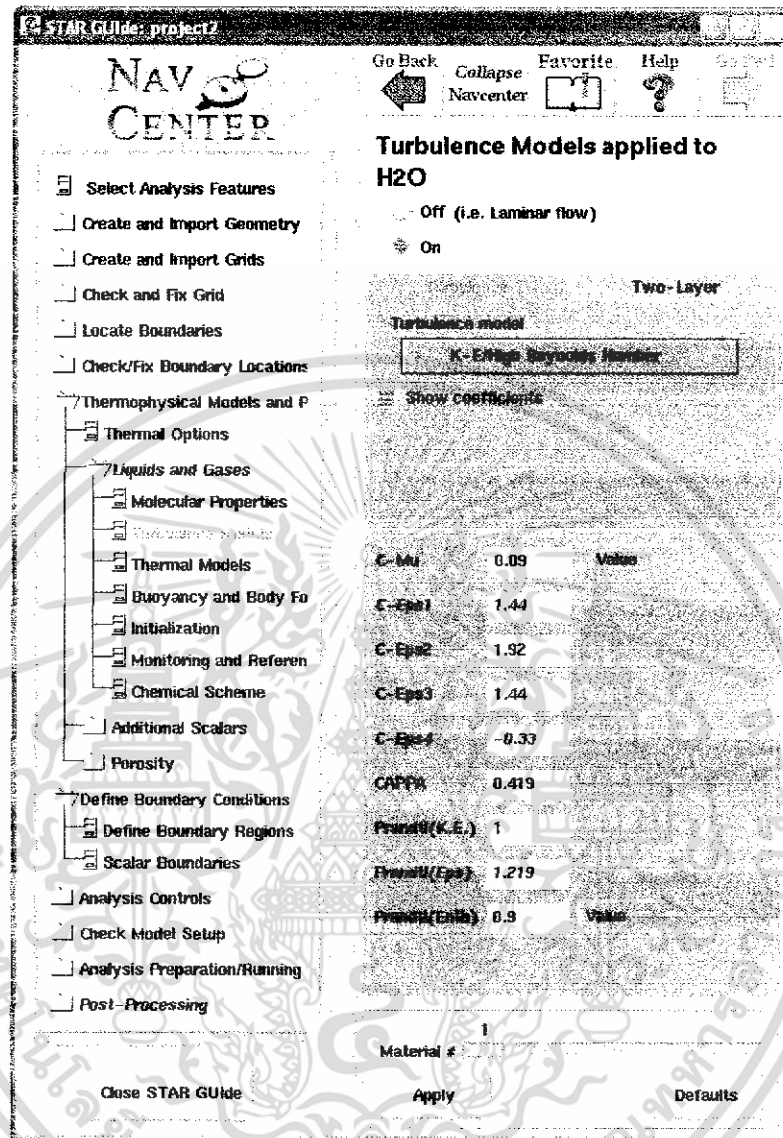
ขั้นที่ 3 กำหนด Properties ของน้ำในถัง



รูปที่ 5 ขั้นตอนที่ 3 ในโปรแกรม Star CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

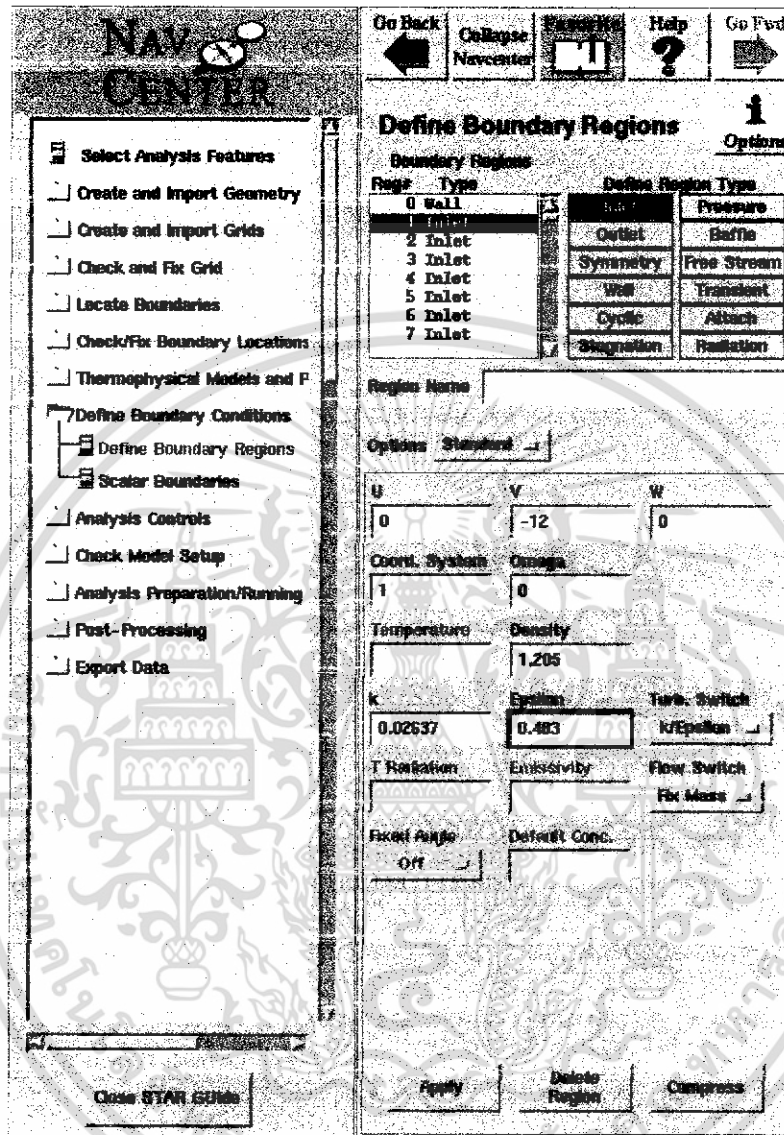
ขั้นที่ 4 กำหนด Turbulent Models



รูปที่ 6 ขั้นตอนที่ 4 ในโปรแกรม Star CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

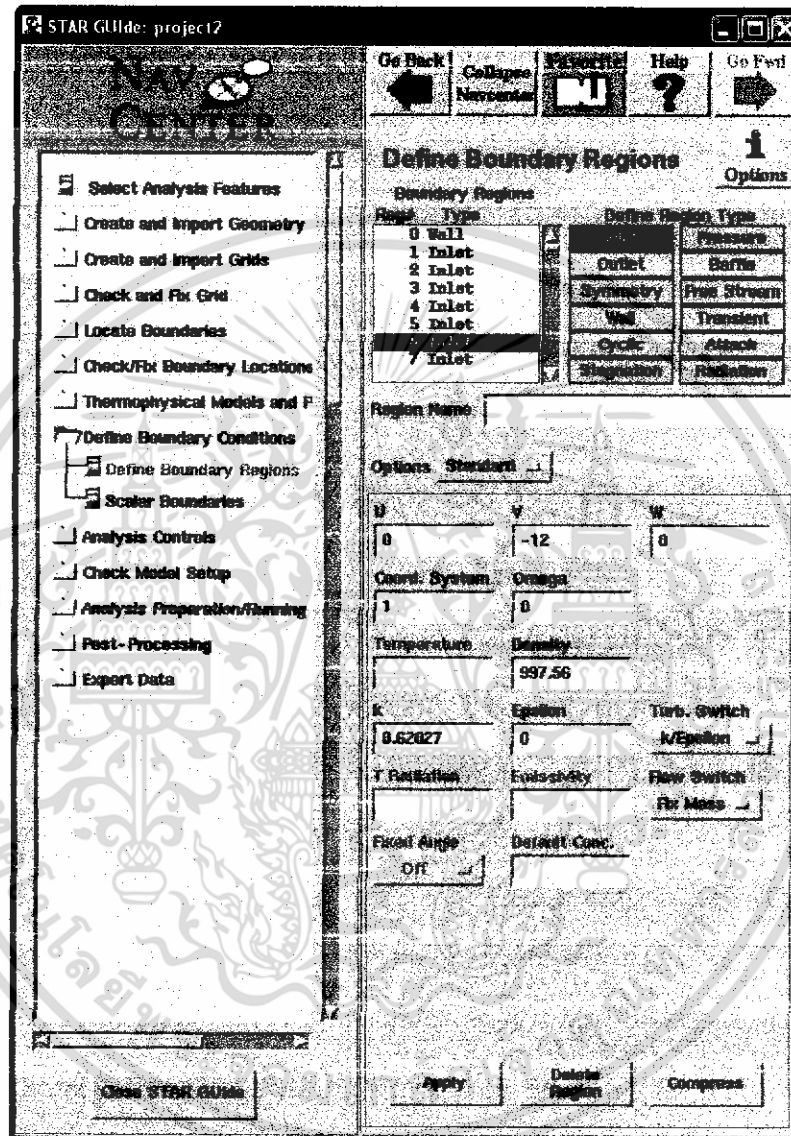
ขั้นที่ 5 กำหนด Inlet ช่องที่ 1, 2, 3, 4, 5 ให้เป็นอากาศ



รูปที่ 7 ขั้นตอนที่ 5 ใน โปรแกรม Star CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

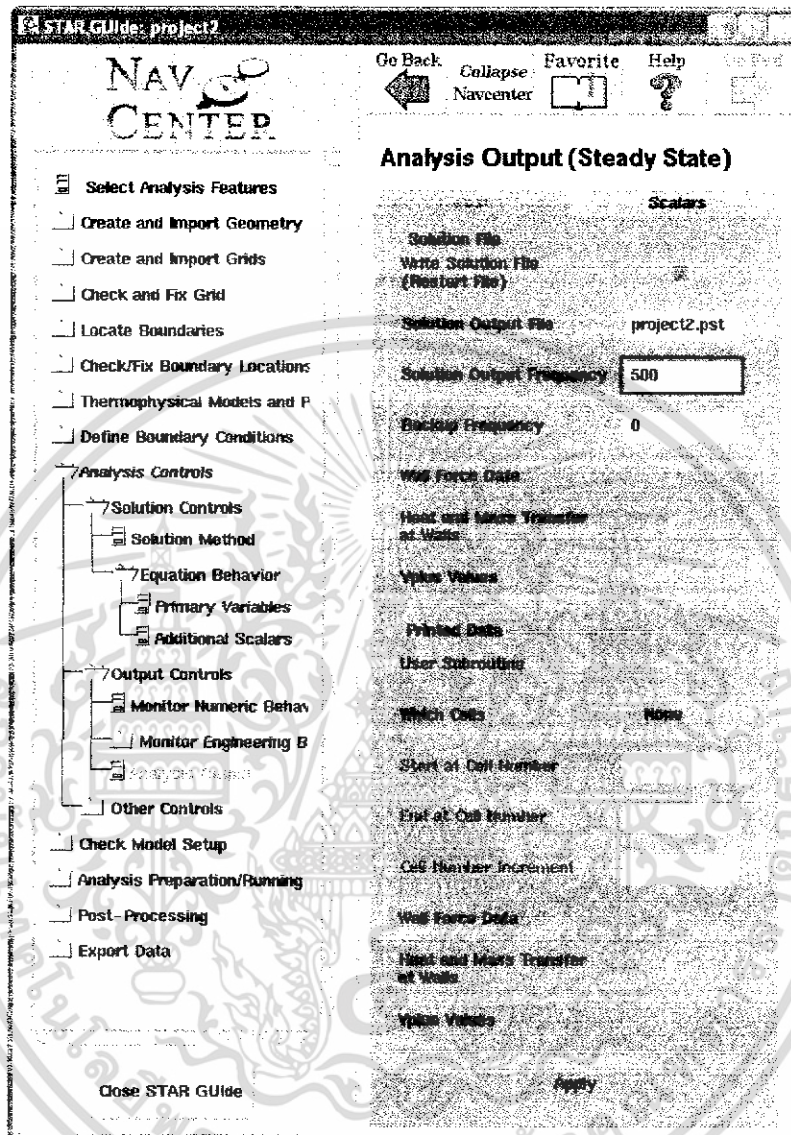
ขั้นที่ 6 กำหนด Inlet ช่องที่ 6, 7, 8, 9 ให้เป็นน้ำและ
กำหนด Properties ของทั้งน้ำและอากาศ



รูปที่ 8 ขั้นตอนที่ 6 ในโปรแกรม Star CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

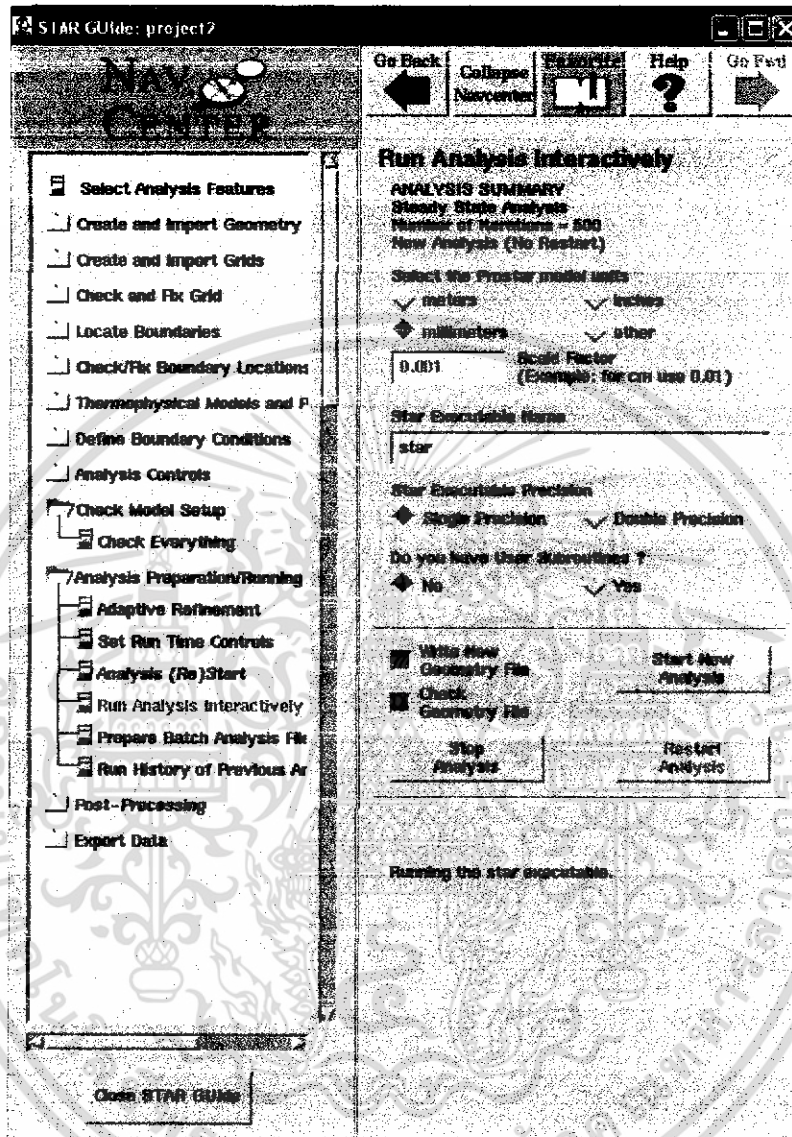
ขั้นที่ 7 กำหนด Solution Output Frequency เป็น 500



รูปที่ 9 ขั้นตอนที่ 7 ในโปรแกรม Star CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

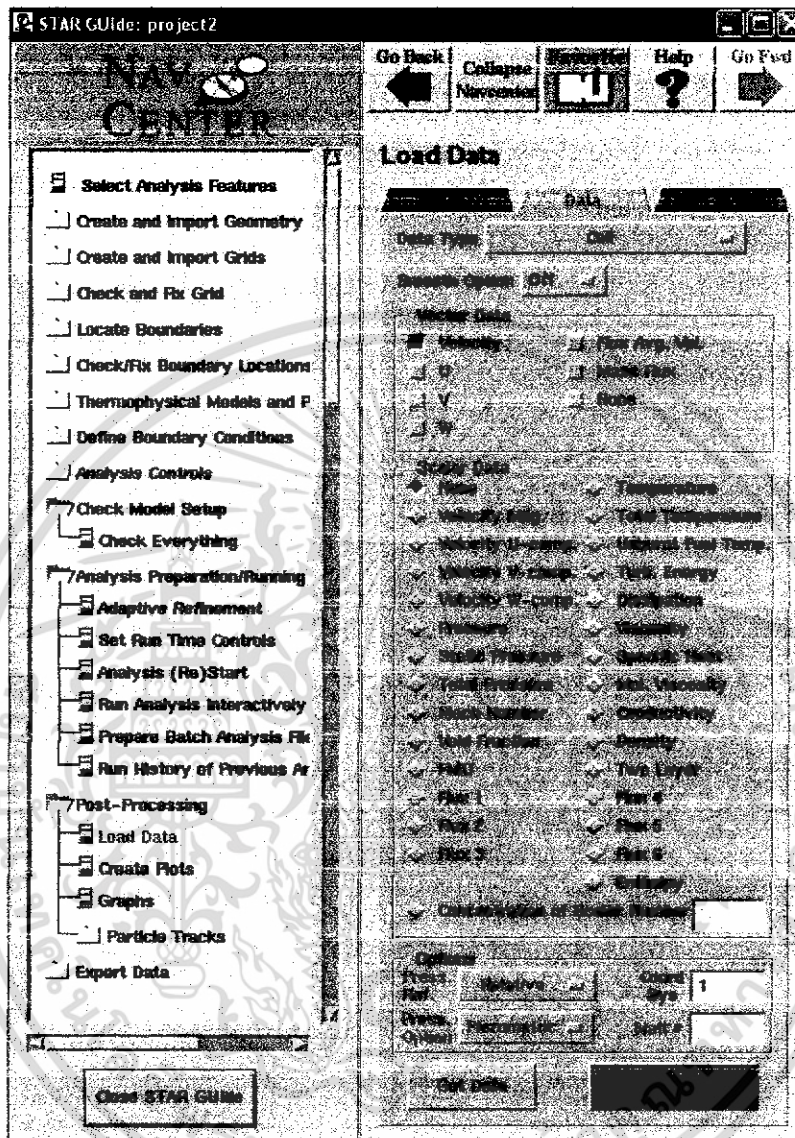
ตอนที่ 8 เริ่ม Run Program



รูปที่ 10 ขั้นตอนที่ 28 ในโปรแกรม Star CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

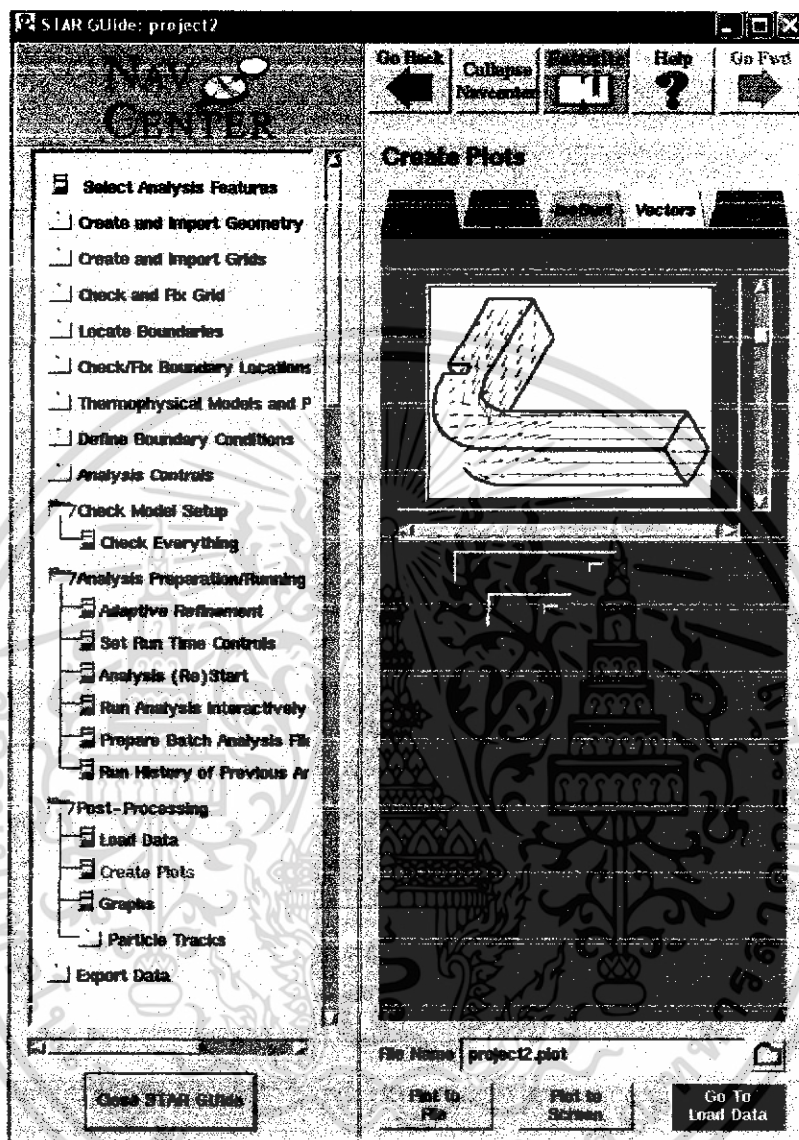
ขั้นที่ 9 เลือกประเภทของการแสดงผลในค่าต่างๆ



รูปที่ 11 ขั้นตอนที่ 9 ใน โปรแกรม Star CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 10 Plot to Screen เพื่อวิเคราะห์ผล



รูปที่ 12 ขั้นตอนที่ 10 ในโปรแกรม Star CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

คำศัพท์เฉพาะ

ค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO) หมายถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ การหาค่าออกซิเจนละลาย หรือ DO คือ การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำอันเป็นลักษณะสำคัญที่จะบอกให้ทราบว่า น้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และใช้พิจารณาแนวการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำว่าเป็นแบบใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) ตลอดจนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของน้ำ ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ในถังเติมอากาศค่า DO มีความสำคัญมาก เพราะควรมีออกซิเจนเพียงพอ คือ ไม่ควรต่ำกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร การบำบัดจึงจะมีประสิทธิภาพ ถ้าเติมอากาศมากเกินไปก็จะเป็นการสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ แต่ถ้าขาดออกซิเจนก็จะเกิดปัญหาทำให้ระบบบำบัดล้มเหลว เกิดก๊าซไข่เน่า (H_2S) เป็นกลิ่นรบกวนได้ [11]

ตามปกติแล้วออกซิเจนในบรรยากาศละลายลงในน้ำธรรมชาติ (Fresh Water) ได้ตั้งแต่ 13.6 มิลลิกรัม / ลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส และ 7 มิลลิกรัม / ลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิ 1 บรรยากาศ จะเห็นได้ว่าถ้าอุณหภูมิยิ่งสูงออกซิเจนยิ่งจะละลายได้น้อย และหลักที่ถือกันคือในน้ำทั่วไปควรมีออกซิเจนที่ละลายได้อยู่ 8 มิลลิกรัม / ลิตร [12]

ระยะเวลาการกักเก็บน้ำ (Retention Time, T) หมายถึงช่วงเวลาที่ใช้ในการกักเก็บน้ำไว้ ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในถังเติมอากาศค่า T อยู่ในช่วงระหว่าง 5 – 10 นาที [13]

ประตูน้ำ (Gate Valve) หมายถึงวาล์วที่ทำหน้าที่เปิดปิด การเปิดปิด ไม่ควรเปิดครั้ง ๆ กลาง ๆ จะต้องเปิดให้กว้างสุด ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของประตูน้ำก่อให้เกิดการขัดสีที่ขอบของประตูได้ มีข้อเสียคือน้ำหนักมากและกินพื้นที่มากจึงต้องการที่รองรับน้ำหนักด้วย(ถ้าจำเป็น) การติดตั้งและการซ่อมบำรุงยาก ชิ้นส่วนที่เป็นลิ้นเป็นแบบแฮกลิ้ม คือชิ้นหนึ่งจะเป็นครึ่งทรงกลมนูนออกสวมอยู่ในลิ้นอีกชิ้นหนึ่งที่เป็นทรงกลมเว้าเข้า แบบนี้มักใช้กับงานความดันต่ำสามารถปิดได้สนิทดี ทนทานเพราะคล่องตัวในการเคลื่อนที่ ก้านวาล์ว (Stem) เป็นชิ้นส่วนที่ใช้เปิดปิด ปลายก้านวาล์วข้างหนึ่งจะจับกับลิ้นอีกข้างหนึ่งยื่นออกมาติดกับส่วนที่ใช้หมุน (Hand Wheel) ดังนั้นเวลาเปิดปิดวาล์วก้านวาล์วและที่หมุนจะเคลื่อนที่ไปด้วยกัน [14]

สมการ Van't Hoff – Arrhenius ได้แสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าคงที่สำหรับอัตราเร็วของปฏิกิริยา คือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะมีผลทำให้ค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยมีรูปแบบของสมการดังนี้ [7]

$$(d/dT) / (\ln(k)) = E / RT^2 \quad (1)$$

เมื่อ $T =$ อุณหภูมิ, $^{\circ}\text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C}$

$R =$ ค่าคงที่ของก๊าซ = 8.314 จูล / (โมล. $^{\circ}\text{K}$)

$E =$ Activation energy, จูล / โมล. (8400 – 84000 สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป)

$K =$ ค่าคงที่สำหรับอัตราเร็วของปฏิกิริยา, ลิตร / (โมล.นาที)

ทำการ Integration ในสมการ (1) ระหว่าง T_1 และ T_2

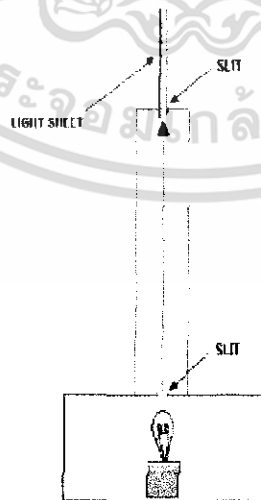
$$\begin{aligned} \int_{k_1}^{k_2} d(\ln(k)) &= \int_{T_1}^{T_2} (E/R)T^{-2} dT \\ \ln(k_2/k_1) &= (E/R) [-(1/T_2) + (1/T_1)] \\ \ln(k_2/k_1) &= (E/RT_1T_2)(T_2 - T_1) \end{aligned} \quad (2)$$

ค่าของ (E/RT_1T_2) เป็นค่าคงที่ ซึ่งจะให้เท่ากับ P

$$\begin{aligned} \ln(k_2/k_1) &= P(T_2 - T_1) \\ k_2/k_1 &= e^{P(T_2 - T_1)} = \Theta^{(T_2 - T_1)} \\ k_2 &= k_1 \Theta^{(T_2 - T_1)} \end{aligned} \quad (3)$$

เมื่อ $\Theta =$ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ

Flow Visualization หมายถึง การฉายแสงที่มีลักษณะเป็น Light Sheet โดยการนำแผ่นขนานมาวางเป็นช่อง Slit เพื่อบิบลำแสงจากแหล่งกำเนิดให้เล็กลงและมีลักษณะเป็นแผ่นแสงขนาดช่อง Slit [10]



รูปที่ 13 การทำ Light Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรพล สายพานิช, การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย, กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [2] W. L. McCabe, J. C. Smith and P. Harriott, **Unit Operation of Chemical Engineering**, 6th edition, Boston Burr Ridge : McGraw Hill, 1999.
- [3] วิศิษฎ์ จาตุรमान และ ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์, **กลศาสตร์ของไหล**, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2521.
- [4] มั่นสิน ตันจุลเวม์ และ ไพพรรณ พรประภา, **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์อื่น ๆ**, กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [5] เกียรติศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย**, เล่ม 3, กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์, 2537.
- [6] B. Cancino, P. Roth, M. Reub, "Design of high efficiency surface aerators Part 1. Development of new rotors for surface aerators", *Aquacultural Engineering*, 2004.
- [7] เกียรติศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย**, เล่ม 2, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์, 2539.
- [8] R. Corst, **Environmental Risk Assessment : Transfer Processes**, [Online], google : <http://www.crwr.utexas.edu/.../lecture/Lect4/Fate.html>, 2006.
- [9] ภัทรภรณ์ เมฆพฤกษาวงศ์ และ วีชระ เพิ่มชาติ, **เครื่องสูบน้ำในงานวิศวกรรม**, กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [10] A. Benaissa, B. Fleck, A. Pollard, and J. Morrison, 'Experimental investigation of well effects on the initial region of turbulent round jets', 8th European Turbulence Conference, 2000.
- [11] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**, กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545.
- [12] โกมล ศิวะบวร, เชาวยุทธ พรพิมลเทพ และสุวิทย์ ชูมนุมศิริวัฒน์, **การประปาเบื้องต้น**, กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล, 2524.
- [13] เกียรติศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, **การบำบัดน้ำเสีย**, กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์, 2537.
- [14] **ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ, ระบบท่อ วาล์ว ปัม**, กรุงเทพฯ : เอ็มแอนเค็อ, 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากเครื่องเติมอากาศมีจุดประสงค์เพื่อให้ออกซิเจนแก่น้ำเสียและเป็นการกวนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศให้มีความเร็วสูงพอที่จะไม่ให้เกิดการตกตะกอนที่ก้นถัง ซึ่งในปัจจุบันเครื่องเติมอากาศนั้นมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ เครื่องเติมอากาศแบบฟุ้ง (Diffused – Air Aerators), เครื่องเติมอากาศแบบเครื่องกล (Mechanical Aerators), เครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า (Surface Aerators), เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำ (Submerged Turbine Aerators), เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submersible Aerators) และเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดพ่น (Jet Aerators) เป็นต้น แต่ละชนิดก็ให้ประสิทธิภาพในการเติมอากาศที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดพ่น (Jet Aerator) นี้ พบว่าโดยทั่ว ๆ ไปหลักการทำงานคือ อาศัยการผสมกันระหว่างอากาศที่ถูกจ่ายเข้าไปด้วยเครื่องอัดอากาศ (Compressor) และน้ำที่ถูกจ่ายเข้าไปด้วยเครื่องสูบน้ำ (Pump) ที่เป็นตัวส่งกำลังเพื่ออัดแรงน้ำไปยังหัวฉีดให้ฉีดพ่นลงถึงบ่อบำบัดน้ำเสีย จึงเห็นได้ว่าเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดพ่นลักษณะนี้มีการใช้พลังงานถึง 2 ส่วน แม้จะให้ประสิทธิภาพในการเติมอากาศค่อนข้างสูงมากประมาณ 10 – 20 % แต่ในด้านการใช้พลังงานยังถือว่าสิ้นเปลือง อีกทั้งขนาดฟองอากาศที่ได้ยังมีขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ซึ่งถือว่าไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน

โครงการนี้จึงมีแนวความคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดพ่น ที่สามารถให้น้ำและเหนียวนำอากาศเข้าไปผสมกันในช่องแคบแล้วปล่อยลงถึงบ่อบำบัดน้ำเสียพร้อม ๆ กัน ด้วยการออกแบบที่ให้ฟองอากาศมีขนาดเล็กและมีจำนวนการกระจายตัวในถังให้มาก โดยใช้ปั๊มเพียงตัวเดียวเป็นตัวให้พลังงาน เพื่อให้ได้เครื่องเติมอากาศที่มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน สามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาเพื่อใช้ในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียแบบอื่น ๆ ได้ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อออกแบบเครื่องเติมอากาศแบบการเหนียวนำอากาศโดยอาศัยหัวฉีดพ่นที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการทำงาน

1.2.2 เพื่อทำการวิเคราะห์รูปแบบการผสมของเครื่องเติมอากาศ โดยการใช้โปรแกรม Star CD และการใช้เทคนิคถ่ายภาพการไหล (Flow Visualization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาลักษณะการกระจายตัวและขนาดของฟองอากาศที่ออกมาจากเครื่องเดิมอากาศแบบเหนียวนำอากาศโดยหัวฉีดพ่น
- 1.3.2 เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องเดิมอากาศที่ออกแบบในแบบต่าง ๆ
- 1.3.3 เก็บข้อมูลการทดลอง วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของการผสมกันระหว่างอากาศกับน้ำในอัตราการไหลที่แตกต่างกันของหัวฉีดพ่น

1.4 ระบุแผนการดำเนินงาน

- 1.4.1 สร้างเครื่องแบบสมบูรณ์
- 1.4.2 ออกแบบหัวฉีดพ่น ได้ 5 แบบ
- 1.4.3 ทดลองใช้งานของเครื่องและดูการทำงานของหัวฉีดพ่นแต่ละแบบ
- 1.4.4 ทดลองและแก้ไขปรับปรุงหัวฉีดพ่นและเครื่องตามที่ได้ออกแบบไว้
- 1.4.5 สรุปและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน
- 1.4.6 เรียบเรียงข้อมูลและจัดทำรูปเล่ม

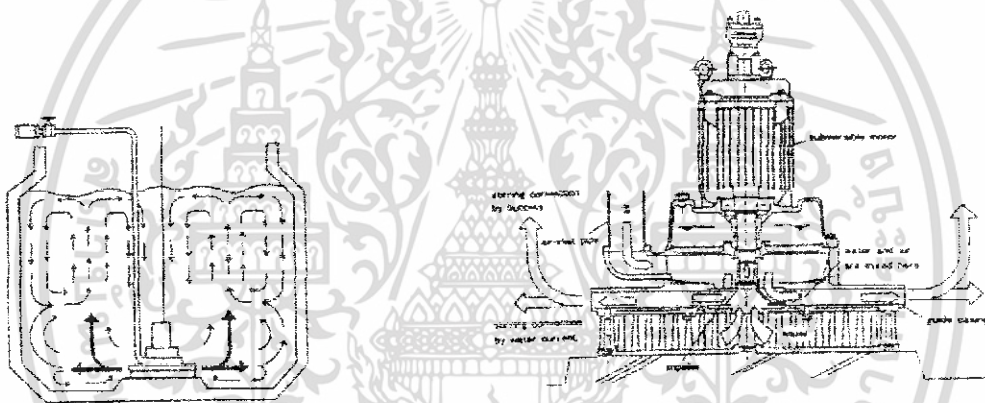
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submerge Aerator)

เครื่องเติมอากาศใต้น้ำเป็นแบบที่ได้รับการพัฒนามาในระยะเวลาไม่นานนัก โดยมีลักษณะผสมกันระหว่างเครื่องสูบน้ำ (Pump) เครื่องดูดอากาศ (Air Blower) และเครื่องตีอากาศให้ผสมกับน้ำ (Disperser) อยู่ในเครื่องเดียวกัน ความสามารถในการให้ออกซิเจนแก่น้ำประมาณ 0.8 - 1.2 กิโลกรัม ออกซิเจนต่อแรงแม่-ชั่วโมง ความสามารถในการกวนน้ำ (Mixing) จำกัด แต่ข้อดีคือไม่มีเสียงรบกวน และไม่มีการฟุ้งกระจายของละอองน้ำเหมือนเครื่องเติมอากาศที่ผิว [1] ดังแสดงในรูปที่ 2.1



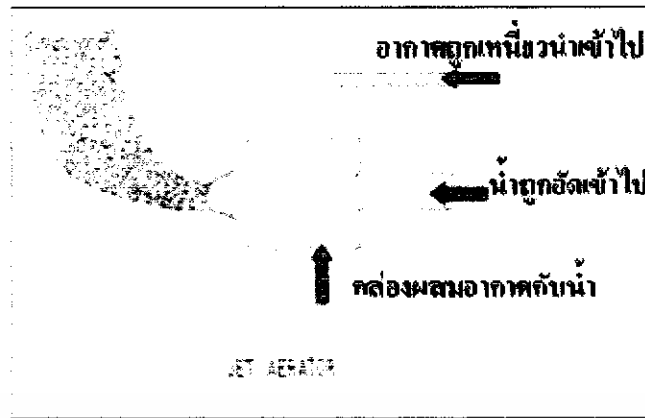
รูปที่ 2.1 เครื่องกลเติมอากาศใต้น้ำ

2.2 เครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดน้ำ (Jet Aerator)

การเติมอากาศแบบหัวฉีดน้ำมี 2 แบบ แบบแรกใช้หลักการของ Venturi Ejector ส่วนแบบที่สองเป็นการฉีดน้ำลงบนผิวน้ำ ในที่นี้จะกล่าวถึงแบบแรกเท่านั้น

หลักการทำงานของ Venturi Ejector อาศัยเครื่องสูบน้ำแบบใต้น้ำฉีดผ่านท่อที่มีรูปร่างเป็น Venturi เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำ จนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศจากผิวน้ำลงมาผสมกับน้ำจะเกิดการถ่ายเทออกซิเจนลงไปใต้น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งประสิทธิภาพในการให้ออกซิเจนประมาณ 0.6 - 1.0 กิโลกรัมออกซิเจนต่อแรงแม่-ชั่วโมง การใช้เครื่องเติมอากาศแบบนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียซึ่งไม่มีเศษขยะหรือของแข็งขนาดใหญ่เพราะอาจจะเข้าไปอุดตันในท่อ Venturi ได้ง่าย [1]

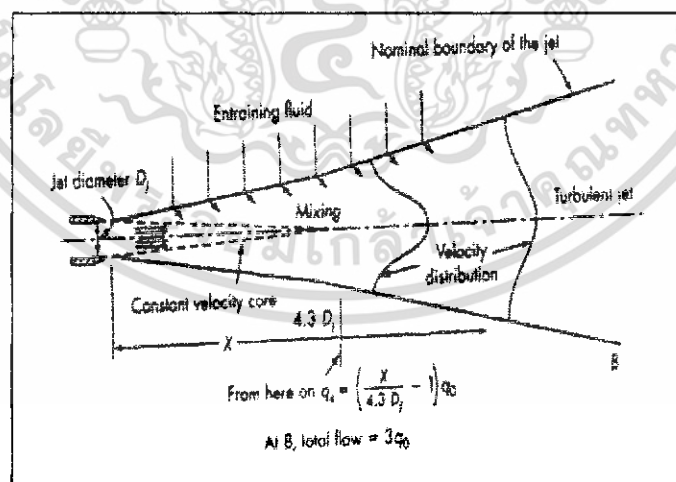
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลักษณะการทำงานของ Jet Aerator

2.3 Jet Mixing

กระแสการไหลของของเหลวที่ออกจากหัวฉีดพ่นจะมีความเร็วสูงรูปร่างแน่นอนและคงที่จนถึงระยะ 4.3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องแคบหัวฉีดพ่น ซึ่งระยะดังกล่าวนี้จะเกิดการผสมกันขึ้นระหว่างของเหลวที่พ่นออกมา กับของเหลวที่อยู่ในถังผสม รูปร่างของกระแสการไหลจะมีการเปลี่ยนแปลง นั่นคือแกนการไหลจะเริ่มหดลงจนหายไปซึ่งแปรผันตามระยะทางที่ห่างออกจากช่องแคบหัวฉีดพ่น อีกทั้งความเร็วจะลดลงด้วยจนในที่สุดกลายเป็นกระแสการไหลแบบปั่นป่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กระแสการไหลของของเหลวที่ออกจากหัวฉีดพ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมของของเหลวที่ออกจากหัวฉีดพ่นกับของเหลวภายนอกหัวฉีดพ่น สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$q_e = \left(\frac{X}{4.3D_j} - 1 \right) q_o \quad (2.1)$$

เมื่อ q_e = ปริมาตรของเหลวที่เข้าสู่กระบวนการผสม คัดจากปลายหัวฉีดถึงระยะ x ,
ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

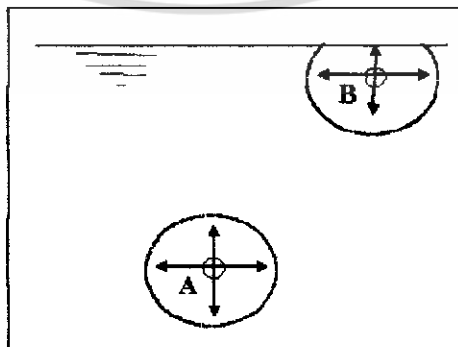
q_o = ปริมาตรของเหลวที่ออกจากช่องแคบของหัวฉีดพ่น, ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

D_j = เส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดพ่น, เมตร [2]

2.4 ความตึงผิว (Surface Tension)

การพิจารณาโมเลกุลของของเหลวที่อยู่ในเนื้อของเหลว เช่น ที่จุด A ในรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าโมเลกุลนี้มีโมเลกุลของของเหลวอื่นล้อมรอบอยู่ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่าง ๆ ที่ล้อมรอบอยู่จะอยู่ในสภาวะสมดุล แต่สำหรับโมเลกุลของของเหลวที่อยู่บริเวณผิวอิสระ ซึ่งมีส่วนหนึ่งสัมผัสกับอากาศและอีกส่วนหนึ่งจมอยู่ในของเหลว เช่น ที่จุด B เนื่องจากไม่มีโมเลกุลของของเหลวด้านบน ทำให้แรงดึงดูดของโมเลกุลเกิดขึ้นเฉพาะด้านล่าง ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับผิวของของเหลวเข้าหาเนื้อของของเหลว แต่เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดกันระหว่างโมเลกุลที่อยู่ใต้ผิวน้ำของของเหลวจะทำให้เกิดขึ้นของฟิล์ม (Imaginary Film) ขึ้นที่ผิวของของเหลว ซึ่งทำให้ผิวของของเหลวถูกดึงให้ตั้งอยู่เสมอ และความตึงผิวนี้จะทำให้ทนต่อแรงภายนอกขนาดเล็ก ๆ ที่มากระทำได้

เนื่องจากความตึงผิวขึ้นอยู่กับแรงยึดเกาะ (Cohesion) โดยตรง ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของของเหลวเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ค่าความตึงผิวลดลงได้ นอกจากนั้นความตึงผิวยังขึ้นอยู่กับชนิดของของไหลที่สัมผัสอยู่กับผิวของของเหลว นั่น ซึ่งโดยปกติอากาศ ความตึงผิวของน้ำที่สัมผัสอยู่กับอากาศมีค่าตั้งแต่ประมาณ 0.0075 kg f/m ที่อุณหภูมิ 19°C ถึง 0.006 kg f/m ที่อุณหภูมิ 100°C [3]

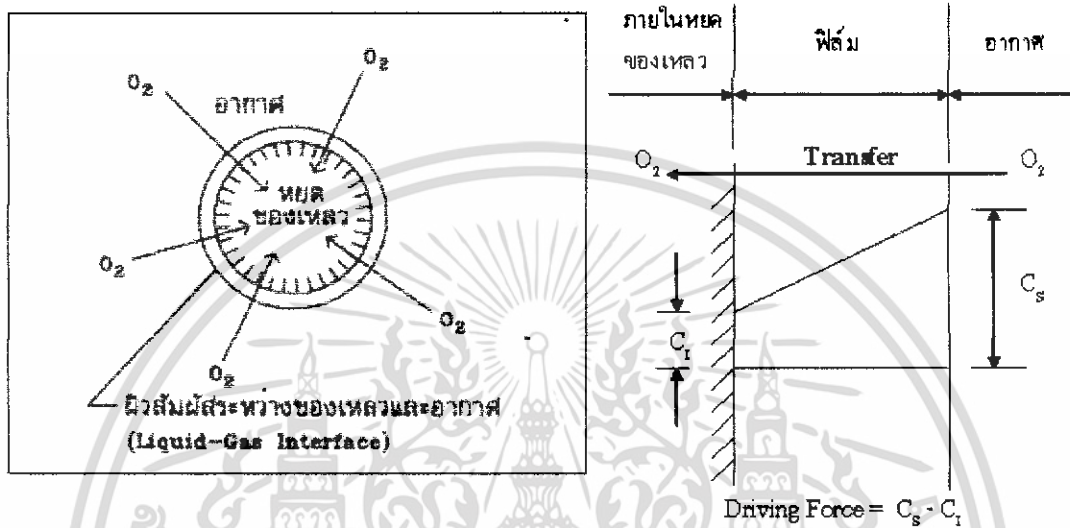


รูปที่ 2.4 แรงภายใน โมเลกุลที่บริเวณผิวของของเหลว

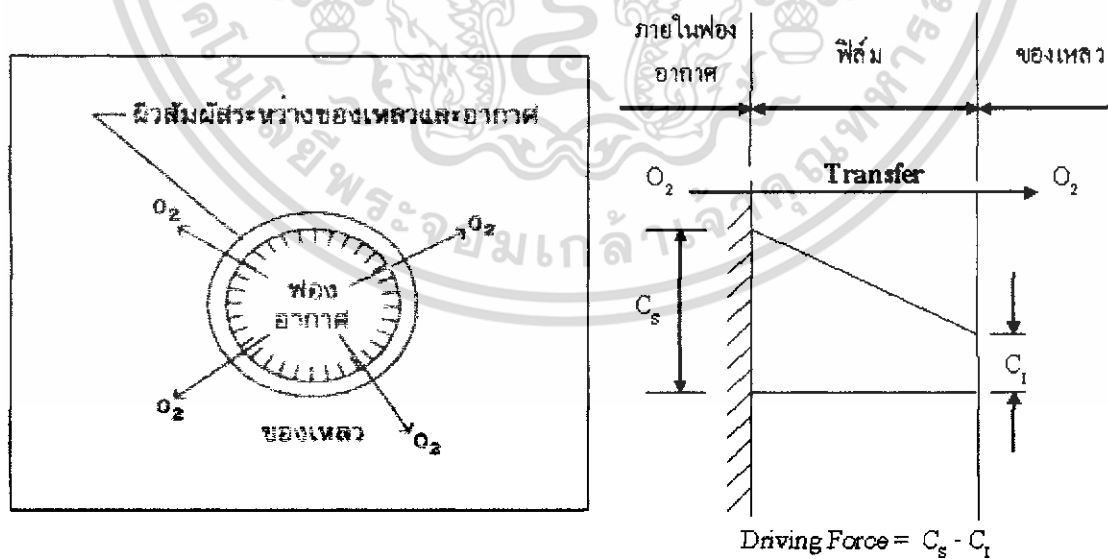
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการเติมอากาศและการถ่ายเทมวลระหว่างฟองอากาศกับน้ำ

การถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศให้กับน้ำเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ ออกซิเจนอาจถ่ายเทจากอากาศให้กับหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการตีน้ำของเครื่องเติมอากาศและออกซิเจนอาจถ่ายเทจากฟองอากาศให้กับน้ำที่ห่อหุ้ม ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 ออกซิเจนถ่ายเทจากอากาศให้กับหยดน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการตีน้ำของเครื่องเติมอากาศ



รูปที่ 2.6 ออกซิเจนถ่ายเทจากฟองอากาศให้กับน้ำที่ห่อหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

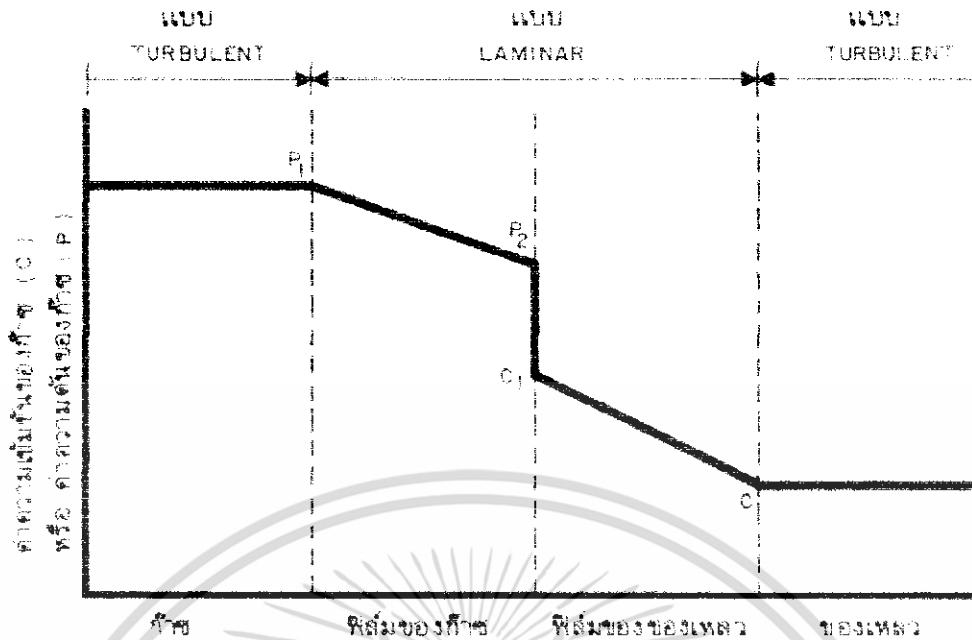
การเติมอากาศหรือออกซิเจนให้กับน้ำทั้งสองวิธีขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

- ขนาดของหยดน้ำ
- ขนาดของฟองอากาศ
- ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศซึ่งแสดงออกในรูปแบบความดันย่อยของออกซิเจน (Partial Pressure of Oxygen)
- เวลาที่ใช้สัมผัสน้ำและอากาศ
- แรงสนับสนุนให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจน(ผลต่างระหว่างออกซิเจนอิ่มตัวและออกซิเจนละลายน้ำที่มีอยู่ในขณะทำการเติมอากาศ)

เนื่องจากการถ่ายเทออกซิเจนเกิดขึ้นผ่านผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศ การทำให้หยดน้ำหรือฟองอากาศมีขนาดเล็ก จึงช่วยให้มีการถ่ายเทออกซิเจนได้ดี เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศ

การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศ ทำให้ออกซิเจนสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น (ตามกฎของ Henry) เป็นผลทำให้แรงผลักดันการถ่ายออกซิเจนเพิ่มขึ้น ยิ่งความเข้มข้นออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าต่ำ แรงสนับสนุนการถ่ายเทออกซิเจนยิ่งมีค่ามาก ทำให้ต้องเติมออกซิเจนในอัตราสูง นั่นคือน้ำที่ขาดแคลนออกซิเจน จะรับการถ่ายเทออกซิเจนได้เร็ว ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีออกซิเจนอิ่มตัวจะ ไม่รับออกซิเจนจากอากาศเลย [4]

ในปี คศ. 1924 ทฤษฎีของการเติมอากาศได้ถูกศึกษาโดยมาหลายลักษณะโดย Lewis และ Whitman จากเอกสารทางวิชาการของ Ind. Eng. Chem., Vol.16 หน้า 1215 ในหัวข้อ "Principle of Gas Adsorption" ได้อธิบายทฤษฎีการถ่ายเทของก๊าซ โดยพิจารณาเป็น 2 ชั้นคือ ชั้นของเหลว และชั้นก๊าซ โดยก๊าซ (เช่น ออกซิเจน) จะซึมผ่านชั้นก๊าซและชั้นของเหลว จนกระทั่งถึงระดับลึกของของเหลว ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซจะค่อย ๆ ลดลง ขณะที่ก๊าซได้ซึมผ่านชั้นก๊าซและชั้นของของเหลว รูปที่ 2.7 ได้แสดงภาพการถ่ายเทของก๊าซ (ออกซิเจน) ซึมผ่านชั้นของเหลว โดยการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นของก๊าซ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ [5]



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นของก๊าซบริเวณชั้นผิวของเหลว

2.6 ขั้นตอนของการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศไปสู่ชั้นของเหลว

การถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศไปสู่ชั้นของเหลว มี 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่หนึ่ง การถ่ายเทของออกซิเจนจากบริเวณบรรยากาศเข้าสู่ฟิล์มของก๊าซ ซึ่งอัตราการถ่ายเทของออกซิเจนในบริเวณนี้มีอัตราเร็วมาก เนื่องจากความต้านทานในชั้นฟิล์มของก๊าซมีค่าน้อยมาก ค่าความดันของก๊าซจะค่อย ๆ ลดลงแต่ในปริมาณที่น้อย

ขั้นที่สอง การถ่ายเทของออกซิเจนจากบริเวณฟิล์มของก๊าซเข้าสู่ฟิล์มของของเหลว โดยจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของบริเวณผิวของของเหลว (ผิวน้ำ) ถ้ามีความปั่นป่วนบริเวณผิวน้ำมาก ชั้นฟิล์มของผิวน้ำอาจแตกออก ทำให้อัตราการถ่ายเทของออกซิเจนเข้าสู่ผิวน้ำมีมากขึ้น บริเวณชั้นฟิล์มของน้ำค่าความเข้มข้นของออกซิเจนจะค่อย ๆ ลดลงจาก C_1 ไปเป็น C

ขั้นที่สาม การถ่ายเทของออกซิเจนจากชั้นฟิล์มของของเหลวเข้าสู่ชั้นของเหลว ในขั้นนี้จะมีค่าความเข้มข้นของก๊าซ (ออกซิเจน) เท่ากับ C ถ้าน้ำมีการกวนสมบูรณ์ ค่า C จะมีเท่า ๆ กันในทุกระดับของน้ำ แต่ถ้าน้ำไม่มีการกวนค่า C อาจมีค่าแตกต่างกันตามระดับความลึกของน้ำ โดยทั่วไปยิ่งลึกลงไปเท่าใดค่า C จะมีค่าลดลงไปเรื่อย ๆ

จากการถ่ายเทของออกซิเจนลงไปใต้น้ำ สามารถเขียนได้ในรูปสมการดังนี้

$$r_m = K_p A (C_s - C) \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ r_m = อัตราของการถ่ายเทมวลสาร, กิโลกรัม/วัน
 K_g = ค่าสัมประสิทธิ์ในการกระจายของก๊าซ, กิโลกรัม/(วัน.ตารางเมตร.
 (มิลลิกรัม/ลิตร))
 A = พื้นที่ผิวที่ก๊าซได้กระจาย, ตารางเมตร
 C_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของก๊าซในสารละลาย, มิลลิกรัม/ลิตร
 C = ความเข้มข้นของก๊าซในสารละลาย, มิลลิกรัม/ลิตร

จากสมการ (2.2) สามารถเขียนใหม่ได้เป็นรูปสมการดังนี้

$$r_m = V \frac{dC}{dt} = K_g A (C_s - C) \quad (2.3)$$

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลาย, ลิตร

เพราะฉะนั้น

$$\frac{dC}{dt} = K_g \frac{A}{V} (C_s - C) \quad (2.4)$$

สำหรับในทางปฏิบัติค่า A เป็นค่าที่หาได้ยาก ดังนั้นจึงรวมตัวแปร A และ V มาเป็น a ซึ่ง $a = A/V$ และพิจารณา K_g เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทก๊าซผ่านชั้นฟิล์มของของเหลว ซึ่งกำหนดให้เป็น K_L ดังนั้น ค่า $K_g A/V$ จึงสามารถเขียนได้ใหม่เป็น $K_L a$ ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดในการถ่ายเทก๊าซ (ออกซิเจน) ค่า $K_L a$ นี้จะขึ้นอยู่กับระบบการเติมอากาศ รูปร่างของถังเติมอากาศ ลักษณะของน้ำ และอุณหภูมิ โดยทั่วไปค่า $K_L a$ จะหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติ การหรือในสนามจริง และจะไม่นิยมนำมาหาค่า $K_L a$ โดยแยกออกเป็น K_L และ a เพราะค่า a เป็นค่าที่คำนวณหาได้ยากในทางปฏิบัติ

จากสมการ (2.4) สามารถเขียนได้ใหม่เป็นรูปสมการดังนี้

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (2.5)$$

เมื่อ dC/dt = ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของก๊าซต่อเวลา, มิลลิกรัม/(ลิตร.วินาที)

$K_L a$ = ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดในการถ่ายเทก๊าซต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ได้กล่าวมานำมาวิเคราะห์ต่อจะได้เป็น

$$\int_{C_1}^{C_2} \frac{dC}{(C_s - C)} = K_L a \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (2.6)$$

$$\ln \left[\frac{C_s - C_2}{C_s - C_1} \right] = K_L a (t_2 - t_1) \quad (2.7)$$

$$K_L a = \frac{\ln \left[\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right]}{(t_2 - t_1)} \quad (2.8)$$

เมื่อพิจารณา $t_1 = 0$ โดยมี $C_1 = C_0$ และ $t_2 = t$ โดยมี $C_2 = C_t$ จะได้

$$\ln \left[\frac{C_s - C_t}{C_s - C_0} \right] = -K_L a t \quad (2.9)$$

ถ้าระบบมีของเหลวที่อิ่มตัวด้วยก๊าซ ทำให้ก๊าซถ่ายเทออกจากของเหลว ทำให้สมการเขียนใหม่ได้เป็น

$$\ln \left[\frac{C_t - C_s}{C_0 - C_s} \right] = -K_L a t \quad (2.10)$$

หลักการข้างต้นสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการเติมลงในน้ำทิ้ง เช่น น้ำเสียที่ได้ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว

สมมติให้อัตราการเติมออกซิเจนลงไปในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ dm / dt ซึ่งจะได้

$$\frac{dm}{dt} = K_T V (C_s - C) \quad (2.11)$$

เมื่อ K_T = ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทของออกซิเจน ณ อุณหภูมิ T, องศาเซลเซียส

จะได้

$$K_T = K_{20} (1.024)^{T-20} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ประสิทธิภาพของการเติมออกซิเจนลงไปใต้น้ำที่ เป็น (Aeration Efficiency, E)

$$E = \frac{(dm/dt)_{20}}{M} \quad (2.13)$$

เมื่อ $(dm/dt)_{20}$ = อัตราการเติมออกซิเจน ณ 20°C และมี C หรือ DO = 0 มิลลิกรัม/ลิตร

M = อัตราการเติมออกซิเจนลงไปใต้น้ำที่, กรัม/วินาที

จะได้

$$M = \frac{(dm/dt)_{20}}{E} \quad (2.14)$$

$$M = \frac{(dm/dt)_T (dm/dt)_{20}}{E (dm/dt)_T} \quad (2.15)$$

$$M = \frac{(dm/dt)_T (C_s)_{20}}{E (C_s - C)_T (1.024)^{T-20}} \quad (2.16)$$

กำหนดให้

$$\frac{dm}{dt} = V \frac{dC}{dt} = QdC \quad (2.17)$$

เมื่อ V = ปริมาตรของน้ำที่, ลูกบาศก์เมตร

Q = อัตราไหลเข้าของน้ำที่, ลูกบาศก์เมตร/วินาที

$$dM = \frac{Q (C_s)_{20}}{E (1.024)^{T-20}} \left(\frac{dC}{(C_s - C)_T} \right) \quad (2.18)$$

$$\int_0^M dM = \frac{Q (C_s)_{20}}{E (1.024)^{T-20}} \int_{C_i}^{C_0} \frac{dC}{(C_s - C)} \quad (2.19)$$

$$M = \frac{Q (C_s)_{20}}{E (1.024)^{T-20}} \ln \left(\frac{C_s - C_i}{C_s - C_0} \right)_T \quad (2.20)$$

$$Q_a = 0.00353 \frac{Q (C_s)_{20}}{E (1.024)^{T-20}} \ln \left(\frac{C_s - C_i}{C_s - C_0} \right)_T \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $0.00353 = (\text{กรัม/วินาที}) \times (\text{ลูกบาศก์เมตร/1230 กรัม}) \times (1/0.23)$

1230 = ความหนาแน่นของอากาศ, กรัม/ลูกบาศก์เมตร

0.23 = ปริมาณออกซิเจนโดยน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยของปริมาณอากาศ

Q_a = ปริมาณอากาศที่ต้องการเติมลงไปใต้น้ำทิ้ง, ลูกบาศก์เมตร/วินาที

เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพจริงคือปริมาณอากาศที่เติมลงไปใต้น้ำทิ้ง หรือน้ำเสียจึงนิยามด้วย

1.10 ($1.1 = 1/0.9$; $0.9 =$ ค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำเสีย/ค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำสะอาด) ทำให้ปริมาณอากาศที่ต้องการเติมลงไปใต้น้ำทิ้ง เป็นดังสมการ (2.22)

$$Q_a = 0.0039 \frac{Q}{E} \frac{(C_s)_{20}}{(1.024)^{T-20}} \ln \left(\frac{C_s - C_i}{C_s - C_0} \right)_T \quad (2.22)$$

2.7 วิธีวัดประสิทธิภาพในการเติมอากาศ

การหาค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (Oxygenation Capacity, OC) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$OC = \frac{V(K_L a)(C_s)}{1000} \quad (2.23)$$

เมื่อ OC = ความสามารถในการเติมออกซิเจน, กิโลกรัม/ชั่วโมง

V = ปริมาตรของน้ำ, ลูกบาศก์เมตร

$K_L a$ = ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดในการถ่ายเทก๊าซต่อวินาที

C_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของก๊าซในสารละลาย, มิลลิกรัม/ลิตร

เนื่องจากในการหาค่า $K_L a$ จะกระทำในสภาวะต่าง ๆ ซึ่งไม่ได้อยู่ในสภาวะมาตรฐานดังนั้น ค่า $K_L a$ ต้องทำการคำนวณปรับค่า สำหรับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่มีค่าแตกต่างกันกับสภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 20°C และความดันบรรยากาศ 10.33 เมตรของน้ำ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท)

2.7.1 การคำนวณปรับค่า $K_L a$ สำหรับอุณหภูมิใด ๆ

ค่า $K_L a$ ณ อุณหภูมิ 20°C สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$K_L a_{(T)} = K_L a_{(20^\circ\text{C})} \theta^{(T-20)} \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ $K_{La(T)}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน ณ อุณหภูมิ T, องศาเซลเซียส
 $K_{La(20)}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
 $\Theta^{(T-20)}$ = ค่าคงที่ โดยมากอยู่ในช่วง 1.015-1.040 โดยทั่วไปค่า $\Theta = 1.024$
 สำหรับเครื่องเติมอากาศแบบเป่าอากาศจุ่มใต้น้ำและแบบเติมอากาศบริเวณผิวน้ำ
 T = อุณหภูมิของน้ำ, องศาเซลเซียส

ซึ่งเป็นสมการที่นิยมเรียกว่า สมการ Vent't Hoff-Arrhenius โดยจะเห็นได้ว่าค่า K_{La} จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสภาวะแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงขึ้น

2.7.2 การคำนวณปรับค่า C_s สำหรับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศใด ๆ

ค่า C_s สำหรับ ณ อุณหภูมิใด ๆ คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$C_{s(T)} = 14.652 + 10.53(e^{-0.03896T} - 1) \quad (2.25)$$

เมื่อทำการปรับค่า C_s แล้ว นำค่า $C_{s(T)}$ มาคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่า C_s สำหรับ ณ ความดันบรรยากาศใด ๆ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{C_s'}{C_{s(T)}} = \frac{P - p}{760 - p} \quad (2.26)$$

- เมื่อ $C_{s(T)}$ = ค่า C_s ณ ความดันบรรยากาศมาตรฐาน, มิลลิกรัม/ลิตร
 C_s' = ค่า C_s ณ ความดันบรรยากาศ P มิลลิเมตรของปรอท, มิลลิกรัม/ลิตร
 P = ค่าความดันบรรยากาศใด ๆ, มิลลิเมตรของปรอท
 p = ค่าความดันไอของน้ำ, มิลลิเมตรของปรอท

นำค่า C_s ที่ถูกปรับแก้สำหรับ ณ อุณหภูมิ และความดันบรรยากาศจริงในสนามแล้ว จากนั้นจึงทำการปรับแก้สำหรับประเภทของเครื่องเติมอากาศแบบจุ่มใต้น้ำ เพราะจะมีความดันเนื่องจากความลึกของน้ำมาเกี่ยวข้องด้วย เรียกความดันนี้ว่า Hydrostatic Pressure ซึ่งจะคำนวณหาได้โดยสมการ (2.26) โดยจะคำนวณหาค่า P ใหม่ ได้ดังสมการดังนี้

$$P' = P + 73.53d \quad (2.27)$$

เมื่อ P' = ความดันที่มีทั้งหมด ณ ความลึกใด ๆ ของน้ำในถังเติมอากาศ, มิลลิเมตรปรอท

P = ความดันบรรยากาศบริเวณถังเติมอากาศในขณะนั้น, มิลลิเมตรปรอท

d = ความลึกของน้ำในถังเติมอากาศ, เมตร

$$73.53 = 1000 \text{ มิลลิเมตรน้ำ} / (13.6 \text{ มิลลิเมตรน้ำ} / 1 \text{ มิลลิเมตรปรอท}) [5]$$

2.7.3 การคำนวณปรับค่า OC

เมื่อ ได้ค่า $K_L a$ และค่า C_s ที่ถูกปรับแก้สำหรับสภาวะจริงแล้ว จึงนำค่าเหล่านี้มาคำนวณหาค่า OC ได้อย่างถูกต้อง โดยเครื่องเติมอากาศแบบได้นำ ใช้สมการดังนี้

$$OC = \left[K_L a_{(T)} 1.024^{(20-T)} \right] \left[C_{s(T)} \frac{P-p}{760-p} \right] V \quad (2.28)$$

2.7.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน

ค่าของ $K_L a$ ที่อุณหภูมิ T ($^{\circ}\text{C}$) จะมีความสัมพันธ์กับค่า $K_L a$ ที่อุณหภูมิ T_r ($^{\circ}\text{C}$) ในการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป เราสามารถใช้สมการการแปลงกลับเพื่อให้อยู่มาตรฐานอุณหภูมิเดียวกันได้ดังนี้ (Boyd, 1986 ; Pöpel, 1985)

$$k_L a_{T_r} = \frac{k_L a_T}{1.024^{(T-T_r)}} \quad (2.29)$$

จะเห็นได้ว่าสามารถคำนวณอัตราการถ่ายเทออกซิเจนได้จากค่า $K_L a$ สำหรับ มาตรฐานทั่วไปในระบบเติมอากาศ จะวัดประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาด เป็นน้ำหนักของออกซิเจนต่อหน่วยกำลังงานที่ใช้ภายในระยะเวลาหนึ่งชั่วโมง สมรรถนะของ Aerator จะมีมาตรฐานที่ใช้วัดที่อุณหภูมิมาตรฐานคือ

ประเทศเยอรมัน ใช้อุณหภูมิ 10°C (Wagner, 1997)

ประเทศเยอรมัน $OTR_{10} = k_L a_{10} C_{s10}$

ประเทศอเมริกา ใช้อุณหภูมิ 20°C (ASCE standard, 1992)

ประเทศอเมริกา $OTR_{20} = k_L a_{20} C_{s20}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OTR_{10} อัตราการถ่ายโอนออกซิเจนที่อุณหภูมิ 10 °C และความดัน 1 บรรยากาศ ($g/m^3/h$)

OTR_{20} อัตราการถ่ายโอนออกซิเจนที่อุณหภูมิ 20 °C และความดัน 1 บรรยากาศ ($g/m^3/h$)

เราจะได้ค่า $C_{s10} = 11.29 mg/L$ และ $C_{s20} = 9.09 mg/L$

ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$AE_T = \frac{OTR_T V}{P} \cdot 100 \quad (2.30)$$

เมื่อ AE_T = ประสิทธิภาพของ Aerator ที่อุณหภูมินั้น
 V = ปริมาตรของน้ำ (ลบ.ม.)
 P = กำลังที่ใช้ขับปั๊ม (W) [6]

2.8 ปัจจัยที่ทำให้ออกซิเจนในน้ำมีมากหรือน้อย

ออกซิเจนในน้ำ จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ

2.8.1 อุณหภูมิของน้ำ ออกซิเจนจะละลายในน้ำได้มากเมื่อน้ำมีอุณหภูมิต่ำและจะลดลงเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น (ตาราง ความสามารถในการละลายของก๊าซออกซิเจน ณ ระดับอุณหภูมิต่างๆ)

2.8.2 พื้นผิวสัมผัสของอณูก๊าซออกซิเจน ซึ่งฟองอากาศมีพื้นที่สัมผัสมากและมีขนาดเล็กของอณูมาก ออกซิเจนก็ยังมีโอกาสละลายน้ำได้สูง

2.8.3 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ก่อนแล้ว หากมีปริมาณก๊าซออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ก่อนแล้ว มากจนเกือบจะถึงจุดอิ่มตัว อัตราการละลายของออกซิเจนใหม่ที่เติมลงในน้ำก็จะต่ำลง

2.8.4 พื้นผิวสัมผัสของน้ำ (ต่างจากข้อ 2) กรณีที่ผู้เลี้ยงสร้างให้บ่อเลี้ยงมีการพ่นน้ำออกแบบเหนือในลักษณะน้ำพุหรือน้ำตก เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำนั้น ยิ่งน้ำที่พ่นออกมา มีพื้นผิวสัมผัสกับอากาศมากเท่าไร ก็ยิ่งเพิ่ม โอกาสการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างน้ำและอากาศมากขึ้นเท่านั้น

2.8.5 ปริมาณสารละลายต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ น้ำที่มีสารละลายต่างๆ ในระดับความเข้มข้นสูง จะส่งผลให้ความสามารถในการละลายของออกซิเจนลดต่ำลง

2.8.6 ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำและก๊าซออกซิเจน

2.8.7 ปริมาณและลักษณะสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบ่อเลี้ยง ปริมาณสารอินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในบ่อเลี้ยงที่ต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การวัดอัตราการไหลของน้ำและการกักเก็บน้ำในถังเดิมอากาศ

ในกรณีที่น้ำไหลในท่อปิด การวัดอัตราการไหลอาจใช้วิธีจับเวลาและวัดปริมาตรของน้ำที่ไหลเข้าถัง วิธีนี้ต้องการถังรองรับน้ำเสียขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่จะหาได้เพื่อเพิ่มความถูกต้องของข้อมูล อาจใช้ถังพลาสติกใบใหญ่ที่มีความจุตั้งแต่ 50 – 100 ลิตรหรือมากกว่า การเลือกขนาดถังให้เหมาะสมต้องพิจารณาจากเวลาที่ใช้น้ำให้เต็มถังไม่ควรน้อยกว่า 1 นาที [8] อัตราการไหลของน้ำสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q = \frac{V}{T} \quad (2.31)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำ, ลิตร/นาที

V = ปริมาตรน้ำที่ต้องการกักเก็บ, ลิตร

T = เวลาที่ใช้ในการกักเก็บน้ำ (Retention Time), นาที



สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 หลักในการคำนวณและออกแบบเครื่องเติมอากาศ

3.1.1 การคำนวณอัตราการไหลในเครื่องเติมอากาศ

จากถังผสม ขนาด กว้าง 0.35 เมตร, ยาว 0.60 เมตร, สูง 0.36 เมตร มีการติดตั้งท่อปล่อยน้ำที่ออกจากตู้ที่ระยะต่ำกว่าขอบปากถังลงมา 0.10 เมตร ฉะนั้น ระดับน้ำมีความสูง 0.35 เมตร คิดเป็นปริมาตรการกักเก็บน้ำได้เท่ากับ $0.35 \times 0.60 \times 0.35 = 0.0735$ ลูกบาศก์เมตร หรือ 73.5 ลิตรและปริมาตรถังพักน้ำ = 0.0225 ลูกบาศก์เมตร หรือ 22.5 ลิตร ดังนั้นปริมาตรรวม = 0.095 ลูกบาศก์เมตร การทดลองเลือกเครื่องสูบน้ำ (Pump) ขนาด 0.44 แรงม้า ที่มีอัตราการไหลมากที่สุด 0.58 ลิตร/วินาที (= 35 ลิตร/นาที) มาเป็นต้นกำลัง จึงถือได้ว่าเครื่องเติมอากาศมีขนาด 0.44 แรงม้า

จากสมการที่ (2.31)

$$Q = V / T$$

เมื่อกำหนดให้ Retention Time, T = 5 นาที แทนค่า จะได้

$$Q = (0.095 \text{ ลบ.เมตร} / 5 \text{ นาที}) \times (1000 \text{ ลิตร} / 1 \text{ ลบ.เมตร}) \times (1 \text{ นาที} / 60 \text{ วินาที})$$

$$Q = 0.31 \text{ ลิตร} / \text{วินาที}$$

เนื่องจากการวัดอัตราการไหลกำหนดให้เป็นตัวแปรต้นในการทดลอง ดังนั้นได้กำหนดอัตราการไหลเป็น 4 อัตรา คือ 0.22, 0.27, 0.32 และช่วงมากที่สุด 0.37 ลิตร / วินาที

สำหรับการไหลในหัวฉีดพ่น จึงเป็นการศึกษาจากการไหลในท่อกลม ความเร็วในการไหลจะเป็นค่าเฉลี่ยของความเร็ว และ L คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ [3]

ดังนั้น จะได้สมการหา เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) ดังนี้

$$Re = \rho V d / \mu \quad (3.1)$$

เมื่อ ρ = ค่าความหนาแน่นของน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ

997.56, กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร

V = ความเร็วในการไหลของน้ำ ในที่นี้ให้นำอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์

โดยโปรแกรม Star CD เท่ากับ 2.97, ลิตร / วินาที

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวฉีดพ่นเท่ากับ 0.011, เมตร

μ = ความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำเท่ากับ 0.0008887, กิโลกรัม / เมตร.วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} Re &= (997.56 \times 0.37 \times 0.011) / 0.0008887 \\ &= 36,6672 \end{aligned}$$

ซึ่งมีค่ามากกว่า 4,000 จึงจะถือว่าการไหลภายในหัวฉีดพ่นเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

เนื่องจากการวัดอัตราการไหลเพื่อกำหนดเป็นตัวแปรในการทดลอง ได้แบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ 0.22, 0.27, 0.32 และช่วงมากที่สุด 0.37 ลิตร / วินาที [7] จากการคำนวณข้างต้นอัตราการไหลมีค่าลดลง เนื่องจากการสูญเสียพลังงานของของไหลเมื่อมีการไหลผ่านข้อต่อต่าง ๆ ของท่อ และวาล์วที่ใช้บังคับการไหลอีกด้วย ดังนั้นจึงต้องทำการคำนวณส่วนที่สูญเสียไปเพื่อหาอัตราการไหลที่ใช้จริงของเครื่องเติมอากาศ ซึ่งการคำนวณค่าการสูญเสียเฮดเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อ (h_f) [9] มีขั้นตอน

คำนวณอัตราการไหลที่ใช้ในการทดลองของเครื่องเติมอากาศ

จาก
$$WHP = (Q \times h_p) / 3960 \quad (3.2)$$

และ
$$\eta = WHP / BHP$$

จะได้
$$Q = (\eta \times BHP \times 3960) / h_p$$

ที่ $\eta = 60\%$
$$Q = [(0.60 \times 0.44 \text{ แรงม้า} \times 3960) / 2.91 \text{ ฟุต}] \times (0.03785 \text{ ลบ.เมตร/1 แกลลอน}) \times (1 \text{ นาที} / 60 \text{ วินาที}) \times (1000 \text{ ลิตร} / 1 \text{ ลบ.เมตร})$$

$$Q = 0.22 \text{ ลิตร} / \text{วินาที}$$

ที่ $\eta = 70\%$
$$Q = [(0.70 \times 0.44 \text{ แรงม้า} \times 3960) / 2.91 \text{ ฟุต}] \times (0.03785 \text{ ลบ.เมตร/1 แกลลอน}) \times (1 \text{ นาที} / 60 \text{ วินาที}) \times (1000 \text{ ลิตร} / 1 \text{ ลบ.เมตร})$$

$$Q = 0.27 \text{ ลิตร} / \text{วินาที}$$

ที่ $\eta = 85\%$
$$Q = [(0.85 \times 0.44 \text{ แรงม้า} \times 3960) / 2.91 \text{ ฟุต}] \times (0.03785 \text{ ลบ.เมตร/1 แกลลอน}) \times (1 \text{ นาที} / 60 \text{ วินาที}) \times (1000 \text{ ลิตร} / 1 \text{ ลบ.เมตร})$$

$$Q = 0.32 \text{ ลิตร} / \text{วินาที}$$

ที่ $\eta = 100\%$
$$Q = [(0.70 \times 0.44 \text{ แรงม้า} \times 3960) / 2.91 \text{ ฟุต}] \times (0.03785 \text{ ลบ.เมตร/1 แกลลอน}) \times (1 \text{ นาที} / 60 \text{ วินาที}) \times (1000 \text{ ลิตร} / 1 \text{ ลบ.เมตร})$$

$$Q = 0.37 \text{ ลิตร} / \text{วินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

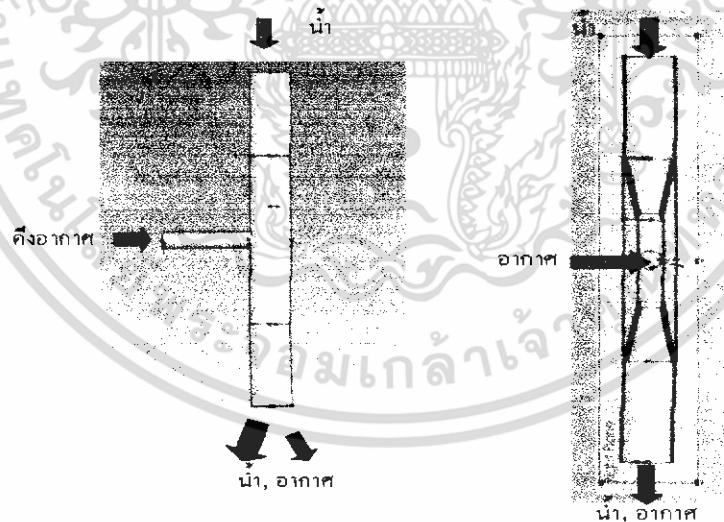
3.1.2 การออกแบบหัวฉีดพ่นและหลักการสร้าง

หลักการออกแบบหัวฉีดพ่นคือการใช้วิธีของแรงดันการไหลของน้ำไปเหนี่ยวนำอากาศให้ถูกดึงดูดเข้ามาผสมกับน้ำแล้วปล่อยออกมาพร้อมกันที่ช่องทางออก ซึ่งช่องทางออกจะถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กกว่าช่องทางเข้าของน้ำเพื่อทำให้เกิดการบีบอัดจนเป็นการฉีดพ่น โดยอ้างอิงหลักการทำงานจากหลักการของเวนจูรี (Venturi) โดยนำโปรแกรม Solid Works 2002 มาช่วยในการออกแบบ

ในขั้นตอนหัวฉีดพ่นทำจากเหล็กเนื่องจากราคาถูก แต่ได้มีการพัฒนาเปลี่ยนมาใช้ทองเหลืองแทนเพราะทำให้ไม่เกิดสนิม หัวฉีดพ่นในแต่ละแบบจะมีความแตกต่างกันในส่วนของคุณสมบัติการดึงดูดอากาศหรือตำแหน่งของท่อดูดอากาศในแบบที่ต่างกันซึ่งในแต่ละแบบจะมีลักษณะดังนี้

1. แบบที่ 1

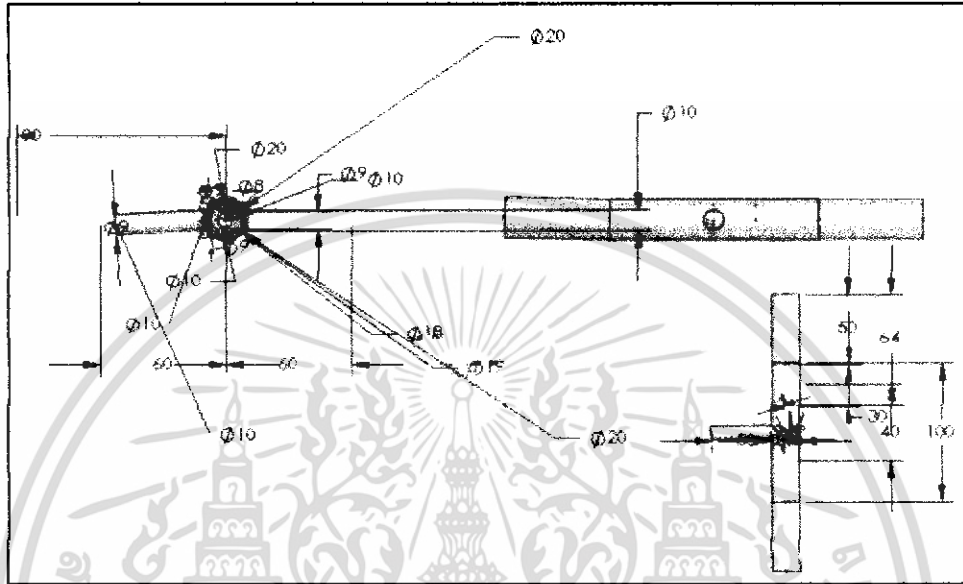
การออกแบบและการทำงานมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 น้ำผ่านช่องทางเข้าแล้วไหลสู่ช่วงคอขวดที่ถูกลดขนาดลงเพื่อบีบอัดให้มีแรงดันมากขึ้น ในช่วงนี้จะมีการดึงดูดอากาศที่ช่องอากาศโดยอาศัยแรงดันน้ำเหนี่ยวนำให้อากาศเข้ามาผสมกับน้ำและถูกฉีดพ่นออกมาอย่างรุนแรงที่ช่องทางออก



รูปที่ 3.1 ลักษณะการทำงานทิศทางของน้ำและอากาศในหัวฉีดพ่นแบบที่ 1

หัวฉีดพ่นแบบที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 มีขนาดความยาว 200 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของหัวฉีดพ่น 20 มิลลิเมตร ตำแหน่งกึ่งกลางถูกต่อเข้าด้วยช่องดึงอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตรเข้าไปและเจาะให้ทะลุถึงภายใน แบ่งการลดและเพิ่มขนาดภายในหัวฉีดพ่นเป็น 5 ส่วน ดังนี้ ด้านทางเข้าของน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

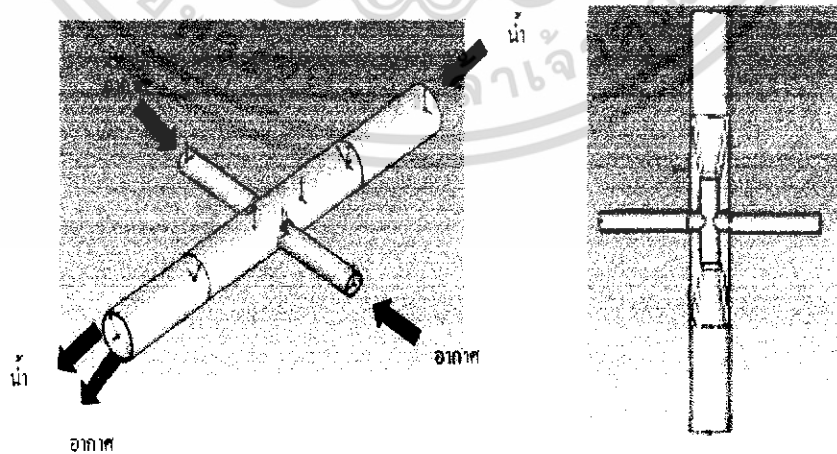
มิลลิเมตร ขาวเป็นระยะ 50 มิลลิเมตร จากนั้นเป็นช่วงคอคอดยาว 30 มิลลิเมตร เพื่อลดขนาดหัวฉีดพ่น
ลงให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ด้วยระยะ 40 มิลลิเมตร แล้วต่อด้วยคอคอดระยะเท่า
เดิมเพื่อเพิ่มขนาดหัวฉีดพ่นให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านทางออกของน้ำและอากาศเท่ากับด้าน
ทางเข้า



รูปที่ 3.2 ขนาดของหัวฉีดพ่นแบบที่ 1 ในหน่วยมิลลิเมตร

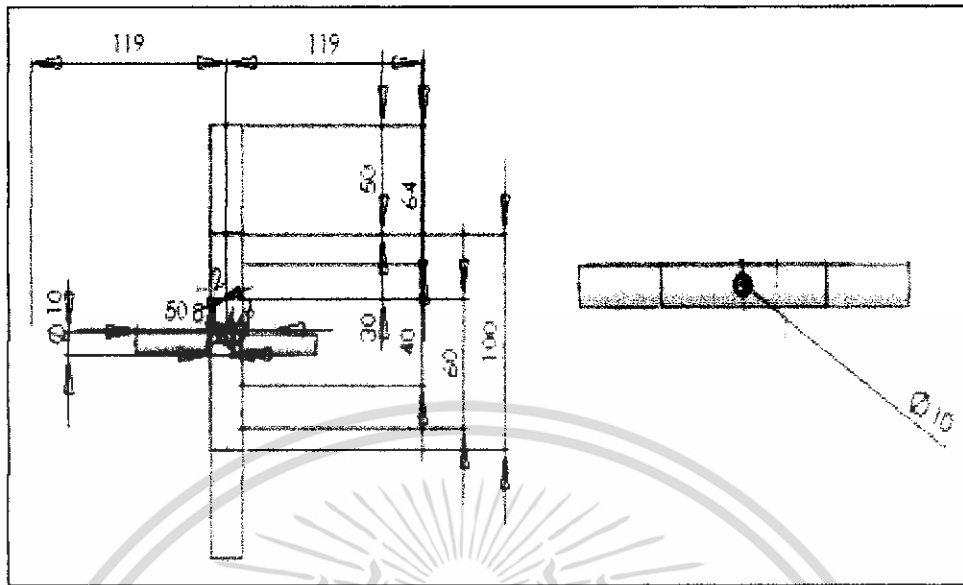
2. แบบที่ 2

ในแบบที่ 2 นี้มีลักษณะการทำงานและขนาดเหมือนกับแบบที่ 1 แต่แตกต่างกัน
ตรงที่ในแบบนี้มีส่วนของช่องอากาศ 2 ตำแหน่ง ซึ่งต่อไว้ในตำแหน่งตรงกันข้ามและเจาะทะลุถึงกัน
ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.3 ลักษณะการทำงานทิศทางของน้ำและอากาศในหัวฉีดพ่นแบบที่ 2

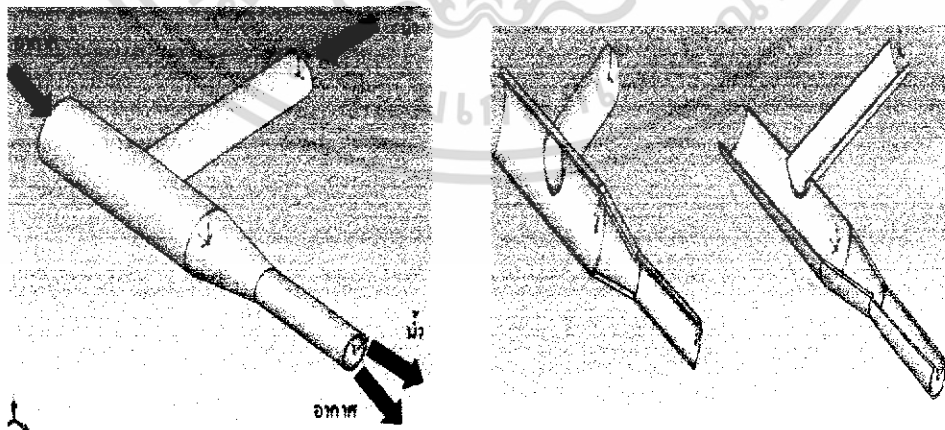
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ขนาดของหัววัดพนแบบที่ 2 ในหน่วยมิลลิเมตร

3. แบบที่ 3

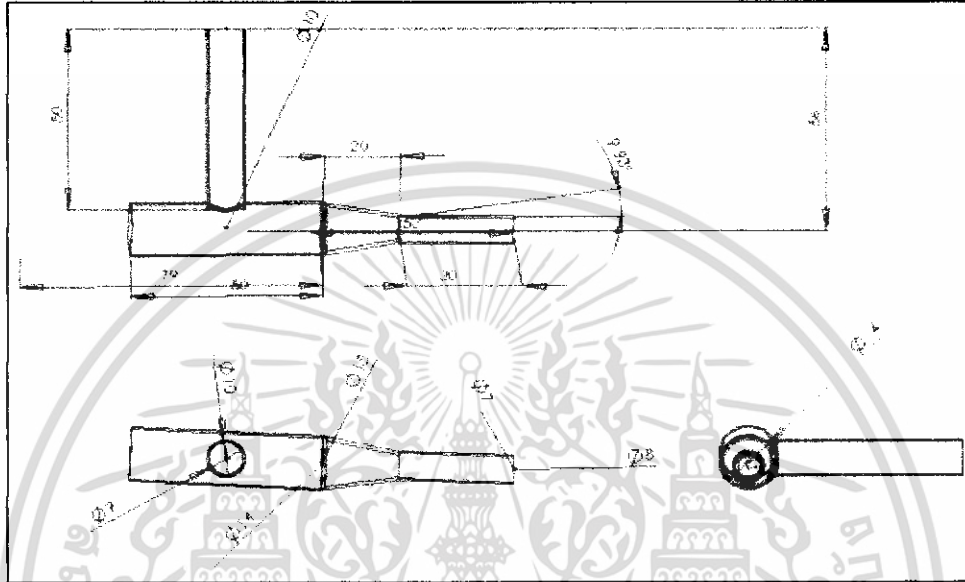
ออกแบบให้คล้ายกับลักษณะภายในของแบบที่ 1 โดยยกมาเพียงครึ่งแรก และมีการเปลี่ยนทิศทางให้อากาศเข้าทางน้ำส่วนน้ำเข้าทางช่องคังอากาศ พิจารณาลักษณะการทำงานพบว่า น้ำถูกส่งผ่าน ไปยังช่องทางเข้าแล้วมีการไหลเปลี่ยนทิศเป็น 90 องศา ในช่วงที่มีการเปลี่ยนทิศทางการไหลนี้อากาศจะถูกเหนี่ยวนำเข้ามาทางช่องอากาศโดยอาศัยแรงคังจากการไหลของน้ำ เมื่อน้ำและอากาศผสมกันจะถูกบีบอัดด้วยการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัววัดพนลงอย่างรวดเร็ว แล้ววัดพนออกมาที่ช่องทางออก ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะการทำงานทิศทางของน้ำและอากาศในหัววัดพนแบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

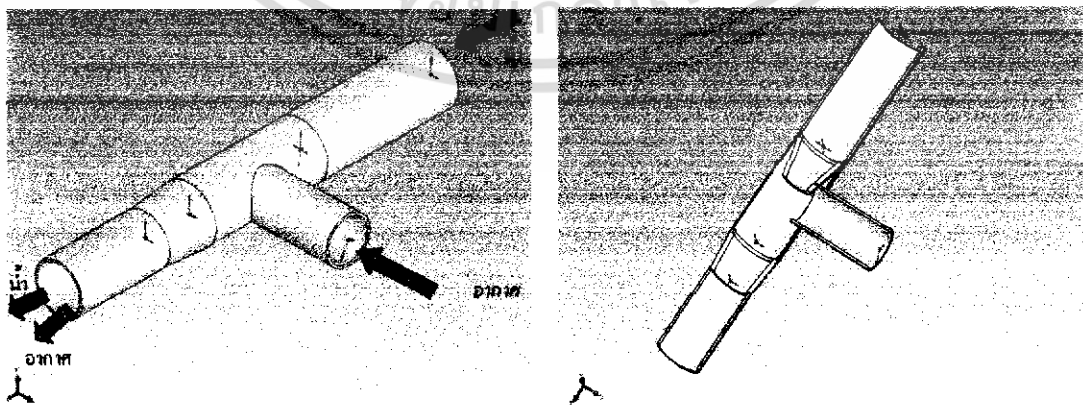
หัวฉีดพ่นแบบที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 มีขนาดความยาว 110 มิลลิเมตร แบ่งเป็น ช่องดิ่งอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร ที่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางถูกต่อ ด้วยช่องทางเข้าของน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร เจาะให้ทะลุถึงกัน จากนั้นต่อด้วยคอคอดลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องดิ่งอากาศจาก 15 เป็น 8 มิลลิเมตร คอคอดยาว 20 มิลลิเมตร ต่อช่องทางออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 ขนาดของหัวฉีดพ่นแบบที่ 3 ในหน่วยมิลลิเมตร

4. แบบที่ 4

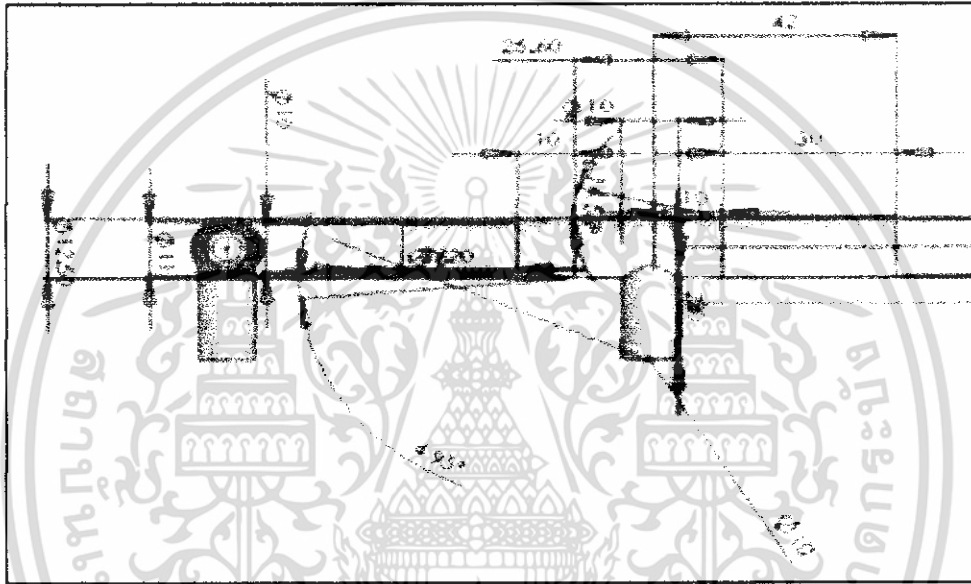
ภายในส่วนของหัวฉีดพ่นออกแบบให้มีการลดขนาดอยู่ 2 ช่วง ช่วงแรกจะลดขนาดของช่องทางเข้าของน้ำลงก่อนจะมีช่องดิ่งอากาศมาเชื่อมต่อที่ปลายตำแหน่งนี้อากาศจึงถูก เห็นยวน้ำและเกิดการผสมกันของน้ำกับอากาศขึ้น จากนั้นจึงมีการลดขนาดลงอีกครั้งหลังช่วงการ ผสมก่อนฉีดพ่นออกมาที่ช่องทางออก ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะการทำงานทิศทางของน้ำและอากาศในหัวฉีดพ่นแบบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

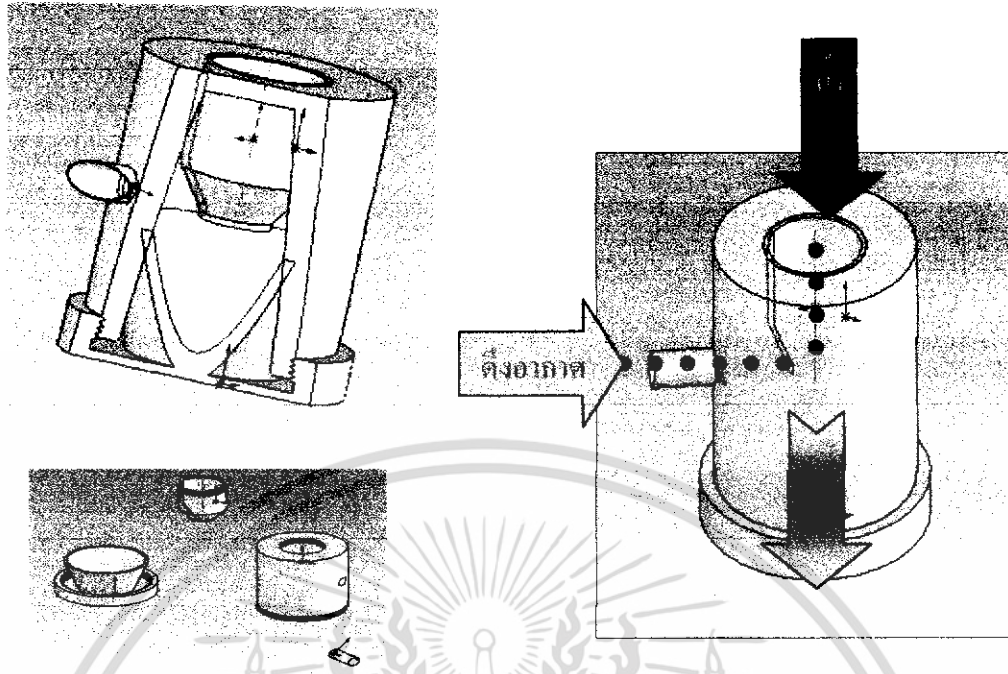
หัวฉีดพ่นแบบที่ 4 ดังรูปที่ 3.8 มีขนาดความยาว 83.30 มิลลิเมตร ช่องทางเข้าของน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร ปลายช่องทางเข้าของน้ำต่อกับคอคอดลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลงจาก 12.50 เป็น 10 มิลลิเมตร คอคอดช่วงแรกนี้ยาว 12 มิลลิเมตร นำส่วนห้องผสมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับช่องทางเข้าของน้ำมาสวมทับคอคอด ส่วนนี้ยาว 25.60 มิลลิเมตร ปลายห้องผสมต่อกับคอคอดลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลงจาก 12.50 เป็น 11 มิลลิเมตร คอคอดยาว 10 มิลลิเมตร ปลายคอคอดช่วงที่สองต่อกับช่องทางออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ยาว 18.20 มิลลิเมตร ส่วนช่องคู่อากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร นั้นนำมาติดที่ตำแหน่งห้องผสมโดยให้เยื้องกันระยะปลายคอคอดเข้าไป 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 ขนาดของหัวฉีดพ่นแบบที่ 4 ในหน่วยมิลลิเมตร

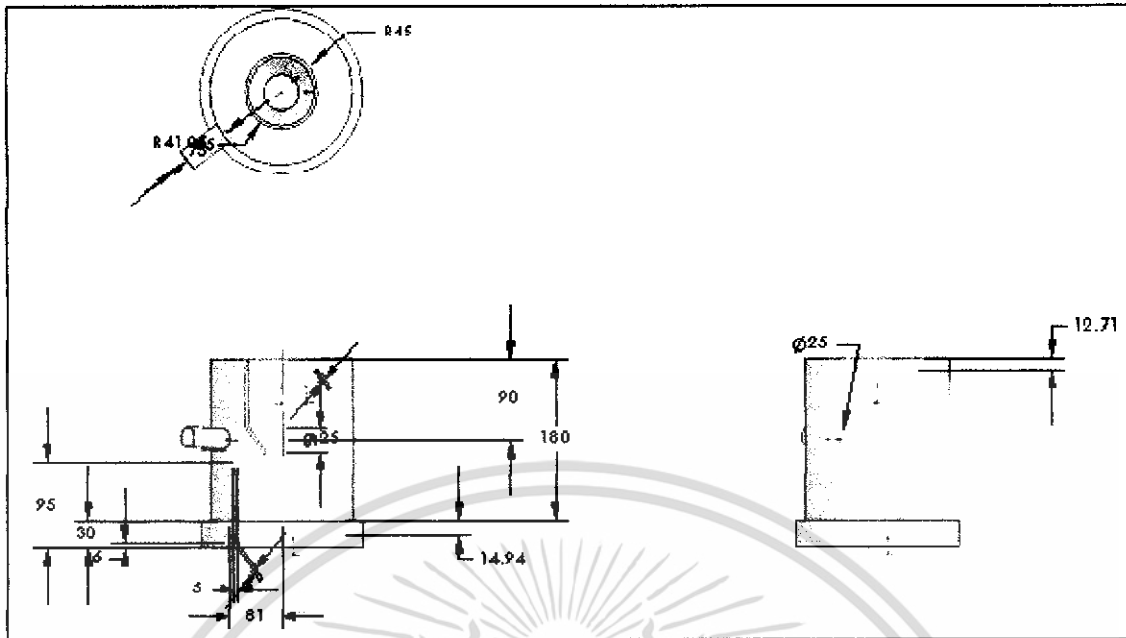
5. แบบที่ 5

ลักษณะในการออกแบบแตกต่างจากการออกแบบที่แล้วมาทั้ง 4 แบบ คือ การออกแบบแยกออกเป็น 3 ชั้นส่วนที่สามารถถอดประกอบได้ โดยหลักการเพื่อเพิ่มพื้นที่หรือช่องว่างในการผสมน้ำกับอากาศให้มากขึ้น และมีการลดขนาดมุมเอียงของหัวฉีดพ่นให้มีค่าความชันสูงขึ้น ซึ่งทำให้น้ำที่ผสมกับอากาศถูกฉีดพ่นออกมาด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น ดังในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ลักษณะการทำงานทิศทางของน้ำและอากาศในหัวฉีดพ่นแบบที่ 5

หัวฉีดพ่นแบบที่ 5 ดังรูปที่ 3.10 มีขนาดความยาว 210 มิลลิเมตร ส่วนแรกช่องทางเข้าของน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร ยาว 90 มิลลิเมตร ตอนต้นทำเกลียวนอกไว้ ตอนปลายเป็นคอคอดลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลงเป็น 41 มิลลิเมตร คอคอดยาว 25 มิลลิเมตร ส่วนที่สองห้องผสมสูง 180 มิลลิเมตร ภายในกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร ตอนต้นทำเกลียวในสูง 12.71 มิลลิเมตร เพื่อใส่ส่วนช่องทางเข้าของน้ำ ตอนปลายทำเกลียวนอกสูง 14.94 มิลลิเมตร เพื่อใส่ส่วนช่องทางออก ตอนกลางภายนอกถูกฉีดเข้าด้วยช่องดูดอากาศที่เจาะทะลุเข้าด้านในห้องผสมช่องดูดอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร ส่วนสุดท้ายคือช่องทางออกเป็นลักษณะคล้ายกรวยลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลงจาก 45 เป็น 41 มิลลิเมตร ปลายกรวยเป็นฐานวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร สูง 30 มิลลิเมตร ฐานทำเกลียวในไว้เพื่อต่อเข้ากับปลายห้องผสม



รูปที่ 3.10 ขนาดของหัวฉีดพ่นแบบที่ 5 ในหน่วยมิลลิเมตร

สรุป

จากการออกแบบหัวฉีดพ่นทั้ง 5 แบบเมื่อนำไปทดลองการทำงานในเบื้องต้น ปรากฏว่ามีเพียง 2 แบบ ที่สามารถทำงานได้ นั่นคือแบบที่ 1 และ แบบที่ 5 ส่วนในแบบอื่นนั้นมีปัญหาทั้งไม่สามารถทำงานได้เลย คือ มีน้ำไหลออกทางช่องดูดอากาศ และสามารถทำงานได้น้อย คือ พองอากาศที่ออกมาจากหัวฉีดพ่นมีปริมาณที่น้อยมากจนกระทั่งไม่สามารถเกิดการกระจายได้ทั่วถึงผสม ดังนั้นในการทดลองในขั้นต่อไปจึงกำหนดให้หัวฉีดพ่นแบบที่ 1 เป็นแบบเดิม และแบบที่ 5 เป็นแบบพัฒนาใหม่

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสูบน้ำหรือปั๊ม ขนาด 0.44 แรงม้า อัตราการไหลมากที่สุด 0.58 ลิตร/วินาที
2. โครงเหล็กทึบ ขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 1 เมตร ทำชั้นแรกสูงจากพื้น 0.20 เมตร เพื่อวางปั๊มและถังพักน้ำ ชั้นสองสูงจากพื้น 0.80 เมตร เพื่อวางตู้กระจาย ต่อความยาวในชั้นนี้ออกไปอีก 0.46 เมตร เพื่อวางกล่องอะคิลิกสีดำและต่อหลอดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถังผสม ทำจากตู้กระจกสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 0.35 เมตร ยาว 0.60 เมตร สูง 0.36 เมตร ติดตั้งท่อปล่อยน้ำทิ้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ที่ตำแหน่งด้านกว้างระดับต่ำกว่าขอบปากตู้ 0.10 เมตร

4. ถังพักน้ำ ขนาดสูง 0.40 เมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ที่ตำแหน่งสูงขึ้นมา จากก้นถังระยะ 0.15 เมตร

5. ท่อ พี วี ซี ขนาด 1/2 นิ้ว ยาว 1.34 เมตร ต่อจากทางออกของปั๊มลงสู่ตู้กระจก ท่อ พี วี ซี ขนาด 1 นิ้ว ยาว 0.43 เมตร ต่อจากทางออกของถังพักน้ำเข้าสู่ทางเข้าของปั๊ม ระหว่างช่วงมีการต่อ ทางแยกเป็นท่อปล่อยน้ำทิ้ง และท่อ พี วี ซี ขนาด 1 นิ้ว ต่อจากทางออกของตู้กระจกเข้าสู่ถังพักน้ำ

6. หัวฉีดพ่น ทั้ง 2 แบบ



ก. แบบเดิม

ข. แบบพัฒนาใหม่

รูปที่ 3.11 หัวฉีดพ่นที่ทำการทดลอง

7. สายยางพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.10 เมตร ยาว 0.40 เมตร เพื่อต่อจากช่อง คุดอากาศของหัวฉีดพ่น



รูปที่ 3.12 สายยางพลาสติก

8. เครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำ ต้องทำการปรับตั้งค่าก่อนการวัดทุกครั้ง







รูปที่ 3.13 DO meter

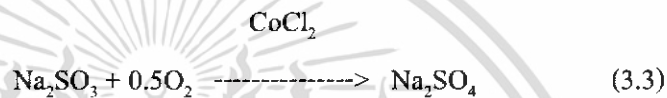
วิธีการปรับตั้งค่ามีดังนี้

8.1 ตรวจสอบว่าหัววัดยังสวมอยู่กับตัวเครื่องหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8.2 กดปุ่มเปิดเครื่อง () รอประมาณ 15 นาที จนให้ค่า DO ที่แสดงบนหน้าปัดมีค่าคงที่
- 8.3 กดปุ่มขึ้น – ลง () พร้อมกันแล้วปล่อย สังเกตที่หน้าปัดตรงมุมด้านล่างซ้ายจะขึ้นคำว่า CAL
- 8.4 กดปุ่ม ENTER ()
- 8.5 ถอดหัววัดออกจากตัวเครื่อง จุ่มลงในน้ำกลั่น ที่ใส่ Na_2SO_4 10 mg.
- 8.6 กดปุ่ม ENTER () อีกครั้งเพื่อยืนยันการปรับตั้งค่าและพร้อมใช้งาน

9. สารเคมี Sodium Sulfite (Na_2SO_3) และ Cobalt Chloride (CoCl_2) เพื่อดึงออกซิเจนออกจากน้ำให้หมด ($\text{DO} = 0$ มิลลิกรัม / ลิตร) โดยการเติมสารทั้งสองลงไปลงในน้ำ ตามปฏิกิริยาเคมี ดังสมการต่อไปนี้

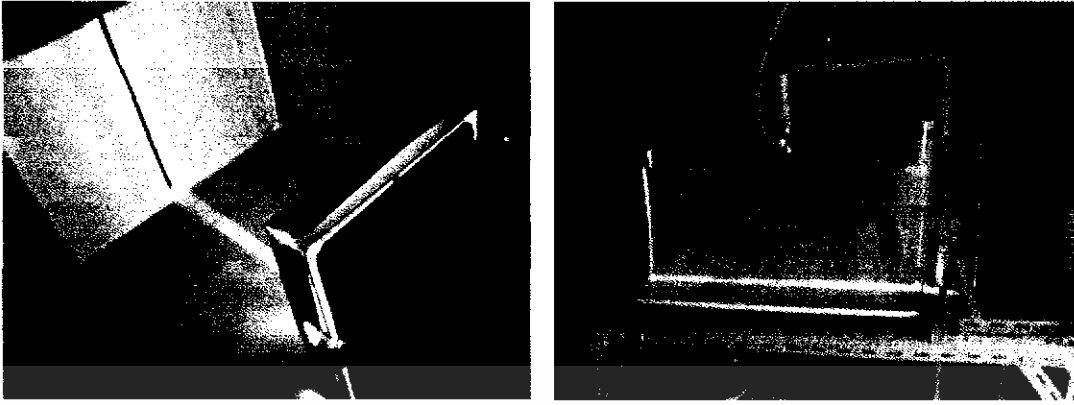


ด้วยอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักโมเลกุลของ (Na_2SO_3) และน้ำหนักโมเลกุลของ (0.5O_2) เท่ากับ $126 / 16 = 7.90$ จากความสัมพันธ์ข้างบนจะได้ว่าต้องใช้ Na_2SO_3 อย่างน้อย 7.90 มิลลิกรัม / ลิตร จึงจะจำกัดหรือลดปริมาณ DO ได้ 1 มิลลิกรัม / ลิตร แต่โดยทั่วไปควรเติมปริมาณ Na_2SO_3 ประมาณ 9 – 10 มิลลิกรัม / ลิตร และปริมาณของ CoCl_2 ควรเติมลงไปผสมด้วยอย่างน้อย 1.50 มิลลิกรัม / ลิตร [5]

จากปริมาณของน้ำที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 99.5 ลิตร และเราเลือกใส่ Na_2SO_3 ที่ปริมาณ 10 มิลลิกรัม / ลิตร จะได้ปริมาณ Na_2SO_3 ที่ต้องใส่ลงไปในการทดลอง 99.5 ลิตร x 10 มิลลิกรัม / ลิตร เท่ากับ 995 มิลลิกรัม หรือ 0.995 กรัม ส่วน CoCl_2 ใส่ลงไปในการทดลอง 99.5 ลิตร x 1.50 มิลลิกรัม / ลิตร เท่ากับ 149.25 มิลลิกรัม หรือประมาณ 0.15 กรัม

3.2.2 การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ

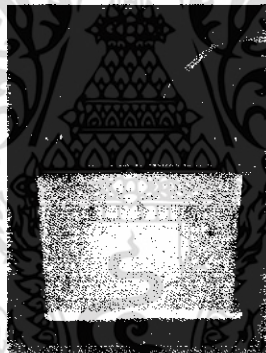
Flow Visualization หมายถึงการฉายแสงที่มีลักษณะเป็น Light Sheet ผ่านถังผสม ทำให้สามารถมองเห็นลักษณะการกระจายและขนาดของฟองอากาศในระนาบใดระนาบหนึ่งได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ในการทดลองของโครงการนี้เลือกเพียงระนาบเดียว โดยให้ Light Sheet ตัดผ่านถังผสมในแนวตั้งตามความสูงของระดับน้ำ ฟุ้งผ่านไปตามความยาวของน้ำ [10] ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การฉายแสงผ่านช่องแคบเพื่อให้ได้ลำแสงเป็นเส้นตรงเข้าสู่หน้าต่าง

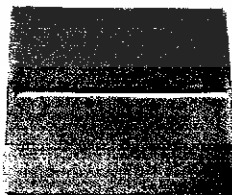
อุปกรณ์และขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ มีดังนี้

1. ห้องมืด ขนาด 1.8 x 3.5 x 1.9 เมตร ทำจาก โครงเหล็กกรุผนังด้วยฉนวนกันความร้อน
2. หลอดไฟ (Spot Light) ขนาด 500 วัตต์ ยึดเข้ากับ โครงเหล็กเพื่อให้สามารถถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของกล้องอะกลิกสี่ตา



รูปที่ 3.15 หลอดไฟ

3. แผ่นเหล็กกรอบไฟสี่ตา หน้า 0.5 เซนติเมตร ออกแบบให้สามารถครอบบนหน้ากระจกของหลอดไฟได้ เจาะช่องขนาด 0.5 x 17 เซนติเมตร เพื่อบีบลำแสงเป็น Light Sheet ในชั้นแรก

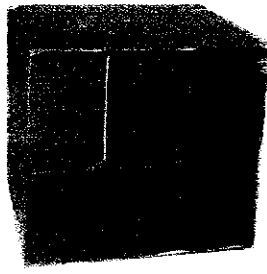


รูปที่ 3.16 แผ่นเหล็กกรอบไฟสี่ตา

4. กล้องอะกลิกสี่ตา ขนาด 34 x 34 x 35 เซนติเมตร เจาะช่องขนาด 0.7 x 30.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนติเมตร ที่กั้นกล่องเพื่อบีบลำแสงเป็น Light Sheet ในชั้นที่สอง ส่วนฝากล่องเป็นทางเข้าของแสง



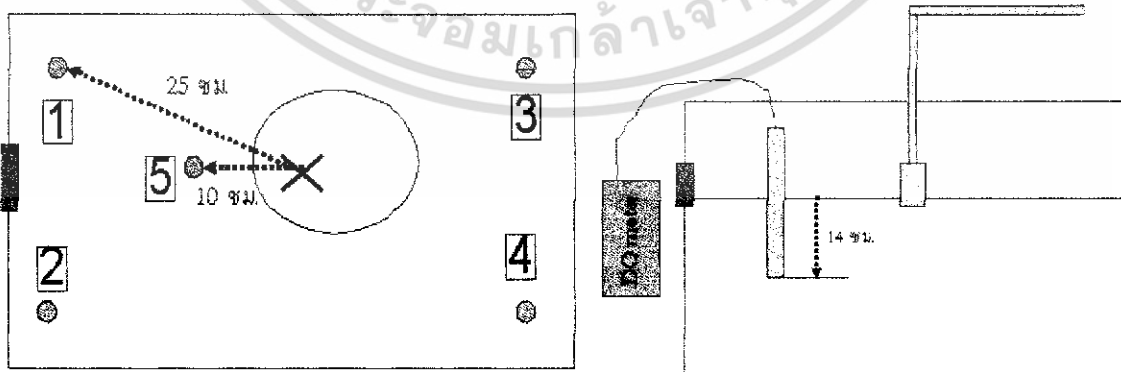
รูปที่ 3.17 กล่องอะกลิกสีกสีดำ

5. กล้องถ่ายภาพ ขนาด 7.2 ล้านพิกเซล วางบนขาตั้งกล่องที่ตั้งให้ห่างจากเครื่องเดิม
อากาศ 1.50 เมตร

3.2.3 การวัดค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO)

ขั้นตอนการวัดค่า DO มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เติมน้ำสะอาดใส่ถังผสมและถังพักน้ำจนได้ปริมาณที่สามารถทำการเดินเครื่องได้
 2. ใส่สารเคมีที่ได้ทำการเตรียมไว้ (Na_2SO_3 จำนวน 0.995 กรัม และ CoCl_2 จำนวน 0.14 กรัม) คนน้ำให้สารเคมีผสมกับน้ำจนเข้าที่
 3. ปล่อยให้ถังไว้น้ำมีค่า DO = 0 มิลลิกรัม / ลิตร ซึ่งอาจต้องรอประมาณ 5 – 10 นาที
 4. เมื่อ DO = 0 มิลลิกรัม / ลิตร แล้วทำการเปิดปั๊มเดินเครื่องเดิมอากาศทันที
 5. เริ่มจับเวลาและอ่านค่า DO หรือค่า C ทุก ๆ 2 นาที จาก DO meter จนค่าที่ได้เริ่มคงที่และเข้าใกล้ค่าออกซิเจนอิ่มตัว (ประมาณ 7 - 8 มิลลิกรัม / ลิตร ผันแปรตามค่าอุณหภูมิที่กำลังทดลอง)
- การวัดค่าได้ออกแบบทำการวัด 5 จุด รอบถังผสม ดังรูปที่ 3.18



* X คือ ตำแหน่งหัวฉีดพ่น, O คือ ขอบเขตการไหลของน้ำแบบปั่น่วน

รูปที่ 3.18 ตำแหน่งการวัดค่า DO ทั้ง 5 จุด รอบถังผสมที่มีความลึก 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่ 1, 2, 3 และ 4 ห่างจากหัวฉีดพ่นเป็นระยะ 25 เซนติเมตร (ทำมุม 45 องศา ตามแนวระดับ) ส่วนจุดที่ 5 ห่างจากหัวฉีดพ่นเป็นระยะ 10 เซนติเมตร หลักการเลือกจุดนั้น คือให้อยู่นอกขอบเขตของการไหลของน้ำแบบปั่นป่วน (ใกล้กับหัวฉีดพ่น) นั่นคือเป็นจุดที่มีการไหลแบบปั่นป่วนน้อยที่สุด (แต่ไม่ถึงกับเป็นการไหลแบบราบเรียบ) ระดับความลึกที่จะจุ่มหัววัด DOmeter ลงไป คือครึ่งหนึ่งของระดับน้ำ จากโครงการนี้ระดับน้ำสูง 30 เซนติเมตร ฉะนั้นจึงจุ่มหัววัดลงไปที่ระดับ 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 26 บันทึกค่า DO ทั้ง 5 จุด และอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลอง

6. ทดลองกับหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37, 0.32, 0.27 และ 0.22 ลิตร / วินาที เก็บผลการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ทั้ง 4 อัตราการไหล

7. ทดลองอีกครั้งตั้งแต่ข้อ 1 – 6 กับหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่

8. จากการทดลองซ้ำทั้ง 3 ครั้ง ทำการเฉลี่ยค่าความเข้มข้นของออกซิเจนและค่าอุณหภูมิ

9. คำนวณค่าความเข้มข้นของออกซิเจนอิ่มตัว (C_s) จากสมการที่ (2.25)

10. คำนวณความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นของออกซิเจนอิ่มตัวกับค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่อ่านได้จากการทดลอง ($C_s - C$)

11. วาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(C_s - C)$ กับเวลา เพื่อหาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน ($K_L a$) จากสมการที่ (2.8)

12. คำนวณค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (OC) จากสมการที่(2.23)

13. คำนวณปรับค่า $K_L a$ จากสมการที่ (2.29)

14. คำนวณค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน (AE) จากสมการที่ (2.30)

15. คำนวณค่าใหม่ตั้งแต่ข้อ 9 – 14 ของหัวฉีดพ่น 2 แบบ ทั้ง 4 อัตราการไหล

16. วิเคราะห์ผลการทดลองและคำนวณค่าต่าง ๆ ของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ

17. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ

18. เปรียบเทียบการวิเคราะห์ผลระหว่างการใช้เทคนิคการถ่ายภาพการไหล (Flow Visualization) และด้วยโปรแกรม Star CD

19. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 การทดลองได้กำหนดให้อัตราการไหลของเครื่องเติมอากาศเปลี่ยนแปลงไป 4 อัตรา คือ 0.37, 0.32, 0.27 และ 0.22 ลิตร / วินาที ซึ่งได้เก็บผลการทดลองจากหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. ส่วนข้อมูลที่ได้นำมาแสดงในบทนี้เป็นการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลที่ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งแล้ว

4.1 ข้อมูลผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดลองและการคำนวณของหัวฉีดพ่นแบบเดิม

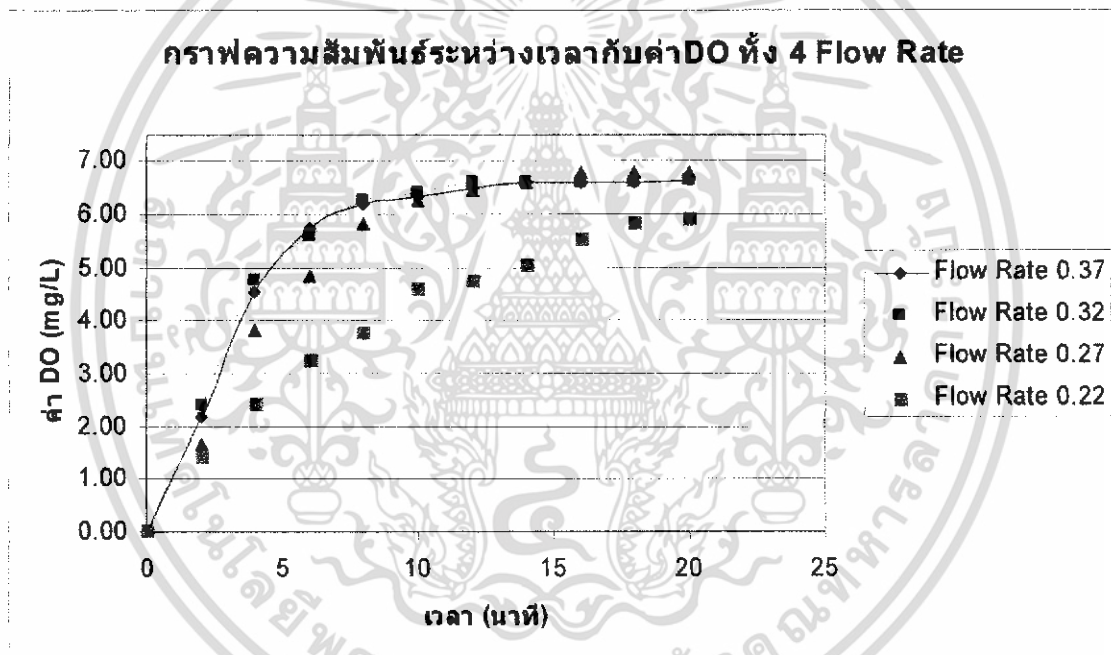
ตารางที่ 4.1 ค่าออกซิเจนละลาย (C) และค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ของทั้ง 4 อัตราการไหลในหัวฉีดพ่นแบบเดิม

เวลา (min)	0.371/ส			0.321/ส			0.271/ส			0.221/ส		
	C	$C_s - C$	$\ln(C_s - C)$	C	$C_s - C$	$\ln(C_s - C)$	C	$C_s - C$	$\ln(C_s - C)$	C	$C_s - C$	$\ln(C_s - C)$
	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)	
0	0	7.47	2.01	0	7.42	2.00	0	7.37	2.00	0	7.42	2.00
2	2.19	5.28	1.66	2.38	5.04	1.62	1.64	5.73	1.75	1.41	6.01	1.79
4	4.53	2.94	1.08	4.75	2.67	0.98	3.84	3.53	1.26	2.42	5	1.61
6	5.72	1.75	0.56	5.58	1.84	0.61	4.85	2.52	0.92	3.26	4.16	1.43
8	6.2	1.27	0.24	6.27	1.15	0.14	5.82	1.55	0.44	3.8	3.62	1.29
10	6.32	1.15	0.14	6.4	1.02	0.02	6.27	1.1	0.09	4.62	2.8	1.03
12	6.47	1	0.00	6.62	0.8	-0.22	6.44	0.93	-0.07	4.75	2.67	0.98
14	6.59	0.98	-0.13	6.61	0.81	-0.21	6.6	0.77	-0.26	5.05	2.37	0.86
16	6.61	0.86	-0.15	6.6	0.82	-0.20	6.77	0.6	-0.52	5.55	1.87	0.62
18	6.62	0.85	-0.16	6.59	0.83	-0.18	6.77	0.6	-0.52	5.85	1.57	0.45
20	6.62	0.85	-0.16	6.63	0.79	-0.23	6.77	0.6	-0.52	5.91	1.51	0.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 เป็นข้อมูลของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 4 ค่า เพื่อหาค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO ในการคำนวณแทนค่าด้วย C) และ ค่าผลต่างระหว่างความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการเติมอากาศ ซึ่งโดยเฉลี่ยระยะเวลาที่ทำการทดลองจนสามารถอ่านค่าออกซิเจนละลายได้คงที่อยู่ที่ 50 นาที

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนอิ่มตัว (DO) กับเวลา จะได้กราฟดังรูปที่ 4.1 เส้นแนวโน้มที่อัตราการไหลมากที่สุด (เส้นสีแดง) ค่า DO เริ่มต้นนาที่ที่ 0 คือ 0 มิลลิกรัม / ลิตร เหมือนกันทั้ง 4 อัตราการไหล แต่ผ่านไปนาที่ที่ 5 ค่า DO จะพุ่งขึ้นเนื่องจากออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นที่ได้จากการเติมอากาศ ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงอัตราการไหลทั้ง 3 จากนั้นเมื่อระยะเวลาการเติมอากาศเพิ่มขึ้น ณ นาที่ที่ 20 ค่า DO ที่ได้จะเริ่มคงที่และเข้าใกล้จุดอิ่มตัวเร็วกว่าอัตราการไหลอื่นเหมือนกัน



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับเวลา ทั้ง 4 อัตราการไหลของหัวฉีดพ่นแบบเดิม

การคำนวณ

ในการคำนวณได้ทำการแยกพิจารณาที่ละอัตราการไหล เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ผล โดยกำหนดค่าตัวแปรและค่าคงที่ต่าง ๆ ไว้ดังนี้

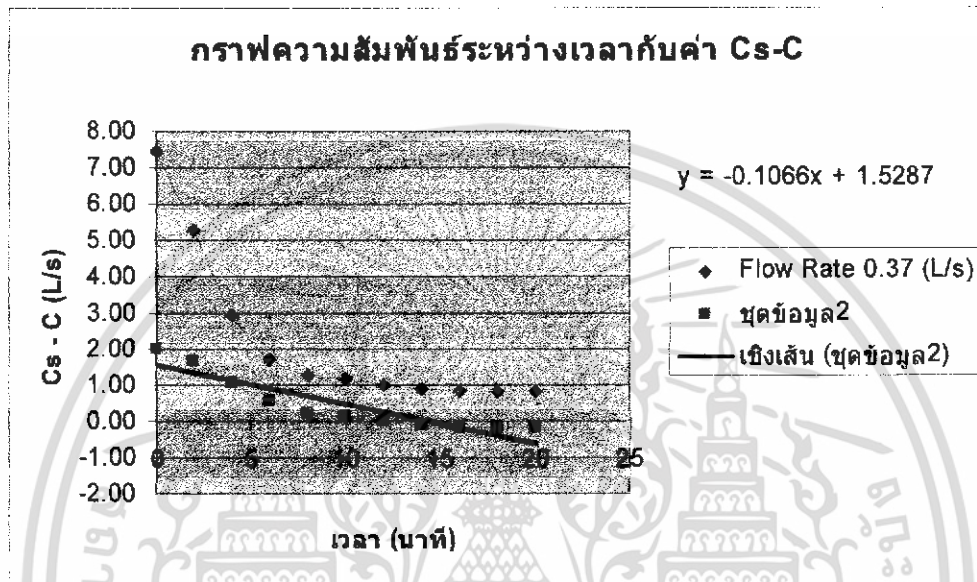
1. กำลังงานที่ให้แก่เครื่องเติมอากาศ จากที่มีการใช้ปั๊มขนาด 0.44 แรงม้า หรือเทียบเท่ากับกำลังที่ใช้จริง อยู่ที่ 0.098 กิโลวัตต์

2. ปริมาตรน้ำ 99.5 ลิตร (จากบทที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

1. หาค่า $K_L a$ จากความชันจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิมิตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) และเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที ดังรูปที่ 4.2 ณ นาทีที่ 2 ค่า $C_s - C$ ลดลงมากจากเริ่มต้นที่สูง ณ เวลาที่ 0 เพราะเนื่องจากค่าออกซิเจนละลาย (C หรือ DO) เพิ่มขึ้น จากนั้นเส้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าเพราะค่าออกซิเจนละลายเริ่มคงที่



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลาของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

การหาค่าความชัน
จากสมการที่ (2.8)

$$\text{จะได้} \quad K_L a = \frac{\ln \left[\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right]}{(t_2 - t_1)}$$

$$K_L a = 0.1066 \text{ / min}$$

$$K_L a = 6.396 \text{ / hr}$$

2. หาค่าออกซิเจนอิมิตัว (C_s) ที่สภาวะอุณหภูมิ 29.4 °C (อ่านค่าจาก DO meter)

จากสมการที่ (2.25) $C_s = 14.652 + 10.53(e^{-0.038967} - 1)$

จะได้ $C_s = 14.652 + 10.53(e^{-0.03896(29.4)} - 1)$

$$C_s = 7.47 \text{ mg/l}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (OC)

ข้อมูล $T = 29.4^{\circ}\text{C}$

$$C_s = 7.47 \text{ mg/l} \quad K_L a = 6.396 / \text{hr}$$

$$V_{\text{ถัง}} = 99.5$$

จากสมการที่ (2.23) $OC = K_L a C_s V$

$$\text{จะได้} \quad OC = 6.396 \times 7.47 \times 99.5$$

$$OC = 4753.92 \text{ mgO}_2 / \text{hr}$$

4. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน (AE)

ข้อมูล $T_r = 20^{\circ}\text{C}$

ปรับแก้ค่า $K_L a$ โดยใช้สมการ (2.29)

$$\text{จะได้} \quad K_L a_{T_r} = \frac{K_L a_T}{1.024^{(T-T_r)}}$$

$$K_L a_{T_r} = 5.118 / \text{hr}$$

และหาค่า OTR_{20} โดยใช้สมการ (2.30)

ข้อมูล $C_{s,20} = 9.09 \text{ mg/l}$

$$\text{จะได้} \quad OTR_{20} = K_L a_{20} C_{s,20}$$

$$C_{s,20} = 9.09 \text{ mg/l}$$

$$OTR_{20} = 46.52 \text{ (g/m}^3/\text{h)}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

ข้อมูล $P = 98 \text{ W}$ $V = 0.0995 \text{ ลบ.ม.}$

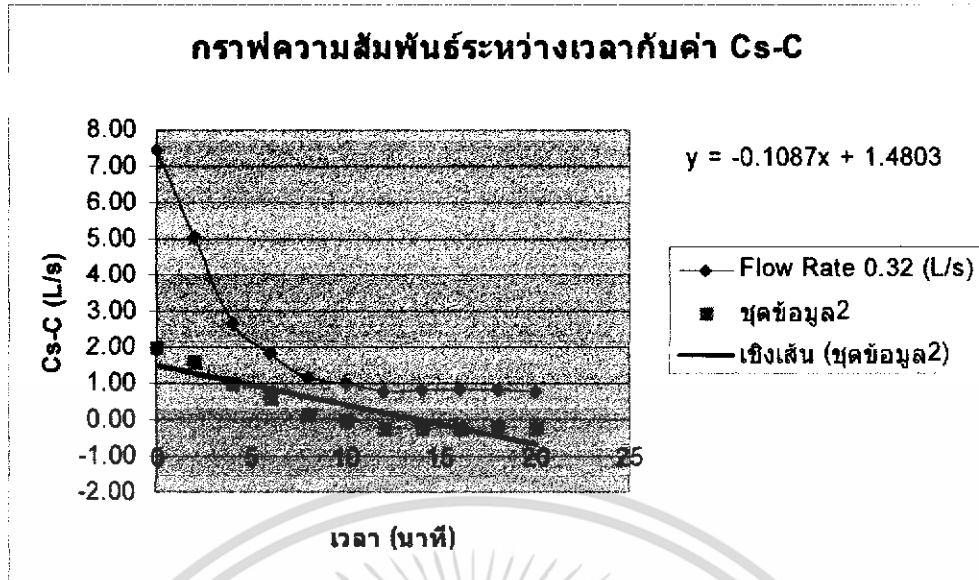
$$\text{จากสมการ (2.30)} \quad AE_T = \frac{OTR_T V}{P} \cdot 100$$

$$AE_T = 4.723 \text{ kgO}_2 / \text{KWh}$$

อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

1. หาค่า $K_L a$ จากความชันจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิมตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) และเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที ดังรูปที่ 4.3 ณ นาทีที่ 2 ค่า $C_s - C$ ลดลงมากจากเริ่มต้นที่สูง ณ เวลาที่ 0 เพราะเนื่องจากค่าออกซิเจนละลาย (C หรือ DO) เพิ่มขึ้น จากนั้นเส้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าเพราะค่าออกซิเจนละลายเริ่มคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา
ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

การหาค่าความชัน
จากสมการที่ (2.8)

จะได้

$$K_L a = \frac{\ln \left[\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right]}{(t_2 - t_1)}$$

$$K_L a = 0.1087 / \text{min}$$

$$K_L a = 6.522 / \text{hr}$$

2. หาค่าออกซิเจนอิ่มตัว (C_s) ที่สภาวะอุณหภูมิ 29.8 °C (อ่านค่าจาก DO meter)

จากสมการที่ (2.25) $C_s = 14.652 + 10.53(e^{-0.03896T} - 1)$

จะได้ $C_s = 14.652 + 10.53(e^{-0.03896(29.4)} - 1)$

$$C_s = 7.42 \text{ mg/l}$$

3. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (OC)

ข้อมูล $T = 29.8^\circ\text{C}$

$$C_s = 7.42 \text{ mg/l} \quad K_L a = 6.522 / \text{hr}$$

$$V_{\text{ถัง}} = 99.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.23) $OC = K_L a C_s V$

จะได้ $OC = 6.522 \times 7.42 \times 99.5$

$$OC = 4815.12 \text{ mgO}_2 / \text{hr}$$

4. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน (AE)

ข้อมูล $T_r = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

ปรับแก้ค่า $K_L a$ โดยใช้สมการ (2.29)

จะได้ $K_L a_{T_r} = \frac{K_L a_T}{1.024^{(T-T_r)}}$

$$K_L a_{T_r} = 5.169 / \text{hr}$$

และหาค่า OTR_{20} โดยใช้สมการ (2.30)

ข้อมูล $C_{s20} = 9.09 \text{ mg/l}$

จะได้ $OTR_{20} = K_L a_{20} C_{s20}$

$$OTR_{20} = 46.99 \text{ (g/m}^3/\text{h)}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

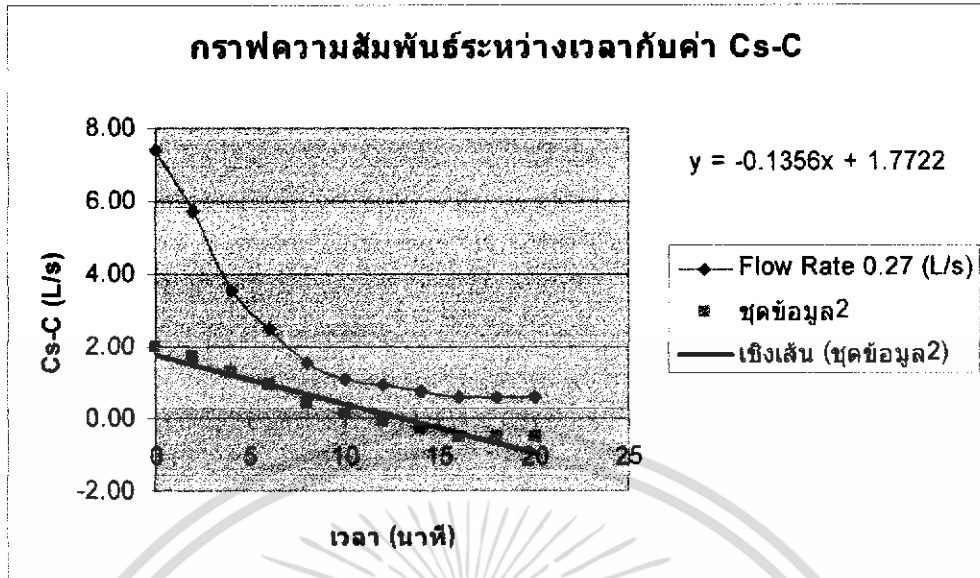
ข้อมูล $P = 98 \text{ W}$ $V = 0.0995 \text{ ลบ.ม.}$

จากสมการ (2.30) $AE_T = \frac{OTR_T V}{P} \cdot 100$

$$AE_T = 4.771 \text{ kgO}_2 / \text{KWh}$$

อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

1. หาค่า $K_L a$ จากความชันจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิมิตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) และเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที ดังรูปที่ 4.4 ณ นาทีที่ 2 ค่า $C_s - C$ ลดลงมากจากเริ่มต้นที่สูง ณ เวลาที่ 0 เพราะเนื่องจากค่าออกซิเจนละลาย (C หรือ DO) เพิ่มขึ้น จากนั้นเส้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าเพราะค่าออกซิเจนละลายเริ่มคงที่



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา
ของหัวฉีดแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

การหาค่าความชัน
จากสมการที่ (2.8)

จะได้

$$K_L a = \frac{\ln \left[\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right]}{(t_2 - t_1)}$$

$$K_L a = 0.1356 \text{ /min}$$

$$K_L a = 8.136 \text{ /hr}$$

2. หาค่าออกซิเจนอิ่มตัว (C_s) ที่สภาวะอุณหภูมิ 30.2 °C (อ่านค่าจาก DO meter)

จากสมการที่ (2.25) $C_s = 14.652 + 10.53(e^{-0.038967} - 1)$

จะได้ $C_s = 14.652 + 10.53(e^{-0.03896(30.2)} - 1)$

$$C_s = 7.37 \text{ mg / l}$$

3. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (OC)

ข้อมูล $T = 30.2^\circ\text{C}$

$$C_s = 7.37 \text{ mg / l} \quad K_L a = 8.136 \text{ /hr}$$

$$V_{\text{ถัง}} = 99.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.23) $OC = K_L a C_s V$
 จะได้ $OC = 8.136 \times 7.37 \times 99.5$
 $OC = 5966.2 \text{ mgO}_2 / \text{hr}$

4. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน (AE)

ข้อมูล $T_r = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

ปรับแก้ค่า $K_L a$ โดยใช้สมการ (2.29)

จะได้
$$K_L a_{T_r} = \frac{K_L a_T}{1.024^{(T-T_r)}}$$

$$K_L a_{T_r} = 6.388 / \text{hr}$$

และหาค่า OTR_{20} โดยใช้สมการ (2.30)

ข้อมูล $C_{s,20} = 9.09 \text{ mg/l}$

จะได้
$$OTR_{20} = K_L a_{20} C_{s,20}$$

$$OTR_{20} = 58.07 \text{ (g/m}^3/\text{h)}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

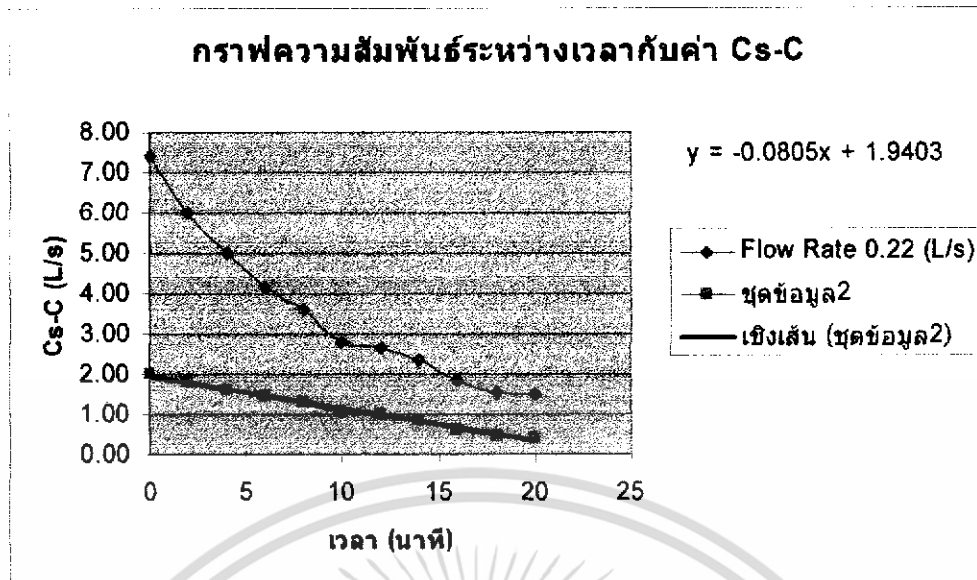
ข้อมูล $P = 98 \text{ W}$ $V = 0.0995 \text{ ลบ.ม.}$

จากสมการ (2.30)
$$AE_T = \frac{OTR_T V}{P} \cdot 100$$

$$AE_T = 5.895 \text{ kgO}_2 / \text{KWh}$$

อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

1. หาค่า $K_L a$ จากความชันจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) และเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที ดังรูปที่ 4.5 ณ นาทีที่ 5 ค่า $C_s - C$ ลดลงมากจากริมต้นที่สูง ณ เวลาที่ 0 เพราะเนื่องจากค่าออกซิเจนละลาย (C หรือ DO) เพิ่มขึ้น จากนั้นเส้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าเพราะค่าออกซิเจนละลายเริ่มคงที่



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา
ของหัวฉีดพ่นแบบเดิม ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

การหาค่าความชัน
จากสมการที่ (2.8)

จะได้

$$K_L a = \frac{\ln \left[\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right]}{(t_2 - t_1)}$$

$$K_L a = 0.0805 / \text{min}$$

$$K_L a = 4.83 / \text{hr}$$

2. หาค่าออกซิเจนอิ่มตัว (C_s) ที่สภาวะอุณหภูมิ 29.8°C (อ่านค่าจาก DO meter)

จากสมการที่ (2.25) $C_s = 14.652 + 10.53(e^{-0.03896T} - 1)$

จะได้ $C_s = 14.652 + 10.53(e^{-0.03896(29.8)} - 1)$

$$C_s = 7.42 \text{ mg / l}$$

3. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (OC)

ข้อมูล $T = 29.8\text{C}$

$$C_s = 7.42 \text{ mg / l} \quad K_L a = 4.83 / \text{hr}$$

$$V_{น้ำ} = 99.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.23) $OC = K_L a C_s V$

จะได้ $OC = 4.83 \times 7.42 \times 99.5$

$$OC = 3565.94 \text{ mgO}_2 / \text{hr}$$

4. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน (AE)

ข้อมูล $T_r = 20^\circ\text{C}$

ปรับแก้ค่า $K_L a$ โดยใช้สมการ (2.29)

จะได้
$$K_L a_{T_r} = \frac{K_L a_T}{1.024^{(T-T_r)}}$$

$$K_L a_{T_r} = 3.828 / \text{hr}$$

และหาค่า OTR_{20} โดยใช้สมการ (2.30)

ข้อมูล $C_{s,20} = 9.09 \text{ mg/l}$

จะได้
$$OTR_{20} = K_L a_{20} C_{s,20}$$

$$OTR_{20} = 34.80 \text{ (g/m}^3/\text{h)}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

ข้อมูล $P = 98 \text{ W}$ $V = 0.0995 \text{ ลบ.ม.}$

จากสมการ (2.30)
$$AE_T = \frac{OTR_T V}{P} \cdot 100$$

$$AE_T = 3.533 \text{ kgO}_2 / \text{KWh}$$

4.1.2 ผลการทดลองและการคำนวณของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่

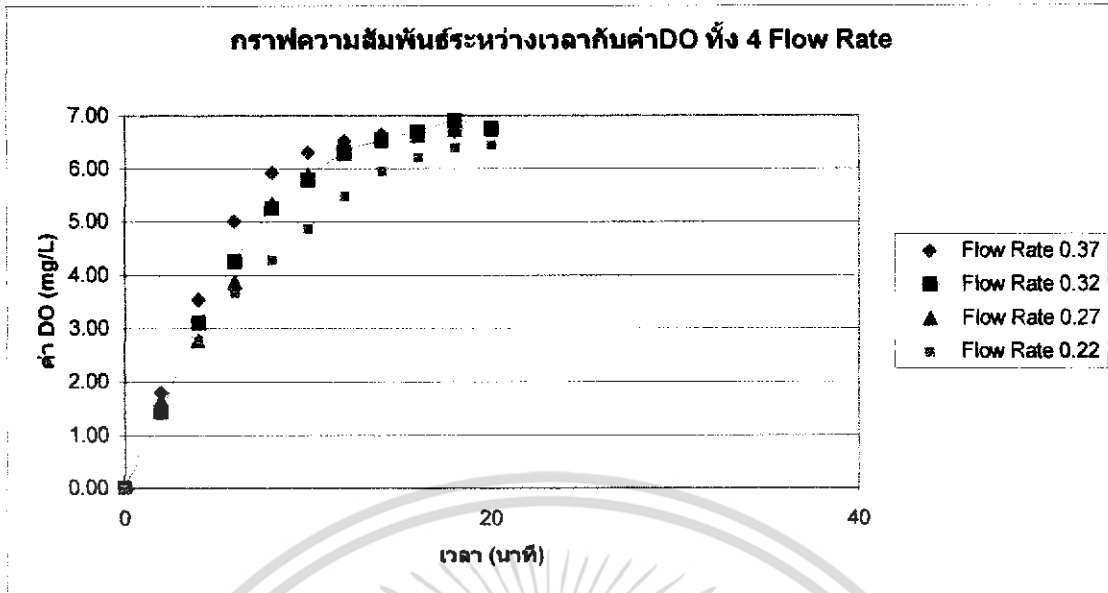
ตารางที่ 4.2 ค่าออกซิเจนละลาย (C) และค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ของทั้ง 4 อัตราการไหลในหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่

เวลา (min)	0.371/ร			0.321/ร			0.271/ร			0.221/ร		
	C	$C_s - C$	$\ln(C_s - C)$	C	$C_s - C$	$\ln(C_s - C)$	C	$C_s - C$	$\ln(C_s - C)$	C	$C_s - C$	$\ln(C_s - C)$
	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)	
0	0.00	7.31	1.99	0.00	7.33	1.99	0.00	7.45	2.01	0.00	7.38	2.00
2	1.80	5.51	1.71	1.43	5.90	1.77	1.65	5.80	1.76	1.47	5.91	1.78
4	3.53	3.78	1.33	3.11	4.22	1.44	2.78	4.67	1.54	2.76	4.62	1.53
6	4.99	2.32	0.84	4.25	3.08	1.12	3.86	3.59	1.28	3.66	3.72	1.31
8	5.91	1.40	0.34	5.24	2.09	0.74	5.34	2.11	0.75	4.28	3.10	1.13
10	6.30	1.01	0.01	5.78	1.55	0.44	5.88	1.57	0.45	4.87	2.51	0.92
12	6.52	0.79	-0.23	6.31	1.02	-0.02	6.28	1.17	0.16	5.48	1.90	0.64
14	6.64	0.67	-0.40	6.54	0.79	-0.24	6.52	0.93	-0.08	5.94	1.44	0.36
16	6.68	0.63	-0.47	6.70	0.63	-0.46	6.62	0.83	-0.19	6.21	1.17	0.16
18	6.71	0.60	-0.52	6.90	0.43	-0.85	6.73	0.72	-0.33	6.40	0.98	-0.02
20	6.72	0.59	-0.53	6.77	0.56	-0.58	6.75	0.70	-0.36	6.44	0.94	-0.06

จากตารางที่ 4.2 เป็นข้อมูลของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 4 ค่า เพื่อหาค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO ในการคำนวณแทนค่าด้วย C) และ ค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการเติมอากาศ ซึ่งโดยเฉลี่ยระยะเวลาที่ทำการทดลองจนสามารถอ่านค่าออกซิเจนละลายได้คงที่อยู่ที่ 50 นาที

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 4.2 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนอิ่มตัว (DO) กับเวลา จะได้กราฟดังรูปที่ 4.6 เส้นแนวโน้มที่อัตราการไหลมากที่สุด (เส้นสีแดง) ค่า DO เริ่มต้นนาที่ที่ 0 คือ 0 มิลลิกรัม / ลิตร เหมือนทั้ง 4 อัตราการไหล แต่ผ่านไปนาที่ที่ 5 ค่า DO จะพุ่งขึ้นเนื่องจากออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นที่ได้จากการเติมอากาศ ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงอัตราการไหลทั้ง 3 จากนั้นเมื่อระยะเวลาการเติมอากาศเพิ่มขึ้น ณ นาที่ที่ 20 ค่า DO ที่ได้จะเริ่มคงที่และเข้าใกล้จุดอิ่มตัวเร็วกว่าอัตราการไหลอื่นเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กับเวลา ทั้ง 4 อัตราการไหล
ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่

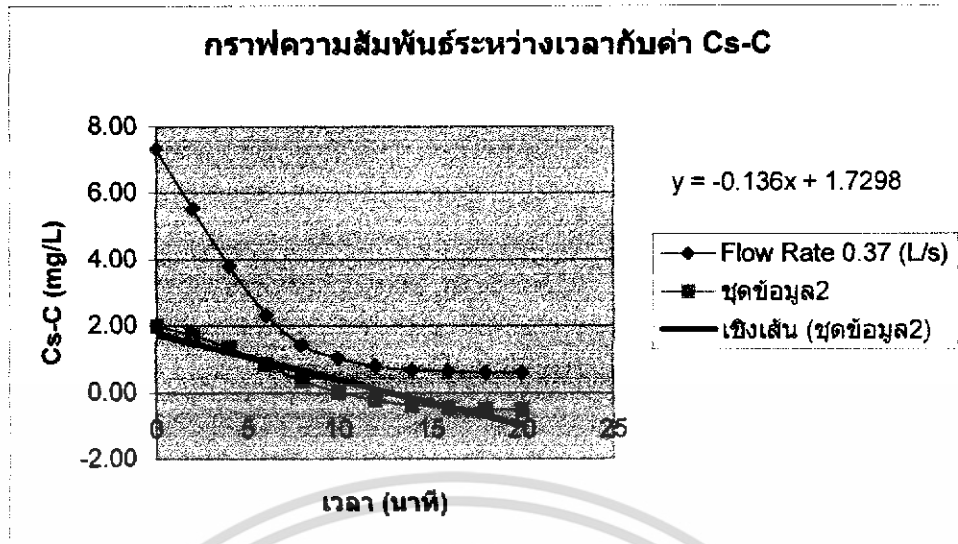
การคำนวณ

ในการคำนวณได้ทำการแยกพิจารณาที่ละอัตราการไหล เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ผล โดยกำหนดค่าตัวแปรและค่าคงที่ต่าง ๆ ไว้ดังนี้

1. กำลังงานที่ให้แก่เครื่องเติมอากาศ จากที่มีการใช้ปั๊มขนาด 0.44 แรงม้า หรือเทียบเท่ากับกำลังที่ใช้จริง อยู่ที่ 0.098 กิโลวัตต์
2. ปริมาตรน้ำ 99.5 ลิตร (จากบทที่ 3)

อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

1. หาค่า $K_L a$ จากความชันจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิมตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) และเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที ดังรูปที่ 4.7 ณ นาทีที่ 5 ค่า $C_s - C$ ลดลงมาจากเริ่มต้นที่สูง ณ เวลาที่ 0 เพราะเนื่องจากค่าออกซิเจนละลาย (C หรือ DO) เพิ่มขึ้น จากนั้นเส้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าเพราะค่าออกซิเจนละลายเริ่มคงที่



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา
 ของหัวฉีดแบบพัฒนาใหม่ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

การหาค่าความชัน
 จากสมการที่ (2.8)

จะได้
$$K_L a = \frac{\ln \left[\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right]}{(t_2 - t_1)}$$

$$K_L a = 0.136 / \text{min}$$

$$K_L a = 8.16 / \text{hr}$$

2. หาค่าออกซิเจนอิ่มตัว (C_s) ที่สภาวะอุณหภูมิ 29.4°C (อ่านค่าจาก DO meter)

จากสมการที่ (2.25) $C_s = 14.652 + 10.53 (e^{-0.038967} - 1)$

จะได้ $C_s = 14.652 + 10.53 (e^{-0.03896(29.4)} - 1)$

$$C_s = 7.31 \text{ mg / l}$$

3. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (OC)

ข้อมูล $T = 29.4\text{C}$

$$C_s = 7.31 \text{ mg / l} \quad K_L a = 8.16 / \text{hr}$$

$$V_{\text{ถัง}} = 99.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.23) $OC = K_L a C_L V$

จะได้ $OC = 8.16 \times 7.31 \times 99.5$

$$OC = 5935.14 \text{ mgO}_2 / \text{hr}$$

4. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน (AE)

ข้อมูล $T_r = 20^\circ\text{C}$

ปรับแก้ค่า $K_L a$ โดยใช้สมการ (2.29)

จะได้
$$K_L a_{T_r} = \frac{K_L a_T}{1.024^{(T-T_r)}}$$

$$K_L a_{T_r} = 6.529 / \text{hr}$$

และหาค่า OTR_{20} โดยใช้สมการ (2.30)

ข้อมูล $C_{s,20} = 9.09 \text{ mg/l}$

จะได้
$$OTR_{20} = K_L a_{20} C_{s,20}$$

$$OTR_{20} = 59.35 \text{ (g/m}^3/\text{h)}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

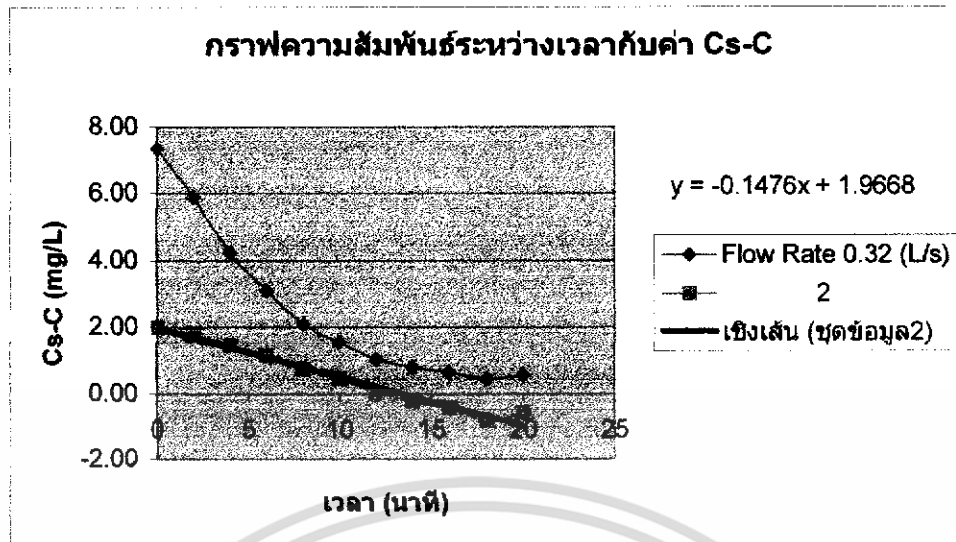
ข้อมูล $P = 98 \text{ W}$ $V = 0.0995 \text{ ลบ.ม.}$

จากสมการ (2.30)
$$AE_T = \frac{OTR_T V}{P} \cdot 100$$

$$AE_T = 6.026 \text{ kgO}_2 / \text{KWh}$$

อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

1. หาค่า $K_L a$ จากความชันจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิมตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) และเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที ดังรูปที่ 4.8 ณ นาทีที่ 5 ค่า $C_s - C$ ลดลงมาจากเริ่มต้นที่สูง ณ เวลาที่ 0 เพราะเนื่องจากค่าออกซิเจนละลาย (C หรือ DO) เพิ่มขึ้น จากนั้นเส้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าเพราะค่าออกซิเจนละลายเริ่มคงที่



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา
ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

การหาค่าความชัน
จากสมการที่ (2.8)

จะได้
$$K_L a = \frac{\ln \left[\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right]}{(t_2 - t_1)}$$

$$K_L a = 0.1476 / \text{min}$$

$$K_L a = 8.856 / \text{hr}$$

2. หาค่าออกซิเจนอิ่มตัว (C_s) ที่สภาวะอุณหภูมิ 29.8°C (อ่านค่าจาก DO meter)

จากสมการที่ (2.25)
$$C_s = 14.652 + 10.53 \left(e^{-0.03896T} - 1 \right)$$

จะได้
$$C_s = 14.652 + 10.53 \left(e^{-0.03896(29.8)} - 1 \right)$$

$$C_s = 7.33 \text{ mg / l}$$

3. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (OC)

ข้อมูล $T = 29.8\text{C}$

$$C_s = 7.33 \text{ mg / l} \quad K_L a = 8.856 / \text{hr}$$

$$V_{\text{ถัง}} = 99.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.23) $OC = K_L a C_s V$

จะได้ $OC = 8.856 \times 7.33 \times 99.5$

$$OC = 6458.99 \text{ mgO}_2 / \text{hr}$$

4. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน (AE)

ข้อมูล $T_r = 20^\circ\text{C}$

ปรับแก้ค่า $K_L a$ โดยใช้สมการ (2.29)

$$\text{จะได้ } K_L a_{T_r} = \frac{K_L a_T}{1.024^{(T_r - T_T)}}$$

$$K_L a_{T_r} = 7.019 / \text{hr}$$

และหาค่า OTR_{20} โดยใช้สมการ (2.30)

ข้อมูล $C_{s,20} = 9.09 \text{ mg/l}$

$$\text{จะได้ } OTR_{20} = K_L a_{20} C_{s,20}$$

$$OTR_{20} = 63.81 \text{ (g/m}^3/\text{h)}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

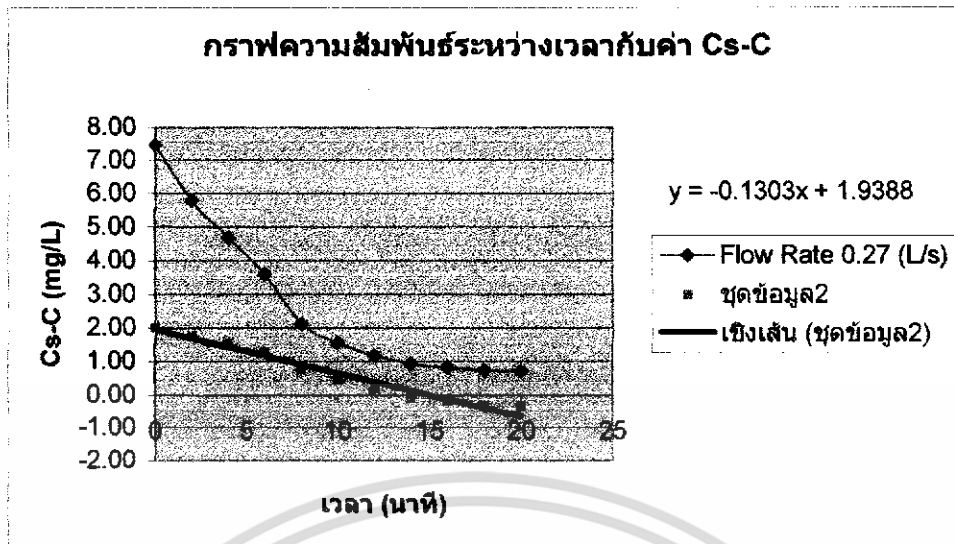
ข้อมูล $P = 98 \text{ W}$ $V = 0.0995 \text{ ลบ.ม.}$

$$\text{จากสมการ (2.30) } AE_T = \frac{OTR_T V}{P} \cdot 100$$

$$AE_T = 6.478 \text{ kgO}_2 / \text{KWh}$$

อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

1. หาค่า $K_L a$ จากความชันจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิมิตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) และเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที ดังรูปที่ 4.9 ณ นาทีที่ 5 ค่า $C_s - C$ ลดลงมาจากเริ่มต้นที่สูง ณ เวลาที่ 0 เพราะเนื่องจากค่าออกซิเจนละลาย (C หรือ DO) เพิ่มขึ้น จากนั้นเส้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าเพราะค่าออกซิเจนละลายเริ่มคงที่



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา
ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

การหาค่าความชัน
จากสมการที่ (2.8)

จะได้
$$K_L a = \frac{\ln \left[\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right]}{(t_2 - t_1)}$$

$$K_L a = 0.1303 / \text{min}$$

$$K_L a = 7.818 / \text{hr}$$

2. หาค่าออกซิเจนอิ่มตัว (C_s) ที่สภาวะอุณหภูมิ 30.2°C (อ่านค่าจาก DO meter)

จากสมการที่ (2.25)
$$C_s = 14.652 + 10.53(e^{-0.03896T} - 1)$$

จะได้
$$C_s = 14.652 + 10.53(e^{-0.03896(30.2)} - 1)$$

$$C_s = 7.45 \text{ mg / l}$$

3. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (OC)

ข้อมูล $T = 30.2^\circ\text{C}$

$$C_s = 7.45 \text{ mg / l} \quad K_L a = 7.818 / \text{hr}$$

$$V_{lit} = 99.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.23) $OC = K_L a C_s V$

จะได้ $OC = 7.818 \times 7.45 \times 99.5$

$$OC = 5795.29 \text{ mgO}_2 / \text{hr}$$

4. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน (AE)

ข้อมูล $T_r = 20^\circ\text{C}$

ปรับแก้ค่า $K_L a$ โดยใช้สมการ (2.29)

จะได้
$$K_L a_{T_r} = \frac{K_L a_T}{1.024^{(T-T_r)}}$$

$$K_L a_{T_r} = 6.138 / \text{hr}$$

และหาค่า OTR_{20} โดยใช้สมการ (2.30)

ข้อมูล $C_{s20} = 9.09 \text{ mg/l}$

จะได้
$$OTR_{20} = K_L a_{20} C_{s20}$$

$$OTR_{20} = 55.80 \text{ (g/m}^3/\text{h)}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

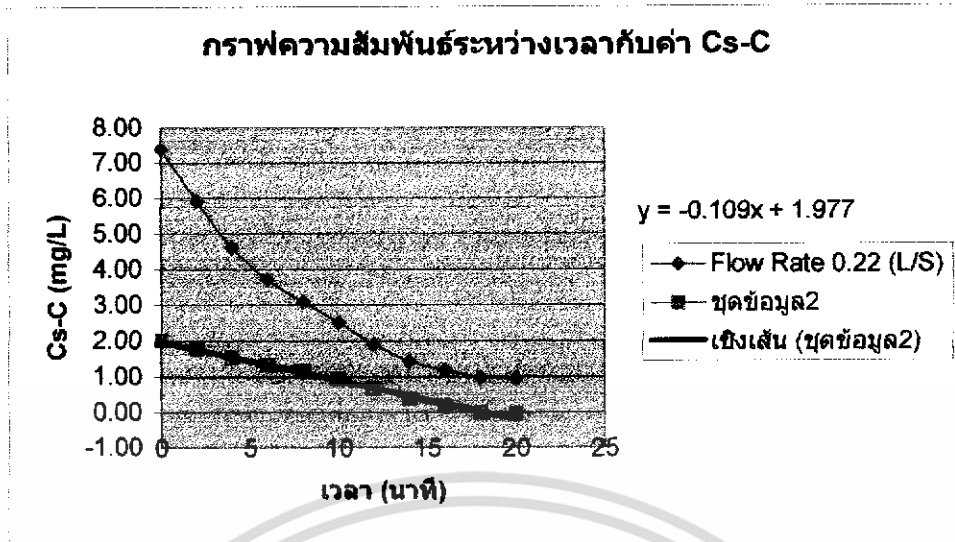
ข้อมูล $P = 98 \text{ W}$ $V = 0.0995 \text{ ลบ.ม.}$

จากสมการ (2.30)
$$AE_T = \frac{OTR_T V}{P} \cdot 100$$

$$AE_T = 5.665 \text{ kgO}_2 / \text{KWh}$$

อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

1. หาค่า $K_L a$ จากความชันจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระหว่างเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนกับค่าออกซิเจนละลาย ($C_s - C$) และเวลาการเติมอากาศของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที ดังรูปที่ 4.10 ณ นาทีที่ 5 ค่า $C_s - C$ ลดลงมาจากเริ่มต้นที่สูง ณ เวลาที่ 0 เพราะเนื่องจากค่าออกซิเจนละลาย (C หรือ DO) เพิ่มขึ้น จากนั้นเส้นกราฟมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าเพราะค่าออกซิเจนละลายเริ่มคงที่



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_s - C$ และเวลา
ของหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

การหาค่าความชัน
จากสมการที่ (2.8)

$$\text{จะได้} \quad K_L a = \frac{\ln \left[\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right]}{(t_2 - t_1)}$$

$$K_L a = 0.1090 / \text{min}$$

$$K_L a = 6.54 / \text{hr}$$

2. หาค่าออกซิเจนอิ่มตัว (C_s) ที่สภาวะอุณหภูมิ 29.8°C (อ่านค่าจาก DO meter)

$$\text{จากสมการที่ (2.25)} \quad C_s = 14.652 + 10.53 (e^{-0.03896T} - 1)$$

$$\text{จะได้} \quad C_s = 14.652 + 10.53 (e^{-0.03896(29.8)} - 1)$$

$$C_s = 7.38 \text{ mg / l}$$

3. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (OC)

$$\text{ข้อมูล} \quad T = 29.8^\circ\text{C}$$

$$C_s = 7.38 \text{ mg / l} \quad K_L a = 6.54 / \text{hr}$$

$$V_{\text{น้ำ}} = 99.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.23) $OC = K_L a C_s V$

จะได้ $OC = 6.54 \times 7.38 \times 99.5$

$$OC = 4802.39 \text{ mgO}_2 / \text{hr}$$

4. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน (AE)

ข้อมูล $T_r = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

ปรับแก้ค่า $K_L a$ โดยใช้สมการ (2.29)

จะได้
$$K_L a_{T_r} = \frac{K_L a_T}{1.024^{(T-T_r)}}$$

$$K_L a_{T_r} = 5.184 / \text{hr}$$

และหาค่า OTR_{20} โดยใช้สมการ (2.30)

ข้อมูล $C_{s20} = 9.09 \text{ mg/l}$

จะได้
$$OTR_{20} = K_L a_{20} C_{s20}$$

$$OTR_{20} = 47.12 \text{ (g/m}^3/\text{h)}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

ข้อมูล $P = 98 \text{ W}$ $V = 0.0995 \text{ ลบ.ม.}$

จากสมการ (2.30)
$$AE_T = \frac{OTR_T V}{P} \cdot 100$$

$$AE_T = 4.784 \text{ kgO}_2 / \text{KWh}$$

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองเป็นการวิเคราะห์ถึงลักษณะการทำงานของหัวฉีดพ่น ที่มีการฉีดพ่น ฟองอากาศและน้ำออกมาและรวมถึงการผสมกันกับน้ำที่อยู่ในถังผสม

ซึ่งการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 วิธี

วิธีแรก ใช้เทคนิคการถ่ายภาพในห้องมืด เพื่อช่วยให้สามารถมองเห็นการกระจายตัวของ ฟองอากาศและน้ำที่ถูกฉีดพ่นออกมาสู่ถังผสมได้ชัดเจนขึ้น

วิธีที่สอง ใช้โปรแกรม Star CD เพื่อจำลองสถานการณ์การทำงานของฟองอากาศและน้ำในถัง ผสม ที่สามารถวิเคราะห์ได้ผลเป็น

1. อัตราเร็วของการฉีดพ่นทั้งที่เป็นเส้นแสดงทิศทางและเส้นแสดงรูปร่าง (Vector Velocity Magnitude and Contour Velocity Magnitude)
2. เส้นแสดงรูปร่างความดันที่สัมพันธ์กันของตำแหน่งทางออกของหัวฉีดพ่นและตำแหน่งกัน ถังผสม (Contour Pressure Relative)
3. เส้นแสดงรูปร่างการไหลแบบปั่นป่วนภายในถังผสม (Contour Turbulent Viscosity)

การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทั้งสองส่วน จึงช่วยให้สามารถทำให้ทราบถึงลักษณะการทำงานของ หัวฉีดพ่น การผสมของฟองอากาศและน้ำในถังผสม การพิจารณากับประสิทธิภาพการเติมอากาศ และรวมถึงความเหมาะสมที่จะนำโปรแกรม Star CD มาช่วยในการวิเคราะห์ในโอกาสต่อไปอีกด้วย

จากรูปที่ 4.11 – 4.14 แสดงการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งสองวิธี ที่ใช้กับ หัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ในอัตราการไหลทั้ง 4 อัตรา

4.2.1 การวิเคราะห์ผลที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

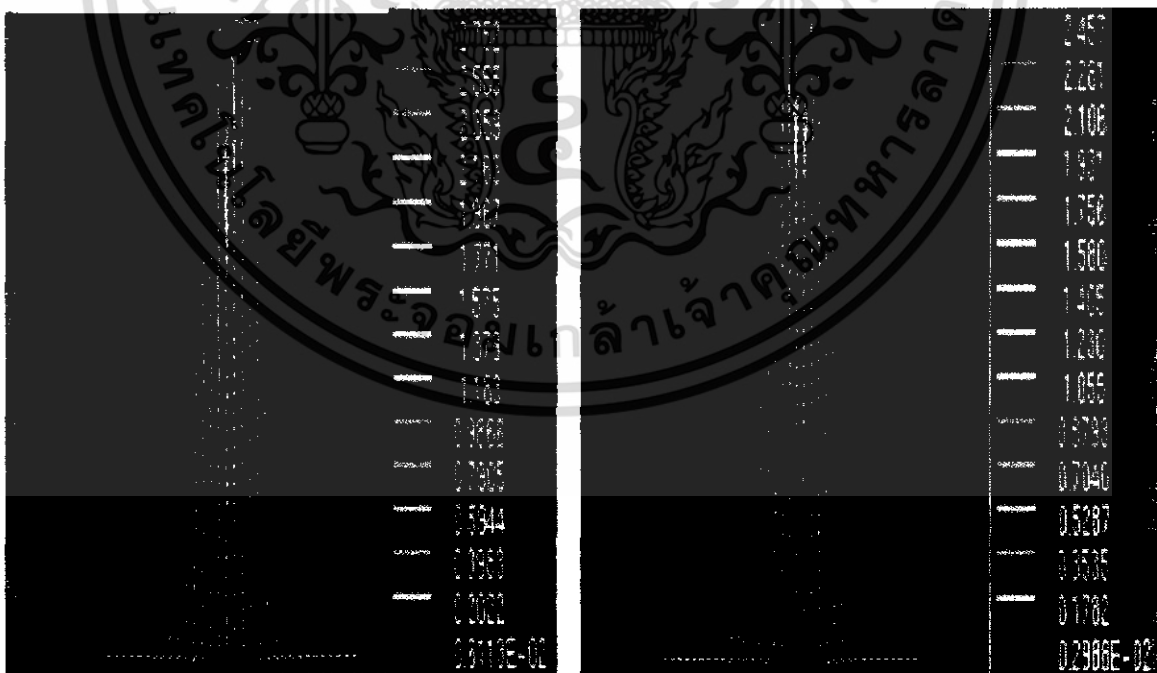
ก. หัวฉีดพ่นแบบเดิม

ข. หัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่

Flow Visualization



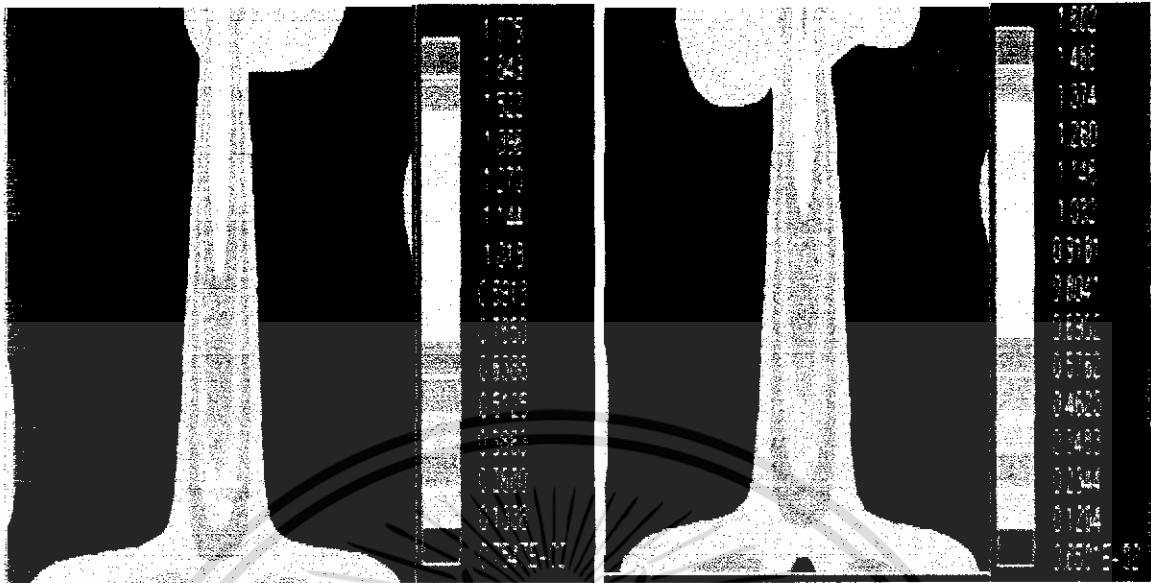
Vector Velocity Magnitude (m / s)



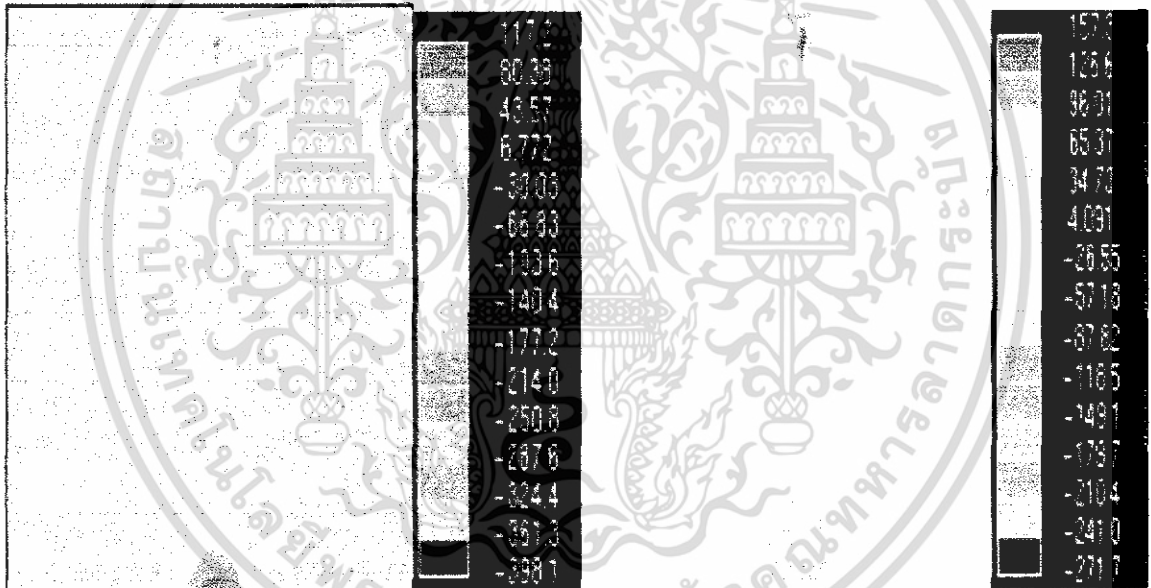
รูปที่ 4.11 การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contour Velocity Magnitude (m / s)



Contour Pressure Relative (PA)



รูปที่ 4.11 (ต่อ) การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที วิเคราะห์

จากการจำลองการไหล อัตราการไหลที่ 0.37 l/s ภาพที่ถ่ายได้จากห้องฉีดพ่นแบบเดิมจะมีลักษณะการกระจายตัวที่แคบและมีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าแบบใหม่ ส่วนค่าความเร็วในหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีค่า 2.55 m/s เมื่อเทียบกับบริเวณหัวฉีดซึ่งมากกว่าแบบใหม่ ส่วนในถังพบว่าค่าความเร็วโดยทั่วไปจะมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 1.1 m/s และ ที่ก้นถังจะสังเกตเห็นว่า ความเร็วที่กึ่งกลางของก้นถังของหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแบบใหม่ ส่วนค่าความดันพบว่าค่าความดันภายในถังที่หัวแบบเก่าจะให้ค่าความดันสูงกว่าคือ 6.7 PA ซึ่งแบบใหม่มีความดันแค่

4.1 PA

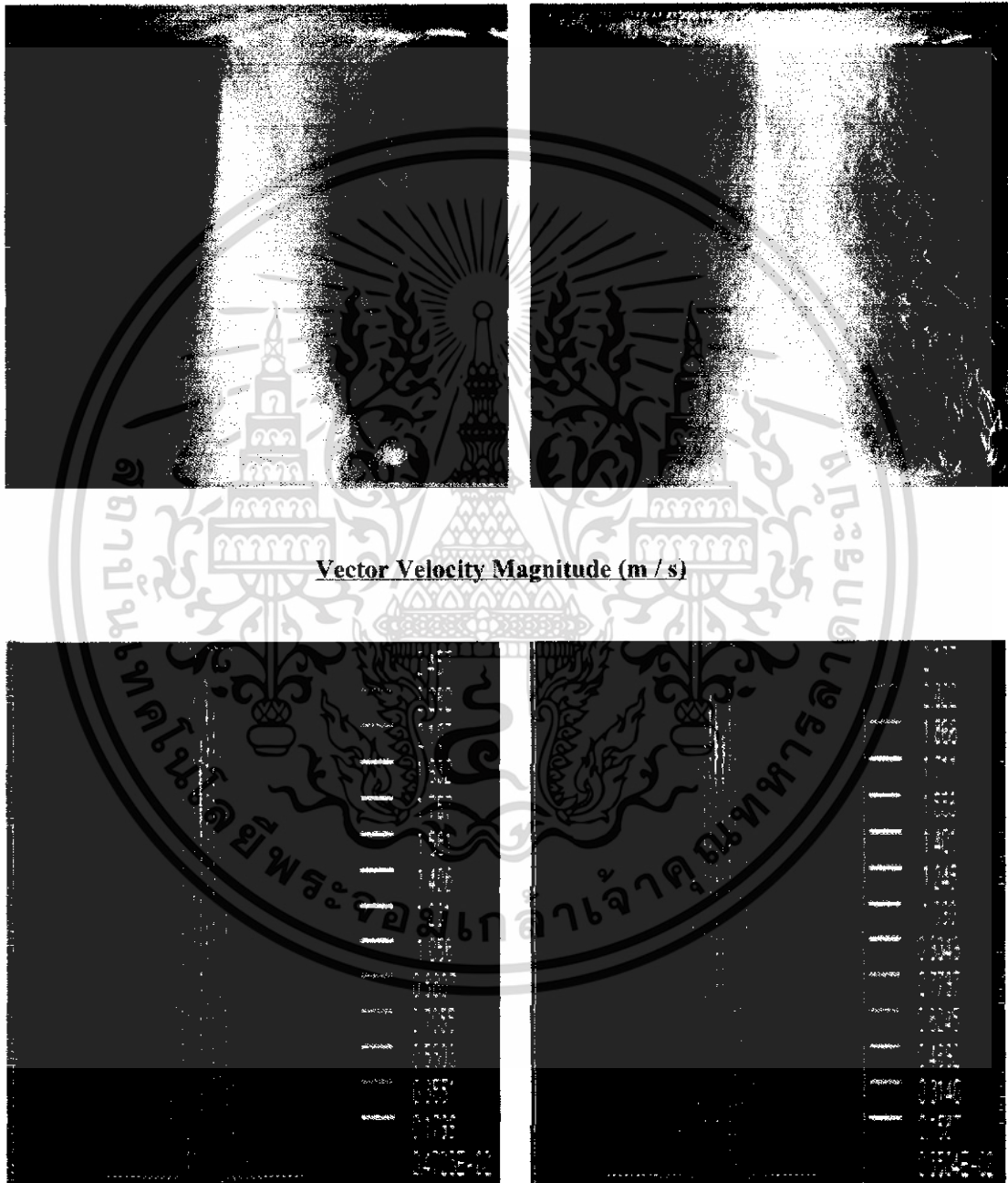
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวิเคราะห์ผลที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

ก. หัวฉีดพ่นแบบเดิม

ข. หัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่

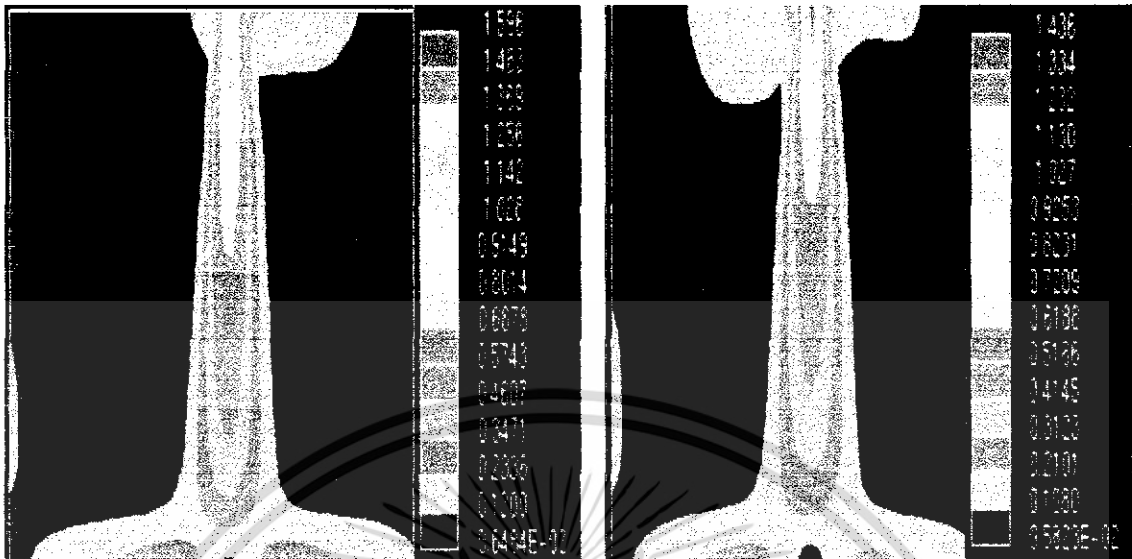
Flow Visualization



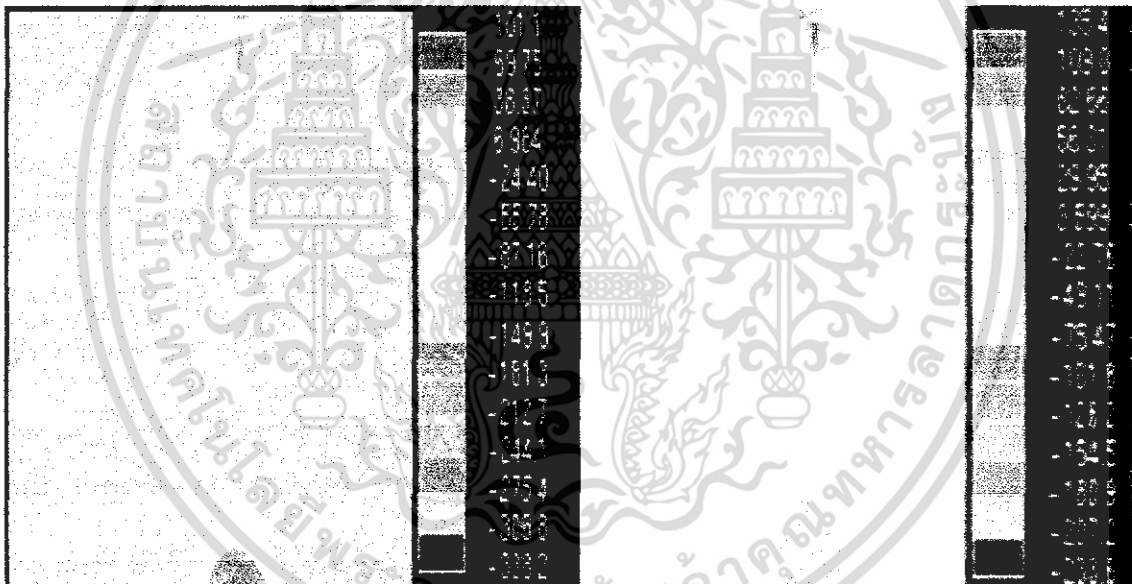
รูปที่ 4.12 การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contour Velocity Magnitude (m / s)



Contour Pressure Relative (PA)



รูปที่ 4.12 (ต่อ)การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.32 ลิตร / วินาที
วิเคราะห์

อัตราการไหลที่ 0.32 l/s ภาพที่ถ่ายได้จากห้องฉีดหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีลักษณะการกระจายตัวที่แคบและมีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าแบบใหม่ ส่วนค่าความเร็วในหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีค่า 2.28 m/s เมื่อเทียบกับบริเวณหัวฉีดซึ่งมากกว่าแบบใหม่ ส่วนในถังพบว่าค่าความเร็วโดยทั่วไปจะมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.9 m/s และ ที่ก้นถังจะสังเกตเห็นว่า ความเร็วที่กึ่งกลางของก้นถังของหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีค่าน้อยมาก ส่วนค่าความดัน พบว่าค่าความดันภายในถังที่หัวแบบเก่าจะให้ค่าความดันสูงกว่าคือ 6.9 PA ซึ่งแบบใหม่มีความดัน 3.59 PA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การวิเคราะห์ผลที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

ก. หัวฉีดพ่นแบบเดิม

ข. หัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่

Flow Visualization



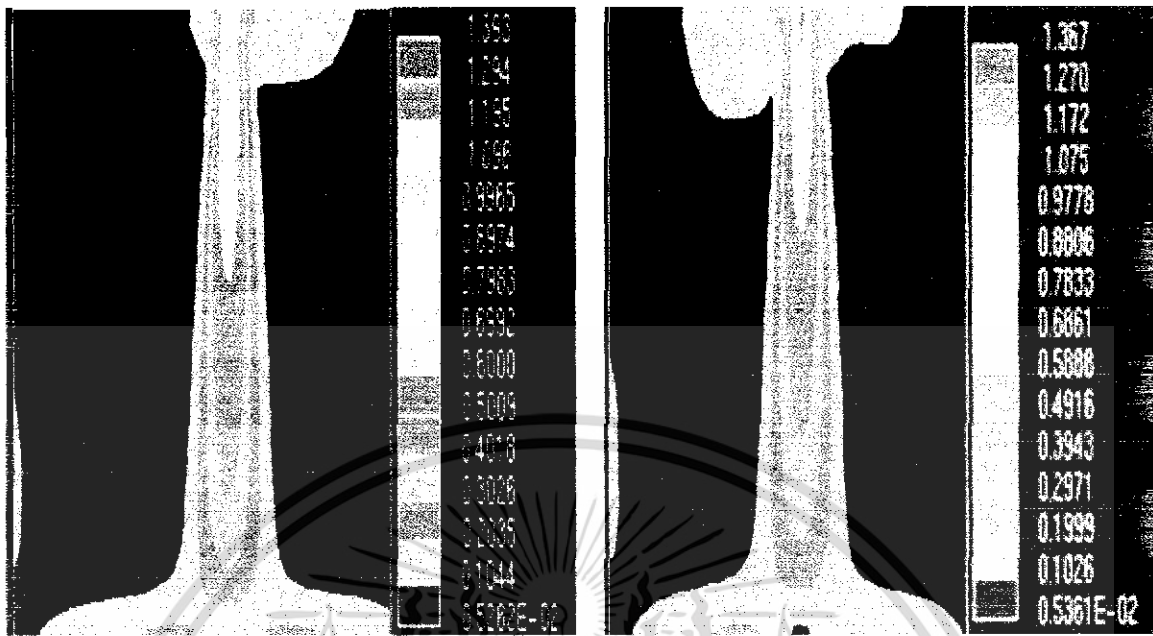
Vector Velocity Magnitude (m / s)



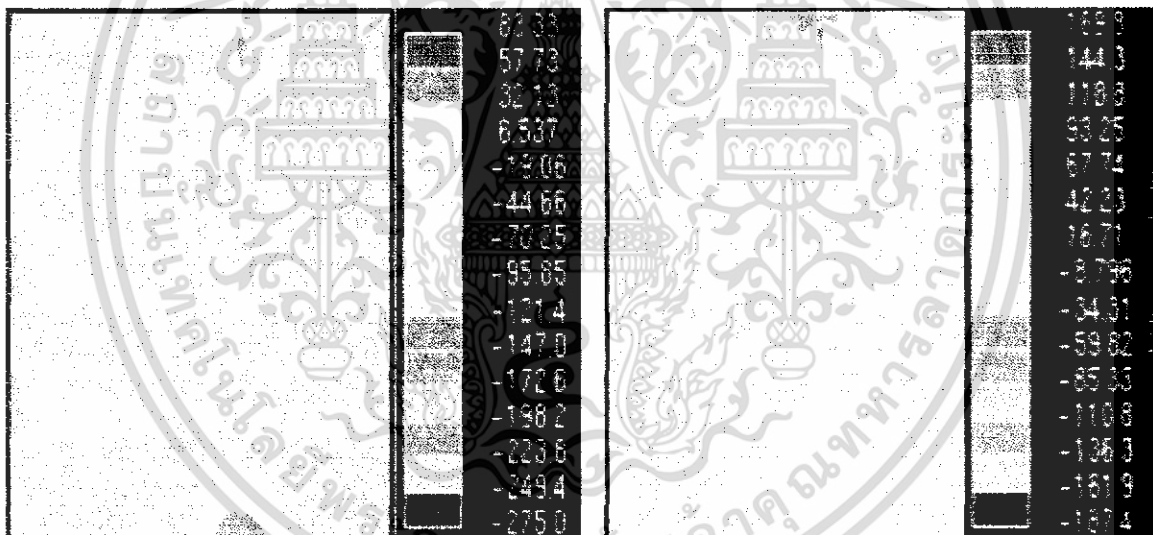
รูปที่ 4.13 การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contour Velocity Magnitude (m / s)



Contour Pressure Relative (PA)



รูปที่ 4.13 (ต่อ) การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที วิเคราะห์

อัตราการไหลที่ 0.27 l/s ภาพที่ถ่ายได้จากห้องมีดหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีลักษณะการกระจายตัวที่แคบและมีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าแบบใหม่ ส่วนค่าความเร็วในหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีค่า 1.97 m/s เมื่อเทียบกับบริเวณหัวฉีดซึ่งมากกว่าแบบใหม่ ส่วนในถังพบว่าค่าความเร็วโดยทั่วไปจะมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.85 m/s และ ที่ก้นถังจะสังเกตเห็นว่า ความเร็วที่กึ่งกลางของก้นถังของหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแบบใหม่ ส่วนค่าความดัน พบว่าค่าความดันที่ก้นถัง ที่หัวฉีดแบบใหม่ จะมีค่าความดันอยู่ที่ 16.71 PA ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแบบเก่า คือ 32.13 PA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การวิเคราะห์ผลที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที

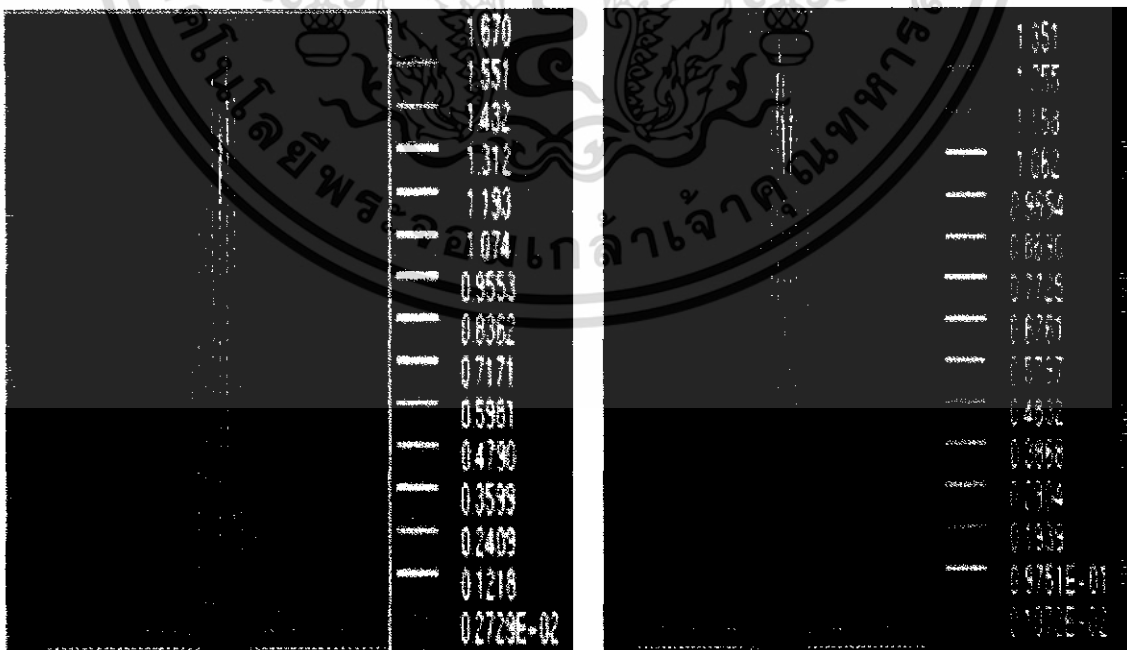
ก. หัวฉีดพ่นแบบเดิม

ข. หัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่

Flow Visualization



Vector Velocity Magnitude (m / s)



รูปที่ 4.14 การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contour Velocity Magnitude (m / s)



Contour Pressure Relative (PA)



รูปที่ 4.14 (ต่อ) การวิเคราะห์การทำงานของหัวฉีดพ่นทั้ง 2 แบบ ที่อัตราการไหล 0.22 ลิตร / วินาที วิเคราะห์

อัตราการไหลที่ 0.22 l/s ภาพที่ถ่ายได้จากห้องมีดหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีลักษณะการกระจายตัวที่แคบและมีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าแบบใหม่ ส่วนค่าความเร็วในหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีค่า 1.51 m/s เมื่อเทียบที่บริเวณหัวฉีดซึ่งมากกว่าแบบใหม่ ส่วนในถังพบว่าค่าความเร็วโดยทั่วไปจะมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.62 m/s และ ที่ก้นถังจะสังเกตเห็นว่า ความเร็วที่กึ่งกลางของก้นถังของหัวฉีดพ่นแบบเดิมจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแบบใหม่ ส่วนค่าความดันพบว่าค่าความดันที่ก้นถัง ที่หัวฉีดแบบใหม่ จะมีค่าความดันอยู่ที่ 23.58 PA ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแบบเก่า คือ 29.95 PA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองวัดค่า DO ในน้ำที่เตรียมไว้พบว่าเมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ(OC)
2. ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน(AE)

โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบในกรณีหัวฉีดพ่นเดียวกันแต่ค่าอัตราการไหลที่แตกต่างกันคือ 0.37, 0.32, 0.27 และ 0.22 ลิตร/วินาที หัวฉีดพ่นแบบเดิมกับหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อค่าต่าง ๆ เหล่านี้คือค่า $K_L a$ โดยได้มาจากความชันของกราฟระหว่างเวลา กับค่าผลต่างระหว่างค่าความเข้มข้นของออกซิเจนอิ่มตัวกับค่าออกซิเจนละลายในน้ำ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในกรณีหัวฉีดพ่นแต่ละแบบจากข้อมูลและกราฟจะพบว่าหัวฉีดพ่นแบบเดิม อัตราการไหลที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดคืออัตราการไหลที่ 0.27 รองลงมาคือ 0.32, 0.37 และ 0.27 ลิตร/วินาที คือ 5.895, 4.771, 4.723, 3.533 $\text{kgO}_2 / \text{KWh}$. ตามลำดับ หัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ อัตราการไหลที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดคืออัตราการไหลที่ 0.32 ลิตร/วินาที รองลงมาคือ 0.37, 0.27 และ 0.22 ลิตร/วินาที คือ 6.478, 6.026, 5.665 และ 4.784 $\text{kgO}_2 / \text{KWh}$. ตามลำดับ

จะเห็นว่าที่ทดลองในช่วงเวลาเดียวกัน หัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนได้สูงกว่าแบบเดิม โดยการทดลองนี้ต้องควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ให้มีผลต่อข้อมูลน้อยที่สุด ซึ่งตัวแปรที่มีผลคือ อุณหภูมิ (ช่วงของอุณหภูมิแตกต่างกันไม่มากนักจึงถือว่าไม่มีผล) และ ค่า $K_L a$ เป็นค่าที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพมากที่สุด

จากการถ่ายภาพในห้องมืด เพื่อเปรียบเทียบหัวฉีดพ่นแบบเดิม กับ หัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ ในอัตราการไหลที่แตกต่างกัน คือ ที่อัตราการไหล 0.27, 0.32 และ 0.37 ลิตร / วินาที พบว่าที่อัตราการไหล 0.27 ลิตร / วินาที หัวฉีดพ่นแบบเดิม จะมีลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำในถังผสมไม่ปั่นป่วนมากนัก ในขณะที่ หัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ จะมีการเคลื่อนที่ไม่เป็นระเบียบและมีความปั่นป่วนมากกว่าหัวฉีดพ่นแบบเดิม และเมื่อสังเกตที่ก้นถังผสม พบว่าหัวฉีดพ่นแบบเดิม มีอัตราเร็วของน้ำผสมกับอากาศเพิ่มขึ้นอย่างมาก ส่วนหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่นั้นเริ่มมีการหมุนวนของน้ำและอากาศภายในถังผสม สุดท้ายในอัตราการไหลมากที่สุด คือ 0.37 ลิตร / วินาที หัวฉีดพ่นแบบเดิม จะมีความเข้มข้นของอากาศมาก โดยจะเห็นเป็นลำสีขาวของอากาศ โดยเฉพาะที่ก้นถังผสมจะมีลักษณะหมุนวนร่วมด้วย ส่วนในหัวฉีดพ่นแบบพัฒนาใหม่ นั้นน้ำจะมีลักษณะหมุนวนอย่างเห็นได้ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรม Star CD ที่อัตราการไหล 0.37 ลิตร / วินาที พบว่าทิศทางของความเร็วในหัวฉีดแบบเดิมจะพุ่งลงสู่กันถึงผสมอย่างรวดเร็วและค่อนข้างมีขนาดของกลุ่มความเร็วต่ำกว่า ในหัวฉีดแบบพัฒนาใหม่ เมื่อพิจารณาค่าความเร็วที่แสดง เป็น Magnitude จะพบว่า ขอบเขตของความเร็ว ในหัวฉีดแบบพัฒนาใหม่ จะมีค่ามากกว่าหัวฉีดแบบเดิม โดยสังเกตค่าจากข้อมูลตัวเลขที่ด้านขวาของหน้าต่างโปรแกรม จะมีความเร็วอยู่ที่ 0.12 เมตร / วินาที ซึ่งในขณะที่ หัวฉีดแบบเดิมมีค่าอยู่ที่ 0.065 เมตร / วินาที ต่อมาเมื่อพิจารณา ค่า Pressure ปรากฏว่าความดันที่หัวฉีดแบบเดิมจะมีค่าประมาณ 6.7 PA ส่วนหัวฉีดแบบพัฒนาใหม่มีค่าประมาณ 3.4 PA

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการถ่ายภาพใช้กล้องที่มีความไวไม่เพียงพอ จนทำให้เห็นความละเอียดในการถ่ายภาพไม่มากตามที่ต้องการ

ความผิดพลาดเกี่ยวกับโปรแกรมคือ ในขณะที่ทำการเปลี่ยนอัตราการไหล ผลที่เกิดขึ้นกับการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย จึงทำให้การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมจึงค่อนข้างลำบาก

แนวทางในการศึกษาครั้งต่อไปอาจเป็นการเพิ่มหรือลด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความยาวของท่อคู่อากาศเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการเพิ่มหรือลดปริมาณอากาศที่จะถูกเหนี่ยวนำเข้าสู่หัวฉีด