

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการเติมอากาศด้วยใบพัด
สำหรับเครื่องเติมอากาศ

EXPERIMENTAL STUDY ON OXYGEN TRANSFER IN ROTORS FOR AN AERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการเติมอากาศด้วยใบพัด
สำหรับเครื่องเติมอากาศ

EXPERIMENTAL STUDY ON OXYGEN TRANSFER IN ROTORS FOR AN AERATOR

โดย

นาย วุฒิสักดิ์ สรรมณี

นาย สฤติ สุจริต

นาย อภิสักดิ์ ทองแสนห่

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการเติมอากาศด้วยใบพัดสำหรับเครื่องเติมอากาศ
Experimental Study on Oxygen Transfer in Rotors for an Aerator

ผู้จัดทำ

1. นาย วุฒิสักดิ์ ศรีมณี รหัสประจำตัว 45010738
2. นาย สดุดี สุจริต รหัสประจำตัว 45010794
3. นาย อภิศักดิ์ ทองเสน่ห์ รหัสประจำตัว 45010927



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการเติมอากาศด้วยใบพัดสำหรับเครื่องเติมอากาศ

นาย วุฒิสักดิ์ สรมณี 45010738

นาย ศศุทธิ์ สุจริต 45010794

นาย อภิสักดิ์ ทองเสน่ห์ 45010927

รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาดังประสิทธิภาพในการเติมอากาศของใบพัดให้แก่น้ำ โดยจะทำการเปรียบเทียบรูปร่างใบพัดที่มีผลต่อการเติมอากาศเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการเติมอากาศให้แก่น้ำ เสียได้ในปริมาณที่สูงและสามารถนำไปงานในทางปฏิบัติได้จริง โดยทำการศึกษาการเติมอากาศแบบผิวน้ำ และพัฒนาใบพัดแบบมีการไหลในแนวรัศมีเพื่อนำน้ำไหลออกในแนวรัศมี โดยทำการทดลองที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของใบพัด แล้ววิเคราะห์หา รูปร่าง ที่เหมาะสมของใบพัด ผลที่ได้จากการทดลองนี้จะนำไปพัฒนาและปรับปรุงใบพัด เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการเติมอากาศที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental Study on Oxygen Transfer in Rotors for an Aerator

Wutthisak Sornmanee

Sadudee Sujarit

Apisak Thongsne

Assoc.Prof. Mongkol Mongkolvongroj

ABSTRACT

This project deals with the design and development of a high efficiency aerator for a water treatment system. The surface aerator with radial flow rotors were used in this project. The experiments were investigated to measure the oxygen concentration in the water for various rotor configurations and rotor speed. Then the optimum aerator for maximizing the ratio of the increase in oxygen concentration to input power can be obtained. The research aim is to investigate of the optimal aerator characteristics in order to minimize the input energy and maximize the oxygen transfer rate for a water treatment system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ ก็ด้วยความกรุณาในการให้ความรู้ คำปรึกษา ที่มีคุณค่า จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ คณะผู้ทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้ทำโครงการขอขอบคุณ สกว. และโครงการ IRPUS ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำโครงการนี้มา โดยตลอดทำให้โครงการนี้สำเร็จลงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณ วิสูตร กังสนันท์ บริษัท ชรินทร์ เอ็นจิเนียริง จำกัด และพี่ๆพนักงานใน บริษัท ที่มีส่วนช่วยในการทำโครงการนี้ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ สนับสนุน และอำนวยความสะดวก วัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในโครงการนี้ให้สำเร็จลงด้วยดี

คณะผู้ทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิศวกรรมเครื่องกล รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาประสิทธิประสาทวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานสำคัญในการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณ ดุง มลฑา พี่เป่า ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความสะดวกในการทำงาน พี่หนูๆ ที่ให้การช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้ตลอดมา เพื่อนๆ ภาควิศวกรรมเครื่องกลทุกคน รวมทั้งบุคคลที่คณะผู้จัดทำโครงการไม่ได้กล่าวมานี้ไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนในการสนับสนุนให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ท้ายสุดคณะผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำเนิด เลี้ยงดู เป็นกำลังใจ และสนับสนุนทางด้านการศึกษาตลอดมา จนถึงการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลงด้วยดี

คณะผู้จัดทำโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VII
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีและหลักการ	
2.1. ทฤษฎีการเติมอากาศ	3
2.2. ทฤษฎีการออกแบบใบพัด	8
2.3. ทฤษฎีการออกแบบเพลลา	13
3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	
3.1. อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด (Strain gauge)	17
3.2. อุปกรณ์การวัดปริมาณของออกซิเจน	20
3.3. เครื่องทดสอบ	22
4. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	
4.1. การทดลองหาประสิทธิภาพการเติมอากาศ	27
4.2. การคำนวณหาประสิทธิภาพการเติมอากาศ	34
4.3. การทดลอง	35
5. ผลการทดลอง	
5.1. ผลการทดลองการเติมอากาศของใบพัดทั้ง 6 แบบ โดยทำการทดลองที่ความเร็ว	35
รอบต่างกัน	
5.2. การหาค่ากำลังที่ใช้ขับใบพัด	59
5.3. กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจน ที่ความเร็วรอบต่างๆ	62
6. สรุปผลการทดลอง	69
บรรณานุกรม	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาค่า K_{1a}	5
2.2 แสดงสัมประสิทธิ์แรงจลน์รวมบนวัตถุ 3 มิติ	11
2.3 ขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO/R 775-1969	13
2.4 แสดงค่าตัวประกอบความถี่	16
5.1 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	35
5.2 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	36
5.3 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	37
5.4 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	38
5.5 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	39
5.6 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	40
5.7 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	41
5.8 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	42
5.9 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	43
5.10 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	44
5.11 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	45
5.12 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	46
5.13 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	47
5.14 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	48
5.15 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	49
5.16 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	50
5.17 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	51
5.18 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	52
5.19 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	53
5.20 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	54
5.21 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	55
5.22 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	56
5.23 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	57
5.24 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	58
5.25 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ	60
5.26 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.27 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ	61
5.28 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ	61
5.29 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ	61
5.30 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ	62
5.31 แสดงค่าประสิทธิภาพการเติมอากาศของใบพัดที่ดีและเหมาะสมที่สุด 5 อันดับ	67
5.32 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทของออกซิเจนและกำลังที่ใช้ขับใบพัด ที่จุดที่เหมาะสมที่สุด 5 อันดับ	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนบริเวณชั้นผิวของเหลว	4
2.2 แสดงการหาค่า $K_L a$	5
2.3 เพลายู่ภายใต้แรงต่างๆ	14
3.1 แสดงการดึงของแรงที่กระทำกับทั้งสองด้านของแท่งโลหะ	17
3.2 แสดงแรงเฉือนที่กระทำกับวัตถุ	18
3.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	18
3.4 แสดงการติดสเตรนเกจบนเพลลา	20
3.5 แสดง Slip rings	20
3.6 แสดงเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนและโพรับวัดออกซิเจน	20
3.7 แผงหน้าปัดของเครื่องวัดออกซิเจน	21
3.8 แสดงมอเตอร์ที่ใช้งาน	23
3.9 อินเวอร์เตอร์	23
3.10 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)	23
3.11 ถังน้ำ (Tank)	24
3.12 แสดงมัลติมิเตอร์(Multimeter)	24
3.13 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	25
3.14 แสดงแผนภาพรวมของอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ทำการทดลอง	25
3.15 ภาพถ่ายเครื่องเติมอากาศ	26
4.1 ขนาดของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ	28
4.2 ภาพถ่ายของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ	29
4.3 ขนาดของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ	29
4.4 ภาพถ่ายของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ	30
4.5 ขนาดของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ	30
4.6 ภาพถ่ายของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ	31
4.7 ขนาดของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ	31
4.8 ภาพถ่ายของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ	31
4.9 ขนาดของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ	32
4.10 ภาพถ่ายของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ	32
4.11 ขนาดของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ	33
4.12 ภาพถ่ายของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ	33
4.13 แสดงการทดลอง	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	35
5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 15600 rpm	36
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 12000 rpm	37
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	38
5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	39
5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	40
5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	41
5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	42
5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	43
5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	44
5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	45
5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	46
5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	47
5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	48
5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(C_s-C_t)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	50
5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(C_s-C_t)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	51
5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(C_s-C_t)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	52
5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(C_s-C_t)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	53
5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(C_s-C_t)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	54
5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(C_s-C_t)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm	55
5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(C_s-C_t)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm	56
5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(C_s-C_t)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm	57
5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(C_s-C_t)$ ของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm	58
5.25 กราฟแสดงการความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับแรงบิดของเพลลาที่ได้จากการทดลอง	59
5.26 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ	62
5.27 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ	63
5.28 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ	64
5.29 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ	65
5.30 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ	66
5.31 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ	67
5.32 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนของใบพัดทั้ง 6 แบบ	67
5.33 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและประสิทธิภาพการเติมอากาศของใบพัดทั้ง 6 แบบ	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันนี้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมากโดยเฉพาะปัญหาน้ำเสีย ทำให้มีความต้องการที่จะแก้ปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม แต่เรายังมีระบบการกำจัดน้ำเสียที่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้เต็มที่ อาจเป็นเพราะขาดการส่งเสริมและพัฒนาอย่างจริงจัง เหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ อาจเกิดจากการขาดงบประมาณในการจัดการกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีผู้วิจัยคือ Beatriz Cancino, Pedro Roth, Manfred Reub [5] ได้ทำการวิจัยการเติมอากาศแบบผิวน้ำ (Surface aerators) มาก่อนแล้วแต่เป็นการวิจัยโดยออกแบบใบพัดให้มีการไหลในแนวแกน (Axial flow) ซึ่งประสิทธิภาพการเติมอากาศของใบพัดที่มีการไหลในแนวแกนที่ดีที่สุดนี้มีค่า $1.805 \text{ kgO}_2 / \text{kWh}$ (ที่ 20°C) ดังนั้นจึงมีความคิดที่จะศึกษาและพัฒนาการเติมอากาศแบบการไหลในแนวรัศมี เพื่อที่จะหาวิธีที่ใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์ให้ได้มากที่สุด นี่จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำที่มีการไหลในแนวรัศมี เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่ น้ำ และเป็นแนวทางหนึ่งในการที่จะใช้แก้ปัญหา นี้ เพื่อทำให้น้ำมีคุณภาพที่ดีขึ้น

ในการปรับปรุงเครื่องเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงมีวิธีการอยู่หลายวิธีดังนี้

1. การปรับปรุงโดยการออกแบบรูปร่างใบพัด
2. การหาความเร็วรอบที่เหมาะสมของใบพัด

การนำไปใช้งานของเครื่องเติมอากาศ จำแนกได้ดังต่อไปนี้

1. การเติมอากาศเพื่อเติมออกซิเจนให้แก่ น้ำในที่น้ำไม่มี การไหลวนและมีความลึกไม่มากนัก เช่น บึง บ่อ สระน้ำ ที่กักเก็บน้ำตาม โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น
2. การเติมอากาศในภาคการเกษตร
3. การเติมอากาศในภาคอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 พัฒนาและทดลองใบพัดแบบการไหลในแนวรัศมีสำหรับเติมอากาศแบบผิวน้ำ โดยจะทำการเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเติมอากาศของใบพัดคือ จำนวน ใบพัด รอบการหมุน และรูปร่างของใบพัด

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพการเติมอากาศให้แก่ น้ำ โดยให้ได้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มากแต่ประหยัดพลังงาน

1.2.3 ประดิษฐ์ชุดทดลองเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำอย่างง่ายโดยใช้ใบพัดแบบการไหลในแนวรัศมี (Radial flow) ซึ่งจะทำการทดลองเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมในการเติมอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1. ศึกษาสมรรถนะของใบพัดเพื่อเลือกใบพัดที่มีรูปร่างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเติมอากาศแบบผิวน้ำ
- 1.3.2. ออกแบบชุดทดลองในการเติมอากาศแบบผิวน้ำอย่างง่ายและทำการทดลอง
- 1.3.3. เปรียบเทียบใบพัดที่ทำการพัฒนาซึ่งเป็นแบบไหลในแนวรัศมี (Radial flow) ตามที่ออกแบบไว้เพื่อเลือกใบพัดที่มีประสิทธิภาพในการเติมอากาศที่ดีกว่า

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1. ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการเติมอากาศ
- 1.4.2. ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำ (Surface aerator)
- 1.4.3. สร้างเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำ (Surface aerator) ซึ่งอาศัยหลักการของใบพัดที่มีการไหลในแนวรัศมี (Radial flow)
- 1.4.4. ทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการเติมอากาศของใบพัดแบบต่างๆ ทั้ง 6 แบบ คือ ใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ, ใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ, ใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ, ใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ, ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ และ ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบที่ใช้ขับใบพัดต่างๆ คือ 780, 1200 , 1560 และ 1980 รอบต่อนาที
- 1.4.5. สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้

- 1.5.1. มีความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการบำบัดและคุณลักษณะของเครื่องบำบัดน้ำเสีย
- 1.5.2. มีความเข้าใจในการทำงานเกี่ยวกับการออกแบบและการเก็บข้อมูลในการทำงานวิจัย
- 1.5.3. สามารถออกแบบและสร้างเครื่องเติมอากาศที่สามารถใช้ในการทำงานจริงได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ประยุกต์กับงานหลายประเภทได้
- 1.5.4. สามารถนำหลักการมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเพื่อพัฒนาเครื่องเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงและเป็นการพัฒนาเครื่องเติมอากาศที่ช่วยลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีการเติมอากาศ

ในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน จำเป็นต้องมีระบบเติมอากาศเสมอ ดังนั้น การเติมอากาศลงไปใต้น้ำเสียจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่วิศวกรสิ่งแวดล้อมต้องทราบ ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายถึงการถ่ายเทของออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศแทรกเข้าไปใต้น้ำเสีย หรือตะกอนจุลชีพในถังเติมอากาศ การทดลองหาความสามารถในการเติมอากาศลงไปใต้น้ำประเภทต่าง ๆ การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเติมอากาศการคำนวณหาปริมาณออกซิเจนหรืออากาศที่ต้องการสำหรับย่อยสลายสารอินทรีย์ใต้น้ำเสียทั่วไป การคำนวณออกแบบเครื่องเติมอากาศและการเลือกชนิดของเครื่องเติมอากาศพร้อมทั้งถังเติมอากาศด้วย

2.1.1 ทฤษฎีการถ่ายเทออกซิเจน

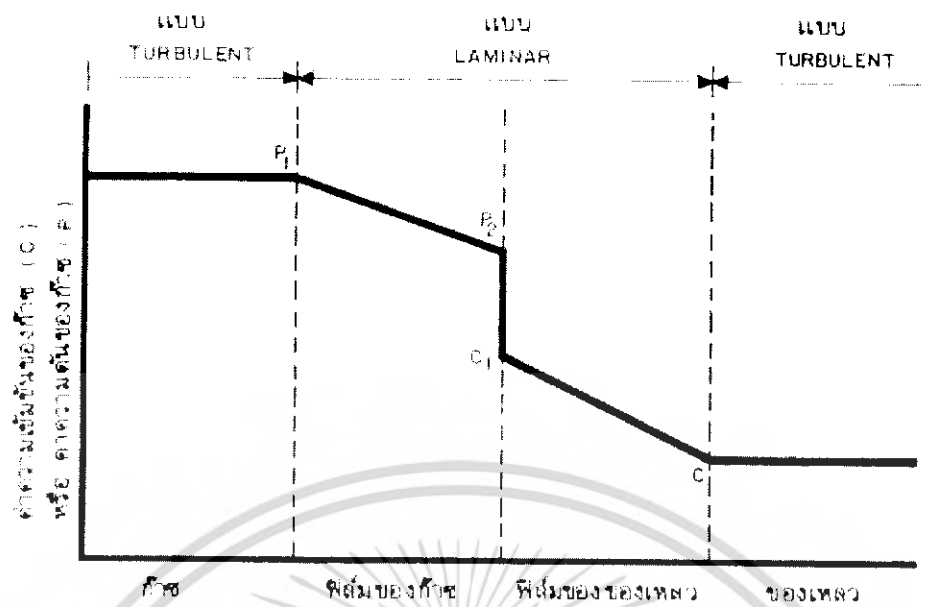
ในปี ค.ศ. 1924 ทฤษฎีของการเติมอากาศได้ถูกศึกษาวิจัยมาหลายลักษณะโดย Lewis และ Whitman จากเอกสารทางวิชาการของ Ind. Eng. Chem., Vol. 16 หน้า 1215 ในหัวข้อ "Principles of Gas Adsorption" ได้อธิบายทฤษฎีการถ่ายเทของก๊าซ โดยพิจารณาเป็น 2 ชั้นคือชั้นของเหลว และชั้นก๊าซ โดยก๊าซ (เช่น ออกซิเจน) จะซึมผ่านชั้นก๊าซและชั้นของเหลว จนกระทั่งเข้าถึงระดับของของเหลว ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซจะค่อย ๆ ลดลง ขณะที่ก๊าซได้ซึมผ่านชั้นก๊าซและชั้นของเหลว ภาพที่ 2.1 ได้แสดงภาพการถ่ายเทของก๊าซ (ออกซิเจน) ซึมผ่านชั้นของเหลว โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นของก๊าซ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

ขั้นตอนของการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศไปสู่ชั้นของเหลวมีอยู่ด้วยกัน 3 ขั้นตอน

ขั้นที่หนึ่ง การถ่ายเทของออกซิเจนจากบริเวณบรรยากาศเข้าสู่ฟิล์มของก๊าซ ซึ่งอัตราการถ่ายเทของออกซิเจนในบริเวณนี้มีอัตราเร็วมาก เนื่องจากความต้านทานในชั้นฟิล์มของก๊าซมีน้อยมาก ค่าความดันของก๊าซจะค่อย ๆ ลดลงแต่ในปริมาณที่น้อย ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.1

ขั้นที่สอง การถ่ายเทของออกซิเจนจากบริเวณฟิล์มของก๊าซเข้าสู่ฟิล์มของของเหลว โดยมากจะมีน้อยมาก เพียงใดขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของบริเวณผิวของเหลว ถ้ามีความปั่นป่วนบริเวณผิวน้ำมากชั้นฟิล์มของน้ำแตกออก ทำให้อัตราการถ่ายเทของออกซิเจนเข้าสู่ผิวน้ำมีมากขึ้น บริเวณชั้นฟิล์มของน้ำมีค่าความเข้มข้นของออกซิเจนจะค่อย ๆ ลดลงจาก C_1 ไปเป็น C

ขั้นที่สาม การถ่ายเทของออกซิเจนจากบริเวณฟิล์มของของเหลวเข้าสู่ชั้นของของเหลวในชั้นนี้จะมีค่าความเข้มข้นของก๊าซ (ออกซิเจน) เท่ากับ C ถ้าน้ำมีการกวนสมบูรณ์ ค่า C จะมีเท่าๆกันในทุกส่วนของน้ำ แต่ถ้าน้ำไม่มีการกวน ค่า C อาจจะมีค่าความแตกต่างกันตามระดับความลึกของน้ำ โดยทั่วไปยิ่งลึกลงไปเท่าใดค่า C จะมีค่าลดลงไปเรื่อย ๆ



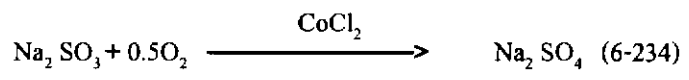
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนบริเวณชั้นผิวของเหลว

2.1.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ

เราสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องหาโดยวิธีทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือในสนามจริง เนื่องจาก $K_L a$ ที่จะทำการทดลองหาจะใช้ได้กับสภาพแวดล้อมนั้นเท่านั้น เพราะจากที่ได้ทราบแล้วว่าค่า $K_L a$ จะขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของน้ำบริเวณชั้นแบ่งระหว่างน้ำกับบรรยากาศ โดยจะเกี่ยวข้องกับชนิดของเครื่องเติมอากาศ ถังเติมอากาศ อุณหภูมิของน้ำ ลักษณะของน้ำ เช่น ความขุ่นของน้ำ ความหนืดของน้ำ เป็นต้น ต่อไปนี้จะเป็นขั้นตอนของการดำเนินการสำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ ($K_L a$)

วิธีดำเนินการ

1. คิดตั้งเครื่องเติมอากาศสำหรับเครื่องเติมอากาศ เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาว่าสามารถเติมอากาศลงไปในน้ำให้ได้ DO ถึง 90 % อิ่มตัว ภายในเวลา 45 นาที
2. เติมน้ำที่ต้องการศึกษา จนถึงปริมาตรที่ต้องการลงไปในถังเติมอากาศ โดยยังคงปิดเครื่องเติมอากาศอยู่
3. ทำการดึงออกซิเจนออกจากน้ำให้หมด ($DO = 0$ มก/ลิตร) โดยการเติมสาร $Na_2 SO_3$ และ $CoCl_2$ ลงไปในน้ำ ตามปฏิกิริยาเคมีข้างล่าง



$$\frac{\text{น.น. โมเลกุลของ}(Na_2SO_3)}{\text{น.น. โมเลกุลของ}(0.5 O_2)} = \frac{126}{16} = 7.9$$

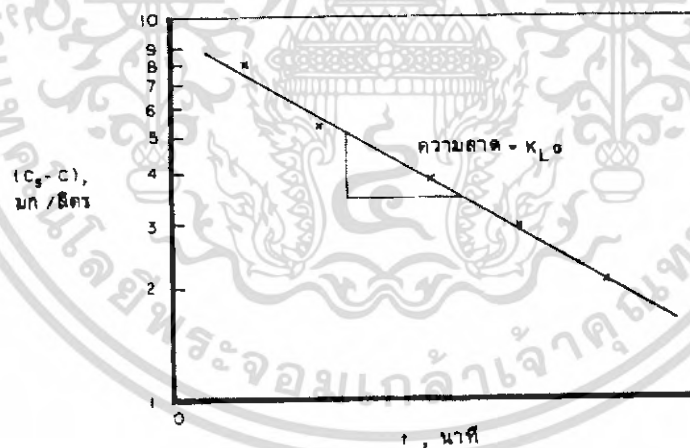
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ข้างบนจะได้ว่าจำเป็นต้องใช้ Na_2SO_3 อย่างน้อย 7.9 มก/ลิตร จึงจะกำจัดหรือลดปริมาณ DO ได้ 1 มก/ลิตร แต่โดยทั่วไปควรเติมปริมาณ Na_2SO_3 ประมาณ 9-10 มก/ลิตร เพื่อให้พอเพียงกับการลด DO ลงไป 1 มก/ลิตร และปริมาณของ CoCl_2 ควรเติมลงไปผสมอยู่ด้วยอย่างน้อย 1.5 มก/ลิตร สำหรับวิธีการในการดึงออกซิเจนออกจากรู้น้ำอาจกระทำได้โดยเติมก๊าซไนโตรเจนลงไปใต้น้ำ

4. หลังจากปริมาณ DO ในน้ำมีเท่ากับ 0 การทดลองจึงได้เริ่มขึ้น ($t = 0$)
5. เริ่มเปิดเครื่องเติมอากาศ และทำการวัดปริมาณ DO ทุก ๆ 5 หรือ 10 นาที แล้วแต่ความเหมาะสม จนกระทั่งถึงจุดใกล้อิ่มตัว ซึ่งอาจใช้เวลาถึงหนึ่งชั่วโมง
6. นำข้อมูลที่วัดได้จากการทดลองมาเติมลงไปในการร่างข้อมูล ดังตารางที่ 2.1

เวลาของการเติมอากาศ(นาที)	C (มก/ลิตร)	$(C_s - C)$ (มก/ลิตร)
0	C_0	$C_s - C_0$
t_1	C_1	$C_s - C_1$
t_2	C_2	$C_s - C_2$
t_3	C_3	$C_s - C_3$
t_4	C_4	$C_s - C_4$

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาค่า $K_L a$



รูปที่ 2.2 แสดงการหาค่า $K_L a$

7. นำข้อมูลจากตารางที่ 2.1 มาคำนวณหาค่า $K_L a$ โดยการวาดกราฟดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งมาคำนวณตามสมการ (2-1) เป็นดังนี้

$$\log C_s - C_t = \log (C_s - C_0) - \frac{K_L a t}{2.303} \quad (2-1)$$

$$K_L a = 2.303 \left(\frac{\log C_1 - \log C_2}{t_2 - t_1} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปรับค่า $K_L a$ สำหรับอุณหภูมิใด ๆ

ค่า $K_L a$ ณ อุณหภูมิ 20°C สามารถคำนวณหาได้จากสมการ (2-2) ซึ่งเป็นสมการที่นิยมเรียกว่าสมการ van't Hoff-Arrhenius โดยจะเห็นได้ว่าค่า $K_L a$ จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสถานะแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงขึ้น

$$K_{La(T)} = K_{La(20^\circ\text{C})} \theta^{(T-20)} \quad (2-2)$$

ในเมื่อ : $K_{La(T)} =$ ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน ณ อุณหภูมิ $T^\circ\text{C}$

$$K_{La(20^\circ\text{C})} = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน ณ อุณหภูมิ } 20^\circ\text{C}$$

$$\theta = \text{ค่าคงที่โดยมากอยู่ในช่วง 1.015 ถึง 1.040 โดยทั่วไปค่า } \theta \text{ เท่ากับ 1.024 สำหรับเครื่องเติมอากาศแบบเป่าอากาศจุ่มใต้น้ำและแบบเติมอากาศบริเวณผิวน้ำ}$$

$$T = \text{อุณหภูมิของน้ำ, } ^\circ\text{C}$$

การคำนวณหาค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจน

ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำ อาจประมาณได้จากสูตร หรือได้จากตาราง

$$C_S = \frac{475 - 2.65S}{33.5 + T} \quad (2.3)$$

ในเมื่อ C_S ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจน, mg/L

S ความเข้มข้นของเกลือแร่ (salinity), g/L

T อุณหภูมิของน้ำ, $^\circ\text{C}$

ถ้าน้ำที่ใช้ในการทดสอบ ไม่มีความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำจะใช้สมการ

$$C_{sT} = 2234.34 (T + 45.93)^{-1.31403} \quad (2.4)$$

T คืออุณหภูมิของน้ำสำหรับการทดสอบ ($^\circ\text{C}$)

C_{sT} ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำที่อุณหภูมิ T (mg/L)

อัตราการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศลงในน้ำ จะเป็นปฏิภาคตรงกับค่าความขาดแคลนออกซิเจน (oxygen Deficit) ของน้ำ ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นอิ่มตัวกับความเข้มข้นจริง ดังนั้นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทออกซิเจนกับความขาดแคลนออกซิเจนจึงเขียนได้เป็นการถ่ายเทมวลระหว่าง อากาศและน้ำโดยมีสมการที่ใช้ (Treybal , 1980)

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

C ความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำ (mg/L)

C_s ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำ (mg/L)

$k_L a$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลทั้งหมด (h^{-1})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

t เวลา (h)

ค่าของ $k_L a$ จะขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของน้ำ (Turbulence) อุณหภูมิความกดดันของบรรยากาศและความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ ในน้ำ

ค่าของ $k_L a$ ที่อุณหภูมิ T ($^{\circ}\text{C}$) จะมีความสัมพันธ์กับค่า $K_L a$ ที่อุณหภูมิ 20°C ดังสมการในการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป เราสามารถใช้สมการการแปลงกลับเพื่อให้ข้อมูลมาตรฐานอุณหภูมิเดียวกันได้ดังนี้ (Boyd, 1986; P o pel, 1985)

$$k_L a_{Tr} = \frac{k_L a_T}{1.024^{(T-Tr)}} \quad (2.6)$$

จะเห็นได้ว่าสามารถคำนวณอัตราการถ่ายเทออกซิเจนได้จากค่า $K_L a$ สำหรับ มาตรฐานทั่วไปในระบบเติมอากาศ จะวัดประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศในน้ำสะอาดเป็นน้ำหนักของออกซิเจนต่อหน่วยกำลังงานที่ใช้ภายในระยะเวลาหนึ่งชั่วโมง สมรรถนะของ Aerator จะมีมาตรฐานที่ใช้วัดที่อุณหภูมิมาตรฐานคือ

ประเทศเยอรมัน ใช้อุณหภูมิ 10°C (Wagner, 1997)

ประเทศอเมริกา ใช้อุณหภูมิ 20°C (ASCE standard, 1992)

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

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

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

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

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

ดังนั้นที่สภาวะการใช้งานจริงๆ ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของระบบเติมอากาศจะมีค่าต่างจากค่าที่หาได้ภายใต้สภาวะมาตรฐาน ถ้าอุณหภูมิของน้ำทิ้ง สูงกว่า 20°C (10°C) และต้องการรักษาความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำทิ้งให้สูงกว่า 0 mg/L ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะการใช้งานจะต่ำกว่าค่าที่สภาวะมาตรฐาน และคำนวณได้จากสมการสำหรับหาประสิทธิภาพของ Aerator คือ

สำหรับหาประสิทธิภาพของ Aerator คือ

$$AE_r = \frac{OTR_r V}{P} \quad (2.7)$$

AE_r ประสิทธิภาพของ Aerator ที่อุณหภูมินั้น

V ปริมาตรของน้ำ (m^3)

P กำลังงานที่ใช้ในการขับใบพัด

โดยกำลังที่ใช้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \quad (2.8)$$

P กำลังงานที่ใช้ในการขับใบพัด

T แรงบิด (N.m)

n ความเร็วรอบใบพัด (rpm)

2.2 ทฤษฎีการออกแบบใบพัด

2.2.1 การไหลผ่านวัตถุกลม

เป็นการไหลที่เกิดจากความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ ระหว่างวัตถุของแข็งที่จมอยู่ในของไหล โดยที่ของไหลกระทบพื้นผิวของแข็งทำให้เกิดแรง ซึ่งแรงที่กระทำเกิดทั้งแรงตั้งฉากและแรงขนาน ในที่นี้สามารถที่จะพิจารณา แรงที่กระทำกับพื้นผิวรวมนี้ได้ \vec{F} ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ผ่านของไหลที่มีความหนืด จะมีแรงเกิดขึ้น 2 แบบคือแรงเฉือนและแรงที่เกิดจากความดันที่มากกระทำกับวัตถุ

$$\vec{F} = \int_{\text{body surface}} d\vec{F} = \int_{\text{body surface}} d\vec{F}_{\text{shear}} + \int_{\text{body surface}} d\vec{F}_{\text{pressure}} \quad (2.9)$$

ผลลัพธ์ของแรง \vec{F} ประกอบด้วยทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากการเคลื่อนที่ แรงที่เกิดจากทิศทางที่ขนานการไหลเรียกว่าแรงต้าน F_D และแรงที่เกิดจากทิศทางตั้งฉากเรียกว่าแรงยก F_L ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

และ

$$dF_{\text{shear}} = \tau w dA$$

$$dF_{\text{pressure}} = -pdA$$

2.2.2 แรงต้านการไหล (Drag)

แรงต้านการไหลเป็นส่วนหนึ่งของแรงกระทำกับวัตถุ ในทิศทางที่ขนานของการเคลื่อนที่ ซึ่งจำเป็นต้องได้ผลการทดลองเป็นข้อมูลในการอ้างอิงทางกลศาสตร์ของไหล เราพิจารณาปัญหาของการหาแรงต้านการไหล F_D ของทรงกลมเรียบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d ที่เคลื่อนที่ผ่านของไหลที่มีความหนืด เป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ซึ่งมีความเร็ว v โดยที่ของไหลมีค่าความหนาแน่น ρ และความหนืด μ แรงต้านการไหล F_D สามารถเขียนในรูปของฟังก์ชันได้ดังนี้

$$F_D = f_1(d, V, \mu, \rho) \quad (2.10)$$

การประยุกต์ทฤษฎีของ Buckingham Pi ผลลัพธ์ 2 มิติ สามารถแสดงในรูปแบบของตัวแปรได้ดังนี้

$$\frac{F_D}{\rho v^2 d^2} = f_2\left(\frac{\rho v d}{\mu}\right)$$

ในที่ d^2 มาจากพื้นที่หน้าตัด ($A = \pi d^2/4$) เราสามารถเขียนในรูปใหม่ได้เป็น

$$\frac{F_D}{\rho v^2 A} = f_3\left(\frac{\rho v d}{\mu}\right) = f_3(Re) \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.11 ใช้ได้กับการไหลทรงกลมและใช้กับการไหลในของไหลอัดตัวไม่ได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าเรย์โนลด์ (Reynolds number) ที่กระทำกับรูปทรงของวัตถุ สัมประสิทธิ์ของค่าแรงต้านทานการไหล C_D (Drag coefficient) โดยมีนิยามดังนี้

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \quad (2.12)$$

ซึ่งผลรวมของแรงต้านทานการไหลที่เกิดขึ้นเกิดจากผลรวมของแรงต้านทาน เนื่องจากเสียดทาน และแรงต้านทานที่เกิดจากความดัน อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานก็ยังเป็นฟังก์ชันของค่าเรย์โนลด์ (Reynolds number)

2.2.3 แรงต้านทานการไหลในแนวขนานของทิศทางการไหล (Friction Drag)

ในที่นี้การไหลจะเป็นการพิจารณา ในกรณีที่ความดันที่กระทำกับพื้นผิวที่ตั้งฉากการไหลเป็นศูนย์ ดังนั้นแรงต้านทานการไหลจะมีค่าเท่ากับแรงต้านทานการไหลที่เกิดจากแรงเสียดทาน ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$F_D = \int_{\text{plate surface}} t_w dA$$

และ

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} = \frac{\int_S t_w dA}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \quad (2.13)$$

โดยที่ A เป็นพื้นผิวที่สัมผัสกับของเหลว ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานการไหล จะขึ้นอยู่กับค่าความเค้นที่กระทำกับพื้นผิว

สำหรับการไหลแบบลามินาร์ (Laminar) ที่ไหลผ่านพื้นผิวกับแผ่นเรียบ ค่าสัมประสิทธิ์ความเค้นเฉือนมีค่าดังนี้

$$C_f = \frac{t_w}{\frac{1}{2} \rho U^2} = \frac{0.664}{\sqrt{R}} e_x \quad (2.14)$$

สัมประสิทธิ์แรงต้านการไหล ในกรณีที่มีความเร็วการไหลเท่ากับ V ความยาวแผ่นเรียบ L และความกว้าง b เมื่อเราแทนสมการ 2.14 ในสมการ 2.13 จะได้

$$C_D = \frac{1}{A} \int_A 0.664 R e_x^{-0.5} dA = \frac{1}{bL} \int_0^L 0.664 \left(\frac{V}{\nu}\right)^{-0.5} x^{-0.5} b dx$$

$$C_D = \frac{1.33}{\sqrt{R}} e_x \quad (2.15)$$

สำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ (Turbulent) ที่มีการไหลผ่านพื้นผิวกับแผ่นเรียบ ค่าสัมประสิทธิ์ความเค้นเฉือนมีค่าดังนี้

$$C_f = \frac{t_w}{\frac{1}{2}\rho U^2} = \frac{0.0594}{R e_x^{1/5}} \quad (2.16)$$

แทนค่าของสมการ 2.16 ในสมการ 2.13 จะได้

$$C_D = \frac{1}{A} \int_A 0.0594 R e_x^{-0.2} dA = \frac{1}{bL} \int_0^L 0.0594 \left(\frac{V}{n}\right)^{-0.2} x^{-0.2} b \, dx$$

$$C_D = \frac{0.0742}{R e_x^{1/5}} \quad (2.17)$$

สำหรับสมการ 2.17 ใช้ในกรณี $5 \times 10^5 < R e_L < 10^7$

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานการไหล มีการปรับปรุงแก้ไขได้ดังสมการนี้

$$C_D = \frac{0.0742}{R e_x^{1/5}} - \frac{1740}{R e_L} \quad (5 \times 10^5 < R e_L < 10^7) \quad (2.18)$$

หรือใช้สมการ

$$C_D = \frac{0.455}{(\log R e_L)^{2.58}} - \frac{1610}{R e_L} \quad (5 \times 10^5 < R e_L < 10^9) \quad (2.19)$$

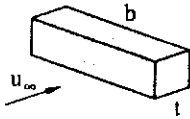
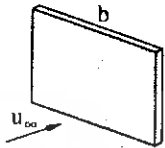
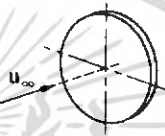


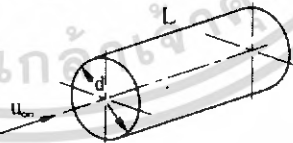
2.2.4 แรงต้านทานการไหลในแนวตั้งฉากของทิศทางการไหล (Pressure Drag)

ในการไหลแนวตั้งฉากทิศทางการไหล จะไม่มีค่าความเค้นเฉือนมากระทำ เพราะฉะนั้นแรงต้านทานการไหล จะเกิดเนื่องจากความดันที่มากระทำ ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$F_D = \int_{\text{surface}} p dA \quad (2.20)$$

ในการคำนวณหาแรงต้านที่เกิดขึ้นในแนวตั้งฉาก จะขึ้นอยู่กับรูปทรงที่ของไหลไหลผ่านซึ่งสามารถหาค่าของ C_D ของรูปทรงที่เหลี่ยมพื้นผ้าจากตาราง 2.2 แล้วนำค่า C_D แทนในสมการ 2.21 เพื่อหาค่า F_D

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.21)$$

วัตถุ	รูปแสดงการไหล		$C_{D,T}$
1. แท่งวัตถุหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส		$\frac{b}{t} = \infty$	2.1
		$\frac{b}{t} = 1$	1.06
2. แผ่นระนาบสี่เหลี่ยมผืนผ้า		$\frac{b}{t} = 1$	1.18
		5	1.20
		10	1.30
		20	1.50
		∞	2.00
3. แผ่นวงกลม			1.17
4. ครึ่งทรงกลมกึ่งกลาง			1.42
			0.38
5. แผ่นวงแหวน			1.20
6. ทรงกระบอกตัน		$\frac{L}{d} = 0.5$	1.15
		1	0.90
		2	0.85
		4	0.87
		8	0.99

ตารางที่ 2.2 แสดงสัมประสิทธิ์แรงดลรวมบนวัตถุ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การออกแบบและการคำนวณใบพัด

ในส่วนการออกแบบใบพัดนี้จะใช้ทฤษฎีเนื้อหาของบพนี้ที่ได้กล่าวมาข้างต้น เพื่อใช้ในการคำนวณหากำลังที่ใช้ในการขับใบพัดและความดันที่เกิดหลังใบพัด ซึ่งความดันด้านหลังใบพัดที่เกิดขึ้น จะมีค่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ในการคำนวณค่าที่ได้นั้นเป็นการประมาณค่าอย่างคร่าวๆ ซึ่งการคำนวณที่ใช้ในการขับใบพัดจริงจะได้มาจากการทดลองซึ่งจะมีความแม่นยำมากกว่า

$$F = F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot rAV^2$$

$$dF = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot rV^2 (Ddr) \quad (2.22)$$

โดยที่ค่าแรงต้านทานการไหล C_D และค่าความเร็ว V ขึ้นอยู่กับรัศมีของใบพัดและความเร็วเชิงมุม โดยสามารถแสดงได้สมการดังนี้

$$V = rw = r \left(\frac{2\pi N}{60} \right) \quad (2.23)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.23 แทนในสมการ 2.22 จะได้

$$dF = \frac{1}{2} \cdot C_D \{r\} \cdot r(rw)^2 (Ddr)$$

$$F = \int dF = \frac{1}{2} rw^2 D \int_{r_1}^{r_2} C_D \{r\} \cdot r^2 dr \quad (2.24)$$

คำนวณหาจุดศูนย์กลางแรงที่กระทำกับใบพัด โดยการอินทิเกรตหาจุดศูนย์กลางที่แรงกระทำได้ดังสมการนี้

$$\bar{r} = \frac{\int_{r_1}^{r_2} r \cdot dF}{\int_{r_1}^{r_2} dF} = \frac{\frac{1}{2} rw^2 D \int_{r_1}^{r_2} C_D \{r\} \cdot r^3 dr}{\frac{1}{2} rw^2 D \int_{r_1}^{r_2} C_D \{r\} \cdot r^2 dr} = \frac{\int_{r_1}^{r_2} C_D \{r\} \cdot r^3 dr}{\int_{r_1}^{r_2} C_D \{r\} \cdot r^2 dr} \quad (2.25)$$

เพราะฉะนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้นกับใบพัดที่กระทำกับหนึ่งก้านใบพัดมีค่าเท่ากับ

$$T = F \cdot \bar{r} \quad (2.26)$$

เนื่องจากใบพัดมี 4 ก้านใบพัด จึงต้องนำ 4 คูณในสมการ 2.26 จะได้

$$T = 4F \cdot \bar{r} \quad (2.27)$$

เพราะฉะนั้นกำลังที่ใช้ในการขับใบพัดในทางทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.28

$$P = \frac{2\pi TN}{60} \quad (2.28)$$

เราจะพบว่าในการคำนวณหากำลังที่เกิดจากใบพัดในสมการ 2.28 นี้ เป็นการคำนวณที่ได้จากทางทฤษฎี โดยที่มีตัวแปรเพียงบางส่วนของผลลัพธ์กำลังที่ใช้ในการขับใบพัด ซึ่งในทางปฏิบัติยังมีตัวแปรอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ส่งผลกับกำลังที่ใช้ในการขับใบพัดอีก แต่การคำนวณกำลังที่ใช้ในการขับใบพัดนี้นั้น เป็นแนวทางที่ดีในการเลือกขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับใบพัดที่เหมาะสม ซึ่งในการหาค่ากำลังที่ใช้ในการขับใบพัดจริงสามารถหาได้จากการทดลองได้

2.3 ทฤษฎีการออกแบบเพลา

2.3.1 ขนาดของเพลา

เพื่อให้เพลาที่มีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (nominal size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลาด้วยขนาดระบุของเพลา ดูได้จากตารางที่ 2.3

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

ตารางที่ 2.3 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO/R 775-1969

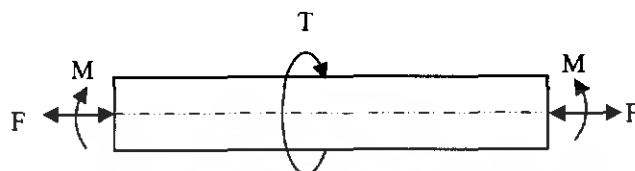
2.3.2 การออกแบบเพลาตามโค้ดของ ASME

ก่อนปี พ.ศ.2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) ถึงแม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตาม วิธีการออกแบบเพลาตามโค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static design method) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลาตามโค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเสียหายแน่นอนที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static design method) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลลา ให้พิจารณาเพลลาในรูปที่ 2.4 ให้เพลลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d ตามลำดับ ความเค้นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนเพลลา มีดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 2.3 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

ความเค้นดึงหรือกด
$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.29)$$

ความเค้นดัด
$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.30)$$

ความเค้นเฉือน
$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.31)$$

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลจากการโก่งงอ (buckling) ได้ ดังนั้นจะได้

$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.32)$$

เพลลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้นเพลลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีการแบบสถิตยศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (fatigue factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

ถ้าให้ C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการที่ (2.30) และสมการที่ (2.31) จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m M d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ
$$\tau_{xy} = \frac{12C_t T d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.34)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \quad (2.35)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \left[\tau_{xy}^2 + \left(\frac{\sigma}{2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.36)$$

แทนค่าสมการที่ (2.32),(2.33),(2.34) และสมการที่ (2.35) ลงในสมการ (2.36) แล้วจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[(C_t T)^2 + \left(\frac{\alpha F d (1+K^2)}{8} + C_m M \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.37)$$

โดยที่ $K = d_i/d$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วยสมการที่ (2.37) จะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (2.38)$$

หรือในกรณีของเพลาดัน $K = d_i/d = 0$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.38) ก็จะได้สมการที่มีรูปคล้ายกับในหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไปคือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (2.39)$$

ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำ ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2.4

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายู่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลามวน		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

ตารางที่ 2.4 ค่าตัวประกอบความถี่

สำหรับตัวประกอบของการโค้งงอ ASME ได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$\alpha = 1 \quad \text{เมื่อ } F \text{ เป็นแรงดึง}$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0.0044(L/k)} \quad \text{เมื่อ } \frac{L}{K} \leq 115$$

$$\alpha = \frac{\sigma_y(L/k)^2}{\pi^2 v E} \quad \text{เมื่อ } \frac{L}{K} \leq 115$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด (Strain gauge)

3.1.1. ความเครียดและความเค้น (Strain and Stress)

ความเครียดเป็นผลอันเกิดมาจากแรงที่พยายามทำให้วัตถุเปลี่ยนขนาดหรือรูปร่างไปจากเดิม ซึ่งแรงที่กระทำลำนี้นี้เรียกว่าความเค้น



รูปที่ 3.1 แสดงการดึงของแรงที่กระทำกับทั้งสองด้านของแท่งโลหะ

ในรูปที่ 3.1 (a) เป็นการแสดงการดึงของแรงที่กระทำกับทั้งสองด้านของแท่งโลหะ ซึ่งเป็นเหตุให้แท่งโลหะนั้นยืดตัวออก และในกรณีกลับกันหากมีแรงอัดที่กระทำกับทั้งสองด้านของแท่งโลหะ ก็จะเป็นเหตุให้แท่งโลหะนั้นหดตัวเข้ามามีรูปร่างดังรูป (b)

ความเค้นที่เกิดจากการดึงและการอัดตัวของแรงสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\sigma = F/A \quad (3.1)$$

โดยที่

σ	=	ความเค้น (stress) (N/m^2)
F	=	แรงที่ใช้กับวัตถุ (N)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่ได้รับแรง (m^2)

ส่วนความเครียดที่เปลี่ยนแปลงไปในส่วนของความยาวอันเนื่องมาจากการกระทำของแรงนั้น ก็สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้

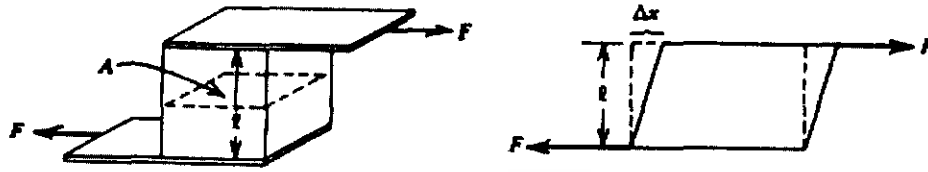
$$\epsilon = \Delta l/l \quad (3.2)$$

โดยที่

ϵ	=	ความเครียด (strain)
Δl	=	ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (m)
l	=	ความยาวเดิมก่อนที่จะถูกแรงกระทำ (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับความเค้นและความเครียดที่เกิดจากแรงเฉือน (shear stress – strain) ในรูปที่ 3.2 นั้น เป็นการแสดงกรณีเมื่อแรงที่กระทำกับวัตถุไม่ได้อยู่บนแนวเส้นตรงเดียวกันหรือก็คือ แรงเฉือนนั่นเอง



รูปที่ 3.2 แสดงแรงเฉือนที่กระทำกับวัตถุ

$$\epsilon = \Delta x / l \quad (3.3)$$

โดยที่ Δx = ระยะที่เปลี่ยนแปลงไปจากแนวเดิม (m)

l = ระยะความหนาหรือความสูงเดิม (m)

โดยทั่วไป ไปนั้นหากเรานำเอาแท่งโลหะชนิดหนึ่งมายืดด้วยเครื่องทดสอบและทำการวัดอย่างเที่ยงตรงแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

ในรูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด มีจุดที่น่าสนใจดังต่อไปนี้ คือในช่วงแรกของเส้นโค้งนั้นค่อนข้างจะเป็นเส้นตรง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือความชัน (slope) มีค่าคงที่ เมื่อพ้นจุด PL นี้เรียกว่า จุดจำกัดสัดส่วน (Proportional limit) จากจุด PL ถึงจุด YP นั้น วัสดุยังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในขอบเขตของการยืดตัวและยังสามารถกลับมามีความยาวเดิมได้เมื่อมีแรงมากกระทำในลักษณะที่ตรงกันข้าม ณ จุดจุด YP นี้เป็นจุดล้า (yield point) ของวัตถุเมื่อถึงจุด YP ความเครียด จะยังคงมีอยู่ถึงแม้ว่าจะไม่มีการเพิ่มแรงกระทำก็ตาม เมื่อวัตถุยืดตัวจนเลขจุด YP แล้ว วัตถุนั้นจะไม่สามารถกลับไปยังค่าความยาวเดิมได้อีกแม้ว่าจะมีแรงมากกระทำในทิศทางตรงกันข้ามก็ตาม

3.1.2. หลักการทำงานของเซนเซอร์

จากคำนิยามของ ความเครียด ที่ได้กล่าวถึงในตอนต้น ถ้าวัสดุซึ่งเป็นโลหะที่นำมาใช้เป็นตัวนำทางไฟฟ้าจะนำไปสู่ความเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของตัวนำ จากสมการพื้นฐานความต้านทานของตัวนำที่ว่า

$$R = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{CD^2} \quad (3.4)$$

โดยที่ ρ = สภาพต้านทานทางไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานจำเพาะของตัวนำนั้นๆ l = ความยาวของตัวนำ A = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำซึ่งมีค่าเท่ากับ CD^2 โดยค่า C ในที่นี้หมายถึงสัดส่วนคงที่ เช่น ถ้าเป็นวงกลม $C = \pi/4$ หรือถ้าเป็นสี่เหลี่ยม $C = 1$ เป็นต้น ส่วน D นั้นหมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลาง

เมื่อมีแรงกระทำต่อโลหะตัวนำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกลขึ้นกับโลหะตัวนำนั้น โดยจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามไปด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดังกล่าวสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการดิฟเฟอเรนเชียลของสมการที่ 3.4 ได้ว่า

$$\begin{aligned} dR &= \frac{DC^2(l d\rho + \rho dl) - 2C\rho D dD}{CD^2} \\ dR &= \frac{1}{CD^2} \left[(l d\rho + \rho dl) - 2\rho l \frac{dD}{D} \right] \end{aligned} \quad (3.5)$$

หารสมการที่ (3.5) ด้วยสมการที่ (3.4)

$$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} - 2 \frac{dD}{D} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (3.6)$$

หรืออาจเขียนใหม่ก็จะได้ว่า

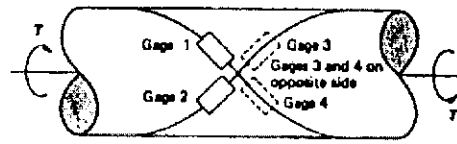
$$\frac{dR/R}{dl/l} = 1 - 2 \frac{dD/D}{dl/l} + \frac{d\rho/\rho}{dl/l} \quad (3.7)$$

เมื่อ dl/l = ความเครียดในแนวแกน (ϵ_a = axial strain)

dD/D = ความเครียดด้านข้าง (ϵ_l = lateral strain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การติดตั้งเตรนเกอ



รูปที่ 3.4 แสดงการติดตั้งเตรนเกอบนท่อ

รูปที่ 3.5 แสดง Slip rings

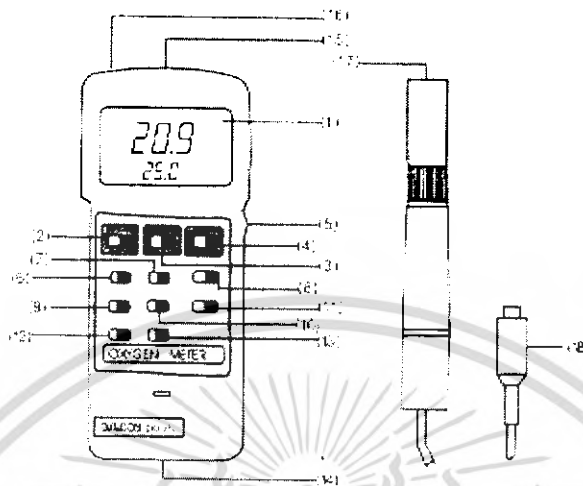
3.2 อุปกรณ์การวัดปริมาณของออกซิเจน



รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนและโพรวัดออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การปรับแต่งเครื่องก่อนทำการวัด ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้



รูปที่ 3.7 แผงหน้าปัดของเครื่องวัดปริมาณออกซิเจน

1. ถอดปลั๊กไฟรับออกซิเจน (18) จากรูปที่ 3.7 ออกจากช่องเสียบ (15) จากรูปที่ 3.7
2. กดสวิทช์ เปิด-ปิด เครื่อง ไปอยู่ที่ตำแหน่ง เปิด (2) จากรูปที่ 3.6
3. กดสวิทช์เลือก DO/O₂ (11) จากรูปที่ 3.7 ไปอยู่ตำแหน่ง “O₂” แล้วทำการกดปุ่มค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน (10) จากรูปที่ 1 ไปตำแหน่ง 0% และปรับปุ่ม ZERO ADJUST(9) จากรูปที่ 3.7 ไปเรื่อยๆจนจอแสดงผลแสดงค่าออกเป็นศูนย์
4. ปิดเครื่องแล้วต่อปลั๊กไฟรับออกซิเจน (18) จากรูปที่ 3.7 กลับเข้ายังช่องเสียบ (15) จากรูปที่ 3.7 หลังจากนั้น ก็ให้เปิดเครื่อง รออย่างน้อยประมาณ 5 นาที จนกระทั่งเครื่องวัดสามารถอ่านค่าได้ เท่ากับ 20.9 หรือ 20.8 ซึ่งเป็นค่าออกซิเจนในอากาศเท่ากับ 20.9 % ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลตามนี้ในการปรับแต่งเครื่องก่อนใช้งานซึ่ง จะทำให้รวดเร็วและมีความแม่นยำสูง

3.2.2 การวัดปริมาณออกซิเจนในของเหลว (DO)

1. หลังจากปรับแต่งมิเตอร์แล้ว ไม่ต้องปรับปุ่ม O₂ CAL อีก
2. กดสวิทช์เลือก DO/O₂ (11) จากรูปที่ 3.7 ไปยังตำแหน่ง “DO”
3. กดชดเชยเปอร์เซ็นต์ความเค็ม “% Salt” ของไฟรับวัด
 - (ก) ขั้นแรกกดปุ่ม “% Salt” (10) จากรูปที่ 1 ที่จอแสดงผล
 - (ข) จากนั้นปรับปุ่ม “Factor Adj” (8) จากรูปที่ 3.7 ถ้าจะเพิ่มค่าความเค็มอีก “1%” จากค่า % ความเค็มเดิมให้ปรับไปค่าที่ต้องการโดยปรับปุ่ม “% Salt”(10) จากรูปที่ 3.7 อีกครั้งก็เป็นอันเรียบร้อยค่าเปอร์เซ็นต์ความเค็มใหม่ก็จะปรากฏขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) ถ้าของเหลวที่วัดเป็นน้ำบริสุทธิ์ไม่สามารถที่จะชั่งบอกลงถึงเปอร์เซ็นต์ของความเค็มได้ ให้ทำการปรับปุ่ม “% Salt” (10) จากรูปที่ 3.7 ไปยังตำแหน่ง 0%

4. การชดเชยค่าความสูง “Height” ของโพรับวัด

เลื่อนสวิตช์เลือกย่านการวัดไปที่ตำแหน่ง DO เป็นการวัดที่ระดับน้ำทะเล อย่างไรก็ตามถ้าจะทำการวัดแต่ไม่รู้ระดับความเค็มให้ปรับระดับไว้ที่ศูนย์ (0 meter) เมื่อค่าแสดงการปรับความสูง “Height” จะสามารถชดเชยค่าความสูงของโพรับวัดเมื่อทำการวัดค่า DO

(ก) ขั้นแรกกดปุ่มความสูง “MT” (13) จากรูปที่ 3.7

(ข) กดปุ่ม “Factor Adj” (8) จากรูปที่ 3.7 ถ้าจะเพิ่มระดับความสูง “100 Meters” จากค่าความสูงเดิมให้ปรับไปที่ต้องการ โดยกดปุ่ม “MT” (Height) (10) จากรูปที่ 3.7 อีกครั้งก็เป็นอันเรียบร้อย ค่าความสูงใหม่ก็จะปรากฏขึ้น(หน่วยการแสดงผลเป็น “เมตร”)

5. (ก) จุ่มโพรับวัดลงไปในของเหลวที่ต้องการวัดอย่างน้อย 10 ซม. ซึ่งโพรับจะสามารถวัดค่าที่แท้จริงได้ โดยอุณหภูมิจะมีผลต่อโพรับของเครื่องวัด และสามารถชดเชยอุณหภูมิได้โดยอัตโนมัติ

(ข) อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่โพรับวัดและของเหลวที่เราต้องการวัดจะต้องสมดุลกันหรือเท่ากัน เมื่อเราจุ่มโพรับในของเหลว ให้อุณหภูมิจะสามารถอ่านค่าได้

6. (ก) การวัดปริมาณออกซิเจนในของเหลว เพียงจุ่มโพรับวัดลงในสารละลายอัตราการไหลวน ที่สารละลายจะเกิดการสัมผัสกับตัวโพรับวัดอย่างน้อย 0.2-0.3 เมตร/วินาที หรือให้เขย่าโพรับวัด

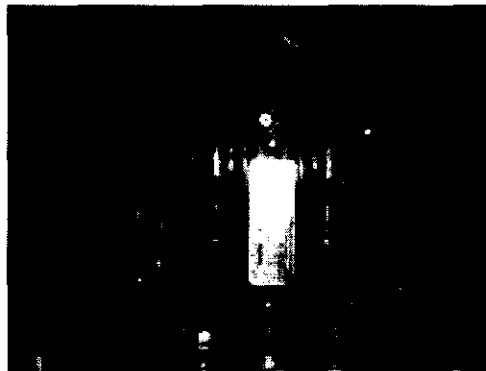
(ข) ในระหว่างทำการวัด ให้ใช้ตัวเขย่าแบบแม่เหล็กเพื่อให้อัตราการไหลวนคงที่แน่นอน การวัดของของเหลวโดยวิธีนี้จะทำให้เกิดการผิดพลาดได้ เนื่องจากการกระจายของออกซิเจนในอากาศ และในสารละลายถูกกลดทอนต่ำมาก

7. หลังจากใช้โพรับวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ล้างทำความสะอาดโพรับด้วยน้ำธรรมดาให้สะอาด

3.3 เครื่องทดสอบ

ในการทดลองจะใช้เครื่องทดสอบการละลายตัวของออกซิเจนในน้ำประกอบด้วย Motor 3 phase, อินเวอร์เตอร์ (Inverter), เครื่องวัดค่าความเร็วรอบ (Tachometer), มัลติมิเตอร์ (Multimeter) และ ถังน้ำ (Tank)

3.3.1 มอเตอร์ (Motor) เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนของเครื่องเดิมอากาศ ดังแสดงในรูป 3.7 เป็นมอเตอร์สามเฟส ½ Hp 1380 rpm



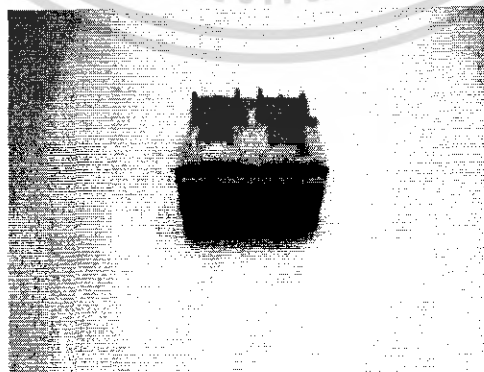
รูปที่ 3.8 แสดงมอเตอร์ที่ใช้งาน

3.3.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยอินพุตไฟฟ้า 1 เฟส 220 V และเอาต์พุตออกเป็น 3 เฟส 220 V



รูปที่ 3.9 อินเวอร์เตอร์

3.3.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) เป็นชุดอุปกรณ์ที่อ่านจำนวนรอบของเพลาโดยแสดงผลบนจอดิจิทัล



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ถังน้ำ (Tank) เป็นถังสำหรับใส่น้ำวัดที่ใช้ทำเป็นเหล็กคาร์บอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เมตร สูง 1 เมตร ตัวถังทาสีกันสนิมเพื่อป้องกันผลกระทบในการทดลอง และ รอบตัวถังคลุมด้วยพลาสติกใส เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำกระเด็นออกนอกตัวถังเป็นการควบคุมปริมาณของน้ำ



รูปที่ 3.11 ถังน้ำ (Tank)

3.3.5 มัลติมิเตอร์(Multimeter) เป็นเครื่องวัด โวลต์เอาพุท(Out put) ที่วัด ได้จากสเตรนเกจที่ต่อกันแบบ วงจรบริดจ์ซึ่งจะนำมาคำนวณหาทอร์ก และกำลังที่กระทำต่อเพลลาที่ใช้ขับ ใบพัด



รูปที่ 3.12 แสดงมัลติมิเตอร์(Multimeter)

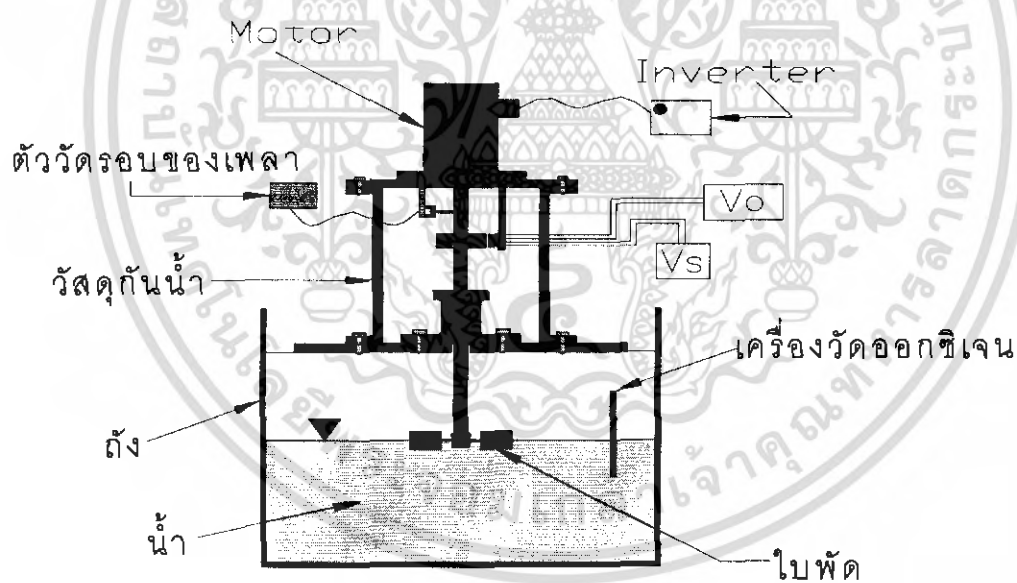
3.3.6 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยสารสาร โซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) เพื่อใช้ลดออกซิเจนใน น้ำ และสาร โคบอลท์คลอไรด์ (CoCl_2) เพื่อใช้เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



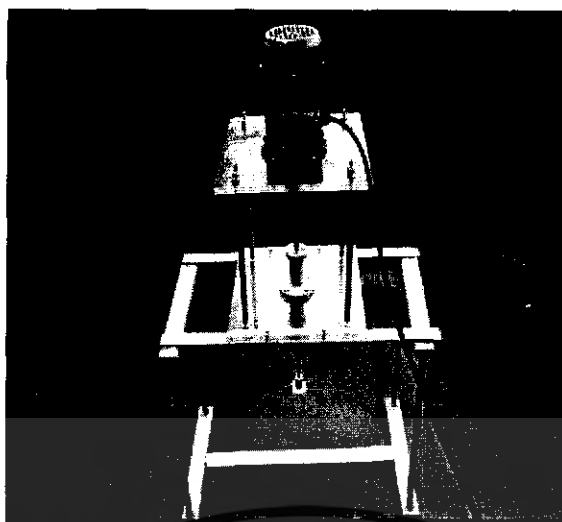
รูปที่ 3.13 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.7 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัด



รูปที่ 3.14 แสดงแผนภาพรวมของอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ภาพถ่ายเครื่องเทิมอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

4.1 การทดลองหาประสิทธิภาพการเติมอากาศ

การทดลองหาประสิทธิภาพการเติมอากาศของโครงการนี้เป็นการทดลองเพื่อหา รูปร่างของใบพัดแบบการไหลในแนวรัศมี (Radial flow) จำนวนของใบพัด(4 และ 6 ใบ) ความเร็วรอบที่ใช้ขับใบพัด (780 ,1200 ,1560 และ 1980) ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการเติมอากาศอย่างไร

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ชุดจำลองเครื่องเติมอากาศ
- เครื่องมือวัดการละลายตัวออกซิเจน (Do Meter)
- เครื่องมือวัดรอบ (Tachometer)
- เครื่องปรับความเร็วรอบ (Inverter)
- มัลติมิเตอร์
- สาร โซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3)
- สาร โคบอลท์คลอไรด์ (CoCl_2)
- ถังใส่น้ำ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เมตร)

4.1.2 วิธีทดลอง

- 1.ติดตั้งชุดจำลองเครื่องเติมอากาศลงในถัง
- 2.สูบน้ำใส่ถังให้ได้ระดับน้ำสูง 30 เซนติเมตร
- 3.เดินเครื่องเติมอากาศเป็นเวลานานหลายชั่วโมงเพื่อให้ความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำในถังมีค่าอิ่มตัว
- 4.วัดค่าความเข้มข้นของออกซิเจนของน้ำในถังเทียบกับค่าที่ได้จากค่ามาตรฐานของปริมาณออกซิเจนอิ่มตัว
- 5.เติมสารประกอบโคบอลท์คลอไรด์ (CoCl_2) ลงในน้ำในถังจนความเข้มข้นของโคบอลท์คลอไรด์เป็น 1.0 mg/L เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)
- 6.เตรียมน้ำยาโซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) ในถังเล็กอีกใบหนึ่ง ให้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เท่ากับ 1.25 เท่าของปริมาณที่ต้องใช้ตามทฤษฎีในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ เพื่อใช้เป็นตัวลดปริมาณออกซิเจนในน้ำให้เท่ากับ 0 mg/l
- 7.ระบายน้ำยาโซเดียมซัลไฟด์ที่เตรียมไว้ลงในถังทดสอบ โดยระบายลงหลาย ๆ จุดรอบถังทดสอบ
- 8.เดินเครื่องเติมอากาศนานประมาณ 3 - 5 นาที เพื่อให้ น้ำในถังทดสอบผสมกับน้ำยาโซเดียมซัลไฟด์โดยทั่วถึง (ใช้วิธีการวนน้ำเพิ่มอีกเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นและทั่วถึง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.หยุดเครื่องเติมอากาศนานประมาณ 10-15 นาที เพื่อให้ปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมซัลไฟท์กับออกซิเจนเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์

10.เดินเครื่องเติมอากาศที่ความเร็วรอบ 780 รอบต่อนาที แล้ววัดปริมาณออกซิเจนในน้ำทุกๆ ระยะเวลา 5 นาที ที่จุด 3/4 ของระยะห่างระหว่างเครื่องเติมอากาศกับผนังถังทดสอบ

11.วิเคราะห์ความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำด้วยเครื่องมือวัดการละลายตัวของออกซิเจน (DO meter) ของน้ำทันที เพื่อหาความเข้มข้นของออกซิเจนโดยใช้วิธีเคมี และนำค่าความเข้มข้นของออกซิเจนไปลบออกจากค่าความเข้มข้นอิ่มตัว

12.วัดปริมาณทอร์คที่ใช้ในการขับใบพัด

13.พล็อตค่าความขาดแคลนออกซิเจนกับเวลาแบบ Semi-Log จะได้เส้นตรงค่าความชัน (slope) ของเส้นตรงที่ได้คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน ($k_L a$)

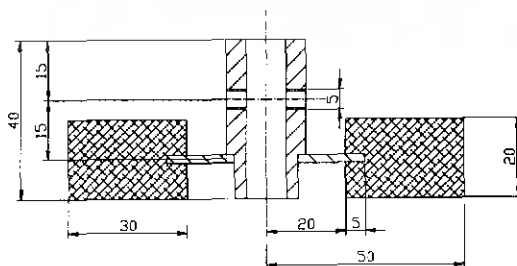
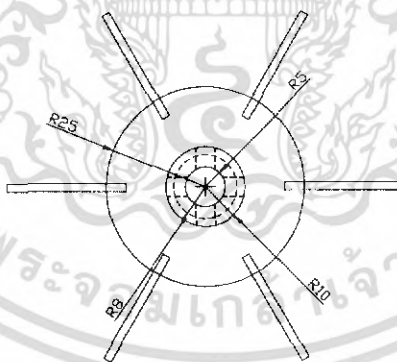
14.คำนวณประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ

15. ระบายน้ำออกจากถัง

16.ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-14 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบของที่ใช้ขับใบพัดเป็น 1200 , 1560 และ 1980 รอบต่อนาที และทำการทดลองกับใบพัดทั้งหมด 6 แบบ คือ ใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ, ใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ, ใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ, ใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ, ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ และ ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ดังรูปต่อไปนี้

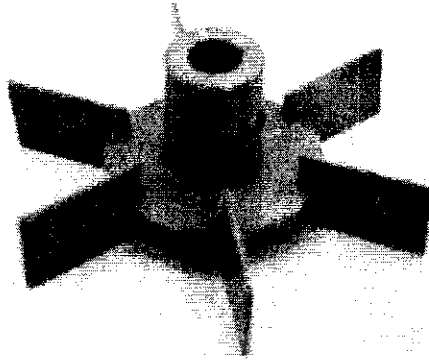
4.1.3 รูปร่างและขนาดของใบพัด มี 6 แบบดังนี้

4.1.3.1 ใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ



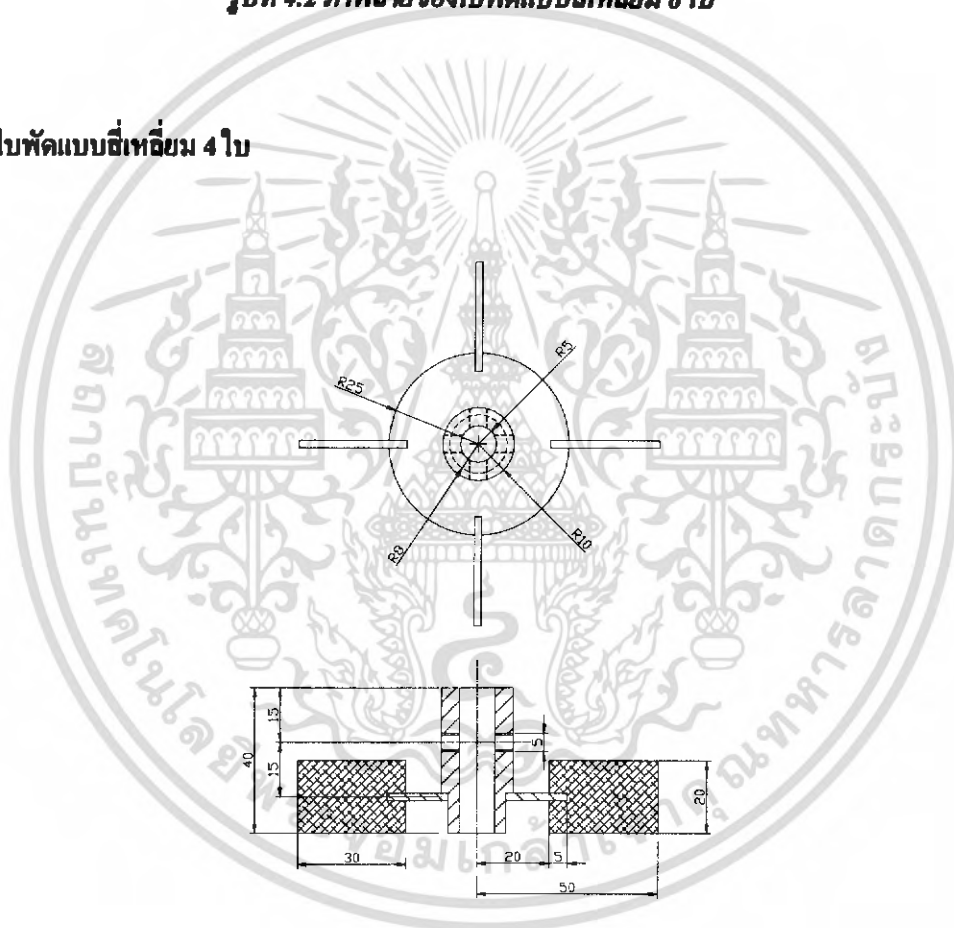
รูปที่ 4.1 ขนาดของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



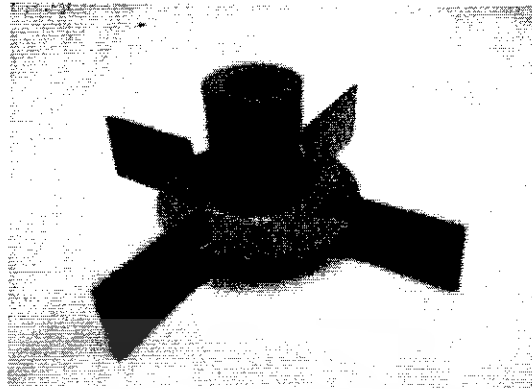
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ

4.1.3.2 ใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ



รูปที่ 4.3 ขนาดของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



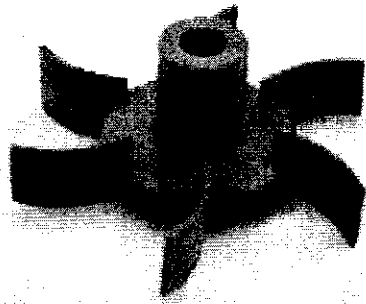
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ

4.1.3.3 ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ



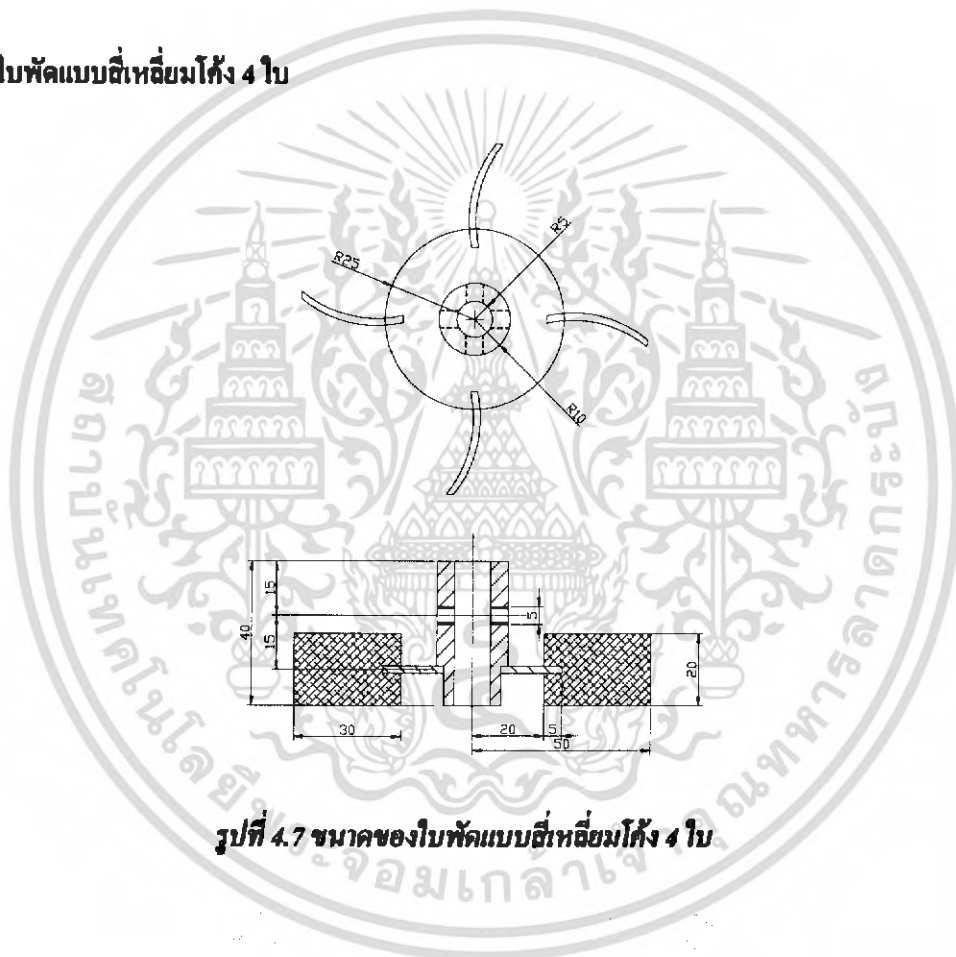
รูปที่ 4.5 ขนาดของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

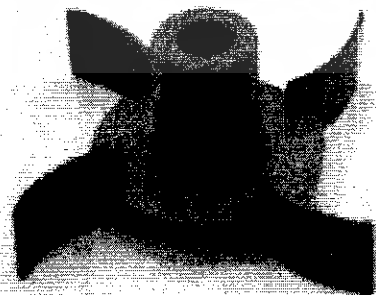


รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ

4.1.3.4 ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ



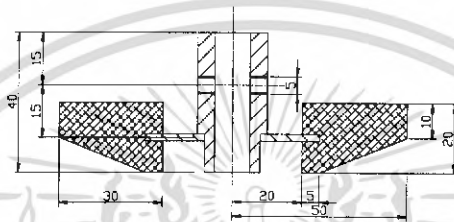
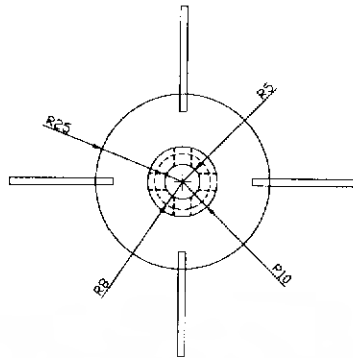
รูปที่ 4.7 ขนาดของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ



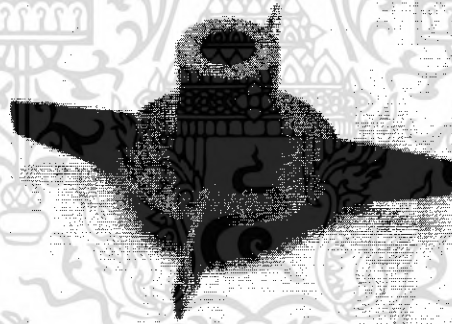
รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.5 โป้ดแบบคางหญ 4 โใบ



รูปที่ 4.11 ขนาดของโป้ดแบบคางหญ 4 โใบ



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายของโป้ดแบบคางหญ 4 โใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การคำนวณหาประสิทธิภาพการเติมอากาศ

1. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน ($k_L a$) โดยการนำค่าความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำที่เวลาใดๆ (ทุกๆระยะเวลา 5 นาที) ไปลบออกจากค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำที่อุณหภูมิที่ทำการทดลอง แล้วทำการพล็อตกราฟระหว่าง เวลา(นาที) กับ $\ln(C_s - C_t)$ เมื่อ C_s คือ ปริมาณความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำที่อุณหภูมิที่ทำการทดลอง C_t คือ ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำที่เวลาใดๆ จะได้ค่าความชันของกราฟคือค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจน ($k_L a$)

2. คำนวณหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจน โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน จากข้อ 1 มาคำนวณด้วยตามสมการ (2.7) คือ

$$AE_{20} = \frac{k_L a_{20} \cdot C_{s20} \cdot V}{P}$$

4.3 การทดลอง

ขณะที่ทำการทดลองจะเติมน้ำสูง 30 เซนติเมตร จากก้นถัง ซึ่งน้ำจะมีปริมาตร 2.12 ลูกบาศก์เมตร และจะทำการทดลองและวัดค่า D_o ทุกๆ 5 นาทีจนเวลาถึง 80 นาที โพรบออกซิเจนในการวัดค่าออกซิเจนในน้ำจะจมลงไปใต้น้ำเป็นระยะ 15 เซนติเมตร จากผิวน้ำเพื่อวัดค่าออกซิเจนในถังทดลอง และจะทำการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์โดยใช้ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) 4 ค่าด้วยกันคือที่ 1980 rpm, 1560 rpm, 1200 rpm, 780 rpm และทำจะทำการทดลองเช่นเดียวกันนี้กับใบพัดทั้ง 6 ใบ



รูปที่ 4.13 แสดงภาพถ่ายการกระจายตัวของน้ำขณะทำการทดลอง

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองการเติมอากาศของไบโพลีคัง 6 แบบ โดยทำการทดลองที่ความเร็วรอบต่างกัน

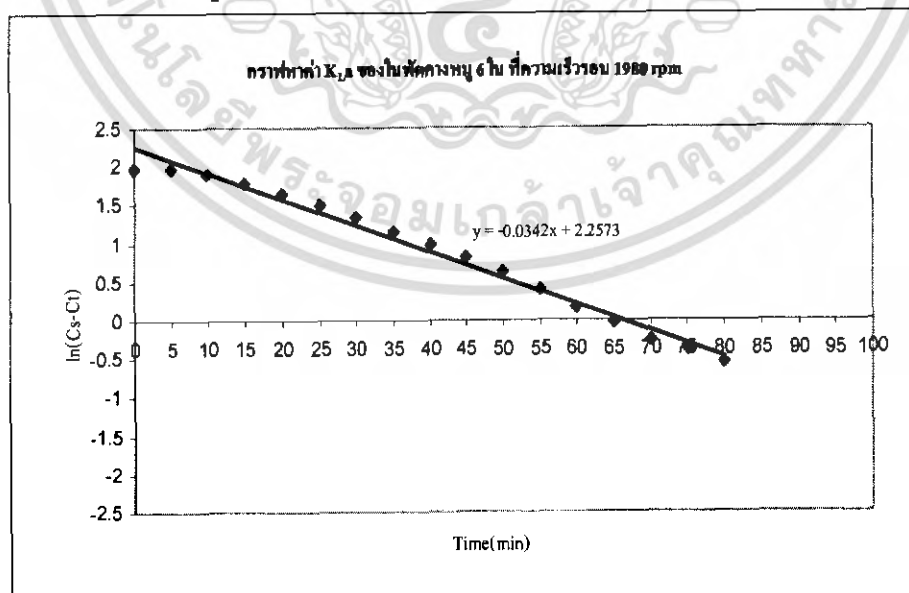
5.1.1 . ไบโพลีคังแบบกางหู 6 ใบ

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30	0.3	7.28	1.985131
5	30.3	0.4	7.18	1.971299
10	30.1	0.8	6.78	1.913977
15	30	1.6	5.98	1.788421
20	30	2.4	5.18	1.644805
25	30	3.1	4.48	1.499623
30	29.7	3.7	3.88	1.355835
35	29.7	4.4	3.18	1.156881
40	29.7	4.9	2.68	0.985817
45	29.7	5.3	2.28	0.824175
50	29.8	5.7	1.88	0.631272
55	29.7	6.1	1.48	0.392042
60	29.6	6.4	1.18	0.165514
65	29.7	6.6	0.98	-0.0202
70	29.7	6.8	0.78	-0.24846
75	29.7	6.9	0.68	-0.38566
80	29.6	7	0.58	-0.54473
Temp(avg)	29.82			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.58 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการเติมอากาศของไบโพลีคังแบบกางหู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm

จากนั้นหาค่า $K_L a$ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) และ $\ln(Cs-Ct)$



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$

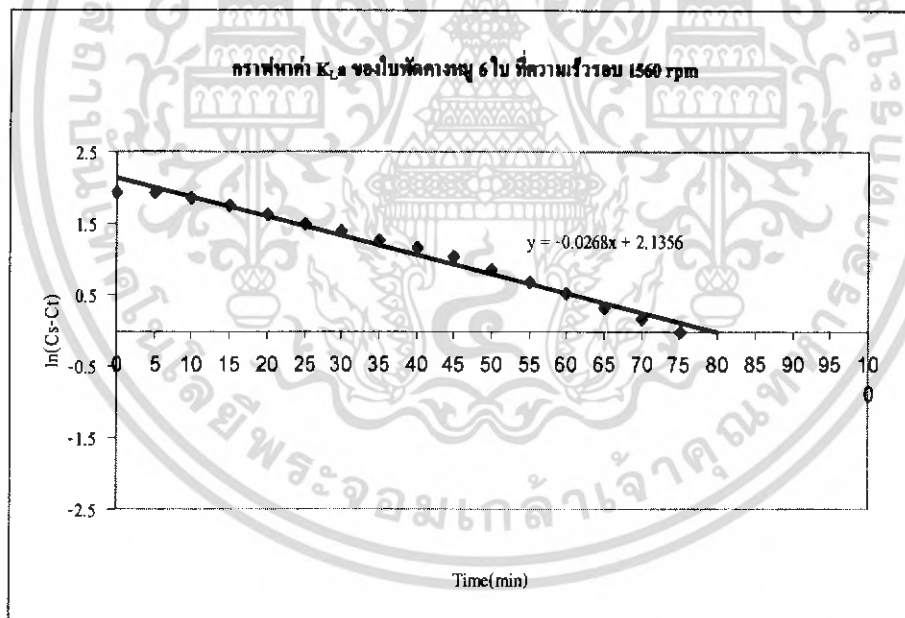
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0342

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30.6	0.6	6.99	1.944481
5	30.1	0.7	6.89	1.930071
10	29.9	1.1	6.49	1.870263
15	30	1.8	5.79	1.756132
20	29.7	2.5	5.09	1.627278
25	29.8	3.1	4.49	1.501853
30	30.2	3.5	4.09	1.408545
35	29.6	4	3.59	1.278152
40	29.3	4.4	3.19	1.160021
45	29.3	4.8	2.79	1.026042
50	29.6	5.2	2.39	0.871293
55	29.7	5.6	1.99	0.688135
60	29.7	5.9	1.69	0.524729
65	29.7	6.2	1.39	0.329304
70	29.7	6.4	1.19	0.173953
75	29.4	6.6	0.99	-0.01005
80	29.3	6.6	0.99	-0.01005
Temp(avg)	29.74118			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.59 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$

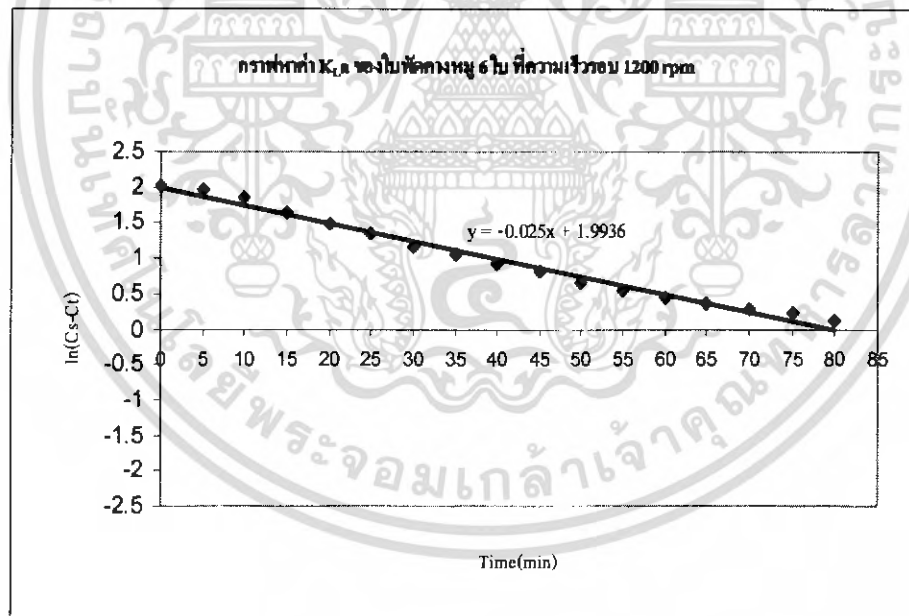
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0268

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	29	0.2	7.54	2.020222
5	29	0.6	7.14	1.965713
10	28.9	1.4	6.34	1.846879
15	28.8	2.6	5.14	1.637053
20	28.7	3.3	4.44	1.490654
25	28.8	3.9	3.84	1.345472
30	28.7	4.5	3.24	1.175573
35	28.7	4.9	2.84	1.043804
40	28.6	5.2	2.54	0.932164
45	28.6	5.5	2.24	0.806476
50	28.5	5.8	1.94	0.662688
55	28.5	6	1.74	0.553885
60	28.4	6.2	1.54	0.431782
65	28.4	6.3	1.44	0.364643
70	28.4	6.4	1.34	0.29267
75	28.3	6.5	1.24	0.215111
80	28.3	6.6	1.14	0.131028
Temp(avg)	28.62353			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.74 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Time(min)$ กับ $ln(Cs-Ct)$

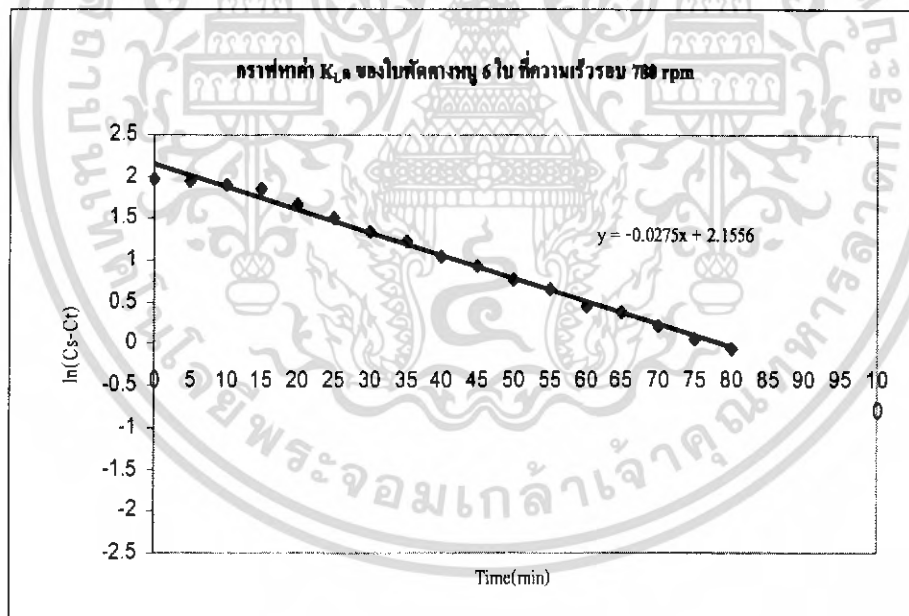
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	29.2	0.4	7.25	1.981001
5	29.1	0.6	7.05	1.953028
10	29.2	0.9	6.75	1.909543
15	29.5	1.2	6.45	1.86408
20	29.5	2.3	5.35	1.677097
25	29.4	3.1	4.55	1.515127
30	29.4	3.8	3.85	1.348073
35	29.4	4.2	3.45	1.238374
40	29.5	4.8	2.85	1.047319
45	29.4	5.1	2.55	0.936093
50	29.3	5.5	2.15	0.765468
55	29.3	5.7	1.95	0.667829
60	29.2	6.1	1.55	0.438255
65	29.3	6.2	1.45	0.371564
70	29.2	6.4	1.25	0.223144
75	29.2	6.6	1.05	0.04879
80	29.2	6.7	0.95	-0.05129
Temp(avg)	29.31176			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.65 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Time(min)$ กับ $ln(Cs-Ct)$

จากกราฟค่า K_{La} มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0275

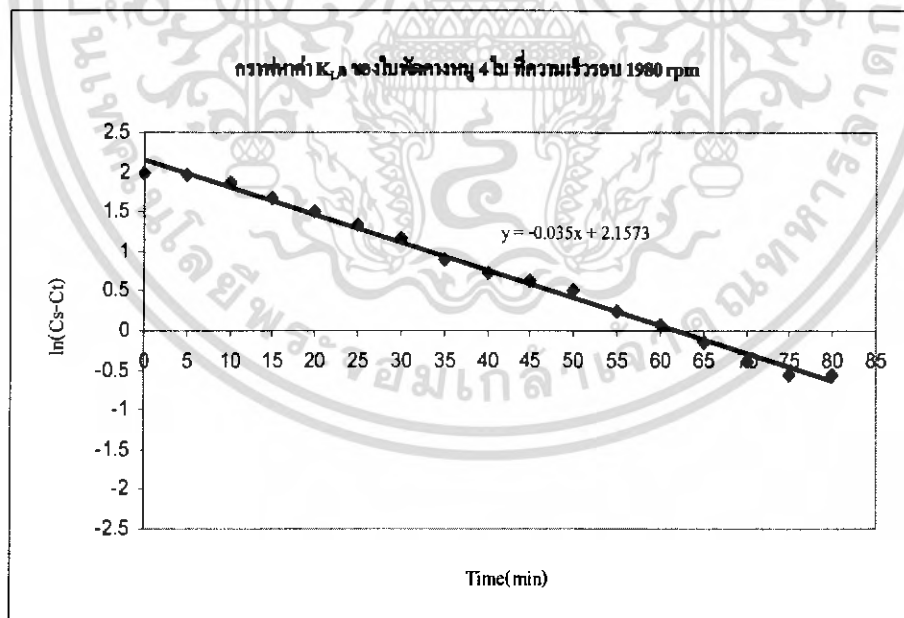
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2. โยพัดแบบกังหอย 4 ใบ

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	31.3	0.2	7.27	1.983756
5	31.1	0.3	7.17	1.969906
10	31	1	6.47	1.867176
15	30.9	2.1	5.37	1.680828
20	30.9	3	4.47	1.497388
25	30.9	3.7	3.77	1.327075
30	30.8	4.3	3.17	1.153732
35	30.8	5	2.47	0.904218
40	30.6	5.4	2.07	0.727549
45	30.6	5.6	1.87	0.625938
50	30.6	5.8	1.67	0.512824
55	30.5	6.2	1.27	0.239017
60	30.4	6.4	1.07	0.067659
65	30.4	6.6	0.87	-0.13926
70	30.3	6.8	0.67	-0.40048
75	30.3	6.9	0.57	-0.56212
80	30.3	6.9	0.57	-0.56212
Temp(avg)	30.68824			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.47 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการเติมอากาศของโยพัดแบบกังหอย 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ ln(Cs-Ct)

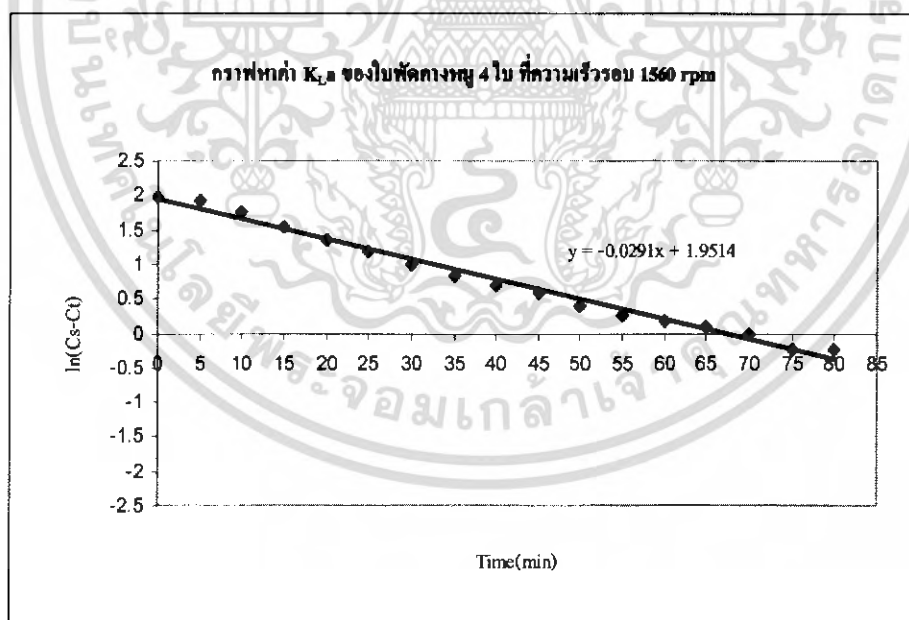
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30.7	0.2	7.3	1.987874
5	30.7	0.7	6.8	1.916923
10	30.6	1.7	5.8	1.757858
15	30.6	2.8	4.7	1.547563
20	30.6	3.6	3.9	1.360977
25	30.6	4.2	3.3	1.193922
30	30.5	4.8	2.7	0.993252
35	30.5	5.2	2.3	0.832909
40	30.4	5.5	2	0.693147
45	30.4	5.7	1.8	0.587787
50	30.4	6	1.5	0.405465
55	30.3	6.2	1.3	0.262364
60	30.3	6.3	1.2	0.182322
65	30.2	6.4	1.1	0.09531
70	30.2	6.5	1	0
75	30.1	6.7	0.8	-0.22314
80	30.1	6.7	0.8	-0.22314
Temp(avg)	30.42353			

$$Cs = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.50 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$

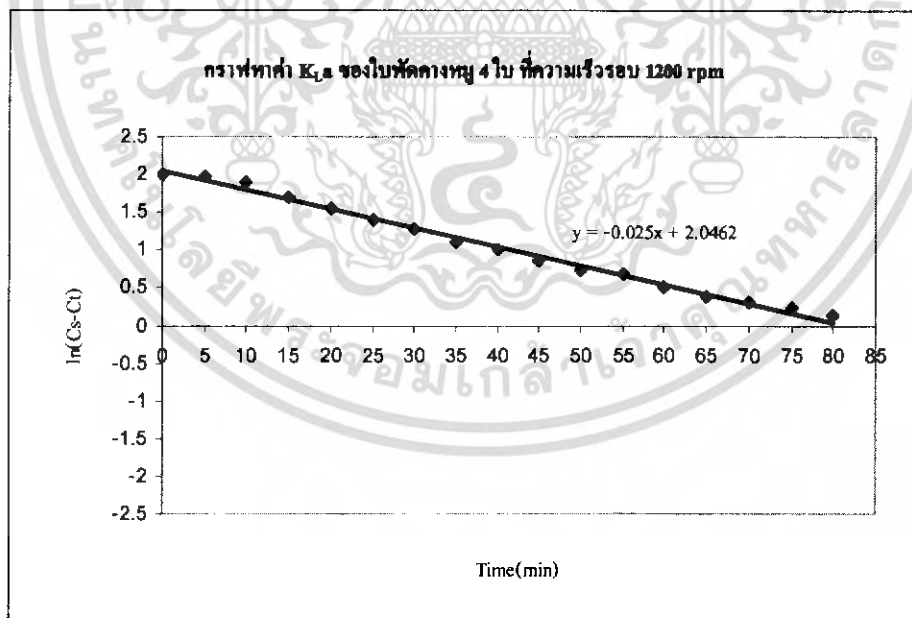
จากกราฟค่า K_{La} มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0291

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30.3	0.2	7.36	1.99606
5	30.2	0.3	7.26	1.98238
10	30.1	0.9	6.66	1.896119
15	30.1	2	5.56	1.715598
20	30.1	2.8	4.76	1.560248
25	30	3.5	4.06	1.401183
30	30	4	3.56	1.269761
35	30	4.5	3.06	1.118415
40	29.9	4.8	2.76	1.015231
45	29.9	5.2	2.36	0.858662
50	29.8	5.5	2.06	0.722706
55	29.9	5.6	1.96	0.672944
60	29.8	5.9	1.66	0.506818
65	29.7	6.1	1.46	0.378436
70	29.7	6.2	1.36	0.307485
75	29.6	6.3	1.26	0.231112
80	29.6	6.4	1.16	0.14842
Temp(avg)	29.92353			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.56 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ ln(Cs-Ct)

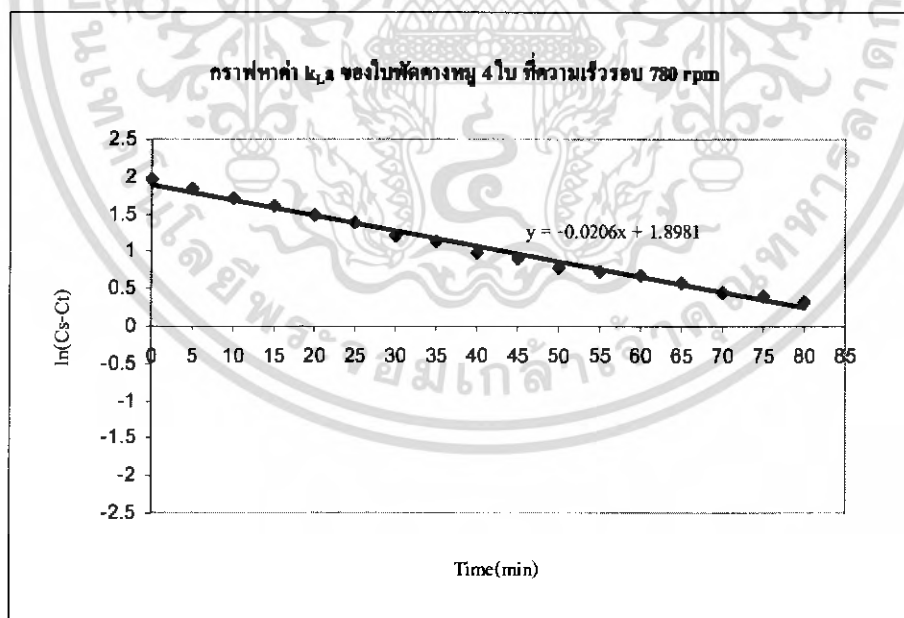
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	31.7	0.2	7.19	1.972691
5	31.4	1.1	6.29	1.838961
10	31.5	1.8	5.59	1.720979
15	31.4	2.4	4.99	1.607436
20	31.5	3	4.39	1.479329
25	31.4	3.4	3.99	1.383791
30	31.4	4	3.39	1.22083
35	31.4	4.3	3.09	1.128171
40	31.3	4.7	2.69	0.989541
45	31.3	4.9	2.49	0.912283
50	31.2	5.2	2.19	0.783902
55	31.2	5.3	2.09	0.737164
60	31.1	5.4	1.99	0.688135
65	31.1	5.6	1.79	0.582216
70	31	5.8	1.59	0.463734
75	30.9	5.9	1.49	0.398776
80	31	6	1.39	0.329304
Temp(avg)	31.28235			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.39 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Time(min)$ กับ $ln(Cs-Ct)$

จากกราฟค่า K_{La} มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0206

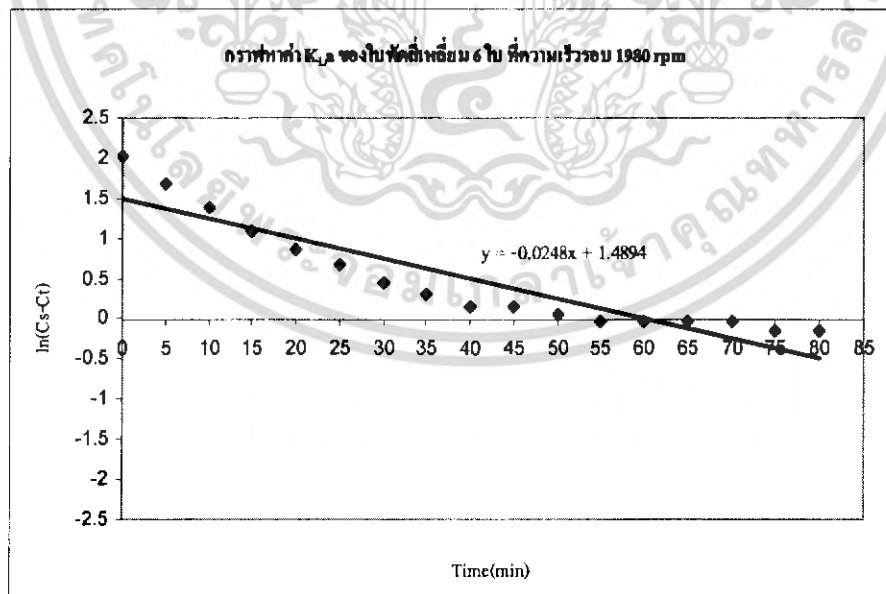
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3. โบริคแบบตีเหลี่ยม 6 ใบ

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	28.6	0.3	7.47	2.010895
5	28.6	2.4	5.37	1.680828
10	28.6	3.8	3.97	1.378766
15	28.5	4.8	2.97	1.088562
20	28.4	5.4	2.37	0.86289
25	28.3	5.8	1.97	0.678034
30	28.4	6.2	1.57	0.451076
35	28.3	6.4	1.37	0.314811
40	28.3	6.6	1.17	0.157004
45	28.2	6.6	1.17	0.157004
50	28.3	6.7	1.07	0.067659
55	28.2	6.8	0.97	-0.03046
60	28.2	6.8	0.97	-0.03046
65	28.2	6.8	0.97	-0.03046
70	28.2	6.8	0.97	-0.03046
75	28.3	6.9	0.87	-0.13926
80	28.2	6.9	0.87	-0.13926
Temp(avg)	28.34118			

$$Cs = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.77 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการเติมอากาศของโบริคแบบตีเหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Time(min)$ กับ $\ln(Cs-Ct)$

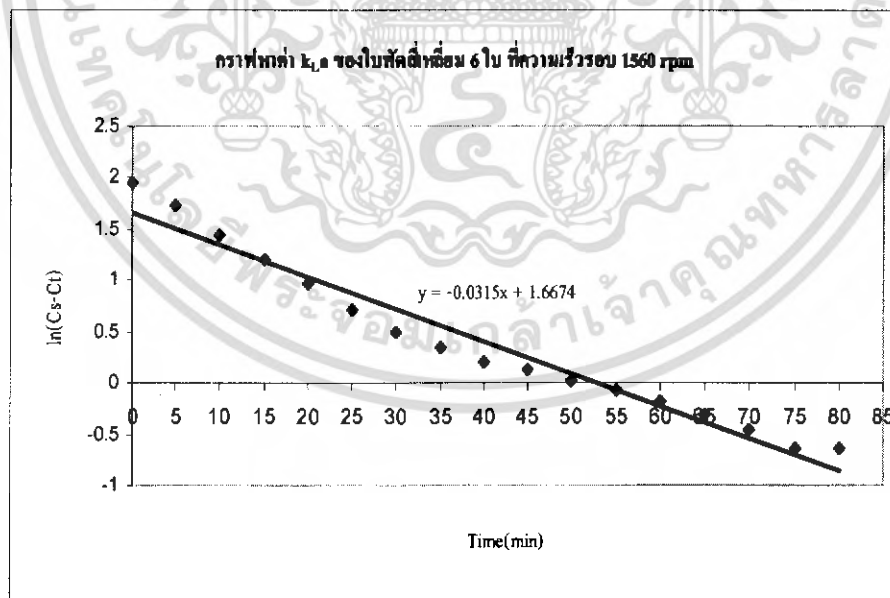
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0248

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	29.5	0.6	7.03	1.950187
5	29.8	2	5.63	1.728109
10	29.7	3.4	4.23	1.442202
15	29.7	4.3	3.33	1.202972
20	29.4	5	2.63	0.966984
25	29.6	5.6	2.03	0.708036
30	29.4	6	1.63	0.48858
35	29.6	6.2	1.43	0.357674
40	29.4	6.4	1.23	0.207014
45	29.4	6.5	1.13	0.122218
50	29.3	6.6	1.03	0.029559
55	29.2	6.7	0.93	-0.07257
60	29.3	6.8	0.83	-0.18633
65	29.4	6.9	0.73	-0.31471
70	29.1	7	0.63	-0.46204
75	29.3	7.1	0.53	-0.63488
80	29.1	7.1	0.53	-0.63488
Temp(avg)	29.42353			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.63 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ $\ln(Cs-Ct)$

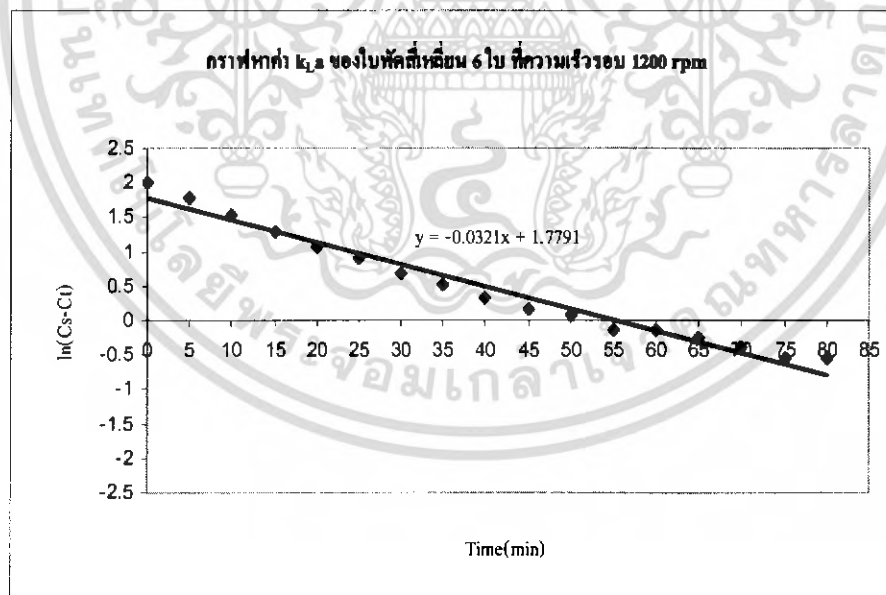
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30	0.2	7.48	2.012233
5	29.7	1.7	5.98	1.788421
10	29.6	3	4.68	1.543298
15	29.5	4	3.68	1.302913
20	29.3	4.8	2.88	1.05779
25	29.3	5.2	2.48	0.908259
30	29.1	5.7	1.98	0.683097
35	29	6	1.68	0.518794
40	29	6.3	1.38	0.322083
45	28.9	6.5	1.18	0.165514
50	28.9	6.6	1.08	0.076961
55	28.9	6.8	0.88	-0.12783
60	29	6.8	0.88	-0.12783
65	28.7	6.9	0.78	-0.24846
70	28.7	7	0.68	-0.38566
75	28.5	7.1	0.58	-0.54473
80	28.5	7.1	0.58	-0.54473
Temp(avg)	29.09412			

$$Cs = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.68 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบฮีเหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ ln(Cs-Ct)

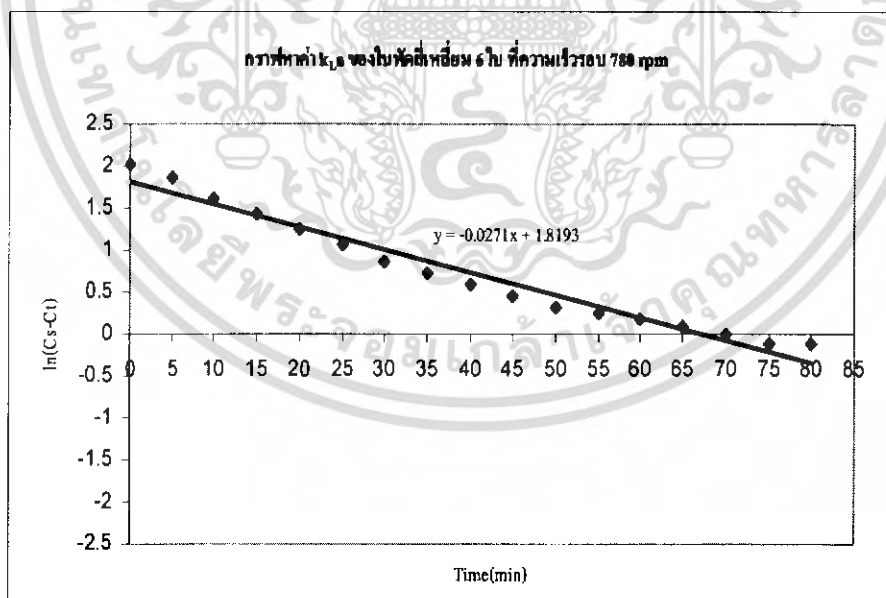
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0321

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	28.4	0.3	7.49	2.013569
5	28.3	1.4	6.39	1.854734
10	28.3	2.8	4.99	1.607436
15	28.3	3.6	4.19	1.432701
20	28.3	4.3	3.49	1.249902
25	28.3	4.9	2.89	1.061257
30	28.3	5.4	2.39	0.871293
35	28.3	5.7	2.09	0.737164
40	28.3	6	1.79	0.582216
45	28.3	6.2	1.59	0.463734
50	28.3	6.4	1.39	0.329304
55	28.2	6.5	1.29	0.254642
60	28.1	6.6	1.19	0.173953
65	28	6.7	1.09	0.086178
70	28.1	6.8	0.99	-0.01005
75	28	6.9	0.89	-0.11653
80	28	6.9	0.89	-0.11653
Temp(avg)	28.22353			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.79 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบฮีเหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ ln(Cs-Ct)

จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0271

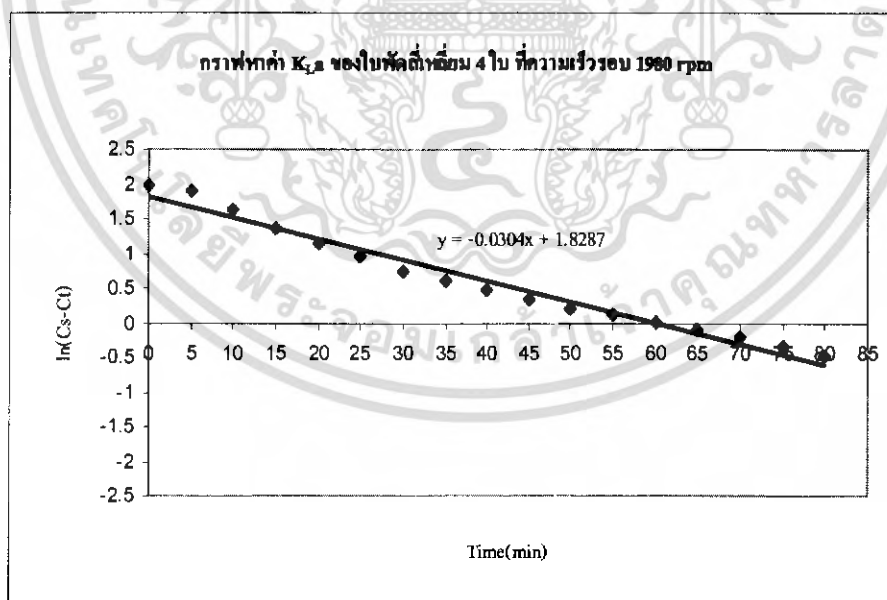
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4.ไบโพลัมเบอร์สี่เหลี่ยม 4 ไบ

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30	0.3	7.32	1.99061
5	29.9	0.9	6.72	1.905088
10	29.9	2.5	5.12	1.633154
15	29.8	3.7	3.92	1.366092
20	29.8	4.5	3.12	1.137833
25	29.7	5	2.62	0.963174
30	29.7	5.5	2.12	0.751416
35	29.6	5.8	1.82	0.598837
40	29.6	6	1.62	0.482426
45	29.5	6.2	1.42	0.350657
50	29.4	6.4	1.22	0.198851
55	29.3	6.5	1.12	0.113329
60	29.3	6.6	1.02	0.019803
65	29.2	6.7	0.92	-0.08338
70	29.2	6.8	0.82	-0.19845
75	29	6.9	0.72	-0.3285
80	29	7	0.62	-0.47804
Temp(avg)	29.52353			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.62 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.13 แสดงผลการเติมอากาศของไบโพลัมเบอร์สี่เหลี่ยม 4 ไบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Time(min)$ กับ $ln(Cs-Ct)$

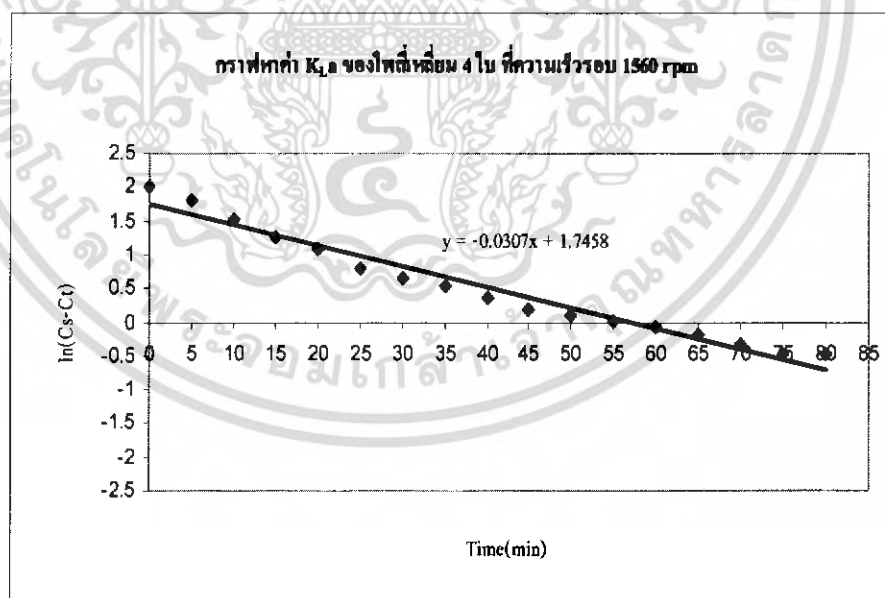
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	29.3	0.2	7.52	2.017566
5	29.1	1.7	6.02	1.795087
10	29	3.1	4.62	1.530395
15	28.9	4.2	3.52	1.258461
20	28.9	4.8	2.92	1.071584
25	29.1	5.5	2.22	0.797507
30	28.8	5.8	1.92	0.652325
35	29	6	1.72	0.542324
40	28	6.3	1.42	0.350657
45	28.8	6.5	1.22	0.198851
50	28.8	6.6	1.12	0.113329
55	28.8	6.7	1.02	0.019803
60	28.7	6.8	0.92	-0.08338
65	28.6	6.9	0.82	-0.19845
70	28.6	7	0.72	-0.3285
75	28.6	7.1	0.62	-0.47804
80	28.5	7.1	0.62	-0.47804
Temp(avg)	28.79412			

$$Cs = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.72 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ ln(Cs-Ct)

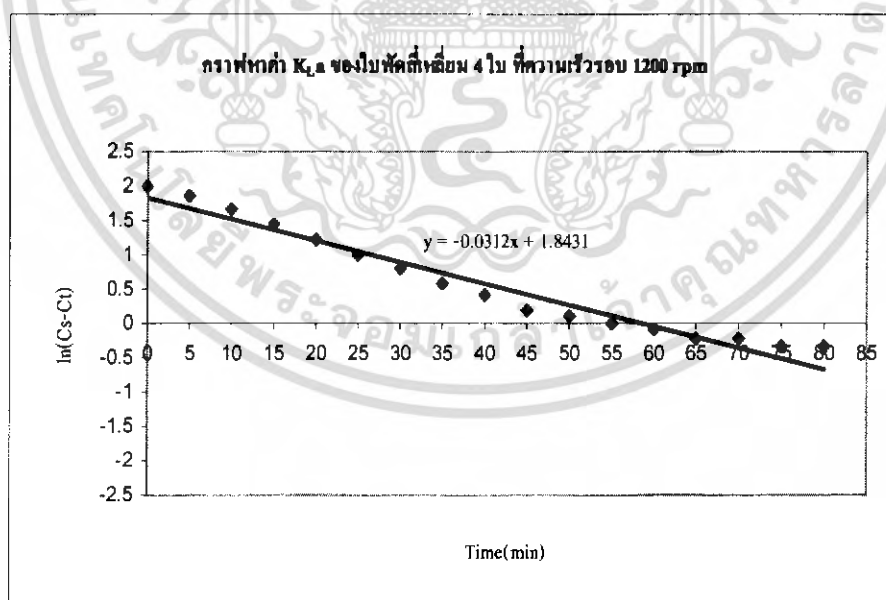
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	31.1	0.2	7.31	1.989243
5	30.8	1	6.51	1.873339
10	30.7	2.2	5.31	1.669592
15	30.7	3.3	4.21	1.437463
20	30.6	4.1	3.41	1.226712
25	30.5	4.8	2.71	0.996949
30	30.6	5.3	2.21	0.792993
35	30.4	5.7	1.81	0.593327
40	30.3	6	1.51	0.41211
45	30.2	6.3	1.21	0.19062
50	30.2	6.4	1.11	0.10436
55	30.1	6.5	1.01	0.00995
60	30	6.6	0.91	-0.09431
65	30	6.7	0.81	-0.21072
70	29.9	6.7	0.81	-0.21072
75	29.8	6.8	0.71	-0.34249
80	29.8	6.8	0.71	-0.34249
Temp(avg)	30.33529			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.51 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.15 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ ln(Cs-Ct)

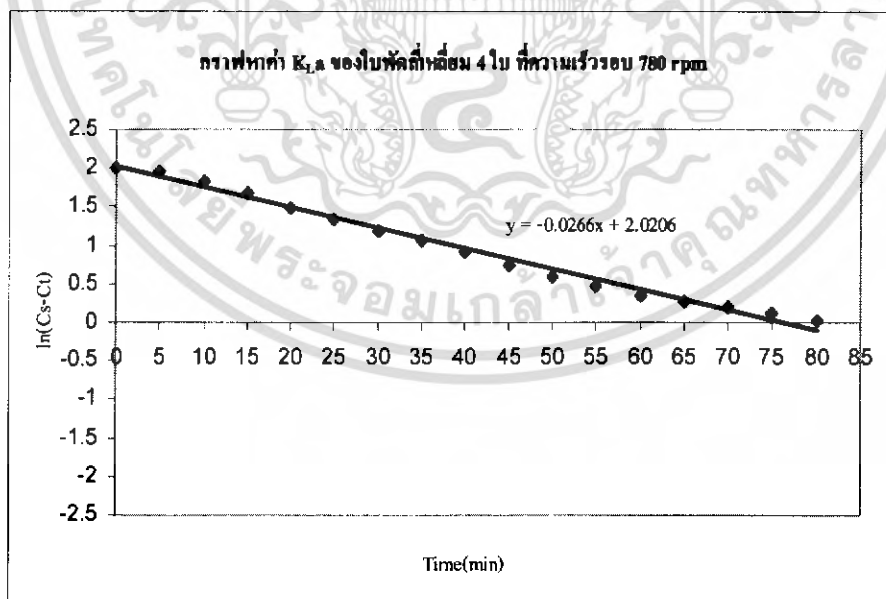
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0312

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30.1	0.2	7.42	2.004179
5	29.8	0.6	7.02	1.948763
10	29.8	1.3	6.32	1.843719
15	29.8	2.3	5.32	1.671473
20	29.7	3.2	4.42	1.48614
25	29.7	3.8	3.82	1.34025
30	29.6	4.3	3.32	1.199965
35	29.5	4.7	2.92	1.071584
40	29.5	5.1	2.52	0.924259
45	29.5	5.5	2.12	0.751416
50	29.4	5.8	1.82	0.598837
55	29.3	6	1.62	0.482426
60	29.3	6.2	1.42	0.350657
65	29.2	6.3	1.32	0.277632
70	29.2	6.4	1.22	0.198851
75	29.2	6.5	1.12	0.113329
80	29.2	6.6	1.02	0.019803
Temp(avg)	29.51765			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.62 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ ln(Cs-Ct)

จากกราฟค่า K_{La} มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0266

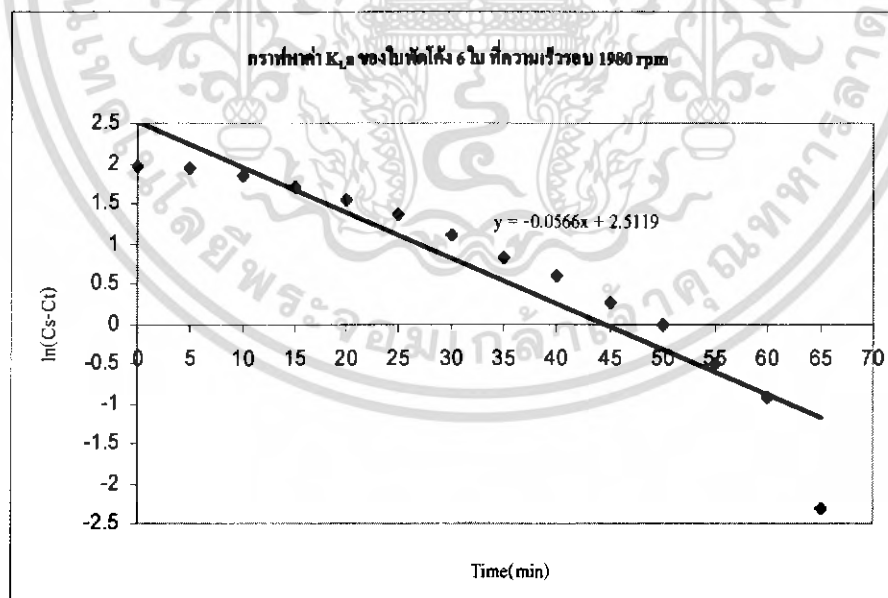
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5. โปพักแบบตีเห็ยมโด้ง 6 โใบ

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	31	0.4	7.1	1.960095
5	30.9	0.6	6.9	1.931521
10	30.9	1.2	6.3	1.84055
15	30.8	2	5.5	1.704748
20	30.8	2.8	4.7	1.547563
25	30.7	3.6	3.9	1.360977
30	30.6	4.5	3	1.098612
35	30.4	5.2	2.3	0.832909
40	30.4	5.7	1.8	0.587787
45	30.3	6.2	1.3	0.262364
50	30.3	6.5	1	0
55	30.2	6.9	0.6	-0.51083
60	30	7.1	0.4	-0.91629
65	30	7.4	0.1	-2.30259
70	30	7.5	0	
75	29.8	7.5	0	
80	29.9	7.5	0	
Temp(avg)	30.41176			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.50 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.17 แสดงผลการเติมอากาศของโใบพักแบบตีเห็ยมโด้ง 6 โใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Time(min)$ กับ $ln(Cs-Ct)$

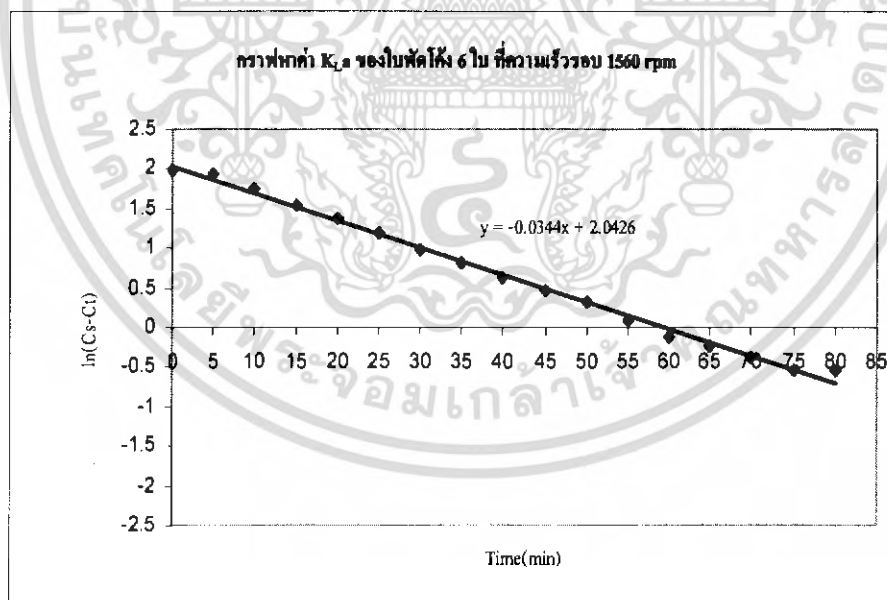
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30.3	0.3	7.29	1.986504
5	30.1	0.6	6.99	1.944481
10	30	1.8	5.79	1.756132
15	30	2.9	4.69	1.545433
20	29.9	3.6	3.99	1.383791
25	29.9	4.3	3.29	1.190888
30	29.8	4.9	2.69	0.989541
35	29.8	5.3	2.29	0.828552
40	29.7	5.7	1.89	0.636577
45	29.7	6	1.59	0.463734
50	29.7	6.2	1.39	0.329304
55	29.6	6.5	1.09	0.086178
60	29.6	6.7	0.89	-0.11653
65	29.5	6.8	0.79	-0.23572
70	29.5	6.9	0.69	-0.37106
75	29.5	7	0.59	-0.52763
80	29.5	7	0.59	-0.52763
Temp(avg)	29.77059			

$$Cs = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.59 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.18 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Time(min)$ กับ $ln(Cs-Ct)$

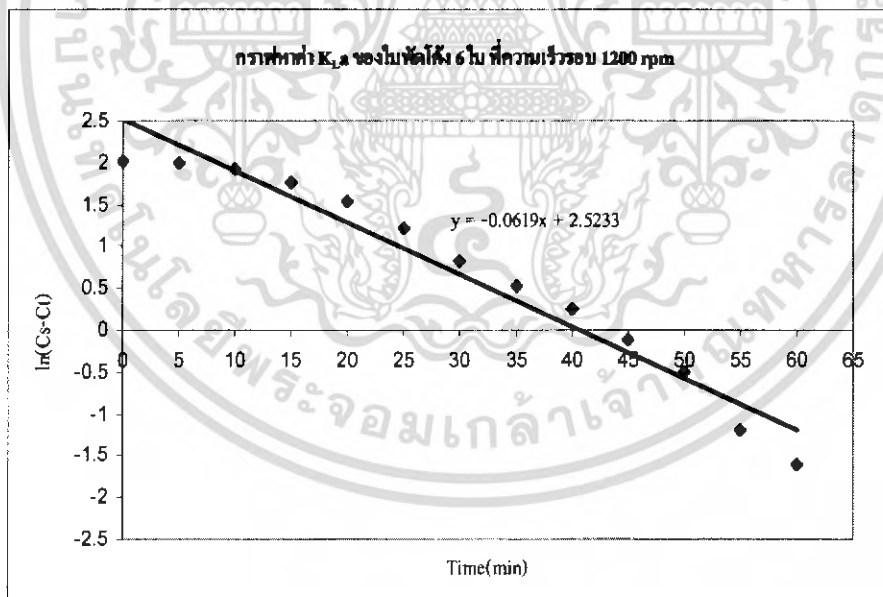
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0344

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	29.4	0.2	7.5	2.014903
5	29.2	0.3	7.4	2.00148
10	29.1	0.8	6.9	1.931521
15	29.1	1.9	5.8	1.757858
20	29.1	3.1	4.6	1.526056
25	29	4.3	3.4	1.223775
30	29	5.4	2.3	0.832909
35	29.1	6	1.7	0.530628
40	28.9	6.4	1.3	0.262364
45	28.9	6.8	0.9	-0.10536
50	28.8	7.1	0.6	-0.51083
55	28.8	7.4	0.3	-1.20397
60	28.7	7.5	0.2	-1.60944
65	28.7	7.7	0	
70	28.7	7.7	0	
75	28.6	7.7	0	
80	28.6	7.7	0	
Temp(avg)	28.92353	7.7	0	

$$Cs = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.70 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.19 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบตีหม้อโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ ln(Cs-Ct)

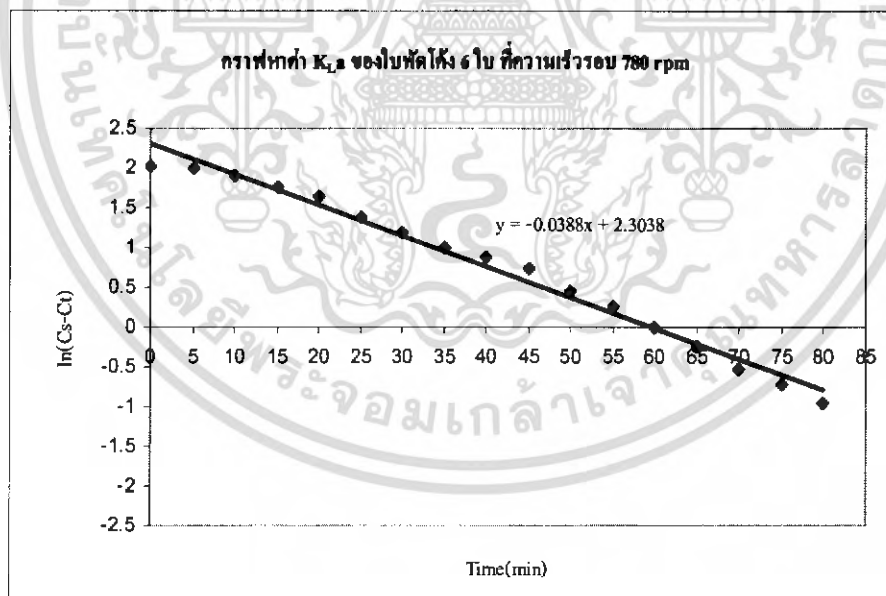
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0619

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30	0.2	7.49	2.013569
5	30.3	0.3	7.39	2.000128
10	29.9	0.9	6.79	1.915451
15	29.9	1.8	5.89	1.773256
20	29.9	2.5	5.19	1.646734
25	29.9	3.7	3.99	1.383791
30	29.9	4.4	3.29	1.190888
35	29.9	5	2.69	0.989541
40	29.9	5.3	2.39	0.871293
45	29.9	5.6	2.09	0.737164
50	29.8	6.1	1.59	0.463734
55	29.9	6.4	1.29	0.254642
60	29.8	6.7	0.99	-0.01005
65	29.9	6.9	0.79	-0.23572
70	29.8	7.1	0.59	-0.52763
75	29.8	7.2	0.49	-0.71335
80	29.8	7.3	0.39	-0.94161
Temp(avg)	29.9			

$$Cs = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.69 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.20 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Time(min)$ กับ $ln(Cs-Ct)$

จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0388

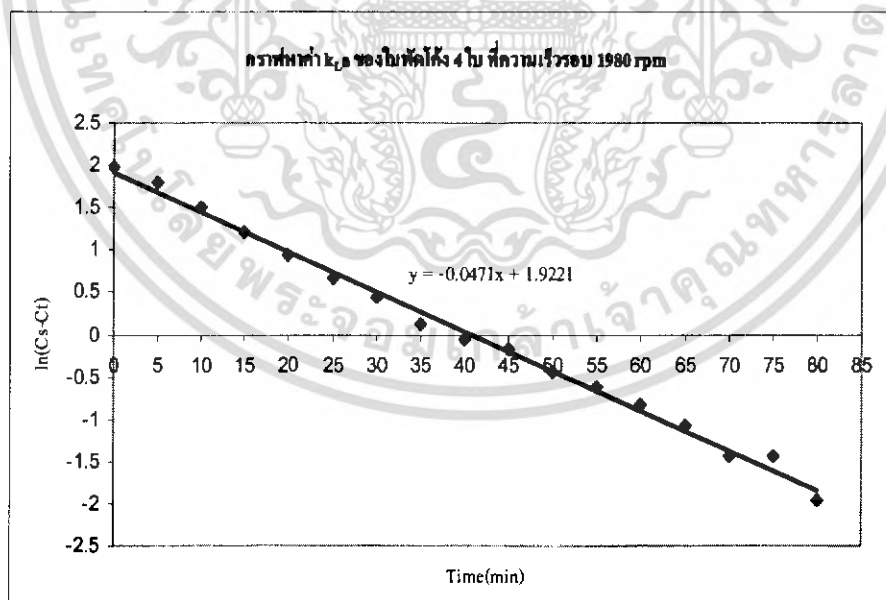
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.6.ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	31.5	0.2	7.24	1.979621
5	31.3	1.4	6.04	1.798404
10	31.2	2.9	4.54	1.512927
15	31.1	4.1	3.34	1.205971
20	31.1	4.9	2.54	0.932164
25	31.1	5.5	1.94	0.662688
30	31	5.9	1.54	0.431782
35	31	6.3	1.14	0.131028
40	30.9	6.5	0.94	-0.06188
45	30.8	6.6	0.84	-0.17435
50	30.7	6.8	0.64	-0.44629
55	30.7	6.9	0.54	-0.61619
60	30.6	7	0.44	-0.82098
65	30.5	7.1	0.34	-1.07881
70	30.4	7.2	0.24	-1.42712
75	30.4	7.2	0.24	-1.42712
80	30.3	7.3	0.14	-1.96611
Temp(avg)	30.85882			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.44 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.21 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 rpm



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time(min) กับ ln(Cs-Ct)

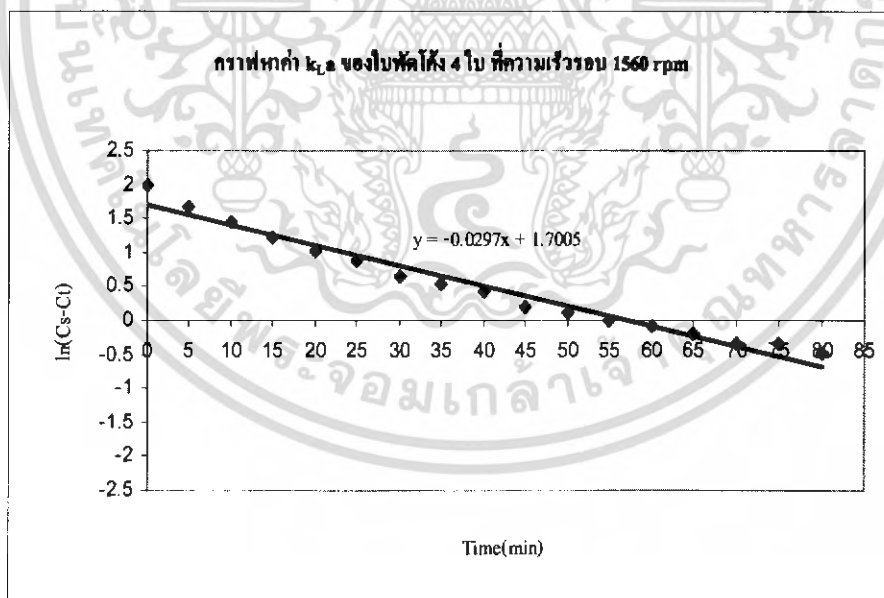
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0471

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30.2	0.3	7.31	1.989243
5	30	2.2	5.41	1.688249
10	29.9	3.3	4.31	1.460938
15	29.9	4.2	3.41	1.226712
20	29.8	4.8	2.81	1.033184
25	29.8	5.2	2.41	0.879627
30	29.6	5.7	1.91	0.647103
35	29.6	5.9	1.71	0.536493
40	29.6	6.1	1.51	0.41211
45	29.5	6.4	1.21	0.19062
50	29.5	6.5	1.11	0.10436
55	29.4	6.6	1.01	0.00995
60	29.4	6.7	0.91	-0.09431
65	29.3	6.8	0.81	-0.21072
70	29.2	6.9	0.71	-0.34249
75	29.2	6.9	0.71	-0.34249
80	29.1	7	0.61	-0.4943
Temp(avg)	29.58824			

$$CsT = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.61 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.22 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 rpm



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time (min) กับ $\ln(Cs-Ct)$

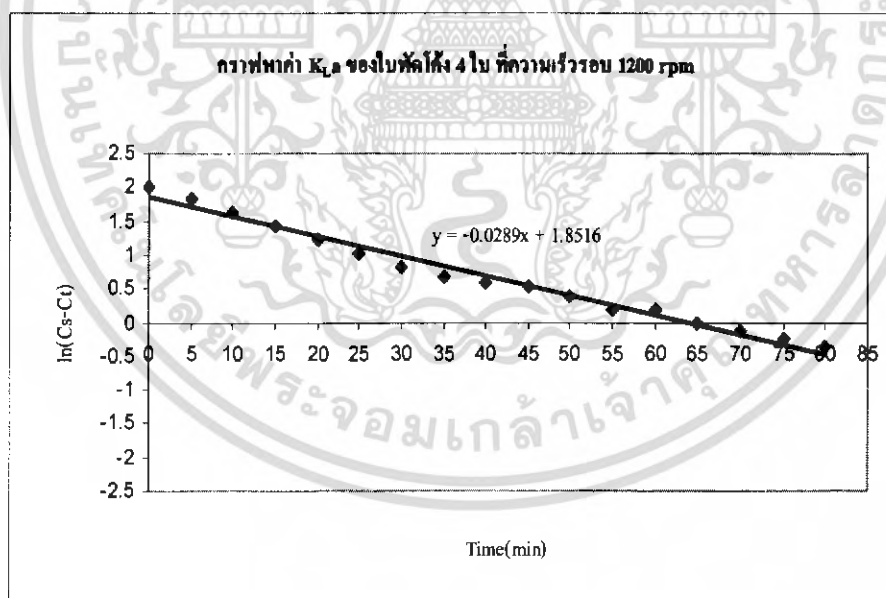
จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0297

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	29.4	0.2	7.49	2.013569
5	29.3	1.4	6.29	1.838961
10	29.3	2.6	5.09	1.627278
15	29.3	3.5	4.19	1.432701
20	29.1	4.3	3.39	1.22083
25	29.1	4.9	2.79	1.026042
30	29	5.4	2.29	0.828552
35	29	5.7	1.99	0.688135
40	28.9	5.9	1.79	0.582216
45	28.9	6	1.69	0.524729
50	28.9	6.2	1.49	0.398776
55	28.8	6.5	1.19	0.173953
60	28.8	6.5	1.19	0.173953
65	28.8	6.7	0.99	-0.01005
70	28.7	6.8	0.89	-0.11653
75	28.7	6.9	0.79	-0.23572
80	28.6	7	0.69	-0.37106
Temp(avg)	28.97647			

$$Cs = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.69 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.23 แสดงผลการเติมอากาศของใบพัดแบบอีทอเรียนโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 rpm



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Time(min)$ กับ $\ln(Cs-Ct)$

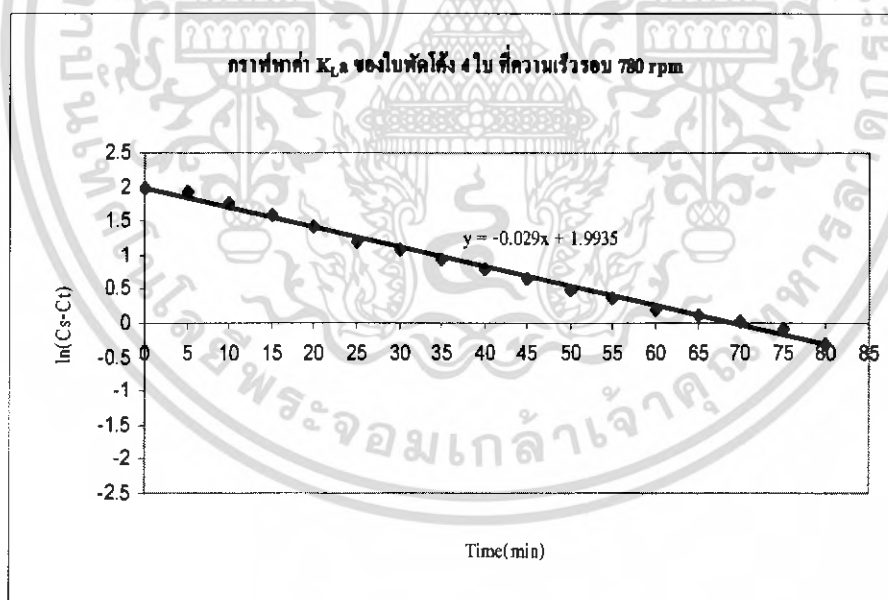
จากกราฟค่า K_{La} มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.0289

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time(min)	Temp(°C)	Do(mg/L)	Cs-Ct	ln(Cs-Ct)
0	30.9	0.2	7.33	1.991976
5	30.5	0.6	6.93	1.93586
10	30.5	1.7	5.83	1.763017
15	30.5	2.6	4.93	1.595339
20	30.5	3.4	4.13	1.418277
25	30.5	4.2	3.33	1.202972
30	30.5	4.6	2.93	1.075002
35	30.3	5	2.53	0.928219
40	30.2	5.3	2.23	0.802002
45	30.3	5.6	1.93	0.65752
50	30.3	5.9	1.63	0.48858
55	30.1	6.1	1.43	0.357674
60	30	6.3	1.23	0.207014
65	29.8	6.4	1.13	0.122218
70	29.8	6.5	1.03	0.029559
75	29.7	6.6	0.93	-0.07257
80	29.5	6.8	0.73	-0.31471
Temp(avg)	30.22941			

$$C_s = 2234.34(T+45.93)^{-1.31403} = 7.53 \text{ mg/L}$$

ตารางที่ 5.24 แสดงผลการเดินอากาศของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 780 rpm

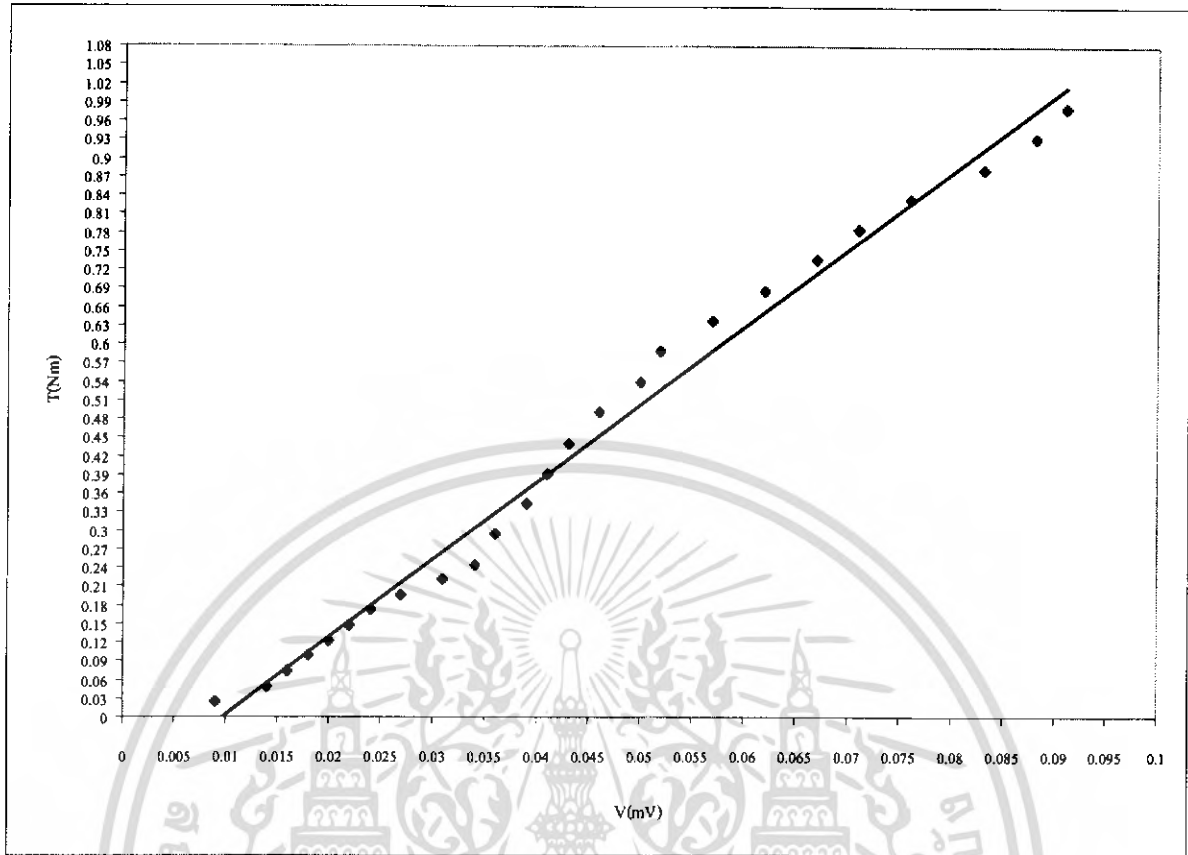


รูปที่ 5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time (min) กับ $\ln(C_s - C_t)$

จากกราฟค่า $K_L a$ มีค่าเท่ากับค่าความชันของกราฟ คือ 0.029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การหาค่าตั้งที่ใช้ขับใบพัด



รูปที่ 5.25 กราฟแสดงการความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้า กับ แรงบิดของมอเตอร์ที่ได้จากการทดลอง

จากกราฟสามารถนำค่าแรงดันทางไฟฟ้าเทียบหาแรงบิดเพื่อใช้ในการหาค่าตั้งที่ใช้ขับใบพัดได้
จากสมการ $P = \frac{2\pi TN}{60}$ ซึ่งได้ค่าต่างๆดังนี้

สำหรับใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ

ที่ความเร็วรอบ 1980 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด = 26.13 วัตต์

ที่ความเร็วรอบ 1560 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด = 30.53 วัตต์

ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด = 42.36 วัตต์

ที่ความเร็วรอบ 780 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด = 53.89 วัตต์

สำหรับใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ

ที่ความเร็วรอบ 1980 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด = 25.34 วัตต์

ที่ความเร็วรอบ 1560 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด = 28.48 วัตต์

ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด = 36.72 วัตต์

ที่ความเร็วรอบ 780 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด = 48.67 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ

ที่ความเร็วรอบ 1980 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 42.47	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 1560 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 50.69	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 85.78	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 780 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 110.34	วัตต์

สำหรับใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ

ที่ความเร็วรอบ 1980 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 35.93	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 1560 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 45.23	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 102.41	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 780 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 163.56	วัตต์

สำหรับใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ

ที่ความเร็วรอบ 1980 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 29.89	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 1560 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 30.15	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 31.03	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 780 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 58.76	วัตต์

สำหรับใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ

ที่ความเร็วรอบ 1980 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 25.36	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 1560 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 27.64	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 31.03	วัตต์
ที่ความเร็วรอบ 780 รอบ/นาที ใช้กำลังในการขับใบพัด	= 34.17	วัตต์

จากผลการทดลองคำนวณค่าได้ผลดังนี้

ใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ

N(rpm)	P(W)	T(°C)	K_{La} (min^{-1})	K_{La} (h^{-1})	$K_{La_{20}}$ (h^{-1})	OTR_{20} ($\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)	AE_{20} (kgO_2/kWh)
780	42.47	28.22	0.0248	1.488	1.224439377	11.13015393	0.555590448
1200	50.69	29.09	0.0321	1.926	1.552493094	14.11216222	0.59021077
1560	85.78	29.42	0.0271	1.626	1.300453865	11.82112563	0.292151858
1980	110.34	28.34	0.0471	2.826	2.318838589	21.07824278	0.404983457

ตารางที่ 5.25 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ

N(rpm)	P(W)	T(°C)	$K_{L,a_r}(\text{min}^{-1})$	$K_{L,a_r}(\text{h}^{-1})$	$K_{L,a_{20}}(\text{h}^{-1})$	$\text{OTR}_{20}(\text{g/m}^3\text{h})$	$\text{AE}_{20}(\text{kgO}_2/\text{kWh})$
780	35.93	29.52	0.0266	1.596	1.273436518	11.57553795	0.682998621
1200	45.23	30.34	0.0312	1.872	1.464887566	13.31582798	0.624133436
1560	72.38	28.79	0.0307	1.842	1.495384955	13.59304924	0.398138497
1980	98.56	29.52	0.0304	1.824	1.45535602	13.22918623	0.28455636

ตารางที่ 5.26 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ

ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ

N(rpm)	P(W)	T(°C)	$K_{L,a_r}(\text{min}^{-1})$	$K_{L,a_r}(\text{h}^{-1})$	$K_{L,a_{20}}(\text{h}^{-1})$	$\text{OTR}_{20}(\text{g/m}^3\text{h})$	$\text{AE}_{20}(\text{kgO}_2/\text{kWh})$
780	29.78	29.9	0.0388	2.328	1.840828821	16.73313398	1.191210344
1200	30.15	28.92	0.0619	3.714	3.005842953	27.32311244	1.921227144
1560	31.03	29.77	0.0344	2.064	1.637114732	14.88137291	1.016709977
1980	58.76	30.41	0.0566	3.396	2.653048156	24.11620773	0.870087822

ตารางที่ 5.27 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ

ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ

N(rpm)	P(W)	T(°C)	$K_{L,a_r}(\text{min}^{-1})$	$K_{L,a_r}(\text{h}^{-1})$	$K_{L,a_{20}}(\text{h}^{-1})$	$\text{OTR}_{20}(\text{g/m}^3\text{h})$	$\text{AE}_{20}(\text{kgO}_2/\text{kWh})$
780	25.36	30.23	0.029	1.74	1.365151001	12.4092226	1.037364034
1200	27.64	28.98	0.0289	1.734	1.401378604	12.73853151	0.977050897
1560	31.03	29.59	0.0297	1.782	1.419486006	12.9031278	0.881554332
1980	34.17	30.86	0.0471	2.826	2.184311782	19.8553941	1.231882806

ตารางที่ 5.28 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ

ใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ

N(rpm)	P(W)	T(°C)	$K_{L,a_r}(\text{min}^{-1})$	$K_{L,a_r}(\text{h}^{-1})$	$K_{L,a_{20}}(\text{h}^{-1})$	$\text{OTR}_{20}(\text{g/m}^3\text{h})$	$\text{AE}_{20}(\text{kgO}_2/\text{kWh})$
780	26.13	29.31	0.0275	1.65	1.323095974	12.0269424	0.975779483
1200	30.53	28.62	0.025	1.5	1.222659799	11.11397757	0.771753438
1560	42.36	29.74	0.0268	1.608	1.276334377	11.60187949	0.58064175
1980	53.89	29.82	0.0342	2.052	1.62566772	14.77731957	0.581330813

ตารางที่ 5.29 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

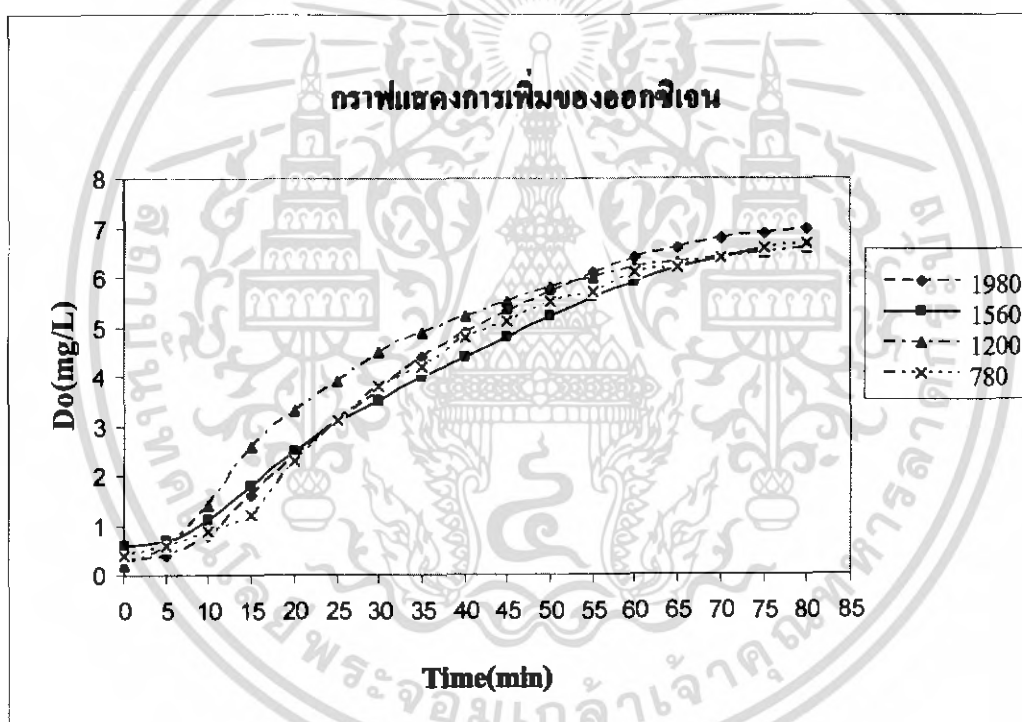
ใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ

N(rpm)	P(W)	T(°C)	$K_{La_T}(\text{min}^{-1})$	$K_{La_T}(\text{h}^{-1})$	$K_{La_{20}}(\text{h}^{-1})$	$OTR_{20}(\text{g/m}^3\text{h})$	$AE_{20}(\text{kgO}_2/\text{kWh})$
780	25.34	31.28	0.0206	1.236	0.945877642	8.598027762	0.719329868
1200	28.48	29.92	0.025	1.5	1.185538574	10.77654564	0.802186684
1560	36.72	30.42	0.0291	1.746	1.363699531	12.39602874	0.715674862
1980	48.67	30.69	0.035	2.1	1.629719111	14.81414672	0.645284385

ตารางที่ 5.30 แสดงค่าการคำนวณที่ได้จากการทดลองของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ

5.3 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจน ที่ ความเร็วรอบต่างๆ

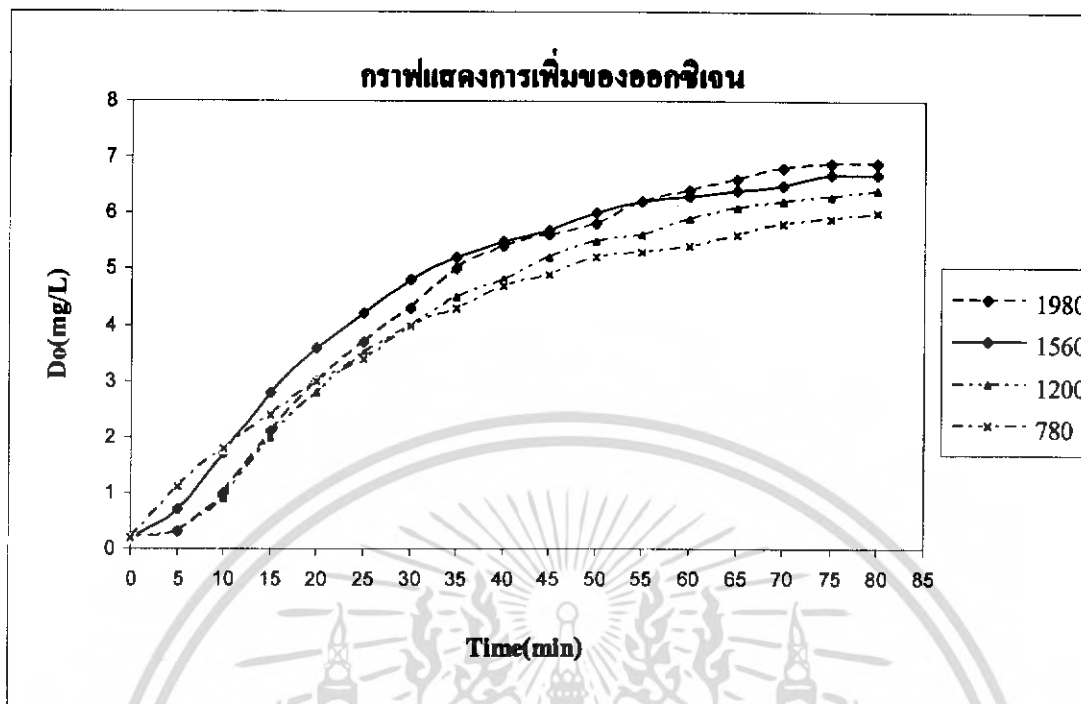
ใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ

จากกราฟจะเห็นว่า สำหรับใบพัดแบบคางหมู 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที จะสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้เร็วกว่าที่ความเร็วรอบอื่นๆ แต่ที่ความเร็วรอบ 1980 จะสามารถเพิ่มออกซิเจนได้ปริมาณมากที่สุดคือ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร

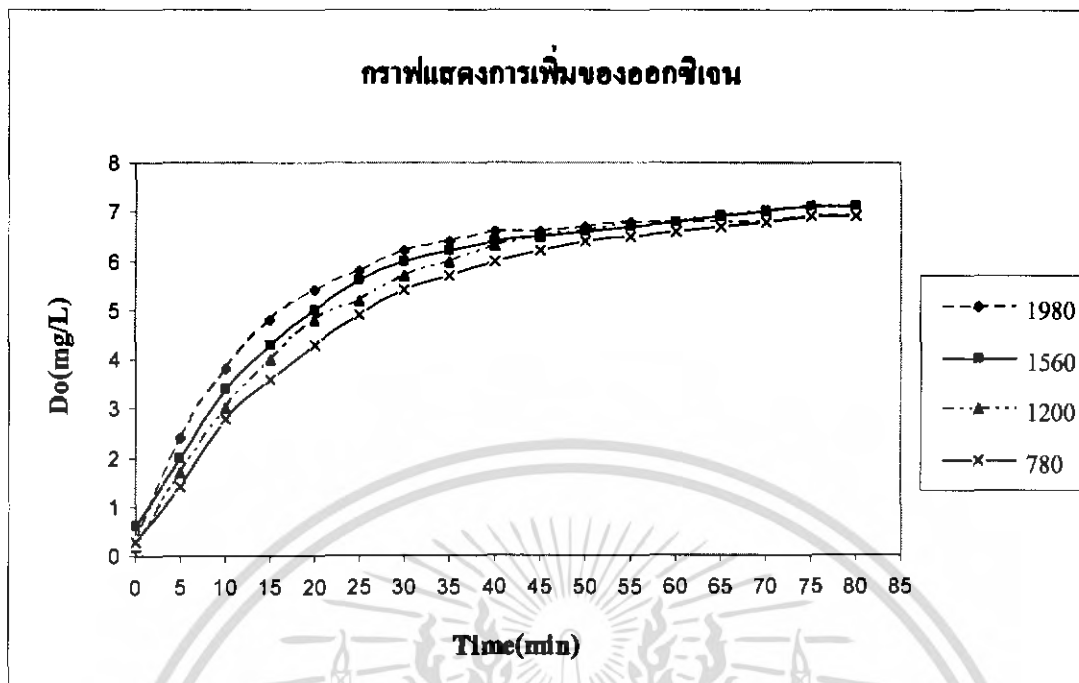
ใบพัดคางหมู 4 ใบ



รูปที่ 5.27 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ

จากกราฟจะเห็นว่า สำหรับใบพัดแบบคางหมู 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 รอบต่อนาที จะสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้เร็วกว่าที่ความเร็วรอบอื่นๆ แต่ที่ความเร็วรอบ 1980 จะสามารถเพิ่มออกซิเจนได้ปริมาณมากที่สุดคือ 6.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเร็วรอบ 780 รอบต่อนาทีสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้น้อยคือ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร

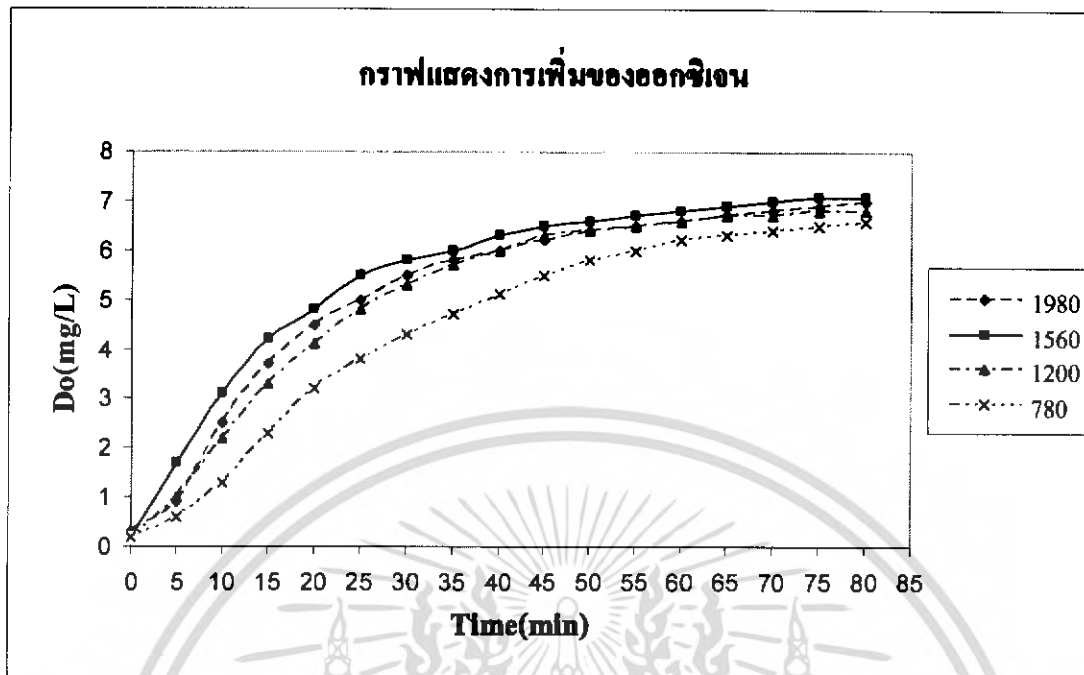
ใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6ใบ



รูปที่ 5.28 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6ใบ

จากกราฟจะเห็นว่า สำหรับใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 6 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1980 รอบต่อนาที จะสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้เร็วกว่าที่ความเร็วรอบอื่นๆ และใบพัดแบบสี่เหลี่ยมจะสามารถเติมออกซิเจนได้ในปริมาณใกล้เคียงกัน

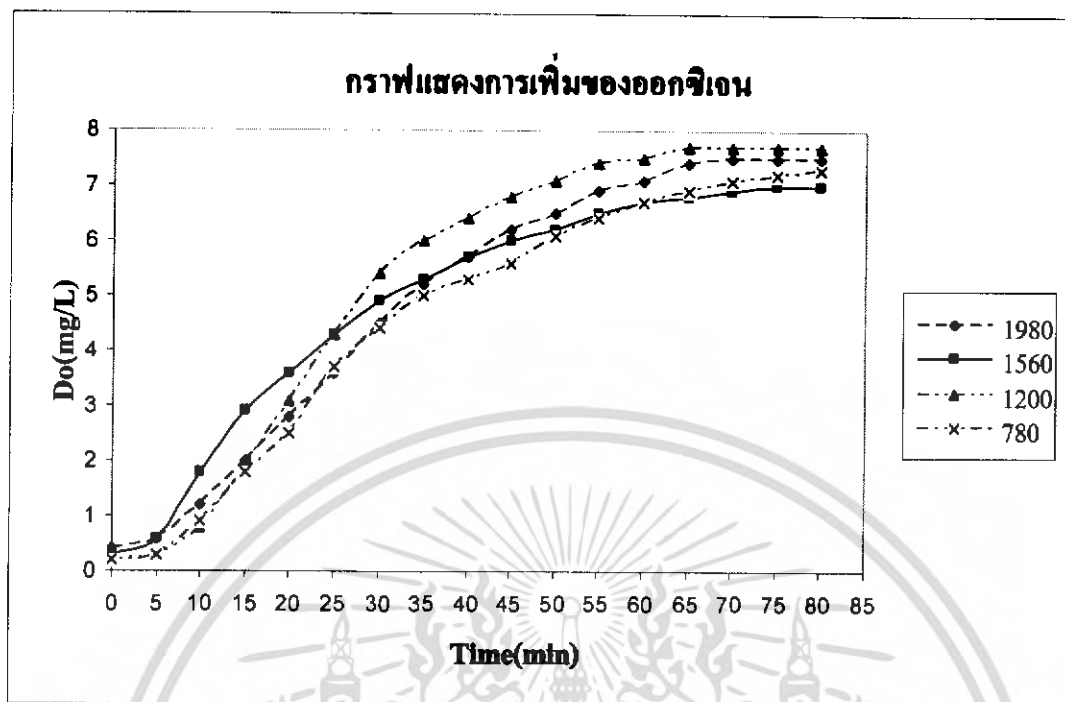
ใบพัดสี่เหลี่ยม 4ใบ



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4ใบ

จากกราฟจะเห็นว่า สำหรับใบพัดแบบสี่เหลี่ยม 4 ใบ ที่ความเร็วรอบ 1560 รอบต่อนาที จะสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้เร็วกว่าที่ความเร็วรอบอื่นๆ และที่ความเร็วรอบ 1560 จะสามารถเพิ่มออกซิเจนได้ปริมาณมากที่สุดคือ 7.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเร็วรอบ 780 รอบต่อนาทีสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้น้อยคือ 6.6 มิลลิกรัมต่อลิตร

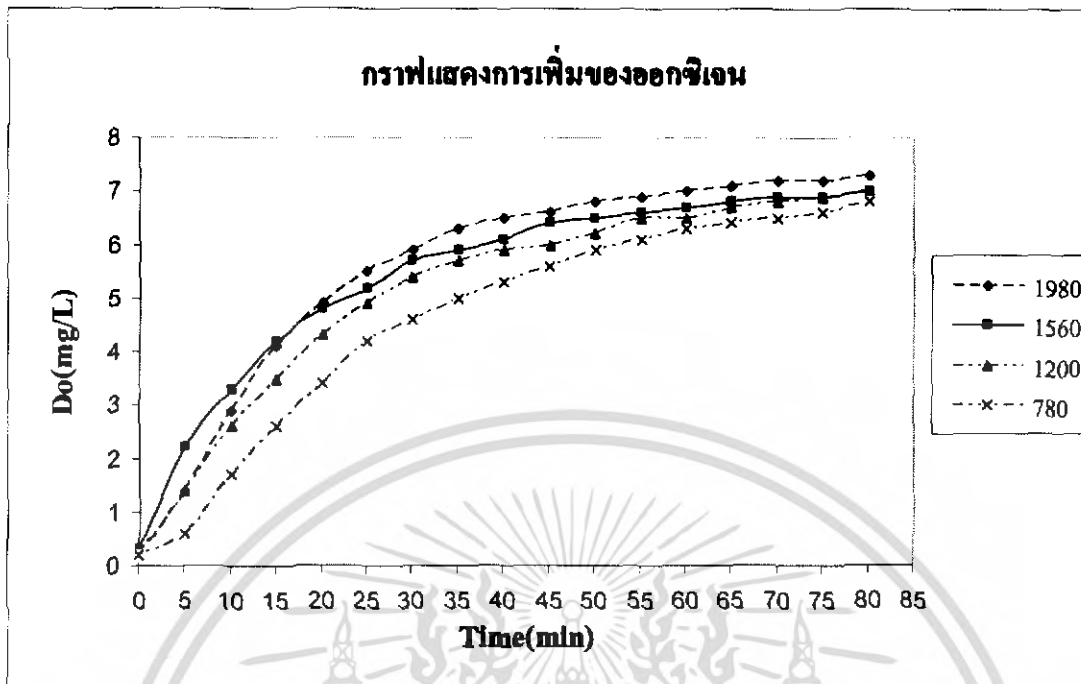
ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6ใบ



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6ใบ

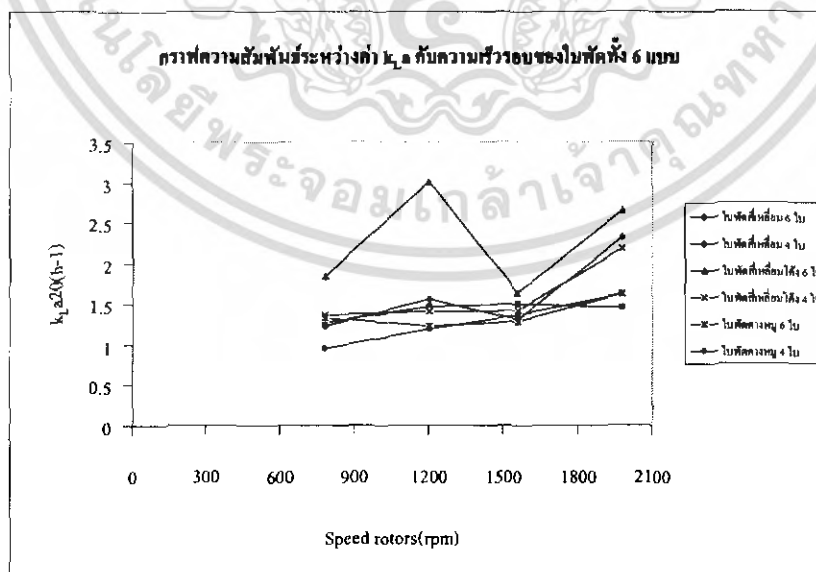
จากกราฟจะเห็นว่า สำหรับใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 6 ใบ ช่วง 25 นาทีแรก ที่ความเร็วรอบ 1560 รอบต่อนาที จะสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้เร็วกว่าที่ความเร็วรอบอื่นๆ แต่หลังจาก 25 นาที เป็นต้นไปที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที จะสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้เร็วกว่าที่ความเร็วรอบอื่นๆ และที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที จะสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนมากที่สุดคือ 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเร็วรอบ 1560 รอบต่อนาทีสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้น้อยคือ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร

ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ



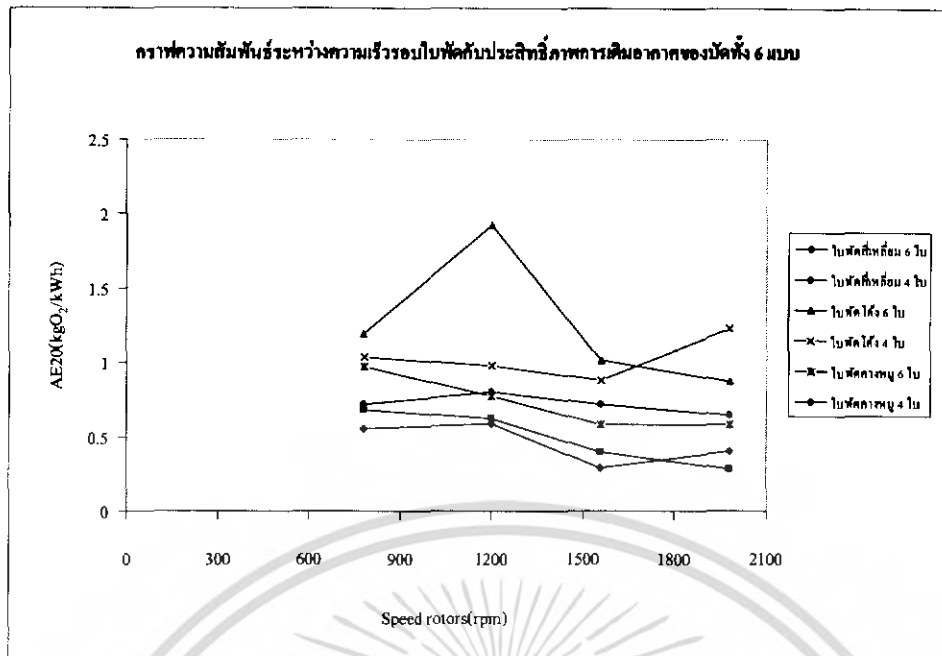
รูปที่ 5.31 กราฟแสดงการเพิ่มของออกซิเจนของใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ

จากกราฟจะเห็นว่า สำหรับใบพัดแบบสี่เหลี่ยมโค้ง 4 ใบ ช่วง 15 นาทีแรก ที่ความเร็วรอบ 1560 รอบต่อนาที จะสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้เร็วกว่าที่ความเร็วรอบอื่นๆ แต่หลังจาก 15 นาที เป็นต้นไป ที่ความเร็วรอบ 1980 รอบต่อนาที จะสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้เร็วกว่าที่ความเร็วรอบอื่นๆ และที่ความเร็วรอบ 1980 รอบต่อนาที จะสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนมากที่สุดคือ 7.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเร็วรอบ 780 รอบต่อนาทีสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้น้อยคือ 6.8 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 5.32 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนของใบพัดทั้ง 6 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.33 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและประสิทธิภาพการเติมอากาศของใบพัดทั้ง 6 แบบ

ชนิดของใบพัด	ประสิทธิภาพการเติมอากาศ(AE) (kgO ₂ /kWh)
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ (1200 รอบ/นาที)	1.921
สี่เหลี่ยมโค้ง4ใบ (1980 รอบ/นาที)	1.232
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ (780 รอบ/นาที)	1.191
สี่เหลี่ยมโค้ง4ใบ (780 รอบ/นาที)	1.037
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ (1560 รอบ/นาที)	1.017

ตารางที่ 5.31 แสดงค่าประสิทธิภาพการเติมอากาศของใบพัดที่ดีและเหมาะสมที่สุด 5 อันดับ

ชนิดของใบพัด	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทของออกซิเจน (k _{La20} (h ⁻¹))	กำลัง (W)
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ (1200 รอบ/นาที)	3	30.15
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ (1980 รอบ/นาที)	2.65	58.76
สี่เหลี่ยม6ใบ (1980 รอบ/นาที)	2.319	110.34
สี่เหลี่ยมโค้ง4ใบ (1980 รอบ/นาที)	2.184	34.17
สี่เหลี่ยมโค้ง6ใบ (780 รอบ/นาที)	1.84	29.78

ตารางที่ 5.32 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทของออกซิเจนและกำลังที่ใช้ขับใบพัดที่จุดที่เหมาะสมที่สุด 5 อันดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการเติมอากาศ (Aeration efficiency) ของใบพัดทั้งหมดที่ความเร็วรอบต่างๆ และที่ความลึกเท่ากัน จะพบว่าใบพัดแบบสี่เหลี่ยม โค้ง 6 ใบ มุมโค้ง 30° ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 28.923°C และ ปริมาณน้ำที่ทำการทดลอง 2.12 m³ มีประสิทธิภาพการเติมอากาศ (Aeration efficiency) ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C (SAE , ASCE Standard ,1992 USA) ที่สูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.921 kg O₂/kWh โดยมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน (Overall mass transfer coefficient) ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C สูงสุดเท่ากับ 3.006 h⁻¹ มีค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจน (Oxygen transfer rate) ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C เท่ากับ 27.323 g/m³/h และใช้กำลังขับใบพัด 30.15 วัตต์

ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาต่อ

1. ปรับรอบการหมุนให้อยู่ในช่วงความเร็วรอบที่แคบลง
2. ปรับระดับการจมของใบพัด
3. ปรับขนาดใบพัดและขนาดมุมของใบพัด โค้ง
4. เครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำจะมีอยู่ 2 แบบ คือ เป็นแบบ ไหลในแนวแกน (axial flow) หรือแบบ หมุนเร็วไหลตามแนวแกน ซึ่งจะใช้กับระบบขนาดใหญ่ ที่ระดับความลึกมาก และแบบ ไหลในแนวรัศมี (radial flow) หรือแบบหมุนช้าไหลตามรัศมี ซึ่งจะใช้กับระบบขนาดเล็ก ที่ระดับความลึกน้อย ดังนั้นจะเห็นว่าแบบ radial flow ใช้พลังงานน้อยกว่า
5. เครื่องเติมอากาศแบบ radial flow มีประสิทธิภาพการเติมอากาศสูงในน้ำสะอาด (SAE)
6. เครื่องเติมอากาศแบบ axial flow แรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีผลต่อการตกตะกอนได้ และการใช้ที่ระดับลึกกว่า มีผลให้ใช้พลังงานมากกว่าและอาจทำให้อายุการใช้งานของชุดเกียร์สั้นกว่าแบบ radial flow ดังนั้นการเลือกเครื่องเติมอากาศแบบ radial flow จึงให้ผลดีกว่าเครื่องเติมอากาศแบบ axial flow ในหลายด้าน

บรรณานุกรม

- [1] มนตรี พิรุณเกษตร, กลศาสตร์ของไหล, ปี พ.ศ. 2545
- [2] เสริมพล รัตสุข, ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และ แหล่งชุมชน, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- [3] สมศักดิ์ กীরติวุฒเสรษฐ์, หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
- [4] Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, Fundamentals of Fluid Mechanics
- [5] Beatriz Cancino, Pedro Roth, Manfred Reub, Design of high efficiency surface aerator, Part 1. Development of new rotors for surface aerators, Journal of Elsevier, Aquacultural Engineering 31 (2004) pp. 83-98.
- [6] Beatriz Cancino, Pedro Roth, Manfred Reub, Design of high efficiency surface aerator, Part 2. Rating of surface aerator rotors, Journal of Elsevier, Aquacultural Engineering 31 (2004) pp. 99-115.
- [7] Beatriz Cancino, Pedro Roth, Manfred Reub, Design of high efficiency surface aerator, Part Part 3. Dimensional analysis of rotor performance, Journal of Elsevier, Aquacultural Engineering 31 (2004) pp. 117-121.
- [8] วรวิทย์ อิงภากรณ์, ชาญุ ถนัดงาน, การออกแบบเครื่องจักรกล (Machine design) เล่ม 1, 2, ปี พ.ศ. 2546
- [9] Joseph Edward Shigley, Charles R. Mischke, Richard G. Budynas, Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill, 2004.
- [10] กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ เล่ม 2 รายละเอียดสนับสนุนเกณฑ์แนะนำการออกแบบระบบรวมน้ำเสียและโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำของชุมชน, สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2546.
- [11] ดร.เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, วิศวกรรมบำบัดน้ำเสีย เล่ม 3 Wastewater Engineering, พ.ศ. 2537.