



ผลของความเข้มข้นของเมทานอลแอลกอฮอล์ ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน
แบบการเดือดโดยการติดตั้งใบพัดหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

EFFECT OF METHYL ALCOHOL CONCENTRATION ON POOL BOILING HEAT
TRANSFER WITH PASSIVE ROTATING BLADES ABOVE HEATING SURFACE

วีระวัฒน์ ฉิมหาต

WEERAWAT CHIMHAD

ศศิگانต์ ไกล่เกลี่ย

SASIKAN KLAIKLEA

อนาวิน รวดเร็ว

ANAWIN RUADREW

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความเข้มข้นของเมทานอลแอลกอฮอล์ ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน
แบบการเดือดโดยการติดตั้งใบพัดหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

EFFECT OF METHYL ALCOHOL CONCENTRATION ON POOL BOILING HEAT
TRANSFER WITH PASSIVE ROTATING BLADES ABOVE HEATING SURFACE



วีระวัฒน์ ฉิมหาด

WEERAWAT CHIMHAD

ศศิกานต์ ไกล่เกลี่ย

SASIKAN KLAIKLEA

อนาวิน รวดเร็ว

ANAWIN RUADREW

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF METHYL ALCOHOL CONCENTRATION ON POOL BOILING HEAT
TRANSFER WITH PASSIVE ROTATING BLADES ABOVE HEATING SURFACE



WEERAWAT CHIMHAD

SASIKAN KLAIKLEA

ANAWIN RUADREW

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ผลของความเข้มข้นของเมทานอลแอลกอฮอล์ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดโดยการติดตั้งใบพัดหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

Project Tittle Effect of methyl alcohol concentration on pool boiling heat transfer with passive rotating blades above heating surface.

ชื่อนักศึกษา นายวีระวัฒน์ นิมาหัด รหัสนักศึกษา 63201251
นางสาวศศิกันต์ ไกล่เกลี่ย รหัสนักศึกษา 63201252
นายอนาวิน รวดเร็ว รหัสนักศึกษา 63201257

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อติเรก สุริยะวงศ์

ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร. ศิระ	สายสร	กรรมการสอบ	ศิริ: กช
ผศ. วรราชชล	วิฒนะ	กรรมการสอบ	อ. วิฒนะ
รศ. วชร	กาลาสี	กรรมการสอบ	วชร
ดร. ศักรินทร์	ชินกุลพิทักษ์	กรรมการสอบ	ศก.
ผศ.ดร. อติเรก	สุริยะวงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษา	อติเรก

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 16 มิถุนายน 2566 เวลา 09.00 – 16.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง A309

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

อ. ฐิติพงศ์ สุทธิธรรม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิติพงศ์ สุทธิธรรม)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ผลของความเข้มข้นของเมทานอลแอลกอฮอล์ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดโดยการติดตั้งใบพัดหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	
ชื่อนักศึกษา	นายวิระวัฒน์ นิมหาด	รหัสนักศึกษา 63201251
	นางสาวศศิگانต์ ไกล่เกลี้ย	รหัสนักศึกษา 63201252
	นายอนาวิน รวดเร็ว	รหัสนักศึกษา 63201257
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อติเรก สุริยะวงศ์	
ปริญญานิพนธ์		

บทคัดย่อ

การศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดของสารเมทานอล โดยใช้สารเมทานอลที่ใช้ความเข้มข้นที่ 25, 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใบหมุนทำจากอลูมิเนียมมี 4 ครีบ, มุมบิด 90 องศา, ความสูง 50 มิลลิเมตร, และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร จากผลทดลองความเข้มข้น และระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน L_{SB} มีผลต่อคุณลักษณะและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน การติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อนช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับไม่ได้ติดตั้งใบหมุน โดยที่ระยะ L_{SB} เท่ากับ 5, 15, และ 25 มิลลิเมตร ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 3.05 %, 3.13 %, และ 3.36 % ตามลำดับ เพราะว่าเมื่อระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนมีค่าลดลง ขนาด และปริมาณของฟองอากาศที่เป็นตัว ผลักดันใบหมุนจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้ใบหมุนมีแรงต้านทานและสร้างความปั่นป่วนของสาร ทำงานบริเวณเหนือพื้นผิวให้ความร้อนได้ดีขึ้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น จากผลทดลองพบว่าทุกความเข้มข้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าน้ำกลั่น และยังพบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับน้ำกลั่น โดยที่ความเข้มข้นเท่ากับ 25, 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 0.66 %, 2.76 %, และ 2.36 % ตามลำดับ เพราะแรงตึงผิวของสารน้อยกว่าน้ำกลั่นส่งผลให้ฟองของการเดือดมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับน้ำกลั่น ฟองมีขนาดเล็กส่งผลให้ความรุนแรงของการเดือดลดน้อยลงเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนน้อยลงเมื่อเทียบกับฟองที่มีขนาดใหญ่

คำสำคัญ : การเดือดแบบพูล , ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน , เทคนิคสร้างความปั่นป่วน , เมทานอล

Project Title	EFFECT OF METHYL ALCOHOL CONCENTRATION ON POOL BOILING HEAT TRANSFER WITH PASSIVE ROTATING BLADES ABOVE HEATING SURFACE	
Student	Mr. WEERAWAT CHIMHAD	Student ID 63201251
	Miss. SASIKAN KLAIKLEA	Student ID 63201252
	Mr. ANAWIN RUADREW	Student ID 63201257
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Adirek Suriyawong.	

ABSTRACT

Experimental study on boiling heat transfer of methanol using different concentrations 25, 50, 75, and 100 % was conducted. The four-bladed aluminum impeller with a 90-degree twist, 50 mm. height, and 30 mm. diameter was used. The results showed that the concentration and distance between the impeller and the surface affect the characteristics and heat transfer coefficient (HTC) of boiling. Installing the impeller above the surface increased the HTC compared to no impeller installation. With distances of 5, 15, and 25 mm. between the impeller and the surface, the HTC increased by 3.05 %, 3.13 %, and 3.36 % respectively. This is because reducing the distance between the impeller and the surface decreases the size and volume of the vapor bubbles, increasing the agitation and creating better heat transfer above the surface. Overall, it was found that all concentrations had lower HTC than distilled water. Moreover, increasing the concentration resulted in a decrease in HTC compared to distilled water, with reductions of 0.66 %, 2.76 %, and 2.36 % for concentrations of 25, 50, 75, and 100 % respectively. This is because the surface tension of the methanol solution is lower than that of distilled water, resulting in smaller boiling bubbles. Smaller bubbles reduce the intensity of boiling and consequently reduce heat transfer compared to larger bubbles.

Keywords: Betel boiling , Heat transfer coefficient , Agitation technique, methanol.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากบุคลากร
หลายๆฝ่าย ทั้งนี้ทางผู้จัดทำต้องขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร และต้องขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุน
และได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.อดิเรก สุริยะวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และ รศ.ดร.
ศิระ สายศร ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินวิจัยในครั้งนี้

ทั้งนี้ ผู้จัดทำคาดว่า วิจัยฉบับนี้จะมีขอบความรู้ไม่มากนักน้อยต่อบุคคลที่สนใจในงานวิจัย
ฉบับนี้ และคาดว่าวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อสถานศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์แก่การศึกษาต่อไป
และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องกับวิจัยฉบับนี้ทุกท่าน และยินดีรับคำติชมหรือคำแนะนำของทุกท่านที่ได้
มีโอกาสมาศึกษา และนำไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อการวิจัยต่อไป

วีระวัฒน์ นิมิตต์
ศศิกานต์ ไกลเกลี้ย
อนาวิน รวดเร็ว
มิถุนายน 2566

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	I
1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญาโท	I
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.7 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 การระเหย	5
2.3 การถ่ายโอนความร้อน	6
2.4 การเดือดแบบ Pool boiling	9
2.5 ชนิดของการเดือดแบบ Pool boiling	9
2.6 สมการที่ใช้ในการคำนวณ	14
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	21
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	21
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	27
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	29
4.1 การสอบเทียบอุปกรณ์การทดลอง	29
4.2 ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน	36
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผลการทดลอง	47
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก. ข้อมูลทาลเทคนิค	53
ภาคผนวก ข. Least Square Method	54
ภาคผนวก ค. ข้อมูลการทดลอง	58
ภาคผนวก ง. ปราบกฏการณ์การเดือด	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าการนำความร้อนของโลหะหรือวัสดุอื่น	7
2.2 แสดงอุณหภูมิของการเดือดในสารแต่ละประเภท	14
5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการติดตั้งใบหมุน ไว้บริเวณเหนือพื้นผิวให้ความร้อน	48
ค.1 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของน้ำกลั่นระหว่างการเดือดแบบพลู เมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน	59
ค.2 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของ ที่ความเข้มข้นของเมทานอล เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเดือดแบบพลูเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน	25 59
ค.3 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของ ที่ความเข้มข้นของเมทานอล เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเดือดแบบพลูเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน	50 60
ค.4 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของ ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 75 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเดือดแบบพลูเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน	60
ค.5 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของ ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 100 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเดือดแบบพลูเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน	61
ค.6 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ใช้น้ำกลั่นในการทดลอง	61
ค.7 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์	62
ค.8 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์	62
ค.9 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 75 เปอร์เซ็นต์	63
ค.10 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 100 เปอร์เซ็นต์	63
ค.11 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ใช้น้ำกลั่นในการทดลอง	64
ค.12 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.13 ผลการทดลองที่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างไบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์	65
ค.14 ผลการทดลองที่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างไบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 75 เปอร์เซ็นต์	65
ค.15 ผลการทดลองที่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างไบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 100 เปอร์เซ็นต์	66
ค.16 ผลการทดลองที่ติดตั้งไบพัดหมุน ที่ระยะห่างระหว่างไบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร ที่ใช้น้ำกลั่นในการทดลอง	66
ค.17 ผลการทดลองที่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์	67
ค.18 ผลการทดลองที่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างไบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์	67
ค.19 ผลการทดลองที่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างไบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 75 เปอร์เซ็นต์	68
ค.20 ผลการทดลองที่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างไบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 100 เปอร์เซ็นต์	68

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเสนกราฟการเดือด	4
2.2 การระเหยของน้ำในกาต้มน้ำ	5
2.3 ภาพตัวอย่างการถ่ายโอนความร้อน	6
2.4 ภาพตัวอย่างค่าความเข้มของการแผ่รังสีความร้อน	8
2.5 เป็นภาพการเดือดแบบ POOL BOILING	9
2.6 ปรากฏการณ์ของการเดือดในแต่ละลักษณะ	9
2.7 (ก.) ก่อนทำการทดลอง (ข.) การให้ความร้อนแก่ของเหลว	10
2.8 การเดือดแบบฟอง (NUCLEATE BOILING) เกิดฟองเดี่ยว (ISOLATE BUBBLE)	11
2.9 การเดือดแบบฟอง (NUCLEATE BOILING) จุดหักเหที่จุด C ของเส้นโค้ง	11
2.10 ภาพแสดงการเคลื่อนที่แบบการหมุนด้วย NUCLEATE BOILING	12
2.11 ภาพแสดงการเดือดแบบแปรเปลี่ยน (TRANSITION BOILING)	13
3.1 แผนภาพของอุปกรณ์การทดลอง	21
3.2 แผนภาพสายเส้นของอุปกรณ์การทดลอง	22
3.3 หม้อแปลงแบบปรับค่าได้ (VOLTAGE REGULATOR)	22
3.4 มาโนมิเตอร์แบบตัวยู	23
3.5 ระบบหล่อเย็น	23
3.6 ระบบลม	24
3.7 ลักษณะของไบหมุนที่ใช้ในการทดลอง	25
3.8 ไบหมุนที่ทำจากอลูมิเนียม	25
3.9 น้ำหนักของไบหมุน	26
3.10 ลักษณะของแกนที่ใช้ในการติดตั้งไบหมุน	26
3.11 แสดงขั้นตอนการทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือด	28
4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองสหสัมพันธ์ของ ROHSENOW และข้อมูลการทดลองของนักวิจัยท่านอื่นๆ	30
4.2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล เมื่อไม่ติดตั้งไบหมุน ของน้ำกลั่น	32
4.3 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล เมื่อไม่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับไบหมุนที่ 5 มิลลิเมตร.	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล เมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 15 มิลลิเมตร.	34
4.5 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล เมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 25 มิลลิเมตร.	35
4.6 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูลของน้ำกลั่น ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อน กับใบหมุนที่ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบ	37
4.7 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูลของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบ	38
4.8 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูลของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบ	39
4.9 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบ	40
4.10 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบ	41
4.11 ปรากฏการณ์การเดือดของน้ำกลั่น ที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างใบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบหมุน	42
4.13 ปรากฏการณ์การเดือด ของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบ หมุนที่ระยะห่างกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบหมุน	44
4.14 ปรากฏการณ์การเดือด ของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบ หมุนที่ระยะห่างกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบหมุน	45
4.15 ปรากฏการณ์การเดือดของสารเมทานอล ที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบ หมุนที่ระยะห่างกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบหมุน	46
ง. 1 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น	70
ง. 1 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น	71
ง. 2 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	72
ง. 3 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง. 3 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	75
ง. 3 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	76
ง. 4 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	77
ง. 5 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	78
ง. 5 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน	79
ง. 6 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิว ให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร	80
ง. 6 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิว	81
ง. 7 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร	82
ง. 7 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร	83
ง. 8 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร	84
ง. 9 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร	86
ง. 9 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร	87
ง. 10 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร	88
ง. 10 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร	89
ง. 11 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิว	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง. 11 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร	91
ง. 12 (ก.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร	92
ง. 12 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร	93
ง. 13 (ก.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร	94
ง. 13 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์	95
ง. 14 (ก.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร	96
ง. 14 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร	97
ง. 15 (ก.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร	98
ง. 15 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 15 มิลลิเมตร	99
ง. 16 (ก.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิว	100
ง. 16 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิว	101
ง. 17 (ก.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร	102
ง. 17 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร	103
ง. 18 (ก.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร	104
ง. 18 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร	105

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง. 19 (ก.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร	106
ง. 19 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร	107
ง. 20 (ก.) ปราบกฏการณ์การเดือดของสารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร	108
ง. 20 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของสารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร	109

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันวิวัฒนาการไปมากในเรื่องของเทคโนโลยีและด้านวิชาการ ในส่วนของการถ่ายเทความร้อนโดยเฉพาะการเดือดเป็นการกลายเป็นไออย่างรวดเร็วของของเหลว ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อของเหลวได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือด อุณหภูมิที่ความดันไอของของเหลวนั้นเท่ากับความดันแวดล้อมที่กดลงบนของเหลว ขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือด ของเหลวจะระเหยขึ้นจากพื้นผิว โดยในยุคปัจจุบันทุกคนต่างก็เคยเห็นและเคยสัมผัสกับการเดือดเป็นประจำ เช่น การทำอาหาร การเดือดของสารทำความเย็นภายในคอยล์เย็น และการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ และการเดือดเป็นการถ่ายเทความร้อนรูปแบบหนึ่งที่มีการเปลี่ยน สถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ การถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการถ่ายเทความร้อนแบบสถานะเดียว ดังนั้นจึงถูกนำไปใช้งานในงานด้านต่าง ๆ เช่น เครื่องส่งกระแสยวอากาศ งานด้านอุตสาหกรรมต่างๆ

การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเป็นกระบวนการสำคัญที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายให้กับระบบทางความร้อนได้ ในส่วนของลักษณะการเดือดสามารถแบ่งตามลักษณะของการเคลื่อนที่ของสารทำงานได้เป็น 2 ลักษณะ คือ (1) การเดือดแบบไหล เป็นการเดือดในลักษณะที่มีการเคลื่อนที่ของของเหลวไปตามช่องทางการไหล โดยที่ผนังของช่องทางการไหลจะเป็นพื้นผิวให้ความร้อน (2) การเดือดแบบพุดเป็นลักษณะการเดือดที่จะเกิดขึ้นโดยในขณะที่ของเหลวส่วนหนึ่งที่บริเวณพื้นผิวให้ความร้อนระเหยกลายเป็นไอและไอจะดูดเอาความร้อนแฝงจากของเหลวที่อยู่บริเวณรอบๆ ทำให้อุณหภูมิของของเหลวที่บริเวณพื้นผิวให้ความร้อนลดลง

จากที่ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดพบว่าเป็นงานวิจัย โดยส่วนมากจะศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยใช้วิธีการปรับปรุงพื้นผิวให้ความร้อน ในขณะที่การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการสร้างความปั่นป่วนบริเวณเหนือพื้นผิวให้ความร้อนและค่อนข้างมีผู้ศึกษาวิจัยเป็นที่ไม่เยอะ ในการศึกษาทดลองเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการเดือดด้วยใบพัดหมุนที่อยู่เหนือ พื้นผิวถ่ายเทความร้อนเพื่อทดสอบการถ่ายเทความร้อนเดือดของเมทานอลที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของ ซึ่งข้อมูลที่ได้รับมาจะกลายเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการนำไปใช้ในการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของเมทานอลที่มีต่อคุณลักษณะและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูล
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของระยะห่างของไบพทอนที่มีต่อคุณลักษณะและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูล

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 การทดลองโดยใช้สารเมทานอลที่ความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ คาดว่า ได้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน
- 1.3.2 การติดตั้งไบพทอนเหนือพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15, และ 25 มิลลิเมตร และคาดว่าจะทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของสารในการทดลองมีทิศทางที่ดีขึ้น

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1 ใช้สารเมทานอลที่ความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารในการทดลอง
- 1.4.2 ใช้ไบพทอนที่ทำจากอลูมิเนียมจำนวน 1 ไบ ที่จำนวน 4 ครีบ และมีน้ำหนักอยู่ที่ 11.30 กรัม
- 1.4.3 เส้นผ่านศูนย์กลางของไบพทอนคือ 30 มิลลิเมตร
- 1.4.4 ไบพทอนมีมุมบิด 90 องศา และสูง 50 มิลลิเมตร
- 1.4.5 หอควบแน่น (ส่วนทดสอบ) ท่อทรงกระบอก ทำจากแก้วหนา 5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 30 มิลลิเมตร และมีความยาว 400 มิลลิเมตร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเมทานอล
- 1.5.2 ได้ผลลัพธ์การทดลองถ่ายเทความร้อนด้วยเมทานอลอย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.5.3 สามารถอธิบายการถ่ายเทความร้อนเดือดของเมทานอลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.6.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.6.2 จัดเตรียมทำแผนงานในการทำงานวิจัย
- 1.6.3 จัดหาอุปกรณ์และออกแบบอุปกรณ์ในการวิจัย
- 1.6.4 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลอง
- 1.6.5 ทำการทดลองและเก็บผลการทดลอง
- 1.6.6 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง
- 1.6.7 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาทำโครงการ 1 ปีตั้งแต่สิงหาคม 2565 – มิถุนายน 2566

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินการ 2565-2566										
	ส.ค. 65	ก.ย. 65	ต.ค. 65	พ.ย. 65	ธ.ค. 65	ม.ค. 66	ก.พ. 66	มี.ค. 66	เม.ย. 66	พ.ค. 66	มิ.ย. 66
1. ศึกษา วิจัย หาข้อมูล	←→										
2. แผนงาน			←→								
3. จัดหาอุปกรณ์ทดลอง					←→						
4. ทดลองและเก็บผล								←→			
5. วิเคราะห์และสรุปผล การทดลอง									←→		
6. ทำหนังสือวิทยานิพนธ์										←→	

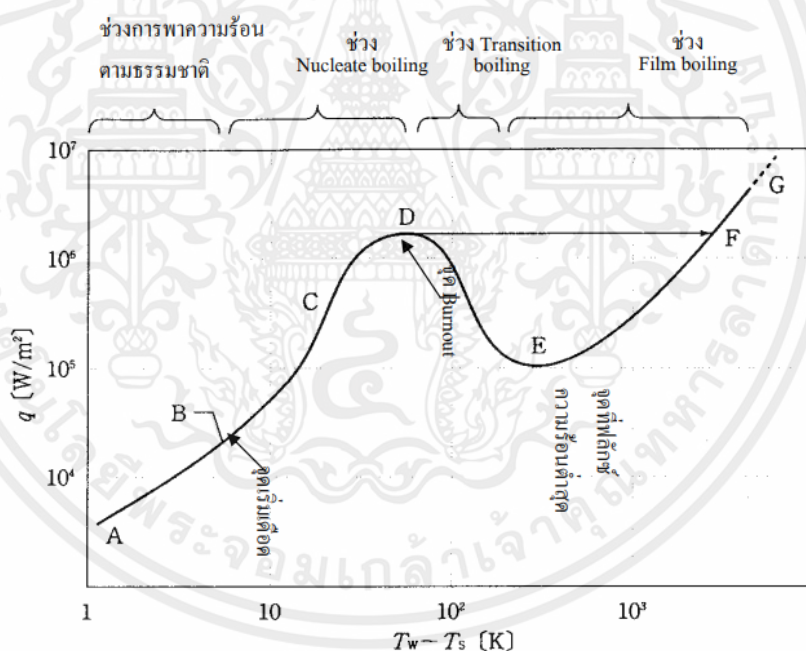
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Pool Boiling เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อเราทำให้ของเหลวที่ร้อนอยู่ในสภาวะเปลื้องน้ำบนพื้นผิวที่ได้รับความร้อนในกระบวนการเดือดแบบพลู น้ำหรือสารอื่น ๆ ที่มีจุดเดือด (boiling point) ที่มีการเกิดฟองไอที่พื้นที่ผิวสัมผัสกับพื้นที่รับความร้อน และฟองไอนี้กลายเป็นการสลายตัวแบบระหว่างของเหลวกับของแข็ง ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนและความร้อนถูกส่งไปยังสารที่ได้รับความร้อน ซึ่งส่งผลให้เกิดการแปรผันในการเคลื่อนที่ของของเหลว และสร้างฟองไอที่พื้นผิว ซึ่งโดยทั่วไปจะเกิดฟองก๊าซขึ้นบนผิวหน้าที่ได้รับความร้อน ดังในรูปที่ 2.1 แสดงผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของเสลลวดกับอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำ



รูปที่ 2.1 แสดงเสนกราฟการเดือด

การเดือด (Boiling) เป็นกระบวนการที่สารต่าง ๆ ถูกกระทำทำให้เกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว โดยปกติแล้วเราจะเห็นการเดือดเมื่อของเหลวถูกกักความร้อนจนเต็มที่ โดยตัวของเหลวจะเปลี่ยนจากของเหลวเป็นไอเมื่อถึงจุดเดือดเต็มที่ และเมื่อของเหลวเกิดการเดือดความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของของเหลวมากขึ้น โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและมีพลังงานสูงขึ้น ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศภายในของเหลว และฟองจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้การเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือดยังขึ้นกับความดันบรรยากาศ ซึ่งสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ตามสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้น กล่าวคือถ้าเปลี่ยนความดันจะทำให้จุดเดือดของของเหลวเปลี่ยนไป

2.2 การระเหย

2.2.1 การระเหย (Evaporation) เป็นกระบวนการที่น้ำหรือสารอื่นๆ จากสถานะเหลวสามารถเปลี่ยนเป็นสถานะกลายเป็นไอ โดยการเพิ่มพลังงานความร้อน ในกระบวนการระเหยน้ำ เมื่อน้ำถูกตั้งอยู่ในสถานะเหลวและเผาไหม้ พลังงานความร้อนจะทำให้เม็ดน้ำเคลื่อนที่รวดเร็วขึ้นและเปลี่ยนเป็นก๊าซ ซึ่งก๊าซจะระเหยออกมาในลักษณะของอากาศเรียกว่าการระเหย สิ่งเหล่านี้เป็นกระบวนการธรรมชาติที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารจากสถานะเหลวเป็นก๊าซโดยไม่ต้องมีการเพิ่มความร้อนเพิ่มเติม โดยทั่วไปการระเหยเกิดขึ้นได้ทั้งในระบบธรรมชาติและในสถานการณ์ทางเคมีหรือการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเหลวเคลือบ



รูปที่ 2.2 การระเหยของน้ำในกาต้มน้ำ

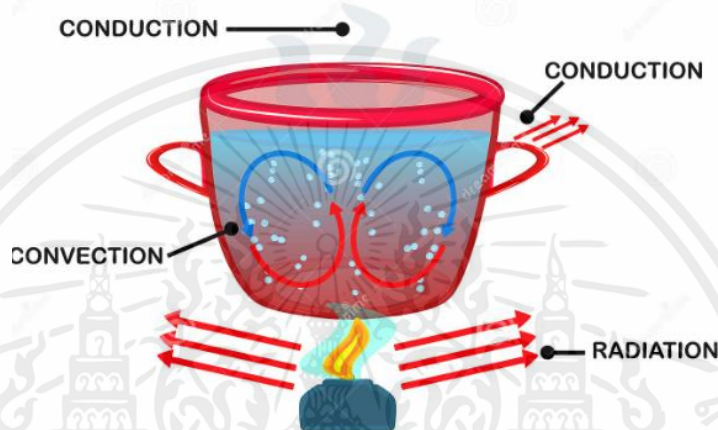
ที่มา : <https://www.truelookpanya.com/knowledge/content/88019-sciPHY-sci->

2.2.2 การกลายเป็นไอหรือการกลายเป็นก๊าซ (Vaporization) หมายถึงกระบวนการที่สารหรือสิ่งของใดก็ตามที่อยู่ในรูปของของเหลวหรือของแข็งสามารถเปลี่ยนเป็นรูปของก๊าซได้โดยการเพิ่มพลังงานความร้อนหรือพลังงานอื่น ๆ ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม เมื่อสารถูกทำให้กลายเป็นไอ มันจะเปลี่ยนรูปจากสารในรูปของของเหลวหรือของแข็งเป็นก๊าซโดยไม่เปลี่ยนรูปให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นใดในสารเอง ตัวอย่างของการกลายเป็นไอได้แก่ การเดือดของน้ำที่เราเดือดเพื่อทำให้น้ำเปลี่ยนรูปจากของเหลวเป็นก๊าซ (ไอน้ำ) หรือการกลายเป็นไอของสารละลายที่กลายเป็นก๊าซเมื่อนำมาเข้าติดกับอากาศรอบข้าง การกลายเป็นไอเป็นกระบวนการที่สำคัญในวิทยาศาสตร์และการทำงานในหลายๆ สาขา เช่น การกลายเป็นไอในระบบน้ำมันหรือการกลายเป็นไอในการอบสุญญากาศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การถ่ายโอนความร้อน

การถ่ายโอนความร้อนเป็นกระบวนการที่ความร้อนถูกส่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง โดยมีวัตถุทั้งสองที่มีอุณหภูมิต่างกัน โดยการถ่ายโอนความร้อน เช่น การใช้ความร้อนของกาต้มน้ำไฟฟ้าเพื่อนำน้ำร้อนมาต้ม ความร้อนจากเครื่องฮีตเตอร์เพื่อให้ความอบอุ่นแก่ผู้คน ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ประกอบอาหาร และอื่นๆ โดยหลักการของการถ่ายโอนความร้อนมีประโยชน์มากมายในการใช้ชีวิตประจำวัน ในหลักการของการถ่ายโอนความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ ได้แก่



รูปที่ 2.3 ภาพตัวอย่างการถ่ายโอนความร้อน

ที่มา : <https://fliphtml5.com/zilwm/mwys/basic>

2.3.1. การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นโดยมีของแข็งเป็นตัวกลาง วัตถุที่นำความร้อนได้ดี เรียกว่า "ตัวนำความร้อน (Conductor)" เช่น เงิน ทองแดง เหล็ก ส่วนวัตถุที่นำความร้อนได้ไม่ดีเราเรียกว่า "ฉนวนความร้อน (Insulators)" เช่น พลาสติก ยาง ไม้

การนำความร้อนเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุ วัสดุที่นำความร้อนได้ดีจะสามารถส่งผ่านความร้อนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว ส่วนวัสดุนำความร้อนที่ไม่ดีจะต้านการไหลของความร้อน และรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมได้ช้า โดยทั่วไปตัวนำไฟฟ้าที่ด้อย่างทองแดง อะลูมิเนียม ทองคำ หรือเงิน ซึ่งเป็นโลหะ จะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีด้วย ขณะที่ฉนวนไฟฟ้าก็จะเป็นฉนวนความร้อน ซึ่งนำความร้อนได้ไม่ดีเช่นกัน สังเกตได้จากแก้วที่เป็นโลหะกับแก้วที่เป็นกระเบื้อง หากเราเติมน้ำร้อนลงไปในแก้วโลหะ น้ำร้อนจะมีโมเลกุลที่ร้อนและมีพลังงานจลน์สูง โมเลกุลดังกล่าวจะเคลื่อนที่และเข้าชนกับโมเลกุลที่เย็นและมี

พลังงานจลน์ต่ำกว่าอย่างแก้วโลหะ จึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานได้อย่างรวดเร็ว แต่ความร้อนจากน้ำกลับถ่ายโอนไปยังแก้วกระเบื้องซึ่งเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีได้อย่างช้า ๆ

ตารางที่ 2.1 ค่าการนำความร้อนของโลหะหรือวัสดุอื่น

Material	Thermal conductivity (W/m•K)
เพชร (Diamond)	1000
เงิน (Silver)	406
ทองแดง (Copper)	401
ทองคำ (Gold)	314
อะลูมิเนียม (Aluminium)	205
ทองเหลือง (Brass)	109

2.3.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งที่มีอุณหภูมิสูงไปยังสิ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยอากาศเป็นตัวกลางในการพาความร้อน การพาความร้อนเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสิ่งที่มีอุณหภูมิสูงส่งผลให้อากาศรอบตัวเคลื่อนที่ และเมื่ออากาศเคลื่อนที่ไปยังสิ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า อากาศจะถูกทำ ความร้อน และสิ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะรับความร้อนนั้น ตัวอย่างเช่น เมื่อเราตั้งแอมป์เหนือเตียงนอน เราจะรู้สึกว่อากาศบริเวณเตียงนอนอบอุ่นขึ้น นั่นคือการพาความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของอากาศ

หลักการการพาความร้อน ที่ความร้อนถูกส่งต่อการเคลื่อนที่ของสารที่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในตัวมันเอง เช่น ของเหลว เมื่อตัวอุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้น จะทำให้อนุภาคของสารจะร้อนขึ้นและเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิม เมื่อเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิม อนุภาคของสารที่มีความร้อนที่เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมจะถูกแทนที่ด้วยอนุภาคที่เย็นกว่า ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิของสารและย้อนกลับเข้าสู่ตำแหน่งเดิมได้ การเคลื่อนที่ของสารในการพาความร้อนเกิดขึ้นด้วยสองวิธีหลัก ได้แก่

1. การพาความร้อนโดยทั่วไป หรือ natural convection เป็นกระบวนการการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของสารในสภาวะของสภาพอุณหภูมิที่ต่างกัน โดยสารที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีการเคลื่อนที่ของสารเพื่อเติมความหนาแน่นให้เท่ากัน และทำให้อุณหภูมิสูงลดลง ในขณะที่เดียวกัน สารที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีความหนาแน่นสูงขึ้น ทำให้เคลื่อนที่ขึ้นบนเพื่อลดความหนาแน่น และทำให้อุณหภูมิที่ต่ำสูงขึ้น กระบวนการ natural convection พบได้ในหลายสถานการณ์ เช่น เมื่อคุณตั้งกระทะที่มีไฟขึ้น อาหารภายในกระทะจะร้อนขึ้นและเคลื่อนที่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

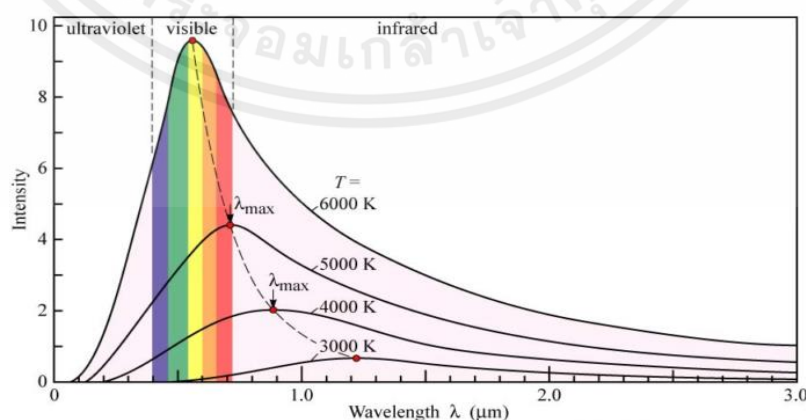
ไปยังพื้นผิวด้านบน ในการถ่ายโอนความร้อนในบริเวณรอบๆ นั้น ความร้อนจะถูกพาขึ้นมาด้วยการเคลื่อนที่ของอากาศ

2. การพาความร้อนแบบบังคับหรือ forced convection เกิดขึ้นเมื่อความร้อนถูกส่งผ่านสื่อการสัมผัสที่มีการเคลื่อนที่อย่างบังคับ ซึ่งสามารถเป็นของเหลวหรือสารอะไรก็ได้ เช่น ลมหรือน้ำที่ถูกบังคับให้เคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวที่มีอุปกรณ์หรือโครงสร้างที่ออกแบบมาเพื่อเพิ่มการส่งผ่านความร้อน การเคลื่อนที่ของสื่อการสัมผัสเกิดจากแรงบังคับที่ใช้ปั๊มอัดหรือดูดของสื่อการสัมผัส นั้นหมายความว่าความเร็วและทิศทางของสื่อการสัมผัสมีผลต่อการพาความร้อน การทำงานแบบ forced convection ช่วยในการลดอุณหภูมิของวัตถุหรือสิ่งของที่ร้อนขึ้น โดยการเพิ่มการส่งผ่านความร้อนของสื่อการสัมผัส

2.3.3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นกระบวนการที่สิ่งของหรือพื้นผิวส่งออกพลังงานความร้อนในรูปแบบของรังสี Electromagnet ที่มีความถี่ต่ำกว่าสีที่สามารถมองเห็นได้ รังสีความร้อนสามารถผลักดันโมเลกุลและอะตอมของวัสดุให้เคลื่อนที่ที่อยู่ในรูปแบบของการสั่นสะเทือน ทำให้อุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้น การแผ่รังสีความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้จากแหล่งที่เป็นแสงแดดเช่นเดียวกัน การแผ่รังสีความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในรูปแบบของคลื่นแสงอินฟราเรด (infrared radiation) และการแผ่รังสีความร้อนยังเป็นกระบวนการสำคัญในการส่งความร้อนจากอุณหภูมิร้อนมายังอุณหภูมิต่ำ

หลักการที่ใช้ในการแผ่รังสีความร้อนคือการส่งพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคของสารของวัตถุ โดยที่อนุภาคเหล่านี้มีพลังงานจำนวนมากและสามารถส่งต่อพลังงานให้กับอนุภาคอื่นได้ผ่านการแผ่รังสีความร้อน อุณหภูมิของวัตถุที่สูงขึ้นจะเป็นสาเหตุให้อนุภาคภายในเคลื่อนที่มากขึ้นและการเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล่านี้จะส่งพลังงานเป็นคลื่นแสงอินฟราเรด และคลื่นนี้จะสามารถแผ่กระจายออกไปในทิศทางทั้งกลางและรอบข้างของวัตถุ

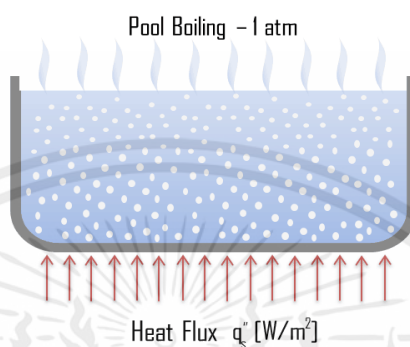


รูปที่ 2.4 ภาพตัวอย่างค่าความเข้มของการแผ่รังสีความร้อน

ที่มา : <http://banksiansphere.blogspot.com/2011/10/baseball-and-physics-unite.html>
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเดือดแบบ Pool boiling

การเดือดแบบ Pool boiling เป็นลักษณะการเดือดในขณะที่ของเหลวส่วนหนึ่งที่บริเวณพื้นผิวให้ความร้อนระเหยกลายเป็นไอ ไอจะดูดเอาความร้อนที่แฝงอยู่จากของเหลวที่อยู่บริเวณรอบๆ ทำให้อุณหภูมิของเหลวตรงบริเวณพื้นผิวให้ความร้อนลดลง ฟองที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวให้ความร้อนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นจนหลุดออกจากพื้นผิว และจะลอยตัวผ่านของเหลว แสดงในรูปที่ 2.5

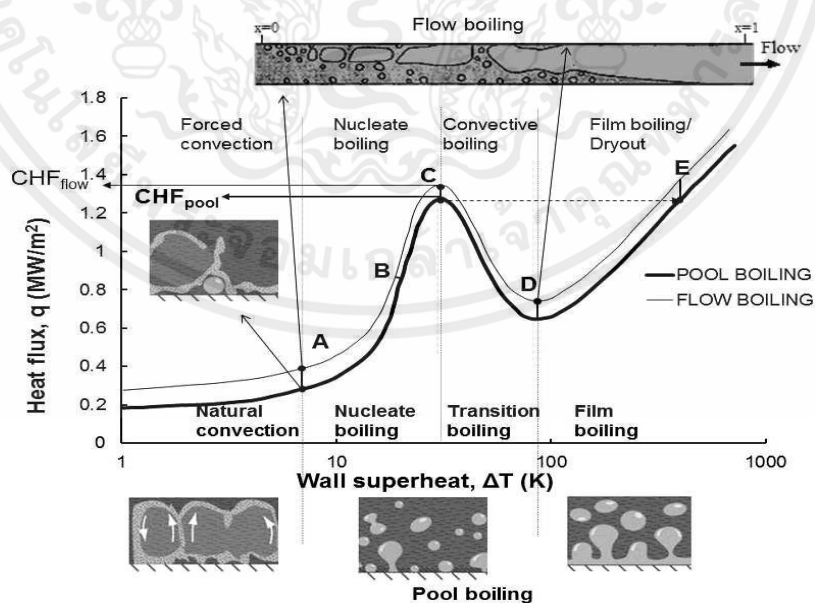


รูปที่ 2.5 เป็นภาพการเดือดแบบ Pool boiling

ที่มา : <https://www.thermal-engineering.org/what-is-pool-boiling-boiling-curve>

2.5 ชนิดของการเดือดแบบ Pool boiling

การเดือดแบบพูล สามารถแบ่งออกเป็นช่วงต่างๆ ได้โดยใช้เส้นโค้งการเดือดแบบพูล (Pool boiling curve) ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของการเดือดแบ่งได้ 4 ลักษณะ



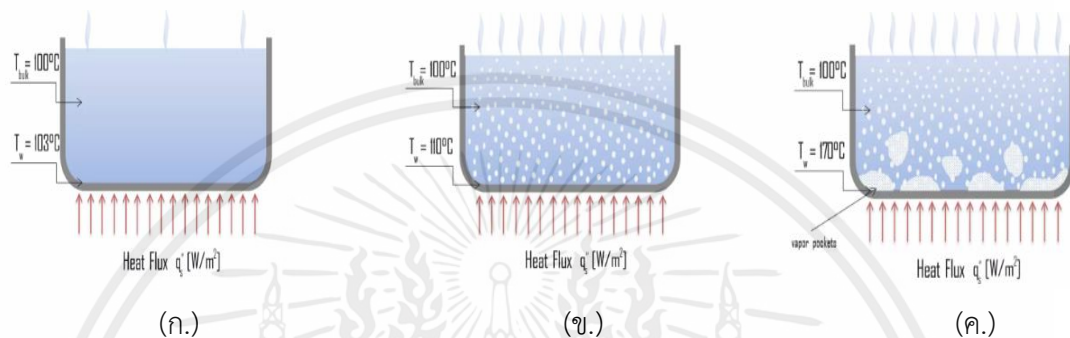
รูปที่ 2.6 ปรากฏการณ์ของการเดือดในแต่ละลักษณะ

ที่มา : <https://www.tsme.org/me-nett/me-nett2019/fullpaper/AEC/AEC011.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การเดือดแบบพาความร้อนธรรมชาติ (Free convection boiling)

ดังรูปที่ 2.7 (ก.) ก่อนทำการทดลอง (ข.) การให้ความร้อนแก่ของเหลว (ค.) Pool boiling curve การพาความร้อนโดยทั่วไป หรือ natural convection ในช่วงการเดือดนี้จำนวนไอที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่น้อยเกินไปที่จะสัมผัสผิวของเหลวจนทำให้เกิดการเดือดได้ที่อุณหภูมิอิ่มตัว หากอุณหภูมิสูงขึ้น ฟองจะเกิดการรวมตัวของไอ



รูปที่ 2.7 (ก.) ก่อนทำการทดลอง (ข.) การให้ความร้อนแก่ของเหลว

(ค.) การเดือดแบบพาความร้อนธรรมชาติ (Free convection boiling)

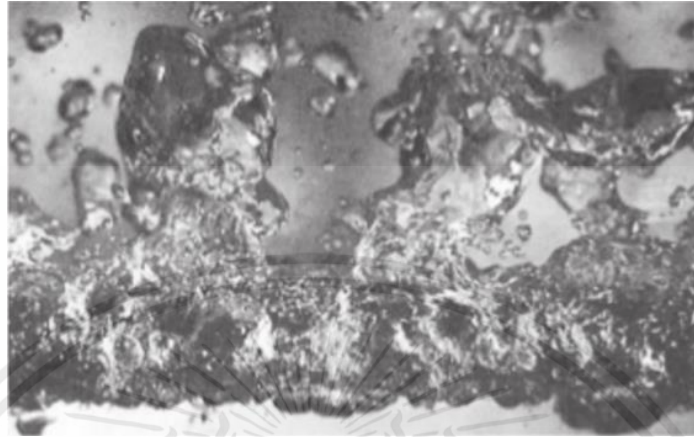
ที่มา : <https://www.thermal-engineering.org/what-is-pool-boiling-boiling-curve-definition/>

2.5.2 การเดือดแบบฟอง (Nucleate boiling)

Natural Boiling คือ ข้อกำหนดสำหรับการต้มสารบริสุทธิ์ที่จะเกิดขึ้น แต่ในการทดลองจริง การเดือดจะไม่เกิดขึ้นจนกว่าอุณหภูมิของของเหลวจะเกินจุดอิ่มตัว สองสามองศา อุณหภูมิพื้นผิวต้องสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวเล็กน้อยเพื่อรักษาไอ ในโหมด เดือดนี้ จะสังเกตเห็นไอระเหยเหนือผิวน้ำ แต่โดยปกติแล้วจะไม่พบฟองอากาศ เมื่ออุณหภูมิความร้อนยิ่งยวดเพิ่มขึ้น การเกิดฟองสปู่จะเกิดขึ้นในที่สุด แต่ต่ำกว่าจุด A การเคลื่อนที่ของของไหลถูก กำหนดโดยกระแสพาความร้อนตามธรรมชาติเป็นหลัก จุด A มักจะถูกอ้างถึง แบ่งการไหลเป็น 2 ชนิด โดยในช่วงแรกที่ตำแหน่งการเดือดแบบฟอง (Nucleation site) จะเกิดฟองเดี่ยว (Isolate bubble) ดังรูปที่ 2.8 แยกกันอยู่ที่ผิว ทำให้ของเหลวใกล้ผิวเกิดการผสมกัน ในช่วงนี้การถ่ายเทจผ่านจากพื้นผิวให้ความร้อนไปสู่ของเหลวโดยตรง ไม่ผ่านฟองที่ลอยตัวขึ้นไป เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณฟองจะมากขึ้นจนทำให้ฟองปะปนกัน และรวมตัวกันเกิดไอลอยขึ้นเป็นลำ (Jet) หรือเป็นเสา (Column) เมื่อฟองมากขึ้นจะแทรกซ้อนกันจนทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของของเหลวจุดหักเหที่จุด C ของเส้นโค้ง เรียกว่าอัตราความร้อนวิกฤต (Critical heat

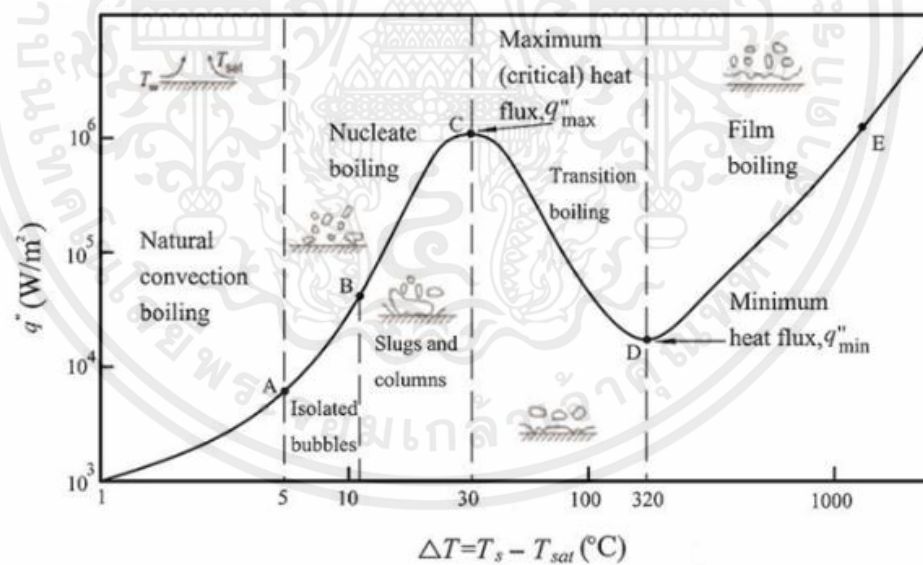
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

flux) ดัง รูปที่ 2.9 ที่จุดนี้จะเกิดฟองจำนวนมากจนของเหลวไม่สามารถเข้าไปสัมผัสกับพื้นผิวให้ความร้อนได้



รูปที่ 2.8 การเดือดแบบฟอง (Nucleate boiling) เกิดฟองเดี่ยว (Isolate bubble)

ที่มา : <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/6/1058>

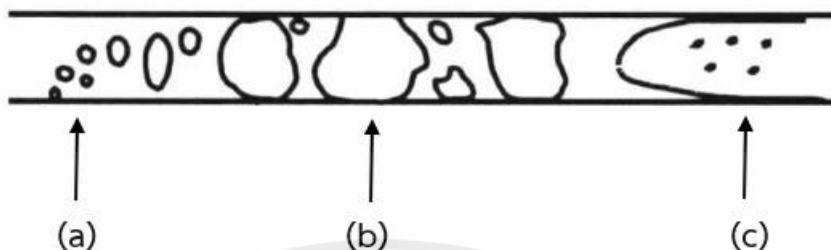


รูปที่ 2.9 การเดือดแบบฟอง (Nucleate boiling) จุดหักเหที่จุด C ของเส้นโค้ง เรียกว่า อัตราความร้อนวิกฤต (Critical heat flux)

ที่มา : <https://www.tsme.org/me-nett/me-nett2019/fullpaper/AEC/AEC011.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการเคลื่อนที่แบบการหมุนด้วย Nucleate boiling จะทำให้เกิดกระบวนการเกิดขึ้นคือ กระบวนการการเริ่มเกิดขึ้นของฟองที่ตรงบริเวณพื้นผิวให้ความร้อน ที่จะมีลักษณะเป็นรูปแบบการเกิดฟองรูปทรงกลมที่มีการเกาะติดอยู่ที่บริเวณพื้นผิวที่ให้ความร้อน



รูปที่ 2.10 ภาพแสดงการเคลื่อนที่แบบการหมุนด้วย Nucleate boiling

ที่มา : <https://core.ac.uk/download/pdf/4822115.pdf>

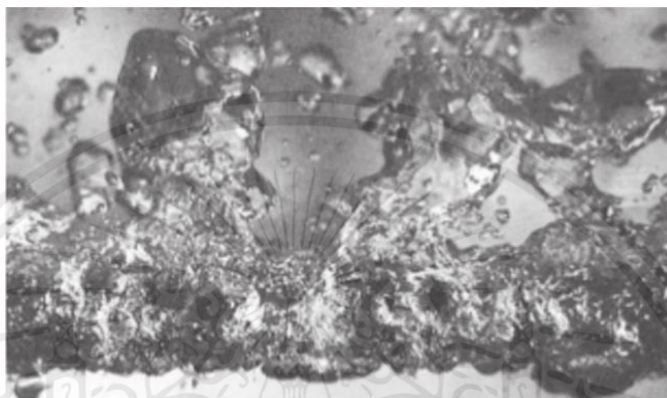
รูป (a). Low heat flux หมายถึง "อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ" หรือ "การส่งผ่านความร้อนที่มีอัตราต่ำ" ในบางกรณีการถ่ายเทความร้อนจะเป็นไปอย่างช้าหรือมีอัตราต่ำเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิที่ต่ำ, การส่งเสียงอุณหภูมิตกตก, การสกัดความร้อนโดยสิ่งกีดขวาง เป็นต้น ภาวะนี้ถูกเรียกว่า "low heat flux" หรือ "อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ"

รูป (b). Nucleate boiling หมายถึงกระบวนการเดือดที่เกิดขึ้นเมื่อมีการสร้างฟองน้ำเล็ก ๆ (nuclei) บนพื้นผิวของของเหลวที่ถูกทำให้ร้อน ฟองน้ำเหล่านี้จะเกิดจากการระเหยของของเหลวไปยังพื้นผิวและการเกิดฟองน้ำเนื้อเยื่อตามต้องการความร้อนจากพื้นผิว กระบวนการนี้เป็นส่วนสำคัญในการถ่ายเทความร้อนเพื่อระบายความร้อนจากพื้นผิวที่ร้อนของวัสดุเหลว การเดือดเป็นฟองน้ำเล็ก ๆ สร้างผลการระเหยที่ดีและการทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพกว่าการสัมผัสโดยตรง นอกจากนี้ยังช่วยลดความเสียหายจากอุณหภูมิสูงที่อาจเกิดขึ้นบนพื้นผิวของวัสดุ นั่นคือเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนโดยน้ำเดือดนั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจะมากกว่าการสัมผัสของของเหลวเท่านั้น

รูป (c). High heat flux หมายถึง "อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง" หรือ "การส่งผ่านความร้อนที่มีอัตราสูง" ซึ่งหมายความว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างรวดเร็วหรือมีอัตราสูง เป็นผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิที่สูง, การส่งเสียงอุณหภูมิตกตก, การสกัดความร้อนโดยสิ่งกีดขวางน้อย เป็นต้น ภาวะนี้ถูกเรียกว่า "high heat flux" หรือ "อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง"

2.5.3 การเดือดแบบแปรเปลี่ยน (Transition boiling)

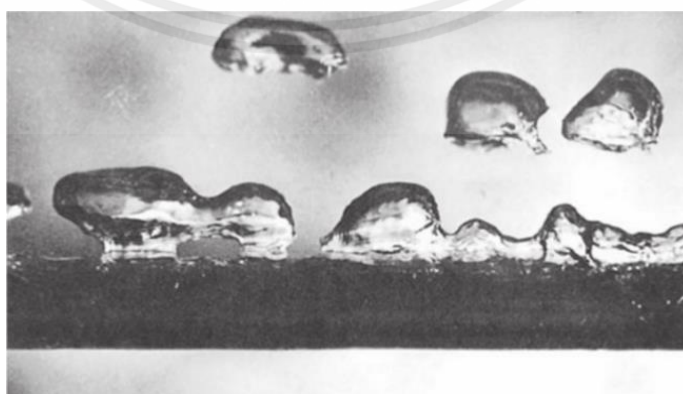
Transition boiling คือ ฟลักซ์ความร้อนที่เดือดเป็นนิวเคลียสไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างไม่มีกำหนด ในบางค่า เราเรียกว่า "ฟลักซ์ความร้อนวิกฤต" ในช่วงนี้ จะเห็นการเกิดฟองขึ้นเร็วมากจนมีแผ่นฟิล์มเคลือบอยู่ที่ตำแหน่งของพื้นผิวที่ให้ความร้อน โดยลักษณะการเดือดจะมีการสลับปรับเปลี่ยนไปมาระหว่างการเดือดแบบฟอง และการเดือดแบบฟิล์ม ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยฟิล์มไอนั้นจะมีมากยิ่งขึ้น แสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ภาพแสดงการเดือดแบบแปรเปลี่ยน (Transition boiling)

2.5.4 การเดือดแบบฟิล์ม (Film boiling)

Film boiling คือ ฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นอีกทำให้ฟิล์มไอนี้อะเหຍปกคลุมพื้นผิว ซึ่งลดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนลงอย่างมาก เนื่องจากชั้นไอนี้อามีค่าในการถ่ายเทความร้อนแบบเดือดที่ต่ำกว่าอย่างชัดเจน ส่งผลให้อุณหภูมิส่วนเกินพุ่งขึ้นสู่ค่าที่สูงมาก ในช่วงนี้ จะมีค่าอัตราความร้อนต่ำสุดพื้นผิวให้ความร้อนจะถูกปกคลุมด้วยแผ่นไอ (Vapor blanket) การถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวให้ความร้อนเข้าไปในของเหลวโดยการนำผ่านแผ่นไอ หากเพิ่มอุณหภูมิที่พื้นผิวให้ความร้อนขึ้นอีกจะมีการแผ่รังสีผ่านฟิล์มไอนี้อีกมากขึ้น ดังรูปที่ 2.12 ปรากฏการณ์นี้เรียกอีกอย่างว่าความ เหนื่อยหน่าย ในเครื่องปฏิกรณ์แบบใช้แรงดันน้ำ หนึ่งในข้อกำหนดด้านความปลอดภัยที่สำคัญ



รูปที่ 2.12 Pool boiling curve การเดือดแบบฟิล์ม (Film boiling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเดือดเป็นลักษณะที่แตกต่างทางกายภาพ เป็นลักษณะที่ของเหลวเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอ โดยมีจุดเดือด คือ มีอุณหภูมิขณะที่ของเหลวมีค่าความดันไอ เทียบเท่ากับ ความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure) ของสภาพแวดล้อมของของเหลว ซึ่งทำให้สสาร เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ เช่น จุดเดือดปกติของน้ำอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียสที่ความดัน 1 บรรยากาศ (atm) แต่ที่ความดัน 1 บรรยากาศ เพราะฉะนั้นปัจจัยที่มีผลต่อจุดเดือด ขึ้นอยู่กับแรง ดึงดูดของระหว่างโมเลกุลความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ และของเหลว ความดันไอของของเหลว เมื่อ ความดันบรรยากาศเท่ากับค่าความดันไอของของเหลวจึงเกิดการเดือด ถ้าเปลี่ยนความดันจะทำให้จุด เดือดของของเหลวเปลี่ยนไปด้วย จุดเดือดของสารอื่น ๆ จะแตกต่างกันดังที่แสดงในตารางแสดง อุณหภูมิของการเดือดของสารแต่ละประเภท

ตารางที่ 2.2 แสดงอุณหภูมิของการเดือดในสารแต่ละประเภท

สาร	จุดเดือด (°C)
น้ำ (water)	100
น้ำกลั่น (Distilled water)	100
เอทานอล (Ethanol)	78.3
เมทานอล (Methanol)	64.7

2.6 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

2.6.1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบฟูล สามารถ คำนวณได้จาก สมการที่ 2.1 โดยการเก็บค่าฟลักซ์ความร้อน ของอุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อนและ อุณหภูมิของเหลวอิ่มตัว

$$h_b = \frac{q''}{T_s - T_{sat}}$$

(2.1)

- เมื่อ h_b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบฟูล ($W/m^2\text{°C}$)
 q'' คือ ค่าฟลักซ์ของความร้อน (W/m^2)
 T_s คือ ค่าอุณหภูมิที่บริเวณพื้นผิวให้ความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{sat} คือ ค่าของอุณหภูมิอิ่มตัวของของเหลว ($^{\circ}\text{C}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การคำนวณค่าฟลักซ์ของความร้อน (Heat flux) การเดือดแบบ Pool boiling การคำนวณหาฟลักซ์ของความร้อนของพื้นผิวของการเดือดแบบ Pool boiling สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$q'' = \frac{VI}{A} \quad (2.2)$$

เมื่อ q'' คือ ค่าฟลักซ์ของความร้อน (W/m^2)
 I คือ ค่าของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ (Amp)
 V คือ ค่าศักย์กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ (Volt)
 A คือ บริเวณพื้นผิวให้ความร้อน (m^2)

2.6.3 การคำนวณหาอุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อน สามารถหาได้จาก สมการที่ 2.3 โดยการใช้ค่าอุณหภูมิทั้ง 5 ตำแหน่งที่ถูกติดตั้งไว้บริเวณพื้นผิวให้ความร้อน

$$T_s = \frac{\sum_{i=1}^5 T_i \sum_{i=1}^5 x_i^2 - \sum_{i=1}^5 x_i \sum_{i=1}^5 x_i T_i}{5 \sum_{i=1}^5 x_i^2 - (\sum_{i=1}^5 x_i)^2} \quad (2.3)$$

เมื่อ T_s คือ ค่าอุณหภูมิของตำแหน่งพื้นผิวให้ความร้อน ($^{\circ}C$)
 T_i คือ ค่าอุณหภูมิตลอดที่ตำแหน่งต่างๆ ($^{\circ}C$)
 x_i คือ ระยะที่ติดตั้งตัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (m)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

P.J. Berenson. [1] เส้นโค้งจุดเดือดของการพาความร้อนอิสระที่มีลักษณะเฉพาะสำหรับ n - pentane ภายใต้ความดันบรรยากาศถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันของความหนาแน่น วัสดุ และความบริสุทธิ์ พบว่าค่าพลาซซ์ความร้อนจุดเดือดสูงสุดของนิวเคลียสและเส้นโค้งการเดือดของฟิล์มไม่ขึ้นกับสภาวะพื้นผิว ระหว่างการเดือดของนิวเคลียส ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนไปมากถึง 600% ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิว การเดือดแบบเปลี่ยนสถานะถือเป็นการรวมกันของการเดือดแบบนิวเคลียสเอตที่ไม่เสถียรและการเดือดแบบฟิล์มที่ไม่เสถียร โดยมีการกระจายแบบสลับกันบนพื้นผิวที่ให้ความร้อน ข้อมูลการถ่ายเทความร้อนสำหรับการจุดเดือดแบบเปลี่ยนสถานะถูกพล็อตเป็นค่าล็อก (q/A) ถึงค่าล็อก (ΔT) และอาจสัมพันธ์กันด้วยเส้นตรงที่เชื่อมต่อกับจุดไหลความร้อนสูงสุดและต่ำสุด

Kuang-Han Chu. [2] ได้ทดลองตรวจสอบการเดือดของสระน้ำบนพื้นผิวที่มีโครงสร้างจุลภาคซึ่งส่งผลให้ค่าพลาซซ์ความร้อนวิกฤตสูง (CHF) โดยเพิ่มความในการเปียกน้ำ โครงสร้างจุลภาคได้รับการคิดค้นมาเพื่อให้ความหนาของพื้นผิวที่กำหนดได้มีค่าความเพื่อศึกษาความสามารถในการเปียกน้ำแบบเติมความหนาบน CHF CHF สูงสุด 196 W/cm^2 และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) มากกว่า $80 \text{ kW/m}^2 \text{ K}$ ได้สำเร็จ เพื่ออธิบายผลการทดลอง แบบจำลองที่ขยายจากความสัมพันธ์ที่พัฒนาโดย Kandlikar ได้รับการพัฒนาขึ้น ซึ่งทำนาย CHF ได้ดีในระบอบการทำให้เปียกโดยสมบูรณ์ที่มุมสัมผัสของเหลวที่ปรากฏเป็นศูนย์ แบบจำลองนำเสนอขั้นตอนแรกในการทำ ความเข้าใจกระบวนการเดือดในสระน้ำที่ซับซ้อนและการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนาย CHF บนพื้นผิวที่มีโครงสร้างได้อย่างแม่นยำ ข้อมูลเชิงลึกที่ได้ศึกษานี้จะแนวทางการออกแบบสำหรับเทคโนโลยีพื้นผิวใหม่ที่มีค่าในการขจัดความร้อนที่เพิ่มขึ้นซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

In Cheol Bank [3] การวิเคราะห์สรุปได้ว่าภายในขอบเขตการตรวจสอบของสภาวะการเดือด สารทำงาน และพื้นผิวจุดเดือด สหสัมพันธ์ของ Rohsenow และ Cheo nucleate pool-boiling มีความแม่นยำมากที่สุดในการประเมิน ความสัมพันธ์ของ Rohsenow และ Cheo ใช้ค่าคงที่และกำลังสำหรับตัวเลขที่ไม่ใช่มิติซึ่งสอดคล้องกับการรวมกันของพื้นผิวและของไหลที่เฉพาะเจาะจง ตรงข้ามกับความสัมพันธ์อื่น ๆ ที่ใช้ค่าคงที่โดยไม่คำนึงถึงการรวมกันของพื้นผิวและของไหล

Suriyawong and S. Wongwises. [4] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพลู โดยใช้ TiO_2 -water Nano fluids เป็นสารทำงาน ที่ความเข้มข้น 0.00005 0.0001 0.0005 0.01 และ 0.01 % โดยมีพื้นผิวให้ความร้อนเป็นวงกลมเรียบทำจากทองแดง และอลูมิเนียม มีค่าความหนาที่ 0.2 และ 4 ไมโครเมตร พบว่าพื้นผิวให้ความร้อนทองแดง ความหนา 4 ไมโครเมตร ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TiO₂-water Nano fluids โดยมีค่าเข้มข้น 0.0001 % มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 15 % เมื่อเทียบกับ base fluid

MYEONG-GIE KANG. [5] ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเดือดของน้ำในสระแช่เย็นและ อิมตัวเพื่อให้ได้การถ่ายเทความร้อนเฉพาะที่ค่าสัมประสิทธิ์บนท่อเอียง 3 เส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มม. ที่ความดันบรรยากาศ ค่าท้องถิ่นถูกกำหนดที่ทุก ๆ 45 ° จากด้านล่างสุดถึงขอบบนสุดของท่อ ค่า สัมประสิทธิ์ท้องถิ่นสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่มุมแอมซิมัลที่ 0° และ 180° ตามลำดับ ในน้ำอิมตัวที่ตั้งของ maxima และ minima คือขึ้นอยู่กับมุมเอียงของท่อตลอดจนระดับการทำความเย็นย่อยถ่ายเทความร้อนที่สำคัญคือถือว่าเป็นการกววนของเหลวที่เกิดจากฟองเลื่อนและการสร้างฟองอากาศขนาดใหญ่ผ่านฟองการรวมตัว เพื่อเป็นแนวทางในหาปริมาณการถ่ายเทความร้อน ได้มีการ เสนอแนะ สหสัมพันธ์เชิงประจักษ์

Shoji Mori. [6] เส้นโค้งจุดเดือดของการพาความร้อนอิสระที่มีลักษณะเฉพาะสำหรับ n - pentane ภายใต้ความดันบรรยากาศถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันของความหนาแน่น วัสดุ และความบริสุทธิ์ พบว่าฟลักซ์ความร้อนจุดเดือดสูงสุดของนิวเคลียสและเส้นโค้งการเดือดของฟิล์มไม่ขึ้นกับสถานะพื้นผิว ระหว่างการเดือดของนิวเคลียส ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนไปมากถึง 600% ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิว การเดือดแบบเปลี่ยนสถานะถือเป็นการรวมกันของการเดือดแบบนิวเคลียสเอตที่ไม่เสถียรและการเดือดแบบฟิล์มที่ไม่เสถียร โดยมีการกระจายแบบสลับกันบนพื้นผิวที่ให้ความร้อน ข้อมูลการถ่ายเทความร้อนสำหรับการจุดเดือดแบบเปลี่ยนสถานะถูกพล็อตเป็นค่าล็อก (q/A) ถึงค่าล็อก (ΔT) และอาจสัมพันธ์กันด้วยเส้นตรงที่เชื่อมต่อจุดไหลความร้อนสูงสุดและต่ำสุด

Ali Mehdikhani. [7] การตรวจสอบเชิงทดลองของการปรับปรุงประสิทธิภาพการเดือดของสระน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรโพลีซัน นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาประสิทธิภาพของ HTC โดยการปิดพื้นผิวทองแดงที่มีรูพรุนด้วยเม็ดขนาดเล็ขนาดต่างๆ จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในน้ำกลั่นที่ความดันบรรยากาศ ก่อนที่จะใช้วิธีอิเล็กโทรโพลีซัน ตัวอย่างจะถูกแกะสลักด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีพบว่าพื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นนั้นสอดคล้องกับการก่อตัวของ NSD ที่มากขึ้น และประสิทธิภาพการเดือดที่มีค่าสูงขึ้น ดังนั้น การปรับเปลี่ยนพื้นผิวผ่านโครงสร้างการวางตำแหน่งอิเล็กโทรรูปร่างจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเดือดโดยการเปลี่ยนความสามารถในการเปียกของพื้นผิวจากผลลัพธ์ที่ได้ ฟลักซ์ความร้อนสูงสุด 112.4 W / cm² (HTC เพิ่มขึ้น 181% เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวเรียบ) สัมพันธ์กับตัวอย่างที่ 4 ซึ่งเกี่ยวกับพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพและความพรุนที่ใหญ่ที่สุดพร้อมกับ NSD สูงสุด นอกจากนี้ การปรับปรุง HTC ประมาณ 20%, 115%, 136%, 181%, 101% และ 146% ใน HTC กว่าพื้นผิวธรรมดาได้มาจากการใช้ตัวอย่างที่ 1 ถึง 6 ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้น ไดนามิกของฟองสปู ฟองสไลด์ และพื้นที่ถ่ายเทความร้อน แบบจุด ตลอดจนการไหลของเส้นเลือดฝอยถูกกำหนดเป็นพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yasu Nobu Fujita et al. [8] ผลของความยาวของ Nano rodกับการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพลู ของน้ำ โดยใช้ Nano rod ที่ทำจากซิลิคอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 850 นาโนเมตร มีความยาว 900, 1800 และ 3200 นาโนเมตร ซึ่งถูกฝังที่ผลึกซิลิคอน ชนิด P และทดลองซ้ำกับพื้นผิวความร้อนปกติ พบว่าเกิดการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพลู เพิ่มขึ้นถึง 254 % เมื่อเทียบกับพื้นผิวความร้อนปกติ.

A.K. Das. [9] พื้นผิวเสริมจำนวนหนึ่งได้รับการพัฒนาและทดสอบภายใต้สภาวะการเดือดของสระนิวคลีเอต โครงสร้างอุโมงค์พื้นฐานบนพื้นผิวเรียบถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน การเปลี่ยนแปลงในรูปร่างของพื้นผิวได้รับการแนะนำโดยการเปลี่ยนความเอียงของอุโมงค์ และโดยการจัดเตรียมรูปร่างเรขาคณิตที่กลับเข้าที่ต่างกันในฐานอุโมงค์ พื้นผิวที่มีทั้งอุโมงค์คู่ขนานทิศทางเดียวและอุโมงค์ตัดกันสองทิศทางได้รับการทดสอบแล้ว มีพื้นผิวที่แตกต่างกันแปดแบบ.

Mehmet Arik. [10] พื้นผิวที่มีโครงสร้างหลายอย่างได้รับการพัฒนาภายในบริษัทเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่จุดเดือดโดยใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวทดสอบภายใต้ความดันบรรยากาศ พื้นผิวเหล่านี้มีทั้งอุโมงค์ คู่ขนาน หรืออุโมงค์ที่ตัดกันแบบตั้งฉาก มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์การออกแบบ เช่น ความเอียงของอุโมงค์และโครงสร้างโพรงที่แตกต่างกันที่ฐานอุโมงค์ต่อการถ่ายเทความร้อนที่จุดเดือด มีการใช้โครงสร้างที่แตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ ร่องกลม ร่องสี่เหลี่ยม และฐานโค้งมนที่ปลายอุโมงค์ พลิกซ์ความร้อนจะแปรผันในช่วง 0–250 กิโลวัตต์/ตร.ม. ผลของการวิจัยบ่งบอกว่าอุโมงค์ที่เอียงทำมุม 60° กับแนวนอนให้การเสริมที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับอุโมงค์แนวตั้งตรง ในรูปร่างฐานที่แตกต่างกัน กระเป๋าทรงกลมทำให้เกิดสภาวะที่เอื้อต่อการถ่ายเทความร้อนที่จุดเดือดมากที่สุด การใช้อุโมงค์ยังเพิ่มระดับของการเสริม การเสริมสูงสุดได้มาจากพื้นผิวที่มีอุโมงค์เอียงตัดกันโดยมีฐานเป็นวงกลม

Z.G. Xu et al. [11] ได้ศึกษาการถ่ายโอนความร้อนการเดือดแบบ pool boiling บนโพมการทดลองภายใต้ของเหลวที่อิ่มตัว โดยการเจริญเติบโตของฟองถูกจับโดยกล้องที่มีความเร็วสูง การทดลองได้รับการนำเสนอให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนซึ่งถูกนำมาใช้ในช่องพรุน 0.9 - 0.98 ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 5 - 40 PPI และความหนาแน่นของโพม 5 - 7 mm พบว่าเกิดฟองรูตอกบัวจากร่องซึ่งเกิดในช่วงที่มีพลิกซ์ความร้อนเพิ่มขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและความถี่ที่สูงขึ้นเมื่อพลิกซ์ความร้อนเพิ่มขึ้น.

Peter Vassallo. [12] การวัดการถ่ายเทความร้อนที่ความดันบรรยากาศในสารละลายนาโนซิลิกาจะเปรียบเทียบกับการวัดที่คล้ายกันในน้ำบริสุทธิ์และสารละลายไมโครซิลิกา ข้อมูลประกอบด้วยพลิกซ์ความร้อนเทียบกับความร้อนยิ่งยวดของลวด NiCr ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 มม. ที่จมอยู่ในน้ำในแต่ละสารละลาย ข้อมูลแสดงการเพิ่มขึ้นของความร้อนวิกฤต (CHF) สำหรับทั้งสารละลายนาโนและไมโครเมื่อเทียบกับน้ำ แต่ไม่มีความแตกต่างในการถ่ายเทความร้อนสำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่น้อยกว่า CHF ข้อมูลยังแสดงให้เห็นว่าการเดือดของฟิล์มที่เสถียรที่อุณหภูมิใกล้กับจุดหลอมเหลวของเส้นลวดสามารถทำได้ด้วยสารละลายนาโน แต่ไม่ใช่ด้วยสารละลายไมโคร

N.I. Pecherkin et al. [13] ได้ศึกษาและทดลองการถ่ายเทความร้อนของของเหลวกับชนิดของโครงสร้างพื้นผิวโดยใช้โครงข่ายกรุปสี่เหลี่ยม และผิวเรียบที่เคลือบตาข่าย โดยใช้ส่วนผสมของสารทำความเย็น R114 และ R21 เป็นตัวทำงาน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะการไหลบนพื้นผิว นำไปสู่การถ่ายโอนความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวเรียบและรูสี่เหลี่ยม ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวที่มีการเคลือบตาข่ายจะสูงกว่าพื้นผิวเรียบ และพื้นผิวที่ nucleate ไม่มีค่าการเปลี่ยนแปลงในการถ่ายเทความร้อน

H.J Van Ouwerkerk. [14] ในการเดือดของถึง จุดแห้งจำนวนมากจะสังเกตเห็นบนพื้นผิวที่ทำความร้อนเมื่อถึงฟลักซ์ความร้อนวิกฤต กระบวนการเกิดจุดแห้งจะแตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศและที่ระดับความดันต่ำ จุดแห้งส่วนใหญ่ไม่ก่อให้เกิดอาการไหม้ แต่จุดเดียวอาจถึงแก่ชีวิตได้หากกระจายไปทั่วพื้นผิวทำความร้อน พฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันนี้สามารถอธิบายในเชิงคุณภาพได้โดยการพิจารณาการนำความร้อนไปตามพื้นผิวที่ทำความร้อน โดยจะใช้การตีความเส้นโค้งจุดเดือดที่ปรับเปลี่ยน มีระดับวิกฤตที่สูงกว่าที่แพทช์แห้งยังคงเติบโตคุณสมบัติความเสถียรของการเดือดของนิวเคลียสและฟิล์มนั้นขึ้นอยู่กับกลไกของความร้อนที่ใช้และอธิบายรูปร่างที่คุ้นเคยของเส้นโค้งการเดือด

S.J. Kim et al. [15] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพื้นผิว microstructure ในการถ่ายเทความร้อนของการเดือด และการไหลของความร้อน ชุดการทดลองถูกออกแบบเป็น 13 ตัวอย่าง คือ 12 ตัวอย่างมีพื้นผิว microstructure และอีก 1 เป็นพื้นผิวเปลือย กลุ่มตัวอย่างได้รับการทดสอบ โดยใช้การทดลองแบบ pool boiling ในน้ำอิมตัว และเงื่อนไขสภาพความดันอากาศ ผลการทดลองบ่งบอกถึงการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนที่ผิวขรุขระค่อยๆเพิ่มประสิทธิภาพอย่างช้าๆ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวขรุขระมากกว่าผิวเรียบ การเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากอัตราส่วนความขรุขระช่วยเพิ่มการ nucleate

Okawa, Tomio. [16] ทำการทดลองการเดือดของของเหลวนาโนในสระเพื่อตรวจสอบผลกระทบของเวลาเดือดต่อฟลักซ์ความร้อนวิกฤต การถ่ายเทความร้อนขณะเดือด และมุมสัมผัส วัสดุของพื้นผิวที่ร้อนและอนุภาคนาโนคือทองแดงและไททาเนียมไดออกไซด์ ตามลำดับ และใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวพื้นฐาน ฟลักซ์ความร้อนที่ผนังถูกรักษาให้คงที่ และผลของความเข้มข้นในอนุภาคนาโนของของเหลวทดสอบก็เปลี่ยนไปแบบพาราเมตริก ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเพิ่มขึ้นโดยไม่แสดงอาการและมุมสัมผัสลดลงโดยไม่มีการแสดงอาการเมื่อเวลาเดือดเพิ่มขึ้นในของไหลนาโน การเพิ่มค่า CHF สูงสุดที่เกิดจากการเดือดในของไหลนาโนคือ 91% ความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งระหว่างมุมสัมผัสกับ CHF

ชี้ให้เห็นว่าการดัดแปลงพื้นผิวที่ร้อนซึ่งเกิดจากการสะสมของอนุภาคนาโนระหว่างการเดือดของนิวเคลียสเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักของการปรับปรุง CHF

Ki-Jung Park .[17] งานทดลองปัจจุบันอธิบายพฤติกรรมเชิงคุณภาพโดยละเอียดของพื้นผิวเครื่องทำความร้อนหลังการต้มด้วยของไหลนาโนและการวิเคราะห์ภายหลังการต้มด้วยน้ำ ใช้ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนตั้งแต่ 0.01 wt.% ถึง 1 wt.% เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเดือดของของไหลนาโน ช่วงของการกำหนดค่าแบบจำลอง ANN ได้รับการทดสอบและปรับให้เหมาะสมเพื่อค้นหา MSE ที่น้อยที่สุดและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด

Matic Moze. [18] การทดลองนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยการออกแบบการตั้งค่าทดลองต่อ CHF เดือดในสระ เปรียบเทียบเชิงพื้นที่วิธีการคำนวณไคร่ระดับอุณหภูมิและวิเคราะห์ความไม่แน่นอน ของค่าพลาซซ์ความร้อน และมีความร้อนสูงยิ่งของพื้นผิวค่า CHF ที่รายงานบนพื้นผิวทองแดงเรียบ วัดค่าความอิมตัวของน้ำในสระที่บรรยากาศแรงกดบนตัวอย่างแนวราบที่กระจัดกระจายอย่างมาก ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยการวัดเพียงอย่างเดียวความไม่แน่นอนหรือการสุ่มของกระบวนการเดือด ข้อมูล CHF สำหรับการทดลอง 54 รายการจากสิ่งพิมพ์ 47 รายการคือวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์การ ถดถอยและ ANOVA เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยการออกแบบการตั้งค่าการทดลองใดมีอิทธิพลค่า CHF วิธีการประมาณการไคร่ระดับอุณหภูมิตามแนวแกนในก้านให้ความร้อนจะถูกเปรียบเทียบโดยใช้วิธีมอนติคาร์โลและการไคร่ระดับสี่แบบไม่เชิงเส้นเชิงวิเคราะห์ ค่าพลาซซ์ความร้อนที่คำนวณโดยใช้การวัดอุณหภูมิในก้านให้ความร้อนทองแดงทรงกระบอกร่วมกับค่าความร้อนคงที่หรือขึ้นอยู่กับอุณหภูมิมีการเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าและวิธีการคำนวณการไคร่ระดับอุณหภูมิแบบต่างๆ พลาซซ์ความร้อนและบริเวณพื้นผิวโดยรวมมีการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของการวัดความร้อนสูงยิ่งยวดและผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนมีส่วนร่วมถึงของมีการรายงานค่าการนำความร้อน การวัดอุณหภูมิ และระยะห่างระหว่างเทอร์โมคัปเปิล

MYEONG-GIE KANG. [19] ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเดือดของน้ำในสระแช่เย็นและ อิมตัวเพื่อให้ได้การถ่ายเทความร้อนเฉพาะที่ค่าสัมประสิทธิ์บนท่อเอียง 3 เส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มม. ที่ความดันบรรยากาศ ค่าท้องถิ่นถูกกำหนดที่ทุก ๆ 45 ° จากด้านล่างสุดถึงขอบบนสุดของท่อ ค่า สัมประสิทธิ์ท้องถิ่นสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่มุมเอียงที่ 0° และ 180° ตามลำดับ ในน้ำอิมตัวที่ตั้งของ maxima และ minima คือขึ้นอยู่กับมุมเอียงของท่อตลอดจนระดับการทำความเย็นย่อยระบบการถ่ายเทความร้อนที่สำคัญคือถือว่าการกวนของเหลวที่เกิดจากฟองเลื่อนและการสร้างฟองอากาศขนาดใหญ่ผ่านฟองการรวมตัว เพื่อเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ได้มีการเสนอแนะสหสัมพันธ์เชิงประจักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

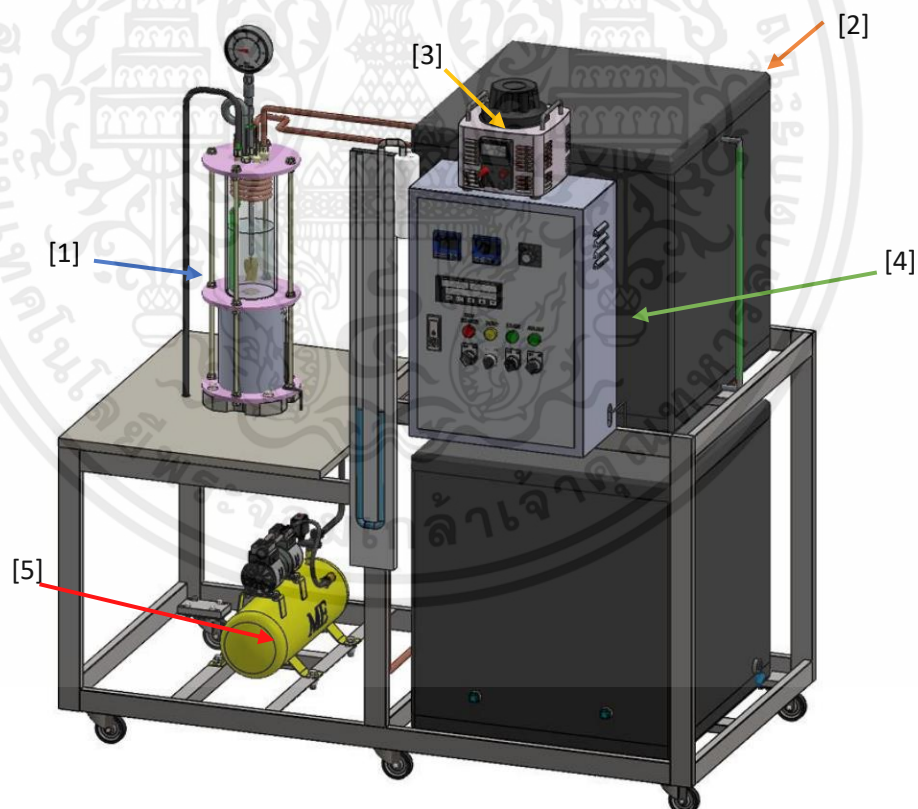
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

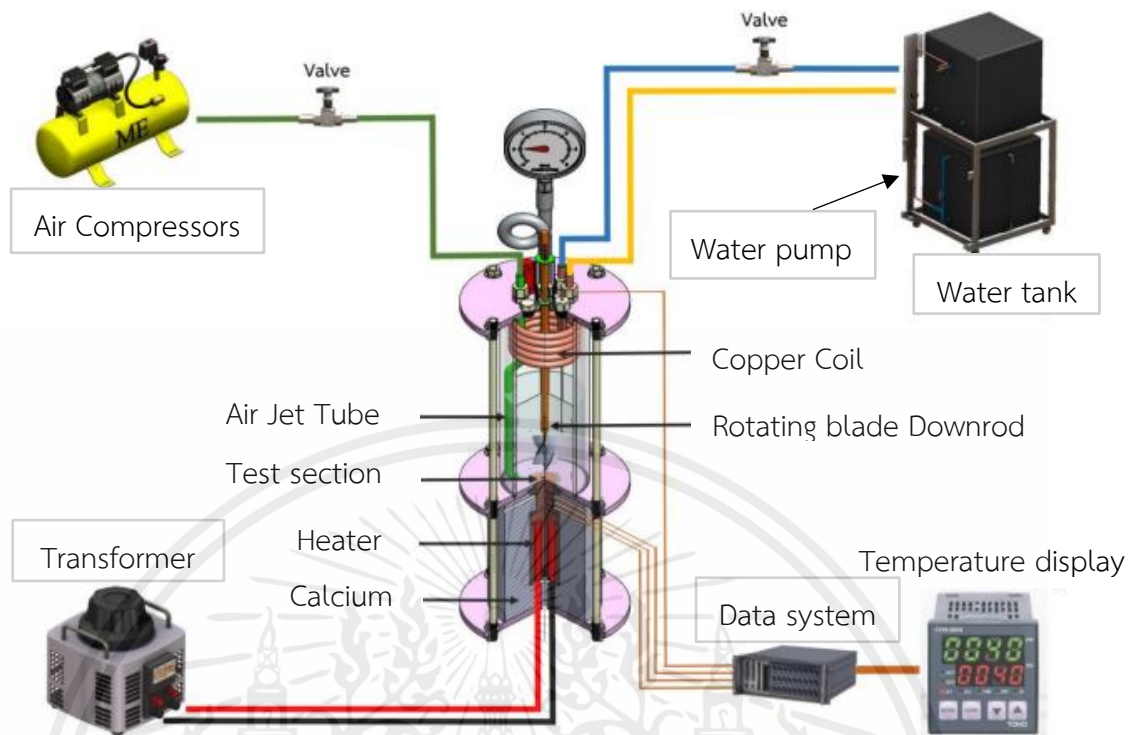
อุปกรณ์การทดลองสามารถแบ่งได้ตามระบบต่างๆ ได้ 5 ระบบ ประกอบด้วย

- 1) ระบบความดัน ภายในบรรจุสารทำงานที่ใช้ในการทดลอง
- 2) ระบบหล่อเย็น เพื่อควบคุมความดันภายในหลอดแก้วให้คงที่
- 3) ระบบไฟฟ้า เป็นระบบที่ทำหน้าที่ป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับฮีตเตอร์ เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนโดยนำความร้อนโดยนำความร้อนที่ได้ไปสู่พื้นผิวดให้ความร้อน
- 4) ระบบตรวจอุณหภูมิ ทำการวัดอุณหภูมิทั้งสิ้น 4 ตำแหน่ง และเป็นผู้ควบคุมระบบทั้งหมดของอุปกรณ์การทดลอง
- 5) ระบบลม ดังแสดงในรูปที่ 3.1.1 และ 3.1.2



รูปที่ 3.1 แผนภาพของอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพสายของอุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 ระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าเพื่อควบคุมและปรับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นค่าที่เหมาะสมและคงที่ในช่วงเวลาที่กำหนด การปรับแรงดันไฟฟ้าทำให้เราสามารถใช้อุปกรณ์ได้อย่างปลอดภัยและเครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานได้อย่างถูกต้อง และสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ในทางเพิ่มหรือลด โดยปรับค่าแรงดันที่เข้าหรือออกจากตัวอุปกรณ์ โดยอาจใช้หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์หรือหลักการทางไฟฟ้า หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์มักใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถปรับแรงดันได้เองโดยใช้วงจรอัตโนมัติเพื่อควบคุมและปรับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นค่าที่ต้องการ Voltage Regulator มักนำมาใช้ในหลายแหล่งที่มีความต้องการใช้แรงดันไฟฟ้าที่



รูปที่ 3.3 หม้อแปลงแบบปรับค่าได้ (Voltage Regulator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ระบบความดัน

คืออุปกรณ์สำหรับวัดความดัน มาโนมิเตอร์ส่วนใหญ่มักจะหมายถึงท่อรูปตัว U ที่เต็มไปด้วยตัวของเหลว มักนิยมใช้กันในห้องปฏิบัติการ เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลการเปลี่ยนแปลงของความดันอากาศในท่อของเหลว มาโนมิเตอร์จะถูกวางไว้เทียบกับมาตรวัด เพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างปลายท่อรูปตัว U ทั้งสองด้าน ความสูงที่แตกต่างกันนี้ สามารถใช้เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความดัน



รูปที่ 3.4 มาโนมิเตอร์แบบตัวยู

ที่มา : <https://www.indiamart.com/proddetail/u-tube-manometer-7261665688.html>

3.1.3 ระบบหล่อเย็น

ทำหน้าที่โดยทำการควบคุมความดันภายในหลอดไหลแก้วได้โดยใช้การควบคุมอัตราการไหลของน้ำ โดยอุปกรณ์จะประกอบด้วยถังน้ำ 2 ถัง ปั้มน้ำ วาล์วน้ำ และ condenser coil โดยถังน้ำมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 60×60×60 ลูกบาศก์เซนติเมตร โคนถังแรกซึ่งอยู่ด้านล่างภายในติดตั้งปั้มน้ำที่สูบน้ำจากถังให้ไหลผ่าน condenser coil ที่ทำจากทองแดง เพื่อให้ไอน้ำเกิดการควบแน่น



รูปที่ 3.5 ระบบหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ระบบวัดอุณหภูมิ

ระบบวัดอุณหภูมิเป็นเครื่องมือที่ใช้ในเปรียบเทียบอุณหภูมิของวัตถุที่ต้องการวัดกับสภาวะที่แน่นอน เช่น แอลกอฮอล์ ของเหลว หรือเชื้อกำเนิดความร้อน องค์ประกอบของอุปกรณ์นี้ ได้แก่ เซ็นเซอร์อุณหภูมิและสื่อกำเนิดความร้อน องค์กรประกอบของอุปกรณ์นี้ ได้แก่ เซ็นเซอร์อุณหภูมิและสื่อกำเนิดความร้อน ซึ่งช่วยให้สามารถเปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเป็นการอ่านตัวเลขแก่ผู้ใช้ปลายทาง โดยตัวระบบตรวจวัดจะประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล ชนิด T มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 235 มิลลิเมตร จำนวน 3 ตัว และเทอร์โมคัปเปิล ชนิด T มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ยาว 210 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว โดยเทอร์โมคัปเปิล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 235 มิลลิเมตร ใช้วัดอุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อนในตำแหน่งต่างๆ เพื่อใช้เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของบริเวณที่ให้ความร้อน ส่วนเทอร์โมคัปเปิลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร และมีความยาว 210 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิของสารทำงาน

3.1.5 ระบบลม

ระบบลมประกอบด้วยถังลม และหัวฉีดลม ทำหน้าที่เป่าลมเพื่อไล่ฟิล์มไอบริเวณพื้นผิวให้ความร้อน เมื่อสภาวะของการทดลองเกินจุด Critical Heat Flux ซึ่งทำให้อุณหภูมิของพื้นผิวให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนอาจเกิดอันตรายต่อผู้ทำการทดลองและอุปกรณ์การทดลองได้



รูปที่ 3.6 ระบบลม

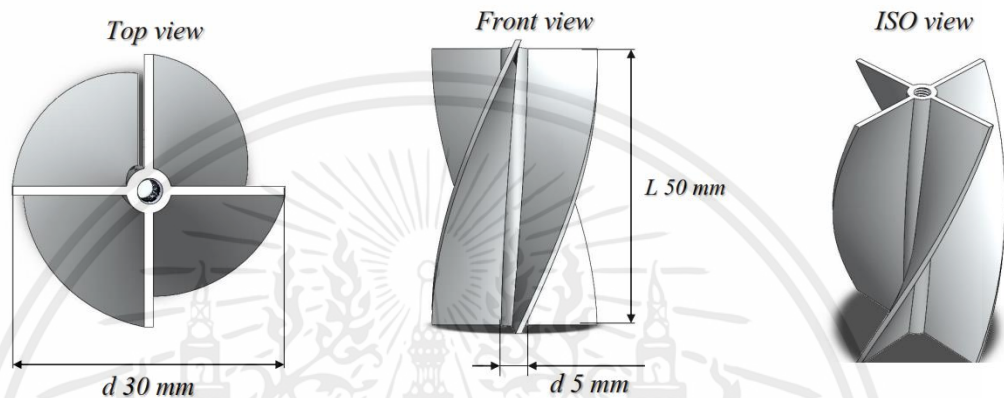
ที่มา : <https://www.jnkpowertools.com/%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B9%8A%E0%B8%A1%E0%B8%A5%E0%B8%A1%20Swan.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 ใบหมุน

ประกอบด้วยลูกปืนถูกติดตั้งเข้ากับตัวแกนใบหมุน มีสกรูยึดลูกปืนไม่ให้ปืนหลุดออก ปลายด้านหนึ่งของแกนหมุนมีลักษณะเป็นเกลียวเพื่อใช้ยึดติดกับใบหมุน ดังแสดงใน รูปที่ 3.10

ใบหมุนที่ใช้ในการทดลองได้เลือกใช้ใบหมุนชนิด 4 ครีบสร้างขึ้นโดยใช้วัสดุจากอลูมิเนียม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ใบหมุนมีมุมบิด 90 องศา และสูง 50 มิลลิเมตร และจำนวนน้ำหนักอยู่ที่ 11.3064 กรัม ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.7 ลักษณะของใบหมุนที่ใช้ในการทดลอง

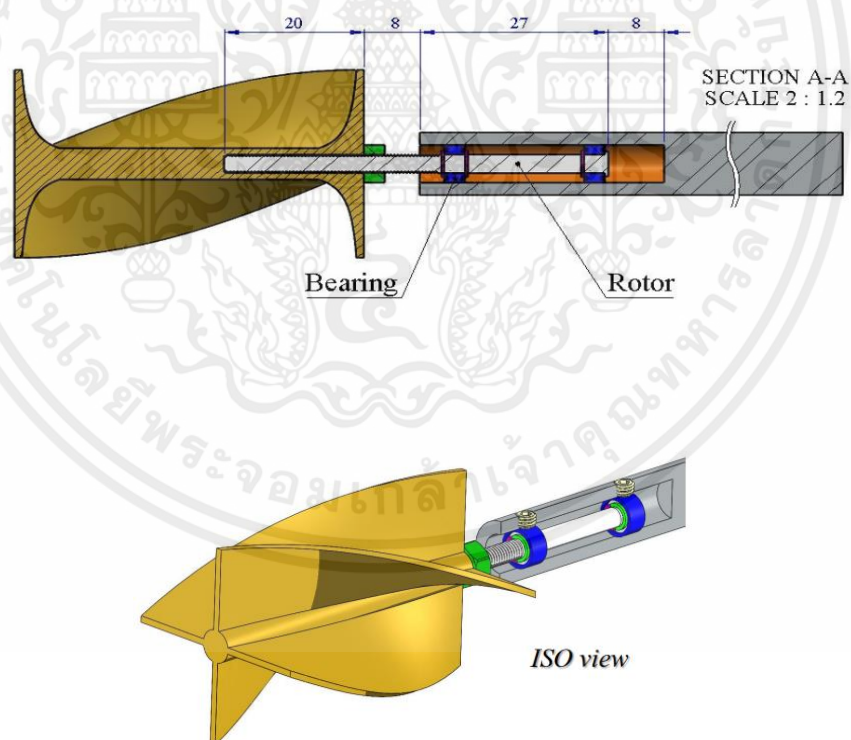


รูปที่ 3.8 ใบหมุนที่ทำจากอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 น้ำหนักของใบหมุน



รูปที่ 3.10 ลักษณะของแกนที่ใช้ในการติดตั้งใบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ

ในการทดลองใช้สารทำงานของความเข้มข้นที่ 25, 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใบหมุ่นใช้ใบหมุ่นจำนวน 1 ใบ ที่จำนวน 4 ครีบ และมีน้ำหนักอยู่ที่ 11.3064 กรัม บนพื้นผิวให้ความร้อนที่เป็นวัสดุทำจากทองแดง ที่มีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพุด และมีลำดับขั้นตอนที่แสดงดังต่อไปนี้

3.2 ทำการประกอบชุดอุปกรณ์การทดลอง

3.2 ติดตั้งใบหมุ่น 4 ครีบ

3.3 เติมน้ำเมทานอลที่ความเข้มข้นที่ 25, 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์

3.4 จ่ายกำลังไฟไปที่ฮีตเตอร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่ออุ่นเครื่องและไล่อากาศออกจากระบบ

3.5 ปรับวาล์วระบบหล่อเย็นและเปิดวาล์วนิรภัยเพื่อความดันไม่ลด (คงที่ 1 atm)

3.6 ปรับระยะ L_{SB} ที่ระยะ 5 mm, 15 mm, และ 25 mm ตามลำดับ

3.7 ปรับค่ากำลังการจ่ายไฟไปที่ฮีตเตอร์ที่กำหนด

3.8 ปรับวาล์วระบบหล่อเย็นเพื่อควบคุมความดันให้คงที่ 1 atm

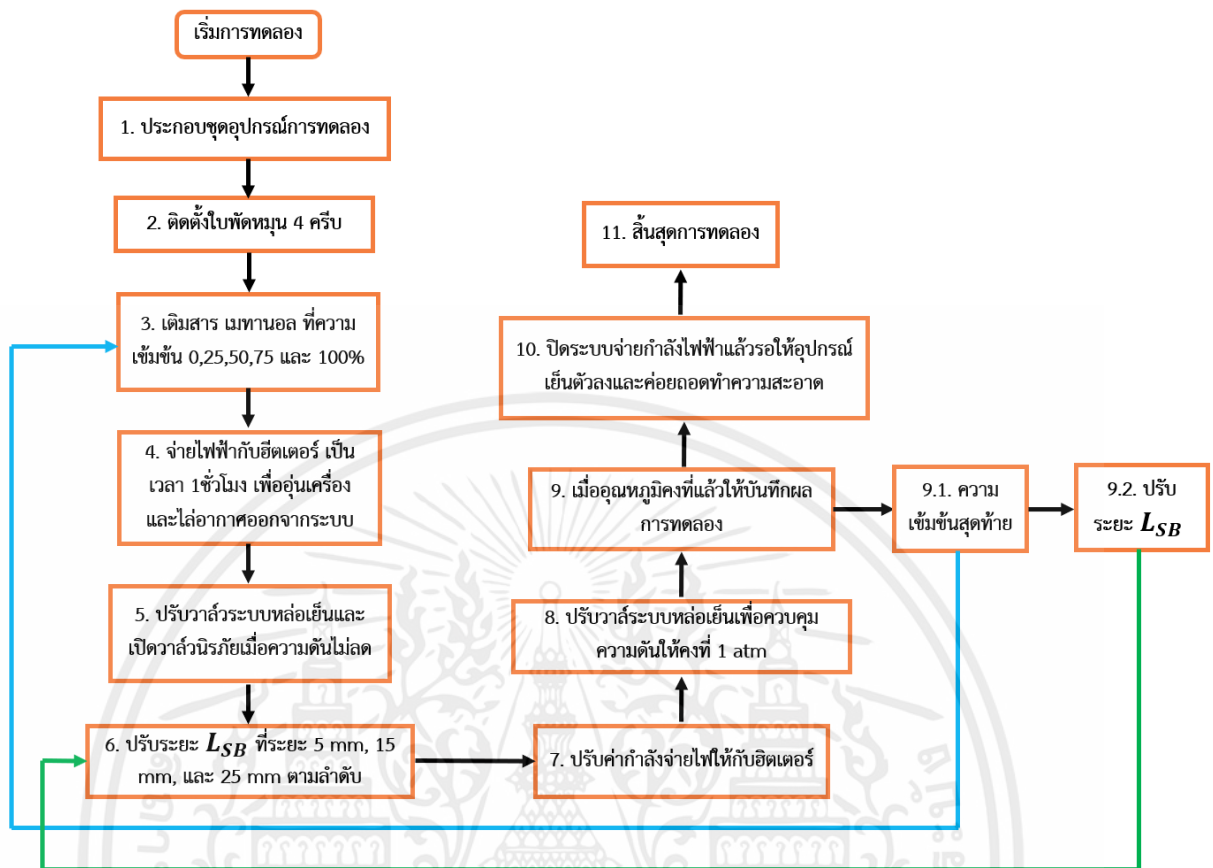
3.9 เมื่ออุณหภูมิคงที่แล้วให้บันทึกผลการทดลอง

3.9.1 เมื่อทำการบันทึกผลแล้วให้กลับไปทำที่หัวข้อ 3.3

3.9.2 และทำการ ปรับระยะ L_{SB} ที่กำหนดไว้จนเสร็จสิ้น

3.10 ปิดระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าแล้วรอให้อุปกรณ์เย็นตัวลงและค่อยถอดทำความสะอาด

3.11 สิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

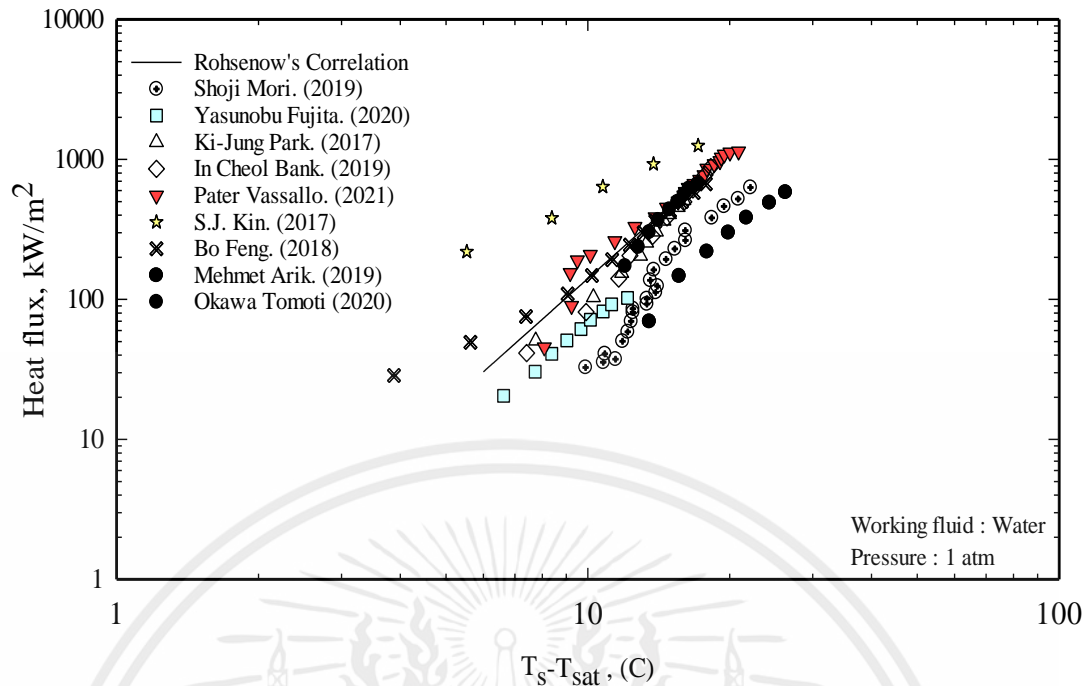
การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดของสารเมทานอล โดยที่ใช้ความเข้มข้นของเมทานอลที่ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนมีระยะ 5, 15, และ 25 มิลลิเมตร และใช้ไบหมุนจำนวน 4 ครีป ที่ทำจากอลูมิเนียม ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักอยู่ที่ 11.3064 กรัม บนพื้นผิวให้ความร้อนที่เป็นวัสดุทำจากทองแดง มีลักษณะเป็นวงกลม การศึกษาวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ปรากฏการณ์การเดือด วิเคราะห์ห่อหุ้มของสารที่ใช้ในการทดลอง และวิเคราะห์ค่าของความดัน ผลของระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน และปฏิกิริยาต่อไบหมุน ที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบการเดือดแบบพูล

4.1 การสอบเทียบอุปกรณ์การทดลอง

การศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบเดือด โดยที่จะทำการบันทึกค่าการทดลองต้องทำการตรวจสอบและทำการยืนยันความถูกต้องของชุดอุปกรณ์เสียก่อน โดยต้องคำนึงถึงการได้รับการรับรองข้อมูลและมีความเป็นไปได้ของผลการทดลอง โดยการทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบเดือด ในขั้นตอนแรกจะใช้น้ำกลั่นเป็นสารในการทำงาน โดยไม่มีการติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน และนำผลการทดลองที่ได้จดบันทึกมาทำการเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Rohsenow ดังแสดงในสมการ ที่ 4.1 ซึ่งกราฟเป็นการจะแสดงความสัมพันธ์ของผลที่แตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวให้ความร้อนกับอุณหภูมิอิ่มตัวของสารการทำงาน ($T_s - T_{sat}$) กับค่าความฟลักซ์ร้อน (Heat Flux) หลังจากได้ทำการทดลองและบันทึกผลแล้วนำมาเปรียบเทียบกับพบว่าผลของการทดลองมีลักษณะทิศทางใกล้เคียงกับสหสัมพันธ์ของ Rohsenow และมีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ Shoji Mori. (2019), Yasu Nobu Fujita. (2020), Ki-Jung Park. (2017), In Cheol Bank. (2019), Pater Vassallo. (2021), S.J. kin. (2017), Bo Feng. (2018), Mehmet Arik. (2019), Okawa Tomori. (2020)

$$q''_s = \mu_l h_{fg} \left(\frac{g(p_l - p_v)}{\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{c_{p,l} \Delta T_e}{c_{s,f} h_{fg} Pr_l} \right)^3 \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองสหสัมพันธ์ของ Rohsenow และข้อมูลการทดลองของนักวิจัยท่านอื่นๆ

4.2 ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารทำงาน

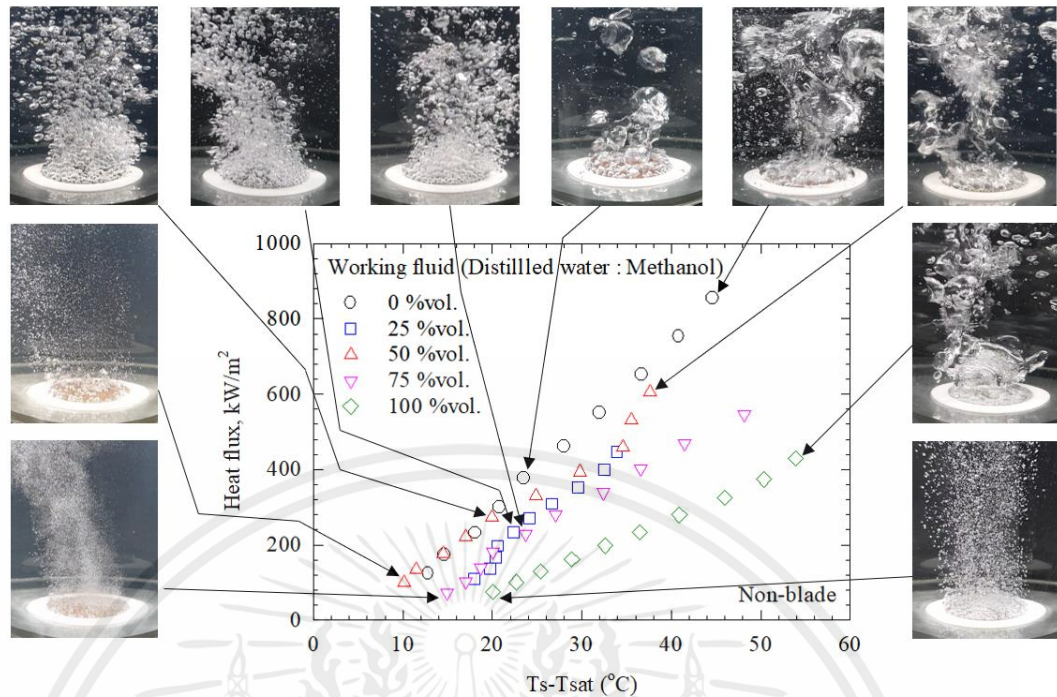
จากผลการทดลองพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารเมทานอลแอลกอฮอล์ที่มีความแตกต่างกันและมีคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูลดังรูปที่ 4.2 - 4.5 โดยแสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูล โดยเป็นการเปรียบเทียบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูลที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเมทานอลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นที่ต่างกันออกไป

รูปที่ 4.2 (ก) - 4.5 (ก) เป็นภาพแสดงกราฟ pool boiling curve แสดงความสัมพันธ์ที่แตกต่างระหว่างผลของอุณหภูมิบริเวณพื้นผิวที่ให้ความร้อนกับอุณหภูมิอมตัวของวาร์ทดลอง ($T_s - T_{sat}$) กับค่าฟลักซ์ความร้อน (heat flux) จะสังเกตได้ว่าข้อมูลในการทดลอง ($T_s - T_{sat}$) มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 8 - 14 องศาเซลเซียส เมื่อ ($T_s - T_{sat}$) เพิ่มขึ้นจะมีการส่งผลให้ค่าฟลักซ์ความร้อนเพิ่มขึ้นในทุกค่าของข้อมูลในการทดลอง และนอกจากนี้ยังพบว่าการติดไบท่อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่มีระยะห่างระหว่างบริเวณพื้นผิวให้ความร้อนกับตัวไบท่อนอยู่ที่ 5, 15, และ 25 มิลลิเมตร ข้อมูลในการทดลองจะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น

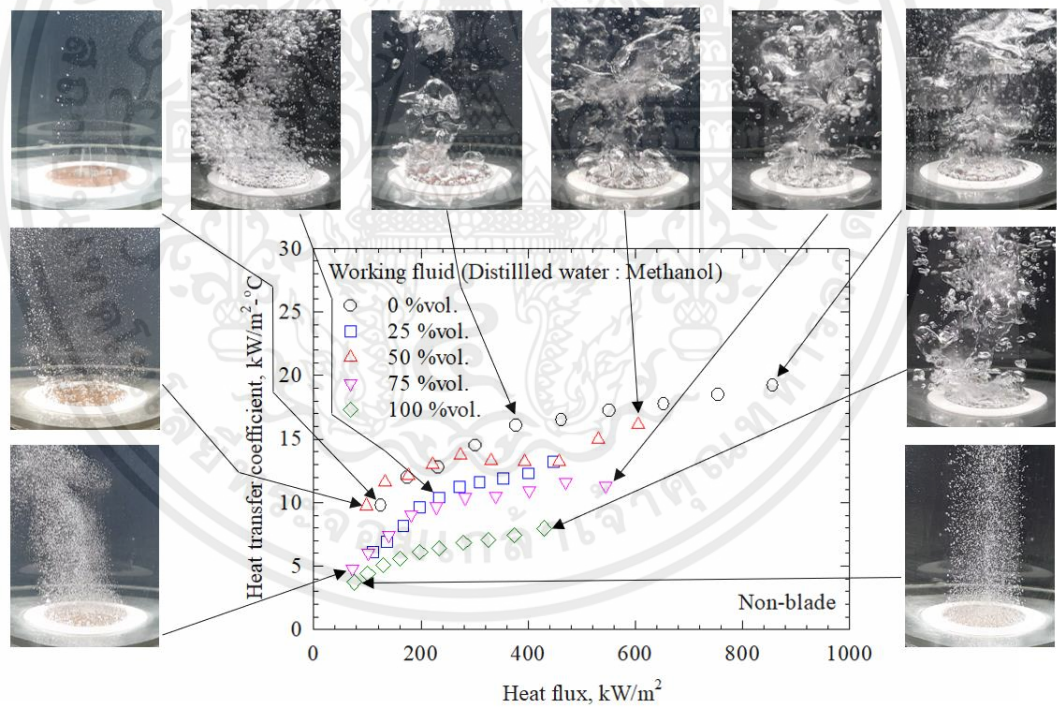
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับเนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารทดลองที่เพิ่มขึ้นและไบหมุนที่เกิดการหมุนจะทำให้มีการเกิดแรงต้านทานระหว่างไบหมุนกับสารในการทดลอง ซึ่งการเกิดแรงต้านนี้จะทำให้มีการปั่นป่วนของสารในการทดลองบริเวณที่เหนือพื้นผิวให้ความร้อนส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมีค่า เพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของสารทดลองเป็นการเพิ่มความหนาแน่นที่บริเวณพื้นผิวระหว่างสารการทำงานและไบหมุน ที่จะทำให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

รูปที่ 4.2 (ข) – 4.5 (ข) เป็นรูปกราฟ pool boiling heat transfer coefficient แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ความร้อน (heat flux) กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient) จากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อค่าฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นและในการเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นของสารที่ใช้ทดลองมีผลที่จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นในทุกๆค่าของข้อมูลในการทดลองและนอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อมีการติดไบหมุนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะ 5, 15, และ 25 มิลลิเมตร ที่ห่างจากพื้นผิวให้ความร้อน ในการทดลองจะมีปริมาณความเข้มข้นของเมทานอลอยู่ที่ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของเมทานอล เป็นสารในการทดลองส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่มีการถ่ายเทที่เพิ่มขึ้นและจะสังเกตเห็นได้ว่าข้อมูลในการทดลองปริมาณของความเข้มข้นของสารในการทดลองที่ 100 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีปริมาณในการถ่ายเทความร้อนที่น้อยกว่าการทดลองของสารทดลองที่ความเข้มข้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความเข้มข้นของสารทดลองที่ 100 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีความเข้มข้นมากไปจึงทำให้ความหนาแน่นมากเกินไปจึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนมีปริมาณค่าที่ลดลง



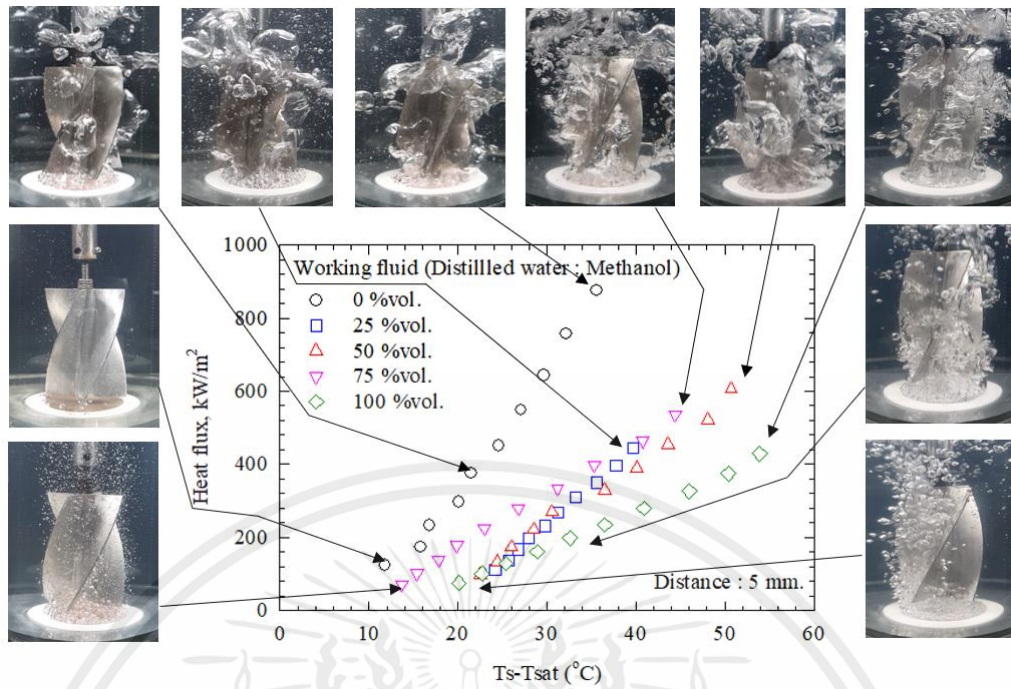
(ก) pool boiling curve



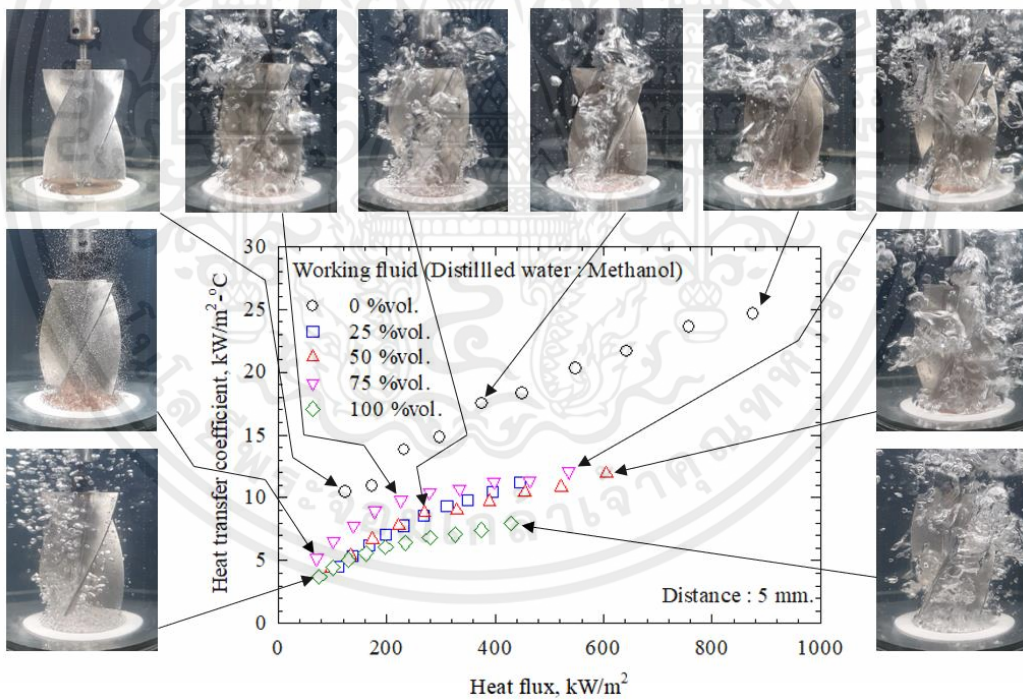
(ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล เมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน ของน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



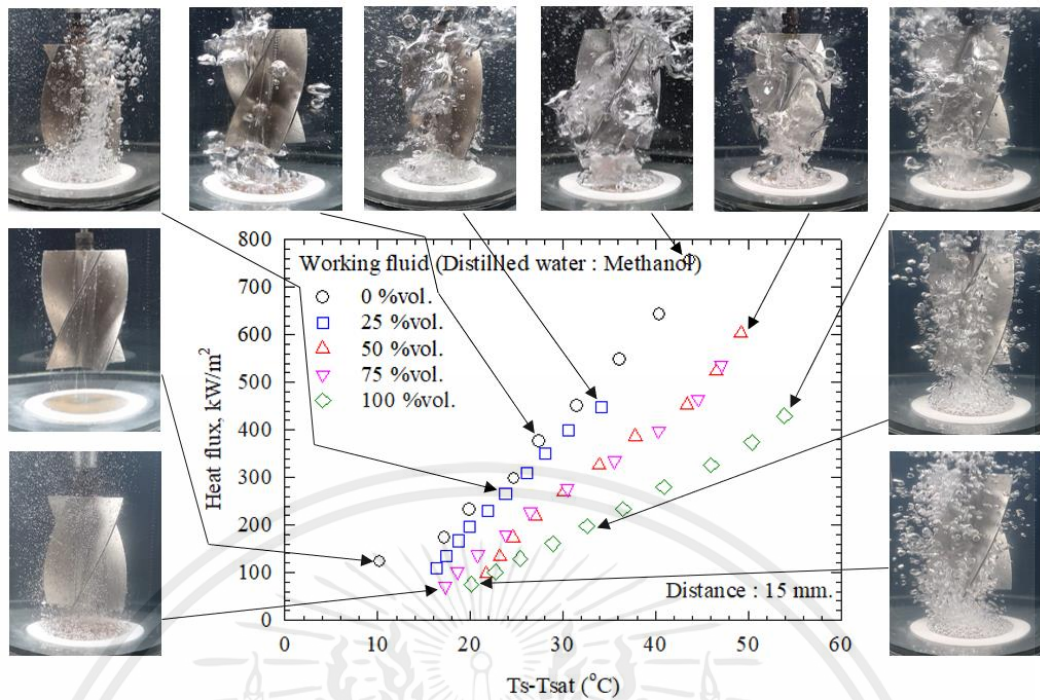
ก) pool boiling curve



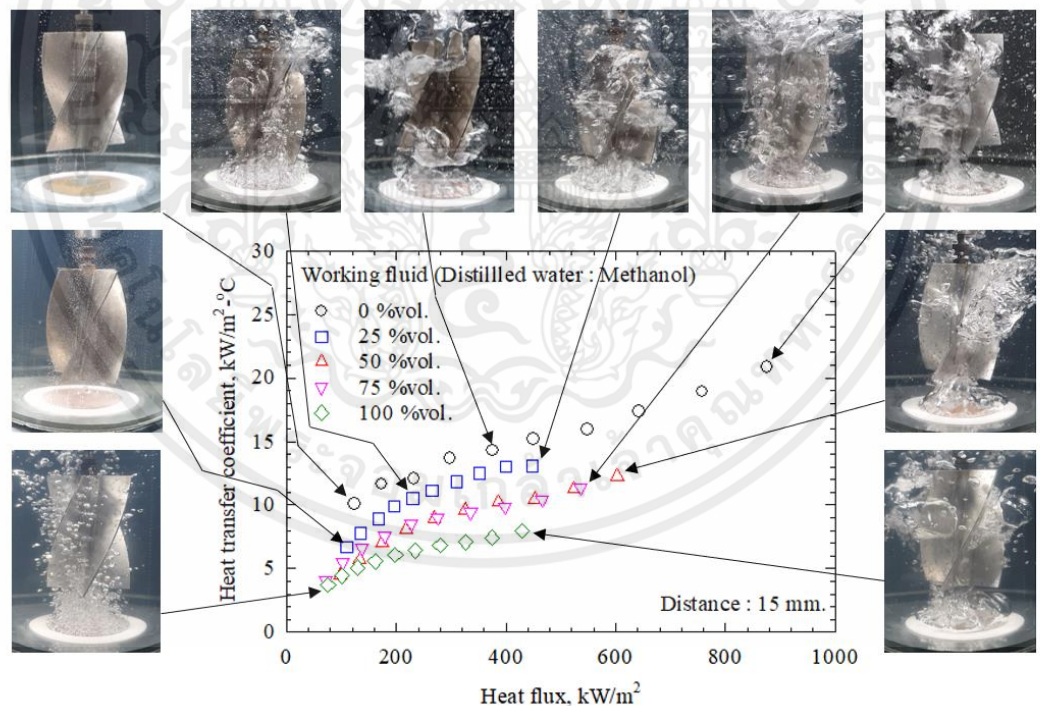
(ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.3 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล เมื่อไม่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับไบหมุนที่ 5 มิลลิเมตร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



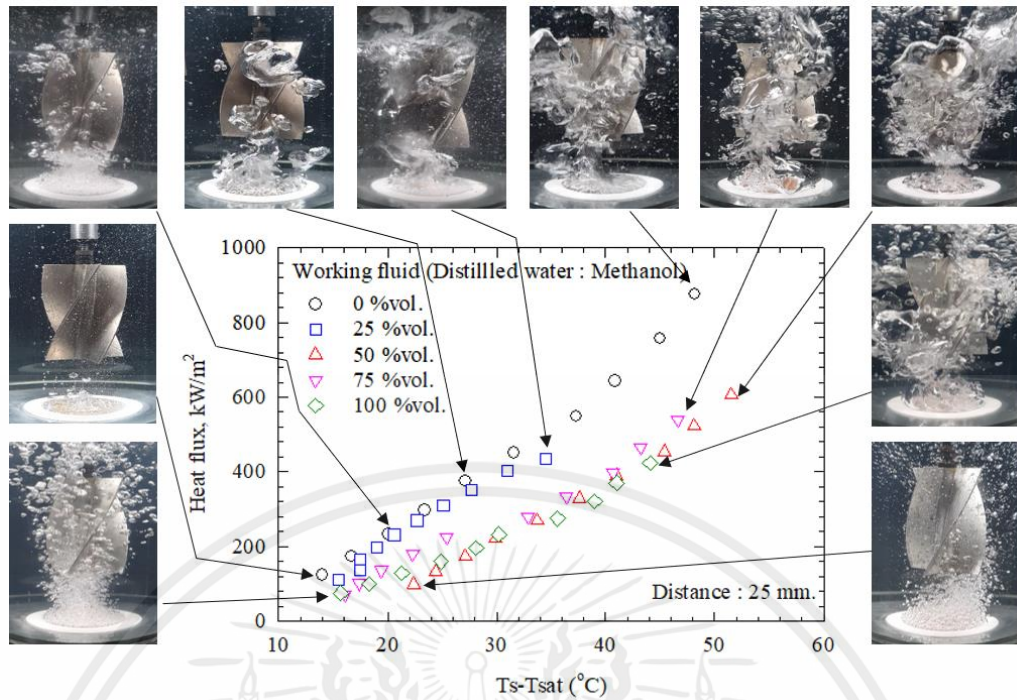
ก) pool boiling curve



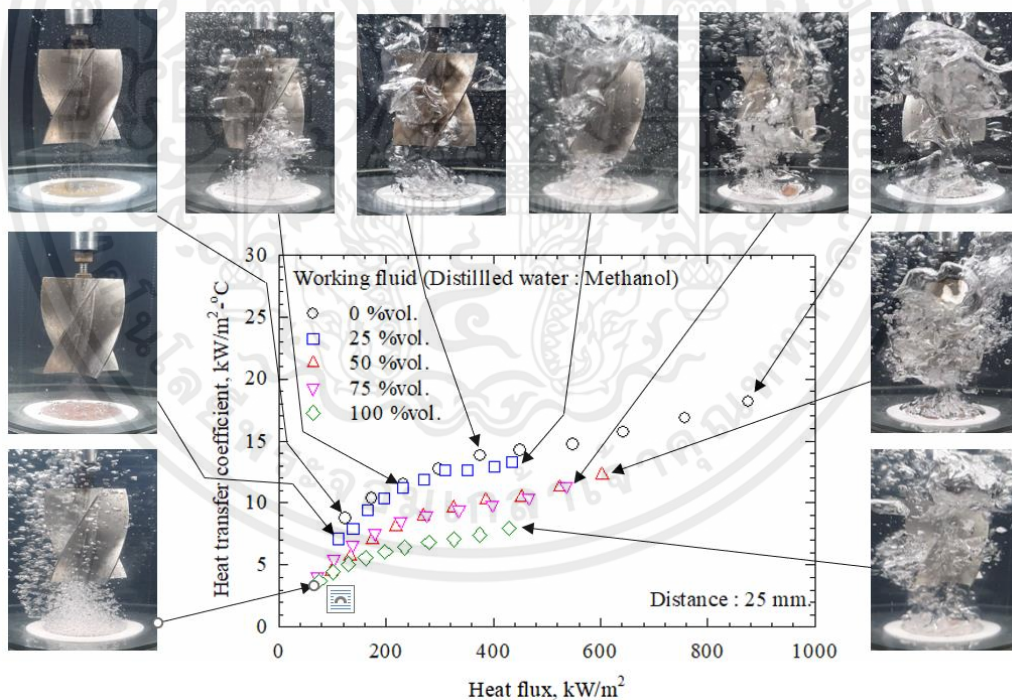
ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.4 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล เมื่อไม่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับไบหมุนที่ 15 มิลลิเมตร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) pool boiling curve



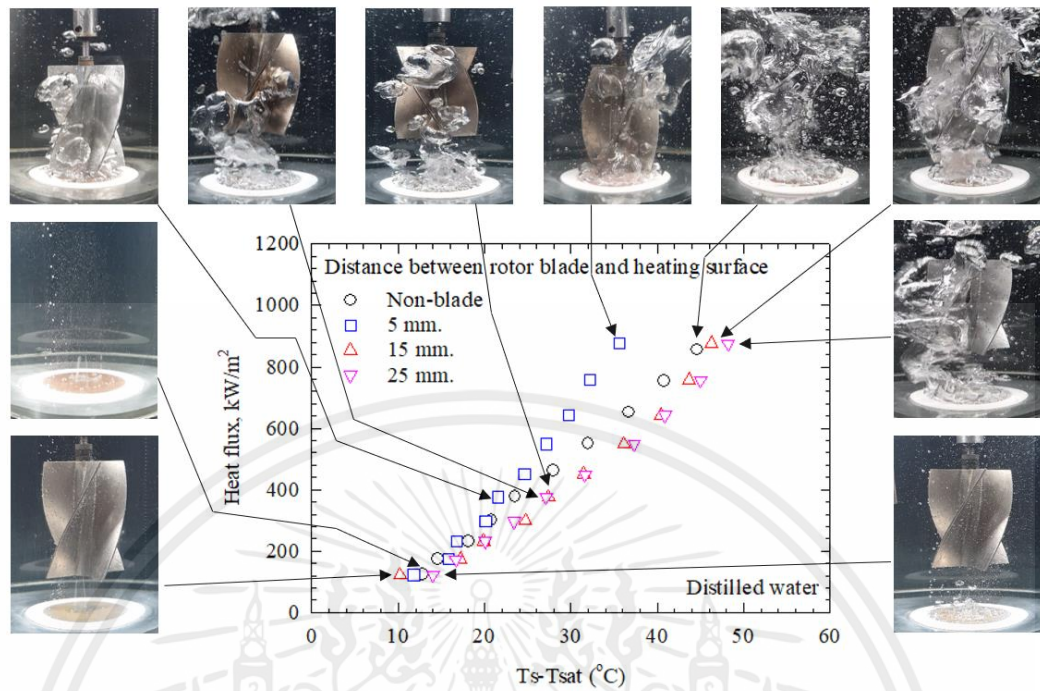
ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.5 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล เมื่อไม่ติดตั้งไบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับไบหมุนที่ 25 มิลลิเมตร.

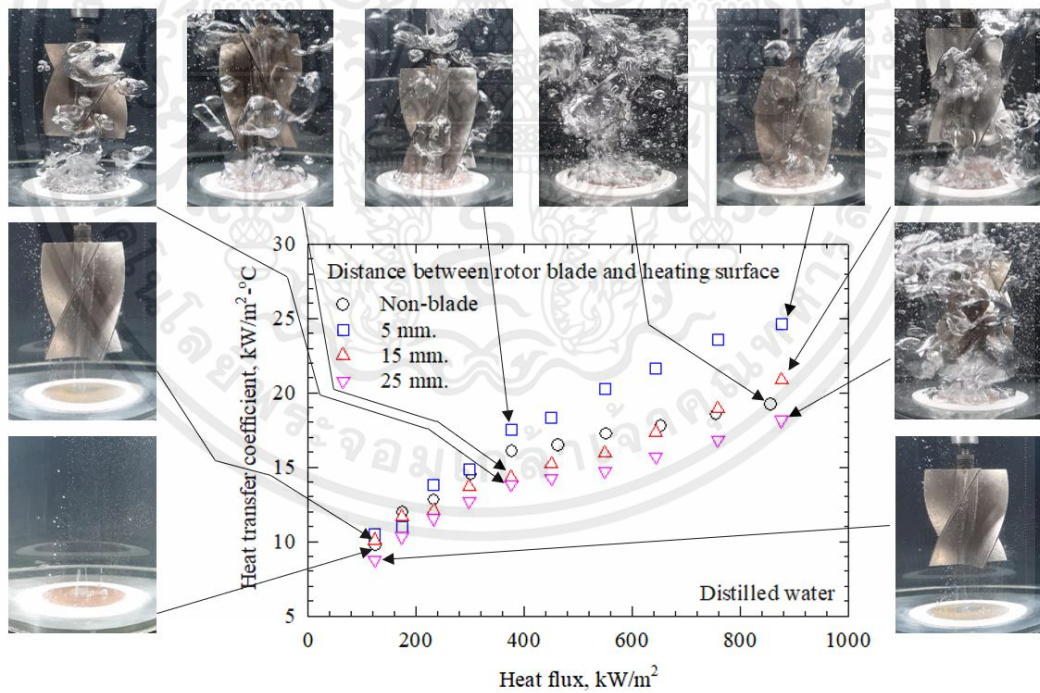
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน

จากผลที่ได้ทำการทดลอง วิเคราะห์ผลของระยะห่างของพื้นผิวให้ความร้อนกับไบหมุนที่แตกต่างกันที่มีคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในการเดือดแบบพูล ดังรูปที่ 4.6 – 4.10 แสดงลักษณะของการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูลของบริเวณที่พื้นผิวให้ความร้อน ที่ติดไบหมุน แบบ 4 ครีบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 30 มิลลิเมตร ไว้ที่บริเวณเหนือพื้นผิวให้ความร้อนใน ระยะห่างที่ 5, 15 และ 25 มิลลิเมตร โดยนำคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนของการเดือดแบบพูลโดยเปรียบเทียบกับเมื่อเปลี่ยนระยะห่างระหว่างไบหมุนกับ บริเวณพื้นผิวที่มีการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน รูปที่ 4.6 (ก) – 4.10 (ก) เป็นกราฟของ pool boiling curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของ อุณหภูมิที่บริเวณที่ให้ความร้อนกับอุณหภูมิอิ่มตัวของสารที่ทดลอง ($T_s - T_{sat}$) กับค่าของฟลักซ์ความร้อน (heat flux) จากการจะเห็นได้ว่า ผลจากการทดลอง ($T_s - T_{sat}$) มีค่าอยู่ประมาณช่วง 8-14 องศาเซลเซียส เมื่อ ($T_s - T_{sat}$) เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่าฟลักซ์ ของความร้อนเพิ่มขึ้นในทุกๆ ค่าของการทดลอง และข้อมูลในการทดลองยังพบได้อีกว่า ในการติดตั้งไบหมุนแบบ 4 ครีบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 30 มิลลิเมตร ผลในการทดลองของระยะห่างของไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะห่าง 5, 15, และ 25 มิลลิเมตรจะมีการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ตามลำดับ เนื่องจากฟองอากาศ ที่ได้เกิดบริเวณพื้นผิว ให้ความร้อนจะเริ่มมีขนาดที่เริ่มเพิ่มขึ้นจนมีแรงลอยตัวจนทำให้ฟองอากาศสามารถหลุดออกจาก บริเวณที่ให้ความร้อน และจะลอยตัวขึ้นไปยังพื้นผิวด้านบนของสารทดลอง และฟองอากาศนี้จะ เป็นตัวผลักดันให้ไบพดมีการหมุน เมื่อไบเกิดการหมุน ไบที่มีการหมุนด้านตรงข้ามกับด้านที่รับ แรงดันจากแรงลอยตัวของฟองอากาศจะมีการเกิดแรงต้านทานระหว่างไบหมุน กับสารที่ใช้ทดลอง ขึ้น แรงต้านทานนี้จะทำให้มีการเกิดความปั่นป่วนของสารที่ใช้ทดลองบริเวณเหนือพื้นผิว ที่ให้ ความร้อน ส่งผลทำให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อความห่างของระยะ ไบหมุนกับพื้นผิวที่ให้ความร้อนมีค่าที่ลดลง ขนาด และปริมาณของฟองอากาศที่เป็นรงในการ ผลักไบให้หมุน ที่จะเพิ่มมากขึ้น ทำให้ไบหมุนมีแรงต้านทาน เพื่อจะได้มีความสามารถที่จะสร้าง ความปั่นป่วนของสารทดลองบริเวณที่ เหนือพื้นผิวให้ความร้อนได้ดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการ ถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ข้อมูลในการทดลองของใน ระยะห่างของไบหมุนกับพื้นผิวให้ ความร้อนที่ 5, 15, และ 25 มิลลิเมตร นั้นมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ เนื่องจากการที่ลดระยะห่าง ระหว่างไบหมุนกับบริเวณพื้นที่ให้ความร้อน นั้นทำให้ไบ หมุนมีความสามารถในการสร้างความปั่นป่วนที่เหนือพื้นผิวให้ความร้อนได้มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้มีค่า สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น



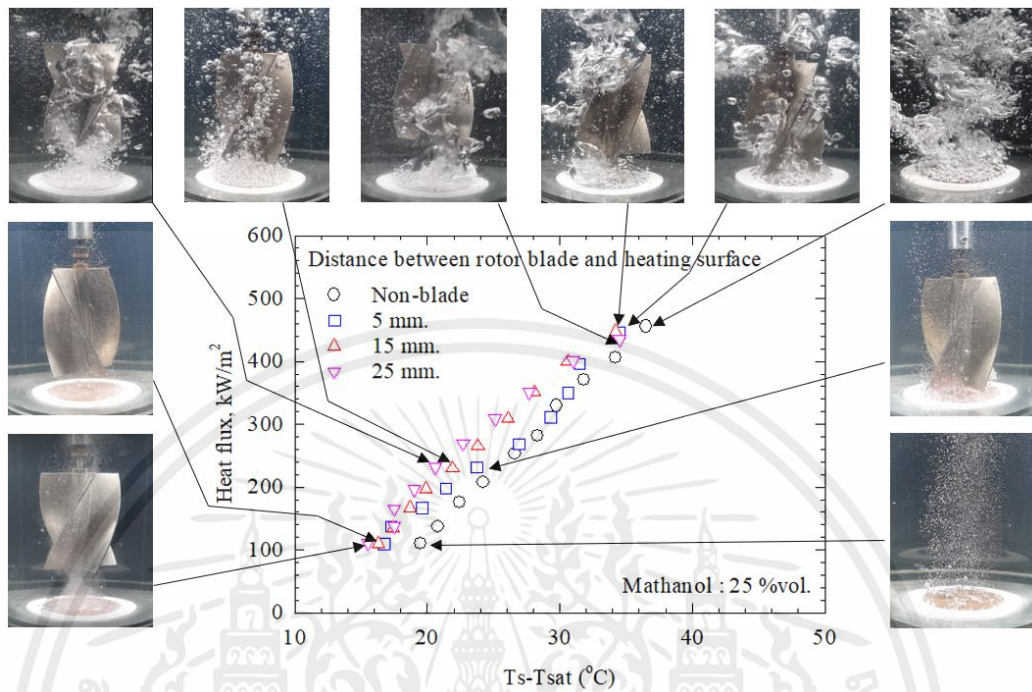
ก) pool boiling curve



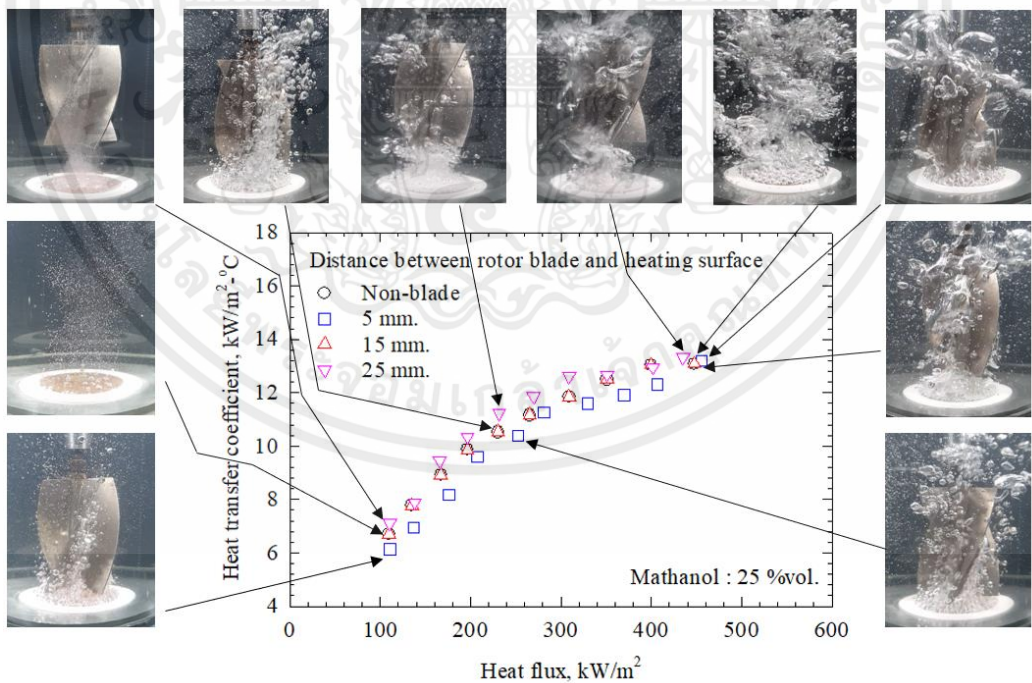
(ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.6 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูลของน้ำกลั่น ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) pool boiling curve

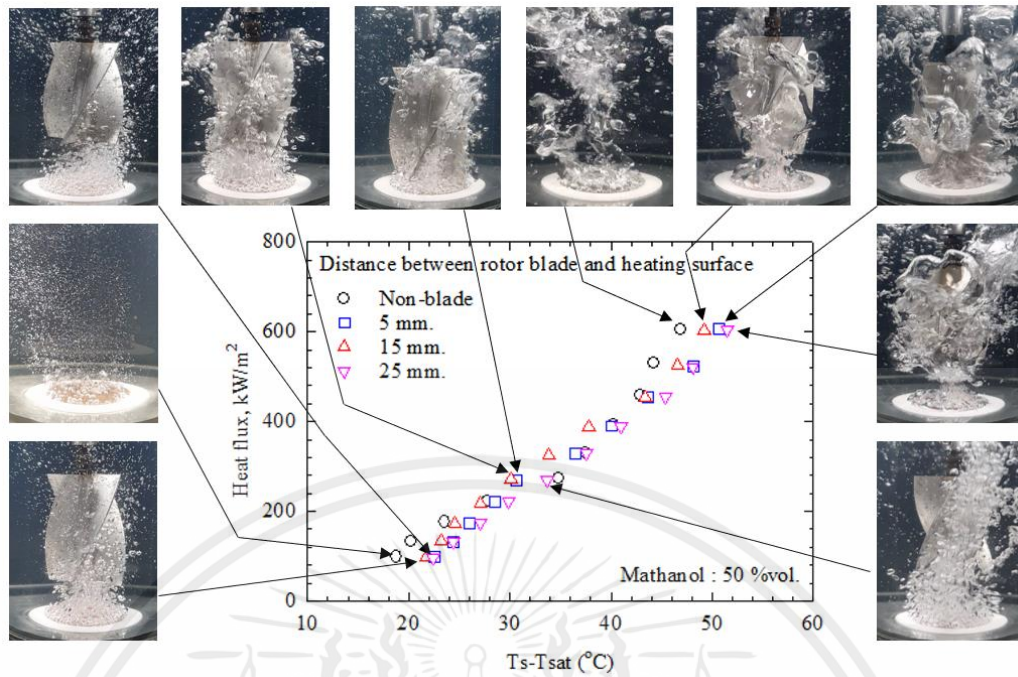


ข) pool boiling heat transfer coefficient

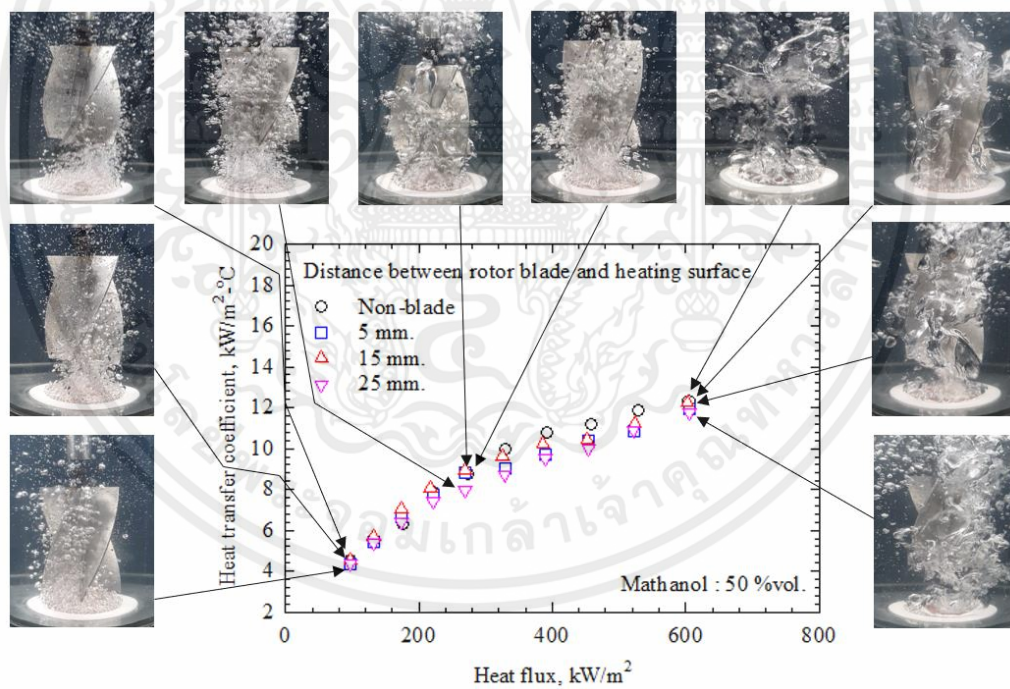
รูปที่ 4.7 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูลของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์

ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



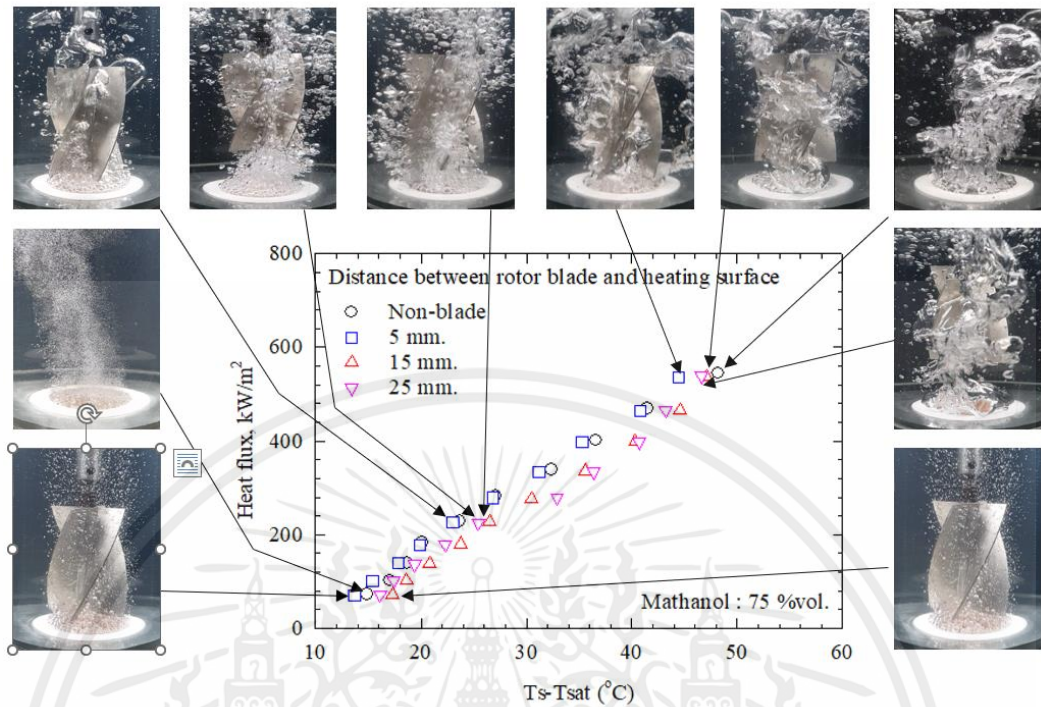
ก) pool boiling curve



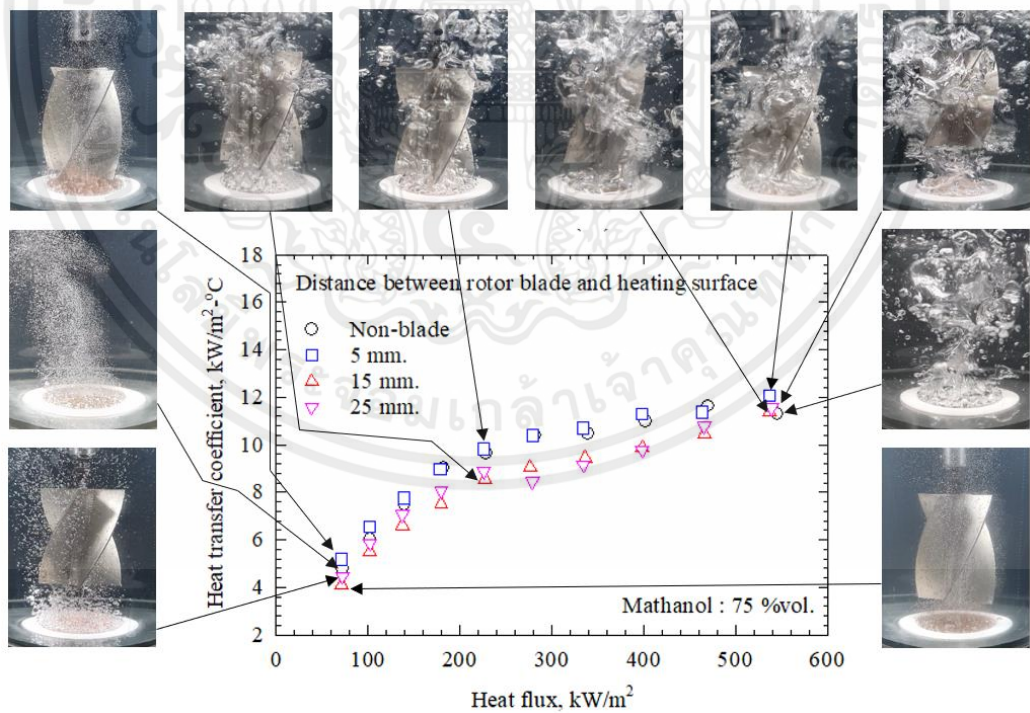
ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.8 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูลของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) pool boiling curve

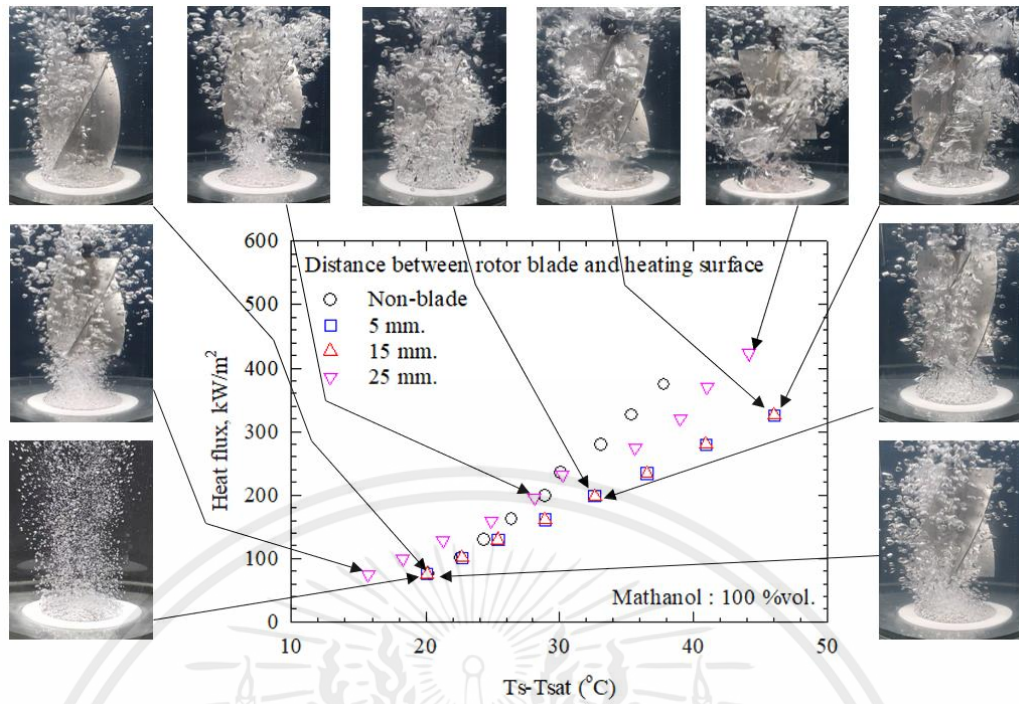


ข) pool boiling heat transfer coefficient

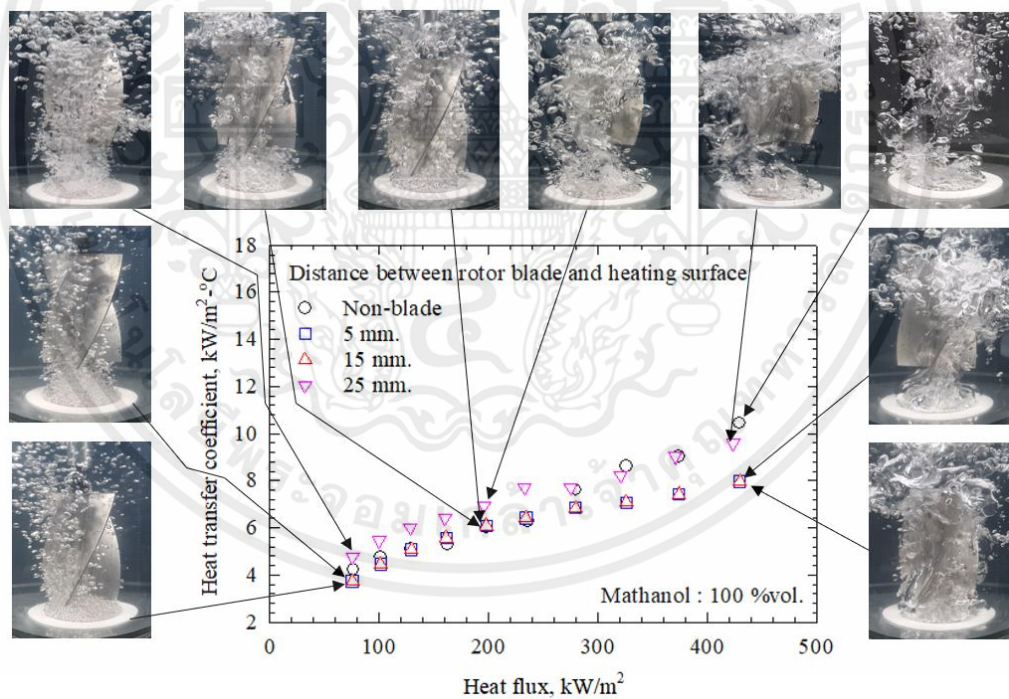
รูปที่ 4.9 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพุด ของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์

ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) pool boiling curve

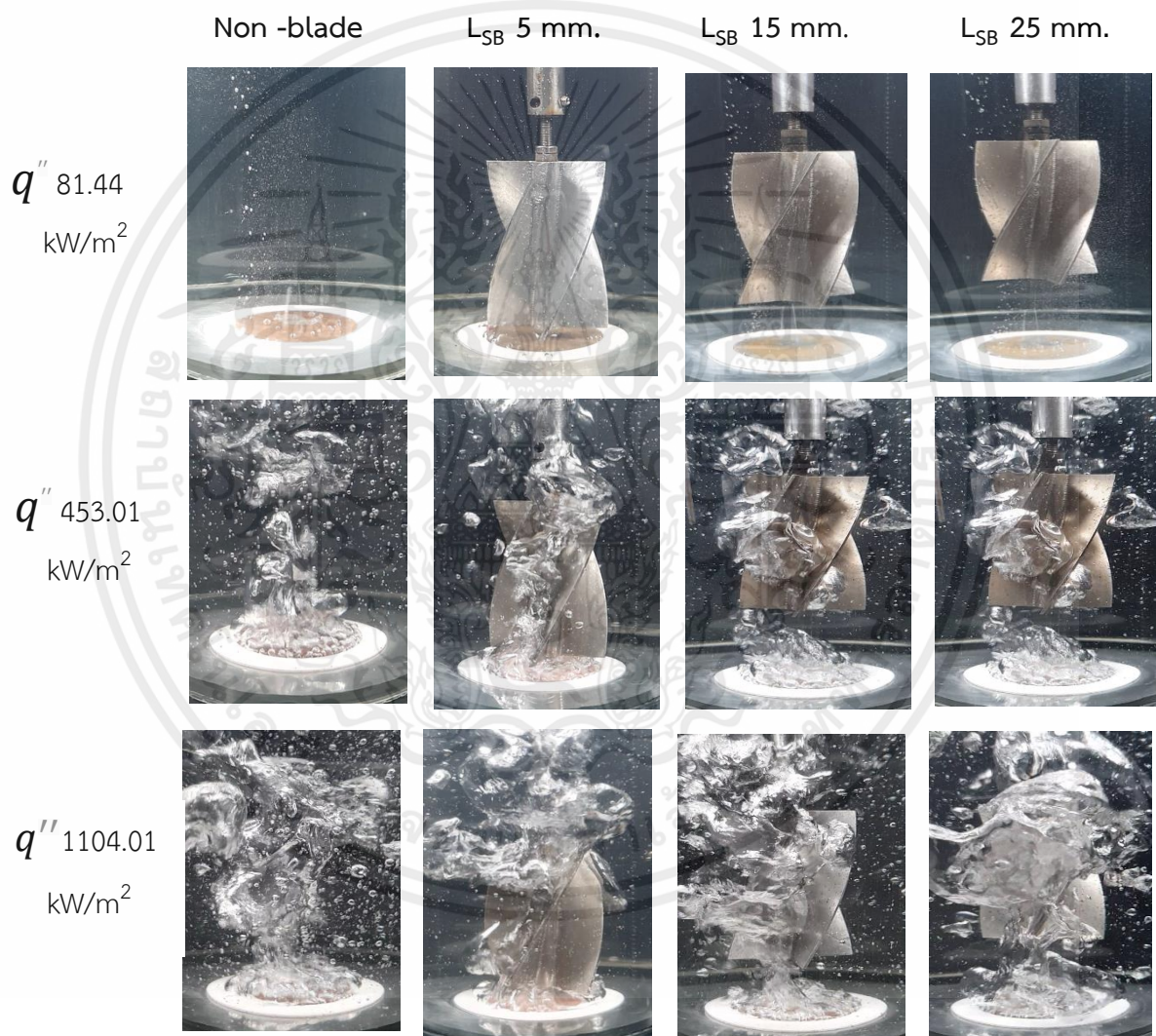


ข) pool boiling heat transfer coefficient

รูปที่ 4.10 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพูล ของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะห่างระหว่างพื้นผิวให้ความร้อนกับใบหมุนที่ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

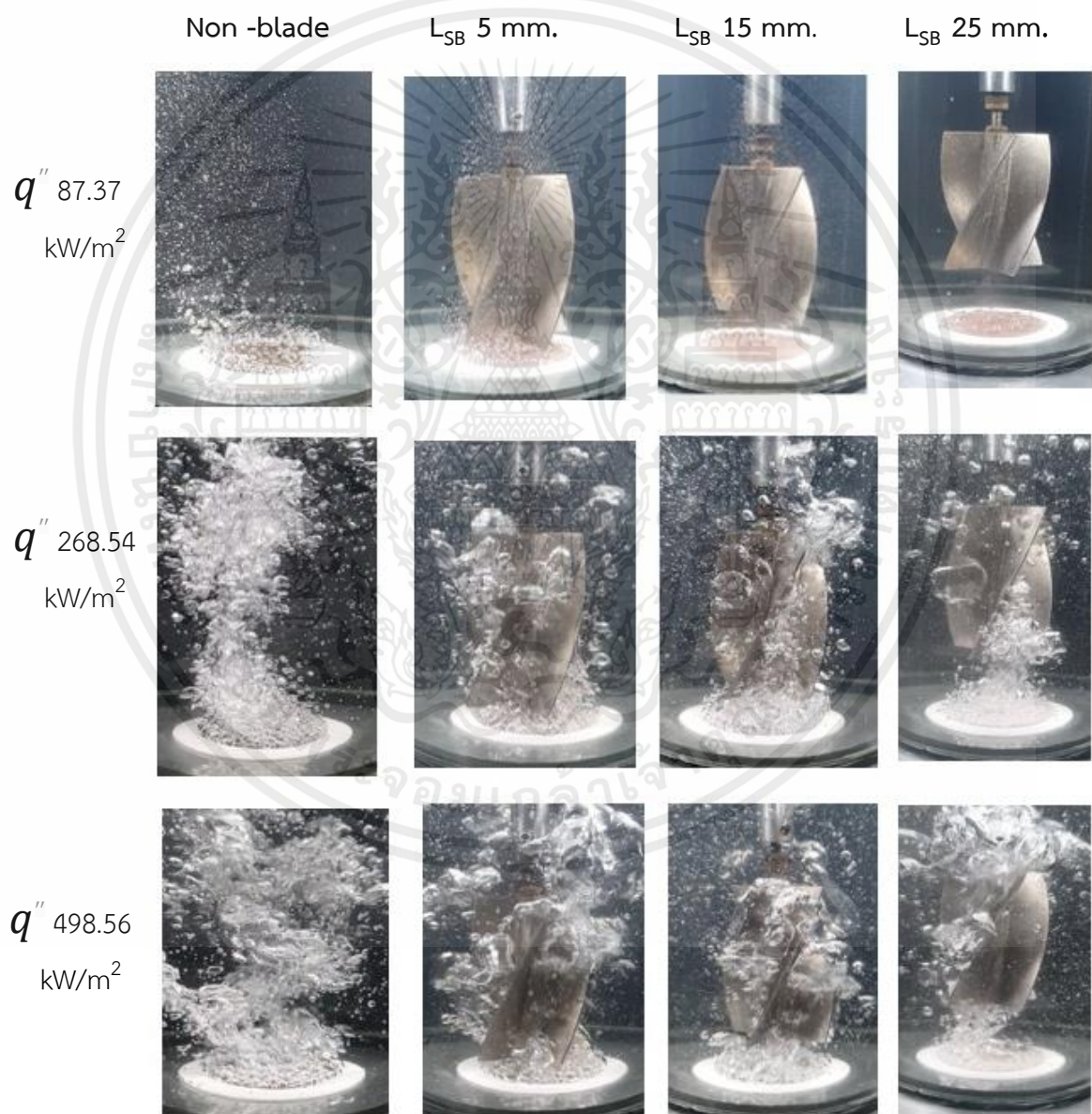
ปรากฏการณ์การเดือดของน้ำกลั่น ที่ติดตั้งใบหมุน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และ ไม่ติดตั้งใบหมุน ดังรูปที่ 4.11 จะแสดงความแตกต่างของการเดือดแบบฟูล โดยมีใบหมุนอยู่เหนือพื้นผิวให้ความร้อน และไม่มีใบหมุน ในช่วง Low Heat Flux การติดตั้งใบหมุนกับไม่มีใบหมุน จะมีอิทธิพลค่อนข้างน้อยเพราะช่วง Low Heat Flux ฟองอากาศเป็นฟองเล็ก จึงไม่สามารถทำให้ใบหมุนเกิดการหมุนได้ แต่ในช่วง High Heat Flux ที่มีฟองอากาศขนาดใหญ่พอที่จะทำให้ใบหมุนเกิดการหมุนจึงทำให้ค่าความปั่นป่วนบนพื้นผิวให้ความร้อน



รูปที่ 4.11 ปรากฏการณ์การเดือดของน้ำกลั่น ที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างใบหมุน กับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่มีติดตั้งใบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

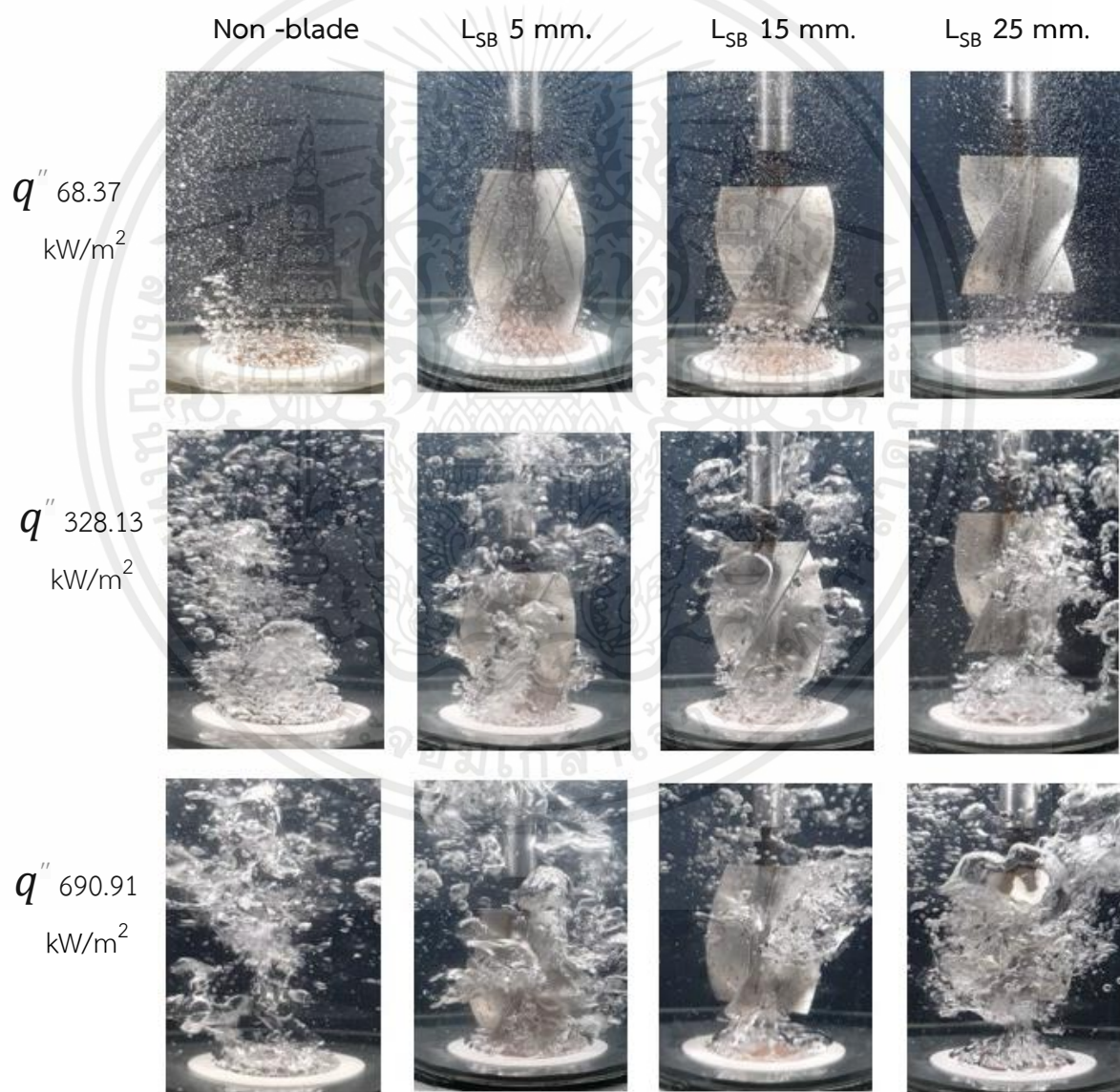
ปรากฏการณ์การเดือดของสารเมทานอลที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งใบหมุน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และ ไม่ติดตั้งใบหมุน ดังรูปที่ 4.12 ที่จะแสดงความแตกต่างของการเดือดแบบฟูล โดยทำการติดตั้งใบหมุนอยู่เหนือพื้นผิว และไม่ติดตั้งใบหมุน ในช่วง Low Heat Flux การติดตั้งใบหมุนกับไม่ติดตั้งใบหมุน จะมีอิทธิพลค่อนข้างน้อย เพราะในช่วง Low Heat Flux ฟองอากาศเป็นฟองเล็ก จึงไม่สามารถทำให้ใบหมุนเกิดการหมุนได้ แต่ในช่วง High Heat Flux ที่มีฟองอากาศขนาดใหญ่ พอดีที่จะทำให้ใบหมุนเกิดการหมุน จึงทำให้ค่า ความปั่นป่วนบนพื้นผิวให้ความร้อน



รูปที่ 4.12 ปรากฏการณ์การเดือด ของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนที่ระยะห่างกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และ ไม่ติดตั้งใบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

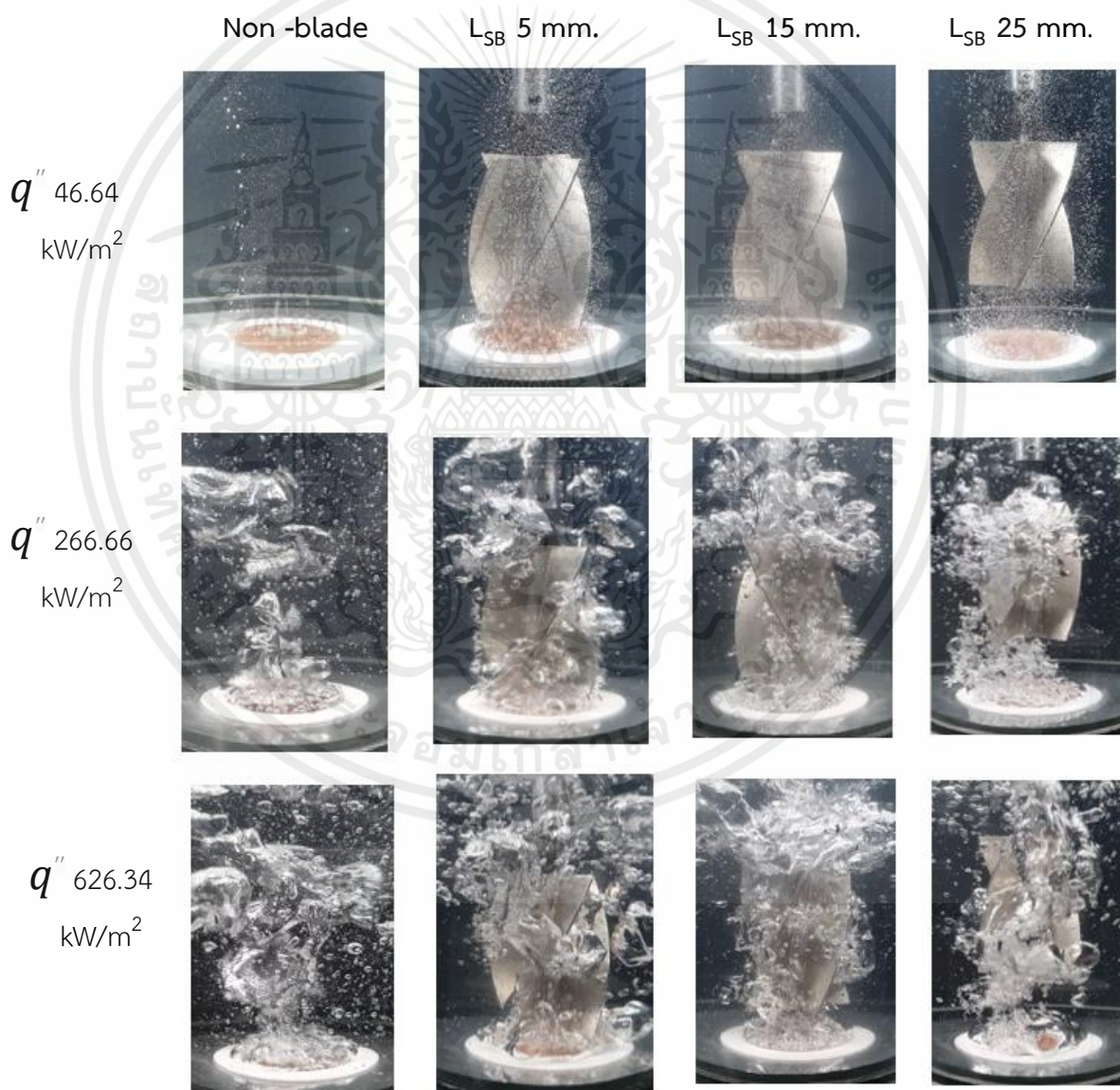
ปรากฏการณ์การเดือดของสารเมทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งใบหมุน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ ระยะ 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่ติดตั้งใบ ดังรูปที่ 4.13 จะแสดงความแตกต่างของการเดือด แบบฟูล โดยมีการติดตั้งใบหมุนไว้อยู่เหนือพื้นผิว และไม่ติดตั้งใบหมุน ในช่วง Low Heat Flux การติดตั้งใบหมุนกับไม่ติดตั้งใบหมุน จะมีอิทธิพลค่อนข้างน้อยเพราะช่วง Low Heat Flux ฟองอากาศเป็นฟองขนาดเล็กและลอยขึ้นไปแตกตัวบนผิวของสารทำงาน เนื่องจาก สารมีความเข้มข้นของเมทานอลที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีจุดเดือดที่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง High Heat Flux ที่มี ฟองอากาศขนาดใหญ่ พอที่จะทำให้ใบหมุนเกิดการหมุน จึงทำให้ค่า ความปั่นป่วนบน พื้นผิวให้ความร้อนมาก



รูปที่ 4.13 ปรากฏการณ์การเดือด ของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนที่ ระยะห่างกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่ติดตั้งใบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

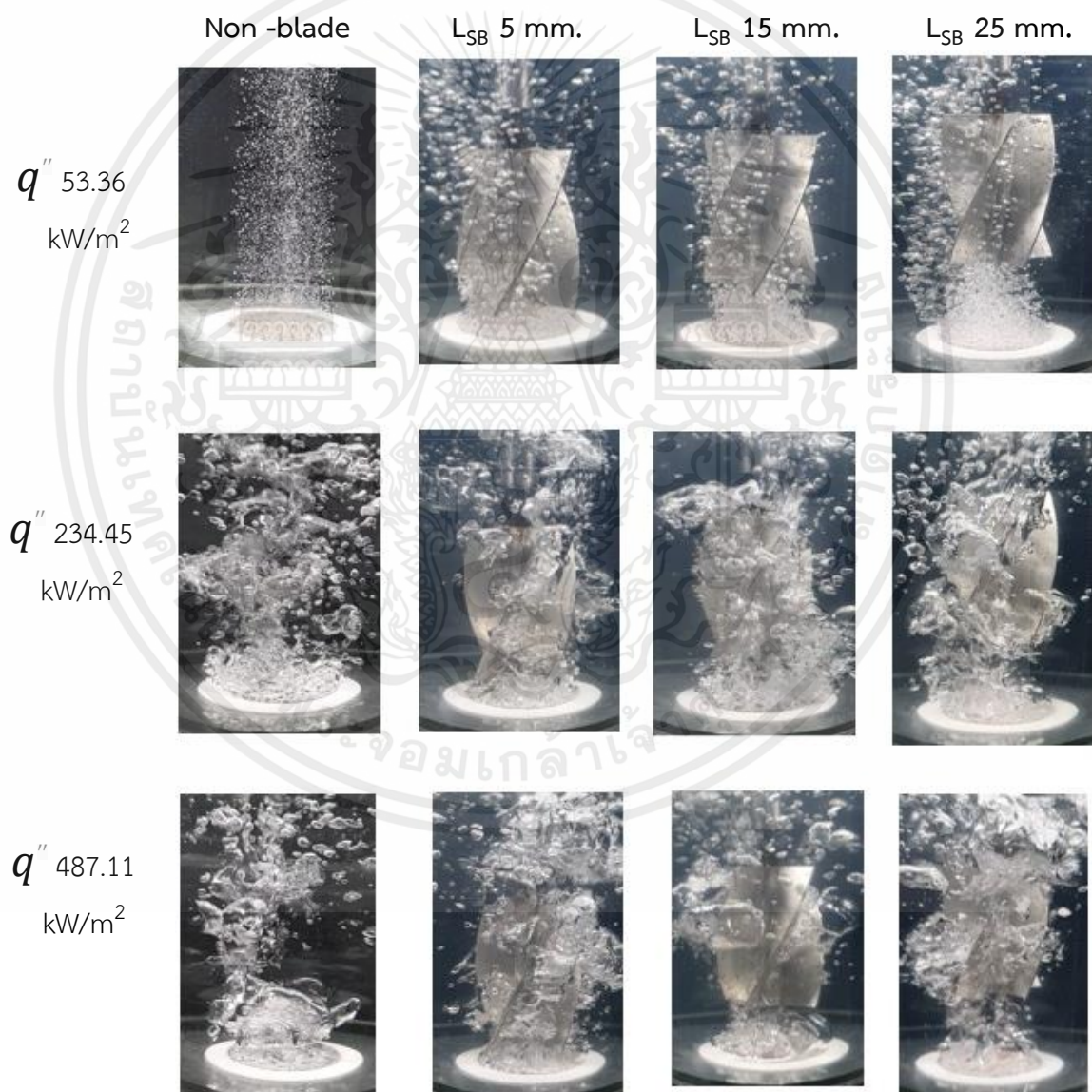
ปรากฏการณ์การเดือดของสารเมทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งใบหมุน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ ระยะ 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่ติดตั้งใบ ดังรูปที่ 4.14 จะแสดงความแตกต่างของการเดือด แบบฟูล โดยมีการติดตั้งใบหมุนไว้อยู่เหนือพื้นผิว และไม่ติดตั้งใบหมุน ในช่วง Low Heat Flux การติดตั้งใบหมุนกับไม่ติดตั้งใบหมุน จะมีอิทธิพลค่อนข้างน้อยเพราะช่วง Low Heat Flux ฟองอากาศเป็นฟองขนาดเล็กและลอยขึ้นไปแตกตัวบนผิวของสารทำงาน เนื่องจาก สารมีความเข้มข้นของเมทานอลที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีจุดเดือดที่ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง High Heat Flux ที่มี ฟองอากาศขนาดใหญ่ พอที่จะทำให้ใบหมุนเกิดการหมุน จึงทำให้ค่า ความปั่นป่วนบน พื้นผิวให้ความร้อนมาก



รูปที่ 4.14 ปรากฏการณ์การเดือด ของสารเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบ หมุนที่ระยะห่างกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15 , 25 มิลลิเมตร และ ไม่ติดตั้งใบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์การเดือดของสารเมทานอล ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ติดตั้งใบหมุน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และ ไม่ติดตั้งใบ ดังรูปที่ 4.15 จะแสดงความแตกต่างของการเดือดแบบฟูล โดยมีการติดตั้งใบหมุนไว้อยู่เหนือพื้นผิว และไม่ติดตั้งใบหมุน ในช่วง Low Heat Flux การติดตั้งใบหมุนกับไม่ติดตั้งใบหมุน จะมีอิทธิพลค่อนข้างน้อยเพราะช่วง Low Heat Flux ฟองอากาศเป็นฟองขนาดเล็กและลอยขึ้นไปแตกตัวบนผิวของสารทำงาน เนื่องจาก สารมีความเข้มข้นของเมทานอลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีจุดเดือดที่ต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง High Heat Flux ที่มี ฟองอากาศขนาดใหญ่ พอที่จะทำให้ใบหมุนเกิดการหมุน จึงทำให้ค่า ความปั่นป่วนบนพื้นผิวให้ความร้อนมาก



รูปที่ 4.15 ปรากฏการณ์การเดือดของสารเมทานอล ที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนที่ระยะห่างกับพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15, 25 มิลลิเมตร และไม่ติดตั้งใบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนในการเดือดแบบพูล โดยในการทดลองนี้ได้ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่มีระยะห่างของไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน โดยที่ไบหมุนมีจำนวน 4 ครีบ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 30 มิลลิเมตร และติดตั้งไบหมุนในระยะห่างจากพื้นผิวให้ความร้อนที่ 5 , 15 และ 25 มิลลิเมตร และการทดลองนี้จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่พลังความร้อน $46.27 - 1135.39 \text{ kW/m}^2$ ทดลองที่ความดันบรรยากาศ บริเวณพื้นผิวให้ความร้อนนั้นเป็นพื้นผิวที่ทำจากทองแดงมีลักษณะเป็นทรงกลมในแนวนอน และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 30 มิลลิเมตร และใช้เมทานอลเป็นสารในการทดลอง ที่มีความเข้มข้นอยู่ที่ 25, 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์ และทดลองน้ำกลั่นที่ 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและได้ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ และผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ความเข้มข้นของสารทดลองมีผลต่อคุณลักษณะในการถ่ายเทความร้อนของบริเวณพื้นผิวที่ให้ความร้อนและค่าการถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ และเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารทดลองที่น้อยลง และแต่ละความเข้มข้นของสารทดลองมีจุดเดือดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพลดน้อยลงตามไปด้วย และเมื่อความเข้มข้นของสารทดลองเพิ่มขึ้น พบว่าสารที่ใช้ทดลองในความเข้มข้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่าสารที่ใช้ทดลองในความเข้มข้นที่ 50 , 75 , และ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความเข้มข้นของสารเมทานอลมีปริมาณที่น้อยที่สุด ทำให้จุดเดือดของสารทดลองต่ำสุด จึงทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมีค่าที่ดีที่สุด

5.1.2 ระยะห่างของไบหมุนที่มีความห่างระหว่างพื้นผิวที่ให้ความร้อนนั้นมีผลต่อลักษณะของการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวที่ให้ความร้อน โดยจะติดตั้งไบหมุนไว้เหนือบริเวณที่ให้ความร้อนที่ระยะ 5, 15, และ 25 มิลลิเมตร จะมีค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงไปตามลำดับ และระยะห่างของไบหมุนกับพื้นผิวที่ให้ความร้อนในระยะที่สูงขึ้น ปริมาณของฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ตามลำดับปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลทำให้ไบหมุนมีประสิทธิภาพในการหมุนที่ดียิ่งขึ้น และสร้างความปั่นป่วนให้กับสารทดลองเหนือบริเวณพื้นผิวที่ให้ความร้อนได้ดีขึ้น และจะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการติดตั้งไบหมุนไว้บริเวณเหนือพื้นผิวให้ความร้อน

ชนิดของไบหมุน (ครีป)	ความเข้มข้นของสารในการทดลอง เปอร์เซ็นต์ (%)	ระยะห่างระหว่างไบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน (มิลลิเมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ (%)
4	น้ำกลั่น	5	2.16
4	เมทานอล 25%	5	2.01
4	เมทานอล 50%	5	4.57
4	เมทานอล 75%	5	0.42
4	เมทานอล 100%	5	6.09
4	น้ำกลั่น	15	0.92
4	เมทานอล 25%	15	0.40
4	เมทานอล 50%	15	4.27
4	เมทานอล 75%	15	0.82
4	เมทานอล 100%	15	9.25
4	น้ำกลั่น	25	1.48
4	เมทานอล 25%	25	0.75
4	เมทานอล 50%	25	4.75
4	เมทานอล 75%	25	0.61
4	เมทานอล 100%	25	9.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

5.2.1. ในการทดลองไม่ควรหยุดระหว่างการทดลองควรจะทดลองอย่างต่อเนื่องในสภาวะนั้นๆ จนเก็บผลการทดลองเสร็จ และไม่ควรหยุดการทดลองกลางคันและมาทำการทดลองต่อ

5.2.2. ในการทดลองควรมีผู้ร่วมทดลองอยู่ด้วยอย่างน้อย 2 คน เพื่อในกรณีฉุกเฉิน

5.2.3. ในระหว่างที่ทำการทดลอง ไม่ควรที่จะสัมผัสกับชิ้นส่วน หรืออุปกรณ์ในการทดลองโดยตรง และควรมีอุปกรณ์ป้องกันความร้อน เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการทดลองเกี่ยวกับความร้อนอาจจะเกิดอันตรายกับผู้ทดลองได้

5.2.4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับจำนวนใบและครีบของตัวไบพัดหมุนที่มีจำนวนต่างกัน

5.2.5. ควรคำนวณเวลาในการทดลองให้ดีเพราะการทดลองจะใช้เวลาทดลองที่มีระยะเวลาที่ค่อนข้างนาน



เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Suriyawong et al. (2019). Number of blades of rotating blades affecting the boiling heat transfer enhancement of distilled water. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand, Mechanical Engineering.
- [2] S.H. et al. (2019). POOL-BOILING CRITICAL HEAT FLUX OF WATER ON SMALL PLATES: EFFECTS OF SURFACE ORIENTATION AND SIZE. Korea Advanced Institute of Science and Technology , Department of Nuclear Engineering, Korea
- [3] Bank., et al. (2015). Visualization of a principle mechanism of critical heat flux in pool boiling. Korea university, Science and Technology, Korea.
- [4] Sihui Hong. et al. (2019). Visualization investigation of the effects of nanocavity structure on pool. The University of Tokyo, Engineered Environmental, Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8563, Japan.
- [5] M. A. et al. (2017). Enhancement of pool boiling critical heat flux in dielectric liquids by microporous coatings. United States University Department of Mechanical Engineering., Niskayuna, NY 12309,.
- [6] Hiroto Sakashita, A. O. (2017). Boiling behaviors and critical heat flux on a horizontal plate in saturated pool boiling of water at high pressures. Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Division of Energy and Environmental Systems, Sapporo 060-8628, Japan.
- [7] Keith Weaver. Bo Feng. (2020). Enhancement of critical heat flux in pool boiling using atomic layer deposition of alumina. George W. Woodruff School., Mechanical Engineering., Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332, USA.
- [8] Marjan Goodarzi, et. al. (2020). Boiling heat transfer characteristics of graphene. Alexandria University, English. Alexandria University, Mechanical and Industrial Engineering, English.
- [9] S.J. Kim I.C. Bang. (2018). Surface wettability change during pool boiling of nanofluids and its effect on critical heat flux. Massachusetts Institute of Technology, Nuclear Science and Engineering Department, MA, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Shoji Mori, K. O. (2019). Enhancement of the critical heat flux in saturated pool boiling using honeycomb porous media. Yokohama National University, Department of Chemical Engineering Science, 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501, Japan.
- [11] Yasunobu Fujita and Qiang Bai. (2019). Critical heat flux of binary mixtures in pool boiling and its correlation in terms of Marangoni number. Kyushu University, Department of Energy and Mechanical Engineering, 6-10-1 Hakozaki, Fukuoka, 812-81, Japan .
- [12] Yohei Sato, B. N. (2018). Pool boiling simulation using an interface tracking method: From nucleate boiling to film boiling regime through critical heat flux. Paul Scherrer Institute, Mechanical engineering, 5232 Villigen PSI, Switzerland.
- [13] จัตุพล ป้องกัน และคณะ. (2019). Leidenfrost Boiling of Fuel Oils Droplets on Hot Wire-Net Porous Media. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, 744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000.
- [14] อนุสรณ์ สุขเกษม. (2020). การศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยการพาของครีบบางทรงกระบอก. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, เลขที่ 114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ข้อมูลทางเทคนิค

ข้อมูลทางเทคนิคของเทอร์โมคัปเปิล

สมการการสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลประเภท T (Type T)

$$\text{เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 1} \quad y = 0.9906x - 1.8821 \quad (T_1)$$

$$\text{เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 2} \quad y = 0.9899x - 1.8911 \quad (T_2)$$

$$\text{เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 3} \quad y = 0.9897x - 1.9031 \quad (T_3)$$

$$\text{เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 4} \quad y = 0.9901x - 1.993 \quad (T_4)$$

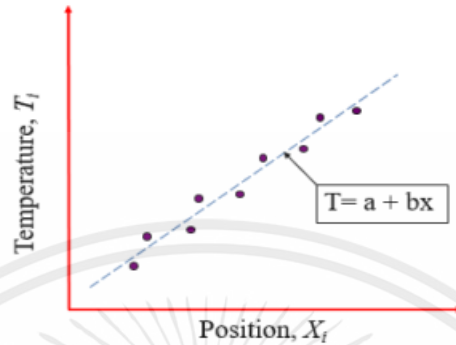
$$\text{เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 5} \quad y = 0.9899x - 2.03 \quad (T_5)$$

$$\text{เทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 6} \quad y = 0.9987x - 2.7654 \quad (T_{Sat})$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการประมาณค่าอนุกรมของพื้นผิวให้ความร้อน (T_s) สร้างจาก linear least Square Method



เงื่อนไขสำหรับ R^2 ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ

$$\frac{\partial(R^2)}{\partial a_i} = 0 \quad (1)$$

สำหรับ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ เส้น

$$f(a, b) = a + bx$$

$$R^2(a, b) = \sum_{i=1}^n [T_i - (a + bx_i)]^2$$

$$\frac{\partial(R^2)}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n [T_i - (a + bx_i)] = 0$$

$$\frac{\partial(R^2)}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n [T_i - (a + bx_i)]x_i = 0$$

ทำให้ได้เป็นสมการ

$$na + \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n T_i$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i T_i$$

เขียนในรูปเมทริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n T_i \\ \sum_{i=1}^n x_i T_i \end{bmatrix}$$

ดังนั้น

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n T_i \\ \sum_{i=1}^n x_i T_i \end{bmatrix}$$

เมตริกซ์ผกผัน 2x2 คือ

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \frac{1}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n T_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i T_i \\ n \sum_{i=1}^n x_i T_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n T_i \end{bmatrix}$$

ดังนั้น

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i T_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i T_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n T_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_i = a + bx_i$$

T_s คือ อุณหภูมิที่ตำแหน่ง $x_i = 0$ ดังนั้น

$$T_s = a = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i T_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

n คือ จำนวนของข้อมูล ($n=5$) ดังนั้น

$$T_s = \frac{\sum_{i=1}^5 T_i \sum_{i=1}^5 x_i^2 - \sum_{i=1}^5 x_i \sum_{i=1}^5 x_i T_i}{5 \sum_{i=1}^5 x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^5 x_i \right)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค. 1 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของ น้ำกลั่นระหว่างการเดือดแบบพุดเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
58.02	112.40	114.40	115.60	166.40	100.00	108.80	0.0007069	8.80
88.33	112.90	116.40	118.50	120.50	100.00	112.78	0.0007069	12.78
123.26	114.70	119.60	122.50	125.20	100.00	114.57	0.0007069	14.57
163.98	119.30	122.40	126.40	130.40	100.00	118.14	0.0007069	18.14
212.78	121.90	127.20	132.60	137.40	100.00	120.78	0.0007069	20.78
266.66	124.60	132.40	139.30	145.10	100.00	123.51	0.0007069	23.51
326.60	129.60	137.90	145.80	153.00	100.00	128.04	0.0007069	28.04
389.50	134.10	143.30	153.00	161.70	100.00	131.99	0.0007069	31.99
461.31	139.10	149.80	161.10	170.90	100.00	136.73	0.0007069	36.73
533.69	143.60	155.70	168.50	180.00	100.00	140.80	0.0007069	40.80
463.68	145.30	157.70	172.80	186.40	100.00	144.41	0.0007069	44.60
713.86	150.70	162.60	180.00	195.30	100.00	150.60	0.0007069	50.21

ตารางที่ ค. 2 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของเมทานอล ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเดือดแบบพุดเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
61.91	104.40	106.70	108.10	109.10	86.80	104.40	0.0007069	17.60
78.09	105.00	107.90	109.90	111.60	86.80	104.84	0.0007069	18.04
96.90	106.80	109.90	112.20	114.20	86.80	106.54	0.0007069	19.74
117.88	107.90	110.20	113.10	115.60	86.80	107.19	0.0007069	20.39
139.84	108.00	112.00	115.70	118.70	86.80	107.40	0.0007069	20.60
164.67	109.90	114.70	118.70	122.50	86.80	109.21	0.0007069	22.41
191.71	111.70	117.40	122.30	126.60	86.80	110.92	0.0007069	24.12
218.48	114.50	120.60	126.20	131.20	86.80	113.48	0.0007069	26.68
249.47	117.60	124.20	130.50	136.00	86.80	116.42	0.0007069	29.62
282.51	120.70	127.90	134.90	141.20	86.80	119.31	0.0007069	32.51
316.21	123.90	131.90	139.90	146.70	86.80	120.70	0.0007069	33.90
352.05	128.60	136.30	143.90	149.40	86.80	124.37	0.0007069	37.57

ตารางที่ ค. 3 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของเมทานอล ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเดือดแบบพุดเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
48.33	98.20	99.70	100.90	109.10	86.80	96.03	0.0007069	9.23
69.77	99.10	101.40	103.10	111.60	86.80	96.95	0.0007069	10.15
94.38	100.50	103.30	105.40	114.20	86.80	98.30	0.0007069	11.50
124.42	102.80	106.40	109.40	115.60	86.80	101.35	0.0007069	14.55
156.65	105.10	109.3	113.40	118.70	86.80	103.83	0.0007069	17.03
193.68	107.90	112.80	117.90	122.50	86.80	106.80	0.0007069	20.00
233.44	112.20	118.10	123.50	126.60	86.80	111.70	0.0007069	24.90
278.20	116.60	123.30	130.10	131.20	86.80	116.58	0.0007069	29.78
324.07	121.10	128.50	136.20	136.00	86.80	121.44	0.0007069	34.64
374.95	125.60	133.90	142.70	141.20	86.80	122.30	0.0007069	35.50
427.90	130.40	139.30	149.00	146.70	86.80	124.37	0.0007069	37.57
488.38	135.20	143.70	155.10	149.40	86.80	126.30	0.0007069	39.50

ตารางที่ ค. 4 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของเมทานอล ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 75 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเดือดแบบพุดเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
33.15	86.70	88.80	89.60	90.30	72.50	86.86	0.0007069	14.36
50.69	87.40	89.80	91.00	92.10	72.50	87.44	0.0007069	14.94
72.05	89.50	92.70	94.70	96.20	72.50	89.46	0.0007069	16.96
98.69	91.70	94.50	97.00	99.40	72.50	91.22	0.0007069	18.72
128.63	93.00	97.50	100.90	103.70	72.50	92.64	0.0007069	20.14
161.53	96.90	101.30	105.20	108.90	72.50	96.17	0.0007069	23.67
199.28	100.70	105.40	110.40	114.90	72.50	99.60	0.0007069	27.10
239.78	106.10	111.80	117.60	122.90	72.50	104.86	0.0007069	32.36
284.02	110.50	117.20	124.00	130.00	72.50	109.11	0.0007069	36.61
331.99	115.80	123.20	131.20	138.40	72.50	114.00	0.0007069	41.50
385.25	118.80	127.10	136.20	144.20	72.50	120.70	0.0007069	48.20
442.74	131.30	130.20	140.60	149.70	72.50	124.37	0.0007069	51.87

ตารางที่ ค. 5 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนของเมทานอล ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 100 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเดือดแบบพุดเมื่อไม่ติดตั้งใบหมุน

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
38.08	79.60	81.40	82.30	83.10	66.80	79.64	0.0007069	12.84
53.68	81.20	83.10	84.40	85.50	66.80	81.10	0.0007069	14.30
71.29	81.50	83.90	85.90	87.40	66.80	81.27	0.0007069	14.47
91.27	82.60	85.40	87.60	89.60	66.80	82.29	0.0007069	15.49
114.68	84.20	87.50	90.40	92.60	66.80	83.81	0.0007069	17.01
139.84	86.70	90.30	93.80	96.90	66.80	86.02	0.0007069	19.22
166.49	88.80	93.10	97.20	100.80	66.80	88.03	0.0007069	21.23
197.64	91.70	96.60	101.60	105.90	66.80	90.70	0.0007069	23.90
230.28	93.40	98.90	104.60	109.50	66.80	92.24	0.0007069	25.44
264.34	96.00	102.10	108.60	114.50	66.80	94.55	0.0007069	27.75
303.47	98.00	104.90	112.50	119.30	66.80	120.70	0.0007069	53.90
347.24	102.70	109.10	117.90	125.40	66.80	124.37	0.0007069	57.57

ตารางที่ ค. 6 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ใช้น้ำกลั่นในการทดลอง

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
57.42	79.10	83.10	86.00	89.90	100	78.41	0.0007069	21.60
86.87	111.10	115.50	115.60	117.00	100	111.76	0.0007069	11.80
122.39	114.60	122.40	122.00	124.70	100	115.83	0.0007069	15.80
163.98	114.80	127.00	126.60	130.40	100	116.80	0.0007069	16.80
210.50	119.10	128.50	127.60	132.90	100	120.09	0.0007069	20.10
265.37	121.60	129.60	132.30	137.90	100	121.45	0.0007069	21.50
318.08	125.50	133.11	138.20	144.50	100	124.59	0.0007069	24.60
387.94	127.80	137.00	142.30	149.10	100	127.09	0.0007069	27.10
454.53	130.60	140.70	147.10	154.60	100	129.70	0.0007069	29.70
535.53	133.90	142.10	149.30	157.60	100	132.15	0.0007069	32.20
619.21	136.70	146.60	155.40	164.10	100	135.60	0.0007069	35.60
802.56	139.90	151.50	160.90	170.40	100	138.00	0.0007069	38.00

ตารางที่ ค. 7 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
61.91	104.70	106.20	107.80	109.60	80.95	104.25	0.0007069	23.30
77.41	106.20	107.30	110.60	113.10	80.95	105.11	0.0007069	24.20
96.90	107.80	109.30	112.90	115.80	80.95	106.64	0.0007069	25.70
117.04	108.90	111.60	115.60	119.30	80.95	107.73	0.0007069	26.80
139.84	110.40	113.70	118.00	123.00	80.95	108.95	0.0007069	28.00
163.67	112.70	115.20	121.10	126.10	80.95	110.74	0.0007069	29.80
189.55	114.60	117.30	124.80	130.10	80.95	112.29	0.0007069	31.30
217.33	116.60	120.30	127.90	134.40	80.95	114.18	0.0007069	33.20
248.24	119.30	122.70	131.80	138.30	80.95	116.51	0.0007069	35.60
279.88	122.40	125.10	135.30	143.40	80.95	118.77	0.0007069	37.80
314.82	125.60	129.00	139.60	146.50	80.95	120.63	0.0007069	39.70
352.05	129.20	133.00	141.60	151.30	80.95	124.71	0.0007069	43.80

ตารางที่ ค. 8 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
48.33	96.30	98.00	99.00	100.90	74.80	95.98	0.0007069	21.20
68.48	98.10	99.40	102.50	104.40	74.80	97.27	0.0007069	22.50
92.87	100.60	101.40	105.80	108.40	74.80	99.19	0.0007069	24.40
121.82	103.10	102.90	109.60	112.80	74.80	100.83	0.0007069	26.00
154.71	105.90	105.80	114.90	117.60	74.80	103.31	0.0007069	28.50
190.43	108.30	109.40	120.90	124.00	74.80	105.42	0.0007069	30.60
228.67	111.60	119.70	126.50	129.80	74.80	111.31	0.0007069	36.50
273.00	115.70	123.90	131.90	136.20	74.80	114.91	0.0007069	40.10
318.43	119.00	129.90	136.40	143.30	74.80	118.44	0.0007069	43.60
370.39	124.70	133.20	141.10	149.40	74.80	122.89	0.0007069	48.10
424.65	128.00	137.50	147.30	156.30	74.80	125.45	0.0007069	50.70
488.38	133.40	143.10	153.60	160.60	74.80	128.67	0.0007069	53.90

ตารางที่ ค. 9 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 75 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
32.71	89.80	91.40	90.50	92.10	79.60	89.92	0.0007069	10.30
50.14	92.50	94.80	94.50	93.90	79.60	93.29	0.0007069	13.70
71.39	94.20	97.30	97.40	97.00	79.60	95.05	0.0007069	15.40
97.92	97.30	99.40	100.70	101.10	79.60	97.44	0.0007069	17.80
125.98	99.30	102.10	104.50	104.60	79.60	99.48	0.0007069	19.90
159.55	102.60	105.50	109.30	109.30	79.60	102.55	0.0007069	23.00
197.08	106.50	110.20	115.90	115.40	79.60	106.41	0.0007069	26.80
236.15	110.80	115.70	123.10	122.20	79.60	110.78	0.0007069	31.20
281.37	115.10	120.80	130.30	129.30	79.60	114.89	0.0007069	35.30
327.70	120.40	127.20	135.50	135.60	79.60	120.39	0.0007069	40.80
379.09	124.00	130.50	141.50	142.00	79.60	124.00	0.0007069	44.40
442.74	126.90	134.70	145.00	198.80	79.60	126.80	0.0007069	47.20

ตารางที่ ค. 10 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 100 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
37.60	85.50	85.90	89.60	89.20	66.80	84.98	0.0007069	18.20
53.11	87.50	87.10	93.20	90.50	66.80	86.95	0.0007069	20.10
71.29	90.10	89.00	97.80	92.90	66.80	89.46	0.0007069	22.70
91.27	92.90	91.50	103.90	96.30	66.80	92.22	0.0007069	25.40
113.85	96.20	95.00	110.60	100.30	66.80	95.69	0.0007069	28.90
139.84	100.20	98.50	118.00	105.70	66.80	99.36	0.0007069	32.60
165.48	104.80	102.00	125.90	111.90	66.80	103.29	0.0007069	36.50
197.64	110.20	106.20	134.60	119.90	66.80	107.70	0.0007069	40.90
230.28	116.40	110.70	143.80	128.20	66.80	112.80	0.0007069	46.00
264.34	120.90	117.40	153.20	138.10	66.80	117.17	0.0007069	50.40
303.47	125.10	123.30	161.00	148.60	66.80	120.70	0.0007069	53.90
344.32	127.20	133.20	165.20	159.40	66.80	124.37	0.0007069	57.60

ตารางที่ ค. 11 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ใช้น้ำกลั่นในการทดลอง

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
57.42	109.40	111.90	112.90	113.90	100	109.53	0.0007069	9.50
86.87	110.30	114.20	116.40	118.60	100	110.20	0.0007069	10.20
122.39	117.60	120.70	123.00	125.60	100	117.17	0.0007069	17.20
163.98	120.70	124.40	128.00	131.40	100	119.94	0.0007069	19.90
210.50	125.90	129.30	133.50	137.80	100	124.69	0.0007069	24.70
265.37	128.70	134.10	139.60	145.00	100	127.42	0.0007069	27.40
318.08	133.20	139.50	146.40	153.00	100	131.52	0.0007069	31.50
387.94	138.10	145.40	153.40	161.20	100	136.11	0.0007069	36.10
454.53	142.80	151.30	161.30	170.30	100	140.37	0.0007069	40.40
535.53	148.80	157.90	169.50	178.20	100	143.72	0.0007069	43.70
619.21	149.80	161.60	175.88	189.20	100	146.29	0.0007069	46.30
802.56	153.00	167.60	185.00	200.80	100	149.50	0.0007069	49.50

ตารางที่ ค. 12 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
61.30	104.60	106.90	106.70	109.00	89.40	104.59	0.0007069	15.20
77.41	106.30	108.30	109.20	112.40	89.40	105.71	0.0007069	16.30
95.38	107.20	110.30	111.10	114.80	89.40	106.76	0.0007069	17.40
117.88	108.60	112.20	113.70	117.60	89.40	108.09	0.0007069	18.70
138.92	110.10	114.00	116.70	121.00	89.40	109.31	0.0007069	19.90
162.67	111.90	116.80	120.20	124.30	89.40	111.27	0.0007069	21.90
187.40	113.90	119.80	123.20	128.50	89.40	113.18	0.0007069	23.80
218.48	116.40	122.70	127.10	132.60	89.40	115.53	0.0007069	26.10
248.24	118.50	125.60	131.10	137.00	89.40	117.49	0.0007069	28.10
282.51	121.20	128.90	134.60	141.40	89.40	120.05	0.0007069	30.60
316.21	123.60	131.40	137.30	145.30	89.40	123.60	0.0007069	34.20
352.05	126.20	135.40	143.30	151.10	89.40	126.44	0.0007069	37.00

ตารางที่ ค. 13 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
48.33	93.90	95.60	97.50	99.40	73.10	93.41	0.0007069	20.30
69.12	95.80	97.00	100.50	102.80	73.10	94.75	0.0007069	21.70
93.62	97.90	99.30	103.20	107.20	73.10	96.35	0.0007069	23.20
122.69	100.20	101.10	107.10	112.40	73.10	97.75	0.0007069	24.60
153.73	103.30	103.70	111.80	117.50	73.10	100.19	0.0007069	27.10
190.43	106.60	108.30	116.50	124.30	73.10	103.2	0.0007069	30.10
229.86	110.10	113.50	122.80	130.40	73.10	106.96	0.0007069	33.90
273.00	114.10	118.10	128.70	136.00	73.10	110.93	0.0007069	37.80
319.84	118.20	126.50	135.50	142.60	73.10	116.45	0.0007069	43.40
370.39	122.00	131.40	141.10	150.80	73.10	119.66	0.0007069	46.60
426.27	124.20	136.60	146.50	154.70	73.10	122.31	0.0007069	49.20
488.38	132.30	142.60	152.50	159.20	73.10	125.84	0.0007069	52.70

ตารางที่ ค. 14 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 75 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
33.15	98.50	90.60	91.80	91.60	74.30	96.39	0.0007069	22.10
50.14	91.60	92.30	94.80	93.50	74.30	91.64	0.0007069	17.30
72.05	93.30	94.20	97.40	97.20	74.30	92.94	0.0007069	18.60
97.15	95.40	97.80	100.10	101.60	74.30	95.11	0.0007069	20.80
126.86	98.00	100.60	104.60	103.60	74.30	98.12	0.0007069	23.80
160.54	101.40	101.30	111.70	106.30	74.30	100.82	0.0007069	26.50
194.88	106.60	104.70	116.50	112.90	74.30	104.80	0.0007069	30.50
237.36	111.70	110.00	124.70	119.30	74.30	109.88	0.0007069	35.60
281.37	116.50	115.60	131.20	126.00	74.30	114.64	0.0007069	40.30
329.13	120.40	121.70	138.50	133.10	74.30	118.89	0.0007069	44.60
379.09	121.70	127.30	143.10	141.20	74.30	121.41	0.0007069	47.10

ตารางที่ ค. 15 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 15 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 100 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
38.08	80.80	81.30	84.40	84.70	61.80	80.22	0.0007069	18.40
53.11	82.80	82.70	87.50	86.40	61.80	82.13	0.0007069	20.30
71.29	85.10	84.50	91.40	88.80	61.80	84.31	0.0007069	22.50
6477.66	87.30	87.70	95.20	92.60	61.80	86.64	0.0007069	24.80
113.85	89.80	90.10	99.20	96.30	61.80	88.88	0.0007069	27.10
138.92	92.30	93.30	104.20	100.90	61.80	91.30	0.0007069	29.50
65.59	94.90	97.10	108.60	105.90	61.80	93.91	0.0007069	32.10
197.64	98.10	100.60	112.50	111.10	61.80	96.74	0.0007069	34.90
231.47	100.60	103.60	116.90	117.80	61.80	98.44	0.0007069	36.60
265.62	102.90	106.40	120.70	121.60	61.80	100.66	0.0007069	38.90
304.84	104.10	111.70	123.60	127.40	61.80	103.61	0.0007069	41.80
344.32	123.90	128.10	132.00	135.40	61.80	105.70	0.0007069	43.90

ตารางที่ ค. 16 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร ที่ใช้น้ำกลั่นในการทดลอง

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
57.42	111.40	113.40	114.20	115.00	100	111.51	0.0007069	11.50
86.87	114.00	117.10	118.60	120.20	100	114.01	0.0007069	14.00
122.39	116.90	120.90	123.20	125.60	100	116.75	0.0007069	16.70
163.98	120.60	125.20	128.50	132.00	100	120.09	0.0007069	20.10
210.50	124.00	129.90	134.10	138.40	100	123.40	0.0007069	23.40
265.37	128.10	135.00	140.70	146.10	100	127.14	0.0007069	27.10
318.08	132.90	140.40	147.40	153.70	100	131.58	0.0007069	31.60
387.94	139.10	147.20	155.30	163.00	100	137.32	0.0007069	37.30
454.53	144.00	151.90	163.60	173.10	100	140.95	0.0007069	40.90
535.53	149.80	159.90	170.20	181.20	100	145.00	0.0007069	45.20
619.21	150.10	163.00	177.50	190.50	100	148.20	0.0007069	48.20
802.56	156.10	171.90	188.80	203.60	100	151.70	0.0007069	51.70

ตารางที่ ค. 17 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
61.91	97.20	106.90	105.70	107.60	86.80	99.28	0.0007069	12.50
78.09	100.80	108.90	107.80	110.20	86.80	102.32	0.0007069	15.50
97.66	103.00	110.90	109.80	112.80	86.80	104.31	0.0007069	17.50
117.04	103.10	112.70	109.80	115.90	86.80	104.31	0.0007069	17.50
138.92	104.70	114.70	112.30	118.80	86.80	105.80	0.0007069	19.00
163.67	106.20	116.90	118.50	122.30	86.80	107.43	0.0007069	20.60
190.63	108.80	119.10	122.40	126.40	86.80	109.54	0.0007069	22.70
218.48	111.40	121.60	125.30	129.90	86.80	111.87	0.0007069	25.10
248.24	113.90	125.40	128.50	134.10	86.80	114.53	0.0007069	27.70
283.82	116.80	128.30	133.20	136.20	86.80	117.80	0.0007069	31.00
307.55	120.20	130.70	137.60	143.90	86.80	121.31	0.0007069	34.50
352.05	205.00	137.40	142.30	147.70	86.80	124.20	0.0007069	37.40

ตารางที่ ค. 18 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
48.33	94.40	97.00	97.40	101.00	73.10	93.95	0.0007069	20.80
69.12	96.00	98.90	99.60	103.40	73.10	95.51	0.0007069	22.40
93.62	97.90	101.50	102.90	106.40	73.10	97.52	0.0007069	24.40
122.69	101.00	104.90	105.30	111.30	73.10	100.19	0.0007069	27.10
156.65	104.30	108.50	109.40	117.10	73.10	102.99	0.0007069	29.90
190.43	107.90	113.30	114.10	122.00	73.10	106.85	0.0007069	33.70
232.25	112.30	118.20	119.30	129.40	73.10	110.70	0.0007069	37.60
275.60	115.90	123.00	125.80	136.60	73.10	114.06	0.0007069	41.00
321.25	120.70	128.40	131.40	143.90	73.10	118.49	0.0007069	45.40
369.12	124.20	132.20	138.00	151.60	73.10	121.20	0.0007069	48.10
427.90	126.40	136.50	144.90	157.40	73.10	124.64	0.0007069	51.50
488.38	132.00	138.80	152.10	163.10	73.10	126.28	0.0007069	53.20

ตารางที่ ค. 19 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 75 เปอร์เซ็นต์

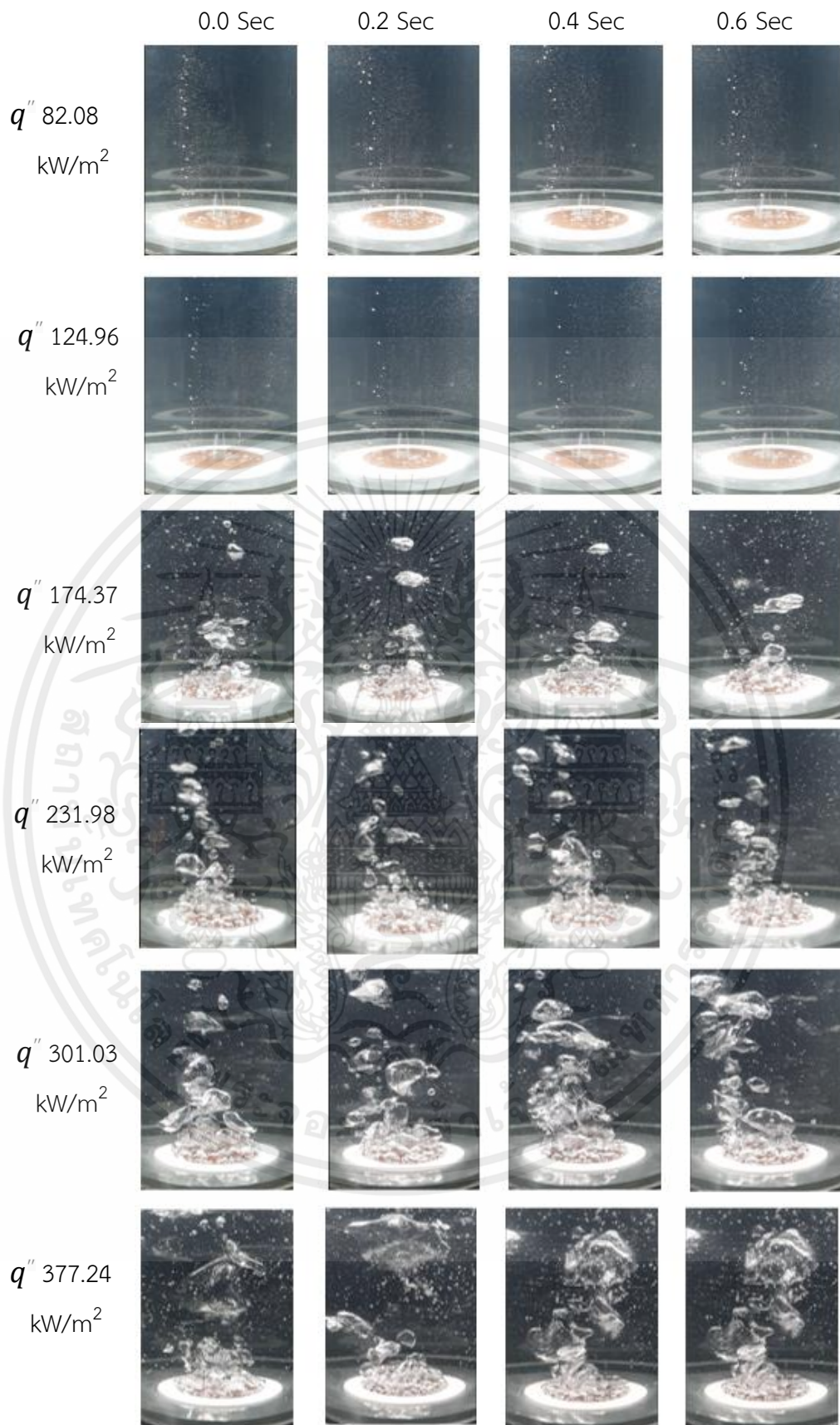
DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
33.15	88.00	89.10	91.50	91.10	73.10	87.90	0.0007069	14.80
50.69	89.40	90.70	94.60	93.60	73.10	89.22	0.0007069	16.10
72.05	90.70	93.40	97.60	97.70	73.10	90.50	0.0007069	17.40
97.15	92.80	95.80	100.80	100.90	73.10	92.51	0.0007069	19.40
126.86	96.60	97.00	105.00	104.10	73.10	95.36	0.0007069	22.30
159.57	99.50	100.60	111.30	108.20	73.10	98.51	0.0007069	25.40
197.08	102.90	113.70	117.60	113.10	73.10	106.02	0.0007069	32.90
236.15	106.20	118.90	123.60	119.40	73.10	109.54	0.0007069	36.40
281.37	110.90	123.60	130.20	126.40	73.10	113.76	0.0007069	40.70
329.13	114.30	127.20	136.60	134.10	73.10	116.28	0.0007069	43.20
380.63	117.80	128.80	140.80	143.20	73.10	119.66	0.0007069	46.60
442.74	129.30	137.30	145.10	150.20	73.10	124.80	0.0007069	51.70

ตารางที่ ค. 20 ผลการทดลองที่ติดตั้งใบหมุน ที่ระยะห่างระหว่างใบหมุนกับพื้นผิวให้ความร้อน 25 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้นของเมทานอล 100 เปอร์เซ็นต์

DCW (w)	T1°C	T2°C	T3°C	T4°C	Tsat°C	Ts°C	A(m ²)	Ts - Tsat
37.60	80.30	82.40	82.30	86.10	66.10	79.77	0.0007069	13.70
53.11	82.60	85.30	83.70	89.90	66.10	81.84	0.0007069	15.70
70.63	85.30	88.80	86.10	94.40	66.10	84.37	0.0007069	18.30
90.52	88.60	93.00	89.00	99.90	66.10	87.42	0.0007069	21.30
113.02	92.40	97.70	92.70	106.00	66.10	90.96	0.0007069	24.90
138.00	96.40	100.90	97.10	111.60	66.10	94.20	0.0007069	28.10
164.47	100.10	103.30	102.00	119.30	66.10	96.30	0.0007069	30.20
194.35	104.70	111.60	108.00	127.30	66.10	101.70	0.0007069	35.60
226.72	108.50	116.80	113.40	135.10	66.10	105.13	0.0007069	39.00
261.79	110.80	120.60	121.60	142.60	66.10	107.12	0.0007069	41.00
299.37	112.80	122.90	126.20	147.90	66.10	110.23	0.0007069	44.10
341.41	133.60	133.40	135.00	150.10	66.10	113.69	0.0007069	47.60

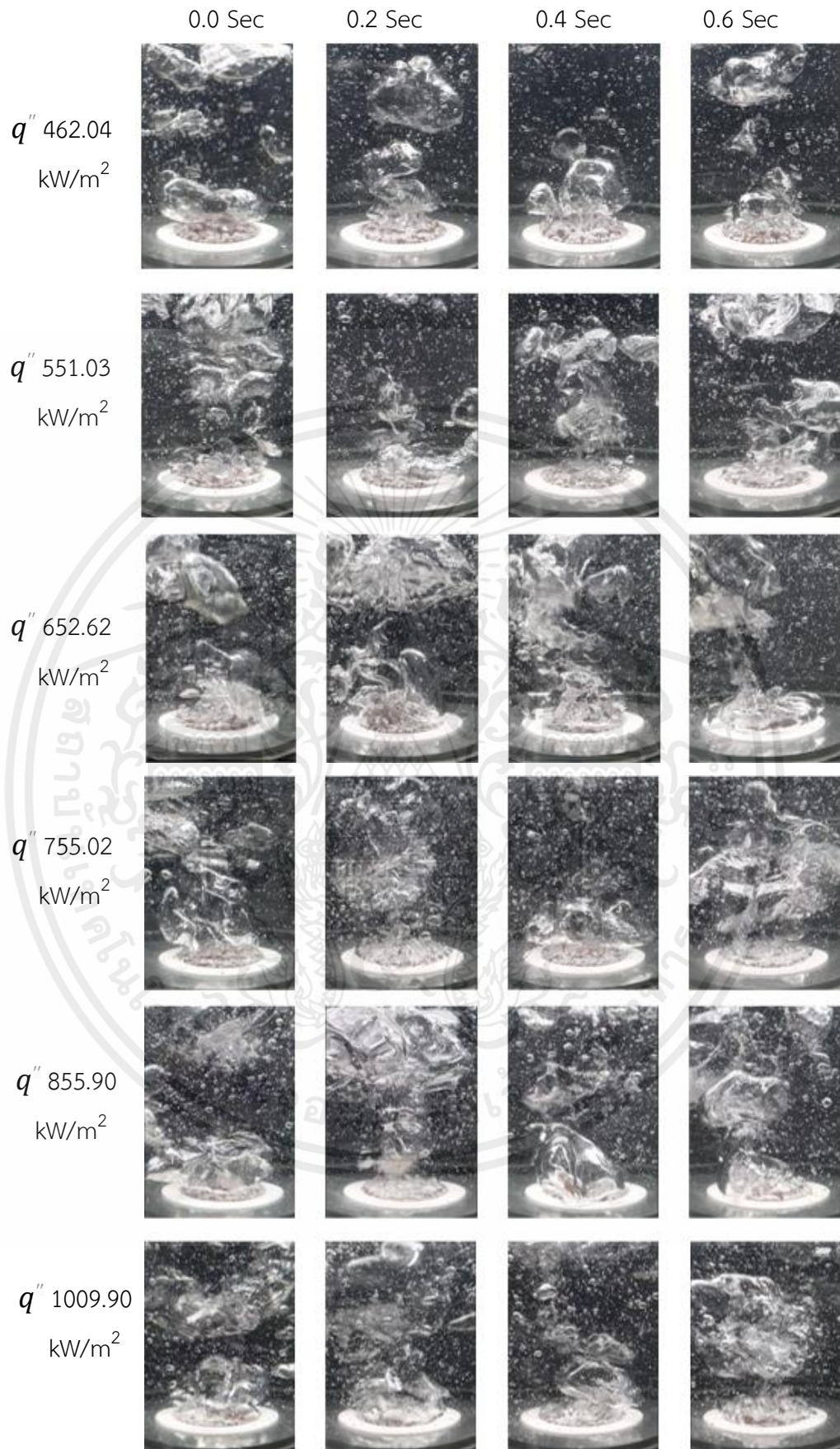


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 1 (ก.) ปรัชการณการเตอดของ สารทางานชนดน้ำกลัน
ที่ไมได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

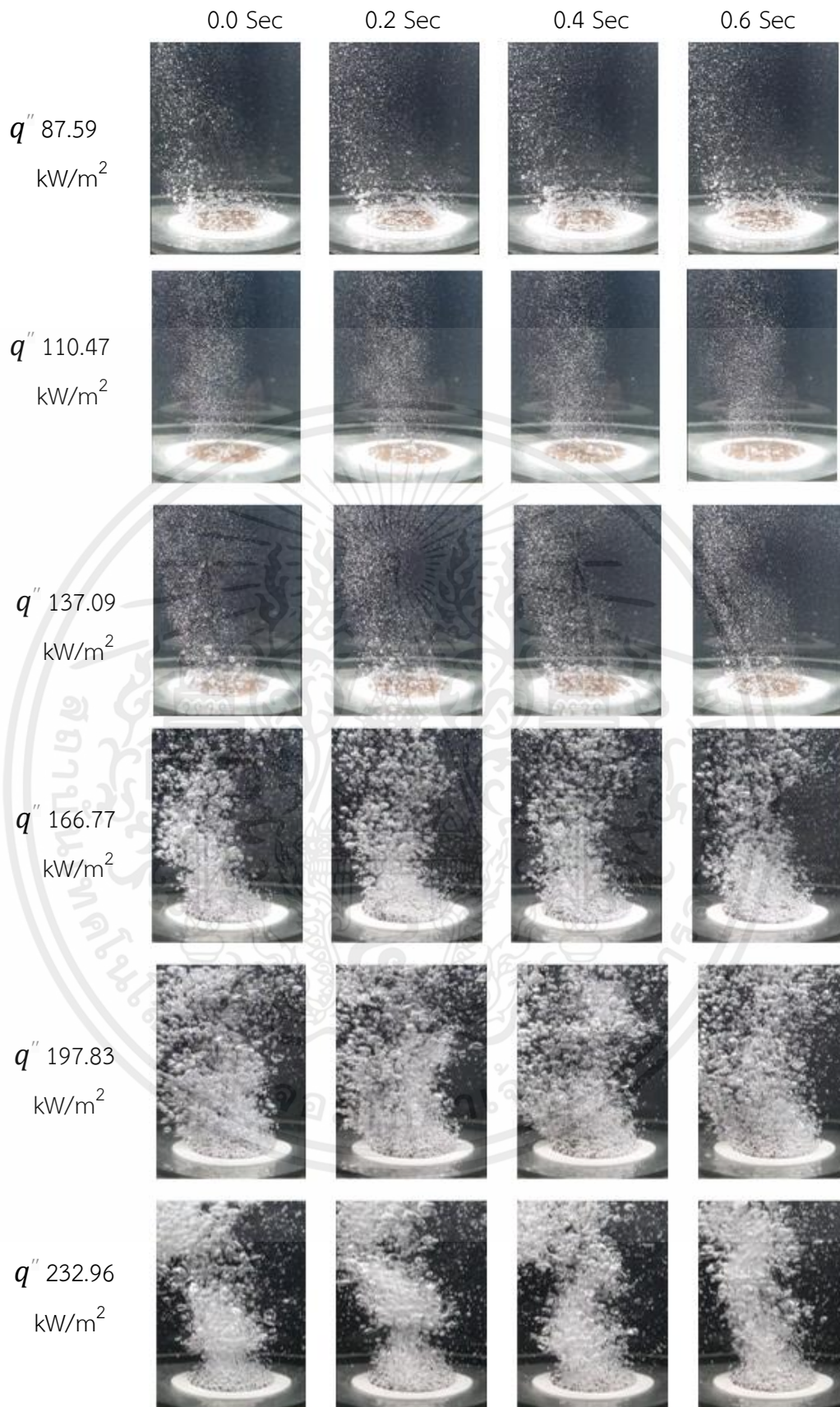
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 1 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น

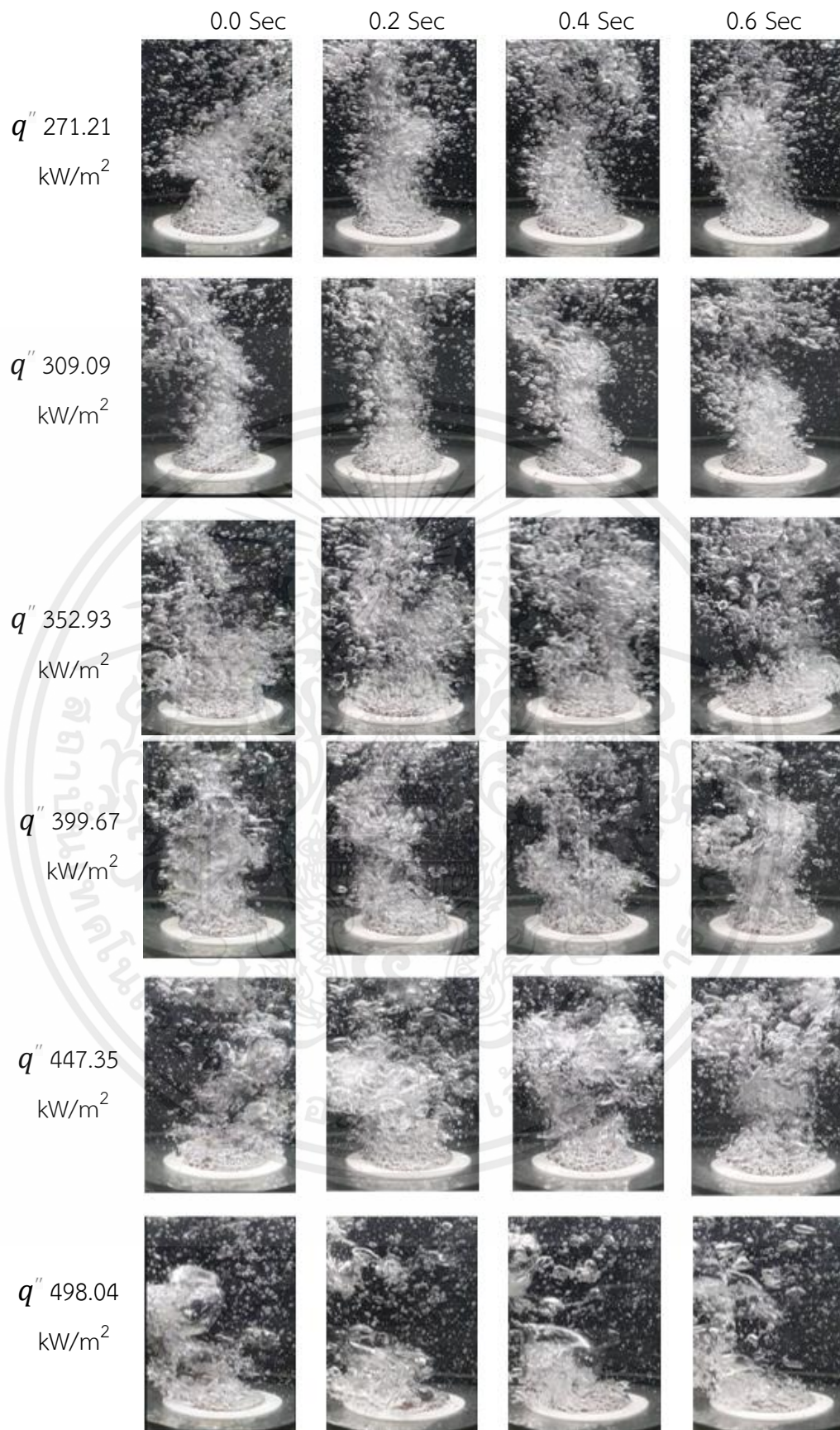
ที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



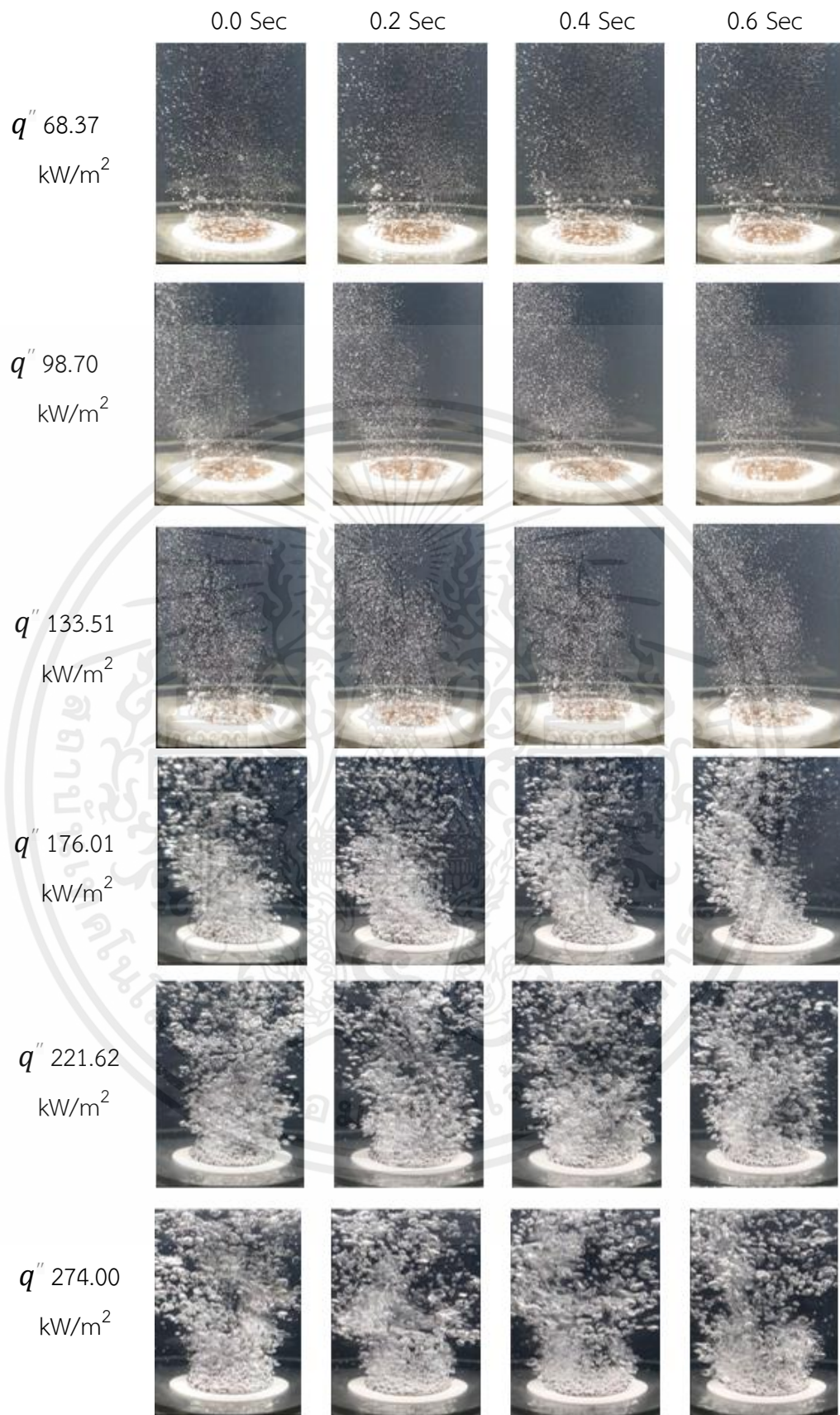
รูปที่ ง. 2 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความ
เข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



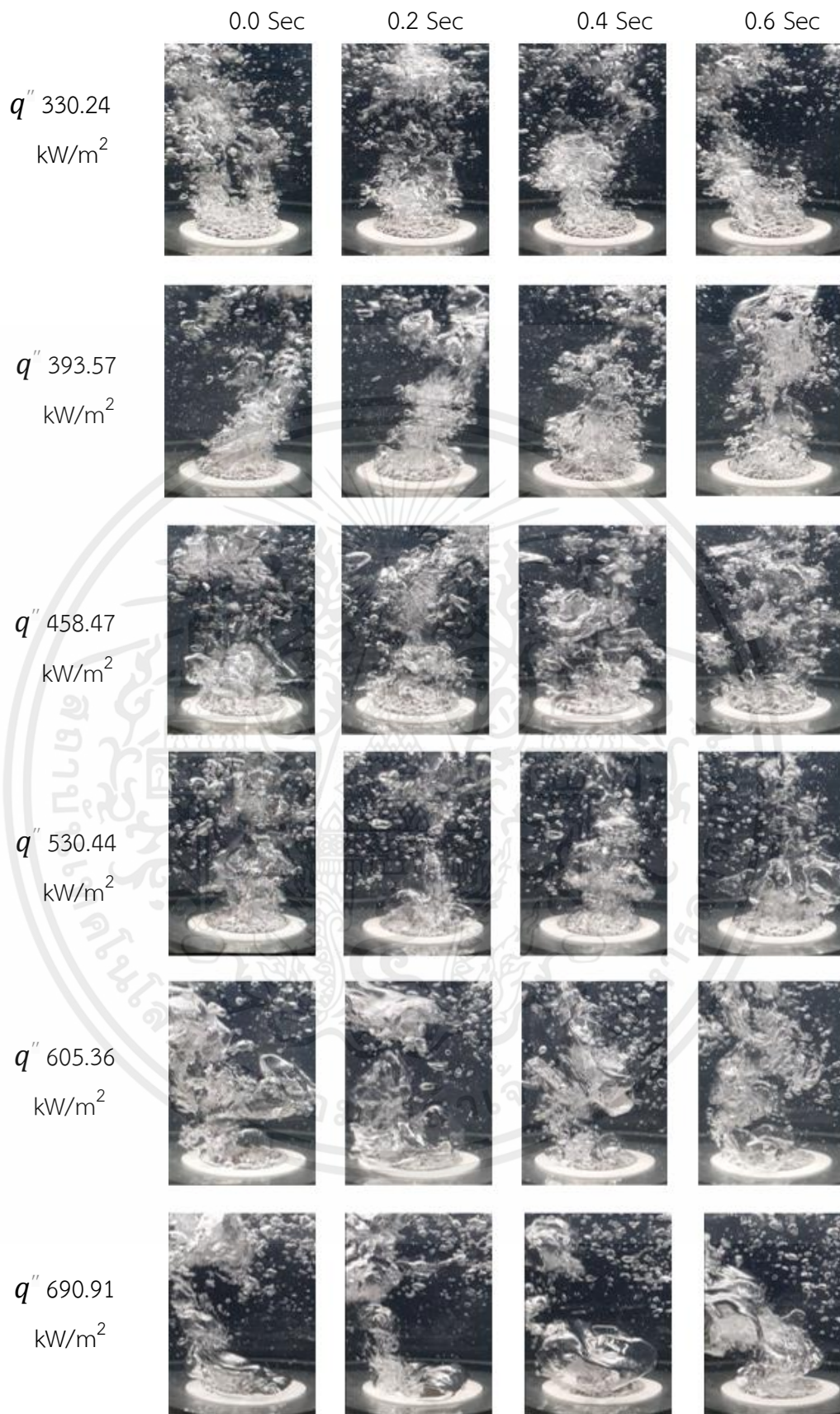
รูปที่ ง. 2 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความ
เข้มชั้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



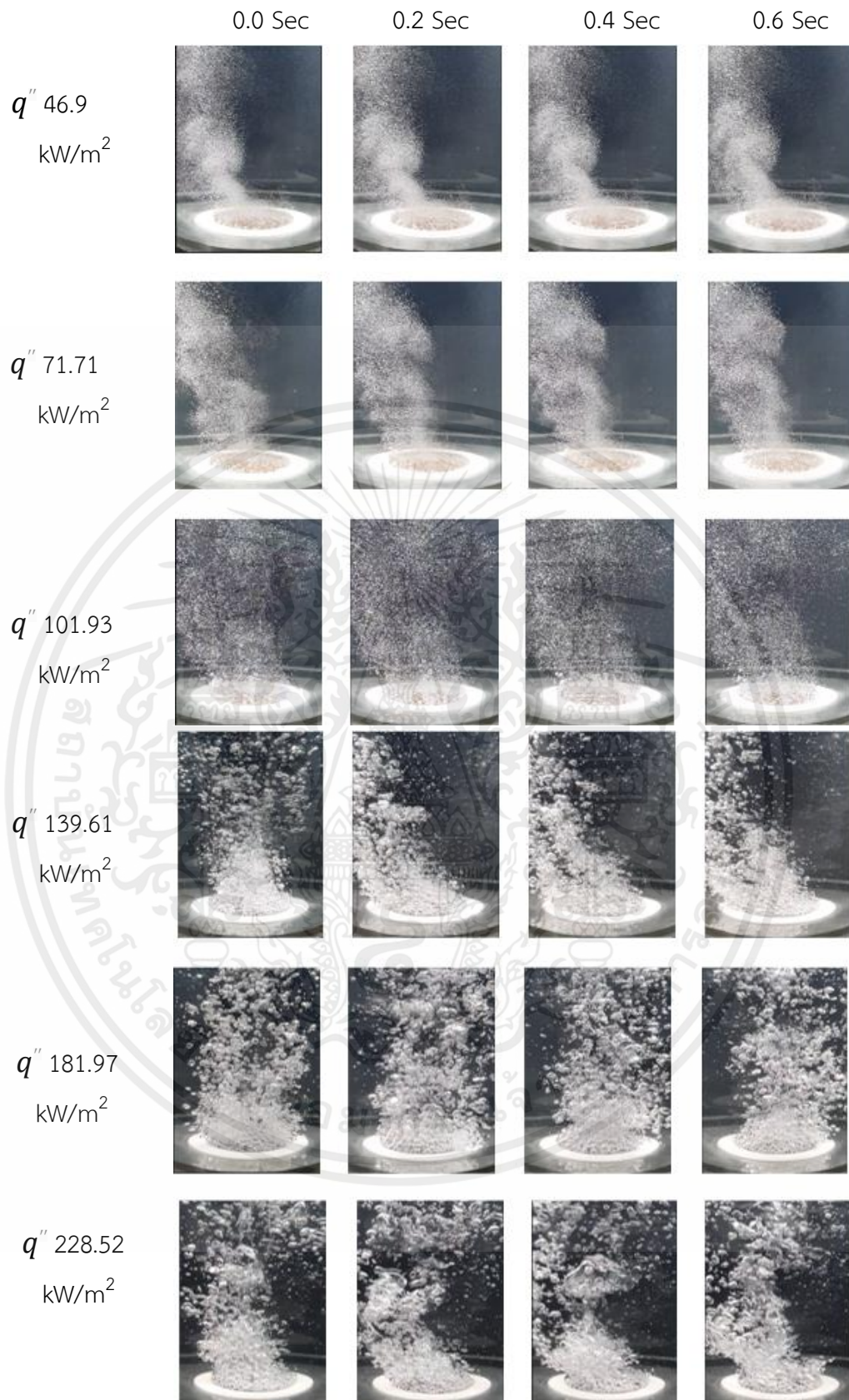
รูปที่ ง. 3 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความ
เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



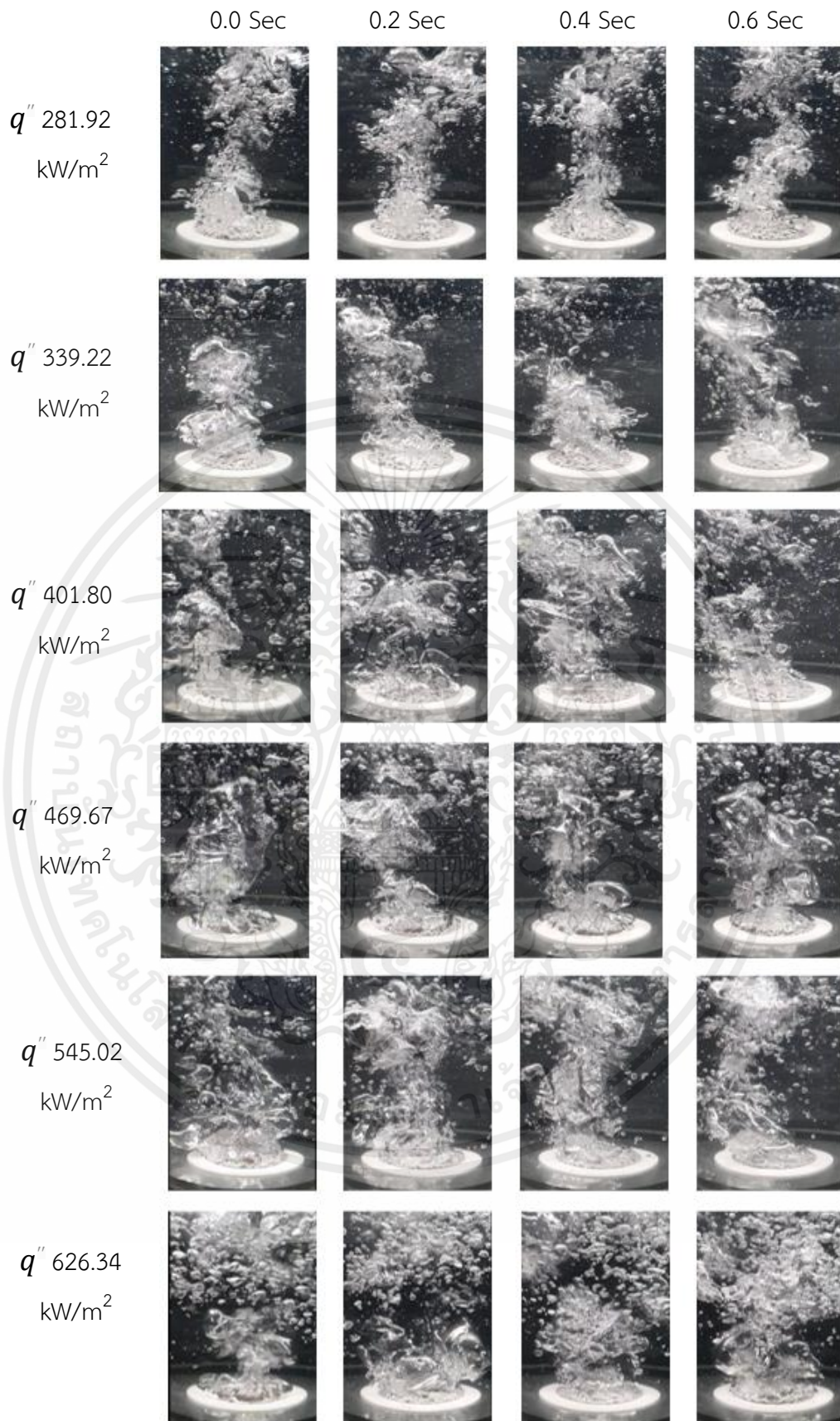
รูปที่ 3 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความ
เข้มชั้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



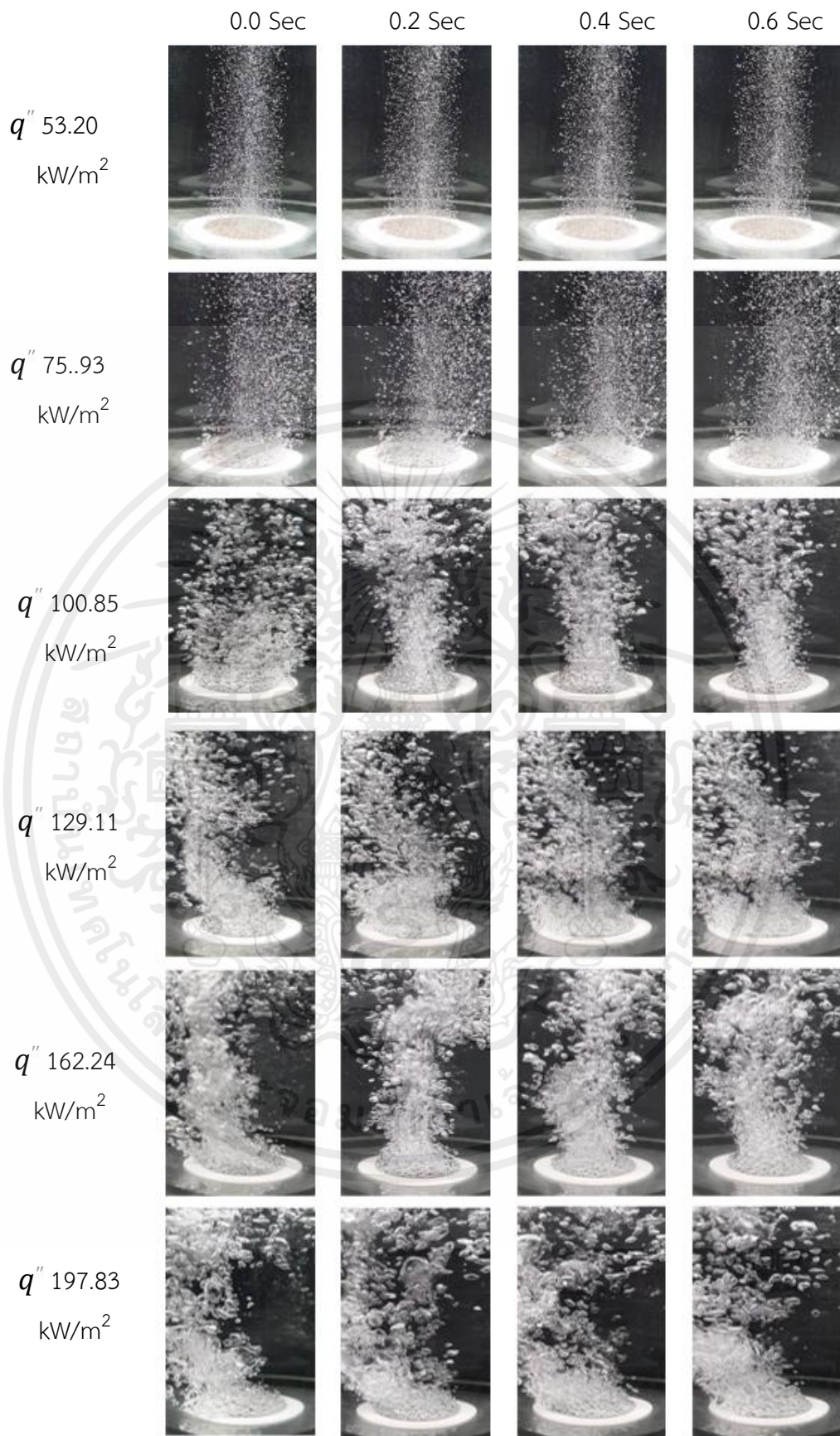
รูปที่ ง. 3 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความ
เข้มชั้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 4 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารงานชนิดเมทานอลที่ความ
เข้มชั้น 75 เปอร์เซนต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

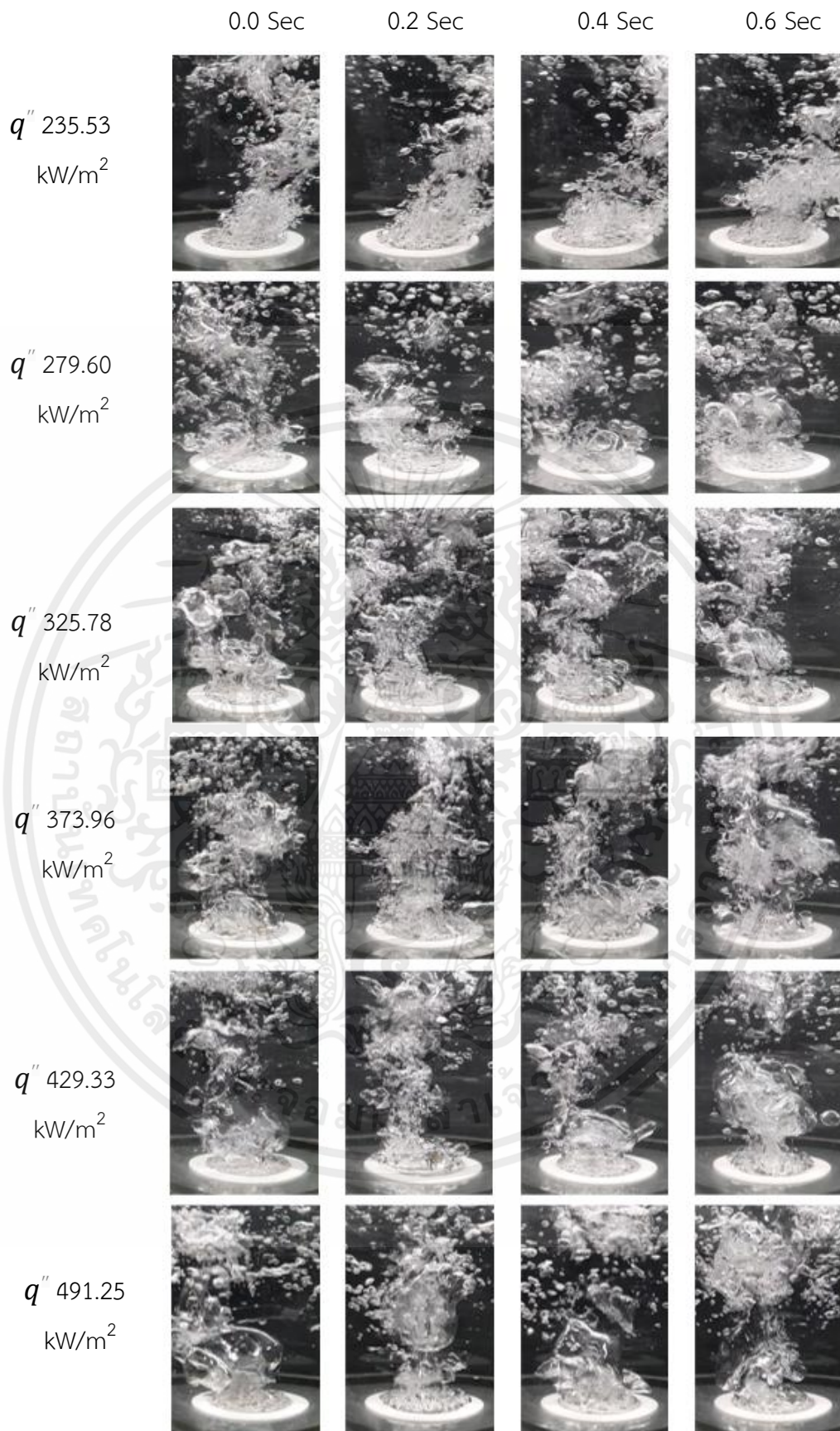
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



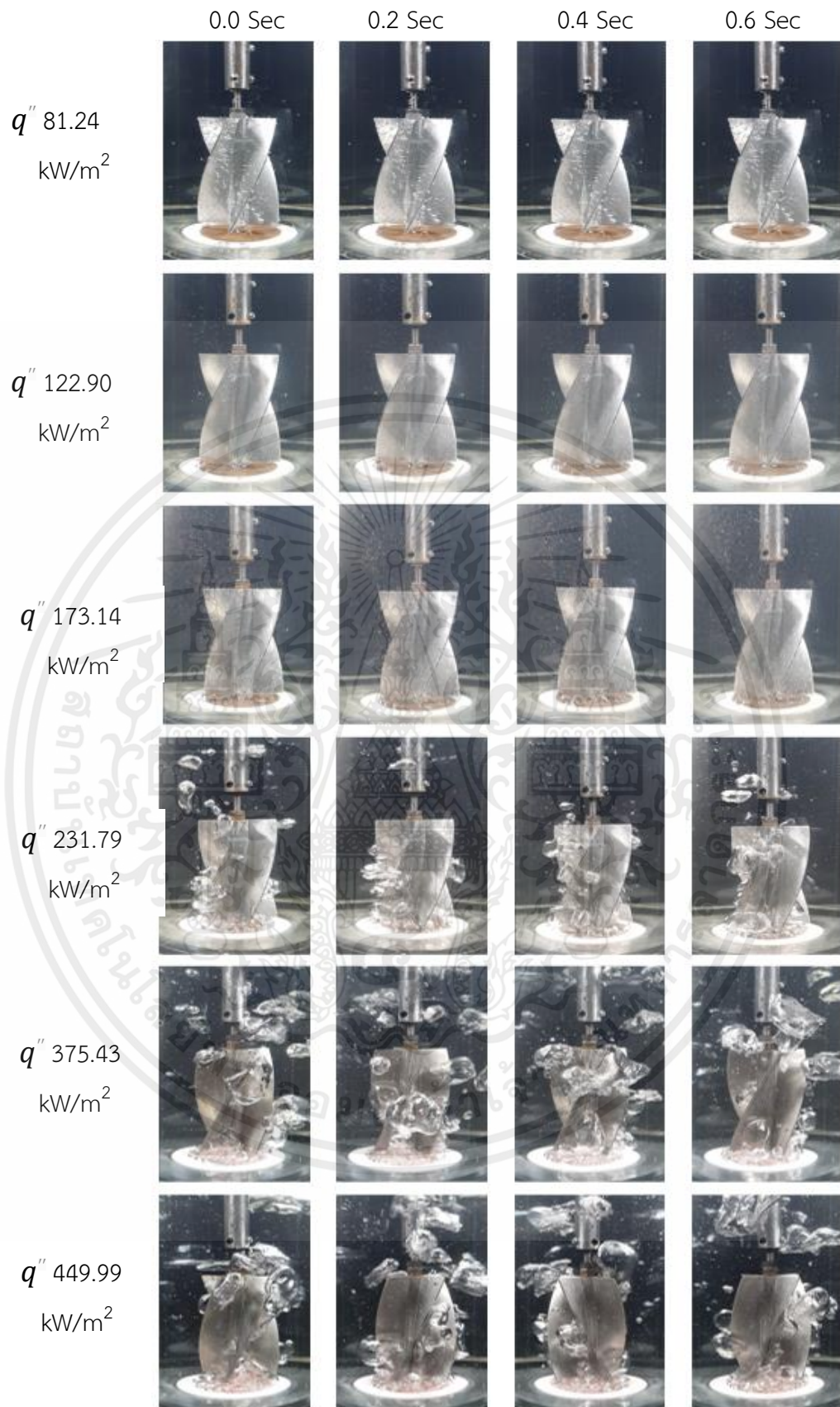
รูปที่ ง. 5 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความ

เข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ที่ไม่ได้ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๕ (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความ
 เข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ได้ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



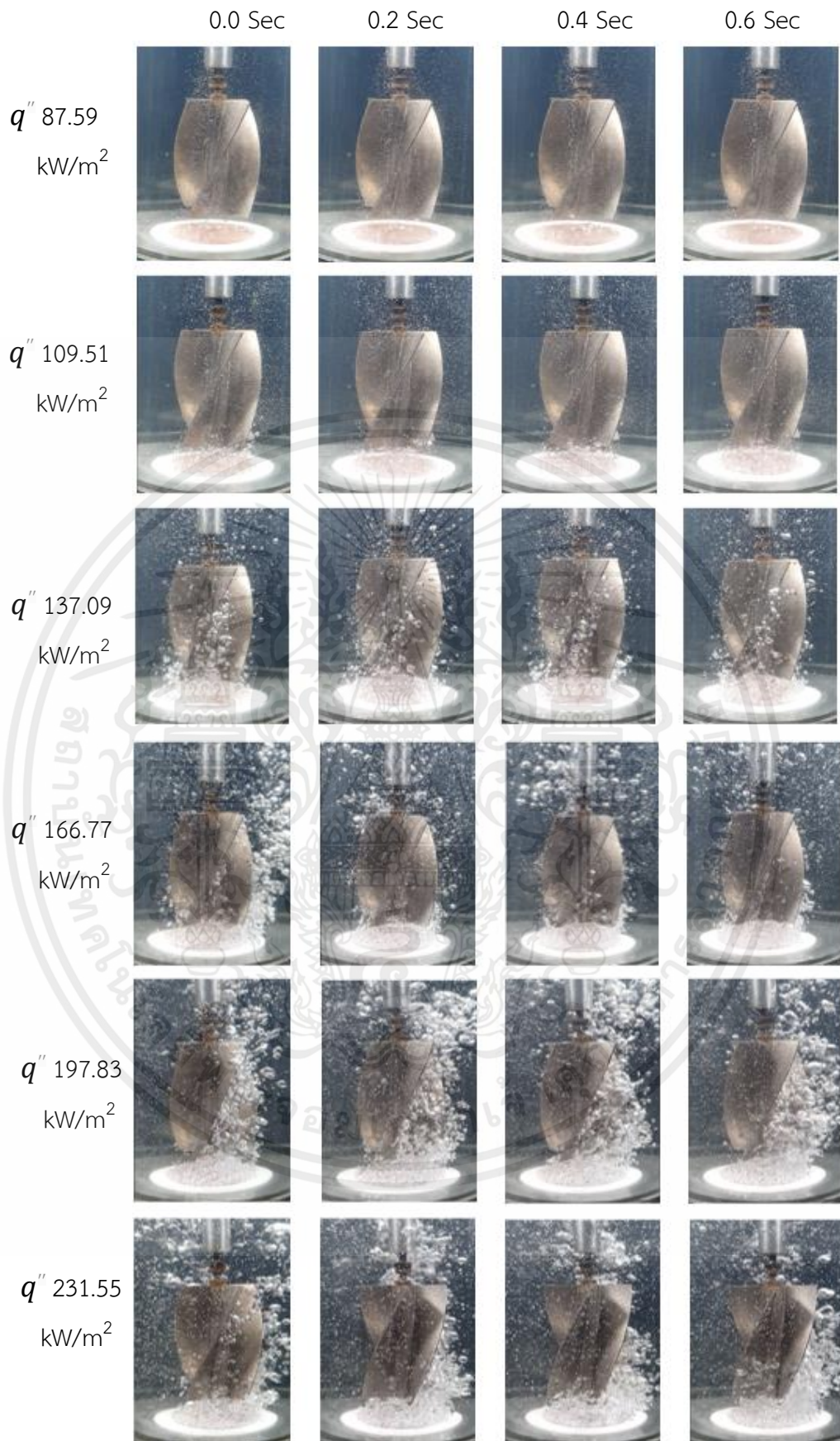
รูปที่ ๖ (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้ง ไบหมุนไว้เหนือพื้นผิว ให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๖ (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้งใบ
หมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗. ๗ (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

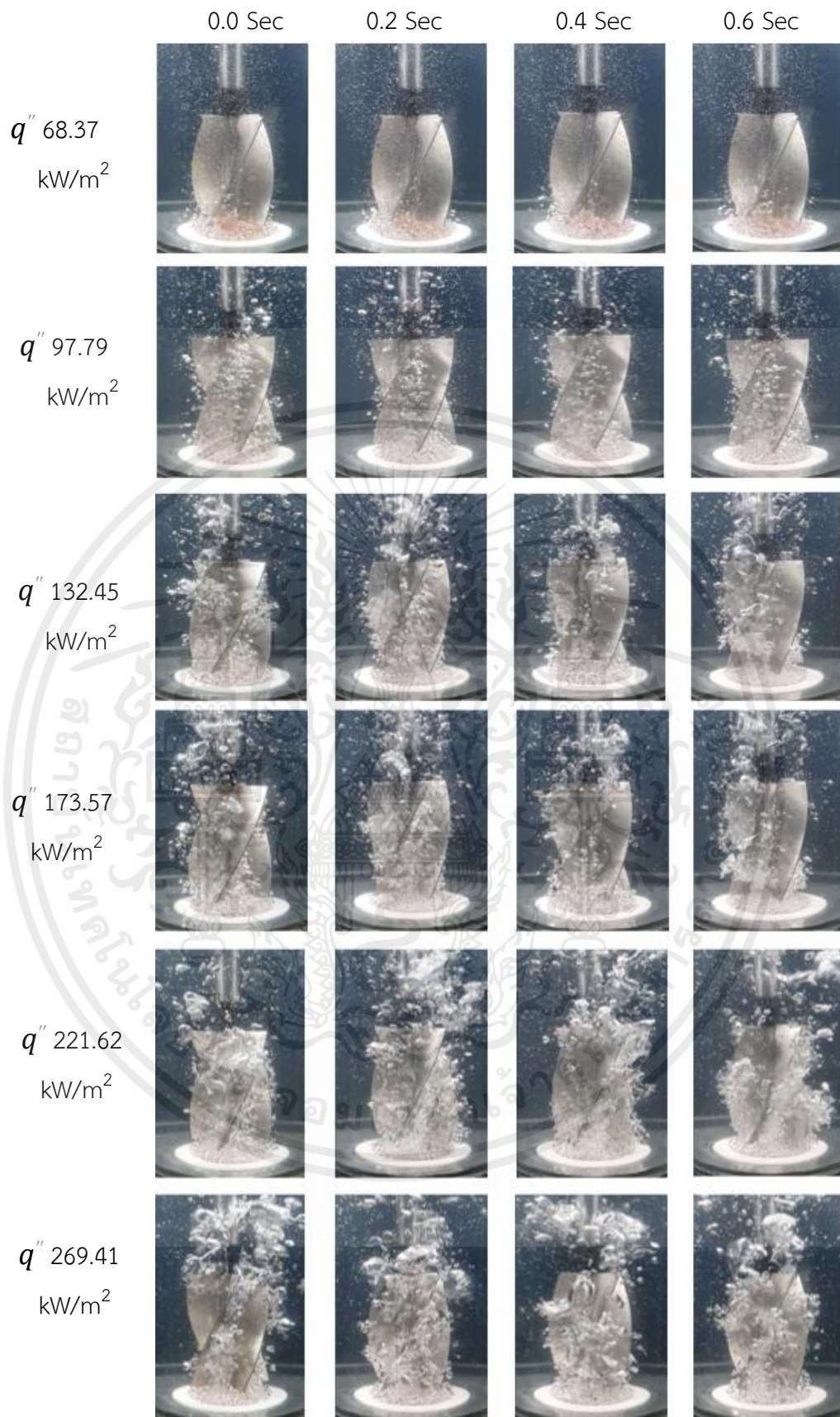
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 7 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

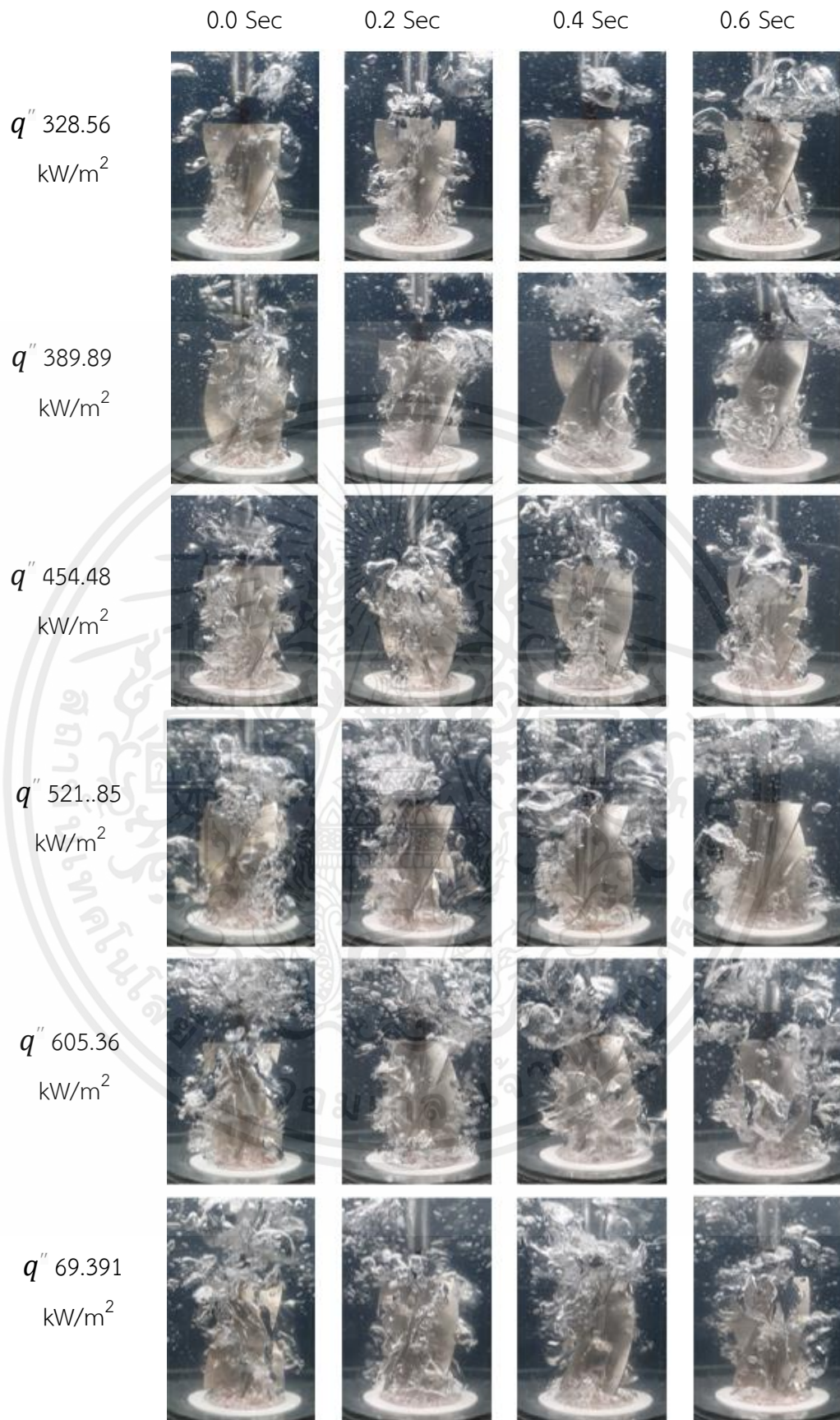
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 8 (ก.) ปรัชการณการเตอดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50

เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งโบทมนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

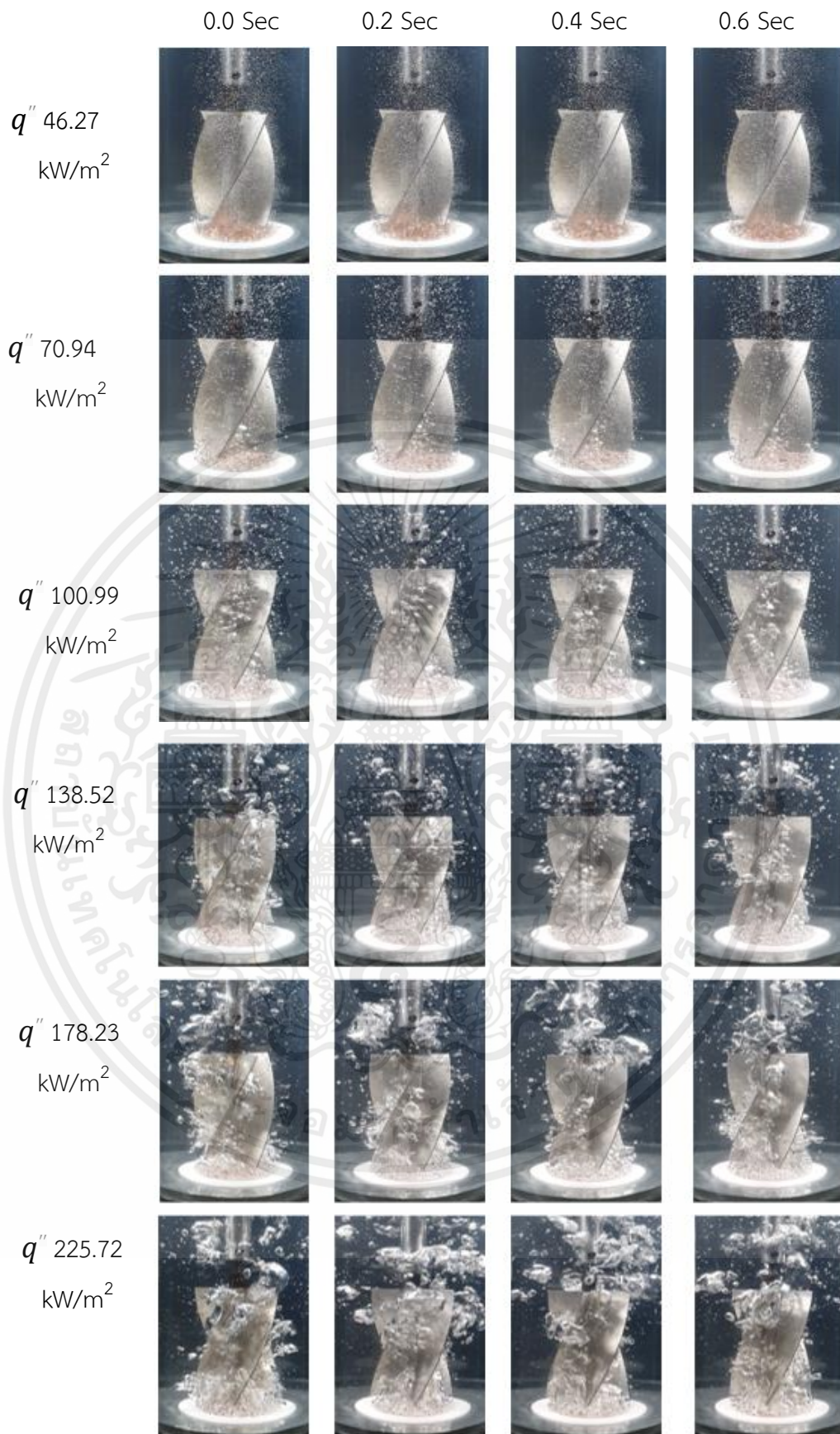
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๘ (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50

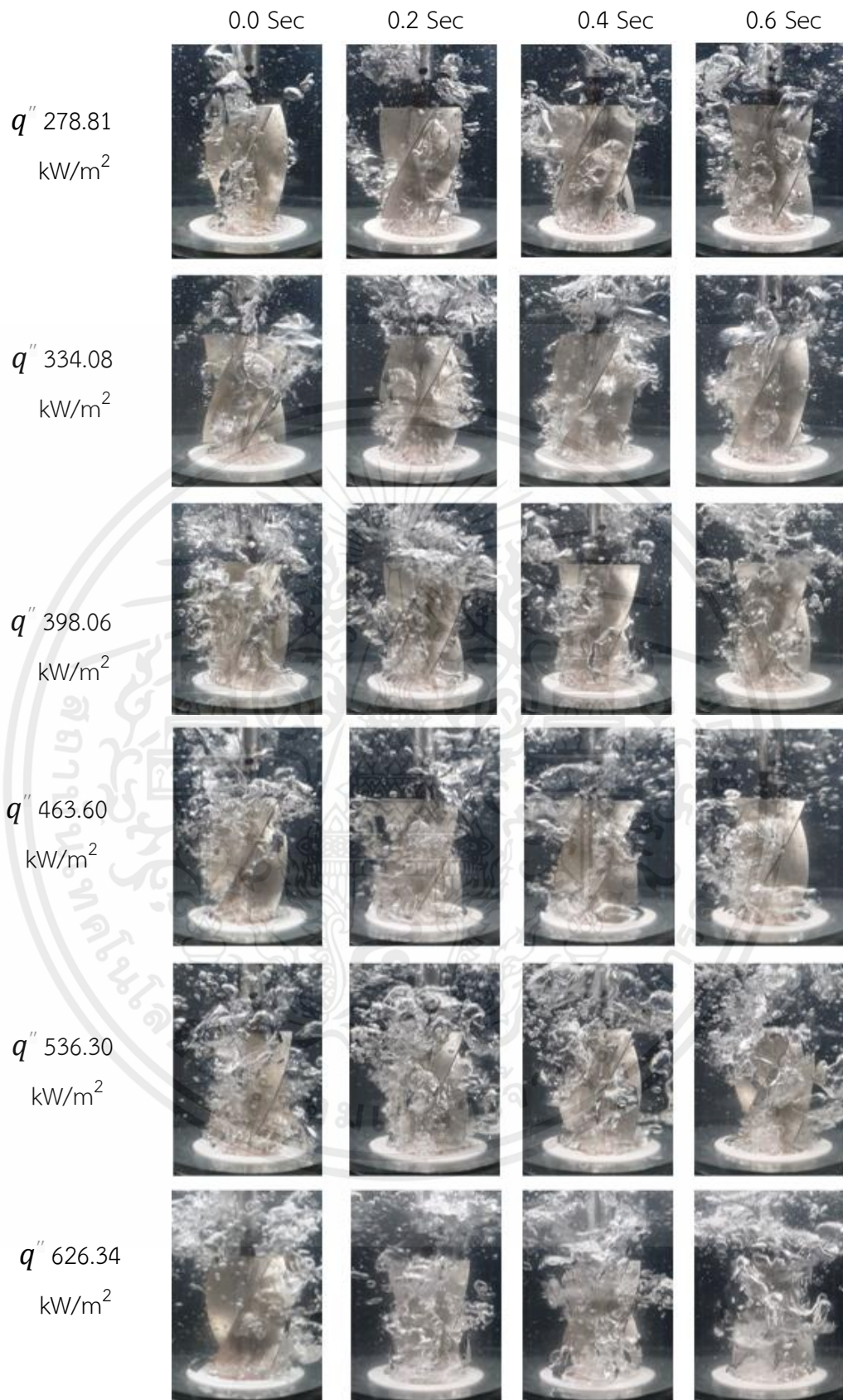
เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



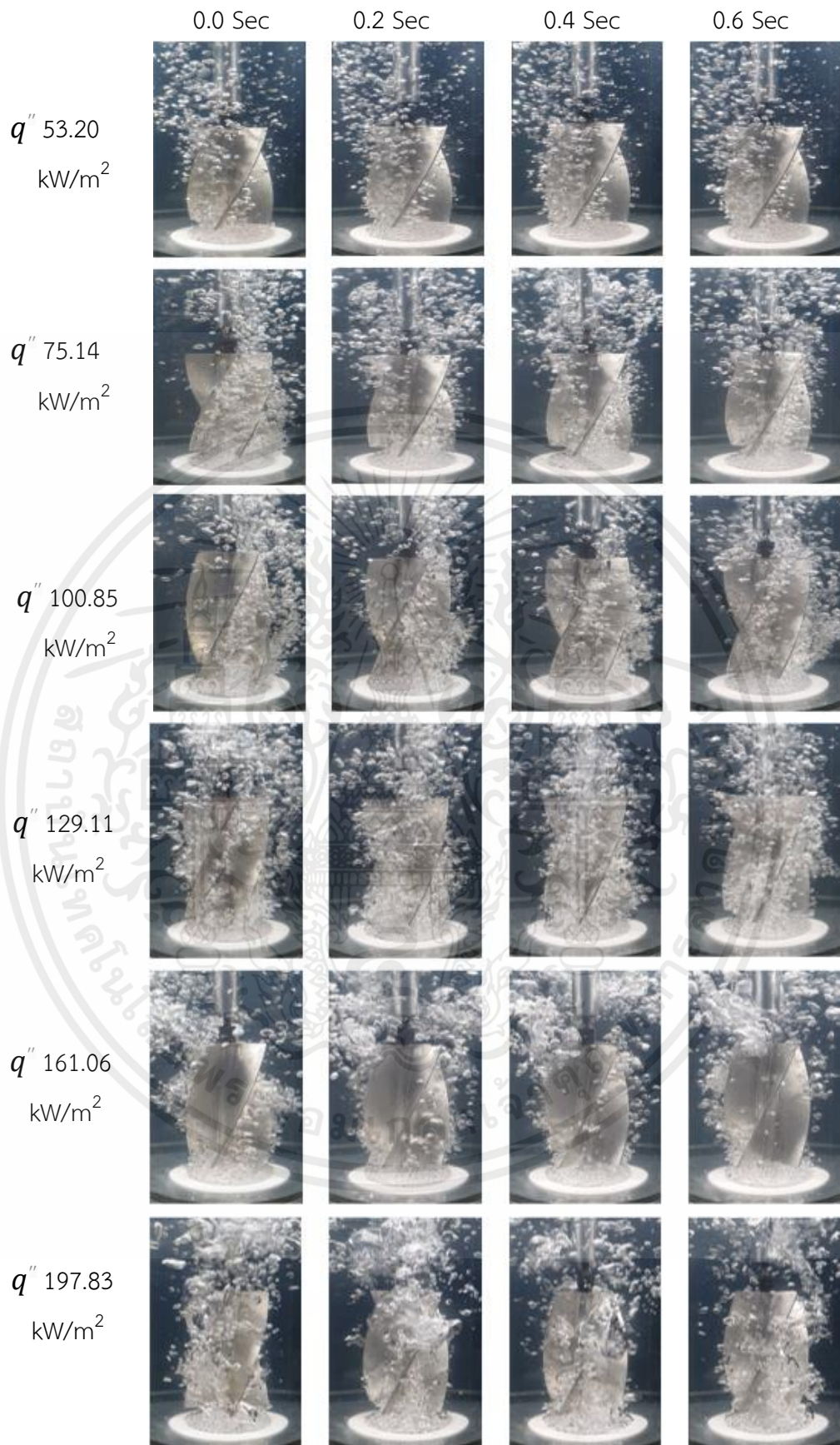
รูปที่ ๙ (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๙ (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

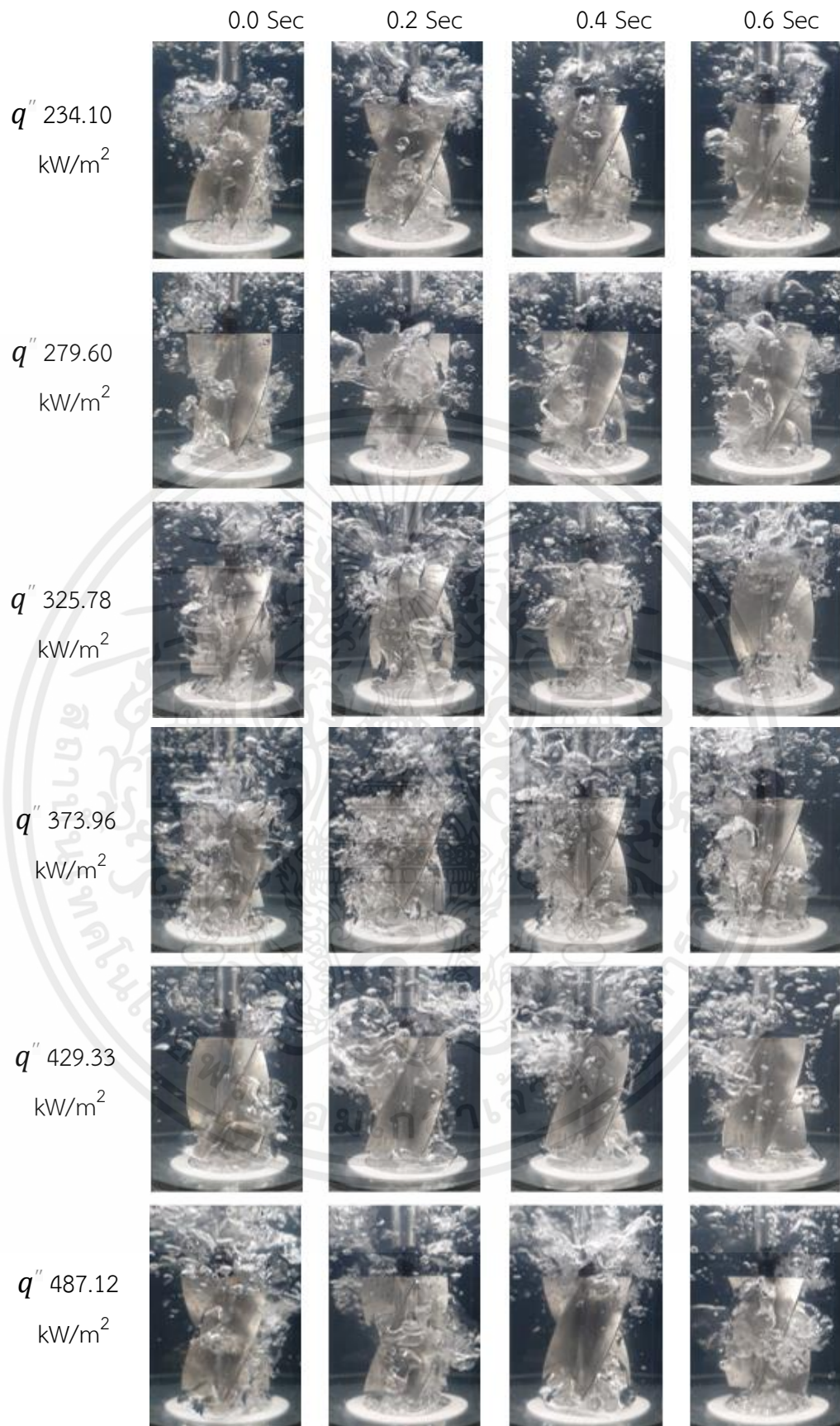
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 10 (ก.) ปรัชการณการเตอดของ สารทางานชนิดเมทานอลที่ความเขมซัน

100 เอรเซนต์ ที่ตดตั้งโบทมนวไวนือพื้นผวให้ความรอน ที่ระยะ 5 มลลเมตร

เอกสารนึเปนเอกสารทสงวนวไส้การใชงานเพอการศกษาเทานัน ไมอนุญาตให้เนาไปใช้ประยอชนดานการคา
ไมวากรณใตๆ ทังสึน อกทังทามมิให้ดัดแปลงเนือหาและตองอั้งอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งที่ม่การเนาไปใช้



รูปที่ ง. 10 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

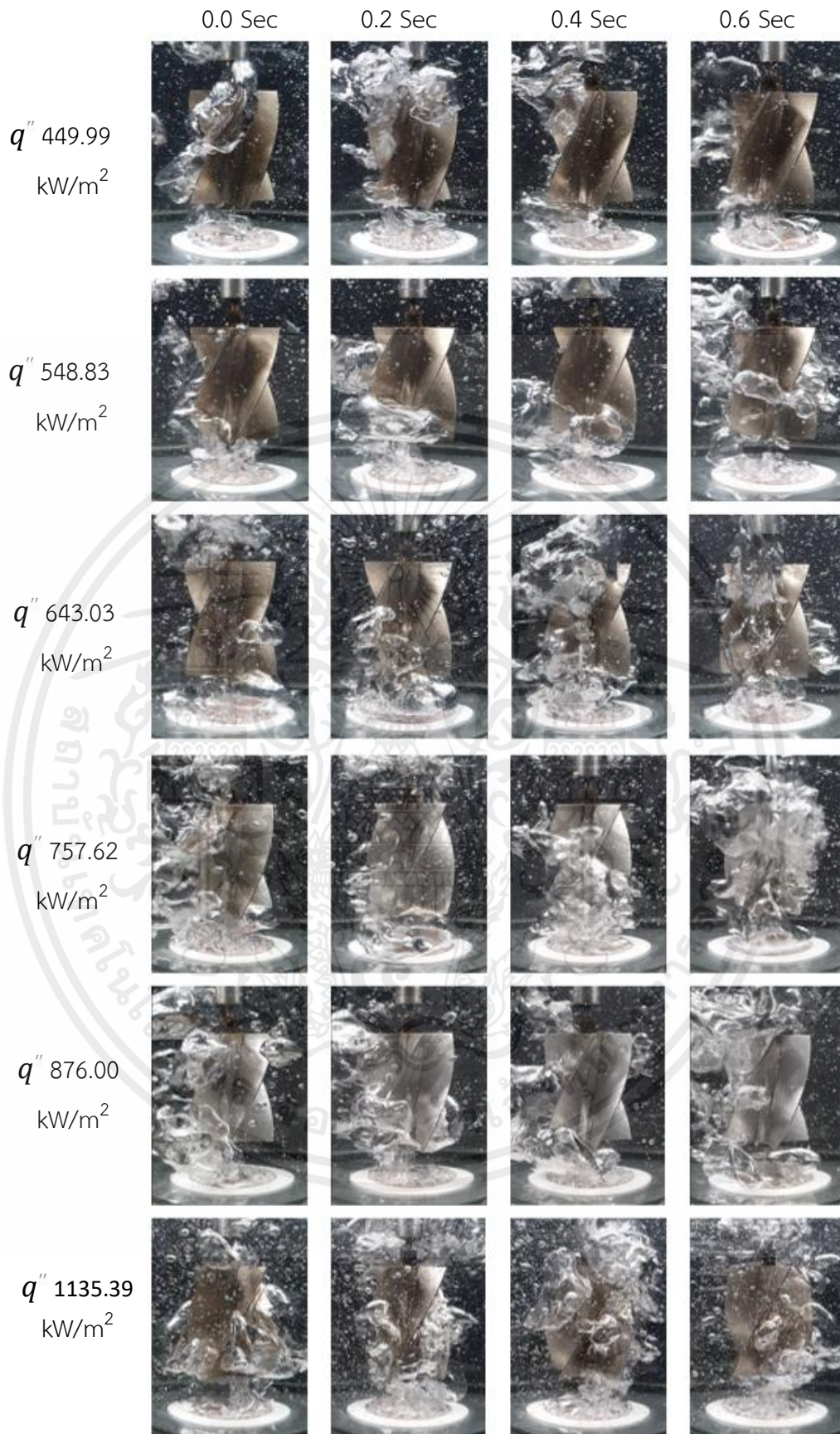
100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



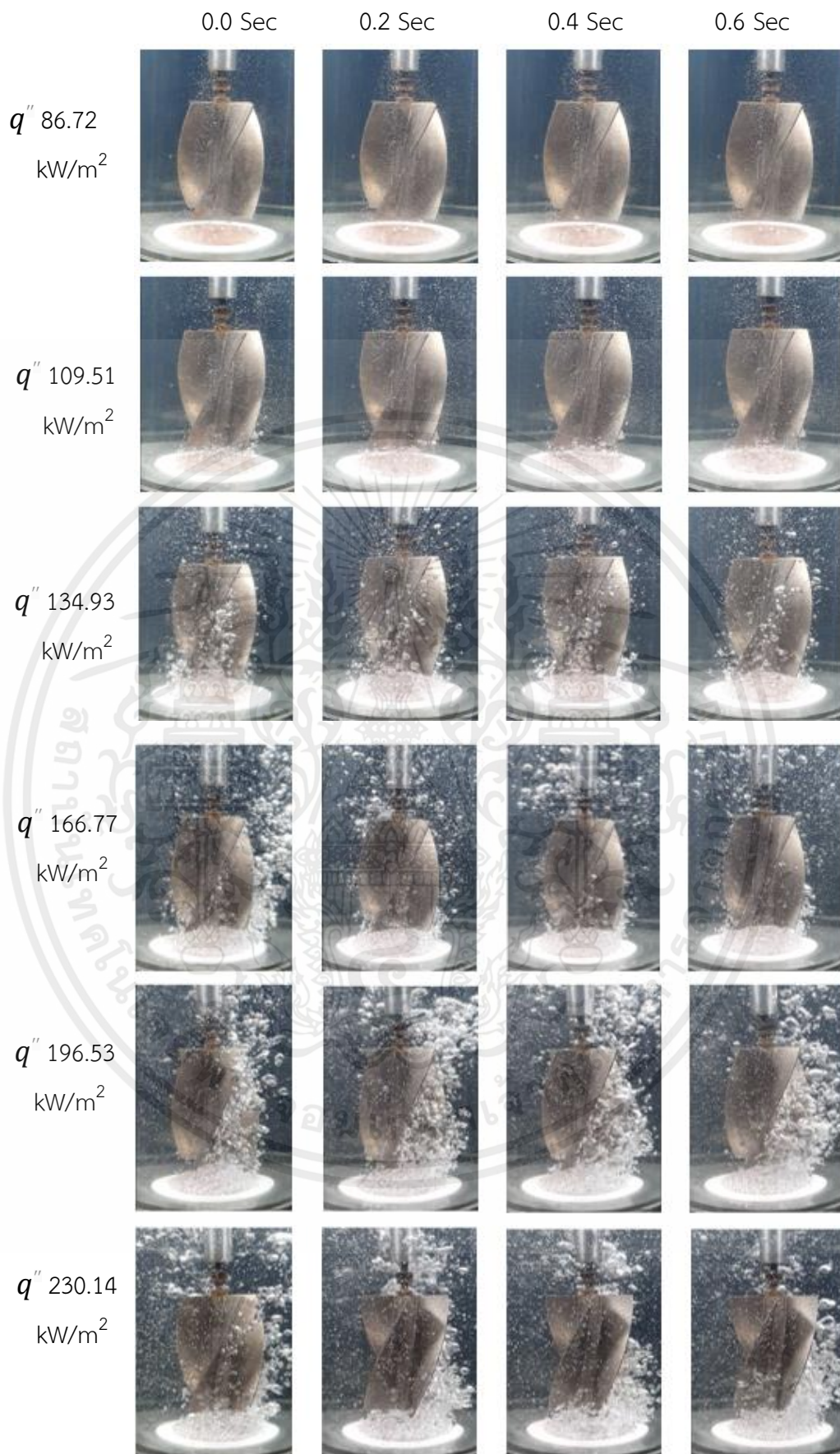
รูปที่ ง. 11 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 11 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้ง
ไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร

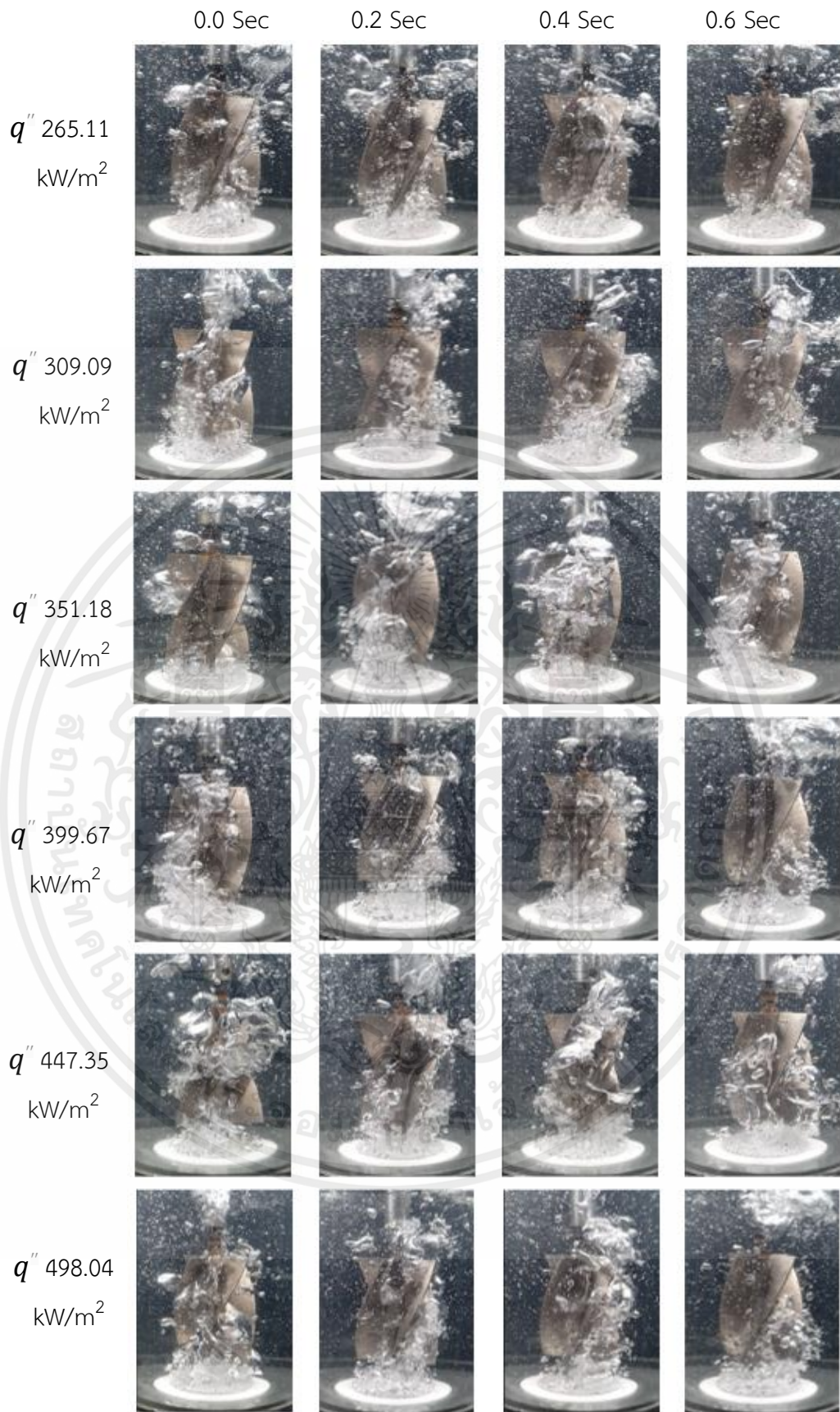
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 12 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



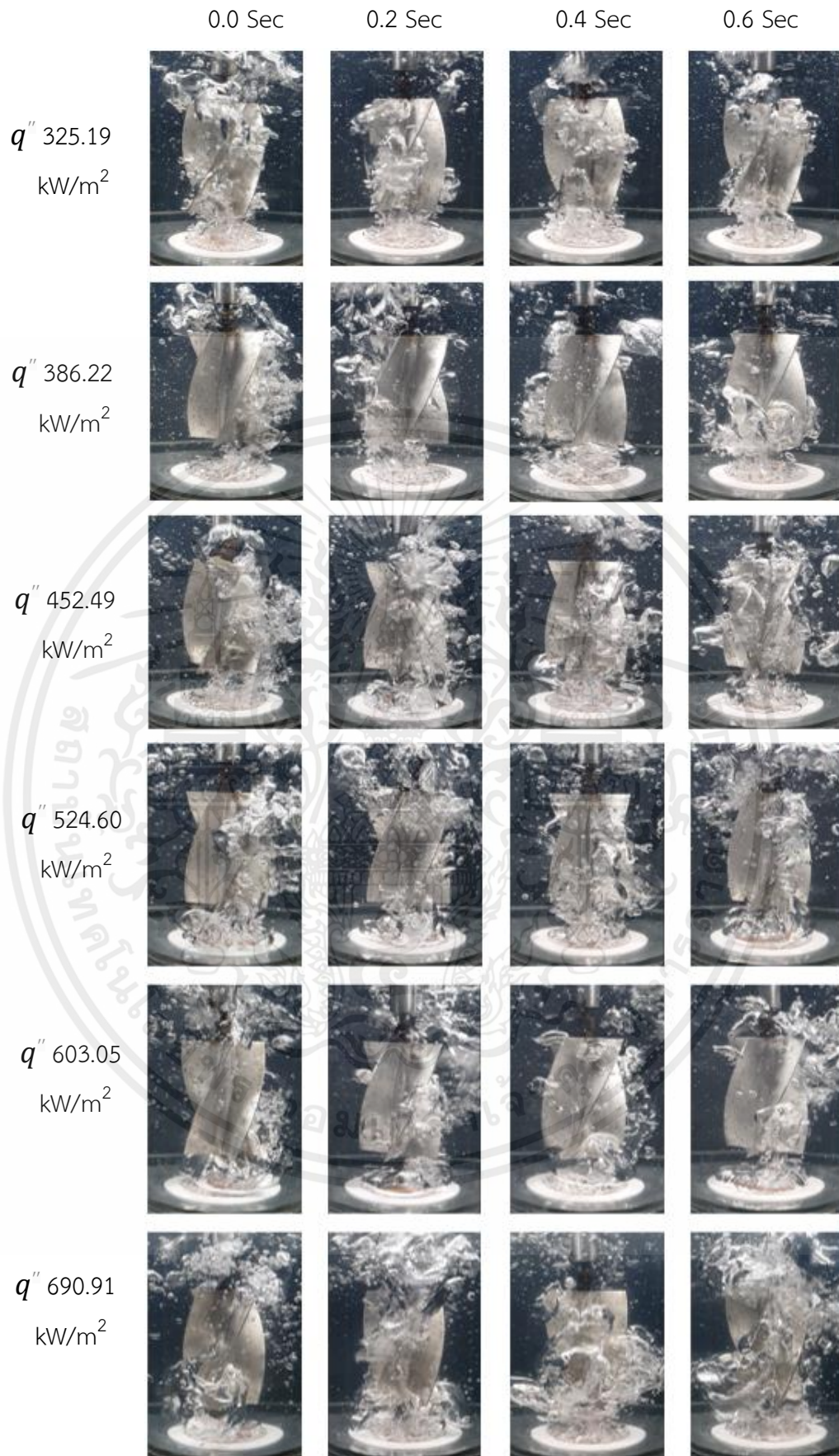
รูปที่ ง. 12 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 13 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร

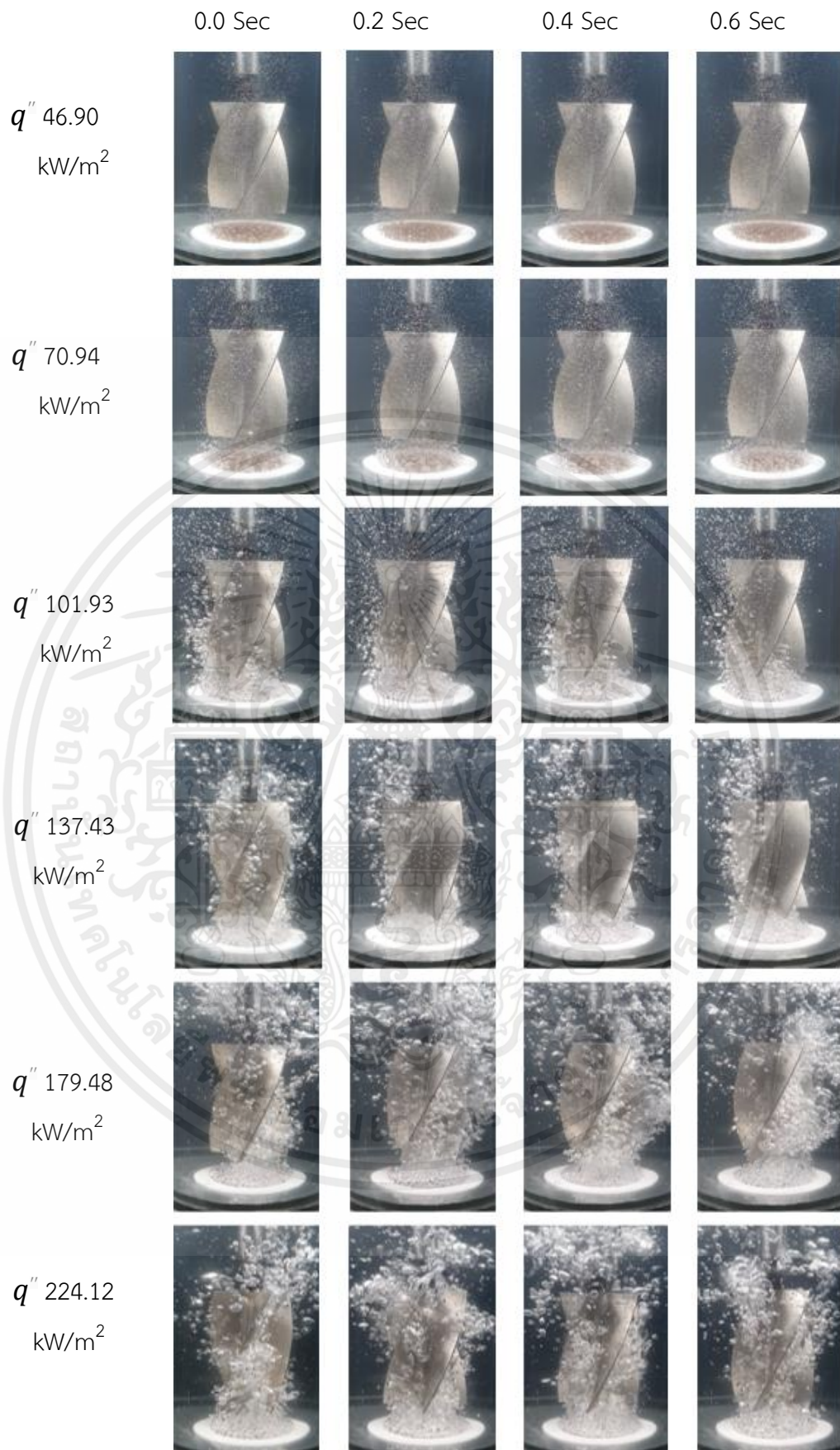
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 13 (ข.) ปราบกฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

50 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 14 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

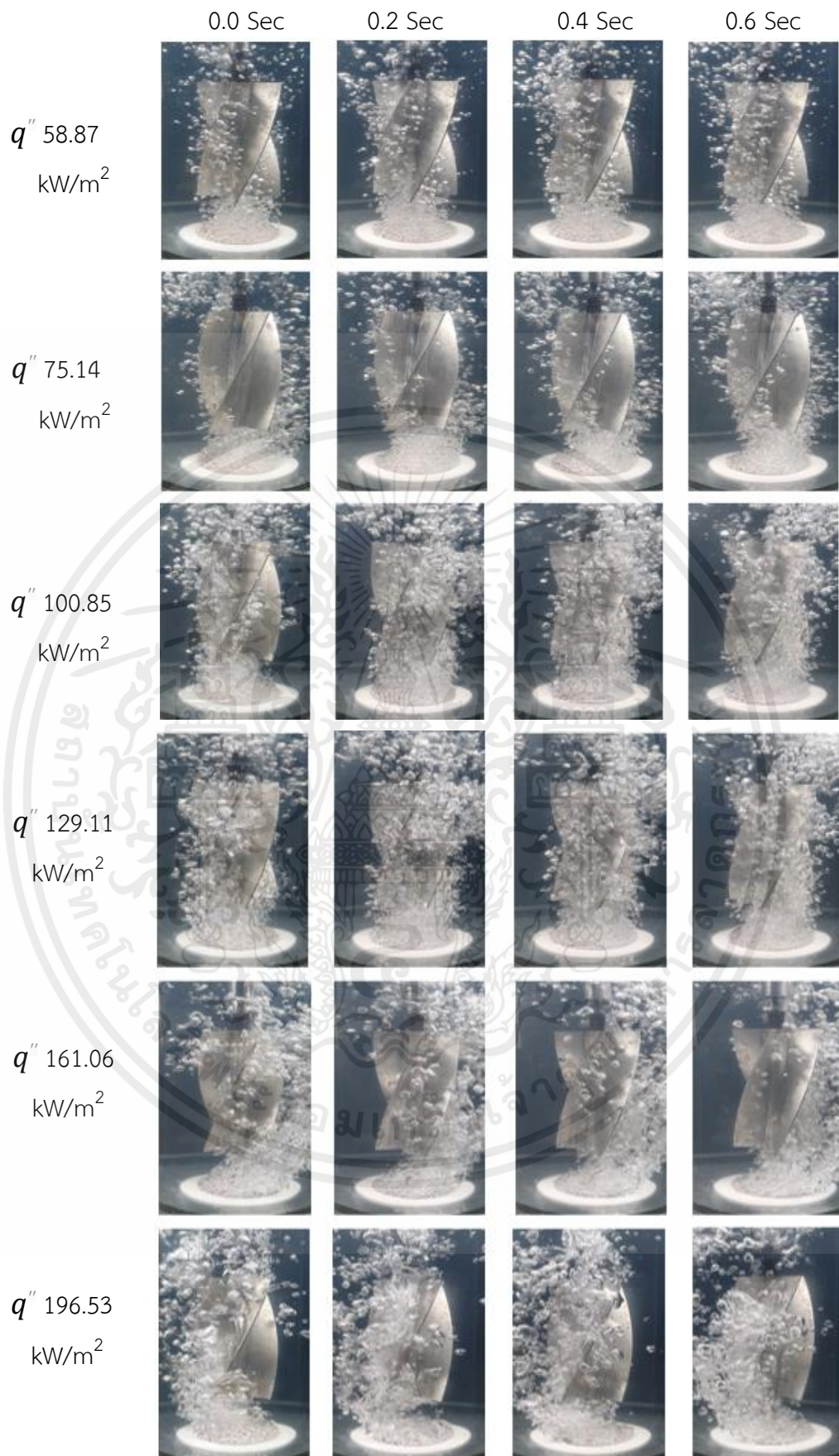


รูปที่ ง. 14 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75

เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

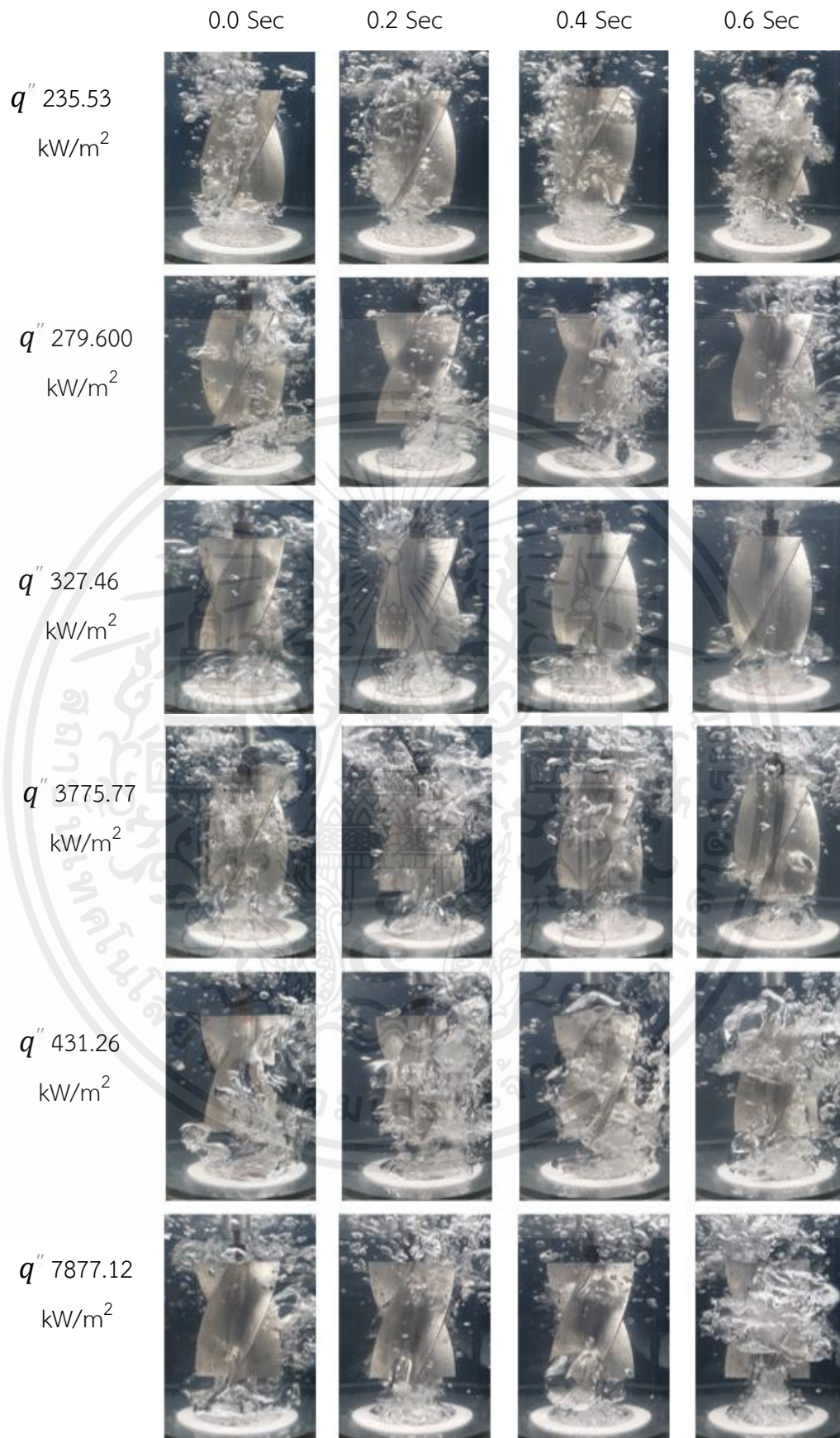
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 15 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของสารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 15 มิลลิเมตร

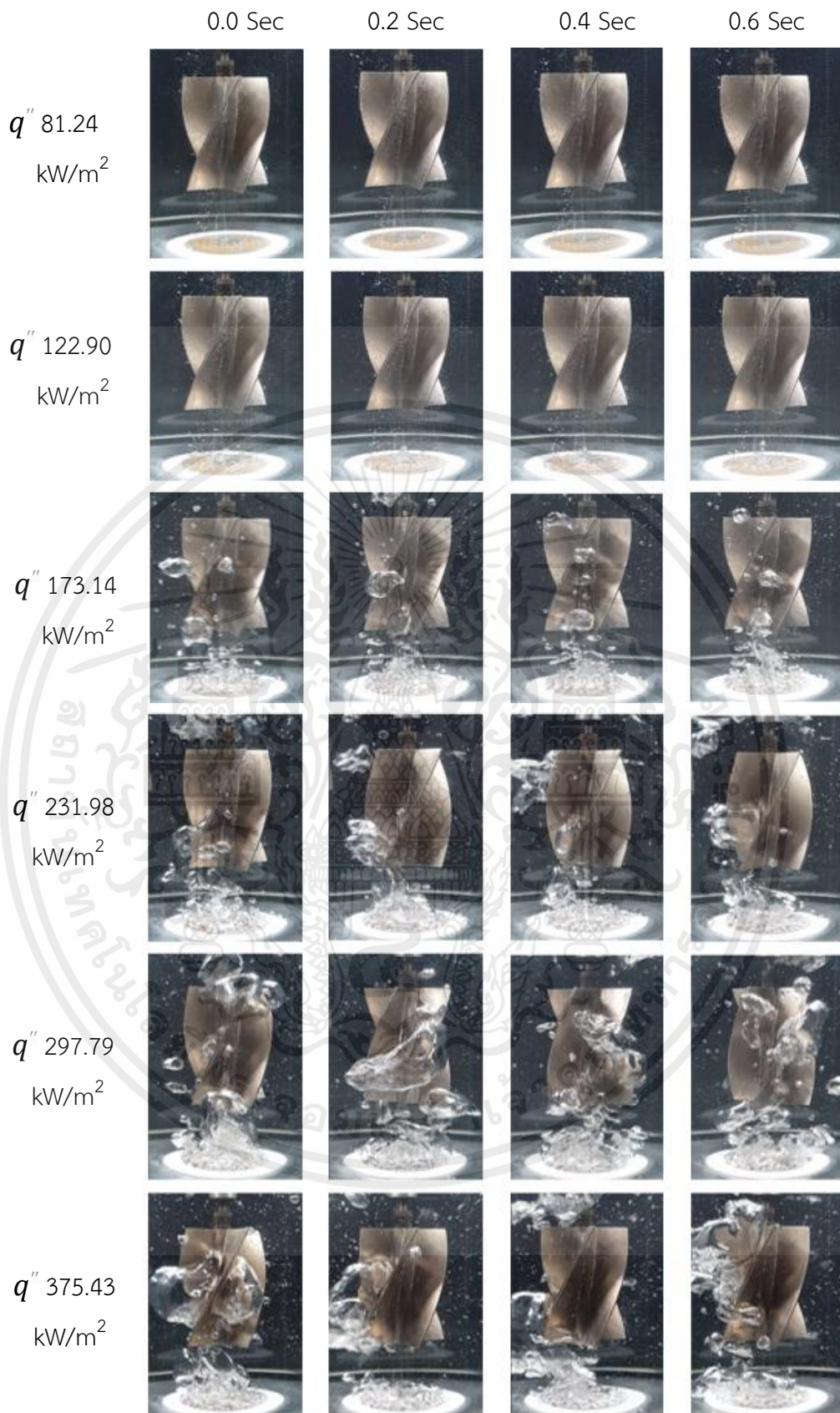
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 15 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของสารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

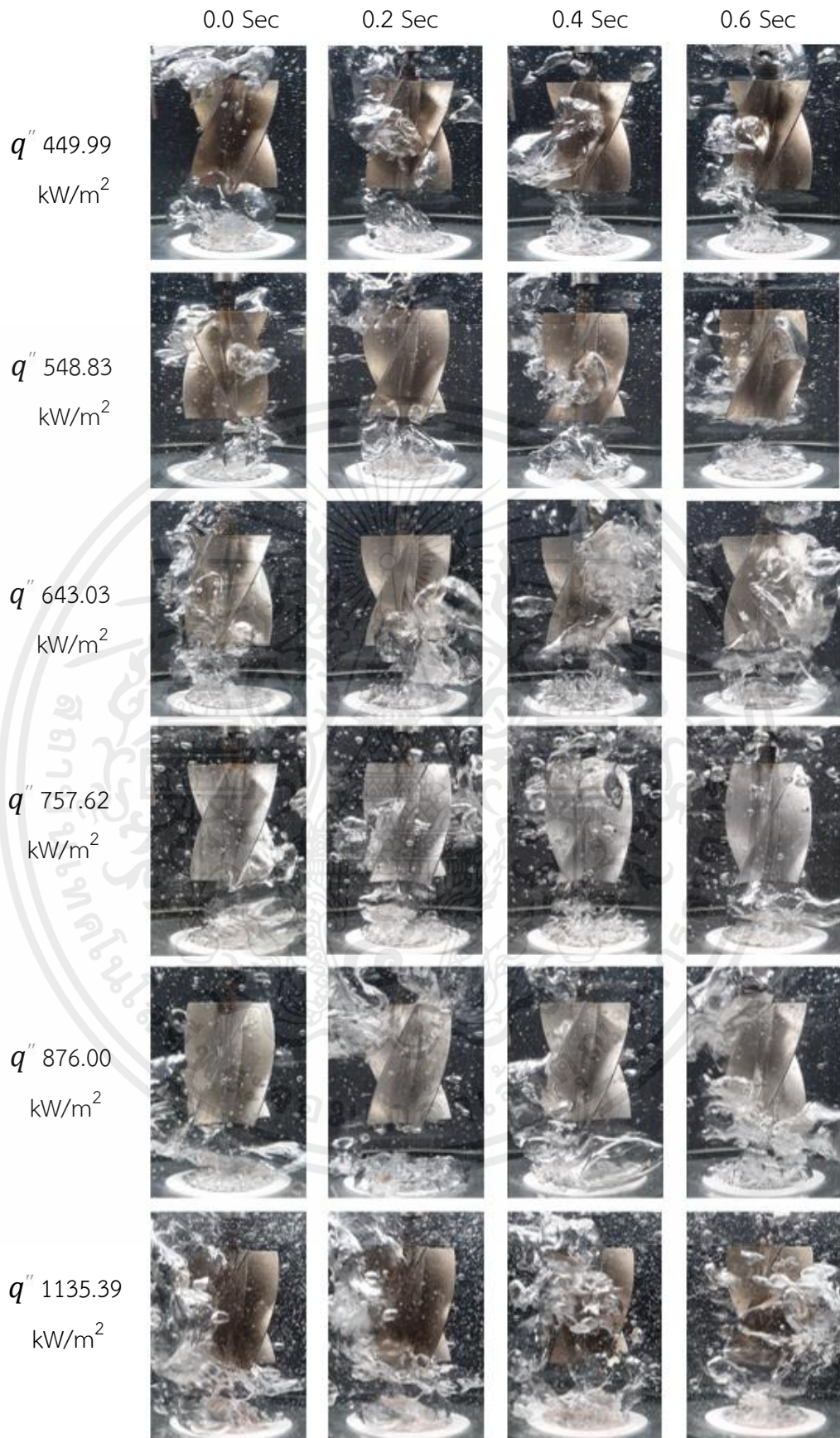
100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อนที่ระยะ 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 16 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้งใบหมุน
ไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร

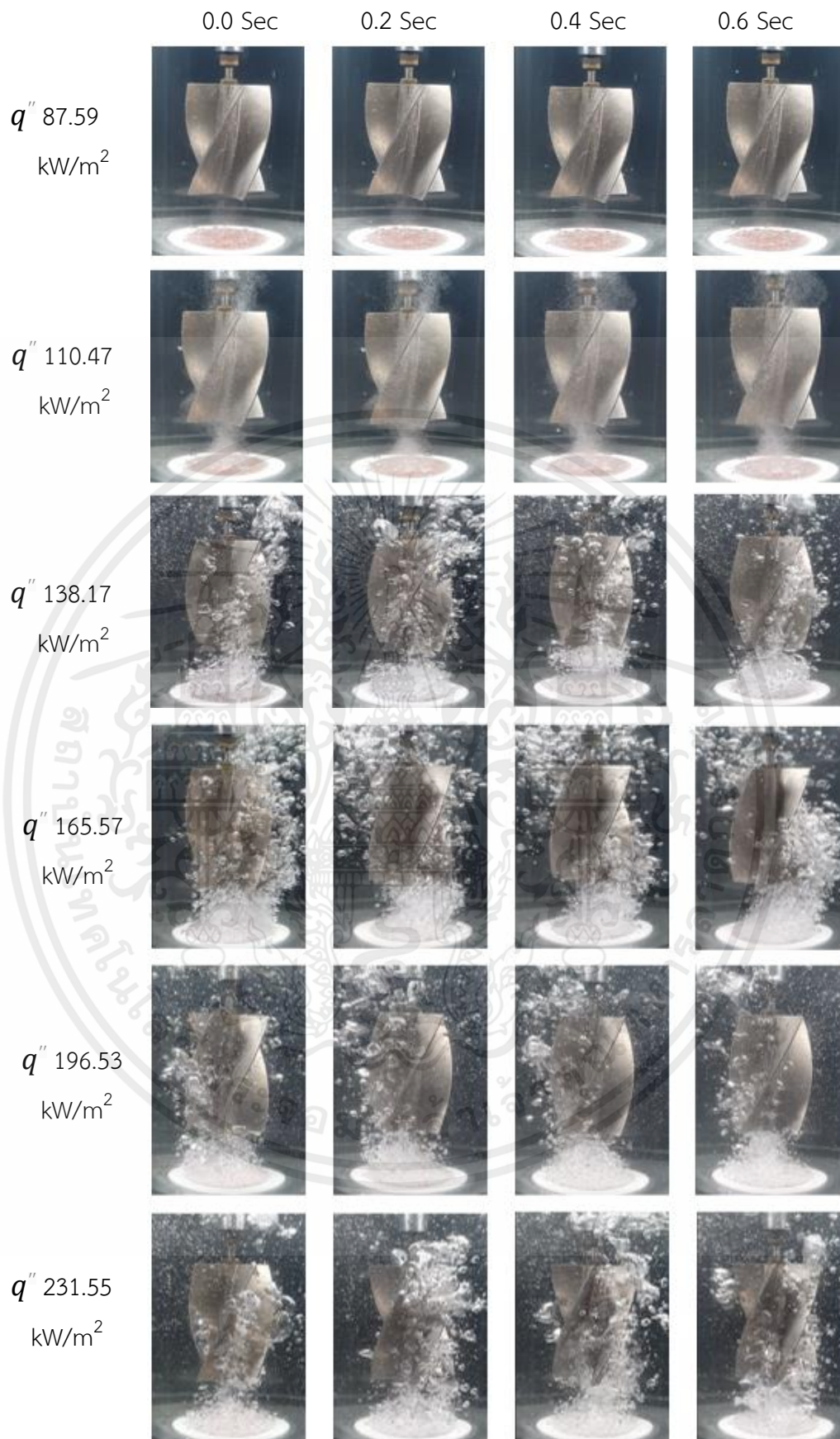
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 16 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดน้ำกลั่น ที่ติดตั้ง

ไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร

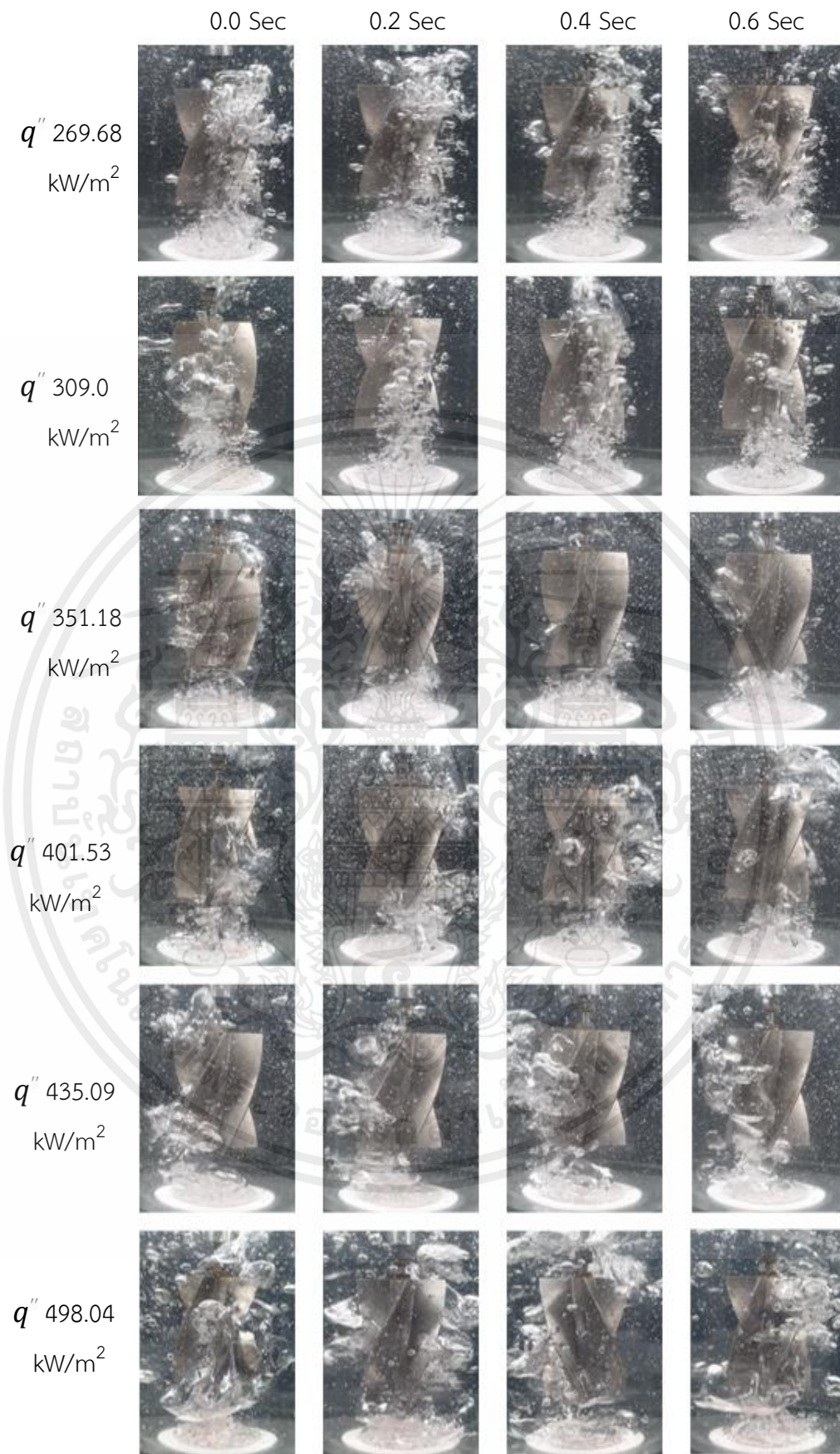
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 17 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

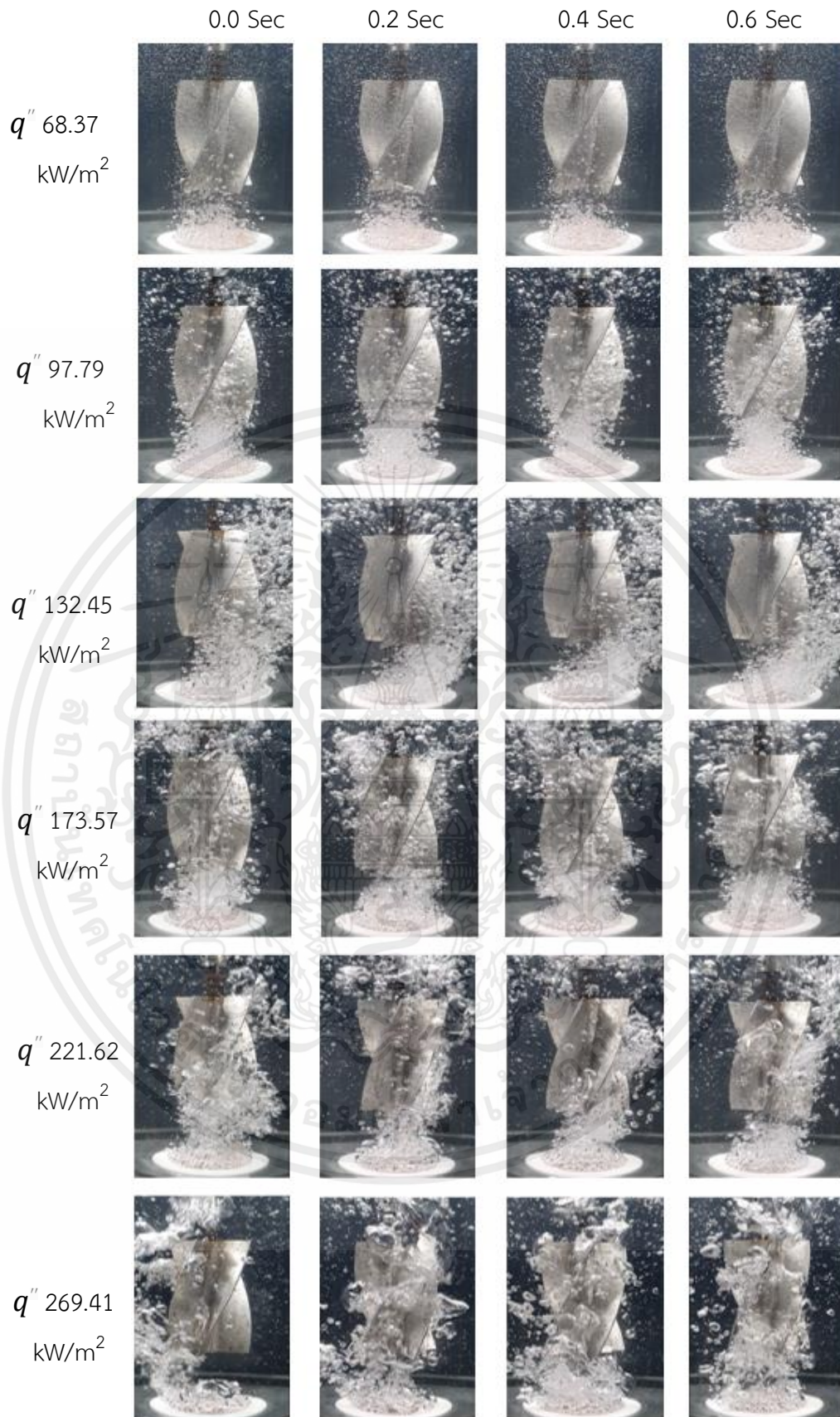


รูปที่ ง. 17 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

25 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร

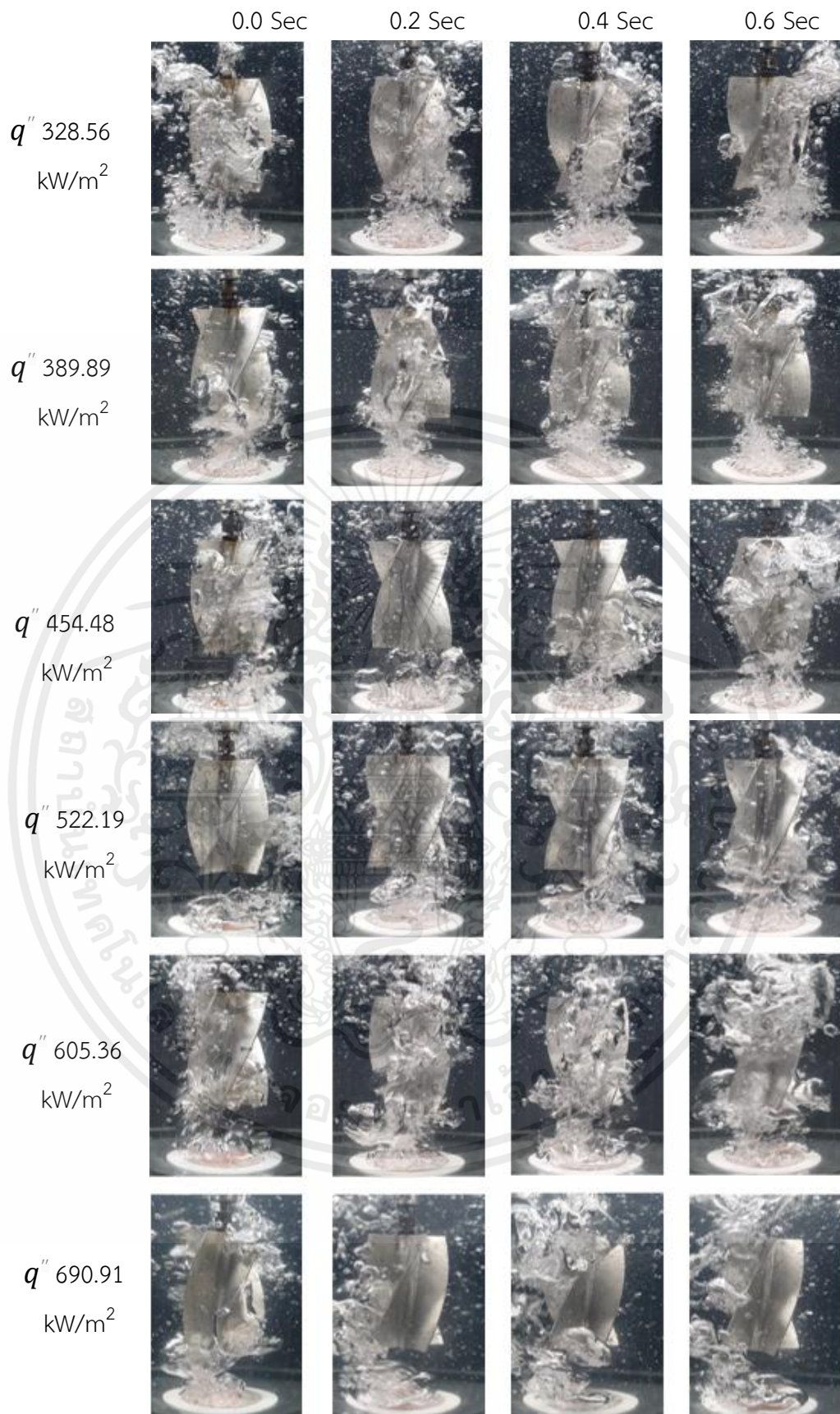
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 18 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร

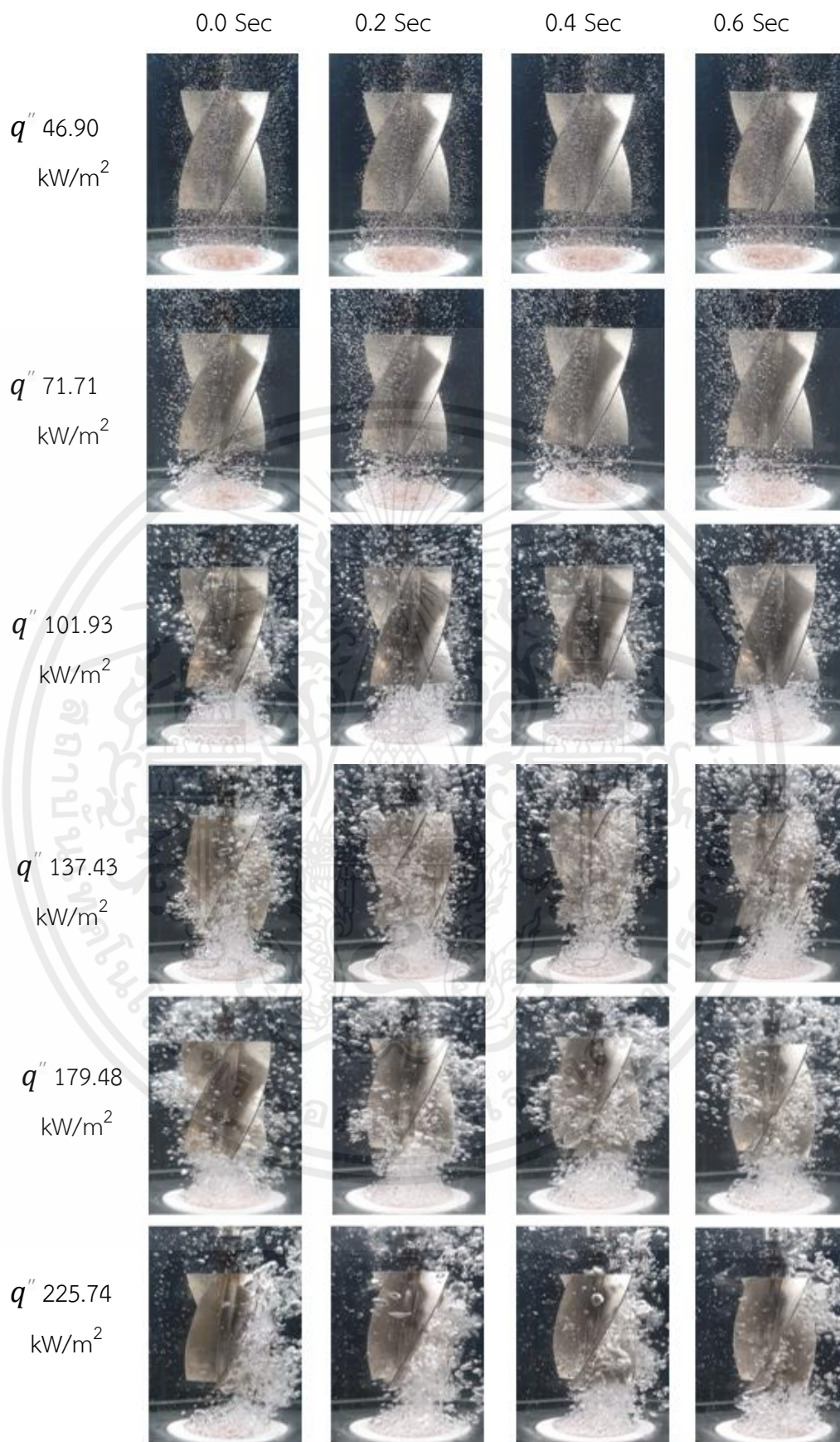
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 18 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

50 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร

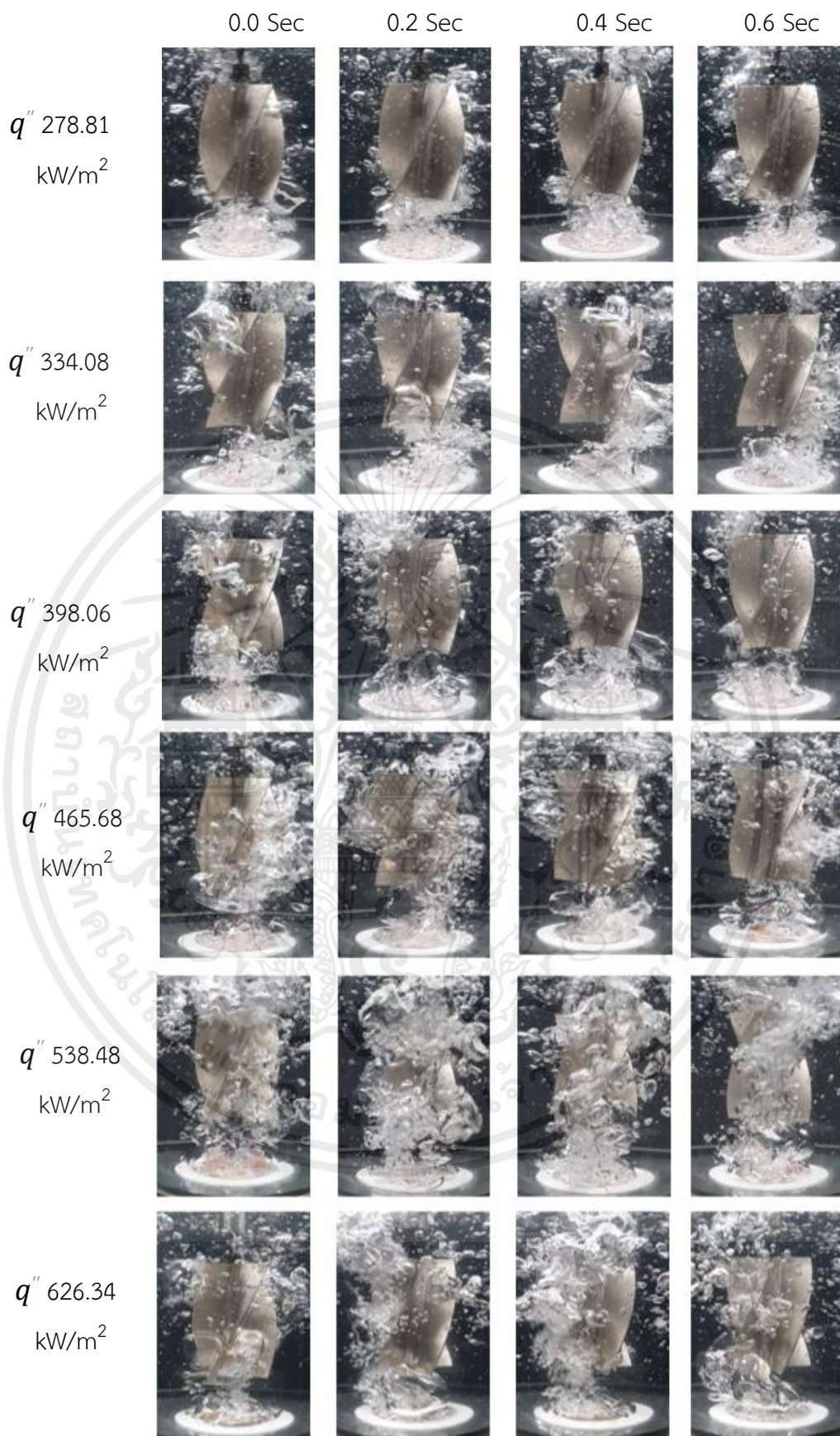
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 19 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

75 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร

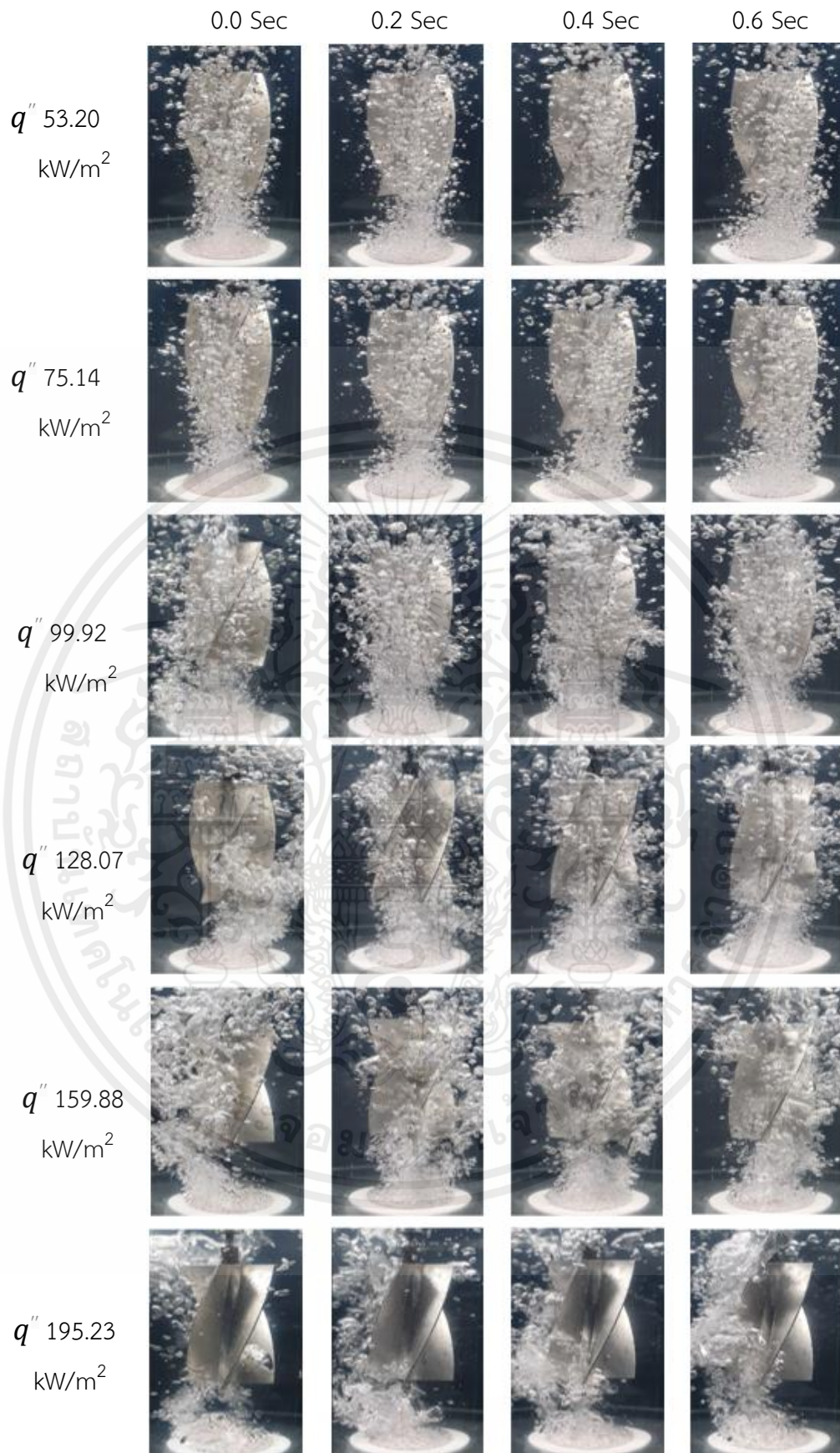
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 19 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของ สารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 75

เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งใบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร

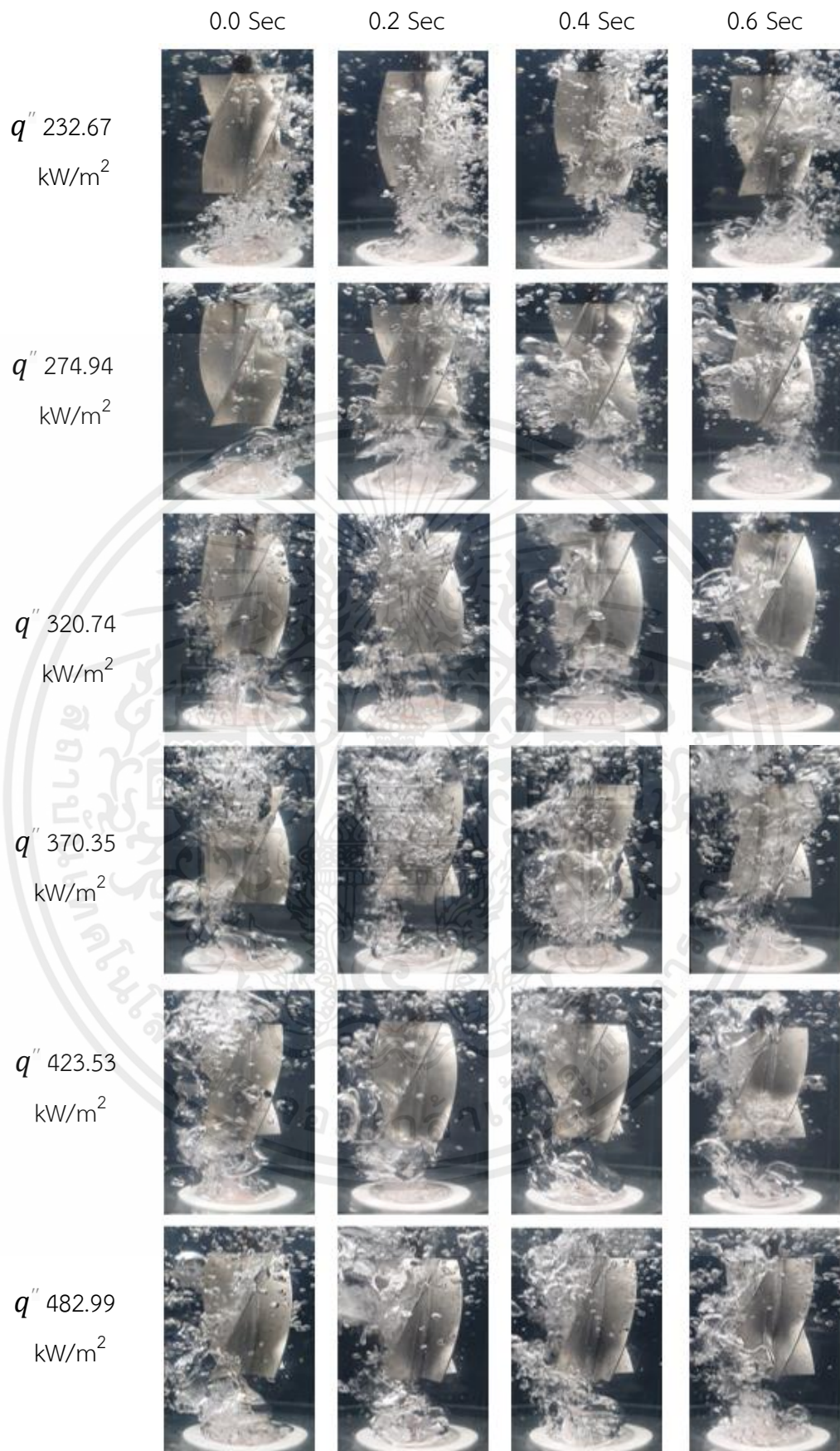
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 20 (ก.) ปรากฏการณ์การเดือดของสารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น 100

เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. 20 (ข.) ปรากฏการณ์การเดือดของสารทำงานชนิดเมทานอลที่ความเข้มข้น

100 เปอร์เซ็นต์ ที่ติดตั้งไบหมุนไว้เหนือพื้นผิวให้ความร้อน ที่ระยะ 25 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล	นายวีระวัฒน์ ฉิมหาด
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2542
ภูมิลำเนา	จังหวัดชุมพร
ที่อยู่	เลขที่ 62 หมู่ 7 ตำบลทะเลทรัพย์ อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160
E-mail	63201251@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช
ปีการศึกษา 2562
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
จังหวัดชุมพร ปีการศึกษา 2565

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตรประกาศนียบัตร
วิชาชีพชั้นสูง บริษัท สแตนดาร์ด ทูลิ่ง จำกัด
อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวศศิกานต์ ไกล่เกลี้ย
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
 ที่อยู่ เลขที่ 145/3 หมู่ 1
 ตำบลพงศัประศาสน์
 อำเภอบางสะพาน
 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77140
 E-mail 63201252@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
วิทยาลัยเทคนิคการอาชีพบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ปีการศึกษา 2562
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
จังหวัดชุมพร ปีการศึกษา 2565

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตรประกาศนียบัตร
วิชาชีพชั้นสูง บริษัท เวสท์โคสต์ เอ็นจิเนียริง จำกัด
อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล	นายอนาวิน รวดเร็ว
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2543
ภูมิลำเนา	จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ที่อยู่	เลขที่ 81 หมู่ 1 ตำบลบางสะพาน อำเภอบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77017
E-mail	63201257@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ปีการศึกษา 2562
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
จังหวัดชุมพร ปีการศึกษา 2565

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตรประกาศนียบัตร
วิชาชีพชั้นสูง บริษัท เวสท์โคสต์ เอ็นจิเนียริง จำกัด
อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้